

การพัฒนาแบบจำลองโหลดด้วยระบบมัลติเอเจนต์ที่ใช้ตัวกรองกาลมาน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2557

**DEVELOPMENT OF LOAD MODELING BY USING  
MULTI-AGENT SYSTEMS WITH  
KALMAN FILTER**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering  
Suranaree University of Technology  
Academic Year 2014**

## การพัฒนาแบบจำลองโหนดด้วยระบบอัตโนมัติที่ใช้ตัวกรองกาลมาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

---

(รศ. ดร.กิตติ อรรถกิจมงคล)

ประธานกรรมการ

---

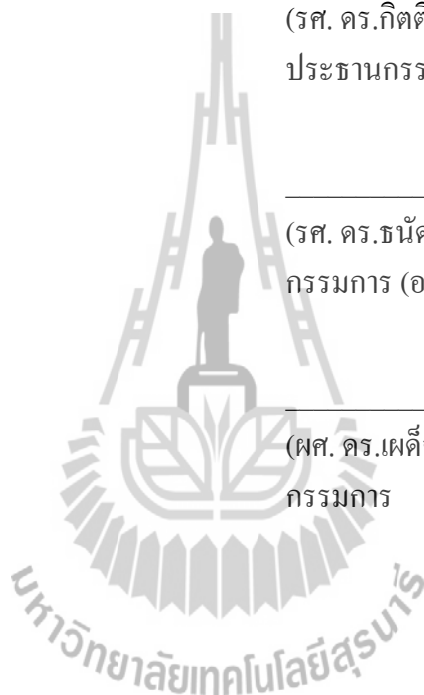
(รศ. ดร.ชนัดชัช กุลสุวรรณิชพงษ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

---

(ผศ. ดร.เผด็จ เผ่าละออ)

กรรมการ



---

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิ้มปีจ้านงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

---

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ขำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ชัยวัฒน์ ลือใจ : การพัฒนาแบบจำลองโหลดด้วยระบบมัลติเอเจนต์ที่ใช้ตัวกรองคาลมาน  
(DEVELOPMENT OF LOAD MODELING BY USING MULTI-AGENT SYSTEMS  
WITH KALMAN FILTER) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ชนัดชัย  
กุลวรรณิขพงษ์, 212 หน้า.

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการศึกษาและพัฒนารสร้างแบบจำลองโหลดด้วยระบบมัลติเอเจนต์ โดยใช้ข้อมูลการวัดจากสถานีไฟฟ้าย่อยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองโหลดที่สามารถแทนลักษณะของโหลดในเวลาต่าง ๆ โดยแบบจำลองโหลดในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้แบบจำลองโหลดแบบสถิติที่เรียกว่าแบบจำลองโหลด ZIP ซึ่งง่ายต่อการคำนวณและไม่ยุ่งยากในการสร้างแบบจำลองแต่ยังให้ประสิทธิภาพที่ดี และได้ใช้ตัวกรองเพื่อลดผลกระทบอันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบและผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด โดยได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter) กับตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ขั้นเดียว (Single Moving Average) ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าตัวกรองคาลมานลดผลกระทบอันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าและยังไม่กระทบกับลักษณะของโหลดอีกด้วย โดยกระบวนการตั้งแต่การลดผลกระทบเนื่องจากสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองไปจนถึงการคำนวณหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดนั้นได้ออกแบบให้ทำงานอย่างเป็นระบบด้วยเทคโนโลยีมัลติเอเจนต์ จากคุณสมบัติของเทคโนโลยีมัลติเอเจนต์นี้สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติและไม่จำเป็นต้องมีผู้ปฏิบัติการทำงานอยู่ตลอดเวลา ในวิทยานิพนธ์นี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารสร้างแบบจำลองโหลดให้สามารถแสดงพฤติกรรมของโหลดได้ถูกต้อง ด้วยการอาศัยเทคโนโลยีมัลติเอเจนต์และใช้ตัวกรองคาลมานในการลดสัญญาณรบกวนจากเครื่องมือวัด

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนักศึกษา \_\_\_\_\_

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา \_\_\_\_\_

CHAIWAT LUEJAI : DEVELOPMENT OF LOAD MODELING BY USING  
MULTI-AGENT SYSTEMS WITH KALMAN FILTER. THESIS

ADVISOR : ASSOC. PROF. THANATCHAI KULWORAWANICHPONG,  
Ph.D., 212 PP.

STATIC LOAD MODEL/ZIP MODEL/KALMAN FILTER/MULTI-AGENT

This thesis presents a study and development of load modeling by using multi-agent technology with measurement data from Suranaree University of Technology substation for making time-dependent load model. The load model is the static load model called ZIP-model (constant impedance, constant current and constant power model), which is easy to compute model parameters and also to provide good performance. In addition, error or noise from measurement devices is inevitable, thus a filter is a tool for reducing the effects caused by noise disturbance occurred in the system or by measuring devices. Comparing of effectiveness between the Kalman filter and the single moving average filter (SMA) shows that the Kalman filter can better reduce the effects caused by system and measurement noises and there is no effect on the characteristics of the load. The process to reduce the effect of noises by using a filter before calculating the load model is designed to perform on multi-agent systems. This thesis used JADE as a tool to create and control the operation of the agent. JADE is the Java language that can work on all operating system that Java can be operated. Which very popular and highly secure. JADE is developed based on FIPA international standard for agent interoperability. The use of agent technology

leads to automatic operations and requires no operator to monitor the system all the times. The objective of this thesis is to develop accurate load modeling with Kalman filter to reduce noises incorporating with multi-agent technology to implement the system operation automatically.



School of Electrical Engineering

Academic Year 2014

Student's Signature \_\_\_\_\_

Advisor's Signature \_\_\_\_\_

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ รวมทั้งได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ซึ่งได้แก่

รองศาสตราจารย์ ดร.ชนัดชัช กุลรวรานิชพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และแนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัย รวมถึงได้ช่วยตรวจทานและแก้ไขรายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนทำให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งเป็นกำลังใจ และเป็นแบบอย่างที่ดีในการดำเนินชีวิตหลาย ๆ ด้านให้กับผู้วิจัยเสมอมา

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และความรู้ทางด้านวิชาการอย่างดียิ่งมาโดยตลอด

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีสำหรับเครื่องมืออุปกรณ์และทุนการศึกษาที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (นครราชสีมา) สำหรับข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายทั้งในอดีตและปัจจุบันที่คอยถามไถ่และให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ได้ให้ความรัก ความอบอุ่น ความหวังใจ การอบรมเลี้ยงดู และให้การสนับสนุนทางการศึกษาอย่างดียิ่งมาโดยตลอด รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ยิ่งใหญ่ในยามที่ผู้วิจัยท้อและทุกข์ใจ ช่วยให้มีพลังเข้มแข็งพร้อมเผชิญกับปัญหาอุปสรรคต่าง ๆ จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

ชัชวัฒน์ ลือใจ

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์.....	3
<b>2 ทัศนวิศวกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>4</b>
2.1 บทนำ.....	4
2.2 ทัศนวิศวกรรม.....	4
2.2.1 ทัศนวิศวกรรมด้านระบบมัลติเอเจนต์.....	4
2.2.2 ทัศนวิศวกรรมด้านแบบจำลองโหลด.....	5
2.3 แบบจำลองโหลด.....	6
2.3.1 ข้อมูลสำหรับแบบจำลองโหลด.....	7
2.3.2 ประเภทการวัด.....	7
2.3.3 คุณสมบัติโหลด.....	8
2.3.4 แบบจำลองโหลดมาตรฐาน (Standard Load Model) .....	9
2.4 เทคโนโลยีระบบมัลติเอเจนต์.....	14
2.4.1 คำนิยามของเอเจนต์.....	14
2.4.2 ระบบมัลติเอเจนต์.....	16
2.5 คาลมานอัลกอริทึม.....	17



## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.1	สมการอนุพันธ์และแบบจำลองทางพลวัตแบบเชิงเส้น (Differential Equations and Linear Dynamic Model) .....	17
2.5.2	การจำลองแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete-Time Model) .....	18
2.5.3	กาลมานฟิลเตอร์แบบไม่ต่อเนื่อง (discrete Kalman filter) .....	19
2.6	สรุป.....	23
<b>3</b>	<b>การหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองไหลดแบบ ZIP โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด.....</b>	<b>24</b>
3.1	บทนำ.....	24
3.2	แบบจำลองไหลดแบบ ZIP.....	24
3.2.1	แบบจำลองไหลด PQ.....	24
3.2.2	แบบจำลองไหลดแบบสถิติทั่วไป.....	25
3.2.3	แบบจำลองไหลดแบบ ZIP.....	26
3.3	การหาค่าเหมาะที่สุดด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด.....	27
3.3.1	การประยุกต์ใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดกับการคำนวณหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองไหลด.....	29
3.4	ผลการทดสอบด้วยระบบทดสอบจำลอง.....	32
3.5	สรุป.....	40
<b>4</b>	<b>การลดผลกระทบของสัญญาณรบกวนจากเครื่องมือวัด.....</b>	<b>41</b>
4.1	บทนำ.....	41
4.2	ตัวแบบค่าเฉลี่ย (Constant Mean Model).....	41
4.2.1	ตัวแบบค่าเฉลี่ยคงที่ระยะยาว (Global Constant Mean Model).....	41
4.2.2	ตัวแบบค่าเฉลี่ยคงที่ระยะสั้น (Local Constant Mean Model).....	45
4.3	ตัวกรองกาลมาน (Kalman Filter).....	48
4.4	ผลการทดสอบ.....	56
4.4.1	ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ขั้นเดียว.....	56
4.4.2	การหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตัวกรองกาลมาน.....	62
4.4.3	เปรียบเทียบผลทดสอบระหว่างตัวกรองกาลมานและตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ขั้นเดียว.....	73
4.5	สรุป.....	77
<b>5</b>	<b>การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมัลติเอเจนต์เพื่อสร้างแบบจำลองไหลด.....</b>	<b>78</b>
5.1	บทนำ.....	78

## สารบัญ (ต่อ)

### หน้า

5.2 การสร้างระบบมัลติเอเจนต์ด้วย JADE.....	78
5.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ JADE.....	78
5.2.2 ตัวอย่างการซื้อขายหนังสือ.....	84
5.2.3 การสร้างเอเจนต์ด้วย JADE และคลาสเอเจนต์.....	85
5.2.4 งานของเอเจนต์.....	90
5.2.5 การสื่อสารระหว่างเอเจนต์.....	96
5.2.6 บริการสมุดหน้าเหลือง.....	103
5.3 การออกแบบระบบมัลติเอเจนต์.....	107
5.4 ผลการทดสอบ.....	111
5.4.1 การปฏิบัติการด้วยเครื่องมือ JADE.....	111
5.4.2 การสร้างแบบจำลองโหลด.....	115
5.5 สรุป.....	122
<b>6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>123</b>
6.1 สรุป.....	123
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	124
รายการอ้างอิง .....	126
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการวัดจริงจากเครื่องวัด ณ สถานีไฟฟ้าย่อยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี.....	128
ภาคผนวก ข. โปรแกรมสำหรับจำลองผลของงานวิจัยในวิทยานิพนธ์.....	179
ภาคผนวก ค. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา.....	203
ประวัติผู้เขียน .....	212

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างค่าทั่วไปของตัวยกกำลัง $np$ และ $nq$ สำหรับโหนดแต่ละชนิด.....	11
3.1 ค่าอินพุตเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันในบัสอ้างอิง.....	35
3.2 เปรียบเทียบระหว่างค่าอินพุตกับแบบจำลองโหนด.....	38
4.1 ตัวอย่างการพยากรณ์ด้วยค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว.....	46
4.2 ผลจากการหาตัวเลขค่าเฉลี่ยของตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว.....	58
4.3 ผลลัพธ์ของพารามิเตอร์ตัวกรองคาลมานของค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ.....	65
4.4 ผลลัพธ์ของพารามิเตอร์ตัวกรองคาลมานของค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ.....	68
4.5 ผลลัพธ์ของพารามิเตอร์ตัวกรองคาลมานของค่าแรงดันไฟฟ้า.....	71
4.6 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดแบบกำลังสองน้อยที่สุดของตัวกรองคาลมานและตัวกรอง แบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว.....	73
5.1 ประเภทข้อมูลของเอเจนต์ PAG, QAG และ VAG.....	108
5.2 ประเภทข้อมูลของเอเจนต์ MAG.....	109
5.3 ประเภทข้อมูลของเอเจนต์ LMSAG.....	109
5.4 การกำหนดส่วนประกอบของ ACLMessage.....	113
5.5 ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่มีช่วงระยะแบบจำลองโหนดเท่ากับ 2 ชั่วโมง.....	116
5.6 ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่มีช่วงระยะแบบจำลองโหนดเท่ากับ 1 วัน.....	119

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	วงจรมุมของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ภาวะคงตัว..... 12
2.2	วงจรมุมของมอเตอร์เหนี่ยวนำช่วงชั่วคราว..... 12
2.3	การตอบสนองของโหลดภายใต้ความห่าง $\Delta U$ , จากระดับ $U_0$ ..... 13
2.4	โครงสร้างเบื้องต้นของตัวเอเจนต์..... 15
2.5	ลักษณะโครงสร้างการทำงานภายในระบบมัลติเอเจนต์..... 16
2.6	ขั้นตอนการทำงานของคาลมานอัลกอริทึม..... 21
2.7	แผนผังสมการคาลมาน..... 22
3.1	แสดงการหาค่าเบี่ยงเบนของวิธีกำลังสองน้อยที่สุด..... 28
3.2	ขั้นตอนการคำนวณหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลด..... 31
3.3	ระบบทดสอบ..... 32
3.4	ระบบทดสอบที่จำลองด้วยโปรแกรม Power World..... 32
3.5	การตั้งค่าสำหรับบัส..... 33
3.6	การตั้งค่าสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า..... 33
3.7	การตั้งค่าสำหรับสายส่ง..... 34
3.8	การตั้งค่าสำหรับโหลด..... 35
3.9	เปรียบเทียบระหว่างค่าโหลดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟเทียบกับค่าแรงดัน..... 36
3.10	เปรียบเทียบระหว่างค่าโหลดกำลังไฟฟารีแอกทีฟเทียบกับค่าแรงดัน..... 37
3.11	ขั้นตอนการคำนวณเพื่อให้ได้ซึ่งแบบจำลองโหลด..... 37
4.1	ตัวอย่างการสุ่มตัวแปร $w_k$ จะสังเกตได้ว่าประมาณ 68%, 95% และ 99% ของ $w_k$ จะอยู่ในช่วง $\mu \pm \sigma$ , $\mu \pm 2\sigma$ และ $\mu \pm 3\sigma$ ตามลำดับ ( $\mu = 0$ ) ..... 49
4.2	ขั้นตอนของการประมวลผลด้วย Kalman Filter ที่เวลา $t_k$ ใด ๆ ..... 54
4.3	ผลการจำลองการทำงานของ Kalman Filter Algorithm..... 55
4.4	สัญญาณสุ่มและสัญญาณสุ่มเมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปสำหรับกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ..... 56
4.5	สัญญาณสุ่มและสัญญาณสุ่มเมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปสำหรับกำลังไฟฟารีแอกทีฟ..... 57
4.6	สัญญาณสุ่มและสัญญาณสุ่มเมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปสำหรับแรงดันไฟฟ้า..... 57
4.7	เปรียบเทียบการใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ขึ้นเดียวกับสัญญาณสุ่มที่เพิ่มสัญญาณรบกวนของค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ..... 59

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8	เปรียบเทียบการใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวกับสัญญาณสุ่มที่เพิ่มสัญญาณรบกวนของค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ..... 60
4.9	เปรียบเทียบการใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวกับสัญญาณสุ่มที่เพิ่มสัญญาณรบกวนของค่าแรงดันไฟฟ้า..... 60
4.10	เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลดิบของค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟกับข้อมูลเมื่อผ่านตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว.....61
4.11	เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลดิบของค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟกับข้อมูลเมื่อผ่านตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว.....61
4.12	เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลดิบของค่าแรงดันไฟฟ้ากับข้อมูลเมื่อผ่านตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว..... 62
4.13	แผนภาพขั้นตอนการหาพารามิเตอร์ของตัวกรองคาลมาน..... 63
4.14	หน้าต่าง GUI ของ Genetic Algorithm Tool.....64
4.15	เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลดิบของค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟกับข้อมูลเมื่อผ่านตัวกรองคาลมาน.....67
4.16	เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลดิบของค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟกับข้อมูลเมื่อผ่านตัวกรองคาลมาน.....70
4.17	เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลดิบของค่าแรงดันไฟฟ้ากับข้อมูลเมื่อผ่านตัวกรองคาลมาน..... 73
4.18	เปรียบเทียบผลระหว่างตัวกรองคาลมานและตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวกับสัญญาณสุ่มที่เพิ่มสัญญาณรบกวนของค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ..... 74
4.19	เปรียบเทียบผลระหว่างตัวกรองคาลมานและตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวกับสัญญาณสุ่มที่เพิ่มสัญญาณรบกวนของค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ..... 74
4.20	เปรียบเทียบผลระหว่างตัวกรองคาลมานและตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวกับสัญญาณสุ่มที่เพิ่มสัญญาณรบกวนของค่าแรงดันไฟฟ้า..... 75
4.21	เปรียบเทียบผลระหว่างตัวกรองคาลมานและตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวของค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ..... 75
4.22	เปรียบเทียบผลระหว่างตัวกรองคาลมานและตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวของค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ..... 76
4.23	เปรียบเทียบผลระหว่างตัวกรองคาลมานและตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวของค่าแรงดันไฟฟ้า..... 76
5.1	คอนเทนเนอร์และแพลตฟอร์ม..... 82

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.2	โครงสร้างอ้างอิงของแพลตฟอร์มเอเจนต์ตามมาตรฐานของ FIPA..... 83
5.3	แพลตฟอร์มของเอเจนต์ที่กระจายบนหลาย ๆ คอนเทนเนอร์..... 83
5.4	วงจรชีวิตของเอเจนต์ตามมาตรฐานของ FIPA..... 89
5.5	แนวทางการทำงานของเอเจนต์..... 91
5.6	รูปแบบการส่งข้อความของ JADE ที่เรียกว่า Asynchronous Message Passing..... 97
5.7	บริการสมุดหน้าเหลือง..... 104
5.8	โครงสร้างการทำงานของระบบมัลติเอเจนต์..... 108
5.9	หมายเลขระบุตัวเอเจนต์..... 110
5.10	หน้าต่างติดต่อผู้ใช้ของ JADE..... 112
5.11	เส้นทางการรับ-ส่งข้อความของเอเจนต์..... 115
5.12	โครงสร้างการทำงานของระบบ..... 116
5.13	เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจากการวัดและแบบจำลองโหนดที่โหนดเป็นกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ โดยมีช่วงระยะแบบจำลองโหนดคือ 2 ชั่วโมง..... 118
5.14	เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจากการวัดและแบบจำลองโหนดที่โหนดเป็นกำลังไฟฟารีแอกทีฟ โดยมีช่วงระยะแบบจำลองโหนดคือ 2 ชั่วโมง..... 118
5.15	เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจากการวัดและแบบจำลองโหนดที่โหนดเป็นกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ โดยมีช่วงระยะแบบจำลองโหนดคือ 1 วัน..... 121
5.16	เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจากการวัดและแบบจำลองโหนดที่โหนดเป็นกำลังไฟฟารีแอกทีฟ โดยมีช่วงระยะแบบจำลองโหนดคือ 1 วัน..... 121

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

การจำลองผลระบบ (System Simulation) ถือว่าเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์หรือวินิจฉัยที่สำคัญสำหรับการวางแผนและการปฏิบัติการควบคุมในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีขนาดใหญ่มาก ๆ ตัวอย่างเช่น การจำลองเพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง หรือ การจำลองการไหลของกำลังไฟฟ้า เป็นต้น แบบจำลองโพลดจึงถือเป็นส่วนสำคัญมากในการจำลองผล เนื่องจากแบบจำลองโพลดแต่ละแบบจะให้ผลการจำลองที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลอย่างมากและสำคัญต่อผลลัพธ์ของการจำลองผล

ปัจจุบันความสนใจด้านแบบจำลองโพลดได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเรื่อยมา การสร้างแบบจำลองโพลดนั้นถือว่าเป็นสิ่งที่ท้าทายทางวิศวกรรมระบบไฟฟ้ากำลังอย่างมาก ก็ด้วยคุณสมบัติของโพลดที่ได้จากการวัดนั้นมีความซับซ้อนเหมือนเป็นค่าที่สุ่มมา (Randomness) มีการกระจายของข้อมูล (Dispersity) มีความหลากหลายของค่าโพลด (Biodiversity) และมีความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuity) จึงยากมากที่จะสร้างแบบจำลองโพลดให้มีความแม่นยำและถูกต้อง และสามารถนำไปแทนโพลดที่มีพฤติกรรมในการใช้งานในภาวะปกติ ดังนั้นความจำเป็นในการหาแบบจำลองโพลดที่มีความแม่นยำและถูกต้องจึงเป็นเรื่องสำคัญ โดยแบบจำลองโพลดที่ได้นั้นจะต้องมีพฤติกรรมเหมือนการใช้โพลดจริง

ระบบเครื่องมือวัดและควบคุมจะมีความทำงานที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณไฟฟ้าที่ได้มาจากเครื่องมือวัดที่ถูกติดตั้งอยู่ในสถานทีนั้น ๆ เพื่อส่งสัญญาณต่อไปยังระบบควบคุมเพื่อใช้แสดงผลหรือควบคุมกระบวนการตามต้องการ ซึ่งสัญญาณไฟฟ้าเหล่านี้สามารถถูกรบกวนได้ง่ายจากแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน (Noise Sources) ต่าง ๆ ดังนั้นในการออกแบบระบบเครื่องมือวัดและควบคุมจะต้องทำการพิจารณาวิธีการป้องกันสัญญาณรบกวนต่าง ๆ เหล่านี้ ตั้งแต่ขั้นตอนการเริ่มต้นการออกแบบระบบ งานวิจัยนี้จึงได้นำตัวกรองคาลมานมาใช้เพื่อลดผลกระทบเนื่องจากสัญญาณรบกวนนี้ได้ เพื่อที่จะนำข้อมูลสถานะที่ถูกต้องมากที่สุดไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

และเนื่องจากแนวโน้มในปัจจุบัน การควบคุมและการวางแผนปฏิบัติการในระบบไฟฟ้ากำลัง มีแนวโน้มกลายมาเป็นการควบคุมและวางแผนโดยอัตโนมัติ การจำลองผลรวมไปถึงการสร้างแบบจำลองโพลดจึงควรมีการสร้างขึ้นเองโดยอัตโนมัติจากค่าข้อมูลจากการวัดในภาคสนาม โดยมีการประยุกต์โดยนำเทคโนโลยีระบบมัลติเอเจนต์เข้ามาช่วย ซึ่งเป็นการรวมกันของหลาย ๆ เอเจนต์เพื่อบรรลุเป้าหมายที่ต้องการ ระบบมัลติเอเจนต์จึงเป็นการเพิ่มเติมเครื่องมือช่วยในสร้างแบบจำลองโพลดที่มีความซับซ้อน และต้องทำการตรวจวัดอยู่ตลอดเวลา โดยระบบเอเจนต์นั้นเป็นระบบอัตโนมัติที่ปราศจากคนในการปฏิบัติการ สามารถที่จะโต้ตอบกับเอเจนต์อื่นผ่านภาษา

ทางการสื่อสารเอเจนต์ ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวทางผู้วิจัยเล็งเห็นถึงข้อสำคัญในการนำระบบมัลติเอเจนต์มาประยุกต์ใช้กับการสร้างแบบจำลองโหนดโดยอัตโนมัติได้ เพื่อสามารถนำไปประกอบการจำลองผลในระบบต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- เพื่อพัฒนาและประยุกต์ใช้ระบบมัลติเอเจนต์ในการอ่านค่าจากระยะไกลและส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตภายใน
- เพื่อสร้างแบบจำลองโหนดให้ตรงตามพฤติกรรมของโหนดจริงมากที่สุด
- เพื่อพัฒนาแบบจำลองโหนดที่เหมาะสมที่สุด ให้กำจัดผลความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดโดยอาศัยตัวกรองคาลมาน

## 1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

- แบบจำลองโหนดที่สร้างขึ้นจะใช้ข้อมูลจากเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าแอกทีฟและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ
- แบบจำลองโหนดที่ใช้เป็นแบบ ZIP ซึ่งเป็นแบบจำลองโหนดสถิต
- แบบจำลองโหนดนี้เป็นอิสระจากการเปลี่ยนแปลงของความถี่ในระบบไฟฟ้า
- ใช้ข้อมูลการวัดจริงจากเครื่องวัด ณ สถานีไฟฟ้าย่อยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

- ออกแบบระบบมัลติเอเจนต์เพื่อทำการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องมือวัดกับคอมพิวเตอร์หลัก
- สร้างแบบจำลองโหนดเพื่อแทนพฤติกรรมของการใช้โหนดจริง
- ใช้คุณสมบัติระบบมัลติเอเจนต์ 2 ข้อ คือ อัตโนมัติ (Autonomy) และความสามารถในการติดต่อสื่อสาร (Communication)
- เอเจนต์ที่ออกแบบมี 3 เอเจนต์ คือ เอเจนต์ในการอ่านค่าจากเครื่องมือวัด เอเจนต์สำหรับรวมค่าจากเอเจนต์เครื่องมือวัดและเอเจนต์สำหรับการคำนวณหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหนด
- ใช้โปรแกรม JADE ในการออกแบบเอเจนต์และควบคุมเอเจนต์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้ชุดโปรแกรมมัลติเอเจนต์สำหรับการสร้างแบบจำลองโหนด
- ได้แบบจำลองโหนดที่ลดความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัดแล้ว
- ได้แบบจำลองโหนดที่มีประสิทธิภาพและสามารถนำไปใช้ในการจำลองผลต่อไปได้
- ได้เผยแพร่ผลงานวิจัยสู่วงวิชาการ



- ได้มอบบัณฑิตวิศวกรรมไฟฟ้าที่เชี่ยวชาญด้านแบบจำลองโหลดในระบบไฟฟ้ากำลัง

## 1.6 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 6 บท บทที่ 1 เป็นบทนำกล่าวถึงความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของงานวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย รวมทั้งแนะนำเนื้อหาเบื้องต้นของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ส่วนบทอื่น ๆ ประกอบด้วย เนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ทฤษฎีเกี่ยวกับแบบจำลอง โหลด เทคโนโลยีระบบมัลติเอเจนต์และกาลมานอัลกอริธึม

บทที่ 3 กล่าวถึงการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดแบบ ZIP ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด และทำการทดสอบด้วยระบบทดสอบเพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองโหลด

บทที่ 4 กล่าวถึงการประยุกต์ใช้ตัวกรองกาลมานสำหรับลดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเครื่องมือวัด โดยจะทำการเปรียบเทียบตัวกรองกาลมานและตัวกรองแบบง่ายคือตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว

บทที่ 5 กล่าวถึงการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบมัลติเอเจนต์เพื่อสร้างระบบในการนำข้อมูลการวัด รับ-ส่ง และทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดได้อย่างอัตโนมัติ

บทที่ 6 กล่าวถึงบทสรุปและข้อเสนอแนะ  
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการวัดจริงจากเครื่องวัด ณ สถานีไฟฟ้าย่อยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข. โปรแกรมสำหรับจำลองผลของงานวิจัยในวิทยานิพนธ์

ภาคผนวก ค. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

## บทที่ 2

### ปฏิทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

ความถูกต้องของแบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลังมีความจำเป็นในการที่จะลดความไม่แน่นอนในการปฏิบัติการในระบบไฟฟ้ากำลัง ความเที่ยงตรงถูกต้องเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพระบบที่ได้ผลลัพธ์จากการศึกษาการถ่ายเทกำลังไฟและการจำลองเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าจำนวนมาก และในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังนั้น แบบจำลองที่ถูกต้องแม่นยำพัฒนาขึ้นมาจากส่วนประกอบต่าง ๆ รวมไปถึงโหลดต่าง ๆ ของระบบ โดยลักษณะพฤติกรรมของโหลดมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของระบบและผลลัพธ์ของการถ่ายเทกำลังไฟฟ้า หรือเป็นการจำลองเสถียรภาพของแรงดันและเสถียรภาพชั่วคราว

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึง ปฏิทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วยปฏิทัศน์วรรณกรรมด้านระบบมัลติเอเจนต์ ปฏิทัศน์วรรณกรรมด้านแบบจำลองโหลด และทฤษฎีเกี่ยวกับแบบจำลองโหลด เทคโนโลยีระบบมัลติเอเจนต์และกาลมานอัลกอริทึม

#### 2.2 ปฏิทัศน์วรรณกรรม

##### 2.2.1 ปฏิทัศน์วรรณกรรมด้านระบบมัลติเอเจนต์

2005 Dong Liu และคณะ ได้นำเสนอการใช้ MAS (Multi-Agent System) เพื่อสร้างแบบจำลองและทำการจำลองการฟื้นฟูระบบไฟฟ้ากำลัง โดยใช้วิธีการทำงานแบบเป็นลำดับ โดยแบ่งเป็น 2 เอเจนต์หลัก คือ MGAG (Management Agent) และ PCAG (Components in power system Agent) โดย PCAG ประกอบด้วย GAG (Generator Agent) SAG (Substation Agent) และ LAG (Load Agent) และใช้ MGAG สำหรับเปรียบเทียบค่าระหว่าง PCAGs ในระบบอื่น ๆ โดยแต่ละหน่วยเอเจนต์อาศัยหลักความรู้จากข้อมูลที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลนำมาตัดสินใจ และจากการจำลองโดยใช้ MAS จำลองการฟื้นฟูระบบไฟฟ้า ทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับการอ้างอิงในการปฏิบัติจริงได้ และลดความยุ่งยากลงได้

2007 Audun Botterud และคณะ นำเสนอการใช้ระบบมัลติเอเจนต์กับตลาดการซื้อขายไฟฟ้า โดยจำลองการตัดสินใจการลงทุนของผู้ซื้อขายไฟฟ้าแบบกระจาย แล้วส่งเข้าประมวลผลสู่ศูนย์กลางเพื่อทำการคำนวณราคาและกำไร นอกจากนั้นยังใช้เอเจนต์กลางในการคำนวณค่าโหลดในอนาคตของผู้ซื้อให้สอดคล้องกับอัตราการผลิตไฟของผู้ขายได้ เพื่อสุดท้ายให้มีกำไรสูงสุดแก่ผู้ซื้อขายไฟฟ้า

2008 T. Funabashi และคณะ เสนอการใช้มัลติเอเจนต์ในการดำเนินงานทางไมโครกริดในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยมีวิธีการคือ กำหนดให้มีโหลดเอเจนต์ (LAGs) และเอเจนต์ของเครื่อง

กำเนิดไฟฟ้า (GAGs) หลาย ๆ เอเจนต์ และมีเอเจนต์ควบคุมไมโครกริด (Microgrid Control Agent: MAG) โดยใช้สถาปัตยกรรมแบบ 3 ลำดับชั้น คือให้ GAGs และ LAGs อยู่ระดับล่าง MAG อยู่ในระดับกลางและให้ GRDAG (Grid Agent) อยู่ระดับบน จากวิธีการดังกล่าวทำให้สร้างรายได้สูงสุดจากไมโครกริด

2011 Zhao Wenqing และคณะ นำเสนอการคาดการณ์โหลดทางไฟฟ้า โดยคาดการณ์ในระยะกลางถึงระยะยาว โดยใช้ระบบมัลติเอเจนต์เข้าช่วย โดยใช้เอเจนต์แต่ละตัวทำงานร่วมกัน โดยประกอบด้วย 3 เอเจนต์ด้วยกัน คือ เอเจนต์สำหรับวินิจัย เอเจนต์สำหรับการจัดการ และสุดท้ายคือเอเจนต์สำหรับเชื่อมโยงข้อมูลกัน โดยใช้สำหรับการศึกษาการเพิ่มขึ้นของโหลดและดูแนวโน้มของโหลด เพื่อนำไปคาดการณ์โหลดในอนาคตได้

## 2.2.2 ปรัชญ่วรรณกรรมด้านแบบจำลองโหลด

2006 A. Maitra และคณะ ได้นำเสนอการใช้ข้อมูลการวัดที่มีการรบกวนในระบบเพื่อนำมาปรับปรุงพัฒนาแบบจำลองโหลด โดยแบบจำลองดำเนินการจำลองโดยใช้กฎของการไหลของกำลังไฟฟ้าและเสถียรภาพของระบบ และที่ศึกษาเป็นหลักคือ การเกิดการสูญเสียในสายส่งไฟฟ้าโดยแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองโดยทั่วไปให้ข้อสรุปโดยรวมที่ผิด ส่งผลให้การวางแผนการส่งจ่ายไฟฟ้าและผู้ปฏิบัติการผิดพลาดได้ จากงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการปรับปรุงการประมาณค่าไม่เชิงเส้นของกำลังสองน้อยที่สุด (Nonlinear Least-square Estimation) ไปใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์เฉพาะของแบบจำลองโหลด

2007 Y. Li และคณะ ได้นำเสนอการใช้แบบจำลองโหลดแบบสถิต 5 แบบ ได้แก่ PSS/E static model, ZIP model, Exponential model และ EPRI model เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพชั่วคราว ทำให้ทราบว่า การใช้แบบจำลองโหลดสถิตก็เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพชั่วคราว

2008 Jingchao Zhang และคณะ ได้นำเสนอการสร้างแบบจำลองสังเคราะห์ด้วยการสำรวจโหลดและการวิเคราะห์จากกราฟการใช้โหลด (Load Curve) รวมไปถึงบันทึกการเกิดความผิดปกติในระบบและข้อมูลผลกระทบต่าง ๆ ที่มีต่อระบบด้วย และยังได้พัฒนาให้คอมพิวเตอร์สร้างแบบจำลองได้แบบ ณ ขณะนั้น (real-time) ให้ใกล้เคียงค่าในอนาคตและมีความเที่ยงตรงแม่นยำ โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นยังเป็นแบบจำลองที่ง่ายแก่การไปใช้ในการจำลองหรือคำนวณต่อไป

2008 Jing Zhang และคณะ นำเสนอการวิเคราะห์แบบจำลองโหลดรวมในพื้นที่หรือ ALAM (Aggregate Load Area Model) โดยแบบจำลองสร้างมาจากการวัดระบบไฟฟ้าในวงกว้าง (Power System Wide Area Measurement System : WAMS) แล้วทำการทดสอบแบบจำลองด้วยการปรับอัตราส่วนของหม้อแปลงและปรับค่าคงที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษานี้จะใช้แบบจำลอง ZIP เป็นหลักและหาพารามิเตอร์ด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสม (Optimal Method)

โดยแบบจำลองที่ได้มีความแม่นยำและสามารถนำไปใช้แทนโหลดพื้นที่ได้และมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงการใช้งานจริง

2009 M. Sadeghi และ G. Abdollahi sarvi นำเสนอการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดแบบ ZIP ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Optimization) และทำการทดสอบด้วยระบบทดสอบ 2 บัส เพื่อทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณ

2012 Soo-Hyoung Lee และคณะ ได้ทำการเชื่อมระบบเข้ากับศูนย์ข้อมูลพลังงานของเกาหลี (K-EMS) เพื่อนำข้อมูลมาทำการสร้างแบบจำลองโหลด ณ เวลาจริงได้ โดยใช้ Kalman filter เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลด

2012 Amin M. Najafabadi และ Ali T. Alouani นำเสนอการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดแบบผสมโดยมีการคำนวณหา ณ เวลาจริง โดยใช้วิธี Extended Kalman Filter (EKF) ในการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดนี้

### 2.3 แบบจำลองโหลด

เมื่อไม่กี่ปีมานี้ ความสนใจทางด้านแบบจำลองโหลดมีเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และโหลดในระบบไฟฟ้ากำลัง กลายเป็นตัวเลือกใหม่ในการวิจัยทางด้านเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง อย่างหลาย ๆ การศึกษาได้แสดงถึงผลกระทบสำคัญของการแทนที่โหลดในการศึกษาเสถียรภาพของแรงดัน ดังนั้นความจำเป็นในการหาแบบจำลองโหลดที่มีความแม่นยำ ถูกต้อง จึงเป็นเรื่องสำคัญมาก

แบบจำลองโหลดส่วนมากที่ใช้งานในอดีตมักมุ่งไปที่เครื่องจักรที่เป็นความเหนียวน่าเป็นส่วนใหญ่ และแบบจำลองอื่นที่เป็นแบบสถิตไม่เชิงเส้นถูกนำไปใช้สำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบไฟฟ้ากำลังระยะยาว (long-term) โดยการตอบสนองของโหลดถูกอธิบายในฟังก์ชันของแรงดัน แนวคิดของแบบจำลองโหลดที่เป็นแบบพลวัตที่สามารถใช้ได้ครอบคลุมทั้งแบบการทำงานระยะสั้นและระยะยาว แนวคิดในการใช้แบบจำลองโหลดแบบสถิตในการวิเคราะห์เสถียรภาพได้เปลี่ยนไปเนื่องมาจากการเข้ามาแทนที่ด้วยแบบจำลองโหลดพลวัต

แม้ว่าโหลดของระบบไฟฟ้ากำลังได้รับความสนใจในหลาย ๆ ปีมานี้ ก็ยังคงสนใจในการพิจารณาความแปรปรวน ความไม่แน่นอนและความยากในการรวมส่วนต่าง ๆ ให้กลายมาเป็นแบบจำลอง เนื่องจากชนิดของโหลดและอุปกรณ์ที่เป็นโหลดนั้นมีความหลากหลายมาก มีกระจายของค่าโหลดสูง ตัวแปรที่ขึ้นกับเวลาเป็นวันหรือเป็นสัปดาห์ สภาพอากาศที่แปรเปลี่ยนไปเรื่อย ๆ ตามเวลา และเนื่องจากการขาดข้อมูลที่ถูกต้องและเที่ยงตรงในการรวมโหลด แต่ได้มีเทคนิคใหม่สำหรับการหาคุณสมบัติของโหลดจากการรวมค่าจากการวัด โดยผลลัพธ์ของวิธีนี้คือ ทำให้เข้าใจการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้ดีขึ้น ดังนั้นสิ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นจึงสามารถนำไปแทนโหลดจริงได้ ผลที่ได้คือเป็นผลดีทั้งทางด้านเศรษฐศาสตร์และความน่าเชื่อถือในการปฏิบัติการทางระบบไฟฟ้ากำลัง นอกเหนือไปจากนั้น การควรรวมความแม่นยำถูกต้องของแบบจำลองโหลดและเครื่องมือสำหรับการดูแลตรวจสอบ นำไปสู่การแข่งขันใหม่ที่อาจเกิดขึ้นในอุตสาหกรรมไฟฟ้า

### 2.3.1 ข้อมูลสำหรับแบบจำลองโหลด

วิธีพื้นฐานที่ใช้สร้างแบบจำลองโหลดรวมจำแนกได้ 2 วิธี คือ วิธีที่มีพื้นฐานมาจากการวัด (Measurement-based) และวิธีที่มีพื้นฐานจากส่วนประกอบ (Component-based) (Inés Romero Navarro, 2002)

**วิธีที่มีพื้นฐานมาจากการวัด** เกี่ยวกับการวัดโดยตรงที่สถานีไฟฟ้าย่อยหรือสายป้อนเพื่อกำหนดแรงดันและความอ่อนไหวของโหลดในโหลดแอกทีฟ (P) และรีแอกทีฟ (Q) ข้อมูลที่มาจากการวัดในทุกสถานการณ์และรวมไปด้วยข้อมูลแรงดันและความถี่ และการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวกับโหลดแอกทีฟและรีแอกทีฟ รวมไปถึงข้อมูลการรบกวน แล้วนำข้อมูลเหล่านี้มาแปลงเป็นแบบจำลอง นั่นคือนำมาใช้เป็นพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลด ดังนั้นวิธีการนี้บางครั้งถูกเรียกว่า แบบจำลองกล่องเทา (Grey Box Model)

ข้อดีของวิธีการนี้คือได้ใช้ข้อมูลจริงจากระบบที่ได้ทำการศึกษาและความเป็นไปได้ในการติดตามข้อมูลที่ถูกต้องต่างกัน แต่ทำให้ต้องทำงานมากขึ้นจากการปฏิบัติการปกติ หรือกล่าวในอีกแง่หนึ่งคือ วิธีการนี้บ่งบอกว่าต้องมีการลงทุนทางด้าน การติดตั้งอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการวัดค่า และการตรวจตราดูแลโหลดที่สำคัญมากในระบบ

**วิธีที่มีพื้นฐานจากส่วนประกอบ** ถูกพัฒนาโดยนำแบบจำลองโหลดหลาย ๆ ตัวรวมกัน จากข้อมูลส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น สถานีไฟฟ้าย่อยแต่ละที่รวมกัน หรือ นำลักษณะของแต่ละโหลดย่อยมารวมกัน เป็นต้น ข้อมูลของโหลดแต่ละประเภทรวมกันหรือประกอบด้วยร้อยละของโหลดแต่ละประเภท ประเภทของโหลดอย่างเช่น ประเภทอุตสาหกรรม, ที่พักอาศัย, ธุรกิจห้างร้าน ไปจนถึงโหลดที่บัสเฉพาะของระบบ เป็นต้น ข้อมูลโหลดรวมคือร้อยละโหลดในแต่ละชนิด ชนิดของโหลดอย่างเช่น โหลดเครื่องทำความร้อน, ระบบปรับอากาศ, มอเตอร์เหนี่ยวนำ ไปจนถึงกำลังสูญเสียของโหลดในแต่ละประเภท เป็นต้น และข้อมูลคุณสมบัติโหลด จะใช้หลักการความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางกายภาพของโหลดแต่ละตัว

ข้อดีของวิธีการนี้คือ ไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากการวัดในภาคสนาม ง่ายในการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบหรือสถานการณ์ที่แตกต่างออกไป และง่ายมากในการนำไปใช้ แต่ก็มีข้อเสียคือ เนื่องจากข้อมูลโหลดแต่ละประเภทมาผสมกันแตกต่างกันไปจากบัสหนึ่งถึงอีกบัสหนึ่ง และขึ้นอยู่กับเวลาและสภาพอากาศ ทำให้จำเป็นต้องมีการปรับปรุงค่าข้อมูลโหลดในแต่ละบัสของระบบเป็นประจำ

### 2.3.2 ประเภทการวัด

ในการวัดภาคสนามอย่างต่อเนื่อง เป็นข้อมูล ณ เวลาจริง (real-time) ของสถานะระบบ ข้อมูลที่ถูกรวบรวมไว้เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการตรวจตรา ดูแล เพื่อเก็บบันทึกไว้ และเพื่อแสดงหรือนำข้อมูลไปใช้ในรูปแบบที่เหมาะสม แล้วจึงนำข้อมูลมาเข้ากระบวนการทางข้อมูลในภายหลัง เมื่อกระบวนการการเก็บบันทึกข้อมูลและตรวจตราดูแลข้อมูลถึงขีดจำกัด ผู้ปฏิบัติการต้องทำการตัดสินใจเองในส่วนที่มีความผิดปกติเกิดขึ้นในระบบ หรือใช้โซลูชันระดับสูง

ซึ่งเป็นระบบควบคุมและตรวจตราโดยอัตโนมัติ ข้อเสียของการดำเนินการวัดแบบนี้คือ ค่าใช้จ่ายในส่วนดำเนินการและค่าซ่อมบำรุงอุปกรณ์ค่อนข้างสูง และอีกรูปแบบการวัดคือ *กระบวนการวัดแบบออฟไลน์* (Off-line Data Processing) โดยให้ข้อมูลจากระบบที่ตรงกันกับช่วงเวลาในช่วงก่อนการวิเคราะห์ข้อมูลและระหว่างการวิเคราะห์ข้อมูล โดยกระบวนการวัดแบบนี้เป็นไปได้ที่จะพิจารณาคคุณสมบัติของโหลดที่แตกต่างกัน สถานที่และเวลาที่แตกต่างกัน และโดยพื้นฐานแล้วเป็นการใช้วิธีการด้านฐานข้อมูลในการช่วยดำเนินการครั้งนี้ ข้อเสียของวิธีการนี้คือไม่สามารถสังเกตว่าระบบมีการตอบสนองอย่างไรต่อระบบ กล่าวคือถ้ามีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นกับการควบคุม จะไม่สามารถเห็นการตอบสนองนั้นได้ นอกจากนี้เนื่องจากแบบจำลองของระบบไฟฟ้ากำลังได้แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างของแบบจำลองและพารามิเตอร์ของแบบจำลองอันเนื่องมาจากระบบและสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ดังนั้นปริมาณของข้อมูลในการเก็บข้อมูลแบบออฟไลน์จึงต้องมีการเก็บข้อมูลในปริมาณที่มาก

เทคนิคการวัดทั้งคู่สามารถทำการทดสอบและวัดในภาคสนามที่ภาวะปกติ การใช้ข้อมูลจากการปฏิบัติการในภาวะปกติมีข้อดีในแง่เทคนิคและเศรษฐศาสตร์ คือการทดสอบไม่ไปรบกวนการใช้ไฟปกติของผู้บริโภค และจากข้อมูลในภาวะปกติสามารถอธิบายได้ถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบ

### 2.3.3 คุณสมบัติโหลด

จากที่ได้อธิบายไปในส่วนที่แล้ว โหลดแต่ละประเภทที่มักรวมกลุ่มตามลักษณะการใช้งาน คือ ประเภทอุตสาหกรรม, ที่พักอาศัย, ส่วนธุรกิจห้างร้านและเกษตรกรรม โดย*โหลดในอุตสาหกรรม* ส่วนมากจะเกี่ยวกับกระบวนการในอุตสาหกรรมและโหลดส่วนมากจะเป็นมอเตอร์ทางอุตสาหกรรมมากกว่า 95% หรือในอุตสาหกรรมหนัก จะประกอบไปด้วยกระบวนการที่ต้องใช้เครื่องทำความร้อนจากไฟฟ้า เช่น อุตสาหกรรมรีดเหล็ก เป็นต้น, *โหลดที่พักอาศัย* ส่วนมากจะประกอบไปด้วยเครื่องใช้ในครัวเรือน แต่ที่เป็นร้อยละมาก ๆ คือเครื่องทำความร้อนและระบบปรับอากาศในฤดูหนาวและฤดูร้อนตามลำดับ, *โหลดส่วนธุรกิจห้างร้าน* ก็จะเกี่ยวกับระบบปรับอากาศและที่เป็นส่วนใหญ่ก็คือระบบแสงสว่าง, สุดท้ายคือ*โหลดในเกษตรกรรม* จะเป็นโหลดที่เกี่ยวกับมอเตอร์สำหรับใช้เป็นปั้มน้ำ

#### 1) มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor)

ปริมาณการกินไฟของมอเตอร์เหนี่ยวนำส่วนมากคือที่พักอาศัย ส่วนธุรกิจห้างร้านและบริเวณนิคมอุตสาหกรรม โดยปกติการใช้มอเตอร์ในที่ที่พักอาศัยและส่วนธุรกิจห้างร้านจะใช้เป็นโหลดทำความเย็นของระบบปรับอากาศและตู้เย็น โหลดเหล่านี้ต้องการทอร์กที่เกือบคงที่ในทุกความเร็ว อีกประเภทคือปั้มน้ำ พัดลมและเครื่องทำความเย็น ส่วนในอุตสาหกรรมนั้นโหลดแบบนี้ถูกใช้มากกว่าครึ่ง

โดยปกติมอเตอร์จะสูญเสียพลังงานไปร้อยละ 60-70 ของพลังงานทั้งหมดในระบบ และความเป็นพลวัตถือเป็นสิ่งสำคัญของการศึกษาเสถียรภาพแรงดันและเสถียรภาพในระยะยาว

## 2) แสงสว่าง (Lighting)

หลอดแก๊สปรอท แก๊สโซเดียมและหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นประเภทหลัก ๆ ของหลอดแสงสว่างที่ใช้ในอุตสาหกรรมและไฟถนน และส่วนใหญ่ที่ใช้หลอดประเภทนี้คือส่วนธุรกิจห้างร้าน โดยหลอดชนิดนี้มีความอ่อนไหวสูงกับการเปลี่ยนแปลงแรงดัน หลอดแก๊สปรอทมีพื้นฐานการสร้างแบบจำลองจากการทำงานตอนจุดหลอด หลักการทำงานของหลอดคือเมื่อหลอดปรอททำการเปิดใหม่ ๆ มีลักษณะเป็นแสงไฟสีน้ำเงิน และเปลี่ยนเป็นแสงไฟสีขาวโดยแรงดันและอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยกระบวนการนี้ใช้เวลาประมาณ 2-5 นาที ถึงจะคงที่ และระหว่างเวลาช่วงจุดหลอดสูญเสียพลังงานไปร้อยละ 40-50 ของค่าในตอนที่ใช้งานปกติ และหลังจากทำการปิดหลอดไฟ ต้องใช้เวลาหนึ่งสำหรับการเปิดหลอดไฟขึ้นใหม่อีกครั้ง คือหลังการปิดใหม่ ๆ มีการลดอุณหภูมิลงก่อนการจุดหลอดใหม่อีกครั้ง หลอดโซเดียม ทำหน้าที่คล้าย ๆ กับหลอดปรอท เนื่องจากทำงานที่ความดันและอุณหภูมิสูง แต่คุณภาพการให้แสงสว่างดีกว่าและเวลาในการจุดหลอดขึ้นมาใหม่หลังการปิดได้ไวกว่า ส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้นมักถูกใช้ทั่วไปในสำนักงาน ห้างสรรพสินค้า ร้านสะดวกซื้อและใช้ในพื้นที่ทางธุรกิจเพราะค่าใช้จ่ายที่ต่ำและให้แสงที่มีประสิทธิภาพสูง ใช้เวลาเพียงไม่กี่วินาทีในการจุดหลอด ช่วงจุดหลอดใช้พลังงานมากกว่า 90% ของค่าที่ใช้ปกติ

## 3) โหลดความร้อน (Thermal Loads)

ส่วนมากโหลดประเภทนี้ถูกใช้ในที่พักอาศัย ระบบทำน้ำอุ่น เตาอบ เครื่องทำความร้อนและอุตสาหกรรม เช่น เครื่องบดกรีและขึ้นรูป หม้อต้ม และที่มีพฤติกรรมเป็นความต้านทานคงที่ในระยะเวลาสั้น โดยปกติหลังจากแรงดันตกหลังจากบ่อนไฟเข้าไปก็แทบจะไม่มีผลอันเนื่องจากอุณหภูมิ ทำให้คุณสมบัติเป็นเหมือนตัวต้านทานและหลังจากนั้นไม่กี่วินาที ความร้อนที่สร้างขึ้นจะลดลงเข้าสู่ภาวะคงตัว โดยโหลดประเภทนี้มีพฤติกรรมคล้ายโหลดกำลังที่มีค่าคงที่ในระยะยาว ในกรณีที่สภาวะที่มีสภาพอากาศรุนแรงมาก อย่างในฤดูหนาว โหลดประเภทนี้จะกินไฟเพิ่มมากขึ้น

### 2.3.4 แบบจำลองโหลดมาตรฐาน (Standard Load Model)

การสร้างแบบจำลองโหลดคือ การแทนด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับค่าแรงดัน และ/หรือ ความถี่ที่วัดได้ที่บัส และค่ากำลังที่โหลดนำไปใช้ ที่เป็นค่ากำลังแอกทีฟและรีแอกทีฟ เนื่องจากโหลดในระบบไฟฟ้ากำลังมีความหลากหลายและกระจายสูง ทำให้ยากในการสร้างเป็นแบบจำลองและหลาย ๆ ทางเลือกได้นำเสนอการที่ไม่นำค่าเวลามาพิจารณาด้วย

การแบ่งแบบจำลองโหลดหลัก ๆ แบ่งเป็น แบบจำลองสถิตและแบบจำลองพลวัต *แบบจำลองสถิต* ไม่แปรเปลี่ยนไปตามเวลา ดังนั้นจึงเป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง

ไฟฟ้าแอกทีฟ และรีแอกทีฟในทุกเวลากับค่าแรงดัน และ/หรือ ความถี่ ณ เวลาจับพลาซ่า โดยแบบจำลองโหลดสถิตเหมาะกับการใช้สำหรับการศึกษาในระยะกลาง (medium-term) ถึงระยะยาว (long-term) ตัวอย่างเช่น โหลดที่เป็นค่าความต้านทาน และโหลดแสงสว่าง เป็นต้น

### 1) แบบจำลองโหลดสถิต (Static Load Model)

โดยปกติแบบจำลองโหลดสถิตสำหรับกำลังไฟฟ้าแอกทีฟและรีแอกทีฟแสดงในรูปแบบสมการพหุนามหรือรูปแบบยกกำลังสอง โดยได้อธิบายแต่ละแบบได้ดังนี้

#### - แบบจำลอง ZIP หรือแบบจำลองพหุนาม (ZIP Model or Polynomial Model)

คุณสมบัติของโหลดแบบสถิตสามารถจำแนกเป็น ค่าคงที่กำลังไฟฟ้า (P) ค่าคงที่กระแส (I) และค่าคงที่อิมพีแดนซ์ (Z) เนื่องจากค่ากำลังไฟฟ้าของโหลดมีความเกี่ยวข้องกับค่าแรงดัน นั่นคือ เมื่อพิจารณาโหลดที่เป็นอิมพีแดนซ์คงที่ ค่ากำลังไฟฟ้าของโหลดจะแปรตามแรงดันด้วยฟังก์ชันกำลังสอง ส่วนกระแสแปรตามแรงดันด้วยฟังก์ชันเส้นตรง และสำหรับค่ากำลังไฟฟ้าเป็นอิสระจากค่าแรงดัน จากความสัมพันธ์ดังกล่าวจึงได้แบบจำลอง ZIP ที่มีสมการดังสมการที่ (2.1) และ (2.2) เห็นได้ว่าสมการอยู่ในรูปแบบโพลิโนเมียล ดังนั้น อาจเรียกแบบจำลองนี้อีกชื่อคือแบบจำลองพหุนาม

$$P = P_2 \left( \frac{V}{V_0} \right)^2 + P_1 \left( \frac{V}{V_0} \right) + P_0 \quad (2.1)$$

$$Q = Q_2 \left( \frac{V}{V_0} \right)^2 + Q_1 \left( \frac{V}{V_0} \right) + Q_0 \quad (2.2)$$

โดย  $V_0$  คือค่าแรงดันเริ่มต้นของระบบ ส่วนสัมประสิทธิ์  $P_2, P_1, P_0$  และ  $Q_2, Q_1, Q_0$  คือพารามิเตอร์ของแบบจำลอง

#### - แบบจำลองโหลดแบบยกกำลัง (Exponential Load Model)

สมการที่ (2.3) และ (2.4) แสดงถึงค่ากำลังที่ขึ้นกับค่าแรงดันดังฟังก์ชันยกกำลังดังนี้

$$P = P_0 \left( \frac{V}{V_0} \right)^{np} \quad (2.3)$$

$$Q = Q_0 \left( \frac{V}{V_0} \right)^{nq} \quad (2.4)$$



โดยพารามิเตอร์ของแบบจำลองนี้คือ  $np$ ,  $nq$  และค่ากำลังแอกทีฟและรีแอกทีฟ และ  $P_0$  และ  $Q_0$  เป็นเงื่อนไขค่าเริ่มต้น ซึ่งค่าของตัวยกกำลังโดยทั่วไปสำหรับโหลดที่แตกต่างกันเป็นไปตามตารางที่ 2.1 (Inés Romero Navarro, 2002)

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างค่าทั่วไปของตัวยกกำลัง  $np$  และ  $nq$  สำหรับโหลดแต่ละชนิด

ชนิดของโหลด	$np$	$nq$
ระบบปรับอากาศ	0.5	2.5
เครื่องทำความร้อน	2	0
หลอดฟลูออเรสเซนต์	1	3
ปั้มน้ำ พัดลม หรือมอเตอร์อื่น ๆ	0.08	1.6
มอเตอร์ขนาดใหญ่ในอุตสาหกรรม	0.05	0.5
มอเตอร์ขนาดเล็กในอุตสาหกรรม	0.1	0.6

สำหรับในกรณีพิเศษ ที่  $np$  หรือ  $nq$  เท่ากับ 0, 1 และ 2 แบบจำลองโหลดจะแทนด้วยแบบจำลองของกำลังไฟฟ้าคงตัว กระแสคงตัว หรือ อิมพีแดนซ์คงตัว ตามลำดับ

- แบบจำลองโหลดความถี่ (Frequency Load Model)

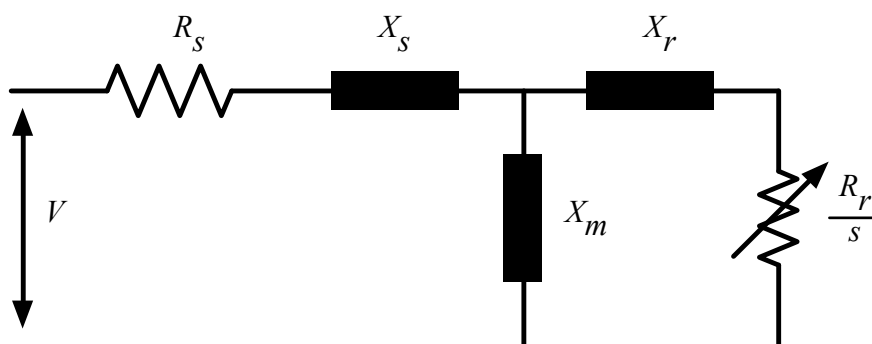
แบบจำลองที่ได้นำเสนอข้างต้นไปแล้วอาจประกอบไปด้วยส่วนที่ขึ้นอยู่กับความถี่ด้วย โดยนำสมการที่ (2.5) คูณเข้ากับแบบจำลองโหลด

$$[1 + A(f - f_0)] \quad (2.5)$$

โดย  $f_0$  และ  $f$  คือค่าความถี่ปกติและค่าความถี่ของแรงดันที่บัส ตามลำดับ และพารามิเตอร์  $A$  แทนความอ่อนไหวของความถี่ในแบบจำลอง

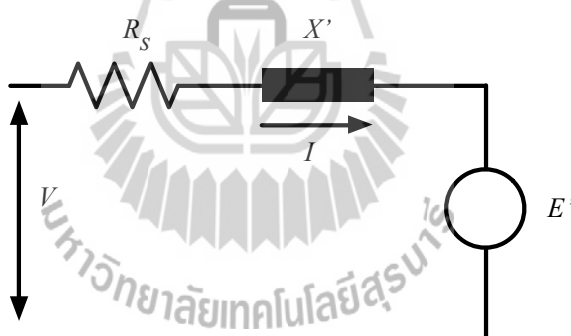
- แบบจำลองโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor Load Model)

โดยทั่วไปแบบจำลองโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำมักนำมาเขียนเป็นวงจรมูลดงรูปที่



รูปที่ 2.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ภาวะคงตัว

$R_s$ ,  $R_r$ ,  $X_s$  และ  $X_r$  คือ ค่าความต้านทานและรีแอกแตนซ์ของสเตเตอร์และโรเตอร์ตามลำดับ  $X_m$  คือค่ารีแอกแตนซ์ของแม่เหล็ก และ  $s$  คือสลิปมอเตอร์ โดยค่าฟลักซ์พลวัตของมอเตอร์จะไม่นำมาพิจารณาถ้าวิเคราะห์เสถียรภาพ และไม่พิจารณาฟลักซ์ของโรเตอร์ในการวิเคราะห์ระยะยาว ในรูปที่ 2.2 ได้แสดงรูปวงจรสมมูลที่สถานะช่วงชั่วครู่ ที่มอเตอร์เหนี่ยวนำถูกแทนแบบจำลองด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงชั่วครู่  $E'$  อิมพีแดนซ์ช่วงชั่วครู่  $X'$



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำช่วงชั่วครู่

## 2) แบบจำลองโหลดพลวัต (Dynamic Load Models)

เมื่อแบบจำลองโหลดสถิตโดยทั่วไปไม่เพียงพอในการนำไปแทนพฤติกรรมของโหลดจริงได้ การเลือกใช้แบบจำลองโหลดพลวัตจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น โดยพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดแบบนี้สามารถกำหนดด้วยวิธีพื้นฐานจากการวัด โดยนำค่าการวัดในภาคสนามและการสังเกตการตอบสนองของโหลด หรือใช้วิธีที่มีพื้นฐานจากส่วนประกอบ โดยเริ่มจากการแยกแยะคุณสมบัติของโหลดแต่ละตัวแล้วรวมทั้งหมดเป็นโหลดเดียวกัน

- แบบจำลองโหลดพลวัตแบบยกกำลัง (Exponential Dynamic Load Model)

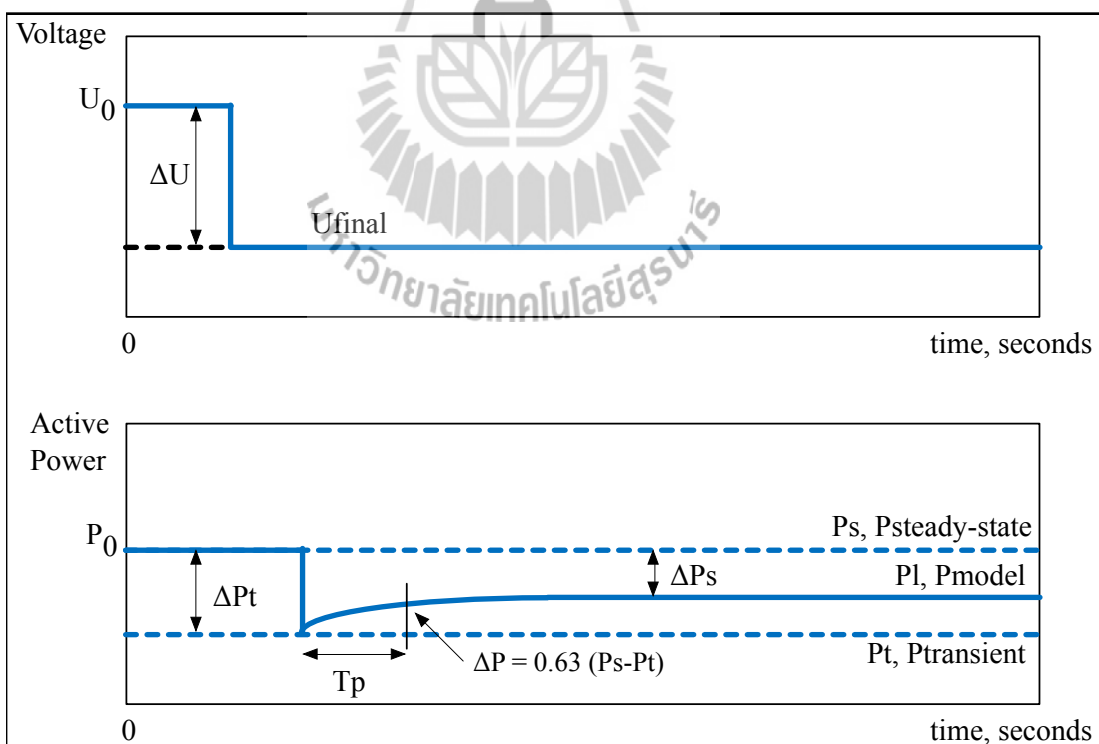
แบบจำลองนี้เป็นสมการไม่เชิงเส้น ที่ค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟและรีแอกทีฟไม่เชิงเส้น และขึ้นกับค่าแรงดัน โดยมีสมการดังนี้

$$T_p \frac{dP_r}{dt} + P_r = P_0 \left( \frac{U}{U_0} \right)^{\alpha_s} - P_0 \left( \frac{U}{U_0} \right)^{\alpha_r} \quad (2.6)$$

$$Pl = P_r + P_0 \left( \frac{U}{U_0} \right)^{\alpha_r} \quad (2.7)$$

โดย  $U_0$  และ  $P_0$  คือแรงดันและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปก่อนที่แรงดันเปลี่ยน  $P_r$  คือกำลังไฟฟ้าแอกทีฟให้คืนสภาพ  $Pl$  คือ ค่าการตอบสนองกำลังไฟฟ้าแอกทีฟทั้งหมด  $T_p$  คือ โหลดแอกทีฟที่คืนสภาพ ณ เวลา  $\alpha_t$  คือ โหลดแอกทีฟช่วงชั่วคราวที่ขึ้นกับแรงดัน และ  $\alpha_s$  คือ โหลดแอกทีฟช่วงคงตัวที่ขึ้นกับค่าแรงดัน

ในรูปที่ 2.3 แสดงความหมายของสมการที่ (2.6) และ (2.7) เมื่อใช้แรงดันขึ้นบันได  
อุดมคติ



รูปที่ 2.3 การตอบสนองของโหลดภายใต้ความห่าง  $\Delta U$ , จากระดับ  $U_0$

พฤติกรรมโหลดมีลักษณะที่ขึ้นกับพารามิเตอร์ของโหลดที่แปรตามค่าแรงดันที่ค่าเวลาคงที่ และช่วงชั่วคราวและช่วงสถานะคงตัว  $T_p$  แทนเวลาที่ต้องการในการคืนสภาพจนคืนสภาพได้ 63% ของค่าสุดท้าย,  $\alpha_s$  หรือค่าโหลดช่วงสถานะคงตัวที่โหลดเท่าไรจึงจะฟื้นฟูหลังการคืนสภาพ, ค่าเท่า 0 หมายถึงใช้โหลดฟื้นฟูเต็มที่ โดยค่าที่แตกต่างกันแสดงถึงการฟื้นฟูโหลดเป็นส่วน ๆ นอกจากนี้  $\alpha_s$  มักจะเป็นค่าลบ ส่วน  $\alpha_r$  หรือโหลดช่วงชั่วคราวที่แปรตามแรงดัน อธิบายคือโหลดมีพฤติกรรมอย่างไรในขณะมีการรบกวน ถ้า  $\alpha_r$  เท่ากับ 0 นั่นคือโหลดมีพฤติกรรมเป็นโหลดกำลังไฟฟ้าคงที่ ถ้าเท่ากับ 1 โหลดมีพฤติกรรมเป็นกระแสคงที่ และถ้าเท่ากับ 2 จะเป็นอิมพีแดนซ์คงที่

## 2.4 เทคโนโลยีระบบมัลติเอเจนต์

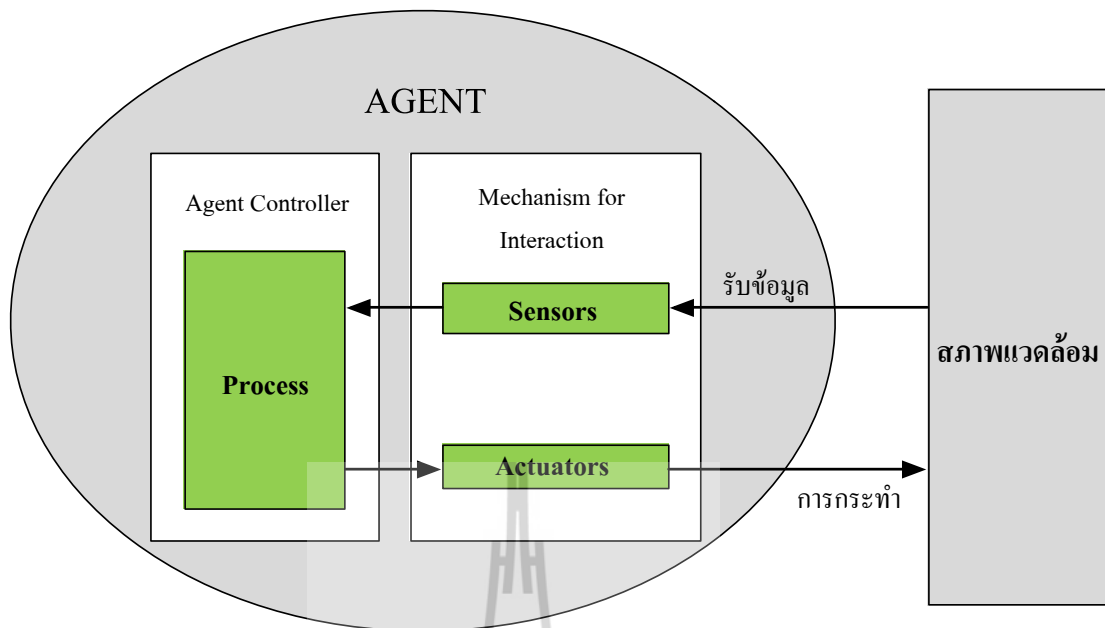
เทคโนโลยีเอเจนต์ (Agent Technology) เป็นการนำเอาปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent) และวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ (Computer Science) ประยุกต์ใช้กับงานด้านต่าง ๆ เช่น ด้านโรงงาน ด้านการทหาร และด้านการออกแบบซอฟต์แวร์ เอเจนต์หลาย ๆ เอเจนต์สามารถทำงานร่วมกันเป็นทีม เป็นเครือข่าย ซึ่งทำหน้าที่ทำงานแทนคน เพื่อวัตถุประสงค์หนึ่ง ๆ ได้ ซึ่งได้กล่าวคุณสมบัติของเอเจนต์ ไว้ 4 ข้อ คือ อัตโนมัตินิยม (Autonomy) เอเจนต์ถูกควบคุมโดยคนหรืออะไรก็ได้ที่สามารถดำเนินการและควบคุมพฤติกรรม สถานะข้างในได้ด้วยตัวของเอเจนต์เอง ความสามารถในการติดต่อสื่อสาร (Communication ability) เอเจนต์สามารถที่จะแลกเปลี่ยนข้อมูลกับเอเจนต์อื่นด้วยภาษาการสื่อสาร ความสามารถในการโต้ตอบ (Reaction ability) เอเจนต์สามารถโต้ตอบกับสิ่งแวดล้อมได้ที่เป็นทั้งโลกความจริงและที่จำลองขึ้น ความสามารถในการปรับปรุงตัวเอง (Spontaneous ability) โปรแกรมทั่วไปมักถูกผู้ดูแลโปรแกรมทำการปรับระบบเอง แต่เอเจนต์สามารถที่จะพัฒนาตนเองได้ต่อสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนไป

### 2.4.1 คำนิยามของเอเจนต์

เอเจนต์ (agent) คือ สิ่งที่ได้รับมอบหมายให้ทำหน้าที่ตามที่มนุษย์ต้องการ หรือสิ่งที่ทำหน้าที่บางอย่างแทนมนุษย์ โดยมีโครงสร้างพื้นฐานของเอเจนต์ 2 ส่วนหลัก คือ

1. Mechanism for interaction เป็นส่วนกลไกรับข้อมูลผ่านเซ็นเซอร์ (Sensor) และการตอบสนองผ่าน actuators กับสภาพแวดล้อมภายนอกได้ โดยส่วนนี้เป็นส่วนที่เอเจนต์ควรมี
2. Agent controller เป็นส่วนตัวควบคุมกระบวนการทำงานของเอเจนต์โดยลักษณะภายในส่วนนี้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับเอเจนต์แต่ละประเภท

เอเจนต์ทำงานโดยรับข้อมูลต่าง ๆ อย่างเป็นลำดับ (percept sequence) จากสภาพแวดล้อม (environment) ภายนอกผ่านตัวเซ็นเซอร์ของเอเจนต์และสามารถตอบสนองกลับด้วยการกระทำ (action) ไปยังสภาพแวดล้อมภายนอกผ่านทาง actuators ของเอเจนต์ได้ แสดงโครงสร้างพื้นฐานเบื้องต้นของเอเจนต์ได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างเบื้องต้นของตัวเอเจนต์

เอเจนต์สามารถนำข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้รับมาจากสภาพแวดล้อมภายนอก มาประมวลผลแล้วให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นการกระทำเพื่อตอบสนองกลับไปสภาพแวดล้อมได้ จึงเขียนเป็นฟังก์ชันคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$f_a = P^* \rightarrow A \quad (2.8)$$

โดยที่  $f_a$  คือ ฟังก์ชันของเอเจนต์  
 $P^*$  คือ ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้รับ  
 $A$  คือ การกระทำ

หรือมีการนิยามเอเจนต์เป็นตัวแทนปัญญา ซึ่งหมายถึง หน่วยของซอฟต์แวร์ที่สามารถดำเนินการหรือประมวลผลบางอย่างให้กับผู้ใช้หรือให้กับโปรแกรมอื่นได้อย่างรวดเร็วและอัตโนมัติ การดำเนินการบางอย่างจะต้องใช้ความรู้เข้ามาร่วมพิจารณาโดยองค์ความรู้สามารถได้รับการเขียนโปรแกรมของผู้พัฒนา หรือรับรู้จากข้อมูลที่ได้รับมาจากสภาพแวดล้อม เพื่อนำองค์ความรู้นั้นมาสรุปความ เพื่อให้ได้การกระทำตามความต้องการของผู้ใช้หรือโปรแกรมอื่นได้ วัตถุประสงค์หลักของตัวแทนปัญญา คือ การทำงานหน้าที่บางอย่างแทนมนุษย์ ซึ่งเปรียบเสมือนตัวแทนของมนุษย์ โดยลักษณะการดำเนินเป็นไปแบบอัตโนมัติ และผลลัพธ์ที่ได้ต้องมีประสิทธิภาพ

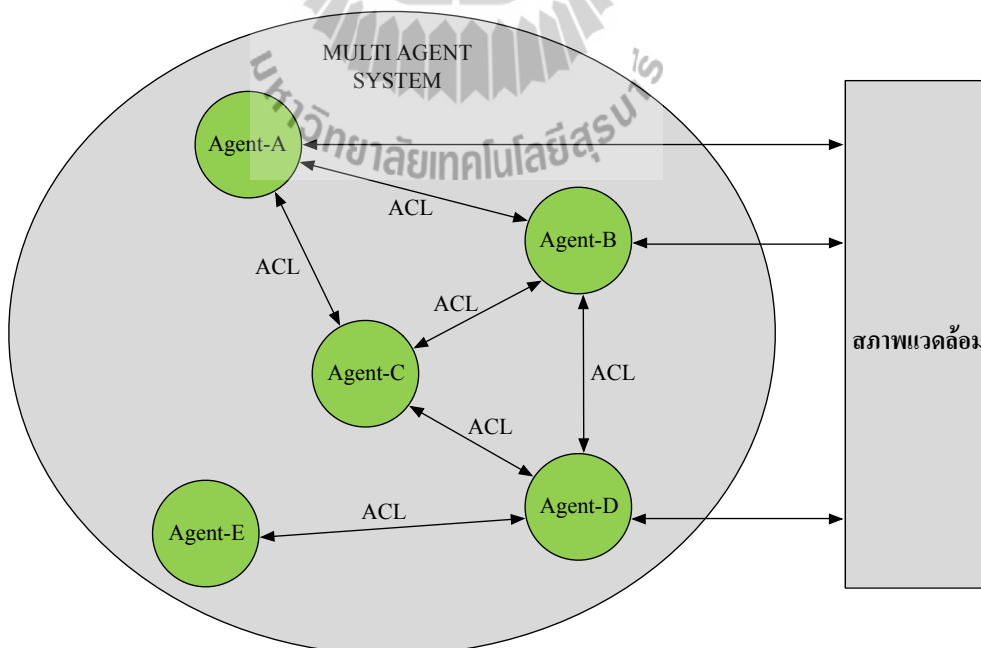
มากกว่าหรือเทียบเท่ากับมนุษย์ แบ่งประเภทของเอเจนต์ตามตำแหน่งที่เอเจนต์ทำการประมวลผลได้ 2 ประเภท คือ

1. เอเจนต์แบบคงที่ (stationary agent) คือเอเจนต์ที่จะทำการประมวลผลได้เฉพาะบนระบบที่เอเจนต์นั้นทำการเริ่มต้นการประมวลผลเท่านั้น หากว่าเอเจนต์ต้องการข้อมูลที่อยู่บนระบบอื่น เอเจนต์ต้องทำการติดต่อผ่านกลไกการสื่อสาร เช่น Remote Procedure Call (RPC)

2. เอเจนต์แบบเคลื่อนที่ (mobile agent) คือเอเจนต์ที่ไม่ถูกผูกติดกับระบบที่เอเจนต์เริ่มทำการประมวลผลโดยสามารถเคลื่อนที่ตัวมันเองไปยังระบบอื่น ๆ ในเครือข่ายได้ ความสามารถในการเคลื่อนที่นี้ทำให้เอเจนต์เคลื่อนย้ายไปยังระบบเอเจนต์ปลายทางที่มีวัตถุซึ่งเอเจนต์จะสามารถติดต่อด้วยได้ และเอเจนต์อาจใช้ประโยชน์จากบริการของวัตถุนั้นได้ ข้อดีของใช้เอเจนต์แบบเคลื่อนที่คือ การลดการใช้งานเครือข่ายในการติดต่อระหว่างไคลเอนต์ (client) กับเซิร์ฟเวอร์ (server)

#### 2.4.2 ระบบมัลติเอเจนต์

ปัจจุบันเอเจนต์ไม่ได้ทำงานอยู่เพียงลำพัง แต่สามารถทำงานร่วมกันระหว่างเอเจนต์อื่นได้ แต่เพราะเอเจนต์ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อรองรับกับงานเฉพาะด้านเท่านั้น ดังนั้น บางองค์กรที่มีงานเฉพาะด้านที่หลากหลาย จึงจำเป็นต้องออกแบบเอเจนต์หลายตัวทำงานร่วมกันเป็นระบบ เพื่อรองรับงานเฉพาะด้านที่มีภายในองค์กรนั้น และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้สูงขึ้น ระบบการทำงานร่วมกันระหว่างเอเจนต์หลายตัว เรียกว่า “ระบบมัลติเอเจนต์”



รูปที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างการทำงานภายในระบบมัลติเอเจนต์

แต่ละเอเจนต์ภายในระบบมัลติเอเจนต์กำหนดให้ทำงานตามหน้าที่ในส่วนรับผิดชอบอย่างอิสระ และไม่ได้ถูกควบคุมจากศูนย์กลาง บางครั้งงานของเอเจนต์ที่เสร็จแล้วสามารถส่งมอบไปให้เอเจนต์อื่นที่เกี่ยวข้องให้นำไปทำงานต่อได้ นอกจากนี้สามารถทำงานร่วมกันได้แล้วเอเจนต์ยังสามารถโต้ตอบสื่อสารระหว่างกันได้ โดยใช้ภาษาการสื่อสารของเอเจนต์โดยเฉพาะ หรือที่เรียกว่า “Agent Communication Language (ACL)” เป็นภาษามาตรฐานที่ใช้สื่อสาร และแลกเปลี่ยนข้อมูลและตอบสนองกับสภาพแวดล้อมภายนอกได้เช่นกัน ดังรูปที่ 2.5 แสดงลักษณะโครงสร้างการทำงานภายในระบบมัลติเอเจนต์

## 2.5 คาลมานอัลกอริทึม

คาลมานอัลกอริทึม (Kalman Algorithm) คือวิธีการประมาณค่าสถานะระบบซึ่งพัฒนาจากวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square) ซึ่งได้รับความสนใจอย่างมากและเป็นวิธีการที่ให้ผลการคำนวณที่มีประสิทธิภาพและให้ผลการประมาณค่าได้อย่างถูกต้องเนื่องจากมีวิธีการทำงานโดยใช้รูปแบบหนึ่งของการป้อนกลับของสัญญาณ (Feedback Control) และมีขั้นตอนการคำนวณแบบวิธีเรียกซ้ำ (Recursive) นั่นคือ คาลมานอัลกอริทึมนี้สามารถทำนายสถานะระบบในขณะเวลาใดเวลาหนึ่งหลังจากนั้นจึงนำไปป้อนกลับในรูปของการวัดค่าสัญญาณรบกวน นำเสนอโดย R.E. Kalman ในปี 1960 โดยวิธีการคาลมานนี้มีการนำมาใช้ในงานวิจัยและการประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการเดินเรือ (เสาวริน กันหา, 2551)

### 2.5.1 สมการอนุพันธ์และแบบจำลองทางพลวัตแบบเชิงเส้น (Differential Equations and Linear Dynamic Model)

ในศตวรรษที่ 17 ไอแซกนิวตัน ผู้ให้กำเนิดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบของสมการเชิงอนุพันธ์สำหรับอธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุเคราะห์ในระบบสุริยจักรวาล โดยให้มีค่าพารามิเตอร์และตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งสามารถใช้อธิบายตำแหน่งของวัตถุและความเร็วของการเคลื่อนที่ของวัตถุได้ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงสมการเชิงอนุพันธ์ที่จำเป็นสำหรับแบบจำลองพลวัตและตัวกรองคาลมาน โดยรูปแบบทั่วไปของแบบจำลองการเคลื่อนที่สำหรับระบบต่าง ๆ สามารถแสดงโดยสมการอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของแบบจำลองสถานะระบบดังนี้

$$\dot{x} = Fx + Gu \quad (2.9)$$

โดยที่  $x$  คือ สถานะระบบ (State Space)  
 $F, G$  คือ Rectangular Matrix ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลา  
 $u$  คือ white noise

สมการที่ (2.9) เรียกว่า แบบจำลองสถานะ (State Model) โดยสถานะระบบแสดงถึงส่วนประกอบทั้งหมดของระบบได้แก่ ตำแหน่งและความเร็ว เป็นต้น หรืออาจเรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการสุ่ม (Random Process) ได้ เนื่องจากได้รับผลจาก noise ที่เกิดขึ้นภายในระบบ ถ้ากำหนดเงื่อนไขตั้งต้นให้ว่า  $x(t_0) = x_0$  ดังนั้นสมการที่ (2.9) สามารถเขียนได้เป็น

$$x(t) = \Phi(t, t_0)x_0 = e^{F(t-t_0)}x_0 \quad (2.10)$$

และคำตอบเฉพาะของสมการที่ (2.9) ที่เป็นผลจาก white noise คือ

$$x(t) = \Phi(t, t_0)x_0 = \int_{t_0}^t \Phi(t, \tau)G(\tau)d\tau \quad (2.11)$$

### 2.5.2 การจำลองแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete-Time Model)

จากสมการที่ (2.9) ใช้อธิบายระบบที่มีความต่อเนื่องทางเวลา เมื่อทำการวัดค่าระบบ ณ เวลาต่าง ๆ นั่นคือ ที่เวลา  $t_0, t_1, \dots, t_k$  สำหรับสถานะระบบบางครั้งจะใช้สมการซึ่งสัมพันธ์กับสถานะ  $x$  คำตอบของสมการที่ (2.11) สามารถเขียนได้เป็น

$$x(t_k) = \Phi(t_{k-1}, t_k)x(t_{k-1}) + \int_{t_{k-1}}^{t_k} \Phi(t_{k-1}, \tau)G(\tau)u(\tau)d\tau \quad (2.12)$$

หรือ

$$x_k = \Phi_{k-1}x_{k-1} + w_k \quad (2.13)$$

โดยที่  $\Phi_k$  คือ State transient matrix ตั้งแต่ช่วงเวลา  $t_{k-1}$  ถึง  $t_k$   
 $w_k$  คือ ผลตอบสนองจาก white noise ที่เวลา  $t_k$

จากสมการที่ (2.10)  $\Phi(t_{k-1}, t_k) = e^{F(t_k-t_{k-1})}$  อาศัยการกระจายแบบ Taylor series ของ  $e$  ได้ดังนี้

$$\Phi_{k-1} = e^{F(t_k-t_{k-1})} = I + F\Delta t + \frac{(F\Delta t)^2}{2!} + \frac{(F\Delta t)^3}{3!} + \dots \quad (2.14)$$



โดยที่  $\Delta t = t_k - t_{k-1}$  และ  $I$  คือ เมตริกซ์เอกลักษณ์ ดังนั้นสามารถคำนวณค่า  $\Phi_{k-1}$  ในช่วงเวลา  $\Delta t$  ได้จาก

$$\Phi_{k-1} = I + F\Delta t \quad (2.15)$$

โดย  $Q_k$  คือ covariance matrix ของ  $w_k$  จากสมการที่ (2.13) โดยสามารถเขียน  $Q_k$  ในแบบอินทิกรัลได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Q_k &= E[w_k w_k^t] \\ &= E \left\{ \left[ \int_{t_{k-1}}^{t_k} \Phi(t_{k-1}, \xi) G(\xi) u(\xi) d\xi \right] \left[ \int_{t_{k-1}}^{t_k} \Phi(t_{k-1}, \eta) G(\eta) u(\eta) d\eta \right]^t \right\} \\ &= \int_{t_{k-1}}^{t_k} \int_{t_{k-1}}^{t_k} \Phi(t_{k-1}, \xi) G(\xi) E[u(\xi) u^t(\eta)] G^t(\eta) \Phi^t(t_{k-1}, \eta) d\xi d\eta \end{aligned} \quad (2.16)$$

การคำนวณค่า  $Q_k$  เมื่อเมตริกซ์มีขนาดใหญ่ได้ยาก Van Loan จึงได้นำเสนอวิธีการหา  $Q_k$  โดยให้  $W$  คือ Power spectral density matrix ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ white noise,  $\Delta t$  คือ เวลา และ  $x$  เป็นเมตริกซ์ขนาด  $n$  วิธีการของ Van Loan มีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างเมตริกซ์  $A$  ขนาด  $2n \times 2n$

$$A = \begin{bmatrix} -F & GWG^t \\ 0 & F^t \end{bmatrix} \Delta t \quad (2.17)$$

2. สร้างเมตริกซ์  $B$  ซึ่งเป็น เอ็กโพเนนเชียลเมตริกซ์ของ  $A(e^{(A)})$

$$B = \begin{bmatrix} \dots & \Phi^{-1} Q_k \\ 0 & \Phi^t \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

3.  $\Phi$  คือ transpose ครึ่งล่างขวาของเมตริกซ์  $B$
4. ทำให้ได้  $Q_k$  จากครึ่งบนขวาของเมตริกซ์  $B$

### 2.5.3 กาลมานฟิลเตอร์แบบไม่ต่อเนื่อง (discrete Kalman filter)

ในกระบวนการสุ่มสามารถเขียนแบบจำลองทางพลวัต ได้ดังสมการที่ (2.19)

$$x_{k+1} = \Phi_k x_k + w_k \quad (2.19)$$

และแบบจำลองการวัดของกระบวนการสามารถกำหนดให้เกิดขึ้นเป็นช่วงเวลาที่ไม่ต่อเนื่องได้ดังนี้

$$z_k = H_k x_k + v_k \quad (2.20)$$

จากสมการที่ (2.19) และ (2.20)

	$x_k$	$(n \times 1)$	คือ สถานะระบบ (หรือตัวประมาณค่า) ที่เวลา $t_k$
	$\Phi_k$	$(n \times n)$	คือ transient matrix ที่เวลา $t_k$
	$w_k$	$(n \times 1)$	คือ สัญญาณรบกวนจากระบบ (process noise) ที่เวลา $t_k$
	$z_k$	$(m \times 1)$	คือ ผลจากการวัด ที่เวลา $t_k$
	$H_k$	$(m \times n)$	คือ connection matrix ระหว่าง $z_k$ และ $x_k$ ที่เวลา $t_k$
	$v_k$	$(m \times 1)$	คือ สัญญาณรบกวนจากการวัด (Measurement noise)
โดยที่	$n$		คือ ขนาดของเวกเตอร์ของสถานะระบบที่สนใจ และ
	$m$		คือ ขนาดของเวกเตอร์ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการวัด

Covariance matrix ของ  $w_k$  และ  $v_k$  กำหนดโดย

$$\begin{aligned} E[w_k w_i^t] &= Q_k && \text{เมื่อ } k = i \text{ หรือ} \\ E[w_k w_i^t] &= 0 && \text{เมื่อ } k \neq i \end{aligned} \quad (2.21)$$

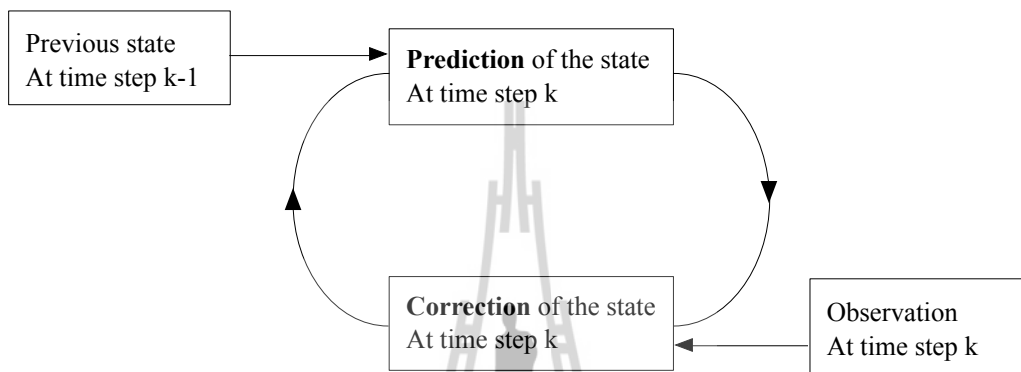
$$\begin{aligned} \text{และ } E[v_k v_i^t] &= R_k && \text{เมื่อ } k = i \text{ หรือ} \\ E[v_k v_i^t] &= 0 && \text{เมื่อ } k \neq i \end{aligned} \quad (2.22)$$

$$E[w_k v_i^t] = 0 \quad \text{สำหรับทุกค่าของ } k \text{ และ } i \quad (2.23)$$

สำหรับการประมาณค่าด้วยกาลมานอัลกอริทึมเป็นกระบวนการทำนายสถานะระบบที่มีการควบคุมแบบป้อนกลับ โดยอาศัยผลจากการวัด กาลมานอัลกอริทึมแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนการทำนาย (Prediction) หรือขั้นตอนการปรับเวลา (time update)
2. ขั้นตอนการปรับแก้ (Correction) หรือขั้นตอนการปรับการวัด (Measurement update)

ในรูปที่ 2.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของคาลมานอัลกอริทึม อธิบายขั้นตอนการทำงานของคาลมานอัลกอริทึมได้ดังนี้ เริ่มต้นจากการทำนายค่าสถานะระบบที่เวลา  $k$  โดยอ้างอิงผลจากสถานะระบบที่เกิดขึ้นก่อนหน้านั้นที่เวลา  $k-1$  จากนั้นเมื่อมีผลจากการวัดเข้ามา ก็เข้าสู่ขั้นตอนการปรับแก้ซึ่งจะตอบสนองต่อการป้อนกลับ นั่นคือ มีการนำผลที่ได้จากการวัดทำการเปรียบเทียบกับผลจากการทำนายในครั้งแรก นำมาผ่านขั้นตอนการปรับแก้ เพื่อนำไปปรับปรุงผลการทำนายในรอบต่อไป



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการทำงานของคาลมานอัลกอริทึม

จากขั้นตอนการทำงานดังกล่าวสามารถแสดงในรูปของสมการทำนายและสมการการปรับแก้ได้ดังนี้

1. สมการการทำนาย (prediction equation) ประกอบด้วย

$$\hat{x}_k^- = \Phi_k \hat{x}_{k-1} \quad (2.24)$$

$$P_k^- = \Phi_k P_{k-1} \Phi_k' + Q_k \quad (2.25)$$

โดยที่  $\hat{x}_k^-$  คือ สถานะระบบก่อนการทำนายที่เวลา  $t_k$

$P_k^-$  คือ error covariance

เครื่องหมาย (-) แสดงถึงสถานะที่เกิดขึ้นก่อนทำการปรับแก้

2. สมการการปรับแก้ (Correction equation) ประกอบด้วย

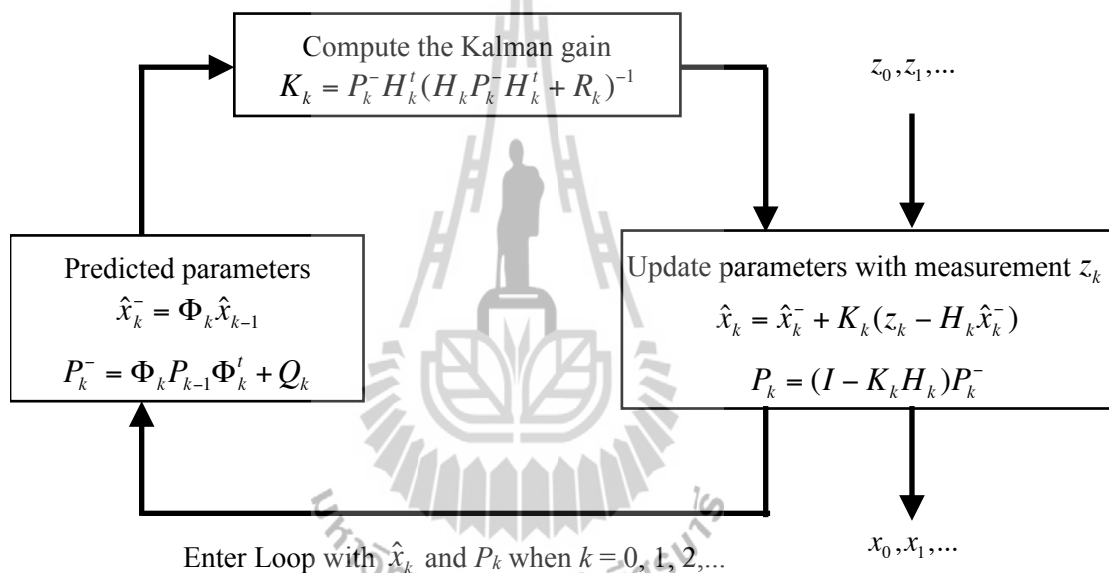
$$K_k = P_k^- H_k' (H_k P_k^- H_k' + R_k)^{-1} \quad (2.26)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (z_k - H_k \hat{x}_k^-) \quad (2.27)$$

$$P_k = (I - K_k H_k) P_k^- \quad (2.28)$$

โดยที่  $z_k$  คือ ค่าจริงที่ได้จากการวัด  
 $K_k$  คือ อัตราขยายคาลมาน (Kalman gain)  
 $\hat{x}_k$  คือ การปรับค่าหลังจากมีข้อมูลจริงเข้ามา

แผนผังสมการคาลมานแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แผนผังสมการคาลมาน

รูปที่ 2.7 อธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้ เริ่มต้นที่ขั้นตอนการทำนาย เป็นการเรียนรู้ที่จะทำนายสถานะระบบในครั้งแรก ค่าพารามิเตอร์สำหรับขั้นตอนการทำนายนี้คือ  $\hat{x}_k^-$  และ  $P_k^-$  ซึ่งก็คือสถานะระบบและค่า error covariance ที่ทำการทำนายในครั้งแรก จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนของการปรับแก้ โดยเริ่มต้นจากการคำนวณหาอัตราขยายคาลมาน  $K_k$  ซึ่งเป็นผลมาจากค่า error covariance ที่ได้ทำนายไว้ และเมื่อมีผลจากการวัดหรือสถานะระบบในปัจจุบัน  $z_k$  เข้ามา ก็จะทำการปรับปรุงสถานะระบบและ error covariance โดยทำการเปรียบเทียบผลจากการวัดกับผลการทำนายในครั้งแรกทำการปรับแก้  $P_k$  หลังจากนั้นกระบวนการทั้งหมดนี้จะถูกทำซ้ำโดยสถานะระบบที่ได้ทำการปรับแก้แล้วจะเป็นสถานะระบบอ้างอิงสำหรับการทำนายสถานะระบบในรอบต่อไป

## 2.6 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยได้กล่าวถึงทฤษฎีของแบบจำลองโหลดชนิดต่าง ๆ ทั้งแบบจำลองโหลดแบบสถิตและแบบพลวัต และการได้มาซึ่งแบบจำลองโหลด ทฤษฎีของเทคโนโลยีมัลติเอเจนต์ หลักเบื้องต้นของระบบมัลติเอเจนต์ รวมไปถึงทฤษฎีกาลมานอัลกอริทึม ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการ ทฤษฎีเบื้องต้นที่เกยงข้อง สำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดแบบ ZIP นั้น จะได้กล่าวถึงในบทที่ 3 ต่อไป



### บทที่ 3

## การหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดแบบ ZIP โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด

### 3.1 บทนำ

การดำเนินการที่เหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลังที่คงที่หรือค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยที่ขึ้นอยู่กับภาระเปลี่ยนแปลงโหลด อาจกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงโหลดมีความสำคัญมากในระบบไฟฟ้ากำลัง แม้ปัจจุบันนี้ยังใช้ค่าคงที่แทนโหลดเพื่อประกอบการคำนวณในโปรแกรมและสมการการไหลของกำลังไฟฟ้า เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดในวัน ๆ หนึ่ง มีการเปลี่ยนแปลงตลอด แบบจำลองโหลดจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้แทนค่าโหลดคงที่ที่มีความถูกต้องมากขึ้น

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงแบบจำลองโหลดแบบ ZIP และการใช้ระเบียบวิธีกำลังสองน้อยที่สุดในการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดแบบ ZIP โดยได้ทำการทดสอบบนระบบทดสอบที่ประกอบด้วยโหลดประเภทกำลังไฟฟ้าและโหลดอิมพีแดนซ์ เพื่อแสดงถึงการนำไปใช้งานของระเบียบวิธีกำลังสองน้อยที่สุดกับการหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลด

### 3.2 แบบจำลองโหลดแบบ ZIP

#### 3.2.1 แบบจำลองโหลด PQ

ในโปรแกรมและการจำลองการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยส่วนมากค่ากำลังแอกทีฟและกำลังรีแอกทีฟของโหลดที่ใช้ไป แทนด้วยค่าคงที่ของค่ากำลังดังแสดงในสมการที่ (3.1) และ (3.2)

$$P = P_L \quad (3.1)$$

$$Q = Q_L \quad (3.2)$$

ขณะที่ค่าแรงดันของบัสไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ สมการดังกล่าวจึงจะถูกต้อง แต่เมื่อแรงดันมีค่าเกินกว่าขีดจำกัด การใช้ไปของโหลดจะเปลี่ยนไปเป็นอิมพีแดนซ์ที่คงที่ ดังสมการที่ (3.3) และ (3.4)

$$P = \frac{P \cdot V^2}{V_{\text{lim}}^2} \quad (3.3)$$

$$Q = \frac{Q \cdot V^2}{V_{\text{lim}}^2} \quad (3.4)$$

โดยที่  $V_{\text{lim}}$  คือแรงดันขีดจำกัด

### 3.2.2 แบบจำลองโหลดแบบสถิตทั่วไป

สมการที่ (3.5) และ (3.7) คือแบบจำลองที่แนะนำให้ใช้ ประกอบด้วยเทอมของ ZIP บวกเทอมของความถี่แรงดัน 2 เทอม

$$\begin{aligned} \frac{P}{P_{\text{frac}} \cdot P_0} = & K_{pz} \left( \frac{V}{V_0} \right)^2 + K_{pi} \left( \frac{V}{V_0} \right) + K_{pc} + K_{p1} \left( \frac{V}{V_0} \right)^{npv1} (1 + n_{pf1} \Delta f) \\ & + K_{p2} \left( \frac{V}{V_0} \right)^{npv2} (1 + n_{pf2} \Delta f) \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$K_{pz} = 1 - (K_{pi} + K_{pc} + K_{p1} + K_{p2}) \quad (3.6)$$

โดยที่  $P_{\text{frac}}$  คือเศษส่วนของโหลดที่สแทนด้วยแบบจำลองสถิต

$$\begin{aligned} \frac{Q}{Q_{\text{frac}} \cdot Q_0} = & K_{qz} \left( \frac{V}{V_0} \right)^2 + K_{qi} \left( \frac{V}{V_0} \right) + K_{qc} + K_{q1} \left( \frac{V}{V_0} \right)^{nqv1} (1 + n_{qf1} \Delta f) \\ & + K_{q2} \left( \frac{V}{V_0} \right)^{nqv2} (1 + n_{qf2} \Delta f) \end{aligned} \quad (3.7)$$

$$K_{qz} = 1 - (K_{qi} + K_{qc} + K_{q1} + K_{q2}) \quad (3.8)$$

โดยที่  $Q_{\text{frac}}$  คือเศษส่วนของโหลดที่สแทนด้วยแบบจำลองสถิต

ในสมการข้างต้น  $P_0$  และ  $Q_0$  คือค่าเริ่มต้นของกำลังไฟฟ้าแอกทีฟและกำลังไฟฟารีแอกทีฟที่ถูกใช้ไป ได้จากกรณีเริ่มต้นของการไหลของกำลังไฟฟ้า หรือพูดอีกอย่างคือ  $P_0$  และ  $Q_0$  เป็นโหลดกำลังไฟฟ้าปกติที่แรงดันและความถี่ปกติของระบบ  $P$  และ  $Q$  คือค่าโหลดกำลังที่ใช้ซึ่งสัมพันธ์กับค่าแรงดันและความถี่

สมการที่ (3.5) และ (3.7) เป็นกุญแจหลักที่สำคัญของแบบจำลองโหลดในหลาย ๆ แบบซึ่งแบบจำลองโหลดอื่น ๆ มักมีต้นกำเนิดมาจากการแปลงสมการของสมการที่ (3.5) และ (3.7)

### 3.2.3 แบบจำลองโหลดแบบ ZIP

ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว โดยทั่วไป ค่าคงที่ของโหลดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟและรีแอกทีฟมักถูกใช้ในโปรแกรมจำลองการไหลของระบบไฟฟ้า แต่มันควรพิจารณาด้วยค่ากระแสไฟฟ้า แรงดัน และอิมพีแดนซ์ของโหลดในทุก ๆ เวลา ไม่ใช่ค่าคงที่ และแปรเปลี่ยนไปตามโหลด ดังนั้นผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าที่เป็นค่าคงที่เมื่อนำไปคำนวณจะไม่ใช่ค่าที่ถูกต้องนัก

แบบจำลองค่าคงที่ของกระแส กำลังไฟฟ้า และอิมพีแดนซ์ นั้นรู้จักในชื่อ “แบบจำลองแบบ ZIP (ZIP model)” ซึ่งเป็นหนึ่งในแบบจำลองที่สำคัญและเหมาะสม

แบบจำลองนี้สร้างขึ้นในรูปแบบที่แตกต่างกันดังแสดงในสมการที่ (3.9), (3.10), (3.11) และ (3.12)

$$\frac{P}{P_0} = \left[ P_1 \left( \frac{V}{V_0} \right)^2 + P_2 \left( \frac{V}{V_0} \right) + P_3 \right] (1 + L_{DP} \Delta f) \quad (3.9)$$

$$P = P_0 \left[ Z_p \left( \frac{V}{V_0} \right)^2 + I_p \left( \frac{V}{V_0} \right) + P_p \right] (1 + K_p f) \quad (3.10)$$

$$\frac{Q}{Q_0} = \left[ Q_1 \left( \frac{V}{V_0} \right)^2 + Q_2 \left( \frac{V}{V_0} \right) + Q_3 \right] (1 + L_{DQ} \Delta f) \quad (3.11)$$

$$Q = Q_0 \left[ Z_q \left( \frac{V}{V_0} \right)^2 + I_q \left( \frac{V}{V_0} \right) + P_q \right] (1 + K_q f) \quad (3.12)$$

แบบจำลองเหล่านี้คือ แปลงสมการจากแบบจำลองทั่วไปในสมการที่ (3.5) และ (3.7)

ในงานวิจัยนี้ไม่คิดการเปลี่ยนแปลงของความถี่ ดังนั้นแบบจำลองโหลดที่พิจารณา คือสมการที่ (3.13) และ (3.14)

$$P = P_0 \left[ Z_p \left( \frac{V}{V_0} \right)^2 + I_p \left( \frac{V}{V_0} \right) + P_p \right] \quad (3.13)$$

$$Q = Q_0 \left[ Z_q \left( \frac{V}{V_0} \right)^2 + I_q \left( \frac{V}{V_0} \right) + P_q \right] \quad (3.14)$$

$$Z_p + I_p + P_p = 1 \quad (3.15)$$

$$Z_q + I_q + P_q = 1 \quad (3.16)$$



โดยที่  $P_0, Q_0, V_0$  คือค่าพิกัดของโหลดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ โหลดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ และแรงดันไฟฟ้า ตามลำดับ

หรือเพื่อความง่ายในการนำไปใช้ จากความสัมพันธ์ในสมการที่ (3.13) และ (3.14) สมมติว่าค่า  $P, Q$  และ  $V$  เป็นค่าต่อหน่วย (per unit) ดังนั้นจากสมการที่ (3.13) และ (3.14) ทำให้อยู่ในรูปแบบสมการที่ง่ายขึ้นดังสมการที่ (3.17) และ (3.18)

$$P = Z_p V^2 + I_p V + P_p \quad (3.17)$$

$$Q = Z_q V^2 + I_q V + P_q \quad (3.18)$$

### 3.3 การหาค่าเหมาะที่สุดด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

การประมาณค่าฟังก์ชันโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดจะได้ฟังก์ชันที่เป็นตัวแทนที่ดีที่สุดของข้อมูล เพราะได้จากการเกลี่ยค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลให้เหลือน้อยที่สุด ดังนั้น เมื่อเขียนกราฟของฟังก์ชัน เส้นกราฟจะผ่านไปบริเวณจุดต่าง ๆ ของข้อมูล โดยตัดผ่านจุดของข้อมูลบางจุด การประมาณค่าโดยวิธีนี้ต่างจากการประมาณค่าในช่วง (interpolation) ดังนี้

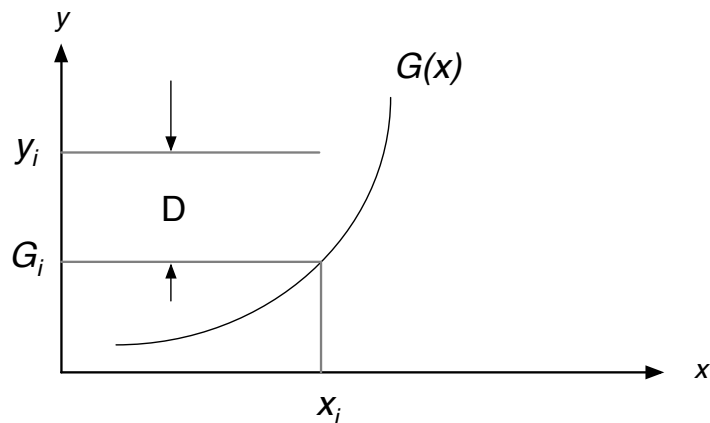
1. ฟังก์ชันที่ได้จากการประมาณค่าในช่วงซึ่งเป็นฟังก์ชันพหุนาม ต้องผ่านจุดทุกจุดของข้อมูล เมื่อเขียนเส้นกราฟจะเห็นเป็นรอยหยักของเส้น เส้นกราฟจริง ๆ โดยธรรมชาติมีลักษณะราบเรียบหรือโค้งเป็นแนวต่อเนื่อง การประมาณค่าโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดทำให้ได้เป็นเส้นกราฟผ่านไปบริเวณจุดต่าง ๆ ของข้อมูล อาจผ่านข้อมูลบางจุดหรือไม่ผ่านบางจุด เส้นกราฟมีลักษณะราบเรียบ (smooth) ใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่า

2. ถ้ามีข้อมูลอยู่  $n$  จุด พหุนามที่ได้จากวิธีประมาณค่าในช่วงจะมีองศาเท่ากับ  $n-1$  ถ้า  $n$  มีค่ามาก ๆ พหุนามจะมีองศาตามไปด้วย พหุนามจึงมีลักษณะซับซ้อน ส่วนการประมาณค่าด้วยกำลังสองน้อยที่สุด ทำให้ได้สมการเส้นกระพืด ไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนของข้อมูล สามารถนำมาหาอนุพันธ์หรืออินทิเกรตเพื่อให้ได้ค่าที่ต้องการได้ง่าย

หลักการของวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด มีดังนี้ ถ้ามีข้อมูล  $x, y$  ทั้งสิ้น  $n$  ชุด ให้ฟังก์ชันที่ประมาณค่าข้อมูลชุดนี้เป็น  $G(x)$  โดยที่  $G(x)$  อยู่ในรูป

$$G(x) = a_1 g_1(x) + a_2 g_2(x) + \dots + a_m g_m(x) \quad (3.19)$$

โดยที่  $m \leq n$  และ  $g_1(x), \dots, g_m(x)$  เป็นฟังก์ชันซึ่งขึ้นอยู่กับค่า  $x$  อาจอยู่ในรูปพหุนาม (polynomial) รูปลอการิทึมหรือเอ็กซ์โพเนนเชียล ตามสมการที่ (3.19) จะสมบูรณ์ได้ก็ต่อเมื่อทราบค่า  $a_1, a_2, \dots, a_m$  โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้ได้จากการทำให้ค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลกับค่าประมาณที่ได้จากฟังก์ชัน  $G(x)$  มีค่าน้อยที่สุด



รูปที่ 3.1 แสดงการหาค่าเบี่ยงเบนของวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

จากรูปที่ 3.1 ค่าแตกต่างของข้อมูลชุดที่  $i$  คือ

$y_i - G(x_i)$  เมื่อหาค่าแตกต่างของข้อมูลทุกชุดแล้ว นำค่าแตกต่างเหล่านี้มารวมกัน แล้วยกกำลังสอง เพื่อจัดเครื่องหมายลบ จะได้

$$D = \sum_{i=1}^n (y_i - G(x_i))^2 \quad (3.20)$$

ค่าสัมประสิทธิ์  $a_1, a_2, \dots, a_m$  จะเป็นตัวแปร เพราะเมื่อค่าเหล่านี้มีค่าต่าง ๆ กัน ฟังก์ชัน  $G(x)$  จะเป็นฟังก์ชันที่แตกต่างกันออกไป แต่ต้องการหาค่า  $a_1, a_2, \dots, a_m$  ที่มีเงื่อนไขทำให้เกิดค่า  $D$  มีค่าน้อยที่สุด จากแคลคูลัสเราจึงได้

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial D}{\partial a_1} = 0 \\ \frac{\partial D}{\partial a_2} = 0 \\ \vdots \\ \frac{\partial D}{\partial a_m} = 0 \end{array} \right\} \quad (3.21)$$

จึงได้สมการออกมา  $m$  ชุด สามารถหาค่า  $a_1, a_2, \dots, a_m$  ได้ โดยใช้ระบบสมการเชิงเส้น

### 3.3.1 การประยุกต์ใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดกับการคำนวณหาพารามิเตอร์ของแบบจำลอง โหลด

พารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดแบบ ZIP สามารถหาได้โดยวิธีการใดวิธีการหนึ่ง ก็ได้ โดยวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดที่ถูกใช้ในงานวิจัยนี้คือวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด สมมติว่ามีชุดข้อมูลการวัด  $y_n$  รวมกลุ่มกันสำหรับค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน ส่วน  $x_n$  คือ ปัญหากำลังสองน้อยที่สุดที่จะต้องการหา ดังความสัมพันธ์ในสมการที่ (3.22)

$$\min_p \sum_{n=1}^N (y_n - px_n)^2 \quad (3.22)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ควรหาค่าเหมาะที่สุดคือสมการที่ (3.23)

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \left( Z_p \left( \frac{V_i}{V_0} \right)^2 + I_p \left( \frac{V_i}{V_0} \right) + P_p - \left( \frac{P_i}{P_0} \right) \right)^2 \quad (3.23)$$

โดยที่  $V_i$  และ  $P_i$  คือ ค่าอินพุต นั่นคือค่าแรงดันและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปที่สอดคล้องกับแรงดันที่บัส จากความสัมพันธ์ในสมการที่ (3.23) เพื่อความง่ายจะสมมติว่าค่า  $V_i$  และ  $P_i$  เป็นค่าต่อหน่วย (per unit) ดังนั้นจากสมการที่ (3.23) ด้านบน ทำให้แปลงเป็นสมการที่ง่ายได้ดังสมการที่ (3.24)

$$\lambda = \sum_{i=1}^n (Z_p \cdot V_i^2 + I_p \cdot V_i + P_p - P_i)^2 \quad (3.24)$$

วิธีการแก้ไขปัญหาเพื่อหาคำตอบคือแปลงสมการในสมการที่ (3.24) เพื่อให้ได้พารามิเตอร์แต่ละตัว ( $Z_p$ ,  $I_p$ ,  $P_p$ ) จึงทำอนุพันธ์เทียบกับแต่ละตัวแปร แล้วให้แต่ละสมการมีค่าเท่ากับศูนย์ อย่างน้อยจึงมี 3 สมการ ใน 3 ตัวแปรเพื่อทำการหาค่า โดยสมการที่ได้คือสมการที่ (3.25), (3.26) และ (3.27)

$$\frac{d\lambda}{dZ_p} = \sum_{i=1}^n 2V_i^2 (Z_p \cdot V_i^2 + I_p V_i + P_p - P_i) = 0 \quad (3.25)$$

$$\frac{d\lambda}{dI_p} = \sum_{i=1}^n 2V_i (Z_p \cdot V_i^2 + I_p V_i + P_p - P_i) = 0 \quad (3.26)$$

$$\frac{d\lambda}{dP_p} = \sum_{i=1}^n 2(Z_p \cdot V_i^2 + I_p V_i + P_p - P_i) = 0 \quad (3.27)$$

สมการเหล่านี้ทำให้ง่ายขึ้น ดังสมการที่ (3.28), (3.29) และ (3.30)

$$Z_p \sum_{i=1}^n 2V_i^4 + I_p \sum_{i=1}^n 2V_i^3 + P_p \sum_{i=1}^n 2V_i^2 = \sum_{i=1}^n 2V_i^2 P_i \quad (3.28)$$

$$Z_p \sum_{i=1}^n 2V_i^3 + I_p \sum_{i=1}^n 2V_i^2 + P_p \sum_{i=1}^n 2V_i = \sum_{i=1}^n 2V_i P_i \quad (3.29)$$

$$Z_p \sum_{i=1}^n 2V_i^2 + I_p \sum_{i=1}^n 2V_i + P_p \cdot 2n = \sum_{i=1}^n 2P_i \quad (3.30)$$

ทำให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ดังสมการที่ (3.31) จากสมการข้างต้น คือ สมการที่ (3.28), (3.29) และ (3.30)

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n 2V_i^4 & \sum_{i=1}^n 2V_i^3 & \sum_{i=1}^n 2V_i^2 \\ \sum_{i=1}^n 2V_i^3 & \sum_{i=1}^n 2V_i^2 & \sum_{i=1}^n 2V_i \\ \sum_{i=1}^n 2V_i^2 & \sum_{i=1}^n 2V_i & 2n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Z_p \\ I_p \\ P_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n 2P_i V_i^2 \\ \sum_{i=1}^n 2P_i V_i \\ \sum_{i=1}^n 2P_i \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

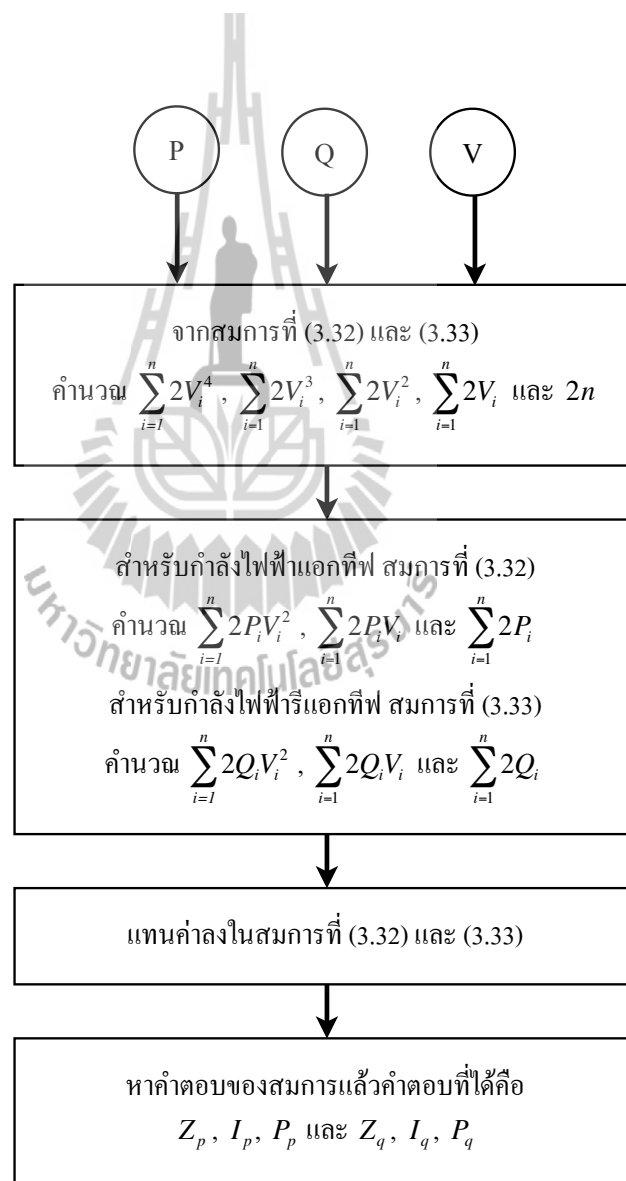
ดังนั้นตัวแปรของเมตริกซ์สามารถคำนวณหาได้จากการคำนวณหาเมตริกซ์ผกผัน (3×3) คูณกับเมตริกซ์ (3×1) ได้ดังสมการที่ (3.32)

$$\begin{bmatrix} Z_p \\ I_p \\ P_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n 2V_i^4 & \sum_{i=1}^n 2V_i^3 & \sum_{i=1}^n 2V_i^2 \\ \sum_{i=1}^n 2V_i^3 & \sum_{i=1}^n 2V_i^2 & \sum_{i=1}^n 2V_i \\ \sum_{i=1}^n 2V_i^2 & \sum_{i=1}^n 2V_i & 2n \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n 2P_i V_i^2 \\ \sum_{i=1}^n 2P_i V_i \\ \sum_{i=1}^n 2P_i \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

ส่วนของกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ ดังสมการที่ (3.33)

$$\begin{bmatrix} Z_q \\ I_q \\ P_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n 2V_i^4 & \sum_{i=1}^n 2V_i^3 & \sum_{i=1}^n 2V_i^2 \\ \sum_{i=1}^n 2V_i^3 & \sum_{i=1}^n 2V_i^2 & \sum_{i=1}^n 2V_i \\ \sum_{i=1}^n 2V_i^2 & \sum_{i=1}^n 2V_i & 2n \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n 2Q_i V_i^2 \\ \sum_{i=1}^n 2Q_i V_i \\ \sum_{i=1}^n 2Q_i \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

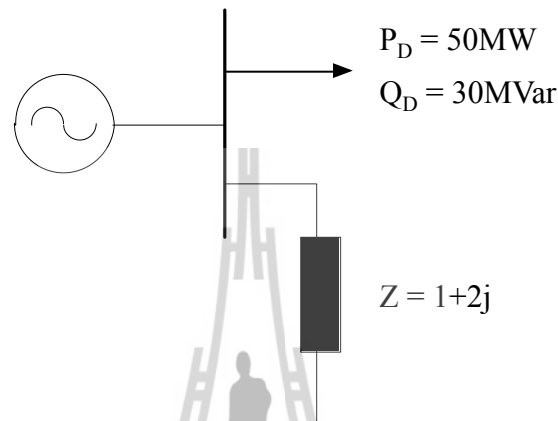
จากสมการที่ (3.32) และ (3.33) สามารถสรุประเบียบวิธีกำลังสองน้อยที่สุดออกเป็นขั้นตอนได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการคำนวณหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลด

### 3.4 ผลการทดสอบด้วยระบบทดสอบจำลอง

เพื่อแสดงการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีการคำนวณของแบบจำลองโหลด ได้ยกตัวอย่างเป็นระบบทดสอบที่มีโหลดทั้งที่เป็นกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ รีแอกทีฟและโหลดที่เป็นอิมพีแดนซ์ และได้เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วย MATLAB เพื่อคำนวณด้วยระเบียบวิธีการกำลังสองน้อยที่สุดกับระบบทดสอบนี้ โดยรูปที่ 3.3 คือระบบทดสอบที่ใช้



รูปที่ 3.3 ระบบทดสอบ

ระบบทดสอบประกอบด้วยโหลดค่าคงที่ของค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ 50 MW กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ 30 MVAR และมีอิมพีแดนซ์คงที่  $Z = 1 + j2$  ต่อเข้ากับบัส ส่วนสายส่งจะคิดอิมพีแดนซ์ในสายส่ง ดังนั้นโหลดจึงประกอบด้วย 1. ค่ากำลังไฟฟ้าคงที่ 2. ค่าอิมพีแดนซ์คงที่ เท่านั้น โดยมีค่าฐานแรงดัน 10 kV และค่าฐานกำลังไฟฟ้าปรากฏ 70 MVA

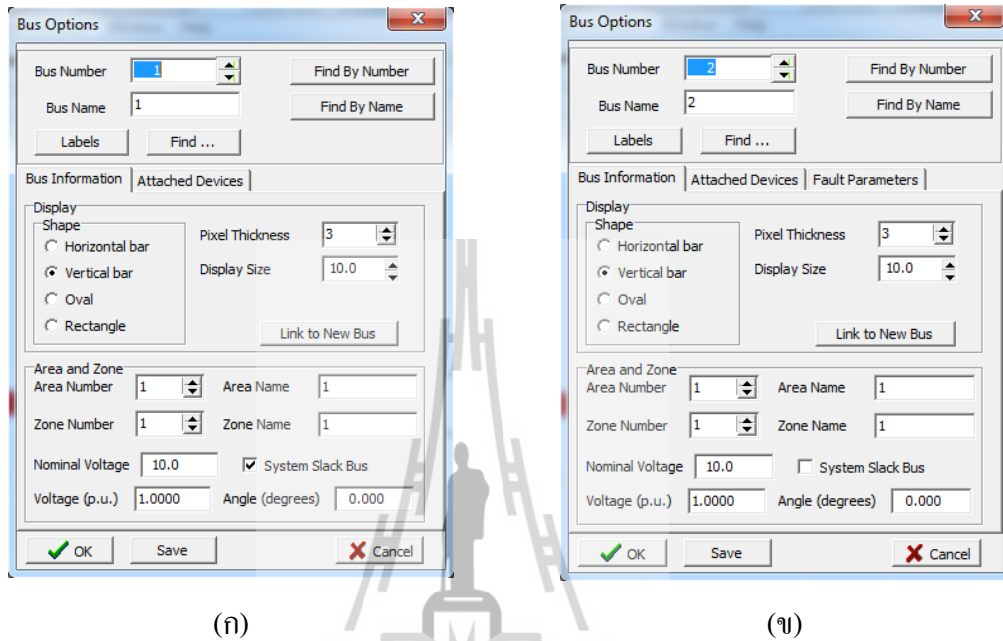


รูปที่ 3.4 ระบบทดสอบที่จำลองด้วยโปรแกรม Power World

จากข้อมูลของระบบทดสอบดังกล่าวจึงใช้โปรแกรม Power World ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับศึกษาระบบไฟฟ้ากำลัง สร้างระบบทดสอบขึ้นมา โดยวาดภาพดังรูปที่ 3.4 แล้วกำหนดค่าต่างๆ ที่จำเป็น ได้แก่

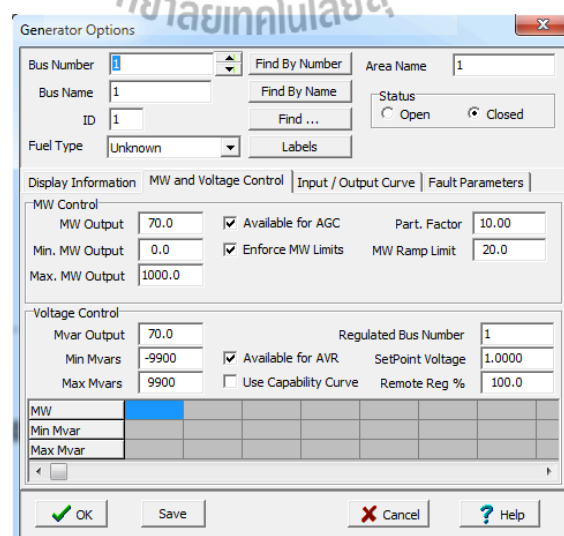
- บัส (Bus)

เนื่องจากโปรแกรม Power World บังคับให้ต้องมีบัสอ้างอิงในระบบอย่างน้อย 1 บัส ดังนั้นจึงต้องสร้างระบบทดสอบเป็นระบบ 2 บัส โดยกำหนดบัส 1 เป็นบัสอ้างอิง และบัส 2 เป็นบัสโหลด



รูปที่ 3.5 (ก) การตั้งค่าสำหรับบัส 1 (ข) การตั้งค่าสำหรับบัส 2

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)



รูปที่ 3.6 การตั้งค่าสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตั้งค่า MW Output = 70, MVAR Output = 70 และ SetPoint Voltage ตั้งให้ค่าเท่ากับค่าแรงดันต่อหน่วยของบัส 1

- สายส่ง (Transmission Line)

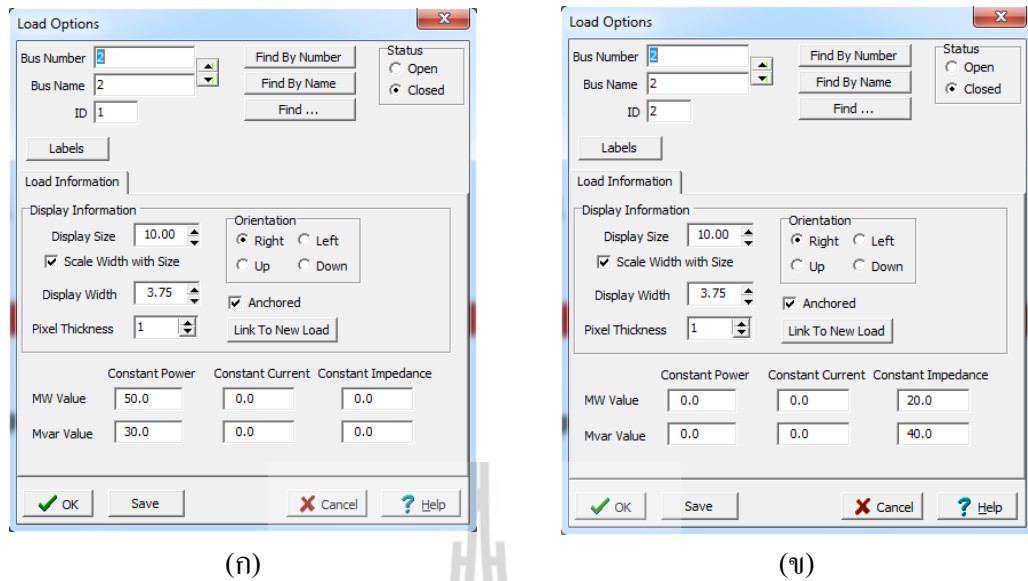
สายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสอ้างอิงกับบัสโหลดนี้จะไม่คิดอิมพีแดนซ์ในสายส่ง จึงได้กำหนดให้อิมพีแดนซ์มีค่าน้อยที่สุด (ซึ่งโปรแกรมไม่อนุญาตให้กำหนดเป็นศูนย์) คือ  $X = 0.00001 \Omega$

รูปที่ 3.7 การตั้งค่าสำหรับสายส่ง

- โหลด (Load)

โหลดประกอบด้วยโหลดที่เป็นโหลดกำลังไฟฟ้าและโหลดอิมพีแดนซ์ จากรูปที่ 3.3 โหลดกำลังไฟฟ้กำหนดให้เป็น Constant Power MW = 50, MVAR = 30 และโหลดอิมพีแดนซ์ จาก  $Z = 1+j2$  ซึ่งคือ 20 MW และ 40 MVAR เมื่อคำนวณแรงดันเท่ากับ 10 kV





รูปที่ 3.8 การตั้งค่าสำหรับโหลด

(ก) โหลดกำลังไฟฟ้า

(ข) โหลดอิมพีแดนซ์

โดยมีค่าอินพุตดังตารางที่ 3.1 ได้มาจากการเปลี่ยนแปลงค่า Setpoint Voltage ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตั้งแต่ 0.9 p.u. ไปจนถึง 1.1 p.u. และบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายให้กับโหลด

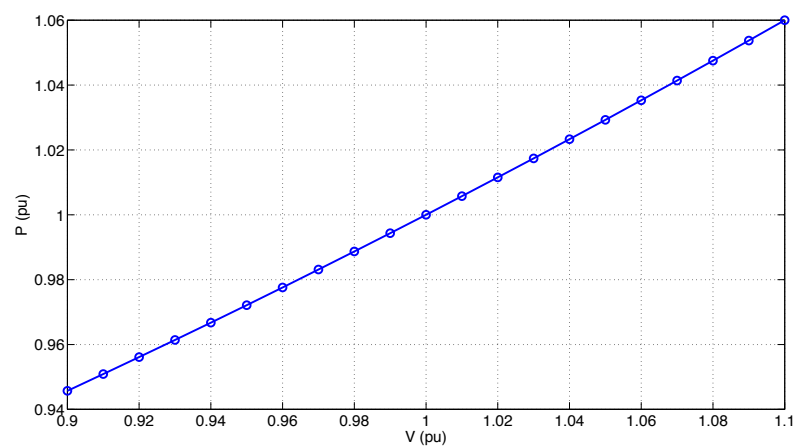
ตารางที่ 3.1 ค่าอินพุตเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันในบัสอ้างอิง

V (p.u.)	P (MW)	Q (MVAR)
0.90	66.200	62.400
0.91	66.562	63.124
0.92	66.928	63.856
0.93	67.298	64.596
0.94	67.672	65.344
0.95	68.050	66.100
0.96	68.432	66.864
0.97	68.818	67.636
0.98	69.208	68.416

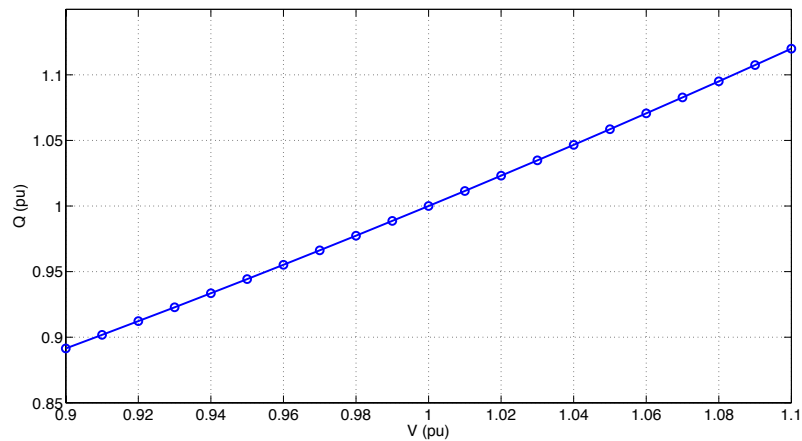
ตารางที่ 3.1 ค่าอินพุตเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันในบัสอ้างอิง (ต่อ)

V (p.u.)	P (MW)	Q (MVAR)
0.99	69.602	69.204
1.00	70.000	70.000
1.01	70.402	70.804
1.02	70.808	71.616
1.03	71.218	72.436
1.04	71.632	73.264
1.05	72.050	74.100
1.06	72.472	74.944
1.07	72.898	75.796
1.08	73.328	76.656
1.09	73.762	77.524
1.10	74.200	78.400

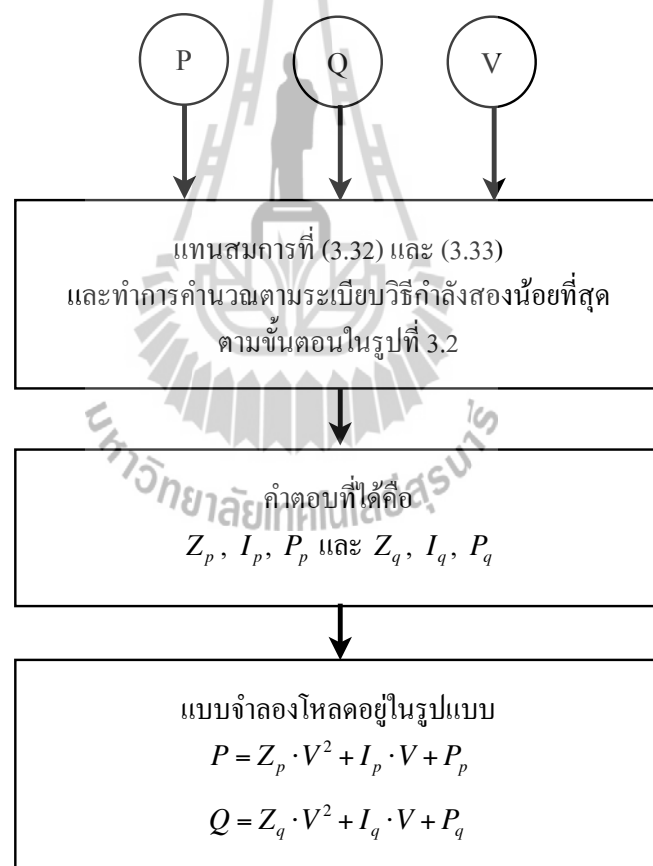
โดยรูปที่ 3.9 และ 3.10 แสดงค่าอินพุตที่ได้จากแบบทดสอบ 2 บัส โดยรูปที่ 3.9 เป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าโหลดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟเทียบกับค่าแรงดัน ส่วนรูปที่ 3.10 เป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าโหลดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเทียบกับค่าแรงดัน



รูปที่ 3.9 เปรียบเทียบระหว่างค่าโหลดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟเทียบกับค่าแรงดัน



รูปที่ 3.10 เปรียบเทียบระหว่างค่าโหลดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเทียบกับค่าแรงดัน



รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการคำนวณเพื่อให้ได้ซึ่งแบบจำลองโหลด

จากค่าอินพุตในตารางที่ 3.1 นำเข้าสู่ระเบียบวิธีการคำนวณเพื่อให้ได้แบบจำลองโหลดตามรูปที่ 3.11 โดยผลลัพธ์ที่ได้มีดังนี้

ค่าพารามิเตอร์จากโหลดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ

$$Z_p = 0.285714285734754$$

$$I_p = -4.09571583788450 \times 10^{-11}$$

$$P_p = 0.714285714306128$$

ค่าพารามิเตอร์จากโหลดกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ

$$Z_q = 0.571428571453436$$

$$I_q = -4.97684781529721 \times 10^{-11}$$

$$P_q = 0.428571428596241$$

จากผลลัพธ์ค่าพารามิเตอร์ที่ได้มา สามารถนำไปแทนในสมการของแบบจำลองโหลดสมการที่ (3.17) และ (3.18) จะได้

$$P = 0.2857 \times V^2 - (4.0957 \times 10^{-11}) \times V + 0.7143 \quad (3.34)$$

$$Q = 0.5714 \times V^2 - (4.9768 \times 10^{-11}) \times V + 0.4286 \quad (3.35)$$

เพื่อทำการตรวจสอบความสัมพันธ์ถึงความถูกต้องในสมการที่ (3.34) และ (3.35) จึงได้ตรวจสอบการคำนวณพารามิเตอร์เหล่านี้เพื่อนำมาเปรียบกับค่าผลลัพธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีการคำนวณหาพารามิเตอร์ด้วยวิธีกำลังน้อยที่สุด นั่นคือการนำค่าแรงดันตั้งแต่ 0.90 p.u. ถึง 1.10 p.u. แทนในสมการที่ (3.34) และ (3.35) ซึ่งผลลัพธ์ได้แสดงในตารางที่ 3.2 เพื่อเป็นการยืนยันให้เห็นถึงความถูกต้องของแบบจำลองโหลดนี้

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบระหว่างค่าอินพุตกับแบบจำลองโหลด

V (p.u.)	P (MW)		Q (MVAR)	
	ค่าอินพุต	แบบจำลองโหลด	ค่าอินพุต	แบบจำลองโหลด
0.90	66.200	66.2002	62.400	62.4004
0.91	66.562	66.5622	63.124	63.1243
0.92	66.928	66.9282	63.856	63.8563
0.93	67.298	67.2981	64.596	64.5963
0.94	67.672	67.6721	65.344	65.3442

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบระหว่างค่าอินพุตกับแบบจำลองโหลด (ต่อ)

V (p.u.)	P (MW)		Q (MVAR)	
	ค่าอินพุต	แบบจำลองโหลด	ค่าอินพุต	แบบจำลองโหลด
0.95	68.050	68.0501	66.100	66.1002
0.96	68.432	68.4321	66.864	66.8642
0.97	68.818	68.8181	67.636	67.6361
0.98	69.208	69.2080	68.416	68.4161
0.99	69.602	69.6020	69.204	69.2040
1.00	70.000	70.0000	70.000	70.0000
1.01	70.402	70.4020	70.804	70.8040
1.02	70.808	70.8080	71.616	71.6159
1.03	71.218	71.2179	72.436	72.4359
1.04	71.632	71.6319	73.264	73.2638
1.05	72.050	72.0499	74.100	74.0998
1.06	72.472	72.4719	74.944	74.9438
1.07	72.898	72.8979	75.796	75.7957
1.08	73.328	73.3278	76.656	76.6557
1.09	73.762	73.7618	77.524	77.5236
1.10	74.200	74.1998	78.400	78.3996

จากตารางที่ 3.2 เป็นเครื่องยืนยันได้ว่าแบบจำลองโหลดที่ได้มีความถูกต้อง นอกจากนี้ถ้าพิจารณาจากรูปที่ 3.3 กับแบบจำลองโหลดที่ได้ในสมการที่ (3.34) และ (3.35) คือ มีค่าคงที่กำลังไฟฟ้าแอกทีฟ 0.7143 p.u. (50 MW) และ 0.4286 p.u. (30 MVAR) กับค่าเริ่มต้นหรือค่าฐานที่ 70 MVA และค่าคงที่ของโหลดกระแสมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ดังนั้นโหลดส่วนที่เหลือคือค่าคงที่ของอิมพีแดนซ์คือ 0.2857 p.u. (20 MW) สำหรับโหลดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟและ 0.5714 p.u. (40 MVAR) สำหรับโหลดกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ เมื่อแปลงเป็นอิมพีแดนซ์ก็ได้  $Z = 1+j2$  จากการพิจารณาเปรียบเทียบกันแล้ว การพิจารณาจากรูปที่ 3.3 และการคำนวณหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ก็มีผลลัพธ์เดียวกัน เหล่านี้เป็นการพิสูจน์ระเบียบวิธีการหา

แบบจำลองโหลดด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดนี้มีความถูกต้องและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอื่นได้

### 3.5 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงแบบจำลองโหลดแบบสถิติโดยทั่วไปและสมการของแบบจำลองโหลดแบบ ZIP ซึ่งใช้เป็นแบบจำลองหลักของงานวิจัยนี้ ลำดับต่อมาทำการศึกษาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด รวมไปถึงการใช้ระเบียบวิธีกำลังสองน้อยที่สุดกับการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดที่เป็นแบบ ZIP โดยได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องกับระบบทดสอบที่มีทั้งโหลดกำลังไฟฟ้าและโหลดอิมพีแดนซ์ ด้วยระบบทดสอบนี้เองได้ทำให้เห็นว่าแบบจำลองโหลดแบบ ZIP ที่คำนวณหาพารามิเตอร์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดนี้มีความถูกต้อง และเพื่อให้การคำนวณหาแบบจำลองโหลดเป็นไปอย่างถูกต้อง ต่อเนื่องและอัตโนมัติอย่างเป็นระบบ ที่จะได้กล่าวถึงในบทที่ 4 และบทที่ 5 ต่อไป



## บทที่ 4

### การลดผลกระทบของสัญญาณรบกวนจากเครื่องมือวัด

#### 4.1 บทนำ

สัญญาณรบกวน (Noise) คือรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้าที่ไม่ต้องการ ซึ่งทำให้สัญญาณไฟฟ้าที่ต้องการมีความผิดพลาดไปจากสัญญาณที่คาดหวังจากเครื่องมือวัด สัญญาณรบกวนสามารถเกิดขึ้นมาจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ หลายแหล่ง ดังเช่น กระแสและแรงดันไฟฟ้าจากสายส่งไฟฟ้าที่ใกล้กับสายสัญญาณจากเครื่องมือวัด, ไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นอย่างรุนแรง (Surge หรือ Transient), การเหนี่ยวนำจากสายไฟใกล้เคียง เป็นต้น สัญญาณรบกวนเหล่านี้เป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นภายนอก ยังมีสัญญาณรบกวนรบกวนอีกแบบหนึ่งเป็นสัญญาณรบกวนจากภายใน ดังเช่น สัญญาณคลื่นความร้อนและการออกแบบทางไฟฟ้าที่ไม่สมบูรณ์ เป็นต้น สัญญาณรบกวนเหล่านี้ล้วนเป็นผลกระทบกับข้อมูลไฟฟ้าที่แท้จริง และเป็นผลเสียที่ส่งผลให้ข้อมูลที่นำไปใช้มีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่แท้จริง

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึง การลดผลกระทบเนื่องจากสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการวัดจากเครื่องมือวัด ด้วยตัวกรองกาลมาน และตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ขั้นเดียว นอกจากนี้ได้แสดงการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวกรองที่ใช้ในแต่ละชนิดข้อมูล รวมถึงทำการทดสอบกับข้อมูลที่จำลองสัญญาณสุ่มแล้วเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปเพื่อทดสอบตัวกรองทั้งตัวกรองกาลมานและตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ขั้นเดียวเปรียบเทียบกัน

#### 4.2 ตัวแบบค่าเฉลี่ย (Constant Mean Model)

ตัวแบบประเภทนี้พัฒนาขึ้นสำหรับข้อมูลที่เคลื่อนไหวนรอบ ๆ ค่าคงที่ค่าหนึ่ง ค่าคงที่ดังกล่าวอาจจะคงที่ตลอดช่วงระยะเวลายาวนาน หรือคงที่เฉพาะในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ๆ และเปลี่ยนแปลงอย่างเชื่องช้าจากช่วงระยะเวลาหนึ่งไปยังอีกช่วงระยะเวลาหนึ่ง ดังนั้นตัวแบบค่าเฉลี่ยคงที่จึงจำแนกออกเป็น 2 ตัวแบบ คือ ตัวแบบค่าเฉลี่ยคงที่ระยะยาว (global constant mean model) และตัวแบบค่าเฉลี่ยคงที่ระยะสั้น (local constant mean model)

##### 4.2.1 ตัวแบบค่าเฉลี่ยคงที่ระยะยาว (Global Constant Mean Model)

ตัวแบบนี้อาจเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$X_t = \mu + \varepsilon_t \quad \text{เมื่อ } t = 1, 2, 3, \dots \quad (4.1)$$

ค่าของตัวแปร  $X$  ณ เวลา  $t$  ประกอบด้วยค่าคงที่  $\mu$  และตัวแปรสุ่ม  $\varepsilon$  ณ เวลา  $t$

$\varepsilon_t$  เป็นตัวแปรสุ่มที่ไม่พึ่งพิงต่อกัน นั่นคือ  $\varepsilon_t$  และ  $\varepsilon_k$  เมื่อ  $t \neq k$  ไม่มีความพึ่งพิงต่อกัน แต่มีการแจกแจงเดียวกัน โดยมีค่าคาดหวังเท่ากับศูนย์ และมีค่าความแปรปรวนเป็นค่าคงที่เท่ากับ  $\sigma^2$

เนื่องจากการพยากรณ์ค่า  $X_{t+k}$  อาจกระทำ ณ จุดเวลา  $t, t+1, t+2 \dots$  จนถึง  $t+k-1$  ซึ่งอาจได้ค่าพยากรณ์ที่แตกต่างกัน จึงควรสร้างสัญลักษณ์ของค่าพยากรณ์ให้ชัดเจนถึงจุดที่กระทำ การพยากรณ์และจำนวนหน่วยเวลาล่วงหน้าที่พยากรณ์ ดังนั้นค่าพยากรณ์ของ  $X_{t+k}$  ที่กระทำ ณ เวลา  $t$  และ  $k$  เป็นหน่วยเวลาล่วงหน้า จะเขียนแทนด้วย  $\hat{X}_t(k)$  เมื่อพิจารณาแบบนี้ให้ถ่องแท้ จากสมการที่ (4.1) จะพบว่าพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าอยู่ 2 ตัว คือ ค่าคงที่  $\mu$  ซึ่งเป็นพารามิเตอร์โดยตรงของตัวแบบ และค่าความแปรปรวน  $\sigma^2$  ของตัวแปรสุ่ม  $\varepsilon_t$  ณ จุดเวลา  $t$  ข้อมูลที่มีอยู่จะเป็น  $X_1, X_2, \dots, X_t$  ซึ่งในค่า  $X$  แต่ละค่าจะมีค่า  $\mu$  ผสมอยู่กับค่าของตัวแปรสุ่ม  $\varepsilon$  ในการคำนวณค่า  $\hat{X}_t(k)$  จะเห็นได้จากสมการที่ (4.1) ว่าจะต้องกะเนค่าคงที่  $\mu$  และค่าของตัวแปรสุ่ม  $\varepsilon_{t+k}$  เนื่องจาก  $\varepsilon_{t+k}$  ไม่มีความพึ่งพิงกับค่าในอดีตของตัวแปรสุ่ม  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_t$  จึงมีอาจพยากรณ์ค่าของตัวแปรสุ่ม  $\varepsilon_{t+k}$  ได้ ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่า  $\varepsilon_{t+k}$  เท่ากับค่าคาดหวังของตัวแปรสุ่ม ซึ่งมีค่าเท่ากับศูนย์ จากสมการที่ (4.1) ค่าพยากรณ์ของ  $X_{t+k}$  ที่กระทำ ณ จุดเวลา  $t$  จึงอาจเขียนได้เป็น

$$\hat{X}_t(k) = \mu \quad (4.2)$$

การพยากรณ์ค่า  $\hat{X}_t(k)$  ไม่ว่า  $k$  จะมีค่าใด ๆ จะได้ค่า  $\mu$  เสมอเนื่องจาก  $\mu$  เป็นค่าคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา คำถามต่อไปก็คือจะประมาณ  $\mu$  ได้อย่างไร จากข้อมูลที่มีอยู่คือ  $X_1, X_2, \dots, X_t$  ค่าประมาณที่เหมาะสมที่สุดของ  $\mu$  ก็คือค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีอยู่ทั้งหมดในขณะนั้น ดังนี้

$$\hat{X}_t(k) = \frac{\sum_{i=1}^t X_i}{t} \quad \text{เมื่อ } k = 1, 2, 3, \dots \quad (4.3)$$

รูปแบบดังกล่าวข้างต้นเรียกว่า explicit form ซึ่งการหาคำนวณจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณข้อมูลที่เพิ่มขึ้น เพื่อมิให้การหาคำนวณจะต้องเพิ่มขึ้นตามปริมาณข้อมูลสมการที่ (4.3) ควรปรับปรุงใหม่ให้อยู่ในรูปแบบ recurrence form ซึ่งจะทำได้หาพยากรณ์ใหม่จากค่าพยากรณ์เดิมกับข้อมูลใหม่ที่เพิ่งเกิดขึ้น ทำให้การหาคำนวณไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณข้อมูลจากสมการ (4.3)  $\hat{X}_t(k)$  อาจเขียนใหม่ได้เป็น



$$\begin{aligned}\hat{X}_t(k) &= \frac{\sum_{i=1}^{t-1} X_i + X_t}{t} \\ &= \frac{(t-1)\hat{X}_{t-1}(k) + X_t}{t} ; \quad k=1,2,3,\dots\end{aligned}\quad (4.4)$$

ซึ่งจะเห็นว่าค่าพยากรณ์  $\hat{X}_t(k)$  ที่กระทำ ณ เวลา  $t$  เป็นค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก ระหว่างค่าพยากรณ์ที่กระทำ ณ เวลา  $t-1$  กับค่า  $X_t$  จึงทำให้การถ่วงน้ำหนักไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณข้อมูลเลย

สูตรที่จะใช้คำนวณค่าพยากรณ์  $\hat{X}_t(k)$  ซึ่งกระทำการพยากรณ์ ณ เวลา  $t$  อาจเขียนอยู่ในรูปแบบ error correction form ซึ่งจะใช้ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ณ จุดเวลา  $t$  มาปรับแก้ค่าพยากรณ์  $\hat{X}_t(k)$  ที่ได้กระทำการพยากรณ์ ณ เวลา  $t-1$  ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในพยากรณ์ ณ จุดเวลา  $t$  อาจเขียนได้เป็น

$$e_t = X_t - \hat{X}_{t-1}(1) \quad (4.5)$$

หรือ

$$X_t = \hat{X}_{t-1}(1) + e_t \quad (4.6)$$

เมื่อนำค่า  $X_t$  ไปแทนค่าในสมการที่ (4.4) จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

$$\hat{X}_t(k) = \hat{X}_{t-1}(k) + e_t / t \quad (4.7)$$

จะเห็นได้ว่า ถ้า  $t$  มีค่ามาก ซึ่งหมายถึงมีข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการพยากรณ์เป็นจำนวนมาก จะทำให้ความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ (forecast error) มีผลที่จะมาปรับค่าพยากรณ์น้อยมาก ทำให้ค่าพยากรณ์มีค่าความเฉื่อยสูงขึ้น ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักแม้จะมีข้อมูลใหม่ๆ เข้ามา

#### ค่าคาดหมายและความแปรปรวนของค่าพยากรณ์

จากสมการที่ (4.3) ค่าคาดหมายของค่าพยากรณ์ อาจเขียนได้เท่ากับ

$$E[\hat{X}_t(k)] = \frac{\sum_{i=1}^t E(X_i)}{t} = \mu \quad (4.8)$$

ดังนั้นค่าพยากรณ์ในกรณีนี้จึงเป็นค่าประมาณที่ไม่เียงเจ (unbiased estimate) ความแปรปรวนของค่าพยากรณ์  $\hat{X}_t(k)$  อาจเขียนได้จากสมการที่ (4.3) ได้เป็น

$$\begin{aligned} \text{Var}[\hat{X}_t(k)] &= \text{Var}\left[\sum_{i=1}^t \varepsilon_i / t\right] \\ &= \frac{1}{t^2} \sum_{i=1}^t \text{Var}(\varepsilon_i) \\ &= \frac{\sigma^2}{t} \end{aligned} \quad (4.9)$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่า ความแปรปรวนของค่าพยากรณ์  $\hat{X}_t(k)$  มีค่าน้อยลงเมื่อ  $t$  มีค่ามากขึ้นจึงเป็นการยืนยันอีกครั้งว่าค่าพยากรณ์จากตัวแบบค่าเฉลี่ยคงที่ระยะยาวนี้มีความเฉื่อยสูงขึ้นเมื่อ  $t$  มีค่ามากขึ้น

**ค่าคาดหมายและความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์**

ค่าความคลาดเคลื่อนในค่าพยากรณ์ที่กระทำการพยากรณ์ ณ เวลา  $t$  อาจเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} e_t(k) &= X_{t+k} - \hat{X}_t(k) \\ &= \varepsilon_{t+k} - \frac{\sum_{i=1}^t \varepsilon_i}{t} \end{aligned} \quad (4.10)$$

ซึ่งมีค่าคาดหมายเท่ากับศูนย์

$$E(e_t(k)) = 0 \quad (4.11)$$

ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน  $e_t(k)$  อาจเขียนได้เท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{Var}(e_t(k)) &= \text{Var}(X_{t+k} - \hat{X}_t(k)) \\ &= \text{Var}(X_{t+k}) + \text{Var}(\hat{X}_t(k)) \\ &= \sigma^2 + \sigma^2 / t \\ &= (t+1)\sigma^2 / t \end{aligned} \quad (4.12)$$

เมื่อ  $t$  มีค่ามาก ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน  $e_t(k)$  ในสมการที่ (4.12) จะกลายเป็น

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \text{Var}(e_t(k)) = \sigma^2 \quad (4.13)$$

ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน อาจรู้จักกันในอีกชื่อหนึ่ง คือค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง (mean square error-MSE)

#### 4.2.2 ตัวแบบค่าเฉลี่ยคงที่ระยะสั้น (Local Constant Mean Model)

ตัวแบบค่าเฉลี่ยคงที่ระยะสั้นมีแนวความคิดคล้ายคลึงกับตัวแบบค่าเฉลี่ยคงที่ระยะยาวในแง่ที่ว่า ข้อมูลอนุกรมเวลาเคลื่อนไหวนรอบค่าคงที่ค่าหนึ่ง แต่ตัวแบบค่าเฉลี่ยคงที่ระยะสั้นเห็นว่าในบางสภาพการณ์ค่าเฉลี่ยคงที่มีได้มีค่าคงที่ตลอดระยะเวลายาวนาน แต่มีค่าคงที่ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ (locality) และมีค่าเปลี่ยนแปลงที่ไม่รวดเร็วนัก ดังนั้นตัวแบบค่าเฉลี่ยคงที่ระยะสั้นจึงอธิบายได้ด้วยสมการที่ (4.14)

$$X_t = \mu_t + \varepsilon_t \quad (4.14)$$

โดย  $\mu_t$  เป็นค่าคงที่ในช่วงระยะเวลาสั้น และอาจมีค่าเปลี่ยนแปลงได้อย่างเชื่องช้า ส่วน  $\varepsilon_t$  เป็นความรบกวนสุ่มซึ่งไม่พึ่งพิงต่อกัน แต่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นเดียวกัน โดยมีค่าคาดหวังเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนเท่ากับ  $\sigma^2$  การพยากรณ์ค่า  $X_t$  ในสมการที่ (4.14) จึงเป็นการพยากรณ์ค่าคงที่ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงค่าได้คือ  $\mu_t$  ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการพยากรณ์โดยค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว (single moving average)

#### ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว (Single Moving Average)

จากแนวความคิดที่ว่าในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ อนุกรมเวลาเคลื่อนไหวนรอบค่าคงที่ค่าหนึ่ง จึงนำไปสู่การพยากรณ์ค่าคงที่นั้น ๆ โดยใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในช่วงระยะเวลาสั้นดังกล่าว ดังนั้นถ้าในช่วงระยะเวลาดังกล่าว มีจำนวนข้อมูลอยู่  $n$  เทอมค่าพยากรณ์หนึ่งหน่วยเวลาล่วงหน้าที่ทำการพยากรณ์ ณ เวลา  $t$  จึงเท่ากับค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูล  $n$  เทอม

$$\hat{X}_t(1) = \frac{X_{t-n+1} + X_{t-n+2} + \dots + X_t}{n} \quad (4.15)$$

เมื่อเวลาได้เคลื่อนที่ไปถึงหน่วยเวลา  $t+1$  ค่าจริงของ  $X_{t+1}$  ก็ปรากฏค่าพยากรณ์  $\hat{X}_{t+2}$  ที่กระทำการ ณ เวลา  $t+1$  ก็ยังเป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูล  $n$  เทอม แต่เป็น  $n$  เทอมล่าสุดโดยเอา  $X_{t+1}$  ซึ่งเป็นข้อมูลที่เพิ่งเข้ามาไปแทน  $X_{t-n+1}$  ซึ่งได้เข้ามาแล้วตั้งแต่  $t+1$  หน่วยเวลา

$$\hat{X}_{t+1}(1) = \frac{X_{t-n+2} + X_{t-n+3} + \dots + X_t + X_{t+1}}{n} \quad (4.16)$$

ซึ่งเขียนใหม่ในรูป recurrence ได้เป็น

$$\hat{X}_{t+1}(1) = \hat{X}_t(1) + \frac{X_{t+1} - X_{t-n+1}}{n} \quad (4.17)$$

สมการที่ (4.17) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพยากรณ์ใหม่กับค่าพยากรณ์เก่าโดยปรับค่าพยากรณ์เก่าด้วยผลต่างของข้อมูลล่าสุดกับข้อมูลเก่าสุด หากด้วยจำนวนเทอมที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะเห็นได้ว่า ถ้าจำนวนเทอมที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ยมีจำนวนมาก ส่วนที่จะปรับค่าพยากรณ์เก่าก็จะมีค่าน้อย ทำให้ค่าพยากรณ์ใหม่มีค่าใกล้เคียงกับค่าพยากรณ์เก่า จึงมีการกล่าวว่าคุณค่าพยากรณ์จะมีค่าความเฉื่อยสูง (high inertia) ถ้าเทอมที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ยมีจำนวนมาก สมการที่ (4.17) อาจเขียนใหม่ในรูปแบบที่ใช้ค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์มาปรับแก้ (error correction form) ได้ดังนี้

$$\hat{X}_{t+1}(1) = \frac{n+1}{n} \hat{X}_t(1) + \frac{e_{t+1} - X_{t-n+1}}{n} \quad (4.18)$$

**ตัวอย่าง** จากข้อมูลราคาปิดของหุ้นสามัญบริษัทอาหารสยาม จำกัด เมื่อหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่ชั้นเดียวที่ใช้จำนวนเทอมเท่ากับ 3 จะได้ค่าพยากรณ์ ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างการพยากรณ์ด้วยค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว

$t$	$X_t$	$\hat{X}_t(1)$
1	117	
2	118	
3	118	117.67
4	117	117.67
5	115	116.67

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างการพยากรณ์ด้วยค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว (ต่อ)

$t$	$X_t$	$\hat{X}_t(1)$
6	115	115.67
7	115	115.00
8	116	115.33
9	115	115.33
10	116	115.67

ค่าพยากรณ์ของหน่วยเวลาที่ 4 ที่ทำการพยากรณ์ ณ หน่วยเวลาที่ 3 ได้จากค่าเฉลี่ยของข้อมูลในหน่วยเวลาที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งเท่ากับ 117.67 หากมีข้อมูลใหม่สุดคือข้อมูลในหน่วยเวลาที่ 10 ค่าพยากรณ์ของหน่วยเวลาที่ 11 ที่ทำการพยากรณ์ ณ หน่วยเวลาที่ 10 จากการใช้วิธีหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวที่  $n=3$  จะเป็น 115.67

จากสมการที่ (4.15) จะเห็นได้ว่า ค่าคาดหมายของค่าพยากรณ์หนึ่งหน่วยเวลาล่วงหน้าอาจเขียนได้เท่ากับ

$$E[\hat{X}_t(1)] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_{t-i+1} \quad (4.19)$$

เนื่องจากในช่วงระยะเวลาที่ไม่ยาวนานนัก  $\mu_t$  จะมีค่าเกือบคงที่

$$\mu_{t-i+1} \approx \mu \quad i=1, 2, \dots, n \quad (4.20)$$

ดังนั้น จากสมการที่ (4.19) ค่าคาดหมายของค่าพยากรณ์หนึ่งหน่วยเวลาล่วงหน้า จะมีค่าประมาณเท่ากับ

$$E[\hat{X}_t(1)] \approx \mu \quad (4.21)$$

ความแปรปรวนของค่าพยากรณ์หนึ่งหน่วยเวลาล่วงหน้า อาจเขียนได้เท่ากับ

$$\text{Var}[\hat{X}_t(1)] = E\left[\sum_{i=1}^n \varepsilon_{t-i+1} / n\right]^2 = \sigma^2 / n \quad (4.22)$$

ซึ่งจะมีค่าลดลงเมื่อจำนวนเทอม  $n$  ที่ใช้ในการคำนวณค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่มากขึ้น จึงมีการกล่าวกันว่าเส้นพยากรณ์ของตัวแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว จะมีความเฉื่อย (inertia) สูงขึ้น เมื่อเพิ่มจำนวนเทอม  $n$  มากขึ้นในการคำนวณค่าเฉลี่ย อนึ่งเมื่อกำหนดจำนวนเทอม  $n$  ที่ใช้ในการคำนวณค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แล้ว ความแปรปรวนของค่าพยากรณ์ในสมการที่ (4.22) จะมีค่าคงที่มีได้เพียงพียงกับเวลา

ในการคำนวณค่าพยากรณ์โดยวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว มีสิ่งที่จะต้องพิจารณาคือจำนวนเทอม  $n$  ที่ใช้ในการคำนวณค่าเฉลี่ย กล่าวคือถ้าข้อมูลเคลื่อนไหวค่อนข้างช้า ก็อาจใช้จำนวนเทอมมาก ซึ่งจะทำให้ค่าพยากรณ์มีความเฉื่อยมาก เคลื่อนไหวช้า แต่หากข้อมูลเปลี่ยนแปลงค่อนข้างรวดเร็ว ก็ควรใช้จำนวนเทอมน้อย เพื่อให้ค่าพยากรณ์มีความเฉื่อยน้อย พร้อมทั้งจะเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล นอกจากนี้ในกรณีที่ใช้วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวพยากรณ์ข้อมูลที่มีแนวโน้ม จะพบว่าค่าพยากรณ์จะมีค่าต่ำกว่าข้อมูลจริง เมื่อข้อมูลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และจะต่ำกว่าข้อมูลจริงยิ่งขึ้น ถ้าจำนวนเทอม  $n$  ที่ใช้ในการคำนวณค่าเฉลี่ยมีค่ามากขึ้น ตรงกันข้ามหากข้อมูลมีแนวโน้มลดลง ค่าพยากรณ์จะมีค่ามากกว่าข้อมูลจริง และจะมากกว่าข้อมูลจริงมากยิ่งขึ้นถ้าจำนวนเทอม  $n$  มีค่ามากขึ้น ดังนั้นเมื่อนำวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่ไปประยุกต์ใช้พยากรณ์ข้อมูล 1 ชุด ด้วยจำนวนเทอม  $n$  ที่ใช้ในการคำนวณค่าเฉลี่ย 2 ค่า ค่าหนึ่งมีค่าน้อย และอีกค่าหนึ่งมีค่ามาก ในขณะที่แนวโน้มของข้อมูล มีลักษณะเพิ่มขึ้น ค่าพยากรณ์ทั้ง 2 ค่าดังกล่าว จะน้อยกว่าค่าจริง แต่ในขณะที่ข้อมูลมีแนวโน้มลดลง ค่าพยากรณ์ทั้ง 2 ค่า ก็จะมากกว่าข้อมูลจริง อย่างไรก็ตาม แม้ข้อมูลจะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ก็ได้หมายความว่าในรายละเอียดข้อมูลจริงจะมีลักษณะเพิ่มขึ้นหรือลดลงทุกค่า ทั้งนี้เพราะในข้อมูลจริงจะมีผลที่สืบเนื่องมาจากความรบกวนสุ่มซึ่งอาจทำให้ข้อมูลจริงบางค่ามีค่าลดลงในขณะที่ข้อมูลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น หรืออาจจะทำให้ข้อมูลจริงบางค่ามีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ข้อมูลมีแนวโน้มลดลง แต่การเพิ่มขึ้นหรือลดลงดังกล่าวนี้เป็น การเปลี่ยนแปลงชั่วคราวเท่านั้น มิได้มีความหมายว่าข้อมูลมีการปรับเปลี่ยนแนวโน้ม การที่มีเส้นพยากรณ์ 2 เส้น ด้วยจำนวนเทอม 2 ค่า จะช่วยในการวินิจฉัยเกี่ยวกับการเปลี่ยนแนวโน้มได้ง่ายขึ้น กล่าวคือ ถ้าข้อมูลจริงตัดเส้นพยากรณ์ที่ใช้จำนวนเทอมน้อยแต่ยังไม่ตัดเส้นพยากรณ์ที่ใช้จำนวนเทอมมากอาจตีความได้ว่า เป็นผลจากการรบกวนสุ่ม มิใช่เป็นการกลับทิศทางของแนวโน้ม แต่ถ้าข้อมูลจริงตัดเส้นพยากรณ์ที่ใช้จำนวนเทอมมาก การกลับทิศทางแนวโน้มมีโอกาสเกิดขึ้นมากและถ้าเส้นพยากรณ์ที่ใช้จำนวนเทอมน้อยตัดกับเส้นพยากรณ์ที่ใช้จำนวนเทอมมาก การกลับทิศทางของแนวโน้มเกิดขึ้นแล้วค่อนข้างแน่นอน จึงเห็นได้ว่าการที่ใช้เส้นพยากรณ์มากกว่า 1 เส้นดังกล่าวข้างต้นเป็นการใช้จุดอ่อนของวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่มาเป็นจุดเด่นที่ใช้พิจารณาการกลับทิศทางของแนวโน้มของข้อมูล ซึ่งมีประโยชน์และมีการประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการธุรกิจและวงการหุ้น

#### 4.3 ตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter)

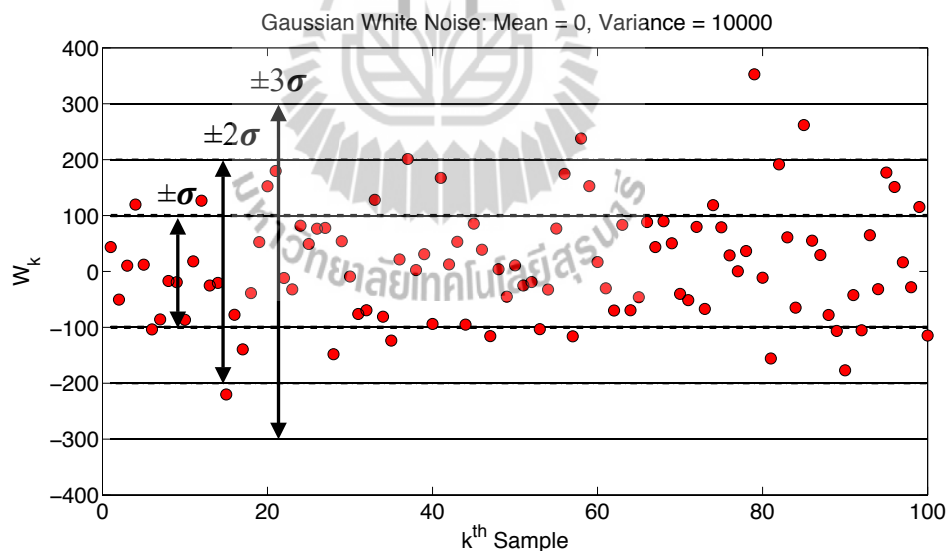
โดยปกติ สิ่งที่ต้องการรู้เมื่อวิเคราะห์ระบบคือ ณ เวลาหนึ่ง ๆ ระบบมีสถานะ (States) เป็นอย่างไร และสถานะของระบบเปลี่ยนแปลงตามเวลาเป็นอย่างไร ในทางปฏิบัติบ่อยครั้งการหา

สถานะของระบบไม่ใช่เรื่องง่าย เพราะมีข้อจำกัดหลายปัจจัย เช่น ความไม่สมบูรณ์ของเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดสถานะของระบบและความคลาดเคลื่อนในการวัด วิธีหนึ่งสำหรับหาสถานะของระบบคือใช้ Kalman Filter ซึ่งเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ (Algorithm) พัฒนาโดย ดร. R. E. Kalman ในปี ค.ศ. 1960 ปัจจุบัน Kalman Filter ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อใช้ประมวลผลข้อมูลจากเซ็นเซอร์หลายประเภท ภายใต้สัญญาณรบกวน (Noise) จากหลายแหล่งเพื่อหาค่าประมาณของสถานะของระบบที่ดีที่สุด (Data Fusion) โดยมีระเบียบขั้นตอนของตัวกรองคาลมานดังต่อไปนี้

ให้  $x_k$  เป็นตัวแปรใด ๆ ณ เวลา  $t_k$  ที่เราไม่รู้ค่าแต่ต้องการประมาณ ค่า ณ เวลา  $t_0, t_1, \dots, t_k \dots$  ไปเรื่อยๆ สมมติว่า  $x_k$  เปลี่ยนแปลงตาม เวลาตามสมการ

$$x_k = \Phi x_{k-1} + w_k \quad (4.23)$$

สมการที่ (4.23) คือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบเรียกว่า Plant หรือ Process Model เพราะแสดงความสัมพันธ์ว่า  $x$  เปลี่ยนแปลง ตามเวลาอย่างไร ให้  $w_k$  เป็น Gaussian White Noise มีค่าเฉลี่ย (Mean) เท่ากับ  $\mu$  และ Variance เท่ากับ  $Q$  (ดังนั้น Standard Deviation ของ  $w_k$  คือ  $\sigma = Q^2$ )



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างการสุ่มตัวแปร  $w_k$  จะสังเกตได้ว่าประมาณ 68%, 95% และ 99% ของ  $w_k$  จะอยู่ในช่วง  $\mu \pm \sigma$ ,  $\mu \pm 2\sigma$  และ  $\mu \pm 3\sigma$  ตามลำดับ ( $\mu = 0$ )

โดยปกติเราไม่สามารถบอกด้วยความมั่นใจ 100% ได้ว่าตัวแปรสุ่มมีค่าเป็นเท่าไร แต่เนื่องจาก  $w_k$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบ Gaussian เราจึงสามารถใช้ค่า Mean และ Variance อธิบายเกี่ยวกับ  $w_k$

ในเชิงความน่าจะเป็นได้อย่างสมบูรณ์ว่าถ้าสุ่มหลายๆ ครั้ง โดยเฉลี่ย  $w_k$  จะมีค่าเท่ากับ  $\mu$  นอกจากนี้ ประมาณ 68%, 95% และ 99% ของค่าของ  $w_k$  จากการสุ่มทั้งหมดจะ อยู่ในช่วง  $\mu \pm \sigma$ ,  $\mu \pm 2\sigma$  และ  $\mu \pm 3\sigma$  ตามลำดับ สมมติให้  $\mu = 0$  และ  $Q = 10000$  รูปที่ 4.1 แสดงผลของการสุ่มตัวอย่าง  $w_k$  100 ครั้ง

$w_k$  คือ White Noise ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับตัวแปรอื่นใดหรือตัวมันเองโดยสิ้นเชิง (Uncorrelated) ดังนั้นแม้ว่าเราจะรู้ค่าของ  $w$  ในอดีตหรือค่าของตัวแปรอื่นใด ก็ไม่สามารถใช้ข้อมูลนั้นทำนายค่าของ  $w_k$  ในอนาคตได้ สมการที่ (4.24), (4.25) และ (4.26) สรุปคุณสมบัติของ  $w_k$  ด้วยสูตรทางคณิตศาสตร์  $E[\bullet]$  หมายถึงค่าที่เราคาดว่าตัวแปรจะเป็น (Expected Value)

$$\text{ค่า Mean ของ } w_k = E[w_k] = 0 \quad (4.24)$$

$$\text{ค่า Variance ของ } w_k = E[w_k w_j] = \begin{cases} Q, & \text{for } i = j \\ 0, & \text{for } i \neq j \end{cases} \quad (4.25)$$

ค่า Covariance ของ  $w_k$  และตัวแปรสุ่ม  $v_k$

$$E[w_k v_j] = 0, \text{ for all } i, j \quad (4.26)$$

เนื่องจาก  $w_k$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบ Gaussian และสมการที่ (4.23) เป็นสมการเชิงเส้น (Linear) จึงสรุปได้ว่า  $x_k$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบ Gaussian

ก่อนใช้งาน Kalman Filter จำเป็นต้องให้ค่าประมาณของ  $x$  และค่าความคลาดเคลื่อนของการประมาณกับ Kalman Filter เพื่อเริ่มต้น จึงกำหนดให้ความคลาดเคลื่อน  $e = x - \hat{x}$  ( $x$  และ  $\hat{x} = E[x]$  คือค่าที่แท้จริงและค่าประมาณของ  $x$  ตามลำดับ) เนื่องจาก  $x$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบ Gaussian  $e$  จึงเป็นตัวแปรสุ่มแบบ Gaussian (ดังนั้นเพื่ออธิบาย  $e$  ในเชิงความน่าจะเป็นอย่างสมบูรณ์ ต้องรู้ค่า Mean และ Variance ของ  $e$ )

สำหรับตัวอย่างนี้ สมมติให้  $\Phi = 0.8$  และสมมุติว่าจากแหล่งข้อมูลที่ดีที่สุด ทำให้เชื่อได้ว่า ณ เวลาเริ่มต้น  $x$  มีค่าเท่ากับ 100 และ ความคลาดเคลื่อนของการประมาณนี้มีค่า Mean  $e_0 = 0$  และ Variance ( $P_0$ ) เท่ากับ 40000 ดังนั้น เราสามารถเขียนได้ว่า

$$\hat{x}_0 = E[x_0] = 100 \quad (4.27)$$

$$P_0 = E[(x - \hat{x}_0)^2] = E[(e_0)^2] = 40000 \quad (4.28)$$



ถ้ารู้แน่นอนว่า  $w_1$  มีค่าเป็นเท่าไร ก็สามารถคาดการณ์ล่วงหน้า (Predict) จากสมการที่ (4.23) ได้ว่า  $x$  ณ เวลา  $t_1$  จะมีค่าเป็นเท่าไรจาก

$$x_1 = \Phi x_0 + w_1 \quad (4.29)$$

แต่เนื่องจาก  $w_k$  เป็นตัวแปรสุ่มเราจึงไม่มีทางรู้แน่นอนว่า  $w_1$  มีค่าเป็นเท่าไร โดย Kalman Filter Algorithm สามารถหาค่าประมาณที่ดีที่สุดของ  $x_1$  ได้จาก

$$\hat{x}_1^- = E[x_1] = E[\Phi x_0 + w_1] = \Phi E[x_0] + E[w_1] = \Phi \hat{x}_0 \quad (4.30)$$

เครื่องหมายลบใช้ระบุว่า  $\hat{x}_1^-$  เป็นการคาดการณ์ล่วงหน้าถึงค่าของ  $x_1$  โดยไม่มีค่าที่เซนเซอร์วัดมาประกอบการพิจารณา จึงสามารถหาค่า Mean และ Variance ของความคลาดเคลื่อน (Error Variance) ในการคาดการณ์นี้ได้จาก

$$\begin{aligned} E[e_1^-] &= E[x_1 - \hat{x}_1^-] = E[\Phi x_0 + w_1 - \Phi \hat{x}_0] \\ &= E[\Phi(x_0 - \hat{x}_0) + w_1] = \Phi E[e_0] + E[w_1] = 0 \end{aligned} \quad (4.31)$$

$$\begin{aligned} P_1^- &= E[(x_1 - \hat{x}_1^-)^2] = E[(e_1^-)^2] = E[(\Phi e_0 + w_1)^2] \\ &= E[(\Phi e_0)^2 + 2\Phi e_0 w_1 + w_1^2] \\ &= \Phi^2 E[(e_0)^2] + 2\Phi E[e_0 w_1] + E[(w_1)^2] \\ &= \Phi^2 P_0 + Q \end{aligned} \quad (4.32)$$

ดังนั้น ในตัวอย่างนี้ จะได้

$$\hat{x}_1^- = 0.8 \times 100 = 80 \quad (4.33)$$

$$P_1^- = 0.8^2 \times 40000 + 10000 = 35600 \quad (4.34)$$

สมมติว่ามีเซนเซอร์ชนิดหนึ่ง เซนเซอร์มีข้อจำกัดคือไม่สามารถวัดค่า  $x_k$  ได้โดยตรงแต่สามารถวัดค่า  $z_k$  ได้ และรู้ล่วงหน้าว่า  $z_k$  กับ  $x_k$  มีความสัมพันธ์กันตามสมการนี้

$$z_k = Hx_k + v_k \quad (4.35)$$

สมการที่ (4.35) คือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบเรียกว่า Measurement Model เพราะอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่เซ็นเซอร์วัดได้  $z_k$  กับสถานะของระบบ  $x_k$  ในสมการที่ (4.23) และ (4.35) รวมกันเรียกว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ (System Model) ที่สมบูรณ์ โดยให้  $v_k$  เป็น Gaussian White Noise มีค่า Mean เท่ากับศูนย์ และ Variance เท่ากับ  $R$

ตัวกรองคาลมานกำหนดไว้ว่าค่าประมาณที่ดีที่สุดของ  $x_1$  คือ

$$\hat{x}_1^+ = \hat{x}_1^- + K_1[z_1 - H\hat{x}_1^-] \quad (4.36)$$

$K_1$  คือ Kalman Gain ณ เวลา  $t_1$  เครื่องหมายบวกใช้ระบุว่า  $\hat{x}_1^+$  เป็นการประมาณค่าของ  $x_1$  โดยนำค่าที่เซ็นเซอร์วัดได้มาประกอบการพิจารณาด้วย จึงสามารถพิสูจน์ได้ว่า  $H\hat{x}_1^-$  คือค่าประมาณ  $\hat{z}_1$  ของค่าที่เซ็นเซอร์วัดได้ ณ เวลา  $t_1$  จาก

$$\hat{z}_1 = E[z_1] = E[Hx_1 + v_k] = HE[x_1] + E[v_k] = H\hat{x}_1^- \quad (4.37)$$

เทอมของ  $z_1 - H\hat{x}_1^-$  (หรือ  $z_1 - \hat{z}_1$ ) เรียกว่า Residual เห็นได้ว่าสมการที่ (4.36) คือสมการที่ใช้แก้ไข (Update) ค่า  $\hat{x}_1^-$  ที่คาดการณ์ไว้ล่วงหน้า (ก่อนที่เซ็นเซอร์วัดค่าได้) โดยนำผลต่างระหว่างค่าที่เซ็นเซอร์วัดได้กับค่าที่วัดได้จริง มาให้น้ำหนัก (คูณด้วย Kalman Gain  $K_k$ ) แล้วนำผลที่ได้มาใส่แก้ไขค่า  $\hat{x}_1^-$

สังเกตได้ว่าขนาดของค่าที่นำมาใช้แก้ไข  $\hat{x}_1^-$  ส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของ Residual  $z_1 - H\hat{x}_1^-$  ถ้าค่าที่คาดการณ์ไว้กับค่าที่วัดได้จริงต่างกันมาก (Residual มีค่าสูง) ทำให้จะต้องแก้ไข  $\hat{x}_1^-$  มาก ในทางกลับกันถ้าค่าที่คาดการณ์ไว้ต่างจากค่าที่วัดได้จริงเพียงเล็กน้อย (Residual มีค่าต่ำ) ก็ไม่จำเป็นต้องแก้ไข  $\hat{x}_1^-$  มาก

สมมติว่าหาค่าประมาณ  $\hat{x}_1^+$  ได้โดยใช้จากสมการที่ (4.36) (ยังไม่ต้องกังวลว่า Kalman Gain  $K_k$  มีค่าเป็นเท่าไร) สามารถหาค่า Mean และ Variance ของความคลาดเคลื่อนในการประมาณได้จาก

$$\begin{aligned} E[e_1^+] &= E[x_1 - \hat{x}_1^+] = E[x_1 - \{\hat{x}_1^- + K_1(z_1 - H\hat{x}_1^-)\}] \\ &= E[e_1^- - K_1(He_1^- + v_1)] \\ &= E[(1 - K_1H)e_1^- + K_1v_1] \\ &= (1 - K_1H)E[e_1^-] + K_1E[v_1] = 0 \end{aligned} \quad (4.38)$$

$$\begin{aligned}
P_1^+ &= E[(x_1 - \hat{x}_1^+)^2] = E[(e_1^+)^2] \\
&= E[\{(1 - K_1 H)e_1^- + K_1 v_1\}^2] \\
&= E[\{(1 - K_1 H)e_1^-\}^2 + \{2K_1(1 - K_1 H)e_1^- v_1\} + \{K_1 v_1\}^2] \\
&= (1 - K_1 H)^2 E[(e_1^-)^2] + K_1^2 E[(v_1)^2] \\
&= (1 - K_1 H)^2 P_1^- + K_1^2 R
\end{aligned} \tag{4.39}$$

คำถามต่อไปคือควรใช้ค่า Kalman Gain  $K_1$  เป็นเท่าไรจึงจะดีที่สุด สำหรับ Kalman Filter Algorithm ค่า  $K_1$  ที่ดีที่สุดในเชิงของความสำเร็จจะเป็น ค่าที่ทำให้ความคลาดเคลื่อนในการประมาณ  $\hat{x}_1^+$  มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งก็คือค่า  $K_1$  ที่ทำให้สมการที่ (4.40) เป็นจริง

$$\frac{dP_1^-}{dK_1} = 0 \tag{4.40}$$

เมื่อทำการหาอนุพันธ์ของสมการที่ (4.39) เทียบกับ  $K_1$  และให้มีค่าเป็นศูนย์ จะได้

$$\frac{dP_1^+}{dK_1} = -2(1 - K_1 H)P_1^- H + 2K_1 R = 0 \tag{4.41}$$

จากสมการที่ (4.41) สามารถหาค่า  $K_1$  ที่ดีที่สุดคือ

$$K_1 = P_1^- H (H^2 P_1^- + R)^{-1} \tag{4.42}$$

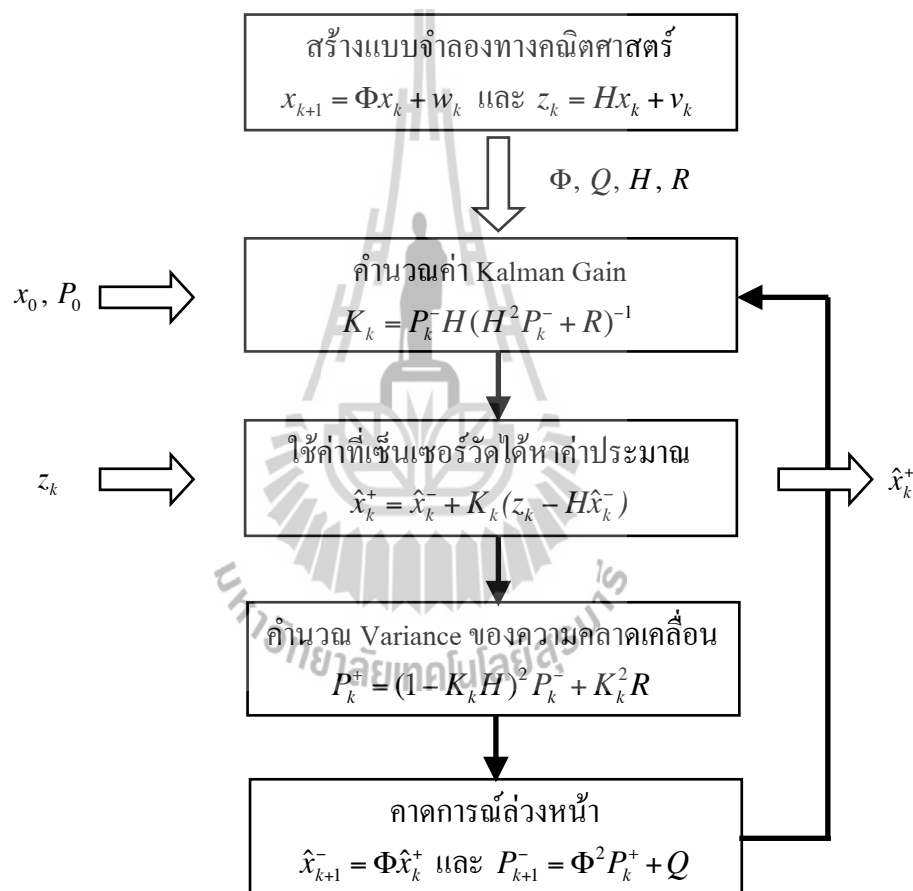
ในตัวอย่างข้างต้นถ้าให้  $H = 3$ ,  $R = 30000$  และ  $z_1 = 30$  สามารถคำนวณ  $K_1$ ,  $\hat{x}_1^+$  และ  $P_1^+$  จากสมการที่ (4.42), (4.36) และ (4.39) ได้คือ  $K_1 = 0.3048$ ,  $\hat{x}_1^+ = 15.99$  และ  $P_1^+ = 3048$  สิ่งที่น่าสนใจได้ชัดเจน คือ Variance ของความคลาดเคลื่อนลดลงจาก 35600 เป็น 3048 นั่นคือการนำค่าที่เซ็นเซอร์วัดได้มาประกอบการพิจารณาช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการหาค่าประมาณได้กว่า 10 เท่า หรืออีกนัยหนึ่งคือค่าประมาณ  $\hat{x}_1^+$  มีความแม่นยำมากกว่า  $\hat{x}_1^-$

ถ้าต้องการประมาณค่า  $x_2$  สามารถทำซ้ำขั้นตอนเดิมคือใช้สมการที่ (4.23) เพื่อคาดการณ์ล่วงหน้าว่า  $\hat{x}_2^-$  น่าจะมีค่าเป็นเท่าไร และคำนวณค่า Variance ของความคลาดเคลื่อน ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ความน่าเชื่อถือของการประมาณ เมื่อเซ็นเซอร์วัดค่า  $z_2$  ได้ จึงใช้สมการที่ (4.42) คำนวณค่า Kalman

Gain  $K_2$  เพื่อนำไปหาค่าประมาณ (Estimate)  $\hat{x}_2^+$  และ Variance ของความคลาดเคลื่อน  $P_2^+$  ด้วยสมการที่ (4.36) และ (4.39) ตามลำดับ

สังเกตได้ว่า Kalman Filter ทำงานในลักษณะเป็นวงจร (Recursive) ของการคาดการณ์-ประมาณ (Predict-Estimate) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับหาค่าประมาณด้วยวิธีอื่น ๆ ที่ต้องเก็บค่าไว้ส่วนหนึ่งในหน่วยความจำเพื่อประมวลผลพร้อมกันอย่างเช่นวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ขั้นเดียวแล้ว Kalman Filter มีข้อได้เปรียบในแง่ที่ไม่ต้องใช้หน่วยความจำมาก

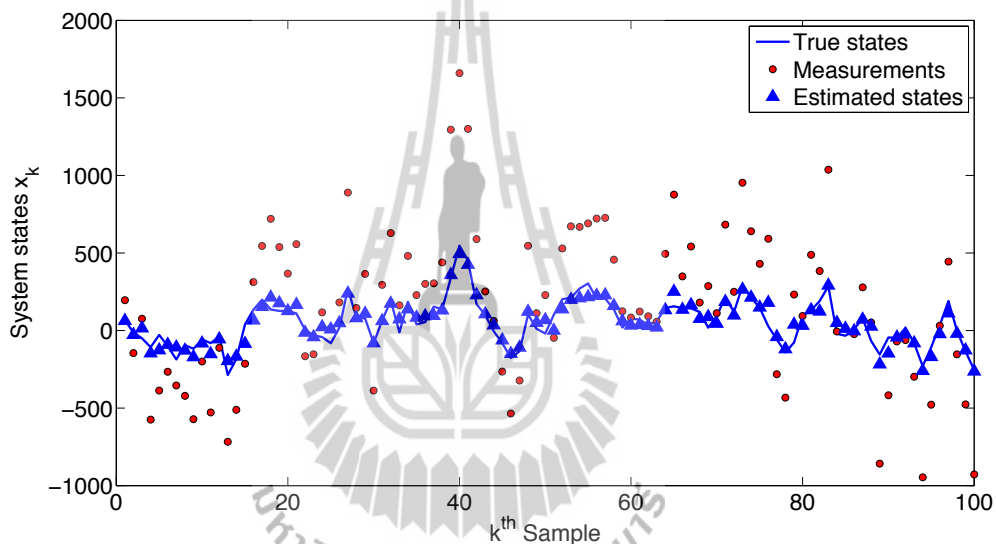
สามารถสรุปในภาพรวมเกี่ยวกับการประมาณค่า  $x_k$  ที่เวลา  $t_k$  ใด ๆ โดยใช้ Kalman Filter Algorithm ได้ว่ามีขั้นตอนตามแสดงในรูปที่ 4.2 ดังนี้



รูปที่ 4.2 ขั้นตอนของการประมวลผลด้วย Kalman Filter ที่เวลา  $t_k$  ใดๆ

- เขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบในรูปแบบของ Process Model  $x_{k+1} = \Phi x_k + w_k$  และ Measurement Model  $z_k = Hx_k + v_k$  บันทึกค่า  $\Phi, Q, H$  และ  $R$
- หาค่าประมาณเริ่มต้นที่ดีที่สุดของสถานะของระบบ  $\hat{x}_0$  และ Variance ของความคลาดเคลื่อน  $P_0$

3. คาดการณ์สถานะของระบบ  $\hat{x}_k^-$  ที่เวลา  $t_k$  ล่วงหน้าจาก  $\hat{x}_k^- = \Phi \hat{x}_{k-1}^+$  และคำนวณ Variance ของความคลาดเคลื่อนของการคาดการณืจาก  $P_k^- = \Phi^2 P_{k-1}^- + Q$
4. ณ เวลา  $t_k$  ที่เซ็นเซอร์วัดค่า  $z_k$  ได้ สามารถคำนวณค่า Kalman Gain  $K_k$  ได้จาก  $K_k = P_k^- H (H^2 P_k^- + R)^{-1}$  ใช้ค่า Kalman Gain  $K_k$  เพื่อแก้ไขค่าที่คาดการณืไว้ล่วงหน้าจาก  $\hat{x}_k^+ = \hat{x}_k^- + K_k [z_k - H \hat{x}_k^-]$  และคำนวณ Variance ของความคลาดเคลื่อนของการประมาณจาก  $P_k^+ = (1 - K_k H)^2 P_k^- + K_k^2 R$
5. คาดการณ์สถานะของระบบ  $\hat{x}_{k+1}^-$  ณ เวลา  $t_{k+1}$  ล่วงหน้าจาก  $\hat{x}_{k+1}^- = \Phi \hat{x}_k^+$  และคำนวณ Variance ของความคลาดเคลื่อนของการคาดการณืจาก  $P_{k+1}^- = \Phi^2 P_k^+ + Q$
6. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4 และ 5 ที่เวลา  $t_{k+1}, t_{k+2}, \dots$  ไปเรื่อยๆ



รูปที่ 4.3 ผลการจำลองการทำงานของ Kalman Filter Algorithm

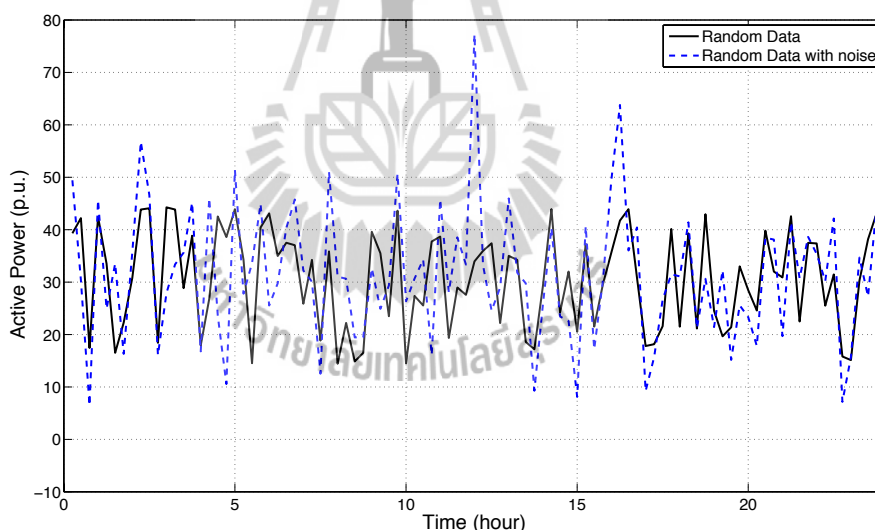
รูปที่ 4.3 แสดงผลการจำลองการทำงานของ Kalman Filter (MATLAB Source Code ได้แสดงในภาคผนวก ข) เห็นได้ว่า Kalman Filter สามารถประมาณสถานะของระบบได้เป็นอย่างดี สังเกตจากค่าประมาณ (Estimated states)  $\hat{x}_k$  มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริง (True states)  $x_k$  แม้ว่าค่าที่วัดได้ด้วยเซ็นเซอร์ (Measurements)  $z_k$  ได้ถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวน (Noise) ที่เป็นเช่นนี้ เพราะ Kalman Filter ใช้ความรู้เกี่ยวกับ Dynamics ของระบบ (Process Model) และอุปกรณ์การวัด (Measurement Model) ประกอบกับคุณลักษณะทางสถิติของระบบและเซ็นเซอร์ ( $Q, R$ ) ประมาณผลประกอบกันบนหลักการของความน่าจะเป็นเพื่อหาค่าประมาณที่ดีที่สุดของสถานะของระบบ

#### 4.4 ผลการทดสอบ

การทดสอบตัวกรองคาลมาน แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 การหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตัวกรองคาลมาน และส่วนที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างตัวกรองคาลมานและตัวกรองอย่างง่ายคือตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว โดยทั้งสองส่วนใช้ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ณ สถานีไฟฟ้าย่อยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ของวันที่ 3 ตุลาคม พ.ศ. 2556 และข้อมูลการใช้ไฟฟ้านี้แสดงอย่างละเอียดในภาคผนวก ก

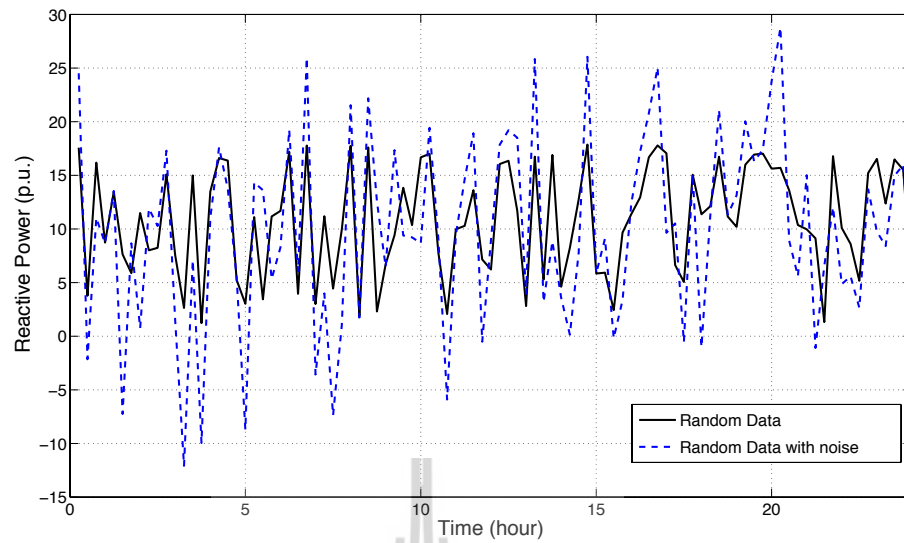
##### 4.4.1 ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว

การคำนวณหาจำนวนเทอมของตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวนั้นสามารถทำได้โดย เริ่มต้นด้วยการจำลองสัญญาณสุ่มและเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป ดังนั้นเพื่อจำลองสัญญาณสุ่มให้คล้ายค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดจึงได้กำหนดค่าต่ำสุดและสูงสุดของสัญญาณสุ่มเหมือนค่ากำลังไฟฟ้าเอกทีฟที่วัดได้ นั่นคือ 1,340 MW และ 4,520 MW ตามลำดับ และเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้ากับสัญญาณสุ่มนี้ โดยมีค่ากำลังไฟฟ้าอ้างอิงคือ 100 MVA ดังแสดงในรูปที่ 4.4



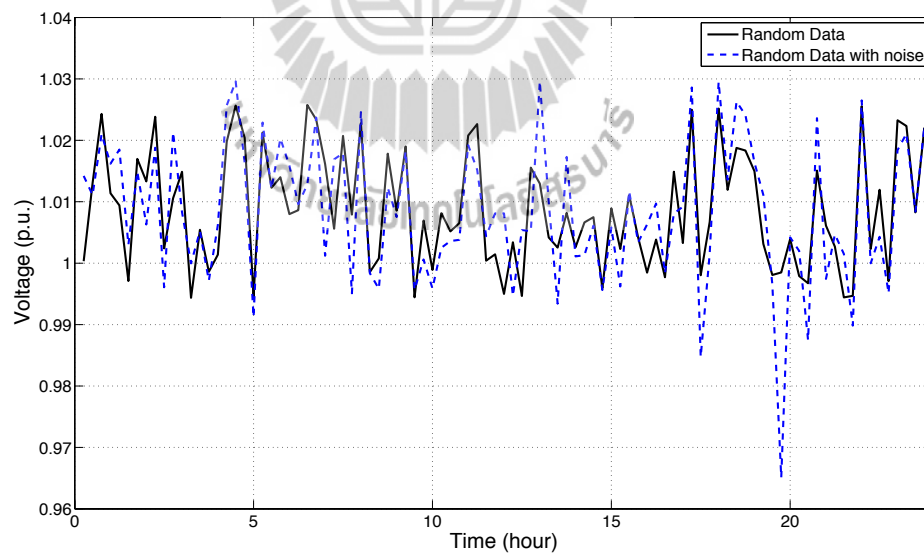
รูปที่ 4.4 สัญญาณสุ่มและสัญญาณสุ่มเมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปสำหรับกำลังไฟฟ้าเอกทีฟ

ค่ากำลังไฟฟ้รีเอกทีฟที่เช่นเดียวกันคือ กำหนดค่าต่ำสุดและสูงสุดของสัญญาณสุ่มเหมือนค่าที่วัดได้ นั่นคือ 60 MVar และ 1,820 MVar ตามลำดับ และเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้ากับสัญญาณสุ่มนี้ โดยมีค่ากำลังไฟฟ้าอ้างอิงคือ 100 MVA ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 สัญญาณสุ่มและสัญญาณสุ่มเมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปสำหรับกำลังไฟรีแอกทีฟ

ค่าแรงดันไฟฟ้าก็เช่นเดียวกันคือ กำหนดสัญญาณสุ่มต่ำสุดและสูงสุดเหมือนค่าที่วัดได้ นั่นคือ 114.344 kV และ 117.969 kV ตามลำดับ และเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปกับสัญญาณสุ่มนี้ โดยมีค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงคือ 115 kV ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 สัญญาณสุ่มและสัญญาณสุ่มเมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปสำหรับแรงดันไฟฟ้า

ในขั้นตอนแรกของขั้นตอนการใช้ตัวกรองแบบเส้นเฉลี่ยเคลื่อนที่จากสมการที่ (4.18) คือการกำหนดจำนวนเทอมของค่าเฉลี่ย โดยการหาจำนวนเทอมของค่าเฉลี่ยนั้นเริ่มต้นตัวเลขที่ใช้ตั้งแต่ 1 ถึง 20 และใช้ตัวกรองกับสัญญาณสุ่มที่เพิ่มสัญญาณรบกวนเปรียบเทียบกับสัญญาณสุ่มที่ไม่มีสัญญาณรบกวนเพื่อหาค่าความผิดพลาด ซึ่งขั้นตอนการหาจำนวนเทอมค่าเฉลี่ยดังกล่าวได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 4.2

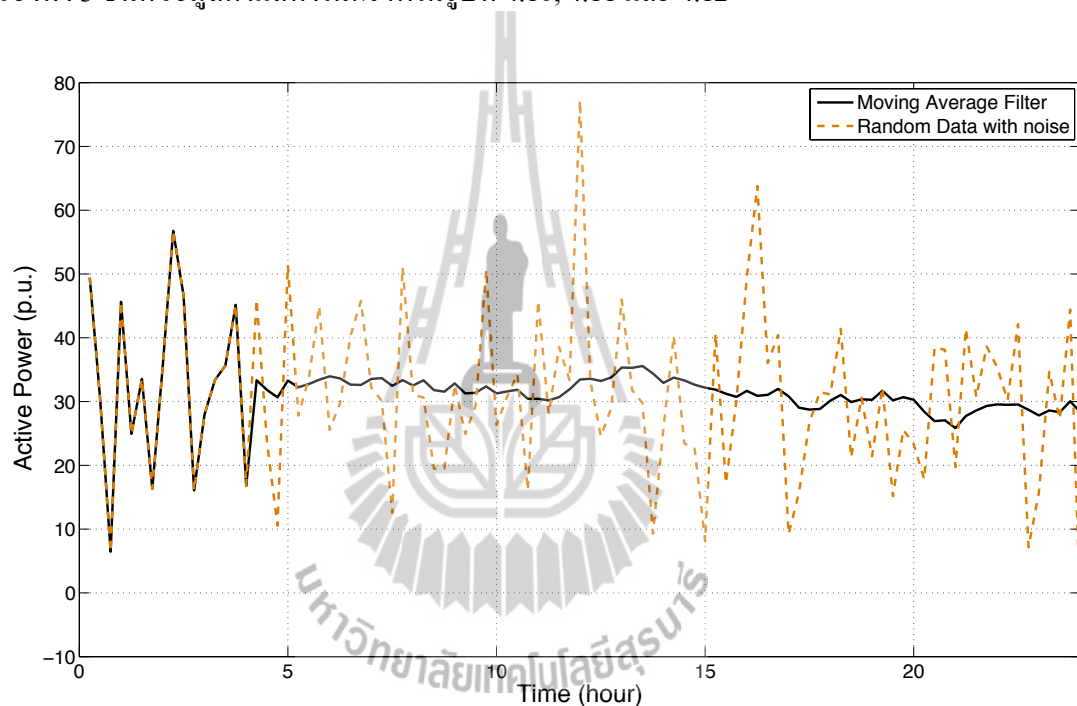
ตารางที่ 4.2 ผลจากการหาตัวเลขค่าเฉลี่ยของตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว

จำนวนเทอม	Active Power Sum-Square Error	Reactive Power Sum-Square Error	Voltage Sum-Square Error
1	1.1143E+04	3.4798E+03	4.9853E-03
2	9.3195E+03	3.4989E+03	<b>6.3616E-03</b>
3	9.6388E+03	3.1718E+03	6.8258E-03
4	9.3269E+03	3.2839E+03	7.0384E-03
5	8.8345E+03	3.0838E+03	7.4158E-03
6	8.7247E+03	2.9162E+03	7.1014E-03
7	9.0223E+03	3.0577E+03	7.4817E-03
8	9.6196E+03	<b>2.7849E+03</b>	7.0948E-03
9	9.2456E+03	2.9215E+03	7.1743E-03
10	9.0644E+03	2.9411E+03	7.1792E-03
11	8.8344E+03	3.0330E+03	7.1862E-03
12	8.4457E+03	3.0497E+03	7.6556E-03
13	8.5739E+03	3.1480E+03	7.7391E-03
14	8.5881E+03	3.1238E+03	7.7667E-03
15	8.5308E+03	3.0208E+03	7.7153E-03
16	8.5693E+03	3.0755E+03	7.6214E-03
17	<b>8.3174E+03</b>	3.0213E+03	7.5381E-03
18	8.5212E+03	2.9468E+03	7.5083E-03
19	8.7029E+03	2.8401E+03	7.2839E-03
20	9.3395E+03	2.9377E+03	7.0693E-03

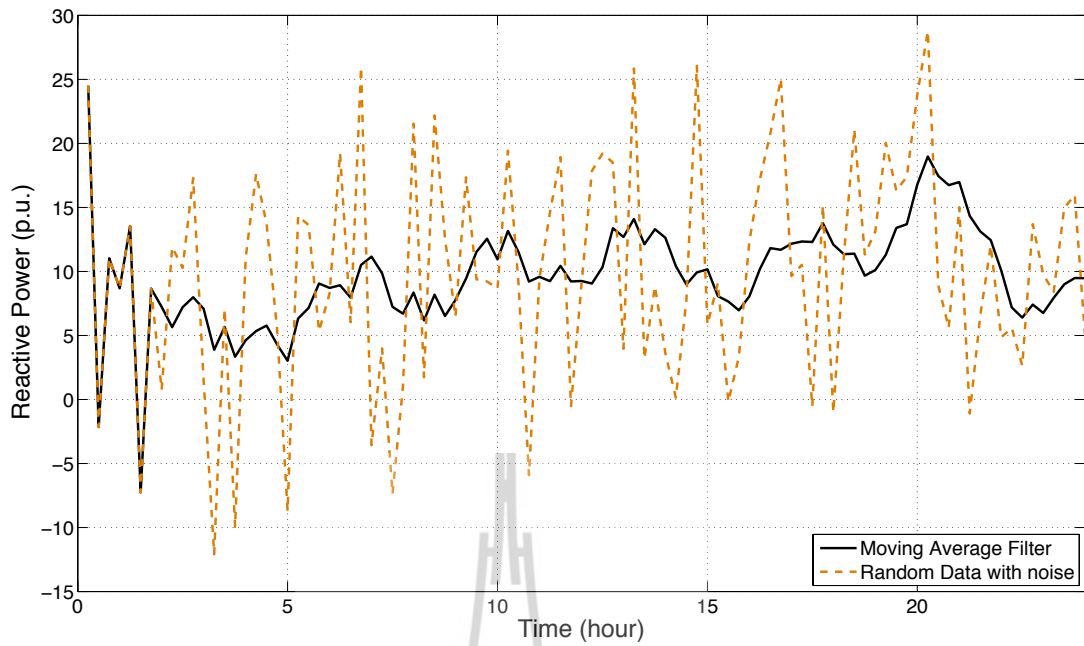


จากผลในตารางที่ 4.2 ได้จำนวนเทอมของค่าเฉลี่ยได้แก่ จำนวนเทอมของค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ คือ 17, จำนวนเทอมของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟคือ 8 และจำนวนเทอมของแรงดันไฟฟ้าคือ 2 (แม้จำนวนเทอมเท่ากับ 1 จะให้ค่าความผิดพลาดที่น้อยกว่า แต่ที่จำนวนเทอมเท่ากับ 1 หมายความว่าไม่มีการใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว จึงเลือกใช้ตั้งแต่จำนวนเทอมเท่ากับ 2 ขึ้นไป) โดยจำนวนเทอมเหล่านี้ใช้เป็นจำนวนเทอมค่าเฉลี่ยของตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวที่ใช้กับการทดสอบนี้

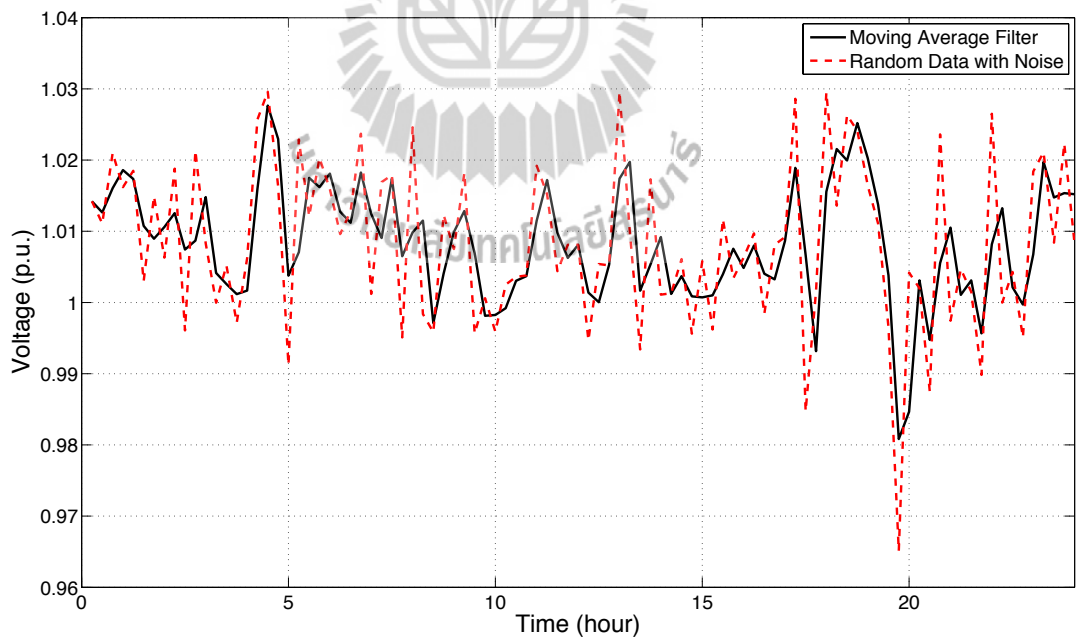
และเมื่อทำการใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวกับสัญญาณสุ่มที่เพิ่มสัญญาณรบกวนดังรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 แล้วเมื่อนำตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวกับข้อมูลการวัดจริงของทั้ง 3 ชนิดข้อมูลดังแสดงในกราฟในรูปที่ 4.10, 4.11 และ 4.12



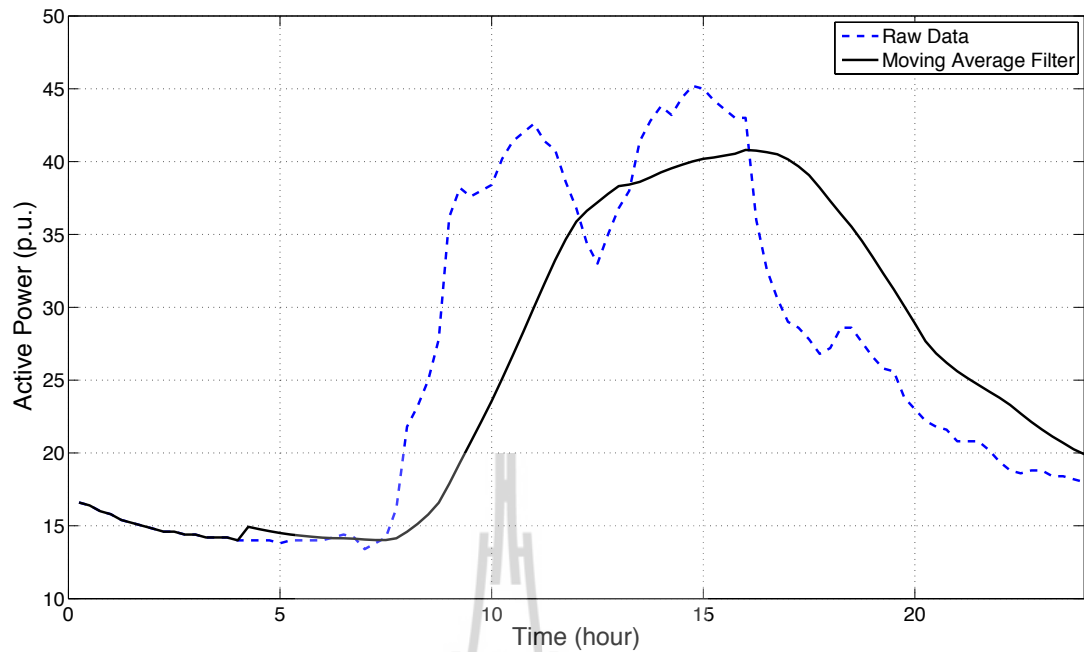
รูปที่ 4.7 เปรียบการใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวกับสัญญาณสุ่มที่เพิ่มสัญญาณรบกวนของค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ



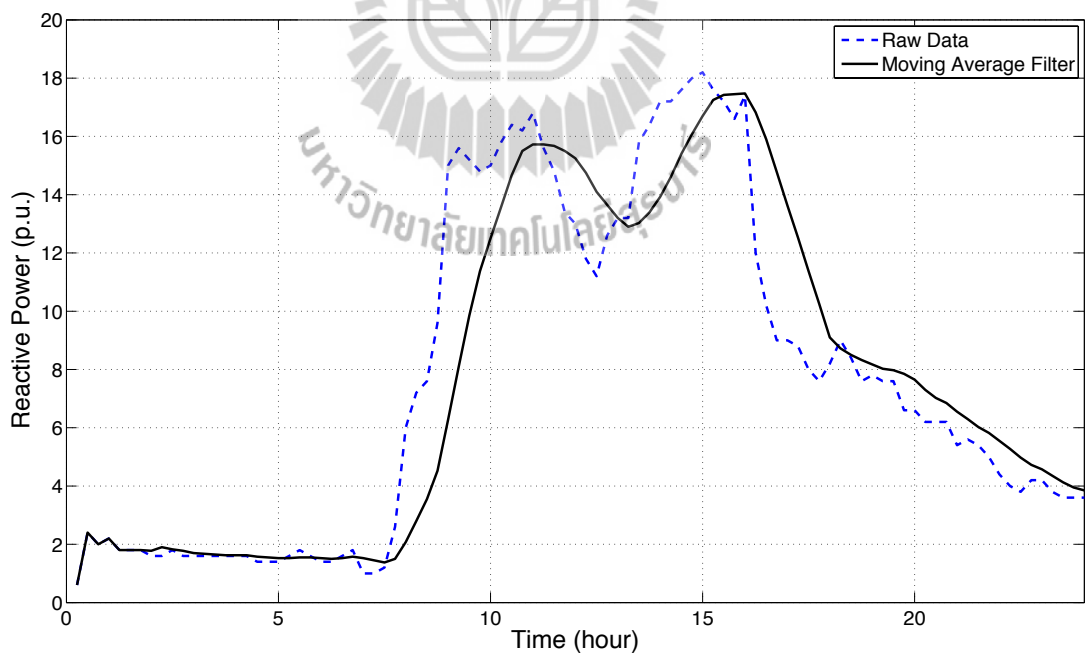
รูปที่ 4.8 เปรียบการใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวกับสัญญาณสุ่มที่เพิ่มสัญญาณรบกวนของค่ากำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ



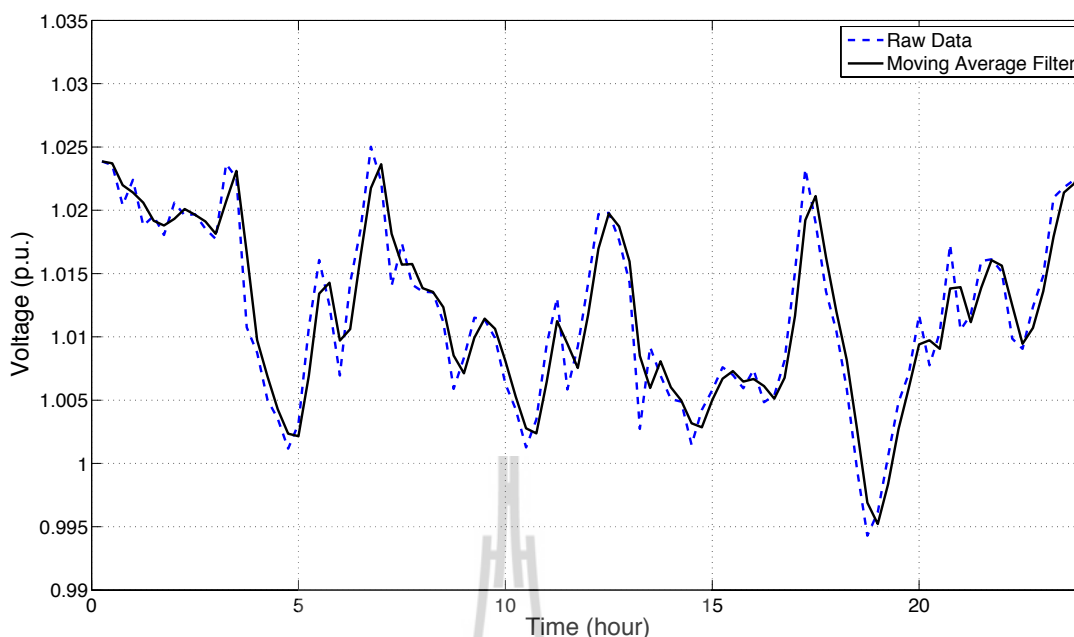
รูปที่ 4.9 เปรียบการใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวกับสัญญาณสุ่มที่เพิ่มสัญญาณรบกวนของค่าแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลดิบของค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟกับข้อมูลเมื่อผ่านตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลดิบของค่ากำลังไฟฟารีแอกทีฟกับข้อมูลเมื่อผ่านตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว

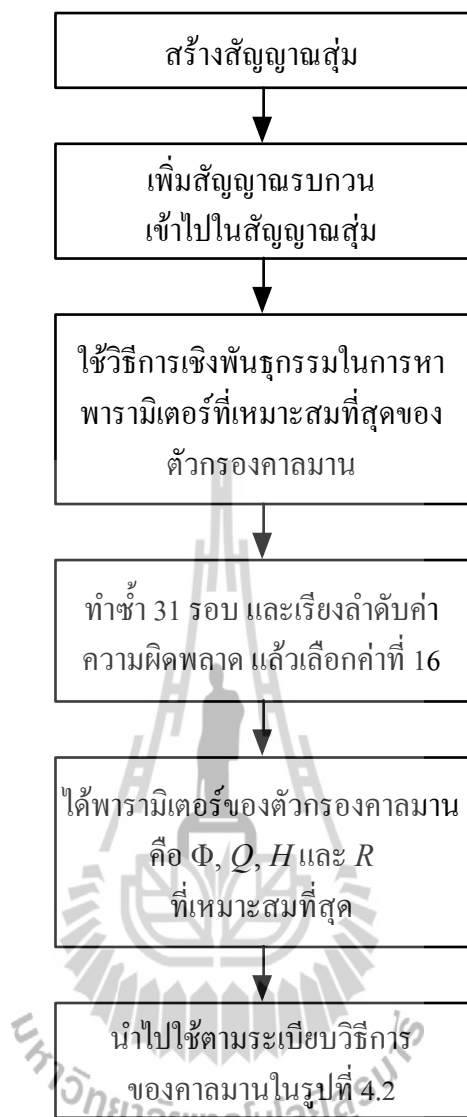


รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลดิบของค่าแรงดันไฟฟ้ากับข้อมูลเมื่อผ่านตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ขั้นเดียว

โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการลดผลกระทบเนื่องจากสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ขั้นเดี่ยวนี้อย่างไรก็ตาม ผลกระทบของสัญญาณรบกวนได้ไม่มาก และยังไม่เหมาะกับข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงรวดเร็วและเปลี่ยนแปลงอยู่ในกรอบแคบ ๆ อย่างค่าแรงดันไฟฟ้า ที่ต้องใช้จำนวนเทอมของตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ขั้นเดียวน้อย ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่มีความต่อเนื่องของข้อมูล ข้อมูลเปลี่ยนแปลงไม่รวดเร็ว และมีช่วงการเปลี่ยนแปลงที่กว้าง ทำให้ใช้จำนวนเทอมของตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่มาก แต่ก็ทำให้ลักษณะของข้อมูลเปลี่ยนไปมากเช่นกัน

#### 4.4.2 การหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตัวกรองคาลมาน

สำหรับส่วนนี้เป็นการหาพารามิเตอร์ของตัวกรองคาลมาน นั่นคือ  $\Phi$ ,  $Q$ ,  $H$  และ  $R$  ตามขั้นตอนของคาลมานในรูปที่ 4.2 และเนื่องจากไม่สามารถกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากเครื่องวัดหรือจากสมการความสัมพันธ์ได้ จึงใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่มีอยู่ในโปรแกรม MATLAB ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนเป็นแผนภาพ ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แผนภาพขั้นตอนการหาพารามิเตอร์ของตัวกรองคาลมาน

ซึ่งพารามิเตอร์ของตัวกรองคาลมานก็แตกต่างกันไปตามค่าที่ทำการวัดนั้น ๆ ได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟและค่าแรงดันไฟฟ้า ดังนั้นจึงแบ่งทำการคำนวณหาพารามิเตอร์เป็น 3 ส่วนด้วยกัน ดังนี้

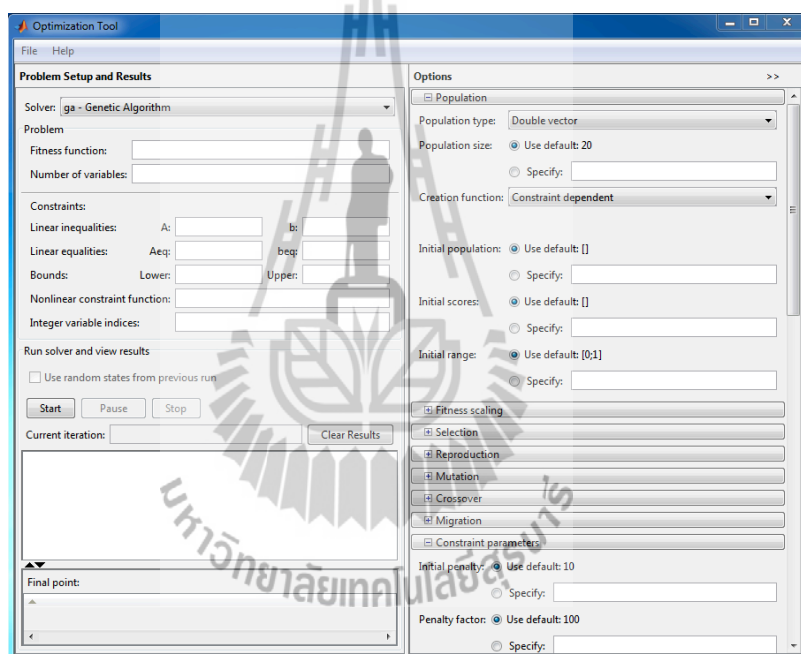
#### 1). การคำนวณหาพารามิเตอร์ตัวกรองคาลมานของกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ

การคำนวณหาพารามิเตอร์ของตัวกรองคาลมานจะกระทำคล้ายกับการหาจำนวนเทอมของตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวในหัวข้อ 4.4.1 ซึ่งสามารถทำได้โดย เริ่มต้นด้วยการจำลองสัญญาคลุมและเพิ่มสัญญาครอบวนเข้าไป เพื่อให้ตัวกรองคาลมานลดผลกระทบจากสัญญาครอบวนนี้ให้ได้มากที่สุด โดยใช้สัญญาคลุมที่เพิ่มสัญญาครอบวนเดียวกันกับตัวกรองค่า

เฉลี่ยเคลื่อนที่ขั้นเดียว ตามรูปในรูปที่ 4.4 แล้วนำสัญญาณสุ่มที่เพิ่มสัญญาณรบกวนนี้ไปประกอบ การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวกรองคาลมานด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งได้มีผู้พัฒนา GA Toolbox ขึ้นมาเพื่อใช้กับโปรแกรม MATLAB ซึ่งชุดซอฟต์แวร์ MATLAB เวอร์ชัน 7.0 ขึ้นไปได้มีการพัฒนากล่องเครื่องมือ (Toolbox) ของวิธีเชิงพันธุกรรม อยู่ในชื่อ Genetic Algorithm and Direct Search ซึ่งเป็นส่วนขยายมาจาก Optimization Toolbox โดย Genetic Algorithm Tool สามารถเปิดใช้งานด้วยการเรียกคำสั่งต่อไปนี้จากตัวพร้อมรับคำสั่งในหน้าต่าง MATLAB

```
>> gatool
```

คำสั่งนี้เป็นคำสั่งที่ทำการเปิดหน้าต่าง Genetic Algorithm Tool ขึ้นมา ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 หน้าต่าง GUI ของ Genetic Algorithm Tool

ซึ่งพารามิเตอร์ของวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในส่วนนี้มีดังนี้

Fitness function: @ตามสมการที่ (4.43)

Number of variables: 4

Initial range: [0 0 0; 1 1 1 1]

Generations: 1500

Stall Generations: 1500

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & \sum_{i=1}^n (|P_{random,i} - P_{kalman,i}|^2) \\ \text{subject to} \quad & 0 \leq \Phi \leq 1 \\ & 0 \leq Q \leq 1 \\ & 0 \leq H \leq 1 \\ & 0 \leq R \leq 1 \end{aligned} \quad (4.43)$$

พารามิเตอร์ของวิธีเชิงพันธุกรรมอย่าง Fitness function ใช้สำหรับระบุฟังก์ชันค่าความเหมาะสมในรูปแบบ M ไฟล์ ซึ่งในที่นี้เป็นฟังก์ชันเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณสุ่มและสัญญาณหลังผ่านตัวกรองคาลมาน ดังสมการที่ (4.43), ช่อง Number of variables ใช้สำหรับระบุจำนวนตัวแปรในฟังก์ชันที่ต้องการ นั่นก็คือพารามิเตอร์ของตัวกรองคาลมาน คือ  $\Phi$ ,  $Q$ ,  $H$  และ  $R$  ทั้งหมด 4 ตัวแปร, ช่อง Initial range เป็นการระบุพิสัยของแต่ละตัวแปร ในกรณีนี้คือ  $0 \leq \Phi \leq 1$ ,  $0 \leq Q \leq 1$ ,  $0 \leq H \leq 1$  และ  $0 \leq R \leq 1$  ส่วนช่อง Generations คือจำนวนรุ่นหรือจำนวนรอบที่ทำการวนรอบและ Stall Generations คือจำนวนรุ่นมากที่สุดเพื่อหยุดการคำนวณ โดยพารามิเตอร์ของวิธีเชิงพันธุกรรม นี้ได้ทำการปรับแต่งให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งไม่ขอกกล่าวในรายละเอียด

จากการหาค่าความเหมาะสมที่สุดด้วยระเบียบวิธีเชิงพันธุกรรมนี้มีความไม่แน่นอนของผลลัพธ์อยู่ ดังนั้นจึงใช้วิธีทางสถิติสำหรับการประมาณค่าของพารามิเตอร์นี้ ต้องทำซ้ำเพื่อได้ค่าที่เที่ยงตรงมากที่สุด และเลือกใช้กลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่เพื่อให้มีการแจกแจงเป็นปกติ ( $n \geq 30$ ) จึงได้ทำซ้ำทั้งสิ้น 31 รอบ โดยมีผลลัพธ์ที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์ของพารามิเตอร์ตัวกรองคาลมานของค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ

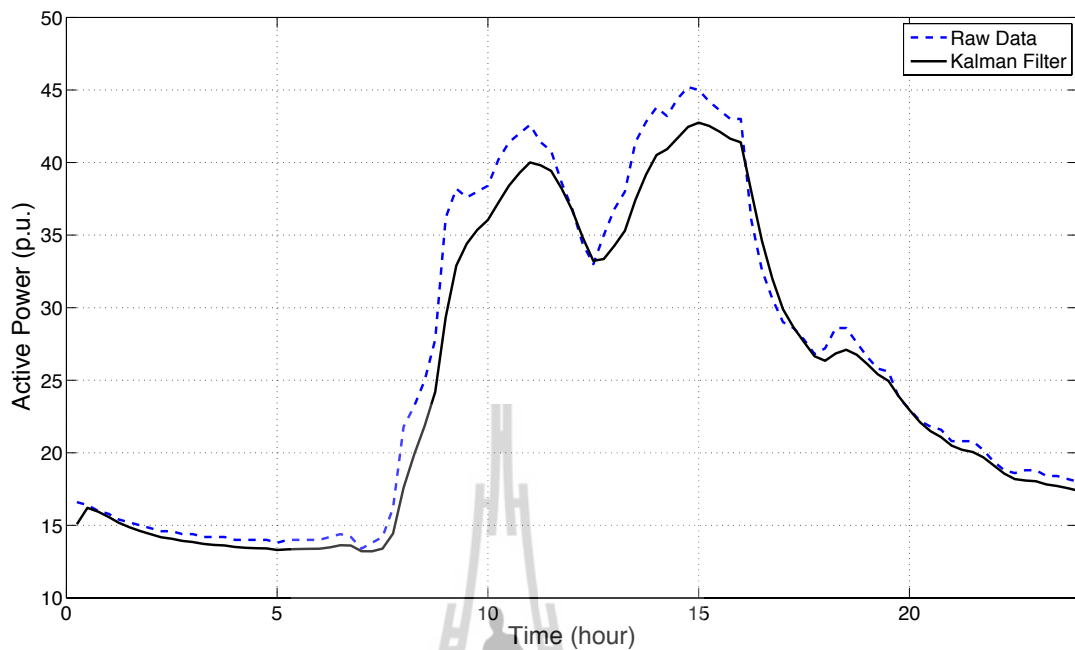
ลำดับที่	$\Phi$	$Q$	$H$	$R$	Error	SD
1	0.5577	0.1769	0.2395	0.1067	6.6761E+03	8.3675
2	0.5663	0.1709	0.2169	0.0992	6.6796E+03	8.3766
3	0.6145	0.1900	0.4314	0.1866	6.6818E+03	8.3651
4	0.5841	0.2063	0.3594	0.1698	6.6829E+03	8.3703
5	0.6734	0.1785	0.5447	0.2230	6.6839E+03	8.3749
6	0.5360	0.2186	0.1878	0.1020	6.6847E+03	8.3779
7	0.6555	0.1726	0.5398	0.2011	6.6871E+03	8.3672
8	0.5594	0.2209	0.2919	0.1501	6.6881E+03	8.3751
9	0.6939	0.1866	0.5971	0.2481	6.6890E+03	8.3734

ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์ของพารามิเตอร์ตัวกรองคาถมานของค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ (ต่อ)

ลำดับที่	$\Phi$	$Q$	$H$	$R$	Error	SD
10	0.7239	0.1675	0.6393	0.2467	6.6893E+03	8.3784
11	0.6805	0.1905	0.5967	0.2363	6.6905E+03	8.3746
12	0.7110	0.1829	0.6182	0.2567	6.6909E+03	8.3818
13	0.7518	0.1657	0.7029	0.2553	6.6924E+03	8.3794
14	0.7470	0.1396	0.6800	0.2203	6.6933E+03	8.3815
15	0.7850	0.1487	0.7556	0.2467	6.6951E+03	8.3840
<b>16</b>	<b>0.7534</b>	<b>0.1295</b>	<b>0.6938</b>	<b>0.2071</b>	<b>6.6974E+03</b>	<b>8.3836</b>
17	0.8002	0.1426	0.7713	0.2525	6.6983E+03	8.3850
18	0.7958	0.1397	0.7930	0.2265	6.6986E+03	8.3743
19	0.8175	0.1217	0.8025	0.2200	6.7002E+03	8.3870
20	0.8114	0.1238	0.7876	0.2259	6.7004E+03	8.3874
21	0.8175	0.1254	0.8163	0.2108	6.7004E+03	8.3891
22	0.8373	0.1335	0.8458	0.2344	6.7007E+03	8.3837
23	0.8206	0.1262	0.8294	0.2094	6.7008E+03	8.3827
24	0.8323	0.1174	0.8417	0.2028	6.7017E+03	8.3838
25	0.8470	0.1316	0.8573	0.2377	6.7019E+03	8.3843
26	0.8361	0.1440	0.8380	0.2593	6.7024E+03	8.3858
27	0.8341	0.1349	0.8528	0.2182	6.7044E+03	8.3886
28	0.8938	0.1171	0.9198	0.2224	6.7075E+03	8.3906
29	0.8914	0.1038	0.9167	0.2041	6.7076E+03	8.3859
30	0.8269	0.1716	0.8237	0.3009	6.7095E+03	8.3927
31	0.9387	0.0902	0.9773	0.1787	6.7122E+03	8.3902

จากผลลัพธ์ที่ได้ทั้ง 31 รอบนี้มีการแจกแจงเป็นปกติ จึงได้เลือกค่าพารามิเตอร์ที่ตำแหน่งมัธยฐานนั่นคือพารามิเตอร์ลำดับที่ 16 โดยแต่ละพารามิเตอร์มีค่าดังนี้คือ  $\Phi = 0.75338$ ,  $Q = 0.12948$ ,  $H = 0.69378$  และ  $R = 0.20706$  โดยมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ  $6.69738 \times 10^3$  และเมื่อนำพารามิเตอร์ชุดนี้ใช้กับข้อมูลดิบของค่ากำลังไฟฟ้ากำลังแอกทีฟ ดังแสดงกราฟในรูปที่ 4.15





รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลดิบของค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟกับข้อมูลเมื่อผ่านตัวกรองคาลมาน

## 2). การคำนวณหาพารามิเตอร์ตัวกรองคาลมานของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

ขั้นตอนการหาพารามิเตอร์ตัวกรองคาลมานของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ มีขั้นตอนเช่นเดียวกับในส่วนของกำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่ได้กล่าวไว้ในส่วนที่แล้ว แต่มีความแตกต่างในส่วนรายละเอียดหลาย ๆ อย่าง ดังแสดงดังนี้

เริ่มจากการจำลองสัญญาณสุ่มให้คล้ายค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดจึงได้กำหนดสัญญาณสุ่มต่ำสุดและสูงสุดเหมือนค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่วัดได้ โดยใช้สัญญาณสุ่มที่เพิ่มสัญญาณรบกวนเดียวกันกับตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ขึ้นเดียวในหัวข้อ 4.4.1 ตามรูปในรูปที่ 4.5 แล้วนำสัญญาณสุ่มที่เพิ่มสัญญาณรบกวนนี้ไปประกอบการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวกรองคาลมานด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและกำหนดพารามิเตอร์ของวิธีเชิงพันธุกรรม ที่ใช้ในส่วนนี้มีดังนี้

Fitness function: @ตามสมการที่ (4.44)

Number of variables: 4

Initial range: [0 0 0 0; 1 1 1 1]

Generations: 1500

Stall Generations: 1500

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & \sum_{i=1}^n (|Q_{\text{random},i} - Q_{\text{kalman},i}|^2) \\ \text{subject to} \quad & 0 \leq \Phi \leq 1 \\ & 0 \leq Q \leq 1 \\ & 0 \leq H \leq 1 \\ & 0 \leq R \leq 1 \end{aligned} \quad (4.44)$$

จากการหาค่าความเหมาะสมที่สุดด้วยระเบียบวิธีเชิงพันธุกรรมนี้ได้ทำซ้ำทั้งสิ้น 31 รอบ โดยมีผลลัพธ์ที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.4

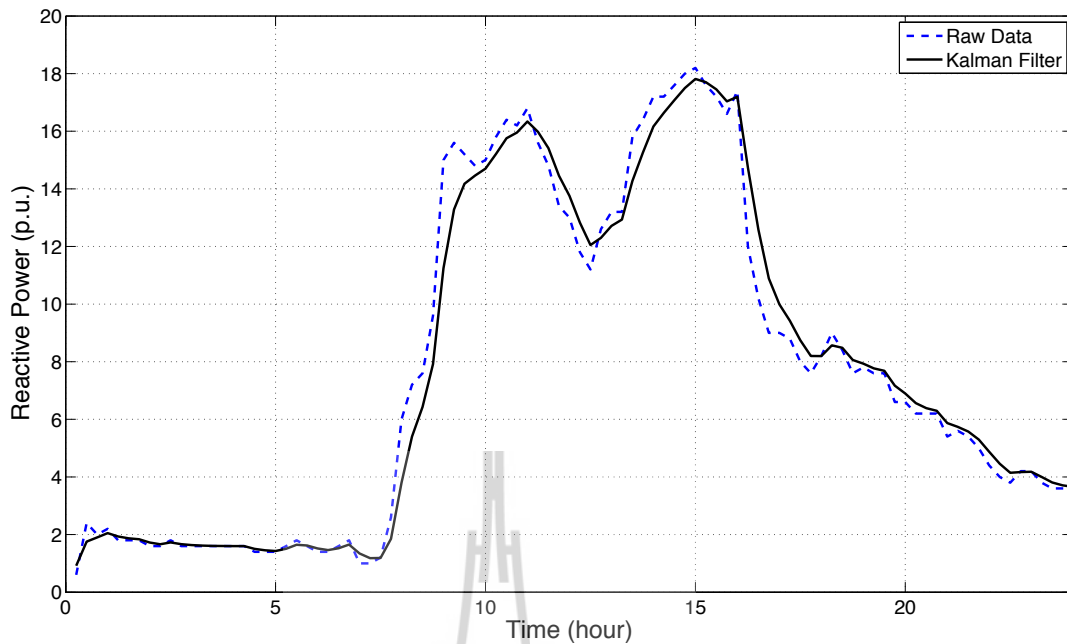
ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์ของพารามิเตอร์ตัวกรองคาลมานของค่ากำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ

ลำดับที่	$\Phi$	$Q$	$H$	$R$	Error	SD
1	0.6584	0.2338	0.3201	0.2364	2.0665E+03	4.5794
2	0.6324	0.2510	0.2778	0.2112	2.0667E+03	4.5693
3	0.6937	0.2306	0.4181	0.2996	2.0669E+03	4.5815
4	0.6832	0.2403	0.3960	0.2932	2.0669E+03	4.5798
5	0.6602	0.2355	0.3601	0.2512	2.0669E+03	4.5763
6	0.7067	0.2154	0.4379	0.3014	2.0672E+03	4.5844
7	0.7207	0.2245	0.4860	0.3376	2.0672E+03	4.5806
8	0.6896	0.2516	0.4317	0.3224	2.0673E+03	4.5732
9	0.6749	0.2095	0.3547	0.2385	2.0674E+03	4.5859
10	0.6777	0.2601	0.4119	0.3113	2.0674E+03	4.5748
11	0.6725	0.2326	0.3881	0.2655	2.0676E+03	4.5899
12	0.6121	0.2707	0.2108	0.1737	2.0678E+03	4.5873
13	0.7886	0.2163	0.6516	0.4128	2.0679E+03	4.5798
14	0.6322	0.2841	0.3193	0.2553	2.0684E+03	4.5668
15	0.8182	0.1975	0.7052	0.4141	2.0684E+03	4.5830
<b>16</b>	<b>0.5864</b>	<b>0.2741</b>	<b>0.2096</b>	<b>0.1594</b>	<b>2.0684E+03</b>	<b>4.5685</b>
17	0.8126	0.2148	0.6896	0.4479	2.0684E+03	4.5833

ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์ของพารามิเตอร์ตัวกรองคาถมานของค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (ต่อ)

ลำดับที่	$\Phi$	$Q$	$H$	$R$	Error	SD
18	0.8316	0.2101	0.7392	0.4447	2.0685E+03	4.5780
19	0.8161	0.2256	0.7271	0.4412	2.0686E+03	4.5703
20	0.8496	0.2047	0.7698	0.4554	2.0687E+03	4.5780
21	0.8362	0.2252	0.7448	0.4819	2.0689E+03	4.5808
22	0.8389	0.1907	0.7510	0.4098	2.0689E+03	4.5836
23	0.8408	0.2297	0.7650	0.4803	2.0690E+03	4.5738
24	0.8240	0.2303	0.7215	0.4851	2.0690E+03	4.5765
25	0.8434	0.2267	0.7753	0.4674	2.0690E+03	4.5715
26	0.8443	0.2244	0.7571	0.4901	2.0691E+03	4.5840
27	0.8764	0.1973	0.8258	0.4418	2.0692E+03	4.5743
28	0.8671	0.1854	0.7959	0.4260	2.0692E+03	4.5885
29	0.8884	0.1908	0.8295	0.4700	2.0693E+03	4.5837
30	0.8670	0.1952	0.8094	0.4178	2.0698E+03	4.5854
31	0.9797	0.1706	0.9719	0.4607	2.0705E+03	4.5761

จากผลลัพธ์ที่ได้ทั้ง 31 รอบนี้มีการแจกแจงเป็นปกติ จึงได้เลือกค่าพารามิเตอร์ที่ตำแหน่งมัธยฐานนั่นคือพารามิเตอร์ลำดับที่ 16 โดยแต่ละพารามิเตอร์มีค่าดังนี้คือ  $\Phi = 0.58636$ ,  $Q = 0.27406$ ,  $H = 0.20961$  และ  $R = 0.15939$  โดยมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ  $2.06842 \times 10^3$  และเมื่อนำพารามิเตอร์ชุดนี้ใช้กับข้อมูลดิบของค่ากำลังไฟฟ้ากำลังรีแอกทีฟ ดังแสดงกราฟในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลดิบของค่ากำลังไฟฟ้่ารีแอกทีฟกับข้อมูลเมื่อผ่านตัวกรองคาลมาน

### 3). การคำนวณหาพารามิเตอร์ตัวกรองคาลมานของแรงดันไฟฟ้า

ขั้นตอนการหาพารามิเตอร์ตัวกรองคาลมานของแรงดันไฟฟ้า ก็มีขั้นตอนเช่นเดียวกับในส่วนของกำลังไฟฟ้่ารีแอกทีฟและกำลังไฟฟ้่ารีแอกทีฟที่ได้กล่าวไว้ในส่วนที่แล้ว แต่มีความแตกต่างในส่วนรายละเอียดหลาย ๆ อย่าง ดังแสดงดังนี้

เริ่มจากการจำลองสัญญาณสุ่มให้คล้ายค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดจึงได้กำหนดสัญญาณสุ่มต่ำสุดและสูงสุดเหมือนค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ โดยใช้สัญญาณสุ่มที่เพิ่มสัญญาณรบกวนเดียวกันกับตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ขึ้นเดียวในหัวข้อ 4.4.1 ตามรูปในรูปที่ 4.6 แล้วนำสัญญาณสุ่มที่เพิ่มสัญญาณรบกวนนี้ไปประกอบการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวกรองคาลมานด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและกำหนดพารามิเตอร์ของวิธีเชิงพันธุกรรม ที่ใช้ในส่วนนี้มีดังนี้

Fitness function: @ตามสมการที่ (4.45)

Number of variables: 4

Initial range: [0 0 0 0; 1 10 1 10]

Generations: 1500

Stall Generations: 1500

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & \sum_{i=1}^n (|V_{random,i} - V_{kalman,i}|^2) \\ \text{subject to} \quad & 0 \leq \Phi \leq 1 \\ & 0 \leq Q \leq 10 \\ & 0 \leq H \leq 1 \\ & 0 \leq R \leq 10 \end{aligned} \quad (4.45)$$

จากการหาค่าความเหมาะสมที่สุดด้วยระเบียบวิธีเชิงพันธุกรรมนี้ได้ทำซ้ำทั้งสิ้น 31 รอบ โดยมีผลลัพธ์ที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.5

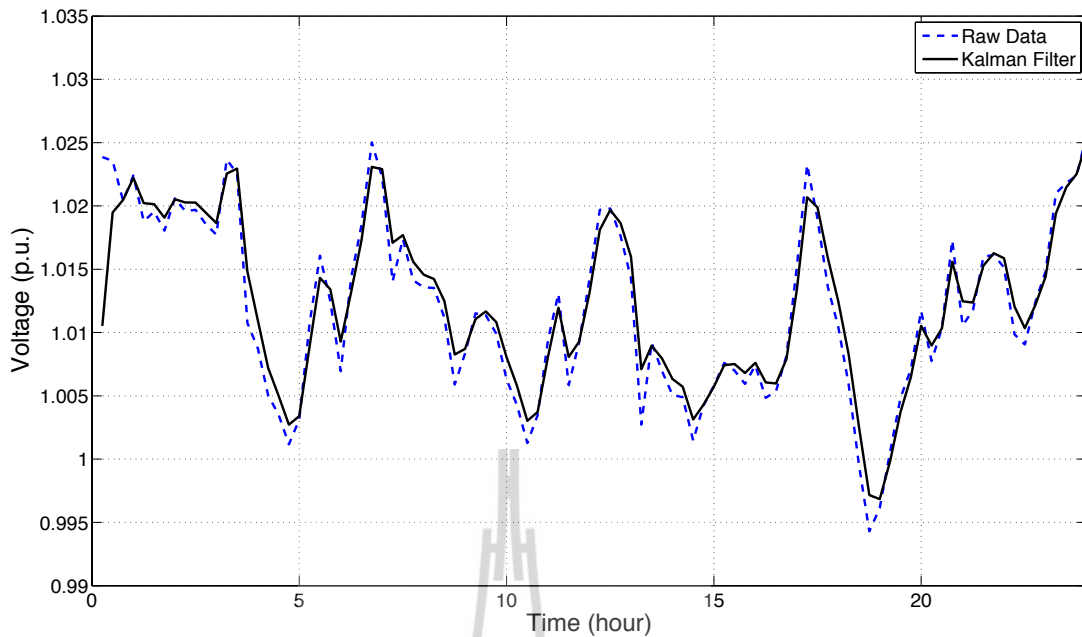
ตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์ของพารามิเตอร์ตัวกรองคาลมานของค่าแรงดันไฟฟ้า

ลำดับที่	$\Phi$	$Q$	$H$	$R$	Error	SD
1	0.6990	3.7051	0.8488	1.9211	3.6771E-03	6.2214E-03
2	0.7852	6.9104	0.9077	3.3356	3.6788E-03	6.2229E-03
3	0.8457	9.8356	0.9387	4.6241	3.6802E-03	6.2224E-03
4	0.6216	3.4754	0.7921	1.7917	3.6806E-03	6.2243E-03
5	0.7678	6.3267	0.8995	3.0342	3.6824E-03	6.2228E-03
6	0.8473	9.4609	0.9410	4.2940	3.6825E-03	6.2259E-03
7	0.7515	7.1142	0.8952	3.2546	3.6842E-03	6.2270E-03
8	0.9042	7.8184	0.9597	4.1319	3.6849E-03	6.2279E-03
9	0.8362	4.0996	0.9183	2.4663	3.6894E-03	6.2318E-03
10	0.7097	6.6939	0.8670	3.2037	3.6917E-03	6.2337E-03
11	0.8429	9.6171	0.9274	5.3492	3.6921E-03	6.2329E-03
12	0.8276	8.9673	0.9369	3.7844	3.6949E-03	6.2344E-03
13	0.8289	3.8403	0.9169	2.2365	3.6965E-03	6.2294E-03
14	0.7036	8.7144	0.8767	3.7627	3.6974E-03	6.2382E-03
15	0.7041	5.4872	0.8785	2.3424	3.6980E-03	6.2371E-03
<b>16</b>	<b>0.9371</b>	<b>9.7572</b>	<b>0.9706</b>	<b>6.0588</b>	<b>3.6993E-03</b>	<b>6.2402E-03</b>

ตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์ของพารามิเตอร์ตัวกรองกาลมานของค่าแรงดันไฟฟ้า (ต่อ)

ลำดับที่	$\Phi$	$Q$	$H$	$R$	Error	SD
17	0.9387	9.2142	0.9714	5.7078	3.7001E-03	6.2409E-03
18	0.9493	9.0492	0.9777	5.2473	3.7015E-03	6.2420E-03
19	0.6917	9.2535	0.8705	3.9893	3.7029E-03	6.2417E-03
20	0.7067	8.9928	0.8695	4.1626	3.7033E-03	6.2434E-03
21	0.8980	6.4104	0.9620	2.9322	3.7051E-03	6.2435E-03
22	0.6471	7.0898	0.8378	3.1937	3.7051E-03	6.2449E-03
23	0.9571	9.1288	0.9811	5.3231	3.7064E-03	6.2462E-03
24	0.8429	5.1224	0.9183	3.2623	3.7066E-03	6.2460E-03
25	0.6735	7.2743	0.8462	3.4431	3.7078E-03	6.2472E-03
26	0.6429	8.3699	0.8527	3.3904	3.7142E-03	6.2520E-03
27	0.9703	7.4546	0.9871	4.2811	3.7194E-03	6.2571E-03
28	0.9661	7.8843	0.9867	3.9864	3.7198E-03	6.2573E-03
29	0.6279	9.0137	0.8426	3.6883	3.7200E-03	6.2553E-03
30	0.7114	3.0018	0.8181	1.9751	3.7304E-03	6.2658E-03
31	0.6840	3.2868	0.8714	1.3632	3.7542E-03	6.2862E-03

จากผลลัพธ์ที่ได้ทั้ง 31 รอบนี้มีการแจกแจงเป็นปกติ จึงได้เลือกค่าพารามิเตอร์ที่ตำแหน่งมัธยฐานนั่นคือพารามิเตอร์ลำดับที่ 16 โดยแต่ละพารามิเตอร์มีค่าดังนี้คือ  $\Phi = 0.93713$ ,  $Q = 9.75719$ ,  $H = 0.97057$  และ  $R = 6.05883$  โดยมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ  $3.69931 \times 10^{-3}$  และเมื่อนำพารามิเตอร์ชุดนี้ใช้กับข้อมูลดิบของค่าแรงดันไฟฟ้า ดังแสดงกราฟในรูปที่ 4.17



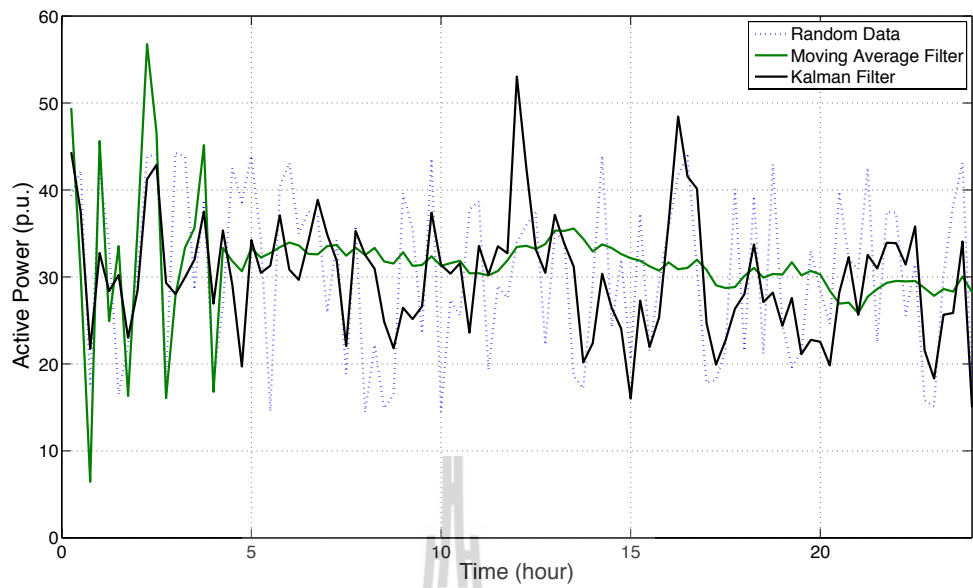
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลดิบของค่าแรงดันไฟฟ้ากับข้อมูลเมื่อผ่านตัวกรองคาลมาน

#### 4.4.3 เปรียบเทียบผลทดสอบระหว่างตัวกรองคาลมานและตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว

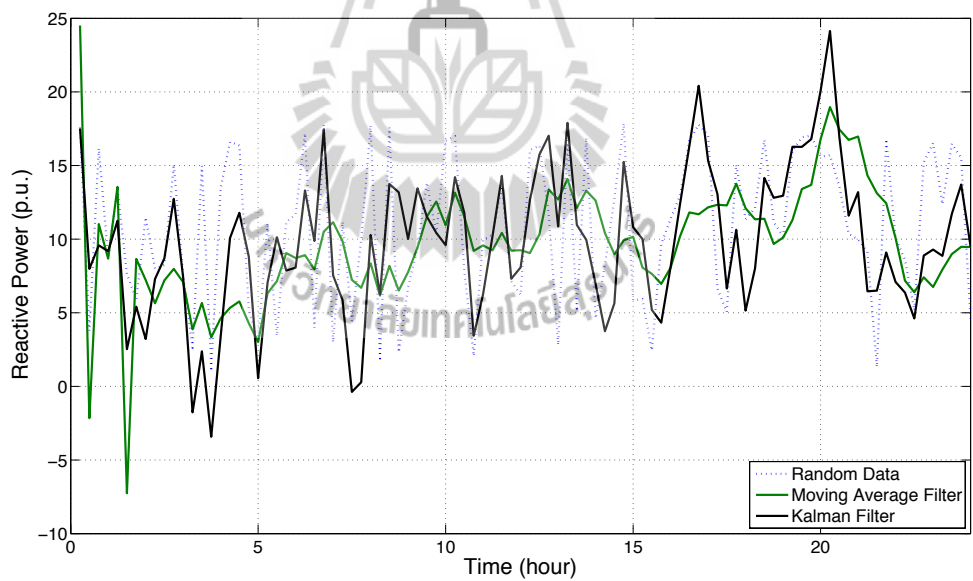
เพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างผลจากตัวกรองคาลมานและตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว จึงได้เปรียบเทียบด้วยกราฟสัญญาณสุ่มที่เพิ่มสัญญาณรบกวน ดังแสดงที่รูปที่ 4.18, 4.19 และ 4.20 และเปรียบเทียบด้วยค่าความผิดพลาดแบบกำลังสองน้อยสุดในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดแบบกำลังสองน้อยที่สุดของตัวกรองคาลมานและตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว

ชนิดของค่าที่ทำการวัด	ค่าความผิดพลาดกำลังสองน้อยที่สุดของตัวกรองคาลมาน	ค่าความผิดพลาดกำลังสองน้อยที่สุดของตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว
กำลังไฟฟ้าแอกทีฟ	6.6974E+03	8.3174E+03
กำลังไฟฟารีแอกทีฟ	2.0684E+03	2.7849E+03
แรงดันไฟฟ้า	3.6993E-03	6.3616E-03

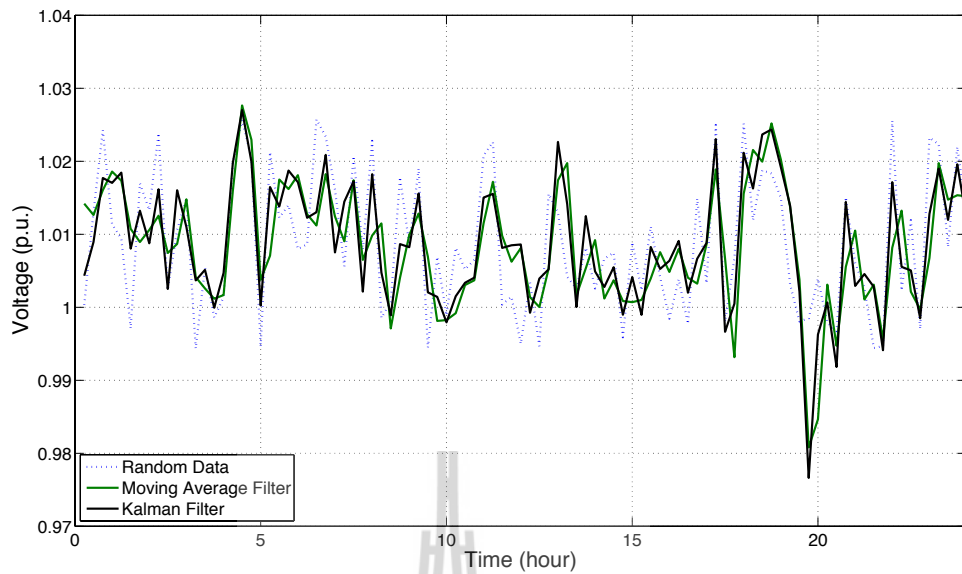


รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบผลระหว่างตัวกรองคาลมานและตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว กับสัญญาณสุ่มที่เพิ่มสัญญาณรบกวนของค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ



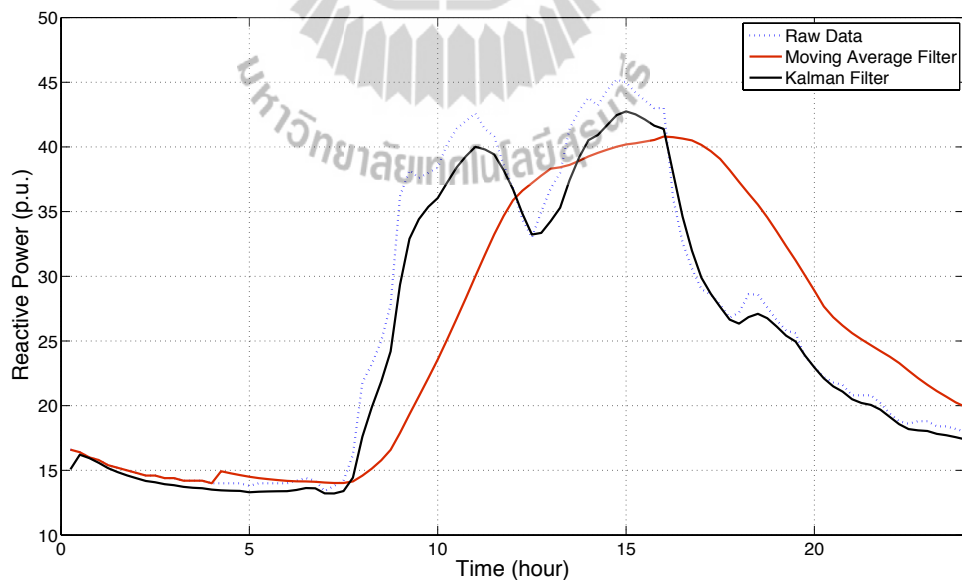
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบผลระหว่างตัวกรองคาลมานและตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว กับสัญญาณสุ่มที่เพิ่มสัญญาณรบกวนของค่ากำลังไฟฟารีแอกทีฟ



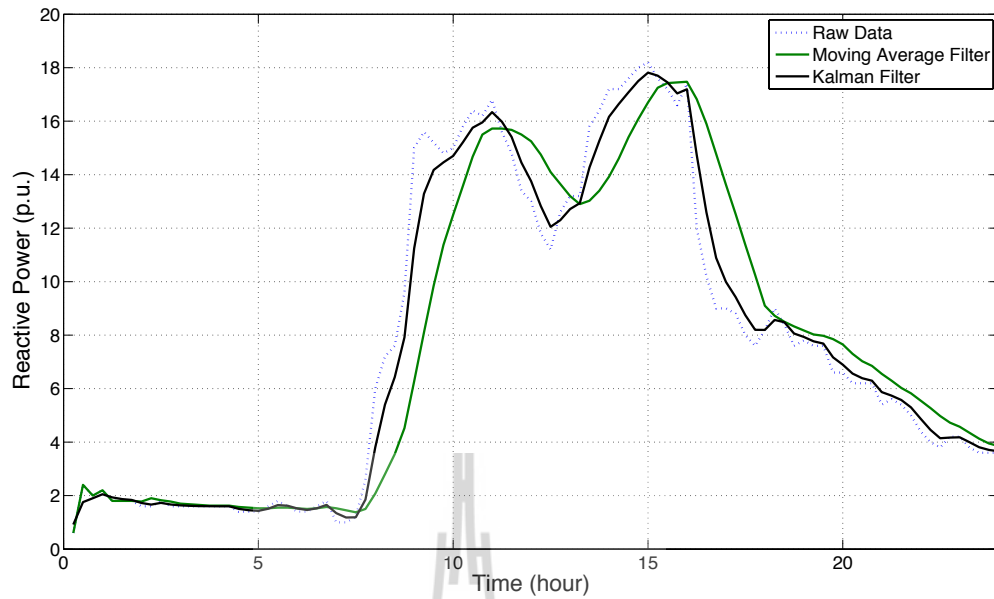


รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบผลระหว่างตัวกรองคาลมานและตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว กับสัญญาณสุ่มที่เพิ่มสัญญาณรบกวนของค่าแรงดันไฟฟ้า

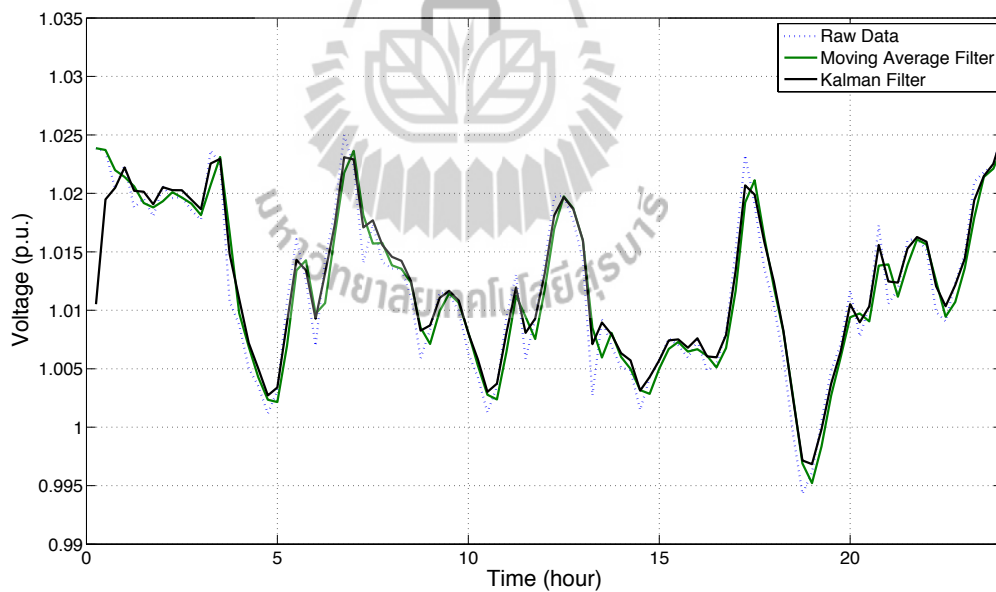
และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลจากตัวกรองคาลมานและตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว ด้วยข้อมูลการวัดจริง ดังแสดงที่รูปที่ 4.21, 4.22 และ 4.23



รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบผลระหว่างตัวกรองคาลมานและตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว ของค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ



รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบผลระหว่างตัวกรองคาลมานและตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวของค่ากำลังไฟรีแอกทีฟ



รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบผลระหว่างตัวกรองคาลมานและตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวของค่าแรงดันไฟฟ้า

จากผลการเปรียบเทียบที่ได้ ดังตารางที่ 4.6 เห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดแบบกำลังสองน้อยสุดของตัวกรองคาลมานของทั้ง 3 ชนิดค่าการวัดนั้นน้อยกว่าตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้น

เดียวพอสมควร และเมื่อพิจารณากราฟในรูปที่ 4.21 และ 4.22 ด้วยแล้ว ที่มีลักษณะข้อมูลที่ต่อเนื่อง เปลี่ยนแปลงไม่รวดเร็วมากและเปลี่ยนแปลงเป็นช่วงที่กว้าง เห็นได้ว่าการกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่ชั้นเดียวนั้นไม่สามารถแทนลักษณะข้อมูลทั้งหมดได้แต่เป็นในลักษณะบอกแนวโน้มของข้อมูลมากกว่า จึงไม่เหมาะกับงานวิจัยในส่วนนี้ที่ต้องการลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวน และจากการทดสอบนี้ทำให้เห็นว่าตัวกรองคาลมานนี้มีความเหมาะสมในการลดผลกระทบเนื่องจากสัญญาณรบกวนในขั้นตอนการวัดได้เป็นอย่างดี

#### 4.5 สรุป

จากการใช้ตัวกรองคาลมานสำหรับลดผลกระทบเนื่องจากสัญญาณรบกวนที่ความถี่เกิดขึ้นในขั้นตอนการวัด สามารถลดผลกระทบอันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนได้เป็นอย่างดี และถึงแม้การใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวเป็นระเบียบวิธีที่ง่ายแต่เมื่อพิจารณาลักษณะกราฟของข้อมูลประกอบด้วย เห็นได้ว่า ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวทำให้เสียลักษณะของข้อมูลไปมาก จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับการลดผลกระทบอันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวน ในส่วนตัวกรองคาลมานนอกจากลดผลกระทบเนื่องจากสัญญาณรบกวนได้ดีกว่ายังสามารถรักษาลักษณะข้อมูลทั้งหมดไว้ได้ และเพื่อให้การคำนวณหาแบบจำลองไหลดเป็นไปอย่างถูกต้อง ต่อเนื่องและอัตโนมัติ และทำงานได้อย่างมีระบบ โดยการประยุกต์ใช้ระบบมัลติเอเจนต์เข้ามาช่วยอำนวยความสะดวกดังกล่าว ที่จะได้กล่าวถึงในบทที่ 5 ต่อไป



## บทที่ 5

### การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมัลติเอเจนต์เพื่อสร้างแบบจำลองไหล

#### 5.1 บทนำ

ปัจจุบันการควบคุมและวางแผนปฏิบัติการในระบบไฟฟ้ากำลัง มีแนวโน้มเป็นการควบคุมและวางแผนอย่างอัตโนมัติ โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยผู้ปฏิบัติการดูแลและควบคุมอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นการจำลองระบบไฟฟ้ารวมไปถึงการสร้างแบบจำลองไหลจึงควรมีการดำเนินการสร้างโดยอัตโนมัติจากข้อมูลไหลจริงที่ทำการวัดขึ้นมาได้ โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบมัลติเอเจนต์เข้ามาเป็นส่วนช่วย เพื่อบรรลุเป้าหมายที่ต้องการ และยังสามารถได้มาซึ่งแบบจำลองไหล ณ เวลาจริงนั้นเลย เพื่อการวางแผนปฏิบัติการในระบบไฟฟ้ากำลังได้อย่างรวดเร็ว

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึง การสร้างระบบการทำงานที่เรียกว่าระบบมัลติเอเจนต์ ด้วยการใช้อุปกรณ์ JADE ในการอำนวยความสะดวกในการสร้างระบบการทำงานขึ้นมา โดยจะกล่าวถึงการทำงานของ JADE ฟังก์ชันและเครื่องมือต่าง ๆ ภายใน JADE และการสร้างเอเจนต์ขึ้นมา รวมไปถึงการออกแบบระบบมัลติเอเจนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เพื่อให้ระบบสามารถทำการสร้างแบบจำลองไหลได้อย่างอัตโนมัติและรวดเร็ว

#### 5.2 การสร้างระบบมัลติเอเจนต์ด้วย JADE

มีหลากหลายเครื่องมือในการสร้างเอเจนต์และควบคุมการทำงานของเอเจนต์ ตัวอย่างเช่น JADE ZEUS VSEit JESS JASON ฯลฯ แต่ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ JADE เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ไม่มีค่าใช้จ่ายในการนำมาใช้งาน เป็นเครื่องมือที่มีพื้นฐานบนภาษาจาวาที่สามารถทำงานได้บนทุกระบบปฏิบัติการที่จาวาทำงาน เป็นที่นิยม มีความปลอดภัยสูง และยังเป็นเครื่องมือที่เป็นไปตามมาตรฐานการพัฒนาเอเจนต์หรือ FIPA อีกด้วย

##### 5.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ JADE

JADE (Java Agent Development Framework) เป็นซอฟต์แวร์เครื่องมือสำหรับใช้พัฒนาระบบมัลติเอเจนต์และเป็นการใช้งานตามมาตรฐาน FIPA (The Foundation for Intelligent Physical Agents) ซึ่งมาตรฐาน FIPA ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ แพลตฟอร์มของเอเจนต์ตามมาตรฐาน FIPA และชุดเครื่องมือสำหรับพัฒนาเอเจนต์ด้วยภาษาจาวา โดย JADE นั้นถูกสร้างขึ้นมาด้วยภาษาจาวาทั้งหมดและใช้สำหรับการเขียนโปรแกรมสำหรับเอเจนต์ ซึ่งเอเจนต์ที่สร้างขึ้นเป็นเอเจนต์ภาษาจาวาทั้งหมด โดยจะได้อธิบายการเขียนโปรแกรมต่อไป

JADE นั้นถูกเขียนขึ้นมาด้วยภาษาจาวา และสร้างขึ้นจากหลายแพ็คเกจของจาวา ทำให้เป็นชุดเครื่องมือที่พร้อมให้นักเขียนโปรแกรมเรียกใช้ฟังก์ชันต่าง ๆ และออกแบบได้ตามที่

ต้องการ ซึ่งภาษาจาวาเป็นภาษาสำหรับการเขียนโปรแกรมที่มีคุณสมบัติที่น่าสนใจโดยเฉพาะการใช้โปรแกรมเดียวกันในหลาย ๆ ระบบปฏิบัติการที่ต่างกันก็ได้ โดยไม่ต้องมีการปรับเปลี่ยนใด ๆ

JADE คือซอฟต์แวร์ตัวกลางที่ช่วยอำนวยความสะดวกให้กับการพัฒนาแบบมัลติ-เอเจนต์ โดยประกอบด้วยส่วนประกอบดังนี้

- Runtime Environment คือ สภาพแวดล้อมสำหรับการทำงานเอเจนต์ของ JADE มีสถานะ “ทำงาน” และต้องได้รับอนุญาตให้ทำงานจากโฮสต์ก่อนที่เอเจนต์อื่นใดจะทำการดำเนินการบนโฮสต์นั้น

- Library เป็นคลังหรือที่เก็บคลาสต่าง ๆ ที่นักเขียนโปรแกรมสามารถเรียกไปใช้งานได้ (ทั้งที่ใช้เรียกใช้โดยตรงหรือเรียกใช้เฉพาะบางส่วน) เพื่อพัฒนาเอเจนต์นั้น ๆ

- Graphic Tool คือ เครื่องมือด้านกราฟิก เป็นชุดเครื่องมือที่ทำหน้าที่อนุญาตให้บริการ จัดการ ดูแล และตรวจสอบ กิจกรรมหรือสถานะการทำงานของเอเจนต์

และ JADE ยังประกอบด้วยแพ็คเกจหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

`jade.core` เป็นตัวทำงานแกนหลักของระบบ ซึ่งประกอบด้วยคลาส Agent ที่ต้องถูกทำเป็นคลาสขยายโดยผู้เขียนโปรแกรม นอกจากนี้คลาส Behaviour ซึ่งถูกบรรจุอยู่ในแพ็คเกจย่อย `jade.core.behaviours` โดยพฤติกรรมทำงานได้ตามความมุ่งหมายของเอเจนต์ ซึ่งสามารถสร้างได้หลายแบบด้วยการทำงานร่วมกันของหลาย ๆ พฤติกรรมหรือทำงานเป็นแบบตามเวลาที่กำหนด และผู้เขียนโปรแกรมสามารถกำหนดการทำงานของพฤติกรรมให้มีการเชื่อมโยงระหว่างกันได้

`jade.lang.acl` เป็นแพ็คเกจย่อยที่อำนวยความสะดวกในการประมวลผลด้านภาษาของการสื่อสารระหว่างเอเจนต์ (Agent Communication Language: ACL) ตามมาตรฐาน FIPA

`jade.content` เป็นแพ็คเกจที่บรรจุชุดของคลาสที่ใช้สนับสนุนการกำหนด ontology และภาษาของ content

`jade.domain` เป็นแพ็คเกจบรรจุคลาสจาวาต่าง ๆ ที่ใช้จัดการเอเจนต์ตามมาตรฐาน FIPA โดยเฉพาะอย่างยิ่งเอเจนต์ AMS และ DF ที่เป็นบริการสมุดหน้าเหลืองและจัดการเอเจนต์ มีแพ็คเกจย่อย `jade.domain.JADEAgentManagement` ใช้เป็นส่วนเสริมของ JADE สำหรับจัดการเอเจนต์ เช่น การติดตามข้อความ การควบคุมวงจรชีวิตของเอเจนต์ เป็นต้น แพ็คเกจย่อย `jade.domain.introspection` ที่ใช้เพื่อเป็นโดเมนของการสื่อสารกันระหว่างเครื่องมือของ JADE (เช่น Sniffer, Introspector) กับแกนหลักของ JADE และแพ็คเกจ `jade.domain.mobility` บรรจุคลาสเกี่ยวกับการสื่อสารทั้งหมดที่เกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายเอเจนต์

`jade.gui` เป็นแพ็คเกจที่บรรจุคลาสที่ใช้สำหรับสร้าง GUIs (Graphic User Interface) เพื่อแสดงและแก้ไขตัวระบุเอเจนต์, คำอธิบายเอเจนต์, ข้อความที่รูปแบบ ACL และอื่น ๆ

`jade.mtp` เป็นแพ็คเกจที่มีชุดเครื่องมือที่ช่วยทางด้านโปรโตคอลการรับ-ส่งข้อความ (Message Transport Protocol)

`jade.proto` เป็นแพ็คเกจที่มีคลาสที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับโปรโตคอลพื้นฐานในการตอบโต้ และยังช่วยผู้เขียนโปรแกรมในการสร้างโปรโตคอลใช้เอง

JADE ได้ถูกรวมมากับเครื่องมือต่าง ๆ ที่ทำให้ง่ายต่อผู้ดูแลระบบ รวมถึงผู้เขียนโปรแกรมด้วย โดยแต่ละเครื่องมือถูกบรรจุอยู่ในแต่ละแพ็คเกจย่อยของ `jade.tools` ตัวอย่างเช่น

- Remote Management Agent (RMA) ทำหน้าที่เป็นกราฟิกแสดงผลสำหรับจัดการและควบคุมแพลตฟอร์ม โดยการเริ่มของ RMA สามารถทำได้ง่าย ๆ เพียงใช้คำสั่ง “-gui” ที่บรรทัดคำสั่ง แล้วหลังจากนั้นจะปรากฏ GUI สำหรับจัดการและควบคุมเอเจนต์ และจากหน้า GUI นี้สามารถทำการเรียกใช้เครื่องมือของ JADE อื่น ๆ ได้

- Dummy Agent เป็นเครื่องมือที่ทำหน้าที่ตรวจสอบดูแลและตรวจแก้จุดบกพร่อง โดยสามารถใช้ GUI เขียนและส่งข้อความ ACL ไปยังเอเจนต์อื่น ๆ และยังสามารถแสดงรายการข้อความที่ทำการรับและส่ง พร้อมทั้งมีการบันทึกเวลาที่ทำการรับ-ส่ง หรือก็คือเป็นเอเจนต์ที่ทำหน้าที่บันทึกการสนทนา

- Sniffer เป็นเอเจนต์ที่สามารถดูความเคลื่อนไหวของข้อความเมื่อมีการรับ-ส่งข้อความระหว่างเอเจนต์และแสดงผลเป็นแผนผังการรับ-ส่ง ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากสำหรับการสังเกตหาจุดบกพร่องของการแลกเปลี่ยนข้อความ ACL

- Introspector เป็นเอเจนต์ที่ใช้ทำการแสดงวงจรชีวิตของเอเจนต์ ทั้งการรับ-ส่งข้อความ ACL และการทำงานของพฤติกรรม

- DF GUI เป็นกราฟิกตอบโต้กับผู้ใช้ที่ใช้สำหรับการอำนวยความสะดวกบริการสมุดหน้าเหลือของ JADE และถูกใช้ทุกครั้งที่มีการใช้บริการสมุดหน้าเหลือเมื่อผู้ใช้ต้องการเรียกใช้ ซึ่ง GUI นี้เรียบง่ายและใช้งานได้ง่ายเพื่อควบคุมคลังของ DF สำหรับทำการรวมกับ DF อื่น ๆ และเพื่อควบคุมระยะไกล ทั้งการลงทะเบียน ยกเลิกการลงทะเบียน แก้ไขและค้นหา

- Log Manager Agent เป็นเอเจนต์ที่ยอมให้ตั้งค่าการเก็บข้อมูลการทำงาน คือกำหนดระดับการเก็บข้อมูลหรือการตั้งค่าให้เก็บข้อมูลเฉพาะโปรแกรมหรือทั้ง JADE

- Socket Proxy Agent เป็นเอเจนต์ที่ทำหน้าที่เป็นทางเข้าออกของแพลตฟอร์มที่ใช้การติดต่อแบบ TCP/IP เป็นเอเจนต์ที่มีประโยชน์อย่างมากในการจัดการกับไฟร์วอลล์ (Firewalls) ของเครือข่าย และการอำนวยความสะดวกในการโต้ตอบกับ Java applets ในเว็บเบราว์เซอร์

### 1) คอนเทนเนอร์และแพลตฟอร์ม (Containers and Platform)

การทำงาน (running) แต่ละครั้งในสภาพแวดล้อมตัวทำงาน JADE runtime นั้นถูกเรียกว่า คอนเทนเนอร์ (Container) โดยภายในคอนเทนเนอร์สามารถบรรจุหลาย ๆ เอเจนต์ได้ ส่วนชุดการทำงานของคอนเทนเนอร์เรียกว่า แพลตฟอร์ม (Platform) และในแพลตฟอร์มหนึ่ง ๆ มี

คอนเทนเนอร์พิเศษเพียงคอนเทนเนอร์เดียว นั่นคือ คอนเทนเนอร์หลัก (Main Container) ซึ่งคอนเทนเนอร์อื่น ๆ ต้องลงทะเบียนกับคอนเทนเนอร์หลักทันทีที่เริ่มทำงาน ตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นคอนเทนเนอร์ที่เริ่มทำงานในแพลตฟอร์ม คอนเทนเนอร์อื่น ๆ ทั้งหมดที่ไม่ใช่คอนเทนเนอร์หลักหรือที่เป็นคอนเทนเนอร์ธรรมดา ต้องบอกตำแหน่งในการเรียกหา (โฮสต์และช่องต่อ) แก่คอนเทนเนอร์หลัก เพื่อทำการลงทะเบียน

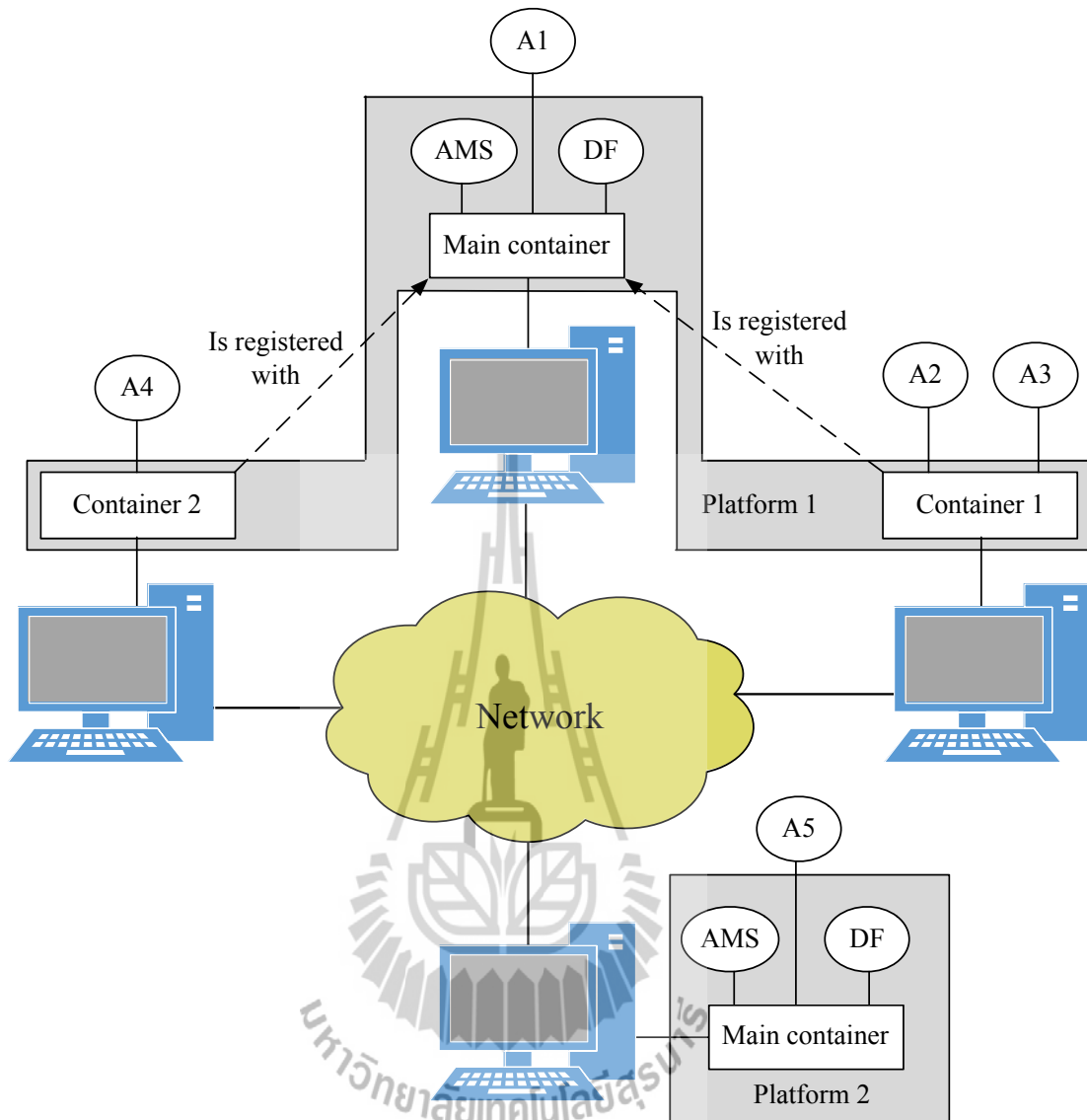
ถ้ามีคอนเทนเนอร์หลักอื่นเริ่มทำงานที่ไหนก็ตามในเครือข่ายเดียวกัน จึงนับว่าคอนเทนเนอร์หลักนั้นถูกตั้งขึ้นเป็นอีกแพลตฟอร์มหนึ่งที่ต่างกัน ที่สามารถให้คอนเทนเนอร์ใหม่ลงทะเบียนได้ ดังในรูปที่ 5.1 ได้แสดงแนวคิดดังกล่าวผ่านสถานการณ์ตัวอย่างที่นำเสนอ JADE ที่มี 2 แพลตฟอร์ม ประกอบด้วยคอนเทนเนอร์จำนวน 3 และ 1 คอนเทนเนอร์ตามลำดับ เอเจนต์ของ JADE ถูกระบุด้วยชื่อเฉพาะและประกาศให้เอเจนต์อื่น ๆ รู้ชื่อของมันและกันด้วย ขณะที่สื่อสารกันโดยไม่คำนึงถึงสถานที่จริงของเอเจนต์นั้น ๆ ตัวอย่างเช่น คอนเทนเนอร์เดียวกัน (เอเจนต์ A2 และ A3) ต่างคอนเทนเนอร์กันแต่แพลตฟอร์มเดียวกัน (เอเจนต์ A1 และ A2) หรือต่างแพลตฟอร์มกัน (เอเจนต์ A4 และ A5)

## 2) AMS และ DF

นอกจากความสามารถในการรับภาระการลงทะเบียนจากคอนเทนเนอร์อื่น ๆ แล้วคอนเทนเนอร์หลักต่างจากคอนเทนเนอร์ปกติคือ คอนเทนเนอร์หลักนั้นได้บรรจุด้วยเอเจนต์พิเศษ 2 เอเจนต์ด้วยกัน (เริ่มทำงานโดยอัตโนมัติเมื่อคอนเทนเนอร์หลักทำงาน) คือ

AMS (Agent Management System) ทำงานเกี่ยวกับชื่อเรียกต่าง ๆ (นั่นคือเพื่อให้แน่ใจว่าแต่ละเอเจนต์ในแพลตฟอร์มมีชื่อที่ต่างกัน) และทำหน้าที่เป็นผู้มีอำนาจของแพลตฟอร์ม อย่างเช่น สามารถทำการสร้างหรือทำลายเอเจนต์ผ่านคอนเทนเนอร์ระยะไกลโดยเรียกมายัง AMS

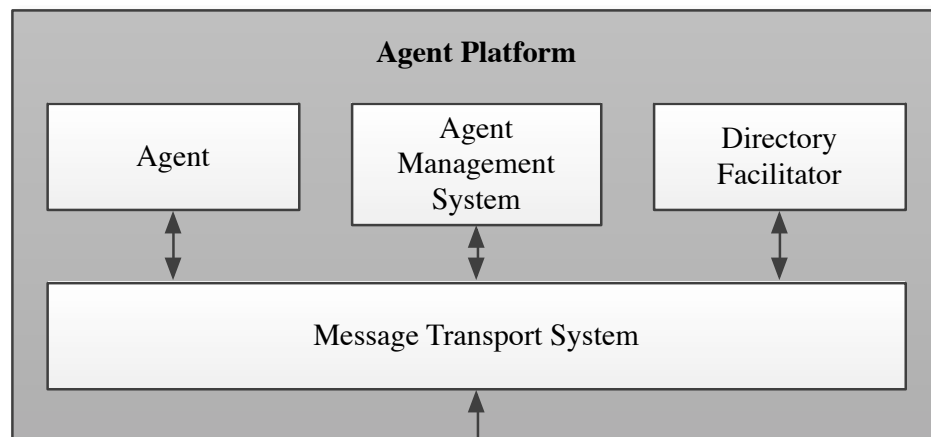
DF (Directory Facility) ทำหน้าที่เหมือนสมุดหน้าเหลือง หรือหมายถึง เป็นเอเจนต์ที่สามารถค้นหาเอเจนต์อื่น เพื่อให้เอเจนต์นั้นทำตามคำสั่งและเพื่อสุดท้ายแล้วให้ได้ตามจุดหมายที่ต้องการ โดยใช้สมุดหน้าเหลืองค้นหาและเรียกหาเอเจนต์นั้น ๆ ได้



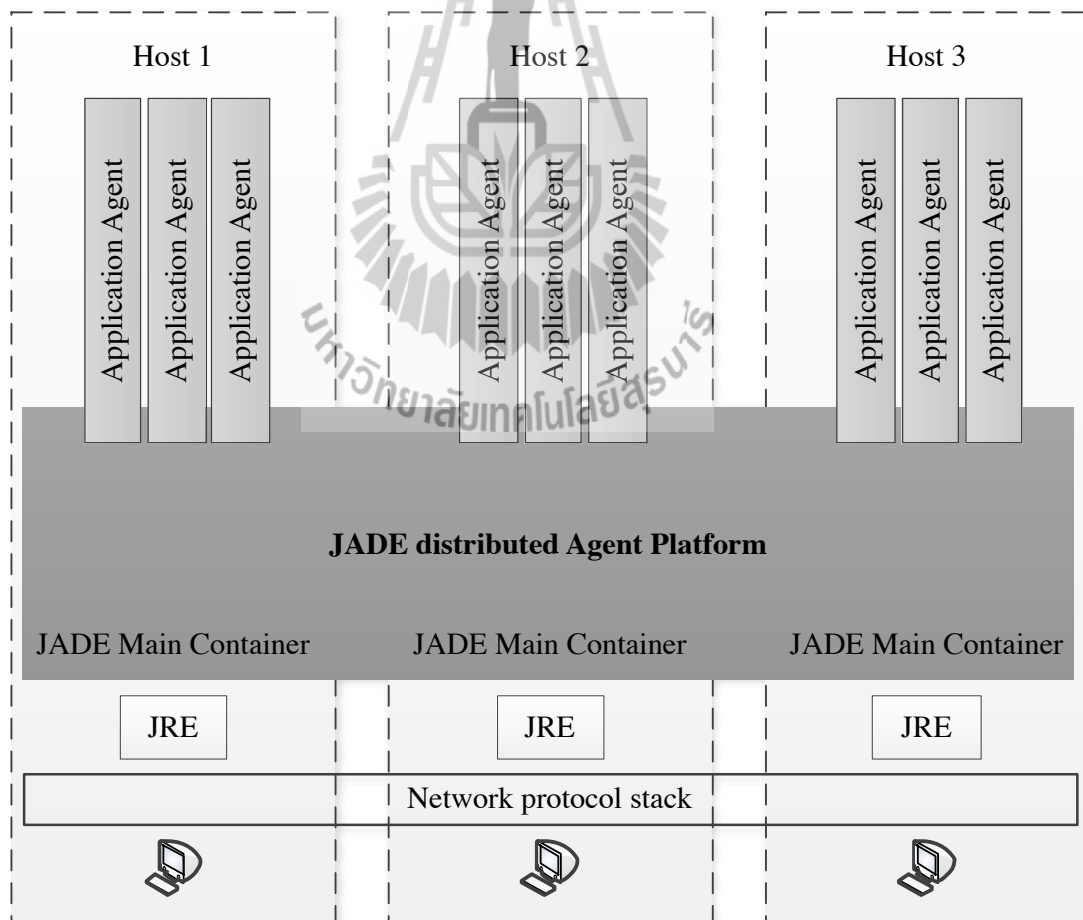
รูปที่ 5.1 คอนเทนเนอร์และแพลตฟอร์ม

JADE คอมไพล์ตามโครงสร้างอ้างอิงของแพลตฟอร์มตามรูปที่ 5.2 และเมื่อแพลตฟอร์มเริ่มทำงานเอเจนต์ AMS และ DF ก็ถูกสร้างขึ้นในทันที นอกจากนี้บริการเกี่ยวกับข้อความมักถูกกระตุ้นขึ้นมาเพื่อให้พร้อมสำหรับการสื่อสาร โดยที่แพลตฟอร์มสามารถแยกไปหลาย ๆ โหนดได้ โดยทั่วไปแล้วมีเพียงโปรแกรมจาวาโปรแกรมเดียว (คือมีเฉพาะแค่ตัวจำลองจาวา (Java Virtual Machine: JVM) เพียงหนึ่ง) ที่ทำงานบนทุก ๆ โหนด ซึ่งแต่ละ JVM เป็นเหมือนคอนเทนเนอร์พื้นฐานที่อำนวยความสะดวกอย่างสมบูรณ์ในการเป็นสภาพแวดล้อมสำหรับการทำงานของเอเจนต์และยอมให้หลาย ๆ เอเจนต์ทำงานพร้อมกันบนโหนดเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่





รูปที่ 5.2 โครงสร้างอ้างอิงของแพลตฟอร์มเอเจนต์ที่ตามมาตรฐานของ FIPA



รูปที่ 5.3 แพลตฟอร์มของเอเจนต์ที่กระจายบนหลาย ๆ คอนเทนเนอร์

### 3) ความสามารถของ JADE

คุณสมบัติความสามารถที่มีอยู่แล้วในชุดเครื่องมือ JADE สำหรับให้ผู้เขียนโปรแกรมนำไปประยุกต์ใช้อันได้แก่

- การกระจายแพลตฟอร์มเอเจนต์ คือการที่แพลตฟอร์มของเอเจนต์สามารถแยกไปหลาย ๆ โสสต์ได้ แต่ใช้โปรแกรมจาวาโปรแกรมเดียว เอเจนต์สามารถทำงานเป็นจาวาเชรดและอยู่ในคอนเทนเนอร์เอเจนต์ (Agent Container) ที่อำนวยความสะดวกให้กับการทำงานของเอเจนต์

- ส่วนกราฟิกติดต่อผู้ใช้งาน (Graphic User Interface: GUI) เพื่อใช้ทำการจัดการหลาย ๆ อย่างของเอเจนต์และจัดการเอเจนต์ที่อยู่ในโฮสต์ระยะไกล

- เครื่องมือสำหรับหาจุดบกพร่อง (Debugging tools) เพื่อช่วยในการพัฒนาระบบมัลติเอเจนต์บนพื้นฐานของ JADE

- การเคลื่อนย้ายเอเจนต์ภายในแพลตฟอร์ม ประกอบด้วยคุณสมบัติการโอนถ่ายทั้งสถานะและโค้ดของเอเจนต์

- สนับสนุนการทำงานหลาย ๆ เอเจนต์พร้อมกันทั้งทำงานคู่ขนานและทำงานร่วมกันโดยผ่านการทำงานของพฤติกรรม

- แพลตฟอร์มของเอเจนต์ที่สอดคล้องกับมาตรฐาน FIPA ที่ประกอบด้วยเอเจนต์ AMS และ DF ส่วนประกอบนี้เริ่มทำงานโดยอัตโนมัติเมื่อแพลตฟอร์มของเอเจนต์เริ่มทำงาน

- สามารถทำการเริ่มเอเจนต์ DF หลาย ๆ เอเจนต์ได้ เพื่อดำเนินการทำงานโปรแกรมในหลาย ๆ โดเมนได้

- มีประสิทธิภาพในการรับ-ส่งข้อความแบบ ACL ภายในแพลตฟอร์มเดียวกัน โดยความจริงคือข้อความที่ถูกส่งนั้นเข้ารหัสเป็นเหมือนจาวาเชิงวัตถุ (Java Object) แทนที่จะเป็นแบบตัวอักษร (String) เพื่อหลีกเลี่ยงขั้นตอนการจัดสรรและจัดเรียงข้อมูลเมื่อข้ามผ่านแพลตฟอร์มไปยังอีกระบบ ข้อความสามารถแปลงโดยอัตโนมัติเป็นรูปแบบ ACL มีการเข้ารหัสและกำหนดโปรโตคอลการรับ-ส่งตามมาตรฐาน FIPA

- มีคลังโปรโตคอลโต้ตอบ ตามมาตรฐาน FIPA ที่พร้อมเรียกใช้งาน

- มีการลงทะเบียนและยกเลิกการลงทะเบียนโดยอัตโนมัติผ่านเอเจนต์ AMS

- การตั้งชื่อสอดคล้องตาม FIPA ซึ่งเริ่มต้นตั้งแต่เริ่มทำงานของเอเจนต์ก็ได้ดำเนินการตั้งชื่อ GUID (Globally Unique Identifier) จากแพลตฟอร์ม

- สนับสนุนโปรแกรมในการกำหนดรูปแบบของเนื้อหา (content) ภาษา (language) และ ontology

#### 5.2.2 ตัวอย่างการซื้อขายหนังสือ

ในหัวข้อนี้นำเสนอตัวอย่างอย่างง่ายที่ใช้ประกอบการอธิบายการสร้างเอเจนต์ทั้งหมดกับ JADE โดยแผนการในตัวอย่างนี้ประกอบด้วยเอเจนต์สำหรับขายหนังสือและเอเจนต์สำหรับซื้อหนังสือโดยกำหนดพฤติกรรมตามผู้ใช้

เอเจนต์ผู้ซื้อแต่ละเอเจนต์รับซื้อหนังสือที่ต้องการซื้อ (หนังสือเป้าหมาย) โดยรับข้อมูลที่บรรทัดคำสั่ง (command line) หรือกล่องโต้ตอบ และทำการร้องขอเป็นระยะ ๆ ไปยังเอเจนต์ผู้ขายที่รู้จักทั้งหมดเพื่อยืนยันข้อเสนอ ในทันทีที่ข้อเสนอได้ถูกรับไว้และตอบรับไปถึงเอเจนต์ผู้ซื้อแล้วจัดการทำคำสั่งการสั่งซื้อ แต่ถ้ามีเอเจนต์ผู้ขายมากกว่าหนึ่งที่ให้ข้อเสนอแก่เอเจนต์ผู้ซื้อแล้วให้เอเจนต์ผู้ซื้อยอมรับเอเจนต์ผู้ขายรายที่ให้ข้อเสนอที่ดีที่สุด (ราคาต่ำสุด) เมื่อทำการซื้อหนังสือที่ต้องการสำเร็จ เอเจนต์ผู้ซื้อก็สิ้นสุดลง

เอเจนต์ผู้ขายแต่ละเอเจนต์มี GUI เล็ก ๆ สำหรับให้ผู้ใช้กรอกซื้อหนังสือใหม่ (และราคา) ลงไปในบัญชีรายชื่อหนังสือสำหรับเสนอขาย เอเจนต์ผู้ขายรอไปเรื่อย ๆ รอคำขอจากเอเจนต์ผู้ซื้อ เมื่อมีการร้องขอจึงทำการตรวจสอบหนังสือ ถ้ามีหนังสืออยู่ในบัญชีรายชื่อหนังสือก็ทำการตอบกลับและให้ราคากลับไป ไม่เช่นนั้นก็ปฏิเสธไป และเมื่อรับคำสั่งซื้อแล้วก็ทำคำสั่งซื้อและลบหนังสือนั้นออกจากบัญชีรายชื่อหนังสือ

### 5.2.3 การสร้างเอเจนต์ด้วย JADE และคลาสเอเจนต์

คลาส Agent เป็นคลาสพื้นฐานสำหรับกำหนดการใช้งานของเอเจนต์ การสร้างเอเจนต์ด้วย JADE นั้นทำได้ไม่ยากเพียงผู้เขียนโปรแกรมกำหนดคลาสจาวาของตัวเองเป็นคลาสขยาย (class extend) ของคลาส jade.core.Agent นั่นคือการสืบทอดคุณสมบัติของคลาส Agent ให้บรรลุผลตามการตอบสนองกับแพลตฟอร์ม (เช่นการลงทะเบียน, การตั้งค่า, การจัดการระยะไกล ฯลฯ) และยังเป็นวิธีการที่สามารถเรียกการทำงานของพฤติกรรมของเอเจนต์ตามที่ได้กำหนดไว้ (เช่น การรับ-ส่งข้อความ, การลงทะเบียนกับหลาย ๆ โดเมน และการใช้โปรโตคอลมาตรฐาน เป็นต้น) และใช้คำสั่ง setup() ในสั่งให้ทำงาน โดยวิธีการใช้ได้แสดงในโค้ดด้านล่างนี้

```
import jade.core.Agent;

public class BookBuyerAgent extends Agent {
    protected void setup() {
        // Printout a welcome message
        System.out.println("Hello! Buyer-agent"+getAID().getName()
+" is ready.");
    }
}
```

คำสั่ง setup() มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการเริ่มต้นการทำงานของเอเจนต์ แต่ในงานจริงเอเจนต์ต้องทำงานด้วยพฤติกรรม (behaviours) โดยจะกล่าวในหัวข้อที่ 5.2.4 ต่อไป

#### 1) ตัวระบุเอเจนต์

ในแต่ละเอเจนต์ถูกระบุโดย “ตัวระบุเอเจนต์” นั่นคือคลาส jade.core.AID ใช้สำหรับทำหน้าที่เป็นตัวระบุเอเจนต์ สามารถทำได้ด้วยคำสั่ง getAID() ของคลาส Agent ที่

ยอมให้เรียกตัวระบุเอเจนต์ โดยใน AID ประกอบด้วยชื่อเฉพาะกับหมายเลขที่อยู่ ซึ่งชื่อใน JADE มีรูปแบบเป็น `<nickname>@<platform-name>` ตัวอย่างเช่นเอเจนต์ชื่อ *Peter* อยู่ในแพลตฟอร์มชื่อว่า *P1* จึงได้ชื่อเฉพาะว่า *Peter@P1* เป็นต้น ส่วนที่ที่อยู่ใน AID คือที่อยู่ของแพลตฟอร์มที่เอเจนต์นั้นอยู่ ที่อยู่เหล่านี้ถูกใช้เฉพาะเมื่อเอเจนต์ต้องการติดต่อสื่อสารกับเอเจนต์อื่นที่อยู่ต่างแพลตฟอร์มกัน ชื่อเรียก (nickname) ของเอเจนต์สามารถกำหนดได้ดังนี้

```
String nickname = "Peter";
AID id = new AID(nickname, AID.ISLOCALNAME);
```

## 2) การรันเอเจนต์

เอเจนต์ที่ถูกสร้างขึ้นแล้วสามารถคอมไพล์ด้วยคำสั่ง ดังนี้

```
javac -classpath <JADE-classes> BookBuyerAgent.java
```

เพื่อให้ไฟล์ที่คอมไพล์เอเจนต์ดังกล่าวทำงานใน JADE runtime แล้วต้องการให้เริ่มต้นทำงานและตั้งชื่อเรียกให้เอเจนต์ สามารถทำได้เช่นในตัวอย่างนี้

```
java -classpath <JADE-classes> jade.Boot buyer:BookBuyerAgent
```

ผลลัพธ์จากการพิมพ์คำสั่งด้านบนลงไป ได้ดังด้านล่างนี้

```
C:\jade>java -classpath <JADE-classes> jade.Boot
buyer:BookBuyerAgent
5-fab-2014 11.06.45 jade.core.Runtime beginContainer
INFO: _____
      This is JADE snapshot - revision 5995 of 2007/09/03
09:45:22
      downloaded in Open Source, under LGPL restrictions,
      at http://jade.tilab.com/
_____
5-fab-2014 11.06.51 jade.core.BaseService init
INFO: Service jade.core.management.AgentManagement initialized
5-fab-2014 11.06.51 jade.core.BaseService init
INFO: Service jade.core.messaging.Messaging initialized
5-fab-2014 11.06.52 jade.core.BaseService init
INFO: Service jade.core.mobility.AgentMobility initialized
5-fab-2014 11.06.52 jade.core.BaseService init
INFO: Service jade.core.event.Notification initialized
5-fab-2014 11.06.52 jade.core.messaging.MessagingService
clearCachedSlice
INFO: Clearing cache
5-fab-2014 11.06.53 jade.mtp.http.HTTPServer <init>
INFO: HTTP-MTP Using XML parser
com.sun.org.apache.xerces.internal.parsers.SAXParser
5-fab-2014 11.06.54 jade.core.messaging.MessagingService boot
```

```
INFO: MTP addresses:
http://NBNT2004130496.telecomitalia.local:7778/acc
5-fab-2014 11.06.54 jade.core.AgentContainerImpl joinPlatform
INFO: _____
Agent container Main-Container@NBNT2004130496 is ready.
_____
Hello! Buyer-agent buyer@NBNT2004130496:1009/JADE is ready.
```

เอาที่พูดใน ส่วนแรกด้านบนที่ได้แสดงคือข้อมูลของ JADE ที่แสดงเวลา JADE runtime เริ่มทำงาน การเริ่มงานของแก่นหลัก (kernel services) นั่นคือเป็นกระบวนการเริ่มต้นทำงานของแพลตฟอร์ม และสุดท้ายคือบ่งบอกว่าคอนเทนเนอร์มีชื่อว่า “Main-Container” พร้อมสมบูรณ์แล้วสำหรับการเริ่มต้นการทำงานของ JADE runtime และเมื่อ JADE runtime ทำงานจึงเริ่มการทำงานของเอเจนต์ BookBuyerAgent นั่นคือเริ่มพิมพ์ข้อความต้อนรับ “Hello! Buyer-agent” และชื่อเรียกของเอเจนต์คือ “buyer” ดังที่ระบุไว้ในบรรทัดคำสั่ง ชื่อของแพลตฟอร์มคือ “NBNT2004130496: 1009/JADE” ถูกกำหนดขึ้นโดยอัตโนมัติบนโฮสต์และช่องต่อที่ JADE ทำงานอยู่

### 3) การยุติการทำงานของเอเจนต์ (Agent Termination)

แม้ไม่มีการกระทำอื่นใดหลังจากพิมพ์ข้อความต้อนรับแต่เอเจนต์ยังคงทำงานอยู่เพื่อทำการยุติการทำงานจึงนำคำสั่ง doDelete() มาใช้งาน เหมือนคำสั่ง setup() ที่ถูกเรียกโดย JADE runtime ทันทันที่เอเจนต์เริ่มทำงานและเป็นการทำงานเบื้องต้นของเอเจนต์ คำสั่ง takeDown() เรียกใช้งานก่อนที่เอเจนต์ยุติการทำงานซึ่งคำสั่งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการชะล้างเอเจนต์

### 4) การส่งผ่านอาร์กิวเมนต์ไปยังเอเจนต์ (Passing Arguments to Agent)

เอเจนต์ในบางครั้งก็ถูกกำหนดอาร์กิวเมนต์เริ่มต้นบนบรรทัดคำสั่งนั้นเลย อาร์กิวเมนต์เหล่านี้สามารถถูกดึงมาจากออร์เรย์ของออปเจ็คด้วยคำสั่ง getArguments() ภายในคลาส Agent ดังในตัวอย่างการซื้อขายหนังสือ ต้องการให้เอเจนต์ BookBuyerAgent นำซื้อหนังสือที่ต้องการซื้อจากอาร์กิวเมนต์บนบรรทัดคำสั่ง ดังที่แสดงโค้ดด้านล่างนี้

```
import jade.core.Agent;
import jade.core.AID;

public class BookBuyerAgent extends Agent {
    // The title of book to buy
    private String targetBookTitle;
    // The list of known seller agents
    private AID[] sellerAgents = {new AID("seller1",
AID.ISLOCALNAME), new AID("seller2", AID.ISLOCALNAME)};

    // Put agent initializations here
```

```

protected void setup() {
    // Printout a welcome message
    System.out.println("Hello! Buyer-agent
"+getAID().getName()+" is ready.");

    // Get the title of the book to buy as a start-up argument
    Object[] args = getArguments();
    if (args != null && args.length >0) {
        targetBookTitle = (String) args[0];
        System.out.println("Trying to buy "+targetBookTitle);
    }
    else {
        // Make the agent terminate immediately
        System.out.println("No Book title specified");
        doDelete();
    }
}

// Put agent clean-up operations here
protected void takeDown() {
    // Printout a dismissal message
    System.out.println("Buyer-agent "+getAID().getName()+"
terminating.");
}
}

```

อาร์กิวเมนต์บนบรรทัดคำสั่ง ถูกกำหนดมาในเครื่องหมายวงเล็บและถูกแยกออก  
จากกันด้วยช่องว่าง โดยผลลัพธ์ได้ดังแสดงด้านล่างนี้

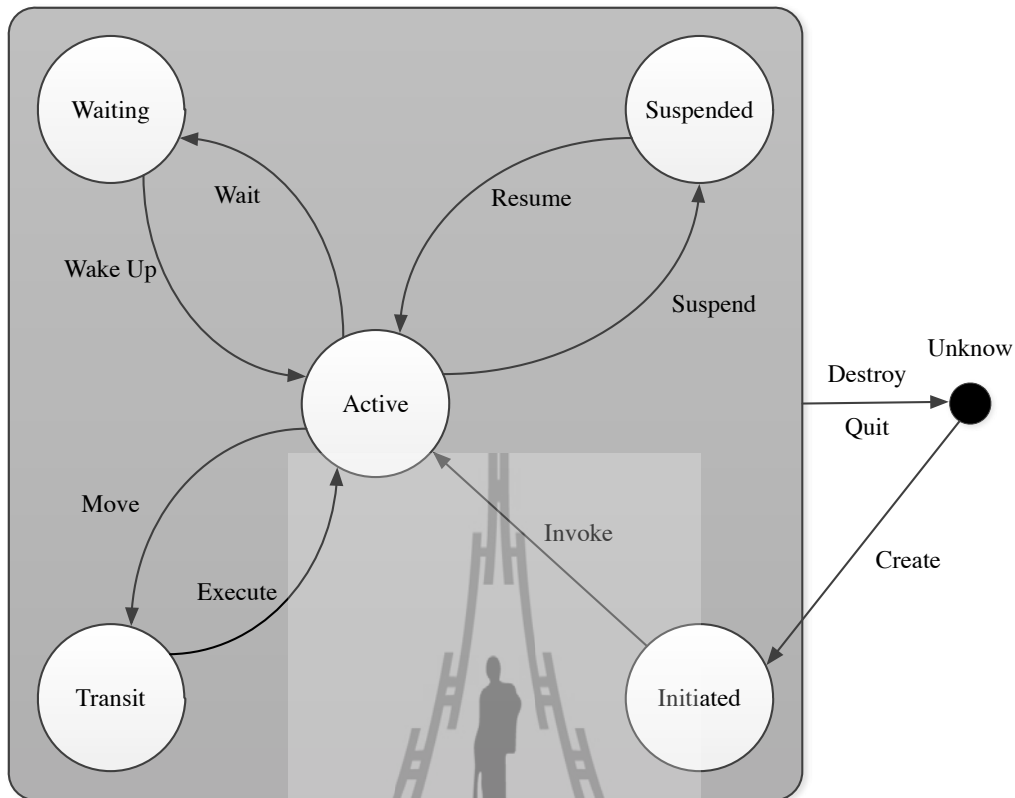
```

C:\jade>java jade.Boot buyer:BookBuyerAgent(The-Lord-of-the-
Rings)
...
...
5-fab-2014 11.11.00 jade.core.AgentContainerImpl joinPlatform
INFO: _____
Agent container Main-Container@NBNT2004130496 is ready.
_____
Hello! Buyer-agent buyer@NBNT2004130496:1099/JADE is ready.
Trying to buy The-Lord-of-the-Rings

```

### 5) วงจรชีวิตของเอเจนต์

เอเจนต์ของ JADE สามารถมีสถานะใดสถานะหนึ่ง ซึ่งเปลี่ยนได้หลายสถานะที่  
สอดคล้องกับวงจรชีวิตแพลตฟอร์มเอเจนต์ตามมาตรฐาน FIPA ซึ่งได้แสดงในรูปแบบที่ 5.4 และมีรายละเอียดด้านล่างนี้



รูปที่ 5.4 วงจรชีวิตของเอเจนต์ตามมาตรฐานของ FIPA

- INITIATED ตัวเอเจนต์ที่ถูกสร้างขึ้น แต่ยังไม่ถูกลงทะเบียนตัวเอเจนต์กับ AMS มีเพียงชื่อหรือไม่มีก็ที่อยู่และยังไม่สามารถทำการติดต่อกับเอเจนต์อื่นได้
- ACTIVE ตัวเอเจนต์ได้ถูกลงทะเบียนเข้ากับ AMS แล้วและมีชื่อ ที่อยู่ และสามารถเข้าถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของ JADE ได้
- SUSPENDED ตัวเอเจนต์นั้นหยุดทำงานชั่วคราว ซึ่งเชรคภายในเอเจนต์นั้นถูกเลื่อนการทำงานและไม่มีการทำงานของพฤติกรรมใด ๆ
- WAITING ตัวเอเจนต์ถูกกีดกันและรอบางสิ่ง ซึ่งเชรคภายในเอเจนต์อยู่ในสถานะจำศีลอยู่และสามารถปลุกการทำงานขึ้นมาได้เมื่อเงื่อนไขเป็นไปตามที่กำหนด
- DELETED เอเจนต์ได้ตายไปอย่างสิ้นเชิง เชรคภายในเอเจนต์ถูกยุติการทำงานและเอเจนต์ถูกยกเลิกการลงทะเบียนจาก AMS
- TRANSIT เอเจนต์แบบเคลื่อนที่ใช้สถานะนี้เมื่อทำการโยกย้ายไปที่ใหม่ โดยระบบดำเนินการด้วยการนำเอเจนต์เก็บพักไว้ในหน่วยความจำ (การบัฟเฟอร์ข้อมูล) แล้วส่งไปยังที่ใหม่

#### 5.2.4 งานของเอเจนต์

จากหัวข้อที่ 5.2.3 เอเจนต์ที่มีใช้จริงโดยทั่วไปมักดำเนินการด้วย “พฤติกรรม (Behaviours)” โดยพฤติกรรมถูกแทนด้วยงานที่เอเจนต์สามารถดำเนินงานและทำให้สำเร็จซึ่งเป็นคลาสขยายใน `jade.core.behaviours.Behaviour` เพื่อสร้างเอเจนต์ให้ทำงานได้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ของเอเจนต์ โดยสามารถเพิ่มพฤติกรรมด้วยคำสั่ง `add Behaviours()` ซึ่งมีอยู่ในคลาส `Agent` พฤติกรรมสามารถถูกเพิ่มได้ในเวลาใดก็ได้ขณะที่เอเจนต์ทำงาน (ด้วยคำสั่ง `setup()`) หรือเพิ่มในพฤติกรรมอื่นได้

ในแต่ละคลาสขยาย `Behaviour` ต้องดำเนินการด้วยคำสั่ง `action()` ซึ่งเป็นตัวปฏิบัติการจริงที่ทำงานเมื่อพฤติกรรมกำลังดำเนินการอยู่และด้วยคำสั่ง `done()` (ส่งกลับเป็นค่า `boolean`) เมื่อพฤติกรรมเสร็จสมบูรณ์ไม่ว่าจะกำหนดการสิ้นสุดพฤติกรรมด้วยคำสั่ง `done()` หรือไม่ก็ตามจำเป็นต้องกำจัดพฤติกรรมออกจากกลุ่มของพฤติกรรมเมื่อเอเจนต์ทำงานสำเร็จลุล่วงแล้ว

#### 1) การกำหนดเวลาและการดำเนินงานของพฤติกรรม (Behaviours scheduling and execution)

เอเจนต์สามารถทำงานได้หลาย ๆ พฤติกรรมควบคู่กันไป ถึงกระนั้นจึงสำคัญมากในการประกาศลำดับเวลาของพฤติกรรมในเอเจนต์ โดยไม่มีการจองหน่วยความจำก่อน (ไม่เหมือนในเซรคจาวา) นั่นคือเมื่อพฤติกรรมถูกกำหนดเวลาสำหรับการทำงานและเริ่มทำงานด้วยคำสั่ง `action()` แล้วทำงานไปจนกว่าจะมีค่ากลับมา ซึ่งผู้เขียนโปรแกรมเป็นผู้ที่กำหนดการสับเปลี่ยนการทำงานของเอเจนต์จากพฤติกรรมหนึ่งไปเป็นพฤติกรรมต่อไปตามที่ได้โปรแกรมไว้

ถึงแม้ว่าต้องอาศัยความสามารถในการเขียนโปรแกรมเล็กน้อย แต่ยังมีข้อดีหลาย ๆ อย่าง อันได้แก่

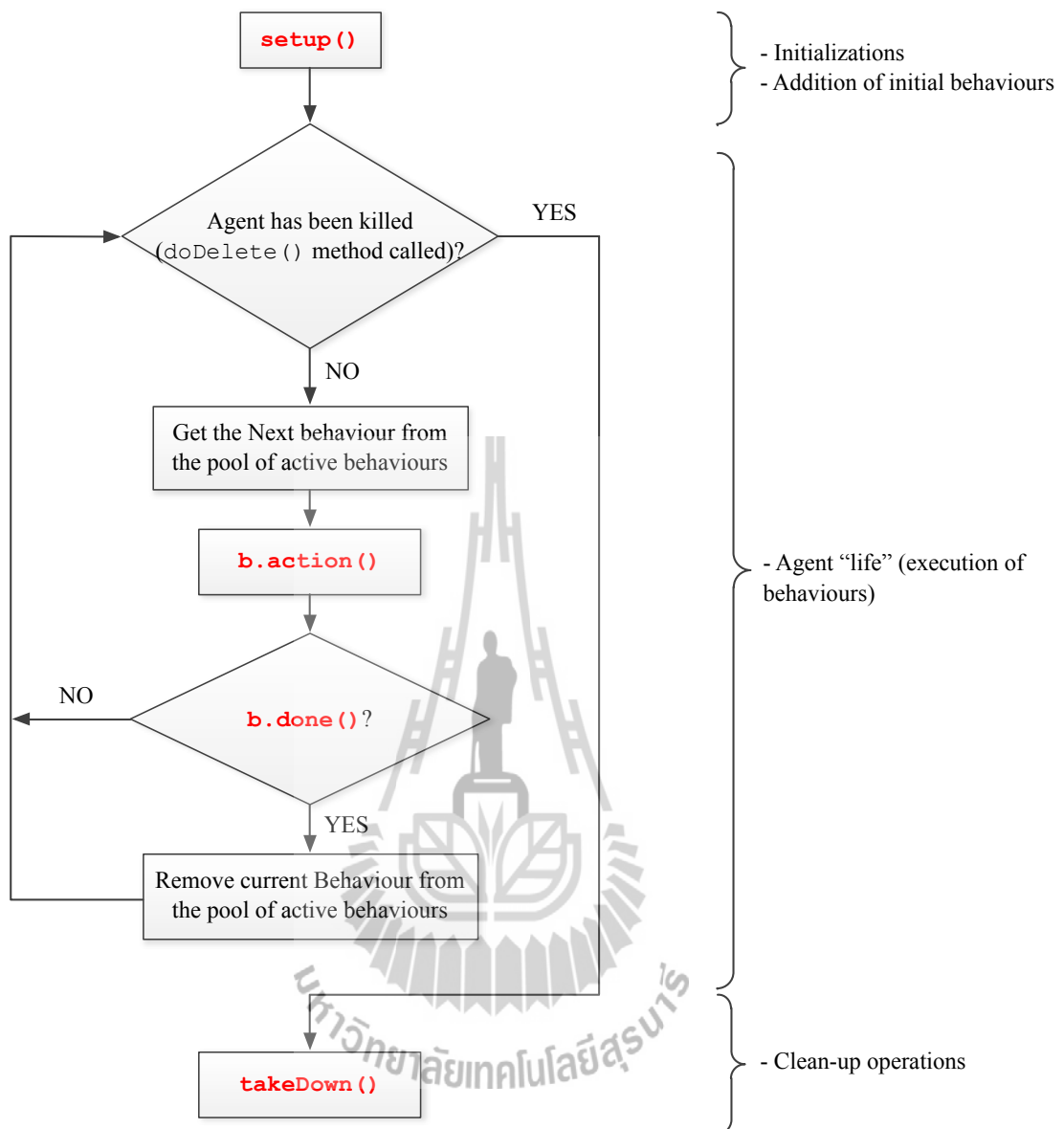
- ยอมให้มีเซรคจาวาเพียงหนึ่งเดียวต่อเอเจนต์ (ค่อนข้างสำคัญ โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่มีทรัพยากรอย่างจำกัดอย่างเช่นโทรศัพท์มือถือ)

- ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเนื่องจากการสับเปลี่ยนพฤติกรรมนั้นเร็วมาก ๆ เร็วกว่าการสับเปลี่ยนของเซรคจาวา

- จัดปัญหาการชิงคร่ระหว่างพฤติกรรมที่ทำงานพร้อมกันให้เข้าถึงแหล่งทรัพยากรเดียวกัน (ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานเร็วขึ้นอีกด้วย) เนื่องจากพฤติกรรมทั้งหมดทำงานด้วยเซรคจาวาเดียวกัน

แนวทางการทำงานของเอเจนต์ได้ถูกอธิบายในรูปที่ 5.5





รูปที่ 5.5 แนวทางการทำงานของเอเจนต์

การกำหนดกลไกการทำงานเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ต้องเน้นเป็นอย่างมาก ดังแสดงในโค้ดด้านล่าง คือการขัดขวางพฤติกรรมอื่น ๆ ใด ๆ ที่ทำงานอยู่ เมื่อคำสั่ง `action()` ไม่เคยส่งค่ากลับเพื่อการทำพฤติกรรมทำงานเอง

```

public class OverbearingBehaviour extends Behaviour {
    public void action() {
        while (true) {
            // do something
        }
    }
}
  
```

```

public boolean done() {
    return true;
}

```

เมื่อไม่มีพฤติกรรมอยู่ที่เอเจนต์ทำงาน เธรดของเอเจนต์ (Agent's thread) จะเข้าสู่โหมดจำศีล เพื่อลดการใช้งานของหน่วยประมวลผลลง และถูกปลุกขึ้นมาเมื่อมีพฤติกรรมอยู่ที่เอเจนต์ทำงาน

## 2) พฤติกรรมแบบครั้งเดียว แบบวงจร และแบบทั่วไป (One-shot behaviors, Cyclic behaviors and Generic behaviours)

สามารถจำแนกพฤติกรรมออกเป็น 3 แบบด้วยกัน คือ

- พฤติกรรมแบบครั้งเดียว (One-shot behaviours) เป็นพฤติกรรมที่เสร็จสมบูรณ์โดยทันทีเมื่อใช้คำสั่ง `action()` เพียงครั้งเดียว โดยที่คลาส `jade.core.behaviours.OneShotBehaviour` มีการดำเนินการด้วยคำสั่ง `done()` อยู่แล้ว ซึ่งเป็นการส่งค่า `true` กลับมา ส่วนการเรียกใช้งานสามารถใช้งานอย่างสะดวกด้วยการเป็นคลาสขยายในคลาสพฤติกรรมแบบครั้งเดียว ดังแสดงในโค้ดด้านล่างนี้

```

public class MyOneShotBehaviour extends OneShotBehaviour {
    public void action() {
        // perform operation X
    }
}

```

`operation X` เป็นการทำงานเพียงครั้งเดียว

- พฤติกรรมแบบวงจร (Cyclic behaviours) เป็นพฤติกรรมที่ไม่มีทางเสร็จสมบูรณ์ โดยคำสั่ง `action()` ทำงานเหมือนเดิมทุกครั้งที่ถูกเรียกใช้งาน โดยที่คลาส `jade.core.behaviours.CyclicBehaviour` มีการดำเนินการด้วยคำสั่ง `done()` อยู่แล้ว ซึ่งค่าที่ส่งกลับมาคือ `false` ทำให้พฤติกรรมนี้ไม่มีทางเสร็จสมบูรณ์ ส่วนการเรียกใช้งานก็ทำอย่างสะดวกด้วยการเป็นคลาสขยายในคลาสพฤติกรรมแบบวงจร ดังแสดงในโค้ดด้านล่างนี้

```

public class MyCyclicBehaviour extends CyclicBehaviour {
    public void action() {
        // perform operation Y
    }
}

```

operation Y เป็นการทำงานซ้ำไปซ้ำมาไม่หยุด (จนกว่าเอเจนต์ดำเนินการยุติการทำงานของพฤติกรรม)

- พฤติกรรมแบบทั่วไป (Generic behaviours) เป็นพฤติกรรมที่ขึ้นอยู่กับสถานะที่กำหนด โดยจะพิจารณาสถานะและดำเนินงานที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสถานะที่กำหนดไว้ และพฤติกรรมเสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยเงื่อนไขในการยุติการทำงาน

```
public class MyThreeStepBehaviour extends Behaviour {
    private int step = 0;
    public void action() {
        switch (step) {
            case 0:
                // perform operation X
                step++;
                break;
            case 1:
                // perform operation Y
                step++;
                break;
            case 2:
                // perform operation Z
                step++;
                break;
        }
    }

    public boolean done() {
        return step == 3;
    }
}
```

operation X, Y และ Z คือเลือกทำงานอันใดอันหนึ่งแล้วจากนั้นก็จบการทำงานของพฤติกรรม

JADE เอื้ออำนวยให้สามารถผสมผสานพฤติกรรมอย่างง่ายเข้าด้วยกันเพื่อสร้างเป็นพฤติกรรมที่มีความซับซ้อนได้

### 3) การทำงานเป็นเวลา (Scheduling operating)

JADE มีคลาสพร้อมใช้งานเกี่ยวกับกำหนดเวลาการทำงานอยู่ 2 คลาสด้วยกัน (ในแพ็คเกจ jade.core.behaviours) โดยสามารถกำหนดให้พฤติกรรมทำงานเป็นเวลาได้ด้วยการกำหนดการทำงานเป็นเวลา ดังนี้

- WakerBehaviour มีคำสั่ง action() และ done() อยู่แล้ว ในลักษณะคำสั่ง handleElapsedTimeout() และทำงานหลังจากเวลาที่กำหนดไว้หมดลง เมื่อทำงานผ่าน

คำสั่ง `handleElapsedTimeout()` เสร็จ การทำงานของพฤติกรรมเป็นอันเสร็จสมบูรณ์  
ดังตัวอย่างโค้ดด้านล่างนี้

```
public class MyAgent extends Agent {
    protected void setup() {
        System.out.println("Adding waker behavior");
        addBehaviour(new WakerBehaviour(this, 10000) {
            protected void handleElapsedTimeout() {
                // perform operation X
            }
        });
    }
}
```

operation X ทำงาน 10 วินาทีหลังจากที่ปรากฏข้อความ “Adding waker behavior”

- TickerBehaviour มีคำสั่ง `action()` และ `done()` อยู่แล้ว ในลักษณะคำสั่ง `onTick()` ทำงานซ้ำไปซ้ำมาไปเรื่อย ๆ โดยทำงานเป็นระยะ ๆ ตามเวลาที่กำหนดไว้ ซึ่ง TickerBehaviour เป็นพฤติกรรมที่ไม่เสร็จสมบูรณ์ ดังตัวอย่างโค้ดด้านล่างนี้

```
public class MyAgent extends Agent {
    protected void setup() {
        addBehaviour(new TickerBehaviour(this, 10000) {
            protected void onTick() {
                // perform operation Y
            }
        });
    }
}
```

operation Y ทำงานเป็นระยะ ๆ ทุก 10 วินาที

#### 4) การนำพฤติกรรมไปใช้ในตัวอย่างการซื้อขายหนังสือ

##### 1. พฤติกรรมของเอเจนต์ผู้ซื้อหนังสือ

ตามที่ได้อธิบายหลักการทำงานในหัวข้อที่ 5.2.2 เอเจนต์ผู้ซื้อหนังสือส่งคำขอเป็นระยะไปยังเอเจนต์ผู้ขาย ในตัวอย่างนี้จึงควรใช้พฤติกรรม TickerBehaviour และเพิ่มพฤติกรรมอื่นอีกเพื่อทำงานสำหรับการตกลงการซื้อขายกับเอเจนต์ผู้ขาย

```
protected void setup() {
    // Printout a welcome message
    System.out.println("Hello! Buyer-agent "+getAID().getName()
        +" is ready.");
}
```

```

// Get the title of the book to buy as a start-up argument
Object[] args = getArgument();
if (args != null && args.length > 0) {
    targetBookTitle = (String) args[0];
    System.out.println("Trying to buy "+targetBookTitle);

    // Add a TickerBehaviour that schedules a request to
    seller agents every minute
    addBehaviour(new TickerBehaviour(this, 60000) {
        protected void onTick() {
            myAgent.addBehaviour(new RequestPerformer());
        }
    });
}
else {
    // Make the agent terminate
    System.out.println("No target book title specified");
    doDelete();
}
}

```

พฤติกรรม RequestPerformer เป็นพฤติกรรมที่ทำหน้าที่ในการตกลงซื้อขายกับเอเจนต์ผู้ขาย ซึ่งอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 5.2.5

## 2. พฤติกรรมของเอเจนต์ผู้ขายหนังสือ

ตามที่ได้อธิบายหลักการทำงานในหัวข้อที่ 5.2.2 ในแต่ละเอเจนต์ผู้ขายมีพฤติกรรมในการรอคำขอจากเอเจนต์ผู้ซื้อและส่งข้อเสนอกลับไป โดยคำขอนี้อาจเป็นได้ทั้งคำขอเพราะต้องการข้อเสนอหรืออาจเป็นคำขอในการสั่งซื้อหนังสือ จากความเป็นไปได้ดังกล่าวจึงต้องออกแบบให้เอเจนต์ผู้ขายทำงานด้วยพฤติกรรมแบบวงจร 2 พฤติกรรม 1. เพื่อรับคำขอเพื่อส่งข้อเสนอ 2. เพื่อรับคำขอสำหรับคำสั่งซื้อ นอกจากนี้ยังต้องการให้เอเจนต์ผู้ขายใช้พฤติกรรมแบบครั้งเดียวสำหรับการปรับแก้รายชื่อนี้เพื่อเพิ่มหนังสือใหม่ โดยผู้ใช้สามารถกรอกชื่อนี้ผ่าน GUI โดยละเอียดจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

```

import jade.core.Agent;
import jade.core.behaviours.*;

import java.util.*;

public class BookSellerAgent extends Agent {
    // The catalogue of books for sale (map the title of book to
    its price)
    private Hashtable catalogue;
    // The GUI by means of which the user can add books in the
    catalogue
    private BookSellerGui myGui;

    // Put agent initializations here

```

```

protected void setup() {
    // Create the catalogue
    catalogue = new Hashtable();

    // Create and show the GUI
    myGui = new BookSellerGui(this);
    myGui.show();

    // Add the behavior serving requests for offer from buyer
    agents
    addBehaviour(new OfferRequestsServer());

    // Add the behavior serving purchase orders from buyer
    agents
    addBehaviour(new PurchaseOrdersServer());
}

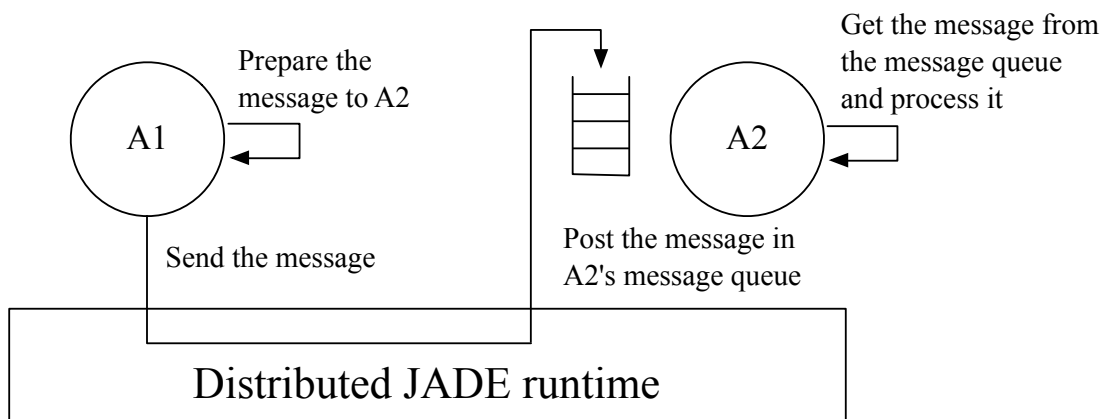
// Put agent clean-up operation here
protected void takeDown() {
    // Close the GUI
    myGui.dispose();
    // Printout a dismissal message
    System.out.println("Seller-agent "+getAID().getName()+"
terminating.");
}

/*
This is invoked by the GUI when the user adds a new book
for sale
*/
public void updateCatalogue(final String title, final int
price) {
    addBehaviour(new OneShotBehaviour(){
        public void action() {
            catalogue.put(title, new Integer(price));
        }
    });
}
}
}

```

### 5.2.5 การสื่อสารระหว่างเอเจนต์

หนึ่งในคุณสมบัติสำคัญของ JADE คือความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเอเจนต์ รูปแบบการสื่อสารที่ประยุกต์ใช้คือ Asynchronous Message Passing นั่นคือแต่ละเอเจนต์มีการจัดเรียงลำดับคล้ายกล่องจดหมาย (เป็นคิวข้อความเอเจนต์) โดยมี JADE runtime เป็นตัวส่งผ่านไปยังเอเจนต์เป้าหมาย เมื่อส่งมาถึงเอเจนต์ข้อความก็อยู่ในคิวข้อความ เอเจนต์สำหรับรับก็ทำการแจ้งเตือน แล้วเอเจนต์ก็นำข้อความจากคิวข้อความไปประมวลผล โดยขั้นตอนเสร็จสมบูรณ์ขึ้นอยู่กับผู้เขียนโปรแกรมกำหนด



รูปที่ 5.6 รูปแบบการส่งข้อความของ JADE ที่เรียกว่า Asynchronous Message Passing

### 1) ภาษาสำหรับสื่อสาร (ACL)

ข้อความถูกแลกเปลี่ยนใน JADE มีรูปแบบที่เรียกว่า ภาษา ACL (Agent Communication Language) ที่ถูกกำหนดขึ้นโดย FIPA (The Foundation for Intelligent Physical Agents) เป็นมาตรฐานสากลสำหรับการทำงานร่วมกันของเอเจนต์ ซึ่งรูปแบบประกอบด้วยตัวเลขที่เกี่ยวข้องและส่วนประกอบต่าง ๆ อันได้แก่

- sender ชื่อผู้ส่งข้อความ
- receivers ชื่อผู้รับข้อความ
- performative คือ ความมุ่งหมายในการสื่อสารที่บอกว่าผู้ส่งตั้งใจใช้วิธีอะไรให้การส่งประสบผลสำเร็จ โดยมี REQUEST, INFORM, QUERY\_IF, CFP, PROPOSE, ACCEPT\_PROPOSAL, REJECT\_PROPOSAL ซึ่งขึ้นอยู่กับตกลงกันระหว่างผู้รับและผู้ส่ง

- content คือ ข้อมูลที่แท้จริงที่อยู่ในรูปแบบข้อความ
- language คือ รูปแบบที่ใช้แสดง content (ทั้งผู้รับ-ผู้ส่งต้องสามารถเข้ารหัส/ถอดรหัสที่สอดคล้องกันเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการสื่อสาร)

- ontology คือ คำศัพท์ของสัญลักษณ์ที่ใช้ใน content และความหมายของเนื้อหา (ทั้งผู้รับ-ผู้ส่งต้องให้ความหมายของสัญลักษณ์ที่ตรงกันเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการสื่อสาร)

- conversation-id, reply-with, in-reply-to, reply-by ใช้เพื่อควบคุมการสนทนาพร้อมกันและกำหนดเวลาสำหรับการรับข้อความตอบกลับ

การรับ-ส่งข้อความภายใน JADE ดำเนินการผ่านคลาส `jade.lang.acl.ACLMessage` ที่มีคำสั่ง `get` และ `set` เพื่อจัดการเกี่ยวกับข้อความ

## 2) การส่งข้อความ

การส่งข้อความไปยังอีกเอเจนต์หนึ่งนั้นง่ายอย่างกับการเติมคำลงในช่องว่างของ ACLMessage แล้วจากนั้นเรียกใช้คำสั่ง `send()` ของคลาส `Agent` ตัวอย่างโค้ดด้านล่างนี้ มีข้อมูลในการส่งคือ ชื่อเรียกของเอเจนต์ `Peter` และข้อความคือ `Today it's raining`

```
ACLMessage msg = new ACLMessage(ACLMessage.INFORM);
msg.addReceiver(new AID("Peter", AID.ISLOCALNAME));
msg.language("English");
msg.setOntology("Weather-forecast-ontology");
msg.setContent("Today it's raining");
send(msg);
```

## 3) การส่งข้อความในตัวอย่างการซื้อขายหนังสือ

เมื่อพิจารณาการซื้อขายหนังสือ สามารถใช้ `CFP` (call for proposal) เพื่อความสะดวกในการที่เอเจนต์ผู้ซื้อส่งข้อความไปยังเอเจนต์ผู้ขายเพื่อเรียกข้อเสนอสำหรับหนังสือ, `PROPOSE` ใช้สำหรับข้อความส่งข้อเสนอจากผู้ขายกลับมา และ `ACCEPT_PROPOSAL` ใช้ส่งข้อความตอบรับข้อเสนอหรือก็คือคำสั่งซื้อนั่นเอง สุดท้าย `REFUSE` ใช้เพื่อส่งข้อความจากผู้ขายว่าหนังสือไม่มีในบัญชีรายชื่อหนังสือ โดยประเภทการส่งจากผู้ขายทั้ง 2 ประเภทนั้น เราสมมติว่าข้อความของ `content` เป็นชื่อหนังสือ และเนื้อหาข้อความของ `PROPOSE` เป็นราคาหนังสือ ดังในตัวอย่างด้านล่างนี้ แสดงถึงการสร้างและส่งข้อความแบบ `CFP`

```
// Message carrying a request for offer
ACLMessage cfp = new ACLMessage(ACLMessage.CFP);
for (int i = 0; i < sellerAgents.length; ++i) {
    cfp.addReceiver(sellerAgents[i]);
}
cfp.setContent(targetBookTitle);
myAgent.send(cfp);
```

## 4) การรับข้อความ

ตามที่กล่าวไปแล้วว่า `JADE runtime` ส่งข้อความโดยอัตโนมัติทันทีที่ถูกส่งมาเข้าไปยังคิวข้อความส่วนตัวของตัวรับ เอเจนต์สามารถดึงข้อความจากคิวข้อความขึ้นมาได้ โดยใช้คำสั่ง `receive()` คำสั่งนี้เป็นการดึงข้อความแรกจากคิวข้อความ (และลบทิ้ง) หรือให้ค่า `null` กลับถ้าคิวข้อความว่าง

```
ACLMessage msg = receive();
if (msg != null) {
    // Process the message
}
```



### 5) การหยุดพฤติกรรมเพื่อรอข้อความ

บ่อยครั้งที่ผู้เขียนโปรแกรมต้องการการทำงานของพฤติกรรมที่เกี่ยวกับกระบวนการรับข้อความจากเอเจนต์อื่น อย่างตัวอย่างกรณีของ OfferRequestsServer และ PurchaseOrderServer ที่ต้องการส่งข้อความจากเอเจนต์ผู้ซื้อเพื่อขอข้อเสนอและส่งคำสั่งซื้อ ดังนั้นพฤติกรรมต้องทำงานอย่างต่อเนื่อง (พฤติกรรมแบบวงจร) และทุกครั้งที่ใช้คำสั่ง action() ต้องทำการตรวจสอบข้อความที่ส่งมาแล้วทำการประมวลผลข้อความ ซึ่งพฤติกรรมทั้ง 2 นั้นมีความคล้ายคลึงกัน โดยตัวอย่างด้านล่างนำเสนอโค้ดของ OfferRequestsServer

```

/*
  Inner class OfferRequestsServer.
  This is the behavior used by Book-seller agents to serve
  incoming requests
  for offer from buyer agents.
  If the requested book is in the local catalogue the seller
  agent replies
  with a PROPOSE message specifying the price. Otherwise a
  REFUSE message is
  sent back.
*/
private class OfferRequestsServer extends CyclicBehaviour {
  public void action() {
    ACLMessage msg = myAgent.receive();
    if (msg != null) {
      // Message received. Process it
      String title = msg.getContent();
      ACLMessage reply = msg.createReply();

      Integer price = (Integer) catalogue.get(title);
      if (price != null) {
        // The requested book is available for sale. Reply
        with the price
        reply.setPerformative(ACLMessage.PROPOSE);
        reply.setContent(String.valueOf(price.intValue()));
      }
      else {
        // The requested book is NOT available for sale.
        reply.setPerformative(ACLMessage.REFUSE);
        reply.setContent("not-available");
      }
      myAgent.send(reply);
    }
  }
}
// End of inner class OfferRequestsServer

```

โดยตัดสินใจใช้พฤติกรรม OfferRequestsServer เป็นคลาสภายในของคลาส BookSellerAgent ซึ่งทำให้ง่ายในการเข้าถึงรายชื่อหนังสือสำหรับขาย โดยไม่ต้องส่งการใดๆ

คำสั่ง `createReply()` ของคลาส `ACLMessage` สามารถสร้าง `ACLMessage` ขึ้นโดยอัตโนมัติด้วยการตั้งค่าผู้รับและทุกอย่างที่ใช้สำหรับการสนทนา (`conversation-id`, `reply-with`, `in-reply-to`)

เมื่อดูในรูปที่ 5.6 เมื่อเพิ่มพฤติกรรม `OfferRequestsServer` เข้าไป เเรคของเอเจนต์เริ่มต้นขึ้นและวนรอบอย่างต่อเนื่องทำให้กินทรัพยากรหน่วยประมวลผลอย่างมาก เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวโดยให้เฉพาะคำสั่ง `action()` ทำงานเมื่อมีข้อความใหม่เข้ามา และใช้คำสั่ง `block()` ในคลาส `Behaviour` ในขณะที่ยังไม่มีข้อความใหม่ ซึ่งคำสั่ง `block()` เป็นพฤติกรรม “ปิดกั้น” เอเจนต์ไม่ทำการประมวลผลใดๆ

```
public void action() {
    ACLMessage msg = myAgent.receive();
    if (msg != null) {
        // Message received. Process it
        ...
    }
    else {
        block();
    }
}
```

โค้ดด้านบนนี้คือโค้ดรูปแบบทั่วไปสำหรับรับข้อความภายในพฤติกรรม

#### 6) การเลือกข้อความจากคิวข้อความ

เมื่อพิจารณาพฤติกรรมทั้งคู่คือ `OfferRequestsServer` และ `PurchaseOrderServer` เป็นพฤติกรรมแบบวงจรที่ใช้คำสั่ง `action()` สำหรับเริ่มต้นและเรียกใช้ `myAgent.receive()` อาจทำให้มีปัญหาในการประกาศได้ หรือก็คือ สามารถแน่ใจได้อย่างไรว่าพฤติกรรม `OfferRequestsServer` ได้ดึงข้อความจากคิวข้อความเฉพาะข้อความที่ต้องการหรือไม่ (ในกรณีนี้คือ เฉพาะข้อเสนอ) และพฤติกรรม `PurchaseOrderServer` ดึงเฉพาะข้อมูลการสั่งซื้อได้หรือไม่ เพื่อแก้ปัญหานี้ต้องทำการแก้ไขโค้ดโดยกำหนดเป็น แม่แบบ (Template) ในขณะที่เรียกใช้คำสั่ง `receive()` แล้วระบุแม่แบบให้คำสั่ง `receive()` ให้ส่งเฉพาะข้อความที่สอดคล้องกลับมาและปฏิเสธทุกข้อความที่ไม่สอดคล้องกับแม่แบบ ซึ่งแม่แบบเป็นเครื่องมือที่มีอยู่ในคลาส `jade.lang.acl.MessageTemplate` เพื่อสร้างแม่แบบได้ง่ายและยืดหยุ่น

จากที่กล่าวไว้ใน การส่งข้อความของตัวอย่างการซื้อขายหนังสือได้ใช้ performative แบบ CFP สำหรับส่งข้อเสนอและใช้ performative แบบ ACCEPT\_PROPOSAL สำหรับข้อความการตอบรับข้อเสนอหรือก็คือคำสั่งซื้อนั่นเอง ดังนั้นจึงทำการแก้ไขคำสั่ง `action()` ของ `OfferRequestsServer` โดยเรียกใช้ `myAgent.receive()` และปฏิเสธทุกข้อความยกเว้นที่เป็น performative แบบ CFP

```

public void action() {
    MessageTemplate mt =
    MessageTemplate.MatchPerformative(ACLMessage.CFP);
    ACLMessage msg = myAgent.receive(mt);
    if (msg != null) {
        // CFP Message received. Process it
        ...
    }
    else {
        block();
    }
}
}

```

### 7) การสนทนาที่ซับซ้อนขึ้น

พฤติกรรม RequestPerformer ที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.2.4 ซึ่งเป็นตัวอย่างที่เป็นการสนทนารับ-ส่งข้อความที่ซับซ้อน ซึ่งการสนทนาจึงคือการลำดับข้อความที่ทำการแลกเปลี่ยนระหว่าง 2 เอเจนต์หรือมากกว่านั้นกับความสัมพันธ์ชั่วคราว ดังในตัวอย่างการซื้อขายหนังสือ RequestPerformer ได้ทำการส่งข้อความ CFP ไปยังหลาย ๆ เอเจนต์ (ส่งไปยังเอเจนต์ผู้ขาย) แล้วรับข้อความตอบกลับ อย่างในกรณีนี้ PROPOSE รับข้อความตอบกลับแล้วส่งต่อไปด้วย ACCEPT\_PROPOSAL (ส่งไปยังเอเจนต์ผู้ขายเพื่อส่งข้อเสนอกลับมา) และได้รับการตอบสนองกลับ ดังแสดงโค้ดด้านล่างนี้

```

/*
    Inner class RequestPerformer.
    This is the behaviour used by Book-buyer agents to request
    seller agents the target book.
*/
private class RequestPerformer extends Behaviour {
    private AID bestSeller; // The agent who provides the best
    offer
    private int bestPrice; // The best offered price
    private int repliesCnt = 0; // The counter of replies from
    seller agents
    private MessageTemplate mt; // The template to receive
    replies
    private int step = 0;

    public void action() {
        switch (step) {
            case 0:
                // Send the cfp to all sllers
                ACLMessage cfp = new ACLMessage(ACLMessage.CFP);
                for (int i = 0; i < sellerAgents.length; ++i) {
                    cfp.addReceiver(sellerAgents[i]);
                }
                cfp.setContent(targetBookTitle);

```

```

        cfp.setConversationId("book-trade");
        cfp.setReplyWith("cfp"+System.currentTimeMillis()); //
Unique value
        myAgent.send(cfp);
        // Prepare the template to get proposals
        mt =
MessageTemplate.and(MessageTemplate.MatchConversationId("book-
trade"), MessageTemplate.MatchInReplyTo(cfp.getReplyWith()));
        step = 1;
        break;
case 1:
    // Receive all proposals/refusals from seller agents
    ACLMessage reply = myAgent.receive(mt);
    if (reply != null) {
        // Reply received
        if (reply.getPerformative() == ACLMessage.PROPOSE) {
            // This is an offer
            int price = Integer.parseInt(reply.getContent());
            if (bestSeller == null || price < bestPrice) {
                // This is the best offer at present
                bestPrice = price;
                bestSeller = reply.getSender();
            }
        }
        repliesCnt++;
        if (repliesCnt >= selerAgent.length) {
            // We received all replies
            step = 2;
        }
    }
    else {
        block();
    }
    break;
case 2:
    // Send the purchase order to the seller that provided
the best offer
    ACLMessage order = new
ACLMessage(ACLMessage.ACCEPT_PROPOSAL);
    order.addReceiver(bestSeller);
    order.setContent(targetBookTitle);
    order.setConversationId("book-trade");
    order.setReplyWith("order"+System.currentTimemillis());
    myAgent.send(order);
    // Prepare the template to get the purchase order reply
    mt =
MessageTemplate.and(MessageTemplate.MatchConversationId("book-
trade"), MessageTemplate.MatchInReplyTo(order.getReplyWith()));
    step = 3;
    break;
case 3:
    // Receive the purchase order reply
    reply = myAgent.receive(mt);
    if (reply != null) {
        // Purchase order reply received

```

```

        if (reply.getPerformative() == ACLMessage.INFORM) {
            // Purchase successful. We can terminate
            System.out.println(targetBookTitle+" successfully
purchased.");
            System.out.println("Price = "+bestPrice);
            myAgent.doDelete();
        }
        step = 4;
    }
    else {
        block();
    }
    break;
}
}

public boolean done() {
    return ((step == 2 && bestSeller == null) || step ==4);
}
} // End of inner class RequestPerformer

```

#### 8). การรับข้อมูลในโหมดสแตนด์บาย

นอกจากคำสั่ง `receive()` ในคลาส `Agent` ยังมีคำสั่ง `blockingReceive()` โดยคำสั่งนี้ไม่ส่งค่ากลับมาจนกว่าจะมีข้อความในคิวข้อความ และยังใช้ `MessageTemplate` เป็นพารามิเตอร์ได้ด้วย (คือไม่ส่งค่ากลับมาจนกว่ามีข้อความที่ตรงกับที่ระบุไว้)

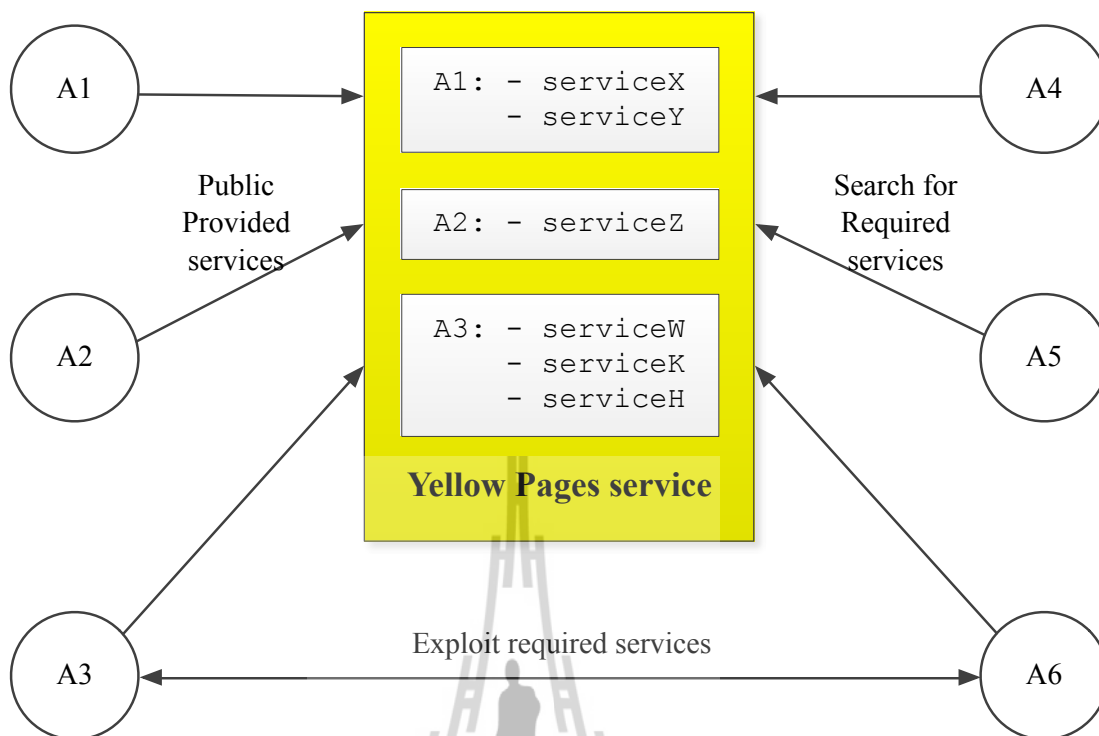
คำสั่ง `blockingReceive()` ทำงานโดยเข้าไปกีดกันการทำงานของเซิร์ฟเวอร์ ดังนั้นถ้าเรียกใช้ `blockingReceive()` จากภายในพฤติกรรม ทำให้ขัดขวางพฤติกรรมอื่น ๆ ทุกพฤติกรรมจนกว่ามีคำสั่งกลับมาจากคำสั่ง

#### 5.2.6 บริการสมุดหน้าเหลือง

ในหัวข้อนี้อธิบายความสามารถของบริการสมุดหน้าเหลืองที่มีมาในแพลตฟอร์มเริ่มต้นของ JADE เพื่อให้เอเจนต์ผู้ซื้อค้นหาเอเจนต์ผู้ขายได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว

##### 1) เอเจนต์ DF

บริการสมุดหน้าเหลือง ยอมให้เอเจนต์หนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งลงประกาศแล้วให้เอเจนต์อื่นสามารถค้นหาและใช้ประโยชน์จากบริการ ดังแสดงในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 บริการสมุดหน้าเหลือง

บริการสมุดหน้าเหลืองที่อยู่ใน JADE (สอดคล้องกับคุณสมบัติของ FIPA) โดยเอเจนต์สามารถเรียกใช้ผ่าน DF (Directory Facility) โดยแพลตฟอร์มตาม FIPA นั้นกำหนดให้เอเจนต์ DF มีมาให้ตั้งแต่ต้น (ซึ่งมีชื่อเอเจนต์ว่า "df") แต่เอเจนต์ DF ก็สามารถเปิดใช้งานได้หลายตัว (รวมไปถึงที่มีมาให้กับแพลตฟอร์มแต่ต้น) แล้วให้ทำงานร่วมกันโดยให้ใช้สมุดหน้าเหลืองแบบกระจายร่วมกัน

## 2) การโต้ตอบของ DF

DF เป็นเอเจนต์ที่มีศักยภาพในการตอบโต้โดยแลกเปลี่ยนข้อความ ACL ใช้การตั้งค่า language เป็น SL0 และตั้งค่า ontology เป็น FIPA-agent-management เพื่อให้สอดคล้องตามมาตรฐานของ FIPA และเพื่อความง่ายในการใช้คุณสมบัติตอบโต้นี้ JADE จึงมีคลาส `jade.domain.DFService` สามารถเรียกใช้เพื่อทำการลงประกาศและการค้นหาบริการ

### - บริการลงประกาศ

เอเจนต์ที่ต้องการลงประกาศแก่ DF ต้องมีลักษณะที่ประกอบด้วย AID, language และ ontology ที่ให้เอเจนต์อื่นจำเป็นต้องรู้เพื่อทำการตอบโต้กันได้ โดยในแต่ละบริการที่ลงประกาศมีองค์ประกอบคือ ประเภทบริการ, ชื่อบริการ, language และ ontology ซึ่งจำเป็นในการใช้

ประโยชน์จากบริการนั้น ๆ ด้วยการตั้งค่าเหล่านี้มีอยู่ในคลาส DFAgentDescription, ServiceDescription และ Property ที่อยู่ในแพ็คเกจ jade.domain.FIPAAgentManagement

เพื่อทำการลงทะเบียนบริการ เอเจนต์ต้องตั้งค่าคุณลักษณะ (อาจใช้คลาส DFAgentDescription) และเรียกใช้คำสั่ง register() ในคลาส DFService โดยทั่วไปการลงทะเบียนถูกดำเนินการผ่านคำสั่ง setup() ดังแสดงในเอเจนต์ผู้ขาย ดังนี้

```
protected void setup() {
    ...
    // Register the book-selling device in the yellow pages
    DFAgentDescription dfd = new DFAgentDescription();
    dfd.setName(getAID());
    ServiceDescription sd = new ServiceDescription();
    sd.setType("book-selling");
    sd.setName("JADE-book-trading");
    dfd.addServices(sd);
    try {
        DFService.register(this, dfd);
    }
    catch (FIPAException fe) {
        fe.printStackTrace();
    }
    ...
}
```

สังเกตว่าในตัวอย่างนี้ ไม่ต้องการกำหนด language, ontology หรือ service-specific ส่วนในตอนทำการยุติการทำงานของเอเจนต์สามารถเขียนโค้ดได้ดังนี้

```
protected void takeDown() {
    // Deregister from the yellow pages
    try {
        DFService.deregister(this);
    }
    catch (FIPAException fe) {
        fe.printStackTrace();
    }
    // Close the GUI
    myGui.dispose();
    // Printout a dismissal message
    System.out.println("Seller-agent "+getAID().getName()+"
terminating.");
}
```

- การค้นหาบริการ

เอเจนต์ที่ต้องการค้นหาบริการต้องกำหนดแม่แบบในการค้นหาใน DF โดยผลลัพธ์จากการค้นหาออกมาในแบบรายการเฉพาะที่ตรงกับแม่แบบเท่านั้น

คำสั่ง `search()` ในคลาส `DFService` สามารถนำไปใช้ได้ ดังแสดงในโค้ดนี้  
เพื่อใช้ในเอเจนต์ที่ซื้อหนังสือ สำหรับค้นหาเอเจนต์ที่เป็นผู้ขายหนังสือ

```
public class BookBuyerAgent extends Agent {
    // The title of the book to buy
    private String targetBookTitle;
    // The list of known seller agents
    private AID[] sellerAgents;
    // Put agent initializations here
    protected void setup() {
        // Printout a welcome message
        System.out.println("Hello! Buyer-agent
"+getAID().getName()+" is ready.");

        // Get the title of the book to buy as a start-up argument
        Object[] args = getArguments();
        if (args != null && args.length > 0) {
            targetBookTitle = (String) args[0];
            System.out.println("Trying to buy "+targetBookTitle);

            // Add a TickerBehaviour that schedules a request to
            seller agents every minute
            addBehaviour(new TickerBehaviour(this, 60000) {
                protected void onTick() {
                    // Update the list of seller agents
                    DFAgentDescription template = new
DFAgentDescription();
                    ServiceDescription sd = new ServiceDescription();
                    sd.setType("book-selling");
                    template.addServices(sd);
                    try {
                        DFAgentDescription[] result =
DFService.search(myAgent, template);
                        sellerAgents = new AID[result.length];
                        for (int i = 0; i < result.length; ++i) {
                            sellerAgents[i] = result[i].getName();
                        }
                    }
                    catch (FIPAException fe) {
                        fe.printStackTrace();
                    }
                    // Perform the request
                    myAgent.addBehaviour(new RequestPerformer());
                }
            } );
        }
    }
}
```



### 5.3 การออกแบบระบบมัลติเอเจนต์

การออกแบบระบบมัลติเอเจนต์นี้ ประกอบด้วยเอเจนต์ที่ทำหน้าที่ อันได้แก่เอเจนต์สำหรับนำข้อมูลการวัดจากเครื่องมือวัด เอเจนต์สำหรับรวบรวมค่า และเอเจนต์หลักสำหรับการประมวลผลให้ประสบความสำเร็จและเก็บข้อมูล เพื่อนำมาใช้ได้ในการวิเคราะห์ผลต่อไป

ดังนั้นการออกแบบมัลติเอเจนต์จึงได้กำหนดชื่อและหน้าที่ของแต่ละเอเจนต์ได้ดังนี้

- PAG (Active Power Agent) เป็นเอเจนต์ที่ทำหน้าที่ในการนำข้อมูลการวัดค่ากำลังไฟฟ้า แยกทีฟและส่งออกไป

- QAG (Reactive Power Agent) เป็นเอเจนต์ที่ทำหน้าที่ในการนำข้อมูลการวัดค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟและส่งออกไป

- VAG (Voltage Agent) เป็นเอเจนต์ที่ทำหน้าที่ในการนำข้อมูลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและส่งออกไป

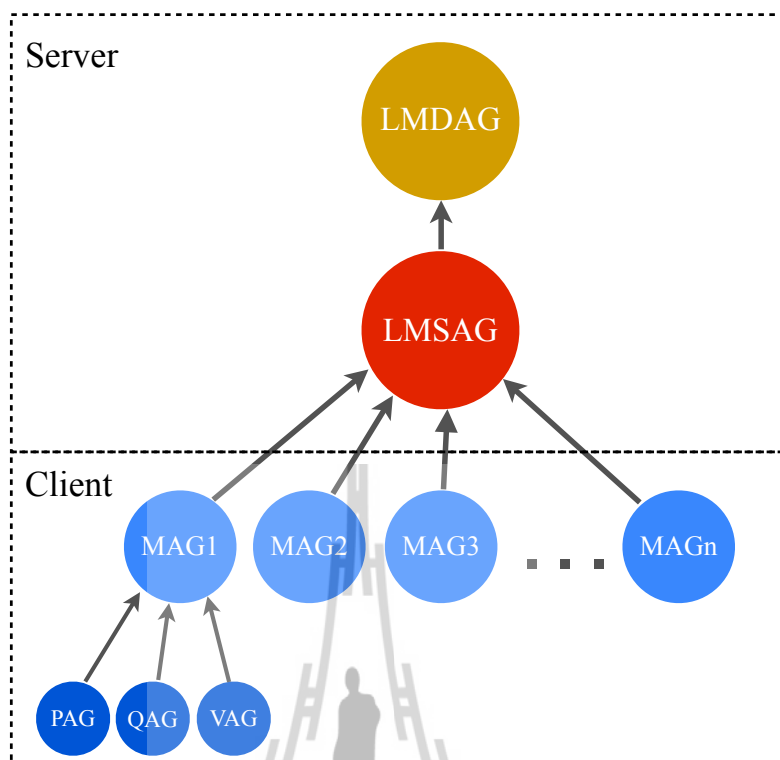
- MAG (Measurement Agent) เป็นเอเจนต์สำหรับการรวมค่าจากเอเจนต์ PAG, QAG และ VAG ในสถานที่นั้น ๆ เพื่อทำการส่งค่าไปยังเอเจนต์ LMSAG ต่อไป

- LMSAG (Load Measurement Agent) เป็นเอเจนต์ที่ทำงานในการรวบรวมค่าจากการวัดในแต่ละโหนดในแต่ละสถานที่ และจัดสรรข้อมูลโหนดเพื่อส่งไปยังเอเจนต์ LMDAG เพื่อทำการคำนวณต่อไป

- LMDAG (Load Modeling Agent) เป็นเอเจนต์ที่ทำการรับค่ามาแล้วทำการประมวลผลและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหนดนี้ที่เป็นแบบ ZIP ในทุก ๆ ครั้งที่เอเจนต์ LMSAG ส่งค่าเข้ามา โดยเอเจนต์นี้มีหน้าที่ในการส่งค่าไปคำนวณด้วยโปรแกรม MATLAB แล้วทำการเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ไว้ เป็นอันเสร็จสิ้น

จากการกำหนดหน้าที่ต่าง ๆ ให้กับเอเจนต์ที่สร้างขึ้นเป็นระบบมัลติเอเจนต์ จึงสามารถแสดงเป็นโครงสร้างการทำงานของระบบมัลติเอเจนต์ได้ดังรูปที่ 5.8

จากรูปที่ 5.8 สามารถแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วนด้วยกันคือส่วนที่เป็นเครื่องลูกข่าย (Client) ซึ่งประกอบด้วยเอเจนต์ PAG, QAG และ VAG ภายในเอเจนต์ MAG ซึ่งแต่ละเอเจนต์ MAG อาจอยู่ในต่างสถานที่กัน กระจายออกไปตามสถานที่ของเครื่องมือวัด และอีกส่วนหนึ่งคือส่วนเครื่องหลัก (Server) ประกอบด้วยเอเจนต์ LMSAG และ LMDAG ซึ่งอยู่ในคอมพิวเตอร์เครื่องหลักเพื่อความสะดวกในการประมวลผลและการเรียกใช้งานต่อไป



รูปที่ 5.8 โครงสร้างการทำงานของระบบมัลติเอเจนต์

#### เอเจนต์ PAG, QAG และ VAG

เอเจนต์ PAG, QAG และ VAG เอเจนต์ทั้งสามนี้มีหน้าที่ในการทำงานที่คล้ายคลึงกัน คือ ทำการนำค่าจากเครื่องมือวัดแล้วส่งออกไป ซึ่งกำหนดให้เอเจนต์ทำงานด้วยพฤติกรรมแบบทำงานเป็นเวลาหรือก็คือให้เอเจนต์ส่งข้อมูลการวัดเป็นระยะ ๆ ในที่นี้กำหนดให้ส่งค่าที่วัดทุก ๆ 15 นาที โดยคำสั่งของ JADE ที่ใช้ในเอเจนต์นี้คือ TickerBehaviour () และ send ()

ตารางที่ 5.1 ประเภทข้อมูลของเอเจนต์ PAG, QAG และ VAG

คุณลักษณะ	ค่าที่ปรับตั้ง
ID of PAG, QAG and VAG	Integer
PAG Active Power capacity	MW
QAG Reactive Power capacity	MVAR
VAG Voltage	kV
Content	String
Language	String

### เอเจนต์ MAG

เอเจนต์ MAG นี้ ทำหน้าที่สำหรับการรวบรวมค่าที่ส่งมาจากทั้ง 3 เอเจนต์คือ เอเจนต์ PAG, QAG และ VAG แล้วจัดข้อมูลการวัดให้อยู่ในรูปแบบแพ็คเกจเดียวเพื่อส่งต่อไปยังเอเจนต์ LMSAG ซึ่งกำหนดให้เอเจนต์ MAG ทำงานด้วยพฤติกรรมแบบวงจร ทำงานเป็นวงรอบไปเรื่อย ๆ เพื่อรอรับข้อมูลจากเอเจนต์ PAG, QAG และ VAG ที่จะเข้ามาเวลาไหนก็ได้ โดยคำสั่งของ JADE ที่ใช้ในเอเจนต์นี้คือ `CyclicBehaviour()`, `receive()` และ `send()`

ตารางที่ 5.2 ประเภทข้อมูลของเอเจนต์ MAG

คุณลักษณะ	ค่าที่ปรับตั้ง
ID of MAG	Integer
MAG Active Power capacity	MW
MAG Reactive Power capacity	MVAR
MAG Voltage	kV
Content	String
Language	String

### เอเจนต์ LMSAG

เอเจนต์นี้ทำหน้าที่ในการรวบรวมค่าจากแต่ละเอเจนต์ MAG เพื่อส่งต่อไปยังเอเจนต์ LMDAG ต่อไป ซึ่งอีกหน้าที่หนึ่งของเอเจนต์นี้คือการทำหน้าที่ติดต่อรับข้อความจากเอเจนต์เครื่องลูกข่ายที่อาจอยู่ห่างไกลออกไปเข้ามายังเครื่องหลักผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตภายใน โดยคำสั่งของ JADE ที่ใช้ในเอเจนต์นี้คือ `CyclicBehaviour()`, `receive()` และ `send()`

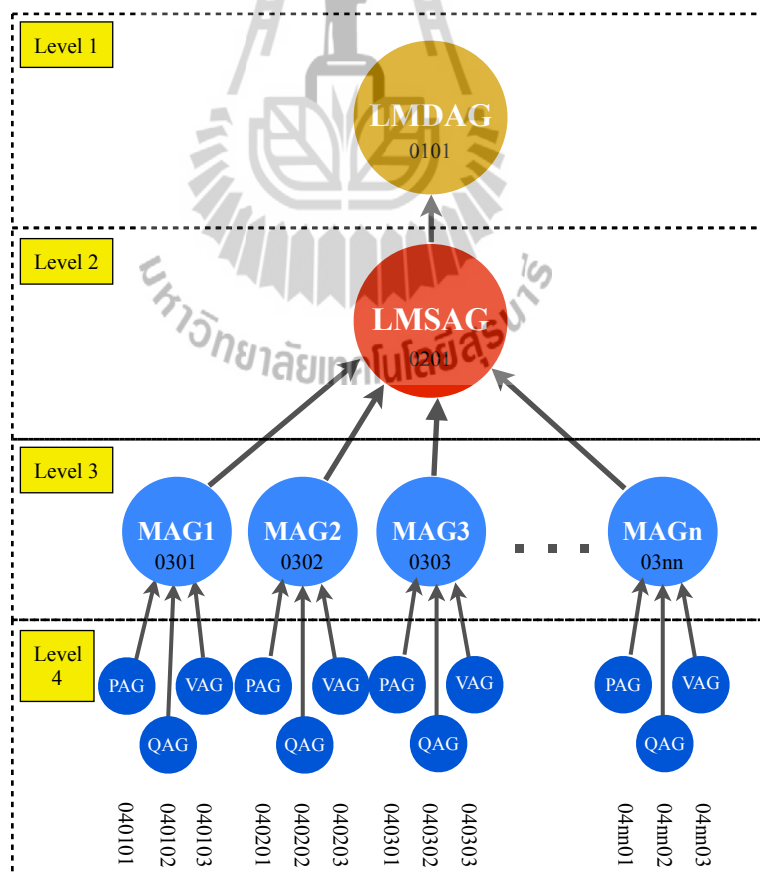
ตารางที่ 5.3 ประเภทข้อมูลของเอเจนต์ LMSAG

คุณลักษณะ	ค่าที่ปรับตั้ง
ID of LMSAG	Integer
LMSAG Active Power capacity	MW
LMSAG Reactive Power capacity	MVAR
LMSAG Voltage	kV
Content	String
Language	String

### เอเจนต์ LMDAG

เอเจนต์นี้ถือว่าเป็นเอเจนต์หลักและสำคัญอย่างมาก เนื่องจากเป็นเอเจนต์ที่ทำหน้าที่สำหรับคำนวณหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองโพลด โดยเอเจนต์นี้ทำการเรียกใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อความสะดวกในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เมื่อได้พารามิเตอร์ออกมาแล้วจึงทำการจัดเก็บในรูปแบบ ไฟล์ข้อความ (Text file) เพื่อสามารถนำไปใช้ประกอบการวิเคราะห์เมื่อต้องการด้วยการดึงข้อมูลแบบจำลองโพลดจากไฟล์ข้อความดังกล่าว โดยคำสั่งของ JADE ที่ใช้ในเอเจนต์นี้คือ `CyclicBehaviour()` และ `receive()`

เพื่อความง่ายในการใช้งานติดต่อสื่อสารระหว่างเอเจนต์และอื่น ๆ จึงต้องทำการกำหนดหมายเลขระบุตัวเอเจนต์ (ID of Agent) ขึ้นมา โดยกำหนดให้มีหมายเลข 4 หลัก คือ สองหลักแรกบ่งบอกถึงระดับชั้นของเอเจนต์และอีกสองหลักต่อมาแทนลำดับของเอเจนต์นั้น ๆ ยกเว้นระดับชั้นที่ 4 ที่ต้องกำหนดให้มีหมายเลข 6 หลัก คือ สองหลักแรกบ่งบอกถึงระดับชั้นของเอเจนต์ สองหลักต่อมาแทนลำดับของเอเจนต์ MAG และสองหลักสุดท้ายคือหมายเลขบอกเอเจนต์ นั่นคือ 01 คือเอเจนต์ PAG, 02 คือเอเจนต์ QAG และ 03 คือเอเจนต์ VAG โดยได้แสดงการกำหนดหมายเลขระบุตัวเอเจนต์ในรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 หมายเลขระบุตัวเอเจนต์

และอีกส่วนสำคัญคือ Language ในการรับ-ส่งข้อความแบบ ACLMessage ส่วนนี้ได้กำหนดเป็นตัวเลขแทนเพื่อใช้เป็นหมายเลขการสื่อสารเพื่อป้องกันการส่งข้อความผิดพลาด โดยเอเจนต์ที่ทำการรับข้อความต้องทำการตรวจสอบว่าหมายเลขของ Language ตรงกันหรือไม่ เมื่อตรงกันจึงทำการประมวลผลต่อไป เพื่อง่ายต่อการเข้าใจจึงกำหนดหมายเลขของ Language จากหมายเลขระบุตัวเอเจนต์ของเอเจนต์ที่ส่งข้อความนั้น ๆ เข้ามา

โดยโค้ดของเอเจนต์ทั้งหมดนี้ที่เขียนด้วยภาษาจาวา และโค้ดโปรแกรม MATLAB สำหรับการคำนวณแบบจำลองไหลค ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

## 5.4 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบนี้ เป็นการแสดงการทำงานของระบบมัลติเอเจนต์ที่ทำงานด้วยเครื่องมือ JADE และข้อมูลแบบจำลองไหลคที่ได้จากระบบมัลติเอเจนต์นี้ ซึ่งการทดสอบนี้ใช้ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ณ สถานีไฟฟ้าย่อยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตั้งแต่วันที่ 23 กันยายน พ.ศ. 2556 ถึงวันที่ 29 กันยายน พ.ศ. 2556 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้านี้ได้แสดงอย่างละเอียดในภาคผนวก ก.

### 5.4.1 การปฏิบัติการด้วยเครื่องมือ JADE

JADE ถือว่าเป็นเครื่องมือสำคัญในการจัดการและตรวจสอบดูแลระบบมัลติเอเจนต์ ซึ่งมีเครื่องมือที่อำนวยความสะดวกในการจัดการ และยังมีเครื่องมือที่จำเป็นให้เลือกใช้ อย่างในหัวข้อนี้ได้ใช้เครื่องมือของ JADE ที่เรียกว่า Sniffer เพื่อตรวจสอบและสอดส่องการรับ-ส่งข้อความติดต่อสื่อสารว่าเป็นไปตามที่ออกแบบไว้หรือไม่

การทำงานของระบบมัลติเอเจนต์นั้นเริ่มจากการสั่งให้เอเจนต์ทำงานด้วยคำสั่งในบรรทัดคำสั่ง (Command line) เพื่อเปิดการทำงานของเอเจนต์และสั่งให้เอเจนต์เข้าสู่สถานะทำงานแล้วเริ่มทำงานตามที่ได้กำหนดไว้ โดยคำสั่งด้านล่างนี้เป็นตัวอย่างคำสั่งการเริ่มทำงานของเอเจนต์ PAG

```
>> java jade.Boot -gui PAG01:PAG01 (MAG01)
```

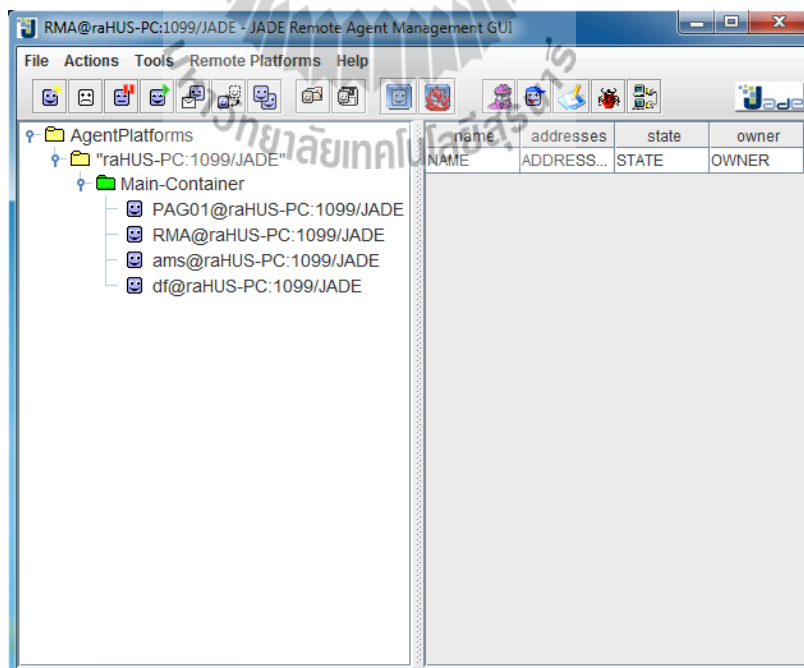
คำสั่งดังกล่าวด้านบนคือ การเปิดการทำงานของจาวาและเครื่องมือ JADE ถูกเรียกใช้มาเพื่อเริ่มทำงาน และได้กำหนดชื่อเรียก (nickname) ให้แก่เอเจนต์คือ PAG01 และกำหนดอาร์กิวเมนต์เป็น MAG01 ซึ่งโปรแกรมกำหนดไว้เพื่อกำหนดชื่อเอเจนต์ปลายทางสำหรับการส่งข้อความ ดังแสดงข้อความเริ่มต้นของ JADE ด้านล่างนี้ และด้วยคำสั่ง -gui เป็นคำสั่งสำหรับเปิดหน้าต่างติดต่อผู้ใช้ขึ้นมาดังแสดงในรูปที่ 5.10

```
C:\jade>java jade.Boot -gui PAG01:PAG01 (MAG01)
Jun 30, 2014 1:43:30 PM jade.core.Runtime beginContainer
INFO: -----
```

This is JADE snapshot - version \$WCREV\$ of \$WCDATE\$  
 downloaded in Open Source, under LGPL restrictions,  
 at <http://jade.tilab.com/>

```

-----
Jun 30, 2014 1:43:31 PM jade.core.BaseService init
INFO: Service jade.core.management.AgentManagement initialized
Jun 30, 2014 1:43:31 PM jade.core.BaseService init
INFO: Service jade.core.messaging.Messaging initialized
Jun 30, 2014 1:43:31 PM jade.core.BaseService init
INFO: Service jade.core.mobility.AgentMobility initialized
Jun 30, 2014 1:43:31 PM jade.core.BaseService init
INFO: Service jade.core.event.Notification initialized
Jun 30, 2014 1:43:31 PM jade.core.messaging.MessagingService
clearCachedSlice
INFO: Clearing cache
Jun 30, 2014 1:43:31 PM jade.mtp.http.HTTPService <init>
INFO: HTTP-MTP Using XML parser
com.sun.org.apache.xerces.internal.jaxp.SAXParserImpl
$JAXPSAXParser
Jun 30, 2014 1:43:31 PM jade.core.messaging.MessagingService
boot
INFO: MTP addresses:
http://192.168.37.130:7778/aac
Jun 30, 2014 1:43:31 PM jade.core.AgentContainerImpl
joinPlatform
INFO: -----
Agent container Main-Container@raHUS-PC is ready.
-----
My name is PAG01
  
```



รูปที่ 5.10 หน้าต่างติดต่อผู้ใช้ของ JADE

เพื่อให้ระบบมัลติเอเจนต์เริ่มทำงานต้องทำการเปิดใช้งานของเอเจนต์ด้วยคำสั่งที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยในเครื่องหลักต้องทำการเริ่มต้นเอเจนต์ LMDAG และเอเจนต์ LMSAG ส่วนเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องต้องทำการเริ่มต้นเอเจนต์ PAG, QAG, VAG และ MAG ซึ่งในเอเจนต์ MAG ต้องทำการติดต่อส่งข้อมูลไปยังเอเจนต์ LMSAG ภายในเครือข่ายภายในด้วยการกำหนด IP address ของเครื่องหลัก ซึ่งทำการกำหนด IP address ในตอนที่พิมพ์คำสั่งเริ่มต้นการทำงานของเอเจนต์ MAG ดังแสดงคำสั่งด้านล่างนี้

```
>> java jade.Boot -container -host 192.168.116.24
MAG01:MAG01 (LMSAG)
```

ส่วนสำคัญที่นำไปใช้ทุกเอเจนต์คือความสารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเอเจนต์ใน JADE นั้นการสื่อสารระหว่างเอเจนต์คือการรับ-ส่งข้อความ ซึ่งเป็นข้อความในรูปแบบ ACL Message ตามมาตรฐานของ FIPA โดยเอเจนต์ที่ได้ออกแบบได้กำหนดรูปแบบของ ACLMessage ไว้ดังนี้

ตารางที่ 5.4 การกำหนดส่วนประกอบของ ACLMessage

ส่วนประกอบ	คำอธิบายและการกำหนด
Sender	ชื่อผู้ส่งข้อความ
Receivers	ชื่อผู้รับข้อความ ซึ่งเป็นไปตามรูปแบบของ AID คือ <nickname>@<platform-name>
Performative	ความมุ่งหมายในการสื่อสาร ซึ่งในงานนี้เป็นการสื่อสารทางเดียวจึงใช้ REQUEST
Content	เป็นเนื้อหาที่ทำการส่ง
Language	กำหนดข้อตกลงความถูกต้องของการรับ-ส่งข้อความ

โดยตัวอย่างด้านล่างนี้เป็นตัวอย่างของคำสั่งสำหรับการส่งข้อความในรูปแบบของ ACLMessage ออกจากตัวเอเจนต์ ซึ่งในตัวอย่างนี้เป็นการส่งข้อความจากเอเจนต์ PAG1 ไปยังเอเจนต์ MAG1

```
private void sendMessage() {
    AID r = new AID ("MAG1"+"@"+getHap(), AID.ISGUID);
    ACLMessage aclMessage = new ACLMessage (ACLMessage.REQUEST);
    aclMessage.addReceiver (r);
```

```

    aclMessage.setLanguage("040101"); //Code "040101" is for
message from PAG1
    aclMessage.setContent(LoadDemandP);
    this.send(aclMessage);
}

```

จากตัวอย่างดังกล่าวทุกเอเจนต์ที่ทำการรับข้อความต้องทำการตรวจสอบ Language ว่าถูกต้องตามที่ได้ออกแบบหรือไม่ ถ้าใช่จึงทำการประมวลผลทางข้อมูลต่อไป ส่วนในเอเจนต์ LMDAG ต้องมีการเรียกใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ด้วยคำสั่งจากเอเจนต์ด้านล่างนี้

```

try{
    String[] cmd = { "C:\\Program Files\\MATLAB\\R2012a\\bin\\
\\matlab", "-r", "runLoadModel" };
    Process p = Runtime.getRuntime().exec(cmd);
}
catch (Exception e) {
    System.out.println("exception happened - here's what I know:
");
    e.printStackTrace();
}

```

ด้วยคำสั่งนี้เป็นการเรียกใช้โปรแกรม MATLAB และรันฟังก์ชันชื่อ runLoadModel ที่เป็นโปรแกรมทาง MATLAB ที่มีหน้าที่ในการสร้างแบบจำลองโหนดแบบ ZIP และบันทึกผลลัพธ์ไว้ในรูปแบบไฟล์ข้อความ ซึ่งได้กำหนดให้เอเจนต์ LMDAG เว้นการเรียกใช้โปรแกรมทุก 40 วินาที เพื่อเว้นระยะเวลาพอให้โปรแกรม MATLAB ประมวลผล โดยไฟล์ runLoadModel.m และโปรแกรมย่อยได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.

โดยการทำงานของระบบมัลติเอเจนต์นี้ในส่วนเครื่องลูกข่ายสำหรับส่งค่าจากเครื่องวัด ซึ่งพิมพ์คำสั่งเริ่มต้นการทำงานของเอเจนต์ PAG, QAG, VAG และ MAG ดังแสดงคำสั่งด้านล่างนี้

```

>> java jade.Boot -container -host 192.168.37.130
PAG1:PAG1(MAG1) QAG1:QAG1(MAG1) VAG1:VAG1(MAG1)
MAG1:MAG1(LMSAG)

```

และการทำงานของระบบมัลติเอเจนต์นี้ในส่วนเครื่องหลักสำหรับการประมวลผลและคำนวณหาแบบจำลองโหนด ซึ่งพิมพ์คำสั่งเริ่มต้นการทำงานของเอเจนต์ LMSAG และ LMDAG ดังแสดงคำสั่งด้านล่างนี้

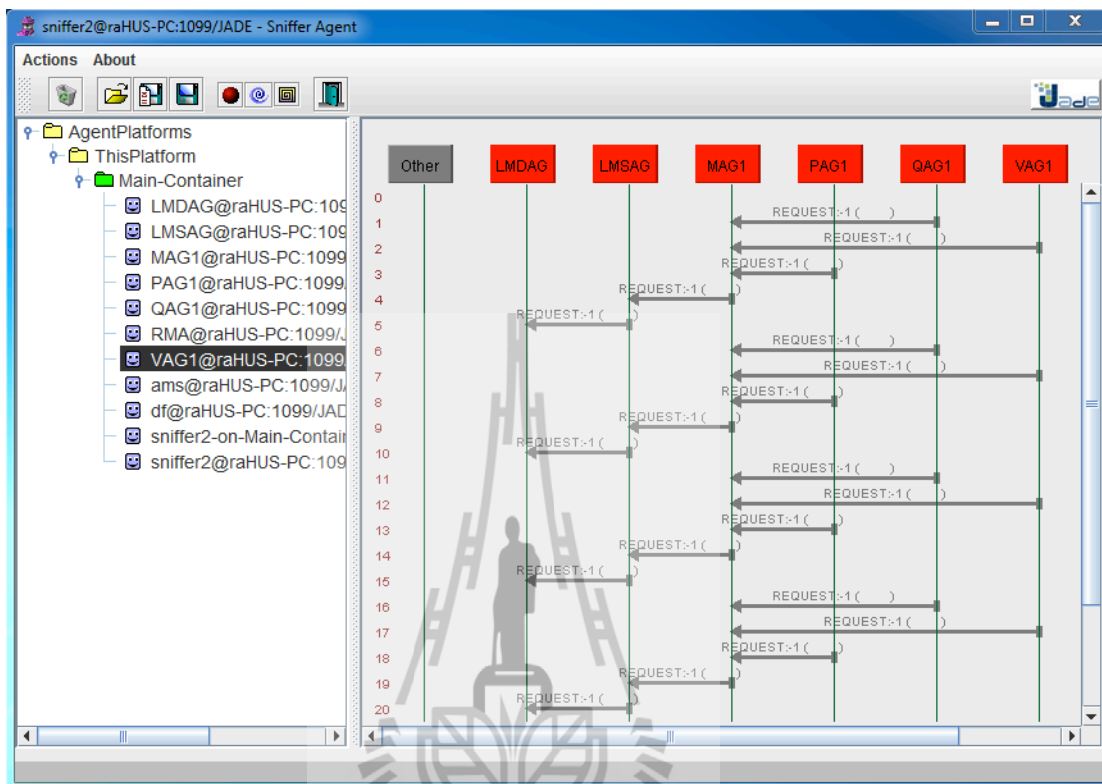
```

>> java jade.Boot -gui LMDAG:LMDAG LMSAG:LMSAG(LMDAG)

```



โดยการทำงานของระบบมัลติเอเจนต์นี้ได้แสดงเส้นทางการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างเอเจนต์ซึ่งใช้เครื่องมือ sniffer ของ JADE ตามรูปที่ 5.11 นี้

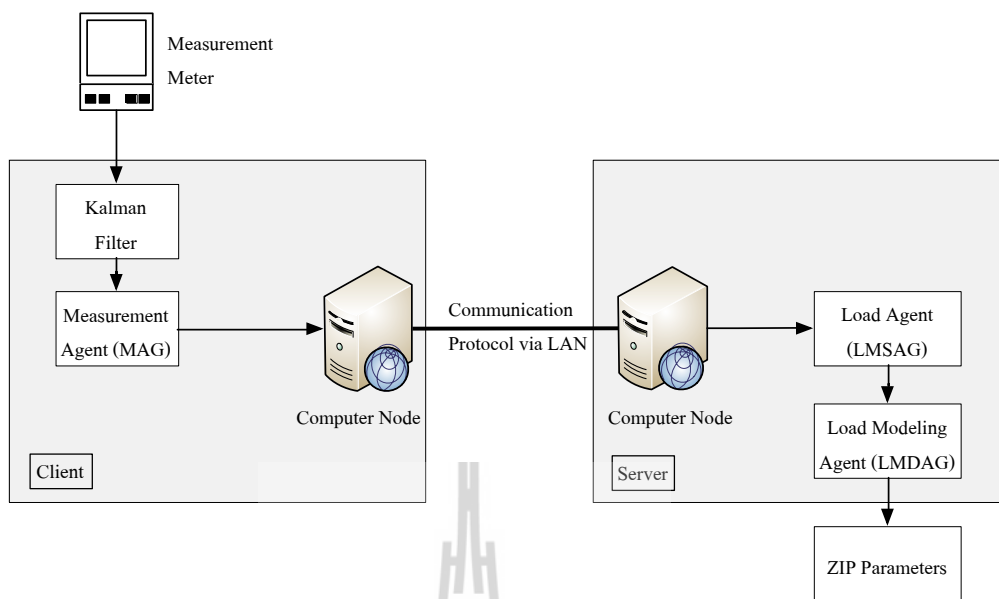


รูปที่ 5.11 เส้นทางการรับ-ส่งข้อความของเอเจนต์

จากรูปที่ 5.11 เป็นภาพแสดงส่วนติดต่อผู้ใช้ที่เป็นเครื่องสำหรับการติดตามดูเส้นทางการรับ-ส่งข้อความของเอเจนต์ที่มีชื่อว่า Sniffer ซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นว่าเริ่มจากการส่งข้อมูลจากเอเจนต์ PAG01, QAG01 และ VAG01 ไปยังเอเจนต์ MAG01 แล้วเอเจนต์ MAG01 จึงส่งต่อข้อมูลไปยังเอเจนต์ LMSAG และเอเจนต์ LMSAG ก็ส่งไปยังเอเจนต์ LMDAG ถือเป็นจุดสิ้นสุดของการส่งข้อมูล โดยเอเจนต์ LMDAG จึงได้นำข้อมูลไปประมวลผลต่อไป

#### 5.4.2 การสร้างแบบจำลองโหนด

วิธีการสร้างแบบจำลองโหนด คือ การหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหนด ZIP โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 แล้วนำพารามิเตอร์ที่ได้แทนในสมการที่ (3.17) และ (3.18) ดังที่ได้สร้างขึ้นเป็นระบบและทำงานได้ดังแผนภาพในรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 โครงสร้างการทำงานของระบบ

เมื่อได้ทำการสร้างแบบจำลองโหลดด้วยระบบมัลติเอเจนต์ที่ได้ออกแบบ โดยเป็นข้อมูลจากการใช้จริงของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์และกำหนดช่วงระยะของแบบจำลองโหลดคือ 2 ชั่วโมง พารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดได้ดังตารางที่ 5.6

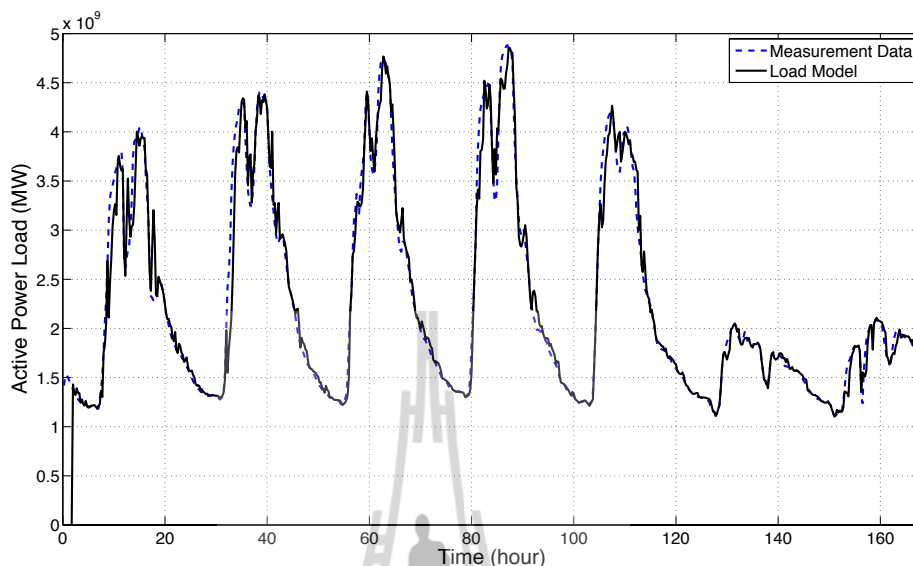
ตารางที่ 5.5 ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่มีช่วงระยะแบบจำลองโหลดเท่ากับ 2 ชั่วโมง

วัน เวลา	$Z_p$	$I_p$	$P_p$	ผลรวม	$Z_q$	$I_q$	$P_q$	ผลรวม
24/9/2556 00:00	-331.186	667.170	-335.380	0.604	-1024.856	2063.594	-1038.122	0.616
24/9/2556 00:15	191.164	-390.230	199.732	0.666	209.499	-434.256	225.505	0.749
24/9/2556 00:30	-1067.746	2166.385	-1098.267	0.373	-2775.524	5627.775	-2852.197	0.054
24/9/2556 00:45	-980.861	1992.510	-1011.299	0.349	-2421.743	4915.297	-2493.519	0.035
24/9/2556 01:00	-559.644	1139.154	-579.100	0.410	-1176.077	2390.925	-1214.623	0.225
24/9/2556 01:15	182.589	-365.213	183.150	0.526	162.450	-322.482	160.473	0.442

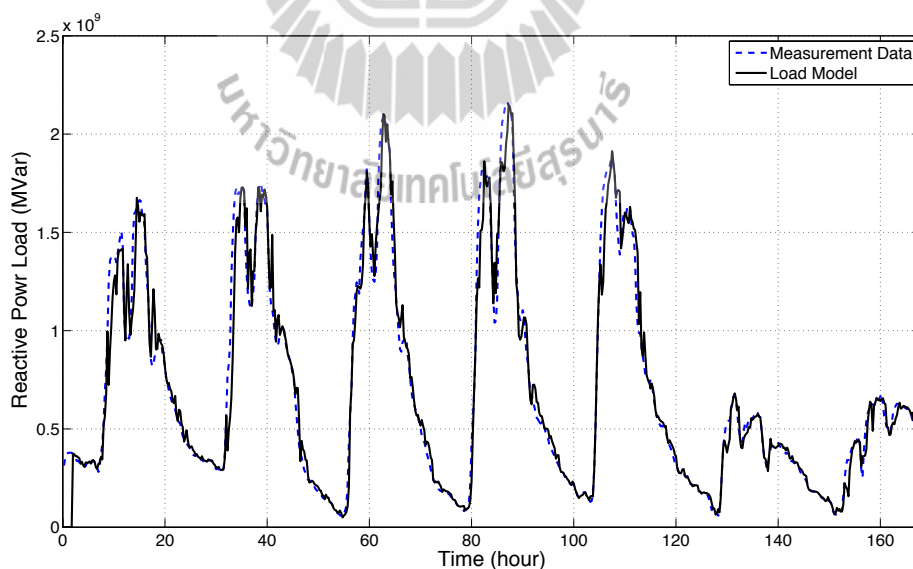
ตารางที่ 5.5 ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่มีช่วงระยะแบบจำลองโหลดเท่ากับ 2 ชั่วโมง (ต่อ)

วัน เวลา	$Z_p$	$I_p$	$P_p$	ผลรวม	$Z_q$	$I_q$	$P_q$	ผลรวม
24/9/2556 01:30	1279.461	-2589.735	1310.994	0.719	1759.534	-3561.622	1802.811	0.724
24/9/2556 01:45	1888.691	-3824.217	1936.342	0.815	2421.266	-4902.515	2482.078	0.829
24/9/2556 02:00	-241.326	482.437	-240.544	0.567	27.462	-62.581	35.669	0.550
24/9/2556 02:15	578.522	-1178.875	601.050	0.696	934.053	-1900.122	966.767	0.697
24/9/2556 02:30	635.575	-1294.568	659.696	0.703	968.868	-1970.566	1002.396	0.698
24/9/2556 02:45	762.742	-1552.995	790.985	0.732	1018.791	-2071.843	1053.756	0.705
24/9/2556 03:00	1033.920	-2104.844	1071.734	0.810	1226.044	-2493.602	1268.323	0.764
24/9/2556 03:15	768.940	-1567.149	798.963	0.754	952.922	-1939.539	987.326	0.709
24/9/2556 03:30	827.600	-1686.323	859.488	0.766	1012.685	-2060.995	1049.032	0.722
24/9/2556 03:45	955.839	-1947.368	992.332	0.804	1202.005	-2446.347	1245.119	0.777
24/9/2556 04:00	1255.936	-2557.834	1302.783	0.885	1508.273	-3069.316	1561.903	0.859
24/9/2556 04:15	1029.842	-2098.765	1069.756	0.832	1242.949	-2530.539	1288.387	0.796
24/9/2556 04:30	134.923	-276.414	142.031	0.541	72.234	-146.752	74.936	0.418
24/9/2556 04:45	-84.343	172.330	-87.560	0.427	-253.609	519.963	-266.102	0.252
24/9/2556 05:00	-197.090	403.470	-206.021	0.359	-406.832	833.987	-426.993	0.162

และเมื่อนำพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดที่ได้ไปแทนในสมการของแบบจำลอง โหลดจึงได้กราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการวัด ดังรูปที่ 5.13 และ 5.14



รูปที่ 5.13 เปรียบระหว่างข้อมูลจากการวัดและแบบจำลองโหลดที่โหลดเป็นกำลังไฟฟ้าเอกทีฟ โดยมีช่วงระยะแบบจำลองโหลดคือ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 5.14 เปรียบระหว่างข้อมูลจากการวัดและแบบจำลองโหลดที่โหลดเป็นกำลังไฟฟารีเอกทีฟ โดยมีช่วงระยะแบบจำลองโหลดคือ 2 ชั่วโมง

จากรูปที่ 5.13 และ 5.14 เห็นได้ว่ารูปกราฟของทั้งข้อมูลจากการวัดและแบบจำลอง โหลดมีความใกล้เคียงกัน อันเนื่องมาจากช่วงระยะของแบบจำลองโหลดน้อย ทำให้แบบจำลอง โหลดมีเคลื่อนไหวที่รวดเร็วและค่าของโหลดไม่หนีห่างจากข้อมูลจากการวัดมาก แต่เมื่อดูผลรวม ของพารามิเตอร์ในตารางที่ 5.5 และผลรวมของพารามิเตอร์มีความไม่คงที่และยังไม่เป็นไปตาม สมการที่ (3.15) และ (3.16) ที่ผลรวมพารามิเตอร์ต้องใกล้เคียง 1 อีกด้วย

และหากเปลี่ยนช่วงระยะแบบจำลองโหลดให้กว้างขึ้นเป็น 1 วัน พารามิเตอร์ของ แบบจำลองโหลดได้ดังตารางที่ 5.6

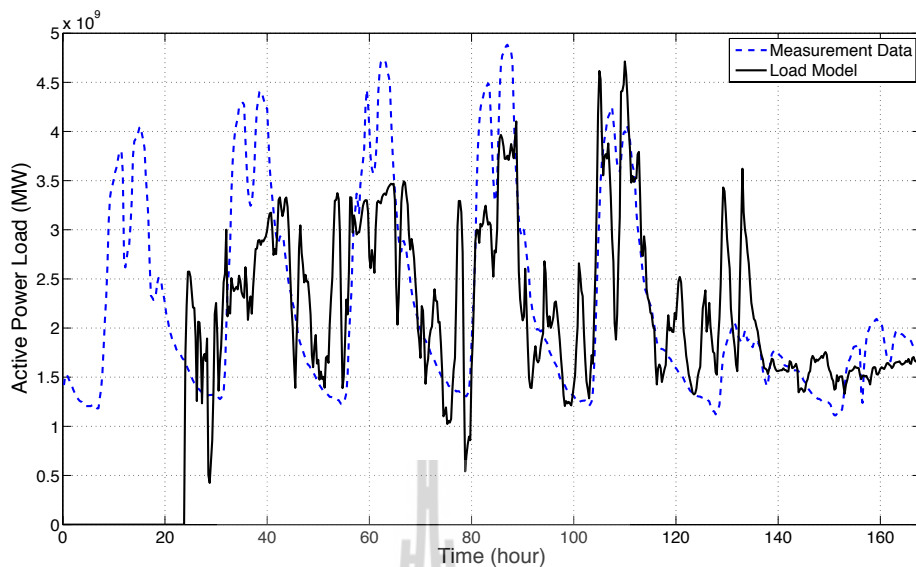
ตารางที่ 5.6 ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่มีช่วงระยะแบบจำลองโหลดเท่ากับ 1 วัน

วัน เวลา	$Z_p$	$I_p$	$P_p$	ผลรวม	$Z_q$	$I_q$	$P_q$	ผลรวม
24/9/2556 00:00	-605.167	1191.839	-585.557	1.116	-762.052	1489.647	-726.114	1.481
24/9/2556 00:15	-606.651	1194.282	-586.506	1.124	-762.373	1489.277	-725.407	1.497
24/9/2556 00:30	-599.391	1179.908	-579.397	1.120	-756.550	1478.089	-720.050	1.489
24/9/2556 00:45	-586.149	1153.469	-566.204	1.116	-738.960	1443.159	-702.718	1.481
24/9/2556 01:00	-579.568	1140.408	-559.727	1.113	-729.779	1425.041	-693.787	1.475
24/9/2556 01:15	-573.350	1127.929	-553.467	1.112	-717.937	1401.262	-681.851	1.474
24/9/2556 01:30	-579.800	1140.921	-560.009	1.112	-725.229	1415.901	-689.198	1.475
24/9/2556 01:45	-556.585	1094.022	-536.324	1.112	-683.990	1332.576	-647.111	1.475
24/9/2556 02:00	-561.191	1103.363	-541.060	1.112	-688.518	1341.724	-651.731	1.475
24/9/2556 02:15	-560.258	1101.879	-540.512	1.110	-693.354	1352.047	-657.221	1.472

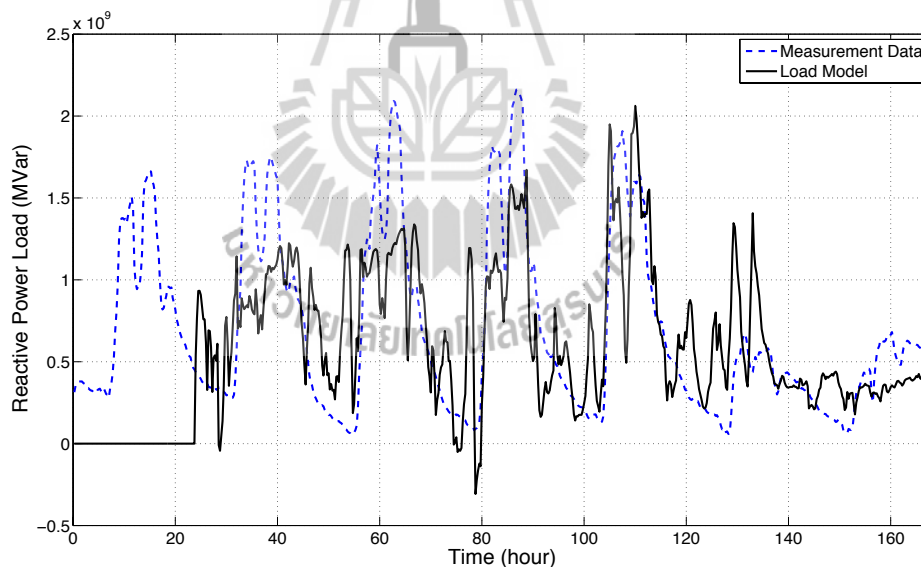
ตารางที่ 5.6 ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่มีช่วงระยะแบบจำลองโหลดเท่ากับ 1 วัน (ต่อ)

วัน เวลา	$Z_p$	$I_p$	$P_p$	ผลรวม	$Z_q$	$I_q$	$P_q$	ผลรวม
24/9/2556 02:30	-541.609	1064.181	-521.462	1.111	-659.650	1283.869	-622.746	1.473
24/9/2556 02:45	-545.172	1071.415	-525.133	1.110	-661.262	1287.134	-624.399	1.473
24/9/2556 03:00	-553.074	1087.444	-533.260	1.110	-670.955	1306.754	-634.326	1.473
24/9/2556 03:15	-589.284	1161.011	-570.620	1.107	-730.465	1427.575	-695.642	1.468
24/9/2556 03:30	-636.067	1255.599	-618.426	1.106	-802.172	1572.517	-768.879	1.467
24/9/2556 03:45	-674.578	1333.510	-657.829	1.104	-860.438	1690.347	-828.445	1.464
24/9/2556 04:00	-732.040	1449.596	-716.453	1.104	-949.468	1870.171	-919.239	1.464
24/9/2556 04:15	-777.498	1541.264	-762.660	1.106	-1017.968	2008.262	-988.826	1.467
24/9/2556 04:30	-620.887	1225.636	-603.637	1.112	-788.320	1545.452	-755.655	1.477
24/9/2556 04:45	-386.092	751.820	-364.603	1.125	-442.838	848.241	-403.907	1.495
24/9/2556 05:00	-253.905	485.223	-230.188	1.130	-247.938	455.107	-205.664	1.504

และเมื่อนำพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดที่ได้ไปแทนในสมการของแบบจำลองโหลดจึงได้กราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการวัด ดังรูปที่ 5.15 และ 5.16



รูปที่ 5.15 เปรียบระหว่างข้อมูลจากการวัดและแบบจำลองโหลดที่โหลดเป็นกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ โดยมีช่วงระยะแบบจำลองโหลดคือ 1 วัน



รูปที่ 5.16 เปรียบระหว่างข้อมูลจากการวัดและแบบจำลองโหลดที่โหลดเป็นกำลังไฟฟารีแอกทีฟ โดยมีช่วงระยะแบบจำลองโหลดคือ 1 วัน

จากรูปที่ 5.15 และ 5.16 เป็นกราฟที่ใช้ช่วงระยะแบบจำลองโหลดที่กว้าง อย่างในกราฟเป็นช่วงระยะแบบจำลองโหลดเท่ากับ 1 วัน นั่นคือแบบจำลองโหลดนั้นแทนโหลดของช่วงเวลาของ 1 วันที่ผ่านมา และเมื่อเลื่อนตำแหน่งไปเรื่อย ๆ แบบจำลองโหลดที่ได้ก็คือแบบจำลอง

โหลดของช่วงเวลา 24 ชั่วโมงที่ทำการพิจารณา และเมื่อพิจารณาจากตัวอย่างพารามิเตอร์ที่ได้ในตารางที่ 5.6 ผลรวมพารามิเตอร์ของกำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่มีค่าใกล้เคียง 1 และมีความคงที่พอสมควร ส่วนของกำลังไฟฟ้แอกทีฟนั้นถึงผลรวมพารามิเตอร์จะไม่ใกล้เคียง 1 มากแต่มีความคงที่ และเมื่อเปรียบเทียบจากช่วงระยะของแบบจำลองโหลดเท่ากับ 2 ชั่วโมงในตารางที่ 5.5 แล้วจึงกล่าวได้ว่าการใช้แบบจำลองโหลดนั้นควรจะมีช่วงระยะของแบบจำลองโหลดที่กว้างพอสำหรับการพิจารณาเพื่อให้ได้แบบจำลองโหลดที่มีความถูกต้อง

## 5.5 สรุป

บทนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมัลติเอเจนต์เพื่อสร้างแบบจำลองโหลด และได้ออกแบบระบบมัลติเอเจนต์โดยใช้ JADE ซึ่งมีพื้นฐานการทำงานอยู่บนภาษาจาวา ที่มีความปลอดภัยสูง และไม่ยึดติดกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์เพียงแบบใดแบบหนึ่ง โดยใช้ JADE เป็นเครื่องมือในการสร้างเอเจนต์และอำนวยความสะดวกในการทำงานของเอเจนต์ จนเกิดเป็นระบบมัลติเอเจนต์ที่ทำหน้าที่ในการดึงค่าจากจุดวัดแล้วนำมาสร้างแบบจำลองโหลดได้โดยไม่ต้องมีผู้ดูแลควบคุมอยู่ตลอดเวลา โดยมีการทำงานเริ่มจากนำข้อมูลจากเครื่องวัดแล้วลดผลกระทบเนื่องจากสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองคาลมานแล้วจึงส่งไปยังเครื่องหลักผ่านเครือข่ายภายใน ซึ่งเครื่องหลักมีหน้าที่ในการสร้างแบบจำลองโหลดและบันทึกเก็บไว้ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถนำไปใช้ได้ต่อไป และจากการทดสอบกับข้อมูลการวัดในระยะเวลา 1 สัปดาห์ จึงทำให้สามารถกำหนดช่วงระยะแบบจำลองโหลดได้หลายช่วง ซึ่งในการทดสอบได้ทดสอบช่วงระยะแบบจำลองโหลด 2 ชั่วโมงและ 1 วัน ผลการทดสอบทำให้เห็นว่าการกำหนดช่วงระยะแบบจำลองโหลดควรกำหนดให้กว้างเพราะยิ่งกว้างนั้นคือมีข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองโหลดมาก ทำให้แบบจำลองโหลดมีความถูกต้อง แม่นยำมากยิ่งขึ้น



## บทที่ 6

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุป

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการศึกษา และพัฒนาการสร้างแบบจำลองโหนดด้วยระบบมัลติเอเจนต์โดยใช้ตัวกรองคาลมานสำหรับลดผลกระทบสัญญาณรบกวนจากข้อมูลการวัด เนื่องจากเครื่องมือสำหรับการสร้างและควบคุมเอเจนต์มีหลากหลาย แต่ได้เลือกใช้ JADE สำหรับพัฒนาเอเจนต์และจัดการให้เกิดเป็นระบบมัลติเอเจนต์ขึ้น เนื่องจากมีพื้นฐานบนภาษาจาวาที่มีความปลอดภัยสูง แพร่หลาย ใช้งานง่าย สามารถทำงานได้หลากหลายระบบโดยที่ไม่ยึดติดกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์เพียงแบบใดแบบหนึ่ง และไม่อนุญาตให้บุคคลอื่นแก้ไขหรือคัดแปลงโปรแกรมได้ โดยหน้าที่ของระบบมัลติเอเจนต์คือการอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลการวัดจากเครื่องมือวัดที่อาจอยู่ห่างไกลตามตำแหน่งของเครื่องมือวัดสามารถส่งข้อมูลไปยังเครื่องหลักผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตภายในและเรียกโปรแกรมสำหรับทำการคำนวณหาแบบจำลองโหนดต่อไป และสามารถให้ระบบดำเนินการเองด้วยความเป็นอัตโนมัติ ซึ่งงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำข้อมูลการวัดจริง ณ สถานีไฟฟ้าย่อยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อศึกษาคูณลักษณะของโหนดและสร้างแบบจำลองโหนดจากข้อมูลดังกล่าว นอกจากนี้ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมัลติเอเจนต์เพื่อสร้างแบบจำลองโหนดอย่างเป็นอัตโนมัติ และใช้ตัวกรองคาลมานสำหรับลดผลกระทบเนื่องจากเครื่องมือวัดรวมไปถึงการผสานรวมเป็นระบบมัลติเอเจนต์ ดังต่อไปนี้

1) นำเสนอการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหนดแบบ ZIP โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยเริ่มจากการแปลงสมการของแบบจำลองโหนดแบบ ZIP ซึ่งแบ่งโหนดออกเป็นสองประเภทคือ โหนดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟและโหนดกำลังไฟฟารีแอกทีฟที่มีพารามิเตอร์ที่ต้องการประเภทละ 3 ตัวแปร นั่นคือ  $Z_p, I_p, P_p, Z_q, I_q$  และ  $P_q$  โดยมีตัวแปรอินพุตเพียง 3 ตัวแปร ดังนั้นจึงใช้วิธีการหาค่าเหมาะที่สุดนั่นคือวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งดำเนินการโดยแปลงสมการแบบจำลองโหนดแบบ ZIP ให้สอดคล้องกับวิธีกำลังสองน้อยที่สุด จึงได้สมการสำหรับคำนวณหาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองโหนดสำหรับใช้ในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ แล้วนำมาทดสอบด้วยระบบทดสอบที่ประกอบด้วยโหนดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ โหนดกำลังไฟฟารีแอกทีฟ และโหนดอิมพีแดนซ์ ผลการทดสอบที่ได้คือแบบจำลองโหนดสามารถแทนพฤติกรรมของโหนดและสามารถบอกได้ว่าโหนดแต่ละประเภทมีขนาดเป็นเท่าใด และยังให้ผลลัพธ์เดียวกันกับในระบบทดสอบ ดังนั้นระเบียบวิธีการหาแบบจำลองโหนดด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดนี้จึงมีความถูกต้องและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอื่นได้

2) นำเสนอการลดผลกระทบของสัญญาณรบกวนจากเครื่องมือวัด โดยใช้ตัวกรองสำหรับลดผลกระทบของสัญญาณรบกวน ซึ่งได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวกรองคาลมานกับตัวกรอง

ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว เพื่อทำการเปรียบเทียบทั้งสองตัวกรองจึงได้สร้างสัญญาณสุ่มที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดเหมือนกับค่าที่วัดได้จริงแล้วเพิ่มสัญญาณรบกวน เริ่มจากตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวกำหนดจำนวนเทอมตั้งแต่ 2-20 เพื่อหาจำนวนเทอมที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด ส่วนตัวกรองคาลมานต้องหาพารามิเตอร์ของตัวกรองคือ  $\Phi$ ,  $Q$ ,  $H$  และ  $R$  โดยใช้วิธีหาค่าเหมาะที่สุดด้วยวิธีทางพันธุกรรมและทำซ้ำทั้งสิ้น 31 รอบแล้วเลือกค่าที่ลำดับมัชฌิมสำหรับใช้เป็นพารามิเตอร์ของตัวกรองคาลมาน ผลการทดสอบที่ได้คือตัวกรองคาลมานสามารถลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว แม้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวมีสมการและระเบียบวิธีการที่ไม่ซับซ้อนแต่ทำให้ลักษณะของสัญญาณสุ่มผิดรูปไปมากและมีประสิทธิภาพที่ด้อยกว่าตัวกรองคาลมาน ซึ่งตัวกรองคาลมานนั้นให้ประสิทธิภาพในการลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าและยังรักษาลักษณะของรูปแบบสัญญาณได้ นอกจากนี้อีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ตัวกรองคาลมานมีความเหมาะสมกับงานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้คือตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียวจะต้องใช้หน่วยความจำเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนเทอมของตัวกรองมีจำนวนมาก ในขณะที่ตัวกรองคาลมานมีการใช้หน่วยความจำของฮาร์ดแวร์หรือคอมพิวเตอร์ไม่มาก ซึ่งจำเป็นมากสำหรับการออกแบบโปรแกรมการทำงานของเอเจนต์

3) นำเสนอการวิธีการสร้างและการทำงานของเอเจนต์ โดยได้เลือกใช้ JADE เป็นเครื่องมือสำหรับสร้างและควบคุมการทำงานของเอเจนต์และได้อธิบายลักษณะการทำงานและทำความเข้าใจกับการสร้างเอเจนต์และการเลือกใช้เครื่องมือต่าง ๆ ภายใน JADE

4) การผสมรวมโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมัลติเอเจนต์เพื่อสร้างแบบจำลองไหลค โดยได้ออกแบบเอเจนต์ที่จำเป็นสำหรับการสร้างแบบจำลองไหลคได้แก่ เอเจนต์ PAG, QAG และ VAG เป็นเอเจนต์สำหรับนำค่าการวัดคือค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟและค่าแรงดันไฟฟ้า ตามลำดับ เอเจนต์ MAG เป็นเอเจนต์ที่มีหน้าที่ในการรวบรวมค่าจากเอเจนต์ PAG, QAG และ VAG แล้วรวบรวมข้อมูลการวัดเป็นแพ็คเกจเพื่อส่งข้อมูล เอเจนต์ LMSAG เป็นเอเจนต์ในฝั่งของเครื่องหลักสำหรับเป็นจุดติดต่อที่ให้เอเจนต์ MAG ในต่างสถานที่ส่งข้อมูลการวัดเข้ามาผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตภายใน และเอเจนต์ LMDAG เป็นเอเจนต์ในการเก็บบันทึกข้อมูลการวัดและเรียกโปรแกรมสำหรับคำนวณเพื่อสร้างแบบจำลองไหลคแล้วทำการบันทึกไว้ โดยเอเจนต์เหล่านี้กำหนดให้ทำงานสอดคล้องกันเป็นระบบเกิดขึ้นเป็นระบบมัลติเอเจนต์ที่สามารถให้ระบบมัลติเอเจนต์ทำงานได้อย่างอัตโนมัติ ทำให้ไม่ต้องควบคุมหรือดูแลจากผู้ปฏิบัติงานอยู่ตลอดเวลา โดยได้นำข้อมูลการใช้ไหลคของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในระยะเวลา 1 สัปดาห์มาทดสอบกับระบบ ทำให้เห็นว่าระบบมัลติเอเจนต์สามารถทำงานได้อย่างราบรื่นและสามารถทำงานเป็นไปอย่างที่กำหนดไว้

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

เมื่อพิจารณาการดำเนินงานวิทยานิพนธ์ที่ผ่านมา ทำให้เกิดแนวคิดหรือข้อเสนอแนะในการดำเนินงานต่อไปในอนาคต ดังต่อไปนี้

1) แบบจำลองโหนดที่เลือกใช้ของงานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้คือแบบจำลองโหนดแบบสถิติ ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้วิเคราะห์โหนดชั่วคราวที่มีการเปลี่ยนแปลงโหนดในช่วงเวลาอันสั้น

2) จากงานในวิทยานิพนธ์การส่งข้อมูลการวัดจากเครื่องลูกข่ายที่ยังใช้เป็นคอมพิวเตอร์ ซึ่งอาจดูเกินจำเป็น การใช้อุปกรณ์ที่มีความสามารถในการทำงานของจาวาได้ อย่างเช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ โทรศัพท์มือถือ ฯลฯ ก็สามารถทำได้ เพื่อเป็นการลดงบประมาณส่วนนี้ด้วย แต่ก็ต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อทำงานร่วมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ นอกจากนี้ส่วนของเครื่องหลักควรมีกำลังในการประมวลผลที่สูงเพื่อให้การคำนวณที่รวดเร็วจะทำให้สามารถรองรับจำนวนงานที่มากขึ้นด้วย

3) ข้อมูลโหนดควรมีการเก็บข้อมูลการวัดให้ได้มากที่สุด เพื่อลดผลกระทบเนื่องจากฤดูกาล ลักษณะการใช้โหนดที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา เพราะยังมีข้อมูลการวัดที่มากก็ยิ่งทำให้แบบจำลองโหนดมีความถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น



## รายการอ้างอิง

- กฤษฎา แสงเพชรส่อง (2547), แนะนำ **Kalman Filter Algorithm**, โรงเรียนนายเรือ 204 สมุทรปราการ.
- ชนิดชัย กุลรวานิชพงษ์ (2554). การหาค่าเหมาะที่สุดในระบบไฟฟ้ากำลัง. จรัลสนิทวงศ์การพิมพ์. ปราโมทย์ เดชะอำไพ และ นิพนธ์ วรรณโสภากย์ (2553). ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิชิต หล่อจิระชุนห์กุล, สมบูรณ์วัลย์ สัตยรักษ์วิทย์, จิราวัลย์ จิตรถเวช และ อัจฉราวรรณ ปิ่นสุกาญจนะ (2539). เทคนิคการพยากรณ์. โครงการส่งเสริมเอกสารวิชาการ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์. 16-33.
- เสาวริน กันหา (2551). ระบบติดตามยานพาหนะโดยใช้จีพีเอสและการทำนายตำแหน่งด้วยคาลมานอัลกอริทึม. วิทยานิพนธ์สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 20-27.
- A. Maitra, A. Gaikwad, P. Zhang and M. Ingram (2006). Using System Disturbance Measurement Data to Develop Improved Load Models. **Power Systems Conference and Exposition**. 1978-1985.
- Amin M. Najafabadi and Ali T. Alouani (2012). Real Time Estimation of Sensitive Parameters of Composite Power System Load Model. **Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D)**. 1-8.
- Audun Botterud, Matthew R. Mahalik, Thomas D. Veselka, Heon-Su Ryu and Ki-Won Sohn, (2007). Multi-Agent Simulation of Generation Expansion in Electricity Markets. **Power Engineering Society General Meeting**. 1-8.
- Dong Liu, Yunping Chen, Guang Shen and Youping Fan (2005). A Multi-Agent Based Approach for Modeling and Simulation of Bulk Power System Restoration. **Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia and Pacific**. 1-6.
- Giovanni Caire (2007). **JADE Tutorial: JADE Programming for Beginners**. Telecom Italia S.p.A.
- Inés Romero Navarro (2002). Dynamic Load Models for Power Systems. **Thesis of Department of Industrial Electrical Engineering and Automation, LUND University**. 31-44.
- Jingchao Zhang, Anhe Yan, Zhuoya Chen and Kun Gao (2008). Dynamic Synthesis Load Modeling Approach Based on Load Survey and Load Curves Analysis. **3rd**

**International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies.** 1067-1071.

- Jing Zhang, J. Y. Wen, S. J. Cheng and Z.Y. Dong (2008). Realization of the WAMS Based Power System Aggregate Load Area Model. **IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century.** 1-6.
- M.Sadeghi, G.Abdollahi sarvi (2009). Determination of ZIP Parameters with Least Squares Optimization Method. **Electrical Power & Energy Conference (EPEC).** 1-6.
- Soo-Hyoung Lee, Seo-Eun Son, Sung-Moo Lee, Jong-Man Cho, Kyung-Bin Song and Jung-Wook Park (2012). Kalman-Filter Based Static Load Modeling of Real Power System Using K-EMS Data. **Journal of Electrical Engineering & Technology**, 7(3): 304-311.
- T. Funabashi, T. Tanabe, T. Nagata and R. Yokoyama (2008). An Autonomous Agent for Reliable Operation of Power Market and Systems Including Microgrids. **Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies.** 173-177.
- Y. Li, H.-D. Chiang, B.-K. Choi, Y.-T. Chen, D.-H. Huang and M.G. Lauby (2007). Representative Static Load Models for Transient Stability Analysis: Development and Examination. **Generation, Transmission & Distribution, IET.** 1(3): 422-431.
- Zhao Wenqing, Niu Chunxiang and Wang Fei (2011). Application of Multi-agent in Power Term Load Forecasting. **International Conference on Computer Science and Network Technology.** 359-362.



ภาคผนวก ก

ข้อมูลการวัดจริงจากเครื่องวัด

ณ สถานีไฟฟ้าย่อยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## ก.1 ค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟของวันที่ 3 ตุลาคม พ.ศ. 2556

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โครงการพัฒนาการอ่านหน่วยด้วยระบบอัตโนมัติ

เลขที่ 200 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทร. 0-2589-0100, 0-2590-9083-4

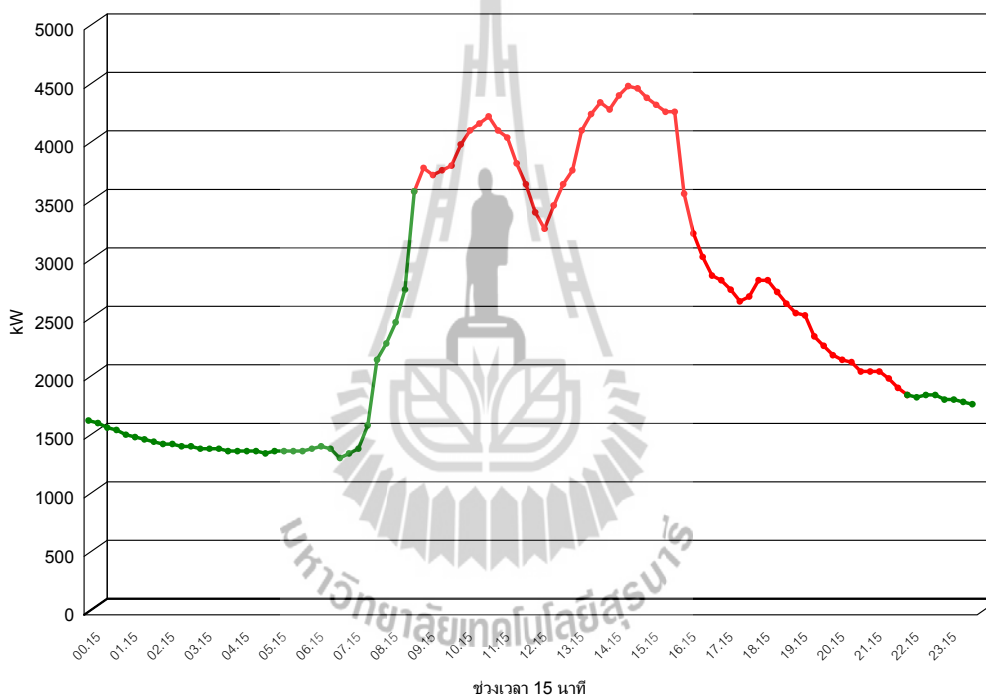
แฟกซ์. 0-2590-9085



รายงานข้อมูลกิโลวัตต์

ประจำวัน 03 ตุลาคม 2556

หมายเลขผู้ใช้ไฟ : 0601130996099600	ชื่อบริษัท : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
หมายเลขมิเตอร์ : 23047171	Tariff : TOU
CT Ratio : 100:5 A.	VT Ratio : 115000:115 V.



	RATE A	RATE B	RATE C
03/10/2013 00.15		1,660.000	
03/10/2013 00.30		1,640.000	
03/10/2013 00.45		1,600.000	
03/10/2013 01.00		1,580.000	
03/10/2013 01.15		1,540.000	
03/10/2013 01.30		1,520.000	
03/10/2013 01.45		1,500.000	
03/10/2013 02.00		1,480.000	

วันเวลาที่พิมพ์ 07/10/2013 12:09

Page 1 of 3

	RATE A	RATE B	RATE C
03/10/2013 02.15		1,460.000	
03/10/2013 02.30		1,460.000	
03/10/2013 02.45		1,440.000	
03/10/2013 03.00		1,440.000	
03/10/2013 03.15		1,420.000	
03/10/2013 03.30		1,420.000	
03/10/2013 03.45		1,420.000	
03/10/2013 04.00		1,400.000	
03/10/2013 04.15		1,400.000	
03/10/2013 04.30		1,400.000	
03/10/2013 04.45		1,400.000	
03/10/2013 05.00		1,380.000	
03/10/2013 05.15		1,400.000	
03/10/2013 05.30		1,400.000	
03/10/2013 05.45		1,400.000	
03/10/2013 06.00		1,400.000	
03/10/2013 06.15		1,420.000	
03/10/2013 06.30		1,440.000	
03/10/2013 06.45		1,420.000	
03/10/2013 07.00		1,340.000	
03/10/2013 07.15		1,380.000	
03/10/2013 07.30		1,420.000	
03/10/2013 07.45		1,620.000	
03/10/2013 08.00		2,180.000	
03/10/2013 08.15		2,320.000	
03/10/2013 08.30		2,500.000	
03/10/2013 08.45		2,780.000	
03/10/2013 09.00		3,620.000	
03/10/2013 09.15	3,820.000		
03/10/2013 09.30	3,760.000		
03/10/2013 09.45	3,800.000		
03/10/2013 10.00	3,840.000		
03/10/2013 10.15	4,020.000		
03/10/2013 10.30	4,140.000		
03/10/2013 10.45	4,200.000		
03/10/2013 11.00	4,260.000		
03/10/2013 11.15	4,140.000		
03/10/2013 11.30	4,080.000		
03/10/2013 11.45	3,860.000		
03/10/2013 12.00	3,680.000		
03/10/2013 12.15	3,440.000		
03/10/2013 12.30	3,300.000		
03/10/2013 12.45	3,500.000		
03/10/2013 13.00	3,680.000		
03/10/2013 13.15	3,800.000		
03/10/2013 13.30	4,140.000		
03/10/2013 13.45	4,280.000		
03/10/2013 14.00	4,380.000		
03/10/2013 14.15	4,320.000		
03/10/2013 14.30	4,440.000		
03/10/2013 14.45	4,520.000		
03/10/2013 15.00	4,500.000		
03/10/2013 15.15	4,420.000		
03/10/2013 15.30	4,360.000		



	RATE A		RATE B		RATE C	
03/10/2013 15.45	4,300.000					
03/10/2013 16.00	4,300.000					
03/10/2013 16.15	3,600.000					
03/10/2013 16.30	3,260.000					
03/10/2013 16.45	3,060.000					
03/10/2013 17.00	2,900.000					
03/10/2013 17.15	2,860.000					
03/10/2013 17.30	2,780.000					
03/10/2013 17.45	2,680.000					
03/10/2013 18.00	2,720.000					
03/10/2013 18.15	2,860.000					
03/10/2013 18.30	2,860.000					
03/10/2013 18.45	2,760.000					
03/10/2013 19.00	2,660.000					
03/10/2013 19.15	2,580.000					
03/10/2013 19.30	2,560.000					
03/10/2013 19.45	2,380.000					
03/10/2013 20.00	2,300.000					
03/10/2013 20.15	2,220.000					
03/10/2013 20.30	2,180.000					
03/10/2013 20.45	2,160.000					
03/10/2013 21.00	2,080.000					
03/10/2013 21.15	2,080.000					
03/10/2013 21.30	2,080.000					
03/10/2013 21.45	2,020.000					
03/10/2013 22.00	1,940.000					
03/10/2013 22.15			1,880.000			
03/10/2013 22.30			1,860.000			
03/10/2013 22.45			1,880.000			
03/10/2013 23.00			1,880.000			
03/10/2013 23.15			1,840.000			
03/10/2013 23.30			1,840.000			
03/10/2013 23.45			1,820.000			
03/10/2013 24.00			1,800.000			
<b>Maximum KW</b>	4,520.000	03/10/2013 14.45	3,620.000	03/10/2013 09.00	0.000	
<b>Total Maximum KW</b>			4,520.000			03/10/2013 14.45

\*\*\* ค่าที่แสดงอาจไม่ตรงกับใบแจ้งค่าไฟฟ้า เนื่องจากการปัดทศนิยมของค่า kWh เหลือ 2 ตำแหน่ง และค่า KW เหลือ 3 ตำแหน่งจากทศนิยม 15 ตำแหน่ง  
เพื่อให้ง่ายต่อการดูข้อมูลทุก 15 นาที



## ก.2 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของวันที่ 3 ตุลาคม พ.ศ. 2556

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โครงการพัฒนาการอ่านหน่วยด้วยระบบอัตโนมัติ

เลขที่ 200 ถนนนางงามคว้าน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทร. 0-2589-0100, 0-2590-9083-4

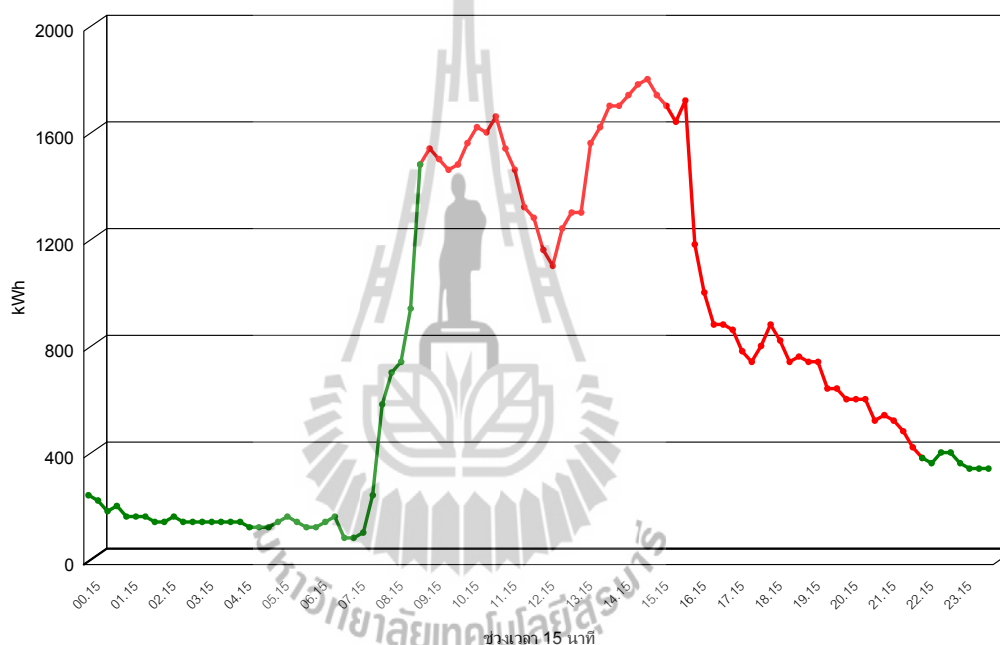
แฟกซ์. 0-2590-9085



### รายงานข้อมูลลิโวลาร์

ประจำวันที่ 03 ตุลาคม 2556

หมายเลขผู้ใช้ไฟ	0601130996099600	ชื่อลูกค้า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
หมายเลขมิเตอร์	23047171	Tariff	TOU
CT Ratio	100:5 A.	VT Ratio	115000:115 V.



	RATE A	RATE B	RATE C
03/10/2013 00.15		260.000	
03/10/2013 00.30		240.000	
03/10/2013 00.45		200.000	
03/10/2013 01.00		220.000	
03/10/2013 01.15		180.000	
03/10/2013 01.30		180.000	
03/10/2013 01.45		180.000	
03/10/2013 02.00		160.000	
03/10/2013 02.15		160.000	
03/10/2013 02.30		180.000	

วันเวลาที่พิมพ์ 07/10/2013 12:11

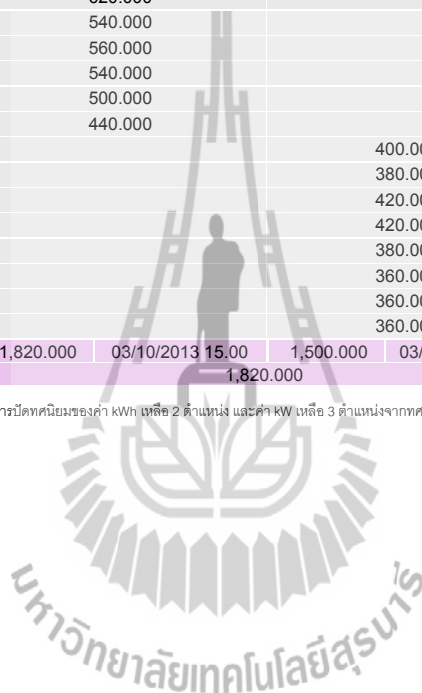
Page 1 of 3

	RATE A	RATE B	RATE C
03/10/2013 02.45		160.000	
03/10/2013 03.00		160.000	
03/10/2013 03.15		160.000	
03/10/2013 03.30		160.000	
03/10/2013 03.45		160.000	
03/10/2013 04.00		160.000	
03/10/2013 04.15		160.000	
03/10/2013 04.30		140.000	
03/10/2013 04.45		140.000	
03/10/2013 05.00		140.000	
03/10/2013 05.15		160.000	
03/10/2013 05.30		180.000	
03/10/2013 05.45		160.000	
03/10/2013 06.00		140.000	
03/10/2013 06.15		140.000	
03/10/2013 06.30		160.000	
03/10/2013 06.45		180.000	
03/10/2013 07.00		100.000	
03/10/2013 07.15		100.000	
03/10/2013 07.30		120.000	
03/10/2013 07.45		260.000	
03/10/2013 08.00		600.000	
03/10/2013 08.15		720.000	
03/10/2013 08.30		760.000	
03/10/2013 08.45		960.000	
03/10/2013 09.00		1,500.000	
03/10/2013 09.15	1,560.000		
03/10/2013 09.30	1,520.000		
03/10/2013 09.45	1,480.000		
03/10/2013 10.00	1,500.000		
03/10/2013 10.15	1,580.000		
03/10/2013 10.30	1,640.000		
03/10/2013 10.45	1,620.000		
03/10/2013 11.00	1,680.000		
03/10/2013 11.15	1,560.000		
03/10/2013 11.30	1,480.000		
03/10/2013 11.45	1,340.000		
03/10/2013 12.00	1,300.000		
03/10/2013 12.15	1,180.000		
03/10/2013 12.30	1,120.000		
03/10/2013 12.45	1,260.000		
03/10/2013 13.00	1,320.000		
03/10/2013 13.15	1,320.000		
03/10/2013 13.30	1,580.000		
03/10/2013 13.45	1,640.000		
03/10/2013 14.00	1,720.000		
03/10/2013 14.15	1,720.000		
03/10/2013 14.30	1,760.000		
03/10/2013 14.45	1,800.000		
03/10/2013 15.00	1,820.000		
03/10/2013 15.15	1,760.000		
03/10/2013 15.30	1,720.000		
03/10/2013 15.45	1,660.000		
03/10/2013 16.00	1,740.000		
03/10/2013 16.15	1,200.000		
03/10/2013 16.30	1,020.000		

	RATE A	RATE B	RATE C		
03/10/2013 16.45	900.000				
03/10/2013 17.00	900.000				
03/10/2013 17.15	880.000				
03/10/2013 17.30	800.000				
03/10/2013 17.45	760.000				
03/10/2013 18.00	820.000				
03/10/2013 18.15	900.000				
03/10/2013 18.30	840.000				
03/10/2013 18.45	760.000				
03/10/2013 19.00	780.000				
03/10/2013 19.15	760.000				
03/10/2013 19.30	760.000				
03/10/2013 19.45	660.000				
03/10/2013 20.00	660.000				
03/10/2013 20.15	620.000				
03/10/2013 20.30	620.000				
03/10/2013 20.45	620.000				
03/10/2013 21.00	540.000				
03/10/2013 21.15	560.000				
03/10/2013 21.30	540.000				
03/10/2013 21.45	500.000				
03/10/2013 22.00	440.000				
03/10/2013 22.15		400.000			
03/10/2013 22.30		380.000			
03/10/2013 22.45		420.000			
03/10/2013 23.00		420.000			
03/10/2013 23.15		380.000			
03/10/2013 23.30		360.000			
03/10/2013 23.45		360.000			
03/10/2013 24.00		360.000			
<b>Maximum KVar</b>	1,820.000	03/10/2013 15.00	1,500.000	03/10/2013 09.00	0.000
<b>Total Maximum KVar</b>		1,820.000			03/10/2013 15.00

\*\*\* ค่าที่แสดงอาจไม่ตรงกับใบแจ้งค่าไฟฟ้า เนื่องจากการปิดทศนิยมของค่า kWh เหลือ 2 ตำแหน่ง และค่า KW เหลือ 3 ตำแหน่งจากทศนิยม 15 ตำแหน่ง

เพื่อให้ง่ายต่อการดูข้อมูลทุก 15 นาที



### ก.3 ค่าแรงดันไฟฟ้าของวันที่ 3 ตุลาคม พ.ศ. 2556

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โครงการพัฒนาการอ่านหน่วยด้วยระบบอัตโนมัติ

เลขที่ 200 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทร. 0-2589-0100, 0-2590-9083-4

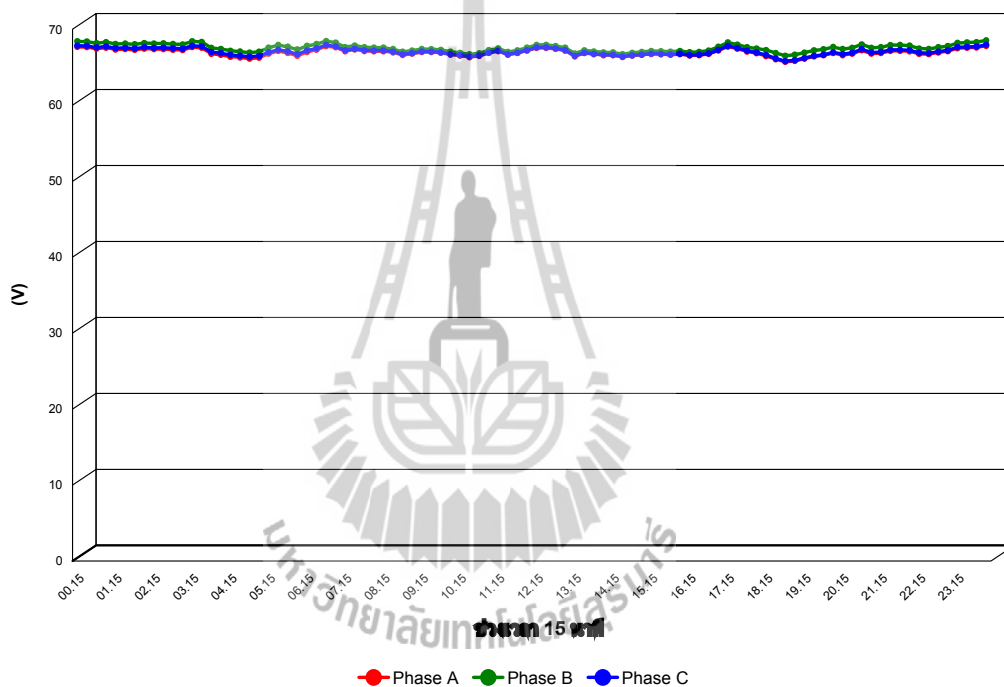
แฟกซ์. 0-2590-9085



#### รายงานข้อมูลแรงดันไฟฟ้า

ประจำวันที่ 03 ตุลาคม 2556

หมายเลขผู้ใช้ไฟ :	0601130996099600	ชื่อบริษัท :	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
หมายเลขมิเตอร์ :	23047171	Tariff :	TOU
CT Ratio :	100:5 A.	VT Ratio :	115000:115 V.



	PHASE A	PHASE B	PHASE C
00.15	67.69	68.41	67.84
00.30	67.67	68.39	67.82
00.45	67.46	68.18	67.61
01.00	67.59	68.31	67.75
01.15	67.35	68.07	67.51
01.30	67.40	68.12	67.56
01.45	67.30	68.02	67.46
02.00	67.47	68.19	67.63
02.15	67.40	68.13	67.56

	PHASE A	PHASE B	PHASE C
02.30	67.40	68.14	67.57
02.45	67.32	68.06	67.50
03.00	67.27	68.01	67.44
03.15	67.66	68.41	67.83
03.30	67.58	68.34	67.76
03.45	66.78	67.55	67.00
04.00	66.65	67.42	66.86
04.15	66.40	67.17	66.62
04.30	66.30	67.07	66.52
04.45	66.14	66.92	66.36
05.00	66.27	67.05	66.49
05.15	66.79	67.57	66.97
05.30	67.15	67.93	67.31
05.45	66.89	67.70	67.08
06.00	66.52	67.34	66.71
06.15	67.01	67.82	67.20
06.30	67.32	68.06	67.49
06.45	67.79	68.45	67.93
07.00	67.64	68.23	67.75
07.15	67.11	67.65	67.22
07.30	67.35	67.86	67.44
07.45	67.14	67.63	67.23
08.00	67.10	67.59	67.20
08.15	67.11	67.57	67.20
08.30	66.96	67.40	67.05
08.45	66.62	67.04	66.70
09.00	66.79	67.20	66.86
09.15	67.01	67.40	67.07
09.30	67.01	67.38	67.06
09.45	66.91	67.29	66.96
10.00	66.67	67.05	66.72
10.15	66.54	66.91	66.59
10.30	66.34	66.71	66.39
10.45	66.50	66.85	66.53
11.00	66.89	67.25	66.92
11.15	67.14	67.49	67.16
11.30	66.65	67.01	66.69
11.45	66.88	67.24	66.91
12.00	67.20	67.58	67.24
12.15	67.55	67.95	67.61
12.30	67.56	67.95	67.62
12.45	67.42	67.80	67.48
13.00	67.20	67.58	67.25
13.15	66.44	66.81	66.48
13.30	66.88	67.24	66.90
13.45	66.73	67.09	66.75
14.00	66.60	66.97	66.63
14.15	66.59	66.95	66.62
14.30	66.36	66.73	66.39
14.45	66.55	66.91	66.57
15.00	66.65	67.02	66.67
15.15	66.76	67.15	66.79
15.30	66.72	67.11	66.75

	PHASE A	PHASE B	PHASE C
15.45	66.64	67.05	66.68
16.00	66.74	67.14	66.78
16.15	66.56	66.98	66.61
16.30	66.59	67.02	66.65
16.45	66.77	67.21	66.83
17.00	67.22	67.70	67.29
17.15	67.74	68.26	67.82
17.30	67.45	67.98	67.54
17.45	67.08	67.63	67.18
18.00	66.85	67.47	66.95
18.15	66.49	67.27	66.60
18.30	66.06	66.87	66.16
18.45	65.72	66.52	65.81
19.00	65.84	66.65	65.93
19.15	66.14	66.94	66.22
19.30	66.43	67.22	66.50
19.45	66.58	67.37	66.65
20.00	66.88	67.67	66.97
20.15	66.61	67.40	66.72
20.30	66.79	67.56	66.90
20.45	67.25	68.01	67.37
21.00	66.80	67.56	66.93
21.15	66.88	67.64	67.01
21.30	67.16	67.92	67.29
21.45	67.17	67.93	67.30
22.00	67.11	67.85	67.24
22.15	66.77	67.47	66.91
22.30	66.73	67.41	66.85
22.45	66.96	67.63	67.06
23.00	67.12	67.79	67.23
23.15	67.53	68.20	67.64
23.30	67.58	68.26	67.69
23.45	67.62	68.30	67.73
24.00	67.83	68.54	67.96
<b>Minimum Voltage</b>	65.72	66.52	65.81
<b>Average Voltage</b>	66.96	67.55	67.06
<b>Maximum Voltage</b>	67.83	68.54	67.96



### ก.4 ค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟของวันที่ 23-29 ตุลาคม พ.ศ. 2556

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โครงการพัฒนาการอ่านหน่วยด้วยระบบอัตโนมัติ

เลขที่ 200 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทร. 0-2589-0100, 0-2590-9083-4

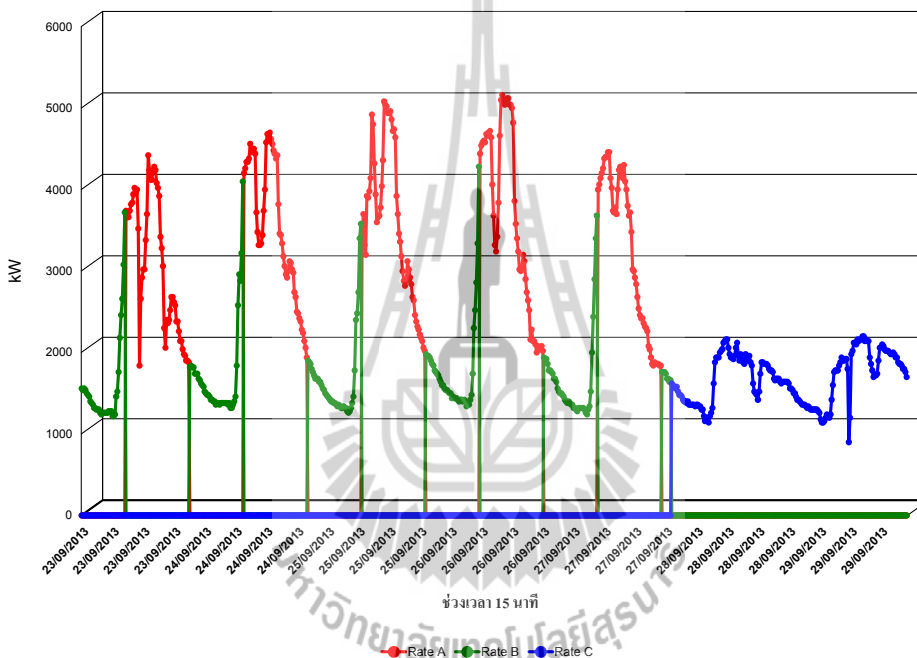
แฟกซ์. 0-2590-9085



#### รายงานข้อมูลกิโลวัตต์

รายสัปดาห์ ระหว่างวันที่ 23/9/2556 - 29/9/2556

หมายเลขผู้ใช้ไฟ	0601130996099600	ชื่อบริษัท	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
หมายเลขมิเตอร์	23047171	Tariff	TOU
CT Ratio	100:5 A.	VT Ratio	115000:115 V.



	RATE A	RATE B	RATE C
23/09/2013 00.15		1,560.000	
23/09/2013 00.30		1,540.000	
23/09/2013 00.45		1,560.000	
23/09/2013 01.00		1,540.000	
23/09/2013 01.15		1,500.000	
23/09/2013 01.30		1,480.000	
23/09/2013 01.45		1,460.000	
23/09/2013 02.00		1,400.000	
23/09/2013 02.15		1,380.000	



	RATE A	RATE B	RATE C
23/09/2013 02.30		1,360.000	
23/09/2013 02.45		1,320.000	
23/09/2013 03.00		1,320.000	
23/09/2013 03.15		1,300.000	
23/09/2013 03.30		1,300.000	
23/09/2013 03.45		1,300.000	
23/09/2013 04.00		1,260.000	
23/09/2013 04.15		1,240.000	
23/09/2013 04.30		1,260.000	
23/09/2013 04.45		1,260.000	
23/09/2013 05.00		1,260.000	
23/09/2013 05.15		1,260.000	
23/09/2013 05.30		1,260.000	
23/09/2013 05.45		1,280.000	
23/09/2013 06.00		1,280.000	
23/09/2013 06.15		1,280.000	
23/09/2013 06.30		1,220.000	
23/09/2013 06.45		1,220.000	
23/09/2013 07.00		1,240.000	
23/09/2013 07.15		1,460.000	
23/09/2013 07.30		1,520.000	
23/09/2013 07.45		1,760.000	
23/09/2013 08.00		2,180.000	
23/09/2013 08.15		2,460.000	
23/09/2013 08.30		2,660.000	
23/09/2013 08.45		3,080.000	
23/09/2013 09.00		3,720.000	
23/09/2013 09.15	3,740.000		
23/09/2013 09.30	3,660.000		
23/09/2013 09.45	3,660.000		
23/09/2013 10.00	3,740.000		
23/09/2013 10.15	3,820.000		
23/09/2013 10.30	3,840.000		
23/09/2013 10.45	3,940.000		
23/09/2013 11.00	4,020.000		
23/09/2013 11.15	3,960.000		
23/09/2013 11.30	4,000.000		
23/09/2013 11.45	3,520.000		
23/09/2013 12.00	1,840.000		
23/09/2013 12.15	2,660.000		
23/09/2013 12.30	2,920.000		
23/09/2013 12.45	3,020.000		
23/09/2013 13.00	3,020.000		
23/09/2013 13.15	3,380.000		
23/09/2013 13.30	3,700.000		
23/09/2013 13.45	4,420.000		
23/09/2013 14.00	4,240.000		
23/09/2013 14.15	4,120.000		
23/09/2013 14.30	4,120.000		
23/09/2013 14.45	4,220.000		
23/09/2013 15.00	4,280.000		
23/09/2013 15.15	4,240.000		
23/09/2013 15.30	4,080.000		
23/09/2013 15.45	4,020.000		

	RATE A	RATE B	RATE C
23/09/2013 16.00	3,920.000		
23/09/2013 16.15	3,420.000		
23/09/2013 16.30	3,280.000		
23/09/2013 16.45	3,060.000		
23/09/2013 17.00	2,300.000		
23/09/2013 17.15	2,060.000		
23/09/2013 17.30	2,400.000		
23/09/2013 17.45	2,360.000		
23/09/2013 18.00	2,400.000		
23/09/2013 18.15	2,520.000		
23/09/2013 18.30	2,680.000		
23/09/2013 18.45	2,680.000		
23/09/2013 19.00	2,620.000		
23/09/2013 19.15	2,580.000		
23/09/2013 19.30	2,380.000		
23/09/2013 19.45	2,380.000		
23/09/2013 20.00	2,260.000		
23/09/2013 20.15	2,140.000		
23/09/2013 20.30	2,140.000		
23/09/2013 20.45	2,040.000		
23/09/2013 21.00	1,980.000		
23/09/2013 21.15	1,960.000		
23/09/2013 21.30	1,900.000		
23/09/2013 21.45	1,900.000		
23/09/2013 22.00	1,880.000		
23/09/2013 22.15		1,820.000	
23/09/2013 22.30		1,840.000	
23/09/2013 22.45		1,820.000	
23/09/2013 23.00		1,820.000	
23/09/2013 23.15		1,740.000	
23/09/2013 23.30		1,740.000	
23/09/2013 23.45		1,740.000	
23/09/2013 24.00		1,680.000	
24/09/2013 00.15		1,660.000	
24/09/2013 00.30		1,620.000	
24/09/2013 00.45		1,600.000	
24/09/2013 01.00		1,580.000	
24/09/2013 01.15		1,520.000	
24/09/2013 01.30		1,500.000	
24/09/2013 01.45		1,480.000	
24/09/2013 02.00		1,480.000	
24/09/2013 02.15		1,460.000	
24/09/2013 02.30		1,420.000	
24/09/2013 02.45		1,420.000	
24/09/2013 03.00		1,400.000	
24/09/2013 03.15		1,400.000	
24/09/2013 03.30		1,360.000	
24/09/2013 03.45		1,380.000	
24/09/2013 04.00		1,380.000	
24/09/2013 04.15		1,360.000	
24/09/2013 04.30		1,380.000	
24/09/2013 04.45		1,380.000	
24/09/2013 05.00		1,380.000	
24/09/2013 05.15		1,380.000	

	RATE A	RATE B	RATE C
24/09/2013 05.30		1,380.000	
24/09/2013 05.45		1,380.000	
24/09/2013 06.00		1,360.000	
24/09/2013 06.15		1,380.000	
24/09/2013 06.30		1,320.000	
24/09/2013 06.45		1,320.000	
24/09/2013 07.00		1,360.000	
24/09/2013 07.15		1,400.000	
24/09/2013 07.30		1,460.000	
24/09/2013 07.45		1,840.000	
24/09/2013 08.00		2,580.000	
24/09/2013 08.15		2,960.000	
24/09/2013 08.30		2,880.000	
24/09/2013 08.45		3,220.000	
24/09/2013 09.00		4,100.000	
24/09/2013 09.15	4,200.000		
24/09/2013 09.30	4,260.000		
24/09/2013 09.45	4,340.000		
24/09/2013 10.00	4,340.000		
24/09/2013 10.15	4,380.000		
24/09/2013 10.30	4,560.000		
24/09/2013 10.45	4,460.000		
24/09/2013 11.00	4,500.000		
24/09/2013 11.15	4,500.000		
24/09/2013 11.30	4,440.000		
24/09/2013 11.45	3,720.000		
24/09/2013 12.00	3,480.000		
24/09/2013 12.15	3,320.000		
24/09/2013 12.30	3,320.000		
24/09/2013 12.45	3,340.000		
24/09/2013 13.00	3,440.000		
24/09/2013 13.15	3,740.000		
24/09/2013 13.30	4,000.000		
24/09/2013 13.45	4,530.000		
24/09/2013 14.00	4,680.000		
24/09/2013 14.15	4,600.000		
24/09/2013 14.30	4,700.000		
24/09/2013 14.45	4,620.000		
24/09/2013 15.00	4,560.000		
24/09/2013 15.15	4,480.000		
24/09/2013 15.30	4,440.000		
24/09/2013 15.45	4,380.000		
24/09/2013 16.00	4,420.000		
24/09/2013 16.15	3,820.000		
24/09/2013 16.30	3,460.000		
24/09/2013 16.45	3,440.000		
24/09/2013 17.00	3,340.000		
24/09/2013 17.15	3,180.000		
24/09/2013 17.30	3,060.000		
24/09/2013 17.45	2,960.000		
24/09/2013 18.00	2,920.000		
24/09/2013 18.15	3,000.000		
24/09/2013 18.30	3,120.000		
24/09/2013 18.45	3,100.000		

	RATE A	RATE B	RATE C
24/09/2013 19.00	3,020.000		
24/09/2013 19.15	2,980.000		
24/09/2013 19.30	2,740.000		
24/09/2013 19.45	2,680.000		
24/09/2013 20.00	2,500.000		
24/09/2013 20.15	2,480.000		
24/09/2013 20.30	2,420.000		
24/09/2013 20.45	2,380.000		
24/09/2013 21.00	2,280.000		
24/09/2013 21.15	2,240.000		
24/09/2013 21.30	2,140.000		
24/09/2013 21.45	2,060.000		
24/09/2013 22.00	1,940.000		
24/09/2013 22.15		1,900.000	
24/09/2013 22.30		1,880.000	
24/09/2013 22.45		1,860.000	
24/09/2013 23.00		1,800.000	
24/09/2013 23.15		1,760.000	
24/09/2013 23.30		1,720.000	
24/09/2013 23.45		1,680.000	
24/09/2013 24.00		1,680.000	
25/09/2013 00.15		1,680.000	
25/09/2013 00.30		1,640.000	
25/09/2013 00.45		1,640.000	
25/09/2013 01.00		1,600.000	
25/09/2013 01.15		1,560.000	
25/09/2013 01.30		1,540.000	
25/09/2013 01.45		1,500.000	
25/09/2013 02.00		1,480.000	
25/09/2013 02.15		1,460.000	
25/09/2013 02.30		1,440.000	
25/09/2013 02.45		1,420.000	
25/09/2013 03.00		1,400.000	
25/09/2013 03.15		1,400.000	
25/09/2013 03.30		1,380.000	
25/09/2013 03.45		1,380.000	
25/09/2013 04.00		1,360.000	
25/09/2013 04.15		1,340.000	
25/09/2013 04.30		1,360.000	
25/09/2013 04.45		1,340.000	
25/09/2013 05.00		1,320.000	
25/09/2013 05.15		1,320.000	
25/09/2013 05.30		1,340.000	
25/09/2013 05.45		1,320.000	
25/09/2013 06.00		1,320.000	
25/09/2013 06.15		1,280.000	
25/09/2013 06.30		1,260.000	
25/09/2013 06.45		1,280.000	
25/09/2013 07.00		1,320.000	
25/09/2013 07.15		1,380.000	
25/09/2013 07.30		1,460.000	
25/09/2013 07.45		1,780.000	
25/09/2013 08.00		2,400.000	
25/09/2013 08.15		2,480.000	

	RATE A	RATE B	RATE C
25/09/2013 08.30		2,740.000	
25/09/2013 08.45		3,400.000	
25/09/2013 09.00		3,580.000	
25/09/2013 09.15	3,440.000		
25/09/2013 09.30	3,700.000		
25/09/2013 09.45	3,320.000		
25/09/2013 10.00	3,200.000		
25/09/2013 10.15	3,920.000		
25/09/2013 10.30	3,900.000		
25/09/2013 10.45	3,980.000		
25/09/2013 11.00	4,140.000		
25/09/2013 11.15	4,920.000		
25/09/2013 11.30	4,800.000		
25/09/2013 11.45	4,320.000		
25/09/2013 12.00	3,940.000		
25/09/2013 12.15	3,600.000		
25/09/2013 12.30	3,660.000		
25/09/2013 12.45	3,680.000		
25/09/2013 13.00	3,780.000		
25/09/2013 13.15	4,040.000		
25/09/2013 13.30	4,360.000		
25/09/2013 13.45	5,080.000		
25/09/2013 14.00	5,040.000		
25/09/2013 14.15	5,020.000		
25/09/2013 14.30	4,940.000		
25/09/2013 14.45	4,940.000		
25/09/2013 15.00	4,960.000		
25/09/2013 15.15	4,860.000		
25/09/2013 15.30	4,720.000		
25/09/2013 15.45	4,740.000		
25/09/2013 16.00	4,640.000		
25/09/2013 16.15	3,920.000		
25/09/2013 16.30	3,700.000		
25/09/2013 16.45	3,460.000		
25/09/2013 17.00	3,360.000		
25/09/2013 17.15	3,180.000		
25/09/2013 17.30	3,000.000		
25/09/2013 17.45	2,880.000		
25/09/2013 18.00	2,820.000		
25/09/2013 18.15	2,880.000		
25/09/2013 18.30	3,120.000		
25/09/2013 18.45	3,020.000		
25/09/2013 19.00	2,920.000		
25/09/2013 19.15	2,840.000		
25/09/2013 19.30	2,680.000		
25/09/2013 19.45	2,640.000		
25/09/2013 20.00	2,460.000		
25/09/2013 20.15	2,380.000		
25/09/2013 20.30	2,320.000		
25/09/2013 20.45	2,280.000		
25/09/2013 21.00	2,220.000		
25/09/2013 21.15	2,180.000		
25/09/2013 21.30	2,140.000		
25/09/2013 21.45	2,060.000		

	RATE A	RATE B	RATE C
25/09/2013 22.00	2,020.000		
25/09/2013 22.15		1,980.000	
25/09/2013 22.30		1,960.000	
25/09/2013 22.45		1,960.000	
25/09/2013 23.00		1,940.000	
25/09/2013 23.15		1,900.000	
25/09/2013 23.30		1,860.000	
25/09/2013 23.45		1,840.000	
25/09/2013 24.00		1,780.000	
26/09/2013 00.15		1,760.000	
26/09/2013 00.30		1,740.000	
26/09/2013 00.45		1,720.000	
26/09/2013 01.00		1,680.000	
26/09/2013 01.15		1,640.000	
26/09/2013 01.30		1,600.000	
26/09/2013 01.45		1,600.000	
26/09/2013 02.00		1,560.000	
26/09/2013 02.15		1,540.000	
26/09/2013 02.30		1,540.000	
26/09/2013 02.45		1,520.000	
26/09/2013 03.00		1,500.000	
26/09/2013 03.15		1,500.000	
26/09/2013 03.30		1,440.000	
26/09/2013 03.45		1,460.000	
26/09/2013 04.00		1,440.000	
26/09/2013 04.15		1,440.000	
26/09/2013 04.30		1,440.000	
26/09/2013 04.45		1,420.000	
26/09/2013 05.00		1,400.000	
26/09/2013 05.15		1,420.000	
26/09/2013 05.30		1,420.000	
26/09/2013 05.45		1,400.000	
26/09/2013 06.00		1,420.000	
26/09/2013 06.15		1,400.000	
26/09/2013 06.30		1,340.000	
26/09/2013 06.45		1,360.000	
26/09/2013 07.00		1,360.000	
26/09/2013 07.15		1,420.000	
26/09/2013 07.30		1,480.000	
26/09/2013 07.45		1,740.000	
26/09/2013 08.00		2,300.000	
26/09/2013 08.15		2,520.000	
26/09/2013 08.30		2,860.000	
26/09/2013 08.45		3,340.000	
26/09/2013 09.00		4,280.000	
26/09/2013 09.15	4,440.000		
26/09/2013 09.30	4,540.000		
26/09/2013 09.45	4,580.000		
26/09/2013 10.00	4,600.000		
26/09/2013 10.15	4,580.000		
26/09/2013 10.30	4,680.000		
26/09/2013 10.45	4,660.000		
26/09/2013 11.00	4,700.000		
26/09/2013 11.15	4,720.000		

	RATE A	RATE B	RATE C
26/09/2013 11.30	4,640.000		
26/09/2013 11.45	4,060.000		
26/09/2013 12.00	3,680.000		
26/09/2013 12.15	3,320.000		
26/09/2013 12.30	3,240.000		
26/09/2013 12.45	3,420.000		
26/09/2013 13.00	3,840.000		
26/09/2013 13.15	4,660.000		
26/09/2013 13.30	5,100.000		
26/09/2013 13.45	5,160.000		
26/09/2013 14.00	5,100.000		
26/09/2013 14.15	5,040.000		
26/09/2013 14.30	5,100.000		
26/09/2013 14.45	5,120.000		
26/09/2013 15.00	5,120.000		
26/09/2013 15.15	5,040.000		
26/09/2013 15.30	5,040.000		
26/09/2013 15.45	5,000.000		
26/09/2013 16.00	4,820.000		
26/09/2013 16.15	3,860.000		
26/09/2013 16.30	3,580.000		
26/09/2013 16.45	3,400.000		
26/09/2013 17.00	3,240.000		
26/09/2013 17.15	3,020.000		
26/09/2013 17.30	3,000.000		
26/09/2013 17.45	3,040.000		
26/09/2013 18.00	3,200.000		
26/09/2013 18.15	3,120.000		
26/09/2013 18.30	2,900.000		
26/09/2013 18.45	2,740.000		
26/09/2013 19.00	2,640.000		
26/09/2013 19.15	2,520.000		
26/09/2013 19.30	2,160.000		
26/09/2013 19.45	2,280.000		
26/09/2013 20.00	2,140.000		
26/09/2013 20.15	2,140.000		
26/09/2013 20.30	2,100.000		
26/09/2013 20.45	2,000.000		
26/09/2013 21.00	2,080.000		
26/09/2013 21.15	2,060.000		
26/09/2013 21.30	2,040.000		
26/09/2013 21.45	2,080.000		
26/09/2013 22.00	2,020.000		
26/09/2013 22.15		1,940.000	
26/09/2013 22.30		1,920.000	
26/09/2013 22.45		1,920.000	
26/09/2013 23.00		1,860.000	
26/09/2013 23.15		1,780.000	
26/09/2013 23.30		1,780.000	
26/09/2013 23.45		1,760.000	
26/09/2013 24.00		1,740.000	
27/09/2013 00.15		1,680.000	
27/09/2013 00.30		1,680.000	
27/09/2013 00.45		1,640.000	

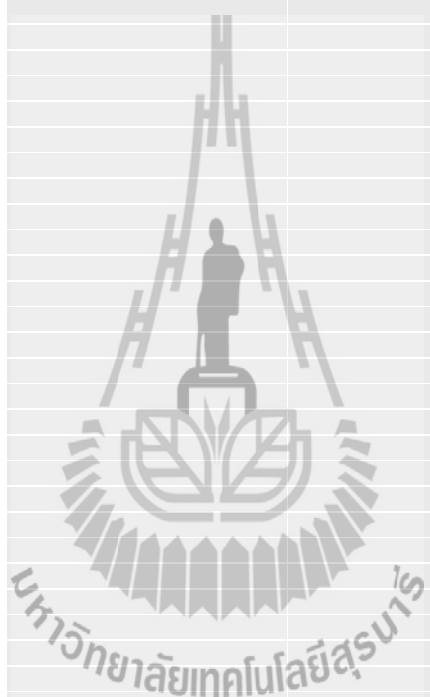
	RATE A	RATE B	RATE C
27/09/2013 01.00		1,560.000	
27/09/2013 01.15		1,520.000	
27/09/2013 01.30		1,500.000	
27/09/2013 01.45		1,500.000	
27/09/2013 02.00		1,480.000	
27/09/2013 02.15		1,460.000	
27/09/2013 02.30		1,420.000	
27/09/2013 02.45		1,400.000	
27/09/2013 03.00		1,380.000	
27/09/2013 03.15		1,400.000	
27/09/2013 03.30		1,380.000	
27/09/2013 03.45		1,360.000	
27/09/2013 04.00		1,360.000	
27/09/2013 04.15		1,320.000	
27/09/2013 04.30		1,320.000	
27/09/2013 04.45		1,300.000	
27/09/2013 05.00		1,280.000	
27/09/2013 05.15		1,320.000	
27/09/2013 05.30		1,320.000	
27/09/2013 05.45		1,320.000	
27/09/2013 06.00		1,320.000	
27/09/2013 06.15		1,320.000	
27/09/2013 06.30		1,300.000	
27/09/2013 06.45		1,260.000	
27/09/2013 07.00		1,240.000	
27/09/2013 07.15		1,300.000	
27/09/2013 07.30		1,340.000	
27/09/2013 07.45		1,520.000	
27/09/2013 08.00		2,000.000	
27/09/2013 08.15		2,440.000	
27/09/2013 08.30		2,900.000	
27/09/2013 08.45		3,400.000	
27/09/2013 09.00		3,680.000	
27/09/2013 09.15	4,000.000		
27/09/2013 09.30	4,060.000		
27/09/2013 09.45	4,140.000		
27/09/2013 10.00	4,200.000		
27/09/2013 10.15	4,260.000		
27/09/2013 10.30	4,380.000		
27/09/2013 10.45	4,400.000		
27/09/2013 11.00	4,400.000		
27/09/2013 11.15	4,460.000		
27/09/2013 11.30	4,460.000		
27/09/2013 11.45	4,140.000		
27/09/2013 12.00	4,020.000		
27/09/2013 12.15	3,740.000		
27/09/2013 12.30	3,720.000		
27/09/2013 12.45	3,780.000		
27/09/2013 13.00	3,700.000		
27/09/2013 13.15	4,000.000		
27/09/2013 13.30	4,240.000		
27/09/2013 13.45	4,280.000		
27/09/2013 14.00	4,200.000		
27/09/2013 14.15	4,140.000		



	RATE A	RATE B	RATE C
27/09/2013 14.30	4,300.000		
27/09/2013 14.45	4,100.000		
27/09/2013 15.00	4,000.000		
27/09/2013 15.15	3,800.000		
27/09/2013 15.30	3,680.000		
27/09/2013 15.45	3,720.000		
27/09/2013 16.00	3,480.000		
27/09/2013 16.15	3,020.000		
27/09/2013 16.30	3,000.000		
27/09/2013 16.45	2,920.000		
27/09/2013 17.00	2,840.000		
27/09/2013 17.15	2,680.000		
27/09/2013 17.30	2,540.000		
27/09/2013 17.45	2,460.000		
27/09/2013 18.00	2,420.000		
27/09/2013 18.15	2,420.000		
27/09/2013 18.30	2,360.000		
27/09/2013 18.45	2,320.000		
27/09/2013 19.00	2,300.000		
27/09/2013 19.15	2,260.000		
27/09/2013 19.30	2,080.000		
27/09/2013 19.45	2,040.000		
27/09/2013 20.00	1,940.000		
27/09/2013 20.15	1,860.000		
27/09/2013 20.30	1,840.000		
27/09/2013 20.45	1,880.000		
27/09/2013 21.00	1,860.000		
27/09/2013 21.15	1,860.000		
27/09/2013 21.30	1,860.000		
27/09/2013 21.45	1,840.000		
27/09/2013 22.00	1,840.000		
27/09/2013 22.15		1,760.000	
27/09/2013 22.30		1,760.000	
27/09/2013 22.45		1,760.000	
27/09/2013 23.00		1,740.000	
27/09/2013 23.15		1,680.000	
27/09/2013 23.30		1,680.000	
27/09/2013 23.45		1,640.000	
27/09/2013 24.00		1,660.000	
28/09/2013 00.15			1,620.000
28/09/2013 00.30			1,600.000
28/09/2013 00.45			1,580.000
28/09/2013 01.00			1,560.000
28/09/2013 01.15			1,580.000
28/09/2013 01.30			1,520.000
28/09/2013 01.45			1,480.000
28/09/2013 02.00			1,480.000
28/09/2013 02.15			1,460.000
28/09/2013 02.30			1,420.000
28/09/2013 02.45			1,400.000
28/09/2013 03.00			1,400.000
28/09/2013 03.15			1,380.000
28/09/2013 03.30			1,400.000
28/09/2013 03.45			1,360.000

	RATE A	RATE B	RATE C
28/09/2013 04.00			1,360.000
28/09/2013 04.15			1,360.000
28/09/2013 04.30			1,360.000
28/09/2013 04.45			1,360.000
28/09/2013 05.00			1,340.000
28/09/2013 05.15			1,360.000
28/09/2013 05.30			1,360.000
28/09/2013 05.45			1,340.000
28/09/2013 06.00			1,340.000
28/09/2013 06.15			1,300.000
28/09/2013 06.30			1,300.000
28/09/2013 06.45			1,220.000
28/09/2013 07.00			1,160.000
28/09/2013 07.15			1,200.000
28/09/2013 07.30			1,200.000
28/09/2013 07.45			1,140.000
28/09/2013 08.00			1,220.000
28/09/2013 08.15			1,260.000
28/09/2013 08.30			1,320.000
28/09/2013 08.45			1,620.000
28/09/2013 09.00			1,880.000
28/09/2013 09.15			1,940.000
28/09/2013 09.30			1,940.000
28/09/2013 09.45			1,940.000
28/09/2013 10.00			2,000.000
28/09/2013 10.15			2,020.000
28/09/2013 10.30			2,040.000
28/09/2013 10.45			2,120.000
28/09/2013 11.00			2,140.000
28/09/2013 11.15			2,160.000
28/09/2013 11.30			2,160.000
28/09/2013 11.45			2,060.000
28/09/2013 12.00			1,980.000
28/09/2013 12.15			1,940.000
28/09/2013 12.30			1,940.000
28/09/2013 12.45			1,920.000
28/09/2013 13.00			1,960.000
28/09/2013 13.15			2,060.000
28/09/2013 13.30			2,120.000
28/09/2013 13.45			1,960.000
28/09/2013 14.00			1,900.000
28/09/2013 14.15			1,980.000
28/09/2013 14.30			1,920.000
28/09/2013 14.45			1,880.000
28/09/2013 15.00			1,860.000
28/09/2013 15.15			1,980.000
28/09/2013 15.30			1,960.000
28/09/2013 15.45			1,900.000
28/09/2013 16.00			1,960.000
28/09/2013 16.15			1,880.000
28/09/2013 16.30			1,840.000
28/09/2013 16.45			1,620.000
28/09/2013 17.00			1,520.000
28/09/2013 17.15			1,500.000

	RATE A	RATE B	RATE C
28/09/2013 17.30			1,480.000
28/09/2013 17.45			1,420.000
28/09/2013 18.00			1,520.000
28/09/2013 18.15			1,740.000
28/09/2013 18.30			1,880.000
28/09/2013 18.45			1,880.000
28/09/2013 19.00			1,860.000
28/09/2013 19.15			1,860.000
28/09/2013 19.30			1,860.000
28/09/2013 19.45			1,840.000
28/09/2013 20.00			1,800.000
28/09/2013 20.15			1,780.000
28/09/2013 20.30			1,780.000
28/09/2013 20.45			1,760.000
28/09/2013 21.00			1,680.000
28/09/2013 21.15			1,660.000
28/09/2013 21.30			1,680.000
28/09/2013 21.45			1,680.000
28/09/2013 22.00			1,680.000
28/09/2013 22.15			1,640.000
28/09/2013 22.30			1,620.000
28/09/2013 22.45			1,640.000
28/09/2013 23.00			1,640.000
28/09/2013 23.15			1,640.000
28/09/2013 23.30			1,640.000
28/09/2013 23.45			1,640.000
28/09/2013 24.00			1,620.000
29/09/2013 00.15			1,560.000
29/09/2013 00.30			1,560.000
29/09/2013 00.45			1,540.000
29/09/2013 01.00			1,500.000
29/09/2013 01.15			1,500.000
29/09/2013 01.30			1,460.000
29/09/2013 01.45			1,420.000
29/09/2013 02.00			1,420.000
29/09/2013 02.15			1,400.000
29/09/2013 02.30			1,380.000
29/09/2013 02.45			1,360.000
29/09/2013 03.00			1,360.000
29/09/2013 03.15			1,360.000
29/09/2013 03.30			1,340.000
29/09/2013 03.45			1,320.000
29/09/2013 04.00			1,340.000
29/09/2013 04.15			1,320.000
29/09/2013 04.30			1,300.000
29/09/2013 04.45			1,300.000
29/09/2013 05.00			1,300.000
29/09/2013 05.15			1,300.000
29/09/2013 05.30			1,300.000
29/09/2013 05.45			1,300.000
29/09/2013 06.00			1,280.000
29/09/2013 06.15			1,260.000
29/09/2013 06.30			1,180.000
29/09/2013 06.45			1,140.000



	RATE A	RATE B	RATE C
29/09/2013 07.00			1,140.000
29/09/2013 07.15			1,160.000
29/09/2013 07.30			1,200.000
29/09/2013 07.45			1,240.000
29/09/2013 08.00			1,220.000
29/09/2013 08.15			1,200.000
29/09/2013 08.30			1,240.000
29/09/2013 08.45			1,420.000
29/09/2013 09.00			1,600.000
29/09/2013 09.15			1,760.000
29/09/2013 09.30			1,780.000
29/09/2013 09.45			1,780.000
29/09/2013 10.00			1,780.000
29/09/2013 10.15			1,840.000
29/09/2013 10.30			1,880.000
29/09/2013 10.45			1,940.000
29/09/2013 11.00			1,900.000
29/09/2013 11.15			1,900.000
29/09/2013 11.30			1,920.000
29/09/2013 11.45			1,920.000
29/09/2013 12.00			1,800.000
29/09/2013 12.15			900.000
29/09/2013 12.30			1,200.000
29/09/2013 12.45			1,980.000
29/09/2013 13.00			2,020.000
29/09/2013 13.15			2,120.000
29/09/2013 13.30			2,120.000
29/09/2013 13.45			2,100.000
29/09/2013 14.00			2,160.000
29/09/2013 14.15			2,140.000
29/09/2013 14.30			2,160.000
29/09/2013 14.45			2,160.000
29/09/2013 15.00			2,200.000
29/09/2013 15.15			2,200.000
29/09/2013 15.30			2,140.000
29/09/2013 15.45			2,160.000
29/09/2013 16.00			2,140.000
29/09/2013 16.15			2,140.000
29/09/2013 16.30			1,940.000
29/09/2013 16.45			1,860.000
29/09/2013 17.00			1,780.000
29/09/2013 17.15			1,700.000
29/09/2013 17.30			1,720.000
29/09/2013 17.45			1,720.000
29/09/2013 18.00			1,740.000
29/09/2013 18.15			1,900.000
29/09/2013 18.30			2,060.000
29/09/2013 18.45			2,060.000
29/09/2013 19.00			2,100.000
29/09/2013 19.15			2,080.000
29/09/2013 19.30			2,040.000
29/09/2013 19.45			2,020.000
29/09/2013 20.00			2,020.000
29/09/2013 20.15			2,020.000

	RATE A	RATE B	RATE C
29/09/2013 20.30			2,000.000
29/09/2013 20.45			1,980.000
29/09/2013 21.00			1,980.000
29/09/2013 21.15			2,000.000
29/09/2013 21.30			1,980.000
29/09/2013 21.45			1,940.000
29/09/2013 22.00			1,940.000
29/09/2013 22.15			1,880.000
29/09/2013 22.30			1,860.000
29/09/2013 22.45			1,860.000
29/09/2013 23.00			1,840.000
29/09/2013 23.15			1,800.000
29/09/2013 23.30			1,800.000
29/09/2013 23.45			1,760.000
29/09/2013 24.00			1,700.000
<b>Minimum KW</b>	900.000		29/09/2013 12.15
<b>Average KW</b>		2,356.935	
<b>Maximum KW</b>	5,160.000		26/09/2013 13.45

\*\*\* ค่าที่แสดงอาจไม่ตรงกับใบแจ้งค่าไฟฟ้า เนื่องจากการปัดทศนิยมของค่า kWh เหลือ 2 ตำแหน่ง และค่า kW เหลือ 3 ตำแหน่งจากทศนิยม 15 ตำแหน่ง เพื่อให้ง่ายต่อการดูข้อมูลทุก 15 นาที



## ก.5 ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของวันที่ 23-29 ตุลาคม พ.ศ. 2556

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โครงการพัฒนาระบบจ่ายด้วยระบบอัตโนมัติ

เลขที่ 200 ถนนนางงามวงเวียน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทร. 0-2589-0100, 0-2590-9083-4

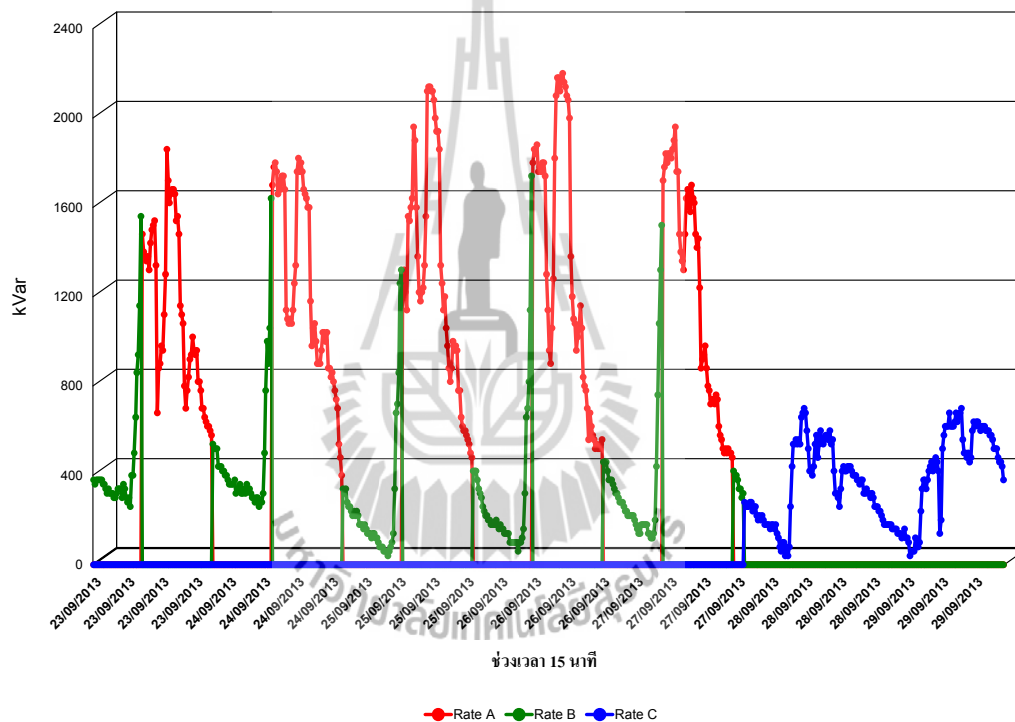
แฟกซ์. 0-2590-9085



### รายงานข้อมูลลิโวลาร์

รายสัปดาห์ ระหว่างวันที่ 23/9/2556 - 29/9/2556

หมายเลขผู้ใช้ไฟ :	0601130996099600	ชื่อลูกค้า :	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
หมายเลขมิเตอร์ :	23047171	Tariff :	TOU
CT Ratio :	100:5 A.	VT Ratio :	115000:115 V.



	RATE A	RATE B	RATE C
23/09/2013 00.15		380.000	
23/09/2013 00.30		360.000	
23/09/2013 00.45		380.000	
23/09/2013 01.00		380.000	
23/09/2013 01.15		380.000	
23/09/2013 01.30		380.000	
23/09/2013 01.45		380.000	
23/09/2013 02.00		360.000	
23/09/2013 02.15		360.000	
23/09/2013 02.30		340.000	

	RATE A	RATE B	RATE C
23/09/2013 02.45		320.000	
23/09/2013 03.00		340.000	
23/09/2013 03.15		320.000	
23/09/2013 03.30		320.000	
23/09/2013 03.45		320.000	
23/09/2013 04.00		300.000	
23/09/2013 04.15		300.000	
23/09/2013 04.30		320.000	
23/09/2013 04.45		340.000	
23/09/2013 05.00		340.000	
23/09/2013 05.15		340.000	
23/09/2013 05.30		300.000	
23/09/2013 05.45		360.000	
23/09/2013 06.00		340.000	
23/09/2013 06.15		300.000	
23/09/2013 06.30		280.000	
23/09/2013 06.45		300.000	
23/09/2013 07.00		260.000	
23/09/2013 07.15		400.000	
23/09/2013 07.30		400.000	
23/09/2013 07.45		500.000	
23/09/2013 08.00		660.000	
23/09/2013 08.15		860.000	
23/09/2013 08.30		940.000	
23/09/2013 08.45		1,160.000	
23/09/2013 09.00		1,560.000	
23/09/2013 09.15	1,480.000		
23/09/2013 09.30	1,400.000		
23/09/2013 09.45	1,380.000		
23/09/2013 10.00	1,360.000		
23/09/2013 10.15	1,380.000		
23/09/2013 10.30	1,320.000		
23/09/2013 10.45	1,440.000		
23/09/2013 11.00	1,500.000		
23/09/2013 11.15	1,520.000		
23/09/2013 11.30	1,540.000		
23/09/2013 11.45	1,340.000		
23/09/2013 12.00	680.000		
23/09/2013 12.15	880.000		
23/09/2013 12.30	900.000		
23/09/2013 12.45	980.000		
23/09/2013 13.00	960.000		
23/09/2013 13.15	1,120.000		
23/09/2013 13.30	1,300.000		
23/09/2013 13.45	1,860.000		
23/09/2013 14.00	1,720.000		
23/09/2013 14.15	1,620.000		
23/09/2013 14.30	1,660.000		
23/09/2013 14.45	1,680.000		
23/09/2013 15.00	1,680.000		
23/09/2013 15.15	1,660.000		
23/09/2013 15.30	1,540.000		
23/09/2013 15.45	1,560.000		
23/09/2013 16.00	1,480.000		
23/09/2013 16.15	1,160.000		
23/09/2013 16.30	1,120.000		
23/09/2013 16.45	1,080.000		
23/09/2013 17.00	800.000		
23/09/2013 17.15	700.000		
23/09/2013 17.30	780.000		

	RATE A	RATE B	RATE C
23/09/2013 17.45	840.000		
23/09/2013 18.00	920.000		
23/09/2013 18.15	940.000		
23/09/2013 18.30	1,020.000		
23/09/2013 18.45	960.000		
23/09/2013 19.00	940.000		
23/09/2013 19.15	960.000		
23/09/2013 19.30	820.000		
23/09/2013 19.45	820.000		
23/09/2013 20.00	780.000		
23/09/2013 20.15	700.000		
23/09/2013 20.30	700.000		
23/09/2013 20.45	660.000		
23/09/2013 21.00	640.000		
23/09/2013 21.15	620.000		
23/09/2013 21.30	620.000		
23/09/2013 21.45	600.000		
23/09/2013 22.00	580.000		
23/09/2013 22.15		540.000	
23/09/2013 22.30		520.000	
23/09/2013 22.45		520.000	
23/09/2013 23.00		520.000	
23/09/2013 23.15		440.000	
23/09/2013 23.30		440.000	
23/09/2013 23.45		440.000	
23/09/2013 24.00		420.000	
24/09/2013 00.15		420.000	
24/09/2013 00.30		400.000	
24/09/2013 00.45		400.000	
24/09/2013 01.00		380.000	
24/09/2013 01.15		360.000	
24/09/2013 01.30		360.000	
24/09/2013 01.45		360.000	
24/09/2013 02.00		360.000	
24/09/2013 02.15		380.000	
24/09/2013 02.30		320.000	
24/09/2013 02.45		340.000	
24/09/2013 03.00		340.000	
24/09/2013 03.15		360.000	
24/09/2013 03.30		320.000	
24/09/2013 03.45		320.000	
24/09/2013 04.00		340.000	
24/09/2013 04.15		320.000	
24/09/2013 04.30		360.000	
24/09/2013 04.45		340.000	
24/09/2013 05.00		340.000	
24/09/2013 05.15		320.000	
24/09/2013 05.30		300.000	
24/09/2013 05.45		300.000	
24/09/2013 06.00		280.000	
24/09/2013 06.15		300.000	
24/09/2013 06.30		300.000	
24/09/2013 06.45		260.000	
24/09/2013 07.00		280.000	
24/09/2013 07.15		280.000	
24/09/2013 07.30		320.000	
24/09/2013 07.45		500.000	
24/09/2013 08.00		780.000	
24/09/2013 08.15		1,000.000	
24/09/2013 08.30		900.000	



	RATE A	RATE B	RATE C
24/09/2013 08.45		1,060.000	
24/09/2013 09.00		1,640.000	
24/09/2013 09.15	1,700.000		
24/09/2013 09.30	1,780.000		
24/09/2013 09.45	1,800.000		
24/09/2013 10.00	1,760.000		
24/09/2013 10.15	1,660.000		
24/09/2013 10.30	1,720.000		
24/09/2013 10.45	1,680.000		
24/09/2013 11.00	1,740.000		
24/09/2013 11.15	1,740.000		
24/09/2013 11.30	1,680.000		
24/09/2013 11.45	1,140.000		
24/09/2013 12.00	1,100.000		
24/09/2013 12.15	1,080.000		
24/09/2013 12.30	1,100.000		
24/09/2013 12.45	1,080.000		
24/09/2013 13.00	1,140.000		
24/09/2013 13.15	1,260.000		
24/09/2013 13.30	1,340.000		
24/09/2013 13.45	1,760.000		
24/09/2013 14.00	1,820.000		
24/09/2013 14.15	1,760.000		
24/09/2013 14.30	1,800.000		
24/09/2013 14.45	1,760.000		
24/09/2013 15.00	1,680.000		
24/09/2013 15.15	1,660.000		
24/09/2013 15.30	1,640.000		
24/09/2013 15.45	1,600.000		
24/09/2013 16.00	1,600.000		
24/09/2013 16.15	1,180.000		
24/09/2013 16.30	980.000		
24/09/2013 16.45	1,060.000		
24/09/2013 17.00	1,080.000		
24/09/2013 17.15	1,000.000		
24/09/2013 17.30	900.000		
24/09/2013 17.45	900.000		
24/09/2013 18.00	900.000		
24/09/2013 18.15	960.000		
24/09/2013 18.30	1,040.000		
24/09/2013 18.45	1,040.000		
24/09/2013 19.00	1,000.000		
24/09/2013 19.15	1,040.000		
24/09/2013 19.30	880.000		
24/09/2013 19.45	880.000		
24/09/2013 20.00	840.000		
24/09/2013 20.15	860.000		
24/09/2013 20.30	820.000		
24/09/2013 20.45	780.000		
24/09/2013 21.00	740.000		
24/09/2013 21.15	700.000		
24/09/2013 21.30	540.000		
24/09/2013 21.45	480.000		
24/09/2013 22.00	400.000		
24/09/2013 22.15		340.000	
24/09/2013 22.30		320.000	
24/09/2013 22.45		340.000	
24/09/2013 23.00		280.000	
24/09/2013 23.15		260.000	
24/09/2013 23.30		260.000	

	RATE A	RATE B	RATE C
24/09/2013 23.45		240.000	
24/09/2013 24.00		220.000	
25/09/2013 00.15		240.000	
25/09/2013 00.30		220.000	
25/09/2013 00.45		240.000	
25/09/2013 01.00		220.000	
25/09/2013 01.15		180.000	
25/09/2013 01.30		180.000	
25/09/2013 01.45		180.000	
25/09/2013 02.00		160.000	
25/09/2013 02.15		180.000	
25/09/2013 02.30		160.000	
25/09/2013 02.45		140.000	
25/09/2013 03.00		140.000	
25/09/2013 03.15		140.000	
25/09/2013 03.30		120.000	
25/09/2013 03.45		140.000	
25/09/2013 04.00		140.000	
25/09/2013 04.15		120.000	
25/09/2013 04.30		120.000	
25/09/2013 04.45		100.000	
25/09/2013 05.00		80.000	
25/09/2013 05.15		80.000	
25/09/2013 05.30		80.000	
25/09/2013 05.45		60.000	
25/09/2013 06.00		60.000	
25/09/2013 06.15		60.000	
25/09/2013 06.30		40.000	
25/09/2013 06.45		60.000	
25/09/2013 07.00		80.000	
25/09/2013 07.15		100.000	
25/09/2013 07.30		140.000	
25/09/2013 07.45		340.000	
25/09/2013 08.00		680.000	
25/09/2013 08.15		720.000	
25/09/2013 08.30		860.000	
25/09/2013 08.45		1,260.000	
25/09/2013 09.00		1,320.000	
25/09/2013 09.15	1,240.000		
25/09/2013 09.30	1,320.000		
25/09/2013 09.45	1,220.000		
25/09/2013 10.00	1,140.000		
25/09/2013 10.15	1,560.000		
25/09/2013 10.30	1,540.000		
25/09/2013 10.45	1,600.000		
25/09/2013 11.00	1,640.000		
25/09/2013 11.15	1,960.000		
25/09/2013 11.30	1,900.000		
25/09/2013 11.45	1,600.000		
25/09/2013 12.00	1,380.000		
25/09/2013 12.15	1,220.000		
25/09/2013 12.30	1,180.000		
25/09/2013 12.45	1,220.000		
25/09/2013 13.00	1,240.000		
25/09/2013 13.15	1,340.000		
25/09/2013 13.30	1,560.000		
25/09/2013 13.45	2,120.000		
25/09/2013 14.00	2,140.000		
25/09/2013 14.15	2,140.000		
25/09/2013 14.30	2,120.000		

	RATE A	RATE B	RATE C
25/09/2013 14.45	2,120.000		
25/09/2013 15.00	2,080.000		
25/09/2013 15.15	2,000.000		
25/09/2013 15.30	1,940.000		
25/09/2013 15.45	1,940.000		
25/09/2013 16.00	1,860.000		
25/09/2013 16.15	1,340.000		
25/09/2013 16.30	1,260.000		
25/09/2013 16.45	1,140.000		
25/09/2013 17.00	1,200.000		
25/09/2013 17.15	1,060.000		
25/09/2013 17.30	980.000		
25/09/2013 17.45	880.000		
25/09/2013 18.00	820.000		
25/09/2013 18.15	880.000		
25/09/2013 18.30	1,000.000		
25/09/2013 18.45	960.000		
25/09/2013 19.00	980.000		
25/09/2013 19.15	960.000		
25/09/2013 19.30	780.000		
25/09/2013 19.45	780.000		
25/09/2013 20.00	660.000		
25/09/2013 20.15	620.000		
25/09/2013 20.30	600.000		
25/09/2013 20.45	600.000		
25/09/2013 21.00	580.000		
25/09/2013 21.15	560.000		
25/09/2013 21.30	540.000		
25/09/2013 21.45	500.000		
25/09/2013 22.00	480.000		
25/09/2013 22.15		420.000	
25/09/2013 22.30		420.000	
25/09/2013 22.45		420.000	
25/09/2013 23.00		380.000	
25/09/2013 23.15		340.000	
25/09/2013 23.30		320.000	
25/09/2013 23.45		300.000	
25/09/2013 24.00		260.000	
26/09/2013 00.15		240.000	
26/09/2013 00.30		220.000	
26/09/2013 00.45		220.000	
26/09/2013 01.00		200.000	
26/09/2013 01.15		200.000	
26/09/2013 01.30		180.000	
26/09/2013 01.45		180.000	
26/09/2013 02.00		180.000	
26/09/2013 02.15		180.000	
26/09/2013 02.30		200.000	
26/09/2013 02.45		180.000	
26/09/2013 03.00		160.000	
26/09/2013 03.15		180.000	
26/09/2013 03.30		160.000	
26/09/2013 03.45		160.000	
26/09/2013 04.00		140.000	
26/09/2013 04.15		140.000	
26/09/2013 04.30		140.000	
26/09/2013 04.45		140.000	
26/09/2013 05.00		100.000	
26/09/2013 05.15		100.000	
26/09/2013 05.30		100.000	

	RATE A	RATE B	RATE C
26/09/2013 05.45		100.000	
26/09/2013 06.00		100.000	
26/09/2013 06.15		100.000	
26/09/2013 06.30		60.000	
26/09/2013 06.45		100.000	
26/09/2013 07.00		100.000	
26/09/2013 07.15		120.000	
26/09/2013 07.30		160.000	
26/09/2013 07.45		320.000	
26/09/2013 08.00		660.000	
26/09/2013 08.15		700.000	
26/09/2013 08.30		820.000	
26/09/2013 08.45		1,140.000	
26/09/2013 09.00		1,740.000	
26/09/2013 09.15	1,800.000		
26/09/2013 09.30	1,860.000		
26/09/2013 09.45	1,840.000		
26/09/2013 10.00	1,880.000		
26/09/2013 10.15	1,760.000		
26/09/2013 10.30	1,780.000		
26/09/2013 10.45	1,760.000		
26/09/2013 11.00	1,800.000		
26/09/2013 11.15	1,800.000		
26/09/2013 11.30	1,740.000		
26/09/2013 11.45	1,300.000		
26/09/2013 12.00	1,140.000		
26/09/2013 12.15	960.000		
26/09/2013 12.30	900.000		
26/09/2013 12.45	1,060.000		
26/09/2013 13.00	1,280.000		
26/09/2013 13.15	1,820.000		
26/09/2013 13.30	2,100.000		
26/09/2013 13.45	2,180.000		
26/09/2013 14.00	2,180.000		
26/09/2013 14.15	2,120.000		
26/09/2013 14.30	2,180.000		
26/09/2013 14.45	2,200.000		
26/09/2013 15.00	2,160.000		
26/09/2013 15.15	2,140.000		
26/09/2013 15.30	2,100.000		
26/09/2013 15.45	2,080.000		
26/09/2013 16.00	2,000.000		
26/09/2013 16.15	1,380.000		
26/09/2013 16.30	1,200.000		
26/09/2013 16.45	1,100.000		
26/09/2013 17.00	1,080.000		
26/09/2013 17.15	960.000		
26/09/2013 17.30	1,020.000		
26/09/2013 17.45	1,060.000		
26/09/2013 18.00	1,160.000		
26/09/2013 18.15	1,060.000		
26/09/2013 18.30	840.000		
26/09/2013 18.45	800.000		
26/09/2013 19.00	780.000		
26/09/2013 19.15	700.000		
26/09/2013 19.30	560.000		
26/09/2013 19.45	680.000		
26/09/2013 20.00	620.000		
26/09/2013 20.15	580.000		
26/09/2013 20.30	560.000		

	RATE A	RATE B	RATE C
26/09/2013 20.45	520.000		
26/09/2013 21.00	540.000		
26/09/2013 21.15	520.000		
26/09/2013 21.30	520.000		
26/09/2013 21.45	540.000		
26/09/2013 22.00	560.000		
26/09/2013 22.15		460.000	
26/09/2013 22.30		460.000	
26/09/2013 22.45		460.000	
26/09/2013 23.00		420.000	
26/09/2013 23.15		380.000	
26/09/2013 23.30		380.000	
26/09/2013 23.45		380.000	
26/09/2013 24.00		360.000	
27/09/2013 00.15		340.000	
27/09/2013 00.30		320.000	
27/09/2013 00.45		320.000	
27/09/2013 01.00		300.000	
27/09/2013 01.15		280.000	
27/09/2013 01.30		280.000	
27/09/2013 01.45		280.000	
27/09/2013 02.00		260.000	
27/09/2013 02.15		240.000	
27/09/2013 02.30		240.000	
27/09/2013 02.45		220.000	
27/09/2013 03.00		220.000	
27/09/2013 03.15		220.000	
27/09/2013 03.30		220.000	
27/09/2013 03.45		220.000	
27/09/2013 04.00		200.000	
27/09/2013 04.15		180.000	
27/09/2013 04.30		160.000	
27/09/2013 04.45		140.000	
27/09/2013 05.00		140.000	
27/09/2013 05.15		180.000	
27/09/2013 05.30		180.000	
27/09/2013 05.45		180.000	
27/09/2013 06.00		180.000	
27/09/2013 06.15		180.000	
27/09/2013 06.30		140.000	
27/09/2013 06.45		140.000	
27/09/2013 07.00		120.000	
27/09/2013 07.15		120.000	
27/09/2013 07.30		140.000	
27/09/2013 07.45		200.000	
27/09/2013 08.00		440.000	
27/09/2013 08.15		760.000	
27/09/2013 08.30		1,080.000	
27/09/2013 08.45		1,320.000	
27/09/2013 09.00		1,520.000	
27/09/2013 09.15	1,720.000		
27/09/2013 09.30	1,780.000		
27/09/2013 09.45	1,840.000		
27/09/2013 10.00	1,800.000		
27/09/2013 10.15	1,840.000		
27/09/2013 10.30	1,840.000		
27/09/2013 10.45	1,820.000		
27/09/2013 11.00	1,860.000		
27/09/2013 11.15	1,900.000		
27/09/2013 11.30	1,960.000		

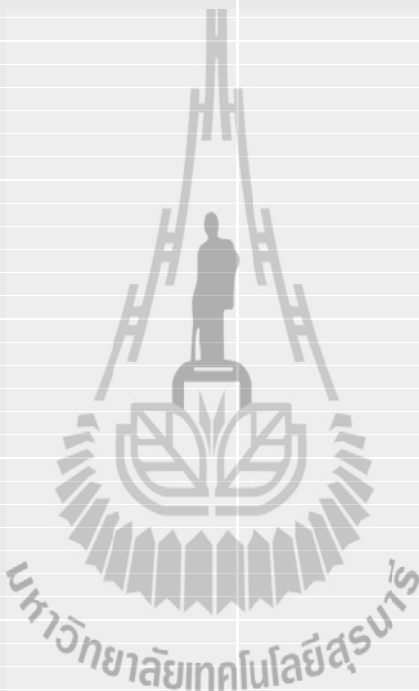
	RATE A	RATE B	RATE C
27/09/2013 11.45	1,760.000		
27/09/2013 12.00	1,760.000		
27/09/2013 12.15	1,480.000		
27/09/2013 12.30	1,400.000		
27/09/2013 12.45	1,360.000		
27/09/2013 13.00	1,320.000		
27/09/2013 13.15	1,480.000		
27/09/2013 13.30	1,640.000		
27/09/2013 13.45	1,680.000		
27/09/2013 14.00	1,600.000		
27/09/2013 14.15	1,580.000		
27/09/2013 14.30	1,700.000		
27/09/2013 14.45	1,640.000		
27/09/2013 15.00	1,620.000		
27/09/2013 15.15	1,480.000		
27/09/2013 15.30	1,420.000		
27/09/2013 15.45	1,460.000		
27/09/2013 16.00	1,240.000		
27/09/2013 16.15	880.000		
27/09/2013 16.30	920.000		
27/09/2013 16.45	940.000		
27/09/2013 17.00	980.000		
27/09/2013 17.15	880.000		
27/09/2013 17.30	800.000		
27/09/2013 17.45	780.000		
27/09/2013 18.00	720.000		
27/09/2013 18.15	740.000		
27/09/2013 18.30	740.000		
27/09/2013 18.45	720.000		
27/09/2013 19.00	760.000		
27/09/2013 19.15	740.000		
27/09/2013 19.30	620.000		
27/09/2013 19.45	580.000		
27/09/2013 20.00	560.000		
27/09/2013 20.15	520.000		
27/09/2013 20.30	500.000		
27/09/2013 20.45	520.000		
27/09/2013 21.00	500.000		
27/09/2013 21.15	520.000		
27/09/2013 21.30	500.000		
27/09/2013 21.45	500.000		
27/09/2013 22.00	480.000		
27/09/2013 22.15		420.000	
27/09/2013 22.30		400.000	
27/09/2013 22.45		400.000	
27/09/2013 23.00		380.000	
27/09/2013 23.15		340.000	
27/09/2013 23.30		340.000	
27/09/2013 23.45		300.000	
27/09/2013 24.00		320.000	
28/09/2013 00.15			280.000
28/09/2013 00.30			260.000
28/09/2013 00.45			260.000
28/09/2013 01.00			260.000
28/09/2013 01.15			280.000
28/09/2013 01.30			280.000
28/09/2013 01.45			240.000
28/09/2013 02.00			260.000
28/09/2013 02.15			260.000
28/09/2013 02.30			220.000

	RATE A	RATE B	RATE C
28/09/2013 02.45			200.000
28/09/2013 03.00			220.000
28/09/2013 03.15			200.000
28/09/2013 03.30			220.000
28/09/2013 03.45			200.000
28/09/2013 04.00			180.000
28/09/2013 04.15			180.000
28/09/2013 04.30			180.000
28/09/2013 04.45			180.000
28/09/2013 05.00			160.000
28/09/2013 05.15			180.000
28/09/2013 05.30			180.000
28/09/2013 05.45			160.000
28/09/2013 06.00			180.000
28/09/2013 06.15			140.000
28/09/2013 06.30			120.000
28/09/2013 06.45			80.000
28/09/2013 07.00			60.000
28/09/2013 07.15			100.000
28/09/2013 07.30			100.000
28/09/2013 07.45			40.000
28/09/2013 08.00			80.000
28/09/2013 08.15			40.000
28/09/2013 08.30			80.000
28/09/2013 08.45			260.000
28/09/2013 09.00			440.000
28/09/2013 09.15			540.000
28/09/2013 09.30			540.000
28/09/2013 09.45			560.000
28/09/2013 10.00			540.000
28/09/2013 10.15			560.000
28/09/2013 10.30			540.000
28/09/2013 10.45			660.000
28/09/2013 11.00			680.000
28/09/2013 11.15			700.000
28/09/2013 11.30			680.000
28/09/2013 11.45			600.000
28/09/2013 12.00			520.000
28/09/2013 12.15			420.000
28/09/2013 12.30			420.000
28/09/2013 12.45			400.000
28/09/2013 13.00			440.000
28/09/2013 13.15			540.000
28/09/2013 13.30			580.000
28/09/2013 13.45			480.000
28/09/2013 14.00			540.000
28/09/2013 14.15			600.000
28/09/2013 14.30			560.000
28/09/2013 14.45			540.000
28/09/2013 15.00			560.000
28/09/2013 15.15			580.000
28/09/2013 15.30			580.000
28/09/2013 15.45			560.000
28/09/2013 16.00			600.000
28/09/2013 16.15			540.000
28/09/2013 16.30			560.000
28/09/2013 16.45			420.000
28/09/2013 17.00			320.000
28/09/2013 17.15			320.000
28/09/2013 17.30			300.000

	RATE A	RATE B	RATE C
28/09/2013 17.45			260.000
28/09/2013 18.00			340.000
28/09/2013 18.15			420.000
28/09/2013 18.30			440.000
28/09/2013 18.45			420.000
28/09/2013 19.00			420.000
28/09/2013 19.15			440.000
28/09/2013 19.30			440.000
28/09/2013 19.45			440.000
28/09/2013 20.00			420.000
28/09/2013 20.15			400.000
28/09/2013 20.30			400.000
28/09/2013 20.45			400.000
28/09/2013 21.00			380.000
28/09/2013 21.15			380.000
28/09/2013 21.30			360.000
28/09/2013 21.45			380.000
28/09/2013 22.00			380.000
28/09/2013 22.15			320.000
28/09/2013 22.30			320.000
28/09/2013 22.45			340.000
28/09/2013 23.00			320.000
28/09/2013 23.15			320.000
28/09/2013 23.30			300.000
28/09/2013 23.45			320.000
28/09/2013 24.00			300.000
29/09/2013 00.15			260.000
29/09/2013 00.30			260.000
29/09/2013 00.45			260.000
29/09/2013 01.00			240.000
29/09/2013 01.15			240.000
29/09/2013 01.30			220.000
29/09/2013 01.45			200.000
29/09/2013 02.00			180.000
29/09/2013 02.15			180.000
29/09/2013 02.30			180.000
29/09/2013 02.45			180.000
29/09/2013 03.00			180.000
29/09/2013 03.15			180.000
29/09/2013 03.30			160.000
29/09/2013 03.45			160.000
29/09/2013 04.00			160.000
29/09/2013 04.15			160.000
29/09/2013 04.30			140.000
29/09/2013 04.45			140.000
29/09/2013 05.00			140.000
29/09/2013 05.15			120.000
29/09/2013 05.30			140.000
29/09/2013 05.45			160.000
29/09/2013 06.00			120.000
29/09/2013 06.15			120.000
29/09/2013 06.30			100.000
29/09/2013 06.45			40.000
29/09/2013 07.00			60.000
29/09/2013 07.15			60.000
29/09/2013 07.30			60.000
29/09/2013 07.45			120.000
29/09/2013 08.00			80.000
29/09/2013 08.15			80.000
29/09/2013 08.30			100.000



	RATE A	RATE B	RATE C
29/09/2013 08.45			240.000
29/09/2013 09.00			340.000
29/09/2013 09.15			380.000
29/09/2013 09.30			380.000
29/09/2013 09.45			340.000
29/09/2013 10.00			380.000
29/09/2013 10.15			420.000
29/09/2013 10.30			440.000
29/09/2013 10.45			460.000
29/09/2013 11.00			420.000
29/09/2013 11.15			440.000
29/09/2013 11.30			480.000
29/09/2013 11.45			460.000
29/09/2013 12.00			420.000
29/09/2013 12.15			140.000
29/09/2013 12.30			200.000
29/09/2013 12.45			520.000
29/09/2013 13.00			580.000
29/09/2013 13.15			620.000
29/09/2013 13.30			620.000
29/09/2013 13.45			620.000
29/09/2013 14.00			680.000
29/09/2013 14.15			620.000
29/09/2013 14.30			620.000
29/09/2013 14.45			620.000
29/09/2013 15.00			640.000
29/09/2013 15.15			680.000
29/09/2013 15.30			640.000
29/09/2013 15.45			660.000
29/09/2013 16.00			680.000
29/09/2013 16.15			700.000
29/09/2013 16.30			560.000
29/09/2013 16.45			500.000
29/09/2013 17.00			500.000
29/09/2013 17.15			480.000
29/09/2013 17.30			500.000
29/09/2013 17.45			460.000
29/09/2013 18.00			480.000
29/09/2013 18.15			600.000
29/09/2013 18.30			640.000
29/09/2013 18.45			620.000
29/09/2013 19.00			640.000
29/09/2013 19.15			640.000
29/09/2013 19.30			620.000
29/09/2013 19.45			600.000
29/09/2013 20.00			620.000
29/09/2013 20.15			620.000
29/09/2013 20.30			620.000
29/09/2013 20.45			600.000
29/09/2013 21.00			600.000
29/09/2013 21.15			600.000
29/09/2013 21.30			580.000
29/09/2013 21.45			580.000
29/09/2013 22.00			560.000
29/09/2013 22.15			520.000
29/09/2013 22.30			520.000
29/09/2013 22.45			520.000
29/09/2013 23.00			480.000
29/09/2013 23.15			460.000
29/09/2013 23.30			460.000



	RATE A	RATE B	RATE C
29/09/2013 23.45			440.000
29/09/2013 24.00			380.000
<b>Minimum KVar</b>	40.000		29/09/2013 06.45
<b>Average KVar</b>		701.071	
<b>Maximum KVar</b>	2,200.000		26/09/2013 14.45

\*\*\* ค่าที่แสดงอาจไม่ตรงกับใบแจ้งค่าไฟฟ้า เนื่องจากการปิดทศนิยมของค่า kWh เหลือ 2 ตำแหน่ง และค่า KW เหลือ 3 ตำแหน่งจากทศนิยม 15 ตำแหน่ง

เพื่อให้ง่ายต่อการดูข้อมูลทุก 15 นาที



## ก.6 ค่าแรงดันไฟฟ้าของวันที่ 23-29 ตุลาคม พ.ศ. 2556

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โครงการพัฒนาการอ่านหน่วยด้วยระบบอัตโนมัติ

เลขที่ 200 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทร. 0-2589-0100, 0-2590-9083-4

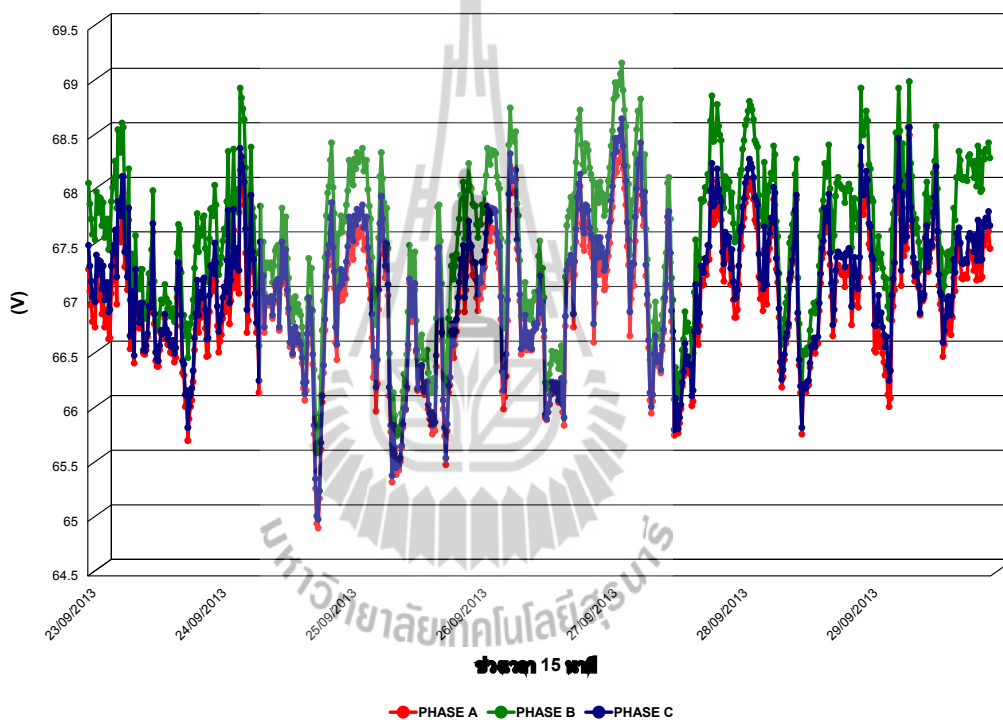
แฟกซ์: 0-2590-9085



### รายงานข้อมูลแรงดันไฟฟ้า

รายสัปดาห์ ระหว่างวันที่ 23/9/2556 - 29/9/2556

หมายเลขผู้ใช้ไฟ	: 0601130996099600	ชื่อบริษัท	: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
หมายเลขมิเตอร์	: 23047171	Tariff	: TOU
CT Ratio	: 100:5 A.	VT Ratio	: 115000:115 V.



	PHASE A	PHASE B	PHASE C
23/09/2013 00.15	67.31	68.10	67.53
23/09/2013 00.30	67.11	67.91	67.34
23/09/2013 00.45	66.98	67.77	67.20
23/09/2013 01.00	66.83	67.63	67.06
23/09/2013 01.15	66.88	67.67	67.10
23/09/2013 01.30	66.78	67.58	67.01
23/09/2013 01.45	67.21	68.02	67.44
23/09/2013 02.00	67.03	67.83	67.26
23/09/2013 02.15	67.16	67.97	67.39

วันเวลาที่พิมพ์ 07/10/2013 16:09

	PHASE A	PHASE B	PHASE C
23/09/2013 02.30	67.15	67.96	67.38
23/09/2013 02.45	66.90	67.71	67.13
23/09/2013 03.00	67.11	67.92	67.34
23/09/2013 03.15	66.78	67.60	67.03
23/09/2013 03.30	66.82	67.64	67.07
23/09/2013 03.45	66.94	67.77	67.19
23/09/2013 04.00	66.67	67.49	66.92
23/09/2013 04.15	66.68	67.51	66.94
23/09/2013 04.30	67.09	67.93	67.34
23/09/2013 04.45	67.20	68.06	67.47
23/09/2013 05.00	67.27	68.14	67.53
23/09/2013 05.15	67.43	68.30	67.67
23/09/2013 05.30	66.99	67.87	67.24
23/09/2013 05.45	67.68	68.59	67.93
23/09/2013 06.00	67.65	68.57	67.91
23/09/2013 06.15	67.56	68.38	67.80
23/09/2013 06.30	67.97	68.65	68.16
23/09/2013 06.45	68.01	68.61	68.16
23/09/2013 07.00	67.33	67.89	67.47
23/09/2013 07.15	67.36	67.88	67.50
23/09/2013 07.30	67.12	67.62	67.24
23/09/2013 07.45	67.76	68.23	67.87
23/09/2013 08.00	66.58	67.03	66.70
23/09/2013 08.15	67.02	67.45	67.11
23/09/2013 08.30	66.90	67.30	66.98
23/09/2013 08.45	66.45	66.83	66.52
23/09/2013 09.00	67.24	67.62	67.31
23/09/2013 09.15	66.85	67.21	66.91
23/09/2013 09.30	66.87	67.23	66.93
23/09/2013 09.45	66.77	67.13	66.82
23/09/2013 10.00	66.96	67.31	67.00
23/09/2013 10.15	66.96	67.31	67.00
23/09/2013 10.30	66.54	66.88	66.57
23/09/2013 10.45	66.53	66.86	66.56
23/09/2013 11.00	66.57	66.90	66.61
23/09/2013 11.15	66.69	67.01	66.72
23/09/2013 11.30	66.94	67.27	66.97
23/09/2013 11.45	66.92	67.26	66.96
23/09/2013 12.00	67.14	67.49	67.18
23/09/2013 12.15	67.65	68.03	67.73
23/09/2013 12.30	66.81	67.20	66.90
23/09/2013 12.45	66.47	66.84	66.55
23/09/2013 13.00	66.42	66.78	66.49
23/09/2013 13.15	66.42	66.75	66.47
23/09/2013 13.30	66.57	66.90	66.61
23/09/2013 13.45	66.72	67.03	66.75
23/09/2013 14.00	66.68	67.00	66.72
23/09/2013 14.15	66.72	67.02	66.74
23/09/2013 14.30	66.86	67.17	66.90
23/09/2013 14.45	66.73	67.04	66.76
23/09/2013 15.00	66.62	66.95	66.67
23/09/2013 15.15	66.67	67.00	66.72

	PHASE A	PHASE B	PHASE C
23/09/2013 15.30	66.55	66.88	66.61
23/09/2013 15.45	66.54	66.88	66.60
23/09/2013 16.00	66.60	66.95	66.66
23/09/2013 16.15	66.46	66.83	66.54
23/09/2013 16.30	66.50	66.90	66.59
23/09/2013 16.45	67.05	67.46	67.13
23/09/2013 17.00	67.26	67.72	67.37
23/09/2013 17.15	67.20	67.68	67.31
23/09/2013 17.30	66.79	67.28	66.89
23/09/2013 17.45	66.36	66.87	66.47
23/09/2013 18.00	66.34	66.89	66.44
23/09/2013 18.15	66.05	66.70	66.16
23/09/2013 18.30	66.07	66.81	66.20
23/09/2013 18.45	65.74	66.50	65.86
23/09/2013 19.00	65.94	66.70	66.06
23/09/2013 19.15	66.05	66.81	66.16
23/09/2013 19.30	66.11	66.87	66.22
23/09/2013 19.45	66.28	67.03	66.38
23/09/2013 20.00	66.57	67.32	66.68
23/09/2013 20.15	66.76	67.52	66.90
23/09/2013 20.30	67.07	67.82	67.21
23/09/2013 20.45	66.73	67.47	66.89
23/09/2013 21.00	66.93	67.68	67.10
23/09/2013 21.15	66.87	67.62	67.05
23/09/2013 21.30	67.04	67.78	67.21
23/09/2013 21.45	67.05	67.80	67.23
23/09/2013 22.00	66.77	67.50	66.94
23/09/2013 22.15	66.51	67.20	66.67
23/09/2013 22.30	66.52	67.20	66.68
23/09/2013 22.45	66.92	67.59	67.07
23/09/2013 23.00	67.19	67.86	67.34
23/09/2013 23.15	67.19	67.87	67.35
23/09/2013 23.30	67.11	67.80	67.27
23/09/2013 23.45	67.39	68.08	67.55
23/09/2013 24.00	67.20	67.90	67.37
24/09/2013 00.15	66.79	67.49	66.97
24/09/2013 00.30	66.55	67.26	66.74
24/09/2013 00.45	66.65	67.36	66.84
24/09/2013 01.00	66.71	67.42	66.89
24/09/2013 01.15	66.86	67.57	67.05
24/09/2013 01.30	66.97	67.68	67.15
24/09/2013 01.45	66.92	67.63	67.10
24/09/2013 02.00	67.20	67.93	67.39
24/09/2013 02.15	67.66	68.39	67.85
24/09/2013 02.30	66.81	67.52	67.00
24/09/2013 02.45	67.02	67.75	67.21
24/09/2013 03.00	67.21	67.95	67.41
24/09/2013 03.15	67.67	68.41	67.86
24/09/2013 03.30	67.14	67.88	67.34
24/09/2013 03.45	67.23	67.97	67.42
24/09/2013 04.00	67.29	68.04	67.50
24/09/2013 04.15	67.09	67.83	67.30

	PHASE A	PHASE B	PHASE C
24/09/2013 04.30	68.22	68.97	68.42
24/09/2013 04.45	68.12	68.88	68.34
24/09/2013 05.00	68.02	68.78	68.24
24/09/2013 05.15	67.90	68.68	68.11
24/09/2013 05.30	67.46	68.24	67.68
24/09/2013 05.45	66.73	67.52	66.94
24/09/2013 06.00	66.84	67.63	67.06
24/09/2013 06.15	67.28	67.97	67.48
24/09/2013 06.30	67.84	68.43	67.99
24/09/2013 06.45	67.35	67.87	67.47
24/09/2013 07.00	67.31	67.79	67.40
24/09/2013 07.15	66.98	67.45	67.09
24/09/2013 07.30	66.73	67.17	66.82
24/09/2013 07.45	66.73	67.16	66.83
24/09/2013 08.00	66.18	66.61	66.29
24/09/2013 08.15	67.48	67.89	67.56
24/09/2013 08.30	67.05	67.44	67.12
24/09/2013 08.45	67.19	67.56	67.25
24/09/2013 09.00	66.73	67.09	66.78
24/09/2013 09.15	66.98	67.33	67.02
24/09/2013 09.30	67.02	67.37	67.05
24/09/2013 09.45	66.99	67.33	67.02
24/09/2013 10.00	66.98	67.32	67.01
24/09/2013 10.15	67.03	67.37	67.06
24/09/2013 10.30	66.86	67.19	66.89
24/09/2013 10.45	67.00	67.34	67.03
24/09/2013 11.00	67.15	67.48	67.17
24/09/2013 11.15	67.18	67.51	67.20
24/09/2013 11.30	67.20	67.53	67.22
24/09/2013 11.45	66.75	67.08	66.78
24/09/2013 12.00	67.16	67.50	67.19
24/09/2013 12.15	67.50	67.87	67.56
24/09/2013 12.30	67.19	67.57	67.27
24/09/2013 12.45	67.18	67.54	67.24
24/09/2013 13.00	67.43	67.79	67.49
24/09/2013 13.15	67.08	67.41	67.12
24/09/2013 13.30	66.91	67.23	66.95
24/09/2013 13.45	66.60	66.92	66.64
24/09/2013 14.00	66.72	67.04	66.76
24/09/2013 14.15	66.52	66.83	66.54
24/09/2013 14.30	66.62	66.92	66.64
24/09/2013 14.45	66.75	67.06	66.78
24/09/2013 15.00	66.62	66.92	66.64
24/09/2013 15.15	66.68	66.99	66.71
24/09/2013 15.30	66.62	66.93	66.65
24/09/2013 15.45	66.58	66.89	66.62
24/09/2013 16.00	66.45	66.78	66.50
24/09/2013 16.15	66.22	66.56	66.27
24/09/2013 16.30	66.11	66.47	66.17
24/09/2013 16.45	66.20	66.58	66.28
24/09/2013 17.00	66.62	67.04	66.72
24/09/2013 17.15	66.96	67.41	67.05

	PHASE A	PHASE B	PHASE C
24/09/2013 17.30	66.73	67.19	66.82
24/09/2013 17.45	66.85	67.32	66.94
24/09/2013 18.00	66.44	66.93	66.53
24/09/2013 18.15	65.80	66.39	65.88
24/09/2013 18.30	65.30	65.99	65.39
24/09/2013 18.45	64.98	65.66	65.05
24/09/2013 19.00	64.94	65.63	65.02
24/09/2013 19.15	65.21	65.89	65.28
24/09/2013 19.30	65.66	66.32	65.72
24/09/2013 19.45	66.09	66.75	66.15
24/09/2013 20.00	66.36	67.02	66.43
24/09/2013 20.15	66.75	67.42	66.85
24/09/2013 20.30	67.13	67.80	67.24
24/09/2013 20.45	67.34	68.01	67.45
24/09/2013 21.00	67.41	68.07	67.53
24/09/2013 21.15	67.64	68.31	67.78
24/09/2013 21.30	67.78	68.47	67.92
24/09/2013 21.45	67.35	68.06	67.51
24/09/2013 22.00	67.14	67.82	67.29
24/09/2013 22.15	66.64	67.28	66.78
24/09/2013 22.30	66.48	67.11	66.62
24/09/2013 22.45	67.01	67.63	67.13
24/09/2013 23.00	67.02	67.64	67.15
24/09/2013 23.15	67.17	67.80	67.31
24/09/2013 23.30	67.03	67.65	67.17
24/09/2013 23.45	67.12	67.75	67.26
24/09/2013 24.00	67.08	67.75	67.23
25/09/2013 00.15	67.22	67.90	67.38
25/09/2013 00.30	67.36	68.03	67.52
25/09/2013 00.45	67.63	68.31	67.79
25/09/2013 01.00	67.62	68.30	67.78
25/09/2013 01.15	67.44	68.12	67.61
25/09/2013 01.30	67.40	68.08	67.57
25/09/2013 01.45	67.63	68.32	67.80
25/09/2013 02.00	67.55	68.23	67.72
25/09/2013 02.15	67.69	68.38	67.86
25/09/2013 02.30	67.60	68.29	67.77
25/09/2013 02.45	67.66	68.36	67.84
25/09/2013 03.00	67.63	68.34	67.82
25/09/2013 03.15	67.70	68.42	67.90
25/09/2013 03.30	67.49	68.21	67.69
25/09/2013 03.45	67.54	68.26	67.74
25/09/2013 04.00	67.59	68.31	67.79
25/09/2013 04.15	67.32	68.04	67.51
25/09/2013 04.30	67.17	67.89	67.38
25/09/2013 04.45	67.04	67.77	67.26
25/09/2013 05.00	66.68	67.42	66.90
25/09/2013 05.15	66.32	67.06	66.51
25/09/2013 05.30	66.36	67.12	66.55
25/09/2013 05.45	66.01	66.80	66.23
25/09/2013 06.00	66.26	67.02	66.48
25/09/2013 06.15	66.94	67.60	67.12

	PHASE A	PHASE B	PHASE C
25/09/2013 06.30	67.58	68.16	67.73
25/09/2013 06.45	67.86	68.38	67.98
25/09/2013 07.00	67.67	68.14	67.77
25/09/2013 07.15	67.45	67.92	67.57
25/09/2013 07.30	67.23	67.67	67.34
25/09/2013 07.45	67.44	67.87	67.54
25/09/2013 08.00	67.07	67.50	67.17
25/09/2013 08.15	66.15	66.54	66.23
25/09/2013 08.30	65.82	66.19	65.88
25/09/2013 08.45	65.36	65.71	65.42
25/09/2013 09.00	65.82	66.18	65.88
25/09/2013 09.15	65.62	65.97	65.68
25/09/2013 09.30	65.43	65.78	65.49
25/09/2013 09.45	65.49	65.83	65.53
25/09/2013 10.00	65.47	65.80	65.51
25/09/2013 10.15	65.55	65.87	65.58
25/09/2013 10.30	65.67	65.99	65.69
25/09/2013 10.45	65.86	66.19	65.89
25/09/2013 11.00	66.03	66.35	66.04
25/09/2013 11.15	66.02	66.34	66.03
25/09/2013 11.30	66.21	66.53	66.23
25/09/2013 11.45	66.58	66.92	66.62
25/09/2013 12.00	67.19	67.53	67.22
25/09/2013 12.15	67.07	67.44	67.14
25/09/2013 12.30	66.83	67.19	66.89
25/09/2013 12.45	67.01	67.37	67.08
25/09/2013 13.00	67.12	67.47	67.18
25/09/2013 13.15	66.55	66.84	66.57
25/09/2013 13.30	66.20	66.49	66.22
25/09/2013 13.45	66.31	66.60	66.33
25/09/2013 14.00	66.38	66.68	66.41
25/09/2013 14.15	66.41	66.71	66.43
25/09/2013 14.30	66.20	66.52	66.23
25/09/2013 14.45	66.16	66.49	66.19
25/09/2013 15.00	66.17	66.49	66.20
25/09/2013 15.15	66.24	66.57	66.28
25/09/2013 15.30	66.03	66.36	66.07
25/09/2013 15.45	65.94	66.29	65.99
25/09/2013 16.00	65.88	66.23	65.93
25/09/2013 16.15	65.80	66.18	65.88
25/09/2013 16.30	65.93	66.31	66.00
25/09/2013 16.45	65.83	66.23	65.91
25/09/2013 17.00	66.42	66.86	66.52
25/09/2013 17.15	67.41	67.88	67.50
25/09/2013 17.30	67.43	67.90	67.51
25/09/2013 17.45	67.08	67.57	67.17
25/09/2013 18.00	66.66	67.18	66.73
25/09/2013 18.15	66.03	66.65	66.11
25/09/2013 18.30	65.78	66.47	65.86
25/09/2013 18.45	65.52	66.19	65.58
25/09/2013 19.00	65.83	66.51	65.89
25/09/2013 19.15	66.18	66.86	66.24



	PHASE A	PHASE B	PHASE C
25/09/2013 19.30	66.25	66.93	66.32
25/09/2013 19.45	66.66	67.34	66.74
25/09/2013 20.00	66.72	67.43	66.81
25/09/2013 20.15	66.50	67.22	66.62
25/09/2013 20.30	66.62	67.34	66.74
25/09/2013 20.45	66.74	67.45	66.85
25/09/2013 21.00	66.92	67.64	67.05
25/09/2013 21.15	67.06	67.77	67.19
25/09/2013 21.30	67.26	67.99	67.40
25/09/2013 21.45	67.27	67.98	67.40
25/09/2013 22.00	67.41	68.11	67.53
25/09/2013 22.15	66.92	67.59	67.05
25/09/2013 22.30	67.12	67.77	67.24
25/09/2013 22.45	67.39	68.03	67.50
25/09/2013 23.00	67.64	68.28	67.75
25/09/2013 23.15	67.41	68.07	67.54
25/09/2013 23.30	67.39	68.05	67.52
25/09/2013 23.45	67.26	67.91	67.38
25/09/2013 24.00	67.24	67.89	67.37
26/09/2013 00.15	67.22	67.89	67.37
26/09/2013 00.30	67.05	67.72	67.21
26/09/2013 00.45	66.93	67.60	67.08
26/09/2013 01.00	67.07	67.75	67.23
26/09/2013 01.15	67.04	67.72	67.19
26/09/2013 01.30	67.22	67.90	67.38
26/09/2013 01.45	67.15	67.83	67.31
26/09/2013 02.00	67.33	68.01	67.48
26/09/2013 02.15	67.48	68.17	67.64
26/09/2013 02.30	67.73	68.42	67.89
26/09/2013 02.45	67.61	68.31	67.78
26/09/2013 03.00	67.57	68.27	67.75
26/09/2013 03.15	67.69	68.40	67.87
26/09/2013 03.30	67.65	68.36	67.83
26/09/2013 03.45	67.68	68.39	67.86
26/09/2013 04.00	67.66	68.37	67.84
26/09/2013 04.15	67.46	68.16	67.64
26/09/2013 04.30	67.37	68.09	67.56
26/09/2013 04.45	67.32	68.05	67.52
26/09/2013 05.00	66.85	67.59	67.06
26/09/2013 05.15	66.19	66.92	66.37
26/09/2013 05.30	66.03	66.77	66.20
26/09/2013 05.45	66.14	66.91	66.33
26/09/2013 06.00	66.33	67.12	66.53
26/09/2013 06.15	66.84	67.56	67.03
26/09/2013 06.30	67.85	68.45	68.00
26/09/2013 06.45	68.25	68.79	68.37
26/09/2013 07.00	68.02	68.52	68.12
26/09/2013 07.15	68.01	68.50	68.12
26/09/2013 07.30	68.02	68.48	68.12
26/09/2013 07.45	68.13	68.57	68.22
26/09/2013 08.00	67.50	67.91	67.58
26/09/2013 08.15	67.40	67.80	67.48

	PHASE A	PHASE B	PHASE C
26/09/2013 08.30	67.02	67.39	67.08
26/09/2013 08.45	66.53	66.88	66.58
26/09/2013 09.00	66.59	66.93	66.64
26/09/2013 09.15	66.67	67.00	66.71
26/09/2013 09.30	66.85	67.19	66.89
26/09/2013 09.45	66.57	66.90	66.61
26/09/2013 10.00	66.70	67.01	66.73
26/09/2013 10.15	66.67	66.97	66.69
26/09/2013 10.30	66.57	66.85	66.59
26/09/2013 10.45	66.57	66.85	66.58
26/09/2013 11.00	66.74	67.02	66.74
26/09/2013 11.15	66.80	67.10	66.81
26/09/2013 11.30	66.77	67.06	66.77
26/09/2013 11.45	66.81	67.10	66.81
26/09/2013 12.00	67.10	67.43	67.11
26/09/2013 12.15	67.21	67.57	67.25
26/09/2013 12.30	66.86	67.23	66.91
26/09/2013 12.45	66.96	67.32	67.01
26/09/2013 13.00	66.69	67.05	66.75
26/09/2013 13.15	65.95	66.27	65.98
26/09/2013 13.30	65.93	66.21	65.94
26/09/2013 13.45	66.00	66.28	66.00
26/09/2013 14.00	66.08	66.35	66.07
26/09/2013 14.15	66.16	66.44	66.16
26/09/2013 14.30	66.27	66.56	66.28
26/09/2013 14.45	66.24	66.52	66.23
26/09/2013 15.00	66.20	66.49	66.20
26/09/2013 15.15	66.26	66.55	66.27
26/09/2013 15.30	66.17	66.47	66.18
26/09/2013 15.45	66.09	66.40	66.11
26/09/2013 16.00	66.19	66.53	66.23
26/09/2013 16.15	66.26	66.61	66.31
26/09/2013 16.30	66.00	66.39	66.07
26/09/2013 16.45	65.88	66.28	65.95
26/09/2013 17.00	66.79	67.24	66.88
26/09/2013 17.15	67.20	67.71	67.30
26/09/2013 17.30	67.23	67.79	67.36
26/09/2013 17.45	67.26	67.85	67.39
26/09/2013 18.00	67.31	67.97	67.44
26/09/2013 18.15	67.24	67.95	67.37
26/09/2013 18.30	66.78	67.50	66.90
26/09/2013 18.45	67.26	68.00	67.38
26/09/2013 19.00	67.56	68.29	67.68
26/09/2013 19.15	67.86	68.58	67.97
26/09/2013 19.30	67.97	68.69	68.09
26/09/2013 19.45	68.07	68.77	68.18
26/09/2013 20.00	67.73	68.45	67.86
26/09/2013 20.15	67.53	68.27	67.69
26/09/2013 20.30	67.48	68.21	67.64
26/09/2013 20.45	67.74	68.46	67.90
26/09/2013 21.00	67.74	68.45	67.89
26/09/2013 21.15	67.69	68.40	67.85

	PHASE A	PHASE B	PHASE C
26/09/2013 21.30	67.52	68.24	67.69
26/09/2013 21.45	67.46	68.18	67.63
26/09/2013 22.00	67.42	68.13	67.59
26/09/2013 22.15	66.64	67.32	66.81
26/09/2013 22.30	67.00	67.67	67.16
26/09/2013 22.45	67.42	68.08	67.57
26/09/2013 23.00	67.44	68.10	67.60
26/09/2013 23.15	67.26	67.92	67.42
26/09/2013 23.30	67.44	68.11	67.60
26/09/2013 23.45	67.34	68.01	67.51
26/09/2013 24.00	67.27	67.95	67.45
27/09/2013 00.15	67.12	67.80	67.30
27/09/2013 00.30	67.15	67.85	67.34
27/09/2013 00.45	67.30	67.99	67.47
27/09/2013 01.00	67.43	68.12	67.61
27/09/2013 01.15	67.55	68.24	67.74
27/09/2013 01.30	67.76	68.44	67.94
27/09/2013 01.45	67.88	68.58	68.07
27/09/2013 02.00	68.16	68.87	68.36
27/09/2013 02.15	68.31	69.02	68.51
27/09/2013 02.30	68.20	68.90	68.39
27/09/2013 02.45	68.31	69.02	68.51
27/09/2013 03.00	68.29	69.00	68.49
27/09/2013 03.15	68.38	69.10	68.59
27/09/2013 03.30	68.49	69.20	68.69
27/09/2013 03.45	68.23	68.95	68.44
27/09/2013 04.00	68.05	68.77	68.26
27/09/2013 04.15	67.90	68.62	68.12
27/09/2013 04.30	67.52	68.25	67.74
27/09/2013 04.45	67.35	68.09	67.58
27/09/2013 05.00	66.70	67.44	66.92
27/09/2013 05.15	67.04	67.80	67.24
27/09/2013 05.30	67.17	67.94	67.37
27/09/2013 05.45	67.16	67.94	67.36
27/09/2013 06.00	67.57	68.37	67.79
27/09/2013 06.15	67.84	68.59	68.05
27/09/2013 06.30	68.10	68.76	68.28
27/09/2013 06.45	68.20	68.75	68.32
27/09/2013 07.00	68.36	68.87	68.47
27/09/2013 07.15	67.86	68.35	67.99
27/09/2013 07.30	67.71	68.16	67.82
27/09/2013 07.45	67.92	68.36	68.02
27/09/2013 08.00	67.25	67.68	67.35
27/09/2013 08.15	66.99	67.40	67.08
27/09/2013 08.30	66.59	66.97	66.66
27/09/2013 08.45	66.11	66.48	66.18
27/09/2013 09.00	65.99	66.34	66.05
27/09/2013 09.15	66.10	66.46	66.16
27/09/2013 09.30	66.48	66.83	66.53
27/09/2013 09.45	66.66	67.01	66.70
27/09/2013 10.00	66.43	66.76	66.46
27/09/2013 10.15	66.44	66.78	66.48

	PHASE A	PHASE B	PHASE C
27/09/2013 10.30	66.48	66.80	66.52
27/09/2013 10.45	66.36	66.67	66.39
27/09/2013 11.00	66.57	66.89	66.61
27/09/2013 11.15	66.73	67.04	66.76
27/09/2013 11.30	67.02	67.33	67.05
27/09/2013 11.45	67.14	67.46	67.17
27/09/2013 12.00	67.74	68.10	67.79
27/09/2013 12.15	67.75	68.15	67.84
27/09/2013 12.30	67.37	67.77	67.46
27/09/2013 12.45	66.83	67.23	66.93
27/09/2013 13.00	66.67	67.03	66.74
27/09/2013 13.15	65.79	66.12	65.84
27/09/2013 13.30	66.08	66.41	66.13
27/09/2013 13.45	66.02	66.34	66.06
27/09/2013 14.00	65.81	66.13	65.85
27/09/2013 14.15	65.90	66.24	65.95
27/09/2013 14.30	66.03	66.36	66.07
27/09/2013 14.45	66.24	66.57	66.27
27/09/2013 15.00	66.33	66.67	66.37
27/09/2013 15.15	66.57	66.92	66.63
27/09/2013 15.30	66.39	66.74	66.45
27/09/2013 15.45	66.45	66.82	66.51
27/09/2013 16.00	66.36	66.75	66.44
27/09/2013 16.15	66.35	66.76	66.43
27/09/2013 16.30	66.06	66.48	66.15
27/09/2013 16.45	66.10	66.54	66.20
27/09/2013 17.00	66.62	67.10	66.74
27/09/2013 17.15	67.06	67.58	67.17
27/09/2013 17.30	66.91	67.44	67.02
27/09/2013 17.45	66.62	67.18	66.74
27/09/2013 18.00	66.79	67.41	66.91
27/09/2013 18.15	67.21	67.95	67.34
27/09/2013 18.30	67.16	67.93	67.28
27/09/2013 18.45	67.17	67.94	67.28
27/09/2013 19.00	67.29	68.06	67.41
27/09/2013 19.15	67.26	68.03	67.38
27/09/2013 19.30	67.41	68.18	67.53
27/09/2013 19.45	67.40	68.17	67.52
27/09/2013 20.00	67.91	68.67	68.03
27/09/2013 20.15	68.12	68.90	68.28
27/09/2013 20.30	67.72	68.48	67.89
27/09/2013 20.45	67.74	68.49	67.91
27/09/2013 21.00	67.82	68.57	67.99
27/09/2013 21.15	68.06	68.82	68.23
27/09/2013 21.30	67.86	68.62	68.04
27/09/2013 21.45	67.79	68.54	67.97
27/09/2013 22.00	67.76	68.49	67.93
27/09/2013 22.15	67.30	67.99	67.47
27/09/2013 22.30	67.20	67.87	67.36
27/09/2013 22.45	67.50	68.16	67.65
27/09/2013 23.00	67.40	68.05	67.54
27/09/2013 23.15	67.46	68.13	67.61

	PHASE A	PHASE B	PHASE C
27/09/2013 23.30	67.45	68.11	67.60
27/09/2013 23.45	67.17	67.84	67.32
27/09/2013 24.00	67.33	68.01	67.49
28/09/2013 00.15	67.03	67.73	67.20
28/09/2013 00.30	66.87	67.56	67.04
28/09/2013 00.45	66.87	67.57	67.05
28/09/2013 01.00	66.94	67.64	67.12
28/09/2013 01.15	67.17	67.88	67.34
28/09/2013 01.30	67.49	68.18	67.66
28/09/2013 01.45	67.52	68.22	67.70
28/09/2013 02.00	67.70	68.41	67.88
28/09/2013 02.15	67.78	68.49	67.96
28/09/2013 02.30	67.92	68.63	68.10
28/09/2013 02.45	67.97	68.68	68.15
28/09/2013 03.00	68.04	68.76	68.23
28/09/2013 03.15	68.13	68.85	68.32
28/09/2013 03.30	68.09	68.81	68.28
28/09/2013 03.45	68.04	68.77	68.24
28/09/2013 04.00	67.95	68.68	68.15
28/09/2013 04.15	67.76	68.49	67.97
28/09/2013 04.30	67.73	68.46	67.94
28/09/2013 04.45	67.69	68.43	67.90
28/09/2013 05.00	67.24	67.99	67.45
28/09/2013 05.15	67.04	67.80	67.23
28/09/2013 05.30	67.04	67.81	67.23
28/09/2013 05.45	66.93	67.72	67.13
28/09/2013 06.00	67.49	68.29	67.70
28/09/2013 06.15	67.21	67.98	67.42
28/09/2013 06.30	66.99	67.69	67.17
28/09/2013 06.45	67.39	68.02	67.55
28/09/2013 07.00	67.50	68.08	67.64
28/09/2013 07.15	67.64	68.19	67.78
28/09/2013 07.30	67.62	68.14	67.74
28/09/2013 07.45	67.95	68.44	68.06
28/09/2013 08.00	67.90	68.36	68.01
28/09/2013 08.15	67.31	67.75	67.41
28/09/2013 08.30	67.19	67.61	67.28
28/09/2013 08.45	66.87	67.27	66.95
28/09/2013 09.00	66.38	66.78	66.46
28/09/2013 09.15	66.23	66.62	66.30
28/09/2013 09.30	66.32	66.70	66.39
28/09/2013 09.45	66.48	66.85	66.53
28/09/2013 10.00	66.63	67.00	66.68
28/09/2013 10.15	66.70	67.06	66.73
28/09/2013 10.30	66.78	67.13	66.81
28/09/2013 10.45	67.20	67.55	67.22
28/09/2013 11.00	67.25	67.60	67.28
28/09/2013 11.15	67.36	67.72	67.39
28/09/2013 11.30	67.47	67.82	67.50
28/09/2013 11.45	67.83	68.18	67.85
28/09/2013 12.00	67.95	68.32	67.99
28/09/2013 12.15	66.85	67.23	66.91

	PHASE A	PHASE B	PHASE C
28/09/2013 12.30	66.43	66.81	66.48
28/09/2013 12.45	66.18	66.55	66.24
28/09/2013 13.00	65.80	66.17	65.86
28/09/2013 13.15	66.21	66.56	66.25
28/09/2013 13.30	66.21	66.56	66.25
28/09/2013 13.45	66.18	66.53	66.22
28/09/2013 14.00	66.24	66.59	66.28
28/09/2013 14.15	66.25	66.59	66.29
28/09/2013 14.30	66.41	66.75	66.45
28/09/2013 14.45	66.57	66.92	66.60
28/09/2013 15.00	66.56	66.92	66.61
28/09/2013 15.15	66.63	67.00	66.68
28/09/2013 15.30	66.54	66.91	66.60
28/09/2013 15.45	66.62	67.00	66.68
28/09/2013 16.00	66.63	67.02	66.69
28/09/2013 16.15	66.93	67.34	67.00
28/09/2013 16.30	67.18	67.61	67.27
28/09/2013 16.45	67.41	67.85	67.50
28/09/2013 17.00	67.46	67.94	67.57
28/09/2013 17.15	67.77	68.28	67.87
28/09/2013 17.30	67.65	68.16	67.75
28/09/2013 17.45	67.68	68.20	67.78
28/09/2013 18.00	67.89	68.45	68.00
28/09/2013 18.15	67.35	68.05	67.46
28/09/2013 18.30	67.06	67.84	67.18
28/09/2013 18.45	66.70	67.48	66.80
28/09/2013 19.00	66.84	67.62	66.94
28/09/2013 19.15	67.20	67.98	67.30
28/09/2013 19.30	67.31	68.10	67.42
28/09/2013 19.45	67.35	68.15	67.47
28/09/2013 20.00	67.30	68.09	67.43
28/09/2013 20.15	67.28	68.07	67.44
28/09/2013 20.30	67.26	68.05	67.42
28/09/2013 20.45	67.27	68.05	67.43
28/09/2013 21.00	67.15	67.92	67.33
28/09/2013 21.15	67.28	68.05	67.46
28/09/2013 21.30	67.26	68.03	67.44
28/09/2013 21.45	67.33	68.09	67.50
28/09/2013 22.00	67.30	68.04	67.47
28/09/2013 22.15	66.80	67.51	66.97
28/09/2013 22.30	66.99	67.70	67.16
28/09/2013 22.45	67.26	67.96	67.42
28/09/2013 23.00	67.14	67.83	67.30
28/09/2013 23.15	67.06	67.77	67.24
28/09/2013 23.30	66.96	67.67	67.13
28/09/2013 23.45	67.24	67.95	67.42
28/09/2013 24.00	68.26	68.97	68.43
29/09/2013 00.15	67.83	68.56	68.02
29/09/2013 00.30	67.81	68.54	67.99
29/09/2013 00.45	67.90	68.63	68.09
29/09/2013 01.00	68.02	68.76	68.21
29/09/2013 01.15	67.94	68.67	68.13

	PHASE A	PHASE B	PHASE C
29/09/2013 01.30	67.54	68.27	67.73
29/09/2013 01.45	67.50	68.23	67.70
29/09/2013 02.00	67.23	67.96	67.43
29/09/2013 02.15	67.19	67.93	67.40
29/09/2013 02.30	66.57	67.32	66.80
29/09/2013 02.45	66.55	67.31	66.79
29/09/2013 03.00	66.69	67.46	66.93
29/09/2013 03.15	66.84	67.61	67.07
29/09/2013 03.30	66.60	67.37	66.84
29/09/2013 03.45	66.66	67.45	66.91
29/09/2013 04.00	66.54	67.32	66.78
29/09/2013 04.15	66.46	67.24	66.71
29/09/2013 04.30	66.34	67.14	66.60
29/09/2013 04.45	66.42	67.22	66.69
29/09/2013 05.00	66.16	66.97	66.43
29/09/2013 05.15	66.05	66.86	66.29
29/09/2013 05.30	66.13	66.95	66.38
29/09/2013 05.45	66.84	67.67	67.07
29/09/2013 06.00	66.97	67.82	67.22
29/09/2013 06.15	67.12	67.94	67.37
29/09/2013 06.30	67.84	68.56	68.06
29/09/2013 06.45	67.83	68.49	68.04
29/09/2013 07.00	68.34	68.97	68.51
29/09/2013 07.15	67.97	68.58	68.12
29/09/2013 07.30	67.16	67.76	67.30
29/09/2013 07.45	67.87	68.46	68.01
29/09/2013 08.00	67.43	67.99	67.57
29/09/2013 08.15	67.49	68.03	67.61
29/09/2013 08.30	67.50	68.03	67.61
29/09/2013 08.45	68.10	68.61	68.17
29/09/2013 09.00	68.54	69.03	68.61
29/09/2013 09.15	67.80	68.28	67.88
29/09/2013 09.30	67.70	68.16	67.76
29/09/2013 09.45	67.37	67.82	67.42
29/09/2013 10.00	67.20	67.64	67.25
29/09/2013 10.15	67.33	67.77	67.36
29/09/2013 10.30	67.26	67.69	67.28
29/09/2013 10.45	67.14	67.56	67.16
29/09/2013 11.00	66.89	67.30	66.91
29/09/2013 11.15	67.07	67.48	67.09
29/09/2013 11.30	67.02	67.43	67.04
29/09/2013 11.45	67.05	67.47	67.08
29/09/2013 12.00	67.58	68.00	67.60
29/09/2013 12.15	67.69	68.11	67.71
29/09/2013 12.30	67.29	67.73	67.33
29/09/2013 12.45	67.37	67.82	67.41
29/09/2013 13.00	67.53	67.96	67.56
29/09/2013 13.15	67.51	67.93	67.53
29/09/2013 13.30	67.79	68.19	67.83
29/09/2013 13.45	67.90	68.30	67.97
29/09/2013 14.00	68.19	68.62	68.25
29/09/2013 14.15	67.59	68.05	67.66

	PHASE A	PHASE B	PHASE C
29/09/2013 14.30	67.16	67.65	67.26
29/09/2013 14.45	66.99	67.50	67.10
29/09/2013 15.00	66.94	67.47	67.07
29/09/2013 15.15	66.51	67.04	66.64
29/09/2013 15.30	66.62	67.16	66.75
29/09/2013 15.45	66.73	67.28	66.87
29/09/2013 16.00	66.88	67.44	67.03
29/09/2013 16.15	66.90	67.47	67.06
29/09/2013 16.30	66.76	67.34	66.93
29/09/2013 16.45	66.71	67.30	66.89
29/09/2013 17.00	66.87	67.49	67.06
29/09/2013 17.15	67.23	67.87	67.40
29/09/2013 17.30	67.11	67.76	67.28
29/09/2013 17.45	67.49	68.15	67.64
29/09/2013 18.00	67.44	68.15	67.59
29/09/2013 18.15	67.53	68.39	67.69
29/09/2013 18.30	67.39	68.31	67.55
29/09/2013 18.45	67.23	68.14	67.37
29/09/2013 19.00	67.22	68.13	67.36
29/09/2013 19.15	67.25	68.15	67.39
29/09/2013 19.30	67.26	68.15	67.40
29/09/2013 19.45	67.23	68.12	67.37
29/09/2013 20.00	67.46	68.34	67.60
29/09/2013 20.15	67.47	68.36	67.64
29/09/2013 20.30	67.43	68.30	67.60
29/09/2013 20.45	67.41	68.27	67.58
29/09/2013 21.00	67.30	68.15	67.47
29/09/2013 21.15	67.45	68.30	67.62
29/09/2013 21.30	67.21	68.07	67.39
29/09/2013 21.45	67.59	68.44	67.76
29/09/2013 22.00	67.56	68.39	67.73
29/09/2013 22.15	67.22	68.02	67.39
29/09/2013 22.30	67.24	68.04	67.40
29/09/2013 22.45	67.59	68.38	67.74
29/09/2013 23.00	67.53	68.32	67.70
29/09/2013 23.15	67.61	68.41	67.78
29/09/2013 23.30	67.58	68.39	67.76
29/09/2013 23.45	67.66	68.47	67.84
29/09/2013 24.00	67.50	68.33	67.71
<b>Minimum Voltage</b>	64.94	65.63	65.02
<b>Average Voltage</b>	67.02	67.60	67.15
<b>Maximum Voltage</b>	68.54	69.20	68.69





ภาคผนวก ข

โปรแกรมสำหรับจำลองผลของงานวิจัยในวิทยานิพนธ์

## ข.1 โปรแกรมสำหรับการหาพารามิเตอร์ของตัวกรองคาลมานและตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ขั้นเดียว

=====  
 algorithmkMA.m - โปรแกรมสำหรับหาจำนวนเทอมของตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ขั้นเดียว  
 =====

```
clearvars Pner Pn Pnn xplus xmeas errrec
V0 = 115e3;
P0 = 2860e6;
Q0 = 840e6;
S0 = 100e6;

% Active Power (P) MW
%original value
Pner = load('C:\Users\raHUS\Documents\MATLAB\data\RndtestP4.txt');
%added noise value
Pn = load('C:\Users\raHUS\Documents\MATLAB\data\PRtest5.txt');
Pner = (Pner.*1e6)./S0;
%-----

for i = 1:20
    %% Initial value from Mathematic Model
    MAno = i;
    %% Delete Exist Prev process
    clearvars -global vMA

    %% Decrease Noise
    % Moving Average
    for c = 1:length(Pn)
        xplus(c) = runMA(Pn(c),c,MAno);
        errrec(c) = (xplus(c)-Pner(c))^2;
    end
    Pnn = xplus;
    fprintf(['%d] Least Square Error is %.6e or SD Err is %.6e\n',MAno,sum(errrec),abs(std(Pner-xplus))])
end

=====  

runMA.m - โปรแกรมย่อยระเบียบวิธีของตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ขั้นเดียว  

=====
```

```
function xplus=runMA(z,c,nMA)
```

```
global vMA
%% Initial value from Mathematic Model
% z = value
% c = index of value
% nMA = Moving Average Number
if nMA<0 || c<0
    fprintf('\n Moving Average Number and/or Index No. is negative\n');
end
```

```

end
%% Check Complete of data
if c < nMA
    vMA(c) = z;
    xplus = z;
    return;
elseif c >= nMA
    vMAa = vMA;
    if c ~= nMA
        vMAa(1) = '';
    end
    vMAtemp = vMAa;
    vMAtemp(nMA) = z;

    vMA = vMAtemp; %Collect data
end
xplus = sum(vMA)/nMA;
return

```

=====  
ExampleKalman.m - โปรแกรมตัวอย่างสำหรับระเบียบวิธีการประมวลผลของตัวกรอง  
คาลมาน (ประกอบในรูปที่ 4.3)  
=====

```

t = 1:100;
Q = 10000;
wsigma = sqrt(Q);
w = wsigma*randn(1,length(t));
xtrue(1) = 0+w(1);
Phi = 0.8;
for k = 2:100
    xtrue(k) = Phi*xtrue(k-1)+w(k);
end

R = 30000;
H = 3;
v = sqrt(R)*randn(1,100);
z = H*xtrue+v;

xminus = 0;
Pminus = 100000;
for k = 1:100
    K = H*Pminus/(Pminus*H^2+R);
    Pplus(k) = Pminus*(1-K*H)^2+R*(K^2);
    xplus(k) = xminus+K*(z(k)-H*xminus);
    xminus = Phi*xplus(k);
    Pminus = Pplus(k)*Phi^2+Q;
end
plot(t,xtrue,t,z,'r.',t,xplus,'b^');
xlabel('k^{th} Sample');
ylabel('System states x_k');
legend('True states','Measurements','Estimated states');

```

```

=====
f_unc01.m - ฟังก์ชันสมการสำหรับการหาพารามิเตอร์ของตัวกรองคาลมาน
=====
function f = f_unc01(x)
Phi = x(1);
Q = x(2);
H = x(3);
R = x(4);

f = compareKal(Phi,Q,H,R);
return

=====
compareKal.m - โปรแกรมย่อยสมการสำหรับการหาพารามิเตอร์ของตัวกรองคาลมาน
=====
function kerr = compareKal(Phi,Q,H,R)

%% Initial Value
clear err_r xplus
clearvars -global xminus pminus xprec pplus

rho = 10000;
V0 = 115e3;
P0 = 2860e6;
Q0 = 840e6;
S0 = 100e6;

%% Algorithm of method
% Active Power (P) MW
%original data
Pner = load('C:\Users\raHUS\Documents\MATLAB\data\RndtestP4.txt');
%added noise data
Pn = load('C:\Users\raHUS\Documents\MATLAB\data\PRtest5.txt');
Pner = (Pner.*1e6)./S0;
% =====
% % Reactive Power (Q) MVar
% %original data
% Pner = load('C:\Users\raHUS\Documents\MATLAB\data\RndtestQ1.txt');
% %added noise data
% Pn = load('C:\Users\raHUS\Documents\MATLAB\data\PRtestQ1.txt');
%
% Pner = (Pner.*1e6)./S0;
% =====
% % Voltage (V) kV
% %original data
% Pner = load('C:\Users\raHUS\Documents\MATLAB\data\RndtestV1.txt');
% %added noise data
% Pn = load('C:\Users\raHUS\Documents\MATLAB\data\PRtestV.txt');
%
% Pner = (Pner.*1e3)./V0;
% =====

```

```

%% Decrease Noise
% Kalman Filter
for c = 1:length(Pn)
    xplus(c) = runKalmanModel(Pn(c),Phi,Q,H,R);
    err_r(c) = abs(Pner(c)-xplus(c));
end
kerr = sum(err_r.^2)+rho*(min(Phi,0)^2+min(Q,0)^2+min(H,0)^2+min(R,
0)^2+max(Phi,1)^2+max(Q,1)^2+max(H,1)^2+max(R,1)^2);
return

=====
runKalmanModel.m - โปรแกรมย่อยระเบียบวิธีของตัวกรองคาลมาน
=====
function xplus = runKalmanModel(z,Phi,Q,H,R)
global xprec Pplus

%% Initial guesses for state and a posteriori covariance.
if isempty(xprec) && isempty(Pplus)
    xprec = 1; %Initial condition on the state, x.
    Pplus = 1;

    %For first time
    %Predictor equations
    xminus = Phi*xprec;
    residual = z-H*xminus;
    Pminus = Phi*Phi*Pplus+Q;
    %Corrector equations
    K = H*Pminus/(H*H*Pminus+R);
    Pplus = Pminus*(1-H*K);
    xplus = xminus+K*residual;
    xprec = xplus;
    return
end
%% Kalman filter Algorithm
%Predictor equations
xminus = Phi*xprec;
residual = z-H*xminus;
Pminus = Phi*Phi*Pplus+Q;
%Corrector equations
K = H*Pminus/(H*H*Pminus+R);
Pplus = Pminus*(1-H*K);
xplus = xminus+K*residual;
xprec = xplus;

return

```

```

=====
algorithmkN.m - โปรแกรมของตัวกรองคาลมาน
=====
clearvars Pner Pn Pnn xplus xmeas errrec
V0 = 115e3;
P0 = 2860e6;
Q0 = 840e6;
S0 = 100e6;

%% Algorithm of method
% Active Power (P) MW
%original value
Pner = load('C:\Users\raHUS\Documents\MATLAB\data\RndtestP4.txt');
%added noise value
Pn = load('C:\Users\raHUS\Documents\MATLAB\data\PRtest5.txt');

Pner = (Pner.*1e6)./S0;
% =====

%% Initial value from Mathematic Model
parameterK = [0.93712628    9.75718860    0.97056859    6.05883244];
Phi = parameterK(1);
Q = parameterK(2);
H = parameterK(3);
R = parameterK(4);
%-----

%% Delete Exist Prev process
clearvars -global xminus Pminus xprec Pplus

%% Decrease Noise
% Kalman Filter
for c = 1:length(Pn)
    xplus(c) = runKalmanModel(Pn(c),Phi,Q,H,R);
    errrec(c) = (xplus(c)-Pner(c))^2;
end
Pnn = xplus;
fprintf('Least Square Error is %.6e or SD Err is %.6e\n',sum(errrec),abs(std(xplus-Pner)))

```

## ข.2 โปรแกรมระบบมัลติเอเจนต์

=====  
 KalmanFilter.java - คลาสของตัวกรองคาลมาน  
 =====

```
import java.io.BufferedReader;
import java.io.File;
import java.io.FileReader;
import java.io.IOException;
import java.io.*;
import java.util.*;

public class KalmanFilter {
    private PrintWriter output;
    Writer writer = null;

    public double RunKalman(double z, double phi, double q, double h,
double r, String agentName) {
        double xMinus, residual, pMinus, pPlusN, k, xPlusN;

        // Initial guesses for state and a posteriori covariance.
        File f1 = new File(agentName+"-xprec.txt"); // x from Previous
process
        File f2 = new File(agentName+"-Pplus.txt"); // P from Previous
process
        if (!f1.exists()) {
            // Create New Text File
            try {
                String text = "";

                File file = new File(agentName+"-xprec.txt");
                writer = new BufferedWriter(new FileWriter(file));
                writer.write(text);
            } catch (FileNotFoundException e) {
                e.printStackTrace();
            } catch (IOException e) {
                e.printStackTrace();
            } finally {
                try {
                    if (writer != null) {
                        writer.close();
                    }
                } catch (IOException e) {
                    e.printStackTrace();
                }
            }
        } // End Create New
    }
    if (!f2.exists()) {
        // Create New Text File
        try {
            String text = "";

            File file = new File(agentName+"-Pplus.txt");
```

```

        writer = new BufferedWriter(new FileWriter(file));
        writer.write(text);
    } catch (FileNotFoundException e) {
        e.printStackTrace();
    } catch (IOException e) {
        e.printStackTrace();
    } finally {
        try {
            if (writer != null) {
                writer.close();
            }
        } catch (IOException e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }
    // End Create New
}
String[] xprec = ReadFromFile(agentName+"-xprec.txt");
String[] pplus = ReadFromFile(agentName+"-Pplus.txt");

if (xprec[0] == null && pplus[0] == null) {
    double xprec0 = 1;
    double pPlus0 = 1;

    // Kalman filter Algorithm for the first time
    // Predictor Equations
    xMinus = phi*xprec0;
    residual = z-h*xMinus;
    pMinus = phi*phi*pPlus0+q;

    // Corrector Equations
    k = h*pMinus/(h*h*pMinus+r);
    pPlusN = pMinus*(1-h*k);
    xPlusN = xMinus+k*residual;

    // Save xPlus to use in next process
    WriteToText(String.valueOf(xPlusN), agentName+"-xprec.txt");
    WriteToText(String.valueOf(pPlusN), agentName+"-Pplus.txt");

    return xPlusN;
}

// Kalman filter Algorithm
double xprecD = Double.parseDouble(xprec[0]);
double pPlusD = Double.parseDouble(pplus[0]);
// Predictor equations
xMinus = phi*xprecD;
residual = z-h*xMinus;
pMinus = phi*phi*pPlusD+q;
// Corrector equations
k = h*pMinus/(h*h*pMinus+r);
pPlusN = pMinus*(1-h*k);
xPlusN = xMinus+k*residual;

```



```

// Save xPlus to use in next process
WriteToText(String.valueOf(xPlusN), agentName+"-xprec.txt");
WriteToText(String.valueOf(pPlusN), agentName+"-Pplus.txt");

return xPlusN;
}

// Addition Function =====
private String[] ReadFromFile(String locate) {
    String path = locate;
    File file = new File(path);
    String[] dataRead = new String[10];
    int a = 0;
    try {
        BufferedReader br = new BufferedReader(new FileReader(file));
        String line;
        while ((line = br.readLine()) != null) {
            dataRead[a] = line;
            a++;
        }
        br.close();
    } catch (IOException e) {
        // TODO Auto-generated catch block
        e.printStackTrace();
    }
    return dataRead;
}

private void WriteToText(String txt, String filename) {
    try{
        // Enable to Open File
        output = new PrintWriter(new FileWriter(filename));
    }
    catch (IOException ioException){
        System.err.println("Error opening file");
    }
    try{
        // Write file
        output.print(txt);
    }
    catch (NoSuchElementException elementException){
        System.err.println("File improperly formed");
        output.close();
    }
    output.close();
}
}

```

=====

PAG1.java - เอนจินท์สำหรับส่งค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ

=====

```

import jade.core.Agent;
import jade.core.AID;
import jade.lang.acl.ACLMessage;

```

```

import jade.core.behaviours.*;
import java.io.*;
import java.util.*;

public class PAG1 extends Agent {
    private String LoadDemandP;
    private String receiver;
    private Scanner in;
    int i=0;
    protected void setup(){
        System.out.println("My name is "+this.getLocalName());
        addBehaviour(new TickerBehaviour(this,40000){ // Every 15
minutes = 15*60*1000 = 900000
            protected void onTick(){

                // Everytime when you want to restart Kalman Filter
                // You must be Remove Text file below this
                // 1. PAG1-xrec.txt, 2. PAG1-Pplus.txt

                int numberLine = 4*24*7;
                double xtimes = 1E+6/100E+6; //1e6,,,, MW
                double[] valuePn = new double[numberLine];

                // Bring Data from text file
                String locateP = "C:\\Users\\Ohm\\Documents\\MATLAB\\data\\
\MWweek.txt";
                String[] getPn = ReadFromFile(locateP, numberLine);
                for (int b = 0; b<getPn.length; b++){
                    valuePn[b] = Double.parseDouble(getPn[b])*xtimes;
                }

                // Kalman Filter Algorithm
                double[] parameterKP = {0.75338058, 0.12947728,
0.69378039, 0.20706142}; // Kalman Parameters

                KalmanFilter kalmanPass = new KalmanFilter();
                double pr =
kalmanPass.RunKalman(valuePn[i],parameterKP[0],parameterKP[1],paramet
erKP[2],parameterKP[3], "PAG1");
                // =====

                LoadDemandP = String.valueOf(pr);
                System.out.println("Active Load demand at hour "+(i
+1)+" (" +LoadDemandP+" MW) has been sent to Management Agent
successfully");
                sendMessage();

                if (i==(getPn.length-1)){
                    doDelete();
                }
            }
        });
    }
}

```

```

// Addition Function =====
private static String[] ReadFromFile(String locate, int numLine) {
    String path = locate;
    File file = new File(path);
    String[] dataRead = new String[numLine];
    int a=0;
    try {
        BufferedReader br = new BufferedReader(new FileReader(file));
        String line;
        while ((line = br.readLine()) != null) {
            dataRead[a] = line;
            a++;
        }
        br.close();
    } catch (IOException e) {
        // TODO Auto-generated catch block
        e.printStackTrace();
    }
    return dataRead;
}

private void sendMessage() {
    AID r = new AID ("MAG1"+"@"+getHap(),AID.ISGUID);
    ACLMessage aclMessage = new ACLMessage(ACLMessage.REQUEST);
    aclMessage.addReceiver(r);
    aclMessage.setContent(LoadDemandP); // !important
    aclMessage.setLanguage("040101"); // !important
    this.send(aclMessage);
    System.out.println("\n");
}
}
}

```

=====

QAG1.java - เอนเจนท์สำหรับส่งค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

=====

```

import jade.core.Agent;
import jade.core.AID;
import jade.lang.acl.ACLMessage;
import jade.core.behaviours.*;
import java.io.*;
import java.util.*;

public class QAG1 extends Agent {
    private String LoadDemandQ;
    private String receiver;
    private Scanner in;
    int i=0;
    protected void setup() {
        System.out.println("My name is "+this.getLocalName());
        addBehaviour(new TickerBehaviour(this,40000){
            protected void onTick(){
                // Everytime when you want to restart Kalman Filter
                // You must be Remove Text file below this
            }
        });
    }
}

```

```

// 1. QAG1-xrec.txt, 2. QAG1-Pplus.txt

int numberLine = 4*24*7;
double xtimes = 1E+6/100E+6; //1e6,,,, MVar
double[] valueQn = new double[numberLine];

// Bring Data from text file
String locateQ = "C:\\Users\\Ohm\\Documents\\MATLAB\\data\\
\MVARweek.txt";
String[] getQn = ReadFromFile(locateQ, numberLine);
for (int b = 0; b<getQn.length; b++){
    valueQn[b] = Double.parseDouble(getQn[b])*xtimes;
}

// Kalman Filter Algorithm
double[] parameterKQ = {0.58636518, 0.27406147,
0.20961534, 0.15939317}; // Kalman Parameters

KalmanFilter kalmanPass = new KalmanFilter();
double pr =
kalmanPass.RunKalman(valueQn[i],parameterKQ[0],parameterKQ[1],paramet
erKQ[2],parameterKQ[3],"QAG1");
// =====

LoadDemandQ = String.valueOf(pr);
System.out.println("Reactive Load demand at hour "+(i
+1)+" (" +LoadDemandQ+ " MVar) has been sent to Management Agent
successfully");
sendMessage();

if (i==(valueQn.length-1)){
    doDelete();
}
i++;
}
});
}

// Addition Function =====
private static String[] ReadFromFile(String locate, int numLine) {
String path = locate;
File file = new File(path);
String[] dataRead = new String[numLine];
int a=0;
try {
BufferedReader br = new BufferedReader(new FileReader(file));
String line;
while ((line = br.readLine()) != null) {
dataRead[a] = line;
a++;
}
br.close();
} catch (IOException e) {
// TODO Auto-generated catch block

```

```

        e.printStackTrace();
    }
    return dataRead;
}
private void sendMessage() {
    AID r = new AID ("MAG1"+"@"+getHap(),AID.ISGUID);
    ACLMessage aclMessage = new ACLMessage(ACLMessage.REQUEST);
    aclMessage.addReceiver(r);
    aclMessage.setContent(LoadDemandQ); // !important
    aclMessage.setLanguage("040102"); // !important
    this.send(aclMessage);
    System.out.println("\n");
}
}
}

```

=====

VAG1.java - เอนจินที่สำหรับส่งค่าแรงดันไฟฟ้า

=====

```

import jade.core.Agent;
import jade.core.AID;
import jade.lang.acl.ACLMessage;
import jade.core.behaviours.*;
import java.io.*;
import java.util.*;

public class VAG1 extends Agent {
    private String LoadDemandV;
    private String receiver;
    private Scanner in;
    int i=0;
    protected void setup() {
        System.out.println("My name is "+this.getLocalName());
        addBehaviour(new TickerBehaviour(this,40000){
            protected void onTick(){
                // Everytime when you want to restart Kalman Filter
                // You must be Remove Text file below this
                // 1. VAG1-xrec.txt, 2. VAG1-Pplus.txt

                int numberLine = 4*24*7;
                double xtimes = 1E+3/115E+3; //1e3,,,, kV
                double[] valueVn = new double[numberLine];

                // Bring Data from text file
                String locateV = "C:\\Users\\Ohm\\Documents\\MATLAB\\data\\
V3phaseweek.txt";
                String[] getVn = ReadFromFile(locateV, numberLine);
                for (int b = 0; b<getVn.length; b++){
                    valueVn[b] = Double.parseDouble(getVn[b])*xtimes;
                }

                // Kalman Filter Algorithm
                double[] parameterKV = {0.93712628, 9.75718860,
                    0.97056859, 6.05883244}; // Kalman Parameters
            }
        });
    }
}

```

```

        KalmanFilter kalmanPass = new KalmanFilter();
        double pr =
kalmanPass.RunKalman(valueVn[i],parameterKV[0],parameterKV[1],paramet
erKV[2],parameterKV[3],"VAG1");
        // =====

        LoadDemandV = String.valueOf(pr);
        System.out.println("Voltage at hour "+(i+1)+" (" +LoadDemandV+
" kV) has been sent to Management Agent successfully");
        sendMessage();

        if (i==(valueVn.length-1)){
            doDelete();
        }
        i++;
    }
}));
}

// Addition Function =====
private static String[] ReadFromFile(String locate, int numLine) {
    String path = locate;
    File file = new File(path);
    String[] dataRead = new String[numLine];
    int a=0;
    try {
        BufferedReader br = new BufferedReader(new FileReader(file));
        String line;
        while ((line = br.readLine()) != null) {
            dataRead[a] = line;
            a++;
        }
        br.close();
    } catch (IOException e) {
        // TODO Auto-generated catch block
        e.printStackTrace();
    }
    return dataRead;
}

private void sendMessage() {
    AID r = new AID ("MAG1"+"@"+getHap(),AID.ISGUID);
    ACLMessage aclMessage = new ACLMessage(ACLMessage.REQUEST);
    aclMessage.addReceiver(r);
    aclMessage.setContent(LoadDemandV); // !important
    aclMessage.setLanguage("040103"); // !important
    this.send(aclMessage);
    System.out.println("\n");
}
}
}

```

```
=====
MAG1.java - เอเจนต์สำหรับรวบรวมค่าจากเอเจนต์ PAG, QAG และ VAG
=====
```

```
import jade.core.Agent;
import jade.core.behaviours.CyclicBehaviour;
import jade.lang.acl.ACLMessage;
import jade.core.AID;
import jade.core.behaviours.*;
import jade.lang.acl.MessageTemplate;
import jade.lang.acl.*;
import java.io.*;
import java.util.*;
import java.text.*;

public class MAG1 extends Agent {
    String LoadDemand, eachLoadDemand;
    String LDV="0", LDP="0", LDQ="0";
    String sender_name;
    int input_messageindex;
    int indexLoad=1, numLoad=0;

    public void setup() {
        System.out.println(this.getLocalName()+" is Running");
        addBehaviour(new CyclicBehaviour() {
            public void action() {
                String MAGname = getLocalName();
                MessageTemplate mt =
                MessageTemplate.MatchPerformative(ACLMessage.REQUEST); //REQUEST
                ACLMessage msg = receive(mt);
                if (msg != null) {
                    eachLoadDemand = msg.getContent();
                    sender_name =
                    msg.getSender().getLocalName();

                    input_messageindex = Integer.parseInt(msg.getLanguage());
                    String lang_communicate = msg.getLanguage();
                    char[] charArray = lang_communicate.toCharArray();
                    char[] copyTo1 = java.util.Arrays.copyOfRange(charArray, 0,
                    4);
                    char[] copyTo2 = java.util.Arrays.copyOfRange(charArray, 4,
                    6);

                    String index_commu = String.copyValueOf(copyTo2);
                    String level_commu = String.copyValueOf(copyTo1);

                    if (level_commu.equals("0401")) {
                        // Active Power from PAG
                        if (index_commu.equals("01")) {
                            LDP = eachLoadDemand;
                        }
                        //Active Power from PAG
                        if (index_commu.equals("02")) {
                            LDQ = eachLoadDemand;
                        }
                    }
                    // Reactive Power from QAG
```

```

        if (index_commu.equals("03")) {
            LDV = eachLoadDemand;
        }
        // check for complete 3 data [V, P, Q]
        if (LDV != "0" && LDP != "0" && LDQ != "0") {
            Date dNow = new Date( );
            SimpleDateFormat ft =
            new SimpleDateFormat ("dd-MM-yyyy-HH:mm", Locale.US);
            String datePresent = ft.format(dNow);
            LoadDemand = MAGname+" "+LDP+" "+LDQ+" "+LDV+"
"+datePresent;
            LDV = "0";
            LDP = "0";
            LDQ = "0";
            System.out.println(LoadDemand+"\n");
            sendMessage();
        }
    }
}
else{
    block();
}
}
private void sendMessage() {
    AID r = new AID ("LMSAG"+"@"+getHap(), AID.ISGUID);
    ACLMessage aclMessage = new ACLMessage(ACLMessage.REQUEST);
    aclMessage.addReceiver(r);
    aclMessage.setContent(LoadDemand);
    aclMessage.setLanguage("0301");
    send(aclMessage);
    System.out.println("\n");
}
}); //end addBehaviour of CyclicBehaviour()
} // end setup()
} // end class

```

=====

LMSAG.java - เอเจนต์สำหรับรวบรวมค่าจากเอเจนต์ MAG

=====

```

import jade.core.Agent;
import jade.core.behaviours.CyclicBehaviour;
import jade.lang.acl.ACLMessage;
import jade.core.AID;
import jade.core.behaviours.*;
import jade.lang.acl.MessageTemplate;
import jade.lang.acl.*;
import java.io.*;
import java.util.*;

public class LMSAG extends Agent {
    String LoadDemandPackage, MAGLoadDemand;
    String sender_name;
    int chkLoad=0;

```



```

int input_messageindex;
int indexLoad=1, numLoad=0;

public void setup() {
    System.out.println(this.getLocalName()+" is Running");
    addBehaviour(new CyclicBehaviour() {
        public void action() {
            MessageTemplate mt =
MessageTemplate.MatchPerformative(ACLMessage.REQUEST); //REQUEST
            ACLMessage msg = receive(mt);
            if (msg != null) {
                MAGLoadDemand = msg.getContent();
                sender_name =
msg.getSender().getLocalName();
                input_messageindex = Integer.parseInt(msg.getLanguage());
                System.out.println("Receive Message from
MAG"+input_messageindex+" is "+MAGLoadDemand);
                sendMessage();
            }
            else{
                block();
            }
        }
        private void sendMessage() {
            AID r = new AID ("LMDAG"+"@"+getHap(),AID.ISGUID);
            ACLMessage aclMessage = new ACLMessage(ACLMessage.REQUEST);
            aclMessage.addReceiver(r);
            aclMessage.setContent(MAGLoadDemand);
            aclMessage.setLanguage("0201");
            send(aclMessage);
            System.out.println("\n");
        }
    }); //end addBehaviour of CyclicBehaviour()
} // end setup()
} // end class

```

=====

LMDAG.java - เอเจนต์สำหรับสร้างแบบจำลองไหล

=====

```

import jade.core.Agent;
import jade.core.behaviours.CyclicBehaviour;
import jade.core.AID;
import jade.core.behaviours.*;
import jade.lang.acl.*;
import java.io.*;
import java.util.*;

public class LMDAG extends Agent {
    String Data_Received;
    private PrintWriter output;
    Writer writer = null;
    String sender_name,loadmodel_solution;
    int input_messageindex;

```

```

private Scanner in;
int indexLMSAG = 201, indexLMDAG = 101;

protected void setup() {
    System.out.println(this.getLocalName()+" is Running");
    addBehaviour(new CyclicBehaviour() {
        public void action() {
            MessageTemplate mt =
MessageTemplate.MatchPerformative(ACLMessage.REQUEST);
            ACLMessage aclMessage = receive(mt);

            if (aclMessage!=null){
                Data_Received = aclMessage.getContent();
                sender_name = aclMessage.getSender().getLocalName();
                input_messageindex =
Integer.parseInt(aclMessage.getLanguage());
                loadmodel_solution = null;

                File f0 = new File("loadDemand.txt");
                if (!f0.exists()) {
                    // Create New Text File
                    try {
                        String text = "";
                        File file = new File("loadDemand.txt");
                        writer = new BufferedWriter(new FileWriter(file));
                        writer.write(text);
                    } catch (FileNotFoundException e) {
                        e.printStackTrace();
                    } catch (IOException e) {
                        e.printStackTrace();
                    } finally {
                        try {
                            if (writer != null) {
                                writer.close();
                            }
                        } catch (IOException e) {
                            e.printStackTrace();
                        }
                    }
                }
                // End Create New
            }
            if (input_messageindex == indexLMSAG) {
                try{
                    // Enable to Open File
                    output = new PrintWriter(new
FileWriter("loadDemand.txt"));
                }
                catch (IOException ioException){
                    System.err.println("Error opening file");
                    System.exit(1);
                }
                try{
                    // Write file
                    output.print(Data_Received);
                }
                catch (NoSuchElementException elementException){

```

```

        System.err.println("File improperly formed");
        output.close();
        System.exit(1);
    }
    output.close();

    // Execute by MATLAB program
    try{
        String[] cmd = { "C:\\Program Files\\MATLAB\\R2012a\\
\\bin\\matlab", "-r", "runLoadModel" };
        Process p = Runtime.getRuntime().exec(cmd);
    }
    catch (Exception e) {
        System.out.println("exception happened – here's what I
know: ");
        e.printStackTrace();
    }
    try{
        Thread.sleep(15000);
    }
    catch (InterruptedException e) {
    }
}
else{
    this.block();
}
} // end action
}); //end CyclicBehaviour
}
}

```

=====  
runLoadModel.m - โปรแกรมทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลการวัด คำนวณแบบจำลองไหลต และ  
บันทึกแบบจำลองไหลต (สำหรับโปรแกรม MATLAB)  
=====

```

function runLoadModel()
clear t n Pm Qm Vm A B Pans_rec Qans_rec Pans Qans

%% =====
% This Program only call from Multi-Agent System
% Not for run directly from MATLAB
%=====

%% Values
period = 4;      % !! important, 4 = 1 hour, You can change period 1
day to 1 week
V0 = 115e3;
P0 = 2860e6;
Q0 = 840e6;
S0 = 100E6;

```

```

PQVdem = textread('C:\jade\LoadModel
\loadDemand.txt','%s','delimiter',' '); % Load file from Agent
date_meas = strread(PQVdem{5},'%d','delimiter','-');

%% Exist Check
if isempty(PQVdem)
    fprintf('Data is Empty, Please Check Multi-Agent, it have a
trouble\n');
    exit;
end
fd_mg = exist(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\MATLAB\\LoadModel
\\%s',PQVdem{1}),'dir'); % MAG folder
fd_yr = exist(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\MATLAB\\LoadModel
\\%s\\%d',PQVdem{1},date_meas(3)), 'dir'); % year folder
fd_mo = exist(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\MATLAB\\LoadModel
\\%s\\%d\\%d',PQVdem{1},date_meas(3),date_meas(2)), 'dir'); % month
folder
fd_da = exist(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\MATLAB\\LoadModel
\\%s\\%d\\%d\\meas-%d.txt',PQVdem{1},date_meas(3),date_meas(2),
date_meas(1)), 'file');

%% Create Folder and File
%Folder
if fd_mg == 0
    mkdir('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\MATLAB\\LoadModel\\',PQVdem{1});
end
if fd_yr == 0
    mkdir(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\MATLAB\\LoadModel\\
%s',PQVdem{1}),int2str(date_meas(3)));
end
if fd_mo == 0
    mkdir(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\MATLAB\\LoadModel\\%s
\\%d',PQVdem{1},date_meas(3)),int2str(date_meas(2)));
end

%File
if fd_da == 0
    % Write new data
    fileID = fopen(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\MATLAB\\
\\LoadModel\\%s\\%d\\%d\\meas-
%d.txt',PQVdem{1},date_meas(3),date_meas(2),date_meas(1)), 'w');
    fprintf(fileID,'%s %s %s %s %s
\n',PQVdem{1},PQVdem{2},PQVdem{3},PQVdem{4},PQVdem{5});
    fclose(fileID);
elseif fd_da == 2
    % Write append data
    fileID = fopen(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\MATLAB\\
\\LoadModel\\%s\\%d\\%d\\meas-
%d.txt',PQVdem{1},date_meas(3),date_meas(2),date_meas(1)), 'a');
    fprintf(fileID,'%s %s %s %s %s
\n',PQVdem{1},PQVdem{2},PQVdem{3},PQVdem{4},PQVdem{5});
    fclose(fileID);
end

```

```

% check file again
fd_da = exist(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\MATLAB\\LoadModel
\\%s\\%d\\%d\\meas-
%d.txt',PQVdem{1},date_meas(3),date_meas(2),date_meas(1)), 'file');
% Read file
PQV = importdata(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\MATLAB\\
\\LoadModel\\%s\\%d\\%d\\meas-
%d.txt',PQVdem{1},date_meas(3),date_meas(2),date_meas(1)), '\n');
Npqv = length(PQV);

%% Check Data is in period
acct = 0;
Nloop = 0;
day_count = 1;
while fd_da == 2 && Npqv < period && acct == 0

    % check number of TEMP.txt if > period, read and acct=1 continue
    if exist(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\MATLAB\\LoadModel\\
\\%s\\TEMP.txt',PQVdem{1}), 'file') == 2
        NTEMP = length(importdata(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\
\\Documents\\MATLAB\\LoadModel\\%s\\TEMP.txt',PQVdem{1}), '\n'));
        if NTEMP >= period
            acct = 1;
            continue;
        end
    end

    mDate = sprintf('%.2d-%.2d-%.4d',date_meas(2),date_meas(1),
date_meas(3));
    dno = datenum(mDate);
    dateMinus = addtodate(dno, -1*day_count, 'day');
    dateString = datestr(dateMinus);

    new_claim01 = strrep(dateString, 'Jan', '01');
    new_claim02 = strrep(new_claim01, 'Feb', '02');
    new_claim03 = strrep(new_claim02, 'Mar', '03');
    new_claim04 = strrep(new_claim03, 'Apr', '04');
    new_claim05 = strrep(new_claim04, 'May', '05');
    new_claim06 = strrep(new_claim05, 'Jun', '06');
    new_claim07 = strrep(new_claim06, 'Jul', '07');
    new_claim08 = strrep(new_claim07, 'Aug', '08');
    new_claim09 = strrep(new_claim08, 'Sep', '09');
    new_claim10 = strrep(new_claim09, 'Oct', '10');
    new_claim11 = strrep(new_claim10, 'Nov', '11');
    new_claim12 = strrep(new_claim11, 'Dec', '12');

    date_chk = strread(new_claim12, '%d', 'delimiter', '-');
    fd_chk = exist(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\MATLAB\\
\\LoadModel\\%s\\%d\\%d\\meas-
%d.txt',PQVdem{1},date_chk(3),date_chk(2),date_chk(1)), 'file');

    % get data from Prev date
    if fd_chk == 2

```

```

    % get data from date-1
    PQVtemp = importdata(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\
\\MATLAB\\LoadModel\\%s\\%d\\%d\\meas-
%d.txt',PQVdem{1},date_chk(3),date_chk(2),date_chk(1)), '\n');
    Nprev = length(PQVtemp);

    % make new temp file TEMP.txt and put PQV to this
    if exist(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\MATLAB\\
\\LoadModel\\%s\\TEMP.txt',PQVdem{1}),'file') ~= 2
        fileID = fopen(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\
\\MATLAB\\LoadModel\\%s\\TEMP.txt',PQVdem{1}), 'w');
        fprintf(fileID, '');
        fclose(fileID);
        for a = 1:length(PQV)
            % Write append data
            fileID = fopen(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\
\\MATLAB\\LoadModel\\%s\\TEMP.txt',PQVdem{1}), 'a');
            fprintf(fileID, '%s\n', PQV{length(PQV)-a+1});
            fclose(fileID);
        end
        for c = 1:Nprev
            % Write append data
            fileID = fopen(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\
\\MATLAB\\LoadModel\\%s\\TEMP.txt',PQVdem{1}), 'a');
            fprintf(fileID, '%s\n', PQVtemp{Nprev-c+1});
            fclose(fileID);
        end
    else
        for b = 1:Nprev
            % Write append data
            fileID = fopen(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\
\\MATLAB\\LoadModel\\%s\\TEMP.txt',PQVdem{1}), 'a');
            fprintf(fileID, '%s\n', PQVtemp{Nprev-b+1});
            fclose(fileID);
        end
    end

    % prepare to Next loop
    if Nprev+Npqv+Nloop < period
        Nloop = Nloop + Nprev;
    else
        acppt = 1; % *****
    end
    else
        fprintf('Data is less than Period\t and No data in Prev date
\n');
        % break;
        exit;
    end
    day_count = day_count+1; % reduce day to view prev data
end

%% Get Data from process
if acppt == 1

```

```

    DatatempOut = importdata(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\
\\MATLAB\\LoadModel\\%s\\TEMP.txt',PQVdem{1}), '\n');
    DataPQVT = DatatempOut(1:period,1);
    DataPQV = flipud(DataPQVT); % Flip down to up
    delete(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\MATLAB\\LoadModel\\
%s\\TEMP.txt',PQVdem{1}));
elseif Npqv >= period
    DataPQV = PQV(Npqv-period+1:Npqv,1);
end

%% get data to reform in matrix
PQVrecord = [];
for A = 1:period
    spltdata = strread(DataPQV{A}, '%s', 'delimiter', ' ');
    Psplt = str2num(spltdata{2});
    Qsplt = str2num(spltdata{3});
    Vsplt = str2num(spltdata{4});
    PQVrecord(A,:) = [Psplt Qsplt Vsplt];
    if A == period
        DateModeling = strread(spltdata{5}, '%d', 'delimiter', '-');
    end
end
MAGModeling = spltdata{1};

%% Initial Setting
n = period;
Pm = PQVrecord(:,1);
Qm = PQVrecord(:,2);
Vm = PQVrecord(:,3)*V0;
P0 = P0/S0; %====
Q0 = Q0/S0; %====

%% Modeling
Pans = LoadmodelingLSR(Vm,V0,Pm,P0); % ZIP Model with Least-Square
Regression
Qans = LoadmodelingLSR(Vm,V0,Qm,Q0); % ZIP Model with Least-Square
Regression

%% Collect Data to Text file
fd_dd = exist(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\MATLAB\\LoadModel
\\%s\\%d\\%d\\LM-%d.txt', MAGModeling,
DateModeling(3),DateModeling(2), DateModeling(1)), 'file');
if fd_dd == 0

    % Write new data
    fileID = fopen(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\MATLAB\\
\\LoadModel\\%s\\%d\\%d\\LM-%d.txt',MAGModeling, DateModeling(3),
DateModeling(2), DateModeling(1)), 'w');
    fprintf(fileID, '%s-%d %.4f %.4f %.4f %.4f %.4f %.4f %.2d-%.2d-%.
4d-%d\n',MAGModeling, period, Pans(1), Pans(2), Pans(3), Qans(1),
Qans(2), Qans(3), DateModeling(1), DateModeling(2), DateModeling(3),
DateModeling(4));
    % MAG1-peroid Zp Ip Pp Zq Iq Pq Day-Month-Year-HourMinute\n
    fclose(fileID);

```

```

        exit;
elseif fd_dd == 2
    % Write append data
    fileID = fopen(sprintf('C:\\Users\\raHUS\\Documents\\MATLAB\\
\\LoadModel\\%s\\%d\\%d\\LM-%d.txt',MAGModeling, DateModeling(3),
DateModeling(2), DateModeling(1)), 'a');
    fprintf(fileID, '%s-%d %.4f %.4f %.4f %.4f %.4f %.2d-%.2d-%.
4d-%d\n',MAGModeling, period, Pans(1), Pans(2), Pans(3), Qans(1),
Qans(2), Qans(3), DateModeling(1), DateModeling(2), DateModeling(3),
DateModeling(4));
    % MAG1-peroid Zp Ip Pp Zq Iq Pq Day-Month-Year-HourMinute\n
    fclose(fileID);
    exit;
else
    fprintf('ERROR with Write data to text file\n');
    exit;
end
return

```

=====  
LoadmodelingLSR.m - โปรแกรมย่อยสำหรับคำนวณแบบจำลองโหลดแบบ ZIP ด้วยระเบียบ  
วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (สำหรับโปรแกรม MATLAB)  
=====

```
function ZIPpara = LoadmodelingLSR(VL,V0,PL,P0)
```

```
Vi = VL/V0;
Pi = PL/P0;
```

```
MTX11 = sum(2*Vi.^4);
MTX12 = sum(2*Vi.^3);
MTX13 = sum(2*Vi.^2);
MTX21 = sum(2*Vi.^3);
MTX22 = sum(2*Vi.^2);
MTX23 = sum(2*Vi);
MTX31 = sum(2*Vi.^2);
MTX32 = sum(2*Vi);
MTX33 = 2*length(Vi);
```

```
ATX1 = sum(2*Pi.*Vi.^2);
ATX2 = sum(2*Pi.*Vi);
ATX3 = sum(2*Pi);
```

```
M = [MTX11 MTX12 MTX13;
      MTX21 MTX22 MTX23;
      MTX31 MTX32 MTX33];
```

```
A = [ATX1;
      ATX2;
      ATX3];
```

```
ZIPpara = M\A;
return
```



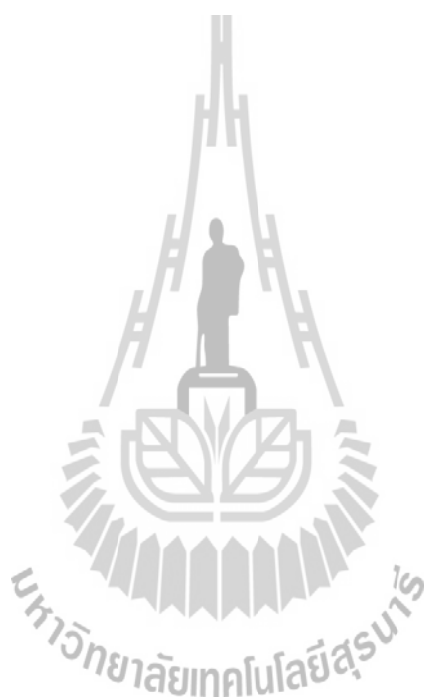


ภาคผนวก ค

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

## รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

ชัยวัฒน์ ลือใจ, ธนัชชัย กุลวรวานิชพงษ์ (2556). การพัฒนาแบบจำลองโหลดด้วยระบบมัลติเอเจนต์ (Development of Load Modeling by Using Multi-Agent). การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9 (E-NETT 9) ณ ชลพฤกษ์ รีสอร์ท จังหวัดนครนายก วันที่ 8-10 พฤษภาคม: 356-362.



รหัสบทความ:  
EC010

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9  
8-10 พฤษภาคม 2556 จังหวัดนครนายก

## การพัฒนาแบบจำลองโหลดด้วยระบบมัลติเอเจนต์ Development of Load Modeling by Using Multi-Agent

ชัยวัฒน์ ลือใจ<sup>1\*</sup> และ ธนัชชัย กุลรวรานิชพงษ์<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> กลุ่มวิจัยระบบไฟฟ้ากำลัง สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000  
\*ผู้ติดต่อ: chawithush@hotmail.com, thanatchai@gmail.com

### บทคัดย่อ

งานนี้เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการสร้างแบบจำลองโหลดด้วยระบบมัลติเอเจนต์ โดยใช้ข้อมูลการวัดจากสถานีไฟฟ้าย่อยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองลักษณะการใช้งานของโหลดในเวลาต่าง ๆ โดยแบบจำลองที่ได้เลือกใช้คือแบบจำลองแบบ ZIP ซึ่งง่ายต่อการคำนวณและไม่ยุ่งยากในการสร้างแบบจำลองแต่ยังให้ประสิทธิภาพที่ดี โดยกระบวนการทั้งหมดจะใช้ประโยชน์ของระบบมัลติเอเจนต์คือการทำงานโดยอัตโนมัติ ในงานนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการสร้างแบบจำลองโหลดให้มีความแม่นยำและสามารถแสดงพฤติกรรมของโหลดได้ถูกต้อง ด้วยการอาศัยเทคโนโลยีมัลติเอเจนต์และเอเจนต์ที่สร้างขึ้นมี 3 เอเจนต์หลัก คือ MAG (Measurement Agent) ทำหน้าที่ในการวัดในสถานทีนั้นๆ LMSAG (Load Measurement Agent) ทำหน้าที่รวบรวมค่าจากเอเจนต์ MAG และ LMDAG (Load Modeling Agent) เป็นเอเจนต์ที่ทำหน้าที่สำหรับสร้างแบบจำลองโหลดขึ้นมา เพื่อสุดท้ายแล้วสามารถนำแบบจำลองโหลดไปใช้ในงานจำลองผลต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำถูกต้อง

**คำหลัก:** แบบจำลองโหลด, ระบบมัลติเอเจนต์, JADE

### Abstract

In this paper present approach for development load modeling by using multi-agent and measurement data from Suranaree University of Technology substation. For create load model represent behavior load in anytime. Chosen load model is ZIP-model, that is easy to calculation and uncomplicated to create load model, However ZIP-model had good performance. Load model will be creating automatic by using multi-agent system. Objective of this paper is development accurate load modeling and can be represent behavior of load. Finally to take this load model assemble in power system simulation for accurate simulation result.

**Keywords:** Load Model, Multi-Agent System, JADE.

### 1. บทนำ

การจำลองผลระบบ (System Simulation) ถือว่าเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ วินิจฉัยที่สำคัญสำหรับการ

วางแผนและการปฏิบัติการควบคุมในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีขนาดใหญ่่มาก ๆ ตัวอย่างเช่น การจำลองเพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง[1] หรือในการจำลอง

## รหัสบทความ: EC010

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9  
8-10 พฤษภาคม 2556 จังหวัดนครนายก

การไหลในสายส่ง[2] เป็นต้น แบบจำลองโหลดก็ถือเป็นส่วนสำคัญมากในการจำลองผล เนื่องจากแบบจำลองโหลดแต่ละแบบก็จะให้ผลการจำลองที่ต่างกัน ซึ่งจะมีความแม่นยำและสำคัญต่อผลลัพธ์ของการจำลองผล และจากงานวิจัยหลายชิ้นที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาการหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดโดยได้นำระเบียบวิธีต่างๆ มาใช้ เช่น Genetic Algorithm[3], Neural Network[4], Nonlinear Least-Square[5] เป็นต้น นอกจากนี้ยังลดความยุ่งยากในการคำนวณแบบจำลองโหลดโดยการลดพารามิเตอร์ของแบบจำลองลง[6],[7] แต่หากเป็นการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ๆ ความเป็นพลวัตจะไม่มีผลมากกับระบบ ระบบที่ใหญ่ๆ จึงเพียงพอที่จะใช้แบบจำลองโหลดแบบสถิต[8]

### 2. พื้นฐานแบบจำลองโหลด

ในกรณีการสร้างแบบจำลองโหลด คือการแทนด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับค่าแรงดัน และ/หรือ ความถี่ที่วัดได้ที่บัส และค่ากำลังที่โหลดผลาญไป ที่เป็นค่ากำลังแอกทีฟและรีแอกทีฟ เนื่องจากโหลดในระบบไฟฟ้ากำลังมีความหลากหลายและกระจายสูง ทำให้ยากในการสร้างเป็นแบบจำลองและหลาย ๆ ทางเลือกได้นำเสนอการที่ไม่นำค่าเวลามาพิจารณาด้วย การแบ่งแบบจำลองโหลดจะแบ่งเป็นหลัก ๆ คือ แบบจำลองสถิต และแบบจำลองพลวัต แบบจำลองสถิต จะไม่แปรเปลี่ยนไปตามเวลา ดังนั้นจึงเป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแอกทีฟ รีแอกทีฟในเวลากับค่าแรงดัน และ/หรือ ความถี่ ณ เวลาหนึ่ง ส่วนแบบจำลองพลวัตนั้นเป็นฟังก์ชันของแรงดัน และ/หรือ ความถี่(ที่สถานะคงตัว) ให้สัมพันธ์ในตลอดเวลา โดยแบบจำลองโหลดสถิตจะเหมาะกับการใช้สำหรับการศึกษาในระยะยาว (long-term) ตัวอย่างเช่น โหลดที่เป็นค่าความต้านทาน และโหลดแสงสว่าง เป็นต้น

#### 2.1 แบบจำลอง ZIP หรือแบบจำลองพหุนาม (ZIP Model or Polynomial Model)

โดยคุณสมบัติของโหลดแบบสถิตสามารถจำแนกเป็น ค่าคงที่กำลังไฟฟ้า (P) ค่าคงที่กระแส และค่าคงที่อิมพีแดนซ์ โดยค่ากำลังจะมีความสัมพันธ์กับค่าแรงดันนั้นคือ สำหรับโหลดที่เป็นอิมพีแดนซ์คงที่ ค่ากำลังของโหลดนี้จะแปรตามแรงดันด้วยฟังก์ชันกำลังสอง ส่วนกระแสจะแปรตามแรงดันด้วยฟังก์ชันเส้นตรง และสำหรับค่ากำลังไฟฟ้า จะอิสระจากค่าแรงดัน โดยแบบจำลอง ZIP จะมีสมการดังสมการ (1) และ (2) ตาม [5] จะเห็นว่าสมการอยู่ในรูปแบบโพลีโนเมียล

$$P = P_2 \left( \frac{V}{V_0} \right)^2 + P_1 \left( \frac{V}{V_0} \right) + P_0 \quad (1)$$

$$Q = Q_2 \left( \frac{V}{V_0} \right)^2 + Q_1 \left( \frac{V}{V_0} \right) + Q_0 \quad (2)$$

โดย  $V_0$  คือค่าเงื่อนไขเริ่มต้นของระบบ ส่วนสัมประสิทธิ์  $P_2, P_1, P_0$  และ  $Q_2, Q_1, Q_0$  คือพารามิเตอร์ของแบบจำลอง

### 3. เทคโนโลยีระบบอัตโนมัติเอเจนต์

เทคโนโลยีเอเจนต์เป็นการนำเอาปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent) และวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ (Computer Science) ประยุกต์ใช้กับงานด้านต่าง ๆ เช่น ด้านโรงงาน ด้านการทหาร และด้านการออกแบบซอฟต์แวร์ เอเจนต์หลายเอเจนต์จะทำงานร่วมกันเป็นทีม เป็นเครือข่าย อาจจะทำงานแทนคน เพื่อวัตถุประสงค์หนึ่ง ๆ ได้ ซึ่งได้กล่าวคุณสมบัติของเอเจนต์ไว้ 4 ข้อ คือ อัตโนมติ (Autonomy) เอเจนต์ถูกควบคุมโดยคนหรืออะไรก็ได้ที่สามารถดำเนินการและควบคุมพฤติกรรมสถานะข้างในได้ด้วยตัวของเอเจนต์เอง ความสามารถในการติดต่อสื่อสาร (Communication ability) เอเจนต์สามารถที่จะแลกเปลี่ยนข้อมูลกับเอเจนต์อื่นด้วยภาษาการสื่อสาร ความสามารถในการโต้ตอบ (Reaction ability) เอเจนต์สามารถที่จะโต้ตอบกับสิ่งแวดล้อมได้ที่เป็นทั้งโลกความจริงและที่จำลองขึ้น ความสามารถในการปรับปรุงตัวเอง (Spontaneous ability) โปรแกรม

## รหัสบทความ: EC010

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9  
8-10 พฤษภาคม 2556 จังหวัดนครนายก

ทั่วไปมักจะถูกผู้ดูแลโปรแกรมทำการปรับระบบเอง แต่มีลติเอเจนต์สามารถที่จะพัฒนาตนเองได้ต่อสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนไป

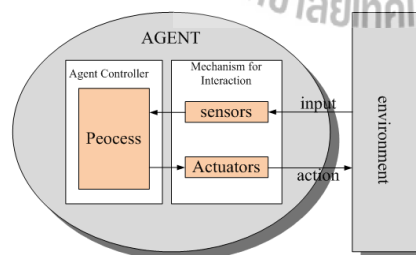
### 3.1 คำนิยามของเอเจนต์

เอเจนต์ (agent) คือ ผู้ที่ได้รับมอบหมายให้ทำหน้าที่ตามที่มนุษย์ต้องการ หรือผู้ที่ทำหน้าที่บางอย่างแทนมนุษย์ โดยมีโครงสร้างพื้นฐานของเอเจนต์ 2 ส่วนหลัก คือ

1. Mechanism for interaction เป็นส่วนกลไกรับข้อมูลผ่าน sensor และการตอบสนองผ่าน actuators กับสภาพแวดล้อมภายนอกได้ โดยส่วนนี้เป็นส่วนที่เอเจนต์ต้องมี

2. Agent controller เป็นส่วนตัวควบคุมกระบวนการทำงานของเอเจนต์โดยลักษณะภายในส่วนนี้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับเอเจนต์แต่ละประเภท

เอเจนต์ทำงานโดยรับข้อมูลต่าง ๆ อย่างเป็นลำดับ (percept sequence) จากสภาพแวดล้อม (environment) ภายนอกผ่านตัว Sensor ของเอเจนต์ และสามารถตอบสนองกลับด้วยการกระทำ (action) ไปยังสภาพแวดล้อมภายนอกผ่านทาง actuators ของเอเจนต์ได้ แสดงโครงสร้างพื้นฐานเบื้องต้นของเอเจนต์ได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างเบื้องต้นของตัวเอเจนต์

หรือมีการนิยามเอเจนต์เป็นตัวแทนปัญญา ซึ่งหมายถึง หน่วยของซอฟต์แวร์ที่สามารถดำเนินการหรือประมวลผลบางอย่างให้กับผู้ใช้หรือให้กับโปรแกรมอื่นได้อย่างรวดเร็วและอัตโนมัติ การดำเนินการบางอย่าง

จะต้องใช้ความรู้เข้ามาร่วมพิจารณาโดยองค์ความรู้สามารถได้รับจากการเขียนโปรแกรมของผู้พัฒนา หรือรับรู้จากข้อมูลที่ได้รับมาจากสภาพแวดล้อม เพื่อนำองค์ความรู้นั้นมาสรุปความ เพื่อให้ได้การกระทำตามความต้องการของผู้ใช้หรือโปรแกรมอื่นได้ วัตถุประสงค์หลักของตัวแทนปัญญา คือ การทำงานหน้าที่บางอย่างแทนมนุษย์ ซึ่งเปรียบเสมือนตัวแทนของมนุษย์ โดยลักษณะการดำเนินจะเป็นแบบอัตโนมัติ และผลลัพธ์ที่ได้ต้องมีประสิทธิภาพมากกว่าหรือเทียบเท่ากับมนุษย์ แบ่งประเภทของเอเจนต์ตามตำแหน่งที่เอเจนต์ทำการประมวลผลได้ 2 ประเภท คือ

1. เอเจนต์แบบคงที่ (stationary agent) คือเอเจนต์ที่จะทำการประมวลผลได้เฉพาะบนระบบที่เอเจนต์นั้นทำการเริ่มต้นการประมวลผลเท่านั้น หากว่าเอเจนต์ต้องการข้อมูลที่อยู่บนระบบอื่น เอเจนต์จะต้องทำการติดต่อผ่านกลไก เช่น Remote Procedure Call (RPC)

2. เอเจนต์แบบเคลื่อนที่ (Mobile Agent) คือเอเจนต์ที่ไม่ถูกผูกติดกับระบบที่เอเจนต์เริ่มทำการประมวลผลโดยสามารถเคลื่อนที่ตัวมันเองไปยังระบบอื่น ๆ ในเครือข่ายได้ ความสามารถในการเคลื่อนที่นี้ทำให้เอเจนต์เคลื่อนย้ายไปยังระบบเอเจนต์ปลายทางที่มีวัตถุซึ่งเอเจนต์จะสามารถติดต่อด้วยได้ และเอเจนต์อาจใช้ประโยชน์จากบริการของวัตถุนั้นได้ ข้อดีของใช้เอเจนต์แบบเคลื่อนที่คือ การลดการใช้งานเครือข่ายในการติดต่อระหว่างไคลเอนต์ (client) กับเซิร์ฟเวอร์ (server)

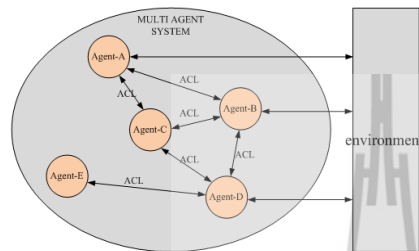
### 3.2 คำนิยามของเอเจนต์

ปัจจุบันเอเจนต์ไม่ได้ทำงานอยู่เพียงลำพัง แต่สามารถทำงานร่วมกันระหว่างเอเจนต์อื่นได้ แต่เพราะเอเจนต์ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อรองรับกับงานเฉพาะด้านเท่านั้น ดังนั้น บางครั้งที่มีงานเฉพาะด้านหลากหลายจึงจำเป็นต้องต้องออกแบบเอเจนต์หลายตัวทำงานร่วมกันเป็นระบบ เพื่อรองรับงานเฉพาะด้านที่มีภายในองค์กรนั้น และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้สูงขึ้น

## รหัสบทความ: EC010

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9  
8-10 พฤษภาคม 2556 จังหวัดนครนายก

ระบบการทำงานร่วมกันระหว่างเอเจนต์หลายตัว จะเรียกว่า “ระบบมัลติเอเจนต์”



รูปที่ 2 ลักษณะโครงสร้างการทำงานภายใน ระบบมัลติเอเจนต์

แต่ละเอเจนต์ภายในระบบมัลติเอเจนต์จะทำงานตามหน้าที่ในส่วนรับผิดชอบอย่างอิสระ และไม่ได้ถูกควบคุมจากศูนย์กลางบางส่วนของเอเจนต์ที่เสร็จแล้วสามารถส่งมอบไปให้เอเจนต์อื่นที่เกี่ยวข้องให้มาไปทำงานต่อไป นอกจากนี้สามารถทำงานร่วมกันได้แล้ว เอเจนต์ยังสามารถโต้ตอบสื่อสารระหว่างกันได้ โดยใช้ภาษาการสื่อสารของเอเจนต์โดยเฉพาะ หรือที่เรียกว่า “Agent Communication Language (ACL)” เป็นภาษามาตรฐานที่ใช้สื่อสาร และแลกเปลี่ยนข้อมูลและตอบสนองกับสภาพแวดล้อมภายนอกได้เช่นกัน ดังรูปที่ 2 แสดงลักษณะโครงสร้างการทำงานภายในระบบมัลติเอเจนต์

### 4. การออกแบบมัลติเอเจนต์

การออกแบบเอเจนต์ในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องมือในการสร้างเอเจนต์คือ JADE ซึ่งมีพื้นฐานเป็นภาษาจาวา ซึ่งมีความปลอดภัยสูง ง่ายต่อการเข้าใจ สามารถแก้ไขเฉพาะผู้ออกแบบเอเจนต์เท่านั้น และสามารถนำไปใช้ได้ทุกแพลตฟอร์มที่มีจาวาติดตั้งอยู่

#### 4.1 Measurement Agent (MAG)

เป็นเอเจนต์สำหรับการอ่านค่าจากพาวเวอร์มิเตอร์ของสถานที่นั้น ๆ เพื่อทำการส่งค่าไปยังเอเจนต์ LMSAG ต่อไป โดยแต่ละเอเจนต์ MAG นี้จะประกอบด้วยเอเจนต์

ย่อยคือ เอเจนต์วัดค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ(PAG) เอเจนต์วัดค่ารีแอกทีฟ(QAG) และเอเจนต์วัดค่าแรงดัน(VAG)

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของเอเจนต์ MAG

คุณลักษณะ	ค่าที่ปรับตั้ง
ID of MAG	Integer
MAG status	On/Off
Bus Voltage	kV
MAG Active Power capacity	MW
MAG Reactive Power capacity	Mvar
Type of MAG	String
At Load	Integer

#### 4.2 Load Measurement Agent (LMSAG)

เป็นเอเจนต์ที่ทำงานในการรวบรวมค่าจากการวัดในแต่ละโหลดในแต่ละสถานที่ และจัดสรรข้อมูลโหลดเพื่อส่งไปยังเอเจนต์ LMDAG เพื่อทำการคำนวณต่อไป

ตารางที่ 2 คุณลักษณะของเอเจนต์ LMSAG

คุณลักษณะ	ค่าที่ปรับตั้ง
ID of LMSAG	Integer
LMSAG status	On/Off
Bus Voltage	kV
LMSAG Active Power capacity	MW
LMSAG Reactive Power capacity	Mvar
Type of LMSAG	String
At Load	Integer

#### 4.3 Load Modeling Agent (LMDAG)

เป็นเอเจนต์ที่ทำการรับค่าและทำการประมวลผลคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดที่เป็นแบบ ZIP โดยคำสั่งโปรแกรม MATLAB ในทุก ๆ ครั้งที่เอเจนต์ LMSAG ส่งค่าเข้ามา แล้วทำการเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ไว้

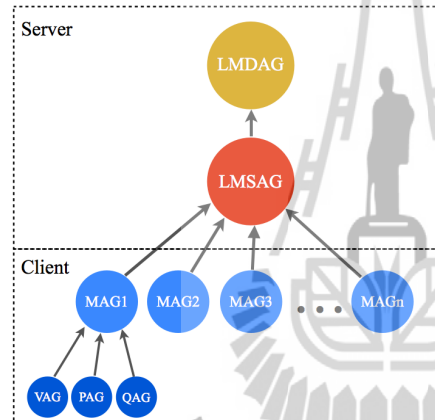
#### 4.4 การทำงานของระบบมัลติเอเจนต์ที่ได้ออกแบบ

การทำงานเริ่มต้นที่ เอเจนต์ VAG, PAG และ QAG ทำการวัดในภาคสนามในแต่ละสถานที่แล้วส่งข้อมูลไปยังเอเจนต์ MAG เพื่อเอเจนต์ MAG ส่งค่าแรงดัน ค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟและค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ไปยังเอเจนต์ LMSAG โดยการทำงานนี้จะเรียงลำดับคือ จะเริ่มที่

**รหัสบทความ:**  
**EC010**

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9  
8-10 พฤษภาคม 2556 จังหวัดนครนายก

MAG1 ต่อไปเป็น MAG2 ต่อไปเรื่อย ๆ จนถึง MAGn (เพื่อจะได้ทำการสร้างแบบจำลองโหลดได้ตามลำดับ) แล้ว LMSAG ก็จะทำกรับค่าจากแต่ละ MAG จะส่งต่อไปยังเอเจนต์ LMDAG โดยเอเจนต์ LMDAG ทำหน้าที่รับค่ามาแล้วนำไปคำนวณและหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดโดยโปรแกรมคำสั่ง MATLAB แล้วทำการเก็บข้อมูลไว้ โดยขั้นตอนดังกล่าวอาจทำในทุก ๆ ครั้ง ชั่วโมงหรือทุกชั่วโมงแล้วแต่การตั้งค่า

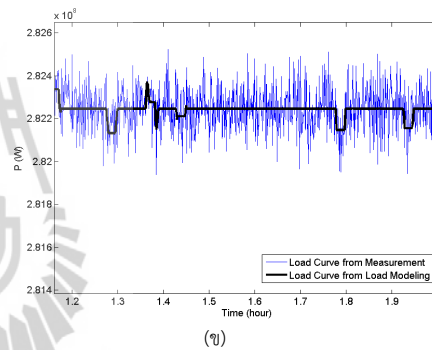
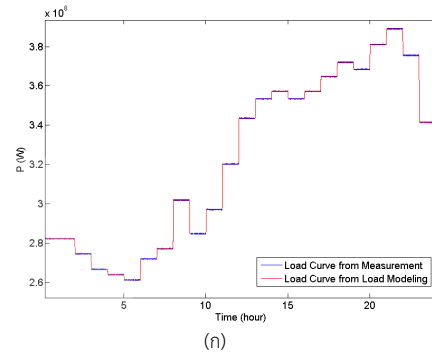


รูปที่ 3 สถาปัตยกรรมระบบมัลติเอเจนต์

รูปจะแบ่งส่วนทำงานคือ เอเจนต์ MAG ทั้งหมดที่ประกอบด้วยเอเจนต์ย่อย VAG PAG และ QAG จะอยู่ในส่วนของเครื่องลูก (client) ที่อยู่ ณ สถานที่การวัดนั้นๆ ส่วนเอเจนต์ LMSAG และ LMDAG จะอยู่ในเครื่องหลัก (server) ซึ่งเครื่องลูกแต่ละเครื่องจะส่งข้อมูลมายังเครื่องหลักโดยผ่านระบบเครือข่ายภายใน

**5. ผลลัพธ์**

จากการทดสอบจะเป็นการสร้างแบบจำลองโหลดโดยใช้เส้นโค้งการใช้โหลดจากการจำลองภายในโปรแกรม MATLAB ในระยะเวลา 1 วัน และเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป เพื่อจำลองผลความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดของเครื่องมือวัด โดยใช้ระบบมัลติเอเจนต์เป็นเครื่องมือช่วยให้การสร้างแบบจำลองโหลดได้อย่างอัตโนมัติ



รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจากการวัด และจากแบบจำลองโหลด

จากผลการทดสอบในรูปที่ 4 เป็นเปรียบเทียบระหว่างกราฟการใช้โหลดกับกราฟการใช้โหลดจากการทำแบบจำลองโหลด รูป 4(ก) เป็นระยะเวลาใน 1 วัน ส่วนรูปที่ 4(ข) เป็นภาพขยายที่ระยะเวลาสองชั่วโมงแรก จากผลการทดสอบการสร้างแบบจำลองโหลดนั้นสามารถแทนพฤติกรรมของโหลดได้เป็นอย่างดี และมีประสิทธิภาพเพียงพอในการศึกษาลักษณะโหลดของระบบ

จากการทดสอบ เส้นโค้งโหลดก่อนการสร้างแบบจำลองโหลดนั้นได้เพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป และเนื่องด้วยสมการของแบบจำลองโหลดทำให้สามารถลดผลเนื่องจากสัญญาณรบกวนได้เล็กน้อย และโดยภาพรวมผลจากการจำลองโหลดนั้นสามารถแทนพฤติกรรมโหลด

**รหัสบทความ:**  
**EC010**

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9  
8-10 พฤษภาคม 2556 จังหวัดนครนายก

ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการนำเทคโนโลยีมีลติเอเจนท์มาใช้ก็เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้โดยอัตโนมัติ แต่ปัญหาหนึ่งของการใช้ระบบมีลติเอเจนท์คือ การส่งข้อมูลต้องมีประสิทธิภาพ รวดเร็ว และการเรียกตรวจวัดต้องห่างกันเป็นระยะเวลาหนึ่งให้พอแก่การคำนวณหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดให้เสร็จ โดยระยะการคำนวณก็ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ในการคำนวณด้วย แต่เนื่องด้วยความเป็นอัตโนมัติ และความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเอเจนท์ จึงเหมาะในการประยุกต์ใช้กับการสร้างแบบจำลองโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาได้โดยอัตโนมัติ

#### 6. สรุป

แบบจำลองโหลดสถิต (Static Load Model) เป็นแบบจำลองที่ไม่ขึ้นกับเวลา มักใช้ศึกษาในกรณีสิ่งเกิดหรือวัดผลเป็นเวลานาน และเป็นแบบจำลองที่ง่ายต่อการใช้งานและคำนวณ แต่ก็มีประสิทธิภาพเพียงพอในการศึกษาพฤติกรรมของโหลด และระบบมีลติเอเจนท์เป็นการเพิ่มเติมเครื่องมือช่วยในการสร้างแบบจำลองโหลดที่มีความซับซ้อนและต้องทำการตรวจวัดอยู่ตลอดเวลา โดยระบบเอเจนท์สามารถที่จะทำงานอย่างอัตโนมัติปราศจากคนในการปฏิบัติกรอยู่ตลอดเวลาและยังสามารถโต้ตอบระหว่างเอเจนท์ได้ ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวจึงเหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับการสร้างแบบจำลองโหลดโดยอัตโนมัติได้ เพื่อสามารถนำแบบจำลองโหลดไปประกอบการจำลองผลระบบหรือการคาดการณ์โหลดต่อไป

#### 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีสำหรับเครื่องมืออุปกรณ์และทุนการศึกษาที่ใช้ในงานวิจัย

#### 8. เอกสารอ้างอิง

[1] K. Tomiyamu, S. Ueoka, T. Takano, I. Iyoda, K. Mutsuno, K. Temma and J.J.

Puserba, "Modeling of Load During and After System Faults Based on Actual Field Data", *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, vol. 3, 2003.

- [2] A. Maitra, A. Gaikwad, P. Zhang and M. Ingram, "Using System Disturbance Measurement Data to Develop Improved Load Models", *Power Systems Conference and Exposition*, 2006, pp. 1978 - 1985.
- [3] S. Z. Zhu, Z. Y. Dong, K. P. Wong and Z. H. Wang, "Power System Dynamic Load Identification and Stability", *International Conference on Power System Technology*, vol.1, 2000, pp. 13-18.
- [4] Shengyang He and Shelli K. Starrett, "Modeling Power System Load using Adaptive Neural Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks", *North American Power Symposium (NAPS)*, 2009, pp. 1-5.
- [5] K. Rudfon, H. Guo, H. Abildgaard and Z. A. Styczynski, "Non-Linear Load Modeling Requirements and Preparation for Measurement", *Power & Energy Society General Meeting*, 2009, pp. 1-7.
- [6] Ma Jin, He Renmu and David J. Hill, "Load Modeling by Finding Support Vectors of Load Data From Field Measurements", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 21, no. 2, 2006, pp. 726-735.
- [7] Jin Ma, Dong Han, Ren-Mu He, Zhao-Yang Dong and David J. Hill, "Reducing Identified Parameters of Measurement-Based Composite Load Model", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 23, no. 1, 2008, pp.



รหัสบทความ:  
EC010

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9  
8-10 พฤษภาคม 2556 จังหวัดนครนายก

76-83.

- [8] Jing Zhang, J. Y. Wen, S. J. Cheng and Z.Y. Dong, "Realization of the WAMS Based Power System Aggregate Load Area Model", *IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 2008, pp. 1-6.



## ประวัติผู้เขียน

นายชัยวัฒน์ ลือใจ เกิดเมื่อวันที่ 10 มีนาคม พ.ศ. 2531 อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก สำเร็จการศึกษา ระดับมัธยมศึกษา จากโรงเรียนสรรพวิทยาคม จังหวัดตาก และ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) เกียรตินิยมอันดับ 1 จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2553 โดยหลังจากสำเร็จการศึกษา ได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ระดับภาคีวิศวกร สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้างานไฟฟ้ากำลัง

ปี พ.ศ. 2554 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าโดยได้เป็นผู้สอนปฏิบัติการของสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จำนวน 2 รายวิชาได้แก่ 1.ปฏิบัติการวงจรและอุปกรณ์ไฟฟ้า 2.ปฏิบัติการระบบไฟฟ้ากำลัง

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ในขณะศึกษา: ได้นำเสนอบทความในการประชุมวิชาการระดับประเทศในงานการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9 ในหัวข้อ การพัฒนาแบบจำลองโหลดด้วยระบบมัลติเอเจนต์ (Development of Load Modeling by Using Multi-Agent)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี