การศึกษาปริมาณน้ำต้นทุนเพื่อรองรับโรงงานผลิตเอทานอล อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา

นายปิยะศักดิ์ ผายเงิน

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2556

การศึกษาปริมาณน้ำต้นทุนเพื่อรองรับโรงงานผลิตเอทานอล
อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงงาน

(ศ. ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข)
ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.ปรียาพร โกษา)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน)

(ผศ. ดร.พรศิริ จงกล)
กรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ปิยะศักดิ์ ผายเงิน : การศึกษาปริมาณน้ำต้นทุนเพื่อรองรับโรงงานผลิตเอทานอล อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา (THE STUDY ON WATER RESOURCE FOR ETHANOL INDUSTRY, KHORNBUREE DISTRIC, NAKHON RATCHASIMA) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรียาพร โกษา

การศึกษาปริมาณน้ำต้นทุนเพื่อรองรับโรงงานผลิตเอทานอลมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากน้ำถือเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญในการผลิตเอทานอล จากสภาวะการปัจจุบันที่มีการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจทำให้ประเทศไทยพัฒนาและส่งเสริมภาคอุตสาหกรรมมากยิ่งขึ้น จึงทำให้ประสบปัญหาด้านการขาดแคลนน้ำในหลายพื้นที่ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่า เพื่อรองรับระบบการผลิตเอทานอล พร้อมทั้งหาแนวทางการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้ง โดยขั้นตอนการศึกษาได้รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝน น้ำท่า ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ และข้อมูลการใช้น้ำของโรงงานเอทานอล มาวิเคราะห์โดยวิธีล็อกเปียรสันชนิดสาม และหลักการสมดุลน้ำในแต่ละเดือน จากนั้นนำผลการศึกษากำหนดขนาดของอ่างเก็บน้ำและวิธีการลำเลียงน้ำจากอ่างเก็บน้ำมาสู่โรงงาน เพื่อให้โรงงานสามารถนำมาใช้ตลอดช่วงฤดูแล้ง จากผลการศึกษา พบว่า ปริมาณน้ำต้นทุนเฉลี่ยที่เข้ามาในพื้นที่เท่ากับ 62.265 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยในช่วงเดือนธันวาคมถึงมีนาคม มีน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการการใช้น้ำของโรงงาน และมีแนวโน้มที่ขาดแคลนน้ำในเดือนมิถุนายน ดังนั้น ความจุอ่างเก็บน้ำไม่ควรน้อยกว่า 1.34 ล้านลูกบาศก์เมตร และการลำเลียงน้ำควรเป็นการส่งแบบท่อส่งน้ำจากอ่างไปเก็บกักไว้บนเนินเขา แล้วปล่อยให้ไหลลงมาตามแรงโน้มถ่วงสู่โรงงาน

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ปีการศึกษา 2556 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

PIYASAK PHAINGOEN: THE STUDY ON WATER RESOURCE FOR ETHANOL INDUSTRY, KHORNBUREE DISTRIC, NAKHON RATCHASIMA. ADVISOR : ASST. PROF. PREEYAPHORN KOSA, Ph.D.

The study of water resource for the ethanol industry is very important because water is a main factor to produce ethanol. In present, there is an industrial growth and there is a water shortage in many area. Then, this research aims to analyze both rainfall and runoff to support the production of ethanol and to determine a water shortage solution. To achieve these objectives, the data of rainfall, runoff, topography and water demand for the ethanol industry are collected and analyzed using the Log-Pearson Type III and monthly water balance. Thereafter, the reservoir size and water conveyance system from the reservoir to the ethanol industry are designed. The results can be presented that the volume of water coming into the study area is averagely 62.265 million cubic meters per year. However, there is the water shortage during December to March and June. The reservoir size should least be 1.34 million cubic meters. For the water conveyance system, the pipe line take water from the reservoir to a hill and this water is hold on a small reservoir. Water is flow from the small reservoir to the ethanol industry.

School of Civil Engineering Student's Signature_____
Academic Year 2013 Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานการศึกษาฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรียาพร โกษา อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษาและตรวจแก้ไข โครงงานในครั้งนี้ ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ จงกล คณะกรรมการสอบโครงงานที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่ายิ่ง ร่วมประเมิน ตรวจสอบให้งานวิจัยเกิดความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ นายสงัด สายใหม่ ผู้อำนวยการอุตุนิยมอุทกวิทยาจังหวัดนครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลน้ำฝน ขอขอบคุณ นายวินัย วังพิมูล วิศวกรโยธาชำนาญการ กรมทรัพยากรน้ำ ที่ให้ข้อมูลอุทกวิทยาลุ่มน้ำมูล ขอขอบพระคุณ นางสาวประภา พุ่มเข็ม ผู้จัดการทั่วไป โรงงานเอทานอล ที่ได้สนับสนุนให้ทุนการศึกษา

ที่สำคัญยิ่งขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนญาติพี่น้องทุกคนในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจให้ฝ่าฟันอุปสรรคต่างๆ จนประสบความสำเร็จในการศึกษาถึงขั้นนี้

ปิยะศักดิ์ ผายเงิน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญรูปภาพ ..... ญ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของการศึกษา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตการศึกษา 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

2 ทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ที่ตั้งและขนาดของโครงการ 3

2.1.1 ปริมาณน้ำใช้ 5

2.1.2 ระบบผลิตน้ำใช้ 6

2.2 วัฏจักรน้ำ(Hydrologic cycle) 9

2.2.1 ความชื้นในบรรยากาศ 11

2.2.2 น้ำจากอากาศ 11

2.2.3 น้ำจากอากาศที่ไม่ได้ตกถึงพื้นดิน 11

2.2.4 น้ำจากอากาศที่ตกลงถึงพื้น 11

2.2.5 การซึมลงดิน 11

2.2.6 การไหลของน้ำบนผิวดิน 13

2.2.7 การระเหยบนผิวดิน 14

2.2.8 การระเหย 14

2.2.9 การระเหยจากน้ำและจากผิวดิน 14

2.2.10 การคายน้ำของพืช 14

2.2.11 น้ำใต้ดิน 14
2.2.12 การพัฒนาแหล่งน้ำกับอุทกวิทยา 15
2.2.13 น้ำท่า 15
2.3 ทฤษฎีสมดุลน้ำ 15
2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝน 16
2.4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเฉพาะจุดหรือสถานี 16
2.4.2 การวิเคราะห์การแจกแจงข้อมูลตามกาลเวลา 17
2.4.3 การวิเคราะห์การแจกแจงข้อมูลตามพื้นที่ 17
2.4.4 กราฟความลึกน้ำฝน-พื้นที่-ช่วงเวลา 17
2.4.5 กราฟความลึก (ความเข้ม) น้ำฝน–ช่วงเวลา–ความถี่การเกิดซ้ำ 21
2.4.6 ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไป 24
2.5 การวิเคราะห์น้ำท่วมด้วยหลักความถี่ของการเกิด 29
2.5.1 กราฟความถี่และกราฟแจกแจงความถี่ 29
2.5.2 รูปร่างกราฟความถี่ 29
2.5.3 เครื่องหมายแสดงลักษณะการแจกแจงความถี่ 30
2.5.4 เครื่องหมายแสดงแนวโน้มสู่ศูนย์กลาง 30
2.5.5 เครื่องหมายวัดการแพร่กระจาย 32
2.5.6 เครื่องหมายวัดความไม่คล้ายคลึงหรือความบิดเบี้ยว 33
2.5.7 เครื่องหมายแสดงความราบแบน 34
2.6 การวิเคราะห์ทฤษฎีความเป็นไปได้ 34
2.7 ทฤษฎีล๊อกเพียร์ซันประเภทสาม 35
2.8 ทฤษฎีกัมเบล 38
2.8.1 การคำนวณด้วยวิธีโมเมนต์ 38
2.8.2 การคำนวณด้วยวิธีความน่าเป็นได้สูงสุด 40
2.9 อ่างเก็บน้ำและอุทกวิทยา 42
2.9.1 คุณลักษณะทางฟิสิกส์ของอ่างเก็บน้ำ 43
2.9.2 การแบ่งชนิดอ่างเก็บน้ำ 46
2.9.3 การออกแบบอ่างเก็บน้ำ 49
2.10 การวางแผนการจัดการอ่างเก็บน้ำ 61

2.11 การประเมินน้ำท่าสำหรับงานพัฒนาแหล่งน้ำ 62
2.11.1 แม่น้ำสำคัญของประเทศไทย 63
2.11.2 ข้อมูลน้ำท่าสำหรับงานพัฒนาแหล่งน้ำ 65
2.11.3 ข้อมูลน้ำท่าของประเทศไทย 66
2.11.4 การประเมินค่าน้ำท่าในกรณีข้อมูลไม่เพียงพอ 67
2.11.5 วิธีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยและพื้นที่ลุ่มน้ำ 68
2.11.6 รูปแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า 69
2.12 สถิติวิเคราะห์ 69
2.12.1 การวิเคราะห์อย่างง่าย 70
2.12.2 การวิเคราะห์อนุกรมเวลา 71
2.12.3 หลักการของความน่าจะเป็น 76
2.12.4 การกระจายของความน่าจะเป็น 77
2.12.5 การเลือกข้อมูล 78
2.12.6 คาบการเกิดซ้ำและการเสี่ยง 80
2.12.7 การลงจุด 84
2.12.8 การวิเคราะห์ความถี่ 86
2.13 แผนที่ 88
2.14 การใช้น้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค 100
3 วิธีการดำเนินโครงการ 101
3.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน 101
3.1.1 สำรวจ และศึกษาลักษณะทางอุทกวิทยา 101
3.1.2 เก็บรวบรวมข้อมูล 101
3.1.3 วิเคราะห์ปริมาณน้ำที่เข้ามาในพื้นที่ศึกษา 104
3.1.4 คำนวณหาความต้องการการใช้น้ำในทุก ๆ ด้าน 122
3.1.5 คำนวณสมดุลน้ำภายในพื้นที่ศึกษา 123
4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล 126
4.1 ความต้องการใช้น้ำสำหรับอุตสาหกรรม 126
4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝน 128
4.3 ผลการวิเคราะห์สมดุลน้ำ(Water Balance) ในพื้นที่ศึกษา 129
4.4 ผลการวิเคราะห์ความลึกของอ่างเก็บน้ำ 137

4.5 ผลการวิเคราะห์ระบบส่งน้ำ เพื่อการลำเลียงน้ำเข้าสู่ระบบการผลิตของโรงงานเอทานอล 142
4.6 การบริหารการจัดการอ่างเก็บน้ำ 147
4.7 ข้อจำกัดในการศึกษา 149
5 สรุปและข้อเสนอแนะ 151
5.1 สรุปผลการวิจัยและอภิปรายงานผล 151
5.2 ข้อเสนอแนะ 154
เอกสารอ้างอิง 155
ประวัติผู้เขียน 156

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ค่า SKEW CURVE FACTOR สำหรับใช้กับทฤษฎีล๊อกเฟียร์ซันประเภทสาม 36

2.2 ชนิดของการกระจาย 78

2.3 การเลือกค่าคาบการเกิดซ้ำสำหรับอาคารชลศาสตร์ 83

2.4 ความน่าจะเป็นจากค่าช่วงความเชื่อมั่น คาบการเกิดซ้ำและความยาวข้อมูล 84

2.5 สูตรคำนวณหาตำแหน่งลงจุด 85

2.6 การกระจายตามทฤษฎีของคาบการเกิดซ้ำ 86

3.1 ปริมาณน้ำฝนสะสมรายเดือน ณ สถานีวัดน้ำฝนอำเภอเสิงสาง 102

3.2 ปริมาณน้ำท่าสะสมรายเดือน ณ สถานี M50 103

3.3 ปริมาณการระเหยสะสมรายเดือน ณ สถานี อุตุนิยมวิทยาอุทกโชคชัย 104

3.4 ค่าลอการิทึมของปริมาณน้ำฝนรายปี 105

3.5 สัมประสิทธิ์ความเบ้ 106

3.6 ผลการคำนวณปริมาณน้ำฝนรายปีที่รอบปีการเกิดซ้ำด้วยวิธีล็อกเปียรสัน 107

3.7 ปริมาณน้ำฝนรายปีที่รอบปีการเกิดซ้ำที่เลือกใช้ 108

3.8 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนที่เลือกใช้ 109

3.9 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่เลือกใช้ 112

3.10 ปริมาณน้ำไหลเข้ารายเดือน(ลูกบาศก์เมตร) สำหรับกรณีที่ 1 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 1 ปี 114

3.11 ปริมาณน้ำไหลเข้ารายเดือน (ลูกบาศก์เมตร) สำหรับกรณีที่ 2 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 3 ปี 117

3.12 ปริมาณน้ำไหลเข้ารายเดือน(ลูกบาศก์เมตร) สำหรับกรณีที่ 3 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 5 ปี 119

3.13 ปริมาณน้ำไหลเข้ารายเดือน(ลูกบาศก์เมตร) สำหรับกรณีที่ 4 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 10 ปี 121

3.14 ปริมาณความต้องการใช้น้ำของโรงงานผลิตเอทานอล 122

4.1 ความต้องการการใช้น้ำรายเดือนของโรงงานผลิตเอทานอล อำเภอครบุรี 127

4.2 ปริมาณน้ำฝนรายเดือน ณ รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ 129

4.3 ผลวิเคราะห์การสมดุลน้ำ กรณี 1 131

4.4 ผลวิเคราะห์การสมดุลน้ำ กรณี 2 133
4.5 ผลวิเคราะห์การสมดุลน้ำ กรณี 3 134
4.6 ผลวิเคราะห์การสมดุลน้ำ กรณี 4 136
4.7 งบประมาณการก่อสร้างเบื้องต้น กรณี 1 139
4.8 งบประมาณการก่อสร้างเบื้องต้น กรณี 2 140
4.9 งบประมาณการก่อสร้างเบื้องต้นกรณี 3 และ 4 142

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ที่ตั้งโรงงานและอ่างเก็บน้ำ	3
2.2	แผนผังโรงงานเอทานอล	4
2.3	แผนที่ตั้งอ่างเก็บน้ำกับโรงงาน	5
2.4	ผังสมดุลน้ำของโรงงานเอทานอล	8
2.5	วัฏจักรน้ำ	10
2.6	ปริมาตรความจุในส่วนต่างๆ ของอ่างเก็บน้ำ	44
2.7	การแบ่งชนิดของอ่างเก็บน้ำ	47
2.8	ที่ตั้งอาณาเขตและภูมิศาสตร์ของประเทศไทย	64
2.9	ทิศทางลมและร่องมรสุมของประเทศไทย	65
2.10	แนวโน้มแสดงค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นกับเวลา	72
2.11	แนวโน้มแสดงค่าเฉลี่ยลดลงกับเวลา	72
2.12	ลักษณะของตัวประกอบสุ่มวงจรแนวโน้มองค์ประกอบ	73
2.13	โค้งทับทวี	75
2.14	อัตราเสี่ยงที่อย่างน้อยครั้งหนึ่งจะมีเหตุการณ์ที่มากกว่าออกแบบไว้ในระหว่างอายุโครงการ	82
2.15	แผนที่	88
2.16	มาตราส่วนของแผนที่	91
2.17	สารบัญระวางติดต่อ	92
2.18	แนวแบ่งเขตการปกครอง	93
2.19	คำแนะนำเกี่ยวกับระดับความสูง	93
2.20	บันทึกหลักฐานทางราบ	94
2.21	ขนาดของมุมบ่ายเบนของแนวทิศเหนือจริงแนวทิศเหนือแม่เหล็กและแนวทิศเหนือกริด	95
2.22	กำหนดความสูง	96
2.23	ศัพทานุกรม	96
2.24	คำแนะนำในการใช้ค่ากริด	97
2.25	คำอธิบายสัญลักษณ์	97

3.1 การคำนวณพื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำจากโปรแกรมสำเร็จรูป 104
4.1 โรงงานผลิตเอทานอล 1,020,000ลิตรอยู่ระหว่างการก่อสร้าง 126
4.2 การก่อสร้างโรงงานผลิตเอทานอล 128
4.3 พื้นที่ศึกษาอ่างเก็บน้ำเอทานอล 129
4.4 สภาพลำน้ำแชะ 130
4.5 สถานีวัดน้ำท่า M50 130
4.6 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำกับความต้องการใช้น้ำแบบรายเดือน กรณีที่ 1 132
4.7 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำกับความต้องการใช้น้ำแบบรายเดือน กรณีที่ 2 133
4.8 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำกับความต้องการใช้น้ำแบบรายเดือน กรณีที่ 3 135
4.9 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำกับความต้องการใช้น้ำแบบรายเดือน กรณีที่ 4 136
4.10 แบบอ่างเก็บน้ำ กรณี 1 138
4.11 รูปตัดแบบอ่างเก็บน้ำ กรณี 1 138
4.12 แบบอ่างเก็บน้ำ กรณี 2 139
4.13 รูปตัดแบบอ่างเก็บน้ำ กรณี 2 140
4.14 แบบอ่างเก็บน้ำ กรณี 3และ 4 141
4.15 รูปตัดแบบอ่างเก็บน้ำ กรณี 3 และ 4 141
4.16 แนวที่ 1 การส่งน้ำด้วยระบบท่อ ทั้งหมด โดยมีการขุดเจาะผ่านอุโมงค์ลอดช่องเขาบางส่วน 144
4.17 แนวที่ 2 การส่งน้ำด้วยระบบท่อบางส่วน โดยสูบน้ำขึ้นเขา โดยสร้างบ่อพักน้ำขนาด 100,000 ลูกบาศก์เมตร แล้วปล่อยด้วยแรงโน้มถ่วง ด้วยระบบท่อน้ำ 144
4.18 แนวที่ 3 การส่งน้ำด้วยระบบท่อบางส่วน โดยสูบน้ำขึ้นเขา โดยสร้างบ่อพักน้ำขนาด 100,000 ลูกบาศก์เมตร แล้วปล่อยด้วยแรงโน้มถ่วง ด้วยคลองแบบทางน้ำเปิด 145
4.19 สภาพภูมิประเทศที่เนินเขาทางขึ้น 145
4.20 สภาพภูมิประเทศที่เนินเขา เหมาะสำหรับสร้างบ่อพักน้ำ 146
4.21 สภาพภูมิประเทศที่เนินเขา ทางลงสู่โรงงานเอทานอล 146
4.22 การแบ่งปริมาตรอ่างเก็บน้ำ 147

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการศึกษา

น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นปัญหาสำคัญของประเทศไทยมาช้านาน เนื่องจากแหล่งผลิตในประเทศมีไม่เพียงพอกับความต้องการที่สูงขึ้นตามความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ จึงต้องพึ่งพาการนำเข้าเป็นหลักประเทศไทยสูญเสียเงินตราต่างประเทศเพื่อนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงกว่าแสนล้านบาทในแต่ละปี นอกจากนี้ ราคาน้ำมันมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ การคิดค้นแหล่งพลังงานทดแทนใหม่ๆ จึงเป็นสิ่งสำคัญ และที่มีความตื่นตัวกันมากในขณะนี้คือ “เอทานอล”

เอทานอล เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการหมักพืช เศษซากพืช ได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง มันเทศ ธัญพืชต่างๆ เช่น ข้าวโพด ข้าว ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง เพื่อเปลี่ยนแป้งจากพืชให้เป็นน้ำตาล แล้วเปลี่ยนจากน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์อีกครั้ง แอลกอฮอล์ที่ทำให้บริสุทธิ์ร้อยละ 95 จะเรียกว่า เอทานอล (Ethanol) โรงงานที พี เค เอทานอล อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา เป็นโรงงานอุตสาหกรรมที่มีพื้นที่ 1500ไร่ ผลิตเอทานอลร้อยละ 99.5 ใช้วัตถุดิบหลักในการผลิตคือมันสำปะหลัง ซึ่งมีกำลังการผลิต 1,020,000 ลิตร/วัน ใช้น้ำเพื่อการผลิตและอุปโภคบริโภคในโครงการรวมประมาณ 14,400 ลูกบาศก์เมตร/วัน

สำหรับการผลิตแก๊สโซฮอล์ ในประเทศไทยนั้นเกิดจากแนวพระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวเมื่อปี 2528 โดยโครงการส่วนพระองค์ ได้ศึกษาการผลิตแก๊สโซฮอล์เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยผลิตเอทานอลจากอ้อย หลังจากนั้นก็เกิดความตื่นตัวทั้งจากภาครัฐและเอกชนเข้ามาร่วมพัฒนาและนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ (พิชิต เดชนีรนาท, 2546)

ในปี พ.ศ. 2543 ปตท.ดำเนินการทดสอบการใช้แก๊สโซฮอล์ในรถยนต์ พบว่า ช่วยลดมลพิษ ประหยัดน้ำมัน และไม่มีผลต่อสมรรถนะ โดยในขณะนี้มีการผลิตแอลกอฮอล์จากหัวมันสดโดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งประเทศ ซึ่งจะส่งให้โรงกลั่นของบางจากผลิตเป็นแก๊สโซฮอล์ต่อไป และได้ทดลองจำหน่ายเมื่อปี พ.ศ. 2544 ในสถานีบริการน้ำมันของบางจาก 5 แห่งในเขตกรุงเทพฯ โดยมีราคาจำหน่ายต่ำกว่าน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่วออกเทน 95 เล็กน้อย ซึ่งก็ได้ผลตอบรับที่น่าพอใจ (พิชิต เดชนีรนาท, 2546)

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการซื้อขายเอทานอลในตลาดโลกมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น มีปริมาณเอทานอลในตลาดโลกปีละประมาณ 3,500-4,000 ล้านลิตร และในอนาคตปริมาณการค้าในตลาดโลกจะขยายตัวเพิ่มมากขึ้นอีก เนื่องจากหลายประเทศมีนโยบายสนับสนุนให้มีการใช้เอทานอลในรูปของเชื้อเพลิง เพื่อเป็นการลดมลภาวะทางอากาศ และในประเทศไทยมีการแสวงหาเชื้อเพลิงจาก

ทรัพยากรภายในประเทศ เพื่อทดแทนการนำเข้ามาเป็นเวลานาน ดังนั้น การนำผลผลิตทางการเกษตรมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิง เช่น เอทานอลจากมันสำปะหลัง อ้อย ธัญพืชอื่นๆ เพื่อนำไปผสมน้ำมันเบนซินหรือดีเซล จะช่วยลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยตรงและสามารถลดการ ขาดดุลเงินตราต่างประเทศได้เป็นจำนวนมาก

อย่างไรก็ตาม ในระบบการผลิตเอทานอลนั้น จำเป็นต้องมี “น้ำ” เป็นส่วนหนึ่งของระบบการผลิต และเป็นที่ทราบกันดีว่าประเทศไทยประสบปัญหาเรื่องน้ำมาตลอด ทั้งปัญหาน้ำท่วม น้ำแล้ง และคุณภาพน้ำ ซึ่งในพื้นที่ ต.โคกกระชาย อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา เป็นพื้นที่ที่ทางโรงงาน ที พี เค เอทานอล ได้สร้างอ่างเก็บน้ำไว้เพื่อเป็นแหล่งน้ำดิบ ดังนั้น การศึกษาการใช้น้ำเพื่อเตรียมมาตรการรองรับการขาดแคลนน้ำสำหรับภาคอุตสาหกรรมจึงเป็นสิ่งที่สำคัญและเร่งด่วน เพื่อหลีกเลี่ยงและลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นตามมาจากระบบการผลิตได้ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาวิเคราะห์ปริมาณฝน ด้วยวิธีทางสถิติ

1.2.2 เพื่อศึกษาปริมาณน้ำต้นทุนสำหรับระบบการผลิตเอทานอล

1.2.3 ศึกษาแนวทางเลือกและมาตรการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำ ในช่วงฤดูแล้ง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ขอบเขตพื้นที่ พื้นที่ในโครงการโรงงานผลิตเอทานอล มีพื้นที่ประมาณ 1,500 ไร่ และในพื้นที่ข้างเคียง บริเวณ ต.โคกกระชาย อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา

1.3.2 ขอบเขตการศึกษา

1) ศึกษาและวิเคราะห์สภาพทางอุทกวิทยา
2) ศึกษาสภาพการใช้น้ำ สำหรับภาคอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอล
3) ศึกษาทางเลือกในการพัฒนา และการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำ สำหรับระบบการผลิตเอทานอล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงปริมาณน้ำต้นทุนในพื้นที่ศึกษา

1.4.2 สภาพการใช้น้ำในปัจจุบัน สำหรับระบบการผลิตเอทานอล

1.4.3 การบริหารจัดการน้ำที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรม

1.4.4 แนวทางเลือกในการพัฒนา และลงทุนในด้านแหล่งน้ำ เพื่อรองรับระบบการผลิตและแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำ สำหรับภาคอุตสาหกรรม

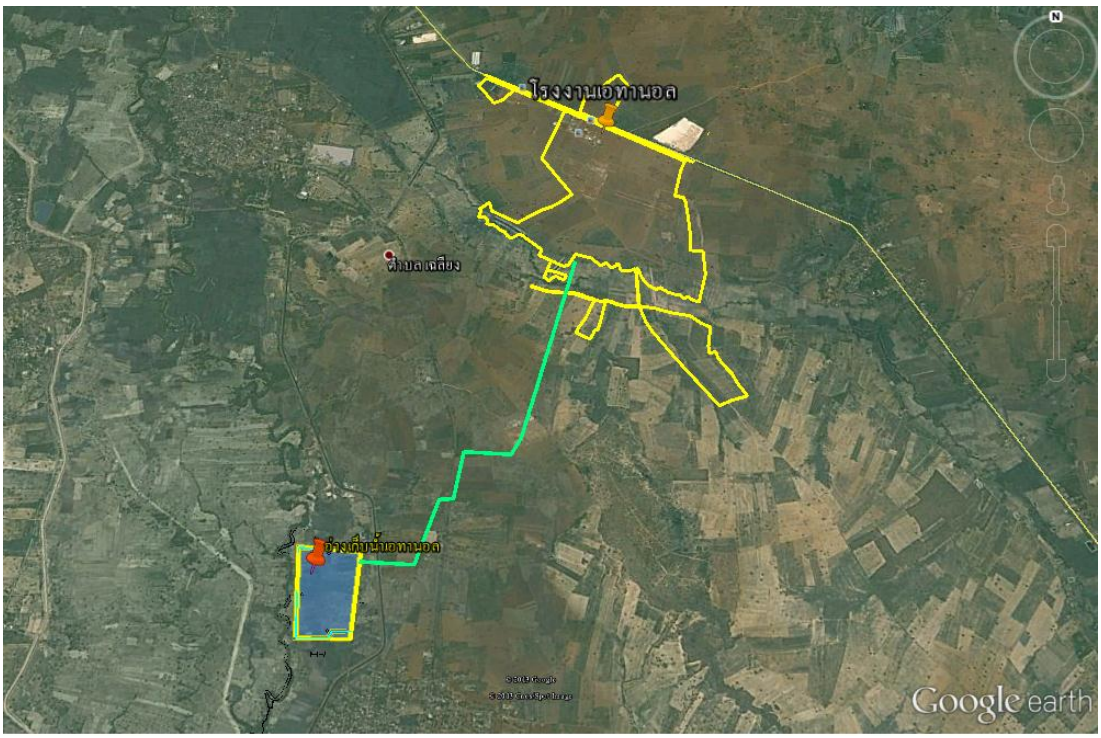
บทที่ 2
ทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง

2.1 ที่ตั้งและขนาดของโครงการ

โครงการโรงงานผลิตเอทานอลของ บริษัท ที พี เค เอทานอล จำกัด ตั้งอยู่เลขที่ 222 หมู่ 8 ตำบลตะแบกบาน อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา บริเวณกิโลเมตรที่ 9 ทางหลวงหมายเลข 224 (ช่วง ครบุรี-เสิงสาง) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 มีกำลังการผลิตเอทานอลสูงสุด 1,020,000 ลิตร/วัน หรือประมาณ 850 ตัน/วัน ใช้วัตถุดิบหลักเป็นมันสำปะหลัง มีเนื้อที่โครงการทั้งหมด 1,500 ไร่ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยรอบบริเวณของโครงการและพื้นที่เดิมเป็นลักษณะการประกอบการเพื่อการเกษตรกรรม เช่น ไร่มันสำปะหลัง ไร่ข้าวโพด และป่ายูคาลิปตัส และพื้นที่นี้ประชากรส่วนใหญ่ปลูกมันสำปะหลัง และมีการสร้างอ่างเก็บน้ำเพื่อเป็นน้ำดิบสำหรับใช้ในการผลิตเอทานอล ในพื้นที่ตำบลโคกกระชาย อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา ทางทิศใต้ของที่ตั้งอ่างเก็บน้ำ ติดกับเขื่อนลำแชะมีระยะห่าง 10 กิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.1 ที่ตั้งโรงงานและอ่างเก็บน้ำ

รูปที่ 2.2 แผนผังโรงงานเอทานอล



รูปที่ 2.3 แผนที่ตั้งอ่างเก็บน้ำกับโรงงาน

2.1.1 ปริมาณน้ำใช้

1) น้ำใช้ในกระบวนการผลิต

ปริมาณน้ำใช้ในกระบวนการผลิตของโรงการมีประมาณ 7,150 ลูกบาศก์เมตร/วัน

2) น้ำใช้ในระบบเสริมการผลิต

ระบบเสริมการผลิตของโครงการมีความจำเป็นต้องมีการใช้น้ำในการแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อควบคุมอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนระหว่างกระบวนการหมักและกระบวนการทำระเหย น้ำใช้ในระบบเสริมการผลิตดังกล่าวส่วนใหญ่เป็นน้ำที่เติมเข้าไปเพื่อชดเชยการระเหย หรือสูญเสียไปจากความร้อน คาดว่าใช้น้ำรวมประมาณ 6,100 ลูกบาศก์เมตร/วัน จำแนกได้ดังนี้

2.1 น้ำใช้ในหม้อไอน้ำ (Boiler Feed Water)

2.2 น้ำล้างเครื่องทำน้ำอ่อน (Softener)

2.3 น้ำชดเชยหอหล่อเย็น (Cooling Tower)

2.4 ระบบน้ำปราศจากแร่ธาตุป้อนหม้อไอน้ำ

3) น้ำใช้สำหรับพนักงาน

โครงการจะใช้น้ำประปาจากถังพักน้ำใสของโครงการในอัตราประมาณ 60 ลูกบาศก์เมตร/วัน เข้ามาในโครงการสำหรับใช้ในห้องน้ำสำนักงาน อาคารผลิต และพื้นที่อื่นๆ นอกเหนือจากกระบวนการผลิต

2.1.2 ระบบผลิตน้ำใช้

1) ระบบผลิตน้ำประปา

ระบบผลิตน้ำประปาเป็นแบบรวมตะกอนและทรายกรองเร็ว (Flocculation/Rapid Sand Filter) ซึ่งเป็นระบบที่ใช้กันโดยทั่วไป การดำเนินงานดูแลรักษาง่าย ไม่ซับซ้อน ซึ่งประกอบไปด้วย Pre – Chlorination Coagulation, Flocculation และ Sedimentation โดยใช้สารส้ม ปูนขาวและ Polyelectrolyte ระบบ Filtration Post Chlorination Sludge Lagoon ระบบจ่ายสารเคมี (Chemical Feed System) ระบบฆ่าเชื้อโรค ถังน้ำใส ระบบสูบจ่ายน้ำประปา และหอถังน้ำ (Water Tower) โดยขั้นตอนของการผลิตน้ำประปามีดังนี้

1.1) **น้ำ**ดิบจากอ่างเก็บน้ำดิบถูกสูบไปยังถังกวนเร็ว ภายในถังจะมีอุปกรณ์กวนน้ำให้เกิดความปั่นป่วนเพื่อให้สารเคมีที่เติมลงไป เช่น สารส้มปูนขาว สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้ดีในถังกวนเร็ว อาจมีการเติมคลอรีนเพื่อกำจัดสาหร่าย หรือฆ่าเชื้อโรคบางส่วนก่อนที่จะไหลไปสู่ถังกวนช้า

1.2) ถัง**กวน**ช้าภายในจะมีอุปกรณ์กวนช้าเพื่อให้ Floc ที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่โดยมีการเติมสาร Polyelectrolyte เพื่อช่วยในการเกาะกลุ่มของตะกอนก่อนไหลไปสู่ถังตกตะกอน

1.3) ถังตกตะกอน (Sedimentation) ทำหน้าที่แยกของแข็งซึ่งเกาะกลุ่ม (Floc) ออกจากน้ำใสโดยน้ำใสจะไหลล้นสู่ด้านบน เพื่อผ่านไปยังถังกรอง (Filtration) ส่วนตะกอนด้านล่างจะไหลไปสู่บ่อพักตะกอน (Sludge Lagoon)

1.4) น้ำใสจากถังตกตะกอนจะไหลมายังถังกรองทราย (Sand Filter) เพื่อกรองเอาสารแขวนลอยต่างๆ ออกจากน้ำ โดยน้ำที่ผ่านการกรองจะไหลไปยังถังปฏิกิริยาคลอรีน (Chlorine Contact Tank) เพื่อเติมคลอรีนให้ฆ่าเชื้อโรคและปล่อยให้คลอรีนทำปฏิกิริยากับน้ำให้สมบูรณ์ก่อนปล่อยลงสู่ถังพักน้ำใส เพื่อรอการสูบจ่ายต่อไป

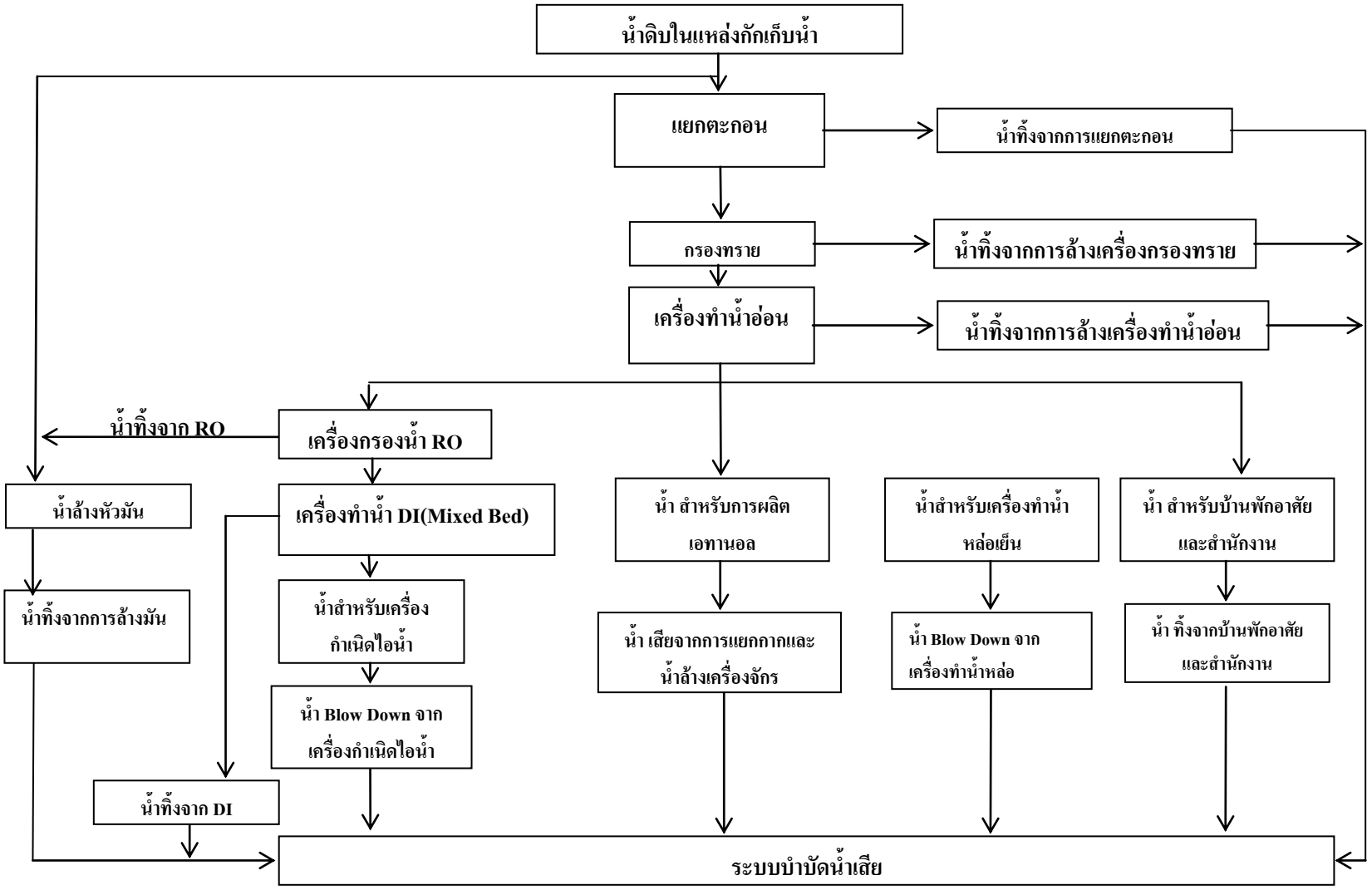
2) ระบบผลิตน้ำอ่อน (Soft Water)

ระบบผลิตน้ำอ่อนจะใช้น้ำประปาจากถังน้ำใสมาผ่านการกรองด้วย Softener Resin โดยมีกำลังการผลิตสูงสุด 250 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง มีจุดประสงค์เพื่อใช้ในระบบผลิต Ethanol ซึ่งระบบของงานจะประกอบด้วย

- ถังกรองคาร์บอน (Carbon Filter)
- ถังกอรงน้ำอ่อน (Softener)
- PLC Control Panel

3) หน่วยผลิตน้ำประปาปราศจากแร่ธาตุ (Demineralization)

โครงการจะใช้น้ำประปามาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำปราศจากแร่ธาตุได้ในอัตรา 1,350 ลูกบาศก์เมตร/วัน โดยที่ขั้นตอนการทำงานของระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำเริ่มจากการรับน้ำประปาจากถังน้ำใสมาผ่านระบบกรอง (Multimedia Filter) เพื่อกรองสิ่งเจือปนออกจากน้ำดิบก่อนที่จะผ่านเข้ามายัง Cation Exchanger เพื่อกำจัดอนุมูลที่มีประจุบวกในน้ำจากนั้นผ่านเข้า Degasification เพื่อให้ Anion Exchanger ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ จากนั้นเข้า Anion Exchanger เพื่อกำจัดอนุมูลลบจากน้ำ ดังนั้นน้ำที่มาถึงขั้นตอนนี้จะเป็นน้ำที่ผ่านการกำจัดประจุออกแล้ว และน้ำที่จะนำไปใช้ในหม้อไอน้ำต้องผ่านการกำจัดออกซิเจน (Deaerator) อีกครั้งหนึ่งเพื่อกำจัดออกซิเจนที่อาจก่อให้เกิดการกัดกร่อนในหม้อไอน้ำได้ สำหรับสมดุลน้ำดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ผังสมดุลน้ำ(water Balance)ของโรงงานเอทานอล ที่มา : บริษัท ที พี เค เอทานอล จำกัด

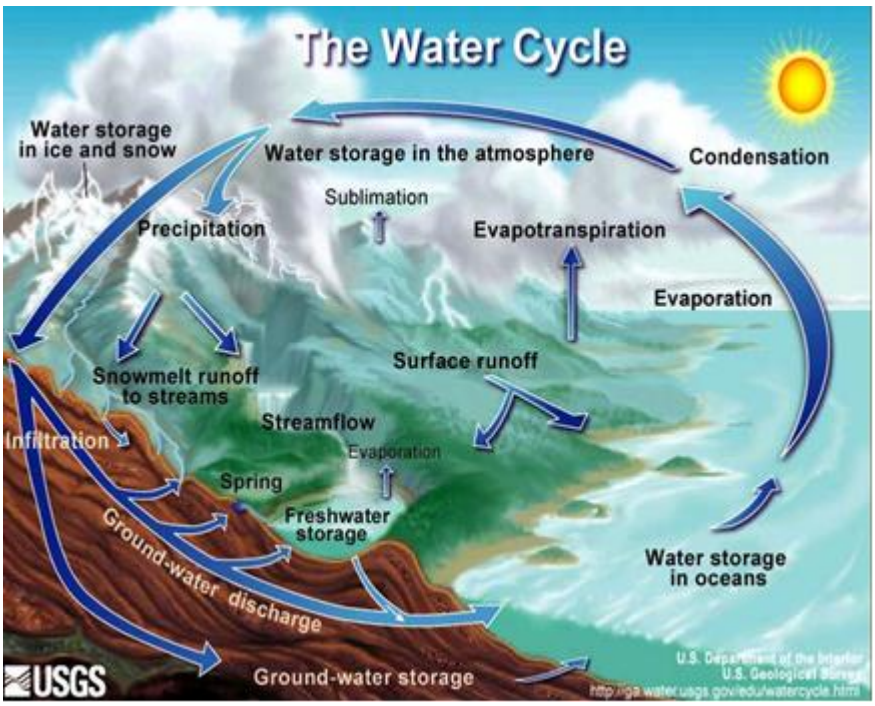
2.2 วัฏจักรน้ำ (Hydrologic Cycle)

ปรียาพร (2555) วงจรอุทกวิทยาเป็นศูนย์รวมในการศึกษาทางอุทกวิทยา โดยวงจรอุทกวิทยาเป็นวงจรที่ไม่มีจุดเริ่มต้นและไม่มีจุดสุดท้ายของกระบวนการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในโลก เพราะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เริ่มต้นวงจรจะเห็นได้ว่า น้ำจะมีการระเหย (Evaporation) จากทะเล มหาสมุทรและที่สะสมอยู่บนแผ่นดิน เช่น อ่างเก็บน้ำ ห้วย หนอง คลอง บึง หรือจากน้ำใต้ผิวดินบางส่วนขึ้นสู่บรรยากาศเป็นไอน้ำ (Water Vaporation) ซึ่งจะมีการลอยตัวขึ้นไปสะสมจนกระทั่งเกิดกระบวนการเดิมอีก โดยจะมีน้ำบางส่วนถูกดัก(Interception) จากพืช และมีน้ำบางส่วนตกลงบนผิวดินแล้วเกิดการสะสมเกิดการไหลบน แผ่นดิน (Overland flow) แต่ก็มีบางส่วนระเหยและบางส่วนเกิดการคายน้ำ (Transpiration) กลับสู่บรรยากาศ ขณะเดียวกันจะมีน้ำบางส่วนเกิดการซึม (Infiltration) ลงเป็นการไหลใต้ผิวดิน (Subsurface flow) ซึ่งจะมีแนวทางไหลซึมสู่แม่น้ำลำคลองเช่นเดียวกับ น้ำท่าผิวดิน (Surface runoff) และมีน้ำบางส่วนมีการซึมลึกลงไป (Percolation) ระหว่างช่องว่างของเม็ดดินหรือรอยหินแตกลง ไปเป็นน้ำใต้ดิน (Groundwater) ซึ่งถ้าน้ำใต้ดินไหลซึมเข้าสู่ลำน้ำจะเรียกลำน้ำนั้นว่า ลำน้ำให้ (Influent Stream) นอกจากนี้ยังมีลำน้ำบางแห่งที่เป็นทั้งลำน้ำรับ และลำน้ำให้ ซึ่งท้ายที่สุดแล้ว น้ำใต้ดินมักจะมีแนวการไหลซึมออกสู่แหล่งน้ำ หรือทะเลมหาสมุทร แล้วเกิดการระเหยกลับสู่บรรยากาศหมุนเวียนอย่างต่อเนื่องเป็นวงจรอุทกวิทยา

ระบบวงจรอุทกวิทยา สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระบบย่อย คือ ระบบน้ำในบรรยากาศ (Asmospheric Watersystem) ประกอบด้วยกระบวนการที่เกิดจากน้ำจากอากาศการระเหย (Evaporation) การดัก (Interception) และการคายน้ำ (Transpiration) ระบบน้ำผิวดิน (Surface Water System) ประกอบด้วย กระบวนการที่เกิดจากการไหลบนผิวดิน (Overland flow) น้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) การไหลออกของน้ำใต้ผิวดิน และน้ำใต้ดิน (Subsurfaceand Groundwater Outflow) การไหลในแม่น้ำ และ น้ำในทะเลมหาสมุทร ระบบน้ำใต้ผิวดิน (Subsurface Watersystem) ประกอบด้วย กระบวนการซึม (Infiltration) การเพิ่มน้ำใต้ ดิน (Groundwater Recharge) การไหลใต้ผิวดินและการไหลของน้ำใต้ดิน

นอกจากนี้สามารถกล่าวว่า วัฏจักรน้ำ คือการเคลื่อนย้ายของน้ำ จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง หรือจากระบบหนึ่งไปยังอีกระบบหนึ่ง โดยอาจเปลี่ยนสถานะ (ของแข็ง ของเหลวและก๊าซ) หรือไม่เปลี่ยนสถานะก็ได้ซึ่งในที่สุดก็จะหมุนเวียนกลับมาสู่ที่เดิม หรือระบบเดิมวัฏจักรน้ำที่สมบูรณ์ที่สุด โดยเริ่มจากเมฆ (Cloud) -> ฝน (Precipitation) -> การดัก (Interception) -> การตกผ่าน (Through fall) -> การไหลบ่า (Overland flow)-> การไหลในลำน้ำ (Stream flow) -> การแทรก

ซึม (Infiltration) -> การซึมลึก (Percolation) -> การซึมออก (Exfiltration) -> การคายระเหย (Evaporation) -> เมฆ(Cloud) ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 วัฏจักรน้ำ

วัฏจักรน้ำประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนกระบวนการ (Process) และส่วนการเก็บกัก (Storage) ส่วนกระบวนการ คือ การเคลื่อนย้ายของน้ำจากการเก็บกักหนึ่งไปยังการเก็บกักอีกอันหนึ่ง เช่น ฝนกล่าวคือกระบวนการ การเคลื่อนย้ายของน้ำจากบรรยากาศ (การเก็บกักที่ 1) สู่ผิวดิน (การเก็บกักที่ 2) หรือการแทรกซึม (Infiltration) คือกระบวนการ เคลื่อนย้ายของน้ำจากผิวดิน (การเก็บกักที่ 1) สู่ชั้นใต้ผิวดิน (การเก็บกักที่ 2)

เวลาดำรงอยู่ของน้ำ (Time of Residence) คือ ช่วงเวลาเฉลี่ยที่อนุภาคของน้ำแต่ละอนุภาคดำรงอยู่ใน Storage ที่เรากำลังพิจารณา เช่นเวลาดำรงอยู่ของน้ำในบรรยากาศ (Time of Residence for Atmospheric Water) คือช่วงเวลาเฉลี่ยของอนุภาคน้ำตั้งแต่ระเหย กลายเป็นไอน้ำ จนกระทั่งกลายเป็นฝนตกลงสู่พื้นดินการทราบค่าช่วงเวลาดำรงอยู่ของน้ำ ช่วยในการแก้ปัญหาต่างๆ ด้านแหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อม อาทิเช่นการแก้ปัญหาน้ำเน่าเสีย ในแหล่งน้ำต่างๆ เราต้องการทราบเวลาดำรงอยู่ของน้ำในแหล่งน้ำนั้นๆ เพื่อการคำนวณระยะเวลาการฟื้นฟูแหล่งน้ำดังกล่าวหรือ การแก้ปัญหาน้ำท่วม เราต้องทราบเวลาดำรงอยู่ของน้ำในบริเวณน้ำท่วม เพื่อการคำนวณระยะเวลาการช่วยเหลือ

2.2.1 ความชื้นในบรรยากาศ (Atmospheric Moisture)

ความชื้นทุกชนิดที่มนุษย์เกี่ยวข้องอยู่โดยทางปฏิบัติ สันนิษฐานว่าเริ่มต้นมาจากความชื้นในบรรยากาศที่เป็นจุดเริ่มต้น ที่จะสะดวกในการตามหาเส้นทางวัฏจักรของน้ำให้ครบวงจร ความชื้นในบรรยากาศ เพราะกระบวนการระเหยจากดินหรือผิวดิน เมฆและหมอกเกิดขึ้นโดยการกลั่นตัวของไอน้ำที่เกาะตัว บนอณูเล็ก ๆ ในบรรยากาศ เช่น อนุภาค ของเกลือหรือฝุ่น

2.2.2 น้ำจากอากาศ (Precipitation)

เมื่อไอน้ำในอากาศถูกความเย็นทำให้เกิดการกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำเล็กๆ เมื่อรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่ พวกมัน ก็จะตกลงมาในรูปของ "ฝน" ถ้าเม็ดฝนนั้นตกผ่านโซน ต่างๆ ของอุณหภูมิ เช่น อุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ก็จะกลายเป็นลูกเห็บ ถ้าการกลั่นตัวนั้นเกิดขึ้นในที่ซึ่งอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งมันก็จะก่อตัวเป็นหิมะ ถ้าการกลั่นตัวของน้ำเกิดขึ้นโดยตรงบนผิวพื้นที่เย็นกว่าอากาศ ก็จะเกิดเป็นได้ทั้งน้ำค้างแข็ง ขึ้นอยู่กับว่าอุณหภูมิของพื้นผิวนั้นสูง หรือต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง

2.2.3 น้ำจากอากาศ ที่ไม่ได้ตกถึงพื้นดิน

บางส่วนของน้ำจากอากาศจะระเหยไปในระหว่างที่ตกลงมา บางส่วนก็ถูกดูดยึดไว้โดย ต้นพืช และจะระเหยขึ้นสู่ บรรยากาศในภายหลัง กระบวนการดังกล่าวนี้เรียกว่า กระบวนการน้ำพืชยึด (Interception) ซึ่งในส่วนนี้ อาจจะเป็นปริมาณน้ำจากอากาศทั้งหมดก็ได้

2.2.4 น้ำจากอากาศที่ตกลงถึงพื้น (Net Precipitation)

ส่วนของน้ำที่ตกลงถึงพื้น จะมีบางส่วนไหลซึมลงสู่พื้นดิน ส่วนหนึ่งไหลไปบนพื้นดิน และบางส่วนระเหยไปหรือถูก พืชคายกลับคืนสู่บรรยากาศ

2.2.5 การซึมลงดิน (Infiltration)

ฝนหรือหิมะที่ละลายในตอนแรกมีแนวโน้มที่จะเติมความชื้นให้กับผิวดินก่อน จากนั้นก็จะเคลื่อนเข้าสู่ช่องว่างที่มีอยู่ในเนื้อดิน กระบวนการนี้เรียกว่าการซึมน้ำผ่านผิวดิน (Infiltration) สัดส่วนต่าง ๆ ของน้ำก็จะถูกจัดการต่างกันไป ตามลักษณะช่องเปิดของผิวดิน อุณหภูมิ รวมถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในดินก่อนหน้านั้นแล้ว ถ้าหากผิวดินจับตัวแข็ง หรืออิ่มน้ำอยู่ก่อนแล้ว มันก็จะรับน้ำใหม่เข้าไปเพิ่มได้เพียงเล็กน้อยน้ำทั้งหมดก็จะถูกดูดซึม บางส่วนจะไหลซึมลงไป เป็นส่วนของน้ำใต้ดิน บางส่วนถูกพืชดูดไปใช้ประโยชน์แล้วคายระเหย คืนสู่บรรยากาศ บางส่วนถูกบังคับให้ระเหย ไปด้วย แรงยึดเหนี่ยว (Capillary) ของช่องว่างในดิน ในภูมิประเทศที่มีความลาดเท และชั้นผิวดินบางส่วน น้ำที่ถูกดูดซึม อาจไหลย้อนสู่ผิวดินได้ โดยการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เรียกว่าน้ำไหลใต้ผิวดิน (Sub-surface Runoff)

2.2.5.1 กระบวนการซึมลงดิน (Infiltration Process)

กระบวนการซึมลงดินเริ่มต้นขึ้นเมื่อมีน้ำตกลงสู่ผิวดินน้ำจะซึมผ่านผิวดินและแพร่ลงไปในดินตามแรงดึงความชื้นจนกระทั่งดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จากนั้นแรงดึงดูดของโลกจะทำให้น้ำไหลลึกซึมลงไปในดิน สามารถพิจารณาแยกปริมาณความชื้นในดินได้เป็น 4 ส่วน คือ

1. ส่วนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation Zone) ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ใกล้กับผิวดิน
2. ส่วนที่น้ำแพร่ผ่าน (Transmission Zone) เป็นส่วนที่น้ำไหลผ่านชั้นดิน ขณะที่ดินยังไม่อิ่มตัวโดยปริมาณความชื้นตลอดหน้าตัดใกล้เคียงกัน
3. ส่วนที่กำลังเปียก (Wetting Zone) เป็นส่วนที่ความชื้นกำลังเพิ่มขึ้น โดยในชั้นดินที่ลึกลงไปจะมีความชื้นน้อย
4. หน้าตัดที่กำลังเปียก (Wetting Front) เป็นหน้าตัดที่เริ่มเปียกน้ำและกำลังมีการเปลี่ยนความชื้นอย่างรวดเร็ว

ซึ่งบริเวณนี้ ดินจะมีความชื้นแตกต่างกันมาก จนสามารถแยกระหว่างดินเปียกกับดินแห้งได้อย่างชัดเจน

ก) ปริมาณน้ำที่รั่วซึมลงไปในดิน (Percolation)

เขมชาติ (2529) กล่าวว่า ปริมาณน้ำที่รั่วลงดิน คือ ปริมาณน้ำส่วนหนึ่งที่ต้องสูญเสียไปโดยไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ สำหรับการปลูกข้าว ซึ่งปริมาณจะมากน้อยเพียงใดนั้นย่อมขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะของดิน วิธีเตรียมแปลง ความสูงของระดับน้ำในแปลงนา

Wickham (1978) กล่าวว่า การรั่วซึมในแปลงนาจะวัดได้ยากกว่าการซึมลงสู่ด้านล่างของดิน ทั้งนี้เพราะการซึมในแปลงนาจะผันแปรไปตามช่องว่างของดิน การเปียกและแห้งสลับกันของคันนา การรั่วซึมในแปลงนามี 2 ชนิด คือ Perimeter Seepage การรั่วซึมในแปลงนาที่เกิดจากการที่น้ำจะเคลื่อนที่จากพื้นที่เพาะปลูกข้าวไปตามรอยแตก หรือพื้นที่ที่ไม่ได้ปลูกข้าว และ Level Seepage การรั่วซึมในแปลงนาที่เกิดขึ้นจากการที่น้ำเคลื่อนที่ไปในด้านข้างภายในพื้นที่เพาะปลูกที่แห้ง การรั่วซึมในแปลงนาและการซึมลงสู่ด้านล่างของดินเกิดขึ้นคล้ายกันและยากที่จะแยกออกจากกัน Wickham (1978) ได้เสนอวิธีที่จะวัดไว้ 3 วิธี คือ

1. Cylinder method โดยฝัง Cylinder ในดินในแปลงนาข้าว Cylinder อันหนึ่งจะไม่มีก้น อีกอันหนึ่งจะมีก้น ทั้งสองอันจะมีน้ำอยู่ในระดับที่พืชใช้ไว้ในวันต่อไป ระดับที่ลดลงของน้ำใน Cylinder ทั้งสอง Cylinder จะนำมาหาค่าการรั่วซึมในแปลงนา และการซึมลงสู่ด้านล่างของดินในแต่ละวันนั้นได้
2. Manometer method วัดค่าของระดับน้ำที่ลดลงไป ซึ่งเป็นค่าผลรวมของการระเหย ค่าการรั่วซึมในแปลงนาและการซึมลงสู่ด้านล่างของดิน ซึ่งทำในที่ที่ไม่มีการให้น้ำ

ชลประทานหรือฝน และไม่มีการระบายน้ำบนผิวดินจากแปลงนา ค่าของการรั่วซึมในแปลงนาและการซึมลงสู่ด้านล่างของดิน จะหาโดยนำค่าของระดับน้ำที่ลดลงไปลบออกจากค่าการระเหย

3. Water balance technique จำนวนของน้ำที่เพิ่มในดินและส่วนที่สูญเสียไป ซึ่งวัดได้โดยการคำนวณ

กรมชลประทาน (2539) อ้างถึง AIT. (1983) ว่าได้ทดลองวัดอัตราการรั่วซึมของพื้นที่ชลประทาน ซึ่งรับน้ำจากอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง จังหวัดนครราชสีมาไว้ 3 โครงการ ซึ่งมีลักษณะดินเป็นประเภทเดียวกัน ดังนี้ โครงการบึงกระโดน 1.90 มิลลิเมตรต่อวัน โครงการห้วยยาง 1.30 มิลลิเมตรต่อวัน โครงการห้วยสะกาด 1.90 มิลลิเมตรต่อวัน

บุษรา (2533) กล่าวว่า ปริมาณน้ำที่รั่วซึมลงไปในดินนั้นรวมการรั่วซึมทั้งทางแนวราบและแนวดิ่ง ซึ่งจะมีปริมาณมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับสภาพของดิน ชนิดของดิน สภาพความ ลึกของชั้นดินที่ไถหรือเตรียมแปลงก่อนได้รับน้ำและระดับน้ำใต้ดินเช่น ดินเหนียวมีระดับน้ำใต้ดินตื้นจะมีการสูญเสียวันละประมาณ 1-2 มิลลิเมตร แต่ถ้าเป็นสภาพดินทรายและมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกอาจจะมีการสูญเสียของน้ำมากถึงวันละ 7-10 มิลลิเมตร ซึ่งวิธีลดการสูญเสียของน้ำโดยการรั่วซึมลงไปในดินให้น้อยอาจจะกระทำโดยการทำเทือกหลาย ๆ ครั้ง เพราะนอกจากจะทำให้ดินอัดแน่นขึ้นแล้วยังเป็นการช่วยกำจัดวัชพืชในแปลงนาอีกด้วย

ฉลอง (2531) ได้ศึกษาที่โครงการหนองหวาย จังหวัดขอนแก่น พ.ศ.2525 ฤดูฝนได้อัตราการรั่วซึมเท่ากับ 3 มิลลิเมตรต่อวัน

กรมชลประทาน (2538) ทำการวัดการรั่วซึม บนแปลงทดลอง ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน ได้ค่าเฉลี่ย ของปริมาณน้ำที่รั่วซึมลงไปในดินเท่ากับ 1.78 มิลลิเมตรต่อวัน

วินัย (2547) ได้ทำการทดลองหาค่าอัตราการซึมน้ำของดินในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พื้นที่เพาะปลูก โครงการห้วยโมง จังหวัดหนองคาย จำนวน 10 จุดทดลอง จำแนกตามลักษณะของชนิดดินและการใช้ที่ดิน ได้สรุปอัตราการรั่วซึมน้ำลงดิน (Percolation) เฉลี่ย 1.80 มิลลิเมตรต่อวัน

2.2.6 การไหลของน้ำบนผิวดิน (Surface Runoff)

เมื่อน้ำฝนที่ตกลงมามีมากเกินกว่าจะไหลซึมลงในดินได้หมด ก็จะกลายเป็นน้ำบ่า หน้าดิน หรือน้ำท่าเมื่อมันไหล ไปเติมพื้นผิวที่เป็นแอ่งลุ่มต่ำจนเต็มแล้ว มันก็จะไหลไปบนผิวดินต่อไป จนไปบรรจบกับระบบร่องน้ำในที่สุด แล้วก็ไหลตาม เส้นทางของลำน้ำ จนกระทั่งลงสู่มหาสมุทร หรือแหล่งน้ำ ในแผ่นดินบางแห่งในระหว่างทางนี้มันก็จะสูญเสียไปด้วยการระเหย สู่บรรยากาศ

และการไหลซึมลงตามของตลิ่งและท้องน้ำ ซึ่งในส่วนนี้อาจจะเป็นไปได้ ตั้งแต่ 0 ไปจนถึง 100 % ของจำนวนทั้งหมด

2.2.7 การระเหยบนผิวดิน (Ground Evaporation)

บางส่วนของน้ำฝนจะถูกเก็บกักไว้บนผิวดินในลักษณะของความชื้นในดิน หรือแอ่งน้ำขังตามที่ลุ่มน้ำ

2.2.8 การระเหย (Evaporation)

น้ำในสถานะของเหลว เมื่อถูกความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์หรือแหล่งอื่นจะ เปลี่ยนไปสู่สถานะก๊าซ หรือเรียก ปรากฏการณ์นี้ว่า "การระเหย"

2.2.9 การระเหยจากน้ำและจากผิวดิน

จากจำนวนน้ำจากอากาศทั้งหมดที่ตกลงมา ส่วนใหญ่จะตกลงโดยตรงสู่พื้นมหาสมุทร ทะเลสาบขนาดใหญ่ ในแผ่นดิน แหล่งน้ำบนดินอื่น ๆ เช่น แม่น้ำ ลำคลอง หนองบึง ส่วนที่ตกลงในมหาสมุทรเมื่อรวมกับน้ำท่าที่ไหลกลับคืนมา จะทำให้เกิดความสมดุลของน้ำที่มั่นคงและแสดงหลักฐานโดยระดับน้ำทะเลคงที่น้ำหลายส่วนก็ระเหยจากผิวน้ำ กลับสู่บรรยากาศและกลายเป็นส่วนหนึ่งของความชื้นในบรรยากาศในทะเล และพื้นที่ตอนเหนือของเขตอบอุ่น การระเหยจากน้ำและจากผิวดินมีความถี่น้อยกว่าน้ำจากอากาศ แต่ว่าส่วนเกินของมันก็จะไหลกลับคืนสู่มหาสมุทร ที่มันระเหยออกมาเช่นเดิม ในเขตอื่น ๆ นั้น การระเหยจากผิวน้ำมักจะเท่ากับหรือมากกว่าน้ำจากอากาศที่ตกลงบนแหล่งน้ำนั้น

2.2.10 การคายน้ำของพืช (Transpiration)

หน้าที่พื้นฐานอย่างหนึ่งในกระบวนการดำเนินชีวิตของพืช ก็คือการนำเอาน้ำจากในดินผ่านเข้ามาทางระบบราก ใช้ประโยชน์ในการสร้างความเจริญเติบโตและการดำรงชีพ น้ำจะถูกปล่อยคืนสู่บรรยากาศ ทางรูพรุนที่ปากใบในรูปของไอน้ำกระบวนการคืนความชื้นของดินให้แก่บรรยากาศนี้เรียกว่า การคายน้ำ (Transpiration) ปริมาณของหยดน้ำจากอากาศที่กลับคืนสู่บรรยากาศนี้จะมากน้อยต่างกันไปตามลักษณะของพืช และความชื้นที่มีอยู่บริเวณระบบรากของ

2.2.11 น้ำใต้ดิน (Ground water)

ส่วนของหยาดน้ำฟ้าที่ไหลซึมผ่านผิวดินลงไป ถ้าไม่ถูกดูดซับเอาไว้ทดแทนความชื้น ที่ขาดไปของชั้นดิน หรือโดยชั้นหินที่มีรูพรุน น้ำจำนวนนี้ก็จะซึมลึกลงไปจนถึงระดับอิ่มตัวอย่างสมบูรณ์ เรียกว่า ระดับน้ำใต้ดิน(ground water table) ความลาดเอียงและโครงสร้างที่จำกัดขอบเขตของน้ำใต้ดิน อาจช่วยป้องกันไม่ให้มันถูกปล่อยออกมาอย่างทันทีทันใดหรือบางครั้งแหล่งน้ำใต้ดินอาจมีส่วนที่เชื่อมต่อกับท้องแม่น้ำ ทำให้มีบางส่วนของน้ำไหลคืนสู่แหล่งน้ำบนดินอีกครั้ง น้ำใต้ดินอาจจะไหลผ่านไปในชั้นหินที่มีรูพรุนและลงไปถึงระดับที่ถูกบีบล้อมด้วยดินที่แน่นกว่า

กลายเป็นถูกอัดด้วยแรงดัน ถ้าบ่อเจาะลงไปถึงระดับนี้ก็อาจเป็นบ่อน้ำบาดาลเช่นกันในชั้นทีมีความกดดันเดียวกันนี้ อาจมีส่วนติดต่อกับบริเวณท้องมหาสมุทรและปล่อยน้ำออกสู่ทะเล ดังนั้นจากความชื้นในบรรยากาศ ดังที่อธิบายถึงการเริ่มต้นของวัฏจักรก็จะดำเนินไปตามวิถีทางที่มีความยาวนาน และความสลับซับซ้อนต่าง ๆ กันไปก่อนที่มันบรรจบครบวงจร

2.2.12 การพัฒนาแหล่งน้ำกับอุทกวิทยา

ทรัพยากรแหล่งน้ำ (Water Resources) คือน้ำจืดที่เกิดอยู่ตามธรรมชาติในแม่น้ำลำธารนั้น ซึ่งจัดเป็นทรัพยากรน้ำที่ใช้ไม่หมดสิ้น คือเกิดใหม่ได้ทุกปี การใช้ทรัพยากรแหล่งน้ำ เรียกว่าการพัฒนาแหล่งน้ำ ในปัจจุบันได้ใช้ประโยชน์จากทรัพยากรน้ำที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์ในทางเศรษฐกิจ เช่น การชลประทาน การผลิตไฟฟ้า น้ำประปา การอุตสาหกรรม การเดินเรือ และการควบคุมการเกิดภัย เป็นต้น ดังนั้นงานอุทกวิทยากับงานพัฒนาแหล่งน้ำมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิด

2.2.13 น้ำท่า(Runoff)

ข้อมูลที่เกี่ยวกับน้ำท่า เป็นข้อมูลสำคัญอันหนึ่งที่นักอุทกวิทยาจำเป็นจะต้องรู้เพื่อที่จะใช้ประกอบในการศึกษาทางด้านอุทกวิทยา ทั้งนี้เป็นประโยชน์ต่อวิศวกรที่จะนำไปใช้ประกอบในการออกแบบเขื่อน อ่างเก็บน้ำและอาคารชลประทานต่าง ๆ นอกจากนั้นยังเป็นข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบต่อสภาพและปริมาณน้ำในแม่น้ำลำธารเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงจากการกระทำของมนุษย์อีกด้วย

2.3 ทฤษฎีสมดุลน้ำ

อดิศร (2554) สมดุลน้ำ เป็นเครื่องมือในการอธิบายสภาพลุ่มน้ำและช่วยในการจำแนกลุ่มน้ำโดยอาศัยการประเมินแหล่งจ่ายน้ำ และปริมาณน้ำที่ไหลออก เป็นการประยุกต์ใช้หลักการอนุรักษ์สสาร(Conservation of mass principle) เข้ากับวัฏจักรของน้ำ คือ ทุกๆ อย่างไม่มีการสูญหายและทุกๆอย่างที่หายไปสามารถอธิบายได้ ซึ่งเป็นสมการที่รวมการนำน้ำเข้าสู่ระบบตั้งแต่การเกิดหยาดน้ำฟ้า (เช่นฝน) และการนำน้ำออกจากระบบในรูปของน้ำไหลออกที่เกิดขึ้นจากการคายระเหยน้ำ และการเปลี่ยนแปลงในที่กักเก็บต่างๆ (ในรูปของความชื้นในดิน และน้ำในดิน) ตามสมการดังต่อไปนี้

ΔS = I-O

I = ปริมานน้ำไหลเข้า

O = ปริมาณน้ำไหลออก

ΔS = ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลง

การเปรียบเทียบความสมบูรณ์ของน้ำ สามารถทำได้โดยการตรวจเช็คอัตราส่วนระหว่างค่าการคายระเหยของน้ำกับปริมาณฝนตกในพื้นที่ ทั้งนี้อัตราส่วนที่สูงพบได้ในภูมิอากาศที่แห้ง อัตราส่วนที่ต่ำมักพบในบริเวณภูมิอากาศชื้น

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝน

น้ำจากอากาศหรือน้ำจากฟ้า (Precipitation) ที่ตกลงมาจะเป็นข้อมูลดิบ (Input data) ของระบบอุทกวิทยา การวิเคราะห์ระบบอุทกวิทยาใดๆ ก็ตามจำเป็นจะต้องมีการเตรียมและเรียบเรียงข้อมูลให้อยู่ในสภาพที่จะเป็นข้อมูลดิบของระบบนั้นได้ ข้อมูลน้ำจากอากาศ ซึ่งในประเทศไทยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของน้ำฝนอาจจะมีทั้งแบบบันทึกที่ติดต่อกันเป็นรายะเวลานาน และข้อมูลเฉพาะพายุฝนใดพายุฝนหนึ่ง ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝนในลักษณะต่างๆ ซึ่งพร้อมที่จะนำไปใช้ในงานพัฒนาแหล่งน้ำซึ่งเกี่ยวข้องทางด้านอุทกวิทยาต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝนในช่วงพายุฝนอาจจำแนกการศึกษาและวิเคราะห์ขั้นพื้นฐานได้ 3 แบบด้วยกันคือ (1) การวิเคราะห์เฉพาะจุดหรือสถานี (Point or station Analysis) (2) การวิเคราะห์การแจกแจงตามกาลเวลา (Time Distribution Analysis) และ (3) การวิเคราะห์การแจกแจงตามพื้นที่ (Areal Distribution Analysis)

การวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝนขั้นประยุกต์เพื่อที่จะนำไปใช้งานจะกล่าวถึงในสามหัวข้อด้วยกัน (1) กราฟแสดงความสัมพันธ์ ความลึกน้ำฝน-พื้นที่-ช่วงเวลา (Depth-Area-Duration Curve) (2) กราฟแสดงความสันพันธ์ ความลึก (ความเข้ม) น้ำฝน-ช่วงเวลา-ความถี่การเกิดซ้ำ (Rainfall Depth (Intensity) - Duration Frequency Curve) และ (3) ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้ (Probable Maximum Precipitation) ดังนั้น จะเน้นหนักในเรื่องของการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝนขั้นประยุกต์ และวิธีการนำความสัมพันธ์ที่วิเคราะห์ได้ไปใช้ในงานพัฒนาแหล่งน้ำที่เกี่ยวข้องกับอุทกวิทยา

2.4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเฉพาะจุดหรือสถานี

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝนเฉพาะจุดหรือสถานี พอสรุปได้ว่ามีสองลักษณะด้วยกันคือ (1) การประมาณค่าข้อมูลน้ำฝนที่ขาดหายไป และ (2) การตรวจสอบความเชื่อถือได้ของข้อมูลน้ำฝน

การประมาณค่าข้อมูลน้ำฝนที่ขาดหายไป อาจกระทำได้ 3 วิธีด้วยกันคือ

(1) การหาค่าเฉลี่ยข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากสถานีใกล้เคียงอย่างน้อย 3 สถานี

(2) การหาค่าข้อมูลที่ขาดหายไปด้วยการเขียนเส้นชั้นความลึกน้ำฝน(Isohyets)

(3) การหาค่าข้อมูลที่ขาดหายไปด้วยวิธีสัดส่วนปกติ (normal ratio method)

การตรวจสอบความเชื่อถือได้ (consistency) ของข้อมูลน้ำฝน นิยมใช้วิธีวิเคราะห์สะสมเชิงซ้อน (double mass analysis) วิธีการตรวจสอบกระทำโดยการเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำฝนรายปีสะสมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเฉลี่ยจากสถานีต่างๆ ที่ตั้งอยู่รอบๆ การเปรียบเทียบกระทำโดยการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณน้ำฝนรายปีสะลมของสถานีที่ต้องการจะตรวจสอบกับค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนรายปีสะสมจากสถานีต่างๆ หากข้อมูลเชื่อถือได้ กราฟที่พล็อตได้จะเป็นเส้นตรงและมีความลาดชันคงที่ แต่ถ้าหากว่ากราฟที่พล็อตได้มีความลาดชันได้หลายค่าแสดงว่าข้อมูลปริมาณฝนของสถานีที่ตรวจสอบยังเชื่อถือไม่ได้ เพราะอาจมีการเปลี่ยนแปลงอย่างใดอย่างหนึ่งเกิดขึ้นในปีที่เป็นจุดเปลี่ยนความลาดชันของกราฟที่พล๊อต ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวก็คืออาจจะมีการย้ายที่ตั้งเครื่องวัดน้ำฝนอาจจะมีการเปลี่ยนเครื่องวัดใหม่ เปลี่ยนเวลาทำการวัดเป็นต้น ดังนั้นก่อนที่จะนำข้อมูลไปใช้ จะต้องทำการปรับแก้ข้อมูลเสียก่อน

2.4.2 การวิเคราะห์การแจกแจงข้อมูลตามกาลเวลา

การวิเคราะห์การแจกแจงข้อมูลตามกาลเวลามีขีดจำกัดทำได้เฉพาะข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดน้ำฝนแบบอัตโนมัติเท่านั้น ข้อมูลดังกล่าวอาจจะตีพิมพ์เป็นตารางข้อมูลรายชั่วโมง การวิเคราะห์กระทำโดยคัดลอกข้อมูลรายชั่วโมง และคำนวณหาค่าสะสมของข้อมูลรายชั่วโมงจนตลอดช่วงเวลาของฝนที่ตก กราฟที่เกิดจากการพล็อตข้อมูลสะสมรายชั่วโมงกับเวลาเรียกว่า กราฟความลึกน้ำฝนสะสม (Rainfall mass curve) ซึ่งสามารถทำให้ทราบช่วงเวลาของพายุฝนที่ตกหนักและเบาต่างๆ หรือช่วงเวลาที่มีความเข้มของฝนต่างๆ กันได้ นอกจากนั้น การเปรียบเทียบกราฟน้ำฝนสะสมจากหลายๆ สถานีของพายุฝนลูกเดียวกัน จะทำให้สามารถทราบทิศทางการเคลื่อนที่ของพายุฝนดังกล่าวได้

2.4.3 การวิเคราะห์การแจกแจงข้อมูลตามพื้นที่

ในการวิเคราะห์วิธีนี้ ปริมาณน้ำฝนที่วัดทุกสถานีในพื้นที่ใดๆ จะนำมาวิเคราะห์รวมกันเพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยของฝนที่ตกลงบนพื้นที่นั้น เนื่องจากคำว่าเฉลี่ย (average หรือ mean) ได้ใช้บ่อยครั้งในอุทกวิทยา ในกรณีความลึกเฉลี่ยของปริมาณฝนจึงนิยมใช้คำว่า ความลึกสม่ำเสมอเทียบเท่า (Equivalent uniform depth) แทน

การคำนวณความลึกสม่ำเสมอเทียบเท่าของปริมาณฝนนั้น กระทำได้ 3 วิธีด้วยกันคือ (1) เฉลี่ยด้วยวิธีคณิตศาสตร์ (2) เฉลี่ยด้วยวิธีรูปธีเอสเส่น โพลีกอน (Thiessen Polygon) และ (3) เฉลี่ยด้วยวิธีเส้นชั้นความลึกน้ำฝน (Isohyets)

2.4.4 กราฟความลึกน้ำฝน-พื้นที่-ช่วงเวลา (Depth-Area-Duration Curve)

2.4.4.1 วิธีการสร้างกราฟความลึกน้ำฝน-พื้นที่-ช่วงเวลา

ในกรณีที่ฝนตกแผ่คลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ ก็จะสามารถคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของฝน และพื้นที่ที่ฝนตกได้จากการทำแผนที่เส้นชั้นน้ำฝน และหาช่วงเวลาของฝนตกได้จากเครื่องวัดน้ำฝนแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะบันทึกค่าของความลึกสะสมของปริมาณฝนเทียบกับเวลาไว้ การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความลึกน้ำฝน–พื้นที่–ช่วงเวลา นี้จะต้องใช้หลักการวิเคราะห์ทั้งด้านการแจกแจงข้อมูลน้ำฝนตามกาลเวลาและการแจกแจงข้อมูลน้ำฝนตามพื้นที่

- วิธีการสร้างกราฟความลึกน้ำฝน–พื้นที่–ช่วงเวลาจากพายุฝนลูกใดลูกหนึ่งทำตามลำดับขั้นตอนดังนี้

  (1) ทำการพล๊อตกราฟความลึกน้ำฝนสะสม (Mass Curves) ของสถานีต่างๆ ภายในพื้นที่ที่เกิดพายุฝน

  (2) ทำการสร้างแผนที่เส้นชั้นความลึกน้ำฝน (Isohyetal map) โดยใช้ค่าปริมาณน้ำฝนรวมของสถานีต่างๆ และคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของน้ำฝน และพื้นที่จากแผนที่เส้นชั้นความลึกน้ำฝนดังกล่าว

  (3) จัดเตรียมตารางแสดงค่าความลึกน้ำฝนที่ตกตามช่วงเวลาที่กำหนดซึ่งนับจากเวลาที่ฝนเริ่มตก (Contemporaneous rainfall depth) และตารางแสดงค่าความลึกน้ำฝนสูงสุดในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดโดยไม่คำนึงถึงเวลาที่เกิด (Absolute maximum rainfall depth) ทั้งนี้ จะพิจารณาแบ่งช่วงเวลาเป็นจำนวนชั่วโมง อาทิเช่น 3, 6, 9, 12 ชั่วโมง เป็นต้น สำหรับปริมาณฝนสูงสุดในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดนั้นจะพิจารณาเฉพาะสถานีที่รายงานว่ามีฝนตกจำนวนมากเท่านั้น สถานีต่างๆ ที่นำมาศึกษาจะอยู่ภายในพื้นที่ที่พิจารณาโดยแบ่งเป็นโซน (Zone) ให้คลุมแต่ละศูนย์กลางพายุฝน (storm center) ที่ปรากฏในแผนที่เส้นชั้นความลึกน้ำฝนที่สร้างขึ้น

  (4) ทำการคำนวณหาค่าความลึกน้ำฝนเฉลี่ย (Average rainfall depth) และความลึกน้ำฝนสูงสุดสำหรับแต่ละช่วงเวลา (Maximum depth-duration data) ของแต่ละโซน แล้วรวมกันทุกๆ โซนสำหรับแต่ละเส้นชั้นความลึกน้ำฝน

การเฉลี่ยความลึกน้ำฝนใช้วิธีรูปอีเอสเส่น โพลีกอน กล่าวคือ หากในพื้นที่ภายในเส้นชั้นความลึกน้ำฝนที่พิจารณาประกอบด้วยพื้นที่ธีเอสเส่น โพลีกอน ของสถานีต่างๆ หลายรูป ก็ให้เฉลี่ยความลึกน้ำฝนภายในเส้นชั้นความลึกน้ำฝนนั้นด้วยการใช้ขนาดของ

พื้นที่ธีเอสเส่น โพลีกอน เป็นตัวสัดส่วนการเฉลี่ย (Weighting factors) กล่าวคือ หากภายในเส้นชั้นความลึกน้ำฝนที่พิจารณามีสถานีวัดน้ำฝนเพียงสถานีเดียว หรือประกอบด้วยพื้นที่รูปธีเอสเส่น โพลีกอน สถานีเดียวก็ให้ใช้ข้อมูลจากสถานีนี้เลย โดยไม่ต้องทำการเฉลี่ย เพราะครอบคลุมพื้นที่ในเส้นชั้นความลึกน้ำฝนที่พิจารณา 100 เปอร์เซ็นต์อยู่แล้ว ถ้าเป็นกรณีเส้นชั้นความลึกน้ำฝนที่คลุมพื้นที่ธีเอสเส่น โพลีกอนตั้งแต่ 2 สถานีขึ้นไปก็ต้องหาค่าเฉลี่ยความลึกน้ำฝนตามเปอร์เซ็นต์พื้นที่ของรูปธีเอสเส่น โพลีกอนนั้นๆ อย่างไรก็ตาม หากภายในเส้นชั้นน้ำฝนที่พิจารณามีสถานีตั้งแต่ 6 สถานีขึ้นไป และที่ตั้งสถานีกระจัดกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นที่พอสมควร ก็ให้คิดว่าแต่ละสถานีมีน้ำหนักการเฉลี่ยเท่ากันหมดหรือใช้วิธีเฉลี่ยแบบคณิตศาสตร์ธรรมดานั่นเอง

เมื่อคำนวณความลึกน้ำฝนเฉลี่ยในเทอมของกราฟความลึกน้ำฝนสะสม ได้แล้ว ก็จะต้องทำการปรับความลึกน้ำฝนเฉลี่ยดังกล่าวโดยใช้หลักที่ว่าความลึกน้ำฝนในช่วงเวลารวมหรือช่วงเวลานานที่สุดจะต้องเท่ากับความลึกน้ำฝนเฉลี่ยภายในเส้นชั้นความลึกน้ำฝนที่ได้คำนวณไว้ก่อนแล้วในขั้นตอนที่ (2) จากนั้นก็ทำการคำนวณหาความลึกน้ำฝนในแต่ละช่วงย่อย อาทิเช่น ในแต่ละ 3 ชั่วโมงของทุกๆ ช่วง เพื่อคำนวณหาช่วงย่อยที่มีความลึกน้ำฝนสูงสุด สำหรับแต่ละช่วง เวลาอื่นที่เป็นจำนวนเท่าของช่วงย่อย ซึ่งได้แก่ 6 ชั่วโมง 9 ชั่วโมง ตามลำดับก็คำนวณหาได้โดยใช้ผลรวมของความลึกน้ำฝนในแต่ละช่วงย่อยติดกันและเลือกช่วงที่มีค่าความลึกน้ำฝนสูงสุดตามลำดับ จากวิธีดังกล่าวจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกน้ำฝน (สูงสุด) และช่วงเวลา ในแต่ละเส้นชั้นความลึกน้ำฝนซึ่งครอบคลุมพื้นที่ขนาดหนึ่ง

(5) ทำการพล๊อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกน้ำฝน-พื้นที่-ช่วงเวลาจากข้อมูลที่ได้ในขั้นตอนที่ (4) โดยทำการพล๊อตในกระดาษเลขยกกำลังให้ค่าพื้นที่อยู่ในแกนเลขยกกำลัง และค่าความลึกน้ำฝนในแกนธรรมดา และกำกับแต่ละจุดทีพล๊อตได้ด้วยตัวเลขช่วงเวลาต่อไปก็ทำการลากเส้นกราฟความลึกน้ำฝนของแต่ละช่วงเวลาไปในทางให้ได้ค่าความลึกน้ำฝนมากที่สุด ซึ่งเป็นวิธีการที่เรียกว่า Enveloping curve นั่นเอง

2.4.4.2 การประยุกต์กราฟความลึกน้ำฝน–พื้นที่–ช่วงเวลา

ในการนำกราฟความลึกน้ำฝน–พื้นที่–ช่วงเวลา ไปประยุกต์ใช้งานนั้น ในขั้นแรกจะต้องเลือกขนาดของพายุฝนลูกที่จะนำมาสร้างกราฟดังกล่าวเสียก่อน ซึ่งขนาดของพายุฝนจะขึ้นอยู่กับความสำคัญของงาน ยกตัวอย่างเช่น งานประเภทระบบระบายน้ำออกจากพื้นที่ หากพื้นที่เป็นที่นา

หรือทำการเกษตรกรรม การเลือกขนาดพายุฝนอาจจะไม่ต้องสำคัญหรือรุนแรงมากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่เป็นเขตชุมชน ทำการค้าหรืออุตสาหกรรม เป็นต้น เมื่อเลือกขนาดของพายุฝนแล้ว ขั้นต่อไปก็คือ การสร้างกราฟความลึกน้ำฝน–พื้นที่– ช่วงเวลา ดังวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้ว

ก่อนทำการออกแบบขนาดความลึกน้ำฝนหรือความเข้มของฝน จะต้องเลือกช่วงเวลาของฝน ซึ่งปกติแล้วจะให้มีขนาดเท่ากับเวลาเข้มข้น (Time of Concentration) เมื่อทราบขนาดพื้นที่ที่จะระบายและช่วงเวลาของฝนก็สามารถอ่านค่าความลึกน้ำฝนจากกราฟความลึกน้ำฝน–พื้นที่–ช่วงเวลาได้ความลึกน้ำฝนเมื่อหารด้วย ช่วงเวลาของฝนก็จะได้ความเข้มของฝน ซึ่งมีหน่วยเป็นความลึกของฝนต่อหนึ่งหน่วยเวลา ความเข้มของฝนหรือความลึกของฝนและขนาดพื้นที่นี้จะนำไปคำนวณปริมาณน้ำไหลสูงสุด (peak flow) สำหรับงานออกแบบขนาดอาคารชลศาสตร์ อาทิเช่น ท่อระบายน้ำ ประตูระบายน้ำ ท่าลอดถนน เป็นต้น

2.4.4.3 แฟคเตอร์ลดความลึกน้ำฝนตามขนาดพื้นที่ (Areal Ralnfall Reduction Factor)

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในการนำกราฟความลึกน้ำฝน–พื้นที่–ช่วงเวลา ไปประยุกต์ใช้ในงานออกแบบทางด้านอุทกวิทยานั้น จำเป็นจะต้องเลือกพายุฝนมาสร้างกราฟดังกล่าว ซึ่งอาจจะเลือกเพียงลูกเดียวหรือหลายๆ ลูกมาพิจารณาประกอบกันก็ได้ เนื่องจากการเลือกพายุฝนมาวิเคราะห์นั้นขนาดความรุนแรงของพายุฝนดังกล่าวจะกำหนดได้ยาก นอกจากนั้นการสร้างกราฟความลึกน้ำฝน–พื้นที่–ช่วงเวลา ในแต่ละพายุฝนกระทำได้ไม่ง่ายนักและในบางครั้งจะมีข้อมูลไม่เพียงพอโดยเฉพาะอย่างยิ่งจะต้องมีข้อมูลน้ำฝนที่บันทึกโดยเครื่องวัดอัตโนมัติประกอบด้วยจากข้อยุ่งยากดังกล่าว การประยุกต์กราฟความลึกน้ำฝน–พื้นที่–ช่วงเวลา ไปใช้งานโดยตรงจึงไม่เป็นที่นิยม

โดยทั่วไปแล้วการออกแบบโดยใช้ข้อมูลน้ำฝนสำหรับคำนวณหาปริมาณน้ำไหลสูงสุดหรือขนาดน้านองหรือน้ำท่วมนั้นจะใช้กราฟความลึก (หรือความเข้ม) น้ำฝน–ช่วงเวลา–ความถี่ การเกิดซ้ำ ซึ่งจะได้กล่าวในตอนต่อไปแทน ทั้งนี้เพราะความถี่การเกิดซ้ำหรือรอบปีการเกิดซ้ำ โดยเฉลี่ยจะเป็นตัวแฟคเตอร์ที่บอกถึงดีกรีขนาดความลึกน้ำฝน หรือความรุนแรงของพายุฝนที่จะใช้สำหรับงานออกแบบตามความสำคัญต่างๆ กัน เป็นต้นว่าหากเป็นอาคารชลศาสตร์ที่สำคัญ ซึ่งหากเกิดการเสียหายหรือพังลงก็จะเกิดการสูญเสียมากหรือเป็นอันตรายต่อชีวิตของมนุษย์ก็จำเป็นต้องเลือกขนาดความลึกน้ำฝนที่มีความถี่การเกิดซ้ำไม่บ่อยนัก หรือมีรอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ยหลายปี อย่างไรก็ตามกราฟความลึกน้ำฝน–ช่วงเวลา–ความถี่ การเกิดซ้ำ จะคำนวณมาจากข้อมูลที่มีค่าสูงสุด (Extreme) ของแต่ละสถานี ซึ่งอาจจะเกิดต่างพายุฝนหรือไม่จำเป็นต้องมาจากพายุฝนลูกเดียวกัน ดังนั้น การนำความลึกน้ำฝนที่อ่านได้จากกราฟดังกล่าวไปใช้กับพื้นที่ฝนตกขนาดใหญ่จะทำให้มีค่าสูงเกินความจริงไปเพราะโอกาสที่ฝนจะตกหนักเฉลี่ยคลุมพื้นที่ขนาดกว้างๆ นั้นมีโอกาสน้อย

ดังนั้น การนำค่าความลึกน้ำฝนที่อ่านได้จากกราฟความลึกน้ำฝน–ช่วงเวลา–ความถี่ การเกิดซ้ำไปใช้กับพื้นที่ขนาดใหญ่ จำเป็นจะต้องมีแฟคเตอร์คูณเพื่อลดขนาดความลึกของน้ำฝนเฉลี่ยสำหรับพื้นที่กว้างๆ ลงให้ใกล้กับความเป็นจริง แฟคเตอร์ดังกล่าวเรียกว่าแฟคเตอร์ลดความลึกน้ำฝนตามขนาดพื้นที่ (Areal rainfall reduction factor)

สำหรับช่วงเวลาและพื้นที่ที่กำหนดแฟคเตอร์ลดความลึกน้ำฝนตามขนาดพื้นที่จะคำนวณหามาจากกราฟความลึกน้ำฝน–พื้นที่–ช่วงเวลา แฟคเตอร์ลดความลึกน้ำฝนตามขนาดพื้นที่ก็คืออัตราส่วนระหว่างความลึกน้ำฝนที่อ่านได้จากกราฟความลึกน้ำฝน–พื้นที่–ช่วงเวลา ต่อความลึกน้ำฝนเฉพาะจุด (หรือพื้นที่เท่า กับ 10 ตารางไมล์) สำหรับช่วงเวลาที่กำหนดซึ่งอ่านได้จากกราฟดังกล่าวเช่นเดียวกัน หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าแฟคเตอร์ลดความลึกน้ำฝนตามขนาดพื้นที่สำหรับช่วงเวลาที่กำหนดก็คือ อัตราส่วนระหว่างความลึกน้ำฝนสำหรับพื้นที่ที่กำหนดต่อความลึกน้ำฝนสำหรับพื้นที่ 10 ตารางไมล์หรือความลึกน้ำฝนเฉพาะจุดนั่นคือ

$$\text{ARF} = \frac{R_c}{R_p} \qquad (2\text{-}1)$$

ในเมื่อ ARF คือแฟคเตอร์ลดความลึกน้ำฝนตามขนาดพื้นที่ R_c คือความลึกน้ำฝนสำหรับพื้นที่ที่กำหนดหรือเรียกว่า catchment rainfall และ R_p คือความลึกน้ำฝนเฉพาะจุดหรือเรียกว่า Point rainfall

โดยหลักการแล้วแฟคเตอร์ลดความลึกน้ำฝนตามขนาดพื้นที่จะเป็นฟังก์ชั่นกับชนิดของพายุฝน ช่วงเวลา ขนาดพื้นที่ และรอบปีการเกิดซ้ำ ถึงอย่างไรก็ตามโดยทั่วไปแล้วแฟคเตอร์ดังกล่าวจะมีค่าน้อยลงเมื่อช่วงเวลาของฝนน้อยลงและขนาดพื้นที่เพิ่มขึ้น เลคเลอร์ค และแช้ค (Leclerc and Schaake, 1972) ได้เสนอสมการสำหรับคำนวณหาค่าแฟคเตอร์ลดความลึกน้ำฝนตามขนาดพื้นที่ดังต่อไปนี้

$$\text{ARF} = \frac{R_c}{R_p} = \text{l}-\exp(-1.1\, t_r^{0.25}) + \exp(-1.1\, t_r^{0.25} - 0.01\, \text{A}) \qquad (2\text{-}2)$$

ในเมื่อ t_r คือช่วงเวลาของฝนมีหน่วยเป็นชั่วโมง A คือพื้นที่มีหน่วยเป็นตารางไมล์

2.4.5 กราฟความลึก (ความเข้ม) น้ำฝน–ช่วงเวลา–ความถี่การเกิดซ้ำ (Rainfall Depth (Intensity) – Duration – Frequency Curve)

2.4.5.1 การวิเคราะห์กราฟความลึก (ความเข้ม) น้ำฝน-ช่วงเวลา-ความถี่การเกิดซ้ำ

กราฟความลึกน้ำฝน-ช่วงเวลา-ความถี่การเกิดซ้ำ ก็คือ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึก ช่วงเวลา และความถี่การเกิดซ้ำของน้ำฝน ให้ทำนองเดียวกัน กราฟความเข้ม-ช่วงเวลา-ความถี่การเกิดซ้ำ คือ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม ช่วงเวลา และความถี่การเกิดซ้ำของน้ำฝน ความเข้มของฝนจะเท่ากับความลึกของฝนหารด้วยช่วงเวลาของฝนนั่นเอง

คำว่าความถี่การเกิดซ้ำ หมายถึง ความเป็นไปได้หรือโอกาสที่ฝนจะตกหนักมีความลึก (หรือความเข้ม) เท่ากับหรือมากกว่าความลึก (หรือความเข้ม) ที่กำหนดเป็นเท่าใดหรือกี่เปอร์เซ็นต์ ในบางครั้งจะใช้คำว่ารอบปีการซ้ำ (Return Period) หรือ Recurrence Interval) แทน รอบปีการเกิดซ้ำก็คือ ระยะเวลาโดยเฉลี่ยมีหน่วยเป็นปีที่ความลึก (หรือความเข้ม) ของฝนที่มีขนาดเท่ากับหรือมากกว่าความลึก (หรือความเข้ม) ที่กำหนดจะเกิดขึ้นอีกครั้งหนึ่งโดยนับจากเวลาการเกิดคราวที่แล้ว อย่างไรก็ตาม พายุฝนที่มีความลึกเท่ากับหรือมากกว่าความลึกสำหรับรอบปีการเกิดซ้ำที่กำหนด อาจจะเกิดขึ้นในปีหนึ่งปีใดก็ได้ แต่โอกาสหรือความเป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้นในปีหน้าหรือปีหนึ่งปีใดจะมีเปอร์เซ็นต์น้อยมากสำหรับความลึกของฝนที่มีรอบปีการเกิดซ้ำสูงๆ

การวิเคราะห์ความถี่ของน้ำฝน (Rainfall frequency analysis) เพื่อคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความลึก (หรือความเข้ม) ช่วงเวลา และความถี่การเกิดซ้ำของฝนมีวิธีการคล้ายกับการวิเคราะห์ความถี่ของน้ำท่วม (flood frequency analysis) ต่างกันแต่เพียงว่าสำหรับการวิเคราะห์ความถี่ของน้ำฝน นั้นยุ่งยากมากกว่าเพราะจำเป็นต้องนำช่วงเวลาของฝนมาเกี่ยวข้องด้วย ยิ่งกว่านั้นยังต้องเกี่ยวข้องกับพื้นที่ที่ฝนตกครอบคลุมอีกด้วย การวิเคราะห์ส่วนมากจะคำนึงถึงช่วงเวลาขนาดต่างๆ กัน และจำกัดการวิเคราะห์เฉพาะสถานีใดสถานีหนึ่ง โดยพิจารณาข้อมูลประเภทค่าสูงสุดหรือเรียกว่า Extreme values เป็นข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ในแต่ละช่วงเวลาก็จะมีข้อมูลสำหรับวิเคราะห์เพื่อทำกราฟความถี่การเกิดซ้ำ (Family of curves)

2.4.5.2 สมการความเข้มน้ำฝน–ช่วงเวลา–ความถี่การเกิดซ้ำ

ในแต่ละข้อมูลจะสามารถคำนวณร้อยละความเป็นไปได้หรือรอบปีการเกิดซ้ำสำหรับแต่ละความเข้มและช่วงเวลาของฝนที่กำหนดได้ เมื่อพล๊อตความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของฝนและช่วงเวลาโดยมีรอบปีการเกิดซ้ำเป็นตัวพารามิเตอร์ในกระดาษเลขยกกำลัง เขียนสมการทั่วไปแสดงความสัมพันธ์ในเชิงเลขยกกำลังระหว่างความเข้มและช่วงเวลาของฝนได้ดังนี้

$$\log i = \log K + d \log t_r \qquad (2\text{-}3)$$

ในเมื่อ I = ความเข้มของฝนสำหรับรอบปีการเกิดซ้ำที่กำหนด มีหน่วยเป็น มม./ชม.

t_r = ช่วงเวลาของฝนมีหน่วยเป็นนาที

d = ความลาดชันของเส้นกราฟที่พล๊อต

K = ค่าความเข้มของฝนที่มีช่วงเวลาเท่ากับหนึ่งนาที ซึ่งจะเป็นฟังก์ชั่นกับรอบปีการเกิดซ้ำ มีหน่วยเป็น มม./ชม.

อย่างไรก็ตาม จากประสบการณ์ที่ผ่านมาพบว่าถ้าช่วงเวลาของฝนที่พิจารณามีพิกัดค่อนข้างกว้างแล้ว เส้นกราฟที่พล๊อตได้จะมีลักษณะคล้ายเป็นเส้นโค้งชัดขึ้น ดังนั้น เพื่อที่จะใช้สมการ (2-3) แสดงเส้นกราฟในลักษณะที่เป็นเส้นตรงในช่วงพิกัดของช่วงเวลาของฝนกว้างๆ แล้วจำเป็นต้องเพิ่มหรือพวกค่าคงที่ในตัวแปรช่วงเวลา นอกจากนั้น เห็นว่าค่าความลาดชันของกราฟที่พล๊อตได้จะเป็นลบเสมอ เพื่อที่จะให้ได้ค่าความลาดชัน d มีเครื่องหมายเป็นบวก สมการ (2-3) สามารถเขียนเสียใหม่ในรูปที่นิยมกันได้ดังต่อไปนี้

$$i = \frac{K}{(t_r + b)^d} \qquad (2\text{-}4)$$

ค่าคงที่ b ที่บวกหรือเพิ่มค่าช่วงเวลา t_r นี้ไม่ได้ทราบค่าล่วงหน้ามาก่อนจำเป็นต้องคำนวณหาด้วยการลองทายและตรวจสอบจนกว่าจะได้ค่าซึ่งให้เส้นกราฟที่พล๊อตใหม่มีลักษณะเป็นเส้นตรง ในช่วงพิกัดของช่วงเวลาของฝนที่กว้างตามต้องการพอสมควร จากนั้นก็คำนวณหาค่าความลาดชัน d ได้

ค่าสัมประสิทธิ์ K จะเป็นฟังก์ชั่นกับค่ารอบปีการเกิดซ้ำ T_r ค่าสัมประสิทธิ์นี้ยังทำการศึกษากันอยู่และในหนังสืออุทกวิทยาหลายเล่ม สมมุติความสัมพันธ์ระหว่างค่า K และ T_r ดังนี้

$$K = aT_r^c \qquad (2\text{-}5)$$

ในเมื่อ a และ c คือค่าคงที่ จากการแทนค่าจะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มและช่วงเวลาของฝนได้ดังนี้

$$i = \frac{aT_r^c}{(t_r + b)^d} \qquad (2\text{-}6)$$

ในที่นี้ค่าสัมประสิทธิ์หรือค่าคงที่ a, b, c และ d จะประมาณหาจากข้อมูลที่มีอยู่นั่นเอง

Abdur Rahman Bhuiyan (1982) ได้ทำการศึกษาต่อจากประวิทย์ (1980) โดยทำการวิเคราะห์กราฟความลึกน้ำฝน–ช่วงเวลา–รอบปีการเกิดซ้ำ สำหรับฝนช่วง 1, 2, และ 3 วัน ของสถานีต่างๆ ทั่วประเทศไทย การศึกษาได้ทำการตรวจสอบทฤษฎีการแจกแจงความถี่ (probability distribution functions) ที่เหมาะสมกับฝนสูงสุดในแต่ละช่วงเวลาดังกล่าว และสรุปว่าทฤษฎีของกัมเบล (Gumbel distribution) ให้ผลดีที่สุด Bhuiyan ได้เสนอผลการศึกษา ซึ่งได้แก่ พารามิเตอร์ a และ b ของฝนสูงสุดช่วงเวลา 1 วัน สมการกัมเบลที่ใช้โดย Bhuiyan คือ

$$X = b + ay \qquad (2\text{-}7)$$

ในเมื่อ X = ตัวแปรกัมเบล ซึ่งก็คือปริมาณฝนสูงสุดของแต่ละรอบปีการเกิดซ้ำ (T_r) ค่า $y = -\ln(-\ln(1-1/T_r))$ เรียกว่า reduced variate ของกัมเบล ส่วนค่า a และ b แสดงในรูปของพารามิเตอร์เดิมของกัมเบลได้ดังนี้คือ $a = 1/\alpha$ และ $b = \mu$ ดังนั้นจะเห็นว่าเมื่ออ่านค่า a และ b สำหรับช่วงเวลาที่กำหนดให้ได้จากกราฟที่พัฒนาโดย Bhuiyan ก็จะสามารถคำนวณค่าปริมาณฝนสูงสุด (X) สำหรับแต่ละค่าของรอบปีการเกิดซ้ำได้

2.4.6 ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไป (Probable Maximum Precipitation)

คำจำกัดความของปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้ (PMP) ก็คือ ความลึกของฝนที่มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณฝนสูงสุด (Upper limit) ที่บรรยากาศสามารถทำให้เกิดได้ถ้าสภาพทุกอย่างเอื้ออำนวยในการทำให้เกิดปริมาณมากที่สุดที่อาจเป็นไปได้เพื่อที่จะทำให้เข้าใจดียิ่งขึ้นเกี่ยวกับปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้ นักวิจัยบางท่านเสนอว่าค่ารอบปีการเกิดซ้ำของปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้นี้จะเป็นหมื่นๆ ปีขึ้นไปหรือมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นได้ยากมากนั่นเอง

การคำนวณปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้ในพื้นที่ที่ไม่ได้เป็นภูเขา (Non-mountainous regions) จะอาศัยหลักทฤษฎีมากที่สุด (Maximization) และการเคลื่อนย้ายพายุฝน (Storm transposition) ภายในย่านหรือแถบที่ลักษณะคล้ายคลึงกันในด้านอุตุนิยมวิทยา ส่วนบริเวณพื้นที่ที่เป็นหุบเขา (Mountainous regions) นั้นจะใช้หลักการเคลื่อนย้ายพายุฝนแบบธรรมดาไม่ได้ เพราะมีอิทธิพลจากลักษณะภูมิประเทศประจำท้องถิ่นอยู่ ซึ่งบริเวณดังกล่าวนี้จะใช้หลักทฤษฎีการจำลองการไหลของลม (Wind flow model) แทน ถึงอย่างไรก็ตาม การประมาณค่าปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้ทั้งสองกรณีนั้นจะอาศัยหลักการประมาณค่าไปทางด้านมาก (Envelopment) ของค่าปริมาณฝนสูงสุดที่คำนวณจากแต่ละพายุฝน ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้สำหรับลุ่มแม่น้ำโขง ซึ่งเป็นลุ่มแม่น้ำระหว่างชาติ ให้ดูรายละเอียดในเอกสารอ้างอิงของ U.S. Weather

Bureau and Corps of Engineer (1970). ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะทฤษฎีมากที่สุดและทฤษฎีการเคลื่อนย้ายพายุฝนพอสังเขปเท่านั้น

2.4.6.1 การทำพายุฝนมากสุด (Storm maximization)

โดยทั่วไปแล้ว กระบวนการที่ทำให้เกิดฝนในบรรยากาศนั้นจะไม่ทราบแน่นอนเพียงพอที่จะทำให้วิเคราะห์การทำพายุฝนมากที่สุด โดยใช้หลักทฤษฎีโดยตรงได้ อย่างไรก็ตาม อาจจะเป็นไปได้ที่จะตั้งข้อสมมุติฐานว่าพายุฝนที่เกิดขึ้นและเก็บข้อมูลได้นั้นอาจจะมีปริมาณเปลี่ยนไปถ้าสภาพแวดล้อมหรือตัวทำให้เกิดฝนมีสภาพเปลี่ยนแปลงไป ยกตัวอย่างเช่น กรณีฝนตกหนักที่เกิดจากการลอยตัวของมวลอากาศไปตามด้านหน้าของภูเขาซึ่งมีความลาดชันขนาดหนึ่ง ถ้าหากว่าพายุฝนลูกเดิมนี้ไปเกิดบริเวณด้านหน้าของภูเขาอื่นที่มีความลาดชันมากกว่า ก็อาจจะทำให้เกิดฝนตกมีปริมาณมากขึ้นหรือหนักขึ้นได้ ตัวอย่างต่อไปก็คือปริมาณน้ำท่วมที่เกิดจากฝนตกสองวันหลังจากที่แล้งมานาน อาจจะมากขึ้นถ้าพายุฝนลูกเดิมเกิดต่อจากพายุฝนลูกอื่น ซึ่งทำให้พื้นดินในลุ่มน้ำเปียกชุ่มก่อนแล้ว เป็นต้น ดังนั้น การปรับสภาพที่เอื้ออำนวยให้เกิดปริมาณฝนมากขึ้นหรือพายุฝนหนักขึ้น ตามข้อสมมุติฐานตัวอย่างดังกล่าวแล้วเรียกว่า การทำพายุฝนมากสุด

(1) การปรับปริมาณฝนมากสุดด้วยปริมาณความชื้น (Moisture maximization) การทำอายุฝนมากสุดที่นิยมกันคือ การปรับปริมาณฝนด้วยปริมาณความชื้นที่อาจจะมีมากสุดได้ในบรรยากาศ ข้อสมมุติฐานก็คือ สำหรับพายุฝนที่เกิดขึ้นหรือที่กำหนดปริมาณฝนอาจจะมากขั้นถ้าหากว่าความชื้นจำเพาะ (Specific humidity) ของมวลอากาศที่พัดพามาสูงขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ในอนาคต ดังนั้น การปรับปริมาณฝนมากสุดด้วยปริมาณความชื้นจะมีดรรชนี 2 ตัว คือ ดรรชนีความชื้นมากสุด (Maximum moisture index) และดรรชนีความชื้นพายุฝน (Storm moisture index) ดรรชนีความชื้นมากสุด คือปริมาณความชื้นสูงสุดในบรรยากาศที่คาดว่าจะเกิดขึ้นได้ในพายุฝนในแถบพื้นที่ที่พิจารณา ปกติจะใช้ค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างหรือความดันไอนั้นที่เคยเกิดขึ้นมากสุด ส่วนดรรชนีความชื้นพายุฝน คือปริมาณความชื้นที่อยู่ในขณะเกิดพายุฝนลูกที่พิจารณา ซึ่งปกติจะใช้ค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างของพายุฝนเป็นตัวดรรชนี

การปรับพายุฝนมากสุดในขั้นแรกก็คือ ใช้ค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างขณะเกิดพายุฝน และอุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุดไปประมาณหาค่าปริมาณน้ำฟ้าในบรรยากาศ (Precipitation water) ตลอดคอลัมน์ของขั้นบรรยากาศ การปรับค่า

มากสุดของความชื้นคือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำฟ้ามากสุดต่อปริมาณน้ำฟ้าขณะเกิดพายุฝน ยกตัวอย่าง เช่น ถ้าปริมาณน้ำฟ้ามากสุดที่อาจเกิดขึ้นได้มากกว่าปริมาณน้ำฟ้าขณะเกิดพายุฝนร้อยละ 25 ดังนั้น ปริมาณฝนที่เกิดจากพายุจะปรับให้มีค่ามากขึ้น โดยอัตรา 1.25 เท่า

(2) การปรับปริมาณฝนสูงสุดด้วยปริมาณน้ำฟ้าที่ทำการวัด สำหรับวิธีนี้ก็ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำฟ้ามากสุดต่อปริมาณน้ำฟ้าขณะเกิดพายุฝนเป็นดรรชนีการปรับ ต่างจากวิธีแรกก็เพียงแต่ว่าปริมาณน้ำฟ้าจะวัดโดยตรงจากชั้นบรรยากาศข้างบนด้วยวิธี Radio sound observations อย่างไรก็ตาม วิธีการวัดปริมาณน้ำฟ้าโดยตรงเช่นนี้ไม่เป็นที่นิยมเพราะเปลืองค่าใช้จ่ายมากในการเก็บข้อมูลที่ต้องการ

(3) การปรับปริมาณฝนสูงสุดด้วยความเร็วลม การใช้ความเร็วลมเป็นดรรชนีการปรับจะเหมาะสมในพื้นที่ที่เป็นภูเขา ข้อสมมุติฐานของการปรับด้วยวิธีนี้ คือ ถ้าความเร็วของกระแสลมที่พัดเข้าสู่หุบเขามีความแรงมากขึ้น การตกของฝนจะมากหรือรุนแรงขึ้นตามไปด้วย

(4) การปรับปริมาณฝนสูงสุดด้วยวิธีอื่น ดรรชนีหรือหลักการอื่นที่ใช้ในการปรับปริมาณฝนสูงสุดก็คือ (ก) อุณหภูมิที่ความสูง 10 กิโลเมตรจากพื้นดิน (ข) เวลาระหว่างการเกิดพายุฝนติดต่อกัน (sequential maximization) และ (ค) ระยะห่างของศูนย์กลางพายุฝน (spatial maximization)

การปรับด้วยเวลาระหว่างการเกิดพายุฝนติดต่อกันนั้นมีหลักการคือ ถ้ากำหนดให้พายุฝนสองลูกที่เกิดขึ้น มีระยะเวลาระหว่างการเกิดสั้นกว่าที่เกิดจริง ทำให้มีปริมาณฝนมากขึ้นหรือเกิดปริมาณน้ำท่วมมากขึ้น ในทำนองเดียวกันการปรับด้วยระยะห่างของศูนย์กลางพายุฝนคือ ถ้ากำหนดให้พายุฝนที่เกิดขึ้นสองแห่งหรือมากกว่ามาเกิดขึ้นพร้อมกันในลุ่มน้ำเดียวกัน ก็จะทำให้เกิดปริมาณฝนหรือปริมาณน้ำท่วมมากยิ่งขึ้น

2.4.6.2 การเคลื่อนย้ายพายุฝน (Storm Transposition)

การประมาณค่าปริมาณฝนสูงสุดที่อาจจะเป็นได้สำหรับลุ่มน้ำหนึ่งๆ นั้น จำเป็นต้องศึกษาจากข้อมูลหรือหลักฐานต่างๆ ที่เคยเกิดขึ้นให้มากที่สุด ซึ่งในบางครั้งข้อมูลหรือหลักฐานพายุฝนที่สำคัญอาจจะเกิดในบริเวณแถบหรือย่าน (Region) ของลุ่มน้ำโดยไม่ได้เกิดขึ้นโดยตรง ณ บริเวณ

ลุ่มน้ำที่ศึกษาได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในบริเวณลุ่มน้ำที่ศึกษา ซึ่งวิธีการนี้ก็คือ การเคลื่อนย้ายพายุฝนนั้นเอง

การเคลื่อนย้ายพายุฝนอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ (1) การเคลื่อนย้ายโดยตรง (Direct transposition) กล่าวคือ นำพายุฝนมาใช้ได้โดยตรงในบริเวณใดก็ได้โดยไม่ต้องมีการปรับแต่อย่างใด และ (2) การเคลื่อนย้ายด้วยการปรับ (Transposition with adjustment)

- ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายพายุฝนมีดังต่อไปนี้
  (1) การกำหนดตำแหน่งและเวลา ในขั้นตอนนี้ก็คือ การกำหนดให้เด่นชัดถึงเวลาและสถานที่ที่เกิดปริมาณฝนมากสุดในบริเวณที่เกิดพายุฝน การศึกษานี้จะใช้หลักการทำแผนที่เส้นชั้นน้ำฝนและกราฟปริมาณฝนสะสมบริเวณศูนย์กลางพายุฝน เป็นแนวพิจารณา
  (2) สาเหตุของการเกิดพายุฝน จากการพิจารณาตำแหน่งและเวลาการเกิดพายุฝนในขั้นตอนที่สองคือ ศึกษาเพื่อบ่งชี้ถึงสาเหตุของการเกิดพายุฝน โดยศึกษาจากแผนที่อากาศของโลก ยกตัวอย่างเช่น ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้พายุใต้ฝุ่นจะเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดฝนตกหนักอย่างไรก็ตามรอบๆ บริเวณอ่าวเบ่งกอลพายุหมุนโซนร้อนที่เบาบางกว่าจะเป็นตัวทำให้เกิดฝนที่สำคัญ ในแถบหุบเขาที่กั้นทางเดินของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ถ้าหุบเขามีความลาดชันมากและกระแสลมมรสุมแรงก็จะเกิดฝนตกหนัก เป็นต้น
  (3) แถบพื้นที่ที่ตกอยู่ภายใต้อิทธิพลของพายุฝน ในขั้นตอนนี้ก็คือ การสำรวจจากแผนที่อากาศต่างๆ และรายงานพายุฝนที่สำคัญ เพื่อระบุลงไปในแผนที่ตำแหน่งพื้นที่ที่ตกอยู่ภายใต้อิทธิพลของพายุฝนที่ระบุไว้ในขั้นตอนที่สอง
  (4) อิทธิพลท้องถิ่นต่อพายุฝน ในขั้นตอนนี้เป็นการพิจารณารายละเอียดสาเหตุของการเกิดฝนด้วยการพิจารณาลักษณะพื้นที่ภูมิประเทศ และตำแหน่งโดยทั่วๆ ไป เพื่อกำหนดขอบเขตของการเคลื่อนย้ายพายุฝน ขอบเขตดังกล่าวจะเป็นบริเวณซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายพายุฝนได้โดยมีการปรับเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยพิจารณาทั้งชนิดของพายุฝนและอิทธิพลของสภาพท้องถิ่น อาทิ เช่น ภูเขา ต่อการเกิดฝน
  (5) การปรับการเคลื่อนย้ายพายุฝน ในการเคลื่อนย้ายพายุฝน จะมีการปรับมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์หลายอย่างด้วยกัน ซึ่งหลักการต่างๆ พิจารณาได้ดังนี้

(ก) การปรับด้วยปริมาณความชื้น จะใช้อุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุดทั้งบริเวณที่เกิดพายุฝน (Storm area) และบริเวณที่จะเคลื่อนย้ายพายุฝนไป (Transposed area) เมื่อทราบค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุดทั้งสองบริเวณก็ทำการเปลี่ยนให้เป็นค่าปริมาณน้ำฟ้าสูงสุด (W_p) ทั้งสองบริเวณวิธีการเปลี่ยนโดยละเอียดให้ศึกษาจากหลักอุทกวิทยา ซึ่งแต่งโดยผู้เขียนเช่นเดียวกัน ดังนั้น ดรรชนีการปรับความชื้นจากการเคลื่อนย้ายพายุฝนก็คือ อัตราส่วนระหว่างปริมารน้ำฟ้าสูงสุดทั้งสองค่าที่กล่าวแล้วการรวมการปรับทั้งค่ามากสุดและการเคลื่อนย้าย

(ข) การรวมการปรับทั้งค่ามากสุดและการเคลื่อนย้าย

ดรรชนีการปรับความชื้นปริมาณฝนมากสุด (Moisture maximization ratio)

$$= \frac{\text{ปริมาณน้ำฟ้ามากสุดบริเวณเกิดพายุฝน}}{\text{ปริมาณน้ำฟ้าขณะเกิดพายุฝน}}$$

ดรรชนีการปรับความชื้นจากการเคลื่อนย้ายพายุฝน (Transposition adjustment for moisture)

$$= \frac{\text{ปริมาณน้ำฟ้ามากสุดบริเวณพื้นที่ที่จะเคลื่อนย้ายไป}}{\text{ปริมาณน้ำฟ้ามากสุดบริเวณเกิดพายุฝน}}$$

ดังนั้น การรวมการปรับทั้งค่ามากสุดและการเคลื่อนย้าย ก็คือ การคูณดรรชนีทั้งสองค่าเข้าด้วยกัน ซึ่งจะได้ค่าดรรชนีการปรับรวม (Combined adjustment) ดังนี้

$$\text{ดรรชนีการปรับรวมด้วยความชื้น} = \frac{\text{ปริมาณน้ำฟ้ามากสุดบริเวณพื้นที่ที่จะเคลื่อนย้ายไป}}{\text{ปริมาณน้ำฟ้าขณะเกิดพายุฝน}}$$

(ค) การปรับด้วยดรรชนีกีดขวาง (Barrier adjustment) สิ่งกีดขวางในที่นี้ก็คือ หุบเขาหรือภูเขาที่อยู่ระหว่างบริเวณพื้นที่ที่เกิดพายุฝนและบริเวณพื้นที่ที่จะเคลื่อนย้ายพายุฝนไป

(ง) การปรับด้วยดรรชนีความลาดชัน (Slope adjustment) ถ้าบริเวณที่เกิดพายุฝนและบริเวณที่จะเคลื่อนย้ายพายุฝนไป มีความลาดชันทางด้านหน้าเขาหรือทางด้านรับลมไม่เท่ากัน ก็จำเป็นต้องปรับด้วยพรรชนีความลาดชัน

(จ) การปรับด้วยดรรชนีฤดูกาล (Season adjustment) การปรับด้วยดรรชนีฤดูกาลนี้จะถูกจำกัดในช่วงเวลาซึ่งสั้นมากประมาณไม่กี่สัปดาห์เท่านั้น เพราะในท้องถิ่นบางแห่ง ถ้าฤดูกาลต่างกัน ชนิดของพายุฝนที่มีอิทธิพลต่อปริมาณฝนอาจจะต่างกันได้

2.5 การวิเคราะห์น้ำท่วมด้วยหลักความถี่ของการเกิด (Flood Frequency Analysis)

การออกแบบอาคารชลศาสตร์และอาคารชลประทานที่เกี่ยวข้องกับขนาดของน้ำท่วมนั้น คิดขนาดของน้ำท่วมเปรียบเทียนเป็นรอบปีการเกิดซ้ำ ดังนั้น การวิเคราะห์น้ำท่วมหรือน้ำนองจึงต้องอาศัยหลักสถิติ การวิเคราะห์น้ำท่วมและรวมทั้งกรณีวิเคราะห์ข้อมูลเพียงสถานีเดียวและการวิเคราะห์ข้อมูลหลายสถานีทั้งลุ่มน้ำ ซึ่งเรียกว่า Regional flood frequency analysis

2.5.1 กราฟความถี่และกราฟแจกแจงความถี่ (Frequency Graph and Frequency Distribution Graph)

2.5.1.1 ความหมายกราฟความถี่และกราฟแจกแจงความถี่

สมมุติว่ามีตัวอย่าง (Sample) ประกอบด้วย N ค่าหรือ N ตัวของ X_i , i = 1 ,....., 3 , 2 , N และมี n_j ค่าของ X_j ซึ่งผลรวมของ n_j จะเท่ากับ N ค่าของ n_j เหล่านี้เรียกว่าความถี่สมบูรณ์ (Absolute frequency) ของ X_j นั่นเอง อัตราส่วน $f_j = \frac{n_j}{N}$ เรียกว่าความถี่สัมพัทธ์ (Relative frequency) ของ X_j กราฟที่แสดงการแพร่กระจายหรือการแจกแจง (Distribution) ของความถี่สมบูรณ์และความถี่สัมพัทธ์ เรียกว่า กราฟความถี่สมบูรณ์และกราฟความถี่สัมพัทธ์ตามลำดับ

ผลบวกของ n_j มีค่าเท่ากับ N และผลรวมของความถี่สัมพัทธ์ (f_j) จะเท่ากับ 1.0 คำว่าความถี่สะสมสมบูรณ์ (Absolute cumulative frequency) หรือ N_j ของ X_j ก็คือ

$$N_j = \sum_{i=1}^{j} n_j \qquad n_i \tag{2-8}$$

และความถี่สะสมสัมพัทธ์ (Relative Cumulative frequency) หรือ F_j ของ X_j ก็คือ

$$F_j = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{j} \quad ; \quad n_j = \sum_{i=1}^{j} f_i \tag{2-9}$$

โดยทั่วไปแล้วกราฟแสดงความถี่สะสมจะเรียกว่ากราฟแจกแจงความถี่ (Frequency distribution) ซึ่งก็คือการจัดเรียงอันดับของค่าต่างๆ ตามขนาดหรือความมากน้อยนั่นเอง ค่าของ F_j

ซึ่งเท่ากับ P ($X \leq X_j$) นั่นหมายถึงความเป็นไปได้หรือโอกาสที่ค่าของ X ใดๆ จะน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า X_j มีเท่าใดหรือมีกี่เปอร์เซ็นต์

2.5.2 รูปร่างกราฟความถี่ (Shape of Frequency Graph)

รูปร่างลักษณะของกราฟความถี่ของตัวแปร X มีได้หลายลักษณะด้วยกัน พอสรุปได้ดังนี้

(1) Uniform หรือ Rectangular Distribution รูปร่างของกราฟความถี่ชนิดนี้ไม่พบในวิชาอุทกวิทยา

(2) Triangular Distribution รูปร่างของกราฟความถี่ชนิดนี้ไม่ค่อยพบในวิชา อุทกวิทยา

(3) Bell-Shaper Distribution มีรูปร่างคล้ายระฆังคว่ำ ซึ่งจะพบมากในวิชา Natural sciences ซึ่งรวมทั้งวิชาอุทกวิทยา

(4) J-Shaped Distribution รูปร่างกราฟความถี่ชนิดนี้แสดงถึงลักษณะ high skew และพบมากในวิชาอุทกวิทยา

(5) U-Shaped Distribution รูปร่างกราฟความถี่ชนิดนี้ไม่ค่อยพบในวิชาอุทกวิทยา

อย่างไรก็ตามชนิดของกราฟความถี่หรือการแจกแจงความถี่ อาจแบ่งได้เป็นสองลักษณะใหญ่ๆ คือ

(1) Symmetrical Distribution ซึ่งจะมีรูปร่างแบบคล้ายคลึงกันหรือ Symmetry ยกตัวอย่างเช่น Normal distribution เป็นต้น

(2) Skew Distribution ซึ่งจะมีรูปร่างเป็นแบบไม่คล้ายคลึงกันหรือ Asymmetry และยังแบ่งออกได้เป็น Right หรือ Positive skew คือบิดไปทางด้านขวา และ Left หรือ Negative skew คือบิดไปทางด้านซ้าย ส่วนมากข้อมูลทางอุทกวิทยาจะมีลักษณะเป็นแบบบิดไปทางด้านขวาหรือ right-skewed curve

2.5.3 เครื่องหมายแสดงลักษณะการแจกแจงความถี่ (Descriptors of Distribution)

เครื่องหมายหรือสิ่งแสดงรูปร่างลักษณะของการแจกแจงความถี่ แบ่งออกได้เป็น 4 ลักษณะด้วยกันคือ

1. เครื่องหมายหรือสิ่งแสดงแนวโน้มสู่ศูนย์กลาง (Descriptors for central tendency) หรือเป็นเครื่องหมายซึ่งจะมีค่าอื่นๆ มารวมกันอยู่เป็นกลุ่มก้อน
2. เครื่องหมายวัดการแพร่กระจาย (Descriptors for dispersion) หรือการแผ่ (Spread) ของตัวแปร (ซึ่งมีความหมายตรงกันข้ามกับ Concentration) รอบๆ ค่าตัวกลาง (Central values)

3. เครื่องหมายวัดความไม่คล้ายคลึงกันของกราฟความถี่ของตัวแปร ซึ่งเรียกว่า Descriptor for asymmetry หรือ Skewness
4. เครื่องหมายแสดงดีกรีความราบแบนของกราฟความถี่ของตัวแปร ซึ่งเรียกว่า descriptor for flatness ส่วนมากความราบแบนหรือในทางตรงกันข้ามความมียอดสูง (Peakness) จะเทียบกับค่าของ normal distribution เป็นหลัก

2.5.4 เครื่องหมายแสดงแนวโน้มสู่ศูนย์กลาง

เครื่องหมายหรือดรรชนีชนิดนี้จะแสดงค่าเฉลี่ยหรือค่ากลาง ซึ่งค่าอื่นๆ ของตัวอย่างจะจับกลุ่มอยู่รอบๆ ค่าเฉลี่ยหรือค่ากลางนี้อาจจะแบ่งออกได้หลายอย่าง เช่น ค่าเฉลี่ยคณิตศาสตร์ (Arithmetic mean) ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric mean) ค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิก (Harmonic mean) ค่ามีเดียน (Median) และค่าโมด (Mode) เป็นต้น

1. ค่าเฉลี่ยคณิตศาสตร์ เป็นค่าเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายๆ บางครั้งเรียกย่อๆ ว่า mean ซึ่งคำนวณจากสูตรดังนี้

$$\overline{X} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{j} X_i \qquad (2\text{-}10)$$

ในที่นี้ N คือขนาดของตัวอย่าง (Sample size)

2. ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตคำนวณได้จากสูตร

$$\overline{X}_g = (X_1.X_2.X_3.....X_N)^{\frac{1}{N}} \qquad (2\text{-}11)$$

จากการ take log ทั้งสองข้างของสมการ (2-11) จะได้สูตร

$$\log \overline{X_g} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \log X_i \qquad (2\text{-}12)$$

ดังนั้นค่าเฉลี่ยเรขาคณิตก็คือค่าเฉลี่ยคณิตศาสตร์ของล๊อกการิซึมของ $\mathbf{X_i}$ นั่นเอง

3. ค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิก ค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิก คำนวณได้จากสูตร

$$\overline{X}_h = \frac{N}{\frac{1}{X_1}+\frac{1}{X_2}+\frac{1}{X_3}+.....+\frac{1}{X_N}} \qquad (2\text{-}13)$$

จากรูปสมการดังกล่าวจะเห็นว่าค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิก ก็คือส่วนกลับของค่าเฉลี่ยคณิตศาสตร์ของส่วนกลับของ X_i นั่นเอง

4. ค่าเฉลี่ยคอดราติก (ouadratic mean) ค่าเฉลี่ยนี้คำนวณได้สูตร

$$\overline{X}_q = [\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_i^2]^{\frac{1}{2}} \qquad (2\text{-}14)$$

5. ค่ามีเดียน (Median) นอกจากค่าเฉลี่ยชนิดต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ค่าตัวกลางในวิชาอุทกวิทยาที่นิยมใช้ก็คือ มีเดียนและโมด สำหรับมีเดียนคือค่ากลางของ series ซึ่งจัดเรียงอันดับตามขนาดใหญ่เล็กแล้ว จะเห็นว่าจำนวนของ X_i ที่มีค่าน้อยกว่ามีเดียนจะเท่ากับจำนวนของ X_i ที่มีค่ามากกว่ามีเดียน
6. ค่าโมด (Mode) คือค่ากลางที่มีความถี่สูงสุด ซึ่งได้แก่ค่าของ X_j ที่มีค่า f_j มากที่สุด

พอสรุปได้ว่าเครื่องหมายที่ใช้แสดงค่าเฉลี่ยหรือค่ากลางนั้นมีหลายอย่างด้วยกัน นิยมใช้ค่าเฉลี่ยคณิตศาสตร์ มีเดียน และโมด กันมาก ในบางครั้งจะมีการอภิปรายหรือถกเถียงกันว่าจะใช้ค่าใดแสดงเป็นตัวกลางในระหว่างสามค่าเฉลี่ยดังกล่าว ในกรณีที่การแจกแจงความถี่ของ X เป็นแบบ คล้ายคลึงกันหรือ symmetry ทั้งค่าเฉลี่ยคณิตศาสตร์ ค่ามีเดียน และค่าโมดจะมีค่าเท่ากันหมด โดยทั่วไปและจากการวิเคราะห์แฟคเตอร์หลายๆ อย่าง ค่าเฉลี่ยคณิตศาสตร์จะเป็นเครื่องหมายแสดงค่าตัวกลางที่ดีที่สุด อย่างไรก็ตามสำหรับตัวอย่างขนาดเล็ก (small sample) นั้น การใช้ค่ามีเดียนในทางอุทกวิทยาอาจจะดีกว่าเพราะค่าเฉลี่ยคณิตศาสตร์อาจจะถูกกระทบกระเทือนจากค่าสูงสุดหรือต่ำสุด (extremes) ที่เกิดขึ้นในตัวอย่างมากกว่า

2.5.5 เครื่องหมายวัดการแพร่กระจาย

เครื่องหมายดังกล่าวนี้เป็นดรรชนีที่แสดงค่ากระจายออกไปจากค่ากลางหรือค่าเฉลี่ยหรือเป็นตัวแสดงให้ทราบว่าค่าอื่นๆ จะกระจายผิดแผกไปจากค่ากลางมากน้อยเพียงใด เครื่องหมายชนิดนี้มีหลายอย่างด้วยกันที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

1. ค่าพิกัด (range) พิกัดในที่นี้คือช่วงของค่าระหว่างสูงสุดและต่ำสุด คำนวณได้จากสูตร

$$R = X_{max} - X_{min} \qquad (2\text{-}15)$$

ในเมื่อ R คือพิกัด X_{max} คือค่าสูงสุดในตัวอย่าง และ X_{min} คือค่าต่ำสุดในตัวอย่าง

2. ค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนสมบูรณ์ (Mean absolute deviation) เป็นค่าเฉลี่ยของ absolute value ของผลต่างของค่า X จากค่าเฉลี่ยคณิตศาสตร์แสดงด้วยสูตรต่อไปนี้

$$D = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|X_i - \overline{X}\right| \qquad (2\text{-}16)$$

ในเมื่อ $\overline{X}$ คือค่าเฉลี่ยคณิตศาสตร์ และ N คือ sample size

3. ค่าวาเรียนซ์ (Variance) การหาค่าวาเรียนซ์ของตัวอย่างที่กำหนดให้ใดๆ คำนวณได้จากสูตร

$$S^2 = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}\left(X_i - \overline{X}\right)^2 \qquad (2\text{-}17)$$

4. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) เป็นค่ารากกำลังสองของค่าวาเรียนซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นเครื่องหมายแสดงการแพร่กระจายที่นิยมใช้กันมากที่สุดและมีหน่วยเช่นเดียวกับหน่วยของ X คำนวณได้จากสูตร

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(X_i - \overline{X})^2} \qquad (2\text{-}18)$$

5. สัมประสิทธิ์การแปร (Coefficient of variation) ค่าสัมประสิทธิ์การแปรก็คืออัตราส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าเฉลี่ยคณิตศาสตร์

$$C_V = \frac{S}{\overline{X}} \qquad (2\text{-}19)$$

จากสูตรจะเห็นว่าค่าของสัมประสิทธิ์ตัวแปรจะไม่มีหน่วย

เครื่องหมายวัดการแพร่กระจายที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานรองลงมาคือค่าวาเรียนซ์และค่าสัมประสิทธิ์การแปร

2.5.6 เครื่องหมายวัดความไม่คล้ายคลึงหรือความบิดเบี้ยว

เครื่องหมายดังกล่าวนี้จะแสดงความไม่คล้ายคลึง (Asymmetry) หรือความบิดเบี้ยว (Skewness) ของการแจกแจงความถี่ เครื่องหมายเหล่านี้มีหลายอย่างเช่นเดียวกันแต่ที่นิยมใช้กันแพร่หลายก็คือ สัมประสิทธิ์ความบิดเบี้ยว (Skew coefficient)

$$C_S = \frac{N\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(X_i - \overline{X})^3}{(N-1)(N-2)(S^3)} \qquad (2\text{-}20)$$

ในเมื่อ $\overline{X}$ และ S คือค่าเฉลี่ยคณิตศาสตร์ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์ความบิดเบี้ยวจะไม่มีหน่วย

2.5.7 เครื่องหมายแสดงความราบแบน

เครื่องหมายชนิดนี้จะแสดงความราบแบน หรือความมียอดสูงของการแจกแจงความถี่ของ X ที่นิยมใช้กันมากที่สุดเรียกว่าสัมประสิทธิ์เคอร์โตซีส (Kurtosis coefficient) ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$C_k = \frac{N(N-1)\sum_{i=1}^{N}(X_i - \overline{X})^4}{(N-2)(N-3)(S^4)} \qquad (2\text{-}21)$$

ในเมื่อ $\overline{X}$ และ S คือค่าเฉลี่ยคณิตศาสตร์และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์เคอร์โตซีสนี้ไม่มีหน่วย

2.6 การวิเคราะห์ทฤษฎีความเป็นไปได้ (Probability Analysis)

วิธีการที่จะเลือกทฤษฎีความเป็นไปได้ (Probability distribution) ต่างๆ ว่าจะเหมาะสมกับตัวแปรน้ำท่วม เรียกว่า การวิเคราะห์ทฤษฎีความเป็นไปได้ หลักการที่สำคัญแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนด้วยกันคือ

(1) สมมุติชนิดของทฤษฎีความเป็นไปได้ต่างๆ ที่คิดว่าจะเหมาะสมกับการแจกแจงความถี่ของตัวแปรน้ำท่วมที่มีข้อมูลอยู่ การสมมุติหรือการเลือกชนิดของทฤษฎีความเป็นไปได้นี้จะอาศัยจากประสบการณ์หรือจากผลการศึกษาที่กระทำกันอยู่อย่างมากมายแล้ว

(2) ทำการประมาณหาค่าพารามิเตอร์ของทฤษฎีความเป็นไปได้ที่สมมุติขึ้นต่างๆ นั้น ด้วยการคำนวณทางสถิติจากข้อมูลที่มีอยู่ วิธีการประมาณหาค่าพารามิเตอร์นี้ในวิชาหลักสถิติมีหลายวิธีด้วยกัน แต่ที่นิยมกันก็คือ วิธีการโมเมนต์ (Moment method) และวิธีความน่าเป็นได้สูงสุด (Maximum likelihood method)

(3) เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์ของทฤษฎีความเป็นไปได้แล้วก็สามารถนำไปหาค่าขนาดน้ำท่วมที่มีเปอร์เซ็นต์ของการเกิดเฉลี่ยต่างๆ กัน หรือมีรอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ กันได้ ซึ่งจะนำไปเปรียบเทียบหรือตรวจสอบดูว่าทฤษฎีความเป็นไปได้ที่เลือกหรือสมมุติขึ้นเหมาะสมกับข้อมูลน้ำท่วมในแง่ของสถิติหรือไม่ วิธีการตรวจสอบที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ วิธีการ Chi-square test และวิธีการ Kolmogorov-Smirnov test ซึ่งรายละเอียดมีในหนังสือเกี่ยวกับวิชาสถิติทั่วๆ ไป และจะไม่ขอกล่าวในที่นี้

(4) เมื่อทำการตรวจสอบดูแล้วเห็นว่าทฤษฎีความเป็นไปได้ดังกล่าวไม่เหมาะสมด้วยหลักการตรวจสอบทางสถิติก็จะเปลี่ยนทฤษฎีความเป็นไปได้ใหม่ แล้วทำตามขั้นตอนตั้งแต่เริ่มแรกต่อไปจนกว่าจะได้ทฤษฎีความเป็นไปได้ที่เหมาะสมมากที่สุดในเชิงสถิติ

2.7 ทฤษฎีล๊อกเพียร์ซันประเภทสาม (Log-Pearson Type III Distribution)

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วคณะกรรมการ U.S. Water Resources Council ได้ทำการทบทวนเกี่ยวกับการเลือกทฤษฎีความเป็นไปได้ที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์น้ำท่วมด้วยการใช้ข้อมูลอนุกรมน้ำท่วมสูงสุดรายปี ในประเทศสหรัฐอเมริกา และได้สรุปผลว่าทฤษฎีที่เหมาะสมเด่นชัดที่สุดนั้นสรุปได้ยาก อย่างไรก็ตามคณะกรรมการดังกล่าวได้แนะนำให้ยึดถือเอาทฤษฎีล๊อกเพียร์ซันประเภทสามเป็นทฤษฎีแจกแจงความถี่มาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ขนาดน้ำท่วมด้วยหลักสถิติการเกิด

รายละเอียดคุณสมบัติทางด้านสถิติของทฤษฎีล๊อกเพียร์ซันประเภทสาม เป็นการประมาณหาค่าพารามิเตอร์ทั้งวิธีโมเมนต์และวิธีความน่าเป็นได้สูงสุดนั้นกระทำได้ยาก เพราะต้องใช้วิธีการที่เรียกว่าการทำซ้ำ (Iteration Method) ซึ่งจะพบปัญหาเกี่ยวกับการไม่ Converge ถึงคำตอบเสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสถานีที่มีข้อมูลสั้น

ในที่นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีล๊อกเพียร์ซันประเภทสาม และการประมาณหาค่าพารามิเตอร์ซึ่งแนะนำโดย U.S. Water Resources Council ทฤษฎีล๊อกเพียร์ซันประเภทสามมี 3 พารามิเตอร์ด้วยกันคือ log mean , log standard deviation และ log skew coefficient พารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านี้จะประมาณหาจากข้อมูลอนุกรมน้ำท่วมสูงสุดรายปีที่มีอยู่ วิธีการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีการแจกแจงความถี่นี้ใช้หลักเปลี่ยนจากข้อมูลเดิมเป็นค่าล๊อกการิธึมของข้อมูล ซึ่งเรียกว่า log transformed data นั่นคือ แต่ละค่าของข้อมูลน้ำท่วมสูงสุดรายปี Q_i จะเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของ $\log Q_i$ และการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\text{Log Mean} = \overline{\log Q} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \log Q_i}{N} \qquad (2\text{-}22)$$

$$\text{Log Standard Deviation} = S_{\log Q} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} [\log Q_i - \overline{\log Q}]^2}{N-1}} \qquad (2\text{-}23)$$

$$\text{Log Shew Coefficient} = G_{\log Q} = \frac{N \sum_{i=1}^{N} [\log Q_i - \overline{\log Q}]^3}{(N-1)(N-2)(S_{\log Q})^3} \qquad (2\text{-}24)$$

เมื่อคำนวณค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แล้ว ก็คำนวณขนาดของน้ำท่วม Q_{T_r} ที่มีรอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย T_r ปี ได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\text{Log } Q_{T_r} = \overline{\log Q} + K_{T_r}(S_{\log Q}) \qquad (2\text{-}25)$$

ในเมื่อ K_{T_r} เป็นค่าแฟคเตอร์เรียกว่า Skew curve factor สำหรับแต่ละรอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย T_r กล่าวคือค่า K_{T_r} จะขึ้นอยู่กับค่า $G_{\log Q}$ และค่า T_r ซึ่งจะหาค่าได้จากตารางที่ 2-1 และเมื่อคำนวณค่า $\log Q_{T_r}$ ได้แล้วก็ใช้แอนตี้ล๊อกคำนวณค่า Q_{T_r} ได้ สำหรับเทอม log นี้เป็นล๊อกการิซึมที่มีฐาน 10

ตารางที่ 2-1 ค่า SKEW CURVE FACTOR สำหรับใช้กับทฤษฎีล๊อกเพียร์ซันประเภทสาม

Coefficient of Skew	**Recurrence Interval in Years**							
	2	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	**200**	**1000**
(G)	**50**	**20**	**10**	**4**	**2**	**1**	**0.5**	**0.1**
.0	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970	7.250
2.5	-0.360	0.518	1.250	2.282	3.048	3.845	4.652	6.600
2.2	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.444	6.200
2.0	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298	5.910
1.8	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147	5.660
1.6	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990	5.390
1.4	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828	5.110
1.2	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661	4.820
1.0	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489	4.540
.9	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401	4.395
.8	-0.132	0.780	1.336	1.998	2.453	2.891	3.312	4.250
.7	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223	4.105
.6	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132	3.960
.5	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041	3.815
.4	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949	3.670
.3	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856	3.525
.2	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763	3.380
.1	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670	3.235
0	0	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576	3.090
-.1	0.017	0.836	1.270	1.716	2.000	2.252	2.482	2.950
-.2	0.033	0.850	1.258	1.680	1.945	2.178	2.388	2.810
-.3	0.050	0.853	1.245	1.643	1.890	2.104	2.294	2.675
-.4	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201	2.540

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

Coefficient of Skew (G)	Recurrence Interval in Years 2	5	10	25	50	100	200	1000
	50	20	10	4	2	1	0.5	0.1
-.5	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108	2.400
-.6	0.099	0.875	1.200	1.528	1.720	1.880	2.016	2.275
-.7	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926	2.150
-.8	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733	1.837	2.035
-.9	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.660	1.749	1.910
-1.0	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664	1.800
-1.2	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501	1.625
-1.4	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318	1.351	1.465
-1.6	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197	1.216	1.280
-1.8	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087	1.097	1.130
-2.0	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990	0.995	1.000
-2.2	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905	0.907	0.910
-2.5	0.360	0.711	0.771	0.793	0.798	0.799	0.800	0.802
-3.0	0.396	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667	0.667	0.668

❖ สรุปแล้วขั้นตอนการวิเคราะห์น้ำท่วมด้วยหลักสถิติการเกิดโดยการใช้ทฤษฎีล๊อกเพียร์ซันประเภทสาม มีดังนี้

(1) จากข้อมูลอนุกรมน้ำท่วมสูงสุดรายปีที่กำหนด คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ $\overline{\log Q}$, $S_{\log Q}$ และ $G_{\log Q}$

(2) จากตาราง skew curve factor (ตารางที่ 2-1) และค่าของ $G_{\log Q}$ คำนวณหา ค่า K_{T_r} สำหรับแต่ละค่าของรอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย (T_r) ที่กำหนดได้

(3) คำนวณหาค่า $\text{Log}\, Q_{T_r}$ จากสมการ(2-25) และจากการทำแอนตี้ล๊อกก็คำนวณหาค่า Q_{T_r} สำหรับค่า T_r ต่างๆ กันได้

(4) พล๊อตค่าทั้งหมดของ Q_{T_r} และ T_r ในกระดาษ log probability graph ที่ทำขึ้นสำหรับทฤษฎีล๊อกเพียร์ซันประเภทสามโดยเฉพาะ นอกจากนั้นยังอาจพล๊อตความสัมพันธ์ระหว่าง Q_{T_r} และ probability ของการเกิด P_{T_r} ได้ ซึ่งค่า P_{T_r} จะเท่ากับส่วนกลับของ T_r ซึ่งมีความหมายว่าโอกาสที่น้ำท่วมในอนาคตจะเกิดขึ้นมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่า Q_{T_r} นั้นเท่ากับ P_{T_r} หรือ 100 P_{T_r} เปอร์เซ็นต์

2.8 ทฤษฎีกัมเบล (GUMBEL DISTRIBUTION)

ทฤษฎีกัมเบลเป็นวิธีการที่น่าสนใจและเหมาะสำหรับการวิเคราะห์น้ำท่วมด้วยหลักสถิติการเกิดในลำน้ำของประเทศไทย โดยทั่วๆ ไปแล้วข้อมูลสถิติน้ำท่วมสูงสุดรายปีของสถานีต่างๆ มีไม่ยาวนัก การใช้ทฤษฎีการแจกแจงความถี่ที่มีพารามิเตอร์ 2 ตัวจะให้ผลดีกว่าหรือมีโอกาสผิดพลาดได้น้อยกว่าทฤษฎีการแจกแจงความถี่ที่มีพารามิเตอร์มากกว่า 2 ตัวขึ้นไป การประมาณหาค่าพารามิเตอร์ของทฤษฎีกัมเบลทำได้ไม่ยากนัก ทั้งวิธีโมเมนต์และวิธีความน่าเป็นได้สูงสุด รายละเอียดเกี่ยวกับทฤษฎีกัมเบลได้แสดงไว้แล้วเป็นอย่างดีในเอกสารอ้างอิง 3 ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานและจะกล่าวถึงเฉพาะหลักการง่ายๆ เพื่อเป็นการเข้าใจสำหรับผู้ที่มีพื้นความรู้ทางสถิติน้อย

2.8.1 การคำนวณด้วยวิธีโมเมนต์

สมการทั่วไปของทฤษฎีกัมเบลหรือเรียกว่า การแจกแจงความถี่กัมเบล (Gumbel distribution) ก็คือ

$$\mathrm{P}(Q \le q) = e^{-e^{-(\frac{Q-u}{\alpha})}} \qquad (2\text{-}26)$$

กำหนดให้ $y = \dfrac{Q-u}{\alpha}$ ซึ่งเรียกกันทั่วๆ ไปว่า Gumbel reduced variate และแทนค่าในสมการ (2-26) จะได้สมการทฤษฎีกัมเบลดังนี้

$$\mathrm{P}(Q \le q) = e^{-e^{-y}} \qquad (2\text{-}27)$$

และจากหลักสถิติทั่วไปจะได้สมการของ $\mathrm{P}(Q \le q)$ ในเทอมของ T_r ดังนี้

$$\mathrm{P}(Q \le q) = 1 - \frac{1}{T_r} \qquad (2\text{-}28)$$

จากสมการ (2-27) และ (2-28) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกัมเบลรีดิ้วแวเรียท y และรอบปีการเกิดซ้ำ T_r ดังนี้

$$e^{-e^{-y}} = 1 - \frac{1}{T_r} \qquad (2\text{-}29)$$

ด้วยการทำเป็นล๊อกการิซึม (take log) ทั้งสองข้างของสมการ (2-29) จะได้

$$e^{-e} = -\ln\left(1 - \frac{1}{T_r}\right) \qquad (2\text{-}30)$$

และจากการทำเป็นล๊อกการิซึมทั้งสองข้างของสมการ (2-30) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง y และ T_r อีกแบบหนึ่งดังนี้

$$y = -\ln [-\ln (1-\frac{1}{T_r})] \quad (2\text{-}31)$$

เมื่อแทนค่า $y = \frac{Q-u}{\alpha}$ ในสมการ (2-38) และจัดรูปฟอร์มเสียใหม่จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดน้ำท่วม Q_{T_r} (ค่า Q เดิม) และรอบปีการเกิดซ้ำ T_r ดังนี้

$$Q_{T_r} = U - \alpha \ln [-\ln (1-\frac{1}{T_r})] \quad (2\text{-}32)$$

สัมประสิทธิ์ U และ α ก็คือพารามิเตอร์ของทฤษฎีกัมเบล ค่า U เรียกว่าค่าโมด สำหรับค่า U และ α คำนวณหาจากสมการดังนี้

$$\alpha = \sqrt{\frac{6}{\pi}} S_Q = 0.7797 \ S_Q \quad (2\text{-}33)$$

$$U = \overline{Q} - 0.577 \alpha = \overline{Q} - 0.45 \ S_Q \quad (2\text{-}34)$$

ซึ่ง $\overline{Q}$ และ S_Q ก็คือค่าเฉลี่ยคณิตศาสตร์ (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของตัวแปรน้ำท่วม Q นั่นเอง จากการแทนค่า U และ α ในสมการ (2-34) จะได้

$$Q_{T_r} = \overline{Q} - 0.45 \ S_Q - 0.7797 \ S_Q \ \ln [-\ln (1-\frac{1}{T_r})] \quad (2\text{-}35)$$

สมการ (2-35) ใช้ในการคำนวณขนาดน้ำท่วม Q_{T_r} ที่มีรอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ยเท่ากับ T_r เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์ U และ α หรือเมื่อทราบค่าโมเมนต์ในรูปของ $\overline{Q}$ และ S_Q ตามต้องการ

สมการ (2-35) สามารถจะกระจายออกเป็นเทอมหลายๆ เทอมในลักษณะของอนุกรมได้ดังนี้

$$Q_{T_r} = \overline{Q} - 0.45 \ S_Q + 0.7797 \ S_Q \ [\ln T_r - \frac{1}{2T_r} - \frac{1}{4T_r^2} - \frac{1}{8T_r^3} .....]$$

ดังนั้นในกรณีขนาดน้ำท่วม Q_{T_r} ที่มีค่า T_r มากๆ สมการ Q_{T_r} จะตัดลงเหลือโดยประมาณเพียงเทอมเดียวในวงเล็บใหญ่ดังนี้

$$Q_{T_r} = \overline{Q} - 0.45 \; S_Q + 0.7797 \; S_Q \ln T_r \qquad (2\text{-}36)$$

ทั้งนี้เพราะเทอมต่างๆ ถัดไปจะมีค่าน้อยมาก

❖ สรุปแล้วขั้นตอนในการคำนวณขนาดน้ำท่วม Q_{T_r} สำหรับรอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย T_r ด้วยวิธีทฤษฎีกัมเบล และด้วยการประมาณค่าพารามิเตอร์โดยวิธีโมเมนต์มีดังต่อไปนี้

(1) คำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ ในรูปของค่าเฉลี่ยคณิตศาสตร์ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูลน้ำท่วมสูงสุดรายปีที่มีอยู่หรือที่กำหนดจากสูตรดังนี้

$$\overline{Q} = \frac{\sum_{i=1}^{N} Q_i}{N} \qquad (2\text{-}37)$$

$$S_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} [Q_i - \overline{Q}]^2}{N-1}} \qquad (2\text{-}38)$$

$$S_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} Q_i^2 - N\overline{Q}^2}{N-1}} \qquad (2\text{-}39)$$

(2) คำนวณขนาดน้ำท่วม Q_{T_r} สำหรับรอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย T_r ที่กำหนดต่างๆ จากสมการ (2-35) หรือในกรณีเมื่อค่า T_r มีค่าสูงๆ ก็ให้ใช้สมการ (2-36) โดยประมาณได้ เพราะผลจะใกล้เคียงกัน

(3) ทำการพล๊อตความสัมพันธ์ระหว่างขนาดน้ำท่วม Q_{T_r} และรอบปีการเกิดซ้ำ T_r ในกระดาษกราฟพิเศษโดยเฉพาะซึ่งเรียกว่า Gumbel probability graph ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง สามารถอ่านค่า Q_{T_r} สำหรับค่า T_r อื่นได้ตามต้องการ ซึ่งรวมทั้งส่วนของกราฟที่ต่อออกไปในลักษณะของเส้นตรงด้วย

2.8.2 การคำนวณด้วยวิธีความน่าเป็นได้สูงสุด

สำหรับรายละเอียดการพิสูจน์การหาพารามิเตอร์ของวิธีกัมเบลด้วยวิธีความน่าเป็นได้สูงสุด (maximum likelihood estimate) ให้ศึกษาได้จากเอกสารอ้างอิง 3 ในที่นี้จะสรุปผลเฉพาะ

สูตรที่จะนำไปใช้ในการคำนวณเท่านั้น ในขั้นแรกจะขอแนะนำเทอม P และ R ซึ่งคำนวณจากสูตรต่อไปนี้

$$P = N = \sum_{i=1}^{N} e^{-y_i} \tag{2-40}$$

$$R = N = \sum_{i=1}^{N} Y_i + \sum_{i=1}^{N} Y_i . e^{-Y_i} \tag{2-41}$$

ในเมื่อ $Y_r = \frac{Q_i - u}{\alpha}$ และ N คือจำนวนปีของข้อมูล

จากการพิสูจน์สูตรโดยใช้วิธีความน่าเป็นได้สูงสุด จะได้สมการสำหรับการคำนวณดังนี้

$$\Delta u_j = (1.11P_i - 0.26R_i).\frac{\alpha_j}{N} \tag{2-42}$$

$$\Delta \alpha_j = (0.26P_i - 0.61R_i).\frac{\alpha_j}{N} \tag{2-43}$$

สูตรดังกล่าวเป็นการคำนวณแบบทำซ้ำหรือเรียกว่า iteration method ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

(1) ในขั้นแรกทำการสมมุติค่าพารามิเตอร์ U และ α ซึ่งเรียกว่า u_1 และ α_1 ให้เท่ากับค่าที่ประมาณหาได้จากวิธีการโมเมนต์คือ $u_1 = \overline{Q}$ 0.45 - S_Q และ α_1 = 0.7797 S_Q

(2) เมื่อทราบค่า u_1 และ α_1 แล้วก็คำนวณหาค่า P_1 และ R_1 ได้จากสมการ (2-40) และ (2-41)

(3) คำนวณค่า Δu_1 และ $\Delta \alpha_1$ ได้จากสมการ (2-42) และ (2-43) ค่า Δu_1 ก็คือความแตกต่างของค่า u_1 และ u_2 ในขั้นตอนต่อไป และค่า $\Delta \alpha_1$ ก็คือความแตกต่างของค่า α_1 และ α_2 ในขั้นตอนต่อไป ถ้าหากว่าความแตกต่าง Δu_1 และ $\Delta \alpha_1$ ไม่มากเกินกว่าที่กำหนด (ยกตัวอย่างเช่น 0.00001) ก็ไม่ต้องทำการ iteration ต่อ และค่า u_1 และ α_1 ก็คือค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้ด้วยวิธีความน่าเป็นได้สูงสุดนั่นเอง แต่ในทางตรงกันข้ามหากความแตกต่าง Δu_1 และ $\Delta \alpha_1$ ตัวใดตัวหนึ่งมีมากกว่าที่กำหนด ก็ต้องทำการ Iteration ต่อไป

(4) การทำ Iteration ต่อไปคือกำหนดให้ $u_2 = u_1 + \Delta u_1$ และ $\alpha_2 = \alpha_1 + \Delta\alpha_1$ ต่อไปก็คำนวณค่า P_1 และ R_1 รวมทั้งค่า Δu_2 และ $\Delta\alpha_2$ และตรวจสอบดูว่า Δu_2 และ $\Delta\alpha_2$ ตัวใดตัวหนึ่งมีค่าเกินกว่าที่กำหนดหรือไม่ ถ้าหากน้อยกว่าก็ไม่ต้องคำต่อ หากมากกว่าก็ทำการ Iteration ต่อไป คือจะได้ค่า U และ α ตัวใหม่ ตามสมการ $u_{j+1} = u_j + \Delta u_j$ และ $\alpha_{j+1} = \alpha_j + \Delta\alpha_j$

นอกจากการตรวจสอบว่าค่าความแตกต่าง Δu_j และ $\Delta\alpha_j$ ทั้งสองตัวน้อยกว่ากำหนดที่ยอมให้ก็หยุดการทำ Iteration หากมากกว่าก็ทำต่อไปจนกว่าจะได้ แล้วยังอาจจะเลือกตรวจสอบค่าอื่นแทนได้ คือทำการตรวจสอบดูว่าค่า $\frac{P_j}{\alpha_j}$ และค่า $\frac{R_j}{\alpha_j}$ (ไม่คิดเครื่องหมายลบ หรือเป็นค่า Absolute value) มีค่าน้อยกว่าที่กำหนดที่ยอมให้หรือไม่ ถ้าน้อยกว่าก็หยุดการทำ iteration เมื่อทำการตรวจสอบดูแล้วค่าความแตกต่างดังกล่าวมีน้อยกว่าที่กำหนดที่ขั้นตอน j ใดๆ ก็ถือว่า u_j และ α_j ที่คำนวณได้ขณะนั้นเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณหาค่าด้วยวิธีความน่าเป็นได้สูงสุดตามความต้องการ

เมื่อคำนวณค่า U และ α ได้แล้ว ก็คำนวณค่า $\overline{Q}$ และ S_Q ใหม่จากสมการ (2-37) และ (2-38) และนำไปแทนค่าในสมการ (2-39) ก็จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง Q_{T_r} และ T_r ซึ่งจะคำนวณหาขนาดน้ำท่วมที่มีรอบปีการเกิดซ้ำที่กำหนดได้ตามต้องการ

2.9 อ่างเก็บน้ำและอุทกวิทยา (Reservoir and Hydrology)

โครงการทางด้านงานพัฒนาแหล่งน้ำต่างๆ อาทิเช่น โครงการเกี่ยวกับการประปา การชลประทาน การผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น ถ้าหากว่าจำเป็นต้องชักน้ำมาจากลำน้ำโดยตรงทีเดียวก็อาจจะมีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของผู้ใช้ในระหว่างช่วงเวลาที่ลำน้ำมีปริมาณการไหลน้อยหรือในช่วงฤดูแล้ง อย่างไรก็ตามสำหรับแม่น้ำ ลำน้ำซึ่งอาจจะมีปริมาณน้ำไหลน้อยหรือไม่มีเลยในช่วงฤดูแล้ง อาจจะมีปริมาณน้ำมากเกินพอในช่วงฤดูฝนตกหนัก จนอาจทำความเสียหารแก่พื้นที่เกษตรกรรม ทรัพย์สินหรือชีวิตของผู้อาศัยตามแนวริมฝั่งของลำน้ำได้ ดังนั้นอ่างเก็บกักน้ำ ทำหน้าที่เก็บกักน้ำส่วนเกินความต้องการจากช่วงเวลาที่มีน้ำมากสำหรับสำรองไว้ใช้ในช่วงเวลาที่มีน้ำน้อยหรือแห้งแล้งได้นอกเหนือจากหน้าที่ที่จะต้องเก็บกักน้ำไว้ใช้ในเวลาต่อมาแล้ว ปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำในส่วนที่ออกแบบไว้สำหรับเก็บกักน้ำท่วมชั่วคราว ยังจะช่วยลดหรือบรรเทาความเสียหาย ซึ่งเกิดจากน้ำท่วมหรืออุทกภัยบริเวณด้านท้ายน้ำของเขื่อนได้ด้วย

เนื่องจากความต้องการใช้น้ำในแต่ละชั่วโมงของวันจะมีอัตราเปลี่ยนแปลง อาทิเช่น ในช่วงดึกๆ หรือประมาณตีหนึ่งถึงห้าโมงเช้า อาจจะเป็นช่วงที่มีการใช้น้ำประปาน้อย แต่ในช่วง

เย็นๆ จนถึง สองสามทุ่มอาจเป็นช่วงที่มีการใช้น้ำประปากันมาก ดังนั้นระบบน้ำประปาของชุมชนจำเป็นต้องมีถังพักและจ่ายน้ำ (distribution tanks หรือ reservoirs) ด้วย การมีถังพักและแจกจ่ายน้ำจะสามารถทำให้มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำขึ้นให้ดียิ่งขึ้นเรียกว่า water treatment นอกจากนั้นยังสามารถออกแบบเครื่องสูบน้ำให้สามารถทำงานด้วยอัตราคงที่สม่ำเสมอ (uniform rate) ได้อีกด้วย หลักการทั่วไปก็คือจะสูบน้ำด้วยอัตราคงที่ไม่ช่วงเวลาที่กำหนดและเมื่อเวลาที่ความต้องการน้ำมีมากกว่าอัตราที่สูบหรือเวลาเครื่องยนต์หยุดสูบ ก็จะชักน้ำมาจากถังพักและจ่ายน้ำเพื่อให้เพียงพอแก่ความต้องการแทนนั่นเอง

ดังนั้น เห็นว่าหน้าที่สำคัญของอ่างเก็บน้ำก็คืน การปรับปริมาณน้ำที่มีอยู่ตามธรรมชาติให้เกิดความมั่งคง (stabilization) ด้วยการควบคุมปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในธรรมชาติ และด้วยการนำน้ำไปใช้ตามความต้องการของผู้ใช้ทั้งปริมาณและเวลาที่ต้องการ

2.9.1 คุณลักษณะทางฟิสิกส์ของอ่างเก็บน้ำ

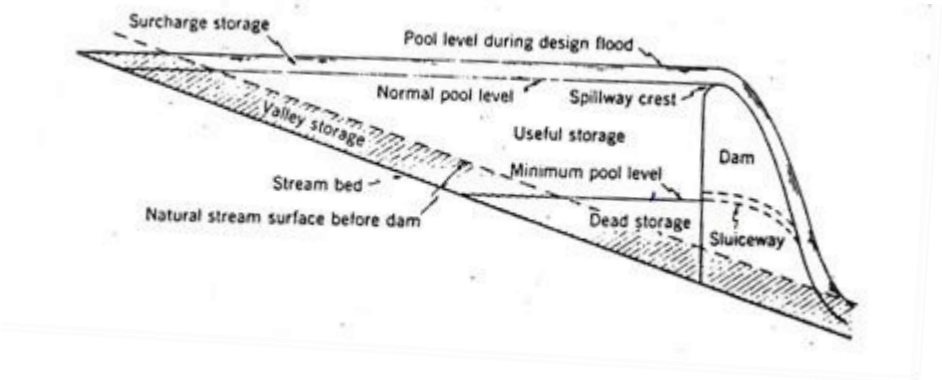
เนื่องจากหน้าทีสำคัญของอ่างเก็บน้ำก็คือ การจัดให้มีปริมาณเก็บกัก พอเพียงต่อปริมาณน้ำต้องการ ต่างๆ ดังนั้นคุณลักษณะทางฟิสิกส์ที่สำคัญของอ่างเก็บน้ำก็คือ ความจุเก็บกัก ถ้าหากว่าอ่างเก็บมีรูปร่างแบบสม่ำเสมอแล้ว ความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำสามารถคำนวณได้โดยใช้สูตรปริมาตรของแทงรูปทางธรรมดา แต่สำหรับความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำที่ตั้งอยู่ในลำน้ำธรรมชาติจะมีรูปทรงไม่สม่ำเสมอจึงคำนวณจากสูตรปริมาตรของแท่งรูปทรงธรรมดาไม่ได้ อย่างไรก็ตามความจุเก็บกักของอ่างที่ตั้งอยู่ในลำน้ำธรรมชาติก็สามารถคำนวณได้ด้วยการทำสำรวจแผนที่ภูมิประเทศจากผลการสำรวจระดับพื้นที่ภูมิประเทศบริเวณที่ตั้งของอ่าง ก็จะลากเส้นชั้นระดับความสูงได้ต่อไปก็ทำการวัดพื้นที่ภายในเส้นชั้นระดับความสูงแต่ละเส้น โดยใช้เครื่องวัดแพลนนิมีเตอร์ จากนั้นก็นำผลของการวัดมาพล๊อต ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่และระดับความสูงเรียกว่า โค้งพื้นที่-ระดับ (area-elevation curve) แต่ละส่วนของปริมาตรระหว่างเส้นชั้นระดับความสูงสองระดับจะหาได้ด้วยการคูณพื้นที่เฉลี่ยภายในเส้นชั้นระดับความสูงทั้งสองดังกล่าว ด้วยผลต่างของระดับชั้นความสูง ผลบวกสะสมของแต่ละส่วนปริมาตรทั้งหมดภายใต้เส้นชั้นระดับความสูงใดๆ ก็คือปริมาตรเก็บกับภายใต้เส้นชั้นระดับความสูงนั้น เมื่อนำค่าปริมาตรเก็บกับมาพล๊อตกับชั้นระดับความสูงก็จะได้โค้งปริมาตรเก็บกัก-ระดับ (storage-elevation curve) หรือโค้งความจุเก็บกัก (capacity curve) ของอ่างตามความต้องการ

เพื่อที่จะให้เข้าใจปริมาตรเก็บกักในส่วนต่างๆ หรือที่ระดับต่างๆ ก็จะอธิบายคำศัพท์ต่างๆ ที่ใช้เกี่ยวกับอ่างเก็บน้ำ โดยให้ดูรูปที่ 2.6 ประกอบ

ระดับเก็บกักปกติ (Normal pool level) หรือระดับน้ำสูงสุดปกติ (Normal high water level) คือระดับน้ำสูงสุดซึ่งอ่างเก็บน้ำยอมให้ระดับของผิวน้ำขึ้นไปถึงในระหว่างการจัดการ (Operation)

ในสภาพปกติ โดยทั่วไปแล้ว ระดับเก็บกักปกติจะคำนวณได้โดยคิดเท่ากับระดับของสันอาคารน้ำล้น ในกรณีที่ไม่มีประตูควบคุม (Ungated spillway) หรือสูงกว่าระดับสันอาคารน้ำล้นได้ล้าง ในกรณีที่มีประตูควบคุม (Gated spillway) ระดับเก็บกักต่ำสุข (Minimum pool level หรือ Minimum low water level) คือระดับน้ำต่ำสุดซึ่งสามารถจะชักน้ำออกจากอ่างไปใช้การได้ในกรณีปกติ เพื่อที่จะให้เข้าใจปริมาตรเก็บกักในส่วนต่างๆ หรือที่ระดับต่างๆ ก็จะอธิบายคำศัพท์ต่างๆ ที่ใช้เกี่ยวกับอ่างเก็บน้ำ โดยให้ดูรูปที่ 2.6 ประกอบ

ระดับเก็บกักปกติ (Normal pool level) หรือระดับน้ำสูงสุดปกติ (Normal high water level) คือระดับน้ำสูงสุดซึ่งอ่างเก็บน้ำยอมให้ระดับของผิวน้ำขึ้นไปถึงในระหว่างการจัดการ ในสภาพปกติ โดยทั่วไปแล้ว ระดับเก็บกักปกติจะคำนวณได้โดยคิดเท่ากับระดับของสันอาคารน้ำล้น ในกรณีที่ไม่มีประตูควบคุม หรือสูงกว่าระดับสันอาคารน้ำล้นได้บ้าง ในกรณีที่มีประตูควบคุม ระดับเก็บกักต่ำสุด หรือ ชระดับน้ำต่ำสุด ซึ่งสามารถจะชักน้ำออกจากอ่างไปใช้การได้ในกรณีปกติ ระดับเก็บกักต่ำสุดนี้จะเท่ากับระดับปากอาคารทางออก ตัวที่ต่ำที่สุดหรือในกรณีอ่างเก็บน้ำที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า กำหนดระดับเก็บกักที่ต่ำสุดโดยสภาพของประสิทธิภาพในการจัดการเทอร์ไบน์ ส่วนของปริมาตรเก็บกักที่อยู่ระหว่างระดับเก็บกักต่ำสุด และระดับเก็บกักปกติเรียกว่า ปริมาตรเก็บกักใช้การ ส่วนของปริมาตรเก็บกักที่อยู่ต่ำกว่าระดับเก็บกักต่ำสุดเรียกว่า ปริมาตรเก็บกักสูญเปล่า เพราะในกรณีปกติแล้วจะไม่สามารถชักน้ำส่วนนี้ไปใช้การได้



รูปที่ 2.6 ปริมาตรความจุในส่วนต่างๆ ของอ่างเก็บน้ำ

สำหรับอ่างเก็บน้ำที่เป็นแบบเอนกประสงค์ ปริมาตรเก็บกักใช้การอาจจะแบ่งย่อยออกเป็นปริมาตรสำหรับเก็บกักน้ำ และปริมาตรสำหรับบรรเทาน้ำท่วม ซึ่งแล้วแต่การวางแผนในการจัดการอ่างเก็บน้ำ ในระหว่างเวลาที่เกิดปริมาณน้ำท่วมขนาดใหญ่ซึ่งมีปริมาณน้ำไหลข้ามอาคารน้ำล้น ก็อาจจะทำให้เกิดระดับน้ำสูงกว่าระดับเก็บกักปกติได้ ส่วนของปริมาตรที่อยู่เหนือระดับเก็บกักปกติเรียกว่า ปริมาตรสำหรับเก็บกักน้ำท่วมชั่วคราว (Surcharge storage) ซึ่งโดยปกติแล้วจะไม่สามารถควบคุมได้หรือหมายความว่าจะเกิดขึ้นได้เฉพาะช่วงที่มีปริมาณน้ำท่วมขนาดใหญ่เท่านั้น ซึ่งปริมาณน้ำส่วนนี้จะไหลล้นออกไปทางอาคารน้ำล้น และไม่สามารถจะเก็บกักน้ำเอาไว้ใช้ในเวลาต่อมาได้

โดยปกติบริเวณชายตลิ่งของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir banks) จะมีลักษณะเป็นแบบน้ำซึมผ่านได้ และน้ำจะซึมเข้าไปในดินเมื่อเวลาที่อ่างเก็บน้ำมีระดับสูงๆ น้ำเหล่านี้จะระบายออกมาเมื่อระดับน้ำในอ่างลดต่ำลง ส่วนของน้ำจาก Bank storage จะไปเพื่อจำนวนความจุของอ่าง นอกเหนือส่วนที่แสดงไว้ในโค้งความจุเก็บกักของอ่าง

น้ำในลำน้ำตามธรรมชาติก่อนทำการสร้างอ่างเก็บน้ำจะครอบคลุมส่วนของปริมาตรที่เรียกกว่า ปริมาตรหุบเขา (Valley storage) ดังนั้นปริมาตรความจุสุทธิที่เพิ่มขึ้นจากผลการสร้างอ่างเก็บน้ำก็คือ ปริมาตรความจุเก็บกักรวมทั้งหมดลบด้วยปริมาตรหุบเขาโดยแท้จริงแล้วความแตกต่างดังกล่าวไม่สำคัญนักสำหรับ Conservation storage ในกรณีอ่างเก็บน้ำบรรเทาน้ำท่วม ปริมาตรความจุสุทธิที่เพิ่มขึ้นจะเท่ากับปริมาตรเก็บกักใช้การบวกด้วย Surcharge storage และลบด้วยปริมาตรหุบเขา และยังขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของปริมาณน้ำไหลเข้าที่เข้ามาในอ่าง

ที่กล่าวมาแล้วสมมุติว่าระดับผิวน้ำในอ่างอยู่ในแนวราบ เหตุผลของการสมมุติเช่นนี้เหมาะสมเฉพาะในกรณีอ่างเก็บน้ำมีพื้นที่ผิวน้ำขนาดเล็ก แต่มีความลึกของน้ำในอ่างมาก แต่แท้จริงแล้วก็มีน้ำไหลผ่านเขื่อน ก็จะมีความลาดชันของผิวน้ำเพื่อที่จะทำให้เกิดการไหล ในกรณีที่รูปตัดของอ่างเก็บน้ำมีขนาดใหญ่ เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลของน้ำ ความเร็วของน้ำจะมีขนาดน้อยมาก และความลาดชันชลศาสตร์ก็จะมีลักษณะราบมาก ในกรณีอ่างเก็บน้ำที่ตื้นและแคบ ระดับผิวน้ำในเวลาที่เกิดปริมาณน้ำไหลเข้าขนาดใหญ่จะไม่เป็นแนวราบ ดังนั้นส่วนของปริมาตรที่มีรูปร่างลักษณะคล้ายลิ่ม (wedge-shaped) เหนือเส้นแนวราบก็จะพิจารณาเป็นปริมาตรบรรเทาน้ำท่วมด้วย ระดับผิวน้ำตามแนวรูปตัดตามยาวของลำน้ำเดิมเหนืออ่างเก็บน้ำในกรณีนี้จะคำนวณด้วยวิธีที่เรียกว่า Non-uniform flow ดังนั้นจะเห็นว่าระดับผิวน้ำตามแนวรูปตัดตามยาวของลำน้ำเดิมจะมีลักษณะแต่ต่างๆ กันขึ้นอยู่กับขนาดและสภาพของปริมาณน้ำไหลเข้าและระดับผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำขณะนั้น การคำนวณระดับผิวน้ำตามแนวรูปตัดตามยาวสำคัญมากในการออกแบบอ่างเก็บน้ำเพราะว่าจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับระดับน้ำที่จุดต่างๆ ตามแนวความยาวของอ่าง ซึ่งจะทำให้คำนวณได้ว่า

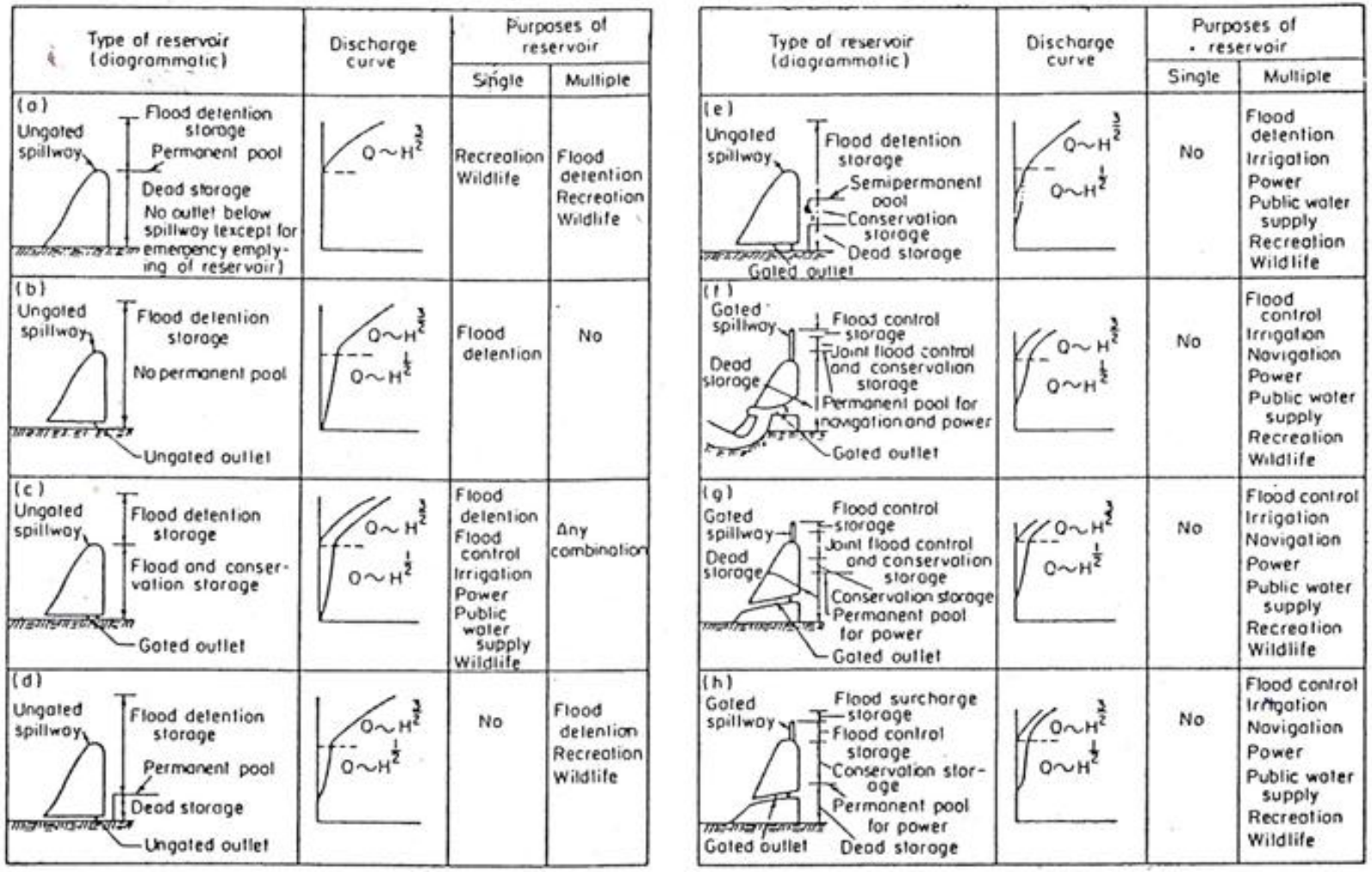
พื้นที่ที่น้ำจะท่วมไปถึงมีบริเวณ ขนาดเท่าใด การจัดซื้อที่ดินและการยอมให้น้ำไหลผ่านพื้นที่ดินนั้นจำเป็นมากก่อนที่จะทำการก่อสร้างเขื่อน นอกจากนั้นอาคารต่างๆ เช่น บ้านพักอาศัย ระบบระบายน้ำฝน ถนน สะพาน ทางรถไฟ ตามแนวฝั่งของอ่างเก็บน้ำจะต้องย้ายไปอยู่บนพื้นที่ที่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุดขณะเกิดน้ำท่วมที่มีขนาดเท่าที่ออกแบบไว้ วิธีการดังกล่าวนี้เรียกว่า Resettlement

2.9.2 การแบ่งชนิดอ่างเก็บน้ำ

ชนิดของอ่างเก็บน้ำอาจแบ่งตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานออกเป็น 2 ลักษณะด้วยกัน คือ (1) อ่างเก็บน้ำวัตถุประสงค์เดี่ยว (Single reservoir) และ (2) อ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์ (Multi-purpose reservoir) ในกรณีอ่างเก็บน้ำวัตถุประสงค์เดี่ยวมีหลักการไม่ยุ่งยากมากนัก ทั้งการออกแบบและการจัดการ แต่การจัดการอาจจะยุ่งยากหากอ่างเก็บน้ำนี้เป็นส่วนหนึ่งของระบบอ่างเก็บน้ำหรือการใช้งานมีความสัมพันธ์กับอ่างเก็บน้ำอื่นๆ ที่อยู่ในระบบเดียวกัน ในกรณีอ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์ การออกแบบและการใช้งานจะมีความยุ่งยากมาก ตัวอย่าง อ่างเก็บน้ำชนิดต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 2.7

2.9.2.1 อ่างเก็บน้ำวัตถุประสงค์เดี่ยว (Single-Purpose Reservior)

ลักษณะที่จำเป็นของอ่างเก็บน้ำวัตถุประสงค์เดี่ยวเพื่อการท่องเที่ยวพักผ่อนหย่อนใจ หรือเพื่อการเลี้ยงปลา และสงวนพันธุ์สัตว์ป่า ก็คือ ระดับน้ำในอ่างจะคงที่หรือเกือบคงที่ ตัวอย่างของอ่างเก็บน้ำชนิดนี้แสดงในรูปที่ 2.7 (a) ระดับน้ำในอ่างจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก นอกจากในเวลาที่เกิดปริมาณน้ำท่วมขนาดใหญ่หรือเพราะว่าอัตราการระเหยเกินกว่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามาในอ่าง เนื่องจากอาคารน้ำล้นจะออกแบบเป็นลักษณะไม่มีประตูควบคุมการไหลออก ดังนั้นการออกแบบขนาดของปริมาณการไหลออกจะต้องให้มีความสัมพันธ์กับความยาว และระดับของอาคารน้ำล้น ปริมาณการไหลออกขึ้นอยู่กับความสูงชลศาสตร์เหนือสันอาคารน้ำล้นยกกำลัง 1.5 หรือ $H^{1.5}$ นั่นเอง



รูปที่ 2.7 การแบ่งชนิดของอ่างเก็บน้ำ

สำหรับอ่างเก็บน้ำวัตถุประสงค์เดี่ยวเพื่อการเก็บกักปริมาณน้ำท่วมไว้ชั่วคราวเพื่อลดอุทกภัยทางด้านท้ายเขื่อน ดังตัวอย่างแสดงไว้ในรูปที่ 2.7 (b) นั้นพยายามรักษาอ่างให้ว่างเปล่าสำหรับรอรับน้ำท่วมลูกต่อไป ด้วยการออกแบบให้มีอาคารทางออกแบบไม่มีประตูควบคุม ซึ่งขนาดได้กำหนดไว้ก่อนในขั้นออกแบบเพื่อให้ได้ปริมาณการไหลออกตามความต้องการ ในช่วงที่เวลาที่เกิดน้ำท่วมขนาดใหญ่ น้ำจะระบายล้นอาคารน้ำล้นโดยอัตโนมัติ เพราะไม่มีประตูควบคุม และในขณะเดียวกันน้ำก็จะระบายออกทางอาคารทางออก ด้วยเมื่อระดับน้ำลดลงต่ำ สันอาคารน้ำล้นเมื่อการเกิดน้ำท่วมผ่านพ้นไปแล้ว น้ำในอ่างก็ยังคงระบายออกจากอ่างต่อไปทางอาคารทางออกจนกว่าระดับน้ำในอ่างจะต่ำกว่าระดับปากอาคารทางออกการระบายจึงจะหยุด ในกรณีนี้ปริมาณน้ำไหลออกจะขึ้นอยู่กับความสูงชลศาสตร์ เหนือสันอาคารน้ำล้นยกกำลัง 1.5 สำหรับอาคารน้ำล้นและขึ้นอยู่กับความสูงชลศาสตร์เหนือปากท่อทางออกยกกำลัง 0.50 สำหรับท่อออกต่างๆ

สำหรับอ่างเก็บน้ำวัตถุประสงค์เดี่ยวเพื่อการเก็บกักน้ำไว้ใช้ (ดูรูปที่ 2.7 c) เป็นต้น ว่าเพื่อการประปา การชลประทาน หรือการผลิตกระแสไฟฟ้า จำเป็นจะต้องมีอาคารทางออกที่มีประตูปิดเปิดได้ เพื่อควบคุมการปล่อยน้ำออกจากอ่างตามวัตถุประสงค์ที่ได้ออกแบบไว้และเพื่อควบคุมปริมาณน้ำในอ่างให้มีปริมาณเพียงพอสำหรับเก็บไว้ใช้ในเวลาที่ขาดแคลนในหน้าแล้ง กรณีอ่างเก็บน้ำเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า ประตูของเทอร์ไบน์จะต้องออกแบบให้สามารถควบคุมปริมาณการไหลออกได้เมื่อระดับน้ำในอ่างลดลงต่ำกว่าสันอาคารน้ำล้น ความสามารถในการระบายสูงสุด เมื่อประตูของอาคารทางออกเปิดเต็มที่ ก็จะคล้ายกับกรณีรูปที่ 2.7 (b) เนื่องจากว่าประตูที่ปิดเปิดได้อยู่ระดับเท่ากับปากอาคารทางออกที่ต่ำสุดจึงสามารถปิดประตูไม่ให้มีการระบายน้ำออกเลยได้จนกว่าระดับน้ำจะขึ้นไปถึงสันอาคารน้ำล้น เมื่อระดับน้ำในอ่างขึ้นสูงกว่าระดับสันอาคารน้ำล้น น้ำก็จะระบายออกทางอาคารน้ำล้นทันทีถึงแม้ว่าประตูของอาคารทางออก (outlets) จะยังคงปิดอยู่ก็ตาม ปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่มีอยู่ในธรรมชาติ และขึ้นอยู่กับลักษณะทางฟิสิกส์ของที่ตั้งเขื่อน

2.9.2.2 อ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์ (Multi-Purpose Reservoirs)

อ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์เป็นอ่างเก็บน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์หลายอย่างด้วยกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางฟิสิกส์ของที่ตั้งเขื่อน และปริมาณน้ำที่มีอยู่ในลำน้ำธรรมชาติ ณ ที่ตั้งเขื่อน ตัวอย่างอ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์แสดงในรูปที่ 2.7 (a) และรูปที่ 2.7 (c) ถึง 2.7 (h)

ปริมาตรความจุส่วนที่เตรียมไว้สำหรับเก็บกักน้ำไว้ใช้ในเวลาต่อมาหรือเรียกว่า conservation uses อาจประกอบด้วย (1)การกำหนดการจัดสรรที่แน่นอนตลอดทั้งปีสำหรับวัตถุประสงค์เฉพาะต่างๆ และ (2) การเปลี่ยนแปลงปริมาณการจัดสรร ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการประมาณความต้องการในแต่ละฤดูหรือแต่ละเดือนของปี หรือขึ้นอยู่กับการคาดคะเนปริมาณน้ำธรรมชาติที่

จะมีในช่วงเวลาข้างหน้า การคาดคะเนจะถูกต้องแน่นอนมากน้อยเพียงใดเป็นเรื่องของการเลือกวิธีการทำนาย (forecast) ปริมาณน้ำและข้อมูลอุทกวิทยาที่มีอยู่หรือที่ใช้ในการทำนายปริมาณน้ำดังกล่าว

รูปที่ 2.7 (a) และ 2.7 (d) แสดงตัวอย่างเก็บน้ำสำหรับเพื่อการท่องเที่ยว พักผ่อนหย่อนใจ การสงวนพันธุ์ปลาและสัตว์ป่า และเพื่อการบรรเทาอุทกภัย รูปที่ 2.7 (e) แสดงอ่านเก็บน้ำที่มีปริมาตรเก็บกักเพิ่มมากขึ้นเพื่อเก็บกักน้ำไว้ใช้ตามวัตถุประสงค์ต่างๆ อาทิเช่น เพื่อการชลประทาน การผลิตกระแสไฟฟ้า การอุปโภค เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องการเขื่อนที่สูงมากขึ้นกว่าเขื่อนที่สร้างเพื่อการบรรเทาอุทกภัยแต่อย่างเดียว นอกจากนั้นยังจำเป็นต้องมีประตูควบคุมอาคารทางออกต่างๆ และระดับเก็บกักกึ่งถาวรอีกด้วย

อ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์ที่สร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการรักษาระดับน้ำเก็บกักที่ถาวร (permanent pool) สำหรับการเดินเอและเพื่อให้ความสูงชลศาสตร์ของน้ำเพียงพอเพื่อจะสามารถปั่นเทอร์ไบน์อย่างมีประสิทธิภาพและยังต้องมีความจุเก็บกักสำหรับการนำน้ำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นทั้งวัตถุประสงค์เดี่ยวและหลายอย่าง และเพื่อต้องการบรรเทาอุทกภัยด้วยนั้นจะมีความยุ่งยากทั้งการออกแบบและการจัดการใช้งานมาก รูปที่ 2.7 (f) ถึง 2.7 (h) แสดงตัวอย่างอ่างเก็บน้ำที่มีวัตถุประสงค์หลายอย่างดังกล่าว โดยปกติปริมาณการไหลออกจะควบคุมด้วยประตูปิดเปิดทั้งหมด แต่บางครั้งอาจจะมีอาคารน้ำล้นฉุกเฉิน (emergency spillway) สำหรับใช้ในกรณีที่เกิดน้ำท่วมขนาดใหญ่ (extreme floods) ซึ่งจะออกแบบเป็นลักษณะการระบายออกโดยอิสระหรือไม่มีประตูควบคุม ทั้งนี้เพื่อลดราคาค่าก่อสร้างอาคารน้ำล้นปกติ (service spillway) ของอ่างเก็บน้ำที่ออกแบบไว้สำหรับระบายน้ำในภาพน้ำท่วมขนาดปกติ

2.9.3 การออกแบบอ่างเก็บน้ำ (RESERVOIR DESIGN)

งานอุทกวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอ่างเก็บน้ำ ได้แก่ (1) การคำนวณขนาดปริมาตรเก็บกักสำหรับวัตถุประสงค์เพื่อเก็บกักน้ำไว้ใช้ (conservation purpose) และการคำนวณปริมาตรเก็บกักสำรองสำหรับวัตถุประสงค์เพื่อการป้องกันน้ำท่วม (flood-control purpose) (2) การกำหนดระดับสำหรับวัตถุประสงค์เพื่อการท่องเที่ยว พักผ่อนหย่อนใจ สงวนพันธุ์สัตว์ป่า และการเดินเรือ (3) การคำนวณความสามารถในการระบายน้ำของอาคารน้ำล้น และอาคารทางออกอื่นๆ (4) การคำนวณความสามารถในการปล่อยน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ และ (5) การศึกษาเกี่ยวกับการจัดการหรือการดำเนินการในระหว่างช่วงเวลาที่มีน้ำไหลเข้าสู่อ่างทั้งกรณีสูงสุดและต่ำ สุด ในหัวข้อต่อไปนี้จะได้กล่าวถึงหลักการทางอุทกวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอ่างเก็บน้ำ

2.9.3.1 แฟคเตอร์ทางด้านฟิสิกส์และเศรษฐศาสตร์ (Physical and Economical Factors)

การออกแบบและการจัดการอ่างเก็บน้ำจะต้องคำนึงถึงแฟคเตอร์ทางด้านฟิสิกส์หลายอย่างด้วยกัน สิ่งที่จะต้องพิจารณาอันดับแรกก็คือ สภาพลำน้ำและหุบเขา จะเหมาะสมหรืออำนวยต่อการสร้างเขื่อนและอ่างเก็บน้ำที่มีปริมาตรความจุเพียงพอสำหรับปริมาตรเก็บกักสำหรับนำน้ำไปใช้และปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการบรรเทาอุทกภัยหรือไม่ การพิจารณาอันดับสองก็คือ หากที่ตั้งเขื่อนเหมาะสมแต่ปริมาตรความจุไม่เพียงพอต่อความต้องการทุกอย่างทั้งหมดก็จำเป็นจะต้องแบ่งปริมาตรความจุสำหรับวัตถุประสงค์ต่างๆ อย่างเท่ากันหรืออย่างสมเหตุสมผล การแบ่งดังกล่าวจะเป็นการออมชอมระหว่างวัตถุประสงค์การใช้ปริมาตรความจุต่างๆ นั่นเอง

ในบางกรณีอาจมีที่ตั้งเขื่อนให้เลือกหลายแห่ง และจากการพิจารณาแฟคเตอร์อื่นๆ ประกอบอาจเป็นผลให้จำเป็นต้องเลือกที่ตั้งเขื่อนที่มีความเหมาะสมตามต้องการทางวิศวกรรมน้อยกว่าแห่งอื่นก็ได้ ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีที่มีเมืองใหญ่ตั้งอยู่บริเวณสองฝั่งของลำน้ำอาจจะเป็นแฟคเตอร์ที่จำกัดในการเลือกที่ตั้งเขื่อนที่ดีที่สุด และถูกที่สุดในบริเวณใกล้เคียงและจะเป็นผลให้จำเป็นต้องเลือกที่ตั้งแห่งอื่นที่มีความต้องการน้อยกว่าได้ ในบางที่ตั้งของเขื่อน ระดับเก็บกักปกติและปริมาตรใช้การของอ่างอาจจะถูกจำกัดให้น้อยกว่าที่ต้องการอันเนื่องมาจากมีเขตชุมชนอยู่ระดับต่ำบริเวณอ่าง การพัฒนาเขตชุมชนหรือเขตอุตสาหกรรมในบริเวณพื้นที่หุบเขาของลำน้ำอาจจะเป็นแฟคเตอร์ที่จำกัดระดับสูงสุดของอ่างในการสำรองปริมาตรเก็บกักชั่วคราวไว้สำหรับการบรรเทาอุทกภัยทางด้านท้ายเขื่อน ในขณะเดียวกันความต้องการความลึกอย่างน้อยสำหรับการเดินเรือและสำหรับความสูงชลศาสตร์ เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพอาจจะเป็นตัวจำกัดระดับต่ำสุดของปริมาตรสำรองเพื่อการบรรเทาอุทกภัย ดังนั้นถึงแม้ว่าสภาพภูมิประเทศจะอำนวยเป็นอย่างดี แต่แฟคเตอร์อื่นดังกล่าวข้างต้น อาจจะเป็นตัวกำหนดปริมาตรความจุสำหรับสำรองเพื่อการบรรเทาอุทกภัยได้ ในสถานที่บางแห่งการสร้างถนนไฮว์เวย์ ทางรถไฟ สะพาน เขื่อง หรือฝายอื่นๆ ในบริเวณพื้นที่อ่าง อาจจะเป็น ตัวกำหนดขนาดปริมาตรความจุของอ่างได้ ทั้งนี้เพราะค่าลงทุนในการก่อสร้างอาคารทดแทนต่างๆ ในระดับสูงขึ้นไปให้พ้นระดับที่น้ำท่วมถึงอาจจะสูงหรือเกินกว่าผลประโยชน์ที่จะได้รับก็ได้ แฟคเตอร์อื่นๆ เช่น การมีสถานที่โบราณวัตถุหรือสถานศักดิ์สิทธิ์ ตลอดจนป่าสงวนหรืออุทยานแห่งชาติที่สำคัญ ซึ่งไม่สามารถจะเปลี่ยนระดับหรือก่อสร้างทดแทนได้ก็จะเป็นแฟคเตอร์สำคัญในการจำกัดการเลือกที่ตั้งของอ่างและปริมาตรความจุของอ่าง

แฟคเตอร์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่เป็นผลต่อการออกแบบและการจัดการอ่างเก็บน้ำก็คือ (1) ค่าลงทุนก่อสร้างและค่าซื้อที่ดิน (2) ค่าสึกหรอรายปี (3) ดอกเบี้ยเงินกู้ (4) ค่าการจัดการและบำรุงรักษาซ่อมแซม (5) ผลกำไรหรือค่าตอบแทนที่พึงจะได้รับ โดยทั่วไป โครงการที่เหมาะสมและให้ผลตอบแทนคุ้มค่านั้นผลตอบแทนหรือกำไร ต้องมากกว่าราคาค่าลงทุนต่างๆ ซึ่ง

อัตราส่วนระหว่างผลตอบแทนและค่าลงทุน (benefit – cost - ratio) อย่างน้อยจะต้องมากกว่าหนึ่งเสมอ

การพิจารณาเลือกโครงการที่ดีที่สุดทางด้านเศรษฐศาสตร์จากหลายโครงการหรือการเลือกระดับของการพัฒนาสำหรับโครงการเดียวนั้น จะต้องคำนึงถึงผลสุทธิระหว่างผลตอบแทนและค่าลงทุนด้วย ค่าผลตอบแทนสุทธิจะเท่ากับผลตอบแทนรายปี ลบด้วยค่าลงทุนที่คิดเทียบเป็นรายปี โครงการที่ดีที่สุดในแง่เศรษฐศาสตร์ควรจะเป็นโครงการที่ให้ค่าอัตราส่วนผลตอบแทน-ค่าลงทุนและค่าผลตอบแทนสุทธิรายปีมากที่สุด

ในการเลือกที่ตั้งเขื่อนจากหลายๆ ที่ตั้งที่เป็นได้ทั้งทางสภาพภูมิประเทศ และทางด้านวิศวกรรมนั้น หากแต่ละที่ตั้งออกแบบให้ได้ผลตอบแทนหรือกำไรเท่าๆ กันแล้ว ก็ควรจะเลือกที่ตั้งที่มีหลักการทางด้านเศรษฐศาสตร์ดีที่สุด กล่าวคือควรจะมีราคาต่อลงทุนต่างๆ น้อยที่สุดนั่นเอง

2.9.3.2 การศึกษาทางด้านอุทกวิทยา

ข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นต้องใช้ในการออกแบบอ่างเก็บน้ำทางด้านอุทกวิทยาก็คือ แผนที่ภูมิประเทศที่มีมาตราส่วนละเอียดเพียงพอและข้อมูลอุทกวิทยา เมื่อได้แผนที่ภูมิประเทศบริเวณที่จะสร้างอ่างเก็บน้ำแล้ว ในขั้นแรกก็จะต้องกำหนดขอบเขตของลุ่มน้ำและวัดขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำที่อยู่เหนือที่ตั้งเขื่อนขึ้นไป ต่อไปก็คำนวณโค้งพื้นที่-ระดับและโค้งความจุเก็บกัก

ข้อมูลปริมาณการไหลของน้ำในลำน้ำจำเป็นที่สุดเพื่อนำมาหาปริมาณน้ำว่าจะพอเพียงสำหรับนำไปใช้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้หรือไม่ ข้อมูลปริมาณการไหลสูงสุดรายปีของน้ำจะนำไปวิเคราะห์หาขนาดของน้ำท่วมสูงสุด และปริมาตรน้ำท่วม สำหรับรอบปีการเกิดซ้ำที่กำหนดต่างๆ เพื่อใช้สำหรับคำนวณปริมาตรความจุสำรองเพื่อการบรรเทาอุทกภัยและใช้ในการออกแบบขนาดอาคารน้ำล้น และอาคารทางออกต่างๆ ต่อไป ข้อมูลปริมาณการไหลของน้ำโดยปกติจะแสดงในรูปกราฟน้ำท่า ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหล กับเวลา นอกจากข้อมูลปริมาณการไหลที่เก็บรวบรวม ณ สถานีวัดน้ำต่างๆ โดยหน่วยงานราชการหลายแห่งแล้ว ข้อมูลเกี่ยวกับระดับน้ำสูงสุดในช่วงเวลาที่เกิดน้ำท่วมหรืออุทกภัย จะเป็นข้อมูลสำหรับใช้ในการคำนวณระดับสูงสุดและปริมาณการไหลสูงสุดที่จุดต่างๆ ในบริเวณที่สร้างอ่างเก็บน้ำซึ่งลำน้ำเดิมมีการขึ้นลงของระดับน้ำเร็วและรุนแรง จากข้อมูลนี้และประกอบกับข้อมูลอื่นๆ อาทิเช่น รูปตัดของลำน้ำและหุบเขา ค่าสัมประสิทธิ์ของความขรุขระ ความลาดชันของท้องน้ำ ก็จะสามารถคำนวณรูปตัดตามยาวของลำน้ำได้ด้วยการใช้สูตร Manning หรือสูตรอื่น

ในการออกแบบและการจัดการเกี่ยวกับอ่างเก็บน้ำเพื่อบรรเทาอุทกภัย ช่วงเวลาหรือฤดูการเกิดน้ำท่วมจะเป็นแฟคเตอร์ที่สำคัญอันหนึ่ง ถ้าหากว่าน้ำท่วมโดยปกติเกิดในช่วงใดๆ ก็ได้ของปีปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อบรรเทาอุทกภัยที่ออกแบบไว้จะต้องให้ว่างอยู่เสมอตลอดทั้งปี กล่าวคือ

เมื่อน้ำท่วมลูกแรกเกิดขึ้นแล้ว ต้องพยายามปล่อยน้ำออกจากส่วนของปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อบรรเทาอุทกภัย เพื่อเตรียมที่ว่างไว้สำหรับน้ำท่วมที่จะเกิดลูกต่อไป แต่ในกรณีที่สามารถกำหนดได้ว่าช่วงเวลา หรือฤดูการเกิดน้ำท่วมเป็นระยะใดของปีแล้วปริมาตรเก็บกักสำรองที่เตรียมไว้รับขนาดน้ำท่วมเต็มที่นั้น อาจจะเตรียมไห้ว่างไว้ในช่วงฤดูการเกิดน้ำท่วมของปีเท่านั้น ในช่วงอื่นอาจจะยอมให้เก็บกักน้ำไว้ในส่วนของปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อบรรเทาอุทกภัยได้ ทั้งนี้เพื่อจะได้นำน้ำไปใช้ได้มากขึ้น โดยเฉพาะช่วงฤดูแล้งที่ตามมาและเมื่อใกล้จะถึงฤดูการเกิดน้ำท่วมอีก ก็จะลดระดับน้ำในอ่างลงมาเพื่อเตรียมปริมาตรเก็บกักสำรองไว้สำหรับการบรรเทาน้ำท่วมต่อไป

ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลปริมาณการไหลของน้ำบริเวณที่ตั้งอ่างเก็บน้ำเลยอาจจะใช้ข้อมูลน้ำฝนมาใช้ในการประมาณหาค่าเกี่ยวกับปริมาณน้ำท่วมและขนาดของน้ำท่วมสูงสุดได้ อย่างไรก็ตามรายละเอียดจะไม่กล่าวไว้ในบทนี้

2.9.3.3 ปริมาตรเก็บกักต้องการ (Storage Requirements)

โดยปกติแล้วการสร้างอ่างเก็บน้ำจะไม่สามารถให้ปริมาตรความจุสำหรับวัตถุประสงค์การใช้งานต่างๆ ได้ครบถ้วนทั้งหมด ดังนั้นถ้าหากว่าเป็น อ่างเก็บน้ำที่ป้องกันน้ำท่วมด้วย ก็อาจจะออกแบบให้อ่างเก็บน้ำมีปริมาตรความจุสำรองเพื่อลดหรือบรรเทาอุทกภัยได้ขนาดหนึ่งก่อน ส่วนที่เหลืออาจจะออกแบบวิธีการอื่นมาประกอบในการป้องกันน้ำท่วมทางด้านท้ายเขื่อน นอกจากนั้นถ้าหากว่าอ่างเก็บน้ำมีวัตถุประสงค์เพื่อเก็บกักน้ำไว้สำหรับใช้การหลายอย่าง ก็จำเป็นต้องมีการจัดสรรแบ่งปันปริมาตรเก็บกักให้เหมาะสมด้วย

ปริมาตรความจุสำหรับเตรียมไว้รับอุทกภัยนั้นจะขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์หลายอย่างด้วยกัน เป็นต้นว่าอาจจะขึ้นอยู่กับดีกรีของการป้องการน้ำท่วมว่าจะมีมากน้อยเพียงใดเป็นต้น ความจุหรือความสามารถของลำน้ำทางด้านท้ายเขื่อน อาจจะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพมากขึ้นด้วยการสร้างอาคารป้องกัน ต่างๆ อาทิเช่น เขื่อนกั้นน้ำท่วม หรือกำแพงกั้นน้ำท่วม เป็นต้น การเพิ่มความสามารถในการระบายของลำน้ำทางด้านท้ายเขื่อน จะสามารถทำให้ลดปริมาตรความจุสำรองของอ่างเพื่อรับน้ำท่วมลงได้ ดังนั้นการเลือกขนาดของ ปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการบรรเทาอุทกภัย และการเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายของลำน้ำท้ายเขื่อนจำเป็นต้องออกแบบคู่กันไปและใช้หลักการทางด้านเศรษฐศาสตร์มาพิจารณาในการเลือกขนาดที่เหมาะสมหรือดีที่สุด

ความต้องการปริมาตรความจุของอ่างเพื่อการเก็บกักน้ำไว้ใช้ในเวลาต่อมานั้น จะเปลี่ยนแปลงมากน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณและการผันแปรของปริมาณน้ำธรรมชาติที่มีอยู่ นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำต้องการ ของผู้ใช้น้ำตามวัตถุประสงค์ต่างๆ ด้วย ยกตัวอย่างเช่น ความต้องการน้ำเพื่อการชลประทาน จะขึ้นอยู่กับชนิดของระบบชลประทาน จะขึ้นอยู่กับชนิดของระบบชลประทาน ชนิดของพืชที่ปลูก และจำนวนพื้นที่ที่จะปลูกทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง เป็นต้น ความ

ต้องการน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภคและการอุตสาหกรรมจะขึ้นอยู่กับจำนวนประชากร ทั้งในสภาพปัจจุบันและคาดว่าจะเพิ่มขึ้นในอนาคต และขึ้นอยู่กับจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ทั้งในปัจจุบันและอนาคต ความต้องการน้ำเพื่อการเดินเรือจะขึ้นอยู่กับสภาพการไหลของน้ำ เพื่อให้ได้ความลึกอย่างน้อยตามต้องการ โดยเฉพาะตรงจุดที่วิกฤตที่สุดในลำน้ำ นอกจากนั้นยังจะต้องเผื่อปริมาตรของน้ำไว้สำหรับการสูญเสียที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ อาทิเช่น การระเหยจากอ่างเก็บน้ำและการซึมลึกลงไปในดิน เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม อาจสรุปได้ว่าการคำนวณปริมาตรเก็บกักที่ต้องการของอ่างเก็บน้ำจะแยกออกเป็นปริมาตรเก็บสำรองสำหรับวัตถุประสงค์เพื่อการป้องกันน้ำท่วม (Flood-control storage) และปริมาตรเก็บกักสำหรับวัตถุประสงค์เพื่อการเก็บกักน้ำไว้ใช้ (Conservation storage) ทั้งนี้เพราะวิธีการและข้อมูลอุทกวิทยาที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบจะแตกต่างกัน การออกแบบปริมาตรเก็บกักสำหรับเพื่อการป้องกันน้ำท่วมจะใช้ข้อมูลเกี่ยวกับน้ำท่วมสูงสุด แต่สำหรับการออกแบบปริมาตรเก็บกักเพื่อการเก็บน้ำไว้ใช้นั้นจะใช้ข้อมูลเกี่ยวกับ low flows หรือข้อมูลปริมาณการไหลของน้ำในช่วงแล้งที่สุดมาพิจารณา ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวต่อไป

2.9.3.4 ผลผลิตอ่างเก็บน้ำ (Reservoir yield)

สิ่งที่สำคัญในการออกแบบอ่างเก็บน้ำก็คือ การวิเคราะห์เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต (yield) และความจุเก็บกัก (capacity) ของอ่าง สำหรับผลผลิตของอ่างก็คือ จำนวนน้ำที่จะสามารถนำไปใช้ได้จากอ่างในช่วงเวลาที่กำหนด ช่วงเวลาดังกล่าวอาจจะเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับชนิดของอ่างเก็บน้ำ และแฟคเตอร์อื่นๆ เป็นต้นว่าช่วงเวลาอาจเป็นวันสำหรับถังพักและจ่ายน้ำ (distribution reservoir) ขนาดเล็ก จนถึงช่วงเวลาเป็นปีหรือมากกว่าสำหรับอ่างเก็บน้ำ (storage reservoir) ขนาดใหญ่ ค่าผลผลิตขออ่างขึ้นอยู่กับปริมาณการไหลเข้าสู่อ่าง (inflow) และจะผันแปรจากปีหนึ่งไปยังอีกปีหนึ่งตามขนาดปริมาณการไหลเข้า สำหรับคำว่าผลผลิตปลอดภัย (safe yield) หรือผลผลิตมั่นคง (firm yield) ก็คือปริมาณน้ำสูงสุดที่สามารถ จะประกันว่าสามารถนำไปใช้ในระหว่างช่วงแล้งวิกฤต (critical dry period) ได้ ในทางปฏิบัติช่วงแล้งวิกฤตก็คือช่วงเวลาที่ปริมาณการไหลของน้ำตามธรรมชาติต่ำสุด หรือเป็นช่วงเวลาที่มีน้ำไหลน้อยที่สุดในช่วงข้อมูลของลำน้ำที่มีอยู่ เพราะฉะนั้นช่วงเวลาที่แห้งแล้งมากกว่าก็อาจจะมีโอกาสเกิดขึ้นได้ในอนาคต ซึ่งในกรณีเช่นนี้ผลผลิตอ่างเก็บน้ำจะมีค่าน้อยกว่าผลผลิตปลอดภัย เนื่องจากการหาค่าผลผลิตปลอดภัย จะได้ค่าไม่ค่อยแน่นอน ดังนั้นจะเป็นการดีกว่าที่จะประมาณค่าขนาดของผลผลิตปลอดภัยในเทอมของเปอร์เซ็นต์ของโอกาสที่จะเกิดขึ้น โดยปกติผลผลิตที่อาจเป็นได้สูงสุด (maximum possible yield) จะเท่ากับปริมาณการไหลเฉลี่ย (mean flow) ลบด้วยการสูญเสียต่างๆ ที่ไม่สามารถป้องกันได้คือการระเหยและการซึมลึกลงดิน ถ้าหากว่าการไหลของน้ำในลำน้ำเป็นแบบคงที่โดยสิ้นเชิงคือ มี

ปริมาณคงที่สม่ำเสมอตลอดเวลา ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องมีอ่างเก็บน้ำ แต่เนื่องจากความเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลในลำน้ำธรรมชาติจะมีอยู่เสมอ จึงจำเป็นต้องมีอ่างเก็บน้ำ ยิ่งความปรวนแปรของการไหลของน้ำมีมากยิ่งขึ้นเท่าใด ก็มีความจำเป็นที่จะต้องใช้อ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ขึ้นตามลำดับ เพื่อทำการเก็บกักน้ำในช่วงที่มีปริมาณมากเกินพอไว้ใช้ในช่วงที่อัตราการไหลในลำน้ำมีน้อยไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้

ปัญหาก็คือ จะออกแบบให้อ่างเก็บน้ำมีผลผลิตขนาดเท่าใดดี หากเป็นอ่างที่ทำหน้าที่เก็บกักน้ำเพื่อการประปาแล้วควรจะมีขนาดผลผลิตที่ออกแบบในลักษณะที่ค่อนข้างต่ำไว้ เพื่อหลีกเลี่ยงการเสี่ยงของช่วงเวลาที่ผลผลิตอ่างเก็บน้ำจะต่ำกว่าค่าผลผลิตที่ออกแบบ ในทางตรงกันข้ามสำหรับอ่างเก็บน้ำเพื่อการชลประทานอาจจะยอมให้มีเปอร์เซ็นต์ของช่วงเวลาซึ่งผลผลิตในอนาคตต่ำกว่าที่ออกแบบไว้ได้ถึง 20 % ปริมาณของน้ำที่มีอยู่ซึ่งเกินกว่าผลผลิตปลอดภัยของอ่างในช่วงเวลาที่เกิดปริมาณการไหลของน้ำมากๆ เรียกว่า secondary yield ซึ่งสามารถนำไปใช้กับความต้องการของวัตถุประสงค์รองลงไปได้ กล่าวคือปริมาณน้ำในส่วนที่เรียกว่า secondary water นี้อาจจะนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์รอง โดยยึดถือหลักว่าถ้ามีก็จะนำไปใช้ หากไม่มีก็จะไม่นำไปใช้ ทั้งนี้เพราะต้องกันไว้ใช้ในวัตถุประสงค์หลักเสียก่อน

2.9.3.5 การเลือกขนาดความจุเก็บกักของถังพักและจ่ายน้ำสำหรับผลผลิตที่กำหนด (Selection of Distribution Reservoir Capacity for a Given Yield)

ในการออกแบบโครงการทางด้านแหล่งน้ำ บางครั้งต้องการที่จะหาค่าความจุเก็บกักของอ่างที่ต้องการเพื่อที่จะเก็บกักน้ำไว้ใช้ตามปริมาณน้ำต้องการต่างๆ ที่คำนวณไว้ก่อนแล้ว ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีน้ำประปาเพื่อการอุปโภค บริโภค หรือการชลประทานซึ่งจะต้องส่งน้ำไปช่วยพื้นที่นาขนาดหนึ่งเป็นต้น เพราะว่าผลผลิตของอ่างหรือปริมาณน้ำส่งออกจะเท่ากับปริมาณน้ำไหลเข้าบวกหรือลบด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตรความจุในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ดังนั้นการคำนวณปริมาตรความจุของอ่างที่จะให้มีผลผลิตตามกำหนดนั้นจะใช้สูตรพื้นที่ฐานที่เรียกว่า สมการปริมาตรความจุดังนี้

$$\overline{O}\Delta_t = \overline{I}\Delta_t - \Delta_S$$

ในเมื่อ $\overline{O}$ = ปริมาณน้ำไหลออกเฉลี่ยในช่วงเวลา Δ_t มีหน่วยเป็นปริมาตรต่อเวลา

$\overline{I}$ = ปริมาณน้ำไหลเข้าเฉลี่ยในช่วงเวลา Δ_t มีหน่วยเป็นปริมาตรต่อเวลา

Δ_S = อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเก็บกักในช่วงเวลา Δ_t มีหน่วยเป็นปริมาตร

Δ_t = ช่วงเวลาที่กำหนด

ในกรณีระยะยาวนั้นปริมาณการไหลออกจะเท่ากับปริมาณการไหลเข้าลบด้วยการสูญเสียที่หลีกเลี่ยงได้ยากต่างๆ ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่าอ่างเก็บน้ำไม่สามารถจะทำน้ำขึ้นมาเองได้ แต่มีหน้าที่เพียงเก็บกักน้ำในเวลาที่มีปริมาณมากเกินพอ และจ่ายน้ำที่เก็บกักไว้นี้ไปใช้ตามต้องการ โดยเฉพาะเวลาที่ปริมาณน้ำไหลเข้ามีน้อยกว่าปริมาณที่จะส่งออกไปใช้ตามวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่ตั้งไว้

2.9.3.6 การเลือกขนาดปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำที่สร้างในลำน้ำธรรมชาติ (Selection of Capacity for a River Reservoir)

สำหรับการคำนวณปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำที่สร้างในลำน้ำธรรมชาติจะไม่เหมือนกับที่คำนวณในตัวอย่างที่แล้ว และจะยุ่งยากมากกว่าด้วย การวิเคราะห์ส่วนมากเรียกว่าการศึกษาการจัดการอ่างเก็บน้ำ วิธีการก็คือ จะกำหนดกฎเกณฑ์ต่างๆ ที่เรียกว่า Rule Curves ขึ้น จากนั้นก็ทำการศึกษาการจัดการอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาที่เลือกเพื่อที่จะหากฎเกณฑ์ที่ดีที่สุด (Optimum rule) ในการจัดการอ่างเก็บน้ำ ทั้งนี้เพื่อจะได้ใช้ปริมาตรความจุของอ่างให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

ช่วงเวลาที่เลือกทำการศึกษาการจัดการอ่างเก็บน้ำอาจเป็นช่วงเวลาที่เกิดปริมาณการไหลต่ำสุดมากที่สุด (Extremely low flow) ซึ่งถือว่าเป็นช่วงเวลาที่วิกฤตที่สุด อย่างไรก็ตามอาจศึกษาขยายช่วงเวลาคลุมไปทั้งช่วงเวลาทั้งหมดที่มีข้อมูลอยู่ หรืออาจจะใช้ช่วงเวลาที่สร้างข้อมูลยาวขึ้นมา ซึ่งเรียกว่า Synthetic record ก็ได้ สำหรับการศึกษาการจัดการอ่างเก็บน้ำในช่วงเฉพาะที่มีปริมาณน้ำไหลต่ำสุด จะทำได้เพียงกำหนดปริมาตรความจุที่ต้องการซึ่งจะเพียงพอ ในช่วงแล้งที่สุดที่เลือกเท่านั้น ในการศึกษาโดยใช้ช่วงเวลาทั้งหมดที่มีข้อมูลอยู่ การคำนวณอาจจะคลุมไปถึงการประมาณหาค่าผลผลิตที่ใช้การได้ในแต่ละปีของข้อมูลด้วย การศึกษาการจัดการอ่างเก็บน้ำที่สมบูรณ์จะต้องรวมถึงการคำนวณหาโอกาสหรือเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่น้ำมีไม่เพียงพอแต่ปริมาณน้ำต้อง การในแต่ละขนาดด้วย ทั้งนี้เพราะมีความสำคัญในการวางแผนทางเศรษฐศาสตร์ และการรวมเอาโครงการต่างๆ เข้าเป็นระบบอันเดียวกัน

การทำการศึกษาการจัดการอ่างเก็บน้ำอาจจะใช้ข้อมูลที่เป็นปริมาณน้ำรายปี รายเดือน รายวัน หรือช่วงเวลาที่น้องกว่าได้ ข้อมูลรายปี โดยทั่วไป ให้ผลการศึกษาอย่างหยาบๆ เพราะว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณการไหลของน้ำในระหว่างช่วงเวลาของปีนั้นสำคัญมาก สำหรับอ่างเก็บน้ำที่มีขนาดใหญ่การศึกษาเกี่ยวกับปริมาณการไหลเข้าอาจใช้ข้อมูลรายเดือนก็เพียงพอแล้ว แต่ถ้าหากว่าอ่างเก็บน้ำมีขนาดเล็กซึ่งปริมาณการไหลของน้ำภายในช่วงเวลาของเดือนอาจจะสำคัญก็ควรจะใช้ข้อมูลรายวันในการทำการศึกษาการจัดการอ่างเก็บน้ำ

ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นจะต้องพิจารณาขั้นตอนพื้นฐานหลายๆ อย่างด้วยกัน หากข้อมูลปริมาณการไหลของน้ำตรงจุดที่จะสร้างอ่างเก็บน้ำไม่มีแล้ว ก็จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากสถานีอื่นในลำน้ำเดียวกันหรือจากลำน้ำใกล้เคียงมาปรับหรือดัดแปลงใช้กับจุดที่จะสร้างอ่างเก็บน้ำ ในบางกรณีข้อมูลที่มีอยู่ ณ จุดที่จะสร้างอ่างเก็บน้ำอาจจะสั้นไปจนไม่ครอบคลุมช่วงเวลาที่เกิดปริมาณการไหลต่ำสุดก็จำเป็นต้องต่อขยายข้อมูลดัง กล่าวออกไปด้วยการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ยาวกว่าของสถานีที่อยู่ใกล้เคียงด้วยการใช้หลักการจำแลงเชิงอุทกวิทยา (hydrologic simulation) หรือด้วยการใช้หลักของวิธีสตอคลาสติก (stochastic method)

หลังจากที่ได้คำนวณปริมาณการไหลเข้าตรงจุดที่จะสร้างอ่างเก็บน้ำแล้วก็จะต้องมีการปรับสำหรับน้ำที่จำเป็นต้องยอมให้ไหลผ่านอ่างเก็บน้ำหรือเขื่อนเพื่อให้ทางด้านท้ายน้ำได้ใช้ตามสิทธิ์ ซึ่งเรียกว่า ปริมาณน้ำสิทธิ (water right) สำหรับในประเทศไทยยังไม่ได้มีการกำหนดหลักการเกี่ยวกับปริมาณน้ำสิทธิที่แน่นอน อย่างไรก็ตามในหลักการแล้วจะต้องคำนวณปริมาณการใช้น้ำจากลำน้ำทางด้านท้ายเขื่อนในสภาพปัจจุบันก่อน และเมื่อออกแบบสร้างอ่างเก็บน้ำแล้วจะต้องพิจารณาทำการปล่อยน้ำไปให้ผู้ใช้น้ำทางด้านท้ายเขื่อนที่ไม่เกี่ยวข้องกับพื้นที่โครงการ ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ผู้ใช้น้ำดังกล่าวถูกกระทบกระเทือนจาการสร้างอ่างเก็บน้ำ

การสร้างอ่างเก็บน้ำจะไปเพิ่มพื้นที่ผิวน้ำนอกเหนือจากพื้นที่ผิวน้ำในลำน้ำเดิม จึงทำเกิดการระเหยจากผิวน้ำมากขึ้นกว่าเดิม เนื่องจากอัตราการระเหยจากผิวน้ำ (reservoir evaporation) จะมากกว่าการคายน้ำรวมการระเหยที่แท้จริง (actual evapotranspiration) จากผิวดินและพืชปกคลุมเสมอ ดังนั้นจึงมีการสูญเสียสุทธิของน้ำซึ่งเป็นผลจากการสร้างอ่างเก็บน้ำ ในเขตบริเวณที่มีสภาพอากาศแห้งแล้ง การสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยจะมีมากจนทำให้จุดประสงค์ของการสร้างอ่างเก็บน้ำไม่เป็นไปตามที่คาดไว้เพราะน้ำส่วนใหญ่อาจจะระเหยไปเสียหมด บางครั้งอาจจะเป็นสาเหตุให้เลิกล้มการสร้างอ่างเก็บน้ำเลยก็ได้เพราะไม่คุ้มกับการลงทุน ถ้าหากสมมุติว่าปริมาณการไหลเข้าเป็นปริมาณน้ำที่จุดตั้งเขื่อน ปริมาณการระเหยสุทธิ (net evaporation loss) ที่เป็นผลจากการสร้างอ่างเก็บน้ำสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$E_{net} = E_w - E_a \approx E_w - (P - q) \qquad (2\text{-}46)$$

ในเมื่อ E_w = การระเหยโดยอิสระจากผิวน้ำ

E_a = การคายน้ำรวมการระเหยที่แท้จริงจากพื้นที่ที่น้ำในอ่างท่วมถึง

P = น้ำฝนที่ตกลงสู่พื้นที่อ่าง

q = น้ำท่าจากพื้นที่อ่างก่อนที่จะเกิดการท่วมถึง (ก่อนสร้างอ่างเก็บน้ำ)

ในบางครั้งนิยมคำนวณปริมาณการระเหยสุทธิจากสมการง่ายๆ ดังนี้

$$E_{net} = E_w - (1-C_R)P \qquad (2\text{-}47)$$

ในเมื่อ C_R = ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (runoff coefficient) ส่วนสัญลักษณ์อื่นๆ เหมือนกับในสมการที่ (2-47) ในบางครั้งการคำนวณนั้นถ้าหากว่าค่า E_{net} มีค่าติดลบ จะสมมุติให้มีค่าเท่ากับศูนย์

สิ่งจำเป็นอีกอย่างที่จะต้องนำมาพิจารณาในออกแบบปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำ ก็คือ อัตรา หรือปริมาณการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำ เพราะช่วงเวลาการใช้งานหรืออายุของอ่างเก็บน้ำนับว่าเป็นช่วงเวลาหลายสิบปี ดังนั้นตะกอนที่ตกสะสมแต่ละปีจะทำให้ลดปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำลงได้ ดังนั้นในการคำนวณออกแบบปริมาตรความจุของอ่างจะต้องเผื่อที่ไว้สำหรับให้ตะกอนมาตกด้วย ส่วนของปริมาตรความจุดังกล่าวก็คือบริเวณปริมาตรเก็บกักสูญเปล่า (dead storage) นั่นเอง

2.9.3.7 การคำนวณผลผลิตจาการกำหนดปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำ

(Determination of Yield from a Given Reservoir Capacity)

ในบางครั้งปริมาตรความจุของอ่างอาจจะถูกจำกัดหรือกำหนดด้วยสภาพที่ตั้งเขื่อน ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องคำนวณว่าจะมีปริมาณน้ำเท่าไรที่ความจุของอ่างดังกล่าวจะให้ได้ ซึ่งก็คือการคำนวณผลผลิตจากปริมาตรความจุที่กำหนด จะเห็นว่าผลผลิตจากอ่างก็คือ ผลรวมตามเครื่องหมายของปริมาตรเก็บกักที่ใช้ประโยชน์ได้ (usable storage) ของอ่างกับปริมาณการไหลที่ใช้ประโยชน์ได้ในช่วงแล้งวิกฤต

2.9.3.8 โค้งปริมาณน้ำไหลเข้าสะสม (Mass Curves of Inflow)

โค้งปริมาณน้ำไหลเข้าสะสม (Mass Curves) เป็นวิธีตรวจสอบด้วยกราฟอย่างง่ายที่ใช้กับข้อมูลที่มีอยู่ทั้งหมดหรือบางส่วนของข้อมูลในการประมาณหาค่าผลผลิตจากปริมาตรความจุที่กำหนดและในทางตรงกันข้ามประมาณหาค่าปริมาตรความจุจากปริมาณน้ำต้องการที่กำหนด โค้งปริมาณน้ำไหลเข้าสะสมหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Rippl Diagram ก็คือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลเข้าที่ปรับแล้ว (adjusted inflow หรือ net reservoir inflow) สะสมกับเวลา เนื่องจากเป็นกราฟปริมาณน้ำไหลเข้าสะสม ความลาดชันของโค้งปริมาณน้ำไหลเข้าสะสมที่พล็อตได้ที่เวลาใดๆ ก็คือ ปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามาสู่อ่างในเวลานั้น สำหรับโค้งปริมาณน้ำต้องการ (demand curve) ซึ่งเป็นตัวแทนของปริมาณน้ำต้องการที่มีอัตราคงที่สม่ำเสมอจะเป็นเส้นตรงและมีความลาดชันเท่ากับอัตราปริมาณน้ำที่ต้องการ (demand rate) ในขณะนั้น เส้นโค้งปริมาณน้ำต้องการที่ลากสัมผัสกับจุดสูงสุดของโค้งปริมาณน้ำไหลเข้าสะสม ก็คือ อัตราส่วนของการชักน้ำออกจากอ่างไปใช้ด้วย การสมมุติว่าอ่างเก็บน้ำจะมีน้ำเต็มปริมาตรเก็บกักปกติ เมื่อใดก็ตามที่เส้นโค้งปริมาณน้ำ

ต้องการสะสมตัดกับโค้งปริมาณน้ำไหลเข้าสะสม ดังนั้นระยะทางในแนวดิ่งที่เส้นโค้งปริมาณต้องการห่างจากโค้งปริมาณน้ำไหลเข้าสะสมมากที่สุด ซึ่งเรียกว่าระยะต่างมากสุด (maximum departure) ก็คือ ปริมาตรความจุของอ่างที่ต้องการเพื่อที่จะให้สามารถเก็บกักน้ำไว้พอเพียงแก่ปริมาณน้ำต้องการในช่วงแล้งดังกล่าว ระยะในแนวดิ่งระหว่างเส้นสัมผัสที่ใกล้กันก็จะเป็นส่วนของน้ำที่ไหลล้นทางอาคารน้ำล้นออกไปทางด้านท้ายน้ำ

ในกรณีที่ปริมาณน้ำต้องการมีอัตราไม่คงที่สม่ำเสมอตลอดเวลา เส้นโค้งปริมาณน้ำต้องการจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งซึ่งเรียกว่าโค้งปริมาณต้องการสะสม (mass curve of demand) วิธีการวิเคราะห์ก็เช่นเดียวกับที่ได้กล่าวมาแล้ว

ทั้งนี้เพราะสมมุติว่าปริมาณน้ำต้องการส่วนที่เกินกว่าปริมาณน้ำไหลเข้าจะถูกชักมาใช้จากอ่างที่ถูกกำหนดให้มีปริมาตรความจุขนาดหนึ่งซึ่งจะใช้เกินกว่านี้ไม่ได้ โดยปกติเส้นปริมาณน้ำต้องการที่ลากเป็นเส้นตรงสัมผัสออกไปจะต้องตัดกับโค้งปริมาณน้ำไหลเข้าสะสม ถ้าหากไม่ตัดก็แสดงว่าอ่างเก็บน้ำจะไม่มีโอกาสเต็มถึงปริมาตรเก็บกักปกติที่ออกแบบไว้หรือที่กำหนดเลย

2.9.3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกราฟน้ำท่า (Flow Hydrograph)

โค้งปริมาณน้ำไหลเข้าสะสม (Mass Curve) และโค้งปริมาณการไหล-ช่วงเวลา (Flow Duration Curve) ตามที่ได้กล่าวแล้วการคำนวณปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำอย่างง่ายอาจคำนวณจากกราฟน้ำท่า โค้งปริมาณน้ำไหลเข้าสะสม และโค้งปริมาณการไหล-ช่วงเวลาความสัมพันธ์ระหว่างกราฟทั้งสามชนิด เพื่อที่จะทำให้เข้าใจดียิ่งขึ้น จะขอกล่าวรายละเอียดความสัมพันธ์ของกราฟทั้งสามและการวิเคราะห์ปริมาตรความจุของอ่าง

สำหรับปริมาตรความจุของอ่างที่ต้องการสำหรับการนำน้ำไปใช้กับปริมาณน้ำต้องการที่มีอัตราไม่คงที่ (Non-uniform Rate) ก็สามารถคำนวณได้ด้วยการศึกษาจากกราฟน้ำท่า และโค้งปริมาณน้ำไหลเข้าสะสมเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามสำหรับอ่างเก็บน้ำที่เป็นระบบหรือมีหลายอ่างทำหน้าที่ร่วมกัน การคำนวณที่ดีที่สุดกระทำได้ด้วยการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณการไหลรายวัน (Daily Flow) และการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเก็บกักในอ่างต่างๆ ซึ่งการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะดีที่สุด

2.9.3.10 อ่างเก็บน้ำชนิดควบคุมและไม่ควบคุมปริมาตรความจุ

ก่อนที่จะได้กล่าวถึงการออกแบบปริมาตรความจุสำรองสำหรับการป้องกันหรือการบรรเทาน้ำท่วม (Flood-detention Storage) จะอธิบายเกี่ยวกับลักษณะอ่างเก็บน้ำที่สามารถควบคุม (Controlled) และไม่สามารถควบคุม (Uncontrolled) ปริมาตรความจุเสียก่อน ในปัจจุบันอาจมีการเข้าใจว่าการควบคุมและไม่ควบคุมปริมาตรความจุก็เหมือนกับอ่างเก็บน้ำที่มีประตู (Gated) และไม่มีประตู (Ungated) ตามลำดับ ซึ่งการเข้าใจเช่นนี้นับว่าไม่ถูกต้องและอาจเป็นผลให้เกิดอันตรายในการออกแบบและการจัดการอ่างเก็บน้ำที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการป้องกันน้ำท่วมร่วมอยู่ด้วยได้

โดยแท้จริงแล้วการควบคุมปริมาตรความจุจะกระทำได้นั้นอาคารทางออก (Outlets) ต่างๆ จะต้องมีประตูควบคุมทั้งหมด แต่การที่อาคารทางออกต่างๆ เป็นแบบมีประตูควบคุมทั้งหมดไม่จำเป็นว่าการควบคุมปริมาตรความจุจะกระทำได้เต็มที่ร้อยเปอร์เซ็นต์ เพื่อที่จะควบคุมปริมาตรความจุได้ทั้งหมดจะต้องมีอาคารทางออกซึ่งมีความสามารถในการปล่อยน้ำ (Outlet Capacities) เท่ากับหรือมากกว่าปริมาณการไหลเข้าสู่อ่างที่มากที่สุดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ ถ้าหากว่าความสามารถในการปล่อยน้ำรวมของอาคารทางออกน้อยกว่าปริมาณการไหลเข้าสู่อ่างแล้วจะไม่สามารถป้องกันการเพิ่มปริมาตรน้ำในอ่างในกรณีที่มีปริมาณการไหลเข้ามากๆ ได้ นอกจากนั้นการควบคุมอัตราการเพิ่มปริมาตรของน้ำในอ่างจะถูกจำกัดเมื่อปริมาณการไหลเข้าเกินกว่าความสามารถในการปล่อยน้ำของอาคารทางออกทั้งหมด ดังนั้นจะเห็นว่าดีกรีความสามารถในการควบคุมปริมาตรความจุของอ่างจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการปล่อยน้ำของอาคารทางออก ซึ่งแน่นอนทีเดียวจำเป็นจะต้องมีประตูควบคุมอยู่ด้วย

อ่างเก็บน้ำส่วนใหญ่ปริมาตรเก็บกักสำรองชั่วคราวเหนือสันอาคารน้ำล้น (Spillway) ในกรณีที่ไม่มีประตูควบคุมก็มิใช่จะไม่สามารถควบคุมได้เสียทีเดียว ทั้งนี้เพราะส่วนมากแล้วถึงแม้ว่าจะไม่มีประตูควบคุมที่อาคารน้ำล้น ก็จะมีประตูควบคุมที่อาคารทางออกต่างๆ ซึ่งจะอยู่ต่ำกว่าระดับสันอาคารน้ำล้นมาก ดังนั้นจากการควบคุมการปิดเปิดประตูของอาคารทางออกจะสามารถทำให้ควบคุมอัตราการเพิ่มปริมาตรเก็บกักเหนือสันอาคารน้ำล้นได้บางส่วน นอกจากนั้นจะเห็นว่าดีกรีความสามารถในการควบคุมจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการปล่อยหรือระบายน้ำของอาคารทางออกที่ติดประตูดังกล่าว อย่างไรก็ตามการควบคุมปริมาตรความจุจะไม่สามารถทำได้สมบูรณ์เต็มที่เพราะว่าถึงแม้ว่าจะปิดประตูอาคารทางออกทั้งหมด ปริมาตรของน้ำในอ่างที่อยู่เหนือสันอาคารน้ำล้นที่ไม่มีประตูควบคุมก็จะไม่สามารถป้องกันไม่ให้ระบายออกจากอ่างทางอาคารน้ำล้นได้

ปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการบรรเทาน้ำท่วมที่ออกแบบให้มีการควบคุมได้ (Controlled Detention Storage) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการลดขนาดของปริมาณการไหลสูงสุด (Flood Peaks) เพราะต้องการปริมาตรความจุดังกล่าวน้อยที่สุดในการที่จะลดขนาดของปริมาณการไหลสูงสุดลงเหลือขนาดที่กำหนด ซึ่งจะเป็นขนาดของปริมาณการไหลสูงสุดที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่พื้นที่ทางด้านท้ายเขื่อน

ในการออกแบบเขื่อนเก็บกักน้ำ สิ่งจำเป็นก็คือ (1) อย่างน้อยควรจะมีอาคารน้ำล้นฉุกเฉิน (Emergency Spillway) แบบไม่มีประตูควบคุมซึ่งระดับสันของอาคารน้ำล้นฉุกเฉินจะต้องไม่สูงกว่าระดับน้ำท่วมสูงสุดปกติ (Normal Maximum Flood Level) ในกรณีปริมาตรความจุที่มีการควบคุมและ (2) อย่างน้อยควรจะมีฟรีบอร์ด (Freeboard) ซึ่งเป็นระยะในแนวดิ่งระหว่างระดับน้ำ

ท่วมสูงสุดปกติและระดับสันเขื่อน อย่างน้อยเท่ากับ 1.5-2.5 เมตร เหนือระดับที่จำเป็นในการผ่านน้ำท่วมขนาดใหญ่ที่ออกแบบทางอาคารน้ำล้นฉุกเฉิน

2.9.3.11 การออกแบบอ่างเก็บน้ำป้องกันน้ำท่วม (Design of a Flood-Control Reservoir)

หลักการที่แตกต่างกันในการออกแบบคำนวณปริมาตรเก็บกักสำหรับนำน้ำไปใช้ในเวลาต่อมา (Conservation Storage) และปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วม (Flood Control Storage) ก็คือในกรณีแรกจะพิจารณาข้อมูลปริมาณน้ำในช่วงเวลาที่เกิดน้ำน้อยหรือช่วงเวลาที่แห้งแล้งมากๆ แต่ในกรณีหลังจะพิจารณาช่วงเวลาที่เกิดน้ำท่วมน้ำนองหรือเวลาที่ปริมาณน้ำไหลสูงสุดในแต่ละปี ข้อสมมุติฐานที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งสำหรับการออกแบบปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมก็คือการพิจารณาช่วงระยะเวลาที่เกิดน้ำท่วมสองลูกใกล้ๆ กัน โดยทั่วไปจะพิจารณาระยะเวลาดังกล่าวนานพอสมควร จนกระทั่งสามารถระบายน้ำซึ่งเกิดจากน้ำท่วมลูกแรกออกไปจากปริมาตรเก็บกักสำรองได้ทันก่อนที่จะเกิดน้ำท่วมลูกที่สอง ดังนั้นในกรณีนี้ปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมจะพิจารณาออกแบบโดยใช้ขนาดน้ำท่วมเพียงลูกเดียว

เหตุผลที่ไม่พิจารณาระยะเวลาระหว่างการเกิดน้ำท่วมสองลูกก็คือ การสมมุติว่าเวลาที่ต้องการในการระบายน้ำออกจากปริมาตรเก็บกักสำรองจะสั้นกว่าระยะเวลาที่สั้นที่สุดระหว่างการเกิดปริมาณน้ำไหลสูงสุดจากน้ำท่วมสองลูกที่มีขนาดใหญ่พอสมควรเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดน้ำท่วมที่ใช้ในการออกแบบ ถึงแม้ว่าในกรณีการพิจารณาเช่นนี้จะใช้กันทั่วไป แต่ในบางท้องที่หรือบางสภาพภูมิอากาศที่ระยะเวลาระหว่างการเกิดปริมาณการไหลสูงสุดสั้นมาก ก็ควรจะพิจารณาระยะเวลาระหว่างการเกิดปริมาณการไหลจากน้ำท่วมสองลูกในการออกแบบด้วย

ในกรณีอ่างเก็บน้ำที่ไม่มีการควบคุมปริมาตรเก็บกัก การคำนวณปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วม นิยมกระทำด้วยวิธีการเคลื่อนตัวน้ำท่วมผ่านอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Routing) ในตอนแรกจะต้องกำหนดว่า Q_K ซึ่งเป็นปริมาณการไหลสูงสุดที่ยอมให้ปล่อยออกจากอ่างไปสู่ลำน้ำท้ายเขื่อนได้ ขนาดของปริมาณการไหลสูงสุดที่ยอมให้ปล่อยได้นี้จะกำหนดด้วยการพิจารณาความสามารถของลำน้ำท้ายเขื่อนเป็นหลัก จากนั้นก็ทำการเคลื่อนกราฟน้ำท่วมที่ออกแบบ (design flood hydrographs) ผ่านอ่างเก็บน้ำด้วยการกำหนดขนาดและรูปร่างของอาคารน้ำล้นและอาคารทางออกต่างๆ เมื่อทำการคำนวณการเคลื่อนตัวน้ำท่วมผ่านอ่างเก็บน้ำแล้วก็จะได้กราฟปริมาณน้ำไหลออก (outflow hydrograph) ที่ปล่อยออกจากอ่างต่อไปก็ทำการเปรียบเทียบ ปริมาณการไหลสูงสุดของกราฟปริมาณน้ำไหลออกซึ่งกำหนดให้เป็น Q'_{max} กับปริมาณการไหลสูงสุดที่ยอมให้ปล่อยได้ท้ายเขื่อน Q_K เมื่อขนาด Q'_{max} ไม่เท่ากับ Q_K โดยเฉพาะอย่างยิ่งมากกว่า Q_K ก็จำเป็นต้องเปลี่ยนขนาดและรูปร่างของอาคารน้ำล้นหรืออาคารทางออกใหม่พร้อมกับทำการคำนวณการ

เคลื่อนตัวน้ำท่วมผ่านอ่างเก็บน้ำและตรวจสอบดูจนกว่าจะได้ Q'_{max} ไม่เกินหรือเท่ากับ Q_K เมื่อได้ขนาดอาคารน้ำล้นและอาคารเทาออกที่ให้ขนาด Q'_{max} เท่ากับ Q_K แล้ว ปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมที่ต้องการก็คือปริมาตรของอ่างสูงสุดที่อยู่เหนือสันอาคารน้ำล้น S_{max}ที่ให้ปริมาณการไหลสูงสุดเท่ากับ Q'_{max} ซึ่งคำนวณได้จากการพล๊อตกราฟการเคลื่อนตัวน้ำท่วมผ่านอ่างเก็บน้ำ (reservoir routing curves)

สำหรับกรณีอ่างเก็บน้ำที่มีการควบคุมปริมาตรความจุ ปริมาตรเก็บกักสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วมในทางทฤษฎีก็คือ ปริมาตรของกราฟน้ำท่วมที่ออกแบบในส่วนที่มีปริมาณการไหลมากกว่า Q_K การออกแบบในกรณีนี้จำเป็นต้องมีอาคารทางออกที่มีประตูควบคุมการไหลออกทุกตัวและความสามารถในการระบายของอาคารทางออก จะต้องมีขนาดอย่างน้อยเท่ากับ Q_K นอกจากนั้นการจัดการอ่างเก็บน้ำในกรณีนี้ยุ่งยากและต้องการทั้งความชำนาญและประสิทธิภาพมากกว่ากรณีอ่างเก็บน้ำที่ไม่มีการควบคุมปริมาตรความจุ

2.10 การวางแผนการจัดการอ่างเก็บน้ำ (RESERVOIR OPERATION PLANNING)

การวางแผนการจัดการอ่างเก็บน้ำเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างหนึ่งในการออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำโดยเฉพาะโครงการอ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์ เมื่อทำการเลือกที่ตั้งของเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำแล้วก็จะทำการคำนวณปริมาตรความจุที่ต้องการสำหรับวัตถุประสงค์ต่างๆ ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว หลังจากนั้นก็ต้องการทำการศึกษาหาวิธีการจัดการอ่างเก็บน้ำให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุดตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ อ่างเก็บน้ำใน รูปที่ 2.7 (a) , (b) และ (d) ซึ่งมีการจัดการโดยอัตโนมัติได้ทำการออกแบบวางแผนการจัดการให้ตัวเองเรียบร้อยแล้ว อ่างเก็บน้ำเหล่านี้จะมีระดับเก็บกัก ซึ่งให้เนื้อที่สำหรับวัตถุประสงค์เพื่อการท่องเที่ยว พักผ่อนหย่อนใจ หรือในกรณีอ่างเก็บน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วม จะออกแบบระดับสันอาคารน้ำล้น ตลอดทั้งความยาวและขนาดต่างๆ ของอาคารทางออก เพื่อทำหน้าที่ป้องกันน้ำท่วมตามดีกรีการลดขนาดของน้ำท่วมตามที่ได้ออกแบบไว้

ในกรณีอ่างเก็บน้ำวัตถุประสงค์เดี่ยวชนิดปล่อยน้ำเก็บกักไปช่วยความต้องการในระยะขาดน้ำหรือในระยะที่ปริมาณการไหลเข้าต่ำ ก็จะมีการกำหนดปริมาตรน้อยที่สุดสำหรับวัตถุประสงค์ต่างๆ อาทิเช่น การประปา การชลประทาน การเดินเรือ เป็นต้น การวางแผนการจัดการอ่างเก็บน้ำจะทำได้โดยไม่ยากนัก ในขั้นแรกก็คำนวณปริมาณน้ำไหลต่ำสุด (Minimum Flow) ที่ต้องการสำหรับปริมาณน้ำต้องการ (Demand) ที่คาดคะเนไว้แล้ว ต่อจากนั้นการคำนวณปริมาตรความจุที่จำเป็นในการรักษาปริมาณการไหลต่ำสุดดังกล่าวด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำท่าและและข้อมูลอุทกวิทยาอื่นๆ ในระหว่างช่วงเวลาที่ปริมาณการไหลเข้าตามธรรมชาติน้อยกว่าปริมาณการไหลต่ำสุดที่คำนวณไว้ก็จำเป็นจะต้องปล่อยน้ำออกจากอ่างเพื่อไปเสริมให้ได้ปริมาณตามปริมาณน้ำต้องการ

ในกรณีอ่างเก็บน้ำที่มีประตูควบคุมทั้งอาคารน้ำล้นและอาคารทางออก จำเป็นต้องมีการจัดการที่ดีและมีประสิทธิภาพ อ่างเก็บน้ำเหล่านี้ต้องมีการวางแผนการจัดการล่วงหน้า แผนการจัดการดังกล่าวจำเป็นอย่างยิ่งในระบบอ่างเก็บน้ำที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำหลายวัตถุประสงค์ ซึ่งส่วนมากอาจจะมีการขัดแย้งกัน (Conflict) ในการใช้หรือต้องการน้ำ ขีดจำกัดในการวางแผนการจัดการอ่างเก็บน้ำอาจขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์ต่างๆ อาทิเช่น ฤดูกาล สภาพน้ำท่าในปัจจุบัน เป็นต้น ในขณะที่ความจำเป็นต้องมีแผนการจัดการไว้ล่วงหน้า ก็มิใช่จะเป็นข้อกำหนดว่าแผนการดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงมิได้ ทั้งนี้เพราะปริมาณน้ำต้องการในอนาคตอาจเปลี่ยนแปลงได้ นอกจากนั้นหลังจากทำการก่อสร้างอ่างเรียบร้อยแล้วก็อาจจะพบว่าที่ออกแบบไว้ไม่ถูกต้องเท่าที่ควรทั้งแง่ต่ำ (Underdesigned) และแง่สูง (Overdesigned) อันเนื่องมาจากข้อมูลต่างๆ ที่ใช้วิเคราะห์ในระยะเวลาที่ออกแบบไม่สมบูรณ์เพียงพอ

2.11 การประเมินน้ำท่าสำหรับงานพัฒนาแหล่งน้ำ

โครงการพัฒนาแหล่งน้ำต่างๆ จะเกี่ยวข้องกับการพัฒนาทรัพยากรน้ำไปใช้ในวัตถุประสงค์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นวัตถุประสงค์เดี่ยว (Single Purpose) หรือเอนกประสงค์ (Multipurpose) อาทิเช่น เพื่อการชลประทาน การผลิตกระแสไฟฟ้าพลังน้ำ การอุปโภคบริโภค การอุตสาหกรรม และการบรรเทาอุทกภัย เป็นต้น การออกแบบงานพัฒนาทรัพยากรน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ จะได้ผลดีนั้นจำเป็นจะต้องประเมินปริมาณน้ำต้นทุนหรือปริมาณน้ำท่าให้ถูกต้องมากที่สุด ถ้าหากการออกแบบมีการประมาณปริมาณน้ำท่าสูงเกินไป (Over Estimates) ก็อาจจะเกิดการสูญเปล่าทางเศรษฐกิจได้ ทั้งนี้เพราะเมื่อออกแบบก่อสร้างไปแล้ว ไม่มีปริมาณน้ำต้นทุนมากดังที่ได้ประเมินไว้ ก็จะทำให้วัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ไม่สมบูรณ์ เพราะปริมาณน้ำจริงๆ มีไม่เพียงพอแก่ความต้องการ ในทางตรงกันข้ามหากการออกแบบมีการประเมินปริมาณน้ำท่าต่ำเกินไป (Under Estimates) ก็อาจจะทำให้ไม่เกิดผลดีเท่าที่ควรเพราะแทนที่จะออกแบบพัฒนานำน้ำไปใช้ได้มากขึ้นตามปริมาณที่มีอยู่จริง กลับพัฒนานำไปใช้ในวัตถุประสงค์ที่ต่ำกว่า เป็นต้น

การประมาณปริมาณน้ำต้นทุนหรือน้ำท่าได้ถูกต้องแม่นยำเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ทำการวัด ถ้าหากว่ามีสถานีวัดน้ำท่ามากพอเพียงและสถิติของข้อมูลยาวพอสมควร การประมาณปริมาณน้ำท่าจะทำได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงโดยไม่ยากนัก อย่างไรก็ตามสำหรับประเทศไทยนั้น ถึงแม้ว่าได้มีการจัดหาข้อมูลทางอุทกวิทยามานานพอสมควรแล้ว ส่วนใหญ่ข้อมูลดังกล่าวมักจะมีเกือบครบสมบูรณ์บริเวณตอนล่างของแม่น้ำลำธารที่เป็นแหล่งชุมชน ทางคมนาคมสะดวก ส่วนบริเวณที่เป็นภูเขา ต้นน้ำลำธารและบริเวณที่อยู่ห่างไกลชุมชน ทางคมนาคมยังไม่สะดวก ข้อมูลทางอุทกวิทยาโดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลน้ำท่า จะยังไม่ค่อยมี หรือมีก็ยังไม่สามารถนำเอาไปใช้งานได้ เนื่องจากสถิติยังสั้นไป

เนื่องจากข้อมูลปริมาณน้ำท่าบริเวณต้นลำธารมีความจำเป็นมากต่อการศึกษาออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก ซึ่งตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศกำหนดไว้เป็นงานเร่งด่วนและกระจายอยู่ทั่วไป ดังนั้นจำเป็นต้องมีการประเมินประมาณน้ำท่าให้ได้ผลใกล้เคียงกับความเป็นจริง ไม่ว่าจะเป็นกรณีที่ไม่ได้ทำการวัดข้อมูลเลย หรือกรณีที่สถิติข้อมูลสั้นก็ตาม เป็นการประเมินน้ำท่าสำหรับเพื่องานพัฒนาแหล่งน้ำ ซึ่งจะรวมทั้งการประเมินน้ำท่า ในกรณีที่ไม่ได้ทำการวัดข้อมูลไว้เลย และการต่อข้อมูลที่มีสถิติสั้นออกไป เพื่อสามารถนำไปใช้ในการศึกษาออกแบบปริมาณน้ำต้นทุนได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

2.11.1 แม่น้ำสำคัญของประเทศไทย

ก่อนอื่นจะขอกล่าวถึงแม่น้ำสำคัญของประเทศไทยเสียก่อน เพื่อให้เกิดเป็นแนวทางสำหรับการยกตัวอย่างในเรื่อง การประเมินน้ำท่าในตอนต่อไป สำหรับการเกิดแม่น้ำลำธาร และปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ในแม่น้ำลำธารนั้นจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับลักษณะภูมิประเทศและลักษณะภูมิอากาศ

สำหรับประเทศไทยนั้น ลักษณะภูมิประเทศแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะที่สำคัญ (เอกสารอ้างอิง 1) ดังนี้

(ก) **ภูเขา** บริเวณที่เป็นภูเขาได้แก่ บริเวณภาคเหนือ ทางตะวันตกของประเทศภาคใต้ ภาคตะวันออกเฉียงใต้ ขอบที่ราบสูงโคราช โดยมีลักษณะแนวทิวเขาอยู่ในทิศเหนือ-ใต้ ดังแสดงในรูปที่2.8

(ข) ที่ราบสูง ได้แก่ บริเวณที่ราบสูงโคราช ซึ่งมีขอบของที่ราบสูงชันทั้งสองด้าน มีแนวเทือกเขาเพชรบูรณ์เป็นขอบด้านตะวันตก และแนวเทือกเขาสันกำแพงและพนมดงรัก เป็นขอบทางทิศใต้

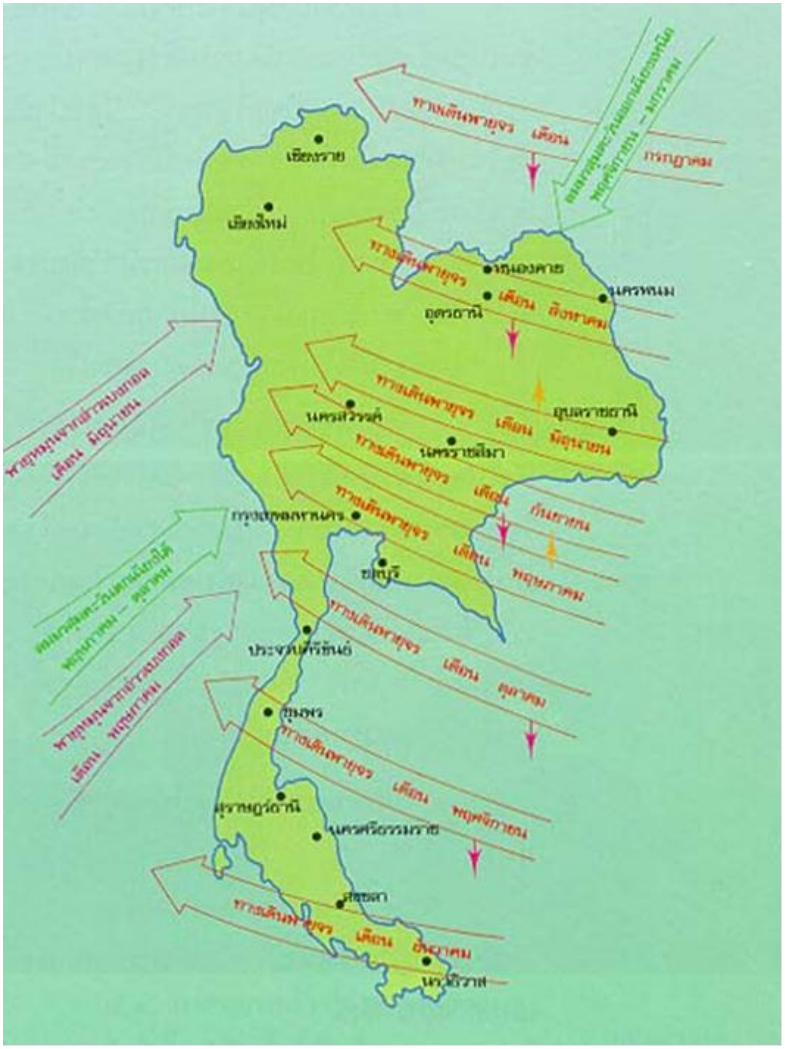
(ค) ที่ราบ ได้แก่ ที่ราบภาคกลาง ซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นที่ราบกว้างที่สุดในประเทศ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีที่ราบลุ่มแม่น้ำชี แม่น้ำมูล นอกจากนี้แล้วเป็นที่ราบแคบๆ ในภาคเหนือมีลักษณะเป็นที่ราบระหว่างภูเขา ส่วนทางภาคใต้และภาคตะวันออกมีลักษณะเป็นที่ราบชายฝั่งทะเล

สำหรับลักษณะภูมิอากาศของประเทศไทยโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับลมที่พัดผ่านตามฤดูกาล 2 ชนิดคือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เริ่มพัดผ่านประมาณเดือนพฤษภาคมไปจนถึงเดือนตุลาคมนี้ มีกำหนดมาจากบริเวณความกดอากาศสูงในมหาสมุทรอินเดีย พัดพาไอน้ำและความชุ่มชื้นเข้ามาทำให้เกิดฤดูฝนในประเทศไทย ในช่วงฤดูกาลนี้จะมีเมฆมากและมีฝนตกโดยเฉพาะตามบริเวณชายฝั่งทะเล และเทือกเขาด้านรับลมทำให้มีปริมาณฝนมากกว่าบริเวณอื่น

ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เริ่มพัดผ่านประมาณเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ เป็นช่วงที่อากาศในประเทศไทยมีความแห้งแล้งเว้นแต่ในบริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันออกซึ่งท้องฟ้ามีเมฆมากและมีฝนตามชายฝั่งทะเล ลมมรสุมชนิดนี้มีคุณสมบัติหนาวเย็นและค่อนข้างแห้งแล้ง เมื่อพัดเข้าสู่ประเทศไทยทำให้บริเวณตั้งแต่ภาคกลางขึ้นไปมีอุณหภูมิลดลงและท้องฟ้าโปร่งเป็นส่วนมาก

รูปที่ 2.8 ที่ตั้ง อาณาเขต และภูมิศาสตร์ของประเทศไทย



รูปที่ 2.9 ทิศทางลมและร่องมรสุมของประเทศไทย

ในช่วงระยะเวลาระหว่างลมมรสุมทั้งสองชนิด คือ ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม เป็นช่วงฤดูร้อน ซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้พัดพาความร้อนมาจากด้านทะเลจีนใต้และอ่าวไทย ทำให้มีอากาศอบอ้าว ยกเว้นบริเวณภาคกลางและชายฝั่งทะเลตะวันออก นอกจากนี้ลมไต้ฝุ่นและดีเปรสชั่นจะมีอิทธิพลทำให้ฝนตกมากและแผ่เป็นบริเวณกว้าง ในประเทศไทยมีลมพัดผ่านเข้ามาหลายชนิด ดังแสดงไว้ในภาพแสดงทิศทางลมและร่องมรสุมที่พัดผ่านเข้ามาในประเทศ ในรูปที่ 2.9

2.11.2 ข้อมูลน้ำท่าสำหรับงานพัฒนาแหล่งน้ำ

ข้อมูลน้ำท่าที่ใช้ในการประเมินปริมาณน้ำต้นทุน ในโครงการพัฒนาแหล่งนี้ต่างๆ ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน (Daily Flow) ปริมาณน้ำท่ารายเดือน (Monthly Flow) และปริมาณน้ำท่า

รายปี (Annual Flow) การที่จะใช้ข้อมูลประเภทใดนั้นขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์ที่พิจารณาหลายอย่างด้วยกัน กล่าวคือขึ้นอยู่กับลักษณะและประเภทของโครงการ ระดับและเวลาของการศึกษาโครงการ การศึกษาโครงการ ชนิดของข้อมูล และงบประมาณที่มีอยู่

ถ้าหากเป็นโครงการประเภทอ่างเก็บน้ำขนาดกลางหรือขนาดใหญ่ ซึ่งการจัดการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation) เป็นลักษณะเก็บกักน้ำข้ามปี กล่าวคือขนาดความจุของอ่างมีปริมาตรมากเกินพอที่จะเก็บกักน้ำในปีน้ำดี (Wet Years) ไว้ใช้ในปีน้ำแล้ง (Dry Years) ก็อาจจะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายปีได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาการศึกษาเบื้องต้น ถ้าหากว่าการศึกษาต้องการความละเอียดถูกต้องมากขึ้น เช่นระดับการศึกษาความเหมาะสมโครงการหรือขั้นรายละเอียดออกแบบ ก็อาจจำเป็นต้องใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน ในกรณีโครงการพัฒนาแหล่งน้ำเป็นลักษณะอ่างเก็บน้ำ ซึ่งมีการจัดการอ่างเก็บน้ำเป็นช่วงเฉพาะปี คือสามารถเก็บกักน้ำในฤดูน้ำหลากไว้ใช้ในฤดูน้ำแล้งหรือหน้าแล้ง ก็จะไม่สามารถใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายปีได้ จำเป็นต้องใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนเพื่อจะได้ครอบคลุมถึงการแพร่กระจายของปริมาณน้ำในแต่ละเดือนด้วย

สำหรับโครงการพัฒนาแหล่งน้ำประเภท Runoff-River Type กล่าวคือ การนำน้ำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ จากแม่น้ำลำน้ำโดยตรง โดยไม่มีอ่างเก็บกักน้ำ ก็จำเป็นต้องใช้ปริมาณน้ำท่ารายวันมาทำการวิเคราะห์โครงการ ในกรณีโครงการพัฒนาแหล่งน้ำเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าในลักษณะ pumped storage ก็จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำด้วยการใช้ปริมาณน้ำท่ารายวัน

2.11.3 ข้อมูลน้ำท่าของประเทศไทย

หน่วยงานหลักที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการวัดและเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำท่าก็คือ กรมชลประทานและสำนักงานการพลังงานแห่งชาติ ทั้งสองหน่วยงานมีสถานีวัดน้ำท่ากระจัดกระจายอยู่ทั่วประเทศ และในแต่ละปีได้จัดพิมพ์ข้อมูลปริมาณน้ำท่าทั้งระดับน้ำและปริมาณน้ำท่ารายวัน ระดับน้ำและปริมาณน้ำท่ารายเดือน ระดับน้ำและปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของปี ตลอดจนปริมาณน้ำท่าต่ำสุดและสูงสุดของปี กรมชลประทานได้จัดพิมพ์ข้อมูลปริมาณน้ำท่าใน Hydrological Yearbook สำหรับ water year ต่างๆ เริ่มตั้งแต่ปี ค.ศ. 1912 จนถึงปัจจุบัน สำหรับสำนักงานพลังงานแห่งชาติได้จัดพิมพ์ข้อมูลปริมาณน้ำท่าในสถิติอุทกวิทยา เล่ม 1 สำหรับแต่ละ Calendar Year โดยเริ่มตั้งแต่ปี ค.ศ. 1963 เป็นต้นมา นอกจากหน่วยงานหลักดังกล่าวทั้งสองแล้ว ยังมีหน่วยงานอื่นที่ทำการวัดและเก็บรวบรวมข้อมูลน้ำท่าโดยมีสถานีวัดน้ำเฉพาะแห่งที่หน่วยงานนั้นเกี่ยวข้องหรือสนใจ อาทิเช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กรมอุตุนิยมวิทยา เป็นต้น

เพื่อที่จะได้เข้าใจถึงข้อมูลปริมาณน้ำท่าของประเทศไทย จะขอนำผลการศึกษาลักษณะน้ำท่าของแม่น้ำในประเทศไทย สรุปได้ดังต่อไปนี้

การศึกษาลักษณะน้ำท่าของแม่น้ำในประเทศไทยนั้น ประกอบด้วย (1) การศึกษาปริมาณน้ำท่าต่ำสุดต่อหน่วยพื้นที่ ในช่วง 1 เดือน 3 เดือน 6 เดือน และปริมาณน้ำท่ารายปีต่อหน่วยพื้นที่ลุ่มน้ำ (2) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำ และ (3) การศึกษาลักษณะการแพร่กระจายของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยในรอบปีของแม่น้ำสายสำคัญ การศึกษาได้ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปีของทุกปีของข้อมูล จากสถานีต่างๆ ซึ่งมีสถิติข้อมูลตั้งแต่ 5 ปี ถึง 62 ปี จำนวนทั้งหมด 292 สถานี ซึ่งเป็นสถานีวัดน้ำของกรมชลประทาน จำนวน 192 สถานี และสถานีวัดน้ำของสำนักงานพลังงานแห่งชาติจำนวน 100 สถานี

การศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับพื้นที่ลุ่มน้ำนั้น ได้แสดงลักษณะความสัมพันธ์ในสมการรีเกรซชั่น (regression equation) ดังต่อไปนี้

$$Q = kA^n \qquad (2\text{-}48)$$

ในเมื่อ Q คือปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย มีหน่วยเป็นล้านลูกบาศก์เมตร

A คือพื้นที่ลุ่มน้ำ มีหน่วยเป็นตารางกิโลเมตร

K และ n คือค่าสัมประสิทธิ์ของสมการรีเกรซชั่น

2.11.4 การประเมินค่าน้ำท่าในกรณีข้อมูลไม่เพียงพอ

ตามที่ได้กล่าวแล้วประเทศไทยยังขาดข้อมูลอุทกวิทยาหรือมีไม่เพียงพอตามความต้องการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณต้นน้ำลำธาร สาเหตุหรืออุปสรรคต่อการจัดหาข้อมูลทางอุทกวิทยาในบริเวณพื้นที่ดังกล่าว พอสรุปได้ดังนี้ (เอกสารอ้างอิง 4)

(1) งบประมาณจำกัด

(2) ทางคมนาคมไม่สะดวก

(3) ขาดอัตรากำลังคน

(4) พื้นที่อันตราย

(5) ฝ่ายบริหารยังไม่เห็นความสำคัญของข้อมูล

อุปสรรคต่างๆ ที่กล่าวข้างต้นจะเป็นผลกระทบต่อการวัดและรวบรวมข้อมูลทางอุทกวิทยาเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลดังกล่าว การจัดหาข้อมูลโดยวิธีทางอ้อมในลักษณะที่เรียกว่าการประเมินเชิงอุทกวิทยา (hydrologic assessment) จึงเป็นสิ่งจำเป็นในบริเวณพื้นที่ที่ไม่มีการสำรวจหรือมีข้อมูลแต่สถิติสั้นไป ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลยาวพอเพียงและเหมาะสม สามารถนำเอาไปใช้ในงานวิเคราะห์ปริมาณน้ำสำหรับโครงการพัฒนาแหล่งน้ำได้ต่อไป

วิธีการประเมินเชิงอุทกวิทยา เป็นเทคนิคอย่างหนึ่งที่ใช้ในการจัดหาข้อมูลทางอุทกวิทยาโดยทางอ้อมและสามารถนำสถิตินั้นไปประกอบการพิจารณาศึกษาและออกแบบงานด้านพัฒนาแหล่งน้ำประเภทต่างๆ ได้ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีทั้งในรูปแบบจำลองรีเกรซชั่น (regression model) และรูปแบบจำลองคณิตศาสตร์ (mathematical model) วิธีดังกล่าวนี้มีตั้งแต่รูปแบบจำลองอย่างง่ายใช้การคำนวณไม่มากนักไปจนถึงรูปแบบจำลองอย่างยากและซับซ้อน ซึ่งจำเป็นต้องใช้การคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์

2.11.5 วิธีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยและพื้นที่ลุ่มน้ำ

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยและพื้นที่ลุ่มน้ำ สามารถนำไปใช้ในการประเมินน้ำท่าในกรณีข้อมูลไม่เพียงพอหรือไม่มีข้อมูลเลยได้ วิธีการมีดังต่อไปนี้

(ก) ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยและพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยใช้ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำซึ่งตั้งอยู่ภายในหรือใกล้เคียงกับสถานีที่ต้องการจะประเมินข้อมูลน้ำท่า สถานีที่เลือกมาทำการศึกษาควรจะเป็นสถานีที่มีลักษณะทางอุทกวิทยาคล้ายคลึงกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสถานที่อยู่ภายในลุ่มน้ำใหญ่เดียวกัน อย่างไรก็ดีหากจำนวนสถานีที่มีข้อมูลภายในลุ่มน้ำจำกัด ก็จำเป็นต้องเลือกสถานีจากลุ่มน้ำใกล้เคียงมาทำการศึกษาด้วย

(ข) ขั้นตอนต่อไปก็คือ ทำการวัดขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำของสถานีที่ศึกษาหรือที่ต้องการจะสร้างหรือต่อขยายข้อมูลน้ำท่า จากแผนที่ภูมิประเทศตามมาตราส่วนแล้วแต่เหมาะสม

(ค) ทำการเลือกสถานีที่อยู่ใกล้เคียงกับสถานีที่ศึกษาและเป็นสถานีที่มีข้อมูลน้ำท่ารายเดือนและรายปียาวพอเพียงที่จะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการต่อขยายข้อมูลหรือสร้างข้อมูลสำหรับสถานีที่ศึกษาได้ สถานีนี้อาจจะเป็นสถานีหนึ่งที่เลือกในหัวข้อ(ก) ก็ได้ ต่อจากนั้นก็วัดขนาด

(ง) ทำการคำนวณแฟคเตอร์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนข้อมูลน้ำท่าจากสถานีที่เลือกในหัวข้อ(ค) มาเป็นข้อมูลน้ำท่าของสถานีที่ศึกษา โดยใช้อัตราส่วน ของปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยคำนวณได้จากสูตรต่อไป

$$F = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{kA_1^n}{kA_2^n} = \left(\frac{A_1}{A_2}\right).n \qquad (2\text{-}49)$$

ในเมื่อ F = แฟคเตอร์สำหรับการเปลี่ยน

Q_1 = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยของสถานีที่ศึกษา

Q_2 = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยของสถานีที่มีข้อมูลหรือที่เลือกในข้อ (ค)

A_1 = พื้นที่ลุ่มน้ำของสถานีที่ศึกษา

A_2 = พื้นที่ลุ่มน้ำของสถานีที่มีข้อมูล

k และ n = ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรชชั่นที่คำนวณได้ในหัวข้อ (ก)

ดังนั้น ค่าแฟคเตอร์สำหรับการเปลี่ยน (F) ก็คืออัตราส่วนของพื้นที่ลุ่มน้ำยกกำลัง n นั่นเอง ถ้าหากว่าค่า n เท่ากับ 1 แสดงว่าอัตราส่วนของปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยก็คืออัตราส่วนของพื้นที่ลุ่มน้ำ หรืออาจกล่าวได้ว่าปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Annual specific yield) จะเท่ากันตลอดทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำ แต่ถ้าค่าของ n น้อยกว่าหนึ่ง แสดงว่าปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ของพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็กจะมากกว่าของลุ่มน้ำขนาดใหญ่ กล่าวคือลุ่มน้ำขนาดเล็กจะมี Annual specific yield มากกว่าของลุ่มน้ำขนาดใหญ่ ในทางตรงกันข้ามถ้า n มากกว่าหนึ่ง ลุ่มน้ำขนาดเล็กจะมี Annual specific yield น้อยกว่าของลุ่มน้ำขนาดใหญ่

2.11.6 รูปแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff Models)

รูปแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ที่นิยมกันในด้านอุทกวิทยา ส่วนมากจะประกอบด้วยวิธีการเปลี่ยนน้ำฝนให้เป็นน้ำท่าหรือจะกล่าวว่าเป็นขบวนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่า (Rainfall-runoff relationship) ก็ได้ ดังนั้นรูปแบบจำลองคณิตศาสตร์ดังกล่าวจึงนิยมเรียกว่ารูปแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-runoff model)

2.12 สถิติวิเคราะห์

ข้อมูลที่แสดงปริมาณในทางวิทยาศาสตร์สามารถแบ่งออกได้เป็นสองชนิดด้วยกันคือ ข้อมูลที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและข้อมูลจากการทดลอง (Experient)โดยมนุษย์ทำขึ้น ข้อมูลทางอุทกวิทยา เช่น ปริมาณน้ำฝน ปริมาณลำน้ำไหล (Stream flow) เป็นต้น เป็นข้อมูลแบบแรกซึ่งได้มาจากการวัดค่าตามที่เกิดขึ้นจริงในสภาพธรรมชาติ

ข้อมูลทางอุทกวิทยา เป็นข้อมูลที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระมากมาย และมีความสัมพันธ์ต่อกันค่อนข้างซับซ้อนในการนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้จึงต้องมีการศึกษา ทำความเข้าใจ และเมื่อนำไปใช้งานก็จะต้องเกิดความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน

ข้อมูลทางธรรมชาติที่เก็บรวบรวมไว้เรียกว่า สถิติ (statistics) ซึ่งพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้นเมื่อจะนำไปใช้งานจึงมีการศึกษาและวิเคราะห์และวิเคราะห์หาความเป็นไปได้ที่จะมีเหตุการณ์เกิดขึ้นในอนาคตมากกว่าสถิติที่บันทึกไว้หรือไม่ และอย่างไร

2.12.1 การวิเคราะห์อย่างง่าย

ชุดของข้อมูลเฉพาะตัวแปรเดียวในทางอุทกวิทยา เมื่อนำมาจัดกลุ่ม สามารถวิเคราะห์ทางสถิติอย่างง่าย เพื่อดูลักษณะของข้อมูลจากตัวแปรดังจะได้กล่าวต่อไปนี้

2.12.1.1 ค่าเฉลี่ย (Mean)

คือตัววัดถึงค่าโน้มน้าวส่วนกลาง (Central tendency) ค่าโน้มน้าวส่วนกลางนี้อาจจะวัดได้จากค่าตรงกลาง (Median) ค่าที่ซ้ำกันมากๆ (Mode) และค่าเฉลี่ยน้ำหนัก (Weighted mean) ในที่นี้จะใช้ค่าเฉลี่ยเป็นตัวอ้างอิงเท่านั้น

$$\overline{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{x_i} \qquad (2\text{-}50)$$

เมื่อ Xi คือค่าตัวแปร และ N คือจำนวนข้อมูล

2.12.1.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

คือตัววัดการกระจายของข้อมูล Xi จากค่าเฉลี่ย X

$$\text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน} \qquad Sx.. \sqrt{\sum_{i-1}^{n} (Xi - \bar{x})^2} / N \qquad (2\text{-}51)$$

สมการ (2-51) เป็นแบบไบอัส ตามวิธีคำนวณ X' ผลของไบอัสจะมีค่ามาก ถ้าจำนวนข้อมูลมีน้อยซึ่งมักจะเป็นจริงในกรณีของข้อมูลทางอุทกวิทยา หรือมีการแปรผันมากในค่าของข้อมูลเอง ค่า Sx ตามสมการ (2-51) สามารถแก้ไขโดยคูณด้วยค่าแก้ไขตามสมการ (2-52)

$$\text{ค่าแก้ไขไบอัส} = \sqrt{N/(N-1)} \qquad (2\text{-}52)$$

สมการ (2-51) จะเป็น

$$Sx = \sqrt{\sum_{i-1}^{n} (Xi - \overline{X})^2 / (N-1)} \qquad (2\text{-}53)$$

ค่า Sx จาก สมการ (2-53) เป็นแบบไม่มีไบอัส ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้ในทางอุทกวิทยา เนื่องจากช่วงเวลาของข้อมูลไม่ยาวมาก สมการ (2-53) สามารถเขียนใหม่ได้โดยแทนค่า $\overline{X}$ ในสมการ (2-53) จะได้

$$Sx = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - (\sum Xi)^2 / N}{N-1}} \qquad (2\text{-}54)$$

เครื่องคิดเลขในปัจจุบันหรือโปรแกรมสำเร็จรูปประเภทตารางคำนวณ (LOTUS 123 และอื่นๆ) จะมีฟังก์ชันใช้คำนวณหาค่าเยงเบนมาตรฐาน ดังนั้นจึงควรตรวจสอบก่อนว่า Sx เป็นค่าแบบไบอัสหรือไม่เป็นไบอัส

2.12.1.3 สัมประสิทธิ์การแปรผัน (Coefficient of variation)

เป็นค่าวัดการกระจายของตัวแปรแบบไม่มีหน่วย Cv

$$Cv = Sx/\overline{X} \qquad (2\text{-}55)$$

2.12.1.4 สัมประสิทธิ์การเฉ (Skew coefficient)

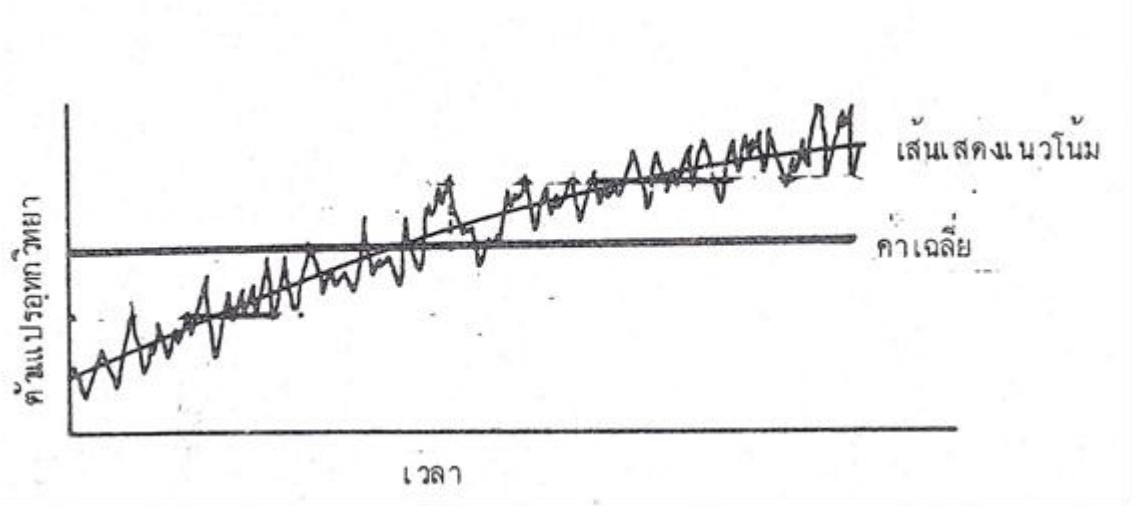
คือการที่ ข้อมูลมีการกระจายที่เอียงไปด้านใดด้านหนึ่งทำให้ลักษณะความสัมพันธ์ไม่สมมาตร

$$G = \frac{n\sum_{n-1}^{n}(X_i - \overline{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3{}_X} \qquad (2\text{-}56)$$

เมื่อ G = สัมประสิทธิ์การเฉ ถ้าการกระจายเป็นแบบสมมาตร G = 0 ถ้าเฉไปทางขวา (หางไปทางขวา) G > 0 ถ้าเฉไปทางซ้าย G < 0 จำนวนข้อมูลไม่ควรจะน้อยกว่า 50 ถ้าน้อยกว่านี้ค่า G อาจจะเป็นที่สงสัยถึงความถูกต้อง

2.12.2 การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis)

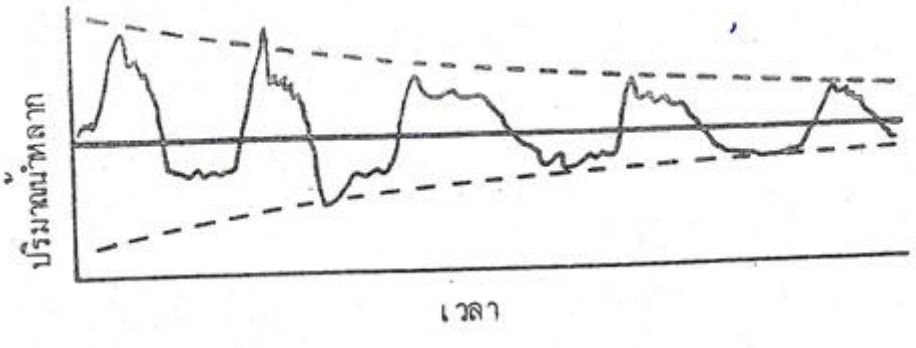
ชุดข้อมูลที่มีการบันทึกเทียบกับเวลาที่แน่นอนเรียกว่า ชุดอนุกรมเวลา ข้อมูลทางอุทกที่เห็นได้ชัดในกรณีนี้ก็คือข้อมูลปริมาณลำน้ำไหล ข้อมูลทางอุทกวิทยาเหล่านี้จีการแปรผันสูง และค่าเฉลี่ยมีลักษณะแปรผันแบบสุ่มค่อนข้างกว้าง แนวโน้ม (Trend) ของข้อมูลจะเห็นได้ชัดเจนจากอนุกรมเวลา ซึ่งอาจแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยในลักษณะหนึ่งโดยเฉพาะหรืออาจมาจากอนุกรมเวลา ที่อาจแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยในลักษณะหนึ่งโดยเฉพาะ หรืออาจมาจากการเปลี่ยนแปลงของความแปรปรวน (Variance) เอง รูปที่ 2.10 และ 2.11 แสดงถึงแนวโน้มของข้อมูลกับเวลาการนำข้อมูลมาลงจุดกับเวลา (Scatter diagram) จะทำให้ทราบถึงแนวโน้มของข้อมูลว่าเป็นอย่างไร ในกรณีที่สงสัยแนวโน้มของข้อมูล ให้แบ่งข้อมูลออกเป็นสองหรือสามช่วงด้วยความยาวเท่ากัน คำนวณหาค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ดังรูปที่ 2.10



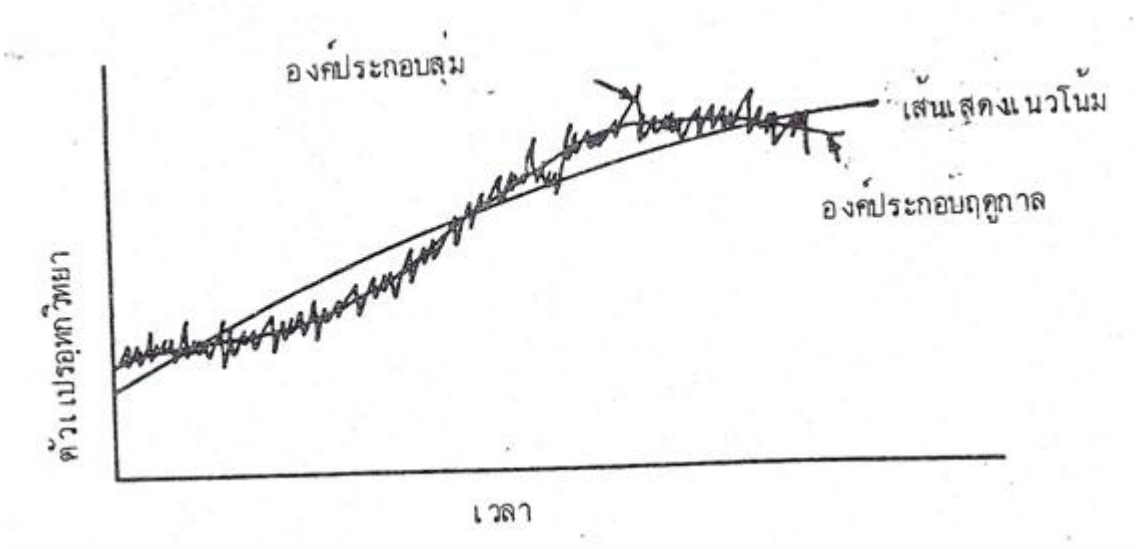
รูปที่ 2.10 แนวโน้มแสงค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นกับเวลา

รูปที่ 2.11 แสดงถึงแนวโน้มที่ค่าเฉลี่ยลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากความแปรปรวนลดลง แนวโน้มลักษณะนี้อาจจะสังเกตเห็นจากข้อมูลน้ำหลาก (Runoff) ซึ่งเป็นผลมาจากการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำเพื่อควบคุมน้ำนอง (Flood control reservoir) ของพื้นที่รับน้ำ

ตัวแปรทางอุทกวิทยาทั้งหลายมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล ซึ่งจะเห็นได้ในลักษณะที่เป็นวงจร สำหรับข้อมูลที่มีการบันทึกยาวนาน การวิเคราะห์ข้อมูลที่มีลักษณะดังกล่าวค่อนข้างยากเพราะบางครั้งจะมีผลกระทบบางอย่างในลักษณะสุ่ม (Random Components) เกิดขึ้นดังรูปที่ 2.12 ดังนั้นปัญหาของนักอุทกวิทยา คือ การที่จะต้องแยกแยะองค์ประกอบของข้อมูลอนุกรมเวลาให้เป็นตัวประกอบย่อย ๆ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเหล่านั้นกับกฎทางกายภาพเบื้องต้นอาจเป็นจริง



รูปที่ 2.11 แนวโน้มแสดงค่าเฉลี่ยลดลงกับเวลา



รูปที่ 2.12 ลักษณะของตัวประกอบสุ่ม วงจรแนวโน้มองค์ประกอบ

2.12.2.1 ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving mean)

เป็นวิธีการกำจัดออกไปหรือทำให้เรียบเนื่องจากตัวแปรสุ่มทางอุทกวิทยา

ค่าตัวแปร คือ $X_1,X_2,X_3,X_4,\ldots\ldots\ldots X_n$

ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ คือ $(X_1+ X_2+\ldots X_N)/N,(X_2+ X_3+\ldots X_{N+})/N(X_{3+} X_4 +X_{N+2})/N$

ผลรวมของแต่ละกลุ่มเรียกว่า ผลรวมเคลื่อนที่ (Moving sum) ค่า N อาจเป็นเท่าไรก็ได้ แต่ถ้าน้อยไปอาจไม่มีผลต่อการลดความแปรปรวนของการสุ่ม ถ้า N ใหญ่ไป องค์ประกอบบางตัว เช่น องค์ประกอบจากวงจร (Cyclic components) อาจถูกบดบังไว้ ข้อมูลน้ำฝนจะใช้ N เท่ากับ 5 ในการวิเคราะห์เนื่องจากมีขนาดพอเพียงที่จะกำจัดองค์ประกอบสุ่มและแสดงให้เห็นถึงผลของวงจรความชุ่มชื้น หรือความแห้งแล้ว ในบันทึกข้อมูลความชุ่มชื้นหรือความแห้งแล้งดูได้จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่กับค่าเฉลี่ยรวม ช่วงที่ชุ่มชื้นค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่จะมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยรวม ช่วงที่แห้งจะตรงกันข้าม

2.12.2.2 ความถาวร (Stationarity)

คือ ข้อมูลที่มีค่าเฉลี่ยกับความแปรปรวนไม่เปลี่ยนแปลงโดยสัมพัทธ์เวลา แต่ถ้ามีองค์ประกอบวงจรเข้ามาเกี่ยวข้อง ข้อมูลมักจะไม่มีความถาวร (Nonstationary)

2.12.2.3 สภาพพื้นที่ที่เหมือนกันและความแน่นอนของข้อมูล

เงื่อนไขสองกรณีนี้มีความเกี่ยวข้องกันข้อมูลมีลักษณะไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาเรียกว่ามีความแน่นอน (Consistency) ถ้าไม่มีความแน่นอน แนวโน้มของข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงแสดง

ความไม่แน่นอน (Inconsistency) ก็มักจะมาจากสภาพแวดล้อมถูกทำลาย เช่น ป่าไม้ หรืออาจจะเกิดไฟป่า ในบางประเทศอาจเกิดจากแผ่นดินไหวหรือภูเขาไฟระเบิด กรณีอย่างนี้เป็นผลให้พื้นที่รับน้ำมีลักษณะไม่เหมือนกัน (Nonhomogeniety) ทั้งที่เป็นพื้นที่รับน้ำเดียวกัน

2.12.2.4 โค้งทับทวี (Double Mass Curve)

จากกรณีที่ข้อมูลมีความไม่แน่นอน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตรวจสอบว่ามีผลถึงข้อมูลหรือไม่ วิธีการที่ใช้กัน คือโค้งทับทวี วิธีนี้จะนำข้อมูลของสถานีที่สงสัยมาเทียบกับอีกอย่างน้อย 5 สถานีใกล้เคียงซึ่งสถานีอ้างอิงจะต้องอยู่ในสภาพพื้นที่ทางอุทกที่เหมือนกับสถานีที่จะถูกตรวจสอบ การสอบเทียบทำโดยเขียนกราฟข้อมูลสะสมของสถานีที่สงสัยกับข้อมูลเฉลี่ยสะสมของสถานีอ้างอิง (หาค่าเฉลี่ยของสถานีอ้างอิงก่อนแล้วจึงใช้ค่าเฉลี่ยนั้นบวกสะสม) รูป 2.13 แสดงลักษณะของโค้งทับทวี ในหลายกรณีด้วยกันคือ

รูป 2.13 (ก) กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงว่าข้อมูลมีความแน่นอนสภาพพื้นที่มีลักษณะเดียวกัน (Homogeneity)

รูป 2.13 (ข) ลักษณะกราฟชี้ให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล โดยไม่มีการวัดข้อมูลประมาณสองปี อาจเนื่องมาจากการย้ายสถานที่ ตอนท้ายข้อมูลสะสมของสถานีที่ถูกตรวจสอบอยู่คงที่แสดงว่าสถานีดังกล่าวอาจถูกยกเลิก

รูปที่ 2.13 (ค) กราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง ข้อมูลลงจุดย้อนจากปัจจุบันไปหาอดีตซึ่งเป็นผลมาจากข้อมูลสะสมมีปริมาณลดน้อยลงแสดงว่าปริมาณน้ำฝนที่สถานีเริ่มมีค่าลดลง เมื่อไปศึกษาสภาพแวดล้อมของสถานีแล้วพบว่า มีการก่อสร้างอาคารและการเติบโตของต้นไม้ใกล้สถานีทำให้ทิศทางลมเหนือเกจเปลี่ยนแปลงไปและส่งผลถึงปริมาณน้ำฝนของสถานีดังกล่าว สภาพพื้นที่แบบนี้เรียกว่าสภาพแวดล้อมเปลี่ยนข้อมูลมีลักษณะไม่แน่นอน

รูปที่ 2.13 (ง) ในกรณีที่ข้อมูลขาดหายไป ก็สามารถประมาณหาค่าที่หายไปได้โดยการขยับกราฟให้อยู่ในแนวเดียวกัน ข้อมูลที่ขาดหายไปก็สามารถคำนวณหาได้

2.12.2.5 การปรับแก้ข้อมูล

ในกรณีใช้โค้งทับทวีตรวจสอบข้อมูลแล้วพบว่าข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นถ้าจะเอาข้อมูลไปใช้ ควรมีการปรับข้อมูล การปรับอาจปรับให้กราฟช่วงปัจจุบันเข้ากับช่วงอดีตหรือช่วงอดีตเข้ากับช่วงปัจจุบันโดยดูจากเงื่อนไข ถ้าเนื่องจากสภาพแวดล้อมเปลี่ยนไป ควรปรับข้อมูลให้เข้ากับกราฟที่เป็นช่วงปัจจุบัน แต่ถ้าเป็นการย้ายสถานีอาจปรับข้อมูลช่วงอดีต รูป 2.13 เป็นตัวอย่างการทดสอบโดยใช้วิธีโค้งทับทวี ซึ่งจะปรับข้อมูลช่วงสองโดยคูณด้วยอัตราส่วนความเอียงของกราฟคือ 0.95/1.16 เข้ากบข้อมูลช่วงที่สองนั่นคือ เขียนเป็นข้อสรุปได้ดังนี้

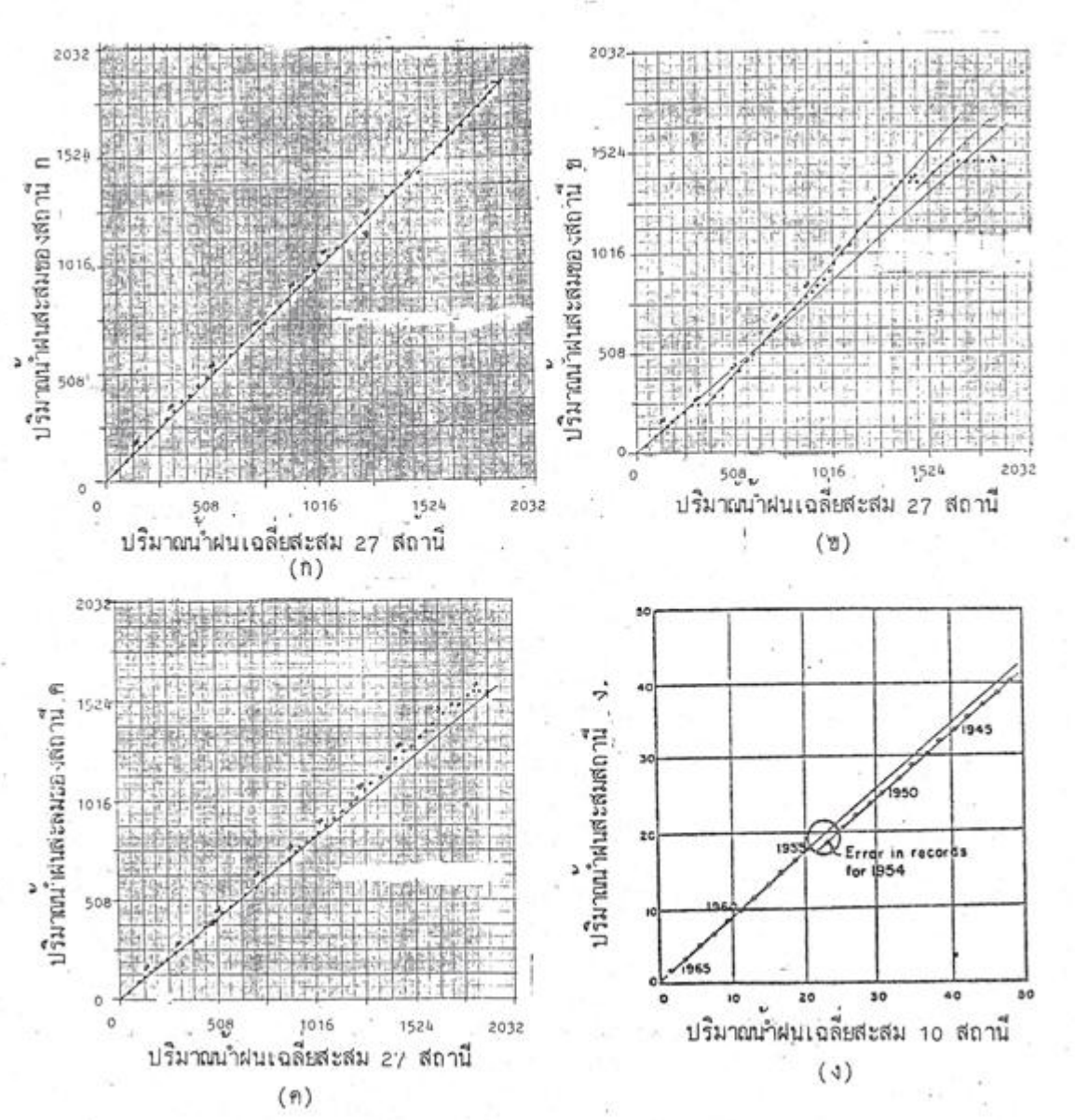
ปรับช่วงแรก = ข้อมูลช่วงแรก X S2/S1

ปรับช่วงสอง = ข้อมูลช่วงสอง X S1/S2

เมื่อ S1 = ความลาดของกราฟช่วงแรก

S2 = ความลาดของกราฟช่วงสอง

ในการปรับข้อมูลควรแยกข้อมูลออกจากกัน เมื่อปรับแล้วค่อยนำมารวมกันใหม่ เพราะว่าข้อมูลสะสมช่วงสองจะมีข้อมูลสะสมช่วงแรกรวมอยู่ด้วย ในบางครั้งการเขียนกราฟอาจเริ่มจากปีล่าสุด ย้อนไปหาอดีตได้ เพราะอาจจะทำให้ปรับกราฟได้ง่ายกว่า



รูปที่ 2.13 โค้งทับทวี (ก) ข้อมูลมีความแน่นอน (ข)มีการเคลื่อนย้ายสถานี
(ค) เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม (ง) ข้อมูลสูญหาย

2.12.3 หลักการของความน่าจะเป็น (Probability Concepts)

หัวข้อที่กล่าวมาแล้ว ได้อธิบายถึงวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติอย่างง่ายจากข้อมูลที่บันทึกไว้ในอดีตโดยดูลักษณะการกระจายของข้อมูล ค่าเฉลี่ย และแนวโน้มของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ในงานออกแบบทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับขบวนการทางอุทกวิทยา เช่น อาคารระบายน้ำล้นจากเขื่อน ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลเพียงแค่นั้นได้ คำถามที่จะต้องตอบให้ได้คือ ควรออกแบบอาคารระบายน้ำล้นขนาดเท่าไรถึงจะสามารถระบายน้ำออกไปได้ทันกับปริมาณน้ำหลาก ซึ่งในแต่ละปีจะมีค่าต่างๆ กัน ควรใช้เท่าใดจึงจะสามารถป้องกันอุทกภัยได้ โอกาสที่ตัวเลขที่จะใช้ในการออกแบบจะมีค่าน้อยกว่าที่เป็นจริงย่อมเกิดขึ้นได้เสมอ ยกตัวอย่างเช่น ทางระบายน้ำล้นเขื่อนอุบลรัตน์ก่อสร้างเสร็จใช้งานมาได้ 12 ปี ก็เกิดปริมาณน้ำหลากที่ทำต้องให้ระบายน้ำออกในอัตรา 3800 ลบ.ม./วินาที เมื่อ พ.ศ. 2521 ซึ่งก่อให้เกิดผลเสียหายทางด้านท้ายน้ำมากมาย บริษัทที่ปรึกษาจากเยอรมันซึ่งออกแบบไว้ครั้งแรกได้ดำเนินการแก้ไข และมีการก่อสร้างเพิ่มเติมโดยการเสริมสันเขื่อนขึ้นอีก 2 เมตร และเปลี่ยนแบบทางระบายน้ำล้นจากบานประตูโค้งไปเป็นบานตรงโดยระบายน้ำได้ในอัตรา 3500 ลบ.ม./วินาที ทั้งนี้ปริมาตรเก็บกักที่เพิ่มขึ้นเป็นการเก็บชั่วคราว (Detention Storage) เพื่อค่อยๆ ระบายออกไม่ให้เกิดปัญหาน้ำท่วมพื้นที่ท้ายน้ำอีก

การวิเคราะห์ความน่าจะเป็น(Probability analysis) หมายถึงวิธีการที่พยายามจะเลือกแบบฟังก์ชั่นการกระจายของความน่าจะเป็นให้เข้ากับข้อมูลที่วัดมาได้ตัวแปรทางอุทกวิทยาจะใช้วิธีการนี้ทั้งสิ้น แต่ตัวแปรที่เป็นปัญหามากที่สุดคือปริมาณน้ำฝนและอัตราการไหลสูงสุดในช่วงเวลาหนึ่ง

2.12.3.1 นิยาม ความน่าจะเป็น

ถูกให้นิยามหรือความหมายในลักษณะที่เป็นผลจากสิ่งที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติ (Empirical) โดยมีค่าเท่ากับตัวเลขของเหตุการณ์จำเพาะหนึ่งต่อจำนวนเหตุการณ์จำเพาะรวมทั้งหมด นั่นคือ

P (E) = x/n เมื่อ $n \to \infty$

เมื่อ P = ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ (Event)

X = จำนวนที่เกิดเหตุการณ์ (X)

n = จำนวนรวมของเหตุการณ์ทั้งหมด

2.12.3.2 คุณสมบัติของความน่าจะเป็น (Probability Properties)

พอจะสรุปรวมกันได้ดังนี้

ก) ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์มีค่าอยู่ระหว่าง 0-1

$$O \leq P(E \leq 1 \qquad (2\text{-}57)$$

ข) ผลรวมของความน่าจะเป็นทั้งหมดเท่ากับหนึ่ง

$$P(E) = 1 \qquad (2\text{-}58)$$

ค) ความน่าจะเป็นของค่าอิสระและเหตุการณ์ที่ไม่ขึ้นแก่กัน คือผลรวมของความน่าจะเป็นในแต่ละกรณี นั่นคือ

$$P(E1 \text{ และ } E2) = P(E1) \text{ X } P(E2) \qquad (2\text{-}59)$$

สมการที่ (2-59) หมายถึงความน่าจะเป็นที่จุดต่อ(Intersection หรือ Joint Probability)

2.12.3.3 ความน่าจะเป็นแบบเงื่อนไข (Conditional Probability)

ในบางครั้งการเกิดเหตุการณ์หนึ่งจะขึ้นอยู่กับอีกเหตุการณ์หนึ่ง เช่น ถ้าเมื่อใดที่มีพายุแรง ไฟฟ้ามักจะดับการที่ไฟฟ้าดับขึ้นอยู่กับพายุที่มาแรง เป็นต้น

2.12.4 การกระจายของความน่าจะเป็น Probability Distribution

ตัวแปรสุ่ม (Random) ไม่ว่าจะเป็นแบบต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่อง ถูกอธิบายลักษณะโดยดูจากการกระจายของความน่าจะเป็นที่เกี่ยวพันกับค่าจำเพาะซึ่งตัวแปรนั้นถูกสันนิษฐานไว้ก่อน จากลักษณะดังกล่าวการกระจายจึงเป็นแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง

2.12.4.1 การกระจายแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete)

ในลักษณะนี้ ตัวแปรจะมีค่าแน่นอนและวัดมาในรูปของความถี่สัมพันธ์ เช่นโอกาสที่ฟ้าจะคลื้มหรือไม่ ซึ่งผลรวมของความเป็นไปได้ทั้งหมดจะต้องเท่ากับหนึ่ง นั่นคือ

$$\sum_{i=1i}^{n} P(X_i) = 1 \qquad (2\text{-}60)$$

2.12.4.2 การกระจายแบบต่อเนื่อง (Continuous)

ในลักษณะนี้ตัวแปรจะมีค่าต่อเนื่องกันไปไม่ขาดตอน ข้อมูลเช่นนี้ได้แก่ข้อมูลอัตราการไหลของน้ำ ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้านำข้อมูลปริมาณน้ำไหลมาศึกษาไม่ว่าจะเป็นอัตราการไหลสูงสุดหรืออัตราไหลเฉลี่ยก็ตาม ค่าอาจจะเป็นเท่าไรก็ได้ ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงแบ่งเป็นช่วง ๆ และดูว่าช่วงนั้นเกิดขึ้นกี่ครั้งหรือกี่ปี (n) จากจำนวนข้อมูลทั้งหมด N ปี ค่า n/N ก็คือความถี่สัมพัทธ์

หรือโอกาสที่เป็นไปได้ อุปสรรคสำหรับการกระจายแบบนี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของอินติกรอลได้ ซึ่งตรงกันข้ามกับการกระจายแบบไม่ต่อเนื่อง

2.12.4.3 การกระจายแบบสะสม (Cumulative Distribution)

บางครั้งอาจจะมีการกลาวถึงความน่าจะเป็นที่อาจจะเกิดลักษณะ แบบนั้นหรือน้อยกว่า ซึ่งในกรณีนี้ก็คือการบวกสะสมของค่า P(X) ตั้งแต่ X มีค่าน้อย

2.12.4.4 ชนิดของการกระจาย

จากข้อมูลทางอุทกวิทยา เช่นปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำนอง ได้มีผู้พยายามเอาความสัมพันธ์ของฟังก์ชั่นต่างๆ มาเทียบเพื่อใช้อธิบายพฤติกรรม หรือลักษณะของข้อมูลจะทำให้สามารถคาดหมายเหตุการณ์หรือทำนายปริมาณน้ำฝนหรือน้ำหลากที่มีความน่าจะเป็นในระดับต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้

อย่างไรก็ตาม ไม่มีฟังก์ชั่นอันใดเลยที่แสดงถึงขบวนการธรรมชาติที่แท้จริง เพียงแต่อธิบายถึงปรากฏการณ์ของข้อมูลนั้นได้พอสมควร และได้รับการพิสูจน์แล้วว่าคำอธิบายนั้นเป็นประโยชน์ ตารางที่ 2-2 แสดงถึงฟังกั่นต่างๆ ที่ใช้กันอยู่

การใช้การกระจายความน่าจะเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง จะใช้ได้ดีกับเหตุการณ์ที่เกิดแบบสุ่มในลักษณะที่ผลลัพธ์จะเป็นแบบหัวหรือก้อย เป็นต้น

2.12.5. การเลือกข้อมูล

การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นทำให้ได้คำตอบที่เป็นประโยชน์ การเลือกใช้ข้อมูลจะต้องเริ่มต้นด้วยข้อมูลตรงกับกรณี (Relevant) พอเพียงและละเอียดถูกต้อง

2.12.5.1 ตรงกับกรณี

หมายถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา เช่น ถ้าศึกษาเกี่ยวกับน้ำนอง (Flood) จะต้องมีข้อมูลอัตราการไหลสูงหลายๆ ปี ถ้าเป็นปัญหาเกี่ยวกับช่วงเวลาของน้ำนองข้อมูลก็ควรจะมีระยะเลาของอัตราการไหลที่เกิดค่าวิกฤติค่าหนึ่ง เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 ชนิดของการกระจาย

การกระจายของตัวแปร X แบบสุ่ม	**ฟังก์ชั่นของการกระจาย**	**ช่วง**	$\overline{X}$	**ความแปรผัน O^2 หรือ S^2**
Binomial	$P(x)=\frac{n!}{x!(n-x)!}p^r(1-p)^{n-r}$	$0 \le x < n$	np	Np(1-p)
Poisson	$P(x)=\frac{\lambda^r \ell^{-\lambda}}{x!}$	$0 \le x \le ....$	λ	λ

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

การกระจายของตัวแปร X แบบสุ่ม	ฟังก์ชั่นของการกระจาย	ช่วง	$\overline{X}$	ความแปรผัน O^2 หรือ S^2
Uniform	f(x)= $\frac{l}{b-a}$	a $\le x \le b.$	(b+a)/2	$\frac{(b-a)^2}{12}$
Exponential	f(x)= $\frac{l}{a}\ell^{r/a}$	$0 \le x \le \infty.$	a	a^2
Normal	f(x)= $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\ell^{-(r-u)2j2}$	$-\infty \le x \le \infty.$	μ	σ^2
Lognormal (y=ln x)	f(y)= $\frac{1}{\sigma_y\sqrt{2\pi}}\ell xp^{[-(y-)2j2\sigma_{2y}]}$	$-\infty \le y \le \infty.$ $(0 \le x \le \infty)$	μ_y	σ_y^2
Gamma (Pearson III)	f(x)= $\frac{x^{\alpha}\ell^{-r/\beta}}{\beta^{\alpha+1}\Gamma(\alpha+1)}$	$0 \le x \le \infty.$	$\beta(\alpha+1)$	$\beta^2(\alpha+1)$
Extreme Value (Type I)	f(x)= $\alpha\exp\{-\alpha(x-u)-e^{-a(r-u)}\}$	$-\infty \le x \le \infty.$	u+ $\frac{0.5775}{\alpha}$	$\frac{\pi^2}{6\alpha^2}$

2.12.5.2 ความพอเพียง

หมายถึงจำนวนหรือระยะเวลาที่เก็บข้อมูล ปัญหามักจะเกิดจากข้อมูลที่ได้มาจากสถานีที่อยู่กระจัดกระจาย ข้อมูลที่เก็บได้เป็นเพียงตัวอย่างของจำนวนประชากร (ข้อมูล) ทั้งหมดของน้ำนองที่ได้เกิดขึ้นแล้วและอาจจะเกิดขึ้นซ้ำอีก ถ้าตัวอย่างข้อมูลมีน้อย การศึกษาโอกาสที่จะเป็นไปได้ไม่สามารถจะเชื่อถือได้

2.12.5.3 ความละเอียดถูกต้องของข้อมูล

จะส่งผลถึงปัญหาที่เป็นอันหนึ่งอันเดียวกันการวัดข้อมูลอัตราน้ำไหล ปริมาณฝนหรืออื่นๆ จะต้องละเอียดถูกต้อง ถ้าสถานีไม่ดีข้อมูลที่ได้อาจนำไปใช้วิเคราะห์ไม่ได้เลย นอกจากนี้ยังอาจมีปัญหาทางด้านการเปลี่ยนแปลงลักษณะของพื้นที่รับน้ำซึ่งอาจจะส่งผลถึงลักษณะทางอุทกวิทยา

ในการวิเคราะห์ถ้าเกี่ยวข้องกับความน่าจะเป็นที่จะเป็นไปได้น้อยกว่า 0.5 แล้วชุดข้อมูลจะเป็นแบบรายปี (Anual series) โดยเลือกค่าสูงสุดของแต่ละปีมาหนึ่งค่าจะเป็นวิธีเลือกที่ดีที่สุด ข้อมูลลักษณะนี้ใช้สำหรับการออกแบบอาคารขนาดใหญ่ เนื่องจากในกรณีนี้ถ้าอาคารพังจะเกิดความเสียหายกับทรัพย์สินและอาจมีการเสียชีวิตด้วย

ถ้าเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นบ่อยๆ ซึ่งเหตุการณ์นั้นๆ มักจะเกิดซ้ำในช่วง 5 ปี หรือน้อยกว่า ควรใช้ข้อมูลชุดบางส่วน (Partial series) โดยในปีหนึ่งจะเลือกข้อมูลซึ่งมีค่ามากกว่า ค่าพื้นฐาน (Base Value) ค่านี้จะกำหนดขึ้นเพื่อว่าในปีหนึ่งจะมีข้อมูลที่มีค่าสูงกว่าค่าพื้นฐาน ดังนั้นชุดข้อมูลบางส่วนสามารถชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่จะมีเหตุการณ์ซึ่งมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าที่กำหนดไว้ 2-3 ครั้งต่อปี ค่าสูงสุดที่รองๆ ลงมา (กราฟแสดง Peak หลายแห่ง) ในเหตุการณ์เดียวกันมักจะไม่นำมารวมในข้อมูลชุดเดียวกัน อย่างไรก็ตามการตัดสินใจก็เป็นได้หลายทางและควรคำนึงถึงจุดประสงค์การศึกษาด้วย เช่น ถ้าค่าสูงสุดเป็นเหตุการณ์อิสระที่ไม่อยู่ในความสนใจที่จะศึกษาจึงควรรวม การออกแบบที่ใช้ข้อมูลชุดบางส่วนขอปีมักจะใช้กับอาคารที่ความเสียหายนั้นไม่มีผลมากนัก เช่น การออกแบบระบบระบายน้ำในเมือง ถ้าฝนตกหนักๆ น้ำอาจท่วมแต่หลังจากนั้นก็จะระบายออกไปได้

2.12.6 คาบการเกิดซ้ำและการเสี่ยง (Return Period and Risk)

2.12.6.1 คาบการเกิดซ้ำ (T)

เป็นช่วงเวลาเฉลี่ยภายในระยะเวลาหนึ่งที่เหตุการณ์นั้นจะเกิดซ้ำหรือเกิดขึ้นมากกว่า คาบการเกิดซ้ำเกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นมาแล้ว เป็นประจำในอดีต แต่อาจมากหรือน้อยสิ่งนี้อาจเป็นที่เข้าใจยากสำหรับบุคคลในสาขาอื่นที่ไม่ได้อยู่ในแวดวงของงานทางด้านอุทกวิทยา วิทยาเขียนได้ว่า

$$T = 1/P(F) = 1/(1-P(F')) \qquad (2\text{-}61)$$

เมื่อ P(F) หมายถึง ความน่าจะเป็นของการเกิดซ้ำ

P(F') หมายถึง ความน่าจะเป็นของการไม่เกิดซ้ำ

จากความสัมพันธ์ระหว่างคาบการเกิดซ้ำและความน่าเป็น สามารถเขียนสรุปได้ว่า

ก) ความน่าจะเป็นที่จะเกิดซ้ำ

$$P(F) = 1/T \qquad (2\text{-}62)$$

ข) ความน่าจะเป็นที่จะไม่เกิดซ้ำ

$$P(F') = 1-P(F) = 1-1/T \qquad (2\text{-}63)$$

เมื่อพิจารณาในระยะเวลาที่ติดต่อกัน n ปี

$$P(F')^n = P_1(F').\ P_2(F')x\ldots\ldots P_n(F')$$
$$= (1\text{-}1/T)^n \qquad (2\text{-}64)$$

ค) ความน่าจะเป็นที่จะไม่เกิดซ้ำในช่วงเวลา n ปี

จากการกระจายแบบ Binomial

$$P(X=0;n,P) = (1\text{-}P)^n(P)^0\binom{n}{0}$$
$$P(0,n,P) = (1\text{-}P)^n \qquad (2\text{-}65)$$

2.12.6.2 การวิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk analysis)

การออกแบบอาคารควบคุมชลศาสตร์ โดยเฉพาะอาคารระบายน้ำล้นของเขื่อน จะต้องมีการพิจารณาความเสี่ยง อาคารควบคุมชลศาสตร์อาจพัง ถ้าขนาดหรือปริมาณน้ำนองที่เกิดขึ้นจริงมีค่า เกินกว่าที่ออกแบบไว้ในช่วงอายุใช้งานของอาคาร ความเสี่ยงต่อการพังของอาคารในงานอุทกวิทยาสามารถคำนวณได้จากสมการ (2-66)

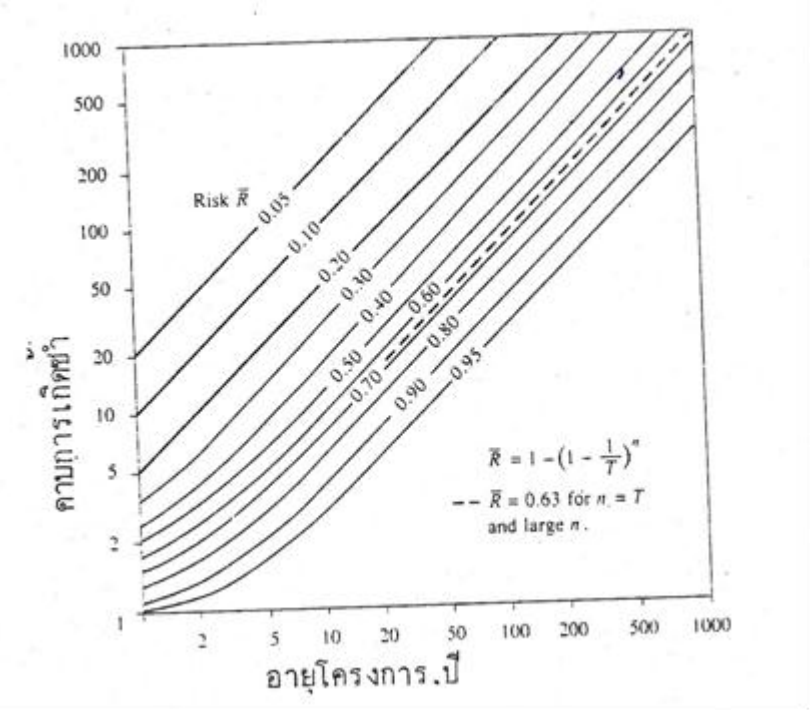
$$R = 1\text{-}(1\text{-}P)^n \qquad (2\text{-}66)$$

เมื่อ R คือความเสี่ยง P คือความน่าจะเป็น =1/T และ n คืออายุใช้งานของโครงการ ค่าความเสี่ยง R จริงๆ ก็คือความน่าจะเป็นที่ X จะมากกว่า XT อย่างน้อยครั้งหนึ่งในช่วงเวลา n ปี ความสัมพันธ์ระหว่างคาบการเกิดซ้ำ – ความเสี่ยง – อายุโครงการ

2.12.6.3 การเลือกคาบการเกิดซ้ำ

ในการออกแบบอาคารชลศาสตร์ สิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมากคือ ปริมาณหรือขนาดของข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ

ในตอนต้นๆ ของปี ค.ศ. 1900 (พ.ศ. 2443) ได้มีการออกแบบทางระบายน้ำล้นเพื่อให้สามารถระบายน้ำล้นได้เกิน 50 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำนองที่มากที่สุดในช่วง 25 ปี ซึ่งได้ถูกพิจารณาว่าเหมาะสม ข้อกำหนดนี้เป็นเพียงกฎง่ายๆ มีความปลอดภัยที่บอกกฎเกณฑ์ไม่ได้รวมอยู่ด้วย แต่ต่อมาพบว่ามีปริมาณน้ำนองเกิดขึ้นซึ่งมีขนาดมากกว่าถึง 10 เท่า จากขนาดที่เคยบนทึกมาจากรณีนี้จะเห็นว่าการเลือกขนาดเกี่ยวข้องอย่างสำคัญกับความยาวของข้อมูล อย่างไรก็ตามข้อมูลเพิ่งจะมีการบันทึกมาเมื่อไม่นาน ข้อมูลขนาดความยาวเกิน 100 ปี ยังหาไม่ได้ ดังนั้นจึงได้มีการใช้วิธีการทางสถิติ และความน่าจะเป็นวิเคราะห์หาขนาดข้อมูลในช่วงเวลาที่มีความยาวกว่าคามยาวข้อมูล หรือกำหนดช่วงเวลาที่จะเกิดเหตุการณ์นั้นซ้ำอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งก็คือคาบการการเกิดซ้ำหรือคาบการกลับ (Return Period)



รูปที่ 2.14 อัตราเสี่ยงที่อย่างน้อยครั้งหนึ่งจะมีเหตุการณ์ที่มากกว่าออกแบบไว้ในระหว่างอายุโครงการ

คาบการเกิดซ้ำที่จะต้องเลือกขึ้นอยู่กับงานแบบว่ามีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม และความเสียหายต่อชีวิต และทรัพย์สินจะมีมากน้อยแค่ไหน ถ้ามีโครงการและไม่มีโครงการ หรือมีโครงการแล้วพัง สิ่งเหล่านี้ต้องนำไปวิเคราะห์เพื่อหาคาบการเกิดซ้ำที่เหมาะที่สุด หรือ เลือกคาบการเกิดซ้ำที่จะให้ปริมาณน้ำนองที่เหมาะสมที่สุด ได้ให้คำแนะนำสำหรับคาบการเกิดซ้ำในการออกแบบอาคารชลศาสตร์ได้ดังตารางที่ 2.3

เมื่อเลือกความถี่การออกแบบแล้วผู้ออกแบบอาจไม่แน่ใจหรืออยากทราบว่าเป็นไปได้มากน้อยแค่ไหนที่ปริมาณจากคาบการเกิดซ้ำ T จะมีค่าน้อยกว่าที่จะเกิดขึ้นจริงในช่วงอายุการใช้งานของเขื่อนหรือในช่วงการก่อสร้าง เป็นต้น คำตอบนี้สามารถประเมินได้จากการกระจายแบบไบโนเมียล (ตารางที่ 2.2) นั่นคือ

$$J_K = \left(\frac{n}{k}\right)(1-p)^{n-k} P^k \qquad (2\text{-}67)$$

$$\left(\frac{n}{k}\right) = \frac{n!}{k!(n-k)!} \qquad (2\text{-}68)$$

ตารางที่ 2.3 การเลือกค่าคาบการเกิดซ้ำสำหรับอาคารชลศาสตร์

อาคารชลศาสตร์	คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	อาคารชลศาสตร์	คาบการเกิดซ้ำ (ปี)
ท่อลอด		ระบบระบายน้ำในงานชลประทาน	
ปริมาณจราจรน้อย	5-10	ท่อลอดหรือคู	5-50
ปริมาณจราจรปานกลาง	10-25	สนามบิน	
ปริมาณจราจรมาก	50-100	ปริมาณจราจรน้อย	5-10
สะพาน		ปริมาณจราจรปานกลาง	10-25
ระบบรอง	10-50	ปริมาณจราจรมาก	50-100
ระบบหลัก	50-100	เขื่อน	
ระบบระบายน้ำในเมือง		ขนาดเล็ก	50-100
เมืองเล็ก	2-25	ขนาดกลาง	>100
เมืองใหญ่	25-50	ขนาดใหญ่	?

เมื่อ J_k คือค่าความมั่นใจที่มีความน่าจะเป็น P ของเหตุการณ์ จากคาบการเกิดซ้ำ T จะเกิดขึ้น K ครั้งอย่างแท้จริงในรอบ n ปี ข้างหน้า สมการ 3.7.6 เมื่อ X=0 สำหรับความน่าจะเป็นที่เหตุการณ์จะเท่ากับหรือมากกว่า K ครั้ง สมการ (2-67) จะเป็น

$$J \geq K = 1-(J_0+J_1+\ldots J_k) \qquad (2\text{-}69)$$

แต่ถ้าถามถึงความน่าจะเป็นที่ค่าจะมากกว่าที่ออกแบบไว้อย่างน้อยหนึ่งหรือมากกว่าในกรณีนี้อาคารอาจพัง สมการ (2-69) จะเป็น

$$J \geq K = 1-J_0 \ (J_k \text{ ที่ } K = 0)$$

$$J \geq K = 1-(1-P)^n \qquad (2\text{-}70)$$

สมการ (2-70) ก็คือสมการ (2-67) นั่นเอง

2.12.6.4 จำนวนข้อมูลและความไม่แน่นอน

ในการวิเคราะห์ขบวนการทางอุทกวิทยา ผลลัพธ์ที่ได้จะละเอียดถูกต้องน่าเชื่อถือมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับความละเอียดถูกต้องของการบันทึกข้อมูล ความน่าเชื่อถือของการประมาณการสามรถวัดได้โดยใช้ค่าช่วงความเชื่อมั่น (Confidence limit) สำหรับความถี่ค่าหนึ่ง ค่าช่วงความ

เชื่อมั่นสามารถคำนวณได้จากความน่าจะเป็นต่างๆ (ที่จะมีค่ามากกว่า) ได้คำนวณค่าช่วงความเชื่อมั่นตามเงื่อนไขค่าคาบการเกิดซ้ำ T จำนวนข้อมูลและค่าช่วงความเชื่อมั่น ดังแสดงในตารางที่ 2-4

2.12.7 การลงจุด (Plotting Position)

ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์สามารถหาได้โดยการใช้วิธีการลงจุด เมื่อมีการวิเคราะห์ข้อมูลรายปีสูงสุด คาบของการเกิดซ้ำถูกให้นิยามว่าคือ เวลาเฉลี่ยในหลายๆ ปี โดย

ตารางที่ 2.4 ความน่าจะเป็นจากค่าช่วงความเชื่อมั่น คาบการเกิดซ้ำและความยาข้อมูล

คาบการเกิดซ้ำ	**ความยาวข้อมูล**	**ค่าช่วงความเชื่อมั่น (% ผิดพลาด)**		
(ปี)	**(ปี)**	**±10%**	**±25%**	**±50%**
2	10	47	88	99
	25	68	99	100
	100	96	100	100
10	10	46	77	97
	25	50	93	99
	100	85	100	100
50	10	37	70	91
	25	46	91	97
	100	73	99	100
100	10	35	66	90
	25	45	89	98
	100	64	99	100

การลอง N ครั้ง สำหรับเวลาในอนาคต สำหรับค่าที่มากที่สุดที่ตำแหน่ง m ในกลุ่มข้อมูลสูงสุดของแต่ละปีที่จะน้อยกว่าหนึ่งครั้งโดยเฉลี่ย ตัวเลขเฉลี่ยของการเกิน (exceedences) ในกรณีนี้สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\overline{X} = mN/(n+1) \qquad (2\text{-}71)$$

เมื่อ $\overline{X}$ คือตัวเลขเฉลี่ยของการเกิน

N คือตัวเลขของการลองในอนาคต

N คือ จำนวนของค่าหรือข้อมูล

m คือ ตำแหน่งของข้อมูลเรียงจากมากไปน้อย m=1 สำหรับค่ามากที่สุด

ถ้า $\overline{X} = 1$ และ N=T สมการ (2-71) จะกลายเป็น

$$T = (n+1)/m \qquad (2\text{-}72)$$

นั่นคือคาบของการเกิดซ้ำมีค่าเท่ากับจำนวนปีของข้อมูลบวกหนึ่งหารด้วยตำแหน่งของข้อมูลของเหตุการณ์นั้นเปรียบเทียบสมการ (2-61) และ (2-72) จะได้ว่า

$$P = m/(n+1) \qquad (2\text{-}73)$$

มีวิธีการหาตำแหน่งลงจุดอยู่หลายสูตรด้วยกัน ดังแสดงในตารางที่ 2-5 สำหรับตำแหน่งที่ลงจุดที่ใช้สูตรของ Weibull

ตารางที่ 2.5 สูตรคำนวณหาตำแหน่งลงจุด

วิธี	**P(X>x)**	**M=1 และ n=10**	
		P	**T**
California	m/n	0.10	10
Hazen	(2m-1)/2n	0.05	20
Beard	1-(0.5)1/n	0.067	14.9
Weibull	m/(n+1)	0.091	11
Chegadavey	(m-0.3)/(n+0.4)	0.067	14.9
Blom	(m-3/8)/(n+0.25)	0.061	16.4
Tukey	(3m+1)/3n+1)	0.065	15.5

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าการกระจายตามทฤษฎีของคาบการเกิดซ้ำ สำหรับปริมาณน้ำนองที่คาบการเกิดซ้ำเฉลี่ยจำเพาะค่าหนึ่ง จากตารางจะเห็นว่าถ้าคาบการกลับที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าคาบการกลับเฉลี่ย โอกาสที่จะเป็นไปได้จะมีค่ามากกว่า 0.5 ตัวเลขในตารางหมายถึงช่วงเวลาข้างหน้าที่ค่าออกแบบจะไม่น้อยกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริง โดยมีความแน่ใจตามตัวเลขเป็นเปอร์เซ็นต์ เช่น ออกแบบอาคารชลศาสตร์รับน้ำหลากที่คาบการเกิดซ้ำเฉลี่ย 100 ปี โอกาสที่น้ำหลากจะไม่เกินค่าที่ออกแบบไว้ในช่วง 29 ปีข้างหน้า มีค่า 0.75 หรือ 75 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.6 การกระจายตามทฤษฎีของคาบการเกิดซ้ำ

คาบการเกิดซ้ำเฉลี่ย T	คาบการเกิดซ้ำจริงเทียบกับคาบการเกิดซ้ำเฉลี่ย						
	0.01	**0.05**	**0.25**	**0.50**	**0.75**	**0.95**	**0.99**
2	8	5	3	1	0	0	0
5	22	14	7	3	1	0	0
10	45	28	14	7	3	0	0
30	137	89	42	21	8	2	0
100	459	300	139	69	29	5	1
1000	4620	3000	1400	693	288	51	10

2.12.8 การวิเคราะห์ความถี่ Frequency Analysis

เนื่องจากความยาวของข้อมูลโดยทั่วๆ ไปไม่มาก(น้อยปี) ดังนั้นจึงเป็นไปไม่ได้ที่จะกำหนดการกระจายที่ถูกต้องโดยการใช้การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ ได้มีการเสนอวิธีการกระจายหลายแบบด้วยกัน วิธีที่เป็นที่นิยมกันมากได้แก่ Log-Pearson Type III และ Extreme-Value Type I วิธีหลังเสนอโดย ได้แสดงให้เห็นว่าฟังก์ชั่นความถี่ส่วนมากสามารถทำให้อยู่ในรูปสมการทั่วไปได้ว่า

$$X = \overline{X} + KSx \qquad (2\text{-}74)$$

เมื่อ X คือ เหตุการณ์ เช่นค่าน้ำนอง ปริมาณน้ำฝนและอื่นๆ ที่ค่าความเป็นไปได้ระดับต่างๆ $\overline{X}$ คือค่าเฉลี่ย ของข้อมูล Sx คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูลและ K คือ แฟคเตอร์ความถี่ (Frequency factor) กำหนดโดยการกระจายจำเพาะซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของระดับความเป็นไปได้ ของค่า X

2.12.8.1 Log-Pearson Type III วิธีการใช้การกระจายแบบนี้คือ

ก.) เปลี่ยนข้อมูลให้เป็นล๊อกการิธึมฐาน 10

ข.) จากข้อมูลที่เปลี่ยนเป็นค่าล๊อกแล้ว นำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสัมประสิทธิ์การเฉ ดังสมการต่อไปนี้

ค่าเฉลี่ย $$\overline{\log x} = \frac{\sum \log X}{n} \qquad (2\text{-}75)$$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $S_{\log X} = \sqrt{\Sigma(\log X - \log \bar{x})^2 /(n-1)}$ (2-76)

ค่าสัมประสิทธิ์การเฉ $G_{\log X} = \frac{n\sum(\log X - \overline{\log X})^3}{(n-1)(n-2)(S_{\log x})^3}$ (2-77)

ค.) คำนวณหาค่า X ที่ความน่าจะเป็นไปได้ระดับต่างๆ จาก

$$G_{\log X} = \overline{\log X} + K_{\log X} \quad (2\text{-}78)$$

$$X = 10^{\log X}$$

ค่า k หาจากตารางที่ 2.1

2.12.8.2 Extreme-Value Type I

ได้มีผู้พบว่าการกระจายของค่ามากที่สุดหรือน้อยที่สุด ซึ่งเลือกจาก n ตัวอย่างหรือ n ข้อมูล จะมีรูปแบบที่มีแนวโน้มที่จะเป็นรูปแบบจำกัด (Limiting form) ในขณะที่จำนวนของตัวอย่างหรือข้อมูลเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อการกระจายขั้นต้นภายในชุดข้อมูลเป็นเอ็กซ์โปเน็นเชี่ยล ผลก็คือการกระจายแบบนี้ซึ่ง Gumbel ได้เสนอไว้คือ

$$P = 1 - e^{-e^{-y}} \quad (2\text{-}79)$$

เมื่อ P คือ โอกาสที่เป็นไปได้ที่จะมีค่าอื่นที่เท่ากับหรือสูงกว่า y คือ reduced variate ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของ P และ e คือเอ็กซ์โปเน็นเชี่ยล ดังนั้น

$$X = X + \frac{(y - y_n)}{S_n} S_x \quad (2\text{-}80)$$

เมื่อ X คือค่าเฉลี่ยของข้อมูล Sx คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน Sn และ Yn เป็นฟังก์ชั่นของความยาวข้อมูล สมการ 3.9.7 มีรูปแบบคล้ายกับสมการ (2-74) นั่นคือ

$$K = \frac{y - y_n}{S_n} \quad (2\text{-}81)$$

2.12.8.3 ความถี่ในช่วงการไหลต่ำ (Frequency of low flows)

ปัญหาทางอุทกวิทยาส่วนมากมักสนใจในกรณีเหตุการณ์เกิดขึ้นสูงสุด อย่างไรก็ตามปัญหาความแห้งแล้วก็เป็นที่สนใจเนื่องจากกระทบต่อความเป็นอยู่ของสิ่งที่มีชีวิตทั้งหลาย ในการ

วิเคราะห์ภาวะความแห้งแล้งหรือช่วงที่มีปริมาณน้ำน้อยๆ ของแต่ละปีใช้วิธี Extreme Value Tupe I (Gumbel)

2.13 แผนที่

โดยลักษณะทั่วไปของแผนที่มาตรฐานทุกชนิดที่จัดทำขึ้นมานั้น แม้จะมีลักษณะรายละเอียดที่ปรากฏในส่วนที่เป็นแผนที่ (Map Face) และขอบระวางแผนที่แตกต่างกันไปตามชนิดและวัตถุประสงค์ของแผนที่ แต่ในทำแผนที่ทุกชนิดนั้น จะมีหลักอยู่อย่างหนึ่ง คือ การให้รายละเอียดแสดงข้อมูลสำหรับการใช้แผนที่อธิบายบริเวณที่เป็นแผนที่ ไว้บริเวณระวางของแผ่นแผนที่เสมอ คือ 1. ทิศทาง 2. มาตราส่วน 3. สัญลักษณ์ 4. ชื่อแผนที่ 5. พิกัดภูมิศาสตร์ 6. เส้นโครงแผนที่

ในที่นี้รายละเอียดประจำขอบระวางที่ควรรู้ ของแผนที่ภูมิประเทศลำดับชุด L7018 ระวางที่ 54371 มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ที่นิยมในงาน Remote Sensing และ GIS ใช้เป็นแผนที่ฐาน (Base Map) ดังแสดงในรูปที่ 2.15

รูปที่ 2.15 แผนที่

2.13.1 องค์ประกอบของแผนที่

รายละเอียดในแผนที่ที่พบเห็นและใช้กันอยู่โดยทั่วไปนั้น มีองค์ประกอบสำคัญ ดังนี้

1. องค์ประกอบภายในขอบระวาง เป็นรายละเอียดต่างๆที่อยู่ภายในกรอบของเส้นขอบระวางแผนที่ ซึ่งเป็นส่วนที่เรียกว่า “แผนที่” (Map Face) ประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

สัญลักษณ์ (Symbol) คือ เครื่องหมายที่ใช้แทนสิ่งต่างๆ ตามที่ต้องการแสดงไว้ในแผนที่เพื่อประหยัดเนื้อที่และเพื่อทำให้ดูทำความเข้าใจแผนที่ได้ง่ายขึ้น สัญลักษณ์อาจแสดงเป็นภาพวาดเหมือนจริงหรือเป็นเครื่องหมายต่างๆ เช่น จุด เส้น รูปวงกลม รูปสามเหลี่ยม หรือจะแสดงเป็นสีก็ได้ เช่น ในแผนที่แสดงภูมิประเทศ มัก-แสดงเป็นสีที่มีความหมายตามหลักสากล ซึ่งเป็นที่เข้าใจกันทั่วไป เช่น สีเขียว หมายถึงที่ราบ สีน้ำตาลหมายถึงที่สูงหรือภูเขา เป็นต้น สีที่ใช้แทนภูมิประเทศจะมีสีอ่อนบ้างแก่บ้าง แตกต่างกันไปตามสภาพภูมิ ประเทศของพื้นที่แต่ละแห่ง เพื่อแสดงรายละเอียดต่างๆที่ปรากฏอยู่บนผิวโลก ซึ่งสัญลักษณ์ต่างๆ ที่ใช้ในแผนที่ต้องมีคำอธิบายเครื่องหมายบ่งบอกไว้ (ปรากฏในองค์ประกอบภายนอกของขอบระวางแผนที่) สัญลักษณ์ที่ใช้แทนลักษณะที่ปรากฏในภูมิประเทศจริงในแผนที่นั้น จำแนกได้ 3 ประเภท ใหญ่ๆ ดังนี้

1) สัญลักษณ์ที่ใช้แทนลักษณะทางกายภาพ ใช้แสดงรายละเอียดของสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น ใช้แทนแหล่งน้ำ ได้แก่ แม่น้ำ ลำคลอง ห้วย หนอง บึง กุด สระที่ลุ่มต่าง ใช้แทนความสูงต่ำของภูมิประเทศ ใช้แทนพืชพรรณธรรมชาติต่างๆ
2) สัญลักษณ์ที่ใช้แทนลักษณะทางวัฒนธรรม ใช้แสดงสิ่งต่างๆที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การตั้งถิ่นฐาน ได้แก่ บ้าน หมู่บ้าน เมือง ตลาด ฯลฯ ใช้แทนการคมนาคมขนส่ง ได้แก่ ถนน ทางรถไฟ สะพาน ท่าอากาศยาน ทางเท้า ใช้แทนลักษณะการใช้ที่ดิน ได้แก่ สวน ไร่ นา เหมืองแร่ นาเกลือ ฯลฯ
3) สัญลักษณ์ที่ใช้แทนลักษณะข้อมูลเฉพาะเรื่อง

เครื่องหมายแผนที่ (Legend) คือ เครื่องหมายที่ใช้แสดงความหมายของสิ่งต่างๆบนผิวพิภพที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือที่มนุษย์สร้างขึ้น เครื่องหมายที่ใช้แสดง นี้จะพยายามให้มีลักษณะเหมือนของจริงในลักษณะที่มองมาจากข้างบน ที่ขอบ ระวางแผนที่จะแสดงเครื่องหมายแผนที่ไว้ เพื่อให้ผู้ใช้แผนที่ทราบว่าแทนสิ่ง

ใดในภูมิประเทศจริง นอกจากจะใช้เครื่องหมายแผนที่แทนแล้ว ยังใช้สีประกอบเครื่องหมายเพื่อความสะดวกและง่ายต่อผู้ใช้อีกด้วย สีที่ใช้แตกต่างกันออก ไปตามชนิดของรายละเอียดในภูมิประเทศแผนที่มาตรฐานของประเทศไทย มี 5 สี คือ

1) สีดำ แทนรายละเอียดที่สำคัญทางวัฒนธรรม หรือสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น หมู่บ้าน ทางรถไฟ
2) สีน้ำเงิน แทนรายละเอียดที่เป็นน้ำ เช่น แม่น้ำ ทะเลสาบ หนอง บึง
3) สีน้ำตาล แทนรายละเอียดที่มีความสูงต่ำของผิวพิภพ เช่น เส้นชั้นความสูง ดินถม
4) สีเขียว แทนบริเวณที่เป็นป่าหรือพืชพันธุ์ไม้ต่างๆ
5) สีแดง แทนถนนสายหลัก บางแห่งแสดงไว้ให้ทราบว่าเป็นพื้นที่หวงห้าม หรือมี อันตราย

2. องค์ประกอบภายนอกขอบระวาง เป็นพื้นที่ของแผ่นระวางแผนที่ส่วนที่อยู่นอกเส้นขอบระวางแผนที่ทั้งสี่ด้าน ใช้แสดงรายละเอียดและอธิบายสิ่งต่างๆ เกี่ยวกับแผนที่และข้อมูลการผลิตแผนที่ องค์ประกอบภายนอกขอบระวางแผนที่ ที่สำคัญของแผนที่ ชุด L 7018 มีรายการดังนี้

1. ชื่อชุดแผนที่และมาตราส่วน (Series Name and Map Scale) คือ THAILAND ประเทศไทย 1:50,000 จะปรากฏอยู่มุมซ้ายด้านบนของแผนที่
2. ชื่อแผ่นระวาง (Sheet Name) แผนที่แต่ละฉบับจะมีชื่อระวาง ซึ่งได้มาจากรายละเอียดที่เด่นหรือที่สำคัญทางภูมิศาสตร์ หรือสิ่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ชื่อของ จังหวัด อำเภอ หมู่บ้านที่สำคัญ ชื่อระวางจะปรากฏอยู่ 2 แห่ง คือ กึ่งกลางระวางตอนบน และทางด้านซ้ายของขอบระวางตอนล่าง
3. หมายเลขแผ่นระวาง (Sheet Number) แผนที่ที่แต่ละระวางจะมีหมายเลขซึ่งกำหนดขึ้นตามระบบที่วางไว้ เพื่อความสะดวกในการ อ้างอิงหรือค้นหา ตามปกติจะมีสารบัญแผนที่ (Map Index) เพื่อการค้นหาหมายเลข แผ่นระวางนี้จะแสดงไว้ที่ขอบระวางมุมขวาตอนบน และมุมซ้ายตอนล่าง

4. หมายเลขประจำชุด (Series Number) เป็นเลขหมายอ้างอิงที่แสดงถึงการจัดทำแผนที่ว่าเป็นที่ชุดใด จะปรากฏอยู่มุมบนขวาและล่างซ้ายของแผนที่ ซึ่งประกอบด้วยตัวอักษรและ ตัวเลข L 7018 มี ความหมายดังนี้

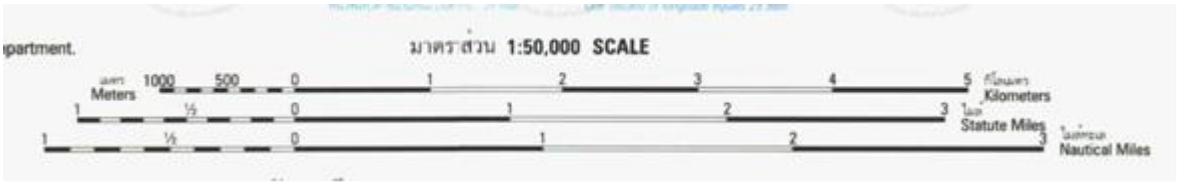
   L แทน Regional Area หรือ Sub-Regional Area จะใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษ L เป็น ภูมิภาคที่ครอบคลุมประเทศไทย ลาว กัมพูชา เวียดนาม มาเลเซีย จีน ไต้หวัน เกาหลี และญี่ปุ่น

   7 แทนมาตราส่วน (ระหว่าง 1 : 70,00 ถึง 1 : 35,000) แทนบริเวณที่แบ่ง L เป็นภูมิภาคย่อย (Sub-Regional Area) คือบริเวณ ประเทศไทย ลาว กัมพูชา เวียดนาม มาเลเซีย และจีน

   18 แทนเลขลำดับที่การทำชุดแผนที่ที่มีมาตราส่วนเดียวกัน และ อยู่ในพื้นที่ภูมิภาค L เดียวกัน ประเทศไทย ตรงกับลำดับชุดที่ 18

5. การจัดพิมพ์ (Edition number) จะพบอยู่ตรงขอบบนทางซ้ายและขอบล่างทางซ้าย บอกให้ทราบถึงอายุของแผนที่ ที่เกี่ยวข้องกับแผนที่ฉบับเดียวกัน เช่น ปีที่พิมพ์ จำนวนครั้งที่พิมพ์

6. มาตราส่วนแผนที่ (Map Scale) แสดงไว้ที่กึ่งกลางระวางตอนล่าง และมุมซ้ายตอนบน มาตราส่วนแสดงไว้เพื่อให้ทราบอัตราส่วนระหว่างระยะในแผนที่กับระยะในภูมิประเทศที่ตรงกัน จะมีหน่วยวัดที่ต่าง ๆกัน เช่น ไมล์ เมตร หลา ไมล์ทะเล

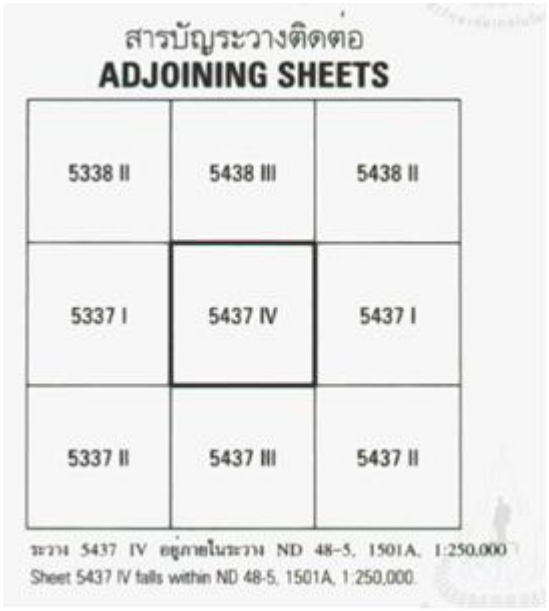


รูปที่ 2.16 มาตราส่วนของแผนที่

7. หมายเหตุความน่าเชื่อถือ (Credit Note) แสดงไว้ ณ ตอนกลางด้านล่างของแผนที่ บอกข้อความแสดงวิธีประกอบแผนที่ หลักฐานต่างๆ ที่นำมาใช้ในการทำแผนที่ รวมทั้งวันทำและหน่วยงานที่ทำ ตลอดจนหลักฐานอื่นๆ เขียนไว้ว่า

แผนที่นี้จัดทำโดย..... กรมแผนที่ทหาร
สำรวจชื่อโดย..... กรมแผนที่ทหาร
กำหนดจุดควบคุมโดย..... กรมแผนที่ทหาร

8. สารบัญระวางติดต่อ (Adjoining Sheets) เป็นกรอบตารางสี่เหลี่ยมพร้อมทั้งหมายเลขกำกับ เพื่อแสดงให้ทราบถึงหมายเลขแผ่นระวางที่ติดต่อกับแผนที่ระวางนั้น เพื่อความสะดวกในการค้นหาระวางแผนที่ใกล้เคียง เป็นแผนภาพที่แสดงให้ทราบว่า โดยรอบแผนที่ระวางที่ใช้อยู่มีระวางใดบ้างเพื่อสะดวกในการค้นหาระวางถัดไป ระวางที่ใช้อยู่จะแสดงด้วยกรอบเข้มอยู่ตรงกลาง ดังแสดงในรูปที่ 2.17

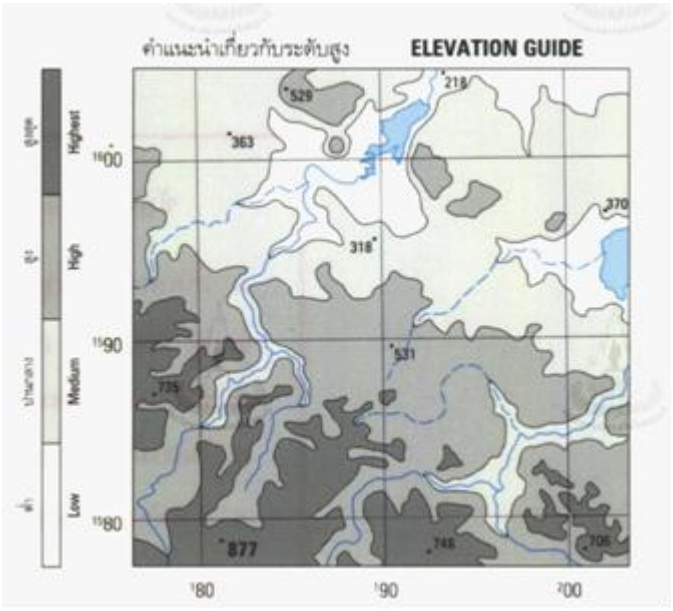


รูปที่ 2.17 สารบัญระวางติดต่อ

9. แนวแบ่งเขตการปกครอง (Boundaries) เป็นแผนผังแสดงการปกครองของประเทศ จังหวัด อำเภอ กิ่งอำเภอ ดังแสดงในรูปที่ 2.18

รูปที่ 2.18 แนวแบ่งเขตการปกครอง

10. คำแนะนำเกี่ยวกับระดับความสูง (Elevation Guide) ปรากฏที่ขอบล่างด้านขวาใกล้กับสารบัญระวางติดต่อ เป็นแผนผังแสดงระดับความสูงของพื้นที่ต่างๆในแผนที่ระวางนั้นโดยประมาณ โดยใช้ความแตกต่างความเข้มของสี เพื่อให้เห็นได้ง่ายว่าบริเวณใดมีความสูงที่สุด สูง ปานกลาง และต่ำ จากระดับน้ำทะเลมากหรือน้อย ดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 คำแนะนำเกี่ยวกับระดับความสูง

11. ข้อความเกี่ยวกับเส้นโครงแผนที่ หรือ รายละเอียดเกี่ยวกับโปรเจคชั่น (Projection Note) เส้นโครงแผนที่ (Projection) บอกให้ทราบว่าแผนที่ L 7018 มาตราส่วน 1:50,000 เส้นโครงแผนที่ชนิด ทราน สเวอร์สเมอร์เคเตอว์ (Transverse Mercator) จะแสดงอยู่ที่ไว้ที่ตรงกลางด้านล่างของแผนที่ แสดงในรูปที่ 2.20

"เส้นโครงแผนที่.....ทรานเวอร์ส เมอร์เคเตอร์"

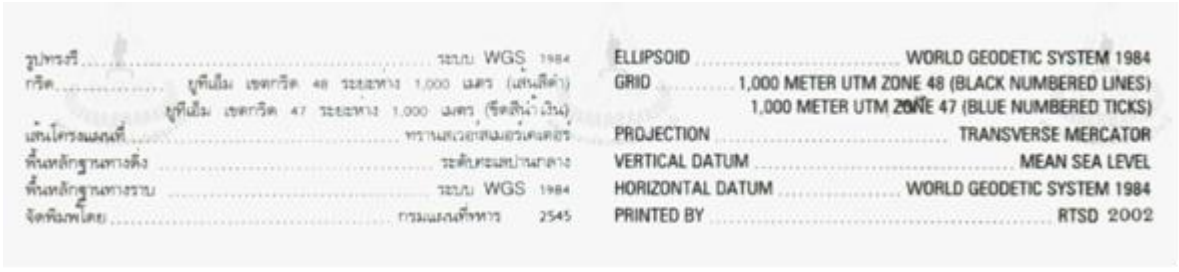
12. ข้อความที่เกี่ยวกับเส้นกริด (Grid Note) กริด (Grid) เป็นระบบอ้างอิงในทางราบ มีลักษณะเป็นตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสมุมฉาก บอกให้ทราบว่าเส้นกริด ซึ่งเป็นเส้นตรงสีดำที่ลากขนานกันบนแผนที่พร้อมทั้งมีตัวเลขกำกับนั้น มีระยะห่างกัน 1,000 เมตร ระบบที่ใช้เป็นระบบกริดที่เรียกว่า UTM Gird (Universal Transverse Mercator Grid) แผนที่วะวางนี้อยู่ในโซนที่เท่าไหร่ (เช่น โซนที่ 47. 48) จะแสดงอยู่ที่ขอบระวางใต้ ในแผนที่ลำดับชุด L 7018 เขียนไว้ว่า แสดงในรูปที่ 2.20

สเฟียรอยด์.....เอเวอร์เรสท์

กริด.....1000 เมตร UTM; โซน 47

13. หลักฐานทางแนวทางดิ่ง (Vertical Datum Note) บอกให้ทราบว่า ความสูงของภูมิประเทศ แสดงในรูปที่ 2.20

14. บันทึกหลักฐานทางราบ (Horizontal Datum Note) เป็นระบบหลักฐานที่ใช้อ้างอิงในการกำหนดค่า จุดบังคับทางราบที่แสดงไว้ในแผนที่โครงข่ายของจุดควบคุมตำแหน่งทางราบของแผนที่ แสดงในรูปที่ 2.20



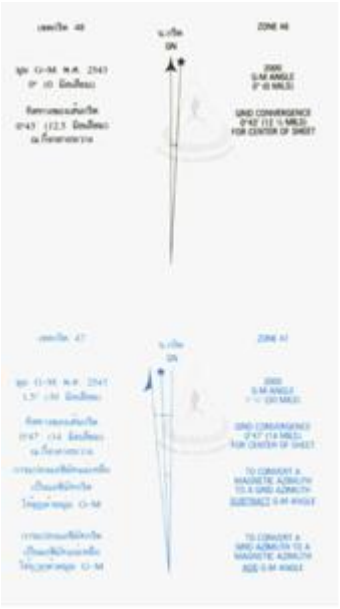
รูปที่ 2.20 บันทึกหลักฐานทางราบ

15. แผนผังเดคลิเนชั่น หรือ มุมป่ายเบน (Declinations Diagram)ปรากฏที่ขอบระวางตอนล่าง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างทิศเหนือ 3 ทิศ คือ

(1) ทิศเหนือจริง (True North) ใช้สัญลักษณ์ คือ ดาวเหนือ คือแนวทิศเหนือภูมิศาสตร์แนวทิศทางหรือเส้นตรงที่ชี้ไปยังขั้วโลกเหนือของโลก

(2) ทิศเหนือกริด (Grid North) ใช้สัญลักษณ์ คือ กริด หรือ GN ได้แก่ แนวทิศเหนือตามเส้นกริดทางดิ่งของระบบเส้นกริดในแผนที่ หรือเรียกว่า ทิศเหนือแผนที่

(3) ทิศเหนือแม่เหล็ก (Magnetic North) ใช้สัญลักษณ์ คือครึ่งลูกศร แนวที่ปลายเข็มของเข็มทิศชี้ไปในทิศทางที่เป็นขั้วเหนือของแม่เหล็กโลก ตลอดเวลาขนาดของมุมบ่ายเบนของแนวทิศเหนือจริง แนวทิศเหนือแม่เหล็ก และแนวทิศเหนือกริด ขนาดของมุมบ่ายเบนของทิศเหนือเหล่านี้จะแสดงค่า องศา ลิปดา และในหน่วยมิลส์ และบอกให้ทราบด้วยว่าได้คำนวณขึ้นเมื่อใดและมีการเปลี่ยนแปลงประจำปีเท่ากับเท่าใด แสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ขนาดของมุมบ่ายเบนของแนวทิศเหนือจริง แนวทิศเหนือแม่เหล็ก และแนวทิศเหนือกริด

16. บันทึกสำหรับผู้ใช้แผนที่ อยู่มุมขวาด้านล่างสุดของแผนที่ บอกความต้องการความร่วมมือในการแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ ของแผนที่

17. ข้อความที่เกี่ยวกับกำหนดความสูง (Elevation Note or Contour Interval Note) ช่วงต่างเส้นชั้นความสูง 20 เมตร (Contour Interval 20 Meters)

บอกให้ทราบว่าช่วงต่างระหว่างเส้นชั้นความ สูงในแผนที่ระวางนี้เท่ากับ 20 เมตร แสดงในรูปที่ 2.22 แสดงอยู่ที่ขอบระวางตอนล่าง

รูปที่ 2.22 กำหนดความสูง

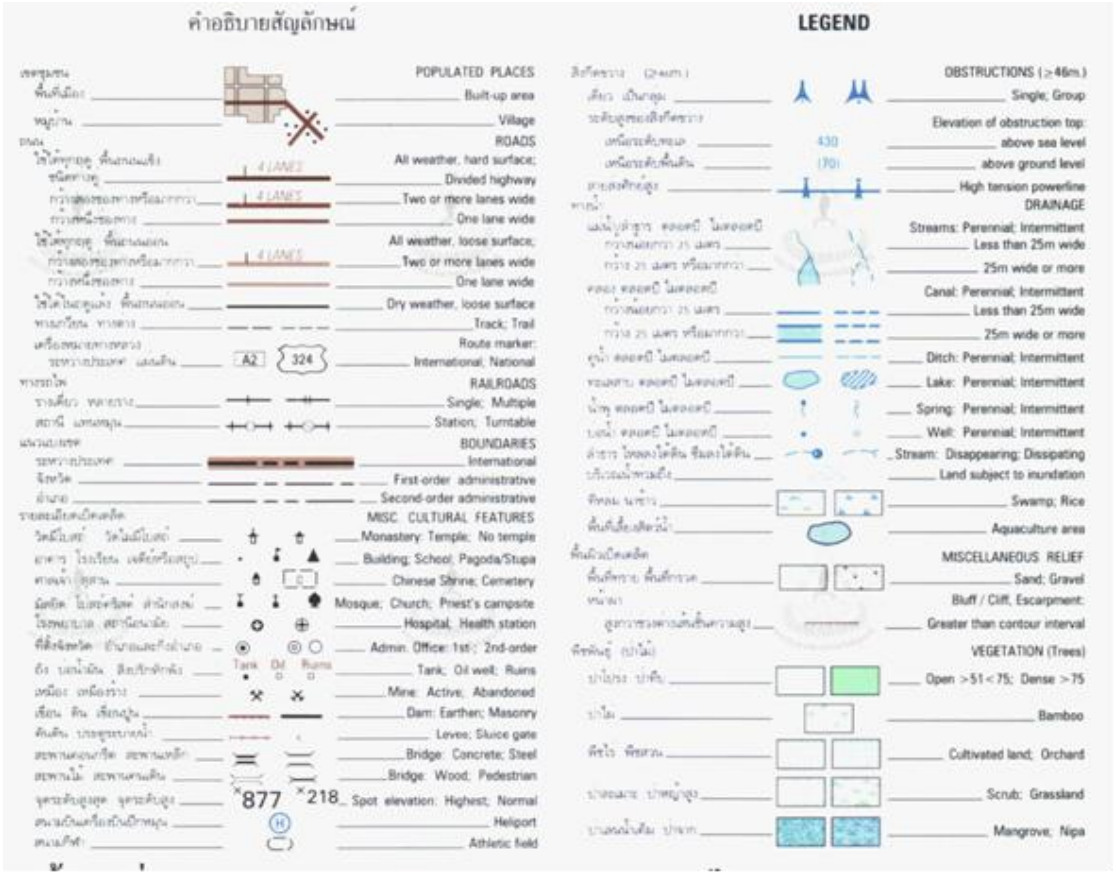
18. ศัพทานุกรม (Glossary) แสดงอยู่ขอบขวาตอนล่าง บอกให้ทราบว่าแผนที่นี้ ได้จัดทำขึ้น 2 ภาษา คือ ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ คำบางคำจำเป็นต้องให้ทับศัพท์ ดังนั้น เพื่อให้ผู้ใช้ได้ทราบความหมายของคำทับศัพท์นั้น จึงได้ให้ความหมายไว้ด้วย แสดงในรูปที่ 2.23

รูปที่ 2.23 ศัพทานุกรม

19. คำแนะนำในการใช้ค่ากริด (Grid Reference Box) แสดงอยู่ที่กึ่งกลางด้านล่างของระวางบรรจุข้อความไว้เป็นกรอบสี่เหลี่ยม เป็นคำแนะนำในการหา พิกัดกริด ของจุดต่างๆ ในแผนที่ แสดงในรูปที่ 2.24

รูปที่ 2.24 คำแนะนำในการใช้ค่ากริด

20. คำอธิบายสัญลักษณ์ (Legend) เป็นรายละเอียดที่อธิบายความหมายของสัญลักษณ์ (Symbol) ที่ใช้แสดงในแผนที่ เช่น ประเภทของเส้นถนน ซึ่งจะปรากฏที่มุมล่างด้านซ้ายของแผนที่ แสดงในรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 คำอธิบายสัญลักษณ์ (Legend)

มาตราส่วนแผนที่ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างระยะบนแผนที่กับระยะห่างในภูมิประเทศจริง หรือ คือความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางราบบนแผนที่กับระยะทางราบในภูมิประเทศจริง ซึ่งเป็นข้อมูลที่บอกให้ผู้ใช้แผนที่ทราบว่า แผนที่นั้นๆ ย่อส่วนมาจากของจริงในอัตราส่วนเท่าใด เช่น ระยะห่างจริงในภูมิประเทศ 1 กิโลเมตร เมื่อเขียนลงแผนที่อาจจะเขียนย่อส่วนลงจาก 1 กิโลเมตร เป็น 1 เซนติเมตร หรือ 1 นิ้ว เป็นต้น

มาตราส่วนแผนที่ (Map Scale) เป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับผู้ใช้แผนที่ เพื่อการอ่านและแปลความหมายจากแผนที่ เพราะช่วยให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับพื้นที่และระยะทางที่แท้จริงบนพื้นผิวภูมิประเทศจริงได้

$$\text{สูตรมาตราส่วนแผนที่} = \frac{\text{ระยะทางบนแผนที่ (Map Distance)}}{\text{ระยะทางในภูมิประเทศจริง (Ground Distance)}}$$

$$\text{หรือ} \quad \text{Scale} = \frac{\text{MD}}{\text{GD}}$$

มาตราส่วนของแผนที่อาจบอกเป็นชนิดต่างๆ ได้ 3 ชนิด คือ

1. มาตราส่วนส่วนเศษส่วน เป็นการบอกมาตราส่วนที่สำคัญมากที่สุดและนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง คือ การบอกมาตราส่วนแบบเศษส่วนเขียนในลักษณะ 1 :50,000 หรือ $\frac{1}{50,000}$ หรือ 1/50,000 หมายความว่า 1 เซนติเมตร ในแผนที่เท่ากับระยะจริงบนพื้นผิวภูมิประเทศ 50,000 เซนติเมตร หรือ 500 เมตร หรือระยะทาง 1 นิ้ว ในแผนที่เท่ากับระยะจริงในภูมิประเทศ 50,000 นิ้ว เป็นต้น
2. มาตราส่วนคำพูด มาตราส่วนแผนที่อาจบอกเป็นคำพูดธรรมดาก็ได้ เช่น มาตรส่วน 1 นิ้ว ต่อ 10 ไมล์ หมายความว่า ระยะทางแผนที่ 1 นิ้ว เท่ากับระยะทางในภูมิประเทศ 10 ไมล์ 1 เซนติเมตร ต่อ 10 กิโลเมตร หมายถึง 1 เซนติเมตรในแผนที่เท่ากับ 10 กิโลเมตรในภูมิประเทศจริง เป็นต้น การบอกมาตราส่วนแบบนี้ แม้ว่าจะสะดวกเวลาอ่าน แต่ก็ไม่สะดวกในเวลาปรับใช้กับการคำนวณ และไม่สะดวก สำหรับประเทศต่างๆ ที่มีหน่วยวัดระยะทางไม่เท่ากัน
3. มาตราส่วนรูปภาพหรือมาตราส่วนเส้นบรรทัด มาตราส่วนแบบนี้แสดงเป็นเส้นตรง เส้นที่แสดงนั้นแบ่งส่วนๆ ส่วนละเท่าๆกัน แต่ละส่วนจะมีตัวเลขกำกับไว้ เพื่อบอกให้ทราบว่าระยะแต่ละส่วนในแผนที่นั้นแทนระยะทางในภูมิประเทศเท่าไร หน่วยที่ใช้

บอกระยะในมาตราส่วนแบบเส้นบรรทัดอาจใช้ ในหน่วย หลา เมตร ไมล์ และไมล์ทะเล หรือ อาจบอกทั้ง 4 หน่วยในแผนที่ฉบับเดียวกันก็ได้

การแสดงมาตราส่วนเส้นบรรทัด แสดงด้วยรูปภาพเส้นตรงที่มีส่วนแบ่งย่อย ซึ่งเมื่อนำระยะทางบนแผนที่มากางที่มาตราส่วนนี้ ก็จะทราบระยะทางของแผนภูมิประเทศจริง โดยในแต่ละส่วนจะมีตัวเลขกำกับบอกระยะจริงบนภูมิประเทศไว้ เส้นตรงที่เขียนนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอนตอนที่อยู่ขวามือของขีดเส้นหลัก เรียกว่า “ขีดส่วนแบ่งเต็ม” และตอนที่อยู่ทางซ้ายของขีดหลัก เรียกว่า “ขีดส่วนแบ่งย่อย”

การหาระยะทางในภูมิประเทศจากระยะในแผนที่ เราอาจใช้วิธีวัดระยะซึ่งอาจวัดเป็นแนวตรงหรือวัดระยะเป็นแนวคดโค้งไปตามลักษณะของแม่น้ำ ลำคลอง หรือถนนได้ เมื่อวัดระยะระหว่างจุดต่างๆ ที่ต้องการในแผนที่แล้วก็นำระยะที่วัดได้ไปเทียบกับมาตราส่วนก็จะได้ระยะทางในภูมิประเทศ วิธีการวัดมีหลายอย่างคือ

การหาระยะทางบนแผนที่ การหาระยะโดยอาศัยมาตราส่วนของแผนที่ เช่น เราวัดระยะบนแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ได้ 3 เซนติเมตร เพราะฉะนั้นระยะราบในภูมิประเทศจริงคือ

$3 \times 50,000 = 150,000$ ซ.ม. หรือ 1,500 เมตร หรือ 1.5 ก.ม.

ลักษณะความสูงต่ำของพื้นผิวภูมิประเทศ (Relief) ที่แสดงไว้ในแผนที่ภูมิประเทศนั้นมีวิธีแสดงในรูปแบบต่าง ๆ ได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับชนิดขนาดมาตราส่วน และความมุ่งหมายในการใช้แผนที่ ปัจจุบันงานด้านถ่ายรูป และการพิมพ์ได้มีวิวัฒนาการไปมากทำให้สามารถมองเห็นลักษณะความสูงต่ำของพื้นผิวภูมิประเทศได้อย่างชัดเจนคล้ายภาพ 3 มิติ โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือมองภาพแผนที่ดังกล่าวช่วยให้ผู้ที่มีความรู้เกี่ยวกับแผนที่ไม่มากนัก สามารถอ่าน และเข้าใจลักษณะภูมิประเทศได้

สำหรับแผนที่ภูมิประเทศแบบลายเส้น มีวิธีแสดงลักษณะความสูงต่ำได้หลายวิธี แต่ละวิธีมีหลักการในการแสดง และพิจารณาที่แตกต่างกันไป ในที่นี้ผมขอแนะการพิจารณาภูมิประเทศจากเส้นชันความสูง แต่ก่อนอื่น ผมคิดว่าคุณควรจะเข้าหลักการของ เส้นชั้นความสูงเสียก่อน ดังนั้นเรามาเข้าถึงหลักการของเส้นชั้นความสูงกันเลยดีกว่านะครับ

เส้นชั้นความสูงคือ เส้นที่แสดงไว้ในแผนที่ โดยสมมุติให้เป็นเส้นที่ลากผ่านจุดที่มีระดับความสูงเท่า ๆ กันบนภูมิประเทศ

ประเภทของเส้นชั้นความสูง

1. เส้นชั้นความสูงหลัก (Index contour) ลักษณะ มีขนาดหนากว่าเส้นชั้นความสูงธรรมดา (เส้นชั้นความสูงรอง) โดยจะพบเส้นชั้นความสูงรอง 5 เส้นจะพบเส้นชั้นความสูงหลัก 1 เส้น โดยมากค่าระดับความสูงจะปรากฏ อยู่บนเส้นชั้นความสูงชนิดนี้

2. เส้นชั้นความสูงรอง (Intermediate contour) ลักษณะจะเล็กกว่าเส้นชั้นความสูงหลัก โดยจะพบอยู่ระหว่างเส้นชั้นความสูงหลัก จะเป็นเส้นชั้นความสูงย่อยที่ แยกมาจากเส้นชั้นความสูงหลัก ทำให้ง่ายในการหาค่าระดับความสูงมากขึ้น เนื่องจาก ช่วงในการพิจารณาค่าระดับสูงนั้นลดแคบลง
3. เส้นชั้นความสูงแทรก (Supplementary contour) ลักษณะเป็นเส้นประสีน้ำตาล อยู่ระหว่างเส้นชั้นความสูงรอง โดยจะมีค่าครึ่งหนึ่ง ของช่วงชั้นความสูง (ช่วง 10 เมตร ในแผนที่ 1 : 50000) จะพบมากในบริเวณที่เป็นพื้นราบ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงมีน้อย ทำให้ต้องมีเส้นชั้นความสูงแทรก เพื่อจะสังเกตุลักษณะความสูงต่ำของภูมิประเทศ
4. เส้นชั้นความสูง (Depression Contour) ลักษณะเส้นชั้นความสูงที่วงบรรจบกันและมีท่อนสั้น ๆ ขีดไว้แนวตั้งฉาก ใช้แสดงลักษณะที่เป็นหน้าผา ปลายท่อนจะชี้ไปยังจุดที่ตำกว่า

2.14 การใช้น้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค

อดิศร (2554) การศึกษาความต้องการใช้น้ำ เพื่อการอุปโภค บริโภค เป็นการศึกษาความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคของของประชากรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งพิจารณาจากข้อมูลปริมาณน้ำ ที่ต้องใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ตามสมการดังต่อไปนี้

ความต้องการใช้น้ำ = จำนวนประชากรในพื้นที่ x อัตราการใช้น้ำ เฉลี่ย (ลบ.ม./วัน)

โดยกำหนดให้อัตราการใช้น้ำ ในชุมชนชนบทโดยทั่วไปของประเทศไทย มีค่าประมาณ 60 ลิตร/คน/วัน ซึ่งจากสมการจะได้ปริมาณการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภครายเดือนของพื้นที่ลุ่มน้ำประสิทธิภาพการชลประทาน

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

3.1.1 สำรวจ และศึกษาลักษณะทางอุทกวิทยา และลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ตำบลโคกกระชาย อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา

3.1.2 เก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

1. ปริมาณน้ำฝน

รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ใกล้เคียงกับพื้นที่ที่ทำการศึกษา คือ สถานีวัดน้ำฝนอำเภอเสิงสาง ซึ่งมีการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำฝนอย่างครบถ้วน โดยรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน ในช่วง 30 ปี (พ.ศ. 2526 – พ.ศ. 2555) และนำมาคำนวณเป็นปริมาณน้ำฝนสะสมรายเดือน ดังตารางที่ 3-1

2. ปริมาณน้ำท่า

รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากลำแชะ (สถานี M50) ที่เข้ามาในพื้นที่ที่ทำการศึกษา จากโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน-ลำแชะ โดยรวบรวมข้อมูลน้ำท่าที่เข้ามาในพื้นที่เฉลี่ยรายเดือน ดังตารางที่ 3-2 ซึ่งสถานี M50 มีพื้นที่รับน้ำ เท่ากับ 864 ตร.กม.

3. การระเหย

รวบรวมข้อมูลการระเหยของสถานีวัดอุตุนิยมวิทยาโชคชัย สะสมรายเดือน (มิลลิเมตร) เฉลี่ยในช่วง 30 ปี (พ.ศ. 2526 – พ.ศ. 2555) ดังตารางที่ 3-3

4. การซึมลงดิน (Infiltration)

กรมชลประทาน (2538) ทำการวัดการรั่วซึม บนแปลงทดลอง ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน ได้ค่าเฉลี่ย ของปริมาณน้ำที่รั่วซึมลงไปในดินเท่ากับ 1.78 มิลลิเมตรต่อวัน

ซึ่งเป็นแปลงทดลองของกรมชลประทานในเขตพื้นที่ศึกษาและสอดคล้องกับ กรมชลประทาน (2539) อ้างถึง AIT. (1983) ว่าได้ทดลองวัดอัตราการรั่วซึมของพื้นที่ชลประทาน ซึ่งรับน้ำจากอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง จังหวัดนครราชสีมาไว้ 3 โครงการ ซึ่งมีลักษณะดินเป็นประเภทเดียวกัน ดังนี้ โครงการบึงกระโดน 1.90 มิลลิเมตรต่อวัน โครงการห้วยยาง 1.30 มิลลิเมตรต่อวัน โครงการห้วยสะกาด 1.90 มิลลิเมตรต่อวัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ผลการวัดปริมาณน้ำรั่วซึมลงไปในดิน เฉลี่ย 1.78 มิลลิเมตรต่อวัน ของกรมชลประทาน (2538)

ตารางที่ 3.1 ปริมาณน้ำฝนสะสมรายเดือน ณ สถานีวัดน้ำฝนอำเภอเสิงสาง

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำฝนสะสมรายเดือน (มม.)												ปริมาณน้ำฝนสะสมรายปี (มม.)
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
2526	0.0	0.0	12.6	9.6	119.4	73.7	167.9	158.5	286.4	288.4	26.9	8.7	1152.1
2527	4.5	0.0	54.9	65.1	192.9	42.6	115.4	91.7	108.1	116.2	27.8	0.0	819.2
2528	5.5	28.1	25.6	130.3	217.8	61.9	166.2	37.5	182.8	150.3	66.9	0.0	1072.9
2529	0.0	0.0	79.3	109.7	67.0	17.4	131.2	148.5	131.7	162.9	0.0	15.0	862.7
2530	0.0	6.5	15.6	93.2	68.2	43.6	68.6	95.0	227.9	80.4	53.9	0.0	752.9
2531	0.0	80.7	12.0	86.8	103.5	197.2	93.9	128.6	228.1	150.3	0.0	0.0	1081.1
2532	0.0	0.0	29.0	37.0	266.7	107.4	150.1	141.8	120.6	70.8	4.7	0.0	928.1
2533	17.9	2.2	136.1	37.4	61.5	99.3	41.1	169.7	161.4	268.4	27.9	0.0	1022.9
2534	0.0	3.8	8.8	0.0	141.6	40.0	73.8	131.5	255.1	198.6	0.0	0.0	853.2
2535	7.6	0.0	4.7	60.6	127.8	94.1	127.4	185.2	119.0	192.7	0.0	19.3	938.4
2536	0.0	25.8	19.3	99.9	148.7	272.6	147.0	82.4	174.3	233.6	0.0	16.7	1220.3
2537	0.0	33.3	72.7	42.1	179.5	101.6	38.9	96.4	102.0	111.8	0.0	0.0	778.3
2538	0.0	53.3	83.2	88.3	102.6	96.5	169.4	207.2	259.0	143.4	15.9	0.0	1218.8
2539	0.0	3.8	60.1	114.9	124.0	105.2	60.6	143.6	461.8	165.6	40.0	0.0	1279.6
2540	0.0	4.3	23.0	89.1	222.3	2.0	96.8	261.0	232.0	43.7	0.0	0.0	974.2
2541	0.0	66.9	15.9	134.0	52.7	87.6	144.0	291.9	192.8	67.0	90.3	5.4	1148.5
2542	4.6	0.0	109.3	55.6	178.5	88.1	71.9	141.3	150.7	123.6	79.1	0.9	1003.6
2543	25.4	61.5	0.0	94.1	287.2	95.9	121.0	132.4	249.9	126.7	0.0	0.0	1194.1
2544	0.0	4.5	135.0	20.8	142.8	147.4	20.3	116.1	156.1	147.0	10.1	0.0	900.1
2545	0.0	0.0	24.3	122.9	200.8	112.7	10.2	145.6	320.2	92.9	34.9	42.1	1106.6
2546	0.0	23.3	89.3	136.7	219.8	132.4	212.3	169.5	278.3	112.4	0.0	0.0	1374.0
2547	0.0	44.4	8.9	84.5	129.1	185.5	139.1	100.3	212.3	42.2	18.5	0.0	964.8
2548	0.0	0.0	54.4	12.2	183.6	0.1	133.1	97.6	243.0	213.1	60.3	27.4	1024.8
2549	0.0	20.6	83.5	64.5	151.1	117.5	74.9	111.5	152.5	155.9	17.4	0.0	949.4
2550	0.0	0.0	0.0	69.5	238.8	128.1	38.5	160.3	223.2	222.1	73.4	0.0	1153.9
2551	0.0	0.0	30.8	87.4	190.3	81.2	20.4	136.5	288.2	191.9	52.4	0.0	1079.1
2552	0.0	44.2	87.0	198.3	112.7	2.1	11.5	259.0	354.7	106.9	0.0	0.0	1176.4
2553	5.5	2.1	4.1	35.5	112.4	115.8	169.3	181.5	179.5	384.9	5.8	3.2	1199.6
2554	0.0	23.2	15.0	58.3	143.2	54.4	42.6	169.7	342.4	193.9	0.0	0.0	1042.7
2555	108.3	11.1	30.6	43.4	78.0	42.1	62.5	54.3	430.0	123.7	97.9	0.0	1081.9
เฉลี่ย	6.0	18.1	44.2	76.1	152.2	91.5	97.3	144.9	227.5	156.0	26.8	4.6	1045.1

ตารางที่ 3.2 ปริมาณน้ำท่าสะสมรายเดือน ณ สถานี M 50

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำท่าสะสมรายเดือน (ล้าน ลบ.ม.)												น้ำท่าสะสมรายปี (ล้าน ลบ.ม.)	น้ำท่าเฉลี่ยรายปี (ลบ.ม./วิ.)
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.		
2526	0.00	0.00	0.00	0.91	3.00	2.66	3.76	8.65	12.68	8.71	0.80	0.00	41.167	1.31
2527	1.10	0.02	1.81	3.21	4.30	1.45	4.03	2.53	4.87	3.49	1.85	0.00	28.663	0.91
2528	0.10	2.71	1.84	4.99	4.28	1.94	4.05	0.58	5.47	4.31	1.55	0.00	31.825	1.01
2529	0.00	0.43	1.07	7.42	3.64	1.17	3.53	3.76	7.50	6.98	0.00	0.00	35.493	1.13
2530	0.00	0.83	3.29	1.91	2.53	3.06	0.54	3.68	7.26	4.22	6.53	0.00	33.850	1.07
2531	0.00	2.25	0.00	5.19	5.85	1.46	1.04	3.12	11.49	5.17	0.00	0.00	35.579	1.13
2532	0.61	0.00	1.72	2.74	7.81	3.48	3.20	5.65	6.04	4.94	0.00	0.00	36.182	1.15
2533	0.21	0.00	2.62	3.08	5.52	2.12	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.510	0.46
2534	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2535	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2536	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2537	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2538	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2539	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2540	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2541	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2542	0.00	0.00	0.00	0.00	1.18	0.00	0.97	3.99	5.27	5.27	3.61	0.04	20.339	0.64
2543	0.00	0.66	0.24	1.38	2.83	4.81	6.37	10.19	13.60	16.58	3.45	0.23	60.349	1.91
2544	0.36	0.60	2.48	0.11	0.17	0.04	0.00	1.62	5.38	2.10	0.65	0.09	13.605	0.43
2545	0.03	0.24	0.32	0.96	0.92	0.05	6.72	5.86	13.53	9.21	2.61	0.00	40.433	1.28
2546	0.00	0.03	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.124	0.00
2547	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2548	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2549	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2550				7.60	19.67	0.72	3.75	20.04	13.11	14.09	16.30	0.02	95.29	3.02
2551	0.00	2.25	1.06	1.74	6.36	2.37	4.95	7.53	24.05	10.91	9.67	3.56	74.46	2.36
2552	3.98	4.11	5.51	5.54	8.06	2.01	6.21	8.03	13.74	23.84	5.44	2.99	89.45	2.84
2553	2.87	1.06	1.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.12	0.16
2554	ปิดการสำรวจปริมาณน้ำ													
เฉลี่ย	7.55	6.31	6.84	6.33	7.35	8.40	17.02	20.38	29.16	29.24	12.98	8.50	154.75	4.90

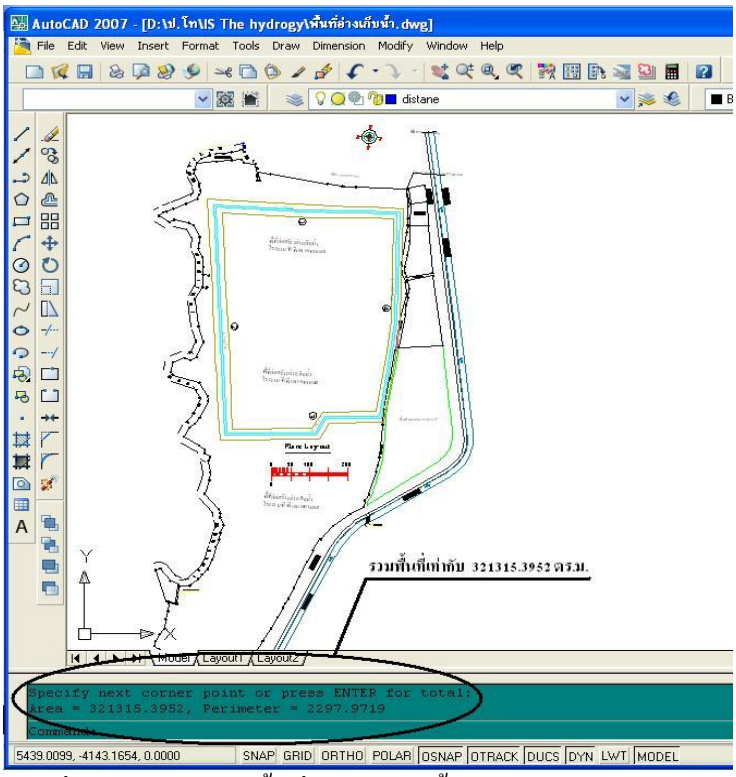
ตารางที่ 3.3 ปริมาณการระเหยสะสมรายเดือน ณ สถานี อุตุนิยมวิทยาอุทกโชคชัย

ปี พ.ศ.	ปริมาณการระเหยสะสมรายเดือน (มม.)												ปริมาณระเหยสะสมรายปี (มม.)
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
2550	130.54	139.77	169.86	151.33	129.65	150.01	158.63	130.38	117.43	100.76	110.28	125.27	1613.91
2551	124.6	133.27	173.9	159.58	136.83	135.15	133.04	123.64	107.27	111.19	101.21	107.64	1547.32
2552	118.43	130.57	142.79	145.72	141.21	141.15	136.33	140.09	121.25	105.75	114.38	110.64	1548.31
2553	109.21	124.92	166.02	175.13	173.49	140.01	146.48	121.77	109.62	92.82	117.1	118.99	1595.56
2554	119.45	111.24	129.26	136.99	146.4	137.73	133.99	110.23	101.76	111.05	119.32	121.11	1478.53
2555	116.01	119.56	148.48	151.73	145.36	134.6	156.62	137.38	114.67	126.23	105.76	123.48	1579.88
ค่าเฉลี่ย	119.70	126.55	155.05	153.41	145.49	139.77	144.18	127.25	112.00	107.96	111.34	117.85	1560.58

ที่มา: สถานีอุตุนิยมวิทยาอุทกโชคชัย

3.1.3 วิเคราะห์ปริมาณน้ำที่เข้ามาในพื้นที่ศึกษา โดยพิจารณาข้อมูลเป็นรายเดือน ดังนี้

1. คำนวณหาพื้นที่ผิวของอ่างเก็บน้ำที่จะดำเนินการก่อสร้าง สำหรับรองรับน้ำเพื่อโรงงานผลิตเอทานอล โดยโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งได้พื้นที่ 321,315.395 ตารางเมตร ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 การคำนวณพื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำจากโปรแกรมสำเร็จรูป

2. วิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ด้วยวิธีการแจกแจงล็อกเปียรสัน ชนิด III (Log-Pearson Type III) เพื่อคำนวณหารอบการเกิดซ้ำ (Return period) โดยนำข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปีมาเปลี่ยนเป็นลอการิทึม (ฐาน10) คำนวณค่ายกกำลังสองและยกกำลังสาม ดังตารางที่ 3-4

   - คำนวณหาค่าเฉลี่ย (Mean, $\overline{X}$) จากสมการต่อไปนี้

     $$\overline{X} = \frac{\sum X}{N} = \frac{90.43673}{30} = 3.01456$$

   - คำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) จากสมการต่อไปนี้

     $$SD = \left[\frac{\sum (X - \overline{X})^2}{N-1} \right]^{0.5} = 0.06498$$

   - คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้ (Skew coefficient, G) จากสมการต่อไปนี้

     $$G = \frac{N\sum (X - \overline{X})^3}{(N-1)(N-2)SD^3} = -0.36$$

   - คำนวณค่า $\log(P) = \overline{X} + K \cdot SD$ เมื่อ K คือแฟกเตอร์ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของสัมประสิทธิ์ความเบ้ และความน่าจะเป็น p ดังตารางที่ 3-5 และผลการคำนวณปริมาณน้ำฝนรายปีที่รอบปีการเกิดซ้ำด้วยวิธีล็อกเปียรสัน ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 ค่าลอการิทึมของปริมาณน้ำฝนรายปี

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำฝนรายปี (P) มม.	log(P)=X	X^2	X^3
2526	1152.10	3.06149	9.37272	28.69450
2527	819.20	2.91339	8.48784	24.72839
2528	1072.90	3.03056	9.18429	27.83353
2529	862.70	2.93586	8.61927	25.30498
2530	752.90	2.87674	8.27562	23.80678
2531	1081.10	3.03387	9.20434	27.92474
2532	928.10	2.96759	8.80662	26.13448
2533	1022.90	3.00983	9.05910	27.26637
2534	853.20	2.93105	8.59106	25.18083
2535	938.40	2.97239	8.83509	26.26132
2536	1220.30	3.08647	9.52628	29.40253

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำฝนรายปี (P) มม.	log(P)=X	X^2	X^3
2537	778.30	2.89115	8.35873	24.16632
2538	1218.80	3.08593	9.52298	29.38727
2539	1279.60	3.10707	9.65391	29.99542
2540	974.20	2.98865	8.93202	26.69466
2541	1148.50	3.06013	9.36440	28.65630
2542	1003.60	3.00156	9.00937	27.04216
2543	1194.10	3.07704	9.46818	29.13397
2544	900.10	2.95429	8.72783	25.78456
2545	1106.60	3.04399	9.26588	28.20525
2546	1374.00	3.13799	9.84696	30.89963
2547	964.80	2.98444	8.90687	26.58198
2548	1024.80	3.01064	9.06395	27.28828
2549	949.40	2.97745	8.86520	26.39569
2550	1153.90	3.06217	9.37687	28.71356
2551	1079.10	3.03306	9.19946	27.90254
2552	1176.40	3.07056	9.42831	28.95014
2553	1199.60	3.07904	9.48047	29.19070
2554	1042.70	3.01816	9.10929	27.49328
2555	1081.90	3.03419	9.20629	27.93361

ตารางที่ 3.5 สัมประสิทธิ์ความเบ้

P	G=-0.0	G=-0.1	G=-0.2	G=-0.3	G=-0.4	G=-0.5	G=-0.6
0.9999	-3.71902	-3.93453	-4.15301	-4.37394	-4.59687	-4.82141	-5.04718
0.9995	-3.29053	-3.45513	-3.62113	-3.78820	-3.95605	-4.12443	-4.29311
0.9990	-3.09023	-3.23322	-3.37703	-3.52139	-3.66608	-3.81090	-3.95567
0.9980	-2.87816	-2.99978	-3.12169	-3.24371	-3.36566	-3.48737	-3.60872
0.9950	-2.57583	-2.66965	-2.76321	-2.85636	-2.94900	-3.04102	-3.13232
0.9900	-2.32635	-2.39961	-2.47226	-2.54421	-2.61539	-2.68572	-2.75514
0.9800	-2.05375	-2.10697	-2.15935	-2.21081	-2.26133	-2.31084	-2.35931
0.9750	-1.95996	-2.00688	-2.05290	-2.09795	-2.14202	-2.18505	-2.22702
0.9600	-1.75069	-1.78462	-1.81756	-1.84949	-1.88039	-1.91022	-1.93896

ตารางที่ 3.5 (ต่อ)

P	G=-0.0	G=-0.1	G=-0.2	G=-0.3	G=-0.4	G=-0.5	G=-0.6
0.9500	-1.64485	-1.67279	-1.69971	-1.72562	-1.75048	-1.77428	-1.79701
0.9000	-1.28155	-1.29178	-1.30105	-1.30936	-1.31671	-1.32309	-1.32850
0.8000	-0.84162	-0.83639	-0.83044	-0.82377	-0.81638	-0.80829	-0.79950
0.7000	-0.52440	-0.51207	-0.49927	-0.48600	-0.47228	-0.45812	-0.44352
0.6000	-0.25335	-0.23763	-0.22168	-0.20552	-0.18916	-0.17261	-0.15589
0.5704	-0.17733	-0.16111	-0.14472	-0.12820	-0.11154	-0.09478	-0.07791
0.5000	0.0	0.01662	0.03325	0.04993	0.06651	0.08302	0.09945
0.4296	0.17733	0.19339	0.20925	0.22492	0.24037	0.25558	0.27047
0.4000	0.25335	0.26882	0.28403	0.29897	0.31362	0.32796	0.34198
0.3000	0.52440	0.53624	0.54747	0.55839	0.56867	0.57840	0.58757
0.2000	0.84162	0.84611	0.84986	0.85285	0.85508	0.85653	0.85718
0.1000	1.28155	1.27037	1.25824	1.24516	1.23114	1.21618	1.20028
0.0500	1.64485	1.61594	1.58607	1.55527	1.52357	1.49101	1.45762
0.0400	1.75069	1.71580	1.67999	1.64329	1.60574	1.56740	1.52830
0.0250	1.95996	1.91219	1.86360	1.81427	1.76427	1.71366	1.66253
0.0200	2.05375	1.99973	1.94499	1.88959	1.83361	1.77716	1.72033
0.0100	2.32635	2.25259	2.17840	2.10394	2.02933	1.95472	1.88029
0.0050	2.57583	2.48187	2.38795	2.29423	2.20092	2.10825	2.01644
0.0020	2.87816	2.75706	2.63672	2.51741	2.39942	2.28311	2.16884
0.0010	3.09023	2.94834	2.80786	2.66915	2.53261	2.39867	2.26780
0.0005	3.29053	3.12767	2.96698	2.80889	2.65390	2.50257	2.35549
0.0001	3.71902	3.50703	3.29921	3.09631	2.89907	2.70836	2.52507

ตารางที่ 3.6 ผลการคำนวณปริมาณน้ำฝนรายปีที่รอบปีการเกิดซ้ำด้วยวิธีล็อกเปียรสัน

ความถี่การเกิดซ้ำเฉลี่ย (Pr)	รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย (Tr)	K(G,p)	$\log(P) = \bar{X} + K \cdot SD$	ปริมาณน้ำฝนรายปี (P) (มม.)
0.95	1.05	-1.74054	2.90146	797.01
0.90	1.11	-1.31377	2.92919	849.56

ตารางที่ 3.6 (ต่อ)

ความถี่การเกิดซ้ำเฉลี่ย (Pr)	รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย (Tr)	K(G,p)	$\log(P) = \bar{X} + K \cdot SD$	ปริมาณน้ำฝนรายปี (P) (มม.)
0.70	1.43	-0.47777	2.98351	962.75
0.50	2.00	0.05988	3.01845	1043.40
0.30	3.33	0.56456	3.05124	1125.23
0.25	4.00	0.70937	3.06065	1149.88
0.20	5.00	0.85419	3.07006	1175.06
0.10	10.00	1.23675	3.09492	1244.28
0.05	20.00	1.53625	3.11438	1301.31

- ปริมาณน้ำฝนที่จะนำมาพิจารณาว่าเป็นน้ำฝนที่จะเติมลงอ่างเก็บน้ำ จึงเลือกใช้ที่รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ยที่ 1 ปี, 3 ปี, 5 ปี, และ 10 ปี ดังตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3.7 ปริมาณน้ำฝนรายปีที่รอบปีการเกิดซ้ำที่เลือกใช้

ความถี่การเกิดซ้ำเฉลี่ย (Pr)	รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย (Tr)	ปริมาณน้ำฝนรายปี (มม.)
0.95	1.05	797.01
0.30	3.33	1125.23
0.20	5.00	1175.06
0.10	10.00	1244.28

- เนื่องจากในการศึกษานี้ต้องการพิจารณาผลกระทบจากปริมาณน้ำฝนเป็นรายเดือน ที่มีต่อการเติมน้ำในอ่างเก็บน้ำ ดังนั้น จึงดำเนินการเลือกข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่มีค่าใกล้เคียงกับรอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ยดังกล่าวข้างต้น ดังตารางที่ 3-8

ตารางที่ 3.8 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนที่เลือกใช้

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำฝนสะสมรายเดือน (Pi) (มม.)												ปริมาณน้ำฝนสะสมรายปี (มม.)
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
2536	0.0	25.8	19.3	99.9	148.7	272.6	147.0	82.4	174.3	233.6	0.0	16.7	1220.3
2537	0.0	33.3	72.7	42.1	179.5	101.6	38.9	96.4	102.0	111.8	0.0	0.0	778.3
2545	0.0	0.0	24.3	122.9	200.8	112.7	10.2	145.6	320.2	92.9	34.9	42.1	1106.6
2552	0.0	44.2	87.0	198.3	112.7	2.1	11.5	259.0	354.7	106.9	0.0	0.0	1176.4

- ดังนั้น ในการพิจารณาปริมาณน้ำที่มาเติมในอ่างเก็บน้ำจึงได้แบ่งออกเป็น 4 กรณี ดังนี้

  กรณีที่ 1 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 1 ปี ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2537 โดยมีปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีเท่ากับ 778.3 มม.

  กรณีที่ 2 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 3 ปี ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2545 โดยมีปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีเท่ากับ 1106.6 มม.

  กรณีที่ 3 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 5 ปี ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2552 โดยมีปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีเท่ากับ 1176.4 มม.

  กรณีที่ 4 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 10 ปี ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2536 โดยมีปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีเท่ากับ 1220.3 มม.

3. นำข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนในแต่ละกรณีมาคูณเข้ากับพื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำในข้อ (1) ซึ่งทำให้ทราบปริมาตรน้ำฝนที่เติมลงอ่างเก็บน้ำ ดังสมการต่อไปนี้

$$Q_i = A * P_i \qquad (3\text{-}1)$$

เมื่อ

Q_i = ปริมาตรน้ำฝนที่เข้าในพื้นที่ในเดือนที่ i (ลูกบาศก์เมตร)

A = พื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำ (ตารางเมตร)

P_i = ปริมาณน้ำฝนสะสมรายเดือน สำหรับเดือนที่ i (เมตร)

ดังนั้น แทนค่าในสมการ (3-1)

กรณีที่ 1 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 1 ปี ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2537 โดยมีปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีเท่ากับ 778.3 มม.

$Q_{1,\text{ม.ค.}}$ = 321,315.40 × 0.00/1000 = 0.00 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{1,\text{ก.พ.}}$ = 321,315.40 × 33.3/1000 = 10,699.80 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{1,\text{มี.ค.}}$ = 321,315.40 × 72.7/1000 = 23,359.63 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{1\text{เม.ย.}}$ = 321,315.40 × 42.1/1000 = 13,527.38 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{1,\text{พ.ค.}}$ = 321,315.40 × 179.5/1000 = 57,676.11 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{1,\text{มิ.ย.}}$ = 321,315.40 × 101.6/1000 = 32,645.64 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{1,\text{ก.ค.}}$ = 321,315.40 × 38.9/1000 = 12,499.17 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{1,\text{ส.ค.}}$ = 321,315.40 × 96.4/1000 = 30,974.80 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{1,\text{ก.ย.}}$ = 321,315.40 × 102.0/1000 = 32,774.17 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{1,\text{ต.ค.}}$ = 321,315.40 × 111.8/1000 = 35,923.06 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{1,\text{พ.ย.}}$ = 321,315.40 × 0.00/1000 = 0.00 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{1,\text{ธ.ค.}}$ = 321,315.40 × 0.00/1000 = 0.00 ลูกบาศก์เมตร

กรณีที่ 2 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 3 ปี ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2545 โดยมีปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีเท่ากับ 1106.6 มม.

$Q_{2,\text{ม.ค.}}$ = 321,315.40 × 0.00/1000 = 0.000 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{2,\text{ก.พ.}}$ = 321,315.40 × 0.00/1000 = 0.000 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{2,\text{มี.ค.}}$ = 321,315.40 × 24.3/1000 = 7,807.96 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{2,\text{เม.ย.}}$ = 321,315.40 ×122.9/1000 = 39,489.66 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{2,\text{พ.ค.}}$ = 321,315.40 ×200.8/1000 = 64,520.13 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{2,\text{มิ.ย.}}$ = 321,315.40 ×112.7/1000 = 36,212.25 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{2,\text{ก.ค.}}$ = 321,315.40 ×10.2/1000 = 3,277.42 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{2,\text{ส.ค.}}$ = 321,315.40 ×145.6/1000 = 46,783.52 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{2,\text{ก.ย.}}$ = 321,315.40 ×320.2/1000 = 102,885.19 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{2,\text{ต.ค.}}$ = 321,315.40 ×92.9/1000 = 29,850.20 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{2,\text{พ.ย.}}$ = 321,315.40 ×34.9/1000 = 11,213.91 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{2,\text{ธ.ค.}}$ = 321,315.40 ×42.1/1000 = 13,527.38 ลูกบาศก์เมตร

กรณีที่ 3 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 5 ปี ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2552 โดยมีปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีเท่ากับ 1176.4 มม.

$Q_{3ม.ค.}$ = 321,315.39 × 0.00/1000 = 0.000 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{3ก.พ.}$ = 321,315.39 × 44.2/1000 = 14202.14 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{3มี.ค.}$ = 321,315.39 × 87/1000 = 27954.44 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{3เม.ย.}$ = 321,315.39 × 198.3/1000 = 63716.84 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{3พ.ค.}$ = 321,315.39 × 112.7/1000 = 36212.25 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{3มิ.ย.}$ = 321,315.39 × 2.1/1000 = 674.76 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{3ก.ค.}$ = 321,315.39 × 11.5/1000 = 3695.13 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{3ส.ค.}$ = 321,315.39 × 259/1000 = 83220.69 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{3ก.ย.}$ = 321,315.39 × 354.7/1000 = 113970.57 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{3ต.ค.}$ = 321,315.39 × 106.9/1000 = 34348.62 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{3พ.ย.}$ = 321,315.39 × 0.00/1000 = 0.00 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{3ธ.ค.}$ = 321,315.39 × 0.00/1000 = 0.00 ลูกบาศก์เมตร

กรณีที่ 4 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 10 ปี ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2536 โดยมีปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีเท่ากับ 1220.8 มม.

$Q_{4ม.ค.}$ = 321,315.40 × 0.00/1000 = 0.00 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{4ก.พ.}$ = 321,315.40 × 25.8/1000 = 8,289.94 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{4มี.ค.}$ = 321,315.40× 19.3/1000 = 6,201.39 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{4เม.ย.}$ = 321,315.40 × 99.9/1000 = 32,099.41 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{4พ.ค.}$ = 321,315.40 × 148.7/1000 = 47,779.60 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{4มิ.ย.}$ = 321,315.40 × 272.6/1000 = 87,590.58 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{4ก.ค.}$ = 321,315.40 × 147/1000 = 47,233.36 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{4ส.ค.}$ = 321,315.40 × 82.4/1000 = 26,476.39 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{4ก.ย.}$ = 321,315.40 × 174.3/1000 = 56,005.27 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{4ต.ค.}$ = 321,315.40 × 233.6/1000 = 75,059.28 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{4พ.ย.}$ = 321,315.40 × 0.00/1000 = 0 ลูกบาศก์เมตร

$Q_{4ธ.ค.}$ = 321,315.40 × 16.7/1000 = 5,365.97 ลูกบาศก์เมตร

4. พิจารณาปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำที่ทางโรงงานจะดำเนินการก่อสร้าง แต่เนื่องข้อมูลจากสถานีวัดน้ำท่า M50 ในบางปี ไม่มีข้อมูล ดังนั้นทางผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาเฉลี่ยดังตารางที่ 3-9

ตารางที่ 3.9 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่เลือกใช้

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำท่าสะสมรายเดือน (ล้าน ลบ.ม.)												น้ำท่าสะสมรายปี (ล้านลบ.ม.)
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
2543	0	0.66	0.24	1.38	2.83	4.81	6.37	10.19	13.6	16.58	3.45	0.23	60.349
2544	0.36	0.6	2.48	0.11	0.17	0.04	0	1.62	5.38	2.1	0.65	0.09	13.605
2545	0.03	0.24	0.32	0.96	0.92	0.05	6.72	5.86	13.53	9.21	2.61	0	40.433
2550	0	0	0	7.6	19.67	0.72	3.75	20.04	13.11	14.09	16.3	0.02	95.29
2551	0	2.25	1.06	1.74	6.36	2.37	4.95	7.53	24.05	10.91	9.67	3.56	74.46
2552	3.98	4.11	5.51	5.54	8.06	2.01	6.21	8.03	13.74	23.84	5.44	2.99	89.45
ค่าเฉลี่ย	0.73	1.31	1.60	2.89	6.335	1.67	4.667	8.878	13.90	12.79	6.353	1.15	62.265

5. คำนวณหาปริมาณน้ำสุทธิที่จะไหลลงอ่างเก็บน้ำ ดังสมการต่อไปนี้

$$Vi = Qi + Ri - Ei - Ii \qquad (3\text{-}2)$$

เมื่อ

Vi = ปริมาณน้ำสุทธิที่เข้าสู่พื้นที่ในเดือนที่ i (ลูกบาศก์เมตร)

Qi = ปริมาตรน้ำฝนที่เข้าในพื้นที่ในเดือนที่ i (ลูกบาศก์เมตร)

Ri = ปริมาณน้ำท่าที่เข้าในพื้นที่ในเดือนที่ i (ลูกบาศก์เมตร)

Ei = ปริมาณน้ำระเหย ในเดือนที่ i (ลูกบาศก์เมตร)

Ii = ปริมาณน้ำซึมลงดิน ในเดือนที่ i (ลูกบาศก์เมตร)

กรณีที่ 1 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 1 ปี ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2537 โดยมีปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีเท่ากับ 778.3 มม.

ในเดือนมกราคม

มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 0.00 มิลลิเมตร น้ำท่าเฉลี่ยสะสมรายเดือนเท่ากับ 0.73ล้านลูกบาศก์เมตร พื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำเท่ากับ 321,315.39 ตารางเมตร ปริมาณการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเท่ากับ 119.70 มิลลิเมตร และปริมาณน้ำซึมลงดินเท่ากับ 1.78 มิลลิเมตรต่อวัน

$Q_{1\ ม.ค.}$ = 321,315.39 ×0.00/1000

= 0.00 ลูกบาศก์เมตร

$R_{1\ ม.ค.}$ = 0.73 × 1,000,000

= 730,000.00 ลูกบาศก์เมตร

$E_{1\ ม.ค.}$ = 119.70 × 321,315.39/1000

= 38,461.45 ลูกบาศก์เมตร

$I_{1\ ม.ค.}$ = 1.78 × 31 × 321,315.39/1000

= 17,730.18 ลูกบาศก์เมตร

ดังนั้น $V_{1\ ม.ค.}$ = 0.00+730,000-38,461.45-17,730.18 = 673,808.36 ลูกบาศก์เมตร เพราะฉะนั้น ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 1 ปี ในเดือน มกราคม มีปริมาตรน้ำเข้าในพื้นที่อ่าง โดยประมาณ 673,808.36 ลูกบาศก์เมตร

ในเดือนกุมภาพันธ์

มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 33.3 มิลลิเมตรมี น้ำท่าเฉลี่ยสะสมรายเดือนเท่ากับ 1.31 ล้านลูกบาศก์เมตร พื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำเท่ากับ 321,315.39 ตารางเมตร ปริมาณการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเท่ากับ 126.55 มิลลิเมตร และปริมาณน้ำซึมลงดินเท่ากับ 1.78 มิลลิเมตรต่อวัน

$Q_{1\ ก.พ.}$ = 321,315.39 ×33.3/1000

= 10,699.80 ลูกบาศก์เมตร

$R_{1\ ก.พ.}$ = 1.31 × 1,000,000

= 1,310,000.00 ลูกบาศก์เมตร

$E_{1\ ก.พ.}$ = 126.55× 321,315.39/1000

= 40,662.46 ลูกบาศก์เมตร

$I_{1\ ก.พ.}$ = 1.78 × 28 × 321,315.39/1000

= 16,014.36 ลูกบาศก์เมตร

ดังนั้น $V_{1\ ก.พ.}$ = 10,699.80+1,310,000.00-40,662.46-16,014.36 = 1,264,022.98 ลูกบาศก์เมตร เพราะฉะนั้น ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 1 ปี ในเดือน มกราคม มีปริมาตรน้ำเข้าในพื้นที่อ่าง โดยประมาณ 1,264,022.98 ลูกบาศก์เมตร

ในเดือนมีนาคม

มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 72.7 มิลลิเมตรมี น้ำท่าเฉลี่ยสะสมรายเดือนเท่ากับ 1.6ล้านลูกบาศก์เมตร พื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำเท่ากับ 321,315.39 ตารางเมตร ปริมาณการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเท่ากับ 155.05 มิลลิเมตร และปริมาณน้ำซึมลงดินเท่ากับ 1.78 มิลลิเมตรต่อวัน

$Q_{1\ มี.ค.}$ = 321,315.39 ×72.7/1000

= 23,359.63 ลูกบาศก์เมตร

$R_{1\ มี.ค.}$ = 1.60 × 1,000,000

= 1,600,000.00 ลูกบาศก์เมตร

$E_{1\ มี.ค.}$ = 155.05× 321,315.39/1000

= 49,819.95 ลูกบาศก์เมตร

$I_{1\ มี.ค.}$ = 1.78 × 31 × 321,315.39/1000

= 17,730.18 ลูกบาศก์เมตร

ดังนั้น $V_{1\ มี.ค.}$ = 23,359.63+1,600,000.00-49819.95-17,730.18 = 1,555,809.49 ลูกบาศก์เมตร เพราะฉะนั้น ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 1 ปี ในเดือน มกราคม มีปริมาตรน้ำเข้าในพื้นที่อ่างโดยประมาณ 1,555,809.49 ลูกบาศก์เมตร

โดยทำการคำนวณตามขั้นตอนดังกล่าวตั้งแต่มกราคมถึงเดือนธันวาคมจะได้ปริมาตรน้ำเข้าในพื้นที่อ่างโดยประมาณดังตารางที่ 3-10

ตารางที่ 3.10 ปริมาณน้ำไหลเข้ารายเดือน(ลูกบาศก์เมตร) สำหรับกรณีที่ 1 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 1 ปี

กรณีที่ 1 ณ ปีพ.ศ. 2537 ในรอบการเกิดซ้ำ 1 ปี					
Vi = Qi + Ri – Ei – Ii					
เดือน	**Vi**	**Qi**	**Ri**	**Ei**	**Ii**
ม.ค.	673,808.36	-	730,000.00	38,461.45	17,730.18
ก.พ.	1,264,022.98	10,699.80	1,310,000.00	40,662.46	16,014.36
มี.ค.	1,555,809.49	23,359.63	1,600,000.00	49,819.95	17,730.18
เม.ย.	2,837,076.14	13,527.38	2,890,000.00	49,292.99	17,158.24
พ.ค.	6,328,197.75	57,676.11	6,335,000.00	46,748.18	17,730.18
มิ.ย.	1,640,577.15	32,645.64	1,670,000.00	44,910.25	17,158.24
ก.ค.	4,615,441.73	12,499.17	4,667,000.00	46,327.25	17,730.18
ส.ค.	8,850,357.24	30,974.80	8,878,000.00	40,887.38	17,730.18
ก.ย.	13,879,628.60	32,774.17	13,900,000.00	35,987.32	17,158.24

ตารางที่ 3.10 (ต่อ)

กรณีที่ 1 ณ ปีพ.ศ. 2537 ในรอบการเกิดซ้ำ 1 ปี					
Vi = Qi + Ri – Ei – Ii					
เดือน	**Vi**	**Qi**	**Ri**	**Ei**	**Ii**
ต.ค.	12,773,503.67	35,923.06	12,790,000.00	34,689.21	17,730.18
พ.ย.	6,300,066.50	-	6,353,000.00	35,775.26	17,158.24
ธ.ค.	1,094,402.80	-	1,150,000.00	37,867.02	17,730.18

กรณีที่ 2 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 3 ปี ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2548 โดยมีปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีเท่ากับ 1024.8 มม.

ในเดือนมกราคม

มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 0.00 มิลลิเมตร น้ำท่าเฉลี่ยสะสมรายเดือนเท่ากับ 0.73ล้านลูกบาศก์เมตร พื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำเท่ากับ 321,315.39 ตารางเมตร ปริมาณการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเท่ากับ 119.70 มิลลิเมตร และปริมาณน้ำซึมลงดินเท่ากับ 1.78 มิลลิเมตรต่อวัน

$Q_{2\ ม.ค.}$ = 321,315.39 ×0.00/1000

= 0.00 ลูกบาศก์เมตร

$R_{2\ ม.ค.}$ = 0.73 × 1,000,000

= 730,000.00 ลูกบาศก์เมตร

$E_{2\ ม.ค.}$ = 119.70 × 321,315.39/1000

= 38,461.45 ลูกบาศก์เมตร

$I_{2\ ม.ค.}$ = 1.78 × 31 × 321,315.39/1000

= 17,730.18 ลูกบาศก์เมตร

ดังนั้น $V_{2\ ม.ค.}$ = 0.00+730,000-38,461.45-17,730.18 = 673,808.36 ลูกบาศก์เมตร เพราะฉะนั้น ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 3 ปี ในเดือน มกราคม มีปริมาตรน้ำเข้าในพื้นที่อ่างโดยประมาณ 673,808.36 ลูกบาศก์เมตร

ในเดือนกุมภาพันธ์

มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 0.00 มิลลิเมตรมี น้ำท่าเฉลี่ยสะสมรายเดือนเท่ากับ 1.31 ล้านลูกบาศก์เมตร พื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำเท่ากับ 321,315.39 ตารางเมตร ปริมาณการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเท่ากับ 126.55 มิลลิเมตร และปริมาณน้ำซึมลงดินเท่ากับ 1.78 มิลลิเมตรต่อวัน

$Q_{2\ ก.พ.}$ = 321,315.39 ×0.00/1000

= 0.00 ลูกบาศก์เมตร

$R_{2\ ก.พ.}$ = 1.31 × 1,000,000

= 1,310,000.00 ลูกบาศก์เมตร

$E_{2\ ก.พ.}$ = 126.55× 321,315.39/1000

= 40,662.46 ลูกบาศก์เมตร

$I_{2\ ก.พ.}$ = 1.78 × 28 × 321,315.39/1000

= 16,014.36 ลูกบาศก์เมตร

ดังนั้น $V_{2\ ก.พ.}$ = 0.00+1,310,000.00-40,662.46-16,014.36 = 1,253,323.18 ลูกบาศก์เมตร เพราะฉะนั้น ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 3 ปี ในเดือน กุมภาพันธ์ มีปริมาตรน้ำเข้าในพื้นที่อ่างโดยประมาณ 1,253,323.18 ลูกบาศก์เมตร

ในเดือนมีนาคม

มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 24.3 มิลลิเมตรมี น้ำท่าเฉลี่ยสะสมรายเดือนเท่ากับ 1.6 ล้านลูกบาศก์เมตร พื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำเท่ากับ 321,315.39 ตารางเมตร ปริมาณการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเท่ากับ 155.05 มิลลิเมตร และปริมาณน้ำซึมลงดินเท่ากับ 1.78 มิลลิเมตรต่อวัน

$Q_{2\ มี.ค.}$ = 321,315.39 ×24.3/1000

= 7807.90 ลูกบาศก์เมตร

$R_{2\ มี.ค.}$ = 1.60 × 1,000,000

= 1,600,000.00 ลูกบาศก์เมตร

$E_{2\ มี.ค.}$ = 155.05× 321,315.39/1000

= 49,819.95 ลูกบาศก์เมตร

$I_{2\ มี.ค.}$ = 1.78 × 31 × 321,315.39/1000

= 17,730.18 ลูกบาศก์เมตร

ดังนั้น $V_{2\ มี.ค.}$ = 7807.90+1,600,000.00-49819.95-17,730.18 = 1,540,257.83 ลูกบาศก์เมตร เพราะฉะนั้น ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 3 ปี ในเดือน มีนาคม มีปริมาตรน้ำเข้าในพื้นที่อ่างโดยประมาณ 1,540257.83 ลูกบาศก์เมตร

โดยทำการคำนวณตามขั้นตอนดังกล่าวตั้งแต่มกราคมถึงเดือนธันวาคมจะได้ปริมาตรน้ำเข้าในพื้นที่อ่างโดยประมาณดังตารางที่ 3-11

ตารางที่ 3.11 ปริมาณน้ำไหลเข้ารายเดือน (ลูกบาศก์เมตร) สำหรับกรณีที่ 2 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 3 ปี

กรณีที่ 2 ณ ปีพ.ศ. 2545 ในรอบการเกิดซ้ำ 3 ปี					
Vi = Qi + Ri – Ei – Ii					
เดือน	**Vi**	**Qi**	**Ri**	**Ei**	**Ii**
ม.ค.	673,808.36	-	730,000.00	38,461.45	17,730.18
ก.พ.	1,253,323.18	-	1,310,000.00	40,662.46	16,014.36
มี.ค.	1,540,257.83	7,807.96	1,600,000.00	49,819.95	17,730.18
เม.ย.	2,863,038.43	39,489.66	2,890,000.00	49,292.99	17,158.24
พ.ค.	6,335,041.77	64,520.13	6,335,000.00	46,748.18	17,730.18
มิ.ย.	1,644,143.75	36,212.25	1,670,000.00	44,910.25	17,158.24
ก.ค.	4,606,219.98	3,277.42	4,667,000.00	46,327.25	17,730.18
ส.ค.	8,866,165.95	46,783.52	8,878,000.00	40,887.38	17,730.18
ก.ย.	13,949,739.62	102,885.19	13,900,000.00	35,987.32	17,158.24
ต.ค.	12,767,430.81	29,850.20	12,790,000.00	34,689.21	17,730.18
พ.ย.	6,311,280.41	11,213.91	6,353,000.00	35,775.26	17,158.24
ธ.ค.	1,107,930.18	13,527.38	1,150,000.00	37,867.02	17,730.18

กรณีที่ 3 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 5 ปี ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2552 โดยมีปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีเท่ากับ 1176.4 มม.

ในเดือนมกราคม

มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 0.00 มิลลิเมตร น้ำท่าเฉลี่ยสะสมรายเดือนเท่ากับ 0.73 ล้านลูกบาศก์เมตร พื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำเท่ากับ 321,315.39 ตารางเมตร ปริมาณการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเท่ากับ 119.70 มิลลิเมตร และปริมาณน้ำซึมลงดินเท่ากับ 1.78 มิลลิเมตรต่อวัน

$Q_{3\ ม.ค.}$ = 321,315.39 ×0.00/1000

= 0.00 ลูกบาศก์เมตร

$R_{3\ ม.ค.}$ = 0.73 × 1,000,000

= 730,000.00 ลูกบาศก์เมตร

$E_{3\ ม.ค.}$ = 119.70 × 321,315.39/1000

= 38,461.45 ลูกบาศก์เมตร

$I_{3\ ม.ค.}$ = 1.78 × 31 × 321,315.39/1000

= 17,730.18 ลูกบาศก์เมตร

ดังนั้น $V_{3\ ม.ค.}$ = 0.00+730,000-38,461.45-17,730.18 = 673,808.36 ลูกบาศก์เมตรเพราะฉะนั้น ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 5 ปี ในเดือน มกราคม มีปริมาตรน้ำเข้าในพื้นที่อ่างโดยประมาณ 673,808.36 ลูกบาศก์เมตร

ในเดือนกุมภาพันธ์

มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 44.2 มิลลิเมตรมี น้ำท่าเฉลี่ยสะสมรายเดือนเท่ากับ 1.31 ล้านลูกบาศก์เมตร พื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำเท่ากับ 321,315.39 ตารางเมตร ปริมาณการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเท่ากับ 126.55 มิลลิเมตร และปริมาณน้ำซึมลงดินเท่ากับ 1.78 มิลลิเมตรต่อวัน

$Q_{3\ ก.พ.}$ = 321,315.39 ×44.2/1000

= 14,202.14 ลูกบาศก์เมตร

$R_{3\ ก.พ.}$ = 1.31 × 1,000,000

= 1,310,000.00 ลูกบาศก์เมตร

$E_{3\ ก.พ.}$ = 126.55× 321,315.39/1000

= 40,662.46 ลูกบาศก์เมตร

$I_{3\ ก.พ.}$ = 1.78 × 28 × 321,315.39/1000

= 16,014.36 ลูกบาศก์เมตร

ดังนั้น $V_{3\ ก.พ.}$ = 14,202.14+1,310,000.00-40,662.46-16,014.36 = 1,267,525.32 ลูกบาศก์เมตร เพราะฉะนั้น ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 5 ปี ในเดือน กุมภาพันธ์ มีปริมาตรน้ำเข้าในพื้นที่อ่างโดยประมาณ 1,267,525.32 ลูกบาศก์เมตร

ในเดือนมีนาคม

มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 87.0 มิลลิเมตรมี น้ำท่าเฉลี่ยสะสมรายเดือนเท่ากับ 1.6ล้านลูกบาศก์เมตร พื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำเท่ากับ 321,315.39 ตารางเมตร ปริมาณการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเท่ากับ 155.05 มิลลิเมตร และปริมาณน้ำซึมลงดินเท่ากับ 1.78 มิลลิเมตรต่อวัน

$Q_{3\ มี.ค.}$ = 321,315.39 ×87.0/1000

= 27,954.43 ลูกบาศก์เมตร

$R_{3\ มี.ค.}$ = 1.60 × 1,000,000

= 1,600,000.00 ลูกบาศก์เมตร

$E_{3\ มี.ค.}$ = 155.05× 321,315.39/1000

= 49,819.95 ลูกบาศก์เมตร

$I_{3\ มี.ค.}$ = 1.78 × 31 × 321,315.39/1000

= 17,730.18 ลูกบาศก์เมตร

ดังนั้น $V_{3\ มี.ค.}$ = 27,954.43+1,600,000.00-49819.95-17,730.18 = 1,560,404.30 ลูกบาศก์เมตร เพราะฉะนั้น ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 5 ปี ในเดือน มีนาคม มีปริมาตรน้ำเข้าในพื้นที่อ่างโดยประมาณ 1,560,404.30 ลูกบาศก์เมตร

โดยทำการคำนวณตามขั้นตอนดังกล่าวตั้งแต่มกราคมถึงเดือนธันวาคมจะได้ปริมาตรน้ำเข้าในพื้นที่อ่างโดยประมาณดังตารางที่ 3-12

ตารางที่ 3.12 ปริมาณน้ำไหลเข้ารายเดือน(ลูกบาศก์เมตร) สำหรับกรณีที่ 3 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 5 ปี

กรณีที่ 3 ณ ปีพ.ศ. 2552 ในรอบการเกิดซ้ำ 5 ปี					
Vi = Qi + Ri – Ei – Ii					
เดือน	**Vi**	**Qi**	**Ri**	**Ei**	**Ii**
ม.ค.	673,808.36	-	730,000.00	38,461.45	17,730.18
ก.พ.	1,267,525.32	14,202.14	1,310,000.00	40,662.46	16,014.36
มี.ค.	1,560,404.30	27,954.44	1,600,000.00	49,819.95	17,730.18
เม.ย.	2,887,265.61	63,716.84	2,890,000.00	49,292.99	17,158.24
พ.ค.	6,306,733.88	36,212.25	6,335,000.00	46,748.18	17,730.18
มิ.ย.	1,608,606.27	674.76	1,670,000.00	44,910.25	17,158.24
ก.ค.	4,606,637.69	3,695.13	4,667,000.00	46,327.25	17,730.18
ส.ค.	8,902,603.12	83,220.69	8,878,000.00	40,887.38	17,730.18
ก.ย.	13,960,825.00	113,970.57	13,900,000.00	35,987.32	17,158.24
ต.ค.	12,771,929.22	34,348.62	12,790,000.00	34,689.21	17,730.18
พ.ย.	6,300,066.50	-	6,353,000.00	35,775.26	17,158.24
ธ.ค.	1,094,402.80	-	1,150,000.00	37,867.02	17,730.18

กรณีที่ 4 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 10 ปี ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2538 โดยมีปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีเท่ากับ 1218.8 มม.

ในเดือนมกราคม

มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 0.00 มิลลิเมตร น้ำท่าเฉลี่ยสะสมรายเดือนเท่ากับ 0.73ล้านลูกบาศก์เมตร พื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำเท่ากับ 321,315.39 ตารางเมตร ปริมาณการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเท่ากับ 119.70 มิลลิเมตร และปริมาณน้ำซึมลงดินเท่ากับ 1.78 มิลลิเมตรต่อวัน

$Q_{4\ ม.ค.}$ = 321,315.39 ×0.00/1000

= 0.00 ลูกบาศก์เมตร

$R_{4\ ม.ค.}$ = 0.73 × 1,000,000

= 730,000.00 ลูกบาศก์เมตร

$E_{4\ ม.ค.}$ = 119.70 × 321,315.39/1000

= 38,461.45 ลูกบาศก์เมตร

$I_{4\ ม.ค.}$ = 1.78 × 31 × 321,315.39/1000

= 17,730.18 ลูกบาศก์เมตร

ดังนั้น $V_{4\ ม.ค.}$ = 0.00+730,000-38,461.45-17,730.18 = 673,808.36 ลูกบาศก์เมตร เพราะฉะนั้น ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 10 ปี ในเดือน มกราคม มีปริมาตรน้ำเข้าในพื้นที่อ่างโดยประมาณ 673,808.36 ลูกบาศก์เมตร

ในเดือนกุมภาพันธ์

มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 25.8 มิลลิเมตรมี น้ำท่าเฉลี่ยสะสมรายเดือนเท่ากับ 1.31 ล้านลูกบาศก์เมตร พื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำเท่ากับ 321,315.39 ตารางเมตร ปริมาณการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเท่ากับ 126.55 มิลลิเมตร และปริมาณน้ำซึมลงดินเท่ากับ 1.78 มิลลิเมตรต่อวัน

$Q_{4\ ก.พ.}$ = 321,315.39 ×25.8/1000

= 8,289.94 ลูกบาศก์เมตร

$R_{4\ ก.พ.}$ = 1.31 × 1,000,000

= 1,310,000.00 ลูกบาศก์เมตร

$E_{4\ ก.พ.}$ = 126.55× 321,315.39/1000

= 40,662.46 ลูกบาศก์เมตร

$I_{4\ ก.พ.}$ = 1.78 × 28 × 321,315.39/1000

= 16,014.36 ลูกบาศก์เมตร

ดังนั้น $V_{4\ ก.พ.}$ = 8,289.94+1,310,000.00-40,662.46-16,014.36 = 1,261,613.11 ลูกบาศก์เมตร เพราะฉะนั้น ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 10 ปี ในเดือน กุมภาพันธ์ มีปริมาตรน้ำเข้าในพื้นที่อ่างโดยประมาณ 1,261,613.11 ลูกบาศก์เมตร

ในเดือนมีนาคม

มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 19.3 มิลลิเมตรมี น้ำท่าเฉลี่ยสะสมรายเดือนเท่ากับ 1.6ล้านลูกบาศก์เมตร พื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำเท่ากับ 321,315.39 ตารางเมตร ปริมาณการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเท่ากับ 155.05 มิลลิเมตร และปริมาณน้ำซึมลงดินเท่ากับ 1.78 มิลลิเมตรต่อวัน

$Q_{4\ มี.ค.}$ = 321,315.39 ×19.3/1000

= 6,201.39 ลูกบาศก์เมตร

$R_{4\ มี.ค.}$ = 1.60 × 1,000,000

= 1,600,000.00 ลูกบาศก์เมตร

$E_{4\ มี.ค.}$ = 155.05× 321,315.39/1000

= 49,819.95 ลูกบาศก์เมตร

$I_{4\ มี.ค.}$ = 1.78 × 31 × 321,315.39/1000

= 17,730.18 ลูกบาศก์เมตร

ดังนั้น $V_{4\ มี.ค.}$ = 6,201.39+1,600,000.00-49819.95-17,730.18 = 1,538,651.25 ลูกบาศก์เมตร เพราะฉะนั้น ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 10 ปี ในเดือน มีนาคม มีปริมาตรน้ำเข้าในพื้นที่อ่างโดยประมาณ 1,538,651.25 ลูกบาศก์เมตร

โดยทำการคำนวณตามขั้นตอนดังกล่าวตั้งแต่มกราคมถึงเดือนธันวาคมจะได้ปริมาตรน้ำเข้าในพื้นที่อ่างโดยประมาณดังตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 ปริมาณน้ำไหลเข้ารายเดือน(ลูกบาศก์เมตร) สำหรับกรณีที่ 4 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 10 ปี

กรณีที่ 4 ณ ปีพ.ศ. 2536 ในรอบการเกิดซ้ำ 10 ปี					
Vi = Qi + Ri – Ei – Ii					
เดือน	**Vi**	**Qi**	**Ri**	**Ei**	**Ii**
ม.ค.	673,808.36	-	730,000.00	38,461.45	17,730.18
ก.พ.	1,261,613.11	8,289.94	1,310,000.00	40,662.46	16,014.36
มี.ค.	1,538,651.25	6,201.39	1,600,000.00	49,819.95	17,730.18
เม.ย.	2,855,648.17	32,099.41	2,890,000.00	49,292.99	17,158.24

ตารางที่ 3.13 (ต่อ)

กรณีที่ 4 ณ ปีพ.ศ. 2536 ในรอบการเกิดซ้ำ 10 ปี					
Vi = Qi + Ri – Ei – Ii					
เดือน	**Vi**	**Qi**	**Ri**	**Ei**	**Ii**
พ.ค.	6,318,301.24	47,779.60	6,335,000.00	46,748.18	17,730.18
มิ.ย.	1,695,522.08	87,590.58	1,670,000.00	44,910.25	17,158.24
ก.ค.	4,650,175.93	47,233.36	4,667,000.00	46,327.25	17,730.18
ส.ค.	8,845,858.82	26,476.39	8,878,000.00	40,887.38	17,730.18
ก.ย.	13,902,859.71	56,005.27	13,900,000.00	35,987.32	17,158.24
ต.ค.	12,812,639.88	75,059.28	12,790,000.00	34,689.21	17,730.18
พ.ย.	6,300,066.50	-	6,353,000.00	35,775.26	17,158.24
ธ.ค.	1,099,768.76	5,365.97	1,150,000.00	37,867.02	17,730.18

3.1.4 คำนวณหาความต้องการการใช้น้ำในทุก ๆ ด้าน สำหรับโรงงานผลิตเอทานอล ในแต่ละเดือน ดังตารางที่ 3.14

ตารางที่ 3.14 ปริมาณความต้องการใช้น้ำของโรงงานผลิตเอทานอล

เดือน	**ปริมาณการใช้น้ำของโรงงาน (ลบ.ม./วัน)**					**ปริมาณการใช้น้ำสะสมรายเดือน (ลบ.ม.)**	**ปริมาณการใช้น้ำสะสมเฉลี่ยรายเดือน (ลบ.ม.)**
	ระบบการผลิต	**เครื่องหล่อน้ำเย็น**	**เครื่องกรองน้ำ RO.เข้าระบบหม้อต้มไอน้ำ**	**การล้างมันสำปะหลัง**	**การอุปโภค-บริโภค**		
ม.ค.	221,650	189,100	41,850	7750	1860	462,210	14910
ก.พ.	200,200	170,800	37,800	7000	1680	417,480	14910
มี.ค.	221,650	189,100	41,850	7750	1860	462,210	14910
เม.ย.	214,500	183,000	40,500	7500	1800	447,300	14910
พ.ค.	221,650	189,100	41,850	7750	1860	462,210	14910
มิ.ย.	214,500	183,000	40,500	7500	1800	447,300	14910
ก.ค.	221,650	189,100	41,850	7750	1860	462,210	14910
ส.ค.	221,650	189,100	41,850	7750	1860	462,210	14910
ก.ย.	214,500	183,000	40,500	7500	1800	447,300	14910

ตารางที่ 3.14 (ต่อ)

เดือน	ปริมาณการใช้น้ำของโรงงาน (ลบ.ม./วัน)					ปริมาณการใช้น้ำสะสมรายเดือน (ลบ.ม.)	ปริมาณการใช้น้ำสะสมเฉลี่ยรายเดือน (ลบ.ม.)
	ระบบการผลิต	เครื่องหล่อน้ำเย็น	เครื่องกรองน้ำ RO.เข้าระบบหม้อต้มไอน้ำ	การล้างมันสำประหลัง	การอุปโภค-บริโภค		
ต.ค.	221,650	189,100	41,850	7750	1860	462,210	14910
พ.ย.	214,500	183,000	40,500	7500	1800	447,300	14910
ธ.ค.	221,650	189,100	41,850	7750	1860	462,210	14910

3.1.5 คำนวณสมดุลน้ำภายในพื้นที่ศึกษา ว่ามีน้ำเกินและมีน้ำขาดด้วยปริมาณเท่าใด ในแต่ละเดือน สำหรับแต่ละกรณี

$$\Delta S = I - O$$

I = ปริมานน้ำไหลเข้า

O = ปริมาณน้ำไหลออก

ΔS = ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลง

กรณีที่ 1 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 1 ปี ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2537 โดยมีปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีเท่ากับ 778.3 มม.

$\Delta S_{1,\text{ม.ค.}}$ = 673,808.36 - 462,210.00 = 211,598.36 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{1\ \text{ก.พ.}}$ = 1,264,022.98 - 417,480.00 = 846,542.98 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{1,\text{มี.ค.}}$ = 1,555,809.49 - 462,210.00 = 1,093,599.49 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{1,\text{เม.ย.}}$ = 2,837,076.14 - 447,300.00 =2,389,776.14 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{1\text{พ.ค.}}$ = 6,328,197.75 - 462,210.00 = 5,865,987.75 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{1,\text{มิ.ย.}}$ = 1,640,577.15 - 447,300.00 = 1,193,277.15 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{1,\text{ก.ค.}}$ = 4,615,441.73 - 462,210.00 = 4,153,231.73 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{1,\text{ส.ค.}}$ = 8,850,357.24 - 462,210.00 = 8,388,147.24 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{1,\text{ก.ย.}}$ = 13,879,628.60 - 447,300.00 = 13,432,328.60 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{1,\text{ต.ค.}}$ = 12,773,503.67 - 462,210.00 = 12,311,293.67 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{1,\text{พ.ย.}}$ = 6,300,066.50 - 447,300.00 = 5,852,766.50 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{1,\text{ธ.ค.}}$ = 1,094,402.80 - 462,210.00 = 632,192.80 ลูกบาศก์เมตร

กรณีที่ 2 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 3 ปี ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2545 โดยมีปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีเท่ากับ 1106.6 มม.

$\Delta S_{2,\text{ม.ค.}}$ = 673,808.36 - 462,210.00 = 211,598.36 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{2,\text{ก.พ.}}$ = 1,253,323.18 - 417,480.00 = 835,843.18 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{2,\text{มี.ค.}}$ = 1,540,257.83 - 462,210.00 = 1,078,047.83 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{2,\text{เม.ย.}}$ = 2,863,038.43 - 447,300.00 = 2,415,738.43 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{2,\text{พ.ค.}}$ = 6,335,041.77 - 462,210.00 = 5,872,831.77 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{2,\text{มิ.ย.}}$ = 1,644,143.75 - 447,300.00 = 1,196,843.75 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{2,\text{ก.ค.}}$ = 4,606,219.98 - 462,210.00 = 4,144,009.98 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{2,\text{ส.ค.}}$ = 8,866,165.95 - 462,210.00 = 8,403,955.95 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{2,\text{ก.ย.}}$ = 13,949,739.62 - 447,300.00 = 13,502,439.62 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{2,\text{ต.ค.}}$ = 12,767,430.81- 462,210.00 = 12,305,220.81 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{2,\text{พ.ย.}}$ = 6,311,280.41 - 447,300.00 = 5,863,980.41 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{2,\text{ธ.ค.}}$ = 1,107,930.18 - 462,210.00 = 645,720.18 ลูกบาศก์เมตร

กรณีที่ 3 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 5 ปี ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2552 โดยมีปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีเท่ากับ 1176.4 มม.

$\Delta S_{3,\text{ม.ค.}}$ = 673,808.36 - 462,210.00 = 211,598.36 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{3,\text{ก.พ.}}$ = 1,267,525.32 - 417,480.00 = 850,045.32 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{3,\text{มี.ค.}}$ = 1,560,404.30 - 462,210.00 = 1,098,194.30 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{3,\text{เม.ย.}}$ = 2,887,265.61 - 447,300.00 = 2,439,965.61 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{3,\text{พ.ค.}}$ = 6,306,733.88 - 462,210.00 = 5,844,523.88 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{3,\text{มิ.ย.}}$ = 1,608,606.27 - 447,300.00 = 1,161,306.27 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{3,\text{ก.ค.}}$ = 4,606,637.69 - 462,210.00 = 4,144,427.69 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{3,\text{ส.ค.}}$ = 8,902,603.12 - 462,210.00 = 8,440,393.12 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{3,\text{ก.ย.}}$ = 13,960,825.00 - 447,300.00 = 13,513,525.00 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{3,\text{ต.ค.}}$ = 12,771,929.22 - 462,210.00 = 12,309,719.22 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{3,\text{พ.ย.}}$ = 6,300,066.50 - 447,300.00 = 5,852,766.50 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{3,\text{ธ.ค.}}$ = 1,094,402.80 - 462,210.00 = 632,192.80 ลูกบาศก์เมตร

กรณีที่ 4 ณ รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ย 10 ปี ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2536 โดยมีปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีเท่ากับ 1220.3 มม.

$\Delta S_{4,\text{ม.ค.}}$ = 673,808.36 - 462,210.00 = 211,598.36 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{4,\text{ก.พ.}}$ = 1,267,525.32- 417,480.00 = 850,045.32 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{4,\text{มี.ค.}}$ = 1,560,404.30 - 462,210.00 = 1,098,194.30 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{4,\text{เม.ย.}}$ = 2,887,265.61- 447,300.00 = 2,439,965.61 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{4,\text{พ.ค.}}$ = 6,306,733.88 - 462,210.00 = 5,844,523.88 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{4,\text{มิ.ย.}}$ = 1,608,606.27 - 447,300.00 = 1,161,306.27 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{4,\text{ก.ค.}}$ = 4,606,637.69 - 462,210.00 = 4,144,427.69 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{4,\text{ส.ค.}}$ = 8,902,603.12 - 462,210.00 = 8,440,393.12 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{4,\text{ก.ย.}}$ = 13,960,825.00 - 447,300.00 = 13,513,525.00 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{4,\text{ต.ค.}}$ = 12,771,929.22 - 462,210.00 = 12,309,719.22 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{4,\text{พ.ย.}}$ = 6,300,066.50 - 447,300.00 = 5,852,766.50 ลูกบาศก์เมตร

$\Delta S_{4,\text{ธ.ค.}}$ = 1,094,402.80 - 462,210.00 = 632,192.80 ลูกบาศก์เมตร

บทที่ 4
ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

4.1 ความต้องการใช้น้ำสำหรับอุตสาหกรรม

การศึกษาความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรม เป็นการศึกษาถึงความต้องการน้ำเพื่อการอุตสาหกรรมของโรงงานผลิตเอทานอล อำเภอครบุรี ที่มีกำลังการผลิต 1,020,000 ลิตรต่อวัน และอยู่ระหว่างการก่อสร้าง ดังรูปที่ 4.1และรูปที่ 4.2 ในอนาคตหากมีการก่อสร้างโรงงานผลิตเอทานอลแล้วเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งมีความต้องการใช้น้ำแบ่งตามประเภทการใช้น้ำในโรงงานผลิตเอทานอล จำแนกไว้เป็น 5 ประเภท ดังตารางที่ 4.1

รูปที่ 4.1 โรงงานผลิตเอทานอล 1,020,000 ลิตรต่อวัน อยู่ระหว่างการก่อสร้าง

ตารางที่ 4.1 ความต้องการการใช้น้ำรายเดือนของโรงงานผลิตเอทานอล อำเภอครบุรี

เดือน	ปริมาณการใช้น้ำของโรงงาน (ลบ.ม./เดือน)					ปริมาณการใช้น้ำสะสมรายเดือน (ลบ.ม.)	ปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยรายวัน (ลบ.ม.)
	ระบบการผลิต	เครื่องหล่อน้ำเย็น	เครื่องกรองน้ำ RO.เข้าระบบหม้อต้มไอน้ำ	การล้างมันสำปะหลัง	การอุปโภค-บริโภคที่พักอาศัย		
ม.ค.	221,650	189,100	41,850	7,750	1,860	462,210	14,910
ก.พ.	200,200	170,800	37,800	7,000	1,680	417,480	14,910
มี.ค.	221,650	189,100	41,850	7,750	1,860	462,210	14,910
เม.ย.	214,500	183,000	40,500	7,500	1,800	447,300	14,910
พ.ค.	221,650	189,100	41,850	7,750	1,860	462,210	14,910
มิ.ย.	214,500	183,000	40,500	7,500	1,800	447,300	14,910
ก.ค.	221,650	189,100	41,850	7,750	1,860	462,210	14,910
ส.ค.	221,650	189,100	41,850	7,750	1,860	462,210	14,910
ก.ย.	214,500	183,000	40,500	7,500	1,800	447,300	14,910
ต.ค.	221,650	189,100	41,850	7,750	1,860	462,210	14,910
พ.ย.	214,500	183,000	40,500	7,500	1,800	447,300	14,910
ธ.ค.	221,650	189,100	41,850	7,750	1,860	462,210	14,910
รวม	**2,609,750.00**	**2,226,500.00**	**492,750.00**	**91,250.00**	**21,900.00**	**5,442,150.00**	**-**

รูปที่ 4.2 การก่อสร้างโรงงานผลิตเอทานอล

4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝน

ในการศึกษาและวิเคราะห์ปริมาณฝนด้วยวิธีการทางสถิติ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้ข้อมูลฝนแบบรายวันจำนวน 2 สถานี จากกรมอุตุนิยมวิทยา คือสถานีวัดน้ำฝนอำเภอเสิงสาง และสถานีอุตุนิยมอุทกวิทยาโชคชัย อำเภอโชคชัย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526 ถึง ปี พ.ศ.2555 (จำนวน 30 ปี) และเลือกใช้วิธีวิเคราะห์ คือ ล้อกเปียรสัน ประเภทสาม ปริมาณน้ำฝนรายเดือนที่ถูกนำมาใช้ ณ รอบปีการเกิดซ้ำที่คำนวณได้ ดังแสดงตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณน้ำฝนรายเดือน ณ รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ

รอบปีการเกิดซ้ำ	ปริมาณน้ำฝนสะสมรายเดือน (มม.)												ปริมาณน้ำฝนสะสมรายปี (มม.)
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
1	0.0	33.3	72.7	42.1	179.5	101.6	38.9	96.4	102.0	111.8	0.0	0.0	778.3
3	0.0	0.0	24.3	122.9	200.8	112.7	10.2	145.6	320.2	92.9	34.9	42.1	1106.6
5	0.0	44.2	87.0	198.3	112.7	2.1	11.5	259.0	354.7	106.9	0.0	0.0	1176.4
10	0.0	25.8	19.3	99.9	148.7	272.6	147	82.4	174.3	233.6	0.0	16.7	1220.3

4.3 ผลการวิเคราะห์สมดุลน้ำ(Water Balance) ในพื้นที่ศึกษา

จากการลงสำรวจพื้นที่ศึกษา ซึ่งเป็นที่ลุ่มติดลำน้ำสาธารณะประโยชน์ลำแชะ ดังแสดงรูปที่ 4.3 และ 4.4 และสถานีวัดน้ำท่า M50 ของลำแชะดังรูปที่ 4.5

รูปที่ 4.3 พื้นที่ศึกษา อ่างเก็บน้ำ เอทานอล

รูปที่ 4.4 สภาพลำน้ำแชะ

รูปที่ 4.5 สถานีวัดน้ำท่า M50

ผลการศึกษาและวิเคราะห์สมดุลน้ำโดยพิจารณาจากปริมาณน้ำที่มีอยู่ และการใช้น้ำสำหรับกิจกรรมต่างๆ รวมทั้งปริมาณน้ำที่สูญเสีย เช่น การคายระเหย การซึมลงดิน ทั้งนี้ ได้

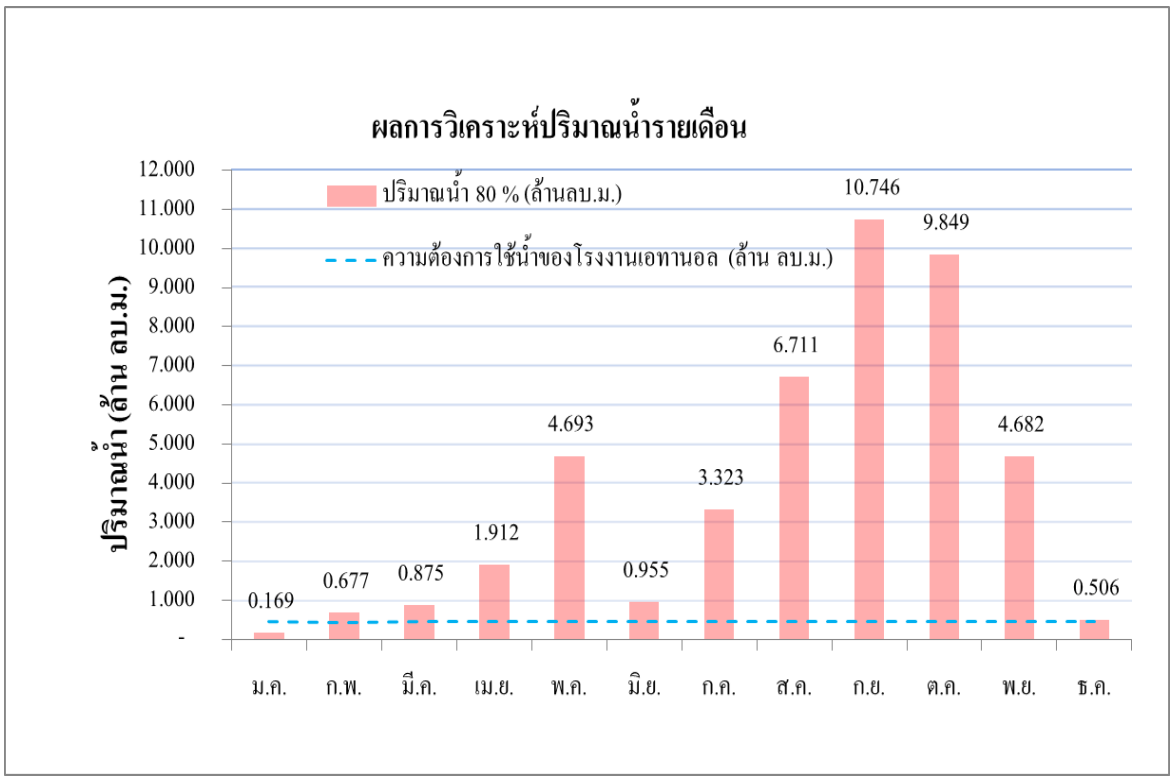
พิจารณาปริมาณน้ำที่ต้องสงวนไว้สำหรับรักษาระบบนิเวศน์และสิ่งแวดล้อมท้ายน้ำในลำน้ำ ดังนั้นจึงมีการตั้งสมมุติฐานว่าสามารถนำน้ำมาใช้ได้ 80 % ของปริมาณน้ำทั้งหมด (ที่มา :สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร) ดังนี้

4.3.1 กรณีที่ 1 สำหรับรอบปีการเกิดซ้ำ 1 ปี

การวิเคราะห์สมดุลน้ำสำหรับกรณีที่ 1 พบว่า ในเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคมและธันวาคม จำนวน 4 เดือน ปริมาณน้ำที่มีอยู่ไม่เพียงพอต่อความต้องใช้น้ำ และมีแนวโน้มที่จะขาดแคลนน้ำในช่วงเวลาดังกล่าว เมื่อนำมา เขียนกราฟปริมาณน้ำกับความต้องการ ยังพบว่าในเดือนมิถุนายน ปริมาณน้ำยังไม่เพียงพอและมีความเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.3 ผลวิเคราะห์การสมดุลน้ำ กรณี 1

เดือน	**ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)**	**ปริมาณน้ำ 80 % (ล้านลบ.ม.)**	**ความต้องการใช้น้ำของโรงงานเอทานอล (ล้าน ลบ.ม.)**	**ผลต่าง (ล้าน ลบ.ม.)**
ม.ค.	0.212	0.169	0.462	-0.293
ก.พ.	0.847	0.677	0.417	0.260
มี.ค.	1.094	0.875	0.462	0.413
เม.ย.	2.390	1.912	0.447	1.465
พ.ค.	5.866	4.693	0.462	4.231
มิ.ย.	1.193	0.955	0.447	**0.507**
ก.ค.	4.153	3.323	0.462	2.860
ส.ค.	8.388	6.711	0.462	6.248
ก.ย.	13.432	10.746	0.447	10.299
ต.ค.	12.311	9.849	0.462	9.387
พ.ย.	5.853	4.682	0.447	4.235
ธ.ค.	0.632	0.506	0.462	**0.044**



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำกับความต้องการใช้น้ำแบบรายเดือน กรณีที่ 1

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำที่ขาดแคลนในช่วงฤดูแล้ง ตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม (จำนวน 4 เดือน) คิดเป็นปริมาณน้ำจากความต้องการ ประมาณ 1.80 ล้านลบ.ม. รวมกับเดือนมิถุนายน ซึ่งมีแนวโน้มว่าจะขาดแคลน รวมเป็นปริมาณน้ำทั้งสิ้น 2.25 ล้าน ลบ.ม. ดังนั้น แนวทางแก้ไขปัญหา ควรหาแหล่งน้ำให้สามารถเก็บกักน้ำได้ไม่น้อยกว่า 2.25 ล้านลบ.ม. เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำของโรงงานผลิตเอทานอลดังกล่าว

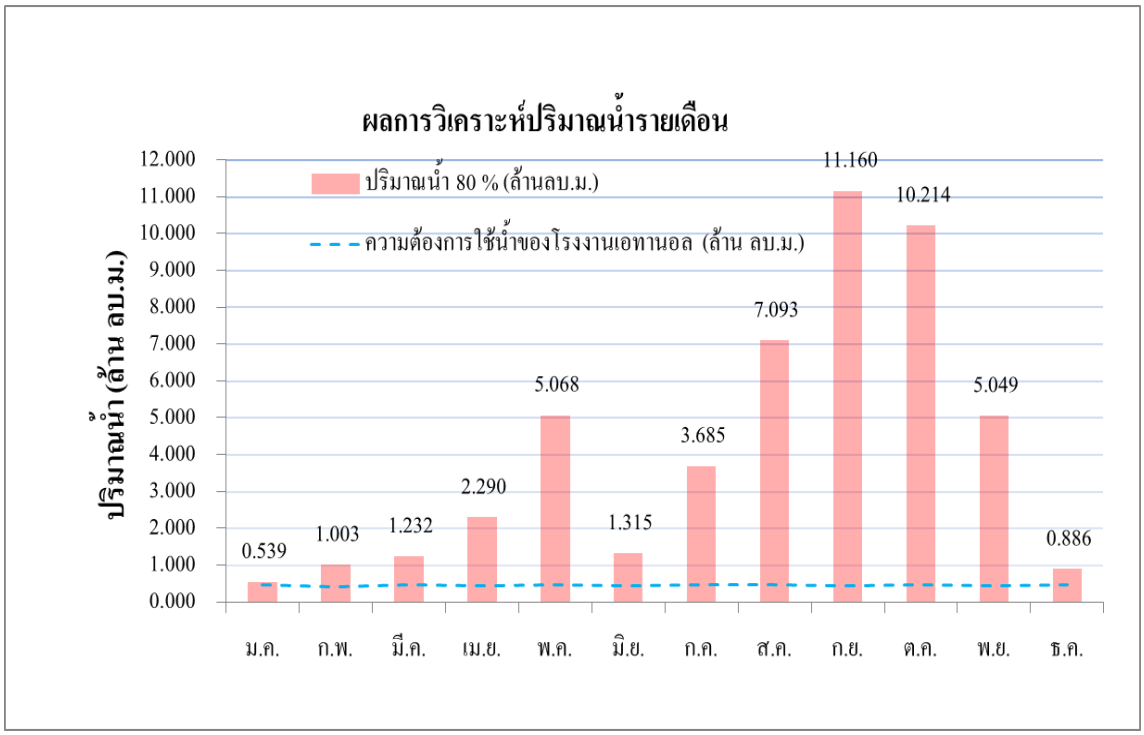
ในเบื้องต้น จากการกำหนดพื้นที่สำหรับก่อสร้างเป็นแหล่งเก็บกักน้ำ เพื่อใช้ในการผลิตเอทานอลคิดเป็นพื้นที่ 321315.39 ตร.ม. ดังนั้น เพื่อให้สามารถเก็บกักน้ำในความจุ 2.25 ล้านลบ.ม. ความลึกเฉลี่ยของอ่างเก็บน้ำต้องไม่น้อยกว่า 7.00 เมตร

4.3.2 กรณี 2 สำหรับรอบปีการเกิดซ้ำ 3 ปี

การวิเคราะห์สมดุลน้ำสำหรับกรณีที่ 2 พบว่า ในเดือนมกราคม และธันวาคม จำนวน 2 เดือน ปริมาณน้ำที่มีอยู่ไม่เพียงพอต่อความต้องใช้น้ำ และมีแนวโน้มที่จะขาดแคลนน้ำในช่วงเวลาดังกล่าว เมื่อนำมา เขียนกราฟปริมาณน้ำกับความต้องการ ยังพบว่าในเดือนกุมภาพันธ์ ปริมาณน้ำยังไม่เพียงพอและมีความเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.4 ผลวิเคราะห์การสมดุลน้ำ กรณี 2

เดือน	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ 80 % (ล้านลบ.ม.)	ความต้องการใช้น้ำของโรงงานเอทานอล (ล้าน ลบ.ม.)	ผลต่าง (ล้านลบ.ม.)
ม.ค.	0.674	0.539	0.462	**0.077**
ก.พ.	1.253	1.003	0.417	0.585
มี.ค.	1.540	1.232	0.462	0.770
เม.ย.	2.863	2.290	0.447	1.843
พ.ค.	6.335	5.068	0.462	4.606
มิ.ย.	1.644	1.315	0.447	0.868
ก.ค.	4.606	3.685	0.462	3.223
ส.ค.	8.866	7.093	0.462	6.631
ก.ย.	13.950	11.160	0.447	10.712
ต.ค.	12.767	10.214	0.462	9.752
พ.ย.	6.311	5.049	0.447	4.602
ธ.ค.	1.108	0.886	0.462	0.424



รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำกับความต้องการใช้น้ำแบบรายเดือน กรณีที่ 2

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำที่ขาดแคลนในช่วงฤดูแล้ง มีเพียงเดือนมกราคมและธันวาคม คิดเป็นปริมาณน้ำจากความต้องการ ประมาณ 0.924 ล้านลบ.ม. รวมกับเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งมีแนวโน้มว่าจะขาดแคลน รวมเป็นปริมาณน้ำทั้งสิ้น 1.342 ล้านลบ.ม. ดังนั้น แนวทางแก้ไขปัญหา ควรหาแหล่งน้ำให้สามารถเก็บกักน้ำได้ไม่น้อยกว่า 1.342 ล้านลบ.ม. เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำของโรงงานผลิตเอทานอลดังกล่าว

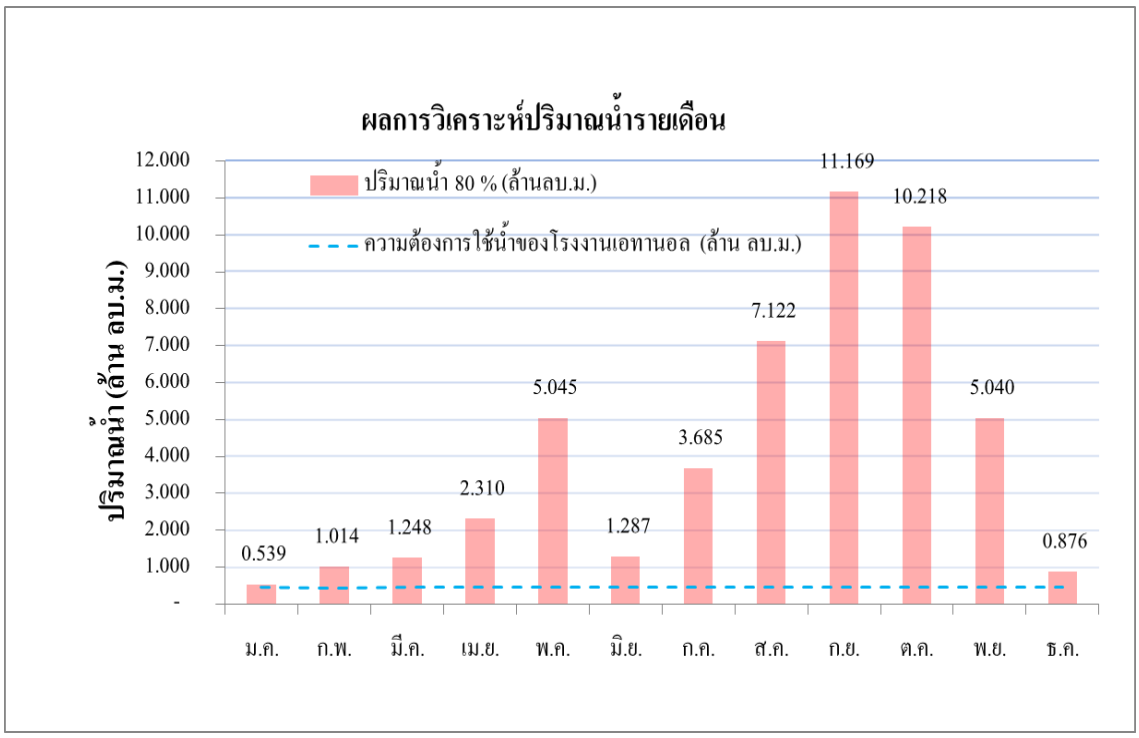
ในเบื้องต้น จากการกำหนดพื้นที่สำหรับก่อสร้างเป็นแหล่งเก็บกักน้ำ เพื่อใช้ในการผลิตเอทานอลคิดเป็นพื้นที่ 321315.39 ตร.ม. ดังนั้น เพื่อให้สามารถเก็บกักน้ำในความจุ 1.342 ล้านลบ.ม. ความลึกเฉลี่ยของอ่างเก็บน้ำต้องไม่น้อยกว่า 4.20 เมตร

4.3.3 กรณีที่ 3 สำหรับรอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปี

การวิเคราะห์สมดุลน้ำสำหรับกรณีที่ 3 พบว่า ในเดือนมกราคม เท่านั้น ที่ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ไม่เพียงพอต่อความต้องใช้น้ำ และมีแนวโน้มที่จะขาดแคลนน้ำในช่วงเวลาดังกล่าว เมื่อนำมาเขียนกราฟปริมาณน้ำกับความต้องการ ยังพบว่าในเดือนธันวาคม ปริมาณน้ำยังไม่เพียงพอและมีความเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.5 ผลวิเคราะห์การสมดุลน้ำ กรณี 3

เดือน	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ 80 % (ล้านลบ.ม.)	ความต้องการใช้น้ำของโรงงานเอทานอล (ล้าน ลบ.ม.)	ผลต่าง (ล้านลบ.ม.)
ม.ค.	0.674	0.539	0.462	**0.077**
ก.พ.	1.268	1.014	0.417	0.597
มี.ค.	1.560	1.248	0.462	0.786
เม.ย.	2.887	2.310	0.447	1.863
พ.ค.	6.307	5.045	0.462	4.583
มิ.ย.	1.609	1.287	0.447	0.840
ก.ค.	4.607	3.685	0.462	3.223
ส.ค.	8.903	7.122	0.462	6.660
ก.ย.	13.961	11.169	0.447	10.721
ต.ค.	12.772	10.218	0.462	9.755
พ.ย.	6.300	5.040	0.447	4.593
ธ.ค.	1.094	0.876	0.462	0.413



รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำกับความต้องการใช้น้ำแบบรายเดือน กรณีที่ 3

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำที่ขาดแคลนในช่วงฤดูแล้ง มีเพียงเดือนมกราคมเท่านั้น คิดเป็นปริมาณน้ำจากความต้องการ ประมาณ 0.462 ล้านลบ.ม. รวมกับเดือนธันวาคมซึ่งมีแนวโน้มว่าจะขาดแคลน รวมเป็นปริมาณน้ำทั้งสิ้น 0.924 ล้านลบ.ม. ดังนั้น แนวทางแก้ไขปัญหา ควรหาแหล่งน้ำให้สามารถเก็บกักน้ำได้ไม่น้อยกว่า 0.924 ล้านลบ.ม. เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำของโรงงานผลิตเอทานอลดังกล่าว

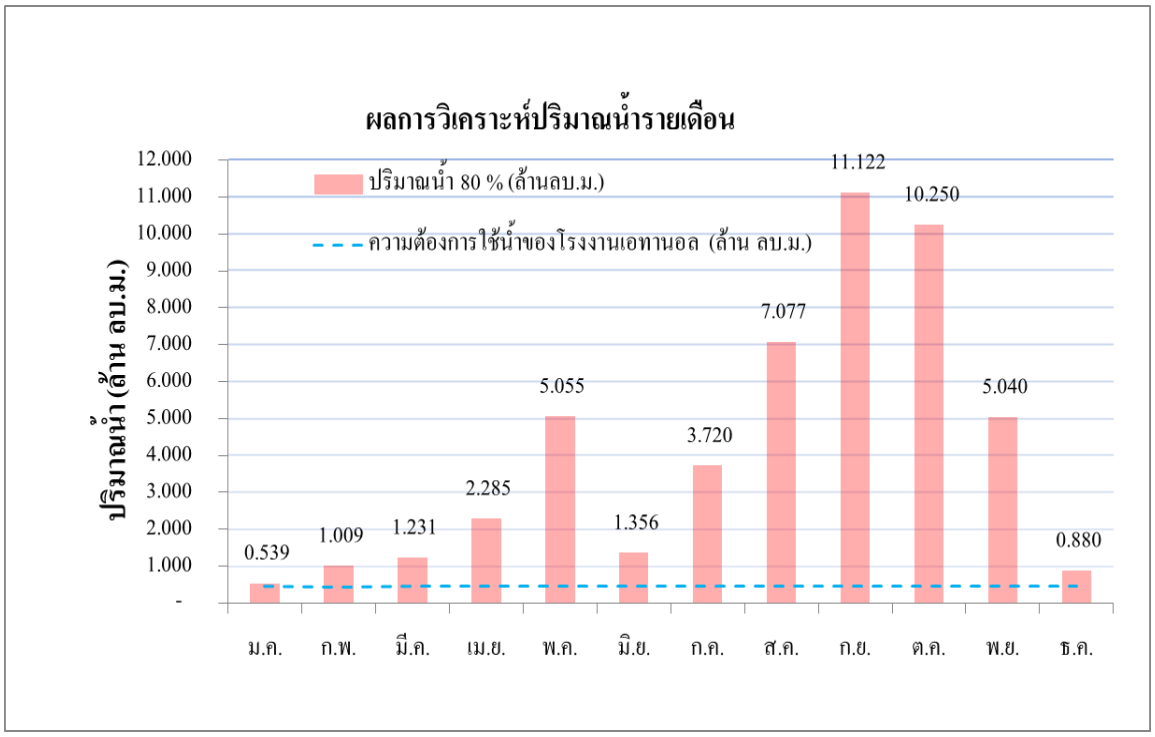
ในเบื้องต้น จากการกำหนดพื้นที่สำหรับก่อสร้างเป็นแหล่งเก็บกักน้ำ เพื่อใช้ในการผลิตเอทานอลคิดเป็นพื้นที่ 321315.39 ตร.ม. ดังนั้น เพื่อให้สามารถเก็บกักน้ำในความจุ 0.924 ล้านลบ.ม. ความลึกเฉลี่ยของอ่างเก็บน้ำต้องไม่น้อยกว่า 3.00 เมตร

4.3.4 กรณีที่ 4สำหรับรอบการเกิดซ้ำ 10 ปี

การวิเคราะห์สมดุลน้ำสำหรับกรณีที่ 4 พบว่า ในเดือนมกราคมเท่านั้นที่ปริมาณน้ำที่มีอยู่ไม่เพียงพอต่อความต้องใช้น้ำ และมีแนวโน้มที่จะขาดแคลนน้ำในช่วงเวลาดังกล่าว เมื่อนำมา เขียนกราฟปริมาณน้ำกับความต้องการ ยังพบว่าในเดือนธันวาคม ปริมาณน้ำยังไม่เพียงพอและมีความเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.6 ผลวิเคราะห์การสมดุลน้ำ กรณี 4

เดือน	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ 80 % (ล้านลบ.ม.)	ความต้องการใช้น้ำของโรงงานเอทานอล (ล้าน ลบ.ม.)	ผลต่าง (ล้านลบ.ม.)
ม.ค.	0.674	0.539	0.462	**0.077**
ก.พ.	1.262	1.009	0.417	0.592
มี.ค.	1.539	1.231	0.462	0.769
เม.ย.	2.856	2.285	0.447	1.837
พ.ค.	6.318	5.055	0.462	4.592
มิ.ย.	1.696	1.356	0.447	0.909
ก.ค.	4.650	3.720	0.462	3.258
ส.ค.	8.846	7.077	0.462	6.614
ก.ย.	13.903	11.122	0.447	10.675
ต.ค.	12.813	10.250	0.462	9.788
พ.ย.	6.300	5.040	0.447	4.593
ธ.ค.	1.100	0.880	0.462	0.418



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำกับความต้องการใช้น้ำแบบรายเดือน กรณีที่ 4

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำที่ขาดแคลนในช่วงฤดูแล้ง มีเพียงเดือนมกราคมเท่านั้น คิดเป็นปริมาณน้ำจากความต้องการ ประมาณ 0.462 ล้านลบ.ม. รวมกับเดือนธันวาคมซึ่งมีแนวโน้มว่าจะขาดแคลน รวมเป็นปริมาณน้ำทั้งสิ้น 0.924 ล้านลบ.ม. ดังนั้น แนวทางแก้ไขปัญหา ควรหาแหล่งน้ำให้สามารถเก็บกักน้ำได้ไม่น้อยกว่า 0.924 ล้านลบ.ม. เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำของโรงงานผลิตเอทานอลดังกล่าว

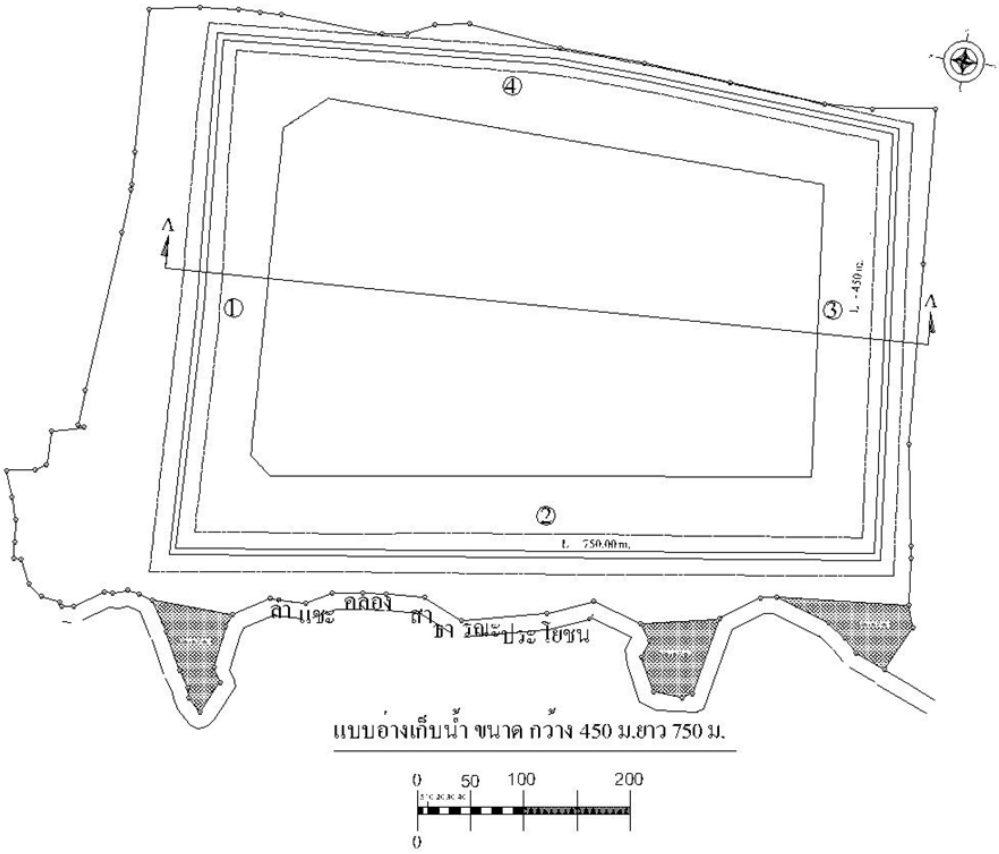
ในเบื้องต้น จากการกำหนดพื้นที่สำหรับก่อสร้างเป็นแหล่งเก็บกักน้ำ เพื่อใช้ในการผลิตเอทานอลคิดเป็นพื้นที่ 321315.39 ตร.ม. ดังนั้น เพื่อให้สามารถเก็บกักน้ำในความจุ 0.924 ล้านลบ.ม. ความลึกเฉลี่ยของอ่างเก็บน้ำต้องไม่น้อยกว่า 3.00 เมตร

4.4 ผลการวิเคราะห์ความลึกของอ่างเก็บน้ำ

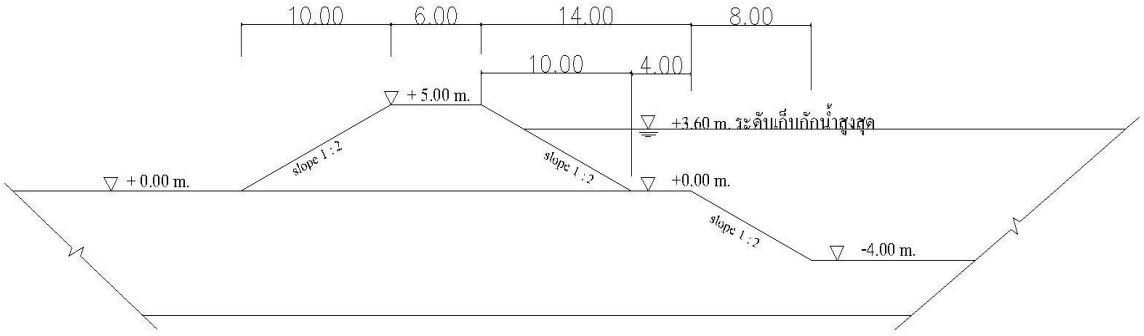
จากผลการศึกษาข้อ 4.3 พบว่า เพื่อให้สามารถเก็บกักน้ำได้ความจุตามที่ต้องการในรอบปีการเกิดซ้ำ 1 ปี 3 ปี 5 ปี และ 10 ปี การกำหนดความลึกของอ่างเก็บน้ำจึงแตกต่างกันไป โดยมีรอบปีที่ การเกิดซ้ำ 5 ปี และ 10 ปีที่ความลึกไม่แตกต่างกันมาก แต่เนื่องจากในออกแบบและการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์ต้องมีระยะเผื่อพ้นน้ำ (Freeboard) ประมาณ ร้อยละ 20 ของความลึก (วราวุธ, 2539) เพื่อให้สามารถเก็บกักได้ความจุตามที่ต้องการในรอบปีที่ การเกิดซ้ำ 1 ปี 3 ปี 5 ปี และ 10 ปีดังนี้

4.4.1 กรณีที่ 1 สำหรับการเกิดซ้ำ 1 ปี

จากการวิเคราะห์และคำนวณแล้วได้ความลึกเฉลี่ย 7.00 เมตร ระยะเผื่อพ้นน้ำ 1.4 เมตร รวมเป็นความลึกก่อสร้าง 8.40 เมตร แต่ในทางปฏิบัติ การก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ ไม่สามารถก่อสร้างที่ความลึกขนาดดังกล่าวได้ เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น สภาพพื้นที่ ลักษณะของดิน ความลึก เสถียรภาพของความลาดชันด้านข้าง เป็นต้น ดังนั้น จึงออกแบบอ่างเก็บน้ำ ให้สามารถจุน้ำได้ตามความต้องการ และสามารถเข้าปฏิบัติการเพื่อบำรุงรักษาได้ง่ายด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 แบบอ่างเก็บน้ำ กรณี 1



รูปที่ 4.11รูปตัดแบบอ่างเก็บน้ำ กรณี 1

จากการออกแบบขนาดอ่างเก็บน้ำไว้ ตาม รูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 โดยเบื้องต้นได้คำนวณงบประมาณการก่อสร้าง ที่คิดงานดินเป็นลูกบาศก์เมตรแน่น และราคารวมค่าดำเนินการและภาษีต่างๆ และเป็นราคาต่อหน่วยทั่วไปดังแสงตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 งบประมาณการก่อสร้างเบื้องต้น กรณี 1

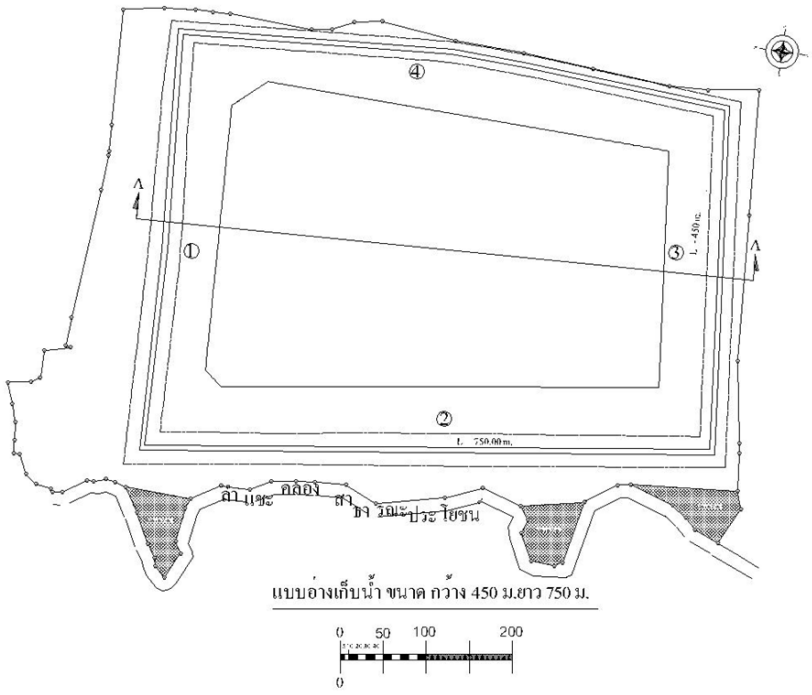
กรณีที่ 1						
ขนาดอ่างเก็บน้ำ (ม.)	ความสูงคันดิน (ม.)	ความลึกดินขุด (ม.)	ปริมาณดินที่ขุด (ลบ.ม.)	ปริมาณดินที่ถม (ลบ.ม.)	ราคาต่อหน่วย (บาท)	รวมราคา (บาท)
750 x 450	5.00	4.00	1,182,640.00	192,000.00	100.00	137,464,000.00

ที่มา : ww.bb.go.th

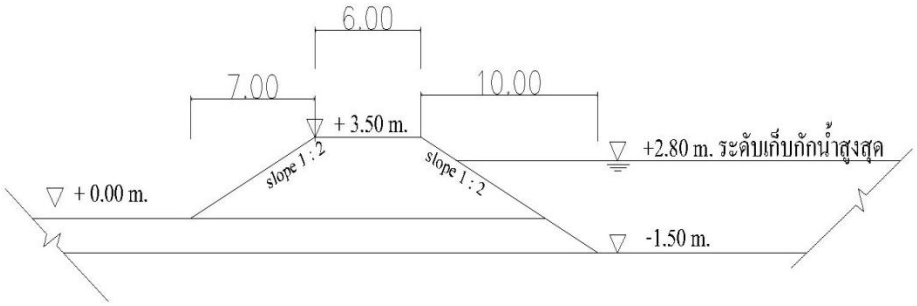
คิดเป็นมูลค่าการก่อสร้างทั้งสิ้น 137,464,000 บาท ทั้งนี้ จากคิดคำนวณการก่อสร้างพบว่างานดินขุดได้นำมาปรับปรุงแล้วนำไปถมคัน คาดว่าดินเหลือใช้งาน โดยประมาณ 990,640 ลบ.ม. ซึ่งจะต้องนำไปบริหารต่อไป

4.4.2 กรณีที่ 2 สำหรับรอบเกิดซ้ำ 3 ปี

จากการวิเคราะห์และคำนวณแล้วได้ความลึกเฉลี่ย 4.20 เมตร ระยะเผื่อพ้นน้ำ 0.84 เมตร รวมเป็นความลึกก่อสร้าง 5.04 เมตร แต่ในทางปฏิบัติ การก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ ต้องคำนึงปัจจัยหลายอย่างที่เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น สภาพพื้นที่ ลักษณะของดิน ความลึก เสถียรภาพของความลาดชันด้านข้าง เป็นต้น ดังนั้น จึงออกแบบอ่างเก็บน้ำ ให้สามารถจุน้ำได้ตามความต้องการ และสามารถเข้าปฏิบัติการเพื่อบำรุงรักษาได้ง่ายด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 แบบอ่างเก็บน้ำ กรณี 2



รูปที่ 4.13รูปตัดอ่างเก็บน้ำ กรณี 2

จากการออกแบบขนาดอ่างเก็บน้ำไว้ ตาม รูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 โดยเบื้องต้นได้คำนวณงบประมาณการก่อสร้าง ที่คิดงานดินเป็นลูกบาศก์เมตรแน่น และราคารวมค่าดำเนินการและภาษีต่างๆ และเป็นราคาต่อหน่วยทั่วไปดังแสงตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 งบประมาณการก่อสร้างเบื้องต้น กรณี 2

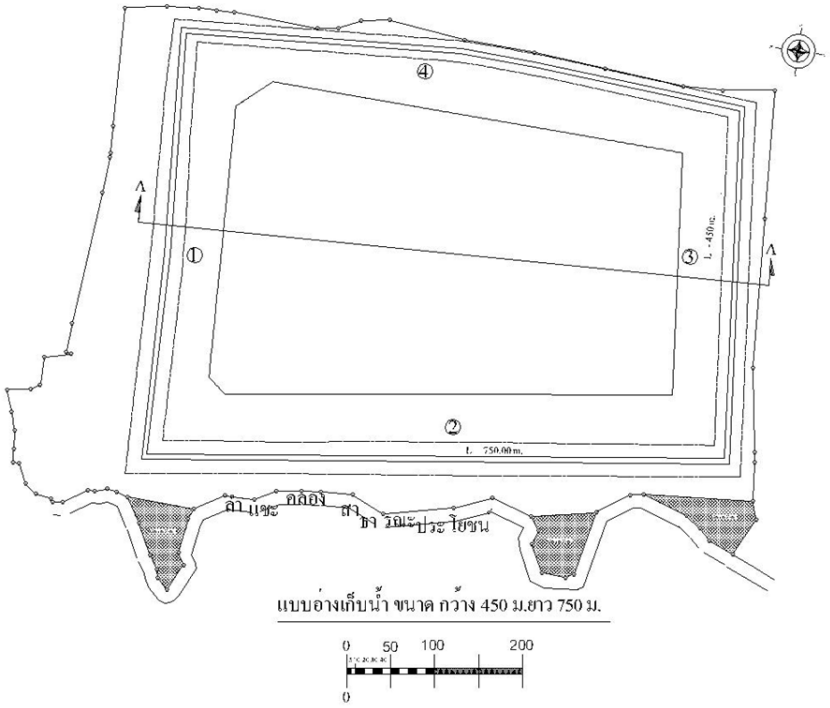
กรณีที่ 2						
ขนาดอ่างเก็บน้ำ (ม.)	**ความสูงคันดิน (ม.)**	**ความลึกดินขุด (ม.)**	**ปริมาณดินที่ขุด (ลบ.ม.)**	**ปริมาณดินที่ถม (ลบ.ม.)**	**ราคาต่อหน่วย (บาท)**	**รวมราคา (บาท)**
750 x 450	3.50	1.50	488,500.00	109,200.00	100.00	59,770,000.00

ที่มา : ww.bb.go.th

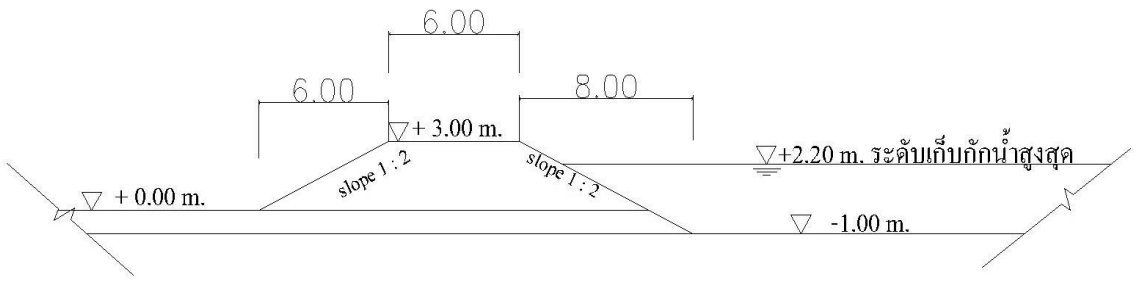
คิดเป็นมูลค่าการก่อสร้างทั้งสิ้น 59,770,000 บาท ทั้งนี้ จากคิดคำนวณการก่อสร้างพบว่างานดินขุดได้นำมาปรับปรุงแล้วนำไปถมคัน คาดว่าดินเหลือใช้งาน โดยประมาณ 379,300 ลบ.ม. ซึ่งจะต้องนำไปบริหารต่อไป

4.4.2 กรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 สำหรับรอบเกิดซ้ำ 5 ปีและ 10 ปี

จากการวิเคราะห์และคำนวณแล้วได้ ความลึกเฉลี่ย 3.00 เมตร ระยะเผื่อพ้นน้ำ 0.6 เมตร รวมเป็นความลึกก่อสร้าง 3.60 เมตร แต่ในทางปฏิบัติ การก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ ต้องคำนึงปัจจัยหลายอย่างที่เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น สภาพพื้นที่ ลักษณะของดิน ความลึก เสถียรภาพของความลาดชันด้านข้าง เป็นต้น ดังนั้น จึงออกแบบอ่างเก็บน้ำ ให้สามารถจุน้ำได้ตามความต้องการ และสามารถเข้าปฏิบัติการเพื่อบำรุงรักษาได้ง่ายด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.14 แบบอ่างเก็บน้ำ กรณีที่ 3 และ 4



รูปที่ 4.15 รูปตัดอ่างเก็บน้ำ กรณีที่ 3 และ 4

จากการออกแบบขนาดอ่างเก็บน้ำไว้ ตาม รูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 โดยเบื้องต้นได้คำนวณงบประมาณการก่อสร้าง ที่คิดงานดินเป็นลูกบาศก์เมตรแน่น และราคารวมค่าดำเนินการและภาษีต่างๆ และเป็นราคาต่อหน่วยทั่วไปดังแสงตารางที่ 4.9

ตารางที่4.9 งบประมาณการก่อสร้างเบื้องต้นกรณี 3 และ 4

กรณีที่ 3 และ 4						
ขนาดอ่างเก็บน้ำ (ม.)	**ความสูงคันดิน (ม.)**	**ความลึกดินขุด (ม.)**	**ปริมาณดินที่ขุด (ลบ.ม.)**	**ปริมาณดินที่ถม (ลบ.ม.)**	**ราคาต่อหน่วย (บาท)**	**รวมราคา (บาท)**
750 x 450	3.00	1.00	320,900.00	86,400.00	100.00	40,730,000.00

ที่มา : ww.bb.go.th

คิดเป็นมูลค่าการก่อสร้างทั้งสิ้น 40,730,000 บาท ทั้งนี้ จากคิดคำนวณการก่อสร้างพบว่างานดินขุดได้นำมาปรับปรุงแล้วนำไปถมคัน คาดว่าดินเหลือใช้งาน โดยประมาณ 234,500 ลบ.ม. ซึ่งจะต้องนำไปบริหารต่อไป

4.5 ผลการวิเคราะห์ระบบส่งน้ำ เพื่อการลำเลียงน้ำเข้าสู่ระบบการผลิตของโรงงานเอทานอล

การวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำเพื่อการลำเลียงน้ำเข้าสู่ระบบการผลิตของโรงงานเอทานอลจำเป็นต้องมีมาตรฐานและหลักเกณฑ์ในการวางแผนและออกแบบซึ่งอาจต้องนำราคาของงานก่อสร้างมาพิจารณาด้วยว่าคุ้มกับการลงทุนหรือไม่ในบางครั้งการออกแบบโดยใช้ทฤษฎีอย่างเดียวไม่คำนึงในเชิงเศรษฐกิจจะทำให้ระบบการส่งน้ำมีความจุสูงและสิ้นเปลืองงบประมาณมากไป ดังนั้นการลดขนาดของระบบการส่งน้ำลงอย่างเหมาะสมจึงจำเป็นต้อง วางหลักเกณฑ์ในการวางแผนและออกแบบให้รัดกุมอย่างไรก็ตามแม้ว่าจะมีการกำหนดหลักเกณฑ์ในการออกแบบอย่างรัดกุมแล้วก็ยังมีตัวแปรต่างๆอีกมากมายที่ก่อให้เกิดปัญหาและอุปสรรคเป็นสาเหตุทำให้ระบบส่งน้ำเสื่อมสภาพลงตัวแปรต่างๆเหล่านี้ได้แก่ปริมาณน้ำต้นทุนงบประมาณในการลงทุนปัญหาความขัดแย้งระหว่างผู้ใช้น้ำปัญหาสังคมเศรษฐกิจและการเมืองเป็นต้นดังนั้นการวางแผนและออกแบบจึงต้องอาศัยความเชี่ยวชาญและมีประสบการณ์ในการทำงานสูงซึ่งจะช่วยผลกระทบต่างๆที่ตามมาจะก่อให้เกิดปัญหาสร้างความเสียหายอย่างใหญ่หลวงให้กับระบบการส่งน้ำได้ในอนาคต

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษา และนำมากำหนด เพื่อเสนอแนวทางเลือกเพื่อการลำเลียงน้ำเข้าสู่ระบบการผลิตของโรงงานเอทานอลโดยมี 3 แนวทางเลือก ด้วยกัน คือ

4.5.1 การส่งน้ำด้วยระบบท่อ ทั้งหมด

โดยมีการขุดเจาะผ่านอุโมงค์ลอดช่องเขาบางส่วน เป็นการผันน้ำจากอ่างเก็บน้ำที่เตรียมก่อสร้าง ส่งน้ำตามท่อส่งน้ำ แต่และช่วงระหว่างโรงงานกับอ่างเก็บน้ำ ลักษณะภูมิประเทศ มีเนินเขาสูง ที่ระดับ 32 เมตร เมื่อเทียบกับอ่างเก็บน้ำ ทำการขุดเจาะทำอุโมงค์ลอดช่องเขาระยะทาง 800

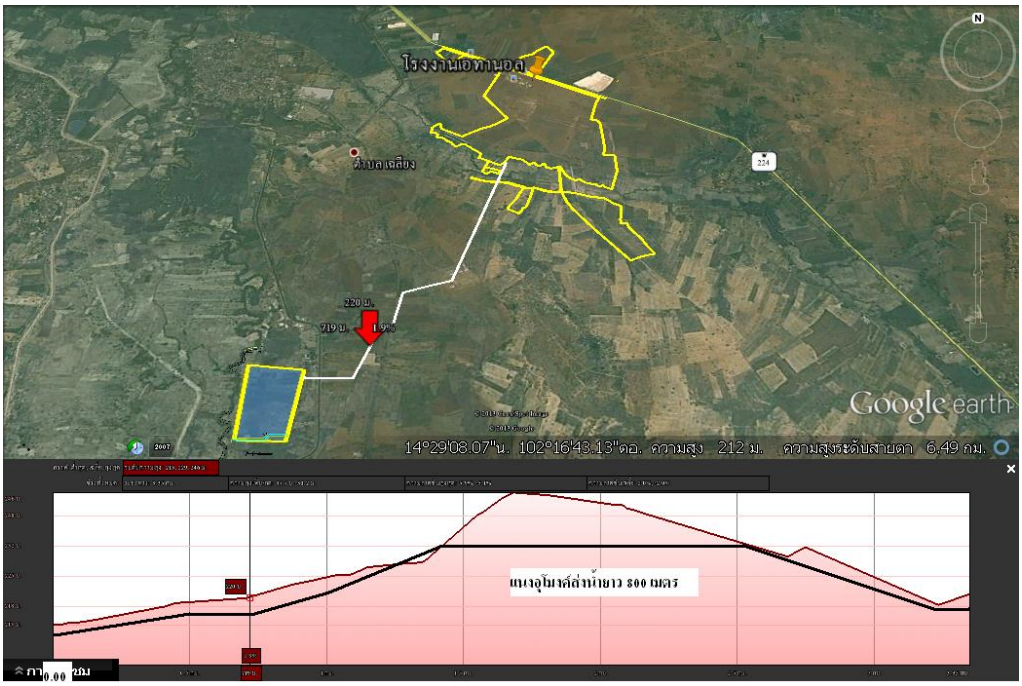
เมตร ดังรูปที่ 4.16 มูลการก่อสร้างโดยประมาณ เมตรละ 35,000 บาท คิดเป็น 28.00 ล้านบาท รวมกับ ความยาวท่อทั้งหมด 3,350 เมตร ราคาเมตรละ 4,500 บาทคิดเป็น 15.07 ล้านบาท รวมมูลค่าการก่อสร้างทั้งสิ้น 43.07 ล้านบาท

4.5.2 การส่งน้ำด้วยระบบท่อบางส่วน

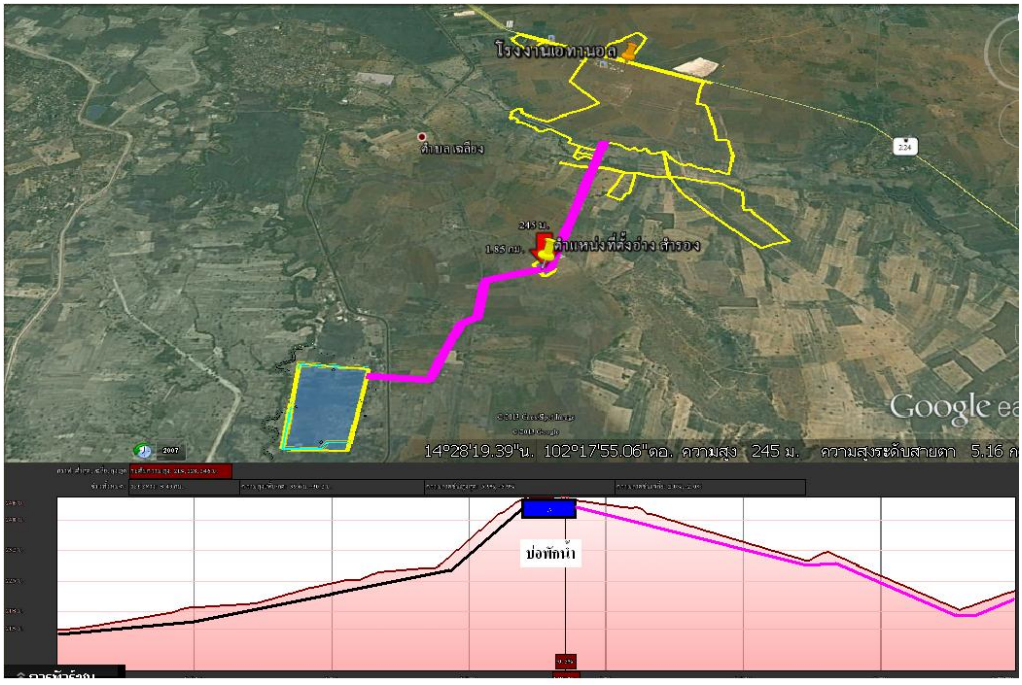
โดยสูบน้ำขึ้นเขา โดยสร้างบ่อพักน้ำ ขนาด 100,000 ลูกบาศก์เมตร แล้วปล่อยด้วยแรงโน้มถ่วง ด้วยระบบท่อ เป็นการสร้างบ่อพักน้ำ ขนาด 100,000 ลบ.ม. บนบริเวณเนินเขา ตามลักษณะภูมิประเทศ ผันน้ำจากอ่างเก็บน้ำด้วยท่อส่งน้ำขึ้นไปเก็บกักไว้ที่บ่อพักเนินเขา แล้วปล่อยด้วยแรงโน้มถ่วงส่งตามท่อต่อไปยังโรงงาน ตามรูปที่ 4.17 ซึ่งบ่อพักมีขนาด กว้าง 150 เมตร ยาว 150 เมตร คันบ่อสูง 2.50 เมตร ขุดดินลึก 2.50 เมตร คิดมูลค่าการก่อสร้าง 7.45 ล้านบาท รวมกับงานท่อส่งน้ำยาว 3,350 เมตรๆ ละ 4500 บาท คิดเป็น 15.07 ล้านบาท รวมมูลค่าการก่อสร้างโดยประมาณทั้งสิ้น 22.52 ล้านบาท

4.5.3 การส่งน้ำด้วยระบบท่อบางส่วน

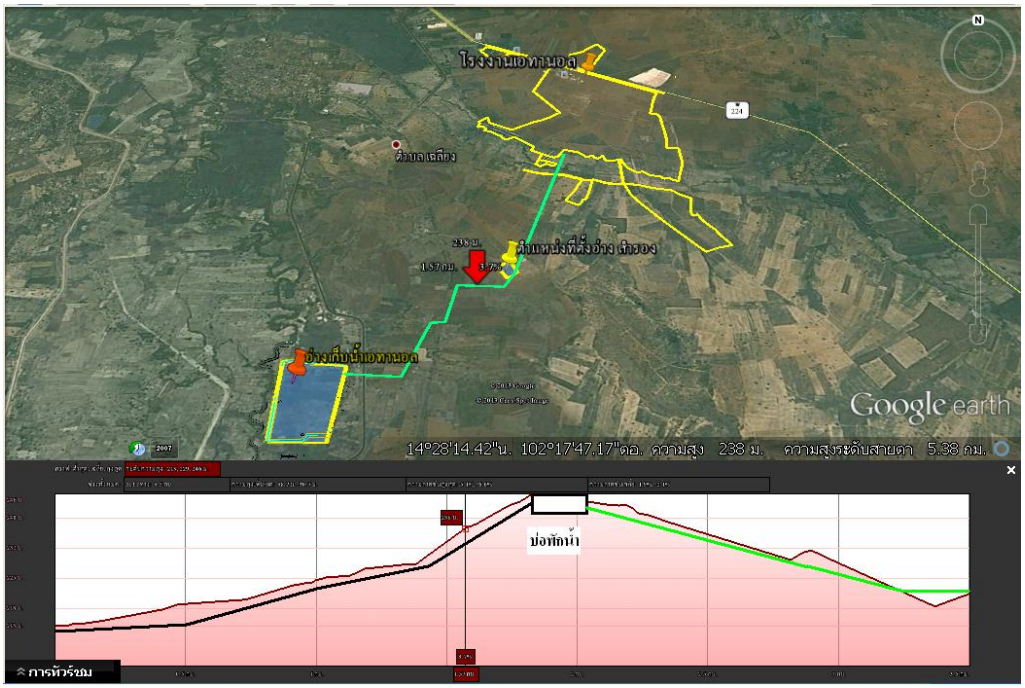
โดยสูบน้ำขึ้นเขา โดยสร้างบ่อพักน้ำ ขนาด 100,000 ลูกบาศก์เมตร แล้วปล่อยด้วยแรงโน้มถ่วง ด้วยคลองแบบทางน้ำเปิด เป็นการสร้างบ่อพักน้ำ ขนาด 100,000 ลบ.ม.ลักษณะเดียวกันกับข้อ 4.5.2 แล้วปล่อยด้วยแรงโน้มถ่วงด้วยคลองแบบทางน้ำเปิดต่อไปยังโรงงาน ตามรูปที่ 4.18 ซึ่งบ่อพักมีขนาด กว้าง 150 เมตร ยาว 150 เมตร คันบ่อสูง 2.50 เมตร ขุดดินลึก 2.50 เมตร คิดมูลค่าการก่อสร้าง 7.45 ล้านบาท รวมกับงานท่อส่งน้ำ ยาว 1,850 เมตรๆละ 4500 บาท คิดเป็น 8.325 ล้านบาท คลองระบายน้ำแบบทางเปิดยาว 1,500 เมตรๆละ 3,500 บาท คิดเป็น 5.25 ล้านบาท รวมมูลค่าการก่อสร้างโดยประมาณทั้งสิ้น 21.025 ล้านบาท ลักษณะภูมิประเทศตามแนวทางเลือกทั้งสาม ดังแสดงในรูปที่ 4.19 - รูปที่ 4.21



รูปที่ 4.16 แนวที่ 1 การส่งน้ำด้วยระบบท่อ ทั้งหมด โดยมีการขุดเจาะผ่านอุโมงค์ลอดช่องเขาบางส่วน



รูปที่ 4.17 แนวที่ 2 การส่งน้ำด้วยระบบท่อบางส่วน โดยสูบน้ำขึ้นเขา โดยสร้างบ่อพักน้ำขนาด 100,000 ลูกบาศก์เมตร แล้วปล่อยด้วยแรงโน้มถ่วง ด้วยระบบท่อน้ำ



รูปที่ 4.18 แนวที่ 3 การส่งน้ำด้วยระบบท่อบางส่วน โดยสูบน้ำขึ้นเขา โดยสร้างบ่อพักน้ำ ขนาด 100,000 ลูกบาศก์เมตร แล้วปล่อยด้วยแรงโน้มถ่วง ด้วยคลองแบบทางน้ำเปิด

รูปที่ 4.19 สภาพภูมิประเทศที่เป็นเนินเขา ทางขึ้น

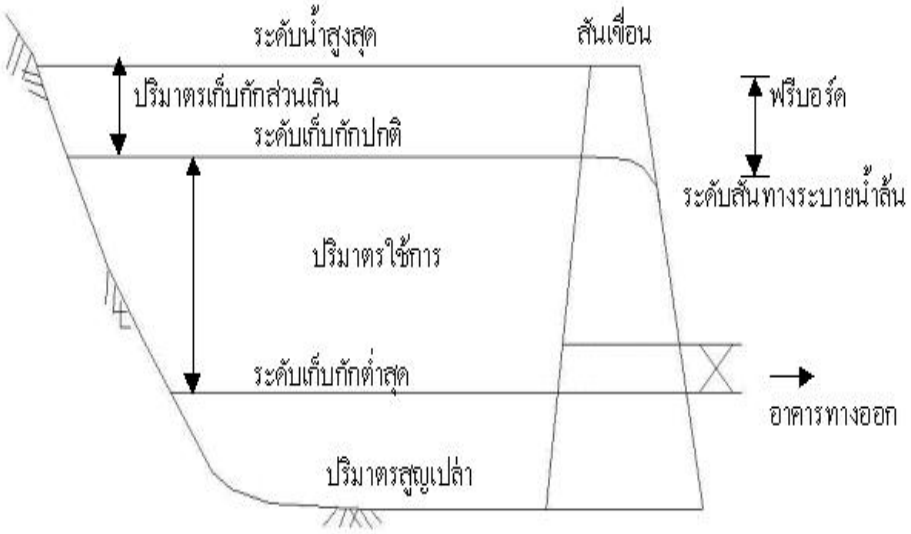
รูปที่ 4.20 สภาพภูมิประเทศที่เนินเขา เหมาะสำหรับสร้างบ่อพักน้ำ

รูปที่ 4.21 สภาพภูมิประเทศที่เนินเขา ทางลงสู่โรงงานเอทานอล

4.6 การบริหารการจัดการอ่างเก็บน้ำ

การบริหารจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำแต่ละแห่งจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ ลักษณะทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำ สภาพทางอุทกวิทยา และข้อจำกัดต่างๆ ของตัวอ่างเก็บน้ำ สำหรับการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำของการศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการส่งน้ำเข้าสู่ระบบการผลิตของโรงงานเอทานอล และการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภค สำหรับที่พักอาศัยของเจ้าหน้าที่และพนักงานในเขตโรงงาน

อ่างเก็บน้ำจะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วนคือ ตัวอ่างเก็บน้ำ (Reservoir) ทางระบายน้ำล้น (Spillway) และอาคารทางออก (Outlet works) อ่างเก็บน้ำจะแบ่งปริมาตรออกเป็นส่วนต่างๆ ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่4.19ดังนี้ระดับต่ำสุดระดับเก็บกักปกติระดับสูงสุดและฟรีบอร์ด (Freeboard) (วราวุธ,2539)



ที่มา : วราวุธ (2539)

รูปที่ 4.22 การแบ่งปริมาตรอ่างเก็บน้ำ

ทางระบายน้ำล้นเป็นอาคารที่ทำหน้าที่ระบายน้ำส่วนเกินในยามที่น้ำท่วมเคลื่อนตัวผ่านอ่างเก็บน้ำและอาคารทางออกเป็นอาคารที่ทำหน้าที่ควบคุมการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำเพื่อนำไปใช้ในวัตถุประสงค์ต่างๆ (วราวุธ, 2539)

ความสัมพันธ์ระหว่างความจุและผลผลิตของอ่างเก็บน้ำจะบอกให้รู้ว่าความจุของอ่างเก็บน้ำที่ต่างกันย่อมมีผลผลิตที่แตกต่างกันด้วยดังนั้นผลผลิตของอ่างเก็บน้ำจึงเป็นปริมาณน้ำที่จะ

สามารถนำเอาไปใช้จากอ่างเก็บน้ำได้ในช่วงระยะเวลาที่กำหนดโดยปกติช่วงระยะเวลาที่กำหนดคือ 1 ปีและผลผลิตของอ่างเก็บน้ำที่มีขนาดความจุที่กำหนดจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ซึ่งจะมีความผันแปรในแต่ละปีดังนั้นในการออกแบบเพื่อความปลอดภัยจึงใช้ผลผลิตที่แน่นอน (Firm Yield) เป็นผลผลิตที่น้อยที่สุดซึ่งจะเป็นปริมาณน้ำที่มากที่สุดที่จะประกันได้ว่าสามารถนำเอาไปใช้จากอ่างเก็บน้ำที่มีความจุที่กำหนดไว้ในช่วงเวลาที่วิกฤต (Critical Period) ซึ่งช่วงเวลาวิกฤตคือช่วงที่มีความแตกต่างของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำกับความต้องการใช้น้ำมากที่สุด ซึ่งก็คือฤดูแล้ง ดังนั้น ผลผลิตที่แน่นอนคือ ผลผลิตที่มีค่าน้อยที่สุดในช่วงอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำดังนั้นในปีที่แล้งที่สุดสามารถประกันได้ว่าจะมีน้ำใช้อย่างเพียงพอสำหรับความต้องการน้ำประเภทต่างๆ และหากมีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำมากจะให้ผลผลิตมากกว่าผลผลิตที่แน่นอน ซึ่งส่วนนั้นเรียกว่าผลผลิตรอง (Secondary Yield) สามารถจะนำไปใช้กับวัตถุประสงค์อื่นที่รองลงมาได้ และอ่างเก็บน้ำไม่ว่าจะสร้างให้มีความจุขนาดใหญ่ได้เพียงใดผลผลิตที่แน่นอนก็จะไม่มากเกินกว่าผลผลิตที่เป็นไปได้สูงสุด (Maximum Possible Yield) ซึ่งผลผลิตที่เป็นไปได้สูงสุดจะเท่ากับปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย (Mean Flow) หักด้วยการสูญเสียต่างๆจากอ่างเก็บน้ำ (วราวุธ,2539)

อ่างเก็บน้ำถ้าแบ่งตามวัตถุประสงค์ของการใช้น้ำจะแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคืออ่างเก็บน้ำเอกประสงค์ (Single purpose reservoir) และอ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์ (multipurpose reservoir)

1. อ่างเก็บน้ำเอกประสงค์เป็นอ่างเก็บน้ำที่ทำหน้าที่เก็บน้ำไว้ใช้สำหรับวัตถุประสงค์เพียงอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้นเช่นการเกษตรหรือการอุปโภค-บริโภคหรือการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งการบริหารจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำจะง่ายที่สุด
2. อ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์เป็นอ่างเก็บน้ำที่ทำหน้าที่เก็บน้ำไว้ใช้สำหรับหลายวัตถุประสงค์พร้อมกันเช่น การเกษตรการอุปโภค-บริโภค การอุตสาหกรรม การคมนาคม เป็นต้น ดังนั้น การบริหารจัดการน้ำย่อมมีความสลับซับซ้อนและยุ่งยากมากขึ้นกว่าอ่างเก็บน้ำเอกประสงค์

สำหรับอ่างเก็บน้ำ ที่พิจารณาในการศึกษาครั้งนี้ เป็นอ่างเก็บน้ำเอกประสงค์ คือ มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการอุตสาหกรรม เท่านั้น

หลังจากการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำแล้วเสร็จเพื่อที่จะให้บรรลุวัตถุประสงค์และใช้ประโยชน์อย่างเต็มศักยภาพการบริหารจัดการน้ำจากอ่างเก็บน้ำจึงมีความสำคัญยิ่ง ดังนั้น เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ควบคุมการใช้อ่างเก็บน้ำและปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ดังที่กล่าวมา และก่อให้เกิดผลผลิตในเชิงเศรษฐศาสตร์มากที่สุดจึงจำเป็นต้องมีการวางกฎการปฏิบัติงานของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operating Rules) ซึ่งกฎนี้จะใช้ในช่วงเวลาการปฏิบัติงาน

ตามปกติไม่ใช่ช่วงหลังการก่อสร้างเสร็จใหม่ๆ หรือช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงวัตถุประสงค์การใช้อ่างเก็บน้ำ

การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำหมายถึง การเก็บกักน้ำในอ่างเก็บน้ำและการส่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ โดยมีการวางแผนล่วงหน้าว่าควรจะเก็บกักและส่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลาเป็นปริมาณเท่าใด และมีการปฏิบัติการตามแผนที่วางไว้ตราบเท่าที่สภาพในอนาคตเป็นไปตามที่คาดคะเนไว้ ถ้าสภาพในอนาคตต่างจากที่คาดคะเนไว้ในตอนวางแผนการปฏิบัติการอาจต่างจากแผนที่วางไว้ เพื่อลดสภาวะการขาดแคลนน้ำหรือน้ำล้นอ่าง (วราวุธ, 2538)

รูปแบบการจัดการน้ำจากอ่าง (Rule Curve) เพื่อการอุตสาหกรรม จึงควรเลือกใช้แบบ Standard Operating Policy เป็นเกณฑ์ที่ค่อนข้างง่ายโดยจะปล่อยน้ำให้เป็นไปตามความต้องการทุกๆ ช่วงเวลา ดังนั้น หากปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำมีไม่เพียงพอตามความต้องการระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำก็จะลดลงเรื่อยๆ ขณะเดียวกันในช่วงฤดูฝนที่มีน้ำมากระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำก็จะเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งปล่อยน้ำให้ไหลล้นอ่างเก็บน้ำต่อไปหรืออาจกล่าวได้ว่าเกณฑ์การปฏิบัติงานโดยวิธี Standard Operating Policy นี้เป็นเกณฑ์ที่มีศักยภาพมากในการลดประมาณการขาดน้ำทั้งหมดในช่วงเวลาที่พิจารณา (Stedinger 1984) ดังนั้น โค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำจึงเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งที่ใช้เป็นแนวทางในการเก็บน้ำ หรือระบายน้ำในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อให้การใช้งานของอ่างเก็บน้ำมีศักยภาพมากที่สุดและมีความจำเป็นที่ทุกอ่างเก็บน้ำ ต้องมีโค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำและในการสร้างโค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำนั้นต้องมีการเปลี่ยนแปลงทุก 3-5 ปี ทั้งนี้ เนื่องจากอาจมีการเปลี่ยนแปลงสภาพทางอุทกวิทยาและปริมาณความต้องการใช้น้ำแต่วิธีที่จะใช้ในการสร้างโค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำจะใช้วิธีใดก็ได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อมูลและความชำนาญของผู้ที่รับผิดชอบแต่ขอให้พิจารณาถึงข้อจำกัดและโอกาสของแต่ละวิธีเป็นสำคัญ

4.7 ข้อจำกัดในการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ มีข้อจำกัดและสมมติฐาน ดังนี้

1. ข้อจำกัดของการรวบรวมข้อมูล อุตุ-อุทกวิทยา เนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ขอบเขตของโรงงานอุตสาหกรรมเอทานอล ซึ่งอยู่ในลุ่มน้ำมูล เมื่อเปรียบเทียบกับลุ่มน้ำมูล พื้นที่ศึกษามีขนาดเล็ก ประเด็นปัญหาคือ จำนวนสถานีวัดข้อมูลด้านอุตุ-อุทก มีจำนวนน้อย และบางสถานีมีการตรวจวัดข้อมูล แล้วก็ปิดสถานี ไม่ทำการวัดข้อมูลต่อเนื่อง หรือบางปีข้อมูลขาดหายไป ทำให้ข้อมูลไม่ครบถ้วนสมบูรณ์
2. การศึกษาสมดุลน้ำของระบบลุ่มน้ำ จำเป็นต้องทราบปัจจัยต่างๆ ให้ครบถ้วน โดยเฉพาะความต้องการใช้น้ำสำหรับกิจกรรมในด้านต่างๆ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้

ไม่ได้ศึกษาหาความต้องการใช้น้ำเพื่อการเกษตรและชลประทาน ซึ่งโดยปกติแล้วเป็นกิจกรรมที่ใช้น้ำมากอยู่แล้ว ขึ้นอยู่กับพื้นที่และชนิดของพืชที่ปลูกรวมทั้งปัจจัยด้านอื่นๆ ด้วย

3. สมมติฐานของการใช้น้ำจากระบบลุ่มน้ำ ซึ่งปกติในลำน้ำ จะต้องมีน้ำไหลในลำน้ำอย่างน้อย 10-20 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำสูงสุด ซึ่งควรจะศึกษาหาจากโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา (Flow-Duration Curve)
4. การศึกษาครั้งนี้ไม่ครอบคลุมการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ สังคม และสิ่งแวดล้อม

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัยและอภิปรายงานผล

จากการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจ การเพิ่มขึ้นของประชากร ทำให้ประเทศไทยพัฒนาและส่งเสริมภาคอุตสาหกรรมมากขึ้น จึงทำให้ประสบปัญหาของการใช้น้ำทั้งในด้านของการขาดแคลนปริมาณน้ำและในบางพื้นที่อาจประสบปัญหาด้านคุณภาพน้ำด้วย ปัญหาการขาดแคลนน้ำ หรือ ภัยแล้งเป็นปัญหาที่เกิดจากสภาพดินฟ้าอากาศโดยเกิดภาวะฝนทิ้งช่วงยาวนาน ส่งผลกระทบต่อการใช้น้ำในด้านต่างๆ เช่น พื้นที่การเกษตรนอกเขตชลประทานหรือที่เรียกว่าพื้นที่เกษตรน้ำฝน ซึ่งไม่มีแหล่งน้ำที่มั่นคงมาสนับสนุนในภาวะที่เกิดภัยแล้ง รวมถึงภาวะการขาดแคลนน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภคในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นประจำเกือบทุกปีโดยเฉพาะพื้นที่ที่อยู่ห่างไกลจากแหล่งน้ำ หรือแม้แต่ในระบบการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม

การศึกษาสภาพลักษณะทางอุทกวิทยา และลักษณะทางกายภาพของพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล เพื่อรองรับและเตรียมการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำสำหรับระบบการผลิต ครั้งนี้โดยใช้วิธีการศึกษาวิเคราะห์รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ใกล้เคียงกับพื้นที่ที่ทำการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่เข้ามาในพื้นที่ที่ทำการศึกษา และข้อมูลภูมิอากาศอื่นๆ ของสถานีวัดอุตุนิยมวิทยา โดยวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ โดยข้อมูลปริมาณน้ำฝน วิเคราะห์ด้วยวิธีการแจกแจงล็อกเปียรสัน ชนิด III (Log-Pearson Type III) เพื่อคำนวณหารอบการเกิดซ้ำ (Return period) และวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่เข้ามาในพื้นที่ศึกษา โดยพิจารณาข้อมูลเป็นรายเดือน รวมทั้ง ศึกษาสภาพการใช้น้ำในปัจจุบัน สำหรับระบบการผลิตเอทานอล โดยนำมาวิเคราะห์ด้วยสมการสมดุลน้ำ ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

5.1.1 บริเวณพื้นที่ศึกษา มีปริมาณน้ำต้นทุน เฉลี่ยรายปี ประมาณ 62.265 ล้าน ลบ.ม.

5.1.2 การศึกษาหารอบปีการเกิดซ้ำ ได้เลือกใช้กรณี รอบปีการเกิดซ้ำ 1, 3, 5 และ 10 ปี มาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝน พบว่า ที่รอบปีการเกิดซ้ำ 1 ปี มีปริมาณฝนรวม 797 มม./ปี , รอบปีการเกิดซ้ำ 3 ปี มีปริมาณฝนรวม 1,125 มม./ปี ,รอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปี มีปริมาณฝนรวม 1,175 มม./ปี ,และรอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี มีปริมาณฝนรวม 1,245 มม./ปี และเลือกปริมาณน้ำฝนรายปีตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2526 ถึงปี พ.ศ. 2555 ที่ใกล้เคียงในรอบการเกิดซ้ำ 1, 3, 5 และ 10 ปี มาใช้เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำ พบว่า ปี พ.ศ. 2537 เป็นตัวแทนปริมาณน้ำฝนในรอบการเกิดซ้ำ 1 ปี คิด

เป็นปริมาณน้ำฝนรวม 778.3 มม./ปี ปริมาณน้ำฝนรวมปี พ.ศ. 2545 เป็นตัวแทนรอบการเกิดซ้ำ 3 ปี มีปริมาณน้ำฝนรวม 1106.6 มม./ปี ปริมาณน้ำฝนรวมของปี พ.ศ. 2552 เป็นตัวแทนรอบการเกิดซ้ำ 5 ปี มีปริมาณน้ำฝนรวม 1176.4 มม./ปี และปริมาณน้ำฝนรวมรายปีของปี พ.ศ. 2536 เป็นตัวแทนรอบการเกิดซ้ำ 10 ปี มีปริมาณน้ำฝนรวม 1218.8 มม./ปี

5.1.3 ศึกษาความต้องการใช้น้ำของโรงงานเอทานอลรวมเฉลี่ยรายเดือน เท่ากับ 453,512 ลบ.ม. และเฉลี่ยปีละเท่ากับ 5,442,150 ลบ.ม. โดยแยกเป็นน้ำเพื่อระบบการผลิตเฉลี่ยปีละ 2,609,750 ลบ.ม., เครื่องหล่อน้ำเย็นปีละ 2,226,500 ลบ.ม., เครื่องกรองน้ำ RO.เข้าระบบหม้อต้มไอน้ำปีละ 492,750 ลบ.ม., การล้างมันสำประหลังปีละ 91,250 ลบ.ม. และน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภคที่พักอาศัยปีละ 21,900 ลบ.ม.

5.1.4 สรุปผลการวิเคราะห์ด้วยสมการสมดุลน้ำ พบว่า

1. ในรอบการเกิดซ้ำ 1 ปี พบว่า ในเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคมและธันวาคม จำนวน 4 เดือน ปริมาณน้ำที่มีอยู่ไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำ และมีแนวโน้มที่จะขาดแคลนน้ำในช่วงเวลาดังกล่าว และในเดือนมิถุนายน ปริมาณน้ำมีแนวโน้มขาดแคลนและไม่เพียงพอ ซึ่งในเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม และธันวาคม มีปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ ประมาณ 1.80 ล้านลบ.ม. และเมื่อนำมารวมกับเดือนมิถุนายน ซึ่งมีแนวโน้มว่าจะขาดแคลน รวมเป็นปริมาณน้ำที่ขาดแคลนทั้งสิ้น 2.25 ล้าน ลบ.ม. ดังนั้นแนวทางแก้ไขปัญหา จึงควรจัดหาและพัฒนาแหล่งน้ำให้สามารถเก็บกักน้ำ ได้ไม่น้อยกว่า 2.25 ล้านลบ.ม. คิดเป็นมูลค่าการก่อสร้างทั้งสิ้น 137.464 ล้านบาท เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำของโรงงานผลิตเอทานอล ในช่วงเวลาดังกล่าว
2. ในรอบการเกิดซ้ำ 3 ปี พบว่า ในเดือนมกราคม กุมภาพันธ์และธันวาคม รวม 3 เดือน มีปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้เป็นปริมาณ 1.342 ล้านลบ.ม. คิดเป็นมูลค่าการก่อสร้าง 59.77 ล้านบาท
3. ในรอบการเกิดซ้ำ 5 และ 10 ปี พบว่า ในเดือนมกราคม มีปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการและมีแนวโน้มว่าในเดือนธันวาคม จะมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการเช่นกัน คิดเป็นปริมาณน้ำใช้รวม 0.924 ล้านลบ.ม. คิดเป็นมูลค่าการก่อสร้างทั้งสิ้น 40.73 ล้านบาท ซึ่งปริมาณน้ำที่ขาดแคลนในช่วงเดือนธันวาคม ถึงมีนาคมนั้น เป็นช่วงฤดูแล้ง ตามฤดูกาลปกติ

5.1.5 การวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำเพื่อการลำเลียงน้ำเข้าสู่ระบบการผลิตของโรงงานเอทานอล ได้วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษา และนำมากำหนด เพื่อเสนอแนวทางเลือกเพื่อการลำเลียงน้ำเข้าสู่ระบบการผลิตของโรงงานเอทานอลโดยมี 3 แนวทางเลือก ดังนี้

1. การส่งน้ำด้วยระบบท่อ ทั้งหมด โดยมีการขุดเจาะผ่านอุโมงค์ลอดช่องเขาบางส่วน
2. การส่งน้ำด้วยระบบท่อบางส่วน โดยสูบน้ำขึ้นเขา โดยสร้างบ่อพักน้ำ ขนาด 100,000 ลูกบาศก์เมตร แล้วปล่อยด้วยแรงโน้มถ่วง ด้วยระบบท่อส่งน้ำ
3. การส่งน้ำด้วยระบบท่อบางส่วน โดยสูบน้ำขึ้นเขา โดยสร้างบ่อพักน้ำ ขนาด 100,000 ลูกบาศก์เมตร แล้วปล่อยด้วยแรงโน้มถ่วง ด้วยคลองแบบทางน้ำเปิด

5.1.6 ขนาดอ่างเก็บน้ำที่ถูกเลือกจากการศึกษานี้ คือ ควรเลือกขนาดความจุอ่างเก็บน้ำที่สามารถเก็บกักน้ำได้ไม่น้อยกว่า 1.342 ล้านลบ.ม. และคิดเป็นความลึกเฉลี่ยของอ่างได้ประมาณ 4.20 เมตร และระยะเผื่อพ้นน้ำ ประมาณ 0.84 เมตร ซึ่งมีมูลค่าการก่อสร้างทั้งสิ้น 59.77ล้านบาท เนื่องจากการลงทุนก่อสร้างไม่สูงเกินไป เหมาะสมกับพื้นที่ที่เตรียมไว้ และขนาดของอ่างเก็บน้ำสามารถเก็บกักน้ำได้ในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำของโรงงานเอทานอลระยะเวลาไม่น้อยกว่าสามเดือน ซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้งปกติ หากเลือกลงทุนกับอ่างเก็บน้ำที่มีขนาดความจุน้อยกว่านี้ก็จะเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้งได้ และหากจะจะลงทุนสร้างอ่างที่มีความจุมากกว่านี้ก็จะสิ้นเปลืองงบประมาณเกินความจำเป็นทางโรงงานควรเลือกลงทุนกับการสร้างอ่างน้ำสำรองภายในโรงงานดีกว่าเพราะง่ายต่อการบำรุงรักษาและการก่อสร้าง

5.1.7 รูปแบบการลำเลียงน้ำสู่อ่างเก็บน้ำที่ถูกเลือกจากการศึกษานี้ คือ แนวทางที่ 2 เนื่องจากเหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศและต้นทุนการก่อสร้างไม่สูงเกินไปหากเทียบกับทางลำเลียงอื่น และที่สำคัญยังได้อ่างเก็บน้ำสำรองเพิ่มอีก ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำ

5.2 ข้อเสนอแนะ

แม้ว่าการศึกษาครั้งนี้ จะทำให้ทราบแนวทางและมีแผนการดำเนินการจัดการด้านทรัพยากรน้ำต่างๆ เช่น การสร้างอ่างเก็บน้ำเพิ่มแหล่งน้ำต้นทุนเพื่อช่วยกักเก็บน้ำน้ำต้นทุนในฤดูฝน เพื่อเก็บน้ำไว้ใช้ในฤดูแล้ง และการกำหนดเป้าหมายในการบริหารจัดการ อ่างเก็บน้ำแล้ว ก็ยังอาจจะไม่สามารถดำเนินการได้อย่างเต็มที่และเต็มศักยภาพ ทำให้การพัฒนาโครงการแหล่งน้ำ เช่น การสร้างอ่างเก็บน้ำ อาจจะไม่ใช่คำตอบสุดท้าย เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้มีข้อจำกัด และระยะเวลาการศึกษา ผู้ศึกษาจึงมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ควรศึกษา หาแนวทางเลือกอื่นๆ เพิ่มเติม เพื่อประกอบการตัดสินใจที่หลากหลายขึ้น เช่น การผันน้ำจากเขื่อนลำแชะมายังโรงงานผลิตโดยตรง นอกจากจะมีความมั่นคงด้านปริมาณน้ำที่จัดสรรเพื่อการผลิตอย่างชัดเจนแล้ว ยังมั่นใจในเรื่องของคุณภาพน้ำได้
2. แนวทางเลือก ที่ผู้ศึกษาได้เสนอ เป็นเพียงการศึกษาเบื้องต้น หากจะนำไปปฏิบัติจริง ควรทำการศึกษาความเหมาะสมของโครงการ สำรวจ และออกแบบในรายละเอียดอีกครั้งหนึ่ง เพื่อศึกษาทบทวนข้อมูล สภาพภูมิประเทศ และภูมิอากาศ เป็นต้น
3. เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ มุ่งเน้นการนำเสนอการบริหารจัดการในแง่มุมด้านเทคนิคและวิศวกรรม เท่านั้น ไม่ครอบคลุมด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ในอนาคตควรศึกษาเพิ่มเติม เพื่อให้ครอบคลุมในทุกมิติ และเพื่อให้ได้มายังโครงการที่มีความเหมาะสม เป็นที่ยอมรับของทุกฝ่าย
4. การศึกษาด้านวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากมาย เริ่มตั้งแต่ข้อมูลที่ใช้ ช่วงระยะเวลาของข้อมูล สภาพความเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ สภาพการเปลี่ยนแปลงของการใช้ที่ดิน ความไม่แน่นอนของปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นในระบบลุ่มน้ำหรือสภาพทางอุทกวิทยา ดังนั้น ในอนาคตการศึกษาและวิเคราะห์ควรประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการศึกษาและวิเคราะห์ ซึ่งจะทำให้มีความสมเหตุสมผลมากยิ่งขึ้น
5. การศึกษาในอนาคตควรศึกษาเป็นระบบลุ่มน้ำ และศึกษาการใช้น้ำในด้านต่างๆ ให้ชัดเจน เช่น การใช้น้ำเพื่อการเกษตรและชลประทาน เพื่อให้ทราบถึงสมดุลน้ำในระบบลุ่มน้ำอย่างแท้จริง นอกจากนั้น ควรติดตั้งสถานีวัดน้ำเพิ่มเติม เพื่อวัดปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ และปริมาณน้ำที่ส่งเข้าสู่ระบบการผลิตของโรงงานเอทานอล

เอกสารอ้างอิง

กองจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา. 2538. **งานวิจัยการใช้น้ำชลประทานของพืช กองจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา กรมชลประทาน**, กรุงเทพฯ.

กองวางโครงการ. 2539. **เอกสารทางวิชาการ การวัดการรั่วซึมบนแปลงเพาะปลูก กรมชลประทาน**, กรุงเทพฯ.

เขมชาติ ศุภวัฒนกุล. 2529. **การใช้น้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุดในโครงการชลประทานประเภทเขื่อนหรือฝายทดน้ำ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ฉลอง เกิดพิทักษ์ และ ชัยวัฒน์ ขยันการนาวี. 2523. **การวางแผนส่งน้ำก่อนการเพาะปลูก, กรมชลประทาน**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ทองเปลว กองจันทร์. 2553.**โค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ.** (ออนไลน์) ได้จาก: http://kmcenter.rid.go.th/kmc17/datafile/dd62.1.doc

บุษรา พัฒนประเสริฐ. 2523. **การจัดการส่งน้ำประจำสัปดาห์ในพื้นที่โครงการเจ้าพระยาทุ่งฝั่งตะวันออกตอนล่าง** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปรียาพร โกษา. 2555. **วัฏจักรน้ำ (ออนไลน์)** ได้จาก http://eng.sut.ac.th/ce/index.php?option=com_content&view=article&id=145&Itemid=223&lang=th

พิชิต เดชนีรนาท. 2546. **บทความ เอทานอลแหล่งพลังงานใหม่ของไทย.** ฐานข้อมูลดรรชนีวารสาร กรุงเทพฯ.

วินัย วังพิมูล. 2547. **การศึกษาการใช้น้ำโครงการห้วยโมง จังหวัดหนองคาย** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิโรจน์ ชัยธรรม. 2536. **อุทกวิทยา. หน่วยสารบรรณ งานบริหารและธุรการ** คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิยาลัยขอนแก่น ครั้งที่ 2.

วีระพล แต้สมบัติ. 2531. **อุทกวิทยาประยุกต์. สำนักพิมพ์ฟิสิก์เซ็นเตอร์.** สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร. 2554. น้ำใช้เพื่อการรักษาระบบนิเวศท้ายน้ำลุ่มน้ำมูล (ออนไลน์) ได้จาก: http://www.haii.or.th/wiki/index.php

อดิศร สราวิช. 2554. **การบริหารจัดการน้ำในพื้นที่การเกษตร กรณีศึกษา หมู่บ้านโคกล่าม ตำบลดงลิง อำเภอกมลาไสย จังหวัดกาฬสินธุ์**, โครงงานปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา

ประวัติผู้เขียน

นายปิยะศักดิ์ ผายเงิน เกิดเมื่อวันที่ 15 ตุลาคม 2515 ที่จังหวัดสกลนคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา ในปี 2538 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี ในปี 2554 ที่อยู่ ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 88/30 หมู่ 8 ตำบลเทพารักษ์ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ โทรศัพท์ 086-9072555 Email Piyasak.tpk@hotmail.com ด้านการทำงาน ปี 2538 – 2539 วิศวกรโยธา บริษัท วีเจ.ดีเวลล๊อปเมนต์ จำกัด กรุงเทพมหานคร ปี 2539 – 2550 วิศวกรโครงการ บริษัท เอส แอนด์ แอสโซซิเอทส์ จำกัด กรุงเทพมหานคร ปี 2550 ถึงปัจจุบัน ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรมโยธา บริษัท ที พี เคเอทานอล จำกัด อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา สถานที่ทำงาน บริษัท ที พี เคเอทานอล จำกัด เลขที่ 222 หมู่ 8 ตำบลตะแบกบาน อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา 30250 โทร 081-7101155