

รหัสโครงการ SUT7-712-50-12-77



รายงานการวิจัย

การศึกษากระบวนการควบคุมสมดุลของน้ำและดินเค็มของ
พื้นที่ดินเค็มในลุ่มน้ำมูล
(Process Controls of Water Balance and Salinization of
Saline Land in Mun Subcatchment)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉัตรชัย โชติษฐียงกูร

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

อ. เชาวน์ หิริญติยะกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ ต้นเส็ง

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2550

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กรกฎาคม 2553

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ศึกษาขอขอบคุณสำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน และสำนักงานอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน ศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง จ. นครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่สนับสนุนเงินอุดหนุนการวิจัย ขอขอบคุณสถานวิจัย สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ตลอดจน สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ที่ได้อำนวยความสะดวกต่างๆ ตลอดระยะเวลาการดำเนินงาน โครงการวิจัยนี้

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองอุทกวิทยาสมดุลของน้ำในระยะยาวอย่างเป็นระบบ สำหรับลุ่มน้ำย่อยที่มีปัญหาดินเค็มในลุ่มแม่น้ำมูล การสร้างแบบจำลองใช้ขั้นตอนตามวิธีบนลงล่าง (Downward approach) เริ่มจากแบบจำลองอย่างง่ายมีความซับซ้อนน้อยและมีจำนวนพารามิเตอร์ที่เหมาะสมตามความจำเป็น บนพื้นฐานของข้อมูลภูมิอากาศ ดิน พืชพรรณ ที่ควบคุมสมดุลของน้ำในลุ่มน้ำ การพัฒนาแบบจำลองนี้ได้เลือกลุ่มน้ำลำพังชู ลุ่มน้ำสาขาของแม่น้ำมูลเป็นพื้นที่ศึกษาซึ่งมีปัญหาเป็นพื้นที่ดินเค็ม และมีข้อมูลการเจาะสำรวจสถานภาพดินเค็มจำนวนมากใช้ทำแผนที่ดินเค็ม ผลการพัฒนาแบบจำลองรายวันโดยใช้ เส้นกราฟอัตราการไหลและ ช่วงเวลาการไหล (Flow duration Curve) เปรียบเทียบระหว่างผลจากแบบจำลองและข้อมูลการวัด พบว่าแบบจำลองอย่างง่ายที่มีกระบวนการ การไหลออกจากส่วนเกินอิมตัว การไหลใต้ดิน การระเหยจากผิวดินเปล่า การคายระเหยของพืช และการไหลของน้ำใต้ดิน มีความเพียงพอหากคิดรวมการแปรได้ของความลึกดินและฝนโดยใช้ดังหลายใบในแบบจำลอง สำหรับแบบจำลองรายวัน จำเป็นต้องเพิ่มความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บน้ำและอัตราการไหลเป็นแบบไม่เป็นเส้นตรง สำหรับการไหลของน้ำใต้ผิวดิน และเพิ่มการหลากในลำน้ำ การแปร ได้ตามพื้นที่ของความลึกของดินและภูมิอากาศ เป็นปัจจัยควบคุมสมดุลน้ำที่สำคัญ ผลการสำรวจความเค็มของน้ำในแม่น้ำมูล และในน้ำใต้ดินพบว่าความเค็มมีความแตกต่างกันตามพื้นที่และเวลา ในช่วงฤดูฝนความเค็มในน้ำใต้ดินมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ในน้ำแม่น้ำมูลลดลง จากลักษณะเฉพาะของดิน ในจังหวัดนครราชสีมาที่เป็นดินพังงาย ความสัมพันธ์ระหว่างสมดุลของน้ำในลุ่มน้ำ และการเคลื่อนที่ของความเค็มจะต้องมีการศึกษาคือไปทั้งในระดับแปลงทดลองและในห้องปฏิบัติการ

Abstract

The objective of this study is to develop a hydrological model for long-term water balance with a systematic approach for a salt-affected catchment of Mun River basin. The formulation of hydrological models starts with a systematic "downward approach". Complexity is added in steps from a simple model with minimum number of physical parameters based on an examination of the climate, soil and vegetation controls on water balance. This development is carried out using observed daily data from Lam Phang Chu catchment of Mun River where is the salt-affected area. Soil information from intensive boring, producing a salinity map, is available in this area. By using flow duration curve as a comparing signature, a simple water balance model including the processes of saturation excess overland flow, subsurface runoff, bare soil evaporation, evapotranspiration is found adequate, provided spatial variability of soil depths and rainfall are introduced through multiple buckets. At the daily time scale, inclusion of non-linearity in the storage-discharge relationship for subsurface flows and stream routing were important. Both spatial variability of soil depth and climate appear to be the most important control on runoff variability. Field collecting and testing of saline water from water flow in Mun River and from subsurface water in piezometers show that the space-time variability of observed salinity is very high. For rainy season, salinity is slightly increased in subsurface water. In the other hand, salinity is decreased in water flow in Mun River. Due to special soil characteristic called erodible soil mostly found in Nakorn Ratchasima province, further study of the relationship between catchment water balance and salinity convection is required for both plot and laboratory scale

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1-1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1-2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1-2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	1-2
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	2-1
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การรวบรวมข้อมูล	3-1
3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล	3-2
3.3 การพัฒนาแบบจำลองสมมูลของน้ำ	3-3
3.4 การวางแผน การสำรวจ เตรียมการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการและระดับไร่นา... ..	3-4
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 กลุ่มน้ำที่ศึกษา.....	4-1
4.2 แบบจำลองสมมูลของน้ำรายปี.....	4-2
4.3 แบบจำลองสมมูลของน้ำรายเดือน.....	4-4
4.4 แบบจำลองสมมูลของน้ำรายวัน.....	4-8
4.5 ผลการสำรวจความเค็มในกลุ่มน้ำมูล.....	4-15
4.6 แผนการศึกษาในระดับไร่นาและการทดลองในห้องปฏิบัติการ.....	4-19
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการศึกษา	5-1
5.2 ข้อเสนอแนะ	5-2
บรรณานุกรม	5-3
ภาคผนวก	

ภาคผนวก ก รายชื่อสถานีวัดน้ำฝน ภูมิอากาศ สถานีวัดน้ำท่า และ สถานีเก็บตัวอย่างน้ำ.....	ผ-1
ภาคผนวก ข ข้อมูลความลึกของชั้นดิน.....	ผ-7
ภาคผนวก ค การแบ่งลุ่มน้ำย่อยและลักษณะลุ่มน้ำย่อย.....	ผ-14
ภาคผนวก ง ขอบเขตลุ่มน้ำและการคำนวณหาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั้งพื้นที่.....	ผ-26
ประวัติผู้วิจัย	ผ-32

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3-1 รายการข้อมูลที่รวบรวมและหน่วยงานที่ติดต่อขอข้อมูล.....	3-1
ตารางที่ 4-1 ลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำเฉลี่ยตามพื้นที่.....	4-7
ตารางที่ 4-2 พารามิเตอร์เฉลี่ยตามพื้นที่สำหรับแบบจำลองชุดที่ 2 รายเดือน.....	4-8
ตารางที่ 4-3 พารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองสมดุลของน้ำรายวัน ของกลุ่มน้ำลำพังชู.....	4-14
ตารางที่ 4-4 ค่าความเต็มวัดที่ 7 สถานี ในลำน้ำมูล วัดในรูปค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) ที่ช่วงเวลาต่างๆ.....	4-17
ตารางที่ 4-5 ความลึกของน้ำใต้ดินวัดจากผิวดิน ใน piezometers ที่ลึก 15 เมตร ที่จุดที่สำรวจ 7 จุดตัวอย่าง และที่ช่วงเวลาต่างๆ.....	4-18
ตารางที่ 4-6 ค่าความเต็มวัดที่ 7 จุดสำรวจ วัดจากน้ำใต้ดินใน piezometers ที่ลึก 15 เมตร วัดในรูปค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) และที่ช่วงเวลา ต่างๆ.....	4-19

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 แสดงการติดตั้งระบบการทดลองของ Akudago et. al. (2009).....	2-3
รูปที่ 2-2 แสดงภาพอุปกรณ์การทดลองของ Akudago et. al. (2009).....	2-3
รูปที่ 2-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาของ Column 1 ผลจากการทดลองของ Akudago et. al. (2009).....	2-4
รูปที่ 4-1 ที่ตั้งโครงข่ายลำน้ำและขอบเขต ลุ่มน้ำลำพังชู	4-2
รูปที่ 4-2 การเปรียบเทียบผลการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองและจากการวัดสำหรับ แบบจำลองประเภทแรกที่ใช้ข้อมูลใส่เข้ารายปี.....	4-4
รูปที่ 4-3 การเปรียบเทียบผลการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองและจากการวัดสำหรับ แบบจำลองประเภทแรกที่ใช้ข้อมูลใส่เข้ารายเดือน.....	4-5
รูปที่ 4-4 การเปรียบเทียบผลการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองและจากการวัดสำหรับ แบบจำลองประเภทที่สองที่ใช้ข้อมูลใส่เข้ารายเดือน.....	4-9
รูปที่ 4-5 การเปรียบเทียบผลการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองและจากการวัดสำหรับ แบบจำลองรายเดือนที่ใช้ข้อมูลใส่เข้ารายวัน (a) การแปร ได้ของการให้น้ำท่า ระหว่างปี , (b) การแปร ได้ของการให้น้ำท่าภายในปี ,(c) กราฟอัตราการไหล- ช่วงเวลา.....	4-10
รูปที่ 4-6 การกระจายของความลึกของดินแยกตามชุดดินตัวอย่าง 5 ชุดดิน และการใช้ จำนวนถึงหลายขนาดแสดงการกระจายตัวของความลึกดิน สำหรับลุ่มน้ำย่อยหนึ่ง..	4-13
รูปที่ 4-7 การเปรียบเทียบผลการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองและจากการวัดสำหรับ แบบจำลองรายวัน (a) การแปร ได้ของการให้น้ำท่าระหว่างปี , (b) การแปร ได้ ของการให้น้ำท่าภายในปี (c) กราฟอัตราการไหล-ช่วงเวลา, (d) กราฟอัตราการไหล- ช่วงเวลา ระหว่างมีการหลากกับไม่มีการหลาก.....	4-16
รูปที่ 4-8 แสดงระบบการจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน ในห้องปฏิบัติการ.....	4-21

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัญหาที่สำคัญของการใช้ประโยชน์ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือคือปัญหาดินเค็ม จากหลักฐานแผนที่ของ George Phillip ซึ่งพิมพ์มากกว่า 65 ปี พบว่ามีพื้นที่ดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือแล้ว แต่สมัยนั้นประชากรในประเทศไทยยังมีน้อย มีความต้องการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรไม่มากนัก ต่อมาเมื่อเริ่มใช้แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ที่เน้นรายได้ของประเทศจากการส่งสินค้าออกทางการเกษตร ทำให้เกิดความต้องการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรมากขึ้น มีการบุกรุกทำลายป่ามากขึ้น ส่งผลให้ปัญหาดินเค็มมีความรุนแรงและพื้นที่ดินเค็มขยายมากขึ้น กรมพัฒนาที่ดินได้ใช้ปริมาณคราบเกลือที่พบบนผิวดินในฤดูแล้ง ในการจำแนกระดับผลกระทบจากดินเค็ม ผลการสำรวจการแพร่กระจายของดินเค็มของภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่า (1) พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากเกลือมากที่สุด พบคราบเกลือที่ผิวดิน มากกว่าร้อยละ 50 มีพื้นที่ 235,000 ไร่ (2) พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากเกลือมาก พบคราบเกลือที่ผิวดิน ร้อยละ 10 - 50 มีพื้นที่ 1,099,000 ไร่ (3) พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากเกลือปานกลาง พบคราบเกลือที่ผิวดิน ร้อยละ 1 - 10 มีพื้นที่ 5,576,000 ไร่ (4) พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากเกลือน้อย พบคราบเกลือที่ผิวดิน น้อยกว่าร้อยละ 1 มีพื้นที่ 23,121,000 ไร่ จากพื้นที่ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั้งหมด 105,533,963 ไร่

ปัญหาสำคัญที่เกี่ยวข้องเนื่องกันคือการขาดความอุดมสมบูรณ์ในดินอันเนื่องจากลักษณะโครงสร้างของดินที่เป็น ดินพังง่าย (erodible soil) ซึ่งเป็นดินที่มีปริมาณดินเหนียวต่ำ จึงมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินต่ำด้วย ซึ่งเมื่อไม่มีพืชปกคลุมดินและมีน้ำไหลผ่านจะถูกกัดเซาะและถูกพัดพาไปกับกระแสน้ำได้ง่าย ดินอีกชนิดหนึ่งก็คือดินกระจายตัว (dispersive soil) ดินชนิดนี้เป็นดินเหนียวมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินดีและน้ำซึมผ่านได้ยาก แต่หากการใช้พื้นที่ดินเปลี่ยนไปทำให้ดินต้องแช่น้ำ น้ำก็จะสามารถไหลซึมผ่านเข้าไปในเนื้อดินได้เพิ่มขึ้น จนเกิดกระบวนการกัดเซาะและพัดพา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาสมดุลของน้ำระยะยาวและปัจจัยกระบวนการที่ควบคุมการหมุนเวียนเส้นทางการเดิน และ วัฏจักรของน้ำระดับลุ่มน้ำ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาลักษณะความเปลี่ยนแปลงของสมดุลของน้ำทั้งตามพื้นที่และตามเวลา
- 1.2.3 เพื่อกำหนดแนวทางการสำรวจและศึกษาในระดับไร่นา และการทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อประเมินแนวทางการแก้ปัญหาดินเค็ม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้จะทำการศึกษาทั้งระดับลุ่มน้ำสาขาของกลุ่มน้ำมูลในจังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดใกล้เคียง โดยจะเลือกลุ่มน้ำย่อยเป้าหมายซึ่งมีปัญหาดินเค็มรุนแรงและเป็นลุ่มน้ำที่มีข้อมูลทางกายภาพ อุทกวิทยา อุทกธรณี มากเพียงพอ และในระดับไร่นาเกษตรกร ได้ศึกษาลักษณะปัญหาและการแก้ปัญหาดินเค็มของเกษตรกร นำไปสู่การวางแผนการสำรวจลักษณะชั้นดิน เก็บตัวอย่างดิน และติดตั้งอุปกรณ์เพื่อการติดตามความเปลี่ยนแปลงความเค็มในดิน ทั้งตามพื้นที่และตามเวลา ในสนามและนำมาทดสอบในห้องปฏิบัติการ ในระยะต่อไป

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

- 1.4.1 ได้องค์ความรู้เรื่องสาเหตุและปัจจัยกระบวนการที่ควบคุมสมดุลของน้ำในลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มแม่น้ำมูล ซึ่งจะเชื่อมโยงกับการหาสาเหตุการแพร่กระจายของความเค็มต่อไป
- 1.4.2 ได้แบบจำลองทางอุทกวิทยาที่มีความเหมาะสมกับลุ่มแม่น้ำมูล เป็นประโยชน์ต่อการศึกษากการแก้ปัญหาดินเค็ม
- 1.4.3 ได้แผนการสำรวจและศึกษาระดับแปลงนา และในห้องปฏิบัติการ เพื่อการประเมินผลวิธีการปรับปรุงดินวิธีต่างๆ ให้เหมาะสมกับสภาพดินและสิ่งแวดล้อมของพื้นที่ลุ่มน้ำมูล

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

พื้นที่ดินประมาณร้อยละ 17 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปัญหาดินเค็มในระดับต่างๆ (Arunin, 1984) มีผู้เสนอทฤษฎีการเกิดขึ้นของดินเค็มไว้หลายทฤษฎี (Sinanuwong and Takaya, 1974a; 1974b; Mc Gowan Int. Pty. Ltd., 1983; JICA, 1991; Kohyama et al., 1993) ส่วนใหญ่เห็นตรงกันว่า ความเค็มเกี่ยวข้องกับชั้นหินมหาสารคามที่ลึกลงไปอย่างน้อย 60 เมตร และมีชั้นหินเกลือแทรกอยู่ เกลือเหล่านี้ขึ้นมาสู่ผิวดินได้ โดยน้ำใต้ดินเป็นผู้พาขึ้นมา เพราะบริเวณพื้นที่ดินเค็มจะพบน้ำใต้ดินเป็นน้ำเค็มด้วย และมีความเชื่อว่า การกระจายตัวของดินเค็มมากขึ้นเป็นผลจากระดับน้ำใต้ดินที่เป็นน้ำเค็มมีระดับสูงขึ้นเนื่องจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การตัดต้นไม้ ทำลายป่า การทำนาเกลือ การสร้างเขื่อน ถนนและอ่างเก็บน้ำ กิจกรรมเหล่านี้ยักรบกวนการทำนาเกลือ เชื่อว่าเป็นต้นเหตุทำให้ปัญหาดินเค็มมีความรุนแรงมากขึ้น

กระบวนการเกิดความเค็มในดินมีความแตกต่างกันทั้งตามพื้นที่และเวลา การศึกษาจึงมักแยกเป็น 2 ระดับ คือระดับไร่นา ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็ว และระดับลุ่มน้ำซึ่งเป็นกระบวนการที่ช้ากว่า และแต่ละระดับควรแบ่งลักษณะพื้นที่ออกเป็นที่ดอน เนินเขา และที่ลุ่มน้ำท่วมถึง เป็นต้น

กรมพัฒนาที่ดินได้ดำเนินการศึกษาปัญหาดินเค็มต่อเนื่องมาเป็นเวลานาน ในช่วงปีพ.ศ. 2535-2542 ได้ใช้งบประมาณจากโครงการโขง ชี มูล ติดตั้งบ่อสังเกตการณ์น้ำใต้ดิน (Piezometer) จำนวน 25 พื้นที่ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมเป็นบ่อสังเกตการณ์น้ำใต้ดินทั้งหมด 4,848 บ่อ ได้วัดความเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ วัดค่าการนำไฟฟ้า (ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความเค็มของน้ำใต้ดิน) และเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ทางเคมี จากผลการศึกษาพบว่าค่า Electromagnetic terrain ซึ่งวัดได้ง่ายกว่าที่ผิวดิน มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำใต้ดิน ที่ระดับความลึกเดียวกัน และจากผลการศึกษาทำให้สามารถสร้างแผนที่ดินเค็มที่สมบูรณ์ได้ในที่สุด

Kohyama and Subhassram (1993) ดำเนินการสำรวจภาคสนามที่ ตำบลพระยืน อ. บ้านไผ่ จ. ขอนแก่น เป็นการวัด Electro-magnetic induction ร่วมกับ การวัดค่าความเค็มของดินในรูปของ Electro-conductivity (EC) การศึกษาพบว่าเกลือที่เกิดขึ้นในดินชั้นบนถูกส่งผ่านมาแหล่งเกลือจากดินชั้นล่างที่อยู่ลึกลงไปกว่า 30 เมตร สำหรับพื้นที่ที่มีความลาดชันน้ำฝนที่ซึมลงสู่ดินในที่สูงเป็นน้ำจืด เมื่อไหลซึมในดินมาตามแนวลาดเอียงเหนือชั้นที่บ่อน้ำในลักษณะ Unconfined aquifer ได้ระยะหนึ่งจะมีน้ำเค็มจากดินชั้นล่างไหลขึ้นมาปนด้วย ทำให้น้ำใต้ดินที่ไหลต่อไปถึงจุดต่ำสุดของ

ความลาดชันมีความเค็มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการพบดินที่มี EC มากบริเวณ Low terrace หรือ Alluvial plains valley และ Concave part ของ Low terrace

การแพร่กระจายของความเค็มเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะ คือลักษณะแรก เคลื่อนที่ในแนวตั้งจากดินชั้นล่างสู่ผิวดิน และลักษณะที่สองคือการเคลื่อนที่ในแนวนอน ดังนั้นการหยุดการแพร่กระจายของความเค็ม จะต้องควบคุมการเคลื่อนที่ของเกลือทั้ง 2 ทิศทาง เทคนิควิธีการควบคุมนี้ จะใช้แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่เนื่องจากสภาพทางกายภาพ เงื่อนไขทางธรรมชาติ และสภาพทางสังคมที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาที่ผ่านมา แนะนำว่า ยุทธวิธีในการแก้ปัญหาดินเค็ม ควรแบ่งออกเป็น ระยะสั้น และระยะยาว (Arunin 1984; Puengpan 1992; Puengpan et al. 1993)

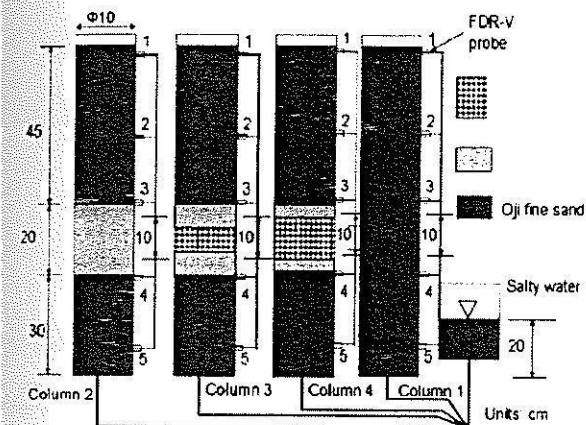
การแก้ปัญหาในระยะสั้นเช่น การใช้น้ำล้างเกลือออกจากเขตรากพืช การปรับปรุงดิน การปลูกพืชทนเค็ม สามารถทำได้ทันที ไม่ยากเกินไป และค่าใช้จ่ายไม่สูง เกษตรกรมีกำลังที่จะดำเนินการได้เอง ส่วนในระยะยาว เช่น การลดระดับน้ำใต้ดิน เป็นการจัดการระดับลุ่มน้ำที่ภาครัฐจะต้องเข้ามาดำเนินการ การลดระดับน้ำใต้ดิน เพื่อลดความชื้นในดินและตัดโอกาสการเกิด Capillary rise ของน้ำเค็ม แทรกเข้าไปในดินชั้นบน อาจใช้วัสดุคลุมรุมหญ้า (Topark-Ngarm, 1988) หรือ Polyvinnyl alcohol (Dejbbimon, et al. 1993) แทรกในชั้นดินเพื่อป้องกันการเกิด Capillary rise

การปลูกต้นไม้ยืนต้นกันระหว่างพื้นที่ดินเค็มและพื้นที่ดินไม่เค็มจะช่วยลดแรงดันน้ำใต้ดินที่เป็นน้ำเค็มใน Semi-confined aquifer ที่จะดันน้ำเค็มขึ้นสู่ผิวดิน โดยไม่ทำให้น้ำในบ่อน้ำตื้นของชาวบ้านแห้งไปด้วย ช่วยลดการกระจายของเกลือตามความลาดเอียงของพื้นที่ และลดการกัดเซาะหน้าดินและตะกอนดิน (Wada et al. 1994)

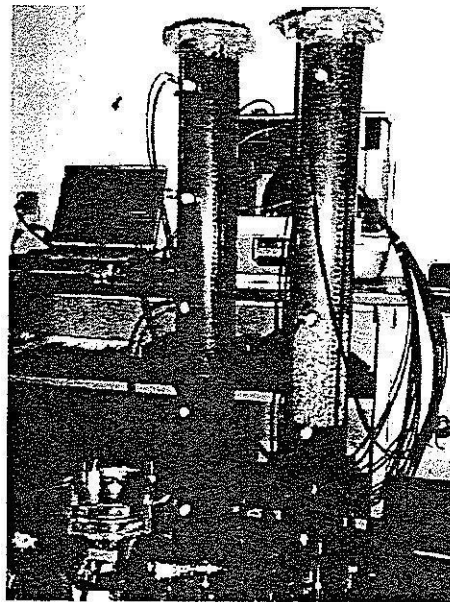
จากอดีตถึงปัจจุบันมีการศึกษาหาเหตุผลของปัญหาดินเค็มอย่างกว้างขวาง และเสนอแนะวิธีการบรรเทาปัญหารูปแบบต่างๆ แต่การจัดการดินเค็มที่เหมาะสมและยอมรับได้โดยเกษตรกร ยังมีการศึกษาน้อยและยังไม่เห็นผลในทางปฏิบัติที่ชัดเจน

Akudago et. al. (2009). ทำการศึกษากระบวนการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของน้ำใต้ดินซึ่งมีความเค็ม และการตัดกระบวนการเคลื่อนที่นั้น โดยการออกแบบการทดลองและเงื่อนไข โดยใช้ดินทราย (Oji sand) ในการทดลอง และกรวด แทรกระหว่างทรายเพื่อตัดกระบวนการดึงดูของเหลวของช่องว่างในดินแสดงดัง รูปที่ 2-1 และ รูปที่ 2-2

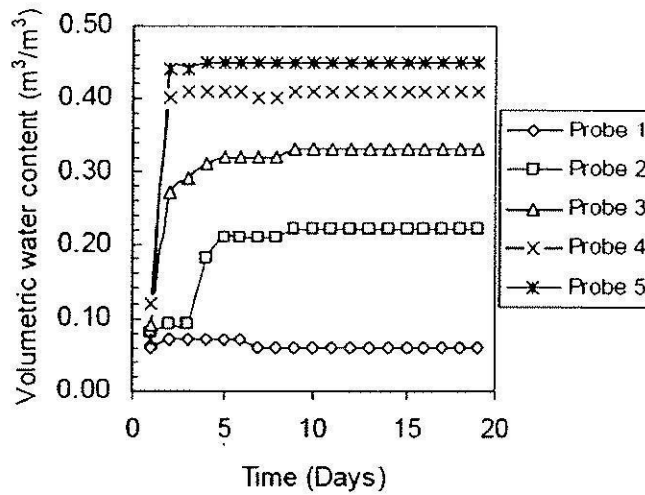
Specific gravity (g cm^{-3})	2.67
Porosity	0.45
Average particle size (mm)	0.26
Salt concentration (%)	10
Electrical conductivity of salt solution (mS/cm)	100.5
Temperature of salty soil water ($^{\circ}\text{C}$)	14.8
Saturated Permeability of Sand (cm^2/s)	$2.05\text{E-}03$
Initial conductivity of saturated soil ($\mu\text{S cm}$)	150
Temperature of initial saturated sample ($^{\circ}\text{C}$)	13



รูปที่ 2-1 แสดงการติดตั้งระบบการทดลอง Akudago et. al. (2009)



รูปที่ 2-2 แสดงภาพอุปกรณ์การทดลอง ของ Akudago et. al. (2009)



รูปที่ 2-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาของ Column 1 ผลจากการทดลองของ Akudago et. al. (2009)

ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ระดับน้ำใต้ดินมีอิทธิพลต่อการปนเปื้อนสารละลายเกลือของดิน แรงดึงดูดของเหลวของช่องว่างในดิน มีอิทธิพลอย่างมากต่อการเคลื่อนที่ของสารละลายเกลือ แสดงดัง รูปที่ 2-3 และสามารถใช้กรวดในการตัดกระบวนการเคลื่อนที่ของสารละลายเกลือได้

Prathapat et al. (1992) ทำการเปรียบเทียบแบบจำลองการทำนายกระบวนการดึงดูดของเหลวของช่องว่างในดิน ของพื้นที่ดินเค็มที่มีระดับน้ำใต้ดินไม่ลึกระหว่าง QSSAM (quasi steady state analytical model) TSAM (transient state analytical model) และ NM (numerical model) กับ ข้อมูลที่วัดได้จริงในสนาม ผลการเปรียบเทียบระหว่างความลึกกับค่าการนำไฟฟ้า พบว่าผลจาก numerical model มีค่าใกล้เคียงกับผลการวัดในสนามมากที่สุด

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การรวบรวมข้อมูล

เพื่อศึกษาสภาพพื้นที่เป้าหมาย ในระดับลุ่มน้ำย่อย สภาพปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหาที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน จำเป็นต้องสำรวจหาแหล่งข้อมูลทุติยภูมิต่างๆ ปัจจุบันมีข้อมูลจำนวนมากจากการสำรวจและศึกษาของหน่วยงานภาครัฐและองค์กรความร่วมมือระหว่างประเทศ แต่ยังคงจัดกระจายอยู่ตามที่ต่างๆ ด้วยเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลในปัจจุบัน จะช่วยให้เห็นความสัมพันธ์ของข้อมูลเหล่านี้ชัดเจนมากขึ้น รายการข้อมูลที่ต้องรวบรวมมีดังนี้

ตารางที่ 3-1 รายการข้อมูลที่รวบรวมและหน่วยงานที่ติดต่อขอข้อมูล

ลำดับที่	รายการข้อมูล	ชื่อหน่วยงานที่มีข้อมูล
1	สถานีวัดน้ำฝนและข้อมูลน้ำฝน	กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา
2	ความถี่-ความเข้ม-ช่วงเวลาของฝน	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
3	สถานีวัดน้ำท่าและข้อมูลน้ำท่า	กรมชลประทาน
4	ภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงเวลาต่างๆ	สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISDA)
5	แผนที่ภูมิประเทศ	กรมแผนที่ทหาร
6	แผนที่ชุดดินระดับจังหวัด	กรมพัฒนาที่ดิน
7	รายงานการสำรวจดินของจังหวัด	กรมพัฒนาที่ดิน
8	รายงานการเจาะสำรวจติดตั้ง Piezometers และข้อมูลระดับน้ำและความเค็มของน้ำใต้ดิน	กรมพัฒนาที่ดิน
9	แผนที่ความเหมาะสมการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตร	กรมพัฒนาที่ดิน
10	แผนที่ดินเค็มระดับจังหวัด	กรมพัฒนาที่ดิน
11	โครงการพัฒนาแหล่งน้ำในพื้นที่ และการจัดการน้ำ	กรมชลประทาน
12	การสำรวจติดตามคุณภาพน้ำในลำน้ำธรรมชาติ	กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

การเลือกพื้นที่เป้าหมายมีหลักการเลือกดังนี้

1. มีปัญหาดินเค็มในระดับรุนแรง ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำมูล
2. มีข้อมูลหัตถ์ภูมิคลังรายการข้างต้นเพียงพอที่ใช้ในการศึกษาได้
3. มีกลุ่มเกษตรกรที่สนใจ ร่วมมือกับผู้วิจัยในการศึกษาทดลองระดับไร่นา

การสำรวจข้อมูลเบื้องต้นในสนามโดยการสอบถาม สัมภาษณ์ ถึง สภาพปัญหาและวิธีการบรรเทาปัญหาในปัจจุบัน มีความสำคัญและจะดำเนินการควบคู่ไปเมื่อกำหนดพื้นที่เป้าหมายที่ชัดเจนแล้ว

รายชื่อสถานีวัดน้ำฝน สถานีตรวจวัดภูมิอากาศ สถานีวัดน้ำท่า และสถานีเก็บตัวอย่างน้ำ แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่มีการบันทึกทั้งทางอุทกวิทยา และทางชลศาสตร์ของกลุ่มน้ำ ที่รวบรวมได้จะนำมาตรวจสอบความถูกต้อง และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของลักษณะกลุ่มน้ำในด้านต่าง ๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับการกำหนดค่า พารามิเตอร์ของแบบจำลองสมดุลของน้ำต่อไป

ก. กระบวนการเกิดน้ำท่า

กระบวนการเกิดน้ำท่า (Runoff Generation Processes) มีความเป็นไปได้หลายกระบวนการ เช่น Infiltration excess runoff, Saturation excess runoff, Sub-surface runoff และ Groundwater runoff เป็นต้น แต่ละกระบวนการมีปัจจัยควบคุมทางกายภาพที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์หาสาเหตุที่มาของการเกิดน้ำท่าจากพื้นที่ขนาดเล็ก เช่น ที่ลาดไหล่เขา (Hillslope) หรือจากลุ่มน้ำย่อยขนาดเล็ก ว่าเกิดจากกระบวนการใด

ข. ความสัมพันธ์การกักเก็บและการไหลออก (Storage-Discharge Relationship)

ความสัมพันธ์นี้มีความสำคัญสำหรับกระบวนการเกิดน้ำท่าแบบ Sub-surface runoff การกักเก็บและการไหลออกอาจสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น (linear) หรือ ไม่ใช่เชิงเส้น (non-linear) การหาพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์นี้จะได้จากการทำ Recession Analysis ของชลภาพส่วนลด (Recession Curve)

ค. ความสัมพันธ์ความลึกของดินและชุดดิน (Soil depth distribution-Land form)

ความลึกของดินมีผลต่อความจุของน้ำในดิน (Soil-water storage) ซึ่งมีความสำคัญสำหรับกระบวนการเกิดน้ำท่าแบบ Saturation excess runoff จึงต้องวิเคราะห์ข้อมูลการกระจายตัวของความลึกของดิน และความสัมพันธ์กับชุดดินในแผนที่ชุดดิน โดยการซ้อนทับตำแหน่งบ่อ

สำรวจ Piezometer กับแผนที่จุดดินเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของชั้นดิน (Soil depth distribution) เทียบกับจุดดินประเภทต่างๆ ตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจดินและติดตั้ง piezometer แสดงในรูปที่ ข-1 ภาคผนวก ข

ง. ความสัมพันธ์การใช้ที่ดินและขอบเขตลุ่มน้ำย่อย (Land use- Subcatchment)

ผลการวิเคราะห์และจำแนกการใช้ที่ดินของพื้นที่ภายในลุ่มน้ำ มีความสำคัญต่อสมดุลของน้ำของลุ่มน้ำย่อยมาก มีผลให้การคายระเหย การเกิดน้ำท่าและการไหลออกกล่งสู่ลำน้ำมีความแตกต่างกัน ดำเนินการ โดยการซ้อนทับขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยกับแผนที่ดาวเทียมเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ขนาดพื้นที่ป่าไม้ พื้นที่การเกษตรและชุมชนในแต่ละลุ่มน้ำย่อย

จ. ความสัมพันธ์ลักษณะทางน้ำและ Rating Curve

จากข้อมูลผลการสำรวจในอดีตที่นำมาสร้าง Rating Curve ของการไหลในลำน้ำ ประกอบกับข้อมูลทางกายภาพของสภาพลิ่งสองฝั่งลำน้ำ เช่น ลักษณะรูปตัดขวางลำน้ำ ลักษณะพืชพรรณบนสองฝั่งลำน้ำ ถูกนำมาคำนวณทางชลศาสตร์และสังเคราะห์สร้าง Rating Curve สำหรับการไหลล้นลำน้ำเมื่อเกิดน้ำท่วมสูงสุด

3.3 การพัฒนาแบบจำลองสมดุลของน้ำ

แบบจำลองสมดุลของน้ำทั้งระดับลุ่มน้ำถูกพัฒนาให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่โดยไม่ใช่แบบจำลองสำเร็จรูปจากต่างประเทศ เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความซับซ้อนตามความจำเป็น และมีจำนวนพารามิเตอร์น้อย โดยการประมาณค่าพารามิเตอร์ส่วนใหญ่จะกำหนดจากข้อมูลทางกายภาพที่ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์กันข้างต้น และจะใช้วิธีการ Calibration ให้น้อยที่สุด ถึงแม้การพัฒนาแบบจำลองนี้จะมีข้อจำกัดในการประมาณค่าพารามิเตอร์ซึ่งจะยังมีความไม่แน่นอนอยู่บ้าง เนื่องจากข้อมูลทางกายภาพมีอยู่ไม่มากและไม่ทั่วถึง แต่หากมีการเปลี่ยนแปลงสภาพทางกายภาพ เช่น ภูมิอากาศ การใช้ที่ดิน ป่าไม้ ซึ่งปัจจุบันมีความเปลี่ยนแปลงรวดเร็วมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงนี้จะทำให้ค่าพารามิเตอร์สามารถเปลี่ยนตามได้ ผลการทำนายของแบบจำลองจะสามารถสะท้อนผลกระทบได้อย่างน่าเชื่อถือดีกว่าการใช้พารามิเตอร์จากการทำ Calibration ด้วยข้อมูลในอดีต

การพัฒนาแบบจำลองสมดุลของน้ำ (Hillslope Water balance model) ใช้ขั้นตอนตามวิธีบนลงล่าง (Downward approach) เริ่มจากแบบจำลองอย่างง่ายมีความซับซ้อนน้อย (ซึ่งหมายถึงมีกระบวนการเกิดน้ำท่ากระบวนการเดียว ต้องการพารามิเตอร์เพียง 1 หรือ 2 ตัว) ใช้กับการทำนายรายปีและนำผลไปเปรียบเทียบกับข้อมูลน้ำท่ารายปีระยะยาว (Inter-annual water yields) แล้วจึงขยายผลมาทำนายน้ำท่ารายเดือน (Intra-annual water yields) หากผลการเปรียบเทียบไม่ดี จึงค่อยเพิ่มจำนวนกระบวนการสมดุลของน้ำ หรือเพิ่มจำนวนพารามิเตอร์ตามความจำเป็น และอาจต้อง

ปรับโครงสร้างของแบบจำลองให้สามารถรวมความแตกต่างทางพื้นที่ด้านต่างๆของกลุ่มน้ำ (Spatial Variability) เข้าไปคำนวณในแบบจำลองด้วย พัฒนาจนเป็นแบบจำลองรายวันโดยเปรียบเทียบผลจาก Flow Duration Curve แบบจำลองสมมูลของน้ำนี้ นำมาใช้เป็นเครื่องมือทดสอบความสำคัญของปัจจัยกระบวนการที่เกี่ยวข้อง และควบคุมความเปลี่ยนแปลงของสมมูลของน้ำ หากมีความไม่แน่นอนตามธรรมชาติของปัจจัยนำเข้าทั้งจากในอดีตและคาดการณ์ในอนาคต

ดินเค็มเกิดจากการเคลื่อนที่ของน้ำเค็มพาเกลือจากใต้ดินมาสู่ผิวดินหรือจากที่สูงมาสู่ที่ต่ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีกระบวนการสมมูลของน้ำที่ถูกต้องก่อน แล้วจึงผนวกกระบวนการคุณภาพน้ำเข้าไปในแบบจำลอง โดยใช้หลักการเดิมของการพัฒนาแบบจำลอง แต่เนื่องจากยังขาดองค์ความรู้ความสัมพันธ์ของปัจจัยควบคุมต่างๆ บนหลักการทางฟิสิกส์ของดิน การเคลื่อนที่ของน้ำในดินที่เป็นตัวกลาง และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในดิน จึงจำเป็นต้องดำเนินการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการก่อน ซึ่งสามารถออกแบบการควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องตามที่ต้องการได้

3.4 การวางแผน การสำรวจ เตรียมการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ และระดับไร่นา

เนื่องจากข้อมูลทางกายภาพ ลักษณะชั้นดิน คุณภาพน้ำใต้ดิน ตลอดจนความเค็มของดิน ในพื้นที่ขนาดเล็กระดับไร่นามีอยู่จำกัด หรือหากมีข้อมูลมักจะไม่ครบถ้วนสมบูรณ์ จึงจำเป็นต้องมีการสำรวจเก็บข้อมูลที่ละเอียดมากขึ้นทำได้โดย การเจาะสำรวจชั้นดิน เก็บตัวอย่างดิน การทดสอบคุณสมบัติของดินในห้องปฏิบัติการ การติดตั้งอุปกรณ์วัดความเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน และทดสอบคุณสมบัติของน้ำโดยเฉพาะความเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำ ตามฤดูกาล

การวางแผนการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยจำลองสถานการณ์ จากข้อมูลในไร่นา ภายหลังจากมีการสำรวจเก็บตัวอย่างดิน และสภาพแวดล้อมทางกายภาพต่างๆ ในธรรมชาติ นำกลับมาออกแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการ ที่สามารถพิจารณาผลของปัจจัยควบคุมแต่ละปัจจัยได้อย่างน่าเชื่อถือ

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 กลุ่มน้ำที่ศึกษา

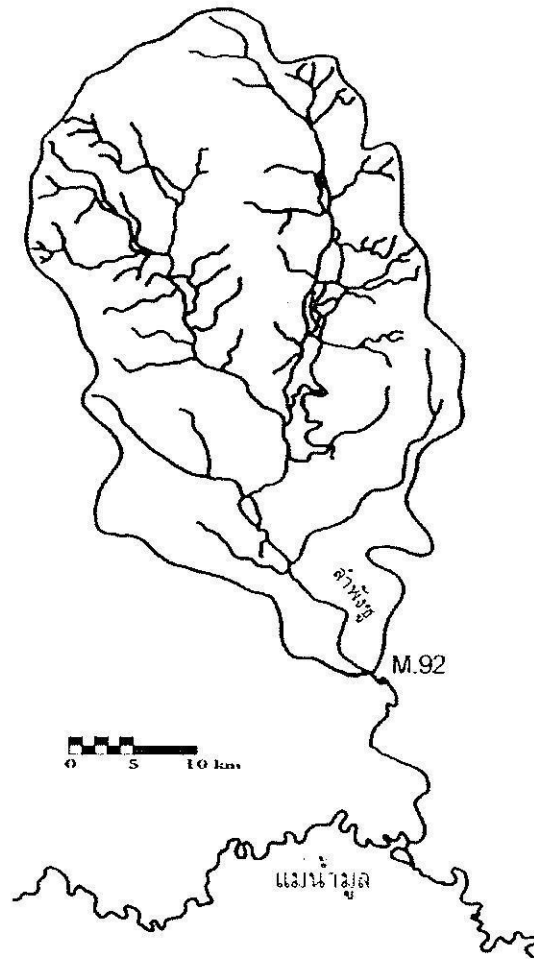
ได้คัดเลือกกลุ่มน้ำย่อยของแม่น้ำมูลคือกลุ่มน้ำลำพังชูขนาดพื้นที่ 1,183 ตารางกิโลเมตร (M92) ตั้งอยู่ระหว่างทุ่งสัมฤทธิ์และทุ่งกุลาร้องไห้ อยู่ในเขต 3 จังหวัด คือ มหาสารคาม ขอนแก่นและบุรีรัมย์ กลุ่มน้ำมีความลาดเอียงจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ที่ระดับความสูง 220 เมตร(รทก.) ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ที่ระดับความสูง 140 เมตร(รทก.) น้ำท่าในลำพังชูจะไหลผ่านเขต อำเภอเปือยน้อย หนองสองห้อง บรบือ นาเชือก พุทไธสง และพยัคฆภูมิพิสัย ก่อนไหลลงแม่น้ำมูลในที่สุด รูปที่ 4-1 ข้อมูลน้ำท่ามาจากสถานีวัดน้ำท่าบ้านห้วยสะพาน (M92) จ.บุรีรัมย์ และข้อมูลน้ำฝนจาก 4 สถานีภายในขอบเขตกลุ่มน้ำ อีก 3 สถานีโดยรอบกลุ่มน้ำ เลือกใช้ข้อมูลน้ำฝนและน้ำท่า 9 ปีติดต่อกันระหว่างปี พ.ศ. 2521- 2529 ซึ่งสถานีวัดส่วนใหญ่มีการบันทึกข้อมูลที่สมบูรณ์ แผนที่ภูมิประเทศของกลุ่มน้ำลำพังชู ขอบเขตกลุ่มน้ำกับขอบเขตพื้นที่การปกครอง โครงข่ายลำน้ำ ตำแหน่งของกลุ่มน้ำลำพังชู ในลุ่มแม่น้ำมูลแสดงในภาคผนวก ง

4.1.1 ภูมิอากาศและอุทกวิทยา

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีอยู่ระหว่าง 1,170 ถึง 1,440 มิลลิเมตร โดยจะมีปริมาณมากบริเวณตอนเหนือและใต้ของกลุ่มน้ำ ข้อมูลเฉลี่ยระยะยาวทั้งกลุ่มน้ำลำพังชูมีปริมาณน้ำฝนรายปี 1,290 มิลลิเมตร ศักยภาพการระเหยต่อปี 1,920 มิลลิเมตร และปริมาณน้ำท่า 230 มิลลิเมตร

4.1.2 ภูมิประเทศและชั้นดิน

จากรายงานการเจาะสำรวจดินฝั่ง piezometer บริเวณ อ. พุทไธสง จ.บุรีรัมย์ โดยโครงการพัฒนาพื้นที่ดินเค็ม กรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งเป็นบริเวณทางตอนใต้ของกลุ่มน้ำลำพังชู พบว่าชั้นดินมีลักษณะเป็น 2 ชั้นก่อนถึงชั้นดินดาน คือชั้นบนเป็นดินทรายปนดินร่วน (loamy sand) หรือดินร่วนปนทราย (sandy loam) หนาตั้งแต่ 1 ถึง 10 เมตร ทับอยู่บนดินเหนียวปนทราย (sandy clay) หรือดินร่วนปนดินเหนียว (clay loam) กรมพัฒนาที่ดินได้ดำเนินการเจาะสำรวจดิน ติดตั้ง piezometer เป็นจำนวนมาก เพื่อเก็บตัวอย่างดินและน้ำ วัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำใต้ดินและติดตามการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินตามเวลา การศึกษานี้ได้ซ้อนทับตำแหน่งบ่อสำรวจเหล่านี้กับแผนที่ชุดดิน เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายของควมลึกของดินกับชุดดินต่างๆ เพื่อใช้เป็นตัวแปรสำหรับการพัฒนาแบบจำลองต่อไป



รูปที่ 4-1 ที่ตั้ง โครงข่ายลำน้ำและขอบเขตลุ่มน้ำลำปางชู

4.1.3 พืชพรรณ

การประมาณพื้นที่ป่า การเกษตร และการใช้ที่ดินรูปแบบต่างๆ เป็นการประมาณจากข้อมูลในเอกสาร และการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจาก Landsat TM images (visible bands)

4.2 แบบจำลองสมดุลของน้ำรายปี

โดยใช้ข้อมูลน้ำฝนรายปี (P) ในแต่ละปีสมมุติว่ามีช่วงเวลาฝนตกช่วงเดียวคือ t_r เวลาที่เหลือเป็นช่วงไม่มีฝน ความเข้มฝน p สมมุติให้คงที่ คำนวณจาก P หารด้วย t_r อัตราศักยภาพการระเหย e_p คงที่ตลอดปี คำนวณจากศักยภาพการระเหยรายปี (E_p) หารด้วย 365 วัน โดยกำหนดให้ t_r คงที่ แต่ P และ E_p มีค่าเปลี่ยนแปลงได้ในแต่ละปี

จากแนวคิดเดียวกับ Manabe (1969) และ Milly (1994) การสร้างแบบจำลองเริ่มต้นโดยจำลองลุ่มน้ำให้เหมือนกับถังเก็บน้ำใบเดียวมีความจุที่จำกัด ขนาดความจุประมาณจากความลึกเฉลี่ยของดิน และความพรุนของดิน มีการดักกอนน้ำฝนตกลงถึงพื้นดิน การคายระเหยจากน้ำในถังใบนี้ และการเกิดน้ำผิวดินเมื่อปริมาณน้ำในถังมากกว่าความจุถัง

4.2.1 สมการสมดุลของน้ำ

ปริมาณของน้ำในถังต่อหน่วยพื้นที่ผิวในช่วงเวลาหนึ่งสำหรับแบบจำลองถังเก็บน้ำเดี่ยว กำหนดโดยสมการ

$$\frac{ds(t)}{dt} = p(t) - q_{se}(t) - e(t) \quad (1)$$

โดยให้ $p(t)$ คือความเข้มฝน $q_{se}(t)$ คือน้ำผิวดินเกิดจากส่วนเกินการอิ่มตัวด้วยน้ำในดิน (Saturation excess runoff) $e(t)$ คืออัตราการระเหย และ $s(t)$ คือ ปริมาณของน้ำในดินหรือในถัง ทั้ง $q_{se}(t)$ และ $e(t)$ กำหนดให้เป็นฟังก์ชันของ $s(t)$ ดังนี้

$$q_{se} = (s - S_b) / \Delta t \quad \text{if} \quad s > S_b \quad (2a)$$

$$q_{se} = 0 \quad \text{if} \quad s \leq S_b \quad (2b)$$

$$e = \frac{s}{S_b} e_p \quad (3)$$

โดยให้ $S_b = D\phi$ เป็นความจุของการกักเก็บน้ำในถัง D คือความลึกเฉลี่ยของดิน ϕ คือความพรุนเฉลี่ยของดิน และ Δt คือระยะเวลาการคำนวณ ในกรณีนี้กำหนดเป็น 1 วัน

เพื่อหลีกเลี่ยงการไม่ทราบเงื่อนไขเริ่มต้นการคำนวณจึงสมมติให้ปริมาณน้ำในดินที่เวลาสิ้นสุดการคำนวณของแบบจำลองเท่ากับปริมาณน้ำในดินที่เวลาเริ่มต้นและค่าปริมาณน้ำในดินเริ่มต้นนี้หาโดยวิธีลองผิดลองถูก

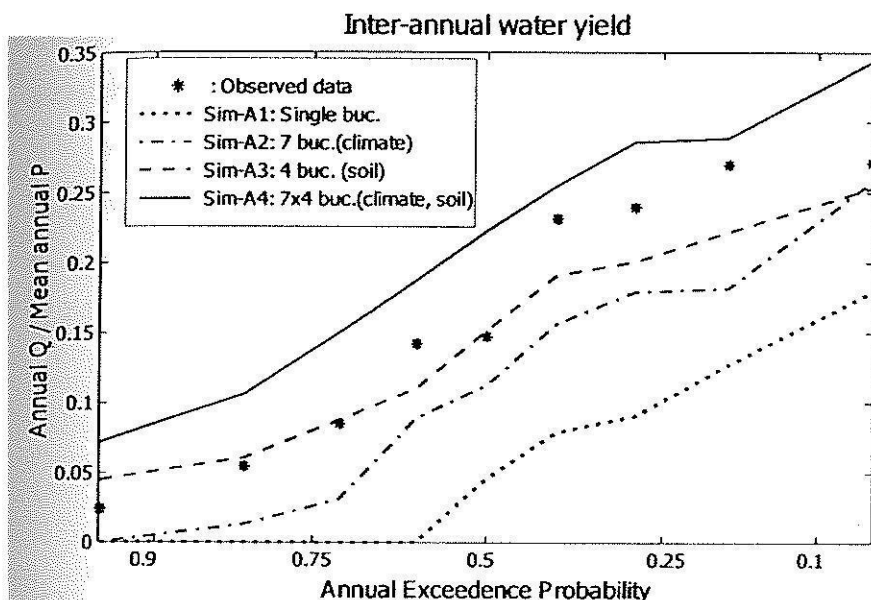
4.2.2 การประมาณพารามิเตอร์

สรุปจำนวนพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองสมดุลน้ำรายปีคือ P, t_r, E_p, i, D, ϕ แบบจำลองต้องการชุดข้อมูลใส่เข้า 2 ชุดคือ $p(t)$ และ $e(t)$ วิธีการสร้างจากข้อมูลการบันทึกรายปีได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 4.2.1 ส่วนค่าการดัก (i) กำหนดให้เป็นสัดส่วนกับปริมาณฝน มีค่าเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณฝน ความจุของการเก็บน้ำสำหรับลุ่มน้ำลำพังชูประมาณได้ 1,200 มิลลิเมตร คำนวณจากดินชั้นบนที่ส่วนใหญ่เป็นดินทรายปนดินร่วน (loamy sand) หนาเฉลี่ย 3 เมตร และความพรุนมีค่าประมาณ 0.4

4.2.3 ความซับซ้อนที่ต้องการเพิ่มขึ้น

การพัฒนาแบบจำลองตามวิธีบนลงล่างเริ่มจากใช้โครงสร้างแบบจำลองอย่างง่าย พิจารณาลุ่มน้ำทั้งหมดมีลักษณะภูมิอากาศและดินสม่ำเสมอ จึงใช้ถังเก็บเพียงใบเดียวแทนลักษณะลุ่มน้ำได้ (Sim-A1) ขั้นตอนต่อไปของการเพิ่มความซับซ้อนคือการใช้ถังเก็บน้ำ 7 ใบต่อขนานกันเพื่อรับปริมาณฝนที่ต่างกันตามจำนวนสถานีวัดน้ำฝนที่ครอบคลุมพื้นที่แต่ละ โชน แต่กำหนดให้มีความจุเท่ากันเนื่องจากมีความลึกของดินเท่ากัน (Sim-A2) ขั้นตอนต่อไปแบบจำลองถึงหลายใบถูกใช้เป็นตัวแทนสำหรับพื้นที่ที่มีดินความลึกต่างกัน เลือกใช้ถึง 4 ขนาด $S_b = 200, 900, 1100, 2500$

มิลลิเมตร โดยไม่นำความแตกต่างตามพื้นที่ของฝนรวม (Sim-A3) ขึ้นตอนสุดท้ายเป็นแบบจำลองถึงหลายใบที่รวมความแตกต่างและความไม่แน่นอนตามพื้นที่ของฝนและความลึกของดินเข้าด้วยกัน มีจำนวนถึง $7 \times 4 = 28$ ใบ (Sim-A4)



รูปที่ 4-2 การเปรียบเทียบผลการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองและการวัดสำหรับแบบจำลองประเภทแรกที่ใช้ข้อมูลใส่เข้ารายปี

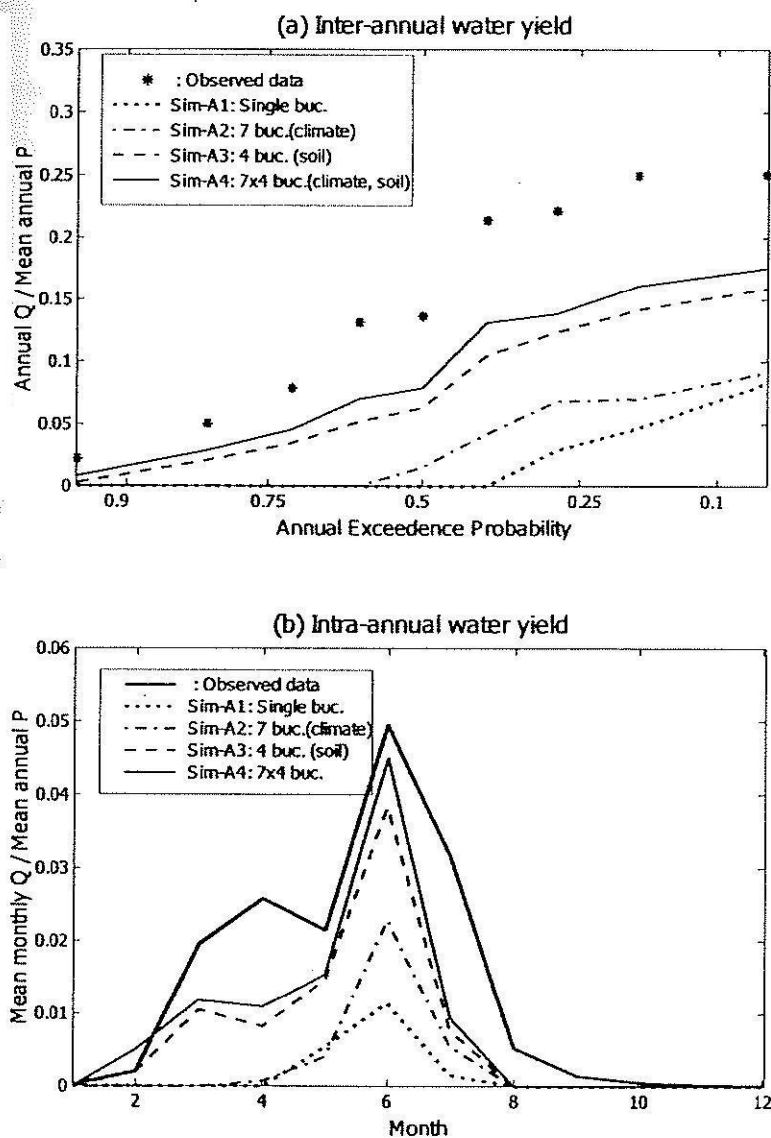
ผลการทดสอบแบบจำลองรายปีทั้ง 4 ชั้น นำเสนอผลโดยใช้กราฟวิเคราะห์ความถี่ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการให้น้ำผิวดินของกลุ่มน้ำจากการวัดและจากแบบจำลองเทียบกับความน่าจะเป็นที่จะให้น้ำผิวดินรายปีได้มากกว่า (Annual exceedence probability) กราฟที่ได้จะเรียกว่ากราฟความแปรได้ของการให้น้ำผิวดินระหว่างปี (Inter-annual variability of water yield) รูปที่ 4-2 แสดงกราฟการเปรียบเทียบระหว่างผลจากแบบจำลองทั้ง 4 ชั้นกับค่าจากการวัด ผลจาก Sim-A2 และ Sim-A3 ที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าความแตกต่างตามพื้นที่ของความลึกของดินและปริมาณฝนมีความสำคัญพอๆกันสำหรับสมดุลของน้ำ ส่วนผลจาก Sim-A4 ที่รวมความแตกต่างตามพื้นที่ของทั้งความลึกของดินและปริมาณฝนได้ผลใกล้เคียงแต่มากกว่าค่าจากการวัด ซึ่งอาจเป็นผลจากการนำน้ำผิวดินไปใช้ประโยชน์ภายในลุ่มน้ำแต่ยังไม่ได้นำมาพิจารณาในแบบจำลอง ดังนั้นการใช้แบบจำลองรวมเป็นถึงใบเดียวจึงไม่เพียงพอที่จะอธิบายสมดุลของน้ำรายปี

4.3 แบบจำลองสมดุลของน้ำรายเดือน

จากแบบจำลองเดิมในหัวข้อ 4.2 ปรับให้รับข้อมูลใส่เข้ารายเดือน โดยไม่เปลี่ยนแปลงจำนวนพารามิเตอร์และความซับซ้อน เพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลภายในปี ทำได้โดยแต่ละเดือน

แบ่งเป็นช่วงฝนตกและฝนไม่ตก ความเข้มฝนในช่วงฝนตกและอัตราการคายภาพการระเหย สมมุติให้คงที่ในแต่ละเดือน อนุกรมเวลาของความเข้มฝนและอัตราการคายภาพการระเหยติดต่อกันหลายปี สร้างจากข้อมูลการวัดน้ำฝนรายเดือนหารด้วยจำนวนวันที่ฝนตกต่อเดือน และข้อมูลการวัดอัตราการคายภาพการระเหยรายเดือนหารด้วยจำนวนวันในแต่ละเดือน การใช้แบบจำลองรายเดือนทำให้สามารถแสดงผลการแปรได้ภายในปีของการให้น้ำผิวดินได้ (Intra-annual variability of water yield) เพิ่มจากกราฟการแปรได้ระหว่างปีของการให้น้ำของกลุ่มน้ำที่แสดงไว้เดิม

ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองเดิมกับข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนแสดงในรูปที่ 4-3 การแปรได้ระหว่างปีมีลักษณะคล้ายคลึงกับในรูปที่ 4-2 แต่ค่าที่ทำนายต่ำกว่าค่าจากการวัดทั้งหมดทุกกลุ่ม Sim-A3 แสดงผลของความลึกของดินที่แตกต่างกันตามพื้นที่ที่มีความสำคัญมากขึ้นเพราะให้ผลใกล้เคียงกับ Sim-A4



รูปที่ 4-3 การเปรียบเทียบผลการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองและจากการวัดสำหรับแบบจำลองประเภทแรกที่ใช้ข้อมูลใส่เข้ารายเดือน

การแปรได้ภายในปีไม่สามารถทำนายได้ดี ถึงแม้จะใช้โครงสร้างแบบจำลองเป็นถึง 28 ใบ
 ขนานกัน คิครวมอิทธิพลของความแตกต่างตามพื้นที่ของทั้งฝนและความลึกของดินแล้วก็ตาม การ
 เปรียบเทียบกับข้อมูลการวัดการให้น้ำรายเดือนชี้แนะว่า การทำนายที่ต่ำกว่าความเป็นจริงในช่วง
 เดือนตุลาคม-ธันวาคม (เดือนที่ 7 ถึง 9) ควรมีกลไกที่ชะลอการให้น้ำของกลุ่มน้ำ จากเหตุผลนี้
 โครงสร้างแบบจำลองของแต่ละถัง ต้องปรับให้มีกลไกการเกิดน้ำท่ามากขึ้น แยกเป็น 2
 องค์ประกอบ คือ (1) น้ำไหลออกซ้่าใต้ผิวดิน (Subsurface runoff, q_{ss}) เกิดขึ้นเมื่อปริมาณน้ำในดิน
 มากกว่าความชื้นชลประทาน (Field capacity) (2) กลไกเดิมคือน้ำไหลจากส่วนเกินการอิ่มตัว q_{sc}
 เกิดขึ้นเมื่อมีน้ำมากกว่าความจุของถัง และเพื่อให้คิดรวมผลความแตกต่างระหว่างพื้นที่ที่มีป่าไม้พืช
 พรรณปกคลุมและพื้นที่เกษตรกรรม การระเหยรวมจึงแบ่งเป็นการระเหยจากผิวดินเปล่า e_b และ
 การคายน้ำของพืช e_v

4.3.1 สมการสมดุลของน้ำ

ปรับแบบจำลองดั้งเดิมให้ใช้กับสมการสมดุลของน้ำใหม่ดังนี้

$$\frac{ds(t)}{dt} = p(t) - q_{ss}(t) - q_{sc}(t) - e_b(t) - e_v(t) \quad (4)$$

น้ำไหลออกจากใต้ผิวดิน

$$q_{ss} = \frac{s - s_f}{t_c} \quad \text{if} \quad s > s_f \quad (5a)$$

$$q_{ss} = 0 \quad \text{if} \quad s < s_f \quad (5b)$$

โดยให้ s_f คือการกักเก็บน้ำในดินที่ความชื้นชลประทาน t_c คือเวลาตอบสนองของกลุ่มน้ำ
 (catchment response time) ที่เกิดน้ำไหลออกจากใต้ผิวดิน $s_f = f_c D$ ซึ่ง f_c คือความชื้น
 ชลประทานของดิน และ D คือความลึกเฉลี่ยของดิน t_c ประมาณจากการใช้กฎของคาร์ซีกับการ
 ไหลออกของน้ำใต้ดินจากพื้นที่ลาดเอียง

$$t_c = \frac{L\phi}{2K_s \tan \beta} \quad (6)$$

โดยให้ ϕ คือความพรุนเฉลี่ยของดิน L คือความยาวเฉลี่ย ของพื้นที่ลาดเนิน (hillslope) ของกลุ่มน้ำ
 $\tan \beta$ คือความลาดชันเฉลี่ยของผิวดิน และ K_s คือค่าเฉลี่ยการนำทางชลศาสตร์อิ่มตัว (Saturated
 hydraulic conductivity)

การไหลออกจากส่วนเกินการอิ่มตัว ใช้เหมือนกับสมการที่ 2

การระเหยจากดินไม่มีป่าไม้ปกคลุม

$$e_b = \frac{s}{t_c} \quad (7)$$

$$t_c = \frac{S_b}{(1-M)e_p} \quad (8)$$

โดย t_e เป็นมาตราส่วนค่าคงที่ของเวลาที่เกี่ยวข้องกับการระเหย e_p คืออัตราศักยภาพการระเหย และ M คือสัดส่วนพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยป่าไม้ ($0 < M < 1$)

อัตราคายน้ำของพืช

$$e_v = Mk_v e_p \quad \text{if} \quad s > s_f \quad (9a)$$

$$e_v = \frac{s}{t_g} \quad \text{if} \quad s < s_f \quad (9b)$$

$$t_g = \frac{s_f}{Mk_v e_p} \quad (10)$$

โดย t_g คือมาตราส่วนค่าคงที่ของเวลาที่เกี่ยวข้องกับการคายน้ำ k_v คือประสิทธิภาพการคายน้ำของพืช ตาม Eagleson (1978) ค่า M ใช้แบ่งการระเหยทั้งหมดเป็นการระเหยจากดินที่ไม่มีป่าไม้ปกคลุม และการคายน้ำของต้นไม้

ตารางที่ 4-1 ลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำเฉลี่ยตามพื้นที่

ชื่อพารามิเตอร์	ค่า	หน่วย
L	1,000	เมตร
$\tan \beta$	0.025	-
ϕ	0.4	-
K_s	10	เมตรต่อวัน
D	3.0	เมตร

4.3.2 การประมาณค่าพารามิเตอร์

พารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองสมดุลของน้ำที่ปรับปรุงใหม่จัดกลุ่มได้ดังนี้

พารามิเตอร์รายเดือนของภูมิอากาศ: $P_m, t_m, E_{pm}, i_m; \forall m = 1, \dots, 12$

พารามิเตอร์ทางภูมิประเทศและดิน: $D, \phi, f_c, L, \tan \beta, K_s$

พารามิเตอร์ของพืชพรรณ: M, k_v

ตารางที่ 4-2 สรุปจำนวนพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองสำหรับทั้งลุ่มน้ำ ค่าต่างๆในตารางที่ 4-1 เป็นค่าประมาณโดยเฉลี่ยจากค่าวัดจริงซึ่งจะแตกต่างกันมากตามพื้นที่ แบบจำลองนี้ไม่ได้นำการไหล (runoff routing) มาพิจารณาเพราะเวลาในการเดินทางของน้ำในลุ่มน้ำใช้เวลาเพียงไม่กี่วันซึ่งสั้นกว่ามาตราส่วนเวลารายเดือนและรายปีของแบบจำลองนี้

ตารางที่ 4-2 พารามิเตอร์เฉลี่ยตามพื้นที่สำหรับแบบจำลองชุดที่ 2 รายเดือน

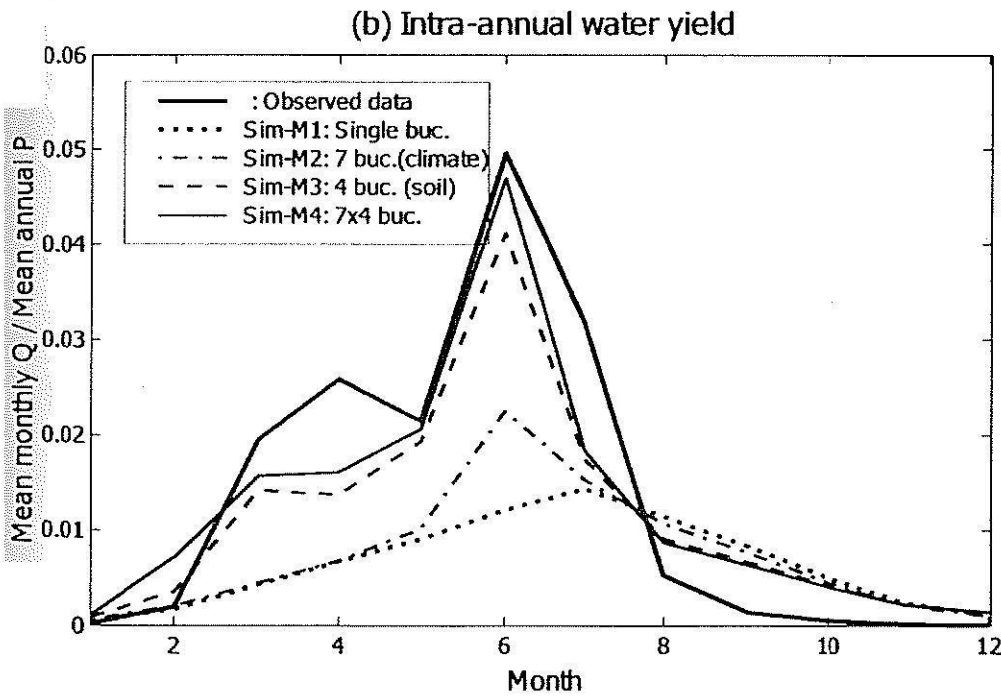
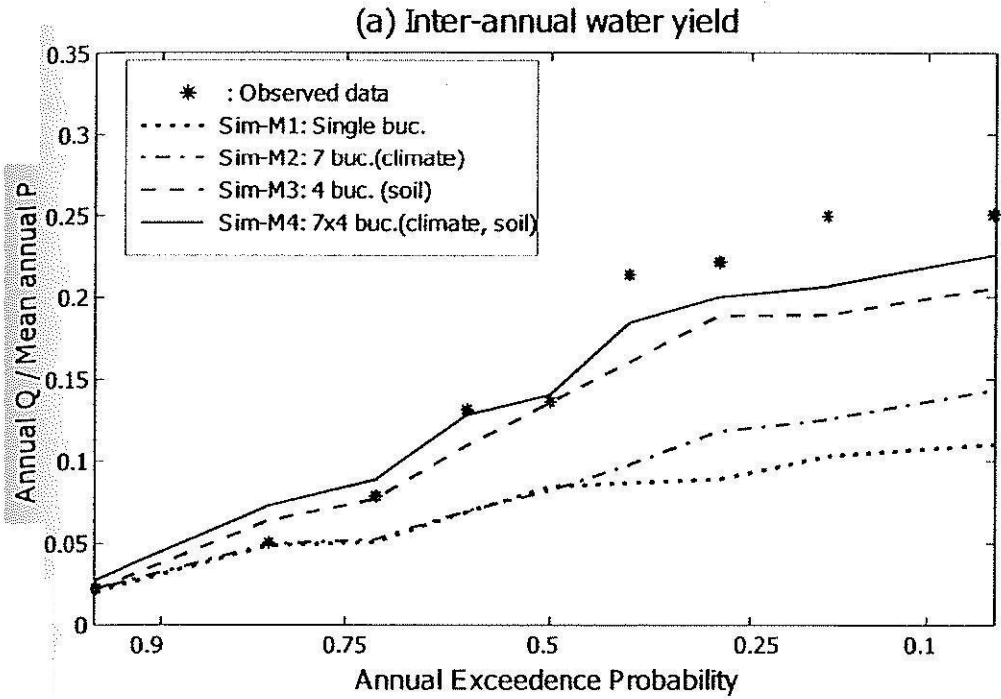
ชื่อพารามิเตอร์	ค่า	หน่วย
S_b	1,200	มิลลิเมตร
f_c	40	เปอร์เซ็นต์
t_c	800	วัน
M	0.1	-
k_v	1.0	-
i	5	เปอร์เซ็นต์

4.3.3 การวิเคราะห์ความซับซ้อนของแบบจำลอง

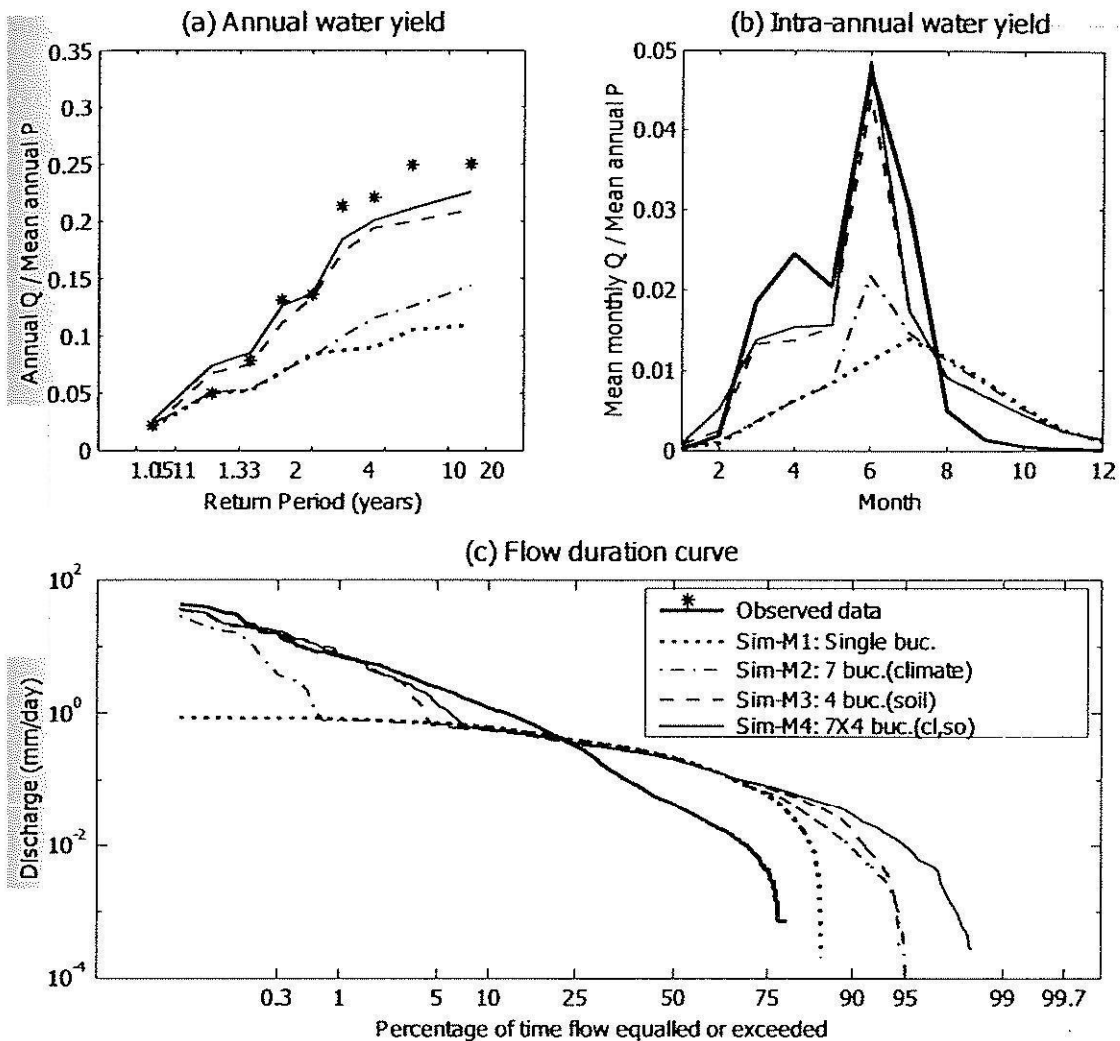
คล้ายคลึงกับวิธีการในหัวข้อ 4.2.3 การวิเคราะห์ความซับซ้อนดำเนินการใน 4 ชั้น (Sim-M1 ถึง Sim-M4) เพื่อดูผลของความแตกต่างตามพื้นที่ของภูมิอากาศ และคืนต่อการแปรได้ของน้ำทำรูปที่ 4-4 แสดงการแปรได้ของการให้น้ำจากกลุ่มน้ำที่เกิดขึ้นระหว่างปีและภายในปี เป็นผลจากแบบจำลองทั้ง 4 ชั้นเปรียบเทียบกับค่าจากการวัด แบบจำลองจากชั้นตอนที่ 4 (Sim-M4, 28 ถึง) แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองใหม่ที่ใช้ถึงหลายใบต่อแบบขนานสามารถจำลองการแปรได้ระหว่างปีและภายในปีได้ดีกว่า Sim-A4 ในรูปที่ 4-3

4.4 แบบจำลองสมดุลของน้ำรายวัน

การทดสอบในขั้นต่อไปได้นำแบบจำลองสมดุลน้ำรายเดือนมาใช้ทำนายสมดุลของน้ำรายวัน หากผลการทำนายไม่ดีอันเนื่องมาจากกระบวนการที่ควบคุมการสมดุลน้ำยังมีความซับซ้อนไม่เพียงพอ จำเป็นต้องเพิ่มจำนวนกระบวนการและตัวแปร ที่มีผลต่อสมดุลของน้ำให้มากขึ้น จะได้ดำเนินการต่อไปให้สามารถจำลองสถานการณ์ได้ใกล้เคียงกับผลจากการวัดปริมาณน้ำทำรายวันให้มากที่สุด



รูปที่ 4-4 การเปรียบเทียบผลการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองและจากการวัดสำหรับแบบจำลองประเภทที่สองที่ใช้ข้อมูลใส่เข้ารายเดือน



รูปที่ 4-5 การเปรียบเทียบผลการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองและจากการวัดสำหรับแบบจำลองรายเดือนที่ใช้ข้อมูลใส่เข้ารายวัน (a) การแปรได้ของการให้น้ำท่าระหว่างปี, (b) การแปรได้ของการให้น้ำท่าภายในปี, (c) กราฟอัตราการไหล-ช่วงเวลา

การประเมินความแปรได้ของการทำนายการเกิดน้ำท่ารายวัน สามารถทำได้โดยใช้กราฟโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา (Flow Duration Curve) เป็นกราฟชุดที่ 3 เพิ่มจากเดิมคือ กราฟการแปรได้ของการเกิดน้ำผิวดินระหว่างปีและ กราฟการแปรได้ภายในปีของการเกิดน้ำผิวดิน รูปที่ 4-5 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบแบบจำลองสมมูลน้ำรายเดือนที่ใช้ข้อมูลใส่เข้ารายวันและมีระดับความซับซ้อนต่างกัน 4 ระดับ เริ่มจากพิจารณาต้นทุนทั้งหมดมีลักษณะภูมิอากาศและดินสม่ำเสมอ จึงใช้ถึงเก็บเพียงใบเดียวแทนลักษณะลุ่มน้ำได้ (Sim-M1) ขั้นตอนต่อไปของการเพิ่มความซับซ้อนคือการใช้ถึงเก็บน้ำ 7 ใบต่อขนานกันเพื่อรับปริมาณฝนที่ต่างกันตามจำนวนสถานีวัดน้ำฝนที่ครอบคลุมพื้นที่แต่ละโซน แต่กำหนดให้มีความจุเท่ากันเนื่องจากมีความลึกของดินเท่ากัน

(Sim-M2) ขึ้นต่อไปแบบจำลองถึงหลายใบถูกใช้เป็นตัวแทนสำหรับพื้นที่ที่มีดินความลึกต่างกัน เลือกใช้ถึง 4 ขนาด $S_b = 200, 900, 1100, 2500$ มิลลิเมตร โดยไม่นำความแตกต่างตามพื้นที่ของฝน มารวม (Sim-M3) ขึ้นตอนสุดท้ายเป็นแบบจำลองถึงหลายใบที่รวมความแตกต่างและความไม่แน่นอนตามพื้นที่ของฝนและความลึกของดินเข้าด้วยกัน มีจำนวนถึง $7 \times 4 = 28$ ใบ (Sim-M4)

แบบจำลองที่ใช้ถึงหลายใบ ที่รวมความแตกต่างตามพื้นที่ของภูมิอากาศ ดินและพืชพรรณ ได้สามารถจำลองการเกิดน้ำท่าทำได้ใกล้เคียงกับค่าจากการวัดมากที่สุด ทั้งระหว่างปีและภายในปีได้ ดีกว่าการใช้ถึงน้อยใบ ผลจากกราฟโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา ให้ผลทำนองเดียวกัน แต่ยังได้ผลไม่ดีนักพิจารณาจากการเกิดน้ำท่าจริงในลำพังหิมะช่วงเวลาการไหลเพียง 75% แต่ผลจากแบบจำลองนี้ทำให้เกิดการไหลเกือบตลอดทั้งปี ซึ่งเป็นไปได้ว่ากระบวนการเกิดน้ำท่าของแบบจำลองซ้ากว่าความเป็นจริงหรือ มีการนำน้ำมาใช้ประโยชน์ระหว่างเส้นทางการไหล

4.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บ-อัตราการไหลออก

จากความไม่เพียงพอของกระบวนการทำงานของแบบจำลองข้างต้นเพื่อนำมาใช้กับการจำลองสถานการณ์การเกิดน้ำท่ารายวัน จึงได้ปรับปรุงความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บน้ำในดินกับอัตราการไหลออกของการไหลได้ผิวดิน ($q_{ss}(t)$) เปลี่ยนจากแบบเชิงเส้น (linear) เป็นแบบไม่ใช้เส้นตรง(nonlinear) โดยแทนที่ Catchment response time (t_c) ด้วย พารามิเตอร์ a และ b

$$q_{ss} = \left[\frac{s - s_f}{a} \right]^b \quad \text{ถ้า} \quad s > s_f \quad (11a)$$

$$q_{ss} = 0 \quad \text{ถ้า} \quad s < s_f \quad (11b)$$

โดยที่ s_f คือปริมาณน้ำในดินที่ความชื้นชลประทาน (Field capacity) การประมาณค่า a และ b ทำได้จากการวิเคราะห์กราฟชลภาพส่วนลด (Recession analysis) สมมุติว่าไม่มีน้ำผิวดินและการระเหยในช่วงทันทีที่ฝนหยุดตก สมการที่ 1 ถูกลดรูปเหลือเพียง $ds/dt = -q_{ss}$ สมมุติ น้ำท่าที่ไหลลงลำน้ำ $Q = q_{ss}$ เมื่อรวมกับสมการที่ 11 ได้ Wittenburg (1999)

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{Q^{2-b}}{ab} \quad (12)$$

$$Q_t = Q_0 \left[1 + \frac{(1-b)Q_0^{1-b}}{ab} t \right]^{\frac{1}{b-1}} \quad (13)$$

โดยที่ Q_0 คืออัตราการไหลจากการวัดเป็นจุดเริ่มต้นการวิเคราะห์กราฟชลภาพส่วนลด Q_t คือ อัตราการไหลที่เวลา t ใช้สมการที่ 13 ค่า a และ b สามารถประมาณค่าได้ด้วยวิธี Iterative least squares fitting, Wittenburg (1994)

4.4.2 การกระจายตัวของความลึกของดิน

การใช้ความลึกของดินในแบบจำลองที่ผ่านมาเป็นการประมาณเบื้องต้น เนื่องจากข้อมูลการกระจายตัวของความลึกของดินสามารถเปลี่ยนเป็นการกระจายของความจุของน้ำในดินสำหรับแบบจำลองได้ และเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญต่อสมดุลของน้ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่ละเอียดจากแผนที่ชุดดินและข้อมูลหลุมเจาะสำรวจชั้นดิน จากข้อมูลชั้นดินของหลุมเจาะสำรวจดินที่มีตำแหน่งสัมพันธ์กับชุดดินทำให้สามารถประมาณการกระจายตัวของความลึกดินของแต่ละชุดดินได้ การกระจายความลึกของดินของแต่ละลุ่มน้ำย่อยประมาณได้จากอัตราส่วนพื้นที่ระหว่างชุดดินชุดต่างๆที่พบในลุ่มน้ำย่อยนั้น รูปที่ 4-6(a) แสดงการกระจายตัวของความลึกของดินของชุดดินตัวอย่าง 5 ชุดดิน รูปที่ 4-6(b) แสดงการกระจายตัวของความลึกของดินของลุ่มน้ำย่อยหนึ่ง ที่ประกอบด้วยพื้นที่ 50% เป็นชุดดินกุลาร้องไห้ และ พื้นที่อีก 50% เป็นชุดดินร้อยเอ็ด รูปที่ 4-6(b) ยังแสดงการแทนที่การกระจายตัวของความลึกของดินด้วยจำนวนและขนาดต่างๆของถังหลายใบ สำหรับใช้ในแบบจำลอง รายละเอียดข้อมูลและการคำนวณการกระจาย ของความลึกของดินแสดงในภาคผนวก ข

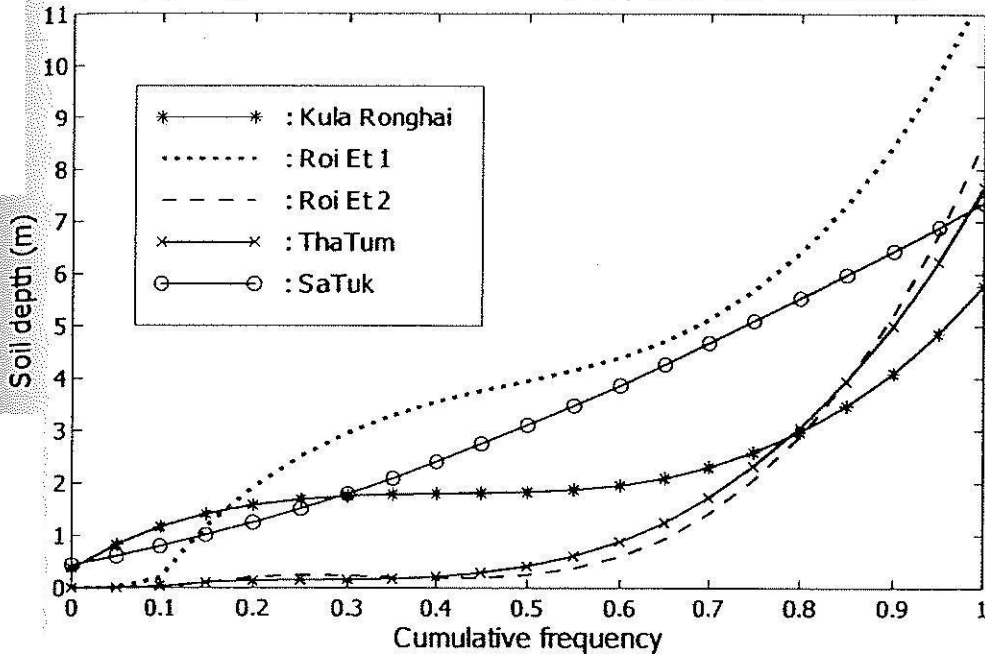
4.4.3 การเชื่อมต่อถังหลายใบแบบอนุกรม

การศึกษาของ Jothityangkoon, et. al. (2001) ได้มีการเปรียบเทียบการใช้ถังหลายใบที่เชื่อมต่อกันแบบอนุกรมและแบบขนาน เพื่อจำลองการไหลของน้ำจากไหล่เขา (Hillslope) หรือในลุ่มน้ำขนาดเล็ก พบว่าการต่อแบบอนุกรมให้ผลดีกว่าการต่อแบบขนาน ซึ่งได้ใช้ใน แบบจำลองสมดุลของน้ำ รายปี และรายเดือน เนื่องจาก ไม่มีข้อมูลการวัดน้ำท่า ในลุ่มน้ำขนาดเล็กของลำพังชูเพื่อใช้ในการทดสอบ จึงได้นำรูปแบบการต่อแบบอนุกรมมาใช้สำหรับแบบจำลองสมดุลของน้ำรายวันด้วยเหตุผลนี้

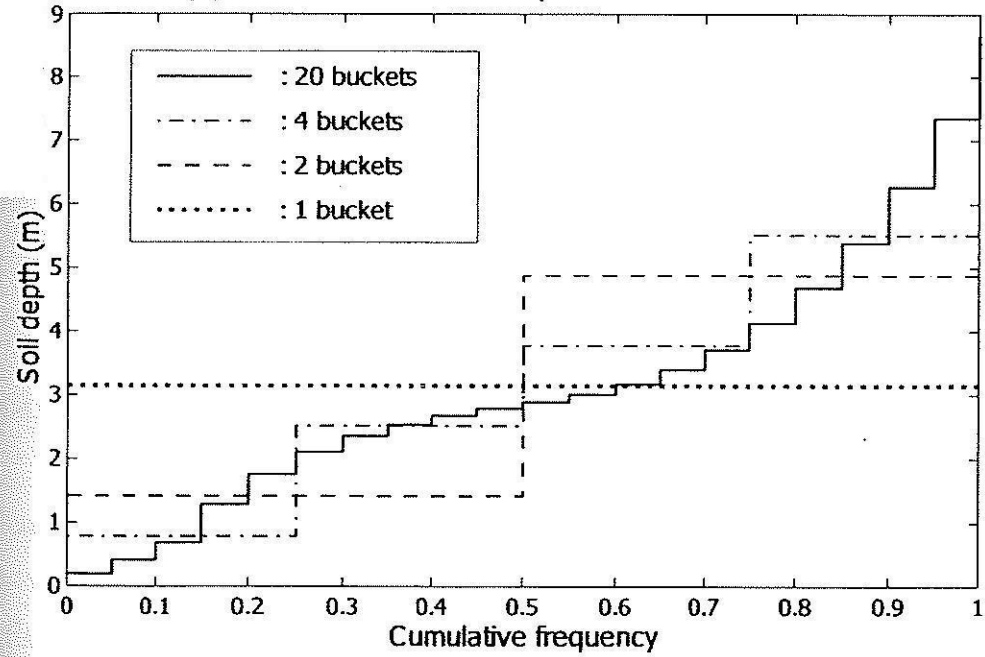
4.4.4 การไหลในโครงข่ายลำน้ำ

แบบจำลองการไหลในลำน้ำ (Stream network routing) ออกแบบให้ใช้ข้อมูลเพียงความเร็วการไหลของน้ำในลำน้ำที่คงที่และความยาวลำน้ำในแต่ละลุ่มน้ำย่อย พัฒนาโดย Viney and Sivapalan (1995) สมมติว่าปริมาณน้ำท่าจากลุ่มน้ำย่อยเหนือน้ำ ไหลเข้าลำน้ำสม่ำเสมอทุกวัน และน้ำไหลออกจากไหล่เขาข้างเคียง ไหลลงลำน้ำอย่างสม่ำเสมอตามเวลาและตามพื้นที่ ตลอดความยาวลำน้ำแบบจำลองคำนวณหาปริมาณของน้ำท่าที่ไหลผ่านออกจากลุ่มน้ำย่อยในแต่ละวัน และปริมาณของน้ำที่ค้างอยู่ในลำน้ำที่ยังไหลไปไม่ถึงทางออกของลุ่มน้ำย่อยนั้นๆ แบบจำลองอย่างง่ายนี้แตกต่างจากแบบจำลอง Muskingum-Cunge ที่ไม่ต้องการข้อมูลรูปตัดลำน้ำและพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าอื่นๆ

(a) Regional distribution of soil depth for five landforms



(b) Distribution of soil depth for a subcatchment



รูปที่ 4-6 การกระจายของความลึกของดินแยกตามชุดดินตัวอย่าง 5 ชุดดิน และการใช้จำนวนถังหลายขนาดแสดงการกระจายตัวของความลึกดิน สำหรับลุ่มน้ำย่อยหนึ่ง

ตารางที่ 4-3 พารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองสมดุลของน้ำรายวัน ของลุ่มน้ำลำพังชู

ชื่อพารามิเตอร์	ค่า	หน่วย
1. โครงสร้างแบบจำลอง		
จำนวนลุ่มน้ำย่อย	46	ลุ่มน้ำ
จำนวนตั้งแบบอนุกรมในแต่ละลุ่มน้ำย่อย	20	ใบ
2. ความสัมพันธ์การกักเก็บ-การไหลออก		
a	16	mm ^{0.5} day ^{0.5}
b	0.5	
3. ลักษณะของดิน		
ความลึกเฉลี่ย	3	เมตร
ความพรุน	0.4	
ความชื้นชลประทาน	40	ร้อยละ
4. พืชพรรณ		
สัดส่วนพื้นที่ป่า	0-0.3	
ประสิทธิภาพการคายน้ำของพืช	1	
การตัด	10	ร้อยละ
5. การไหลในลำน้ำ		
ความเร็วการไหล	15	km./day

4.4.5 ผลจากแบบจำลองสมดุลของน้ำรายวัน

เริ่มต้นจากแบบจำลองอย่างง่าย ได้เพิ่มจำนวนกระบวนการที่ละเอียด อย่างเป็นขั้นตอน กระบวนการและความซับซ้อนที่เพิ่มเข้าไปตามลำดับคือ ใช้ดังหลายใบที่ขึ้นกับข้อมูลผลการสำรวจการกระจายตัวของดินในสนาม ความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บ-อัตราการไหลที่ไม่เป็นเส้นตรง เนื่องจากไม่มีข้อมูลน้ำท่าของลุ่มน้ำย่อยขนาดเล็กของลำพังชู จึงต้องใช้แบบจำลองกับลุ่มน้ำลำพังชูทั้งหมด โดยลุ่มน้ำทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็น 46 ลุ่มน้ำย่อย เกณฑ์การแบ่งขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ ดิน และพืชพรรณ พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองสรุปได้ในตารางที่ 4-3 รายละเอียด การแบ่งลุ่มน้ำย่อย โครงข่ายลุ่มน้ำย่อย และการกำหนดลักษณะทางกายภาพ ภายในลุ่มน้ำย่อย 46 ลุ่มน้ำย่อย แสดงในภาคผนวก ค

รูปที่ 4-7 แสดงผลจากแบบจำลองขั้นที่สามแบบรายวัน พบว่าการจำลองปริมาณน้ำระหว่างปี และภายในปี มีค่ามากกว่าการวัด ซึ่งเป็นไปได้ว่า เป็นผลจากการมีข้อมูลสำรวจดินเพียงบางส่วน

ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด ชุดดินทั้งหมดที่พบในลุ่มน้ำมีทั้งหมด 21 ชุดดิน แต่ชุดดินที่มีข้อมูลความลึกของชั้นดินมีเพียง 7 ชุด หากทดลองเพิ่มความลึกของดินเฉลี่ยเป็น 2 เท่า พบว่าจะให้ผลใกล้เคียงกับค่าจากการวัดมากขึ้น มีความเป็นไปได้ว่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองที่มากกว่าความเป็นจริง อาจเกิดจากการกักเก็บน้ำและใช้น้ำภายในลุ่มน้ำ โดยเฉพาะในฤดูแล้ง จึงได้ทดลองเพิ่มการสูญเสียน้ำในลำน้ำ ที่มีอัตราการไหลต่ำกว่า 40 มิลลิเมตรต่อวัน ในอัตรา 40% การทดสอบพบว่า ได้ผลที่ใกล้เคียงกับค่าจากการวัดดีกว่าการทดลองเพิ่มความลึกของดิน

เมื่อพิจารณากราฟอัตราการไหลและช่วงเวลา พบว่าผลจากแบบจำลองมีช่วงเวลากการไหลสั้นกว่าอัตราการไหลจากการวัด แสดงให้เห็นว่าอาจจำเป็นต้องเพิ่มกระบวนการที่ชะลอการไหลออกของการเกิดน้ำท่าอีก เช่น การไหลของน้ำใต้ดินที่อยู่ลึกมากขึ้น การชะลอการไหลในชั้นดินไม่อุ้มน้ำด้วยน้ำ เป็นต้น ซึ่งจำเป็นต้องศึกษา ทดลองในสนามเพื่อเข้าใจกระบวนการเกิดน้ำไหลออกจากลุ่มน้ำย่อยให้มากขึ้น ก่อนจะนำความรู้นี้มาทดสอบโดยแบบจำลอง

พารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองส่วนใหญ่มาจากการสำรวจและใช้ข้อมูลการวัดในสนาม ซึ่งมีความไม่แน่นอนตามพื้นที่สูงมาก ดังนั้นการประเมินผล เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองหรือข้อมูลน้ำท่าจากการวัด โดยดูจากกราฟจะเห็นภาพได้ชัดเจนกว่าการใช้ตัวแปรทางสถิติที่ให้ตัวเลขแสดงผลที่ละเอียดเกินความจำเป็น

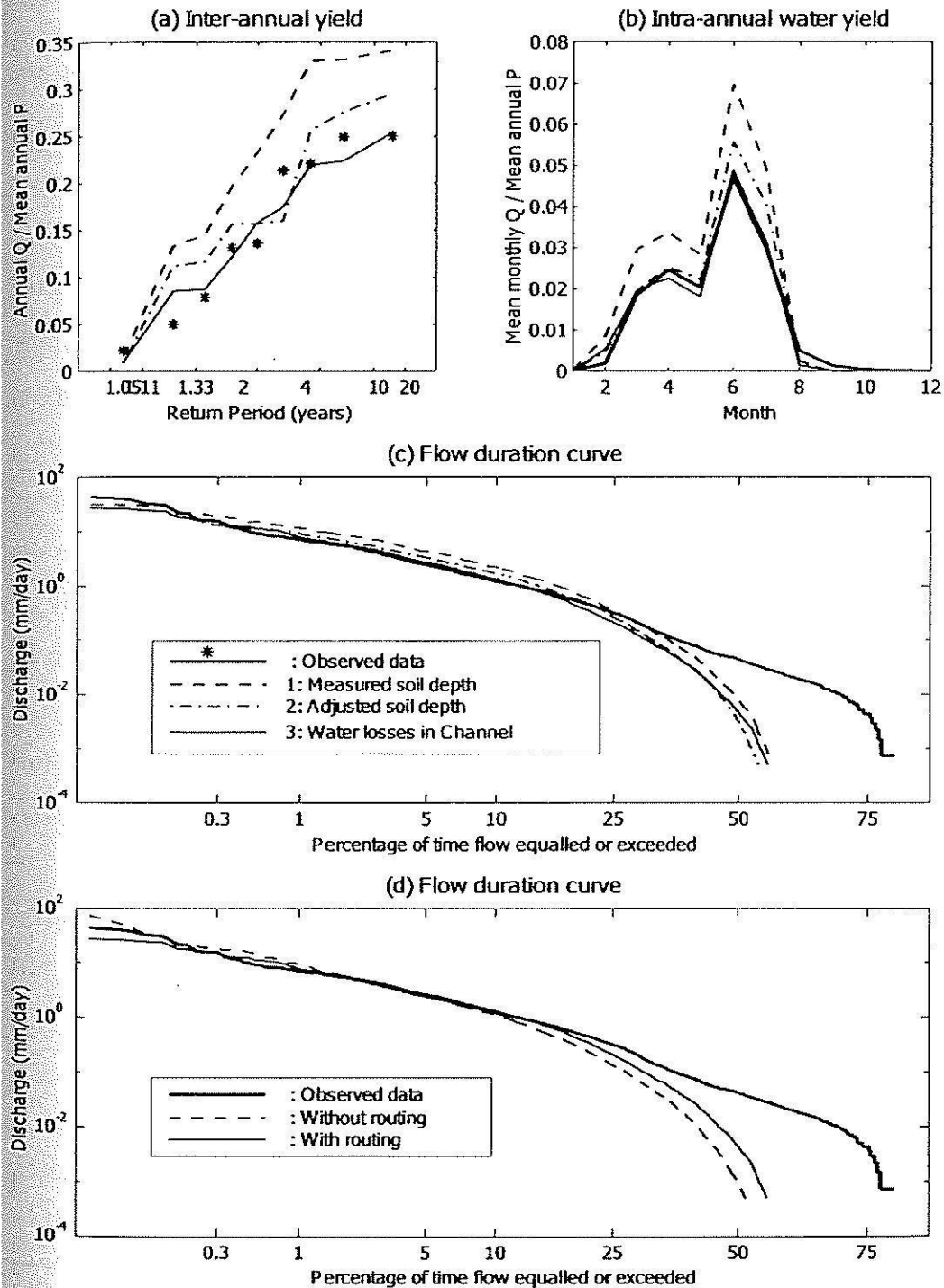
4.5 ผลการสำรวจความเค็มในลุ่มน้ำมูล

4.5.1 ความเค็มในแม่น้ำมูล

ข้อมูลจากสถานีเก็บตัวอย่างน้ำ ของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 จ. นครราชสีมา กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งดูแลพื้นที่ลุ่มน้ำมูลตอนบน (นครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ และ ศรีสะเกษ) มีการเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำจาก 55 สถานี ความถี่ 4 ครั้งต่อปี แต่มีข้อมูลเพียงประมาณ 3 ปีเท่านั้น (ธันวาคม 2549 – พฤษภาคม 2552)

ตารางที่ 4-4 แสดงค่าความเค็มของน้ำในลำน้ำมูลจาก 7 สถานี ในรูปค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ สรุปได้ว่า น้ำในลำเชียงไกร สาขาของแม่น้ำมูล บริเวณ อำเภอโนนสูง โนนไทย และ ด่านขุนทด มีความเค็มมากกว่าจุดอื่นๆ รองลงมาคือแม่น้ำมูลที่ไหลผ่านจังหวัดบุรีรัมย์ และสุรินทร์ ในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม-สิงหาคม) คุณภาพน้ำที่สถานีส่วนใหญ่ความเค็มมีแนวโน้มลดลง เกิดจากการถูกเจือจางด้วยน้ำผิวดิน ที่มาจากปริมาณฝนมากในช่วงนี้ ยกเว้นสถานีในลำเชียงไกร ที่ค่าความเค็มที่ค่ามากขึ้นในช่วงฤดูฝน ซึ่งบ่งบอกได้ว่าบริเวณนี้เป็นแหล่งดินเค็ม เมื่อมีปริมาณน้ำฝนมาก ความเค็มถูกชะล้างออกมามากด้วยเช่นกัน เนื่องจากมีความไม่แน่นอนในการกำหนดความลึกของดิน ซึ่งมีผลต่อสมดุลของน้ำในลุ่มน้ำ ทำให้การคำนวณเป็นความจุที่จำกัดของถังเก็บน้ำซึ่งจำลองลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ มีความไม่แน่นอนด้วยเช่น ในสภาพธรรมชาติ ความลึกของดินมีความไม่แน่นอนสูงมาก ทั้งตามความลึก และตำแหน่งหลุมเจาะ การเจาะสำรวจดินให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ทำ

ได้ยาก และมีค่าใช้จ่ายสูง การกระจายความถี่ของดังในแบบจำลอง จึงเป็นการประมาณหรือใช้ค่าเฉลี่ยเท่านั้น



รูปที่ 4-7 การเปรียบเทียบผลการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองและจากการวัดสำหรับแบบจำลองรายวัน (a) การแปรได้ของการให้น้ำท่าระหว่างปี, (b) การแปรได้ของการให้น้ำท่าภายในปี

,c) กราฟอัตราการไหล-ช่วงเวลา, (d) กราฟอัตราการไหล-ช่วงเวลา ระหว่างมีการหลากกับ
ไม่มีการหลาก

ตารางที่ 4-4 ค่าความเค็มวัดที่ 7 สถานี ในลำน้ำมูล วัดในรูปค่าการนำไฟฟ้า (Electrical
Conductivity, EC) ที่ช่วงเวลาต่างๆ

ช่วงเวลาที่เกิดขึ้นตัวอย่าง	ค่า Electrical Conductivity ($\mu\text{S/cm}$) ที่สถานีต่างๆ						
	LCK03	MU18	MU16	MU15	MU14	MU13	MU10
(1) 17-21 ธันวาคม 2549	2080	765	635	998	750	693	388
(2) 11-15 มีนาคม 2550	2800	805	1136	889	1689	1651	611
(3) 23-26 เมษายน 2550	-	151	1227	1052	1877	1661	675
(4) 21-24 พฤษภาคม 2550	-	190	250	331	275	221	399
(5) 12-16 สิงหาคม 2550	3230	196	848	668	966	515	210
(6) 17-21 ธันวาคม 2550	1770	422	490	491	628	520	473
(7) 17-21 มีนาคม 2551	2370	734	993	855	1099	1059	559
(8) 23-26 เมษายน 2551	-	151	1227	1052	1877	1661	675
(9) 18-21 สิงหาคม 2551	3610	155	100	225	228	138	130
(10) 17-21 พฤศจิกายน 2551	983	243	330	443	328	277	271
(11) 9-13 กุมภาพันธ์ 2551	1969	199	682	750	1095	949	621
(12) 9-11 มีนาคม 2552	-	203	701	802	1187	1177	651
(13) 6-9 เมษายน 2552	-	192	451	882	1038	1361	578
(14) 11-15 พฤษภาคม 2552	1051	1509	300	550	476	402	820
เฉลี่ย	2207	423	669	713	965	878	504

หมายเหตุ

LCK03 : ลำเชียงไกร สะพานลำเชียงไกร ตำบลสำโรง ต.สำโรง อ.โนนไทย

MU18 : แม่น้ำมูล สะพานบ้านโนนเพชร ต.ท่าเยี่ยม อ.โชคชัย จ.นครราชสีมา

MU16 : แม่น้ำมูล สะพานบ้านท่า อ.ชุมพวง จ.นครราชสีมา

MU15 : แม่น้ำมูล สะพานเชื่อม อ.คูเมือง กับบ้านบึงเบา ต.ปะเคียบ อ.พุทไธสง จ.บุรีรัมย์

MU14 : แม่น้ำมูล สะพานค.สตึก อ.สตึก จ.บุรีรัมย์

MU13 : แม่น้ำมูล สะพาน อ.ท่าตูม จ.สุรินทร์

MU10 : แม่น้ำมูล สะพานบ้านแก้ง อ.ยางชุมน้อย จ.ศรีสะเกษ

4.5.2 ความเค็มในหลุมเจาะสำรวจ (piezometer)

จากรายงานการเจาะสำรวจดินฝัง piezometers โดยโครงการพัฒนาพื้นที่ดินเค็ม กรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งมีจุดเจาะสำรวจจำนวน 109 จุด แต่ละจุดฝัง piezometers 3 ชุด ที่ความลึก 5 10 และ 15 เมตร ระดับน้ำใต้ดิน จุดที่เลือกแสดงในตารางที่ 4-5 เป็นจุดสำรวจที่เรียงตัวจากด้านทิศตะวันตกไปยังด้านทิศตะวันออก ตำแหน่งจุดสำรวจแสดงใน ภาคผนวก ข. รูปที่ ข.1 ความลึกของระดับน้ำใต้ดินจากผิวดินที่วัดจาก piezometers โดยเฉลี่ย ในฤดูแล้ง มีความลึกมากกว่าในช่วงฤดูฝนเล็กน้อย และระดับน้ำใต้ดินมีค่าสูงขึ้นหรือความลึกที่วัดได้น้อยลงหลังจากฝนตก ส่วนความลึกเฉลี่ยจากแต่ละจุดสำรวจมีค่าแตกต่างกันมาก

ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำใต้ดินที่บ่งบอกถึงความเค็ม มีค่าเปลี่ยนแปลงมากตามฤดูกาล ไม่สามารถสรุปเป็นรูปแบบได้ชัดเจน เนื่องจากบางปี น้ำมีความเค็มสูงมากขึ้นในฤดูฝน แต่ปีถัดมากลับสูงมากขึ้นในฤดูแล้ง ค่าความเค็มในเดือนที่มีฝนตกมากจะมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย ส่วนค่าความเค็มระหว่างจุดสำรวจมีค่าแตกต่างกันมาก

ตารางที่ 4-5 ความลึกของน้ำใต้ดินวัดจากผิวดิน ใน piezometers ที่ลึก 15 เมตร ที่จุดที่สำรวจ 7 จุด ตัวอย่าง และที่ช่วงเวลาต่างๆ

เดือนที่สำรวจ	ปริมาณฝน (มม.)	ความลึกของน้ำจากผิวดิน ที่จุดที่สำรวจต่างๆ (ม)						
		P3	P30	P44	P57	P75	P93	P105
(1) มีนาคม 2539	92.8	2.26	6.23	2.42	5.20	4.65	5.17	5.40
(2) เมษายน 2539	88.0	2.24	6.13	2.85	5.00	7.58	5.00	5.49
(3) พฤษภาคม 2539	290.5	2.55	5.83	2.48	5.03	7.35	4.61	5.07
(4) มิถุนายน 2539	247.5	3.75	5.29	1.90	5.47	7.32	4.11	4.50
(5) สิงหาคม 2539	128.7	1.82	4.80	1.33	4.94	6.55	3.56	4.30
(6) ธันวาคม 2539	0	0.98	3.09	1.14	4.48	4.83	2.94	3.27
(7) กุมภาพันธ์ 2540	1.4	1.47	4.63	1.74	4.51	5.73	3.69	4.20
(8) เมษายน 2540	46.4	1.50	4.62	2.24	4.54	5.70	4.20	4.15
(9) มิถุนายน 2540	55.9	1.60	5.37	2.15	4.74	5.65	4.47	5.49
(10) สิงหาคม 2540	92.7	1.46	4.87	1.48	4.62	5.96	3.30	3.67
เฉลี่ย		1.96	5.09	1.97	4.85	6.13	4.10	4.55

ตารางที่ 4-6 ค่าความเค็มวัดที่ 7 จุดสำรวจ วัดจากน้ำใต้ดินใน piezometers ที่ลึก 15 เมตร วัดในรูปค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) และที่ช่วงเวลาต่างๆ

เดือนที่สำรวจ	ปริมาณฝน (มม.)	ค่า Electrical Conductivity ที่จุดสำรวจต่างๆ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)							
		P3	P30	P44	P57	P75	P93	P105	
(1) มีนาคม 2539	92.8	2,200	500	430	450	280	200	250	
(2) เมษายน 2539	88.0	1,900	170	430	220	70	130	200	
(3) พฤษภาคม 2539	290.5	2,500	280	290	320	120	110	170	
(4) มิถุนายน 2539	247.5	15,000	600	1,700	1,400	420	500	600	
(5) สิงหาคม 2539	128.7	14,000	600	1,600	1,400	440	490	600	
(6) ธันวาคม 2539	0	5,000	400	900	1,000	350	390	450	
(7) กุมภาพันธ์ 2540	1.4	13,000	600	1,200	1,300	600	500	600	
(8) เมษายน 2540	46.4	12,000	600	1,000	1,000	600	450	500	
(9) มิถุนายน 2540	55.9	11,000	380	900	900	300	360	340	
(10) สิงหาคม 2540	92.7	4,000	350	390	450	330	300	370	
เฉลี่ย		8,060	448	884	844	351	343	408	

4.6 แผนการศึกษาในระดับไร่นาและการทดลองในห้องปฏิบัติการ

การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินขึ้นสู่ผิวดินโดยแรงดึงดูดของน้ำของช่องว่างในดิน น้ำจำนวนนี้ได้พาความเค็มขึ้นมาด้วย และเป็นต้นเหตุของการแพร่กระจายของดินเค็ม ความเข้าใจปัจจัยกระบวนการ หรือตัวแปรที่ควบคุม การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินลักษณะนี้ยังมีน้อย โดยเฉพาะสำหรับพื้นที่ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาในระดับไร่นา และการทดลองในห้องปฏิบัติการ และนำองค์ความรู้ที่ได้ไปเชื่อมโยงกับความเข้าใจการเคลื่อนที่ของน้ำในระดับลุ่มน้ำต่อไป

ประสิทธิ์ ต้นประภาส และ ไพรัช พงษ์วิเชียร (2549) ได้เสนอวิธีปรับสภาพผิวดินโดยการใช้ชีวมวลที่ถูกย่อยสลายแล้วรูปแบบต่างๆ เช่นการหมัก การเผา จนเป็นอินทรีย์วัตถุคลุมหน้าดิน วิธีนี้จะช่วยลดการสูญเสียน้ำ เพิ่มอินทรีย์วัตถุและแร่ธาตุให้แก่ดิน และเก็บความชื้นให้ผิวดิน จึงทำให้ลดการเคลื่อนที่ของเกลือขึ้นมาบนผิวดินหรือบริเวณรากพืช จากแรงดึงดูดของเหลวของช่องว่างในดิน

การสำรวจ สัมภาษณ์ เกษตรกรที่ทำการเกษตรในพื้นที่ดินเค็ม เช่นที่ บ้านเขมา ต.คางพลู อ.โนนไทย จ.นครราชสีมา ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีผลกระทบจากปัญหาดินเค็ม และมีวิธีการแก้ไขปัญหาดินเค็มที่ได้ปฏิบัติจนได้ผลดี สามารถปลูกพืชผักสวนครัวและไม้ผลได้ โดยใช้น้ำหมักชีวภาพ น้ำส้ม

คว้นไม้และเกลบในการปกคลุมผิวดิน เป็นการลดการสูญเสียน้ำจากผิวดินได้มาก วิธีนี้ใช้ได้ดีในการปลูกพืชไร่และพืชผัก เมื่อวัสดุคลุมดินเหล่านี้สลายตัวยังช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดินอีกด้วย

4.6.1 การสำรวจ ทดสอบ วิเคราะห์ดิน

การรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับพื้นที่ศึกษา เช่น ข้อมูลสภาพดินของพื้นที่ศึกษาจากกรมพัฒนาที่ดิน และการสำรวจข้อมูลภาคสนามในพื้นที่ วัตถุประสงค์นำได้ดินและวัดอัตราการซึม โดยเจาะบ่อสำรวจ

การทดสอบและวิเคราะห์หาคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดินจากสนามประกอบด้วย

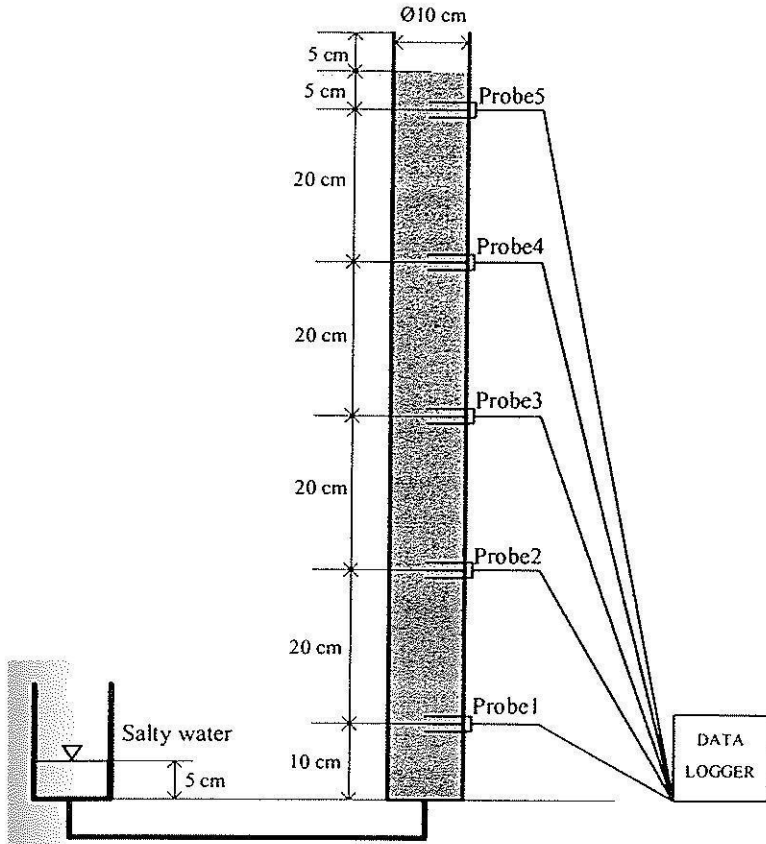
- จำแนกดิน โดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve analysis) และวิธี Hydrometer
- ความชื้นของดิน (%)
- ความหนาแน่นของดิน (g/cm^3)
- อัตราส่วน โพร่ง (void ratio, e)
- ความถ่วงจำเพาะ, GS
- ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำได้ดิน, EC (dS/m)

4.6.2 การออกแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการ

การทดลองในห้องปฏิบัติการ ได้ทำการออกแบบอุปกรณ์การทดลอง ดังแสดงดัง รูปที่ 4-8 เส้นไขต่างๆ ในการจำลองการทดลองในห้องปฏิบัติการอยู่บนพื้นฐานของสภาพจริงในสนาม โดยกำหนดเงื่อนไข การควบคุมระบบการทดลอง ตามชนิดของ Column ดังนี้

- Column I : ทดลองในอุณภูมิห้อง โดยดินที่บดอัดเป็นดินที่มีความชื้นเริ่มต้นน้อยกว่า 10%
- Column II : ทดลองในอุณภูมิห้อง โดยดินที่บดอัดเป็นดินที่มีความชื้นเริ่มต้นน้อยกว่า 10% มีการจำลองแสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มการระเหยจากด้านบนท่อปลายเปิด
- Column III : ทดลองในอุณภูมิห้อง โดยดินที่บดอัดเป็นดินที่มีความชื้นเริ่มต้นน้อยกว่า 10% มีการจำลองแสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มการระเหยจากด้านบนท่อปลายเปิด และ มีการคลุมผิวดินด้านบนท่อด้วยเกลบน้ำส้มคว้นไม้และ EM (ตามสูตรส่วนผสมของเกษตรกรในพื้นที่ศึกษา)

การกำหนดรูปแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการข้างต้น เป็นการจำลองสถานการณ์การปฏิบัติของเกษตรกร ที่ทดลองใช้วัสดุคลุมดินจากเกลบ น้ำส้มคว้นไม้ EM แล้วได้ผล ในการควบคุมการขึ้นมาจากความเค็ม นำวิธีของเกษตรกรมาศึกษาในห้องปฏิบัติการ เพื่อดูว่าปัจจัยใดเป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ตามแนวคิ่งของเกลือ



รูปที่ 4-8 แสดงระบบการจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน ในห้องปฏิบัติการ

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การพัฒนาแบบจำลองสมมูลน้ำ เริ่มจากแบบจำลองรายปีที่มีความซับซ้อนน้อย แต่สามารถอธิบายการแปรได้ของการเกิดน้ำท่า ซึ่งใช้วิธีบนลงล่าง (Klemes, 1983) ผลการทดสอบแต่ละขั้นตอนได้เปรียบเทียบกับข้อมูลการวัดจากสถานีของกลุ่มน้ำลำพิงซู ลำน้ำสาขาของแม่น้ำมูล แบบจำลองแบบแรกถูกพัฒนาบนฐานข้อมูลภูมิอากาศรายปี แบ่งน้ำฝนอย่างง่ายออกเป็นการระเหยและการไหลออกจากส่วนเกินอิมตัว แบบจำลองนี้สามารถให้ผลการแปรได้ของการให้น้ำระหว่างปีใกล้เคียงกับค่าจากการวัด ถ้าแบบจำลองมีจำนวนถึงกักเก็บน้ำมากพอและมีหลายขนาด ซึ่งทำให้สามารถนำสภาพความแตกต่างตามพื้นที่ของความลึกดินและปริมาณฝนรวมอยู่ในแบบจำลองได้ ต้องการพารามิเตอร์เพียง 3 ตัว คือ ความลึกของดิน ความพรุน และการสูญเสียจากการดัก การใช้แบบจำลองแรกพบว่า มีโครงสร้างง่ายเกินไปที่จะอธิบายการแปรได้ภายในปีของการเกิดน้ำท่า ดังนั้นแบบจำลองประเภทที่ 2 รายเดือน จึงถูกพัฒนาต่อมาโดยเพิ่มกระบวนการคือ การเกิดการไหลใต้ผิวดิน แยกการระเหยเป็นการระเหยจากผิวดินไม่มีป่าไม้ปกคลุมและการคายน้ำของพืชที่ปกคลุมดิน ซึ่งทำให้มีจำนวนพารามิเตอร์มากขึ้นเป็น 4 ตัว สำหรับดินและภูมิประเทศ และอีก 2 ตัว สำหรับพืชพรรณ จากการใช้แบบจำลองที่ 2 ทำให้ได้ผลการแปรได้ของการให้น้ำระหว่างปีและภายในปีใกล้เคียงกับค่าจากการวัดมากขึ้น

การใช้แบบจำลองที่ 2 รายเดือนมีโครงสร้างที่ง่ายเกินไป และมีกระบวนการเกิดน้ำท่าที่ไม่เพียงพอที่จะอธิบายกราฟอัตราการไหล-ช่วงเวลา ของการเกิดน้ำท่ารายวันได้ ดังนั้นแบบจำลองสมมูลของน้ำแบบที่ 3 รายวันจึงถูกพัฒนาต่อให้มีกระบวนการและความซับซ้อนเพิ่มขึ้นคือ ความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บน้ำในดินกับอัตราการไหลออกของการไหลใต้ผิวดิน เป็นแบบไม่เป็นเส้นตรง การต่อของถังหลายใบในกลุ่มน้ำย่อยเป็นแบบอนุกรม และเพิ่มการหลากสำหรับการไหลในลำน้ำ

การประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองจากข้อมูลทางกายภาพเท่าที่มีอยู่เช่น สภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ดินและพืชพรรณ โดยตรงและนำไปใช้กับแบบจำลองสมมูลน้ำรายวันพบว่าจำลองปริมาณน้ำท่าได้มากกว่าค่าจากการวัด ซึ่งอาจเกิดจากความไม่แน่นอนและไม่เพียงพอของข้อมูลความลึกของชั้นดินของทั้งกลุ่มน้ำ และอาจเกิดจากการขาดข้อมูลการใช้และกักเก็บน้ำภายในกลุ่มน้ำลำพิงซู โดยเฉพาะในฤดูแล้ง

ผลการศึกษาปัญหาดินเค็มของ Kohyama and Subhasaram (1993) ที่ อ.พระยืน จ.ขอนแก่น พบว่าความเค็มมาจากเกลือที่มีอยู่มากในดินชั้นล่าง แพร่ขึ้นมาที่ผิวดิน ซึ่งการเกิดน้ำผิวดินจาก

ส่วนเกินอิมิตัวอาจเกี่ยวข้องกับ การเคลื่อนที่ของเกลือแบบนี้ ยังพบอีกว่าการกระจายของดินเค็ม ส่วนหนึ่งจะเกิดมากบริเวณริมลำน้ำ ที่ลุ่มเชิงเขา การเกิดน้ำไหลใต้ผิวดินมาตามความลาดชันอาจ เป็นสาเหตุของการเคลื่อนที่ของความเค็มเช่นนี้

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสำรวจความเค็มของน้ำในแม่น้ำมูลและในน้ำใต้ดิน ในเขตลุ่ม น้ำมูลพบว่า ความเค็มมีความแตกต่างกันกันตามพื้นที่และเวลา ในช่วงฤดูฝนความเค็มของน้ำในแม่น้ำมูลมีค่าลดลงเนื่องจากการถูกเจือจางด้วยน้ำผิวดินจำนวนมากจากน้ำฝน แต่ความเค็มในน้ำใต้ดิน ที่เก็บตัวอย่างจาก piezometer มีค่าเพิ่มขึ้น

ความเชื่อมโยงระหว่างสมดุลของน้ำในลุ่มน้ำกับการปลดปล่อยความเค็มออกมากับน้ำผิวดิน หรือใต้ดิน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่และเวลาของความเค็ม ยังเป็นเพียงการตั้งสมมุติฐาน ไม่มีหลักฐานยืนยันที่ชัดเจน

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากวิธีการแก้ปัญหของเกษตรกร เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินเค็มให้สามารถปลูกพืชได้ ควรมีการพิสูจน์ หาเหตุผลและคำอธิบายตามหลักอุทกวิทยา ชลศาสตร์การไหลของน้ำในดิน และ ปฐพีวิทยา ต่อไป

ด้วยข้อจำกัดของข้อมูลคุณภาพน้ำที่บ่งบอกถึงความเค็ม คือ ค่าการนำไฟฟ้า มีการเก็บข้อมูล จากน้ำในแม่น้ำมูล ซึ่งจุดที่เก็บตัวอย่างเหล่านี้มีพื้นที่รับน้ำขนาดใหญ่ จึงได้เป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ ไม่สามารถบอกได้ว่าส่วนไหนของกลุ่มน้ำมูลเป็นต้นกำเนิด หรือเป็นแหล่งความเค็ม อีกทั้งช่วงเวลา ที่เก็บข้อมูลเก็บ 4 ครั้งต่อปี จึงไม่มีข้อมูลที่สามารถนำมาใช้กับลุ่มน้ำลำพังชูได้

ในการศึกษาต่อไป ควรนำระบบ Geographic Information System (GIS) มาใช้ในการ นำเสนอข้อมูลต่างๆ ในรูปแบบที่ ทำให้เห็นภาพรวมและความเชื่อมโยงของลักษณะทางกายภาพ ต่างๆ ได้ดีขึ้น

การทดสอบในห้องปฏิบัติการมีความสำคัญ ที่ต้องดำเนินการต่อไป เพื่อศึกษาทำความเข้าใจ กับพฤติกรรมของดินประเภท ดินพังก่าย ซึ่งเป็นดินที่มีปริมาณดินเหนียวต่ำ ศึกษาความสัมพันธ์ ระหว่างความชื้น capillary force และการเคลื่อนที่ของน้ำเค็มในดิน นำไปสู่ความเข้าใจปัจจัย กระบวนการอะไรบ้างที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของความเค็มในดิน และทดสอบแนวทางแก้ปัญหาดิน เค็มทางเลือกต่างๆต่อไป

บรรณานุกรม

- ประสิทธิ์ ต้นประภาส และ ไพรัช พงษ์วิเชียร (พ.ศ. 2549). 'การจัดการมลพิษชีวภาพของหญ้าแฝก และถั่วพรางเพื่อการฟื้นฟูดินเค็มอย่างยั่งยืน'. รายงานฉบับสมบูรณ์ กรมพัฒนาที่ดิน.
- Akudago J. A., Nishigaki M., Chegbeleh L. P., Komatsu M., Alim M. A. (2009), Capillary cut design for soil-groundwater salinity control, Journal of the Faculty of Environmental Science and Technology Okayama University, Vol.14 No1:17-22.
- Arunin, S. (1984), Characteristics and management of salted-affected soils in Northeast Thailand, In: Ecology and management of problem soils in Asia, FFTA book series No. 27 pp. 336-351.
- Dejhimon, K., Patcharapreecha, P., and Wada, H.,(1993), Utilization of PVA for reclamation of the salted-affected soils in Northeast Thailand Part 1: Laboratory experiments, Thai Agriculture Research Journal, 11, pp. 120-126.
- Eagleson, P.S., (1978). Climate soil, and vegetation I: introduction to water balance dynamics, Water Resources Research, 14(5): 705-712.
- JICA, (1991), The master plan study on the integrated rural development of salted-affected land in Northeast Thailand.
- Jothityangkoon, C., Sivapalan, M., Farmer, D.L., (2001). Process controls of water balance variability in a large semi-arid catchment: Downward approach to hydrological model development, Journal of Hydrology, 254: 174-198.
- Klemes, V., (1983). Conceptualisation and scale in hydrology, Journal of Hydrology, 65: 1-23.
- Kohyama, K., Subhasaram, T., (1993). Salt-affected soils in northeast Thailand their salinization and amelioration, ADRC Technical report No. 12, 55p.
- Kohyama, K., Wichaidit P., Pramojanee P., Sukchan S. and Wada H., (1993), Salinity in the watershed of Northeast Thailand. In: Kokyama, K.,and Subhasaram, T. (eds.), Salt-affected soils in Northeast Thailand , their salinity and amelioration, ADRC Technical paper No.12, pp. 7-26.
- Manabe, S., (1969). Climate and ocean circulation :The atmospheric circulation and the hydrology of the earth's surface, Monthly Weather Review 97(11): 739-774.
- McGowan Int. Pty. Ltd.,(1983), Thai-Australia Tung Kula Ronghai project, Tung Kula Ronghai Salinity study 1981-1982, 145 p.
- Milly, P.C.D., (1994). Climate, soil water storage, and the average annual water balance, Water Resources Research, 30(7): 2143-2156.

- Prathapar S.A., Robbins S.W., Meyer W. S., Jayawardance N.S., (1992). Model for estimating capillary rice in a heavy clay soil with a saline shallow water table., Journal of Irrigation science, 13, 1-7.
- Puengpan, N. (1992), Salted-affected soils in Northeast Thailand and strategies of their amelioration, PhD. Thesis, Tokyo University of Agriculture, Tokyo, Japan.
- Puengpan, N., Subhasaram, T. and Wada. H., (1993), Techniques and strategies to ameliorate salt-affected soils in Northeast Thailand, In: Kokyama, K., and Subhasaram, T.(eds.), Salt-affected soils in Northeast Thailand , their salinity and amelioration, ADRC Technical paper No.12, pp. 27-44.
- Sinanuwong, S. and Takaya Y., (1974a), Saline soils in Northeast Thailand: Their possible origin as deduced from field evidence, Southeast Asian studies, 12, 105-120.
- Sinanuwong, S. and Takaya Y., (1974b), Distribution of saline soils in Khorat basin of Thailand, Southeast Asian studies, 12, 365-382.
- Topark-Ngarm, B., (1988), Study on increasing productivity of saline soils, PhD. Thesis, Tokyo University of Agriculture, Tokyo, Japan.
- Viney, N.R., Sivapalan, M. (1995). LASCAM: The large scale catchment model. User manual, Report number WP 1070 NV, Ctre. For Water Res., Univ. of West. Aust., 199pp.
- Wada, H., Wichaidit, P., and Pramojanee, P., (1994), Salt-affected area in northeast Thailand, nature, properties and management, ADRC Technical report No.15, 67 p.
- Wittenburg, H., (1994). Nonlinear analysis of flow recession curves. IAHS Publ. 221, 61-67.
- Wittenburg, H., (1999). Baseflow recession and recharge as a nonlinear storage processes, Hydrol. Process. 13, 715-726.

ภาคผนวก ก

รายชื่อสถานีวัดน้ำฝน ภูมิอากาศ สถานีวัดน้ำท่า และสถานีเก็บตัวอย่างน้ำ

ตารางที่ ก-1 รายชื่อสถานีวัดน้ำฝน ภูมิอากาศ และสถานีวัดน้ำท่า ที่ใช้ในการศึกษานี้ และรายละเอียดข้อมูลแต่ละสถานี

	Code	Station Name	District	Province	Latitude ° ' "	Longitude ° ' "	Standard Raingauge	Automatic Raingauge
1	02201	Lam Phang Chu (M92)	Phuthaisong	Buri Ram	15 32 57	103 04 20	1978-1996	1978-1986
2	02072	Phuthaisong Serticulture Experimental	Phuthaisong	Buri Ram	15 32 15	103 00 35	1952-date	-
3	14152	A. Nong Song Hong	Nong Song Hong	Khon Kaen	15 43 53	102 47 58	1966-date	-
4	21063	A. Phayakkhaphum Phisai	Phayakkhaphum Phisai	Maha Sarakhom	15 30 50	103 11 54	1922-date	-
5	21130	Huai Chiang Kham Tank (TNK.10)		Maha Sarakhom	15 58 11	103 06 22	1955-date	
6	21160	Nong Khu Khar Tank (TNK.18)	Borabu	Maha Sarakhom	15 55 26	102 59 46	1957-date	
7	21240	Nong Kho Tank (TNK.111)	Nachuak	Maha Sarakhom	15 49 24	103 02 03	1971-date	
8	21252	A. Nachuak	Nachuak	Maha Sarakhom	15 47 44	103 02 05	1970-date	

List of Evaporation

	Code	Station Name	District	Province	Latitude ° ' "	Longitude ° ' "	Evaporation
1	02201	Lam Phang Chu (M.92)	Phuthaisong	Buri Ram	15 32 57	103 04 20	1978-1987
2	21260	9R-L Canal Ban Kham Pia	Nachuak	Maha Sarakhom	16 26 32	103 00 00	1991-date

List of Stream gauge

	Code	River	Station Name	Location			Latitude ° ' "	Longitude ° ' "	Drainage Area Km ²	Discharge Data
				At or Near	District	Province				
1	M92	Mun	Lam Phang Chu	Ban Hua Saphan	Phuthaisong	Buri Ram	15 32 57	103 04 20	1094	1978-1986

ตารางที่ ก-2 รายชื่อสถานีเก็บตัวอย่างน้ำ กรมควบคุมมลพิษ สำนักสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 พื้นที่ลุ่มน้ำมูลตอนบน

พื้นที่รับผิดชอบ	รายละเอียดจุดเก็บตัวอย่าง						ความถี่ (ครั้ง/ปี)	Parameter		
	แหล่งน้ำ	จำนวน สถานี	รหัส สถานี	ที่ตั้ง	พิกัด			Basic	H.M.	
					Zone	เขต X				เขต Y
1. นครราชสีมา	ลำตะคอง	10	LT01	ปากแม่น้ำลำตะคอง บ.ของเขย ต.พะเนา อ.เมือง จ.นครราชสีมา	48P	0199428	1661149	/		
			LT02	สะพานชุมชนวัดสามัคคี ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา	48P	0189007	1658269	/	/	
			LT2.1	เขื่อนมะขามแต้ ต.บ้านใหม่ อ.เมือง (LTK03)	48P	0177989	1657011	/		
			LT2.2	สะพานบ้านตะคองหลง ต.สูงเนิน อ.สูงเนิน จ.นครราชสีมา	47P	0802937	1649386	/		
			LT2.3	สะพานลำตะคองข้ามทะเลสาบ ต.เขาทะเลสาบ อ.เขาทะเลสาบ (LTK04)	47P	0817472	1653619	/		
			LT03	สะพานบ้านกุดตะเนม ต.มิตรภาพ อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา	47P	0789704	1646493	/		
			LT04	จุดสูบน้ำประปาลำตะคอง ต.คลองไผ่ อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา	47P	0775428	1644111	/	/	
			LT05	สะพานกรมพลธิการทหารบก อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา	47P	0764631	1633213	/	/	
			LT06	สะพานหนองสาหร่าย อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา	47P	0761772	1628510	/		
			LT07	บ้านบุกระแจะ ต.ขงพระ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา	47P	0760735	1619890	/		
			LTK01	เขื่อนกั้นผม ต.พระพุทธร อ.เฉลิมพระเกียรติ	48P	0202520	1661732	/		
			LTK02	สะพานลำตะคองบ้านท่ากระสัง ต.หัวทะเล อ.เมือง	47P	0193013	1658904	/		
			LTK05	สะพานบึงลำไย ต.สีคิ้ว อ.สีคิ้ว	47P	0795134	1646920	/		
			LTK06	สะพานลำตะคองท่ามะนาว ต.หนองสาหร่าย อ.ปากช่อง	47P	0762474	1629618	/		
			LTK07	สะพานลำตะคองจันทรสัตย์ ต.ปากช่อง อ.ปากช่อง	47P	0758901	1624582	/		
		มูล	6	สะพานบ้านท่า อ.ชุมพวง จ.นครราชสีมา	48P	0258272	1700014	/		
				สะพานแม่น้ำมูล อ.พิมาย จ.นครราชสีมา	48P	0229766	1685102	/	/	
				สะพานมูลบ้านท่าช้าง ต.ท่าช้าง อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.นครราชสีมา	48P	0205503	1660897	/	/	
			สะพานบ้าน โนนเพชร ต.ท่าเยี่ยม อ.โชคชัย จ.นครราชสีมา	48P	0199777	1631963	/			

ตารางที่ ก-2 (ต่อ) รายชื่อสถานีเก็บตัวอย่างน้ำ กรมควบคุมมลพิษ สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 พื้นที่ลุ่มน้ำมูลตอนบน

พื้นที่รับผิดชอบ	รายละเอียดจุดเก็บตัวอย่าง										ความถี่ (ครั้ง/ปี)		Parameter	
	แหล่งน้ำ	จำนวน สถานี	รหัส สถานี	ที่ตั้ง	Zone	พิกัด		ความถี่	Basic	H.M.				
						แกน X	แกน Y							
1. นครราชสีมา	มูล		MU19	สะพานบ้านหนองเสือบอง ต.อรุณพิทักษ์ อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา	48P	0195197	1612021	4	/	/				
			MU20	สะพานแม่น้ำมูลตำบลจรเข้หิน ต.จรเข้หิน อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา	48P	0194094	1606227	4	/	/				
	มูล	2	MU14	สะพานต.สตึก อ.สตึก จ.บุรีรัมย์	48P	0316628	1692147	4	/	/				
			MU15	สะพานเชื่อม อ.คูเมือง กับบ้านป่าบึงบา ต.ปะเคียบ อ.พุทไธสง จ.บุรีรัมย์	48P	0286752	1707420	4	/	/				
			LC04	สะพานบ้านละดุน ต.หนองเต็ง อ.กระสัง จ.บุรีรัมย์	48P	0325578	1645187	4	/	/				
3. สุรินทร์			LC05	ฝายกระทุ่ม (วัดหลวงพอดุข) อ.กระสัง จ.บุรีรัมย์	48P	0332516	1662705	4	/	/				
	หัวเต่าง	1	HN	ประจวบเขาป่า หัวเต่าง ต.เดียง อ.เมือง จ.สุรินทร์	48P	0337384	1637944	4	/	/				
	ลำชี	3	LC01	ปากน้ำลำชี หมู่บ้านช้าง (บ้านตากลาง) อ.ท่าตูม จ.สุรินทร์	48P	0339523	1691082	4	/	/				
				LC02	สะพานบุรีรัมย์ ต.เมืองถึง อ.จอมพระ จ.สุรินทร์	48P	0331186	1674576	4	/	/			
				LC03	สะพานสุรินทร์ภักดี บ้านอาตอโคกแบน อ.เมือง จ.สุรินทร์	48P	0315822	1637130	4	/	/			
4. ศรีสะเกษ	มูล	1	MU13	สะพาน อ.ท่าตูม จ.สุรินทร์	48P	0358528	1695251	4	/	/				
			MU09	สะพานบ้านหมื่นท่าต.สะทาย อ.กันทรารมย์ จ.ศรีสะเกษ	48P	0455197	1674167	4	/	/				
	เสียว		MU10	สะพานบ้านแก้ง อ.ยางชุมน้อย จ.ศรีสะเกษ	48P	0424719	1684792	4	/	/				
			MU11	สะพาน อ.ราษีไศล จ.ศรีสะเกษ	48P	0409052	1696119	4	/	/				
			MU12	ฝายราษีไศล อ.ราษีไศล จ.ศรีสะเกษ	48P	0403246	1696556	4	/	/				
		1	SE01	สะพานเชื่อมบ้านหนองแก้ว-บ้านฝาง อ.ราษีไศล จ.ศรีสะเกษ	48P	0399409	1704121	4	/	/				
รวม														
										35 สถานี				

ตารางที่ ก-2 (ต่อ) รายชื่อสถานีเกี่ยวกับตัวอย่างน้ำกรรมาควบคุมมลพิษ สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 พื้นที่ลุ่มน้ำมูลตอนบน

พื้นที่รับผิดชอบ	รายละเอียดจุดเก็บตัวอย่าง				ความถี่ (ครั้ง/ปี)	Parameter			
	แม่น้ำ	จำนวน	รหัส	ที่ตั้ง		พิกัด		Basic	H.M.
						Zone	แกน X		
1. นครราชสีมา	ลำเชียงไกร	5	LCK01	สะพานลำเชียงไกรข้ามกอ โนนสูง อ. โนนสูง	48P	0205431	1680188	/	
			LCK02	สะพานลำเชียงไกรตำบลค่านจาก ต.ค่านจาก อ. โนนไทย	48P	0188805	1675424	/	
			LCK03	สะพานลำเชียงไกรตำบลสำโรง อ. โนนไทย	48P	0177677	1676395	/	
			LCK04	สะพานลำเชียงไกรข้ามกอด่านขุนทด ต.ด่านขุนทด อ.ด่านขุนทด	47P	0796738	1685110	/	
			LCK05	สะพานลำเชียงไกรบ้านส้ม ต.คอมชมพู อ. โนนสูง	48P	0215428	1682126	/	
	ลำซอ	2	LZ01	สะพานลำซอวังมี ต.เมืองปัก อ. ปักธงชัย	48P	0180578	1630174	/	
			LZ02	สะพานลำซออำเภอปักธงชัย ต.เมืองปัก อ. ปักธงชัย	48P	0179556	1629833	/	
	ลำจักราช	1	LJK01	สะพานลำจักราช ต.จักราช อ.จักราช	48P	0220268	1666416	/	
	ลำปะเซ	1	LS01	สะพานลำปะเซ ต.ปะเซ อ.ครบุรี	48P	0202553	1607227	/	
	ลำสะเทิน	1	LST01	สะพานลำสะเทินอำเภอประทาย ต.โคกกลาง อ.ประทาย	48P	0259029	1715157	/	
	ลำห้วยยาง	1	LHY01	สะพานลำห้วยยางอำเภอบัวใหญ่ ต.บัวใหญ่ อ.บัวใหญ่	48P	0223411	1723169	/	
	ลำปายมาศ	2	LPM05	สะพานลำปายมาศบ้านปาวี ต.ตะเียน อ.เสิงสาง	48P	0226538	1588634	/	
			LPM04	สะพานลำปายมาศอำเภอยุพวง ต.ท่าลาด อ.ยุพวง	48P	0251332	1691358	/	
	ลำปายมาศ	3	LPM01	สะพานลำปายมาศ ต.ไผ่น้อย อ.ลำปลายมาศ	48P	0267291	1654390	/	
			LPM02	สะพานลำปายมาศ ต.ธานี อ.ธานี	48P	0266199	1639253	/	
2. บุรีรัมย์			LPM03	สะพานลำปายมาศ ต.หนองโสน อ.นางรอง	48P	0253929	1619099	/	
	ห้วยเสนง	1	HN02	สะพานห้วยเสนง ซึ่งสถานีประมง ต.นอกเมือง อ.เมือง	48P	0333759	1647165	/	
	ห้วยทับทัน	1	HTT01	สะพานห้วยทับทัน(วิศวะโชติคุณ) ต.ธาตุ อ.รัตนบุรี	48P	0342201	1689154	/	

ตารางที่ ก-2 (ต่อ) รายชื่อสถานีเก็บตัวอย่างน้ำกรมควบคุมมลพิษ สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 พื้นที่ลุ่มน้ำมูลตอนบน

พื้นที่รับผิดชอบ	รายละเอียดจุดเก็บตัวอย่าง							ความถี่ (ครั้ง/ปี)	Parameter	
	แม่น้ำ	จำนวน	รหัส	ที่ตั้ง	Zone	พิกัด			Basic	H.M.
						แกน X	แกน Y			
4. ศรีสะเกษ	ห้วยชะบุง	1	HKY01	สะพานห้วยชะบุง ต. โนนสัง อ.กันทรารมย์	48P	0465454	1670645	4	/	
	ห้วยสำราญ	1	HS	จุดสูบน้ำห้วยสำราญ ต.ในเมือง อ.เมือง	48P	0426838	1671492	4	/	
รวม				20 สถานี						

หมายเหตุ

- Basic parameter ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ, อุณหภูมิน้ำ, pH, การนำไฟฟ้า (Conductivity), ความเค็ม (Salinity), ความขุ่น (Turbidity), DO, BOD, TCB, FCB, TS, SS, TDS, TP, Hardness, NO₂-N, NO₃-N, NH₃-N
- HM (Heavy Metals) ได้แก่ Cd, Total Cr, Mn, Pb, Zn, Cu, Hg, Fe

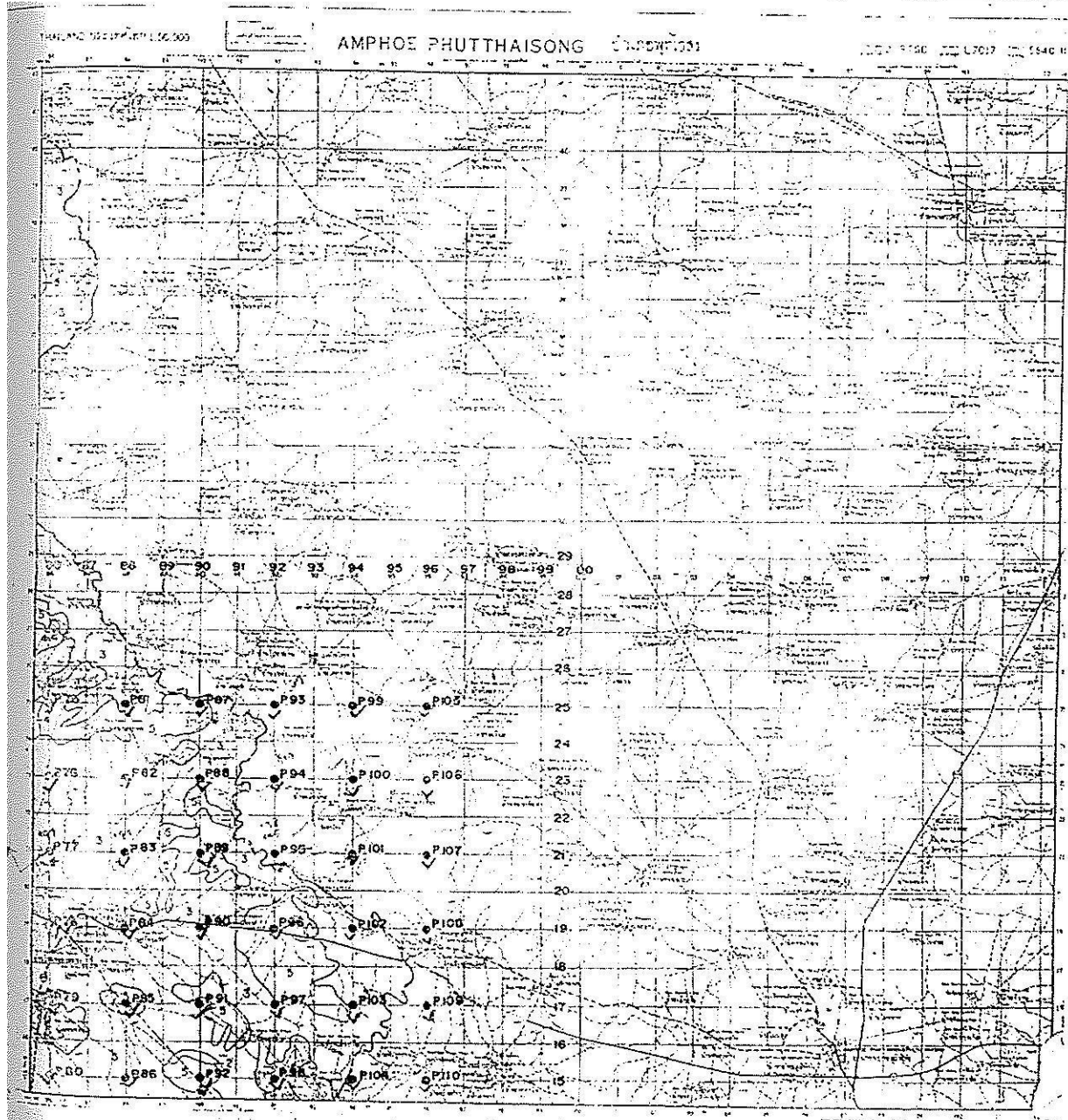
ภาคผนวก ข

ข้อมูลความถี่ของชั้นดิน

แผนที่การแพร่กระจายของดินเค็ม
จังหวัดบุรีรัมย์

มาตราส่วน 1:100,000

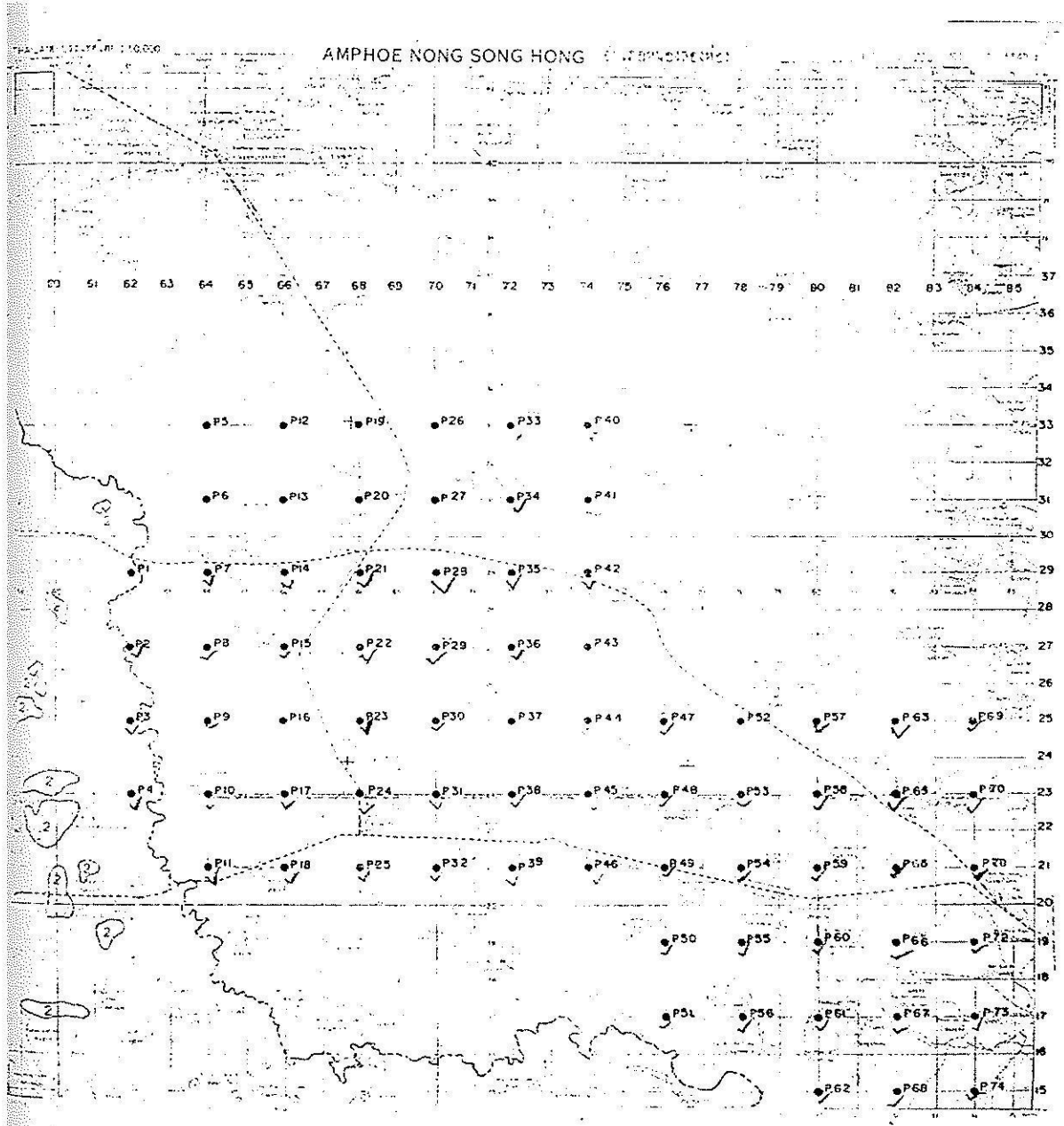
กรมการที่ดิน
กองการรังวัด
กองการรังวัดภาค
การรังวัดที่ดิน
กองการรังวัดภาคกลาง



รูปที่ ข-1 แผนที่แสดงตำแหน่งการเจาะสำรวจดินและติดตั้ง Piezometer(1)

แผนที่แสดงการชะล้างพังทลายของดิน จังหวัดนครราชสีมา
SOIL EROSION MAP OF NAKHON RATCHASIMA PROVINCE

Scale 1:500,000



รูปที่ ข-1 (ต่อ) แผนที่แสดงตำแหน่งการเจาะสำรวจดินและติดตั้ง Piezometer(2)

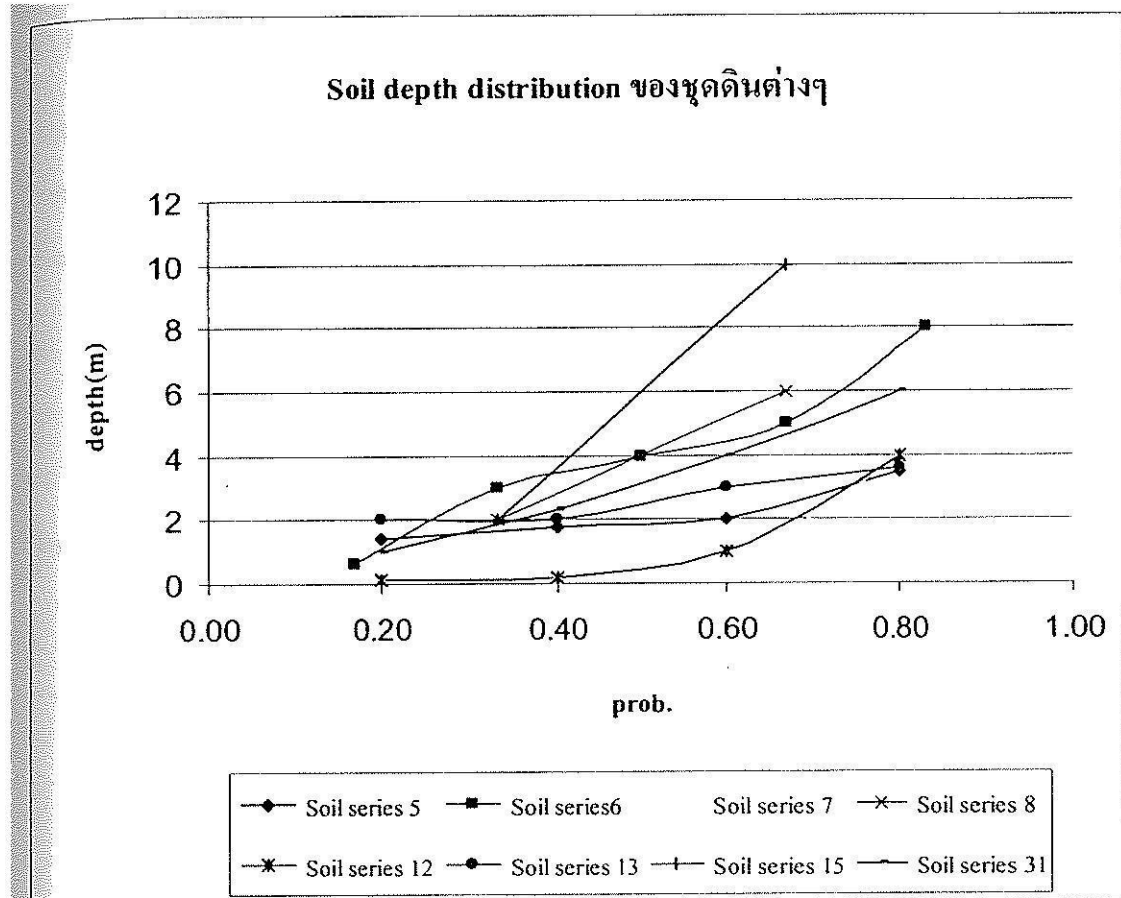
ตารางที่ ข-2 ข้อมูลความลึกของดินจากการเจาะสำรวจดินที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในและโดยรอบลุ่มน้ำลำพังชู

No	Province	Location	Soil series		Depth (m)	
			I	II	Sand	Clay
1	M	110	15	6	10	
2	M	109	8		2	2
3	M	108	8		6	
4	M	107	15		2	
5	M	106	13		3	2
6	M	105	6		0.6	2.4
7	M	104	6		8	
8	B	103	12		1	1
9	B	102	12	1	4	
10	M	101	6		5	
11	M	100	13		2	3
12	M	99	13		3.6	0.7
13	B	98	23		2	2.5
14	B	97	5	31	2	1
15	B	96	31		6	9
16	M	95	6		4	1.6
17	M	94	13	6	2	1
18	M	93	6		3	
19	B	91	5		1.8	
20	B	90	31	12	4	4
21	B	89	16		1	1
22	B	88	5		3.5	
23	B	87	31		2.3	
24	B	83	7		0.7	1.8
25	B	82	7		4	1
26	B	81	5		1.4	
27	B	76	7		0.2	2.8
28	B	75	31		1	2
29	B	69	12		0.2	4.4
30	B	63	12		0.1	
31	B	57	21		4	9
32	B	40	7		0.1	5

2.83

ตารางที่ ข-2(ต่อ) ข้อมูลความลึกของดินจากการเจาะสำรวจดินที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในและโดยรอบลุ่มน้ำลำพังชู
(เรียงลำดับข้อมูลตาม soil series)

No	Province	Location	Soil series		Depth (m)		Rang	Prob
			I	II	Sand	Clay		
26	B	81	5		1.4		1	0.20
19	B	91	5		1.8		2	0.40
14	B	97	5	31	2	1	3	0.60
22	B	88	5		3.5		4	0.80
6	M	105	6		0.6	2.4	1	0.17
18	M	93	6		3		2	0.33
16	M	95	6		4	1.6	3	0.50
10	M	101	6		5		4	0.67
7	M	104	6		8		5	0.83
32	B	40	7		0.1	5	1	0.20
27	B	76	7		0.2	2.8	2	0.40
24	B	83	7		0.7	1.8	3	0.60
25	B	82	7		4	1	4	0.80
2	M	109	8		2	2	1	0.33
3	M	108	8		6		2	0.67
30	B	63	12		0.1		1	0.20
29	B	69	12		0.2	4.4	2	0.40
8	B	103	12		1	1	3	0.60
9	B	102	12	1	4		4	0.80
11	M	100	13		2	3	1	0.20
17	M	94	13	6	2	1	2	0.40
5	M	106	13		3	2	3	0.60
12	M	99	13		3.6	0.7	4	0.80
4	M	107	15		2		1	0.33
1	M	110	15	6	10		2	0.67
21	B	89	16		1	1	1	
31	B	57	21		4	9	1	
13	B	98	23		2	2.5	1	
28	B	75	31		1	2	1	0.20
23	B	87	31		2.3		2	0.40
20	B	90	31	12	4	4	3	0.60
15	B	96	31		6	9	4	0.80



หมายเหตุ

B5:Kala Ronghai(y1)

M6:Roiet 1 (y2)

B7:Roiet 2 (y3)

B12:Thatum (y4)

M13:Korat (y5)

B31:Satuk (y6)

M8:Roiet loamy variant (y7)

M15:Nam Phong (y8)

ข-3 ตัวอย่างข้อมูลการเจาะสำรวจความลึกของดินตำแหน่ง 109

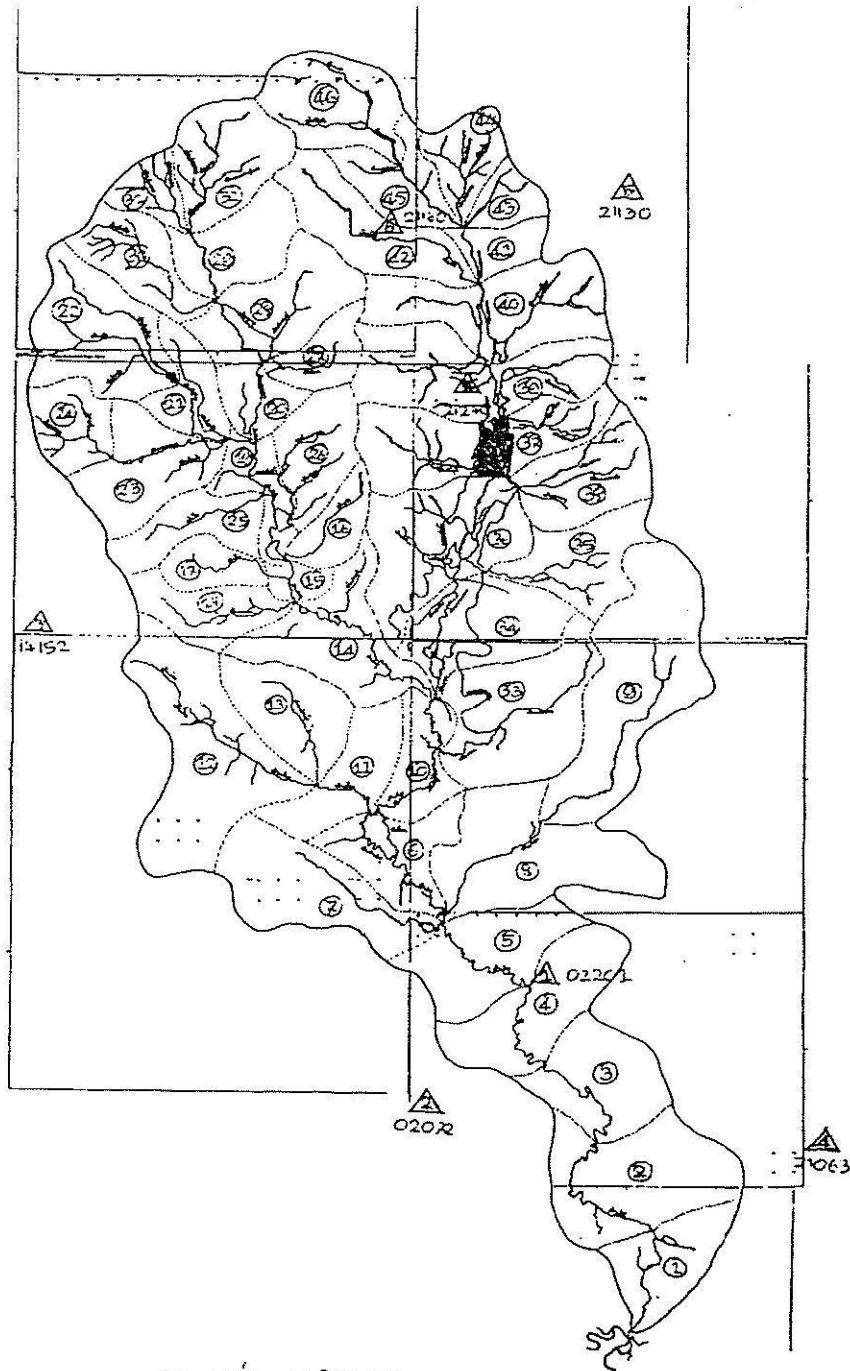
ระยะ	0.00-2.00 เมตร	ดินเป็นดินทรายสีทอง	
ระยะ	2.00-4.00 เมตร	เปลี่ยนเป็นดินเหนียวปนดินทรายสีเทา	
ระยะ	4.00-15.00 เมตร	เปลี่ยนเป็นดินดานอ่อนๆ สีแดง	
ท่อ	15.00 เมตร	ฝัง Screen	ระยะ 15.00 เมตร
ท่อ	10.00 เมตร	ฝัง Screen	ระยะ 10.00 เมตร
ท่อ	5.00 เมตร	ฝัง Screen	ระยะ 5.00 เมตร

Screen 37 เซนติเมตร

หลุม	ความลึกท่อ PVC	ความลึกท่อหลังเป่า	ความสูงท่อเหล็ก	PVC
5	6.07	6.00	40	40
10	11.57	11.50	40	40
15	15.50	15.40	40	40

ภาคผนวก ค

การแบ่งกลุ่มน้ำย่อยและลักษณะกลุ่มน้ำย่อย



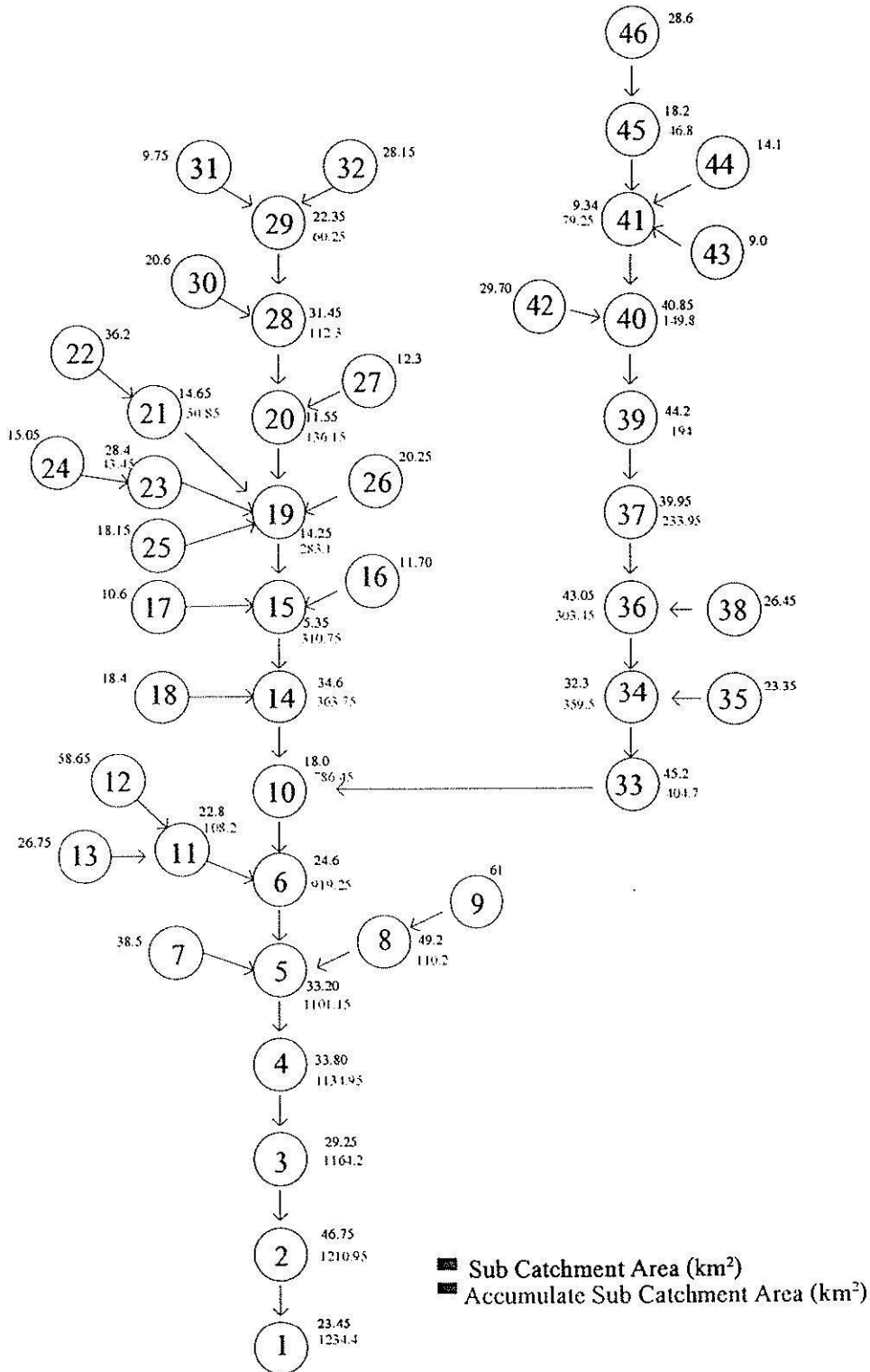
ขนาดกระดาษ 1 : 200,000

สังขละบุรี

○ Subcatchment Area

△ Rain Gauge Station

รูปที่ ค-1 แผนที่แสดงการแบ่งขอบเขตของกลุ่มน้ำย่อย ลำน้ำลำพังชู และตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝน



รูปที่ ท-2 Schematic diagram ของ stream network ของกลุ่มน้ำย่อย

ตารางที่ ก-2 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำย่อย ลำน้ำลำพังชู

%Sub (%)	Link Len (km)	Next	Link Area (km ²)	Total A (km ²)	Rain	M
46	8	45	28.6	28.6	6	30
45	5	41	18.2	46.8	6	10
44	5.7	41	14.1	14.1	6	20
43	4.6	41	9	9	5	20
42	12.8	40	29.7	29.7	6	20
41	3.65	40	9.35	79.25	5	20
40	4.4	39	40.85	149.8	7	30
39	2.9	37	44.2	194	7	40
38	7.2	36	26.45	26.45	7	40
37	3.25	36	39.95	233.95	7	60
36	5.2	34	43.05	303.45	7	40
35	7.1	34	23.75	23.75	7	30
34	14.6	33	32.3	359.5	7	30
33	4.35	10	45.2	404.7	7	50
32	7.7	29	28.15	28.15	6	20
31	5.2	29	9.75	9.75	6	10
30	9.9	28	20.6	20.6	6	20
29	4.15	28	22.35	60.25	6	20
28	4.5	20	31.45	112.3	6	10
27	5.1	20	12.3	12.3	6	10
26	4.65	19	20.25	20.25	7	20
25	7.2	19	18.15	18.15	3	20
24	5.15	23	15.05	15.05	3	20
23	7.45	19	28.4	43.45	3	30
22	9.7	21	36.2	36.2	6	20
21	5.95	19	14.65	50.85	3	10
20	4.35	19	11.55	136.15	7	30
19	8.6	15	14.25	283.1	3	10
18	7.6	14	18.4	18.4	3	10
17	4.85	15	10.6	10.6	3	20
16	6.7	15	11.7	11.7	7	20
15	3.05	14	5.35	310.75	3	10
14	10.8	10	34.6	363.75	3	30
13	7.05	11	26.75	26.75	3	10
12	13.25	11	58.65	58.65	3	20
11	4.15	6	22.8	108.2	2	10
10	10.05	6	18	786.45	1	30
9	14.8	8	61	61	7	60
8	7.9	5	49.2	110.2	1	50
7	9.65	5	38.5	38.5	2	30
6	11.8	5	24.6	919.25	1	10
5	8.7	4	33.2	1101.15	1	50
4	8	3	33.8	1134.95	1	50
3	9.2	2	29.25	1164.2	1	40
2	11	1	46.75	1210.95	1	20
1	7.4	0	23.45	1234.4	1	10

ตารางที่ ค-3 (ต่อ) ส่วนตามพื้นที่ของจุดดินในแต่ละลุ่มน้ำย่อย

Sub. Catchment	M6	M7	M8	M11	M13	M15	M16	M17	M18	K14	K16	K25	K33	B7	B12	B17	B21	B23	B31	S9	S12
16	50	0	0	0	0	0	35	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	50	25	0	0	10	0	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	48	5	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	0	10	0	0	0	0
10	70	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	35	0	0	0	30	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	40	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	30	0	10	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	55	0	20	0	0	0
5	50	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	50	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50

หมายเหตุ

จุดดิน	M6	M7	M8	M11	M13	M15	M16	M17	M18	K14	K16	K25	K33	B7	B12	B17	B21	B23	B31	S9	S12
ความถี่ของดิน		y2	y7	y2	y5	y8	y2	y2	y2	y2	y2	y5	y8	y3	y4	y2	y5	y5	y6	y2	y1

ตารางที่ ก-4 สัดส่วนพื้นที่ของชนิดของดิน ชนิดดินของกลุ่มน้ำย่อย

หมายเลข	Province	Soil series	Type Soi
1	S	9(50%)	Roi Et series, loamy variant (Re-l)
		12(50%)	Kula Ronghai series (Kl)
2	M	6	Roi Et (Re)
3	M	6(50%)	Roi Et (Re)
		15(50%)	Nam Phong (Ng)
4	M	6	Roi Et (Re)
5	M	6(50%)	Roi Et (Re)
		13(50%)	Korat (Kt)
6	B	12(25%)	Tha Tum (Tt)
		17(55%)	Roi Et/on association (Re/on)
		23(20%)	Nam Phong (Ng)
7	B	7(60%)	Roi Et (Re)
		12(30%)	Tha Tum (Tt)
		21(10%)	Korat (Kt)
8	M	6(40%)	Roi Et (Re)
		13(60%)	Korat (Kt)
9	M	6(35%)	Roi Et (Re)
		13(30%)	Korat (Kt)
		15(35%)	Nam Phong (Ng)
10	M	6(70%)	Roi Et (Re)
		8(30%)	Roi Et loamy variant (Re-l)
11	B	12(90%)	Tha Tum (Tt)
		21(10%)	Korat (Kt)
12	B	7(47%)	Roi Et (Re)
		17(48%)	Roi Et/on association (Re/on)
		31(5%)	Satuk (Suk)

ตารางที่ ก-4 (ต่อ) สัดส่วนพื้นที่ของชนิดของดิน ชุดดินของกลุ่มน้ำย่อย

หมายเลข	Province	Soil series	Type Soi
13	B	12	Tha Tum (Tt)
14	M	6(50%)	Roi Et (Re)
		7(25%)	Roi Et, high phase (Re-h)
		13(10%)	Korat (Kt)
		16(10%)	Satuk (Suk)
		17(5%)	Warin (Wn)
15	M	6	Roi Et (Re)
16	M	6(50%)	Roi Et (Re)
		16(35%)	Satuk (Suk)
		17(15%)	Warin (Wn)
17	M	6(50%)	Roi Et (Re)
		13(50%)	Korat (Kt)
18	M	6(55%)	Roi Et (Re)
		13(45%)	Korat (Kt)
19	M	6(50%)	Roi Et (Re)
		8(50%)	Roi Et loamy variant (Re-l)
20	M	6(55%)	Roi Et (Re)
		13(10%)	Korat (Kt)
		15(35%)	Nam Phong (Ng)
21	M	6(40%)	Roi Et (Re)
		11(20%)	Udon (Ud)
		13(20%)	Korat (Kt)
		15(20%)	Nam Phong (Ng)
22	K	14(15%)	Roi Et (Re)
		16(25%)	Roi Et saline variant (Re-Sa)
		33(60%)	Nam Phong (Ng)

ตารางที่ ก-4 (ต่อ) สัดส่วนพื้นที่ของชนิดของดิน ชุดดินของกลุ่มน้ำย่อย

หมายเลข	Province	Soil series	Type Soi
23	K	14(60%)	Roi Et (Re)
		25(40%)	Korat (Kt)
24	K	33(55%)	Nam Phong (Ng)
		14(45%)	Roi Et (Re)
25	M	6(50%)	Roi Et (Re)
		13(50%)	Korat (Kt)
26	M	6(35%)	Roi Et (Re)
		13(20%)	Korat (Kt)
		15(25%)	Nam Phong (Ng)
		16(20%)	Satuk (Suk)
27	M	11(30%)	Udon (Ud)
		15(70%)	Nam Phong (Ng)
28	M	6(65%)	Roi Et (Re)
		13(17%)	Korat (Kt)
		15(18%)	Nam Phong (Ng)
29	M	6(30%)	Roi Et (Re)
		11(20%)	Udon (Ud)
		15(50%)	Nam Phong (Ng)
30	M	11(45%)	Udon (Ud)
		15(55%)	Nam Phong (Ng)
31	M	11(35%)	Udon (Ud)
		13(20%)	Korat (Kt)
		15(45%)	Nam Phong (Ng)

ตารางที่ ก-4 (ต่อ) สัดส่วนพื้นที่ของชนิดของดิน ชุดดินของกลุ่มน้ำย่อย

หมายเลข	Province	Soil series	Type Soi
32	M	6(40%)	Roi Et (Re)
		11(15%)	Udon (Ud)
		13(25%)	Korat (Kt)
		15(20%)	Nam Phong (Ng)
33	M	6(40%)	Roi Et (Re)
		13(60%)	Korat (Kt)
34	M	6(50%)	Roi Et (Re)
		13(30%)	Korat (Kt)
		15(20%)	Nam Phong (Ng)
35	M	6(35%)	Roi Et (Re)
		11(35%)	Udon (Ud)
		13(10%)	Korat (Kt)
		15(10%)	Nam Phong (Ng)
		18(10%)	Yasothon (Yt)
36	M	6(57%)	Roi Et (Re)
		13(10%)	Korat (Kt)
		16(18%)	Satuk (Suk)
		18(15%)	Yasothon (Yt)
37	M	6(35%)	Roi Et (Re)
		15(32%)	Nam Phong (Ng)
		18(33%)	Yasothon (Yt)
38	M	6(50%)	Roi Et (Re)
		13(35%)	Korat (Kt)
		18(15%)	Yasothon (Yt)

ตารางที่ ก-4 (ต่อ) สัดส่วนพื้นที่ของชนิดของดิน ชุดดินของกลุ่มน้ำย่อย

หมายเลข	Province	Soil series	Type Soi
39	M	6(35%)	Roi Et (Re)
		11(35%)	Udon (Ud)
		13(10%)	Korat (Kt)
		15(10%)	Nam Phong (Ng)
		18(10%)	Yasothon (Yt)
40	M	6(55%)	Roi Et (Re)
		11(10%)	Udon (Ud)
		13(10%)	Korat (Kt)
		15(25%)	Nam Phong (Ng)
41	M	6(40%)	Roi Et (Re)
		11(10%)	Udon (Ud)
		13(25%)	Korat (Kt)
		15(25%)	Nam Phong (Ng)
42	M	6(45%)	Roi Et (Re)
		15(55%)	Nam Phong (Ng)
43	M	6(23%)	Roi Et (Re)
		13(22%)	Korat (Kt)
		15(55%)	Nam Phong (Ng)
44	M	11(25%)	Udon (Ud)
		13(25%)	Korat (Kt)
		15(50%)	Nam Phong (Ng)
45	M	6(50%)	Roi Et (Re)
		15(50%)	Nam Phong (Ng)
46	M	6(45%)	Roi Et (Re)
		15(55%)	Nam Phong (Ng)

ตารางที่ ก-4 (ต่อ) สัดส่วนพื้นที่ของชนิดของดิน ชุคดินของกลุ่มน้ำย่อย

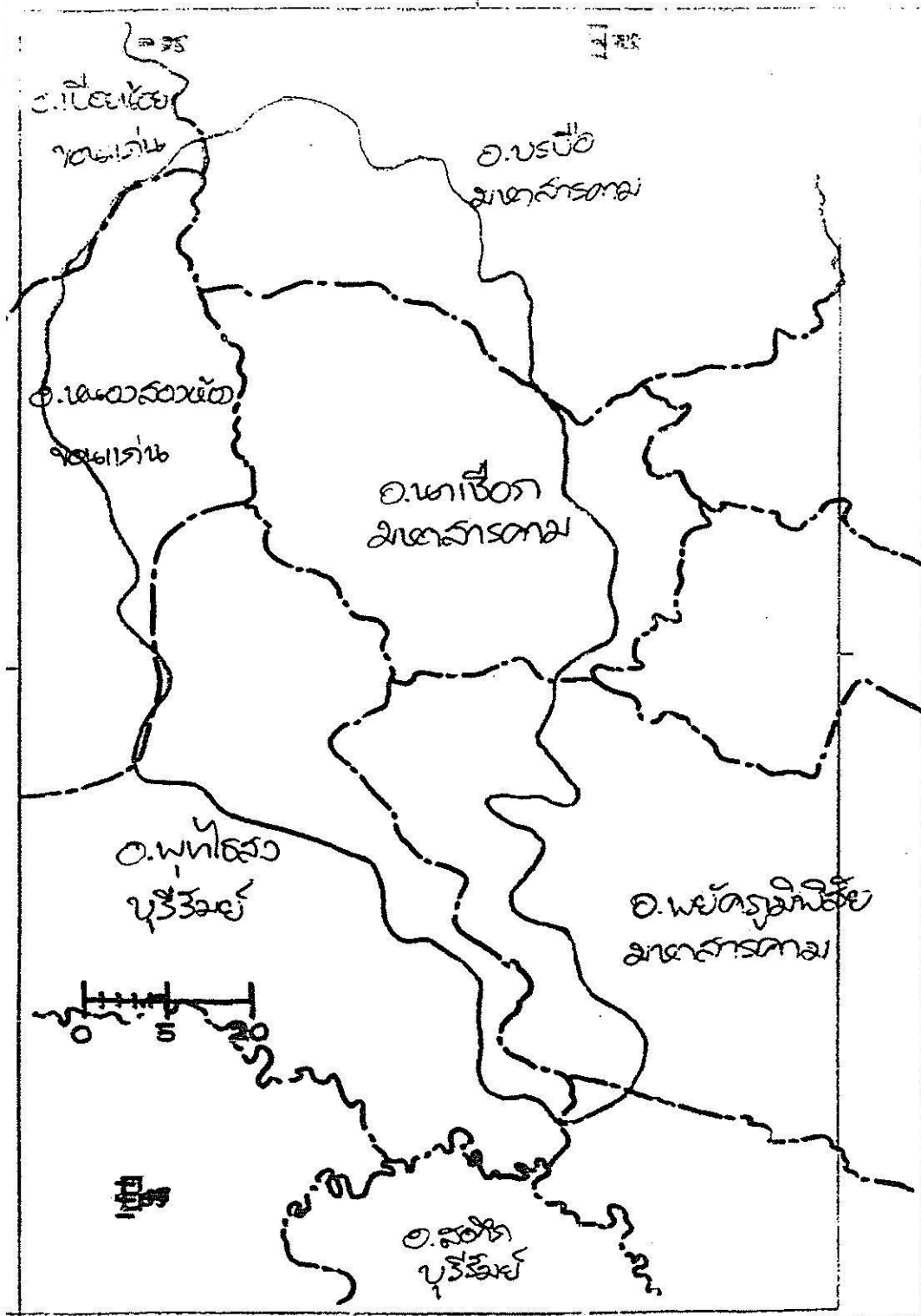
Soil Code	Soil Type
M6	Roi Et (Re)
M7	Roi Et, high phase (Re-h)
M8	Roi Et loamy variant (Re-l)
M11	Udon (Ud)
M13	Korat (Kt)
M15	Nam Phong (Ng)
M16	Satuk (Suk)
M17	Warin (Wn)
M18	Yasothon (Yt)
K14	Roi Et (Re)
K16	Roi Et saline variant (Re-Sa)
K25	Korat (Kt)
K33	Nam Phong (Ng)
B7	Roi Et (Re)
B12	Tha Tum (Tt)
B17	Roi Et/on association (Re/on)
B21	Korat (Kt)
B23	Nam Phong (Ng)
B31	Satuk (Suk)
S9	Roi Et series, loamy variant (Re-l)
S12	Kula Ronghai series (Kl)
Province Code	Province Names
M	มหาสารคาม
K	ขอนแก่น
S	สุรินทร์
B	บุรีรัมย์

ภาคผนวก ง

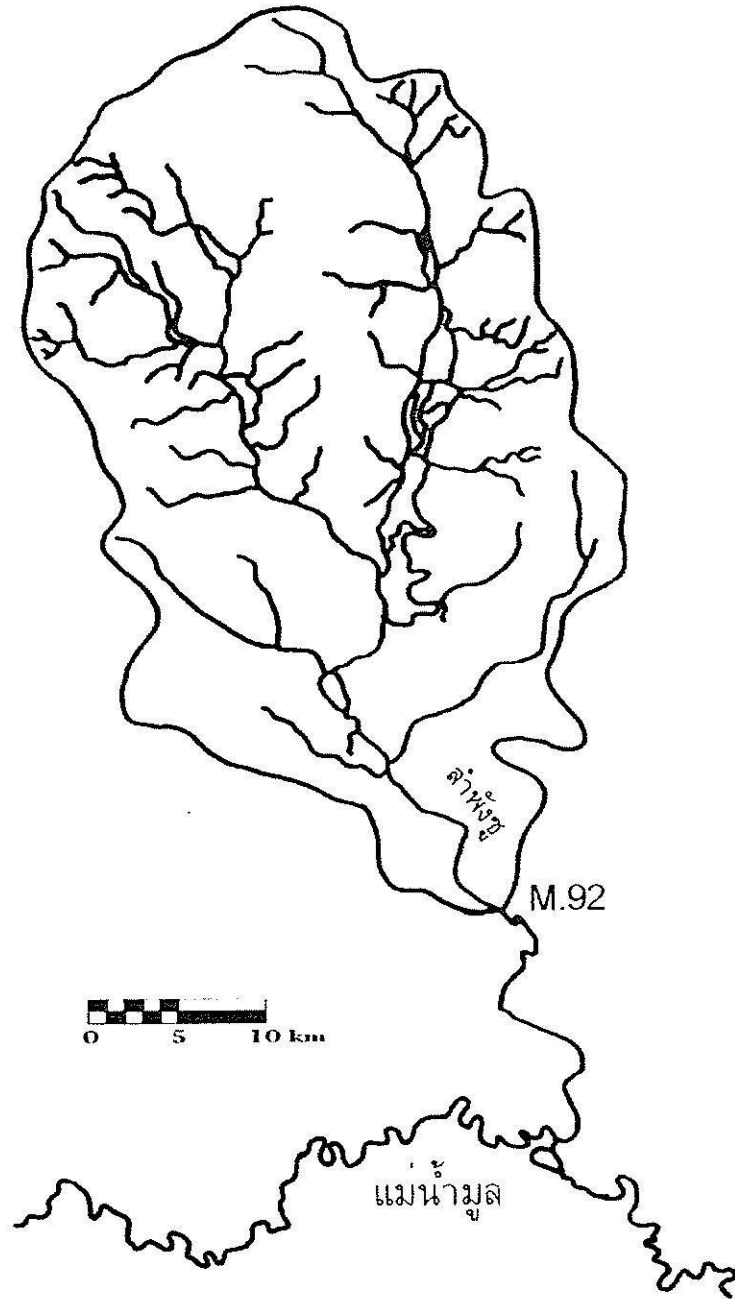
ขอบเขตคู่มือน้ำและการคำนวณหาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั้งพื้นที่



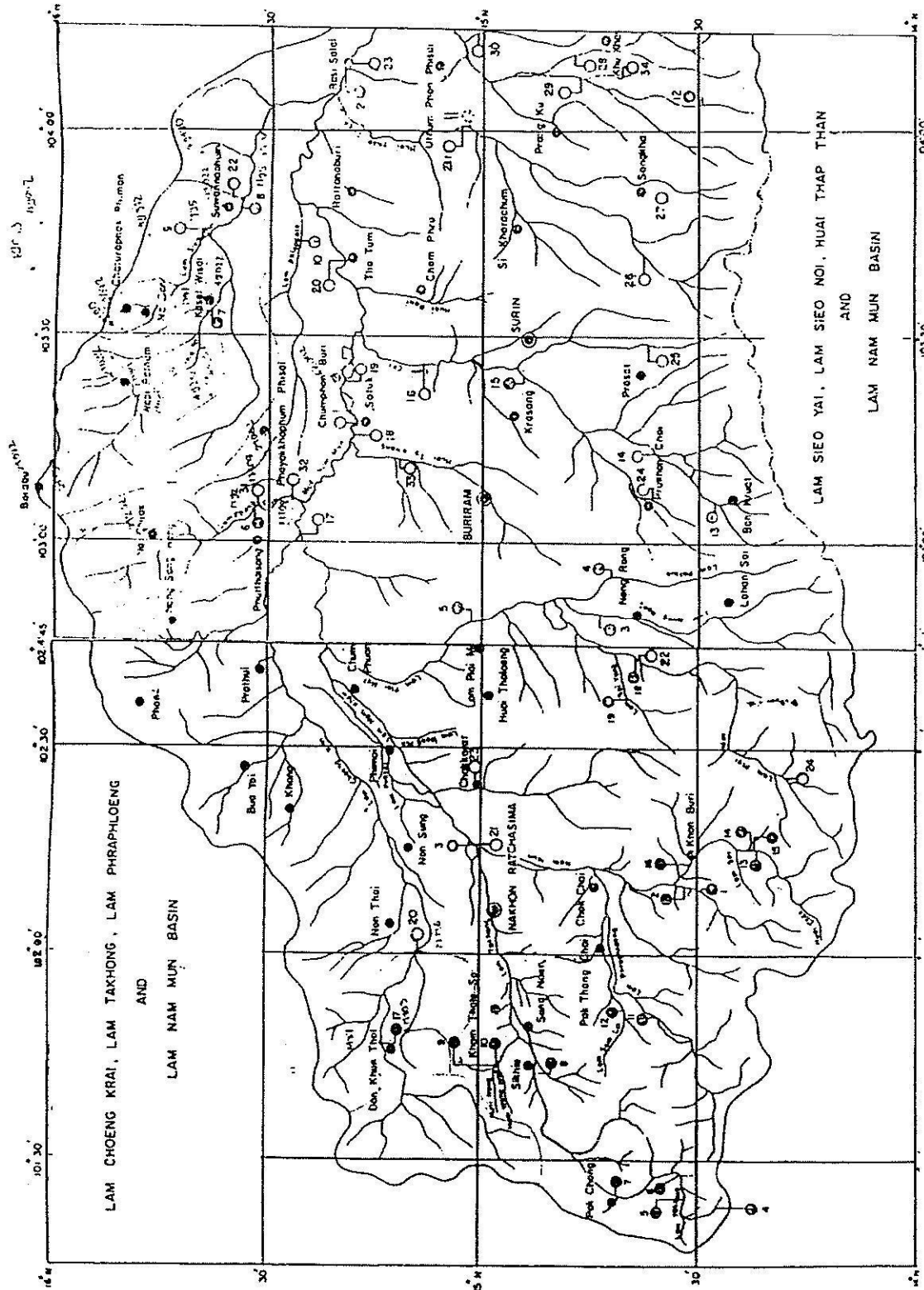
รูปที่ ง-1 แผนที่ภูมิประเทศของกลุ่มน้ำ



รูปที่ ง-2 แผนที่ลุ่มน้ำกับขอบเขตการปกครอง



รูปที่ ๓-3 stream network ของลุ่มน้ำลำพอง



รูปที่ ๕-5 ตำแหน่งลุ่มน้ำลำพังชูในลุ่มแม่น้ำมูล

ประวัตินักวิจัย

- ชื่อ / นามสกุล : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย โชติษฐียงกูร
- วัน / เดือน / ปีเกิด : 25 สิงหาคม 2506
- ที่อยู่ปัจจุบัน : สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี
อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
โทรศัพท์ (044) 224426 โทรสาร (044) 224607
Email: cjothit@sut.ac.th
- ประวัติการศึกษา: : วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ. 2528
: วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำ
สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ปี พ.ศ. 2534
: ปริญญาเอก วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (อุทกวิทยา), The University of
Western Australia ประเทศออสเตรเลีย, ปี พ.ศ. 2544
- ประวัติการทำงาน
พ.ศ. 2537 - ปัจจุบัน : อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา
ผู้อำนวยการเทคโนโลยี (กุมภาพันธ์ 2549-ปัจจุบัน)
รองอธิการบดีฝ่ายพัฒนา (ตุลาคม 2548 – กันยายน 2552)
ผู้ช่วยอธิการบดี (เมษายน 2546 - กันยายน 2548)
ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายอาคารสถานที่ (กันยายน 2544 - เมษายน 2546)
ผู้อำนวยการอาศรมพลังงาน สยามเทคโนโลยีที่เหมาะสม (2547 – 2549)
- ความเชี่ยวชาญ: อุทกวิทยาน้ำผิวดิน วิศวกรรมชลศาสตร์