

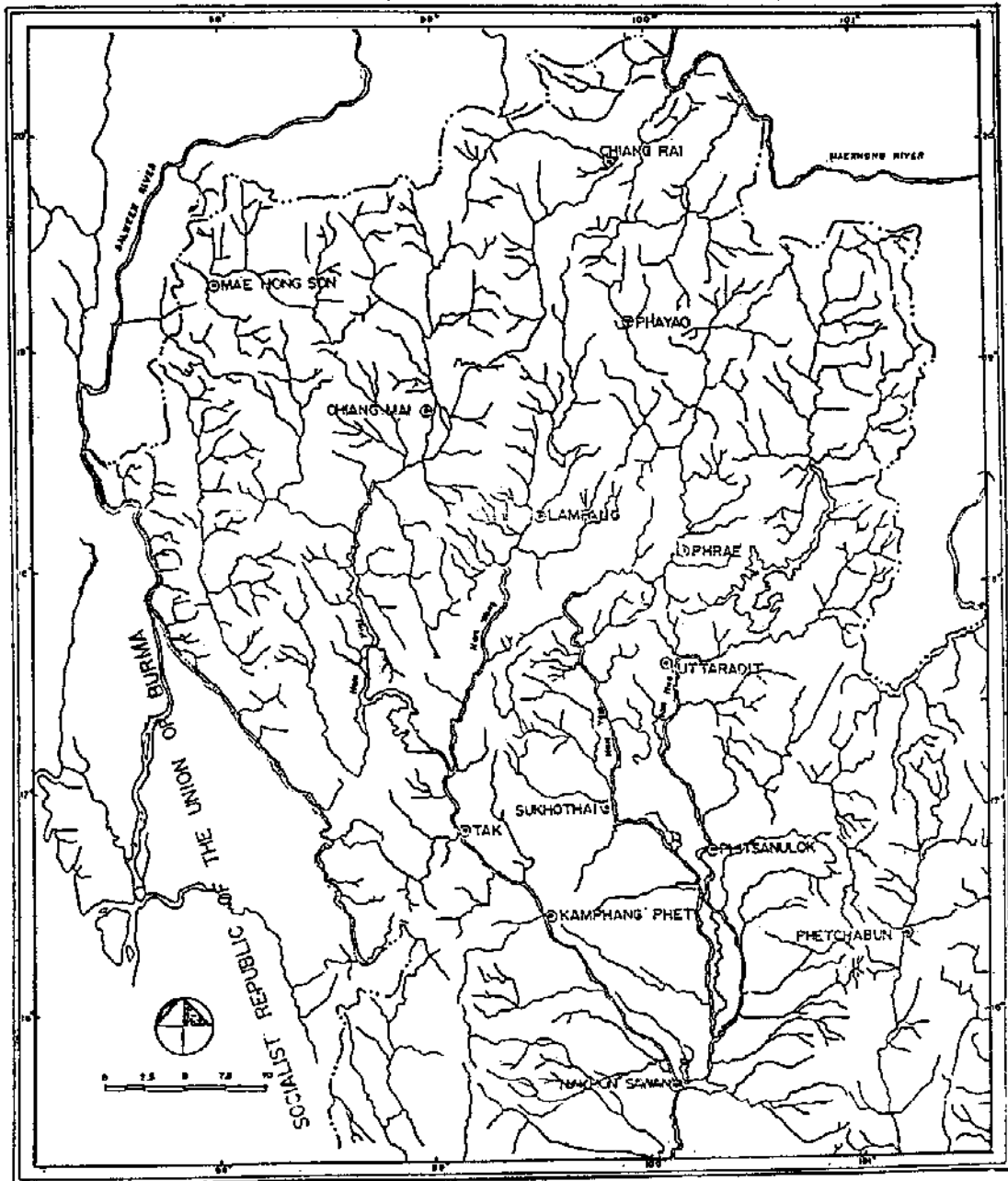
การหาสัดส่วนที่เหมาะสมของพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ ที่เอื้ออำนวยต่อผลผลิตน้ำท่าสำหรับภาคเหนือของประเทศไทย

จุฬา เอี้ยวฤกษ์เกิด

1. บทนำ

ในปัจจุบันเพียงเพื่อสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของมนุษย์ จึงมีการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเป็นไปอย่างเร่งรีบและในอัตราที่ค่อนข้างสูง โดยมีได้คำนึงถึงหลักการด้านการอนุรักษ์ ยังผลให้เกิดความสูญเสียดegradationและเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติและระบบต่าง ๆ ทางสิ่งแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกระบบอย่างต่อเนื่อง อาทิ ทรัพยากรป่าไม้บริเวณพื้นที่ต้นน้ำลำธารถูกทำลายลงอย่างมากมาย ทำให้องค์ประกอบและหน้าที่ของระบบต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไป ส่วนผลข้างเคียงคือ ทำให้เกิดภาวะแห้งแล้งอย่างรุนแรงในฤดูแล้ง การเกิดน้ำท่วมอย่างฉับพลันในฤดูฝน คุณภาพน้ำที่ไม่เหมาะสมและช่วงระยะเวลาการไหลของน้ำไม่สม่ำเสมอตลอดปี จากสาเหตุการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่ผิดพลาดดังกล่าวปรากฏให้เห็นอย่างเด่นชัดโดยทั่วไป โดยไม่จำกัดพื้นที่และประเภทของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุดังนี้เพื่อให้มีการวางแผนการใช้ประโยชน์และการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในบริเวณต้นน้ำลำธาร เกิดความถูกต้องและเหมาะสมยิ่งขึ้น จึงมีการนำหลักเกณฑ์ในการจัดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำมาใช้แบ่งแนวเขตของพื้นที่ต้นน้ำลำธาร โดยเฉพาะในพื้นที่ลุ่มน้ำหลักของภาคเหนือของประเทศไทย คือ ลุ่มน้ำปิง ลุ่มน้ำวัง ลุ่มน้ำยมและลุ่มน้ำน่าน (ดูภาพที่ 1)

อย่างไรก็ตาม การนำหลักเกณฑ์การจัดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำมาใช้วางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ได้ผลผลิตน้ำท่า ทั้งในด้านการปริมาณ คุณภาพและช่วงระยะเวลาการไหลของน้ำที่สม่ำเสมอตลอดปี ในอดีตใช้เพียงตัวแปรทางกายภาพเท่านั้น นอกเหนือจากตัวแปรดังกล่าว สัดส่วนที่เหมาะสมของพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำน่าจะก่อให้เกิดความพอดีของผลผลิตน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำนั้น ๆ ได้ ดังนั้นผู้วิจัยพยายามศึกษาเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่เอื้ออำนวยต่อผลผลิตน้ำท่า โดยใช้พื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือของประเทศไทย เป็นพื้นที่ตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ โดยมีจุดประสงค์ คือ



รูปที่ 1 แสดงลุ่มน้ำปิง ลุ่มน้ำวัง ลุ่มน้ำยม ลุ่มน้ำน่าน

1.1) เพื่อหารูปแบบในทางคณิตศาสตร์ที่สามารถประเมินสัดส่วนที่เหมาะสมของพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่เอื้ออำนวยต่อผลผลิตน้ำทำสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือของประเทศไทย โดยอาศัยความผันแปรของสัดส่วนการกระจายของพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำในเขตลุ่มน้ำปิง วัง ยม และน่าน ที่มีต่อปริมาณน้ำและตะกอนในแต่ละลุ่มน้ำ

1.2) เพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำเดิมที่ได้จากการใช้ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่กับสัดส่วนของพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ได้จากการประเมินใหม่ จากการศึกษาในครั้งนี้

1.3) เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงสัดส่วนของพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ได้กำหนดชั้นให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น อันเป็นแนวทางหนึ่งในการวางแผนการจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำให้มีสัดส่วนของพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่เอื้ออำนวยต่อการให้ผลผลิตน้ำทำในภูมิภาคหรือท้องที่อื่นๆ ของประเทศไทยต่อไปในอนาคต

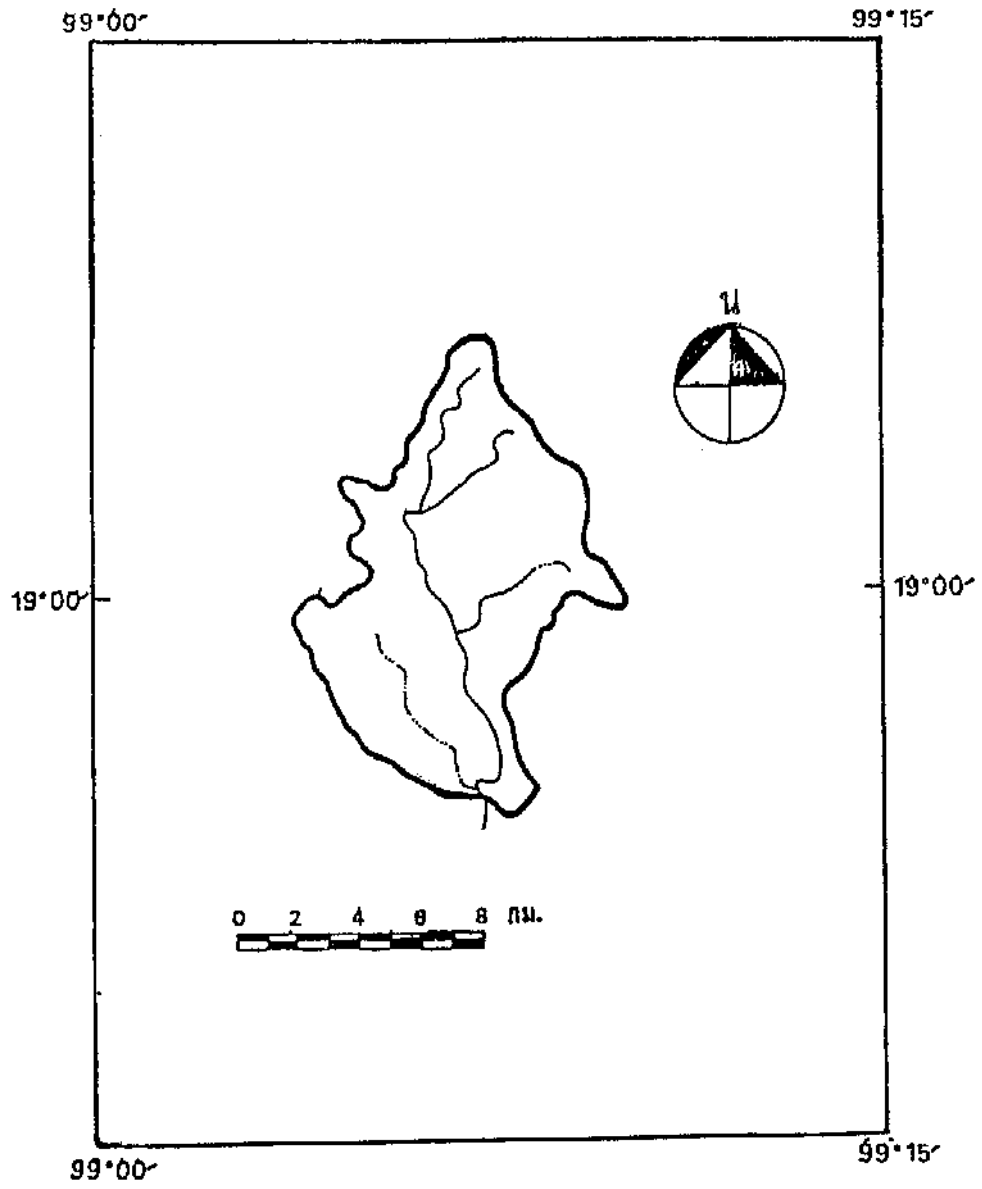
2. การเลือกพื้นที่ลุ่มน้ำตัวอย่าง

การเลือกพื้นที่ลุ่มน้ำตัวอย่าง จะต้องอยู่ภายใต้ข้อจำกัดว่าต้องมีสถิติการตรวจวัดปริมาณน้ำไหลในลำธารและปริมาณตะกอนควบคู่กันไปเท่านั้น และต้องสอดคล้องกับข้อมูลป่าไม้ที่เหลืออยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำนั้น ๆ พบว่าสามารถแบ่งออกได้ ดังนี้ คือ

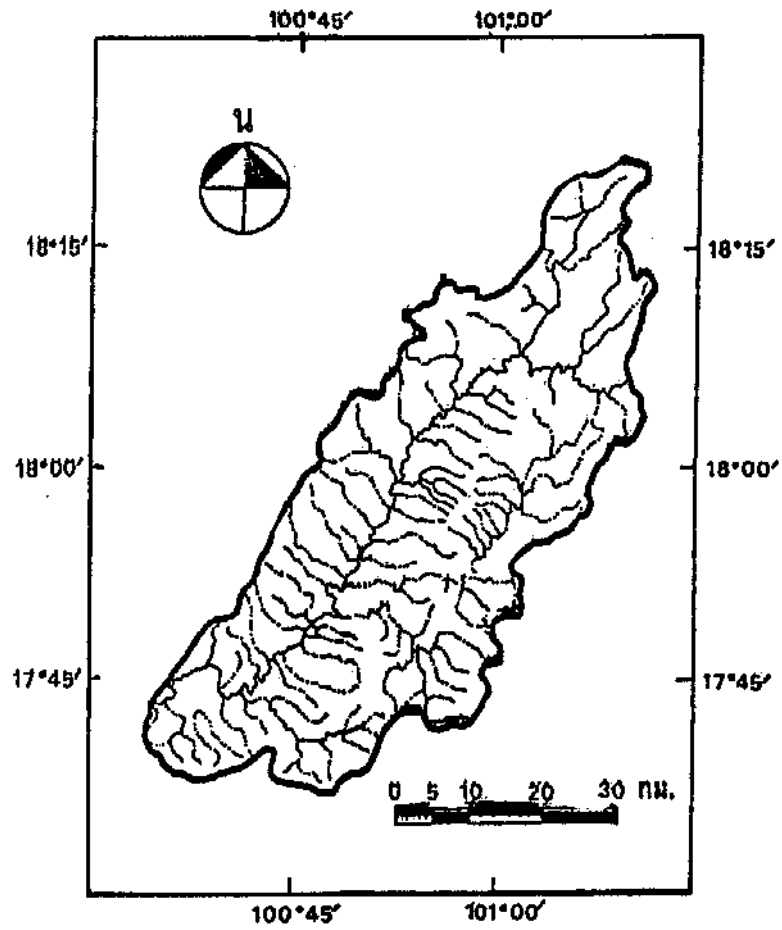
2.1) พื้นที่ลุ่มน้ำที่มีขนาดเนื้อที่น้อยกว่า 1,000 ตารางกิโลเมตร 1 ลุ่มน้ำ ได้แก่ พื้นที่ลุ่มน้ำแม่ขลุง (P.34) ขนาดเนื้อที่ 566 ตารางกิโลเมตร (ดูภาพที่ 2)

2.2) พื้นที่ลุ่มน้ำที่มีขนาดเนื้อที่ระหว่าง 1,000-10,000 ตารางกิโลเมตร 2 ลุ่มน้ำ ได้แก่พื้นที่ลุ่มน้ำแม่ปาด (N.33) ขนาดเนื้อที่ 2,463 ตารางกิโลเมตร (ดูภาพที่ 3) และพื้นที่ลุ่มน้ำแม่แจ่ม (P.14) ขนาดเนื้อที่ 3,853 ตารางกิโลเมตร (ดูภาพที่ 4)

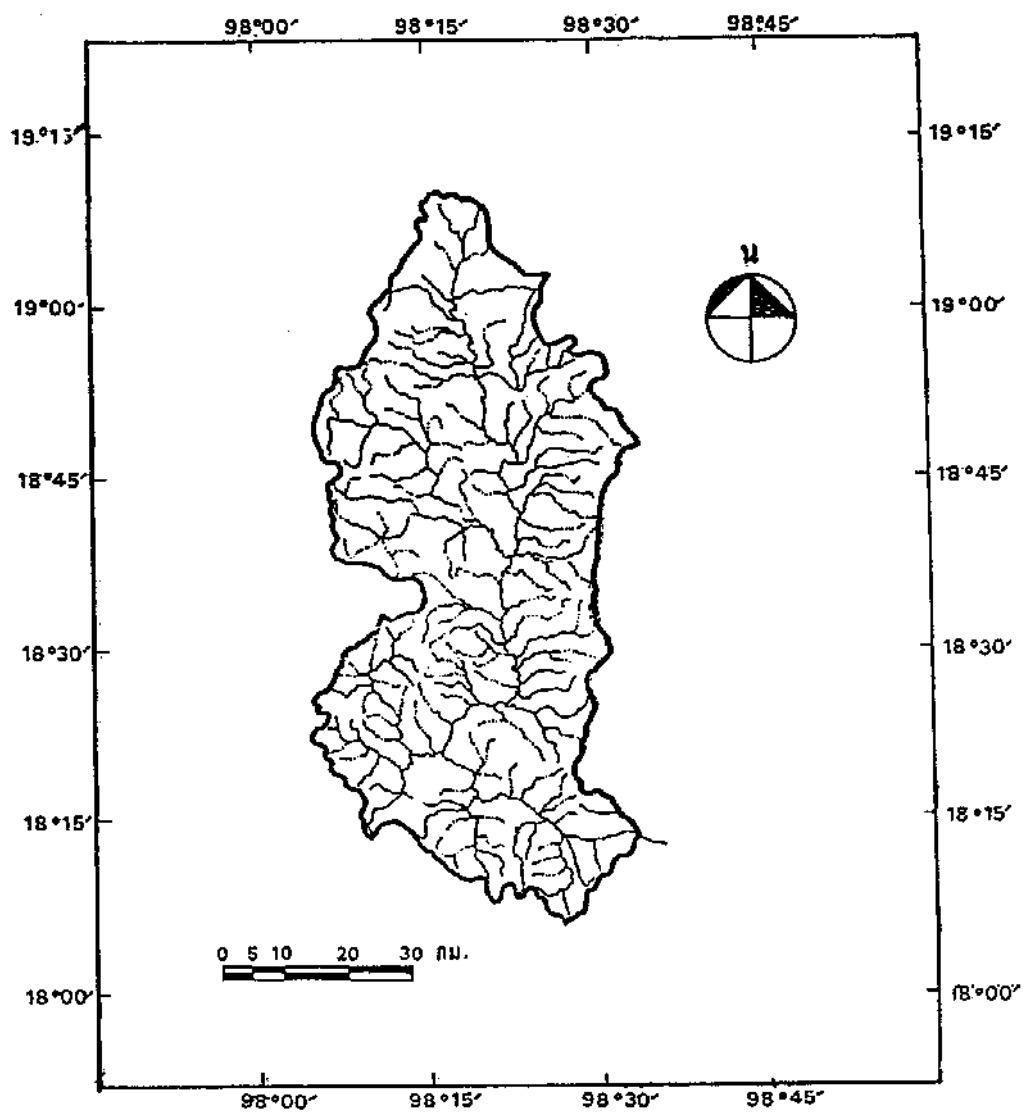
2.3) พื้นที่ลุ่มน้ำที่มีขนาดเนื้อที่มากกว่า 10,000 ตารางกิโลเมตร 2 ลุ่มน้ำ ได้แก่ พื้นที่ลุ่มน้ำแม่น้ำยม (Y.14) ขนาดเนื้อที่ 12,131 ตารางกิโลเมตร (ดูภาพที่ 5) และพื้นที่ลุ่มน้ำแม่น้ำปิง(P.19A) ขนาดเนื้อที่ 14,023 ตารางกิโลเมตร (ดูภาพที่ 6)



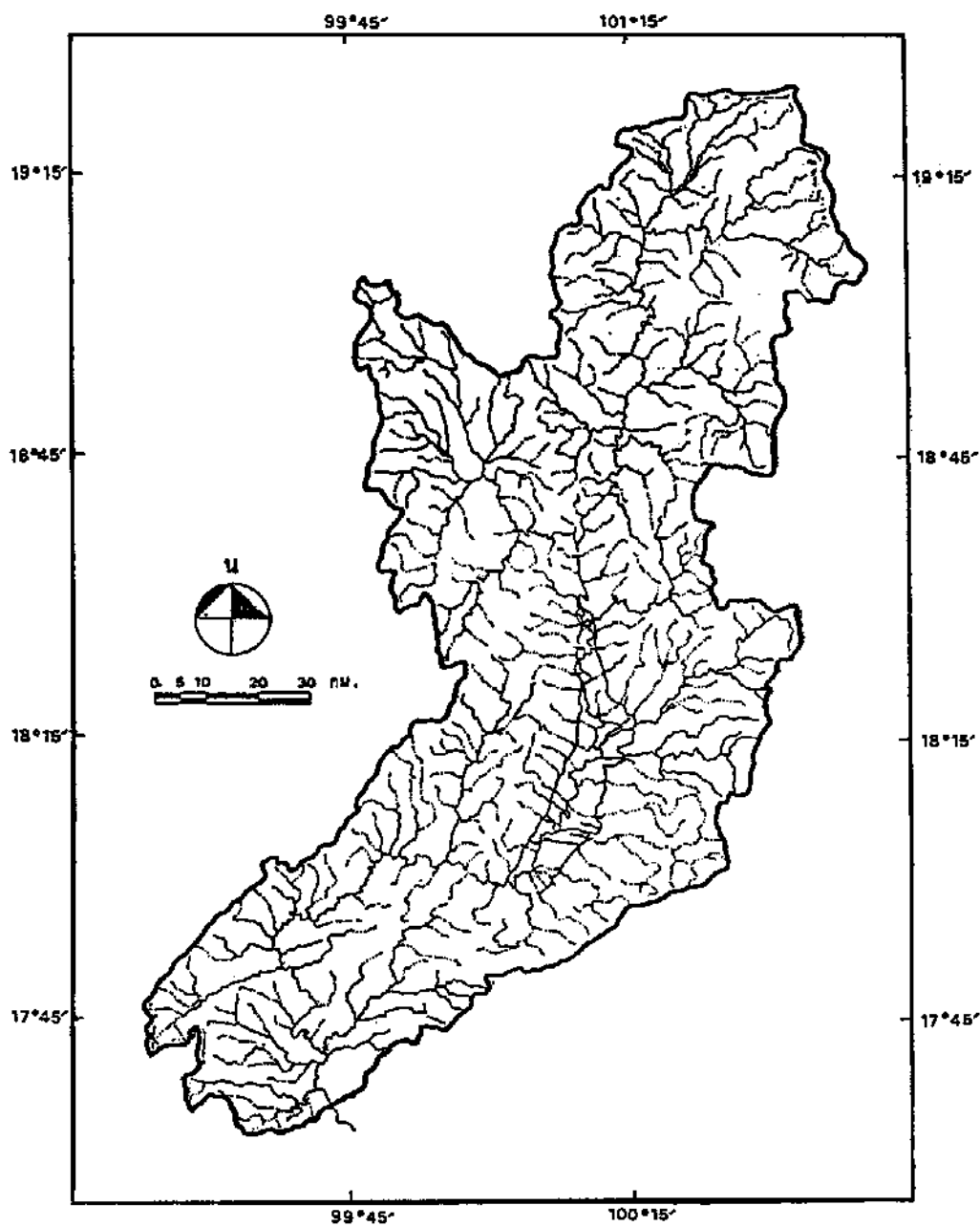
รูปที่ 2 แสดงลุ่มน้ำแม่ขลุง



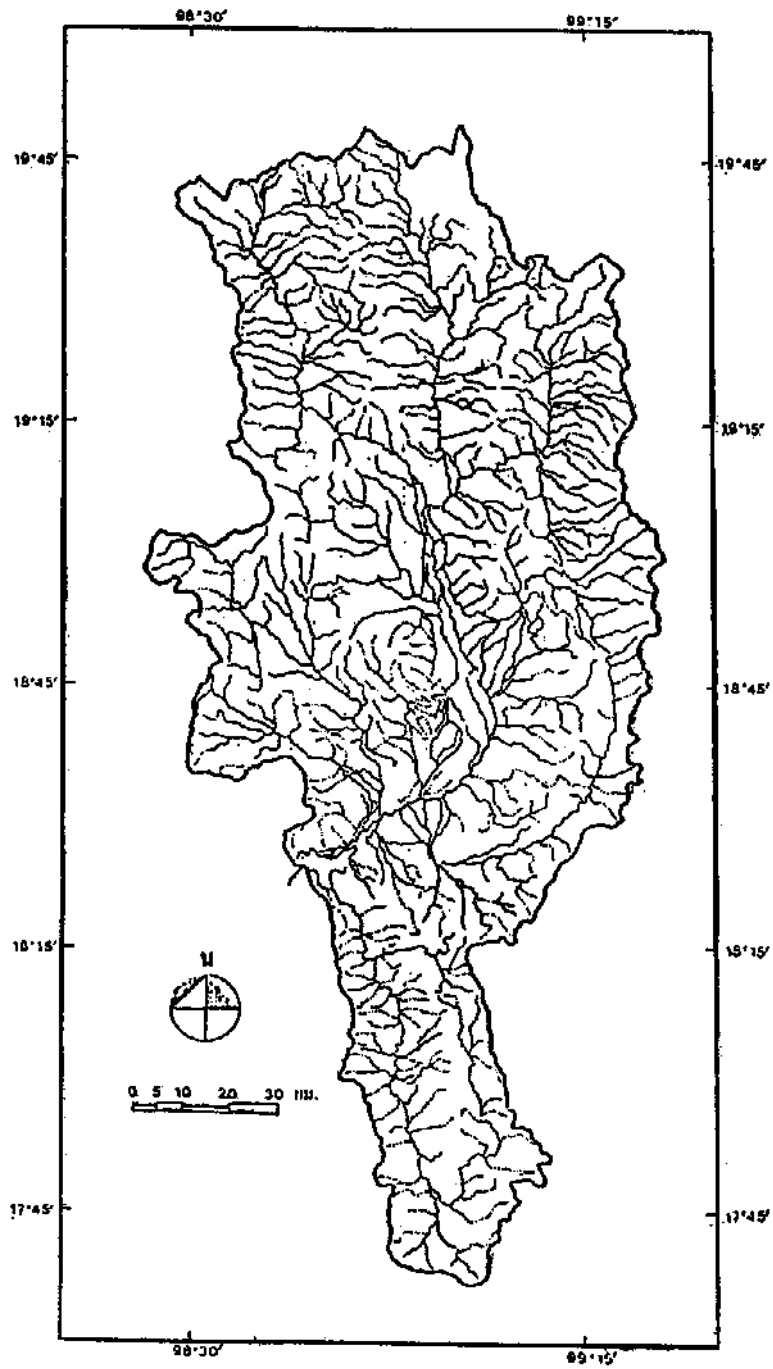
รูปที่ 3 แสดงลุ่มน้ำแม่ปาด



รูปที่ 4 แสดงลุ่มน้ำแม่แจ่ม



รูปที่ 5 แสดงลุ่มน้ำแม่ตม



รูปที่ 6 แสดงลุ่มน้ำแม่ปิง

3. การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

2.1) 1. ข้อมูลปริมาณน้ำไหลในลำธารเฉลี่ยรายปี (y_3) ใช้ข้อมูลที่ได้บันทึกไว้เมื่อปี พ.ศ.2518, 2521, 2522, 2525 และ 2528 คำนวณเป็นผลผลิตน้ำท่ารายปีเฉลี่ย มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อปี (mm./year) (ดูตารางที่ 1)

2.2) 2. ข้อมูลปริมาณตะกอนเฉลี่ยรายปี (y_5) ใช้ข้อมูลที่ได้บันทึกไว้เมื่อปี พ.ศ. 2518, 2521, 2522, 2525 และ 2528 คำนวณเป็นความสูงของปริมาณตะกอนเฉลี่ยรายปีต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อปี (mm./year) (ดูตารางที่ 2)

2.3) 3. ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี (x_3) ใช้ข้อมูลที่ได้บันทึกไว้เมื่อปี พ.ศ.2518, 2521, 2522, 2525 และ 2528 คำนวณค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนของพื้นที่ลุ่มน้ำแต่ละลุ่ม โดยวิธี "Theissen method" มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อปี (mm./year) (ดูตารางที่ 3)

2.4) 4. ข้อมูลพื้นที่ป่าไม้ที่เหลืออยู่ ($x_5, x_8, x_{11}, x_{14}, x_{17}$) ใช้ข้อมูลบันทึกไว้เมื่อปี พ.ศ. 2518, 2521, 2522, 2525 และ 2528 คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ป่าไม้ที่เหลืออยู่ในชั้นคุณภาพลุ่มน้ำแต่ละชั้นของแต่ละลุ่มน้ำ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) (ดูตารางที่ 4 และ 5)

2.5) 5. ข้อมูลชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ ($x_4, x_7, x_{10}, x_{13}, x_{16}$) ใช้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและรายงานการวิจัยของโครงการกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่สำคัญของประเทศไทย นำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้นที่ 1-5 ว่าเป็นเปอร์เซ็นต์เท่าไรของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด (แต่ละลุ่มน้ำ) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) (ดูตารางที่ 4 และ 5)

2.6) สร้างสมการถดถอยพหุคูณ (multiple linear regression) ใช้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์และอิทธิพลระหว่างผลผลิตน้ำท่า ปริมาณตะกอนกับปัจจัยทางชีวภาพต่างๆ (ดูตารางที่ 6,7) ซึ่งมีลักษณะข้อมูลไม่สม่ำเสมอ จึงต้องศึกษาในรูปแบบของ non-linear regression แบบเชิงซ้อน โดยสร้างสมการในรูปแบบกำลังสองน้อยที่สุด (ordinary least square method) และเพื่อให้ข้อมูลอยู่ในรูปที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์จึงสร้างสมการถดถอยโดยใช้ลอการิทึม ได้รูปแบบสมการ ดังนี้

$$\begin{aligned} \ln y_3 = & -11.0922 + 2.4003 \ln x_3 + 0.8201 \ln x_6 - 0.1827 \ln x_9 \\ & - 1.2572 \ln x_{12} + 0.3509 \ln x_{15} + 0.2109 \ln x_{18} \\ R^2 = & 0.8030; \quad F_{sig} = 0.0002 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \ln y_5 = & -35.5345 + 5.2967 \ln x_3 + 0.4796 \ln x_6 + 0.0814 \ln x_9 \\ & + 3.1003 \ln x_{12} - 3.9574 \ln x_{15} + 0.9388 \ln x_{18} \\ R^2 = & 0.8494; \quad F_{sig} = 0.000 \end{aligned} \quad (2)$$

2.1) 7. พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อกำหนดสัดส่วนความเหมาะสมของชั้นคุณภาพลุ่มน้ำของพื้นที่ลุ่มน้ำตัวอย่างโดยใช้โปรแกรมเป้าหมาย (Goal Programming Model) ซึ่งอาศัยแบบจำลอง

กำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming Model) เข้าช่วยหาคำตอบซึ่งเป็นคำตอบของค่าที่เหมาะสม (Optimum Solution) สามารถเขียนแบบจำลองได้ ดังนี้

ในกรณีใช้แบบสมการของผลผลิตน้ำทำเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (ดูตารางที่ 8)

$$\begin{aligned} \text{maximize } y_3 = & 2.4003 \ln x_3 + 0.8201 \ln x_6 - 0.1827 \ln x_9 \\ & -1.2572 \ln x_{12} + 0.3509 \ln x_{15} + 0.2109 \ln x_{18} \end{aligned} \quad (3)$$

ในกรณีใช้แบบสมการของปริมาณตะกอนเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (ดูตารางที่ 9)

$$\begin{aligned} \text{maximize } y_3 = & 5.2967 \ln x_3 + 0.4796 \ln x_6 + 0.0814 \ln x_9 \\ & + 3.1003 \ln x_{12} - 3.9574 \ln x_{15} + 0.9388 \ln x_{18} \end{aligned} \quad (4)$$

โดยในทั้งสองกรณีมีข้อจำกัดที่เหมือนกันคือ

$$\begin{aligned} 1) \quad & 5.2967 \ln x_3 + 0.4796 \ln x_6 + 0.0814 \ln x_9 \\ & + 3.1003 \ln x_{12} - 3.9574 \ln x_{15} + 0.9388 \ln x_{18} < 41.0975 \end{aligned} \quad (5)$$

(ตะกอนแขวนลอย 0.2 มิลลิเมตรต่อพื้นที่)

$$\begin{aligned} 2) \quad & 2.4003 \ln x_3 + 0.8201 \ln x_6 - 0.1827 \ln x_9 \\ & -1.2572 \ln x_{12} + 0.3509 \ln x_{15} + 0.2109 \ln x_{18} < 16.709 \end{aligned} \quad (6)$$

(ผลผลิตน้ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำฝน 1,100 มิลลิเมตรต่อปี)

$$3) \quad \ln x_6 + \ln x_9 < 800 \quad (40 \text{ เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ } 2,000 \text{ ตารางกิโลเมตร}) \quad (7)$$

$$4) \quad \ln x_{12} + \ln x_{15} + \ln x_{18} < 1,200 \quad (60 \text{ เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ } 2,000 \text{ ตารางกิโลเมตร}) \quad (8)$$

$$5) \quad \ln x_6 = 300 \quad (15 \text{ เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ } 2,000 \text{ ตารางกิโลเมตร}) \quad (9)$$

$$6) \quad \ln x_9 = 500 \quad (25 \text{ เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ } 2,000 \text{ ตารางกิโลเมตร}) \quad (10)$$

$$7) \quad \ln x_3 = 7.0031 \quad (\ln \text{ ของปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำ } 1,100 \text{ มิลลิเมตรต่อปี}) \quad (11)$$

$$8) \quad \ln x_6 + \ln x_9 + \ln x_{12} + \ln x_{15} + \ln x_{18} = 1,440 \quad (12)$$

(ผลรวมของ $x_6 + x_9 + x_{12} + x_{15} + x_{18} = 72$ เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ 2,000 ตารางกิโลเมตร)

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลปริมาณน้ำไหลในลำธารเฉลี่ยรายปี (ANNUAL MEAN RUNOFF)

พื้นที่ลุ่มน้ำ ตัวอย่าง	2518		2521		2522		2525		2528	
	CMS	mm/yr	CMS	mm/yr	CMS	mm/yr	CMS	mm/yr	CMS	mm/yr
ลุ่มน้ำน้ำแม่ขลุ P.34 (566 Km ²)	15	852	9	507	5	270	8	148	-	-
ลุ่มน้ำน้ำแม่ป่าด N.33 (2,463 Km ²)	18	228	26	329	5	67	8	99	-	-
ลุ่มน้ำน้ำแม่แจ่ม P.14 (3,853 Km ²)	44	359	-	-	-	-	-	-	37	302
ลุ่มน้ำแม่ห้าขม Y.14 (12,131 Km ²)	136	354	121	314	36	93	41	107	64	167
ลุ่มน้ำแม่ห้าปิง P.19A (14,023 Km ²)	184	414	128	288	61	138	66	149	-	-

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลปริมาณตะกอนเฉลี่ยรายปี (ANNUAL MEAN SEDIMENT)

พื้นที่ลุ่มน้ำ ตัวอย่าง	2518		2521		2522		2525		2528	
	ton/km	mm/yr	ton/km	mm/yr	ton/km	mm/yr	ton/km	mm/yr	ton/km	mm/yr
ลุ่มน้ำน้ำแม่ขลุ P.34 (566 Km ²)	318	0.244	148	0.114	29	0.022	27	0.021	-	-
ลุ่มน้ำน้ำแม่ป่าด N.33 (2,463 Km ²)	336	0.258	1,394	1.070	27	0.021	42	0.032	-	-
ลุ่มน้ำน้ำแม่แจ่ม P.14 (3,853 Km ²)	209	0.160	-	-	-	-	-	-	381	0.292
ลุ่มน้ำแม่ห้าขม Y.14 (12,131 Km ²)	332	0.255	155	0.119	11	0.008	17	0.013	34	0.026
ลุ่มน้ำแม่ห้าปิง P.19A (14,023 Km ²)	100	0.077	61	0.047	21	0.016	25	0.019	-	-

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี (ANNUAL MEAN RAINFALL)

พื้นที่ลุ่มน้ำ	2518	2521	2522	2525	2528
ตัวอย่าง	mm/yr	mm/yr	mm/yr	mm/yr	mm/yr
ลุ่มน้ำน้ำแม่ขลุง P.34 (566 Km ²)	1,465	1,044	721	817	-
ลุ่มน้ำน้ำแม่ปาด N.33 (2,463 Km ²)	1,115	1,322	905	987	-
ลุ่มน้ำน้ำแม่แจ่ม P.14 (3,853 Km ²)	1,205	-	-	-	1,246
ลุ่มน้ำแม่น้ำขม Y.14 (12,131 Km ²)	1,423	1,345	933	872	1,201
ลุ่มน้ำแม่น้ำปิง P.19A (14,023 Km ²)	1,229	1,020	806	837	-

ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลสัดส่วนคุณภาพลุ่มน้ำของแต่ละลุ่มน้ำ, พื้นที่ป่าไม้ที่เหลืออยู่ (Existing Forest Area) ในพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำแต่ละชั้น และผลคูณระหว่างสัดส่วนคุณภาพลุ่มน้ำกับพื้นที่ป่าไม้ที่เหลืออยู่ในพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำแต่ละชั้นนั้น ๆ

พื้นที่ลุ่มน้ำ ตัวอย่าง	ปี พ.ศ.	สัดส่วนชั้นคุณภาพลุ่มน้ำและพื้นที่ป่าไม้ที่เหลืออยู่ในพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำแต่ละชั้น															
		X4 %	X5 %	X6 %	X7 %	X8 %	X9 %	X10 %	X11 %	X12 %	X13 %	X14 %	X15 %	X16 %	X17 %	X18 %	X19 %
ลุ่มน้ำ แม่ขลุง P. 34 (566 KM)	2518	61	100	0.61	15	99	0.149	12	96	0.115	11	68	0.075	1	91	0.009	96
	2521	61	98	0.598	15	91	0.137	12	87	0.104	11	74	0.081	1	82	0.0008	93
	2522	61	100	0.61	15	95	0.143	12	96	0.115	11	65	0.072	1	100	0.01	93
	2525	61	98	0.598	15	94	0.141	12	83	0.1	11	65	0.072	1	100	0.01	92
ลุ่มน้ำ แม่ปาด N. 33 (2,463 KM)	2518	27	99	0.267	30	96	0.288	18	87	0.157	16	64	0.102	9	17	0.015	83
	2521	27	91	0.246	30	85	0.255	18	69	0.124	16	39	0.062	9	14	0.013	70
	2522	27	92	0.248	30	80	0.258	18	67	0.121	16	38	0.061	9	7	0	70
	2525	27	95	0.257	30	83	0.249	18	63	0.113	16	35	0.056	9	5	0.005	68
ลุ่มน้ำแม่แจ่ม P. 14 (3,853 KM)	2518	60	95	0.57	27	94	0.254	10	94	0.094	3	72	0.023	0	0	0	94
	2528	60	82	0.492	27	77	0.208	10	72	0.072	3	52	0.01	0	0	0	79
ลุ่มน้ำ แม่ป๋อม Y. 14 (12,131 KM)	2518	26	98	0.255	23	95	0.219	19	91	0.173	17	75	0.128	15	26	0.039	81
	2521	26	92	0.239	23	87	0.2	19	79	0.15	17	67	0.114	15	20	0.03	73
	2522	26	92	0.239	23	86	0.198	19	79	0.15	17	66	0.112	15	19	0.029	73
	2525	26	94	0.244	23	87	0.2	19	75	0.143	17	61	0.104	15	14	0.021	71
	2528	26	86	0.224	23	76	0.175	19	68	0.129	17	56	0.195	15	12	0.018	64
ลุ่มน้ำ แม่ป่าปึง P. 19A (14,023 KM)	2518	38	96	0.305	17	91	0.155	13	86	0.112	13	67	0.087	19	16	0.03	75
	2521	38	94	0.357	17	90	0.153	13	84	0.109	13	54	0.07	19	5	0.01	70
	2522	38	92	0.35	17	90	0.153	13	77	0.1	13	48	0.062	19	6	0.011	68
	2525	38	91	0.34	17	85	0.145	13	75	0.098	13	47	0.061	19	10	0.019	67
ค่าเฉลี่ย		42	93	0.374	22	89	0.19	15	81	0.12	12	59	0.071	9	20	0.02	70

ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำไหลในลำธารเฉลี่ยรายปี, ปริมาณตะกอนเฉลี่ยรายปี, ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี, สัดส่วนชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ, และป่าไม้ที่เหลืออยู่ในพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำแต่ละชั้น ของพื้นที่ลุ่มน้ำตัวอย่างที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้

ชั้นที่ลุ่มน้ำ ตัวอย่าง	ปี พ.ศ.	ปริมาณ น้ำไหล ในลำธาร Y3	ปริมาณ ตะกอน Y5	ปริมาณ น้ำฝน X3	สัดส่วนชั้นคุณภาพลุ่มน้ำและพื้นที่ป่าไม้ที่เหลืออยู่ในพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำแต่ละชั้น															
					X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19
ลุ่มน้ำ แม่จุง P.34 (5662KM)	2518	852	0.244	1,465	61	100	0.61	15	99	0.149	12	96	0.115	11	68	0.073	1	91	0.009	96
	2521	507	0.114	1,044	61	98	0.599	15	91	0.137	12	87	0.104	11	74	0.081	1	82	0.008	93
	2522	270	0.1022	721	61	100	0.61	15	95	0.143	12	96	0.115	11	65	0.072	1	100	0.01	93
	2525	148	0.021	817	61	98	0.598	15	94	0.141	12	81	0.1	11	63	0.072	1	100	0.01	92
ลุ่มน้ำ แม่โท N.33 (2,463KM)	2518	228	0.258	1,115	27	99	0.267	30	96	0.288	18	87	0.157	16	64	0.102	9	17	0.015	83
	2521	329	0.07	1,322	27	91	0.246	30	85	0.255	18	69	0.124	16	39	0.062	9	14	0.015	70
	2522	67	0.021	905	27	92	0.248	30	86	0.258	18	67	0.121	16	38	0.061	9	7	0.006	70
	2525	99	0.032	987	27	95	0.257	30	83	0.249	18	63	0.133	16	35	0.056	9	3	0.005	68
ลุ่มน้ำแม่แจ่ม P.14 (3,463KM)	2518	359	0.16	1,205	60	93	0.37	27	94	0.254	10	94	0.094	5	75	0.023				94
	2528	302	0.292	1,246	60	82	0.492	27	77	0.208	10	72	0.072	3	52	0.016				79
ลุ่มน้ำ แม่หนอง Y.14 (12,131KM)	2518	354	0.255	1,423	26	98	0.255	23	95	0.219	19	91	0.173	17	75	0.128	15	26	0.039	81
	2521	314	0.119	1,345	26	92	0.239	23	87	0.2	19	79	0.15	17	67	0.114	15	20	0.03	73
	2522	93	0.098	933	26	92	0.239	23	86	0.198	19	79	0.15	17	66	0.112	15	19	0.029	73
	2525	107	0.053	872	26	94	0.244	23	87	0.2	19	75	0.143	17	61	0.104	15	14	0.021	71
2528	167	0.026	1,291	26	96	0.224	23	76	0.175	19	68	0.129	17	56	0.095	15	12	0.018	64	
ลุ่มน้ำ แม่เปียง P.19A (14,023KM)	2518	414	0.177	1,229	38	96	0.365	17	91	0.155	13	86	0.112	13	67	0.087	19	16	0.03	75
	2521	288	0.047	1,020	38	94	0.357	17	90	0.153	13	84	0.109	13	54	0.07	19	5	0.01	70
	2522	138	0.016	806	38	92	0.35	17	90	0.153	13	77	0.1	13	48	0.062	19	6	0.011	68
	2525	149	0.019	837	38	91	0.346	17	85	0.145	13	75	0.098	13	47	0.061	19	10	0.019	67

ตารางที่ 6 สมการสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตน้ำท่า ปริมาณตะกอน และปัจจัยด้านชีวภาพต่าง ๆ ของลุ่มน้ำตัวอย่าง

สมการสหสัมพันธ์ (regression equations)	Statistical Parameters			
	Multiple R	Adjusted R ²	F	F _{sig} **0.001
By stepwise analysis: ln y ₃ = -12.5392 + 2.5285 ln x ₃ + 0.7842 ln x ₆ - 0.8043 ln x ₉	0.9271	0.8294	28.5579	0.0000
ln y ₅ = -25.4057 + 4.8226 ln x ₃ + 0.6758 ln x ₉ เมื่อเพิ่มตัวแปรเพื่อให้ได้สมการในเชิงการจัดการ พื้นที่ป่าไม้และสัดส่วนชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ:	0.9279	0.8424	46.4383	0.0000
ln y ₃ = -11.0922 + 2.4003 ln x ₃ + 0.8201 ln x ₆ - 0.1827 ln x ₉ - 1.2572 ln x ₁₂ + 0.3509 ln x ₁₅ + 0.2109 ln x ₁₈	0.9341	0.8030	12.5504	0.0002
ln y ₅ = -35.5345 + 5.2967 ln x ₃ + 0.4796 ln x ₆ + 0.0814 ln x ₉ + 3.1003 ln x ₁₂ - 3.9574 ln x ₁₅ + 0.9388 ln x ₁₈	0.9500	0.8494	16.9826	0.0001

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบผลผลิตน้ำท่าและปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ได้จากการตรวจวัดจริงและจาก
สมการพยากรณ์ในพื้นที่ลุ่มน้ำตัวอย่าง

พื้นที่ลุ่มน้ำ ตัวอย่าง	ปีพ.ศ.	ปัจจัยด้านชีวภาพ(X)						ผลผลิตน้ำท่า(Y3)		ปริมาณตะกอน(Y5)	
		X3	X6	X9	X12	X15	X18	วัดได้จริง	พยากรณ์	วัดได้จริง	พยากรณ์
		MM/YR	W1*F1	W2*F2	W3*F3	W4*F4	W5*F5	Y3(MM/YR)	Y3(MM/YR)	Y5(MM/YR)	Y5(MM/YR)
ลุ่มน้ำ แม่ขลุ้ง P.34 (566KM)	2518	1,465	0.61	0.149	0.115	0.075	0.009	852	1,107	0.244	0.168
	2521	1,044	0.598	0.137	0.104	0.081	0.008	507	399	0.114	0.03
	2522	721	0.61	0.143	0.115	0.072	0.01	270	187	0.022	0.006
	2525	817	0.598	0.141	0.1	0.072	0.01	148	220	0.021	0.016
ลุ่มน้ำ แม่ป่า N.33 (2,463KM)	2518	1,115	0.267	0.288	0.157	0.103	0.015	228	163	0.258	0.146
	2521	1,322	0.246	0.255	0.124	0.062	0.013	329	252	1.07	1
	2522	905	0.248	0.258	0.121	0.061	0.006	67	91	0.021	0.071
	2525	987	0.257	0.249	0.113	0.056	0.005	99	113	0.032	0.095
ลุ่มน้ำแม่จันท P.14 (3,853KM)	2518	1,205	0.57	0.254	0.094	0.023	0	359	303	0.16	0.007
	2526	1,246	0.492	0.208	0.072	0.016	0	302	412	0.292	0.008
ลุ่มน้ำ แม่ห้าซม Y.14 (12,131KM)	2518	1,423	0.255	0.219	0.173	0.128	0.039	354	313	0.255	1.97
	2521	1,345	0.239	0.2	0.15	0.114	0.03	314	335	0.119	1.503
	2522	933	0.239	0.196	0.15	0.112	0.029	93	117	0.008	0.162
	2525	872	0.244	0.29	0.143	0.104	0.021	107	99	0.013	0.1
	2528	1,201	0.224	0.175	0.129	0.095	0.018	167	215	0.026	0.461
ลุ่มน้ำ แม่ห้าปีง P.19A (14,023KM)	2518	1,229	0.365	0.155	0.112	0.087	0.03	414	448	0.077	1.063
	2521	1,020	0.357	0.153	0.109	0.07	0.01	288	221	0.047	0.287
	2522	806	0.35	0.153	0.1	0.062	0.011	138	131	0.016	0.118
	2525	837	0.346	0.145	0.098	0.061	0.019	149	164	0.019	0.231

ตารางที่ 8 สัดส่วนที่เหมาะสมของขนาดพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำแต่ละชั้น โดยใช้สมการผลผลิตน้ำทำเป็น ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และอยู่ใต้ข้อจำกัดของปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้านชีวภาพที่ต่างกัน

สัดส่วนชั้นคุณภาพลุ่มน้ำและพื้นที่ป่าไม้ที่เหลืออยู่แต่ละชั้น				X4	X5	X7	X8	X10	X11	X13	X14	X16	X17
ปริมาณ MM/YR	ผลผลิตน้ำทำ MM/YR	ปริมาณน้ำ MM/YR	พื้นที่ลุ่ม KM	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
<0.2	>25%	1,100	500	15	100	25	100	21	52	24	53	15	55
<0.2	>30%	1,100	500	15	100	25	100	21	52	24	53	15	55
<0.2	>35%	1,100	500	15	100	25	100	21	52	24	53	15	55
<0.4	>25%	1,100	500	15	100	25	100	21	52	24	53	15	55
<0.4	>30%	1,100	500	15	100	25	100	21	52	24	53	15	55
<0.4	>35%	1,100	500	15	100	25	100	21	52	24	53	15	55
<0.2	>25%	1,100	3,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.2	>30%	1,100	2,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.2	>35%	1,100	2,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.4	>25%	1,100	2,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.4	>30%	1,100	2,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.4	>35%	1,100	2,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.2	>25%	1,100	5,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.2	>30%	1,100	5,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.2	>35%	1,100	5,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.4	>25%	1,100	5,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.4	>30%	1,100	5,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.4	>35%	1,100	5,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.2	>25%	1,100	15,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.2	>30%	1,100	15,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.2	>35%	1,100	15,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.4	>25%	1,100	15,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.4	>30%	1,100	15,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.4	>35%	1,100	15,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58

ตารางที่ 9 สัดส่วนที่เหมาะสมของขนาดพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำแต่ละชั้น โดยใช้สมการของปริมาณตะกอนเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์และอยู่ได้ข้อจำกัดของปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้านชีวกายภาพที่ต่างกัน

สัดส่วนชั้นคุณภาพลุ่มน้ำและพื้นที่ป่าไม้ที่เหลืออยู่แต่ละชั้น				X4	X5	X7	X8	X10	X11	X13	X14	X16	X17
ปริมาณ MM/YR	ผลผลิตน้ำท่า MM/YR	ปริมาณน้ำ MM/YR	พื้นที่ลุ่ม KM	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
<0.2	>25%	1,100	500	15	100	25	100	21	52	24	53	15	55
<0.2	>30%	1,100	500	15	100	25	100	21	52	24	53	15	55
<0.2	>35%	1,100	500	15	100	25	100	21	52	24	53	15	55
<0.4	>25%	1,100	500	15	100	25	100	21	52	24	53	15	55
<0.4	>30%	1,100	500	15	100	25	100	21	52	24	53	15	55
<0.4	>35%	1,100	500	15	100	25	100	21	52	24	53	15	55
<0.2	>25%	1,100	3,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.2	>30%	1,100	2,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.2	>35%	1,100	2,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.4	>25%	1,100	2,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.4	>30%	1,100	2,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.4	>35%	1,100	2,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.2	>25%	1,100	5,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.2	>30%	1,100	5,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.2	>35%	1,100	5,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.4	>25%	1,100	5,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.4	>30%	1,100	5,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.4	>35%	1,100	5,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.2	>25%	1,100	15,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.2	>30%	1,100	15,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.2	>35%	1,100	15,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.4	>25%	1,100	15,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.4	>30%	1,100	15,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58
<0.4	>35%	1,100	15,000	15	100	25	100	20	57	23	59	17	58

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบสัดส่วนชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ได้จากแผนที่แสดง ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำภาคเหนือกับแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น

พื้นที่ลุ่มน้ำ	ปริมาณน้ำฝน MM/YR	ผลผลิตน้ำท่า MM/YR	ปริมาณตะกอน MM/YR	MODEL CLASSIFICATION									
				O.N.E.B. CLASSIFICATION					ใช้สมการที่ 30				
				X4	X7	X10	X13	X16	X4	X7	X10	X13	X16
ลุ่มน้ำแม่จุง P. 34 (566KM)	1,012	444	0.1	61	15	12	11	1	15	25	17	20	23
				99	95	91	68	93	100	100	86	88	87
ลุ่มน้ำแม่ปาค N. 33 (2,463KM)	1,082	181	0.345	27	30	18	16	9	15	25	21	24	15
				94	88	72	44	11	100	100	53	54	55
ลุ่มน้ำแม่เจ็ม P. 14 (3,853KM)	1,226	331	0.226	60	27	10	3	0	15	25	18	22	20
				89	86	83	64	0	100	100	78	77	80
ลุ่มน้ำแม่ขอม Y. 14 (12,131KM)	1,155	207	0.084	26	23	19	17	15	15	25	21	24	15
				92	86	78	65	18	100	100	53	54	55
ลุ่มน้ำแม่ปิง P. 19A (14,023KM)	973	247	0.04	38	17	13	13	19	15	25	22	25	14
				93	89	81	54	9	100	100	49	50	49
ค่าเฉลี่ย	1,090	282	0.159	42	22	15	12	9	15	25	20	23	17
				93	89	81	59	26	100	100	57	59	58

4. ผลการวิเคราะห์

เมื่อใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นมาจัดสัดส่วนพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ เพื่อวัตถุประสงค์ของการจัดการลุ่มน้ำโดยเพิ่มข้อจำกัดเกี่ยวกับผลผลิตน้ำท่าต้องไม่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ลุ่มน้ำ ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ ได้แก่ ปริมาณตะกอนต้องไม่เกินหรือเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตรต่อพื้นที่ พื้นที่ป่าไม้ที่เหลืออยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมดเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ (ตามนโยบายของรัฐบาล) ซึ่งกำหนดให้ป่าไม้ในพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้น 1 และ 2 เท่ากับ 15 และ 25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่า สัดส่วนขนาดพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้น 1 ถึง 5 ที่ได้ใหม่คือ 15, 25, 20, 23 และ 17 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ลุ่มน้ำ และมีป่าไม้ที่เหลือในแต่ละชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ 100, 100, 57, 59 และ 58 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำแต่ละชั้น ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ (เดิม) ที่ได้จากแผนที่แสดงพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้น 1 ถึง 5 พบว่า เท่ากับ 42, 22, 15, 12 และ 9 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ลุ่มน้ำ และมีป่าไม้ที่เหลืออยู่ในแต่ละชั้นคุณภาพลุ่มน้ำเท่ากับ 93, 89, 81, 59 และ 26 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำแต่ละชั้น ตามลำดับ (ดูตารางที่ 10)

5. สรุป

ในการศึกษาเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่เอื้ออำนวยต่อผลผลิตน้ำท่าสำหรับภาคเหนือของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำไหลในลำธาร ปริมาณตะกอน ปริมาณฝนและพื้นที่ป่าไม้ที่เหลืออยู่ในพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำแต่ละลุ่มน้ำซึ่งได้บันทึกไว้เมื่อปี พ.ศ.2518, 2521, 2522, 2525 และ 2528 ของพื้นที่ลุ่มน้ำตัวอย่าง 5 ลุ่มน้ำ ได้แก่ ลุ่มน้ำแม่ขลุง ลุ่มน้ำแม่ปาด ลุ่มน้ำแม่แจ่ม ลุ่มน้ำแม่น้ำยม และลุ่มน้ำแม่ป่าปึง โดยใช้สมการถดถอยพหุคูณวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปร แล้วจึงพัฒนาให้เป็นแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น เพื่อประเมินหาสัดส่วนที่เหมาะสมของพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ สรุปผลได้ดังนี้

1. ปัจจัยด้านชีวภาพ ($x_6, x_9, x_{12}, x_{15}, x_{18}$) มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำท่าและปริมาณตะกอนอย่างมีนัยสำคัญ ประมาณ 80.30 และ 84.94 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

2. ในการประยุกต์ใช้สมการกำหนดผลผลิตน้ำท่าและปริมาณตะกอนได้ผลดี คือ เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ปรากฏว่าแตกต่างกันไม่มาก ประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ สำหรับผลผลิตน้ำท่า และแตกต่างกันค่อนข้างมาก ประมาณ 78 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปริมาณตะกอน

3. ใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นวิเคราะห์ เพื่อประเมินหาความเหมาะสมของสัดส่วนชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ โดยใช้สมการผลผลิตน้ำท่า และปริมาณตะกอนเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ภายใต้ข้อจำกัดผลผลิตน้ำท่า มากกว่าหรือเท่ากับ 25 หรือ 30 หรือ 35 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณที่ฝนตก และปริมาณตะกอน

น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.2 หรือ 0.4 มิลลิเมตรต่อพื้นที่ พื้นที่ป่าไม้ที่เหลืออยู่ 40 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ลุ่มน้ำ (พื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้น 1 เท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้น 2 เท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์) พื้นที่ลุ่มน้ำสมมุติขนาดตั้งแต่ 500, 2,000, 5,000 และ 15,000 ตารางกิโลเมตร ปริมาณน้ำฝนที่ตกตะกอนต่างกันตั้งแต่ 1,100, 1,300 และ 1,500 มิลลิเมตรต่อปี ปรากฏผลว่า สัดส่วนที่ได้จากสมการที่นำมาใช้ทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันมากคือ สัดส่วนชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้น 1, 2, 3, 4 และ 5 ที่ได้เท่ากับ 15, 25, 20, 23 และ 17 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ลุ่มน้ำและพื้นที่ป่าไม้ที่เหลืออยู่ในชั้นคุณภาพลุ่มน้ำแต่ละชั้น เท่ากับ 100, 100, 57, 59 และ 58 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำแต่ละชั้น ตามลำดับ ซึ่งสัดส่วนดังกล่าวจะให้ผลผลิตน้ำท่าและปริมาณตะกอน ตามความต้องการ (ทุกกรณีตัวอย่าง)

4. สัดส่วนพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่มีอยู่เดิม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสัดส่วนที่ได้จากการปรับปรุงใหม่ ปรากฏผลว่ามีความแตกต่างกันไม่มาก

6. ข้อเสนอแนะ

1. โปรแกรมที่เหมาะสมที่สุดในการศึกษาเพื่อหาวิธีการประเมินสัดส่วนที่เหมาะสมของขนาดพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่เอื้ออำนวยต่อผลผลิตน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำภาคเหนือของประเทศไทย คือ โปรแกรมเป้าหมาย (Goal Programming) เพราะสามารถตอบสนองความต้องการได้ในขณะเดียวกัน ในหลาย ๆ เป้าหมายภายใต้ข้อจำกัดและสถานการณ์ต่าง ๆ ที่กำหนดไว้

2. ข้อมูลปริมาณน้ำไหลในลำธาร ปริมาณตะกอน พื้นที่ป่าไม้ ที่มีการตรวจวัดและบันทึกไว้ในช่วงระยะเวลาเกี่ยวกับมีน้อยเกินไป ในอนาคตอาจต้องใช้ข้อมูลที่ได้จากการประเมินจากข้อมูลในอดีต มาประกอบเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ข้อมูลตัวแทนที่ดีและเหมาะสมสำหรับการศึกษาครั้งต่อไป

3. พื้นที่ลุ่มน้ำตัวอย่างควรมีการแบ่งโซนไปตามระดับความสูงของพื้นที่ลุ่มน้ำด้วย

4. ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ ควรกำหนดเป็นตัวแปรหนึ่ง ที่ใช้ในการวิเคราะห์

5. ผลการศึกษาครั้งนี้ สามารถนำไปใช้เกี่ยวกับการจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น ฉะนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการพัฒนาแบบจำลองนี้ต่อไป เพื่อให้ได้แบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

จุฑามาศ รักขนาม. 2528. การประยุกต์ตัวแปรทางกายภาพเพื่อประเมินชั้นคุณภาพสำคัญของพื้นที่ในเขตลุ่มน้ำภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

- Bazaraa, M.S. and A. Baugober. 1981. *A linear goal programming model for developing economics with an illustration from the agricultural sector in Egypt*. Management Sci. 27 (4) : 396-413
- Bell, E.F. 1977. *Mathematical programming in forestry*. J. of Forestry 6: 317-319
- Bencke, R.S. and R. Winterbaer. 1973. *Linear programming: Application of Agriculture*. The Iowa State University Press, Iowa.
- Field, D.B. 1977. *Linear programming out of the classroom and into the woods*. J. of Forestry 7:330-334
- Saygideger, O., G.F. Vocke and E.O. Heady. 1977. *A Multigoal Linear Programming Analysis of Trade -Offs between Production Efficiency and Soil Loss Control in U.S. Agriculture*, Card Report No. 76, January, Center for Agricultural and Rural Development, Iowa State University Anus, Iowa, 1011p.
- Seherter, A.T., H.H. Webster and J.C. Meadows. 1977. *Goal programming in forest management*. J. of Forestry 6: 320-324.
- Suetasrini, S. 1981. *Introduction to Goal Programming* Division of Electrical Engineering, Faculty & Engineering, Kasetsatt University (mimeographed)
- Susartzman, G.L. and G.M. Van Dyne. 1975. *Land allocation decision: A Mathematical programming framework focusing on quality of life*. J. of Environ. Manage. 3:105-132