Thai J. For. 16 : 106-119 (1997)

วารสารวนศาสตร์ 16 : 106-119 (2540)

การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และค่าปัจจัยความปลอดภัย ในการกำหนดพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม บริเวณลุ่มน้ำตาปี จังหวัดนครศรีธรรมราช

APPLICATION OF GIS AND FACTOR OF SAFETY IN DETERMINING LANDSLIDE HAZARDOUS AREA IN TAPI WATERSHED, CHANGWAT NAKHON SI THAMMARAT

สราวุธ นาแรมงาม[1]

นิพนธ์ ตั้งธรรม[1]

Sarawuth Naramngam

Nipon Tangtham

ABSTRACT

Factor of safety (Fs) equations proposed by Abe (1978), Gray and Megahan (1981), Gray and Leiser (1982), Wu *et. al* (1979), and Coppin and Richards (1990) were employed to make landslide map of 2 sub-watershed in Tapi basin using the existing landslide map, interpreted from landsat taken in November 22, 1988 when severe landslided were occurred, together with the GIS techniques. Applicability and efficiency of each of those equations were verified based on the coincided value (CV) indicating percentage of overlapping both in size and location of actual and predicted landslide maps. Results showed that all equations gave the CV less than 20%. When wind velocity of 40 km/hr, which was observed at the event day, was applied the Coppin and Richard's model yielded the highest CV (16.20 and 15.52% for a given soil depth of 0.5 and 1.0 m respectively). The rest of model had lesser CV. Wu *et al*'s model showed the highest CV of 16.07, 15.85 and 15.85% respectively at a given soil depth of 2,2.5 and 3 meters. Generally speaking, although CV is rather low, equation developed by Wu *et al.* (1979) seem to be most feasible for making landslide map in this area.

บทคัดย่อ

สมการหาปัจจัยความปลอดภัย (factor of safety, Fs) ของ Abe (1978), Gray และ Megahan (1981), Gray และ Leiser (1982), Wu และคณะ (1971) และของ Coppin และ Richards (1990) ได้ถูกนำมาประยุกต์ทำแผนที่เขตแผ่นดินถล่มใน 2 ลุ่มน้ำย่อย ของลุ่มน้ำตาปี โดยอาศัยแผนที่แผ่นดินถล่มที่แปลตีความจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ที่ถ่ายทำในวันที่ 22 พฤศจิกายน 2535 อันเป็นวันที่เกิดแผ่นดินถล่มอย่างรุนแรงร่วมกับการใช้เทคนิคระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ความสามารถในการประยุกต์ใช้ได้ และประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งแผ่นดินถล่มของแต่ละสมการ ทำการตรวจวัดโดยอาศัยค่าเปอร์เซนต์การซ้อนทับกันของพื้นที่และตำแหน่งที่เกิดระหว่างพื้นที่จริงที่แปลจากภาพถ่ายดาวเทียมและแผนที่ที่ได้จากแต่ละสมการ (CV) ผลที่ได้ ปรากฏว่าทุกสมการให้ค่า CV ต่ำกว่า 20% เมื่อผนวกเอาปัจจัยความเร็วลม 40 กม./ชม. ซึ่งเป็นอัตราเฉลี่ยในวันเกิดเหตุใส่เข้าในการ

[1]ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กทม. 10900

คำนวณในสมการของ Coppin และ Richards จะให้ค่า CV สูงขึ้น (16.2 และ 15.52 % เมื่อกำหนดให้ดินลึก 1.0 และ 0.5 เมตร ตามลำดับ) สมการที่เหลือให้ค่า CV ต่ำ ทั้งนี้สมการของ Wu และคณะ ให้ค่า CV สูงสุด 16.07, 15.85 และ 15.85 % เมื่อกำหนดให้ดินลึก 2, 2.5 และ 3 เมตร ตามลำดับ กล่าวโดยทั่วไปแล้ว แม้ว่าทุกสมการจะยังให้ค่า CV ที่ต่ำอยู่ แต่ดูเหมือนว่าสมการของ Wu และคณะ เหมาะสมที่สุดในการทำแผนที่แผ่นดินถล่มในพื้นที่นี้

คำนำ

ภูมิประเทศของภาคใต้ประกอบด้วยภูเขาสูงชัน มีชั้นหินดานเป็นหินแกรนิตซึ่งเมื่อสลายตัวจะให้เนื้อดินที่เป็นทรายมาก พอกตัวหนาอยู่ตามภูเขาและลาดไหล่เขาสูงชัน เมื่อฝนตกหนักติดต่อกันเป็นเวลานานน้ำจะซึมลงสู่ดินทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคดินลดลง ในขณะที่น้ำหนักรวมของมวลดินเพิ่มมากขึ้นจากน้ำหนักของน้ำจนกระทั่งเกินกำลังของดินที่จะรองรับไว้ได้ ทำให้เกิดแผ่นดินถล่มลงมา ทำความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สินของราษฎรและของทางราชการเป็นจำนวนมาก ดังนั้น การหาวิธีการที่เหมาะสมในการกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินถล่มจึงมีความสำคัญและมีความจำเป็นต่อการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อให้มีผลต่อการป้องกันแก้ไข และลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในอนาคตให้น้อยลง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้นำวิธีการต่างๆ ที่มีผู้ศึกษาไว้แล้วมากำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินถล่มแล้วเปรียบเทียบกับพื้นที่แผ่นดินถล่มซึ่งเคยเกิดขึ้นจริงในลุ่มน้ำตาปีเมื่อวันที่ 22 พฤศจิกายน 2531 เพื่อเลือกเอาวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ต้นน้ำตาปีและพื้นที่ต้นน้ำลำธารอื่นๆ ในประเทศไทยต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. แผนที่ภูมิประเทศระวาง 4826 II และ 4926 III มาตราส่วน 1: 50,000

2. แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน จัดทำโดย ดำรัส (2534)

3. แผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1: 250,000 จัดทำโดย กรมทรัพยากรธรณี (2526)

4. แผนที่แผ่นดินถล่ม จัดทำโดย พิสุทธิ์ และคณะ (2533)

5. เครื่องคำนวณ และ Microcomputer พร้อมโปรแกรม ARC/INFO และ ERDAS

ทั้งนี้ได้ใช้พื้นที่ลุ่มน้ำคลองกะทูนและลุ่มน้ำคลองดินแดง ในลุ่มน้ำตาปี จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นพื้นที่ในการศึกษา

วิธีการ

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. จากแผนที่ซึ่งรวบรวมไว้คือ แผนที่ภูมิประเทศ (ใช้ขอบเขตลุ่มน้ำ ลำธาร และความลาดชัน) แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่แผ่นดินถล่ม นำเข้าข้อมูลสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้วยการ digitize โดยใช้โปรแกรม ARC/INFO สำหรับความลาดชันนั้นใช้วงกลมของ Sheng (1978) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5

ตารางที่ 1. ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาค่าปัจจัยความปลอดภัย (factor of safety) เพื่อกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม บริเวณลุ่มน้ำตาปี จังหวัดนครศรีธรรมราช

ก. คุณสมบัติทางกายภาพของดินที่เกิดจากหินชนิดต่าง ๆ

ปัจจัย	หน่วย	หินแกรนิต[1]	หินดินดานและหินชนวน[2]	ที่ราบตะกอนน้ำพา[3]
c	kN/m^2	4	20	17
ϕ	degree	32	26	29
γ	kN/m^3	16	15	18
γ_s	kN/m^3	20	18	20
γ_b	kN/m^3	10	8	10

ข. ค่าปัจจัยที่เกี่ยวกับลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบต่าง ๆ

ปัจจัย	หน่วย	ป่าดิบชื้น	สวนยางพารา	นาข้าว
θ [4]	degree	27	32	20
dT [4]	kN/m^2	0.22	0.05	0.02
c_r [4]	kN/m^2	0.99	0.16	0.06
T [4]	kN/m^2	0.89	0.15	0.04
S_w [5]	kN/m^2	1.03	0.45	0.05
A [6]	m^2	0.8	0.5	0.1
D [7]	kN/m	5	7	1

หมายเหตุ : คำอธิบายปัจจัยต่าง ๆ ได้กล่าวไว้ใต้สมการที่ 1-12

ที่มา : [1] ศูนย์วิจัยป่าไม้ (2537); Nilaweera (1994)

[2] ประมาณจาก ปริญญาและ วันชัย (2532)

[3] ประมาณจาก Mairaing (1988)

[4] Nilaweera, 1994

[5] ประมาณจาก พงศ์ธร (2532), วิรัช (2533) และ อำไพ (2531)

[6] ประมาณจาก พงศ์ธร (2532)

[7] ประมาณจาก Hsi และ Nath (1970)

เซนติเมตร ทาบลงแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 นับจำนวนเส้นที่ผ่านในวงกลม จากนั้นคำนวณหาความลาดชันจากสมการ

$$\text{ความลาดชัน} = \frac{\text{ความสูงในแนวดิ่ง}}{\text{ระยะทางในแนวราบ}} \times 100$$

2. แปลงข้อมูลจาก ARC/INFO ไปเป็นข้อ

มูล ERDAS กำหนดขนาดของกริดที่ใช้เท่ากับ 50 x 50 เมตร

3. นำข้อมูล และตัวแปรที่จำเป็นต้องใช้ (ตารางที่ 1) เข้าในกริดของแผนที่ ในโปรแกรม ERDAS

4. ใช้หลักของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และค่าปัจจัยความปลอดภัย (factor of safety) จากสมการรูปแบบต่างๆ ดังต่อไปนี้ หาขอบเขตและพื้นที่แผ่นดินถล่มที่จะเกิดขึ้นในสภาพที่กำหนดให้

I. $$Fs = \frac{dT + A[c + [\gamma h_w + \gamma_b (h - h_w)]\cos 2\beta \tan\phi]}{A[\gamma h_w + \gamma_s (h - h_w)]\sin\beta\cos\beta}$$ (Abe, 1979)

II. $$Fs = \frac{(S_w + \gamma_s h)\cos^2\beta\tan\phi - h_w\gamma_w\cos^2\beta\tan\phi + c}{(S_w + \gamma_s h)\sin\beta\cos\beta}$$ (Gray และ Megahan, 1981)

III. $$Fs = \frac{\frac{c}{\cos^2\beta\tan\phi} + (S_w + \gamma h) + (\gamma_b - \gamma)h_w\frac{\tan\phi}{\tan\beta}}{(S_w + \gamma h) + (\gamma_s - \gamma)h_w}$$ (Gray และ Leiser, 1982)

IV. $$Fs = \frac{(c + c_r) + (\gamma h - \gamma_w h_w + w)\cos^2\beta\tan\phi}{[(\gamma h + w)\sin\beta + d]\cos\beta}$$ (Wu และคณะ, 1979)

V. $$Fs = \frac{(c + c_r) + [(\gamma h - \gamma_w h_w + w)\cos^2\beta + T\sin\theta]\tan\phi + T\cos\theta}{[(\gamma h + W)\sin\beta + D]\cos\beta}$$ (Coppin และ Richards, 1990)

โดยที่

Fs	=	ค่าปัจจัยความปลอดภัย
dT	=	แรงต้านแรงเฉือนที่เพิ่มขึ้น, ตันต่อตารางเมตร
A	=	พื้นที่ซึ่งถูกปกคลุมด้วยต้นไม้, ตารางเมตร
W	=	น้ำหนักรวมของดิน, กิโลนิวตันต่อตารางเมตร
w	=	แรงกดทับของพืช ($w = S_w/b$)
c_r	=	แรงยึดเหนี่ยวที่เพิ่มขึ้นจากแรงเกาะยึดของรากตลอดแนวเลื่อนไหล, กิโลนิวตันต่อตารางเมตร
S_w	=	แรงกดทับที่เพิ่มขึ้นจากน้ำหนักของพืช, กิโลนิวตันต่อตารางเมตร
T	=	กำลังของรากไม้ที่ฐานของแนวแผ่นดินถล่ม, กิโลนิวตันต่อตารางเมตร
ϕ	=	มุมเสียดทานภายในของดิน, องศา
θ	=	มุมที่รากไม้ทำกับแนวแผ่นดินถล่ม, องศา
c	=	แรงเชื่อมแน่นของดิน, กิโลนิวตันต่อตารางเมตร
β	=	ความลาดชันของพื้นที่, องศา
γ	=	ความหนาแน่นรวมของดินชื้น, กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร
γ_s	=	ความหนาแน่นของดินที่อิ่มตัว, กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร
γ_b	=	ความหนาแน่นของดินจมน้ำ, กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร ($\gamma_b = \gamma_s - \gamma_w$)
γ_w	=	ความหนาแน่นของน้ำ, กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร

h	=	ความลึกของชั้นดินที่เลื่อนไหล, เมตร
h_w	=	ความลึกของน้ำเหนือแนวเลื่อนไหล, เมตร
b	=	ความยาวของแผ่นดินถล่มในแนวระดับ, เมตร
D	=	กำลังของลมที่ขนานกับความลาดชัน, กิโลนิวตันต่อเมตร
d	=	แรงปะทะของลม (d=D/b)

พื้นที่ซึ่งมีค่าปัจจัยความปลอดภัยน้อยกว่า 1 คือบริเวณที่จะเกิดแผ่นดินถล่ม

การทดสอบความแม่นยำของสมการ

1. หาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่แผ่นดินถล่มที่ได้จากสมการกับพื้นที่แผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมดในพื้นที่เมื่อวันที่ 22 พฤศจิกายน 2531 และพื้นที่แผ่นดินถล่มจากสมการที่มีตำแหน่งตรงกับแผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้นจริง ในรูปของค่า CV (Coincided Value) โดยมีหลักเกณฑ์ดังนี้คือ หากแผ่นดินถล่มที่ได้จากสมการมีพื้นที่และตำแหน่งตรงกับแผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้นจริง แสดงว่าสมการที่ใช้สามารถคาดการณ์การเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ได้ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ (CV = 100 %) ส่วนในกรณีอื่น ๆ เช่น พื้นที่เท่ากันแต่ตำแหน่งตรงกันเพียงบางส่วน ความถูกต้องของสมการจะลดลง และจะมีความถูกต้องน้อยที่สุด (CV = 0 %) เมื่อไม่มีพื้นที่แผ่นดินถล่มตรงกันเลย ดังแสดงไว้ในภาพที่ 1 ซึ่งค่า CV นี้ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$CV = \frac{2 \times S}{(R + F)} \times 100$$

โดยที่

CV = ความถูกต้องของแผ่นดินถล่มที่ได้จากสมการเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ มีค่าจาก 0-100 เปอร์เซ็นต์ (Coincided Value, %)

R = พื้นที่แผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมดในพื้นที่ (วันที่ 22 พฤศจิกายน 2531)

F = พื้นที่แผ่นดินถล่มทั้งหมดที่ได้จากสมการ

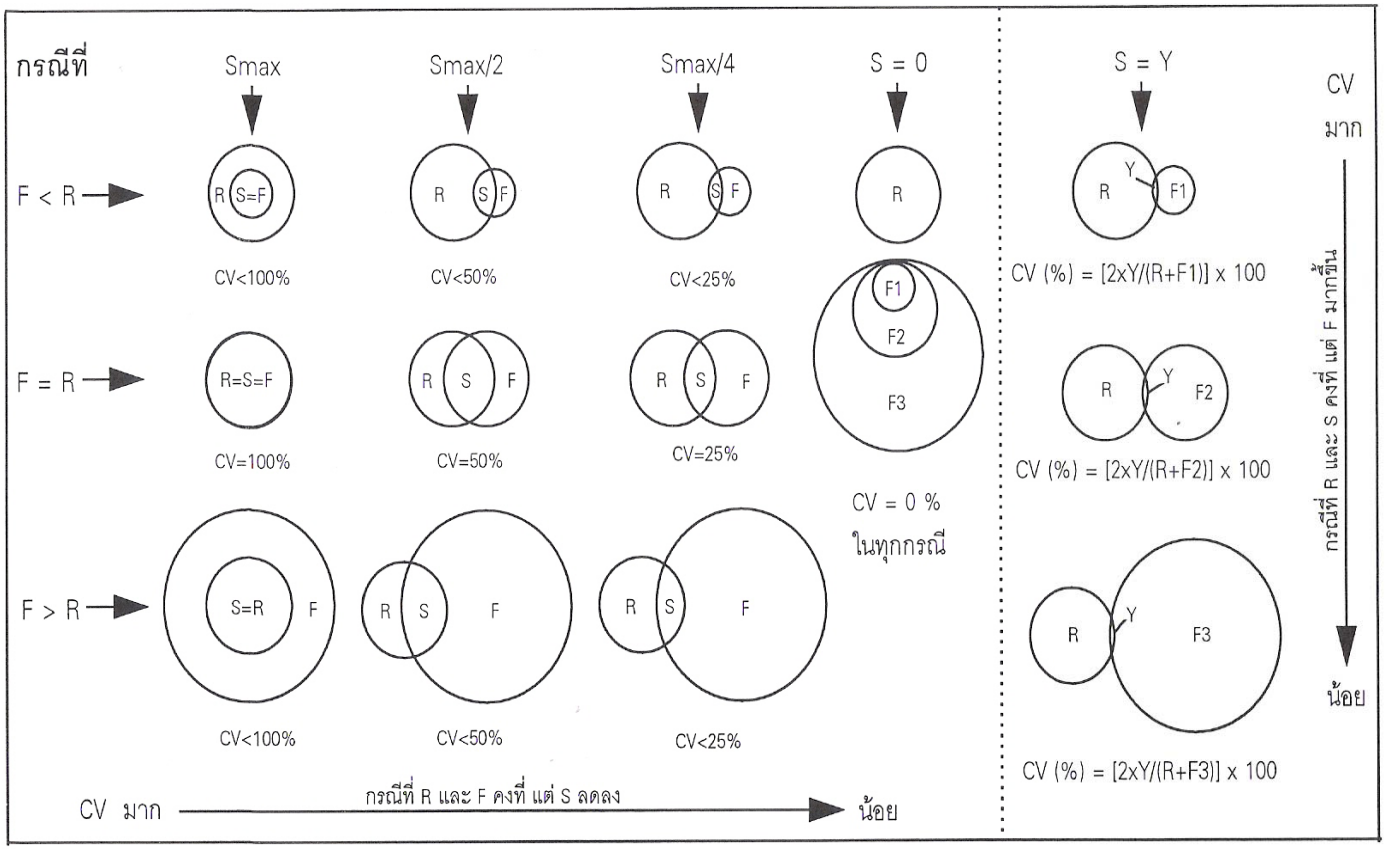
S = พื้นที่แผ่นดินถล่มจากสมการที่มีตำแหน่งตรงกับแผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้นจริง

2. สมการที่ให้ค่า CV มากแสดงว่า สามารถหาค่าความสัมพันธ์ของพื้นที่แผ่นดินถล่มกับพื้นที่แผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้นจริงได้มาก หรือเป็นสมการที่สามารถคาดการณ์การเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ได้ถูกต้องมากนั่นเอง (ภาพที่ 1) ดังตัวอย่างการคำนวณที่แสดงไว้ในตารางที่ 2

3. แสดงผลการศึกษาเป็นตาราง ภาพ และแผนที่แสดงตำแหน่งขอบเขตพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม

ผลและวิจารณ์

ในการศึกษาครั้งนี้ไม่อาจทราบความลึกของชั้นดินที่ถูกต้องได้ แต่จากการศึกษาของ Nilaweera (1994) พบว่าพื้นที่ลุ่มน้ำมีความลึกของชั้นดินเฉลี่ย 1.5 เมตร แต่ในส่วนของพื้นที่ที่เกิดแผ่นดินถล่มขึ้นนั้น ส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ซึ่งมีความลาดชันสูงและมีความลึกของชั้นดินประมาณ 0-2 เมตร (Zhibin, 1991) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงกำหนดให้ชั้นดินลึก 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 เมตร ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ที่ระดับความลึกของชั้นดินต่างๆ กัน สำหรับระดับของน้ำใต้ดินนั้นให้มีค่าเท่ากับความ



ภาพที่ 1. แนวคิดและการคำนวณค่า CV เมื่อพื้นที่แผ่นดินถล่มที่ได้จากสมการ และพื้นที่แผ่นดินถล่มที่ตรงกับแผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้นจริงเปลี่ยนไป ในกรณีที่ F<R, F=R และ F>R

หมายเหตุ R คือพื้นที่แผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่, F คือพื้นที่แผ่นดินถล่มที่ได้จากสมการ, S คือพื้นที่แผ่นดินถล่มที่มีตำแหน่งตรงกัน

ตารางที่ 2. ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความถูกต้องของแผ่นดินถล่มที่ได้จากสมการเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ (Coincided Value, %)

กรณีที่	R (km)	F (km)	S (km)	CV (%)	S (km)	CV (%)	S (km)	CV (%)	S (km)	CV (%)
F > R	10	100	10	18.2	5.0	9.1	2.50	4.5	1.0	1.8
S = 0 ถึง R	10	20	10	66.7	5.0	33.3	2.50	16.7	1.0	6.7
	10	11	10	95.2	5.0	47.6	2.50	23.8	1.0	9.5
F = R, S = 0 ถึง F,R	10	10	10	100.0	5.0	50.0	2.50	25.0	1.0	10.0
F < R	10	9	9	94.7	4.5	47.4	2.25	23.7	1.0	10.5
S = 0 ถึง F	10	5	5	66.7	2.5	33.3	1.25	16.7	1.0	13.3
	10	2	2	33.3	1.0	16.7	0.50	8.3	0.0	0.0

ลึกของชั้นดิน (ดินอยู่ในสภาพที่อิ่มตัวไปด้วยน้ำ) ส่วนสมการของ Wu และคณะ (1979) และสมการของ Coppin และ Richards (1990) ที่นำแรงลมมาคิดด้วยนั้น กำหนดให้ใช้แรงลมสูงสุดที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่คือ 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งประมาณค่าแรงลมในพื้นที่ป่าไม้ สวนยางพารา และนาข้าวได้ 5, 7 และ 1 กิโลนิวตันต่อเมตร ตามลำดับ

ความถูกต้องของแผ่นดินถล่มที่ได้จากสมการกับแผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้นจริง

จากแผ่นดินถล่มที่ได้จากค่าปัจจัยความปลอดภัยที่น้อยกว่า 1 ของสมการต่างๆ นำไปซ้อนทับกับแผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้นจริง แล้วนำพื้นที่ที่ซ้อนทับกันไปคำนวณหาค่าความถูกต้องของสมการหรือค่า CV ได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 และสามารถกล่าวโดยละเอียดได้ดังนี้

ชั้นดินลึก 0.5 เมตร มีเพียงสมการของ Abe (1978) และสมการของ Coppin และ Richards (1990) เท่านั้นที่มีค่าปัจจัยความปลอดภัยน้อยกว่า 1 หรือเกิดแผ่นดินถล่มขึ้น 73.81 และ 42.08 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ ซึ่งถึงแม้สมการของ Coppin และ Richards (1990) จะคำนวณหาพื้นที่แผ่นดินถล่มได้น้อยกว่า แต่เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้นจริง สมการนี้กลับมีความถูกต้องมากกว่า คือมีค่า CV 16.20 เปอร์เซ็นต์

ชั้นดินลึก 1.0 เมตร จากตารางที่ 3 ทุกสมการคำนวณได้ค่าปัจจัยความปลอดภัยน้อยกว่า 1 หรือมีแผ่นดินถล่มเกิดขึ้นทุกสมการ โดยสมการของ Abe (1978) มีพื้นที่แผ่นดินถล่มตรงกับแผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด รองลงไปคือสมการของ Coppin และ Richards (1990) คือมีพื้นที่แผ่นดินถล่มตรงกัน 6.13 และ 4.80 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า CV สมการของ Coppin และ Richards (1990) กลับให้ความถูกต้องมากกว่า โดยมีค่า CV 15.52 เปอร์เซ็นต์

ชั้นดินลึก 1.5 เมตร ทุกสมการคำนวณได้พื้นที่แผ่นดินถล่มได้มากขึ้น และมีพื้นที่ตรงกับแผ่น

ตารางที่ 3. *เปรียบเทียบพื้นที่แผ่นดินถล่มที่ได้จากสมการต่างๆ กับแผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้นจริง แยกตามระดับความลึกของดินที่กำหนดให้*

Source of prediction equations (1)	Predicted slided area (PSA) (2) (km^2)	Coincided slided area (CSA) (3) (km^2)	CV (%) (4)
	Given soil depth = 0.5 m		
Abe (1978)	73.81	6.00	13.56
Gray และ Megahan (1981)	0.00	0.00	0.00
Gray และ Leiser (1982)	0.00	0.00	0.00
Wu และคณะ (1979)	0.00	0.00	0.00
Coppin และ Richards (1990)	42.08	4.60	16.20
	Given soil depth = 1.0 m		
Abe (1978)	75.46	6.13	13.58
Gray และ Megahan (1981)	18.48	1.71	10.28
Gray และ Leiser (1982)	18.48	1.71	10.28
Wu และคณะ (1979)	10.75	0.93	7.31
Coppin และ Richards (1990)	47.15	4.80	15.52
	Given soil depth = 1.5 m		
Abe (1978)	81.77	6.14	12.72
Gray และ Megahan (1981)	64.54	6.03	15.21
Gray และ Leiser (1982)	64.54	6.03	15.21
Wu และคณะ (1979)	64.54	6.03	15.21
Coppin และ Richards (1990)	64.86	6.03	15.15
	Given soil depth = 2.0 m		
Abe (1978)	87.31	6.23	12.20
Gray และ Megahan (1981)	64.54	6.03	15.21
Gray และ Leiser (1982)	64.54	6.03	15.21
Wu และคณะ (1979)	71.27	6.91	16.07
Coppin และ Richards (1990)	66.14	6.06	14.99
	Given soil depth = 2.5 m		
Abe (1978)	*95.23*	*6.42*	*11.67*
Gray และ Megahan (1981)	64.54	6.03	15.21
Gray และ Leiser (1982)	64.54	6.03	15.21
Wu และคณะ (1979)	96.41	8.81	15.85
Coppin และ Richards (1990)	68.06	6.10	14.74
	Given soil depth = 3.0 m		
Abe (1978)	95.23	6.42	11.67
Gray และ Megahan (1981)	96.78	8.82	15.82
Gray และ Leiser (1982)	96.78	8.82	15.82
Wu และคณะ (1979)	96.41	8.81	15.85
Coppin และ Richards (1990)	69.96	6.11	14.42

หมายเหตุ : TRSA = พื้นที่แผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้นจริง (Total real slided area, 14.748 km^2)
(2) = พื้นที่แผ่นดินถล่มที่ได้จากสมการต่าง ๆ
(3) = พื้นที่ที่แผ่นดินถล่มที่ได้จากสมการตรงกับแผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้นจริง
(4) = [2x(3)/[14.748+(2)] x 100

ดินถล่มที่เกิดขึ้นจริงมากขึ้น โดยมีสมการที่ให้ค่า CV สูงที่สุด 15.21 เปอร์เซ็นต์ เท่ากัน 3 สมการคือ สมการของ Gray และ Megahan (1981), Gray และ Leiser (1982) และสมการของ Wu และคณะ (1979)

ชั้นดินลึก 2.0, 2.5 และ 3.0 เมตร สมการต่างๆ ยังคงคำนวณได้พื้นที่แผ่นดินถล่มมากขึ้น แต่ค่า CV มีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ โดยสมการของ Wu และคณะ (1979) มีความถูกต้องมากที่สุดคือมีค่า CV เท่ากับ 16.07, 15.85 และ 15.85 เปอร์เซ็นต์ ที่ชั้นดินลึก 2.0, 2.5 และ 3.0 เมตร ตามลำดับ

จากการศึกษาพอที่จะสรุปได้ว่า เมื่อชั้นดินที่กำหนดให้ที่ความลึกเพิ่มขึ้นค่าปัจจัยความปลอดภัยที่ได้จากสมการต่างๆ จะลดลงหรือมีพื้นที่แผ่นดินถล่มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาค่า CV หรือค่าความถูกต้องของสมการเมื่อความลึกของดินเพิ่มขึ้น สมการของ Abe (1978) และสมการของ Coppin และ Richards (1990) ค่า CV ลดลง สมการของ Gray และ Megahan (1981) และสมการของ Gray และ Leiser (1982) ค่า CV เพิ่มขึ้น ส่วนสมการของ Wu และคณะ (1979) ค่า CV เพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุด (16.17 เปอร์เซ็นต์) เมื่อชั้นดินลึก 2.0 เมตร จากนั้นค่า CV จะลดลงเมื่อชั้นดินมีความลึกมากขึ้น

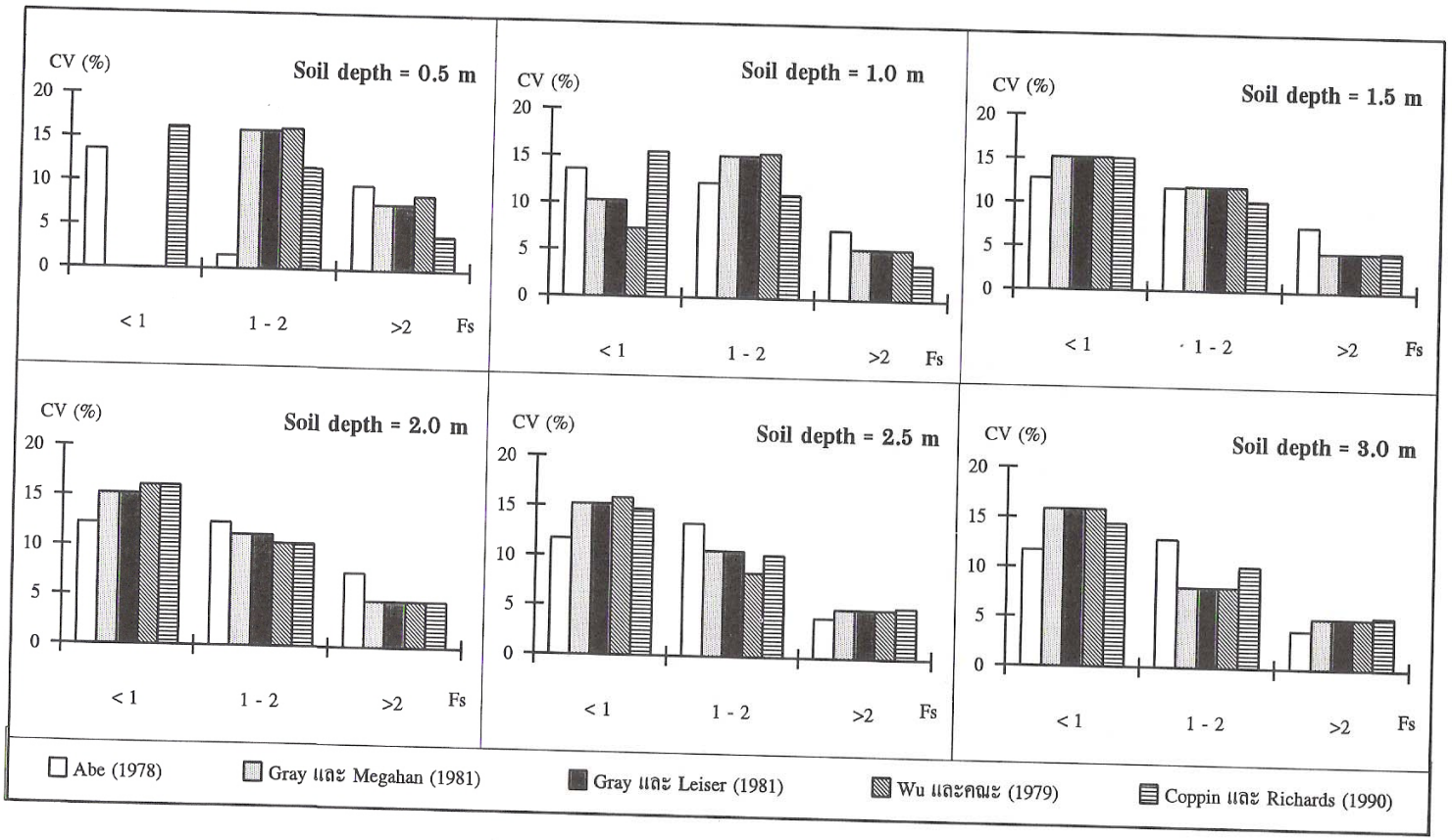
การใช้ค่าปัจจัยความปลอดภัยในการกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม

จากค่าปัจจัยความปลอดภัยที่คำนวณได้จากสมการต่างๆ สามารถแบ่งพื้นที่เสี่ยงภัยได้ 3 ระดับ คือ 1) พื้นที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มสูง (sliding area) มีค่าปัจจัยความปลอดภัยน้อยกว่า 1 มีค่า CV มากที่สุด 2) พื้นที่ซึ่งอยู่ในสภาพวิกฤติและมีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มปานกลาง (critical area) มีค่าปัจจัยความปลอดภัย 1-2 ค่า CV น้อยกว่าชั้นที่ 1 และ 3) พื้นที่ไม่มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม (non-sliding area) มีค่าปัจจัยความปลอดภัยมากกว่า 2 มีค่า CV น้อยที่สุด ซึ่งจากหลักเกณฑ์ดังกล่าวสามารถเลือกสมการที่เหมาะสมในการกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม เมื่อกำหนดให้ชั้นดินมีความลึกต่างๆ กันดังนี้ (ภาพที่ 2)

ชั้นดินลึก 0.5 เมตร สมการส่วนใหญ่มีพื้นที่ในชั้นแผ่นดินถล่มสูงเป็น 0 ส่วนสมการที่เหมาะสมที่สุดในการกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยในกรณีนี้คือ สมการของ Coppin และ Richards (1990) เพราะมีค่า CV ในชั้นแผ่นดินถล่มสูงมากที่สุดประมาณ 16.20 เปอร์เซ็นต์ ชั้นแผ่นดินถล่มปานกลางมีค่า CV รองลงมาคือ 11.62 เปอร์เซ็นต์ และในชั้นไม่เกิดแผ่นดินถล่มมีค่า CV น้อยที่สุดประมาณ 3.95 เปอร์เซ็นต์ ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนด

ชั้นดินลึก 1.0 เมตร ในชั้นนี้สมการของ Coppin และ Richards (1990) ยังเป็นสมการที่เหมาะสมที่สุด โดยมีค่า CV ในชั้นแผ่นดินถล่มสูง, ปานกลาง และไม่เกิดแผ่นดินถล่ม ประมาณ 15.52, 11.06 และ 3.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ชั้นดินลึก 1.5 เมตร เมื่อพิจารณาที่ชั้น sliding area สมการของ Gray และ Megahan (1981), Gray และ Leiser (1982) และสมการของ Wu และคณะ (1979) มีค่า CV สูงที่สุดเท่ากัน คือ 15.21 เปอร์เซ็นต์ ที่ชั้นแผ่นดินถล่มปานกลางแต่ละสมการมีค่า CV อยู่ในช่วงใกล้เคียงกันคือ 10.33-13.23 เปอร์เซ็นต์ แต่ในชั้นไม่เกิดแผ่นดินถล่ม สมการของ Wu และคณะ (1979) มีค่า CV น้อยที่สุด



ภาพที่ 2. ค่า CV ของปัจจัยความปลอดภัย (Fs) ที่ได้จากสมการต่างๆ เมื่อแบ่งชั้นความเสี่ยงออกเป็น 3ระดับ คือ Fs<1=>sliding area, Fs=1-2=>critical area Fs>2=>non-sliding area แยกตามความลึกของชั้นดิน

คือ 4.48 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเป็นสมการที่เหมาะสมที่สุดในการกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยเมื่อดินลึก 1.5 เมตร

ชั้นดินลึก 2.0 เมตร ที่ชั้นไม่เกิดแผ่นดินถล่ม สมการที่มีค่า CV น้อยที่สุด (4.64 เปอร์เซ็นต์) คือ สมการของ Gray และ Megahan (1981), Gray และ Leiser (1982) และสมการของ Wu และคณะ (1979) แต่ที่ชั้นแผ่นดินถล่มสูง สมการของ Wu และคณะ (1979) มีค่า CV มากที่สุดคือ 16.07 เปอร์เซ็นต์ จึงเป็นสมการที่เหมาะสมสำหรับการกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยมากที่สุด

ชั้นดินลึก 2.5 และ 3.0 เมตร สมการของ Wu และคณะ (1979) ยังคงมีความเหมาะสมมากที่สุดในการกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม

แผนที่กำหนดขอบเขตพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม

เนื่องจากไม่สามารถหาความลึกที่แท้จริงของพื้นที่ได้ การกำหนดขอบเขตพื้นที่เสี่ยงภัยในครั้งนี้ กำหนดให้ชั้นดินในพื้นที่มีความลึกเท่ากับ 2 เมตร ซึ่ง Zhibin (1991) รายงานว่าเป็นความลึกสูงสุดของพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มขึ้น โดยใช้สมการของ Wu และคณะ (1979) ซึ่งมีความเหมาะสมมากที่สุดในการกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินถล่มเมื่อชั้นดินลึก 2 เมตร พบว่ามีพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มสูง, มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มปานกลาง และพื้นที่ไม่เกิดแผ่นดินถล่ม มีค่าเท่ากับ 71.27, 99.99 และ 61.18 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็น 29.89, 41.94 และ 28.17 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด ตามลำดับ (ตารางที่ 4 และภาพที่ 3)

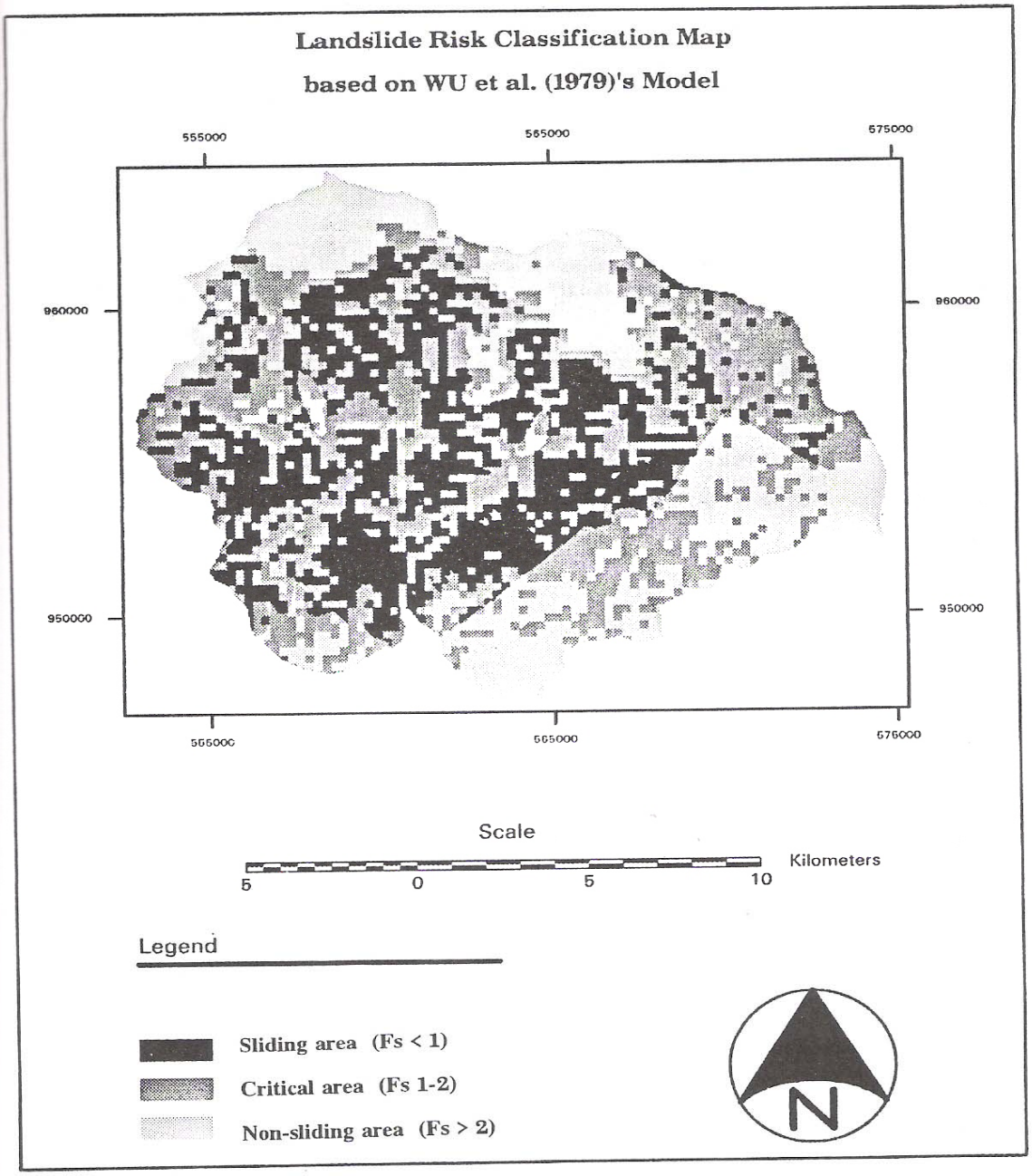
สรุป

จากการใช้ค่าปัจจัยความปลอดภัยที่ได้จากสมการต่างๆ มาประยุกต์ใช้ในการกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม เพื่อหาสมการที่ให้ความถูกต้องมากที่สุดนั้น พอที่จะสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. ความถูกต้องของสมการที่ความลึกของชั้นดิน 0.5 และ 1 เมตร สมการของ Coppin และ Richards (1990) ให้ค่า CV สูงที่สุดคือ 16.20 และ 15.52 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ หากชั้นดินลึก 1.5 เมตร สมการของ Gray และ Megahan (1981), Gray และ Leiser (1982) และสมการของ Wu และคณะ (1979) ให้ค่า CV มากที่สุดเท่ากันคือ 15.21 เปอร์เซ็นต์ และหากชั้นดินลึก 2, 2.5 และ 3 เมตร สมการของ Wu และคณะ (1979) ให้ความถูกต้องมากที่สุดคือมีค่า CV 16.07, 15.85 และ 15.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2. การประยุกต์ใช้ค่าปัจจัยความปลอดภัยในการกำหนดขอบเขตพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินถล่มนั้น พบว่าสมการของ Wu และคณะ (1979) เป็นสมการที่เหมาะสมที่สุดในการกำหนดขอบเขตพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม หากชั้นดินมีความลึกตั้งแต่ 1.5 - 3 เมตร และหากชั้นดินมีความลึก 0.5 - 1 เมตร สมการของ Coppin และ Richards (1990) มีความเหมาะสมมากที่สุด

3. การกำหนดขอบเขตพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินถล่มเมื่อกำหนดให้ความเร็วลม 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความลึกของชั้นดิน 2 เมตร โดยใช้สมการของ Wu และคณะ (1979) ซึ่งมี



ภาพที่ 3. แผนที่ขอบเขตพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินถล่มของลุ่มน้ำคลองกะทูนและลุ่มน้ำคลองดินแดง จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งกำหนดด้วยค่า Fs ที่ได้จากสมการของ Wu และคณะ (1979) เมื่อกำหนดให้ความเร็วลม 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และชั้นดินลึก 2 เมตร

ตารางที่ 4. พื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม ที่ได้จากสมการของ Wu และคณะ (1979) เมื่อกำหนดให้ความเร็วลมเท่ากับ 40 กิโลเมตร/ชั่วโมง ความลึกของชั้นดินเท่ากับ 2.0 เมตร

Fs	Landslide risk class	Area	
		km^2	%
< 1	Sliding area	71.27	29.89
1-2	Critical area	99.99	41.94
> 2	Non-sliding area	67.18	28.17
Total		238.44	100.00

ความเหมาะสมที่สุดหากพื้นที่ที่มีความลึกของชั้นดิน 1.5 - 3 เมตร พบว่ามีพื้นที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มสูง, มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มปานกลาง และไม่มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มเท่ากับ 71.27, 99.99 และ 61.18 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็น 29.89, 41.94 และ 28.17 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี. 2526. แผนที่ธรณีวิทยาภาคใต้ มาตราส่วน 1:250,000. กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ.

ดำรัส ศุขอร่าม. 2534. การใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมศึกษาและประเมินผลความเสียหายพื้นที่ป่าไม้ : ระบบนิเวศวิทยา : สัตว์ป่า บริเวณพื้นที่อุทกภัยปี 2531 จังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดนครศรีธรรมราช และจังหวัดสงขลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปริญญา นุตาลัย และ วันชัย โสภณสกุลรัตน์. 2532. น้ำท่วมภาคใต้. *ใน* เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องอุทกภัยภาคใต้โศกนาฏกรรมที่น่าจะหลีกเลี่ยงได้, หน้า 1-124. สมาคมอนุรักษ์ศิลปกรรมและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

พงศ์ธร บรรณโศภิษฐ์. 2532. ขบวนการสืบพันธุ์ในป่าดิบชื้นเขาสก จังหวัดสุราษฎร์ธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิรัช ชื่นวาริน. 2533. สมบัติทางฟิสิกส์ของเนื้อไม้. ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 335 หน้า.

ศูนย์วิจัยป่าไม้. 2537. โครงการศึกษาเพื่อกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดอุทกภัยและภัยธรรมชาติในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคใต้. รายงานฉบับสุดท้าย. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 260 หน้า.

อำไพ เลขาวิวัฒนกุล. 2531. ผลของการลิดกิ่งไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ที่มีต่อผลผลิตของข้าวที่ปลูกโดยระบบวนเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Abe, K. 1987. Relationships between forest harvesting and landslide occurrence. *In* T. Fujimouri and M. Kimura (eds.), Human Impacts and Management of Mountain Forests, pp. 255-265. Forestry and Forest Products Research Institute, Ibaraki, Japan.

Aung, Z. 1991. The study of landslide susceptibility using the GIS approach (west of

Amphoe Phi Pun, Nakorn Sithammarat Province). M.Sc. Thesis, AIT, Bangkok.

Coppin, N.J. and I.G. Richards (eds.). 1990. Use of vegetation in civil engineering. Butterworths, London. 292 p.

Gray, D.H. and W.F. Megehan. 1981. Forest vegetation removal and slope stability in the Idaho Batholith, Research Paper INT-271. International Forest and Range Experiment, Ogden Utah, USA. 23 p.

Gray, D.H. and A.T. Leiser. 1982. Biotechnical slope protection and erosion control. Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York. 271 p.

Hsi, G. and J.H. Nath. 1970. Wind drag within a simulated forest. J. Appl. Meteorol. (9): 592-602.

Mairaing, W. 1988. Lecture note on slope stability analysis. Trainning Course on "Urban Drainage and Flood Control". AIT, Bangkok, Thiland. 44 p.

Nilaweera, N.S. 1994. Effects of tree roots on slope stability : The case of Khao Luang Mountain area, southern Thailand. Ph.D. Dissertation, AIT, Bangkok, Thailand.

Sheng, T.C. 1978. Using circle interception method for slope analysis. Technical Note No. 1 Mae Sa Watershed Project, Thailand. 34 p.

Wu, T.H., W.P. Mckinnell III and D.N. Swanston. 1979. Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska. Can. Geot. J. (16) : 19-33.

Zhibin, T. 1991. A study of landslides in weathering granitic slope in Amphoe Phipun, Nakhon Si Thammarat, Thailand. M.Sc. Thesis, AIT, Bangkok, Thailand.