



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิศวกรรมป่าไม้)

ปริญญญา

วิศวกรรมป่าไม้	วิศวกรรมป่าไม้
สาขา	ภาควิชา

เรื่อง ผลกระทบของขนาดกริดและแหล่งที่มาของแบบจำลองความสูงเชิงเลขต่อการคำนวณ
ค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา
Effect of DEM Resolution and Sources on the Computation of Hydrological Parameters

นามผู้วิจัย นายประสิทธิ์ มากสิน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พัชต์พิล ณรงค์ชวนะ, D.Agr.Sc.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมนิมิตร พุกงาม, วท.ค.)

หัวหน้าภาควิชา

(อาจารย์ปิยวัฒน์ ดิลกสัมพันธ, ปร.ค.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สืบสันทิ มหาวิทยาสัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลกระทบของขนาดกริดและแหล่งที่มาของแบบจำลองความสูงเชิงเลข
ต่อการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา

Effect of DEM Resolution and Sources on the Computation
of Hydrological Parameters

โดย

นายประสิทธิ์ มากสิน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป่าไม้)
พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประสิทธิ์ มากสิน 2554: ผลกระทบของขนาดกริดและแหล่งที่มาของแบบจำลองความสูงเชิงเลขต่อการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิศวกรรมป่าไม้) สาขาวิชาวิศวกรรมป่าไม้ ภาควิชาวิศวกรรมป่าไม้ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์พยับติพล ณรงค์ชานะ, D.Agr.Sc. 115 หน้า

แบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) เป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญที่นำไปสร้างค่าคุณลักษณะภูมิประเทศต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและงานทางอุทกวิทยา การศึกษานี้ได้ตรวจสอบผลกระทบของขนาดกริดและแหล่งที่มาของข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ต่อการคำนวณค่าคุณลักษณะภูมิประเทศ 5 ประเภท (ระดับความสูง ความลาดชัน ความโค้ง-เว้า ความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาว และความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามขวาง) และค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา 5 ประเภท (พื้นที่ลุ่มน้ำ สันฐานวิทยาลุ่มน้ำ ปัจจัยความยาวความลาดชัน พื้นที่รับน้ำสะสมและดัชนีความเปียกชื้น) แหล่งที่มาของข้อมูล DEM 3 แห่งได้แก่ 1) ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร มาตราส่วน 1:50,000 2) ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศของ อบต.วังน้ำเขียว มาตราส่วน 1:10,000 3) ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขของกรมพัฒนาที่ดิน มาตราส่วน 1:4,000 และใช้โปรแกรม ArcGIS สร้างข้อมูล 8 ขนาดกริด (5, 10, 20, 30, 40, 60, 80 และ 100 เมตร) พื้นที่ศึกษาคือลุ่มน้ำย่อยลำเสามาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน อำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา

ผลการศึกษาพบว่า ขนาดกริดมีผลกระทบต่อค่าคุณลักษณะภูมิประเทศและค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกค่าที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยเฉพาะในช่วงขนาดกริด 5-30 เมตร ยกเว้นค่าระดับความสูงและพื้นที่ลุ่มน้ำ เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยของความลาดชัน ค่าสูงสุด-ต่ำสุดของความโค้ง-เว้า ค่าสันฐานวิทยาลุ่มน้ำ ค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน ลดลง แต่ค่าพื้นที่รับน้ำสะสมและค่าดัชนีความเปียกชื้น เพิ่มขึ้น สำหรับแหล่งที่มา ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดินให้รายละเอียดดีกว่าข้อมูลแหล่งอื่น ในเรื่อง ค่าความลาดชัน ปัจจัยความยาวความลาดชัน พื้นที่รับน้ำสะสมและค่าดัชนีความเปียกชื้น ข้อมูลจากกรมแผนที่ทหารให้รายละเอียดที่ดีกว่าในเรื่องค่าความโค้ง-เว้า การประเมินการสูญเสียดินมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อขนาดกริดมากกว่า 10 เมตร ขึ้นไป การประเมินปริมาณน้ำท่าด้วยวิธี SCS-CN พบว่าขนาดกริดและแหล่งที่มาของข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ลุ่มน้ำ

Prasit Maksin 2011: Effect of DEM Resolution and Sources on the Computation of Hydrological Parameters. Master of Science (Forest Engineering), Major Field: Forest Engineering, Department of Forest Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Payattipol Narangajavana, D.Agr.Sc. 115 pages.

Digital Elevation Model (DEM) is an importance basic information to derive the topographic attributes which are useful for surface analysis and hydrological works. The effect of DEM resolution and sources on the computation of five topographic attributes (Elevation, Slope, Overall Curvature, Plan Curvature and Profile Curvature) and five hydrological parameters (Watershed Area, Watershed Morphology, LS Factor, Specific Catchment Area; SCA and Topographic Wetness Index; TWI) were investigated in this study. Three sources of DEM data were 1) RTSD data from topographic map 1:50,000-scale 2) Wang Nam Khiao sub-district data from topographic map 1:10,000-scale 3) Land Development Department (LDD) data from Digital DEM data at 1:4,000- scale, and using ArcGIS software to resample at 8 resolutions (5, 10, 20, 30, 40, 60, 80 and 100 m.). The study area was Lam Sema and Khlong E-Tao sub-watersheds located in the upper Lam Phra Phloeng watershed, Wang Nam Khiao district, Nakhon Ratchasima province.

The results revealed that all of topographic attributes and hydrological parameters have effected and significantly difference with DEM resolution at 99 % confident level, especially in the range of 5-30 m DEM resolution, except elevation and watershed area. When grid cell size increased, the average slope, the maximum-minimum of curvature, watershed morphology and LS factor decreased, in contrast to the SCA and TWI increased. For DEM sources, LDD data provided more details than other sources on the slope, LS factor, SCA and TWI. RTSD data also provided more details on the curvature. The estimated soil loss decreased significantly with the increasing DEM grid size greater than 10 m. The runoff estimation calculated from SCS-CN method found that DEM resolution and sources had no significantly difference but have related with watershed area.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พยัคดิพล ฌรงกะชวนะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมนิมิตร พุกงาม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง พร้อมทั้งติดตามผลการศึกษายู่ตลอดเวลา จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา นิยม ประธานการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ อ่องสมหวัง ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมป่าไม้ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมป่าไม้ทุกท่าน ตลอดจนเพื่อนนิสิตปริญญาโทและน้องๆ นิสิตปริญญาตรีทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณองค์การบริหารส่วนตำบลวังน้ำเขียว อำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา ที่สนับสนุนข้อมูลเส้นชั้นความสูง มาตรฐาน 1:10,000 ระยะห่างเส้นชั้นความสูง 5 เมตร

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้อบรมและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

ประสิทธิ์ มากสิน

พฤษภาคม 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	38
อุปกรณ์	38
วิธีการ	39
ผลและวิจารณ์	45
สรุปและข้อเสนอแนะ	104
สรุป	104
ข้อเสนอแนะ	107
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	108
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	115

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าคุณลักษณะภูมิประเทศและค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา ที่สร้างจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข	17
2	ค่าปัจจัยความยากง่ายในการพังทลายของดิน (K Factor) ของพื้นที่ลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน จังหวัดนครราชสีมา	23
3	ค่าปัจจัยการจัดการพืชและการปฏิบัติการในการอนุรักษ์ดิน (C Factor and P Factor) ตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน ของพื้นที่ลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน จังหวัดนครราชสีมา	24
4	คุณสมบัติทางด้านอุทกวิทยาของดิน (Hydrologic Soil Group; HSG) ของพื้นที่ลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน จังหวัดนครราชสีมา	27
5	ค่า CN ของพื้นที่ลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน จังหวัดนครราชสีมา	28
6	พื้นที่ความลาดชัน ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า	30
7	พื้นที่กลุ่มชุดดิน ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า	34
8	พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2551 ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า	36
9	ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของพื้นที่ศึกษา ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า	46
10	ค่าสถิติเบื้องต้นของค่าระดับความสูง ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมา	48
11	ค่าสถิติเบื้องต้นของค่าระดับความสูง ของลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า	49
12	ค่าสถิติ D ของค่าระดับความสูง จากการทดสอบ K-S ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า	51
13	ค่าสถิติ D ของค่าความลาดชัน จากการทดสอบ K-S ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า	58
14	ค่าสถิติ D ของค่าความโค้ง-เว้า จากการทดสอบ K-S ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
15	ค่าสถิติ D ของค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาว จากการทดสอบ K-S ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	66
16	ค่าสถิติ D ของค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามขวาง จากการทดสอบ K-S ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	69
17	ลักษณะทางกายภาพ ของพื้นที่กลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	73
18	ค่าสถิติ D ของค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน จากการทดสอบ K-S ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	79
19	ค่าสถิติ D ของพื้นที่รับน้ำสะสม จากการทดสอบ K-S ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	83
20	ค่าสถิติ D ของค่าดัชนีความเปียกชื้น จากการทดสอบ K-S ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	89
21	ค่าสถิติ r จากการทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Pearson ของค่าคุณลักษณะภูมิประเทศและค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมา	92
22	ค่าสถิติ r จากการทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Pearson ของค่าคุณลักษณะภูมิประเทศและค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	93
23	ค่าสถิติ D ของค่าการสูญเสียดิน จากการทดสอบ K-S ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	98
24	สรุปภาพรวม ผลกระทบของขนาดกริดและแหล่งที่มาของแบบจำลองความสูงเชิงเลข ต่อการคำนวณค่าคุณลักษณะภูมิประเทศและค่าพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยา	103

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างของแบบจำลองความสูงเชิงเลข	7
2	การคำนวณค่าความลาดชันจากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขโครงสร้างแบบกริด (หน่วย: เปอร์เซ็นต์)	9
3	ทิศด้านลาด จากการจำแนกด้วยโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	9
4	การกำหนดค่าทิศทางการไหลของน้ำ จากการคำนวณด้วยข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขโครงสร้างแบบกริด	10
5	การคำนวณหาค่าความโค้ง-เว้า จากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขโครงสร้างแบบกริด	11
6	ลักษณะภูมิประเทศ ของลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน จังหวัดนครราชสีมา	30
7	ลักษณะทางอุทกวิทยา ของลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน จังหวัดนครราชสีมา	32
8	ลักษณะทางปฐพีวิทยา ของลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน จังหวัดนครราชสีมา	34
9	การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2551 ของลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน จังหวัดนครราชสีมา	36
10	แผนผังขั้นตอนการปฏิบัติงาน	40
11	ปริมาณพื้นที่หลุมยุบ (Sink) ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มาของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า	47
12	ความถี่สะสมของค่าระดับความสูง ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มาของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า	50
13	ค่าสถิติเบื้องต้นของค่าความลาดชัน ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มาของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า	53
14	การกระจายค่าความลาดชัน ที่ขนาดกริดต่างๆ ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมา	54
15	การกระจายในแต่ละช่วงชั้นของค่าความลาดชัน ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มาของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า	56
16	ความถี่สะสมของค่าความลาดชัน ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มาของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า	57
17	ค่าสถิติเบื้องต้นของค่าความโค้ง-เว้า ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มาของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า	61

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	ความถี่สะสมของค่าความโค้ง-เว้า ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	62
19	ค่าสถิติเบื้องต้นของค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาว ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	64
20	ความถี่สะสมของค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาว ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	65
21	ค่าสถิติเบื้องต้นของค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามขวาง ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	67
22	ความถี่สะสมของค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามขวาง ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	68
23	พื้นที่ลุ่มน้ำที่คำนวณจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	71
24	ค่าสถิติเบื้องต้นของลักษณะฐานันฐานวิทยาลุ่มน้ำ ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	74
25	ค่าสถิติเบื้องต้นของค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	76
26	ความถี่สะสมของค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	78
27	ค่าสถิติเบื้องต้นของพื้นที่รับน้ำสะสม ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	80
28	ค่าพื้นที่รับน้ำสะสม ที่สร้างจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข ที่ขนาดกริดต่างๆ ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมา	81
29	ความถี่สะสมของพื้นที่รับน้ำสะสม ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	82

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
30	ค่าสถิติเบื้องต้นของค่าดัชนีความเป็ยกชั้น ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	85
31	แผนที่ลักษณะดัชนีความเป็ยกชั้น ที่สร้างจากแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ ขนาด กริดต่างๆ ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมา	87
32	ความถี่สะสมของค่าดัชนีความเป็ยกชั้น ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	88
33	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Pearson ของค่าคุณลักษณะภูมิประเทศและ ค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา ที่ขนาดกริดต่างๆ ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและ กลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	91
34	ค่าสถิติเบื้องต้นของค่าการสูญเสียดิน ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	96
35	ความถี่สะสมของค่าการสูญเสียดิน ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	97
36	ปริมาณน้ำท่าต่อหน่วยพื้นที่ ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต่า	100

ผลกระทบของขนาดกริดและแหล่งที่มาของแบบจำลองความสูงเชิงเลข ต่อการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา

Effect of DEM Resolution and Sources on the Computation of Hydrological Parameters

คำนำ

แบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model; DEM) เป็นข้อมูลพื้นฐานในการสร้างข้อมูลคุณลักษณะภูมิประเทศ (Topographic Attributes) แบบจำลองความสูงเชิงเลขมีความหลากหลายทั้งขนาดกริด โครงสร้าง ความถูกต้องและแหล่งที่มา ในปัจจุบัน มีหน่วยงานจำนวนมากผลิตข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข โดยใช้วิธีการต่างๆ และให้ความละเอียดที่แตกต่างกัน Kienzie (2004) กล่าวว่า ความแตกต่างทั้งหลายของข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ส่งผลกระทบต่อการสร้างข้อมูลคุณลักษณะภูมิประเทศแบบต่างๆ เช่น ระดับความสูง ความลาดชัน ทิศด้านลาด ความโค้งหรือความเว้าของพื้นผิวพื้นที่ ค่าดัชนีความเปียกชื้นของพื้นที่ หรือใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา (Hydrological Parameters) Wu *et al.* (2008a) กล่าวว่า เมื่อขนาดกริดที่ใช้สร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขมีขนาดใหญ่ การอธิบายรายละเอียดต่างๆ ของภูมิประเทศ มีความถูกต้องลดน้อยลง Zhang *et al.* (2009) พบว่าขนาดกริดที่ใหญ่ขึ้นส่งผลให้การคำนวณปริมาณน้ำท่าและปริมาณตะกอนมีความถูกต้องน้อยกว่าขนาดกริดที่มีขนาดเล็ก โดยนำผลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดจริง สำหรับประเทศไทย มีหลายหน่วยงานผลิตข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข เช่น กรมแผนที่ทหารใช้ข้อมูลเส้นชั้นความสูงระยะห่าง 20 เมตร จากแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 กรมพัฒนาที่ดินใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายออร์โธรีซิเชิงเลข มาตราส่วน 1:4,000 หรือหน่วยงานอื่นๆ ที่ผลิตข้อมูลแบบจำลองความสูงขึ้นมาเป็นการเฉพาะ แหล่งข้อมูลทั้งหลายที่กล่าวมานั้นความหยาบละเอียดของข้อมูลมีความแตกต่างกัน การนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้งานด้านต่างๆ โดยเฉพาะการใช้งานทางด้านอุทกวิทยานั้น ต้องให้ความสำคัญต่อความละเอียดถูกต้องและขนาดกริดของข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน ซึ่งหากข้อมูลที่น่าเข้ามามีขนาดกริดที่ใหญ่ จะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าต่างๆ และความคลาดเคลื่อนนี้จะถูกถ่ายทอดสะสมเพิ่มขึ้นไปยังกระบวนการอื่นๆ ต่อไป จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรทราบถึงช่วงขนาดกริดและแหล่งที่มาของข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ควรใช้ในงานทางด้านอุทกวิทยา

การวิจัยครั้งนี้ ทำการศึกษาผลกระทบของขนาดกริดและแหล่งที่มาของแบบจำลองความสูงเชิงเลข ต่อการคำนวณข้อมูลคุณลักษณะภูมิประเทศ และค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา โดยเลือกพื้นที่ศึกษา 2 กลุ่มน้ำย่อย บริเวณลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน อำเภอลำน้ำเคียว จังหวัดนครราชสีมา คือ ลุ่มน้ำย่อยลำเสมา และลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า ซึ่งมีลักษณะภูมิฐาน เป็นพื้นที่ลูกคลื่นลอนลาด (Undulating Terrain) มีร่องน้ำขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก และพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการไถพรวนตามแนวความลาดเท ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของหน้าดินได้ง่าย และใช้ข้อมูลจาก 3 แหล่งที่มาได้แก่ ข้อมูลเส้นชั้นความสูง จากแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ข้อมูลเส้นชั้นความสูง จากแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:10,000 ขององค์การบริหารส่วนตำบลวังน้ำเคียว อำเภอลำน้ำเคียว จังหวัดนครราชสีมา และ ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข มาตราส่วน 1:4,000 ของกรมพัฒนาที่ดิน และใช้ขนาดกริดที่แตกต่างกัน 8 ขนาดคือ 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80 และ 100 เมตร

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดกริดและแหล่งที่มาของแบบจำลองความสูงเชิงเลข ต่อการคำนวณข้อมูลคุณลักษณะภูมิประเทศ
2. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่สร้างต่างขนาดกริดและแหล่งที่มา ต่อการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยา
3. เพื่อทดลองนำค่าพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยาที่สร้างจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข มาประเมินค่าการสูญเสียดินและปริมาณน้ำท่า ร่วมกับแบบจำลองทางอุทกวิทยา

การตรวจเอกสาร

1. แบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model; DEM)

แบบจำลองความสูงเชิงเลข เป็นข้อมูลพื้นฐานที่มีความสำคัญ ที่แสดงลักษณะภูมิประเทศ ในรูปแบบของข้อมูลดิจิทัล 3 มิติ (Huaxing *et al.*, 2006) ซึ่งแบบจำลองความสูงเชิงเลขส่วนใหญ่ ถูกจัดเก็บในรูปแบบโครงสร้างตารางกริดสี่เหลี่ยมด้านเท่าและมีค่าประจำแต่ละกริดเป็นค่าความสูง ของภูมิประเทศ ด้วยเหตุนี้ทำให้ง่ายต่อการนำแบบจำลองความสูงเชิงเลขมาใช้ในการวิเคราะห์ ข้อมูลด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการหาค่าความลาดชันของพื้นที่ ค่าความโค้ง-เว้าของพื้นผิวของพื้นที่ ทิศด้านลาด หรือขอบเขตของพื้นที่ลุ่มน้ำ เป็นต้น การสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลข สามารถ สร้างจากข้อมูลหลากหลายแหล่งด้วยกัน แต่นิยมใช้ข้อมูลจาก 3 แหล่งคือ 1) ข้อมูลเส้นชั้นความสูง 2) ข้อมูลจากการแปลภาพถ่ายทางอากาศ และ 3) ข้อมูลจากการสำรวจจริงวัดในพื้นที่ (Ravibabu and Jain, 2008) และ (Hengl and Reuter, 2009) ปัญหาในการสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขนั้น มี หลายประการด้วยกัน ได้แก่

1.1 แหล่งที่มาของแบบจำลองความสูงเชิงเลข

แบบจำลองความสูงเชิงเลขมีแหล่งที่มาของข้อมูลค่อนข้างหลากหลาย ซึ่งข้อมูลที่ได้ จากแต่ละแหล่งนั้นมีขนาดกริดที่แตกต่างกันจึงให้ความละเอียดถูกต้องแตกต่างกันด้วย เช่น ข้อมูล US-the National Elevation Dataset (NED DEM) มีขนาดกริด 10 และ 30 เมตร ข้อมูล Light Detection and Ranging (LiDAR) มีขนาดกริด 4, 10 และ 30 เมตรหรือข้อมูล Shuttle Radar Topography Mission (SRTM DEM) มีขนาดกริด 30 เมตร (Zhang *et al.*, 2009) มีนักวิจัยจำนวนมากทำการศึกษาผลกระทบของแหล่งที่มาของข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขต่อการใช้งานด้าน ต่างๆ เช่น Li and Wong (2010) ศึกษาผลกระทบของแหล่งที่มาของแบบจำลองความสูงเชิงเลขต่อ การประยุกต์ใช้ทางด้านอุทกวิทยาในส่วนของกริดสร้างโครงข่ายลำน้ำและพื้นที่น้ำท่วม พบว่า แบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จาก LiDAR ซึ่งมีลักษณะที่ให้รายละเอียดสูงกว่าแบบจำลองความ สูงเชิงเลขประเภทอื่น สามารถให้ผลการสร้างโครงข่ายลำน้ำที่มีความถูกต้องสูง และงานวิจัยนี้ยัง พบว่า นอกเหนือจากแหล่งข้อมูลของแบบจำลองความสูงเชิงเลขแล้ว ความถูกต้องที่ได้นั้นยังขึ้นอยู่กับ ขนาดกริดที่สร้างอีกด้วย โดยกริดที่มีขนาดเล็กจะให้ผลที่ถูกต้องกว่าข้อมูลที่สร้างจากกริดที่มี ขนาดใหญ่ Zhang *et al.* (2008) ศึกษาผลกระทบของแหล่งที่มาและขนาดกริดของแบบจำลองความ

สูงเชิงเลขต่อแบบจำลองการชะล้างพังทลายของดิน โดยใช้แบบจำลอง Water Erosion Prediction Project (WEPP Model) กำหนดขนาดกริด 6 ขนาด จาก 3 แหล่งที่มา (LiDAR DEM; 30, 10 and 4 m, NED DEM; 30 and 10 m and SRTM DEM; 30 m) ผลการวิจัยพบว่า ทั้งขนาดกริดและแหล่งที่มา มีผลต่อค่าพารามิเตอร์ของข้อมูลที่น่าเข้าสู่แบบจำลอง กล่าวคือแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ต่างขนาดกริดและแหล่งที่มา มีผลต่อการสร้างรูปร่างและ โครงสร้างของกลุ่มน้ำมีความแตกต่างกัน นำไปสู่การสร้างพื้นที่ลาดเขา (Hillslope) ความยาวลำน้ำ และความลาดชันที่แตกต่างกัน ทำให้การประมาณค่าการพังทลายของดินมีความแตกต่างกันด้วย โดยผู้วิจัยพบว่าขนาดกริดที่เหมาะสมคือขนาด 10 เมตร จากแหล่งข้อมูล LiDAR DEM

สำหรับประเทศไทย มีหลายหน่วยงานผลิตข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข เช่น กรมแผนที่ทหาร ใช้ข้อมูลเส้นชั้นความสูงระยะห่าง 20 เมตร จากแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ที่ขนาดกริด 30 เมตร ความถูกต้องทางดิ่ง (ความสูง) ประมาณ ± 15 เมตร มีรายละเอียดครอบคลุมทั่วทั้งประเทศ กรมพัฒนาที่ดิน ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายออร์โธรีซิเชิงเลข มาตราส่วน 1:4,000 สร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่มีขนาดกริด 5 เมตร มีเกณฑ์ความถูกต้องที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % บริเวณพื้นที่ราบ (ความลาดชันต่ำกว่า 35 %) ความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ 2 เมตรหรือดีกว่า บริเวณพื้นที่สูงชัน (ความลาดชันมากกว่า 35 %) ความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ 4 เมตรหรือดีกว่า หรือหน่วยงานอื่นๆ ที่ผลิตข้อมูลที่สามารถสร้างแบบจำลองความสูงได้ เช่น ข้อมูลเส้นชั้นความสูงจากแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:10,000 ขององค์การบริหารส่วนตำบลวังน้ำเขียว อำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา ที่ได้จากการแปลภาพถ่ายทางอากาศ

1.2 ขนาดกริดของแบบจำลองความสูงเชิงเลข

ขนาดกริดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการสร้างข้อมูลคุณลักษณะภูมิประเทศ (Crosby, 2006) ซึ่งการกำหนดขนาดกริดที่เหมาะสมนั้น มีนักวิจัยได้ทำการศึกษา เช่น Kienzie (2004) ศึกษาผลกระทบของขนาดกริดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขต่อการสร้างค่าลักษณะภูมิประเทศ จากขนาดกริด 5 ขนาด (5, 10, 25, 50 และ 100 เมตร) มีลักษณะภูมิลักษณะของพื้นที่แตกต่างกัน 3 ลักษณะคือพื้นที่ราบ พื้นที่กึ่งราบถึงสูงชัน และพื้นที่สูงชัน พบว่าขนาดกริดที่เหมาะสมต่อการสร้างลักษณะภูมิประเทศอยู่ในช่วง 5-20 เมตร และ Ziadat (2007) ศึกษาผลกระทบของระยะห่างเส้นชั้นความสูงและขนาดกริดต่อความถูกต้องของแบบจำลองความสูงเชิงเลขและความลาดชัน ผลการศึกษา พบว่าพื้นที่ที่มีความลาดชัน 0-18 เปอร์เซ็นต์ การสร้าง

แบบจำลองความสูงเชิงเลขจากข้อมูลเส้นชั้นความสูงควรใช้ขนาดกริดที่เล็กกว่า 20 เมตร แต่หากสร้างจากกระบวนการโฟโตแกรมเมตรี (Photogrammetry) ควรใช้ขนาดกริดที่เล็กกว่า 30 เมตร

1.3 ขั้นตอนวิธี (Algorithm) ในการแทรกค่าเชิงพื้นที่ (Interpolation)

การแทรกค่าเชิงพื้นที่เป็นส่วนหนึ่งของการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ (spatial analysis) ที่ต้องการความต่อเนื่องของข้อมูล ซึ่งแบบจำลองความสูงเชิงเลข สามารถสร้างได้จากการแทรกค่าเชิงพื้นที่เช่นกัน ทำให้มีหน่วยงานต่างๆ พัฒนาโปรแกรมเสริม (Extension) ช่วยในการวิเคราะห์ ทำให้มีความสะดวกรวดเร็วขึ้น แต่เทคนิคในการแทรกค่านั้น มีทั้งวิธีการบนพื้นฐานของคณิตศาสตร์และวิธีการทางสถิติ ทำให้กระบวนการคิดและวิธีการมีความแตกต่างกันไป ทำให้ผลลัพธ์ของการแทรกค่าเชิงพื้นที่แตกต่างกันไปตามชนิดของข้อมูลและขั้นตอนวิธีที่ใช้ โดย Wise (2007) ได้ศึกษาผลกระทบของแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่สร้างจากต่างขั้นตอนวิธี ต่อผลของค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางอุทกวิทยา โดยสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขจาก 6 ขั้นตอนวิธีคือ Intercon, Inverse Distance Weighting (IDW), TopoGrid, TIN-Linear, TIN Quintic และ Ordnance Survey จากข้อมูลเส้นชั้นความสูง แล้วสร้างค่าพารามิเตอร์เพื่อนำเข้าแบบจำลอง TOPography based hydrological (TOPMODEL) ผลการศึกษาพบว่า ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่สร้างต่างขั้นตอนวิธี ทำให้ผลของค่าพารามิเตอร์แตกต่างกัน โดยแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่สร้างด้วยขั้นตอนวิธี TIN Linear และ IDW ให้ผลการคำนวณพื้นที่ลุ่มน้ำและดัชนีความเปียกชื้น (Topographic Wetness Index; TWI) มีความถูกต้องและสอดคล้องกับลักษณะพื้นที่จริงมากที่สุด

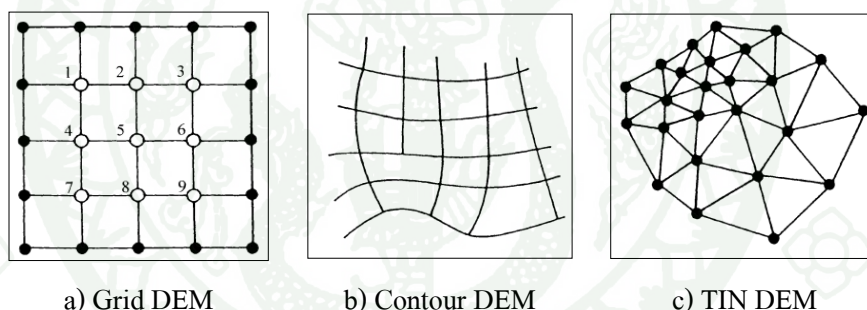
1.4 ความซับซ้อนของพื้นที่ที่สร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลข

Guo-an *et al.* (2001) กล่าวว่า ขนาดกริดของแบบจำลองความสูงและความซับซ้อนของลักษณะภูมิประเทศมีผลกระทบต่อความถูกต้องในการสร้างข้อมูลทางอุทกวิทยา และได้ศึกษาผลของขนาดกริดต่อความถูกต้องของข้อมูลทางอุทกวิทยาที่สร้างจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข ผลการศึกษาพบว่า ขนาดกริดที่ใหญ่และลักษณะพื้นที่ที่มีความซับซ้อนให้ผลการคำนวณที่มีความผิดพลาดสูง และงานวิจัยของ Kienzle (2004) ที่ศึกษาผลกระทบของขนาดกริดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขต่อการสร้างคุณลักษณะภูมิประเทศโดยแบ่งพื้นที่ออกเป็น 3 ลักษณะภูมิฐานคือ พื้นที่ราบ พื้นที่กึ่งราบถึงสูงชัน และพื้นที่ภูเขาสูงชัน พบว่าความซับซ้อนของพื้นที่มีผลในการกำหนดขนาดกริดของแบบจำลองความสูงเชิงเลข และหากพื้นที่ที่มีความซับซ้อนมาก เช่น พื้นที่ที่เป็นภูเขาสูงชัน ขนาดกริดที่ใช้ควรมีขนาดเล็ก แต่หากพื้นที่ที่มีความซับซ้อนน้อยเช่น พื้นที่ราบ

สามารถใช้กริดที่มีขนาดใหญ่ได้ ขึ้นอยู่กับค่าคุณลักษณะภูมิประเทศที่สร้างว่าเป็นค่าใด โดยขนาดกริดที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 5-20 เมตร

1.5 โครงสร้างของแบบจำลองความสูงเชิงเลข

Wilson and Gallant (2000) กล่าวว่า โครงสร้างของแบบจำลองความสูงเชิงเลขมี 3 โครงสร้างหลัก คือ โครงสร้างในรูปแบบของกริดสี่เหลี่ยม (Grid DEM) โครงสร้างในรูปแบบของเส้นชั้นความสูง (Contour DEM) และ โครงสร้างในรูปแบบของโครงข่ายสามเหลี่ยมไม่สม่ำเสมอ (Triangulated Irregular Network; TIN) แสดงดังภาพที่ 1 ซึ่งโครงสร้างเหล่านี้จะให้ค่าของลักษณะความสูงของพื้นที่ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ความถูกต้องของแบบจำลองความสูงเชิงเลขแตกต่างกันออกไปด้วย เช่น โครงสร้างแบบกริด หากสร้างด้วยขนาดกริดใหญ่ การแสดงรายละเอียดของพื้นที่จะน้อยลง หรือ โครงสร้างแบบโครงข่ายสามเหลี่ยมไม่สม่ำเสมอ หากข้อมูลจุดที่ใช้สร้างมีน้อย การแสดงความสูงของพื้นที่จะมีความคลาดเคลื่อนสูง



ภาพที่ 1 โครงสร้างของแบบจำลองความสูงเชิงเลข

ที่มา: Wilson and Gallant (2000)

2. คุณลักษณะภูมิประเทศที่สร้างจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข

แบบจำลองความสูงเชิงเลขสามารถนำมาสร้างข้อมูลคุณลักษณะของภูมิประเทศได้ คุณลักษณะของภูมิประเทศ คือ พารามิเตอร์ต่างๆ ที่อธิบายลักษณะภูมิประเทศ มีลักษณะข้อมูลเป็นแบบกระจายพื้นที่ (Distributed Parameter) มีความแตกต่างและผันแปรไปตามตำแหน่งและลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่นั้นๆ สามารถจำแนกตามวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ได้ 3 กลุ่มใหญ่ คือ 1) ด้านลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ เช่น ความลาดชัน ทิศด้านลาด หรือความขรุขระของ

พื้นผิว เป็นต้น 2) ด้านอุทกวิทยา เช่น ทิศทางการไหล การไหลสะสมของน้ำ หรือพื้นที่รับน้ำสะสม เป็นต้น ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณค่าต่างๆต่อไป (Hengl *et al.*, 2003) เช่น ปริมาณการสูญเสียดินจากพื้นที่ หรือปริมาณผลผลิตน้ำท่า เป็นต้น 3) ด้านภูมิอากาศ ใช้เป็นพารามิเตอร์ทางด้านการหาอุณหภูมิ หรือปริมาณการได้รับรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นที่ เป็นต้น

ข้อมูลคุณลักษณะของภูมิประเทศจำแนกได้ 2 ประเภท ดังนี้

2.1 คุณลักษณะภูมิประเทศปฐมภูมิ (Primary Topographic Attributes) คือ ข้อมูลคุณลักษณะที่สามารถสร้างจากแบบจำลองความสูงเชิงเลขได้โดยตรง (Wilson and Gallant, 2000) ได้แก่

1) ค่าระดับความสูง (Elevation) คือระดับความสูงของพื้นผิวของพื้นที่ ซึ่งอ้างอิงจากระดับน้ำทะเลปานกลางหรือระดับที่ใช้อ้างอิงอื่น ซึ่งในแต่ละกริดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขจะเก็บค่าความสูงที่มีความต่อเนื่องกันทั่วทั้งพื้นที่

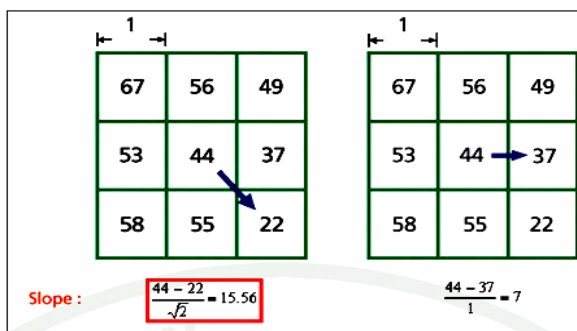
2) ค่าความลาดชัน (Slope) คืออัตราส่วนระหว่างผลต่างของค่าระดับความสูงของจุด 2 จุดกับระยะทางในแนวราบระหว่างจุด 2 จุด (ขนาดกริด) หรืออัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงต่อหน่วยระยะทางในทิศทางที่เคลื่อนที่ลงมาจากยอดเขา แสดงดังภาพที่ 2 หากขนาดกริดที่ใช้ มีขนาดใหญ่ ระยะทางในแนวราบจะมีค่ามาก ทำให้ค่าความลาดชันมีค่าน้อย แต่หากกริดมีขนาดเล็ก จะให้ผลในทางกลับกัน กล่าวคือระยะในแนวราบมีค่าน้อย ทำให้ค่าความลาดชันมีค่ามาก ในการหาค่าความลาดชันอาจมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์หรือองศาความลาดชัน การใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่มีโครงสร้างแบบกริด (Grid DEM) มาคำนวณหาค่าความลาดชัน มีสมการดังนี้

กรณีหาค่าความลาดชันตามแนวกริด

$$\text{Slope} = \frac{\text{Elevation (at High point)} - \text{Elevation (at Low point)}}{\text{Grid Cell Size}} \quad (1)$$

กรณีหาค่าความลาดชันตามแนวทะแยง

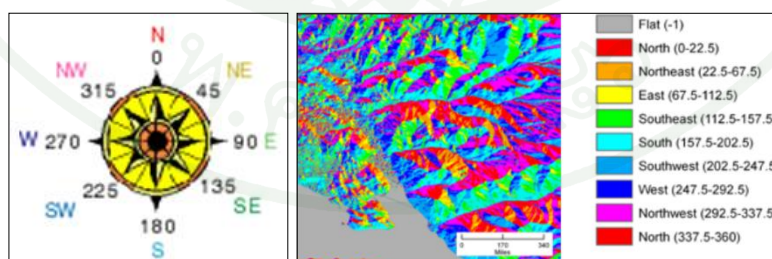
$$\text{Slope} = \frac{\text{Elevation (at High point)} - \text{Elevation (at Low point)}}{(\sqrt{2}) * (\text{Grid Cell Size})} \quad (2)$$



ภาพที่ 2 การคำนวณค่าความลาดชันจากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขโครงสร้างแบบกริด
(หน่วย: เปอร์เซ็นต์)

ที่มา: ESRI (2009)

3) ทิศด้านลาด (Aspect) คือทิศทางของความลาดชันของภูมิประเทศ ซึ่งโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถหาทิศด้านลาดได้ 9 ทิศทาง โดยใช้ค่ามุมในการแบ่งทิศด้านลาด แสดงดังภาพที่ 3 ทิศด้านลาดจะมีอิทธิพลต่อการได้รับพลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์ ที่ส่งผลถึงกระบวนการคายระเหยน้ำของพื้นที่ โดยด้านที่หันเข้าหาแสงอาทิตย์จะมีอัตราการคายระเหยน้ำที่สูง ทำให้ความชื้นในดินมีน้อยกว่าด้านที่ไม่ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง และทิศด้านลาดที่หันเข้าหาแนวลมมรสุม มีโอกาสรับน้ำฝนได้มากกว่า ทำให้ชนิดหรือความหนาแน่นของพืชพรรณแตกต่างกันในแต่ละทิศด้านลาด (เกษม, 2551) โดยปกติทิศด้านลาดที่หันไปทางทิศเหนือจะมีความหนาแน่นของพืชพรรณมากกว่าทิศด้านลาดทางทิศใต้



ภาพที่ 3 ทิศด้านลาด จากการจำแนกด้วยโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ที่มา: ESRI (2009)

4) ทิศทางการไหลของน้ำ (Flow Direction) คือการหาทิศทางการไหลของน้ำ โดยพิจารณาจากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่มีโครงสร้างแบบกริด แสดงดังภาพที่ 4a น้ำจะไหลจากกริดหนึ่งไปยังอีกกริดหนึ่งที่อยู่รอบๆ โดยใช้ค่าระดับความสูงที่อยู่ในกริดเป็นตัวควบคุมทิศทางการไหล ซึ่งโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ กำหนดทิศทางการไหลของน้ำเป็น 8 ทิศทาง มีค่ารหัสกำกับในแต่ละทิศทาง แสดงดังภาพที่ 4b โดยน้ำจะไหลจากกริดที่พิจารณาสู่กริดที่อยู่รอบตัวที่มีค่าระดับความสูงต่ำสุด โดยใช้ขนาดกริด 3 x 3 ผลที่ได้จะทราบว่ากริดนั้นมีการไหลของน้ำไปทิศทางใด แสดงดังภาพที่ 4c ซึ่งนำไปใช้ในการหาการไหลสะสมของน้ำต่อไป

37	56	49	46	50
53	44	37	38	48
58	55	22	31	24
61	47	21	16	19
53	34	12	11	12

a) Grid DEM

32	64	128
16		1
8	4	2

b) Code of Flow Direction

2	2	4	4	8
1	2	4	8	4
128	1	2	4	8
2	1	4	4	4
1	1	1	2	16

c) Flow Direction

ภาพที่ 4 การกำหนดค่าทิศทางการไหลของน้ำ จากการคำนวณด้วยข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขโครงสร้างแบบกริด

ที่มา: ESRI (2009)

5) การไหลสะสมของน้ำ (Flow Accumulation) คือผลรวมของจำนวนกริดที่มีการระบายน้ำไหลรวมกัน (จากทิศทางการไหลของน้ำ) ไปยังตำแหน่งที่กำหนดเป็นจุดน้ำออกเดียวกัน (Outlet)

6) โครงข่ายลำน้ำ (Stream Network) คือเส้นทางที่มีการระบายน้ำไหลผ่าน คำนวณจากค่าการไหลสะสมของจำนวนกริดที่รวมเป็นพื้นที่ระบายน้ำเดียวกัน เริ่มต้นเส้นทางน้ำจากกริดที่มีค่าการไหลสะสมน้อยที่สุดไปยังกริดที่มีการไหลสะสมมากที่สุด

7) ลำดับชั้นเส้นทางน้ำ (Stream Order) คือการนำโครงข่ายลำน้ำที่ได้ มาแยกประเภทของเส้นทางน้ำ ตามกระบวนการแยกลำดับชั้นเส้นทางน้ำ การจำแนกประเภทของเส้นทางน้ำที่อยู่ในลุ่มน้ำเดียวกัน (Strahler, 1957) มีหลักในการจำแนกดังนี้ (ยกตัวอย่าง การจำแนกเส้นลำน้ำใน 3 ลำดับแรก และการจำแนกเส้นลำน้ำในลำดับถัดไปใช้หลักการเดียวกัน)

(1) ลำดับชั้นเส้นทางน้ำลำดับที่หนึ่ง (First Order Stream) คือเส้นทางน้ำเส้นแรกที่เป็นจุดเริ่มต้นของลำธารและเป็นต้นกำเนิดของลำธาร

(2) ลำดับชั้นเส้นทางน้ำลำดับที่สอง (Second Order Stream) คือเส้นทางน้ำที่ได้จากการไหลรวมกันของเส้นทางน้ำลำดับที่หนึ่งกับเส้นทางน้ำลำดับที่หนึ่ง หรือเส้นทางน้ำลำดับที่สองกับเส้นทางน้ำลำดับที่หนึ่ง

(3) ลำดับชั้นเส้นทางน้ำลำดับที่สาม (Third Order Stream) คือเส้นทางน้ำที่ได้จากการไหลรวมกันของเส้นทางน้ำลำดับที่สองกับเส้นทางน้ำลำดับที่สอง หรือเส้นทางน้ำลำดับที่สามกับเส้นทางน้ำลำดับที่หนึ่ง หรือเส้นทางน้ำลำดับที่สามกับเส้นทางน้ำลำดับที่สอง

8) พื้นที่ลุ่มน้ำ (Catchment Area or Basin Area) คือผลรวมของจำนวนกริดคูณด้วยขนาดพื้นที่กริดหนึ่งกริด เมื่อมีการกำหนดจุดใดจุดหนึ่งเป็นจุดน้ำออก (Outlet) โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะคำนวณขอบเขตพื้นที่และนับจำนวนกริดให้โดยอัตโนมัติ

9) ความโค้ง-เว้า (Overall Curvature) คืออัตราส่วนระหว่างการเปลี่ยนแปลงทิศทางและรูปร่างของความลาดชันตามแนวดิ่งและแนวราบ ซึ่งได้จากการใช้สมการอนุพันธ์อันดับ 2 ในการหาค่าความโค้ง-เว้าของพื้นผิว โดยใช้ขนาดกริด 3 x 3 ดังภาพที่ 5 กับสมการ Quadratic Polynomial ซึ่งค่าความโค้ง-เว้าของพื้นที่ เกิดจากความสัมพันธ์ 2 ลักษณะคือ

z_1	z_2	z_3
z_4	z_0	z_5
z_6	z_7	z_8

← C →

$$D = [(Z_4 + Z_5)/2 - Z_0]/C^2$$

$$E = [(Z_2 + Z_7)/2 - Z_0]/C^2$$

$$F = (Z_3 - Z_1 + Z_6 - Z_8)/4C^2$$

$$G = (Z_5 - Z_4)/2C$$

$$H = (Z_2 - Z_7)/2C$$

ภาพที่ 5 การคำนวณหาค่าความโค้ง-เว้า จากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขโครงสร้างแบบกริด

ที่มา: Zevenbergen and Thorne (1987)

จากภาพที่ 5 แสดงการหาค่าความสัมพัทธ์ของระดับความสูงด้วยสมการ Quadratic ในแต่ละแนว โดยค่า Z คือค่าระดับความสูงในแต่ละกริด และค่า C คือขนาดกริดของแบบจำลองความสูงเชิงเลข เมื่อได้ค่าในแต่ละแนวแล้ว สามารถหาค่าความโค้ง-เว้าได้

(1) ความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาว (Profile Curvature) คืออัตราการเปลี่ยนแปลงของความสูงในแต่ละกริดตามความลาดชัน ค่าที่ได้มาจากอนุพันธ์ลำดับ 2 ทำให้ทราบการเปลี่ยนทิศทางและรูปร่างของความลาดชัน ซึ่งค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาวจะสัมผัสกับเส้นการไหล (Tangential to a Flow Line) ดังสมการที่ 3

$$\text{Profile Curvature} = -2 \left(\frac{(D \cdot G^2) + (E \cdot H^2) + (F \cdot G \cdot H)}{G^2 + H^2} \right) \quad (3)$$

(2) ความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามขวาง (Plan Curvature) คืออัตราการเปลี่ยนแปลงของความสูงในแต่ละกริดตามความลาดชัน โดยค่าที่ได้มาจากอนุพันธ์ลำดับ 2 ทำให้ทราบการเปลี่ยนทิศทางและรูปร่างของความลาดชัน ค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามขวาง จะสัมผัสกับเส้นความสูง (Tangential to a Contour) ดังสมการที่ 4

$$\text{Plan Curvature} = -2 \left(\frac{(D \cdot H^2) + (E \cdot G^2) + (F \cdot G \cdot H)}{G^2 + H^2} \right) \quad (4)$$

จากสมการที่ 3 และ 4 สามารถหาค่าความโค้ง-เว้า โดยนำค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาวลบด้วยค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามขวาง ดังสมการที่ 5

$$\text{Overall Curvature} = \text{Profile Curvature} - \text{Plan Curvature} = -2(D+E) \quad (5)$$

ค่าความโค้ง-เว้า (Overall Curvature) คือค่าที่ใช้อธิบายลักษณะของพื้นผิวภูมิประเทศว่ามีลักษณะโค้ง (Convex) ลักษณะเว้า (Concave) หรือเป็นพื้นที่ราบ ซึ่งค่านี้มีความสำคัญต่ออัตราการไหลของน้ำและกระบวนการเคลื่อนย้ายของตะกอน โดยที่ลักษณะพื้นที่ราบ (Flat) จะมีค่าความโค้ง-เว้าเข้าใกล้ศูนย์ หากมีค่าเป็นบวก แสดงว่าพื้นที่มีลักษณะโค้ง (Convex) และหากมีค่าเป็นลบ แสดงว่าพื้นที่มีลักษณะเว้า (Concave)

10) ความลาดชันของพื้นที่ลุ่มน้ำ (Catchment Slope) คือค่าสถิติของค่าความลาดชันที่คำนวณจากแบบจำลองความสูงที่ขนาดกริดต่างๆ ภายใต้ออบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำที่กำหนด

2.2 คุณลักษณะภูมิประเทศทุติยภูมิ (Secondary Topographic Attributes)

คือคุณลักษณะของภูมิประเทศที่สร้างจากคุณลักษณะภูมิประเทศปฐมภูมิเท่ากับหรือมากกว่า 2 คุณลักษณะขึ้นไป เพื่ออธิบายลักษณะของพื้นที่ที่นอกเหนือจากค่าคุณลักษณะภูมิประเทศปฐมภูมิจะอธิบายได้ ซึ่งคุณลักษณะภูมิประเทศทุติยภูมิ มีความสำคัญในการแสดงลักษณะหรือหน้าที่ของกระบวนการต่างๆ ของพื้นที่ ประกอบด้วย

1) ดัชนีความเปียกชื้น (Topographic Wetness Index; TWI) คือค่าสัดส่วนความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ที่รับน้ำสะสมจากกริดบนลงสู่กริดล่างต่อค่าระยะทางการไหลกับค่าความลาดชันของพื้นที่ ณ จุดหนึ่ง ซึ่งมีสมการดังนี้

$$TWI = \ln \left(\frac{A_s}{\tan \beta} \right) \quad (6)$$

เมื่อ

A_s = พื้นที่รับน้ำสะสมจากกริดบนลงสู่กริดล่างต่อค่าระยะทางการไหล คำนวณได้จากสมการที่ 7

$$A_s = \{(\text{Flow Accumulation} + 1) * \text{Grid Cell Area}\} / \text{Grid Cell Size} \quad (7)$$

β = ค่าความลาดชันของกริดนั้นๆ (องศา)

2) ดัชนีกำลังลำน้ำ (Stream Power Index; SPI) คือค่าผลคูณระหว่างพื้นที่ที่รับน้ำสะสมจากกริดบนลงสู่กริดล่างต่อค่าระยะทางการไหลกับค่าความลาดชันของพื้นที่ ณ จุดหนึ่ง ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการวัดแรงของน้ำที่ไหลที่ก่อให้เกิดการพังทลายของดินจากน้ำไหลบ่าหน้าดิน ซึ่งมีสมการดังนี้

$$SPI = A_s * \tan \beta \quad (8)$$

เมื่อ

A_s = พื้นที่รับน้ำสะสมจากกริดบนลงสู่กริดล่างต่อค่าระยะทางการไหล

β = ค่าความลาดชันของกริดนั้นๆ (องศา)

3) ปัจจัยความยาวความลาดชัน (LS Factor) คือปัจจัยร่วมระหว่างความยาวของความลาด (Slope Length; L) กับความเอียงลาด (Slope Gradient; S) คำนวณได้จากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข วิธีการหาค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน มีหลายวิธี เช่น สมการของ Remortel *et al.* (2004) ที่คำนวณค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน ดังสมการที่ 9 และสมการที่ 10

กรณีความลาดชันน้อยกว่า 9 %

$$LS = (l/22.13)^m(10.8 \sin \beta + 0.03) \quad (9)$$

กรณีความลาดชันมากกว่า 9 %

$$LS = (l/22.13)^m(16.8 \sin \beta - 0.5) \quad (10)$$

โดยที่

$$m = f/(l + f) \quad (11)$$

$$f = (\sin \beta / 0.0896) / [3.0(\sin \beta)^{0.8} + 0.56] \quad (12)$$

เมื่อ

l = ความยาวของความลาดชัน (เมตร)

β = ความลาดชัน (องศา)

4) ดัชนีการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ (Radiation Index) คือค่าที่แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวภูมิประเทศได้รับในแต่ละกริด

5) ดัชนีอุณหภูมิ (Temperature Index) คือค่าแสดงอุณหภูมิที่พื้นผิวโลกที่ได้รับในแต่ละกริด ค่าดัชนีอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับค่าระดับความสูง ความลาดชัน ทิศด้านลาด ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ และดัชนีพื้นที่ผิวใบของพืช

3. พารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยาที่สร้างจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข

ค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา คือลักษณะภูมิกายภาพ (Physiography) ของพื้นที่ โดยใช้พื้นที่ลุ่มน้ำเป็นขอบเขต สามารถใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขและโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สร้างขึ้นมาได้ เพื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ มาใช้วิเคราะห์ข้อมูลทางด้านอุทกวิทยาลุ่มน้ำต่อไป ค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยาที่สามารถสร้างได้จากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ประกอบด้วย

3.1 พื้นที่ลุ่มน้ำ (Catchment Area or Basin Area) มีความหมายเดียวกับข้อ 2.1

3.2 ปัจจัยความยาวความลาดชัน (LS Factor) มีความหมายเดียวกับข้อ 2.2

3.3 ลักษณะสัณฐานวิทยาลุ่มน้ำ (Watershed Morphology) คือคุณลักษณะของลำน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งแบบจำลองความสูงเชิงเลขสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการหาลักษณะสัณฐานวิทยาลุ่มน้ำได้หลากหลายโดย เกษม (2551) สรุปไว้ดังนี้

1) จำนวนลำน้ำ (Number of Stream) คือผลรวมของจำนวนเส้นลำน้ำทั้งหมดในพื้นที่ลุ่มน้ำ

2) ความหนาแน่นของลำธารต้นกำเนิด (Stream Density; D_s) คืออัตราส่วนระหว่างจำนวนลำน้ำที่เป็นลำดับชั้นเส้นทางน้ำลำดับที่หนึ่ง (First Order Stream) ต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ

3) ความหนาแน่นของการระบายน้ำ (Drainage Density; D_d) คืออัตราส่วนระหว่างความยาวของลำน้ำทั้งหมดที่คำนวณจากจำนวนกริดต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ

4) อัตราส่วนความต่างระดับของลุ่มน้ำ (Relief Ratio; RR) คือสัดส่วนของความต่างระดับของจุดสูงสุดและจุดต่ำสุดของลุ่มน้ำต่อความยาวของแนวแกนที่ยาวขนานกับลำน้ำสายหลักของลุ่มน้ำ (Axial Length) โดยเลือกจากกริดที่เป็นตำแหน่งของลำน้ำสายหลักในพื้นที่ลุ่มน้ำ

5) ค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่น (Compactness Coefficient; Kc) คือค่าที่ใช้แสดงลักษณะรูปร่างของกลุ่มน้ำ หาได้จากสัดส่วนความยาวเส้นรอบรูปกลุ่มน้ำ (Perimeter) ต่อพื้นที่กลุ่มน้ำ

6) อัตราส่วนจำนวนลำน้ำ (Bifurcation Ratio) คืออัตราส่วนของจำนวนลำน้ำชั้นที่ต้องการหาต่อจำนวนลำน้ำชั้น (Order) ถัดไป

7) ความยาวลำน้ำสายหลัก (Main Stream Length) คือผลรวมของจำนวนกริดที่เป็นลำน้ำสายหลักคูณด้วยขนาดกริด ซึ่งลำน้ำสายหลักมีน้ำไหลตลอดปี

3.4 พื้นที่ลาดเขา (Hillslope) คือพื้นที่ในแต่ละด้านของพื้นที่กลุ่มน้ำ ซึ่งกลุ่มน้ำหนึ่งๆ สามารถแบ่งส่วนพื้นที่ออกเป็น 3 ส่วนย่อยคือ ลาดเขาด้านซ้าย ลาดเขาด้านขวา และลาดเขาด้านบน โดยใช้ทิศทางการไหลของน้ำเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง ว่าเป็นทางด้านซ้ายหรือด้านขวา ในการแบ่งพื้นที่ลาดเขานั้นเพื่อแสดงลักษณะทางอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำในแต่ละส่วน แทนการแสดงลักษณะภาพรวมทั้งกลุ่ม ซึ่งการแบ่งส่วนดังกล่าว ขนาดกริดมีผลต่อลักษณะรูปร่าง และขนาดพื้นที่ของแต่ละส่วน คือเมื่อขนาดกริดใหญ่ขึ้น ขนาดพื้นที่มีค่ามากขึ้น และรูปร่างของแต่ละส่วนแตกต่างจากลักษณะพื้นที่จริง

3.5 ลักษณะภูมิทัศน์ฐาน (Landforms) คือลักษณะเฉพาะของภูมิประเทศที่แสดงพื้นผิวโลกของแต่ละพื้นที่ โดยสามารถจำแนกได้โดยใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขเป็นข้อมูลพื้นฐาน ลักษณะภูมิทัศน์ฐานของพื้นที่มีความสำคัญต่อกระบวนการต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการทางด้านกายภาพหรือชีวภาพของพื้นที่ มีความสัมพันธ์กับพื้นที่การกระจายพันธุ์ที่เหมาะสมของพืชพรรณแต่ละชนิด ความชื้นในดิน การพังทลายของดิน หรือทิศทางการได้รับแสงจากดวงอาทิตย์

3.6 พื้นที่รับน้ำสะสม (Specific Catchment Area; SCA or As) คือพื้นที่การรับน้ำสะสมจากกริดบนลงสู่กริดล่างต่อค่าระยะทางการไหล ค่าพื้นที่รับน้ำสะสม ใช้ในการหาค่าดัชนีความเปียกชื้น ร่วมกับชั้นข้อมูลความลาดชันต่อไป ดังสมการที่ 7

3.7 ดัชนีความเปียกชื้น (Topographic Wetness Index; TWI) มีความหมายเดียวกับข้อ 2.2 โดยค่าดัชนีความเปียกชื้นใช้ในการบ่งบอกว่าพื้นที่ใดมีความชื้นสูง (Saturated) พื้นที่ใดมีความชื้นน้อย (Unsaturated) โดยพื้นที่ที่มีความชื้นสูง ส่วนใหญ่อยู่บริเวณใกล้ลำธารหรือบริเวณที่เป็นพื้นที่ราบ นอกจากนี้ยังใช้ในการประเมินการกระจายความชื้นในดินได้อีกด้วย คำนวณได้ดังสมการที่ 6

3.8 ดัชนีกำลังลำน้ำ (Stream Power Index; SPI) มีความหมายเดียวกับข้อ 2.2 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการวัดแรงของน้ำที่ไหลที่ก่อให้เกิดการพังทลายของดินจากน้ำไหลบ่าหน้าดิน

จากการทบทวนเอกสารต่างๆ สามารถสรุปคุณลักษณะภูมิประเทศ ที่แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือคุณลักษณะภูมิประเทศปฐมภูมิ และคุณลักษณะภูมิประเทศทุติยภูมิ และค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา โดยค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยาบางค่าสามารถนำค่าคุณลักษณะภูมิประเทศมาใช้ได้โดยตรง จึงอาจมีบางค่าที่ซ้ำกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าคุณลักษณะภูมิประเทศและค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา ที่สร้างจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข

Topographic Attributes		Hydrological Parameters*
Primary	Secondary	
Elevation	Topographic Wetness Index	Catchment Area or Basin Area
Slope	Stream Power Index	LS Factor
Aspect	LS Factor	Watershed Morphology
Flow Direction	Radiation Index	Number of Stream
Flow Accumulation	Temperature Index	Stream Density
Stream Network		Drainage Density
Stream Order		Relief Ratio
Catchment Area		Compactness Coefficient
Overall Curvature		Bifurcation Ratios
Profile Curvature		Main Stream Length
Plan Curvature		Hillslopes
Catchment Slope		Landforms
		Specific Catchment Area
		Topographic Wetness Index
		Stream Power Index

ที่มา: คัดแปลงจาก Wilson and Gallant (2000)

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 ผลกระทบของขนาดกริดและแหล่งที่มาของแบบจำลองความสูงเชิงเลขต่อการสร้างคุณลักษณะภูมิประเทศ

Vaze *et al.* (2010) ได้ศึกษาผลกระทบของความถูกต้องและขนาดกริดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขต่อการหาค่าดัชนีภูมิประเทศ ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จาก LiDAR DEM กับแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม มีความแตกต่างกันน้อยมาก แต่ LiDAR DEM จะแสดงพื้นผิวของภูมิประเทศได้ดีกว่า และเมื่อนำ LiDAR DEM ไปทำการ Resampling ให้มีขนาดกริดใหญ่ขึ้น พบว่าการแสดงรายละเอียดของลักษณะภูมิประเทศลดลง

Deng *et al.* (2007) ศึกษาผลของขนาดกริดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขต่อค่าคุณลักษณะภูมิประเทศภายใต้ลักษณะภูมิฐานต่างๆ โดยคุณลักษณะภูมิประเทศที่ทำการศึกษามี 6 คุณลักษณะคือ Slope, Plan Curvature, Profile Curvature, North–South Slope Orientation, East–West Slope Orientation, and Topographic Wetness Index ผลการศึกษาพบว่า คุณลักษณะภูมิประเทศมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อขนาดกริดเปลี่ยน ขนาดกริดที่ควรใช้อยู่ในช่วง 5-50 เมตร ค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาวและค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามขวาง (Profile Curvatures and Plan Curvature) มีการเปลี่ยนแปลงค่าเมื่อเปลี่ยนขนาดกริดมากที่สุด ส่วนคุณลักษณะที่เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดคือ ชั้นข้อมูลความลาดชัน (Slope)

Kienzel (2004) ศึกษาผลกระทบของขนาดกริดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขต่อการสร้างคุณลักษณะภูมิประเทศ โดยกำหนดขนาดกริดในช่วง 5-100 เมตร และสร้างค่าคุณลักษณะภูมิประเทศได้แก่ ความลาดชัน ทิศด้านลาด ความโค้ง-เว้าของพื้นที่และดัชนีความเปียกชื้นของพื้นที่ พบว่าขนาด กริดมีผลต่อการสร้างคุณลักษณะภูมิประเทศ คือเมื่อกริดมีขนาดใหญ่ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากกว่า กริดที่มีขนาดเล็ก โดยช่วงขนาดกริดที่เหมาะสมในการคำนวณค่าลักษณะภูมิประเทศอยู่ในช่วง 5-20 เมตร

Straumann and Purves (2007) ศึกษาความอ่อนไหวของขนาดกริดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขต่อการคำนวณคุณลักษณะภูมิประเทศทุกขุม โดยกำหนดขนาดกริดในช่วง 2.5-40.0 เมตร ผลการศึกษาพบว่า ขนาดกริดมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณลักษณะภูมิประเทศทุกขุมที่สร้างระหว่างขนาดกริดที่ใหญ่และขนาดกริดที่เล็ก ซึ่งขนาดกริดที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 5-10 เมตร

4.2 ผลกระทบของขนาดกริดและแหล่งที่มาของแบบจำลองความสูงเชิงเลขต่อพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา

Quinn *et al.* (1995) กล่าวว่า การเปลี่ยนความละเอียดของขนาดกริดมีผลต่อการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา โดยพบว่า หากกริดมีขนาดใหญ่ การสร้างพื้นที่ลุ่มน้ำจะมีความถูกต้องน้อยทั้งรูปร่างและขนาดของพื้นที่ โดยเฉพาะลุ่มน้ำที่มีขนาดเล็ก อาจจะมีขอบบางส่วนหายไป โดยเฉพาะบริเวณขอบของพื้นที่ลุ่มน้ำ ลุ่มน้ำที่มีความลาดชันสูง และบริเวณแม่น้ำ อีกทั้งขนาดกริดที่ใหญ่เกินไปจะเพิ่มความแปรปรวนของดัชนีสภาพภูมิประเทศ แต่หากลดขนาดกริดให้เล็กลงจะเพิ่มขนาดของข้อมูลในการจัดเก็บ อีกทั้งในลุ่มน้ำขนาดใหญ่มีโอกาสพบความผิดพลาดในการเฉลี่ยกริดโดยรอบ (Interpolation Error) ตามจำนวนกริดที่เพิ่มมากขึ้น และยังเพิ่มเวลาในการวิเคราะห์ด้วย ผลการปรับค่าสัมประสิทธิ์ พบว่า ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อการสร้างค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยาของขนาดกริดในช่วง 5-100 เมตร การปรับค่าสัมประสิทธิ์จึงมีส่วนสำคัญที่ช่วยในการปรับปรุงผลการทำนายน้ำท่าให้ดีขึ้น

ซัชชัย (2543) ศึกษาหลักการและวิธีการในการประเมินค่าดัชนีความเปียกชื้น (Topographic Wetness Index; TWI) รวมถึงข้อจำกัดต่างๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยคอกม้า จังหวัดเชียงใหม่ และนำความรู้ความเข้าใจที่ได้มาเสนอเป็นแผนภาพแสดงแนวคิดในการจำลองแบบ (Model Conceptual Diagram) ทางอุทกวิทยาแบบกระจายพื้นที่ ทำการสร้างข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขจากโครงข่ายสามเหลี่ยมด้านไม่เท่า (Triangulated Irregular Networks; TIN) ที่สร้างจากเส้นชั้นความสูง กำหนดกริด 3 ขนาดคือ 10, 20 และ 50 เมตร แล้วนำข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้ไปคำนวณค่าดัชนีความเปียกชื้นด้วยโปรแกรม DTM Analysis for Windows ที่พัฒนาโดยมหาวิทยาลัย LANCASTER ผลการศึกษาพบว่าโปรแกรม DTM Analysis for Windows ยังมีข้อจำกัดหลายประการในการนำมาใช้ประเมินค่าดัชนีความเปียกชื้น จึงพัฒนาโปรแกรมขึ้นมาใหม่โดยใช้ภาษา Visual Basic for Application ที่ทำงานบน Microsoft Excel ตามขั้นตอนวิธีเดิมมาใช้แทน และพบว่าความถูกต้องของข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขและความละเอียด (Resolution) หรือขนาดกริดมีความอ่อนไหวมาก (Sensitive) ต่อการประเมินค่าดัชนีความเปียกชื้น กล่าวคือ เมื่อขนาดกริดใหญ่ขึ้น การแสดงรายละเอียดความเปียกชื้นของพื้นที่ลุ่มน้ำลดลง

Crosby (2006) ศึกษาผลกระทบของขนาดกริดต่อการสร้างคุณลักษณะภูมิประเทศทางด้านอุทกวิทยา ผลการศึกษาพบว่า ขนาดกริดมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการสร้างค่าความลาดชัน ค่าความโค้ง-เว้า ค่าดัชนีความเปียกชื้น และโครงข่ายลำน้ำ ซึ่งขนาดกริดที่เหมาะสมควรมีขนาดเล็กกว่า 40 ฟุต (12 เมตร) สำหรับการสร้างค่าความโค้ง-เว้าของพื้นที่ และขนาดเล็กกว่า 80 ฟุต (24 เมตร) สำหรับการสร้างชั้นข้อมูลความลาดชัน

ชรินทร์ และอรุณวรรณ (2551) ศึกษาเปรียบเทียบค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน (LS Factor) โดยใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข วิเคราะห์หาค่าปัจจัยความยาวความลาดชันจาก 3 วิธีคือ วิธีของ Remortel *et al.* (2004), วิธีของ National Science Technology Center (NSTC) (2001) และวิธีของ Mitasova *et al.* (1999) ใช้พื้นที่ภูเวียง จังหวัดขอนแก่น เป็นพื้นที่ทดสอบ มีเนื้อที่ประมาณ 325 ตารางกิโลเมตร มีความสูงจากระดับน้ำทะเลระหว่าง 160-800 เมตร แล้วหาค่าความคลาดเคลื่อนด้วยค่า Root Mean Square Error (RMSE) ของทั้งสามวิธีเปรียบเทียบกับวิธีที่คำนวณค่าปัจจัยความยาวของความลาด (L Factor) และความเอียงลาด (S Factor) จากข้อมูลเส้นชั้นความสูงจากแผนที่ภูมิประเทศโดยตรง ผลการศึกษา พบว่าวิธีของ Remortel *et al.* (2004) มีค่า RMSE คิดเป็นร้อยละ 21.87 วิธีของ NSTC (2001) คิดเป็นร้อยละ 119.13 และวิธีของ Mitasova *et al.* (1999) คิดเป็นร้อยละ 25.32

4.3 พารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยาที่สร้างจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข ต่อการประเมินน้ำท่าและปริมาณตะกอน

1) ขนาดกริดและแหล่งที่มาของแบบจำลองความสูงเชิงเลขต่อการทดสอบค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา

แบบจำลองความสูงเชิงเลข สามารถสร้างค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยาได้ ซึ่งมีนักวิจัยหลายท่านศึกษาถึงผลกระทบแบบจำลองความสูงเชิงเลขต่อการประเมินปริมาณน้ำท่าและปริมาณตะกอน เช่น Cochrane and Flanagan (2005) ศึกษาผลกระทบของขนาดกริดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขต่อการประมาณน้ำท่าและการสูญเสียดินโดยใช้แบบจำลอง WEPP กำหนดขนาดกริดในช่วง 5-20 เมตร ผลการศึกษาพบว่าขนาดกริดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขมีผลต่อค่าความลาดชันและการกระจายของความลาดชัน อีกทั้งขอบเขตของพื้นที่ลุ่มน้ำก็มีการเปลี่ยนแปลงด้วย และเส้นทางการไหลของน้ำก็เปลี่ยนเช่นกัน เมื่อนำข้อมูลนี้เข้าในแบบจำลอง WEPP เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าและตะกอน พบว่าผลการคำนวณน้ำท่ามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อ

เปลี่ยนขนาดกริด และการคำนวณการสูญเสียดิน พบว่ามีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเช่นกัน ซึ่งเป็นผลมาจากขนาดกริดที่ละเอียด (High Resolution) สามารถสร้างความยาวของความลาดชันแตกต่างจากแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่มีขนาดกริดที่ใหญ่ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบจำลองความสูงเชิงเลข เมื่อใช้แบบจำลอง WEPP เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าและการสูญเสียดิน ด้วยขนาดกริดในช่วง 5-20 เมตร ให้ผลการประเมินปริมาณน้ำท่าและการสูญเสียดินที่ไม่แตกต่างกัน

Zhang *et al.* (2008) ศึกษาผลกระทบของแหล่งที่มาและขนาดกริดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขต่อแบบจำลองการพังทลายของดินโดยประยุกต์ใช้แบบจำลอง WEPP ผลการศึกษาพบว่า ขนาดกริดมีผลต่อการสร้างด้านลาด (Hillslope) ของพื้นที่ลุ่มน้ำ อีกทั้งยังมีผลต่อค่าความลาดชันของพื้นที่ด้วย เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปประเมินปริมาณน้ำท่าและตะกอนส่งผลให้มีความแตกต่างกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงโดยผลที่ได้จากแบบจำลองให้ค่าที่เกินกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง และได้เสนอแนะว่าขนาดกริดที่เหมาะสมควรมีขนาด 10 เมตรหรือต่ำกว่า

Zhang *et al.* (2009) ศึกษาผลกระทบของขนาดกริดของแบบจำลองความสูงเชิงเลขต่อการประเมินปริมาณน้ำท่า โดยใช้ขนาดกริด 6 ขนาด ในช่วง 50-1,000 เมตร พบว่าเมื่อขนาดกริดใหญ่ขึ้น ความถูกต้องในการคำนวณปริมาณน้ำท่าลดลง เนื่องจากขนาดกริดที่ใหญ่จะให้รายละเอียดของพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยาน้อยลง ซึ่งได้แก่ ค่าความลาดชัน จำนวนลำน้ำ และขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ

2) การประเมินค่าการสูญเสียดิน (Soil Loss Estimation)

การประเมินค่าการสูญเสียดิน มีวิธีการค่อนข้างหลากหลาย วิธีหนึ่งที่นิยมทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ คือการใช้สมการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation, USLE) ซึ่ง Wischmeier and Smith (1978) ได้พัฒนาและปรับปรุงสมการ เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในพื้นที่ต่างๆได้ ดังสมการที่ 13

$$A = R * K * LS * C * P \quad (13)$$

เมื่อ

A = ปริมาณการสูญเสียดิน (ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี)

R = ปัจจัยเกี่ยวกับความสามารถในการทำให้เกิดการพังทลายของฝน (เมตริกตันต่อเฮกแตร์ต่อปี)

K = ปัจจัยเกี่ยวกับความยากง่ายในการเกิดการพังทลายของดิน (เมตริกตันต่อเฮกแตร์ต่อปี)

LS = ปัจจัยเกี่ยวกับความยาวความลาดชัน (เมตร-องศา)

C = ปัจจัยเกี่ยวกับการจัดการพืช (ไม่มีหน่วย)

P = ปัจจัยเกี่ยวกับการปฏิบัติการอนุรักษ์ดิน (ไม่มีหน่วย)

สมการการคำนวณและการกำหนดค่าต่างๆในแต่ละปัจจัย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) ปัจจัยเกี่ยวกับความสามารถในการทำให้เกิดการพังทลายจากฝน (R Factor) การศึกษานี้ใช้ข้อมูลน้ำฝนเฉลี่ยรายปี จากจุดวัดน้ำฝนรอบพื้นที่ศึกษา และทำการแทรกค่าข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยขั้นตอนวิธี Inverse Distance Weighted (IDW) พบว่า พื้นที่ศึกษามีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีอยู่ในช่วง 1,190-1,260 มิลลิเมตรต่อปี หาค่าปัจจัย R จากสมการที่ 14 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2543) ดังนี้

$$R = 0.4669 * X - 12.1415 \quad (14)$$

เมื่อ

R = ปัจจัยการชะล้างพังทลายของฝน (เมตริกตันต่อเฮกแตร์ต่อปี)

X = ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี (มิลลิเมตรต่อปี)

(2) ปัจจัยเกี่ยวกับความยากง่ายในการเกิดการพังทลายของดิน (K Factor) อ้างอิงค่าจากงานวิจัยของ Thinley (2008) ดังแสดงในตารางที่ 2 จากนั้นแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลราสเตอร์

ตารางที่ 2 ค่าปัจจัยความยากง่ายในการพังทลายของดิน (K Factor) ของพื้นที่ลุ่มน้ำลำพระเพลิง
ตอนบน จังหวัดนครราชสีมา

Soil Group	Soil Series	% Clay	% Silt	% Sand	Texture	Erodibility
29	Ban Chong	47.70	20.20	32.10	Clay	0.15
31	Wang Hai	34.40	43.00	22.60	Clay Loam	0.36
47	Muak Lek	58.30	26.00	15.70	Clay	0.15
55	Wang Saphung	40.40	27.3	32.30	Clay	0.15
62	Slope Complex	-	-	-	-	0.13*
-	Urban	-	-	-	-	0
-	Water Body	-	-	-	-	0

หมายเหตุ: * กลุ่มชุดดินที่ 62 ไม่สามารถหาค่า K Factor จากข้อมูลดินได้โดยตรง จึงใช้ค่าจากชนิดดินแทน

ที่มา: Thinley (2008)

(3) ปัจจัยความยาวความลาดชัน (LS Factor) คำนวณได้จากค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา โดยใช้สมการของ Remortel *et al.* (2004) ดังสมการที่ 9 ถึงสมการที่ 12

(4) ปัจจัยเกี่ยวกับการจัดการพืช และปัจจัยเกี่ยวกับการปฏิบัติการในการอนุรักษ์ดิน (C Factor and P Factor) คัดแปลงค่าจาก นิพนธ์ (2545) ดังแสดงในตารางที่ 3 จากนั้นแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลราสเตอร์

ตารางที่ 3 ค่าปัจจัยการจัดการพืชและการปฏิบัติการในการอนุรักษ์ดิน (C Factor and P Factor) ตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน ของพื้นที่ลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน จังหวัดนครราชสีมา

Land Use/Land Cover Type	C Value	P Value
Dry Evergreen Forest	0.190	1.000
Mixed Deciduous Forest	0.048	1.000
Forest Plantations	0.088	1.000
Orchards	0.150	1.000
Paddy Field	0.280	0.100
Grassland	0.015	1.000
Field Crops	0.502	1.000
Urban	0.000	0.000
Water Body	0.000	0.000

ที่มา: คัดแปลงจาก นิพนธ์ (2545)

3) การประเมินปริมาณน้ำท่า (Runoff Estimation)

การประเมินปริมาณน้ำท่า ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้แบบจำลองทางศาสตร์ของ Soil Conservation Services Curve Number (SCS-CN) (Huang *et al.*, 2006) ค่าประสิทธิภาพการให้น้ำท่า คำนวณได้จากสภาพภูมิประเทศ ลักษณะทางธรณีวิทยา และพืชคลุมดิน โดยพิจารณาจาก 4 ปัจจัย ดังนี้

(1) ปัจจัยสภาพภูมิประเทศ ได้แก่ ความลาดชันซึ่งมีผลต่อความเร็วของการไหล ทั้งการไหลบนผิวดิน (Surface Flow) และการไหลใต้ดิน (Subsurface Flow) ช่วงเวลาในการเก็บกักและความสามารถในการซึมของน้ำผ่านผิวดิน

(2) ปัจจัยการดูดซับน้ำของดิน ได้แก่ ชนิดของเนื้อดิน ความอัดแน่น และความลึกของชั้นดิน การอุ้มน้ำของชั้นดินเป็นปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อปริมาณน้ำท่า

(3) ปัจจัยพืชปกคลุมดิน มีผลต่อการลดแรงกระแทกของเม็ดฝนบนผิวดิน ปัจจัยพืชคลุมดินมีความสัมพันธ์กับการอุ้มน้ำ การชะลอความรุนแรงของเม็ดฝนสู่พื้นดิน รวมทั้งมีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำของดิน ชะลอไม่ให้น้ำไหลบ่าท่วมเร็วเกินไปหลังฝนตก

(4) ปัจจัยสภาพแอ่งน้ำที่ผิวดิน เช่น อ่างเก็บน้ำ ทะเลสาบ หนอง บึง เป็นตัวกักเก็บน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ มีผลทำให้ปริมาณน้ำท่าลดน้อยลง เนื่องจากน้ำถูกกักเก็บไว้ไม่ให้ไหลผ่านผิวดิน

ปัจจัยทั้งหมดนี้ ใช้ประเมินค่าเป็นคะแนนที่บ่งบอกว่าลุ่มน้ำนั้นมีความสามารถในการให้น้ำท่าได้มากน้อยเพียงใด ด้วยวิธี SCS (SCS Method) ซึ่งค่าคะแนนนี้เรียกว่าค่า Runoff Curve Number หรือค่า CN ปกติมีค่าอยู่ระหว่าง 0-100 โดยถ้าค่า CN มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าลุ่มน้ำนั้นมีความสามารถในการดูดซับและเก็บกักน้ำฝนเอาไว้ได้ดี ในทางตรงข้ามหาก ลุ่มน้ำใดมีค่า CN ใกล้ 100 แสดงว่าพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นดูดซับและเก็บกักน้ำฝนเอาไว้ไม่ดี มีสมการในการคำนวณค่าความลึกของน้ำท่า ดังสมการที่ 15

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad (15)$$

เมื่อ

Q = ค่าความลึกของน้ำท่า (มิลลิเมตร)

P = ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)

S = ความสามารถในการกักเก็บน้ำของดิน (มิลลิเมตร)

โดยที่ ค่า S คำนวณจากสมการ

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (16)$$

ค่า CN ในการศึกษาอ้างอิงจาก Phetprayoon *et al.* (2009) หาได้จากชั้นข้อมูลดิน และลักษณะการใช้ที่ดิน โดยแบ่งดินตามคุณสมบัติทางด้านอุทกวิทยาของดิน (Hydrologic Soil Group; HSG) ของกลุ่มชุดดิน ซึ่งสามารถแบ่งคุณสมบัติของกลุ่มชุดดินออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

(1) กลุ่ม A เป็นดินที่มีอัตราการซึมลงดินสูง มีการระบายน้ำดี มีศักยภาพการเกิดปริมาณการไหลโดยตรงต่ำมาก โดยดินในกลุ่มนี้ส่วนมากเป็นดินทรายและกรวด

(2) กลุ่ม B เป็นดินที่มีอัตราการซึมของน้ำปานกลาง มีการระบายน้ำดีปานกลาง ดินในกลุ่มนี้มีเนื้อดินละเอียดปานกลางถึงหยาบปานกลาง

(3) กลุ่ม C เป็นดินที่มีอัตราการซึมของน้ำลงดินต่ำ มีการระบายน้ำต่ำ ดินในกลุ่มนี้มีเนื้อดินละเอียดปานกลางถึงละเอียด

(4) กลุ่ม D เป็นดินที่มีอัตราการซึมของน้ำลงดินต่ำมาก มีการระบายน้ำต่ำมาก มีศักยภาพในการเกิดปริมาณการไหลโดยตรงค่อนข้างสูง

สำหรับลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน แบ่งคุณสมบัติทางด้านอุทกวิทยาของดิน ตามกลุ่มชุดดินได้ 2 กลุ่มคือ กลุ่ม C และกลุ่ม D ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางด้านอุทกวิทยาของดิน (Hydrologic Soil Group; HSG) ของพื้นที่ลุ่มน้ำ
ลำพระเพลิงตอนบน จังหวัดนครราชสีมา

Soil Group	Soil Series	% Clay	% Silt	% Sand	Texture	HSG
29	Ban Chong	47.7	20.2	32.1	Clay	D
31	Wang Hai	34.4	43.0	22.6	Clay loam	C
47	Muak Lek	58.3	26.0	15.7	Clay	D
55	Wang Saphung	40.4	27.3	32.3	Clay	D
62	Slope Complex	-	-	-	-	D

ที่มา: Phetprayoon *et al.* (2009)

จากนั้นนำคุณสมบัติทางด้านอุทกวิทยาของดิน ไปหาค่า CN ร่วมกับชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละประเภท ซึ่งลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน มีค่า CN ดังแสดงในตารางที่ 5

เมื่อคำนวณได้ค่าความลึกของน้ำท่า จากการคำนวณด้วยสมการที่ 15 แล้ว จากนั้นทำการคำนวณปริมาณน้ำท่า จากสมการที่ 17

$$R = Q * A \quad (17)$$

เมื่อ

R = ปริมาณน้ำท่า (ลูกบาศก์เมตร)

Q = ค่าความลึกของน้ำท่า (มิลลิเมตร)

A = ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (เฮกแตร์)

ตารางที่ 5 ค่า CN ของพื้นที่ลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน จังหวัดนครราชสีมา

Land Use/Land Cover Type	Curve Numbers for Hydrologic Soil Group			
	A	B	C	D
Cassava, Corn, Field Crop	72	81	88	91
Sugarcane	49	69	79	84
Paddy Field, Horticulture	65	76	84	88
Grass	68	79	86	89
Scrub	48	67	77	83
Perennial, Mixed Perennial, Orchard,				
Mixed Orchard, Para rubber, Teak,	43	65	76	82
Eucalyptus				
Forest Plantation	45	66	77	83
Disturbed Deciduous Forest, Disturbed				
Evergreen Forest	36	60	73	79
Dense Evergreen, Dense Deciduous				
Forest	30	55	70	77
Water Body, Marsh, Swamp	98	98	98	98
Livestock Farm House	59	74	82	86
Build-up Land, Institutional Land,				
Village	89	92	94	95

ที่มา: Phetprayoon *et al.* (2009)

พื้นที่ศึกษา

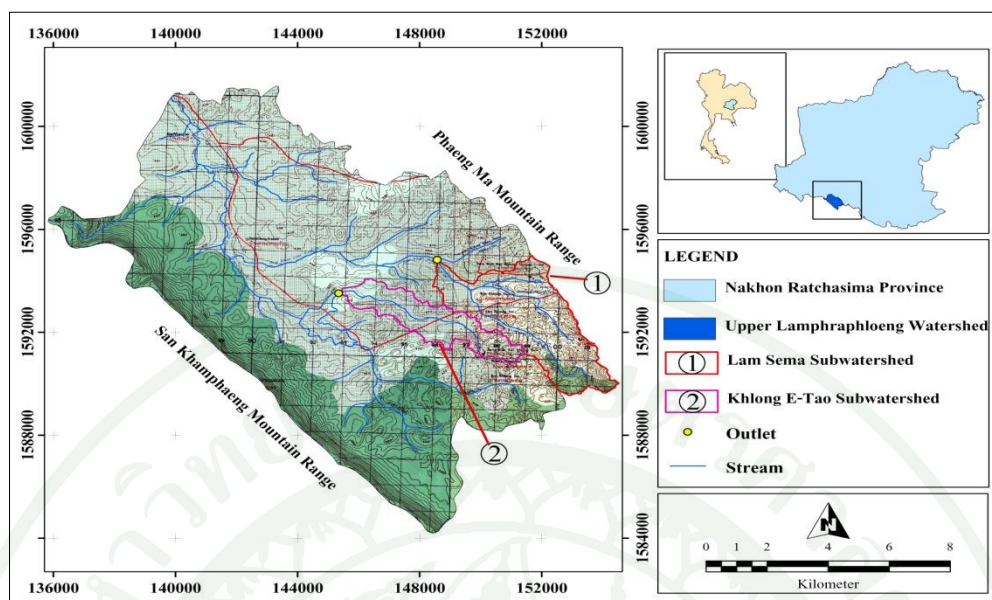
ลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบนเป็นลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำมูล ครอบคลุมพื้นที่ตำบลวังน้ำเขียว อำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา มีพื้นที่ประมาณ 147.380 ตารางกิโลเมตร (14,738.00 เฮกแตร์) ทิศเหนือติดอำเภอปักธงชัย ทิศตะวันออกติดกับตำบลอุดมทรัพย์ ตำบลวังน้ำเขียว และตำบลไทยสามัคคี ทิศตะวันตก ติดกับตำบลวังหมี อำเภอประจันตคาม จังหวัดปราจีนบุรี และทิศใต้ติดอำเภอนาดิ จังหวัดปราจีนบุรี การศึกษาครั้งนี้ใช้พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่อยู่ในลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน 2 ลุ่มคือ ลุ่มน้ำย่อยลำเสมา (Lam Sema subwatershed) และลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า (Khlong E-Tao subwatershed) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ลักษณะภูมิประเทศ

ลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน มีลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปเป็นที่ราบกึ่งลอนลาด บริเวณตอนกลางของพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นพื้นที่ลอนลาดสลับกับลูกคลื่นลอนชัน (Undulating Terrain) พื้นที่ดังกล่าวถูกขนาบด้วยแนวเขาชันกำแพงทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ และแนวเขาแผ่มาทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ แนวเขาบริเวณดังกล่าวมีความสูงระหว่าง 400 ถึง 860 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง แสดงดังภาพที่ 6

ลุ่มน้ำย่อยลำเสมา มีพื้นที่ประมาณ 14.415 ตารางกิโลเมตร (1,441.50 เฮกแตร์) บริเวณตอนบนของพื้นที่ลุ่มน้ำติดกับเทือกเขาแผงม้า ตอนล่างของพื้นที่มีลักษณะเป็นที่ราบ มีลำน้ำสายหลัก 3 สาย ลักษณะพื้นที่ส่วนใหญ่ มีความลาดชันอยู่ระหว่าง 5-15 เปอร์เซ็นต์ มีพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 28.842

ลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า มีพื้นที่ประมาณ 5.778 ตารางกิโลเมตร (577.80 เฮกแตร์) บริเวณตอนบนของพื้นที่ลุ่มน้ำมีลักษณะเป็นเนินเขาสูง ซึ่งมีอาณาเขตติดกับลุ่มน้ำย่อยลำเสมา ตอนล่างของพื้นที่มีลักษณะเป็นที่ราบ มีลำน้ำสายหลัก 1 สาย ลักษณะพื้นที่ส่วนใหญ่มีความลาดชันน้อยกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ มีพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 73.618 ดังแสดงในตารางที่ 6



ภาพที่ 6 ลักษณะภูมิประเทศ ของลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน จังหวัดนครราชสีมา

ที่มา: วีระศักดิ์ (2552)

ตารางที่ 6 พื้นที่ความลาดชันของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

Slope (%)	Lam Sema subwatershed		Khlong E-Tao subwatershed	
	Area (sq.km.)	Area (%)	Area (sq.km.)	Area (%)
Less than 5	3.685	25.562	1.904	32.946
5-15	4.158	28.842	2.350	40.672
15-25	2.728	18.924	0.834	14.434
25-35	1.742	12.084	0.389	6.736
More than 35	2.103	14.587	0.301	5.213
Total	14.415	100.000	5.778	100.000

หมายเหตุ: ข้อมูลจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข มาตรฐาน 1:50,000 ขนาดกริด 20 เมตร

2. ลักษณะภูมิอากาศ

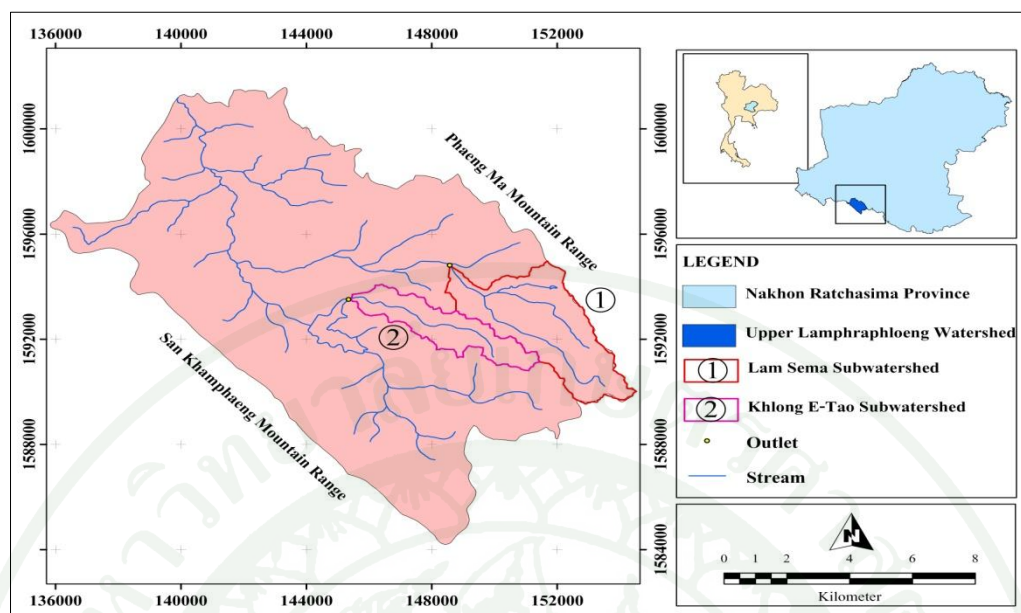
พื้นที่ลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน อยู่ในเขตภูมิอากาศแบบทุ่งหญ้าเขตร้อน (Tropical Savanna Climate) มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีประมาณ 1,000-1,280 มิลลิเมตร ในช่วงฤดูหนาวอากาศค่อนข้างหนาวเย็นและแห้งแล้ง ช่วงฤดูฝนมีสภาพอากาศค่อนข้างหนาวเย็นและชื้น ช่วงฤดูร้อนในเวลากลางวันสภาพอากาศร้อนและมีอากาศเย็นในเวลากลางคืน (กรมชลประทาน, 2542) จากการศึกษาของ วีระศักดิ์ (2552) พบว่า ลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบนมีการกระจายของปริมาณน้ำฝนค่อนข้างสม่ำเสมอในฤดูฝน มีปริมาณน้ำฝนส่วนใหญ่ในเกณฑ์ที่ทำให้ดินชุ่มชื้น ทำให้ปริมาณการไหลบ่าของน้ำจากลาดเนินลงสู่ที่ราบค่อนข้างไม่รุนแรง แต่อย่างไรก็ตามหากมีปริมาณฝนที่ตกมากกว่า 20 มิลลิเมตรต่อครั้ง จะเกิดน้ำหลากจากลาดเนินลงสู่พื้นที่ราบบริเวณปลายเนินอย่างรวดเร็ว แต่จะถูกชะลอความเร็วด้วยพืชในที่ราบ

3. ลักษณะทางอุทกวิทยา

ลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน มีลำน้ำสายหลักวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (NW-SE) ลักษณะทางน้ำเป็นรูปเส้นใบไม้แบบหยาบ (Coarse Dendritic Drainage Pattern) และทางน้ำรูปเส้นใบไม้แบบละเอียด บริเวณต้นน้ำคือเขาแผงม้า การระบายน้ำไม่ดี แม้ว่าบริเวณต้นน้ำจะมีจำนวนลำธารหลายสาย แต่ในพื้นที่ราบมีจำนวนลำธารน้อย ทำให้น้ำไหลแรงและเร็วจากพื้นที่ต้นน้ำ และลดลงเมื่อถึงตอนกลางของลุ่มน้ำ แต่เนื่องจากดินในพื้นที่เป็นดินทราย น้ำจึงซึมซาบได้ค่อนข้างดี แต่ไม่ซึมซาบระดับลึกจึงระบายลงสู่ลำธารอย่างรวดเร็ว

สำหรับลุ่มน้ำย่อยลำเสมา มีลำน้ำสายหลัก 3 สาย วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (NW-SE) ตอนบนของพื้นที่เป็นพื้นที่ป่า ส่วนตอนล่างเป็นพื้นที่ราบ เพาะปลูกพืชเกษตร

ลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า มีลำน้ำสายหลัก 1 สาย ตอนบนของพื้นที่ลุ่มน้ำติดกับลุ่มน้ำย่อยลำเสมา ตอนล่างของพื้นที่ติดกับอ่างเก็บน้ำลำพระเพลิงตอนบน แสดงดังภาพที่ 7 จากการศึกษาของ วีระศักดิ์ (2552) พบว่าลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่ามีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 5.1 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งให้ผลผลิตน้ำท่า 0.61 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อตารางกิโลเมตร



ภาพที่ 7 ลักษณะทางอุทกวิทยา ของลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน จังหวัดนครราชสีมา

ที่มา: วีระศักดิ์ (2552)

4. ลักษณะทางธรณีวิทยา

ลักษณะทางธรณีวิทยาบริเวณลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน ได้รับอิทธิพลจากการเกิดธรณีแปรสัณฐาน ตั้งแต่ตอนปลายของยุคไทรแอสซิก (กรมทรัพยากรธรณี, 2543) สภาพธรณีวิทยาโดยทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน ประกอบด้วยหินชั้นและหินอัคนีเกือบทั้งหมด โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 หินยุคเพอร์เมียน พบบริเวณตอนกลางและทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ลุ่มน้ำ เป็นหินอายุมากที่สุด ประกอบด้วย หินดินดาน หินทรายแป้ง หินทราย หินเชิร์ต และหินปูน โดยมีบางส่วนถูกแปรสภาพเป็นหินฟิลไลต์ หินชนวน หินควอร์ตไซต์ หินฮอร์นเฟลส์ หินอ่อน และหินควอร์ตไซต์ หินยุคนี้แสดงลักษณะการคดโค้ง และการถูกแปรสภาพ

4.2 หินมหายุคมีโซโซอิก เป็นหินยุคจูแรสซิก พบบริเวณตอนกลางของพื้นที่ลุ่มน้ำถึงแนวเทือกเขาสันกำแพง ได้แก่ หินของหมวดหินภูกระดึง (Jpk) และหินของหมวดหินพระวิหาร (Jpw)

ประกอบด้วย หินดินดานสีแดงถึงน้ำตาลแดงสลับชั้นกับหินทรายแป้ง หินทรายของหมวดหินภูกระดึง (Jpk) และหินทรายเนื้อหยาบสีชมพูถึงสีขาวสลับชั้นกับหินกรวดมน หินทรายแป้งและหินดินดานของหมวดหินพระวิหาร (Jpw) พบมากบริเวณเทือกเขาทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่

4.3 หินอัคนี (Igneous Rocks) เป็นหินที่เกิดขึ้นในช่วงไครแอซิกตอนปลาย พบบริเวณตอนกลางถึงฝั่งขวาของกลุ่มน้ำ ประกอบด้วย หินอัคนีแทรกซอน (Intrusive Igneous Rock) และหินอัคนีพุ (Extrusive Igneous Rock) มีรายละเอียดต่อไปนี้

1) หินอัคนีแทรกซอน (Intrusive Igneous Rock) ประกอบด้วยหิน ฮอร์นเบรนไดต์ ไดโอไรต์ โทนาไรต์ อะคามลไลต์ และแกรนิต พบบริเวณตอนบนของพื้นที่

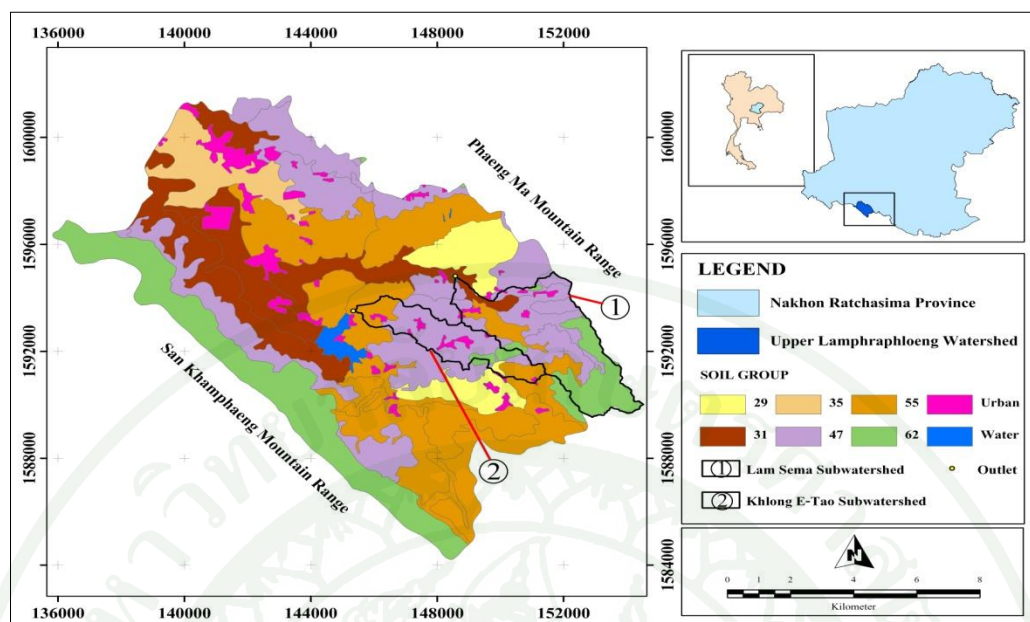
2) หินอัคนีพุ (Extrusive Igneous Rock) ประกอบด้วยหินไรโอไรต์ แอนดิไซต์ แอ็กไกรเมอเรต และหินทัฟฟ์

5. ลักษณะทางปฐพีวิทยา

พื้นที่ลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน ประกอบด้วยชุดดิน (Soil Series) เป็นจำนวนมาก แต่การแยกโดยใช้ระดับกลุ่มชุดดิน (Soil Group) สามารถแยกได้ 6 กลุ่ม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550) คือกลุ่มชุดดินที่ 29, 31, 35, 47, 55 และ 62 แสดงดังภาพที่ 8

สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยลำเสมา สามารถจำแนกดินในระดับกลุ่มชุดดินได้ 4 กลุ่ม คือกลุ่มชุดดินที่ 31, 47, 55 และ 62 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกลุ่มชุดดินที่ 47 (ชุดดินมวกเหล็ก) มีพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 48.601 และกลุ่มชุดดินที่ 62 (Slope Complex) มีพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 30.559

ลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า ก็สามารถจำแนกดินในระดับกลุ่มชุดดินได้ 4 กลุ่มเช่นเดียวกัน คือกลุ่มชุดดินที่ 29, 47, 55 และ 62 ซึ่งดินส่วนใหญ่ก็เป็นดินกลุ่มชุดดินที่ 47 (ชุดดินมวกเหล็ก) โดยมีพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 60.064 ดังแสดงในตารางที่ 7



ภาพที่ 8 ลักษณะทางปฐพีวิทยา ของลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน จังหวัดนครราชสีมา

ตารางที่ 7 พื้นที่กลุ่มชุดดินของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

Soil Group	Lam Sema subwatershed		Khlong E-Tao subwatershed	
	Area (sq.km.)	Area (%)	Area (sq.km.)	Area (%)
31B/55B	0.554	3.974	-	-
29C	-	-	0.123	1.917
47C	0.498	3.576	-	-
47D	3.195	22.932	3.644	56.683
47E	3.078	22.093	0.217	3.381
55B	1.310	9.402	0.002	0.028
55C	-	-	0.710	11.050
55D	0.653	4.684	0.726	11.292
62	4.257	30.559	0.459	7.139
Urban	0.387	2.780	0.547	8.509
Total	13.931	100.000	6.429	100.000

ที่มา: คัดแปลงจาก กรมพัฒนาที่ดิน (2550)

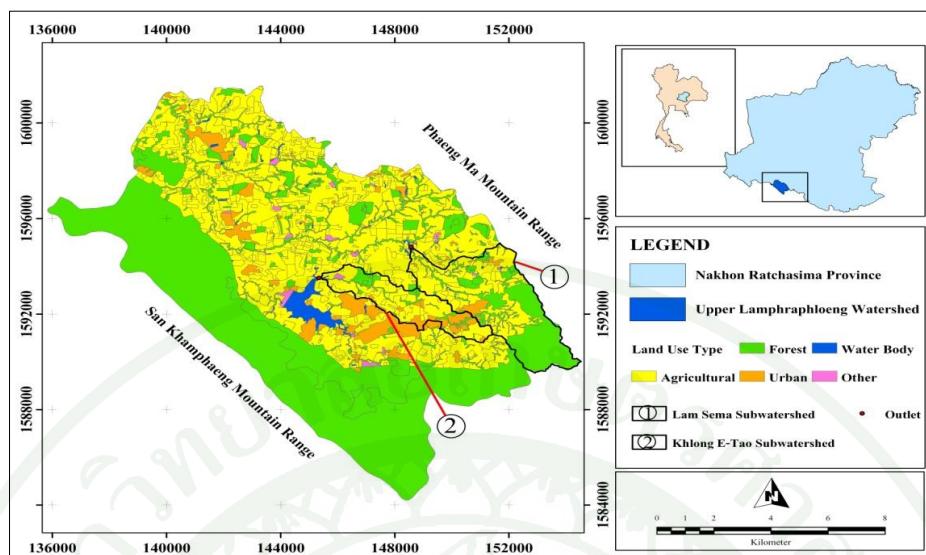
สำหรับดินชุดที่ 47 (ชุดดินมวกเหล็ก) ลักษณะทั่วไปของเนื้อดินเป็นพวกดินเหนียวหรือดินร่วน มีเศษหินปะปนมาก และพบชั้นหินพื้นลึก 50-80 เซนติเมตร ดินมีสีน้ำตาล สีนํ้าตาลปนแดง เกิดจากการสลายตัวผุพังของหินเนื้อละเอียด มีสภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดถึงเนินเขา มีความลาดชันประมาณ 2-20 เปอร์เซ็นต์ เป็นดินต้น มีการระบายน้ำดี ระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่า 3 เมตร มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำถึงปานกลาง pH 5.0-7.5 ปัญหาที่พบคือดินต้นมากมีชั้นหินผุ และหินพื้น น้ำซึมผ่านชั้นดินได้ปานกลาง ถึงค่อนข้างเร็ว มีการอุ้มน้ำปานกลางถึงต่ำ ดินถูกกัดกร่อนได้ง่ายที่ความลาดชันสูง สภาพพื้นที่ที่เป็นลูกคลื่นถึงเนินเขา ระดับน้ำใต้ดินลึก

กลุ่มชุดดินที่ 62 (Slope Complex) ลักษณะโดยทั่วไป กลุ่มชุดดินนี้ประกอบด้วยดินในพื้นที่ภูเขา ซึ่งมีความลาดชันมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ ดินที่พบในบริเวณดังกล่าวนี้ มีทั้งดินลึกและดินต้น ลักษณะของเนื้อดินและความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของหินต้นกำเนิดในบริเวณนั้น มักมีเศษหิน ก้อนหิน หรือหินพื้นโผล่ กระจายกระจายทั่วไป ส่วนใหญ่ยังปกคลุมด้วยป่าไม้ประเภทต่างๆ กลุ่มชุดดินนี้ไม่ควรนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เนื่องจากมีปัญหาหลายประการที่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ควรสงวนไว้เป็นป่าตามธรรมชาติ เพื่อรักษาแหล่งต้นน้ำลำธาร ปัญหาในการใช้ประโยชน์ที่ดิน พื้นที่ภูเขาลาดชันมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ มีการกัดกร่อนของดินได้ง่าย

5. ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม ของกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2551 ได้จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินไว้แสดงดังภาพที่ 9 และตารางที่ 8

บริเวณลุ่มน้ำย่อยลำเสมา มีการใช้ประโยชน์ที่ดิน 5 ประเภทหลักได้แก่ 1) พื้นที่เกษตรกรรม พบบริเวณที่ราบตอนกลางของพื้นที่ ได้แก่ ข้าวโพด ไม้ผล สวนผสม และมันสำปะหลัง คิดเป็นร้อยละ 45.500 2) พื้นที่ป่าไม้ พบบริเวณเนินเขาและเชิงเขา ส่วนใหญ่เป็นป่าดิบแล้ง คิดเป็นร้อยละ 48.529 3) พื้นที่ชุมชน คิดเป็นร้อยละ 3.949 4) พื้นที่แหล่งน้ำ คิดเป็นร้อยละ 0.267 และ 5) พื้นที่การใช้ประโยชน์อื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 1.755



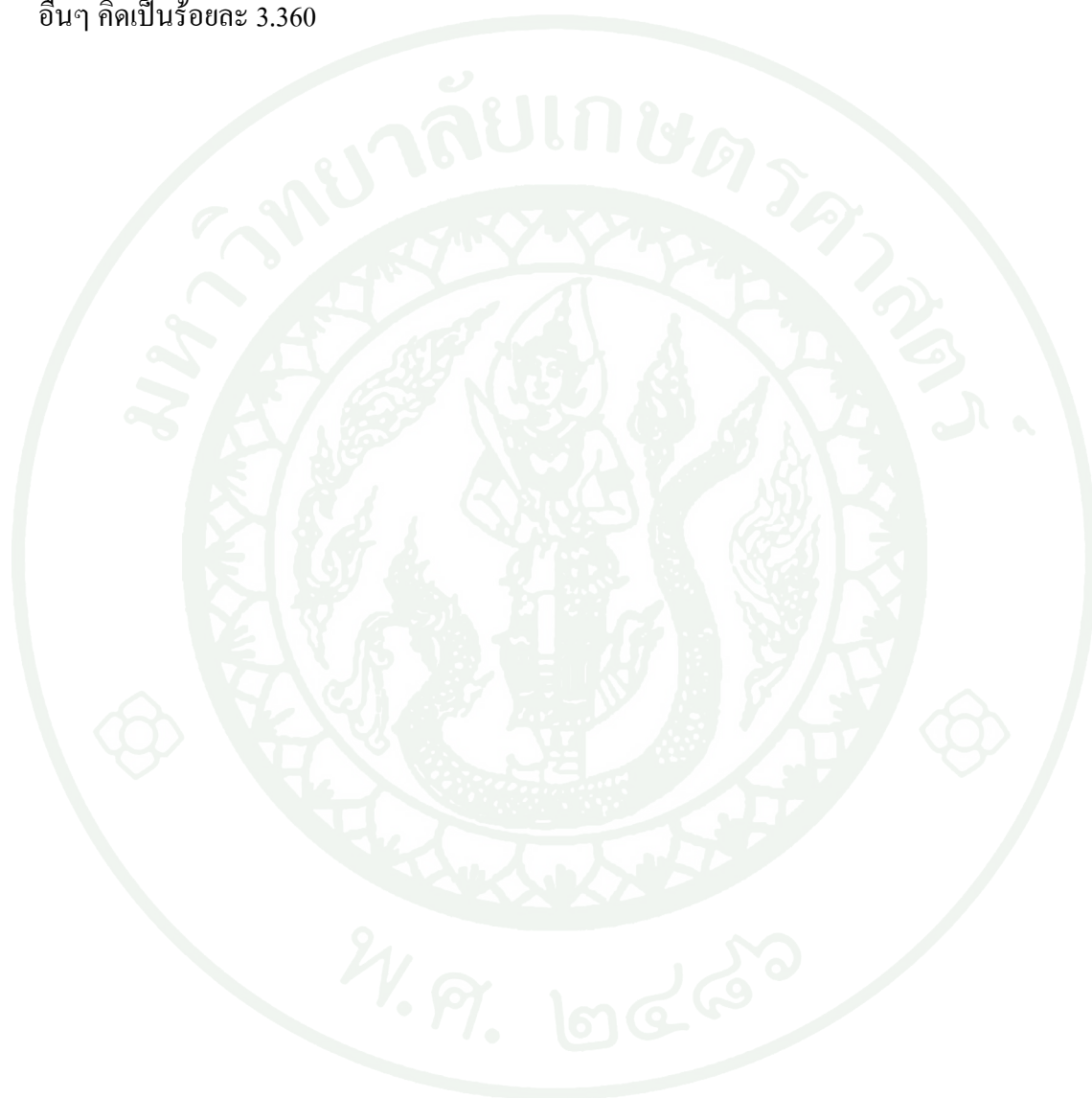
ภาพที่ 9 การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2551 ของลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน จังหวัดนครราชสีมา

ตารางที่ 8 พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2551 ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

Land Use Type	Lam Sema subwatershed		Khlong E-Tao subwatershed	
	Area (sq.km.)	Area (%)	Area (sq.km.)	Area (%)
Agricultural				
Corn	5.321	38.199	3.271	50.870
Fruit, Orchard	0.838	6.015	0.681	10.588
Cassava	0.109	0.783	0.184	2.854
Sugarcane	0.070	0.503	0.013	0.208
Forest				
Evergreen Forest	5.029	36.098	-	-
Economy Forest	0.734	5.271	0.475	7.391
Scrub	0.997	7.160	0.498	7.745
Urban	0.550	3.949	1.082	16.831
Water Body	0.037	0.267	0.010	0.154
Other	0.245	1.755	0.216	3.360
Total	13.931	100.000	6.429	100.000

ที่มา: คัดแปลงจาก กรมพัฒนาที่ดิน (2551)

ลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า มีการใช้ประโยชน์ที่ดิน 5 ประเภทหลัก ได้แก่ 1) พื้นที่เกษตรกรรม ส่วนใหญ่ปลูกข้าวโพด ไม้ผล สวนผสม และมันสำปะหลัง คิดเป็นร้อยละ 64.520 2) พื้นที่ป่าไม้ ส่วนใหญ่เป็นป่าเศรษฐกิจ ปลูกไม้สัก ไม้กฤษณา และปาล์มะพร้าว คิดเป็นร้อยละ 15.136 3) พื้นที่ชุมชน คิดเป็นร้อยละ 16.831 4) พื้นที่แหล่งน้ำ คิดเป็นร้อยละ 0.154 และ 5) พื้นที่การใช้ประโยชน์อื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 3.360



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ข้อมูลเส้นชั้นความสูงจากแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ระยะห่างเส้นชั้นความสูง 20 เมตร ของกรมแผนที่ทหาร
2. ข้อมูลเส้นชั้นความสูงจากแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:10,000 ระยะห่างเส้นชั้นความสูง 5 เมตร ขององค์การบริหารส่วนตำบลวังน้ำเขียว อำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา
3. ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข มาตราส่วน 1:4,000 ขนาดกริด 5 เมตร ของกรมพัฒนาที่ดิน
4. ข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดนครราชสีมา มาตราส่วน 1:25,000 ปี พ.ศ. 2551 ของกรมพัฒนาที่ดิน
5. ข้อมูลแผนที่ปฐพีวิทยา จังหวัดนครราชสีมา มาตราส่วน 1:25,000 ปี พ.ศ. 2550 ของกองสำรวจดินและแผนที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน
6. ข้อมูลแผนที่ธรณีวิทยาและธรณีฐาน จังหวัดนครราชสีมา มาตราส่วน 1:250,000 ปี พ.ศ. 2543 ของกองการสำรวจธรณีวิทยาและศึกษาแผนที่ธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี
7. ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา ประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำฝน และข้อมูลภูมิอากาศ ของกรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลปริมาณน้ำท่า ของกรมชลประทาน บริเวณลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน ปี พ.ศ. 2540-2552
8. โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (ArcGIS)

วิธีการ

ในการศึกษานี้ มีลำดับขั้นตอนดำเนินการ สามารถอธิบายเป็นแผนผังการปฏิบัติงาน แสดงดังภาพที่ 10 ประกอบด้วยหัวข้อ ต่อไปนี้

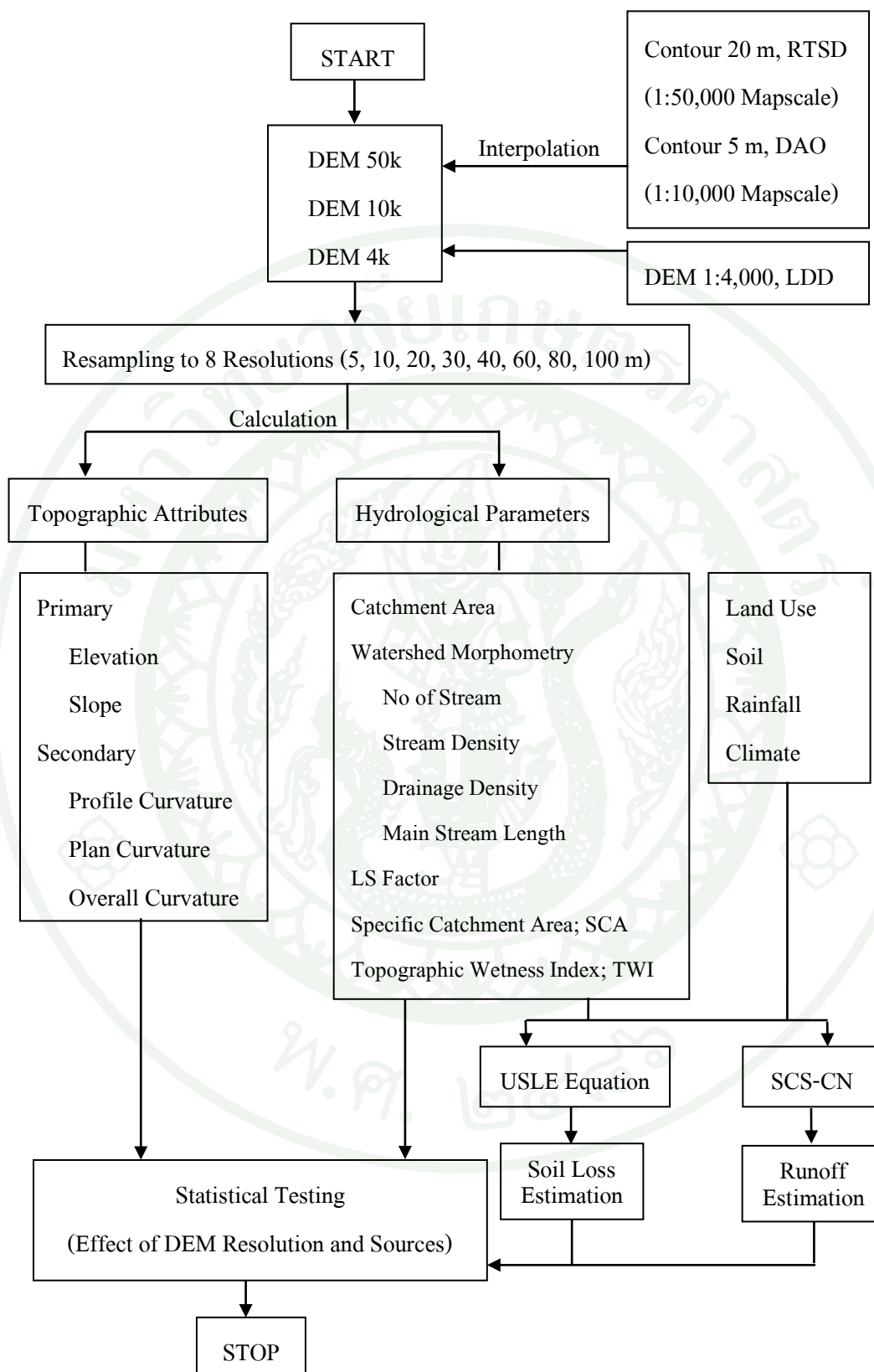
1. การจัดเตรียมข้อมูลและวิธีการคำนวณค่าทางสถิติต่างๆ

1.1 การเตรียมข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลข

การสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลข ใช้ข้อมูลพื้นฐานจาก 3 หน่วยงาน ประกอบด้วย

- 1) ข้อมูลเส้นชั้นความสูงจากแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ระยะห่างเส้นชั้นความสูง 20 เมตร ของกรมแผนที่ทหาร (Royal Thai Survey Department; RTSD) แปลงข้อมูลเส้นชั้นความสูงให้เป็นข้อมูลจุด แล้วทำการแทรกค่าเชิงพื้นที่เป็นข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ด้วยขั้นตอนวิธี Thin Plate Spline โดยตั้งชื่อว่า DEM 50k
- 2) ข้อมูลเส้นชั้นความสูงจากแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:10,000 ระยะห่างเส้นชั้นความสูง 5 เมตร ของอบต. วังน้ำเขียว อำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา แปลงข้อมูลเส้นชั้นความสูงให้เป็นข้อมูลจุด แล้วทำการแทรกค่าเชิงพื้นที่ด้วยขั้นตอนวิธี Thin Plate Spline ตั้งชื่อว่า DEM 10k
- 3) ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข มาตราส่วน 1:4,000 ขนาดกริด 5 เมตร ของกรมพัฒนาที่ดิน ตั้งชื่อว่า DEM 4k

จากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขทั้ง 3 หน่วยงาน ใช้โปรแกรม ArcGIS ทำการ Resampling ด้วยวิธี Nearest Neighbour ให้ได้ขนาดกริด 8 ขนาดคือ 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80 และ 100 เมตร



ภาพที่ 10 แผนผังขั้นตอนการปฏิบัติงาน

1.2 การคำนวณค่าทางสถิติ

ในการศึกษานี้ ใช้หลักการทางสถิติเพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ ดังนี้

1) ค่าสถิติเชิงพรรณนา เป็นค่าสถิติเบื้องต้น ได้แก่ ค่าต่ำสุด (Minimum) ค่าสูงสุด (Maximum) ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD.)

2) ค่าสถิติ D จากการทดสอบ K-S (Kolmogorov-Smirnov Test)

Kolmogorov-Smirnov Test คือการทดสอบหาค่าสถิติ D ที่แสดงถึงความแตกต่างของค่าความถี่สะสมของข้อมูล 2 ชุด (ต่างขนาดกริด) ว่ามีค่าความถี่สะสมแตกต่างกันหรือไม่ จากสมการดังต่อไปนี้

$$D_{\text{สูงสุด}} = \text{Max } |O_i - E_i| \quad (18)$$

เมื่อ

O_i = ข้อมูลที่ได้จากการวัด

E_i = ข้อมูลที่คาดหวังว่าจะเป็นจากข้อมูลมาตรฐาน (ข้อมูลอ้างอิง)

ในการศึกษานี้มีการทดสอบความแตกต่างของขนาดกริดต่างๆ จากแหล่งที่มาเดียวกันดังนี้ ข้อมูล DEM 50k ใช้ข้อมูลที่มีขนาดกริด 20 เมตร เป็นฐานอ้างอิง ข้อมูล DEM 4k และ DEM 10k ใช้ข้อมูลที่มีขนาดกริด 5 เมตร เป็นฐานอ้างอิง โดยทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่มีขนาดกริดอื่นๆ ที่เหลืออยู่

ค่าสถิติ D มีประโยชน์ในการใช้อธิบายข้อมูลทั้ง 2 ชุด ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ โดยนำค่า D สูงสุด เปรียบเทียบกับค่า Dวิกฤต ซึ่งหาได้จากสมการ

$$D_{\text{วิกฤต}} = c(\alpha) \sqrt{\frac{n_1+n_2}{n_1*n_2}} \quad (19)$$

เมื่อ

$c(\infty)$ = ค่าวิกฤต (ใช้ค่า 1.36 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % หรือ 1.63 ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %)

n_1 = จำนวนตัวอย่างชุดที่ 1

n_2 = จำนวนตัวอย่างชุดที่ 2

ในกรณีที่ค่า D สูงสุด มีค่าต่ำกว่าค่า D วิกฤต แสดงว่า ค่าความถี่สะสมของข้อมูลทั้ง 2 ชุด ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่หากค่า D สูงสุด มีค่ามากกว่าค่า D วิกฤต แสดงว่า ค่าความถี่สะสมของข้อมูลทั้ง 2 ชุด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การศึกษานี้ ค่า D วิกฤต ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมา มีค่า 0.022 (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %) และมีค่า 0.026 (ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %) และค่า D วิกฤต ของกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต้า มีค่า 0.030 (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %) และมีค่า 0.036 (ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %)

3) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Pearson (Pearson Correlation Coefficients)

การทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Pearson คือการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล 2 ชุด โดยปกติจะมีค่าอยู่ระหว่าง -1.00 ถึง 1.00 โดยที่ ถ้ามีค่าติดลบหมายความว่า ข้อมูลทั้ง 2 ชุดมีความสัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้าม ถ้ามีค่าเป็นบวก หมายความว่า ข้อมูลทั้ง 2 ชุดมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน และถ้ามีค่าเป็นศูนย์หมายความว่า ข้อมูลทั้ง 2 ชุดไม่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งมีสมการในการหาค่าดังนี้

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (20)$$

เมื่อ

n = จำนวนตัวอย่าง

x = ค่าข้อมูลของตัวอย่างชุดที่ 1 (ข้อมูลอ้างอิง)

y = ค่าข้อมูลของตัวอย่างชุดที่ 2 (ข้อมูลจากการวัด)

ในการศึกษานี้ มีการหาความสัมพันธ์ของขนาดกริดต่างๆจากแหล่งที่มาเดียวกัน เช่นเดียวกับการหาค่าสถิติ D จากการทดสอบ K-S

2. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขจาก 3 แหล่งที่มาและ 8 ขนาดกริด มาสร้างข้อมูลคุณลักษณะภูมิประเทศ ค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา และทำการทดสอบค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา มีรายละเอียดดังนี้

2.1 การสร้างข้อมูลคุณลักษณะภูมิประเทศ (Topographic Attributes)

1) นำแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้ ในแต่ละขนาดกริดและแหล่งที่มา สร้างข้อมูลคุณลักษณะภูมิประเทศ ได้แก่ ค่าระดับความสูง (Elevation) ค่าความลาดชัน (Slope) ค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาว (Profile Curvature) ค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามขวาง (Plan Curvature) และค่าความโค้ง-เว้า (Overall Curvature)

2) คำนวณค่าทางสถิติของข้อมูลคุณลักษณะภูมิประเทศ เพื่อดูแนวโน้มการกระจายหรือการเปลี่ยนแปลงว่าขนาดกริดหรือแหล่งที่มาของแบบจำลองความสูงเชิงเลขมีต่อการคำนวณข้อมูลคุณลักษณะภูมิประเทศหรือไม่ โดยใช้ค่าสถิติเบื้องต้น ค่าสถิติ D จากการทดสอบ K-S และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Pearson

2.2 การสร้างค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา (Hydrological Parameters)

1) นำแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้ ในแต่ละขนาดกริดและแหล่งที่มา สร้างค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา ได้แก่ พื้นที่ลุ่มน้ำ (Catchment Area) สัณฐานวิทยาหลุ่มน้ำ (Watershed Morphology) ปัจจัยความยาวความลาดชัน (LS Factor) พื้นที่รับน้ำสะสม (Specific Catchment Area; SCA) และค่าดัชนีความเปียกชื้น (Topographic Wetness Index; TWI)

2) คำนวณค่าทางสถิติของค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา เพื่อดูแนวโน้มการกระจายหรือการเปลี่ยนแปลงว่าขนาดกริดหรือแหล่งที่มาของแบบจำลองความสูงเชิงเลขมีต่อการ

คำนวณค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา หรือไม่ โดยใช้ค่าสถิติเบื้องต้น ค่าสถิติ D จากการทดสอบ K-S และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Pearson

2.3 การทดสอบค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา

การหาความแตกต่างของแบบจำลองความสูงเชิงเลขทั้งขนาดกริดและแหล่งที่มา จากการทดสอบค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยาร่วมกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลปริมาณฝน และข้อมูลภูมิวิทยา เพื่อประเมินการสูญเสียดิน (Soil Loss) และปริมาณน้ำท่า (Runoff) ว่าให้ผลแตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) การประเมินการสูญเสียดิน (Soil Loss Estimation)

(1) ใช้สมการสูญเสียดินสากล (USLE) ดังสมการที่ 13 กำหนดให้ปัจจัยต่างๆ คงที่ ยกเว้นปัจจัยความยาวความลาดชัน (LS Factor) ที่สร้างจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข ตามสมการของ Remortel *et al.* (2004) ดังสมการที่ 9 ถึงสมการที่ 12

(2) คำนวณค่าทางสถิติของการสูญเสียดิน เพื่อดูแนวโน้มการกระจายหรือการเปลี่ยนแปลงว่าขนาดกริดหรือแหล่งที่มาของแบบจำลองความสูงเชิงเลข มีผลต่อการคำนวณค่าการสูญเสียดินหรือไม่ โดยใช้ค่าสถิติเบื้องต้น และค่าสถิติ D จากการทดสอบ K-S

2) การประเมินปริมาณน้ำท่า (Runoff Estimation)

(1) ใช้วิธีการของ Soil Conservation Services Curve Number (SCS-CN) ดังสมการที่ 15 ถึงสมการที่ 17 ซึ่งมีค่าพื้นที่ลุ่มน้ำ (Catchment Area) ที่คำนวณได้จากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ในสมการที่ 17

(2) คำนวณค่าทางสถิติของปริมาณน้ำท่า เพื่อดูแนวโน้มการกระจายหรือการเปลี่ยนแปลงว่าขนาดกริดหรือแหล่งที่มาของแบบจำลองความสูงเชิงเลขมีต่อการคำนวณปริมาณน้ำท่าหรือไม่ โดยใช้ค่าสถิติเบื้องต้น

ผลและวิจารณ์

1. ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของพื้นที่ศึกษา

จากการนำข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่สร้างจากต่างขนาดกริดและแหล่งที่มา โดยใช้พื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 2 ลุ่มบริเวณลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน พบว่าทั้งขนาดกริดและแหล่งที่มา มีผลต่อการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยยกตัวอย่างผลการศึกษาที่ขนาดกริด 10 เมตร ดังนี้

พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยลำเสมา พบว่าข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่สร้างจากแหล่งที่มา ต่างกัน ให้ขนาดพื้นที่ ค่าความลาดชัน และค่าระดับความสูงที่แตกต่างกัน กรณีพื้นที่ลุ่มน้ำ พบว่า ข้อมูล DEM 50k ให้ค่าเนื้อที่มากที่สุด ประมาณ 14.526 ตารางกิโลเมตร ข้อมูล DEM 4k และข้อมูล DEM 10k มีขนาดพื้นที่ใกล้เคียงกัน กรณีค่าเฉลี่ยของความลาดชัน พบว่าข้อมูล DEM 4k มีค่าความลาดชันเฉลี่ยร้อยละ 19.850 ซึ่งมีค่าสูงกว่าอีก 2 แหล่งที่มา กรณีค่าระดับความสูง พบว่าข้อมูล DEM 50k มีค่าพิสัย (Range) ที่แคบ และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สูงกว่าอีก 2 แหล่งที่มา แสดงว่า ข้อมูล DEM 50k มีความแปรปรวนของข้อมูลมากกว่าอีก 2 แหล่งที่มา ทำให้มีความคลาดเคลื่อนมาก และแนวโน้มที่ขนาดกริดอื่นๆ ให้ผลที่ไม่ต่างกัน

พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า พบว่าข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่สร้างจากแหล่งที่มา ต่างกัน ให้ขนาดพื้นที่ ค่าความลาดชัน และค่าระดับความสูงที่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับผลของลุ่มน้ำย่อยลำเสมา กรณีพื้นที่ลุ่มน้ำ พบว่าข้อมูล DEM 50k ให้ค่าเนื้อที่น้อยสุด ส่วนข้อมูล DEM 4k และข้อมูล DEM 10k มีขนาดพื้นที่ใกล้เคียงกัน กรณีค่าเฉลี่ยของความลาดชัน พบว่าข้อมูล DEM 4k มีค่าความลาดชันเฉลี่ยร้อยละ 11.169 ซึ่งมีค่ามากกว่าอีก 2 แหล่งที่มา กรณีค่าระดับความสูง พบว่า ข้อมูล DEM 50k มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงกว่า อีก 2 แหล่งที่มา แสดงว่าข้อมูล DEM 50k มีความแปรปรวนของข้อมูลมาก ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมาก และแนวโน้มที่ขนาดกริดอื่นๆ ให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของพื้นที่ศึกษา ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

Subwatershed	DEM	Area (sq.km.)	Mean Slope (%)	Elevation (m MSL)			
	Sources			Min	Max	Mean	SD.
Lam Sema	DEM 4k	13.940	19.850	450.040	810.700	530.355	60.483
	DEM 10k	13.889	17.171	455.000	820.846	533.361	60.789
	DEM 50k	14.526	17.667	499.351	828.852	522.790	61.439
Khleng E-Tao	DEM 4k	6.431	11.169	438.090	583.599	480.880	25.148
	DEM 10k	6.861	11.027	439.424	583.437	480.807	25.273
	DEM 50k	5.783	8.054	427.875	583.305	465.784	28.192

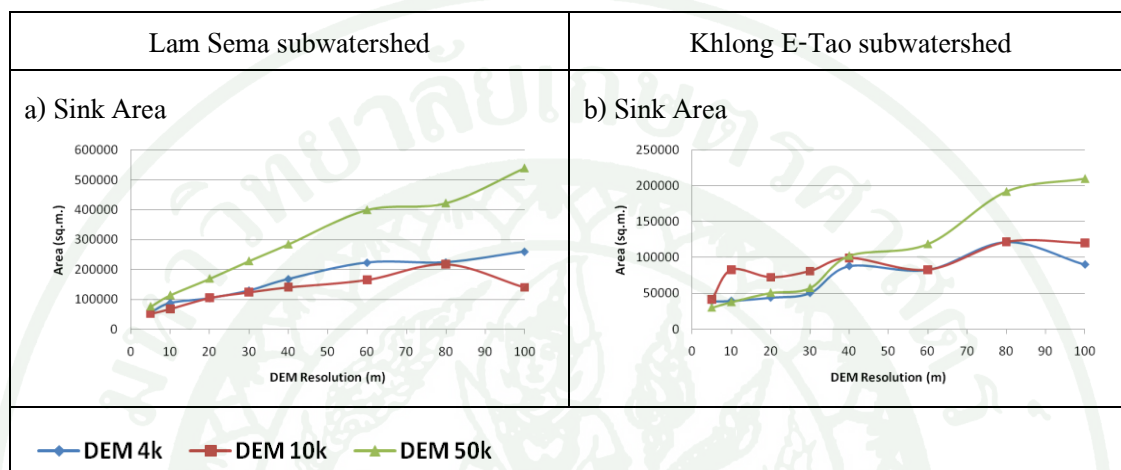
หมายเหตุ: ข้อมูลที่ขนาดกริด 10 เมตร

2. คุณลักษณะภูมิประเทศ (Topographic Attributes)

การศึกษาคุณลักษณะภูมิประเทศที่สร้างจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข ประกอบด้วย ค่าระดับความสูง ค่าความลาดชัน ค่าความโค้ง-เว้า ค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาวและค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามขวาง ได้ผลดังนี้

การสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลข ปัญหาหนึ่งที่พบเสมอคือ การเกิดหลุมยุบ (Sink) ซึ่งเป็นความผิดปกติจากการคำนวณค่าความสูงในกริดใดกริดหนึ่ง ที่มีค่าต่ำกว่าค่าความสูงของกริดที่อยู่โดยรอบ เกิดจากความผิดพลาดของขั้นตอนวิธีในการสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลข หรือจำนวนข้อมูลที่ใช้สร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขมีน้อยเกินไป ทำให้เกิดการแทรกค่าที่ผิดปกติ ผลการศึกษาพบว่า เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น พื้นที่หลุมยุบมีมากขึ้นทั้ง 3 แหล่งที่มา ให้แนวโน้มเหมือนกัน ผลของแหล่งที่มา กรณีลุ่มน้ำลำเสมา พบว่าข้อมูล DEM 50k มีพื้นที่หลุมยุบมากที่สุด รองลงมาคือข้อมูล DEM 4k และข้อมูล DEM 10k ซึ่งมีพื้นที่หลุมยุบใกล้เคียงกัน กรณีลุ่มน้ำคลองอีเต่า พบว่าข้อมูล DEM 10k มีพื้นที่หลุมยุบมากที่สุดในช่วงขนาดกริด 5-30 เมตร รองลงมาคือข้อมูล DEM 50k และข้อมูล DEM 4k ตามลำดับ แสดงว่า หากนำข้อมูล DEM 50k มาใช้ ความผิดพลาดใน

การแสดงค่าระดับความสูงมีมากกว่าข้อมูลอีก 2 แหล่งที่มา แต่อย่างไรก็ตาม หลังจากสร้างข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขแล้ว ต้องทำการแก้ไขข้อมูลที่ผิดปกติ โดยการเติมหลุม (Fill Sink) ก่อนนำไปใช้ รายละเอียดปริมาณพื้นที่หลุมของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยลำเสมา และลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ปริมาณพื้นที่หลุมยุบ (Sink) ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมา และลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

2.1 ระดับความสูง (Elevation)

ผลของขนาดกริดพบว่า เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้นค่าระดับความสูงมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ค่าสูงสุดของระดับความสูง มีแนวโน้มลดลง เมื่อกริดมีขนาดเพิ่มขึ้น และค่าต่ำสุดของระดับความสูงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขทั้ง 3 แหล่งที่มาและทั้ง 2 ลุ่มน้ำย่อยให้ผลเหมือนกัน

ผลของแหล่งที่มา ลุ่มน้ำลำเสมา กรณีค่าต่ำสุดของระดับความสูง พบว่าข้อมูล DEM 50k ให้ค่าต่ำสุด ข้อมูล DEM 4k และข้อมูล DEM 10k มีค่าสูงถัดขึ้นมา ตามลำดับ กรณีค่าสูงสุดของระดับความสูง พบว่าข้อมูล DEM 50k ให้ค่าสูงสุด รองลงมาคือข้อมูล DEM 10k และข้อมูล DEM 4k ตามลำดับ กรณีค่าเฉลี่ยของระดับความสูง พบว่าข้อมูล DEM 50k ให้ค่าต่ำสุด ข้อมูล DEM 4k และข้อมูล DEM 10k มีค่าเพิ่มสูงถัดขึ้นมา ตามลำดับ กรณีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ

ระดับความสูง พบว่าข้อมูล DEM 50k ให้ค่าสูงสุด รองลงมาคือข้อมูล DEM 10k และข้อมูล DEM 4k ตามลำดับ จากค่าสถิติเบื้องต้นดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า ข้อมูล DEM 50k มีความแปรปรวนมากกว่าข้อมูลอีก 2 แหล่งที่มา ดังนั้น การนำข้อมูล DEM 50k ไปใช้ อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้มาก ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่าสถิติเบื้องต้นของค่าระดับความสูง ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมา

Lam Sema Subwatershed		Resolution (m)						
DEM 4k	5	10	20	30	40	60	80	100
Minimum	450.040	450.040	450.934	451.043	452.095	451.611	452.733	454.488
Maximum	811.739	810.700	807.453	805.280	807.159	800.623	798.236	801.117
Mean	530.361	530.355	530.359	530.499	530.403	529.662	529.112	529.480
SD.	60.441	60.483	60.464	60.677	60.383	60.634	59.484	60.414
DEM 10k								
Minimum	455.000	455.000	455.000	455.000	455.000	460.000	455.000	455.000
Maximum	820.987	820.846	820.945	820.439	819.042	813.002	811.359	800.636
Mean	533.430	533.361	533.350	533.290	532.175	533.714	531.711	531.779
SD.	60.841	60.789	60.786	60.725	60.963	60.515	60.842	60.983
DEM 50k								
Minimum	449.448	449.351	449.087	449.413	449.167	449.482	449.904	449.441
Maximum	829.032	828.852	827.498	826.575	825.668	821.718	819.323	819.955
Mean	522.882	522.790	523.157	522.645	523.017	523.478	523.606	522.566
SD.	61.541	61.439	61.524	61.858	63.213	62.866	62.529	61.774

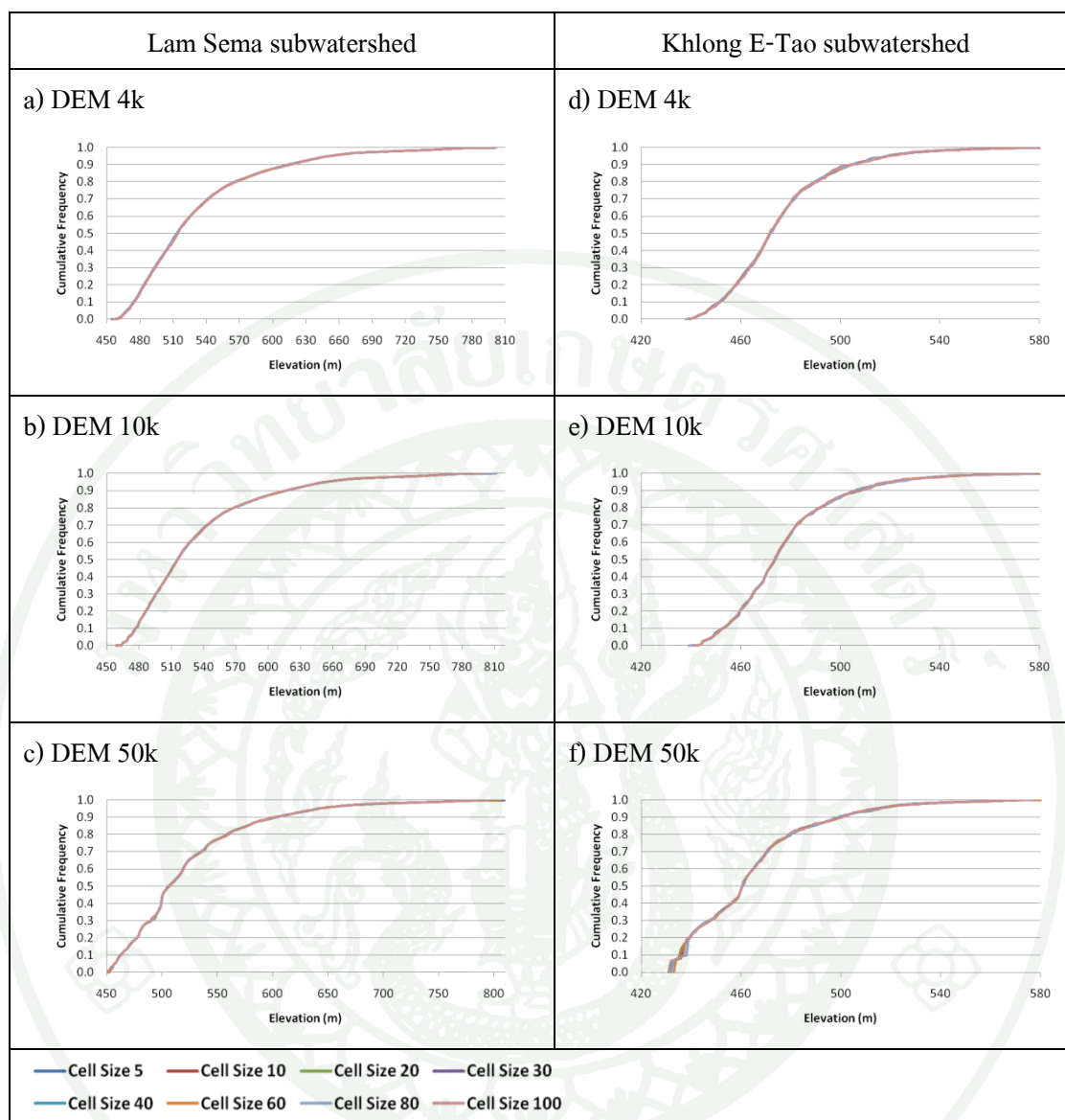
ผลของแหล่งที่มา ลุ่มน้ำคลองอีเต่า กรณีค่าต่ำสุดของระดับความสูง พบว่าข้อมูล DEM 50k ให้ค่าต่ำสุด ข้อมูล DEM 4k และข้อมูล DEM 10k มีค่าเพิ่มสูงถัดขึ้นมา ตามลำดับ กรณีค่าสูงสุดของระดับความสูง พบว่าข้อมูลจากทั้ง 3 แหล่งที่มา ให้ค่าไม่แตกต่างกัน กรณีค่าเฉลี่ยของระดับความสูง พบว่าข้อมูล DEM 50k ให้ค่าต่ำสุด ข้อมูล DEM 4k และข้อมูล DEM 10k มีค่า

ใกล้เคียงกันในช่วงขนาดกริด 5-20 เมตร ที่สูงกว่าข้อมูล DEM 50k กรณีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความสูง พบว่าข้อมูล DEM 50k ให้ค่ามากที่สุด รองลงมาคือข้อมูล DEM 10k และข้อมูล DEM 4k ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน จากค่าสถิติเบื้องต้นดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า ข้อมูล DEM 50k มีความแปรปรวนมากกว่าข้อมูลอีก 2 แหล่งที่มา หรือให้ความคลาดเคลื่อนมากกว่า ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าสถิติเบื้องต้นของค่าระดับความสูง ของลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

Khleng E-Tao								
Subwatershed								
	Resolution (m)							
DEM 4k	5	10	20	30	40	60	80	100
Minimum	438.090	438.090	438.090	438.090	438.090	438.090	438.090	438.090
Maximum	583.684	583.599	583.390	583.379	583.489	582.981	581.011	581.034
Mean	480.891	480.880	480.643	479.321	479.329	479.248	478.985	479.371
SD.	25.180	25.148	25.042	25.285	25.296	25.455	25.475	25.611
DEM 10k								
Minimum	439.454	439.424	439.417	439.476	439.447	440.137	439.314	441.393
Maximum	584.188	583.437	583.720	582.681	582.696	582.628	579.790	576.784
Mean	480.784	480.807	480.655	480.758	480.941	480.782	480.370	481.156
SD.	25.293	25.273	25.198	25.143	25.252	25.354	25.158	25.332
DEM 50k								
Minimum	427.877	427.875	427.897	427.847	427.937	427.702	427.784	427.914
Maximum	583.413	583.305	583.090	582.662	581.731	582.337	582.495	574.156
Mean	465.844	465.784	465.671	465.536	469.140	465.449	469.089	464.768
SD.	28.216	28.192	28.134	28.133	29.782	28.372	29.581	27.510

ผลการทดสอบ K-S เพื่อหาค่าสถิติ D แสดงในภาพที่ 12 พบว่า ค่าความถี่สะสมในแต่ละขนาดกริดไม่แตกต่างกัน ทั้ง 3 แหล่งที่มาและทั้ง 2 ลุ่มน้ำย่อย มีแนวโน้มที่เหมือนกัน แสดงว่าขนาดกริดไม่มีผลต่อการสร้างค่าระดับความสูง



ภาพที่ 12 ความถี่สะสมของค่าระดับความสูง ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา
ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

ผลของค่าสถิติ D สูงสุด ในตารางที่ 12 พบว่าข้อมูล DEM 4k และ DEM 10k ให้ค่า D สูงสุด ต่ำกว่าค่า D วิกฤต แสดงว่า ความแตกต่างของค่าความถี่สะสมของค่าระดับความสูง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตรงข้ามกับข้อมูล DEM 50k ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขทั้ง 3 แหล่งที่มาและทั้ง 2 ลุ่มน้ำย่อยให้ผลเหมือนกัน

ตารางที่ 12 ค่าสถิติ D ของค่าระดับความสูง จากการทดสอบ K-S ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมา
และลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

Elevation	Lam Sema subwatershed		Khleng E-Tao subwatershed	
DEM 4k	D Max	Significance	D Max	Significance
5 and 10	0.003	1.000	0.005	1.000
5 and 20	0.004	1.000	0.005	1.000
5 and 30	0.004	1.000	0.007	1.000
5 and 40	0.005	1.000	0.010	0.991
5 and 60	0.006	0.999	0.012	0.937
5 and 80	0.007	0.994	0.021	0.329
5 and 100	0.017	0.223	0.020	0.403
DEM 10k				
5 and 10	0.014	0.484	0.018	0.527
5 and 20	0.014	0.484	0.018	0.546
5 and 30	0.014	0.445	0.017	0.548
5 and 40	0.014	0.432	0.019	0.436
5 and 60	0.014	0.445	0.016	0.621
5 and 80	0.016	0.282	0.020	0.372
5 and 100	0.014	0.458	0.016	0.676
DEM 50k				
20 and 5	0.031	0.001**	0.061	0.000**
20 and 10	0.034	0.000**	0.057	0.000**
20 and 30	0.033	0.000**	0.060	0.000**
20 and 40	0.033	0.001**	0.056	0.000**
20 and 60	0.035	0.000**	0.067	0.000**
20 and 80	0.049	0.000**	0.082	0.000**
20 and 100	0.036	0.000**	0.066	0.000**

หมายเหตุ: * Significance at the 0.05 level

** Significance at the 0.01 level

(ค่า Dวิกฤต ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ลุ่มน้ำลำเสมา = 0.022 ลุ่มน้ำคลองอีเต่า = 0.029)

ผลการศึกษานี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Crosby (2006) ที่แสดงว่าขนาดกริดไม่มีผลต่อการสร้างค่าระดับความสูง และผลการศึกษานักวิจัยส่วนใหญ่ พบว่า ค่าระดับความสูงเป็นค่าคุณลักษณะภูมิประเทศเพียงค่าเดียว ที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับขนาดกริด

2.2 ความลาดชัน (Slope)

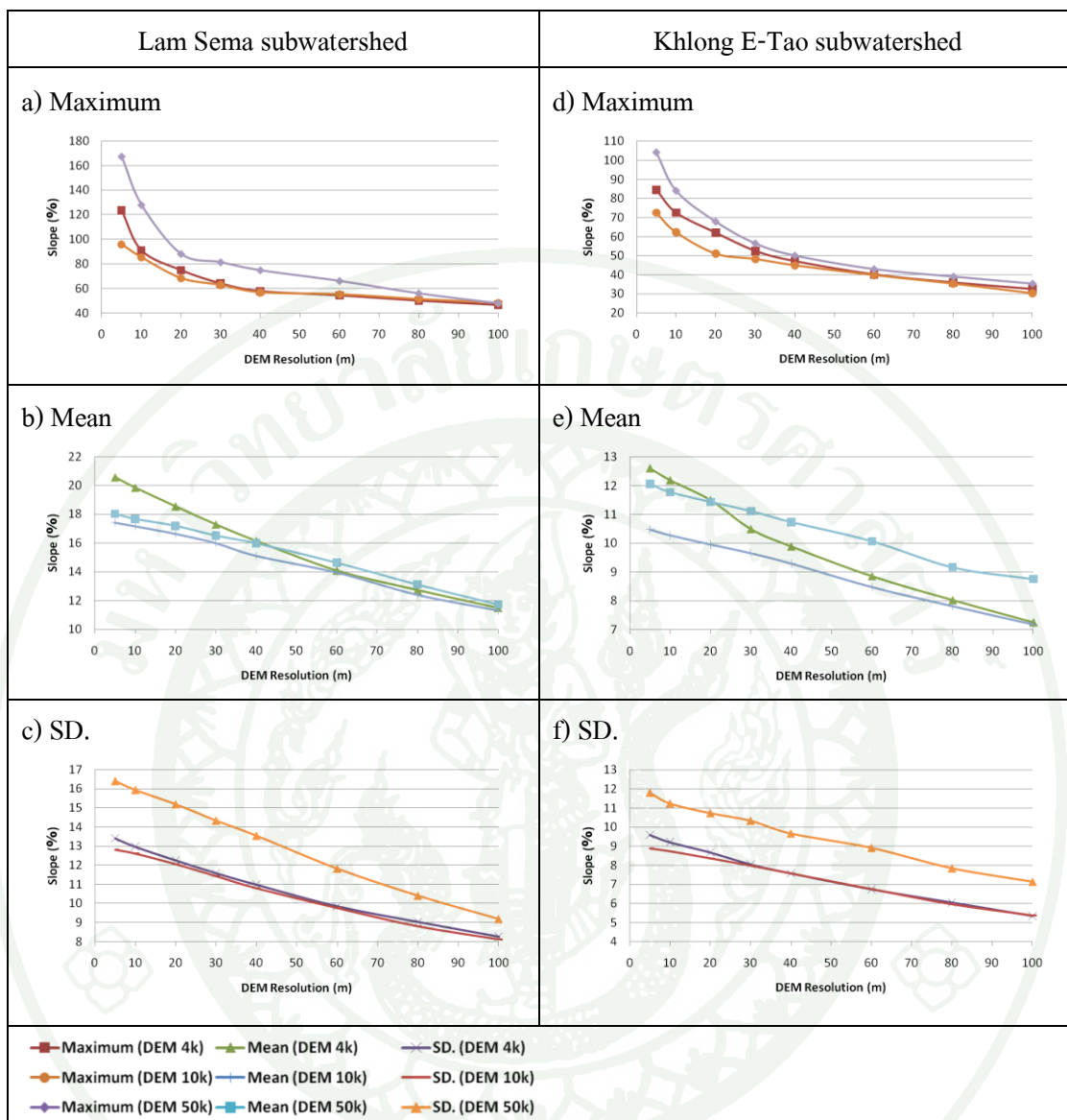
ผลของขนาดกริดพบว่า เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความลาดชัน มีค่าลดลง ข้อมูลทั้ง 3 แหล่งที่มา และ 2 กลุ่มน้ำย่อย มีแนวโน้มที่เหมือนกัน ดังภาพที่ 13

ผลของแหล่งที่มา กรณีค่าสูงสุดของความลาดชัน พบว่าข้อมูล DEM 50k ให้ค่าความลาดชันสูงสุด รองลงมาคือข้อมูล DEM 4k และข้อมูล DEM 10k ตามลำดับ ทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้ผลเหมือนกัน ดังภาพที่ 13a และภาพที่ 13d

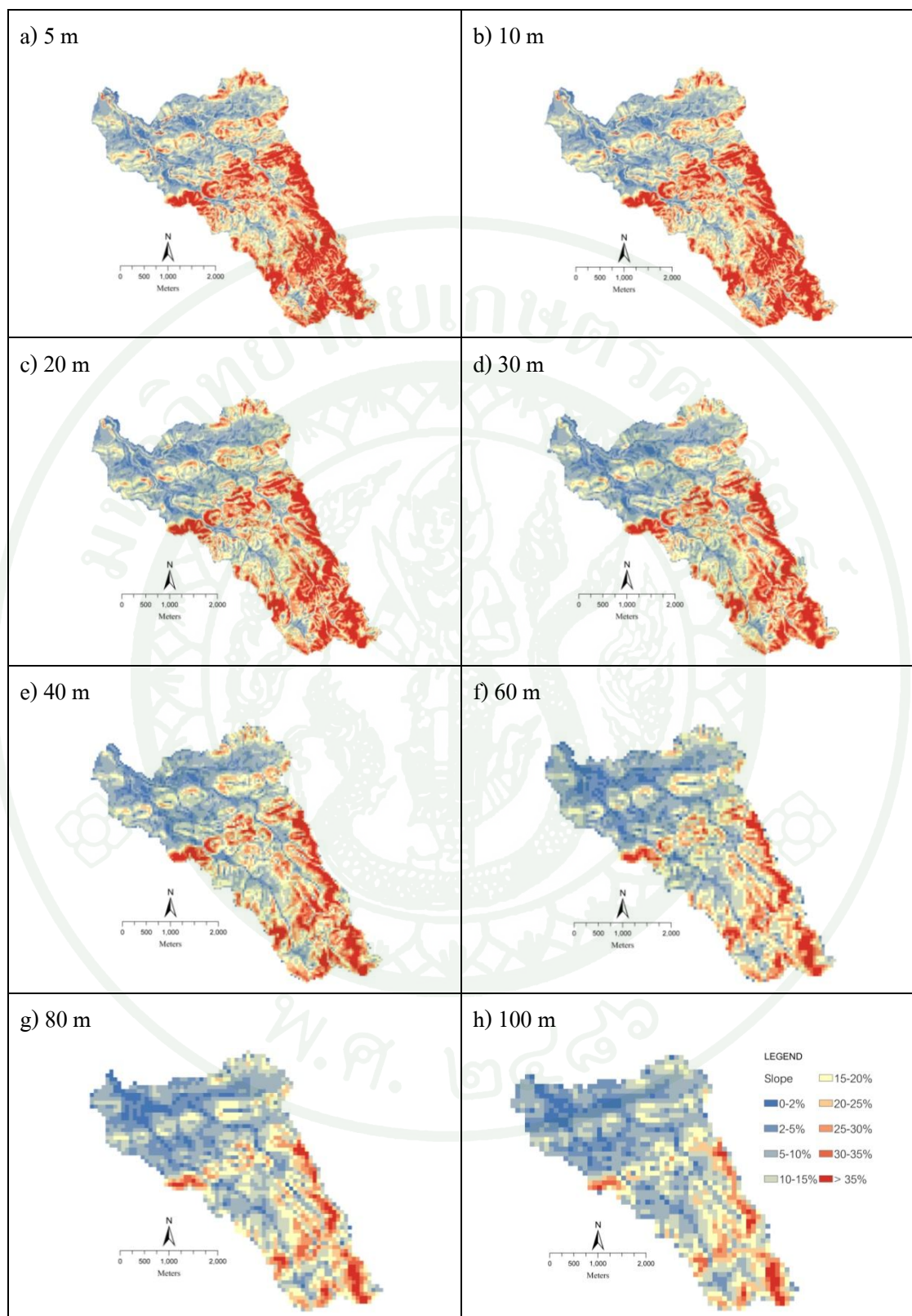
กรณีค่าเฉลี่ยของความลาดชัน พบว่าข้อมูล DEM 4k ให้ค่าเฉลี่ยของความลาดชันสูงสุดในช่วงขนาดกริด 5-30 เมตร (กลุ่มน้ำย่อยลำเสมา) และให้ค่าเฉลี่ยของความลาดชันสูงสุดในช่วงขนาดกริด 5-20 เมตร (กลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า) รองลงมาคือข้อมูล DEM 50k และข้อมูล DEM 10k ตามลำดับ แสดงว่าข้อมูล DEM 4k ให้รายละเอียดของความลาดชันดีกว่าอีก 2 แหล่งที่มา ดังภาพที่ 13b และภาพที่ 13e

กรณีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่าข้อมูล DEM 50k มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือข้อมูล DEM 10k และข้อมูล DEM 4k ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกัน ทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้ผลเหมือนกัน แสดงว่าข้อมูล DEM 50k เมื่อใช้สร้างข้อมูลความลาดชัน จะมีความแปรปรวนสูงกว่าอีก 2 แหล่งที่มา ดังภาพที่ 13c และภาพที่ 13f

ลักษณะการกระจายของค่าความลาดชันของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมา ดังภาพที่ 14 พบว่า เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น พื้นที่ลาดชัน (สีแดง) มีเนื้อที่ลดลง เช่นเมื่อสร้างชั้นข้อมูลความลาดชันด้วยขนาดกริด 5 เมตร พื้นที่ที่มีความลาดชันมากกว่า 35 % มีพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 15.471 แต่เมื่อสร้างด้วยขนาดกริด 100 เมตร พื้นที่ที่มีความลาดชันมากกว่า 35 % มีพื้นที่เพียงร้อยละ 1.553 แสดงว่าหากสร้างค่าความลาดชันด้วยกริดขนาดใหญ่ ค่าความลาดชันที่ได้มีค่าลดลงอย่างมาก



ภาพที่ 13 ค่าสถิติเบื้องต้นของค่าความลาดชัน ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา
ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

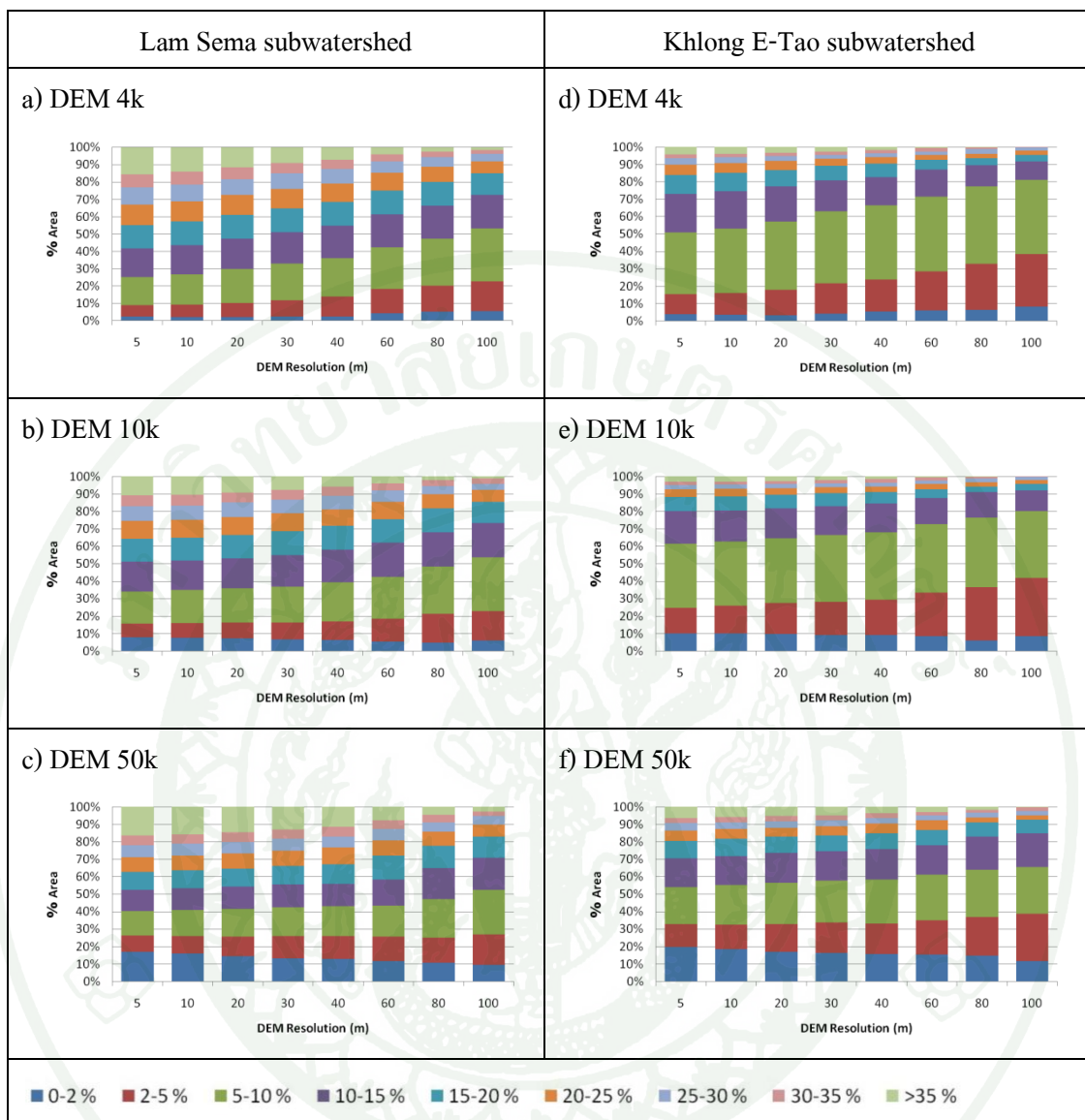


ภาพที่ 14 การกระจายค่าความลาดชัน ที่ขนาดกริดต่างๆ ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมา

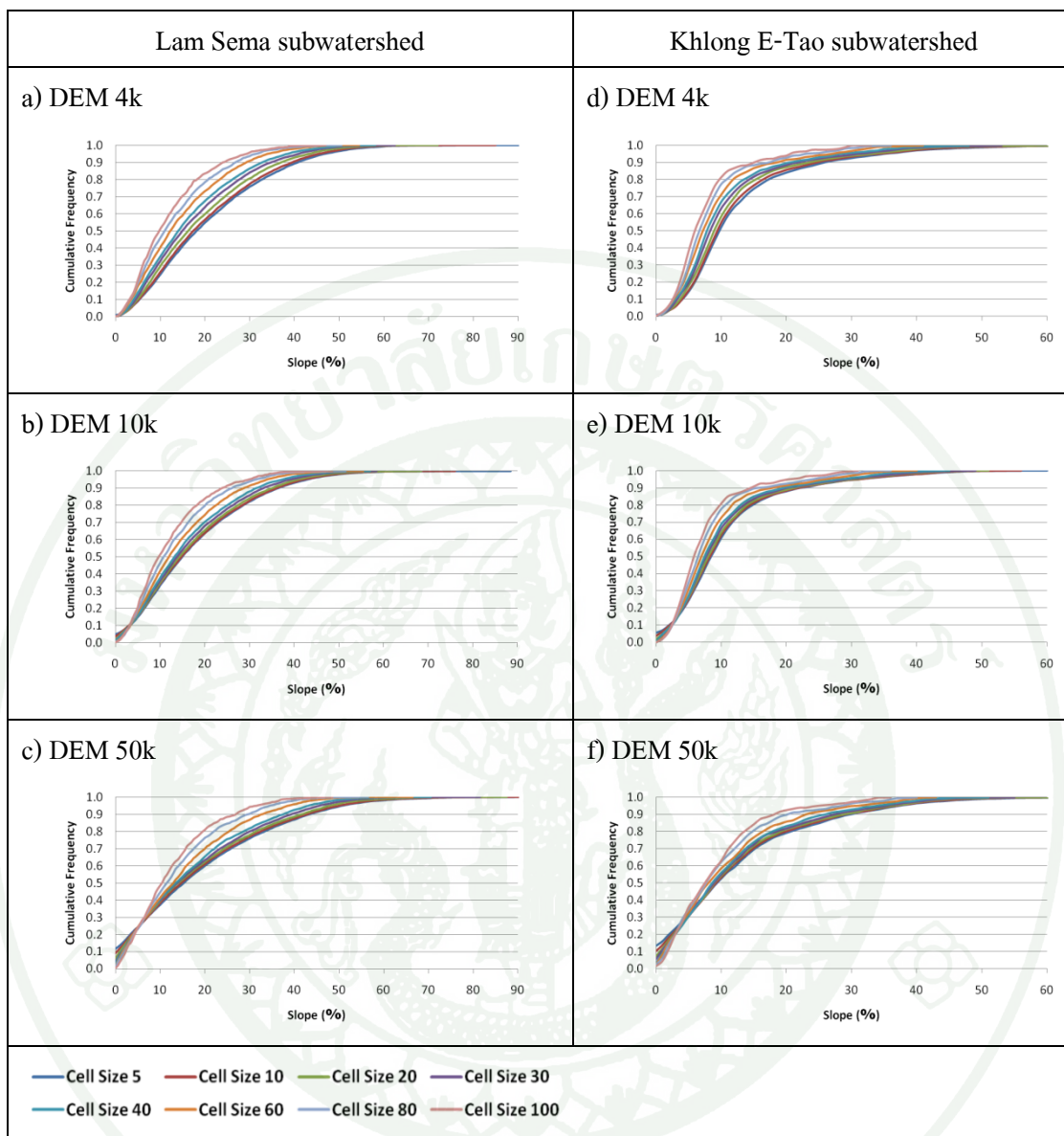
นอกจากนี้ เมื่อแบ่งค่าเปอร์เซ็นต์ของความลาดชันออกเป็น 9 ช่วงชั้น คือ 0-2, 2-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35 และมากกว่า 35 % พบว่า เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น ค่าความลาดชันในช่วงชั้นที่มากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ มีพื้นที่น้อยลงหรือไม่มี แสดงว่าการสร้างชั้นข้อมูลความลาดชันด้วยขนาดกริดที่ใหญ่ พื้นที่ที่มีความลาดชันสูงจะหายไป และพื้นที่ในช่วงชั้นที่มีความลาดชันน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ มีพื้นที่เพิ่มขึ้น ทั้ง 3 แหล่งที่มาและทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้แนวโน้มเหมือนกัน ดังภาพที่ 15 ผลของแหล่งที่มา พบว่าข้อมูล DEM 50k ให้ช่วงชั้นของความลาดชัน 2-5 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าช่วงชั้นอื่นๆ รองลงมาคือข้อมูล DEM 10k และข้อมูล DEM 4k ตามลำดับ แสดงว่า การนำข้อมูล DEM 50k มาใช้สร้างชั้นข้อมูลความลาดชัน จะให้พื้นที่ราบมากกว่าการใช้ข้อมูลอีก 2 แหล่งที่มา

เมื่อสร้างกราฟความถี่สะสมของค่าความลาดชันตามขนาดกริดต่างๆ ดังภาพที่ 16 พบว่า ที่ระดับความถี่สะสมเดียวกัน เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น ค่าความลาดชันมีค่าลดลง และลดลงมากขึ้นเมื่อขนาดกริดใหญ่มากขึ้น เช่น ภาพที่ 16a ที่ความถี่สะสม 0.8 พบว่า หากสร้างชั้นข้อมูลความลาดชันด้วยขนาดกริด 5 เมตร มีค่าความลาดชัน เท่ากับ 35 เปอร์เซ็นต์ หากสร้างด้วยขนาด กริด 40 เมตร มีค่าความลาดชัน เท่ากับ 28 เปอร์เซ็นต์ และหากสร้างด้วยขนาดกริด 100 เมตร มีค่าความลาดชัน 18 เปอร์เซ็นต์ ทั้ง 3 แหล่งที่มา และทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้แนวโน้มเหมือนกัน โดยกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเต้ามีความลาดชันน้อยกว่ากลุ่มน้ำย่อยลำเสมา

การทดสอบ K-S ด้วยค่าสถิติ D พบว่า ค่า D สูงสุด มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.025 เป็น 0.309 ในกรณี DEM 4k และค่า D สูงสุดมีค่ามากกว่าค่า D วิกฤต ดังแสดงในตารางที่ 13 แสดงว่า ค่าความถี่สะสมจากข้อมูลทั้ง 2 ชุดมีความแตกต่างกันมากขึ้น เมื่อสร้างด้วยขนาดกริดที่ใหญ่ขึ้น และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % (ค่า Significance น้อยกว่า 0.01) ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขทั้ง 3 แหล่งที่มาและทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้ผลเหมือนกัน สรุปได้ว่า ขนาดกริดมีผลต่อความลาดชัน เมื่อพิจารณาจากกราฟความถี่สะสมและค่าสถิติ D ที่ให้ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 15 การกระจายในแต่ละช่วงชั้นของค่าความลาดชัน ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา
ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า



ภาพที่ 16 ความถี่สะสมของค่าความลาดชัน ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมา และลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

ตารางที่ 13 ค่าสถิติ D ของค่าความลาดชัน จากการทดสอบ K-S ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมา
และลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

Slope	Lam Sema subwatershed		Khleng E-Tao subwatershed	
DEM 4k	D Max	Significance	D Max	Significance
5 and 10	0.025	0.019*	0.032	0.029*
5 and 20	0.058	0.000**	0.070	0.000**
5 and 30	0.096	0.000**	0.115	0.000**
5 and 40	0.133	0.000**	0.166	0.000**
5 and 60	0.191	0.000**	0.215	0.000**
5 and 80	0.245	0.000**	0.269	0.000**
5 and 100	0.309	0.000**	0.335	0.000**
DEM 10k				
5 and 10	0.048	0.000**	0.056	0.000**
5 and 20	0.048	0.000**	0.056	0.000**
5 and 30	0.048	0.000**	0.063	0.000**
5 and 40	0.070	0.000**	0.082	0.000**
5 and 60	0.114	0.000**	0.134	0.000**
5 and 80	0.168	0.000**	0.189	0.000**
5 and 100	0.218	0.000**	0.242	0.000**
DEM 50k				
20 and 5	0.115	0.000**	0.133	0.000**
20 and 10	0.091	0.000**	0.103	0.000**
20 and 30	0.056	0.000**	0.070	0.000**
20 and 40	0.056	0.000**	0.070	0.000**
20 and 60	0.093	0.000**	0.070	0.000**
20 and 80	0.148	0.000**	0.093	0.000**
20 and 100	0.194	0.000**	0.135	0.000**

หมายเหตุ: * Significance at the 0.05 level

** Significance at the 0.01 level

(ค่า Dวิกฤต ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ลุ่มน้ำลำเสมา = 0.022 ลุ่มน้ำคลองอีเต่า = 0.029)

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกริดกับค่าความลาดชัน มีผู้ศึกษาวิจัยเป็นจำนวนมาก เนื่องจากค่าความลาดชันมีความสำคัญต่อการไหลของน้ำ การกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำ และเป็นข้อมูลพื้นฐานของแบบจำลองต่างๆ ทางด้านอุทกวิทยา จากผลการศึกษาที่ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Crosby (2006); Kienzie (2004); Wolock and McCabe (2000); Vaze and Teng (2007); Huaxing *et al.* (2006); Wu *et al.* (2008a); Yuan *et al.* (2006); Thompson *et al.* (2001) และ Deng *et al.* (2007) โดยค่าเฉลี่ยของความลาดชันมีความสัมพันธ์กับขนาดกริด โดยเฉพาะกริดที่มีขนาดเล็กจะให้ค่าความลาดชันมากกว่ากริดที่มีขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม ปัญหาเรื่องความลาดชันจะเกิดปัญหามากในกรณีพื้นที่ราบ ซึ่งแบบจำลองความสูงเชิงเลขอาจจำแนกความลาดเอียงได้ไม่ดีเท่าพื้นที่ที่มีความสูงชัน จากการศึกษาของ Tang *et al.* (2001) พบว่า หากพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำกว่า 4 องศา การใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลขสร้างโครงข่ายลำน้ำ ให้ผลที่ไม่น่าเชื่อถือ จึงเป็นไปได้ว่าแม้จะใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลขที่มีขนาดกริดเล็ก ก็จะทำให้พื้นที่ราบน้อยกว่า แบบจำลองความสูงเชิงเลขที่มีขนาดกริดใหญ่ ผลการศึกษานี้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Deng *et al.* (2007) โดยพบว่า ค่าความลาดชันมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงขนาดกริด 5-40 เมตร

2.3 ค่าความโค้ง-เว้า (Overall Curvature)

ผลของขนาดกริด พบว่า ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของค่าความโค้ง-เว้า มีค่าเข้าใกล้ศูนย์เมื่อสร้างด้วยขนาดกริดที่มากกว่า 30 เมตร ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดจะมีค่าแตกต่างกันมาก เมื่อสร้างด้วยขนาดกริดในช่วง 5-20 เมตร แสดงว่าขนาดกริดในช่วงนี้ สามารถแสดงค่าความโค้ง-เว้าของพื้นที่ได้ดี ข้อมูลจากทั้ง 3 แหล่งที่มา และทั้ง 2 ลุ่มน้ำย่อย มีแนวโน้มที่เหมือนกัน ดังภาพที่ 17a และภาพที่ 17e

ผลของแหล่งที่มา พบว่าข้อมูล DEM 50k มีค่าพิสัย (Range) ของความโค้ง-เว้ามากที่สุด รองลงมาคือข้อมูล DEM 10k และข้อมูล DEM 4k ที่มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้ง 2 ลุ่มน้ำย่อย ให้ผลที่เหมือนกัน เมื่อนำค่าความโค้ง-เว้า มาจำแนกเป็น 3 ลักษณะ ตามวิธีของ Tagil and Jeff (2008) คือ 1) พื้นที่หุบเขา (Valley) มีค่าความโค้ง-เว้าต่ำกว่า -0.1 2) พื้นที่ราบ (Flat) มีค่าความโค้ง-เว้าอยู่ระหว่าง -0.1 กับ +0.1 และ 3) พื้นที่สันเขา (Ridge) มีค่าความโค้ง-เว้ามากกว่า +0.1 ผลการศึกษา

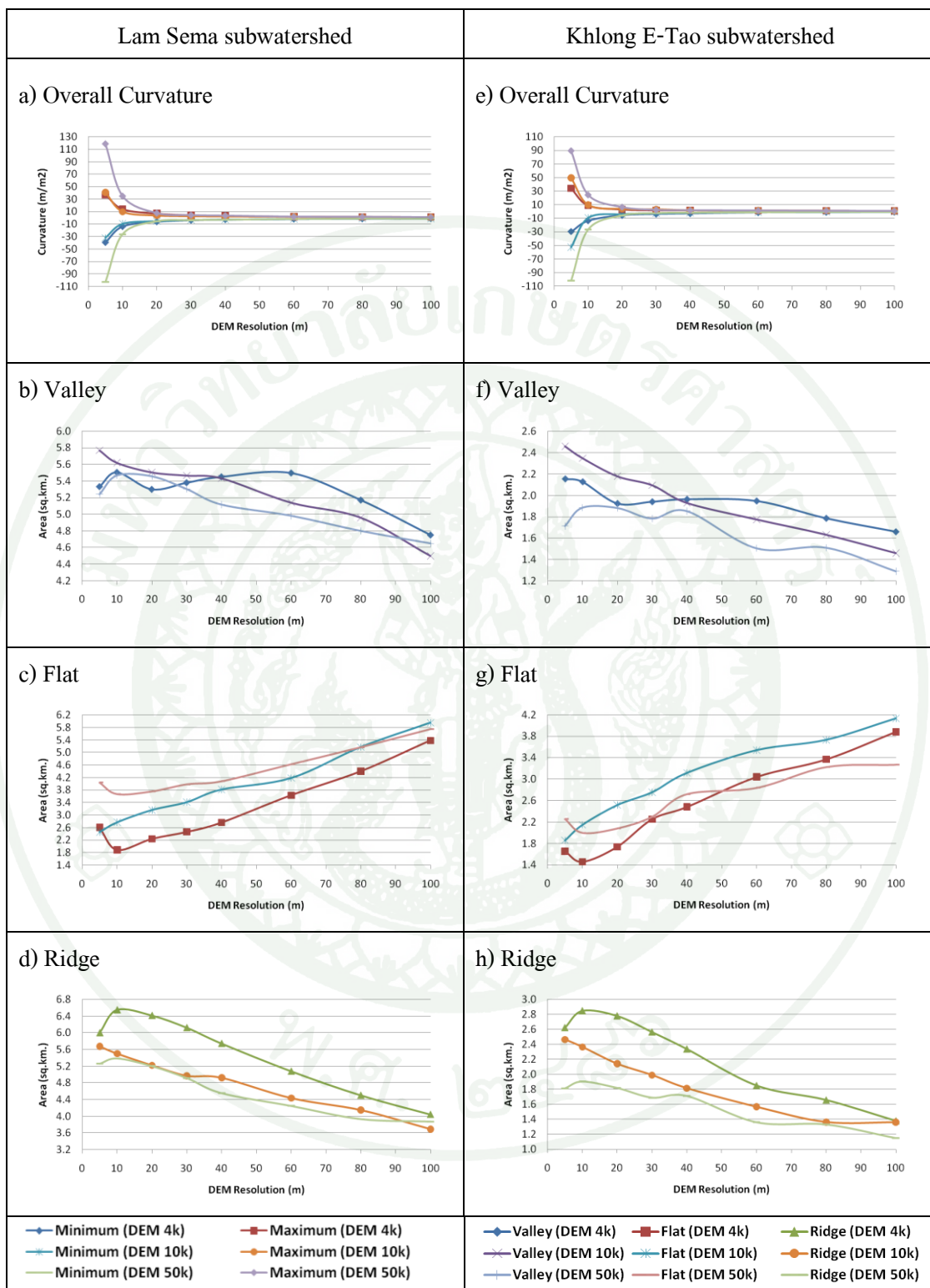
พบว่า เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น พื้นที่หุบเขาและพื้นที่สันเขา มีเนื้อที่ลดลง ในทางกลับกันพื้นที่ราบ มีเนื้อที่เพิ่มขึ้น ทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อยให้แนวโน้มที่เหมือนกัน ดังภาพที่ 17b-17h

ผลของแหล่งที่มา กรณิพื้นที่หุบเขา พบว่า ข้อมูล DEM 10k มีพื้นที่มากที่สุด รองลงมาคือข้อมูล DEM 4k และข้อมูล DEM 50k ตามลำดับ ทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้แนวโน้มที่เหมือนกัน ดังภาพที่ 17b และภาพที่ 17f

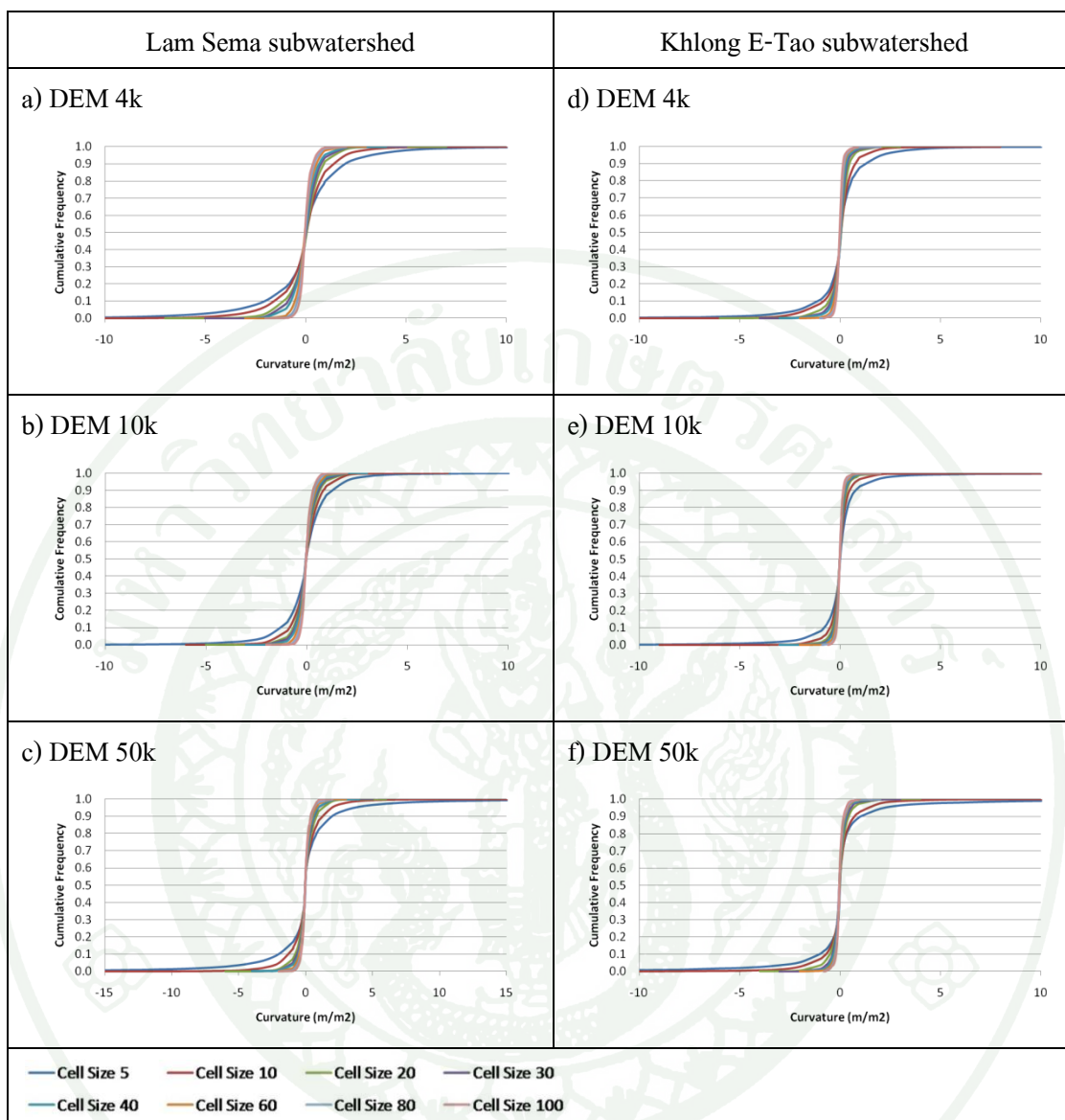
กรณิพื้นที่ราบ กลุ่มน้ำย่อยลำเสมา พบว่าข้อมูล DEM 50k มีพื้นที่มากที่สุด ในช่วงขนาดกริด 5-80 เมตร รองลงมาคือข้อมูล DEM 10k และข้อมูล DEM 4k ตามลำดับ ส่วนกลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า พบว่าข้อมูล DEM 10k มีพื้นที่มากที่สุด รองลงมาคือข้อมูล DEM 50k และข้อมูล DEM 4k ตามลำดับ ดังภาพที่ 17c และภาพที่ 17g แสดงว่าข้อมูล DEM 50k จำแนกลักษณะพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบ

กรณิพื้นที่สันเขา กลุ่มน้ำย่อยลำเสมา พบว่าข้อมูล DEM 4k มีพื้นที่มากที่สุด รองลงมาคือข้อมูล DEM 10k และข้อมูล DEM 50k ที่มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนกลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า พบว่าข้อมูล DEM 4k มีพื้นที่มากที่สุด รองลงมาคือข้อมูล DEM 10k และข้อมูล DEM 50k ตามลำดับ ดังภาพที่ 17d และภาพที่ 17h แสดงว่าข้อมูล DEM 4k อธิบายลักษณะส่วนโค้ง ซึ่งมีลักษณะเป็นเนินของพื้นที่ได้ดี และผลที่ได้สอดคล้องกับลักษณะภูมิประเทศจริงของพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นลูกคลื่นลอนลาด

จากกราฟความถี่สะสมของค่าความโค้ง-เว้า ดังภาพที่ 18 พบว่า ค่าความถี่สะสมในแต่ละขนาดกริดมีค่าแตกต่างกัน โดยกริดที่มีขนาดใหญ่ ค่าความโค้ง-เว้า มีค่าเกาะกลุ่มเข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่ากริดขนาดใหญ่ จำแนกพื้นที่เป็นพื้นที่ราบๆ ไม่มีความโค้ง-เว้า ทั้ง 3 แหล่งที่มา และทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้แนวโน้มเหมือนกัน เมื่อทดสอบ K-S ด้วยค่าสถิติ D พบว่า ค่า D สูงสุด มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มจาก 0.059 ที่ขนาดกริด 10 เมตร เป็น 0.247 ที่ขนาดกริด 100 เมตร จากข้อมูล DEM 4k ค่า D สูงสุดมีค่ามากกว่าค่า D วิกฤต ดังตารางที่ 14 แสดงว่าค่าความถี่สะสมจากข้อมูลทั้ง 2 ชุด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %



ภาพที่ 17 ค่าสถิติเบื้องต้นของค่าความโค้ง-เว้า ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา
ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า



ภาพที่ 18 ความถี่สะสมของค่าความโค้ง-เว้า ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา
ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

ตารางที่ 14 ค่าสถิติ D ของค่าความโค้ง-เว้า จากการทดสอบ K-S ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมา
และลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

Overall Curvature	Lam Sema subwatershed		Khleng E-Tao subwatershed	
DEM 4k	D Max	Significance	D Max	Significance
5 and 10	0.059	0.000**	0.067	0.000**
5 and 20	0.118	0.000**	0.133	0.000**
5 and 30	0.146	0.000**	0.175	0.000**
5 and 40	0.163	0.000**	0.205	0.000**
5 and 60	0.192	0.000**	0.241	0.000**
5 and 80	0.225	0.000**	0.268	0.000**
5 and 100	0.247	0.000**	0.288	0.000**
DEM 10k				
5 and 10	0.060	0.000**	0.068	0.000**
5 and 20	0.100	0.000**	0.114	0.000**
5 and 30	0.121	0.000**	0.138	0.000**
5 and 40	0.137	0.000**	0.156	0.000**
5 and 60	0.170	0.000**	0.187	0.000**
5 and 80	0.206	0.000**	0.209	0.000**
5 and 100	0.247	0.000**	0.233	0.000**
DEM 50k				
20 and 5	0.108	0.000**	0.129	0.000**
20 and 10	0.102	0.000**	0.122	0.000**
20 and 30	0.072	0.000**	0.087	0.000**
20 and 40	0.080	0.000**	0.093	0.000**
20 and 60	0.089	0.000**	0.109	0.000**
20 and 80	0.120	0.000**	0.129	0.000**
20 and 100	0.140	0.000**	0.150	0.000**

หมายเหตุ: * Significance at the 0.05 level

** Significance at the 0.01 level

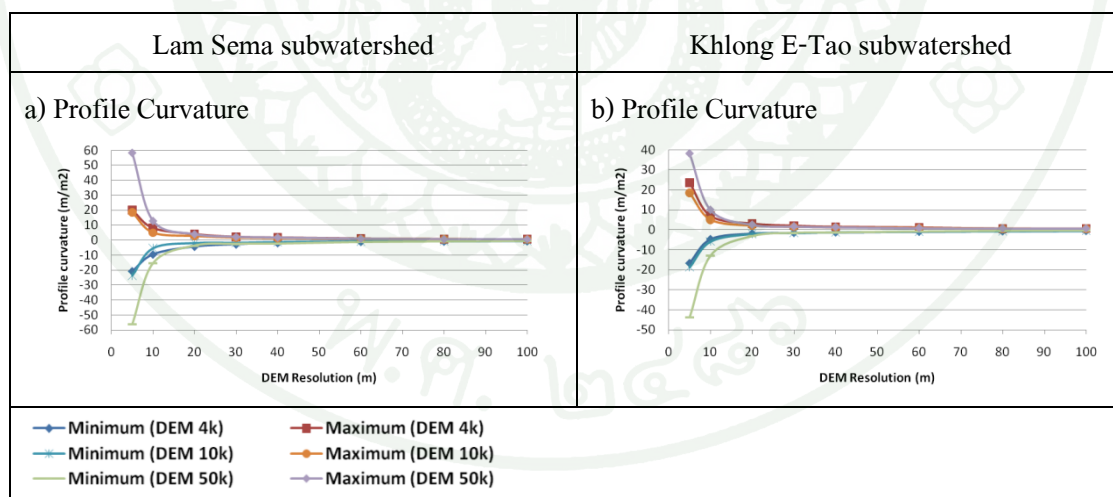
(ค่า Dวิกฤต ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ลุ่มน้ำลำเสมา = 0.022 ลุ่มน้ำคลองอีเต่า = 0.029)

(ค่า Significance น้อยกว่า 0.01) และแตกต่างกันมากขึ้น เมื่อขนาดกริดใหญ่ขึ้น ข้อมูลทั้ง 3 แหล่งที่มาและทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อยให้ผลเหมือนกัน

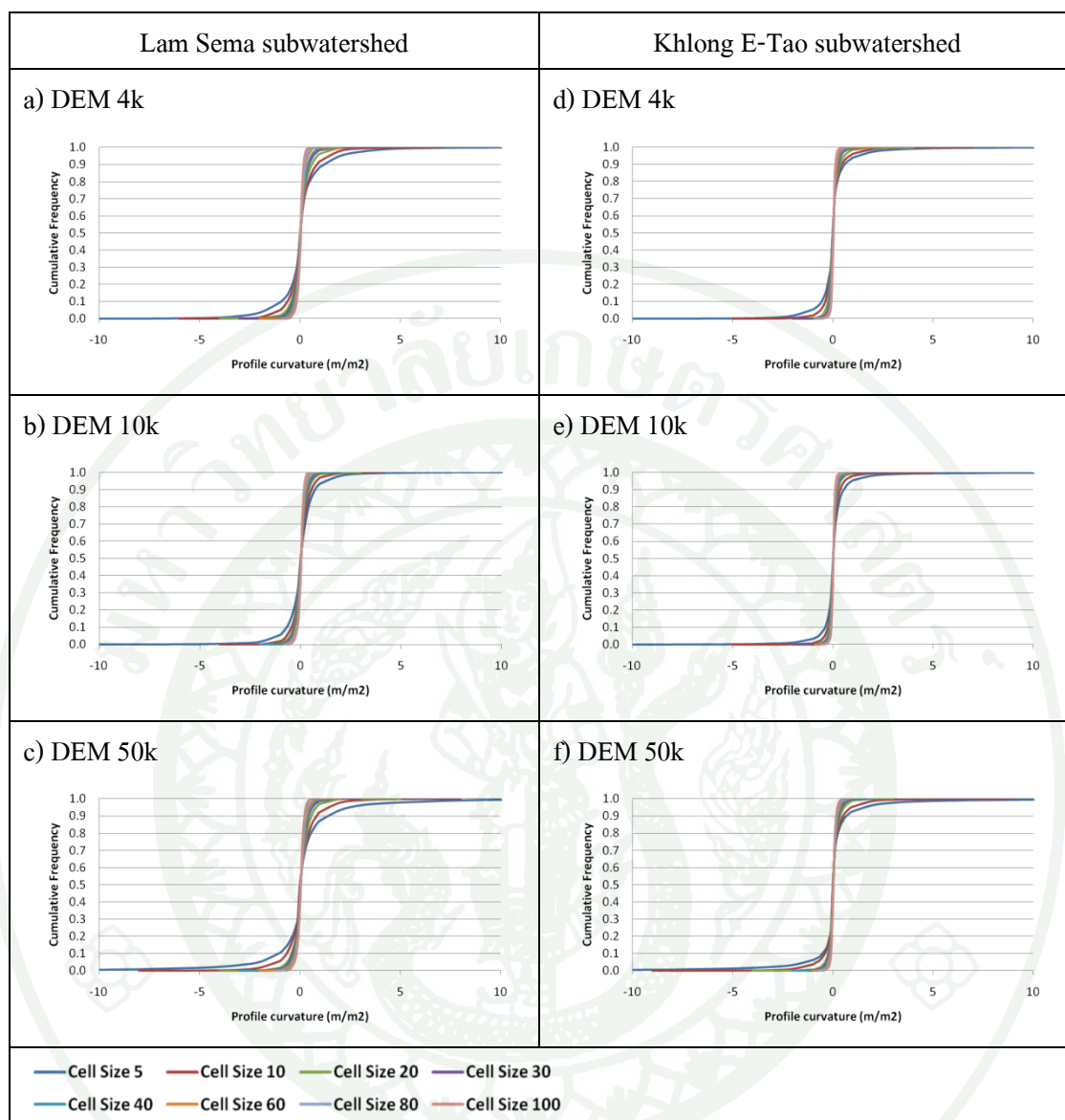
2.4 ค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาว (Profile Curvature)

ผลการศึกษา ค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาว พบว่า ให้ผลเช่นเดียวกับค่าความโค้ง-เว้าในหัวข้อ 2.3 กล่าวคือ ผลของขนาดกริด พบว่าเมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น ค่าสูงสุดมีค่าลดลง และค่าต่ำสุดมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเข้าใกล้ศูนย์เมื่อขนาดกริดมากกว่า 40 เมตร ทั้ง 3 แหล่งที่มา และทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้แนวโน้มเหมือนกัน ผลของแหล่งที่มา พบว่าข้อมูล DEM 50k มีค่าพิสัย (Range) ของความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาวมากที่สุด รองลงมาคือข้อมูล DEM 10k และข้อมูล DEM 4k ที่มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้ผลเหมือนกัน ดังภาพที่ 19

ส่วนค่าความถี่สะสมของค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาว และค่าสถิติ D จากการทดสอบ K-S ก็ให้ผลเช่นเดียวกับค่าความโค้ง-เว้าในหัวข้อ 2.3 ดังภาพที่ 20 และตารางที่ 15



ภาพที่ 19 ค่าสถิติเบื้องต้นของค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาว ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มาของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า



ภาพที่ 20 ความถี่สะสมของค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาว ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มาของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

ตารางที่ 15 ค่าสถิติ D ของค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาว จากการทดสอบ K-S
ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

Profile Curvature	Lam Sema subwatershed		Khlong E-Tao subwatershed	
DEM 4k	D Max	Significance	D Max	Significance
5 and 10	0.047	0.000**	0.047	0.000**
5 and 20	0.091	0.000**	0.108	0.000**
5 and 30	0.118	0.000**	0.152	0.000**
5 and 40	0.135	0.000**	0.178	0.000**
5 and 60	0.170	0.000**	0.209	0.000**
5 and 80	0.201	0.000**	0.231	0.000**
5 and 100	0.233	0.000**	0.239	0.000**
DEM 10k				
5 and 10	0.063	0.000**	0.064	0.000**
5 and 20	0.101	0.000**	0.111	0.000**
5 and 30	0.123	0.000**	0.137	0.000**
5 and 40	0.144	0.000**	0.152	0.000**
5 and 60	0.191	0.000**	0.193	0.000**
5 and 80	0.234	0.000**	0.215	0.000**
5 and 100	0.266	0.000**	0.237	0.000**
DEM 50k				
20 and 5	0.126	0.000**	0.133	0.000**
20 and 10	0.106	0.000**	0.128	0.000**
20 and 30	0.074	0.000**	0.097	0.000**
20 and 40	0.084	0.000**	0.099	0.000**
20 and 60	0.102	0.000**	0.124	0.000**
20 and 80	0.153	0.000**	0.128	0.000**
20 and 100	0.187	0.000**	0.136	0.000**

หมายเหตุ: * Significance at the 0.05 level

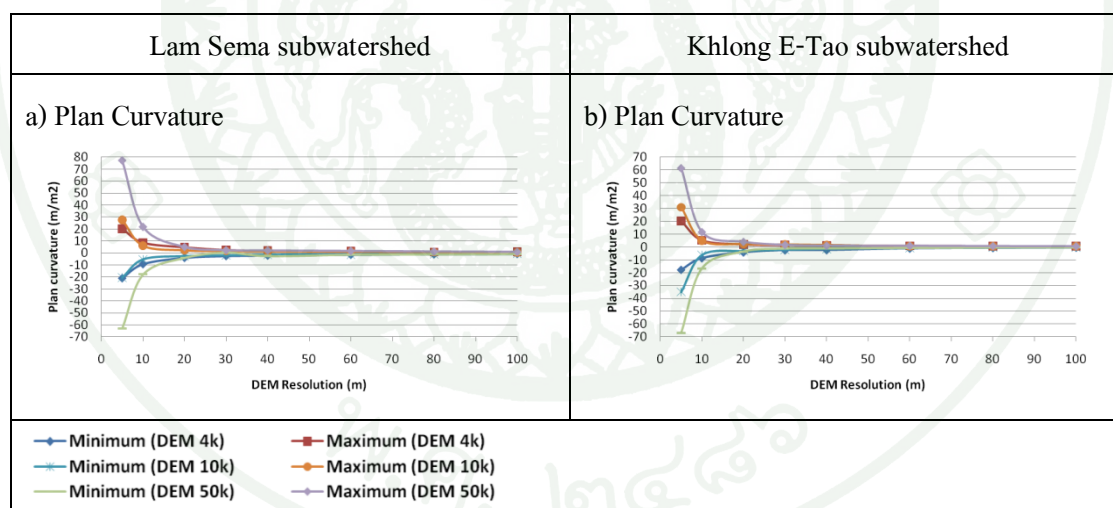
** Significance at the 0.01 level

(ค่า Dวิกฤต ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ลุ่มน้ำลำเสมา = 0.022 ลุ่มน้ำคลองอีเต่า = 0.029)

2.5 ค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามขวาง (Plan Curvature)

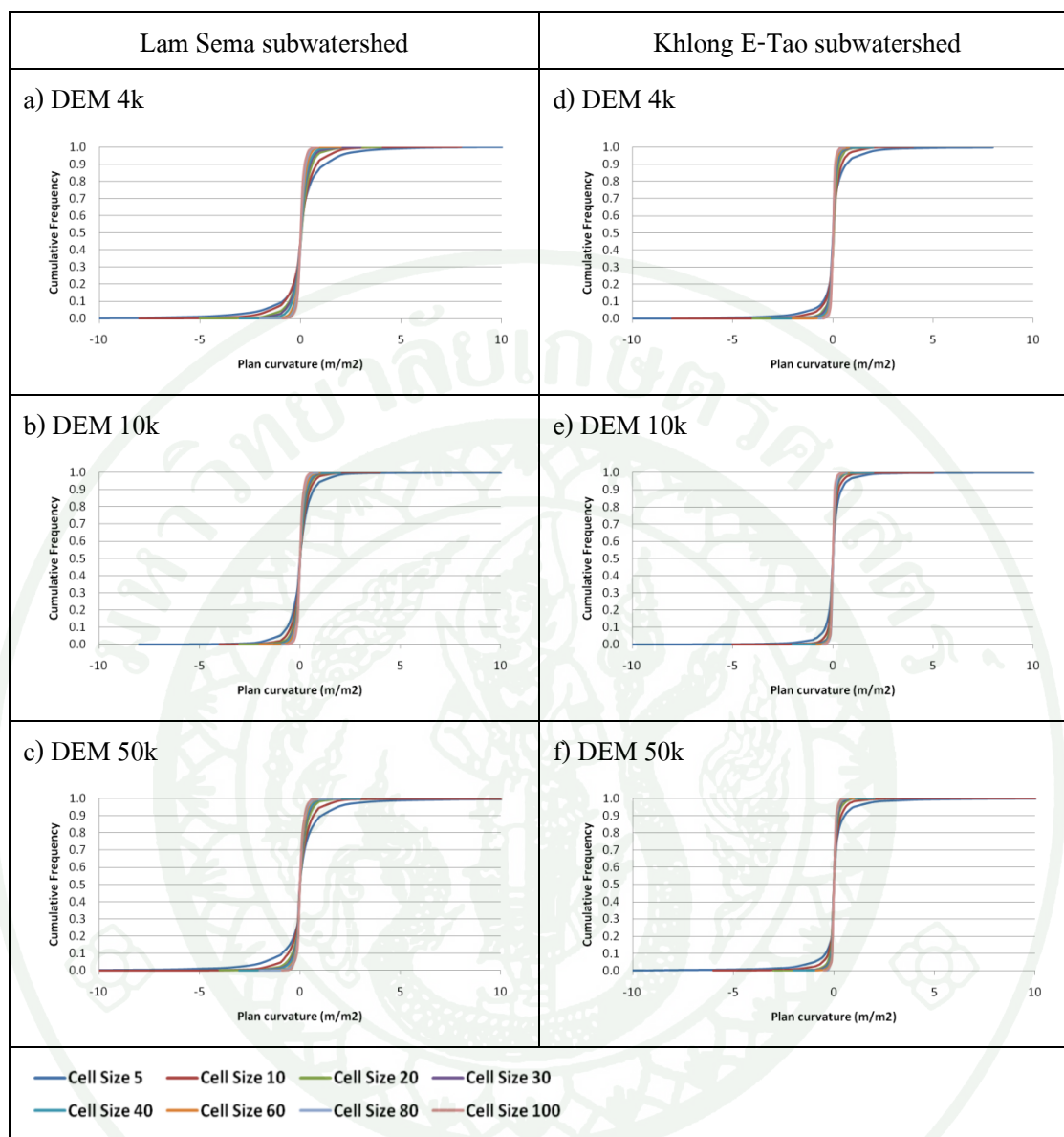
ผลการศึกษา ค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามขวาง พบว่าให้ผลเช่นเดียวกับค่าความโค้ง-เว้า ในหัวข้อ 2.3 และค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาว ในหัวข้อ 2.4 กล่าวคือ ผลของขนาดกริด พบว่า เมื่อขนาด กริดเพิ่มขึ้น ค่าสูงสุดมีค่าลดลงและค่าต่ำสุดมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเข้าใกล้ศูนย์เมื่อขนาดกริดมากกว่า 40 เมตร ทั้ง 3 แหล่งที่มา และทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้แนวโน้มที่เหมือนกัน ผลของแหล่งที่มา พบว่าข้อมูล DEM 50k มีค่าพิสัย (Range) ของความโค้ง-เว้ามากที่สุด รองลงมาคือข้อมูล DEM 10k และข้อมูล DEM 4k ที่มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้ผลเหมือนกัน ดังภาพที่ 21

ส่วนค่าความถี่สะสมของค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาวและค่าสถิติ D จากการทดสอบ K-S ก็ให้ผลเช่นเดียวกับค่าความโค้ง-เว้าในหัวข้อ 2.3 ดังภาพที่ 22 และตารางที่ 16



ภาพที่ 21 ค่าสถิติเบื้องต้นของค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามขวาง ในแต่ละขนาดกริด

3 แหล่งที่มา ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า



ภาพที่ 22 ความถี่สะสมของค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามขวาง ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มาของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต้า

ตารางที่ 16 ค่าสถิติ D ของค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามขวาง จากการทดสอบ K-S
ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

Plan Curvature	Lam Sema subwatershed		Khlong E-Tao subwatershed	
DEM 4k	D Max	Significance	D Max	Significance
5 and 10	0.053	0.000**	0.086	0.000**
5 and 20	0.097	0.000**	0.105	0.000**
5 and 30	0.115	0.000**	0.134	0.000**
5 and 40	0.137	0.000**	0.152	0.000**
5 and 60	0.171	0.000**	0.186	0.000**
5 and 80	0.202	0.000**	0.210	0.000**
5 and 100	0.223	0.000**	0.231	0.000**
DEM 10k				
5 and 10	0.068	0.000**	0.076	0.000**
5 and 20	0.092	0.000**	0.117	0.000**
5 and 30	0.109	0.000**	0.133	0.000**
5 and 40	0.126	0.000**	0.153	0.000**
5 and 60	0.160	0.000**	0.182	0.000**
5 and 80	0.190	0.000**	0.205	0.000**
5 and 100	0.219	0.000**	0.235	0.000**
DEM 50k				
20 and 5	0.146	0.000**	0.147	0.000**
20 and 10	0.133	0.000**	0.134	0.000**
20 and 30	0.109	0.000**	0.126	0.000**
20 and 40	0.100	0.000**	0.115	0.000**
20 and 60	0.110	0.000**	0.122	0.000**
20 and 80	0.138	0.000**	0.153	0.000**
20 and 100	0.157	0.000**	0.139	0.000**

หมายเหตุ: * Significance at the 0.05 level

** Significance at the 0.01 level

(ค่า D วิกฤต ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ลุ่มน้ำลำเสมา = 0.022 ลุ่มน้ำคลองอีเต่า = 0.029)

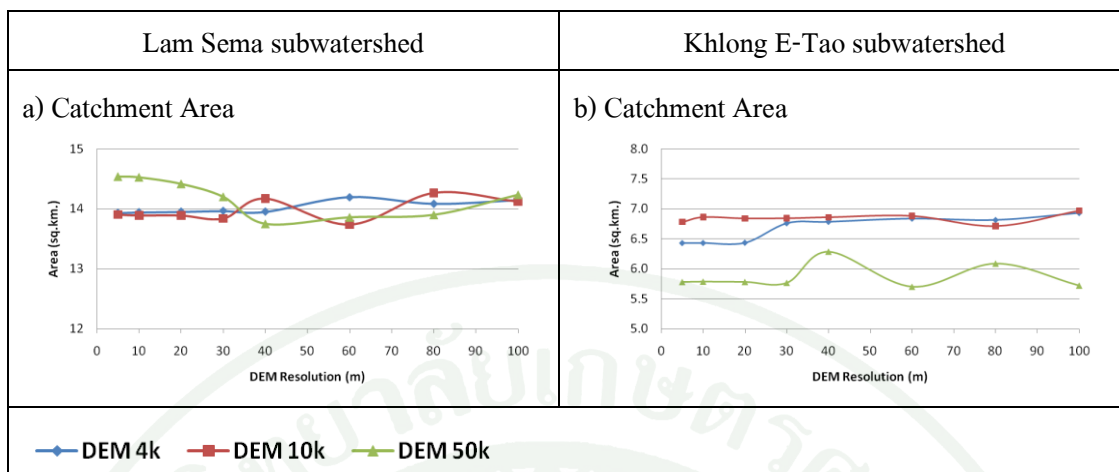
จากผลการศึกษา ค่าความโค้ง-เว้า ค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาว และค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามขวาง ให้ผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ Crosby (2006) และ Thompson *et al.* (2001) โดยค่าความโค้ง-เว้า มีความสัมพันธ์กับขนาดกริดที่ขนาด 5-30 เมตร นอกจากนี้ Deng *et al.* (2007) ได้ศึกษาถึงผลของขนาดกริดต่อค่าคุณลักษณะภูมิประเทศภายใต้ลักษณะภูมิฐาน (Landforms) ต่างๆ กัน พบว่า ขนาดกริดมีผลต่อค่าความโค้ง-เว้า มากกว่าค่าความลาดชัน ในช่วงขนาดกริด 5-30 เมตร แสดงว่ากริดที่มีขนาดเล็ก มีผลต่อค่าความโค้ง-เว้า ซึ่งเกี่ยวข้องต่อการคำนวณค่าดัชนีความเปียกชื้น ค่าพื้นที่รับน้ำสะสม สำหรับค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาว และค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามขวาง ก็ให้ผลเช่นเดียวกันกับผลการศึกษาความโค้ง-เว้า ยกเว้นการศึกษาของ Wu *et al.* (2008b) ที่พบว่า ขนาดกริดไม่มีผลต่อค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามขวางและค่าทิศด้านลาด (Aspect)

3. พารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา (Hydrological Parameters)

ค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา ประกอบด้วย พื้นที่ลุ่มน้ำ สันฐานวิทยาลุ่มน้ำ ปัจจัยความยาวความลาดชัน พื้นที่รับน้ำสะสมและดัชนีความเปียกชื้น ได้ผลการศึกษาดังนี้

3.1 พื้นที่ลุ่มน้ำ (Catchment Area)

ผลของขนาดกริด พบว่าขนาดกริดไม่มีผลต่อขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ แต่มีผลต่อรูปร่างลุ่มน้ำ ผลของแหล่งที่มา กรณิลุ่มน้ำย่อยสำเภา พบว่าข้อมูล DEM 50k มีพื้นที่มากที่สุด ในช่วงขนาดกริด 5-30 เมตร แต่เมื่อขนาดกริดมากกว่า 30 เมตร พื้นที่ลดลง ข้อมูล DEM 4k และข้อมูล DEM 10k มีพื้นที่ลุ่มน้ำไม่แตกต่างกันในช่วงขนาดกริด 5-30 เมตร แต่เมื่อขนาดกริดมากกว่า 40 เมตร ข้อมูล DEM 4k มีพื้นที่ลุ่มน้ำเพิ่มขึ้น และข้อมูล DEM 10k เมื่อขนาดกริดมากกว่า 40 เมตรมีแนวโน้มของพื้นที่ลุ่มน้ำไม่แน่นอน ดังภาพที่ 23a



ภาพที่ 23 พื้นที่ลุ่มน้ำที่คำนวณจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา
ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

กรณีลุ่มน้ำคลองอีเต่า พบว่าข้อมูล DEM 10k มีพื้นที่ลุ่มน้ำมากที่สุด ในช่วงขนาดกริด 5-60 เมตร รองลงมาคือข้อมูล DEM 4k ซึ่งข้อมูลจากทั้ง 2 แหล่งที่มา มีพื้นที่มากกว่าข้อมูล DEM 50k ทุกขนาดกริด ดังภาพที่ 23b

ผลการศึกษาพบว่า ขนาดกริดไม่มีผลต่อขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ แต่มีผลต่อรูปร่างของลุ่มน้ำ ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Dixon and Earls (2009) ที่กล่าวว่า ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำมีค่าลดลงเมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น โดยทำการเปรียบเทียบจากขนาดกริด 3 ขนาดคือ 30, 90 และ 300 เมตร นอกจากนี้ Yuan *et al.* (2006); Huaxing *et al.* (2006) และ Vaze and Teng (2007) พบว่า ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย ค่าผลรวม และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพื้นที่ลุ่มน้ำ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแบบจำลองความสูงเชิงเลขมีขนาดกริดเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งผลการศึกษาที่แตกต่างกันนี้ อาจเนื่องจากพื้นที่ศึกษาของ Dixon and Earls (2009) มีขนาดใหญ่มาก (855 ตารางกิโลเมตร) ในขณะที่ Vaze and Teng (2007) มีขนาดพื้นที่ 320 ตารางกิโลเมตร จึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำได้

3.2 สัณฐานวิทยาลุ่มน้ำ (Watershed Morphology)

สัณฐานวิทยาลุ่มน้ำ ประกอบด้วย จำนวนลำน้ำ (Number of Stream) ความหนาแน่นลำน้ำ (Stream Density) ความหนาแน่นในการระบายน้ำ (Drainage Density) และความยาวลำน้ำสายหลัก (Main Stream Length) ได้ผลดังนี้

ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ ดังตารางที่ 17 กรณีลุ่มน้ำย่อยลำเสมา พบว่ามีพื้นที่ประมาณ 14 ตารางกิโลเมตร รูปร่างลุ่มน้ำมีลักษณะเป็นแบบใบพัด มีความลาดชันเฉลี่ยประมาณ 17-19 เปอร์เซ็นต์ มีลำดับชั้นเส้นทางน้ำ 4 อันดับ จำนวนลำน้ำประมาณ 121-123 สาย ความยาวลำน้ำรวมประมาณ 38-40 กิโลเมตร กรณีลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า พบว่า มีพื้นที่ประมาณ 6 ตารางกิโลเมตร รูปร่างลุ่มน้ำมีลักษณะยาวรี มีความลาดชันเฉลี่ยประมาณ 10-12 เปอร์เซ็นต์ มีลำดับชั้นเส้นทางน้ำ 3 อันดับ จำนวนลำน้ำประมาณ 59-70 สาย ความยาวลำน้ำรวมประมาณ 15-19 กิโลเมตร

กรณีจำนวนลำน้ำ ผลของขนาดกริด พบว่าเมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น จำนวนเส้นลำน้ำลดลง ข้อมูลทั้ง 3 แหล่งที่มาและทั้ง 2 ลุ่มน้ำย่อย ให้แนวโน้มที่เหมือนกัน ดังภาพที่ 24a และภาพที่ 24e ผลของแหล่งที่มา ลุ่มน้ำย่อยลำเสมา พบว่าข้อมูลทั้ง 3 แหล่งที่มา ให้จำนวนลำน้ำไม่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 24a ส่วนลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า พบว่าข้อมูล DEM 10k มีจำนวนลำน้ำมากที่สุดในช่วงขนาดกริด 5-60 เมตร รองลงมาคือข้อมูล DEM 4k และข้อมูล DEM 50k ตามลำดับ ในช่วงขนาดกริด 5-60 เมตร เช่นเดียวกัน ดังภาพที่ 24e

กรณีความหนาแน่นลำน้ำ ผลของขนาดกริด พบว่าเมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นลำน้ำมีค่าลดลง ข้อมูลทั้ง 3 แหล่งที่มา และทั้ง 2 ลุ่มน้ำย่อย มีแนวโน้มเหมือนกัน ดังภาพที่ 24b และภาพที่ 24f ผลของแหล่งที่มา พบว่า ลุ่มน้ำย่อยลำเสมา ข้อมูลทั้ง 3 แหล่งที่มา ให้ค่าความหนาแน่นลำน้ำไม่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 24b ส่วนลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า ให้ผลเช่นเดียวกัน ดังภาพที่ 24f

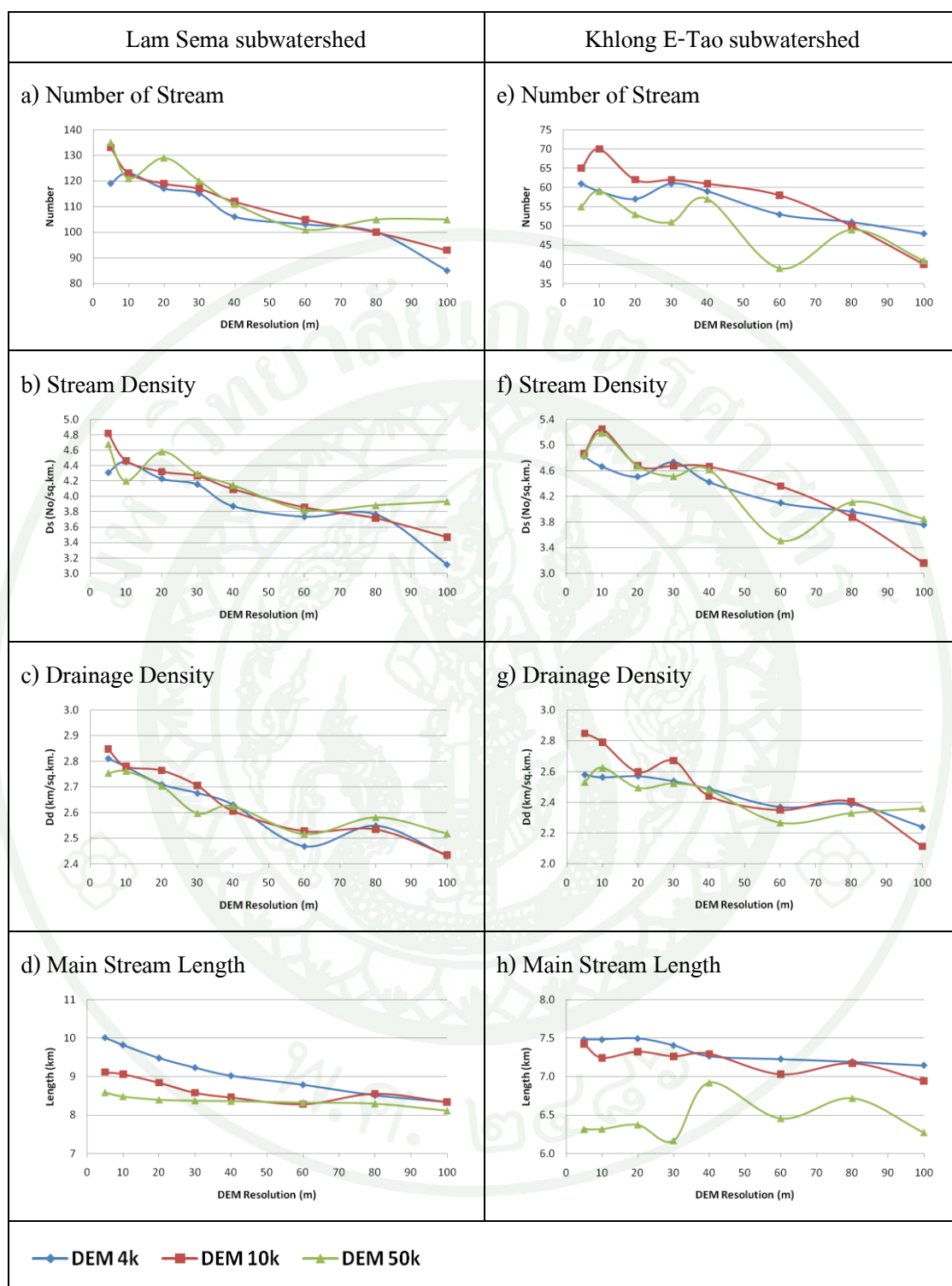
ตารางที่ 17 ลักษณะทางกายภาพ ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

Watershed Morphology	Lam Sema subwatershed			Khleng E-Tao subwatershed		
	DEM 4k	DEM 10k	DEM 50k	DEM 4k	DEM 10k	DEM 50k
Area (sq.km.)	13.940	13.889	14.526	6.431	6.861	5.783
Perimeter (km)	21.586	21.096	25.060	17.490	18.252	15.880
Main Stream Length (km)	9.818	9.063	8.478	7.483	7.243	6.319
Stream Length (km)	38.725	38.612	40.106	16.479	19.142	15.181
Stream Order (Number)	4 (123)	4 (123)	4 (121)	3 (59)	3 (70)	3 (59)
Minimum Elevation (m)	450.040	455.000	449.351	438.090	439.424	427.875
Maximum Elevation (m)	810.700	820.846	828.852	583.599	583.437	538.305
Basin Length (km)	10.594	9.676	9.066	8.248	7.911	6.825
Relief Ratio	34.042	37.810	41.860	17.642	18.205	22.774
Stream Density	4.448	4.464	4.199	4.665	5.247	5.187
Drainage Density	2.778	2.780	2.761	2.562	2.790	2.625
Basin Shaped	Fan Shaped			Oval Shaped		
Catchment Slope (%)	19.850	17.171	17.667	12.192	10.278	11.768

หมายเหตุ: ข้อมูลที่ขนาดกริด 10 เมตร

กรณีความความหนาแน่นในการระบายน้ำ ผลของขนาดกริด พบว่าเมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นในการระบายน้ำมีค่าลดลง ข้อมูลทั้ง 3 แหล่งที่มา และทั้ง 2 ลุ่มน้ำย่อย มีแนวโน้มเหมือนกัน ดังภาพที่ 24c และภาพที่ 24g ผลของแหล่งที่มา พบว่า ข้อมูลทั้ง 3 แหล่งที่มา ให้ผลไม่แตกต่างกัน ทั้ง 2 ลุ่มน้ำย่อยให้ผลเหมือนกัน ดังภาพที่ 24c และภาพที่ 24g

กรณีความยาวลำน้ำสายหลัก ผลของขนาดกริด พบว่า เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น ความยาวลำน้ำสายหลักมีความยาวลดลง ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขทั้ง 3 แหล่งที่มาและทั้ง 2 ลุ่มน้ำย่อย ให้แนวโน้มเหมือนกัน ผลของแหล่งที่มา ลุ่มน้ำย่อยลำเสมา พบว่าข้อมูล DEM 4k ให้ความยาวลำน้ำสายหลักยาวที่สุดในช่วงขนาดกริด 5-60 เมตร ส่วนลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า พบว่าข้อมูล DEM 4k ให้ความยาวลำน้ำสายหลักยาวที่สุดในช่วงขนาดกริด 5-30 เมตร รองลงมาคือข้อมูล DEM 10k และข้อมูล DEM 50k ตามลำดับ ในทุกขนาดกริด แสดงว่าข้อมูล DEM 4k สามารถให้



ภาพที่ 24 ค่าสถิติเบื้องต้นของลักษณะพื้นฐานวิทยาลุ่มน้ำ ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา
ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

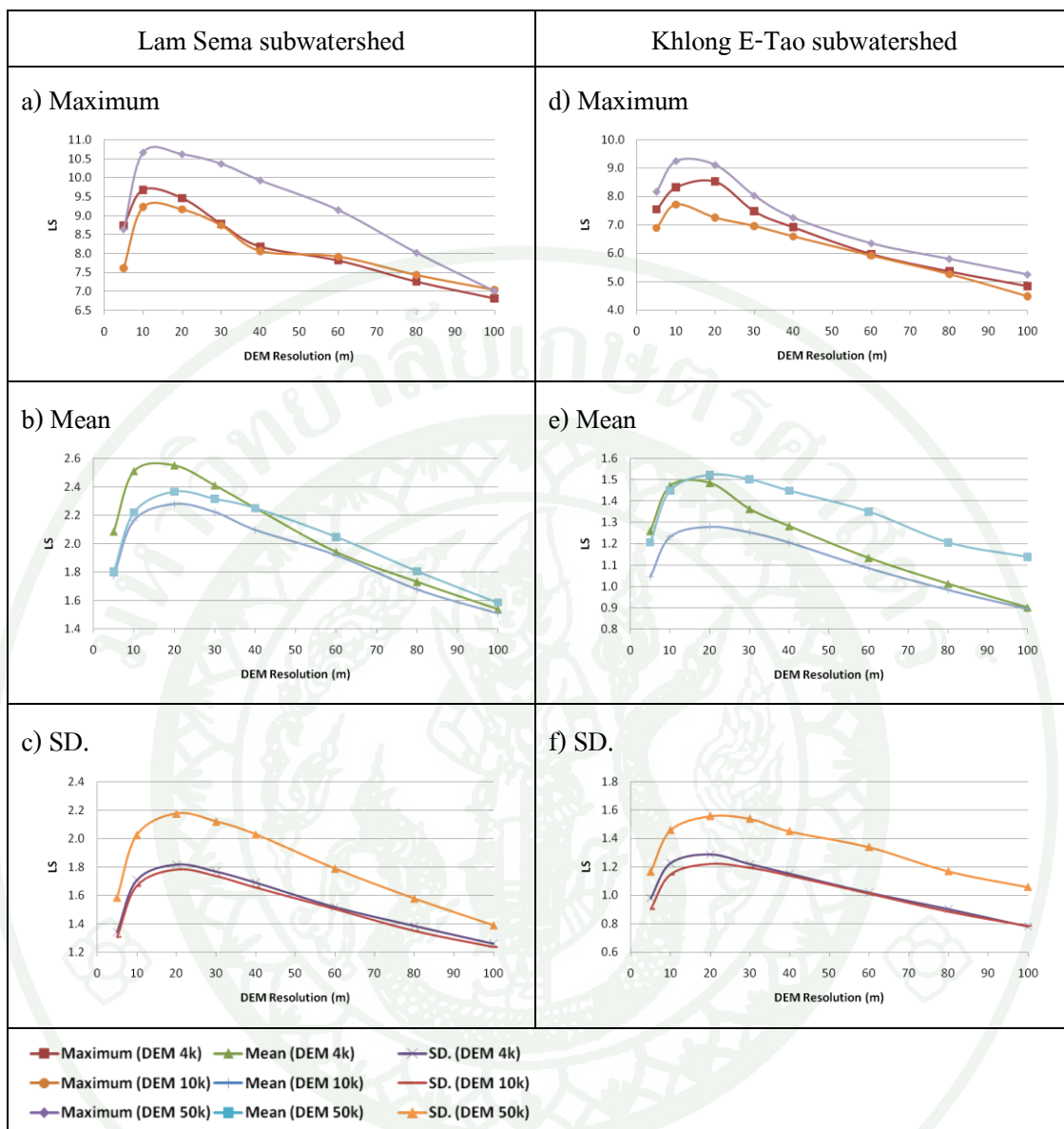
รายละเอียดในการคำนวณความยาวลำน้ำสายหลักได้ดีกว่าข้อมูล DEM 10k และข้อมูล DEM 50k ดังภาพที่ 24d และภาพที่ 24h

ผลของข้อมูลฐานวิทยาลุ่มน้ำสอดคล้องกับการศึกษาของ Crosby (2006); Yuan *et al.* (2006) และ Huaxing *et al.* (2006) โดยจำนวนลำน้ำ ความหนาแน่นลำน้ำ ความหนาแน่นในการระบายน้ำ และความยาวลำน้ำสายหลัก มีค่าลดลง เมื่อใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่สร้างด้วยขนาดกริดที่ใหญ่ ทั้งนี้เพราะเมื่อขนาดกริดใหญ่ขึ้นความลาดเอียงของพื้นที่มีค่าลดลง และรายละเอียดต่างๆ ของพื้นที่จึงลดลงไปด้วย

3.3 ปัจจัยความยาวความลาดชัน (LS Factor)

การใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข หาค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ในสมการสูญเสียดินสากล (USLE) ผลของขนาดกริด พบว่า เมื่อขนาดกริดใหญ่กว่า 10 เมตร ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน มีค่าลดลง ซึ่งข้อมูลทั้ง 3 แหล่งที่มาและทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้แนวโน้มเหมือนกัน ดังภาพที่ 25

ผลของแหล่งที่มา พบว่า ค่าสูงสุดของปัจจัยความยาวความลาดชัน ข้อมูล DEM 50k มีค่าสูงสุด รองลงมาคือข้อมูล DEM 4k และข้อมูล DEM 10k ตามลำดับ ทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้ผลเหมือนกัน ดังภาพที่ 25a และภาพที่ 25d ค่าเฉลี่ยของปัจจัยความยาวความลาดชัน กรณีลุ่มน้ำย่อยลำเสมา พบว่า ข้อมูล DEM 4k มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ในช่วงขนาดกริด 5-30 เมตร รองลงมาคือข้อมูล DEM 50k และข้อมูล DEM 10k ตามลำดับ ดังภาพที่ 25b กรณีลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า พบว่าข้อมูล DEM 4k และข้อมูล DEM 50k มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ซึ่งทั้ง 2 แหล่งที่มา มีค่าไม่แตกต่างกันในช่วงขนาดกริด 5-20 เมตร ส่วนข้อมูล DEM 10k มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด ดังภาพที่ 25e



ภาพที่ 25 ค่าสถิติเบื้องต้นของค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มาของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

กรณีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่า ข้อมูล DEM 50k มีค่าสูงสุด รองลงมาคือข้อมูล DEM 10k และข้อมูล DEM 4k ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้ผลเหมือนกัน ดังภาพที่ 25c และภาพที่ 25f แสดงว่า ข้อมูล DEM 50k มีความแปรปรวนของข้อมูลมาก ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากตามไปด้วย

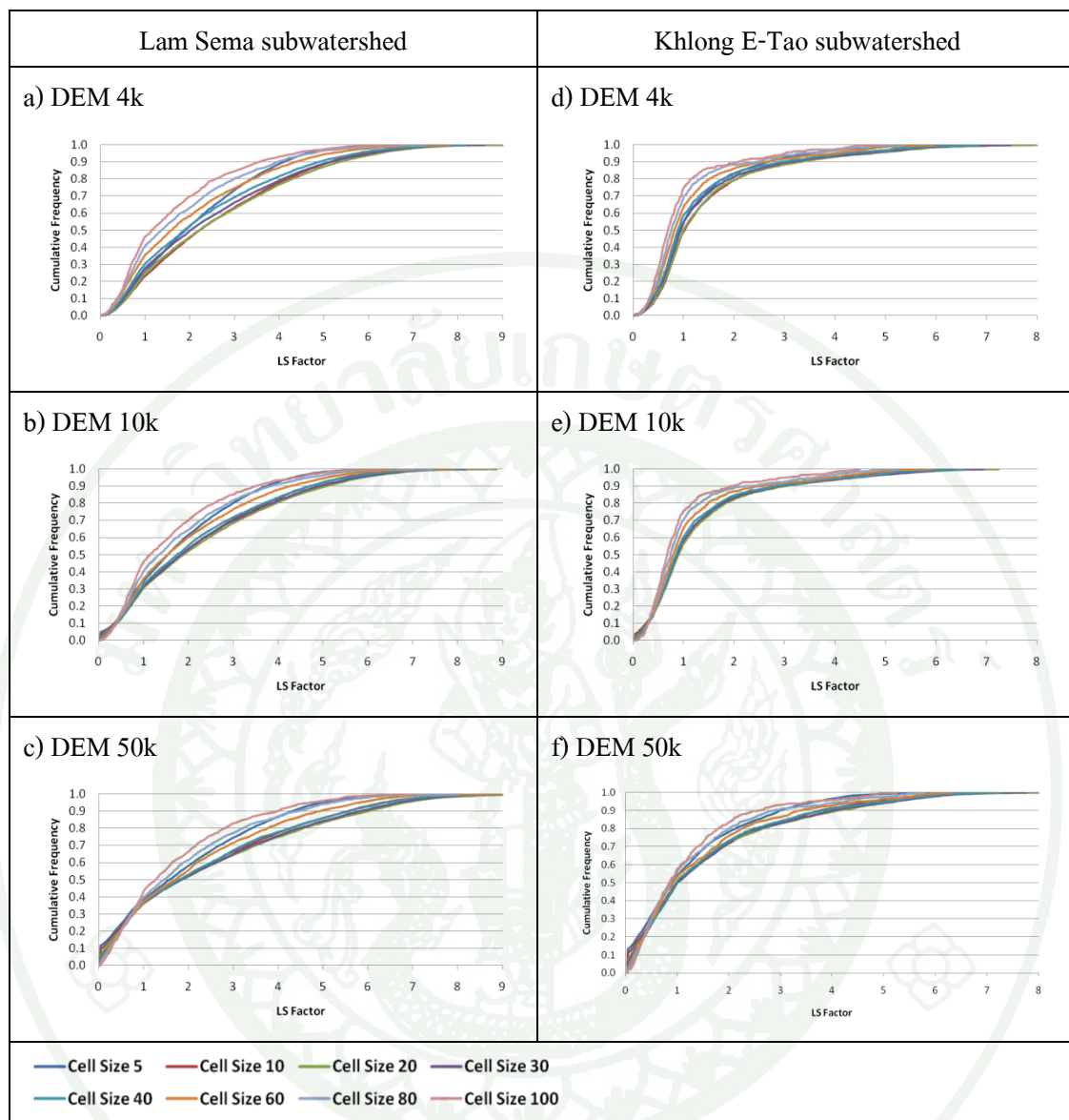
กราฟความถี่สะสมของค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน พบว่าค่าความถี่สะสมในแต่ละขนาดกริดมีค่าแตกต่างกัน ทั้ง 3 แหล่งที่มาและทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย มีแนวโน้มเหมือนกัน ดังภาพที่ 26 เมื่อทดสอบค่าสถิติ D พบว่า ค่า D สูงสุด มีค่าไม่แน่นอน แต่ค่า D สูงสุดมีค่ามากกว่า Dวิกฤต แสดงว่าค่าความถี่สะสมจากข้อมูลทั้ง 2 ชุดมีความแตกต่างกันเมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ข้อมูลทั้ง 3 แหล่งที่มาและทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้ผลเหมือนกัน ดังตารางที่ 18

ผลการศึกษา พบว่า ขนาดกริดมีผลต่อค่าปัจจัยความยาวของความลาด (L Factor) กล่าวคือ เมื่อขนาดกริดมีขนาดเล็ก ค่า L Factor มีค่าน้อย และค่า S Factor มีค่ามาก ซึ่งค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน เป็นปัจจัยหนึ่งในการคำนวณค่าการสูญเสียดิน โดยปัจจัยความเอียงลาด (S Factor) มีอิทธิพลมากกว่าปัจจัยความยาวของความลาด (L Factor) เมื่อขนาดกริดมีขนาดเล็ก ค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน จะมีค่ามาก และเมื่อขนาดกริดใหญ่ขึ้น ค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน มีค่าลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wu *et al.* (2005) ที่ขนาดกริดมากกว่า 10 เมตร

3.4 พื้นที่รับน้ำสะสม (Specific Catchment Area; SCA)

ผลของขนาดกริด พบว่า เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น ค่าสูงสุดของค่าพื้นที่รับน้ำสะสมมีค่าลดลง และค่าต่ำสุดของค่าพื้นที่รับน้ำสะสมมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อขนาดกริดมากกว่า 40 เมตร ค่าพื้นที่รับน้ำสะสมมีค่าไม่แตกต่างกัน ข้อมูลทั้ง 3 แหล่งที่มาและทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย มีแนวโน้มเหมือนกัน ดังภาพที่ 27a และภาพที่ 27d กรณีค่าเฉลี่ยของพื้นที่รับน้ำสะสม พบว่า เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่ารายละเอียดในการแสดงร่องน้ำเล็กๆ (Smaller Channels or Rill) ของพื้นที่ลดลง โดยค่าเฉลี่ยของพื้นที่รับน้ำสะสมที่ขนาดกริดเล็ก (5 เมตร) มีค่าน้อย เนื่องจากการแสดงผลของร่องน้ำเล็กๆ จำนวนมาก เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยทั้งกลุ่มน้ำทำให้มีค่าน้อย ซึ่งถือว่าแหล่งที่มาหรือขนาดกริดนั้น ให้ผลการคำนวณค่าพื้นที่รับน้ำสะสมที่ดี

ผลของแหล่งที่มา กรณีค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของค่าพื้นที่รับน้ำสะสม พบว่า ข้อมูลทั้ง 3 แหล่งที่มา มีค่าไม่แตกต่างกัน และทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้ผลเช่นเดียวกัน กรณีค่าเฉลี่ยของพื้นที่รับ-



ภาพที่ 26 ความถี่สะสมของค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา
ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

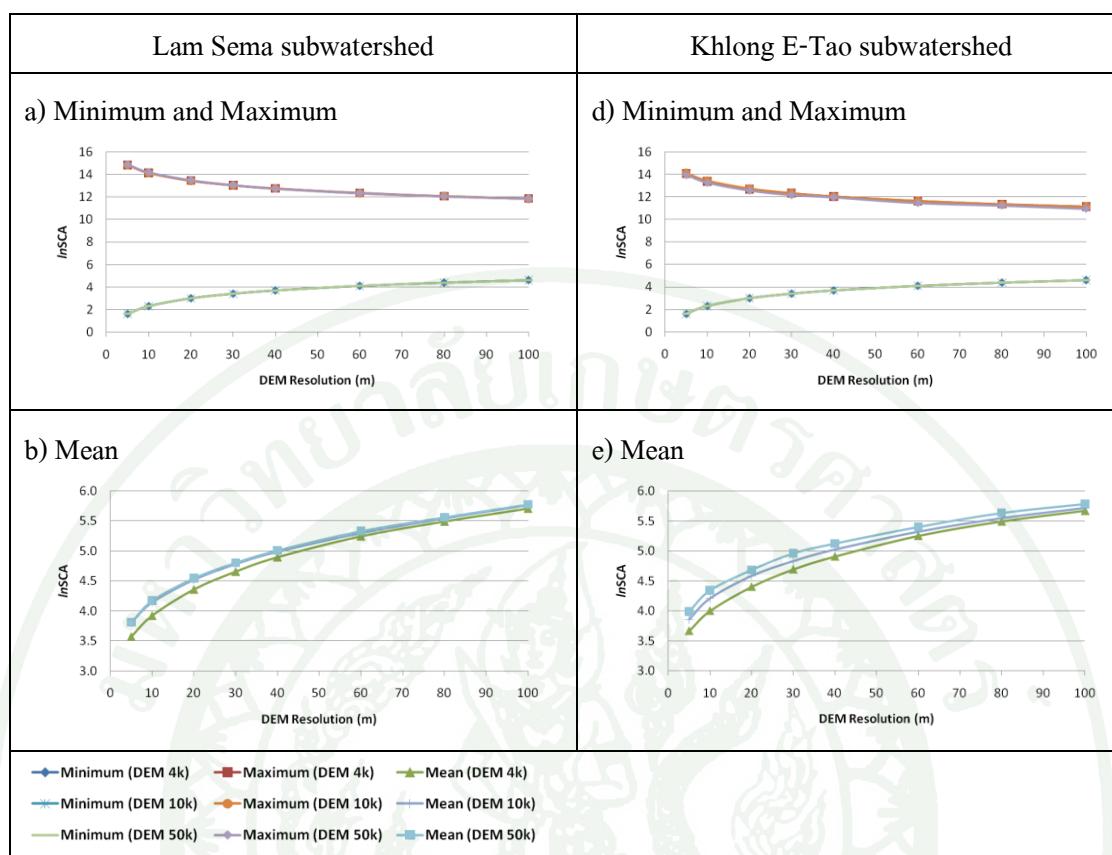
ตารางที่ 18 ค่าสถิติ D ของค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน จากการทดสอบ K-S
ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

LS Factor	Lam Sema subwatershed		Khlong E-Tao subwatershed	
DEM 4k	D Max	Significance	D Max	Significance
5 and 10	0.114	0.000**	0.086	0.000**
5 and 20	0.125	0.000**	0.087	0.000**
5 and 30	0.100	0.000**	0.048	0.000**
5 and 40	0.077	0.000**	0.044	0.001**
5 and 60	0.097	0.000**	0.092	0.000**
5 and 80	0.155	0.000**	0.149	0.000**
5 and 100	0.204	0.000**	0.202	0.000**
DEM 10k				
5 and 10	0.104	0.000**	0.080	0.000**
5 and 20	0.127	0.000**	0.097	0.000**
5 and 30	0.115	0.000**	0.075	0.000**
5 and 40	0.097	0.000**	0.063	0.000**
5 and 60	0.051	0.000**	0.058	0.000**
5 and 80	0.065	0.000**	0.077	0.000**
5 and 100	0.117	0.000**	0.126	0.000**
DEM 50k				
20 and 5	0.125	0.000**	0.133	0.000**
20 and 10	0.091	0.000**	0.103	0.000**
20 and 30	0.056	0.000**	0.070	0.000**
20 and 40	0.056	0.000**	0.070	0.000**
20 and 60	0.084	0.000**	0.070	0.000**
20 and 80	0.139	0.000**	0.087	0.000**
20 and 100	0.186	0.000**	0.126	0.000**

หมายเหตุ: * Significance at the 0.05 level

** Significance at the 0.01 level

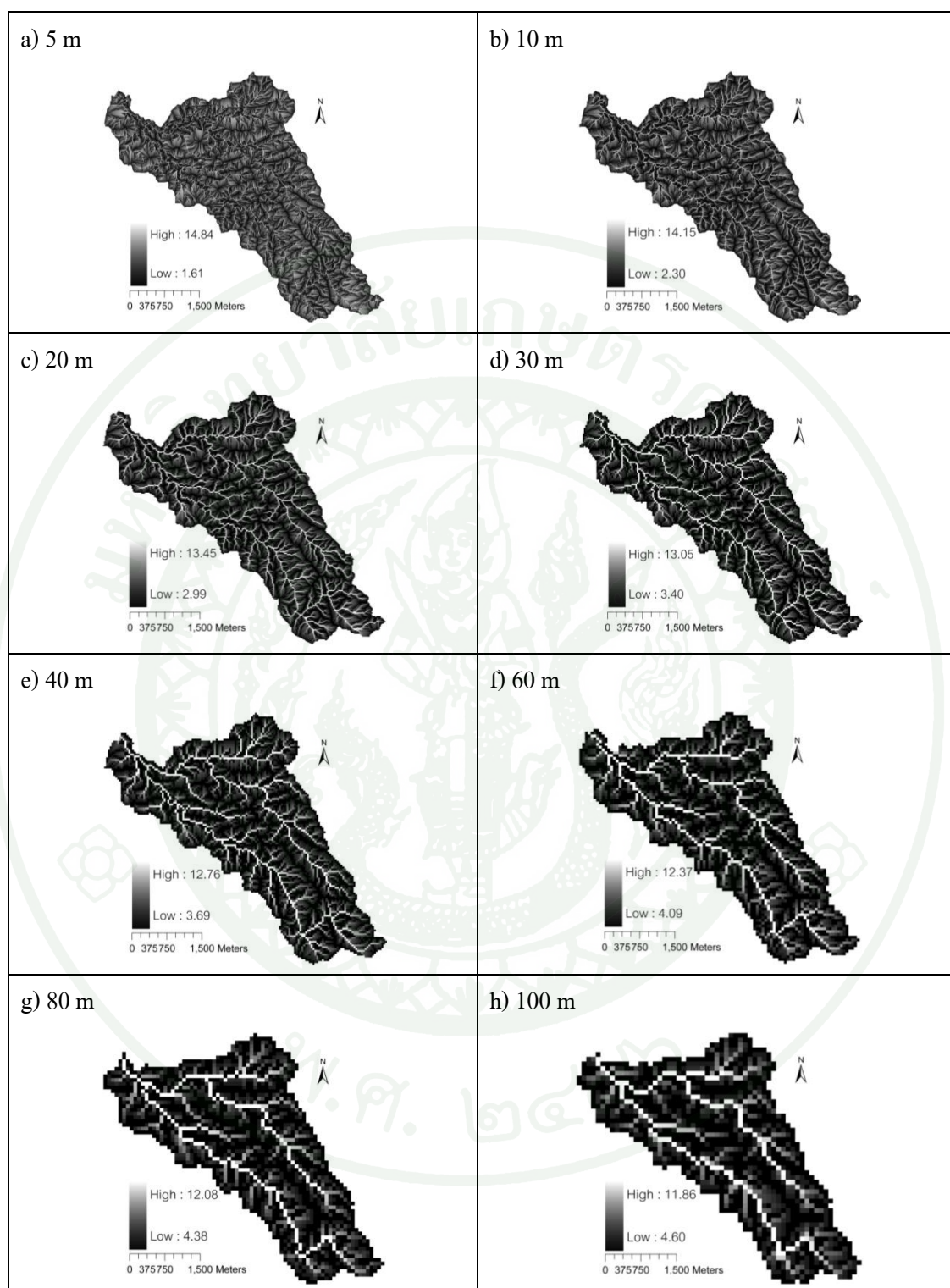
(ค่า D วิฤต ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ลุ่มน้ำลำเสมา = 0.022 ลุ่มน้ำคลองอีเต่า = 0.029)



ภาพที่ 27 ค่าสถิติเบื้องต้นของพื้นที่รับน้ำสะสม ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มาของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

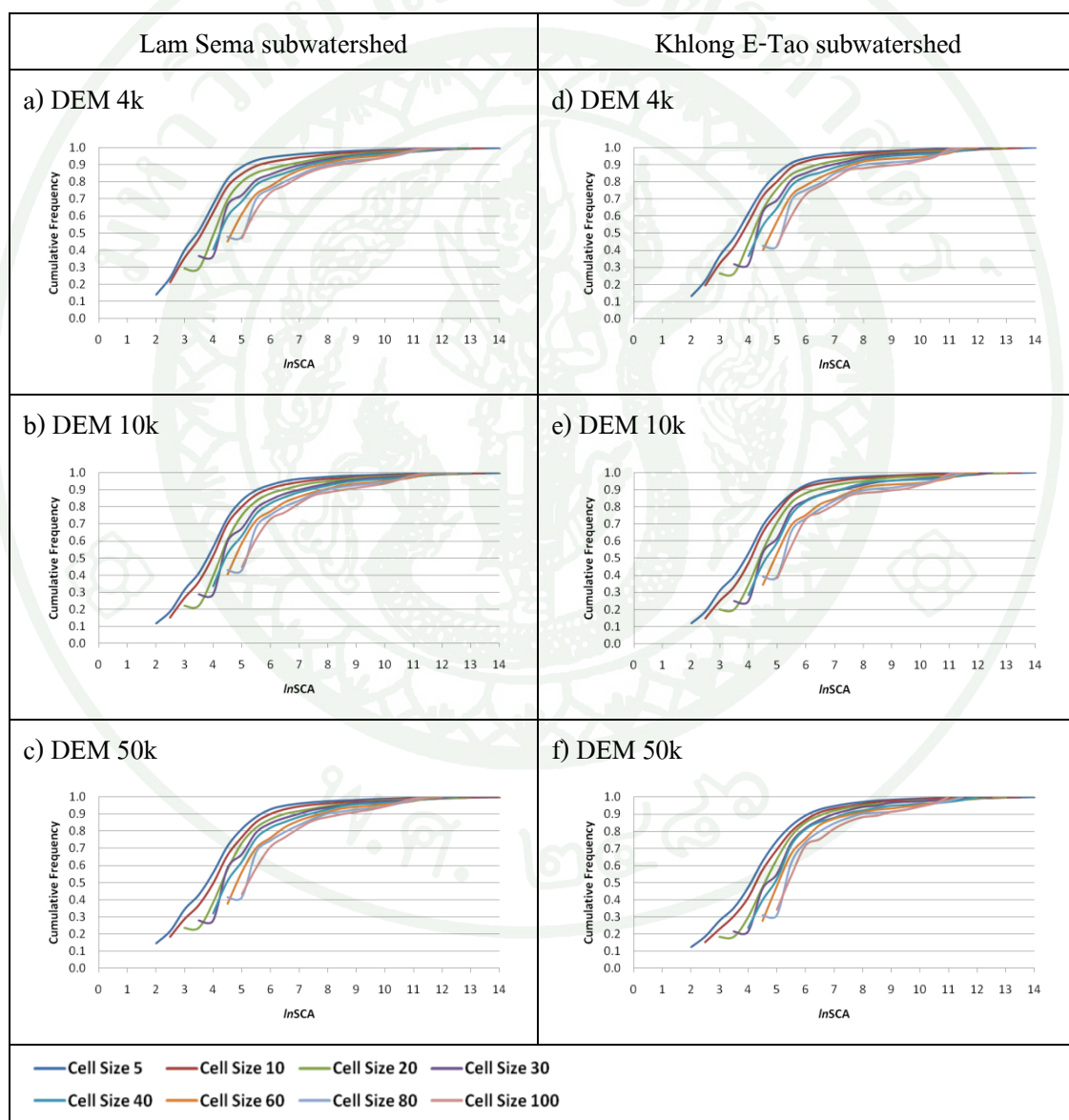
น้ำสะสม พบว่าข้อมูล DEM 4k มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด ทุกขนาดกริด ข้อมูล DEM 10k และข้อมูล DEM 50k มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ตามลำดับ ทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้ผลไม่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 27b และภาพที่ 27e

ลักษณะการกระจายของพื้นที่รับน้ำสะสมที่สร้างจากแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ขนาดกริดต่างๆ ยกตัวอย่างกรณีกลุ่มน้ำย่อยลำเสมา พบว่า ค่าพื้นที่รับน้ำสะสม มีค่าพิสัยที่กว้างเมื่อสร้างด้วยขนาดกริดที่เล็ก โดยเมื่อสร้างที่ขนาดกริด 5 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 1.6-14.8 แสดงว่ามีการแสดงร่องน้ำเล็กๆ (Smaller Channels) เป็นจำนวนมาก (บริเวณพื้นที่สีขาว) แต่เมื่อสร้างด้วยขนาดกริด 100 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 4.6-11.9 ไม่มีการแสดงพื้นที่รับน้ำสะสมที่เป็นร่องน้ำเล็กๆ มีการกระจายของพื้นที่รับน้ำสะสมเฉพาะบริเวณลำน้ำสายหลักเท่านั้น (พื้นที่สีขาวลดลง สีดำเพิ่มขึ้น) แสดงว่ารายละเอียดในการแสดงพื้นที่รับน้ำสะสมของพื้นที่ลดลง เมื่อสร้างด้วยขนาดกริดที่ใหญ่ ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 ค่าพื้นที่รับน้ำสะสม ที่สร้างจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข ที่ขนาดกริดต่างๆ
ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมา

จากกราฟความถี่สะสมของค่าพื้นที่รับน้ำสะสม พบว่า ค่าความถี่สะสมในแต่ละขนาดกริดมีค่าแตกต่างกัน ทั้ง 3 แหล่งที่มาและทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย มีแนวโน้มเหมือนกัน ดังภาพที่ 29 เมื่อทดสอบค่าสถิติ D พบว่า ค่า D สูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น และค่า D สูงสุดมีค่ามากกว่า D วิฤต ดังตารางที่ 19 แสดงว่าค่าความถี่สะสมจากข้อมูลทั้ง 2 ชุดมีความแตกต่างกันมาก เมื่อขนาดกริดใหญ่ขึ้นและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ข้อมูลทั้ง 3 แหล่งที่มาและทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้ผลเหมือนกัน



ภาพที่ 29 ความถี่สะสมของพื้นที่รับน้ำสะสม ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา
ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

ตารางที่ 19 ค่าสถิติ D ของพื้นที่รับน้ำสะสม จากการทดสอบ K-S ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมา
และลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

SCA	Lam Sema subwatershed		Klong E-Tao subwatershed	
DEM 4k	D Max	Significance	D Max	Significance
5 and 10	0.242	0.000**	0.226	0.000**
5 and 20	0.402	0.000**	0.370	0.000**
5 and 30	0.515	0.000**	0.475	0.000**
5 and 40	0.606	0.000**	0.558	0.000**
5 and 60	0.726	0.000**	0.667	0.000**
5 and 80	0.795	0.000**	0.732	0.000**
5 and 100	0.837	0.000**	0.781	0.000**
DEM 10k				
5 and 10	0.190	0.000**	0.190	0.000**
5 and 20	0.317	0.000**	0.310	0.000**
5 and 30	0.415	0.000**	0.396	0.000**
5 and 40	0.500	0.000**	0.473	0.000**
5 and 60	0.618	0.000**	0.581	0.000**
5 and 80	0.705	0.000**	0.661	0.000**
5 and 100	0.763	0.000**	0.714	0.000**
DEM 50k				
20 and 5	0.345	0.000**	0.279	0.000**
20 and 10	0.286	0.000**	0.227	0.000**
20 and 30	0.237	0.000**	0.184	0.000**
20 and 40	0.384	0.000**	0.298	0.000**
20 and 60	0.490	0.000**	0.393	0.000**
20 and 80	0.576	0.000**	0.472	0.000**
20 and 100	0.644	0.000**	0.540	0.000**

หมายเหตุ: * Significance at the 0.05 level

** Significance at the 0.01 level

(ค่า Dวิกฤต ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ลุ่มน้ำลำเสมา = 0.022 ลุ่มน้ำคลองอีเต่า = 0.029)

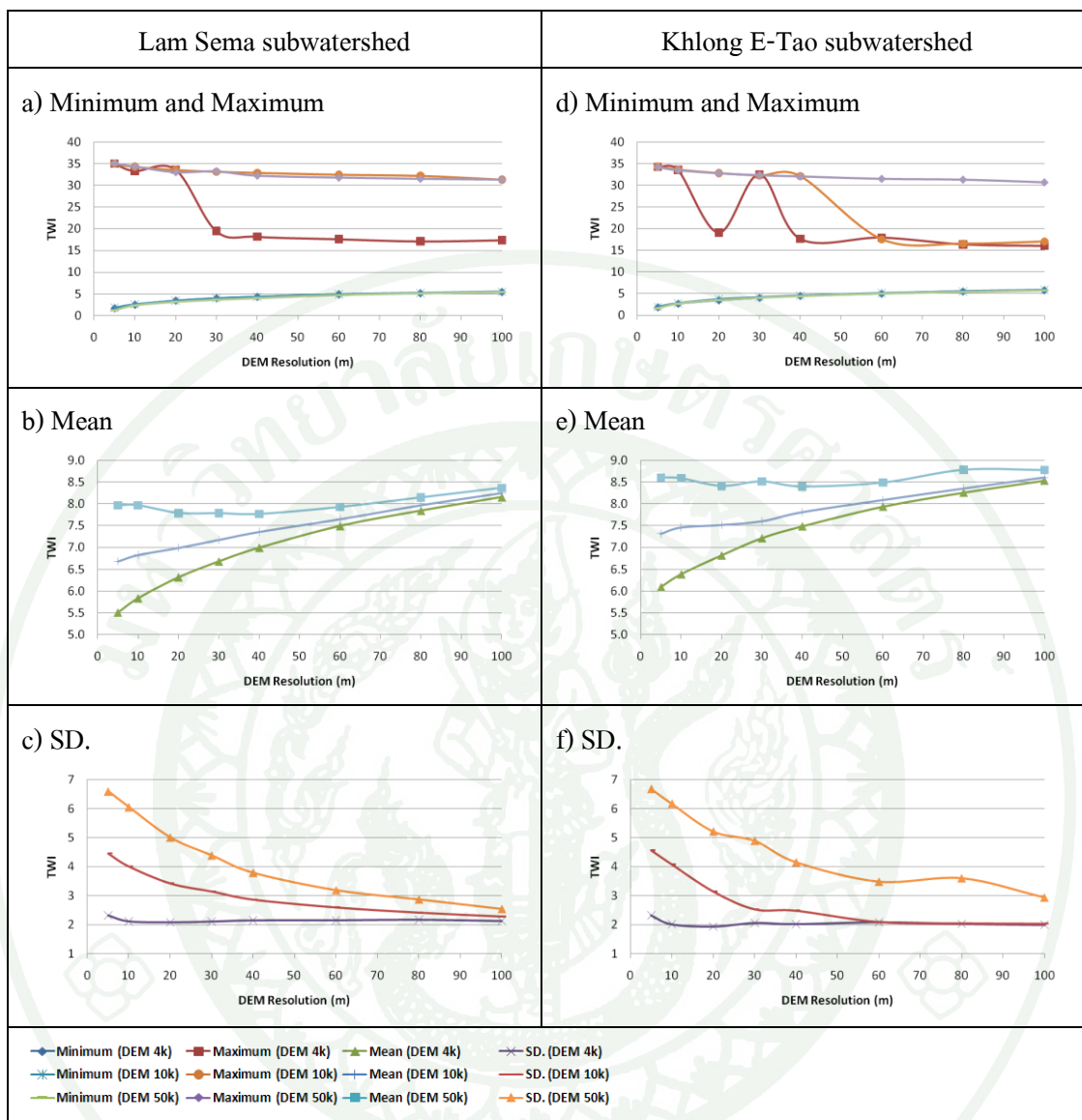
ผลการศึกษานี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wu *et al.* (2008a) ที่กล่าวว่า เมื่อขนาดกริดใหญ่ขึ้น ค่าพื้นที่รับน้ำสะสมจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และพื้นที่รับน้ำสะสม มีความสัมพันธ์กับขนาดกริดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะในช่วงขนาดกริด 5-40 เมตร นอกจากนี้ Thompson *et al.* (2001) ได้แบ่งพื้นที่ตามลักษณะภูมิสัณฐาน (Landforms) พบว่า พื้นที่ตอนบน (Upper Landscape) ให้ค่าพื้นที่รับน้ำสะสมมากกว่าพื้นที่ตอนล่าง (Lower Landscape) เมื่อแบบจำลองความสูงเชิงเลขมีขนาดกริดใหญ่ขึ้น ค่าเฉลี่ยของพื้นที่รับน้ำสะสมที่มีค่าน้อยหรือต่ำแสดงถึงในพื้นที่นั้น มีร่องน้ำเล็กๆ จำนวนมาก เป็นที่สะสมของน้ำ ดังนั้นข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่มีขนาดกริดที่เล็ก ให้ผลของพื้นที่รับน้ำสะสมดีกว่าแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่มีขนาดกริดใหญ่

3.5 ดัชนีความเปียกชื้น (Topographic Wetness Index; TWI)

ค่าดัชนีความเปียกชื้น เป็นค่าที่สร้างจากข้อมูลพื้นที่รับน้ำสะสมและข้อมูลความลาดชัน ผลของขนาดกริด พบว่า เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น ค่าสูงสุด และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าลดลง ค่าต่ำสุดและค่าเฉลี่ย มีค่าเพิ่มขึ้น ข้อมูลทั้ง 3 แหล่งที่มาและทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย มีแนวโน้มเหมือนกัน ดังภาพที่ 30

ผลของแหล่งที่มา พบว่า กรณีค่าต่ำสุดของค่าดัชนีความเปียกชื้น ข้อมูลทั้ง 3 แหล่งที่มา มีค่าไม่แตกต่างกัน ทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้ผลเหมือนกัน กรณีค่าสูงสุดของค่าดัชนีความเปียกชื้น กลุ่มน้ำย่อยลำเสมา ในช่วงขนาดกริด 5-20 เมตร มีค่าดัชนีความเปียกชื้นไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อขนาดกริด มากกว่า 20 เมตร ข้อมูล DEM 4k มีค่าดัชนีความเปียกชื้นลดลง ดังภาพที่ 30a

กรณีลุ่มน้ำคลองอีเต่า ค่าสูงสุดของค่าดัชนีความเปียกชื้นมีค่าไม่แตกต่างกัน ในช่วงขนาดกริด 5-10 เมตร ข้อมูลทั้ง 3 แหล่งที่มาให้ผลเหมือนกัน แต่เมื่อขนาดกริดมากกว่า 30 เมตร ข้อมูล DEM 4k และข้อมูล DEM 10k มีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว ดังภาพที่ 30d



ภาพที่ 30 ค่าสถิติเบื้องต้นของค่าดัชนีความเปียกชื้น ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา
ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

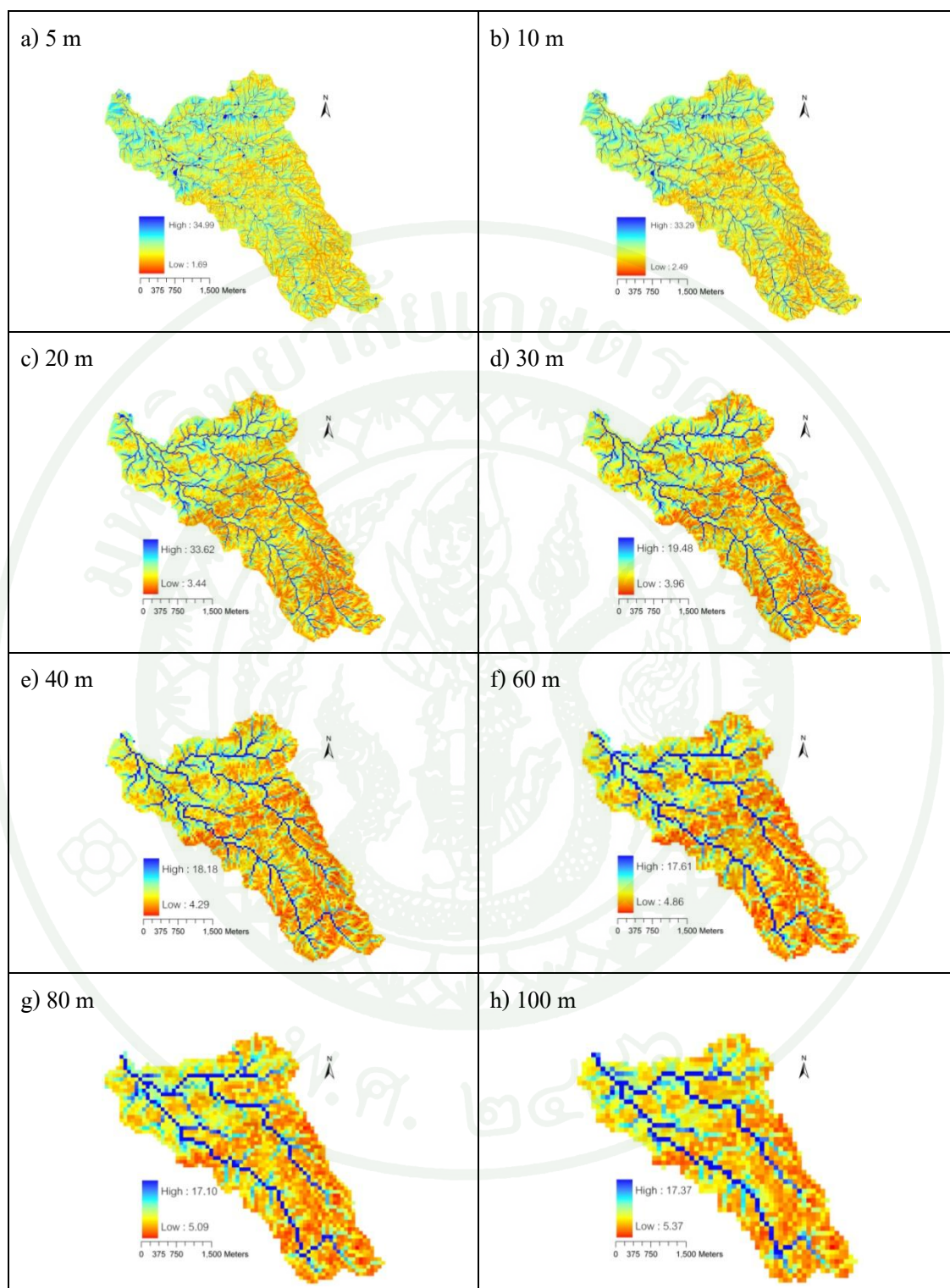
กรณีค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีความเปียกชื้น พบว่าข้อมูล DEM 4k มีค่าต่ำสุด ข้อมูล DEM 10k และข้อมูล DEM 50k มีค่าสูงถัดขึ้นมา ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้ผลเหมือนกัน ดังภาพที่ 30b และภาพที่ 30e ซึ่งค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีความเปียกที่ต่ำ แสดงว่าอธิบายความชื้นของพื้นที่ได้ดี เนื่องจากการกระจายของค่าดัชนีความเปียกชื้นทั่วพื้นที่ เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยทั้งกลุ่มน้ำทำให้มีค่าต่ำ ซึ่งแหล่งที่มาใดให้ค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีความเปียกชื้นต่ำ แสดงว่า อธิบายความชื้นของพื้นที่ได้ดี

กรณีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่าข้อมูล DEM 50k มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ข้อมูล DEM 10k และข้อมูล DEM 4k ตามลำดับ ทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้ผลเหมือนกัน ดังภาพที่ 30c และภาพที่ 30f แสดงว่าข้อมูล DEM 50k มีความแปรปรวนของข้อมูลมาก

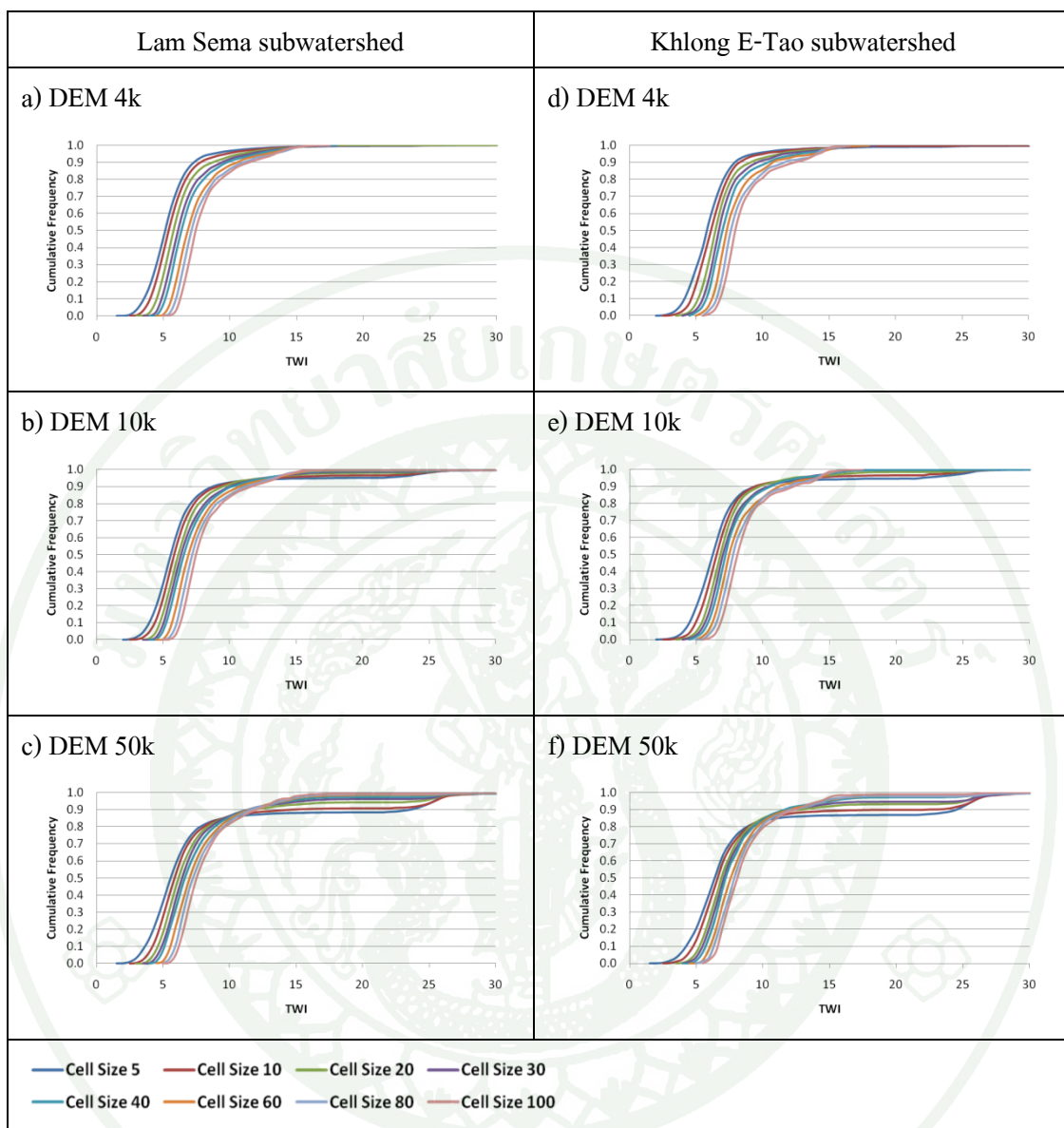
ลักษณะการกระจายของค่าดัชนีความเปียกชื้นที่สร้างจากแบบจำลองความสูงเชิงเลขใน แต่ละขนาดกริด ดังภาพที่ 31 พบว่า พื้นที่บริเวณลำน้ำ หุบเขา หรือที่ราบ มีค่าดัชนีความเปียกชื้น มาก แสดงว่าบริเวณดังกล่าวมีความชื้นสูง โดยเมื่อสร้างค่าดัชนีความเปียกชื้นด้วยขนาดกริด 5 เมตร มีค่าพิสัยระหว่าง 1.6-34.9 มีการกระจายของค่าดัชนีความเปียกชื้นตามร่องน้ำเล็กๆ หรือบริเวณที่เป็นแอ่งจำนวนมาก (บริเวณพื้นที่สีน้ำเงิน) แต่เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยทั้งกลุ่มน้ำทำให้มีค่าต่ำ และหากสร้างด้วยขนาดกริด 100 เมตร มีค่าพิสัยในช่วง 5.3-17.3 และมีค่าดัชนีความเปียกชื้นเฉพาะบริเวณลำน้ำสายหลัก เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยทั้งกลุ่มน้ำจึงมีค่าสูง ซึ่งแสดงว่าค่าดัชนีความเปียกชื้นให้รายละเอียดในการแสดงพื้นที่เปียกชื้นลดลง เมื่อดูจากค่าพิสัย การสร้างค่าดัชนีความเปียกชื้นด้วยขนาดกริดที่เล็ก (5 เมตร) มีพิสัยที่กว้าง แสดงว่าให้ผลที่ดีกว่า แต่เมื่อสร้างด้วยขนาดกริดที่ใหญ่ (100 เมตร) มีค่าพิสัยที่แคบ แสดงว่า การแสดงค่าความเปียกชื้นเชิงพื้นที่มีข้อจำกัด ให้รายละเอียดในการแสดงพื้นที่เปียกชื้นไม่ดี คือแสดงผลเฉพาะบริเวณลำน้ำสายหลักที่มีความชื้นสูงอย่างเดียว ดังภาพที่ 31h

จากกราฟความถี่สะสมของค่าดัชนีความเปียกชื้น พบว่าค่าความถี่สะสมในแต่ละขนาดกริดมีค่าแตกต่างกัน กล่าวคือ เมื่อสร้างด้วยขนาดกริดที่ใหญ่ ค่าดัชนีความเปียกชื้นมีค่ามากขึ้น ทั้ง 3 แหล่งที่มาและทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย มีแนวโน้มเหมือนกัน ดังภาพที่ 32 เมื่อทดสอบค่าสถิติ D ด้วยวิธี K-S พบว่า ค่า D สูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น และมีค่าสูงกว่าค่า D วิฤต ดังตารางที่ 20 แสดงว่าค่าความถี่สะสมจากข้อมูลทั้ง 2 ชุด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ข้อมูลทั้ง 3 แหล่งที่มาและทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้ผลเหมือนกัน

ผลการศึกษาค่าดัชนีความเปียกชื้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Crosby (2006) และ Yuan *et al.* (2006) ที่พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีความเปียกชื้นมีค่ามากขึ้นเมื่อขนาดกริดใหญ่ขึ้น ซึ่งค่าดัชนีความเปียกชื้นที่สูงขึ้น แสดงว่าอธิบายความเปียกชื้นได้น้อยลง เนื่องจากแสดงผลเฉพาะบริเวณ



ภาพที่ 31 แผนที่ลักษณะดัชนีความเป็ยกขึ้น ที่สร้างจากแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ขนาดกริด
ต่างๆ ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมา



ภาพที่ 32 ความถี่สะสมของค่าดัชนีความเปียกชื้น ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา
ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

ตารางที่ 20 ค่าสถิติ D ของค่าดัชนีความเป็ยกชั้น จากการทดสอบ K-S ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมา
และลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

TWI	Lam Sema subwatershed		Khlone E-Tao subwatershed	
DEM 4k	D Max	Significance	D Max	Significance
5 and 10	0.096	0.000**	0.099	0.000**
5 and 20	0.234	0.000**	0.229	0.000**
5 and 30	0.333	0.000**	0.336	0.000**
5 and 40	0.423	0.000**	0.413	0.000**
5 and 60	0.544	0.000**	0.522	0.000**
5 and 80	0.628	0.000**	0.603	0.000**
5 and 100	0.704	0.000**	0.670	0.000**
DEM 10k				
5 and 10	0.085	0.000**	0.098	0.000**
5 and 20	0.176	0.000**	0.195	0.000**
5 and 30	0.247	0.000**	0.270	0.000**
5 and 40	0.315	0.000**	0.325	0.000**
5 and 60	0.430	0.000**	0.411	0.000**
5 and 80	0.527	0.000**	0.485	0.000**
5 and 100	0.606	0.000**	0.561	0.000**
DEM 50k				
20 and 5	0.188	0.000**	0.162	0.000**
20 and 10	0.104	0.000**	0.094	0.000**
20 and 30	0.077	0.000**	0.065	0.000**
20 and 40	0.132	0.000**	0.119	0.000**
20 and 60	0.237	0.000**	0.211	0.000**
20 and 80	0.343	0.000**	0.274	0.000**
20 and 100	0.419	0.000**	0.338	0.000**

หมายเหตุ: * Significance at the 0.05 level

** Significance at the 0.01 level

(ค่า D วิฤต ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ลุ่มน้ำลำเสมา = 0.022 ลุ่มน้ำคลองอีเต่า = 0.029)

ที่เป็นลำน้ำสายหลักอย่างเดียว และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับขนาดกริด ค่าดัชนีความเปียกชื้นมีความหมายเช่นเดียวกับค่าพื้นที่รับน้ำสะสม กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีความเปียกชื้นที่สร้างจากแบบจำลองความสูงเชิงเลขด้วยกริดขนาดเล็ก จะมีค่าต่ำ แต่สามารถอธิบายความเปียกชื้นได้ดีกว่า ซึ่งแสดงพื้นที่ที่มีความชื้นมากหรือมีความชื้นน้อยอย่างชัดเจน แต่หากสร้างด้วยขนาดกริดที่ใหญ่สามารถอธิบายพื้นที่ที่มีความชื้นได้เฉพาะบริเวณที่เป็นลำน้ำสายหลักเท่านั้น โดย Deng *et al.* (2007) แนะนำว่าขนาดกริดที่ควรใช้ในการคำนวณค่าดัชนีความเปียกชื้นคือ 10 เมตร หรือต่ำกว่า

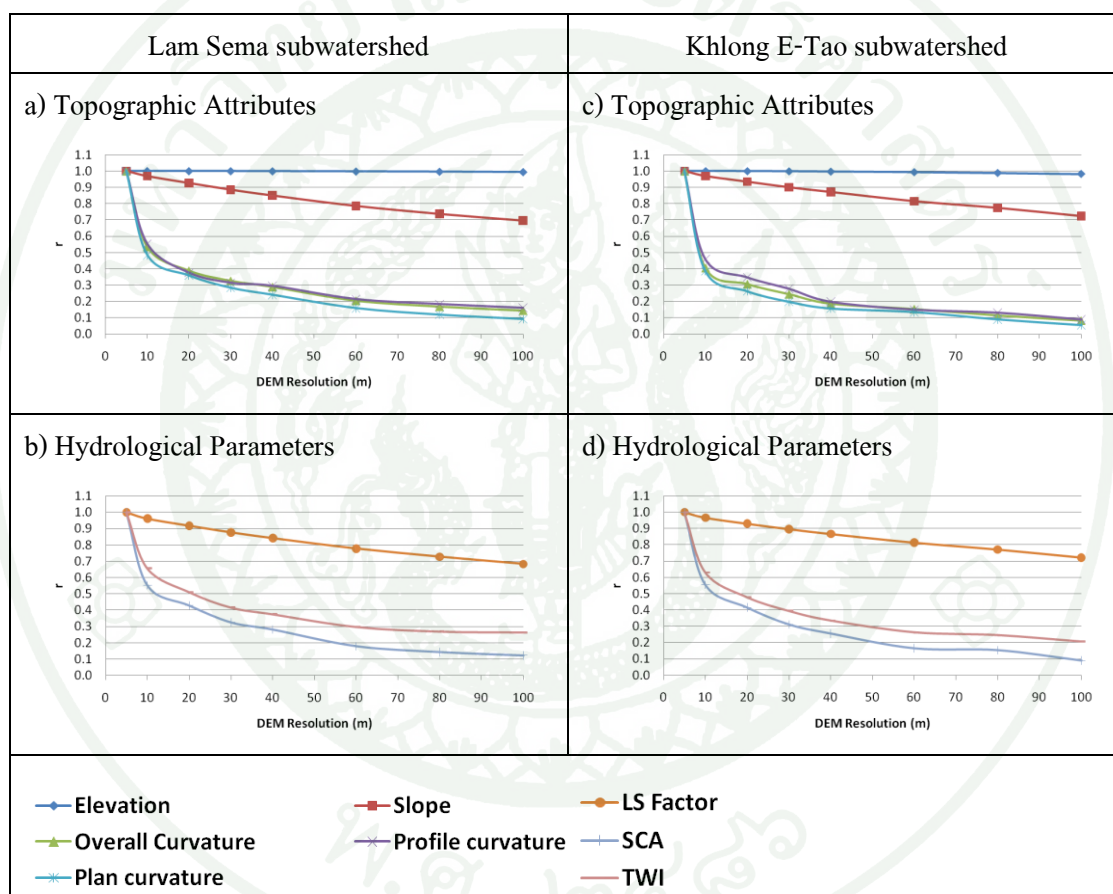
3.6 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Pearson

การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ทำการทดสอบด้วยวิธี Pearson ของค่าคุณลักษณะภูมิประเทศและค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา ได้ผลการศึกษาดังนี้

กรณีลุ่มน้ำย่อยลำเสมา ค่าคุณลักษณะภูมิประเทศ พบว่า ขนาดกริดไม่มีความสัมพันธ์กับค่าระดับความสูง กรณีค่าความลาดชัน พบว่าค่าสหสัมพันธ์มีค่าลดลง เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น โดยค่าความลาดชันจะค่อยๆ ลดลง เมื่อขนาดกริดใหญ่ขึ้น เช่นกรณี DEM 4k ที่ขนาดกริด 10 เมตรมีค่า r เท่ากับ 0.968 แต่เมื่อสร้างด้วยขนาดกริด 100 เมตรค่า r มีค่า 0.696 กรณีค่าความโค้ง-เว้า ค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาว และค่าความโค้ง-เว้า ตามแนวตัดตามขวาง พบว่าค่าสหสัมพันธ์มีค่าลดลงอย่างมากในช่วงขนาดกริด 5-40 เมตร แสดงว่าขนาดกริดมีผลอย่างมากในการหาค่าความโค้ง-เว้า และเมื่อขนาดกริดมากกว่า 40 เมตร ค่าสหสัมพันธ์มีแนวโน้มคงที่ แสดงว่าหากสร้างชั้นข้อมูลความลาดชันด้วยขนาดกริดที่ใหญ่กว่า 40 เมตรผลที่ได้ไม่แตกต่างกัน ทั้ง 3 แหล่งที่มา ให้แนวโน้มเหมือนกัน

กรณีค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา พบว่า ค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน มีค่าลดลงเมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น โดยมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น (ค่า r อยู่ในช่วง 0.683-0.961, ข้อมูล DEM 4k) พื้นที่รับน้ำสะสมและค่าดัชนีความเปียกชื้น พบว่า มีค่าลดลงอย่างมากในช่วงขนาดกริด 5-60 แสดงว่าขนาดกริดมีผลอย่างมากในการสร้างข้อมูลพื้นที่รับน้ำสะสมและดัชนีความ

เพียกชั่น เช่นค่าดัชนีความเพียกชั่น กรณิ DEM 4k ที่ขนาดกริด 10 เมตรมีค่า r เท่ากับ 0.656 แต่เมื่อสร้างด้วยขนาดกริด 60 เมตร r มีค่า 0.297 และเมื่อขนาดกริดใหญ่กว่า 60 เมตร ค่าสหสัมพันธ์มีแนวโน้มคงที่ แสดงว่าหากสร้างข้อมูลด้วยขนาดกริดที่ใหญ่กว่า 60 เมตร ผลที่ได้ไม่แตกต่างกัน ทั้ง 3 แหล่งที่มา ให้แนวโน้มเหมือนกัน และทุกค่าคุณลักษณะภูมิประเทศและค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % (ค่า Significance มีค่าน้อยกว่า 0.01) รายละเอียดดังภาพที่ 33a ภาพที่ 33b และตารางที่ 21



หมายเหตุ: มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ทุกค่า

ภาพที่ 33 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Pearson ของค่าคุณลักษณะภูมิประเทศและค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา ที่ขนาดกริดต่างๆ ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

ตารางที่ 21 ค่าสถิติ r จากการทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Pearson ของค่าคุณลักษณะ

ภูมิประเทศและค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมา

	Topographic Attributes					Hydrological Parameters		
	Elevation	Slope	Overall Curvature	Profile Curvature	Plan Curvature	LS Factor	SCA	TWI
DEM 4k								
5 and 10	1.000	0.968	0.535	0.553	0.484	0.961	0.553	0.656
5 and 20	1.000	0.926	0.388	0.376	0.358	0.917	0.429	0.510
5 and 30	0.999	0.885	0.326	0.314	0.283	0.877	0.325	0.416
5 and 40	0.999	0.850	0.288	0.296	0.240	0.841	0.281	0.374
5 and 60	0.997	0.786	0.204	0.214	0.159	0.777	0.179	0.297
5 and 80	0.996	0.737	0.168	0.184	0.118	0.727	0.143	0.268
5 and 100	0.994	0.696	0.144	0.160	0.091	0.683	0.122	0.263
DEM 10k								
5 and 10	1.000	0.991	0.502	0.518	0.547	0.987	0.567	0.860
5 and 20	1.000	0.971	0.390	0.386	0.428	0.963	0.429	0.733
5 and 30	0.999	0.945	0.336	0.320	0.373	0.937	0.344	0.657
5 and 40	0.999	0.917	0.305	0.282	0.337	0.908	0.296	0.591
5 and 60	0.998	0.857	0.262	0.242	0.268	0.847	0.220	0.547
5 and 80	0.997	0.800	0.212	0.180	0.207	0.790	0.178	0.489
5 and 100	0.995	0.753	0.175	0.148	0.170	0.741	0.158	0.445
DEM 50k								
20 and 5	1.000	0.958	0.170	0.175	0.206	0.953	0.404	0.785
20 and 10	1.000	0.982	0.507	0.540	0.514	0.982	0.570	0.846
20 and 30	0.999	0.971	0.730	0.724	0.747	0.972	0.559	0.830
20 and 40	0.999	0.960	0.731	0.713	0.729	0.962	0.567	0.781
20 and 60	0.998	0.899	0.600	0.571	0.585	0.902	0.459	0.690
20 and 80	0.996	0.841	0.527	0.482	0.478	0.843	0.405	0.585
20 and 100	0.993	0.782	0.459	0.411	0.408	0.782	0.389	0.574

หมายเหตุ: ทุกพารามิเตอร์มีค่า Significance เท่ากับ 0.000*

ตารางที่ 22 ค่าสถิติ r จากการทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Pearson ของค่าคุณลักษณะ

ภูมิประเทศและค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา ของลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

	Topographic Attributes				Hydrological Parameters			
	Elevation	Slope	Overall Curvature	Profile Curvature	Plan Curvature	LS Factor	SCA	TWI
DEM 4k								
5 and 10	1.000	0.969	0.405	0.459	0.386	0.967	0.555	0.630
5 and 20	0.999	0.934	0.305	0.348	0.262	0.929	0.415	0.478
5 and 30	0.998	0.899	0.243	0.278	0.197	0.896	0.311	0.394
5 and 40	0.996	0.871	0.185	0.198	0.156	0.866	0.255	0.335
5 and 60	0.993	0.814	0.152	0.150	0.134	0.813	0.165	0.263
5 and 80	0.988	0.773	0.113	0.131	0.089	0.771	0.153	0.245
5 and 100	0.982	0.723	0.081	0.089	0.054	0.721	0.089	0.206
DEM 10k								
5 and 10	1.000	0.989	0.147	0.243	0.186	0.986	0.516	0.831
5 and 20	0.999	0.970	0.195	0.209	0.233	0.964	0.411	0.709
5 and 30	0.999	0.950	0.172	0.166	0.202	0.944	0.305	0.563
5 and 40	0.997	0.934	0.146	0.162	0.154	0.926	0.305	0.590
5 and 60	0.994	0.886	0.137	0.131	0.137	0.878	0.228	0.538
5 and 80	0.990	0.840	0.127	0.128	0.107	0.830	0.174	0.469
5 and 100	0.985	0.790	0.094	0.096	0.079	0.782	0.137	0.424
DEM 50k								
20 and 5	0.999	0.938	0.118	0.172	0.079	0.941	0.420	0.777
20 and 10	0.999	0.978	0.349	0.378	0.346	0.979	0.551	0.853
20 and 30	0.998	0.976	0.551	0.600	0.562	0.977	0.583	0.834
20 and 40	0.998	0.967	0.624	0.660	0.594	0.968	0.595	0.782
20 and 60	0.995	0.920	0.499	0.524	0.474	0.921	0.461	0.726
20 and 80	0.990	0.870	0.436	0.439	0.423	0.868	0.400	0.617
20 and 100	0.985	0.821	0.411	0.388	0.399	0.817	0.376	0.555

หมายเหตุ: ทุกพารามิเตอร์มีค่า Significance เท่ากับ 0.000*

กรณีลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า ให้ผลเช่นเดียวกับลุ่มน้ำย่อยลำเสมา กล่าวคือ ขนาดกริดไม่มีความสัมพันธ์กับค่าระดับความสูง ค่าความลาดชัน พบว่าค่าสหสัมพันธ์มีค่าลดลง เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น โดยค่าความลาดชันจะค่อยๆ ลดลง เมื่อขนาดกริดใหญ่ขึ้น ค่าความโค้ง-เว้า ค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาว และค่าความโค้ง-เว้า ตามแนวตัดตามขวาง พบว่าค่าสหสัมพันธ์มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงขนาดกริด 5-40 เมตร ทั้ง 3 แหล่งที่มา ให้แนวโน้มเหมือนกัน

กรณีค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา พบว่า ค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน มีค่าลดลงเมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น โดยมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น พื้นที่รับน้ำสะสมและค่าดัชนีความเปียกชื้น พบว่า มีค่าลดลงอย่างมากในช่วงขนาดกริด 5-60 แสดงว่าขนาดกริดมีผลอย่างมากในการสร้างข้อมูลพื้นที่รับน้ำสะสมและดัชนีความเปียกชื้น และเมื่อขนาดกริดใหญ่กว่า 60 เมตร ค่าสหสัมพันธ์มีแนวโน้มคงที่ แสดงว่าหากสร้างขึ้นข้อมูลด้วยขนาดกริดที่ใหญ่กว่า 60 เมตร ผลที่ได้ไม่แตกต่างกัน ทั้ง 3 แหล่งที่มา ให้แนวโน้มเหมือนกัน และทุกค่าคุณลักษณะภูมิประเทศและค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % (ค่า Significance มีค่าน้อยกว่า 0.01) รายละเอียดดังภาพที่ 33c ภาพที่ 33d และตารางที่ 22

ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kienzie (2004) ที่พบว่า ขนาดกริดไม่มีความสัมพันธ์กับค่าระดับความสูง ค่าความลาดชันจะมีค่าสหสัมพันธ์ลดลงเมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น และค่าความโค้ง-เว้า ค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาว ค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามขวาง และค่าดัชนีความเปียกชื้น มีค่าสหสัมพันธ์ลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อขนาดกริดใหญ่ขึ้น

4. การประเมินค่าการสูญเสียดินและปริมาณน้ำท่าจากค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา

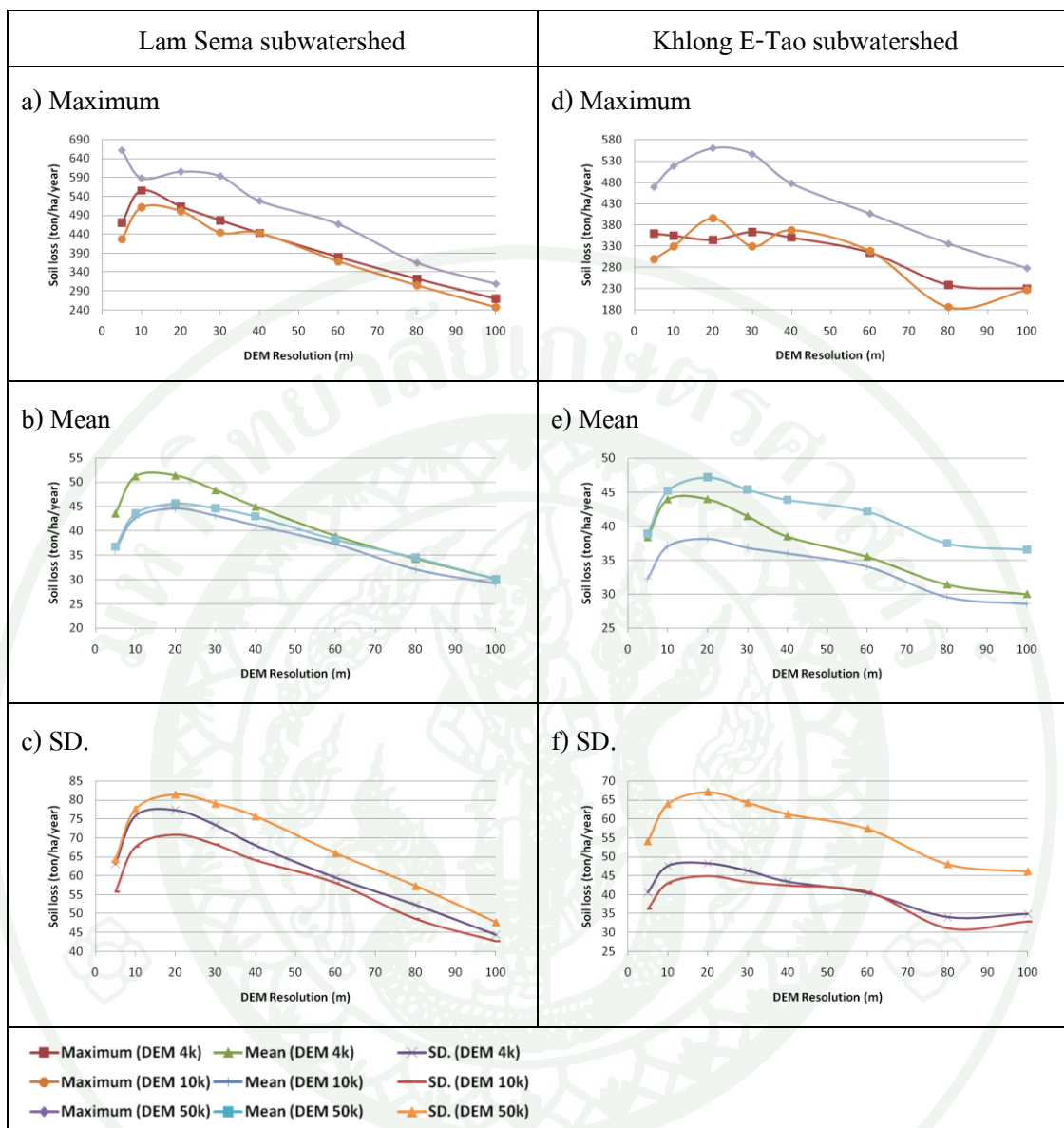
4.1 การประเมินค่าการสูญเสียดิน (Soil Loss Estimation)

การประเมินค่าการสูญเสียดินโดยใช้สมการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation; USLE) ในการคำนวณได้กำหนดให้ค่าปัจจัยต่างๆ เหมือนกัน ยกเว้นค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน (LS Factor) ผลของขนาดกริด พบว่า เมื่อขนาดกริดมากกว่า 10 เมตร ค่าสูงสุดค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการสูญเสียดิน มีค่าลดลง ข้อมูลทั้ง 3 แหล่งที่มาและทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย มีแนวโน้มเหมือนกัน ดังภาพที่ 34

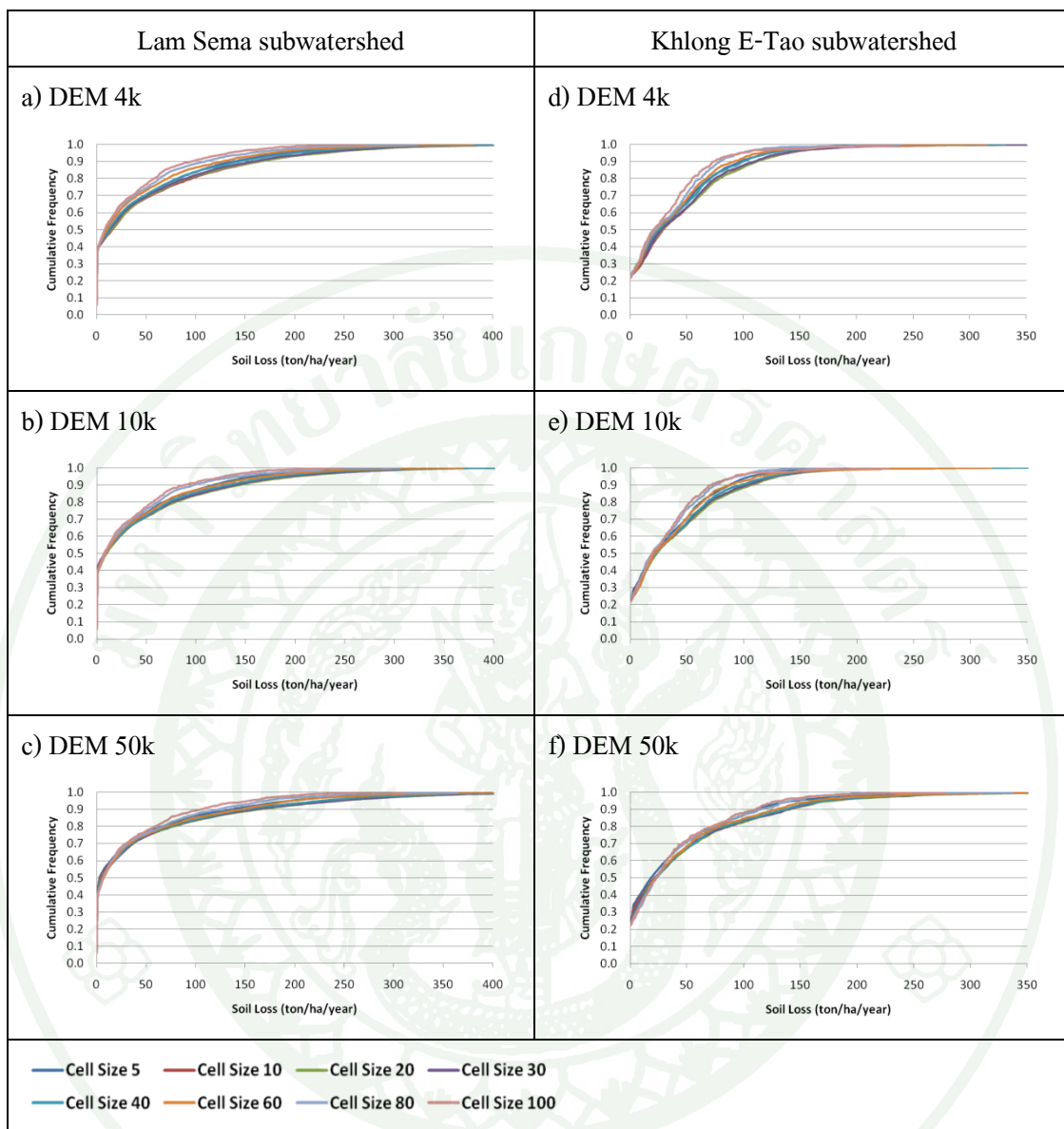
ผลของแหล่งที่มา กรณีค่าสูงสุดของการสูญเสียดิน พบว่า ข้อมูล DEM 50k มีค่าสูงสุด รองลงมาคือข้อมูล DEM 4k และข้อมูล DEM 10k ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกัน ทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้ผลเหมือนกัน ดังภาพที่ 34a และภาพที่ 34d กรณีค่าเฉลี่ยของการสูญเสียดิน กลุ่มน้ำย่อยลำเสมา พบว่า ข้อมูล DEM 4k มีค่าสูงสุด ในช่วงขนาดกริด 5-40 เมตร รองลงมาคือข้อมูล DEM 50k และข้อมูล DEM 10k มีค่าใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 34b ส่วนกลุ่มน้ำย่อยคลองอิเตา พบว่า ข้อมูล DEM 50k มีค่าสูงสุด ในช่วงขนาดกริด 10-100 เมตร รองลงมาคือข้อมูล DEM 4k และข้อมูล DEM 10k ตามลำดับ ดังภาพที่ 34e

กรณีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการสูญเสียดิน พบว่า ข้อมูล DEM 50k มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือข้อมูล DEM 4k และข้อมูล DEM 10k ตามลำดับ ทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้ผลเหมือนกัน ดังภาพที่ 34c และภาพที่ 34f

จากกราฟความถี่สะสมของค่าการสูญเสียดิน พบว่าค่าความถี่สะสมในแต่ละขนาดกริด มีค่าแตกต่างกัน ทั้ง 3 แหล่งที่มาและทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย มีแนวโน้มเหมือนกัน เมื่อทดสอบค่าสถิติ D ด้วยวิธี K-S พบว่า ค่า D สูงสุด มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่มีค่ามากกว่าค่า Dวิกฤต ดังตารางที่ 23 แสดงว่าค่าความถี่สะสมจากข้อมูลทั้ง 2 ชุดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ข้อมูลทั้ง 3 แหล่งที่มาและทั้ง 2 กลุ่มน้ำย่อย ให้ผลเหมือนกัน ดังภาพที่ 35



ภาพที่ 34 ค่าสถิติเบื้องต้นของค่าการสูญเสียดิน ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา
ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า



ภาพที่ 35 ความถี่สะสมของค่าการสูญเสียดิน ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา
ของกลุ่มน้ำย่อยลำเสมาและกลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

ตารางที่ 23 ค่าสถิติ D ของค่าการสูญเสียดิน จากการทดสอบ K-S ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมา
และลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

Soil Loss	Lam Sema subwatershed		Khlong E-Tao subwatershed	
DEM 4k	D Max	Significance	D Max	Significance
5 and 10	0.079	0.000**	0.228	0.000**
5 and 20	0.089	0.000**	0.232	0.000**
5 and 30	0.077	0.000**	0.226	0.000**
5 and 40	0.063	0.000**	0.232	0.000**
5 and 60	0.060	0.000**	0.225	0.000**
5 and 80	0.067	0.000**	0.234	0.000**
5 and 100	0.087	0.000**	0.225	0.000**
DEM 10k				
5 and 10	0.076	0.000**	0.230	0.000**
5 and 20	0.096	0.000**	0.229	0.000**
5 and 30	0.093	0.000**	0.229	0.000**
5 and 40	0.084	0.000**	0.228	0.000**
5 and 60	0.069	0.000**	0.224	0.000**
5 and 80	0.063	0.000**	0.244	0.000**
5 and 100	0.062	0.000**	0.224	0.000**
DEM 50k				
20 and 5	0.104	0.000**	0.229	0.000**
20 and 10	0.062	0.000**	0.230	0.000**
20 and 30	0.062	0.000**	0.229	0.000**
20 and 40	0.060	0.000**	0.229	0.000**
20 and 60	0.060	0.000**	0.229	0.000**
20 and 80	0.068	0.000**	0.229	0.000**
20 and 100	0.085	0.000**	0.229	0.000**

หมายเหตุ: * Significance at the 0.05 level

** Significance at the 0.01 level

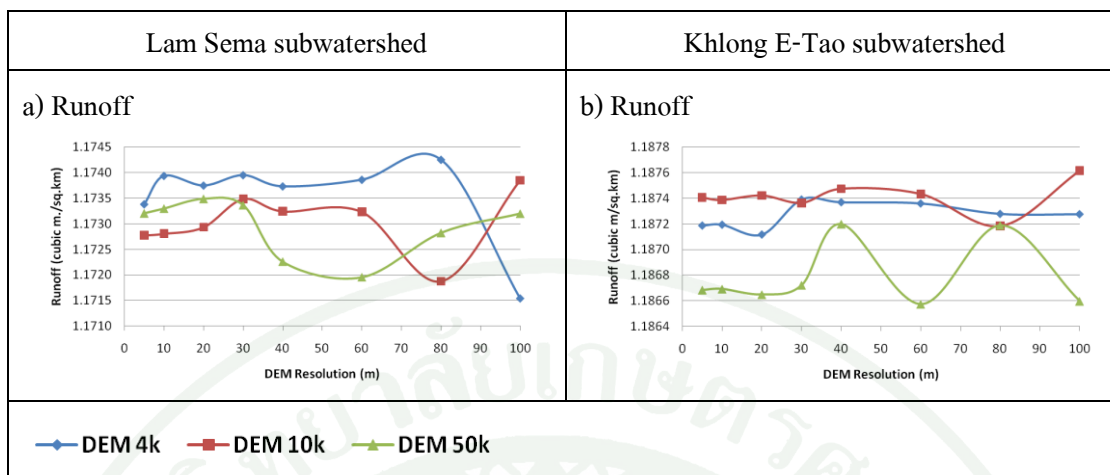
(ค่า D วิฤต ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ลุ่มน้ำลำเสมา = 0.022 ลุ่มน้ำคลองอีเต่า = 0.029)

การศึกษาเรื่องการสูญเสียดินจากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข Wu *et al.* (2005) พบว่า การสูญเสียดินมีค่าลดลง เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น และ Henderson (2007) ได้ศึกษาโดยเน้นการคำนวณ ค่าปัจจัยความเอียงลาด (S Factor) พบว่าข้อมูลของ The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM DEM) ที่ขนาดกริด 90 เมตร ให้ผลการคำนวณการสูญเสียดินดีที่สุด ซึ่งแตกต่างจากผลการศึกษาของ Zhao *et al.* (2010) ที่พบว่าการใช้ข้อมูล LiDAR DEM ที่ขนาดกริด 1 เมตร ให้ผลการคำนวณการสูญเสียดินดีกว่าข้อมูลจากแหล่งอื่นๆ เนื่องจากสามารถคำนวณการไหลข้าม (Flow Diversion Terraces; FDT) ให้ผลที่ดีกว่า ร่วมกับแบบจำลอง Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) สำหรับผลการศึกษาที่ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wu *et al.* (2005) กล่าวคือ เมื่อขนาด กริดมากกว่า 10 เมตร การคำนวณค่าการสูญเสียดินมีค่าลดลง แต่ยังมีปัญหาการคำนวณ ค่าการสูญเสียดิน ที่ขนาดกริด 5 เมตร ที่ให้ปริมาณการสูญเสียดินลดลง เมื่อดูจากแนวโน้มของ กราฟน่าจะมีการสูญเสียดินที่เพิ่มขึ้น

4.2 การประเมินปริมาณน้ำท่า (Runoff)

ผลของขนาดกริด พบว่า เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำท่ามีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปตามค่าพื้นที่ลุ่มน้ำ เหมือนดังภาพที่ 23 ผลของแหล่งที่มา กรณิลุ่มน้ำย่อยลำเสมา พบว่าข้อมูล DEM 4k ให้ค่าปริมาณน้ำท่าต่อหน่วยพื้นที่มากที่สุด ในช่วงขนาดกริด 5-80 เมตร รองลงมาคือข้อมูล DEM 50k ให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นในช่วงขนาดกริด 5-30 เมตร (โดยมีปริมาณมากกว่าข้อมูล DEM 10k) และเมื่อขนาดกริดมากกว่า 30 เมตร ปริมาณน้ำท่าลดลง สำหรับ ข้อมูล DEM 10k ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น ในช่วงขนาดกริด 5-30 เมตร หลังจากนั้นเมื่อขนาดกริดมากกว่า 30 เมตร ปริมาณน้ำท่ามีแนวโน้มคงที่ อย่างไรก็ตาม ที่ขนาดกริด 80 และ 100 เมตร ปริมาณน้ำท่าของทั้ง 3 แหล่งที่มา มีความแปรปรวน ดังภาพที่ 36a

กรณิลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า พบว่า ข้อมูล DEM 10k ให้ปริมาณน้ำท่าต่อหน่วยพื้นที่มากที่สุด ในช่วงขนาดกริด 5-60 เมตร รองลงมาคือข้อมูล DEM 4k และข้อมูล DEM 50k ตามลำดับ ข้อมูล DEM 4k เมื่อขนาดกริดมากกว่า 20 เมตร มีแนวโน้มปริมาณน้ำท่าคงที่ ส่วนข้อมูล DEM 50k ปริมาณน้ำท่ามีความแปรปรวน เมื่อขนาดกริดมากกว่า 40 เมตรขึ้นไป ดังภาพที่ 36b



ภาพที่ 36 ปริมาณน้ำท่าต่อหน่วยพื้นที่ ในแต่ละขนาดกริด 3 แหล่งที่มา ของลุ่มน้ำย่อยลำเสมา และลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า

การประเมินปริมาณน้ำท่า พบว่าปริมาณน้ำท่ามีปริมาณลดลงเมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การศึกษาปริมาณน้ำท่า ควรศึกษาถึงรูปแบบของแบบจำลองประกอบด้วย เช่น Rojas *et al.* (2008) ใช้แบบจำลอง CASC2D-SED พบว่า ขนาดกริดที่เหมาะสมในการคำนวณค่าการสูญเสียดินคือ 30 และ 90 เมตร และการคำนวณปริมาณตะกอนควรใช้ขนาดกริดที่ต่ำกว่า 150 เมตร และ Zhang *et al.* (2009) ใช้แบบจำลอง WEPP คำนวณปริมาณน้ำท่าและปริมาณตะกอน พบว่า ข้อมูล LiDAR DEM ที่ขนาดกริด 10 เมตร ให้ผลการคำนวณใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด และ Zhang and Montgomery (1994) ได้แนะนำขนาดกริดที่เหมาะสมในการคำนวณทางด้านอุทกวิทยา ที่ขนาดกริด 10 เมตร สำหรับผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่าขนาดกริดไม่มีผลต่อการคำนวณปริมาณน้ำท่า ซึ่งการใช้แบบจำลอง SCS-CN ที่เน้นปัจจัยพื้นที่ลุ่มน้ำเพียงปัจจัยเดียวที่ได้มาจากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ผลที่ได้จึงสอดคล้องกับปัจจัยตัวนี้

จากผลการศึกษาผลกระทบของขนาดกริดและแหล่งที่มาของแบบจำลองความสูงเชิงเลข ต่อการคำนวณค่าคุณลักษณะภูมิประเทศและค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา ของทั้ง 2 ลุ่มน้ำย่อย ได้จัดลำดับความเหมาะสมของแหล่งที่มาของข้อมูล ออกเป็น 3 ระดับ คือเหมาะสมมาก (Best Fit), เหมาะสมปานกลาง (Moderate) และเหมาะสมน้อย (Low) โดย Best Fit หมายถึงข้อมูลแบบจำลอง

ความสูงเชิงเลขจากแหล่งข้อมูลนั้น ให้ผลในการคำนวณค่าพารามิเตอร์นั้นๆ เหมาะสมมากที่สุด ซึ่งค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวใช้ค่าสถิติในการจัดลำดับแตกต่างกัน ดังนี้ ค่าความลาดชัน ค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน และความยาวลำน้ำสายหลัก จัดลำดับโดยใช้ค่าเฉลี่ย แหล่งที่มาใดให้ค่าเฉลี่ยสูงสุดแสดงว่าแหล่งที่มานั้นให้ผลการคำนวณดีที่สุด ค่าพื้นที่รับน้ำสะสม และค่าดัชนีความเปียกขึ้น จัดลำดับโดยใช้ค่าเฉลี่ยเช่นเดียวกัน แต่แหล่งที่มาใด ให้ค่าเฉลี่ยต่ำสุดแสดงว่าแหล่งที่มานั้นให้ผลการคำนวณดีที่สุด ค่าความโค้ง-เว้า ค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาว และค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามขวาง จัดลำดับโดยใช้ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด แหล่งที่มาใดให้ค่าพิสัยต่างกันมากที่สุดแสดงว่าแหล่งที่มานั้นให้ผลการคำนวณดีที่สุด และแหล่งที่มานั้น ให้ผลการคำนวณเหมาะสมกว่าแหล่งข้อมูลอื่น ในช่วงขนาดกริดใด สำหรับแหล่งที่มา ที่ให้ผลการคำนวณเหมาะสมรองลงมา จัดให้อยู่ในระดับ Moderate แต่หากข้อมูลแต่ละแหล่งที่มาให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ให้ถือว่าข้อมูลจากทั้ง 2 แหล่งที่มาจัดอยู่ในระดับเดียวกัน และแหล่งที่มาที่ให้ผลการคำนวณเหมาะสมน้อยที่สุด จะจัดให้อยู่ในระดับ Low ผลที่ได้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ค่าคุณลักษณะภูมิประเทศ สรุปได้ว่า

(1) ค่าระดับความสูง ทุกขนาดกริด ทั้ง 2 แหล่งที่มา ไม่มีความแตกต่างกัน ยกเว้นข้อมูลจาก DEM 50k ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

(2) ค่าความลาดชัน ขนาดกริดมีผลต่อค่าความลาดชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ย ข้อมูลจาก DEM 4k ให้รายละเอียดดีที่สุด ซึ่งแตกต่างจากแหล่งที่มาอื่นอย่างชัดเจนในช่วงขนาดกริด 5-30 เมตร รองลงมาคือข้อมูลจาก DEM 50k และ DEM 10k ในทุกขนาดกริด ตามลำดับ

(3) ค่าความโค้ง-เว้า รวมถึง ค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาว และค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามขวาง ขนาดกริดมีผลต่อค่าความโค้ง-เว้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % เมื่อพิจารณาจากค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ข้อมูลจาก DEM 50k ให้รายละเอียดดีที่สุด

ในช่วงขนาดกริด 5-20 เมตร รองลงมาคือข้อมูลจาก DEM 10k และ DEM 4k ที่ให้รายละเอียดปานกลาง ซึ่งข้อมูลทั้ง 2 แหล่งที่มาให้ผลในการคำนวณค่าความโค้ง-เว้าไม่แตกต่างกัน ในทุกขนาดกริด

2) ค่าพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยา สรุปได้ว่า

(1) ค่าพื้นที่ลุ่มน้ำ จำนวนลำน้ำ ความหนาแน่นลำน้ำ และ ความหนาแน่นในการระบายน้ำ ทุกขนาดกริด ทั้ง 3 แหล่งที่มา ไม่มีความแตกต่างกัน

(2) ค่าความยาวลำน้ำสายหลัก เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ย ข้อมูลจาก DEM 4k ให้รายละเอียดดีที่สุด มีความยาวสูงสุดในช่วงขนาดกริด 5-30 เมตร รองลงมาคือข้อมูลจาก DEM 10k และ DEM 50k ตามลำดับ ค่าความยาวลำน้ำสายหลัก ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขทั้ง 3 แหล่งที่มาให้ผลแตกต่างกันอย่างชัดเจน

(3) ค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน ขนาดกริดมีผลต่อค่าปัจจัยความยาวความลาดชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ย ข้อมูลจาก DEM 4k ให้รายละเอียดดีที่สุด ในช่วงขนาดกริด 5-20 เมตร รองลงมาคือข้อมูลจาก DEM 50k และ DEM 10k ในทุกขนาดกริด ตามลำดับ

(4) ค่าพื้นที่รับน้ำสะสม ขนาดกริดมีผลต่อค่าพื้นที่รับน้ำสะสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ย ข้อมูลจาก DEM 4k ให้รายละเอียดดีที่สุด ในทุกขนาดกริด รองลงมาคือข้อมูลจาก DEM 50k และ DEM 10k ตามลำดับ ซึ่งข้อมูล DEM 50k และ DEM 10k มีค่าเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกัน จึงถือว่าข้อมูลจากทั้ง 2 แหล่งที่มาจัดอยู่ในระดับเดียวกัน

(5) ค่าดัชนีความเปียกชื้น ขนาดกริดมีผลต่อค่าดัชนีความเปียกชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ย ข้อมูลจาก DEM 4k ให้รายละเอียดดีที่สุด ในทุกขนาดกริด รองลงมาคือข้อมูลจาก DEM 10k และ DEM 50k ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขทั้ง 3 แหล่งที่มาให้ผลแตกต่างกันอย่างชัดเจน และสามารถเขียนสรุปภาพรวมทั้งหมดได้ดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 สรุปภาพรวม ผลกระทบของขนาดกริดและแหล่งที่มาของแบบจำลองความสูงเชิงเลข
ต่อการคำนวณค่าคุณลักษณะภูมิประเทศและค่าพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยา

	DEM Sources		
	DEM 50k (1:50,000)	DEM 10k (1:10,000)	DEM 4k (1:4,000)
Topographic Attributes			
Elevation	ND	ND	ND
Slope	Moderate (All Resolution)	Low (All Resolution)	Best Fit* (5-30 m Resolution)
Plan Curvature	Best Fit* (5-20 m Resolution)	Moderate (All Resolution)	Moderate (All Resolution)
Profile Curvature	Best Fit* (5-20 m Resolution)	Moderate (All Resolution)	Moderate (All Resolution)
Overall Curvature	Best Fit* (5-20 m Resolution)	Moderate (All Resolution)	Moderate (All Resolution)
Hydrological Parameters			
Area	ND	ND	ND
Number of Stream	ND	ND	ND
Stream Density	ND	ND	ND
Drainage Density	ND	ND	ND
Main Stream Length	Low (5-30 m Resolution)	Moderate (5-30 m Resolution)	Best Fit* (5-30 m Resolution)
LS Factor	Moderate (All Resolution)	Low (All Resolution)	Best Fit* (5-20 m Resolution)
Specific Catchment Area	Moderate (All Resolution)	Moderate (All Resolution)	Best Fit* (All Resolution)
Topographic Wetness	Low	Moderate	Best Fit*
Index	(All Resolution)	(All Resolution)	(All Resolution)

หมายเหตุ: ND = No Difference * = Recommend

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาผลกระทบของขนาดกริดและแหล่งที่มาของแบบจำลองความสูงเชิงเลขต่อการคำนวณค่าคุณลักษณะภูมิประเทศและพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา โดยเลือกพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 2 ลุ่ม บริเวณลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน อำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา คือลุ่มน้ำย่อยลำเสมา และลุ่มน้ำย่อยคลองอีเต่า ใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขจาก 3 แหล่งที่มาคือ 1) ข้อมูลเส้นชั้นความสูงจากแผนที่ภูมิประเทศ มาตรฐาน 1:50,000 ระยะห่างเส้นชั้นความสูง 20 เมตร ของกรมแผนที่ทหาร 2) ข้อมูลเส้นชั้นความสูงจากแผนที่ภูมิประเทศ มาตรฐาน 1:10,000 ระยะห่างเส้นชั้นความสูง 5 เมตร ขององค์การบริหารส่วนตำบลวังน้ำเขียว อำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา และ 3) ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข มาตรฐาน 1:4,000 ขนาดกริด 5 เมตร ของกรมพัฒนาที่ดิน โดยกำหนดกริด 8 ขนาดคือ 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80 และ 100 เมตร ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1. ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย

การใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่สร้างจากขนาดกริดต่างกัน แหล่งที่มาต่างกัน ให้ค่าพื้นที่ ค่าเฉลี่ยของความลาดชัน และค่าระดับความสูงแตกต่างกันไป โดยข้อมูลจากกรมแผนที่ทหารให้ค่าพื้นที่และค่าระดับความสูง มากกว่าข้อมูลแหล่งอื่น ทุกขนาดกริด ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน ให้ค่าเฉลี่ยของความลาดชัน สูงกว่าข้อมูลจากแหล่งอื่น ในทุกขนาดกริดเช่นเดียวกัน

2. ค่าคุณลักษณะภูมิประเทศ

1) ค่าระดับความสูง ขนาดกริดและแหล่งที่มา ไม่มีผลต่อค่าระดับความสูง ยกเว้นข้อมูลจากแหล่งที่มาของกรมแผนที่ทหาร (มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %)

2) ค่าความลาดชัน ขนาดกริดมีผลต่อค่าความลาดชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยของความลาดชันลดลง ช่วงชั้นของความลาดชันที่ต่ำกว่า 10 % มีพื้นที่เพิ่มขึ้น และช่วงชั้นของความลาดชันที่มากกว่า 30 % มีพื้นที่ลดลง ส่วนแหล่งที่มา ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน ให้ค่าเฉลี่ยของความลาดชันสูงสุด (ให้รายละเอียดดีที่สุด) ในช่วงขนาดกริด 5-30 เมตร ตรงข้ามกับข้อมูลจากกรมแผนที่ทหารที่ให้ค่าพื้นที่ราบ มากกว่าข้อมูลแหล่งอื่น

3) ค่าความโค้ง-เว้า ขนาดกริดมีผลต่อค่าความโค้ง-เว้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของความโค้ง-เว้า ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงขนาดกริด 5-20 เมตร ส่วนแหล่งที่มา ข้อมูลจากกรมแผนที่ทหารให้ค่าพิสัยของความโค้ง-เว้ามากกว่าข้อมูลแหล่งอื่น ค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามยาวและค่าความโค้ง-เว้าตามแนวตัดตามขวางก็ให้ผลเช่นเดียวกัน

3. ค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา

1) พื้นที่ลุ่มน้ำ ขนาดกริดไม่มีผลต่อการคำนวณพื้นที่ลุ่มน้ำ แต่มีผลต่อรูปร่างของพื้นที่สำหรับแหล่งที่มา ข้อมูลจากกรมแผนที่ทหารให้ค่าพื้นที่มากกว่าข้อมูลแหล่งอื่น ในช่วงขนาดกริด 5-30 เมตร

2) สัณฐานวิทยาลุ่มน้ำ ได้แก่ จำนวนลำน้ำ ความหนาแน่นลำน้ำ ความหนาแน่นในการระบายน้ำ และความยาวลำน้ำสายหลัก มีค่าลดลง เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น ในช่วงขนาดกริด 5-30 เมตร ส่วนแหล่งที่มา ให้ผลการคำนวณสัณฐานวิทยาลุ่มน้ำไม่แตกต่างกัน ยกเว้นเรื่องความยาวลำน้ำสายหลัก ที่ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดินให้รายละเอียดดีกว่าข้อมูลแหล่งอื่น

3) ปัจจัยความยาวความลาดชัน ขนาดกริดมีผลต่อค่าปัจจัยความยาวความลาดชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ยและค่าส่วน

เบี่ยงเบนมาตรฐาน ลดลง ที่ขนาดกริดมากกว่า 10 เมตร ส่วนแหล่งที่มา ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน ให้ค่าเฉลี่ยของค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน สูงกว่าข้อมูลแหล่งอื่น

4) พื้นที่รับน้ำสะสม ขนาดกริดมีผลต่อค่าพื้นที่รับน้ำสะสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น ค่าต่ำสุดและค่าเฉลี่ย เพิ่มขึ้น ทุกขนาดกริด ส่วนแหล่งที่มา ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน ให้ค่าเฉลี่ยพื้นที่รับน้ำสะสมต่ำสุด ซึ่งหมายถึงการอธิบายพื้นที่รับน้ำสะสม ได้ดีกว่าข้อมูลแหล่งอื่นๆ

5) ดัชนีความเปียกชื้น ขนาดกริดมีผลต่อค่าดัชนีความเปียกชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลง ทุกขนาดกริด สำหรับแหล่งที่มา ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน ให้ค่าเฉลี่ยของดัชนีความเปียกชื้นต่ำกว่าข้อมูลแหล่งอื่น ซึ่งหมายถึงการอธิบายพื้นที่ที่มีความเปียกชื้น ได้ดีกว่า

4. การทดสอบค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยาที่ได้จากแบบจำลองความสูงเชิงเลขในการประเมินค่าการสูญเสียดินและปริมาณน้ำท่า

1) การสูญเสียดิน ขนาดกริดมีผลต่อค่าการสูญเสียดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลง ที่ขนาดกริดมากกว่า 10 เมตร เนื่องจากอิทธิพลของค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน ส่วนแหล่งที่มา ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน ให้ค่าเฉลี่ยของการสูญเสียดินมากกว่าข้อมูลแหล่งอื่น

2) ปริมาณน้ำท่า ขนาดกริดไม่มีผลต่อค่าปริมาณน้ำท่า เมื่อใช้แบบจำลองทางชลศาสตร์ของ Soil Conservation Services Curve Number (SCS-CN) ที่เน้นปัจจัยของค่าพื้นที่ลุ่มน้ำ ส่วนแหล่งที่มา ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน ให้ค่าปริมาณน้ำท่ามากกว่าข้อมูลแหล่งอื่น

ข้อเสนอแนะ

1. ผลการศึกษาส่วนใหญ่สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าคุณลักษณะภูมิประเทศและค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา เช่น ความลาดชันมีการเปลี่ยนแปลงมากในช่วงขนาดกริด 5-30 เมตร อย่างไรก็ตาม ยังมีบางประเด็นที่แตกต่างจากงานวิจัยอื่น เช่น ค่าความโค้ง-เว้า ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน น่าจะให้รายละเอียดที่ดีกว่าข้อมูลแหล่งอื่นๆ เพราะเป็นข้อมูลที่ให้รายละเอียดสูง (High Resolution) ซึ่งจากการศึกษาของ Deng *et al.* (2007) พบว่า ค่าความโค้ง-เว้าของพื้นที่ มีความอ่อนไหวมากกว่าค่าความลาดชัน ภายใต้ลักษณะภูมิสัณฐาน (Landforms) ต่างๆ ดังนั้นจึงควรศึกษาลักษณะภูมิสัณฐานควบคู่ไปด้วย โดยเลือกพื้นที่ตามลักษณะภูมิสัณฐานต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบและตรวจสอบว่าข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดินจะให้ผลที่ดีกว่าแหล่งที่มาอื่นๆ หรือไม่

2. ค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา แหล่งที่มาของข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขให้ผลไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ขนาดกริดมีผลอย่างมาก โดยช่วงขนาดกริดที่ควรศึกษาอยู่ระหว่าง 5-30 เมตร แต่มีผลการศึกษาที่แตกต่างกันในเรื่องปัจจัยความยาวความลาดชัน โดย Wu *et al.* (2008a) ใช้ขนาดกริด 10 เมตรขึ้นไป พบว่าค่าปัจจัยความยาวความลาดชันลดลง เมื่อขนาดกริดเพิ่มขึ้น แต่การศึกษานี้ เริ่มที่ขนาดกริด 5 เมตร แต่ให้ค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน ต่ำกว่าที่ขนาดกริด 10 เมตร ทั้งที่ควรจะมีแนวโน้มสูงกว่า จึงควรมีการศึกษาต่อไปว่า ค่าปัจจัยความยาวความลาดชัน ที่ขนาดกริดต่ำกว่า 10 เมตร มีแนวโน้มเป็นอย่างไร

3. การนำข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขมาคำนวณปริมาณการไหลของน้ำ ยังมีข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น ปริมาณฝนและระยะเวลาที่ฝนตก การใช้ประโยชน์ที่ดินในปัจจุบัน รูปแบบของแบบจำลองทางอุทกวิทยาต่างๆ เป็นต้น ข้อจำกัดเหล่านี้อาจทำให้ผลการคำนวณไม่ตรงกับความเป็นจริง การคาดการณ์ด้วยข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขเพียงอย่างเดียว อาจช่วยได้ในเรื่องของปัจจัยทางกายภาพของพื้นที่เท่านั้น ซึ่งการศึกษานี้ได้เน้นผลกระทบของข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข มากกว่าการคำนวณทางอุทกวิทยา หากต้องการคำนวณปริมาณการไหลของน้ำ ที่ถูกต้อง ควรเลือกพื้นที่ศึกษาที่มีข้อมูลทางอุตุ-อุทกวิทยาในเชิงลึก ร่วมกับแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่เป็นรูปแบบกระจายทั้งลุ่มน้ำ ในการทำนายหรือคาดการณ์ อาจให้ผลการศึกษาที่ชัดเจนมากขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมชลประทาน. 2542. คู่มืออุทกวิทยา. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมทรัพยากรธรณี. 2543. ข้อมูลแผนที่แสดงลักษณะทางธรณีวิทยา จังหวัดนครราชสีมา. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2543. การสูญเสียดินในประเทศไทย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2550. รายงานสำรวจดินเพื่อการเกษตร จังหวัดนครราชสีมา. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2551. แผนที่แสดงการใช้ที่ดินบริเวณอำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนครราชสีมา. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

เกษม จันทร์แก้ว. 2551. หลักการจัดการลุ่มน้ำ. วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชรินทร์ มงคลสวัสดิ์ และ อูรวรรณ จันทร์เกษ. 2551. การประมาณการเปรียบเทียบวิธีการหาปัจจัยความยาวและความลาดชันด้วยแบบจำลองความสูงเชิงเลข. วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย 9 (2): 9-18.

ซัชชัย ดันตลีรินทร์. 2543. การศึกษาวิธีประเมินค่า Topographic Wetness Index เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในแบบจำลองทางอุทกวิทยาแบบกระจายพื้นที่. เอกสารประกอบการสอนวิชา 301561 อุทกวิทยาป่าไม้ประยุกต์. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2545. แบบจำลองคณิตศาสตร์การชะล้างพังทลายของดินและมลพิษตะกอนในพื้นที่ลุ่มน้ำ. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วีระศักดิ์ อุดมโชค. 2552. แบบจำลองเชิงพื้นที่เพื่อการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างยั่งยืนในเขตพื้นที่แก่งแห่งแล้ง บริเวณลุ่มน้ำลำพระเพลิง อำเภอลำน้ำเคียว จังหวัดนครราชสีมา โครงการย่อยที่ 4. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการบูรณาการเชิงระบบเพื่อสร้างทางเลือกและแนวทางการใช้ที่ดินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืนในเขตป่าเขาภูหลวง-วังน้ำเคียว. โครงการการใช้ที่ดินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Crosby, D. A. 2006. **The Effect of DEM Resolution on the Computation of Hydrologically Significant Topographic Attributes**. Master Thesis, South Florida University.

Cochrane, T. A. and D. C. Flanagan. 2005. Effect of DEM Resolution in the Runoff and Soil Loss Predictions of the WEPP Watershed Model. **Transactions of the ASAE** 48 (1): 109-120.

Deng, Y., J. P. Wilson and B. O. Bauer. 2007. DEM Resolution Dependencies of Terrain Attributes across a Landscape. **International Journal of Geographical Information Science** 21 (2): 187–213.

Dixon, B. and J. Earls. 2009. Resample or Not?! Effects of Resolution of DEMs in Watershed Modeling. **Hydrological Processes** 23: 1714-1734.

ESRI. 2009. **Arc Hydro Tool–Tutorial Version 1.3**. Redlands California USA.

Guo-an, T., H. Yang-he., J. Strobl and L. Wang-qing. 2001. The Impact of Resolution on the Accuracy of Hydrologic Data Derived from DEMs. **Journal of Geographical Sciences** 11 (4): 393-401.

Henderson, A. E. K. 2007. The Influence of the Type of Digital Elevation Models on Catchment Scale Slope Calculations and Erosion Modeling, pp. 724-730. *In* L. Oxley and D. Kulasiri, eds. **MODSIM 2007 International Congress on Modelling and Simulation**. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 2007.

Hengl, T., M. Gruber and D. P. Shrestha. 2003. **Digital Terrain Analysis in ILWIS: Lecture Note**. Enschede, ITC.

Hengl, T. and H. I. Reuter. 2009. **Geomorphometry: Concepts, Software, Application**. Elsevier, Amsterdam.

Huang, M., J. Gallichan, Z. Wang and M. Goulet. 2006. A modification to the Soil Conservation Service Curve Number method for Steep Slopes in the Loess Plateau of China. **Hydrological Processes** 20: 579-589.

Huaxing, B., L. Xiaoyin, G. Mengxia, L. Xin and L. Jun. 2006. Digital Terrain Analysis Based on DEM. **Frontiers of Forestry in China** 1 (1): 54-58.

Kienzle, S. 2004. The Effect of DEM Raster Resolution on First Order, Second Order and Compound Terrain Derivatives. **Transactions in GIS** 8 (1): 83-111.

Li, J. and D. W. S. Wong. 2010. Effects of DEM sources on hydrologic applications. **Computers, Environment and Urban Systems** 34 (3): 251-261.

Mitasova, H., J. Hofierka, M. Zlocha and L. R. Iverson. 1999. Modeling Topographic Potential for Erosion and Deposition using GIS. **International Journal of Geographical Information Science** 10 (5): 629-641.

National Science and Technology Center (NSTC). 2001. **Sheet and Rill Erosion Evaluation with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)–GIS Interface**. Available Source: <http://www.blm.gov/nstc/ecosysmod/rusle.html>, October 20, 2010.

- Phetprayoon, T., S. Sarapirome., C. Navanugraha and S. Wonprasaid. 2009. Surface Runoff Estimation using Grid-Based Curve Number Method in the Upper Lam Phra Phlong Watershed, Thailand. **Asian Conference on Remote Sensing (ACRS)**. Available source: <http://www.a-a-r-s.org/acrs/proceedings2009.php>, November 27, 2010.
- Quinn, P. F., K. J. Beven and R. Lamb. 1995. The $\ln(a/\tan \beta)$ Index: How to Calculate It and How to use It within the TOPMODEL Framework. **Hydrological Processes** 9 (2): 161-182.
- Ravibabu, M. V. and K. Jain. 2008. Digital Elevation Model Accuracy Aspects. **Journal of Applied Sciences** 8 (1): 134-139.
- Remortel, R. D., R. W. Maichle and R. J. Hickey. 2004. Computing the LS Factor for the Revised Universal Soil Loss Equation through Array-based Slope Processing of Digital Elevation Data using a C++ executable. **Computers & Geosciences** : 1043-1053.
- Rojas, R., M. Velleux, P. Y. Julien and B. E. Johnson. 2008. Grid Scale Effects on Watershed Soil Erosion Models. **Journal of Hydrologic Engineering** 13 (9): 793-802.
- Strahler, A. N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions of the American Geophysical Union** 8 (6): 913-920.
- Straumann, R. K. and R. S. Purves. 2007. Resolution Sensitivity of a Compound Terrain Derivatives as Computed from LiDAR-based Elevation Data, pp. 87-109. In S. I. Fabrikant and M. Wachowicz., eds. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. **The European Information Society-Leading the Way Geo-Information, Proceedings of AGILE 2007**.

- Tagil, S. and J. Jeff. 2008. GIS-Based Automated Landform Classification and Topographic, Landcover and Geologi Attributes of Landforms Around the Yazoren Polje, Turkey. **Journal of Applied Sciences** 8 (6): 910-921.
- Tang, G. A., Y. H. Hui, J. Strobl and W. Q. Liu. 2001. The Impact of Resolution on the Accuracy of Hydrologic Data Derived from DEMs. **Journal of Geographical Sciences** 11 (4): 393-401.
- Thinley, U. 2008. **Spatial Modeling for Soil Erosion Assessment in Upper Lam Phra Phloeng Watershed, Nakhon Ratchasima, Thailand.** Master thesis, Suranaree University.
- Thompson, J. A., J. C. Bell and C. A. Butler. 2001. Digital Elevation Model Resolution: Effects on Terrain Attribute Calculation and Quantitative Soil-landscape Modeling. **Geoderma** 100 (1-2): 67-89.
- Vaze, J. and J. Teng. 2007. Impact of DEM Resolution on Topographic Indices and Hydrological Modeling Results, pp. 706-712. In L. Oxley and D. Kulasiri., eds. **MODSIM 2007 International Congress on Modelling and Simulation.** Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 2007.
- Vaze, J., J. Teng and G. Spencer. 2010. Impact of DEM Accuracy and Resolution on Topographic Indices. **Environmental Modelling and Software** 25: 1086-1098.
- Wise, S. M. 2007. Effect of Differing DEM Creation Methods on the Results from a Hydrological Model. **Computers and Geosciences** 33: 1351-1365.
- Wilson, J. P., and J. C. Gallant. 2000. **Terrain Analysis: Principles and Application.** John Wiley&Sons, England.

- Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978. **Predicting Rainfall Erosion Losses**. USDA Agriculture Handbook.
- Wolock, D. M. and G. J. McCabe. 2000. Differences in Topographic Characteristics Computed from 100 and 1000 Resolution Digital Elevation Model Data. **Hydrological Processes** 14: 987-1002.
- Wu, S., J. Li., and G. Huang. 2005. An Evaluation of Grid Size Uncertainty in Empirical Soil Loss Modeling with Digital Elevation Models. **Environmental Modeling and Assessment** 10: 33-42.
- Wu, S., J. Li., and G. H. Huang. 2008a. A Study on DEM-derived Primary Topographic Attributes for Hydrologic Applications: Sensitivity to Elevation Data Resolution. **Applied Geography** 28: 210-223.
- Wu, W., Y. Fan, Z. Wang and H. Liu. 2008b. Assessing Effects of Digital Elevation Model Resolutions on Soil-landscape Correlations in a Hilly Area. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 126: 209-216.
- Yuan, L., Q. Zhou, W. Li, Q. Zhang and W. Jiang. 2006. DEM-based Watershed Topographic Attributes Extraction and Analysis, pp. 902-904. *In* **IEEE International Conference on Geoscience and Remote Sensing Symposium 2006, IGARSS 2006**.
- Zevenbergen, L.W. and C. R. Thorne. 1987. Quantitative Analysis of Land Surface Topography. **Earth Surface Processes and Landforms** 12: 47-56.
- Zhang, J. X., K. Chang and J. Q. Wu. 2008. Effect of DEM Resolution and Source on Soil Erosion Modeling: A Case Study Using the WEPP Model. **International Journal of Geographical Information Science** 22 (8-9): 925-942.

- Zhang, J. X., J. Q. Wu, K. Chang, W. J. Elliot and S. Dun. 2009. Effect of DEM Source and Resolution on WEPP Hydrologic and Erosion Simulation: A Case Study of Two Forest Watersheds in Northern Idaho. **Transactions of the ASABE**. 52 (2): 447-457.
- Zhang, W. and D. R. Montgomery. 1994. Digital Elevation Model Grid Size, Landscape Representation, and Hydrologic Simulations. **Water Resources Research** 30: 1019–1028.
- Zhao, Z., G. Benoy, T. L. Chow, H. W. Rees, J. L. Daigle and F. R. Meng. 2010. Impacts of Accuracy and Resolution of Conventional and LiDAR based DEMs on Parameters used in Hydrological Modeling. **Water Resources Management** 24: 1363-1380.
- Ziadat, F. M. 2007. Effect of Contour Intervals and Grid Cell Size on the Accuracy of DEMs and Slope Derivatives. **Transactions in GIS** 11 (1): 67-81.

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ	นายประสิทธิ์ มากสิน
เกิดวันที่	2 มิถุนายน 2529
สถานที่เกิด	อำเภอคลองท่อม จังหวัดกระบี่
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วนศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนพัฒน์ติพล ณรงค์ชวนะ