

การศึกษาวิธีประมวลผลแบบจำลองระดับปริมาณมากเพื่อการวิเคราะห์ภูมิประเทศ

ว่าที่ร้อยตรี วรวุฒิ ไชยวงษา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ทางวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

A STUDY OF MASSIVE DEM PROCESSING FOR TERRAIN ANALYSIS

Acting Second Lieutenant Worawut Chaiwongsa

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Spatial Information System in Engineering

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาวิธีประเมินผลแบบจำลองระดับปริมาณมาก เพื่อการวิเคราะห์ภูมิประเทศ
โดย	ว่าที่ร้อยตรี วรุดมิ ไชยวงษา
สาขาวิชา	ระบบสารสนเทศปริภูมิทางวิศวกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล สันติธรรมนนท์

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล สันติธรรมนนท์)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ชัย เกரியงไกรเพชร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ھرรษา วัฒนานุกิจ)

วรวิฑูฒิ ไชยวงษา : การศึกษาวิธีประมวลผลแบบจำลองระดับปริมาณมากเพื่อการวิเคราะห์ภูมิประเทศ. (A STUDY OF MASSIVE DEM PROCESSING FOR TERRAIN ANALYSIS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.ไพศาล สันติธรรมนนท์, 102 หน้า.

การวิเคราะห์การไหลสะสมจากลักษณะภูมิประเทศเป็นการประยุกต์ใช้ที่สำคัญในด้านอุทกวิทยา แบบจำลองระดับเป็นข้อมูลภูมิประเทศตั้งต้นสามารถผลิตโดยเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น ไลดาร์ ที่จะทำได้แบบจำลองระดับความละเอียดสูงและมีข้อมูลปริมาณมากแบบจำลองระดับปริมาณมากนี้อาจเป็นอุปสรรคในการประมวลผลในแง่เวลาและความละเอียดถูกต้อง ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาเพื่อหาขั้นตอนและวิธีการเตรียมแบบจำลองระดับปริมาณมากที่ได้จากไลดาร์ และประมวลผลหาการไหลสะสมด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และส่วนเพิ่มเติม GRASS บนซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 ในพื้นที่ศึกษา เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล โดยลดความละเอียดของแบบจำลองระดับจาก 1 เมตร ให้เป็น 2, 5 และ 10 เมตร ซึ่งมีจำนวนจุดระดับประมาณ 304.9, 67.3, 10.7 และ 2.7 ล้านจุดตามลำดับ พร้อมทั้งเพิ่มรายละเอียดทางอุทกวิทยาให้แบบจำลองระดับ

ผลการวิจัยพบว่า การลดความละเอียดของแบบจำลองระดับเหลือ 10 เมตร ให้ผลลัพธ์ที่มีความคลาดเคลื่อนสูง ไม่ควรนำไปใช้ แต่ที่ความละเอียด 2 เมตร ให้ความถูกต้องใกล้เคียงกับแบบจำลองระดับที่ใช้อ้างอิงที่ความละเอียด 1 เมตร มากที่สุด ในด้านการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลพบว่า การไหลสะสมแตกต่างกัน 6.21 % และมีความแตกต่างของเส้นทางการไหลเปรียบเทียบด้วยวิธี RMSE 151.7 เมตร เวลาในการประมวลผลซอฟต์แวร์ QGIS 1:45 นาที และซอฟต์แวร์ ArcGIS 21:24 นาที จากการทดสอบข้อมูลนี้สามารถสรุปได้ว่า ความละเอียดของแบบจำลองระดับมีผลโดยตรงต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้ และซอฟต์แวร์ QGIS มีประสิทธิภาพมากกว่า ซอฟต์แวร์ ArcGIS เมื่อข้อมูลนำเข้ามีขนาดน้อยกว่าหน่วยความจำของเครื่องที่ใช้ประมวลผล และยังสามารถนำเส้นลำน้ำที่ได้จากการประมวลผลจากทั้งสองซอฟต์แวร์ไปแสดงผลเปรียบเทียบกับข้อมูลลำน้ำจริงบนภาพถ่ายดาวเทียมจากซอฟต์แวร์ Google Earth ได้

ภาควิชา.....วิศวกรรมสำรวจ.....ลายมือชื่อนิสิต.....  
 สาขาวิชา.....ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ทางวิศวกรรม.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
 ปีการศึกษา.....2555.....

# # 5170735621 : MAJOR SPATIAL INFORMATION SYSTEM IN ENGINEERING

KEYWORDS : Massive DEM / Flow accumulation/ Lidar

WORAWUT CHAIWONGSA: A STUDY OF MASSIVE DEM PROCESSING FOR TERRAIN ANALYSIS. ADVISOR: ASSOC. PROF. PHISAN SANTITAMNONT. Ph.D., 102 pp.

Flow accumulation derived from terrain analysis is one of the most important hydraulic application. Detailed elevation model can be acquired with advanced technique e.g. Lidar. Thus, the modern digital elevation model is refined and its amount is often massive. Mass DEM may prohibit computing efficiency and accuracy of the modeling result as well. This research emphasizes development of preparation and processing technique for massive DEM from Lidar. Two kinds of hydraulic software packages name ArcGIS/Hydro and QGIS/GRASS are used for computing of flow accumulation in the test area. Comparison study is then conducted from those results. In the study original massive DEM has resolution of 1-meter and then is reduced into 2-, 5- and 10-meter. The amount of point clouds for each model is 304.9, 67.3, 10.7 and 2.7 million respectively. During preparation step, detail hydraulic features e.g. elevated structures are then integrated.

The reduced resolution DEM, 5- and 10-meter DEM obviously produces high difference and may lead to unusable result. The DEM with 2-meter resolution results flow accumulation nearly the same as the original 1-meter DEM with difference of the flow accumulation error 6.21%. Whereas the discrepancy of the flow lines error measured by "root mean square error, RMSE" is 151.7 meter. The time for flow accumulation calculation of the 2-meter DEM took 1:45 and 21.24 minutes for QGIS/GRASS and ArcGIS/Hydro respectively. With this test dataset QGIS shows better performance than ArcGIS/Hydro, so far as the amount of data still fit within the computer memory. The resolution of DEM is a direct impact on the results of the resolution. Stream lines generated from both software are also spatial visually analyzed and are quite agreed with satellite imageries shown on Google Earth.

Department : ..... Survey Engineering ..... Student's Signature .....

Field of Study : Spatial Information System in Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year : ..... 2012 .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล สันติธรรมนนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาและข้อขัดข้องต่างๆ ที่เกิดขึ้นและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้กับข้าพเจ้าและขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ชัย เกียรติเกรียงเพชร และ รองศาสตราจารย์ ดร. หรรษา วัฒนานุกิจ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำในการศึกษาวิจัยครั้งนี้และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยโดยสมบูรณ์รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์ คุณศักดิ์ สกุลไทย และคุณขวัญชัย แพโคกสูง หน่วยปฏิบัติการวิจัยระบบการจัดการแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ข้อมูล คำแนะนำตลอดจนข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานทางด้านอุทกวิทยา

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชนินทร์ ทินนโชติ และนางสาวนลินี พรหมสาขา ณ สกลนคร ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้คำแนะนำและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการเปรียบเทียบคูเส้นทางน้ำไหล

ขอบพระคุณ เพื่อน พี่ น้องนิสิตภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่านที่ช่วยให้ข้อมูล คำแนะนำ และแลกเปลี่ยนความรู้ในระหว่างศึกษาครั้งนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ ระหว่างศึกษาครั้งนี้

ท้ายสุดนี้ขอมอบความดีของวิทยานิพนธ์เพื่อเป็นกตเวทิตาคุณแด่บิดา มารดา ญาติพี่น้อง และคณาจารย์ทุกท่าน พร้อมกันนี้ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติสืบไป

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ .....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	4
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 การเตรียมแบบจำลองระดับจากข้อมูลไวดาร์.....	6
2.1.1 แบบจำลองระดับที่ได้จากข้อมูลไวดาร์.....	6
2.1.2 การจัดการลดความละเอียดของแบบจำลองระดับเพื่อใช้ในการ ประมวลผล.....	10
2.2 การเตรียมข้อมูลเชิงเส้นเพื่อแปลงเป็นข้อมูลกริด .....	12
2.2.1 การเตรียมข้อมูลระดับที่เป็นปัจจุบันกว่า.....	13
2.2.2 การแปลงข้อมูลเชิงเส้นเป็นข้อมูลกริด.....	13
2.3 การเตรียมแบบจำลองระดับใหม่ตามเงื่อนไข.....	15
2.3.1 การคำนวณข้อมูลกริด.....	15
2.3.2 เทคนิคการปรับค่าระดับแบบจำลองระดับ.....	17
2.4 การประมวลผลหาการไหลสะสม .....	18
2.4.1 การประมวลผลหาพฤติกรรมการไหลของน้ำ .....	18
2.4.2 ซอฟต์แวร์ประมวลผลหาการไหลสะสม.....	21
2.5 การเปรียบเทียบความแตกต่างผลลัพธ์ .....	23
2.5.1 ความละเอียดของแบบจำลองระดับต่องานอุทกวิทยา .....	23

2.5.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์การไหลสะสม คลาดเคลื่อน.....	24
2.5.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อน ของเส้นทางการไหล.....	25
2.5.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์เวลาในการประมวลผล .....	26
บทที่ 3 การดำเนินงาน .....	28
3.1 การเตรียมข้อมูลไลดาร์เพื่อสร้างแบบจำลองระดับ.....	29
3.1.1 การจำแนกเอาเฉพาะจุดระดับผิวดินด้วยเครื่องมือ Las2las .....	29
3.1.2 การนำจุดระดับทั้งหมดสร้างเป็นแบบจำลองระดับด้วยเครื่องมือ Las2 DEM .....	30
3.2 การเตรียมแบบจำลองระดับในหลายความละเอียดเพื่อใช้ทดสอบ.....	32
3.3 การเตรียมข้อมูลเชิงเส้นที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้สร้างแบบจำลองทดสอบ .....	34
3.3.1 การเตรียมข้อมูลเส้นถนน .....	34
3.3.2 การเตรียมข้อมูลสะพาน ท่อลอด.....	35
3.3.3 การนำจุดระดับถนนสร้างเป็นข้อมูลเชิงเส้นระดับถนน.....	35
3.4 การแปลงข้อมูลเชิงเส้นให้เป็นของมัลทริท .....	36
3.4.1 การเตรียมข้อมูลเชิงเส้นเพื่อแปลงเป็นข้อมูลมัลทริท .....	36
3.4.2 การแปลงข้อมูลเชิงเส้นเป็นข้อมูลมัลทริทด้วยเครื่องมือ Rasterize ของซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8.....	38
3.5 เตรียมแบบจำลองระดับใหม่ตามเงื่อนไขแบบจำลองสถานการณ์ที่ต้องการ ทดสอบ .....	39
3.5.1 แบบสำหรับการเพิ่มข้อมูลระดับผิวถนนและความลึกของโครงข่าย คูคลองที่มีอยู่เดิมลงในข้อมูลตั้งต้น .....	39
3.5.2 แบบสำหรับการเพิ่มข้อมูลการปรับเปลี่ยนรูปการบังคับน้ำโดยการ เสริมด้วยข้อมูลระดับของถนน คันกั้นน้ำหรือโครงสร้างที่บังคับทางน้ำขึ้น ใหม่ในข้อมูลตั้งต้น .....	41
3.6 การประมวลผลหาการไหลสะสมในซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 แต่ละ ความละเอียดของแบบจำลองระดับ .....	44
3.6.1 เครื่องมือ Fill .....	44
3.6.2 เครื่องมือ Flow Direction.....	44



3.6.3 เครื่องมือ Flow accumulation.....	45
3.6.3 เครื่องมือ Stream Order.....	46
3.7 การประมวลผลหาการไหลสะสมในซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 แต่ละ ความละเอียดของแบบจำลองระดับ .....	47
3.8 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลแต่ละ ซอฟต์แวร์.....	48
3.8.1 แบบจำลองระดับที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้ จากการประมวลผลในแต่ละซอฟต์แวร์.....	48
3.8.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์การไหลสะสม คลาดเคลื่อน .....	49
3.8.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อน ของเส้นทางการไหล.....	50
3.8.4 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์เวลาในการประมวลผล .....	51
3.9 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลใน แต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ.....	52
3.10 การประเมินประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลเปรียบเทียบ กับเส้นลำน้ำจริงจากภาพถ่ายดาวเทียม ซอฟต์แวร์ Google Earth .....	55
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน.....	58
4.1 ผลการเตรียมข้อมูลแบบจำลองระดับใหม่ตามเงื่อนไข .....	58
4.2 ผลการประมวลผลหาการไหลสะสม .....	59
4.3 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล ในแต่ละซอฟต์แวร์.....	61
4.3.1 ผลการไหลสะสมคลาดเคลื่อน จากการทดสอบประมวลผลบน ซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และ Quantum GIS 1.8.....	61
4.3.2 ผลความคลาดเคลื่อนเส้นทางการไหล จากการทดสอบประมวลผล บนซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และ Quantum GIS 1.8 .....	63
4.3.3 เวลาในการประมวลผล จากการทดสอบประมวลผลบนซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และ Quantum GIS 1.8 .....	64
4.4 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลใน แต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ.....	65

4.4.1 ผลการไหลสะสมคลาดเคลื่อน จากการทดสอบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองระดับแต่ละความละเอียด .....	67
4.4.2 ผลความคลาดเคลื่อนเส้นทางการไหล จากการทดสอบประมวลผลแบบจำลองระดับแต่ละความละเอียด.....	68
4.4.3 เวลาในการประมวลผล จากการทดสอบประมวลผลแบบจำลองระดับแต่ละความละเอียด.....	70
4.5 ผลการประเมินประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลเปรียบเทียบกับเส้นลำน้ำจริงจากภาพถ่ายดาวเทียม ซอฟต์แวร์ Google Earth.....	71
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ .....	73
5.1 สรุปผลการศึกษา .....	73
5.1.1 การเตรียมข้อมูลแบบจำลองระดับใหม่ตามเงื่อนไข .....	73
5.1.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลระหว่างซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และส่วนเพิ่มเติม GRASS ซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 .....	73
5.1.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ .....	74
5.1.4 การประเมินประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลเปรียบเทียบกับเส้นลำน้ำจริงจากภาพถ่ายดาวเทียม ซอฟต์แวร์ Google Earth.....	75
5.2 ปัญหาที่พบในการศึกษาและข้อเสนอแนะ .....	75
5.2.1 ปัญหาที่พบในการศึกษา .....	75
5.2.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษา .....	75
รายการอ้างอิง.....	77
ภาคผนวก.....	80
ภาคผนวก ก .....	81
ภาคผนวก ข.....	98
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	102

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	ชนิดข้อมูลในคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดเก็บ.....	11
ตารางที่ 2.2	ลักษณะรูปแบบข้อมูลเชิงเส้น.....	13
ตารางที่ 2.3	เครื่องมือคำนวณที่ใช้วิจัย.....	15
ตารางที่ 2.4	สรุปข้อดีและข้อจำกัดของวิธีวัดแบบจับคู่จุดบนเส้นอย่างมีเงื่อนไข.....	26
ตารางที่ 3.1	การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล การไหลสะสมคลาดเคลื่อนของแต่ละวิธีสุ่มตัวอย่างซ้ำ.....	32
ตารางที่ 3.2	การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล ความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลของน้ำของแต่ละวิธีสุ่มตัวอย่างซ้ำ.....	32
ตารางที่ 3.3	ข้อมูลอรรถาธิบาย ข้อมูลเส้นถนน.....	34
ตารางที่ 3.4	ข้อมูลอรรถาธิบาย ข้อมูลสะพาน ท่อลอด.....	35
ตารางที่ 3.5	ข้อมูลอรรถาธิบาย ข้อมูลจุดระดับความสูงถนน.....	35
ตารางที่ 3.6	แสดงการเปรียบเทียบเวลาประมวลผลของซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และ ซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8.....	51
ตารางที่ 3.7	แสดงจุดออกการไหลสะสมของน้ำเมื่อแปลงให้อยู่ในระดับ 1 เมตร.....	53
ตารางที่ 3.8	แสดงการไหลสะสมคลาดเคลื่อนเทียบกับผลจากแบบจำลองระดับ ที่ความละเอียด 1 เมตร.....	54
ตารางที่ 3.9	แสดงผลความคลาดเคลื่อนเส้นการนำไหลเทียบกับผลจากแบบ จำลองระดับที่ความละเอียด 1 เมตร.....	55
ตารางที่ 4.1	ผลการสร้างแบบจำลองระดับใหม่ตามเงื่อนไข.....	58
ตารางที่ 4.2	แสดงผลการประมวลผลหาการไหลสะสม.....	59
ตารางที่ 4.3	ผลการประมวลผลหาการไหลสะสม.....	61
ตารางที่ 4.4	แสดงผลการไหลสะสมคลาดเคลื่อนจากการประมวลผลบนซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และ Quantum GIS 1.8.....	62
ตารางที่ 4.5	แสดงผลความคลาดเคลื่อนเส้นทางการไหลจากการประมวลผลบน ซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และ Quantum GIS 1.8.....	63
ตารางที่ 4.6	แสดงผลเวลาในการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และ Quantum GIS 1.8.....	64
ตารางที่ 4.7	แสดงผลการไหลสะสมคลาดเคลื่อนจากการประมวลผลแบบจำลองระดับ แต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ.....	67

ตารางที่ 4.8 แสดงผลความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลจากการประมวลผลแบบ จำลองระดับแต่ละความละเอียดเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองระดับที่ ความละเอียด 1 เมตร.....	68
ตารางที่ 4.9 แสดงผลเวลาในการประมวลผลแบบจำลองระดับแต่ละความละเอียด .....	70
ตารางที่ 4.9 แสดงผลความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลจากการประมวลผลใน แต่ละซอฟต์แวร์และแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับเทียบกับ เส้นลำนํ้าจากซอฟต์แวร์ Google Earth.....	71

## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	พื้นที่บริเวณข้อมูลไลดาร์ครอบคลุมที่ใช้ในการศึกษา.....	3
รูปที่ 2.1	ขั้นตอนหลักในการศึกษาวิธีประมวลผลแบบจำลองระดับปริมาณมากเพื่อการวิเคราะห์ภูมิประเทศ.....	5
รูปที่ 2.2	การสำรวจด้วยไลดาร์.....	7
รูปที่ 2.3	ความสูงภูมิประเทศ .....	7
รูปที่ 2.4	ตัวอย่างแสดงภาพถ่ายดาวเทียมและความสูงพื้นผิวภูมิประเทศ DSM และ DEM จาก ระบบไลดาร์ในพื้นที่ศึกษาด้วยซอฟต์แวร์ Lastools .....	8
รูปที่ 2.5	การจำแนกอัตโนมัติ .....	9
รูปที่ 2.6	แบบจำลองระดับแบบกริด .....	10
รูปที่ 2.7	การแทนค่าตัวเลขลงในจุดระดับ.....	12
รูปที่ 2.8	การแปลงประเภทของข้อมูลระหว่างข้อมูลเชิงเส้นและข้อมูลกริดเพื่อให้การลดทอนรายละเอียดข้อมูลง่ายขึ้น .....	14
รูปที่ 2.9	แสดงการไหลสะสมของน้ำจากการปรับค่าระดับ.....	17
รูปที่ 2.10	ลักษณะที่ราบที่ได้.....	18
รูปที่ 2.11	การทำให้ท่วมหรือเต็มให้เต็ม .....	19
รูปที่ 2.12	ทิศทางการไหลทางเดียว.....	19
รูปที่ 2.13	ทิศทางการไหลหลายทาง .....	20
รูปที่ 2.14	เส้นทางการไหลและทิศทางการไหล .....	20
รูปที่ 2.15	การไหลสะสม.....	20
รูปที่ 2.16	การประมวลผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการหาการไหลสะสมระหว่างอัลกอริทึมของ Terraflow และ Arcinfo .....	22
รูปที่ 2.17	การประมวลผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการหาการไหลสะสมระหว่างอัลกอริทึมของ r.terraflow และ r.watershed .....	22
รูปที่ 2.18	ค่าลักษณะพื้นฐานวิทยาลุ่มน้ำในแต่ละขนาดความละเอียดและแหล่งที่มาของแบบจำลองระดับ .....	23
รูปที่ 2.19	จุดน้ำออกและค่าของการไหลสะสม .....	24
รูปที่ 2.20	แสดงการจับคู่จุดโดยการ Project จุดบนเส้นแบบมีเงื่อนไข.....	25
รูปที่ 3.1	เครื่องมือ ขั้นตอนและวิธีการที่ใช้ในการศึกษา .....	28
รูปที่ 3.2	การจำแนกเอาเฉพาะข้อมูลผิวดินด้วยเครื่องมือ las2las.....	30

รูปที่ 3.3	แสดงแบบจำลองระดับที่ได้จากเครื่องมือ Las2DEM.....	31
รูปที่ 3.4	แสดงการเตรียมแบบจำลองระดับในหลายความละเอียด.....	33
รูปที่ 3.5	แสดงการเตรียมข้อมูลเชิงเส้นของข้อมูลเส้นถนน .....	34
รูปที่ 3.6	แสดงการเตรียมข้อมูลเชิงเส้นของข้อมูลสะพาน ท่อลอด.....	35
รูปที่ 3.7	แสดงการเตรียมข้อมูลเชิงเส้นของข้อมูลจุดระดับความสูงถนน.....	36
รูปที่ 3.8	แสดงการเตรียมข้อมูลเชิงเส้นรูปปิดของข้อมูลเส้น .....	37
รูปที่ 3.9	แสดงการเตรียมข้อมูลเชิงเส้นรูปปิดของข้อมูลจุดระดับ .....	38
รูปที่ 3.10	แสดงผลการแปลงข้อมูลเชิงเส้นรูปปิดเป็นข้อมูลกริดตามเงื่อนไข .....	39
รูปที่ 3.11	แสดงการคำนวณกริดตามสมการที่ 3.2 เพื่อสร้างแบบจำลองระดับที่เพิ่ม ระดับความสูงถนนสายหลัก กทม.....	40
รูปที่ 3.12	แสดงการคำนวณกริดตามสมการที่ 3.3 เพื่อสร้างแบบจำลองระดับที่เพิ่ม ค่าระดับของ Barrier สูง 1.5 เมตร ตลอดแนวถนน.....	42
รูปที่ 3.13	แสดงการคำนวณกริดตามสมการที่ 3.4 เพื่อสร้างแบบจำลองระดับที่เพิ่ม ค่าระดับของกำแพงสูง 1.5 เมตรจาก รทก. ตลอดแนวถนน.....	43
รูปที่ 3.14	แสดงผลการประมวลผล Fill ด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 .....	44
รูปที่ 3.15	แสดงผลการประมวลผล Flow direction ด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3. ....	45
รูปที่ 3.16	แสดงผลการประมวลผล Flow accumulation ด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3.....	45
รูปที่ 3.17	แสดงผลการประมวลผล Stream Order ด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3.....	46
รูปที่ 3.18	แสดงข้อมูลเชิงเส้นของเส้นทางกรไล ด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 .....	46
รูปที่ 3.19	แสดงผลจากการประมวลผลหากรไลสะสมด้วยซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8. ....	47
รูปที่ 3.20	แสดงการเปรียบเทียบผลการไหลสะสมด้วยซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 และซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3.....	49
รูปที่ 3.21	แสดงการประเมินประสิทธิภาพจากความคลาดเคลื่อนเส้นทางกรไล ด้วยวิธีการจับคู่จุดบนเส้นอย่างมีเงื่อนไข.....	50
รูปที่ 3.22	แสดงการเปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 และซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3.....	52
รูปที่ 3.23	แสดงการเปรียบเทียบผลการไหลสะสมที่ได้จากแบบจำลองระดับที่ความ ละเอียด 1, 2, 5 และ 10 เมตร ตามลำดับ.....	52

รูปที่ 3.24	แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนเส้นทางการไหลจากแบบจำลอง ระดับหลายความละเอียด .....	54
รูปที่ 3.25	แสดงการเปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลจากแบบจำลองระดับที่ ความละเอียด 1, 2, 5 และ 10 เมตร ตามลำดับ .....	55
รูปที่ 3.26	การดิจิทัลเส้นลำน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมในปีที่ใกล้เคียงกับข้อมูล ไลดาร์มากที่สุดจากซอฟต์แวร์ Google Earth.....	56
รูปที่ 3.27	ตัวอย่างการประเมินประสิทธิภาพด้วยความคลาดเคลื่อนของเส้นทาง การไหลระหว่างเส้นลำน้ำจริงจากซอฟต์แวร์ Google Earth เทียบกับ ผลลัพธ์จากซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3.....	56
รูปที่ 3.28	ตัวอย่างการแสดงผลเส้นทางการไหลของลำน้ำที่ได้จากการประมวลผล แสดงบนซอฟต์แวร์ Google Earth .....	57
รูปที่ 4.1	แสดงการเปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลแบบจำลองระดับแต่ละซอฟต์แวร์ .....	66
รูปที่ 4.2	แสดงการเปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลแบบจำลองระดับแต่ละ ความละเอียด .....	70
รูปที่ 4.3	การแสดงผลเส้นทางการไหลของลำน้ำที่ได้จากการประมวลผล แบบจำลอง ระดับ บนซอฟต์แวร์ Google Earth .....	72

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การวิเคราะห์ภูมิประเทศ (terrain analysis) ถือเป็นองค์ประกอบสำคัญของงานภูมิสารสนเทศ (Geo-Informatics) เพื่อนำผลที่ได้มาพิจารณาการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง การวิเคราะห์ภูมิประเทศเป็นศาสตร์ที่ต้องอาศัยข้อมูลจากหลายแหล่งมาวิเคราะห์ร่วมกัน รวมถึงการใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อช่วยให้การประมวลผลรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการทำให้อารบถึงลักษณะภูมิประเทศ (terrain) ตลอดจนการไหลของน้ำเพื่อให้อารบหาแนวทางในการปฏิบัติหรือกำหนดนโยบายเชิงพื้นที่ในบริเวณที่ศึกษาได้ถูกต้อง ข้อมูลความสูงภูมิประเทศที่ได้จากแบบจำลองระดับ (Digital Elevation Model, DEM) สามารถประมวลผลเพื่อให้อารบถึงลักษณะภูมิประเทศ เช่น แอ่ง แนวร่องน้ำ เหว เป็นต้น ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญ หรือใช้ในการวิเคราะห์ทางอุทกวิทยา (hydrology analysis) เพื่อหาทิศทางการไหล (flow direction) และการไหลสะสม (flow accumulation) นำไปสู่การหาพฤติกรรมการเกิดน้ำท่วม (Flood) หรือการพังทลายของดิน (soil erosion) ต่อไป

ปัจจุบันไลดาร์ (Light Detection And Ranging, LIDAR) เป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมในการสร้างแบบจำลองระดับความละเอียดถูกต้องสูงอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีความถูกต้อง (accuracy) ระดับเดียวกับการรังวัดด้วยภาพ (photogrammetry) ไลดาร์เป็นเทคโนโลยีที่ใช้เลเซอร์ติดตั้งบนเครื่องบิน พร้อมอุปกรณ์นำหนที่มีความละเอียดถูกต้องสูงผสมผสานระหว่างระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System, GPS) และหน่วยตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยการวัดความเฉื่อย (Initial Measurement Unit, IMU) ในปัจจุบันแบบจำลองระดับที่ได้จากไลดาร์มีแนวโน้มการใช้งานเพิ่มมากขึ้นถึงร้อยละ 78 ของการใช้งานข้อมูลไลดาร์ จากการสำรวจสถานการณ์ตลาดของไลดาร์ทั่วโลกจากผู้ใช้งาน 268 กลุ่มใน 28 ประเทศ (ไพศาล สันติธรรม นนท์, 2553 [1])

ทั้งนี้แบบจำลองระดับที่ได้จากไลดาร์จะมีความละเอียด (resolution) สูงขึ้น ส่งผลให้ขนาดของข้อมูลใหญ่ขึ้น ซึ่งเรียกแบบจำลองระดับนี้ว่า แบบจำลองระดับปริมาณมาก (massive DEM) ดังนั้นจึงมีความต้องการใช้ข้อมูลแบบจำลองระดับปริมาณมากเพื่อนำไปสร้างแบบจำลองอุทกวิทยา (hydrological models) ให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากยิ่งขึ้น การประมวลผลแบบจำลองระดับเพื่อวิเคราะห์ภูมิประเทศจะใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้นตามอัตราขนาดของข้อมูลนั้น (Arge et al., 2003) และเมื่อนำแบบจำลองระดับปริมาณมากมาศึกษาพฤติกรรม



ทางอุทกวิทยา (hydrological behavior) ซึ่งต้องมีการสร้างการจำลอง (simulation) การเกิดในหลายลักษณะบนแบบจำลองระดับหรือเรียกว่าการเตรียมแบบจำลองระดับใหม่ตามเงื่อนไข เช่น การเพิ่มข้อมูลระดับผิวดินและความลึกของโครงข่ายคูคลองที่มีอยู่เดิม หรือการเพิ่มข้อมูลเพื่อปรับเปลี่ยนรูปการบังคับน้ำโดยการเสริมด้วยข้อมูลระดับของถนน คันกั้นน้ำหรือโครงสร้างที่บังคับทางน้ำขึ้นใหม่ เป็นต้น ดังนั้นต้องสร้างข้อมูลแบบจำลองระดับใหม่หลายครั้ง ซึ่งการสร้างแบบจำลองระดับเพื่อใช้ศึกษาในแต่ละพฤติกรรมทางอุทกวิทยามีขั้นตอนที่ซับซ้อน ยุ่งยาก หลายขั้นตอน ทั้งนี้เพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด จึงจำเป็นต้องใช้ความละเอียดถูกต้องของแบบจำลองระดับมากที่สุด ซึ่งจะส่งผลให้ใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจากขั้นตอนการเตรียมข้อมูลที่ยุ่งยากและใช้เวลาในการประมวลผลที่มากนี้ อาจส่งผลให้ไม่สามารถนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้ประโยชน์ได้ทันต่อสถานการณ์

ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาหาขั้นตอนและวิธีการลดเวลาในการประมวลผลแบบจำลองระดับในการวิเคราะห์ภูมิประเทศ โดยเฉพาะการประมวลผลหาการไหลสะสม ซึ่งใช้เวลาในการประมวลผลค่อนข้างมาก โดยการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์จากซอฟต์แวร์ต่างๆ และมุ่งศึกษาหาเทคนิคขั้นตอนวิธีเตรียมแบบจำลองระดับสำหรับการประมวลผลเพื่อวิเคราะห์ภูมิประเทศในงานอุทกวิทยาให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน ไม่ซับซ้อน มีขั้นตอนและวิธีเป็นแบบแผน และนำแบบจำลองระดับที่ได้จากการเตรียมข้อมูลข้างต้นไปประมวลผลเพื่อประเมินเปรียบเทียบประสิทธิภาพผลลัพธ์จากการประมวลผลหาการไหลสะสมในแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ โดยใช้ความละเอียดของแบบจำลองระดับที่สูงที่สุดเป็นตัวอ้างอิงเปรียบเทียบ เพื่อหาความละเอียดของแบบจำลองระดับที่มีความถูกต้องใกล้เคียงกับตัวอ้างอิงที่สุด และประเมินเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านเวลาในการประมวลผล เพื่อหาความละเอียดของแบบจำลองระดับใดมีการใช้เวลาเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานที่สุด เพื่อนำองค์ความรู้และข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนเพื่อศึกษาพฤติกรรมทางอุทกวิทยาต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

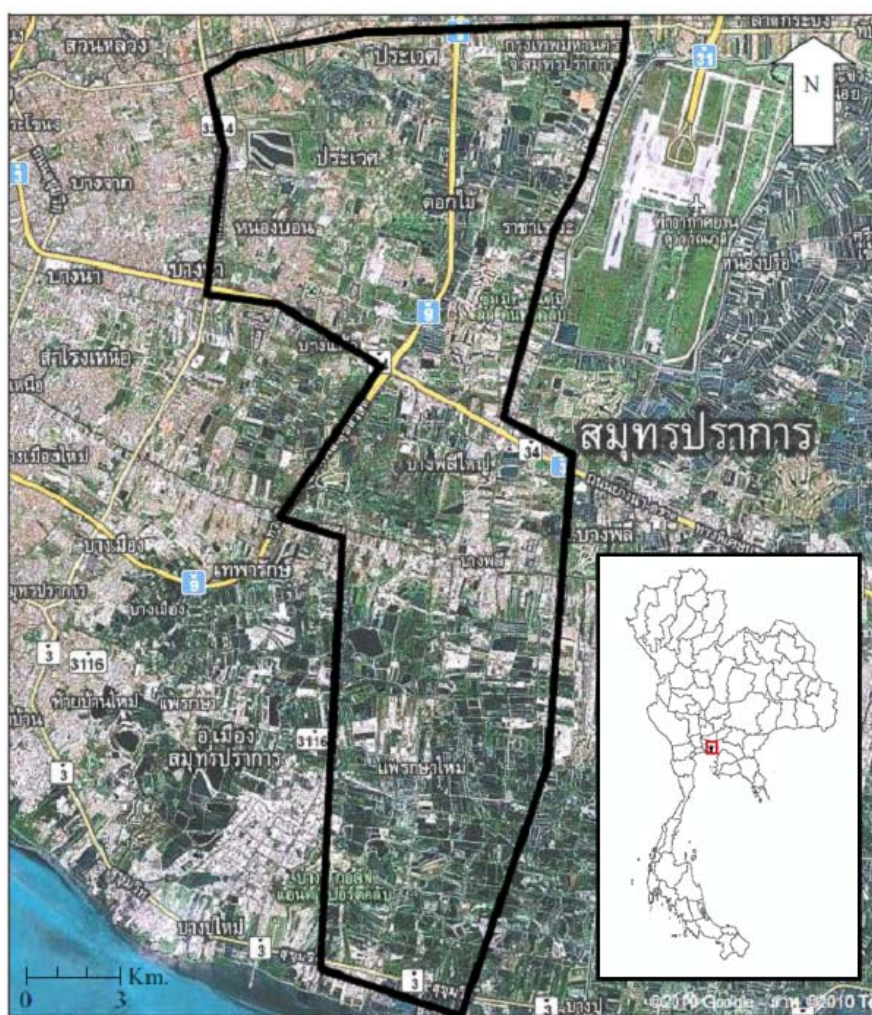
1.2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบการเตรียมแบบจำลองระดับตามเงื่อนไขสำหรับการวิเคราะห์ภูมิประเทศ

1.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองระดับในการวิเคราะห์ภูมิประเทศด้านอุทกวิทยาจากซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และส่วนเพิ่มเติม GRASS ของซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์หาขีดความสามารถและข้อจำกัดของซอฟต์แวร์การประมวลผลแบบจำลองระดับเพื่อวิเคราะห์ภูมิประเทศ

### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล คือ ข้อมูลไลดาร์ (Light Detection and Ranging, Lidar) จากโครงการศึกษาการประยุกต์ใช้ไลดาร์สำหรับงานวิศวกรรม ครอบคลุมพื้นที่ด้านตะวันตกเฉียงใต้ของสนามบินสุวรรณภูมิ รวมพื้นที่ประมาณ 154 ตารางกิโลเมตร ทำการบันทึกข้อมูลเมื่อเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2548 ด้วยเครื่องไลดาร์ Optech ATLM 2050 บันทึกข้อมูลจุดระดับของภูมิประเทศ พีชพรรณ และสิ่งปลูกสร้างด้วยความหนาแน่น (density) ของจุดระดับประมาณ 224 ล้านจุด และมีจุดระดับผิวดิน (ground point) ประมาณ 58 ล้านจุด ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 พื้นที่บริเวณข้อมูลไลดาร์ครอบคลุมที่ใช้ในการศึกษา

#### 1.3.2 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการประมวลผล

- คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก DELL รุ่น Vostro 3450
- Processor : Intel(R) Core(TM) i5-2430M CPU @ 2.40GHz.

- RAM : 4.00 Gb.
- Operating System : Windows 7 Professional

### 1.3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการประมวลผล

- เครื่องมือ Spatail analysis ซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3
- ส่วนเพิ่มเติม GRASS ซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8.0

## 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

### 1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 1.4.2 เตรียมข้อมูลไลดาร์เพื่อสร้างแบบจำลองระดับ

### 1.4.3 เตรียมแบบจำลองระดับในหลายความละเอียดจุดภาพ

### 1.4.4 เตรียมข้อมูลเชิงเส้นที่เกี่ยวข้อง

### 1.4.5 แปลงข้อมูลเชิงเส้นให้เป็นข้อมูลกริด

### 1.4.6 เตรียมแบบจำลองระดับใหม่ตามเงื่อนไข

### 1.4.7 ประมวลผลหาการไหลสะสมในแต่ละซอฟต์แวร์และแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ

### 1.4.8 เปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละซอฟต์แวร์และแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ ในแง่เวลาในการประมวลผล (time processing) เส้นทางการไหล (flow line) ที่ได้ตลอดจนการไหลสะสม (flow accumulation)

### 1.4.9 สรุปผลการศึกษาร่วมข้อเสนอแนะ เปรียบเรียงและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

### 1.5.1 รู้ถึงเทคนิควิธีเตรียมแบบจำลองระดับสำหรับการประมวลผลเพื่อวิเคราะห์ภูมิประเทศในงานอุทกวิทยา

### 1.5.2 รู้ถึงประสิทธิภาพผลลัพธ์จากการประมวลผลหาการไหลสะสมในแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ ในแง่ของเวลา เส้นทางการไหลที่ได้ ตลอดจนข้อมูลการไหลสะสม

### 1.5.3 ได้แบบจำลองระดับในพื้นที่ศึกษาหลายความละเอียด เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานอื่นที่เกี่ยวข้องต่อไป

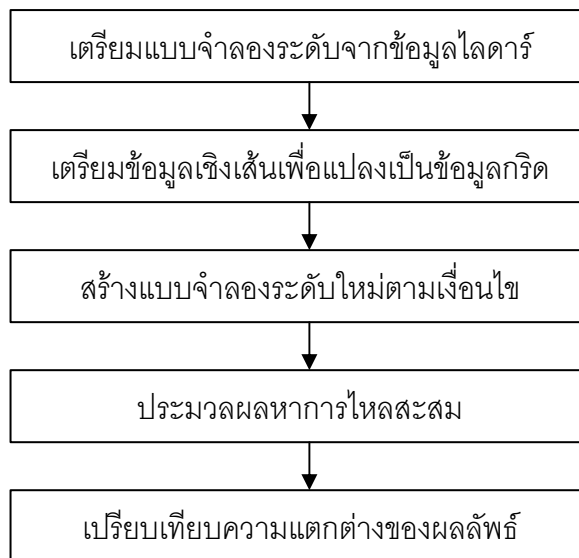
### 1.5.4 ได้ทิศทางการไหล การไหลสะสมและเส้นทางการไหล ในพื้นที่ศึกษา เพื่อนำไปใช้ในงานอื่นด้านอุทกวิทยาที่เกี่ยวข้องต่อไป

### 1.5.5 รู้ถึงขีดความสามารถแต่ละซอฟต์แวร์ในการประมวลผลหาทิศทางการไหล การไหลสะสม และเส้นทางการไหล

## บทที่ 2

### แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การประมวลผลแบบจำลองระดับปริมาณมากในการวิเคราะห์ภูมิประเทศ พบอุปสรรคที่กล่าวในบทที่ 1 คือใช้เวลาในการประมวลผลค่อนข้างมาก สำหรับการลดระยะเวลาในการประมวลผลมีอยู่ 2 วิธี วิธีแรกเป็นการจัดการกับสถานะแวดล้อมการประมวลผล เช่น การประมวลผลบนเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูงหรือการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ที่มีประสิทธิภาพสูง เป็นต้น และวิธีที่ 2 เป็นการจัดการกับข้อมูลในการประมวลผล เช่น การลดขนาดของข้อมูลให้เล็กลง เป็นต้น (พีระพนธ์ ไสพัทสถิต, 2552) ในงานวิจัยนี้จึงเลือกทั้ง 2 วิธี สำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์จากประมวลผลแบบจำลองระดับปริมาณมากในการวิเคราะห์ภูมิประเทศ เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น จะขออธิบายตามขั้นตอนหลักในการศึกษา ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนหลักในการศึกษาวิธีประมวลผลแบบจำลองระดับปริมาณมาก  
เพื่อการวิเคราะห์ภูมิประเทศ

จากรูปที่ 2.1 แสดงถึงขั้นตอนหลักที่ใช้ในการศึกษาวิธีประมวลผลแบบจำลองระดับปริมาณมากเพื่อการวิเคราะห์ภูมิประเทศในครั้งนี้ ซึ่งในแต่ละขั้นตอนประกอบด้วยแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการศึกษาดังอธิบายไว้ในหัวข้อ 2.1 อธิบายแนวคิดและทฤษฎีการเตรียมแบบจำลองระดับจากข้อมูลไลดาร์ หัวข้อ 2.2 อธิบายแนวคิดและทฤษฎีการเตรียมข้อมูลเชิงเส้นเพื่อแปลงเป็นข้อมูลกริด หัวข้อ 2.3 อธิบายแนวคิดและทฤษฎีการเตรียมแบบจำลองระดับใหม่

ตามเงื่อนไข หัวข้อ 2.4 อธิบายแนวคิดและทฤษฎีการประมวลผลหาการไหลสะสม และในหัวข้อ 2.5 อธิบายแนวคิดและทฤษฎีการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์

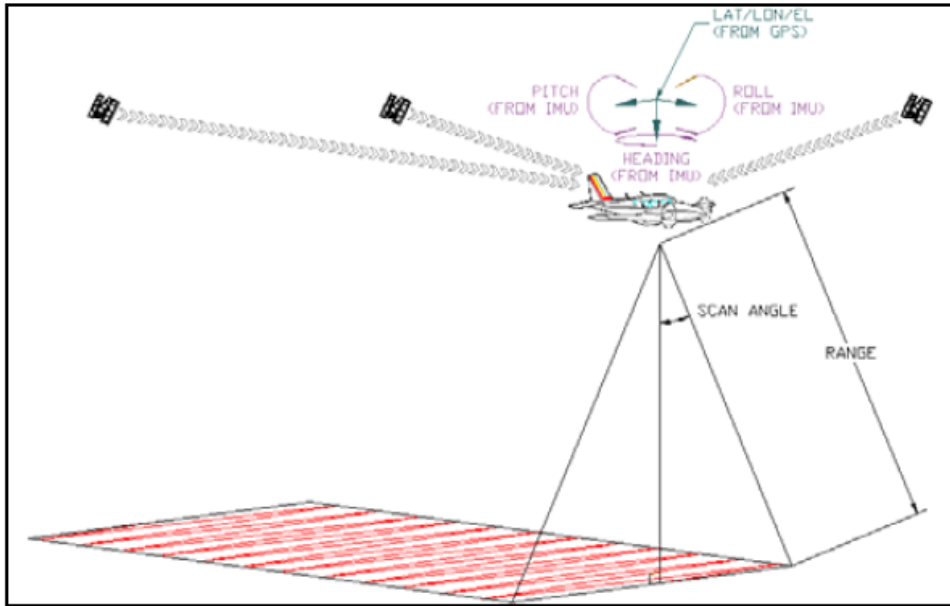
## 2.1 การเตรียมแบบจำลองระดับจากข้อมูลไลดาร์

แบบจำลองระดับปริมาณมาก (massive DEM) มักจะถูกสร้างจากข้อมูลไลดาร์ที่มีความหนาแน่น (density) ของจุดระดับสูง อีกทั้งยังมีความถูกต้องค่อนข้างสูง ซึ่ง Li and Wong (2010) ได้ทำการศึกษาพบว่าแบบจำลองระดับที่สร้างจากข้อมูลไลดาร์สามารถให้ผลการสร้างโครงข่ายลำน้ำที่มีความถูกต้องสูง แต่ความถูกต้อง (accuracy) ที่ได้ยังขึ้นอยู่กับความละเอียด (resolution) ของแบบจำลองระดับที่สร้างด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ข้อมูลไลดาร์เพื่อเตรียมแบบจำลองระดับในพื้นที่ศึกษาโดยสร้างแบบจำลองระดับในหลายความละเอียดเพื่อนำไปเปรียบเทียบความแตกต่างผลลัพธ์ในด้านการจัดการขนาดข้อมูลในการประมวลผลต่อไป ดังนั้นในหัวข้อ 2.1 นี้ จะอธิบายถึง 2.1.1 แบบจำลองระดับที่ได้จากข้อมูลไลดาร์ และ 2.1.2 การจัดการลดความละเอียดของแบบจำลองระดับเพื่อใช้ในการประมวลผล

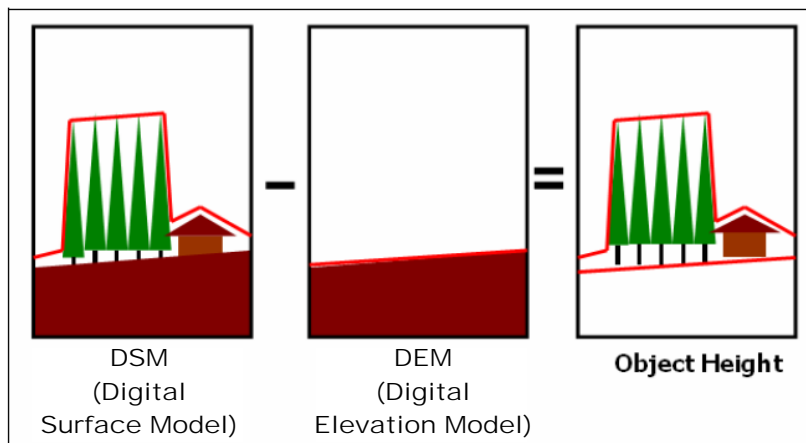
### 2.1.1 แบบจำลองระดับที่ได้จากข้อมูลไลดาร์

การรังวัดความสูงภูมิประเทศด้วยไลดาร์ (Light Detection and Ranging, Lidar) เป็นระบบสำรวจจริงวัดความสูงภูมิประเทศ (ค่าระดับสูง) ด้วยแสงเลเซอร์ที่ติดตั้งบนอากาศยาน พร้อมอุปกรณ์นำหนที่มีความละเอียดถูกต้องสูง (airborne GPS) ผสมผสานระหว่างระบบรังวัดการเอียงตัวของอากาศยาน (orientation system) หรือ IMU (initial measurement unit) ทำให้สามารถกำหนดความถูกต้องทางตำแหน่งได้ 5-10 เซนติเมตร ณ เวลาหนึ่งๆ อุปกรณ์นำหนที่มีความถูกต้องสูง จะให้ค่าตำแหน่งใน 3 มิติของอากาศยาน (ละติจูด ลองจิจูด และค่าความสูงเหนือพื้นผิวทรงกลมโลก) และระบบรังวัดการเอียงตัวของอากาศยานจะให้ค่าการเอียงตัวของอากาศยานพร้อมกันทั้ง 3 แกน ในขณะที่เดียวกันระบบวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์จะทำการวัดระยะทางจากอากาศยานถึงพื้นดิน นอกจากนั้นในระบบวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์ยังมีการติดตั้งระบบกราดเพื่อทำการกราดวัดระยะทางในแนวซ้ายและขวาของแนวนบิน ดังนั้นเมื่อเครื่องบินเคลื่อนที่ไป ระบบวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์จะทำการกราดวัดระยะทางเป็นแนวซิกแซกตั้งฉากตลอดแนวนบินของเครื่องบิน ดังรูปที่ 2.2 เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่ระบบประมวลผล ระบบจะทำการทอนค่าต่างๆ เป็นค่าความสูงพื้นผิวปกคลุมภูมิประเทศและค่าความสูงพื้นผิวภูมิประเทศต่อไป (จนิษฐ์ ประเสริฐบุรณะกุล และคณะ, 2549)

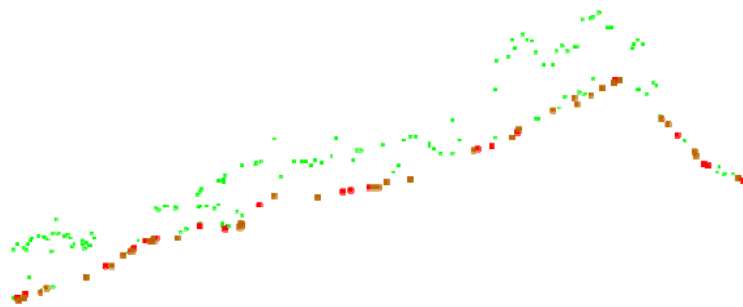
ค่าความสูงภูมิประเทศสามารถแยกออกได้เป็นค่าความสูงพื้นผิวปกคลุมภูมิประเทศ (Digital Surface Model, DSM) และค่าความสูงพื้นผิวภูมิประเทศ (DEM) ซึ่งทั้ง DSM และ DEM จะอ้างอิงกับระดับทะเลปานกลาง ดังรูปที่ 2.3 (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2553 [1])



รูปที่ 2.2 การสำรวจด้วยไลดาร์  
(จนิษฐ์ ประเสริฐบุรณะกุล และคณะ, 2549)

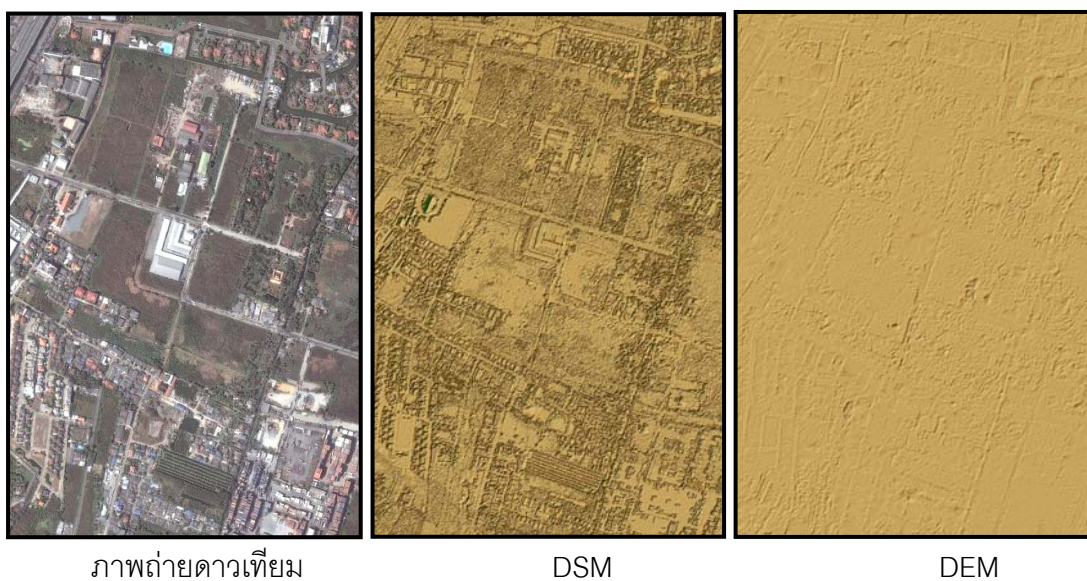


รูปที่ 2.3 ความสูงภูมิประเทศ (จนิษฐ์ ประเสริฐบุรณะกุล และคณะ, 2549)





ไพศาล สันติธรรมนนท์ (2553) [1] กล่าวว่าไว้ว่าค่าความสูงพื้นผิวปกคลุมภูมิประเทศคือค่าความสูงบนพื้นผิวที่ปกคลุมพื้นผิวภูมิประเทศที่แท้จริง เช่น ค่าระดับสูงบนเรือนยอดของต้นไม้ หรือค่าระดับสูงบนหลังคาบ้าน เนื่องจากการรังวัดจากอากาศยานด้วยวิธีต่างๆ ไม่สามารถสังเกตเห็นพื้นผิวพื้นดินที่แท้จริงได้ ค่าความสูงพื้นผิวภูมิประเทศ คือค่าความสูงพื้นผิวพื้นดินของภูมิประเทศที่แท้จริงที่แสดงผลในแผนที่ภูมิประเทศด้วยเส้นชั้นความสูง ในบริเวณพื้นที่เปิดโล่ง ค่าความสูง DSM จะมีค่าเท่ากับค่าความสูง DEM แต่ในบริเวณพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมพื้นดินนั้นค่าความสูง DSM จะมีค่าสูงกว่าค่าความสูง DEM ดังรูปที่ 2.4



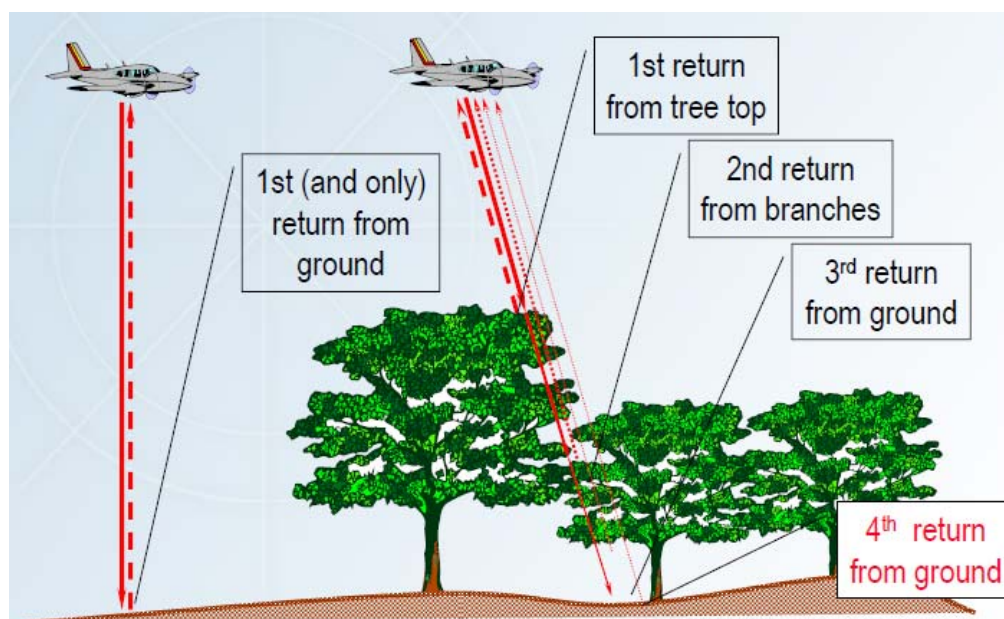
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างแสดงภาพถ่ายดาวเทียมและความสูงพื้นผิวภูมิประเทศ DSM และ DEM  
จากระบบไลดาร์ในพื้นที่ศึกษาด้วยซอฟต์แวร์ Lastools

เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากไลดาร์เป็นจุดระดับมีความหนาแน่นสูง ซึ่งจำเป็นต้องใช้ซอฟต์แวร์ที่มีความสามารถในการอ่านข้อมูลจุดระดับความหนาแน่นสูง บริหารจัดการหน่วยความจำคอมพิวเตอร์ได้ดี หลีกเลี่ยงการคำนวณที่ใช้ทรัพยากรมากโดยไม่จำเป็น American Society for Photogrammetry and Remote Sensing ได้กำหนดมาตรฐานรูปแบบของการจัดเก็บข้อมูลระดับไลดาร์เรียกว่า LAS format ตามที่ปรากฏในมาตรฐาน LIDAR Data Exchange Format Standard Version 1.3 ของสมาคม ASPRS (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2553 [2])

Lastools เป็นซอฟต์แวร์สำหรับการจัดการและประมวลผลข้อมูลไลดาร์ที่มีประสิทธิภาพที่รองรับมาตรฐานรูปแบบของการจัดเก็บข้อมูลระดับไลดาร์ (LAS format) ถูกพัฒนาขึ้นจากการร่วมมือของ National Geospatial-Intelligence Agency และ Defense Advanced Research

Projects Agency โดย P. Sloan ซึ่งมีเครื่องมือสำหรับประมวลผลข้อมูลไลดาร์ เพื่อนำไปใช้ใน รูปแบบต่างๆ มากมาย และสามารถสร้างข้อมูลแบบจำลองระดับได้ด้วยเครื่องมือ Las2las เพื่อ จำแนกเอาเฉพาะจุดระดับผิวดิน (ground point) แล้วนำจุดระดับทั้งหมดที่ได้สร้างเป็นข้อมูล แบบจำลองระดับด้วยเครื่องมือ Las2DEM ด้วยวิธีโครงข่ายสามเหลี่ยมไม่สม่ำเสมอ (Triangulated Irregular Network, TIN) (Isenburg and Shewchuk, 2010) ซึ่งลักษณะโครงข่าย ของ TIN เป็นการเชื่อมตัวอย่างรูปสามเหลี่ยมไม่สม่ำเสมอใดๆ จากจุดพื้นผิวด้านบนของพื้นที่ ด้วย รูปร่างที่ไม่สม่ำเสมอทำให้สามารถเลือกตัวแทนจุดได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความราบเรียบของ พื้นผิวนั้นๆ (หรรษา วัฒนานุกิจ, 2547) ทั้งนี้พื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ ราบ ดังนั้นจึงสามารถเลือกตัวแทนจุดระดับได้มาก ซึ่งสอดคล้องกับ Wise (2007) ได้ศึกษา ผลกระทบของแบบจำลองระดับที่สร้างจากต่างวิธีต่อผลของค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทาง อุทกวิทยา พบว่า ในพื้นที่ราบแบบจำลองระดับที่สร้างจากวิธี TIN และ Inverse Distance Weighting, IDW ให้ผลคำนวณพื้นที่ลุ่มน้ำมีความถูกต้องและสอดคล้องกับลักษณะพื้นที่จริงมาก ที่สุด

ในการได้มาของข้อมูลแบบจำลองระดับนั้นกระบวนการที่สำคัญคือการจำแนกจุดไลดาร์ (Lidar point classification) เป็นการวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ในการส่งสัญญาณไปกระทบเป้า วัตถุแล้วสะท้อนกลับ ความสามารถในการสะท้อนกลับของวัตถุต่างๆ เมื่อกลับมายังเครื่องรับ สัญญาณแล้ว ระบบจะทำการเก็บบันทึกสัญญาณเป็นช่วงตามระยะของการสะท้อน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การจำแนกอัตโนมัติ (สุกิจ วิเศษสินธุ์, 2552)

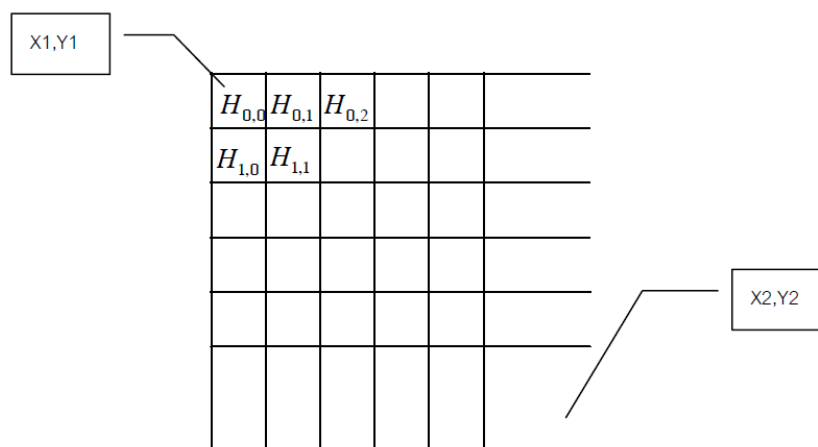


จากรูปที่ 2.5 สามารถอนุมานได้ว่าระยะเวลาที่เลเซอร์ตกกระทบแล้วสะท้อนกลับมายังเครื่องรับที่ใช้ระยะเวลาที่นานที่สุด คือ จุดระดับผิวดิน (ground point) เช่น ในพื้นที่เปิดโล่ง จุดเลเซอร์ที่เป็น 1<sup>st</sup> return from ground กรณีนี้จุดดังกล่าวเป็นจุดระดับผิวดินแน่นอน แต่ในส่วนที่กระทบผ่านพุ่มไม้หรือทรงพุ่มไม้ จุดเลเซอร์ที่ตกกระทบและสะท้อนกลับจะมีหลายระดับตั้งแต่ 1<sup>st</sup> return from tree top จนถึง 4<sup>th</sup> return from ground หรือเรียกว่า last-return ดังนั้นในกรณีจุดระดับผิวดินควรจะเป็น 4<sup>th</sup> return from ground เพราะระยะเวลาสะท้อนกลับของสัญญาณแสงเลเซอร์นานที่สุด เป็นต้น ด้วยวิธีนี้จะสามารถจำแนกจุดระบบผิวดินออกจากที่จุดระดับที่ไม่ใช่ผิวดิน (non ground point) ได้ เพื่อความถูกต้องสามารถตรวจสอบกับวัตถุที่ปรากฏหลังจำแนกได้ โดยการเปรียบเทียบจากภาพถ่ายทางอากาศในเวลาขณะเดียวกัน (สุกิจ วิเศษสินธุ์, 2552)

ในซอฟต์แวร์ Lastools สำหรับการจำแนกจุดระดับออกเป็นชั้น (layer) เพื่อให้สามารถเลือกชั้นข้อมูลที่ต้องการได้โดยใช้รหัสการจำแนกตามมาตรฐาน ASPRS LAS ดังนั้นการได้มาของข้อมูลแบบจำลองระดับนั้น สามารถเลือก classification value 2 ซึ่งเป็นชั้นที่แสดงค่าข้อมูลพื้นผิวภูมิ-ประเทศที่ลบข้อมูลเหนือผิวดินไปแล้ว และสามารถจัดเก็บผลลัพธ์ที่ได้ในรูปแบบที่หลากหลายเพื่อสนับสนุนการรองรับของซอฟต์แวร์อื่นสำหรับนำข้อมูลไปใช้ต่อไป

### 2.1.2 การจัดการลดค่าความละเอียดจุดระดับเพื่อใช้ในการประมวลผล

แบบจำลองระดับแบบกริด (grid) คือแบบจำลองระดับที่จัดเก็บจุดระดับเป็นแถวเป็นแนวอย่างมีระบบ โดยตำแหน่งที่จัดเก็บจะมีตำแหน่งแน่นอนเป็นระยะห่างที่เท่าๆกัน ที่เรียกว่าเป็นแรสเตอร์ (raster) หรือกริด ซึ่งมีระยะห่างของจุดระดับเท่าๆกัน พื้นที่จัดเก็บจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส ด้วยวิธีนี้สามารถหลีกเลี่ยงการบันทึกค่าพิกัดได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งนิยมที่จะเข้าเป็นรหัสไบนารีที่คอมพิวเตอร์เข้าใจได้ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แบบจำลองระดับแบบกริด (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2553 [1])

ค่าระดับชนิดไบนารีสามารถเลือกได้จากช่วงความสูงที่ต้องการเทียบกับหน่วยของการจัดเก็บในคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างของชนิดข้อมูลในคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ในการจัดเก็บค่าระดับมีดังตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1** ชนิดข้อมูลในคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดเก็บ (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2553 [1])

ชนิดข้อมูล	ขนาด (ไบต์)	รูปแบบของ บิต	ช่วงความสูง
Signed Integer (Short)	2	15+1	$-32768 \leq H \leq +32767$
Unsigned Integer	2	16	$0 \leq H \leq +65535$
Single Precision Float	4	24+8	$1.17549435 \times 10^{-38} \leq H \leq 3.40282347 \times 10^{+38}$

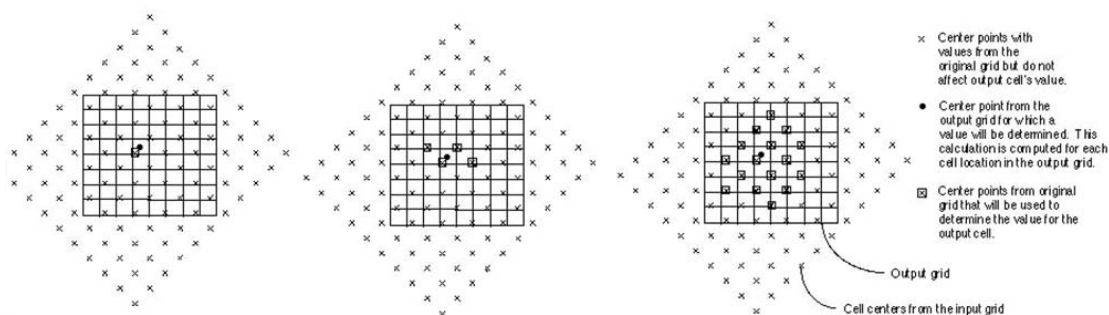
จะเห็นได้ว่าสำหรับข้อมูลกริดหากขนาดของข้อมูลที่จะใช้ในการจัดเก็บค่าระดับต่างกันสองเท่า ปริมาณข้อมูลที่ต้องจัดเก็บจะเพิ่มขึ้นเป็นสี่เท่า นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าวิธีการจัดเก็บค่าระดับแบบกริดมีหลักการเดียวกับการจัดเก็บภาพดิจิทัล เพียงแต่ค่าที่ประจำแต่ละจุดภาพเป็นค่าระดับ ดังนั้นจึงสามารถนำรูปแบบการจัดเก็บภาพดิจิทัลมาประยุกต์ใช้ได้ ซึ่งรูปแบบการจัดเก็บภาพดิจิทัลมีความสามารถอ้างอิงพิกัดโลก (georeferencing) ได้ด้วย ตัวอย่างของรูปแบบการจัดเก็บนี้ได้แก่ GeoTIFF หรือรูปแบบอื่นๆ ที่ออกแบบไว้จัดเก็บแบบจำลองระดับโดยเฉพาะได้แก่ USGS SDTS/DEM

จรัญธร บุญญานุภาพ (2551) ได้อธิบายไว้ว่า การสุ่มตัวอย่างซ้ำ (resampling) เป็นกระบวนการจัดเก็บภาพดิจิทัลที่นำมาประยุกต์ใช้กับการจัดเก็บแบบจำลองระดับ โดยปรับแก้ค่าระดับหรือเป็นการสร้างข้อมูลแบบจำลองระดับใหม่ หลังจากการแก้ไขด้านตำแหน่งของข้อมูลแบบจำลองระดับแล้ว ขนาดและตำแหน่งของจุดระดับจะเปลี่ยนไป จึงต้องปรับค่าระดับของข้อมูลใหม่โดยการ resampling Interpolation เพื่อให้ค่าระดับที่สอดคล้องกับตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลง วิธี resampling หรือการสร้างจุดระดับใหม่ ขนาดของแบบจำลองระดับใหม่อาจมีขนาดเท่าเดิมหรือเปลี่ยนแปลงก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของผู้ใช้ สำหรับการแทนค่าตัวเลขลงในจุดระดับใหม่มี 3 วิธี คือ

2.1.2.1 Nearest neighbor substitution เป็นวิธีแทนค่าด้วยค่าระดับของจุดระดับเดิมที่อยู่ใกล้ที่สุดกับจุดระดับที่ทำการสุ่มตัวอย่างซ้ำ วิธีนี้ค่อนข้างง่ายและใช้เวลาในการคำนวณน้อย แต่ให้ความถูกต้องไม่สูงมาก ดังรูป 2.7 (a)

2.1.2.2 Bilinear interpolation เป็นการหาความสัมพันธ์เชิงเส้นคู่ โดยการสมมติให้ค่าความต่างระหว่างจุดระดับเดิม 4 จุดภาพ ดังรูป 2.7 (b)

2.1.2.2 Cubic convolution ค่อนข้างซับซ้อนและใช้เวลาในการประมวลผลนานกว่า 2 วิธีแรก จะใช้ค่าระดับของจุดระดับที่อยู่ใกล้ชิดกับจุดระดับที่ทำการสุ่มตัวอย่างซ้ำจำนวน 9 หรือ 16 จุดระดับในการคำนวณค่าใหม่ วิธีนี้จะสร้างความสัมพันธ์ในลักษณะโพลีโนเมียลระดับสูง (มากกว่า 1<sup>st</sup> order) ดังรูป 2.7 (c)



(a) Nearest neighbor (b) Bilinear interpolation (c) Cubic convolution

รูปที่ 2.7 การแทนค่าตัวเลขลงในจุดระดับ (Richards, 1993)

## 2.2 การเตรียมข้อมูลเชิงเส้นเพื่อแปลงเป็นข้อมูลกริด

จากหัวข้อ 2.1.1 ได้ทราบว่าแบบจำลองระดับที่ได้จากข้อมูลไลดาร์นั้นมีความถูกต้องค่อนข้างสูง (5-10 เซนติเมตร) แต่ช่วงเวลาในการได้มาซึ่งข้อมูลไลดาร์นั้นบางครั้งอาจไม่ทันสมัย เพราะอาจมีการสร้างถนน เพิ่มคันดิน หรือขุดคลองใหม่ในช่วงเวลาหลังจากทำการเก็บข้อมูลไลดาร์ เป็นต้น ซึ่งทำให้ข้อมูลสำคัญที่มีผลต่อการไหลของน้ำหายไป หากทำการเก็บสำรวจใหม่ ต้องใช้งบประมาณมหาศาล การแก้ปัญหาดังกล่าววิธีหนึ่งคือการเพิ่มค่าระดับใหม่ลงไปยังแบบจำลองระดับดั้งเดิมที่ได้จากข้อมูลไลดาร์ โดยการสร้างข้อมูลระดับใหม่จากข้อมูลที่เป็นปัจจุบันกว่า เช่น ข้อมูลจากงานระดับถนนใหม่ ข้อมูลรูปตัดของคลอง เป็นต้น ซึ่งสร้างเป็นข้อมูลเชิงเส้น (vector) แล้วแปลงเป็นข้อมูลกริด เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองระดับใหม่ตามเงื่อนไข (หัวข้อ 2.3) ต่อไป ดังนั้นในหัวข้อ 2.2 นี้ จะอธิบายถึง 2.2.1 การเตรียมข้อมูลระดับที่เป็นปัจจุบันกว่า และ 2.2.2 การแปลงข้อมูลเชิงเส้นเป็นข้อมูลกริด

2.2.1 การเตรียมข้อมูลระดับที่เป็นปัจจุบันกว่า

ปัจจุบันได้มีวิธีการสำรวจเก็บข้อมูลระดับมากมาย ไม่ว่าจะเป็นแบบดั้งเดิม เช่น การระดับ (leveling) ความถูกต้องระดับเซนติเมตร การรังวัดด้วยภาพ (photogrammetry) ความถูกต้องระดับเดซิเมตร เป็นต้น หรือจะเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น เลเซอร์สแกนเนอร์ (Laser-Scanner) หรือ ไลดาร์ (Light Detection and Ranging, Lidar) ความละเอียดถูกต้องระดับเซนติเมตร (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2553 [1]) การรังวัดด้วยสัญญาณดาวเทียมนำหน GPS, GNSS และระบบบูรณาการ GPS/INS ความละเอียดถูกต้องระดับเดซิเมตรถึงเมตร (อรุณ บุรีรักษ์, 2553) เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกจัดเก็บเป็นข้อมูลจุดระดับซึ่งมีระยะห่างของจุดระดับที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีในการสำรวจเก็บข้อมูล

2.2.2 การแปลงข้อมูลเชิงเส้นเป็นข้อมูลกริด (Rasterization)


ตัวแทนในการจัดเก็บข้อมูลในเชิงภูมิศาสตร์นั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.2.2.1 ข้อมูลกริด (grid) ดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 2.1.2

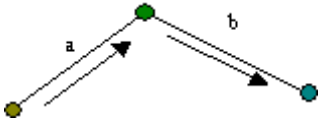
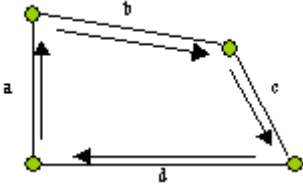
2.2.2.2 ข้อมูลเชิงเส้น (vector)

คือข้อมูลที่แสดงด้วย จุด (point) เส้น (line) หรือรูปปิด (polygon) ที่ประกอบด้วยจุดพิกัดทางแนวราบ (x,y) หรือแนวตั้ง (z) หรือ Cartesian coordinate system ถ้าเป็นพิกัดตำแหน่งเดียว ก็จะเป็นค่าของจุด ถ้าจุดพิกัดสองจุดหรือมากกว่าจะเป็นค่าของเส้น ส่วนรูปปิดนั้นจะต้องมีจุดมากกว่า 3 จุดขึ้นไป และจุดพิกัดเริ่มต้นและจุดพิกัดสุดท้ายจะต้องอยู่ตำแหน่งเดียวกัน ลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่ในรูปแบบข้อมูลเชิงเส้นจะมีลักษณะรูปแบบ (spatial features) ต่าง ๆ พอสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

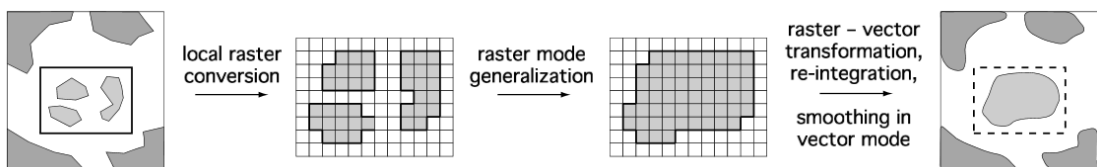
ตาราง 2.2 ลักษณะรูปแบบข้อมูลเชิงเส้น (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์กรุงเทพมหานคร, 2555)

<p>รูปแบบของจุด (point features)</p>	<p>เป็นตำแหน่งพิกัดที่ไม่มีขนาดและทิศทาง จะใช้แสดงข้อมูลที่เป็นลักษณะของตำแหน่งใด ๆ เช่น จุดระดับความสูง เป็นต้น</p>	
--	--	---

ตาราง 2.2 ลักษณะรูปแบบข้อมูลเชิงเส้น (ต่อ)

<p>รูปแบบของเส้น (linear features)</p>	<p>มีระยะและทิศทางระหว่างจุดเริ่มต้น ไปยังจุดแนวทาง (vector) และจุดสิ้นสุด ประกอบไปด้วยลักษณะของเส้นตรง เส้นหักมุม และเส้นโค้ง เช่น เส้นถนน คลอง เป็นต้น</p>	
<p>รูปแบบของรูปปิด (polygon features)</p>	<p>มีระยะและทิศทางระหว่างจุดเริ่มต้น จุดแนวทาง (vector) และจุดสิ้นสุด ที่ประกอบกันเป็นรูปหลายเหลี่ยมมีขนาดพื้นที่ (area) และเส้นรอบรูป (perimeter) เช่น พื้นที่ขอบเขตข้อมูลไลดาร์ ครอบคลุม เป็นต้น</p>	

ในงานบางประเภทนั้น ข้อมูลกริดนั้นมีข้อได้เปรียบในการใช้ทรัพยากรระบบคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพดีกว่าข้อมูลเชิงเส้น ช่วยให้สามารถทำการวิเคราะห์ประมวลผลได้รวดเร็ว เป็นเหตุให้ต้องแปลงข้อมูลเชิงเส้นให้เป็นข้อมูลกริด และเมื่อทำการประมวลผลเรียบร้อยแล้วสามารถแปลงกลับจากข้อมูลกริดเป็นข้อมูลเชิงเส้นได้ (vectorization) ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การแปลงประเภทของข้อมูลระหว่างข้อมูลเชิงเส้นและข้อมูลกริด เพื่อให้การลดทอนรายละเอียดข้อมูลง่ายขึ้น (Peter and Weibel, 1999)

จากรูปที่ 2.8 เป็นการแปลงข้อมูลเชิงเส้นให้เป็นข้อมูลกริดเพื่อทำการลดรายละเอียดของข้อมูลด้วยวิธี Generalization แล้วทำการแปลงข้อมูลกลับเป็นข้อมูลเชิงเส้นอีกครั้ง

ในงานด้านอุทกวิทยาเช่นกัน การประมวลผลด้วยข้อมูลกริดจะใช้ทรัพยากรระบบคอมพิวเตอร์ได้มีประสิทธิภาพกว่าข้อมูลเชิงเส้น ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้ได้เลือกใช้ ฟังก์ชัน Gdal\_rasterrize บนซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 ในการแปลงข้อมูลจากข้อมูลเชิงเส้นให้เป็น

ข้อมูลกริด และใช้ฟังก์ชัน Gdal\_polygonize บนซอฟต์แวร์เดียวกัน แปลงจากข้อมูลกริดกลับมาเป็นข้อมูลเชิงเส้น (GDAL, 2011) เพื่อนำผลไปประเมินประสิทธิภาพผลลัพธ์ต่อไป

### 2.3 การสร้างแบบจำลองระดับใหม่ตามเงื่อนไข

เมื่อได้ข้อมูลระดับใหม่จากหัวข้อ 2.2.2 แล้วย่อมสามารถวิเคราะห์ผลทางอุทกวิทยาได้ถูกต้องแม่นยำมากกว่าขณะไม่มีข้อมูลระดับใหม่ ขั้นตอนต่อไปเป็นการออกแบบเพื่อสร้างแบบจำลองระดับตามเงื่อนไขหรือสถานการณ์ที่ต้องการ โดยเรียกขั้นตอนนี้ว่าการเตรียมแบบจำลองระดับ โดยนำความรู้ในหัวข้อ 2.2 มาใช้ในการสร้างแบบจำลองระดับใหม่ในแต่ละรูปแบบของการเตรียมแบบจำลองระดับ โดยทั่วไปนักอุทกวิทยามักจะทำการเตรียมแบบจำลองระดับเพื่อใช้กับสถานการณ์นั้นๆ แต่ไม่ได้เตรียมไว้เพื่อใช้ได้ในทุกสถานการณ์ เนื่องจากมีขั้นตอนที่ยุ่งยาก ซับซ้อน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งออกแบบรูปแบบการเตรียมข้อมูลแบบจำลองระดับขึ้น ให้สามารถนำไปใช้ได้ในทุกสถานการณ์ เพื่อให้ได้แบบจำลองระดับใหม่ตามเงื่อนไขที่ต้องการสำหรับประมวลผลการไหลสะสมต่อไป ดังนั้นในหัวข้อ 2.3 นี้ จะอธิบายถึงแนวคิดและทฤษฎีของ หัวข้อ 2.3.1 การคำนวณข้อมูลกริด และ หัวข้อ 2.3.2 เทคนิคการปรับค่าระดับแบบจำลองระดับ

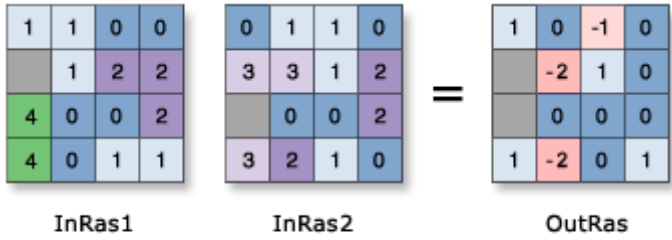
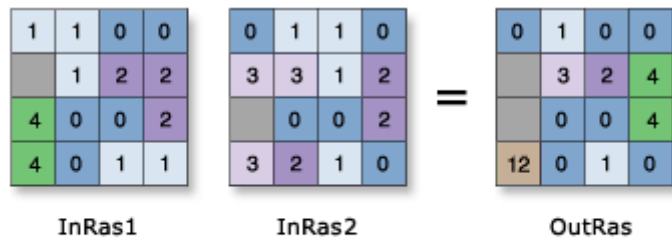
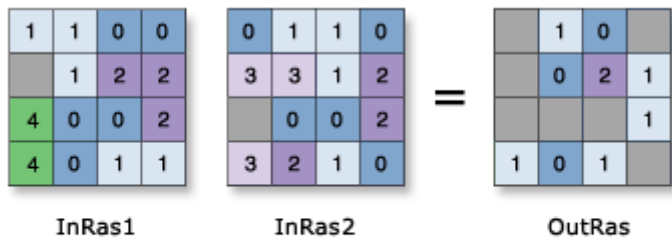
#### 2.3.1 การคำนวณข้อมูลกริด (raster calculator)

เป็นการปรับปรุงข้อมูลแบบจำลองระดับด้วยกระบวนการทางคณิตศาสตร์ (mathematical operation) คำนวณจากกริด 2 ชั้นข้อมูลด้วยเครื่องมือคำนวณที่ต้องการผลลัพธ์ให้ได้แบบจำลองระดับใหม่ที่เหมาะสมในการทำงาน ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องมือคำนวณที่สำคัญ แสดงดังตารางที่ 2.3

ตาราง 2.3 เครื่องมือคำนวณที่ใช้วิจัย (ESRI, 2011)

ชื่อเครื่องมือ	สัญลักษณ์	ลักษณะการคำนวณ
การบวก (add)	+	<p style="text-align: center;"> <b>InRas1</b>                      <b>InRas2</b>                      <b>OutRas</b> </p> <p><b>Map Algebra:</b>  <b>OutRas = InRas1 + InRas2</b></p> <p style="text-align: right;">■ Value = NoData</p>

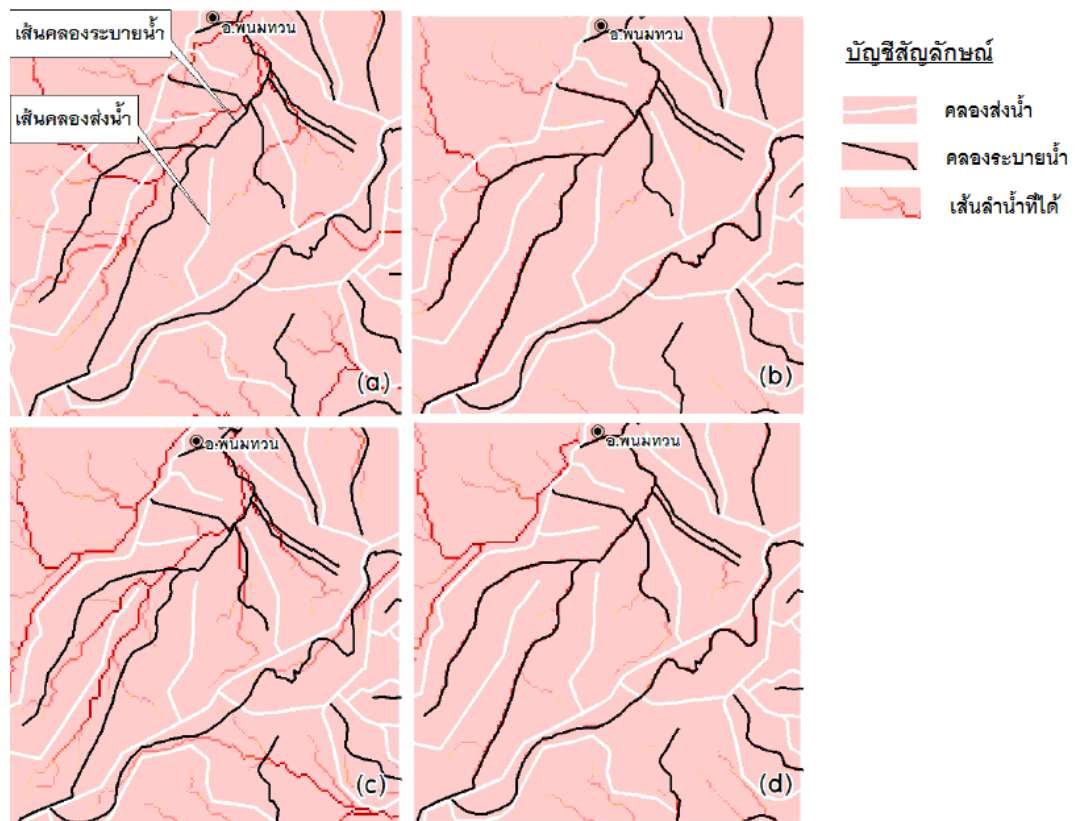
ตาราง 2.3 เครื่องมือคำนวณที่ใช้วิจัย (ต่อ)

ชื่อเครื่องมือ	สัญลักษณ์	ลักษณะการคำนวณ
การลบ (subtracts)	-	 <p style="text-align: center;">InRas1                  InRas2                  OutRas</p> <p><b>Map Algebra:</b>  <math>OutRas = InRas1 - InRas2</math></p> <p style="text-align: right;">■ Value = NoData</p>
การคูณ (multiplies)	*	 <p style="text-align: center;">InRas1                  InRas2                  OutRas</p> <p><b>Map Algebra:</b>  <math>OutRas = InRas1 * InRas2</math></p> <p style="text-align: right;">■ Value = NoData</p>
การหาร (divides)	Divide	 <p style="text-align: center;">InRas1                  InRas2                  OutRas</p> <p><b>Command Line:</b>  <code>Divide_sa InRas1 InRas2 OutRas</code></p> <p style="text-align: right;">■ Value = NoData</p>

จากตาราง 2.3 เป็นการคำนวณจากกริด 2 ชั้นข้อมูลให้ได้ผลลัพธ์ตามเงื่อนไข เช่น การลบคือการนำค่าของกริด 2 ชั้นข้อมูลมาลบกัน InRas1 คือชั้นข้อมูลตั้งต้น InRas2 คือชั้นข้อมูลที่น่าไปลบ OutRas คือชั้นข้อมูลของผลลัพธ์ค่ากริดของชั้นข้อมูลตั้งต้นลบด้วยชั้นข้อมูลที่น่าไปลบเป็นต้น ซึ่งการบวก การคูณและการหารจะทำงานในลักษณะเดียวกัน

### 2.3.2 เทคนิคการปรับค่าระดับแบบจำลองระดับ

อิศเรศ กะการดีและเอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย (2555) ได้ใช้เทคนิค stream burning เพื่อปรับค่าระดับแบบจำลองระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ ซึ่งกำหนดตัวอย่างศึกษาเป็น 4 กรณี คือ (a) ใช้ข้อมูลแบบจำลองระดับเพียงอย่างเดียว (b) ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ (c) ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ (d) ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ ซึ่งผลการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์ทางอุทกวิทยาเมื่อประมวลผลด้วยแบบจำลองระดับเพียงอย่างเดียวสภาพการไหลของน้ำไม่สอดคล้องตามความเป็นจริง และในส่วนของ การใช้ข้อมูลคลองส่งน้ำร่วมกับข้อมูลคลองระบายน้ำให้ผลลัพธ์สอดคล้องความเป็นจริงมากกว่า การใช้ข้อมูลคลองส่งน้ำหรือข้อมูลคลองระบายเพียงอย่างเดียว ดังรูปที่ 2.9 สรุปได้ว่าการเตรียมข้อมูลลักษณะการระบายน้ำที่สอดคล้องกับความเป็นจริงช่วยให้การจำลองสภาพทางอุทกวิทยาในพื้นที่ราบลุ่มมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิควิธีนี้ไปใช้ในการเตรียมแบบจำลองระดับตามเงื่อนไขเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ต่อไป



**รูปที่ 2.9** แสดงการไหลสะสมที่ได้จาก a) ใช้ข้อมูลแบบจำลองระดับเพียงอย่างเดียว (b) ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ (c) ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ (d) ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ (อิศเรศ กะการดีและเอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย, 2555)



## 2.4 การประมวลผลหาการไหลสะสม

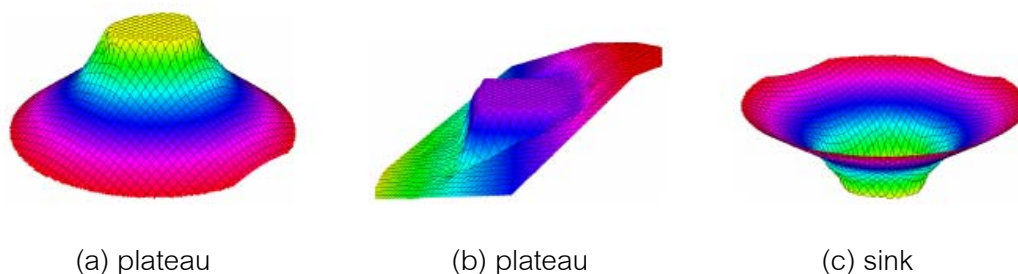
เมื่อได้ข้อมูลแบบจำลองระดับจากหัวข้อ 2.3 แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการประมวลผลแบบจำลองระดับ เพื่อศึกษาการไหลของน้ำ (flow) ซึ่งเป็นการจำลองลักษณะการเกิดฝนตกในภูมิภาค ประเทศ แล้วสังเกตพฤติกรรมการไหลของน้ำ (flow behavior) โดยงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละซอฟต์แวร์และความละเอียดของแบบจำลองระดับในการประมวลผลหาการไหลสะสม ดังนั้นในหัวข้อ 2.4 นี้ จะอธิบายถึง 2.4.1 การประมวลผลหาการไหลสะสม และ 2.4.2 ซอฟต์แวร์ประมวลผลหาการไหลสะสม

### 2.4.1 การประมวลผลหาพฤติกรรมการไหลของน้ำ

พฤติกรรมการไหลของน้ำนั้นมีขั้นตอนและกระบวนการ ดังนี้

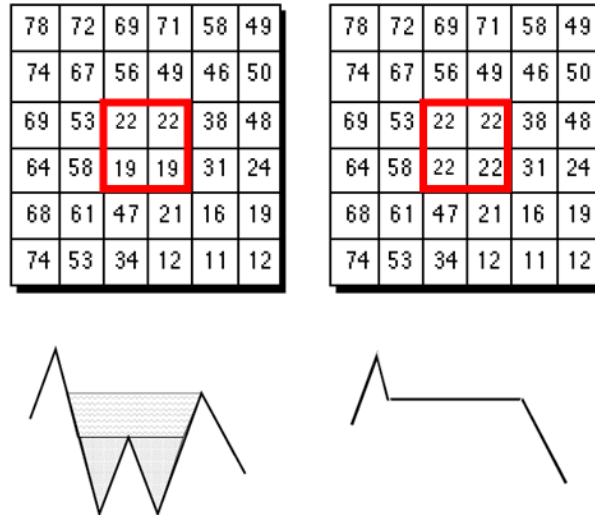
#### 2.4.1.1 การทำให้ท่วมหรือการเติมให้เต็ม (flooding or filling)

ปัญหาของข้อมูลแบบจำลองระดับในการนำไปประมวลผลทางด้านอุทกวิทยาอย่างแรกที่พบมากคือ ปัญหาการมีแอ่ง (sink) ซึ่งมีลักษณะเป็นที่ราบ (plateau) ประเภทหนึ่ง ซึ่งที่ราบหมายถึง ภูมิภาคที่เป็นที่แบนราบหรือมีลักษณะสูงต่ำเล็กน้อย โดยที่ราบที่เป็นไปได้มีอยู่ 3 ลักษณะ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ลักษณะของที่ราบ (Toma et al., 2001)

จากรูปที่ 2.10 (c) มีลักษณะเป็นที่ราบแบบแอ่ง เมื่อทำการหาเส้นทางไหล (flow routing) จะไม่สามารถหาเส้นทางออกจากแอ่งได้เนื่องจากไม่มีทางออกที่ต่ำกว่าแอ่ง การแก้ปัญหาคือการเติมแอ่งให้เต็ม (fill sink) โดยใช้วิธีการในลักษณะเดียวกับการเติมน้ำให้เต็มจนน้ำสามารถไหลไปต่อยังพื้นที่ต่ำกว่าได้ (flooding) ตามแรงโน้มถ่วงของโลก ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การทำให้ท่วมหรือการเติมให้เต็ม

2.4.1.2 เส้นทางและทิศทางการไหล (flow routing and flow direction)

ข้อมูลแบบจำลองระดับมีลักษณะเป็นตารางกริด (grid cell) ประกอบด้วยค่าระดับเป็นตัวแทนในแต่ละพื้นที่ภายในกริดนั้น พื้นที่ข้อมูลข้างเคียง (neighbors of grid cell) คือพื้นที่ข้อมูลตัวแทนค่าระดับภายในกริดที่อยู่ล้อมรอบกริดนั้น ซึ่งจะใช้ในการหาเส้นทางกริด (flow routing) และทิศทางการไหล (flow direction) โดยการหาค่าที่น้อยกว่าพื้นที่สนใจไปยังพื้นที่ข้างเคียงทั้ง 8 ทิศ ค่าใดน้อยกว่าค่าที่สนใจ ทิศทางการไหลจะเป็นทิศทางนั้น โดยกำหนดตามองศา (D8) คือ 0° (64), 45° (128), 90° (1), 135° (2), 180° (4), 225° (8), 270° (16) และ 315° (32) โดยแบ่งเป็น

- ทิศทางการไหลทางเดียว (Single-flow-direction : SFD) จะเลือกค่าที่น้อยกว่าพื้นที่สนใจน้อยที่สุด ดังรูปที่ 2.12

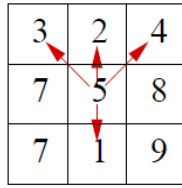
3	2	4
7	5	8
7	1	9

5 -> 1  
 1 มีค่าที่น้อยกว่า 5 มากที่สุด  
 ดังนั้น flow direction คือ 180°

รูปที่ 2.12 ทิศทางการไหลทางเดียว (Single-flow-direction : SFD)

(Toma et al., 2001)

- ทิศทางการไหลหลายทาง (Multi-flow-direction : MSD) จะเลือกค่าที่น้อยกว่าพื้นที่สนใจน้อยที่สุด ดังรูปที่ 2.13



5 -> 1, 2, 3 และ 4

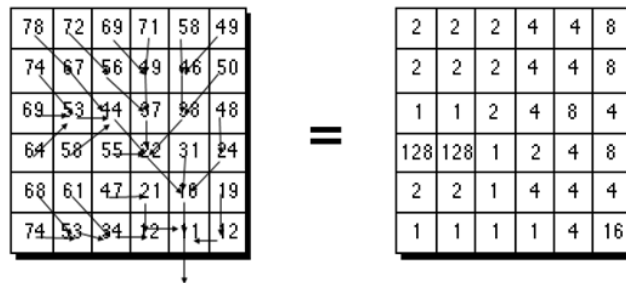
1, 2, 3 และ 4 มีค่าที่น้อยกว่า 5

ดังนั้น flow direction คือ 180°, 315°, 0° และ 45°

รูปที่ 2.13 ทิศทางการไหลหลายทาง (Multi-flow-direction: MSD)

(Toma et al., 2001)

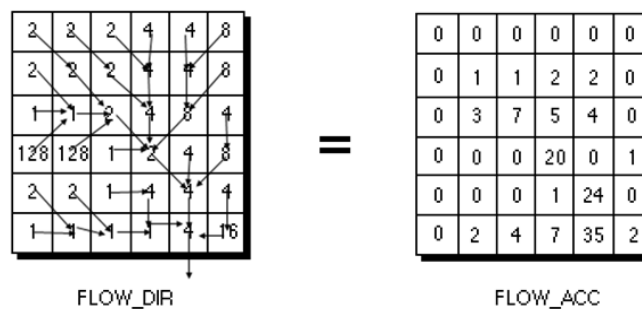
ในการทำงานของซอฟต์แวร์ส่วนใหญ่มักจะเป็นแบบทิศทางการไหลทางเดียว จากรูปที่ 12 สามารถทำการหาทิศทางการไหลโดยการไล่หาทิศทางไปในทุกกริด จะได้ผลการหาเส้นทางการไหลและทิศทางการไหลดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 เส้นทางการไหลและทิศทางการไหล (Krogstad, 2010)

2.4.1.3. การไหลสะสม (flow accumulation)

เมื่อได้ทิศทางการไหลแล้วจะสามารถคำนวณหาค่าการไหลสะสมได้ โดยกำหนดให้แต่ละกริดมีค่าเท่ากับ 0 และเมื่อข้อมูลข้างเคียงมีทิศทางการไหลไปยังกริดใด ให้บวกเพิ่มค่ากริดนั้น ทิศทางการไหลเข้าที่ละ 1 เช่น กริดหนึ่งมีทิศทางการไหลเข้า 3 กริด กริดนั้นจะมีค่าเท่ากับ 3 และเมื่อกริดที่ถูกเพิ่มค่านั้นไหลไปยังกริดใดให้บวกค่าของกริดนั้นไปยังกริดใหม่ด้วย เช่น กริดที่มีค่าเท่ากับ 3 ไหลไปยังกริดใหม่ กริดใหม่นั้นจะมีค่าเท่ากับ 4 เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การไหลสะสม (Krogstad, 2010)

## 2.4.2 ซอฟต์แวร์ประมวลผลการไหลสะสม

ในปัจจุบันมีซอฟต์แวร์สำหรับการประมวลผลการไหลสะสมมากมาย แต่ละซอฟต์แวร์ล้วนมีอัลกอริทึมในการประมวลผลที่แตกต่างกัน แต่ในงานวิจัยนี้เลือกเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ 2 ค่าย ดังนี้

### 2.4.2.1 ซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3

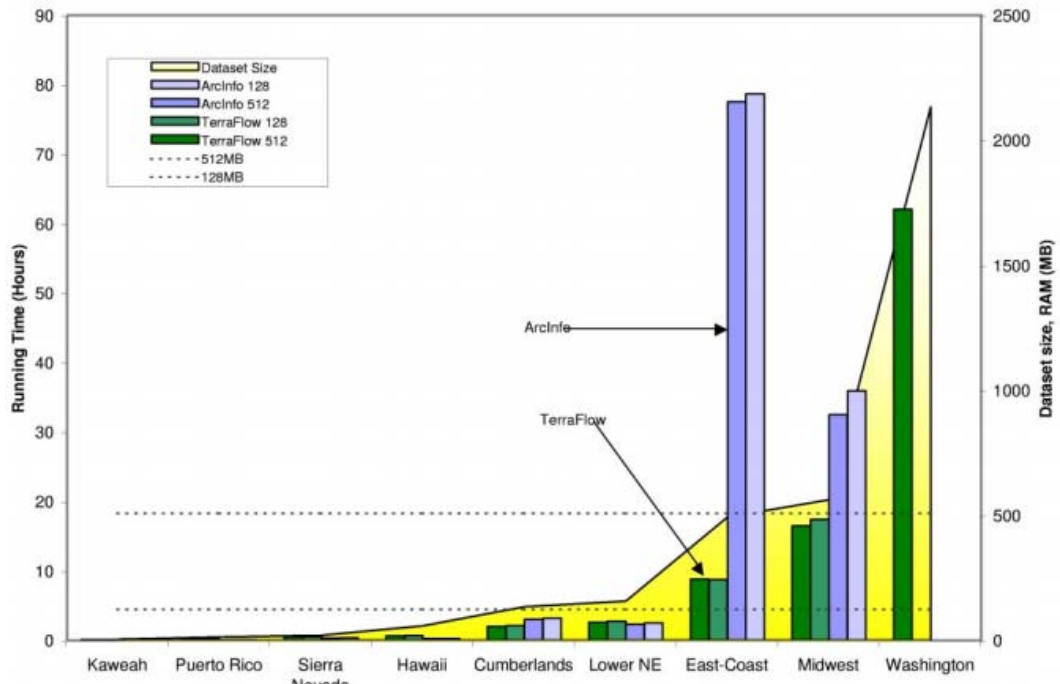
เป็นซอฟต์แวร์ด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ถือว่ามีผู้ใช้มากที่สุดค่ายหนึ่งของโลก ผลิตและจัดจำหน่ายโดยบริษัทอีเอสอาร์ไอ จำกัด ฟังก์ชันการประมวลผลหาการไหลสะสมอยู่ในเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นสูง (ArcToolbox) กลุ่มเครื่องมือ Spatial Analysis Tools ภายในกลุ่มเครื่องมือย่อย Hydrology เครื่องมือที่สำคัญและใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ เครื่องมือ Fill เป็นเครื่องมือที่ทำให้ท่วมหรือเติมให้เต็มในหัวข้อ 2.4.4.1 เครื่องมือ Flow Direction เป็นเครื่องมือประมวลผลหาเส้นทางและทิศทางการไหล ในหัวข้อ 2.4.4.2 เครื่องมือ Flow Accumulation เป็นเครื่องมือประมวลผลหาการไหลสะสม และในหัวข้อ 2.4.4.3 เครื่องมือ Stream Order เป็นเครื่องมือสำหรับประมวลผลหาเส้นทางกรไหลที่ได้จากการไหลสะสม (ESRI, 2011) เพื่อนำเส้นทางกรไหลนั้นไปเปรียบเทียบความแตกต่างผลลัพธ์ต่อไป

### 2.4.2.2 ส่วนเพิ่มเติม GRASS ซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8

ซอฟต์แวร์ Quantum GIS ปัจจุบันถือได้ว่าเป็นซอฟต์แวร์เปิดรหัส (Free and Open Source Software, FOSS) ด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่มีผู้ใช้มากที่สุด พัฒนาขึ้นโดยกลุ่มนักพัฒนาชาวเยอรมัน ปัจจุบันมีกลุ่มร่วมพัฒนามากกว่า 36 ประเทศ ฟังก์ชันการประมวลผลหาการไหลสะสม อยู่ในเครื่องมือส่วนเพิ่มเติม GRASS กลุ่มเครื่องมือย่อย Hydrologic Modelling ซึ่งอยู่ภายในกลุ่มเครื่องมือ Raster เครื่องมือที่ใช้คือ r.watershed ใช้ในการประมวลผลลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ แสดงผลลัพธ์เป็น ลำน้ำสายหลัก ลำน้ำสายย่อย ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำลุ่มน้ำย่อย ซึ่งสามารถกำหนดขนาดของลุ่มน้ำได้ (หรรษา วัฒนานุกิจ, 2551) เครื่องมือจะนำเข้าแบบจำลองระดับแล้วทำงานในทุกขั้นตอนในหัวข้อ 2.4.1 ด้วยการสั่งทำงานเพียงครั้งเดียว โดยส่วนเพิ่มเติม GRASS ของซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 นี้เป็นการเรียกฟังก์ชันของซอฟต์แวร์ GRASS GIS มาใช้งาน

การทำงานของอัลกอริทึม r.watershed นี้ จะสามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็วเมื่อขนาดของข้อมูลไม่มากไปกว่าหน่วยความจำ (memory) สำหรับนำเข้าข้อมูลจะรับได้ แต่หากข้อมูลมีขนาดใหญ่มากอาจมีปัญหาในการประมวลผลได้

ทั้งนี้ ได้มีนักวิจัยทำการศึกษเปรียบเทียบซอฟต์แวร์การประมวลผลการไหลสะสมหลายท่าน เช่น Toma et al. (2001) ได้พัฒนา TerraFlow algorithm ขึ้นโดยพัฒนาจากทฤษฎี I/O model โดยผลที่ได้มีประสิทธิภาพด้านความเร็วเหนือกว่าการคำนวณการไหลสะสมของซอฟต์แวร์ Arcinfo ซึ่งได้สร้างเป็น Pug-in ของ GRASS GIS ชื่อว่า TerraFlow ได้ผลดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การประมวลผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการหาการไหลสะสมระหว่าง อัลกอริทึมของ Terraflow และ Arcinfo (Toma et al., 2001)

และ Metz et al. (2011) ได้ทำการศึกษเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ r.terraflow กับ r.watershed ผลปรากฏว่า r.watershed ประมวลผลได้เร็วกว่า r.terraflow ได้ผลดังรูปที่ 2.17

Processing time for the different DEMs on a Linux 64 bit system with an AMD Athlon X2 3 GHz CPU and 8 GB RAM.

	SRTM 90 m Central Panama 1.9 million cells	IFSARE 30 m central Panama 17 million cells	SRTM 90 m all of Panama 27 million cells	IFSARE 10 m central Panama 156 million cells	SRTM 30 m all of Panama 241 million cells
new <i>r.watershed</i> , all in memory	0.07 min	0.83 min	1.05 min	9.97 min	12.3 min
new <i>r.watershed</i> , data on disk	0.15 min	1.73 min	2.05 min	30.7 min	32.18 min
<i>r.terraflow</i>	0.45 min	4.4 min	5.05 min	66.95 min	58.7 min

รูปที่ 2.17 การประมวลผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการหาการไหลสะสมระหว่างอัลกอริทึมของ r.terraflow และ r.watershed (Metz et al., 2011)

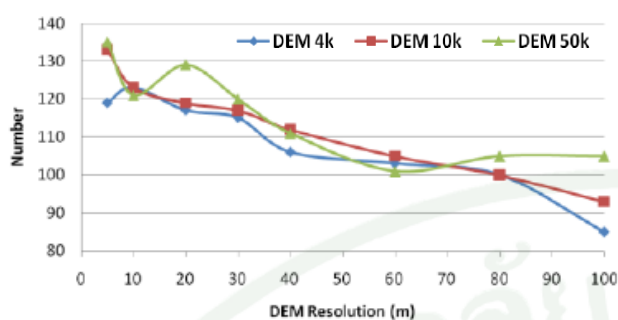
## 2.5 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์

เมื่อได้ข้อมูลการไหลสะสมจากหัวข้อ 2.4 แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลแต่ละซอฟต์แวร์และแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ ในการวิจัยนี้จะใช้วิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ 3 วิธี ได้แก่ การไหลสะสมคลาดเคลื่อน (flow accumulation error) ความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหล (flow line error) และเวลาในการประมวลผล (time processing) ดังนั้นในหัวข้อ 2.5 นี้ จะอธิบายถึง 2.5.1 ความละเอียดของแบบจำลองระดับต่องานอุทกวิทยา 2.5.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์การไหลสะสมคลาดเคลื่อน 2.5.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหล และ 2.5.4 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์เวลาในการประมวลผล

### 2.5.1 ความละเอียดของแบบจำลองระดับต่องานอุทกวิทยา

ประสิทธิ์ มากสิน (2554) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของความละเอียดของแบบจำลองระดับและแหล่งที่มาต่อการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา โดยเตรียมข้อมูลแบบจำลองระดับที่ได้จากข้อมูลแบบจำลองระดับของกรมพัฒนาที่ดิน 1:4,000 กำหนดความละเอียดของแบบจำลองระดับ 8 ขนาด ( 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80 และ 100 เมตร) ผลการศึกษาพบว่าความละเอียดของแบบจำลองระดับมีผลกระทบต่อค่าคุณลักษณะภูมิประเทศและค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยา ความละเอียดของแบบจำลองระดับที่ 5-10 เมตร ให้คุณลักษณะภูมิประเทศและให้ค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยาดีที่สุดดังรูปที่ 2.18 ซึ่งได้ผลสอดคล้องกับ Zhang et al. (2009) ที่พบว่าความละเอียดของแบบจำลองระดับที่สูงขึ้น จะส่งผลให้การคำนวณทางด้านอุทกวิทยามีความถูกต้องมากกว่าความละเอียดของแบบจำลองระดับที่ต่ำลง

Number of Stream

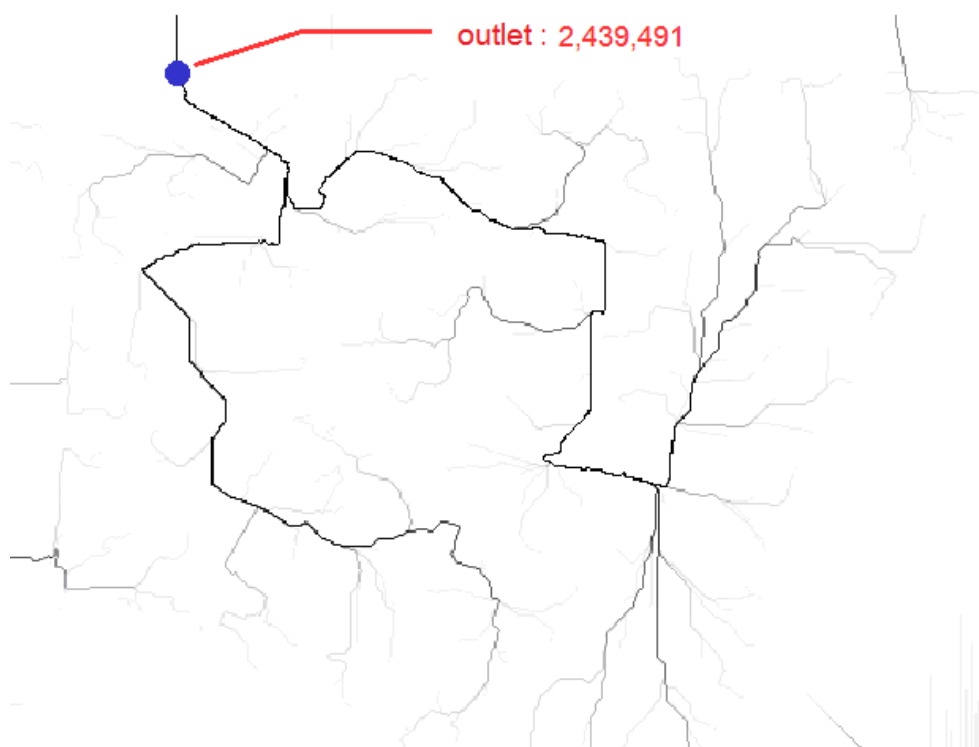


รูปที่ 2.18 ค่าลักษณะฐานฐานวิทยาลุ่มน้ำในแต่ละความละเอียดและแหล่งที่มาของแบบจำลองระดับ (ประสิทธิ์ มากสิน, 2554)

จากผลการศึกษาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงเลือกลดความละเอียดของแบบจำลองระดับที่ได้จากไลดาร์ จาก 1 เมตร เป็น 2, 5 และ 10 เมตรตามลำดับ เพื่อหาพฤติกรรมที่มีผลต่อการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยาและเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลต่อไป

### 2.5.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์การไหลสะสมคลาดเคลื่อน

เป็นการเลือกดูข้อมูลที่จุดน้ำออก (outlet) ในตำแหน่งเดียวกัน สังเกตผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละจุดน้ำออกของการไหลสะสมของแบบจำลองระดับแต่ละประเภท ดังรูปที่ 2.19 เมื่อประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์และความละเอียดของแบบจำลองระดับที่ต่างกัน แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ทฤษฎีเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (Absolute Percentage Error, APE) ซึ่งเป็นการวัดความแม่นยำที่ต้องการเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังสมการที่ 2.1 (Armstrong and Collopy, 1992)



รูปที่ 2.19 จุดน้ำออกและค่าของการไหลสะสม

$$APE_{FAE} = \frac{|OutF - OutF_{reff}|}{OutF_{reff}} \times 100 \quad 2.1$$

โดยที่

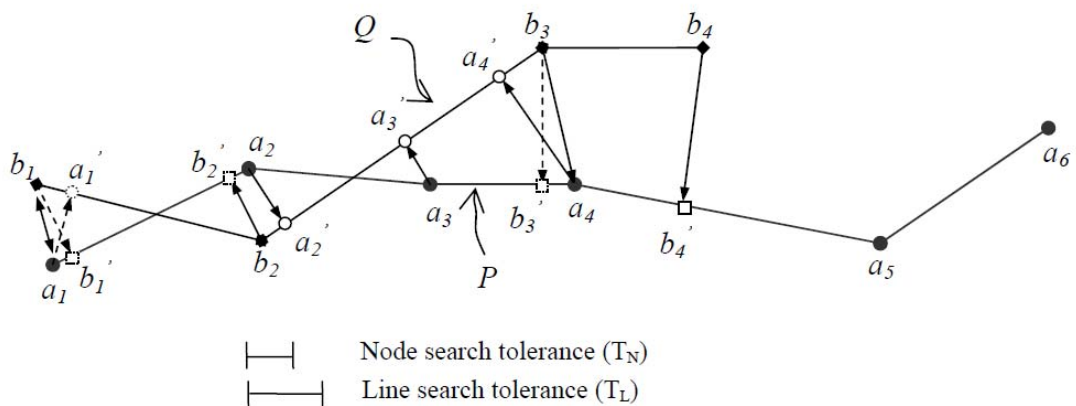
$APE_{FAE}$  = ความแตกต่างของผลลัพธ์จากการไหลสะสมคลาดเคลื่อน

OutF = ผลของจุดน้ำออกของการไหลสะสมที่จะเปรียบเทียบ

OutF\_reff = ผลของจุดน้ำออกของการไหลสะสมที่ใช้อ้างอิง

2.5.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนของเส้นทางไหล

เป็นการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นทางไหลของแต่ละเส้นที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองระดับด้วยซอฟต์แวร์และความละเอียดของแบบจำลองระดับที่ต่างกัน โดยอาศัยแนวคิดและทฤษฎีสำหรับเปรียบเทียบความแตกต่างของเส้น 2 เส้น ด้วยวิธีด้วยวิธีการจับคู่จุดแบบมีเงื่อนไข เป็นการจับคู่ระหว่างจุด vertex เดิมกลับจุดตำแหน่งที่ใกล้ที่สุดบนเส้นที่ใช้เปรียบเทียบ ซึ่งการ project จุดแบบมีเงื่อนไขแบบนี้เป็นวิธีที่ใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อหาตำแหน่งเฉลี่ยของเส้น ดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงการจับคู่จุดโดยการ project จุดบนเส้นแบบมีเงื่อนไข

(Chanin Tinnachote, 2006)

หลังจากหาคู่จุดระหว่างเส้นที่สัมพันธ์กันได้แล้ว ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งระหว่างเส้นสามารถหาได้จาก mean error vector ทั้งหมดดังแสดงในสมการที่ 2.2 และ Root Mean Square Error, RMSE ดังสมการที่ 2.3

$$\text{mean error vector } (\bar{e}) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (Diff_{line}) \tag{2.2}$$

$$\text{Root mean square error (RMSE)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Diff_{line})^2}{n}} \tag{2.3}$$



โดยที่

$\bar{e}$	= ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของคู่เส้น
RMSE	= ค่ารากที่สองของผลรวมของค่าความแตกต่างยกกำลังสองของคู่เส้น
$Diff_{line}$	= ผลต่างระหว่างจุดไปยังเส้นที่ระยะสั้นที่สุด
n	= จำนวนจุด (Point) ทั้งหมด

ทั้งนี้ อติชาต อิงโฆษาชนะวานิช (2549) ได้สรุปข้อดีและข้อจำกัดของวิธีการจับคู่จุดบนเส้นอย่างมีเงื่อนไข ดังตารางที่ 2.4

**ตารางที่ 2.4** สรุปข้อดีและข้อจำกัดของวิธีวัดแบบจับคู่จุดบนเส้นอย่างมีเงื่อนไข (อติชาต อิงโฆษาชนะวานิช, 2549)

ข้อดี	ข้อจำกัด
<ul style="list-style-type: none"> <li>- ทราบเวกเตอร์ความคลาดเคลื่อนละเอียดตลอดแนวเส้น ซึ่งมีขนาดและทิศทาง</li> <li>- สามารถหาค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยได้จากค่าเฉลี่ยของเวกเตอร์ความคลาดเคลื่อน</li> <li>- สามารถประมาณความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจากกราฟเวกเตอร์ความคลาดเคลื่อนตลอดแนวได้</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ยุ่งยากต่อการจับคู่จุดที่เป็นตัวแทนวัตถุเดียวกัน</li> <li>- การใช้เงื่อนไขหรือกฎเกณฑ์เพื่อใช้จับคู่จุดที่ต่างกัน ทำให้ได้เวกเตอร์ความคลาดเคลื่อนแตกต่างกัน จึงทำให้คลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่และค่าสถิติอื่นๆ แตกต่างกันไปด้วย</li> </ul>

เพื่อให้สามารถประเมินประสิทธิภาพเส้นทางน้ำไหลที่ได้จากการประมวลผลได้ จะต้องแปลงข้อมูลเชิงเส้นของเส้นทางน้ำไหลที่ได้ไปเป็นข้อมูล KML เพื่อแสดงผลเปรียบเทียบกับเส้นลำน้ำจริงที่ปรากฏบนภาพถ่ายดาวเทียม ซอฟต์แวร์ Google Earth ได้

KML หรือ Keyhole Markup Language คือไวยากรณ์และรูปแบบไฟล์ XML สำหรับการทำแบบจำลองและการจัดเก็บคุณลักษณะทางภูมิศาสตร์ เช่น จุด เส้น ภาพ รูปหลายเหลี่ยม และแบบจำลองสำหรับแสดงบนซอฟต์แวร์ Google Earth เพื่อเผยแพร่สถานที่และข้อมูลเหล่านั้นได้ (Google, 2012)

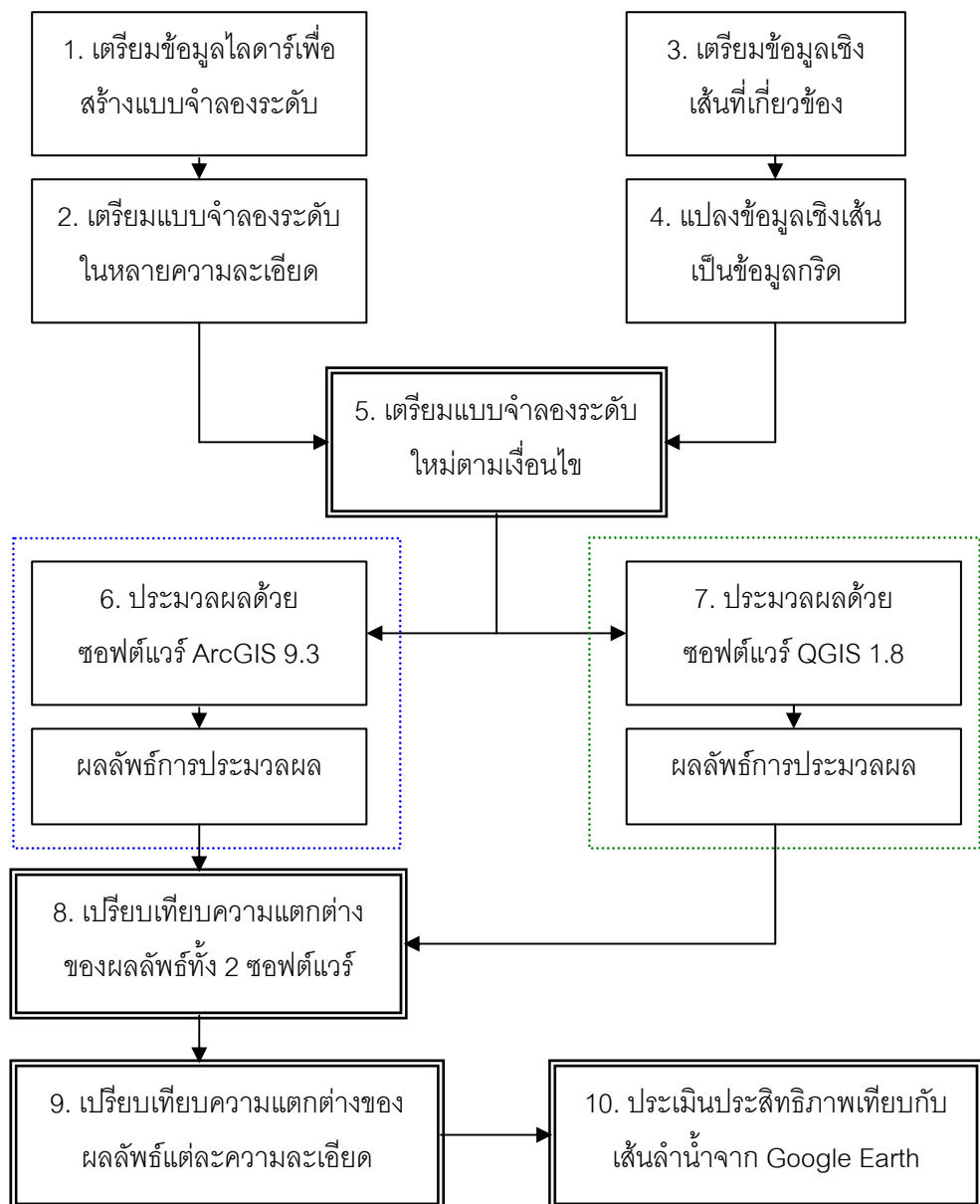
#### 2.5.4 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์เวลาในการประมวลผล

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการประมวลผลคือการประมาณค่าทรัพยากรที่จำเป็นต้องใช้ในการประมวลผล เช่น เวลาในการการประมวลผล หรือ หน่วยความจำที่ใช้ในการประมวลผล เป็นต้น ในปัจจุบันนักวิจัยส่วนใหญ่มักใช้เวลาในการประมวลผลเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของแต่ละซอฟต์แวร์ ดังเช่น Toma et al. (2001) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากการประมวลผลด้วย TERRAFLOW และ ArcInfo ผลการศึกษาพบว่า TERRAFLOW มีประสิทธิภาพในแง่เวลาในการประมวลผลดีกว่า ArcInfo ในรูปที่ 2.15 หรือ Metz et al. (2011) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากการประมวลผลด้วย r.terraflow และ r.watershed ผลการศึกษาพบว่า r.watershed มีประสิทธิภาพในแง่เวลาในการประมวลผลดีกว่า r.terraflow ในรูปที่ 2.16 เป็นต้น

### บทที่ 3

#### การดำเนินงาน

ในการประมวลผลหาพฤติกรรมการไหลโดยทั่วไปมักพบปัญหาเกี่ยวกับความต้องการข้อมูลที่มีความละเอียดถูกต้องสูงเพื่อนำไปประมวลผลแต่ปรากฏว่าขนาดของข้อมูลนั้นใหญ่เกินกว่าที่จะนำไปประมวลผลได้ หรือหากประมวลผลได้แต่ต้องใช้เวลาประมวลผลมาก อาจไม่ทันเวลาต่อการนำไปใช้ ในบทนี้จะได้กล่าวถึงเครื่องมือ ขั้นตอนและวิธีการที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องมือ ขั้นตอนและวิธีการที่ใช้ในการศึกษา

จากเครื่องมือ ขั้นตอนและวิธีการที่ใช้ในการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 3.1 ในบทนี้จะอธิบายถึงหัวข้อ 3.1 การเตรียมข้อมูลไลดาร์เพื่อสร้างแบบจำลองระดับ หัวข้อ 3.2 การเตรียมแบบจำลองระดับในหลายความละเอียด (resolution) เพื่อใช้ทดสอบ หัวข้อ 3.3 การเตรียมข้อมูลเชิงเส้นที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้สร้างแบบจำลองทดสอบ หัวข้อ 3.4 การแปลงข้อมูลเชิงเส้นให้เป็นของมุลกริด หัวข้อ 3.5 สร้างแบบจำลองระดับใหม่ตามเงื่อนไขแบบจำลองสถานการณ์ที่ต้องการทดสอบ หัวข้อ 3.6 ประมวลผลหาการไหลสะสมด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 ในแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ หัวข้อ 3.7 ประมวลผลหาการไหลสะสมด้วยซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 ในแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ หัวข้อ 3.8 เปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลแต่ละซอฟต์แวร์ ในแง่เวลาในการประมวลผล (time pocessing) ความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหล (flow line error) ตลอดจนการไหลสะสมคลาดเคลื่อน (flow accumulation error) หัวข้อ 3.9 เปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ ด้วยวิธีเดียวกับหัวข้อ 3.8 และหัวข้อ 3.10 ประเมินประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลเปรียบเทียบกับเส้นลำน้ำจริงจากภาพถ่ายดาวเทียม ซอฟต์แวร์ Google Earth ด้วยความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหล

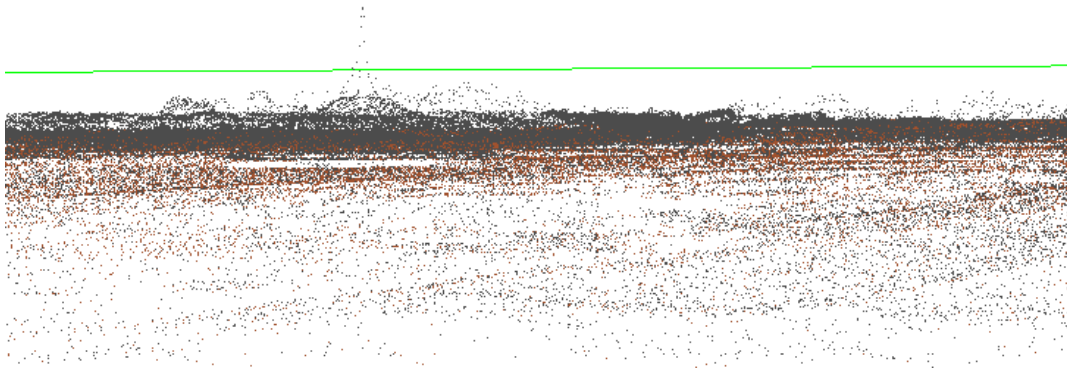
### 3.1 การเตรียมข้อมูลไลดาร์เพื่อสร้างแบบจำลองระดับ

เนื่องจากข้อมูลไลดาร์เป็นข้อมูลประเภทกลุ่มจุดข้อมูล (point cloud) และข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้ได้ถูกแบ่งชั้นข้อมูลตามมาตรฐาน ASPRA LAS ออกเป็น 2 ชั้นข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ได้แก่ classification value 1 คือชั้น unclassified ซึ่งเป็นชั้นที่แสดงทุกค่าระดับของวัตถุ สิ่งปลูกสร้างตลอดจนต้นไม้ที่อยู่เหนือพื้นผิวดินขึ้นไป และ classification value 2 คือชั้น ground ซึ่งเป็นชั้นที่แสดงค่าข้อมูลพื้นผิวกฎมีประเทศที่ลบข้อมูลเหนือผิวดินไปแล้ว ทั้งนี้ซอฟต์แวร์ Lastools มีเครื่องมือในการเตรียมข้อมูลแบบจำลองระดับอย่างครบถ้วน ดังนั้นในหัวข้อ 3.1 นี้จะอธิบายถึงหัวข้อ 3.1.1 การจำแนกเอาเฉพาะจุดระดับผิวดินด้วยเครื่องมือ Las2las และ หัวข้อ 3.1.2 การนำจุดระดับทั้งหมดสร้างเป็นแบบจำลองระดับด้วยเครื่องมือ Las2DEM

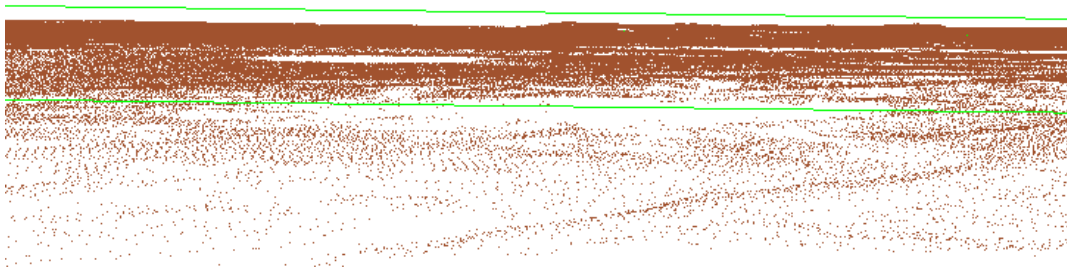
#### 3.1.1 การจำแนกเอาเฉพาะจุดระดับผิวดินด้วยเครื่องมือ Las2las

จากข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาพบว่าการแบ่งชั้นข้อมูลไว้ 2 ชั้นข้อมูลเรียบร้อยแล้ว สามารถนำเข้าข้อมูลไลดาร์เพื่อประมวลผลจำแนกเอาเฉพาะจุดระดับผิวดินด้วยเครื่องมือ Las2las ได้ จากข้อมูล point cloud ทั้งหมดของข้อมูลไลดาร์ 224 ล้านจุด เมื่อใช้เครื่องมือ Las2las จำแนกเอาเฉพาะจุดระดับผิวดิน (keep\_class 2) เหลือข้อมูล point cloud ทั้งหมด 58 ล้านจุด ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (a) จะเป็นข้อมูล point cloud ทั้งหมดของข้อมูลไลดาร์บริเวณโดมของสวนหลวง ร.9

กรุงเทพมหานคร สังเกตพบว่าจะเห็นจุดระดับของต้นไม้และโดม หลังทำการจำแนกเอาเฉพาะจุดระดับผิวดินจะได้ผลดังรูปที่ 3.2 (b) พบว่าจะเหลือแต่เฉพาะจุดระดับผิวดิน



(a) แสดงข้อมูลไลดาร์ทั้งหมดก่อนจำแนก



(b) แสดงข้อมูลไลดาร์ทั้งหมดหลังจำแนกเอาเฉพาะข้อมูลผิวดิน (Keep\_class 2)

### รูปที่ 3.2 การจำแนกเอาเฉพาะข้อมูลผิวดินด้วยเครื่องมือ las2las

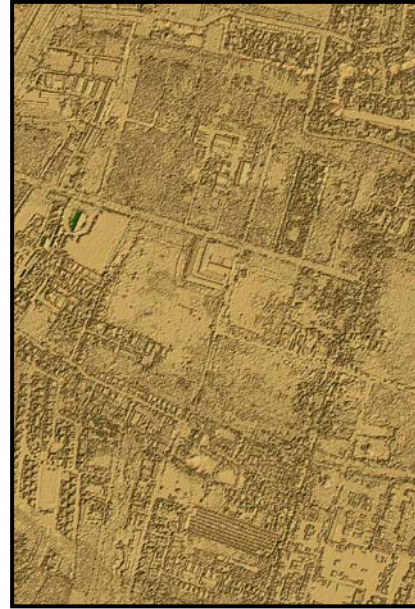
#### 3.1.2 การนำจุดระดับทั้งหมดสร้างเป็นแบบจำลองระดับด้วยเครื่องมือ Las2DEM

เครื่องมือ Las2DEM เป็นเครื่องมือสำหรับสร้างแบบจำลองระดับด้วยวิธีโครงข่ายสามเหลี่ยมแบบไม่สม่ำเสมอ (Triangulated Irregular Network, TIN) ซึ่งจะแสดงลักษณะของพื้นผิว โดยการใช้รูปสามเหลี่ยมหลายรูปซึ่งมีด้านประชิดกันและใช้จุดยอดร่วมกันเรียงต่อเนื่องกันไป โดยค่าระดับจัดเก็บอยู่ที่จุดยอดของสามเหลี่ยม จุดเหล่านี้จะกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ โดยพื้นที่ที่มีความแตกต่างของค่าระดับมากจุดจะอยู่ใกล้กัน แต่พื้นที่ที่มีค่าระดับไม่แตกต่างกันจุดจะอยู่ห่างกัน จากข้อมูลไลดาร์ที่ใช้ศึกษาทำการสร้างแบบจำลองระดับโดยกำหนดค่าความละเอียดแบบจำลองระดับเป็น 1 เมตร ทั้งนี้หากไม่ได้ทำการจำแนกเอาเฉพาะข้อมูลผิวดินด้วยเครื่องมือ Las2las ออกก่อน ข้อมูลแบบจำลองระดับจะได้ดังรูปที่ 3.3 (b) สังเกตพบว่า พื้นผิวแบบจำลอง

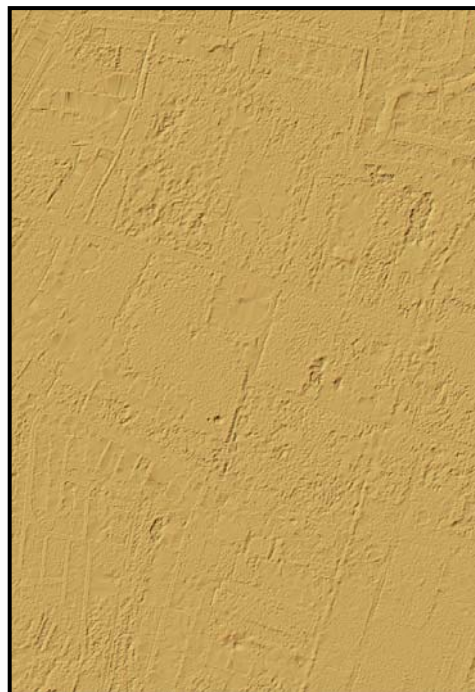
ระดับจะไม่ใช้พื้นผิวดิน ซึ่งเรียกว่า ค่าความสูงพื้นผิวปกคลุมภูมิประเทศ (Digital Surface Model, DSM) ส่วนในรูปที่ 3.3 (c) จะเป็นข้อมูลแบบจำลองระดับที่ได้จากการจำแนกเอาเฉพาะพื้นผิวดิน แล้ว สังเกตได้จากพื้นผิวแบบจำลองระดับเป็นพื้นผิวของความสูงพื้นผิวภูมิประเทศ



(a) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม



(b) ข้อมูลความสูงปกคลุมภูมิประเทศ



(c) ข้อมูลความสูงพื้นผิวภูมิประเทศ

รูปที่ 3.3 แสดงแบบจำลองระดับที่ได้จากเครื่องมือ Las2DEM

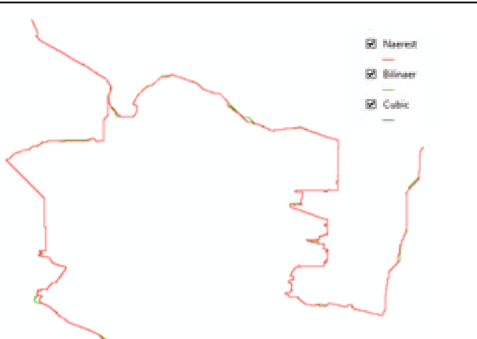
### 3.2 การเตรียมแบบจำลองระดับในหลายความละเอียดเพื่อใช้ทดสอบ

เมื่อได้แบบจำลองระดับจากข้อมูลไลดาร์จากหัวข้อ 3.1 นั่นคือแบบจำลองระดับที่มีความละเอียด 1 เมตร มีจำนวนจุดภาพ 304,861,495 จุด ขนาดข้อมูล 1.4 กิกะไบต์ (Gb) ดังรูปที่ 3.4 (a) ซึ่งเป็นข้อมูลขนาดใหญ่ ในงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาหาขีดความสามารถของซอฟต์แวร์จึงต้องการแบบจำลองระดับในหลายความละเอียด เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปประมวลผลและเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยในแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ ดังนั้นในหัวข้อ 3.2 นี้จะอธิบายถึงการลดค่าความละเอียดจุดระดับให้เป็นแบบจำลองระดับ 2 5 และ 10 เมตรตามลำดับ ด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างซ้ำ (resampling) ทั้งนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในแต่ละวิธีสุ่มตัวอย่างซ้ำดังตารางที่ 3.1 และ 3.2

**ตารางที่ 3.1** การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลการไหลสะสมของน้ำคลาดเคลื่อนของแต่ละวิธีสุ่มตัวอย่างซ้ำ

	ค่าจุดออกการไหลสะสม (แปลงระดับแล้ว)	ค่าจุดออกการไหลสะสม อ้างอิง (1 เมตร)	$APE_{FAE}$ (%)
แบบจำลองระดับที่สร้างจากข้อมูลไลดาร์			
Lidar_DEM Nearest	60,946,408	60,620,648	0.537%
Lidar_DEM Bilinear	61,053,312		0.714%
Lidar_DEM Cubic	60,931,256		0.512%

**ตารางที่ 3.2** การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลของแต่ละวิธีสุ่มตัวอย่างซ้ำ

	RMSE (เมตร)	
แบบจำลองระดับที่สร้างจากข้อมูลไลดาร์		
Lidar_DEM Nearest	77.53	
Lidar_DEM Bilinear	74.86	
Lidar_DEM Cubic	74.86	

จากตารางที่ 3.1 และ 3.2 เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีสุ่มตัวอย่างซ้ำทั้ง 3 วิธี ได้แก่ nearest neighbor substitution, bilinear interpolation และ cubic convolution ซึ่งผลปรากฏว่าค่าความแตกต่างในแต่ละวิธีที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยความละเอียดของแบบจำลองระดับ 1 เมตร จากข้อมูลไลดาร์มีค่าน้อยมากซึ่งไม่แตกต่างกันมากนัก สาเหตุเนื่องจากพื้นที่ศึกษามีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ ทำให้การสุ่มตัวอย่างซ้ำเพื่อเลือกแทนค่าระดับในแต่ละวิธีให้ค่าออกมาใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกแทนค่าระดับด้วยวิธี nearest neighbor substitution เนื่องจากเป็นวิธีที่ค่อนข้างง่ายและใช้เวลาในการได้มาซึ่งข้อมูลแบบจำลองระดับที่รวดเร็ว ซึ่งได้ผลดังนี้

3.2.1 แบบจำลองระดับที่ความละเอียด 2 เมตร ดังรูปที่ 3.4 (b)

มีจำนวนจุดภาพ 67,275,480 จุด ขนาดข้อมูล 256.64 เมกะไบท์ (Mb)

3.2.2 แบบจำลองระดับที่ความละเอียด 5 เมตร ดังรูปที่ 3.4 (c)

มีจำนวนจุดภาพ 10,763,088 จุด ขนาดข้อมูล 41.06 เมกะไบท์ (Mb)

3.2.3 แบบจำลองระดับที่ความละเอียด 10 เมตร ดังรูปที่ 3.4 (d)

มีจำนวนจุดภาพ 2,692,008 จุด ขนาดข้อมูล 10.27 เมกะไบท์ (Mb)



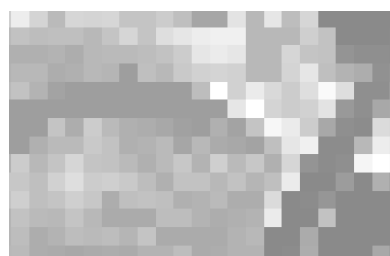
(a) แบบจำลองระดับ 1 เมตร



(b) แบบจำลองระดับ 2 เมตร



(c) แบบจำลองระดับ 5 เมตร



(d) แบบจำลองระดับ 10 เมตร

รูปที่ 3.4 แสดงการเตรียมแบบจำลองระดับในหลายความละเอียด



### 3.3 การเตรียมข้อมูลเชิงเส้นที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้สร้างแบบจำลองทดสอบ

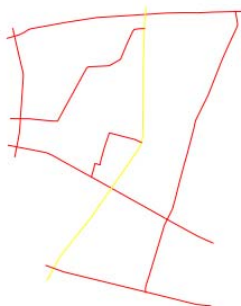
เนื่องจากแบบจำลองระดับที่ได้จากข้อมูลไลดาร์นั้นมีข้อจำกัดด้านช่วงเวลาในการได้มาซึ่งข้อมูลไลดาร์นั้นอาจเก่า ไม่ทันสมัย เพราะ อาจมีการสร้างถนน เพิ่มคันดิน หรือขุดคลองใหม่ในช่วงเวลาหลังจากนั้น ทำให้ข้อมูลสำคัญที่มีผลต่อการไหลของน้ำหายไป ตลอดจนความต้องการสร้างแบบจำลองสถานการณ์สมมุติขึ้นเพื่อเตรียมรับมือสถานการณ์ จึงจำเป็นต้องเตรียมข้อมูลเชิงเส้นที่เกี่ยวข้องไว้เสมอ ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลถนนสายหลัก ข้อมูลสะพาน ท่อลอด เป็นต้น ในอนาคตหากมีการสำรวจเก็บข้อมูลระดับเพิ่มก็สามารถนำมาใช้ร่วมกับข้อมูลเชิงเส้นที่เตรียมไว้ได้เลย โดยในงานวิจัยนี้ได้มีค่าระดับที่ได้จากงานระดับ (leveling) ของถนนสายหลักในกรุงเทพมหานคร จึงได้นำข้อมูลดังกล่าวมารวมด้วย ดังนั้นในหัวข้อ 3.3 นี้จะอธิบายถึง หัวข้อ 3.3.1 การเตรียมข้อมูลเส้นถนน หัวข้อ 3.3.2 การเตรียมข้อมูลสะพานท่อลอด และ หัวข้อ 3.3.3 การนำจุดระดับถนนสร้างเป็นข้อมูลเชิงเส้นระดับถนน

#### 3.3.1 การเตรียมข้อมูลเส้นถนน

นำเข้าโดยการดิจิทัลิไทซ์ (digitize) จากภาพถ่ายดาวเทียม และแผนที่ถนนอื่นๆ ประกอบเลือกเฉพาะถนนสายหลักที่มีอิทธิพลต่อการไหลของน้ำ โดยกำหนดให้เป็นข้อมูลชนิด เส้น (line) โดยให้ข้อมูลอรรถาธิบาย (attribute data) มีรายละเอียดดังตารางที่ 3.3 ซึ่งจะได้ดังรูปที่ 3.5

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลอรรถาธิบาย ข้อมูลเส้นถนน

ชื่อช่องตาราง	ชนิดตัวอักษรของช่องตาราง
ชื่อถนน (name)	ตัวอักษร (text)
จำนวนช่องทาง (lane)	จำนวนเต็ม (integer)
ความกว้างถนน (width)	จำนวนเต็ม (integer)



Name	Lane	Width
ถนนอ่อนนุช	4	24
1 ทล. 3344	6	36
2 ทล. 34	10	60
3 ทล. 9	12	72
4 ทล. 3256	6	36
5 ทล. 3268	6	36
6 ถนนอ่อนนุช	4	24
7 ถนนรามคำแหง 2	2	12

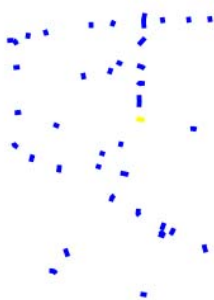
รูปที่ 3.5 แสดงการเตรียมข้อมูลเชิงเส้นของข้อมูลเส้นถนน

### 3.3.2 การเตรียมข้อมูลสะพาน ท่อลอด

นำเข้าโดยการดึงไฟล์จากภาพถ่ายดาวเทียม แผนที่ถนนและแผนที่คลองอื่นๆ ประกอบ โดยกำหนดให้เป็นข้อมูลชนิด เส้น โดยให้ข้อมูลอธิบาย มีรายละเอียดดังตารางที่ 3.4 ซึ่งจะได้ดังรูปที่ 3.6

**ตารางที่ 3.4** ข้อมูลอธิบาย ข้อมูลสะพาน ท่อลอด

ชื่อช่องตาราง	ชนิดตัวอักษรของช่องตาราง
ชื่อหรือรหัส (name)	ตัวอักษร (text)
ความกว้างช่องน้ำ (width)	จำนวนเต็ม (integer)



	Name_1	width
10	27	10
11	22	13
12	23	10
13	18	7
14	17	10
15	15	10

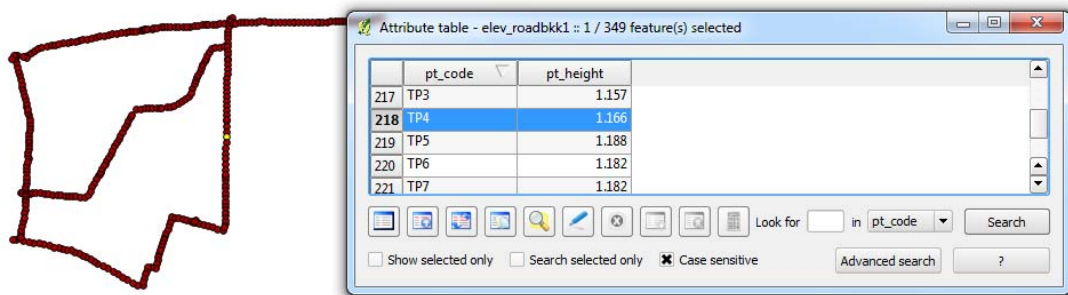
**รูปที่ 3.6** แสดงการเตรียมข้อมูลเชิงเส้นของข้อมูลสะพาน ท่อลอด

### 3.3.3 การนำจุดระดับถนนสร้างเป็นข้อมูลเชิงเส้นระดับถนน

ข้อมูลจุดระดับที่ได้จากงานระดับของถนนสายหลักในกรุงเทพมหานคร สามารถทำให้ข้อมูลแบบจำลองระดับใหม่มีความถูกต้องมาก ดังนั้นนำเข้าโดยการเรียกไฟล์ text แปลงเป็นไฟล์ SHP และกำหนดให้เป็นข้อมูลชนิด จุด (point) โดยให้ข้อมูลอธิบายมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.5 ซึ่งจะได้ดังรูปที่ 3.7

**ตารางที่ 3.5** ข้อมูลอธิบาย ข้อมูลจุดระดับความสูงถนน

ชื่อช่องตาราง	ชนิดตัวอักษรของช่องตาราง
ชื่อหรือรหัส (pt_code)	ตัวอักษร (text)
ระดับความสูง (pt_height)	จำนวนจริง (real)



รูปที่ 3.7 แสดงการเตรียมข้อมูลเชิงเส้นของข้อมูลจุดระดับความสูงถนน

### 3.4 การแปลงข้อมูลเชิงเส้นให้เป็นข้อมูลกริด

เนื่องจากในงานทางด้านอุทกวิทยาโดยเฉพาะการประมวลผลหาการไหลสะสม ข้อมูลกริด (grid) มีข้อได้เปรียบในการใช้ทรัพยากรระบบคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพดีกว่าข้อมูลเชิงเส้น ช่วยให้สามารถทำการวิเคราะห์ประมวลผลได้รวดเร็ว อีกทั้งข้อมูลแบบจำลองระดับเป็นข้อมูลประเภทกริดเช่นกัน เป็นเหตุให้ต้องแปลงข้อมูลเชิงเส้นให้เป็นข้อมูลกริด (rasterization) ด้วยเครื่องมือ Rasterize ของซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 ดังนั้นในหัวข้อ 3.4 นี้จะอธิบายถึง หัวข้อ 3.4.1 การเตรียมข้อมูลเชิงเส้นเพื่อแปลงเป็นข้อมูลกริด และ หัวข้อ 3.4.2 การแปลงข้อมูลเชิงเส้นเป็นข้อมูลกริดด้วยเครื่องมือ Rasterize ของซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8

#### 3.4.1 การเตรียมข้อมูลเชิงเส้นเพื่อแปลงเป็นข้อมูลกริด

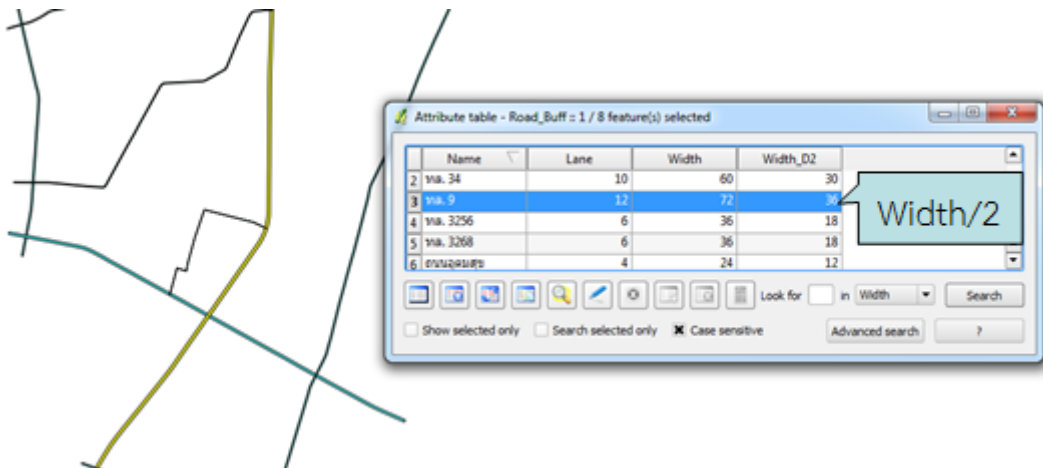
จากข้อมูลเชิงเส้นที่ได้ในหัวข้อ 3.3 ข้อมูลเส้นและจุดเมื่อแปลงเป็นกริดแล้วจะมีขนาดเล็กเกินไปไม่สามารถนำไปใช้ในการเตรียมแบบจำลองระดับใหม่ได้ ขั้นตอนต่อไปคือการสร้างเป็นข้อมูลรูปปิด (polygon) ให้กับข้อมูลเส้นและจุดด้วยวิธีบัฟเฟอร์ (buffer) โดยที่ข้อมูลเส้นจะบัฟเฟอร์ด้วยค่าครึ่งหนึ่งของความกว้างถนน ดังรูปที่ 3.8 (a) หรือสะพาน ท่อลอด ดังรูปที่ 3.8 (b) ที่จัดเก็บมาด้วย แต่ข้อมูลจุดระดับความสูงถนน จะบัฟเฟอร์ออกจากจุด ด้วยค่าระยะห่างของจุดระดับของแบบจำลองระดับ ดังสมการที่ 3.1

$$D_{\text{buff}} = \frac{G + \left( \frac{G \times 10}{100} \right)}{2} \quad 3.1$$

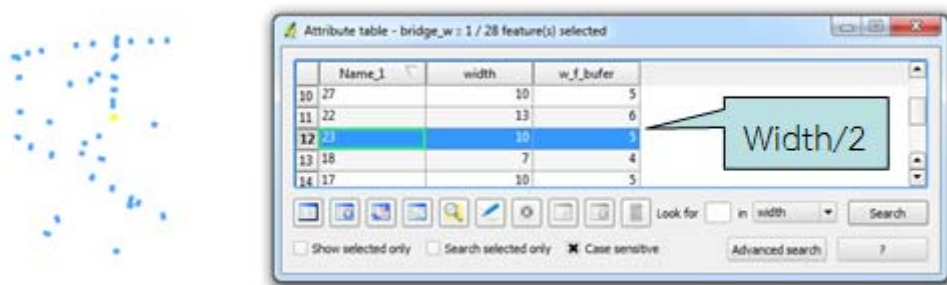
โดยที่

$D_{\text{buff}}$  คือ ระยะในการบัฟเฟอร์ออกจากจุดระดับ

$G$  คือ ค่าระยะห่างของจุดระดับของแบบจำลองระดับ



(a) แสดงการบัฟเฟอร์ด้วยค่าครึ่งหนึ่งของความกว้างถนน

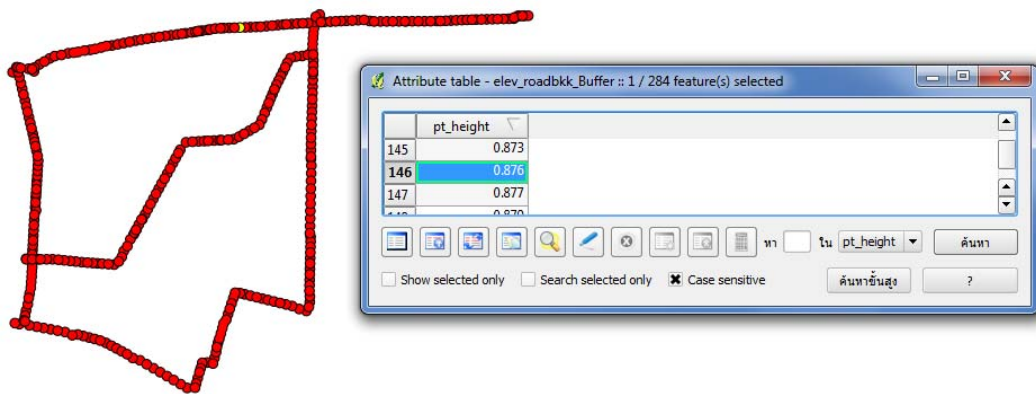


(b) แสดงการบัฟเฟอร์ด้วยค่าครึ่งหนึ่งของความกว้างสะพาน ท่อลอด

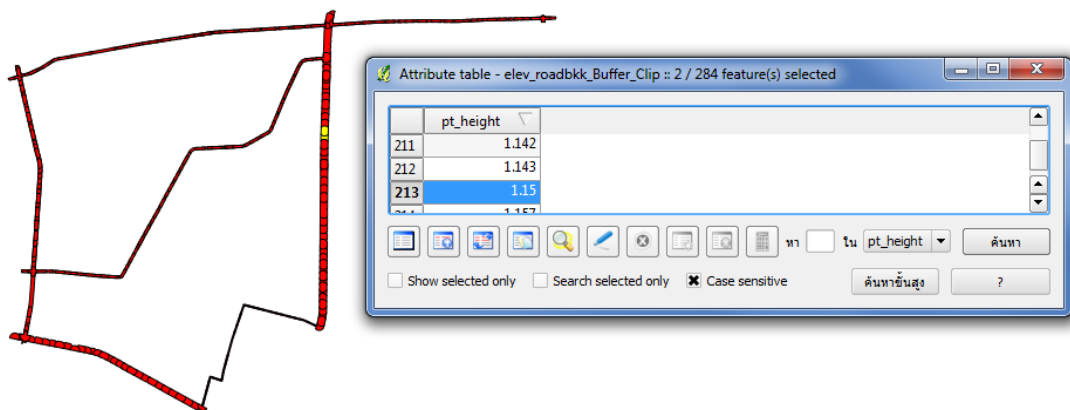
### รูปที่ 3.8 แสดงการเตรียมข้อมูลเชิงเส้นรูปปิดของข้อมูลเส้น

หลังจากบัฟเฟอร์ออกจากจุดระดับถนนแล้ว จะได้ดังรูปที่ 3.9 (a) สังเกตพบว่ามีขนาดความกว้างเท่ากับขนาดความกว้างถนนในรูป 3.8 (a) ขั้นตอนถัดไปนำรูปปิดที่ได้ตัดออก (clip) ให้มีขนาดเท่าความกว้างเส้นถนน โดยใช้ความกว้างของถนนเป็นชั้นข้อมูลตัด เพื่อไม่ให้ค่าระดับของบัฟเฟอร์จุดระดับไปตกนอกขอบเขตถนนจะได้ดังรูป 3.9 (b)

ในขั้นตอนการเตรียมแบบจำลองระดับใหม่ตามเงื่อนไข ในหัวข้อ 3.5 หากแบบจำลองระดับที่ใช้มีความละเอียดจุดระดับใหญ่กว่าความกว้างถนนหรือสะพานท่อลอดใด จะกำหนดค่าบัฟเฟอร์ของถนนหรือสะพาน ท่อลอดนั้นตามความกว้างของความละเอียดจุดระดับของแบบจำลองนั้น



(a) แสดงการบัฟเฟอร์ด้วยค่าจากสมการที่ 3.1 ออกจากจุดระดับถนน



(b) แสดงการนำรูปปิดที่ได้ตัดบัฟเฟอร์จุดระดับถนนให้มีขนาดเท่าความกว้างเส้นถนน

### รูปที่ 3.9 แสดงการเตรียมข้อมูลเชิงเส้นรูปปิดของข้อมูลจุดระดับ

3.4.2 การแปลงข้อมูลเชิงเส้นเป็นข้อมูลกริดด้วยเครื่องมือ Rasterize ของซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8

เมื่อได้รูปปิดของข้อมูลเชิงเส้นจากหัวข้อ 3.4.1 แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการแปลงข้อมูลเชิงเส้นรูปปิดให้เป็นข้อมูลกริด โดยใช้เครื่องมือ Rasterize ของซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 โดยกำหนดให้ค่าจุดภาพ (pixel value) เป็นข้อมูลที่ต้องการ เช่น ข้อมูลระดับความสูงถนน เป็นต้น กำหนดความละเอียดจุดภาพ (pixel size) ตามความละเอียดของแบบจำลองระดับที่จะนำไปร่วมคำนวณเพื่อสร้างแบบจำลองใหม่ตามเงื่อนไขของสถานการณ์ เช่น

3.4.2.1 ต้องการสร้างแบบจำลองระดับใหม่โดยจะใช้ทางหลวงหมายเลข 9 เป็นคั่นกั้นน้ำ โดยทำการปิดสะพาน ท่อลอด และวางแท่งปูนกั้นน้ำ (barrier) สูง 1.5 เมตร ตลอดแนวถนน จากเงื่อนไขนี้จะได้ผลดังรูปที่ 3.10 (a)

3.4.2.2 ต้องการนำข้อมูลระดับถนนที่ได้จากงานระดับของกรุงเทพมหานครไปสร้างข้อมูลแบบจำลองระดับใหม่ให้มีความถูกต้องมากขึ้น เงื่อนไขนี้จะได้ผลดังรูปที่ 3.10 (b)



(a) เพิ่มคั่นทางหลวงหมายเลข 9 (b) ข้อมูลระดับถนนที่ได้จากงานระดับ กทม.

**รูปที่ 3.10** แสดงผลการแปลงข้อมูลเชิงเส้นรูปปิดเป็นข้อมูลกริดตามเงื่อนไข

### 3.5 เตรียมแบบจำลองระดับใหม่ตามเงื่อนไขแบบจำลองสถานการณ์ที่ต้องการทดสอบ

การออกแบบแบบจำลองระดับตามเงื่อนไขหรือตามแบบจำลองสถานการณ์ (simulation) ที่ต้องการ เรียกขั้นตอนนี้ว่าการเตรียมแบบจำลองระดับ จะนำข้อมูลกริดที่ได้จากหัวข้อที่ 3.4 มาร่วมคำนวณเพื่อให้ได้แบบจำลองระดับใหม่ โดยออกแบบเป็นแบบสำหรับการเตรียมข้อมูลแบบจำลองระดับขึ้นให้สามารถนำไปใช้ได้ในทุกสถานการณ์ เพื่อให้ได้แบบจำลองระดับใหม่ตามเงื่อนไขที่ต้องการสำหรับการเตรียมรับสถานการณ์ ดังนั้นในหัวข้อ 3.5 นี้ จะอธิบายถึง 3.5.1 แบบสำหรับการเพิ่มข้อมูลระดับผิวถนนและความลึกของโครงข่ายคูคลองที่มีอยู่เดิมลงในข้อมูลตั้งต้น และ 3.5.2 แบบสำหรับการเพิ่มข้อมูลการปรับเปลี่ยนรูปการบังคับน้ำโดยการเสริมด้วยข้อมูลระดับของถนน คั่นกั้นน้ำหรือโครงสร้างที่ บังคับทางน้ำขึ้นใหม่ในข้อมูลตั้งต้น

3.5.1 แบบสำหรับการเพิ่มข้อมูลระดับผิวถนนและความลึกของโครงข่ายคูคลองที่มีอยู่เดิมลงในข้อมูลตั้งต้น (กำหนดใช้ตัวย่อเป็น OS)

เป็นการปรับปรุงข้อมูลแบบจำลองระดับที่ได้จากไลดาร์ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยการนำข้อมูลจุดระดับถนนจากงานระดับ สัรวจเก็บค่าระดับถนนสายหลักของกรุงเทพมหานคร ซึ่งได้แปลงเป็นข้อมูลกริดแล้วด้วยขั้นตอนวิธีในหัวข้อที่ 3.4 มาร่วมคำนวณ ตามสมการที่ 3.2

$$\text{Lidar\_Clear} = \text{Lidar\_DEM} \times \text{Clear\_LidarT} \tag{3.2}$$

$$\text{Lidar\_OS} = \text{Lidar\_Clear} + \text{Elev\_OS}$$

โดยที่

Lidar\_Clear = แบบจำลองระดับที่ได้จากข้อมูลไลดาร์ แต่ในขอบเขตของถนนที่เตรียมค่าระดับไว้ จะมีค่าระดับเป็น 0 (เตรียมขึ้นใหม่จากองค์ความรู้ในหัวข้อ 3.4)

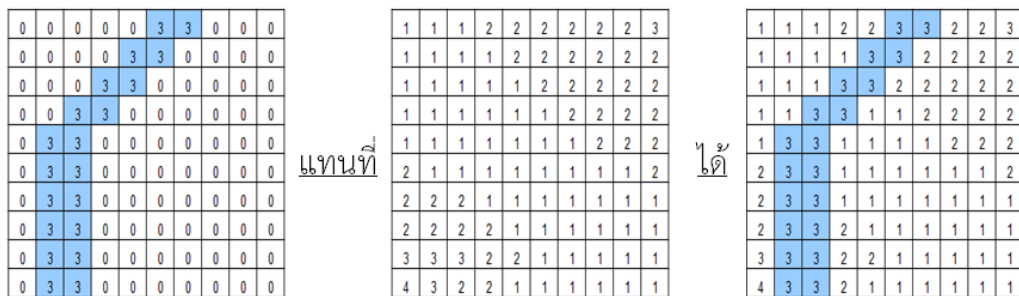
Lidar\_DEM = แบบจำลองระดับที่ได้จากข้อมูลไลดาร์ (ได้จากหัวข้อ 3.2)

Clear\_LidarT = ค่า pixel = 0 (ในขอบเขตของถนนที่เตรียมค่าระดับไว้) และค่า pixel = 1 (นอกขอบเขต)

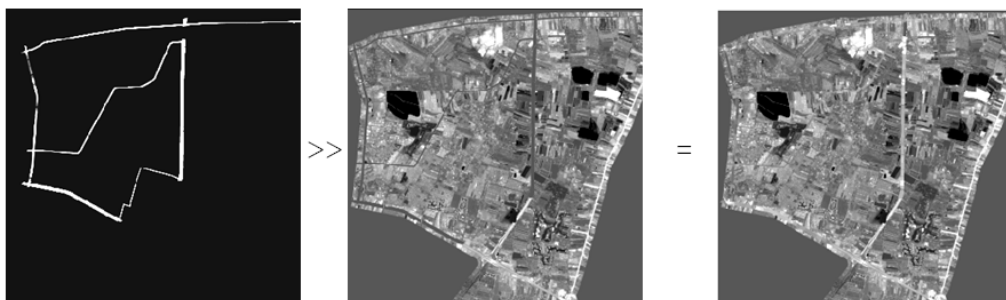
Lidar\_OS = แบบจำลองระดับที่เพิ่มระดับความสูงถนนสายหลัก กทม.

Elev\_OS = ในขอบเขตถนนเป็นค่าระดับความสูงถนนสายหลัก กทม. ที่เตรียมไว้ นอกขอบเขตระดับเป็น 0 (ได้จากหัวข้อ 3.4.2.2)

จากการคำนวณในสมการที่ 3.2 จะได้ดังรูปที่ 3.11 (a) หลักการ (b) ผลที่ได้



(a) หลักการ



Elev\_OS

Lidar\_DEM

Lidar\_OS

(b) ผลที่ได้

รูปที่ 3.11 แสดงการคำนวณกริดตามสมการที่ 3.2 เพื่อสร้างแบบจำลองระดับที่เพิ่มระดับความสูงถนนสายหลัก กทม.

จากรูปที่ 3.11 อธิบายได้ว่า ข้อมูลที่มีค่าระดับ (ไม่ใช่ 0) ของข้อมูลกริด Elev\_OS ทั้งหมดไปแทนที่ข้อมูลระดับของข้อมูลกริด Lidar\_DEM ในขอบเขตที่ไม่ใช่ 0 ของข้อมูลกริด Elev\_OS นั้น ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังข้อมูลกริด Lidar\_OS นั้นคือแบบจำลองระดับใหม่ที่เพิ่มระดับความสูงถนนสายหลักของกรุงเทพมหานครแล้ว

3.5.2 แบบสำหรับการเพิ่มข้อมูลการปรับเปลี่ยนรูปการบังคับน้ำโดยการเสริมด้วยข้อมูลระดับของถนน คันกั้นน้ำหรือโครงสร้างที่ บังคับทางน้ำขึ้นใหม่ในข้อมูลตั้งต้น

เป็นการทดลองสร้างสถานการณ์เพื่อใช้วางแผนเตรียมรับมือปรากฏการณ์ใดๆ โดยการเพิ่มข้อมูลสมมุติให้มีผลต่อการปรับเปลี่ยนรูปการบังคับน้ำ ซึ่งมีเป็น 2 รูปแบบดังนี้

### 3.5.2.1 การเพิ่มค่าระดับด้วยวัตถุขนาดคงที่ตลอดแนว

(กำหนดให้ด้วยย่อเป็น SCB)

เป็นการทดลองเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของพื้นที่หรือแนวที่สนใจ โดยกำหนดให้ทางหลวงหมายเลข 3344 เป็นคันกั้นน้ำ โดยการปิดสะพาน ท่อลอด และวางแท่งปูนกั้น (barrier) สูง 1.5 เมตร ตลอดแนวถนน ซึ่งจะใช้ข้อมูลถนนทางหลวงหมายเลข 3344 กำหนดค่าระดับรูปปิดเป็น 1.5 แปลงเป็นข้อมูลกริดด้วยขั้นตอนวิธีในหัวข้อที่ 3.4 มาร่วมคำนวณ ตามสมการที่ 3.3

$$\text{Lidar\_SCB} = \text{Lidar\_DEM} + \text{Elev\_SCB} \quad 3.3$$

โดยที่

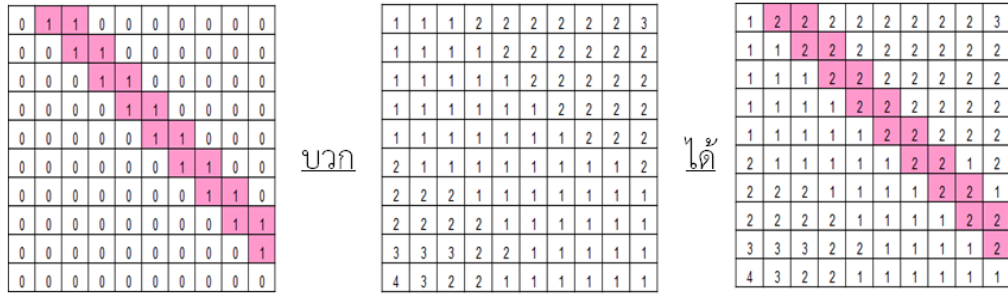
Lidar\\_SCB = แบบจำลองระดับใหม่ที่เพิ่มค่าระดับของ barrier สูง 1.5 ม. ตลอดแนวถนน

Lidar\\_DEM = แบบจำลองระดับที่ได้จากข้อมูลไลดาร์ (ได้จากหัวข้อ 3.2)

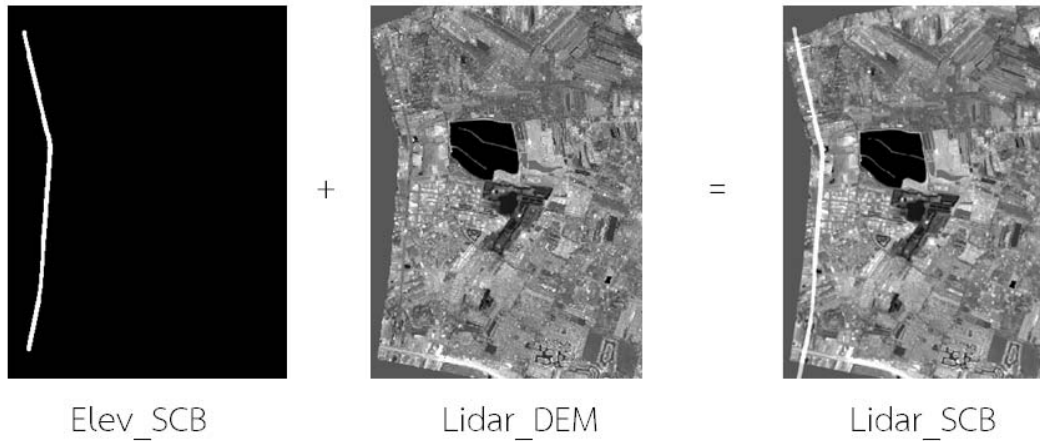
Elev\\_SCB = ค่าระดับที่จะเพิ่มขึ้นคงที่ในขอบเขตทางหลวงหมายเลข 3344 นอกขอบเขตมีค่าระดับเป็น 0 (วิธีการเหมือนหัวข้อ 3.4.2.1)

จากการคำนวณในสมการที่ 3.3 จะได้ดังรูปที่ 3.12 (a) หลักการ (b) ผลที่ได้ อธิบายได้ว่า ข้อมูลที่มีค่าระดับของข้อมูลกริด Elev\\_SCB ทั้งหมดไปบวกกับข้อมูลระดับของข้อมูลกริด Lidar\\_DEM ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังข้อมูลกริด Lidar\\_SCB นั้นคือแบบจำลองระดับใหม่ที่เพิ่มค่าระดับของ Barrier สูง 1.5 เมตร ตลอดแนวถนนแล้ว





(a) หลักการ



(b) ผลที่ได้

รูปที่ 3.12 แสดงการคำนวณกริดตามสมการที่ 3.3 เพื่อสร้างแบบจำลองระดับที่เพิ่มค่าระดับของ barrier สูง 1.5 เมตร ตลอดแนวถนน

### 3.5.2.2 การเพิ่มค่าระดับด้วยค่าคงที่ตลอดแนว

(กำหนดใช้ตัวย่อเป็น SCC)

เป็นการทดลองกำหนดระดับความสูงของพื้นที่หรือแนวที่สนใจด้วยค่าคงที่โดยกำหนดให้ทางหลวงหมายเลข 9 เป็นคันกั้นน้ำ โดยสร้างกำแพงกั้นน้ำความสูงคงที่จากระดับน้ำทะเลปานกลาง (รทก.) 2.5 เมตร ตลอดแนวถนน ซึ่งจะใช้อัตราถนนทางหลวงหมายเลข 9 กำหนดค่าระดับรูปปิดเป็น 2.5 แปลงเป็นข้อมูลกริดด้วยขั้นตอนวิธีในหัวข้อที่ 3.4 มาร่วมคำนวณ ดังสมการที่ 3.4

$$\text{Lidar\_Clear} = \text{Lidar\_DEM} \times \text{Clear\_LidarT} \tag{3.4}$$

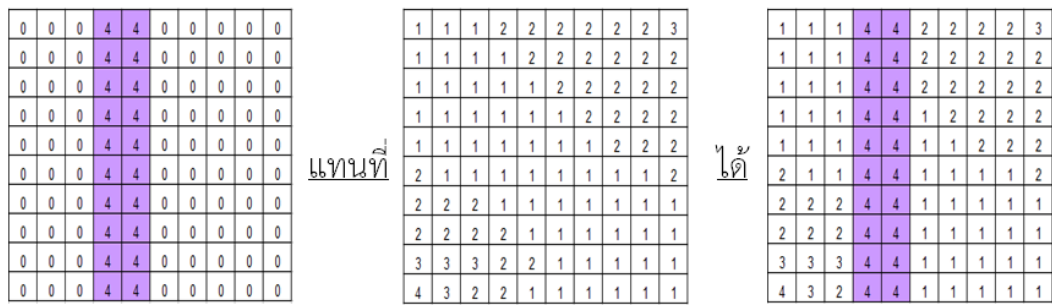
$$\text{Lidar\_SCC} = \text{Lidar\_Clear} + \text{Elev\_SCC}$$

โดยที่

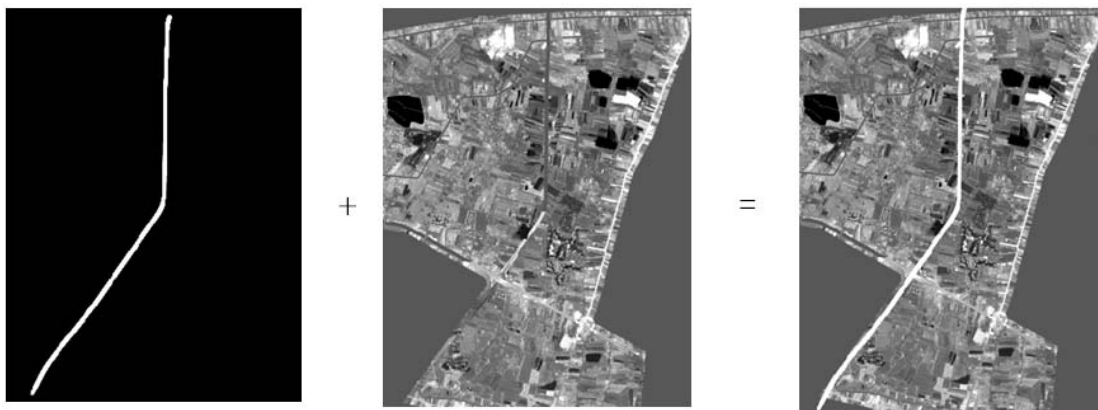
Lidar\_Clear = แบบจำลองระดับที่ได้จากข้อมูลไลดาร์ แต่ในขอบเขตของทางหลวงหมายเลข 9 จะมีค่าระดับเป็น 0 (เตรียมขั้นใหม่จากองค์ความรู้ในหัวข้อ 3.4)

- Lidar\_DEM = แบบจำลองระดับที่ได้จากข้อมูลไลดาร์ (ได้จากหัวข้อ 3.2)
- Clear\_LidarT = ค่า pixel = 0 (ในขอบเขตของทางหลวงหมายเลข 9) และ  
ค่า pixel = 1 (นอกขอบเขต)
- Lidar\_SCC = แบบจำลองระดับใหม่ที่เพิ่มค่าระดับของกำแพงสูง 2.5 ม.  
จาก รทก. ตลอดแนวถนน
- Elev\_SCC = ในขอบเขตทางหลวงหมายเลข 9 มีค่าระดับความสูงคงที่  
2.5 เมตร นอกขอบเขตระดับเป็น 0 (วิธีการคล้ายกับหัวข้อ  
3.4.2.1)

จากการคำนวณในสมการที่ 3.4 จะได้ ดังรูปที่ 3.13 (a) หลักการ (b) ผลที่ได้



(a) หลักการ



Elev\_SCC

Lidar\_DEM

Lidar\_SCC

(b) ผลที่ได้

รูปที่ 3.13 แสดงการคำนวณกริดตามสมการที่ 3.4 เพื่อสร้างแบบจำลองระดับ  
ที่เพิ่มค่าระดับของกำแพงสูง 2.5 เมตรจาก รทก. ตลอดแนวถนน

จากรูปที่ 3.13 อธิบายได้ว่า ข้อมูลที่มีค่าระดับของข้อมูลกริด Elev\_SCC ทั้งหมดไปแทนที่ข้อมูลระดับของข้อมูลกริด Lidar\_DEM ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังข้อมูลกริด Lidar\_SCC นั่นคือแบบจำลองระดับใหม่ที่เพิ่มค่าระดับของกำแพงสูง 2.5 เมตรจาก รทก. ตลอดแนวแล้ว อธิบายได้

### 3.6 การประมวลผลหาการไหลสะสมด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 แต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ

ซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 มีเครื่องมือสำหรับการประมวลผลหาการไหลสะสมอยู่ในเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นสูง (ArcToolbox) กลุ่มเครื่องมือ Spatial Analysis Tools และภายในกลุ่มเครื่องมือย่อย Hydrology ดังนั้นในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงเครื่องมือที่สำคัญและจำเป็นต้องใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ หัวข้อ 3.6.1 เครื่องมือ Fill หัวข้อ 3.6.2 เครื่องมือ Flow Direction หัวข้อ 3.6.3 เครื่องมือ Flow Accumulation และหัวข้อ 3.6.4 เครื่องมือ Stream Order

#### 3.6.1 เครื่องมือ Fill

เป็นเครื่องมือที่ทำให้ข้อมูลแบบจำลองระดับที่ประมวลผลแล้วมีปัญหาแอ่ง (sink) จะทำการเติมแอ่งให้เต็มเพื่อให้น้ำสามารถไหลไปต่อได้ ผลที่ได้จากเครื่องมือนี้หากดูด้วยตาเปล่าอาจไม่แตกต่างจากแบบจำลองระดับที่ประมวลผลเลย แต่หากสังเกตบริเวณแอ่งก่อนการ Fill ดังรูปที่ 3.14 (a) จะเห็นพื้นที่สีดำอยู่ แต่เมื่อทำการ fill แล้วจะพบว่าพื้นที่สีดำเหล่านั้นถูกเติมให้เต็มมีค่าระดับไม่ต่างจากพื้นที่ข้างเคียงแล้ว ดังรูปที่ 3.14 (b)



(a) ก่อนการ Fill

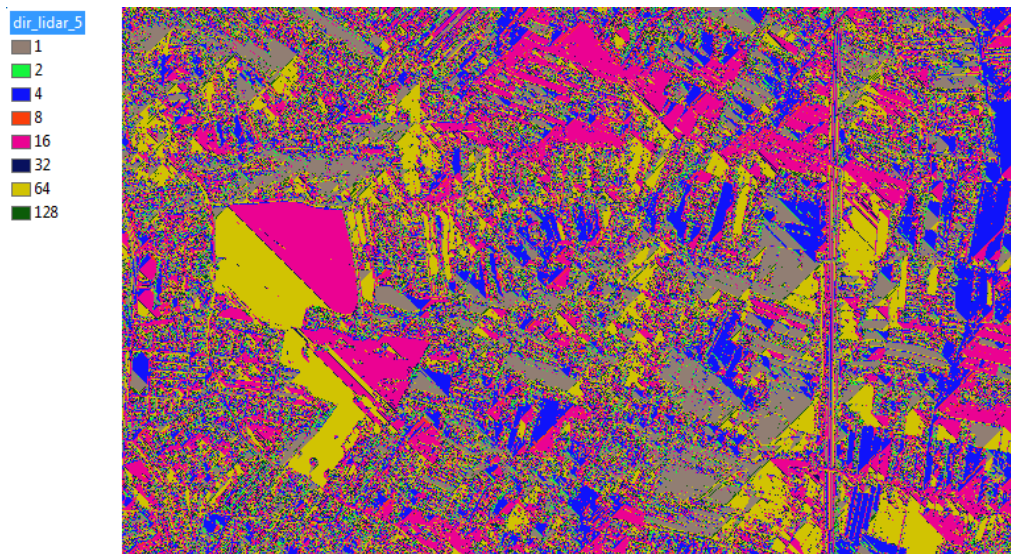
(a) หลังการ Fill

**รูปที่ 3.14** แสดงผลการประมวล fill ด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3

#### 3.6.2 เครื่องมือ Flow Direction

เป็นเครื่องมือประมวลผลหาเส้นทางและทิศทางการไหล โดยการหาค่าที่น้อยกว่าพื้นที่สนใจไปยังพื้นที่ข้างเคียงทั้ง 8 ทิศ ค่าได้น้อยกว่าค่าที่สนใจ ทิศทางการไหลจะเป็นทิศทางนั้น โดย

กำหนดตามองศา (D8) คือ  $0^{\circ}$  (64),  $45^{\circ}$  (128),  $90^{\circ}$  (1),  $135^{\circ}$  (2),  $180^{\circ}$  (4),  $225^{\circ}$  (8),  $270^{\circ}$  (16) และ  $315^{\circ}$  (32) ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงผลการประมวลผล flow direction ด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3

### 3.6.3 เครื่องมือ Flow Accumulation

เป็นเครื่องมือประมวลผลหาการไหลสะสม โดยกำหนดให้แต่ละกริดมีค่าเป็น 0 และเมื่อข้อมูลข้างเคียงมีทิศทางการไหลไปยังกริดใดให้บวกเพิ่มค่ากริดนั้นทิศทางการไหลเข้าที่ละ 1 และเมื่อกริดที่ถูกเพิ่มค่านั้นไหลไปยังกริดใดให้บวกค่าของกริดนั้นไปยังกริดใหม่ด้วย ได้ดังรูปที่ 3.16

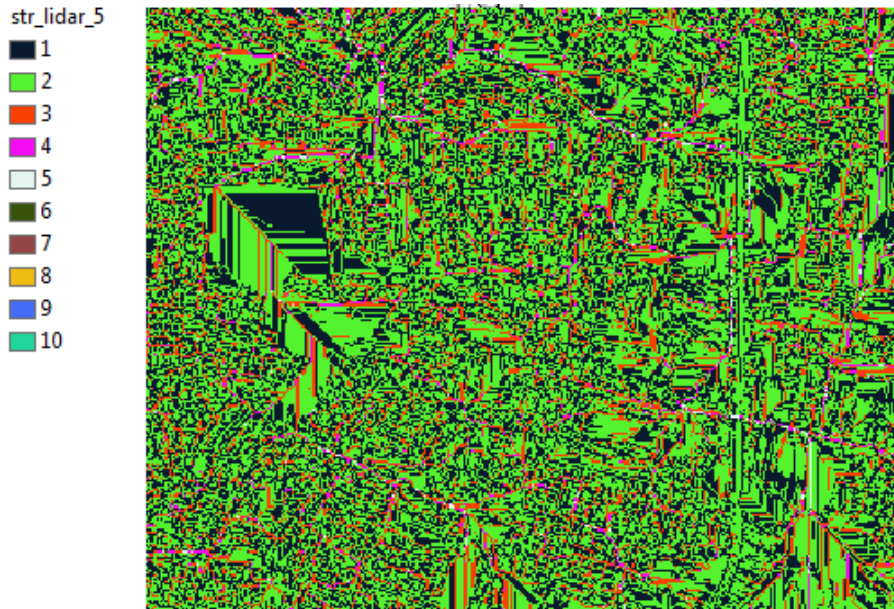


รูปที่ 3.16 แสดงผลการประมวลผล Flow accumulation ด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3



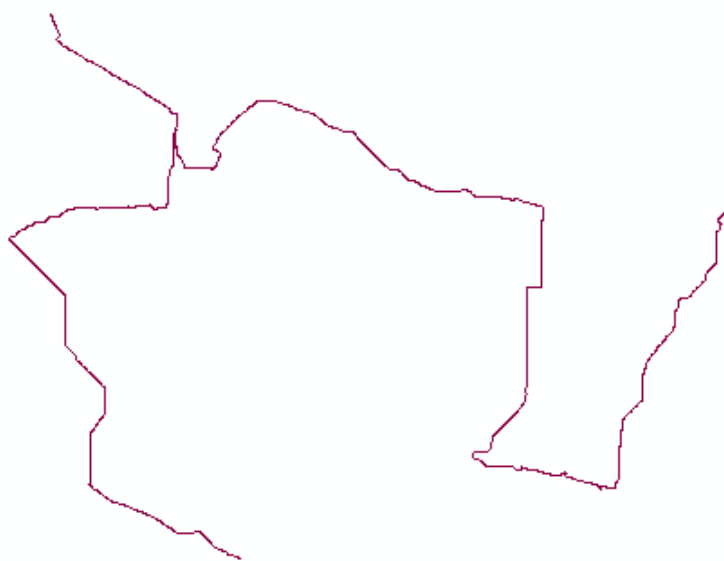
### 3.6.4 เครื่องมือ Stream Order

เป็นเครื่องมือสำหรับประมวลผลหาเส้นทางการไหลที่ได้จากการไหลสะสม เพื่อนำเส้นทางการไหลนั้นไปเปรียบเทียบความแตกต่างผลลัพธ์ต่อไป ได้ผลดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แสดงผลการประมวลผล stream order ด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3

จากเส้นทางการไหลรูปที่ 3.17 แปลงข้อมูลกริดกลับเป็นข้อมูลเชิงเส้น โดยจำแนกเอาเฉพาะเส้นลำน้ำหลักเพื่อใช้เปรียบเทียบความแตกต่างด้วยความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหล จะได้ผลดังรูป 3.18



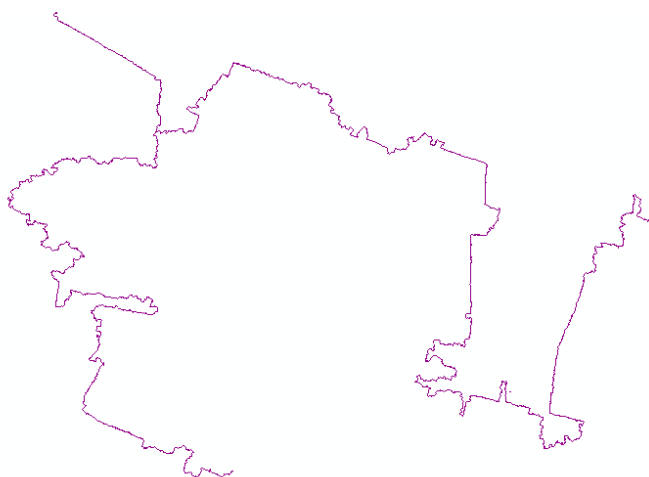
รูปที่ 3.18 แสดงข้อมูลเชิงเส้นของเส้นทางการไหล ด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3

### 3.7 การประมวลผลหาการไหลสะสมด้วยซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 ในและแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ

ฟังก์ชันการประมวลผลหาการไหลสะสม อยู่ในเครื่องมือส่วนเพิ่มเติม GRASS ในชุดเครื่องมือ Raster เข้าชุดเครื่องมือย่อย Spatial Model และเข้าชุดเครื่องมือย่อย Hydrologic Modelling เครื่องมือที่ใช้คือ r.watershed เครื่องมือจะให้นำเข้าแบบจำลองระดับที่ต้องการประมวลผลและกำหนดชื่อผลลัพธ์ทั้ง 4 ชนิดได้แก่ flow direction, flow accumulation, stream segment (เส้นทางการไหล) และ watershed basin (พื้นที่ลุ่มน้ำ) แล้วทำงานทุกขั้นตอนในการทำงานเพียงครั้งเดียว ได้ผลดังรูปที่ 3.19



(a) แสดงผลการประมวลผล Flow accumulation



(b) แสดงข้อมูลเชิงเส้นของเส้นทางการไหล

**รูปที่ 3.19** แสดงผลจากการประมวลผลหาการไหลสะสมด้วยซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8

จากรูปที่ 3.19 (b) คือการนำ stream segment แปลงข้อมูลกริดกลับเป็นข้อมูลเชิงเส้น จำแนกเอาเฉพาะเส้นลำน้ำหลัก เพื่อใช้เปรียบเทียบความแตกต่างด้วยความคลาดเคลื่อนของเส้นทางกรไหล

### 3.8 การเปรียบเทียบความแตกต่างผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในแต่ละซอฟต์แวร์

การเปรียบเทียบความแตกต่างผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในแต่ละซอฟต์แวร์ มีวิธีการเปรียบเทียบความแตกต่าง 3 วิธี ได้แก่ การไหลสะสมคลาดเคลื่อน (flow accumulation error) ความคลาดเคลื่อนของเส้นทางกรไหล (flow line error) และเวลาในการประมวลผล (time processing) ดังนั้นในหัวข้อ 3.8 นี้จะอธิบายถึง 3.8.1 แบบจำลองระดับที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในแต่ละซอฟต์แวร์ 3.8.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์การไหลสะสมคลาดเคลื่อน 3.8.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนของเส้นทางกรไหล และ 3.8.4 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์เวลาในการประมวลผล

3.8.1 แบบจำลองระดับที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในแต่ละซอฟต์แวร์

เพื่อให้การเปรียบเทียบมีประสิทธิภาพมากที่สุด จะใช้แบบจำลองระดับในการทดสอบทั้งหมดรวม 16 ไฟล์ ประมวลผลหาการไหลสะสมเพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างของซอฟต์แวร์ต่อไป ดังนี้

#### 3.8.1.1 ข้อมูลแบบจำลองระดับจากไลดาร์

ความละเอียดของแบบจำลองระดับ 1, 2, 5 และ 10 เมตรตามลำดับ

#### 3.8.1.2 ข้อมูลแบบจำลองระดับที่เพิ่มข้อมูลระดับถนนกรุงเทพมหานคร

ความละเอียดของแบบจำลองระดับ 1, 2, 5 และ 10 เมตรตามลำดับ

#### 3.8.1.3 ข้อมูลแบบจำลองระดับที่เพิ่มค่าระดับของ barrier สูง 1.5 เมตร ตลอดแนวทางหลวงหมายเลข 3344

ความละเอียดของแบบจำลองระดับ 1, 2, 5 และ 10 เมตรตามลำดับ

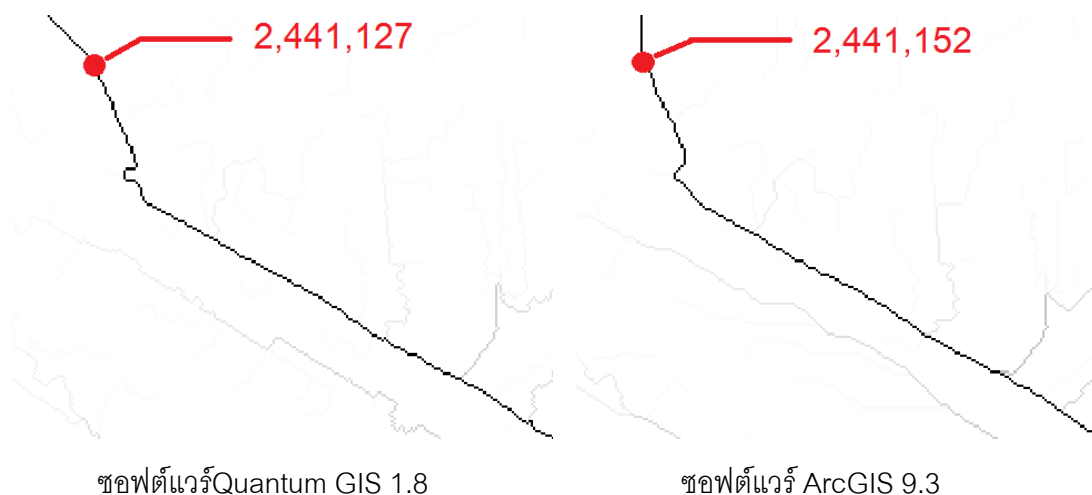
#### 3.8.1.4 ข้อมูลแบบจำลองระดับที่เพิ่มค่าระดับของกำแพงสูง 2.5 เมตรจาก รทก.

ตลอดแนวทางหลวงหมายเลข 9

ความละเอียดของแบบจำลองระดับ 1, 2, 5 และ 10 เมตรตามลำดับ

### 3.8.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์การไหลสะสมคลาดเคลื่อน

เป็นการสุ่มเลือกข้อมูลจุดน้ำออก (Outlet) ของการไหลสะสมในตำแหน่งเดียวกัน ระหว่างผลที่ได้จากซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และ Quantum GIS 1.8 แล้วสังเกตผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละจุดน้ำออกของการไหลสะสมดังรูปที่ 3.20 ของแบบจำลองระดับแต่ละประเภท จากสมการ 2.1 ประยุกต์ใช้เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์การไหลสะสมคลาดเคลื่อน จะได้ดังสมการที่ 3.5



รูปที่ 3.20 แสดงการเปรียบเทียบผลการไหลสะสมด้วยซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 และซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3

$$APE_{FAE} = |\text{OutF} - \text{OutF}_{\text{reff}}| \times \frac{100}{\text{OutF}_{\text{reff}}} \quad 3.5$$

โดยที่

$APE_{FAE}$  = ประสิทธิภาพจากการไหลสะสมคลาดเคลื่อน

$\text{OutF}$  = ผลของจุดน้ำออกการไหลสะสมซอฟต์แวร์ QGIS 1.8

$\text{OutF}_{\text{reff}}$  = ผลของจุดน้ำออกการไหลสะสมซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3

จากสมการที่ 3.5 จะได้

$$APE_{FAE} = |2,441,227 - 2,441,152| \times \frac{100}{2,441,152}$$

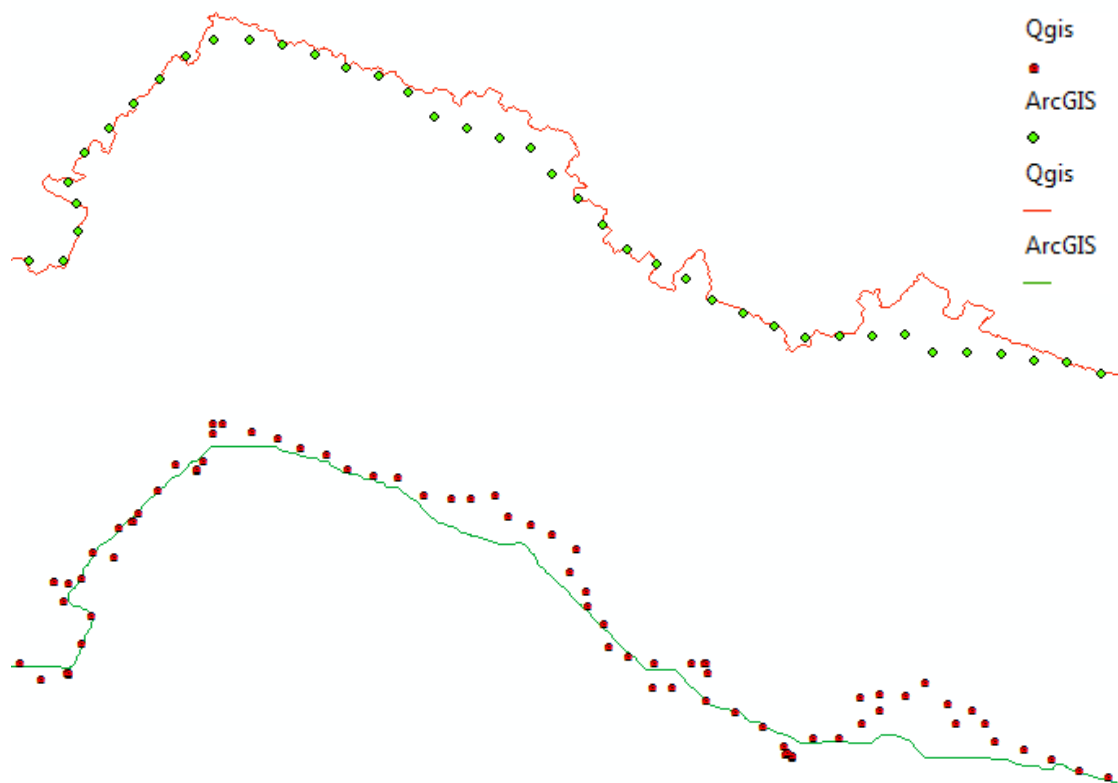
$$APE_{FAE} = 0.003$$

ดังนั้น การไหลสะสมคลาดเคลื่อน ( $APE_{FAE}$ ) คือ 0.003 %



### 3.8.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนของเส้นทางกรไฮล

เป็นการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นทางกรไฮลของแต่ละเส้นที่ได้จากการประมวลผลบนซอฟต์แวร์ที่ต่างกัน โดยใช้วิธีการจับคู่จุดบนเส้นอย่างมีเงื่อนไข ซึ่งเป็นการจับคู่ระหว่างจุด vertex เดิมกลับจุดตำแหน่งที่ใกล้ที่สุดบนเส้นที่ใช้เปรียบเทียบ โดยมีเงื่อนไขกำหนดจุดทุกระยะ 100 เมตรของเส้นจากจุดเริ่มต้นของเส้น โดยสังเกตความคลาดเคลื่อนของเส้นทางน้ำจาก Root Mean Square Error, RMSE ที่ได้ในแต่เส้นทางน้ำจากการไฮลสะสมของแบบจำลองระดับแต่ละซอฟต์แวร์สลับกันไปมา ดังรูปที่ 3.21 โดยใช้สมการที่ 2.2 ประยุกต์ใช้เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนของเส้นทางกรไฮล จะได้ดังสมการที่ 3.6



รูปที่ 3.21 แสดงการการประเมินประสิทธิภาพจากความคลาดเคลื่อนเส้นทางกรไฮล ด้วยวิธีการจับคู่จุดบนเส้นอย่างมีเงื่อนไข

$$\text{Root mean square error (RMSE)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\text{Diff}_{\text{line}})^2}{n}} \quad 3.6$$

โดยที่

RMSE = ค่ารากที่สองของผลรวมของค่าความแตกต่างยกกำลังสองของ  
ความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหล

$Diff_{line}$  = ผลต่างระหว่างจุด (Point) กับเส้น (Line) ที่อยู่ในระยะสั้นที่สุด

$n$  = จำนวนจุด (Point) ทั้งหมด

จากสมการที่ 3.6 จะได้

$$RMSE = \sqrt{\frac{7,386,318}{677}}$$

$$RMSE = 104.45$$

ดังนั้น ความคลาดเคลื่อนเส้นทางการไหล(RMSE) คือ 104.5 เมตร

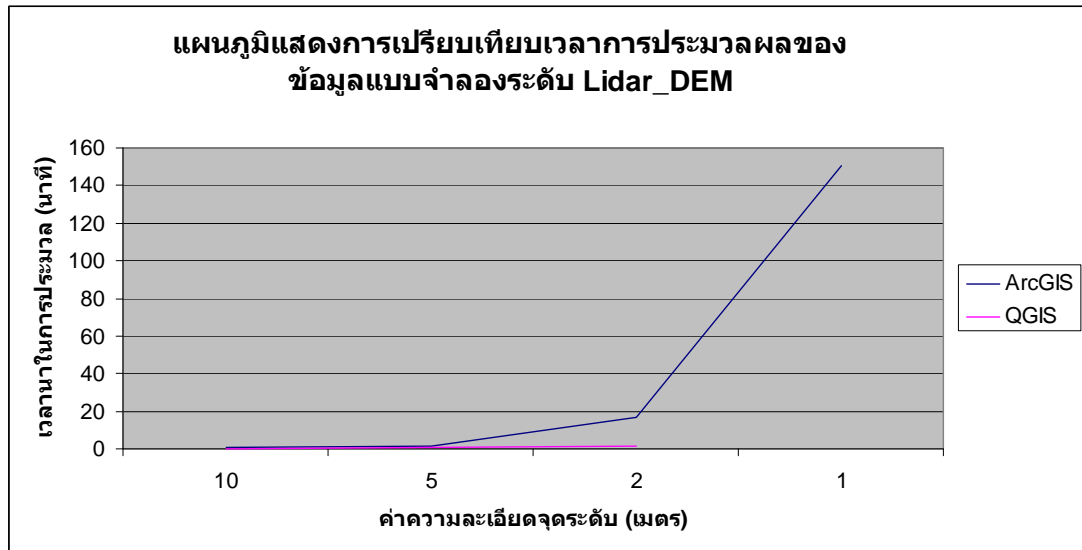
#### 3.8.4 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์เวลาในการประมวลผล

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประมวลผลมักใช้เวลาในการประมวลผล (time processing) เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของแต่ละซอฟต์แวร์โดยเปรียบเทียบกับจำนวนข้อมูลนำเข้าของทั้งสองซอฟต์แวร์ได้ผลดังตารางที่ 3.6 และรูปที่ 3.22

**ตารางที่ 3.6** แสดงการเปรียบเทียบเวลาประมวลผลของซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และ QGIS 1.8 (หน่วยเป็นนาที)

ข้อมูล ซอฟต์แวร์	Lidar_dem 10 เมตร	Lidar_dem 5 เมตร	Lidar_dem 2 เมตร	Lidar_dem 1 เมตร
ArcGIS 9.3	0:38	1:45	16:10	150:44
QGIS 1.8	0:13	0:02	1:44	error

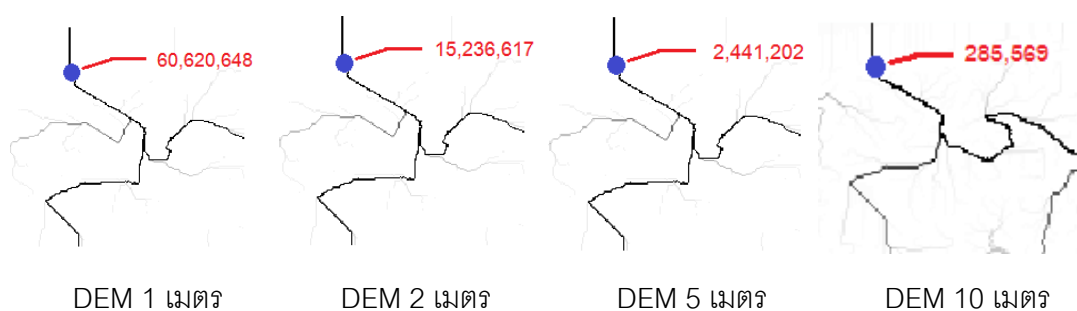
จากตารางที่ 3.6 และรูปที่ 3.22 สังเกตพบว่ามีค่า error หมายถึง ไม่สามารถประมวลผลได้ เนื่องจากขนาดแบบจำลองระดับนำเข้ามีขนาดใหญ่กว่าหน่วยความจำที่ซอฟต์แวร์กำหนดตามศักยภาพของเครื่องที่ใช้ประมวลผล (ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมในการประมวลผล)



รูปที่ 3.22 แสดงการเปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 และซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3

### 3.9 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ

การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ ใช้วิธีเดียวกับการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์จากการประมวลผลในแต่ละซอฟต์แวร์ในหัวข้อ 3.8 เพื่อหาความละเอียดของแบบจำลองระดับที่มีประสิทธิภาพ โดยใช้ผลลัพธ์ของแบบจำลองระดับที่มีความละเอียดจุดระดับสูงที่สุด นั่นคือแบบจำลองระดับที่มีความละเอียด 1 เมตร เป็นตัวกำหนดค่าความถูกต้อง จะได้ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์การไหลสะสมคลาดเคลื่อนดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 แสดงการเปรียบเทียบผลการไหลสะสมที่ได้จากแบบจำลองระดับที่มีความละเอียด 1, 2, 5 และ 10 เมตร ตามลำดับ

จากรูป 3.23 สังเกตเห็นว่า ค่าจุดน้ำออกของการไหลสะสมไม่อยู่ในระดับเดียวกัน เนื่องจากแบบจำลองระดับที่ใช้ประมวลผลนั้นมีความละเอียดไม่เท่ากัน ส่งผลให้ผลการไหลสะสมที่ได้ไม่อยู่ในระดับเดียวกัน สามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยแปลงให้อยู่ในค่าความละเอียดจุดระดับเดียวกันด้วยวิธี normalize โดยใช้แบบจำลองระดับ 1 เมตรเป็นตัวอ้างอิงประสิทธิภาพแล้วจะแปลงผลการไหลสะสมที่ได้ทั้งหมดให้อยู่ในระดับ 1 เมตรเช่นกัน ดังสมการที่ 3.7

$$\text{OutF}_{\text{ref}} = \text{OutF} \times \left( \frac{\text{Res}}{\text{Res}_{\text{ref}}} \right)^2 \quad 3.7$$

โดยที่

$\text{OutF}_{\text{ref}}$  = ค่าจุดน้ำออกของการไหลสะสมเทียบกับระดับอ้างอิง (1 เมตร)

$\text{OutF}$  = ค่าจุดน้ำออกของการไหลสะสมที่จะแปลง

$\text{Res}$  = ความละเอียดของแบบจำลองระดับที่จะแปลง

$\text{Res}_{\text{ref}}$  = ค่าความละเอียดของแบบจำลองระดับที่จะเปรียบเทียบ (1 เมตร)

จากสมการที่ 3.7 จะได้ ทดลองแปลงผลที่ได้จากแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 10 เมตร ไป 1 เมตร

$$\text{OutF}_{\text{ref}} = 285,569 \times \left( \frac{10}{1} \right)^2$$

$$\text{OutF}_{\text{ref}} = 28,556,900$$

ดังนั้น จุดน้ำออกของการไหลสะสมจากแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 10 เมตร เมื่อแปลงให้อยู่ในระดับ 1 เมตร คือ 28,556,900 จุด

เมื่อทำการแปลงระบบทุกตัวจะได้ดังตารางที่ 3.7

**ตารางที่ 3.7** แสดงจุดน้ำออกของการไหลสะสมเมื่อแปลงให้อยู่ในระดับ 1 เมตร

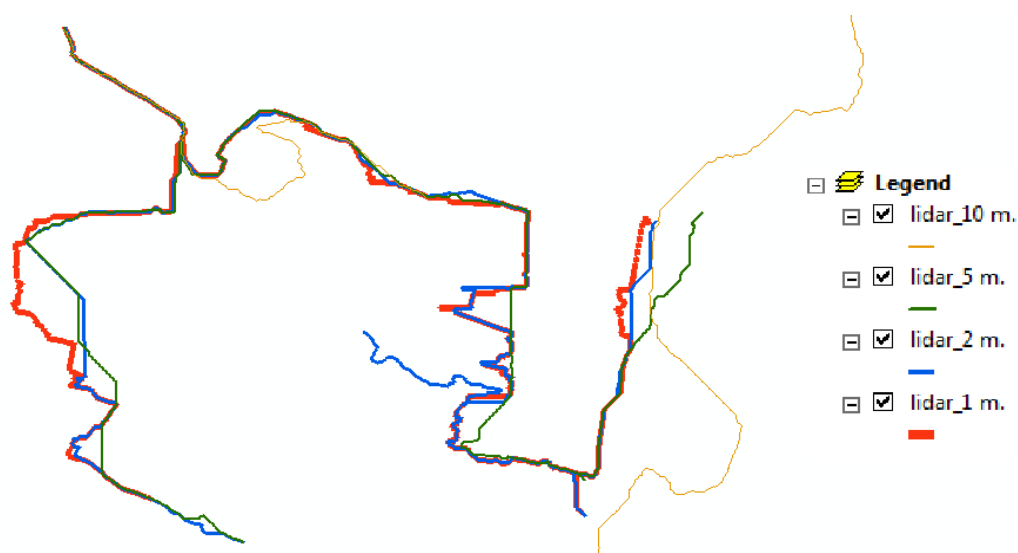
	DEM 1 เมตร	DEM 2 เมตร	DEM 5 เมตร	DEM 10 เมตร
ผลจุดน้ำออก	60,620,648	60,946,468	61,030,050	28,556,900

จากตารางที่ 3.7 สามารถนำจุดน้ำออกของการไหลสะสมที่แปลงอยู่ในระดับ 1 เมตรแล้ว มาคำนวณผลการไหลสะสมคลาดเคลื่อนได้จากสมการที่ 3.5 (หัวข้อ 3.8.2) โดยกำหนดให้ผลที่ได้ จากแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 1 เมตรเป็นตัวอ้างอิง ได้ผลดังตารางที่ 3.8

**ตารางที่ 3.8** แสดงการไหลสะสมคลาดเคลื่อนเทียบกับผลจากแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 1 เมตร

	DEM 2 เมตร	DEM 5 เมตร	DEM 10 เมตร
APE	0.54	0.13	57.2

ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลดัง รูปที่ 3.24 และตารางที่ 3.9



**รูปที่ 3.24** แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนเส้นทางการไหล จากแบบจำลองระดับหลายความละเอียด

คำนวณผลความคลาดเคลื่อนเส้นทางการไหล ได้จากสมการที่ 3.6 (หัวข้อ 3.8.3) โดย กำหนดให้ผลที่ได้จากแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 1 เมตรเป็นตัวอ้างอิง ได้ผลดังตารางที่ 3.9

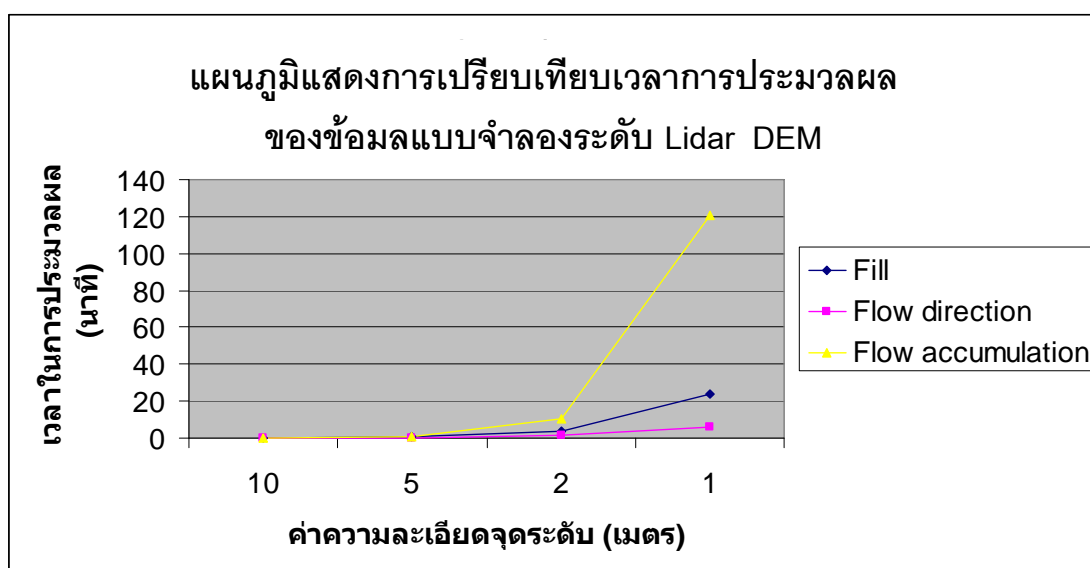
**ตารางที่ 3.9** แสดงผลความคลาดเคลื่อนเส้นทางการไหลเทียบกับผลจากแบบจำลองระดับที่ ความละเอียด 1 เมตร (หน่วยเป็นเมตร)

	DEM 2 เมตร	DEM 5 เมตร	DEM 10 เมตร
RMSE	78	136	1,118

จากตารางที่ 3.8 และ 3.9 สังเกตพบว่าผลลัพธ์จากการประมวลผลแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 10 เมตร ค่าการไหลสะสมคลาดเคลื่อนและความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลที่ได้มีมาก เนื่องจากแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 10 เมตร เป็นข้อมูลที่หายากทำให้จุดระดับที่เป็นตัวแปรสำคัญในการประมวลผลหากการไหลสะสมนั้นหายไปด้วย เช่น คั่นจากถนน หรือลำน้ำจากคูคลองที่มีความกว้างน้อยกว่า 10 เมตร เป็นต้น

และสุดท้ายผลการเปรียบเทียบความแตกต่างผลลัพธ์เวลาในการประมวลผลแสดงดังรูปที่

3.25



รูปที่ 3.25 แสดงการเปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลจากแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 1, 2, 5 และ 10 เมตร ตามลำดับ

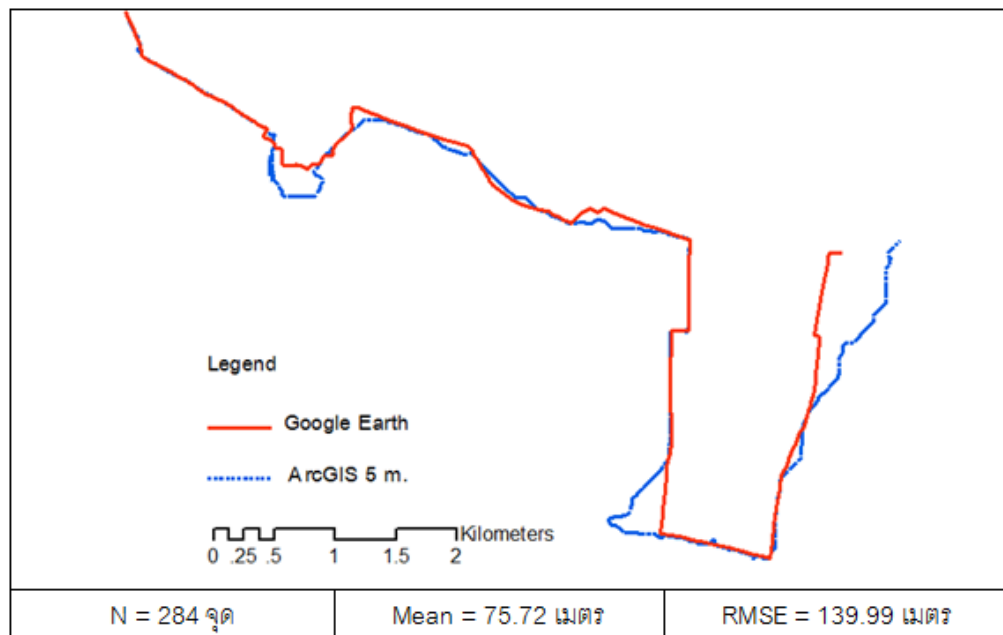
### 3.10 ประเมินประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลเปรียบเทียบกับเส้นลำน้ำจริงจากภาพถ่ายดาวเทียม ซอฟต์แวร์ Google Earth

เพื่อให้สามารถประเมินประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในแต่ละซอฟต์แวร์ได้ จึงต้องเปรียบเทียบกับเส้นลำน้ำในภูมิประเทศจริง ที่ได้จากการดิจิทัลเซชันลำน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมในปีที่ใกล้เคียงข้อมูลไลดาร์มากที่สุดจากซอฟต์แวร์ Google Earth พบว่ามีภาพถ่ายดาวเทียมบันทึกเมื่อเดือนมกราคม พ.ศ. 2549 ดังแสดงในรูปที่ 3.26 ซึ่งใกล้เคียงกับช่วงเวลาสำรวจเก็บข้อมูลไลดาร์ที่บันทึกเมื่อเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2548 แล้วใช้วิธีประเมินประสิทธิภาพด้วยความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลระหว่างเส้นลำน้ำจากภูมิประเทศจริงที่ได้กับผลลัพธ์การประมวลผลเส้นทางการไหลในแต่ละซอฟต์แวร์และความละเอียดของ

แบบจำลองระดับ โดยใช้แบบจำลองระดับที่จากการข้อมูลไลดาร์ซึ่งเป็นแบบจำลองระดับดั้งเดิม เพื่อให้ข้อมูลมีความใกล้เคียงกับสภาพภูมิจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 3.27

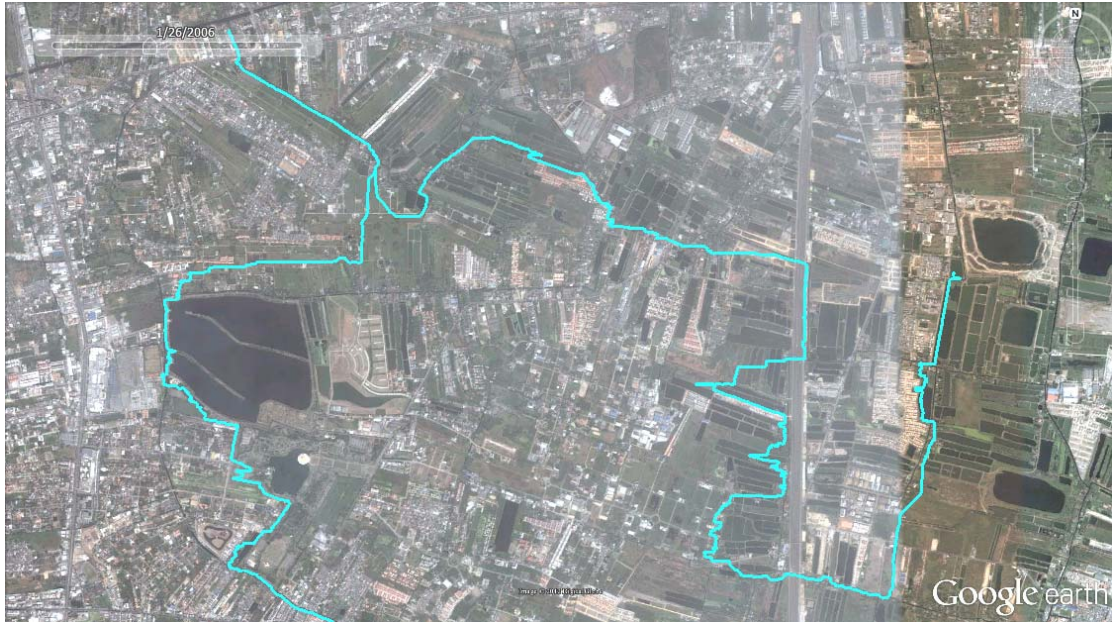


รูปที่ 3.26 การดิจิทัลเส้นลำน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมในปีที่ใกล้เคียงกับข้อมูลไลดาร์มากที่สุด จากซอฟต์แวร์ Google Earth



รูปที่ 3.27 ตัวอย่างการประเมินประสิทธิภาพด้วยความคลาดเคลื่อนของเส้นทางกรไหล ระหว่างเส้นลำน้ำจริงจากซอฟต์แวร์ Google Earth เทียบกับ ผลลัพธ์จากซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3

สามารถแสดงผลเส้นทางกรไหลของลำน้ำที่ได้จากการประมวลผลแสดงบนซอฟต์แวร์ Google Earth โดยการแปลงข้อมูลเชิงเส้นลำน้ำเป็นข้อมูล KML (Keyhole Markup Language) ซึ่งเป็นโครงสร้างภาษา XML รูปแบบหนึ่งที่ใช้สำหรับการแสดงข้อมูลเชิงพื้นที่บนซอฟต์แวร์ Google Earth ดังรูปที่ 3.28



**รูปที่ 3.28** ตัวอย่างการแสดงผลเส้นทางกรไหลของลำน้ำที่ได้จากการประมวลผลแสดงบนซอฟต์แวร์ Google Earth



## บทที่ 4





### ผลการดำเนินงาน

การศึกษาการประมวลผลแบบจำลองระดับปริมาณมากเพื่อการวิเคราะห์ภูมิประเทศ ได้ผลการวิจัยดังหัวข้อต่อไปนี้

#### 4.1 ผลการเตรียมข้อมูลแบบจำลองระดับใหม่ตามเงื่อนไข

เมื่อทำการสร้างแบบจำลองระดับใหม่ตามเงื่อนไขแบบจำลองสถานการณ์ที่ต้องการเพื่อใช้เป็นข้อมูลตรวจสอบ โดยสร้างแบบจำลองระดับใหม่จากทั้ง 3 วิธี ด้วยแบบจำลองระดับที่สร้างจากข้อมูลไลดาร์เดิม ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

#### ตารางที่ 4.1 ผลการสร้างแบบจำลองระดับใหม่ตามเงื่อนไข




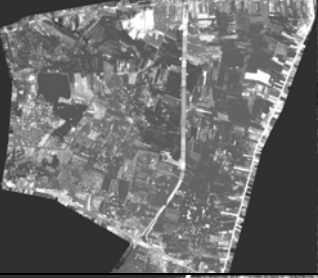



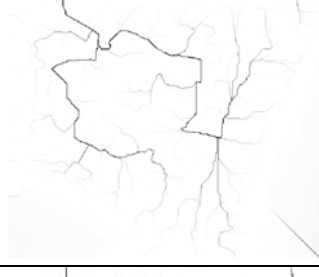
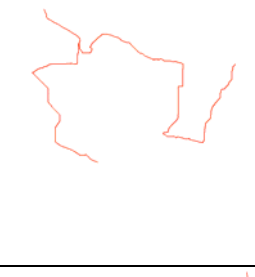



(a) แบบจำลองระดับที่สร้างจากข้อมูลไลดาร์ (ข้อมูลดั้งต้น)	(b) แบบจำลองระดับที่เพิ่มระดับความสูงถนนสายหลัก กทม.
	
(c) แบบจำลองระดับที่เพิ่มค่าระดับของ Barrier สูง 1.5 เมตร ตลอดแนวถนนทล.3344	(d) แบบจำลองระดับที่เพิ่มค่าระดับของกำแพงสูง 2.5 ม.จาก รทก. ตลอดแนวถนน ทล. 9
	

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าในบริเวณขอบเขตพื้นที่สนใจ เช่น ถนนสายหลักของ กทม. ใน (b) ทางหลวงหมายเลข 9 ใน (c) และทางหลวงหมายเลข 3344 ใน (d) ค่าระดับของแบบจำลองระดับที่สร้างใหม่นั้นจะเปลี่ยนไปตามเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นด้วย



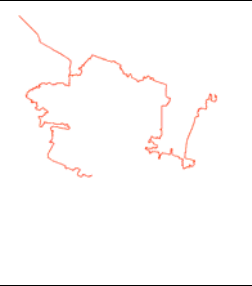
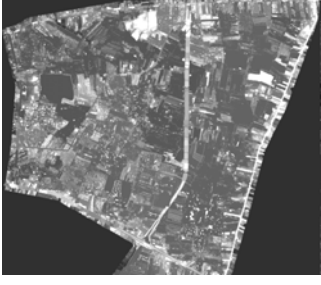








#### 4.2 ผลการประมวลผลหาการไหลสะสม

เมื่อนำแบบจำลองระดับใหม่ตามเงื่อนไขที่ต้องการประมวลผลหาการไหลสะสมด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการประมวลผลหาการไหลสะสม

	แบบจำลองระดับ	การไหลสะสม	เส้นทางการไหล
ประมวลผลด้วย ซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3			
Lidar_DEM			
Lidar_OS			
Lidar_SCB			
Lidar_SCC			

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการประมวลผลหาการไหลสะสม (ต่อ)

	แบบจำลองระดับ	การไหลสะสม	เส้นทางการไหล
ประมวลผลด้วย ซอฟต์แวร์ Quantum GIS			
Lidar_DEM			
Lidar_OS			
Lidar_SCB			
Lidar_SCC			

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าผลของการไหลสะสมที่ได้จากการประมวลผลของทั้ง 2 ซอฟต์แวร์ให้ผลลัพธ์คล้ายกัน แต่จะแตกต่างกันไปตามอัลกอริทึมของแต่ละซอฟต์แวร์และในแต่ ละรูปแบบของการเตรียมแบบจำลองระดับตามเงื่อนไขที่ประมวลผลเท่านั้น ซึ่งจะได้กล่าวถึง ผลลัพธ์ที่ได้ในหัวข้อการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในแต่ละ ซอฟต์แวร์ต่อไป

### 4.3 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในแต่ละซอฟต์แวร์

จากผลที่ได้จากหัวข้อ 4.2 การประมวลผลหาการไหลสะสมในแต่ละซอฟต์แวร์และแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ มีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการประมวลผลหาการไหลสะสม

	จาก Dem 10 ม.	จาก Dem 5 ม.	จาก Dem 2 ม.	จาก Dem 1 ม.
ประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3				
Lidar_DEM	✓	✓	✓	✓
Lidar_OS	✓	✓	✓	✓
Lidar_SCB	✓	✓	✓	✓
Lidar_SCC	✓	✓	✓	✓
ประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8				
Lidar_DEM	✓	✓	✓	Error
Lidar_OS	✓	✓	✓	Error
Lidar_SCB	✓	✓	✓	Error
Lidar_SCC	✓	✓	✓	Error

จากตารางที่ 4.3 สังเกตพบว่าการประมวลผลหาการไหลสะสมด้วยซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 มีค่า error เกิดขึ้น ซึ่งหมายถึง ไม่สามารถประมวลผลได้ เนื่องจากขนาดของแบบจำลองระดับนำเข้าไปประมวลผลมีขนาดใหญ่กว่าหน่วยความจำสำหรับรองรับข้อมูลนำเข้าที่ซอฟต์แวร์กำหนดซึ่งขึ้นอยู่กับศักยภาพของเครื่องที่ใช้ประมวลผล หากมีหน่วยความจำมากขึ้นก็สามารถนำเข้าแบบจำลองระดับที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้

ดังนั้นผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลของซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และ Quantum GIS 1.8 จะใช้ผลการไหลสะสมที่ได้จากความละเอียด (resolution) ของแบบจำลองระดับที่ 2, 5 และ 10 เมตร เปรียบเทียบรวม 12 คู่ ซึ่งมีวิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ 3 วิธี ได้ผลดังนี้

4.3.1 ผลการไหลสะสมคลาดเคลื่อน (flow accumulation error) จากการทดสอบประมวลผลบนซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และ Quantum GIS 1.8 แสดงดังตารางที่ 4.4

**ตารางที่ 4.4** แสดงผลการไหลสะสมคลาดเคลื่อนจากการประมวลผลบนซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และ Quantum GIS 1.8

	ประมวลผลบนซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3	ประมวลผลบนซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8	APE <sub>FAE</sub> (%)
แบบจำลองระดับที่สร้างจากข้อมูลไลดาร์			
Lidar_DEM 2 เมตร	15,236,602	15,248,277	7.657%
Lidar_DEM 5 เมตร	2,441,202	2,441,286	0.344%
Lidar_DEM 10 เมตร	285,569	285,635	2.311%
แบบจำลองระดับที่เพิ่มระดับความสูงถนนสายหลัก กทม.			
Lidar_OS 2 เมตร	15,125,970	15,135,877	6.545%
Lidar_OS 5 เมตร	2,451,086	2,450,918	0.685%
Lidar_OS 10 เมตร	284,145	284,135	0.352%
แบบจำลองระดับที่เพิ่มค่าระดับของ Barrier สูง 1.5 เมตร ตลอดแนวถนน ทล.3344			
Lidar_SCB 2 เมตร	8,727,474	8,736,395	10.211%
Lidar_SCB 5 เมตร	1,398,031	1,398,144	0.808%
Lidar_SCB 10 เมตร	268,391	268,215	6.562%
แบบจำลองระดับที่เพิ่มค่าระดับของกำแพงสูง 2.5 ม.จาก รทก. ตลอดแนวถนน ทล. 9			
Lidar_SCC 2 เมตร	16,207,902	16,208,726	0.508%
Lidar_SCC 5 เมตร	2,597,417	2,597,508	0.350%
Lidar_SCC 10 เมตร	377,685	377,700	0.397%

จากตารางที่ 4.4 สังเกตพบว่าผลการไหลสะสมคลาดเคลื่อนจากการประมวลผลบนซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และ Quantum GIS 1.8 โดยภาพรวมถือว่าไม่แตกต่างกันมาก ค่าเฉลี่ยการไหลสะสมคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 3.06 % โดยแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 2 เมตร จะให้ค่าการไหลสะสมคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมากที่สุด และแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 5 เมตร จะให้ค่าการไหลสะสมคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุด สาเหตุที่ทำให้แบบจำลองระดับที่ความละเอียด 2 เมตร ให้ค่าการไหลสะสมคลาดเคลื่อนคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงนั้น เนื่องมาจากอัลกอริทึมของการประมวลผลการไหลสะสมในแต่ละซอฟต์แวร์ที่แตกต่างกัน ยังมีจำนวนจุดภาพเพิ่มมากขึ้น รูปแบบการไหลของน้ำในระดับย่อยก็ยิ่งแตกต่างกันมากขึ้นไปด้วย

4.3.2 ผลความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหล (flow line error) จากการทดสอบประมวลผลบนซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และ Quantum GIS 1.8 แสดงดังตารางที่ 4.5

**ตารางที่ 4.5** แสดงผลความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลจากการประมวลผลบนซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และ Quantum GIS 1.8

	RMSE (เมตร)	เส้นทางการไหล
แบบจำลองระดับที่สร้างจากข้อมูลไลดาร์		
Lidar_DEM 2 เมตร	144.45	
Lidar_DEM 5 เมตร	104.45	
Lidar_DEM 10 เมตร	138.57	
แบบจำลองระดับที่เพิ่มระดับความสูงถนนสายหลัก กทม.		
Lidar_OS 2 เมตร	155.14	
Lidar_OS 5 เมตร	129.06	
Lidar_OS 10 เมตร	143.41	
แบบจำลองระดับที่เพิ่มค่าระดับของ Barrier สูง 1.5 เมตร ตลอดแนวถนน ทล.3344		
Lidar_SCB 2 เมตร	145.46	
Lidar_SCB 5 เมตร	228.93	
Lidar_SCB 10 เมตร	207.71	

ตารางที่ 4.5 แสดงผลความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลจากการประมวลผลบนซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และ Quantum GIS 1.8 (ต่อ)

	RMSE (เมตร)	เส้นทางการไหล
แบบจำลองระดับที่เพิ่มค่าระดับของกำแพงสูง 2.5 ม. จาก รทก. ตลอดแนวถนน ทล. 9		
Lidar_SCC 2 เมตร	161.72	
Lidar_SCC 5 เมตร	141.40	
Lidar_SCC 10 เมตร	157.53	

จากตารางที่ 4.5 สังเกตพบว่าความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลจากการประมวลผลบนซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และ Quantum GIS 1.8 โดยภาพรวมถือว่าไม่แตกต่างกันมาก ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลอยู่ที่ 154.82 เมตร โดยแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 2 เมตร จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลเฉลี่ยมากที่สุด และแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 5 เมตร จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลเฉลี่ยน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการไหลสะสมคลาดเคลื่อนในหัวข้อ 4.3.1 เนื่องมาจากสาเหตุเดียวกัน ซึ่งเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ในการใช้งาน ไม่มีกฎเกณฑ์ตายตัว

4.3.3 เวลาในการประมวลผล (time processing) จากการทดสอบประมวลผลบนซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และ Quantum GIS 1.8 แสดงดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.1 (a) - (d)

ตารางที่ 4.6 แสดงผลเวลาในการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และ Quantum GIS 1.8

	ประมวลผลบนซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 (นาที)	ประมวลผลบนซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 (นาที)
แบบจำลองระดับที่สร้างจากข้อมูลไลดาร์		
Lidar_DEM 2 เมตร	16:58	1:44
Lidar_DEM 5 เมตร	1:45	0:02
Lidar_DEM 10 เมตร	0:38	0:13

ตารางที่ 4.6 แสดงผลเวลาในการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และ Quantum GIS 1.8 (ต่อ)

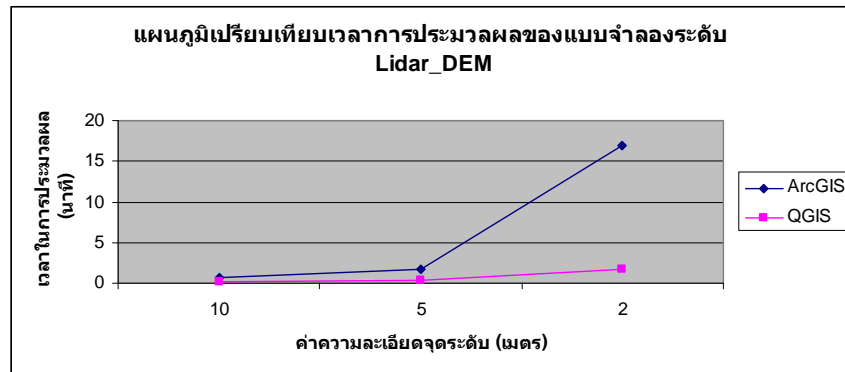
	ประมวลผลบนซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 (นาที)	ประมวลผลบนซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 (นาที)
แบบจำลองระดับที่เพิ่มระดับความสูงถนนสายหลัก กทม.		
Lidar_OS 2 เมตร	22:37	1:44
Lidar_OS 5 เมตร	2:34	0:23
Lidar_OS 10 เมตร	0:52	0:11
แบบจำลองระดับที่เพิ่มค่าระดับของ Barrier สูง 1.5 เมตร ตลอดแนวถนน ทล.3344		
Lidar_SCB 2 เมตร	12:07	1:32
Lidar_SCB 5 เมตร	0:50	0:10
Lidar_SCB 10 เมตร	0:19	0:04
แบบจำลองระดับที่เพิ่มค่าระดับของกำแพงสูง 2.5 ม.จาก รทก. ตลอดแนวถนน ทล. 9		
Lidar_SCC 2 เมตร	27:01	1:43
Lidar_SCC 5 เมตร	1:44	0:33
Lidar_SCC 10 เมตร	0:39	0:06

จากตารางที่ 4.6 สังเกตพบว่าเวลาในการประมวลผลของซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และ Quantum GIS 1.8 โดยภาพรวมถือว่าเวลาในการประมวลผลไม่แตกต่างกันมาก แต่หากข้อมูลมีขนาดใหญ่ขึ้นเวลาการประมวลผลบนซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 จะเพิ่มสูงขึ้นมาก ดังจะเห็นได้ในการประมวลผลแบบจำลองระดับ 2 เมตร ซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 เวลาใช้เวลารประมวลผลเฉลี่ยอยู่ที่ 21:22 นาที ในขณะที่ซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 ใช้เวลาประมวลผลเฉลี่ยอยู่ที่ 1.7 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (a) (b) (c) และ (d)

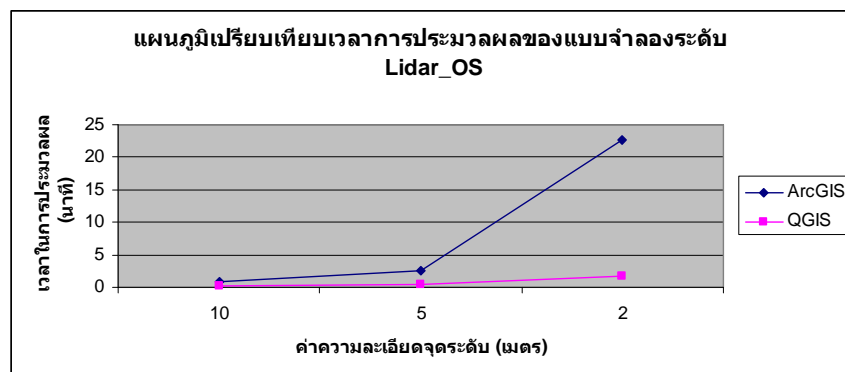
#### 4.4 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ

การประมวลผลหาการไหลสะสมในแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ มีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.3 นำมาเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลเพื่อหาความละเอียดของแบบจำลองระดับที่มีประสิทธิภาพ โดยใช้ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลหาการไหลสะสมของแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 1 เมตร ที่ประมวลผลบนซอฟต์แวร์ ArcGIS เป็นตัวกำหนดค่าความถูกต้องเปรียบเทียบกับผลการไหลสะสมที่ได้จากความ

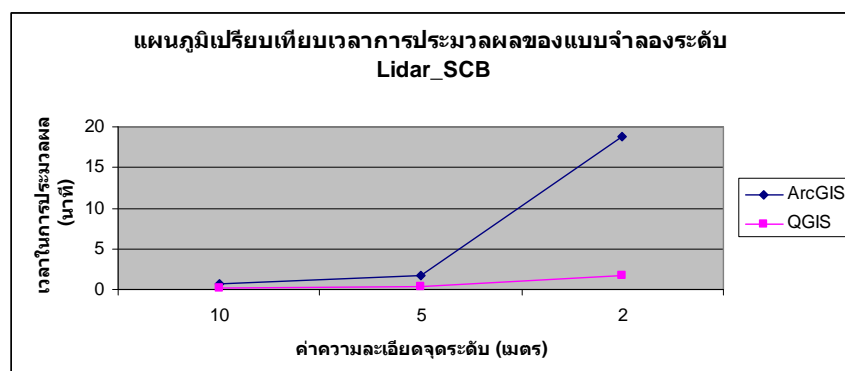




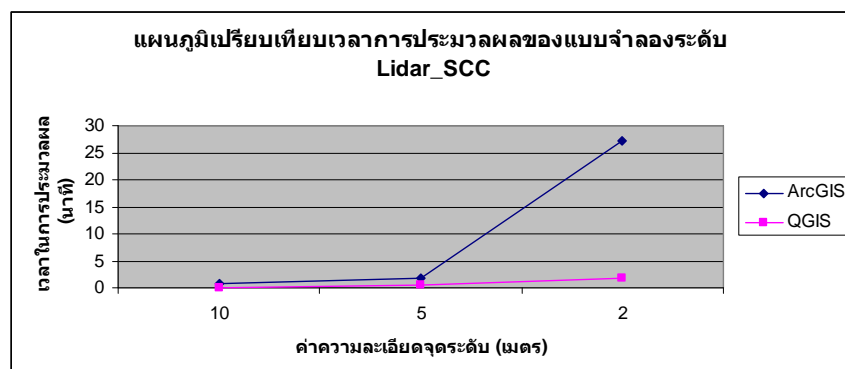
(a) แสดงการเปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลแบบจำลองระดับ Lidar\_DEM



(b) แสดงการเปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลแบบจำลองระดับ Lidar\_OS



(c) แสดงการเปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลแบบจำลองระดับ Lidar\_SCB



(d) แสดงการเปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลแบบจำลองระดับ Lidar\_SCC

รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลแบบจำลองระดับแต่ละซอฟต์แวร์

ละเอียดของแบบจำลองระดับที่ 2, 5 และ 10 เมตร ซึ่งมีวิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ 3 วิธี ได้ผลดังนี้

4.4.1 ผลการไหลสะสมคลาดเคลื่อน จากการทดสอบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองระดับแต่ละความละเอียด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.7

**ตารางที่ 4.7** แสดงผลการไหลสะสมคลาดเคลื่อนจากการประมวลผลแบบจำลองระดับแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ

	ค่าจุดนำออกการไหลสะสม (แปลงระดับแล้ว)	ค่าจุดนำออกการไหลสะสมอ้างอิง (1 เมตร)	APE <sub>FAE</sub> (%)
แบบจำลองระดับที่สร้างจากข้อมูลไลดาร์			
Lidar_DEM 2 เมตร	60,946,408	60,620,648	0.54%
Lidar_DEM 5 เมตร	61,030,050		0.68%
Lidar_DEM 10 เมตร	28,556,900		52.89%
แบบจำลองระดับที่เพิ่มระดับความสูงถนนสายหลัก กทม.			
Lidar_OS 2 เมตร	60,503,880	60,337,008	0.28%
Lidar_OS 5 เมตร	61,277,150		1.56%
Lidar_OS 10 เมตร	28,414,500		52.91%
แบบจำลองระดับที่เพิ่มค่าระดับของ Barrier สูง 1.5 เมตร ตลอดแนวถนน ทล.3344			
Lidar_SCB 2 เมตร	64,831,608	64,803,680	0.04%
Lidar_SCB 5 เมตร	64,935,425		0.20%
Lidar_SCB 10 เมตร	37,768,500		41.72%
แบบจำลองระดับที่เพิ่มค่าระดับของกำแพงสูง 2.5 ม. จาก รทก. ตลอดแนวถนน ทล. 9			
Lidar_SCC 2 เมตร	34,909,896	34,578,376	0.96%
Lidar_SCC 5 เมตร	34,950,775		1.08%
Lidar_SCC 10 เมตร	26,839,100		22.38%

จากตารางที่ 4.7 สังเกตพบว่าผลการไหลสะสมคลาดเคลื่อนจากการประมวลผลแบบจำลองระดับแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับที่ได้จากแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 2 และ 5 เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 1 เมตร ในทุกรูปแบบค่าการไหลสะสมคลาดเคลื่อนไม่แตกต่างกันมาก มีค่าการไหลสะสมคลาดเคลื่อนเฉลี่ยไม่เกิน 2 % แต่ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 10 เมตร

ผลลัพธ์ที่ได้แตกต่างกันมาก มีค่าการไหลสะสมคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมากกว่า 10 % ซึ่งถือว่ามีความคลาดเคลื่อนสูง

4.4.2 ผลความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหล จากการทดสอบประมวลผลแบบจำลองระดับแต่ละความละเอียดเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 1 เมตร แสดงดังตารางที่ 4.8

**ตารางที่ 4.8** แสดงผลความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลจากการประมวลผลแบบจำลองระดับแต่ละความละเอียดเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 1 เมตร (หน่วยเป็นเมตร)

	RMSE (เมตร)	เส้นทางการไหล
แบบจำลองระดับที่สร้างจากข้อมูลไลดาร์		
Lidar_DEM 2 เมตร	78	
Lidar_DEM 5 เมตร	136	
Lidar_DEM 10 เมตร	1,118	
แบบจำลองระดับที่เพิ่มระดับความสูงถนนสายหลัก กทม.		
Lidar_OS 2 เมตร	78	
Lidar_OS 5 เมตร	138	
Lidar_OS 10 เมตร	1,071	

ตารางที่ 4.8 แสดงผลความคลาดเคลื่อนของเส้นทางรถไฟจากการประมวลผลแบบจำลองระดับแต่ละความละเอียดเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 1 เมตร (หน่วยเป็นเมตร) (ต่อ)

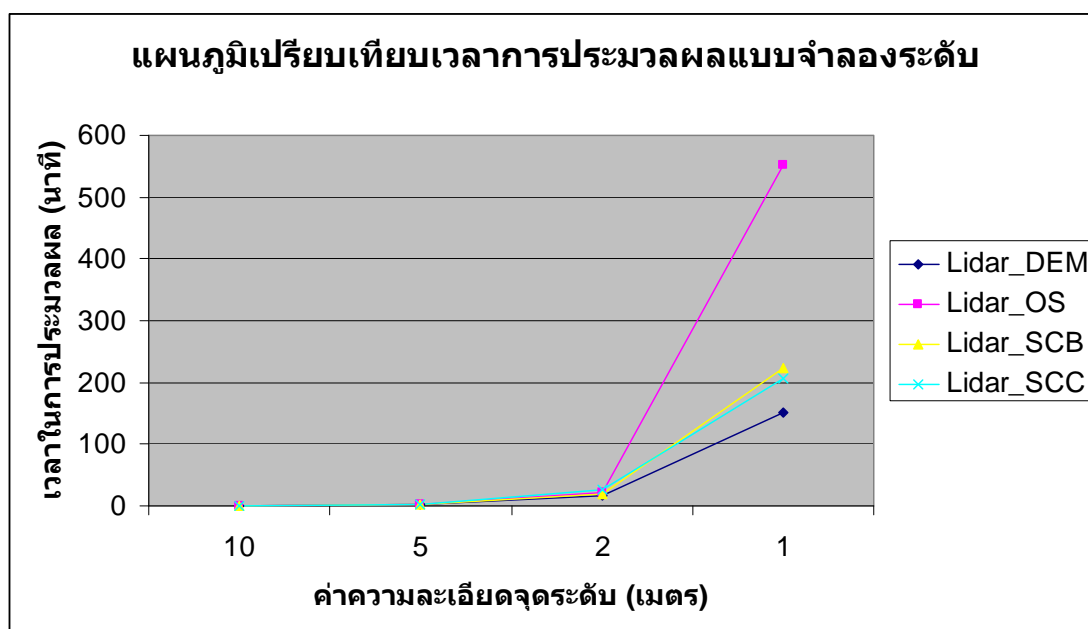
	RMSE (เมตร)	เส้นทางรถไฟ
แบบจำลองระดับที่เพิ่มค่าระดับของ Barrier สูง 1.5 เมตร ตลอดแนวถนน ทล.3344		
Lidar_SCB 2 เมตร	75	
Lidar_SCB 5 เมตร	142	
Lidar_SCB 10 เมตร	997	
แบบจำลองระดับที่เพิ่มค่าระดับของกำแพงสูง 2.5 ม.จาก รทก. ตลอดแนวถนน ทล. 9		
Lidar_SCC 2 เมตร	98	
Lidar_SCC 5 เมตร	114	
Lidar_SCC 10 เมตร	476	

จากตารางที่ 4.8 สังเกตพบว่าผลความคลาดเคลื่อนของเส้นทางรถไฟจากการประมวลผลแบบจำลองระดับแต่ละความละเอียดนั้น ค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นทางรถไฟของแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 2 เมตร ในทุกรูปแบบค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เฉลี่ยไม่เกิน 100 เมตร และค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นทางรถไฟจากแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 5 เมตร เฉลี่ยไม่เกิน 150 เมตร แต่ค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นทางรถไฟที่ได้จากแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 10 เมตร ผลที่ได้แตกต่างกันมาก มีความคลาดเคลื่อนสูง ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งาน

4.4.3 เวลาในการประมวลผลจากการทดสอบประมวลผลแบบจำลองระดับแต่ละความละเอียด แสดงดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.9 แสดงผลเวลาในการประมวลผลแบบจำลองระดับแต่ละความละเอียด

	DEM 10 เมตร (นาที)	DEM 5 เมตร (นาที)	DEM 2 เมตร (นาที)	DEM 1 เมตร (นาที)
Lidar_DEM	0:38	1:45	16:58	150:44
Lidar_OS	0:52	2:34	22:37	551:27
Lidar_SCB	0:43	1:46	18:47	223:04
Lidar_SCC	0:39	1:44	27:06	207:17



รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลแบบจำลองระดับแต่ละความละเอียด

จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.2 สังเกตพบว่าเวลาในการประมวลผลแบบจำลองระดับแต่ละความละเอียดสอดคล้องกับความละเอียดของแบบจำลองระดับนั้นๆ นั่นคือจากน้อยไปมาก แต่อัตราการเพิ่มขึ้นของเวลาในการประมวลผลแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับที่ 2, 5 และ 10 เมตร นั้นต่างกันเฉลี่ยไม่เกิน 20 นาที มีเพียงการประมวลผลของแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 1 เมตร ที่ใช้เวลาประมวลผลเฉลี่ยมากกว่า 120 นาที

#### 4.5 ผลการประเมินประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลเปรียบเทียบกับเส้นลำน้ำจริงจากภาพถ่ายดาวเทียม ซอฟต์แวร์ Google Earth

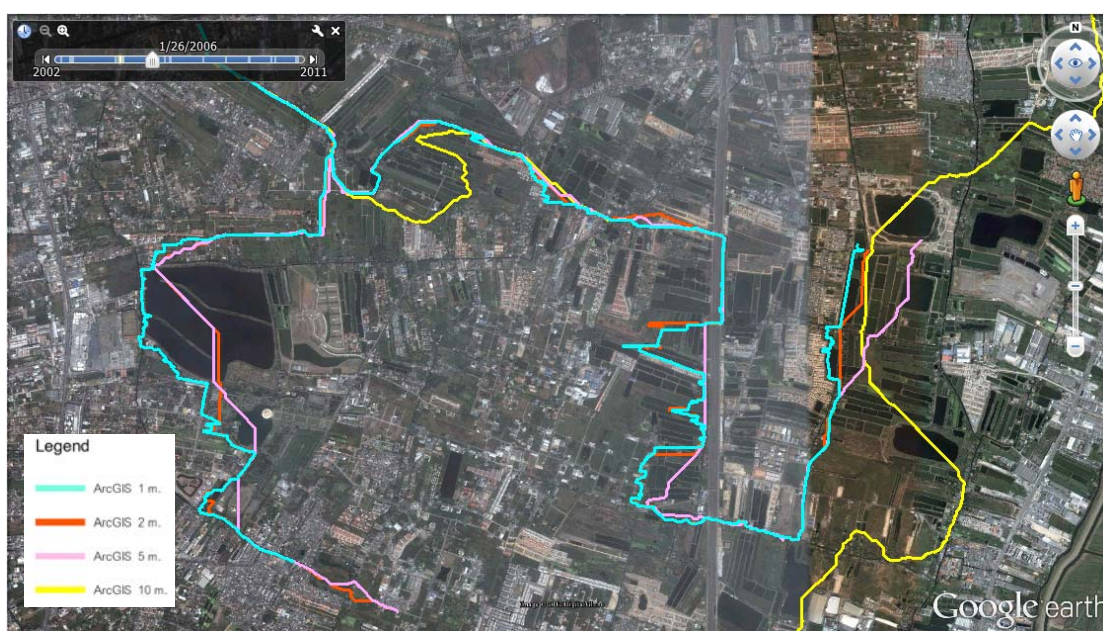
จากการดิจิทัลเส้นลำน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมในเดือนมกราคม พ.ศ. 2549 ของซอฟต์แวร์ Google Earth ซึ่งใกล้เคียงกับข้อมูลไลดาร์มากที่สุด ทำการประเมินประสิทธิภาพด้วยความคลาดเคลื่อนของเส้นทางกรไหลระหว่างเส้นลำน้ำจากภูมิประเทศจริงที่ให้กับผลลัพธ์การประมวลผลเส้นทางกรไหลในแต่ละซอฟต์แวร์และความละเอียดของแบบจำลองระดับได้ผลดังตารางที่ 4.10

**ตารางที่ 4.10** แสดงผลความคลาดเคลื่อนของเส้นทางกรไหลจากการประมวลผลในแต่ละซอฟต์แวร์และแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับเทียบกับเส้นลำน้ำจากซอฟต์แวร์ Google Earth (หน่วยเป็นเมตร)

	RMSE (เมตร)	เส้นทางกรไหล
เส้นทางกรไหลจากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3		
Lidar_DEM 1 ม.	200.17	
Lidar_DEM 2 ม.	196.32	
Lidar_DEM 5 ม.	139.99	
Lidar_DEM 10 ม.	359.34	
เส้นทางกรไหลจากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8		
Lidar_DEM 2 ม.	187.52	
Lidar_DEM 5 ม.	210.56	
Lidar_DEM 10 ม.	370.37	

จากตารางที่ 4.10 สังเกตพบว่าผลความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลจากการประมวลผลในแต่ละซอฟต์แวร์และแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับนั้น ค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลของแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 5 เมตร เมตร ที่ประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 มีค่าน้อยที่สุด คือ 139.99 เมตร สาเหตุที่แบบจำลองระดับที่ความละเอียด 5 เมตรให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าแบบจำลองระดับที่ความละเอียดสูงกว่านั้น เนื่องจากยังมีจำนวนจุดภาพเพิ่มมากขึ้น รูปแบบการไหลของน้ำในระดับย่อยก็ยิ่งแตกต่างกันมากขึ้นไปด้วย สอดคล้องกับผลที่ได้จากหัวข้อ 4.3 แต่ในส่วนของผลความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลจากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 นั้นปรากฏว่า แบบจำลองระดับที่ความละเอียดสูงที่สุดให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมของซอฟต์แวร์ที่ใช้

การแสดงผลลัพธ์เส้นทางการไหลของลำน้ำที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองระดับในแต่ละซอฟต์แวร์และแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับบนซอฟต์แวร์ Google Earth ได้ผลดังรูปที่ 4.3



**รูปที่ 4.3** การแสดงผลลัพธ์เส้นทางการไหลของลำน้ำที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองระดับ บนซอฟต์แวร์ Google Earth

จากรูปที่ 4.3 สังเกตเห็นว่าเส้นทางการไหลของลำน้ำที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองระดับทั้งหมดนั้นสามารถแสดงผลบนซอฟต์แวร์ Google Earth ได้ ซึ่งจะทำให้สามารถศึกษาพฤติกรรมต่างๆ ที่สนใจได้ เช่น การสังเกตเส้นลำน้ำที่ได้ในแต่ละความละเอียด เป็นต้น

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการประมวลผลแบบจำลองระดับปริมาณมากเพื่อการวิเคราะห์ภูมิประเทศสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

##### 5.1.1 การเตรียมข้อมูลแบบจำลองระดับใหม่ตามเงื่อนไข

เทคนิคขั้นตอนวิธีเตรียมข้อมูลแบบจำลองระดับมี 3 รูปแบบ ได้แก่

1) การเพิ่มข้อมูลระดับผิวถนนและความลึกของโครงข่ายคูคลองที่มีอยู่เดิมลงในข้อมูลตั้งต้น เป็นการปรับปรุงข้อมูลแบบจำลองระดับที่ได้จากไลดาร์ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยการนำข้อมูลจุดระดับที่ได้จากการสำรวจซึ่งมีความถูกต้องสูงกว่าข้อมูลไลดาร์เข้ามาแทนที่ในตำแหน่งที่มีจุดระดับนั้น

2) การเพิ่มข้อมูลการปรับเปลี่ยนรูปการบังคับน้ำโดยการเสริมด้วยข้อมูลระดับของถนนคันกั้นน้ำหรือโครงสร้างที่ บังคับทางน้ำขึ้นใหม่ในข้อมูลตั้งต้น ด้วยการเพิ่มค่าระดับด้วยวัตถุขนาดคงที่ตลอดแนวและด้วยการกำหนดค่าระดับด้วยค่าคงที่ตลอดแนว เป็นการทดลองสร้างสถานการณ์เพื่อใช้วางแผนเตรียมรับมือปรากฏการณ์ใดๆ โดยการเพิ่มข้อมูลสมมุติให้มีผลต่อการปรับเปลี่ยนรูปการบังคับน้ำ

3) การเพิ่มข้อมูลแบบหลากหลายในข้อมูลตั้งต้น โดยการเตรียมข้อมูลแบบจำลองระดับนี้ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ที่สนใจ สามารถรองรับการสร้างแบบจำลองทางอุทกวิทยาได้อย่างครบถ้วนเพื่อให้สามารถเตรียมแบบจำลองระดับที่เหมาะสมต่อสถานการณ์ที่สนใจนั้นต่อไป

5.1.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลระหว่างซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และส่วนเพิ่มเติม GRASS ซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8

ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ทั้งสองสามารถเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธีการ 3 วิธี ดังนี้

1) เปรียบเทียบด้วยการไหลสะสมคลาดเคลื่อน (flow accumulation error) ซึ่งได้เปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (Absolute Percentage Error, APE) เฉลี่ยอยู่ที่ 3.06 %



2) เปรียบเทียบด้วยความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหล (flow line error) ซึ่งได้ค่ารากที่สองของผลรวมของค่าความแตกต่างยกกำลังสอง (Root Mean Square Error, RMSE) ของเส้นลำน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 130 เมตร

3) เปรียบเทียบด้วยเวลาในการประมวลผล (time processing) ซึ่งพบว่าส่วนเพิ่มเติม GRASS ของซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 ประมวลผลเร็วกว่า ซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 เมื่อข้อมูลนำเข้ามีขนาดน้อยกว่าหน่วยความจำสำหรับนำเข้าของเครื่องที่ใช้ประมวลผล แต่ถ้ามีข้อมูลนำเข้ามากกว่าหน่วยความจำของเครื่องแล้ว ส่วนเพิ่มเติม GRASS ของซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 จะไม่สามารถประมวลผลได้ โดยที่ซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 ยังสามารถประมวลผลได้ในทุกความละเอียดของแบบจำลองระดับแต่จะใช้เวลาในการประมวลผลมาก

จากข้อ 1) และ ข้อ 2) พบว่าผลไม่แตกต่างกันมาก สามารถเลือกใช้ซอฟต์แวร์ทดแทนกันได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเกณฑ์ประสิทธิภาพที่ยอมรับได้ของงานในสถานการณ์นั้นๆ ซึ่งไม่มีเกณฑ์กำหนดไว้เป็นมาตรฐาน เมื่อพิจารณาข้อ 3) ร่วมด้วยจะยิ่งทำให้สามารถเลือกใช้งานซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลได้ง่ายยิ่งขึ้น คือ หากข้อมูลนำเข้าไม่มากจนเกินกว่าหน่วยความจำสำหรับนำเข้าของเครื่องที่ใช้ในการประมวลผล ควรเลือกประมวลผลด้วยส่วนเพิ่มเติม GRASS ของซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 เนื่องจากใช้เวลาในการประมวลผลเร็วกว่ากันมาก แต่ถ้ามีขนาดข้อมูลใหญ่กว่าสามารถนำไปประมวลผลบนเครื่องอื่นที่มีสภาวะแวดล้อมที่มีศักยภาพเพียงพอได้หรือเลือกประมวลผลบนซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 หากรับข้อจำกัดด้านเวลาในการประมวลผลได้

5.1.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ

ผลลัพธ์จากการประมวลผลแบบจำลองระดับที่ความละเอียด (resolution) 2 และ 5 เมตร มีความแตกต่างน้อยไปมากตามลำดับ คือ ความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลเฉลี่ยอยู่ที่ 0.45% และ 0.88% ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลเฉลี่ยอยู่ที่ 82 เมตร และ 135 เมตรตามลำดับ แต่ผลลัพธ์จากการประมวลผลแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 10 เมตร ให้ความแตกต่างมาก คือ ความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลเฉลี่ยอยู่ที่ 42.47% ความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลเฉลี่ยอยู่ที่ 915 เมตร ซึ่งไม่ควรนำไปใช้งาน โดยที่เวลาในการประมวลผลไม่ต่างกันมาก ซึ่งไม่เกิน 20 นาที ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผลลัพธ์จากการประมวลผลแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 2 เมตร ให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงการประมวลผลแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 1 เมตร ซึ่งเป็นตัวกำหนดค่าอ้างอิงมากที่สุด

#### 5.1.4 การประเมินประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลเปรียบเทียบกับเส้นลำน้ำจริงจากภาพถ่ายดาวเทียม ซอฟต์แวร์ Google Earth

ผลจากการประเมินพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลของแบบจำลองระดับที่ความละเอียด 5 เมตร เมตร ที่ประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 มีค่าน้อยที่สุด คือ 139.99 เมตร สาเหตุที่แบบจำลองระดับที่ความละเอียด 5 เมตรให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าแบบจำลองระดับที่ความละเอียดสูงกวานั้น เนื่องจากยังมีจำนวนจุดภาพเพิ่มมากขึ้น รูปแบบการไหลของน้ำในระดับย่อยก็ยิ่งแตกต่างกันมากขึ้นไปด้วย สอดคล้องกับผลที่ได้จากหัวข้อ 4.3 แต่ในส่วนของผลความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลจากการประมวลผลด้วยส่วนเพิ่มเติม GRASS ของซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 นั้นปรากฏว่า แบบจำลองระดับที่ความละเอียดสูงที่สุดให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดตามลำดับ จากข้างต้นสรุปได้ว่าซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 ให้ผลเส้นทางการไหลของลำน้ำได้ใกล้เคียงกับลำน้ำจากภูมิประเทศจริงจากภาพถ่ายดาวเทียมของซอฟต์แวร์ Google Earth (บันทึกในเวลาใกล้เคียงกับข้อมูลไลดาร์) กว่าที่การประมวลผลด้วยส่วนเพิ่มเติม GRASS ของซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 โดยที่ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมของซอฟต์แวร์ที่ใช้

## 5.2 ปัญหาที่พบในการศึกษาและข้อเสนอแนะ

### 5.2.1 ปัญหาที่พบในการศึกษา

หน่วยความจำในการรับข้อมูลนำเข้าของเครื่องที่ใช้ประมวลผลมีขนาดจำกัด ไม่เพียงพอสำหรับการประมวลผลแบบจำลองระดับที่มีความละเอียดสูง (High resolution) ซึ่งเป็นข้อมูลขนาดใหญ่เพื่อหาการไหลสะสมของน้ำบนอัลกอริทึมของส่วนเพิ่มเติม GRASS ในซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 ได้

### 5.2.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษา

ด้วยข้อจำกัดทางด้านสภาพแวดล้อมของเครื่องที่ใช้ในการประมวลผลและระยะเวลาที่ใช้ในการทำวิจัย ทำให้ไม่สามารถประเมินผลลัพธ์ให้ได้มีประสิทธิภาพที่สุด จึงมีข้อเสนอแนะเพื่อใช้ศึกษาวิจัยต่อให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในอนาคต

1) หาข้อมูลระดับที่เป็นปัจจุบันสำหรับเตรียมแบบจำลองระดับใหม่ตามเงื่อนไขให้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น เช่น ระดับความสูงถนน ความลึกท้องคลอง ความกว้างและความลึกของสะพาน ท่อลอด ระดับความสูงของการถมพื้นที่สำหรับก่อสร้างบ้านจัดสรร เป็นต้น เพื่อให้แบบจำลองระดับใหม่ที่ได้เป็นตัวแทนของภูมิประเทศที่ถูกต้อง

2) เพิ่มหน่วยความจำของเครื่องที่ใช้ประมวลผลให้เพียงพอสำหรับการประมวลผลแบบจำลองระดับความละเอียดสูงบนอัลกอริทึมของส่วนเพิ่มเติม GRASS ในซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8 เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการประมวลผลของซอฟต์แวร์ที่อาจแตกต่างกันได้

3) ทดสอบกับภูมิภาคต่างระดับ เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของการประมวลผลและผลลัพธ์ของภูมิภาคที่แตกต่างกันออกไป

4) ทดสอบวิธีการประเมินความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหลในหลายวิธี เนื่องจากยังมีวิธีที่มีประสิทธิภาพและให้ความถูกต้องสูงกว่าวิธีจับคู่จุดบนเส้นอยู่หลายวิธี เพื่อให้การเทียบเทียบความแตกต่างและประเมินประสิทธิภาพผลลัพธ์ที่ได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กรุงเทพมหานคร. GIS Database. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [http://www.bangkokgis.com/modules.php?m=gis\\_foreveryone&gr=basic\\_gis&page=3](http://www.bangkokgis.com/modules.php?m=gis_foreveryone&gr=basic_gis&page=3) [25 มกราคม 2555]
- จนิษฐ ประเสริฐบุรณะกุล, วิลาศลักษณ์ วงศ์เยาว์ฟ้า และ สุกิจ วิเศษสินธุ์. การวิเคราะห์พื้นที่น้ำท่วมด้วย LIDAR : ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขความละเอียดสูง. กรุงเทพมหานคร : อีเอสอาร์ไอ (ประเทศไทย), 2549.
- จรัญธร บุญญาภาพ. ความรู้พื้นฐานด้านรีโมตเซนซิง: Fundamentals of Satellite Remote Sensing. พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยเนรศวร, 2551.
- ประสิทธิ์ มากสิน. ผลกระทบของขนาดกริดและแหล่งที่มาของแบบจำลองความสูงเชิงเลขต่อการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางด้านอุทกวิทยาภาคเหนือ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาวิศวกรรมป่าไม้ ภาควิชาอนุรักษ์ชีววิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2554.
- พีระพนธ์ โสพัศสถิตย์. ระบบปฏิบัติการ (คอมพิวเตอร์). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- ไพศาล สันติธรรมนนท์[1]. การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- ไพศาล สันติธรรมนนท์[2]. เอกสารคำสอน การสำรวจรังวัดด้วยภาพในทางปฏิบัติ. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- สุกิจ วิเศษสินธุ์. เทคโนโลยีและการประยุกต์ใช้งานข้อมูลภาพเชิงเลข. [ไฟล์ข้อมูล] กรุงเทพมหานคร : อีเอสอาร์ไอ (ประเทศไทย), 2552.
- หรรษา วัฒนานุกิจ. นวัตกรรมวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ แบบจำลองสารสนเทศ SWAT & GRASS. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551.
- หรรษา วัฒนานุกิจ. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์/ระบบภูมิสารสนเทศ. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2547.
- อดิชาติ อึ้งโฆษาชนะวานิช. การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของชุดข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์ด้วยวิธีสถิติซอฟต์แวร์โอเวอร์เลย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาระบบสารสนเทศปริภูมิทางวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

อรุณ บุรีรักษ์. การศึกษาการหาวิถีของยานพาหนะโดยใช้ระบบดาวเทียมหน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาการระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

อิศเรศ กะการดี และเอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย. การหาทิศทางการไหลและขอบเขตลุ่มน้ำในพื้นที่ราบ-ลุ่มด้วยข้อมูล DEM. [ออนไลน์]. 2555. แหล่งที่มา: <http://kmcenter.rid.go.th/kmc13/km/WRE/docs/WRE010.pdf> [21 พฤษภาคม 2555]

### **ภาษาอังกฤษ**

Arge, L., Chase, J., Halpin, P., Toma, L., Urban, D., Vitter, J., and Wickremesinghe R. Efficient Flow Computation on Massive Grids Terrain Datasets. Geoinformatica, Volume 7, Issue 4 (December 2003) : 283-313.

Armstrong, J.S., and Collopy, F. Error Measures for Generalizing About Forecasting Methods: Empirical Comparisons. International Journal of Forecasting, Volume 8, Issue 1, (June 1992) : 69-80.

Chanin Tinnachote. Development of a new approach for implementing the positional error model using minkowsk weighted average. Doctoral dissertation, Department of Engineering, Asian Institute of Technology School of Engineering and Technology Thailand, 2006.

ESRI. ArcGIS Desktop 9.3 Help. [Online]. 2009. Available from : <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/> [2011, August 2]

GDAL. Geospatial Data Abstraction Library. [Online]. 2011. Available from : <http://www.gdal.org/> [2011, August 27]

Google. Basic features user guide: Earth. [Online]. 2012. Available from : <http://support.google.com/earth/bin/answer.py?hl=th&answer=148118> [2012, September 28]

Isenburg, M., and Shewchuk, J. LAStools: converting, viewing, and compressing LIDAR data in LAS format. [Online]. 2010. Available from: <http://www.cs.unc.edu/~isenburg/lastools/> [2010, August 18]

Krogstad, F. Flow Accumulation. [Online]. 2010. Available from : <http://courses.washington.edu/fe423/lectures/lecture5a.ppt> [2010, August 18]

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

- Maathuis, M. Digital Elevation Model Based Hydroprocessing. Geocarto International, Vol. 21, No. 1, [2006 March]
- Metz, M., Mitasova, H., and Harmon, R.S. Efficient extraction of drainage networks from massive, radar-based elevation models with least cost path search. Hydrology and Earth System Sciences, Volume 15, Issue 2 (2011) : 667–678.
- Peter, B., and Weibel, R. Using Vector and Raster-Based Techniques in Categorical Map Generalization. Third ICA Workshop on Progress in Automated Map Generalization, Ottawa (August 1999) : 1-14.
- Richards, J.A. Remote Sensing Digital Image Analysis : An Introduction. 2nd ed. Berlin : Springer-Verlag, 1993.
- Tarboton, D. G., and Ames, D. P. Advances in the mapping of flow networks from digital elevation data. [Online]. 2001. Available from : <http://www.neng.usu.edu/cee/faculty/dtarb/asce2001.pdf> [2010, August 21]
- Toma, L., Wickremesinghe, R., and Arge, L. Flow computation on massive grids. Durham: Center for Geometric Computer Department of Computer Science Duke University, 2001.
- Wise, S.M. Effect of Differing DEM Creation Methods on the Results from a Hydrological Model. Computers and Geosciences 33 (2007) : 1351-1365.
- Zhang, J.X., Chang, K., and Wu, J.Q. Effect of DEM Resolution and Source on Soil Erosion Modeling: A Case Study Using the WEPP Model. International Journal of Geographical Information Science 22 (2008) : 925-942.

ภาคผนวก

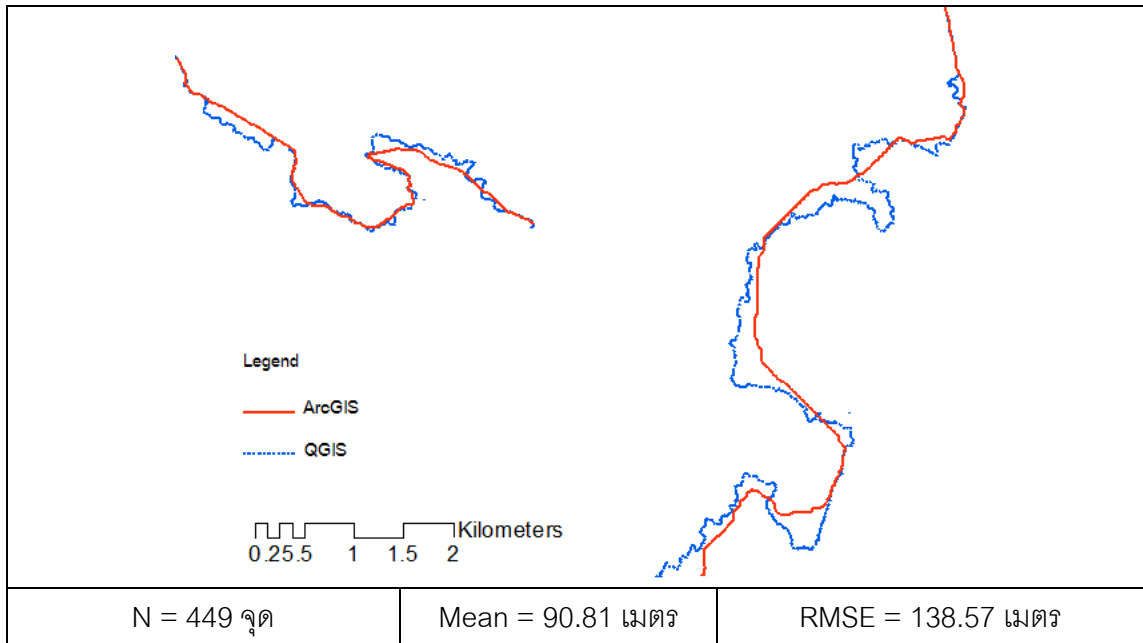
ภาคผนวก ก



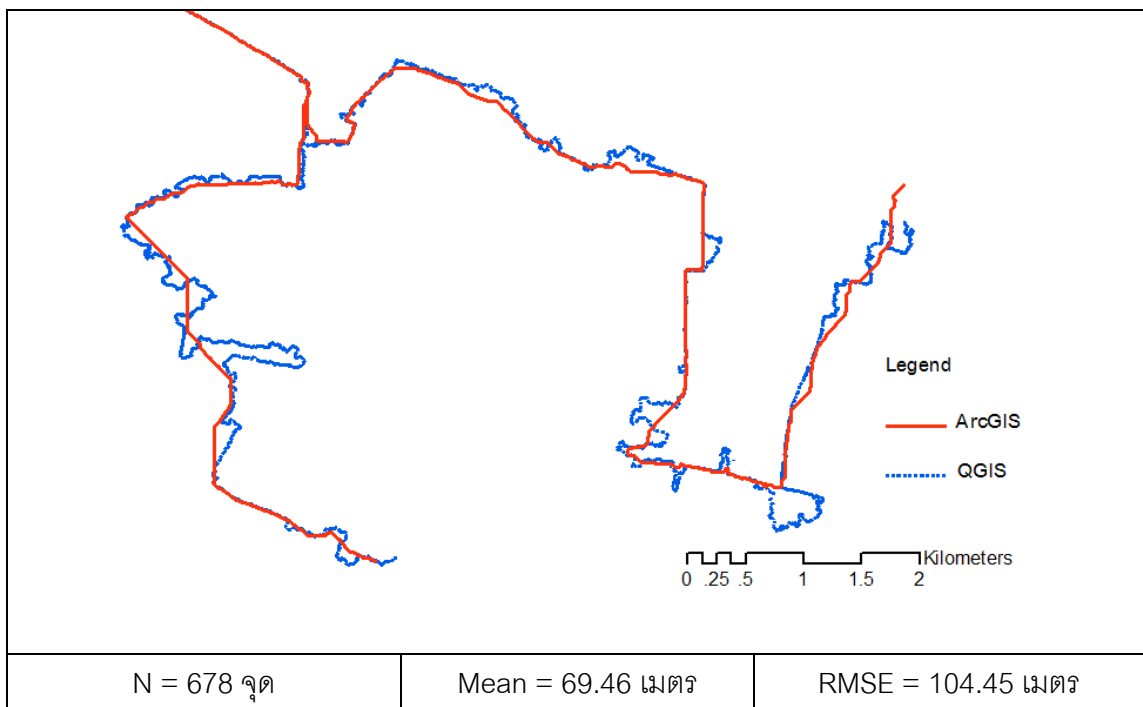
## การคำนวณจุดบนเส้นเพื่อหาความคลาดเคลื่อนของเส้นทางการไหล

1. การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3 และ ซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8

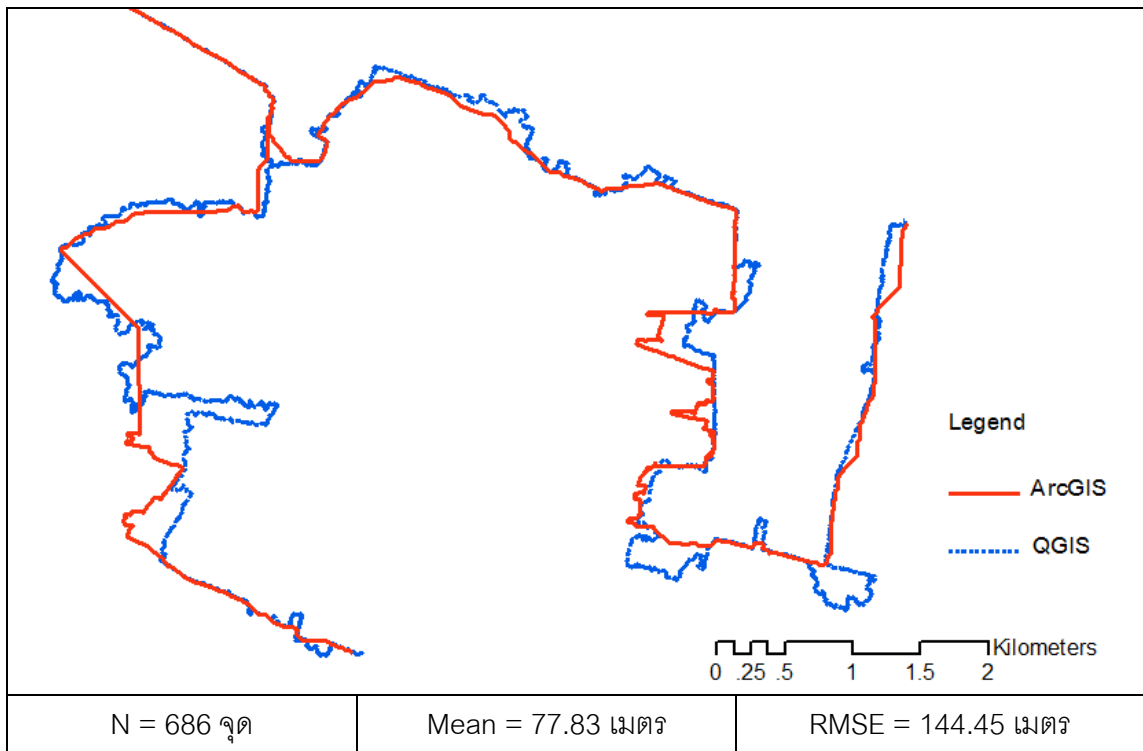
### 1.1 Lidar\_DEM 10 เมตร



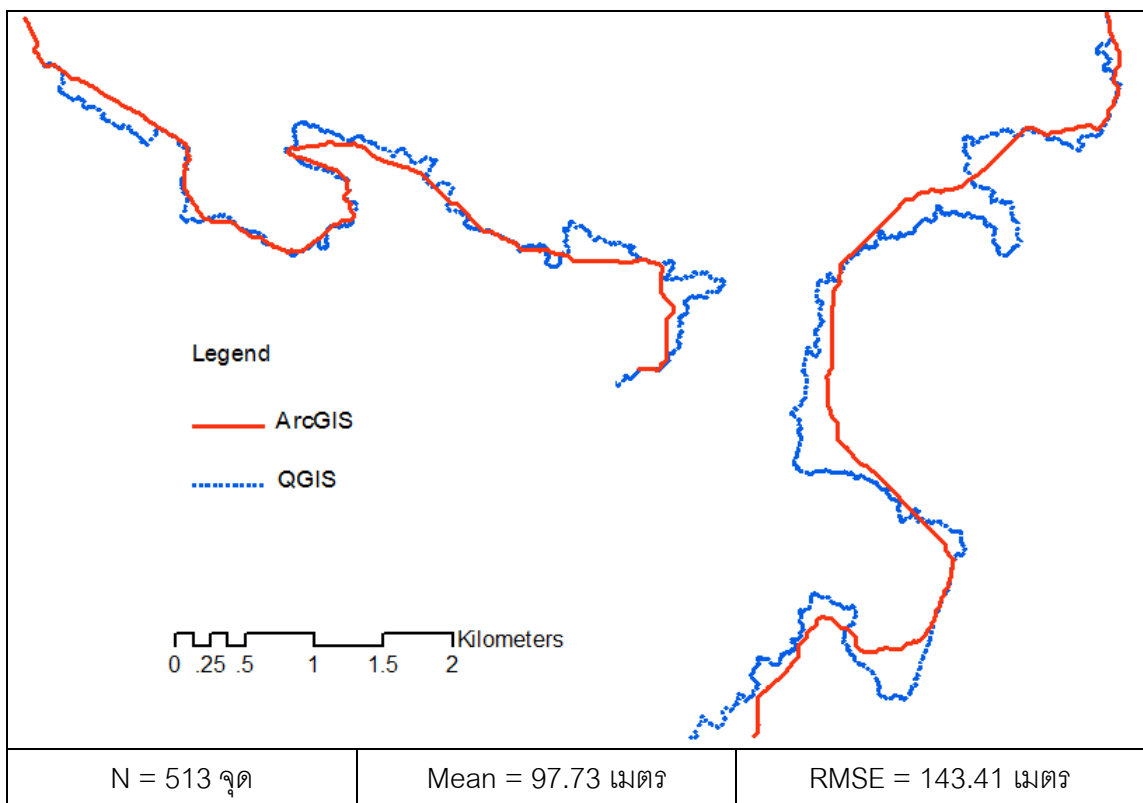
### 1.2 Lidar\_DEM 5 เมตร



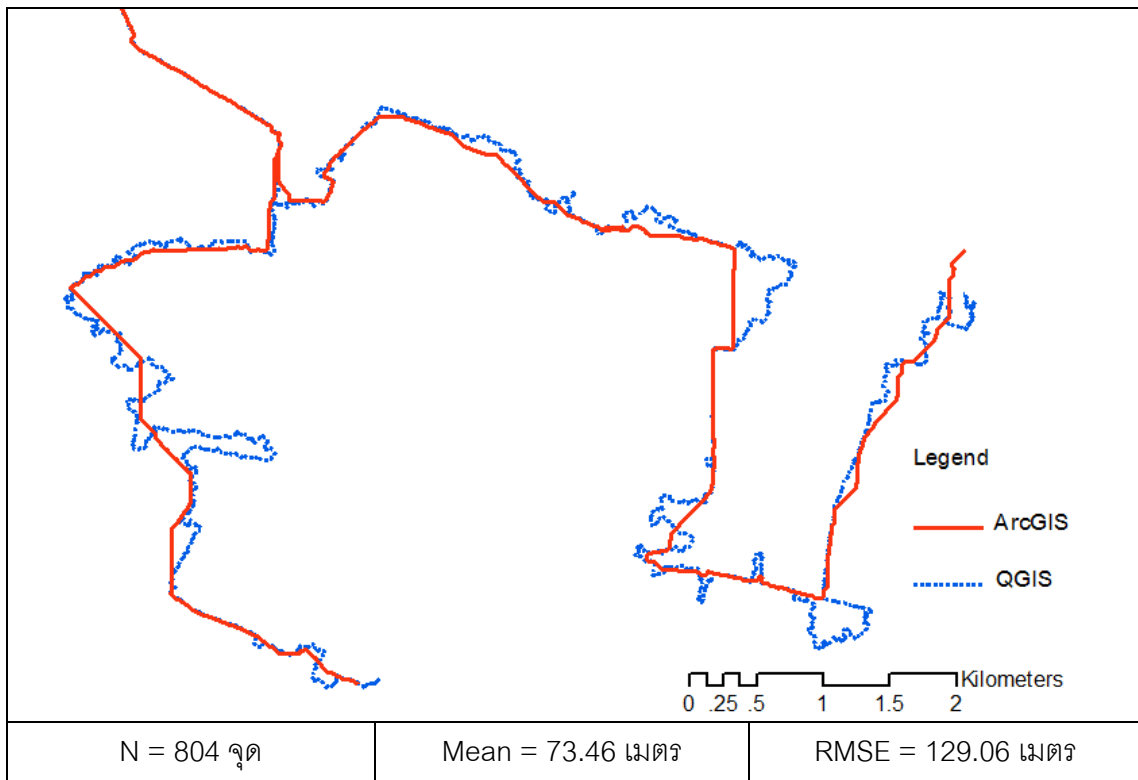
## 1.3 Lidar\_DEM 2 เมตร



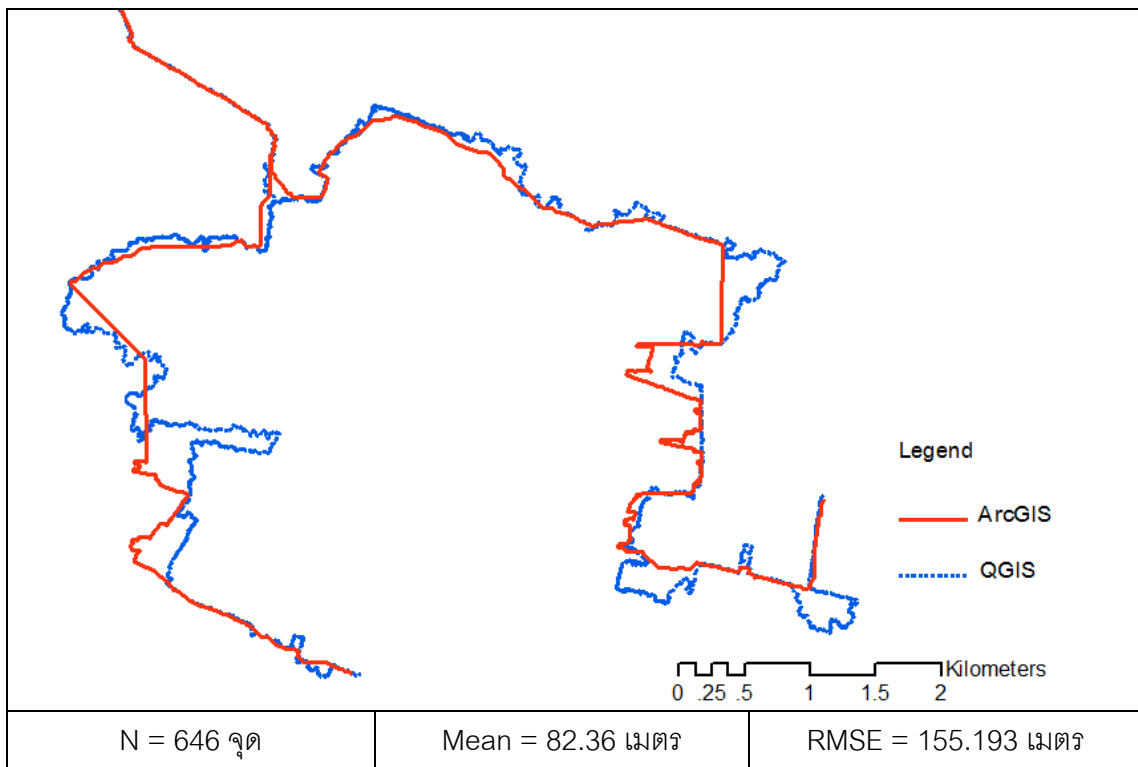
## 1.4 Lidar\_OS 10 เมตร



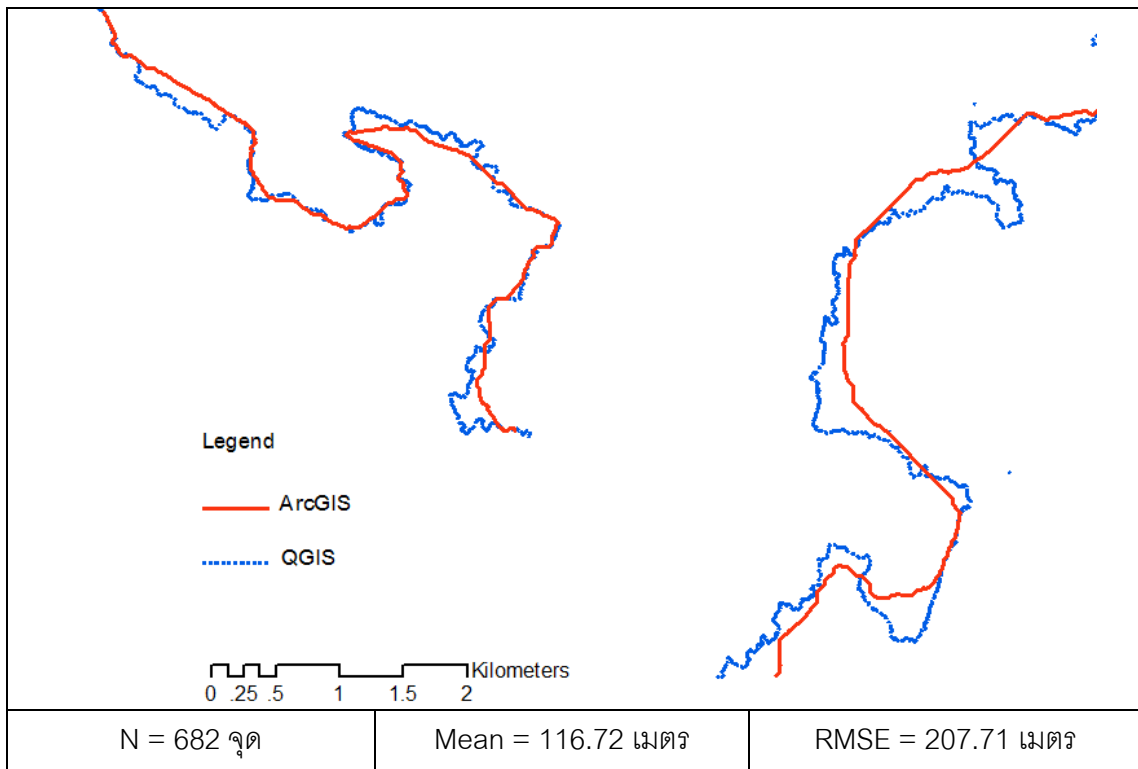
1.5 Lidar\_OS 5 เมตร



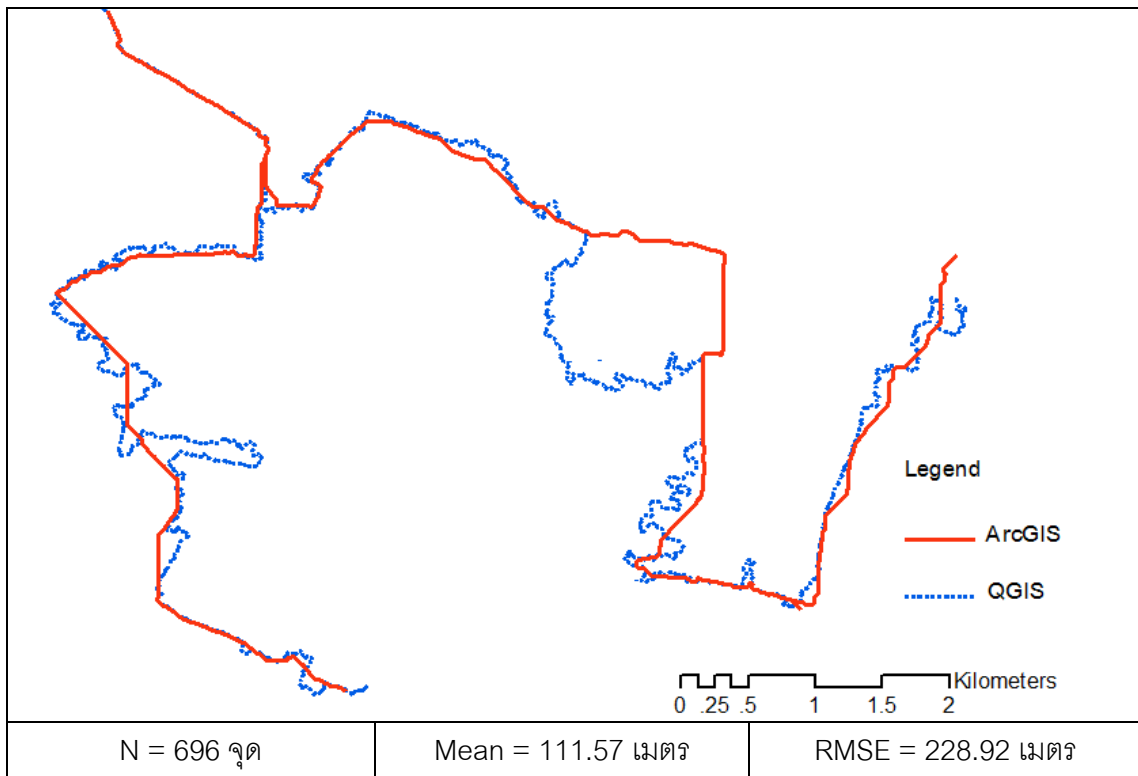
1.6 Lidar\_OS 2 เมตร



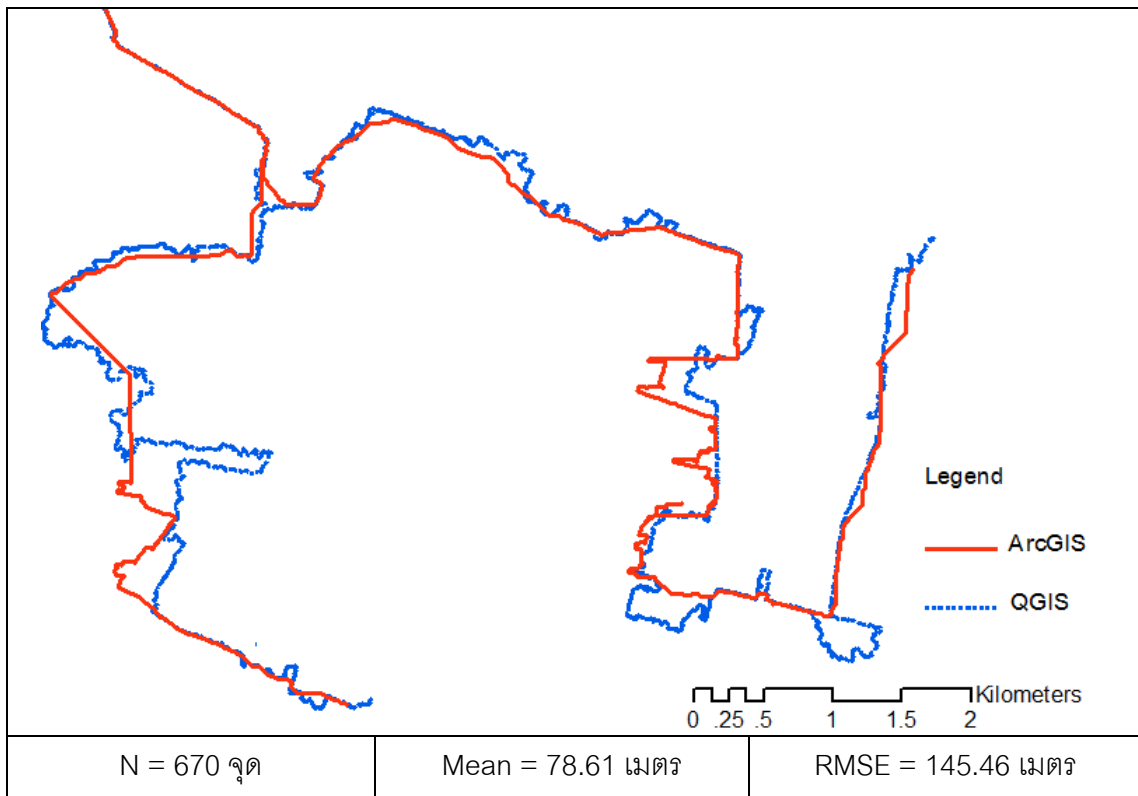
1.7 Lidar\_SCB 10 เมตร



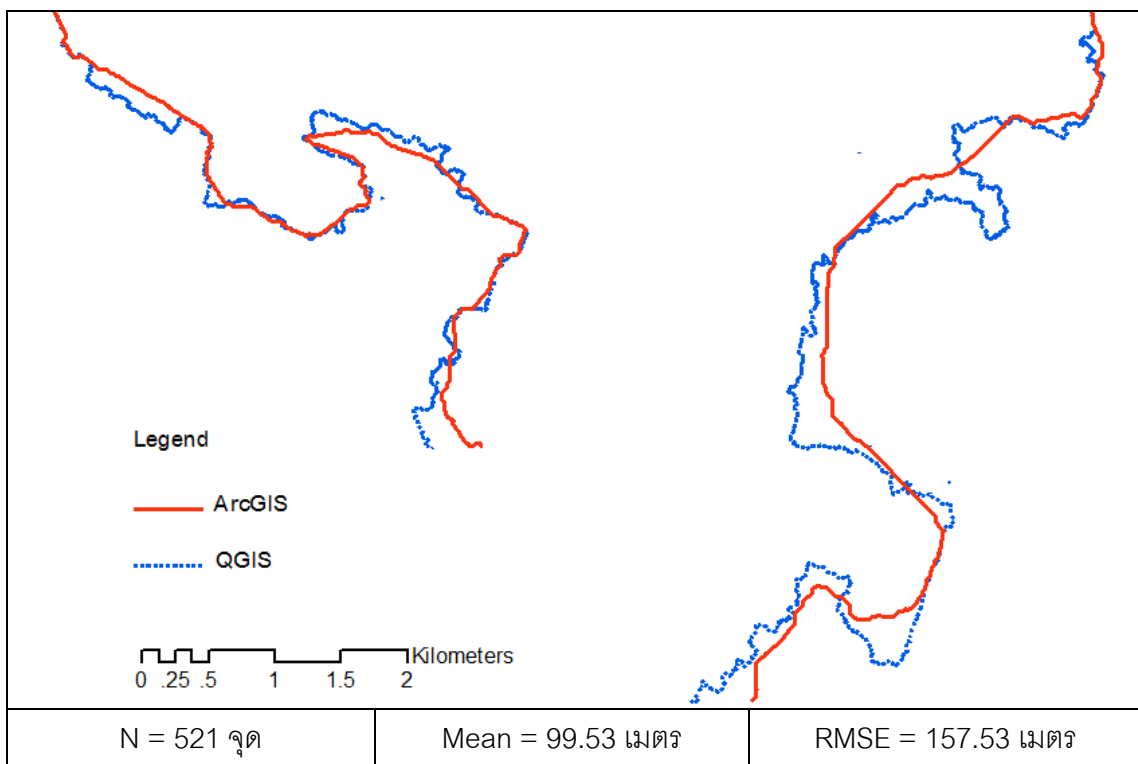
1.8 Lidar\_SCB 5 เมตร



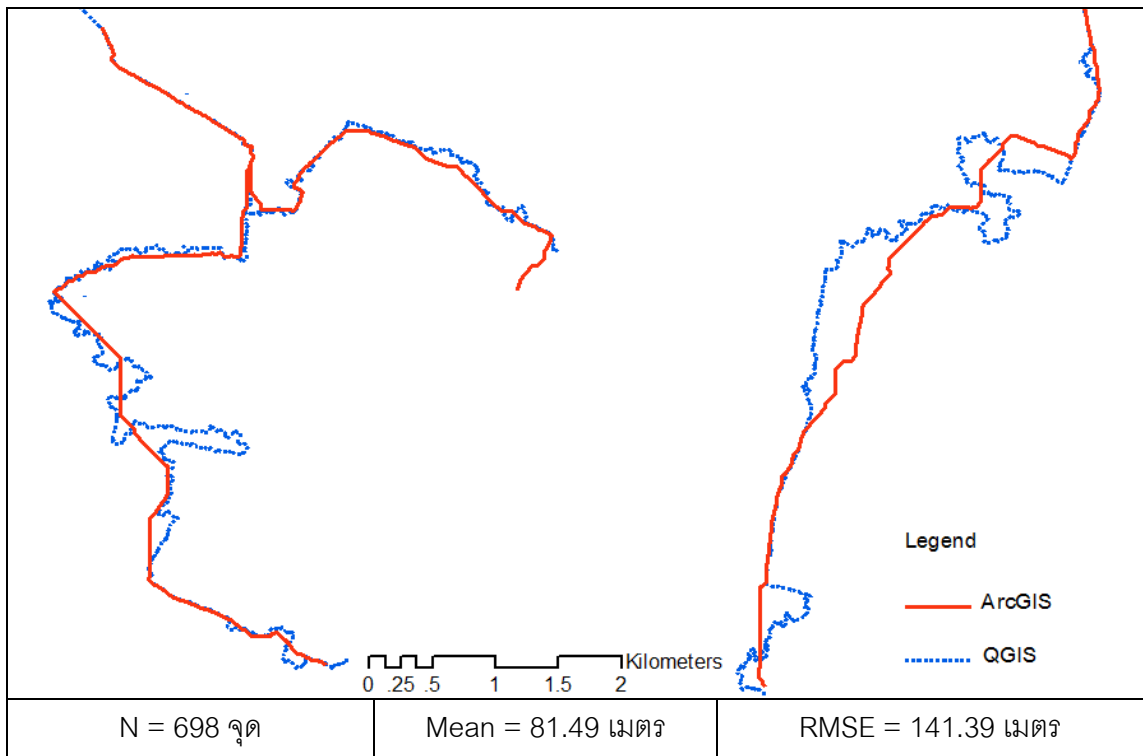
1.9 Lidar\_SCB 2 เมตร



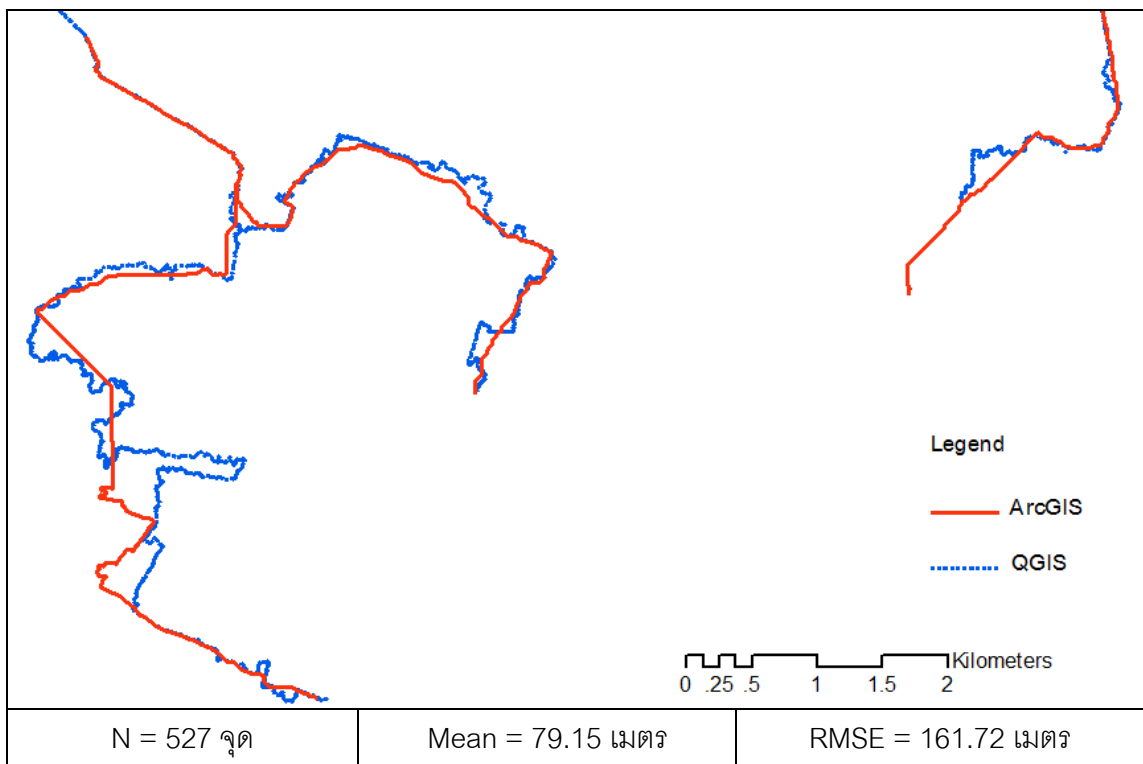
1.10 Lidar\_SCC 10 เมตร



1.11 Lidar\_SCC 5 เมตร

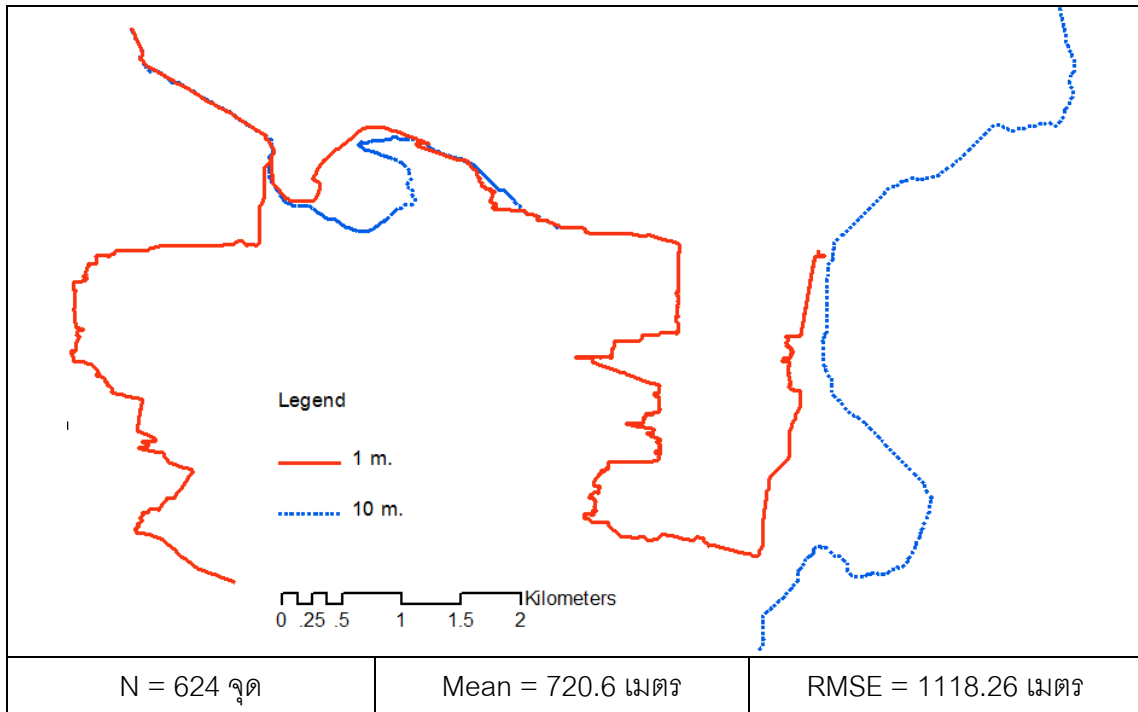


1.12 Lidar\_SCC 2 เมตร

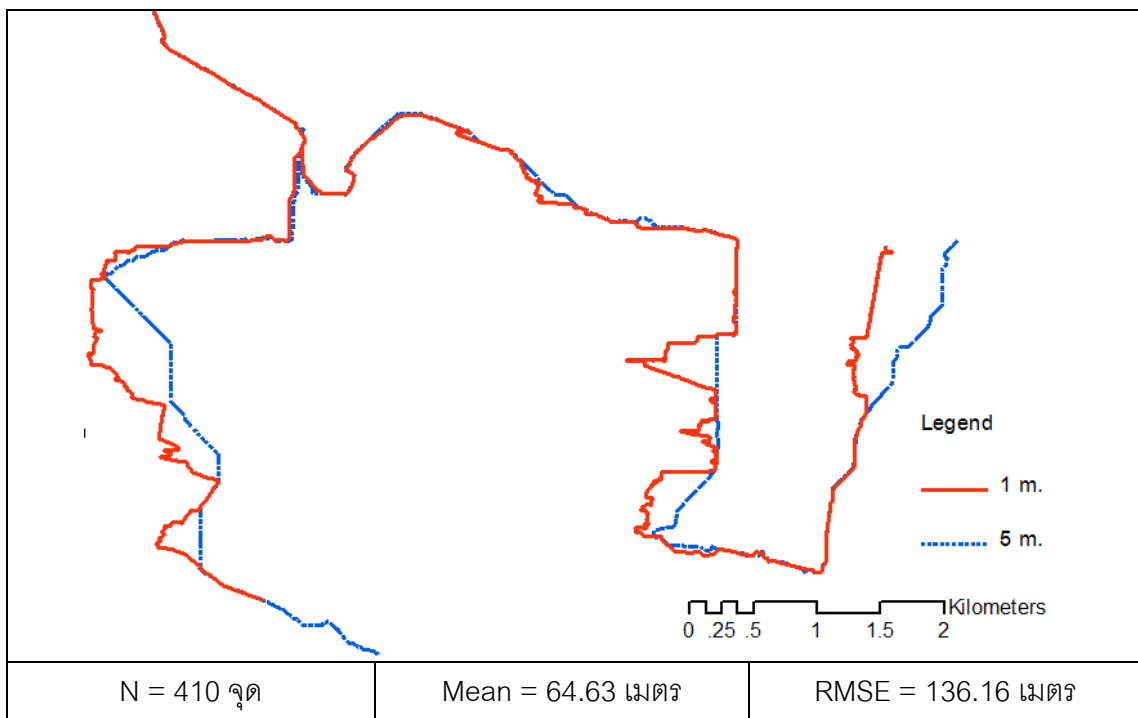


2. การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในแต่ละความละเอียดของแบบจำลองระดับ (ประเมินเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองระดับที่มีความละเอียด 1 เมตร)

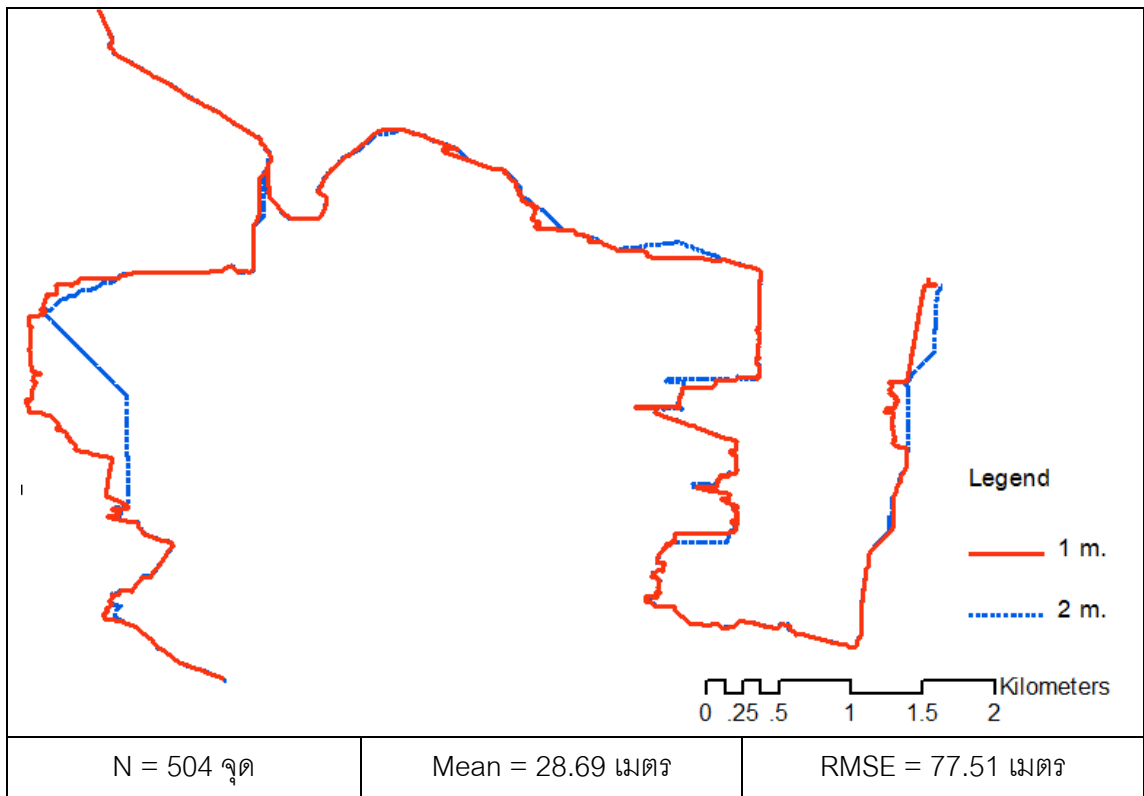
### 2.1 Lidar\_DEM 10 เมตร



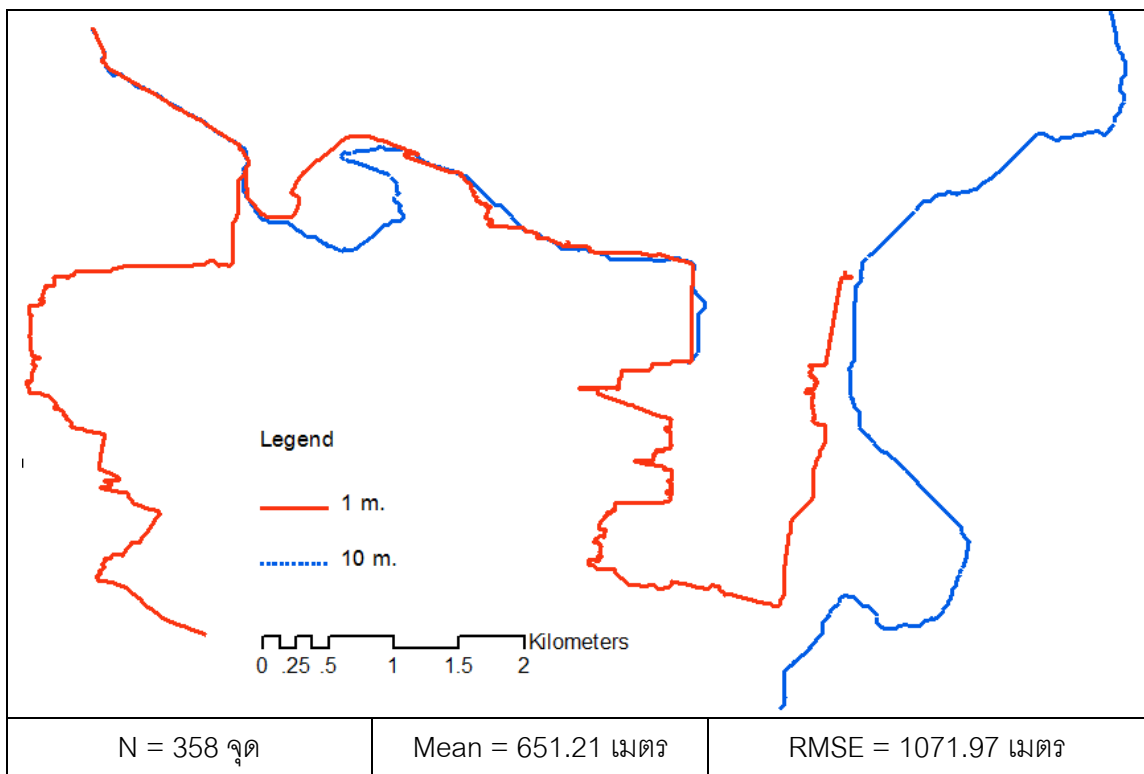
### 2.2 Lidar\_DEM 5 เมตร



2.3 Lidar\_DEM 2 เมตร

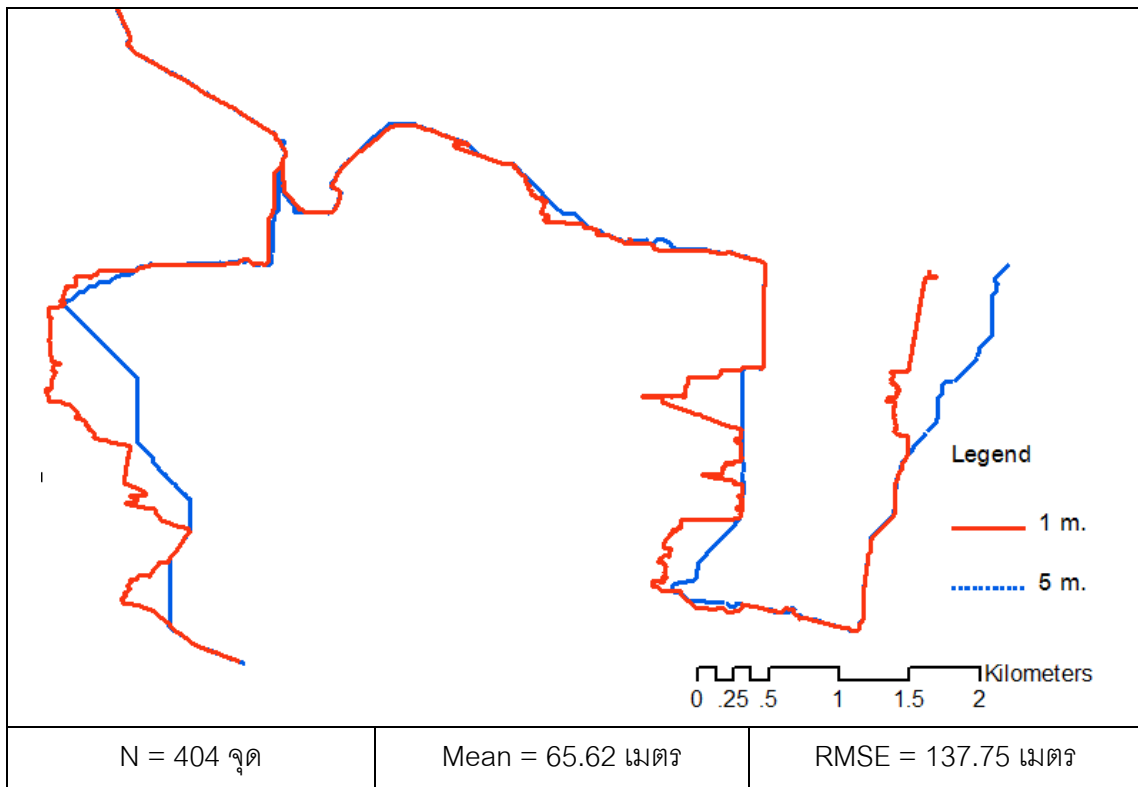


2.4 Lidar\_OS 10 เมตร

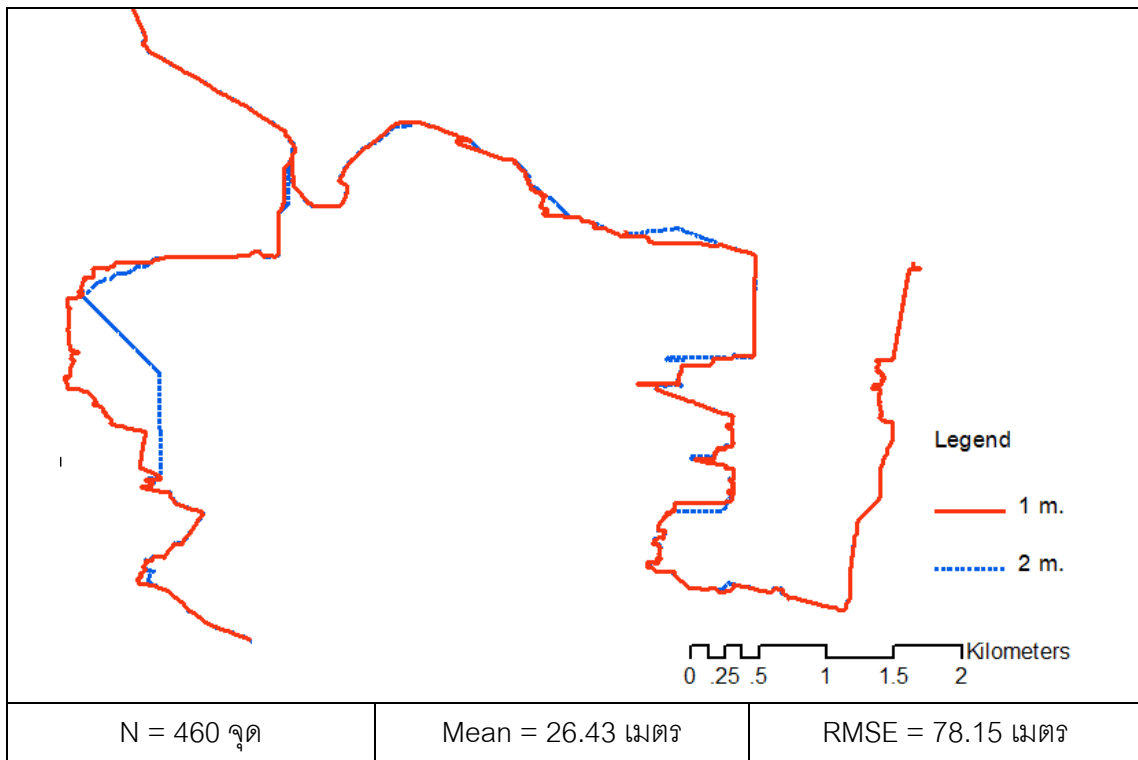




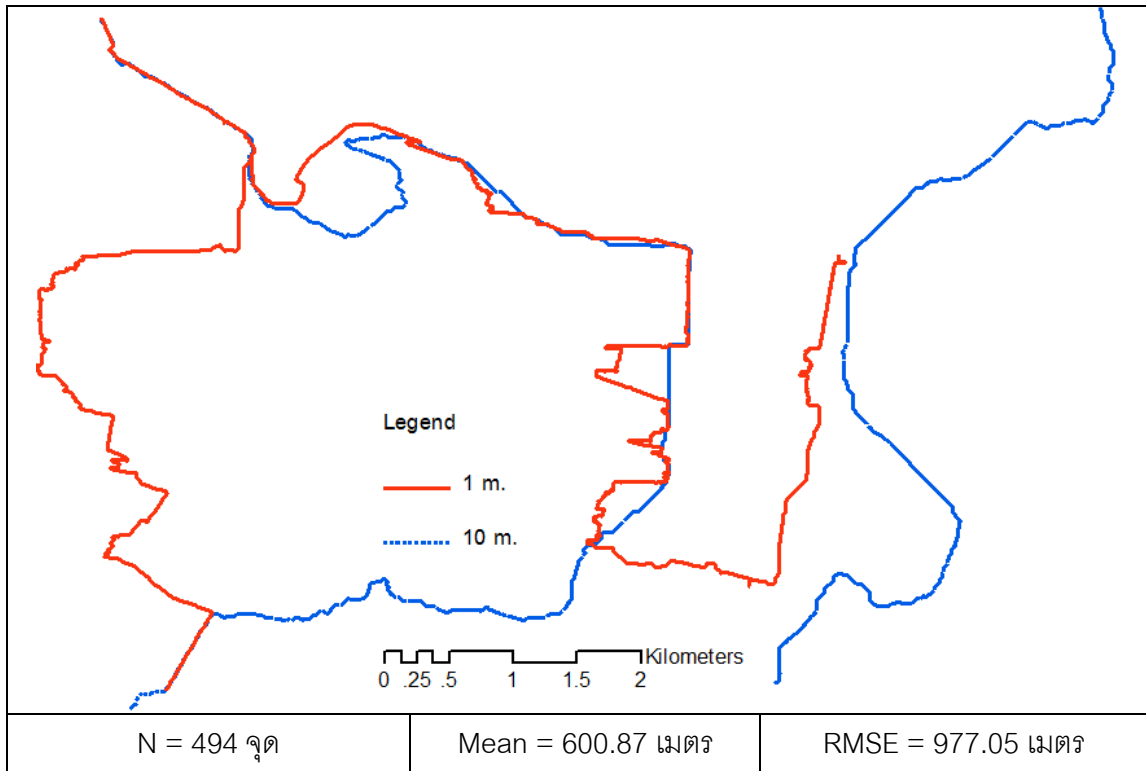
2.5 Lidar\_OS 5 เมตร



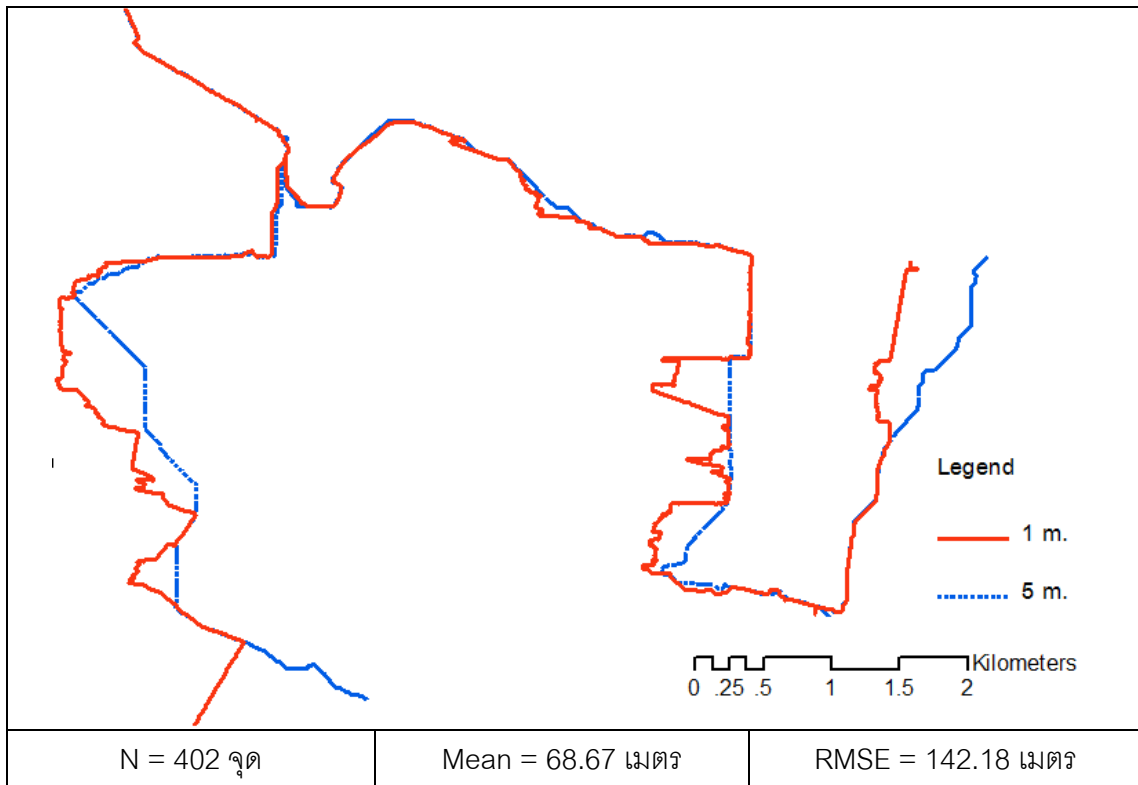
2.6 Lidar\_OS 2 เมตร



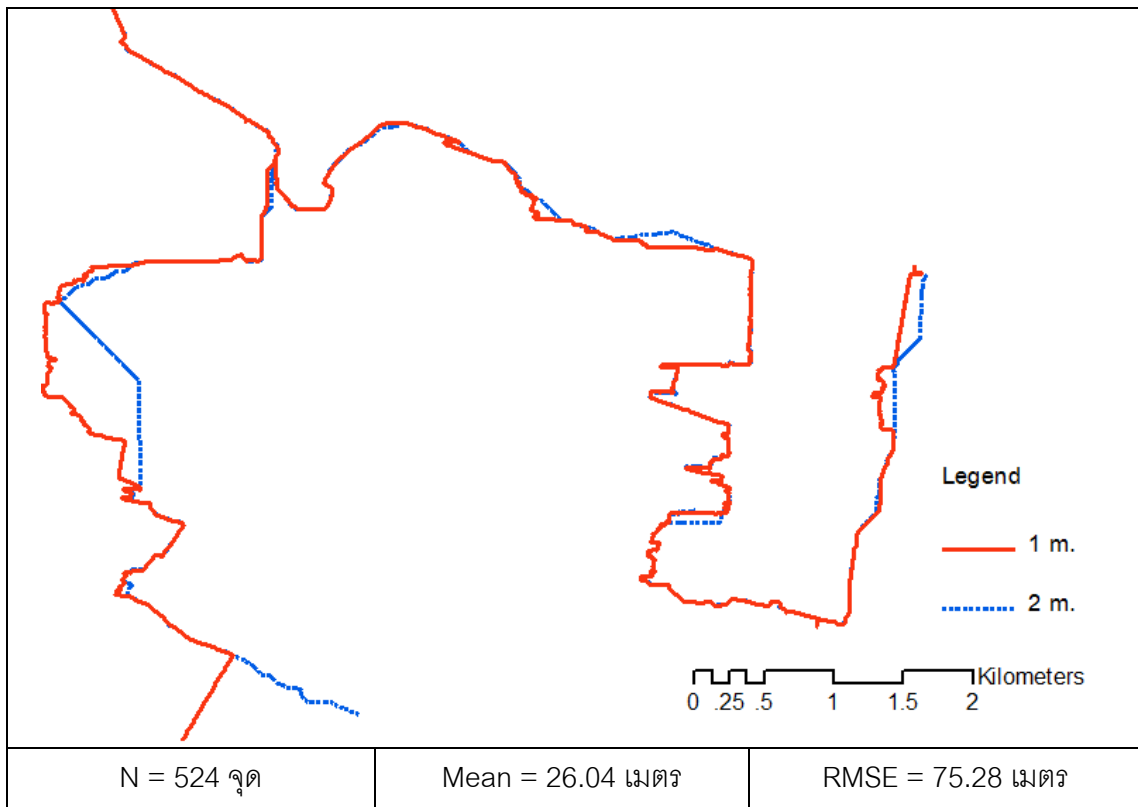
2.7 Lidar\_SCB 10 เมตร



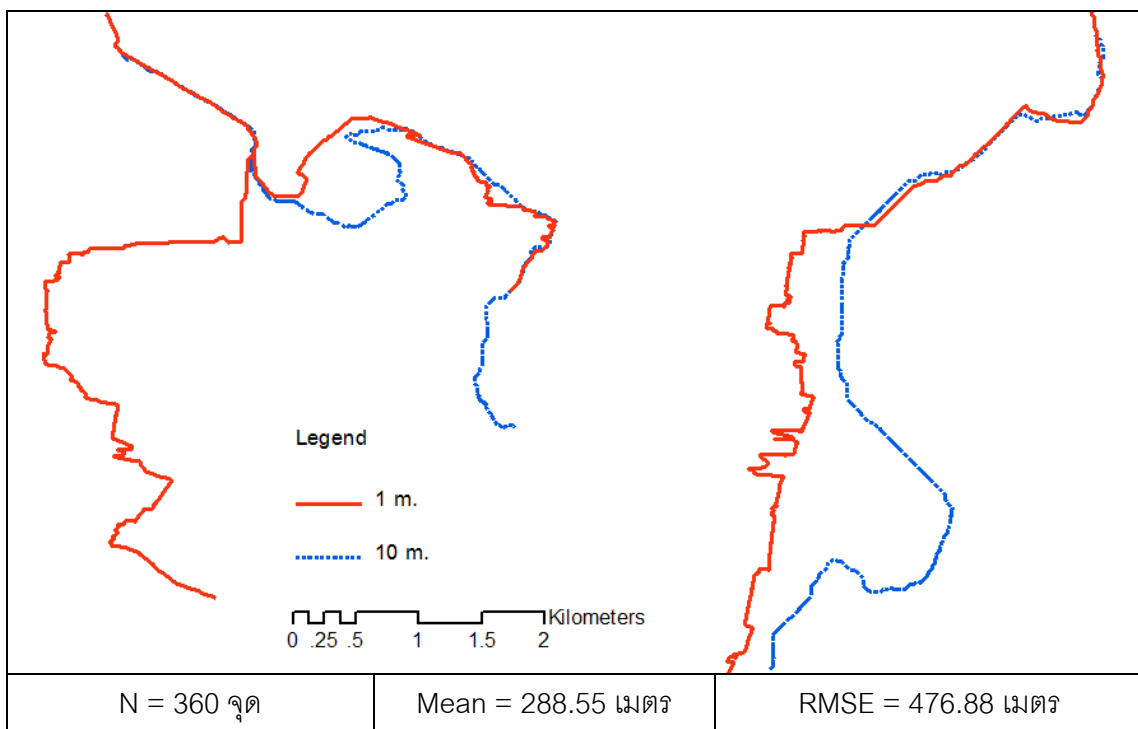
2.8 Lidar\_SCB 5 เมตร



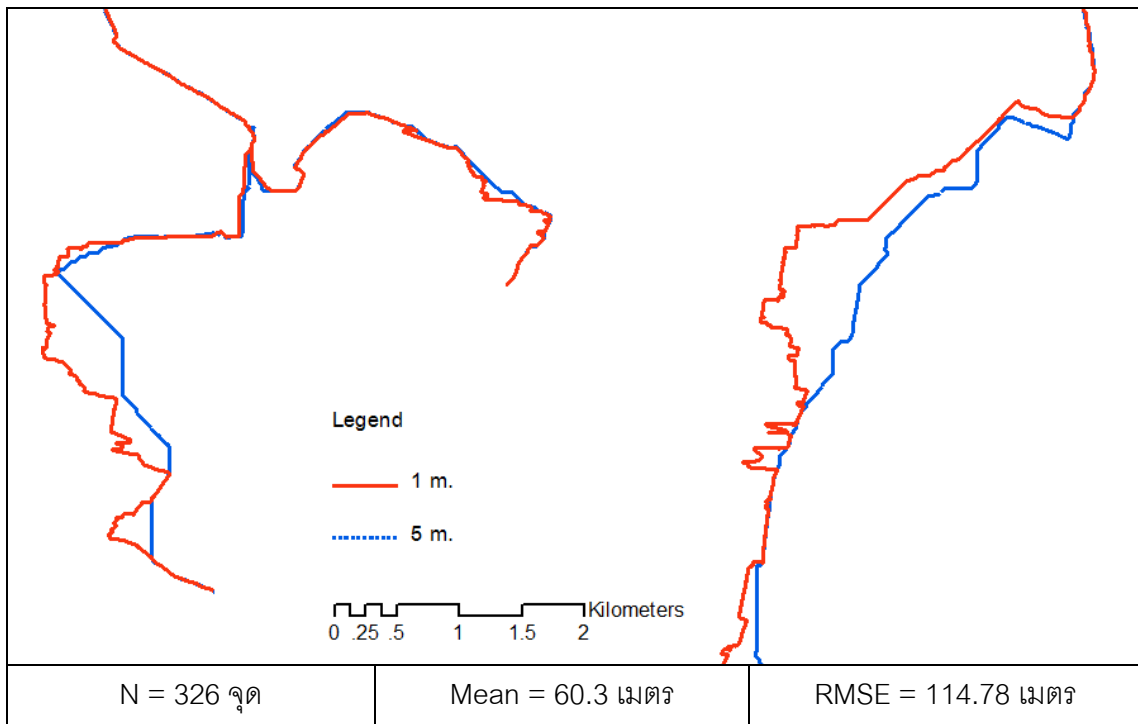
2.9 Lidar\_SCB 2 เมตร



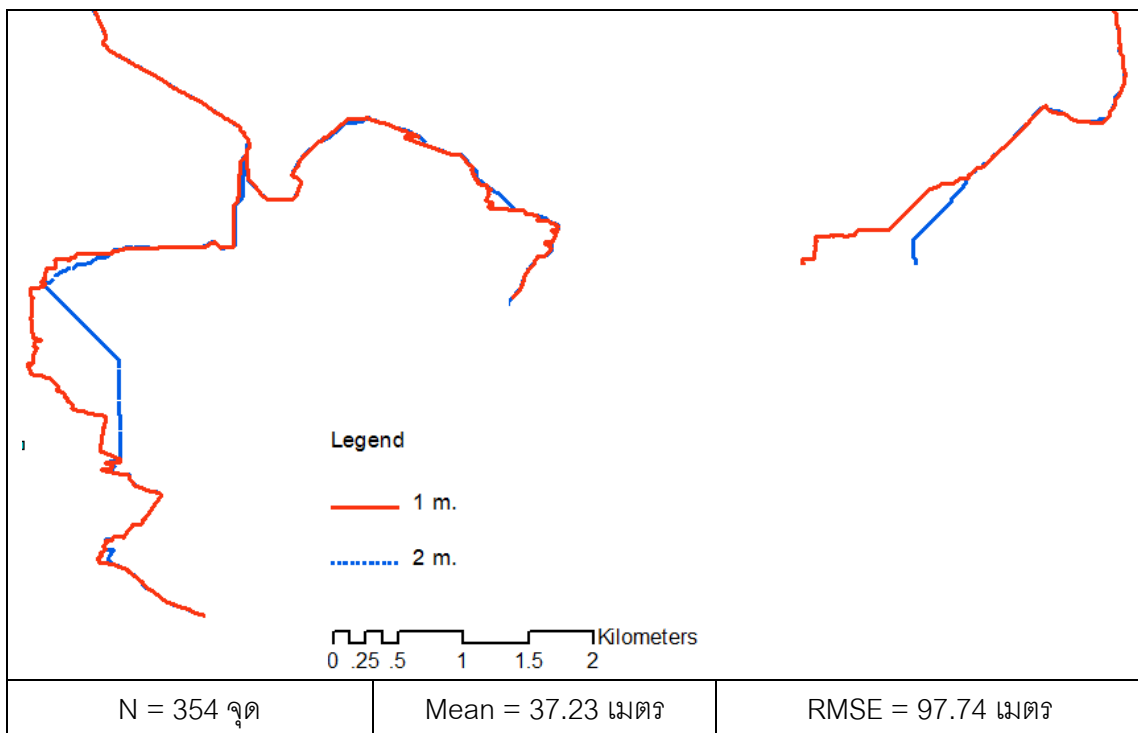
2.10 Lidar\_SCC 10 เมตร



2.11 Lidar\_SCC 5 เมตร

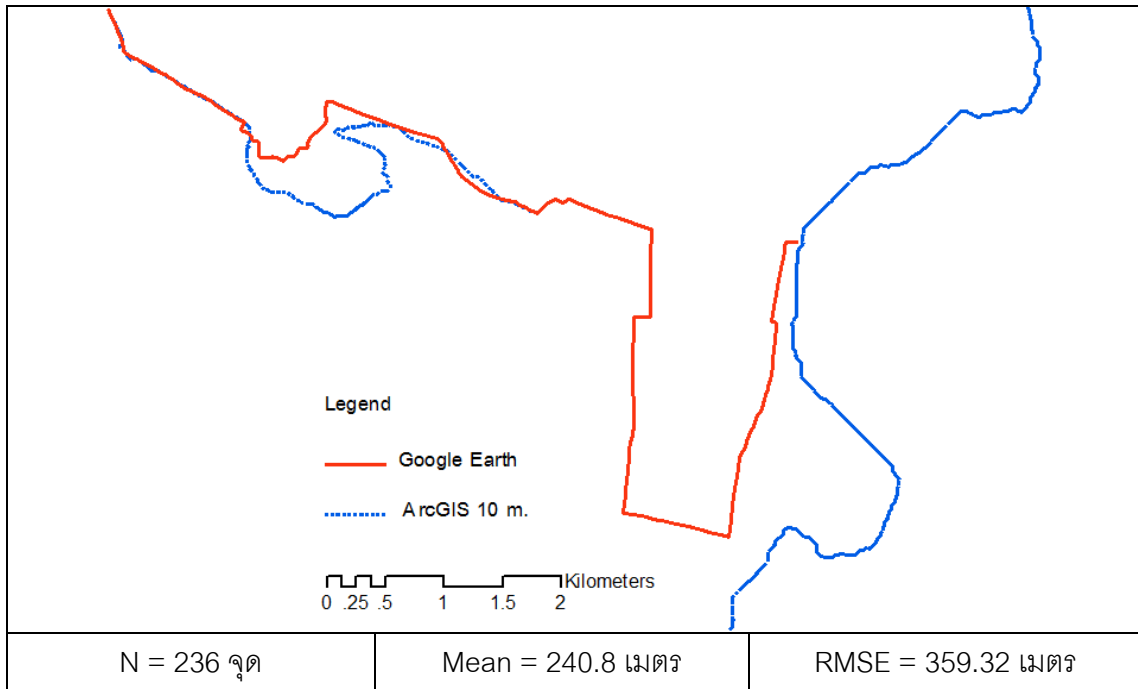


2.12 Lidar\_SCC 2 เมตร

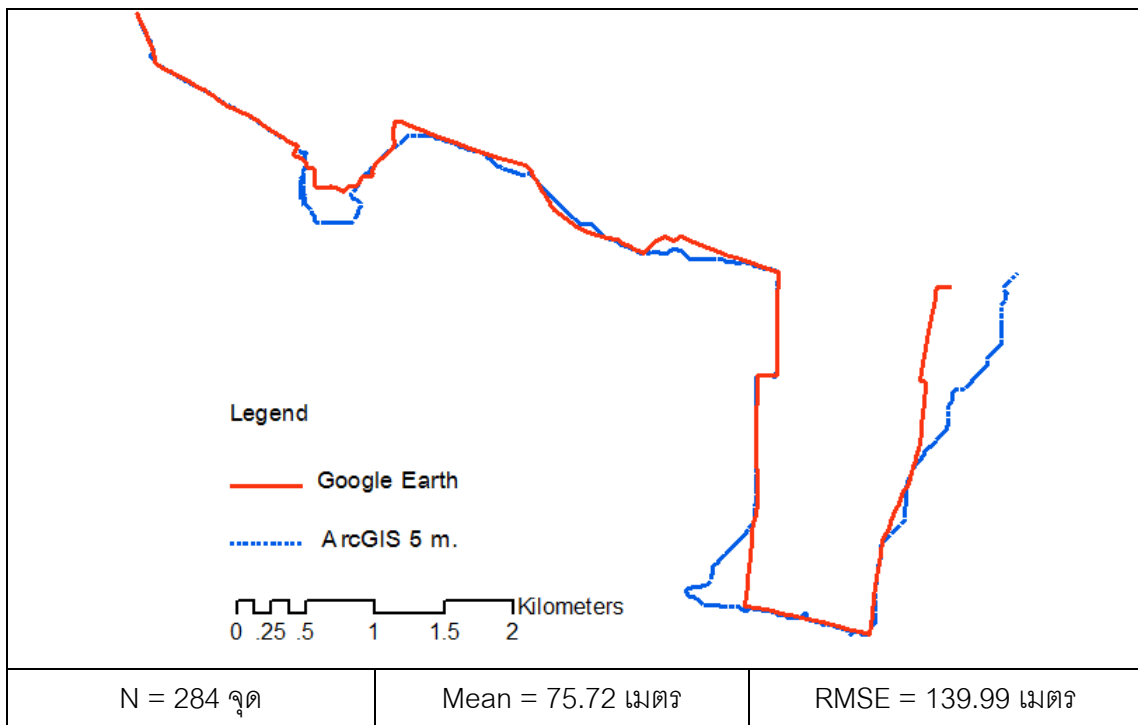


3. การประเมินประสิทธิภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในแต่ละซอฟต์แวร์เปรียบเทียบกับ  
แนวลำน้ำจริง (ประเมินเปรียบเทียบกับแนวลำน้ำจากภาพถ่าย ของ Google Earth ซอฟต์แวร์)

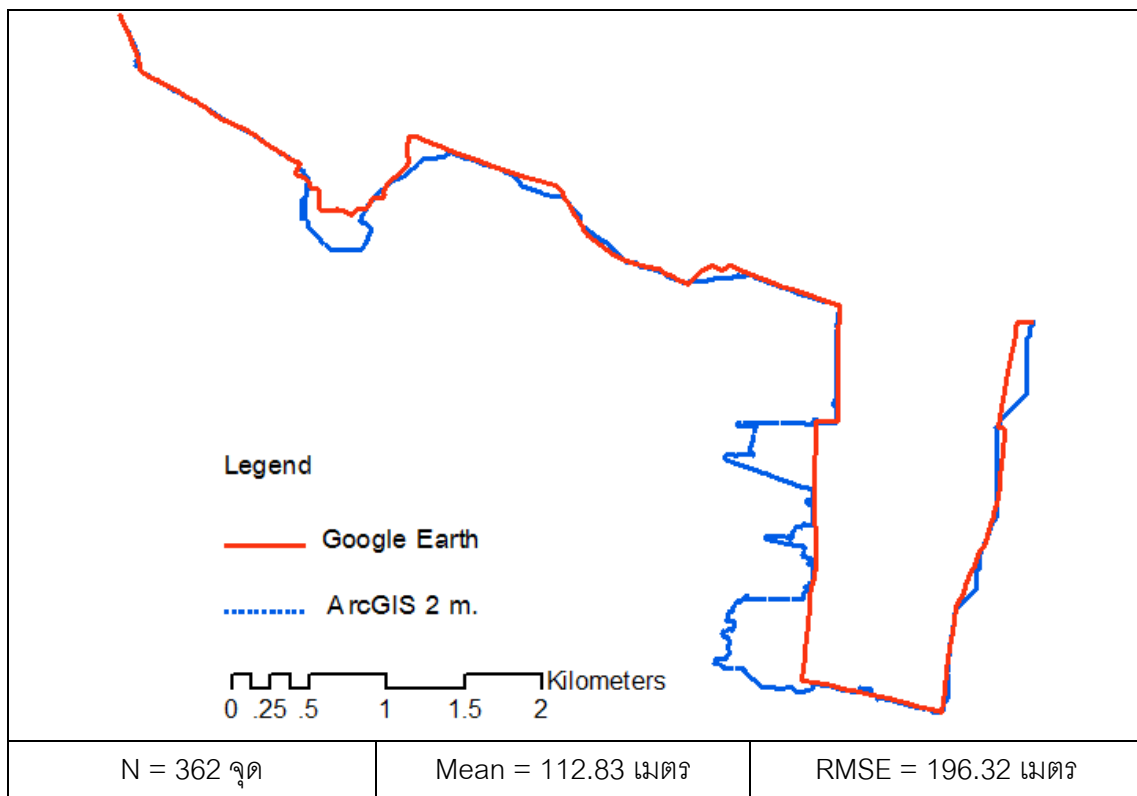
### 3.1 Lidar\_DEM 10 เมตร จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3



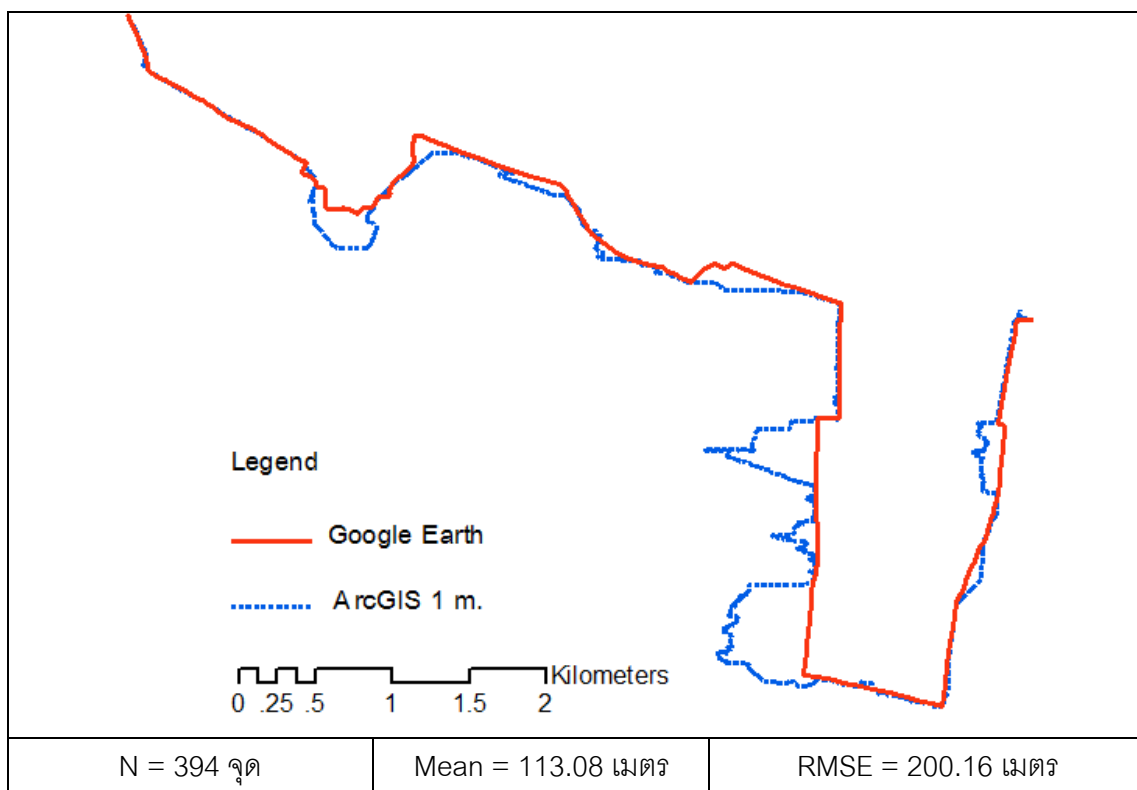
### 3.2 Lidar\_DEM 5 เมตร จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3



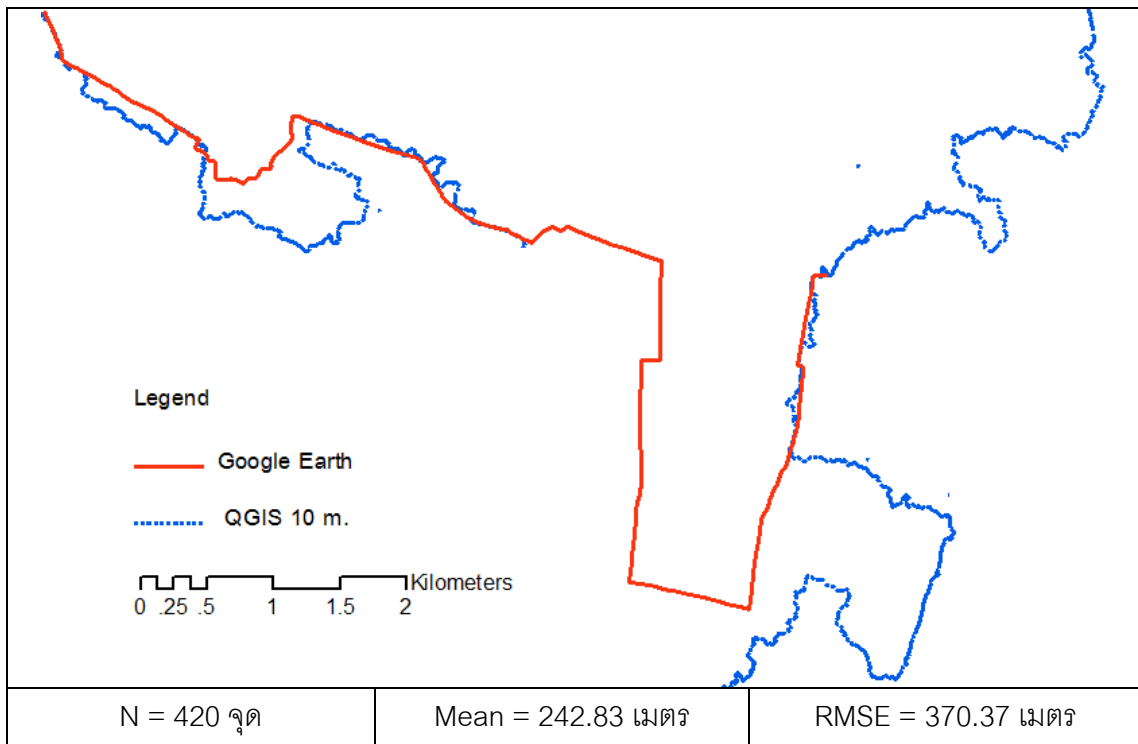
### 3.3 Lidar\_DEM 2 เมตร จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3



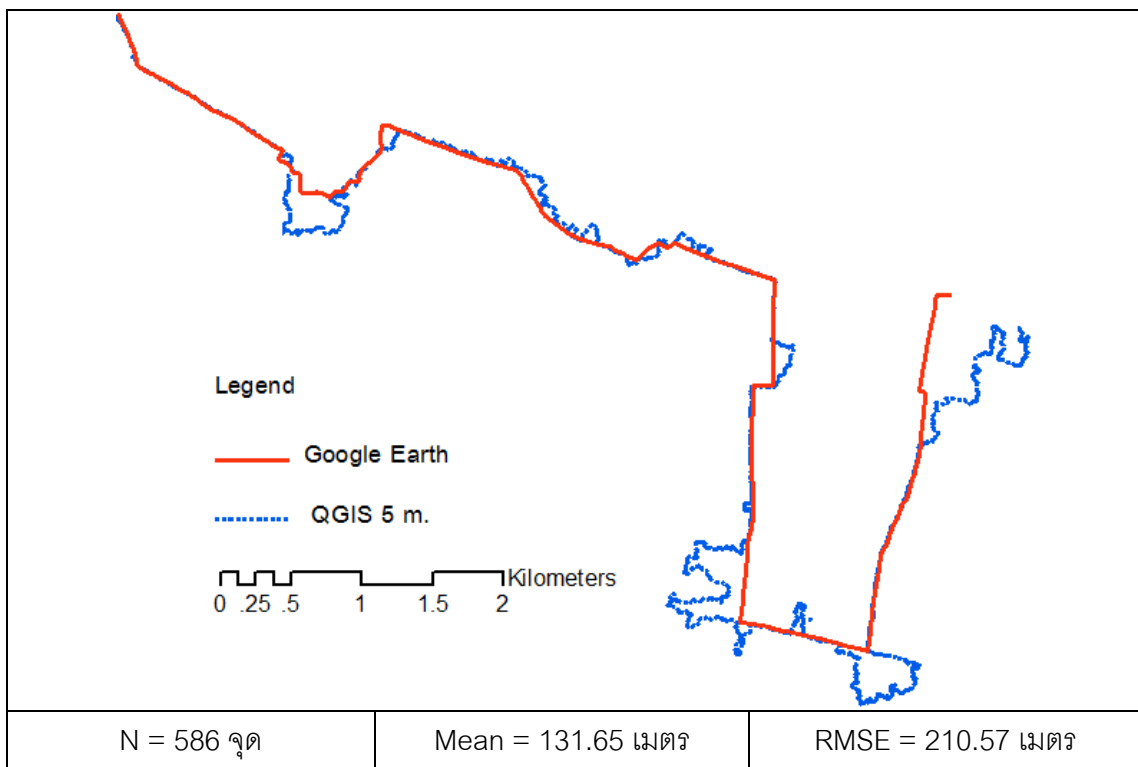
### 3.4 Lidar\_DEM 1 เมตร จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.3



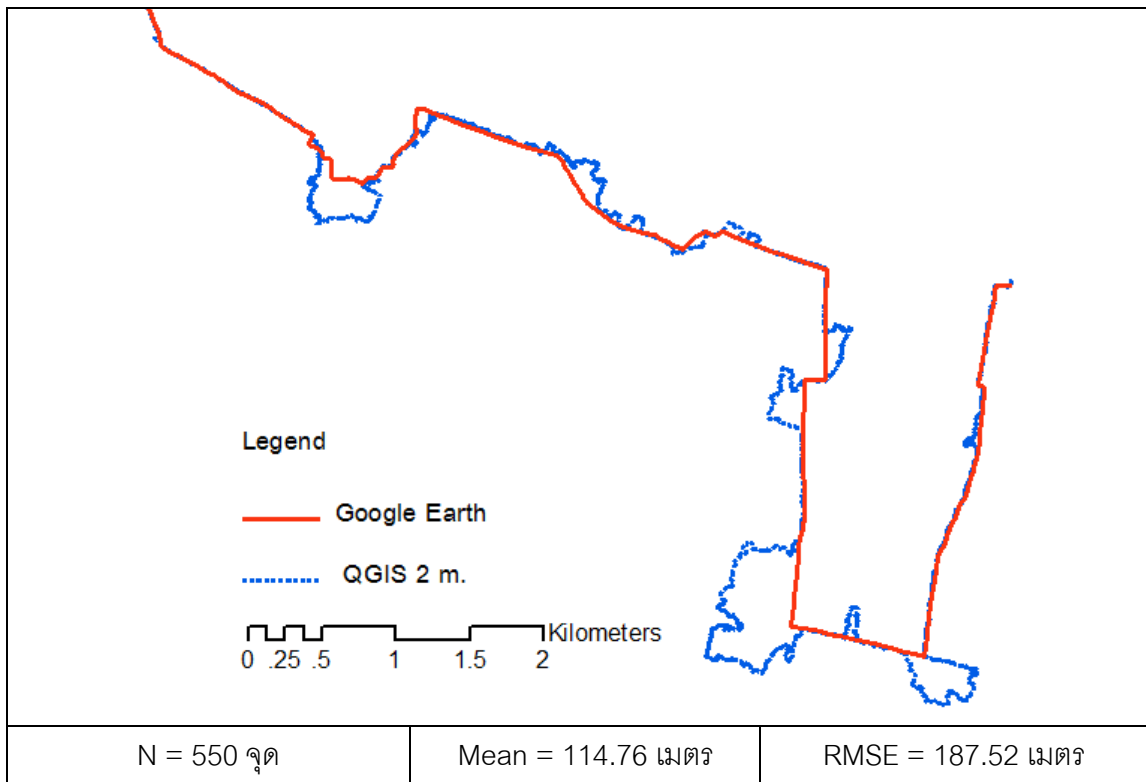
3.5 Lidar\_DEM 10 เมตร จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8



3.6 Lidar\_DEM 5 เมตร จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8



## 3.7 Lidar\_DEM 2 เมตร จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Quantum GIS 1.8





ภาคผนวก ข

## อภิธานศัพท์

- การเติมแอ่งให้เต็ม (fill sink) : เป็นกระบวนการปรับระดับแบบจำลองระดับ (DEM) ให้ทุกจุดมีทางที่น้ำไหลออกได้ โดยแอ่ง (sink) คือจุดหรือบริเวณที่ระดับพื้นดินนั้นมีค่าต่ำกว่าจุดโดยรอบ
- การประมาณค่า (interpolation) : เป็นการประมาณค่าจุดจากพื้นที่ที่มีข้อมูลจุดตัวอย่างจำกัด เช่น การประมาณค่าจุดระดับของแบบจำลองระดับที่มีความละเอียด 1 เมตร จากข้อมูลไลดาร์ที่มีความหนาแน่นของจุดระดับ 5 เมตร เป็นต้น
- การสร้างพื้นที่กันชน (Buffer) : เป็นวิธีสร้างพื้นที่รูปปิดบริเวณโดยรอบ จุด เส้น หรือพื้นที่ตามระยะทางที่กำหนด
- การไหลสะสม (flow accumulation)  
(flow accumulation) : เป็นกระบวนการสะสมจำนวนกริด จากจุดในตำแหน่งต้นน้ำ (upstream) ลงมาตามกระแสน้ำ (downstream) โดยเริ่มจากจุดบนสุดไหลลงมายังจุดล่างสุด ซึ่งสะสมจำนวนกริดไหลลงมาเรื่อยๆ
- ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) : เป็นข้อมูลที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ (Geo-reference) ของรูปลักษณะของพื้นที่ (graphic feature)
- ข้อมูลอรรถาธิบาย (attribute data) : เป็นข้อมูลไม่กำหนดพิกัดทุกชนิด (non-spatial) ซึ่งหมายถึงรวมถึง ข้อกำหนดพิเศษ อักษรหรือตัวเลขที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงพื้นที่ เช่น ชื่อถนน ความกว้างถนน เป็นต้น
- ความหนาแน่น (density) : เป็นการวัดปริมาณจุดระดับต่อพื้นที่ เช่น ข้อมูลไลดาร์มีความหนาแน่นจุดระดับ 4 จุด ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร เป็นต้น
- ความถูกต้อง (accuracy) : เป็นความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลซึ่งได้ประเมินเปรียบเทียบกับค่าจริง โดยทั่วไปนิยมแสดงด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่าง เช่น ความถูกต้อง

ของข้อมูลไลดาร์เท่ากับ 5-10 เซนติเมตรเทียบกับภูมิประเทศจริง เป็นต้น

- ความละเอียด (resolution) : เป็นค่าความละเอียดของแบบจำลองระดับ ที่กำหนดด้วยขนาดของตารางกริดในการจัดเก็บ ซึ่งขึ้นอยู่กับการจัดแบ่งจำนวนแถว (row) และจำนวนคอลัมน์ (column) หากมีจำนวนตารางกริดมาก ความละเอียดของแบบจำลองระดับนั้นจะสูงตามไปด้วย
- จุดน้ำออก (outlet) : เป็นตำแหน่งสุดท้ายของจุดที่น้ำไหลออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำ (watershed) หลังจากไหลสะสมภายในพื้นที่ลุ่มน้ำจากต้นน้ำตามกระแสน้ำลงมา
- ทิศทางการไหล (flow direction) : เป็นกระบวนการหาทิศทางการไหลของน้ำ จากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง โดยพิจารณาจากจุดที่อยู่โดยรอบ 8 ทิศทาง (D8 algorithm) แล้วหาความลาด (slope) สูงสุดเกิดขึ้นในทิศทางใด จะกำหนดให้ทิศทางนั้นเป็นทิศทางการไหล
- แบบจำลองระดับ (Digital Elevation Model, DEM) : แบบจำลองผิวพื้นโครงสร้างต่อเนื่อง ด้วยกรรมวิธีการประมาณค่าระดับแบบกำหนดพิกัดสามมิติบนพื้นผิวภูมิประเทศ (terrain)
- แบบจำลองระดับปกคลุมภูมิประเทศ (Digital Surface Model, DSM) : แบบจำลองผิวพื้นโครงสร้างต่อเนื่อง ด้วยกรรมวิธีการประมาณค่าระดับแบบกำหนดพิกัดสามมิติบนพื้นผิวปกคลุมภูมิประเทศ (surface) เช่น ความสูงเรือนยอดไม้หลังคาอาคาร เป็นต้น
- แบบจำลองระดับปริมาณมาก (massive DEM) : เป็นแบบจำลองระดับความละเอียดสูง ซึ่งมีความหนาแน่นของจุดระดับจำนวนมาก และมีความถูกต้องสูง จึงทำให้ข้อมูลที่จัดเก็บมีขนาดใหญ่
- เส้นทางการไหล (flow line) : เป็นเส้นทางที่ได้จากการไหลสะสมของน้ำจากกริดในตำแหน่งต้นน้ำสะสมลงมาตามกระแสน้ำจนถึงจุดน้ำออก ซึ่งในกริดที่มีค่าการไหลสะสมสูงนั้นคือเส้นทางการไหล

- Grid cell : เป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ ของข้อมูลที่มีลักษณะเป็นกริดซึ่งมีขนาดเท่ากันและต่อเนื่องกัน สามารถอ้างอิงค่าพิกัดภูมิศาสตร์ได้ หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าจุดภาพ (pixel)
- Keyhole Markup Language, KML : เป็นไวยากรณ์และรูปแบบไฟล์ XML สำหรับการสร้างแบบจำลองและการจัดเก็บคุณลักษณะทางภูมิศาสตร์ เช่น จุด เส้น รูปปิด ตลอกจนภาพ เป็นต้น เพื่อนำไปแสดงบนซอฟต์แวร์ Google Earth

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ:	ว่าที่ร้อยตรี วรวุฒิ ไชยวงษา
วันเดือนปีเกิด:	1 มิถุนายน พ.ศ. 2527
คุณวุฒิทางการศึกษา:	
พ.ศ. 2549	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ภูมิศาสตร์) คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
พ.ศ. 2551	ศิลปศาสตรบัณฑิต (บริหารรัฐกิจ) คณะรัฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ประสบการณ์ทำงาน:	
พ.ศ. 2551 - ปัจจุบัน	ผู้ช่วยนักวิจัยด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ศูนย์บริการ วิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ผลงานทางวิชาการ: บทความตีพิมพ์

วรวุฒิ ไชยวงษาและไพศาล สันติธรรมนนท์. การศึกษาวิธีประมวลผลแบบจำลองระดับปริมาณมากเพื่อการวิเคราะห์ภูมิประเทศ. วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย. 13 (3) 2555