

การศึกษาความสัมพันธ์ของมุมถ่ายภาพที่ส่งผลต่อรายละเอียดเชิงพื้นที่
ของข้อมูลภาพจากดาวเทียมไทยโชต

STUDY ON RELATIONS OF VIEWING ANGLE EFFECTS ON
GROUND SAMPLING DISTANCE OF THAICHOTE SATELLITE DATA

สิทธิพันธ์ แสงสุวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์
คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
สิงหาคม 2558
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา


คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ นายสิทธิพันธ์ แสงสุวรรณ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



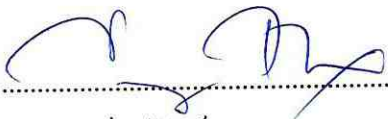
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.แก้ว นวลฉวี)



อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร.สุพรรณ กาญจนสุธรรม)



อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร.ณรงค์ พลธิรักษ์)

คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ของมหาวิทยาลัยบูรพา



คณบดีคณะภูมิสารสนเทศศาสตร์

(ดร.สุพรรณ กาญจนสุธรรม)

วันที่ 4 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2558

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก รศ.ดร. แก้ว นवलวี อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ดร.สุพรรณ กาญจนสุธรรม และ ดร.ณรงค์ พลธิรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา รวมทั้ง ดร.เชาวลิต ศิลปทอง ที่กรุณาเป็นประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำในการแก้ไขเพิ่มเติมในส่วนที่ยังขาดหาย เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ บุคลากร และเจ้าหน้าที่คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่กรุณาถ่ายทอดวิชาความรู้และเทคโนโลยีทางด้านภูมิสารสนเทศ ตลอดจนแนวทางในการนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ นอกจากนี้ยังได้รับความอนุเคราะห์จาก สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ฝ่ายผลิตและคลังข้อมูลมาตรฐาน ตลอดจนฝ่ายวิศวกรรมดาวเทียม ที่กรุณาให้การสนับสนุนข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอน้อมรำลึกถึงพระคุณของคุณพ่อคุณแม่ ที่ให้การอบรมเลี้ยงดูด้วยความเคารพอย่างสูง รวมทั้ง นายชายฉัตร มุขะนะ ที่ให้คำปรึกษาผู้วิจัยเสมอมา และขอขอบคุณพี่น้องนักศึกษาปริญญาโท คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์ ปีการศึกษา 2556 ที่คอยให้กำลังใจ และความช่วยเหลือจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูแก่เวทิตาแด่ บพทรี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จจนตราบเท่าทุกวันนี้

สิทธิพันธ์ แสงสุวรรณ

56910223: สาขาวิชา: ภูมิสารสนเทศศาสตร์; วท.ม. (ภูมิสารสนเทศศาสตร์)

คำสำคัญ: ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของ 2 จุดภาพ / รายละเอียดเชิงพื้นที่ / มุมเอียงถ่ายภาพ / ความกว้างของแนวม้วนที่ภาพ

สิทธิพันธ์ แสงสุวรรณ: การศึกษาความสัมพันธ์ของมุมถ่ายภาพที่ส่งผลต่อรายละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลภาพจากดาวเทียมไทยโชด (STUDY ON RELATIONS OF VIEWING ANGLE EFFECTS ON GROUND SAMPLING DISTANCE OF THAICHOTE SATELLITE DATA) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: แก้ว นวลฉวี, Ph.D., สุพรรณ กาญจนสุธรรม, D.Tech.Sci., ณรงค์ พลธิ์รักษ์, Ph.D. 120 หน้า. ปี พ.ศ. 2558.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคำนวณค่า Ground Sampling Distance (GSD) ข้อมูลภาพ Panchromatic ของดาวเทียมไทยโชดในมุมและทิศทางการเอียงตัวถ่ายภาพที่แตกต่างกัน และเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของมุมเอียงและทิศทางส่งผลต่อรายละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลภาพ ซึ่งมีวิธีการคำนวณค่า GSD จากอัตราส่วนระหว่างระยะห่างของจุดอ้างอิง 2 จุด บนพื้นโลกต่อระยะห่างของจุดอ้างอิงเดียวกันบนภาพถ่าย โดยประยุกต์ทฤษฎีพีทาโกรัสเพื่อคำนวณระยะห่างของจุดอ้างอิงบนภาพ และทฤษฎี Spherical Laws of Cosines เพื่อคำนวณระยะห่างของจุดอ้างอิงบนพื้นโลก

ผลการศึกษา พบว่า การเอียงตัวถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชดโดยใช้มุม Roll 0-45 องศา และมุม Pitch คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir มีค่า Across Track GSD เพิ่มขึ้นเป็น 4.5343 เมตร หรือคิดเป็น 2.4527 เท่า จากมุม Nadir (มุมเอียงใกล้ 0 องศา) ส่งผลให้มีความกว้าง Swath Width เท่ากับ 54.4119 กิโลเมตร และค่า Along Track GSD มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก โดยมีค่าเฉลี่ยคงที่เท่ากับ 2.0402 เมตร ส่วนการเอียงตัวถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชดโดยใช้มุม Pitch 0-45 องศา และมุม Roll คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir มีค่า Across Track GSD เพิ่มขึ้นเป็น 2.8252 เมตร หรือคิดเป็น 1.5282 เท่า ของค่า Across Track GSD ที่มุม Nadir (มุมเอียงใกล้ 0 องศา) ส่งผลให้มีความกว้าง Swath Width เท่ากับ 33.9028 กิโลเมตร และค่า Along Track GSD มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเช่นเดียวกัน ซึ่งมีลักษณะเป็นค่าเฉลี่ยคงที่เท่ากับ 2.0437 เมตร จึงทำให้ทราบว่า มุม Pitch และ Roll ไม่ส่งผลต่อค่า Along Track GSD ซึ่งมีค่า GSD เฉลี่ยคงที่ใกล้เคียงกับการบันทึกภาพที่มุม Nadir คือ 2.0367 เมตร เนื่องจากดาวเทียมไทยโชดมีระบบบันทึกภาพแบบ Pushbroom ตามแนวการโคจร (Along Track) เมื่อแสดกนหรือกวาดไปตามระยะเวลาที่กำหนดไว้จะคิดเป็นระยะ Ground Sampling Distance - Along Track โดยมีอัตราความเร็วบนพื้นโลก (Ground Track Speed) ซึ่งมีค่าประมาณ 6.57 km/s และ Integration Time (Thaichote Panchromatic 0.0003086 s) เป็นตัวกำหนด

อย่างไรก็ตาม เมื่อนำค่า Across Track GSD มาเปรียบเทียบกับจึงพบว่า มุม Roll มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า Across Track GSD มากกว่ามุม Pitch 1.6049 เท่า ซึ่งสามารถสร้างสมการ โพลีโนเมียลกำลังสองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Across Track GSD และการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชด โดยใช้มุมเอียง Roll และเอียงมุม Pitch ตามลำดับ ดังนี้ 1. $y = 0.0019x^2 - 0.0316x + 1.9694$ (เมื่อ y คือ ค่า Across Track GSD และ x คือ มุม Roll ที่ใช้ในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชด) และ 2. $y = 0.0006x^2 - 0.007x + 1.8786$ (เมื่อ y คือ ค่า Across Track GSD และ x คือ มุม Pitch ที่ใช้ในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชด) ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าค่า GSD เป็นข้อมูลแสดงความละเอียดของจุดภาพระดับ 1A หากข้อมูลภาพตั้งต้นมีความหยابสูง ก็จะทำให้การแสดงผลรายละเอียดเชิงพื้นที่ลดลงตามไปด้วย จากการทดสอบและเปรียบเทียบการแสดงผลรายละเอียดของจุดภาพที่มุมเอียงถ่ายภาพ Roll เพิ่มขึ้นจาก Nadir, 15, 30 และ 45 องศา พบว่า เมื่อผ่านกระบวนการประมาณค่าในช่วงข้อมูลใหม่ (Re-Sampling) จำนวนจุดภาพในแนว Along Track มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ส่วนค่า GSD ในแนว Across Track บนข้อมูลภาพระดับ 1A จะถูกกำหนดค่าให้มีขนาดเท่ากับ 2 เมตร จึงทำให้จุดภาพที่ปรากฏบนข้อมูลภาพระดับ 2A มีจำนวนเพิ่มขึ้นและการแสดงผลของค่าความเข้มสี (Digital Number, DN) มีความต่อเนื่องกัน แต่คุณภาพของข้อมูลที่ได้รับลดลง เนื่องจากค่า DN ที่เปลี่ยนแปลงตามจำนวนจุดภาพที่เพิ่มขึ้นนั้น มีค่าที่แตกต่างไปจากเดิมหรือจุดภาพที่อยู่ติดกันจะมีค่า DN ที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการจำแนกวัตถุที่ปรากฏบนภาพด้วยสายตา (Visual Interpretation) ลดน้อยลง ตลอดจนการนำข้อมูลเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (Image Processing and Classification) มีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้

56910223: MAJOR: GEOINFORMATICS; M.Sc. (GEOINFORMATICS)

KEYWORDS: GROUND SAMPLING DISTANCE / SPATIAL RESOLUTION / VIEWING ANGLE / SWATH WIDTH

STUDY ON RELATIONS OF VIEWING ANGLE EFFECTS ON GROUND SAMPLING DISTANCE OF THAICHOTE SATELLITE DATA. ADVISORY COMMITTEE: KAEW NUALCHAWEE, Ph.D., SUPAN KARNCHANASUTHAM, D.Tech.Sci., NARONG PLEERUX, Ph.D. 120 P. 2015.

This research aims to calculate the Ground Sampling Distance (GSD) of Thaichote panchromatic image in different viewing angle and analyzed in pursuance of relation determination between the viewing angle and the GSD of the image that affects the spatial resolution. The GSD can be calculated from the real distance between 2 points on earth (in meter) divides by the distance of the same points in image (in pixel). The theory of Pythagoras is used to calculate the distance on the image and the Spherical Laws of Cosines is employed to determine the real distance on earth.

The study demonstrated the increasing of the GSD value, while taking image at fix Pitch 0 degree and Roll varies 0-45 degree, shows the Across track GSD 4.5343 meters. However, in Along track GSD value is not heavily affected with an average of 2.0402 meters. Consequently, taking the image at fix Roll 0 degree and Pitch varies 0-45 degree shows that the Across track GSD reaches 2.8252 meters while no significant change has been made to the Along track GSD with the average of 2.0437 meters. As a result, pitch angle and roll angle do not contribute to the along track GSD value. The average along track GSD for every pitch and roll combination is 2.0367 meters. The imaging mode of Thaichote satellite is Pushbroom, consequently the along track GSD is calculated from the ground track velocity of 6.57 km/s and the software integration time (0.0003086 s). From the result of the study and analysis, Roll angle has 1.6049 times more effect on the Across track GSD than Pitch angle and 2 polynomial equations for the relation between Across track GSD and Roll angle and the relation between Across track GSD and Pitch angle are formed as following ; 1st equation Across track GSD with Roll angle : $y = 0.0019x^2 - 0.0316x + 1.9694$ (y : Across track GSD value and x : Roll angle at the time of taking the image.) 2nd equation Across track GSD with Pitch angle :

$y = 0.0006x^2 - 0.007x + 1.8786$ (y : Across track GSD value and x : Pitch angle at the time of taking the image.) Therefore the GSD value represents the resolution of each pixel in level 1A image. The lower the resolution of the original 1A image, the lower the spatial resolution of level 2A can be obtained. According to the experiment and comparison between the nadir and off-nadir (15, 30 and 45 degree), after the Re-Sampling process the numbers of pixel in along track have altered very little comparing to the numbers of pixel in the across track GSD which are heavily increased as a result from the re-sampling process of each pixel to 2 meters. In having more pixel numbers, the image will have better color reproduction thanks to the smooth and continue DN value of neighbor pixels. However, the quality will be drop if the DN value has significant change resulting in the lower visual interpretation and can cause errors in image processing and classification application.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ท
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	4
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	5
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	6
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
การรับรู้จากระยะไกล.....	8
คุณสมบัติและอุปกรณ์รับรู้ของดาวเทียมไทยโชด.....	11
ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม.....	23
ความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution).....	33
Ground Sampling Distance (GSD).....	34
ทฤษฎีพีทาโกรัส (Pythagorean Theorem).....	37
ทฤษฎี Spherical Laws of Cosines.....	38
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	41

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3	วิธีดำเนินการวิจัย
	ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา
	เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา
	กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล
4	ผลการวิจัย.....
	การคำนวณค่า Ground Sampling Distance (GSD)
	1. กำหนดให้มุม Pitch คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Roll มีค่าเปลี่ยนแปลง เพิ่มขึ้น 0 – 45; 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 องศา.....
	2. กำหนดให้มุม Roll คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Pitch มีค่าเปลี่ยนแปลง เพิ่มขึ้น 0 – 45; 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 องศา.....
	3. การเปรียบเทียบค่า Across Track GSD.....
	4. การเปรียบเทียบค่า Along Track GSD
	5. ตรวจสอบความถูกต้องการคำนวณค่า Ground Sampling Distance (GSD)..
	ความสัมพันธ์ของมุมเอียงและทิศทางที่ใช้ในการถ่ายภาพที่ส่งผลต่อรายละเอียด เชิงพื้นที่ของข้อมูลภาพดาวเทียมไทยโชด
	1. สมการโพลีโนเมียลกำลังสองแสดงความสัมพันธ์ของมุมเอียงถ่ายภาพและ ค่า GSD.....
	2. ผลกระทบจากมุมเอียงถ่ายภาพต่อรายละเอียดเชิงพื้นที่
	ความสัมพันธ์ของค่า Across Track GSD และความกว้างของแนวนบันทึกภาพของ ดาวเทียมไทยโชด (Swath Width).....
5	อภิปราย และสรุปผล.....
	อภิปรายผล.....
	สรุปผล.....
	ข้อเสนอแนะการวิจัย.....
บรรณานุกรม.....	90

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก.....	92
ภาคผนวก ก.....	93
ภาคผนวก ข.....	104
ภาคผนวก ค.....	117
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	120

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 คุณสมบัติของดาวเทียมไทยโชต.....	11
2-2 ระยะห่างแนวโคจรภาคพื้นดินของดาวเทียมไทยโชต	13
2-3 คุณสมบัติที่สำคัญของกล้องบันทึกภาพของดาวเทียมไทยโชต	17
2-4 ขนาดภาพมาตรฐานของดาวเทียมไทยโชตระดับ 1A	31
2-5 ขนาดภาพมาตรฐานของดาวเทียมไทยโชตระดับ 2A	32
3-1 ข้อมูลภาพ Panchromatic ที่ใช้ในการวิจัยเพื่อคำนวณค่า GSD โดยกำหนดมุม Roll คงที่มีค่าไกล้มุม Nadir และมุม Pitch มีการเปลี่ยนแปลง	45
3-2 ข้อมูลภาพ Panchromatic ที่ใช้ในการวิจัยเพื่อคำนวณค่า GSD โดยกำหนดมุม Pitch คงที่มีค่าไกล้มุม Nadir และมุม Roll มีการเปลี่ยนแปลง.....	46
3-3 ชุดข้อมูลภาพกำหนดมุม Pitch คงที่มีค่าไกล้มุม Nadir และมุม Roll มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 0-45; 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 องศา	48
3-4 ชุดข้อมูลภาพกำหนดมุม Roll คงที่มีค่าไกล้มุม Nadir และมุม Pitch มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 0-45; 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 องศา	49
4-1 ค่า GSD ในแนว Across Track และ Along Track โดยกำหนดให้มุม Pitch คงที่มีค่าไกล้มุม Nadir และมุม Roll มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 0-45; 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 องศา.....	56
4-2 ค่า GSD ในแนว Across Track และ Along Track โดยกำหนดให้มุม Roll คงที่มีค่าไกล้มุม Nadir และมุม Pitch มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 0-45; 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 องศา.....	58
4-3 เปรียบเทียบค่า Across Track GSD ระหว่างมุมเอียง Roll และ Pitch ที่ใช้ในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชต.....	60
4-4 เปรียบเทียบค่า Along Track GSD ระหว่างมุมเอียง Roll และ Pitch ที่ใช้ในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชต.....	62
4-5 เปรียบเทียบความถูกต้องในการคำนวณค่า GSD โดยใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) และจุดอ้างอิงจาก Google Earth บนข้อมูลภาพชุดเดียวกัน.....	64
4-6 แสดงความสัมพันธ์ของค่า Across Track GSD และความกว้างของแนวบันทึกภาพ (Swath Width)	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางภาคผนวก	หน้า
ตารางภาคผนวก ก-1 ข้อมูลภาพ Panchromatic กำหนดมุม Pitch คงที่มีค่าไคส์มุม Nadir และมุม Roll เปลี่ยนแปลง 0 และ 5 องศา.....	94
ตารางภาคผนวก ก-2 ข้อมูลภาพ Panchromatic กำหนดมุม Pitch คงที่มีค่าไคส์มุม Nadir และมุม Roll เปลี่ยนแปลง 10 และ 15 องศา.....	95
ตารางภาคผนวก ก-3 ข้อมูลภาพ Panchromatic กำหนดมุม Pitch คงที่มีค่าไคส์มุม Nadir และมุม Roll เปลี่ยนแปลง 20 และ 25 องศา.....	96
ตารางภาคผนวก ก-4 ข้อมูลภาพ Panchromatic กำหนดมุม Pitch คงที่มีค่าไคส์มุม Nadir และมุม Roll เปลี่ยนแปลง 30 และ 35 องศา.....	97
ตารางภาคผนวก ก-5 ข้อมูลภาพ Panchromatic กำหนดมุม Pitch คงที่มีค่าไคส์มุม Nadir และมุม Roll เปลี่ยนแปลง 40 และ 45 องศา.....	98
ตารางภาคผนวก ก-6 ข้อมูลภาพ Panchromatic กำหนดมุม Roll คงที่มีค่าไคส์มุม Nadir และมุม Pitch เปลี่ยนแปลง 0 และ 5 องศา	99
ตารางภาคผนวก ก-7 ข้อมูลภาพ Panchromatic กำหนดมุม Roll คงที่มีค่าไคส์มุม Nadir และมุม Pitch เปลี่ยนแปลง 10 และ 15 องศา	100
ตารางภาคผนวก ก-8 ข้อมูลภาพ Panchromatic กำหนดมุม Roll คงที่มีค่าไคส์มุม Nadir และมุม Pitch เปลี่ยนแปลง 20 และ 25 องศา	101
ตารางภาคผนวก ก-9 ข้อมูลภาพ Panchromatic กำหนดมุม Roll คงที่มีค่าไคส์มุม Nadir และมุม Pitch เปลี่ยนแปลง 30 และ 35 องศา	102
ตารางภาคผนวก ก-10 ข้อมูลภาพ Panchromatic กำหนดมุม Roll คงที่มีค่าไคส์มุม Nadir และมุม Pitch เปลี่ยนแปลง 40 และ 45 องศา	103
ตารางภาคผนวก ค-1 เปรียบเทียบการคำนวณค่า Across Track GSD จากพิกัดจุดอ้างอิง Google Earth และจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP).....	118
ตารางภาคผนวก ค-2 ค่าสถิติทดสอบ T-Test แบบ Independent เปรียบเทียบค่า Across Track GSD จากจุดอ้างอิง Google Earth และจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP)....	118
ตารางภาคผนวก ค-3 เปรียบเทียบการคำนวณค่า Along Track GSD จากพิกัดจุดอ้างอิง Google Earth และจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP).....	119

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางภาคผนวก

หน้า

ตารางภาคผนวก ค-4 ค่าสถิติทดสอบ T-Test แบบ Independent เปรียบเทียบค่า Along Track

GSD จากจุดอ้างอิง Google Earth และจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP).... 119

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	3
1-2 ภาพจำลองมุม Pitch บน Local Orbital Reference System และ Earth-Centered Inertial ...	6
1-3 ภาพจำลองมุม Roll บน Local Orbital Reference System และ Earth-Centered Inertial	7
2-1 กระบวนการการรับรู้จากระยะไกล.....	9
2-2 แนวโคจรภาคพื้นดินของดาวเทียมไทยโชด	12
2-3 ภาพจำลองกล้องถ่ายภาพแบบ PAN ของดาวเทียมไทยโชด.....	14
2-4 แผนผังเส้นทางเดินของแสงในกล้องถ่ายภาพแบบ PAN ของดาวเทียมไทยโชด.....	15
2-5 ผังจำลององค์ประกอบที่ระนาบ โฟกัสของกล้องถ่ายภาพแบบ PAN.....	15
2-6 ภาพจำลองอุปกรณ์รับรู้แบบ MS ของดาวเทียมไทยโชด.....	16
2-7 ผังจำลององค์ประกอบที่ระนาบ โฟกัสของกล้องถ่ายภาพแบบ MS	17
2-8 ช่วงความไวแสงของอุปกรณ์บันทึกภาพของดาวเทียมไทยโชด.....	18
2-9 ลักษณะการบันทึกภาพแบบปกติของดาวเทียมไทยโชด.....	19
2-10 ลักษณะการบันทึกภาพคู่ภาพถ่ายทรวดทรง (Stereo Pair).....	20
2-11 การปรับเทียบตัวเพื่อบันทึกภาพของดาวเทียมไทยโชด	20
2-12 ภาพจำลองการถ่ายภาพแบบ Pushbroom	21
2-13 Local Orbital Reference System และ Earth-Centered Inertial	22
2-14 การปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตโดยใช้สมการเส้นตรง.....	25
2-15 การปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตโดยใช้สมการเส้นโค้ง.....	26
2-16 Nearest Neighbor	27
2-17 Bilinear Interpolation	28
2-18 Cubic Convolution Interpolation.....	28
2-19 ภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชด Panchromatic ระดับ 1A	30
2-20 ภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชด Panchromatic ระดับ 2A	32
2-21 การจำลองขนาดจุดภาพต่างๆ กันในพื้นที่เดียวกัน	34
2-22 แบบจำลอง Across Track GSD และ Along Track GSD.....	35
2-23 แนวการบันทึกภาพ Along Track และ Across Track	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2-24 The Concept of Field of View (FOV) and Instantaneous Field of View (IFOV).....	36
2-25 ทฤษฎีพีทาโกรัส (Pythagorean Theorem).....	37
2-26 มุมเรเดียนที่จุดศูนย์กลางของวงกลม	39
2-27 ทฤษฎี Spherical Laws of Cosines ระหว่างจุด A และ B โดยกำหนดจุดอ้างอิงที่ขั้วโลก..	40
2-28 ภาพจำลองทฤษฎี Spherical Laws of Cosines	40
2-29 A Curved Surface Case in Pitch – Roll Tilt Pushbroom Sensor	42
3-1 การกำหนดจุดอ้างอิงในแนว Across Track และ Along Track	47
3-2 การคำนวณระยะห่างระหว่างจุด 2 จุดอ้างอิงบนภาพตามทฤษฎีพีทาโกรัส	50
3-3 รูปแบบทิศทางในการวัดข้อมูลจุดอ้างอิงบนภาพในแนว Across Track และ Along Track.	51
3-4 รัศมีจากจุดศูนย์กลางของโลก (R_{mean})	52
3-5 ภาพจำลองอธิบายการคำนวณระยะห่างบนพื้น โลกรูปแบบ 2 มิติ	52
3-6 ภาพจำลองอธิบายทฤษฎี Spherical Laws of Cosines	53
4-1 ความเปลี่ยนแปลงของค่า GSD โดยกำหนดให้มุม Pitch คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Roll มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 0 – 45; 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 องศา	57
4-2 ความเปลี่ยนแปลงของค่า GSD โดยกำหนดให้มุม Roll คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Pitch มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 0 – 45; 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 องศา....	59
4-3 การเปรียบเทียบค่า Across Track GSD ระหว่างมุมเอียง Roll และ Pitch ที่ใช้ในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชด.....	61
4-4 การเปรียบเทียบค่า Along Track GSD ระหว่างมุมเอียง Roll และ Pitch ที่ใช้ในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชด.....	63
4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียง Roll ที่ใช้ในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชดและค่า Across Track GSD ที่เปลี่ยนแปลง.....	66
4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียง Pitch ที่ใช้ในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชดและค่า Across Track GSD ที่เปลี่ยนแปลง.....	67
4-7 ภาพจำลองเปรียบเทียบการแสดงผลขนาดของจุดภาพระหว่างข้อมูลภาพระดับ 1A และระดับ 2A ที่มุมเอียงถ่ายภาพสูง.....	68

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-8 เปรียบเทียบการแสดงผลจุดภาพบนข้อมูลภาพ Panchromatic ระดับ 1A และระดับ 2A บันทึกภาพที่มุม Nadir.....	69
4-9 เปรียบเทียบการแสดงผลจุดภาพบนข้อมูลภาพ Panchromatic ระดับ 1A และระดับ 2A บันทึกภาพที่มุมเอียง Roll 15 องศา.....	70
4-10 เปรียบเทียบการแสดงผลจุดภาพบนข้อมูลภาพ Panchromatic ระดับ 1A และระดับ 2A บันทึกภาพที่มุมเอียง Roll 30 องศา.....	71
4-11 เปรียบเทียบการแสดงผลจุดภาพบนข้อมูลภาพ Panchromatic ระดับ 1A และระดับ 2A บันทึกภาพที่มุมเอียง Roll 45 องศา.....	72
4-12 เปรียบเทียบการแสดงค่า Digital Number ระหว่างข้อมูลภาพ Panchromatic ระดับ 1A และระดับ 2A บันทึกภาพที่มุม Roll 15 องศา.....	74
4-13 เปรียบเทียบการแสดงค่า Digital Number ระหว่างข้อมูลภาพ Panchromatic ระดับ 1A และระดับ 2A บันทึกภาพที่มุม Roll 45 องศา.....	75
4-14 ภาพสนามศุภชลาศัยจาก Google Earth (a) ภาพสนามศุภชลาศัยจากดาวเทียมไทยโชด บันทึกที่มุม Nadir (b) ภาพสนามศุภชลาศัยจากดาวเทียมไทยโชด บันทึกที่มุมเอียง Roll 45 องศา (c)	76
4-15 แสดงผลการจำแนกประเภทข้อมูลแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) บริเวณพื้นที่สนามศุภชลาศัย ข้อมูลภาพบันทึกที่มุม Nadir.....	77
4-16 แสดงผลการจำแนกประเภทข้อมูลแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) บริเวณพื้นที่สนามศุภชลาศัย ข้อมูลภาพบันทึกที่มุมเอียง Roll 45 องศา.....	78
4-17 การเปรียบเทียบความกว้างของแนวบันทึกภาพ (Swath Width) จากค่า Across Track GSD ของมุม Roll และมุม Pitch	80
4-18 ความกว้างของแนวบันทึกภาพของข้อมูลภาพดาวเทียมไทยโชด Panchromatic ระดับ 2A ที่มีมุมเอียงถ่ายภาพต่างกัน (A) มุม Nadir (B) 15 องศา (C) 30 องศา (D) 45 องศา.....	80
4-19 ความกว้างแนวบันทึกภาพที่มุมถ่ายภาพ Nadir.....	81
4-20 ความกว้างแนวบันทึกภาพที่มุม Roll 15 องศา และมุม Pitch คงที่ใกล้ Nadir.....	82
4-21 ความกว้างแนวบันทึกภาพที่มุม Roll 30 องศา และมุม Pitch คงที่ใกล้ Nadir.....	83
4-22 ความกว้างแนวบันทึกภาพที่มุม Roll 45 องศา และมุม Pitch คงที่ใกล้ Nadir.....	84

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพภาคผนวก	หน้า
ภาพภาคผนวก ข-1 หมายเลขหมวดหลักฐาน 26531603.....	105
ภาพภาคผนวก ข-2 หมายเลขหมวดหลักฐาน 266631705.....	106
ภาพภาคผนวก ข-3 หมายเลขหมวดหลักฐาน 266631708.....	107
ภาพภาคผนวก ข-4 หมายเลขหมวดหลักฐาน 26232303.....	108
ภาพภาคผนวก ข-5 หมายเลขหมวดหลักฐาน 26531603.....	109
ภาพภาคผนวก ข-6 หมายเลขหมวดหลักฐาน 26332305.....	110
ภาพภาคผนวก ข-7 หมายเลขหมวดหลักฐาน 25731208.....	111
ภาพภาคผนวก ข-8 หมายเลขหมวดหลักฐาน CM29.....	112
ภาพภาคผนวก ข-9 หมายเลขหมวดหลักฐาน CM28.....	113
ภาพภาคผนวก ข-10 หมายเลขหมวดหลักฐาน 26232303.....	114
ภาพภาคผนวก ข-11 หมายเลขหมวดหลักฐาน 26232304.....	115
ภาพภาคผนวก ข-12 หมายเลขหมวดหลักฐาน 26531603.....	116

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ดาวเทียม THEOS (Thailand Earth Observation System) เป็นผลจากโครงการพัฒนา ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรดวงแรกของประเทศไทยที่เกิดขึ้นภายใต้ความร่วมมือด้านเทคโนโลยี อวกาศ ระหว่างรัฐบาลไทยและรัฐบาลฝรั่งเศส โดยมีสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิ- สารสนเทศ (องค์การมหาชน) ทำหน้าที่เป็นหน่วยงานกลางในการดำเนินการสร้างดาวเทียม THEOS กับบริษัท EADS Astrium SAS ประเทศฝรั่งเศส เป็นผู้รับผิดชอบในการดำเนินงาน ปัจจุบันดาวเทียม THEOS ได้รับพระราชทานนามว่า ดาวเทียมไทยโชต ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจร เมื่อวันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2551 (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การ มหาชน), 2552) และมีบทบาทสำคัญในการจัดหาข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ประโยชน์เพื่อ พัฒนาประเทศ เช่น การทำแผนที่ การเกษตร การใช้ที่ดิน การสำรวจทรัพยากรป่าไม้ การวางผัง เมือง การติดตามภัยพิบัติทางธรรมชาติ และด้านความมั่นคงของประเทศ เป็นต้น

คุณลักษณะสำคัญอย่างหนึ่งของดาวเทียมไทยโชต คือ ความสามารถในการเอียงตัวออก นอกแนวโคจรเพื่อบันทึกภาพในบริเวณพื้นที่ที่ต้องการได้ในระยะเวลาอันสั้นและเพิ่มโอกาสใน การได้มาซึ่งข้อมูลมากขึ้น สามารถถ่ายภาพได้หลายพื้นที่เป้าหมายในการ โคจรผ่าน 1 ครั้ง โดยปกติ แล้วการบันทึกภาพจะอยู่ภายใต้มุมเอียงไม่เกิน 30 องศา และเมื่อมีการกิจเร่งด่วนสามารถถ่ายภาพ โดยมีมุมเอียงได้ถึง 50 องศา (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การ มหาชน), 2552) แต่ทั้งนี้ลักษณะการเอียงตัวของดาวเทียมเพื่อบันทึกภาพดังกล่าวนั้น ย่อมส่งผลต่อ รายละเอียดเชิงพื้นที่ที่ลดลงตามไปด้วย รายละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution) ถือได้ว่าเป็น ปัจจัยสำคัญประการหนึ่งสำหรับผู้ใช้งาน เพื่อพิจารณาเลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมได้ตรงตามความ ต้องการและเหมาะสมกับเวลา ซึ่งดาวเทียมไทยโชตนั้นประกอบด้วยกล้องบันทึกภาพแบบช่วงคลื่น เดียว ภาพขาว-ดำ (Panchromatic) และกล้องบันทึกภาพสีเชิงคลื่น (Multispectral) ให้รายละเอียด ของจุดภาพ 2 เมตร และ 15 เมตร ตามลำดับ เป็นรายละเอียดเชิงพื้นที่ที่เกิดจากกระบวนการปรับแก้ เชิงเรขาคณิตของระบบภาคพื้นดิน (Image Ground Segment) โดยการสุ่มตัวอย่าง (Re-sampling) จากข้อมูลดิบ (Raw Data) ทั้งนี้หากต้องการทราบรายละเอียดเชิงพื้นที่ที่แท้จริงต้องพิจารณาจาก ระยะทางบนพื้น โลกต่อ 1 จุดภาพ บนอุปกรณ์รับรู้ (Sensor) หรือที่เรียกว่า Ground Sampling Distance (GSD) (Robert et al., 1998)

จากรายงานผลทดสอบทางด้าน Geometrical Condition พบว่า การถ่ายภาพที่มุม Nadir (มุมเอียงใกล้ 0 องศา) ของดาวเทียมไทยโชตจะให้ค่า GSD เท่ากับ 1.8487 ตารางเมตร การถ่ายภาพที่มุม 12 - 30 องศา (Nominal Angle) จะมีค่า GSD ที่เพิ่มขึ้น โดย 1 จุดภาพ เท่ากับ 2.4×2.6 ตารางเมตร และที่มุมเอียงถ่ายภาพ 50 องศา ขนาดของจุดภาพในแนวแกน X (Across Track GSD) จะเพิ่มขึ้น 3 เท่า และขนาดของจุดภาพในแนวแกน Y (Along Track GSD) จะเพิ่มขึ้น 1.7 เท่า อย่างไรก็ตาม การถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชตในมุมเอียงที่แตกต่างกัน เมื่อผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิต (Geometric Correction) จากระบบภาคพื้นดินจะทำการเฉลี่ยขนาดของจุดภาพใหม่ (Re-Sampling) เท่ากับ 2 ตารางเมตร (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552)

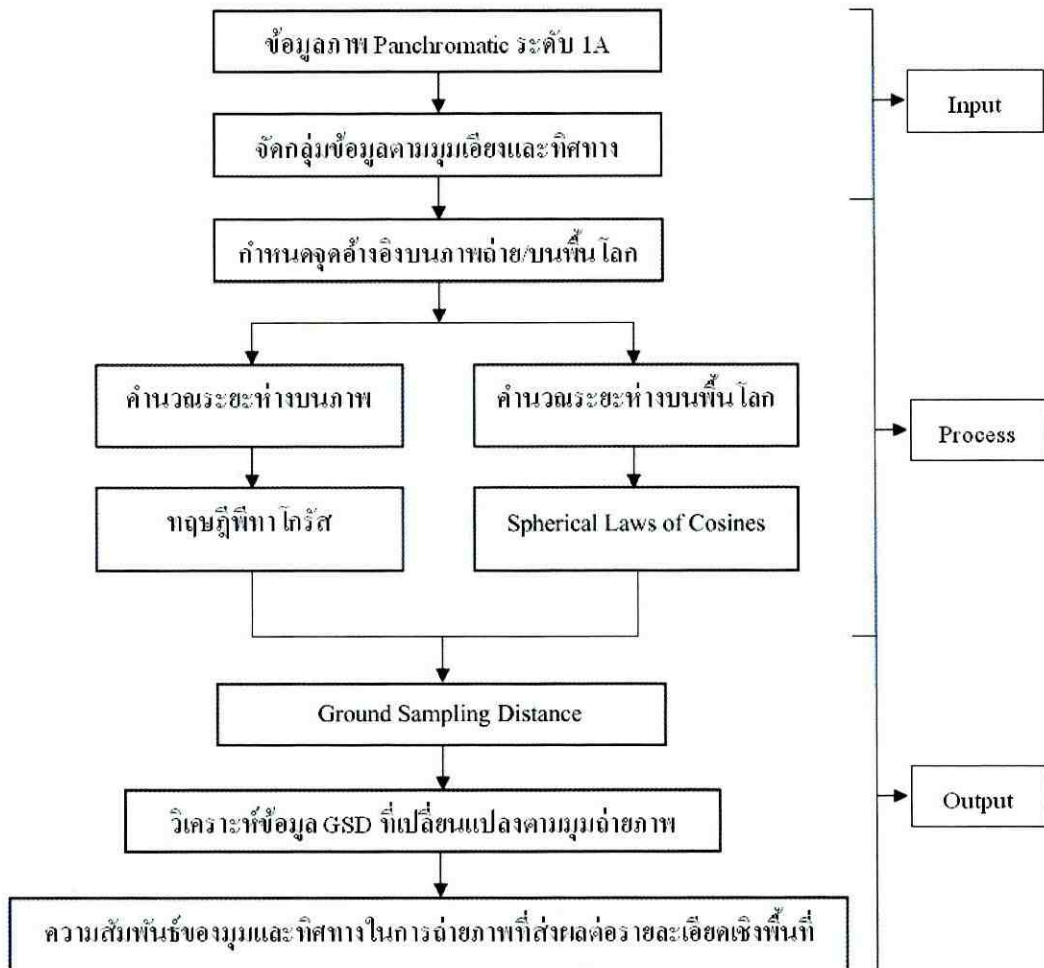
ดังนั้น การศึกษาวิจัยเพื่อคำนวณหาค่า GSD รวมถึงผลกระทบที่เกิดจากมุมเอียงและทิศทางในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชตจึงช่วยให้เข้าใจถึงคุณลักษณะของข้อมูลดาวเทียม และเพื่อทราบความละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลหรือขนาดของจุดภาพที่เปลี่ยนแปลงไปตามมุมเอียงที่ใช้ในการบันทึกภาพ ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้ข้อมูลภาพ Panchromatic โดยข้อมูลภาพนั้นยังไม่ผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิตหรือข้อมูลระดับ 1A ของดาวเทียมไทยโชต เพื่อคำนวณค่า GSD ในเงื่อนไขของมุมเอียงและทิศทางในการถ่ายภาพที่แตกต่างกัน จากอัตราส่วนระหว่างระยะห่างของจุดอ้างอิงบนพื้นโลกต่อระยะห่างของจุดอ้างอิงเดียวกันบนภาพถ่าย โดยประยุกต์ทฤษฎีพีทาโกรัส เพื่อคำนวณระยะห่างของจุดอ้างอิงบนภาพ และทฤษฎี Spherical Laws of Cosines เพื่อคำนวณระยะห่างของจุดอ้างอิงบนพื้นโลก ทั้งนี้ ค่า GSD ยังมีความสัมพันธ์กับแนวการบันทึกภาพ (Swath Width) ที่ขยายขึ้นตามมุมที่ดาวเทียมใช้เอียงตัวเพื่อบันทึกภาพ (Viewing Angle) จากผลคูณของค่า GSD และจำนวน Pixel in Array (CCD) ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการเลือกใช้ข้อมูลได้ตรงตามความต้องการ รวมถึงเป็นข้อมูลประกอบในการวางแผนถ่ายภาพ สำหรับพิจารณาคุณภาพของข้อมูลที่เหมาะสมกับระยะเวลา เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้ใช้ตามประสิทธิภาพของดาวเทียมไทยโชต ซึ่งเป็นดาวเทียมของประเทศไทย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อคำนวณค่า Ground Sampling Distance (GSD) ข้อมูลภาพ Panchromatic ของดาวเทียมไทยโชตในมุมและทิศทางการเอียงตัวถ่ายภาพที่แตกต่างกัน
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของมุมเอียงและทิศทางที่ใช้ในการถ่ายภาพที่ส่งผลต่อรายละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลภาพ

กรอบแนวคิดในการวิจัย

การศึกษาศวสัมพันธ์ของมุมและทิศทางในการถ่ายภาพที่ส่งผลต่อรายละเอียดเชิงพื้นที่ ข้อมูลภาพจากดาวเทียมไทยโชต เลือกใช้ข้อมูลภาพ Panchromatic ระดับ 1A ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิตจากระบบภาคพื้นดิน พร้อมจัดกลุ่มข้อมูลตามมุมเอียงและทิศทางที่ใช้ในการถ่ายภาพ โดยกำหนดจุดอ้างอิงเดียวกันบนภาพถ่ายและพื้นโลก แล้วจึงทำการวัดระยะห่างระหว่างจุดอ้างอิง 2 จุด เพื่อคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างระยะทางบนพื้นโลกต่อระยะทางบนภาพ ซึ่งจะช่วยให้ทราบค่า GSD ที่เปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของมุมและทิศทางในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชต ดังกรอบแนวคิดในการวิจัย ดังภาพที่ 1-1



ภาพที่ 1-1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. เข้าใจถึงคุณลักษณะรายละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลภาพจากดาวเทียมไทยโชต
2. เป็นข้อมูลประกอบการวางแผนถ่ายภาพดาวเทียมไทยโชต สำหรับผู้ควบคุมดาวเทียม
3. สามารถเลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ได้ตรงตามความต้องการ ตามประสิทธิภาพของดาวเทียมไทยโชต
4. ทราบแนวทางในการปรับแก้และคำนวณพื้นที่จากขนาดของจุดภาพ เมื่อใช้ภาพในมุมมองที่แตกต่างกัน

ขอบเขตของการวิจัย

การคำนวณค่า Ground Sampling Distance (GSD) และผลกระทบที่เกิดจากมุมมองและทิศทางในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชต มีขอบเขตการศึกษา ดังนี้

1. ขอบเขตเชิงเนื้อหา

1.1 การคำนวณค่า GSD โดยอัตราส่วนระหว่างระยะห่างของจุดอ้างอิง 2 จุดบนพื้นโลกต่อระยะห่างของจุดอ้างอิงเดียวกันบนภาพ ซึ่งสามารถคำนวณระยะห่างบนภาพได้จากการประยุกต์ทฤษฎีพีทาโกรัส และคำนวณระยะห่างบนพื้นโลกจากการประยุกต์ทฤษฎี Spherical Laws of Cosines บนสมมติฐานที่โลกประกอบด้วยส่วนโค้งและเป็นทรงกลม

1.2 เลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชตแบบช่วงคลื่นเดี่ยว ภาพขาว – ดำ (Panchromatic) จำนวน 39 ภาพ ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิตจากระบบภาคพื้นดิน หรือข้อมูลภาพระดับ 1A เนื่องจากให้รายละเอียดเชิงพื้นที่สูง สามารถจำแนกวัตถุที่ปรากฏบนภาพได้ดีกว่าภาพสีเชิงคลื่น (Multispectral) ซึ่งในการกำหนดจุดอ้างอิง 2 ตำแหน่ง เพื่อคำนวณระยะห่างนั้น จะต้องอาศัยความชัดเจนของวัตถุที่ปรากฏ ณ ตำแหน่งเดียวกันทั้งบนภาพและพื้นโลก

1.3 จัดกลุ่มข้อมูลภาพตามขนาดของมุมมอง 0-45 องศา โดยแต่ละช่วงชั้นเพิ่มขึ้นทีละ 5 องศา และจัดกลุ่มทิศทางที่ใช้ในการถ่ายภาพตามมุม Pitch และมุม Roll

2. ขอบเขตเชิงพื้นที่

2.1 ข้อมูลภาพที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้ข้อมูลภาพในบริเวณพื้นที่ประเทศไทย แต่เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย และไม่มีข้อมูลภาพในมุมมองต่างๆ ตามข้อกำหนดของการศึกษาที่มากเพียงพอ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ข้อมูลภาพในพื้นที่ทดสอบ (Test Site) ด้าน Geometric จากส่วนงาน Calibration/ Validation ฝ่ายวิศวกรรมดาวเทียม

สำนักปฏิบัติการดาวเทียม สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)
 ดังนี้

1. เมืองลอสแอนเจลิส ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. เมืองปักกิ่ง ประเทศจีน
3. เมืองบาร์เซโลนา ประเทศสเปน
4. เมืองโจฮันเนสเบิร์ก ประเทศแอฟริกาใต้

2.2 การกำหนดจุดอ้างอิงที่เห็นได้ชัดเจนทั้งบนภาพและบนพื้นโลก เพื่อคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างระยะทางของจุดอ้างอิงเดียวกันบนภาพและบนพื้นโลก เลือกใช้จุดอ้างอิงจาก Google Earth ซึ่งให้ค่าพิกัดเชิงตำแหน่งที่ครอบคลุมทั่วโลก

3. ขอบเขตด้านเวลาของข้อมูลภาพ

ในการวิจัยครั้งนี้พิจารณาถึงข้อมูลภาพตามข้อกำหนดของมุมมองเอียงและทิศทางที่ใช้ในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชตเป็นสำคัญ ซึ่งข้อมูลภาพ Panchromatic ระดับ 1A ที่ใช้ในการศึกษารอบคลุมช่วงเวลาปี พ.ศ. 2552 – 2558

ข้อจำกัดของการวิจัย

1. การเลือกข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต เพื่อคำนวณค่า GSD ไม่สามารถเลือกภาพเพื่อจัดกลุ่มข้อมูลที่มีขนาดของมุมมองเอียงและทิศทางให้คงที่เท่ากันทุกกลุ่มชุดข้อมูลได้ เนื่องจากไม่สามารถกำหนดปัจจัยควบคุมในการถ่ายภาพได้ด้วยตัวของผู้วิจัยเอง ดังนั้น จึงเป็นเพียงการเลือกชุดข้อมูลกลุ่มภาพตัวอย่างให้ได้ใกล้เคียงตามข้อกำหนดที่ใช้ในการวิจัยมากที่สุด

2. จำนวนข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชตที่ใช้ในการศึกษานี้ มีจำนวนทั้งสิ้น 39 ภาพ โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มข้อมูลที่แตกต่างกันตามมุมมองเอียงและทิศทางที่ใช้ในการถ่ายภาพ จำนวน 20 กลุ่ม ในแต่ละกลุ่มมีจำนวนข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม 2 ภาพ และ 1 ภาพ (ที่มุม Roll คงที่ใกล้ Nadir และมุม Pitch 40 องศา) ดังนั้น ค่าทดสอบทางสถิติจึงเป็นเพียงการแสดงค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มข้อมูล ซึ่งได้มาจากการคำนวณค่า GSD โดยผู้วิจัยได้ตรวจสอบความถูกต้องในการวัดระยะห่างของจุดอ้างอิง 2 ตำแหน่ง บนพื้นโลกและบนภาพถ่ายดาวเทียมด้วยจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) จำนวน 12 จุด บนตัวอย่างชุดข้อมูลภาพเดียวกันจำนวน 4 ชุดข้อมูล เพื่อให้การทดสอบและคำนวณค่า GSD มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

นิยามศัพท์เฉพาะ

Spatial Resolution หมายถึง รายละเอียดเชิงพื้นที่หรือขนาดพื้นที่ของวัตถุที่เล็กที่สุด ซึ่งอุปกรณ์รับรู้สามารถตรวจจับและแยกแยะได้

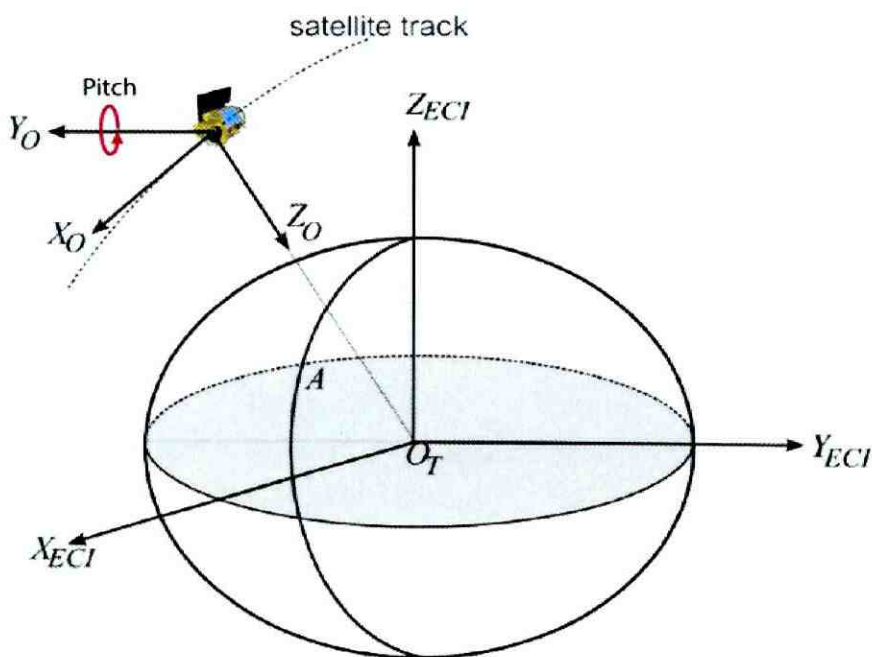
Ground Sampling Distance หมายถึง ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของ 2 จุดภาพ (Pixel) ที่อยู่ติดกัน แสดงระยะบนพื้นผิวโลกที่ปรากฏในหนึ่งจุดภาพ

Swath Width หมายถึง ความกว้างของแนวตรวจวัดบนพื้นดินที่สัมพันธ์กับสนามมุมมอง (Field of View) หรือเรียกว่า ความกว้างแนวบินที่ถ่ายภาพ

Across Track GSD หมายถึง ระยะของจุดกึ่งกลางจุดภาพ (Pixel) 2 จุด ที่เรียงอยู่ติดกันในแนวแกน X

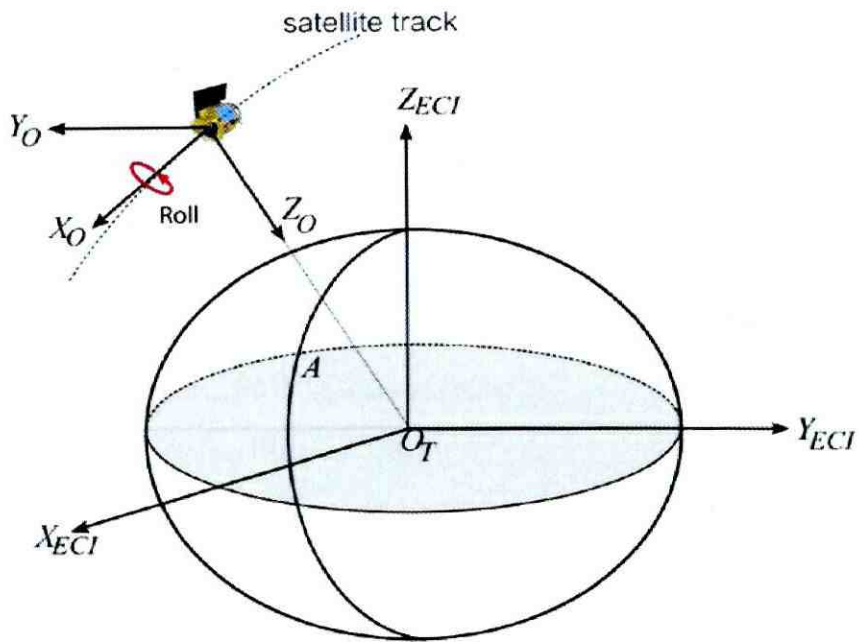
Along Track GSD หมายถึง ระยะของจุดกึ่งกลางจุดภาพ (Pixel) 2 จุด ที่เรียงอยู่ติดกันในแนวแกน Y

Pitch Angle หมายถึง มุมเอียงที่ใช้สำหรับการบันทึกภาพของดาวเทียมไทยโชด ในแนวเหนือ - ใต้ หรือค่ามุมหมุนระหว่างระบบพิกัด Instrument Frame และ Local Orbital Reference System ซึ่งเป็นมุมสำหรับการหมุนรอบแกน Y ดังภาพที่ 1-2



ภาพที่ 1-2 ภาพจำลองมุม Pitch บน Local Orbital Reference System และ Earth-Centered Inertial (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2556)

Roll Angle หมายถึง มุมเอียงที่ใช้สำหรับการบันทึกภาพของดาวเทียมไทยโชด
 ในแนว ตะวันออก – ตะวันตก หรือค่ามุมหมุนระหว่างระบบพิกัด Instrument Frame และ Local
 Orbital Reference System ซึ่งเป็นมุมสำหรับการหมุนรอบแกน X ดังภาพที่ 1-3



ภาพที่ 1-3 ภาพจำลองมุม Roll บน Local Orbital Reference System และ Earth-Centered Inertial
 (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2556)

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

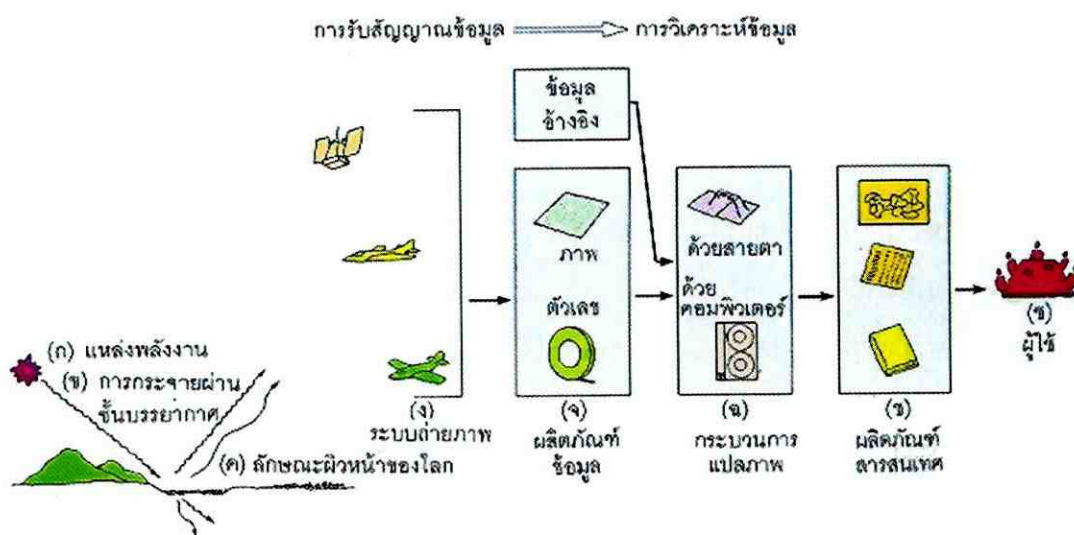
ในการศึกษาเพื่อคำนวณหาค่า Ground Sampling Distance ที่เกิดจากมุมเอียงและทิศทางในการถ่ายภาพที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของข้อมูลดาวเทียมไทยโชตครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษองค์ความรู้ แนวคิด ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นข้อมูลในการนำมาประยุกต์ในการวิจัยดังนี้

1. การรับรู้จากระยะไกล
2. คุณสมบัติและอุปกรณ์รับรู้ของดาวเทียมไทยโชต
3. ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม
4. ความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial resolution)
5. Ground Sampling Distance (GSD)
6. ทฤษฎีพีทาโกรัส (Pythagorean Theorem)
7. ทฤษฎี Spherical Laws of Cosines
8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การรับรู้จากระยะไกล

การรับรู้จากระยะไกล หรือ รีโมตเซนซิง (Remote Sensing) เป็นศัพท์วิชาการ ที่ใช้ครั้งแรกในประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1960 ซึ่งมีความหมายรวมถึงการทำแผนที่ การแปลภาพถ่ายธรณีวิทยาเชิงภาพถ่ายและศาสตร์สาขาอื่น ๆ อีกมากมาย ดังนั้น คำจำกัดความของรีโมตเซนซิง ในช่วงปี ค.ศ. 1960 คือ การใช้พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Radiation) ในการบันทึกภาพสิ่งที่อยู่โดยรอบ ซึ่งสามารถนำภาพมาทำการแปลตีความ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เป็นประโยชน์ (สมพร สง่าวงศ์, 2543) และหลังจากปี ค.ศ. 1960 เป็นต้นมา การใช้คำรีโมตเซนซิงเริ่มแพร่หลายมากขึ้นตามความแตกต่างของลักษณะวิชาที่เกี่ยวข้อง รวมถึงเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่ได้พัฒนาตามไปด้วย ซึ่งถูกเรียกรวมกันว่าเป็นเทคโนโลยีรีโมตเซนซิง สำหรับคำจำกัดความของรีโมตเซนซิง มีผู้บัญญัติศัพท์ไว้ในระยะต่อมามากหลายมากขึ้น อย่างไรก็ตาม คำจำกัดความเหล่านั้น ได้แสดงถึงแนวคิดพื้นฐานของรีโมตเซนซิง ดังนี้

การรับรู้จากระยะไกล หมายถึง การได้มาของข้อมูล (Data Acquisition) โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดที่อยู่ไกลออกไป และทำการสกัดสารสนเทศ (Information Extraction) ต่าง ๆ จากข้อมูลที่ได้มาจากการตรวจวัดเพื่อทำการวิเคราะห์และประมวลผล ซึ่งองค์ประกอบทั้งสองส่วนนี้มีกระบวนการเริ่มจากการส่งพลังงานจากแหล่งพลังงานเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูล การสกัดสารสนเทศต่าง ๆ ออกมาจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด ไปจนถึงการนำเข้าสู่ข้อมูลไปช่วยการสนับสนุนการตัดสินใจในเรื่องต่าง ๆ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552) รายละเอียดในแต่ละองค์ประกอบ ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 กระบวนการการรับรู้จากระยะไกล (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552)

1. การได้มาซึ่งข้อมูล (Data Acquisition) โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum) จากแหล่งกำเนิดพลังงาน (ดวงอาทิตย์) (ก) เคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศ (ข) เกิดปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับรูปลักษณะพื้นผิวโลก (ค) และเดินทางเข้าสู่อุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Sensor) ที่ติดตั้งในตัวยานสำรวจ (Airborne or Space Borne) (ง) และถูกบันทึก และผลิตเป็นข้อมูลในรูปแบบภาพ (Sensor Data in Pictorial หรือ Photograph) และ/ หรือรูปแบบเชิงตัวเลข (Digital Form) (จ)

2. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) ประกอบด้วยการแปลความข้อมูลด้วยสายตา (Visual Interpretation) และการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Digital Analysis) (จ) ซึ่งมีการปรับเทียบข้อมูลเบื้องต้นและการพิมพ์ภาพ (Preprocessing Calibration Development and Printing) การแปลตีความข้อมูล (Interpretation) ทั้งนี้ ต้องอาศัยพื้นฐานความรู้และความเข้าใจของผู้แปลและการตรวจสอบภาคสนาม เพื่อทำแผนที่และจัดการสารสนเทศต่อไป

Lillesand and Kiefer (1994) อธิบายความหมายของคำว่า รีโมตเซนซิง ว่าเป็น วิทยาศาสตร์และศิลปะในการได้มาซึ่งข้อสนเทศเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่ หรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่องบันทึกข้อมูล โดยปราศจากการเข้าไปสัมผัสวัตถุเป้าหมายโดยตรง

รีโมตเซนซิง หมายถึง การหาข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับวัตถุ สิ่งของ หรือพื้นที่เป้าหมาย ซึ่งอยู่ไกลจากเครื่องมือที่ใช้วัดหรือใช้บันทึก โดยที่เครื่องมือเหล่านั้นไม่ได้สัมผัสกับวัตถุ สิ่งของ หรือเป้าหมายดังกล่าว (ศุทธิณี คนตรี, 2549)

สุรชัย รัตนเสริมพงศ์ (2553) กล่าวว่า การรับรู้จากระยะไกลเป็นวิทยาศาสตร์และศิลปะของการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่ และปรากฏการณ์บนพื้นโลก จากเครื่องบันทึกข้อมูล โดยปราศจากการเข้าไปสัมผัสวัตถุเป้าหมาย ทั้งนี้ อาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการได้มาซึ่งข้อมูลใน 3 ลักษณะ คือ ช่วงคลื่น (Spectral) รูปทรงสัณฐานของวัตถุบนพื้นผิวโลก (Spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (Temporal)

จากคำนิยามและความหมายข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า การสำรวจระยะไกลเป็น วิทยาศาสตร์ ศิลปะ และเทคโนโลยี ที่เกี่ยวข้องกับการบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องมือที่ใช้วัดค่าพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนหรือแผ่ออกจากวัตถุ (Sensor) เช่น กล้องถ่ายรูป (Camera) หรือเครื่องกราดภาพหลายช่วงคลื่น (Multispectral Scanner) ที่ถูกติดตั้งบนยานพาหนะหรือยานสำรวจ (Platform) เช่น เครื่องบิน หรือ ดาวเทียมหลังจากนั้นข้อมูลที่ถูกบันทึกจะถูกนำมาแปลตีความจำแนก และวิเคราะห์ เพื่อให้เข้าใจถึงวัตถุและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ จากลักษณะเฉพาะตัวของการสะท้อนแสงหรือแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า

คุณสมบัติและอุปกรณ์รับรู้ของดาวเทียมไทยโชต

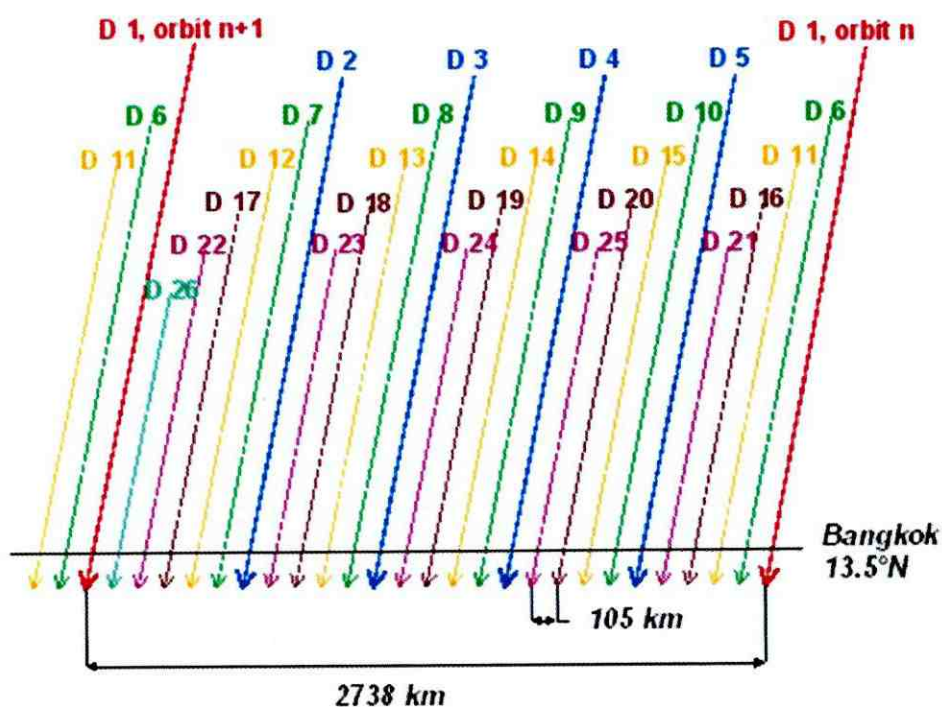
1. คุณสมบัติของดาวเทียมไทยโชต ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่สำคัญ ตามสถาปัตยกรรม การออกแบบดาวเทียมซึ่งมีรายละเอียด ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติของดาวเทียมไทยโชต (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552)

คุณสมบัติ	คำอธิบาย
น้ำหนัก	715 กิโลกรัม
ขนาด	2.1 เมตร x 2.1 เมตร x 2.4 เมตร
พลังงานไฟฟ้าและการจัดเก็บ	840 วัตต์ และแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน 75 แอมแปร์-ชั่วโมง
อายุการใช้งานโดยประมาณ	> 5 ปี
ขนาดหน่วยความจำ	51 กิกะบิต เมื่อเริ่มต้นอายุการใช้งาน
อัตราการบีบอัดข้อมูล	2.80 หรือ 3.75 สำหรับระบบ PAN 2.95 หรือ 3.75 สำหรับระบบ MS
อัตราการส่งข้อมูล	120 เมกะบิต/วินาที (X-band)
อุปกรณ์บันทึกภาพ	- กล้องโทรทรรศน์แบบแคสซิเกรน (ทำจากซิลิคอนคาร์ไบด์ SiC) สำหรับระบบ PAN - เลนส์สะท้อน (Reflective optics) สำหรับระบบ MS
ความสามารถในการเอียงถ่ายภาพ	$\pm 30^\circ$ เพื่อคุณภาพของข้อมูล $\pm 50^\circ$ เพื่อความรวดเร็วในการเข้าถึงข้อมูล
ความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งสถาปัตยกรรม	300 เมตร RMS มีระบบสำรองเพื่อป้องกันการทำงานล้มเหลวของอุปกรณ์ทุกชิ้น

2. วงโคจรดาวเทียมไทยโชต

ดาวเทียมไทยโชต เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรดวงแรกของประเทศไทย วงโคจรของดาวเทียมได้ถูกออกแบบให้สอดคล้องกับภารกิจการถ่ายภาพพื้นผิวโลกเพื่อการสำรวจทรัพยากร โดยมีลักษณะเป็นวงกลม (หรือใกล้เคียงวงกลม) ในแนวต่ำใกล้ขั้วโลก โคจรในแนวสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun-Synchronous Orbit) ทำมุมเอียงกับแกนเหนือ-ใต้ของโลกที่ 98.7 องศา ที่ระดับสูงประมาณ 823 กิโลเมตร เหนือพื้นผิวโลก ซึ่งเป็นวงโคจรในลักษณะเดียวกับวงโคจรของดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติที่ถ่ายภาพในช่วงคลื่นแสงส่วนใหญ่ ระยะเวลาต่อหนึ่งวงโคจรประมาณ 101.4 นาที สามารถถ่ายภาพซ้ำที่เดิมทุก ๆ 26 วัน (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552) ดังภาพที่ 2-2 แสดงแนวโคจรภาคพื้นดินของดาวเทียมไทยโชต และตารางที่ 2-2 แสดงองค์ประกอบของวงโคจร (Orbital Parameters)



ภาพที่ 2-2 แนวโคจรภาคพื้นดินของดาวเทียมไทยโชต (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552)

ตารางที่ 2-2 ระยะห่างแนวโคจรภาคพื้นดินของดาวเทียมไทยโชต (สำนักงานพัฒนา
เทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552)

ระยะห่างแนวโคจร	กรุงเทพมหานคร	เส้นศูนย์สูตร
ระยะห่างระหว่างแนวโคจร 2 แนวที่อยู่ติดกัน	105 กิโลเมตร	108 กิโลเมตร
ระยะห่างระหว่างแนวโคจร 2 แนวในวันที่ ต่อเนื่องกัน	527 กิโลเมตร	542 กิโลเมตร
ระยะห่างระหว่างแนวโคจร 2 แนวที่ต่อเนื่องกัน	2,738 กิโลเมตร	2,808 กิโลเมตร

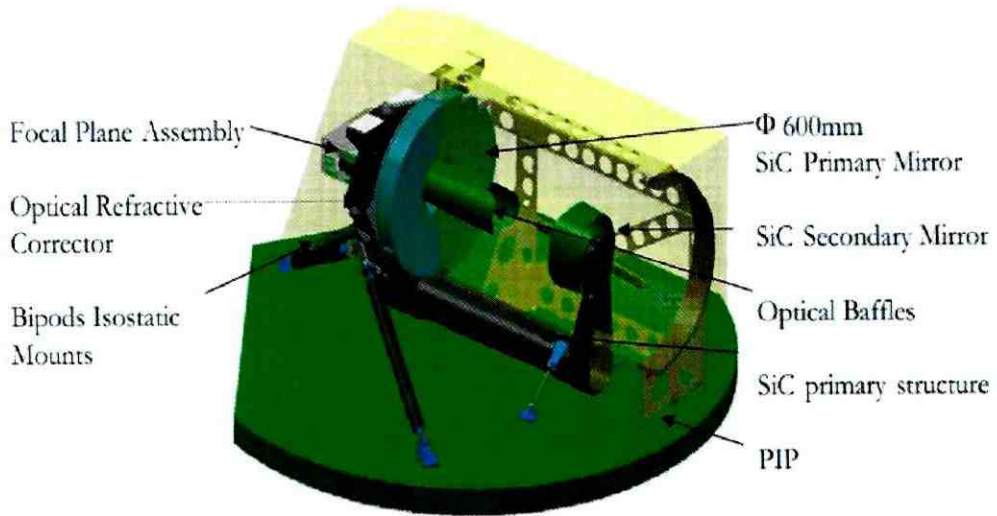
3. เวลาบันทึกภาพของดาวเทียมไทยโชต

เวลาที่ท้องฟ้าของวงโคจรดาวเทียมส่วนที่โคจรจากเหนือไปใต้ (Descending Node) จะเป็นเวลากลางวัน ดาวเทียมจะโคจรผ่านเส้นศูนย์สูตรในช่วงเวลา 10.00 น. ตามปกติการบันทึกภาพของดาวเทียมจะกระทำในช่วงเวลานี้ สำหรับในส่วนของวงโคจรดาวเทียมที่โคจรจากใต้ไปเหนือ (Ascending Node) จะเป็นเวลากลางคืน ระนาบวงโคจรของดาวเทียมทำมุม 30° กับทิศทางการโคจรของดวงอาทิตย์ ส่งผลให้ภาพถ่ายที่ได้แต่ละภาพมีระดับความสว่างใกล้เคียงกันและมีความสว่างสม่ำเสมอ หลีกเลียงแสงสะท้อนโดยตรงจากดวงอาทิตย์ ให้จุดสมจุดระหว่างเงากับการจำแนกวัตถุ นอกจากนี้ การถ่ายภาพในเวลาดังกล่าว ยังมีแนวโน้มที่จะมีเมฆน้อยกว่าในช่วงบ่าย แต่มีข้อจำกัดที่สำคัญคือ ไม่สามารถเลือกถ่ายภาพในเวลาอื่นได้ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2556)

4. อุปกรณ์รับรู้ของดาวเทียมไทยโชต

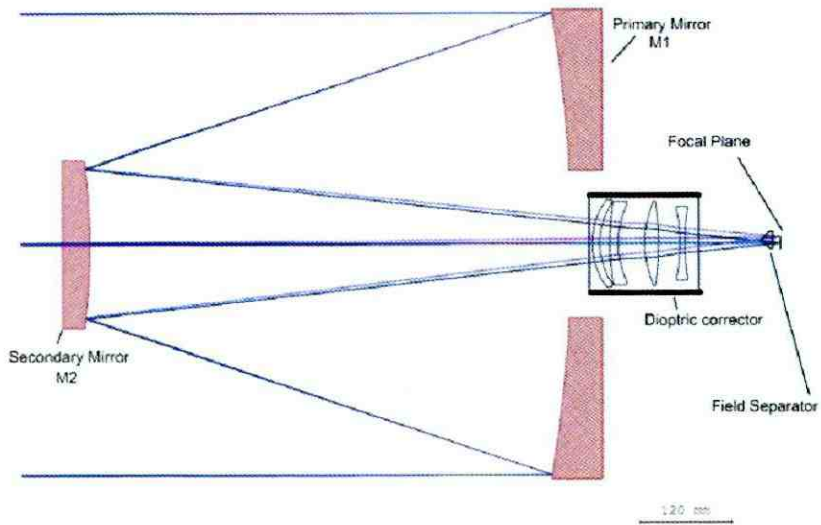
อุปกรณ์รับรู้ของดาวเทียมไทยโชตได้รับการคัดเลือก เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการใช้งานที่หลากหลายมีความเสถียรทนทานต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงได้สูง อุปกรณ์รับรู้ของดาวเทียมไทยโชตมี 2 ระบบ ได้แก่ กล้องถ่ายภาพแบบ Panchromatic (PAN) และกล้องถ่ายภาพหลายช่วงคลื่น Multispectral (MS) ดังนี้

4.1 กล้องถ่ายภาพแบบ Panchromatic (PAN) เป็นกล้องถ่ายภาพชนิดที่ใช้กระจกโค้งในการรวมแสงแทนเลนส์ เรียกกล้องประเภทนี้ว่า Cassegrain Telescope มีความยาวโฟกัส 2.89 เมตร การใช้กระจกบังกั้นทางเดินของแสงทำให้กล้องถ่ายภาพมีขนาดกระทัดรัดเหมาะสมกับการใช้งานบนดาวเทียม ดังภาพที่ 2-3 แสดงลักษณะทั่วไปของกล้องถ่ายภาพแบบ PAN

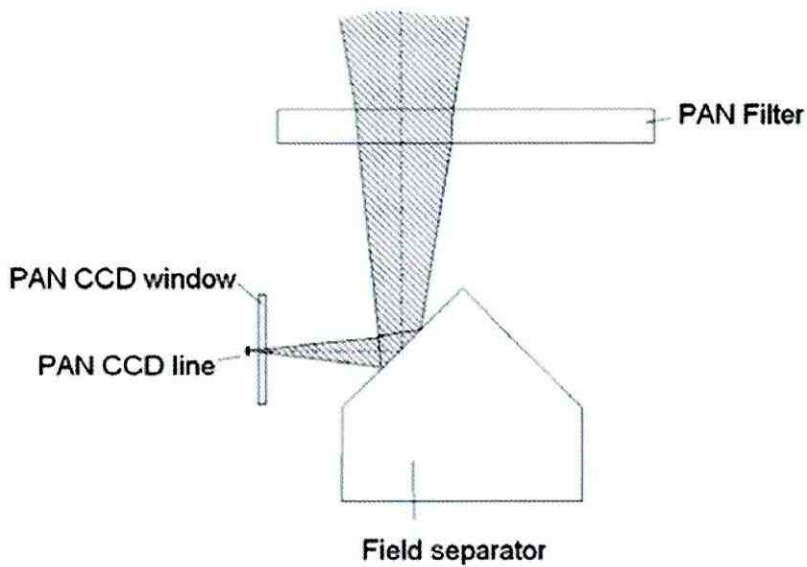


ภาพที่ 2-3 ภาพจำลองกล้องถ่ายภาพแบบ PAN ของดาวเทียมไทยโชต (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยี อวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2556)

กล้องถ่ายภาพแบบ PAN ประกอบด้วยกระจกโค้ง 2 ชั้น คือ Primary Mirror ที่เป็น กระจกเว้า (Concave Mirror) และ Secondary Mirror ซึ่งเป็นกระจกนูน (Convex Mirror) กระจกทำ ด้วยซิลิกอน กล้องถ่ายภาพมีช่องรับแสงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 600 มิลลิเมตร เมื่อแสงเดินทางจากวัตถุเข้ามาทางซ้ายมือของภาพมาสะท้อนที่ Primary Mirror (M1) ซึ่งมีช่องอยู่ตรงกลางไป ยัง Secondary Mirror (M2) จากนั้นจึงเดินทางผ่าน Dioptic Corrector หรือ PAN Filter ที่อยู่ในช่อง ของ M1 ที่ทำหน้าที่แก้ความเพี้ยน (Aberrations) ของกระจกทั้งสองไปยังพื้นรับภาพ (Focal Plane) ตกกระทบที่พื้นผิวของตัวรับรู้แบบ Charge-Coupled Device (CCD) ในกล้องถ่ายภาพ ดังภาพที่ 2-4 และสามารถแสดงให้เห็นรายละเอียดขององค์ประกอบที่ระนาบโฟกัส (Focal Plane Assembly) ภายในของกล้องถ่ายภาพแบบ PAN ดังภาพที่ 2-5



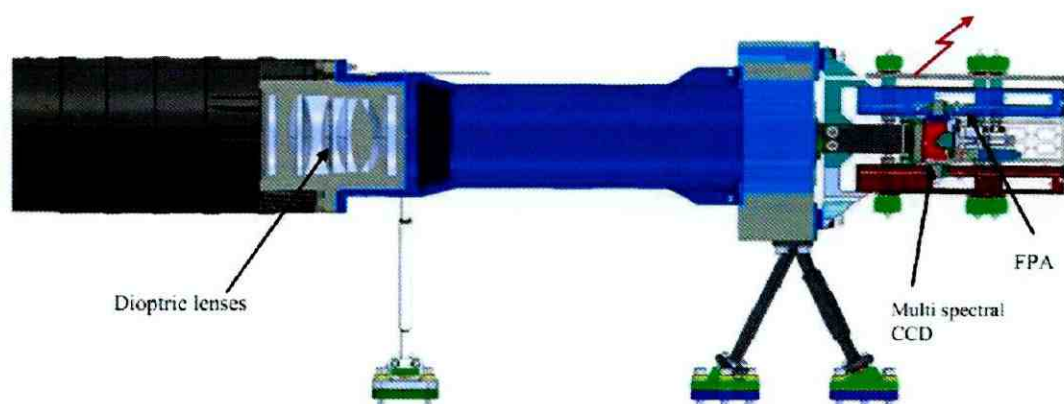
ภาพที่ 2-4 แผนผังเส้นทางการเดินของแสงในกล้องถ่ายภาพแบบ PAN ของดาวเทียมไทยโชด
(สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2556)



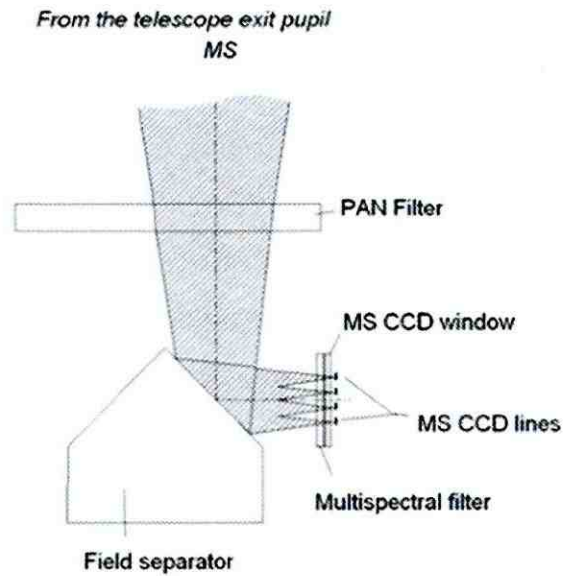
ภาพที่ 2-5 แผงจำลององค์ประกอบที่ระนาบโฟกัสของกล้องถ่ายภาพแบบ PAN (สำนักงานพัฒนา
เทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2556)

CCD กล้องถ่ายภาพ PAN ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสง (หรือ โฟตอน) ที่เดินทางเข้ามาในกล้องถ่ายภาพแล้วตกกระทบบนพื้นผิวของ CCD ให้เป็นประจุไฟฟ้า CCD ของกล้องถ่ายภาพแบบ PAN มีความไวแสงในช่วง 0.45-0.90 ไมโครเมตร ครอบคลุมช่วงคลื่นแสงที่ตามนุษย์มองเห็นเกือบทั้งหมด รวมทั้งช่วงคลื่นอินฟราเรด พื้นผิวของ CCD มีพื้นที่รับแสงในลักษณะเรียงเป็นแถว ประกอบด้วยช่องรับแสงจำนวน 12,000 ช่อง แต่ละช่องจะสร้างภาพ 1 จุดภาพ ในขณะที่ดาวเทียมถ่ายภาพแสงเดินทางผ่านกระจกหรือเลนส์มาตกกระทบที่พื้นผิวของ CCD จะเกิดประจุไฟฟ้า ซึ่งปริมาณประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะแปรผันไปตามระดับความเข้มของแสงที่ตกกระทบ จากนั้นสัญญาณไฟฟ้าจะถูกแปลงเป็นค่าในช่วงระหว่าง 0 – 4095 หรือคิดเป็นเนื้อที่สำหรับเก็บข้อมูลขนาด 12 บิต ค่าดังกล่าวนี้ คือ ค่าความสว่างของจุดภาพ

4.2 กล้องถ่ายภาพหลายช่วงคลื่น (Multispectral-MS) ใช้เลนส์เป็นตัวรวมแสงต่างจากกล้องถ่ายภาพแบบ PAN เลนส์ของกล้องถ่ายภาพแบบ MS ดังภาพที่ 2-6 มีความยาวโฟกัส 685 มิลลิเมตร เมื่อเปิดหน้ากล้อง แสงที่เดินทางจากวัตถุจะเข้าไปในกล้องผ่านระบบเลนส์ที่เรียกว่า Dioptric Lens (ประกอบด้วยเลนส์ 6 ชิ้น) ไปยัง PAN Filter ซึ่งมีหน้าที่กรองแสง แสงจาก PAN Filter จะมาตกกระทบที่ Field Separator ดังภาพที่ 2-7 แสงจะแยกออกตามความยาวคลื่นไปเป็นช่วงคลื่นต่าง ๆ 4 ช่วงคลื่น แสงแต่ละช่วงคลื่นจะไปตกกระทบที่ CCD จำนวน 4 แผง แยกตามช่วงคลื่น ในแต่ละแผงประกอบด้วย CCD จำนวน 1 แถวที่มี 6,000 ช่อง



ภาพที่ 2-6 ภาพจำลองอุปกรณ์รับรู้แบบ MS ของดาวเทียมไทยโชด (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2556)



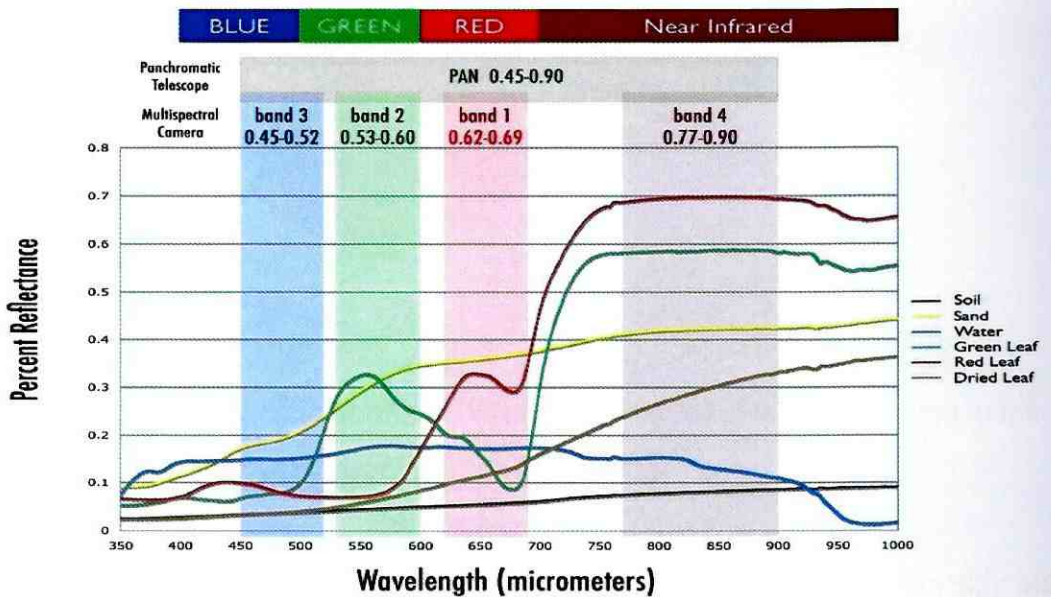
ภาพที่ 2-7 ฟังจำลององค์ประกอบที่ระนาบ โฟกัสของกล้องถ่ายภาพแบบ MS (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2556)

CCD ของกล้องถ่ายภาพแบบ MS มีความไวแสงใน 4 ช่วงคลื่น คือ 0.45 – 0.52 ไมโครเมตร 0.53 – 0.60 ไมโครเมตร 0.62 – 0.69 ไมโครเมตร และ 0.77 - 0.90 ไมโครเมตร ลักษณะการทำงานของ CCD ของกล้องถ่ายภาพแบบ MS จะเหมือนกับลักษณะการทำงานของ CCD ของกล้องถ่ายภาพแบบ PAN ทำให้การถ่ายภาพ 1 ครั้งจะได้ภาพถ่าย 4 ภาพ ๆ ละ 1 แถว กล่าวได้ว่าภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชดในแบบ MS 1 ภาพนั้นเกิดจากการถ่ายภาพหลาย ๆ ครั้ง เช่นเดียวกัน ทั้งนี้คุณสมบัติที่สำคัญของกล้องบันทึกภาพของดาวเทียมไทยโชดสามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2-3 คุณสมบัติที่สำคัญของกล้องบันทึกภาพของดาวเทียมไทยโชด (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552)

คุณสมบัติ	Panchromatic	Multispectral
รายละเอียดภาพ	2 เมตร	15 เมตร
จำนวนจุดภาพ	12,000 จุดภาพ	6,000 จุดภาพ
ความกว้างของแนวบันทึกภาพ	22 กิโลเมตร	90 กิโลเมตร

อุปกรณ์รับรู้อุปกรณ์ทั้ง 2 ชนิดมีความแตกต่างกันที่สำคัญคือ ช่วงความไวแสงของกล้องเพื่อตอบสนองความต้องการใช้งานที่แตกต่างกัน กล้องถ่ายภาพแบบ PAN จะมีความไวแสงในช่วงคลื่นที่กว้าง คือ 0.45 – 0.90 ไมโครเมตร ส่วนกล้องถ่ายภาพแบบ MS จะมีความไวแสงใน 4 ช่วงคลื่น (หรือแบนด์) คือ แบนด์ที่ 3 (Blue) มีความไวแสงในช่วง 0.45 – 0.52 ไมโครเมตร แบนด์ที่ 2 (Green) มีความไวแสงในช่วง 0.53 – 0.60 ไมโครเมตร แบนด์ที่ 1 (Red) มีความไวแสงในช่วง 0.62 – 0.69 ไมโครเมตร และแบนด์ที่ 4 (Near Infrared) มีความไวแสงในช่วง 0.77 – 0.90 ไมโครเมตร จะเห็นได้ว่าช่วงความไวแสงของกล้องแบบ PAN จะครอบคลุมความไวแสงในทุกช่วงคลื่นของกล้องถ่ายภาพแบบ MS ดังภาพที่ 2-8

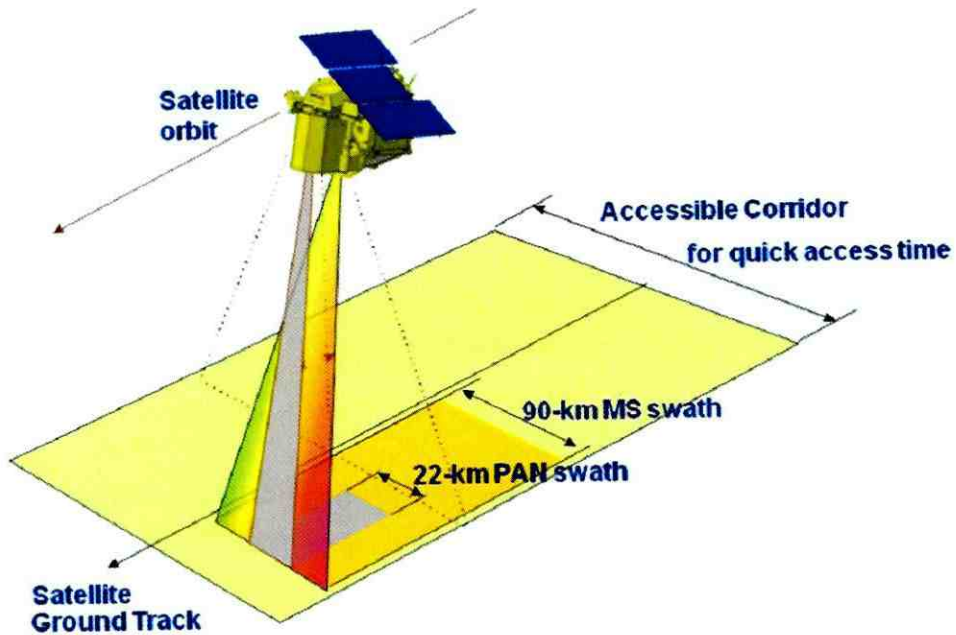


ภาพที่ 2-8 ช่วงความไวแสงของอุปกรณ์บันทึกภาพของดาวเทียมไทยโชด (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552)

5. การบันทึกภาพของดาวเทียมไทยโชด

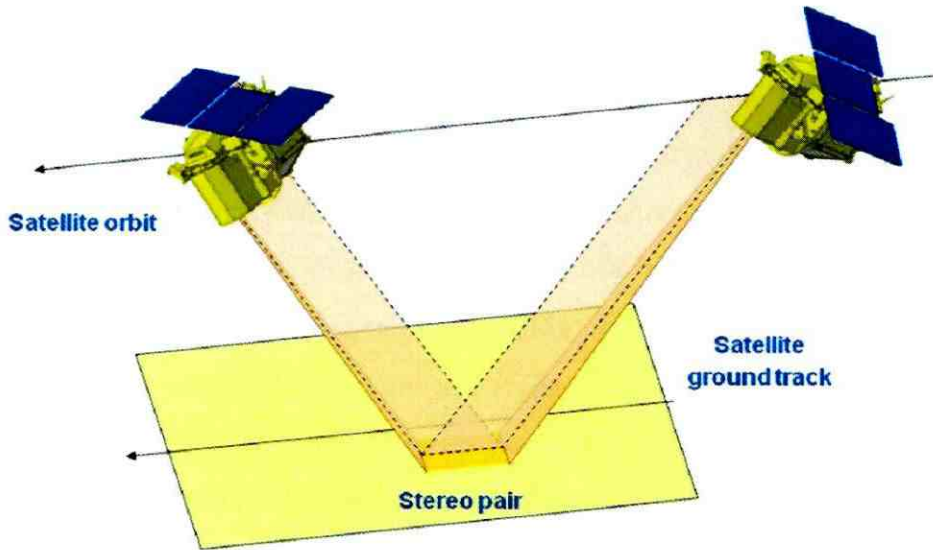
ขอบเขตการบันทึกภาพ (Accessible Area) คือ ส่วนของพื้นผิวโลกที่ดาวเทียมโคจรผ่าน และสามารถบันทึกภาพได้ ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวงโคจร ทิศทางการหันของดาวเทียม รวมถึงคุณภาพและความถูกต้องของข้อมูลที่ต้องการ ซึ่งสามารถบันทึกภาพและเก็บไว้ในอุปกรณ์บันทึกข้อมูลโซลิดสเตต (Solid State Recorder, SSR) เป็นแนวยาวต่อเนื่องได้นานถึง 10 นาที ซึ่งมีความยาวประมาณ 4,000 กิโลเมตร ภาพถ่ายที่ได้จากกล้องถ่ายภาพแบบ PAN จะมีความ

กว้างบนพื้นดินประมาณ 22 กิโลเมตร และภาพถ่ายที่ได้จากกล้องถ่ายภาพแบบ MS จะมีความกว้างบนพื้นดินประมาณ 90 กิโลเมตร ดังภาพที่ 2-9

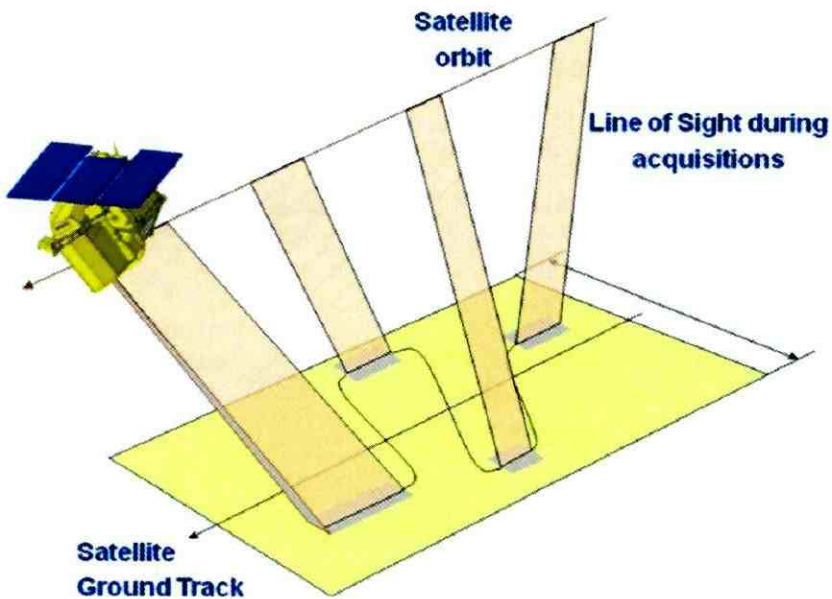


ภาพที่ 2-9 ลักษณะการบันทึกภาพแบบปกติของดาวเทียมไทยโชด (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552)

ดาวเทียมไทยโชดมีคุณสมบัติในการเอียงตัวออกนอกแนวโคจรเพื่อบันทึกภาพคู่ภาพถ่ายทรวดทรง (Stereo Pair) เพื่อแสดงถึงทรวดทรงของภูมิประเทศและสร้างแบบจำลองความสูงได้ ดังภาพที่ 2-10 ตลอดจนสามารถบันทึกภาพพื้นที่ที่ต้องการได้ในเวลาอันรวดเร็ว ช่วยให้เพิ่มความถี่ในการได้มาซึ่งข้อมูลมากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถปรับมุมเอียงได้สูงถึง 50 องศา เมื่อมีการกิจเร่งด่วน ภายใน 1 วัน ดาวเทียมสามารถถ่ายภาพได้กว่าร้อยละ 90 ของพื้นที่โลก ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับตำแหน่งละติจูดของพื้นที่ สำหรับประเทศไทยสามารถถ่ายภาพพื้นที่ที่ต้องการได้ถึง 9 ครั้งใน 26 วัน หรือ 126 ครั้งใน 1 ปี กล่าวคือ โดยเฉลี่ยแล้วสามารถถ่ายภาพได้ทุก ๆ 3 วัน และใช้เวลาไม่เกิน 5 วัน แต่โดยปกติแล้วการบันทึกภาพจะอยู่ภายใต้มุมเอียง 30 องศา ซึ่งเป็นมาตรฐานของดาวเทียมที่กำหนดไว้ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552) ดังภาพที่ 2-11

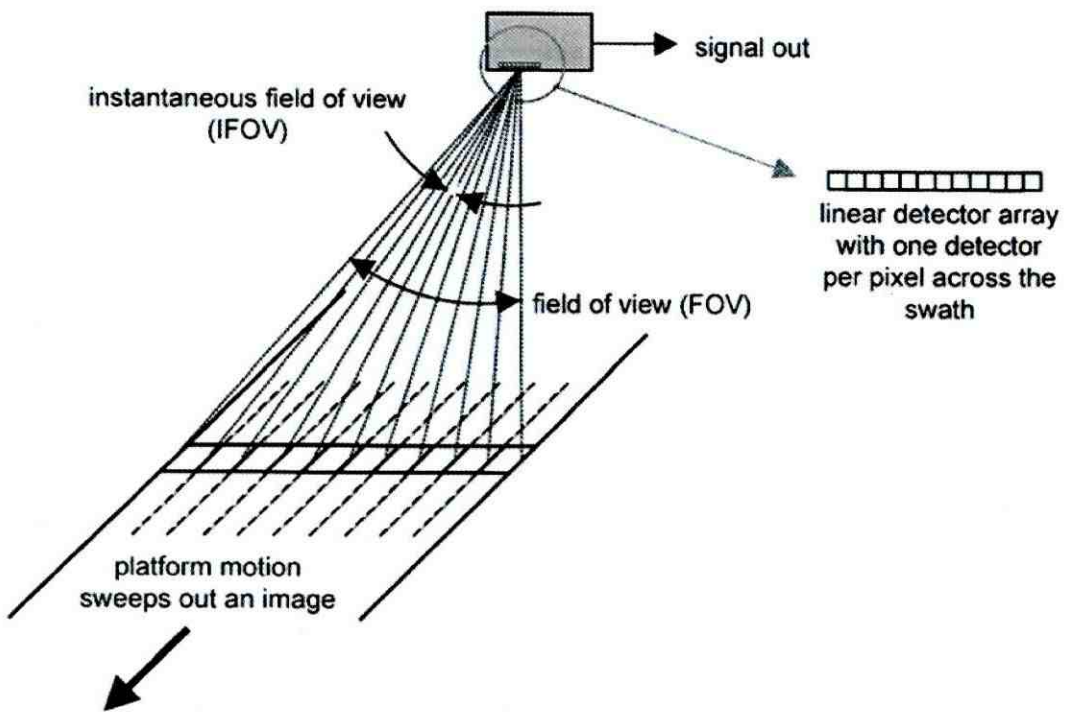


ภาพที่ 2-10 ลักษณะการบันทึกภาพคู่ภาพถ่ายทรวงตรง (Stereo Pair) (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยี อวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552)



ภาพที่ 2-11 การปรับเชิงตัวเพื่อบันทึกภาพของดาวเทียมไทยโชด (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยี อวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552)

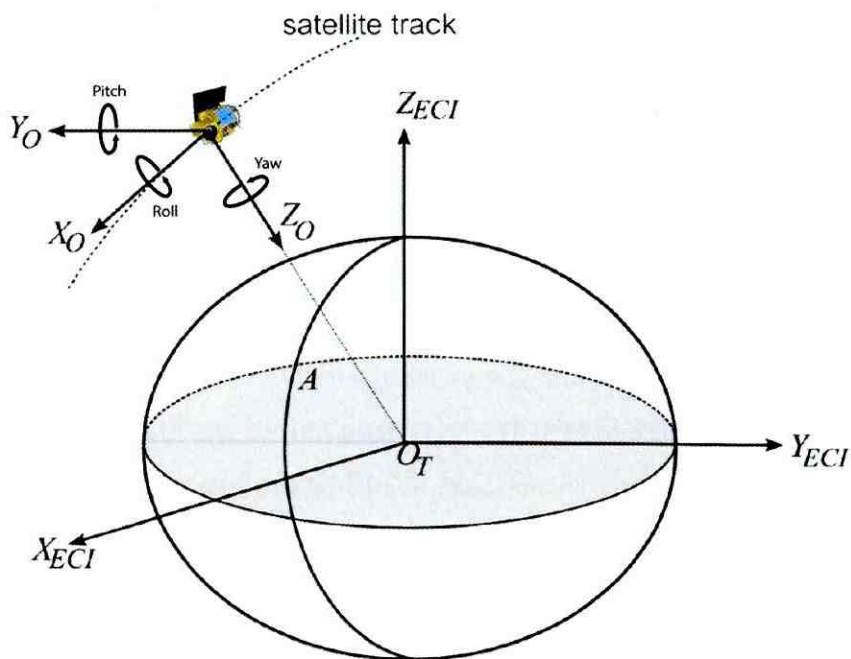
เมื่อพิจารณาลักษณะการบันทึกภาพของดาวเทียมไทยโชต จะพบว่า มีการบันทึกภาพที่ละแถวตามแนววงโคจร เรียกการถ่ายภาพในลักษณะนี้ว่า Pushbroom Imaging โดยเป็นการบันทึกแต่ละเส้นของภาพแบบอิเล็กทรอนิกส์ แล้วรวมเส้นที่ต่อเนื่องกันให้เป็นภาพที่สมบูรณ์ ตามการเคลื่อนที่ของแนวเล็ง (Line of Sight) หรือกล่าวได้ว่า ภาพถ่าย 1 ภาพ เกิดจากการบันทึกภาพหลาย ๆ ครั้ง ทำให้มีลักษณะทางเรขาคณิตที่ซับซ้อนกว่าการบันทึกภาพแบบเฟรม (Frame Imaging) ที่ภาพถ่าย 1 ภาพเกิดจากการบันทึกภาพเพียง 1 ครั้ง ในระหว่างที่ดาวเทียมไทยโชตบันทึกภาพด้วยอุปกรณ์รับรู้ ดาวเทียมจะเก็บข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดอื่น ๆ ที่ติดตั้งบนดาวเทียมด้วย เช่น เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส และ Star Tracker เป็นต้น ข้อมูลทั้งหมดจะถูกบันทึกลงในอุปกรณ์บันทึกข้อมูลแบบโซลิดสเตต (Solid State Recorder, SSR) (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2556) ดังภาพที่ 2-12



ภาพที่ 2-12 ภาพจำลองการถ่ายภาพแบบ Pushbroom (Richards and Jia, 2006)

ในขณะที่ดาวเทียมไทยโชตเคลื่อนที่ไปในอวกาศ ระบบควบคุมการวางตัว (Attitude Control System, ACS) ของดาวเทียมจะพยายามควบคุมแกนของระบบพิกัด Instrument Frame

ให้วางตัวขนานกับ Local Orbital Reference System ซึ่งเป็นระบบพิกัดฉาก 3 มิติ ประกอบด้วยแกน X_0, Y_0, Z_0 มีจุดกำเนิดอยู่ที่ O_0 (Spacecraft Center of Mass) เมื่อดาวเทียมเตรียมการถ่ายภาพ อาจมีการปรับเอียงตัวไปยังพื้นที่เป้าหมายที่ต้องการถ่ายภาพ ทำให้แกนพิกัดของระบบพิกัด Instrument Frame มีการวางตัวแตกต่างไปจาก Local Orbital Reference System ซึ่งดาวเทียมไทยโชตจะบันทึกค่ามุมหมุนระหว่างระบบพิกัด Instrument Frame และ Local Orbital Reference System ไว้ในชื่อ Roll, Pitch, Yaw ซึ่งเป็นมุมสำหรับการหมุนรอบแกน X, Y, Z ตามลำดับ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2556) ดังภาพที่ 2-13



ภาพที่ 2-13 Local Orbital Reference System และ Earth-Centered Inertial (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2556)

ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่ามุม Pitch คือ ค่ามุมหมุนระหว่างระบบพิกัด Instrument Frame และ Local Orbital Reference System ซึ่งเป็นมุมสำหรับการหมุนรอบแกน Y หรือเป็นมุมเอียงที่ใช้สำหรับการบันทึกภาพของดาวเทียมไทยโชตในแนว เหนือ – ใต้ ส่วนมุม Roll นั้น คือ ค่ามุมหมุนระหว่างระบบพิกัด Instrument Frame และ Local Orbital Reference System ซึ่งเป็นมุมสำหรับการหมุนรอบแกน X หรือเป็นมุมเอียงที่ใช้สำหรับการบันทึกภาพของดาวเทียมไทยโชตในแนว ตะวันออก – ตะวันตก

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

การได้มาซึ่งข้อมูลภาพ (Image Data) จากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรนั้น เป็นข้อมูลที่ได้จากพลังงานที่สะท้อนเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจวัด และจะถูกเก็บในรูปของข้อมูลดิจิทัล โดยมีโครงสร้างในรูปของตารางกริด ที่มีการอ้างอิงพิกัดเชิงพื้นที่ตามตำแหน่งของแถว (Row) และสดมภ์ (Column) (ศุทธิณี คนตรี, 2549) โดยแต่ละช่องกริด เรียกว่า จุดภาพ (Pixel) ซึ่งจะแสดงเป็นค่าตัวเลขจำนวนเต็มบวก ที่เรียกว่า ค่าหลักเลข (Digital Number – DN) เป็นตัวแทนของการแผ่รังสี (Radiance หรือ Spectral Brightness หรือ Reflectance Value) (กาญจน์เขจร ชูชีพ, 2546) การนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไปประยุกต์กับงานด้านต่าง ๆ นั้น จะต้องผ่านกระบวนการปรับแก้คุณภาพของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากระบบภาคพื้นดิน (Image Ground Segment) ของสถานีรับสัญญาณดาวเทียมหรือด้วยตัวผู้ใช้เอง ซึ่งประกอบด้วยกรรมวิธี ดังต่อไปนี้

1. การปรับแก้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

Lillesand and Kiefer (1994) กล่าวว่า ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยทั่วไปจะมีความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อนใน 2 ลักษณะ คือ ความคลาดเคลื่อนเชิงคลื่นรังสี (Radiometric Error) ซึ่งเกิดจากการรบกวนที่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศ หรือความบกพร่องของอุปกรณ์ตรวจวัดข้อมูลนั้น ๆ และความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต (Geometric Error) ซึ่งเกิดจากลักษณะความโค้งของโลก การหมุนรอบตัวเองของโลก และการโคจรของดาวเทียม เป็นต้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ความคลาดเคลื่อนเชิงคลื่นรังสี (Radiometric Errors) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจะมีความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อนเชิงคลื่นรังสีปรากฏอยู่เสมอ มีสาเหตุมาจากหลายประการ เช่น การรบกวนที่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศ หรือความบกพร่องของอุปกรณ์รับรู้นบนตัวดาวเทียม ทำให้เกิดความไม่ชัดเจน พร่ามัว หรือมีเส้นปะปน (Strip/ Noise) ปรากฏบนข้อมูลภาพจากดาวเทียม การแก้ความคลาดเคลื่อนดังกล่าว กระทำได้โดยการปรับแก้เชิงคลื่นรังสี (Radiometric Correction) โดยอาศัยข้อมูลจากการรับสัญญาณดาวเทียม ได้แก่ ค่ามุมยกของดวงอาทิตย์ (Sun Elevation Correction) มุมที่ดาวเทียมกระทำกับแสงดวงอาทิตย์ (Solar Illumination Angles) ค่ารังสีการตกกระทบ (Irradiance) การกระจายแสงในเส้นทางผ่าน (Path Radiance) ค่าการสะท้อนของวัตถุเป้าหมาย (Reflectance of Target) ค่าการส่งผ่านบรรยากาศ เป็นต้น (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552) การปรับแก้เชิงคลื่นรังสีมีวิธีการในการคำนวณที่ซับซ้อนมาก และต้องใช้ซอฟต์แวร์เฉพาะสำหรับการปรับแก้เชิงคลื่นรังสี ซึ่งมีวิธีการ ได้แก่

1.1.1 การชดเชยค่าการสะท้อนที่บิดเบือนของสภาวะอากาศ (Haze Compensation) เกิดขึ้นจากการกระจัดกระจายแสงในบรรยากาศ จึงทำให้เกิดการสลัวของแสง (Haze) ทำให้ภาพมีลักษณะไม่ชัดเจน ไม่คมชัด การแก้ไขทำได้โดยการลดผลการกระจัดกระจาย

แสงในบรรยากาศให้น้อยที่สุด โดยการเปรียบเทียบค่าความสว่างทั่วไปกับค่าความสว่างต่ำที่สุด (Zero Reflectance) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นวัตถุที่ดูดกลืนพลังงานมาก เช่น น้ำใสจะมีการดูดกลืนสูงมากในช่วงคลื่นอินฟราเรด

1.1.2 การเปลี่ยนค่าความสว่างเป็นค่าการแผ่รังสีสมบูรณ์ (Conversion of Digital Numbers to Absolute Radiance Value) เป็นการตรวจแก้คลื่นรังสีอีกวิธีหนึ่ง โดยการแปลงค่าความสว่างเป็นค่าการแผ่รังสี คำนวณจากข้อมูลค่าการแผ่รังสีสูงสุดและการแผ่รังสีต่ำสุดในแต่ละช่วงคลื่น

1.1.3 การลบสัญญาณรบกวน (Noise Removal) ผลจากความบกพร่องของเครื่องรับสัญญาณ ส่งผลให้เกิดสัญญาณรบกวนในข้อมูลภาพ หรือข้อมูลขาดหายไป ปรากฏเป็นเส้นแทรกอยู่ภายในเนื้อภาพ หรือเป็นจุดกระจายไปทั่วภาพ (Salt and Pepper Effect) การแก้ไขทำได้โดยใช้ตัวกรองภาพแบบค่าเฉลี่ยเลขคณิต หรือค่ากึ่งกลางเลขคณิต (Mean or Median Filters) มาคำนวณค่าเฉลี่ยจากจุดภาพอื่นที่อยู่โดยรอบบริเวณที่รับสัญญาณหายไป

1.2 ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต (Geometric Errors) ในกระบวนการรับรู้จากระยะไกลมักจะเกิดความบิดเบี้ยวของข้อมูลภาพที่ได้เสมอ อันเนื่องมาจากลักษณะของการวางตัวของดาวเทียมขณะทำการบันทึกภาพ ความโค้งงอของพื้นผิวโลก การหมุนรอบตัวเองของโลก เป็นต้น ก่อนนำข้อมูลภาพดาวเทียมไปใช้ประโยชน์ จำเป็นต้องมีการปรับแก้เชิงเรขาคณิต เพื่อให้ได้ภาพที่ถูกต้องตรงกับความเป็นจริงบนพื้นผิวโลก โดยการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต สามารถปรับแก้ตามสาเหตุหลัก 3 ประการ คือ

1.2.1 การปรับแก้ความบิดเบี้ยวอย่างเป็นระบบ (Systematic Distortions) เป็นการปรับแก้ตามค่าอ้างอิงเชิงเรขาคณิต ทำให้ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นสามารถแก้ไขได้อย่างมีระบบ สามารถปรับแก้โดยการสร้างแบบจำลอง (Model) ทางคณิตศาสตร์จากสาเหตุการบิดเบี้ยว และประยุกต์สูตรคำนวณทางคณิตศาสตร์มาทำการปรับแก้ความผิดพลาดนั้น ๆ

1.2.2 การปรับแก้ความบิดเบี้ยวอย่างไม่เป็นระบบ (Random Distortions) เป็นการตรวจแก้จากค่าพิกัดของระบบภาพไปสู่ระบบที่มีพิกัด สามารถแก้ไขโดยการกำหนดจุดอ้างอิงทางภูมิศาสตร์ (Ground Control Point) ให้กระจายทั่วภาพและทำการปรับแก้ข้อมูลนั้น

1.2.3 การปรับแก้แบบวิธีผสม (Combined Method) เป็นการปรับแก้โดยวิธีการปรับแก้ทั้งสองแบบ คือ การปรับแก้ความบิดเบี้ยวอย่างเป็นระบบ (Systematic Distortions) และการปรับแก้ความบิดเบี้ยวอย่างไม่เป็นระบบ (Random Distortions) ร่วมกัน ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมกระทำกันโดยทั่วไป โดยการปรับแก้ความบิดเบี้ยวอย่างเป็นระบบจะกระทำที่สถานีรับสัญญาณภาคพื้นดิน

ก่อนส่งให้กับผู้ใช้ข้อมูล และการปรับแก้ในแบบที่ไม่เป็นระบบจะกระทำโดยผู้ใช้งาน เพื่อให้ตรงกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

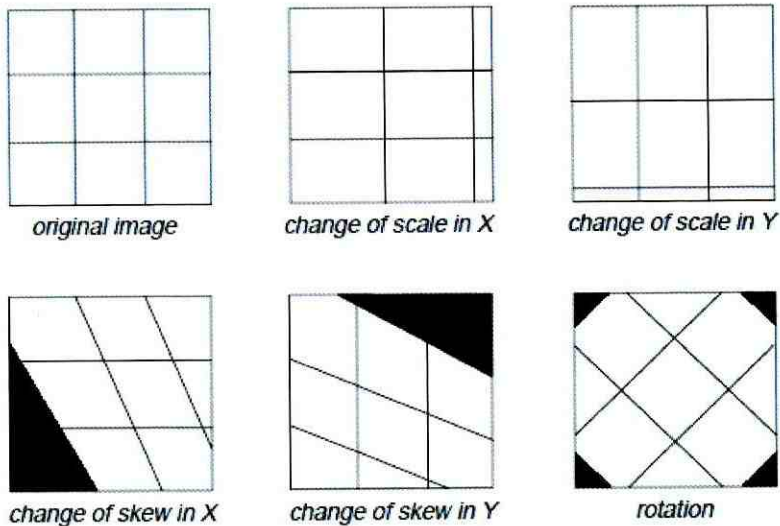
Pouncey, Swanson and Hart (1999) กล่าวว่า สมการการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิตแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การปรับแก้โดยใช้สมการเส้นตรง (Linear Transformation) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ปรับแก้ในเรื่องของมาตราส่วน (Scale) การขึ้นรูป (Offset) การหมุนของภาพ (Rotate) และการกลับหน้า กลับหลัง (Reflect) โดยใช้สมการเส้นตรงดังต่อไปนี้ และผลการปรับแก้โดยสมการเส้นตรงแสดงไว้ ดังภาพที่ 2-14

$$X_0 = b_1 + b_2 X_i + b_3 Y_i$$

$$Y_0 = a_1 + a_2 Y_i + a_3 X_i$$

เมื่อ X_i, Y_i เป็นพิกัดจากภาพต้นฉบับ และ X_0, Y_0 เป็นพิกัดภาพที่ได้จากการปรับแก้

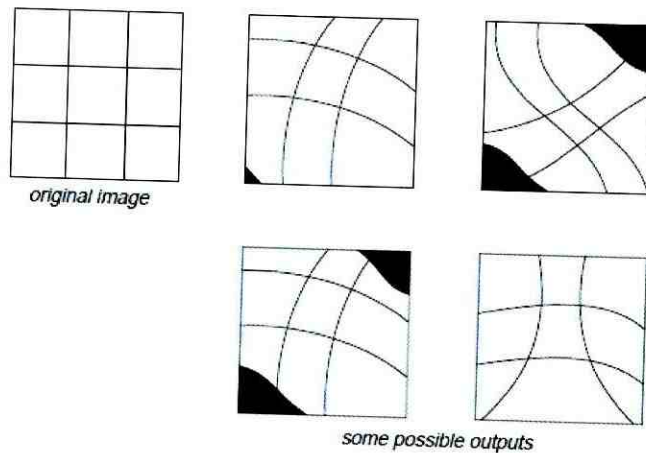


ภาพที่ 2-14 การปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตโดยใช้สมการเส้นตรง (Pouncey, Swanson and Hart, 1999)

2. การปรับแก้โดยสมการเส้นโค้ง (Nonlinear Transformation) เป็นสมการเส้นโค้ง ยกกำลังสองเป็นต้นไป ซึ่งมีวิธีการปรับแก้ข้อมูลภาพจากระบบพิกัดภูมิศาสตร์ ให้เป็นระบบพิกัด แผนที่ราบ (Plane Projection) ดังภาพที่ 2-15 และสมการเส้นโค้งยกกำลังสองใช้ในการปรับแก้ความ บิดเบี้ยวของภาพ ดังสมการที่ 2-1

$$X_o = a + bX + cY + dX^2 + eXY + fY^2 + \dots + \zeta X^i Y^j + \dots + \Omega Y^t \quad (2-1)$$

เมื่อ $a, b, c, d, e, f, \dots, \zeta, \Omega$ เป็น Coefficients ของการปรับแก้ข้อมูล
 t เป็นจำนวนสมการยกกำลัง
 i และ j เป็นเลขยกกำลัง



ภาพที่ 2-15 การปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตโดยใช้สมการเส้นโค้ง (Pouncey, Swanson and Hart, 1999)

การตรวจสอบค่าความถูกต้องจากการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิต (Root Mean Square Error) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2-2

$$RMS_{error} = \sqrt{(X_r - X_i)^2 + (Y_r - Y_i)^2} \quad (2-2)$$

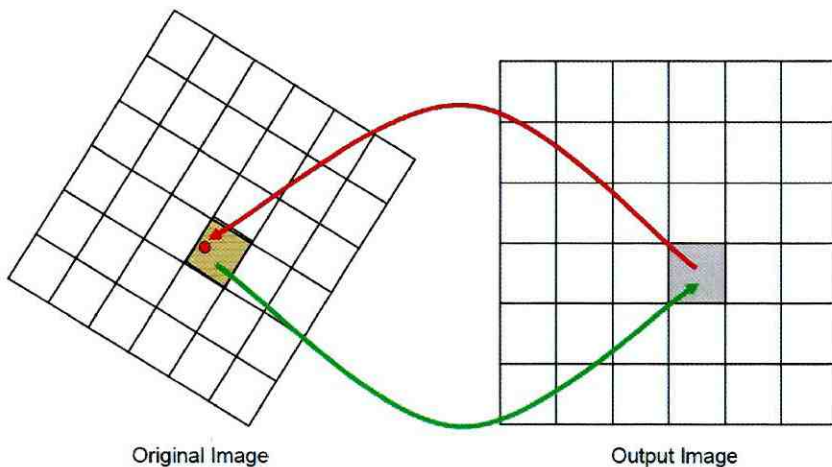
เมื่อ X_i, Y_i = พิกัดข้อมูลภาพต้นฉบับ

X_r, Y_r = พิกัดที่คำนวณได้หลังการปรับแก้

2. การกำหนดค่าให้กับจุดภาพใหม่ด้วยวิธีการสุ่มซ้ำ (Re-Sampling)

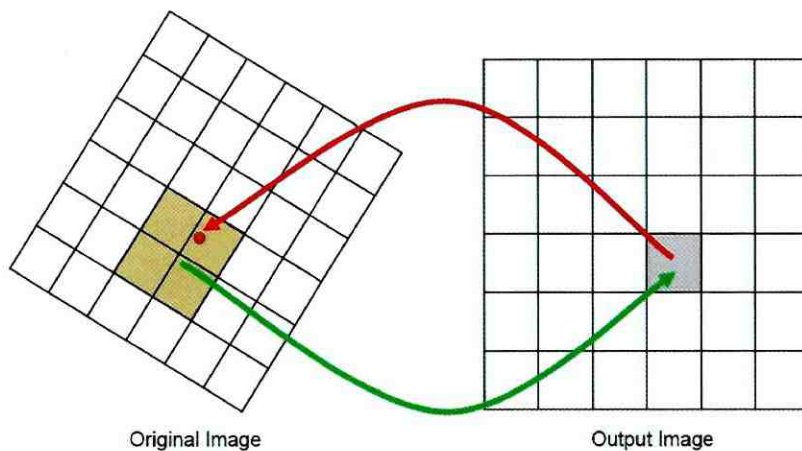
เป็นกระบวนการปรับแก้ค่าระดับสีเทาหรือเป็นการสร้างข้อมูลภาพใหม่ ภายหลังจากการปรับแก้ด้านตำแหน่งของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแล้ว ขนาดและตำแหน่งของจุดภาพจะมีการเปลี่ยนแปลงไป จึงมีกระบวนการจัดข้อมูลภาพใหม่ เพื่อให้ได้ค่าระดับค่าสีเทาที่สอดคล้องกับตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งการสร้างจุดภาพใหม่ ขนาดของจุดภาพ (Pixel Size) อาจจะมีขนาดเท่าเดิมหรือเปลี่ยนแปลงไปก็ได้ (จรัญธร บุญญานุกภาพ, ม.ป.ป.) ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำภาพไปใช้ประโยชน์ การประมาณค่าใหม่ให้กับจุดภาพมีด้วยกัน 3 วิธี คือ

2.1 การประมาณค่าจากตำแหน่งที่ใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor) เป็นการประมาณค่าจุดภาพใหม่ โดยการนำค่าความเข้มของจุดภาพเดิม ที่มีตำแหน่งอยู่ใกล้เคียงจุดภาพใหม่มากที่สุด เป็นวิธีที่นิยมใช้มาก และข้อมูลภาพใหม่จะยังคงรักษาค่าจุดภาพเดิมเอาไว้ ดังภาพที่ 2-16



ภาพที่ 2-16 Nearest Neighbor (วีระภาส คุณรัตนศิริ, ม.ป.ป.)

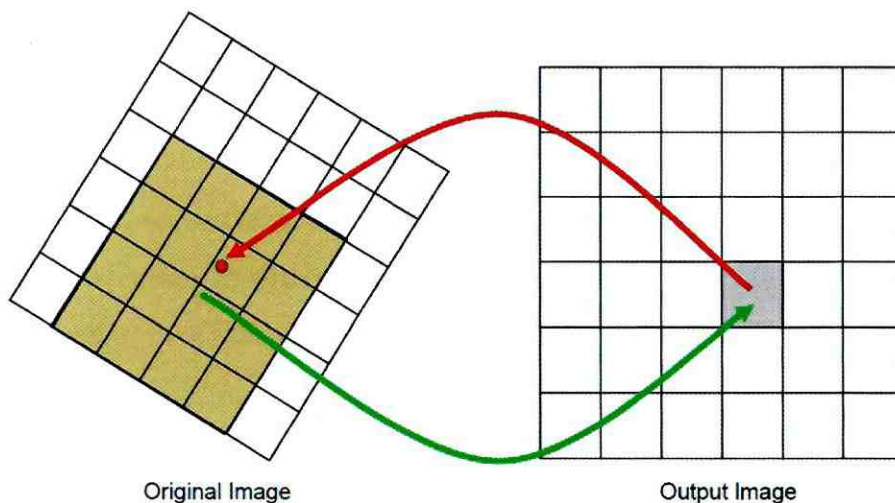
2.2 การประมาณค่าแบบเส้นคู่ (Bilinear Interpolation) เป็นการประมาณค่าจุดภาพใหม่ โดยการนำเอาค่าความเข้มของจุดภาพรอบข้างจำนวน 4 จุดภาพ มาใช้ในการคำนวณ เป็นการให้ค่าน้ำหนักจากระยะทางของจุดที่ไม่ทราบค่าความเข้มไปยังจุดที่ทราบค่า ซึ่งจุดภาพที่อยู่ใกล้จะมีค่าน้ำหนักมาก จุดภาพที่อยู่ห่างจากจุดภาพใหม่มากจะยังให้น้ำหนักน้อยลง วิธีนี้จะให้ข้อมูลภาพใหม่ที่ดูเรียบต่อเนื่อง (Smooth) ดังภาพที่ 2-17



ภาพที่ 2-17 Bilinear Interpolation (วีระภาส คุณรัตน์ศิริ, ม.ป.ป.)

2.3 การประมาณค่าแบบการประสานเชิงลูกบาศก์ (Cubic Convolution Interpolation)

เป็นการประมาณค่าของจุดภาพใหม่ โดยใช้ค่าของจุดภาพเดิมจำนวน 16 จุดภาพ โดยใช้สมการโพลีโนเมียล ประมาณค่าโดยใช้ค่าจุดภาพเดิมจนได้ค่า 4 Interpolants ที่เรียงอยู่ในแนวแกน Y หลังจากนั้นจะให้สมการโพลีโนเมียลอีกเส้นประมาณค่าของจุดภาพใหม่ที่ต้องการ โดยการใช้ค่า 4 ค่านี (สุรเชษฐ์ สีแดง, 2551) ซึ่งวิธีการนี้จะให้ข้อมูลภาพใหม่ที่มีความคมชัดและมีความต่อเนื่องของข้อมูลภาพ แต่ค่าของข้อมูลจะเปลี่ยนไปจากเดิมมาก ดังภาพที่ 2-18



ภาพที่ 2-18 Cubic Convolution Interpolation (วีระภาส คุณรัตน์ศิริ, ม.ป.ป.)

3. ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชด

ในขณะที่ดาวเทียมไทยโชดถ่ายภาพ ข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์รับรู้ต่าง ๆ บนดาวเทียม เช่น กล้องถ่ายภาพแบบ PAN กล้องถ่ายภาพแบบ MS เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส เป็นต้น จะถูกบันทึกเป็นข้อมูลดิบเก็บไว้บนดาวเทียม หลังจากนั้น ข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งลงมาจกดาวเทียมเก็บไว้ ณ สถานีภาคพื้นดินเรียกว่า Image Telemetry Data จากนั้น สถานีภาคพื้นดินจะดำเนินการวิธีขั้นต้นกับข้อมูลดังกล่าวได้เป็นผลิตภัณฑ์ระดับ 0 (Level 0) เก็บไว้ในคลังข้อมูลของสถานีภาคพื้นดิน ผลิตภัณฑ์ระดับ 0 นี้จะมีข้อมูลต่างๆ ทั้งที่เป็นข้อมูลภาพ (Image Data) และข้อมูลประกอบ (Auxiliary Data) ที่จำเป็นสำหรับผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ระดับที่สูงกว่าต่อไป ในกรณีที่ดาวเทียมถ่ายภาพต่อเนื่องเป็นแนวยาว ข้อมูลทั้งแนวก็จะถูกเก็บไว้ในผลิตภัณฑ์ระดับ 0 เมื่อต้องการสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ระดับสูงขึ้น ไปก็จะนำข้อมูลมาตัดเอาเฉพาะในส่วนที่ต้องการ ในกรณีที่ต้องการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หลายภาพต่อเนื่องกันจะต้องนำข้อมูลดังกล่าวมาตัดเป็นภาพขนาดมาตรฐาน (ภาพ PAN มีขนาด $12,000 \times 12,000$ จุดภาพ และภาพ MS จะมีขนาด $6,000 \times 6,000$ จุดภาพ) ที่มีส่วนเหลื่อมกัน พื้นที่เหลื่อมกันระหว่างภาพในกรณีของภาพถ่ายแบบ PAN จะมีขนาด 1,000 แกว ส่วนกรณีของภาพถ่ายแบบ MS จะมีขนาด 500 แกว หรือเท่ากับ $1/12$ ของภาพ

การดำเนินการวิธีเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ระดับสูงขึ้น ไปนั้นอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การดำเนินการวิธีเชิงเรขาคณิต (Geometric Processing) เป็นการขจัดความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิตที่มีอยู่ในภาพถ่ายดาวเทียม หรือเป็นการแก้ไขความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตที่เกิดขึ้นของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อให้ได้ภาพที่ถูกต้อง ตรงกับข้อเท็จจริงหรือความจริงบนพื้นโลก การดำเนินการวิธีกับภาพถ่ายดาวเทียมอีกประเภทหนึ่ง คือ การดำเนินการวิธีเชิงคลื่น (Radiometric Processing) เป็นการขจัดความคลาดเคลื่อนทางรังสีของภาพหรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการปรับระดับสีของภาพให้ถูกต้องยิ่งขึ้น

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชด ระดับ 1A

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (2552) ได้ให้ความหมายของข้อมูลภาพระดับ 1A คือ ภาพที่ได้รับการปรับแก้เชิงคลื่น ปรับระดับการตอบสนองสัมพัทธ์ของตัวตรวจวัด (Detector Equalization) และกำจัดความผิดพลาดเชิงคลื่น ช่วงคลื่น PAN และช่วงคลื่นสีแดงของระบบ MS ซึ่งเรียกว่า ช่วงคลื่นอ้างอิง จะไม่ได้รับการปรับแก้เชิงเรขาคณิต ส่วนช่วงคลื่น 3 ช่วงคลื่นที่เหลือจะได้รับการขยับ (Shifted) เพื่อทดแทนการเยื้องกันของข้อมูลในแต่ละช่วงคลื่น

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (2556) ได้ อธิบายความหมายของภาพระดับ 1A คือ เป็นภาพขั้นต้นซึ่งได้รับการดำเนินการวิธีเชิงคลื่น เพื่อ ชดเชยความแตกต่างทางความไวแสงของตัวรับรู้แต่ละตัวบนแผง CCD (Detector Equalization) และกำจัดความผิดพลาดเชิงคลื่นในช่วงคลื่น Panchromatic และช่วงคลื่นสีแดง (0.62 – 0.69) ของ ระบบ Multispectral ซึ่งเรียกว่า ช่วงคลื่นอ้างอิง จะไม่ได้รับการปรับแก้เชิงเรขาคณิต ส่วนช่วงคลื่น 3 ช่วงคลื่นที่เหลือจะได้รับการขยับ (Shifted) เพื่อทดแทนการเอียงกันของข้อมูลในแต่ละช่วงคลื่น ข้อมูลที่ได้จะเป็นภาพสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีความกว้างเท่ากับจำนวนของตัวรับรู้บนแผง CCD ภาพ Panchromatic จะมีขนาด 12,000 x 12,000 จุดภาพ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 22 ตารางกิโลเมตร และภาพ Multispectral จะมีขนาด 6,000 x 6,000 จุดภาพ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 90 ตาราง กิโลเมตร ทั้งนี้ แม้ว่าข้อมูลภาพระดับ 1A จะไม่ได้ผ่านกรรมวิธีปรับแก้เชิงเรขาคณิต แต่ก็มีข้อมูลค่าพิกัดที่มุมทั้ง 4 และจุดกึ่งกลางภาพถ่ายในระบบพิกัด WGS84 ซึ่งความละเอียดถูกต้องจะ ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์บนภาพถ่ายและการวางตัวของดาวเทียม ดังภาพที่ 2-19 และตารางที่ 2-4



ภาพที่ 2-19 ภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต Panchromatic ระดับ 1A (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยี อวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2556)

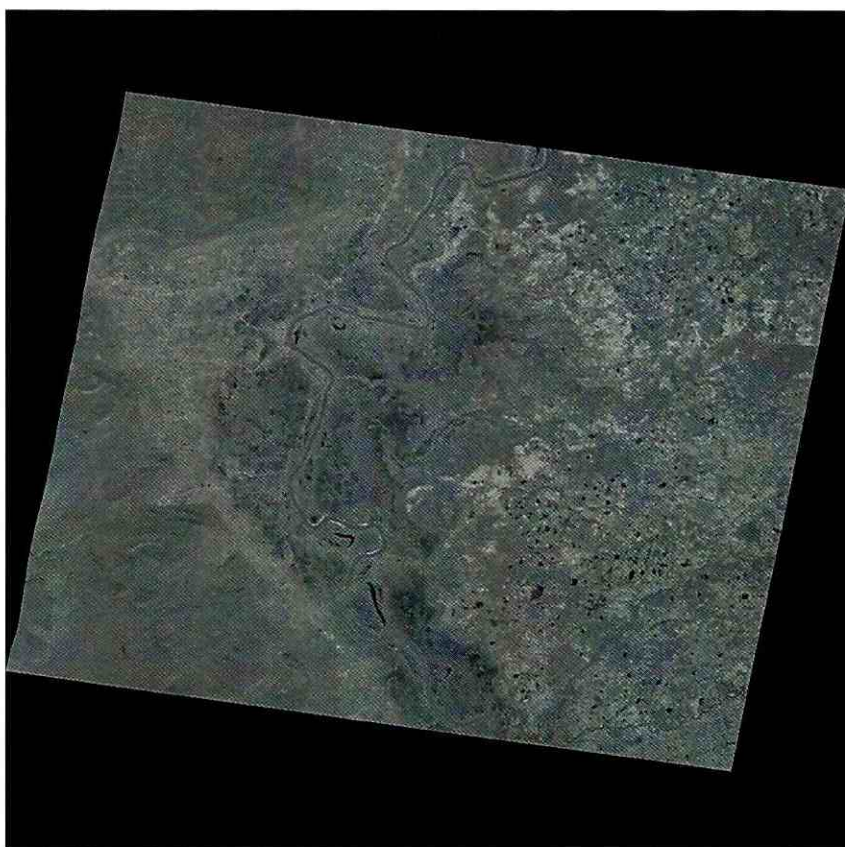
ตารางที่ 2-4 ขนาดภาพมาตรฐานของดาวเทียมไทยโชตระดับ 1A (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2556)

ระบบบันทึกภาพ	ขนาดภาพ (จุดภาพ)	พื้นที่ซ้อนทับ ระหว่างภาพ	ความกว้างแนว บันทึกภาพ
Panchromatic	12,000	1,000 จุดภาพ (2 กม.)	22 กม.
Multispectral	6,000	500 แถว (7.5 กม.)	90 กม.

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชต ระดับ 2A

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (2552) ได้ให้ความหมายว่า ภาพระดับ 2A จะได้รับการปรับแก้เชิงคลื่นเหมือนกับระดับ 1A นอกจากนี้ ยังได้รับการแก้ไขความผิดพลาดเชิงเรขาคณิตของแต่ละช่วงคลื่น (Registered) และการปรับแก้ความบิดเบือนเชิงภูมิศาสตร์ (Geocoded) นั่นคือ ได้รับการจัดข้อมูลใหม่บนระบบพิกัดเชิงแผนที่ (Cartographic Grid)

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (2556) ได้อธิบายความหมายของภาพระดับ 2A คือ ข้อมูลภาพที่ผ่านกระบวนการเช่นเดียวกับภาพระดับ 1A แต่เพิ่มกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิต โดยการกำหนดขนาดของจุดภาพให้คงที่ (PAN เท่ากับ 2 เมตร และ MS เท่ากับ 15 เมตร) ดัดแก้ภาพถ่ายโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากตัวรับรู้บนดาวเทียม ตำแหน่งของภาพถูกปรับให้สอดคล้องกับตำแหน่งบนพื้นดิน ค่าพิกัดของภาพจะอยู่ในระบบพิกัดของการฉายแผนที่ ระบบพิกัด UTM อ้างอิงพื้นหลักฐาน WGS84 อาจกล่าวได้ว่า ข้อมูลภาพระดับ 2A ก็คือ ภาพออร์โทที่สร้างขึ้นโดยไม่ได้ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินแต่ใช้แบบจำลองระดับสูงเชิงเลขที่มีความละเอียดต่ำนั่นเอง เมื่อข้อมูลภาพได้รับการกำหนดขนาดใหม่จากระบบภาคพื้นดิน (Re-Sampling) ส่งผลให้ขนาดของภาพระดับ 2A จึงมีความกว้างมากกว่าจำนวนของตัวรับรู้บนแผง CCD ดังภาพที่ 2-20 และตารางที่ 2-5



ภาพที่ 2-20 ภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต Panchromatic ระดับ 2A (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยี อวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2556)

ตารางที่ 2-5 ขนาดภาพมาตรฐานของดาวเทียมไทยโชตระดับ 2A (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยี อวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2556)

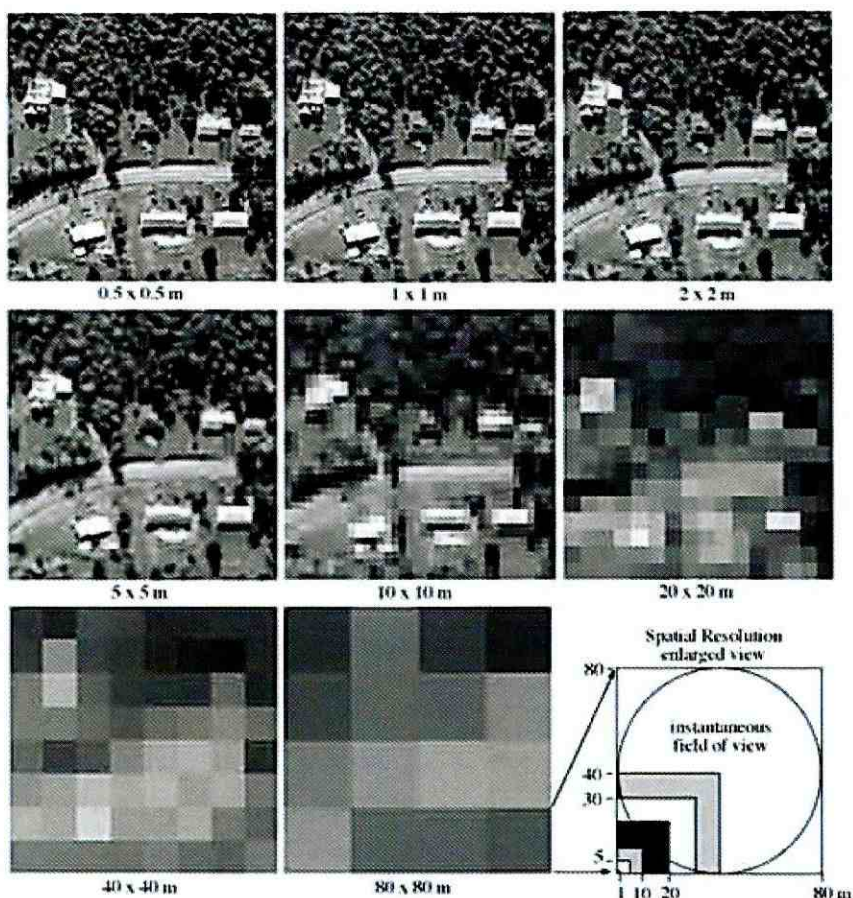
ระบบบันทึกภาพ	ขนาดภาพ (จุดภาพ)	พื้นที่ซ้อนทับ ระหว่างภาพ	ความกว้างแนว บันทึกภาพ
Panchromatic	12,000 - 20,000	~1,000 จุดภาพ (~2 กม.)	>22 กม.
Multispectral	6,000 - 10,000	~500 แถว (~7.5 กม.)	>90 กม.

ความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution)

Pouncey, Swanson and Hart (1999) กล่าวว่า รายละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution) หมายถึง ขนาดพื้นที่ของวัตถุที่เล็กที่สุด ซึ่งอุปกรณ์รับรู้สามารถตรวจจับและแยกแยะได้ หรือ หมายถึง พื้นที่ในภาคสนามที่แสดงโดย 1 จุดภาพ ตัวเลขยิ่งน้อยแสดงว่ายิ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง เช่น รายละเอียดเชิงพื้นที่ 79 เมตร จะหยาบกว่ารายละเอียดเชิงพื้นที่ 10 เมตร รายละเอียดเชิงพื้นที่ และมาตราส่วนไม่ใช่เรื่องเดียวกัน ภาพที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากันแต่อาจจะแสดงภาพในมาตราส่วนที่แตกต่างกันได้ อย่างไรก็ตาม ภาพที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่สูงกว่า จะสามารถแสดงภาพในมาตราส่วนที่ใหญ่กว่าได้ถ้าขนาดหรือระยะทางที่เราแยกแยะได้มีขนาดเล็ก หมายถึงว่า อุปกรณ์รับรู้ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง สิ่งที่ต้องพิจารณาก็คือ ส่วนประกอบย่อยของภาพ หรือ IFOV (Instantaneous Field of View) ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมรายละเอียดของจุดภาพ (Spatial Resolution)

ชาวลิต ศิลปทอง (2552) ความละเอียดของข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution) ขึ้นอยู่กับความละเอียดภาพบนพื้นดิน (Ground Resolution) ซึ่งหมายถึง ขนาดของพื้นที่ที่เล็กที่สุดที่เครื่องรับรู้สามารถบันทึกได้ หมายความว่า กรอบพื้นที่ขนาดเล็กที่สุดที่จะถูกแทนที่ด้วยค่าเชิงเลข 1 ค่า โดยเป็นค่าพลังงานเฉลี่ยของการสะท้อนจากวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่รวมกันในกรอบดังกล่าว เช่น ข้อมูลดาวเทียมความละเอียดภาพ 20 เมตร หมายถึง แต่ละจุดขนาด 20 x 20 เมตร บนพื้นดิน มีการสะท้อนเฉลี่ยเพียง 1 ค่า เป็นตัวแทนเฉลี่ยของวัตถุในกรอบนั้น ซึ่งเรียกว่า ค่าเชิงเลข หรือค่าจุดภาพ หรือค่าระดับสีเทา (Gray Scale)

ความละเอียดเชิงพื้นที่ของอุปกรณ์รับรู้ หมายถึง ขนาดของวัตถุหรือระยะบนพื้นดินที่เล็กที่สุดที่สามารถแยกแยะได้ (Ground Resolved Distance, GRD) จากข้อมูลภาพที่ได้จากการรับรู้ ถ้าขนาดหรือระยะทางที่แยกแยะได้มีขนาดเล็ก หมายถึงว่า อุปกรณ์รับรู้ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง ซึ่งขนาดของจุดภาพ (Ground Sampling Distance, GSD) และความละเอียดเชิงพื้นที่ หรือ GRD มีความหมายแตกต่างกัน (Richards and Jia, 2006) ขนาดของความละเอียดเชิงพื้นที่หรือ GRD จะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับสองเท่าของการสุ่มข้อมูลจากอุปกรณ์รับรู้ หรือขนาดจุดภาพ (Jansen, 2010) ในปัจจุบันการใช้งานข้อมูลภาพจากการสำรวจระยะไกลขนาดจุดภาพถูกนำมาใช้ในความหมายของความละเอียดเชิงพื้นที่ โดยละความหมายเดิมในการแยกแยะวัตถุบนพื้นดินไป จึงควรเน้นให้ชัดเจนว่า เมื่อระบุขนาดจุดภาพ 10 เมตร ไม่ได้หมายความว่าเราสามารถแยกแยะวัตถุที่มีขนาด 10 เมตร ได้ แต่จะแยกแยะวัตถุหรือพื้นที่ที่มีขนาดตั้งแต่ 20 เมตรขึ้นไปได้ ดังภาพที่



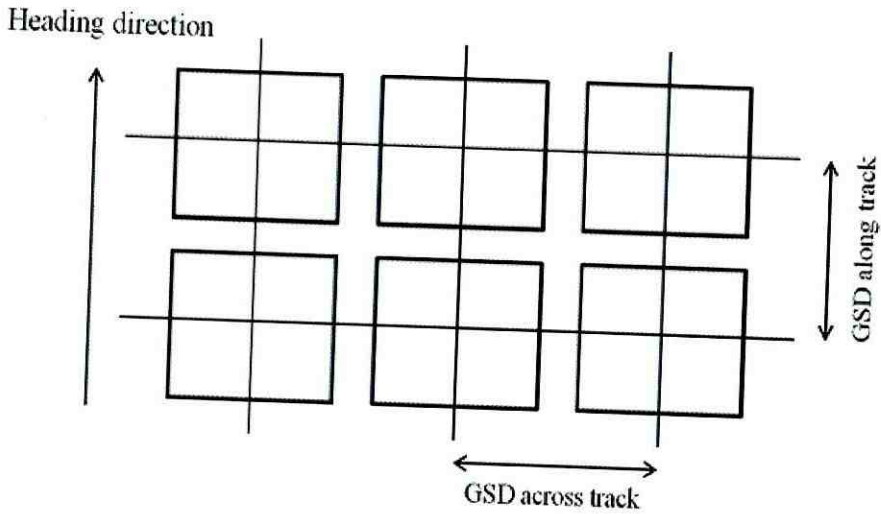
ภาพที่ 2-21 การจำลองขนาดจุดภาพต่าง ๆ กันในพื้นที่เดียวกัน (Jansen, 2010)

จากคำนิยามและความหมายข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า รายละเอียดเชิงพื้นที่คือ ขนาดของพื้นที่หรือวัตถุที่เล็กที่สุดบนพื้นโลก ที่อุปกรณ์รับรู้บนตัวดาวเทียมสามารถตรวจจับและแยกแยะได้ โดยแสดงผลในรูปแบบของขนาดจุดภาพซึ่งถูกบันทึกและแทนด้วยค่าเชิงเลข 1 ค่า ที่เป็นพลังงานสะท้อนกลับจากวัตถุ

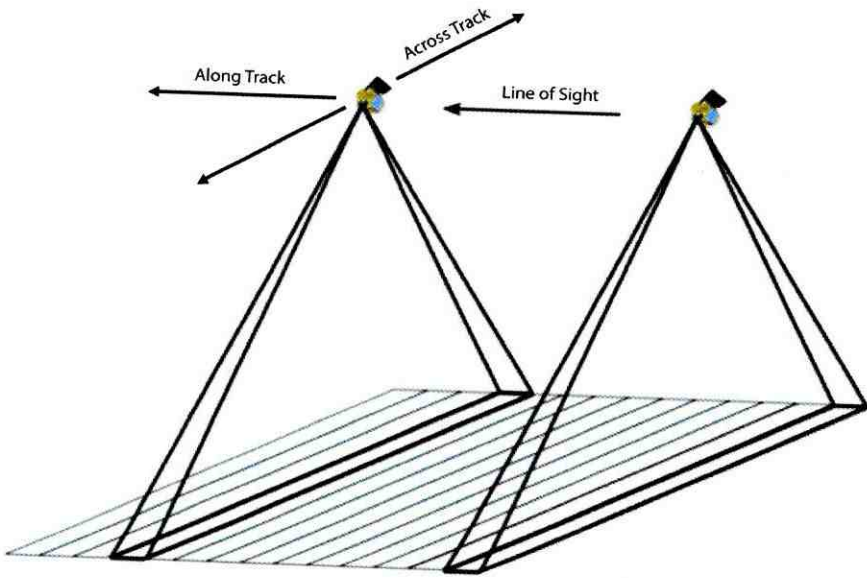
Ground Sampling Distance (GSD)

Robert A. (1997) ได้ให้ความหมายว่า Ground Sampling Distance (GSD) คือ ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของจุดภาพ (Pixel) ที่อยู่ติดกัน โดยแสดงผลขนาดจุดภาพเป็นระยะทางบนพื้นผิวโลก ซึ่งในการสำรวจจากระยะไกลอุปกรณ์รับรู้บนตัวดาวเทียมจะมีรูปแบบการแสดงผลค่า GSD ใน 2 ลักษณะ คือ Across Track GSD เป็นระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางจุดภาพในแนวแกน X (แถว) โดยเรียกมุมที่ใช้ในการถ่ายแนวนี้นว่า มุม Roll และ Along Track GSD เป็นระยะห่างระหว่าง

จุดกึ่งกลางจุดภาพในแนวแกน Y (สดมภ์) โดยเรียกมุมที่ใช้ในการถ่ายแนวนี้นว่า มุม Pitch ซึ่งค่า GSD ดังกล่าวจะมีความสัมพันธ์กับทิศทางและการเอียงตัวของดาวเทียมเพื่อบันทึกภาพ ดังภาพที่ 2-22 และภาพที่ 2-23

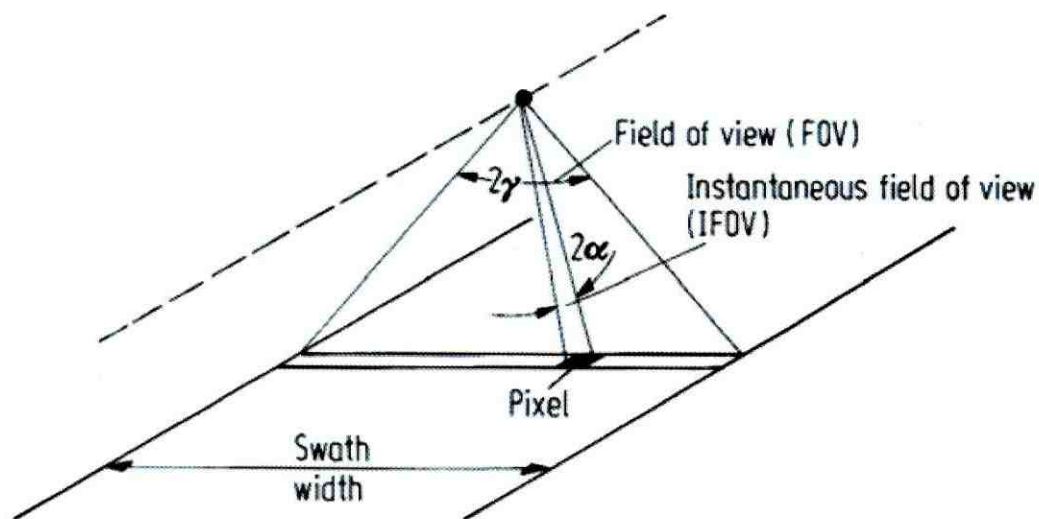


ภาพที่ 2-22 แบบจำลอง Across Track GSD และ Along Track GSD (Gwak and Hyarim, 2013)



ภาพที่ 2-23 แนวการบันทึกภาพ Along Track และ Across Track (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยี อวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2556)

การรับรู้จากระยะไกล แสงหรือพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนจากพื้นโลกเข้ามาสู่ ภายในมุมมองของอุปกรณ์รับรู้ จะถูกบันทึกเป็นค่าความสว่างของจุดภาพ ความกว้างของมุมมองนี้ เรียกว่า Instantaneous Field of View (IFOV) โดยขนาดของมุมมองจะถูกแสดงผลในแต่ละจุดภาพ (Pixel) เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการรับรู้ในแต่ละ IFOV มาเรียงชิดติดกันในลักษณะแถวและสดมภ์จะ เกิดเป็นข้อมูลภาพถ่าย ดังภาพที่ 2-24



ภาพที่ 2-24 The Concept of Field of View (FOV) and Instantaneous Field of View (IFOV)

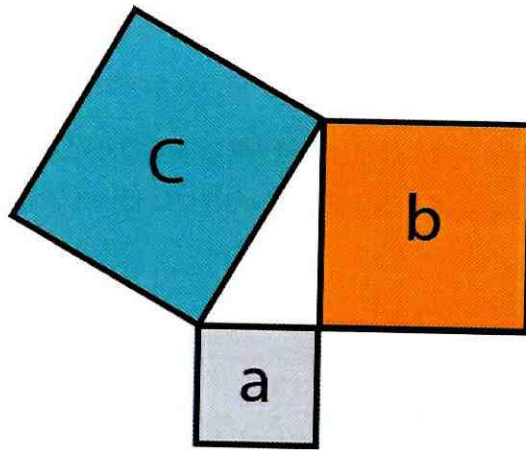
(Richards and Jia, 2006)

ขนาดจุดภาพจะเปรียบได้กับระยะห่างบนพื้นดินของการสุ่มข้อมูลจากอุปกรณ์รับรู้ หรือ Ground Sampling Distance (GSD) ซึ่งอุปกรณ์รับรู้จากระยะไกลในปัจจุบันส่วนใหญ่จะได้รับการออกแบบให้ขนาดจุดภาพมีขนาดเท่ากับระยะของการสุ่มข้อมูล ดังนั้น ขนาดจุดภาพกับ GSD จะเป็นสิ่งเดียวกัน ซึ่งมีความหมายแตกต่างจากความละเอียดเชิงพื้นที่ โดยขนาดของความละเอียดเชิงพื้นที่ จะต้องมีความมากกว่า หรือเท่ากับสองเท่าของการสุ่มข้อมูลจากอุปกรณ์รับรู้หรือขนาดจุดภาพ (GSD) (สมพงษ์ เลียง โรคาพาธ, 2552)

สามารถสรุปได้ว่า Ground Sampling Distance (GSD) คือ ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของ 2 จุดภาพ (Pixel) ที่อยู่ติดกัน โดยค่า GSD จะแสดงระยะบนพื้นผิวโลกที่ปรากฏในหนึ่งจุดภาพ

ทฤษฎีพีทาโกรัส (Pythagorean Theorem)

ในการคำนวณเพื่อหาระยะทางบนพื้นโลก ระหว่างจุดกึ่งกลางของ 2 จุดภาพ (หรือ จุดอ้างอิงใด ๆ 2 จุด ในแนวระนาบบนภาพถ่าย) อาศัยพื้นฐานทฤษฎีพีทาโกรัส ซึ่งแสดงความสัมพันธ์เรขาคณิตระหว่างด้านทั้งสามของสามเหลี่ยมมุมฉาก กำลังสองของด้านตรงข้ามมุมฉากเท่ากับผลรวมของกำลังสองของอีกสองด้านที่เหลือ ดังภาพที่ 2-25



ภาพที่ 2-25 ทฤษฎีพีทาโกรัส (Kristin, 2006)

ทฤษฎีบทดังกล่าว สามารถเขียนเป็นสมการสัมพันธ์กับความยาวของด้าน a , b และ c ได้ ซึ่งเรียกว่า สมการพีทาโกรัส ดังสมการที่ 2-3

$$a^2 + b^2 = c^2 \quad (2-3)$$

โดยที่ c เป็นความยาวด้านตรงข้ามมุมฉาก a และ b เป็นความยาวของอีกสองด้านที่เหลือ ถ้าทราบความยาวของทั้ง a และ b ค่า c จะสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2-4

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2-4)$$

ถ้าทราบความยาวด้านตรงข้ามมุมฉาก c และด้านประชิดมุมฉากด้านใดด้านหนึ่ง (a หรือ b) แล้ว ความยาวด้านที่เหลือสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2-5

$$a = \sqrt{c^2 - b^2} \quad \text{หรือ} \quad b = \sqrt{c^2 - a^2} \quad (2-5)$$

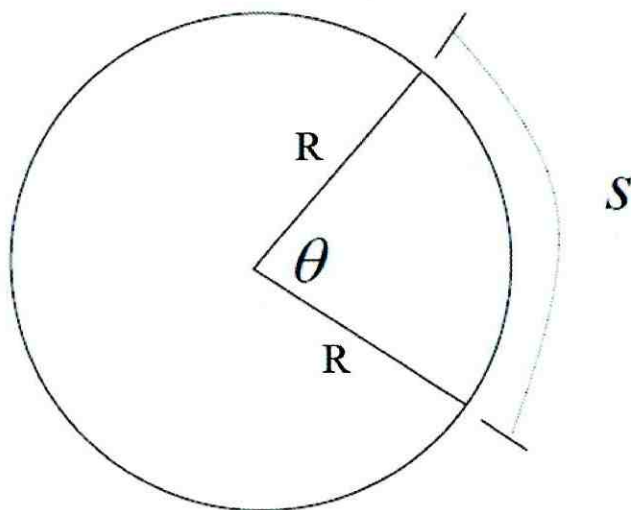
Kristin K. (2006) กล่าวว่า ทฤษฎีพีทาโกรัสกำหนดความสัมพันธ์ของด้านทั้งสามของสามเหลี่ยมมุมฉากอย่างง่าย เพื่อที่ว่าถ้าทราบความยาวของด้านสองด้าน ก็จะสามารถหาความยาวของด้านที่เหลือได้

อีกบทแทรกหนึ่งของทฤษฎีบทพีทาโกรัส คือ ในสามเหลี่ยมมุมฉากใด ๆ ด้านตรงข้ามมุมฉากจะยาวกว่าสองด้านที่เหลือ แต่สั้นกว่าผลรวมของด้านทั้งสอง ซึ่งสามารถกล่าวโดยสรุปได้เป็นกฎของโคซายน์ เมื่อให้ความยาวของด้านทั้งสองและขนาดของมุมระหว่างด้านนั้นมา จะสามารถคำนวณหาความยาวด้านที่สามของสามเหลี่ยมใด ๆ ได้ ถ้ามุมระหว่างด้านเป็นมุมฉาก

กล่าวได้ว่า หากต้องการทราบระยะห่างระหว่าง 2 จุดภาพ หรือ 2 จุดอ้างอิงใด ๆ บนภาพที่ถ่ายทอดลงบนพื้นโลก ก็จะสามารถคำนวณได้จากการกำหนดจุดอ้างอิง 2 จุด และอาศัยพื้นฐานทฤษฎีบทพีทาโกรัสในการคำนวณระยะห่างระหว่าง 2 จุดอ้างอิงนั้น ๆ

ทฤษฎี Spherical Laws of Cosines

John D. (2012) กล่าวว่า ในการคำนวณหาระยะห่างระหว่างจุดอ้างอิง 2 จุดบนพื้นโลก จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยส่วนโค้งของโลก ซึ่งใช้พื้นฐานทฤษฎีทางด้านสามเหลี่ยมตรีโกณมิติ ซึ่งประกอบด้วยรูปสามเหลี่ยมที่มีด้านประกอบเป็นส่วนโค้งรองรับทั้งสามด้าน หากต้องการคำนวณหาระยะทางระหว่าง 2 จุดอ้างอิงบนพื้นโลก บนสมมติฐานที่ว่า โลกมีลักษณะคล้ายวงกลมหรือทรงรีที่มีแกน (Spheroid) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากหลักการที่ว่า มุมในหน่วยเรเดียน คือ อัตราส่วนระหว่างส่วนโค้งที่รองรับมุมกับรัศมีวงกลม หรือ มุม 1 เรเดียน นั้น มีค่าเท่ากับ มุมที่จุดศูนย์กลางของวงกลมที่มีเส้นโค้งรองรับมุมยาวเท่ากับรัศมี ดังสมการที่ 2-6 และภาพที่ 2-26



ภาพที่ 2-26 มุมเรเดียนที่จุดศูนย์กลางของวงกลม (Dona, 1998)

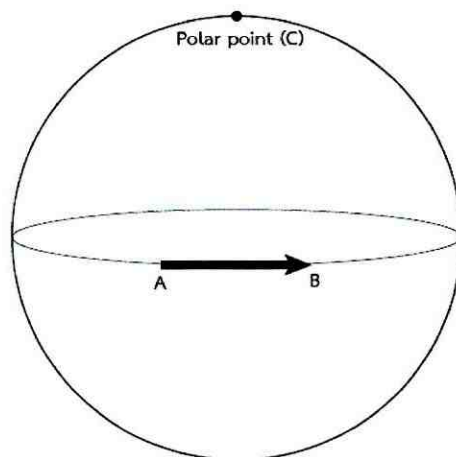
$$\text{เมื่อ } \theta = \frac{S}{R} \text{ หรือ } S = R \times \theta \quad (2-6)$$

S = ความยาวของส่วนโค้งที่รองรับมุม θ

R = รัศมีของวงกลม

θ = มุมที่จุดศูนย์กลางวงกลมในหน่วยเรเดียน

จากทฤษฎี Spherical Laws of Cosines ซึ่งว่าด้วยความสัมพันธ์ระหว่างด้านและมุมของรูปสามเหลี่ยมที่มีด้านทั้งสามเป็นส่วนโค้งของทรงกลม ซึ่งเป็นการปรับประยุกต์กฎของโคไซน์เพื่อใช้คำนวณหาระยะทางระหว่างจุดอ้างอิง 2 จุด บนพื้นโลก จากความสัมพันธ์ดังกล่าวจึงจำเป็นต้องทราบจุดอ้างอิง 3 ตำแหน่ง โดยใช้จุดอ้างอิงที่ขั้วโลก (90° , Long) เป็นจุดอ้างอิงที่ 3 ในการคำนวณหามุมเรเดียนระหว่างจุดอ้างอิง 2 จุด ที่ต้องการคำนวณระยะทางบนพื้นโลก (John, 2006) ดังภาพที่ 2-27

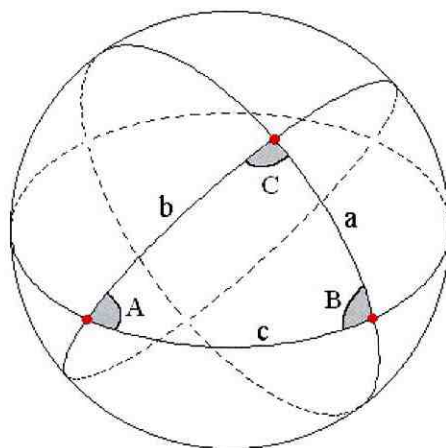


ภาพที่ 2-27 ทฤษฎี Spherical Laws of Cosines ระหว่างจุด A และ B โดยกำหนดจุดอ้างอิงที่ขั้วโลก (Kwong, 2010)

ทั้งนี้สามารถสร้างสามเหลี่ยมที่ด้านทั้งสามเป็นส่วนโค้งบนทรงกลมได้จากการสร้างวงกลมใหญ่เชื่อมจุด 3 จุด คือ A, B และ C ดังรูป และถ้าความยาวของส่วนโค้งทั้ง 3 เท่ากับ c (ลากจาก A ถึง B), b (ลากจาก A ถึง C) และ a (ลากจาก C ถึง B) ตามลำดับ และกำหนดมุมตรงข้ามด้านส่วนโค้ง a เป็น A เราจะสามารถเขียนความสัมพันธ์ตามกฎของโคไซน์ทรงกลมได้ ดังภาพที่ 2-28 และสมการที่ 2-7

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \times \sin c \times \cos A$$

$$\text{หรือมุม (Radian) } a = \cos^{-1}(\cos b \times \cos c + \sin b \times \sin c \times \cos A) \quad (2-7)$$



ภาพที่ 2-28 ภาพจำลองทฤษฎี Spherical Laws of Cosines (John, 2006)

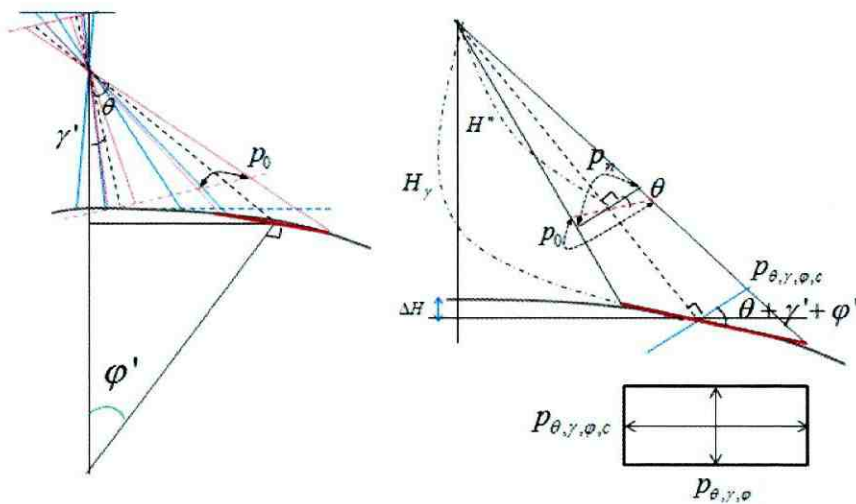
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jeng Shing Chern (2004) ได้ทำการทดสอบค่า Ground Sampling Distance (GSD) ของดาวเทียม ROCSAT-2 โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายระบบ Panchromatic รายละเอียด 2 เมตร เป็นความละเอียดในการจำแนกพื้นที่ที่ได้ดีกว่าภาพ Multispectral ซึ่งพื้นที่ทดสอบสะพาน Peng Hu ประเทศไต้หวัน โดยคำนวณจากอัตราส่วนของความยาวสะพานและจำนวนจุดภาพที่ปรากฏบนข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งระยะความยาวของสะพานที่แน่นอน คือ 2,494 เมตร เปรียบได้กับระยะทางบนพื้นโลก จากนั้น จึงนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมานับจำนวนจุดภาพ (Pixel) ที่ครอบคลุมระยะห่างของจุดอ้างอิง (ปลายสะพานทั้ง 2 ด้าน) พบว่า แสดงจำนวน 1,230 Pixel ดังนั้น ค่าจึงสามารถหาค่า GSD ได้จากอัตราส่วนของระยะห่างจุดอ้างอิงเดียวกันบนพื้นโลกต่อระยะบนภาพ (2494/ 1230) ค่า GSD จึงเท่ากับ 2.03 เมตร ซึ่งผลจากการทดสอบดังกล่าวถือได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด คือ มีความเปลี่ยนแปลงไม่เกินร้อยละ 5 จากคุณลักษณะของข้อมูลมาตรฐาน 2 เมตร จากการทดสอบดังกล่าวสามารถนำมาปรับใช้ในการวิจัยครั้งนี้ โดยเลือกใช้ภาพจากดาวเทียมไทยโชด Panchromatic ที่ให้รายละเอียดเชิงพื้นที่สูง และวิธีการกำหนดจุดอ้างอิง 2 จุด บนพื้นโลกเพื่อคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างระยะทางบนภาพและระยะทางที่แท้จริงบนพื้นโลก

Philpot and Philipson (2012) ศึกษาความบิดเบือนทางเรขาคณิต ที่เป็นผลมาจากแนวการบินถ่ายภาพแบบสแกนเนอร์ โดยทำการเปรียบเทียบข้อมูลภาพในแนวตั้ง และข้อมูลภาพที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของมุมบันทึกภาพ ด้วยวิธีการคำนวณทางโฟโตแกรมเมตรี คือ อัตราส่วนระหว่างอัตราความเร็วในการบันทึกภาพและระยะสูงบิน (V/H) ที่มุม Nadir ขนาดจุดภาพ กว้าง x ยาว จะเท่ากับ $H^{1/2}$ และมีอัตราขยายเพิ่มขึ้นในด้านกว้างเท่ากับ $H\omega^{1/2} \times Sec$ และขนาดด้านยาวเท่ากับ $H\omega^{1/2} \times sec^2$ เรียกลักษณะดังกล่าวว่า Panoramic Effect โดยจะส่งผลต่อรายละเอียดเชิงพื้นที่ (Ground Resolution Element) ที่เพิ่มขึ้นตามขนาดของมุมรับภาพ (Ground Instantaneous Field of View, GIFOV) จากการศึกษาดังกล่าวทำให้ทราบได้ว่า ระยะเวลาการฉายที่มุมรับภาพกว้างขึ้น (บริเวณขอบภาพ) จุดภาพจะมีขนาดใหญ่กว่าส่วนกลางของภาพ ซึ่งขนาดของจุดภาพจะสัมพันธ์กับเวลาโดยคำนวณจากสมการ $\frac{\omega^{1/2}}{2\pi M}$ จึงสามารถนำมาปรับใช้ในการศึกษาครั้งนี้โดยปรับใช้ความสัมพันธ์ของมุมเอียงบันทึกภาพที่เปลี่ยนแปลงกับขนาดจุดภาพที่ปรากฏบนพื้นโลก แทนความสัมพันธ์ของเวลาในการบันทึกภาพดังที่ Philpot และ Philipson ได้ทำการทดสอบ

Gwank and Hyerim (2013) ได้ทำการศึกษาระนาบคณิตของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการถ่ายภาพแบบ Pushbroom โดยทำการศึกษาค่าระยะเชิงพื้นที่ (GSD) พิจารณาระนาบผิวโลกมีส่วนโค้งและคำนวณค่า GSD ทั้งในแนว Across Track และ Along Track ด้วยการประยุกต์กฎของ Cosine ดังสมการที่ 2-8 และภาพที่ 2-29

$$P_{\theta, \gamma, \varphi, C} = \rho_0 \frac{(H + \Delta H) \cos \theta}{H \cos(\theta + \gamma)} \quad (2-8)$$



ภาพที่ 2-29 A Curved Surface Case in Pitch – Roll Tilt Pushbroom Sensor (Gwank and Hyerim, 2013)

กำหนดการทดสอบค่ามุมเอียง Pitch 0-40 องศา และมุมเอียง Roll 0-40 องศา เช่นกัน จากสมการข้างต้นคำนวณความสัมพันธ์ของมุมที่ใช้ในการถ่ายภาพดังกล่าว พบว่า เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของมุมที่ใช้ในการถ่ายภาพ Ground Instantaneous Field of View (GIFOV) จะมีการขยายเพิ่มขึ้นมากกว่าค่าจากจุดเริ่มต้น (มุม Nadir) ที่มุมเอียง Pitch 40 องศา ค่า GSD ในแนว Along Track จะมีการเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า และค่า GSD ในแนว Across Track จะเพิ่มขึ้นเป็น 1.35 เท่า เช่นเดียวกับการทดสอบในมุมเอียง Roll ค่า GSD ในแนว Along Track จะมีการเพิ่มขึ้นเป็น 1.35 เท่า และค่า GSD ในแนว Across Track จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า

จากผลการทดสอบและข้อเสนอแนะของ Gwank and Hyerim (2013) ทำให้เกิดแนวคิดในการปรับใช้ทฤษฎี Spherical Laws of Cosines ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกฎ Cosine อีกทั้งเป็นทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณค่าความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่มีส่วนโค้งรองรับทั้ง 3 ด้าน กล่าวคือ ส่วนโค้งที่เป็นระยะทางที่แท้จริงบนพื้นโลก มาปรับใช้ในการศึกษาเพื่อคำนวณหาค่า GSD บนข้อมูลภาพถ่าย Panchromatic ของดาวเทียมไทยโชต ทั้งนี้ จะแตกต่างจากการทดสอบของ Gwank and Hyerim (2013) ที่ไม่ได้ทำการวัดระยะเพื่อคำนวณค่า GSD จริงทั้งบนภาพและพื้นโลก โดยผู้ศึกษาจะทำการคำนวณหาค่า GSD โดยกำหนดจุดอ้างอิง 2 จุด ที่ปรากฏตรงกันทั้งบนภาพและพื้นโลก แล้วจึงคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างระยะทางบนภาพและระยะทางบนพื้นโลก ดังที่ Jeng Shing Chern (2004) ได้ทำการคำนวณค่า Ground Sampling Distance (GSD) ของดาวเทียม ROCSAT-2 โดยกำหนดมุมเอียง 0-45 องศา ทั้งในมุม Pitch และมุม Roll และมีอัตราการเพิ่มขึ้นของมุมเอียงทั้ง 2 (Pitch - Roll) ช่วงชั้นละ 5 องศา (เนื่องจากไม่สามารถกำหนดขนาดของมุมในการบันทึกภาพให้เท่ากันทุกภาพได้ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการศึกษาในครั้งนี้) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของมุมและทิศทางในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชตจะมีค่า GSD ที่เปลี่ยนแปลงในลักษณะใดและส่งผลต่อรายละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลภาพอย่างไร

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

จากความเป็นจริงในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชตนั้น ไม่ได้บันทึกภาพในมุมแนวคิ่ง (Nadir) เสมอ จะต้องมีการปรับมุมเอียงและทิศทางในการถ่ายภาพไปยังพื้นที่เป้าหมายที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของข้อมูลที่ได้รับ การวิจัยครั้งนี้ จึงเป็นการศึกษาและทดสอบคำนวณหาค่า Ground Sampling Distance (GSD) เพื่อให้ทราบถึงรายละเอียดเชิงพื้นที่ที่แท้จริงของข้อมูลภาพดาวเทียมไทยโชต โดยมีวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

1. ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชต ระบบ Panchromatic ระดับ 1 A ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่สูงและเป็นข้อมูลยังไม่ผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิต จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) โดยเลือกใช้ข้อมูลภาพบริเวณพื้นที่ประเทศไทย แต่เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านสภาพภูมิอากาศ ประกอบกับไม่มีข้อมูลภาพในมุมเอียงต่าง ๆ ตามข้อกำหนดของการศึกษาที่มากเพียงพอ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ข้อมูลภาพในพื้นที่ทดสอบ (Test Site) ด้าน Geometric จากส่วนงาน Calibration/ Validation ฝ่ายวิศวกรรมดาวเทียม สำนักปฏิบัติการดาวเทียม สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) เพิ่มเติม ดังนี้

1. เมืองลอสแอนเจลิส ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. เมืองปักกิ่ง ประเทศจีน
3. เมืองบาร์เซโลนา ประเทศสเปน
4. เมืองโจฮันเนสเบิร์ก ประเทศแอฟริกาใต้

ทั้งนี้ พื้นที่ดังกล่าวจะมีข้อมูลภาพที่ถูกบันทึกในมุมต่าง ๆ มากเพียงพอสำหรับการวิจัยครั้งนี้ เนื่องจากเป็นพื้นที่ทดสอบและปรับแก้คุณภาพของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชตให้เป็นไปตามมาตรฐานทางด้าน Geometric จึงมีภาพที่ถูกบันทึกซ้ำในบริเวณพื้นที่เดิมทุกๆ เดือน ซึ่งผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลภาพ โดยใช้อักษรย่อแทนชื่อพื้นที่บันทึกภาพ ดังนี้ ประเทศไทย (TH) ประเทศสหรัฐอเมริกา (US) ประเทศจีน (CH) ประเทศสเปน (SP) และประเทศแอฟริกาใต้ (AF) ดังตารางที่ 3-1 และ ตารางที่ 3-2

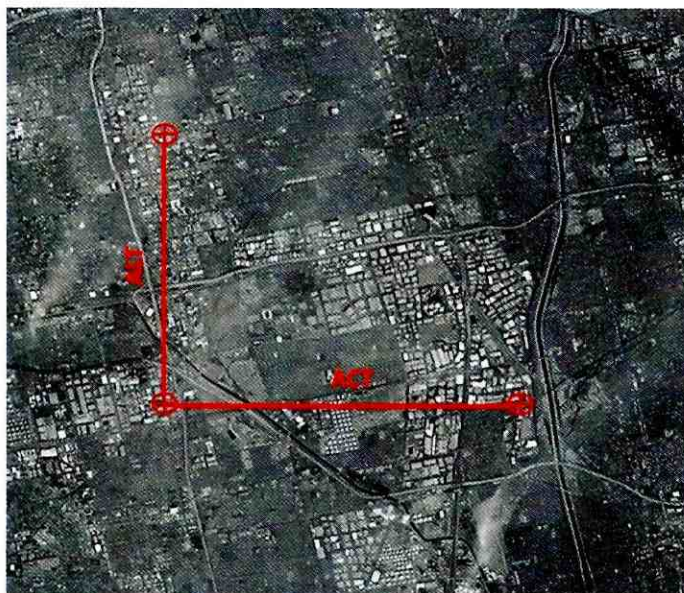
ตารางที่ 3-1 ข้อมูลภาพ Panchromatic ที่ใช้ในการวิจัยเพื่อคำนวณค่า GSD โดยกำหนดมุม Roll
 คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Pitch มีการเปลี่ยนแปลง

Level 1A image label	Acquisition Date	Roll angle (°)	Pitch angle (°)
US-834418	4/1/2014	-0.6901	-0.0301
US-763996	6/7/2013	0.3913	-0.0346
TH-698199	15/1/2013	-2.1437	-5.8772
TH-700631	25/1/2013	0.8033	-6.0752
TH-683409	9/12/2012	2.8022	11.8358
TH-284206	9/12/2012	-0.1657	12.0190
TH-562002	14/3/2012	-2.7501	15.1860
US-993112	24/2/2015	-2.2539	15.1247
TH-561490	13/3/2012	0.3190	20.0047
CH-747777	23/5/2013	-1.4339	-19.9683
TH-881402	13/5/2014	-0.1438	-24.0556
AF-295682	12/8/2010	-0.3421	24.0472
US-313371	26/9/2010	0.4380	-30.0800
TH-913172	12/8/2010	-0.8394	-30.0363
TH-660910	13/10/2012	-0.9385	-36.0378
TH-843156	28/1/2014	-0.4129	-36.0578
US-993105	24/2/2015	-2.3412	40.1042
TH-841549	24/1/2014	-4.6554	-44.9201
US-396234	30/4/2011	-5.7526	-44.8957

ตารางที่ 3-2 ข้อมูลภาพ Panchromatic ที่ใช้ในการวิจัยเพื่อคำนวณค่า GSD โดยกำหนดมุม Pitch
คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Roll มีการเปลี่ยนแปลง

Level 1A image label	Acquisition Date	Roll angle (°)	Pitch angle (°)
US-834418	4/1/2014	-0.6901	-0.0301
US-763996	6/7/2013	0.3913	-0.0346
TH-694649	9/1/2013	5.2998	-0.3662
TH-328820	31/10/2010	5.6829	-0.3837
TH-369820	1/3/2011	-9.2032	0.6051
TH_708816	16/2/2013	-10.9065	0.7477
US-850338	14/2/2014	15.6780	-0.9333
US-648301	8/9/2012	-15.9514	0.9367
TH-590198	4/5/2012	20.1484	-1.4273
TH-283876	8/7/2010	19.2294	-1.3233
SP-789789	16/9/2013	-25.3069	1.4162
SP-771149	26/7/2013	-25.3604	1.4174
TH-391486	22/4/2011	-30.1133	2.2614
TH-393887	25/4/2011	30.7591	-2.3423
TH-807156	29/10/2013	-35.9937	2.7808
CH_422181	23/6/2011	36.0007	-2.4516
TH-513605	20/12/2011	41.3412	-3.3944
TH-497868	24/11/2011	40.7863	-3.3276
TH-496489	22/11/2011	-44.4247	3.7623
TH-482457	27/10/2011	-44.7088	3.8080

2. กำหนดจุดอ้างอิง 3 ตำแหน่ง บน 1 ชุดข้อมูลภาพ เพื่อคำนวณระยะห่างระหว่างจุดอ้างอิงทั้ง 2 แนวบันทึภาพ คือ Across Track และ Along Track ดังภาพที่ 3-1 โดยการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้จุดอ้างอิงจาก Google Earth เพื่อคำนวณค่า GSD โดยพิจารณาจากระยะทางระหว่างจุดอ้างอิงเป็นสำคัญ และจุดอ้างอิงดังกล่าวจะต้องเห็นได้ชัดเจนทั้งบนภาพถ่ายและพื้นที่จริง



ภาพที่ 3-1 การกำหนดจุดอ้างอิงในแนว Across Track และ Along Track

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. อุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผลและแสดงผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม
2. โปรแกรมประมวลผลข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

2.1 โปรแกรมประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม ได้แก่ โปรแกรม ENVI Version 4.8 และโปรแกรม ArcMAP Version 10 จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

2.2 โปรแกรมจัดการแผนที่ ได้แก่ โปรแกรม Google Earth

2.3 โปรแกรม Microsoft Office Excel 2007

กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคำนวณค่า Ground Sampling Distance (GSD) ของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชด ประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

1. การจัดเตรียมข้อมูลภาพจากดาวเทียมไทยโชต ระบบ Panchromatic ระดับ 1A

1.1 เก็บรวบรวมข้อมูลภาพและจัดกลุ่มตามลักษณะของมุมเอียงที่ดาวเทียมใช้ในการถ่ายภาพ โดยกำหนดให้มุม Pitch คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Roll มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 0-45; 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 องศา (Gwank and Hyerim, 2013) โดยใช้ข้อมูลภาพจำนวน 2 ภาพ ต่อ 1 ช่วงชั้นมุมเอียงถ่ายภาพที่เปลี่ยนแปลง เพื่อกำหนดค่า GSD ดังตารางที่ 3-3 ตารางที่ 3-3 ชุดข้อมูลภาพกำหนดมุม Pitch คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Roll มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 0 – 45; 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 องศา

Viewing Angle (°)	Level 1A image label	Acquisition Date	Roll angle (°)	Pitch angle (°)
0°	US-834418	4/1/2014	-0.6901	-0.0301
	US-763996	6/7/2013	0.3913	-0.0346
5°	TH-694649	9/1/2013	5.2998	-0.3662
	TH-328820	31/10/2010	5.6829	-0.3837
10°	TH-369820	1/3/2011	-9.2032	0.6051
	TH_708816	16/2/2013	-10.9065	0.7477
15°	US-850338	14/2/2014	15.6780	-0.9333
	US-648301	8/9/2012	-15.9514	0.9367
20°	TH-590198	4/5/2012	20.1484	-1.4273
	TH-283876	8/7/2010	19.2294	-1.3233
25°	SP-789789	16/9/2013	-25.3069	1.4162
	SP-771149	26/7/2013	-25.3604	1.4174
30°	TH-391486	22/4/2011	-30.1133	2.2614
	TH-393887	25/4/2011	30.7591	-2.3423
35°	TH-807156	29/10/2013	-35.9937	2.7808
	CH-422181	23/6/2011	36.0007	-2.4516
40°	TH-513605	20/12/2011	41.3412	-3.3944
	TH-497868	24/11/2011	40.7863	-3.3276
45°	TH-496489	22/11/2011	-44.4247	3.7623
	TH-482457	27/10/2011	-44.7088	3.8080

1.2 เก็บรวบรวมข้อมูลภาพและจัดกลุ่มตามลักษณะของมุมเอียงที่ดาวเทียมใช้ในการถ่ายภาพโดยกำหนดให้มุม Roll คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Pitch มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 0-45; 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 องศา (Gwank and Hyerim, 2013) โดยใช้ข้อมูลภาพจำนวน 2 ภาพ ต่อ 1 ช่วงชั้นมุมเอียงถ่ายภาพที่เปลี่ยนแปลง เพื่อคำนวณค่า GSD ดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 ชุดข้อมูลภาพกำหนดมุม Roll คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir องศา และมุม Pitch มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 0 – 45; 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 องศา

Viewing Angle (°)	Level 1A image label	Acquisition Date	Roll angle (°)	Pitch angle (°)
0°	US-834418	4/1/2014	-0.6901	-0.0301
	US-763996	6/7/2013	0.3913	-0.0346
5°	TH-698199	15/1/2013	-2.1437	-5.8772
	TH-700631	25/1/2013	0.8033	-6.0752
10°	TH-683409	9/12/2012	2.8022	11.8358
	TH-284206	9/12/2012	-0.1657	12.0190
15°	TH-562002	14/3/2012	-2.7501	15.1860
	US-993112	24/2/2015	-2.2539	15.1247
20°	TH-561490	13/3/2012	0.3190	20.0047
	CH-747777	23/5/2013	-1.4339	-19.9683
25°	TH-881402	13/5/2014	-0.1438	-24.0556
	AF-295682	12/8/2010	-0.3421	24.0472
30°	US-313371	26/9/2010	0.4380	-30.0800
	TH-913172	12/8/2010	-0.8394	-30.0363
35°	TH-660910	13/10/2012	-0.9385	-36.0378
	TH-843156	28/1/2014	-0.4129	-36.0578
40°	US-993105	24/2/2015	-2.3412	40.1042
45°	TH-841549	24/1/2014	-4.6554	-44.9201
	US-396234	30/4/2011	-5.7526	-44.8957

หมายเหตุ : ที่มุมเอียง 40° มีข้อมูลภาพตามข้อกำหนดเพียง 1 ภาพ

2. กำหนดหนดจุดอ้างอิง 2 จุด ที่เห็นได้ชัดเจนทั้งบนภาพและบนพื้นโลก
3. คำนวณค่า Ground Sampling Distance (GSD)

การคำนวณเพื่อทดสอบค่า GSD ของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต ระบบ Panchromatic ระดับ 1A ในมุมมองและทิศทางของการถ่ายภาพที่แตกต่างกัน โดยกำหนดมุมที่ใช้ในการถ่ายภาพ คือ กำหนดค่ามุม Roll (ค่ามุมมองการเอียงถ่ายภาพในแนวตะวันออก – ตะวันตก) และมุม Pitch (ค่ามุมมองการเอียงถ่ายภาพในแนวเหนือ-ใต้) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3-1

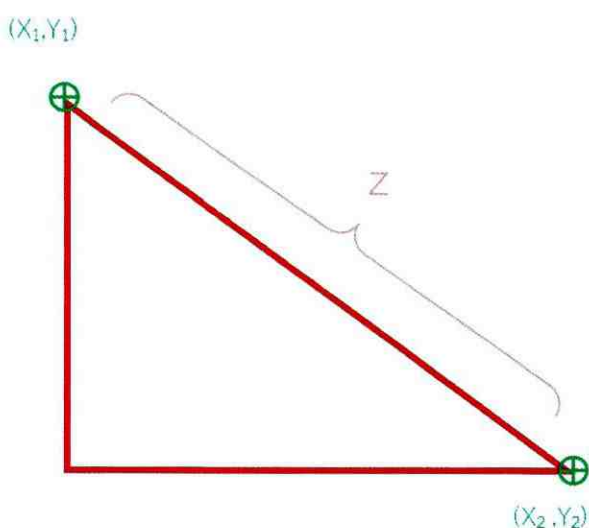
$$GSD = \frac{D_{real}}{D_{image}} \quad (3-1)$$

Distance on Earth (D_{real}) คือ ระยะห่างระหว่าง 2 จุดอ้างอิงบนพื้นโลก (กิโลเมตร)

Distance on Image (D_{image}) คือ ระยะห่างระหว่าง 2 จุดอ้างอิงบนภาพ (จุดภาพ)

3.1 การคำนวณระยะห่างระหว่าง 2 จุดอ้างอิงบนภาพถ่ายดาวเทียม (D_{image}) สามารถคำนวณได้จากตำแหน่ง (X, Y) ของจุดอ้างอิง 2 จุด (Latitude/ Longitude) โดยประยุกต์ทฤษฎีของพีทาโกรัส กำลังสองของความยาวของด้านตรงข้ามมุมฉาก Z จะเท่ากับผลบวกของกำลังสองของด้านประกอบมุมฉาก X, Y ดังภาพที่ 3-2 และสมการที่ 3-2

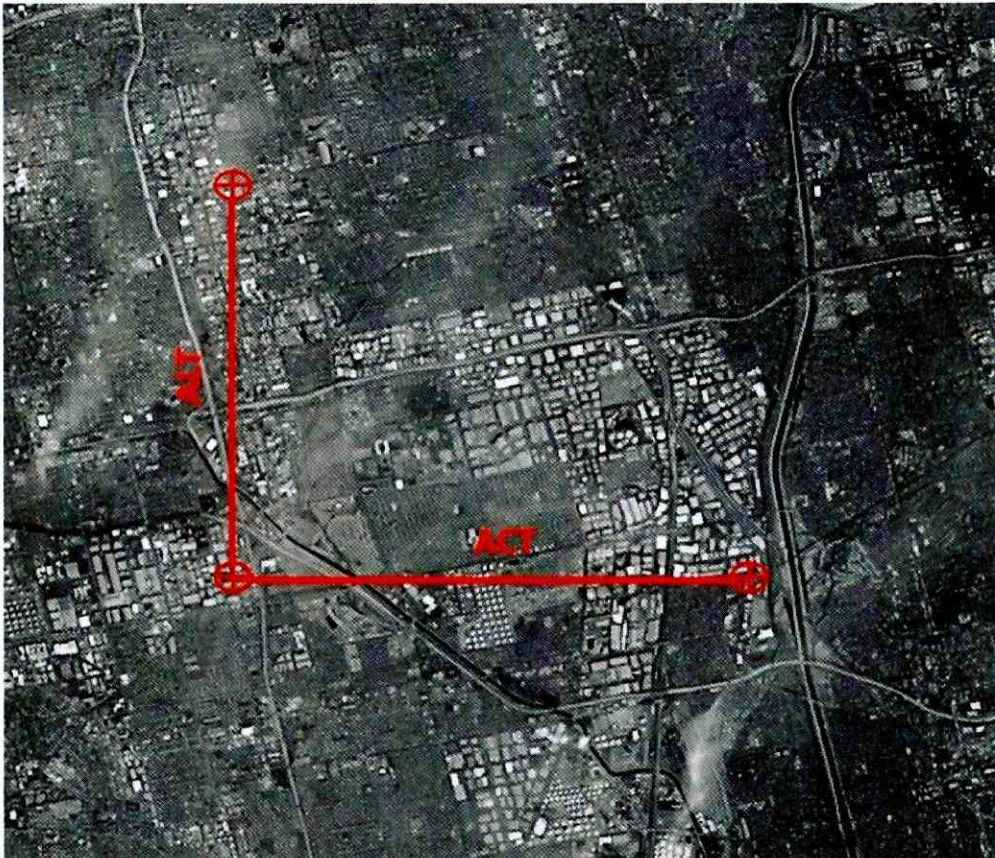
$$Z^2 = X^2 + Y^2 \quad (3-2)$$



ภาพที่ 3-2 การคำนวณระยะห่างระหว่างจุด 2 จุดอ้างอิงบนภาพตามทฤษฎีพีทาโกรัส

ขั้นตอนการวัดข้อมูลบนภาพถ่าย กระทำได้โดยการวัดระยะห่างของจุดอ้างอิงทั้ง 2 ตำแหน่ง ในแนว Across Track (แกน X) และ Along Track (แกน Y) ดังสมการที่ 3-3 และภาพที่ 3-3

$$D_{\text{image}} = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2} \quad (3-3)$$

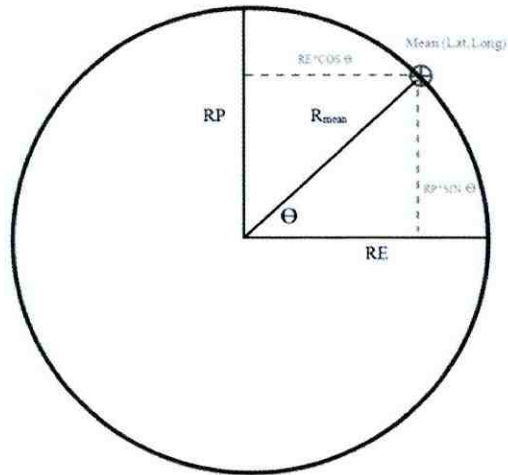


ภาพที่ 3-3 รูปแบบทิศทางในการวัดข้อมูลจุดอ้างอิงบนภาพในแนว Across Track และ Along Track

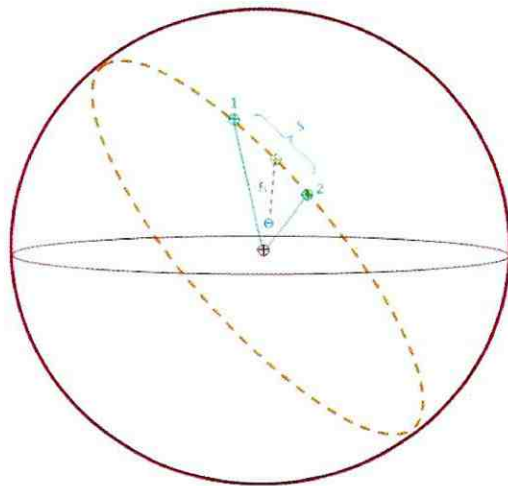
3.2 การคำนวณระยะห่างระหว่าง 2 จุดอ้างอิงบนพื้นโลก (D_{real}) บนสมมติฐานที่ว่าโลกมีลักษณะคล้ายวงกลมหรือทรงรีที่มีแกน (Spheroid) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3-4

$$D_{\text{real}} = R_{\text{mean}} \times \theta_C \quad (3-4)$$

R_{mean} คือ รัศมีที่วัดจากจุดศูนย์กลางของโลก (กิโลเมตร) ณ ตำแหน่งกึ่งกลาง หรือค่าเฉลี่ยของตำแหน่ง ละติจูด (องศา) ของทั้ง 2 จุดอ้างอิง ซึ่งเป็นจุดอ้างอิงเดียวกันกับการวัดระยะบนข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ดังภาพที่ 3-4 และ 3-5 ตามลำดับ



ภาพที่ 3-4 รัศมีจากจุดศูนย์กลางของโลก (R_{mean})



ภาพที่ 3-5 ภาพจำลองอธิบายการคำนวณระยะห่างบนพื้น โลกรูปแบบ 2 มิติ

R_{mean} สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3-5

$$R_{\text{mean}} = \sqrt{(RE \cos(\theta_{\text{lat}}))^2 + RP \sin(\theta_{\text{lat}})^2} \quad (3-5)$$

θ_{lat} : Mean latitude of 2 reference points (degree)

RE : Equatorial Earth Radius (kilometer)

RP : Pole Earth Radius (kilometer)

θ_C คือ มุม (องศาเรเดียน) ที่รองรับส่วนโค้งของระยะห่างของจุดอ้างอิง 2 จุด สามารถคำนวณได้จากทฤษฎี Spherical Laws of Cosines จะเห็นได้ว่าต้องมีจุดอ้างอิงทั้งหมด 3 จุด โดยใช้ตำแหน่งที่ขั้วโลก (Polar 90°) เป็นจุดอ้างอิงที่ 3 ในการคำนวณหามุมเรเดียนระหว่างจุดอ้างอิง 2 จุดบนพื้นโลก ดังสมการที่ 3-6 และภาพที่ 3-6

$$\theta_C = \text{COS}^{-1}((90^\circ - \text{Lat.B}) \times \text{COS}(90^\circ - \text{Lat.A}) + \dots \\ \text{SIN}(90^\circ - \text{Lat.B}) \times \text{SIN}(90^\circ - \text{Lat.A}) \times \text{COS}(\text{Long.A} - \text{Long.B})) \quad (3-6)$$

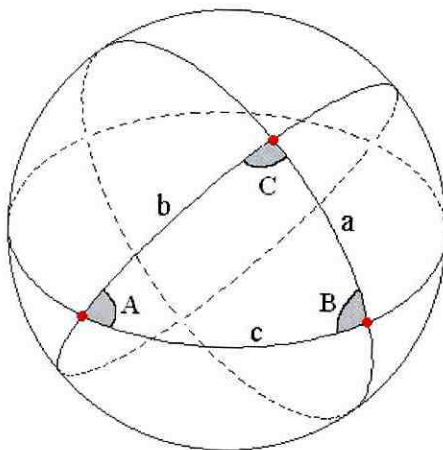
เมื่อ θ_C คือ มุมที่รองรับส่วนโค้ง c

Lat.B คือ พิกัด Latitude ที่จุด B

Lat.A คือ พิกัด Latitude ที่จุด A

Long.B คือ พิกัด Longitude ที่จุด B

Long.A คือ พิกัด Longitude ที่จุด A



ภาพที่ 3-6 ภาพจำลองอธิบายทฤษฎี Spherical Laws of Cosines (John, 2006)

3.3 ทดสอบความถูกต้องในการคำนวณค่า GSD โดยใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) เปรียบเทียบกับการคำนวณค่า GSD โดยใช้จุดอ้างอิงจาก Google Earth บนข้อมูลภาพถ่ายเดียวกัน

4. จากคุณลักษณะของอุปกรณ์รับรู้ดาวเทียมไทยโชต (CCD) มีจำนวน 12,000 Pixels เรียงตัวในแถวเดียวกัน สามารถคำนวณความกว้างของแนวกว้างที่ถ่ายภาพ (Swath Width) ได้จากค่า GSD และจำนวน Pixel in Array ดังสมการที่ 3-7

$$Swath\ Width = \frac{GSD \times Pixels\ in\ Array}{1000} \quad (3-7)$$

5. วิเคราะห์ข้อมูล พร้อมอธิบายความสัมพันธ์ของมุมเอียงและทิศทางในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชตที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งส่งผลต่อรายละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต

การวิจัยในครั้งนี้เพื่อคำนวณหาค่า Ground Sampling Distance (GSD) ด้วยการประยุกต์ทฤษฎีพีทาโกรัสและทฤษฎี Spherical Laws of Cosines เพื่อทราบว่ามุมเอียงและทิศทางในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชตมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของจุดภาพบนข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (Gwank and Hyerim, 2013) อันเป็นผลต่อการคำนึงถึงรายละเอียดเชิงพื้นที่ของผู้ใช้ ซึ่งจะ มีประโยชน์ต่อการเลือกใช้ข้อมูล ได้ตรงตามความต้องการและวัตถุประสงค์ในการใช้งานข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม รวมถึงเพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการวางแผนถ่ายภาพ สำหรับพิจารณาคุณภาพของข้อมูลที่เหมาะสมกับระยะเวลาและมุมเอียงที่ใช้ในการถ่ายภาพ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้ใช้ตามประสิทธิภาพของดาวเทียมไทยโชต

บทที่ 4

ผลการวิจัย

จากการศึกษาเพื่อคำนวณค่า Ground Sampling Distance (GSD) ในมุมมองและทิศทางการถ่ายภาพที่แตกต่างกัน โดยเลือกข้อมูลภาพ Panchromatic ระดับ 1A และจัดกลุ่มชุดข้อมูลภาพตามมุมมองเอียงและทิศทางที่ใช้ในการบันทึกภาพแบ่งออกได้ 2 ลักษณะคือ 1. กำหนดให้มุม Pitch คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Roll มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 0 – 45; 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 องศา 2. กำหนดให้มุม Roll คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Pitch มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 0 – 45; 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 องศา มีผลการศึกษาดังนี้

การคำนวณค่า Ground Sampling Distance (GSD)

จากการประยุกต์ทฤษฎีพีทาโกรัสและทฤษฎี Spherical Laws of Cosines เพื่อคำนวณค่า GSD บนข้อมูลภาพ Panchromatic ระดับ 1A ของดาวเทียมไทยโชต ในมุมมองและทิศทางการเอียงตัวถ่ายภาพที่แตกต่างกัน โดยพิจารณาจากระยะทางบนพื้นโลกต่อ 1 จุดภาพ บนอุปกรณ์รับรู้ (Sensor) สามารถคำนวณค่า GSD ได้ดังนี้

1. กำหนดให้มุม Pitch คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Roll มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 0 – 45; 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 องศา

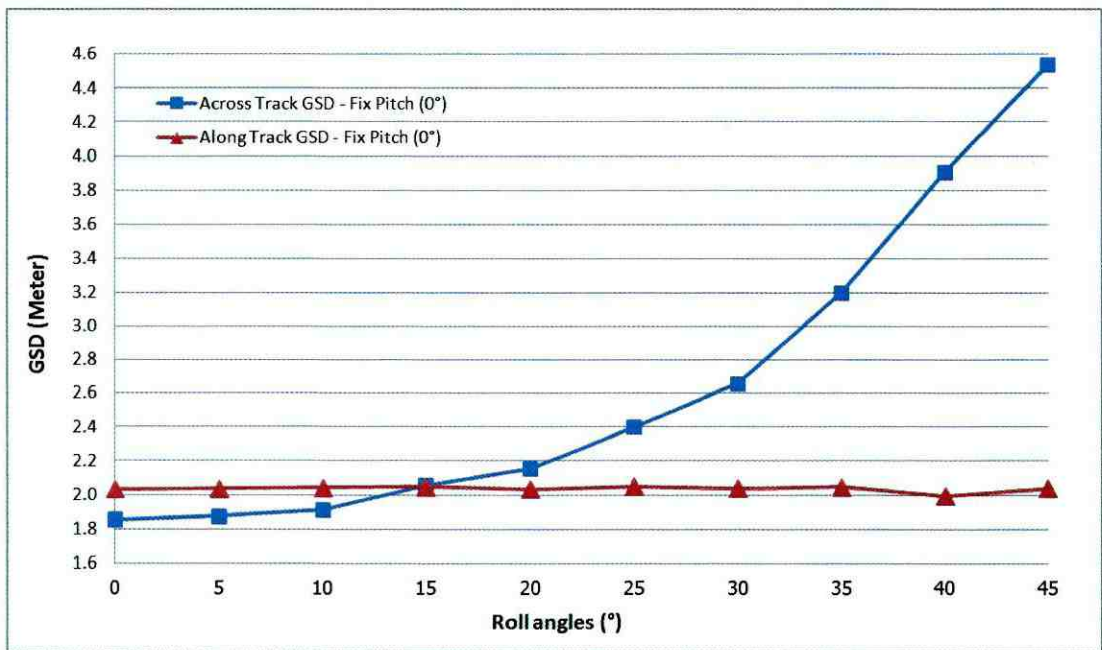
พบว่า ที่มุมเอียง Roll 45 องศา มีค่า Across Track GSD เพิ่มขึ้นเป็น 4.5343 เมตร หรือคิดเป็น 2.4527 เท่า ของค่า Across Track GSD ที่มุม Nadir ซึ่งมีค่า 1.8487 เมตร และมีค่า Along Track GSD เฉลี่ยเท่ากับ 2.0402 เมตร ใกล้เคียงกับค่า Along Track GSD ที่มุม Nadir คือ 2.0367 เมตร

ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ค่า GSD ในแนว Across Track และ Along Track โดยกำหนดให้มุม Pitch คงที่มีค่าใกล้เคียงมุม Nadir และมุม Roll มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 0 – 45; 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 องศา

Roll Angles (°)	Image Label	ACT GSD Meter	Average GSD Meter	ALT GSD Meter	Average GSD Meter
0	US-834418	1.8529	1.8533	2.0365	2.0360
	US-763996	1.8537		2.0355	
5	TH-694649	1.8737	1.8735	2.0383	2.0385
	TH-328820	1.8733		2.0387	
10	TH-369820	1.9092	1.9158	2.0444	2.0451
	TH-708816	1.9223		2.0457	
15	US-850338	2.0571	2.0558	2.0494	2.0328
	US-648301	2.0546		2.0163	
20	TH-590198	2.1560	2.1397	2.0350	2.0506
	TH-283876	2.1233		2.0661	
25	SP-789789	2.3995	2.4009	2.0537	2.0542
	SP-771149	2.4022		2.0548	
30	TH-391486	2.6595	2.6858	2.0399	2.0368
	TH-393887	2.7122		2.0336	
35	TH-807156	3.2018	3.1878	2.0504	2.0455
	CH-422181	3.1738		2.0406	
40	TH-513605	3.9041	3.8813	1.9963	2.0186
	TH-497868	3.8586		2.0409	
45	TH-496489	4.5383	4.5343	2.0422	2.0436
	TH-482457	4.5303		2.0450	

อัตราความเปลี่ยนแปลงของค่า GSD ทั้งในแนว Across Track และ Along Track ที่เพิ่มขึ้นตามมุมเอียง Roll ที่ใช้ในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชต สามารถนำมาแสดงในรูปแบบกราฟเส้นได้ดังภาพที่ 4-1 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีมุมเอียงถ่ายภาพเพิ่มขึ้นจากมุม 12 องศา ค่า Across Track GSD จะเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน สอดคล้องตามคุณลักษณะที่ใช้ในการบันทึกภาพของดาวเทียมไทยโชต ซึ่งพื้นที่บันทึกภาพภายใต้มุมเอียง 12 องศา จากแนวตั้งใต้ดาวเทียม (Nadir) ถือเป็นภาพใกล้แนวตั้ง (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552) ข้อมูลภาพที่บันทึกภายใต้มุมดังกล่าวจะให้รายละเอียดเชิงพื้นที่ที่มีความถูกต้องสูง ส่วนค่า Along Track GSD จากเส้นกราฟมีลักษณะที่คงที่ มุมเอียงถ่ายภาพ Roll มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Along Track GSD น้อยมาก



ภาพที่ 4-1 ความเปลี่ยนแปลงของค่า GSD โดยกำหนดให้มุม Pitch คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Roll มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 0 – 45; 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 องศา

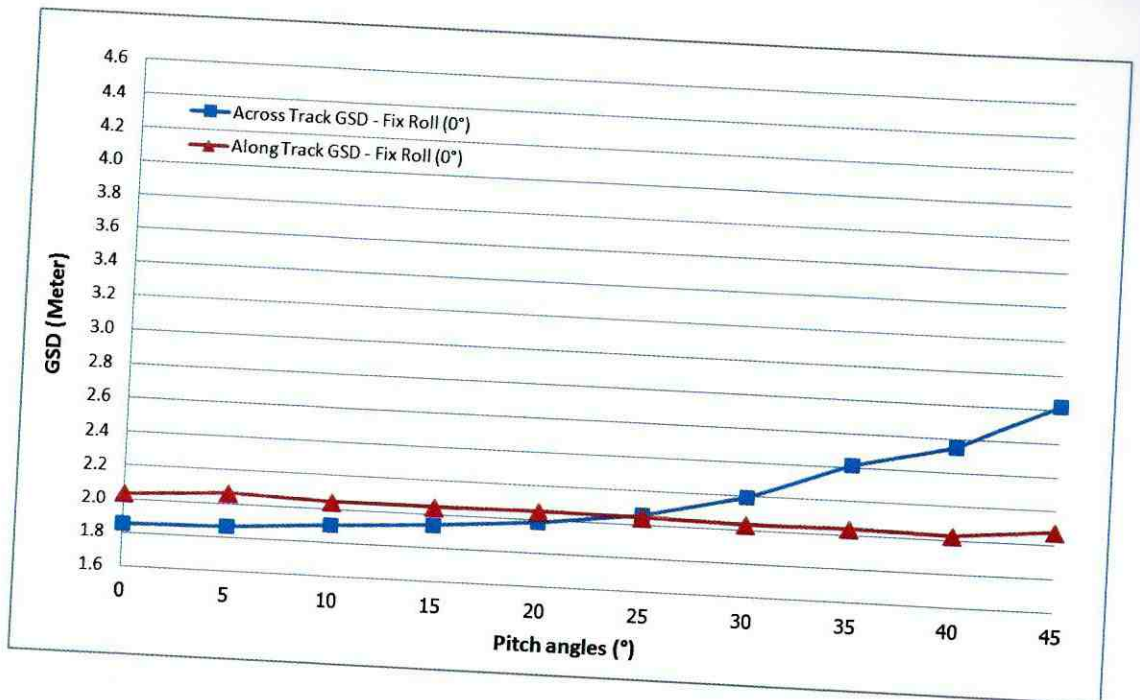
2. กำหนดให้มุม Roll คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Pitch มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 0 – 45; 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 องศา

พบว่า ที่มุมเอียง Pitch 45 องศา มีค่า Across Track GSD เพิ่มขึ้นเป็น 2.8252 เมตร หรือคิดเป็น 1.5282 เท่า ของค่า Across Track GSD ที่มุม Nadir (มุมเอียงใกล้ 0 องศา) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.8487 เมตร และมีค่า Along Track GSD คงที่โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.0437 เมตร ใกล้เคียงกับค่า Along Track GSD ที่มุม Nadir คือ 2.0367 เมตร ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ค่า GSD ในแนว Across Track และ Along Track โดยกำหนดให้มุม Roll คงที่มีค่าใกล้เคียงมุม Nadir และมุม Pitch มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 0 – 45; 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 องศา

Pitch Angles (°)	Image Label	ACT GSD Meter	Average GSD Meter	ALT GSD Meter	Average GSD Meter
0	US-834418	1.8529	1.8533	2.0365	2.0360
	US-763996	1.8537		2.0355	
5	TH-698199	1.8644	1.8695	2.0697	2.0650
	TH-700631	1.8747		2.0603	
10	TH-683409	1.9011	1.8997	2.0450	2.0436
	TH-284206	1.8984		2.0421	
15	TH-562002	1.9349	1.9336	2.0434	2.0381
	US-993112	1.9322		2.0328	
20	TH-561490	1.9846	1.9857	2.0489	2.0458
	CH-747777	1.9868		2.0426	
25	TH-881402	2.0560	2.0620	2.0442	2.0435
	AF-295682	2.0681		2.0429	
30	US-313371	2.1955	2.1921	2.0346	2.0375
	TH-913172	2.1887		2.0403	
35	TH-660910	2.4142	2.3962	2.0409	2.0416
	TH-843156	2.3783		2.0424	
40	US-993105	2.5521	2.5521	2.0288	2.0288
45	TH-841549	2.8212	2.8252	2.0787	2.0575
	US-396234	2.8293		2.0362	

อัตราความเปลี่ยนแปลงของค่า GSD ทั้งในแนว Across Track และ Along Track ที่เพิ่มขึ้นตามมุมเอียง Pitch ที่ใช้ในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชด สามารถนำมาแสดงในรูปแบบกราฟเส้นได้ ดังภาพที่ 4-2 จะเห็นได้ว่ากราฟเส้นแสดงค่า Across Track GSD เพิ่มขึ้นด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลงที่น้อยกว่าการถ่ายภาพด้วยมุม Roll ส่วนค่า Along Track GSD มีลักษณะคงที่ มุมเอียงถ่ายภาพ Pitch มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Along Track GSD น้อยมาก เช่นเดียวกับการบันทึกภาพที่มีมุมด้วยมุม Roll



ภาพที่ 4-2 ความเปลี่ยนแปลงของค่า GSD โดยกำหนดให้มุม Roll คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Pitch มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 0 - 45; 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 องศา

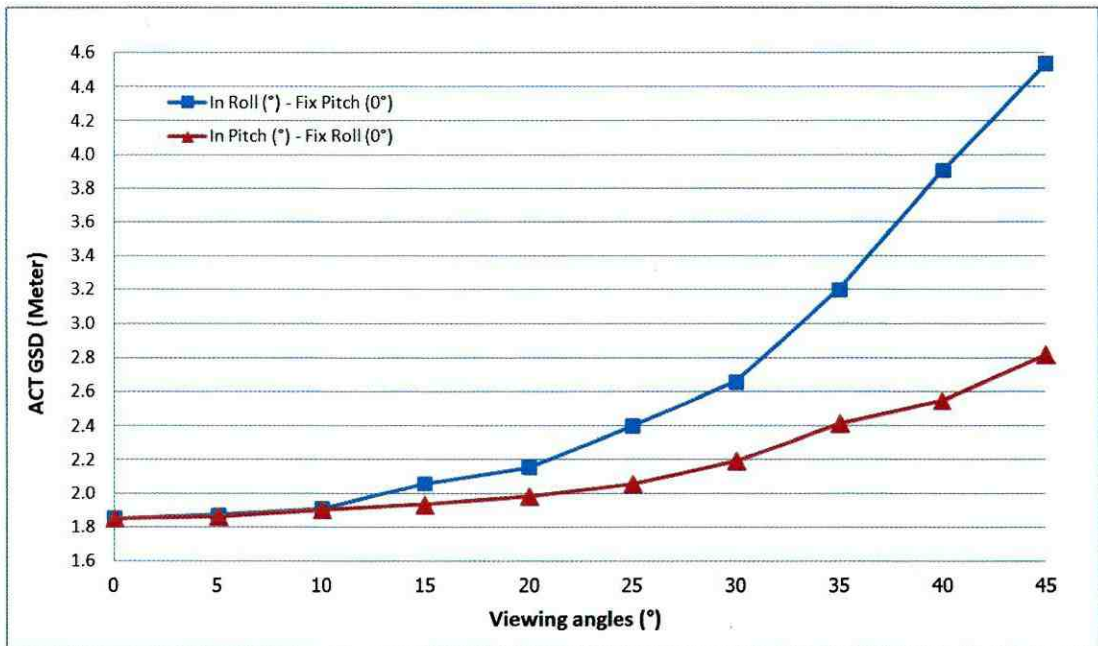
3. การเปรียบเทียบค่า Across Track GSD

ระหว่างการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชดที่ใช้มุมเอียง Roll (กำหนดให้มุม Pitch คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Roll เพิ่มขึ้น 0 - 45 องศา) และการถ่ายภาพที่ใช้มุมเอียง Pitch (กำหนดให้มุม Roll คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Pitch เพิ่มขึ้น 0 - 45 องศา) พบว่า ที่มุมเอียง 45 องศา ค่า Across Track GSD โดยการบันทึกภาพที่ใช้มุม Roll เท่ากับ 4.5343 เมตร และมุม Pitch เท่ากับ 2.8252 เมตร หรือกล่าวได้ว่ามุม Roll มีผลกระทบต่อค่า Across Track GSD มากกว่ามุม Pitch 1.6049 เท่า และที่มุมเอียงเพิ่มขึ้นจาก 10 องศา เป็นต้นไปจะเห็นความแตกต่างของค่า Across Track GSD ได้อย่างชัดเจน ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 เปรียบเทียบค่า Across Track GSD ระหว่างมุมเอียง Roll และ Pitch ที่ใช้ในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชด

Viewing Angles (°)	Across Track GSD-Pitch Varies Meter	Across Track GSD-Roll Varies Meter
0	1.8533	1.8533
5	1.8695	1.8735
10	1.8997	1.9158
15	1.9336	2.0558
20	1.9857	2.1397
25	2.0620	2.4009
30	2.1921	2.6858
35	2.3962	3.1878
40	2.5521	3.8813
45	2.8252	4.5343

จากตารางที่ 4-3 จะเห็นได้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของมุมเอียง Roll ที่เพิ่มขึ้น (Across Track GSD-Roll Varies) ส่งผลต่อค่า Across Track GSD มากกว่ามุม Pitch โดยจะมีความแตกต่างกันเมื่อมีมุมเอียงเกิน 10 องศา เป็นต้นไป และที่มุมเอียงเพิ่มขึ้นถึง 30 (Nominal Angle) และ 45 องศา มีความแตกต่างของค่า Across Track GSD เท่ากับ 0.4937 และ 1.7091 เมตร ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำมาแสดงในรูปแบบกราฟเส้นได้ดังภาพที่ 4-3



ภาพที่ 4-3 การเปรียบเทียบค่า Across Track GSD ระหว่างมุมเอียง Roll และ Pitch ที่ใช้ในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชต

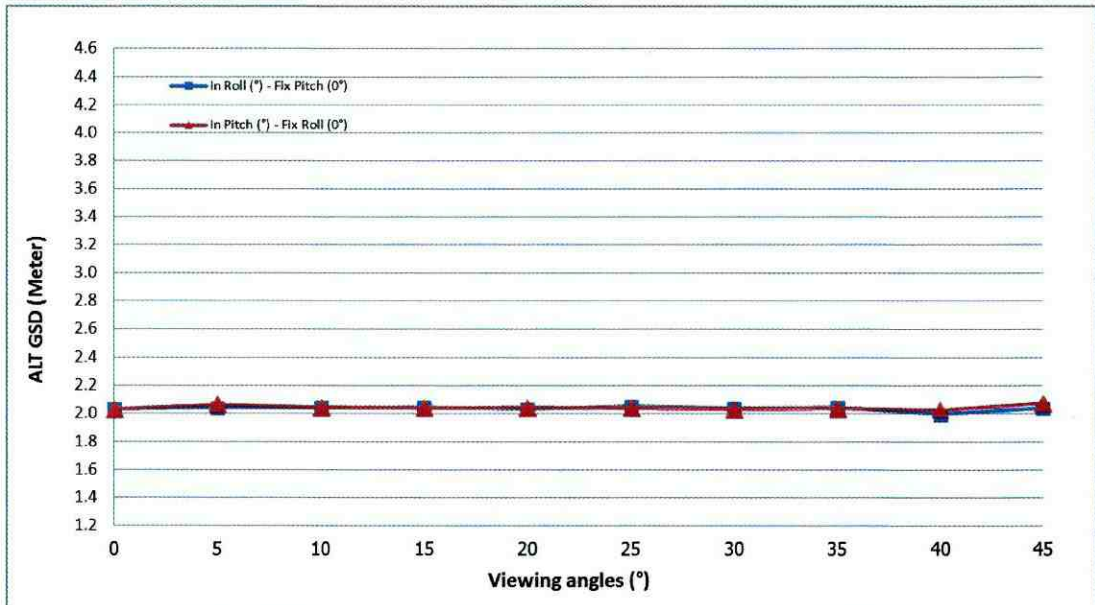
4. การเปรียบเทียบค่า Along Track GSD

ระหว่างการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชตที่ใช้มุมเอียง Roll (กำหนดให้มุม Pitch คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Roll เพิ่มขึ้น 0 – 45 องศา) และการถ่ายภาพที่ใช้มุมเอียง Pitch (กำหนดให้มุม Roll คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Pitch เพิ่มขึ้น 0 – 45 องศา) พบว่า การถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชตโดยใช้มุมเอียง Roll และ Pitch มีผลกระทบต่อค่า Along Track GSD น้อยมาก โดยมีค่าเฉลี่ย Along Track GSD ที่มุมเอียง Roll และมุม Pitch เท่ากับ 2.0402 และ 2.0437 เมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 เปรียบเทียบค่า Along Track GSD ระหว่างมุมเอียง Roll และ Pitch ที่ใช้ในการถ่ายภาพ
ของดาวเทียมไทยโชด

Viewing Angles (°)	Along Track GSD-Pitch Varies Meter	Along Track GSD-Roll Varies Meter
0	2.0360	2.0360
5	2.0650	2.0385
10	2.0436	2.0451
15	2.0381	2.0328
20	2.0458	2.0506
25	2.0435	2.0542
30	2.0375	2.0368
35	2.0416	2.0455
40	2.0288	2.0186
45	2.0575	2.0436
ค่าเฉลี่ย	2.0437	2.0402

จากตารางที่ 4-4 จะเห็นได้ว่าที่มุมเอียง 0 - 45 องศา ค่า Along Track GSD ไม่มีความแตกต่างกันมากนักและมีลักษณะที่คงที่ ทั้งการถ่ายภาพโดยใช้มุมเอียง Pitch และ Roll โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.0437 และ 2.0402 เมตร ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจาก Sensor ของดาวเทียมไทยโชดอ่านค่าแบบ Pushbroom ตามแนวการโคจร (Along Track) ซึ่งเมื่อแสกนหรือกวาดไปตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ก็จะคิดเป็นระยะ Ground Sampling Distance - Along Track คุณสมบัติที่กำหนดนี้คือ อัตราความเร็วบนพื้นโลก (Ground Track Speed) ซึ่งมีค่าประมาณ 6.57 km/ s และ Integration Time (Thaichote Panchromatic 0.0003086 s) คือ ระยะเวลาในการเก็บค่าของข้อมูลภาพที่ถูกบันทึก เมื่อ Scan ครบเวลา Integration Time ในแต่ละครั้ง จะมีการบันทึกค่าจาก CCD ก่อนอ่านค่าต่อไป จึงทำให้ค่าระยะทางในการบันทึกข้อมูลบนพื้นโลก หรือ GSD ในแนว Along Track ไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก ดังภาพที่ 4-4



ภาพที่ 4-4 การเปรียบเทียบค่า Along Track GSD ระหว่างมุมเอียง Roll และ Pitch ที่ใช้ในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชต

จากผลการคำนวณค่า Along Track GSD ที่เกิดจากมุมเอียงถ่ายภาพ Roll และ Pitch ของดาวเทียมไทยโชต ดังภาพที่ 4-4 พบว่า กราฟเส้นมีลักษณะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก และมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับผลการคำนวณที่ได้จากผลคูณของอัตราความเร็วบนพื้นโลก (Ground Track Speed) และเวลาในการบันทึกค่าข้อมูล (Integration Time) ของดาวเทียมไทยโชต ซึ่งมีค่าเท่า 2.0367 m/s จึงทำให้ทราบได้ว่าการเอียงถ่ายภาพด้วยมุม Roll และ Pitch ของดาวเทียมไทยโชตนั้นไม่ส่งผลต่อค่า Along Track GSD

5. ตรวจสอบความถูกต้องการคำนวณค่า Ground Sampling Distance (GSD)

โดยเลือกตัวอย่างชุดข้อมูลภาพที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้ จำนวน 4 ชุดข้อมูลภาพ ที่ครอบคลุมจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) จำนวน 12 จุดอ้างอิง เพื่อคำนวณระยะห่างของจุดอ้างอิงเดียวกันที่ปรากฏบนภาพและพื้นโลก โดยประยุกต์ทฤษฎีพีทาโกรัสและทฤษฎี Spherical Laws of Cosines ดังวิธีดำเนินการวิจัย พบว่า ค่าการคำนวณ GSD บนข้อมูลภาพชุดเดียวกัน ระหว่างจุดอ้างอิงที่ได้จาก Google Earth และ GCP มีความใกล้เคียงกันมาก เมื่อคำนวณค่าสถิติทดสอบ โดยการใช้ T-Test แบบ Independent เพื่อเปรียบเทียบค่า Across Track GSD มีค่า T เท่ากับ -0.0028 และ Significant (P-Value) เท่ากับ 0.9979 ที่ α เท่ากับ 0.05 ดังนั้น ค่า Significant (P-Value) มากกว่า α จึงสรุปได้ว่า

ค่า Across Track GSD ที่คำนวณได้จากจุดอ้างอิง Google Earth และ GCP ไม่แตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบค่า Along Track GSD มีค่า T เท่ากับ -1.8183 และ Significant (P-Value) เท่ากับ 0.2107 ที่ α เท่ากับ 0.05 ดังนั้น ค่า Significant (P-Value) มากกว่า α จึงสรุปได้ว่า ค่า Along Track GSD ที่คำนวณได้จากจุดอ้างอิง Google Earth และ GCP ไม่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 เปรียบเทียบความถูกต้องในการคำนวณค่า GSD โดยใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) และจุดอ้างอิงจาก Google Earth บนข้อมูลภาพถ่ายเดียวกัน

Image label	Date	Roll angle	Pitch angle	Ref.Point	ACT GSD	ALT GSD
		(°)	(°)		Meter	Meter
TH-562002	14/3/2012	-2.7501	15.1860	Google ALT		2.0373
	14/3/2012	-2.7501	15.1860	Google ACT	1.9343	
	14/3/2012	-2.7501	15.1860	GCP ALT		2.0434
	14/3/2012	-2.7501	15.1860	GCP ACT	1.9349	
TH-841549	24/1/2014	-4.6554	-44.9201	Google ALT		2.0395
	24/1/2014	-4.6554	-44.9201	Google ACT	2.8232	
	24/1/2014	-4.6554	-44.9201	GCP ALT		2.0487
	24/1/2014	-4.6554	-44.9201	GCP ACT	2.8212	
TH-283876	8/7/2010	19.2294	-1.3233	Google ALT		2.0403
	8/7/2010	19.2294	-1.3233	Google ACT	2.1239	
	8/7/2010	19.2294	-1.3233	GCP ALT		2.0661
	8/7/2010	19.2294	-1.3233	GCP ACT	2.1233	
TH-497868	24/11/2011	40.7863	-3.3276	Google ALT		2.0448
	24/11/2011	40.7863	-3.3276	Google ACT	3.8500	
	24/11/2011	40.7863	-3.3276	GCP ALT		2.0409
	24/11/2011	40.7863	-3.3276	GCP ACT	3.8586	

หมายเหตุ : ค่าสถิติทดสอบ T-Test ดังตารางภาคผนวก ก-2 และตารางภาคผนวก ก-4

ความสัมพันธ์ของมุมเอียงและทิศทางที่ใช้ในการถ่ายภาพที่ส่งผลต่อรายละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลภาพดาวเทียมไทยโชด

1. สมการโพลีโนเมียลกำลังสองแสดงความสัมพันธ์ของมุมเอียงถ่ายภาพและค่า GSD จากการคำนวณค่า GSD ที่มุมเอียง Roll และ Pitch เพิ่มขึ้น 0-45; 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 องศา จึงทำให้ทราบได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของมุมเอียงที่เพิ่มขึ้นและทิศทางที่ใช้ในการถ่ายภาพที่แตกต่างกันของดาวเทียมไทยโชดนั้นมีรูปแบบการแสดงผลต่อค่า GSD ใน 2 ลักษณะ คือ

Along Track GSD พบว่า มุมเอียงถ่ายภาพ Roll และ Pitch มีผลกระทบต่อค่า Along Track GSD น้อยมาก ซึ่งมีความคงที่และมีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับการบันทึกภาพที่มุม Nadir (Along Track GSD at Nadir) เท่ากับ 2.0367 เมตร

Across Track GSD พบว่า มุมเอียงถ่ายภาพ Roll และ Pitch มีผลกระทบต่อค่า Across Track GSD เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงมุมมองการถ่ายภาพที่เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4-3 ในข้างต้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณค่า Across Track GSD ดังกล่าวสามารถนำมาสร้างแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสองได้ ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Across Track GSD และการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชดโดยใช้มุมเอียง Roll ดังสมการที่ 4-1

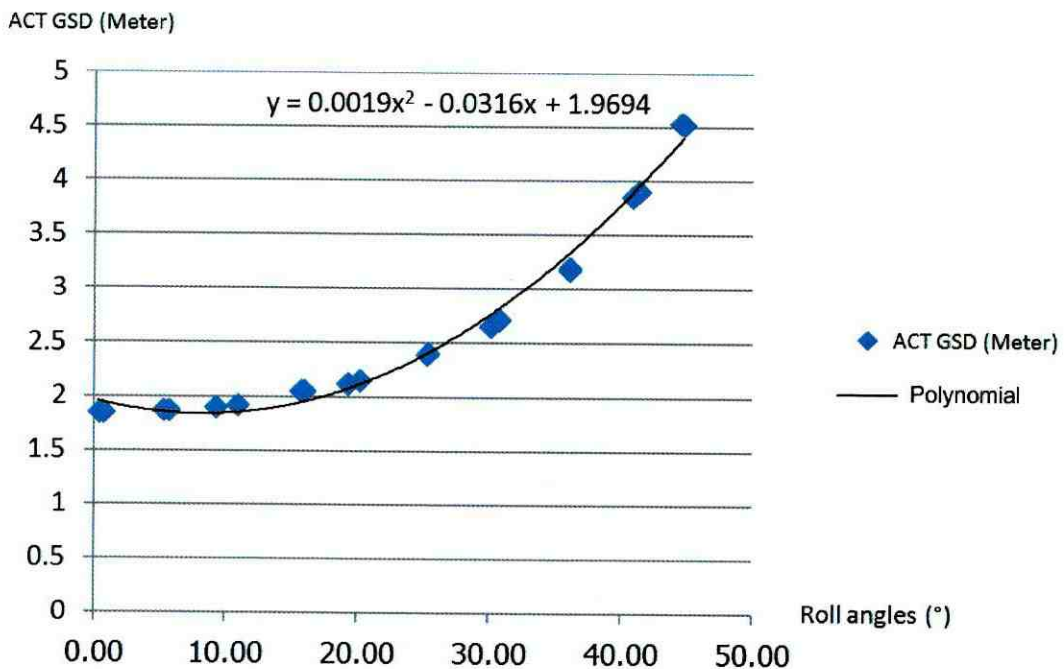
$$y = 0.0019x^2 - 0.0316x + 1.9694 \quad (4-1)$$

เมื่อ y คือ ค่า Across Track GSD

x คือ มุม Roll ที่ใช้ในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชด

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination : R-Square, R^2) เท่ากับ 0.9950 แสดงว่ามุม Roll (x) สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า Across Track GSD (y) ได้ร้อยละ 99.50

จากสมการที่ 4-1 เป็นการแสดงความสัมพันธ์อย่างง่าย ระหว่างมุมเอียง Roll ที่ใช้ในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชดและค่า Across Track GSD เพื่อคาดการณ์หรือประเมินแนวโน้มของค่า Across Track GSD ดังภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ ระหว่างมุมเอียง Roll ที่ใช้ในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชต และค่า Across Track GSD ที่เปลี่ยนแปลง

2. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Across Track GSD และการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชต โดยใช้มุมเอียง Pitch ดังสมการที่ 4-2

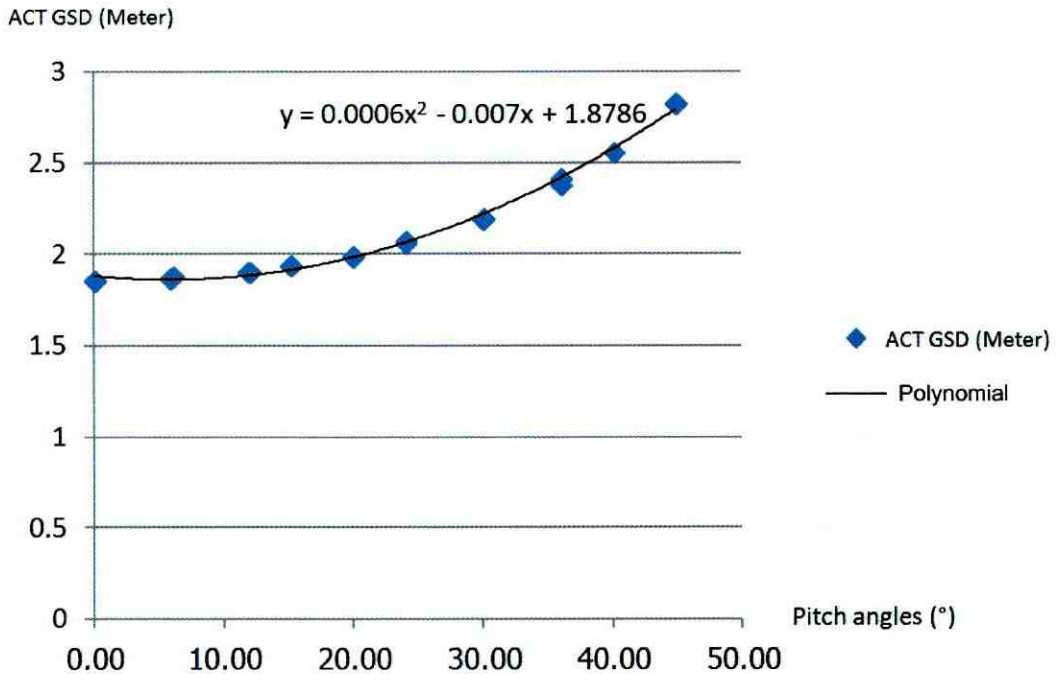
$$y = 0.0006x^2 - 0.007x + 1.8786 \quad (4-2)$$

เมื่อ y คือ ค่า Across Track GSD

x คือ มุม Pitch ที่ใช้ในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชต

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination : R-Square, R^2) เท่ากับ 0.9894 แสดงว่ามุม Pitch (x) สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า Across Track GSD (y) ได้ร้อยละ 98.94

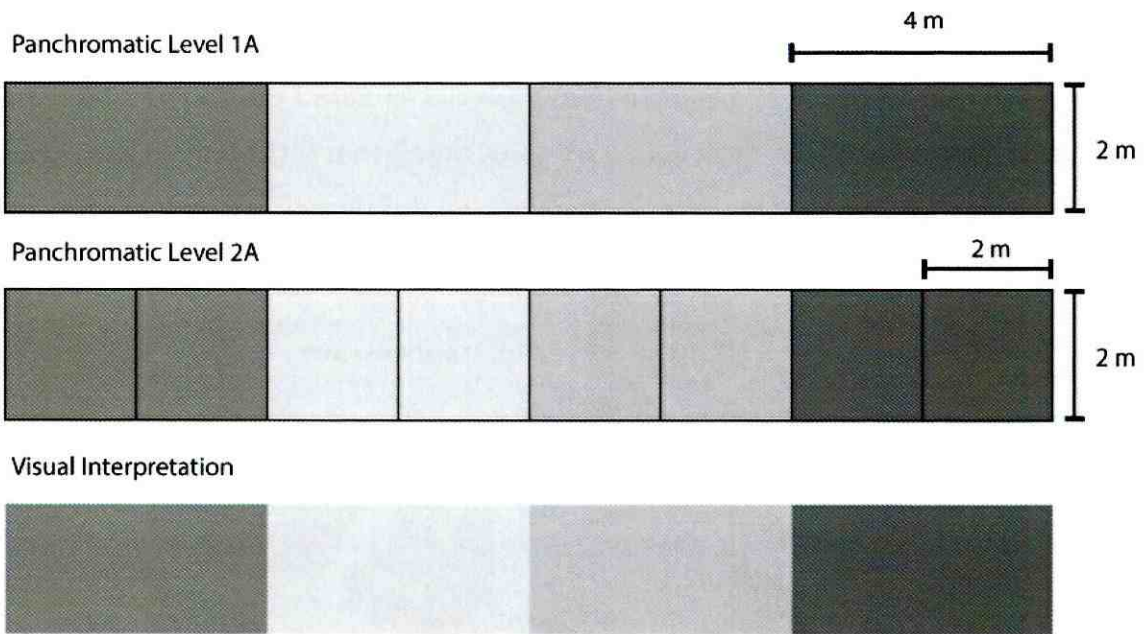
จากสมการที่ 4-2 เป็นการแสดงความสัมพันธ์อย่างง่าย ระหว่างมุมเอียง Pitch ที่ใช้ในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชตและค่า Across Track GSD เพื่อคาดการณ์หรือประเมินแนวโน้มของค่า Across Track GSD ดังภาพที่ 4-6



ภาพที่ 4-6 ความสัมพันธ์ ระหว่างมุมเอียง Pitch ที่ใช้ในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชต และค่า Across Track GSD ที่เปลี่ยนแปลง

2. ผลกระทบจากมุมเอียงถ่ายภาพต่อรายละเอียดเชิงพื้นที่

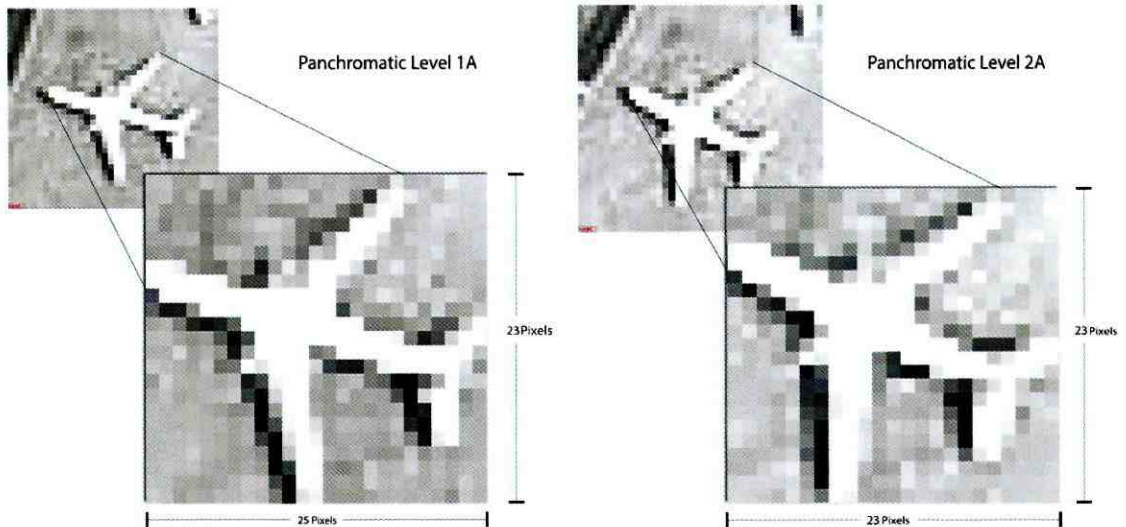
ค่า GSD ที่เปลี่ยนแปลงตามมุมเอียงที่ใช้บันทึกภาพถือเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการแสดงผลจุดภาพ (Pixel) หากข้อมูลภาพตั้งต้นมีความหยาบหรือมีความละเอียดของจุดภาพไม่ดีพอ ก็จะทำให้การแสดงผลของรายละเอียดเชิงพื้นที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก ค่า GSD บนข้อมูลภาพ ระดับ 1A ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิต จะทำให้ทราบถึงรายละเอียดของจุดภาพที่แท้จริงก่อนผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิตจากระบบผลิตภาพถ่ายดาวเทียมภาคพื้นดิน (Image Ground Segment) ซึ่งข้อมูลภาพจะถูกประมาณค่าในช่วงข้อมูลใหม่ (Re-Sampling) ตามคุณลักษณะของข้อมูลภาพดาวเทียมไทยโชต Panchromatic ระดับ 2A คือ ทุก ๆ จุดภาพจะมีขนาดเท่ากับ 2 ตารางเมตร นั้นหมายความว่าขนาดของจุดภาพที่เกิดจากมุมเอียงถ่ายภาพสูง เช่น ภาพ Panchromatic ระดับ 1A บันทึกภาพที่มุมเอียง Roll 45 องศา และมุม Pitch คงที่ใกล้มุม Nadir การแสดงผลใน 1 จุดภาพ (Pixel) มีค่า Across Track GSD เท่ากับ 4 เมตร และ Along Track GSD เท่ากับ 2 เมตร เมื่อผลิตเป็นข้อมูลภาพ ระดับ 2A ระบบผลิตจะกำหนดขนาดของจุดภาพใหม่ให้เท่ากับ 2 ตารางเมตร ดังนั้น ขนาดของจุดภาพในแนว Across Track จะถูกแบ่งออกเป็น 2 จุดภาพ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อารแปลตีความภาพด้วยสายตาเพื่อจำแนกวัตถุที่ปรากฏบนภาพ หรือการคำนวณพื้นที่อาจมีความผิดพลาดไปจากความเป็นจริงได้ ดังภาพที่ 4-7



ภาพที่ 4-7 ภาพจำลองเปรียบเทียบการแสดงผลขนาดของจุดภาพ ระหว่างข้อมูลภาพระดับ 1A และระดับ 2A ที่มีมุมเอียงถ่ายภาพสูง

จากภาพที่ 4-7 จะเห็นได้ว่าข้อมูลภาพระดับ 2A ที่ผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิตและประมาณค่าในช่วงข้อมูลใหม่เป็น 2 ตารางเมตร ยังไม่สามารถแปลความภาพด้วยสายตาเพื่อจำแนกวัตถุที่ปรากฏออกจากกันได้อย่างชัดเจน อันเป็นผลมาจากคุณภาพของข้อมูลตั้งต้น (ระดับ 1A) ที่มีมุมเอียงถ่ายภาพสูงให้ความละเอียดของจุดภาพต่ำ ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบและเปรียบเทียบการแสดงผลจุดภาพบนข้อมูลภาพ Panchromatic ระดับ 1A และระดับ 2A โดยเลือกตัวอย่างชุดข้อมูลที่มีมุมเอียงถ่ายภาพแตกต่างกัน กำหนดให้มีมุม Pitch คงที่ใกล้ Nadir และมุม Roll เพิ่มขึ้นจาก Nadir, 15, 30, และ 45 องศาตามลำดับ ดังนี้

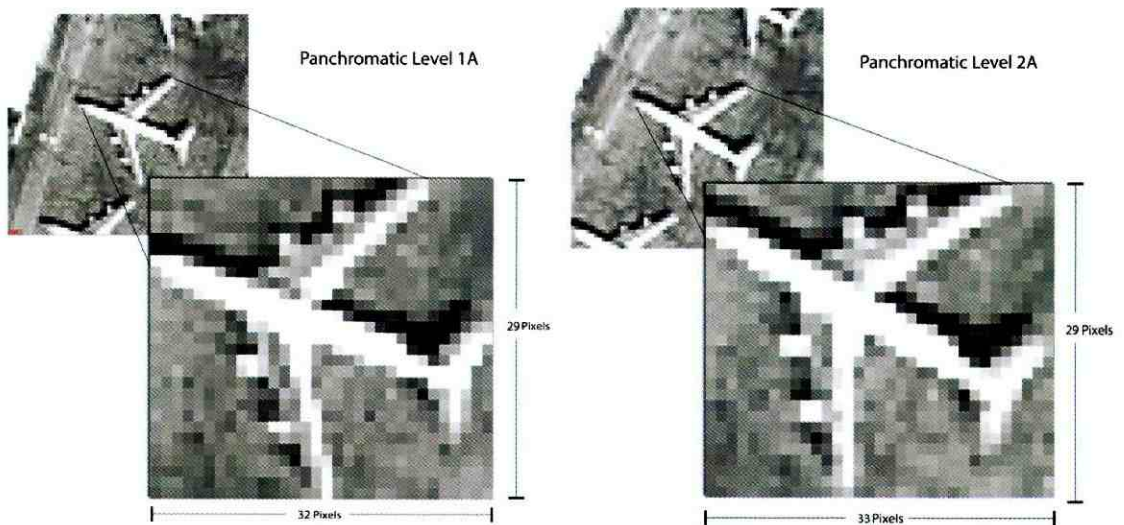
1. ข้อมูลภาพบันทึกที่ Nadir พบว่า การแสดงผลจุดภาพบนข้อมูลภาพ ระดับ 1A มีค่า Across Track GSD เท่ากับ 1.8487 เมตร แสดงจำนวนจุดภาพเท่ากับ 25 จุดภาพ มีความกว้างในแนว Across Track เท่ากับ 46.2175 เมตร ส่วนค่า Along Track GSD เท่ากับ 2.0367 เมตร แสดงจำนวนจุดภาพเท่ากับ 23 จุดภาพ มีความกว้างในแนว Along Track เท่ากับ 46.8441 เมตร ดังภาพที่ 4-8



ภาพที่ 4-8 เปรียบเทียบการแสดงผลจุดภาพบนข้อมูลภาพ Panchromatic ระดับ 1A และระดับ 2A บันทึกภาพที่มุม Nadir

เมื่อผลิตข้อมูลภาพ ระดับ 2A มาเปรียบเทียบการแสดงผลจุดภาพจึงพบว่า ขนาดของจุดภาพบนข้อมูลภาพ ระดับ 1A จะถูกกำหนดขนาดของจุดภาพใหม่ให้มีขนาดเท่ากับ 2 ตารางเมตร โดยจุดภาพในแนว Along Track จะมีขนาดที่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงและมีจำนวนจุดภาพในแนว Along Track เท่ากับ 23 จุดภาพ มีความกว้างในแนว Along Track เท่ากับ 46 เมตร ส่วนขนาดของจุดภาพในแนว Across Track จะถูกกำหนดค่าใหม่ให้มีขนาดเท่ากับ 2 เมตร จึงทำให้การแสดงผลจุดภาพบนข้อมูลภาพ ระดับ 2A มีจำนวนจุดภาพในแนว Across Track เท่ากับ 23 จุดภาพ และมีความกว้างในแนว Across Track เท่ากับ 46 เมตร

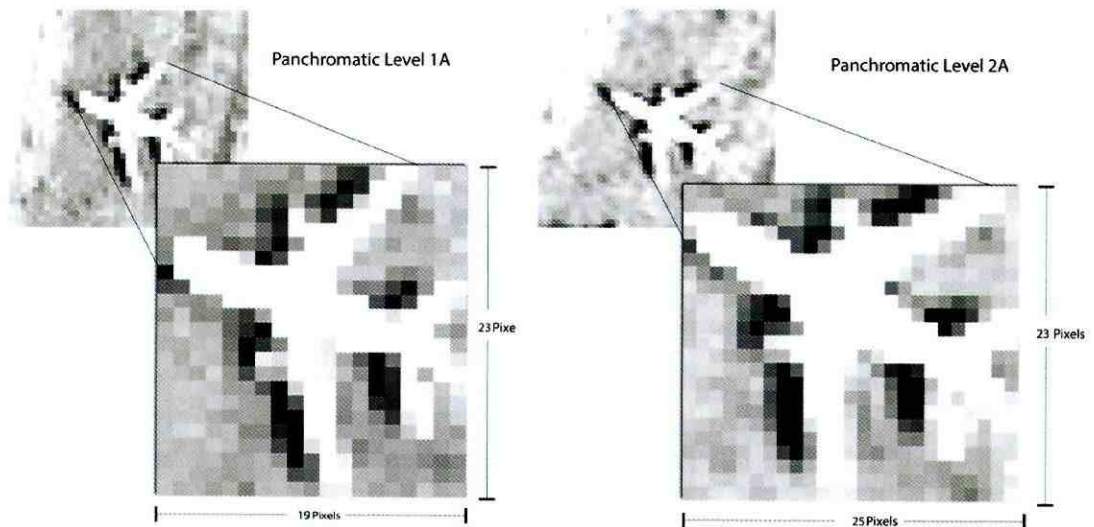
2. ข้อมูลภาพบันทึกที่มุมเอียง Roll 15 องศา และมุม Pitch คงที่ใกล้มุม Nadir พบว่า การแสดงผลจุดภาพบนข้อมูลภาพ ระดับ 1A มีค่า Across Track GSD เท่ากับ 2.0558 เมตร แสดงจำนวนจุดภาพเท่ากับ 32 จุดภาพ มีความกว้างในแนว Across Track เท่ากับ 65.792 เมตร ส่วนค่า Along Track GSD เท่ากับ 2.0328 เมตร แสดงจำนวนจุดภาพเท่ากับ 29 จุดภาพ มีความกว้างในแนว Along Track เท่ากับ 58.951 เมตร ดังภาพที่ 4-9



ภาพที่ 4-9 เปรียบเทียบการแสดงผลจุดภาพบนข้อมูลภาพ Panchromatic ระดับ 1A และระดับ 2A บันทึกภาพที่มุมเอียง Roll 15 องศา

เมื่อผลิตข้อมูลภาพ ระดับ 2A มาเปรียบเทียบการแสดงผลจุดภาพจึงพบว่า ขนาดของจุดภาพบนข้อมูลภาพ ระดับ 1A จะถูกกำหนดขนาดของจุดภาพใหม่ให้มีขนาดเท่ากับ 2 ตารางเมตร โดยจุดภาพในแนว Along Track จะมีขนาดที่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงและมีจำนวนจุดภาพในแนว Along Track เท่ากับ 29 จุดภาพ มีความกว้างในแนว Along Track เท่ากับ 58 เมตร ส่วนขนาดของจุดภาพในแนว Across Track จะถูกกำหนดค่าใหม่ให้มีขนาดเท่ากับ 2 เมตร จึงทำให้การแสดงผลจุดภาพบนข้อมูลภาพ ระดับ 2A มีจำนวนจุดภาพในแนว Across Track เท่ากับ 33 จุดภาพ และมีความกว้างในแนว Across Track เท่ากับ 66 เมตร

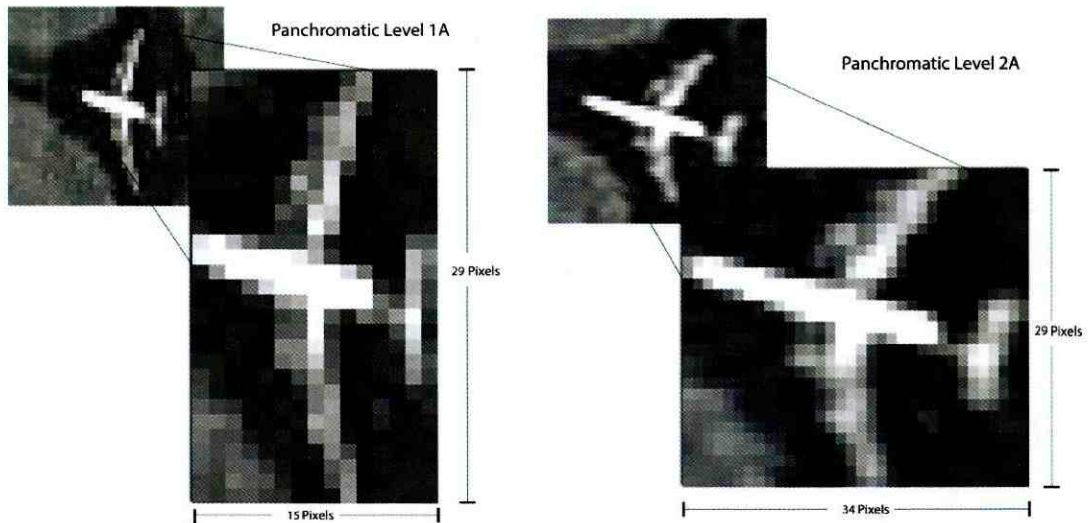
3. ข้อมูลภาพบันทึกที่มุมเอียง Roll 30 องศา และมุม Pitch คงที่ใกล้มุม Nadir พบว่า การแสดงผลจุดภาพบนข้อมูลภาพ ระดับ 1A มีค่า Across Track GSD เท่ากับ 2.6858 เมตร แสดงจำนวนจุดภาพเท่ากับ 19 จุดภาพ มีความกว้างในแนว Across Track เท่ากับ 50.5172 เมตร ส่วนค่า Along Track GSD เท่ากับ 2.0368 เมตร แสดงจำนวนจุดภาพเท่ากับ 23 จุดภาพ มีความกว้างในแนว Along Track เท่ากับ 46.8464 เมตร ดังภาพที่ 4-10



ภาพที่ 4-10 เปรียบเทียบการแสดงผลจุดภาพบนข้อมูลภาพ Panchromatic ระดับ 1A และระดับ 2A บันทึกภาพที่มุมเอียง Roll 30 องศา

เมื่อผลิตข้อมูลภาพ ระดับ 2A มาเปรียบเทียบการแสดงผลจุดภาพจึงพบว่า ขนาดของจุดภาพบนข้อมูลภาพ ระดับ 1A จะถูกกำหนดขนาดของจุดภาพใหม่ให้มีขนาดเท่ากับ 2 ตารางเมตร โดยจุดภาพในแนว Along Track จะมีขนาดที่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงและมีจำนวนจุดภาพในแนว Along Track เท่ากับ 25 จุดภาพ มีความกว้างในแนว Along Track เท่ากับ 50 เมตร ส่วนขนาดของจุดภาพในแนว Across Track จะถูกกำหนดค่าใหม่ให้มีขนาดเท่ากับ 2 เมตร จึงทำให้การแสดงผลจุดภาพบนข้อมูลภาพ ระดับ 2A มีจำนวนจุดภาพในแนว Across Track เท่ากับ 23 จุดภาพ และมีความกว้างในแนว Across Track เท่ากับ 46 เมตร

4. ข้อมูลภาพบันทึกที่มุมเอียง Roll 45 องศา และมุม Pitch คงที่ใกล้มุม Nadir พบว่า การแสดงผลจุดภาพบนข้อมูลภาพ ระดับ 1A มีค่า Across Track GSD เท่ากับ 4.5343 เมตร แสดงจำนวนจุดภาพเท่ากับ 15 จุดภาพ มีความกว้างในแนว Across Track เท่ากับ 68.0145 เมตร ส่วนค่า Along Track GSD เท่ากับ 2.0367 เมตร แสดงจำนวนจุดภาพเท่ากับ 29 จุดภาพ มีความกว้างในแนว Along Track เท่ากับ 59.0643 เมตร ดังภาพที่ 4-11

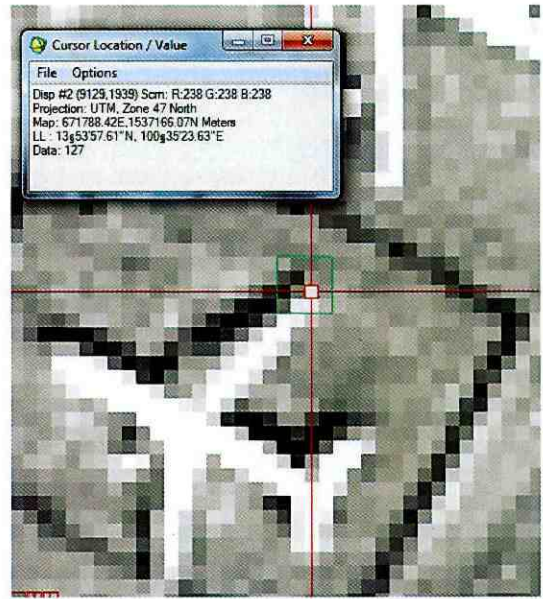
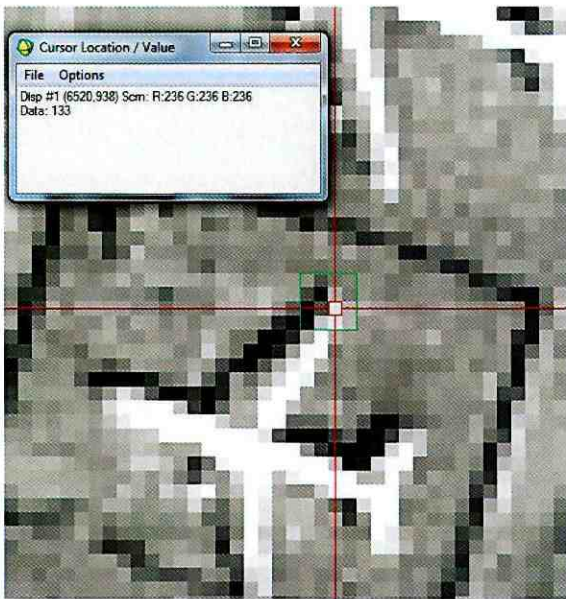


ภาพที่ 4-11 เปรียบเทียบการแสดงผลจุดภาพบนข้อมูลภาพ Panchromatic ระดับ 1A และระดับ 2A บันทึกภาพที่มุมเอียง Roll 45 องศา

เมื่อผลิตข้อมูลภาพ ระดับ 2A มาเปรียบเทียบการแสดงผลจุดภาพจึงพบว่า ขนาดของจุดภาพบนข้อมูลภาพ ระดับ 1A จะถูกกำหนดขนาดของจุดภาพใหม่ให้มีขนาดเท่ากับ 2 ตารางเมตร โดยจุดภาพในแนว Along Track จะมีขนาดที่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงและมีจำนวนจุดภาพในแนว Along Track เท่ากับ 29 จุดภาพ มีความกว้างในแนว Along Track เท่ากับ 58 เมตร ส่วนขนาดของจุดภาพในแนว Across Track จะถูกกำหนดค่าใหม่ให้มีขนาดเท่ากับ 2 เมตร จึงทำให้การแสดงผลจุดภาพบนข้อมูลภาพ ระดับ 2A มีจำนวนจุดภาพในแนว Across Track เท่ากับ 34 จุดภาพ และมีความกว้างในแนว Across Track เท่ากับ 68 เมตร

จากการทดสอบและเปรียบเทียบการแสดงผลรายละเอียดของจุดภาพที่มุมเอียงถ่ายภาพ Roll เพิ่มขึ้นจาก Nadir, 15, 30 และ 45 องศา ในช่วงต้น พบว่า มุมเอียงถ่ายภาพที่สูงขึ้นส่งผลต่อค่า GSD ในแนว Across Track บนข้อมูลภาพระดับ 1A ซึ่งจะถูกกำหนดค่าใหม่ให้มีขนาดเท่ากับ 2 เมตร เสมอเมื่อผ่านกระบวนการประมาณค่าในช่วงข้อมูลใหม่ (Re-Sampling) จึงทำให้จุดภาพที่ปรากฏบนข้อมูลภาพระดับ 2A มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ส่วนค่า GSD ในแนว Along Track จะคงที่ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.0367 เมตร ซึ่งเป็นผลมาจากการบันทึกภาพแบบ Pushbroom ตามแนวการโคจร (Along Track) ของดาวเทียมไทยโชต โดยขนาดของจุดภาพในแนว Along Track จะถูกกำหนดด้วยอัตราความเร็วบนพื้นโลก (Ground Track Speed) มีค่าประมาณ 6.57 km/s และ Integration Time (Thaichote Panchromatic 0.0003086 s) ดังนั้น จำนวนจุดภาพในแนว Along Track จึงมีจำนวนเท่ากันทั้งภาพระดับ 1A และระดับ 2A อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าความกว้างของข้อมูลภาพ ซึ่งคำนวณได้จากผลคูณของค่า GSD และจำนวนจุดภาพที่ปรากฏ ทั้งในแนว Across Track และ Along Track บนข้อมูลภาพทั้ง 2 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก

เมื่อพิจารณาถึงกระบวนการประมาณค่าในช่วงข้อมูลใหม่ (Re-Sampling) ซึ่งระบบผลิตข้อมูลภาพดาวเทียมไทยโชตจะใช้กรรมวิธีแบบประสานเชิงลูกบาศก์ (Cubic Convolution Interpolation) โดยการนำเอาค่าความเข้มของจุดภาพรอบข้างจำนวน 16 จุดภาพ มาใช้ในการคำนวณ ซึ่งให้ผลที่ดีในด้านความต่อเนื่องของข้อมูล แต่การแสดงค่าระดับความเข้มสี (Digital Number, DN) จะถูกเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้ จากความสัมพันธ์ของมุมเอียงถ่ายภาพที่ส่งผลกระทบต่อค่า GSD นั้น ก็มีผลต่อการแสดงค่า DN เช่นเดียวกัน ดังภาพที่ 4-12 พบว่า การบันทึกภาพที่มุม Roll 15 องศา ยังคงรายละเอียดเชิงพื้นที่และการแสดงค่าสีในแต่ละจุดภาพหลังผ่านกระบวนการ Re-Sampling ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก โดยแสดงค่า DN ในกรอบสี่แดงบนข้อมูลภาพระดับ 1A และระดับ 2A เท่ากับ 133 และ 127 ตามลำดับ และการแสดงผลของค่า DN โดยรอบจำนวน 16 จุดภาพ (กรอบสี่เขียว) ให้ผลลัพธ์ที่มีความใกล้เคียงกัน นั่นแสดงถึงแนวโน้มของการให้รายละเอียดเชิงพื้นที่ที่ยังคงคุณภาพตามข้อมูลต้นฉบับ



99	78	90	95
77	61	108	91
58	79	133	111
61	117	132	110

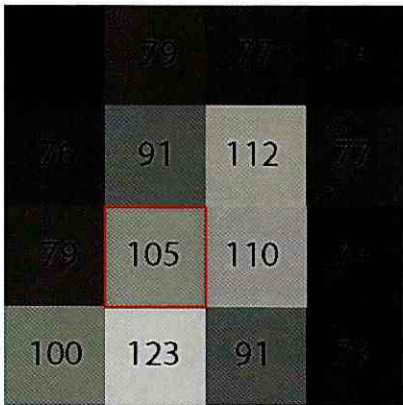
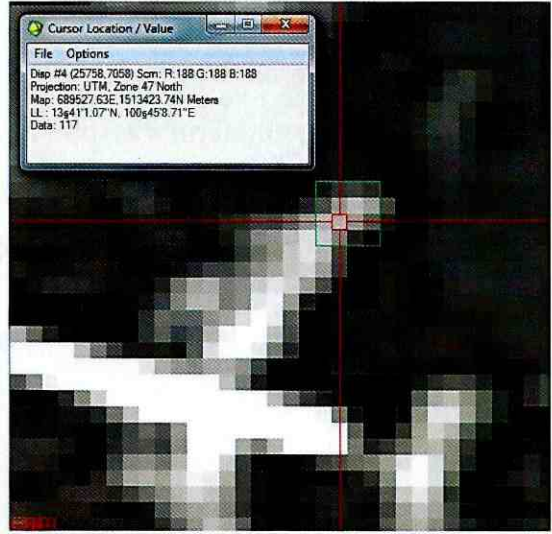
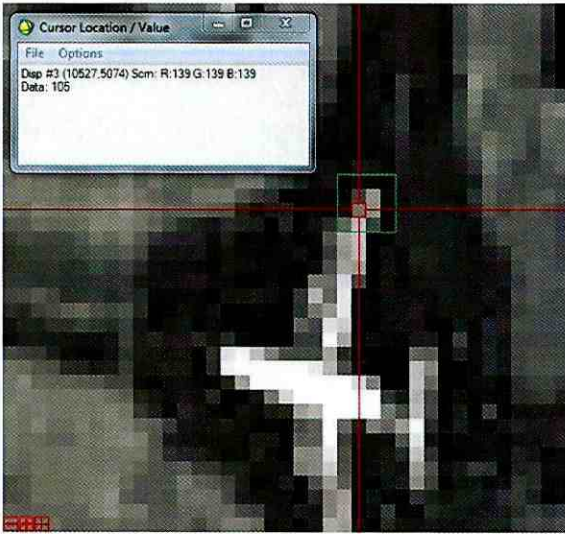
Panchromatic Level 1A

100	83	86	91
74	65	98	91
56	89	127	98
81	129	134	109

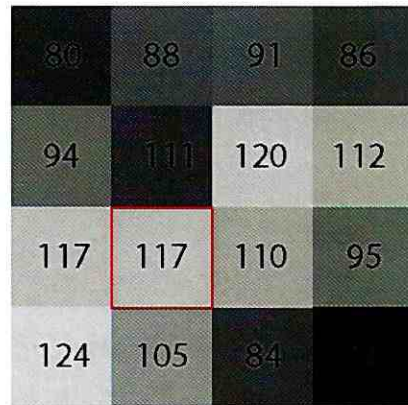
Panchromatic Level 2A

ภาพที่ 4-12 เปรียบเทียบการแสดงค่า Digital Number ระหว่างข้อมูลภาพ Panchromatic ระดับ 1A และ ระดับ 2A บนที่ภาพที่มุม Roll 15 องศา

เมื่อเปรียบเทียบกับการบันทึกภาพที่มีมุมเอียงสูง (Roll 45 องศา) ขนาดของจุดภาพบน ข้อมูลภาพระดับ 1A จะขยายเพิ่มมากขึ้นตามค่า GSD หรือกล่าวได้ว่าข้อมูลภาพตั้งต้นมีความละเอียด ของข้อมูลต่ำ เมื่อผ่านกระบวนการ Re-Sampling ให้ขนาดของจุดภาพเท่ากับ 2 ตารางเมตร ระดับความ เข้มของค่าสีที่แสดงออกมาในแต่ละจุดภาพที่อยู่ติดกันจึงมีค่าที่เปลี่ยนแปลง ไปมาก ดังภาพที่ 4-13



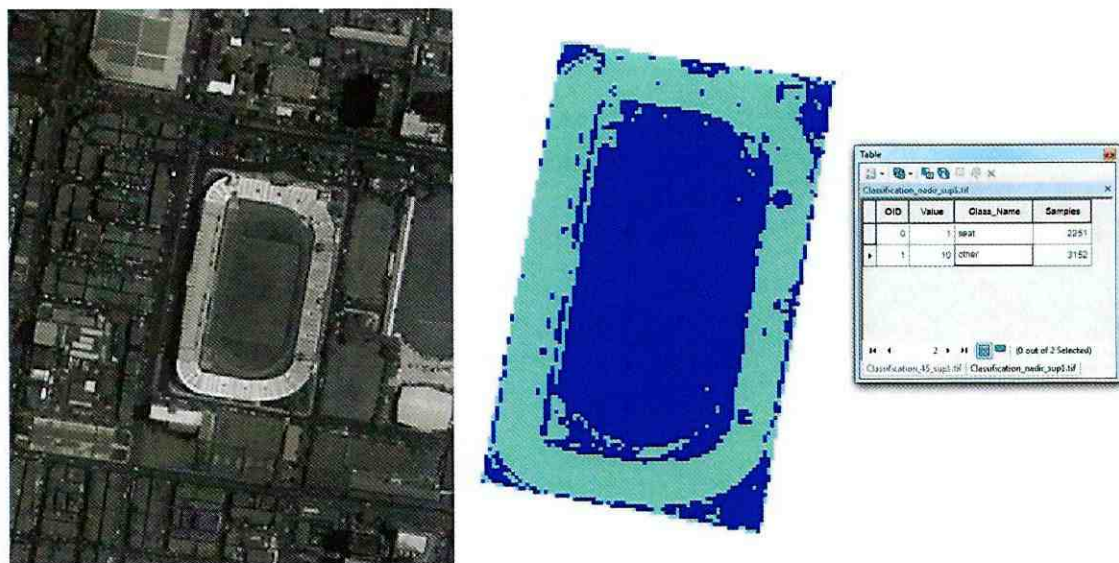
Panchromatic Level 1A



Panchromatic Level 1A

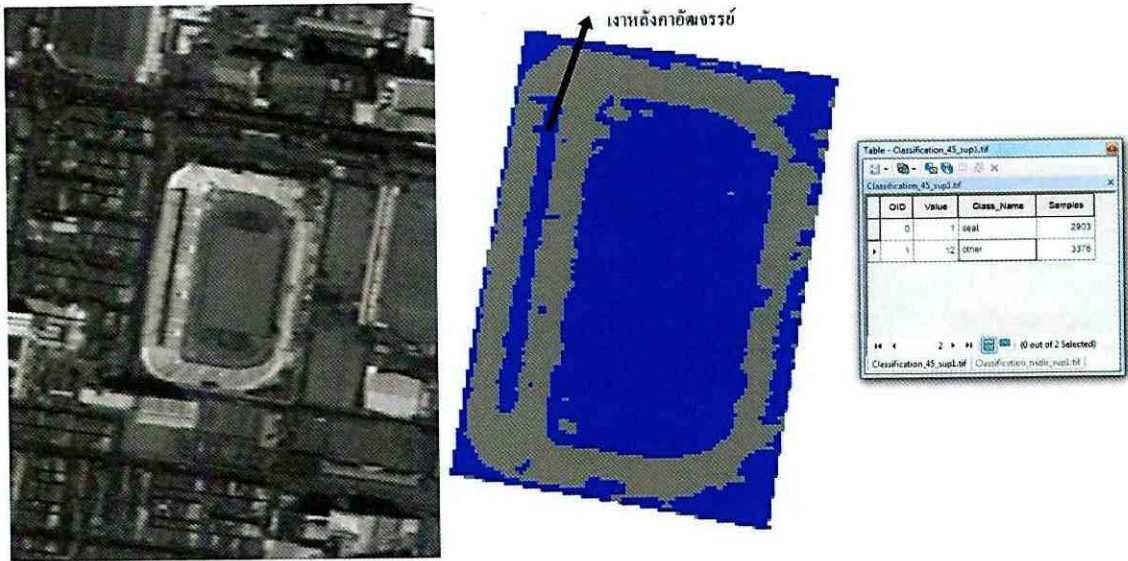
ภาพที่ 4-13 เปรียบเทียบการแสดงผลค่า Digital Number ระหว่างข้อมูลภาพ Panchromatic ระดับ 1A และ ระดับ 2A บันทึกภาพที่มุม Roll 45 องศา

จากภาพที่ 4-13 พบว่า กระบวนการประมาณค่าในช่วงข้อมูลใหม่ (Re-Sampling) ทำให้การแสดงผลข้อมูลภาพมีความต่อเนื่องกัน แต่คุณภาพของข้อมูลที่ได้รับลดลง จะเห็นได้ว่าภาพระดับ 2A ขาดความคมชัดและมีการเปลี่ยนแปลงของค่า DN ไปจากเดิม โดยแสดงค่า DN ในกรอบสีแดงบน ข้อมูลภาพระดับ 1A และระดับ 2A เท่ากับ 105 และ 117 ตามลำดับ และการแสดงผลของค่า DN จำนวน 16 จุดภาพ (กรอบสีเขียว) ให้ผลลัพธ์ที่ต่างไปจากข้อมูลภาพต้นฉบับ (ระดับ 1A) ซึ่งค่า DN จะเปลี่ยนแปลงตามจำนวนจุดภาพที่เพิ่มขึ้น โดยจุดภาพที่อยู่ติดกันจะมีลักษณะของค่า DN ที่ใกล้เคียงกัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการจำแนกวัตถุที่ปรากฏบนภาพด้วยสายตา (Visual Interpretation) ลดน้อยลงตามไปด้วย ตลอดจนการนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 4-15 แสดงผลการจำแนกประเภทข้อมูลแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) บริเวณพื้นที่สนามศุภชลาศัย ข้อมูลภาพบันทึกที่มุม Nadir

เมื่อนำข้อมูลภาพที่บันทึกด้วยมุมเอียง Roll 45 องศา มาจำแนกข้อมูลภาพด้วยวิธีการเดียวกันพบว่า พื้นที่อ้อมจันทร์แสดงจำนวนจุดภาพเพิ่มขึ้นเป็น 2,903 จุดภาพ หรือคิดเป็นพื้นที่ 5,806 ตารางเมตร ซึ่งมีพื้นที่เพิ่มขึ้นจากการบันทึกภาพที่มุม Nadir ถึง 1,304 ตารางเมตร ทั้งนี้ไม่นับรวมพื้นที่ในส่วนของเงาหลังคาอ้อมจันทร์ ดังภาพที่ 4-16 จึงทำให้ทราบได้ว่าในพื้นที่บริเวณเดียวกันและไม่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ตามกาลเวลา แต่การบันทึกภาพที่มีมุมเอียงต่างกันนั้น ส่งผลให้รายละเอียดเชิงพื้นที่บนข้อมูลภาพเปลี่ยนไป ย่อมทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้น การพิจารณาเลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชด โดยคำนึงถึงมุมเอียงถ่ายภาพจึงมีความสำคัญเพื่อประโยชน์สูงสุดต่อผู้ใช้ข้อมูล



ภาพที่ 4-16 แสดงผลการจำแนกประเภทข้อมูลแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) บริเวณพื้นที่สนามศุภชลาศัย ข้อมูลภาพบันทึกที่มุมเอียง Roll 45 องศา

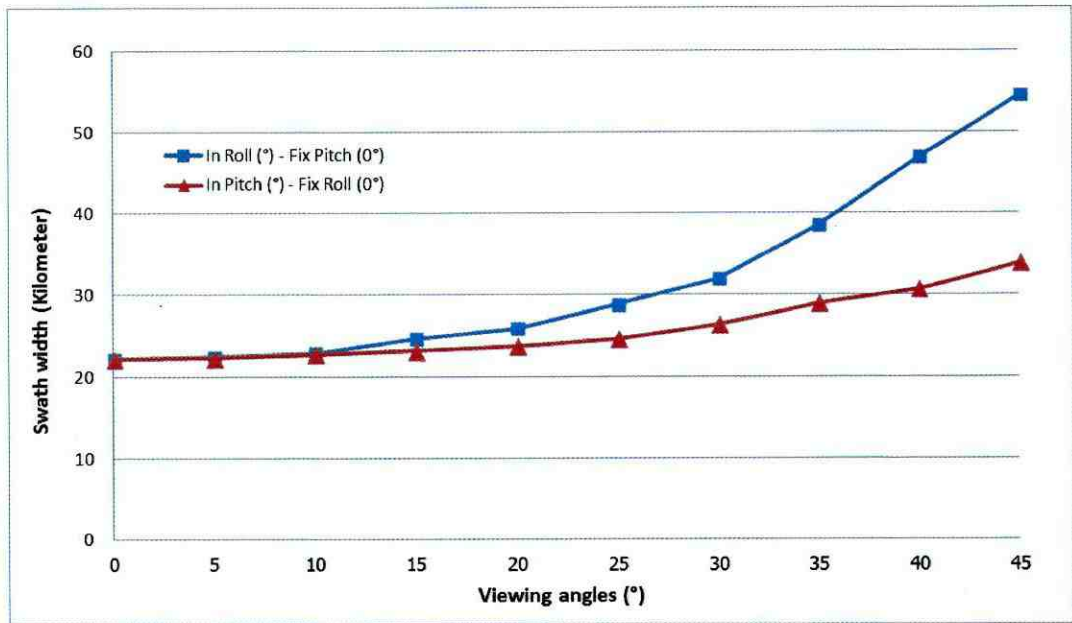
ความสัมพันธ์ของค่า Across Track GSD และความกว้างของแนวบันทึกภาพดาวเทียมไทยโชต (Swath Width)

จากคุณลักษณะของอุปกรณ์รับรู้ดาวเทียมไทยโชต (CCD) มีจำนวน 12,000 Pixels เรียงตัวในแถวเดียวกัน (Pixel in Array) สามารถคำนวณความกว้างของแนวบันทึกภาพ (Swath Width) ในมุมเอียงถ่ายภาพที่แตกต่างกันได้ โดยผลคูณของค่า GSD และจำนวน Pixel in Array จากการศึกษพบว่า ค่า Across Track GSD ที่มุมเอียง Pitch และ Roll เพิ่มมากขึ้น จะส่งผลต่อความกว้างของแนวบันทึกภาพเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งมีข้อดี คือ ทำให้ครอบคลุมพื้นที่เป้าหมายเป็นบริเวณกว้าง แต่ในทางกลับกันค่า Across Track GSD ที่เพิ่มสูงขึ้นย่อมส่งผลถึงรายละเอียดของจุดภาพและคุณภาพของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมลดลง ดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 แสดงความสัมพันธ์ของค่า Across Track GSD และความกว้างของแนวนันท์ภาพ
(Swath Width)

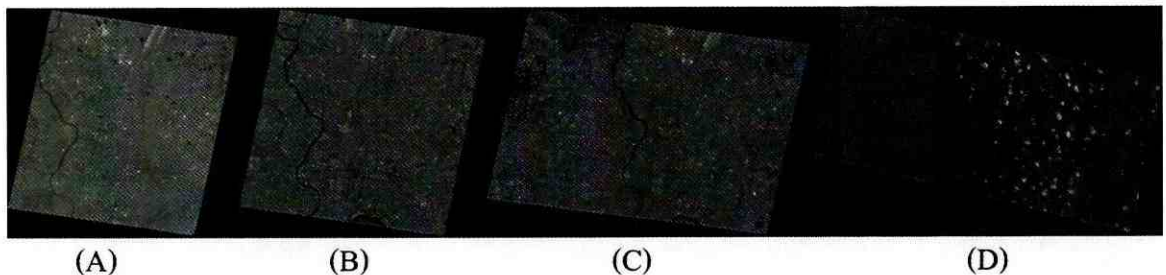
Viewing Angle (°)	ACT GSD in Roll Meter	Swath Width in Roll Kilometers	ACT GSD in Pitch Meter	Swath Width in Pitch Kilometers
0	1.8533	22.2400	1.8533	22.2400
5	1.8735	22.4819	1.8695	22.4342
10	1.9158	22.9894	1.8997	22.7966
15	2.0558	24.6700	1.9336	23.2027
20	2.1397	25.6758	1.9857	23.8285
25	2.4009	28.8104	2.0620	24.7442
30	2.6858	32.2302	2.1921	26.3050
35	3.1878	38.2531	2.3962	28.7546
40	3.8813	46.5761	2.5521	30.6252
45	4.5343	54.4119	2.8252	33.9028

จากตารางที่ 4-6 แสดงค่า Across Track GSD ที่เปลี่ยนแปลงไปตามมุมเอียงการถ่ายภาพที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้จากคุณลักษณะของข้อมูลภาพไทย โซด Panchromatic ที่มีความกว้างแนวนันท์ภาพเท่ากับ 22 กิโลเมตร เมื่อมุมเอียงถ่ายภาพ Roll และ Pitch เพิ่มขึ้น 15 องศา จะเห็นความเปลี่ยนแปลงของความกว้างแนวนันท์ภาพอย่างชัดเจน ซึ่งมีความกว้างของแนวนันท์ภาพเท่ากับ 24.6700 และ 23.2027 กิโลเมตร ตามลำดับ โดยที่มุมเอียง Roll มีผลต่อความกว้างของแนวนันท์ภาพมากกว่ามุม Pitch ที่มุมเอียง Roll 30 องศา มีความกว้างของแนวนันท์ภาพเท่ากับ 32.2302 กิโลเมตร ในขณะที่มุมเอียง Pitch 30 องศา จะมีความกว้างของแนวนันท์ภาพเท่ากับ 26.3050 กิโลเมตร และที่มุมเอียง Roll 45 องศา มีความกว้างของแนวนันท์ภาพเท่ากับ 54.4119 กิโลเมตร ซึ่งมากกว่ามุม Pitch ถึง 1.6049 เท่า โดยสามารถนำมาแสดงในรูปแบบกราฟเส้น ดังภาพที่ 4-17



ภาพที่ 4-17 การเปรียบเทียบความกว้างของแนวบันทึกภาพ (Swath Width) จากค่า Across Track GSD ของมุม Roll และมุม Pitch

เมื่อทดสอบนำข้อมูลภาพ Panchromatic ระดับ 1A ผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิตจากระบบผลิตข้อมูลดาวเทียมภาคพื้นดิน เป็นข้อมูลภาพ ระดับ 2A จะแสดงให้เห็นความกว้างของแนวบันทึกภาพ (Swath Width) ที่เปลี่ยนแปลงไปตามมุมเอียงที่ใช้ในการบันทึกภาพอย่างชัดเจน ดังภาพที่ 4-18 เป็นการเปรียบเทียบข้อมูลภาพที่ถูกบันทึกในพื้นที่เดียวกัน คือ บริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร ตามมุมเอียงถ่ายภาพเพิ่มขึ้นจากมุม Nadir, 15, 30, และ 45 องศา ตามลำดับ



ภาพที่ 4-18 ความกว้างของแนวบันทึกภาพของข้อมูลภาพดาวเทียมไทยโชต Panchromatic ระดับ 2A ที่มีมุมเอียงถ่ายภาพต่างกัน (A) มุม Nadir (B) 15 องศา (C) 30 องศา (D) 45 องศา

ข้อมูลภาพจากดาวเทียมไทยโชต Panchromatic ระดับ 1A ที่บันทึกด้วยมุมถ่ายภาพ Nadir หรือมุมเอียง Pitch และ Roll มีค่าใกล้ 0 องศา ซึ่งมีค่า Across Track GSD เท่ากับ 1.8533 เมตร เมื่อผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิตจากระบบผลิตข้อมูลดาวเทียมภาคพื้นดินเป็นข้อมูลภาพ ระดับ 2A พบว่า ความกว้างแนวบันทึกภาพเท่ากับ 22.2400 กิโลเมตร ถือเป็นข้อมูลภาพที่ให้รายละเอียดเชิงพื้นที่สูง ดังภาพที่ 4-19



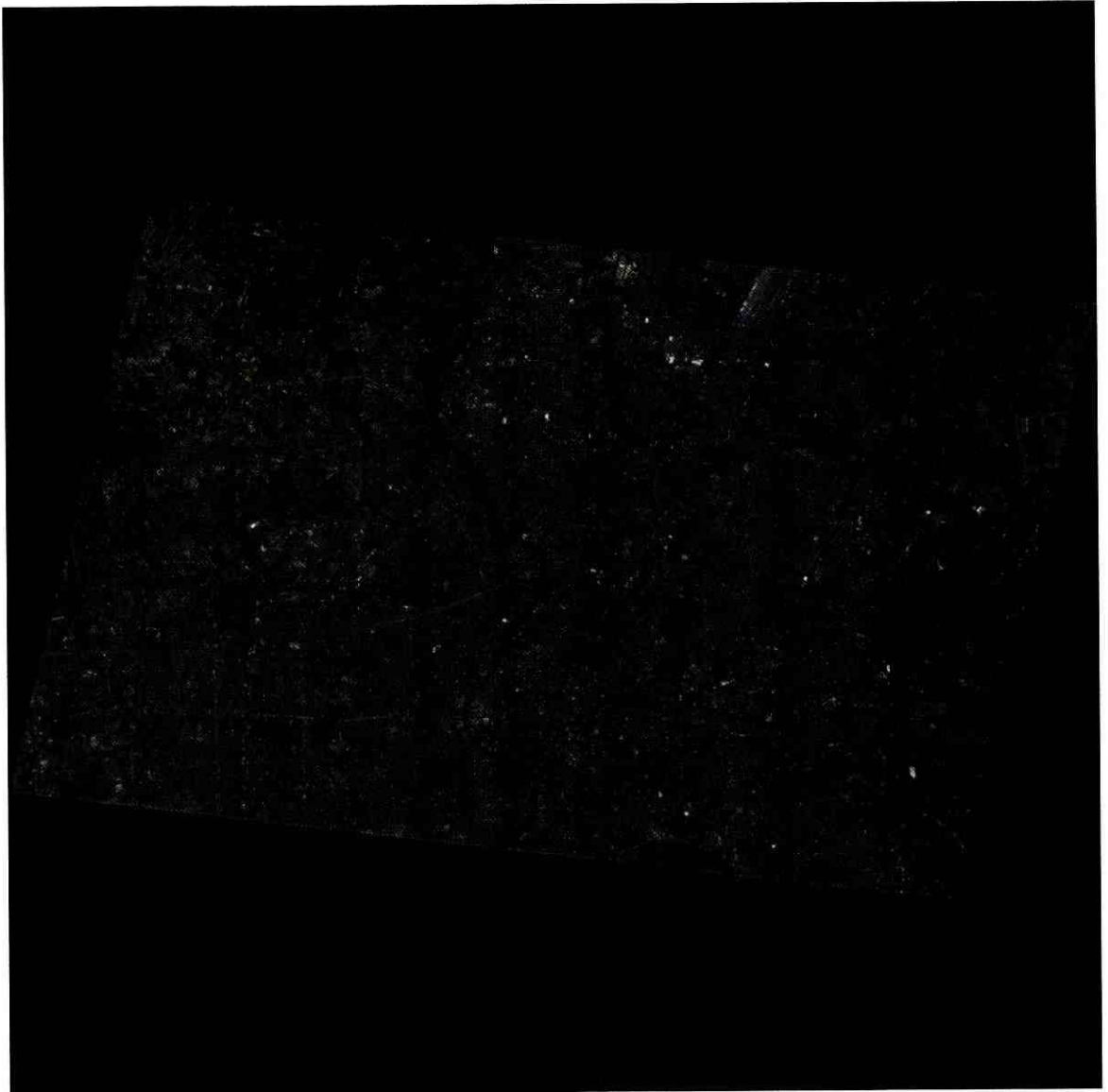
ภาพที่ 4-19 ความกว้างแนวบันทึกภาพที่มุมถ่ายภาพ Nadir

ข้อมูลภาพจากดาวเทียมไทยโชต Panchromatic ระดับ 1A ที่บันทึกด้วยม้วนถ่ายภาพ Roll 15 องศา และมุม Pitch คงที่ใกล้ Nadir มีค่า GSD เท่ากับ 2.0558 เมตร เมื่อผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิตจากระบบผลิตข้อมูลดาวเทียมภาคพื้นดินเป็นข้อมูลภาพ ระดับ 2A พบว่า มีความกว้างแนวบันทึกภาพขยายเพิ่มขึ้นในแนว Across Track เท่ากับ 24.6700 กิโลเมตร ดังภาพที่ 4-20



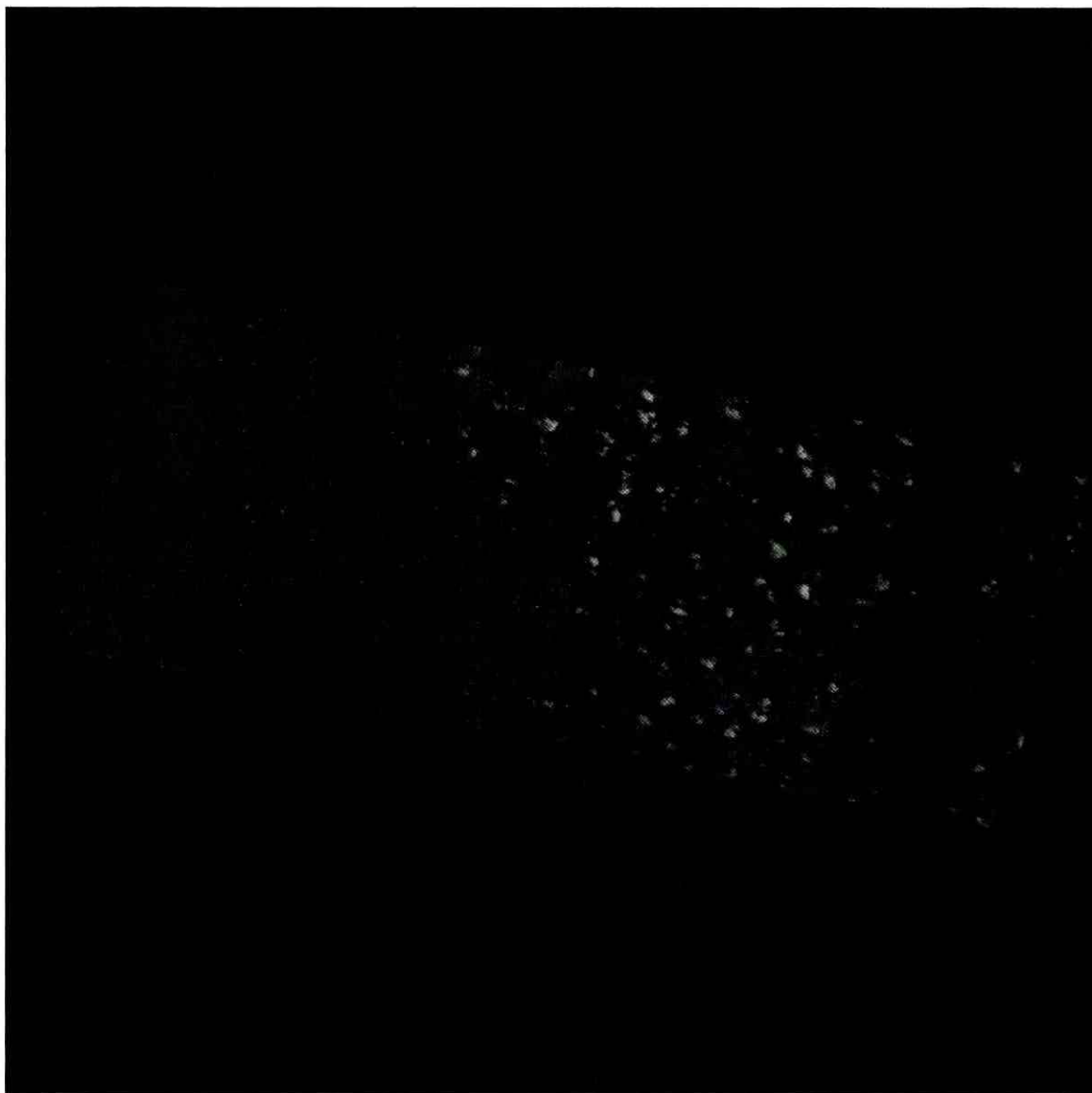
ภาพที่ 4-20 ความกว้างแนวบันทึกภาพที่มุม Roll 15 องศา และมุม Pitch คงที่ใกล้ Nadir

ข้อมูลภาพจากดาวเทียมไทยโชต Panchromatic ระดับ 1A ที่บันทึกด้วยม้วนถ่ายภาพ Roll 30 องศา และมุม Pitch คงที่ใกล้ Nadir มีค่า GSD เท่ากับ 2.6858 เมตร เมื่อผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิตจากระบบผลิตข้อมูลดาวเทียมภาคพื้นดินเป็นข้อมูลภาพ ระดับ 2A พบว่า มีความกว้างแนวบันทึกภาพขยายเพิ่มขึ้นในแนว Across Track เท่ากับ 32.2302 กิโลเมตร ดังภาพที่ 4-21



ภาพที่ 4-21 ความกว้างแนวบันทึกภาพที่มุม Roll 30 องศา และมุม Pitch คงที่ใกล้ Nadir

ข้อมูลภาพจากดาวเทียมไทยโชต Panchromatic ระดับ 1A เมื่อบันทึกด้วยม้วนถ่ายภาพ Roll 45 องศา และมุม Pitch คงที่ใกล้ Nadir มีค่า GSD เท่ากับ 4.5343 เมตร เมื่อผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิตจากระบบผลิตข้อมูลดาวเทียมภาคพื้นดินเป็นข้อมูลภาพ ระดับ 2A พบว่า มีความกว้างแนวบันทึกภาพขยายเพิ่มขึ้นในแนว Across Track เท่ากับ 54.4119 กิโลเมตร ดังภาพที่ 4-22



ภาพที่ 4-22 ความกว้างแนวบันทึกภาพที่มุม Roll 45 องศา และมุม Pitch คงที่ใกล้ Nadir

บทที่ 5

อภิปราย และสรุปผล

อภิปรายผล

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาวิธีการและทดสอบคำนวณค่า Ground Sampling Distance (GSD) บนพื้นฐานของผู้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยได้รับการอนุเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายจาก ดาวเทียมไทยโชต จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) เพื่อเพิ่มความเข้าใจถึงคุณลักษณะของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชต สามารถอภิปรายผลการศึกษา ได้ดังนี้

จากคุณสมบัติข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต Panchromatic ที่ผู้ใช้ส่วนใหญ่มักจะ รับทราบและเข้าใจโดยทั่วไป คือ มีรายละเอียดของจุดภาพ 2 ตารางเมตร ครอบคลุมพื้นที่ 22 ตาราง กิโลเมตร โดยประมาณ ซึ่งเป็นข้อมูลภาพที่ผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิตจากระบบผลิต ภาพพื้นดิน โดยการกำหนดค่าให้กับจุดภาพใหม่ด้วยวิธีการสุ่มซ้ำ (Re-Sampling) แต่ทว่าในความ เป็นจริงการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชตนั้น ไม่ได้บันทึกภาพในมุมแนวตั้ง (Nadir) เสมอ จะต้อง มีการปรับทิศทางและมุมเอียงไปยังพื้นที่เป้าหมายที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของข้อมูล ที่ได้รับ ยกตัวอย่างเพื่อให้เห็นภาพอย่างชัดเจน เปรียบได้กับการฉายไฟฉายลงบนพื้นราบ เมื่อมีการ ปรับเอียงระบอบไฟฉาย ขนาดพื้นที่ของลำแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นก็ย่อมขยายเพิ่มมากขึ้นตาม การเอียง เช่นเดียวกับการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชต การปรับทิศทางและเอียงตัวเพื่อบันทึกภาพ ก็ย่อมส่งผลกระทบต่อขนาดของจุดภาพ (Pixel) บนข้อมูลภาพต้นฉบับ ระดับ 1A รวมถึงความกว้างของ แนวนบันทึกภาพ (Swath Width) ที่ขยายเพิ่มขึ้นเช่นกัน การศึกษาเพื่อคำนวณค่า GSD จึงทำให้ ทราบถึงรายละเอียดของจุดภาพบนข้อมูลภาพต้นฉบับ Panchromatic ระดับ 1A ในเบื้องต้นก่อน ผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิต ทั้งนี้ ผลการศึกษายังมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากไม่ สามารถเลือกข้อมูลภาพได้ตามข้อกำหนดทุกภาพ และชุดข้อมูลภาพมีจำนวนน้อย ซึ่งผู้วิจัยไม่ สามารถควบคุมหรือออกแบบการถ่ายภาพเพื่อทำการทดสอบคำนวณค่า GSD ได้ด้วยตนเอง จึง พยายามเลือกข้อมูลภาพที่มีความใกล้เคียงตรงตามข้อกำหนดของวิธีการศึกษาให้ได้มากที่สุด และการศึกษาค้นครั้งนี้มิได้คำนึงถึงความถูกต้องเชิงตำแหน่ง แต่จะพิจารณาจากอัตราส่วนของ ระยะห่างระหว่าง 2 จุดอ้างอิงเดียวกันทั้งบนภาพและพื้น โลกเป็นสำคัญ ซึ่งจุดอ้างอิงจาก Google Earth ที่ใช้ในการกำหนดระยะห่างบนภาพและพื้น โลกนั้นอาจมีความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่ง จาก สภาพภูมิประเทศและข้อมูลภาพที่แสดงผลในแต่ละพื้นที่แตกต่างกันออกไป ผู้วิจัยจึงได้ทำการ

ทดสอบและเปรียบเทียบความถูกต้องร่วมกับจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) โดยทดสอบใช้จุดอ้างอิงจาก Google Earth และ GCP บนข้อมูลภาพชุดเดียวกัน พบว่า ค่า GSD ที่ได้จากการคำนวณนั้นมีความสอดคล้องและใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เป็นเพียงกลุ่มข้อมูลภาพชุดตัวอย่างที่ใช้ทดสอบในประเทศไทยเท่านั้น

อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาทำให้ทราบได้ว่าเมื่อดาวเทียมไทยโชตใช้มุมเอียงถ่ายภาพสูงขึ้น ค่า GSD และความกว้างของแนวกว้างก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยมุมเอียง Roll มีผลต่อค่า GSD มากกว่ามุมเอียง Pitch และค่า Across Track GSD มีผลต่อความกว้างของแนวกว้าง (Swath Width) มากกว่าค่า Along Track GSD สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gwank and Hyerim (2013) ได้ทำการศึกษาค่า GSD โดยพิจารณาระนาบผิวโลกมีส่วนโค้งและคำนวณค่า GSD ทั้งในแนว Across Track และ Along Track ด้วยการประยุกต์ทฤษฎี Cosine พบว่า เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของมุมที่ใช้ในการถ่ายภาพ Ground Instantaneous Field of View (GIFOV) จะมีการขยายเพิ่มขึ้นที่มุมเอียง Roll 40 องศา ค่า GSD ในแนว Along Track จะมีการเพิ่มขึ้นเป็น 1.35 เท่า และค่า GSD ในแนว Across Track จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า จากจุดเริ่มต้นหรือมุม Nadir

ดังนั้น ผลการศึกษาคือความสัมพันธ์ของมุมเอียงถ่ายภาพที่ส่งผลกระทบต่อรายละเอียดเชิงพื้นที่ของดาวเทียมไทยโชตที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ จึงสามารถสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์อย่างง่ายในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง โดยอาศัยการหลักการคำนวณทางคณิตศาสตร์ประยุกต์เข้ากับทฤษฎีการรับรู้จากระยะไกล เพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงคุณลักษณะของข้อมูลเชิงพื้นที่ อันเกิดจากกระบวนการได้มาซึ่งข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อคาดการณ์ผลลัพธ์หรือรายละเอียดของจุดภาพที่จะปรากฏบนข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ใช้ในการเลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ได้ตรงตามความต้องการ ตลอดจนเลือกใช้วิธีการปรับแก้ข้อมูลภาพให้มีความถูกต้องได้อย่างเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน

สรุปผล

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคำนวณค่า Ground Sampling Distance (GSD) ข้อมูลภาพ Panchromatic ของดาวเทียมไทยโชตในมุมและทิศทางการเอียงตัวถ่ายภาพที่แตกต่างกัน ตลอดจนศึกษาความสัมพันธ์ของมุมเอียงและทิศทางที่ใช้ในการถ่ายภาพที่ส่งผลกระทบต่อรายละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชต สามารถสรุปผลการศึกษาได้ ดังนี้

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การเอียงตัวถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชตโดยใช้มุม Roll 0-45 องศา และมุม Pitch คงที่มีค่าใกล้ 0 องศา จะส่งผลต่อค่า Across Track GSD เพิ่มขึ้นเป็น 4.5343 เมตร หรือคิดเป็น 2.4527 เท่า จากมุม Nadir (มุมเอียงใกล้ 0 องศา) ซึ่งมีค่า Across Track GSD เท่ากับ 1.8487 เมตร และค่า Along Track GSD มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก โดยมีค่าเฉลี่ยคงที่เท่ากับ 2.0402 เมตร ส่วนการเอียงตัวถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชตโดยใช้มุม Pitch 0-45 องศา และมุม Roll คงที่มีค่าใกล้ 0 องศา ส่งผลให้ค่า Across Track GSD เพิ่มขึ้นเป็น 2.8252 เมตร หรือคิดเป็น 1.5282 เท่า ของค่า Across Track GSD ที่มุม Nadir (มุมเอียงใกล้ 0 องศา) มีค่าเท่ากับ 1.8487 เมตร และค่า Along Track GSD มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเช่นเดียวกัน ซึ่งมีลักษณะเป็นค่าเฉลี่ยคงที่เท่ากับ 2.0437 เมตร เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณค่า GSD ที่เกิดจากมุมเอียงและทิศทางที่แตกต่างกันมาเปรียบเทียบ พบว่า มุม Roll มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า GSD มากกว่ามุม Pitch โดยมีค่า Across Track GSD สูงกว่า 1.6049 เท่า ส่วนค่า Along Track GSD พบว่า การถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชตโดยใช้มุมเอียง Roll และ Pitch มีผลต่อค่า Along Track GSD น้อยมากหรือมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าเฉลี่ย Along Track GSD ที่มุมเอียง Roll และ Pitch เท่ากับ 2.0402 และ 2.0437 เมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับการบันทึกภาพที่มุม Nadir (Along Track GSD at Nadir) เท่ากับ 2.0367 เมตร เนื่องจาก ดาวเทียมไทยโชตมีระบบบันทึกภาพแบบ Pushbroom ตามแนวการโคจร (Along Track) เมื่อแสกนหรือกวาดไปตามระยะเวลาที่กำหนดไว้จะคิดเป็นระยะ Ground Sampling Distance - Along Track คุณสมบัติที่กำหนดนี้คือ อัตราความเร็วบนพื้นโลก (Ground Track Speed) ซึ่งมีค่าประมาณ 6.57 km/s และ Integration Time (Thaichote Panchromatic 0.0003086 s) เมื่อ Scan ครบเวลา Integration Time ในแต่ละครั้งจะมีการบันทึกค่าจาก CCD ก่อนอ่านค่าต่อไป จึงทำ GSD ในแนว Along Track ไม่เปลี่ยนแปลงไป

อย่างไรก็ตาม ค่า Across Track GSD ที่เปลี่ยนแปลงมากขึ้น จะส่งผลต่อความกว้างของแนวบันทึกภาพ (Swath Width) ที่เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยมุมเอียงถ่ายภาพ Roll 45 องศา มีค่า Across Track GSD เท่ากับ 4.5343 เมตร และมีความกว้าง Swath Width เท่ากับ 54.4119 กิโลเมตร ส่วนมุมเอียงถ่ายภาพ Pitch 45 องศา มีค่า Across Track GSD เท่ากับ 2.8252 เมตร และมีความกว้าง Swath Width เท่ากับ 33.9028 กิโลเมตร และผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณค่า Across Track GSD ดังกล่าวสามารถนำมาสร้างสมการความสัมพันธ์โพลีโนเมียลกำลังสองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชตโดยใช้มุมเอียง Roll และค่า Across Track GSD ดังสมการที่ 5-1

$$y = 0.0019x^2 - 0.0316x + 1.9694 \quad (5-1)$$

เมื่อ y คือ ค่า Across Track GSD

x คือ มุม Roll ที่ใช้ในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชด

และมีค่า R-Squared เท่ากับ 0.9950 หรือแสดงว่า x สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ y ได้ร้อยละ 99.50

และความสัมพันธ์โพลีโนเมียลกำลังสองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชดโดยใช้มุมเอียง Pitch และค่า Across Track GSD ได้ดังสมการที่ 5-2

$$y = 0.0006x^2 - 0.007x + 1.8786 \quad (5-2)$$

เมื่อ y คือ ค่า Across Track GSD

x คือ มุม Pitch ที่ใช้ในการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชด

และมีค่า R-Squared เท่ากับ 0.9894 หรือแสดงว่า x สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ y ได้ร้อยละ 98.94

ดังนั้น ค่า GSD ที่เปลี่ยนแปลงตามมุมเอียงที่ใช้บันทึกภาพจึงถือเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่ปรากฏเป็นความละเอียดของจุดภาพบนข้อมูลภาพระดับ 1A หากข้อมูลภาพตั้งต้นมีความหยابสูงก็จะทำให้การแสดงรายละเอียดเชิงพื้นที่ลดลงตามไปด้วย จากการทดสอบและเปรียบเทียบการแสดงผลรายละเอียดของจุดภาพที่มุมเอียงถ่ายภาพ Roll เพิ่มขึ้นจาก Nadir, 15, 30 และ 45 องศาพบว่า จำนวนจุดภาพในแนว Along Track ไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนค่า GSD ในแนว Across Track บนข้อมูลภาพระดับ 1A จะถูกกำหนดค่าให้มีขนาดเท่ากับ 2 เมตร เมื่อผ่านกระบวนการประมวลค่าในช่วงข้อมูลใหม่ จึงทำให้จุดภาพที่ปรากฏบนข้อมูลภาพระดับ 2A มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพด้วยสายตาเพื่อจำแนกวัตถุที่ปรากฏบนภาพ ตลอดจนการนำข้อมูลเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (Image Processing and Classification) ซึ่งต้องอาศัยค่าการสะท้อนหรือค่าระดับความเข้มของสีเป็นสำคัญ หากระดับค่าความเข้มสี (DN) มีการเปลี่ยนแปลงไปจากข้อมูลต้นฉบับมาก ก็จะส่งผลให้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์มีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงได้

ข้อเสนอแนะการวิจัย

1. เพิ่มจำนวนชุดข้อมูลภาพที่ใช้ในการคำนวณค่า Ground Sampling Distance (GSD) เพื่อให้ผลลัพธ์มีค่าเฉลี่ยที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น อนึ่ง หากมีชุดข้อมูลภาพเพื่อเพิ่มปัจจัยในการทดสอบคำนวณค่า GSD โดยใช้กลุ่มชุดข้อมูลภาพที่มีมุมเอียง Pitch และมุม Roll เพิ่มขึ้นที่ละเท่า ๆ กัน เช่น มุม Pitch 5 องศา – Roll 5 องศา, มุม Pitch 10 องศา – Roll 10 องศา ไปจนถึงมุมเอียง Pitch และ Roll ที่ 45 องศา เป็นต้น ก็จะทำให้เกิดผลการศึกษาคือครอบคลุมลักษณะการถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชต
2. เพิ่มจำนวนชุดข้อมูลภาพในการทดสอบคำนวณค่า GSD โดยใช้ข้อมูลภาพดาวเทียมไทยโชตระบบ Multispectral (MS) ระดับ 1A โดยเลือกตำแหน่งที่ใช้ในการกำหนดจุดอ้างอิงที่มีขนาดพื้นที่ของวัตถุให้เหมาะสมกับรายละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution) 15 เมตร เช่น จุดตัดของถนน เป็นต้น
3. การศึกษาในครั้งนี้ เป็นการทดสอบจากข้อมูลภาพที่มีอยู่ขึ้นไปสู่กระบวนการได้มาของข้อมูลจากดาวเทียมไทยโชต โดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์และโปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel เพื่อทดสอบคำนวณค่า GSD ซึ่งมีข้อมูล 2 ตัวแปร หากประยุกต์โปรแกรมที่มีลักษณะเฉพาะด้าน เช่น MATLAB ช่วยในการคำนวณและแสดงผลข้อมูลก็จะทำให้สามารถสร้างแบบจำลองที่มีค่าตัวแปรเพิ่มมากขึ้นด้วย
4. ผู้ใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียมไทยโชต ควรพิจารณาเลือกใช้ข้อมูลภาพที่มีมุมเอียง Roll และ Pitch ไม่เกิน 15 องศา ซึ่งมีค่า GSD ที่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก และเป็นข้อมูลภาพที่ให้รายละเอียดเชิงพื้นที่สูง เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างถูกต้อง

บรรณานุกรม

- กาญจน์เขจร ชูชีพ. (2546). *เอกสารประกอบการสอนหลักการสำรวจระยะไกล*. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- จรัณธร บุญญานุภาพ. (ม.ป.ป.). *การปรุงแต่งข้อมูลก่อนการแปลตีความด้วยสายตา*. วันที่ค้นข้อมูล 25 พฤศจิกายน 2557, เข้าถึงได้จาก http://conf.agi.nu.ac.th/agmis/download/publication/456_file.pdf
- เขาวลิต ศิลปทอง. (2552). *หลักการเบื้องต้นการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล (Remote Sensing)*. ศูนย์ภูมิสารสนเทศ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). กรุงเทพฯ.
- วีระภาส คุณรัตนศิริ. (ม.ป.ป.). *การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่ายดาวเทียมทางเรขาคณิต*. วันที่ค้นข้อมูล 17 พฤศจิกายน 2557, เข้าถึงได้จาก http://www.dnp9.com/dnp9/web1/file_editor/file/Fundamental%20-%203%20Geomatic%20Correction.pdf.
- ศุทธิณี คนตรี. (2549). *ความรู้พื้นฐานด้านการสำรวจระยะไกล*. เอกสารประกอบการสอน. ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สมพงษ์ เลียงโรคาพาธ (2552). *การรับรู้จากระยะไกลด้วยดาวเทียม ตอนที่ 3 ข้อมูลจากการรับรู้จากระยะไกล*. วันที่ค้นข้อมูล 12 มกราคม 2558, เข้าถึงได้จาก <http://www.space.mict.go.th/knowledge.php?id=rs3>
- สมพร สว่างวงศ์. (2543). *รีโมทเซนซิงเบื้องต้นและกรณีศึกษา รีโมทเซนซิง*. ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. นพบุรีการพิมพ์.
- สุรชัย รัตนเสริมพงศ์. (2553). *การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม*. ศูนย์ภูมิสารสนเทศ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). กรุงเทพฯ.
- สุรเชษฐ สีแดง. (2551). *การประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าชายเลนบริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่ ด้วยเทคนิคการรับรู้ระยะไกล*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). (2552). *ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ*. กรุงเทพฯ: อัมรินทร์พรินต์ติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน).
- _____. (2556). *คู่มือเรขาคณิตภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชด*. กรุงเทพฯ.
- Dona Roberts. (1998). *Arc Length and Radian Measure*. Retrieved November 16, 2014 from <http://www.regentsprep.org/regents/math/algtrig/atm1/arclengthlesson.htm>




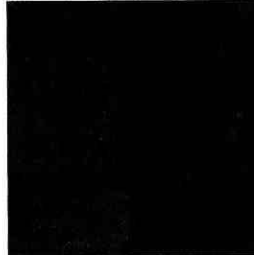
- Gwank and Hyerim. (2013). *Geometric Consideration on the Virtual Satellite Image Synthesis*. Department of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology. Korea.
- Jansen. (2010). *Introduction to Digital Image Processing of Remote Sensed Data*. Retrieved December 3, 2014 from http://lcluc.umd.edu/Documents/ScienceTeamMtg/2010_AUG/valmiera_presentations_taffl_lcluc_8-2010_training.pdf.
- Jeng Shing Chern. (2004). *IN ORBIT PERFORMANCE VERIFICATION OF FORMOSAT-2*. National Space Organization (NSPO). Taiwan.
- John A. Richards and Xiuping Jia. (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany.
- John D. C. (2012). *Notes on Spherical Trigonometry*. Retrieved December 20, 2014 from http://www.johndcook.com/blog/spherical_trigonometry/
- Kristin K. Johnson. (2006). *Heron, Brahmagupta, Pythagoras, and the Law of Cosines Expository Paper*. Department of Mathematics. IOWA State University. USA.
- Kwok Kun Kwong. (2010) *Spherical cosine law*. Retrieved December 19, 2014 from <http://cuhkmath.wordpress.com/2010/10/04/spherical-cosine-law>
- Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer. (1994). *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons Inc., New York. USA.
- Mattia C. and Francesca G. (2006). *A rigorous model for High Resolution Satellite Imagery Orientation*. Faculty of Engineering, University of Rome La Sapienza. Italy.
- Philpot and Philipson. (2012). *Remote Sensing Fundamentals*. W.D. Philpot. Cornell University. USA.
- Pouncey R. Swanson K. and Hart K. (1999). *Erdas Field Guide*. ERDAS Inc., Georgia. USA
- Robert A. Schowengerdt. (1997). *Remote Sensing Models and Methods for Image Processing*. Elsevier Inc. USA.
- Robert P. Comer, et al. (1998). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. Retrieved December 20, 2014 from <http://www.asprs.org/a/publications/pers/98journal/december/12-98-digital.pdf>

ภาคผนวก





ภาคผนวก ก

ข้อมูลภาพ Panchromatic ระดับ 1A





ตารางภาคผนวก ก-1 ข้อมูลภาพ Panchromatic กำหนดมุม Pitch คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Roll เปลี่ยนแปลง 0 และ 5 องศา

Viewing Angle (°)	Level 1A image label	Acquisition Date	Roll angle (°)	Pitch angle (°)	Image Preview
0°	LA-834418	04-01-14	-0.6901	-0.0301	
0°	LA-763996	06-07-13	0.3913	-0.0346	
5°	TH-694649	09-01-13	5.2998	-0.3662	
5°	TH-328820	31-10-10	5.6829	-0.3837	

ตารางภาคผนวก ก-2 ข้อมูลภาพ Panchromatic กำหนดมุม Pitch คงที่มีค่าไถลมุม Nadir และมุม Roll เปลี่ยนแปลง 10 และ 15 องศา

Viewing Angle (°)	Level 1A image label	Acquisition Date	Roll angle (°)	Pitch angle (°)	Image Preview
10°	TH-369820	1/3/2011	-9.2032	0.6051	
10°	TH_708816	16/2/2013	-10.9065	0.7477	
15°	US-850338	14/2/2014	15.6780	-0.9333	
15°	US-648301	8/9/2012	-15.9514	0.9367	

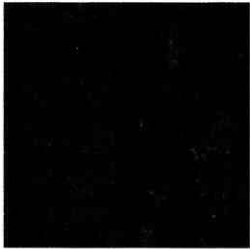



ตารางภาคผนวก ก-3 ข้อมูลภาพ Panchromatic กำหนดมุม Pitch คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Roll เปลี่ยนแปลง 20 และ 25 องศา

Viewing Angle (°)	Level 1A image label	Acquisition Date	Roll angle (°)	Pitch angle (°)	Image Preview
20°	TH-590198	4/5/2012	20.1484	-1.4273	
20°	TH-283876	8/7/2010	19.2294	-1.3233	
25°	SP-789789	16/9/2013	-25.3069	1.4162	
25°	SP-771149	26/7/2013	-25.3604	1.4174	



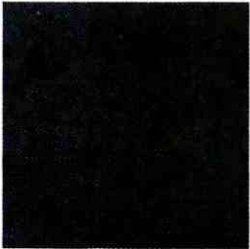

ตารางภาคผนวก ก-4 ข้อมูลภาพ Panchromatic กำหนดมุม Pitch คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Roll เปลี่ยนแปลง 30 และ 35 องศา

Viewing Angle (°)	Level 1A image label	Acquisition Date	Roll angle (°)	Pitch angle (°)	Image Preview
30°	TH-391486	22/4/2011	-30.1133	2.2614	
30°	TH-393887	25/4/2011	30.7591	-2.3423	
35°	TH-807156	29/10/2013	-35.9937	2.7808	
35°	CH-422181	23/6/2011	36.0007	-2.4516	





ตารางภาคผนวก ก-5 ข้อมูลภาพ Panchromatic กำหนดมุม Pitch คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Roll เปลี่ยนแปลง 40 และ 45 องศา

Viewing Angle (°)	Level 1A image label	Acquisition Date	Roll angle (°)	Pitch angle (°)	Image Preview
40°	TH-513605	20/12/2011	41.3412	-3.3944	
40°	TH-497868	24/11/2011	40.7863	-3.3276	
45°	TH-496489	22/11/2011	-44.4247	3.7623	
45°	TH-482457	27/10/2011	-44.7088	3.8080	

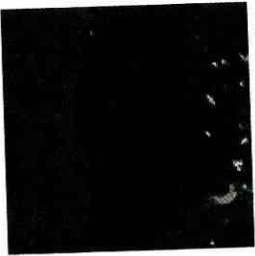



ตารางภาคผนวก ก-6 ข้อมูลภาพ Panchromatic กำหนดมุม Roll คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Pitch เปลี่ยนแปลง 0 และ 5 องศา

Viewing Angle (°)	Level 1A image label	Acquisition Date	Roll angle (°)	Pitch angle (°)	Image Preview
0°	US-834418	4/1/2014	-0.6901	-0.0301	
0°	US-763996	6/7/2013	0.3913	-0.0346	
5°	TH-698199	15/1/2013	-2.1437	-5.8772	
5°	TH-700631	25/1/2013	0.8033	-6.0752	

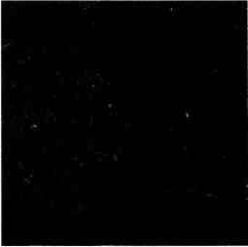



ตารางภาคผนวก ก-7 ข้อมูลภาพ Panchromatic กำหนดมุม Roll คงที่มีค่าไถลมุม Nadir และมุม Pitch เปลี่ยนแปลง 10 และ 15 องศา

Viewing Angle (°)	Level 1A image label	Acquisition Date	Roll angle (°)	Pitch angle (°)	Image Preview
10°	TH-683409	9/12/2012	2.8022	11.8358	
10°	TH-284206	9/12/2012	-0.1657	12.0190	
15°	TH-562002	14/3/2012	-2.7501	15.1860	
15°	US-993112	24/2/2015	-2.2539	15.1247	




ตารางภาคผนวก ก-8 ข้อมูลภาพ Panchromatic กำหนดมุม Roll คงที่มีค่าใกล้มุม Nadir และมุม Pitch เปลี่ยนแปลง 20 และ 25 องศา

Viewing Angle (°)	Level 1A image label	Acquisition Date	Roll angle (°)	Pitch angle (°)	Image Preview
20°	TH-561490	13/3/2012	0.3190	20.0047	
20°	CH-747777	23/5/2013	-1.4339	-19.9683	
25°	TH-881402	13/5/2014	-0.1438	-24.0556	
25°	AF-295682	12/8/2010	-0.3421	24.0472	

ตารางภาคผนวก ก-9 ข้อมูลภาพ Panchromatic กำหนดมุม Roll คงที่มีค่าไถ่มุม Nadir และมุม Pitch เปลี่ยนแปลง 30 และ 35 องศา

Viewing Angle (°)	Level 1A image label	Acquisition Date	Roll angle (°)	Pitch angle (°)	Image Preview
30°	US-313371	26/9/2010	0.4380	-30.0800	
30°	TH-913172	12/8/2010	-0.8394	-30.0363	
35°	TH-660910	13/10/2012	-0.9385	-36.0378	
35°	TH-843156	28/1/2014	-0.4129	-36.0578	

ตารางภาคผนวก ก-10 ข้อมูลภาพ Panchromatic กำหนดมุม Roll คงที่มีค่าใกล้เคียง Nadir และมุม Pitch เปลี่ยนแปลง 40 และ 45 องศา

Viewing Angle (°)	Level 1A image label	Acquisition Date	Roll angle (°)	Pitch angle (°)	Image Preview
40°	US-993105	24/2/2015	-2.3412	40.1042	
45°	TH-841549	24/1/2014	-4.6554	-44.9201	
45°	US-396234	30/4/2011	-5.7526	-44.8957	

ภาคผนวก ข

จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point)

รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน

หมายเลขหมุดหลักฐาน 26531603

งานรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน

ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84

ลองจิจูด (Longitude): 102.๕44' 43.96605" E..... ค่าเหนือ (Northing): 1853232.3123 m.....
 ละติจูด (Latitude): 16.๕44' 59.02355" N..... ค่าตะวันออก (Easting): 259660.3373 m.....
 ความสูงเหนือทรี (h): 135.065 m..... ความสูงเหนือทะเลปานกลาง:

ภาพถ่ายดาวเทียม Spot5



แผนที่ภูมิประเทศ [Sheet 5542-III]



หมายพยาน

1. สันตุหฺรา	40°	5.34 ม.
2. สันตุหฺรา	133°	10.14 ม.
3. สันเสี้ยว	305°	4.16 ม.

แผนภาพนี้ ไม่ตรงตามมาตราส่วน

ลักษณะหมุดหลักฐาน :
 เป็นหมุดโลหะ ขนาด ϕ 2 ซม. หล่อฝังไว้แนว
 กึ่งกลางถนนเส้นหลัก ตัดกับ ถนนเส้นรอง

การเดินทางไปหมุด :
 เดินทางจาก อ.อุบลรัตน์ ไปบ.หนองอ้อ อ.น้ำ
 พอง จ.ขอนแก่น ตาม พ.ร.บ.พ.ท.ช.ก. 4003 ถึง
 กม.12-050 พบสามแยก เลี้ยวขวาไปตาม ถนน
 จุฬารัตนถนนเลียบหนองอ้อ ระยะทาง 1.4 กม.
 จะพบหมุดหมายเลข 26531603 หล่อฝังไว้กึ่งกลางแยก

จัดทำโดย ร.อ. (พลภัทร เทียนไทย)

ตรวจสอบโดย พ.อ. (โจทศักดิ์ อัยสานนท์)

รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน

หมายเลขหมุดหลักฐาน 26631705

งานรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน

ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84

ลองจิจูด (Longitude): 102 ° 37' 55.50700" E ค่าเหนือ (Northing): 1858252.24 ม.
 ละติจูด (Latitude): 16 ° 46' 31.34119" N ค่าตะวันออก (Easting): 887286.1799 ม.
 ความสูงเหนือทรี (h): 138.716 ม. ความสูงเหนือทะเลปานกลาง:

ภาพถ่ายดาวเทียม Spot5



แผนที่ภูมิประเทศ (Sheet 5542-IV)



4

3 ม. 5 ม.

บ้าน ฟ้าวัง 5 ม. ถนนคอนกรีต สระน้ำ

ถนนคอนกรีต

ลักษณะหมุดหลักฐาน :

เป็นหมุดโลหะ ขนาด ϕ 2 ซม. สลักฝังไว้แนวกลาง ถนน
เส้นหลัก ติดกับ กลางถนนเส้นรอง

การเดินทางไปหมุด :

เดินทางจาก ฟ้าวังข. อ.อุบลรัตน์ ไป น.สี่แยกข.ค.บ้าน
คง อ.อุบลรัตน์ ตาม ทอ.2146 (ไป อ.โนนสัง) ระยะทาง
2.7 กม. เลี้ยวซ้ายเข้า น.สี่แยกข. ระยะทาง 400 ม. จะพบ
หมุดหมายเลข 26631705 สลักฝังไว้กลางสามแยก ถนน
คอนกรีต

หมายเหตุ

1. เสาไฟฟ้า	103°/ 16.3 ม.
2. มุมรั้ว	286°/ 5.5 ม.
3. เสาไฟฟ้า	334°/ 6.4 ม.

แผนภาพนี้ไม่ตรงตามมาตราส่วน

จัดทำโดย ร.อ. (พลภัทร เขื่อนไทย)

ตรวจสอบโดย พ.อ. (โรจศักดิ์ อัยสานนท์)

รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน

หมายเลขหมุดหลักฐาน 26631708

งานรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน

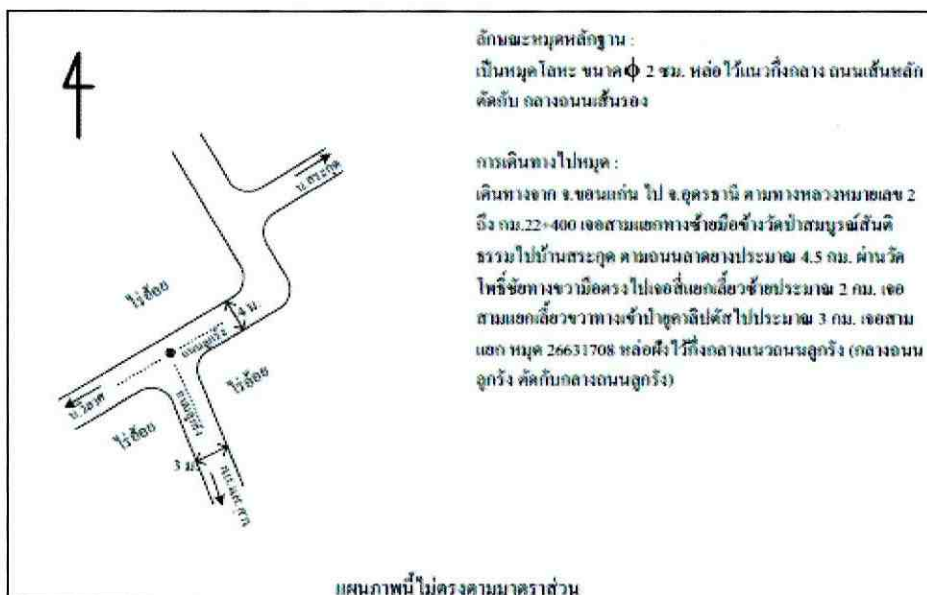
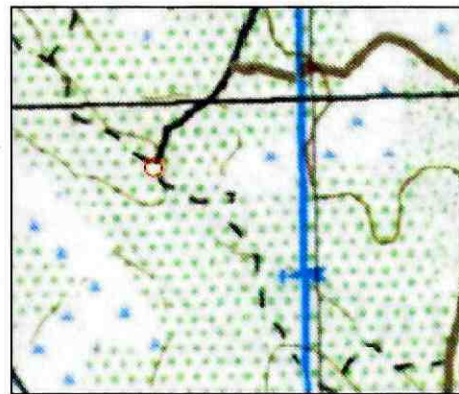
ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84

ลองจิจูด (Longitude) : 102 ° 44' 10.30255" E ค่าเหนือ (Northing) : 1839705.964 m
 ละติจูด (Latitude) : 16 ° 37' 38.75077" N ค่าตะวันออก (Easting) : 258509.3431 m
 ความสูงเหนือทรี (h) : 187.357 m ความสูงเหนือทะเลปานกลาง :

ภาพถ่ายดาวเทียม Spot5



แผนที่ภูมิประเทศ [Sheet 5542-III]



จัดทำโดย ร.อ.
(พลภัทร เทียนไทย)

ตรวจสอบโดย พ.อ.
(โชคศักดิ์ อ้อสานนท์)

รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน

หมายเลขหมุดหลักฐาน 26232303

งานรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน

ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84

ลองจิจูด (Longitude) : 100° 37' 35.68680" E ค่าเหนือ (Northing) : 1516972.462 m
 ละติจูด (Latitude) : 13° 42' 59.63947" N ค่าตะวันออก (Easting) : 675889.863 m
 ความสูงเหนือทวิ (h) : -29.190 m ความสูงเหนือทะเลปานกลาง :

ภาพถ่ายดาวเทียม Spot5



แผนที่ภูมิประเทศ [Sheet 5136-III]



ลักษณะหมุดหลักฐาน :

เป็นหมุดโลหะ ขนาด ϕ 2 ซม. สลักไว้แนว
 กลางถนนเส้นหลัก ติดกับ กลางถนนเส้นรอง

การเดินทางไปหมุด :

จาก หมู่บ้านปี่อูญา (ซอยพัฒนาการ 32) ไป
 บ.ตลาดขาว ผ่าน หมู่บ้าน (ร้าง) จะพบหมุด
 26232303 สลักไว้กลางสามแยก ใกล้ตู้รับจดหมาย
 (หมายเลข 117,119)

หมายพยาน	
1. มุมบ้าน (ร้าง)	30° / 15 ม.
2. มุมบ้าน (ร้าง)	327° / 15 ม.
3. คล่องรับจดหมาย (117,119)	245° / 5 ม.

แผนภาพนี้ไม่ตรงตามมาตราส่วน

จัดทำโดย จ.ส.อ. (ประกาศ อาครณพงษ์)

ตรวจสอบโดย พ.ศ. (เกรียงไกร บุญเต็ม)

รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน

หมายเลขหมุดหลักฐาน 26332200

งานรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน

ค่าพิกัดบนพื้นโลก WGS-84

(UTM Zone 47)

ละติจูด (Latitude): 13° 52' 19.66646" N

ค่าเหนือ (Northing): 1534179.642 m

ลองจิจูด (Longitude): 100° 37' 19.91200" E

ค่าตะวันออก (Easting): 675299.699 m

ความสูงเหนือทรวงรี (b): -29.012 m

ความสูงเหนือทะเลปานกลาง:

ภาพถ่ายดาวเทียม Spot5



แผนที่ภูมิประเทศ [Sheet 5136-IV]



4

ถนนซอย 1
ถนนซอย 2
ถนนซอย 3
ถนนซอย 4

5 ม.
5 ม.
8 ม.
2 ม.

ลักษณะหมุดหลักฐาน :

เป็นหมุดโลหะ ขนาด ϕ 2 ซม. สลักฝังไว้แนว
กลางถนนเส้นหลัก ตัดกับ กลางถนนเส้นรอง

การเดินทางไปหมุด :

เดินทางจาก เขตบางเขน ไป เขตมีนบุรี ตาม ทล.304
ถึงชุมชนรามอินทรา เลี้ยวซ้ายเข้าซอยรามอินทรา 21
ตรงไปจนถึง ซอยรามอินทรา 21 แยก 24 จะพบหมุด
หมายเลข 26332200 สลักฝังไว้กลางทางสี่แยก

หมายเหตุ

- 1.เสาไฟฟ้า 60' / 13.9 ม.
- 2.เสาไฟฟ้า 155' / 6.4 ม.
- 3.เสาไฟฟ้า 275' / 7.0 ม.

แผนภาพนี้ไม่ตรงตามมาตราส่วน

จัดทำโดย ร.ศ. (ปริญญ์ ทวีวัฒน์)

ตรวจสอบโดย พ.ศ. (เกรียงไกร บุญเต็ม)

รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน

หมายเลขหมุดหลักฐาน 26332305

งานรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน

ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84

(UTM Zone 47)

ละติจูด (Latitude) : 13° 46' 03.04077" N ค่านเหนือ (Northing) : 1522476.117 m

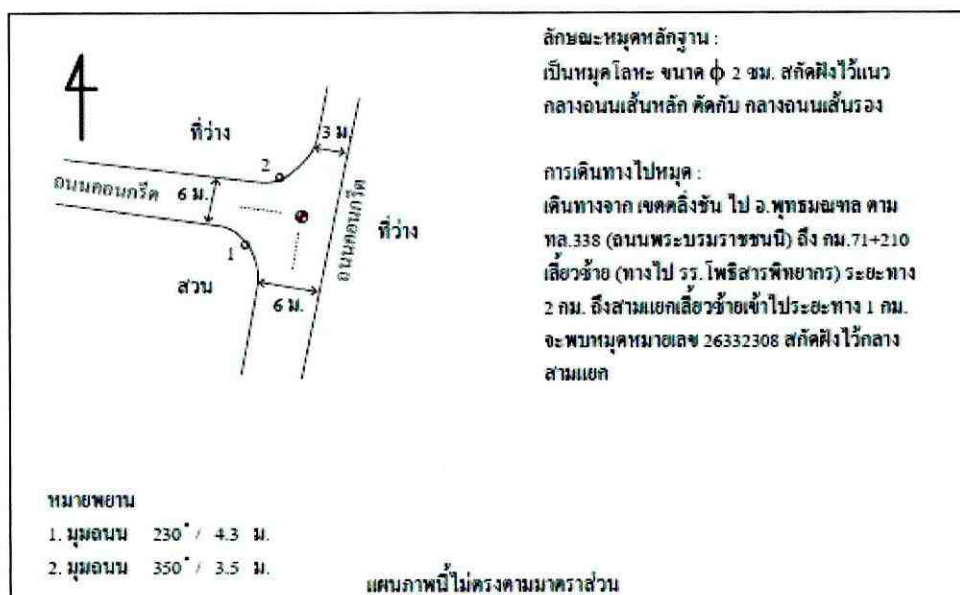
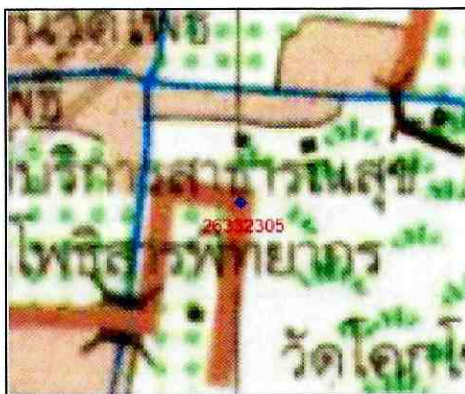
ลองจิจูด (Longitude) : 100° 26' 01.82754" E ค่าตะวันออก (Easting) : 655010.445 m

ความสูงเหนือทรี (m) : -28.956 m ความสูงเหนือทะเลปานกลาง :

ภาพถ่ายดาวเทียม Spot5



แผนที่ภูมิประเทศ [Sheet 5036-I]

จัดทำโดย ส.อ.
(ศักดิ์ดา ปลั่งกลาง)ตรวจสอบโดย พ.ศ.
(เจริญไกร บุญเดิม)

รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน

หมายเลขหมุดหลักฐาน 25731208

งานรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน

ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84

(UTM Zone 47)

ละติจูด (Latitude):	18° 43' 25.45987" N	ค่าเหนือ (Northing):	2070263.891 m
ลองจิจูด (Longitude):	99° 06' 41.39401" E	ค่าตะวันออก (Easting):	511754.424 m
ความสูงเหนือทรวงรี (h):	264.831 m	ความสูงเหนือทะเลปานกลาง:	

ภาพถ่ายดาวเทียม Spot5



แผนที่ภูมิประเทศ [Sheet 4846-III]



หมายเหตุ

1.เสาปูน	45° / 9.00 ม.
2.เสาไฟฟ้า	180° / 7.30 ม.
3.เสาไฟฟ้า	295° / 5.60 ม.

แผนภาพนี้ไม่ตรงตามมาตราส่วน

ลักษณะหมุดหลักฐาน :

เป็นหมุดโลหะ ขนาด ϕ 2 ซม. หล่อสีงไว้นิว กึ่งกลางถนนเส้นหลัก ตัดกับ กึ่งกลางถนนเส้นรอง

การเดินทางไปหมุด :

เดินทางจาก อ.สันกำแพง ไปตามทางหลวงหมายเลข 1317 พบสามแยกเลี้ยวซ้ายไปตามทางหลวงหมายเลข 1317 ประมาณ 1.8 กม. พบสี่แยกเลี้ยวซ้ายไปบ้านป่าตาล ประมาณ 100 ม. เลี้ยวซ้ายไปตามถนนคอนกรีต ประมาณ 300 ม. หมุด GCP25731208 ตั้งอยู่บริเวณกึ่งกลางของถนนหลักตัดกับกึ่งกลางถนนรอง

จัดทำโดย จ.ส.อ. (นคร พวงรุ่งเรือง)

ตรวจสอบโดย ร.อ. (สรรเพชร มูญแจ่มรัตน์)

รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน

หมายเลขหมุดหลักฐาน CM29

งานรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน

ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84

(UTM Zone 47)

ละติจูด (Latitude): 18° 45' 02.65932" N

ค่าเหนือ (Northing): 2073247.815 m

ลองจิจูด (Longitude): 98° 58' 24.82497" E

ค่าตะวันออก (Easting): 497213.338 m

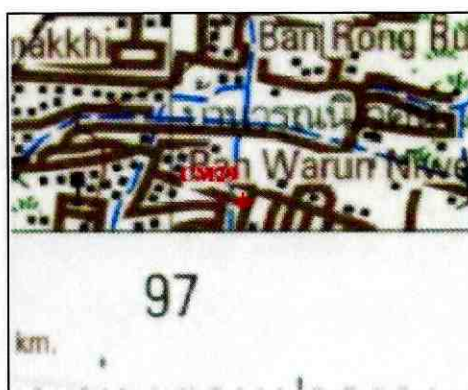
ความสูงเหนือทรี (h): 263.757 m

ความสูงเหนือทะเลปานกลาง:

ภาพถ่ายดาวเทียม Spot5



แผนที่ภูมิประเทศ (Sheet 4746-I)



ลักษณะหมุดหลักฐาน :

เป็นหมุดโลหะ ขนาด ϕ 2 ซม. หล่อสังเวยแนว ขอบถนนเส้นหลัก ตัดกับ กึ่งกลางถนนเส้นรอง

การเดินทางไปหมุด :

เดินทางจาก ศูนย์ราชการเชียงใหม่ ไปตามทางหลวงหมายเลข 121 ประมาณ กม.ที่ 53+800 เลี้ยวซ้ายไปทางหลวงชนบท หมายเลข ชม. 3029 ผ่านสี่แยกคัดทางหลวงหมายเลข 108 เลี้ยวซ้ายไปตามถนนคอนกรีต ประมาณ 800 ม. เลี้ยวซ้ายไปสนามฟุตบอลของหมู่บ้านวุดเน็วคัม หมุด CM29 ตั้งอยู่บริเวณขอบด้านนอกของถนนหลักตัดกับกึ่งกลางถนนรอง

หมายเหตุ : ค่าพิกัดกึ่งกลาง 3 แยก จากการใช้เทปวัดระยะและใช้เข็มทิศวัดมุม

ค่าเหนือ (Northing) 2073248.766 ม.

ค่าตะวันออก (Easting) 497211.299 ม.

ตัวหมุด - กึ่งกลางถนนหลัก 295° / 2.25 ม.

จัดทำโดย จ.ส.อ.

(รุ่งพงศ์ เอมะ)

ตรวจสอบโดย ร.อ.

(สรพรพชญ บุญแจ่มรัตน์)

รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน

หมายเลขหมุดหลักฐาน CM28

งานรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน

ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84

(UTM Zone 47)

ละติจูด (Latitude): 18° 44' 38.60316" N

ค่าเหนือ (Northing): 2072508.950 m

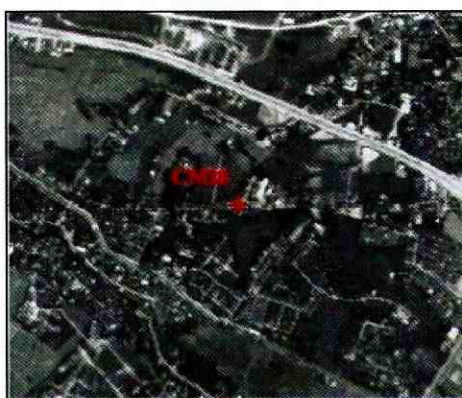
ลองจิจูด (Longitude): 98° 57' 04.88236" E

ค่าตะวันออก (Easting): 494872.469 m

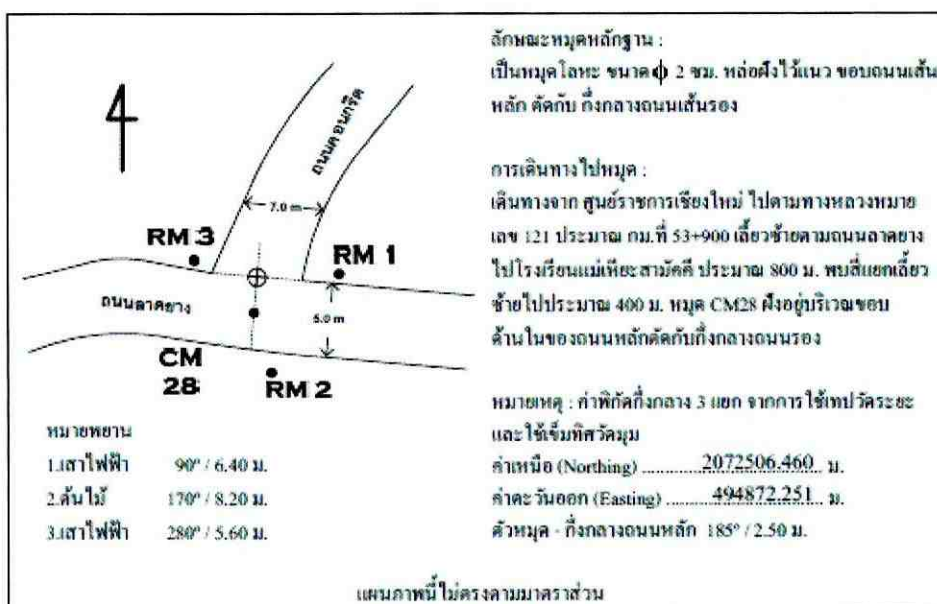
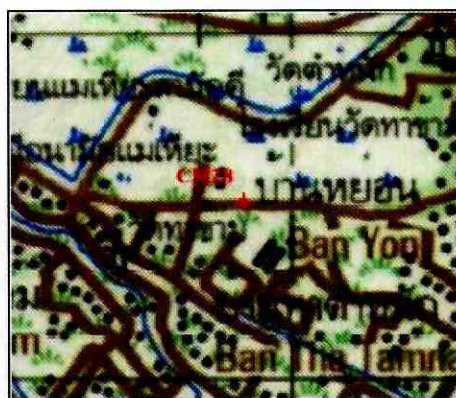
ความสูงเหนือทรวงรี (h): 275.393 m

ความสูงเหนือทะเลปานกลาง:

ภาพถ่ายดาวเทียม Spot5



แผนที่ภูมิประเทศ [Sheet 4746-II]



จัดทำโดย จ.ส.อ.

(วิชาญ ร่มจันทร์)

ตรวจสอบโดย ร.อ.

(สรเวชญ บุญแจ่มรัตน์)

รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน

หมายเลขหมุดหลักฐาน 26232303

งานรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน

ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84

ลองจิจูด (Longitude): 100° 37' 35.68680" E ค่าเหนือ (Northing): 1516972.462 m

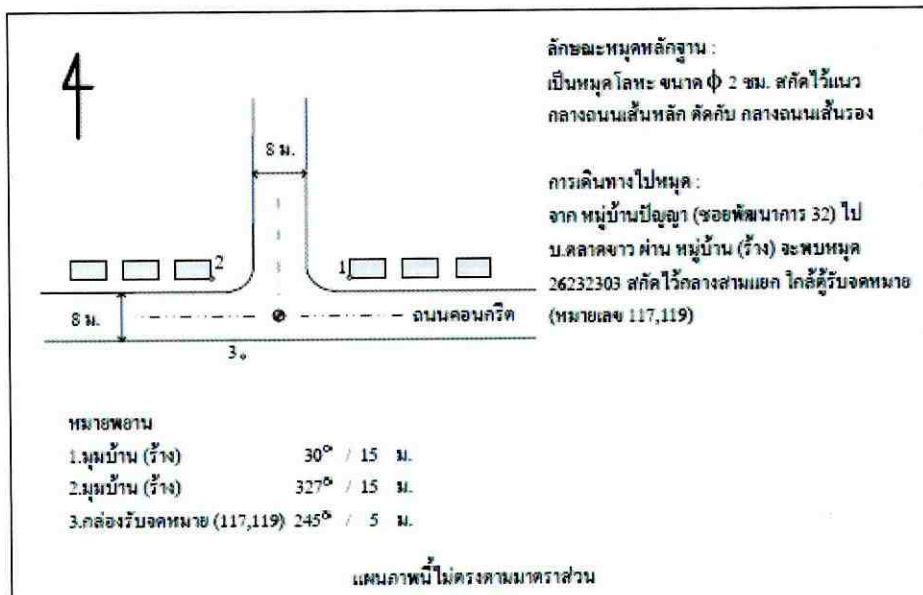
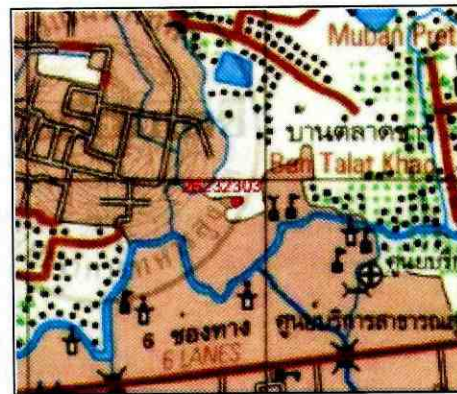
ละติจูด (Latitude): 13° 42' 59.63947" N ค่าตะวันออก (Easting): 675889.863 m

ความสูงเหนือทรวงรี (h): -29.190 m ความสูงเหนือทะเลปานกลาง:

ภาพถ่ายดาวเทียม Spot5



แผนที่ภูมิประเทศ (Sheet 5136-III)



จัดทำโดย จ.ส.อ.

(ประกาศ อารักษ์พงษ์)

ตรวจสอบโดย พ.ต.

(เกรียงไกร บุญเต็ม)

รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน

หมายเลขหมุดหลักฐาน 26332301

งานรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน

ค่าตัดขอบพื้นที่หลักฐาน WGS-84

(UTM Zone 47)

ละติจูด (Latitude): $13^{\circ} 35' 16.40621''$ N

ค่าเหนือ (Northing): 1502699.022 m

ลองจิจูด (Longitude): $100^{\circ} 34' 24.09359''$ E

ค่าตะวันออก (Easting): 670225.866 m

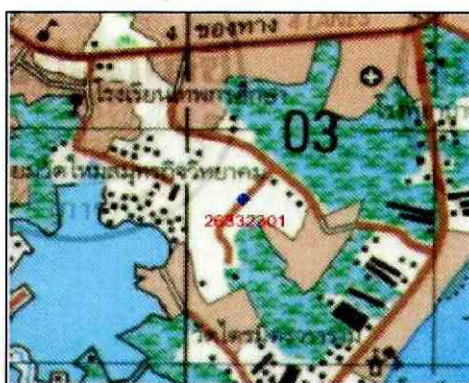
ความสูงเหนือทรวงรี (h): -28.635 m

ความสูงเหนือทะเลปานกลาง:

ภาพถ่ายดาวเทียม Spot5



แผนที่ภูมิประเทศ [Sheet 5136-III]

จัดทำโดย จ.ส.อ.
(ประกาศ อัครพงษ์)ตรวจสอบโดย พ.ศ.
(เกรียงไกร บุญเดิม)

ภาคผนวก ค

ค่าสถิติทดสอบ (T-Test) เปรียบเทียบการคำนวณค่า GSD จากพิกัดจุดอ้างอิง
Google Earth และจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP)

ตารางภาคผนวก ค-1 เปรียบเทียบการคำนวณค่า Across Track GSD จากพิกัดจุดอ้างอิง
Google Earth และจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP)

Image Label	ACT GSD with Google Earth	ACT GSD with GCP
TH-562002	1.9343	1.9349
TH-841549	2.8232	2.8212
TH-283876	2.1239	2.1233
TH-497868	3.8500	3.8586

ตารางภาคผนวก ค-2 ค่าสถิติทดสอบ T-Test แบบ Independent เปรียบเทียบค่า Across Track
GSD จากจุดอ้างอิง Google Earth และจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP)

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances	Google Earth	GCP
Mean	2.9324	2.9344
Variance	0.7538	0.7625
Observations	3	3
Hypothesized Mean Difference	0	
df	4	
t Stat	-0.0028	
P(T<=t) one-tail	0.4989	
t Critical one-tail	2.1318	
P(T<=t) two-tail	0.9979	
t Critical two-tail	2.7764	

ตารางภาคผนวก ค-3 เปรียบเทียบการคำนวณค่า Along Track GSD จากพิกัดจุดอ้างอิง
Google Earth และจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP)

Image Label	ACT GSD with Google Earth	ACT GSD with GCP
TH-562002	2.0373	2.0434
TH-841549	2.0395	2.0787
TH-283876	2.0403	2.0661
TH-497868	2.0448	2.0409

ตารางภาคผนวก ค-4 ค่าสถิติทดสอบ T-Test แบบ Independent เปรียบเทียบค่า Along Track
GSD จากจุดอ้างอิง Google Earth และจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP)

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances	Google Earth	GCP
Mean	2.0415	2.0619
Variance	0.0000	0.0004
Observations	3	3
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	-1.8183	
P(T<=t) one-tail	0.1053	
t Critical one-tail	2.9200	
P(T<=t) two-tail	0.2107	
t Critical two-tail	4.3027	