สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณลักษณะของดาวเทียมและรายละเอียดผลิตภัณฑ์ของภาพดาวเทียม QuickBird

คุณลักษณะของดาวเทียมและรายละเอียดผลิตภัณฑ์ของภาพดาวเทียมรายละเอียดสูง QuickBird แสดงได้ดังตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณลักษณะของดาวเทียม QuickBird

ที่มา : www.digitalglobe.com

คุณลักษณะของดาวเทียม QuickBird	
Launch Date	October 18, 2001
Launch Vehicle	Boeing Delta II
Launch Location	Vandenberg Air Force Base, California
Orbit Altitude	450 km
Orbit Inclination	97.2 degree, Sun-synchronous
Speed	7.1 km / second
Equator Crossing Time	10.30 am. (descending node)
Orbit Time	93.5 minutes
Revisit Time	1 – 3.5 days depending on latitude (30 $^{\circ}$ off nadir)
Swath Width	16.5 km x 16.5 km at nadir
Metric Accuracy	23 meter horizontal (CE90)
Digitization	11 bits
Resolution	Pan : 61 cm (nadir) to 72 cm (25°off nadir) MS : 2.44 m (nadir) to 2.88 m (25°off nadir)

คุณลักษณะของดาวเทียม QuickBird	
Image Bands	Pan : 450 – 900 nm Blue : 450 – 520 nm Green : 520 – 600 nm Red : 630 – 690 nm Near IR : 760 – 900 nm

ตารางที่ 2.2 แสดงรายละเอียดผลิตภัณฑ์ของภาพดาวเทียม QuickBird

ที่มา : www.digitalglobe.com

Product Level	Processing	Absolute Accuracy		Geographic Availability
		CE90%	RMSE	
Basic	Sensor Corrected (Raw)	23 meters	14 meters	Worldwide
Standard	Georectified	23 meters	14 meters	Worldwide
Ortho 1:25000	Orthorectified	12.7 meters	7.7 meters	Worldwide
Ortho 1:12000	Orthorectified	10.2 meters	6.2 meters	US only
Ortho 1:4800	Orthorectified	4.1 meters	2.5 meters	US only
Custom Ortho	Orthorectified	Variable	Variable	Worldwide

จากคุณลักษณะของดาวเทียมในตารางที่ 2.1 จะเห็นว่าข้อมูลภาพดาวเทียมรายละเอียดสูง QuickBird มีรายละเอียดเชิงตำแหน่งสูง อีกทั้งความถี่ในการบันทึกซ้ำบริเวณเดิมค่อนข้างสูง ข้อมูลจึงมีความทันสมัย ด้วยเหตุนี้ข้อมูลภาพดาวเทียมรายละเอียดสูง QuickBird จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านภูมิสารสนเทศ

ในงานวิจัยนี้ใช้ภาพดาวเทียมรายละเอียดสูง QuickBird โหมด Pan-Sharpened ซึ่งมีรายละเอียดเชิงตำแหน่ง 0.60 เมตร เป็นผลิตภัณฑ์ชนิด Standard กล่าวคือ มีการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต (Geometric Correction) โดยไม่ใช้จุดควบคุมภาพ การปรับแก้เชิงคลื่น (Radiometric Correction) รวมถึงการปรับแก้การวางตัวของอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Sensor Correction) ซึ่งมีค่าความถูกต้องในระดับ 14 เมตร (RMSE) (ดูตารางที่ 2.2 ประกอบ)

2.2 การปรับแก้เชิงเรขาคณิต (Geometric Correction)

ข้อมูลภาพดาวเทียมที่ได้จากกระบวนการบันทึกภาพเป็นข้อมูลดิบ (Raw Data) ดังนั้นจึงมีความเพี้ยนและความผิดพลาดต่างๆ รวมอยู่ในข้อมูลด้วยเสมอ ข้อมูลที่ได้จึงไม่สามารถนำมาใช้ได้ทันทีโดยปราศจากกระบวนการปรับแก้ใดๆ สาเหตุของความเพี้ยนอาจเนื่องมาจากความสูงและการวางตัวของอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Sensor) ความโค้งของโลก ความสูงต่างของพื้นผิว การหักเหและการสะท้อนของแสงในชั้นบรรยากาศ ฯลฯ ซึ่งความเพี้ยนนี้สามารถปรับแก้ได้โดยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดภาพซึ่งสามารถวัดได้จากภาพดาวเทียมโดยตรงกับระบบพิกัดอ้างอิงจริง (เช่น ระบบพิกัดภูมิศาสตร์หรือพิกัด UTM) พิกัดอ้างอิงจริงนี้อาจได้มาจากหลายวิธีการ เช่น การอ่านค่าจากแผนที่ หรือภาพถ่ายทางอากาศที่ผ่านกระบวนการปรับแก้แล้ว การรังวัดในพื้นที่จริงด้วยดาวเทียม GPS เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ใช้การรังวัดด้วยดาวเทียม GPS และจากแผนที่กรุงเทพมหานครมาตราส่วน 1:4000 ในการหาค่าพิกัดอ้างอิง

การปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิตต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดภาพและพิกัดอ้างอิงจริง ความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดภาพและพิกัดอ้างอิงจริงสามารถแสดงได้ในรูปแบบทั่วไป ดังนี้ (Lillesand and Kiefer, 1999)

$$x = f_1(X,Y) \qquad y = f_2(X,Y)$$

โดยที่ x, y คือ พิกัดภาพของข้อมูลภาพดาวเทียม

X, Y คือ พิกัดอ้างอิง

f_1, f_2 คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการปรับแก้

ในงานวิจัยนี้ใช้การปรับแก้เชิงเรขาคณิตใน 2 มิติ โดยสมการโพลิโนเมียลซึ่งเป็นสมการอย่างง่าย มีรูปแบบที่ไม่ซับซ้อน อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดภาพและค่าพิกัดอ้างอิงจริงเท่านั้น ไม่เกี่ยวข้องกับค่าการวางตัวของกล้อง โดยจะทำการทดสอบโดยใช้สมการโพลิโนเมียลกำลัง 1, 2 และ 3 เป็นแบบจำลองในการคำนวณปรับแก้เพื่อแปลงค่าพิกัดภาพให้เป็นค่าพิกัดจริง (Coordinate Transformation) โดยมีจุดควบคุมภาพที่เพียงพอต่อการคำนวณปรับแก้และมีการกระจายตัวที่เหมาะสม ซึ่งสมการโพลิโนเมียลที่ใช้มีสมการดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงสมการของแบบจำลองที่ใช้ในการปรับแก้เชิงเรขาคณิต

แบบจำลอง	รูปแบบ
สมการโพลิโนเมียล กำลัง 1	$x = a_0 + a_1X + a_2Y$ $y = b_0 + b_1X + b_2Y$
สมการโพลิโนเมียล กำลัง 2	$x = a_0 + a_1X + a_2Y + a_3XY + a_4X^2 + a_5Y^2$ $y = b_0 + b_1X + b_2Y + b_3XY + b_4X^2 + b_5Y^2$
สมการโพลิโนเมียล กำลัง 3	$x = a_0 + a_1X + a_2Y + a_3XY + a_4X^2 + a_5Y^2 + a_6X^2Y + a_7XY^2 + a_8X^3 + a_9Y^3$ $y = b_0 + b_1X + b_2Y + b_3XY + b_4X^2 + b_5Y^2 + b_6X^2Y + b_7XY^2 + b_8X^3 + b_9Y^3$

เมื่อ x, y คือ พิกัดภาพ

X, Y คือ พิกัดวัตถุ

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9$ คือ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลง

2.3 การเลือกจุดควบคุมภาพ (Ground Control Point) และจุดตรวจสอบ (Check Point)

จุดควบคุมภาพ หมายถึง จุดที่ทราบพิกัดในระบบของพื้นดินและสามารถชี้ชัดหรือวัดค่าพิกัดได้จากภาพ ในการแปลงค่าพิกัดภาพเป็นพิกัดพื้นดินจำเป็นต้องอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดภาพและพิกัดพื้นดิน ดังนั้นการปรับแก้เชิงเรขาคณิตของภาพจะมีความถูกต้องเชิงตำแหน่งมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความถูกต้องของพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง ซึ่งความถูกต้องของพารามิเตอร์ที่คำนวณได้ก็ขึ้นอยู่กับความถูกต้องของจุดควบคุมภาพ การเลือกจุดควบคุมภาพจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญ

จุดตรวจสอบ หมายถึง จุดที่ทราบพิกัดในระบบของพื้นดินและสามารถวัดค่าพิกัดจากภาพได้เช่นเดียวกับจุดควบคุมภาพ โดยจุดตรวจสอบนี้จะใช้เพื่อการประเมินความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ในการปรับแก้ภาพดาวเทียมเท่านั้น ไม่ได้นำไปคำนวณเพื่อหาพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง

ข้อควรพิจารณาในการเลือกจุดควบคุมภาพและจุดตรวจสอบ มีดังนี้

1) เป็นจุดที่สังเกตได้ง่าย มีความเด่นชัดทั้งบนภาพดาวเทียมและบนภูมิประเทศ เช่น จุดตัดของถนน มุมถนน เป็นต้น

2) สามารถเข้าถึงได้ง่าย ไม่เป็นสถานที่ส่วนบุคคล หรือพื้นที่ที่ต้องขออนุญาต
3) จุดควบคุมภาพควรจะอยู่ในที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งกีดขวาง ไม่อยู่ใกล้ตึกสูงหรือกำแพงสูงที่มีผิวเรียบ รวมทั้งสายไฟฟ้าแรงสูง เพื่อให้สามารถรับสัญญาณดาวเทียม GPS ได้โดยไม่มีการรบกวน
4) จุดควบคุมภาพควรจะกระจายตัวอยู่ทั่วทั้งภาพและมีจำนวนมากเพียงพอในการคำนวณปรับแก้

เมื่อเลือกตำแหน่งที่จะวางจุดควบคุมภาพได้แล้ว ก็ทำการวางจุดควบคุมภาพและจุดตรวจสอบบนภาพดาวเทียมโดยการขยายเข้าไปจนเห็นเป็นจุดภาพสี่เหลี่ยมเพื่อให้ได้ความถูกต้องในระดับเศษส่วนของจุดภาพ จากนั้นจึงวางจุดควบคุมภาพและจุดตรวจสอบลงไปยังตำแหน่งที่ต้องการ

2.4 การรังวัดด้วยดาวเทียม

ในปัจจุบันการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS (Global Positioning System) เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความถูกต้องสูงในระดับเซนติเมตรหรือดีกว่าและการวางตำแหน่งหมุดไม่จำเป็นต้องมองเห็นกัน ทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกตำแหน่งหมุดได้อย่างอิสระและเหมาะสม โดยมีข้อพิจารณาในการเลือกตำแหน่งหมุดดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น (หัวข้อที่ 2.3)

ในการรังวัดค่าพิกัดพื้นดินของจุดควบคุมภาพจะใช้การรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ซึ่งความถูกต้องที่ต้องการควรจะดีกว่า 1 / 3 ของรายละเอียดของจุดภาพ สำหรับภาพดาวเทียม QuickBird ซึ่งมีรายละเอียดของจุดภาพ 60 cm ความถูกต้องของจุดควบคุมภาพควรจะดีกว่า 20 cm งานวิจัยนี้จะใช้การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Differential Positioning) โดยวิธีการรังวัดแบบสถิตอย่างเร็ว (Rapid Static) กล่าวคือ มีการนำเครื่องรับสัญญาณไปวางที่หมุดพร้อมๆ กัน ตั้งแต่ 2 หมุดขึ้นไป แล้วรับสัญญาณดาวเทียมในขณะเวลาเดียวกัน ซึ่งการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์นี้ให้ความถูกต้องของการรังวัดในระดับเซนติเมตร

2.5 การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภาพดาวเทียมภายหลังการปรับแก้

การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภาพดาวเทียมจากจุดตรวจสอบ ใช้มาตรฐานของ FGDC (Federal Geographic Data Committee) ซึ่งได้จัดทำมาตรฐานเกี่ยวกับการทดสอบและอธิบายความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลปริภูมิขึ้น เรียกว่า Geospatial Accuracy Standards ในส่วนที่ 3 ว่าด้วยมาตรฐานแห่งชาติเกี่ยวกับความถูกต้องของข้อมูลปริภูมิ (National Standard for Spatial Data Accuracy; NSSDA) ในการประเมิน โดยมาตรฐาน NSSDA นี้ใช้ค่า Root Mean Square Error (RMSE) ในการประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งและรายงานผลในรูป

ของค่าระยะทางบนผิวดินที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยกำหนดให้ใช้จุดทดสอบอย่างน้อย 20 จุด ซึ่งกระจายทั่วทั้งข้อมูล (Federal Geographic Data Committee [FGDC], 1998) โดยมีวิธีการคำนวณความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบดังรายละเอียดต่อไปนี้

- มาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภูมิสารสนเทศในรูปดิจิตอล

$$Accuracy_H = 1.7308 * RMSE_H$$

โดยที่ $Accuracy_H$ คือ ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบ

$RMSE_H$ คือ ค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบ มีวิธีการคำนวณ ดังนี้

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - X_i)^2}{n}} \quad (2.1)$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - Y_i)^2}{n}} \quad (2.2)$$

$$RMSE_H = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2} \quad (2.3)$$

เมื่อ n คือ จำนวนจุดทดสอบ

x_i, y_i คือ พิกัดของจุดทดสอบที่ i ซึ่งอ่านได้จากภูมิสารสนเทศที่จัดทำขึ้น

X_i, Y_i คือ พิกัดของจุดทดสอบที่ i ซึ่งได้จากการรังวัดหรือภูมิสารสนเทศแหล่งอื่นที่มีความถูกต้องสูงกว่า

ค่า $RMSE_H$ ที่คำนวณได้จากสมการที่ (2.3) สามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบในการระบุความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภูมิสารสนเทศ กล่าวคือ ภูมิสารสนเทศจะมีความถูกต้องเป็นที่ยอมรับได้ที่มาตราส่วนใด ต้องมีค่า $RMSE_H$ น้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในแต่ละชั้น (Class) ของมาตราส่วนนั้นๆ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์ความถูกต้องทางราบของภูมิสารสนเทศที่แต่ละมาตราส่วน
ที่มา : FGDC, 1998: 3-24

มาตราส่วน	เกณฑ์ของ $RMSE_H$ (เมตร)
	Class 1
1 : 1,000	0.25
1 : 2,000	0.50
1 : 4,000	1.00
1 : 5,000	1.25
1 : 10,000	2.50
1 : 20,000	5.00

2.6 การเปรียบเทียบเชิงตำแหน่งของภาพดาวเทียมที่ผ่านกระบวนการปรับแก้กับแผนที่กรุงเทพมหานครมาตราส่วน 1:4000 โดยการซ้อนทับ (Overlay)

ในงานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองนอนพาราเมตริกโดยสมการโพลิโนเมียลซึ่งเป็นแบบจำลองอย่างง่าย อาศัยเพียงความสัมพันธ์ของพิกัดภาพและพิกัดภาคพื้นดินเท่านั้นในการปรับแก้ข้อมูลภาพดาวเทียม ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำข้อมูลภาพดาวเทียมที่ผ่านกระบวนการปรับแก้โดยวิธีดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับแผนที่กรุงเทพมหานครมาตราส่วน 1:4000 ที่ถูกจัดทำขึ้นจากกระบวนการทาง Photogrammetry โดยการซ้อนทับข้อมูลภาพดาวเทียมที่ผ่านการปรับแก้แล้วกับข้อมูลแผนที่ กรุงเทพมหานครมาตราส่วน 1:4000

สำหรับการเปรียบเทียบเชิงตำแหน่งของข้อมูลภาพดาวเทียมรายละเอียดสูง QuickBird ที่ผ่านการปรับแก้เชิงเรขาคณิตแล้วโดยการซ้อนทับ (Overlay) กับแผนที่กรุงเทพมหานครมาตราส่วน 1:4000 ทำได้โดยวัดค่าคลาดเคลื่อนระหว่างวัตถุเดียวกันของข้อมูลแผนที่กรุงเทพมหานครมาตราส่วน 1:4000 และข้อมูลภาพดาวเทียมที่ผ่านการปรับแก้โดยแบบจำลองนอนพาราเมตริก ซึ่งค่าที่วัดได้จะอยู่ในรูปของพิกัดแผนที่ X, Y จากนั้นนำค่าพิกัดที่วัดได้จากจุดเดียวกันของข้อมูลภาพดาวเทียมและแผนที่กรุงเทพมหานครมาตราส่วน 1:4000 มาคำนวณค่าคลาดเคลื่อนของวัตถุนั้นๆ โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\text{ค่าคลาดเคลื่อน (Error)} = \sqrt{(X_m - X_s)^2 + (Y_m - Y_s)^2} \quad (2.4)$$

เมื่อ X_m, Y_m คือ ค่าพิกัดที่วัดได้จากแผนที่

X_s, Y_s คือ ค่าพิกัดของจุดเดียวกันที่วัดข้อมูลภาพดาวเทียมที่ผ่านการปรับแก้โดยแบบจำลองนอนพาราเมตริก

2.7 การเปรียบเทียบรายละเอียดข้อมูลภาพดาวเทียมรายละเอียดสูงกับ แผนที่กรุงเทพมหานคร มาตราส่วน 1:4000

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาและเปรียบเทียบรายละเอียดข้อมูลภาพดาวเทียมรายละเอียดสูง QuickBird กับแผนที่กรุงเทพมหานครมาตราส่วน 1:4000 ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กับค่าพิกัด โดยศึกษาแนวทางจากงานศึกษาวิจัยเรื่อง QuickBird – Aerial Photography Comparison Report ซึ่งเผยแพร่โดยบริษัท Digital Globe (Digital Globe, 2002) โดยการศึกษาวิจัยเรื่องดังกล่าวใช้ Criteria ของ NIIRS (National Imagery Interpretability Rating Scale) Civil Reference Guide ซึ่งมีรายละเอียดที่ใช้ในการเปรียบเทียบแบ่งได้เป็น 3 กรณีใหญ่ๆ คือ การเปรียบเทียบในด้านเกษตรกรรม (Agricultural Criteria Session) เช่น แปลงปลูกผัก อุปกรณ์ที่ใช้ในการเกษตร โรงเลี้ยงสัตว์ ไร่ นา สวน เป็นต้น การเปรียบเทียบในด้านสิ่งก่อสร้าง อาคาร (Cultural Criteria Session) เช่น ถนน ทางรถไฟ อาคาร เป็นต้น และการเปรียบเทียบในด้านสิ่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural Criteria Session) เช่น ต้นไม้ พืชพรรณ หิน ทางน้ำ เป็นต้น โดยที่ในแต่ละ Criteria จะแบ่งเป็นระดับย่อยๆ ประกอบในการพิจารณาอีก 10 ระดับ (Imagery Resolution Assessments and Reporting Standards Committee [IRARS], 1996) ผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ภาพดาวเทียมรายละเอียดสูง QuickBird ที่มีการอ้างอิงค่าพิกัดแล้ว (Georeferenced) ซึ่งเป็นภาพขาวดำ (Panchromatic) รายละเอียดจุดภาพ 0.70 เมตร มีรายละเอียดเพียงพอที่จะทำแผนที่มาตราส่วน 1:4800 และเมื่อนำภาพดาวเทียม QuickBird ซึ่งเป็นภาพขาวดำ (Panchromatic) และผ่านกระบวนการ Orthorectified มีรายละเอียดจุดภาพ 0.60 เมตร พบว่าภาพดาวเทียมมีรายละเอียดเพียงพอที่จะทำแผนที่ในมาตราส่วน 1:2400 และ 1:4800 (Digital Globe, 2002)

แต่เนื่องจากพื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นพื้นที่ในเขตเมือง งานวิจัยนี้จึงมุ่งเปรียบเทียบรายละเอียดภาพดาวเทียม QuickBird กับแผนที่กรุงเทพมหานครมาตราส่วน 1:4000 โดยใช้บัญชีสัญลักษณ์ของแผนที่กรุงเทพมหานครมาตราส่วน 1:4000 เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ

ซึ่งผลที่ได้จากการเปรียบเทียบนี้สามารถนำไปใช้ประกอบในการตัดสินใจและพิจารณาความเหมาะสมในการนำข้อมูลภาพดาวเทียมรายละเอียดสูงไปประยุกต์ใช้ในงานแผนที่ต่อไป