การสำรวจด้วยภาพถ่าย
Photogrammetry

ผศ.ดร.ชาติชาย ไวยสุระสิงห์

ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

การสำรวจด้วยภาพถ่าย

Photogrammetry

ผศ.ดร.ชาติชาย ไวยสุระสิงห์

ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

การสำรวจด้วยภาพถ่าย

Photogrammetry

เขียนและเรียบเรียงโดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาติชาย ไวยสุระสิงห์

เลขมาตรฐานสากลประจำหนังสือ ISBN (ebook) 978-616-438-448-4
ISBN (hardcopy) 978-616-438-443-9

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ

พิมพ์ครั้งที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2563

ราคา 215 บาท

จัดทำโดย: ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
123 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น รหัสไปรษณีย์ 40002
โทรศัพท์ 043-202355 โทรสาร 043-202355 ต่อ 12 อีเมล์ sirdc@kku.ac.th

จัดจำหน่ายโดย บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

คำนำ

(Preface)

ในปัจจุบันอันเป็นยุคที่เทคโนโลยีด้านการสำรวจรังวัดและทำแผนที่ได้มีความก้าวหน้าและเกิดการปรับโฉมไปอย่างมากส่งผลให้การสำรวจด้วยภาพถ่ายกลายเป็นเรื่องที่กำลังได้รับความนิยมอย่างยิ่งในวงการวิศวกรรมโยธาและสำรวจ งานด้านการสำรวจและออกแบบมีการกำหนดให้ใช้ข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายออร์โธมากขึ้น ส่งผลให้ความรู้ด้านนี้กลายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับวิศวกรโยธา ดังนั้นหนังสือเรื่อง “**การสำรวจด้วยภาพถ่าย (Photogrammetry)**” จึงได้มีการออกแบบให้มีเนื้อหาที่ครอบคลุมตั้งแต่พื้นฐานด้านการสำรวจด้วยภาพถ่าย นิยาม คำสำคัญต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการรังวัดด้วยภาพถ่าย ความเป็นมาของเทคโนโลยีการสำรวจด้วยภาพถ่าย เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจด้วยภาพถ่ายในยุคต่าง ๆ ทฤษฎีสมการสภาวะร่วมเส้น การวางแผนการบินถ่ายภาพรวมถึงโครงข่ายการถ่ายภาพภาคพื้นดิน โครงข่ายสามเหลี่ยมของงานสำรวจด้วยภาพถ่าย การมองภาพสามมิติ ระยะเหลื่อม การวัดความสูงจากภาพถ่าย แบบจำลองความสูง การดัดแก้ภาพถ่าย การผลิตภาพถ่ายออร์โธ การประยุกต์ใช้การรังวัดด้วยภาพถ่ายทั้งเชิงวิศวกรรมและเชิงอนุรักษ์สถาปัตยกรรม ยิ่งไปกว่านั้น ผู้แต่งได้มีการบรรจุเอาเนื้อหาการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับเข้าไว้ในหนังสือเล่มนี้ด้วย ซึ่งผู้แต่งหวังเป็นอย่างยิ่งว่า เนื้อหาในหนังสือเล่มนี้จะมีส่วนช่วยให้ผู้อ่าน ซึ่งเน้นไปที่กลุ่มงานวิศวกรรมโยธาที่สนใจจะนำความรู้ด้านนี้ไปใช้ในการสำรวจรังวัดบังเกิดความเข้าใจและสามารถนำเอากรณีศึกษาและทฤษฎีต่าง ๆ ที่นอกจากจะนำไปใช้ในประกอบการเรียนแล้ว ยังสามารถนำไปใช้ประกอบการทำงานด้านการสำรวจรังวัดด้วยภาพถ่ายได้เป็นอย่างดี

ผศ.ดร.ชาติชาย ไวยสุระสิงห์

มีนาคม 2563

ขออุทิศคุณความดีที่มีในหนังสือเล่มนี้

แด่

บูรพาจารย์ด้านวิศวกรรมสำรวจทุกท่าน

บุรพาการีของข้าพเจ้าและภรรยา

และครอบครัวของข้าพเจ้า

สารบัญ

หัวข้อ		หน้า
คำอุทิศ		**ก**
คำนำ		**ข**
สารบัญเรื่อง		**i**
สารบัญตาราง		**vi**
สารบัญรูป		**vii**
บทที่ 1	**บทนำสู่การรังวัดด้วยภาพถ่าย (Introduction to Photogrammetry)**	**1**
1.1	มโนทัศน์ของการรังวัดด้วยภาพถ่าย (Concept of Photogrammetry)	1
	1.1.1 ประเภทการรังวัดด้วยภาพถ่าย (Type of Photogrammetry)	2
	1.1.2 ลักษณะของงานในการสำรวจรังวัดด้วยภาพถ่าย (Characteristics of Works in Photogrammetry)	6
	1.1.3 มาตราส่วนและมาตราส่วนภาพถ่าย (Scale and Photo Scale)	13
1.2	วิวัฒนาการของการสำรวจด้วยภาพถ่าย (History of Photogrammetry)	16
	1.2.1 ยุคการสำรวจรังวัดด้วยภาพถ่ายแบบอนาล็อก (Analogue Photogrammetric Era)	16
	1.2.2 ยุคการรังวัดด้วยภาพถ่ายเชิงวิเคราะห์ (Analytical Photogrammetric Era)	24
	1.2.3 ยุคการรังวัดด้วยภาพถ่ายดิจิทัล (Digital Photogrammetric Era)	26
1.3	สมาคมวิชาชีพและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจด้วยภาพถ่าย (Professional Organization of Photogrammetry)	27
	1.3.1 สมาคมวิชาชีพที่มีบทบาทในการสำรวจด้วยภาพถ่าย (Professional Association in Photogrammetry)	27
	1.3.2 หน่วยงานของภาครัฐที่มีบทบาทในการสำรวจด้วยภาพถ่าย (Government Agencies in Photogrammetry)	30
1.4	แบบฝึกหัด (Exercise)	31
บทที่ 2	**แนวคิดพื้นฐานของการสำรวจด้วยภาพถ่าย (Basic Concepts of Photogrammetry)**	**32**
2.1	กล้องถ่ายภาพและส่วนประกอบ (Camera and Components)	32
	2.1.1 เลนส์และฉากรับภาพ (Lens and Image Frame)	34
2.2	กล้องถ่ายภาพทางอากาศ (Aerial Camera)	38
	2.2.1 กล้องถ่ายภาพทางอากาศแบบบันทึกด้วยฟิล์ม (Film-based Aerial Camera)	38
	2.2.2 กล้องถ่ายภาพทางอากาศแบบดิจิทัล (Digital Aerial Camera)	41

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ		หน้า
2.3	การแปลงค่าพิกัด (Coordinate Transformation)	43
	2.3.1 ชนิดของการฉายแสงในงานสำรวจรังวัดด้วยภาพถ่าย (Type of Projection in Photogrammetry)	43
	2.3.2 ประเภทของภาพถ่ายทางอากาศ (Types of Photographs)	44
	2.3.3 องค์ประกอบทางเรขาคณิตของภาพถ่าย (Geometric Component of Photograph)	46
2.4	แบบฝึกหัด (Exercise)	63
บทที่ 3	**การวางแผนการถ่ายภาพ (Image Configuration)**	**64**
3.1	การวางแผนการถ่ายภาพด้วยเครื่องบิน (Flight Planning of Aircraft)	64
	3.1.1 แผนที่แนวบิน (Flight Map)	65
	3.1.2 เกณฑ์มาตรฐานการทำแผนที่ (Map Specification)	65
	3.1.3 ปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบเพื่อวางแผนการบินถ่ายภาพทางอากาศด้วยเครื่องบิน (Factors for Designing of Airborne Flight Planning)	66
	3.1.4 ประเภทของจุดบังคับภาพถ่ายในการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ (Type of Photo-control Point in Aerial Photogrammetry)	69
	3.1.5 กระบวนการวางแผนการบินถ่ายภาพด้วยเครื่องบิน (Processes for Flight Planning of Aircraft)	73
3.2	การวางแผนการถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ (Flight Planning of Unmanned Aerial Vehicle)	75
	3.2.1 อากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle, UAV)	76
	3.2.2 ส่วนประกอบของระบบอากาศยานไร้คนขับ (A Component of Unmanned Aircraft System)	78
	3.2.3 การเลือกใช้อากาศยานไร้คนขับในการบินถ่ายภาพทางอากาศเพื่อภารกิจการทำแผนที่ (Selection of UAV for Mapping)	79
	3.2.4 กล้องที่ใช้การถ่ายภาพบนอากาศยานไร้คนขับ (Digital Camera in the UAV)	79
	3.2.5 แอพพลิเคชั่นสำหรับใช้ในการวางแผนแนวบิน (Application Used for Flight Planning)	81
	3.2.6 ซอฟแวร์ที่ใช้ในการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ (Software for Processing UAV imagery)	81
	3.2.7 ประเภทของจุดบังคับภาพถ่ายในการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ (Type of Photo-control Point in UAV Photogrammetry)	82
	3.2.8 การวิเคราะห์พื้นที่โครงการและมาตราส่วนแผนที่ (Analysis of Project Area and Map Scale)	83

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ		หน้า
	3.2.9 ตัวอย่างการวางแผนแนวบินสำหรับการสำรวจด้วยภาพถ่ายจาก UAV	85
3.3	การวางแผนการถ่ายภาพภาคพื้นดิน (Planning for Terrestrial Image Capture)	86
	3.3.1 กล้องถ่ายภาพและความเพี้ยนของเลนส์ (Camera and Lens Distortion)	87
	3.3.2 การออกแบบโครงข่ายการถ่ายภาพ (Camera Network Configuration)	91
3.4	แบบฝึกหัด (Exercise)	96
บทที่ 4	**โครงข่ายสามเหลี่ยมของงานสำรวจด้วยภาพถ่าย (Photogrammetric Triangulation)**	**97**
4.1	สภาวะร่วมเส้นของรังสีการถ่ายภาพ (Collinearity of Bundle from Image Ray Condition)	97
	4.1.1 นิยามของสภาวะร่วมเส้น (Definition of Collinearity Condition)	97
	4.1.2 สมการสภาวะร่วมเส้น (Collinearity Equation)	97
4.2	การรังวัดพิกัดบนภาพถ่าย (Image Mensuration)	101
	4.2.1 การหมายเป้าด้วยมือ (Manual Point Marking)	102
	4.2.2 การหมายเป้าด้วยศูนย์ถ่วง (Sub-pixel Target Marking)	104
	4.2.3 การหมายเป้าอัตโนมัติ (Automatic Target Marking)	106
4.3	การรังวัดพิกัดภาคพื้นดิน (Ground Observation of GCP)	108
	4.3.1 ชนิดของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS (Type of GNSS Receiver)	108
	4.3.2 เทคนิคในการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบสัมพัทธ์ (Differential or Relative GPS Positioning)	109
	4.3.3 การรังวัดพิกัดภาคพื้นดินสำหรับการสำรวจภาพถ่าย (Ground Observation for Photogrammetry)	110
4.4	การประมวลผลปรับแก้บล็อครังสีการถ่ายภาพ (Bundle Block Adjustment Computation)	112
	4.4.1 การใช้สมการสภาวะร่วมเส้น (Utilization of Collinearity Condition)	112
	4.4.2 การเล็งสกัดภาพคู่ (Two-photo Intersection)	116
	4.4.3 การปรับแก้บล็อคการถ่ายภาพ (Bundle Block Adjustment)	119
4.5	แบบฝึกหัด (Exercise)	129
บทที่ 5	**การมองภาพสามมิติ ระยะเหลื่อม และการวัดความสูง (Stereoscopic Viewing and Stereoscopic Parallax and Height Measurement)**	**130**
5.1	การมองภาพสามมิติ (Stereoscopic Viewing)	130
	5.1.1 ดวงตามนุษย์ (The Human Eye)	131
	5.1.2 การรับรู้ความลึกด้วยการมองสามมิติ (Stereoscopic Depth Perception)	132
	5.1.3 หลักการของการมองภาพสามมิติ (Stereoscopy)	134
	5.1.4 กล้องมองภาพสามมิติ (Stereoscopes)	136

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ		หน้า
5.2	การวัดความสูงจากภาพถ่ายทางอากาศ (Height Measurement from Aerial Photography)	140
	5.2.1 การใช้มุมเหลื่อมเพื่อพิจารณาความลึกของวัตถุ	140
	5.2.2 ระยะเหลื่อมของภาพคู่ซ้อน (Stereoscopic Parallax)	143
	5.2.3 หลักการของจุดลอย (Principle of The Floating Mark) ผ่านเครื่องมองสามมิติแบบกระจกเงา	146
	5.2.4 การวัดระยะเหลื่อมโดยวิธีการภาพสามมิติ (Stereoscopic Methods of Parallax Measurement)	146
	5.2.5 การวัดความสูงจากความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความต่างระดับ (Measuring Elevation from Height Relief Displacement)	155
5.3	แบบฝึกหัด (Exercise)	162
บทที่ 6	**แบบจำลองความสูง (Digital Elevation Model)**	**163**
6.1	การนำเสนอลักษณะภูมิประเทศแบบต่างๆ (Terrain Representation)	163
	6.1.1 เส้นชั้นความสูง (Contour Lines)	165
	6.1.2 ข้อมูลกริด (Grid Data)	171
	6.1.3 ข้อมูลจุดคละ (Random Point Data)	172
	6.1.4 ฟังก์ชั่นพื้นผิว (Surface Function)	174
6.2	ข้อมูลแบบจำลองความสูงแบบต่างๆ (Digital Terrain Data)	174
	6.2.1 ความละเอียดของแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข	174
	6.2.2 ประเภทของ DEM ที่จำแนกตามรูปแบบของความครอบคลุมในการให้บริการ	175
6.3	การใช้ประโยชน์จากแบบจำลองความสูงในงานวิศวกรรมโยธา (Utilization of DEM for Civil Engineering Works)	186
	6.3.1 การประเมินความถูกต้องของ DEM (Accuracy Assessment of DEM)	186
	6.3.2 การจำลองการกระจายความคลาดเคลื่อนเพื่อสร้างพื้นผิวความคลาดเคลื่อน (Error Surface)	190
	6.3.3 ฟังก์ชั่นพื้นฐานทาง GIS ในการวิเคราะห์ข้อมูล DEM	193
6.4	แบบฝึกหัด (Exercise)	198
บทที่ 7	**การดัดแก้ภาพถ่ายและภาพถ่ายออร์โธ (Rectification and Ortho Photography)**	**199**
7.1	การดัดแก้ภาพถ่าย (Orthorectification)	199
	7.1.1 ภาพถ่ายออร์โธ (Ortho Photography)	199
	7.1.2 การผลิตแผนที่ภาพถ่ายออร์โธ (Orthophoto)	201
7.2	การต่อภาพและการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายออร์โธ (Mosaicking and Enhancing of Orthophoto)	203

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ		หน้า
	7.2.1 การต่อภาพ (Image Mosaicking)	203
	7.2.2 ประโยชน์ของภาพต่อออร์โธ (Usefulness of Orthophoto Mosaic)	205
	7.2.3 การสร้างเส้นรอยตะเข็บในการต่อภาพ (Construction of Seamline for Mosaic Ortho Photo)	205
	7.2.4 การปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายเชิงเลข (Digital Image Enhancement)	208
7.3	มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมสำรวจและการแผนที่ (Standards related to surveying engineering and mapping)	219
	7.3.1 มาตรฐานความถูกต้องของแผนที่ (Accuracy Standard for Maps)	220
	7.3.2 มาตรฐานความถูกต้องของแผนที่เชิงเลข (Digital Map)	222
	7.3.3 มาตรฐานความถูกต้องของแผนที่ภาพถ่าย (Photo Map)	224
	7.3.4 การแสดงผลแผนที่บนกระดาษ (Paper Map)	226
	7.3.5 เกณฑ์คุณภาพข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ (Data Quality Control for Topographic Mapping)	228
7.4	แบบฝึกหัด (Exercise)	230
บทที่ 8	**การประยุกต์ใช้การรังวัดด้วยภาพถ่าย (Applications to Engineering Works)**	**231**
8.1	การประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรม (Appilcation to Engineering Wroks)	231
	8.1.1 การประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในงานวิศวกรรม (Application of Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry to Engineering Works)	232
8.2	การประยุกต์ใช้ในงานเกษตรกรรม(Application to Agriculture Works)	241
	8.2.1 ความรู้พื้นฐานของการสำรวจระยะไกลที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจด้วยภาพถ่าย (Related Basic Knowledge of Remote Sensing to Photogrammetry)	242
8.3	การประยุกต์ใช้ในงานด้านสถาปัตยกรรม (Application to Architectural Works)	251
	8.3.1 การสร้างแบบจำลองสามมิติดิจิทัลของสถาปัตยกรรมไทยโดยใช้งานรังวัดด้วยภาพถ่ายระยะใกล้: กรณีศึกษาเจดีย์พระมหาธาตุแก่นนคร	253
	8.3.2 การสร้างแบบจำลองสามมิติเพื่ออนุรักษ์สถาปัตยกรรมร่วมสมัยโดยใช้เทคนิคการรังวัดบนภาพถ่ายระยะใกล้เชิงเลข: กรณีศึกษาอาคารวิศวกรรม 01 แห่งมหาวิทยาลัยขอนแก่น	257
8.4	แบบฝึกหัด (Exercise)	261
	บรรณานุกรม	**262**
	ดัชนี (Index)	**270**

บทที่ 1

บทนำเข้าสู่การรังวัดด้วยภาพถ่าย
(Introduction to Photogrammetry)

1.1 มโนทัศน์ของการรังวัดด้วยภาพถ่าย (Concept of Photogrammetry)

การรังวัดด้วยภาพถ่าย (Photogrammetry) หรือ การสำรวจด้วยภาพถ่าย ถือเป็นศาสตร์ที่เป็นวิทยาการในการรังวัดเพื่อให้ได้มาซึ่งตำแหน่งของวัตถุหรือสิ่งต่าง ๆ จากการวัดบนภาพถ่าย และเป็นศิลป์ในการวัดบนภาพเพื่อใช้ในการเก็บลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ ของวัตถุผ่านการแปลภาพ ที่มาของคำว่า Photogrammetry นั้นมาจากการประกอบคำในภาษากรีก 3 คำด้วยกัน คือ Photo ที่หมายถึง แสง รวมกับ Grammar ที่หมายถึง ภาพที่วาดหรือเขียนขึ้น และ Metron ที่หมายถึง การวัด ดังนั้น เมื่อผนวกคำทั้งสามเข้าด้วยกัน จึงเกิดเป็นคำว่า Photogrammetry ที่เมื่อแปลตรงตัวตามรากศัพท์แล้วหมายถึง “การวัดบนภาพที่วาดขึ้นมาจากแสง” ทั้งนี้การวัดจะเกิดขึ้นได้นั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องผ่านกระบวนการบันทึก (Recording) เพื่อจัดเก็บสิ่งที่วาดขึ้นจากแสงในรูปแบบของภาพถ่าย ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งการบันทึกบนฟิล์ม (Film) กระดาษอัดภาพ (Photograph) หรือเซนเซอร์รับภาพ (Sensor) แล้วจัดเก็บเป็นภาพถ่ายดิจิทัล (Digital Image) โดยไม่ว่าจะเป็นภาพถ่ายในลักษณะใดก็ตาม จะถูกส่งต่อไปยังกระบวนการวัด (Measurement) รวมถึงกระบวนการแปลความหมาย (Interpretation) ซึ่งในอดีตนั้นจะเป็นการรังวัดโดยตรงจากภาพถ่ายที่ถูกอัดลงบนฟิล์ม หรือ กระดาษอัดภาพ และในยุคปัจจุบัน ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการวัดโดยตรงจากภาพถ่ายดิจิทัลที่เป็นการวัดโดยตรงจากจุดภาพ (Picture Element) รวมถึงการประมวลผลแต่ละจุดภาพโดยใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัล (Digital Image Processing Technology)

การสำรวจรังวัดด้วยภาพถ่ายนั้นสามารถนอกจากจะนำมาใช้ในงานด้านแผนที่ได้เป็นอย่างดี ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานด้านวิศวกรรมโยธาและด้านอื่น ๆ ได้อย่างกว้างขวาง โดยในปัจจุบันเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และการถ่ายภาพมีความก้าวหน้ามากยิ่งขึ้น ควบคู่ไปกับเทคโนโลยีการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหนพิภพ (Global Navigation Satellite System: GNSS) เหล่านี้ส่งผลให้มีการเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตและประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายที่รวดเร็วและได้ผลผลิตที่ทันกับความต้องการที่จะใช้งาน รวมถึงการมีแหล่งข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายและแบบจำลองสามมิติต่างๆ ที่เพิ่มมากขึ้น อนึ่งภายใต้ภาวการณ์ที่งานด้านวิศวกรรมโยธามีขนาดใหญ่และมูลค่าการลงทุนที่สูง ควบคู่ไปกับการแข่งขันทางธุรกิจที่สูง ส่งผลให้การสำรวจรังวัดภาคสนาม (Ground Surveying) เพื่อทำแผนที่อย่างเดียวอาจจะไม่เพียงพอต่อการแข่งขัน การเสริมสมรรถนะการทำงานด้วยการรังวัดบนภาพถ่ายจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจเพื่อใช้ขั้นตอนการออกแบบเพื่อศึกษาความเป็นไปได้

เช่น การประมาณราคา (Estimation Cost) ในการก่อสร้าง หรือกระทั่งการศึกษาเลือกแนวเส้นทางที่เหมาะสม (Route Selection) ตลอดจนการวางแผนพัฒนาระบบขนส่งสาธารณะต่างๆ เป็นต้น

จากเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ได้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการสำรวจรังวัดด้วยภาพถ่ายในมิติที่มีต่อวิศวกรโยธา ที่ว่า “หากวิศวกรโยธามีความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการ ทฤษฎี และข้อปฏิบัติต่าง ๆ ของการสำรวจรังวัดด้วยภาพถ่ายอย่างถ่องแท้ จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อความก้าวหน้าวิชาชีพ” ดังนั้น ความเข้าใจเหล่านี้จึงถือเป็นสิ่งจำเป็นลำดับต้น ๆ ที่มีผลต่อความสำเร็จของงาน โดยเมื่อความเข้าใจอย่างถ่องแท้ทั้งในภาคทฤษฎีและการปฏิบัติถูกนำมาใช้อย่างต่อเนื่อง สิ่งเหล่านี้จะก่อให้เกิดความชำนาญ โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ภาพถ่ายในงานด้านวิศวกรรมโยธาที่หลากหลาย ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่วิชาชีพวิศวกรต่อไปในอนาคต ทั้งนี้หลักการและทฤษฎีที่สำคัญเกี่ยวกับการสำรวจรังวัดด้วยภาพถ่ายเพื่อใช้ในการผลิตแผนที่รวมถึงการสร้างแบบจำลองสามมิติของวัตถุต่าง ๆ ที่จะต้องทำความเข้าใจ ได้แก่ องค์ประกอบต่างๆ ทางเรขาคณิตของภาพถ่าย ความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ที่มีผลต่อข้อมูลในการรังวัดจากภาพ ระบบค่าพิกัด การปรับแก้ภาพถ่าย การทำแผนที่ภาพถ่าย และการนำไปใช้ประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ เป็นต้น

1.1.1 ประเภทการรังวัดด้วยภาพถ่าย (Type of Photogrammetry)

ในอดีตภาพถ่ายที่ใช้งานรังวัดด้วยภาพถ่ายจะถูกนำมาใช้ในงานวางแผนและดำเนินงานในโครงการต่าง ๆ เช่น การสำรวจพื้นที่ตามแนวก่อสร้างทางรถไฟ เขื่อน และ การสำรวจสภาพการใช้ที่ดินตลอดแนวพื้นที่สายส่งไฟฟ้าแรงสูง เป็นต้น ดังนั้นงานรังวัดด้วยภาพถ่ายส่วนใหญ่จึงเป็นการรังวัดด้วยภาพถ่ายจากเครื่องบิน หรือที่เรียกกันติดปากว่า “ภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial Photograph)” ตามรูปแบบของการถ่ายภาพ และคำว่า การสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial Photogrammetry) นั้นเป็นที่เข้าใจกันตรงกันว่าเป็นภาพถ่ายจากเครื่องบิน ในขณะที่ภาพที่บันทึกจากดาวเทียมนั้นจะเรียกว่าภาพถ่ายจากดาวเทียม (Satellite Imagery) และเรียกการรังวัดบนภาพถ่ายประเภทนี้จึงเรียกว่า การสำรวจด้วยภาพถ่ายดาวเทียม (Satellite Photogrammetry) ซึ่งเป็นชื่อเรียกตามรูปแบบของอากาศยานที่ใช้ในการบันทึกภาพถ่าย ในทำนองเดียวกันนี้เอง เมื่อนำอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) หรือ โดรน (Drone) มาประยุกต์ใช้ในการถ่ายภาพ ก็เรียกว่า ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับหรือโดรนเช่นกัน แต่หากนำภาพถ่ายได้จากการถ่ายภาพภาคพื้นดิน ไม่ว่าจะติดตั้งบนยานพาหนะแบบไหนก็จะถูกเรียกรวม ๆ กันว่า การสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน (Terrestrial Photogrammetry) ซึ่งในปัจจุบันสามารถถ่ายได้จากทั้งกล้องถ่ายภาพมือถือ กล้องถ่ายภาพแบบคอมแพค หรือ กล้องถ่ายภาพแบบสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยว (Single Lens Reflex: SLR) โดยภาพถ่ายในทุก ๆ แหล่งที่กล่าวมานั้นจำเป็นต้องทราบถึงองค์ประกอบภาพภายใน (Interior Orientation) ซึ่งประกอบด้วยตำแหน่งของจุดมุขยสำคัญ ขนาดของภาพถ่าย และสัมประสิทธิ์เพื่อใช้ในแบบจำลองความเพี้ยนของเลนส์ในกล้องที่ใช้ถ่ายภาพ เป็นต้น เพื่อใช้ในการสร้างเป็นระบบพิกัดบนภาพถ่าย ที่ให้ความถูกต้องสูงและเหมาะสมกับการรังวัดด้วยภาพถ่าย

การนำภาพถ่ายจากแหล่งต่าง ๆ ที่กล่าวมาใช้ในงานรังวัดด้วยภาพถ่ายได้ทำให้เกิดเทคนิคการรังวัดด้วยภาพถ่ายในแบบต่าง ๆ แตกแขนงแยกย่อยออกเป็นประเภทต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1.1.1.1 การรังวัดบนภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial Photogrammetry)

การรังวัดบนภาพถ่ายทางอากาศเป็นการใช้ภาพถ่ายทางอากาศมาดำเนินการรังวัดเพื่อให้ได้ตำแหน่งและความหมายของสิ่งต่าง ๆ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากงานรังวัดประเภทนี้โดยส่วนใหญ่แล้วอยู่รูปแบบของแผนที่ภาพถ่ายดัดแก้เชิงดิ่งซึ่งเรียกกันใน

วงการวิชาชีพว่า แผนที่ภาพถ่ายออร์โธ อนึ่งหากนำเอาแผนที่ภาพถ่ายออร์โธนี้มาผ่านกระบวนการแปลภาพก็จะสามารถนำผลิตเป็นแผนที่ลายเส้นได้ด้วยเช่นกัน นอกจากนี้แล้ว ผลลัพธ์อีกรูปแบบหนึ่งที่คือแบบจำลองระดับเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นผิวของระดับผิวดินที่ตัดเอาสิ่งปกคลุมดินต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นต้นไม้ หรือสิ่งก่อสร้างออกไปแล้ว

1.1.1.2 การรังวัดด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม (Satellite Photogrammetry)

การรังวัดด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมเป็นการใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมแบบออฟติคัล (Optical) มาใช้ในการรังวัดเพื่อให้ลักษณะภูมิประเทศผ่านการวิเคราะห์ภาพคู่ซ้อน (Stereo-image Analysis) ทั้งนี้ภาพดาวเทียมแบบ Optical เป็นภาพถ่ายแบบพาสซีฟที่อาศัยการสะท้อนของแสงอาทิตย์จากพื้นผิวโลกไปยังตัวรับรู้ (Sensor) บนดาวเทียม และดาวเทียมที่สามารถตอบโจทย์ภารกิจนี้ได้นั้นต้องมีการออกแบบดาวเทียมให้มีขีดความสามารถเก็บข้อมูลภาพคู่ซ้อนได้เช่น ดาวเทียม ALOS, ดาวเทียม SPOT และดาวเทียม THEOS เป็นต้น

1.1.1.3 การรังวัดด้วยภาพถ่ายแบบเรด้าห์ (Radargrammetry)

การรังวัดด้วยภาพถ่ายแบบเรด้าห์เป็นการใช้ข้อมูลภาพถ่ายแบบเรด้าห์ (RAdio Detection And Ranging: RADAR) มาใช้วิเคราะห์ลักษณะภูมิประเทศผ่านการสร้างแบบจำลองสามมิติ (Stereo Model) ซึ่งจะเป็นการวิเคราะห์ภาพคู่ซ้อน (Stereo-image Analysis) เช่นเดียวกับการสำรวจด้วยภาพถ่าย (Photogrammetry) แต่จะแตกต่างในประเด็นที่ว่า ภาพถ่าย RADAR นี้เป็นภาพถ่ายแบบแอคตีฟที่เป็นการส่งสัญญาณคลื่นเรด้าห์ที่เป็นคลื่นแสงในย่านไมโครเวฟไปตกกระทบกับภูมิประเทศเป้าหมายแล้วมีการกระจัดการจายกลับมายังเครื่องรับสัญญาณซึ่งจะมีการบันทึกข้อมูลประกอบด้วยความเข้มของสัญญาณเรด้าห์ เวลาและมุมที่ตกกระทบ ทั้งนี้เพื่อวิเคราะห์และประกอบขึ้นรูปเป็นภาพเรด้าห์ที่เป็นระดับความเข้มของสัญญาณโดยแสดงผลออกมาเป็นระดับความสว่างของภาพ และดาวเทียมที่สามารถวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ได้ เช่น ดาวเทียม RADARSAT-1, -2 และ ดาวเทียม ALOS เป็นต้น

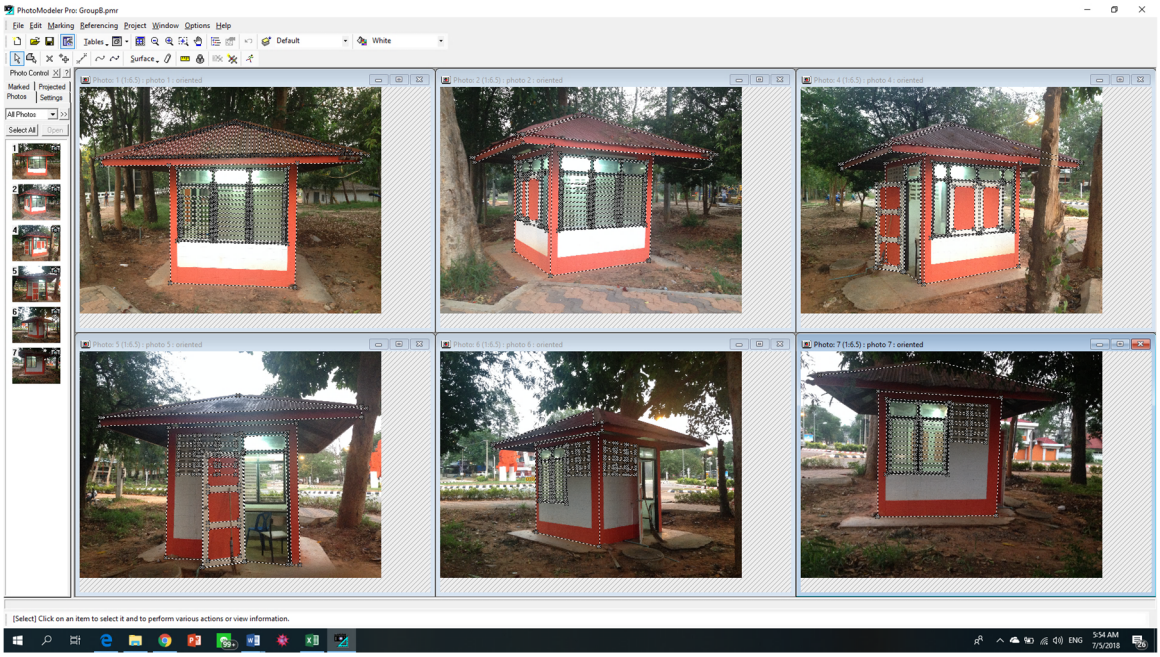
1.1.1.4 การรังวัดด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน (Terrestrial Photogrammetry)

การรังวัดด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดินเป็นการใช้ภาพถ่ายภาคพื้นดินเข้ามาใช้ในการวัดขนาดหรือตำแหน่งใด ๆ (X, Y, Z) บนวัตถุ ซึ่งถ้าหากระยะในการถ่ายภาพใกล้กว่า 300 เมตรจะถูกเรียกว่า การรังวัดด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ (Close Range Photogrammetry: CRP) ยกตัวอย่างเช่นการถ่ายภาพกระท่อมดังรูปที่ 1-1 โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการรังวัดบนภาพถ่ายระยะใกล้นี้ส่วนใหญ่จะเป็นแบบจำลอง 3 มิติ ของวัตถุต่างๆ ดังรูปที่ 1-2

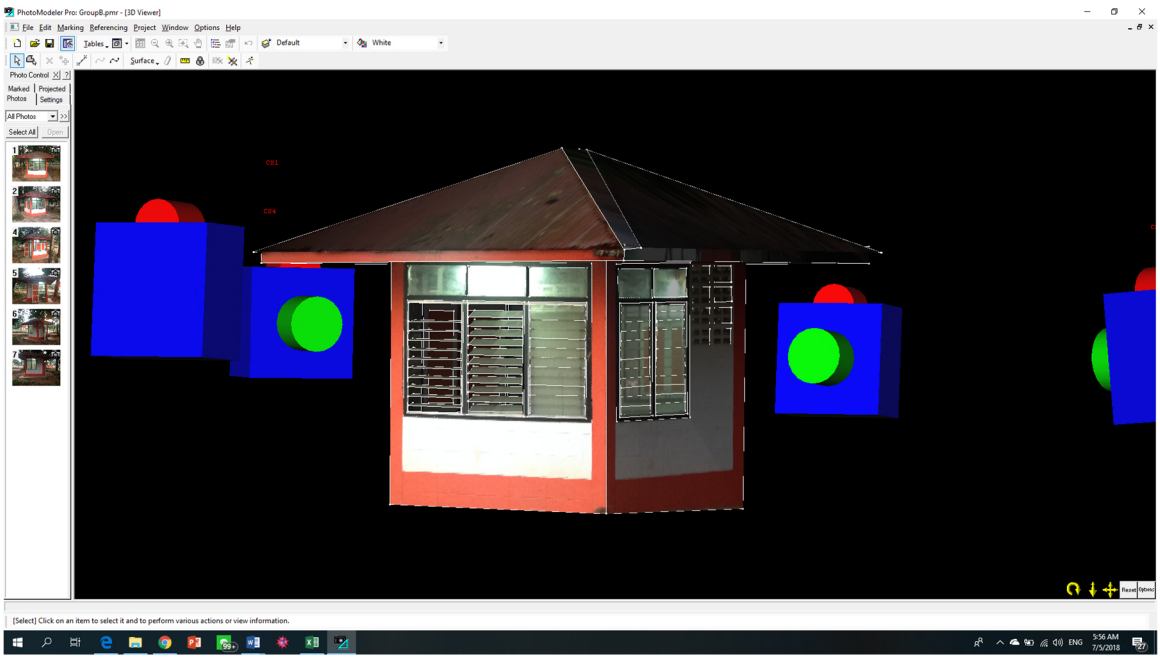
1.1.1.5 การสำรวจรังวัดด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

(Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry: UAV Photogrammetry)

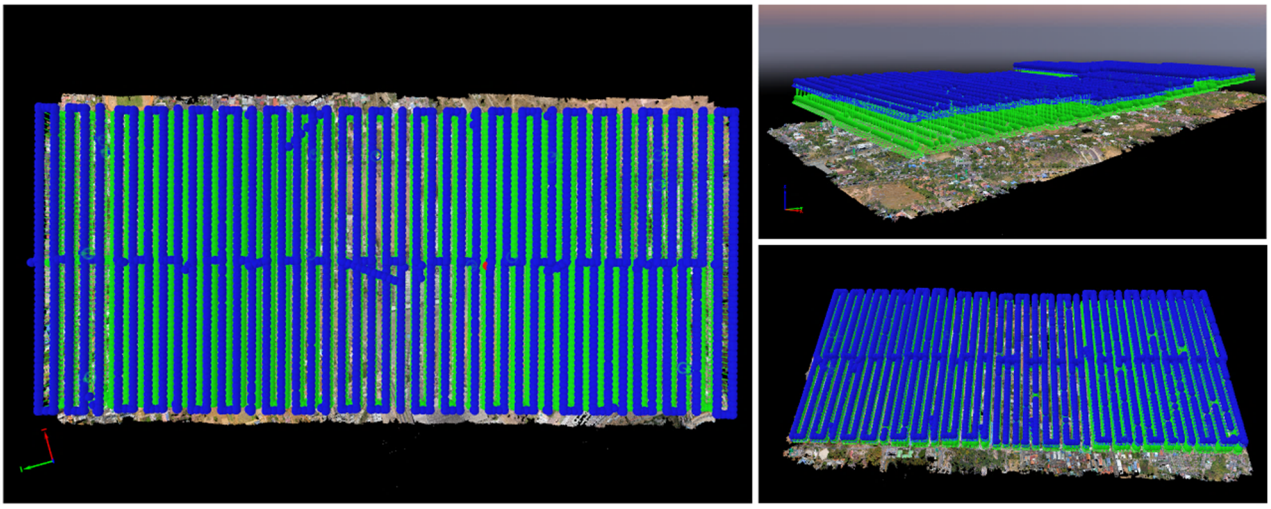
การสำรวจรังวัดด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับเป็นการใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) หรือที่นิยามเรียกว่า โดรน (drone) เข้ามาใช้ในการวัดขนาดหรือตำแหน่งใด ๆ (X, Y, Z) บนวัตถุ รวมถึงใช้ในกระบวนการทำแผนที่ ซึ่งถือเป็นการผสมผสานแนวคิดของการรังวัดด้วยภาพถ่ายทางอากาศ และการรังวัดด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ เข้ามาใช้ในการรังวัด ที่เป็นดังนี้เนื่องจากภาพถ่ายจากโดรนที่ถูกนำมาใช้ในการทำแผนที่ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นภาพที่ถูกถ่ายที่ระยะ 100 – 200 เมตร เหนือพื้นดิน ซึ่งเป็นระยะที่ไม่เกินกว่าการประยุกต์ใช้หลักการและทฤษฎีในการคำนวณของการรังวัดด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ นอกจากนี้ยังต้องมีการวางแผนแนวบินดังรูปที่ 1-3 และการวางหมุดบังคับภาพพื้นดิน เช่นเดียวกับการรังวัดด้วยภาพถ่ายทางอากาศ และผลลัพธ์ที่ได้ยังออกมาเป็นแผนที่ภาพถ่ายออร์โธ ดังรูปที่ 1-4



รูปที่ 1-1 การถ่ายภาพระยะใกล้จากหลายมุมมองเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติของป้อมยามริมสระพลาสติก มหาวิทยาลัยขอนแก่น



รูปที่ 1-2 แบบจำลองสามมิติของป้อมยามริมสระพลาสติก มหาวิทยาลัยขอนแก่น จากงานสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้

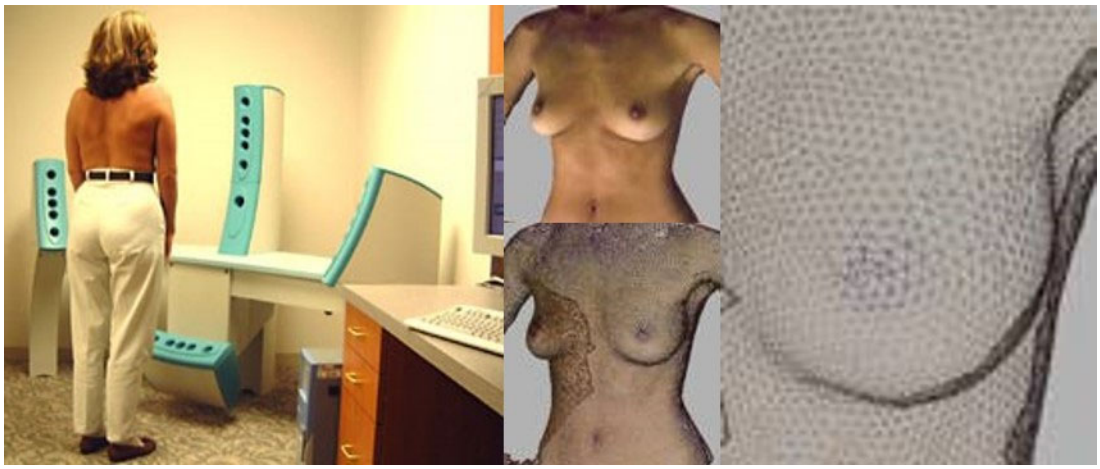


รูปที่ 1-3 ตัวอย่างแนวบินถ่ายภาพที่ได้จากโดรน ซึ่งในการบินถ่ายภาพจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการวางแผนการบินถ่ายในรูปแบบของจุดนำทาง หรือ ที่เรียกกันว่า เวย์พอยต์ (Waypoint) (ดัดแปลงจาก สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร [สนข.], 2561)

รูปที่ 1-4 ผลลัพธ์จากโดรนในงาน UAV Photogrammetry ในรูปแบบของแผนที่ภาพถ่ายออร์โธบริเวณทางเลี่ยงเมือง จ.ขอนแก่น (ดัดแปลงจาก สนข., 2561)

1.1.1.5 การรังวัดด้วยภาพมาโคร (Macro Photogrammetry)

การรังวัดด้วยภาพมาโครเป็นการรังวัดบนภาพถ่ายที่มีระยะใกล้กว่า 10 เซนติเมตร ซึ่งประยุกต์ใช้กับวัตถุเล็ก นิยมใช้ในงานทางวิทยาศาสตร์การแพทย์และอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น ทางการแพทย์มีการใช้ภาพคู่สามมิติที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์เพื่อตรวจสอบการผุกร่อนของกระดูก การวัดความผิดปกติของสรีระเพื่อตรวจหาความผิดปกติของทรวงอก (Moon, Thomsen, & Miller, 2003) ดังรูปที่ 1-5 และการประยุกต์ใช้ในการผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ (Nakagawa, 2017) ดังรูปที่ 1-6



รูปที่ 1-5 การรังวัดเพื่อตรวจหาความผิดปกติของทรวงอก (ดัดแปลงจาก Moon, Thomsen, & Miller, 2003)

รูปที่ 1-6 เครื่อง da Vinci Xi – Surgical System สำหรับใช้ในการผ่าตัดในวงการแพทย์ ทั้งนี้เพื่อสามารถผ่าตัดเอาชิ้นส่วนต่างๆ ภายในร่างกายได้อย่างแม่นยำ และเกิดการบาดเจ็บระหว่างการผ่าตัดที่น้อยที่สุด (ดัดแปลงจาก Nakagawa, 2017)

1.1.2 ลักษณะของงานในการสำรวจรังวัดด้วยภาพถ่าย (Characteristics of Works in Photogrammetry)

1.1.2.1 การสำรวจรังวัดด้วยภาพถ่ายแบบวัดภาพ (Metric Photogrammetry)

การสำรวจรังวัดด้วยภาพถ่ายแบบวัดภาพเป็นการรังวัดบนภาพถ่ายที่เน้นไปที่การวัดพิกัดภาพและดำเนินการคำนวณเพื่อให้ได้ขนาดและรูปร่างของวัตถุต่าง ๆ ที่ต้องการวัดออกมาเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบหรือการพัฒนาระบบฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ ซึ่งในงานด้านวิศวกรรมโยธานั้นจะต้องการผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดภาพในลักษณะต่าง ๆ ต่อไปนี้

(1) ตัวเลข (Number) เป็นรูปแบบการเก็บบันทึกข้อมูลค่าพิกัดฉากสามมิติ (X, Y, Z) ของจุดใด ๆ บนวัตถุ ดังรูปที่ 1-7 ซึ่งมักจะเป็นตารางแสดงค่าพิกัดฉากของตำแหน่งสำคัญต่าง ๆ ได้แก่ มุมชายคาตึก มุมถนน หรือ ตำแหน่งเสาธง เป็นต้น ข้อมูลเชิงตัวเลขนี้จะถูกนำมาใช้เป็นพื้นฐานในการสร้างแผนที่ลายเส้นต่อไป

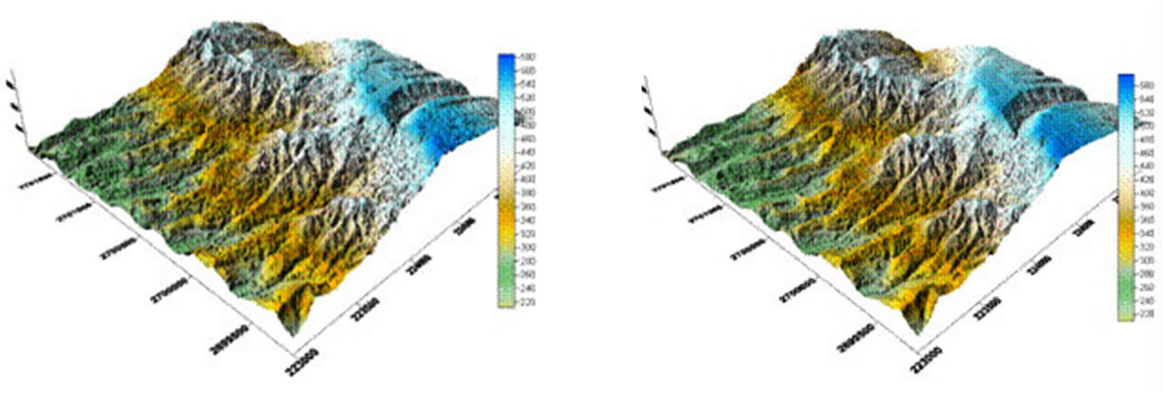
ID	Easting	Norhting	Height
P01	681100.209	7464305.984	12.002
P02	681079.091	7464791.902	10.103
P03	680114.618	7464269.661	14.941
P04	680262.749	7465023.964	16.25
P05	680377.816	7465806.099	20.306
P06	680888.011	7465251.245	68.268
P08	681875.866	7465066.854	5.98
P09	680626.292	7464876.497	12.075
P10	682031.497	7465841.798	21.146
P11	682134.395	7464127.842	8.656
P12	681361.203	7465299.251	7.796
P13	682208.231	7465250.939	5.913
P14	682912.044	7464795.162	4.595

รูปที่ 1-7 ตัวอย่างข้อมูลพิกัดฉากสามมิติที่ได้จากการรังวัดด้วยภาพถ่าย

(2) พอยต์คลาว (Point Cloud) เป็นกลุ่มของจุดสามมิติที่เก็บข้อมูลค่าของตำแหน่งของขอบของวัตถุในพิกัดฉากสามมิติ (X, Y, Z) ดังรูปที่ 1-8 ซึ่งมักจะเก็บพร้อมกับค่าสีของวัตถุในรูปแบบของแม่สีแดงเขียวฟ้า (Red-Green-Blue: RGB) ควบคู่ไปด้วย โดยเก็บในรูปแบบของไฟล์ข้อมูลซึ่งในปัจจุบันจะเก็บในรูปแบบต่าง ๆ เช่น CSV, LAZ หรือ LAS เป็นต้น โดยพอยต์คลาวเหล่านี้เมื่อนำมาแสดงผลจะสามารถแสดงเป็นกลุ่มของจุดในลักษณะของพื้นผิวต่อเนื่องได้ จึงทำให้สามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวเป็นรูปทรงต่าง ๆ ของวัตถุสามมิติได้ จึงนิยมนำมาใช้ในการประมวลผลรวมถึงการวิเคราะห์ระยะทาง รวมถึงการใช้เป็นต้นแบบในการขึ้นรูปทรงสามมิติของวัตถุ หรือลักษณะภูมิประเทศ เป็นต้น

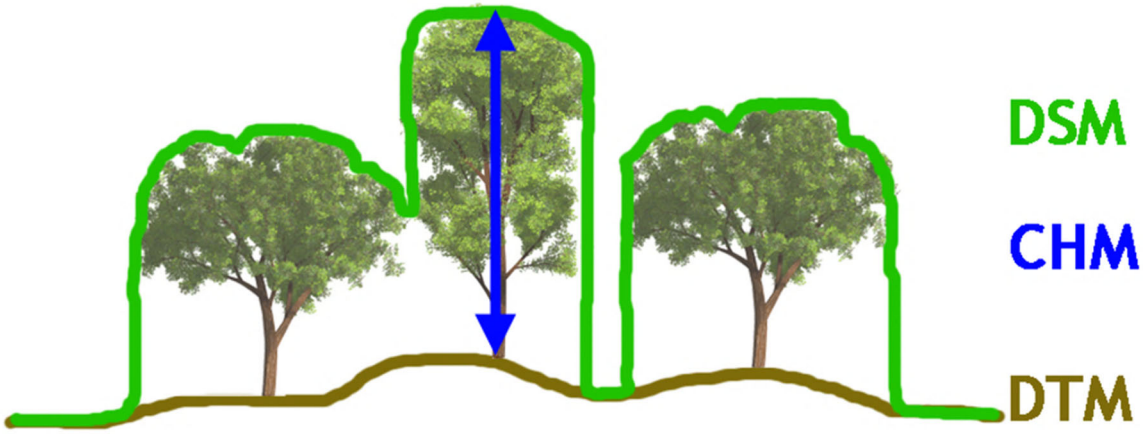
รูปที่ 1-8 ตัวอย่างข้อมูลพอยต์คลาว (Point Cloud) ที่ได้จากการรังวัดด้วยภาพถ่าย (ดัดแปลงจาก สนข., 2561)

(3) แบบจำลองระดับพื้นผิว (Digital Surface Model: DSM) หรือ แบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) หรือ แบบจำลองลักษณะภูมิประเทศ (Digital Terrain Model: DTM) โดยผลผลิตเหล่านี้เป็นข้อมูลที่เก็บค่าความสูงต่ำและลักษณะภูมิประเทศในรูปแบบข้อมูลราสเตอร์ (Raster Data) ที่เป็นตารางกริดซึ่งบรรจุเอาข้อมูลความสูงไว้ ทั้งนี้ DSM จะเป็นผลลัพธ์ที่ได้เป็นผลผลิตโดยตรงจากงานรังวัดด้วยภาพถ่าย และเมื่อนำไปหักลบสิ่งปลูกสร้าง ความสูงต้นไม้ และพืชพรรณต่าง ๆ ออกไป ก็จะได้เป็น DEM หรือ DTM ที่เป็นความสูงที่ระดับพื้นดิน ซึ่งในการหักลบความสูงดังรูปที่ 1-9 นั้นจะเป็นการหักลบความสูงผ่านการสร้างแบบจำลองความสูงของพุ่มไม้ (Canopy Height Model: CHM) ดังรูปที่ 1-10 ทั้งนี้เนื่องจากพืชพรรณในแต่ละชนิดซึ่งมีความสูงของชั้นเรือนยอดที่ไม่เท่ากัน จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการวิเคราะห์ร่วมกับงานแปลตีความภาพถ่ายร่วมด้วยในการสร้าง CHM



(ก) (ข)

รูปที่ 1-9 ตัวอย่างของข้อมูลราสเตอร์ที่เก็บความสูงของลักษณะภูมิประเทศ (ก) DSM และ (ข) DEM หรือ DTM (ดัดแปลงจาก National Land Surveying and Mapping Center [NLSMC], 2015)

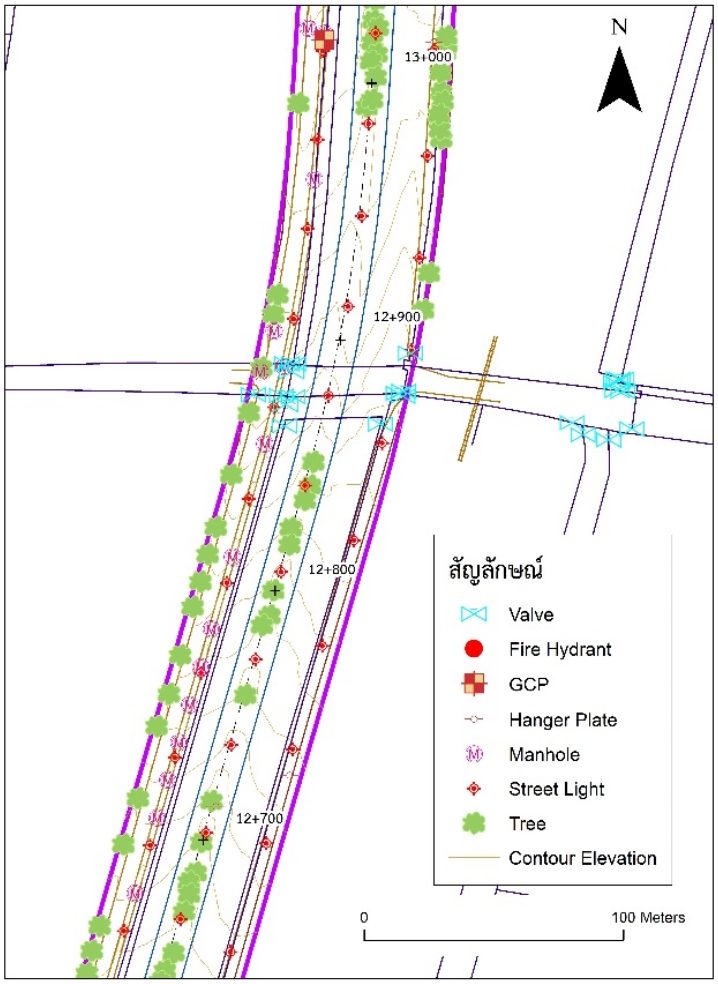


รูปที่ 1-10 ความสัมพันธ์ระหว่าง DSM ซึ่งมีการใช้ CHM ในการหักลบความสูงของพุ่มไม้เพื่อผลิต DEM และ DTM (ดัดแปลงจาก Silva et al., 2013)

(4) แผนที่ภาพถ่ายออร์โธ (Ortho-photo Map) เป็นแผนที่ภาพถ่ายที่มีการดัดแก้ภาพจากภาพถ่ายที่ปกติจะมีการฉายแบบศูนย์ทิวทัศน์ (Central Projection) ซึ่งทำเกิดความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งบนภาพถ่ายให้เป็นการฉายแบบตกตั้งฉากกับพื้นผิว (Orthogonal Projection) ผ่านกระบวนการดัดแก้ภาพถ่ายออร์โธ (Orthorectification) ซึ่งมีการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องความสูงต่อของภูมิประเทศโดยได้มีการจัดตำแหน่งของภาพถ่ายของวัตถุต่างๆบนภาพให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง ทั้งในกระบวนการดัดแก้ภาพถ่ายนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้แบบจำลองความสูงเข้ามาเป็นองค์ประกอบในการดัดแก้ร่วมด้วย ตัวอย่างของแผนที่ภาพถ่ายออร์โธสีได้แสดงไว้ในรูปที่ 1-11 ซึ่งได้มีการนำเอาออกแบบสถานีรถไฟฟ้ารางเบาในเขตเมืองขอนแก่น (Khon Kaen Light Rail Transit)

รูปที่ 1-11 ตัวอย่างของแผนที่ภาพถ่ายออร์โธสีบริเวณเมืองสี่แยกเซนทรัล อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ซึ่งได้นำมาใช้ในการออกแบบสถานีรถไฟรางเบาในเมืองขอนแก่น (ดัดแปลงจาก สนข., 2561)

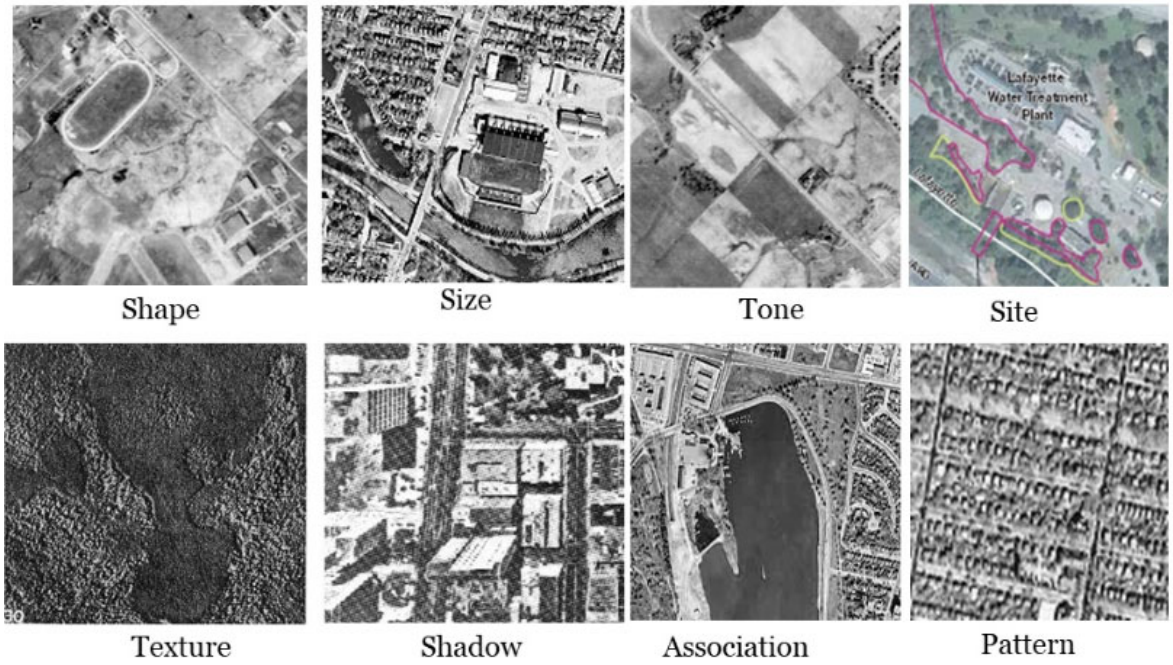
(5) แผนที่ลายเส้น (Line Map) เป็นแผนที่หรือแผนผังที่เป็นแผนที่ทางราบ (Planimetric Map) ซึ่งเป็นการขยายแผนที่ภาพถ่ายออร์โธพร้อม ๆ กับการแปลภาพถ่ายแล้วลอกลายเส้นออกมาเพื่อผลิตออกมาเป็นแผนที่ที่ใช้กันทั่วไปดังแสดงไว้ในรูปที่ 1-12 นอกจากนี้ ยังเป็นแผนที่ภูมิประเทศ (Topographic Map) ซึ่งเป็นการนำเสนอรายละเอียดทางราบควบคู่กับการนำเสนอความสูงต่ำของลักษณะภูมิประเทศผ่านเส้นชั้นความสูง แผนที่ลายเส้นนี้นิยมที่จะจัดเก็บในรูปแบบของข้อมูลเวกเตอร์ (Vector Data)



รูปที่ 1-12 ตัวอย่างของแผนที่ลายเส้นที่ได้มีการลอกลายผ่านกระบวนการขยายแผนที่ภาพถ่ายออร์โธ และกระบวนการแปลภาพ (ดัดแปลงจาก สนข., 2561)

1.1.2.2 การแปลภาพ (Interpretation Photogrammetry)

การแปลภาพเป็นการจำแนกและวินิจฉัยลักษณะของวัตถุต่าง ๆ ที่ปรากฏบนภาพถ่ายแล้วมีการแปลตีความออกมา โดยการแปลตีความนั้นสามารถดำเนินการผ่านการแปลภาพด้วยสายตา (Visual Interpretation) เพื่อวัตถุประสงค์ในการชี้จำแนกและวินิจฉัยคุณลักษณะสิ่งต่าง ๆ บนภาพ ในปัจจุบันนี้งานแปลภาพถ่ายไม่ได้จำกัดอยู่ที่งานรังวัดบนภาพถ่ายเท่านั้น แต่ได้ขยายไปถึงการแปลภาพจากงานสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) ซึ่งหมายรวมถึงภาพถ่ายที่ได้โดรนที่ถ่ายด้วยกล้องแบบ Multispectral ที่สามารถถ่ายภาพด้วยช่วงคลื่นอินฟราเรด รวมถึงกล้องแบบ Thermal Infrared ที่สามารถถ่ายคลื่นความร้อนจากการแผ่รังสีของวัตถุ เป็นต้น ทั้งนี้งานแปลภาพและงานสำรวจจากระยะไกลทำให้สามารถได้ข้อมูลสิ่งต่าง ๆ บนภาพได้ทั้งทางด้านปริมาณและคุณภาพ ซึ่งในปัจจุบันงานก่อสร้างด้านวิศวกรรมโยธาจะมีความเกี่ยวข้องกับการประเมินคุณภาพของสิ่งแวดล้อม การอนุรักษ์สภาวะแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ ดังนั้น การแปลภาพถ่ายและงานสำรวจข้อมูลจากระยะไกลจึงมีบทบาทสำคัญไม่แพ้งานวัดภาพเช่นกัน โดยนำผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลภาพมาใช้เป็นเครื่องมือในการจัดการและวางแผนงาน การแปลภาพต่าง ๆ นั้นล้วนแล้วแต่มีพื้นฐานจากการแปลภาพด้วยสายตาแล้ววิเคราะห์โดยใช้องค์ประกอบหลักที่สำคัญดังรูปที่ 1-13 ซึ่งมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้



รูปที่ 1-13 องค์ประกอบหลักสำคัญของการแปลภาพด้วยสายตา ซึ่งจะประกอบด้วย รูปร่าง (Shape) ขนาด (Size) ความเข้มของสีและสี (Tone and Color) ที่ตั้ง (Site) ลวดลายบนภาพ (Texture) ความสูงและเงา (Height and Shadow) รูปแบบพื้นที่ (Area Pattern) และ ความเกี่ยวเนื่องสอดคล้อง (Association) (ดัดแปลงจาก Carnes, 2016)

(1) รูปร่าง (Shape) รูปร่างของวัตถุซึ่งเป็นได้ทั้งรูปทรงเรขาคณิตที่มีขนาดแน่นอนและสม่ำเสมอ (Regular) โดยส่วนใหญ่จะเป็นสิ่งที่มนษย์สร้างขึ้น เช่น สนามบิน คลองชลประทาน และเขื่อนกักเก็บน้ำ และสิ่งที่มีรูปร่างไม่แน่นอน (Irregular) เป็นไปตามธรรมชาติ เช่น เทือกเขา ชายหาด และแม่น้ำต่างๆ เป็นต้น

(2) ขนาด (Size) ขนาดของภาพ การปรากฏขึ้นของวัตถุต่างๆในภาพถ่ายขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุ และมาตราส่วนของข้อมูลจากภาพถ่าย เช่น ความยาว ความกว้าง หรือพื้นที่ แสดงให้เห็นความแตกต่างของขนาดระหว่างแม่น้ำและลำคลอง

(3) ความเข้มของสีและสี (Tone and Color) ระดับความแตกต่างของความเข้มของสีหนึ่ง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นและการผสมสีของชนิดวัตถุในช่วงคลื่นต่าง ๆ เช่น ในช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็น (Visible Band) โดยความยาวคลื่นช่วงนี้อยู่ระหว่าง 380-750 นาโนเมตร เมื่อมีการผสมสีแบบแดงเขียวน้ำเงิน (Red-Green-Blue) ในความยาวคลื่นที่สอดคล้องกับแม่สี จะได้ผลลัพธ์เป็นสีธรรมชาติ (Natural Color) ที่พืชมีสีเขียว น้ำมีสีน้ำเงิน หรือดินมีสีน้ำตาล เป็นต้น

(4) ที่ตั้ง (Site) หรือตำแหน่งของวัตถุที่พบตามปกติและมีอยู่ในธรรมชาติ เช่น สนามฟุตบอลและสนามเทนนิสควรตั้งอยู่ในโรงเรียน เขื่อนต้องตั้งขวางลำน้ำเพื่อกักเก็บน้ำ หรือ ป่าชายเลนควรที่จะตั้งใกล้ชายฝั่งทะเล เป็นต้น

(5) ลวดลายบนภาพ (Texture) หรือความหยาบละเอียดของผิววัตถุ เป็นผลมาจากความแปรปรวน หรือความสม่ำเสมอของวัตถุ เช่น นาข้าวควรมีลักษณะเป็นตารางตามแนวคันนา แหล่งน้ำควรมีลักษณะเรียบ และป่าไม้มีลักษณะขรุขระ เป็นต้น

(6) ความสูงและเงา (Height and Shadow) เงาของวัตถุมีความสำคัญในการคำนวณหาความสูงและมุมสูงของดวงอาทิตย์ เช่น ตึกสูงควรมีเงาของอาคาร เงาเพื่อบอกแนวสันเขา และเงาของต้นยางนาที่มีการทอดยาวเนื่องจากความสูง เป็นต้น

(7) รูปแบบพื้นที่ (Area Pattern) จะเป็นลักษณะการจัดเรียงตัวของวัตถุปรากฏเด่นชัดระหว่างความแตกต่างตามธรรมชาติและสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น บ้านจัดสรรที่มีการอยู่รวมเป็นกลุ่ม ทุ่งนาที่มีคันนารูปเหลี่ยมอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม ลานจอดรถกลางแจ้งที่มีลักษณะเป็นลานกว้างและปรับพื้นให้เรียบเสมอกัน และสวนยางพาราที่มีการเพาะปลูกเป็นระเบียบซึ่งแตกต่างจากพื้นที่ป่าไม้ เป็นต้น

(8) ความเกี่ยวเนื่องสอดคล้อง (Association) หมายถึงความเกี่ยวพันขององค์ประกอบทั้ง 7 ที่ปรากฏบนภาพถ่ายดังที่กล่าวมาข้างต้น เช่น ห้างสรรพสินค้าควรจะต้องมีลานจอดรถที่มีรถจอดอยู่หน้าห้างเป็นจำนวนมาก บ้านจัดสรรควรมีบ้านรูปร่างใกล้เคียงกันและสีหลังคาในเฉดสีที่เป็นไปในทำนองเดียวกัน ไร่เลื่อนลอยควรอยู่ในพื้นที่ป่าไม้บนเขา นากุ้งควรอยู่บริเวณชายฝั่งรวมกับป่าชายเลน เป็นต้น

การแปลภาพเพื่อจำแนกวัตถุจะทำได้ดีหรือไม่นั้น ยังขึ้นอยู่กับประสบการณ์ในการแปลภาพและวิเคราะห์วัตถุหรือสิ่งปกคลุมด้วย ทั้งนี้เพราะในการที่จะผสมผสานองค์ประกอบต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างพร้อมๆ กันไปนั้น อาจจะต้องใช้ความรู้ด้านอื่น ๆ เสริม เช่น ในการแปลภาพพื้นที่ป่าไม้อาจจะเสริมด้วยความรู้ด้านวรรณศาสตร์ที่ต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของพืชพรรณนั้น ๆ ด้วยว่าสามารถเติบโตได้ที่ระดับความสูงต่าง ๆ หรือไม่ ตลอดจนอาจจะต้องใช้ความรู้ด้านการเกษตรเข้ามาเสริมเพื่อให้เกิดความเข้าใจ การแปลภาพจึงควรที่จะมีความรู้ที่เป็นองค์ประกอบเสริมทางเทคนิคด้วย เช่น

(1) ลักษณะการสะท้อนช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Spectral Characteristic) โดยความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุและความยาวช่วงคลื่นแสงจะมีไม่เท่ากัน ส่งผลให้สามารถนำมาวิเคราะห์สร้างเป็นดัชนีต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นค่าดรรชนีความแตกต่างพืชพรรณ(Normalized Difference Vegetation Index: NDVI), ค่าดรรชนีความแตกต่างน้ำ (Normalized Difference Water Index: NDWI) และค่าดรรชนีความแตกต่างทางดิน (Normalized Difference Soil Index: NDSI) ต่าง ๆ ได้ รวมถึงสามารถที่จะผสมสีในภาพถ่ายแล้วอาศัยคุณลักษณะเชิงคลื่นของวัตถุที่ต่างชนิดกันอาจจะให้ค่าการสะท้อนหรือแผ่รังสีที่แตกต่างกัน ส่งผลให้การแปลภาพถ่ายสามารถที่จะดำเนินการได้ง่ายขึ้น

(2) ลักษณะรูปร่างของวัตถุที่ปรากฏในภาพถ่าย (Spatial Characteristic) ความแตกต่างตามมาตราส่วนและรายละเอียดภาพ โดยข้อมูลภาพถ่ายที่มีค่าความละเอียดภาคพื้นดิน (Ground Sampling Distance: GSD) ที่แตกต่างกันย่อมทำให้ข้อมูลที่แตกต่างกัน

(3) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของวัตถุตามช่วงเวลา (Temporal Characteristic) โดยข้อมูลส่วนนี้จะมีความสำคัญในมิติของการติดตามการเปลี่ยนแปลงสถานของการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน เช่น การติดตามการเติบโตของข้าวที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดฤดูกาลเพาะปลูก การติดตามการบุกรุกพื้นที่อนุรักษ์ในเขตป่าไม้และอุทยาน และการติดตามความคืบหน้าในโครงการก่อสร้างต่าง ๆ เป็นต้น

1.1.3 มาตราส่วนและมาตราส่วนภาพถ่าย (Scale and Photo Scale)

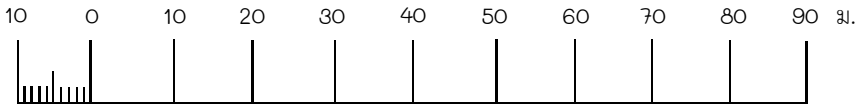
1.1.3.1 มาตราส่วน

ในงานสำรวจรังวัด มาตราส่วน (Scale) จะถูกนำมาใช้เพื่อย่อระยะบนพื้นดินลงในแผนที่ โดยในแผนที่แต่ละฉบับนั้นจะต้องมีขนาดของมาตราส่วนเป็นจำนวนตัวเลขหรือเป็นเส้นกำกับไว้ ทั้งนี้เพื่อที่จะไว้สำหรับเทียบในการแปลงระยะบนแผนที่ให้เป็นระยะบนพื้นดิน ดังสมการที่ 1-1

$$\text{มาตราส่วนแผนที่} = \frac{\text{ระยะบนแผนที่}}{\text{ระยะบนภูมิประเทศ}} \qquad (1\text{-}1)$$

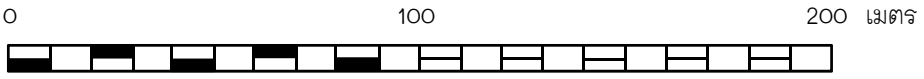
มาตราส่วนที่นิยมใช้ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. มาตราส่วนวิศวกรรม (Engineer's Scale) ใช้เพื่อการก่อสร้างเป็นส่วนใหญ่ ทางด้านซ้ายของขีดศูนย์เป็นการแบ่งละเอียด ทางด้านขวาของขีดศูนย์เป็นการแบ่งอย่างหยาบ ดังรูปที่ 1-14



รูปที่ 1-14 มาตราส่วนวิศวกรรม (ดัดแปลงจาก ปราณี สุนทรศิริ, 2543)

2. มาตราส่วนเศษส่วน (Representative Fraction) เป็นจำนวนที่แสดงในเลขส่วนจะเป็นระยะบนพื้นดินเทียบกับ 1 หน่วยความยาวบนแผนที่ เช่น 1:500 1:1,000 1:2,500 1:5,000 และ 1:10,000 มาตราส่วนชนิดนี้ใช้อย่างกว้างขวางในแผนที่ภูมิศาสตร์ แผนที่ทหาร และโครงงานวิศวกรรมซึ่งใช้ในระบบเมตริก
3. มาตราส่วนเชิงเส้น (Graphical Scale) ใช้เส้นตรงแบ่งเป็นระยะย่อย 10 50 100 เมตรหรือกิโลเมตร ตามความเหมาะสมของแผนที่มาตราส่วนนั้น ดังรูปที่ 1-15



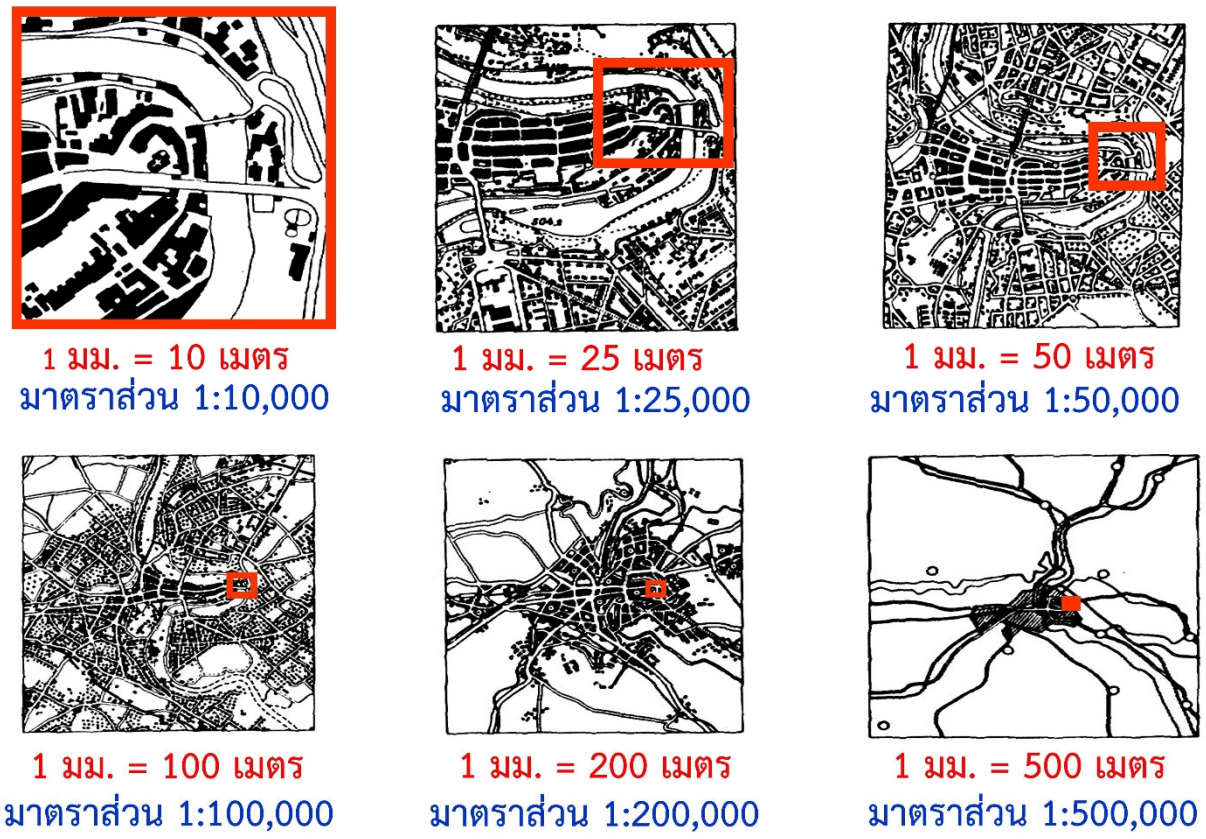
รูปที่ 1-15 มาตราส่วนเชิงเส้น (ดัดแปลงจาก ปราณี สุนทรศิริ, 2543)

1.1.3.2 มาตราส่วนแผนที่ (Map Scale)

มาตราส่วนแผนที่ทางวิศวกรรม	1:100	1:250	1:500	1:1,000	
มาตราส่วนแผนที่งานรังวัดที่ดิน	1:500	1:1,000	1:2,000	1:4,000	
มาตราส่วนแผนที่งานแผนที่ภูมิประเทศ					
- มาตราส่วนใหญ่	1:500	1:1,000	1:2,500		
- มาตราส่วนกลาง	1:5,000	1:10,000	1:25,000		
- มาตราส่วนเล็ก	1:50,000	1:100,000	1:250,000	1:500,000	1:1,000,000

1.1.3.3 เปรียบเทียบรายละเอียดของวัตถุที่ปรากฏในแผนที่ลายเส้นที่มาตราส่วนต่างกัน

จากรูปที่ 1-16 เมื่อสังเกตในกรอบสีแดงที่ค่อย ๆ ย่อยลงมาตามมาตราส่วนที่เล็กลงเรื่อย จะเห็นว่า แผนที่ลายเส้นที่มาตราส่วนใหญ่จะมีรายละเอียดมากแต่ให้มุมมองที่แคบ ในขณะที่แผนที่ลายเส้นมาตราส่วนเล็กจะรายละเอียดที่น้อยกว่า แต่มีมุมมองที่กว้าง



รูปที่ 1-16 รายละเอียดที่ปรากฏในแผนที่ที่แต่ละมาตราส่วนโดยแสดงเปรียบเทียบได้ไล่เรียงมาตั้งแต่มาตราส่วนกลาง 1:10,000 แล้วเรียงลำดับมาจนมาตราส่วนเล็ก 1:500,000

มาตราส่วนภาพถ่าย (Photo Scale) หมายถึง มาตราส่วนของภาพถ่าย ณ ขณะที่ทำการถ่ายภาพ สามารถพิจารณาได้จาก 3 วิธีคือ

1. พิจารณาเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างความยาวโฟกัสของกล้องถ่ายภาพต่อความสูงแนวบิน ดังสมการที่ 1-2

$$\text{มาตราส่วนภาพถ่าย} = \frac{\text{ความยาวโฟกัส}}{\text{ความสูงแนวบินเฉลี่ย}} \qquad (1\text{-}2)$$

2. พิจารณาเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างระยะบนภาพถ่ายและระยะบนพื้นดิน ดังสมการที่ 1-3

$$\text{มาตราส่วนภาพถ่าย} = \frac{\text{ระยะบนภาพถ่าย}}{\text{ระยะบนภูมิประเทศ}} \qquad (1\text{-}3)$$

3. พิจารณาเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างขนาดของวัตถุที่วัดได้กับขนาดของวัตถุมาตรฐาน ดังสมการที่ 1-4

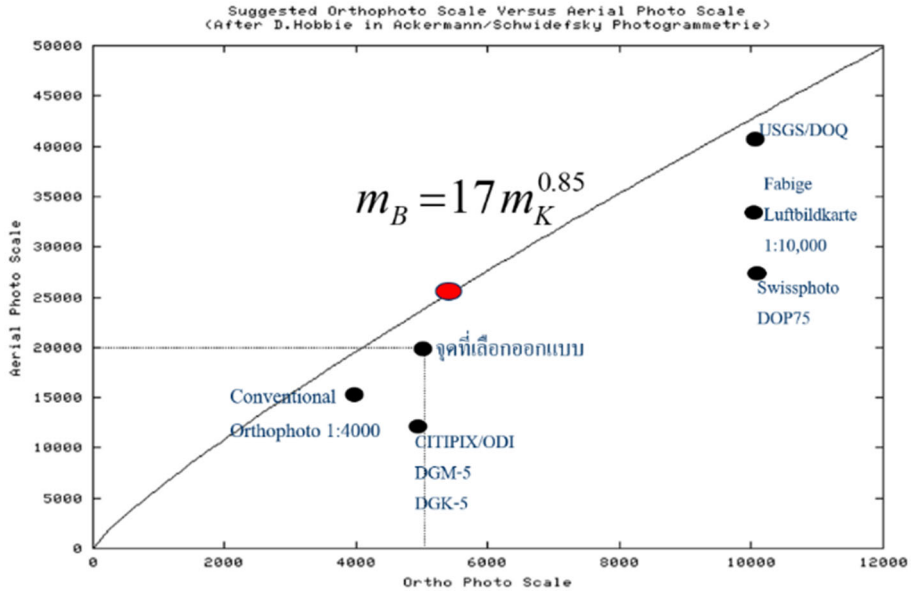
$$\text{มาตราส่วนภาพถ่าย} = \frac{\text{ขนาดของวัตถุบนภาพถ่าย}}{\text{ขนาดของวัตถุมาตรฐาน}} \qquad (1\text{-}4)$$

1.1.3.4 การเลือกมาตราส่วนภาพถ่ายในงานวิศวกรรมโยธา

การใช้ประโยชน์ของงานรังวัดบนภาพถ่ายที่มาตราส่วนต่างๆ นั้นจำเป็นจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการใช้งานด้วย กล่าวคือ ภาพถ่ายทางอากาศสามารถขยายเพื่อให้เห็นรายละเอียดเพิ่มขึ้นได้ โดยทั่วไปสามารถขยายได้ 4-8 เท่า ดังรูปที่ 1-17 ซึ่งจากรูปจะเห็นว่า หากต้องการแผนที่ภาพถ่ายออร์โธที่มาตราส่วน 1: 5,000 เราสามารถที่จะการบินถ่ายภาพที่มาตราส่วน 1:20,000 แล้วจึงนำมาขยายเป็นแผนที่ 1:5,000 โดยมาตรฐานความละเอียดถูกต้องของทำแผนที่ภาพถ่ายออร์โธที่มาตราส่วน 1:5,000 นี้สามารถพิจารณาได้จากขนาดของปลายดินสอ (0.25 มม.) เมื่อนำไปใช้จุดลงบนแผนที่ภาพถ่ายออร์โธแล้วจะทำให้เกิดจุดบนพื้นดินขนาด 1.25 เมตร ซึ่งเป็นตามมาตรฐาน Geospatial Positioning Accuracy Standards (FGDC-STD-007-1998) ดังตารางที่ 1-1 ของแผนที่ชั้น 1 (Class 1) ซึ่งมีความประณีตในการผลิตที่สูงมากสำหรับรายละเอียดด้านมาตรฐานจะได้กล่าวในส่วนท้ายของบทที่ 7

อนึ่งการขยายภาพถ่ายทางอากาศนี้จะแตกต่างจากการขยายแผนที่ลายเส้นคือ ภาพถ่ายสามารถนำมาขยายในการผลิตแผนที่ได้เนื่องจากเมื่อขยายแล้วไม่ทำให้รายละเอียดต่างๆของแผนที่สูญหายและมีความสอดคล้องกับคุณลักษณะที่ควรปรากฏในมาตราส่วนที่ขยายไปแล้วอย่างครบถ้วน ในขณะที่แผนที่ลายเส้นเมื่อนำมาขยายแล้วไม่สามารถทำให้เกิดรายละเอียดเพิ่มขึ้นตามมาตราส่วนที่ใหญ่ขึ้นได้ ซึ่งประเด็นนี้เป็นประเด็นสำคัญมากต่อวิศวกรโยธาที่มักจะมีความเข้าใจผิดในการย่อหรือขยายแผนที่

ในการออกแบบมาตราส่วนที่เหมาะสมนั้นมีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ หากเราบินถ่ายภาพที่มาตราส่วนเล็กจะทำให้ครอบคลุมพื้นที่การทำงานที่มากขึ้นและสามารถที่ผลิตแผนที่ได้เร็วขึ้น ประหยัดขึ้น แต่ให้ความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งที่ลดลง รวมถึงรายละเอียดที่ปรากฏบนภาพถ่ายอาจจะมีน้อยลง ในขณะที่การบินถ่ายภาพที่มาตราส่วนใหญ่นั้นจะครอบคลุมพื้นที่น้อยลงจึงอาจจะส่งผลให้การผลิตแผนที่ทำได้ช้าลง และค่อนข้างสิ้นเปลืองทรัพยากรต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นบุคลากร เครื่องมือ และเวลาในการทำงานเพิ่มขึ้น แต่ก็ให้แผนที่ภาพถ่ายที่มีความละเอียดถูกต้องที่สูงขึ้นพร้อม ๆ กับรายละเอียดอาจจะที่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 1-17 ตัวอย่างการออกแบบมาตราส่วนภาพถ่ายที่เหมาะสมกับการทำเป็นแผนที่ภาพถ่ายออร์โธที่มาตราส่วน 1: 5,000 (ดัดแปลงจาก ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2555)

ตารางที่ 1-1 ความถูกต้องแผนที่ชั้น 1 ที่มาตราส่วน 1: 5,000 ตามมาตรฐาน Geospatial Positioning Accuracy Standards FGDC-STD-007-1998 (ดัดแปลงจาก ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2555)

ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของวัตถุบนแผนที่เทียบกับตำแหน่งบนภาคพื้นดิน ณ จุดเด่นชัดของแผนที่ชั้น 1 (Class 1 Planimetric Accuracy Limiting RMSE)	มาตราส่วนแผนที่ (Map Scale)
1.25 เมตร	1: 5,000

1.2 วิวัฒนาการของการสำรวจด้วยภาพถ่าย

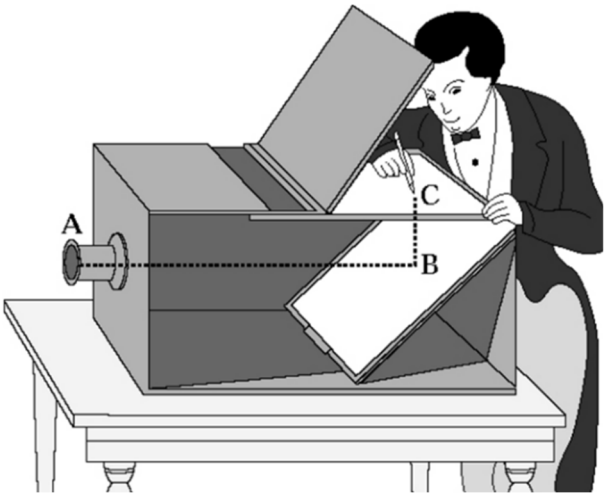
ในยุคอุตสาหกรรม 4.0 ที่ทุกวงการล้วนแล้วแต่จะต้องเผชิญอยู่กับสภาพการแข่งขัน การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับถือเป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมอย่างสูงโดยเข้าไปมีบทบาทในหลายภาคส่วน เช่น วิศวกรรมการทาง วิศวกรรมการเกษตร หรือแม้กระทั้งวงการภูมิสารสนเทศเองก็ตาม และการที่จะนำเอาเทคนิคการสำรวจด้วยภาพถ่ายไปใช้ได้อย่างลึกซึ้งและเข้าใจได้อย่างดีพอนั้น ความรู้ถึงที่มาและวิวัฒนาการของการสำรวจด้วยภาพถ่ายก็มีส่วนสำคัญไม่น้อย ดังนั้น ผู้เขียนจึงได้นิพนธ์เนื้อส่วนของวิวัฒนาการของการสำรวจด้วยภาพถ่ายขึ้นมา ทั้งนี้ผู้เขียนขอแบ่งสามารถแบ่งการอธิบายออกได้เป็น 3 ยุค ด้วยกัน คือ

1. ยุคการสำรวจด้วยภาพถ่ายแบบอนาล็อก (Analogue Photogrammetric Era) เป็นยุคที่ได้มีการพัฒนาเครื่องมือต่างๆ ตั้งแต่กล้องถ่ายภาพพร้อมอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบสำหรับการสำรวจด้วยภาพถ่าย พาหนะที่ใช้ในการบินถ่ายภาพ เครื่องมือกลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์และร่างแผนที่ และทฤษฎีการรังวัดบนภาพถ่ายก็ได้เริ่มถือกำเนิดขึ้นที่ยุคนี้ด้วยเช่นกัน
2. ยุคการสำรวจด้วยภาพถ่ายเชิงวิเคราะห์ (Analytical Photogrammetric Era) เป็นยุคที่มีได้มีการนำพัฒนาเทคนิคด้านการคำนวณต่าง ๆ ควบคู่ไปกับการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยเน้นไปที่การผสมผสานเอาคอมพิวเตอร์กับเครื่องมือกลที่ใช้ในการวิเคราะห์เข้าไว้ด้วยกัน ถือเป็นยุคแห่งการเปลี่ยนผ่านที่สำคัญในการขยับปรับเปลี่ยนงานด้านการสำรวจด้วยภาพถ่ายไปสู่กระบวนการคำนวณที่ซ้อนมากยิ่งขึ้น
3. ยุคการสำรวจด้วยภาพถ่ายดิจิทัล (Digital Photogrammetric Era) เป็นยุคที่นำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ดิจิทัลต่าง ๆ มาใช้เป็นอุปกรณ์หลักในการทำงาน มีพัฒนาการอย่างก้าวกระโดด ส่งให้การสำรวจด้วยภาพถ่ายกลายเป็นเทคโนโลยีที่มีบทบาทไปสู่ทุกวงการที่ต้องการใช้แผนที่เป็นฐานในการพัฒนา ในยุคนี้มีการพัฒนาผสมผสาน*นเอาเทคโนโลยีการประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัลเข้าไว้ด้วย และทฤษฎีที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลต่าง ๆ ได้ถูกพัฒนาขึ้นในยุคนี้*

1.2.1 ยุคการสำรวจด้วยภาพถ่ายแบบอนาล็อก (Analogue Photogrammetric Era)

การถ่ายภาพนั้นมีพัฒนาการที่นำมาสู่วิทยาการของงานสำรวจด้วยภาพถ่ายที่มีอยู่ในปัจจุบันนี้เริ่มมานานแล้ว ก่อนที่จะมีการประดิษฐ์คิดค้นการถ่ายภาพเสียอีก กล่าวคือ เมื่อเวลาประมาณ 350 ปีก่อนคริสต์ศักราชได้มีนักปราชชาวกรีก ชื่อว่า อริสโตเติล (Aristotle) ได้กล่าวถึงวิธีการฉายเงาด้วยระบบทัศนูปกรณ์ไว้ แล้วเมื่อประมาณ ปี ค.ศ. 1480 มร.ลีโอนาโด ดาวินชี (Mr.Leonardo da Vinci, ค.ศ. 1452-1519) ได้อธิบายถึง หลักพื้นฐานของปรากฏการณ์การฉายผ่านศูนย์ (Perspective

Projection) แล้วมีลำดับขั้นของการพัฒนาขึ้นเป็นหลักการของภาพทิวทัศน์สามารถนำมาใช้ในการวาดภาพ โดย ในปี ค.ศ. 1525 ได้มี มร.อัลเบร็ชท์ ดูเรอร์ (Mr.Albrecht Dürer, ค.ศ. 1471-1528) นักวาดภาพได้คิดประดิษฐ์เครื่องช่วยเขียนภาพแบบการฉายผ่านศูนย์ (Perspective Projection) ดังปรากฏในหลักฐานจากวรรณกรรมเรื่อง “La Perspective Curieuse (Curious Perspectives)” ซึ่งนิพนธ์โดย มร.ฌอง ฟรังซัวร์ นีซีรง (Mr.Jean François Niceron, ค.ศ.1613-1646) ในปี ค.ศ. 1638 และพัฒนาต่อยอดเป็นกล้องทาบเงา (Camera Obscura) เพื่อไว้ให้จิตรกรสามารถวาดภาพจากแสดงที่ปรากฏได้ดังรูปที่ 1-18 ซึ่งถือเป็นรากฐานของการวาดภาพด้วยแสง หลังจากนั้น ในช่วงต้นคริสต์ศตวรรษที่ 18 ดร.บรุค เทเลอร์ (Dr.Brook Taylor, ค.ศ. 1685-1731) ตีพิมพ์หนังสือเรื่อง “Line Perspective” ซึ่งในเวลาต่อมา มร.โยฮัน เฮนริช แลมเบิร์ต (Mr.Johann Heinrich Lambert, ค.ศ. 1728-1777) นักคณิตศาสตร์ชาวสวิสเซอร์แลนด์ได้เสนอหลักการว่า ภาพทิวทัศน์ (Perspective View) ควรจะนำมาใช้ในการเตรียมและจัดทำแผนที่



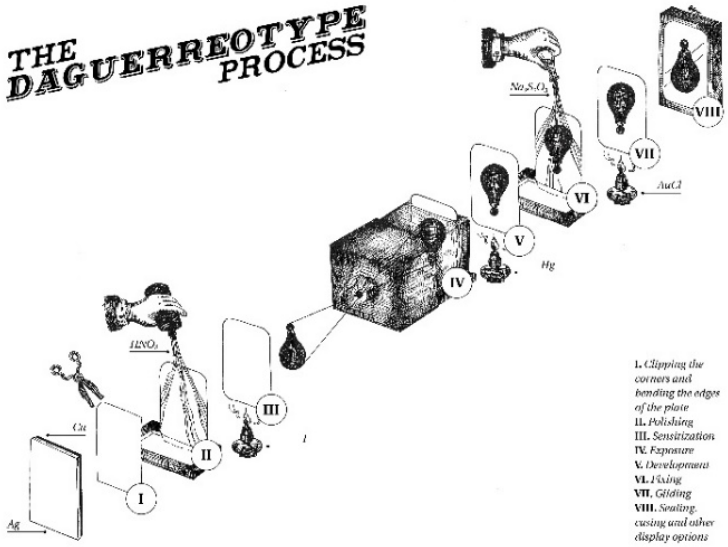
รูปที่ 1-18 การวาดภาพด้วยกล้องทาบเงาโดยจิตรกรในอดีต (ดัดแปลงจาก Jensen, 2007)

การวาดภาพด้วยแสงได้มีการพัฒนาเป็นลำดับอย่างต่อเนื่อง โดยในปี ค.ศ. 1839 เมื่อ มร.หลุยส์ ดาแกร์ (Mr.Louis Jacques Mandé Daguerre, ค.ศ. 1787-1851, รูปที่ 1-19ก) แห่งปารีส ได้คิดค้นกล้องถ่ายภาพ (รูปที่ 1-19ข) และเปิดเผยกรรมวิธีการถ่ายภาพของเขาออกมา ซึ่งจะกระทำบนแผ่นโลหะที่ฉาบไว้ด้วยเงินไอโอดายที่ไวต่อแสงซึ่งเป็นที่รู้จักกันในชื่อกระบวนการดาร์แกร์รีโอไทป (Daguerreotype Process, รูปที่ 1-19ค) ซึ่งเป็นกระบวนการถ่ายภาพครั้งแรกของโลกที่ถูกพัฒนาขึ้น และหลักการดังกล่าว ได้กลายเป็นหลักการสำคัญของกรรมวิธีการถ่ายภาพที่ใช้มาจนถึงปัจจุบัน โดย มร.โยเซฟ นิซโฟน นีปซ์ (Mr.Joseph Nicephone Niépce, ค.ศ. 1765-1833, รูปที่ 1-20ก) ได้เป็นช่างกล้องที่เป็นผู้ถ่ายภาพถ่ายภาพใบแรกของโลก (รูปที่ 1-20ข) ด้วยกล้องถ่ายรูปที่คิดค้นโดยของหลุยส์ ดาแกร์

หลังจากการค้นพบของหลุยส์ ดาแกร์ ได้มีนักยีออเดซีชาวฝรั่งเศสชื่อ มร.โดมินิค ฟรานซิส ยีน อะราโก (Mr.Dominique François Jean Arago, รูปที่ 1-21ก) ทำการวิจัยร่วมกับสถาบันวิทยาศาสตร์ของฝรั่งเศส โดยในปี ค.ศ. 1849 มร.อะราโก ร่วมกับพันเอกเอ็มเม โลส-ดาท์ (Colonel Aimé Laussedat, รูปที่ 1-21ข) ได้ทดลองใช้ภาพถ่ายทำแผนที่ภูมิประเทศ โดยผูกกล้องติดกับว่าวและบอลลูนแต่เนื่องจากความลำบากในการควบคุมขณะถ่ายภาพทางอากาศจึงทำให้เขาได้ยุติการค้นคว้าวิจัยภาพถ่ายทางอากาศและหันเหความสนใจไปยังการทำแผนที่จากการถ่ายภาพภาคพื้นดิน

(ก)

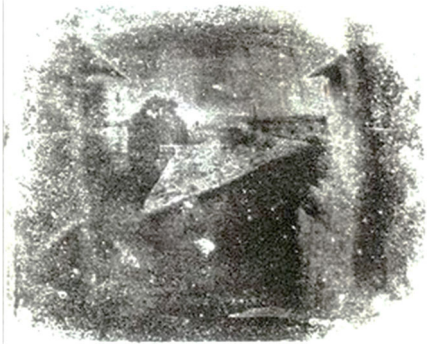
(ข)



(ค)

รูปที่ 1-19 (ก) มร.หลุยส์ ดาแกร์ (Mr.Louis Jacques Mandé Daguerre, ค.ศ. 1787-1851) ผู้คิดค้นกล้องถ่ายภาพ (ข) กล้องถ่ายรูปที่คิดค้นโดยของหลุยส์ ดาแกร์ และ (ค) กระบวนการถ่ายภาพของหลุยส์ ดาแกร์ (ดัดแปลงจาก Jensen, 2007 และ Klinkenberg, 2008)

(ก)



(ข)

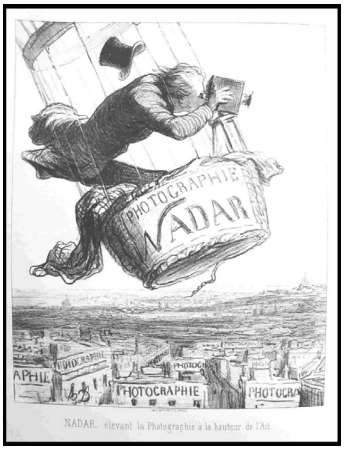
รูปที่ 1-20 (ก) มร.โยเซฟ นิซโฟน นีปซ์ (Mr.Joseph Nicephone Niépce, ค.ศ. 1765-1833) ผู้ถ่ายรูปใบแรกของโลกด้วยกล้องโมเดลที่ถูกคิดค้นขึ้นโดยหลุยส์ ดาร์แกร์ (ข) ภาพถ่ายภาพใบแรกของโลก ถูกถ่ายโดยโยเซฟ นิซโฟน นีปซ์ (ดัดแปลงจาก Jensen, 2007 และ Klinkenberg, 2008)

(ก) (ข)

รูปที่ 1-21 (ก) มร.โดมินิค ฟรานซิส ยีน อะราโก (Mr.Dominique François Jean Arago, ค.ศ. 1786-1853) นักยีออเดซีชาวฝรั่งเศสผู้ใช้ภาพถ่ายในงานแผนที่ภูมิประเทศ โดยได้ทำการทดลองร่วมกับ (ข) พันเอกเอ็มเม โลส-ดาท์ (Colonel Aimé Laussedat, ค.ศ. 1819-1907) ผู้ได้รับเกียรติว่าเป็นบิดาแห่งศาสตร์ด้านโฟโตแกรมเมทรี (ดัดแปลงจาก Klinkenberg, 2008)

ในปี ค.ศ. 1856 ได้มีการถ่ายภาพทางอากาศภาพแรกในฝรั่งเศสเป็นผลสำเร็จ โดย มร.แกสปาร์ด เฟลิกซ์ ทัวร์นาโชน์ (Mr.Gaspard-Félix Tournachon, ค.ศ. 1820-1910, รูปที่ 1-22ก) หรือชื่อที่รู้จักกันในวงการถ่ายภาพ คือ นาด้าร์ (Nadar) ได้นำกล้องโมเดลที่คิดค้นของหลุยส์ ดาแกร์ ไปถ่ายภาพจากบอลลูนที่ปล่อยให้สูงในระดับ 80 เมตร (รูปที่ 1-22ข) ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 1-22ค จึงทำให้การถ่ายภาพจากบอลลูนแพร่หลายนับตั้งแต่บัดนั้นเป็นต้นมา และจากภาพที่ได้เหล่านี้ ในปี 1859 พันเอกโลส-ดาท์ ได้เสนอผลงานชิ้นสำคัญของเขาอันเป็นผลสำเร็จในการสำรวจด้วยภาพถ่าย โดยในขณะนั้นเขาเรียกศาสตร์นี้ว่า “ไอโคโนเมตทรี” (Iconométrie มาจากคำว่า Icon ที่หมายถึง รูป และ Métrie ที่หมายถึง การวัด) และภายหลังถูกเรียกเป็น “เมโทรโฟโตกราฟฟี” (Métrophotographie) โดยเหตุนี้เอง พันเอกโลส-ดาท์ จึงได้รับเกียรติว่าเป็นบิดาแห่งศาสตร์ด้านการสำรวจด้วยภาพถ่าย (Father of Photogrammetry) ซึ่งถือเป็นก้าวสำคัญในการใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากบอลลูนมาประยุกต์ใช้ทำแผนที่ภูมิประเทศ แต่เนื่องจากข้อจำกัดในการใช้บอลลูนถ่ายภาพทำให้ได้ภาพถ่ายไม่คลุมบริเวณที่ต้องการทั้งหมด การทำแผนที่จึงเปลี่ยนมาใช้เฉพาะภาพถ่ายทางภาคพื้นดินเท่านั้น แต่ก็ยังมีการถ่ายภาพจากบอลลูนอยู่บ้าง โดยสองปีภายหลังจากความสำเร็จของ นาด้าร์ ในวันที่ 30 ตุลาคม ค.ศ. 1860 มร.เจมส์ วอลเลซ แบลค (Mr.James Wallace Black, ค.ศ. 1825-1896) ช่างภาพชาวอเมริกันประสบความสำเร็จในการถ่ายภาพทางอากาศ ณ เมืองบอสตัน ประเทศสหรัฐอเมริกา ด้วยการถ่ายภาพบนบอลลูนเช่นกัน ดังรูปที่ 1-23 ซึ่งนับว่าเป็นภาพถ่ายทางอากาศภาพแรกที่ถ่ายในสหรัฐอเมริกา

(ก)



(ข)

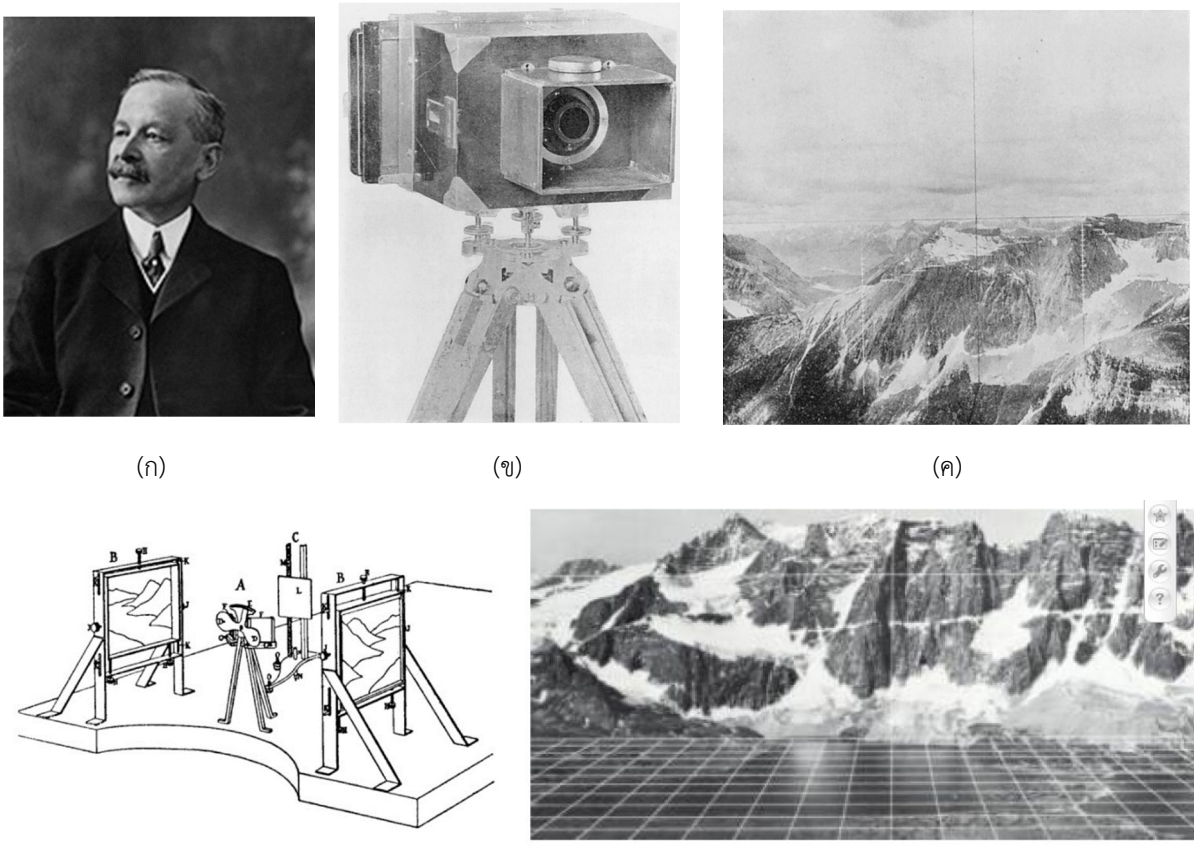
(ค)

รูปที่ 1-22 (ก) และ (ข) นาด้าร์ขณะอยู่บนบอลลูน (ดัดแปลงจาก Klinkenberg, 2008) เพื่อถ่าย (ค) ภาพทางอากาศเมืองปารีสในปี ค.ศ. 1858 (ดัดแปลงจาก Jensen, 2007)

รูปที่ 1-23 ถ่ายภาพทางอากาศ ณ เมืองบอสตัน ประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1860 (ดัดแปลงจาก Jensen, 2007)

ในเวลาต่อมา หลักของการสำรวจด้วยภาพถ่ายในงานแผนที่ภูมิประเทศซึ่งคิดค้นโดยหลุยส์ ดาแกร์ ได้แพร่หลายจากยุโรปไปสู่อเมริกาเหนือเมื่อ ปี ค.ศ. 1886 โดยร้อยเอกเอ็ดเวิร์ด แกสตั้น แดนเนียล ดีวิลด์ (Captain Édouard-Gaston Daniel Deville, 1849-1924) ผู้อำนวยการการสำรวจรังวัดของประเทศแคนาดา ดังรูปที่ 1-24ก ได้คิดค้นกล้องถ่ายภาพดังรูปที่ 1-24ข เพื่อใช้ในการสำรวจด้วยภาพถ่าย โดยร้อยเอกดีวิลด์ผู้นี้ได้ใช้กล้องที่เขาคิดค้นขึ้นเพื่อสำรวจทำแผนที่ในบริเวณเทือกเขาร้อกกี้ (Rocky Mountain) ตั้งอยู่ในท้องที่แทบตะวันตกของประเทศแคนนาดา ภาพถ่ายที่เป็นผลงานของร้อยเอกดีวิลด์ ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 1-24ค ซึ่งอาจถือได้ว่าเป็นคนแรกที่สามารถคิดค้นวิธีการในทางปฏิบัติสำหรับการรังวัดด้วยภาพถ่าย และผลงานของเขานี้เองได้เป็นอีกหนึ่งหลักฐานที่ช่วยยืนยันว่า หลักการทำแผนที่ด้วยวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายของโลส-ดาท์เหมาะสมอย่างมากสำหรับการทำแผนที่โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณขรุขระของเทือกเขา และผลงานของร้อยเอกดีวิลด์นี้ได้ถูกพัฒนาอย่างต่อยอดเกิดเป็นเครื่อง Perspectometer ดังรูปที่ 1-24ง ซึ่งมีลักษณะเป็นตารางกริดที่ซ้อนเข้าไปในภาพถ่ายให้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 1-24จ

ในเวลาต่อมา ปี ค.ศ. 1894 เทคนิคการสำรวจด้วยภาพถ่ายได้นำมาใช้ในการแบ่งเขตแดนระหว่างแคนาดากับรัฐอลาสก้า สหรัฐอเมริกาโดยหน่วยงานด้านการสำรวจชายฝั่งและยีออเดติคของประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. Coast and Geodetic Survey) และในเวลาต่อมาอีกไม่นาน ในต้น ปี ค.ศ. 1899 มร.เซบาสเตียน ฟินเตอร์วัลเดอร์ (Mr.Sebastian Finsterwalder, ค.ศ. 1862-1951) นักคณิตศาสตร์ชาวเยอรมันผู้ได้รับการยกย่องให้เป็นบิดาแห่งการสำรวจด้วยภาพถ่ายในพื้นที่ธารน้ำแข็ง (Father of Glacier Photogrammetry) เป็นคนแรกที่สามารถสร้างแบบจำลอง 3 มิติจากภาพถ่าย 2 ใบ และเขาได้ตีพิมพ์บทความต่างๆ เกี่ยวกับการสำรวจด้วยภาพถ่ายเชิงวิเคราะห์ (Analytical Photogrammetry) อย่างการเล็งสกัดและการเล็งสกัดย้อนของภาพถ่าย ซึ่งเป็นหลักการสำคัญของการสำรวจด้วยภาพถ่ายในยุคสมัยใหม่



(ก) (ข) (ค)

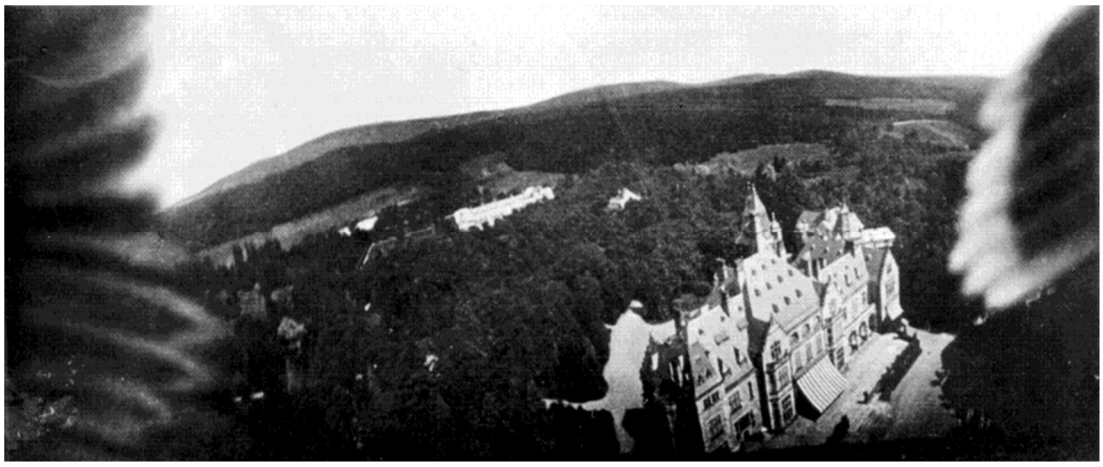
(ง) (ฉ)

รูปที่ 1-24 (ก) ร้อยเอกดีวิลด์ (Captain Édouard Deville, ค.ศ. 1849-1924) ได้คิดค้น (ข) กล้องถ่ายภาพสำหรับ (ค) ถ่ายภาพเพื่อสำรวจภูมิประเทศซึ่งมีการพัฒนาต่อยอดเป็น (ง) เครื่อง Perspectometer และ (จ) ภาพถ่ายที่ได้สำหรับใช้ในภารกิจด้านการสำรวจรังวัด (ดัดแปลงจาก Klinkenberg, 2008)

ถัดจากช่วงเวลานั้น ในปี ค.ศ. 1903 มร.จูเลียส นูบรอนเนอร์ (Mr.Julius Neubronner, ค.ศ. 1852-1932) ทดลองนำกล้องถ่ายภาพติดตั้งบนอกนกพิราบ (Breast-mount Aerial Camera) ดังรูปที่ 1-25ก โดยถ่ายภาพขนาด 70 mm (รูปที่ 1-25ข) ซึ่งกล้องดังกล่าวได้ถูกออกแบบไว้ให้ถ่ายภาพทุก ๆ 30 วินาที อย่างไรก็ตาม ด้วยเหตุผลอันเป็นที่ทราบโดยทั่วกันว่านกพิราบไม่อาจเป็นพาหนะที่สามารถควบคุมทิศทางหรือวางแผนเส้นทางการบินใด ๆ ได้ ซึ่งข้อจำกัดนี้ถือเป็นเงื่อนไขสำคัญที่

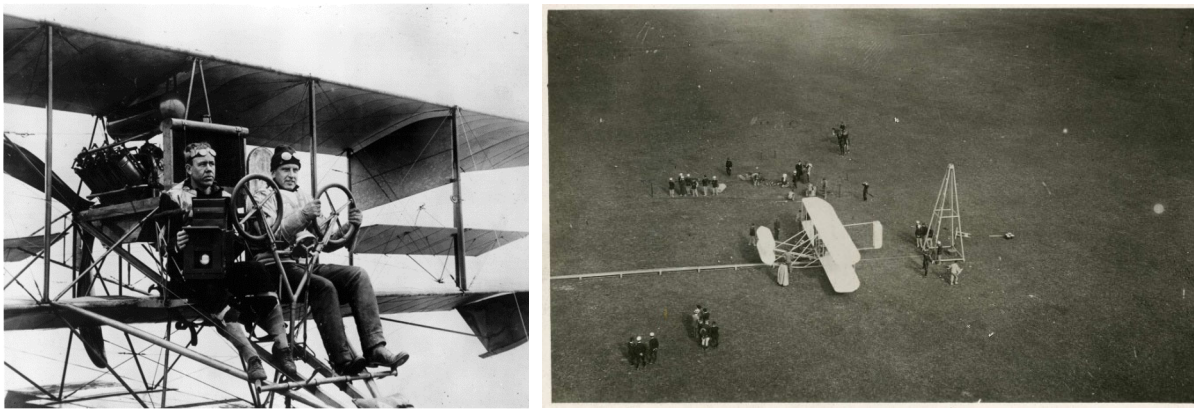
ทำให้การติดตั้งกล้องภาพกับอกนกพิราบไม่ได้รับความนิยม และในปีเดียวกันนี้ พี่น้องตระกูลไรท์ (Wright) ได้ประดิษฐ์เครื่องบินขึ้น แต่ก็ยังไม่ได้มีการใช้เครื่องบินช่วยในการถ่ายภาพ (รูปที่ 1-26ก) จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1909 จึงได้มีการถ่ายภาพจากเครื่องบินขึ้นเป็นครั้งแรกที่เมือง Centocelle กรุงโรม ประเทศอิตาลี ดังรูปที่ 1-26ข แต่ภาพที่ได้ไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์และการทำแผนที่ สำหรับการถ่ายภาพจากทางอากาศโดยใช้เครื่องบินเป็นพาหนะและนำภาพถ่ายทางอากาศที่ได้มาทำแผนที่เป็นครั้งแรกทำในปี ค.ศ. 1913

(ก)



(ข)

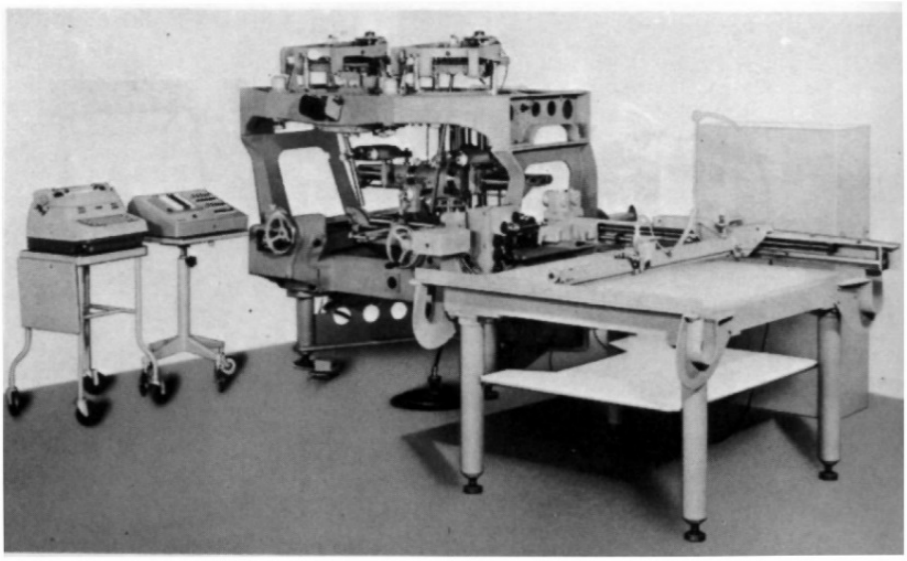
รูปที่ 1-25 (ก) กล้องถ่ายภาพทางอากาศติดอกนกพิราบ (Breast-mount Aerial Camera) โดย (ข) บินถ่ายภาพขนาด 70 mm ซึ่งกล้องดังกล่าวได้ถูกออกแบบไว้ให้ถ่ายภาพทุกๆ 30 วินาที (ดัดแปลงจาก Jensen, 2007)



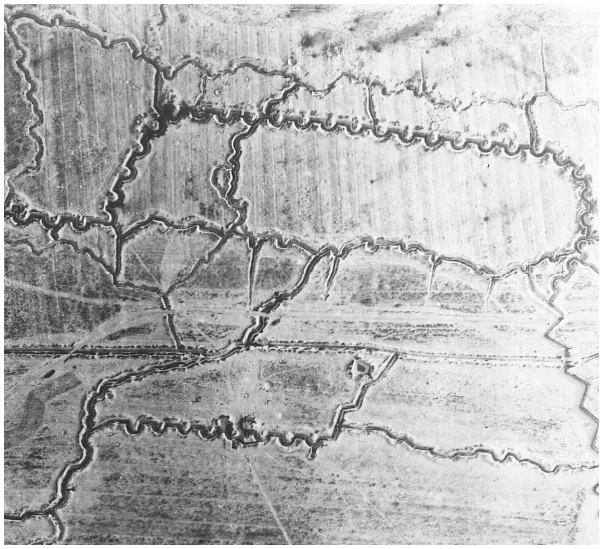
(ก) (ข)

รูปที่ 1-26 (ก) พี่น้องตระกูลไรท์ (Wright) ได้ประดิษฐ์เครื่องบินขึ้น ในปี ค.ศ. 1903 และ (ข) ในปี ค.ศ. 1909 ได้มีการบินถ่ายภาพครั้งแรกที่กรุงโรม (ดัดแปลงจาก Jensen, 2007)

ในช่วงเวลาเดียวกันนี้เอง (ค.ศ. 1901) ดร.คาร์ล พูลริช (Dr.Carl Pulfrich, ค.ศ. 1858-1929) ชาวเยอรมันได้เริ่มต้นทดลองคู่ภาพสามมิติ โดยเขาได้พัฒนาเครื่องวิเคราะห์ภาพสามมิติ (Stereo Comparator, ดังรูปที่ 1-27) ภายใต้บริษัท Carl Zeiss งานของเขาจัดเป็นพัฒนาการทางด้านเครื่องมือและเทคโนโลยีการทำแผนที่ด้วยภาพถ่ายที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอดีตและยังคงมีหลงเหลือให้เห็นอยู่บ้างในบางหน่วยงาน และงานของเขาถือเป็นงานที่ช่วยให้การใช้เครื่องบินถ่ายภาพเพื่องานทำแผนที่เริ่มมีความสำคัญมายิ่งขึ้น ในช่วงปี ค.ศ. 1914-1918 ซึ่งเป็นยุคสงครามโลกครั้งที่ 1 เครื่องมือชนิดนี้ก็มีการใช้ภาพถ่ายกันอย่างกว้างขวางแต่ส่วนใหญ่ใช้ในงานสำรวจสังเขป (Reconnaissance) และกิจการด้านทหารดังรูปที่ 1-28 ภายหลังสงครามโลกครั้งนี้ได้มีการพัฒนาการสร้างเครื่องบินและอุปกรณ์ในการถ่ายภาพต่าง ๆ ให้ทันสมัย อีกทั้งยังมีการพัฒนาให้อุปกรณ์อีกหลายชิ้นขึ้นมาใช้งาน ส่งผลให้มีการนำการสำรวจด้วยภาพถ่ายมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากขึ้น เช่น การนำมาใช้ในงานทางด้านภูมิศาสตร์ ธรณีวิทยา และโบราณคดี เป็นต้น



รูปที่ 1-27 เครื่อง Stereo Comparator ในยุค Analogue Photogrammetry (ดัดแปลงจาก ERDAS, 2010)



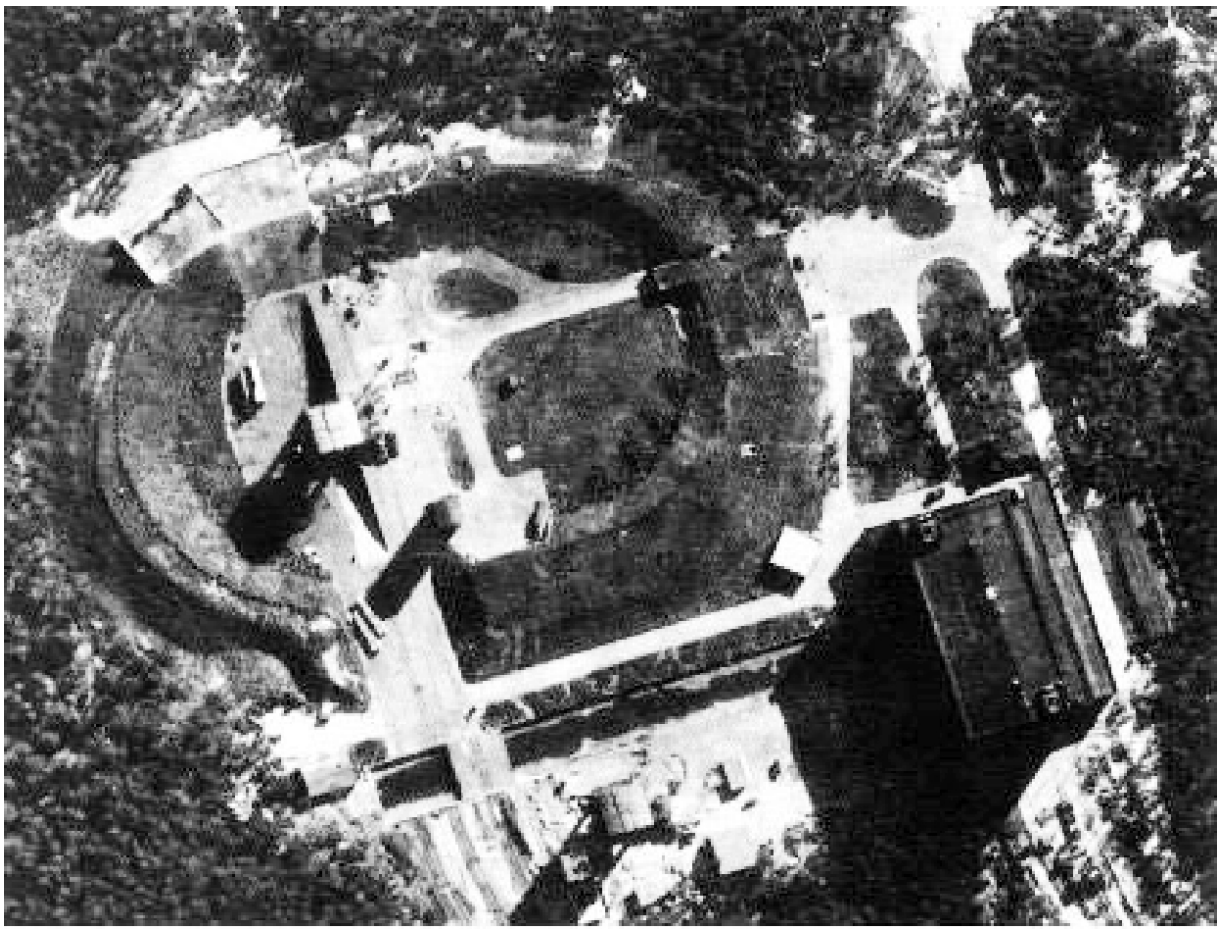
รูปที่ 1-28 ภาพถ่ายทางอากาศที่แสดงพื้นที่สนามรบในส่งครามโลกครั้งที่ 1 (ดัดแปลงจาก Jensen, 2007)

1.2.2 ยุคการรังวัดด้วยภาพถ่ายเชิงวิเคราะห์ (Analytical Photogrammetric Era)

ใน ปี ค.ศ. 1924 ศาสตราจารย์ ออตโต้ วอน กรูเบอร์ (Prof. Otto von Gruber, ค.ศ. 1884-1942) แห่งมหาวิทยาลัย Stuttgart ประเทศเยอรมนี ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเล็งสกัดย้อนในปริภูมิ (Space Resection) ตลอดจนสร้างอนุพันธ์จากสมการการฉายผ่านศูนย์ (Perspective Equations) และตีพิมพ์งานสอนของเขาในปี ค.ศ. 1930 ซึ่งเป็นห่วงเวลาเดียวกับที่ ศาสตราจารย์ เอิร์ล เชิร์ช (Prof. Earl Church, ค.ศ. 1890-1956) แห่งมหาวิทยาลัยไซราคูศ (Syracuse University) ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้เปิดสอนวิชาการสำรวจด้วยภาพถ่ายเชิงวิเคราะห์ (Analytical Photogrammetry) เขายังได้ชื่อว่าเป็น บิดาแห่งวงการสำรวจด้วยภาพถ่ายของอเมริกัน ได้แต่งหนังสือชื่อ “Elements of Aerial Photogrammetry” ซึ่งถือเป็นตำราพื้นฐานเล่มสำคัญในการเรียนการสอนด้านการสำรวจด้วยภาพถ่าย ณ เวลานั้น โดยศาสตราจารย์เชิร์ชถือเป็นผู้บุกเบิกในการเรียนการสอนด้านการสำรวจด้วยภาพถ่ายในประเทศสหรัฐอเมริกา

จากนั้นวิวัฒนาการของการรังวัดด้วยภาพก็เพิ่มขึ้นตามลำดับ ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 (ค.ศ. 1939-1945) ได้มีการพัฒนาการแปลภาพถ่าย ทำให้เกิดความจำเป็นที่จะต้องฝึกฝนการแปลภาพถ่ายขึ้น โดยในช่วงนี้เอง การสำรวจด้วยภาพถ่ายถูกนำมาใช้เผื่อการสอดแนม ยกตัวอย่างเช่น ภาพถ่ายสถานีปล่อยจรวด V2 เมือง Peenemünde ประเทศเยอรมนี ดังรูปที่ 1-29 และแม้ว่าสงครามโลกครั้งที่ 2 จะสิ้นสุดลง แต่ทว่า นักแปลภาพถ่ายยังคงให้ความสนใจในงานเหล่านี้ จึงทำให้เกิดงานวิจัยในด้านนี้ขึ้นมาเป็นจำนวนมาก นอกจากนั้นความต้องการแผนที่อย่างรีบด่วนในระหว่างสงครามมีผลทำให้ได้ใช้วิธีการของการสำรวจด้วยภาพถ่ายไปอย่างกว้างขวาง เพราะช่วยให้ผลิตแผนที่ได้เร็วขึ้นและเพื่อภาพถ่ายจะได้เป็นแหล่งของรายละเอียดที่เชื่อถือได้สำหรับเขตที่เข้าไปสำรวจไม่ได้ ระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 เทคโนโลยีของงานสำรวจด้วยภาพถ่ายได้ทำให้การผลิตแผนที่เพียงพอต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก รวมถึงงานแปลภาพถ่ายก็ได้มีการใช้อย่างกว้างขวางมากขึ้นในงานสำรวจสังเขปและงานสืบราชการลับ ผลของความต้องการแผนที่จำนวนมากอย่างรีบด่วนระหว่างสงครามทำให้มีการพัฒนาใหม่ ๆ ทั้งทางด้านเครื่องมือและเทคโนโลยี ในช่วงสงครามโลกครั้งที่สอง การทำแผนที่โดยเฉพาะการทำแผนที่จากการตรวจการณ์ทางอากาศเป็นเรื่องสำคัญมากสำหรับการทำสงคราม เทคโนโลยีจึงถูกคิดค้นและพัฒนาอย่างรวดเร็ว นับว่าเป็นปัจจัยที่ทำให้การสำรวจรังวัดด้วยภาพมีความสำคัญในการทำแผนที่อย่างมาก

ในปี ค.ศ. 1951 ศาสตราจารย์ เฮลมัท ชมิดท์ (Prof. Helmut Schmidt, ค.ศ. 1914-1988) ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการสำรวจด้วยภาพถ่ายได้ทำการศึกษาถึงการแก้ปัญหาทางแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับการรังวัดด้วยภาพจากหลายสถานีถ่ายภาพ เพื่อนำมาใช้เป็นหลักการประยุกต์ใช้งานทางการรังวัดด้วยภาพ และถัดจากนั้น ไม่นาน ในปี ค.ศ. 1960 เครื่องเขียนแผนที่เชิงวิเคราะห์ได้ถือกำเนิดขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกา



รูปที่ 1-29 ภาพถ่ายทางอากาศสถานีปล่อยจรวด V-2 ที่เมือง Peenemünde ประเทศเยอรมนีในยุคสงครามโลกครั้งที่ 2 (ดัดแปลงจาก Jensen, 2007)

ผลจากการที่บริษัท IBM ได้นำคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer: PC) เข้าสู่ตลาด ส่งผลให้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มีพัฒนาการที่ก้าวไปอย่างรวดเร็ว และเทคโนโลยีการสำรวจด้วยภาพถ่ายเชิงวิเคราะห์ก็ถือเป็นอีกหนึ่งส่วนที่สอดรับผลประโยชน์จากวิวัฒนาการนี้ด้วย ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญของการพัฒนาการสำรวจด้วยภาพดิจิทัล โดยในปี ค.ศ. 1988 บริษัท Helava & Associates ได้สาธิตการทำงานของ N-stage Comparator ที่ใช้ในการวัดเพื่อทำโครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ และในเวลาต่อมา บริษัท Ziess ผู้นำในการผลิตเครื่องมือสำรวจรังวัดและระบบรังวัดจากภาพถ่ายในขณะนั้นได้นำเสนอผลิตภัณฑ์เครื่องร่างแผนที่เชิงวิเคราะห์และที่มีการใช้ภาพสามมิติในระบบโดยใช้จอภาพคอมพิวเตอร์สร้างแบบจำลองสามมิติ ดังรูปที่ 1-30

รูปที่ 1-30 เครื่อง Ziess Planicomp P3 ซึ่งเป็นเครื่อง Stereo Plotter ในยุค Analytical Photogrammetry (ดัดแปลงจาก Lillesand et al., 2008)

1.2.3 ยุคการรังวัดด้วยภาพถ่ายดิจิทัล (Digital Photogrammetric Era)

ในช่วงเวลา ปี ค.ศ. 1990-1991 นับเป็นจุดเปลี่ยนสำคัญของวงการรังวัดด้วยภาพถ่าย เมื่อมีการผลิตเครื่องสแกนเนอร์ PS-1 Scanner สำหรับภาพถ่ายทางอากาศตัวแรกของโลกผลิตโดยบริษัท Zeiss และ Intergraph ออกมาวางจำหน่าย ในเวลาต่อมาได้มีการพัฒนาเป็นเครื่อง Photogrammetric Stereo-workstation: Intergraph Image Station ZII ดังรูปที่ 1-31 เพื่อใช้ในการผลิตภาพถ่ายออร์โทชนิดดิจิทัล

รูปที่ 1-31 เครื่อง Stereo Plotter ในยุค Digital Photogrammetry (ดัดแปลงจาก Lillesand et al., 2008)

ในช่วง ค.ศ. 1995 ศาสตราจารย์ คล้าส์ปีเตอร์ ชวาร์ซ (Prof. Klaus-peter Schwarz) แห่งมหาวิทยาลัย Calgary ได้เสนอให้มีการผสมผสานเทคโนโลยีระบบหาพิกัดพิภพด้วยดาวเทียมร่วมกับอุปกรณ์วัดความเฉื่อยเข้าไว้กับเครื่องบินสำหรับการสำรวจด้วยภาพถ่าย ซึ่งได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยภาพเอกชนจนออกมาเป็นภาพสรุปหลักการดังรูปที่ 1-33 มีจุดเด่นดังนี้

(1) การรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหนพิภพ (GNSS: Global Navigation Satellite System หรือที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในนามของ Global Position System: GPS) นี้จะช่วยในการหาค่าพิกัดของจุดเปิดถ่ายภาพของกล้องในขณะที่ทำการบันทึกภาพถ่าย ซึ่งในการหาค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ในปัจจุบันนิยมใช้วิธีรังวัดด้วยการรับสัญญาณแบบจลน์ทันที (Real Time Kinematic: RTK) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ค่าพิกัดของจุดเปิดถ่ายภาพ ณ ขณะถ่ายภาพซึ่งส่วนสำคัญในการเพิ่มความถูกต้องที่ดีขึ้นมาก

(2) อุปกรณ์วัดความเฉื่อย (Inertial Measurement Unit: IMU) เป็นระบบที่ใช้ในการหาวิถีการบินของเครื่องบินจากการรวมเข้ากับข้อมูลเชิงตำแหน่งจาก GPS พร้อมทั้งช่วยในการหาความเร็วเชิงมุมกับอัตราเร่งความเร็วของเครื่องบินมาชดเชยและผสมผสานกันทำให้ระบบสามารถบอกการวางตัวของอากาศยานขณะเปิดถ่ายภาพ

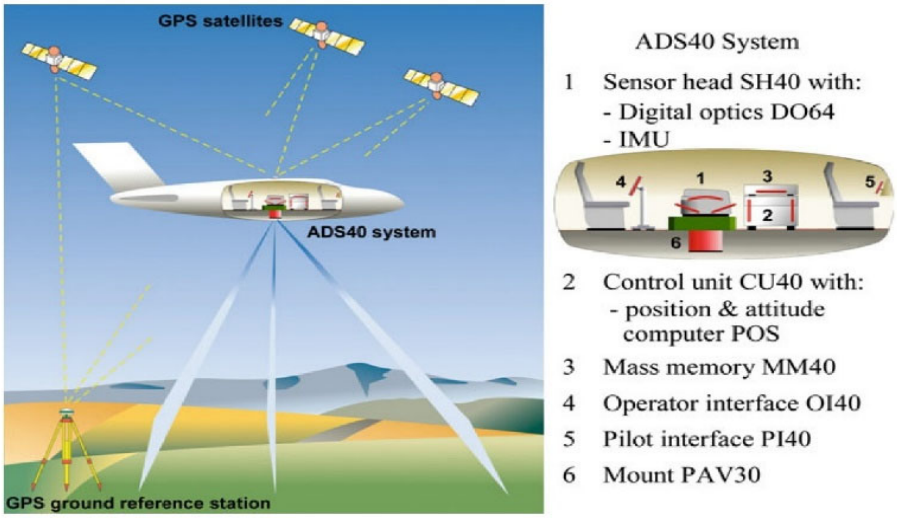
ภายหลังจากที่ได้มีการพัฒนาเครื่องบินที่ผนวกเอาเทคโนโลยี GPS และ IMU เข้ามา ก็ได้มีการพัฒนาระบบการถ่ายภาพด้วยระบบกล้องถ่ายภาพดิจิตอลเพื่อการทำแผนที่ (Digital Mapping Camera: DMC) ที่มีการใช้ตัวรับรู้ (Sensor) มาช่วย ดังรูปที่ 1-32 ส่งผลให้การรังวัดด้วยภาพถ่ายเกิดมีการพัฒนาระบบการทำแผนที่จากการสำรวจด้วยภาพถ่ายที่รวดเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งถือเป็นต้นแบบสำคัญที่มีการพัฒนาต่อเนื่อง จนกระทั่งในปัจจุบันนี้ได้พัฒนาไปเป็นอากาศไร้คนขับขนาดเล็ก (Micro Unmanned Aerial Vehicle: MUAV) ซึ่งได้มีบทบาทสำคัญต่อวงการแผนที่ภาพถ่ายในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายหลังจากการเปิดตัวของอากาศยานไร้คนขับรุ่น DJI Phantom 3 ดังรูปที่ 1-33ก และ 1-33ข ที่มีการผสมผสานเทคโนโลยีการบินพร้อมกับเทคโนโลยีการถ่ายภาพที่มีความละเอียดสูงขึ้นควบคู่กับราคาที่ถูกลงอย่างมากในช่วงปี ค.ศ. 2015-2016 และขณะเดียวกันเครื่องรับสัญญาณ GNSS ดังรูปที่ 1-33ค ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการรังวัดค่าพิกัดของหมุดบังคับภาพก็มีราคาถูกลงมาอย่างมากไปพร้อม ๆ กับซอฟแวร์ประมวลผลภาพถ่ายที่มีการผนวกเอาอัลกอริทึมในการจับคู่ภาพอัตโนมัติอย่างอัลกอริทึม Scale Invariant Feature Transform (SIFT) อย่างโปรแกรม Pix4D Mapper (ดังรูปที่ 1-33ง) ที่ง่ายต่อการใช้งาน ส่งผลให้ในห่วงเวลาปัจจุบันการได้เป็นช่วงเวลาที่งานทางด้านวิศวกรรมโยธามีการนำเอาการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย

1.3 สมาคมวิชาชีพและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจด้วยภาพถ่าย (Professional Organization of Photogrammetry)

1.3.1 สมาคมวิชาชีพที่มีบทบาทในการสำรวจด้วยภาพถ่าย (Professional Association in Photogrammetry)

1.3.1.1 สมาคมวิชาชีพระดับชาติ

1. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
2. สมาคมการสำรวจและการแผนที่แห่งประเทศไทย
3. สมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์



รูปที่ 1-32 การผสมผสานเทคโนโลยี GPS และ IMU และกล้อง Leica ADS40 เข้าไว้ด้วยกันเพื่อใช้ในการบินถ่ายภาพดิจิทัล (ดัดแปลงจาก Sandau, 2009)

(ก) (ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 1-33 การใช้ (ก) UAV ใน (ข) การสำรวจด้วยภาพถ่าย โดยการทำหมุดบังคับภาพด้วย (ค) เครื่องรับสัญญาดาวเทียม GPS และ (ง) ใช้ซอฟแวร์ Pix4D ในการประมวลผลภาพเพื่อให้ผลลัพธ์เป็นแผนที่ภาพถ่ายออร์โธ (ดัดแปลงจาก สนข., 2561)

1. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท. หรือ Engineering Institute of Thailand: EIT) ในความเป็นจริงแล้วนั้น สมาคมนี้ถือเป็นองค์กรหลักด้านวิชาการในทางวิศวกรรมของประเทศไทยที่รวบรวมเอาผู้เชี่ยวชาญทางวิชาชีพด้านวิศวกรรมในทุกสาขาเข้าไว้ด้วยกัน และในช่วงปี พ.ศ. 2554 ทาง วสท. โดยคณะกรรมการสาขาวิศวกรรมโยธาได้ดำริให้มีการแต่งตั้งคณะอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมสำรวจขึ้น และในช่วงที่ผ่านมานั้น มีบทบาทในการขับเคลื่อนด้านวิชาการ ด้านมาตรฐาน และด้านการศึกษาดูงานมาโดยตลอด โดยคณะอนุกรรมการสาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจนี้มีความเข้มแข็งค่อนข้างมากในการประกอบกิจกรรมที่ส่งเสริมความก้าวหน้าในทางวิชาการด้านวิศวกรรมสำรวจและการแผนที่มาโดยตลอด และในปี พ.ศ. 2561 ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับแนวทางปฏิบัติที่ดีพร้อมด้วยการศึกษาถึงมาตรฐานในการทำแผนที่จากการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ [วสท.], 2562).

2. สมาคมการสำรวจและการแผนที่ (Surveying and Mapping Society) ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2542 โดยยกระดับขึ้นมาจากชมรมวิศวกรรมสำรวจ ที่ผ่านมานั้นบทบาทของสมาคมการสำรวจและการแผนที่ตามพันธะกิจที่ได้ตั้งไว้คือ การเป็นองค์กรที่ช่วยในการสนับสนุนให้เกิดความร่วมมือในการพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านวิศวกรรมสำรวจ ตลอดจนส่งเสริมให้เกิดการกระจายเทคโนโลยีและวิทยาการสมัยใหม่ด้านวิศวกรรมสำรวจ รวมถึงการกำหนดรูปแบบ แนวทางปฏิบัติ ความรับผิดชอบต่อวิชาชีพวิศวกรรมสำรวจ ถือเป็นองค์กรที่มีบทบาทสำคัญในการผลักดันและยกระดับวิชาชีพวิศวกรรมสำรวจไปก้าวไปสู่ยุคสังคมเศรษฐกิจอาเซียน (AEC) ซึ่งได้กำหนดให้สาขาวิชาชีพนักสำรวจ (Surveyor) เป็น 1 ใน 9 วิชาชีพที่ต้องมีการเปิดโอกาสให้มีการเคลื่อนย้ายแรงงาน ตามข้อตกลงร่วมกันเรื่องของการเคลื่อนย้ายแรงงานไปทำงานได้อย่างเสรี

3. สมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Remote Sensing And GIS Association of Thailand: RESGAT) เป็นสมาคมที่ก่อตั้งขึ้นเพื่อเป็นสื่อกลางระหว่างสมาชิกและบุคคลทั่วไป ในการเผยแพร่งานวิจัย ด้านการสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทั้งการวิจัยพื้นฐานและประยุกต์ ตลอดจนบทความวิชาการความก้าวหน้าของเทคโนโลยีอวกาศและศาสตร์ต่างๆที่เกี่ยวข้อง โดยเน้นกลุ่มผู้พัฒนาและผู้ใช้งานด้านการสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์ในแง่ของการวิจัยพื้นฐานและการประยุกต์ใช้งาน ต่างๆ เช่น การสำรวจและทำแผนที่ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน การติดตามและวิเคราะห์การเพาะปลูกด้านการเกษตร และการวิเคราะห์ด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น โดยผลงานวารสารของสมาคมวิชาชีพนี้มีการเชื่อมตรงกับงานประชุมวิชาการเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศแห่งชาติ (Geoinfotech) ที่จัดขึ้นโดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

1.3.1.2 สมาคมวิชาชีพระดับนานาชาติ

1. The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)
2. The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)
3. Remote Sensing and Photogrammetry Society (RSPSoc)

1. The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) เป็นองค์กรวิชาชีพที่เกี่ยวเนื่องกับการรังวัดด้วยภาพ การสำรวจระยะไกล และวิทยาการสารสนเทศปริภูมิ (spatial information science) สมาคมก่อตั้งในปีค.ศ. 1910 โดยมีชื่อครั้งแรกว่า the International Society for Photogrammetry (ISP) เท่านั้น โดยมีประธานสมาคมท่านแรกคือ Eduard Dolezal ชาวออสเตรีย และภายหลังจากนั้น 70 ปี ในปี ค.ศ. 1980 สมาคมจึงได้เปลี่ยนชื่อใหม่เป็น The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) ดังที่ปรากฏในทุกวันนี้

ทั้งนี้เนื่องจากความเกี่ยวเนื่องและขอบข่ายของวิชาการ โดยถือเป็นสมาคมวิชาชีพที่เป็นเสาหลักในการจัดกประชุมวิชาการระดับนานาชาติอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเวียนไปในทุกภูมิภาคทั่วโลก วารสารของสมาคมนี้มีอยู่ 2 วารสารประกอบด้วย (1) Photogrammetry and Remote Sensing และ (2) ISPRS International Journal of Geo-Information ซึ่งทั้งสองวารสารอยู่ในฐานของ Science Citation Index และ Scopus

2. The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) เป็นองค์กรวิชาชีพในประเทศสหรัฐอเมริกา ก่อตั้งในปี ค.ศ. 1934 ประกอบด้วยสมาชิกนักวิชาชีพที่เกี่ยวข้องกว่า 7,000 คนทั่วโลก โดยมีคำขวัญว่า “The Imaging & Geospatial Information Society” ภารกิจของสมาคมกล่าวไว้ใน Mission of the Society ดังนี้ “เพื่อสร้างความรู้ที่ก้าวหน้าและเพื่อปรับปรุงความเข้าในศาสตร์ของการทำแผนที่และเพื่อ ส่งเสริมการประยุกต์ใช้งานการรังวัดด้วยภาพถ่าย การสำรวจระยะไกล ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และเทคโนโลยีสนับสนุนอื่นๆ” (ASPRS) วารสาร Journal of Photogrammetric Engineering & Remote Sensing ซึ่งรู้จักในนามย่อ ๆ ว่า PE & RS ซึ่งเป็นวารสารชั้นแนวหน้าในที่ได้รับความนิยมอย่างมากในวงการการสำรวจด้วยภาพถ่ายและยังอยู่ในการฐานข้อมูลวารสารชั้นนำอย่างฐานของ Science Citation Index และ Scopus

3. Remote Sensing and Photogrammetry Society (RSPSoc) เป็นสมาคมที่เกิดขึ้นมาส่งเสริมงานด้านการสำรวจจากระยะไกลและการสำรวจด้วยภาพถ่าย มีพันธะกิจสำคัญคือ การตัวกลางในการประสานงานและการส่งเสริมกิจกรรมในการสำรวจจากระยะไกลและการสำรวจด้วยถ่ายภาพในระดับนานาชาติและสนับสนุนงานด้านการศึกษา วารสารจากสมาคมนี้มีด้วยกันถึง 3 หัวเรื่องคือ (1) Photogrammetric Record (2) International Journal of Remote Sensing และ (3) Remote Sensing Letter ซึ่งทุกวารสารล้วนแล้วแต่อยู่ในการฐานของ Science Citation Index และ Scopus

1.3.2 หน่วยงานของภาครัฐที่มีบทบาทในการสำรวจด้วยภาพถ่าย (Government Agencies in Photogrammetry)

1.3.2.1 กรมแผนที่ทหาร (Royal Thai Surveying Department: RTSD) ถือเป็นหน่วยงานบุกเบิกด้านการสำรวจด้วยภาพถ่ายสำหรับประเทศไทย โดยให้บริการในภารกิจต่าง ๆ เช่น บริการแผนที่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสำรวจด้วยภาพถ่าย เช่น แผนที่ภาพถ่ายออร์โธสีเชิงเลข หมุดหลักฐานภาคพื้นดิน และแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (DEM) เป็นต้น อีกทั้งยังให้บริการในการบินถ่ายภาพถ่ายทางอากาศให้กับโครงการขนาดใหญ่ของภาครัฐอีกด้วย

1.3.2.2 กรมพัฒนาที่ดิน (Land Development Department: LDD) โดยกลุ่มจัดการและบริการแผนที่และข้อมูลทางแผนที่มีหน้าที่ความรับผิดชอบ ให้บริการแผนที่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสำรวจด้วยภาพถ่ายเช่น แผนที่ภาพถ่ายออร์โธสีเชิงเลข หมุดหลักฐานภาคพื้นดิน และแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (DEM) เป็นต้น

1.3.2.3 สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (Geo-Informatics and Space Technology Development Agency: GISTDA) มีหน้าที่หลักในการผลิต จัดหา รวบรวม วิเคราะห์ และจัดทำคลังข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรและ ภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาประเทศ ให้บริการข้อมูล และให้คำปรึกษาด้านเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศทั้งในประเทศและระดับสากล และยังมีการวิจัยและพัฒนานวัตกรรมเกี่ยวกับการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อการสำรวจด้วยภาพถ่ายด้วย

1.4 แบบฝึกหัด (Exercise)

1. จงอธิบายนิยามของคำต่อไปนี้

    (ก) การสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial Photogrammetry)

    (ข) การสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน (Terrestrial Photogrammetry)

    (ค) การสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ (Close Range Photogrammetry)

    (ง) การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม (Satellite Photogrammetry)

    (จ) การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากโดรน (Drone Photogrammetry)

2. จงบอกประโยชน์ของงานสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศและการนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านวิศวกรรมโยธา

3. การสำรวจด้วยภาพถ่ายสามารถแบ่งได้เป็นกี่ยุค อะไรบ้าง ให้อธิบายโดยสังเขป

4. จงอธิบายความสำคัญของมาตราส่วนที่มีต่อการสำรวจด้วยภาพถ่าย

5. ให้ยกตัวอย่างหน่วยงานของภาครัฐของประเทศไทยที่มีบทบาทในงานสำรวจด้วยภาพถ่าย

6. จงอธิบายความสำคัญของเทคโนโลยีการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหนพิภพ (GNSS) และอุปกรณ์วัดความเฉื่อย (IMU) ที่มีผลต่อการประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับในการสำรวจด้วยภาพถ่าย