

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การสำรวจค่าพิกัดของหมุดควบคุม

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึง การรังวัดค่าพิกัดด้วยดาวเทียม GPS ตามที่ได้ออกแบบโครงการรังวัดค่าพิกัดตามข้อ 3.2.3 โดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ชนิด 2 ความถี่ ยี่ห้อ LEICA รุ่น GX 1230 และนำข้อมูลดิบที่ได้มาวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมประมวลผลสำเร็จรูป LEICA Geo Office คำนวณเส้นฐาน และปรับแก้โครงข่ายโดยใช้เกณฑ์มาตรฐาน Geometric Geodetic Accuracy Standard and Specifications for Using GPS Relative Positioning Techniques (FGCC, 1989) ของประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นเกณฑ์ควบคุมคุณภาพการรังวัดโครงข่ายในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ประกอบไปด้วย

1. การเชื่อมต่อโครงข่ายงานวิจัย เข้ากับโครงข่าย GPS ของประเทศ
2. การรังวัดโครงข่าย จุดควบคุมภาคพื้น GCP
3. การรังวัด จุดตรวจสอบ CP

ที่จะนำไปเป็นค่าสมการในการปรับแก้เชิงเรขาคณิต ด้วยสมการพหุนามอันดับที่สอง (Second Order Polynomial) กับภาพถ่ายทางอากาศปี 2552 ที่บินถ่ายภาพโดยกรมแผนที่ทหาร และใช้มาตรฐาน National Standard Spatial Data Accuracy: NSSDA (FGDC, 1998) ของประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นเกณฑ์ประเมินความถูกต้องทางราบของภาพถ่ายทางอากาศ ที่ผ่านการปรับแก้เชิงเรขาคณิต โดยแบ่งการสำรวจข้อมูลพิกัดตำแหน่งเป็น 2 ส่วน คือ การรังวัดค่าพิกัดด้วยดาวเทียม GPS และการรังวัดค่าพิกัดด้วยกล้องสำรวจแบบประมวลผลรวม (Total Station) มีรายละเอียดดังนี้

1. รังวัดค่าพิกัดด้วยดาวเทียม GPS

การรังวัดค่าพิกัดตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้น GCP ที่จะนำไปเป็นข้อมูลในการปรับแก้พิกัดของภาพถ่ายทางอากาศ เพื่อให้มีความสัมพันธ์เชิงตำแหน่งกับพื้นผิวโลก และเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่ายของประเทศได้เป็นอย่างดี มีรายละเอียดดังนี้ คือ

1.1 การรังวัดเชื่อมต่อโครงข่ายงานวิจัย กับโครงข่าย GPS ของกรมแผนที่ทหาร

ได้กำหนด สถานีควบคุมโครงข่ายงานวิจัยในครั้งนี้ ไว้ในบริเวณใกล้เคียงสนามบิน เพื่อสะดวกต่อการรังวัดตรวจสอบโครงข่ายจุดควบคุมภาคพื้น GCP และจุดตรวจสอบ CP ที่ได้จากการรังวัดขยายโครงข่าย GPS ชั้น A ของกรมแผนที่ทหาร มายังตำแหน่ง สถานี BUU-01 สำหรับใช้เป็นสถานีอ้างอิงในการรังวัด จุดควบคุมภาคพื้น GCP และจุดตรวจสอบ CP ในการศึกษาวิจัย โดยใช้

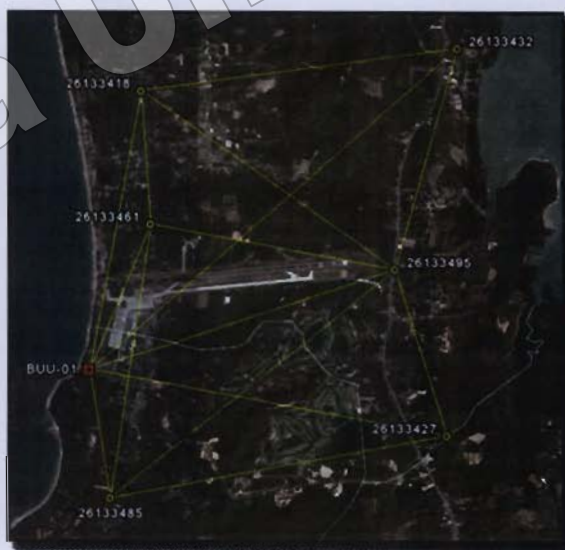
สถานีอ้างอิงของกรมแผนที่ทหาร คือ สถานี 3657 จังหวัด ภูเก็ต และ สถานี 3356 จังหวัดพังงา และทำการโยงยึดค่าพิกัดมายัง สถานี BUU-01 ด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิต (Static Survey) ซึ่งจะให้ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งอยู่ระหว่าง 5 มิลลิเมตร – 2.5 เซนติเมตร โดยตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม แบ่งออกเป็น 2 คาบ (Session) คาบละ 2 ชั่วโมง เพื่อนำเส้นฐานที่ได้มาประมวลผลปรับแก้โครงข่าย ดังภาพ 4-1(ก) และทำการตรวจสอบคุณภาพของงานรังวัดหลักหมุดควบคุม BUU-01 ให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน Federal Geodetic Control Committee: FGCC ที่จะนำไปเป็นสถานีควบคุมโครงข่ายจุดควบคุมภาคพื้น GCP ต่อไปดังนี้

คาบที่ 1 ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ที่หมุด 3657 ภูเก็ต หมุด 3356 พังงา และหมุด BUU-01 บริเวณสนามบินภูเก็ต จะได้เส้นฐานจำนวน 2 เส้นฐาน คือ 3657 – BUU-01 และ 3657 – 3356

คาบที่ 2 ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ที่หมุด 3657 ภูเก็ต และ หมุด BUU-01 บริเวณสนามบินภูเก็ต จะได้เส้นฐานจำนวน 1 เส้นฐาน คือ 3657 – BUU-01



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-1 การเชื่อมต่อโครงข่ายงานวิจัย (ก) และโครงข่ายจุดควบคุมภาคพื้น GCP (ข)

ที่มา ปรับปรุงจากภาพถ่ายดาวเทียม Google Earth (ใช้เป็นภาพประกอบเพื่อให้เข้าใจได้ง่าย)

1.2 การสำรวจโครงข่ายจุดควบคุมภาคพื้น GCP

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบโครงข่ายจุดควบคุมภาคพื้น GCP ซ้อนทับเข้ากับหมุดควบคุมภาคพื้น GCP ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) หรือ GISTDA ที่ได้ทำการรังวัดค่าพิกัดเมื่อ พ.ศ. 2552 แต่ในการรังวัดโครงข่ายจุดควบคุมภาคพื้น GCP ในครั้งนี้จะใช้ สถานีอ้างอิง BUU-01 เป็นสถานีควบคุม โดยใช้วิธีการรังวัดดาวเทียมแบบสถิตอย่างรวดเร็ว (Rapid Static Survey) ซึ่งจะให้ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งอยู่ระหว่าง 1-3 เซนติเมตร สำหรับเส้นทางที่ยาวไม่เกิน 15 กิโลเมตร โดยในการรังวัดครั้งนี้ได้แบ่งการรังวัดสัญญาณดาวเทียมออกเป็นคาบเวลา (Session) คาบละ 30 นาที ทำการรังวัดเส้นทางจำนวน 13 เส้นทาง ดังภาพ 4-1(ข) เพื่อนำมาประมวลผลการเข้าบรรจบของเส้นทาง (Loop Closure) และตรวจสอบคุณภาพของงานรังวัดจุดควบคุมภาคพื้น GCP ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน Federal Geodetic Control Committee (FGCC) ดังนี้

คาบที่ 1 ตั้งเครื่องรังวัดสัญญาณที่ สถานีฐาน (Based) 26133432 และสถานีจร (Rover) คือ หมุดหมายเลข 26133418 และหมุดหมายเลข 26133495 ได้เส้นทางจำนวน 2 เส้นทาง คือ 26133432 – 26133418 และ 26133432 – 26133495

คาบที่ 2 ตั้งเครื่องรังวัดสัญญาณที่ สถานีฐาน (Based) 26133418 และสถานีจร (Rover) คือ หมุดหมายเลข 26133495 และหมุดหมายเลข BUU-01 ได้เส้นทางจำนวน 2 เส้นทาง คือ 26133418 – BUU-01 และ 26133418 – 26133495

คาบที่ 3 ตั้งเครื่องรังวัดสัญญาณที่ สถานีฐาน (Based) 26133485 และสถานีจร (Rover) คือ หมุดหมายเลข 26133427 และหมุดหมายเลข BUU-01 ได้เส้นทางจำนวน 2 เส้นทาง คือ 26133485 – 26133427 และ 26133485 – BUU-01

คาบที่ 4 ตั้งเครื่องรังวัดสัญญาณที่ สถานีฐาน (Based) 26133461 และสถานีจร (Rover) คือ หมุดหมายเลข BUU-01 และหมุดหมายเลข 26133418 ได้เส้นทางจำนวน 2 เส้นทาง คือ 26133461 – BUU-01 และ 26133461 – 26133418

คาบที่ 5 ตั้งเครื่องรังวัดสัญญาณที่ สถานีฐาน (Based) 26133418 และสถานีจร (Rover) คือ หมุดหมายเลข 26133432 และหมุดหมายเลข BUU-01 ได้เส้นทางจำนวน 2 เส้นทาง คือ 26133418 – 26133432 และ 26133418 – BUU-01

คาบที่ 6 ตั้งเครื่องรังวัดสัญญาณที่ สถานีฐาน (Based) 26133427 และสถานีจร (Rover) คือ หมุดหมายเลข 26133485 และหมุดหมายเลข 26133495 ได้เส้นทางจำนวน 2 เส้นทาง คือ 26133427 – 26133485 และ 26133427 – 26133495

คาบที่ 7 ตั้งเครื่องรังวัดสัญญาณที่ สถานีฐาน (Based) 26133485 และสถานีจร (Rover) คือ หมายเลข 26133495 และหมายเลข 26133427 ได้เส้นฐานจำนวน 2 เส้นฐาน คือ 26133485 – 26133495 และ 26133485 – 26133427

1.3 การสำรวจตำแหน่งจุดตรวจสอบ CP

การสำรวจตำแหน่งจุดตรวจสอบ CP เพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของค่า พิกัดทางราบ และประเมินระดับความน่าเชื่อถือของภาพถ่ายภายหลังการปรับแก้ด้วยพอลิโนเมียล หลายตัวแปรลำดับที่สอง (Second Order Polynomial) เนื่องจากตำแหน่งจุดตรวจสอบ CP ใน การศึกษาวิจัยนี้ คือ ตำแหน่งข้อมูลในการศึกษาหาความคลาดเคลื่อนของข้อมูลในการเดินอากาศ (ตารางที่ 3-2) ที่ประกอบด้วย ตำแหน่งสถานีวิทยุช่วยในการเดินอากาศและตำแหน่งจุดเริ่มต้นทางวิ่ง (Runway Threshold) ตั้งอยู่ในพื้นที่ ที่เป็นแหล่งต้นกำเนิดการแพร่กระจายคลื่นวิทยุทั้ง (Amplitude Modulation: AM) และ (Frequency Modulation: FM) ที่ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการรังวัด ตำแหน่งด้วยสัญญาณดาวเทียม GPS (Kennedy, 2002)



ภาพที่ 4-2 การรังวัดตำแหน่งจุดตรวจสอบ CP ปรับปรุงจากภาพถ่ายดาวเทียม Google Earth (เป็นภาพประกอบเพื่อให้เข้าใจได้ง่าย)

ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเรื่องสัญญาณคลื่นวิทยุรบกวน (Signal Radio Interference) ในการศึกษาวิจัยนี้ จึงได้พิจารณาเลือกใช้การรังวัดพิกัดตำแหน่งจุดตรวจสอบ CP ด้วยกล้องสำรวจแบบประมวลผลรวม ตารางที่ 4-1 และภาพที่ 4-2 0.00°

ตารางที่ 4-1 ค่าพิกัดจุดตรวจสอบ CP

Sta.	BS	FS	Degree	Azim	Dis. (m)	Coordinate WGS-84	
						N	E
ST-1						08 06 46.75289	098 18 19.04585
	VTSP-A		0.00°	292.29°	24.723	08 06 47.05650	098 18 18.29834
		LLZ/DME	98.33°	30.53°	35.921	08 06 47.76004	098 18 19.64189
		DVOR/DME	128.03°	60.22°	217.316	08 06 50.26623	098 18 25.20687
		FLY NAVY	159.61°	91.98°	739.814	08 06 45.95845	098 18 43.19805
		ARP	164.28°	96.46°	442.692	08 06 45.13156	098 18 33.41416
		THR-09	310.30°	242.59°	243.270	08 06 43.10749	098 18 11.99175
ST-2						08 06 45.95845	098 18 43.19805
	ST-1		0.00°	271.89°	739.823	08 06 46.75289	098 18 19.04585
		VTSP-C	176.23°	88.13°	1733.284	08 06 47.79844	098 19 39.78411
ST-3						08 06 47.79844	098 19 39.78411
	ST-2		0.00°	268.13°	1733.284	08 06 45.95845	098 18 43.19805
		THR-27	158.55°	65.87°	326.797	08 06 52.14711	098 19 49.52594
		GS	225.87°	308.18°	35.708	08 06 47.07997	098 19 40.70096

การตรวจสอบ และประมวลผลข้อมูล

ข้อมูลค่าพิกัด ที่รังวัดได้จากภาคสนามนั้นยังเป็นข้อมูลดิบจากสัญญาณดาวเทียม GPS จำเป็นต้องนำมาประมวลผล ด้วยโปรแกรม LEICA Geo Office ร่วมกับข้อมูลปรับแก้วงโคจรดาวเทียม (Ephemeris) ที่ถูกต้องซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล และผลการปรับแก้โครงข่ายแบบอิสระ (Free Adjustment) มีขั้นตอน ดังนี้

1. ตรวจสอบข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้น เช่นค่า Ratio และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. ตรวจสอบวงรอบเข้าบรรจบ เพื่อตรวจสอบความเข้าบรรจบของเส้นฐานเมื่อบรรจบเข้าด้วยกันในแต่ละวงรอบเป็นโครงข่าย

3. ตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความเข้ากันของข้อมูลการรังวัด

4. ตรวจสอบการปรับแก้แบบอิสระ โดยโปรแกรม LEICA Geo Office รวมถึงการประเมินค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของข้อมูลจุดควบคุมภาคพื้น GCP ที่มีการรังวัดค่าพิกัดต่างช่วงเวลากันคือใน ปี 2552 และ ปี 2553 เพื่อตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงเชิงตำแหน่งของจุดควบคุมภาคพื้น GCP ในการวิจัยครั้งนี้ ก่อนนำไปเป็นค่าสมการร่วมในการปรับแก้เชิงเรขาคณิตภาพถ่าย

การประมวลผล การเชื่อมต่อโครงข่ายงานวิจัย

1. ผลการประมวลผลเส้นฐาน ปกติ

2. ผลการตรวจสอบค่าวงรอบเข้าบรรจบ (Loop Closure) การรังวัดเชื่อมต่อโครงข่ายงานวิจัย ภาพที่ 4-3 (ก)

BUU-01 - สถานี 3657 - สถานี 3356 - BUU-01 ได้ค่าเท่ากับ 0.1 PPM

3. ผลการปรับแก้โครงข่าย ตามภาค ผนวก ค.

การประมวลผลโครงข่ายจุดควบคุมภาคพื้น GCP

1. ผลการประมวลผลเส้นฐาน ปกติ

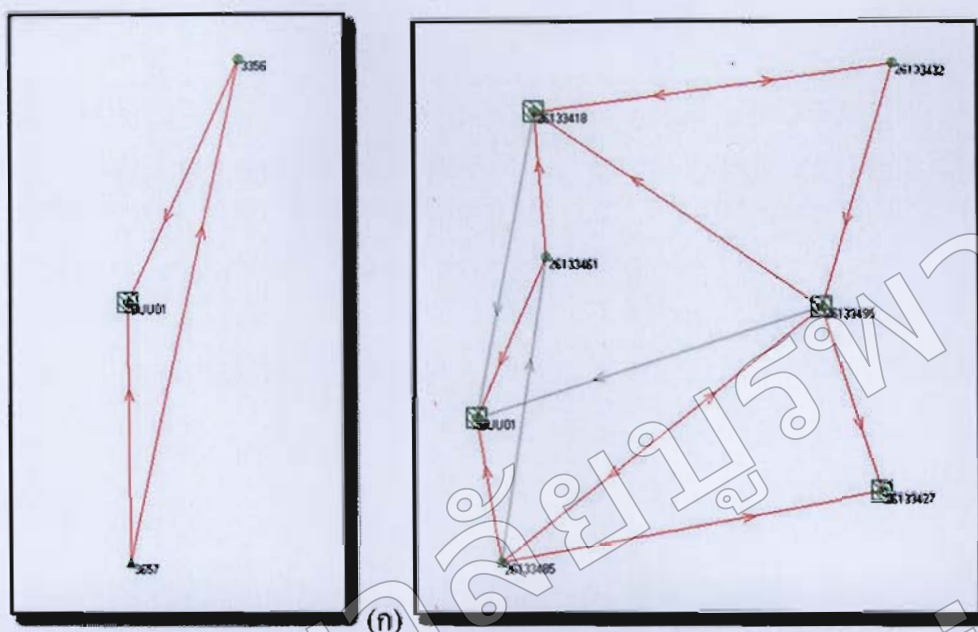
2. ผลการตรวจสอบค่าวงรอบเข้าบรรจบ ของวงรอบการรังวัดการเชื่อมต่อโครงข่าย ภาพที่ 4-3 (ข)

BUU-01 - 26133418 - 26133495 - 26133485 - 26133416 - BUU-01 ได้ค่าเท่ากับ 2.5 PPM

26133495 - 26133427 - 26133485 - 26133495 ได้ค่าเท่ากับ 2.1 PPM

26133495 - 26133432 - 26133418 - 26133495 ได้ค่าเท่ากับ 1.0 PPM

3. ผลการปรับแก้โครงข่าย ตามภาค ผนวก ค.



ภาพที่ 4-3 การปรับแก้โครงข่ายจุดควบคุมภาคพื้น GCP

ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของจุดควบคุมภาคพื้น GCP ก่อนนำไปใช้เป็นค่าสมการร่วมในการปรับแก้เชิงเรขาคณิตภาพถ่าย พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของจุด GCP ของ GISTDA ที่รังวัดพิกัด เมื่อปี 2552 กับการรังวัดพิกัดในการวิจัยนี้ ที่มีช่วงระยะเวลาห่างกัน 1 ปี พบว่ามีความเปลี่ยนแปลงเชิงตำแหน่งสูงสุด คือจุด 26133427 เปลี่ยนแปลงไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ 2.4 เซนติเมตร ตารางที่ 4-2 และได้จำลองค่าพิกัดตำแหน่งของจุดควบคุมภาคพื้น GCP เพื่อหาขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงเชิงตำแหน่ง ก่อนและหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งใหญ่ โดยใช้ข้อมูลสถานีควบคุม หมายเลข 3657 ปี 2542 และหมายเลข 3356 ปี 2538 ก่อนการปรับแก้โครงข่าย GPS ประเทศไทยของกรมแผนที่ทหาร พบว่าจุดควบคุมภาคพื้น GCP มีการเปลี่ยนแปลงเชิงตำแหน่งไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ที่มุมอซิมุทเท่ากับ 249.25 องศาเหนือ มีระยะทางที่วัดได้ เท่ากับ 64.4 เซนติเมตร ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-2 ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของจุดควบคุมภาคพื้น GCP

Point Num.	March 2552 by GISTDA		April 2553 by Thesis		Coordinate Diff	
	Lat (N)	Long (E)	Lat (N)	Long (E)	Diff. E m.	Diff. N m.
26133418	423681.7167	899071.1951	423681.7253	899071.1825	-0.009	0.013
26133427	427451.5642	894915.6213	427451.5853	894915.6102	-0.021	0.011
26133432	427590.4781	899583.0361	427590.4741	899583.0300	0.004	0.006
26133461	423795.8929	897472.8638	423795.8999	897472.8518	-0.007	0.012
26133485	423291.7411	894155.1624	423291.7506	894155.1605	-0.010	0.002
26133495	426810.6547	896932.8318	426810.6583	896932.8312	-0.004	0.001

ตารางที่ 4-3 ค่าแตกต่างของจุด GCP ก่อนและหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหว

Point Num.	จำลองข้อมูล ก่อนเหตุการณ์แผ่นดินไหว		ข้อมูลรังวัดพิกัดปี 2553		Coordinate Diff	
	Lat (N)	Long (E)	Lat (N)	Long (E)	Diff. E m.	Diff. N m.
26133418	899071.392	423681.772	899072.032	423682.013	-0.640	-0.241
26133427	894915.820	427451.622	894916.475	427451.837	-0.654	-0.214
26133432	899583.239	427590.511	899583.884	427590.767	-0.644	-0.256
26133461	897473.063	423795.938	897473.703	423796.188	-0.640	-0.249
26133485	894155.372	423291.789	894156.016	423292.040	-0.644	-0.251
26133495	896933.041	426810.695	896933.681	426810.946	-0.640	-0.251
Sum					-3.863	-1.463
Average					-0.644	-0.244

การปรับแก้เชิงเรขาคณิตภาพถ่ายทางอากาศ

ในส่วนนี้จะเป็นการนำภาพถ่ายทางอากาศปี 2552 ที่บินถ่ายภาพโดย กรมแผนที่ทหาร ภาพที่ 4-4 มาทำการปรับแก้เชิงเรขาคณิต เพื่อให้ภาพถ่ายมีความถูกต้องเชิงตำแหน่งกับพื้นผิวโลก ด้วยสมการพอลิโนเมียลหลายตัวแปรลำดับที่สอง ที่ได้จากการรังวัดพิกัดด้วยความเทียม GPS ตามข้อ 4.1.1.2 ร่วมกับโปรแกรมทางภูมิสารสนเทศ



ภาพที่ 4-4 ภาพถ่ายทางอากาศสีขาว/ดำ ก่อนปรับแก้เชิงเรขาคณิต



ภาพที่ 4-5 ตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้น GCP ที่นำมาปรับบนภาพถ่ายทางอากาศ



ภาพที่ 4-6 ตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้น GCP บนภาพถ่ายทางอากาศ (ซ้าย) และภาพที่ผ่านกระบวนการปรับแก้พิกัดทางภูมิศาสตร์ให้สัมพันธ์กับตำแหน่งจริงบนพื้นโลก (ขวา)

การตรวจสอบความละเอียดถูกต้องของข้อมูลเชิงพื้นที่

ขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบความถูกต้องข้อมูลเชิงพื้นที่ ของภาพถ่ายทางอากาศที่ผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิต ด้วยสมการพอลิโนเมียลหลายตัวแปรลำดับที่สองโดยใช้มาตรฐาน National Standard for Spatial Data Accuracy: NSSDA ของ Federal Geographic Data Committee: FGDC เป็นเกณฑ์มาตรฐานสำหรับงานวิจัยนี้ ที่มีสูตรสมการทางคณิตศาสตร์ และผลการตรวจสอบ ดังตารางที่ 4-4 และผลการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ได้จากการรังวัดภาคสนาม กับการรังวัดด้วยภาพถ่าย ดังตารางที่ 4-5 และ 4-6

$$RMSE_x = \sqrt{\sum (X_{data\ i} - X_{check\ i})^2 / n}$$

$$RMSE_y = \sqrt{\sum (Y_{data\ i} - Y_{check\ i})^2 / n}$$

$$RMSE_r (\text{ทางราบ}) = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2}$$

$$Accuracy_r (\text{ทางราบ}) = 1.7308 \times RMSE$$

ตารางที่ 4-4 ค่าสมการทดสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายหลังการปรับแก้

	THR-09	THR-27	ANT.LLZ	ANT.DVOR	ANT.GS	FLYNAVY
$X_{data\ i}$	423246.063	426233.192	423418.596	423651.889	425961.228	424203.713
$Y_{data\ i}$	896724.436	897015.622	896885.055	896961.941	898860.090	896831.647
$X_{check\ i}$	423246.735	426234.079	423481.870	423651.556	425960.324	424204.079
$Y_{check\ i}$	896741.821	897015.252	896884.010	896960.260	896861.062	896830.786
Diff in X	-0.672	-0.887	-0.274	0.333	0.905	-0.366
Diff in X^2	0.452	0.787	0.075	0.111	0.819	0.134
Diff in Y	0.615	0.370	1.045	1.680	-0.973	0.860
Diff in Y^2	0.379	0.137	1.091	2.823	0.946	0.740
$X^2 + Y^2$	0.831	0.923	1.166	2.934	1.765	0.874
Sum ($X^2 + Y^2$)						8.494
Average (X,Y)						1.416
RMSE (X,Y)						1.190
NSSDA						2.059
Map Scale						1: 8,236

ตารางที่ 4-5 เปรียบเทียบข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ได้จากการรังวัด GPS กับภาพถ่ายทางอากาศปี 52

Positions	Coordinate by Survey		Coordinate in Aerial map Thesis		Coordinate Diff	
	N	E	N	E	N	E
ARP	896803.7058	423902.6433	896804.5185	423902.2114	0.813	-0.432
THR-09	896741.3987	423242.0211	896742.2283	423241.8083	0.830	-0.213
THR-27	897015.4912	426237.4140	897014.9082	426237.6908	-0.583	0.277
DVOR/DME	896960.2522	423651.5495	896961.8151	423651.7266	1.563	0.177
LLZ/DME	896884.0098	423481.8696	896885.1288	423481.2656	1.119	-0.604
GS	896860.7966	425960.8011	896860.0698	425962.0272	-0.727	1.226
MM	-	-	897102.1891	427010.2401	-	-

ตารางที่ 4-6 เปรียบเทียบข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ได้จากการรังวัด GPS กับภาพถ่ายทางอากาศปี 45

Positions	Coordinate by Survey		Coordinate in Orthophoto map		Coordinate Diff	
	N	E	N	E	N	E
ARP	896803.7058	423902.6433	896801.2960	423900.9205	-2.410	-1.723
THR-09	896741.3987	423242.0211	896740.8732	423244.0095	-0.525	1.988
THR-27	897015.4912	426237.4140	897017.1601	426231.3886	1.669	-6.025
DVOR/DME	896960.2522	423651.5495	896961.1480	423648.5211	0.896	-3.028
LLZ/DME	896884.0098	423481.8696	-	-	-	-
GS	896860.7966	425960.8011	896860.8157	425949.2326	0.019	-11.568
MM	-	-	897099.4228	427006.0275	-	-

การวิเคราะห์หาความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งข้อมูลการเดินอากาศ

ขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศปี 52 ที่ผ่านการปรับแก้เชิงเรขาคณิตที่มีความสัมพันธ์เชิงตำแหน่งกับพื้นโลกมาวิเคราะห์เปรียบเทียบหาความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของข้อมูลการเดินอากาศ สนามบินภูเก็ต ที่ประกาศใน AIP-Thailand หน้าที่ VTSP AD 2-1 10, AD 2-13, AD2-17 ที่ประกาศใช้ในเดือน ธันวาคม 2551 จนถึงปัจจุบัน เปรียบเทียบกับสมมติฐานจากผลงานวิจัย เรื่องผลกระทบจากการเคลื่อนตัวอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ต่อการปรับแก้โครงข่ายในประเทศไทย (เอกภพ ภาณุมาศตระกูล และคณะ, 2552) ที่ได้สรุปไว้ว่า “ขณะเกิดแผ่นดินไหวจังหวัดภูเก็ต มีการเคลื่อนที่วัดได้เป็นระยะทาง 28 เซนติเมตร ไปในทิศตะวันตกเฉียงใต้ และได้ทำการตรวจวัดซ้ำในเดือน พฤศจิกายน 2551 พบว่ามีการเคลื่อนตัวเพิ่มขึ้นวัดได้เป็นระยะ 66.4 เซนติเมตร ไปในทิศตะวันตกเฉียงใต้เช่นเดิม” อีกทั้งยังสอดคล้องกับในการวิจัยนี้ ได้จำลองเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเชิงตำแหน่งของจุดควบคุมภาคพื้น GCP ก่อนและหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งใหญ่เมื่อวันที่ 26 ธันวาคม 2547 โดยใช้ข้อมูลหลักหมุดควบคุมโครงข่าย GPS ของกรมแผนที่ทหาร ก่อนปรับแก้โครงข่าย GPS ปี 2548 ประกอบด้วย ข้อมูลพิกัดสถานี 3657 ปี 2542 และข้อมูลพิกัด สถานี 3356 ปี 2537 ใช้เป็นจุดควบคุมการปรับแก้โครงข่ายจุดควบคุมภาคพื้น GCP พบว่าตำแหน่งพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้น GCP ทั้ง 6 ตำแหน่ง มีการเปลี่ยนแปลงเชิงตำแหน่งไปใน ทิศทางตะวันตกเฉียงใต้ ที่มุมอิมิฐ 249.25 องศา และมีระยะทางเท่ากับ 64.4 เซนติเมตร ดังตารางที่ 4-4 ที่แสดงผลการเปลี่ยนแปลงทั้งทิศทางและระยะทางสอดคล้องกับผลงานวิจัยที่ เอกภพ ภาณุมาศตระกูล และคณะ ได้สรุปไว้ และที่นำมาเป็นสมมติฐาน

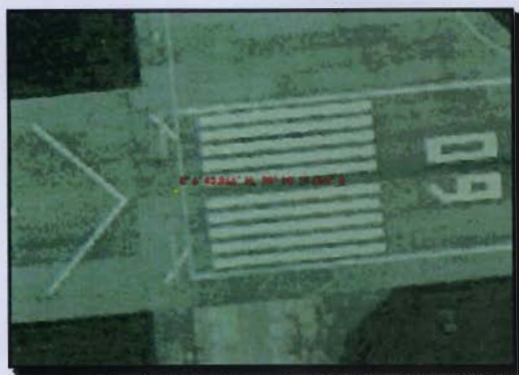
ในการวิจัยศึกษา เพื่อหาความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของข้อมูลการเดินอากาศของสนามบินภูเก็ต ภายหลังจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งใหญ่ วันที่ 26 ธันวาคม 2547 ที่ส่งผลให้แผ่นดินเปลือกโลกมีการเคลื่อนที่ ได้ส่งผลกระทบต่อข้อมูลการเดินอากาศของสนามบินภูเก็ต ที่ใช้ในการเดินอากาศในปัจจุบันนั้น ยังอยู่ในเกณฑ์ความถูกต้อง ตามมาตรฐานที่องค์การการบินพลเรือนกำหนด (ICAO, 2002) หรือไม่

ตารางที่ 4-7 ค่าแตกต่างเชิงตำแหน่งของจุด GCP ก่อนและหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหว

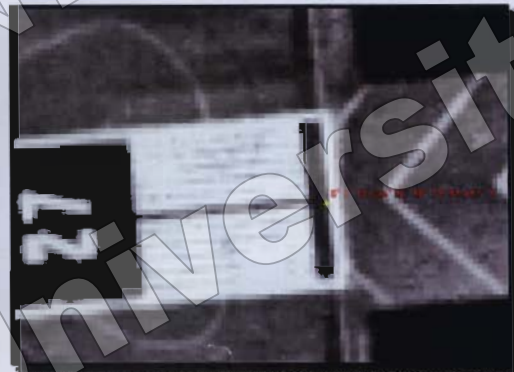
Point Num.	จำลองข้อมูล ก่อนเหตุการณ์แผ่นดินไหว		ข้อมูลรังวัดพิกัด ปี 2553		Coordinate Diff	
	Lat (N)	Long (E)	Lat (N)	Long (E)	Diff. E m.	Diff. N m.
26133418	899071.392	423681.772	899072.032	423682.013	-0.640	-0.241
26133427	894915.820	427451.622	894916.475	427451.837	-0.654	-0.214
26133432	899583.239	427590.511	899583.884	427590.767	-0.644	-0.256
26133461	897473.063	423795.938	897473.703	423796.188	-0.640	-0.249
26133485	894155.372	423291.789	894156.016	423292.040	-0.644	-0.251
26133495	896933.041	426810.695	896933.681	426810.946	-0.640	-0.251
Sum					-3.863	-1.463
Average					-0.644	-0.244

1. การเปรียบเทียบภาพออร์โธรีโอฟปี 2545 กับภาพปรับแก้เชิงเรขาคณิตปี 2552

ในส่วนนี้จะเป็นการนำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่ผ่านการปรับแก้เชิงเรขาคณิตมาเปรียบเทียบหาความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งได้แก่ ภาพถ่ายออร์โธรีโอฟได้ (Orthophoto) ปี 2545 ของกรมพัฒนาที่ดิน ที่กำหนดให้เป็นตัวแทนของข้อมูลก่อนการเปลี่ยนแปลง กับภาพถ่ายทางอากาศที่ผ่านการปรับแก้เชิงเรขาคณิตที่ได้จากการศึกษาวิจัยนี้ และกำหนดให้เป็นตัวแทนของข้อมูลหลังเกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงตำแหน่ง จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งใหญ่ พ.ศ. 2547 จากที่ได้ทำการเปรียบเทียบแล้ว ปรากฏว่าตำแหน่งของข้อมูลการเดินอากาศ มีการคลาดเคลื่อนไม่สอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย ที่ควรจะมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศตะวันตกเฉียงใต้ ที่มุมอสมุท 249.25 องศา โดยมีระยะทางประมาณ 64.4 เซนติเมตร ดังภาพที่ 4-7 ถึง 4-12 และได้เปรียบเทียบค่าพิกัดความแตกต่างที่วัดได้ ในตารางที่ 4-5



ภาพที่ 4-7 ความแตกต่างเชิงตำแหน่งของ THR 09



ภาพที่ 4-8 ความแตกต่างเชิงตำแหน่งของ THR 27



ภาพที่ 4-9 ความแตกต่างเชิงตำแหน่งของสถานีวิทยุช่วยเดินอากาศ DVOR/DME



ภาพที่ 4-10 ความแตกต่างเชิงตำแหน่งของสถานีวิทยุช่วยเดินอากาศ LLZ/DME



ภาพที่ 4-11 ความแตกต่างเชิงตำแหน่งของสถานีวิทยุช่วยเดินอากาศ GS



ภาพที่ 4-12 ความแตกต่างเชิงตำแหน่งของสถานีวิทยุช่วยเดินอากาศ MM

ตารางที่ 4-8 ความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของข้อมูลการเดินอากาศของสนามบินภูเก็ต

Positions	Aerial photo		Orthophoto		Diff m.	
	N_UTM	E_UTM	N_UTM	E_UTM	N (Diff)	E (Diff)
ARP	896803.7193	423902.6385	896801.2960	423900.9205	-2.423	-1.718
THR-09	896741.3987	423242.0211	896740.8732	423244.0095	-0.525	1.988
THR-27	897014.9082	426237.414	897017.1601	426231.3886	2.252	-6.025
DVOR/DME	896961.8181	423651.7358	896961.1480	423648.5211	-0.670	-3.215
LLZ/DME	896885.1288	423481.2656	-	-	-	-
GS	896860.0882	425962.0241	896860.8157	425949.2326	0.728	-12.791
MM	897101.0453	427009.213	897099.4228	427006.0275	-1.623	-3.185

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จึงพิจารณาใช้ภาพปรับแก้เชิงเรขาคณิต ภาพถ่ายทางอากาศปี 2552 มาเปรียบเทียบกับข้อมูลการเดินอากาศที่ประกาศใช้งานในปัจจุบัน ดังแสดงใน ตารางที่ 4-6 และนำผลการเปรียบเทียบที่ได้ ไปเปรียบเทียบกับสมมุติฐานการวิจัยเพื่อหาความสอดคล้องเชิงระยะและทิศทางการคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งอีกครั้งว่า ความคลาดเคลื่อนที่ตรวจพบนั้นมีความสอดคล้องกับการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกหรือไม่ และผลของการคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ มาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งข้อมูลการเดินอากาศ (ICAO, 2002) ดังแสดงใน ตารางที่ 4-7

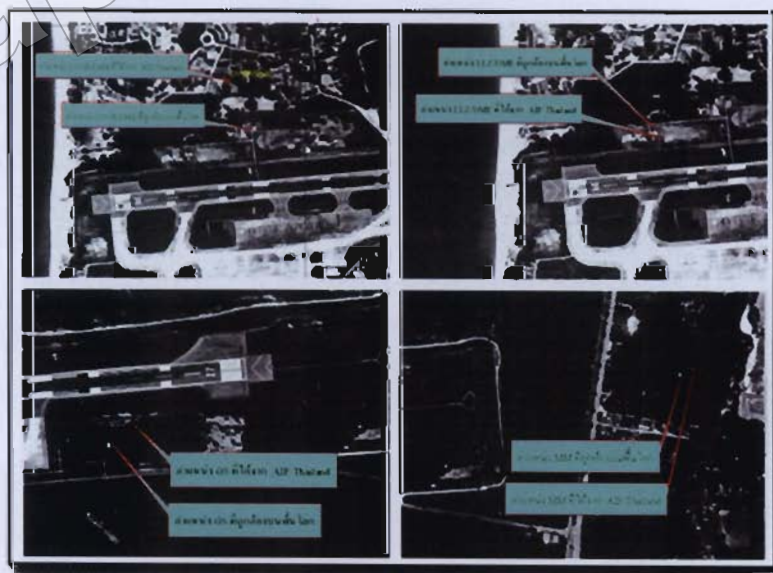
ตารางที่ 4-9 ความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของข้อมูลการเดินอากาศของสนามบินภูเก็ต

Positions	AIP-Thailand		Aerial photo		Diff m.	
	N_UTM	E_UTM	N_UTM	E_UTM	N (Diff)	E (Diff)
ARP	896799.687	423889.9613	896803.5594	423902.7208	-3.872	-12.759
THR-09	896743.0525	423244.7172	896742.2164	423246.9468	0.836	-2.230
THR-27	897019.6483	426230.9642	897014.8698	426232.7743	4.779	-1.810
DVOR/DME	897102.1152	423574.9438	896961.8151	423651.7266	140.300	-76.783
LLZ/DME	896874.7008	423483.9654	896885.1288	423481.2656	-10.428	2.700
GS	896896.5578	426008.2667	896860.0698	425962.0272	36.488	46.239
MM	897114.7626	427034.484	897102.1891	427010.2401	12.574	24.244

ตารางที่ 4-10 ความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของข้อมูลการเดินอากาศของสนามบินภูเก็ต

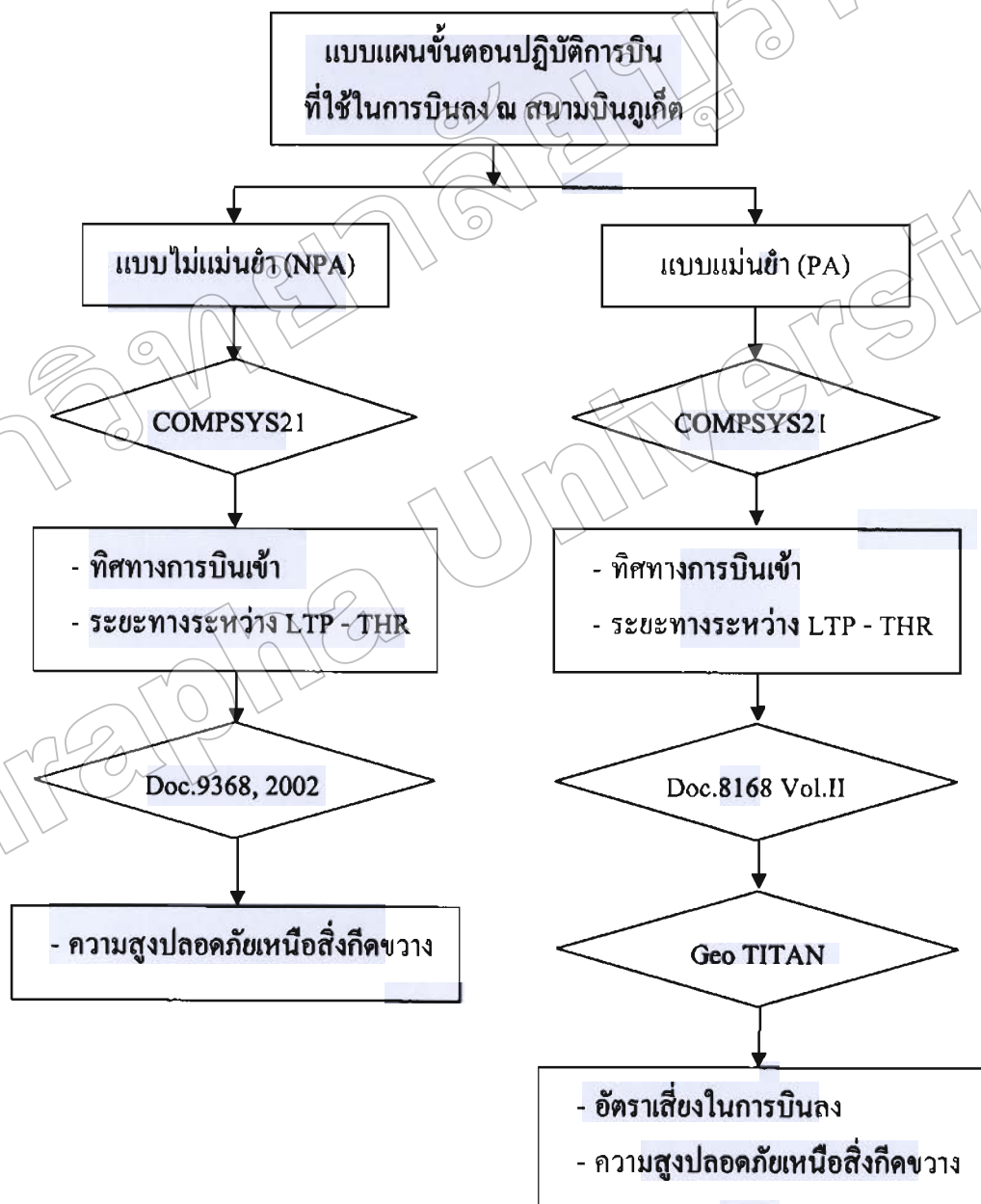
Positions	Error positional		Diff from hypothesis		ICAO
	Azimuth	Distance (m.)	Azimuth	Distance (m.)	Requirement (m.)
ARP	253.02°	13.339	-	-	30.0
THR-09	290.65°	2.379	41.40°	1.379	1.0
THR-27	339.27°	5.113	90.02°	4.113	1.0
DVOR/DME	331.21°	159.989	81.96°	156.989	3.0
LLZ/DME	165.39°	10.775	-83.86°	7.775	3.0
GS	51.63°	58.922	-197.62°	55.922	3.0
MM	62.49°	27.319	-186.76°	24.319	3.0

ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลการเดินอากาศ สนามบินภูเก็ต ที่ตรวจพบได้จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ มีขนาดและทิศทางที่ไม่สอดคล้องกับการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก ดังตารางที่ 4-10 และภาพที่ 4-13 ที่ผลการศึกษาวิจัย ผลกระทบจากการเคลื่อนตัวอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ต่อการปรับแก้โครงข่ายในประเทศไทย (เอกภพ ภาณุมาศตระกูล และคณะ, 2552) ได้สรุปว่า หลังเหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งใหญ่ วันที่ 26 ธันวาคม 2547 พบว่าหลักหมุดอ้างอิง ด้านแผนที่ของประเทศ เฉพาะที่จังหวัดภูเก็ต มีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ วัดเป็นระยะทางได้ 66.4 เซนติเมตร

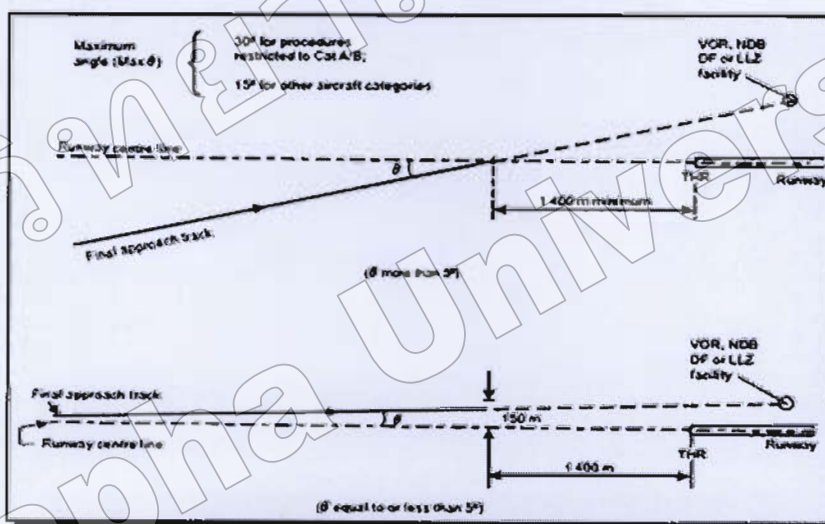


ภาพที่ 4-13 ความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของสถานีวิทยุช่วยในการเดินอากาศ

2. วิเคราะห์ผลกระทบ ที่เกิดขึ้นกับการใช้งานข้อมูลการเดินอากาศที่มีความคลาดเคลื่อน ในส่วนนี้จะเป็นการนำข้อมูลความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งที่ได้จากการศึกษาวิจัย ตาม ตารางที่ 4-10 มาทำการวิเคราะห์ผลกระทบด้านความปลอดภัยต่อการใช้งานแบบแผนขั้นตอน ปฏิบัติการบินเข้าหาด้วยเครื่องตรวจวัดเพื่อลงจอด ณ สนามบินภูเก็ต ทั้งแบบไม่แม่นยำ NPA และ แบบแม่นยำ PA ด้วยระบบวิทยุช่วยในการบินลง (Instrument Landing System: ILS) ที่ใช้ในการบินลง อยู่ในปัจจุบัน ตามภาคผนวก ง. โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังนี้

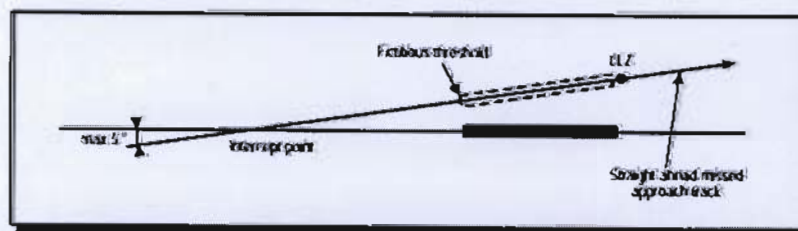


การคำนวณหารทิศทางสุดท้ายในการบินเข้าหา และระยะทางระหว่างตำแหน่งเริ่มต้นลงจอด (Landing Threshold Point: LTP) ถึงตำแหน่งจุดเริ่มต้นทางวิ่ง (Runway Threshold) ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้พิจารณาใช้ซอฟต์แวร์ Digital Aeronautical Database System ที่พัฒนาขึ้นโดยสำนักงานบริหารการบินแห่งชาติ สหรัฐอเมริกา (Federal Aviation Administration: FAA) ที่มีคุณสมบัติในการคำนวณตำแหน่ง และระยะทางในด้านการเดินอากาศโดยเฉพาะ อีกทั้งมีคุณสมบัติเป็นฟรีแวร์ที่ให้ผู้ใช้งานสามารถนำไปติดตั้งใช้งานได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้ที่ www.naco.faa.gov/index.asp?xml=naco/online/compsys นำมาใช้ในการกำหนดหาตำแหน่งจุดเริ่มต้นในการลงจอด ที่ซึ่งเป็นจุดตัด ที่เกิดจาก แนวบินสุดท้ายในการเข้าหาสนามบิน กับแนวกึ่งกลางทางวิ่ง ดังภาพที่ 4-14 และ 4-15 เพื่อนำระยะทางที่ได้มาคำนวณหาความสูง ณ จุดเริ่มต้นในการบินลง ตามภาพที่ 4-16 โดยแยกพิจารณา เป็น 2 วิธีคือ



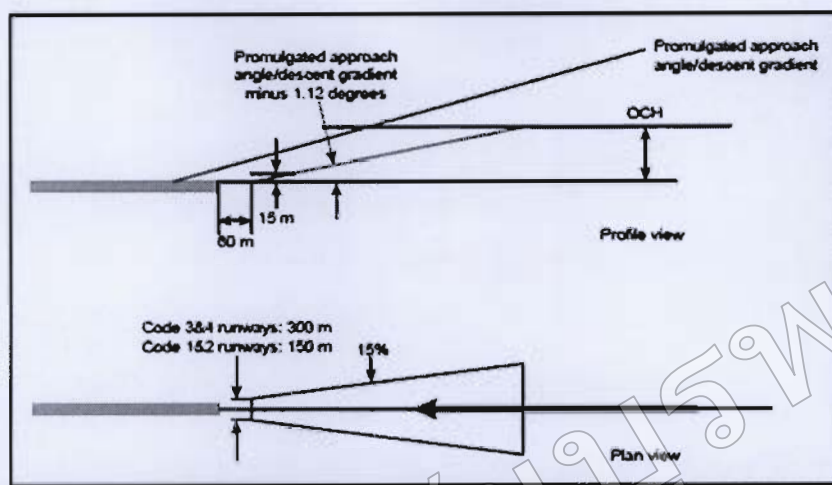
ภาพที่ 4-14 มาตรฐานการกำหนดทิศทางการบินเข้าหาสนามบินในส่วนสุดท้าย

(Doc.8168 Vol.II, Fifth Edition-2006, p. I-4-5-10)



ภาพที่ 4-15 มาตรฐานการกำหนดทิศทางการบินเข้าหาสนามบินในส่วนสุดท้าย Offset ILS

(Doc.8168, 2006, p. II-1-2-1)



ภาพที่ 4-16 พื้นที่ในส่วนของการบินด้วยทัศนวิสัยและขั้นตอนการบินตรงเข้าหาทั่วไป

(Doc.8168, 2006, p. I-4-5-17)

วิธีที่ 1 ใช้สำหรับคำนวณหาความสูงเหนือสิ่งกีดขวาง OCA/H ณ ตำแหน่งจุดเริ่มต้นในการลงจอด ของแบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการบินเข้าหาสนามบินแบบไม่แม่นยำด้วยสมการคณิตศาสตร์ คำนวณค่าความสูงเหนือสิ่งกีดขวาง OCA/H ที่ระบุในเอกสารคู่มือการออกแบบ แบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการบินเข้าหาด้วยเครื่องตรวจวัด ขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (ICAO, 2002) มีค่าสมการ ดังนี้

$$D = \text{OCA/H final approach} - \text{TCH or RDH} / \text{Descent gradient} \text{ ----- (1)}$$

D	หมายถึง ระยะทางของตำแหน่งจุดตัด ระหว่างแนวบินสุดท้าย ในการเข้าหาสนามบิน ตัดกับแนวกึ่งกลางทางวิ่ง ถึงจุดเริ่มต้นทางวิ่ง
OCA/H	หมายถึง ความสูงปลอดภัยเหนือสิ่งกีดขวาง
TCH or RDH	หมายถึง ระดับอ้างอิงเหนือทางวิ่ง มีด้วยกัน 2 ค่า คือ - TCH เท่ากับ 15 เมตร หรือ 50 ฟุต สำหรับ NPA - RDH เท่ากับ 16.76 เมตร หรือ 55 ฟุต สำหรับ PA
Descent gradient	หมายถึง มุมร่อนที่กำหนดในแบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการบินเข้าหาสนามบินแต่ละชนิด

วิธีที่ 2 ใช้สำหรับพิจารณาความสูงเหนือสิ่งกีดขวาง OCA/ H รวมถึงความเสี่ยงที่เครื่องบินจะพุ่งชนภูมิประเทศหรือสิ่งกีดขวางระหว่างทำการบินเพื่อลงจอด โดยที่องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ ได้กำหนดค่าความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นได้จะต้องไม่น้อยกว่า 1×10^{-7} หรือ 1 ใน 10 ล้าน ของการบินเข้าหาเพื่อลงจอดแต่ละครั้ง ตามแบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการบินเข้าหาสนามบินแบบแม่นยำด้วยอุปกรณ์ช่วยในการลงจอด ILS (ICAO, 2006) ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้พิจารณาใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ออกแบบ แบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการบิน ที่เป็นซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์มีชื่อเรียกว่า Geo'TITAN ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย สถาบันด้านการบินพลเรือน ของประเทศฝรั่งเศส (Ecole Nationale De l' Aviation Civil: ENAC) ที่มีคุณสมบัติการทำงานซอฟต์แวร์ได้ตามมาตรฐานที่องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ กำหนดในด้านคู่มือสำหรับการประกันคุณภาพการออกแบบ ขั้นตอนปฏิบัติการบิน (ICAO, 2009) มีความสามารถในการวิเคราะห์ประมวลผล จำลองความเสี่ยงในการบินพุ่งชน (Collision Risk Model: CRM) ภูมิประเทศหรือสิ่งกีดขวางในการบินได้ ตามคำแนะนำขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (ICAO, 2006; ICAO, 1980)

2.1 วิเคราะห์แบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการบินเข้าหาสนามบิน VOR Z RWY 09 ที่มีค่าตัวแปรในการคำนวณ ประกอบด้วย

ST-1 เท่ากับ THR 27	พิกัด $98^{\circ} 19' 49.6909''$ E $08^{\circ} 06' 52.1549''$ N
ST-2 เท่ากับ THR 09	พิกัด $98^{\circ} 18' 11.8320''$ E $08^{\circ} 06' 43.0659''$ N
ST-3 เท่ากับ DVORDME	พิกัด $98^{\circ} 18' 25.2010''$ E $08^{\circ} 06' 50.2150''$ N
ST-4 เท่ากับ FAF VOR Z RWY 09	พิกัด $98^{\circ} 12' 26.38''$ E $08^{\circ} 05' 45.35''$ N

จากสูตรคำนวณ หาค่าความสูงปลอดภัยเหนือสิ่งกีดขวาง ตามสมการที่ (1)

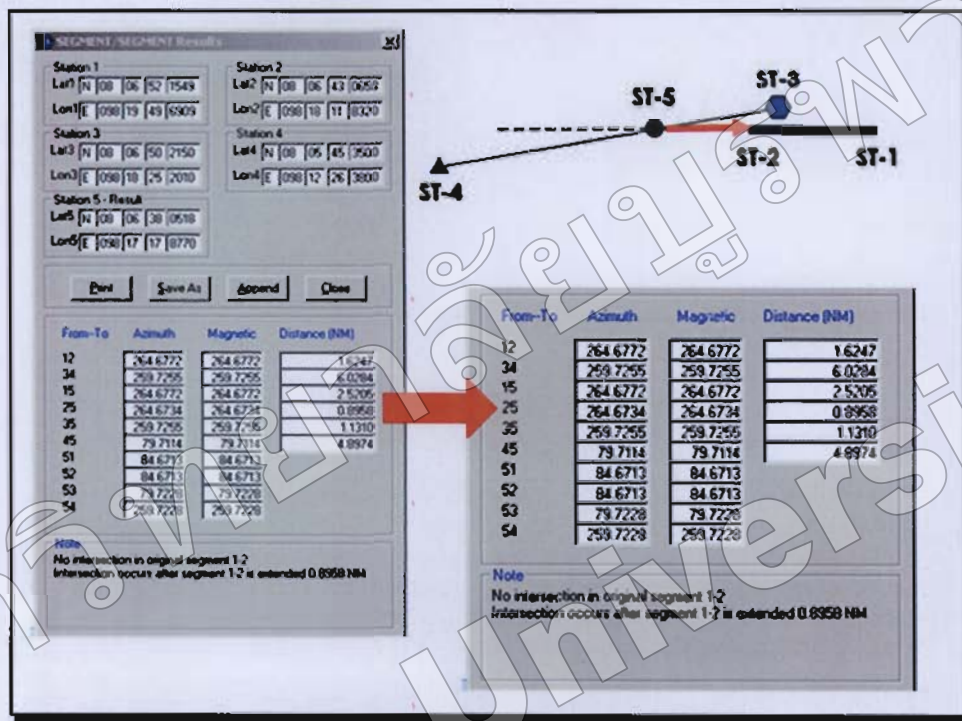
$$D = \text{OCA final approach} - \text{TCH} / \text{Descent gradient} \quad \text{----- (1)}$$

ใช้ซอฟต์แวร์ COMPSYS21 คำนวณหาระยะทางของตำแหน่งจุดตัด หรือค่า (D) เพื่อนำไปคำนวณหาค่าย้อนกลับของ ค่าความสูง OCA/H ณ ตำแหน่งจุดเริ่มต้นในการลงจอด (Landing Threshold Point: LTP) ที่แท้จริง ดังภาพที่ 4-17 ได้ระยะทางห่างจาก จุดเริ่มต้นทางวิ่ง 09 เป็นระยะทาง 0.8958 ไมล์ทะเล หรือเท่ากับ 1659.02 เมตร นำค่าที่ได้ไปแทนค่าใน สมการที่ (2)

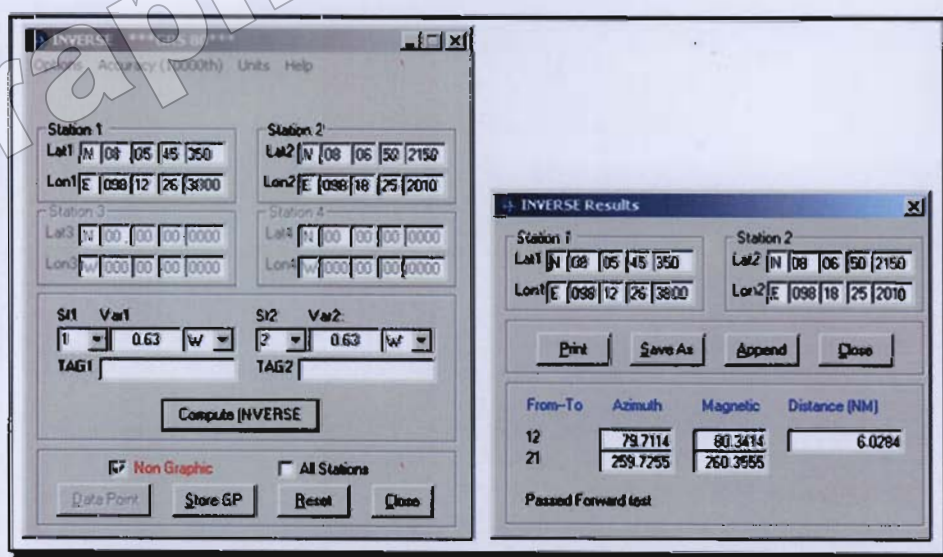
$$\text{OCA final approach} = (D \cdot \text{Descent gradient}) + \text{TCH} \quad \text{----- (2)}$$

$$\text{OCA final approach} = (1659.02 \times 0.052) + 15$$

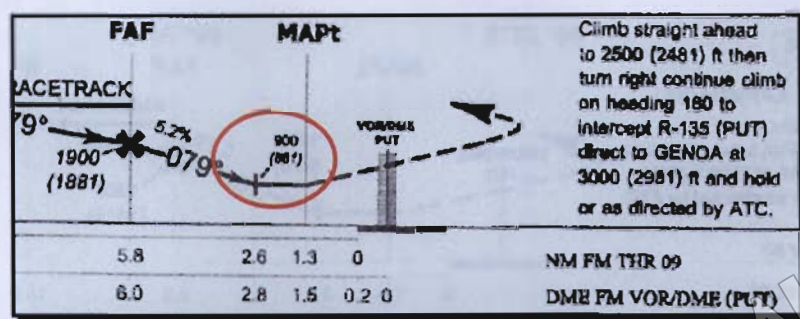
ดังนั้น OCA/H สำหรับบินลงด้วย VOR Z RWY 09 ต้องมีค่าความสูงไม่ต่ำกว่า = 101.3 เมตร หรือ เท่ากับ 332 ฟุต เหนือทางวิ่ง 09 และมีทิศทางการบินสุดท้ายในการบินเข้าหาสนามบิน ที่ 80.34 องศา (ทิศเหนือแม่เหล็ก) ดังภาพที่ 4-18



ภาพที่ 4-17 การหาตำแหน่งจุดเริ่มต้นการลงจอด ด้วย VOR Z RWY 09



ภาพที่ 4-18 การคำนวณหา ทิศทางบินสุดท้ายเพื่อลงจอดด้วย VOR Z RWY 09

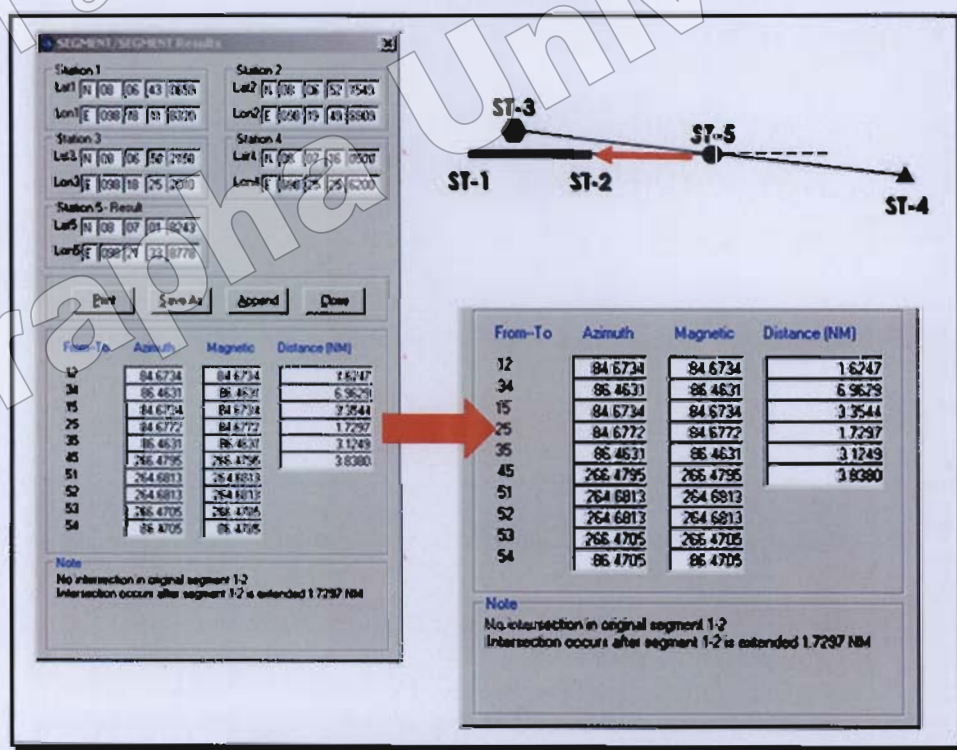


ภาพที่ 4-19 แบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการบินเข้าหาสนามบิน VOR Z RWY 09

2.2 วิเคราะห์ แบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการบินเข้าหาสนามบิน VOR Z RWY 27

มีค่าตัวแปรในการคำนวณ ประกอบด้วย

ST-1 เท่ากับ THR 09	พิกัด 98° 18' 11.8320" E 08° 06' 43.0659" N
ST-2 เท่ากับ THR 27	พิกัด 98° 19' 49.6909" E 08° 06' 52.1549" N
ST-3 เท่ากับ DVOR/DME	พิกัด 98° 18' 25.2010" E 08° 06' 50.2150" N
ST-4 เท่ากับ FAF VOR Z RWY 27	พิกัด 98° 25' 25.62" E 08° 07' 16.05" N



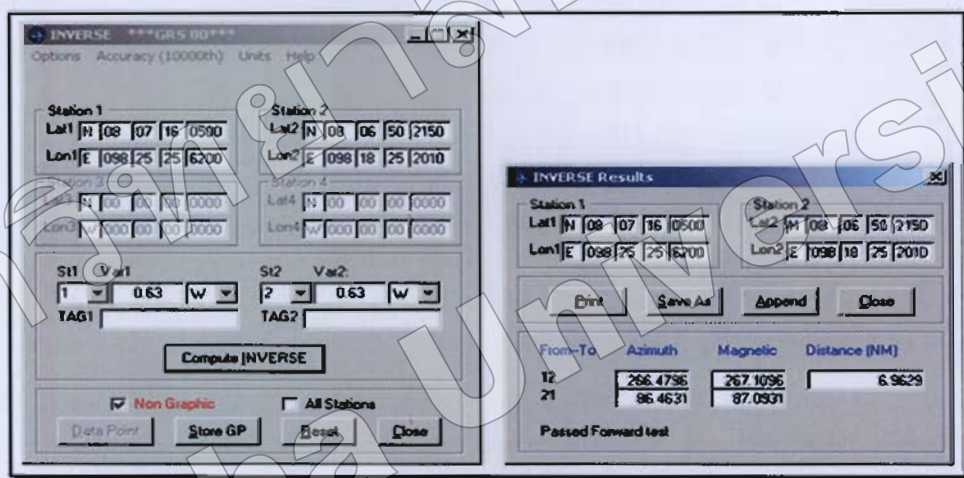
ภาพที่ 4-20 การหาคำหนดจุดเริ่มต้นการลงจอด ด้วย VOR Z RWY 27

ใช้ซอฟต์แวร์ COMPSYS21 คำนวณหาระยะทางของตำแหน่งจุดตัด หรือค่า (D) เพื่อนำไปคำนวณหาตัวย้อนกลับของ ค่าความสูง OCA/H ณ ตำแหน่งจุดเริ่มต้นในการลงจอด (Landing threshold point: LTP) ดังภาพที่ 4-20 ได้ระยะทางห่างจาก จุดเริ่มต้นทางวิ่ง 27 เป็นระยะทาง 1.7297 ไมล์ทะเล หรือเท่ากับ 3203.40 เมตร นำค่าที่ได้ไปแทนค่าใน สมการที่ (2)

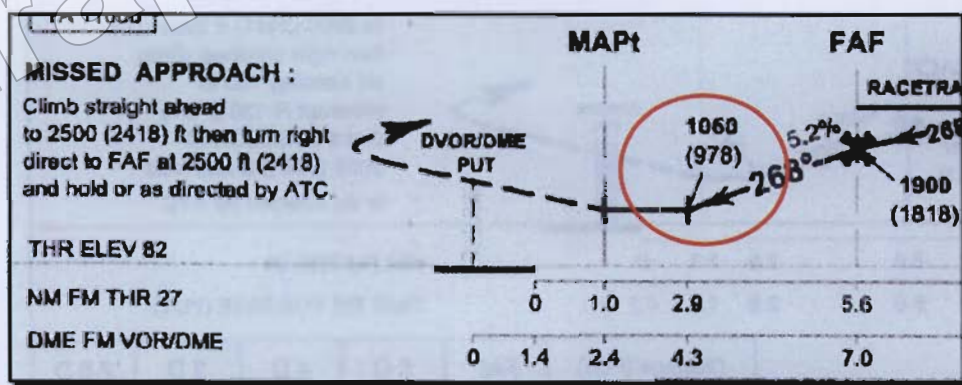
$$\text{OCA/H final approach} = (\text{D. Descent gradient}) + \text{TCH} \quad \text{----- (2)}$$

$$\text{OCA/H final approach} = (3203.40 \times 0.052) + 15$$

ดังนั้น OCA/H สำหรับบินลงด้วย VOR Z RWY 27 ต้องมีค่าความสูงไม่ต่ำกว่า = 181.57 เมตร หรือเท่ากับ 596 ฟิต เหนือทางวิ่ง 27 และมีทิศทางการบินสุดท้ายในการบินเข้าหาสนามบิน ที่ 267.10 องศา (ทิศเหนือแม่เหล็ก) ดังภาพที่ 4-21



ภาพที่ 4-21 การคำนวณหา ทิศทางบินสุดท้ายเพื่อลงจอดด้วย VOR Z RWY 27

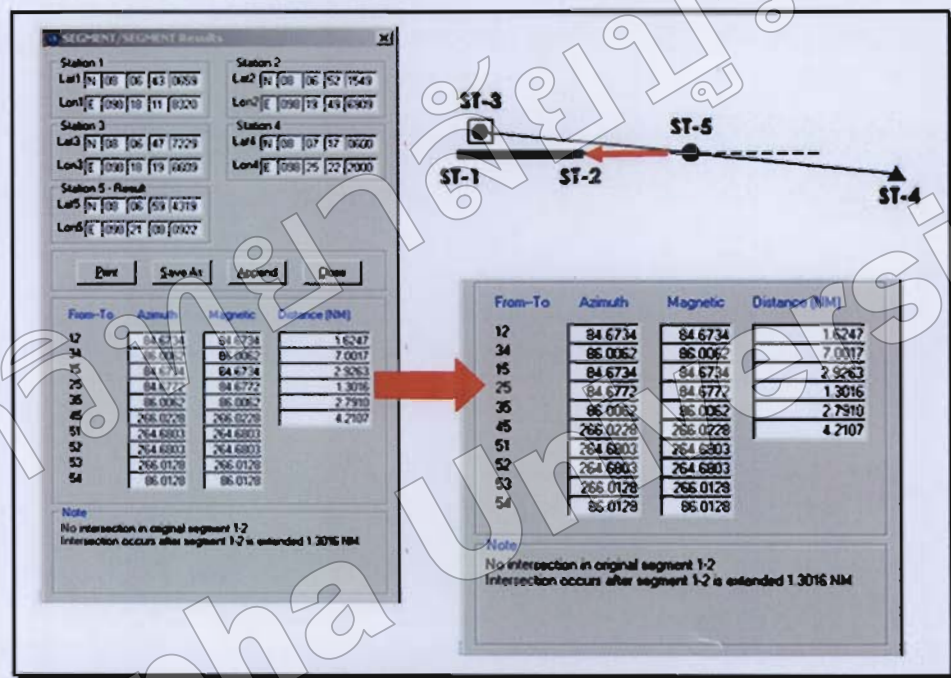


ภาพที่ 4-22 แบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการบินเข้าหาสนามบิน VOR Z RWY 27

2.3 วิเคราะห์ แบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการบินเข้าหาสนามบิน ILS or LLZ RWY 27

มีค่าตัวแปรในการคำนวณ ประกอบด้วย

ST-1 เท่ากับ THR 09	พิกัด $98^{\circ} 18' 11.8320''$ E $08^{\circ} 06' 43.0659''$ N
ST-2 เท่ากับ THR 27	พิกัด $98^{\circ} 19' 49.6909''$ E $08^{\circ} 06' 52.1549''$ N
ST-3 เท่ากับ LLZ/DME	พิกัด $98^{\circ} 18' 19.6609''$ E $08^{\circ} 06' 47.7229''$ N
ST-4 เท่ากับ FAF VOR Z RWY 27	พิกัด $98^{\circ} 25' 22.20''$ E $08^{\circ} 07' 17.06''$ N



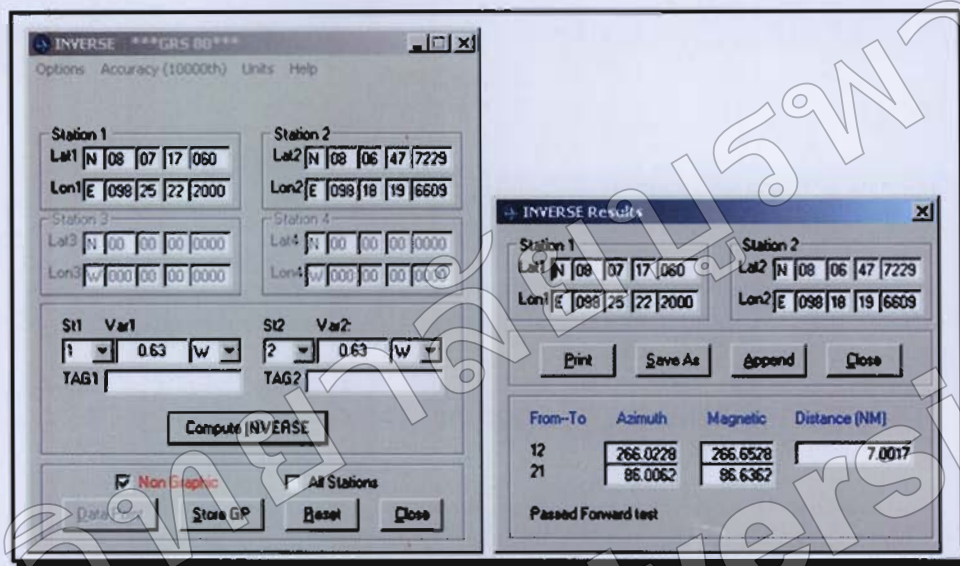
ภาพที่ 4-23 การหาตำแหน่งจุดเริ่มต้นการลงจอด ด้วย ILS or LLZ RWY 27

ใช้ซอฟต์แวร์ COMPSYS21 คำนวณหาระยะทางของตำแหน่งจุดตัด หรือค่า (D) เพื่อนำไปคำนวณหาค่าย้อนกลับของ ค่าความสูง OCA/H ณ ตำแหน่งจุดเริ่มต้นในการลงจอด (Landing Threshold Point: LTP) ดังภาพที่ 4-23 ได้ระยะทางห่างจาก จุดเริ่มต้นทางวิ่ง 27 เป็นระยะทาง 1.3016 ไมล์ทะเล หรือเท่ากับ 2410.56 เมตร นำค่าที่ได้ไปแทนค่าใน สมการที่ (2)

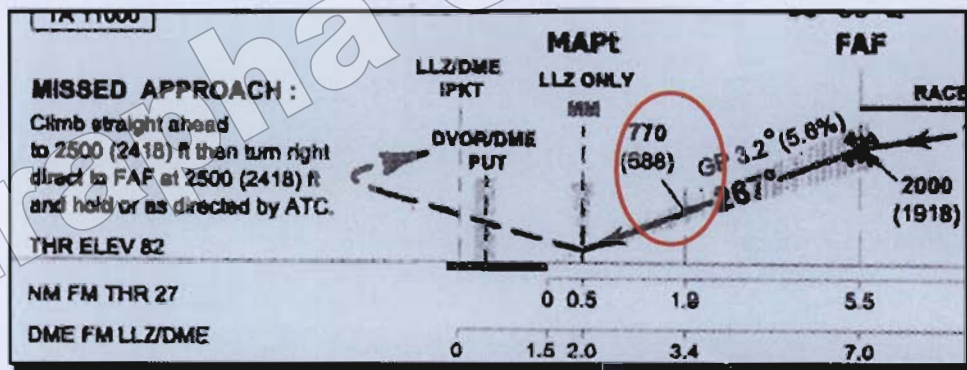
$$\text{OCA/H final approach} = (\text{D. Descent gradient}) + \text{RDH} \quad \text{----- (2)}$$

$$\text{OCA final approach} = (2410.56 \times 0.056) + 16.76$$

ดังนั้น OCA/ H สำหรับบินลงทางวิ่ง 27 ต้องมีค่าความสูงไม่ต่ำกว่า = 151.75 เมตร หรือเท่ากับ 498 ฟุต เหนือทางวิ่ง 27 และมีทิศทางการบินสุดท้ายในการบินเข้าหาสนามบินที่ 266.65 องศา (ทิศเหนือแม่เหล็ก) ดังภาพที่ 4-24



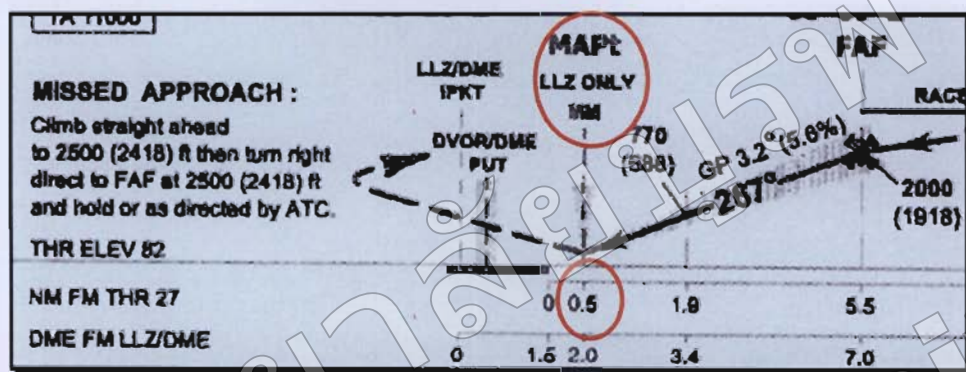
ภาพที่ 4-24 การคำนวณหาทิศทางบินสุดท้ายเพื่อลงจอดด้วย ILS or LLZ RWY 27



ภาพที่ 4-25 แบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการบินเข้าหาสนามบิน ILS or LLZ RWY 27

และเนื่องจาก แบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการบินเข้าหาสนามบิน ILS or LLZ RWY 27 เป็นได้ทั้งแบบแม่นยำ (Precision Approach) และไม่แม่นยำ (Non Precision Approach) เมื่อวิทยุช่วยเดินอากาศที่ให้สัญญาณนำทางในแนวดิ่ง (Vertical Guidance) ไม่ทำงาน และจากผลการศึกษาวิจัยพบว่าตำแหน่งวิทยุช่วยในการเดินอากาศ Middle Marker: MM ดังตารางที่ 4-10 ซึ่งเป็นตำแหน่งสำคัญ

ในการกำหนดความสูงและระยะทางในการตัดสินใจยกเลิกการบินเข้าหา (Missed Approach: MAPt) ที่เป็นตำแหน่งความสูงสุดท้ายในการตัดสินใจ (Decision Height) ดังภาพที่ 4-26 ที่ช่วยให้นักบินตัดสินใจว่าจะดำเนินการบินลงต่อไป หรือยกเลิกการบินลง ตามหลักเกณฑ์การบินด้วยเครื่องตรวจวัด (Instrument Flight Rule) พบว่ามีความคลาดเคลื่อนไปจากที่ประกาศใน



ภาพที่ 4-26 ตำแหน่งยกเลิกการบินลงที่กำหนดใน แบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการบินเข้าหาสนามบิน ILS or LLZ RWY 27

AIP-Thailand ที่ได้รับตำแหน่งที่ตั้งของวิทยุช่วยในการเดินอากาศ Middle Marker: MM มีระยะห่างจาก จุดเริ่มต้นทางวิ่ง 27 เท่ากับ 804 เมตร หรือเท่ากับ 0.43 ไมล์ทะเล ดังภาพ 4-27 อีกทั้งยังขัดแย้งกับระยะทางที่กำหนดใน แบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการบินเข้าหาสนามบิน ILS or LLZ RWY 27 ที่กำหนดระยะทางเท่ากับ 0.5 ไมล์ทะเล หรือเท่ากับ 926 เมตร ดังภาพที่ 4-26

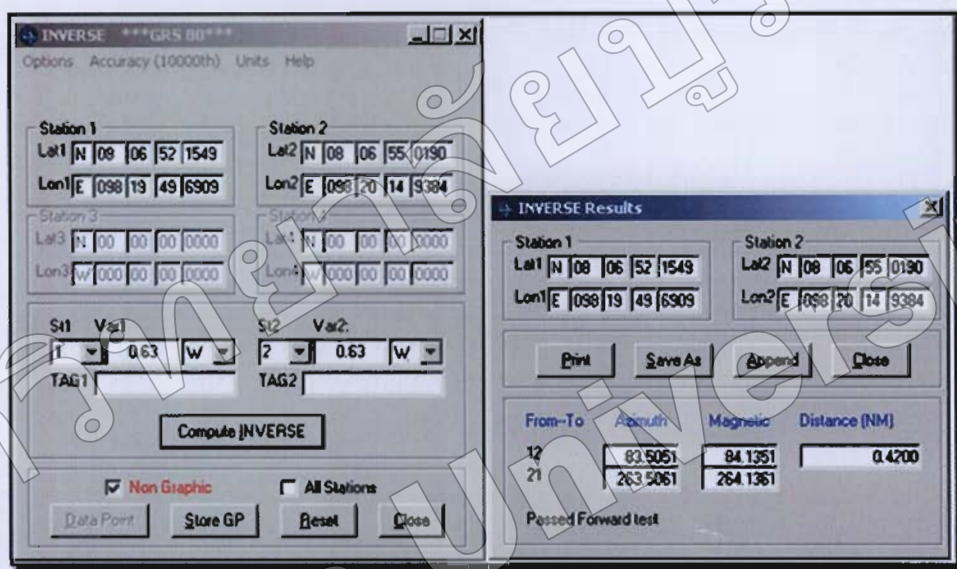
MM	75 MHz	H24	080655.43N 982015.73E (WGS-84)	Centre line: B. Front course 266° Mag. Width 44°. C. Glide Path angle 3.2° D. Middle Marker (MM without compass locator) distance 804 m from approach end of RWY 27
----	--------	-----	--------------------------------------	--

ภาพที่ 4-27 ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งสถานีวิทยุ Middle Marker: MM

ในส่วนนี้จะเป็นการใช้ซอฟต์แวร์ COMPSYS21 คำนวณหาระยะทางระหว่าง ตำแหน่ง Middle Marker: MM กับจุดเริ่มต้นทางวิ่ง 27 หรือค่า (D) เพื่อนำไปคำนวณย้อนกลับหาค่าความสูงสุดท้ายในการตัดสินใจ (Decision Height) หรือค่า OCA/ H ที่แท้จริงเหนือ Middle Marker: MM ที่ซึ่งเป็นตำแหน่งยกเลิกการบินเข้าหา (Missed Approach: MAPt) ดังภาพที่ 4-28 ด้วยค่าตัวแปร ดังนี้

ST-1 เท่ากับ THR 27 พิกัด $98^{\circ} 19' 49.6909''$ E $08^{\circ} 06' 52.1549''$ N

ST-2 เท่ากับ MM พิกัด $98^{\circ} 20' 14.9384''$ E $08^{\circ} 06' 55.0190''$ N



ภาพที่ 4-28 การคำนวณหาระยะทางระหว่าง ตำแหน่ง MM กับจุดเริ่มต้นทางวิ่ง 27

ใส่ค่าตัวแปรเชิงตำแหน่ง ST-1 และ ST-2 ในซอฟต์แวร์ COMPSYS21 จะได้ระยะทางระหว่างของ ตำแหน่ง Middle Marker: MM กับจุดเริ่มต้นทางวิ่ง 27 เป็นระยะทาง 0.42 ไมล์ทะเล หรือเท่ากับ 777.84 เมตร นำระยะทางที่ได้มาคำนวณหาความสูงเหนือตำแหน่ง Middle Marker: MM ที่ซึ่งเป็นตำแหน่งความสูงสุดท้ายในการตัดสินใจ (Decision Height) ยกเลิกการบิน (Missed Approach Point: MAPt) ที่ระบุในแบบแผนขั้นตอนการปฏิบัติการบิน ILS or LLZ RWY 27 นำค่าที่ได้ไปแทนค่าใน สมการที่ (2)

$$\text{OCA/ H Final Approach} = (\text{D. Descent Gradient}) + \text{RDH} \text{ ----- (2)}$$

$$\text{OCA Final Approach} = (777.84 \times 0.056) + 16.76 = 60.3 \text{ เมตร}$$

ดังนั้น ความสูงสุดท้ายในการตัดสินใจ (Decision Height) ขกเลิกการบิน (Missed Approach Point: MAPt) ที่ระบุในแบบแผนขั้นตอนการปฏิบัติการบิน ILS or LLZ RWY 27 มีความสูงเท่ากับ 60.3 เมตร หรือ 198 ฟุตเหนือทางวิ่ง 27

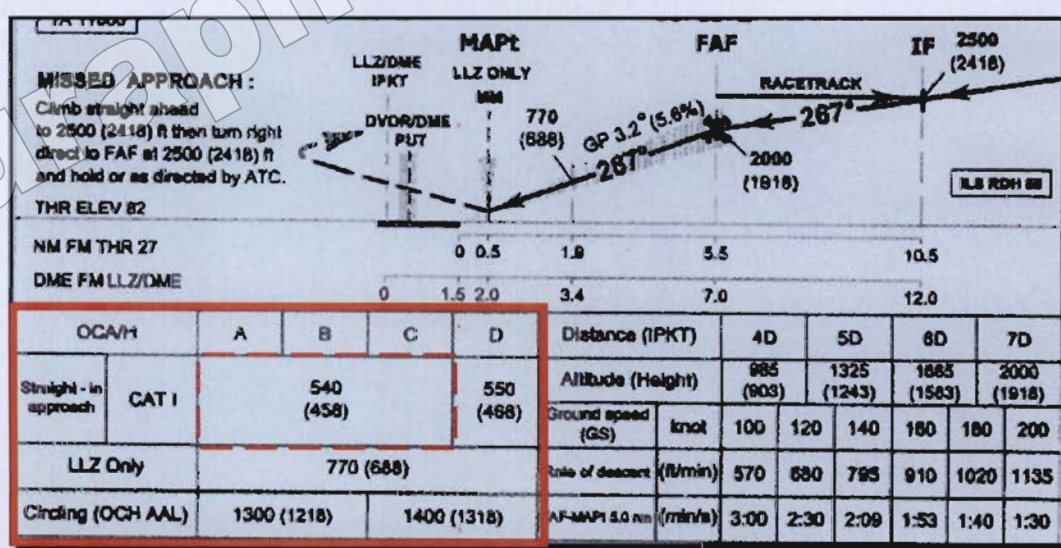
อีกทั้งยังขัดแย้งกับค่าความสูงสุดท้ายในการตัดสินใจ (Decision Height) หรือค่า OCA/H ที่ระบุในแบบแผนขั้นตอนการปฏิบัติการบิน ILS or LLZ RWY 27 ภาพที่ 4-29 ที่ความสูงสุดท้ายเท่ากับ 458 ฟุต เหนือทางวิ่ง 27 หรือที่ความสูง 540 ฟุต เหนือระดับน้ำทะเลกลาง ดังนั้นจึงทำการคำนวณย้อนกลับเพื่อหาค่าแห่งตัดสินใจขกเลิกการบินที่สัมพันธ์กับความสูงที่ 458 ฟุต หรือ 139.59 เมตร เหนือทางวิ่ง 27 ว่ามีระยะทางก่อนถึงจุดเริ่มต้นทางวิ่ง 27 จริงเท่าใด โดยใช้สมการที่ (1) และแทนค่าสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$D = \text{OCA final approach} - \text{TCH} / \text{Descent gradient} \quad \text{----- (1)}$$

$$D = (139.59 - 16.76) / 0.056$$

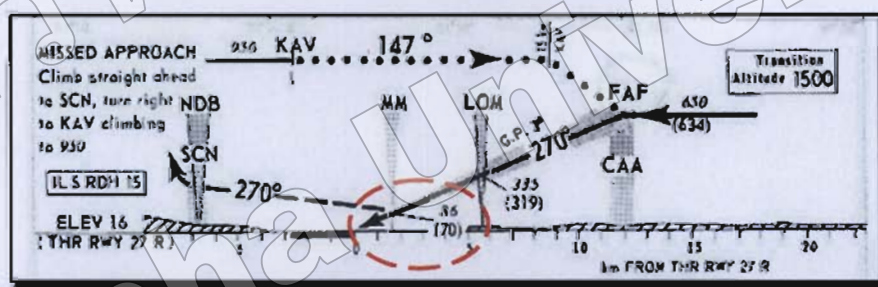
$$= 2193.39 \text{ เมตร หรือ } 1.18 \text{ ไมล์ทะเล}$$

ดังนั้น ตำแหน่งขกเลิกการบิน (Missed Approach Point: MAPt) ที่ความสูงสุดท้ายในการตัดสินใจ (Decision Height) 458 ฟุต เหนือทางวิ่ง 27 ที่กำหนดในแบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการบินเข้าหาสนามบิน ILS or LLZ RWY 27 จะมีระยะทางถึงก่อนจุดเริ่มต้นทางวิ่ง 27 เท่ากับ 1.18 ไมล์ทะเล หรือเท่ากับ 2193.39 เมตร และจากแบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการบินเข้าหาสนามบิน ILS or LLZ RWY 27 ที่บ่งชี้ให้ทำการบินลดระดับอย่างต่อเนื่องจนถึงตำแหน่ง Middle Marker: MM ทำให้เครื่องบินมีความสูงจริงเหนือทางวิ่งหรือภูมิประเทศ เท่ากับ 60.3 เมตร หรือ 198 ฟุต ภาพที่ 4-29

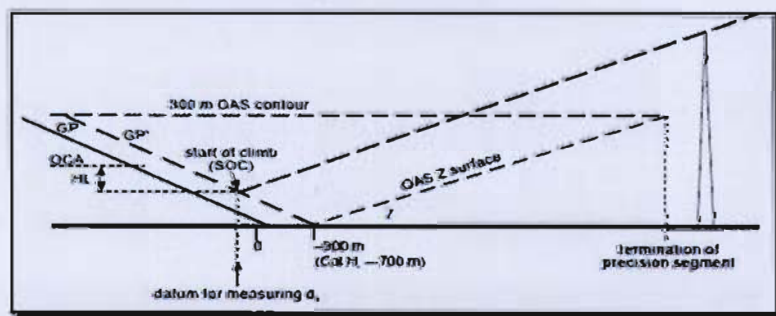


ภาพที่ 4-29 ค่าความสูงสุดท้ายที่ระบุในแบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการบินเข้าหาสนามบิน ILS or LLZ RWY 27

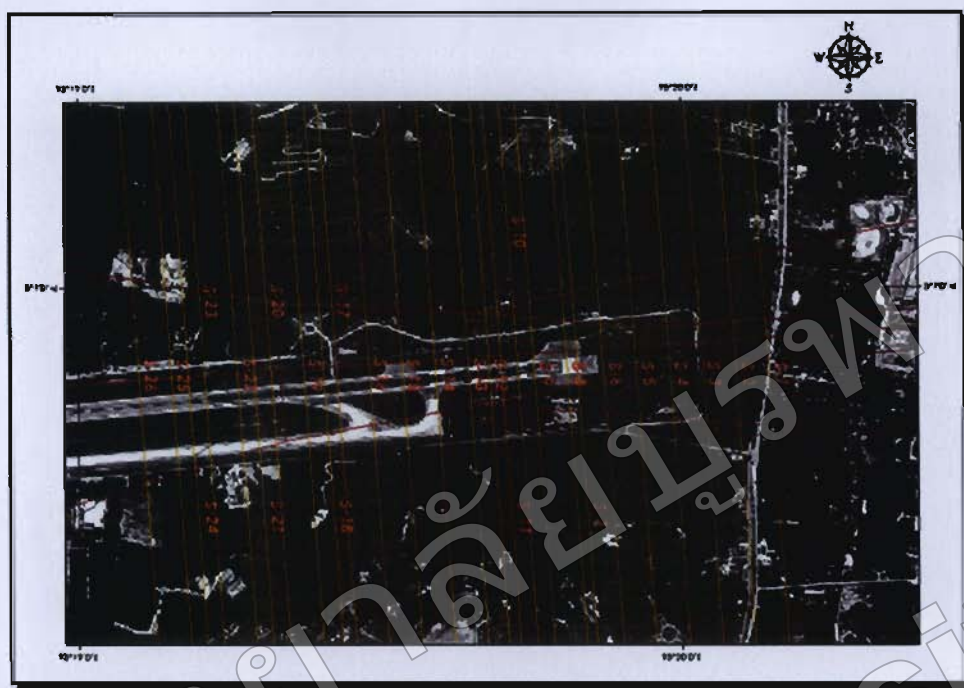
อีกทั้งแบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการบินเข้าหาสนามบิน ILS or LLZ RWY 27 ดังกล่าวไม่ได้ระบุความสูงเหนือตำแหน่ง Middle Marker: MM ที่ซึ่งจะเป็นการให้ข้อมูลด้านความสูงที่สำคัญต่อการตัดสินใจของนักบิน ดังตัวอย่างที่องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ กำหนด ดังภาพที่ 4-30 (ICAO, 1987) และด้วยหลักการบินทั่วไปแล้วจากการที่เครื่องบินได้ทำการบินลดระดับลงมาอย่างต่อเนื่อง จนถึงระดับความสูงหนึ่งก่อนที่จะเปลี่ยนการควบคุมการบินให้ไปเป็นการบินไต่ระดับความสูงกลับขึ้นไปอีกครั้งหนึ่ง หรือที่เรียกว่าตำแหน่งเริ่มต้นไต่ระดับ (Start of climb: SOC) ดังภาพที่ 4-31 เครื่องบินจะเกิดการสูญเสียความสูง (Height loss: HL) ซึ่งมีค่าความสูงที่แตกต่างไปตามประเภทของเครื่องบิน (Category: Cat) ดังภาพที่ 4-32 ดังนั้นองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ จึงได้กำหนดเงื่อนไขในการออกแบบ แบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการบินด้วยอุปกรณ์ช่วยในการลงจอด (Instrument Landing System: ILS) ให้ทำการกำหนดความสูงปลอดภัยเหนือสิ่งกีดขวาง (OCA/H) ด้วยการจำลองความเสี่ยงในการพุ่งชน (Collision Risk Model: CRM) ที่จะต้องมีความเป็นไปได้ที่เครื่องบินจะพุ่งชนภูมิประเทศหรือสิ่งกีดขวางได้ ไม่ต่ำกว่า 1×10^{-7} หรือมีโอกาสเป็นไปได้เท่ากับ 1 ใน 10 ล้าน (Doc.9274, 1980, Doc.8168 Vol. II, 2006)



ภาพที่ 4-30 ตัวอย่างการแสดงข้อมูลจำเป็นขั้นต่ำที่ต้องแสดงในแบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการบินเข้าหาด้วยอุปกรณ์ตรวจวัด (ICAO, 1987, Doc.8697)

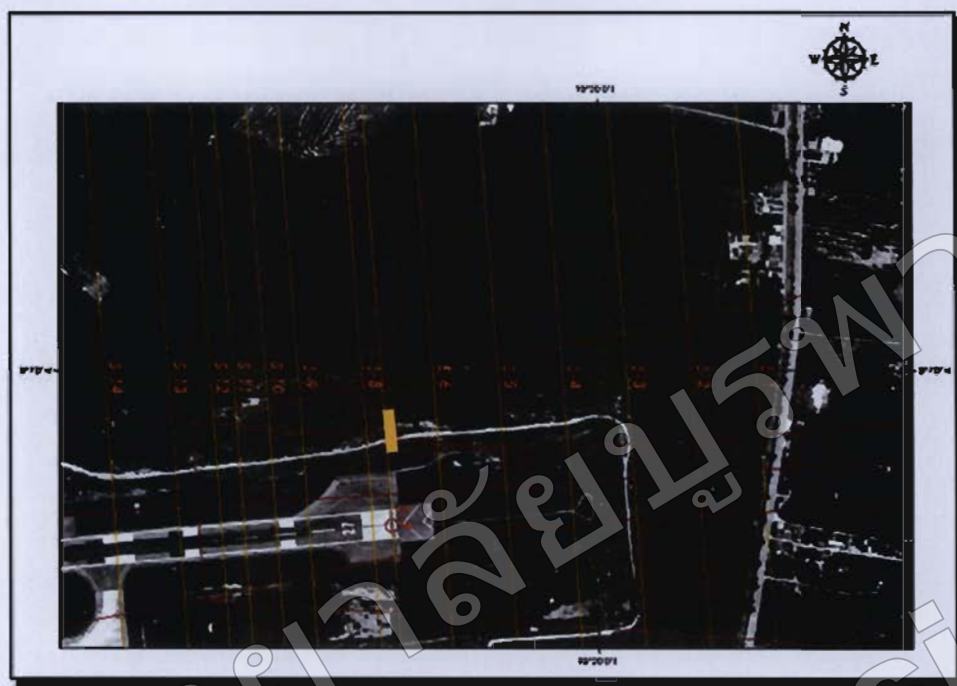


ภาพที่ 4-31 การพิจารณาตำแหน่ง ขกเลิกการบินลงปลอดภัยจากสิ่งกีดขวางต่าง ๆ (ICAO, 2006)



ภาพที่ 4-34 ลำดับของแนวตัดขวางทางวิ่ง ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาความเสี่ยงด้วยแบบจำลองการพุ่งชน

นำระยะทางและความสูงแต่ละชั้น ที่ได้ไปใส่ในสมการหาความสูงปลอดภัยเหนือสิ่งกีดขวาง และวิเคราะห์หาความเสี่ยงหรือโอกาสที่เครื่องบินจะพุ่งชนภูมิประเทศ ได้ผลการวิเคราะห์การยกเลิกการบินลงที่ตำแหน่งเหนือ (Middle Marker: MM) ที่ความสูง 198 ฟุต เหนือทางวิ่ง 27 พบว่าเครื่องบินมีโอกาสพุ่งชนภูมิประเทศหรือสิ่งกีดขวาง หรืออีกนัยหนึ่งคือมีความเสี่ยงสูงกว่ามาตรฐานที่ องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ กำหนด ดังนี้ คือ 9.85×10^{-5} สำหรับเครื่องบิน Category A, 2.12×10^{-4} สำหรับเครื่องบิน Category B, 5.27×10^{-4} สำหรับเครื่องบิน Category C และ 9.97×10^{-4} สำหรับเครื่องบิน Category D ตามลำดับ ภาคผนวก จ. อีกทั้งซอฟต์แวร์ยังได้วิเคราะห์ตำแหน่งพื้นที่ที่เครื่องบินมีโอกาสในการพุ่งเข้าชนภูมิประเทศ คือบริเวณพื้นที่ S7-1 ซึ่งเป็นเนินดินที่มีระดับความสูง 40 เมตร อยู่บริเวณด้านทิศเหนือของทางวิ่ง 27 ดังภาพที่ 4-35



ภาพที่ 4-35 ตำแหน่ง S7-1 บริเวณพื้นที่ ที่เครื่องบินมีโอกาสพุ่งเข้าชน ในกรณีทำการยกเลิกการบินเข้า
หาสนามบิน ที่ความสูง 198 ฟุต เหนือทางวิ่ง 27