


ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักกับโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้น
คอนกรีตของท่าอากาศยาน

RELATION BETWEEN LOAD TRANSFER EFFICIENCY AND VOID
BENEATH AIRFIELD CONCRETE SLABS

นายจตุพล สายัณห์วัฒน์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักกับโพรงใต้ผิวทาง
แผ่นพื้นคอนกรีตของท่าอากาศยาน

นายจตุพล สายัณห์วัฒน์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักกับโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตของท่าอากาศยาน
ชื่อ – นามสกุล	นายจุฑพล สายัณห์วัฒน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์พุทธพล ทองอินทร์ดำ, Dr.-Ing.
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

การเติบโตอย่างต่อเนื่องของธุรกิจการบิน ทำให้การทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างผิวทางสนามบินเพื่อให้มีความปลอดภัยมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ในขณะที่การทดสอบหาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก (LTE_{Δ}) ระหว่างแผ่นพื้นและการทดสอบหาโพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีต (Void) ที่ถูกกำหนดไว้ในมาตรฐานสากลนั้นต้องใช้เวลาค่อนข้างมาก งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรทั้ง 2 ดังกล่าว

โดยได้ทำการทดสอบผิวทางท่าอากาศยานภูเกิดและหาดใหญ่ตามมาตรฐานของ Federal Aviation Administration ด้วยเครื่องมือวัดค่าการยุบตัวด้วยลูกค้อนกระแทกแบบหนัก ทดสอบที่ตำแหน่งกึ่งกลางรอยต่อแผ่นพื้นด้วยน้ำหนัก 220 kN เพื่อวิเคราะห์หาค่า LTE_{Δ} และในแผ่นพื้นเดียวกันทดสอบที่ตำแหน่งมุม โดยใช้น้ำหนัก 3 ระดับคือ 160, 190 และ 220 kN เพื่อวิเคราะห์หาค่า Void และทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) เป็นเกณฑ์

จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อพิจารณาค่า LTE_{Δ} ช่วง 0 ถึง 100% เทียบกับ Void ทั้งในกรณีที่มีและไม่มีโพรงปรากฏ พบว่าค่า R^2 มีค่าต่ำมากหรือไม่แสดงความสัมพันธ์ใดๆ ของตัวแปรทั้ง 2 ในกรณีค่า LTE_{Δ} ที่มากกว่า 50% และมีโพรงปรากฏ พบว่าความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้ง 2 เพิ่มมากขึ้นด้วยค่า R^2 เท่ากับ 0.25 และเมื่อกรณีค่า LTE_{Δ} ที่มากกว่า 70% และมีโพรงปรากฏ พบว่าความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้ง 2 มีความชัดเจนมากที่สุดด้วยค่า R^2 เท่ากับ 0.60 ซึ่งได้สรุปเป็นความสัมพันธ์ทางเชิงเส้นอย่างง่ายบนพื้นฐานข้อมูลที่ทดสอบในงานวิจัยนี้

คำสำคัญ: ผิวทางสนามบินคอนกรีต ประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก โพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีต

Thesis Title	Relation between Load Transfer Efficiency and Void beneath Airfield Concrete Slabs
Name - Surname	Mr. Jatupol Sayanhawat
Program	Civil Engineering
Thesis Advisor	Mr. Puttapon Thongindam, Dr.-Ing.
Academic Year	2012

ABSTRACT

Since the aviation business is continuously growing, the testing of the strength of the airfield pavement structure for safety reason is crucial. The process of identifying the load transfer efficiency (LTE_{Δ}) of pavements and specifying voids beneath slabs defined in the international standard are time consuming. Therefore, this research aims to study the correlation between the two aforementioned parameters.

The nondestructive tests of the Phuket and Hat Yai airfield pavement have been performed by using Heavy Falling Weight Deflectometer followed the Federal Aviation Administration standard. The tests were conducted at the center of the slabs joint with 220 kN load to identify the LTE_{Δ} value. On the identical slabs the tests were performed at the slabs corner with 160, 190 and 220 kN load to specify voids and analyze their relation based on the coefficient of determination (R^2).

Regarding to the results it has been found that when comparing the whole LTE_{Δ} value, with both cases, voids present and no voids present, the R^2 is very low or show no relation between these two variables. In the case of LTE_{Δ} is greater than 50% and voids present, the relation of these two variables is increased with R^2 of 0.25. When the LTE_{Δ} is greater than 70% and voids present, the relation of these two parameters is the most evident with R^2 of 0.60, to summarize this relation mathematically, a simple linear regression analysis has been generated and discussed in this paper.

Keywords: concrete airfield pavement, load transfer efficiency, void beneath slabs

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ดร.พุทธพล ทองอินทร์คำ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิติสานต์ กร้ามาตร ดร.บุญชัย ผึ้งไผ่งาม กรรมการสอบ และ ดร.ภักวิวัฒน์ แสตนเจริญ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษา ตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา บ่มเพาะจนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณบุคลากร บัณฑิตวิทยาลัยทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือตลอดช่วงเวลาของการศึกษาและทำการวิจัย

ขอขอบคุณบริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) (The Airports of Thailand Public Company Limited) ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลการทดสอบของท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ และ ภูเก็ต ด้วยเครื่องมือ Heavy Falling Weight Deflectometer, (HWD) และศูนย์วิจัยเทคโนโลยีผิวทางถนนและท่าอากาศยาน (RAPTR) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและสถานที่ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณและขอบใจ พี่ เพื่อน และน้อง ทุกคน ที่คอยถามไถ่ด้วยความห่วงใยและให้การช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ ตลอดการศึกษาที่ผ่านมา

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บุพการีผู้ให้กำลังใจและทุนทรัพย์ในการศึกษาด้วยดีเสมอมา คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

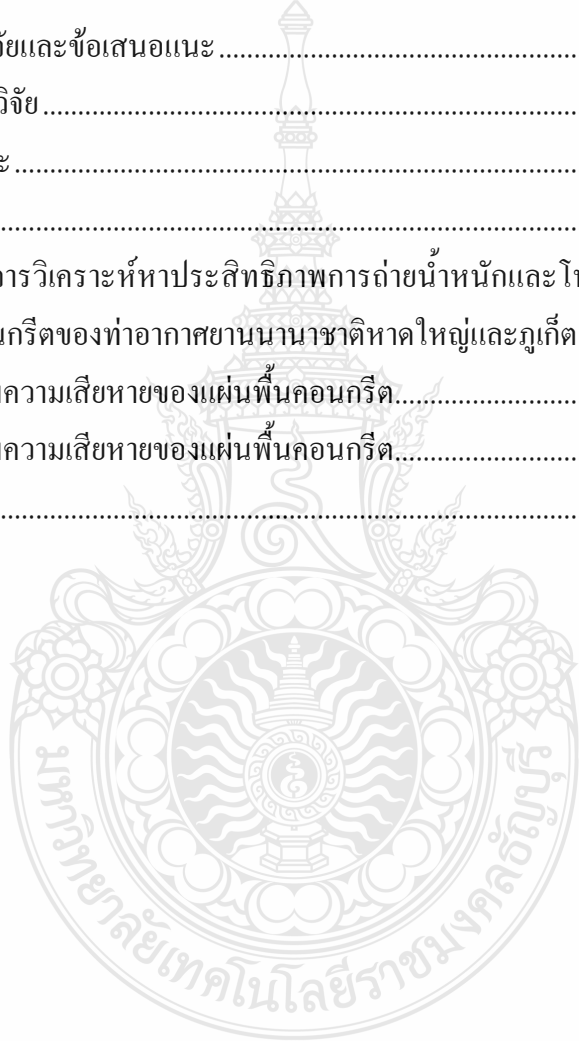
จตุพล สายัณห์วัฒน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
บทที่	
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	4
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 แนวความคิดและทฤษฎีพื้นฐาน	6
2.2 แนวทางการตัดสินใจทดสอบด้วย NDT	8
2.3 การวัดค่าการยุบตัวด้วยเครื่องมือ HWD	10
2.4 วิธีการทดสอบโครงสร้างผิวทางแบบแกร่ง	13
2.5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก.....	15
2.6 การวิเคราะห์โพรงใต้รอยต่อแผ่นคอนกรีต.....	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	21
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ	22
3.2 ขั้นตอนวิธีการทดสอบภาคสนาม	24
3.3 ตำแหน่งที่กำหนดจุดทดสอบ	27
3.4 แนวทางการวิเคราะห์และประมวลผล	29
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์และวิจัย.....	30

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักของแผ่นพื้นคอนกรีตทำอากาศยาน.....	30
4.2 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตทำอากาศยาน	52
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักกับโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตทำอากาศยาน.....	69
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	74
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	74
5.2 ข้อเสนอแนะ	75
รายการอ้างอิง.....	76
ภาคผนวก ก. ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักและโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตของทำอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่และภูเก็ต	78
ภาคผนวก ข. ภาพความเสียหายของแผ่นพื้นคอนกรีต.....	104
ภาคผนวก ค. ภาพความเสียหายของแผ่นพื้นคอนกรีต.....	106
ประวัติผู้เขียน.....	115



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 รายละเอียดการใช้งานเครื่อง HWD และ FWD	23
3.2 ตำแหน่งเซ็นเซอร์ของอุปกรณ์ HWD และ FWD ที่ใช้ทั่วไป	24
3.3 ตำแหน่งและระยะห่างของจุดทดสอบที่ใช้ทั่วไปสำหรับทางวิ่งและทางขับ	28
3.4 ตำแหน่งและระยะห่างของจุดทดสอบที่ใช้ทั่วไปสำหรับลานจอดอากาศยาน	28
3.5 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่วงน้ำหนัก [%], (LTE_{Δ}) ของลานจอด A ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่	32
4.1 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่วงน้ำหนัก [%], (LTE_{Δ}) ของทางขับ ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่	37
4.2 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่วงน้ำหนัก [%], (LTE_{Δ}) ของลานจอด ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต	41
4.3 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่วงน้ำหนัก [%], (LTE_{Δ}) ของทางขับ ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต	48
4.4 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต (Void) ของลานจอด ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่	54
4.5 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต (Void) ของทางขับ ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่	59
4.6 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต (Void) ของลานจอด ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต	63
4.7 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต (Void) ของทางขับ ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต	67

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 สถิติปริมาณการจราจรทางอากาศของประเทศไทย	2
2.1 เครื่องมือวัดค่าการยุบตัวด้วยลูกตุ้มกระแทกแบบหนัก (HWD หรือ HFWD)	8
2.2 ลักษณะแรงกระแทกจากค้อนน้ำหนักจากเครื่อง HWD หรือ FWD.....	10
2.3 หลักการทำงานของเครื่องวัดค่าความยุบตัวโดยลูกตุ้มกระแทก (FWD)	11
2.4 ตัวอย่างสัญญาณคลื่น Half-Sine wave ที่วัดได้จากเครื่องมือ FWD	13
2.5 การถ่ายน้ำหนักระหว่างแผ่นคอนกรีต.....	14
2.6 แนวทางการทดสอบบนผิวทางคอนกรีตแบบมีรอยต่อ	15
2.7 ความสัมพันธ์ของ LTE แบบการยุบตัวและแบบหน่วยแรงเค้น เสนอ โดย FAA.....	17
2.8 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความแข็งแรงของสภาพรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตตามข้อเสนอ ของ FAA.....	18
2.9 ตัวอย่างการผลการทดสอบเพื่อวิเคราะห์โพรงใต้แผ่นคอนกรีต	19
2.10 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ (Taxiway) ขนาด 10,000 ฟุต (3 กม.).....	20
3.1 ฟังทำอากาศยานนานาชาติขนาดใหญ่.....	21
3.2 ฟังทำอากาศยานนานาชาติทุกเกิด	21
3.3 เครื่องมือวัดค่าการยุบตัวด้วยลูกตุ้มกระแทกแบบหนัก (HWD) รุ่น PRIMAX SHWD 7- 300 kN	22
3.4 ตัวอย่างการวางแผนผังกำหนดจุดทดสอบพร้อมระบบเรียกชื่อจุดทดสอบบนผิวทาง คอนกรีต.....	25
3.5 ตัวอย่างแผนผังกำหนดจุดทดสอบพร้อมระบบเรียกชื่อจุดทดสอบบนผิวทางแอสฟัลต์ ...	26
4.1 ฟังลานจอดทำอากาศยานนานาชาติขนาดใหญ่.....	30
4.2 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], LTE_{Δ} ของลานจอด “A” หลุมจอด 1.....	31
4.3 ฟังทางขับทำอากาศยานนานาชาติขนาดใหญ่.....	35
4.4 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], LTE_{Δ} ของทางขับ N (Taxiway N).....	36

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.5 ฟังลานจอดท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต.....	39
4.6 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], LTE_{Δ} ของลานจอด “A” (Apron A).....	40
4.7 ฟังทางขับท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต.....	46
4.8 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], LTE_{Δ} ของทางขับ P (Taxiway P).....	47
4.9 ฟังลานจอดท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่.....	52
4.10 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของลานจอด “A” หลุมจอด 1.....	53
4.11 ฟังทางขับท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่.....	57
4.12 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ N (Taxiway N).....	58
4.13 ฟังลานจอดท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต.....	61
4.14 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของลานจอด “A”(Apron A).....	62
4.15 ฟังทางขับท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต.....	65
4.16 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ P (Taxiway P).....	66
4.17 ผลการทดสอบ LTE_{Δ} และ โพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตตามมาตรฐานแนะนำของ FAA [6] ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่และภูเก็ต.....	69
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง LTE_{Δ} และ โพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่และภูเก็ต.....	70
4.19 กราฟแสดงการถดถอยเชิงเส้นของ LTE_{Δ} และ ช่วง No void present ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่และภูเก็ต.....	71
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง LTE_{Δ} มากกว่า 50 % และ โพรงปรากฏใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่และภูเก็ต.....	72
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง LTE_{Δ} มากกว่า 70 % และ โพรงปรากฏใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่และภูเก็ต.....	73

บทที่ 1

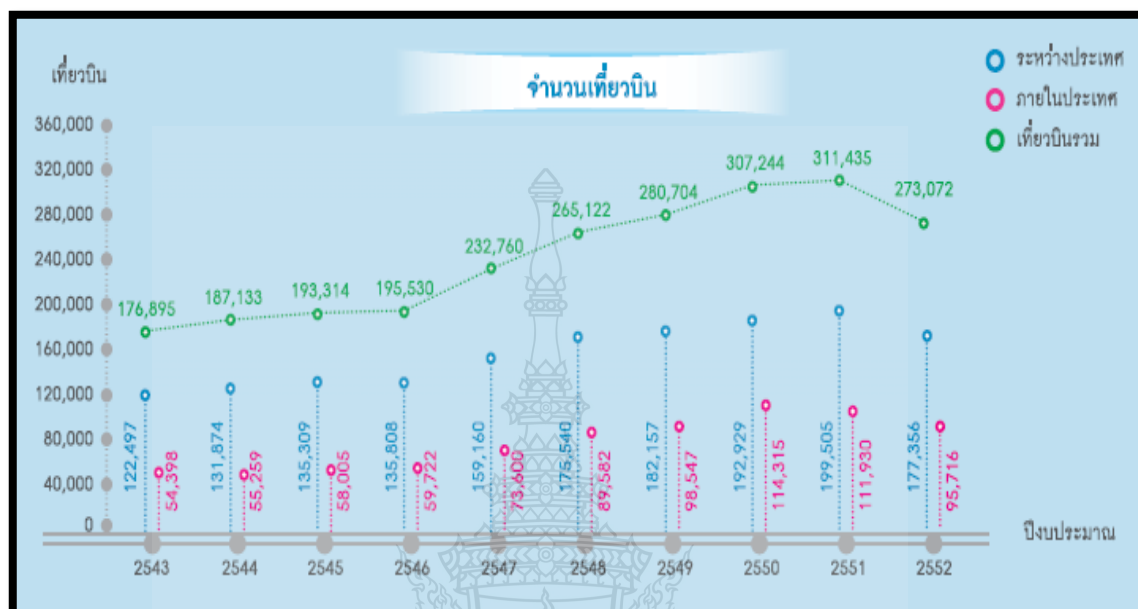
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมาคงปฏิเสธไม่ได้ว่าประเทศไทยมีความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ทำให้โครงสร้างสาธารณูปโภคต้องรับภาระอย่างหนักในการรองรับการใช้งานที่มีปริมาณมากขึ้นแบบก้าวกระโดด ในขณะที่งบประมาณจากภาครัฐที่มอบหมายให้หน่วยงานต่างๆ ที่ดูแลโครงสร้างสาธารณูปโภคนั้นมีค่อนข้างจำกัด ทำให้ทุกหน่วยงานจำเป็นต้องบริหารจัดการงบประมาณให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยหากพิจารณาโครงสร้างท่าอากาศยานหรือสนามบิน โดยเฉพาะท่าอากาศยานนานาชาติถือเป็นโครงสร้างสาธารณะที่เป็นสะพานเชื่อมเศรษฐกิจระหว่างประเทศไทยและนานาชาติรวมทั้งเป็นห้องรับแขกของต่างชาติในการต้อนรับผู้เดินทางจากทั่วโลกซึ่งเป็นจุดกำเนิดของการนำรายได้เข้าสู่ประเทศปีละเป็นจำนวนมากตลอดจนสร้างความประทับใจให้ผู้เดินทางมาเยือนตั้งแต่ก้าวแรกที่เข้าสู่ประเทศไทยจากบทบาทที่สำคัญในอุตสาหกรรมส่งเสริมการท่องเที่ยวและการคมนาคมของประเทศไทยทำให้หน่วยงานที่รับผิดชอบบริหารจัดการท่าอากาศยานแต่ละแห่งล้วนมีเป้าหมายและวางกลยุทธ์ให้ท่าอากาศยานที่อยู่ในการดูแลพัฒนาขึ้นเป็นศูนย์กลางการเชื่อมต่อการท่องเที่ยว (Tourism Hub) และเป็นเส้นทางเชื่อมต่อ (Express Way) ของเอเชียโดยมีเป้าหมายรวมเพื่อให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการท่องเที่ยวและการขนส่งทางอากาศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

ในขณะที่ความมุ่งมั่นในการพัฒนาสู่เป้าหมายการเป็นศูนย์กลางการคมนาคมทางอากาศเป็นความจำเป็นของการสร้างรายได้ให้กับประเทศ แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้โครงสร้างผิวทาง อาทิ ทางวิ่ง ทางขับ และลานจอด (Runway, Taxiway and Apron) ของท่าอากาศยานแต่ละแห่งนั้นต้องแบกรับปริมาณการจราจรของอากาศยานที่เพิ่มขึ้นทั้งในแง่มุมมองของจำนวนเที่ยวบินและขนาดน้ำหนักของเครื่องบินที่เพิ่มมากขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยโครงสร้างผิวทางของสนามบินหลายแห่งนั้นไม่ได้มีการออกแบบให้มีความสามารถในการต้านทานน้ำหนักบรรทุกทุกของเครื่องบินรุ่นใหม่ๆ ที่น้ำหนักเพิ่มมากขึ้นอย่างมาก ดังแสดงในภาพที่ 1-1 ซึ่งเป็นสถิติการจราจรทางอากาศของประเทศไทยในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างมาก สภาพการณ์เช่นนี้ทำให้วิศวกรผู้ดูแลรับผิดชอบต้องมีการควบคุมตรวจสอบและบริหารการใช้บริการผิวทางของเครื่องบินต่างๆ หรืออาจต้องมีการออกแบบเสริมความแข็งแรงโครงสร้างผิวทางเดิมให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมเพื่อพัฒนาคุณภาพของผิวทาง (Pavement Performance) ให้สามารถรองรับการขยายตัวของธุรกิจการบินในภูมิภาคและการพัฒนา

อากาศยานที่มีขนาดใหญ่ขึ้นน้ำหนักมากขึ้นมั่นคงแข็งแรงและให้มีความปลอดภัยต่อผู้โดยสารและต่อตัวอากาศยานตามมาตรฐานสากล



ภาพที่ 1.1 สถิติปริมาณการจราจรทางอากาศของประเทศไทย [1]

โดยเป็นที่ทราบดีว่าเนื่องจากโครงสร้างผิวทางเป็นโครงสร้างฐานดิน (Earth Structure) ซึ่งทำให้ค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการวิเคราะห์โครงสร้างประเภทนี้โดยเฉพาะในส่วนของชั้นฐานดินนั้นมีความแปรผันค่อนข้างมากและสามารถแปรเปลี่ยนได้ในทุกตำแหน่งและทุกทิศทาง ทำให้การเลือกเก็บตัวอย่างวัสดุไปทดสอบหาคุณสมบัติต่างๆ ในห้องทดสอบนั้นไม่ได้รับความน่าเชื่อถือเท่าที่ควรในการนำมาวิเคราะห์ขึ้นต่อเนื่อง เนื่องจากสภาพแวดล้อมในห้องทดสอบแตกต่างจากสภาพวัสดุในขณะรับน้ำหนัก ดังนั้นการตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างผิวทางนั้นจึงนิยมใช้การทดสอบในที่ (In Situ) โดยใช้เครื่องมือทดสอบแบบไม่ทำลาย (Nondestructive Testing, NDT)

ซึ่งหากมองในแง่มุมมองของลักษณะทางโครงสร้างพบว่า การทดสอบคุณภาพของโครงสร้างแผ่นพื้นซีเมนต์คอนกรีตนั้นค่อนข้างมีความซับซ้อนกว่าโครงสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเนื่องจากผิวทางคอนกรีตส่วนใหญ่มีการสร้างแบบมีรอยต่อทั้งตามแนวยาวและแนวขวาง (Longitudinal and Transverse joint) ทำให้การประเมินตรวจสอบคุณภาพของแผ่นพื้นผิวทางคอนกรีตต้องมีการประเมินทั้งด้านกำลังรับน้ำหนักของแผ่นคอนกรีต (Bearing Capacity) และการประเมินประสิทธิภาพของการ

ถ่ายน้ำหนัก (Load Transfer Efficiency) และการตรวจสอบหาโพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีต (Void Detection) ทั้งนี้พบว่าในขณะที่เครื่องมือการทดสอบสภาพของโครงสร้างผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง อาทิ เครื่องมือตรวจสอบชั้นทางด้วยคลื่นเรดาร์ (Ground Penetrating radar, GPR) เครื่องมือวัดค่าการยุบตัวด้วยลูกตุ้มกระแทกแบบหนัก (Heavy Falling Weight Deflectometer, HWD) เป็นต้น แต่วิธีการหรือกระบวนการวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติเชิงกลหรือวิธีการแปรผลค่าการทดสอบเพื่อใช้เป็นดัชนีบอกสภาพต่างๆของผิวทางคอนกรีตยังคงไม่มีมาตรฐานการดำเนินการที่ชัดเจน ทำให้แต่ละหน่วยงานหรือในแต่ละประเทศเลือกใช้วิธีการที่คุ้นเคยและสอดคล้องกับแนวทางการออกแบบที่ประเทศนั้นๆ ใช้

โดยจากหลักการพื้นฐานที่ว่าประสิทธิภาพในการถ่ายน้ำหนักระหว่างแผ่นพื้นคอนกรีตและปริมาณโพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีตนั้นนอกจากจะมีผลโดยตรงต่อความเสียหายทางด้านโครงสร้างของผิวทางคอนกรีตแล้วยังมีผลต่อเนื่องถึงอายุการใช้งานโดยรวมของส่วนโครงสร้างนั้น ทั้งนี้ยังมีผลรวมไปถึงการวางแผนการซ่อมแซมทำนุบำรุงทำอากาศยานอีกด้วย จากข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่าการตรวจสอบทั้งสองส่วนมีความสำคัญอย่างยิ่งกับคุณภาพโดยรวมของโครงสร้างผิวทางคอนกรีต ในขณะที่มาตรฐานการทดสอบและวิธีการวิเคราะห์ประมวลผลนั้นยังอ้างอิงจากมาตรฐานของต่างประเทศเป็นหลัก โดยเห็นได้ชัดว่าในบางแบบจำลองที่ได้ระบุให้มีการแนะนำให้ใช้ในการวิเคราะห์ผลนั้นได้จากการทดสอบภายใต้สภาวะแวดล้อมจากต่างประเทศ ซึ่งทำให้ได้วิธีการวิเคราะห์ตามประสบการณ์ (Empirical Method) ซึ่งทำให้เกิดข้อสงสัยถึงความน่าเชื่อถือในการนำมาทดสอบภายใต้สภาวะแวดล้อมในประเทศไทยดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาความสัมพันธ์ของผลที่ได้จากการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักระหว่างแผ่นพื้นคอนกรีตกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณช่องว่างใต้รอยต่อตามขวางของแผ่นพื้นคอนกรีตตามวิธีการวิเคราะห์ที่ยอมรับในระดับสากล โดยใช้ข้อมูลการทดสอบที่เกิดขึ้นจริงภายใต้สภาวะแวดล้อมจริงของ โครงสร้างผิวทางคอนกรีตของสนามบินนานาชาติในประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายน้ำหนักระหว่างแผ่นพื้นผิวทางคอนกรีตทำอากาศยาน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักระหว่างแผ่นพื้นผิวทางคอนกรีตทำอากาศยาน
- 1.2.3 เพื่อศึกษาวิธีการทดสอบและวิเคราะห์หาโพรงใต้รอยต่อแผ่นพื้นคอนกรีตทำอากาศยาน
- 1.2.4 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักและโพรงใต้รอยต่อแผ่นพื้นผิวทางคอนกรีตในงานโครงสร้างผิวทางสนามบิน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ใช้วิธีการทดสอบภาคสนามตามมาตรฐานของ Federal Aviation Administration (FAA)
- 1.3.2 ศึกษาความสัมพันธ์ของผลการวิเคราะห์จากวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Nondestructive testing, NDT)
- 1.3.3 ใช้กรณีศึกษาของการทดสอบภายใต้สภาวะแวดล้อมและโครงสร้างผิวทางที่ก่อสร้างจริงของท่าอากาศยานในประเทศไทย อาทิ สนามบินนานาชาติภูเก็ต หรือ สนามบินนานาชาติหาดใหญ่
- 1.3.4 ศึกษาเฉพาะความสัมพันธ์ของผลการวิเคราะห์ตามมาตรฐานของ Federal Aviation Administration (FAA)

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์โครงสร้างผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต
- 1.4.2 ค้นคว้ารวบรวมข้อมูลโดยรวมของสนามบินที่เลือกเป็นกรณีศึกษาในงานวิจัย อาทิ ประวัติความเป็นมา ลักษณะทางภูมิประเทศ ปริมาณการจราจรทางอากาศ เป็นต้น
- 1.4.3 ค้นคว้ารวบรวมข้อมูลของโครงสร้างผิวทางคอนกรีตของสนามบิน อาทิ แบบก่อสร้าง ประวัติการซ่อมบำรุง ผลการสำรวจความหนาชั้นทาง เป็นต้น
- 1.4.4 ออกแบบขั้นตอนวิธีการทดสอบโดยเครื่องมือทดสอบแบบไม่ทำลาย HWD
- 1.4.5 ติดต่อประสานงานหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและดำเนินการทดสอบเก็บข้อมูลภาคสนาม
- 1.4.6 วิเคราะห์ผลหาค่าประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักระหว่างแผ่นพื้นและวิเคราะห์ผลหาค่าการทดสอบหาโพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีตทำอากาศยาน
- 1.4.7 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างผลการวิเคราะห์ทั้งสองที่ได้

1.4.8 สรุปผลการวิเคราะห์ห้วงวิจัยพร้อมข้อเสนอแนะที่ได้จากการศึกษา

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

เมื่องานวิจัยนี้เสร็จลุล่วงจะทำให้สามารถทราบพฤติกรรมต่างๆของโครงสร้างผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตสนามบินตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ซึ่งจะทำให้วิศวกรเข้าใจความสัมพันธ์ของพฤติกรรม การถ่ายน้ำหนักระหว่างแผ่นพื้นผิวทางคอนกรีตเทียบกับปริมาณ โพรงได้แผ่นพื้นนั้น อันจะทำให้สามารถนำผลข้อมูลความสัมพันธ์ที่ได้ไปใช้ประโยชน์เป็นแนวทางในการบริหารจัดการโครงสร้าง ผิวทางคอนกรีตที่ดำเนินการทดสอบต่อไป อาทิ การออกแบบ ซ่อมแซม หรือปรับปรุง (Rehabilitation Project) หรือ การออกแบบเสริมความแข็งแรงของตัวโครงสร้างผิวทางคอนกรีตของ สนามบิน (Strengthening or Overlay Design) [2] หรือใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการ ทดสอบ โครงสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตอื่นๆ ที่มีเงื่อนไขหรือสภาวะใกล้เคียงกันให้มีประสิทธิภาพต่อไป



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวความคิดและทฤษฎีพื้นฐาน

โดยทั่วไปแล้วโครงสร้างผิวทางที่รองรับยานพาหนะต่างๆ ซึ่งรวมถึงสนามบินนั้น ต้องมีคุณสมบัติพื้นฐาน 2 ประการ คือ คุณสมบัติที่รองรับการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Functional Properties) ซึ่งมักจะมีผลโดยตรงต่อความปลอดภัยในการใช้งาน เช่น ความขีดยเคาะ (Roughness) หรือการสะท้อนแสง (Reflection) เป็นต้น และคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทาง (Structural Properties) หรือกล่าวอีกแบบคือความสามารถในการต้านทานน้ำหนักกระทำซึ่งความอ่อนค้อยในคุณสมบัติข้อหลังนี้มักจะเป็นต้นเหตุให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างในลักษณะต่างๆ ต่อโครงสร้างผิวทางซึ่งอาจมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของโครงสร้างผิวทาง (แบบยืดหยุ่น หรือแบบแข็ง) โดยในโครงสร้างผิวทางแบบแข็ง (Rigid Pavement) อาจมีความเสียหาย อาทิ การเกิดรอยแตก (Cracks) หรือการเกิดรอยเลื่อน (Faulting) หรือ การแตกหัก (Breaking) เป็นต้น [3]

ด้วยเหตุนี้ทำให้การประเมินความเสียหายของโครงสร้างผิวทาง จึงสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ความเสียหายด้านการใช้งาน (Functional Failure) และ ความเสียหายด้านโครงสร้าง (Structural Failure) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วความเสียหายด้านการใช้งานมักจะประเมินได้ในทันที อันเนื่องมาจากลักษณะความเสียหายนั้นจะเกิดที่ผิวทางทำให้สามารถมองเห็นและประเมินได้ด้วยตาเปล่า (Visual Assessment) เช่น การหลุดร่อนของมวลรวมเป็นต้น ในขณะที่ความเสียหายทางโครงสร้างนั้นมีทั้งแบบที่สามารถประเมินได้ด้วยตาเปล่า เช่น การแตกร้าว และแบบที่ไม่สามารถทำได้ เช่น การเกิดโพรงใต้ผิวทาง (Void) หรือการประเมินกำลังความต้านทานน้ำหนักของแต่ละชั้นทาง เป็นต้น สำหรับกรณีโครงสร้างผิวทางคอนกรีตนั้นพบว่าความเสียหายมักเกิดขึ้นที่บริเวณรอยต่อ (Joints) เนื่องจากเป็นบริเวณที่อ่อนแอที่สุดของโครงสร้างแผ่นพื้น โดยที่ผ่านมามีวิศวกรหลายท่านได้พยายามปรับปรุงวิธีการเสริมความแข็งแรงให้รอยต่อแผ่นคอนกรีต เช่น ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ [4] ได้ใช้ทฤษฎีของ Friberg วิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานของเหล็กเดือย (Dowel Bar) ขนาด 1 นิ้ว ที่ใช้ในงานก่อสร้างถนนคอนกรีตในประเทศไทยขณะนั้น และได้ข้อสรุปว่าการเลือกใช้เหล็ก Dowel Bar ขนาดดังกล่าวมีความเสี่ยงต่อการแบกรับน้ำหนักที่เกิดจากปริมาณและขนาดของรถบรรทุกหนักที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และในปี ค.ศ.2004 จากการศึกษาของ Xing Giang Xiao และ Yan Jun Qiu [5] โดยการทดสอบจริงวิเคราะห์ร่วมกับการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง LTE และโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นมีความสัมพันธ์กันโดยหากเกิดโพรงใต้แผ่น

พื้นจะส่งผลให้ LTE ลดต่ำลง แต่เนื่องจากงานวิจัยชิ้นนี้ไม่ได้ถูกเผยแพร่ในวงกว้าง เนื่องจากเนื้อหาเกือบทั้งหมดเป็นภาษาจีน จึงทำให้ต้องมีการวิจัยศึกษาเพิ่มเติม

ทั้งนี้จากทฤษฎีทางกลศาสตร์พื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างผิวทาง เช่น ทฤษฎีของ บูซิเนก (Boussinesq's Theory) ทฤษฎีหลายชั้นทางแบบยืดหยุ่น (Multilayered Elastic Theory) หรือทฤษฎีการวิเคราะห์โครงสร้างผิวทางคอนกรีตของเวสเตอร์การ์ดบนฐานรากของริงค์เลอร์ (Westergaard's Theory on Winkler foundation) จะพบความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยุบตัวของผิวทาง (Surface Deflection Basin) กับค่าความแข็งแรงโครงสร้างผิวทางในสภาพแวดล้อมขณะทำการวัดได้ โดยในทางปฏิบัติของการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างผิวทางนั้นนิยมใช้วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Nondestructive Testing, NDT) โดยเป็นการทดสอบในที่ซึ่งทำให้ข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือสูงเนื่องจากอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมจริง เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างผิวทางจากค่าการยุบตัวของผิวทางนั้นถูกพัฒนาและคิดค้นขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงเกิดเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดสอบแบบไม่ทำลายขึ้นหลากหลายประเภท ซึ่งสามารถแยกเป็นประเภทหลักๆ ได้แก่ [3]

1. เครื่องมือแบบสถิต (Static Device) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้น้ำหนักกดทับแบบสถิตหรือกึ่งสถิต เช่น เครื่องมือคานของเบนเคลแมน (Benkelman Beam)
2. เครื่องมือแบบสั่นสะเทือน (Vibratory Device) เช่น เครื่อง Dynaflect หรือ Road Rater
3. เครื่องมือแบบใช้แรงกระตุ้น (Impulse Device) เช่น เครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD) หรือเครื่องมือ Heavy Falling Weight Deflectometer (HWD) โดยภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะของเครื่องมือชนิดนี้



ภาพที่ 2.1 เครื่องมือวัดค่าการยุบตัวด้วยลูกตุ้มกระแทกแบบหนัก (HWD หรือ HFWD) [6]

โดยจากเครื่องมือดังกล่าวข้างต้นนั้น เครื่องมือแบบใช้แรงกระตุ้นนั้นได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในวงการวิศวกรรมผิวทางว่ามีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องมือประเภทอื่นในหลายๆ ด้าน เช่น ความสามารถในการจำลองน้ำหนักของยานพาหนะที่วิ่งบนผิวทางด้วยความเร็วใช้งาน หรือความสามารถในการวัดค่าซ้ำเดิม (Repeatability) ได้อย่างแม่นยำ ทำให้ค่าที่วัดได้มีความน่าเชื่อถือสูง โดยประเทศไทยได้มีการนำเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer เข้ามาใช้งานครั้งแรกในปี พ.ศ. 2537 ในโครงการนำร่องของกรมทางหลวง [7] เพื่อใช้ประเมินสภาพผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตและพัฒนาวีธีออกแบบโครงสร้างชั้นทาง โดยได้รับการสนับสนุนช่วยเหลือทางด้านการเงินและด้านวิชาการจากรัฐบาลประเทศแคนาดา ในเวลาต่อมาหน่วยงานอื่นๆ ก็ได้มีการสั่งซื้อนำเข้ามาเครื่องมือเหล่านี้เข้ามาใช้งานเช่นกัน เช่น กรมทางหลวงชนบท และ บริษัท ท่าอากาศยานแห่งประเทศไทย จำกัด (มหาชน) เป็นต้น

2.2 แนวทางการตัดสินใจทดสอบด้วย NDT

โดยสำหรับสถานะการใช้งานของสนามบินนานาชาติทั่วไปต้องรองรับการใช้งานของฝูงอากาศยานขนาดใหญ่จำนวนมากในแต่ละปี ซึ่งหน่วยงานระดับสากลที่มีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงกับการบริหารจัดการงานการบิน เช่น FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION หรือ FAA ได้ประเมินว่าปัจจัยที่ทำให้แนวโน้มการทำให้เกิดความเสียหายด้านโครงสร้างต่อผิวทางสนามบินนั้น

ขึ้นอยู่กับจำนวนเที่ยวบินขาออกและขนาดน้ำหนักรวมขณะขึ้นบินสูงสุด (Maximum Gross Takeoff Weights, MGTOW) ของอากาศยานที่เกินกว่า 100,000 ปอนด์ หรือประมาณ 45,360 กก. [2] จึงถือเป็นปัจจัยสำคัญหนึ่งที่หน่วยงานผู้ดูแลท่าอากาศยานที่ต้องรองรับฝูงอากาศยานขนาดใหญ่ควรจัดให้มีการทดสอบวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างผิวทางตามระยะเวลาที่เหมาะสม ทั้งนี้ FAA [6] ให้ข้อเสนอแนะสำหรับสนามบินขนาดเล็กกว่าที่มีลักษณะการใช้งานประจำที่ไม่ได้รองรับอากาศยานที่มี MGTOW เกินกว่า 27,200 กก. (60,000 ปอนด์) แต่หากมีการใช้งานของอากาศยานขนาดใหญ่เป็นบางครั้ง หรืออากาศยานที่ใช้แรงดันลมยางสูงก็อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างได้ ในกรณีการตัดสินใจทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างผิวทางก็จะทำให้การบริหารจัดการ โครงสร้างผิวทางสนามบินมีประสิทธิภาพมากขึ้นได้

โดยข้อมูลสำคัญสำหรับการเลือกวิธีและจำนวนการทดสอบแบบไม่ทำลายเพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างผิวทางสนามบินมักขึ้นอยู่กับ 3 องค์ประกอบ ได้แก่ [6]

- ขนาดพื้นที่ของโครงสร้างผิวทางที่ต้องทดสอบ
- ชนิดของโครงสร้างผิวทาง และ
- ชนิดของการศึกษา ซึ่งโดยทั่วไปแบ่งเป็น การทดสอบระดับโปรเจกต์ และระดับโครงข่าย (Project or Network-Level Investigation)

โดยการทดสอบระดับโปรเจกต์มีวัตถุประสงค์เพื่อการตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างผิวทางเดิม หรือเพื่อนำไปคำนวณหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุชั้นทาง เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบซ่อมบำรุงผิวทาง / หรือเพื่อออกแบบเสริมความแข็งแรงผิวทาง / หรือเพื่อการออกแบบก่อสร้างผิวทางใหม่ ซึ่งทำให้การทดสอบระดับนี้อาจเป็นการทดสอบเพียงบางส่วนหรือเพียงบางจุดของท่าอากาศยานเท่านั้น

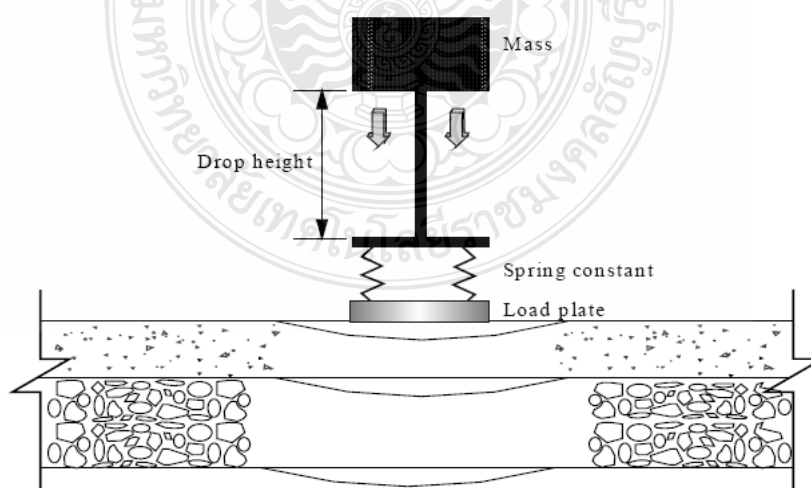
ในขณะที่การทดสอบระดับโครงข่ายมีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลทดสอบไปปรับปรุงฐานข้อมูลผิวทาง เช่น นำไปประกอบกับ PCI Survey Data หรือนำไปปรับปรุงฐานข้อมูลในโปรแกรมบริหารจัดการโครงสร้างผิวทางสนามบิน (Airport Pavement Management System, APMS) เพื่อให้ระบบการบริหารจัดการโครงสร้างผิวทางมีความถูกต้องกับสภาพของผิวทางจริง หรือเพื่อทำการทดสอบหาค่า Aircraft Classification Number-Pavement Classification Number Ratio, (ACN/PCN) แต่ละส่วนของท่าอากาศยาน ด้วยเหตุนี้ทำให้การทดสอบระดับโครงข่ายมักจะกระทำจนครบทุกส่วนของท่าอากาศยาน เช่น อาจรวมทั้งส่วน Airside และ Landside เป็นต้น

สำหรับการใช้เครื่องมือ HWD ทดสอบผิวทางสนามบินนานาชาติภูเก็ต และสนามบินนานาชาติหาดใหญ่ในครั้งนี้เป็นการทดสอบในโครงการศึกษา ตำรวจ ออกแบบซ่อมแซม/แก้ไข /

ปรับปรุง พื้นผิวทางวิ่ง ทางขับและลานจอด ซึ่งเป็นลักษณะงานในระดับโปรเจ็ค แต่ในขณะที่เดียวกันก็มีวัตถุประสงค์คู่ขนานในการที่ต้องการประเมินค่าดัชนี ACN/PCN ด้วย ซึ่งเป็นลักษณะงานในระดับโครงการ ดังนั้นการพิจารณาหลักเกณฑ์ต่างๆ ในการทดสอบจึงต้องให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์ในทั้งสองระดับด้วย

2.3 การวัดค่าการยุบตัวด้วยเครื่องมือ HWD

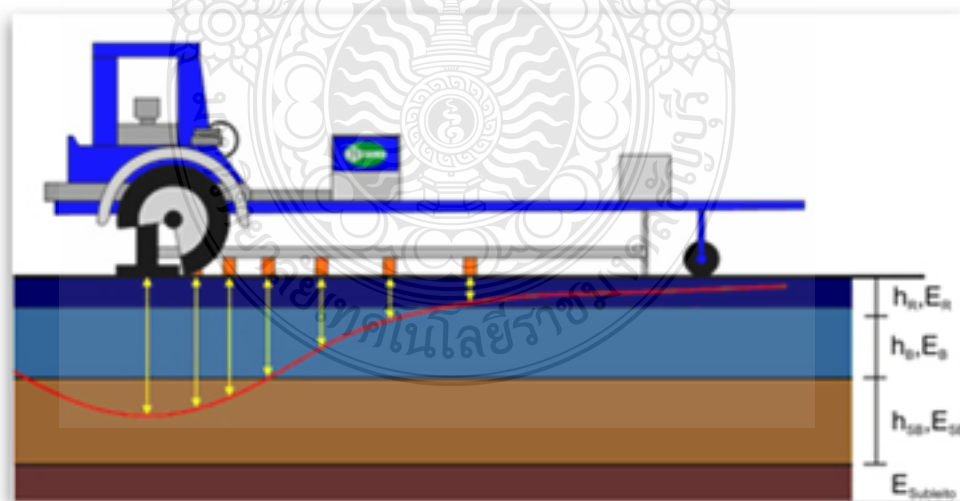
ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นว่าค่าการยุบตัวของผิวทางสามารถหาได้จากเครื่องมือวัดค่าการยุบตัวจากลูกตุ้มกระแทก (Falling Weight Deflectometer, FWD) หรือ เครื่องมือวัดค่าการยุบตัวจากลูกตุ้มน้ำหนักกระแทกแบบหนัก (Heavy Falling Weight Deflectometer, HWD) ซึ่งเครื่องมือทั้งสองชนิดเป็นเครื่องมือที่มีหลักการทำงานแบบเดียวกัน ซึ่งเป็นเครื่องมือในการประเมินความแข็งแรงโครงสร้างผิวทางจากค่าการยุบตัวในประเภทใช้แรงกระตุ้น (Impulse Devices) เครื่องมือประเภทนี้ใช้การปล่อยตุ้มน้ำหนักจากสถานะอิสระลงบนสปริงยางที่ติดกับแผ่นเหล็กเพื่อกระจายน้ำหนักลงสู่ผิวทางดังแสดงในภาพที่ 2.2 โดยขนาดของน้ำหนักที่เกิดขึ้นสามารถปรับได้จากการปรับขนาดของตุ้มน้ำหนัก และ/หรือ ปรับความสูงของตุ้มน้ำหนัก เพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักกระแทกที่สามารถจำลองน้ำหนักของยานพาหนะได้อย่างเหมาะสม โดยในขณะที่ผิวทางเกิดการยุบตัวนั้น ชุดอุปกรณ์วัดค่า เช่น จีโอโฟนส์ (Geophones) ที่ติดตั้งไว้จะทำการวัดและบันทึกค่าการยุบตัวที่ตำแหน่งต่างๆ ที่กำหนดไว้ห่างจากจุดศูนย์กลางของแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนัก ทำให้ได้ค่าแอมพลิจูดการยุบตัวที่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการคำนวณย้อนกลับดังกล่าวข้างต้น



ภาพที่ 2.2 ลักษณะแรงกระแทกจากตุ้มน้ำหนักจากเครื่อง HWD หรือ FWD [6]

โดยเครื่อง HWD มีความแตกต่างหลักจาก FWD ความสามารถในการสร้างน้ำหนักกระแทกที่มากกว่า โดยเครื่อง HWD ในปัจจุบันบางรุ่นนั้นสามารถสร้างน้ำหนักกระแทกได้มากถึง 300 kN ทำให้สามารถจำลองการเคลื่อนที่ผ่านจุดทดสอบของยานพาหนะที่มีน้ำหนักมาก เช่น เครื่องบินโดยสารขนาดใหญ่ และสามารถใช้ทดสอบโครงสร้างผิวทางที่มีความหนามาก เช่น ลานจอดเครื่องบิน ด้วยเหตุดังกล่าวเครื่อง HWD จึงมีเป้าหมายหลักในการผลิตเพื่อใช้ทดสอบโครงสร้างผิวทางของสนามบินนั่นเอง

ในการทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างทางโดยเครื่อง HWD สามารถทำได้โดยอิสระ (Stand Alone System) โดยไม่ต้องใช้รถบรรทุกขนาดมาตรฐานเหมือนเครื่องเบนเคลแมนบีม ซึ่งทำให้เกิดความสะดวกคล่องตัวรวมทั้งทำให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานมากขึ้นอีกด้วย โดยขั้นตอนในการทดสอบนั้นผู้ปฏิบัติงานสามารถนำเครื่องเข้าสู่จุดทดสอบได้ทันทีหลังจากที่ได้ปรับค่าน้ำหนักและความสูงของการยกที่ต้องใช้ในการทดสอบเรียบร้อยแล้ว โดยภายหลังจากการปล่อยน้ำหนักทดสอบผ่านแผ่นเหล็กแล้วจะทำให้เกิดแรงกระทำต่อโครงสร้างถนน ระบบจะทำการตรวจวัดค่าการแอ่นตัวที่เป็นผลจากแรงที่กระทำโดยใช้ตัวรับสัญญาณซึ่งโดยทั่วไปใช้ 6 ถึง 9 ตัว ซึ่งถึงแม้ว่าตำแหน่งของตัวรับสัญญาณจะสามารถปรับได้ตามที่ผู้ทดสอบต้องการ แต่โดยทั่วไปแล้วจะมีตำแหน่งการวางตัวที่เป็นมาตรฐานในการทำงาน เช่น ที่ระยะ 0, 200, 350, 400, 600, 900, 1200, 1500 และ 1,800 มม. นับจากจุดศูนย์กลางแผ่นเหล็กดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 หลักการทำงานของเครื่องวัดค่าความยุบตัวโดยลูกตุ้มกระแทก (FWD) [8]

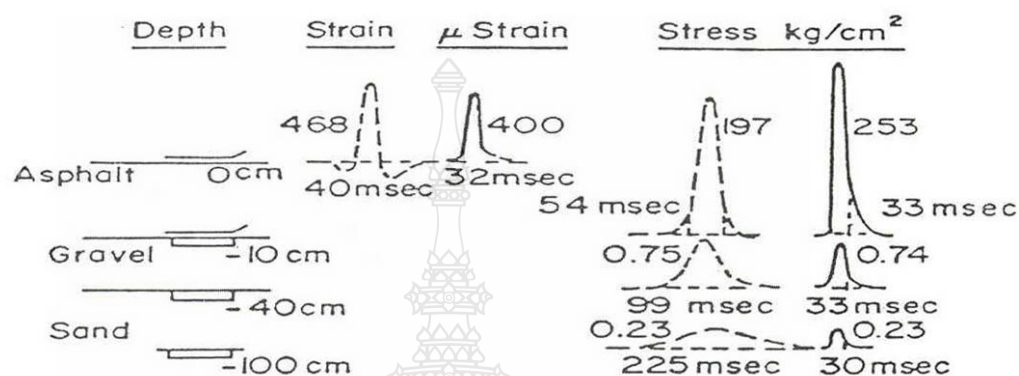
ขณะทดสอบก๊อนน้ำหนักทดสอบจะตกกระทบบนแผ่นรองรับที่ติดอยู่กับแผ่นฐานที่มีแผ่นยางช่วยรับทำหน้าที่คล้ายสปริง ซึ่งทั้งภาพแบบของการให้น้ำหนักทดสอบและสปริงต้องได้รับการออกแบบให้เหมาะสมเพราะเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้ได้ลักษณะแรงที่กระทำต่อโครงสร้างผิวทางที่สะท้อนเป็นสัญญาณคลื่นของแรงกระทำที่มีขนาด ภาพร่างและช่วงเวลาของแรงกระทำที่เหมาะสมคล้ายคลึงกับสัญญาณคลื่นของแรงกระทำที่เกิดขึ้นเมื่อล้อรถบรรทุกหนักกระทำต่อโครงสร้างผิวทางขณะวิ่งผ่านซึ่งค่าของแรงดังกล่าวสามารถคำนวณหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.1 [9]

$$P = (2ghmk)^{0.5} \quad (2.1)$$

โดยที่	P =	จุดสูงสุดของแรง, ปอนด์
	g =	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, ฟุตต่อวินาที ²
	h =	ระยะความสูงของการปล่อยน้ำหนัก, ฟุต
	m =	มวลของก๊อนน้ำหนักทดสอบ, ปอนด์
	k =	ค่าคงที่ของสปริง

โดยระบบคอมพิวเตอร์จะเก็บข้อมูลการยุบตัวที่แต่ละตำแหน่งของตัวรับสัญญาณ และที่บริเวณตรงกลางแผ่นเหล็กจะติดตั้งเครื่องวัดน้ำหนัก (Load Cell) ไว้ด้วยเพื่อวัดค่าน้ำหนักที่แท้จริงที่กระทำต่อผิวจราจร ค่าน้ำหนักที่กระทำต่อผิวทางจะถูกบันทึกไว้ตลอดเวลาดังแสดงในภาพที่ 2.4

--- Moving Wheel Load, 5 tons (10,000 lb) at
38.3 km/h (23.8 mph)
— Falling Weight Deflectometer (150 kg mass
at a drop height of 40 cm)
1 cm = 0.394 in.
1 kg = 2.20 lb



ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างสัญญาณคลื่น Half-Sine wave ที่วัดได้จากเครื่องมือ FWD [9]

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาตามลักษณะของโครงสร้างผิวทางจะพบว่าโดยทั่วไปโครงสร้างผิวทางสนามบินสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลักได้แก่ โครงสร้างผิวทางแบบยืดหยุ่น (Flexible Pavement) เช่น โครงสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตและโครงสร้างผิวทางแบบแกร่ง (Rigid Pavement) เช่น โครงสร้างผิวทางซีเมนต์คอนกรีต ซึ่งทั้ง 2 ประเภท มีพฤติกรรมในการรับน้ำหนักที่แตกต่างกัน ส่งผลให้เกิดความเสียหายได้แตกต่างกัน ทำให้งานทดสอบโครงสร้างทั้งสองประเภทมีรายละเอียดที่ต่างกันด้วย โดยในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่การทดสอบและวิเคราะห์โครงสร้างผิวทางคอนกรีต จึงจะกล่าวรายละเอียดเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องเท่านั้น

2.4 วิธีการทดสอบโครงสร้างผิวทางแบบแกร่ง

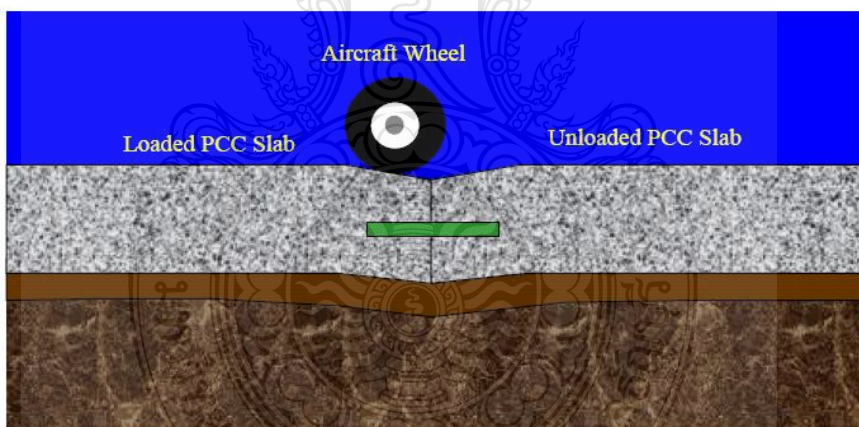
เนื่องจากผิวทางแบบแกร่งที่ก่อสร้างในงานสนามบินส่วนใหญ่เป็นผิวทางคอนกรีตแบบมีรอยต่อ Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP) ทำให้พฤติกรรมตอบสนองต่อการรับน้ำหนักของผิวทางแผ่นคอนกรีตชนิดนี้มีหลายลักษณะ ทั้งนี้รวมถึงผิวทางแอสฟัลต์เททับหน้าบนแผ่นคอนกรีต (HMA Overlaid PCC) ส่งผลให้วิธีการทดสอบด้วยเครื่อง HWD เพื่อประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างผิวทางสนามบินชนิดนี้มีหลายวิธี ดังนี้

2.4.1 วิธีการทดสอบที่ศูนย์กลาง (Center Test)

ดั่งที่กล่าวไว้ข้างต้นว่าวิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้ประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างโดยรวม และสามารถใช้ได้กับโครงสร้างผิวทางทั้งแบบยึดหยุ่นและแบบแกร่งโดยการทดสอบด้วยวิธีนี้บนผิวทางแบบคอนกรีตที่มีรอยต่อ JPCP รวมทั้งผิวทางแอสฟัลต์เทบ์หน้าบนแผ่นคอนกรีต (HMA Overlaid PCC) ด้วย และ คือ การทดสอบบนตำแหน่งกลางแผ่นคอนกรีตนั่นเอง

2.4.2 การทดสอบที่รอยต่อ (Joints Test)

การทดสอบด้วยเครื่องมือ HWD ที่รอยต่อตามยาวและตามขวาง (Longitudinal and Transverse Joints) ของผิวทางคอนกรีต สามารถนำไปใช้ประเมินประสิทธิภาพในการถ่ายน้ำหนักระหว่างแผ่นคอนกรีตที่รับน้ำหนักไปสู่แผ่นข้างเคียงได้โดยลักษณะการถ่ายน้ำหนักระหว่างแผ่นคอนกรีตดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 2.5 ซึ่งโดยหลักการแล้วหากน้ำหนักบรรทุกถูกถ่ายไปยังแผ่นคอนกรีตข้างเคียงได้มากจะทำให้หน่วยแรงเค้นดัด (Flexural Stress) ในแผ่นคอนกรีตที่รับน้ำหนักลดลงส่งผลให้อายุการใช้งานของแผ่นคอนกรีตนานขึ้น ในภาพที่ 2.6 แสดงตำแหน่งการทดสอบที่รอยต่อตามยาวและตามขวางเปรียบเทียบกับทิศทางการทดสอบ

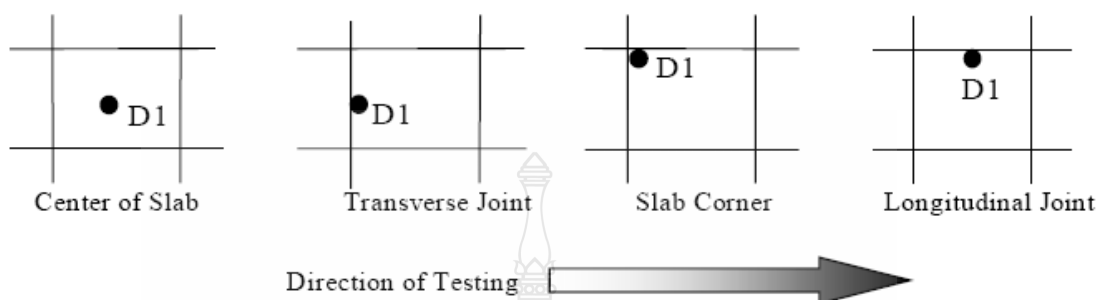


ภาพที่ 2-5 การถ่ายน้ำหนักระหว่างแผ่นคอนกรีต [6]

2.4.3 การทดสอบที่มุม (Corner Test)

การทดสอบด้วยเครื่องมือ HWD ที่มุมแผ่นคอนกรีตดังแสดงในภาพที่ 2.6 เป็นวิธีการทดสอบที่ใช้ทั่วไปกับผิวทางคอนกรีตเช่นกัน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วที่ตรงมุมแผ่นคอนกรีตจะเป็นบริเวณที่เกิดการสูญเสียของวัสดุชั้นรองรับมากที่สุดของแผ่นทำให้โอกาสในการเกิดโพรงหรือช่องว่างใต้แผ่นคอนกรีตมีความเป็นไปได้มากและมักส่งผลให้ค่าการยุบตัวที่ได้จากการทดสอบแบบนี้มีค่า

มากที่สุดเมื่อเทียบกับส่วนอื่นของแผ่นคอนกรีต โดย FAA [6] ให้ข้อเสนอแนะว่าการทดสอบที่มุนั้นควรให้แผ่นเหล็กอยู่ห่างจาก Longitudinal และ Transverse Joints ในระยะไม่เกิน 150 มม.



ภาพที่ 2.6 แนวทางการทดสอบบนผิวทางคอนกรีตแบบมีรอยต่อ [6]

ทั้งนี้การทดสอบด้วยเครื่องมือ HWD บนแผ่นคอนกรีตนิยมทดสอบด้วยวิธีต่างๆ ที่เลือกใช้บนแผ่นคอนกรีตเดียวกัน เพื่อนำผลทดสอบที่ได้มาประเมินเปรียบเทียบกับส่วนอื่นๆ ของสนามบิน โดยในงานวิจัยนี้จะนำเทคนิคการทดสอบเพื่อหาโพรงใต้แผ่นคอนกรีตที่มุมมาประยุกต์ใช้กับการหาโพรงใต้แผ่นคอนกรีตที่รอยต่อตามขวางเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการถ่ายแรงและโพรงที่ตำแหน่งเดียวกัน

2.5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก

การวิเคราะห์สภาพรอยต่อของผิวทางคอนกรีตหรือสภาพรอยแตกของแผ่นคอนกรีตจะทำให้สามารถวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการถ่ายน้ำหนักจากแผ่นคอนกรีตที่ถูกกดทับไปสู่แผ่นข้างเคียงที่ไม่ถูกกดทับได้ ซึ่งประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักนี้จะมีผลโดยตรงต่อกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างผิวทางคอนกรีตโดยรวม โดยในทางวิศวกรรมผิวทางได้นิยามค่าประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักแบบการยุบตัว (Deflection Load Transfer Efficiency, LTE_{Δ}) ดังสมการที่ 2.2 [6]

$$LTE_{\Delta} = \left(\frac{\Delta_{\text{Unloaded_slab}}}{\Delta_{\text{loaded_slab}}} \right) 100\% \quad (2.2)$$

เมื่อ LTE_{Δ} = ประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักแบบการยุบตัว [%]

$$\begin{aligned}\Delta_{unloaded_slab} &= \text{ค่ายุบตัวของแผ่นคอนกรีตที่ไม่ได้รับน้ำหนัก [\mu m]} \\ \Delta_{loaded_slab} &= \text{ค่ายุบตัวของแผ่นคอนกรีตที่รับน้ำหนัก [\mu m]}\end{aligned}$$

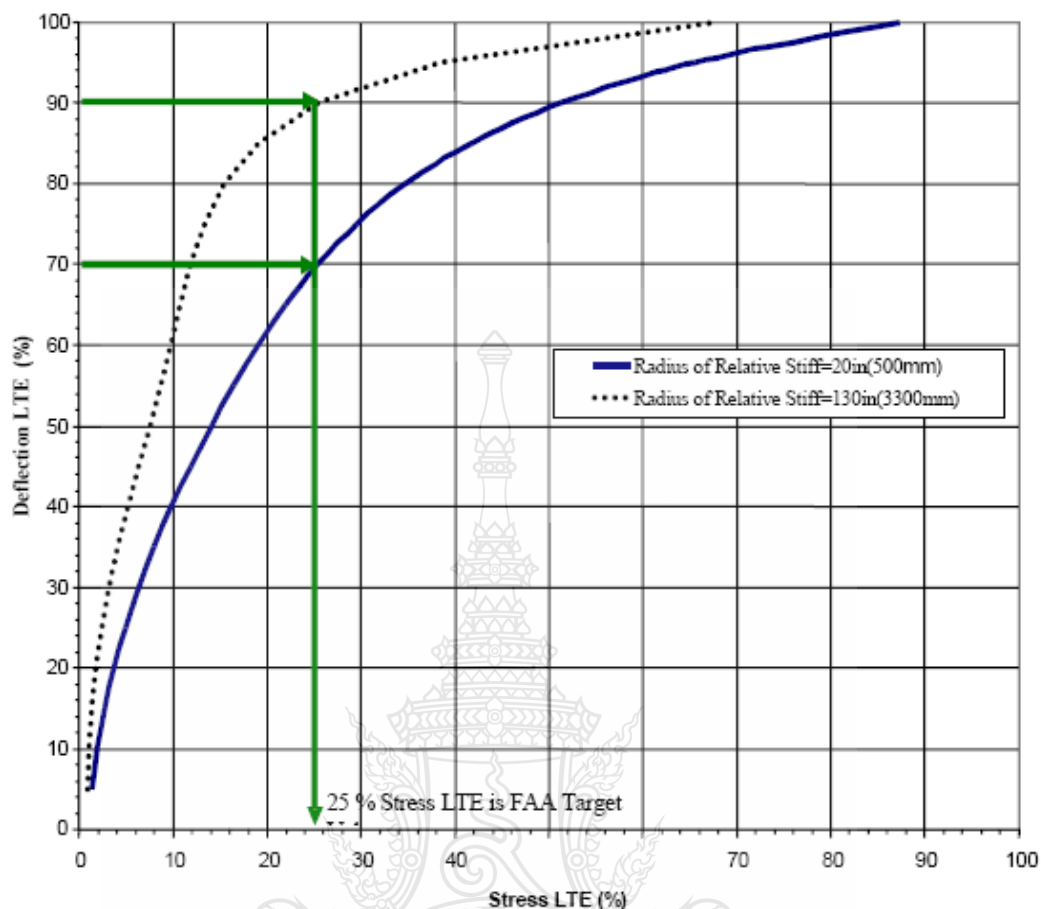
ทั้งนี้ ค่าประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักยุบตัว จะสามารถนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบความสัมพันธ์กับค่าประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักแบบหน่วยแรงเค้น (Stress Load Transfer Efficiency, LTE_{σ}) ซึ่งสามารถคำนวณได้เช่นกัน โดยใช้สมการที่ 2.3 [6] ดังแสดง

$$LTE_{\sigma} = \left(\frac{\sigma_{unloaded_slab}}{\sigma_{loaded_slab}} \right) 100\% \quad (2.3)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}LTE_{\sigma} &= \text{ประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักแบบหน่วยแรงเค้น [%]} \\ \sigma_{unloaded_slab} &= \text{หน่วยแรงเค้นของแผ่นคอนกรีตที่ไม่ได้รับน้ำหนัก [psi]} \\ \sigma_{loaded_slab} &= \text{หน่วยแรงเค้นของแผ่นคอนกรีตที่รับน้ำหนัก [psi]}\end{aligned}$$

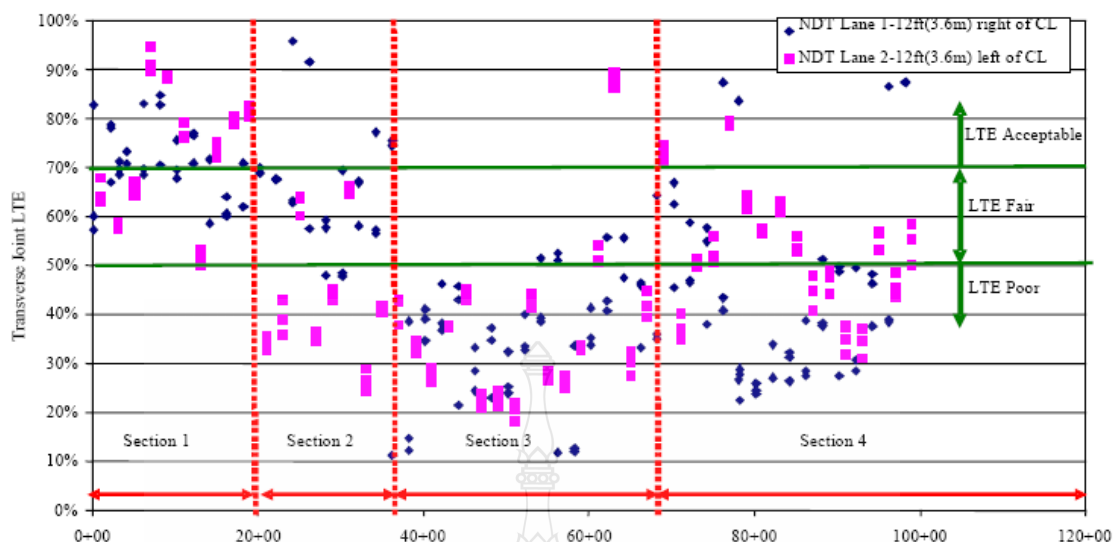
การหาความสัมพันธ์ดังกล่าวทำให้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบได้ เช่น FAA [6] ได้เสนอความสัมพันธ์ของค่า LTE_{Δ} และค่า LTE_{σ} ของกรณีการใช้แผ่นเหล็กรับน้ำหนักของเครื่องมือ HWD ขนาด 300 มม. โดยคิดการลดหน่วยน้ำไว้ที่ 25% ไว้ดังแสดงในภาพที่ 2.7 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่แสดงในเทอมของค่ารัศมีความแกร่งสัมพัทธ์ (Radius of Relative Stiffness, λ_k) ของแผ่นพื้นคอนกรีตที่ใช้ทั่วไปในงานสนามบิน



ภาพที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของ LTE แบบการขูดตัวและแบบหน่วยแรงเค้น เสนอโดย FAA [6]

2.5.1 ข้อมูลประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการถ่ายน้ำหนัก (Load Transfer Efficiency) สามารถนำไปใช้งานวิเคราะห์ความแข็งแรงของผิวทางในภาพรวมได้ รวมทั้งสามารถนำไปใช้วิเคราะห์หาตำแหน่งแผ่นพื้นคอนกรีตที่อาจต้องซ่อมแซม ปรับปรุง แก้ไขได้ โดยภาพที่ 2.8 แสดงตัวอย่างการพล็อตค่า LTE_{Δ} เทียบกับสถานีตำแหน่งทดสอบวัดค่าการขูดตัวด้วยเครื่องมือ HWD เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของประสิทธิภาพในการถ่ายน้ำหนักของรอยต่อหรือหรือรอยแตกของผิวทางคอนกรีตในสนามบิน ตามข้อเสนอแนะของ FAA [6]

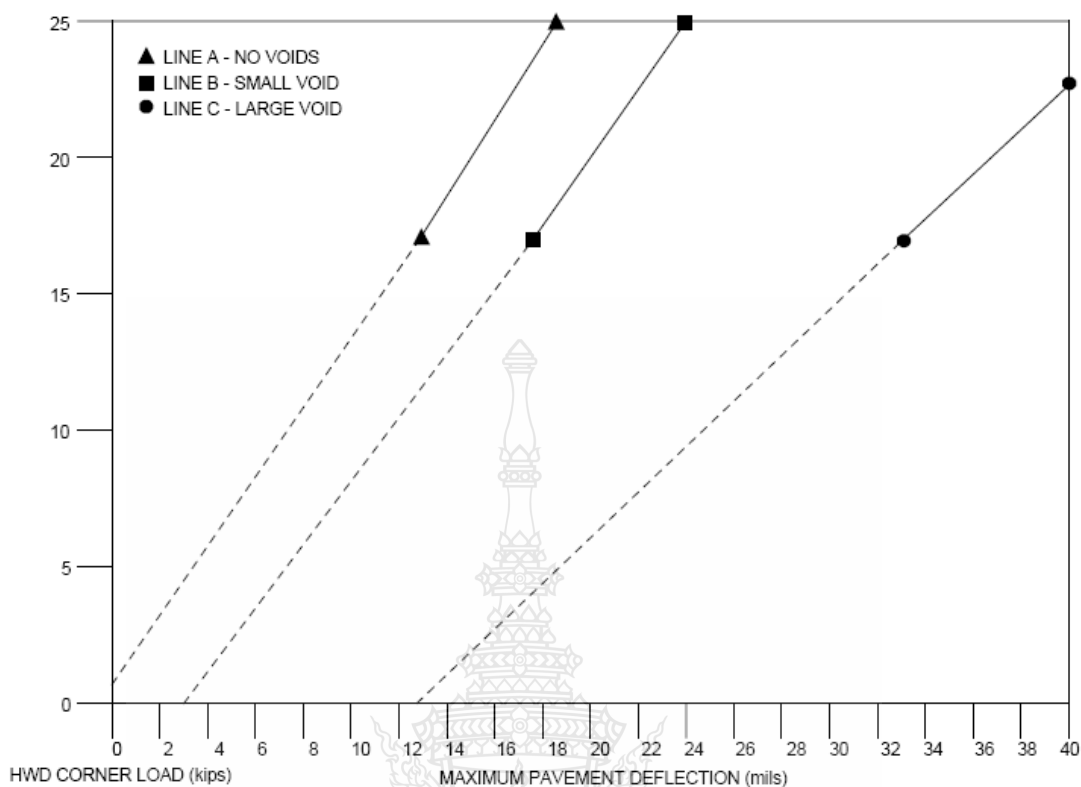


ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความแข็งแรงของสภาพรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีต ตามข้อเสนอของ FAA [6]

2.6 การวิเคราะห์โพรงใต้รอยต่อแผ่นคอนกรีต

สภาพชั้นรองรับของแผ่นคอนกรีตถือเป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งที่มีผลต่ออายุการใช้งานโดยรวมของผิวทางคอนกรีต ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสมมติฐานตั้งต้นในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของผิวทางด้วยการคำนวณย้อนกลับนั้นคือ ผิวทางคอนกรีตวางแผ่นราบสัมผัสกับชั้นรองรับอย่างแนบสนิทสมบูรณ์แบบ แต่ในสภาพความเป็นจริงนั้นบางครั้งมีการสูญเสียสภาพของชั้นรองรับได้ เช่น จากการกัดกร่อนจากการซึมเข้าได้ของน้ำ ทำให้เกิดการบีบออกของอนุภาคขนาดเล็ก (Pumping) จนกลายเป็นโพรง ทำให้แผ่นคอนกรีตมีโอกาสเกิดความเสียหาย เช่น การแตกหักที่มุม (Corner Break) เป็นต้น

ดังนั้นวิเคราะห์ตรวจสอบชั้นรองรับของแผ่นคอนกรีตด้วยเครื่องมือ HWD จึงมุ่งเป้าไปที่การตรวจสอบหาโพรงใต้มุมแผ่นคอนกรีตเป็นหลัก โดยจากผลค่าการยุบตัวที่ได้การทดสอบด้วยเครื่องมือ HWD ที่ใช้น้ำหนักกระแทกต่างระดับกันจะเป็นข้อมูลหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์ภาพที่ 2.9 แสดงตัวอย่างการพล็อตค่าการยุบตัวจากที่ตำแหน่งทดสอบด้วยเครื่องมือ HWD ที่ต่างกันเพื่อวิเคราะห์หาค่าโพรงใต้แผ่นคอนกรีต โดยจากหลักการพื้นฐานของวิศวกรรมผิวทางจะประเมินได้ว่าไม่มีโพรงใต้แผ่นคอนกรีตเมื่อแนวเส้นเชื่อมต่อ (Extrapolation) ตัดผ่านแกนราบใกล้จุดกำเนิด แต่เมื่อแนวเส้นอยู่ห่างไกลออกไป ทำให้แนวโน้มในการมีโพรงอยู่ใต้แผ่นคอนกรีตมีมาก

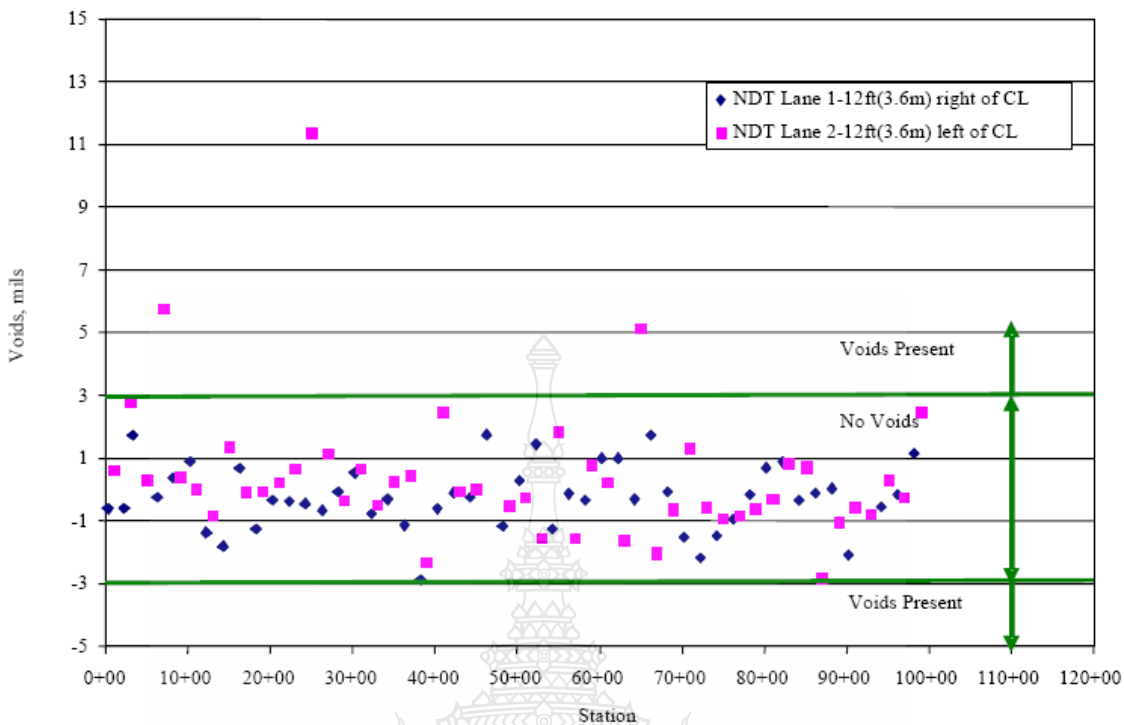


ภาพที่ 2-9 ตัวอย่างการผลการทดสอบเพื่อวิเคราะห์โพรงใต้แผ่นคอนกรีต [6]

ทั้งนี้เนื่องจากความซับซ้อนของพฤติกรรมของโครงสร้างผิวทางและจำนวนจุดทดสอบของโครงการทดสอบผิวทางสนามบินซึ่งมักจะมีจำนวนมาก ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงนิยมใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ค่าการยุบตัวที่ได้จากการทดสอบเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งปัจจุบันมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านี้ถูกพัฒนาขึ้นมาเป็นจำนวนมาก

2.6.1 ข้อมูลการวิเคราะห์โพรงใต้แผ่นคอนกรีต

ในลักษณะเช่นเดียวกันกับผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการถ่ายน้ำหนัก (LTE) ในหัวข้อก่อนหน้า ผลการวิเคราะห์สภาพชั้นรองรับโดยการวิเคราะห์โพรงใต้แผ่นคอนกรีตสามารถนำไปใช้ในงานวิเคราะห์ความแข็งแรงของผิวทางในภาพรวมได้ รวมทั้งสามารถนำไปใช้วิเคราะห์หาตำแหน่งแผ่นพื้นคอนกรีตที่อาจต้องซ่อมแซม ปรับปรุง แก้ไข ตามข้อแนะนำของ FAA [6] โดยภาพที่ 2.10 แสดงตัวอย่างการพล็อตระหว่างผลการวิเคราะห์โพรงใต้แผ่นคอนกรีตกับสถานีจุดทดสอบบนผิวทางคอนกรีตของทางขับ (Taxiway) ขนาด 3 กม. ทั้งนี้ในการนำผลไปใช้งานจึงสมควรมีการตรวจสอบหรือซ่อมแซม แก้ไข ปรับปรุงต่อไป



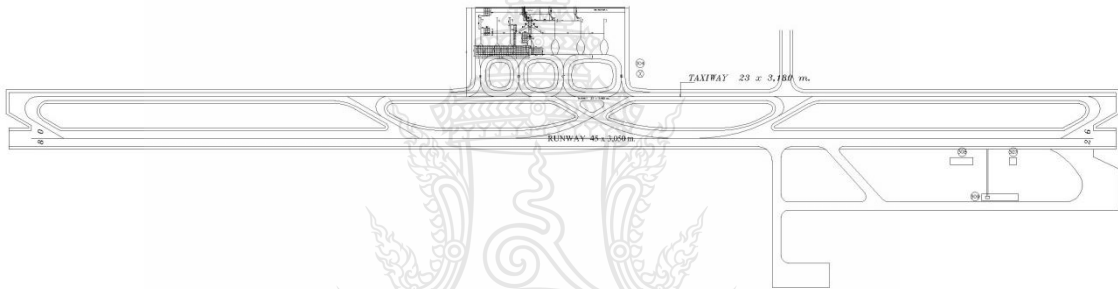
ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ (Taxiway) ขนาด 10,000 ฟุต (3 กม.) [6]



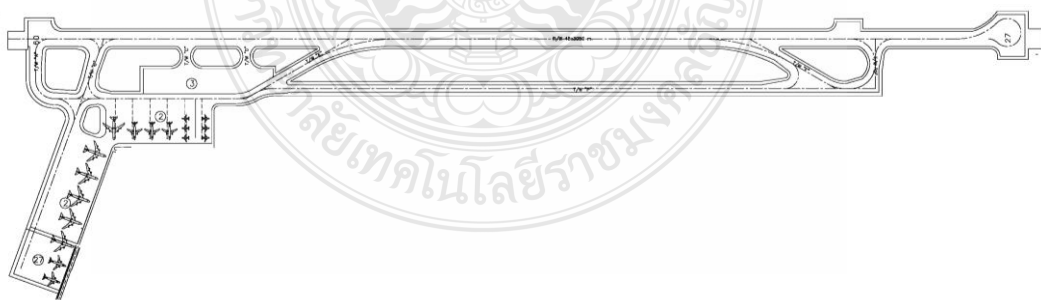
บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดสอบโครงสร้างสร้างผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตของท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ และ ภูเก็ต ด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (NDT) ดังแสดงในภาพที่ 3.1 และภาพที่ 3.2 โดยในส่วนของรายละเอียดต่างๆ อาทิ เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ หรือ ขั้นตอนวิธีการทดสอบในภาคสนามจะกล่าวไว้ในบทนี้ โดยผลการทดสอบที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ตามหลักการของทฤษฎีที่อธิบายไว้ในบทที่ 2 เพื่อหาผลวิเคราะห์ที่ถูกต้องต่อไป



ภาพที่ 3.1 ฟังท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่



ภาพที่ 3.2 ฟังท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ

3.1.1 เครื่องมือ Heavy Falling Weight Deflectometer (HWD)

เครื่องมือ HWD ที่ใช้ในโครงการศึกษาฯ นี้ เป็นเครื่องที่ผลิตขึ้นโดยบริษัท Carlbro รุ่น PRIMAX SHWD 7-300 kN ดังแสดงในภาพที่ 3.3 ซึ่งเป็นเครื่องของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ทดสอบที่ออกแบบมาเฉพาะ สามารถผลิตแรงกระแทกลงบนผิวทางได้มากถึง 300 kN ทำให้สามารถจำลองน้ำหนักและแรงกระแทกที่เกิดจากการใช้งานของเครื่องบินรุ่นใหม่ที่มีน้ำหนักมากได้ โดยแรงกระแทกขนาดดังกล่าวยังมีศักยภาพเพียงพอในการทำให้ค่าการยุบตัวที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ที่ไกลจากตำแหน่งแรงกระทำมากที่สุดนั้นมีค่าอยู่ในช่วงเกณฑ์ที่ยอมรับได้ซึ่งผู้ผลิตแต่ละรายจะมีเกณฑ์ข้อกำหนดแตกต่างกันไป ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดการใช้งานของเครื่องมือ HWD และ FWD ที่รวบรวมโดยหน่วยงาน FAA [6]



ภาพที่ 3.3 เครื่องมือวัดค่าการยุบตัวด้วยลูกตุ้มกระแทกแบบหนัก (HWD) รุ่น PRIMAX SHWD 7-300 kN

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดการใช้งานเครื่อง HWD และ FWD [6]

Equipment Specifications	Equipment manufacturer			
	Dynatest	Foundation Mechanics, Inc.	KUAB	Carl Bro Group
Load range, lbs (kN)	1,500 to 54,000 (7 to 240)	1,500 to 54,000 (7 to 240)	1,500 to 66,000 (7 to 294)	1,500 to 56,000 (7 to 250)
Load duration	25 to 30 millisecond	Selectable	56 millisecond	25 to 30 millisecond
Load rise time	Variable	Selectable	28 millisecond	12 to 15 millisecond
Load generator	One-mass	One-mass	Two-mass	One-mass
Type of load plate	Rigid with rubberized pad or split plate	Rigid with rubberized pad	Segmented or nonsegmented with rubberized pads	Four segmented plate with rubberized pad
Diameter of load plate, in. (mm)	12 and 18 (300 and 450)	12 and 18 (300 and 450)	12 and 18 (300 and 450)	12 and 18 (300 and 450)
Type of deflection sensors	Geophones with or without dynamic calibration device	Geophones	Seismometers with static field calibration device	Geophones with or without dynamic calibration device
Deflection sensor positions, in. (mm)	0 to 90 (0 to 2250)	0 to 96 (0 to 2400)	0 to 72 (0 to 1800)	0 to 96 (0 to 2500)
Number of sensors	7 to 9	7	7	9 to 12
Deflection sensor range Mils (mm)	80 or 100 (2 or 2.5 mm)	80 (2)	200 (5)	90 (2.2)
Deflection resolution	1 μ m (0.04 mils)	1 μ m (0.04 mils)	1 μ m (0.04 mils)	1 μ m (0.04 mils)
Relative accuracy of deflection sensors	2 μ m \pm 2%	2 μ m \pm 2%	2 μ m \pm 2%	2 μ m \pm 2%
Test time required (four loads)	25 seconds	30 seconds	35 seconds	20 seconds
Type of computer	Personal computer	Personal computer	Personal computer	Personal computer

ทั้งนี้การทดสอบผิวทางด้วยเครื่องมือ HWD ควรมีการปรับใช้อุปกรณ์ทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ให้มีความสอดคล้องกันทั้งโครงการ ซึ่งมีข้อควรพิจารณาดังนี้

1. การสอบเทียบมาตรฐาน (Calibration Process) โดยเครื่อง HWD ที่นำมาใช้งานควรได้รับการสอบเทียบตามมาตรฐานที่ผู้ผลิตตั้งไว้ทุกครั้งก่อนเริ่มต้นทำการทดสอบในภาคสนาม เช่น ขนาดของแรงกระแทก ตำแหน่งของอุปกรณ์วัดค่าการยุบตัว ระบบไฮดรอลิก การถ่ายโอนข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ เป็นต้น

2. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็ก (Load Plate Diameter) ผู้ผลิตเครื่อง HWD ส่วนใหญ่จะผลิตแผ่นเหล็กมาตรฐาน 2 ขนาด ได้แก่ขนาด 300 มม. และ 450 มม. เป็นทางเลือกให้กับผู้ปฏิบัติงานได้เลือกใช้ในการปฏิบัติงานแต่ละกรณี โดยมีข้อพิจารณาเบื้องต้นในการเลือกใช้ เช่น ความสอดคล้องกับโปรแกรมการคำนวณย้อนกลับที่ใช้งาน หรือ การกระจายน้ำหนักบนชั้นทางที่ทดสอบ ซึ่งโดยทั่วไปในการทดสอบบนชั้นพื้นทางหรือรองพื้นทางซึ่งเป็นชั้นทางที่อยู่ด้านล่างนั้นจะนิยมใช้แผ่นเหล็กขนาดใหญ่ (450 มม.) เนื่องจากสามารถจำลองการกระจายน้ำหนักได้กว้างกว่าและแผ่นเหล็กขนาดเล็ก (300 มม.) จะนิยมใช้ทดสอบบนผิวทางที่เป็นวัสดุแบบประสาน (Bound Surface Materials)

3. ตำแหน่งและจำนวนของเซ็นเซอร์วัดค่ายุบตัว (Sensor Spacing and Number) โดยทั่วไป จำนวนของเซ็นเซอร์วัดค่าจะมีตั้งแต่ 6 ถึง 9 ตัว หรือมากกว่านั้น โดยจะแตกต่างกันไปตามรุ่นและยี่ห้อของเครื่อง HWD ที่ใช้ ซึ่งส่งผลให้การจัดตำแหน่งเซ็นเซอร์นั้นแตกต่างกันไปตามจำนวนที่มี แต่ข้อพิจารณาพื้นฐาน คือ การจัดตำแหน่งเซ็นเซอร์ให้กระจายครอบคลุมแอ่งการยุบตัวกรณีประเมินความแข็งแรงชั้นทาง ในกรณีการทดสอบหาประสิทธิภาพการถ่ายแรงระหว่างแผ่นคอนกรีตนั้นต้องจัดตำแหน่งเซ็นเซอร์ที่ติดกันให้วัดค่าการยุบตัวทั้งบนแผ่นที่ถูกน้ำหนักกระทำและแผ่นข้างเคียง ตารางที่ 3.2 แสดงค่าตำแหน่งของเซ็นเซอร์วัดค่าที่ใช้ในหน่วยงานทั่วไป

ตารางที่ 3.2 ตำแหน่งเซ็นเซอร์ของอุปกรณ์ HWD และ FWD ที่ใช้ทั่วไป [6]

Agency	Configuration name	Sensor distance from center of load plate, inches (mm)						
		Sensor1	Sensor2	Sensor3	Sensor4	Sensor5	Sensor6	Sensor7
U.S. Air Force	AF 7-Sensor	0	12 (300)	24 (600)	36 (900)	48 (1,200)	60 (1,500)	72 (1,800)
FHWA & State DOTs	SHRP 4-Sensor	0	12 (300)	24 (600)	36 (90)			
	SHRP 7-Sensor	0	6 (150)	12 (300)	18 (450)	24 (600)	36 (900)	60 (1,500)

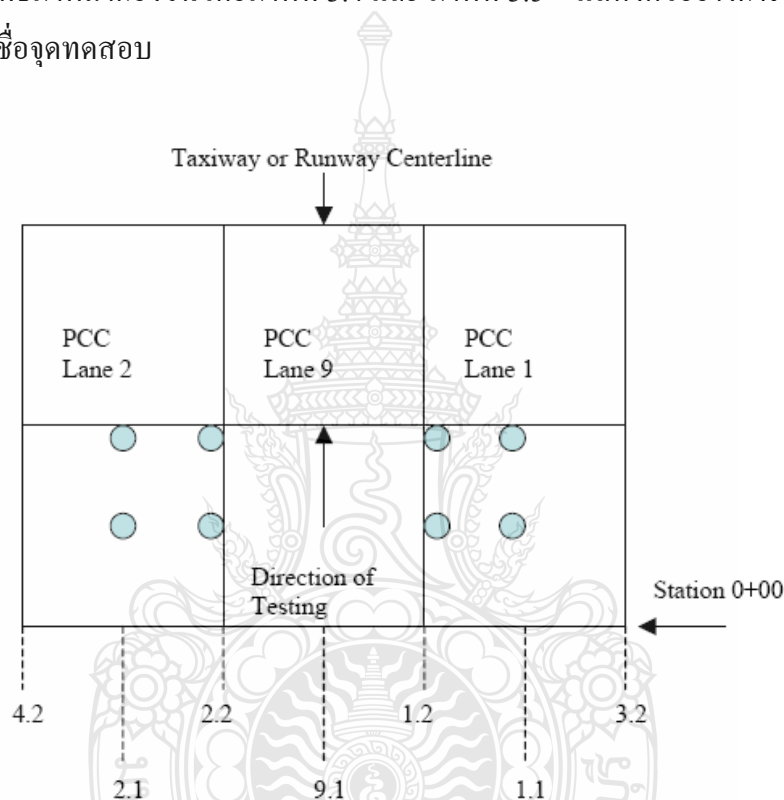
4. ระยะเวลาการกระตุ้นด้วยแรง (Pulse Duration) ซึ่งเป็นระยะเวลาที่น้ำหนักกระแทกกระทำต่อจุดทดสอบ ทั้งนี้หน่วยงานมาตรฐาน เช่น FAA และ ASTM [6] ต่างยอมรับและแนะนำให้ใช้ค่าในช่วง 20 ถึง 60 มิลลิวินาทีซึ่งโดยทั่วไปค่าที่วัดได้จากเครื่อง HWD อยู่ที่ประมาณ 30 มิลลิวินาที

5. น้ำหนักค้อนกระแทก (Impulse Load) ที่ใช้ทดสอบผิวทางของสนามบินพลเรือน โดยทั่วไปนั้นอยู่ระหว่าง 90kN ถึง 245kN [6] ซึ่งการเลือกขนาดน้ำหนักนั้นมักพิจารณาจาก ความสอดคล้องกับน้ำหนักยานพาหนะที่ใช้ออกแบบแล้ว ต้องพิจารณาความหนาของโครงสร้างผิวทางด้วย โดยน้ำหนักที่เลือกใช้นั้นต้องทำให้เกิดค่าการยุบตัวที่อยู่ใกล้ที่สุดมีค่าอยู่ในช่วงเกณฑ์กำหนดที่ทางผู้ผลิตเครื่อง HWD ระบุว่าในช่วงที่ยอมรับได้ ซึ่งจากข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 3.1 พบว่าเครื่องมือ HWD ของ Carlbros กำหนดไว้ที่ 2.2 มิลลิเมตร

3.2 ขั้นตอนวิธีการทดสอบภาคสนาม

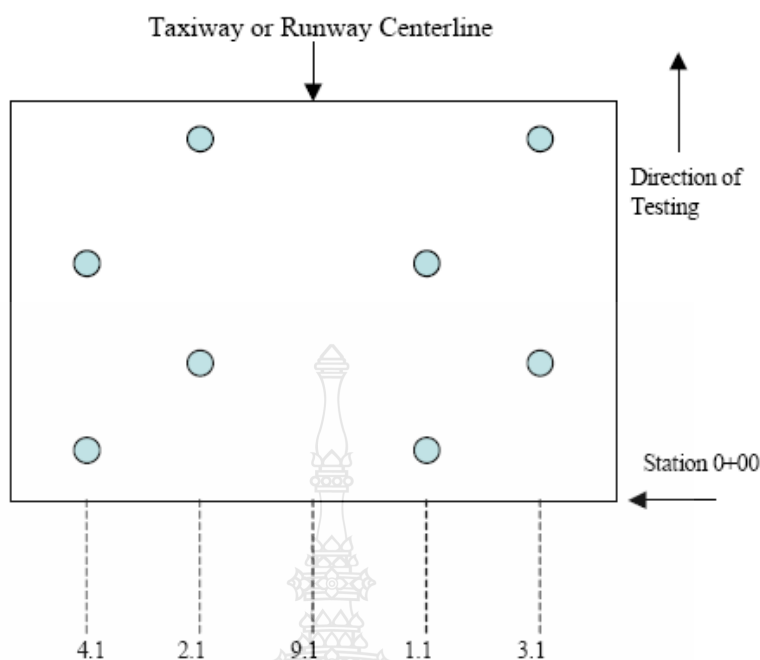
โดยพิจารณาจากภาพรวมของการทดสอบวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างผิวทาง สนามบิน ทำให้สามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานคร่าวๆ ได้ดังนี้

3.2.1 การวางแผนผังจุดทดสอบ ทีมทดสอบจะจัดทำแผนผังจุดทดสอบเพื่อให้การทำงานถูกต้องแม่นยำและมีความเข้าใจตรงกันทั้งฝ่ายผู้ปฏิบัติการทดสอบ ผู้ทำการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล ตลอดจนเจ้าหน้าที่ผู้ประสานงานของสนามบินซึ่งโดยทั่วไปหากเป็นการทดสอบในระดับโครงข่ายจะมีจุดทดสอบจำนวนมาก ดังนั้นแผนผังที่ใช้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบกับส่วนต่างๆ ของสนามบิน และมีระบบเรียกชื่อจุดทดสอบที่สร้างความเข้าใจจะทำให้การทำงานของแต่ละฝ่ายมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยภาพที่ 3.4 และ ภาพที่ 3.5 แสดงตัวอย่างการวางแผนผังและระบบการเรียกชื่อจุดทดสอบ



NOTE: First number indicates PCC lane number; second number indicates location within lane (e.g., along slab center or slab joint).

ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างการวางแผนผังกำหนดจุดทดสอบพร้อมระบบเรียกชื่อจุดทดสอบบนผิวทางคอนกรีต [6]



NOTE: First number indicates HMA lane number; second number indicates a "center" test for HMA pavements.

ภาพที่ 3.5 ตัวอย่างแผนผังกำหนดจุดทดสอบพร้อมระบบเรียกชื่อจุดทดสอบบนผิวทางแอสฟัลต์ [6]

3.2.2 การเคลื่อนย้ายอุปกรณ์เครื่องมือ ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญที่ทีมทดสอบจะทำการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือ รวมทั้งความพร้อมครบถ้วนของอุปกรณ์หลักและอุปกรณ์เสริมที่ต้องใช้ในการทดสอบทุกชั้นตั้งแต่ก่อนออกเดินทาง รวมทั้งเอกสารจำเป็นต่างๆ ที่ต้องใช้ในการทดสอบ เช่น หลักฐานการติดต่อกับเจ้าหน้าที่หน่วยงานของสนามบิน แผนผังสนามบิน แผนผังแสดงตำแหน่งจุดทดสอบ เป็นต้น

3.2.3 เตรียมการเริ่มต้นทดสอบ โดยทีมทดสอบจะทำการตรวจสอบความพร้อมให้สามารถเริ่มทำการทดสอบได้ในทันทีเมื่อเริ่มเดินทางเข้าสู่พื้นที่ใช้งานของสนามบิน หรือ AOA (Airport Operation Area) โดยการทำบัญชีรายการอุปกรณ์ที่ต้องใช้งานเพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องได้อย่างมีประสิทธิภาพรวมทั้งการประสานงานกับเจ้าหน้าที่ของท่าอากาศยานให้รับทราบการเริ่มต้นทดสอบ

3.2.4 การเก็บบันทึกอุณหภูมิขณะทดสอบเนื่องจากมีรายงานวิจัยหลายฉบับ [10, 11] ได้แสดงให้เห็นชัดเจนว่าแผ่นพื้นผิวทางคอนกรีตมีการยกตัวในขณะที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปซึ่งอาจจะทำให้มีผลกระทบกับค่าการยุบตัวจากน้ำหนักได้ ดังนั้นจึงมีการเก็บบันทึกค่าอุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) และอุณหภูมิผิวทาง (Surface Temperature) การทดสอบหาค่าการยุบตัว ขั้นตอนนี้

สามารถเริ่มได้ทันทีตามตำแหน่งแผนผังจุดทดสอบที่เตรียมไว้ โดยข้อมูลที่ต้องบันทึกขณะทำการทดสอบดังนี้

- ข้อมูลพื้นฐานของการทดสอบ เช่น ระยะของเซ็นเซอร์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นเหล็ก คำอธิบายโปรเจกชัน เป็นต้น
- อุณหภูมิต่างๆ ขณะทดสอบที่วัดได้
- ข้อสังเกตเพิ่มเติมของสภาพผิวทาง ณ ตำแหน่งจุดทดสอบ
- พิกัดตำแหน่งจุดทดสอบ
- สถานีจุดทดสอบ
- หมายเลขแสดงแนวการทดสอบ (Lane or Pass)
- ตำแหน่งจุดทดสอบที่สัมพันธ์กับแผ่นคอนกรีตหรือรอยต่อที่ทดสอบ Center หรือ Longitudinal Joint หรือ Transverse Joint

3.2.5 การเฝ้าสังเกตค่าการยุบตัว ซึ่งเป็นการตรวจสอบในเบื้องต้นว่าค่าการยุบตัวที่เกิดขึ้นไม่มีความผิดปกติ ทั้งนี้ความผิดปกติดังกล่าวอาจเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น ตำแหน่งจุดทดสอบไม่ราบเรียบ มีเศษวัสดุหลุ่ร่อน เป็นต้น ทั้งนี้หากพบความผิดปกติจากค่าการทดสอบควรมีการทดสอบใหม่อีกครั้ง เพื่อตรวจสอบว่าสาเหตุเกิดจากโครงสร้างผิวทางหรือเกิดจากเครื่องทดสอบ

3.2.6 การตรวจสอบข้อมูลหลังเสร็จสิ้นการทดสอบ โดยในขั้นตอนนี้จะทำการตรวจสอบข้อมูลในช่วงหลังการทดสอบทุกวัน ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ผู้ปฏิบัติงานยังสามารถแยกแยะและประเมินความถูกต้องของข้อมูลในเบื้องต้นได้อย่างชัดเจนอันจะส่งผลให้ข้อมูลมีความครบถ้วนสมบูรณ์ ทั้งยังสามารถตัดสินใจทดสอบเพิ่มเติมได้ทันทีกรณีจำเป็น

3.3 ตำแหน่งที่กำหนดจุดทดสอบ

การกำหนดตำแหน่งจุดทดสอบโครงสร้างสนามบินนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานและชนิดของผิวทางเป็นหลัก ซึ่งโดยทั่วไปการทดสอบด้วยเครื่อง HWD จะสามารถทำการทดสอบได้ประมาณ 150 ถึง 200 จุดทดสอบต่อ 1 วัน หรือต่อ 8 ชั่วโมงทำงาน นอกจากนั้นการกำหนดจำนวนจุดทดสอบที่เหมาะสมนั้นควรกระจายครอบคลุมพื้นที่ทดสอบแต่ในขณะเดียวกันก็ไม่ทำให้สิ้นเปลืองงบประมาณและเวลาจนเกินความจำเป็น โดย FAA [6] ได้ให้คำแนะนำในการกำหนดจุดทดสอบบนทางวิ่งและทางขับทั้งสำหรับผิวทางแอสฟัลต์และผิวทางคอนกรีตดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยระยะ Offset ที่แสดงในตารางนับจากแนวศูนย์กลางของทางวิ่งหรือทางขับ และค่า Offset ตัวที่ 3 เช่น 18 หรือ 20 ม. นั้นให้ใช้กับทางวิ่งหรือทางขับที่มีความกว้างมากกว่า 38 ม.

ตารางที่ 3.3 ตำแหน่งและระยะห่างของจุดทดสอบที่ใช้ทั่วไปสำหรับทางวิ่งและทางขับ [6]

Test type	Jointed PCC and HMA overlaid PCC				HMA			
	Project level		Network level		Project level		Network level	
	Offset, ft. (m)	Spacing, ft. (m)	Offset, ft. (m)	Spacing, ft. (m)	Offset, ft. (m)	Spacing, ft. (m)	Offset, ft. (m)	Spacing, ft. (m)
Center	10 (3) 30 (9) 65 (20)	100 (30) 100-200 (30-60) 400 (120)	10 (3)	200-400 (60-120)	10 (3) 20 (6) 65 (20)	100 (30) 100-200 (30-60) 200-400 (60-120)	10 (3)	200-400 (60-120)
Transverse Joint	10 (3) 30 (9) 65 (20)	100-200 (30-60) 200-400 (60-120) 400 (120)	10 (3)	400 (120)				
Longitudinal Joint	20 (6) 40 (12) 60 (18)	200 (60) 400 (120) 400 (120)						
Corner	20 (6) 40 (12) 60 (18)	200 (60) 400 (120) 400 (120)						

NOTE: For each centerline offset, there are two NDT passes, one to the left and one to the right; spacing is staggered between adjacent NDT passes; and a minimum of two NDT tests should be conducted per pavement section.

นอกจากนั้น FAA [6] ก็ได้ให้คำแนะนำในการกำหนดตำแหน่งและระยะห่างของจุดทดสอบสำหรับการทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างส่วนลานจอดอากาศยาน (Apron) ด้วยเครื่องมือ HWD ดังแสดงในตารางที่ 3.4 ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าจำนวนโดยรวมของจุดทดสอบบนลานจอดอากาศยานนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของลานจอดเป็นสำคัญ โดยกรณีของลานจอดแอสฟัลต์นั้นให้พิจารณาได้โดยตรงจากจำนวนตารางเมตรของพื้นที่ และกรณีของลานจอดคอนกรีตนั้นให้พิจารณาจากจำนวนแผ่นที่แนะนำไว้

ตารางที่ 3.4 ตำแหน่งและระยะห่างของจุดทดสอบที่ใช้ทั่วไปสำหรับลานจอดอากาศยาน [6]

Test type	Jointed PCC and HMA overlaid PCC		HMA, ft ² (m ²)	
	Project level	Network level	Project level	Network level
Center	1 test for every 10 to 20 slabs	1 test for every 30 to 60 slabs	1 test for every 1,970 to 4,000 (600 to 1200)	1 test for every 5,750 to 11,490 (1750 to 3,500)
Transverse Joint	1 test for every 10 to 40 slabs	1 test for every 60 slabs		
Longitudinal Joint	1 test for every 20 to 40 slabs	1 test for every 60 slabs		
Corner	1 test for every 20 to 40 slabs			

ดังนั้นเพื่อให้การทดสอบด้วยเครื่องมือ HWD บนทางวิ่ง ทางขับ และลานจอดอากาศยานของท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ตและท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่มีความถูกต้องน่าเชื่อถือและสอดคล้องกับข้อแนะนำของ FAA ซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงกับกิจการสนามบินพลเรือน จึงกำหนดจุดที่ต้องทำการทดสอบด้วยเครื่อง HWD บนผิวทางสนามบินทั้ง 2 แห่งดังนี้

1. ทางวิ่ง และทางขับ (Runway and Taxiway)

- จำนวนแนวทดสอบ (Test Track) 5 แนว
- ตำแหน่งทดสอบและความถี่
 - แนวระยะ 3 ม. ด้านซ้าย แนวศูนย์กลางทางวิ่ง: เริ่มที่สถานี 0+000 ม. ความถี่ทุก ๆ 100 ม.
 - แนวศูนย์กลางทางวิ่ง: เริ่มที่สถานี 0+025 ม. ความถี่ ทุกๆ 100 ม.
 - ระยะ 6 ม. ด้านขวา แนวศูนย์กลางทางวิ่ง เริ่มที่สถานี 0+050 ม. ความถี่ทุกๆ 100 ม.
 - ไหล่ทางทั้ง 2 ฝั่ง: ความถี่ทุกๆ 300 ม.

ทั้งนี้เพื่อให้ตำแหน่งจุดทดสอบกระจายครอบคลุมผิวทางหลัก (ไม่นับรวมไหล่ทาง) อย่างครบถ้วน จึงกำหนดให้จุดเริ่มต้นของแต่ละแนวขับห่างจากกันแนวละ 25 ม. ดังรายละเอียด

2. ลานจอดอากาศยาน (Runway and Taxiway)

- ตำแหน่งกึ่งกลางแผ่นพื้น (Center): ความถี่ 1 จุด ต่อทุกๆ 20 Slabs
- ตำแหน่งกึ่งรอยต่อแผ่นพื้น (Joint): ความถี่ 1 จุด ต่อทุกๆ 20 Slabs
- ตำแหน่งมุมแผ่นพื้น (Corner): ความถี่ 1 จุด ต่อทุกๆ 40 Slabs

โดยในการทดสอบภาคสนามทั้งหมดนี้จำเป็นต้องมีการซักซ้อมทีมอย่างดียิ่ง เนื่องจากการเข้าทำการทดสอบแต่ละครั้งจะกระทบไปถึงการบริหารจัดการการบินของท่าอากาศยาน เช่น การปิดสนามบิน หรือการยกเลิกเที่ยวบิน หรือการให้เวลาการทดสอบที่จำกัด ซึ่งกระบวนการต่างๆ จะต้องได้รับความเห็นชอบและอนุมัติจากหน่วยงานผู้ดูแลท่าอากาศยานโดยตรง

3.4 แนวทางการวิเคราะห์และประมวลผล

ผลทดสอบที่ได้จากกระบวนการทดสอบภาคสนามต่างๆ อาทิ การทดสอบวัดค่าการยุบตัวด้วยลูกตุ้มกระแทกแบบหนัก หรือ HWD หรือการวัดอุณหภูมิพื้นผิวในช่วงเวลาการทดสอบ ผลการเจาะสำรวจชั้นทาง (Coring) เป็นต้น ผลทดสอบเหล่านี้จะถูกนำมาวิเคราะห์ผลหาค่าประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหน้ากระหว่างแผ่นพื้นและวิเคราะห์ผลหาค่าการทดสอบหาโพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีตตามทฤษฎี และหลักการที่สอดคล้องกับมาตรฐานต่างๆ ที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 โดยผลการคำนวณที่ได้จะถูกนำมาใช้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหน้าและปริมาณโพรงใต้รอยต่อแผ่นพื้นคอนกรีตสนามบิน เพื่อสรุปผลการวิเคราะห์วิจัยพร้อมข้อเสนอแนะที่ได้จากการศึกษา

บทที่ 4

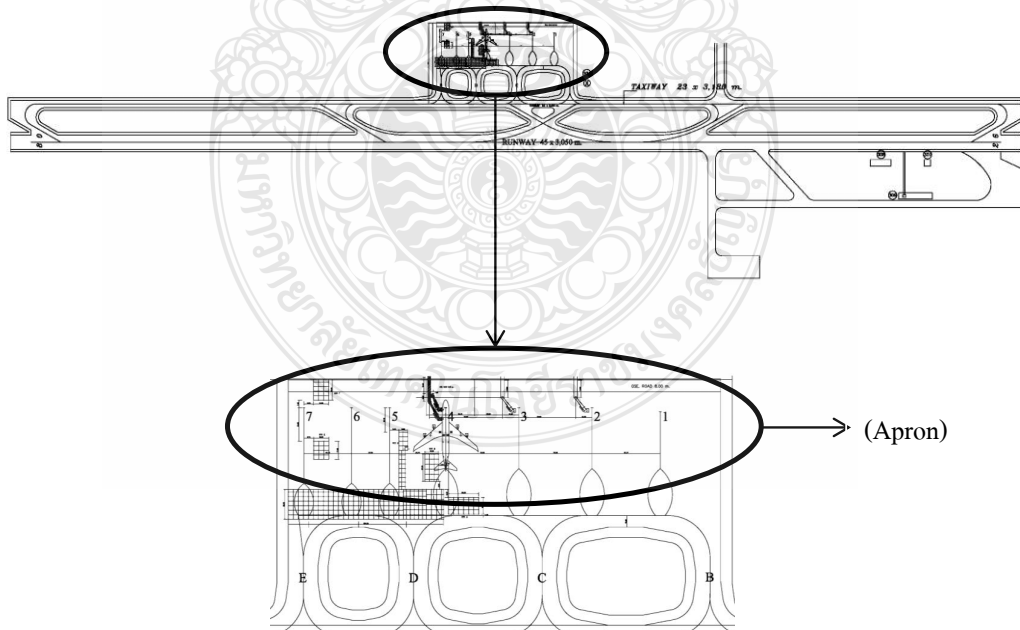
ผลการวิเคราะห์และวิจัย

ผลการทดสอบนี้ เป็นผลการทดสอบที่ได้จากการประเมินสภาพความแข็งแรงของโครงสร้างผิวทางคอนกรีตของท่าอากาศยาน ซึ่งเป็นการทดสอบ ณ แปลงทดสอบจริงส่วนทดสอบย่อย (Section) ของทางขับ (Taxiway) และลานจอด (Apron) ของท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ และภูเก็ต เพื่อทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักของแผ่นพื้นคอนกรีตและเพื่อวิเคราะห์หาโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต ตามมาตรฐานแนะนำของ FAA [6] ซึ่งในที่นี้สามารถแยกกล่าวได้ 2 ส่วนหลัก ตามผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักของแผ่นพื้นคอนกรีตท่าอากาศยาน

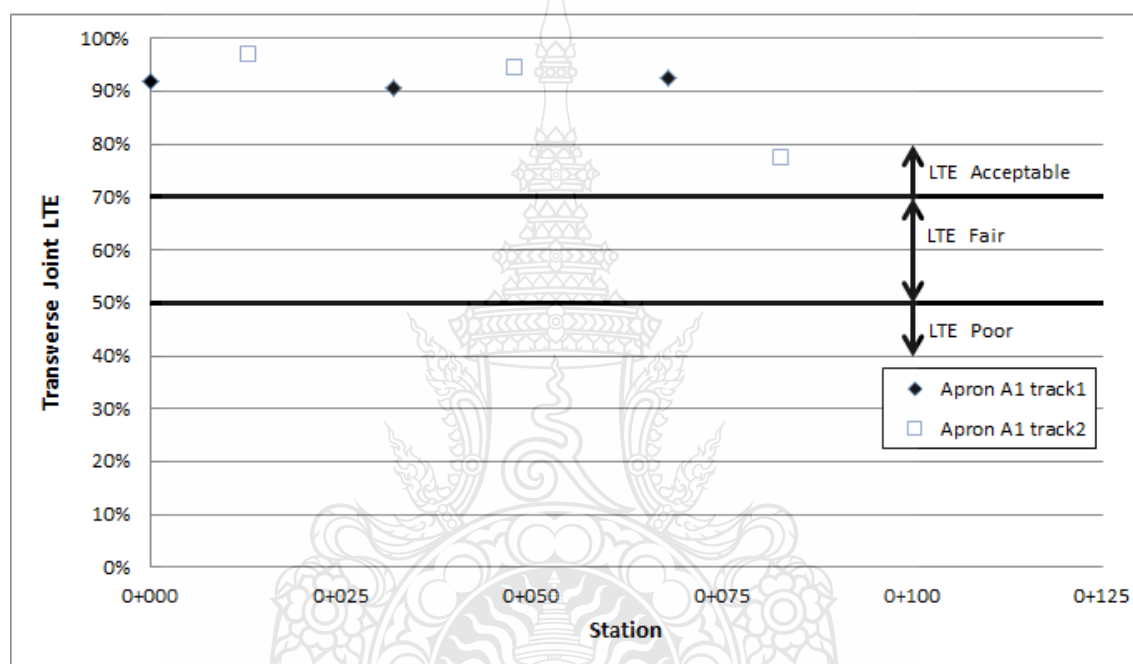
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักของท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่

1. จุดทดสอบลานจอดท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ (Apron) ดังแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ผังลานจอดท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่

จุดทดสอบลานจอด (Apron) ของท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ แบ่งแปลงทดสอบประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักออกเป็น 7 แปลงทดสอบ ทำการทดสอบในลานจอด A หลุมจอดที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 แต่ละแปลงทดสอบจะแบ่งจำนวนแนวทดสอบออกเป็น 2 แนว (Test Track) ซึ่งจากผลการทดสอบในลานจอดจำนวน 42 จุดได้ทำการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักของแผ่นพื้นคอนกรีต ผลการวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (Acceptable) จำนวน 42 จุด ตามเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักของ FAA [6] ซึ่งภาพที่ 4.2 เป็นตัวอย่างของผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักที่ลานจอด A หลุมจอดที่ 1



ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก[%],(LTE_Δ)ของลานจอด “A” หลุมจอด 1

จากภาพที่ 4.2 จะพบว่าผลการวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักในแนวทดสอบที่ 1 และ 2 ผลการวิเคราะห์จะมีค่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (Acceptable) ซึ่งทั้งหมดมีค่ามากกว่าร้อยละ 70 โดยจะเป็นค่าที่นำไปใช้วิเคราะห์เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ต่อไป สำหรับกราฟการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักที่ลานจอด A ในหลุมทดสอบอื่นๆ นั้น ได้แสดงไว้ในภาพที่ ก.1 ถึง ก.7 ในภาคผนวก ก

โดยผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักที่ลานจอด A ได้สรุปผลการวิเคราะห์ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], (LTE_{Δ}) ของลานจอด “A”
ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่

หลุม ทดสอบ ที่	แนว ทดสอบ ที่	จำนวน จุด ทดสอบ	สถานี ทดสอบ	ประสิทธิภาพ การถ่ายน้ำหนัก (ร้อยละ)	เกณฑ์วัดผลการทดสอบ			ค่าเฉลี่ย
					ยอมรับ	ปาน กลาง	ไม่ผ่าน เกณฑ์	
1	1	3	0+000	91.81%	√			91.63%
			0+032	90.68%	√			
			0+068	92.38%	√			
	2	3	0+013	96.82%	√			89.53%
			0+048	94.41%	√			
			0+083	77.35%	√			
2	1	3	0+000	87.87%	√			90.24%
			0+037	99.87%	√			
			0+072	82.98%	√			
	2	3	0+025	87.43%	√			90.14%
			0+061	91.22%	√			
			0+097	91.78%	√			
3	1	3	0+000	84.06%	√			87.02%
			0+034	89.65%	√			
			0+070	87.35%	√			
	2	3	0+025	85.40%	√			90.75%
			0+060	92.49%	√			
			0+096	94.36%	√			

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], (LTE_{Δ}) ของลานจอด “A”

ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ (ต่อ)

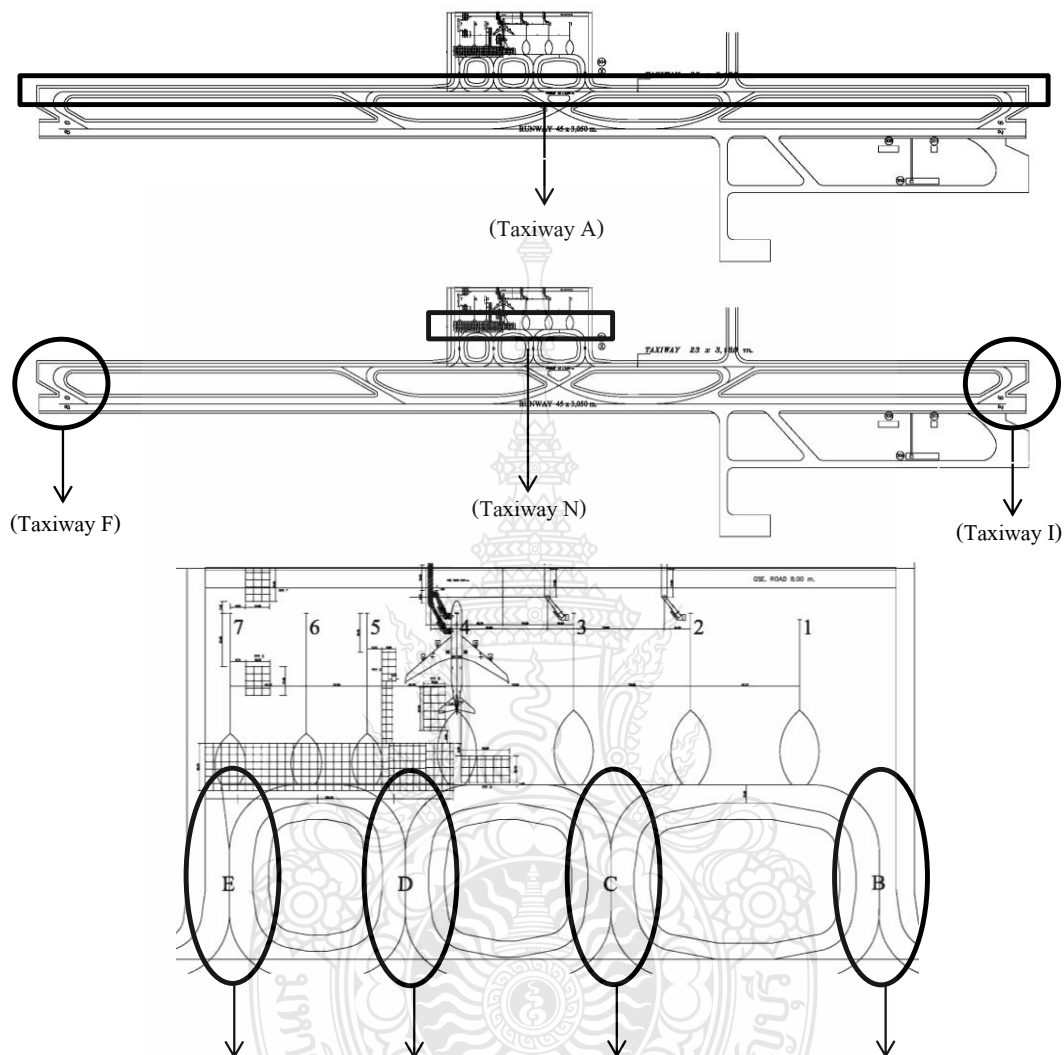
หลุมทดสอบที่	แนวทดสอบที่	จำนวนจุดทดสอบ	สถานีทดสอบ	ประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก (ร้อยละ)	เกณฑ์วัดผลการทดสอบ			ค่าเฉลี่ย
					ยอมรับ	ปานกลาง	ไม่ผ่านเกณฑ์	
4	1	3	0+000	89.41%	√			89.50%
			0+035	89.59%	√			
			0+071	89.50%	√			
	2	3	0+025	97.39%	√			95.23%
			0+060	93.54%	√			
			0+097	94.76%	√			
5	1	3	0+000	95.70%	√			93.16%
			0+037	93.76%	√			
			0+073	90.02%	√			
	2	3	0+025	96.06%	√			95.62%
			0+061	92.53%	√			
			0+097	98.26%	√			
6	1	3	0+000	91.90%	√			89.11%
			0+037	87.22%	√			
			0+074	88.20%	√			
	2	3	0+025	92.86%	√			93.47%
			0+059	93.22%	√			
			0+097	94.31%	√			

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], (LTE_{Δ}) ของลานจอด “A”
ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ (ต่อ)

หลุม ทดสอบ ที่	แนว ทดสอบ ที่	จำนวน จุด ทดสอบ	สถานี ทดสอบ	ประสิทธิภาพ การถ่ายน้ำหนัก (ร้อยละ)	เกณฑ์วัดผลการทดสอบ			ค่าเฉลี่ย
					ยอมรับ	ปาน กลาง	ไม่ผ่าน เกณฑ์	
7	1	3	0+000	89.59%	√			91.20%
			0+037	89.70%	√			
			0+073	94.31%	√			
	2	3	0+025	88.94%	√			91.04%
			0+060	91.24%	√			
			0+079	92.94%	√			



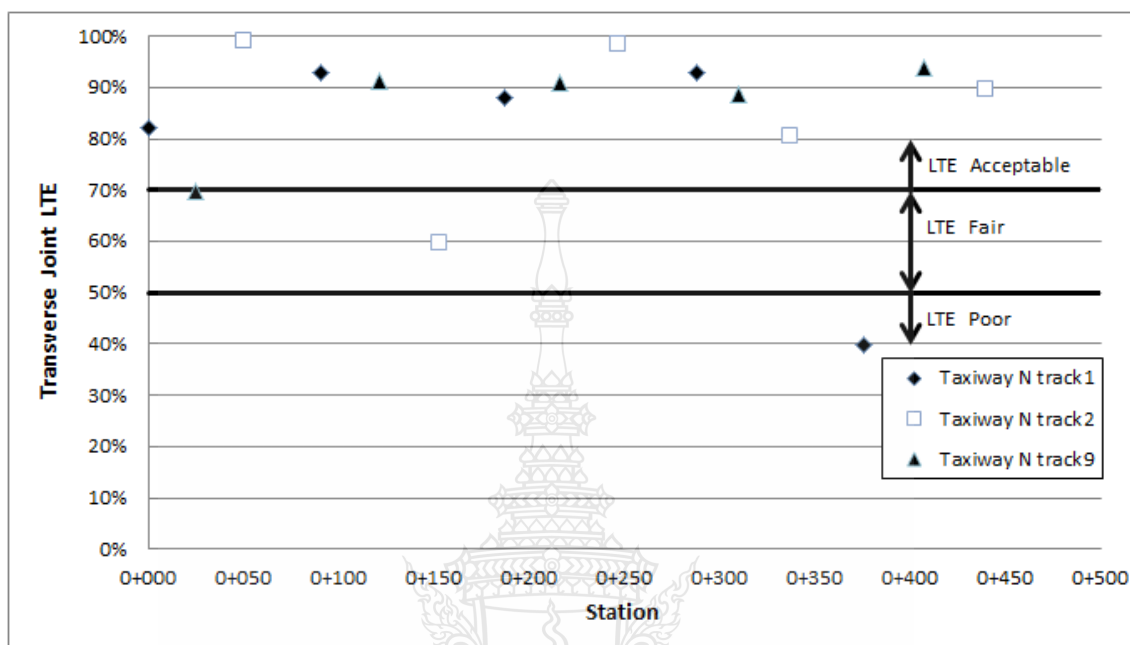
2. จุดทดสอบทางวิ่งทำอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ (Taxiway) ดังแสดงในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 เส้นทางขับทำอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่

จุดทดสอบทางขับ (Taxiway) ของทำอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ แบ่งแปลงทดสอบประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักออกเป็น 8 แปลงทดสอบ ทำการทดสอบในทางขับ A, B, C, D, E, F, I และ N ซึ่งทางขับ A สามารถแบ่งแปลงทดสอบย่อยได้ 2 แปลง คือ ทางขับ A08 และ A26 โดยแต่ละแปลงทดสอบจะแบ่งจำนวนแนวทดสอบออกเป็น 2 แนว (Test Track) ยกเว้นทางขับ F, I และ N ซึ่งจะแบ่งจำนวนแนวทดสอบออกเป็น 3 แนว ซึ่งจากผลการทดสอบในทางขับจำนวน 37 จุด ได้ทำการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักของแผ่นพื้นคอนกรีตผลการวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (Acceptable) จำนวน 34 จุด อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง (Fair) จำนวน 2 จุด และต่ำกว่าเกณฑ์ (Poor)

จำนวน 1 จุด ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักของ FAA [6] ซึ่งภาพที่ 4.4 เป็นตัวอย่างของผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักของทางขับ N



ภาพที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], (LTE_{Δ}) ของทางขับ N (taxiway N)

จากภาพที่ 4.4 จะพบว่าผลการวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักในแนวทดสอบที่ 1, 2 และ 9 ผลการวิเคราะห์จะมีค่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (Acceptable) ซึ่งมีความมากกว่าร้อยละ 70 จำนวน 12 จุด ค่าปานกลาง (Fair) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 50 ถึงร้อยละ 70 จำนวน 2 จุด และมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ (Poor) ซึ่งมีความต่ำกว่าร้อยละ 50 จำนวน 1 จุด โดยจะเป็นค่าที่นำไปใช้วิเคราะห์เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ต่อไป สำหรับกราฟการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักที่ทางขับ A, B, C, D, E, F, และ I นั้น ได้แสดงไว้ในภาพที่ ก.8 ถึง ก.16 ในภาคผนวก ก

โดยผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักที่ทางขับ A, B, C, D, E, F, I และ N ได้สรุปผลการวิเคราะห์ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], (LTE_{Δ}) ของทางขับท่าอากาศยาน
นานาชาติหาดใหญ่

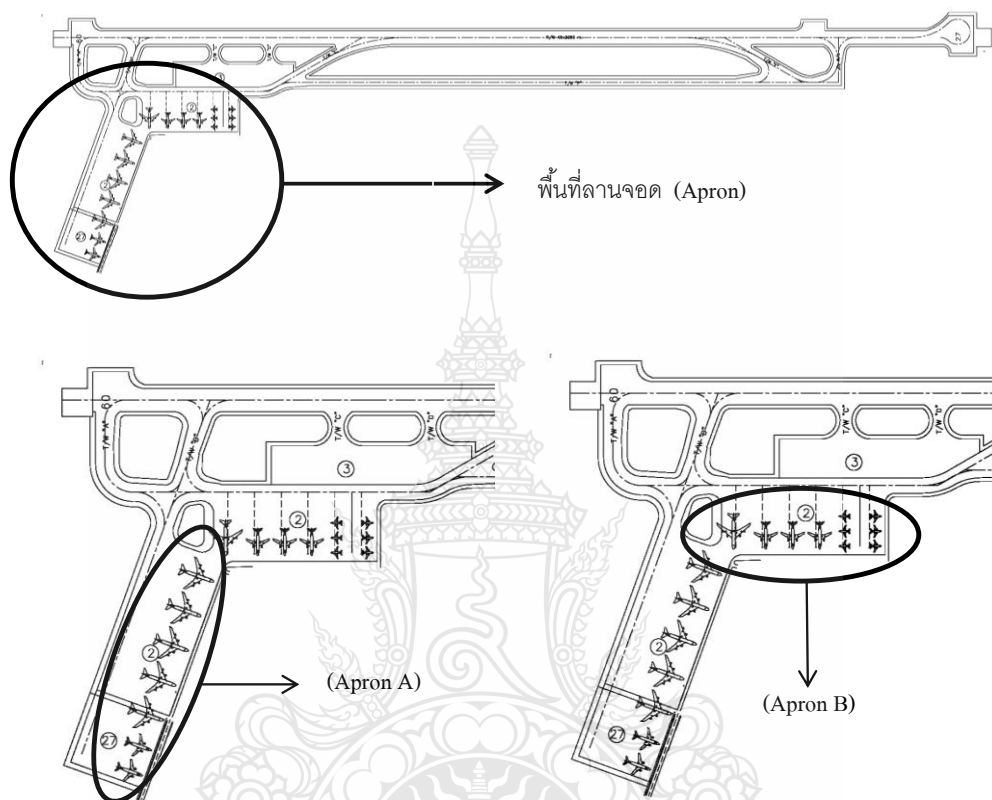
ทางขับ	แนว ทดสอบ ที่	จำนวน จุด ทดสอบ	สถานี ทดสอบ	ประสิทธิภาพ การถ่ายน้ำหนัก (ร้อยละ)	เกณฑ์วัดผลการทดสอบ			ค่าเฉลี่ย
					ยอมรับ	ปาน กลาง	ไม่ผ่าน เกณฑ์	
A08	1	2	0+000	95.80%	√			93.44%
			0+089	91.07%	√			
	2	1	0+025	93.59%	√			-
A26	1	2	0+000	87.07%	√			82.50%
			0+041	77.93%	√			
	2	1	0+000	82.46%	√			-
B	1	1	0+000	88.63%	√			-
	2	1	0+025	92.17%	√			-
C	1	1	0+000	84.02%	√			-
	2	1	0+025	89.45%	√			-
D	1	1	0+000	89.07%	√			-
	2	1	0+025	89.37%	√			-
E	1	1	0+000	92.59%	√			-
	2	1	0+025	93.68%	√			-
F	1	2	0+000	92.64%	√			90.78%
			0+100	88.92%	√			
	2	1	0+000	86.30%	√			-
	9	1	0+000	90.59%	√			-

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], (LTE_{Δ}) ของทางขับท่าอากาศยาน
นานาชาติหาดใหญ่ (ต่อ)

ทางขับ	แนว ทดสอบ ที่	จำนวน จุด ทดสอบ	สถานี ทดสอบ	ประสิทธิภาพ การถ่ายน้ำหนัก (ร้อยละ)	เกณฑ์วัดผลการทดสอบ			ค่าเฉลี่ย
					ยอมรับ	ปาน กลาง	ไม่ผ่าน เกณฑ์	
I	1	2	0+000	84.25%	√			87.53%
			0+100	90.82%	√			
	2	1	0+000	93.50%	√			-
	9	1	0+000	94.08%	√			-
N	1	5	0+000	82.05%	√			79.25%
			0+009	93.10%	√			
			0+187	88.15%	√			
			0+288	93.04%	√			
			0+376	39.93%			√	
	2	5	0+050	99.00%	√			85.39%
			0+153	59.56%			√	
			0+247	98.33%	√			
			0+337	80.46%	√			
			0+440	89.58%	√			
	3	5	0+025	69.93%			√	87.00%
			0+121	91.46%	√			
			0+216	91.06%	√			
			0+310	88.54%	√			
			0+407	94.00%	√			

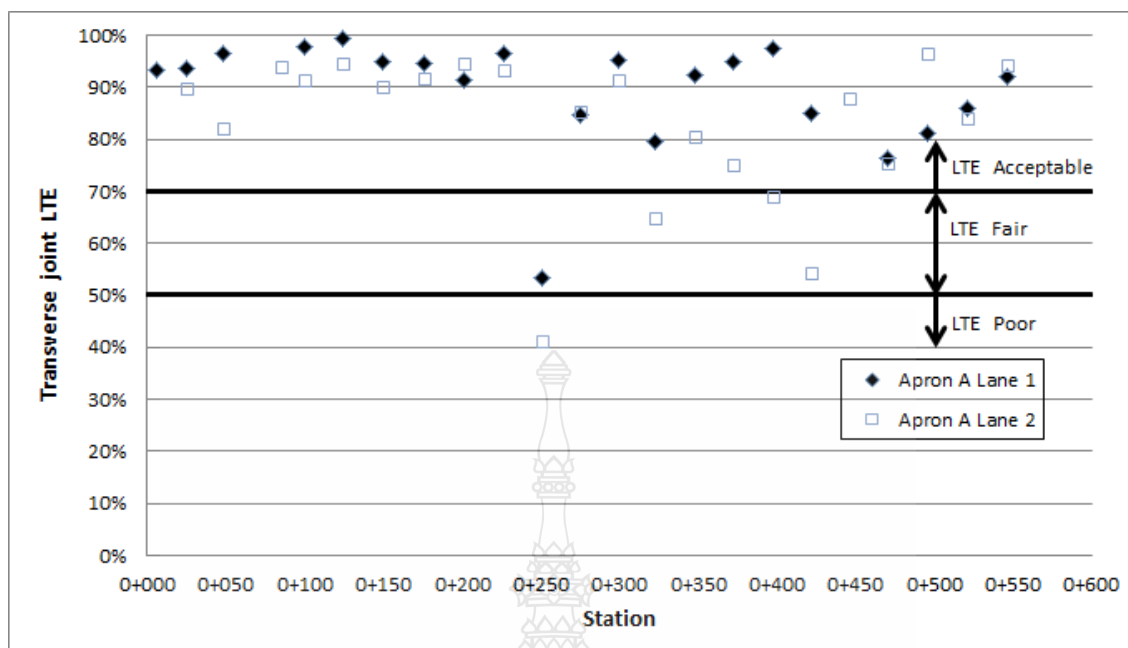
4.1.2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักของท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต

1. จุดทดสอบลานจอดท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต (Apron) ดังแสดงในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 ผังลานจอดท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต

จุดทดสอบลานจอด (Apron) ของท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต แบ่งแปลงทดสอบประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักออกเป็น 2 แปลงทดสอบ ทำการทดสอบในลานจอด A และลานจอด B โดยลานจอด A จะแบ่งจำนวนแนวทดสอบออกเป็น 2 แนว (Test Track) และลานจอด B จะแบ่งจำนวนแนวทดสอบออกเป็น 5 แนว ซึ่งจากผลการทดสอบในลานจอดมีจำนวน 82 จุด ได้ทำการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักของแผ่นพื้นคอนกรีต ผลการวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (Acceptable) จำนวน 76 จุด อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง (Fair) จำนวน 5 จุด และต่ำกว่าเกณฑ์ (Poor) จำนวน 1 จุด ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักของ FAA [6] ซึ่งภาพที่ 4.6 เป็นตัวอย่างของผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก (LTE_{Δ}) ของลานจอด A



ภาพที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], (LTE_{Δ}) ของลานจอด “A”
(Apron A)

จากภาพที่ 4.6 จะพบว่าผลการวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักในแนวทดสอบที่ 1 และ 2 ผลการวิเคราะห์จะมีค่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (Acceptable) ซึ่งมีความมากกว่าร้อยละ 70 จำนวน 43 จุด ค่าปานกลาง (Fair) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 50 ถึงร้อยละ 70 จำนวน 4 จุด และมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ (Poor) ซึ่งมีความต่ำกว่าร้อยละ 50 จำนวน 1 จุด โดยจะเป็นค่าที่นำไปใช้วิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ต่อไป สำหรับกราฟการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักที่ลานจอด A และ B นั้น ได้แสดงไว้ในภาพที่ ก.17 ถึง ก.18 ในภาคผนวก ก

โดยผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักที่ลานจอด A และลานจอด B ของท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต ได้สรุปผลการวิเคราะห์ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], (LTE_{Δ}) ของลานจอด
ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต

ลาน จอด	แนว ทดสอบ ที่	จำนวน จุด ทดสอบ	สถานี ทดสอบ	ประสิทธิภาพ การถ่ายน้ำหนัก (ร้อยละ)	เกณฑ์วัดผลการทดสอบ			ค่าเฉลี่ย
					ยอมรับ	ปาน กลาง	ไม่ผ่าน เกณฑ์	
A	1	24	0+006	93.20%	√			91.11%
			0+025	93.68%	√			
			0+048	96.56%	√			
			0+085	102.19%				
			0+100	97.84%	√			
			0+124	99.49%	√			
			0+150	94.80%	√			
			0+176	94.54%	√			
			0+201	91.49%	√			
			0+227	96.44%	√			
			0+251	53.49%		√		
			0+275	84.57%	√			
			0+299	95.19%	√			
			0+323	79.45%	√			
			0+348	92.22%	√			
			0+372	94.92%	√			
			0+398	97.61%	√			
			0+422	85.07%	√			
0+446	101.97%							

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], (LTE_{Δ}) ของลานจอด
ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต (ต่อ)

ลาน จอด	แนว ทดสอบ ที่	จำนวน จุด ทดสอบ	สถานี ทดสอบ	ประสิทธิภาพ การถ่ายน้ำหนัก (ร้อยละ)	เกณฑ์วัดผลการทดสอบ			ค่าเฉลี่ย
					ยอมรับ	ปาน กลาง	ไม่ผ่าน เกณฑ์	
A	1	24	0+470	76.32%	√			91.11%
			0+496	81.11%	√			
			0+521	85.94%	√			
			0+546	91.93%	√			
			0+571	106.62%				
	2	23	0+006	102.23%				83.67%
			0+025	89.94%	√			
			0+048	82.10%	√			
			0+085	93.84%	√			
			0+100	91.49%	√			
			0+124	94.52%	√			
			0+150	90.24%	√			
			0+176	91.86%	√			
			0+201	94.68%	√			
			0+227	93.29%	√			
			0+251	41.23%			√	
			0+275	85.18%	√			
			0+299	91.47%	√			
			0+323	64.96%		√		

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], (LTE_{Δ}) ของลานจอด
ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต (ต่อ)

ลาน จอด	แนว ทดสอบ ที่	จำนวน จุด ทดสอบ	สถานี ทดสอบ	ประสิทธิภาพ การถ่ายน้ำหนัก (ร้อยละ)	เกณฑ์วัดผลการทดสอบ			ค่าเฉลี่ย
					ยอมรับ	ปาน กลาง	ไม่ผ่าน เกณฑ์	
A	2	23	0+348	80.50%	√			83.67%
			0+372	75.21%	√			
			0+398	69.15%		√		
			0+422	54.36%		√		
			0+446	87.81%	√			
			0+470	75.38%	√			
			0+496	96.48%	√			
			0+521	84.10%	√			
			0+546	94.37%	√			
B	1	7	0+002	92.04%	√			91.63%
			0+058	88.78%	√			
			0+107	89.83%	√			
			0+164	92.70%	√			
			0+214	92.19%	√			
			0+217	92.58%	√			
			0+281	93.25%	√			
	2	7	0+000	90.78%	√			87.76%
			0+054	79.69%	√			
			0+102	93.77%	√			

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], (LTE_{Δ}) ของลานจอด
ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต (ต่อ)

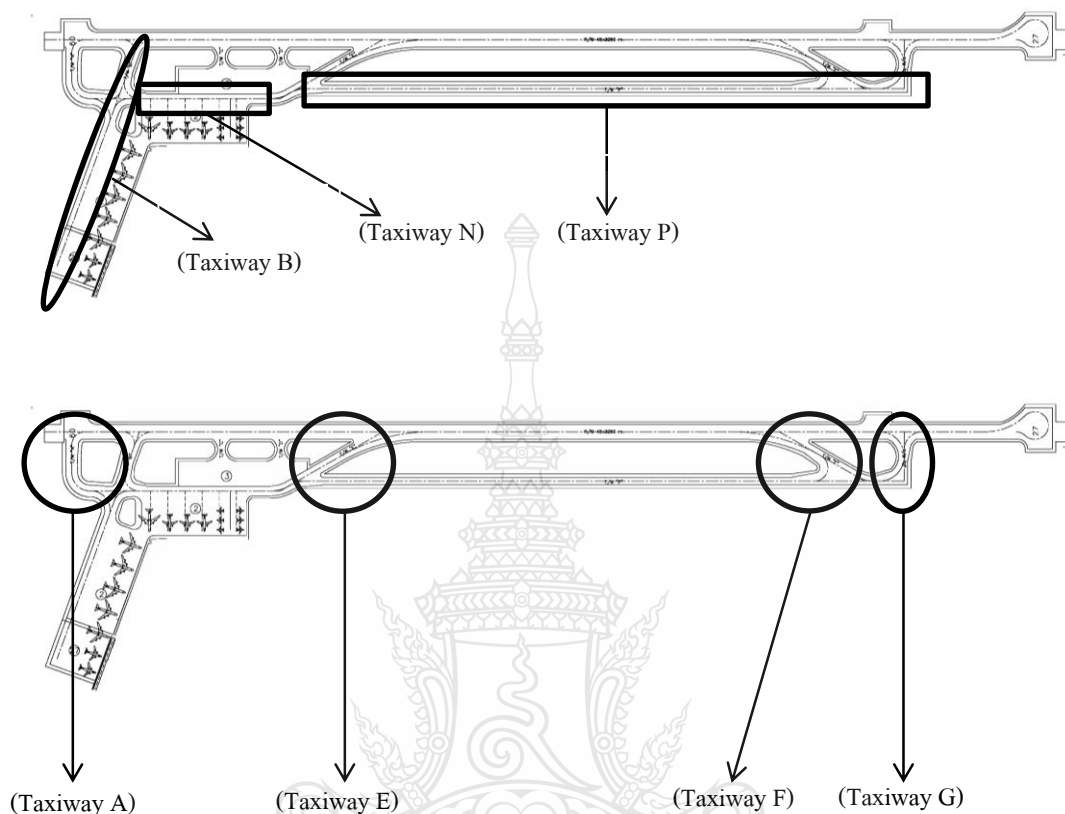
ลาน จอด	แนว ทดสอบ ที่	จำนวน จุด ทดสอบ	สถานี ทดสอบ	ประสิทธิภาพ การถ่ายน้ำหนัก (ร้อยละ)	เกณฑ์วัดผลการทดสอบ			ค่าเฉลี่ย
					ยอมรับ	ปาน กลาง	ไม่ผ่าน เกณฑ์	
B	2	7	0+105	72.37%	√			87.76%
			0+160	92.97%	√			
			0+210	92.58%	√			
			0+276	92.19%	√			
	3	7	0+000	64.30%		√		88.22%
			0+009	93.13%	√			
			0+057	94.30%	√			
			0+107	92.64%	√			
			0+159	92.93%	√			
			0+208	93.85%	√			
			0+269	86.42%	√			
	4	6	0+000	91.43%	√			91.82%
			0+055	95.40%	√			
			0+103	90.43%	√			
			0+158	94.44%	√			
			0+207	91.35%	√			
			0+272	87.88%	√			
	5	7	0+000	82.95%	√			90.65%
			0+052	93.22%	√			

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], (LTE_{Δ}) ของลานจอด
ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต (ต่อ)

ลาน จอด	แนว ทดสอบ ที่	จำนวน จุด ทดสอบ	สถานี ทดสอบ	ประสิทธิภาพ การถ่ายน้ำหนัก (ร้อยละ)	เกณฑ์วัดผลการทดสอบ			ค่าเฉลี่ย
					ยอมรับ	ปาน กลาง	ไม่ผ่าน เกณฑ์	
B	5	7	0+101	92.43%	√			90.65%
			0+155	95.18%	√			
			0+203	91.92%	√			
			0+268	83.65%	√			
			0+271	95.16%	√			

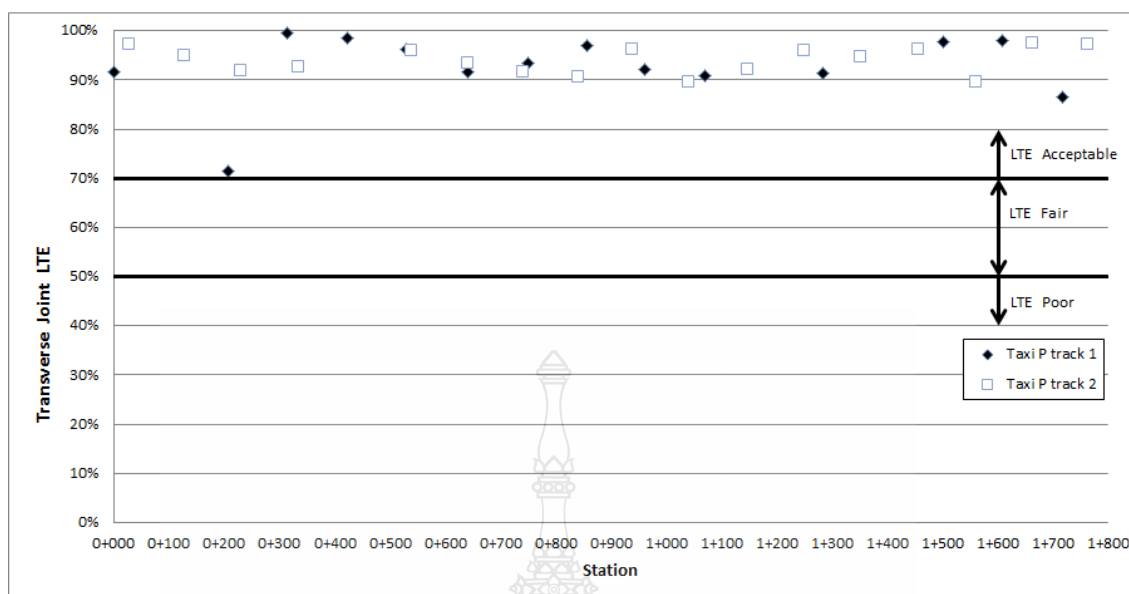


2. จุดทดสอบทางวิ่งท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต (Taxiway) ดังแสดงในภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 เส้นทางขับท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต

จุดทดสอบทางขับ (Taxiway) ของท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต แบ่งแปลงทดสอบประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักออกเป็น 7 แปลงทดสอบ ทำการทดสอบในทางขับ A, B, E, F, G, N และ P โดยแต่ละแปลงทดสอบจะแบ่งจำนวนแนวทดสอบออกเป็น 2 แนว (Test Track) จากผลการทดสอบในทางขับจำนวน 77 จุด ได้ทำการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักของแผ่นพื้นคอนกรีตผลการวิเคราะห์ที่อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (Acceptable) จำนวน 73 จุด อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง (Fair) จำนวน 2 จุด และต่ำกว่าเกณฑ์ (Poor) จำนวน 2 จุด ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักของ FAA [6] ซึ่งภาพที่ 4.8 เป็นตัวอย่างของผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักของทางขับ P



ภาพที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], (LTE_{Δ}) ของทางขับ P (Taxiway P)

จากภาพที่ 4.8 จะพบว่าผลการวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักในแนวทดสอบที่ 1 และ 2 ผลการวิเคราะห์จะมีค่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (Acceptable) ซึ่งมีความมากกว่าร้อยละ 70 โดยทั้งหมดจะเป็นค่าที่นำไปใช้วิเคราะห์เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ต่อไป สำหรับกราฟการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักที่ทางขับ A, B, E, F, G และ N นั้น ได้แสดงไว้ในภาพที่ ก.19 ถึง ก.25 ในภาคผนวก ก

โดยผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักที่ทางขับ A, B, E, F, G, N และ P ได้สรุปผลการวิเคราะห์ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], (LTE_{Δ}) ของทางขับ
ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต

ทางขับ	แนวทดสอบ ที่	จำนวน จุด ทดสอบ	สถานี ทดสอบ	ประสิทธิภาพ การถ่ายน้ำหนัก (ร้อยละ)	เกณฑ์วัดผลการทดสอบ			ค่าเฉลี่ย
					ยอมรับ	ปาน กลาง	ไม่ผ่าน เกณฑ์	
A	1	3	0+005	72.85%	√			88.17%
			0+098	92.64%	√			
			0+185	99.00%	√			
	2	2	0+030	90.97%	√			89.22%
			0+126	87.47%	√			
B	1	10	0+006	67.63%		√		78.95%
			0+100	30.29%			√	
			0+201	60.28%		√		
			0+301	91.11%	√			
			0+400	91.59%	√			
			0+501	91.73%	√			
			0+508	87.69%	√			
			0+601	89.81%	√			
			0+704	89.81%	√			
			0+802	89.57%	√			
	2	8	0+042	90.39%	√			91.43%
			0+131	93.75%	√			
			0+227	91.98%	√			
			0+328	91.99%	√			

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], (LTE_Δ) ของทางขับ
ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต (ต่อ)

ทางขับ	แนว ทดสอบ ที่	จำนวน จุด ทดสอบ	สถานี ทดสอบ	ประสิทธิภาพ การถ่ายน้ำหนัก (ร้อยละ)	เกณฑ์วัดผลการทดสอบ			ค่าเฉลี่ย
					ยอมรับ	ปาน กลาง	ไม่ผ่าน เกณฑ์	
B	2	8	0+431	90.83%	√			91.43%
			0+532	91.30%	√			
			0+632	89.70%	√			
			0+729	91.52%	√			
E	1	2	0+000	87.65%	√			89.97%
			0+110	92.29%	√			
	2	1	0+025	71.88%	√			-
F	1	2	0+000	91.73%	√			93.16%
			0+103	94.58%	√			
	2	2	0+025	93.29%	√			93.06%
			0+090	92.84%	√			
G	1	3	0+000	80.28%	√			85.52%
			0+074	83.61%	√			
			0+030	92.66%	√			
	2	1	0+030	85.47%	√			-
N	1	5	0+000	89.03%	√			76.82%
			0+096	92.47%	√			
			0+190	82.29%	√			
			0+304	73.44%	√			

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], (LTE_{Δ}) ของทางขับ
ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต (ต่อ)

ทางขับ	แนว ทดสอบ ที่	จำนวน จุด ทดสอบ	สถานี ทดสอบ	ประสิทธิภาพ การถ่ายน้ำหนัก (ร้อยละ)	เกณฑ์วัดผลการทดสอบ			ค่าเฉลี่ย
					ยอมรับ	ปาน กลาง	ไม่ผ่าน เกณฑ์	
N	1	5	0+417	46.84%			√	76.82%
	2	4	0+025	94.18%	√			92.33%
			0+123	90.38%	√			
			0+219	91.98%	√			
			0+449	92.79%	√			
P	1	16	0+000	91.75%	√			93.72%
			0+099	100.39%				
			0+207	71.46%	√			
			0+315	99.51%	√			
			0+424	98.48%	√			
			0+530	96.20%	√			
			0+641	91.65%	√			
			0+750	93.50%	√			
			0+856	96.97%	√			
			0+962	92.23%	√			
			1+070	91.01%	√			
			1+283	91.30%	√			
			1+393	102.91%				
			1+501	97.71%	√			

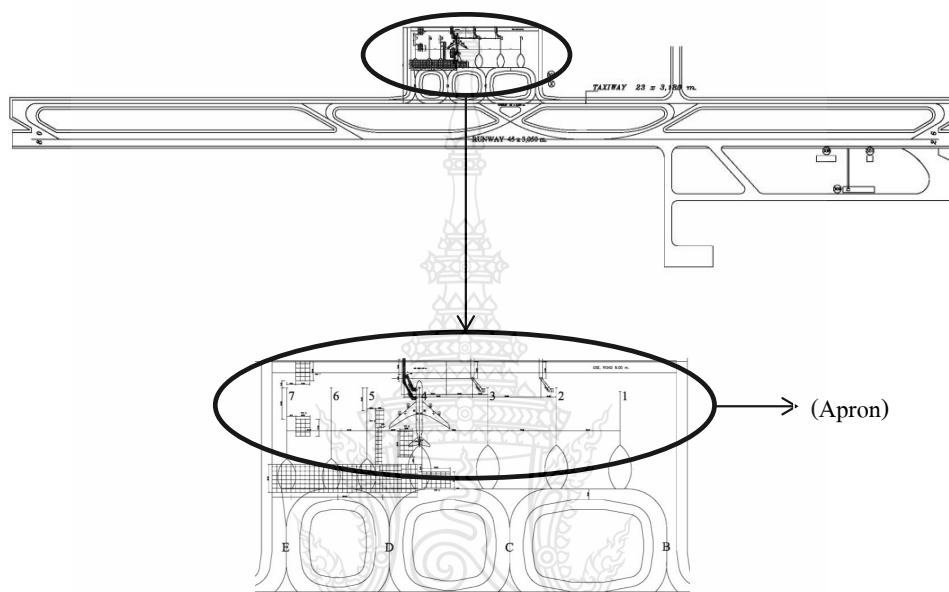
ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], (LTE_{Δ}) ของทางขับ
ทำอากาศยานนานาชาติภูเก็ต (ต่อ)

ทางขับ	แนวทดสอบ ที่	จำนวน จุด ทดสอบ	สถานี ทดสอบ	ประสิทธิภาพ การถ่ายน้ำหนัก (ร้อยละ)	เกณฑ์วัดผลการทดสอบ			ค่าเฉลี่ย
					ยอมรับ	ปาน กลาง	ไม่ผ่าน เกณฑ์	
P	1	16	1+609	97.98%	√			93.72%
			1+717	86.46%	√			
	2	18	0+029	97.19%	√			94.34%
			0+127	94.91%	√			
			0+229	91.94%	√			
			0+334	92.60%	√			
			0+438	100.47%				
			0+539	95.97%	√			
			0+641	93.50%	√			
			0+740	91.63%	√			
			0+840	90.73%	√			
			0+939	96.14%	√			
			1+041	89.58%	√			
			1+147	92.22%	√			
			1+249	96.09%	√			
			1+353	94.75%	√			
			1+456	96.21%	√			
			1+560	89.56%	√			
			1+662	97.45%	√			

4.2 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตท่าอากาศยาน

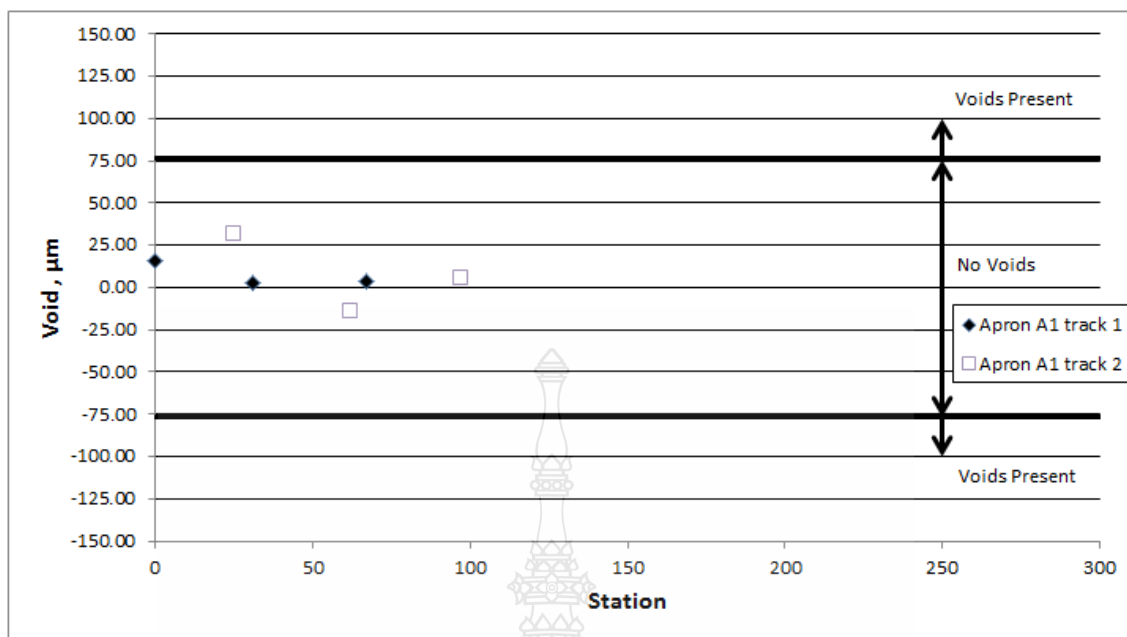
4.2.1 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตของท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่

1. จุดทดสอบลานจอดท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ (Apron) ดังแสดงในภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 ฟังลานจอดท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่

จุดทดสอบลานจอด (Apron) ของท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ แบ่งแปลงทดสอบโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตออกเป็น 7 แปลงทดสอบ ทำการทดสอบในลานจอด A หลุมจอดที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 แต่ละแปลงทดสอบจะแบ่งจำนวนแนวทดสอบออกเป็น 2 แนว (Test Track) ซึ่งจากผลการทดสอบในลานจอดจำนวน 41 จุด ได้ทำการวิเคราะห์หาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต ผลการวิเคราะห์แสดงผลบริเวณที่ไม่มีโพรงปรากฏ (No Void Present) จำนวน 37 จุด และแสดงผลบริเวณที่มีโพรงปรากฏ (Void Present) จำนวน 4 จุด ตามเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตของ FAA [6] ซึ่งภาพที่ 4.10 เป็นตัวอย่างของผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตของลานจอด A หลุมจอดที่ 1



ภาพที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของลานจอด “A” หลุมจอด 1

จากภาพที่ 4.10 จะพบว่าผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตในแนวทดสอบที่ 1 และ 2 ที่มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง $-75\mu\text{m}$ ถึง $75\mu\text{m}$ ที่ไม่มีโพรงปรากฏ จำนวนทั้งหมด 6 จุด ซึ่งเป็นค่าที่นำไปใช้วิเคราะห์เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ต่อไป สำหรับกราฟการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตที่ลานจอด A หลุมจอดที่ 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 นั้น ได้แสดงไว้ในภาพที่ ก.26 ถึง ก.32 ในภาคผนวก ก

โดยผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตที่ลานจอด A ของท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ทั้งหมด ได้สรุปผลการวิเคราะห์ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต (Void) ของลานจอด
ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่

หลุม ทดสอบ ที่	แนว ทดสอบ ที่	จำนวน จุด ทดสอบ	สถานี ทดสอบ	โพรงใต้ผิวทาง คอนกรีต (μm)	เกณฑ์วัดผลการ ทดสอบ		ค่าเฉลี่ย สัมบูรณ์ (μm)
					โพรงไม่ ปรากฏ	โพรง ปรากฏ	
1	1	3	0+000	15.39	√		7.30
			0+031	2.69	√		
			0+067	3.81	√		
	2	3	0+025	31.84	√		17.32
			0+062	-14.13	√		
			0+097	5.98	√		
2	1	3	0+000	15.39	√		7.30
			0+031	2.69	√		
			0+067	3.81	√		
	2	3	0+025	-12.23	√		69.99
			0+060	-18.21	√		
			0+095	179.52		√	
3	1	3	0+000	4.86	√		50.37
			0+037	-4.13	√		
			0+073	-142.12		√	
	2	3	0+025	10.38	√		10.50
			0+062	-11.64	√		
			0+095	9.48	√		

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต (Void) ของลานจอด
ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ (ต่อ)

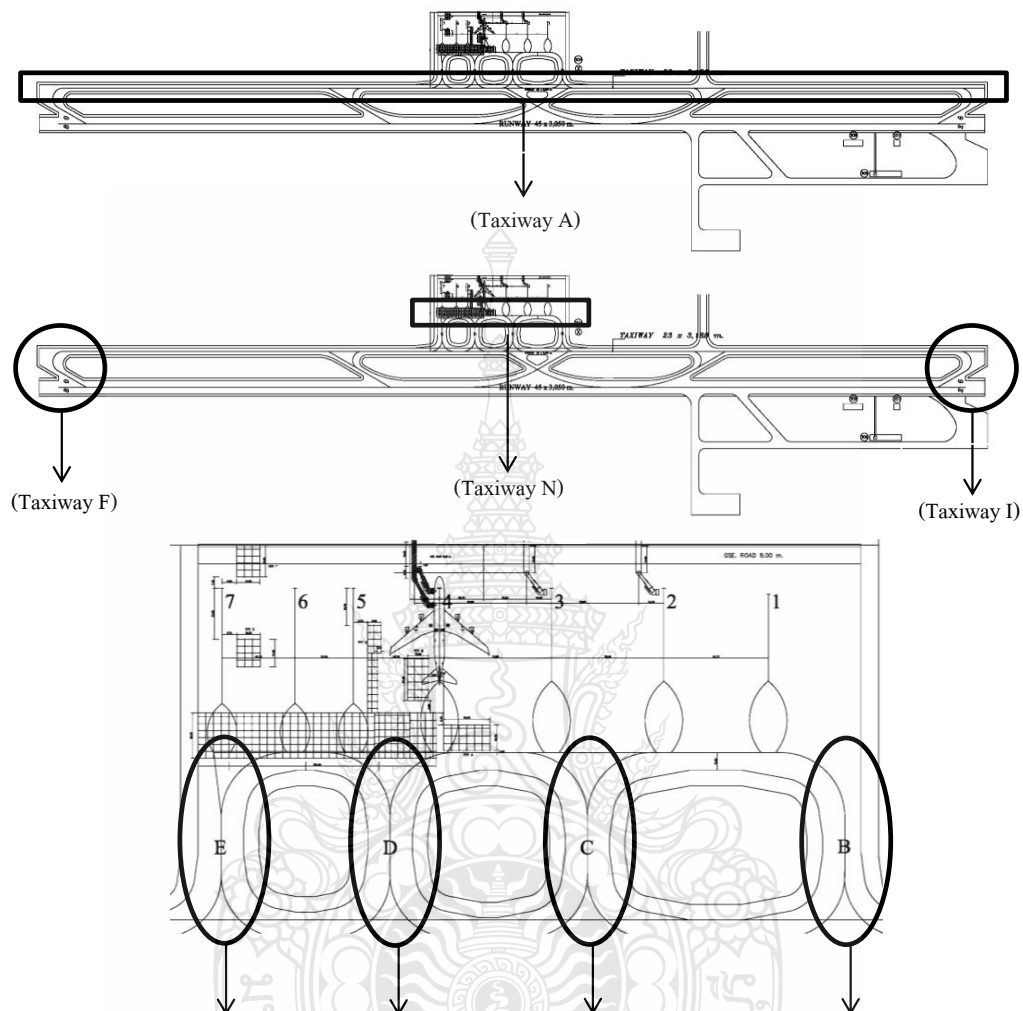
หลุม ทดสอบ ที่	แนว ทดสอบ ที่	จำนวน จุด ทดสอบ	สถานี ทดสอบ	โพรงใต้ผิวทาง คอนกรีต (μm)	เกณฑ์วัดผลการ ทดสอบ		ค่าเฉลี่ย สัมบูรณ์ (μm)
					โพรงไม่ ปรากฏ	โพรง ปรากฏ	
4	1	3	0+000	-126.53		√	44.40
			0+037	-2.66	√		
			0+078	4.01	√		
	2	3	0+025	2.87	√		8.03
			0+061	20.23	√		
			0+096	1.01	√		
5	1	3	0+000	6.85	√		30.20
			0+035	-8.16	√		
			0+072	75.60		√	
	2	2	0+025	-6.01	√		7.10
			0+061	-8.19	√		
6	1	3	0+000	-66.06	√		28.73
			0+038	-13.72	√		
			0+074	-6.40	√		
	2	3	0+025	30.07	√		12.79
			0+060	-4.53	√		
			0+098	3.78	√		

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงได้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต (Void) ของลานจอด
ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ (ต่อ)

หลุม ทดสอบ ที่	แนว ทดสอบ ที่	จำนวน จุด ทดสอบ	สถานี ทดสอบ	โพรงได้ผิวทาง คอนกรีต (μm)	เกณฑ์วัดผลการ ทดสอบ		ค่าเฉลี่ย สัมบูรณ์ (μm)
					โพรงไม่ ปรากฏ	โพรง ปรากฏ	
7	1	3	0+000	109.85		√	43.74
			0+037	6.11	√		
			0+073	15.27	√		
	2	3	0+025	-17.28	√		15.27
			0+057	-16.72	√		
			0+094	-11.80	√		



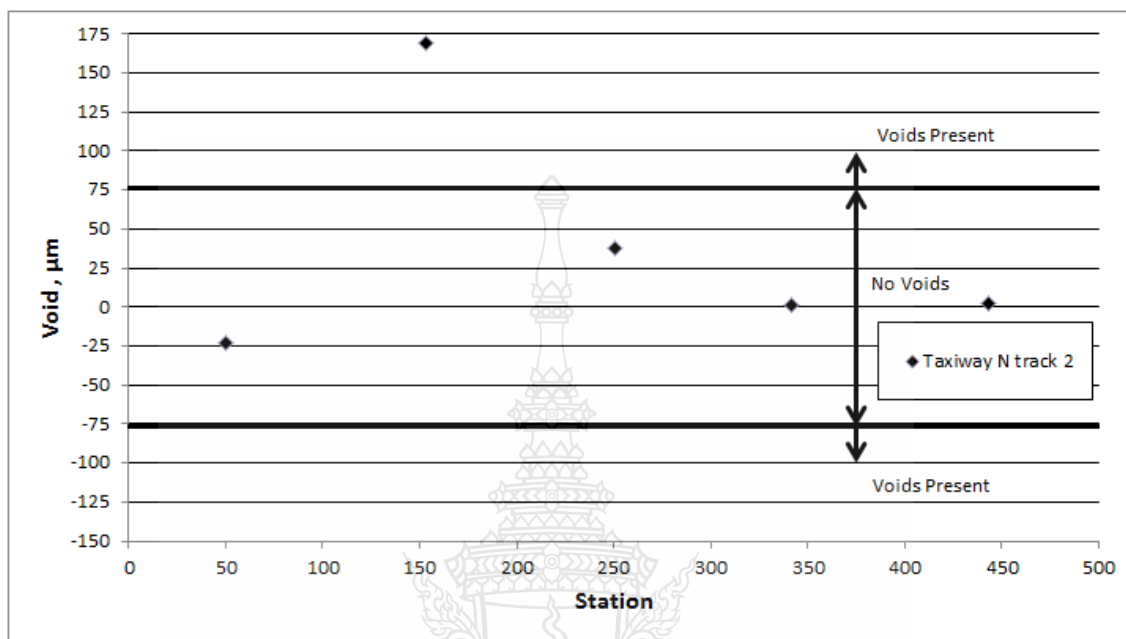
2. จุดทดสอบทางวิ่งท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ (Taxiway) ดังแสดงในภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 เส้นทางขับท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่

จุดทดสอบทางขับ (Taxiway) ของท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ แบ่งแปลงทดสอบโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตออกเป็น 8 แปลงทดสอบ ทำการทดสอบในทางขับ A, B, C, D, E, F, I และ N ซึ่งทางขับ A สามารถแบ่งแปลงทดสอบย่อยได้ 2 แปลง คือ ทางขับ A08 และ A26 โดยแต่ละแปลงทดสอบจะแบ่งจำนวนแนวทดสอบออกเป็น 2 แนว (Test Track) ยกเว้นทางขับ F และ N ซึ่งจะแบ่งจำนวนแนวทดสอบออกเป็น 1 แนว ซึ่งจากผลการทดสอบในลานจอดจำนวน 23 จุดได้ทำการวิเคราะห์หาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต ผลการวิเคราะห์แสดงผลบริเวณที่ไม่มีโพรงปรากฏ (No Void Present) จำนวน 21 จุด และแสดงผลบริเวณที่มีโพรงปรากฏ (Void Present) จำนวน 2 จุด

ตามเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตของ FAA [6] ซึ่งภาพที่ 4.12 เป็นตัวอย่างของผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตของทางขับ N



ภาพที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ N (Taxiway N)

จากภาพที่ 4.12 จะพบว่าผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตในแนวทดสอบที่ 2 ที่มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง $-75\mu\text{m}$ ถึง $75\mu\text{m}$ ที่ไม่มีโพรงปรากฏ จำนวน 4 จุด และมีค่าอยู่นอกช่วง $\pm 75\mu\text{m}$ ที่มีโพรงปรากฏ จำนวน 1 จุด ซึ่งจะเป็นค่าที่นำไปใช้วิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ต่อไป สำหรับกราฟการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตที่ทางขับ A, B, C, D, E, F, I และ N นั้น ได้แสดงไว้ในภาพที่ ก.33 ถึง ก.41 ในภาคผนวก ก

โดยผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตที่ทางขับ A, B, C, D, E, F, I และ N ของท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ทั้งหมด ได้สรุปผลการวิเคราะห์ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต (Void) ของทางขับท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่

ทางขับ	แนวทดสอบที่	จำนวนจุดทดสอบ	สถานีทดสอบ	โพรงใต้ผิวทางคอนกรีต (μm)	เกณฑ์วัดผลการทดสอบ		ค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ (μm)
					โพรงไม่ปรากฏ	โพรงปรากฏ	
A08	1	2	0+000	40.24	√		37.23
			0+093	34.22	√		
	2	1	0+000	13.38	√		-
A26	1	2	0+000	-8.71	√		22.76
			0+041	-36.80	√		
	2	1	0+000	-15.29	√		-
B	1	1	0+000	0.94	√		-
	2	1	0+025	-3.22	√		-
C	1	1	0+000	-4.68	√		-
	2	1	0+025	12.83	√		-
D	1	1	0+000	-7.09	√		-
	2	1	0+025	-25.69	√		-
E	1	1	0+000	0.01	√		-
	2	1	0+025	-70.65	√		-
F	1	2	0+000	-185.21		√	93.35
			0+102	1.49	√		
I	1	1	0+000	-4.65	√		-
	2	1	0+002	0.21	√		-

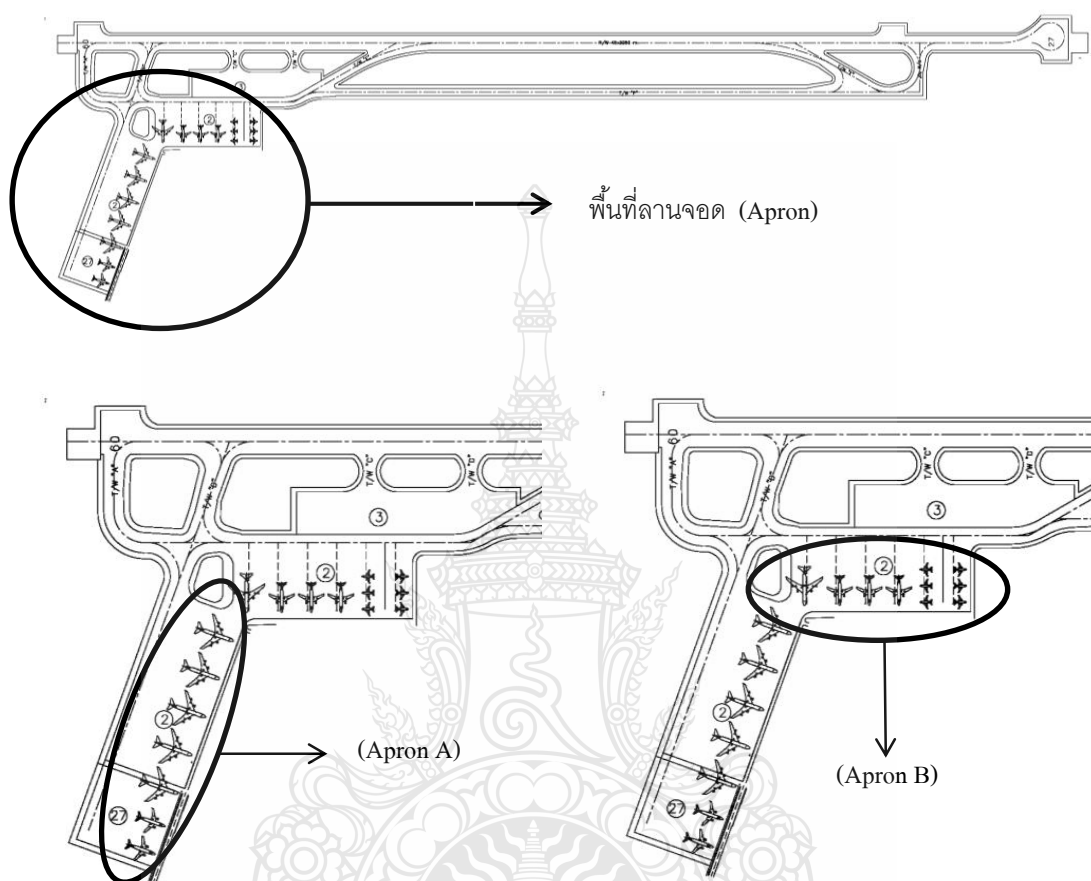
ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต (Void) ของทางขับท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่

ทางขับ	แนวทดสอบที่	จำนวนจุดทดสอบ	สถานีทดสอบ	โพรงใต้ผิวทางคอนกรีต (μm)	เกณฑ์วัดผลการทดสอบ		ค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ (μm)
					โพรงไม่ปรากฏ	โพรงปรากฏ	
N	1	5	0+050	-23.39	√		46.62
			0+153	168.99		√	
			0+251	37.87	√		
			0+342	1.04	√		
			0+443	1.82	√		



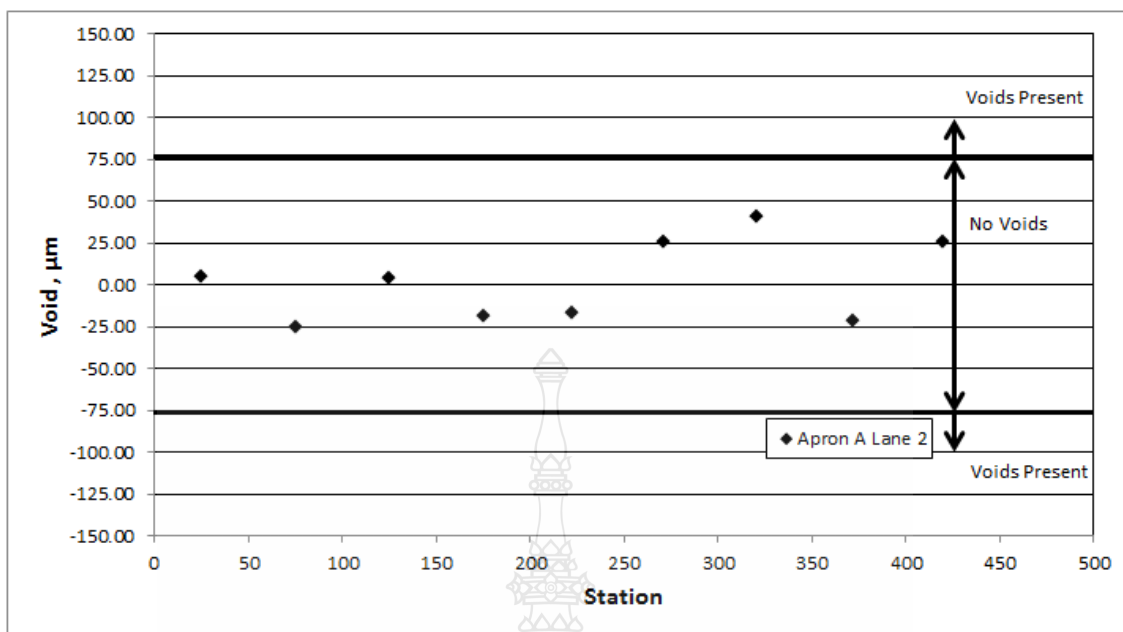
4.2.2 ผลการวิเคราะห์โปรแกรมได้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตของท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต

1. ทดสอบลานจอดท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต (Apron) ดังแสดงในภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 ผังลานจอดท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต

จุดทดสอบลานจอด (Apron) ของท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ตแบ่งแปลงทดสอบโปรแกรมได้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตออกเป็น 2 แปลงทดสอบ ทำการทดสอบในลานจอด A และลานจอด B โดยลานจอด A จะแบ่งจำนวนแนวทดสอบออกเป็น 1 แนว (Test Track) และลานจอด B จะแบ่งจำนวนแนวทดสอบออกเป็น 2 แนว ซึ่งจากผลการทดสอบในลานจอดมีจำนวน 21 จุด ได้ทำการวิเคราะห์หาค่าโปรแกรมได้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตผลการวิเคราะห์แสดงผลบริเวณที่ไม่มีโพรงปรากฏ (No Void Present) จำนวน 21 จุด ตามเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบโปรแกรมได้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตของ FAA [6] ซึ่งภาพที่ 4.14 เป็นตัวอย่างของผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโปรแกรมได้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตของลานจอด A



ภาพที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของลานจอด “A” (Apron A)

จากภาพที่ 4.14 จะพบว่าผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต (Void) ในแนวทดสอบที่ 2 ที่มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง $-75\mu\text{m}$ ถึง $75\mu\text{m}$ ที่ไม่มีโพรงปรากฏ จำนวน 9 จุด ซึ่งจะ เป็นค่าที่นำไปใช้วิเคราะห์เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ต่อไป สำหรับกราฟการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตที่ลานจอด A และลานจอด B นั้น ได้แสดงไว้ในภาพที่ ก.42 ถึง ก.43 ใน ภาคผนวก ก

โดยผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตที่ลานจอด A และ B ของ ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ตทั้งหมด ได้สรุปผลการวิเคราะห์ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต (Void) ของลานจอด
ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต

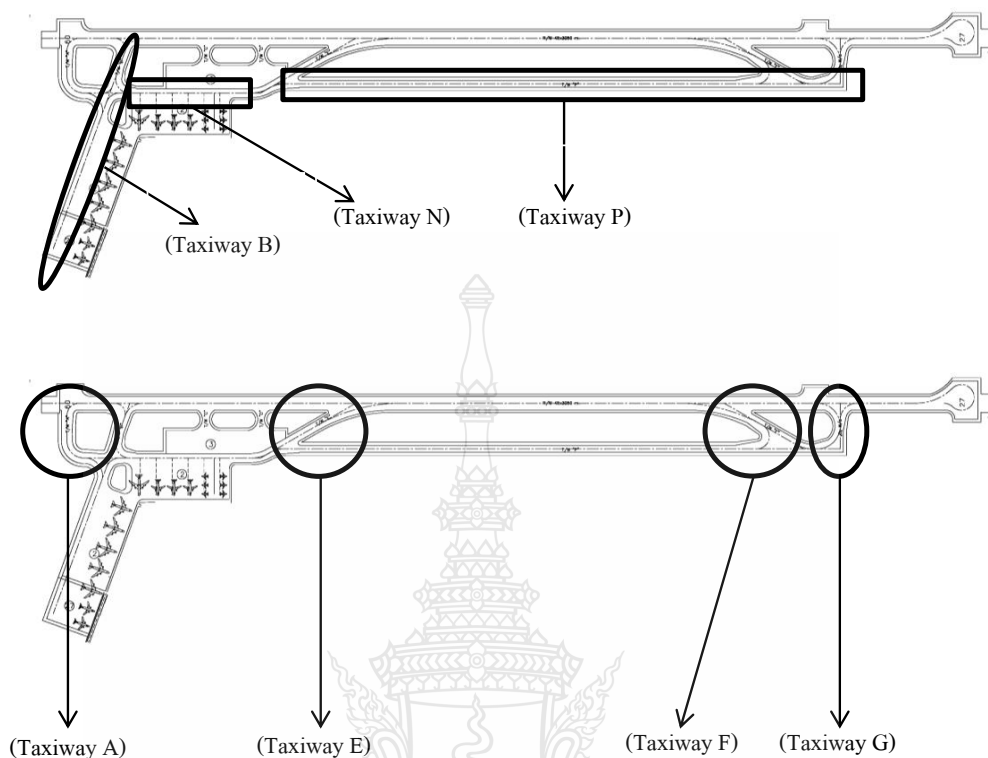
หลุม ทดสอบ ที่	แนว ทดสอบ ที่	จำนวน จุด ทดสอบ	สถานี ทดสอบ	โพรงใต้ผิวทาง คอนกรีต (μm)	เกณฑ์วัดผลการ ทดสอบ		ค่าเฉลี่ย สัมบูรณ์ (μm)
					โพรงไม่ ปรากฏ	โพรง ปรากฏ	
A	1	9	0+025	5.02	√		20.34
			0+075	-24.99	√		
			0+125	4.10	√		
			0+175	-18.25	√		
			0+222	-16.96	√		
			0+271	25.44	√		
			0+321	41.14	√		
			0+372	-21.76	√		
			0+420	25.38	√		
B	1	6	0+000	46.51	√		23.98
			0+062	29.42	√		
			0+111	1.12	√		
			0+165	37.10	√		
			0+216	14.83	√		
			0+279	14.89	√		

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงได้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต (Void) ของลานจอด
ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต (ต่อ)

หลุม ทดสอบ ที่	แนว ทดสอบ ที่	จำนวน จุด ทดสอบ	สถานี ทดสอบ	โพรงได้ผิวทาง คอนกรีต (μm)	เกณฑ์วัดผลการ ทดสอบ		ค่าเฉลี่ย สัมบูรณ์ (μm)
					โพรงไม่ ปรากฏ	โพรง ปรากฏ	
B	3	6	0+008	44.01	√		25.38
			0+057	30.74	√		
			0+107	4.56	√		
			0+157	27.65	√		
			0+208	4.09	√		
			0+271	41.21	√		

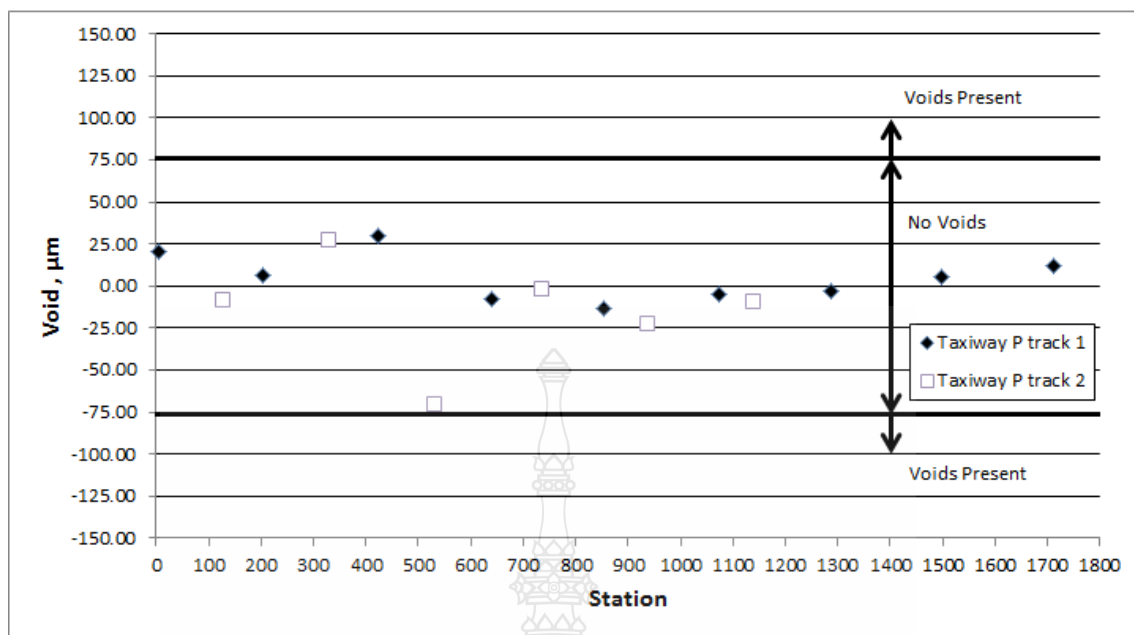


2. จุดทดสอบทางวิ่งท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต (Taxiway) ดังแสดงในภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 เส้นทางขับท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต

จุดทดสอบทางขับ (Taxiway) ของท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ตแบ่งแปลงทดสอบโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตออกเป็น 7 แปลงทดสอบ ทำการทดสอบในทางขับ A, B, E, F, G, N และ P โดยแต่ละแปลงทดสอบจะแบ่งจำนวนแนวทดสอบออกเป็น 2 แนว (Test Track) ยกเว้นทางขับ E และ G แบ่งจำนวนแนวทดสอบออกเป็น 1 แนว ซึ่งจากผลการทดสอบในลานจอดจำนวน 39 จุด ได้ทำการวิเคราะห์หาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต ผลการวิเคราะห์แสดงผลบริเวณที่ไม่มีโพรงปรากฏ (No Void Present) จำนวน 37 จุด และแสดงผลบริเวณที่มีโพรงปรากฏ (Void Present) จำนวน 2 จุด ตามเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตของ FAA [6] ซึ่งภาพที่ 4.16 เป็นตัวอย่างของผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตของทางขับ N



ภาพที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ P (Taxiway P)

จากภาพที่ 4.16 จะพบว่าผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตในแนวทดสอบที่ 1 และ 2 ที่มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง $-75\mu\text{m}$ ถึง $75\mu\text{m}$ ที่ไม่มีโพรงปรากฏ จำนวน 18 จุด ซึ่งจะ เป็นค่าที่นำไปใช้วิเคราะห์เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ต่อไป สำหรับกราฟการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตที่ทางขับ A, B, E, F, G, N และ P นั้น ได้แสดงไว้ในภาพที่ ก.44 ถึง ก.50 ใน ภาคผนวก ก

โดยผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตที่ทางขับ A, B, E, F, G และ N ของท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ตทั้งหมด ได้สรุปผลการวิเคราะห์ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต (Void) ของทางขับ
ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต

หลุม ทดสอบ ที่	แนว ทดสอบ ที่	จำนวน จุด ทดสอบ	สถานี ทดสอบ	โพรงใต้ผิวทาง คอนกรีต (μm)	เกณฑ์วัดผลการ ทดสอบ		ค่าเฉลี่ย สัมบูรณ์ (μm)
					โพรงไม่ ปรากฏ	โพรง ปรากฏ	
A	1	2	0+005	45.77	√		37.96
			0+186	30.15	√		
	2	1	0+128	22.10	√		-
B	1	5	0+006	25.74	√		93.87
			0+206	80.04		√	
			0+411	-336.17		√	
			0+606	-10.86	√		
			0+807	16.54	√		
	2	4	0+128	36.61	√		19.78
			0+326	31.20	√		
			0+525	-5.92	√		
			0+725	-5.36	√		
E	1	1	0+000	-29.71	√		-
F	1	1	0+000	8.09	√		-
	1	1	0+090	-3.11	√		-
G	1	1	0+000	73.69	√		-
N	1	3	0+000	-10.58	√		12.02
			0+187	13.24	√		
			0+410	12.23	√		

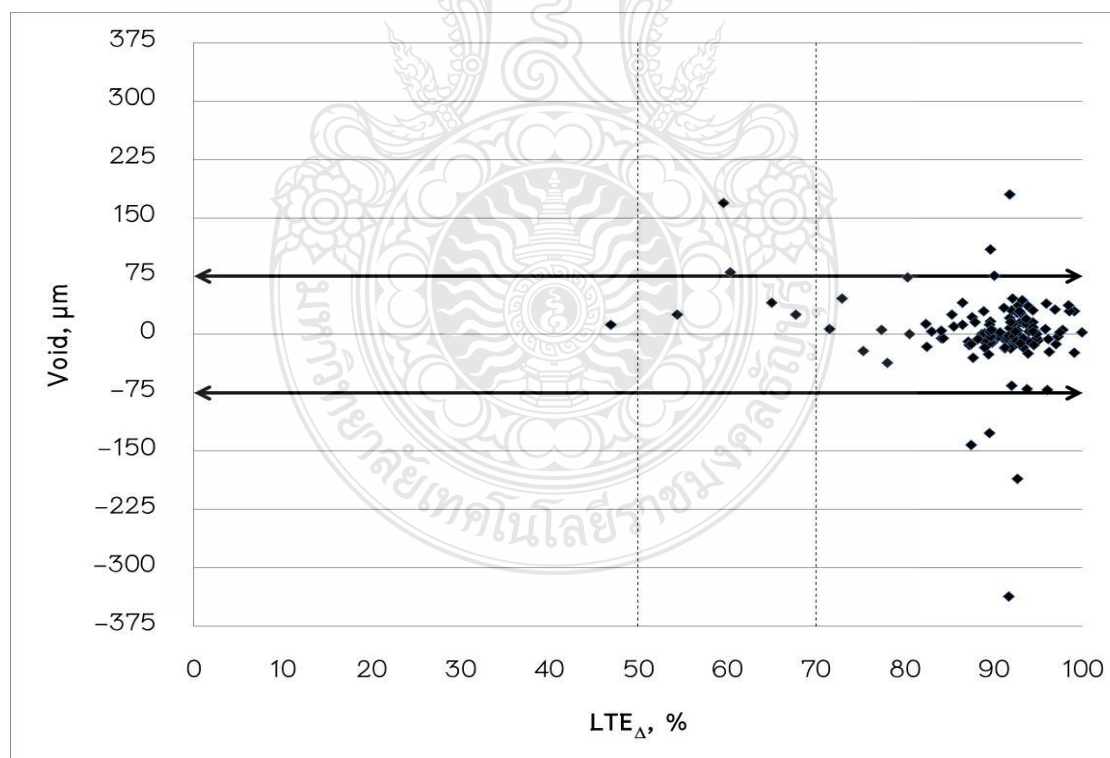
ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต (Void) ของทางขับ
ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต (ต่อ)

หลุม ทดสอบ ที่	แนว ทดสอบ ที่	จำนวน จุด ทดสอบ	สถานี ทดสอบ	โพรงใต้ผิวทาง คอนกรีต (μm)	เกณฑ์วัดผลการ ทดสอบ		ค่าเฉลี่ย สัมบูรณ์ (μm)
					โพรงไม่ ปรากฏ	โพรง ปรากฏ	
N	2	2	0+125	-2.50	√		8.58
			0+449	14.66	√		
p	1	9	0+005	20.99	√		11.55
			0+205	-6.81	√		
			0+422	30.27	√		
			0+639	-7.30	√		
			0+854	-12.98	√		
			1+072	-5.10	√		
			1+286	-2.60	√		
			1+499	5.55	√		
			1+713	12.32	√		
	2	9	0+129	-8.41	√		17.67
			0+331	27.42	√		
			0+531	-70.98	√		
			0+736	-1.80	√		
			0+937	-22.78	√		
			1+141	-9.79	√		
			1+340	-4.63	√		
			1+542	-10.07	√		

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักกับโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต ท่าอากาศยาน

ทำการทดสอบ ณ แปลงทดสอบจริงส่วนทดสอบย่อย (Section) ของทางขับ (Taxiway) และลานจอด (Apron) ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่และภูเก็ตซึ่งเป็น โครงสร้างผิวทางคอนกรีตแบบมีรอยต่อ และเป็นท่าอากาศยานนานาชาติหลักที่สำคัญทางภาคใต้ของประเทศไทย ต้องรับภาระการใช้งานของเครื่องบินที่มีน้ำหนักและปริมาณเที่ยวบินที่มากขึ้น ทดสอบตามมาตรฐานข้อเสนอแนะของ FAA [6] ตามทิศทางการจราจร (Traffic Direction) ทดสอบแผ่นพื้นทดสอบแผ่นพื้นในแนวร่องล้อของเครื่องบินที่ใช้งานสนามบินเป้าหมายทั้ง 2 แห่ง

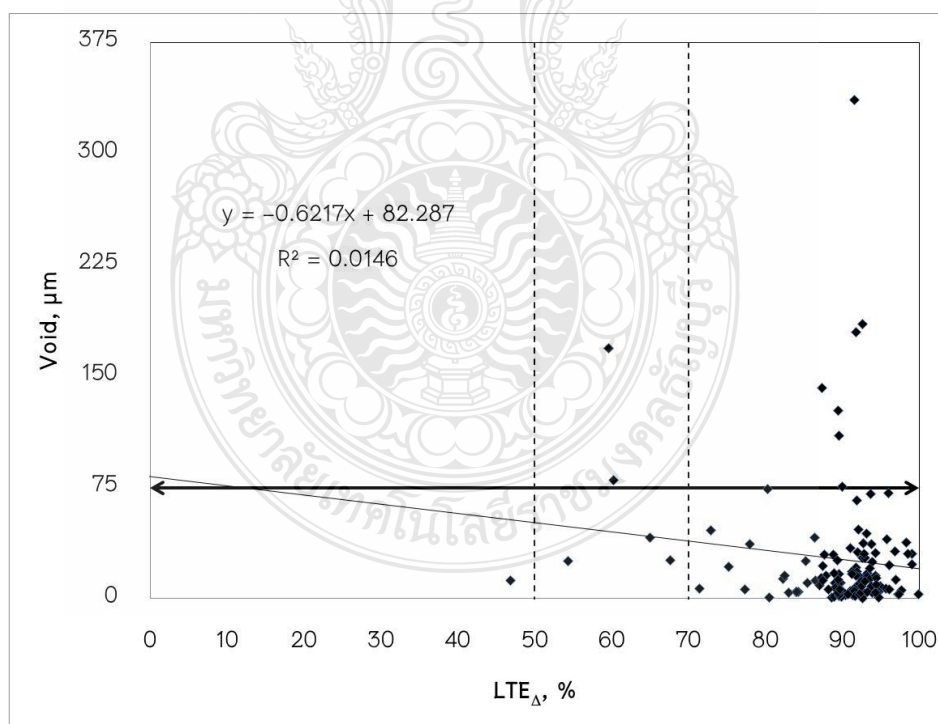
นำค่า LTE_{Δ} และ Void ที่สถานีทดสอบเดียวกัน มาวาดกราฟตามเกณฑ์มาตรฐานของ FAA [6] โดยแบ่งพื้นที่ย่อยของ LTE_{Δ} ออกเป็น 3 ช่วงย่อย คือ ต่ำกว่าเกณฑ์ (Poor) ที่มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 50 ปานกลาง (Fair) ที่มีค่าระหว่างร้อยละ 50 ถึงร้อยละ 70 และยอมรับ (Acceptable) ที่มีค่ามากกว่าร้อยละ 70 สำหรับค่าทดสอบของโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตที่อยู่ในช่วง $\pm 75\mu\text{m}$ ถือว่าไม่มีโพรงปรากฏและค่าที่อยู่นอกช่วงนี้ถือว่ามีโพรงปรากฏ ดังแสดงผลทดสอบตามภาพที่ 4.17



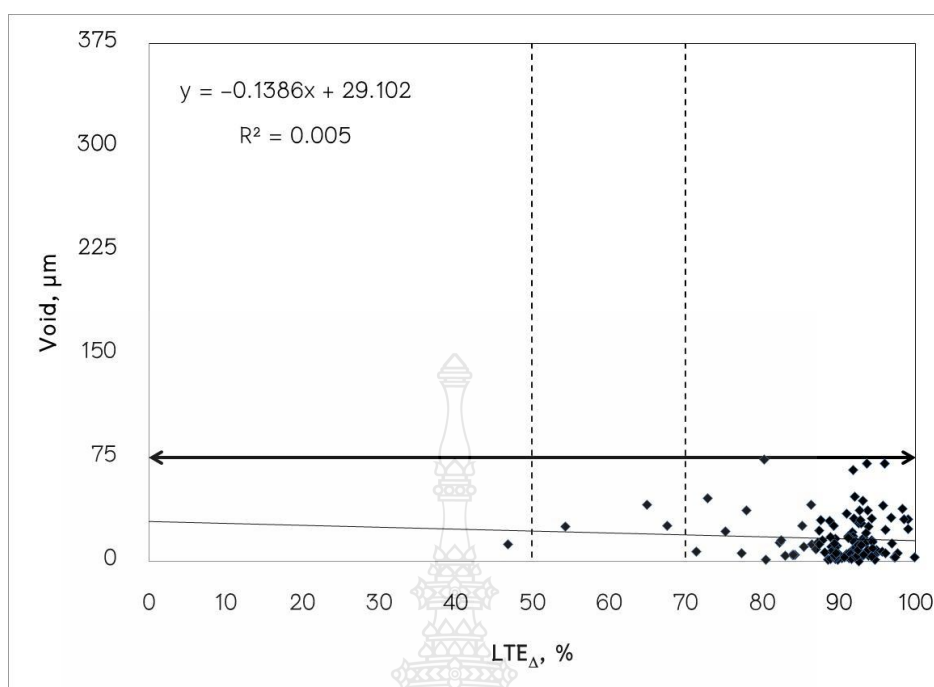
ภาพที่ 4.17 ผลการทดสอบ LTE_{Δ} และ โพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตตามมาตรฐานแนะนำของ FAA [6] ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่และภูเก็ต

จากภาพที่ 4.17 นำมาศึกษาเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ของค่า LTE_{Δ} และ Void ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดศุนใจ (R^2) เป็นเกณฑ์ โดยในกรณีที่ 1 ได้พิจารณาค่า LTE_{Δ} ในช่วง 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าสัมบูรณ์ของ Void ในกรณีที่ไม่มีและไม่มีโพรงปรากฏ วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรทั้ง 2 พบว่าความสัมพันธ์เชิงเส้นของ Void มีแนวโน้มลดลง เมื่อค่า LTE_{Δ} มีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.0146 ซึ่งมีค่าต่ำมาก ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่ากราฟความสัมพันธ์ดังกล่าว ไม่แสดงความสัมพันธ์ใดๆ ต่อกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.18

จากกรณีที่ 1 ได้พิจารณาศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้ง 2 เพิ่มเติม โดยมุ่งเน้นเฉพาะสถานที่ทดสอบที่ไม่เกิดโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต ซึ่งในกรณีที่ 2 นี้ได้พิจารณาค่า LTE_{Δ} ในช่วง 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์เช่นเดิม และนำไปเทียบกับค่าสัมบูรณ์ของ Void ในกรณีที่ไม่มีโพรงปรากฏ วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น พบว่าความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ได้ยังคงมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับกรณีที่ 1 แต่ค่า R^2 ที่ได้กลับยังมีค่าลดลงมาก ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าในกรณีที่ 2 นี้ ความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้ง 2 มีแนวโน้มที่แยลงกว่าในกรณีที่ 1 มาก ดังแสดงในภาพที่ 4.19

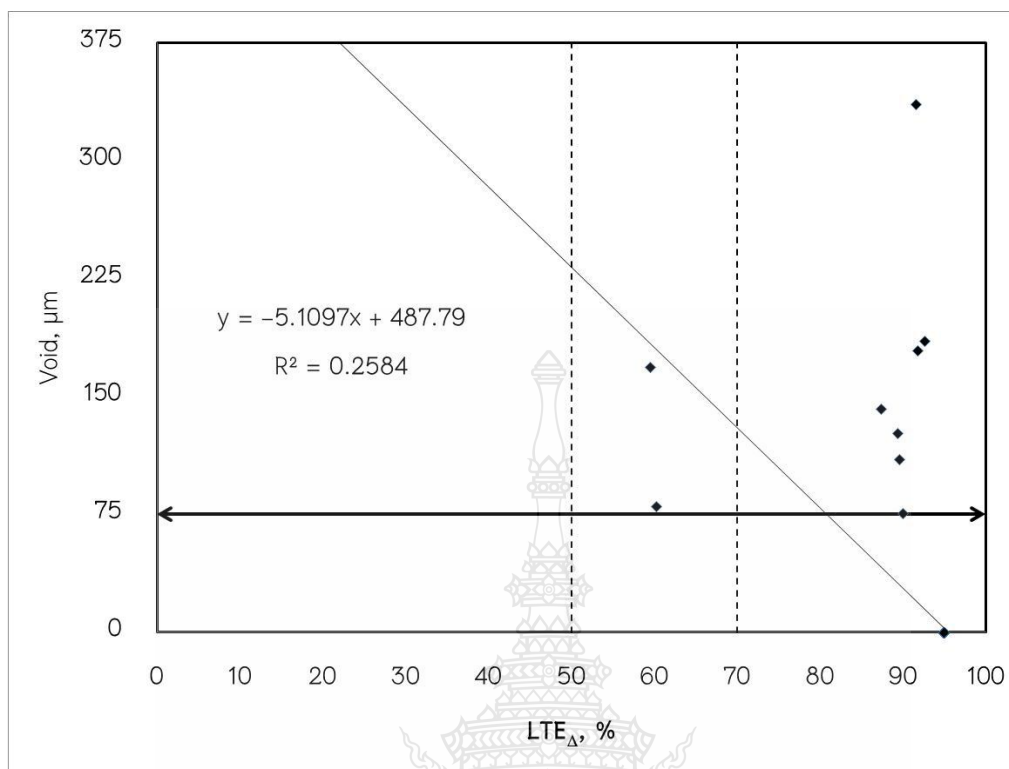


ภาพที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง LTE_{Δ} และ โพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต ทำอากาศยาน นานาชาติหาดใหญ่และภูเก็ต



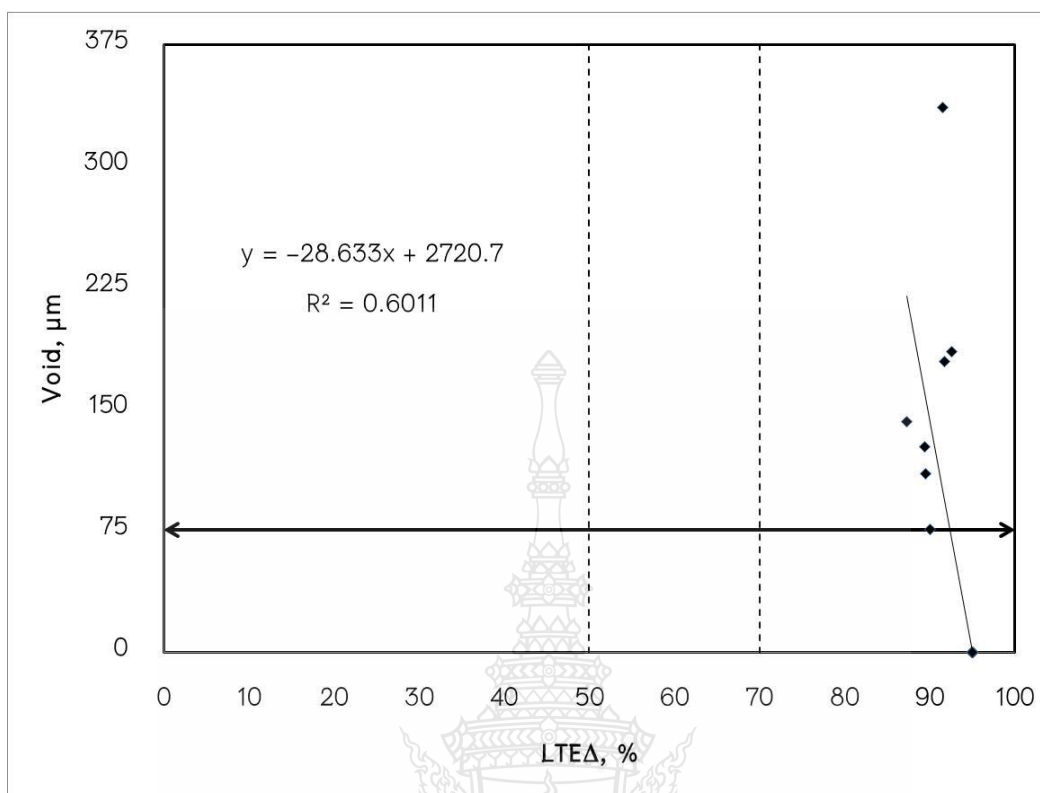
ภาพที่ 4.19 กราฟแสดงการถดถอยเชิงเส้นของ LTE_{Δ} และ ช่วง No Void Present ทำอากาศยาน นานาชาติหาดใหญ่และภูเก็ต

ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ในช่วงที่เกิดโพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีต (Void Present) ซึ่งในกรณีนี้ 3 นี้ได้พิจารณาค่า LTE_{Δ} ที่มากกว่าร้อยละ 50 และนำไปเทียบกับค่าสัมบูรณ์ของ Void ในกรณีที่มีโพรงปรากฏ วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น พบว่าความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรทั้ง 2 เพิ่มมากขึ้นด้วยค่า R^2 เท่ากับ 0.25 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแนวโน้มของความสัมพันธ์มีทิศทางที่ดีขึ้น แต่ก็ยังถือได้ว่าค่า R^2 ที่ได้ มีค่าน้อยมาก ซึ่งทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่าค่าตัวแปรทั้ง 2 นี้ มีความสัมพันธ์ต่อกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง LTE_{Δ} มากกว่า 50% และโพรงปรากฏใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต ทำอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่และภูเก็ต

สุดท้ายเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ในช่วงที่เกิดโพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีต (Void Present) ซึ่งในกรณีที่ 4 นี้ได้พิจารณาค่า LTE_{Δ} ที่มากกว่าร้อยละ 70 และนำไปเทียบกับค่าสัมบูรณ์ของ Void ในกรณีที่มีโพรงปรากฏ วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น พบว่าความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้ง 2 มีความชัดเจนมากที่สุดด้วยค่า R^2 เท่ากับ 0.60 ซึ่งได้สรุปเป็นความสัมพันธ์ทางเชิงเส้นอย่างง่ายบนพื้นฐานข้อมูลที่ทดสอบในงานวิจัยนี้ ดังแสดงในภาพที่ 4.21



ภาพที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\text{LTE}\Delta$ มากกว่า 70 % และ โพรงปรากฏได้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต ทำอากาศยานนาซาติหาดใหญ่และภูเก็ต

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักกับโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นผิวคอนกรีต สถานีทดสอบทางขับและสถานีจุดท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่และภูเก็ต ทดสอบและวิเคราะห์ผลทดสอบตามมาตรฐานแนะนำของ FAA [6] จากการศึกษาวิธีการทดสอบและวิเคราะห์ค่า LTE_{Δ} และ Void พบว่าข้อมูลที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่อง HWD เมื่อนำมาวิเคราะห์หาค่า LTE_{Δ} มีความสอดคล้องกับสภาพความเสียหายของแผ่นพื้นคอนกรีต ซึ่งมีความเด่นชัดมากที่สุด ที่ทางขับ B (Taxiway B) แนวทดสอบที่ 1 สถานีทดสอบ 0+100 ของท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต ซึ่งค่า LTE_{Δ} ที่ได้ มีค่าร้อยละ 30.29 ซึ่งสภาพความเสียหายของตำแหน่งทดสอบได้แสดงไว้ในภาพที่ ข.1 ในภาคผนวก ข

สำหรับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง LTE_{Δ} และ Void ได้ทำการวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้น พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้ง 2 มีความเด่นชัดที่สุดที่ค่า R^2 เท่ากับ 0.60 เมื่อพิจารณาค่า LTE_{Δ} มากกว่าร้อยละ 70 และมีโพรงใต้แผ่นพื้นปรากฏเท่านั้น ซึ่งในกรณีอื่นๆ ผลการวิเคราะห์ไม่แสดงถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้ง 2

จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า วิธีการทดสอบและวิเคราะห์โครงสร้างผิวทางของท่าอากาศยานภายใต้สภาวะแวดล้อมของประเทศไทย ด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (NDT) โดยใช้เครื่องมือ HWD ตามมาตรฐานการทดสอบของ FAA [6] นั้น ให้ผลการทดสอบและวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือ มีความสอดคล้องกับสภาพความเสียหายของแผ่นพื้นคอนกรีต และเมื่อนำผลวิเคราะห์ทั้ง 2 หาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง LTE_{Δ} และ Void พบว่าความสัมพันธ์ของค่าทั้ง 2 จะมีความเด่นชัดเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ในกรณีที่มีโพรงปรากฏเท่านั้น ซึ่งความสัมพันธ์ที่พบโดยเด่นชัดในงานวิจัยนี้มีเพียงกรณีเดียว เนื่องจากจำนวนของข้อมูลที่มีโพรงปรากฏมีไม่มาก ดังนั้นการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้ง 2 นี้ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลที่ได้เป็นทดสอบจริงในสนาม ภายใต้สภาวะแวดล้อมจริง จึงมีหลายปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ อีกทั้งจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นของระหว่างความสัมพันธ์ทั้ง 2 ตัวแปร ด้วยเหตุนี้ในการทดสอบความแข็งแรงของแผ่นพื้นคอนกรีตจึงยังต้องทดสอบทั้งรอยต่อและมุมแผ่นร่วมกัน โดยสามารถลดการทดสอบ เพื่อให้สะดวกและรวดเร็วได้ร่วมกันกับการทดสอบอื่น เช่น การประเมินด้วยสายตา (Visual Inspection) ร่วมกับ GPR จากนั้นกำหนดจุดทดสอบมุมแผ่น เฉพาะแผ่นที่เสียหาย สูญเสียสภาพของฐานดินรองรับ หรือนำค่าความสัมพันธ์ที่ได้มาร่วมในการตัดสินใจซ่อมแซมสภาพผิวทาง

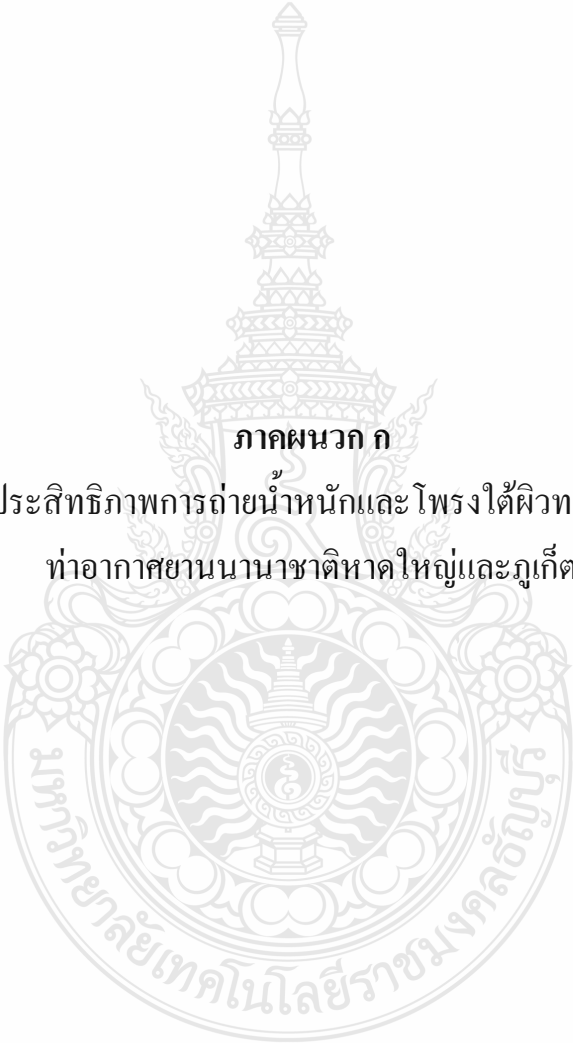


รายการอ้างอิง

- [1.] ณัฐพงษ์ ศรีหมอกและคณะ: **ลักษณะกายภาพของโครงสร้างสนามบินสุวรรณภูมิ**, ปรินญา
นิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553
- [2.] Federal Aviation Administration: **Airport Pavement Design and Evaluation**. Advisory
Circular No. 150/5320-6E. U.S. Department of Transportation, 2009
- [3.] Puttapon Thongindam: **Enhancement of Backcalculation Techniques for Assessing Flexible
Pavement Layer Moduli Using Genetic Algorithms**, Doctoral Dissertation, Gottfried
Wilhelm Leibniz University of Hannover, Hannover, Germany, 2009
- [4.] Teerachrti Ruenkairergsa, Prawat Kongsom: **Dowel Stress Analysis in Concrete Pavement**,
รายงานฉบับที่ วพ.141 ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวงกระทรวงคมนาคม,
1995
- [5.] Xinq Giang Xiao and Yan Jun Qiu, **Relationship between Voids Beneath Slab and the Load
Transfer Efficiency**, Master Degree Thesis, Southwest Jiao tong University, 2004
- [6.] Federal Aviation Administration: **Use of Nondestructive Testing on The Evaluation of
Airport Pavements**. Advisory Circular No. 150/5370-11A. U.S. Department of
Transportation, 2009
- [7.] Department of Highway Thailand: **Pavement Technology Project: Implementation of
Falling Weight Deflectometer Technology and Development of Analytical Pavement
Design in Thailand**. Bangkok
- [8.] Puttapon Thongindam, **Alternative for Pavement Model in Backcalculation Process**. The
5th PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology (ICET-2011),
Phuket, Thailand, 2011
- [9.] สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง: **เอกสารสำหรับผู้เข้าอบรมการทดสอบ
แบบไม่ทำลาย: กรมทางหลวง, กระทรวงคมนาคม, กรุงเทพมหานคร**
- [10.] Yoder E.J.; Witzak M. W., **Principles of Pavement Design**. 2nd Edition, John Wiley and
Sons Publishing, 1975

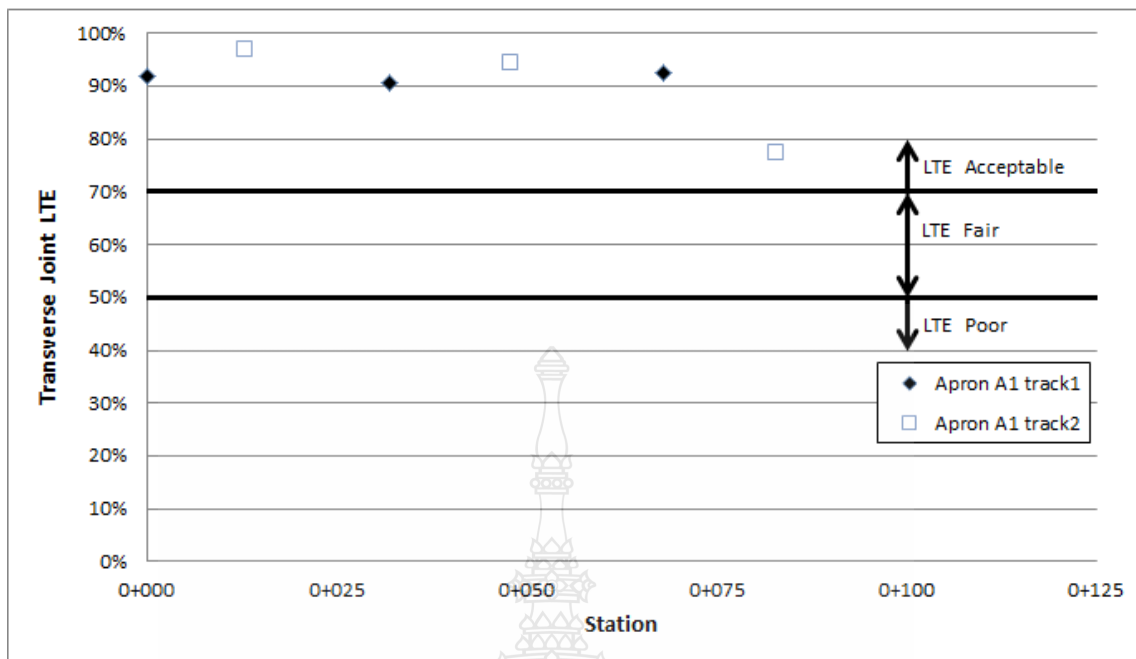
- [11.] ชยชันว้ พรหมสร และคณะ: การประเมินสภาพผิวทางถนนที่มีผิวชนิดปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตโดยใช้เครื่องมือ Falling Weight Deflectometer ในประเทศไทย. รายงานฉบับที่วพ. 206 สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม 2546



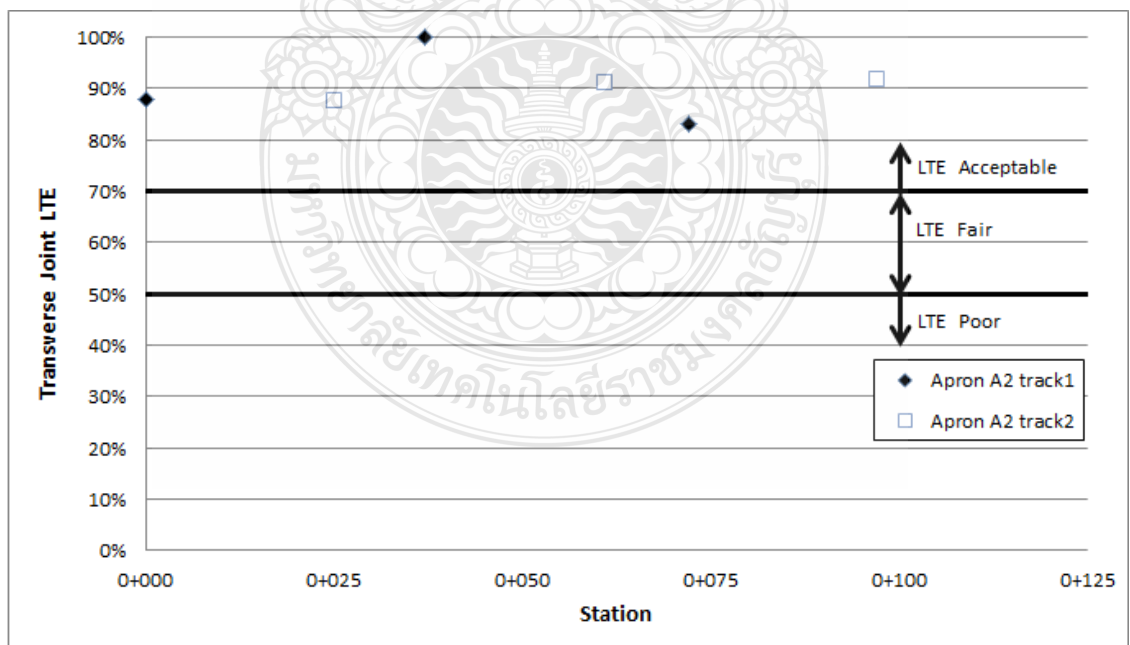


ภาคผนวก ก

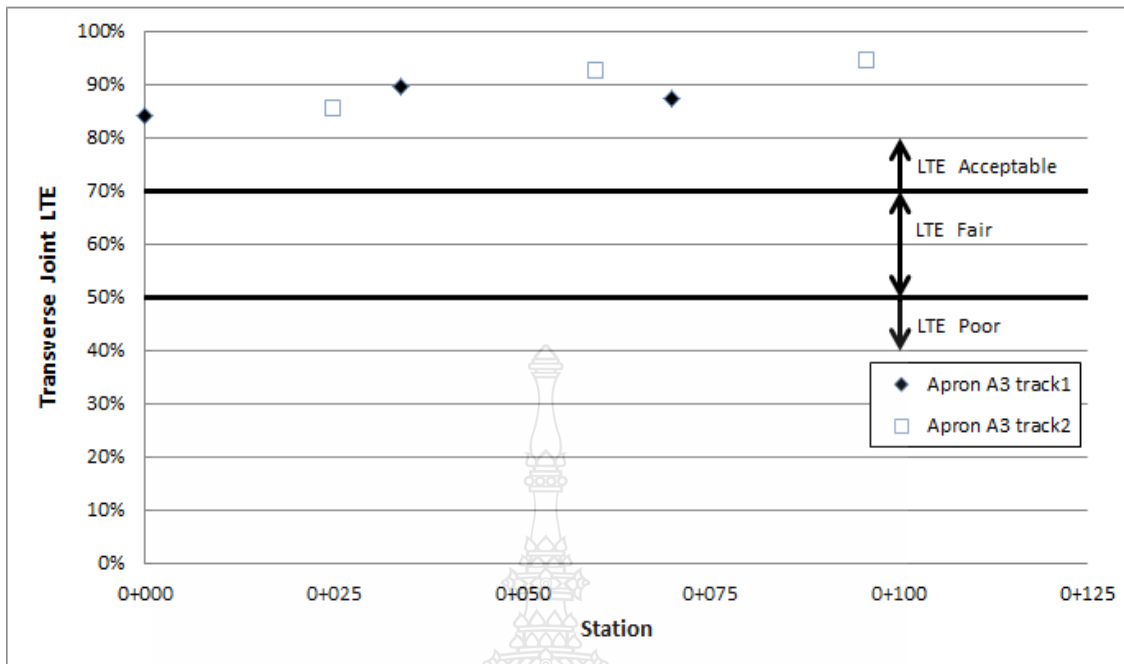
ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักและโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตของ
ทำอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่และภูเก็ต



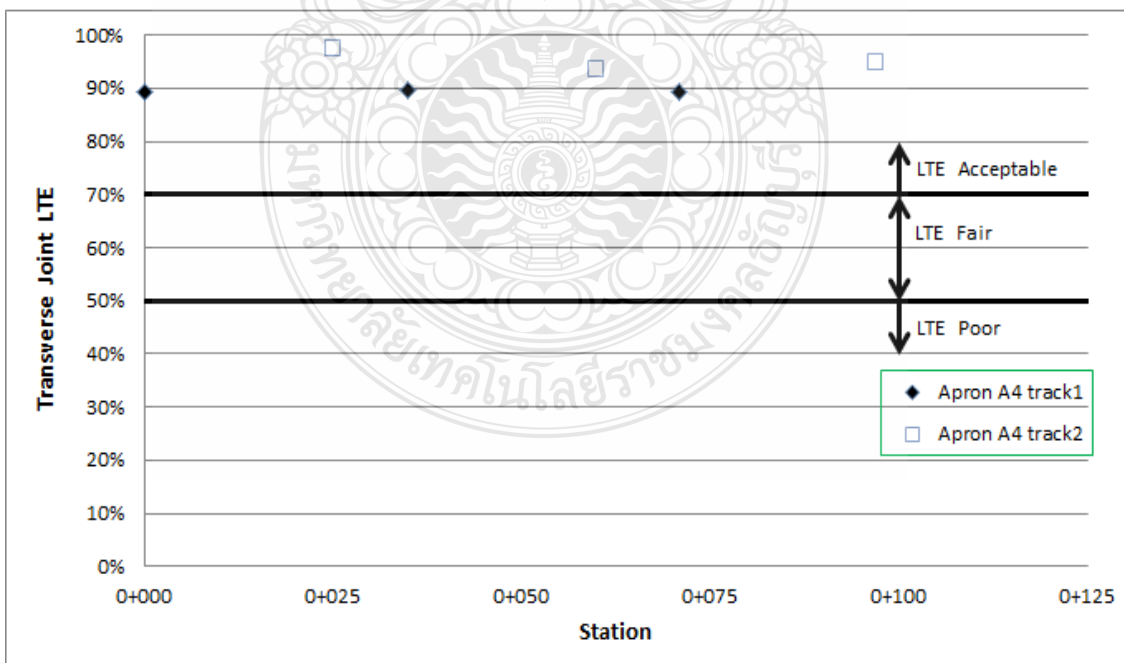
ภาพที่ ก.1 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก[%], LTE_{Δ} ของลานจอด “A” หลุมจอด 1



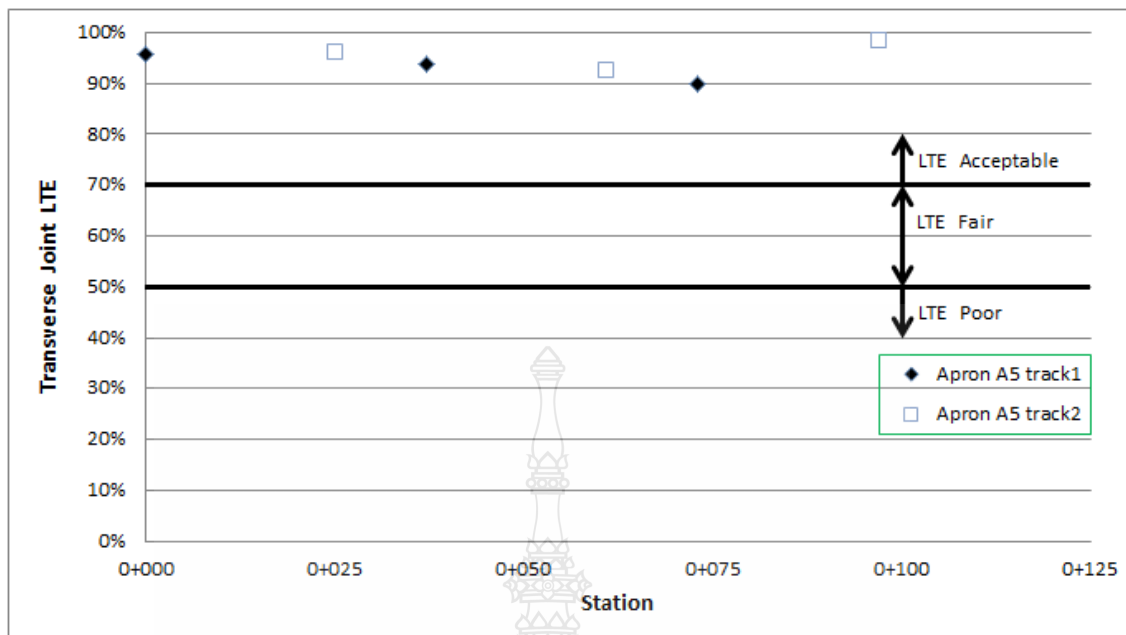
ภาพที่ ก.2 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก[%], LTE_{Δ} ของลานจอด “A” หลุมจอด



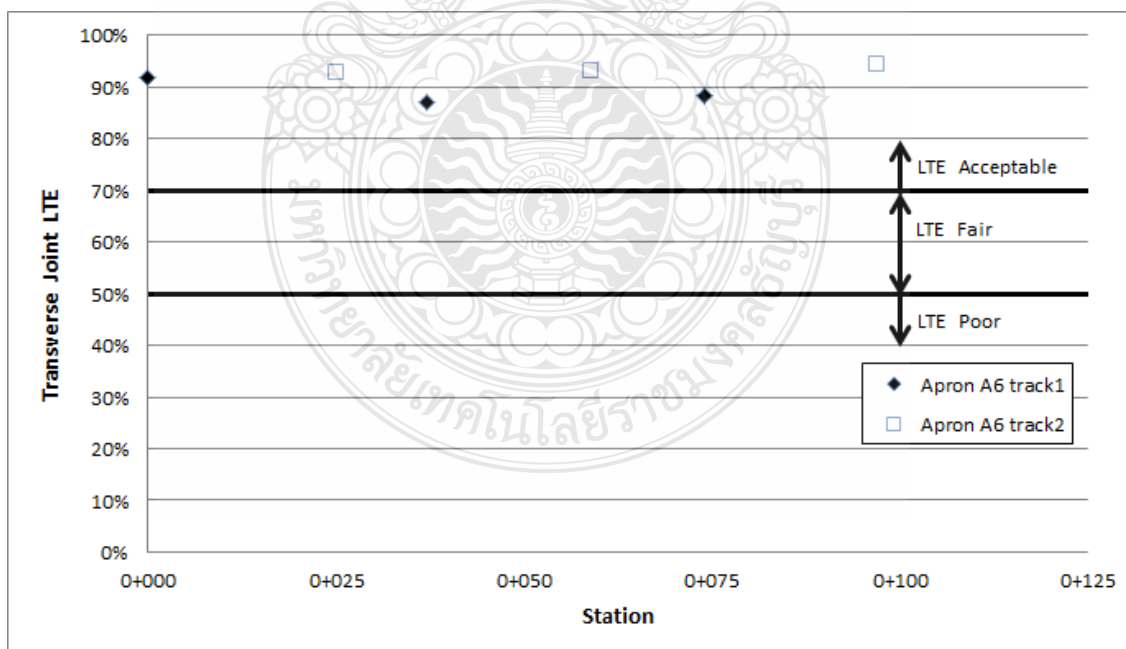
ภาพที่ ก.3 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก[%], LTE_{Δ} ของลานจอด “A” หลุมจอด 3



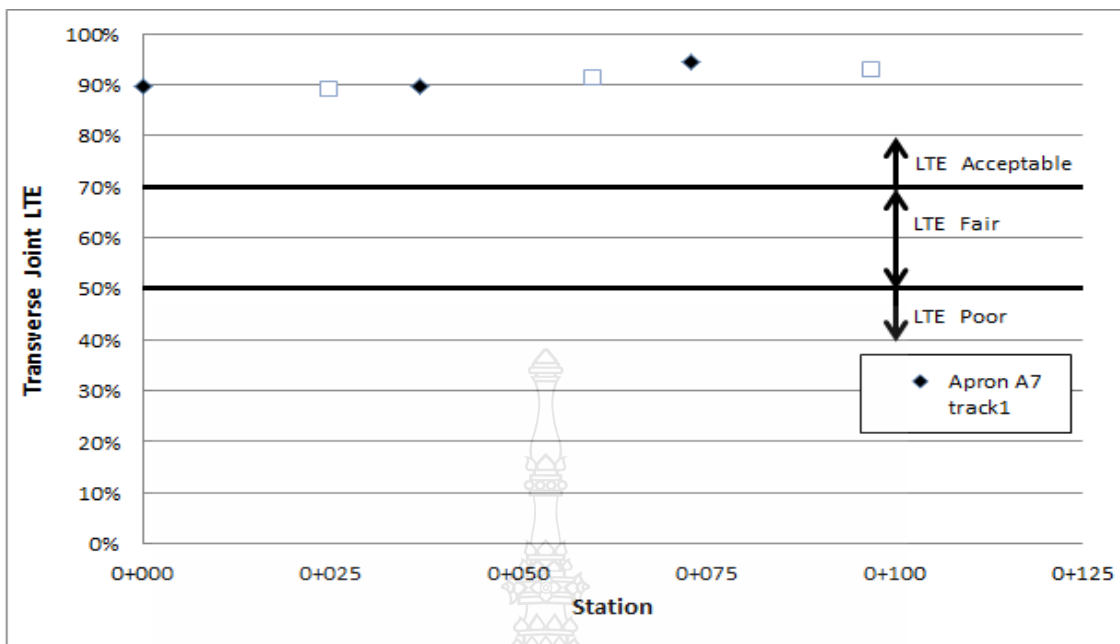
ภาพที่ ก.4 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก[%], LTE_{Δ} ของลานจอด “A” หลุมจอด 4



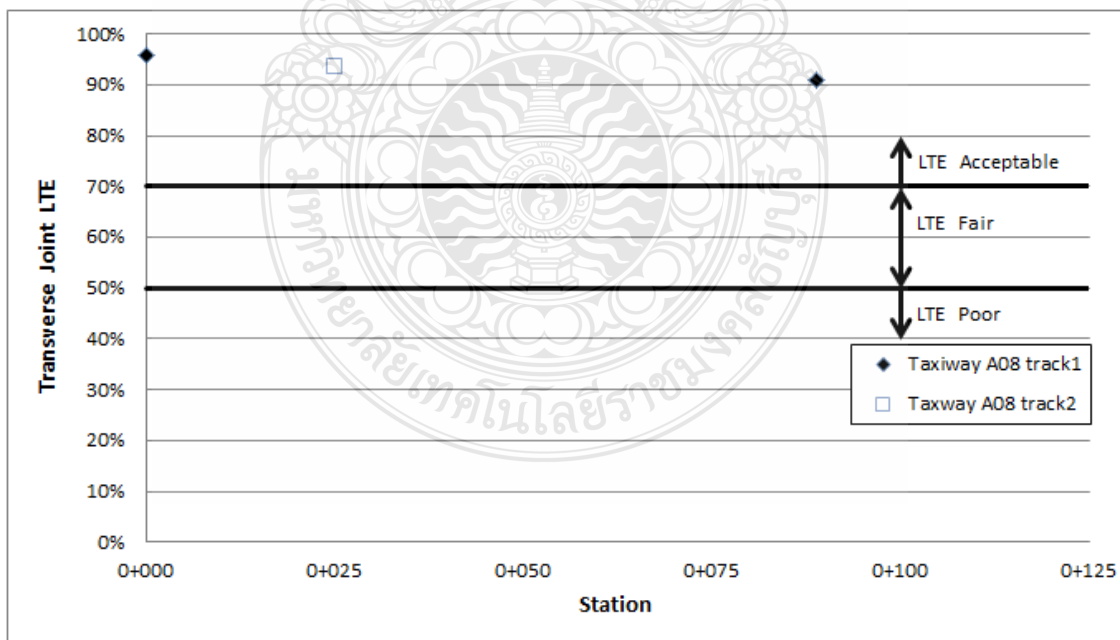
ภาพที่ ก.5 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก[%], LTE_{Δ} ของลานจอด “A” หลุมจอด 5



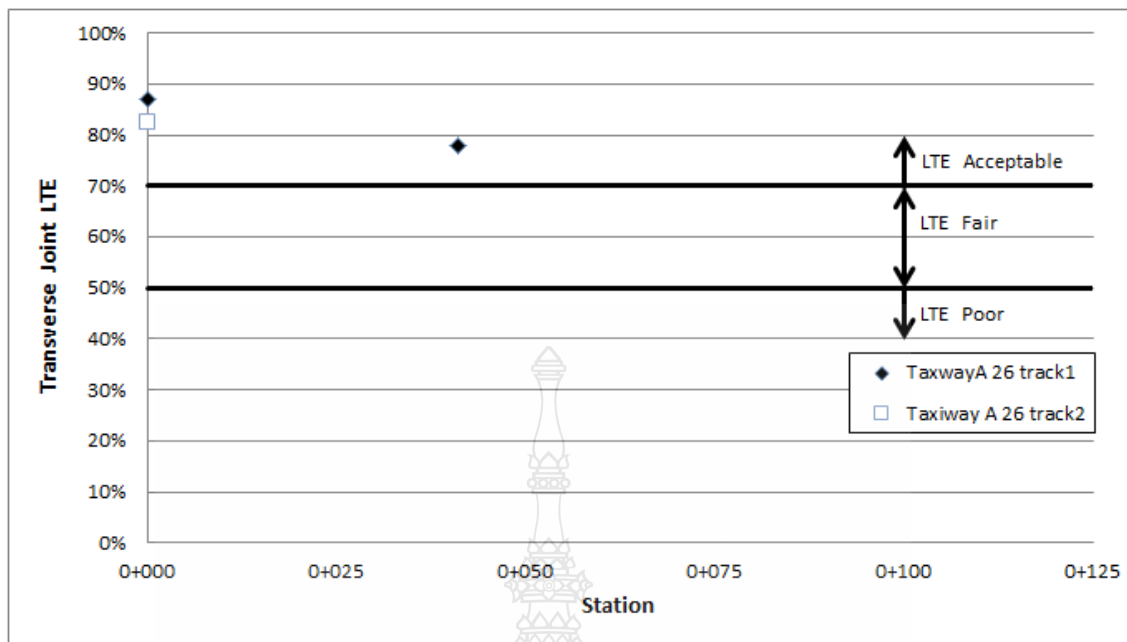
ภาพที่ ก.6 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก[%], LTE_{Δ} ของลานจอด “A” หลุมจอด 6



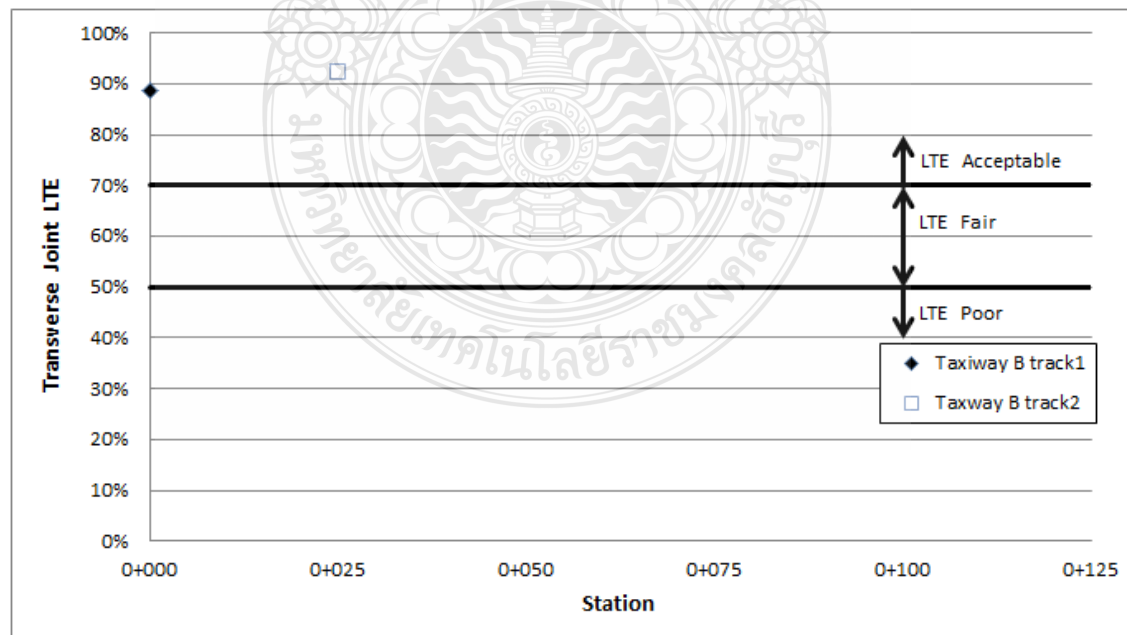
ภาพที่ ก.7 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก[%], LTE_{Δ} ของลานจอด “A” หลุมจอด 7



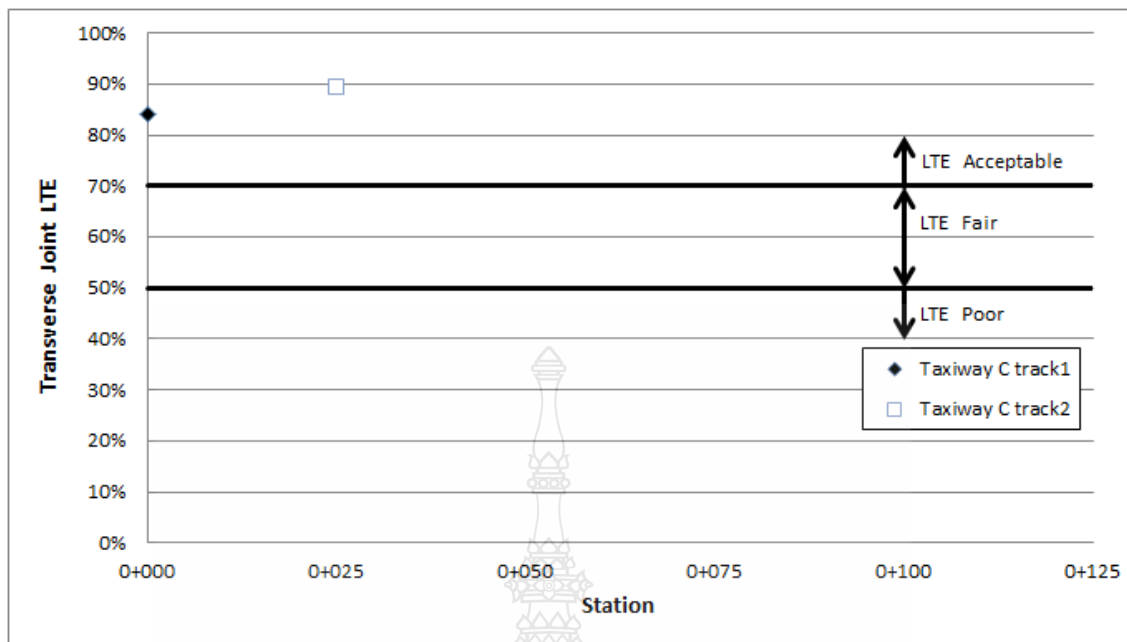
ภาพที่ ก.8 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], LTE_{Δ} ของทางขับ A 08 (Taxiway A 08)



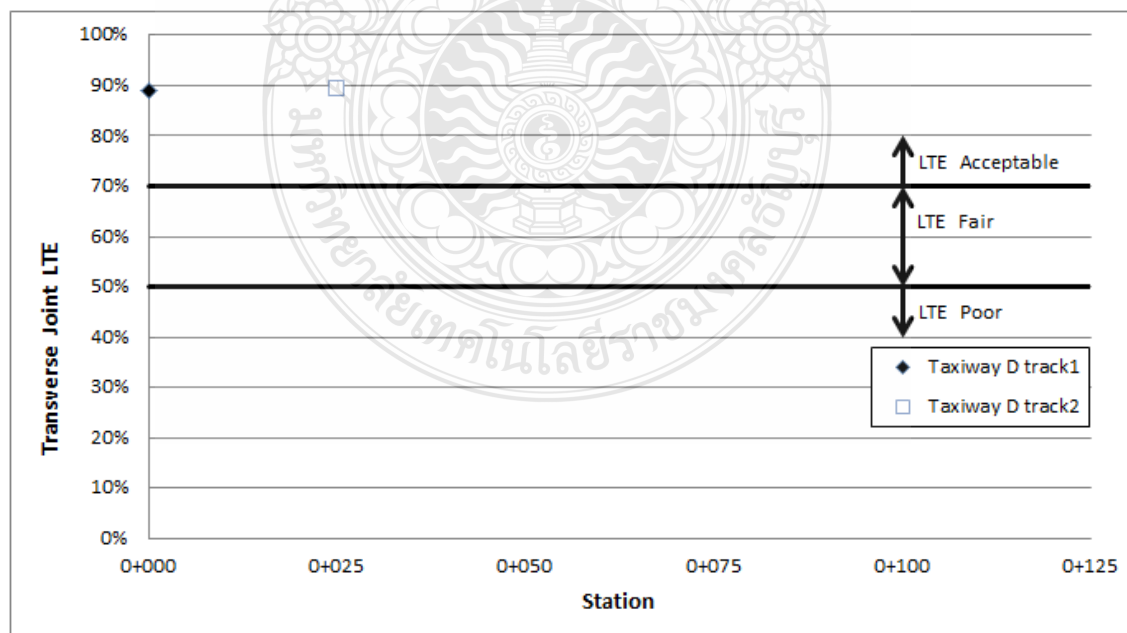
ภาพที่ ๙ ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], LTE_{Δ} ของทางขับ A 26 (Taxiway A 26)



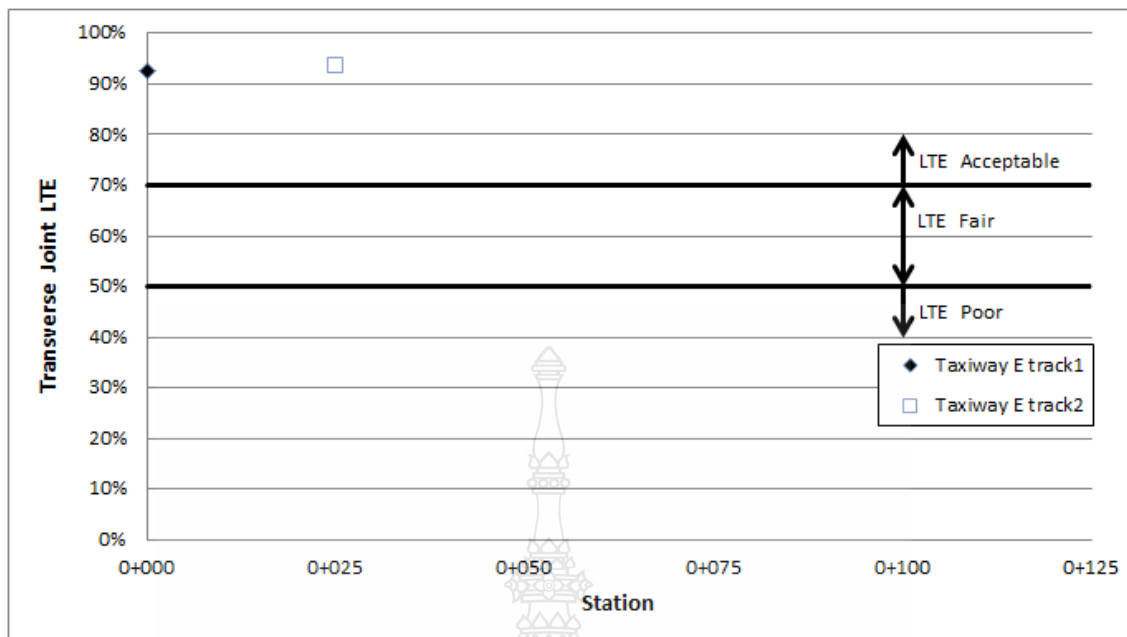
ภาพที่ ๑๐ ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], LTE_{Δ} ของทางขับ B (Taxiway B)



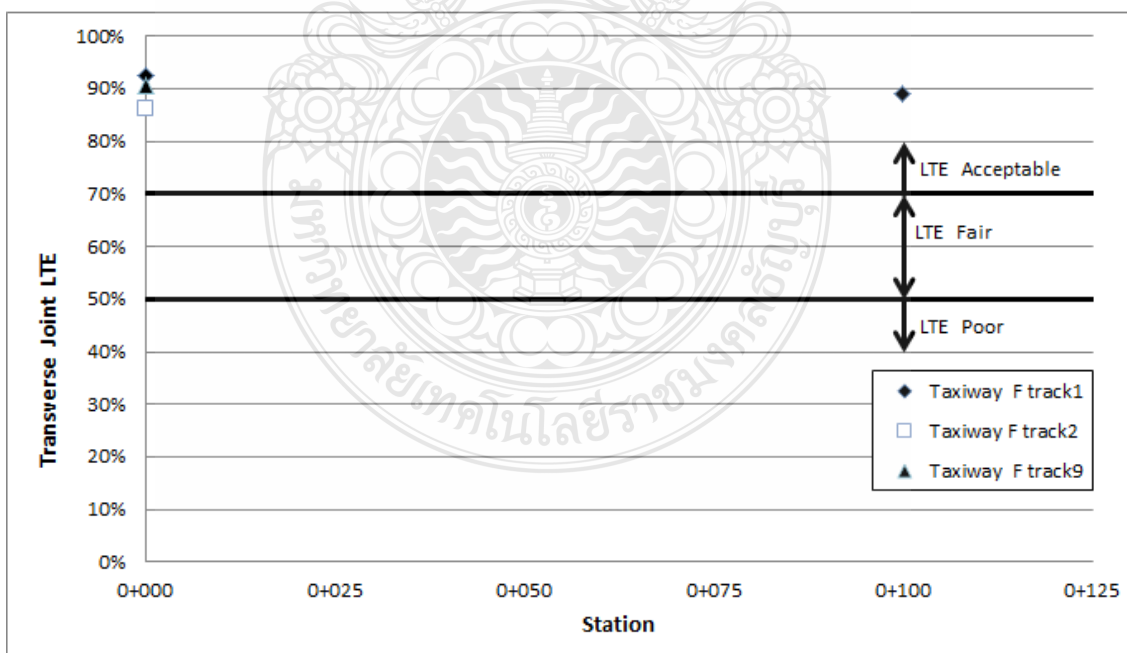
ภาพที่ ก.11 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], LTE_{Δ} ของทางขับ C (Taxiway C)



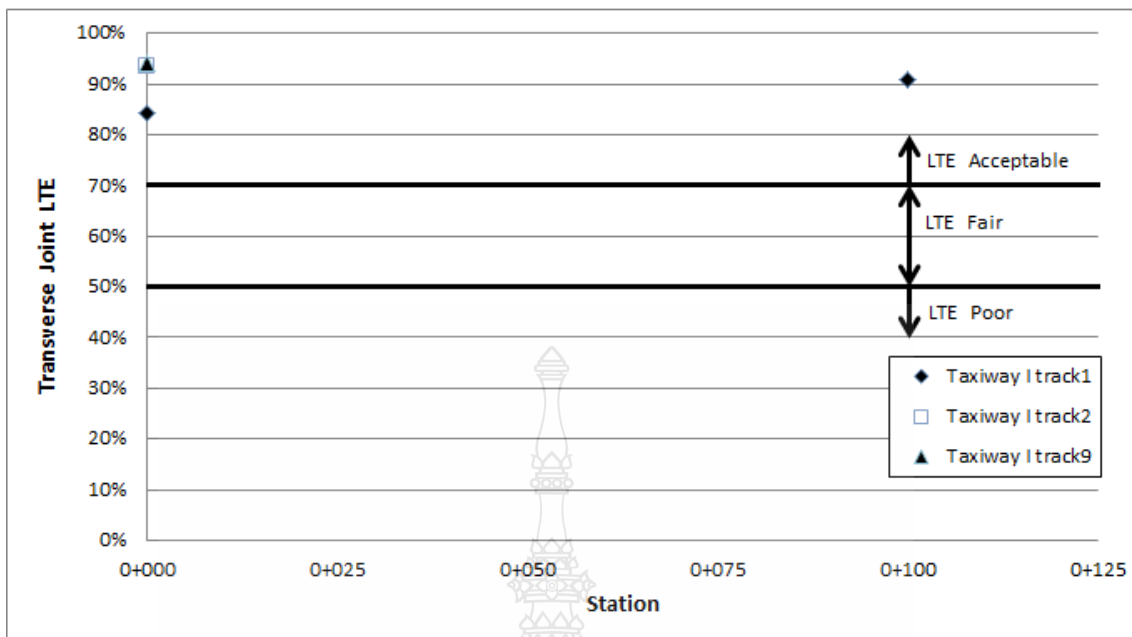
ภาพที่ ก.12 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], LTE_{Δ} ของทางขับ D (Taxiway D)



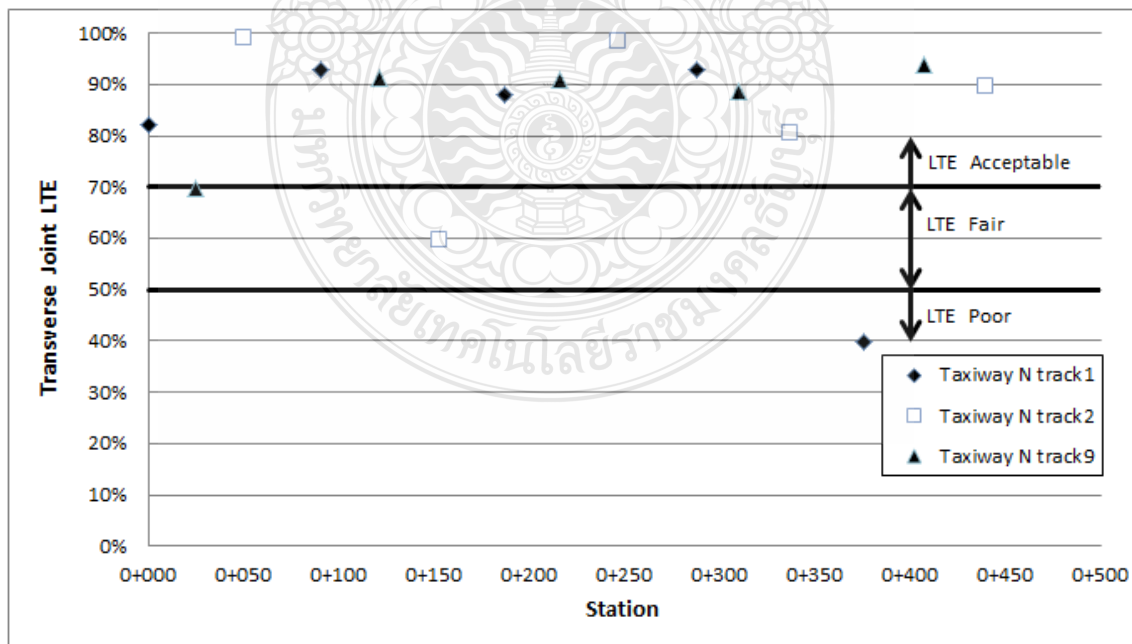
ภาพที่ ก.13 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], LTE_{Δ} ของทางขับ E (Taxiway E)



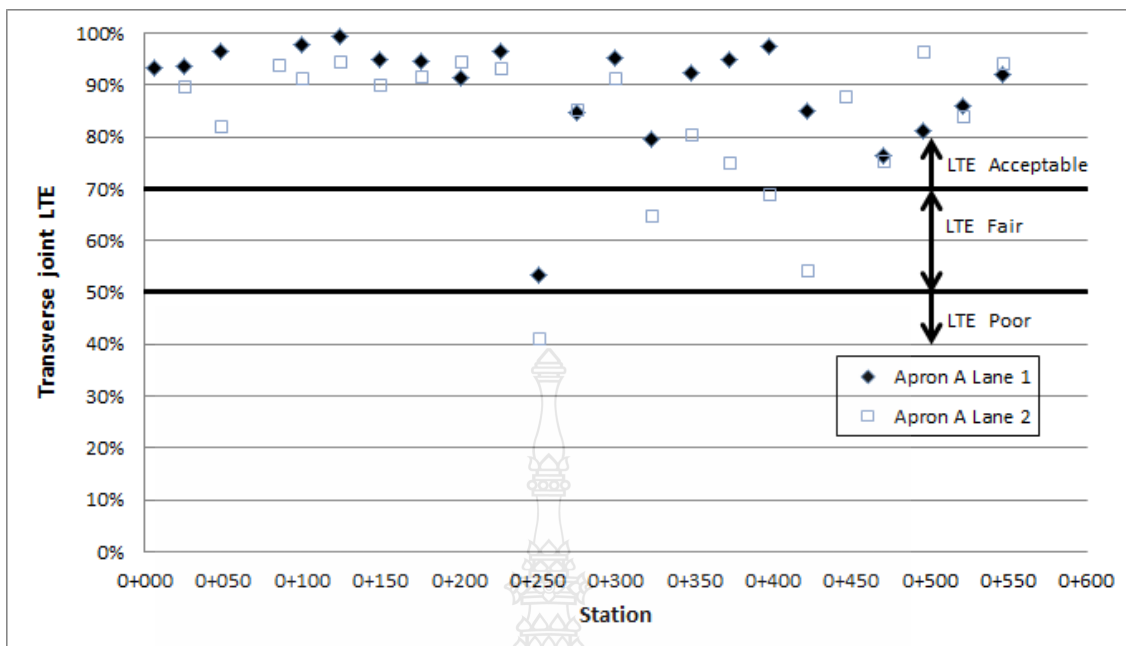
ภาพที่ ก.14 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], LTE_{Δ} ของทางขับ F (Taxiway F)



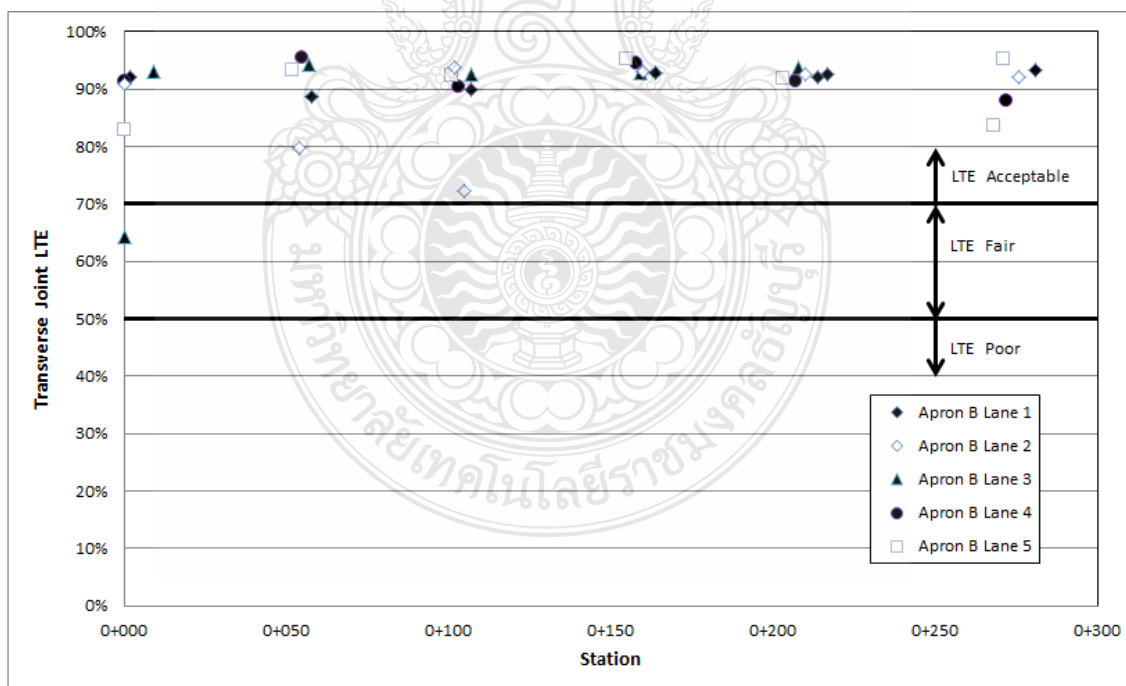
ภาพที่ ก.15 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], LTE_{Δ} ของทางขับ I (Taxiway I)



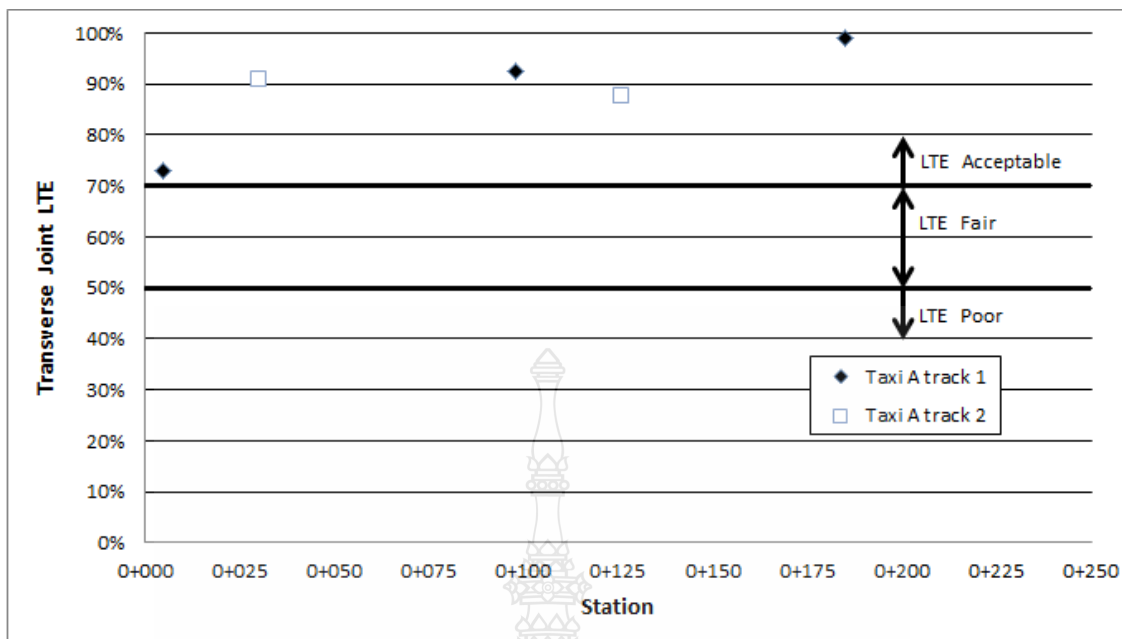
ภาพที่ ก.16 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], LTE_{Δ} ของทางขับ N (Taxiway N)



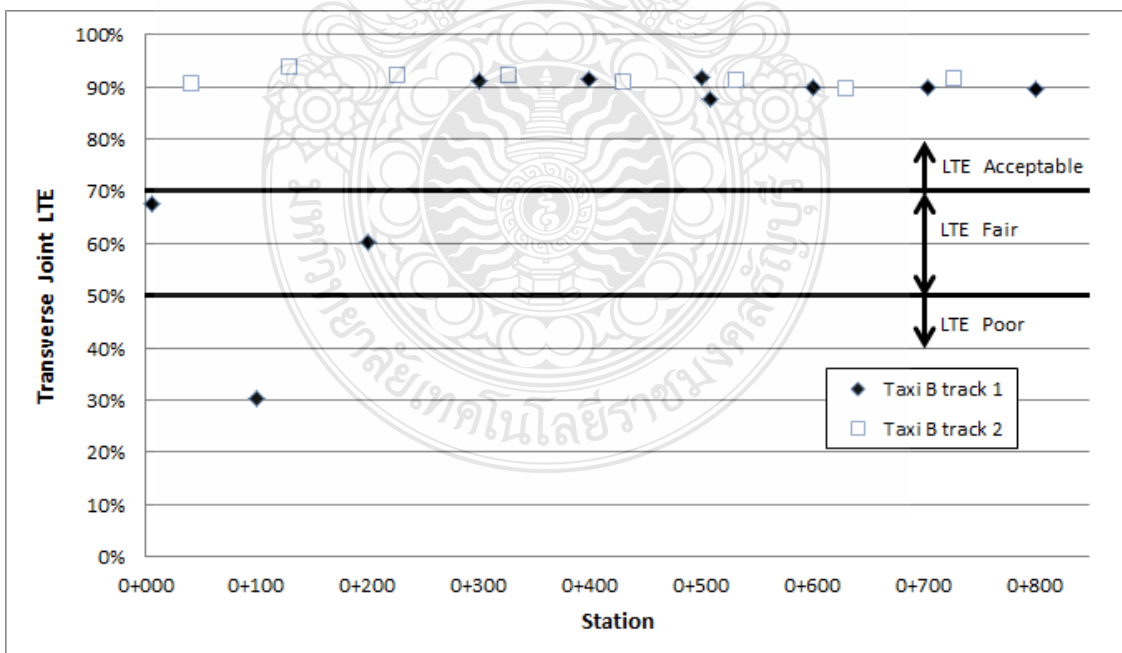
ภาพที่ ก.17 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], LTE_{Δ} ของลานจอด “A”
(Apron A)



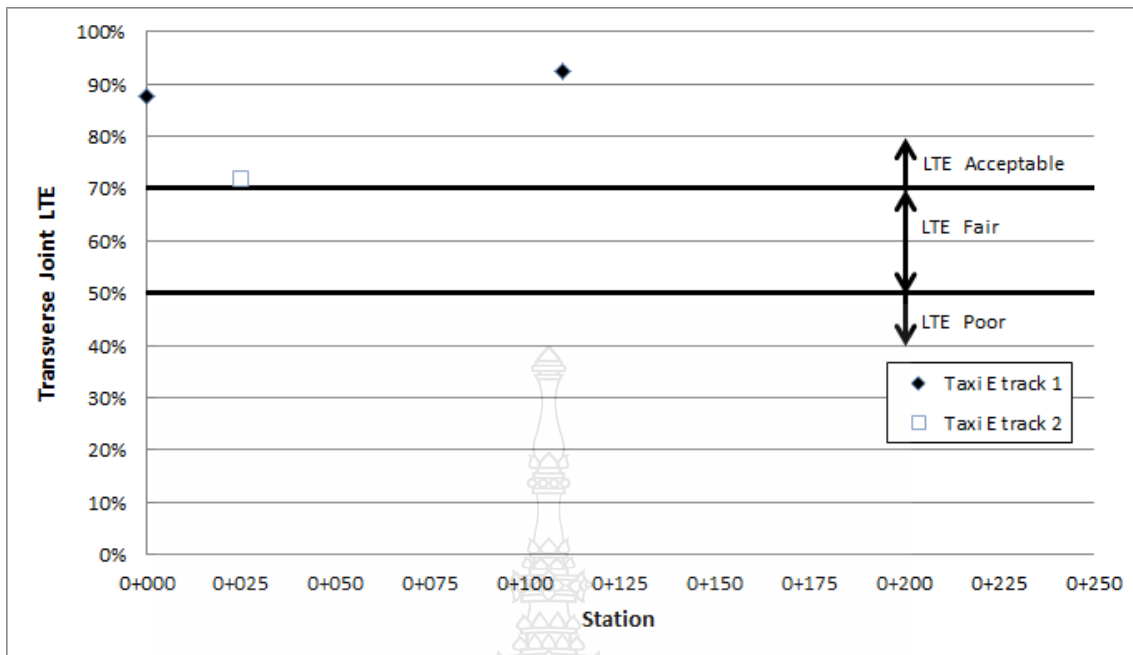
ภาพที่ ก.18 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], LTE_{Δ} ของลานจอด “B”
(Apron B)



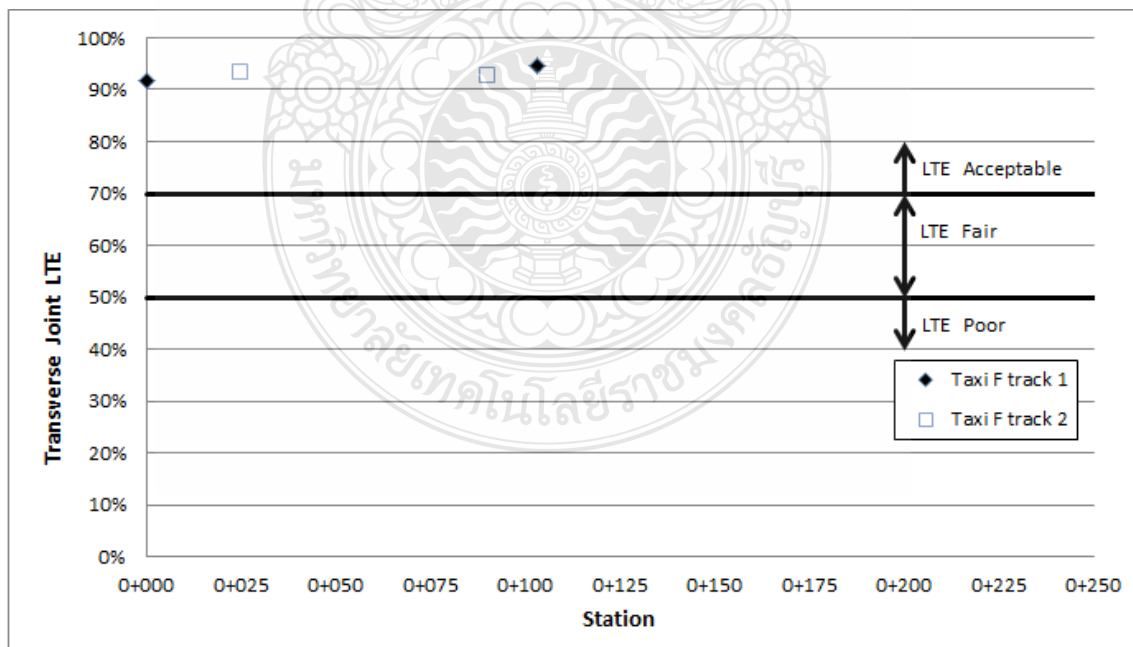
ภาพที่ ก.19 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], LTE_{Δ} ของทางขับ A (Taxiway A)



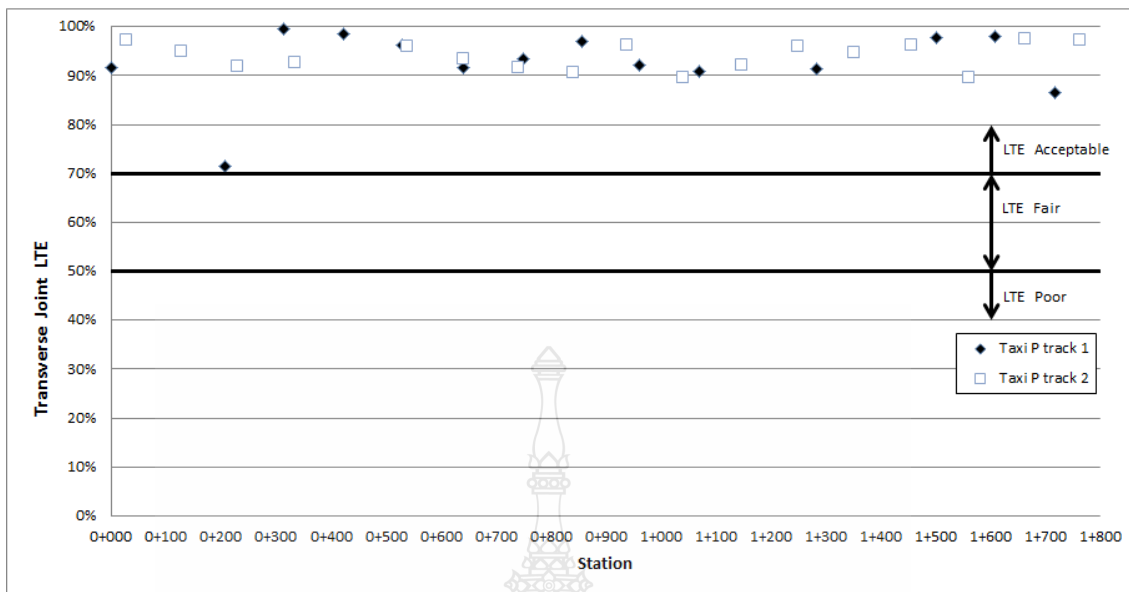
ภาพที่ ก.20 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], LTE_{Δ} ของทางขับ B (Taxiway B)



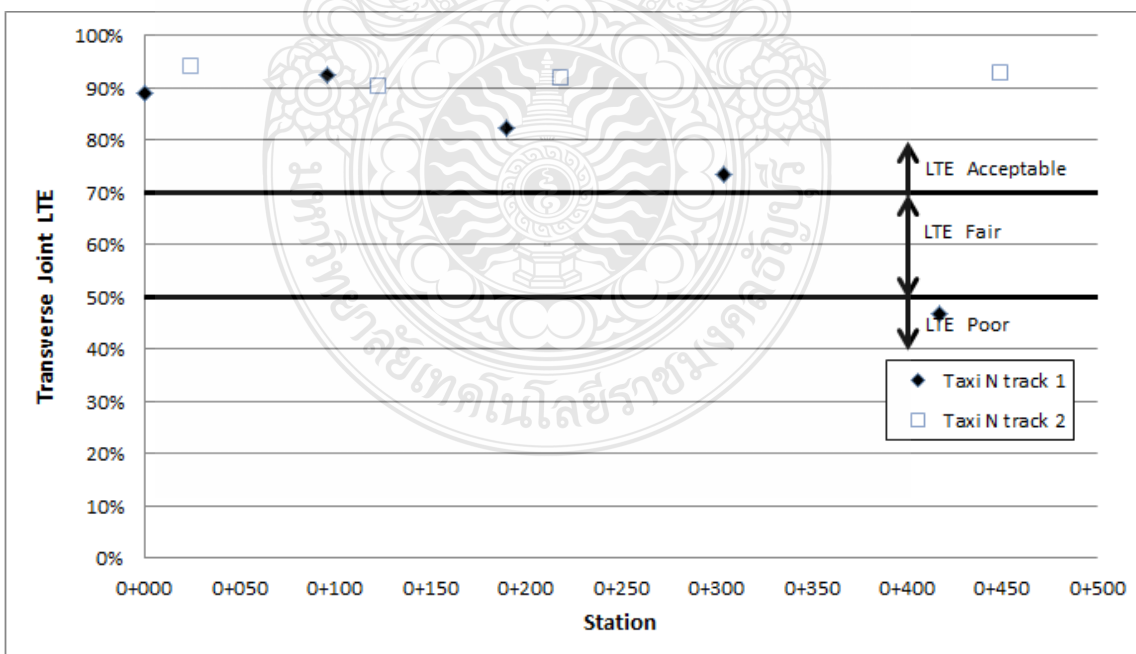
ภาพที่ ก.21 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], LTE_{Δ} ของทางขับ E (Taxiway E)



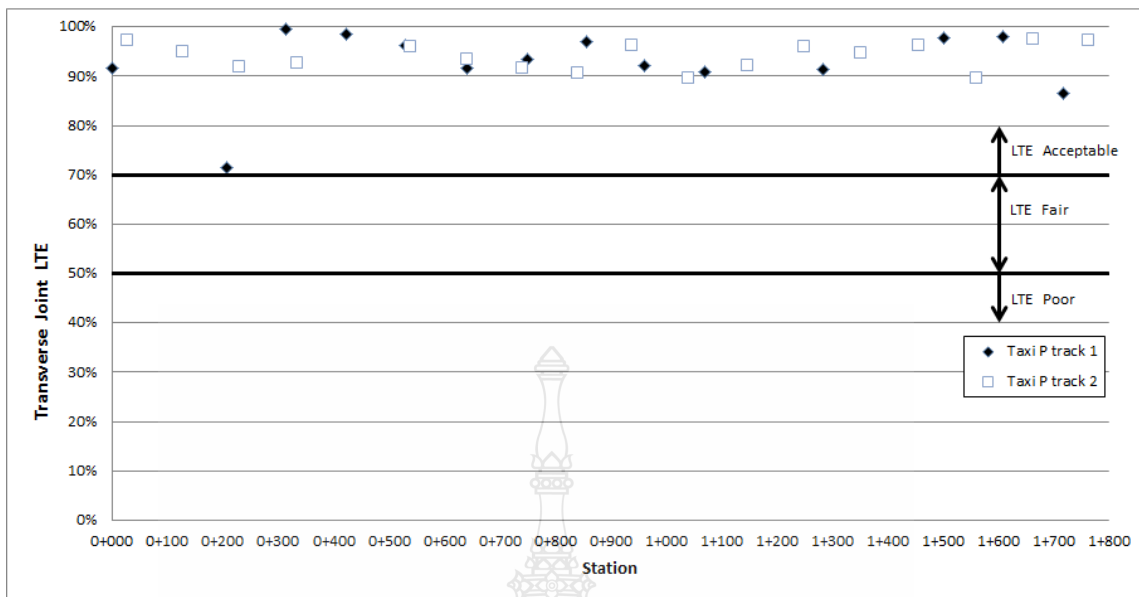
ภาพที่ ก.22 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], LTE_{Δ} ของทางขับ F (Taxiway F)



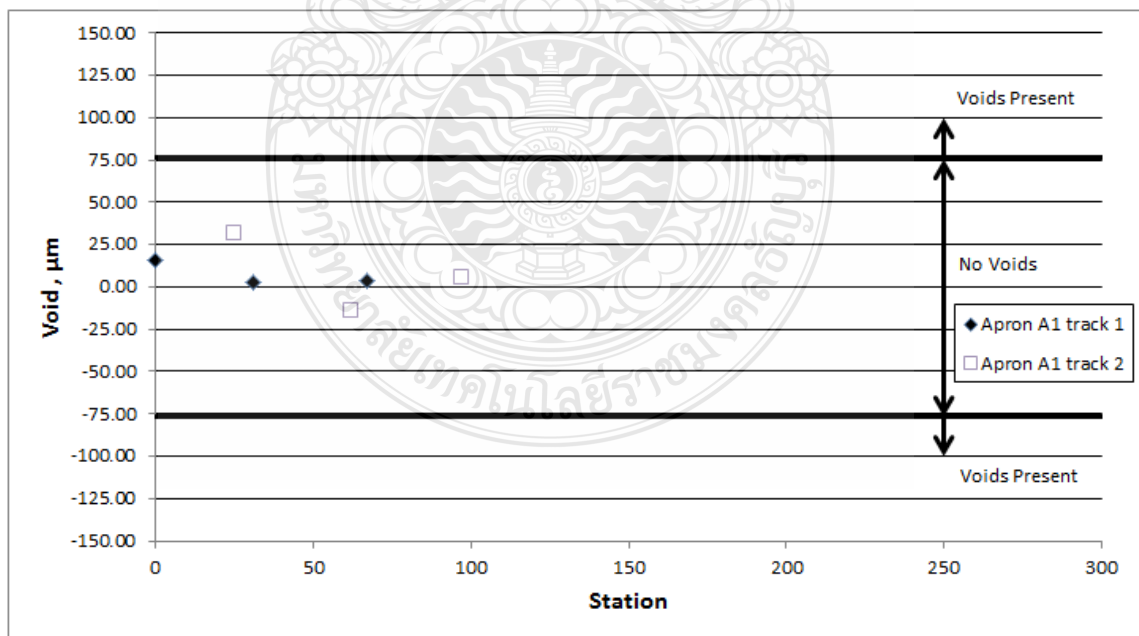
ภาพที่ ก.23 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], LTE_{Δ} ของทางขับ G (Taxiway G)



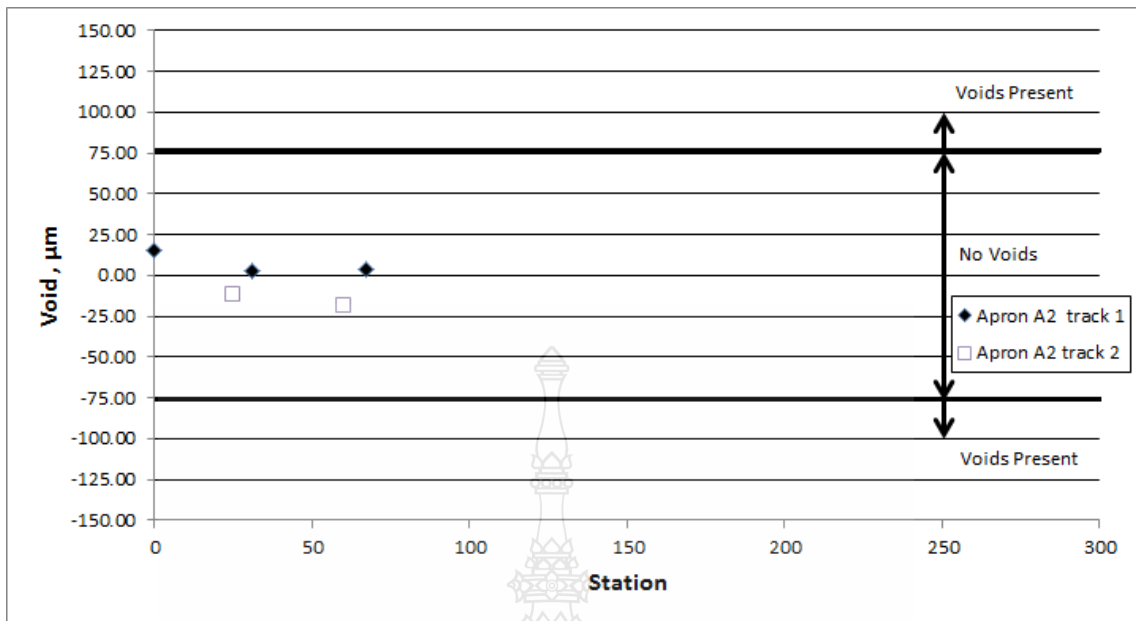
ภาพที่ ก.24 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], LTE_{Δ} ของทางขับ N (Taxiway N)



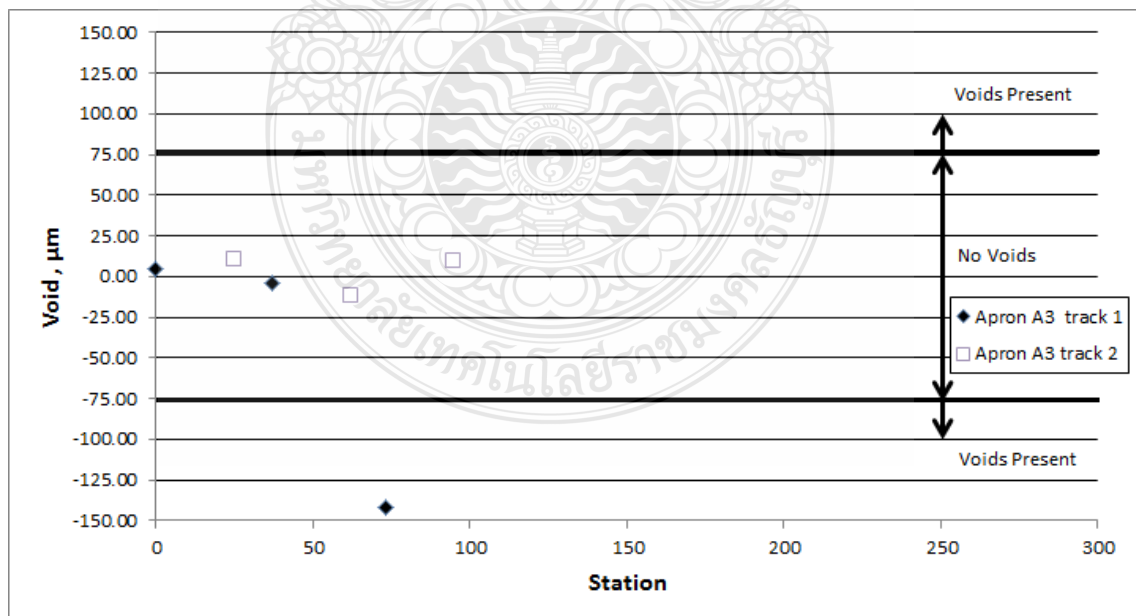
ภาพที่ ก.25 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก [%], LTE_{Δ} ของทางขับ P (Taxiway P)



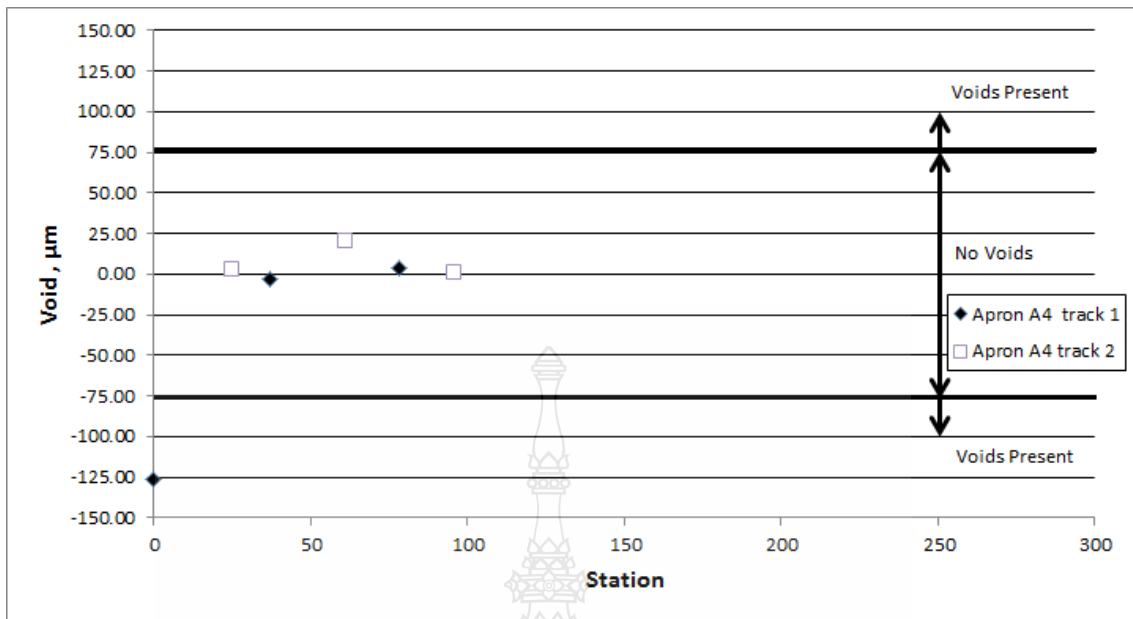
ภาพที่ ก.26 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของลานจอด “A” หลุมจอด 1



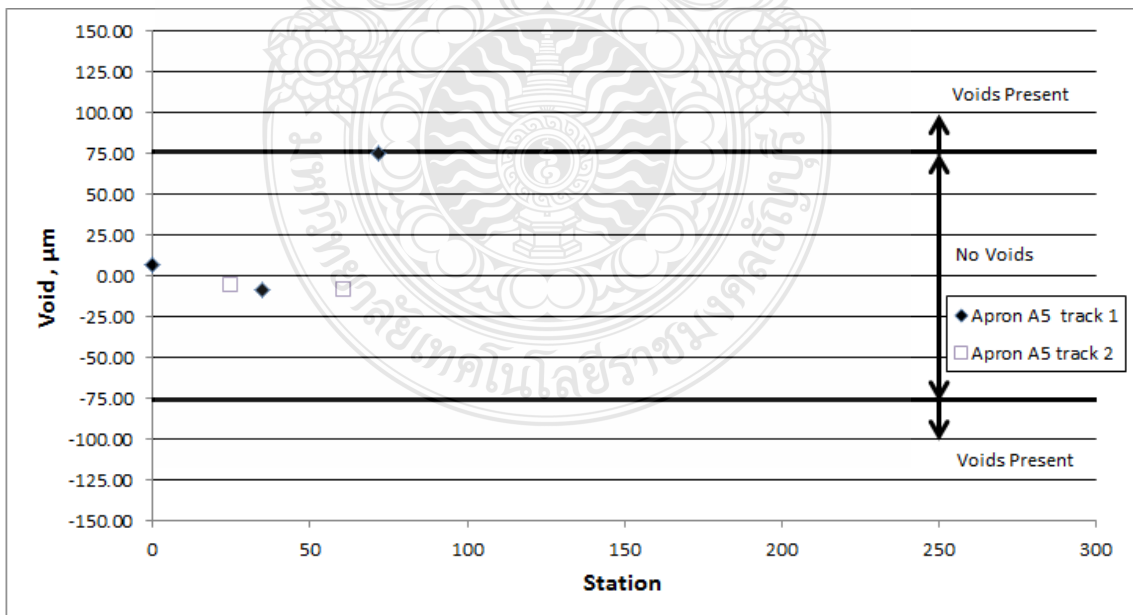
ภาพที่ ก.27 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของลานจอด “A” หลุมจอด 2



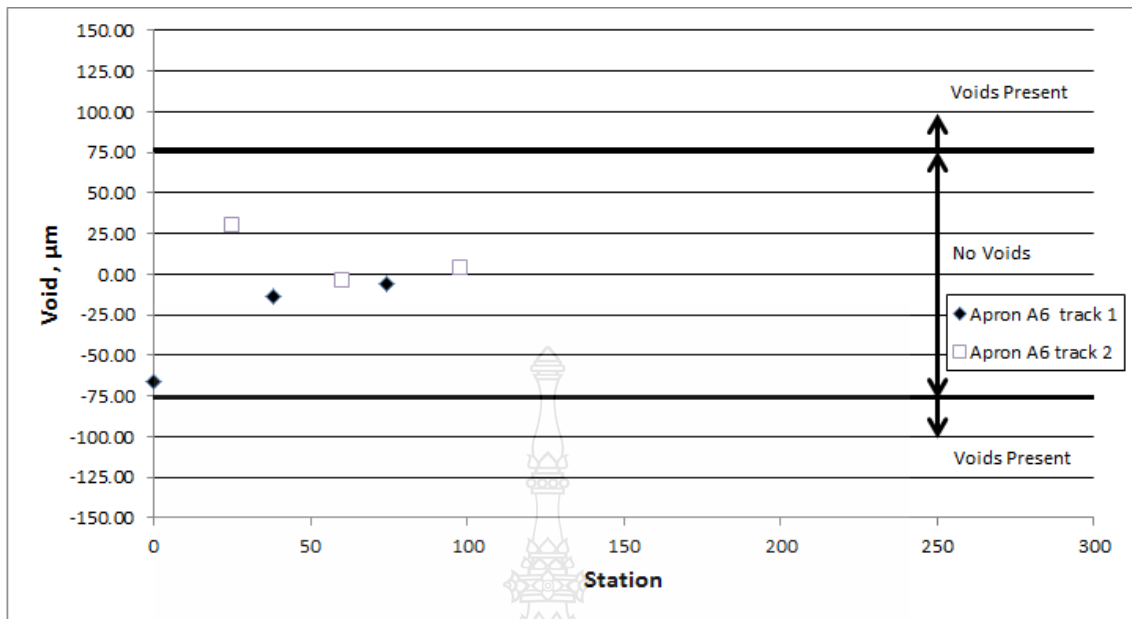
ภาพที่ ก.28 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของลานจอด “A” หลุมจอด 3



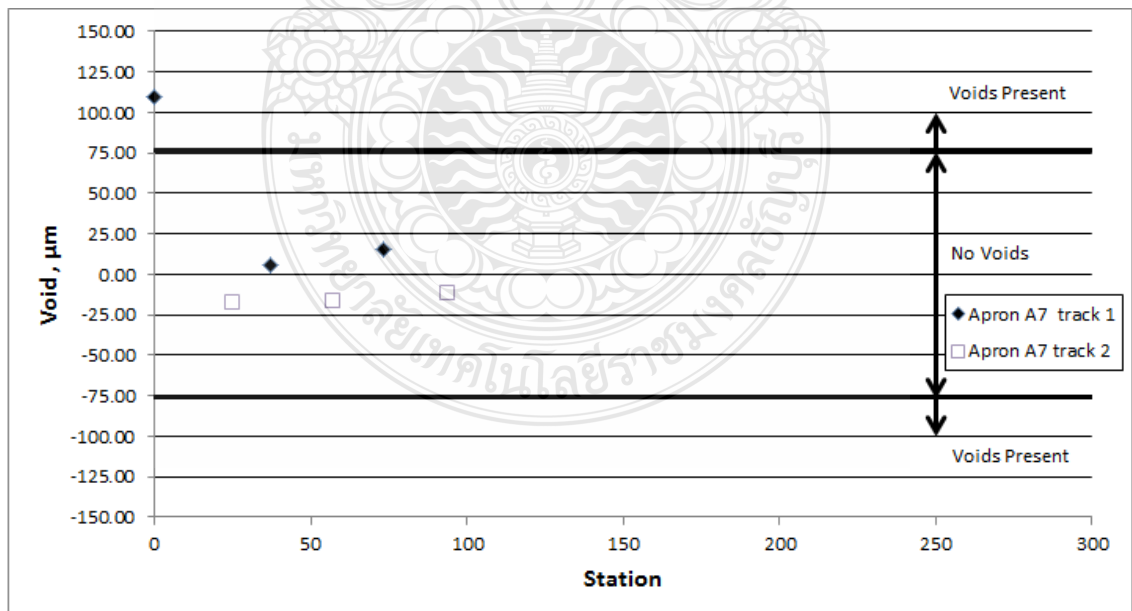
ภาพที่ ก.29 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของลานจอด “A” หลุมจอด 4



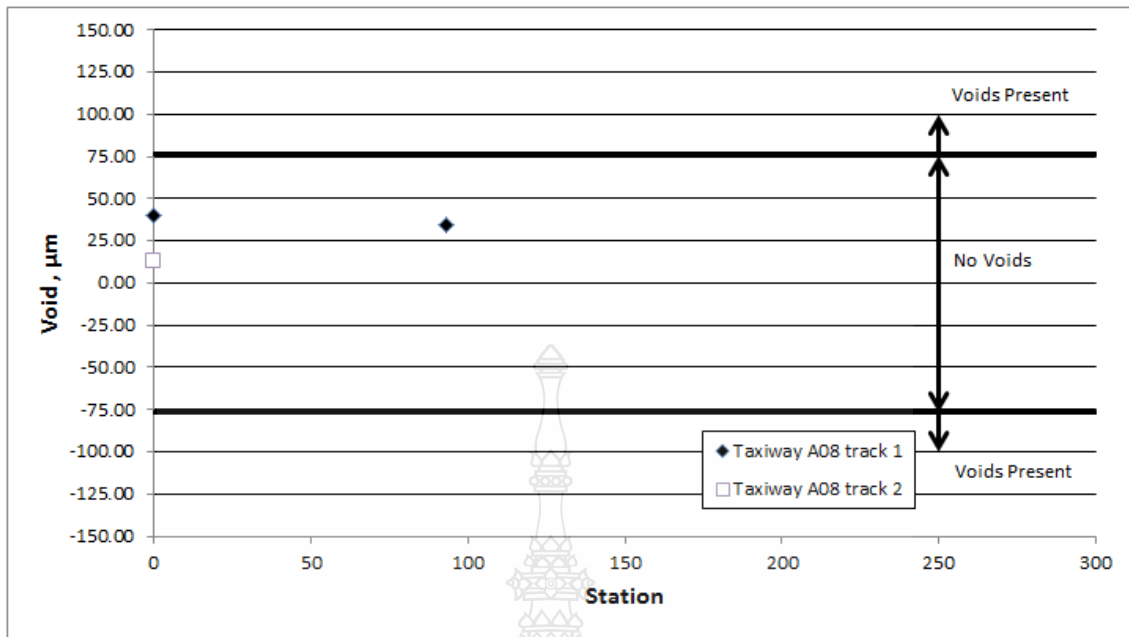
ภาพที่ ก.30 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของลานจอด “A” หลุมจอด 5



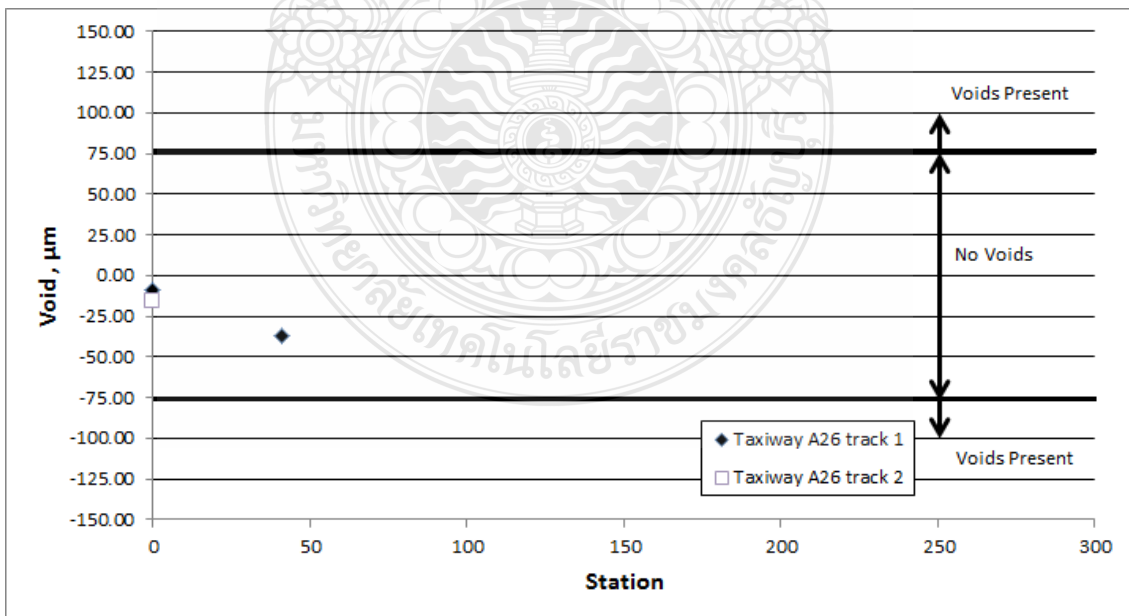
ภาพที่ ก.31 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของลานจอด “A” หลุมจอด 6



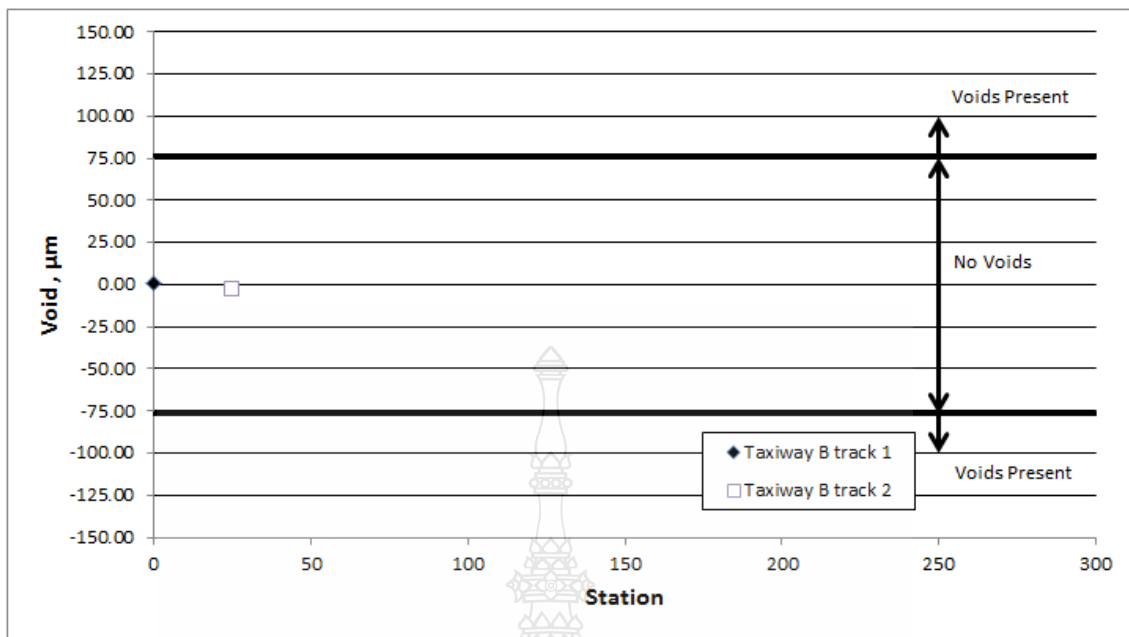
ภาพที่ ก.32 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของลานจอด “A” หลุมจอด 7



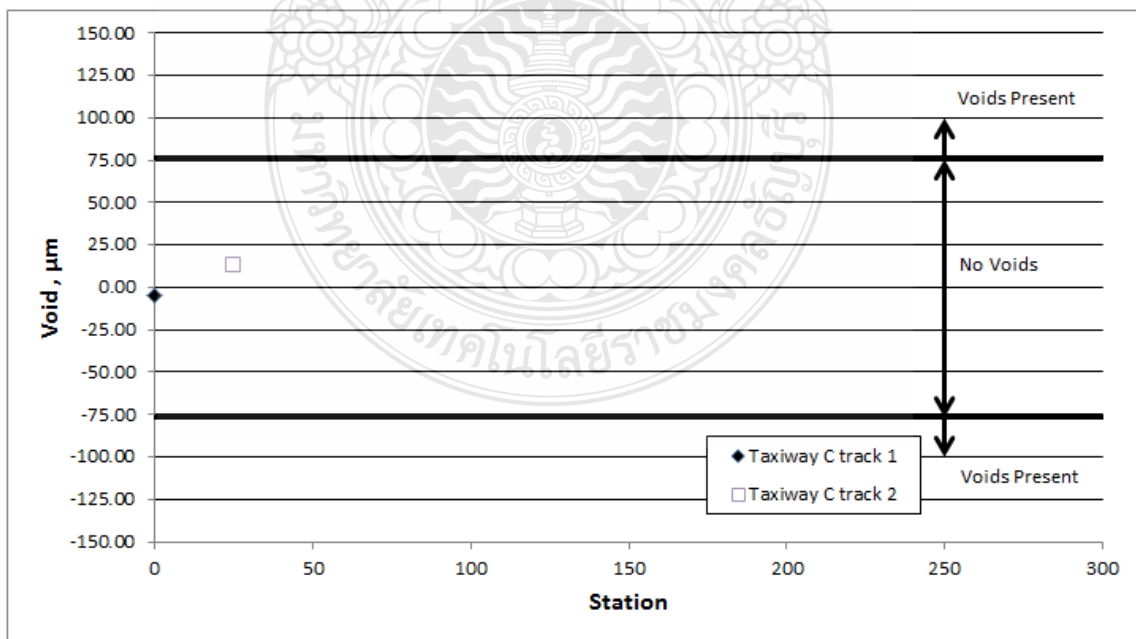
ภาพที่ ก.33 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ A 08 (Taxiway A 08)



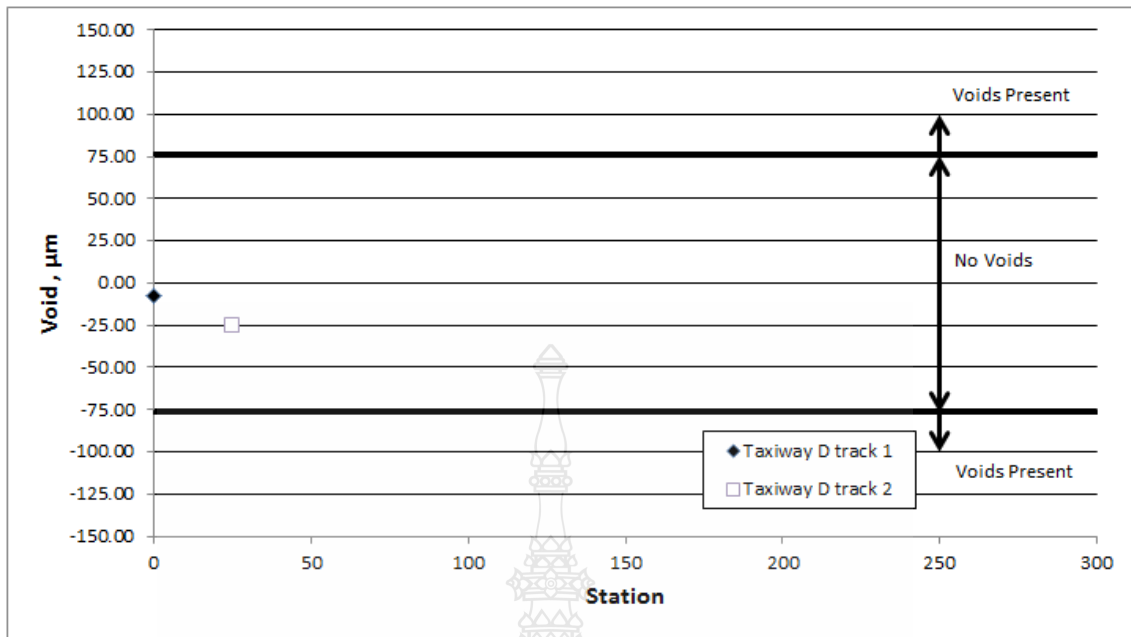
ภาพที่ ก.34 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ A 26 (Taxiway A 26)



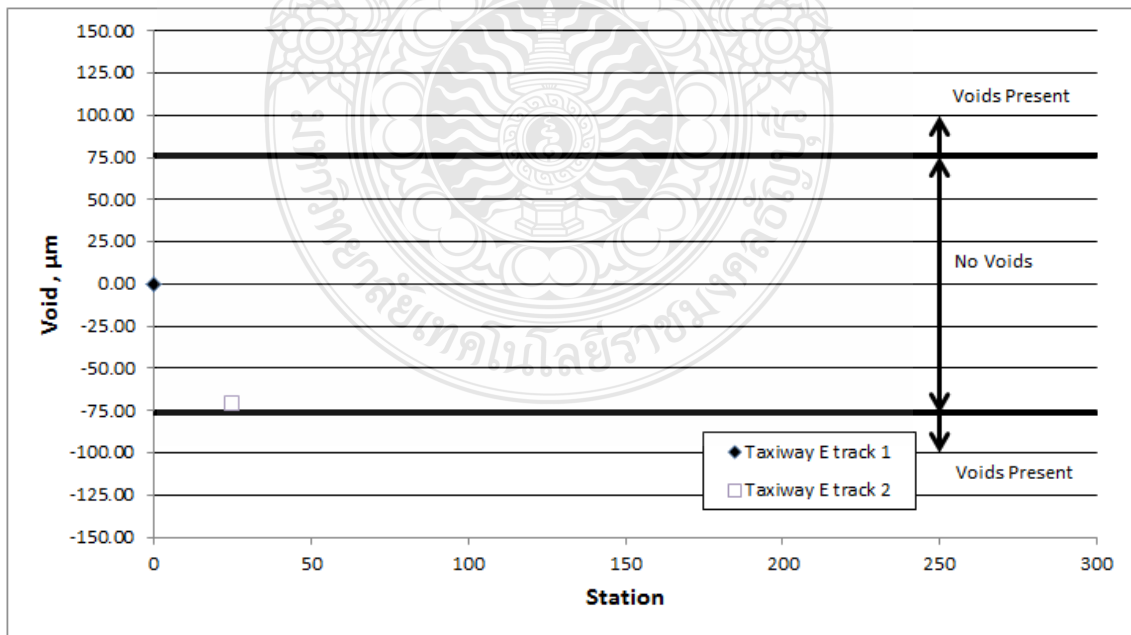
ภาพที่ ก.35 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ B (Taxiway B)



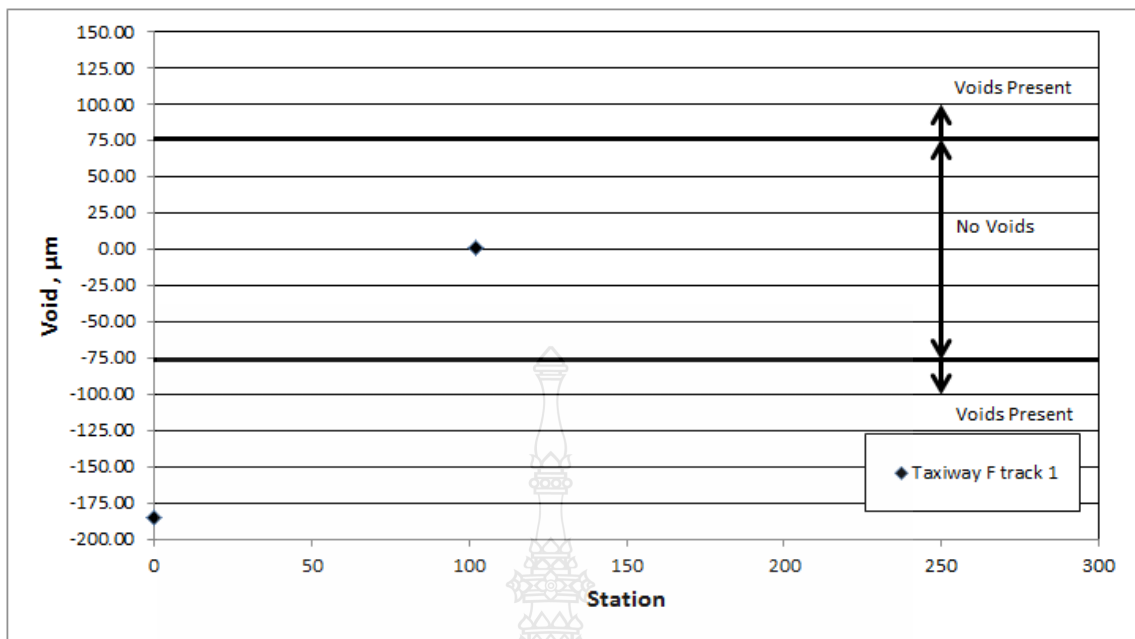
ภาพที่ ก.36 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ C (Taxiway C)



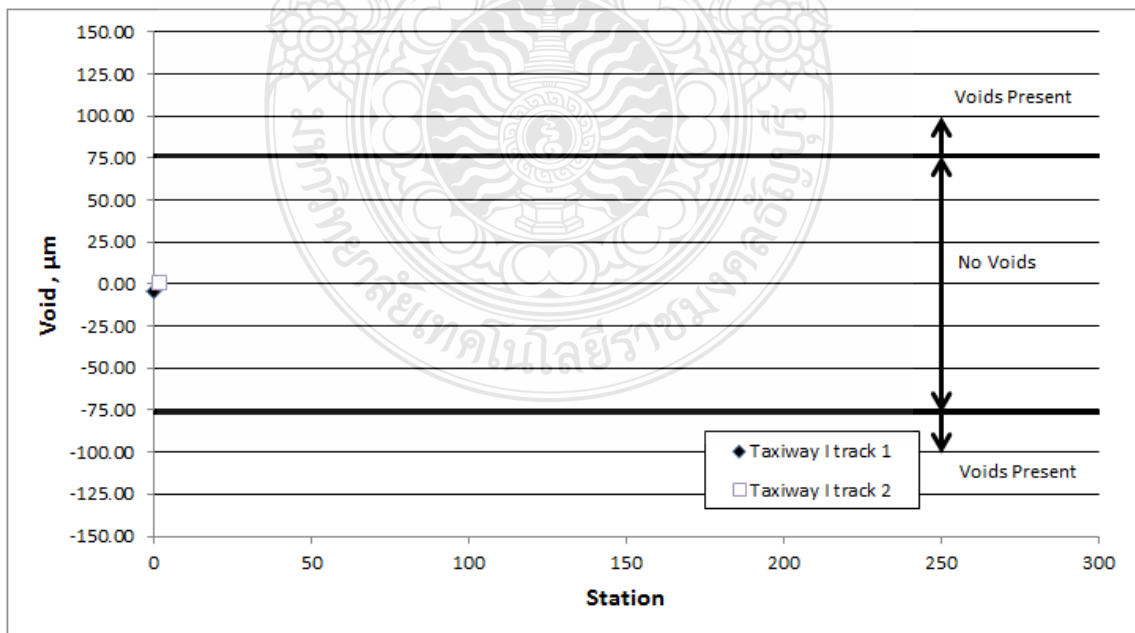
ภาพที่ ก.37 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ D (Taxiway D)



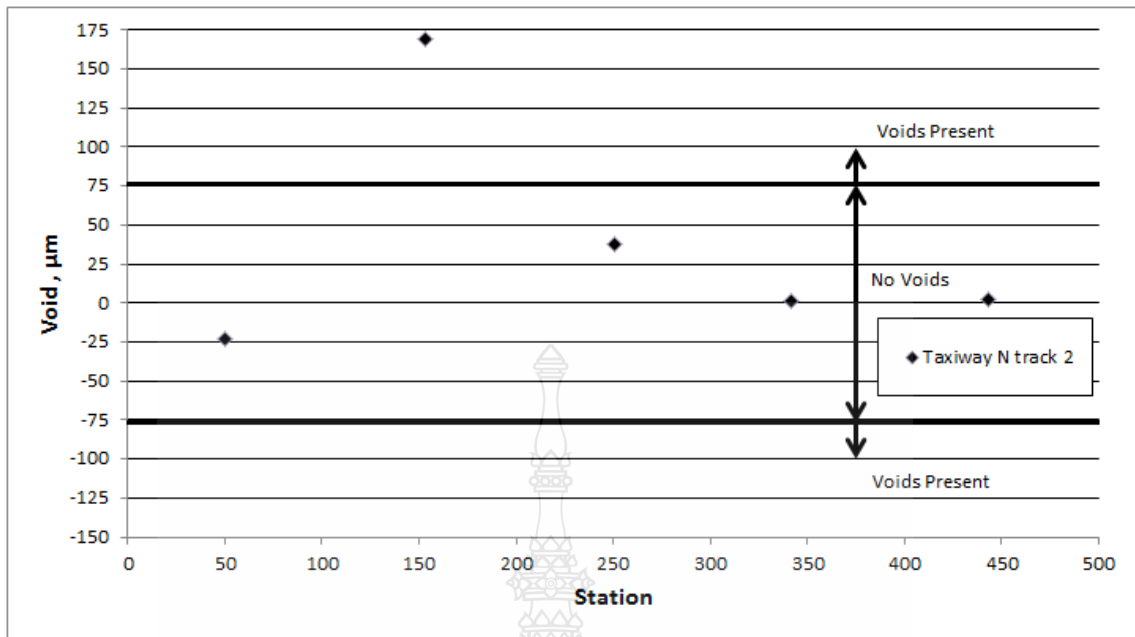
ภาพที่ ก.38 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ E (Taxiway E)



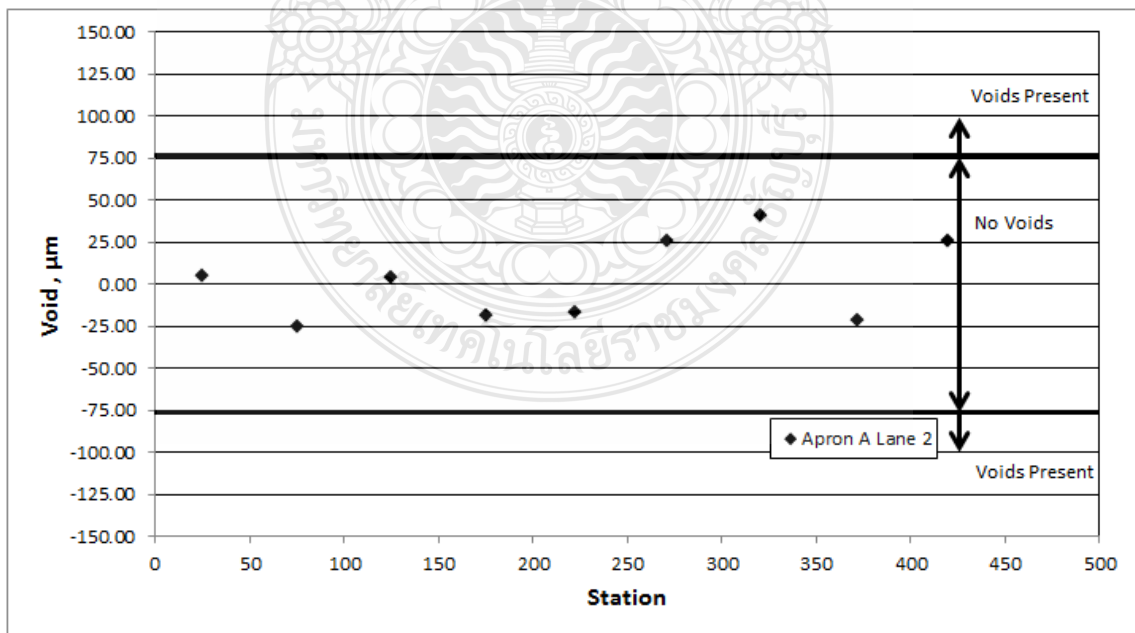
ภาพที่ ก.39 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ F (Taxiway F)



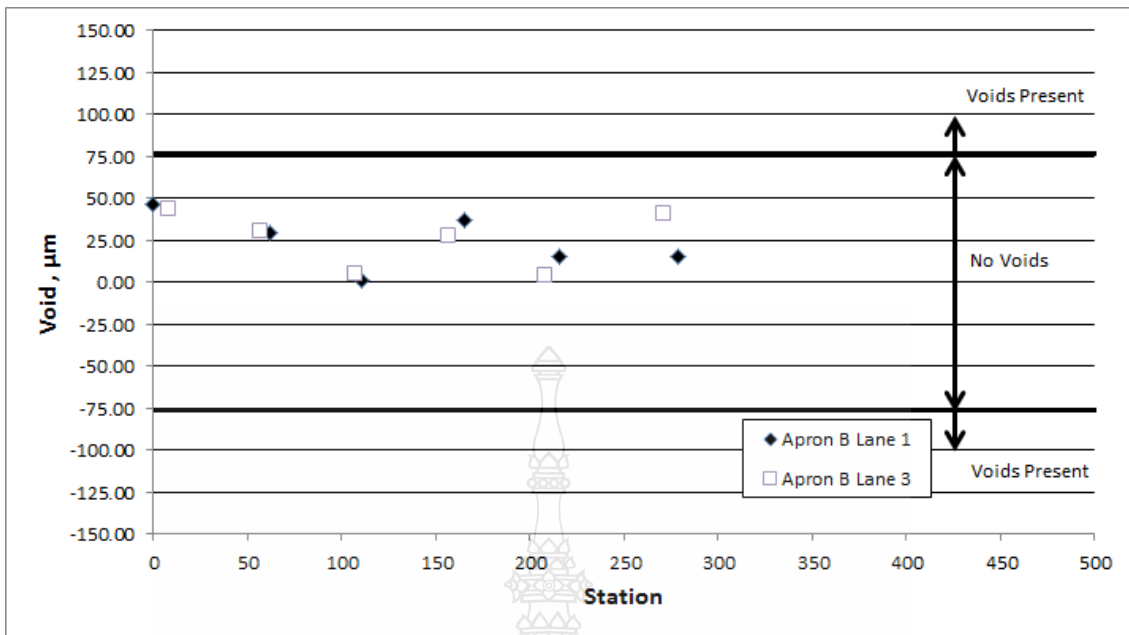
ภาพที่ ก.40 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ I (Taxiway I)



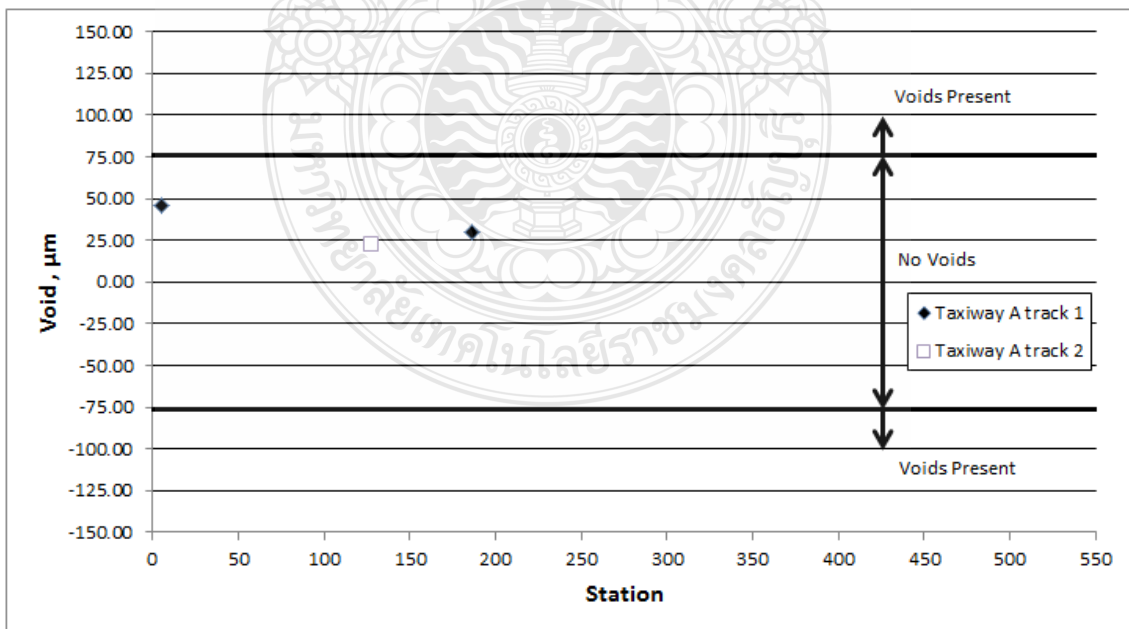
ภาพที่ ก.41 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ N (Taxiway N)



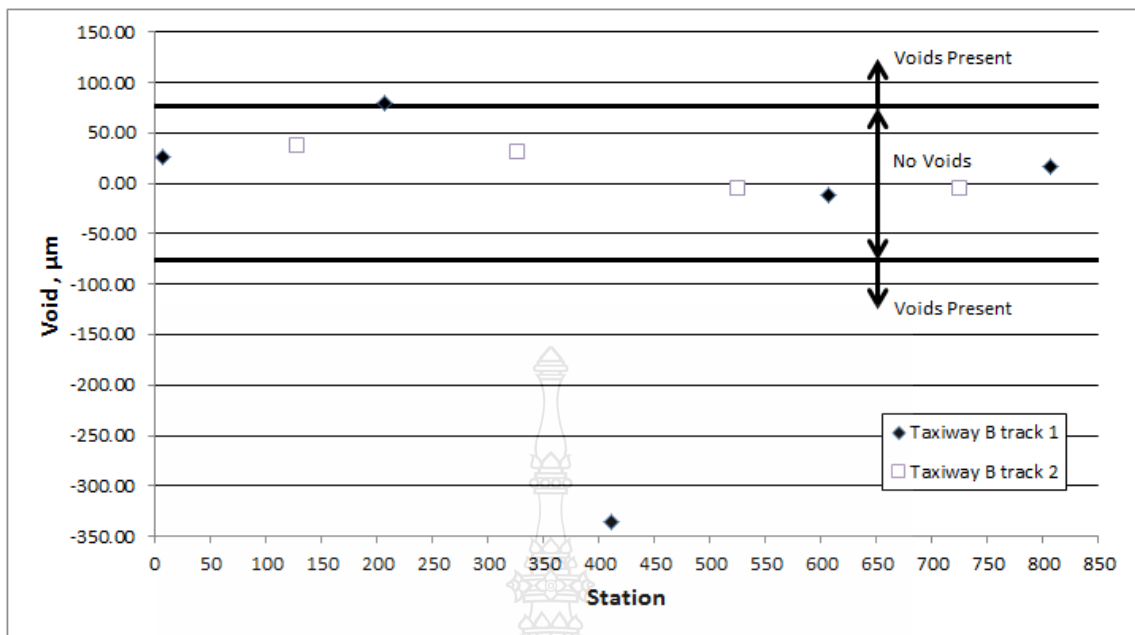
ภาพที่ ก.42 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของลานจอด “A” (Apron A)



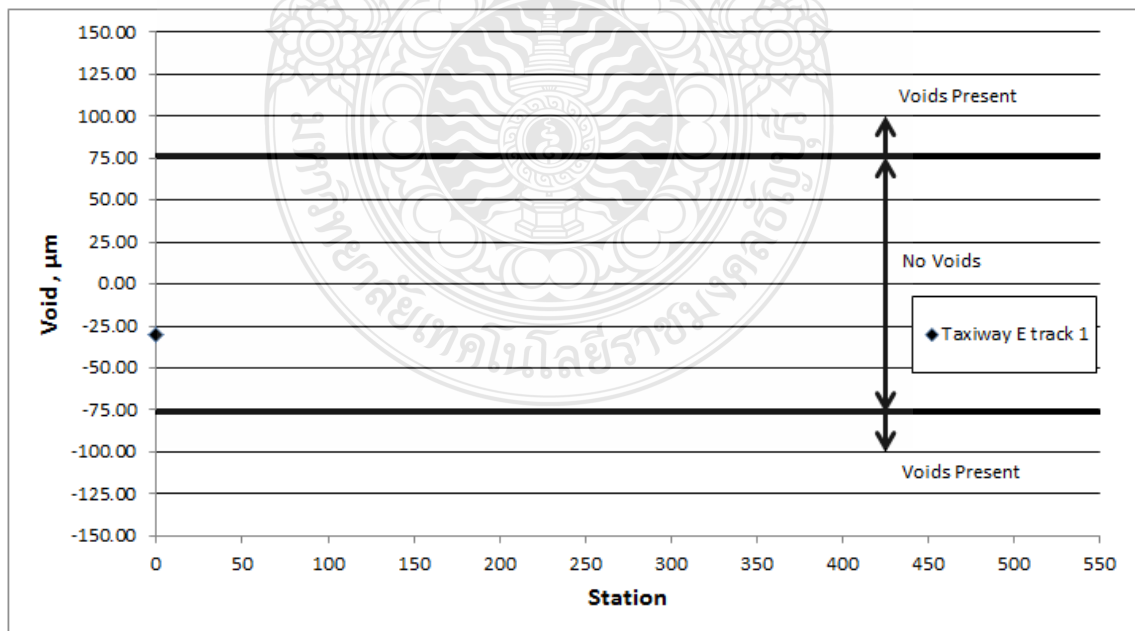
ภาพที่ ก.43 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของลานจอด “B” (Apron B)



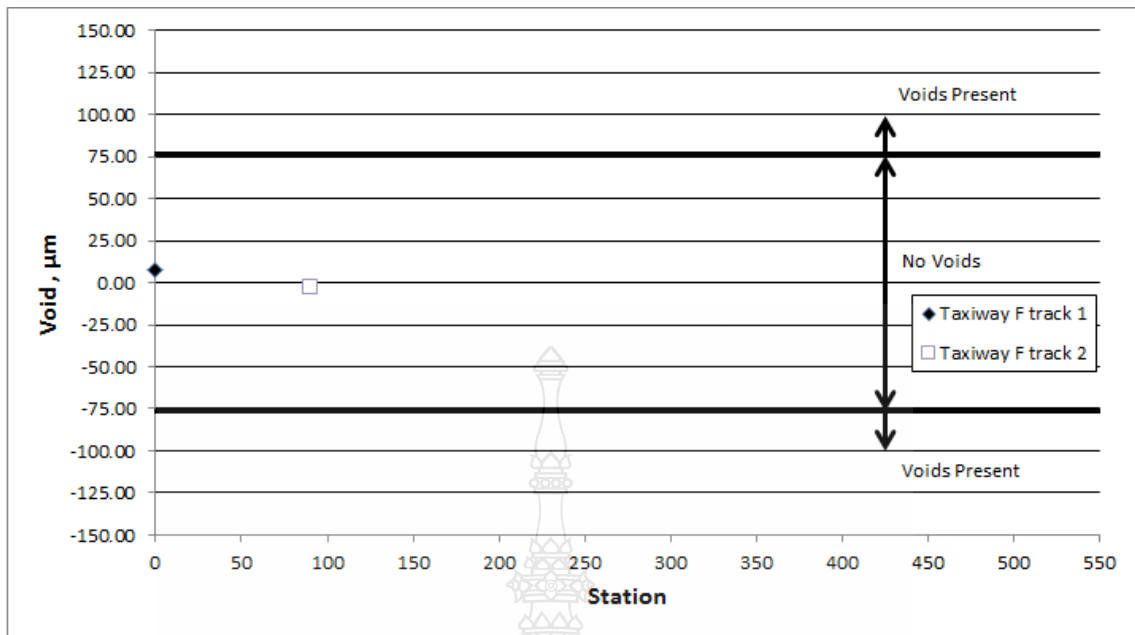
ภาพที่ ก.44 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ A (Taxiway A)



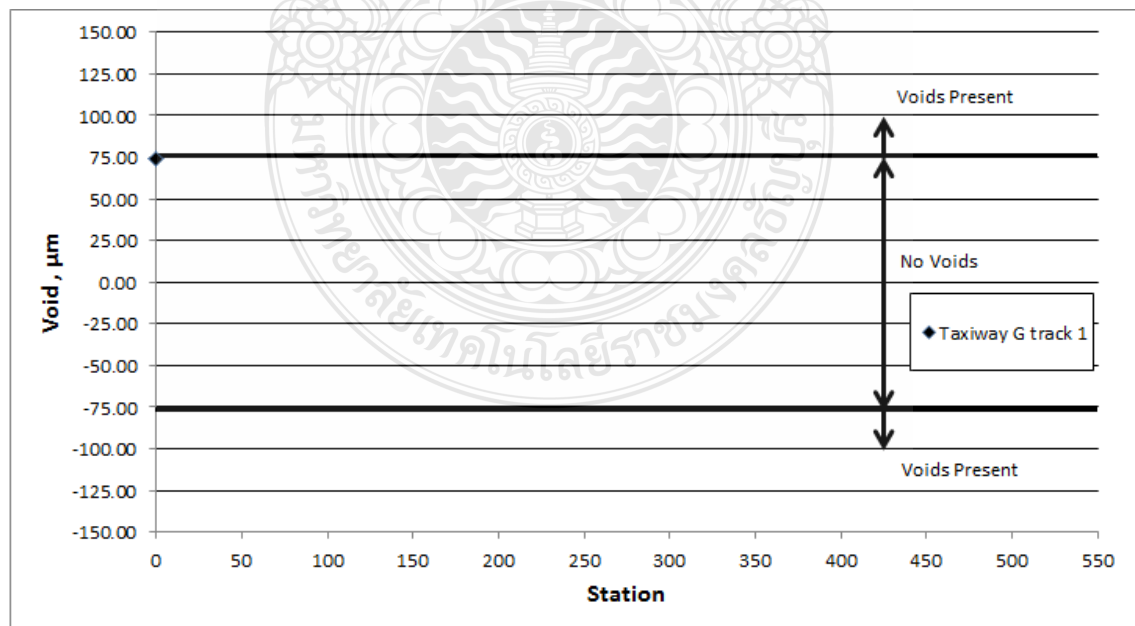
ภาพที่ ก.45 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ B (Taxiway B)



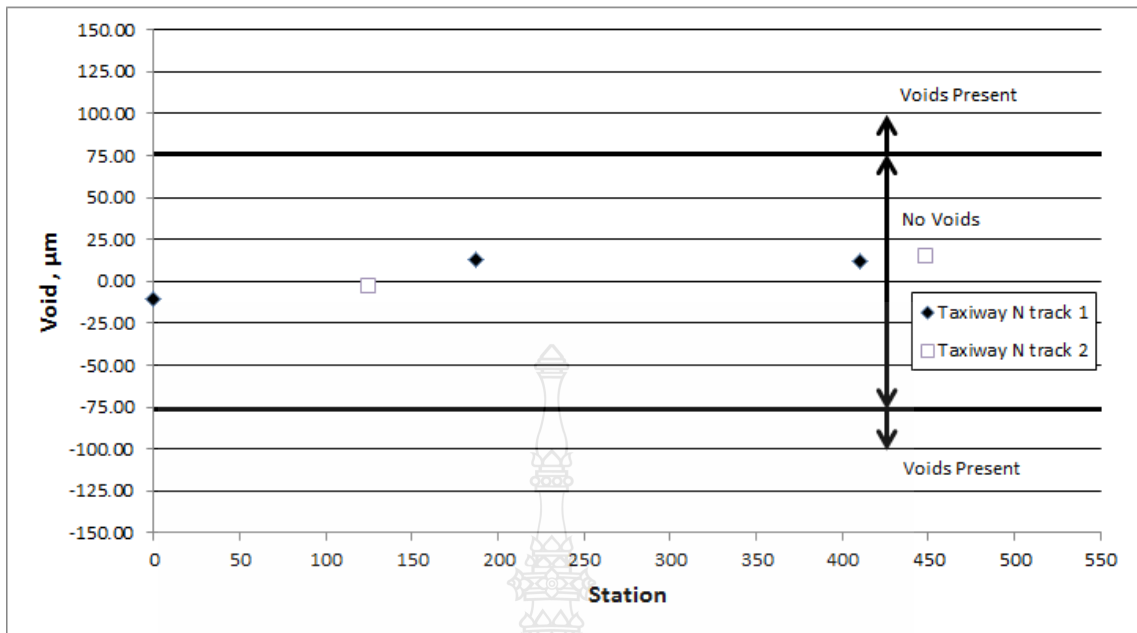
ภาพที่ ก.46 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ E (Taxiway E)



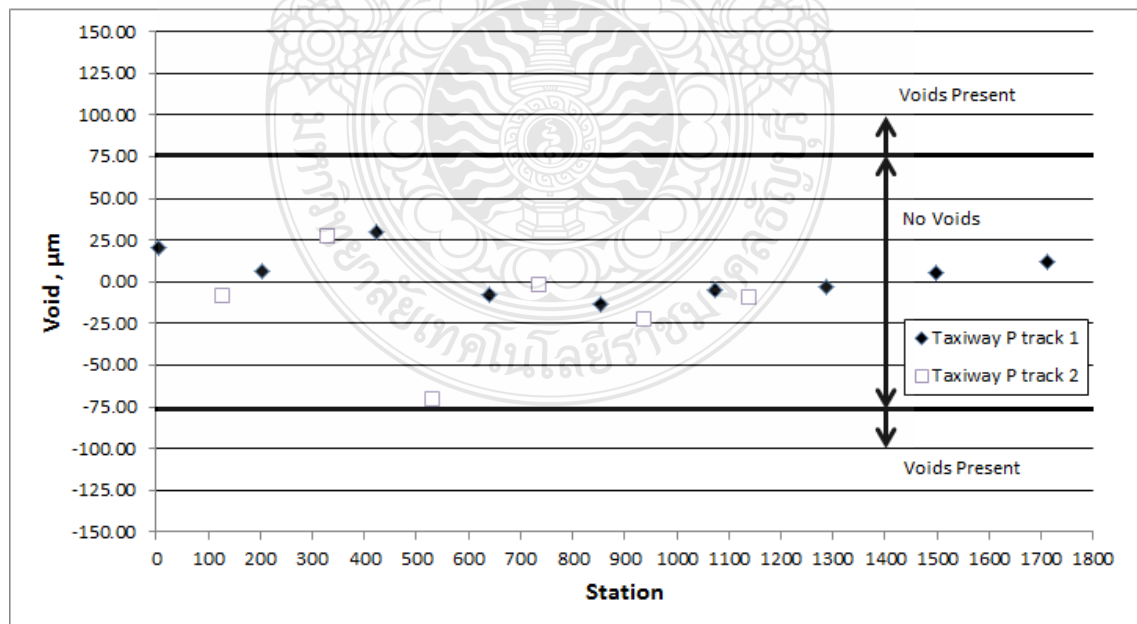
ภาพที่ ก.47 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ F (Taxiway F)



ภาพที่ ก.48 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ G (Taxiway G)



ภาพที่ ก.49 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ N (Taxiway N)



ภาพที่ ก.50 ผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ P (Taxiway P)





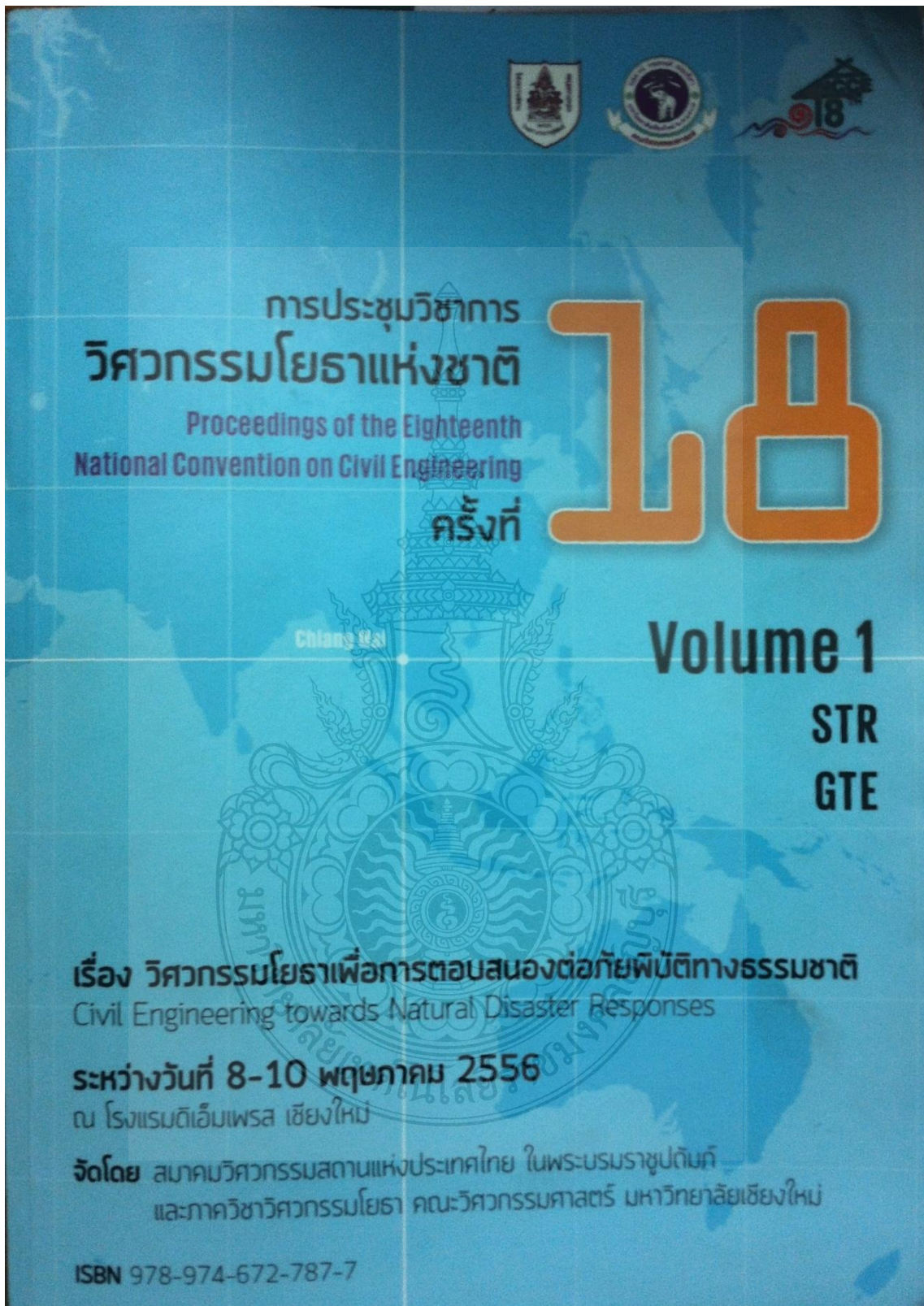
ภาพที่ ข.1 ภาพความเสียหายของแผ่นพื้นคอนกรีตของทางขับ B (Taxiway B) แนวทดสอบที่ 1
สถานีทดสอบ 0+100 ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต



ภาพที่ ข.2 ภาพความเสียหายของแผ่นพื้นคอนกรีตของทางขับ B (Taxiway B) แนวทดสอบที่ 1
สถานีทดสอบ 0+100 ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต



ภาคผนวก ค
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่





คณะกรรมการและอนุกรรมการจัดการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

1. คณะกรรมการที่ปรึกษา

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์		ประธาน
รองคณบดีฝ่ายบริหาร		ที่ปรึกษา
รองคณบดีฝ่ายวิจัย บริการวิชาการ และวิเทศสัมพันธ์		ที่ปรึกษา
รศ.ดร.เจษฎา	เกษมเศรษฐ์	ที่ปรึกษา
รศ.พิชัย	บุญยกาญจน	ที่ปรึกษา
รศ.ดร.ชิตชัย	อนันตเศรษฐ์	ที่ปรึกษา
รศ.ดร.อนิรุทธ์	ธงไชย	ที่ปรึกษา
รศ.สุเทพ	นิมนวล	ที่ปรึกษา
ผศ.เดชาวุธ	จารุตามระ	ที่ปรึกษา
อาจารย์ ดร.อภิวัฒน์	โอฬารรัตน์ชัย	ที่ปรึกษา
เลขาธิการคณะวิศวกรรมศาสตร์		ที่ปรึกษา

2. คณะกรรมการดำเนินการ

รศ.ชูโชค	อายุพงศ์	ประธาน
รศ.ดร.ธนพร	สุปรียศิลป์	กรรมการ
ผศ.ดร.ปุ่น	เที่ยงบูรณธรรม	กรรมการ
ผศ.ดร.ปิติวัฒน์	วัฒน์ชัย	กรรมการ
อาจารย์อุดม	ฉัตรศิริกุล	กรรมการ
อาจารย์ ดร.ธวัชชัย	ตันชัยสวัสดิ์	กรรมการ
อาจารย์ ดร.ปริดา	พิชชาพันธ์	กรรมการ
ผศ.ดร.ชยานนท์	หรรษภิญโญ	กรรมการและเลขานุการ

3. คณะอนุกรรมการฝ่ายวิชาการ

ผศ.ดร.ชยานนท์	หรรษภิญโญ	ประธาน
รศ.ชูโชค	อายุพงศ์	กรรมการ
รศ.ชัชวาลย์	ทักษ์อุดม	กรรมการ
รศ.ดร.ธนพร	สุปรียศิลป์	กรรมการ
ผศ. ดร.พุทธิพล	ดำรงชัย	กรรมการ
ผศ.ดร.ปิติวัฒน์	วัฒน์ชัย	กรรมการ
ผศ.สันติพงศ์	วิถียภัณฑ์	กรรมการ
อาจารย์อุดม	ฉัตรศิริกุล	กรรมการ
อาจารย์สมบูรณ์	องศ์มหัทธมล	กรรมการ
อาจารย์ ดร.ธวัชชัย	ตันชัยสวัสดิ์	กรรมการ



สารบัญบทความ (ต่อ)

STR 079	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเหล็กถ่ายน้ำหนักกับโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตของท่าอากาศยานการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18 Relation between Efficiency of Load Transfer Device and Void beneath Airfield Concrete Slab	STR - 297
STR 082	การเปรียบเทียบการวิเคราะห์และออกแบบการต้านแผ่นดินไหวสำหรับอาคารระหว่างข้อกำหนดการออกแบบของประเทศไทย และข้อกำหนดการออกแบบปี ค.ศ.1997 ของประเทศสหรัฐอเมริกา A Comparison in Earthquake Resistance Analysis and Design for Buildings of Thailand Building Code and United States 1997 Uniform Building 5	STR - 303
STR 087	ผลของระดับน้ำหนักบรรทุกใช้งานต่อสมรรถนะการต้านทานแผ่นดินไหวของโครงสร้างชั้นวางสินค้าเหล็ก Effects of Level of Service Loading to the Seismic Performance of Steel Storage Racks	STR - 309
STR 088	พฤติกรรมและกำลังการรับน้ำหนักของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีช่องเปิดแบบสี่เหลี่ยม Behavior and Load Capacity of Reinforced Concrete Beams with Rectangular Openings	STR - 317
STR 089	การลดแรงลมและการตอบสนองของอาคารสูงโดยการปรับแต่งรูปร่าง Wind Load and Response Reductions of High-Rise Building by Aerodynamic Shape Modifications	STR - 326
STR 090	ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวจำกัดโดยแปรผันเปอร์เซ็นต์เหล็กยืน แบบมีเหล็กค้ำยันและไม่ค้ำยันภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักร Axial Load Carrying Capacity of Non-Ductile Rc Column by Vary the Percentage Longitudinal Reinforcement with and without Lap-Splice under Cyclic Loading	STR - 334
STR 091	ศึกษาพฤติกรรมเสาคอนกรีตเสริมเหล็กเทียบกับเสาคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก (SFRC) A Study Behavior of RC Columns Compared with Fiber Reinforced Concrete Columns (SFRC)	STR - 341
STR 092	รูปแบบทางเลือกของโครงหลังคาเหล็ก โดยการประยุกต์ใช้วิธีโทพอโลยีที่เหมาะสมที่สุด Alternative Form of a Steel Roof by Topology Optimisation Method	STR - 347
STR 093	การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ข้อต่อคาน-เสาเหล็กก่อสร้างตามรูปแบบการก่อสร้างในประเทศไทยภายใต้แรงวัฏจักร Finite Element Analysis of Steel Beam-to-Column Connections Constructed by Thai Practice under Cyclic Loading	STR - 352
STR 094	การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของโครงสร้างส่วนบนของสะพานคานคอนกรีตรูปกล่อง Finite Element Analysis of Concrete Box Girder Bridge Superstructure	STR - 360
STR 095	การศึกษาเสาคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ A Study of Reinforced Concrete Columns using Finite Element Analysis	STR - 366
STR 096	วิธีอย่างง่ายวิธีใหม่ในการวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน สำหรับลวดอัดแรงดึงที่หลัง A New Simple Method for Post-tension Strands Friction Coefficient Measurement	STR - 374
STR 097	การประมาณการโก่งตัวของอาคารในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม Estimation of Across-wind Displacement of Building	STR - 380



ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเหล็กถ่ายน้ำหนักกับโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต
ของท่าอากาศยาน

การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18

Relation between Efficiency of Load Transfer Device and Void beneath

Airfield Concrete Slab

จตุพล สายัณห์วัฒน์¹ และ ดร.พุททพล ทองอินทร์ดำ²

¹, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม กรุงเทพมหานคร 12110

E-mail: jatupol.ce@gmail.com, puttapon.t@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก(LTE_d) กับปริมาณโพรง (V) ใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตท่าอากาศยาน โดยใช้วิธีการทดสอบตามข้อแนะนำหน่วยงานระดับนานาชาติ เช่น ICAO และ FAA ทำการทดสอบจริงบนโครงสร้างผิวทางของท่าอากาศยานนานาชาติในประเทศไทย ด้วยเครื่องมือวัดค่าการยุบตัวด้วยตุ้มกระแทกแบบหนัก (HFWD) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจาก LTE_d และโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตที่ตามเกณฑ์แนะนำของ FAA และทำการวิเคราะห์การถดถอยในส่วนที่ LTE_d มากกว่า 50 % และมีโพรงใต้แผ่นพื้นปรากฏ ได้ความสัมพันธ์ที่มีแนวโน้มสอดคล้องกับสมมติฐานเบื้องต้นคือ ค่าโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตลดลงเมื่อ LTE_d เพิ่มขึ้น และความสัมพันธ์ดังกล่าวชัดเจนมากขึ้นเมื่อ LTE_d มากกว่า 70 % และได้สรุปเป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เชิงเส้นอย่างง่ายบนพื้นฐานข้อมูลที่ทดสอบในงานวิจัยนี้

คำสำคัญ: ผิวทางสนามบินคอนกรีต, ประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนัก, โพรงใต้รอยต่อ, การทดสอบแบบไม่ทำลาย

Abstract

The purpose of this research is to study the relation of load transfer efficiency (LTE_d) and void (V) beneath airfield concrete slabs obtained from the Heavy Falling Weight Deflectometer (HFWD). Several field tests have been conducted in some selected Thai international airports and the methods used follow the ICAO and FAA recommendations. By separating the data according to FAA recommendation, it has been found that there are a certain relation between the LTE_d and V when LTE_d falls

between than 50% and 70%. Furthermore, this relation is stronger when LTE_d is greater than 70%. To summarize these relations mathematically, some simple linear regression analysis have been conducted and discussed in this paper.

Keywords: Concrete airfield pavement, Load transfer efficiency, Void beneath joint, Nondestructive Test

1. บทนำ

ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมาประเทศไทยมีความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ทำให้โครงสร้างสาธารณูปโภคถูกใช้งานมากขึ้นแบบก้าวกระโดด โดยหากพิจารณาโครงสร้างท่าอากาศยานหรือสนามบินถือเป็นโครงสร้างสาธารณูปโภคที่เป็นสะพานเชื่อมเศรษฐกิจระหว่างประเทศไทยและนานาชาติ ซึ่งเป็นจุดกำเนิดของการนำรายได้เข้าสู่ประเทศปีละเป็นจำนวนมาก

แต่ในขณะเดียวกันโครงสร้างผิวทางสนามบิน อาทิ ทางวิ่ง (Runway) ทางขับ (Taxiway) และลานจอด (Apron) ต้องแบกรับปริมาณการจราจรของอากาศยานที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งโครงสร้างผิวทางของสนามบินหลายแห่งนั้นไม่ได้มีการออกแบบให้มีความสามารถในการต้านทานน้ำหนักบรรทุกของเครื่องบินรุ่นใหม่ ๆ ที่มีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นอย่างมาก สภาพการณ์เช่นนี้ทำให้วิศวกรผู้ดูแลรับผิดชอบต้องนำความรู้และประสบการณ์ทางวิศวกรรมผิวทางพัฒนาคุณภาพของผิวทาง (Pavement performance) ให้มีความปลอดภัยต่อผู้โดยสารและต่อตัวอากาศยานตามมาตรฐานสากล

โดยเป็นที่ทราบกันว่าเนื่องจากโครงสร้างผิวทางเป็นโครงสร้างฐานดิน (Earth structure) ซึ่งกระบวนการวิเคราะห์โครงสร้างประเภทนี้มีความแปรผัน ดังนั้นการตรวจสอบความแข็งแรงของ

โครงสร้างผิวทางนั้นจึงนิยมใช้การทดสอบในที่ (in situ) ด้วยเครื่องมือทดสอบแบบไม่ทำลาย (Nondestructive testing, NDT) เช่น เครื่องมือวัดค่าการยุบตัวด้วยลูกตุ้มกระแทกแบบหนัก (Heavy falling weight deflectometer, HFWD) ดังรูปที่ 1 เป็นต้น

ซึ่งหากมองในแง่มุมมองของลักษณะทางโครงสร้างพบว่า การทดสอบคุณภาพของโครงสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตนั้นค่อนข้างมีความซับซ้อนกว่าโครงสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเนื่องจากผิวทางคอนกรีตส่วนใหญ่มีการสร้างแบบมีรอยต่อ (Joint) ทั้งตามแนวยาวและแนวขวาง (Longitudinal and Transverse Joint) ทำให้การตรวจสอบคุณภาพของทางคอนกรีตต้องมีการประเมินทั้งด้านกำลังรับน้ำหนักของ แผ่นคอนกรีต (Bearing capacity) ประสิทธิภาพของการถ่ายน้ำหนักระหว่างแผ่นพื้นคอนกรีต (Load transfer efficiency, LTE) และการตรวจสอบหาโพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีต (Void detection)

ในสภาพความเป็นจริงมาตรฐานการทดสอบและวิธีการวิเคราะห์ประเมินผลโครงสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตนั้นยังอ้างอิงจากมาตรฐานของต่างประเทศเป็นหลัก ซึ่งทำส่วนใหญ่เป็นวิธีการวิเคราะห์ตามประสบการณ์ (Empirical method) ภายใต้สภาวะแวดล้อมจากต่างประเทศ รวมไปถึงขั้นตอนทดสอบยุ่งยากและใช้เวลานานเนื่องจากการทดสอบแผ่นพื้นคอนกรีต 1 แผ่นต้องทดสอบถึง 3 ตำแหน่ง คือ ที่กลางแผ่น (Center test) รอยต่อ (Joint test) และมุมแผ่น (Corner test) เพื่อนำผลทดสอบที่ได้มารวมวิเคราะห์หาค่าความแข็งแรงของแผ่นพื้นคอนกรีต ทำให้เกิดข้อสงสัยถึงความน่าเชื่อถือในการนำมาทดสอบภายใต้สภาวะแวดล้อมในประเทศไทย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาความสัมพันธ์ของผลที่ได้จากการวิเคราะห์ LTE กับผลที่ได้จากการวิเคราะห์หาโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตตามวิธีการวิเคราะห์ที่ยอมรับในระดับสากล โดยใช้ข้อมูลการทดสอบที่เกิดขึ้นจริงภายใต้สภาวะแวดล้อมจริงของโครงสร้างผิวทาง คอนกรีตของสนามบินนานาชาติในประเทศไทย

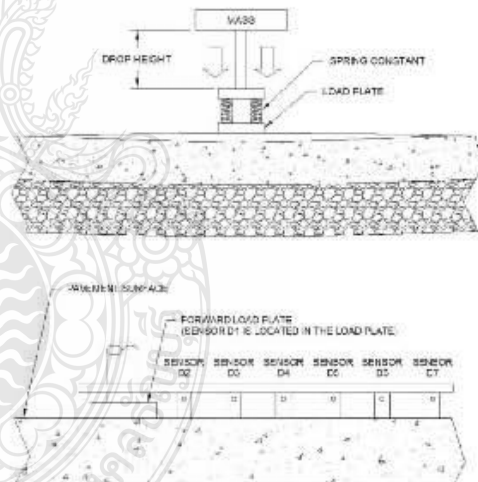


รูปที่ 1 เครื่องมือวัดค่าการยุบตัวด้วยลูกตุ้มกระแทกแบบหนัก (HFWD)

[2]

2. การทดสอบสภาพความแข็งแรงของโครงสร้างผิวทางด้วยเครื่องมือ HFWD

ในทางปฏิบัติของการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างผิวทางนั้น ทางหนึ่งนิยมใช้วิธีการทดสอบ ด้วยเครื่องมือ HFWD ประเมินความแข็งแรงโครงสร้างผิวทางจากค่าการยุบตัว (Deflection Basin) ดังรูปที่ 2 เครื่องมือประเภทนี้ใช้การปล่อยตุ้มน้ำหนักจากสภาวะอิสระลงบนสปริงยวบที่ติดกับแผ่นเหล็กเพื่อกระจายน้ำหนักลงสู่ผิวทาง น้ำหนักกระตุ้นที่เกิดขึ้นสามารถปรับได้จากการปรับขนาดของตุ้มน้ำหนัก และ/หรือปรับความสูงของตุ้มน้ำหนัก เพื่อให้สามารถจำลองน้ำหนักของอากาศยานคำนวณความสัมพันธ์ของน้ำหนักและความสูงของน้ำหนักได้ตามสมการที่ (1) [2] โดยในขณะที่ตุ้มน้ำหนักกระแทกเซนเซอร์จะทำการวัดค่าการยุบตัว (Deflection) ของผิวทาง ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างตำแหน่งที่ติดตั้งเซนเซอร์สำหรับการทดสอบ โดยค่าการยุบตัวนั้นเป็นหนึ่งในตัวแปรทางกลศาสตร์ที่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการคำนวณย้อนกลับ (Back calculation) หาค่าความแข็งแรงโครงสร้างผิวทางได้ [3]



รูปที่ 2 หลักการทำงานของเครื่องมือวัดค่าการยุบตัวด้วยลูกตุ้มกระแทกแบบหนัก (HFWD) [2]

$$P = (2ghmk)^{0.5}$$

โดยที่

P = จุดศูนย์กลางของแรง, b

g = ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, 9.81 m/s^2

- h = ระยะความสูงของการปล่อยน้ำหนัก, ft
- m = มวลของตุ้มน้ำหนักทดสอบ, lb
- k = ค่าคงที่ของสปริง (สปริงยาง)

ตารางที่ 1 ตำแหน่งอุปกรณ์วัดค่าการยุบตัวเครื่องมือ HFWD ที่ใช้ทั่วไปในต่างประเทศ

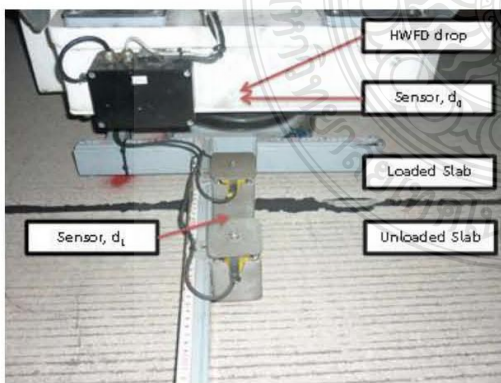
[4]

Agency	Configuration name	Sensor distance from center of load plate, inches (mm)						
		Sensor1	Sensor2	Sensor3	Sensor4	Sensor5	Sensor6	Sensor7
U.S. Air Force	AF 7-Sensor	0	12 (300)	24 (600)	36 (900)	48 (1,200)	60 (1,500)	72 (1,800)
	SHRP	0	12 (300)	24 (600)	36 (900)			
FHWA & State DOTs	4-Sensor	0	12 (300)	24 (600)	36 (900)			
	SHRP 7-Sensor	0	6 (150)	12 (300)	18 (450)	24 (600)	36 (900)	60 (1,500)

3. การทดสอบสภาพความแข็งแรงของโครงสร้างผิวทางคอนกรีตสนามบิน

3.1 การทดสอบประสิทธิภาพของการถ่ายน้ำหนักระหว่างแผ่นพื้นคอนกรีต (LTE)

เป็นหนึ่งในวิธีการประเมินสภาพความแข็งแรงของโครงสร้างผิวทางแบบแกร่ง (Rigid pavement) เช่น แผ่นพื้นคอนกรีต ทดสอบที่รอยต่อของแผ่นพื้นคอนกรีตตามมาตรฐานแนะนำของ Federal Aviation Administration (FAA) [2] ซึ่งสามารถดำเนินการได้ด้วยวิธีการทดสอบแบบ NDT ด้วยเครื่องมือ HFWD จำลองน้ำหนัก 220 kN (ซึ่งเป็นน้ำหนักของอากาศยานที่ใช้ในงานสนามบินทดสอบ) ผ่านแผ่นเหล็กติดสปริงยางขนาด 300 mm ทดสอบระหว่างแผ่นคอนกรีตที่รับน้ำหนัก (Loaded slab) และแผ่นข้างเคียงที่ไม่ได้รับน้ำหนัก (Unloaded slab) วัดค่าการยุบตัว (Deflection) ทั้ง 2 ตำแหน่งคือที่ศูนย์กลางตุ้มน้ำหนัก (d_0) และแผ่นที่ไม่ได้รับน้ำหนัก (d_1) ทดออกไป 300 mm จาก d_0 โดยที่ตำแหน่งเซนเซอร์ d_0 และ d_1 ครอบคลุมรอยต่อแผ่นพื้นคอนกรีตแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การทดสอบ LTE ด้วยเครื่องมือ HFWD

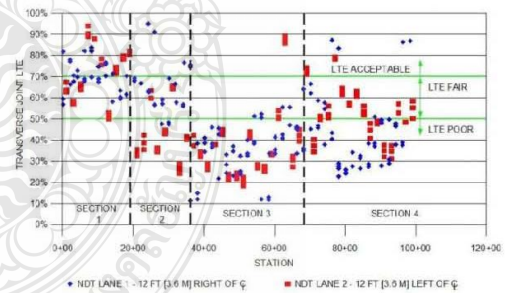
หลังจากปล่อยน้ำหนักทดสอบ นำค่าการยุบตัวที่ได้จากแผ่นพื้นคอนกรีตทั้ง 2 แผ่นหาประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักแบบการยุบตัว (Deflection load transfer efficiency, LTE_{Δ}) ดังสมการที่ (2) [2] ตามหลักการพื้นฐานแล้วหากรอยต่อของแผ่นพื้นมีสภาพที่ดีสามารถถ่ายแรงถึงกันได้ การทรุดตัวของแผ่นพื้นทั้งสองแผ่นทดสอบนั้น ต้องใกล้เคียงกัน ตามเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบ LTE_{Δ} ของ FAA [5] ยอมรับ (Acceptable) LTE_{Δ} ที่มากกว่า 70% และต่ำกว่าเกณฑ์ (Poor) ที่น้อยกว่า 50 %

$$LTE_{\Delta} = (\Delta_{Unloaded} / \Delta_{Loaded}) \times 100 \quad (2)$$

โดยที่

- LTE_{Δ} = ประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักแบบการยุบตัว, %
- $\Delta_{Unloaded}$ = ค่ายุบตัวของแผ่นคอนกรีตที่ไม่ได้รับน้ำหนัก, μm
- Δ_{Loaded} = ค่ายุบตัวของแผ่นคอนกรีตที่รับน้ำหนัก, μm

ผลการวิเคราะห์ LTE นำไปใช้ในงานวิเคราะห์ความแข็งแรงของผิวทางในภาพรวมได้ รวมทั้งสามารถนำไปใช้วิเคราะห์หาตำแหน่งแผ่นพื้นคอนกรีตที่อาจต้องซ่อมแซม ปรับปรุง แก้ไขได้ โดยรูปที่ 5 แสดงตัวอย่างการพล็อตกราฟ LTE_{Δ} เทียบกับสถานีตำแหน่งทดสอบวัดค่าการยุบตัวด้วยเครื่องมือ HFWD เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของประสิทธิภาพในการถ่ายน้ำหนักของรอยต่อหรือรอยแตกของผิวทางคอนกรีตในสนามบิน ตามมาตรฐานข้อแนะนำของ FAA



รูปที่ 4 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความแข็งแรงของสภาพรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีต ตามข้อเสนอของ FAA [4]

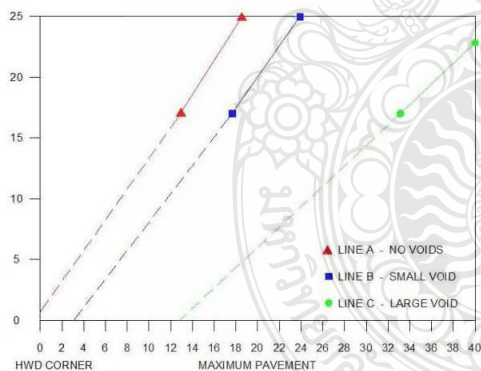
3.2 การทดสอบหาโพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีต

ในสภาพความเป็นจริงนั้นบางครั้งมีการสูญเสียสภาพของชั้นรองรับใต้แผ่นพื้นคอนกรีตได้ เช่น จากการกัดกร่อนจากการซึมเข้าใต้ของน้ำ ทำให้เกิดการบวมออกของอนุภาคขนาดเล็ก (Pumping)

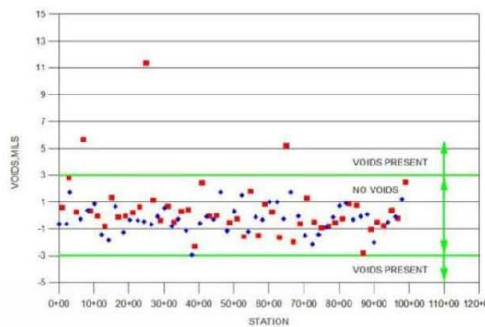
จนกลายเป็นโพรง ทำให้แผ่นคอนกรีตมีโอกาสเกิดความเสียหาย เช่น การแตกหักที่มุม (Corner break) [6] ดังนั้นวิธีวิเคราะห์ตรวจสอบชั้นรองรับของแผ่นคอนกรีตด้วยเครื่องมือ HFWD ซึ่งพุ่งเข้าไปที่ การตรวจสอบหาโพรงได้มุมแผ่นคอนกรีตเป็นหลัก (Corner test) โดยจากผลค่าการยุบตัวที่ได้การทดสอบด้วยเครื่องมือ HFWD ที่ใช้น้ำหนักกระแทกต่างระดับกันจะเป็นข้อมูลหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์

ทำการทดสอบโพรงใต้แผ่นพื้น ด้วยเครื่องมือ HFWD โดย จำลองน้ำหนัก 3 ระดับคือ 160, 190 และ 220 kN ที่มุมแผ่นพื้น คอนกรีต วัดค่าการยุบตัวที่ตำแหน่งศูนย์กลางคุ่มน้ำหนัก (d₀) นำ ค่าการยุบตัวที่ได้จากน้ำหนักทั้ง 3 ระดับ มาประมาณการนอกช่วง เพื่อหาแนวโน้มการเกิดโพรงใต้แผ่นคอนกรีต

โดยจากหลักการพื้นฐานของวิศวกรรมผิวทางจะประเมินได้ว่า เมื่อพล็อตกราฟระหว่างน้ำหนักกระแทกและค่าการยุบตัวที่มุมแผ่น เมื่อให้แกน Y เป็นค่าการยุบตัว และแกน X เป็นน้ำหนัก กระแทกจะไม่มีโพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีตเมื่อแนวเส้นเชื่อมต่อ (Extrapolation) ตัดผ่านแกน X ใกล้จุดกำเนิด แต่เมื่อแนวเส้นเชื่อมต่อ (Extrapolation) ปล่อยให้แนวโน้มการมีโพรงอยู่ใต้แผ่นคอนกรีตมีมาก FAA แนะนำว่าหากการประมาณค่าการนอกช่วงของแนวเส้นเชื่อมต่อ (Extrapolation) ประมาณค่าการยุบตัวได้สูงหรือต่ำกว่า 3 mil (75 μm) ให้ถือว่ามีการเกิดโพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีต (Void present) รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างการประมาณค่าการนอกช่วงเพื่อหาโพรงใต้แผ่นพื้นของแต่ละแผ่น และรูปที่ 6 ตัวอย่างกราฟโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตที่สถานีที่ทดสอบ



รูปที่ 5 ตัวอย่างการผลการทดสอบเพื่อวิเคราะห์โพรงใต้แผ่นคอนกรีต [5]



รูปที่ 6 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์โพรงใต้ผิวทางคอนกรีตของทางขับ (Taxiway) ขนาด 3 km [5]

3.3 แนวทางการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง

LTE และโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีต

การทดสอบผิวทางคอนกรีตแบบมีรอยต่อ นั้นมักทดสอบที่แผ่นพื้นเดียวกันทั้ง 3 ตำแหน่งดังที่กล่าวไปข้างต้น แต่บางมาตรฐาน การทดสอบ บางโครงการอาจยอมลดการทดสอบที่มุมแผ่นลง เนื่องจากปัจจัยเรื่องเวลาและความยุ่งยากในการทดสอบ [4] แต่อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง LTE และโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตนั้นจำเป็นต้องทดสอบที่แผ่นพื้นเดียวกันเสมอ จากการศึกษาของ Xing Giang Xiao และ Yan Jun Qiu [7] โดยการทดสอบจริงวิเคราะห์ร่วมกับการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง LTE และโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นมีความสัมพันธ์กันโดยหากเกิดโพรงใต้แผ่นพื้นจะส่งผลให้ LTE ลดต่ำลง แต่เนื่องจากงานวิจัยชิ้นนี้ไม่ได้ถูกเผยแพร่ในวงกว้าง เนื่องจากเนื้อหาเกือบทั้งหมดเป็นภาษาจีน ทำให้ต้องมีการวิจัยศึกษาเพิ่มเติม และตรวจสอบผลเพื่อหาฟังก์ชันความสัมพันธ์ระหว่าง LTE และโพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีตเพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นของการทดสอบความแข็งแรงโครงสร้างผิวทางคอนกรีตสนามบิน และ/หรือเพื่อลดเวลาการทดสอบไม่ให้กระทบถึงต้องมีการปิดสนามบิน อันเป็นผลให้ธุรกิจการบินต้องชะงักลง

4. ผลทดสอบระหว่าง LTE กับโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตด้วยเครื่องมือ HFWD

ทำการทดสอบ ณ แปลงทดสอบจริงส่วนย่อย (Section) ของทางวิ่ง (Taxiway) และลานจอด (Apron) ทำอากาศยานนานาชาติ หาดใหญ่และภูเก็ตซึ่งเป็นโครงสร้างผิวทางคอนกรีตแบบมีรอยต่อ และเป็นท่าอากาศยานนานาชาติหลักที่สำคัญทางภาคใต้ของประเทศไทย ต้องรับภาระการใช้งานของเครื่องบินที่มีน้ำหนักและปริมาณเที่ยวบินที่มากขึ้น ทดสอบตามมาตรฐานข้อเสนอแนะของ

- [6] Yoder E.J.,Witczak M. W., Principles of Pavement Design.
2nd Edition, John Wiley and Sons Publishing, 1975
- [7] Xinq Giang Xiao and Yan Jun Qiu, Relationship between
Voids Beneath Slab and the Load Transfer Efficiency, Master
Degree Thesis, Southwest Jiao tong University, 2004



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายจตุพล สายัณห์วัฒน์
วัน เดือน ปีเกิด	10 กุมภาพันธ์ 2519
ที่อยู่	19/18 หมู่ 2 ซอยเรวดี ถนนติวานนท์ ตำบลตลาดขวัญ อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี 11000
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เมื่อ
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2543 – พ.ศ.2545	พนักงานบริษัทเอกชน ตำแหน่งวิศวกรโยธา หจก. เบสท์คอนเทค ซัพพลาย
พ.ศ.2545 – พ.ศ.2548	พนักงานบริษัทเอกชน ตำแหน่งวิศวกรโยธา บริษัท เอ็นซีเฮาส์ซิ่ง จำกัด (มหาชน)
พ.ศ.2549 – ปัจจุบัน	พนักงานบริษัทเอกชน ตำแหน่ง ผจก.ฝ่ายวิศวกรรม โยธา บริษัท รอยเทลเฮาส์ จำกัด

