ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

ปริญญา

วิศวกรรมโยธา | วิศวกรรมโยธา

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง แบบจำลองคุณภาพการวิ่งบนทางแอสฟัสต์ของสนามบินโดยใช้การรับรู้ระยะไกลในย่านไมโครเวฟ

Riding Quality Model of Asphalt Airport-Pavement by Using Microwave Remote Sensing Satellite

นามผู้วิจัย นางสาวภัทราพร มัจฉาฉ่ำ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์วีระเกษตร สวนผกา, D.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ดีบุญ เมธากุลชาติ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันชัย ยอดสุขใจ, D.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ .... **เดือน** .... **พ.ศ.** ....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

แบบจำลองคุณภาพการวิ่งบนทางแอสฟัลต์ของสนามบินโดยใช้การรับรู้ระยะไกลในย่านไมโครเวฟ

Riding Quality Model of Asphalt Airport-Pavement by Using Microwave Remote Sensing Satellite

โดย

นางสาวภัทราพร มัจฉาฉ่ำ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)
พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภัทราพร มัจฉาฉ่ำ 2555: แบบจำลองคุณภาพการวิ่งบนทางแอสฟัลต์ของสนามบินโดยใช้การรับรู้ระยะไกลในย่านไมโครเวฟ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์วีระเกษตร สวนผกา, D.Eng. 100 หน้า

ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ มีความมุ่งมั่นที่จะพัฒนาท่าอากาศให้เป็นศูนย์กลางทางการบินของภูมิภาคเอเชีย ประกอบกับแนวโน้มของการจราจรทางอากาศที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ท่าอากาศยานจำเป็นที่จะต้องเพิ่มขีดความสามารถ เรื่องความปลอดภัยของผู้ใช้บริการ ปัจจุบันปัญหาที่เกิดขึ้นบนพื้นทางวิ่งของสนามบินเกิดรอยแตกร้าว พื้นผิวทรุดตัวลง ผิวทางเกิดการขรุขระ เกิดรอยแตกร่อนบริเวณทางขับและทางวิ่งของสนามบิน เป็นต้น ซึ่งหากเครื่องบินใช้พื้นที่ดังกล่าว อาจทำให้เกิดอันตรายได้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองเชิงเส้นในการประเมินสภาพผิวทางวิ่งบนสนามบินและระดับบริการในการวิ่งบนท่าอากาศยานสุวรรณภูมิภายใต้การดำเนินการของบริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) โดยมีเส้นทางที่ทำการสำรวจ 4 เส้นทาง ได้แก่ TXL T6, TXL T11, Runway 19L, Runway 19R

แบบจำลองนี้ได้ศึกษาค่าความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนกลับของภาพ PALSAR จากดาวเทียม ALOS กับค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) โดยคำนวนค่าสถิติเบื้องต้น เพื่อหาทิศทางของการสะท้อนกลับ จำนวน 390 ค่า เพื่อนำมาจำแนกระดับการบริการในการขับขี่บนทางวิ่งสนามบิน ผลการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่า ค่าการสะท้อนกลับของภาพแนว HH และ HV polarization มีผลต่อค่า IRI และพบว่าค่าการสะท้อนกลับในแนว HH polarization มีความสัมพันธ์กับค่า IRI มากที่สุด(r=0.9088) จึงนำตัวแปรนี้มาพัฒนาแบบจำลอง

การประเมินระดับการบริการในการขับขี่บนทางวิ่งสนามบิน จากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่า ค่าการสะท้อนกลับในทิศทางส่งข้อมูลในแนวราบและรับข้อมูลในแนวราบ (HH-polarization) ที่เพิ่มขึ้นจะมีผลให้ทางวิ่งของสนามบินมีความขรุขระมากขึ้น ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองมีความถูกต้องถึงร้อยละ 82.50 ดังนั้นแบบจำลองนี้จึงสามารถนำไปเป็นทางเลือกที่จะใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการพิจารณาในการประเมินสภาพผิวทางวิ่งและประเมินระยะเวลาที่เหมาะสมในการซ่อมบำรุงผิวทางต่อไป

__________________ __________________ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Pattraporn Mutchachum 2012: Riding Quality Model of Asphalt Airport-Pavement by Using Microwave Remote Sensing Satellite. Master of Engineering (Civil Engineering), Major Field: Civil Engineering, Department of Civil Engineering. Thesis Advisor: Mr. Weerakaset Suanpaga, D.Eng. 100 pages.

Suvarnabhumi Airport has committed to improving the aviation hub of Asia and increasing air traffic the need for airport ability to safety of service users. The problem on the runway of the airport a cracks, Surface collapsed. Roughness surface, and glide cracks to surface runway and taxiways of the airport. If the Aircraft used to area could too dangerous. This present study to develop models to assess the quality of the airport runway and service of the airport runway. The responsibility of the Airports of Thailand Public Company Limited, has surveyed the four routes: TXL T6, TXL T11, Runway 19L, Runway 19R.

This model was study of the relationship between backscattering values from and the international roughness index (IRI) airport by a statistical. To determine the backscattering value of the 390 values could be identify the level of service of running on the airport pavement .The analysis showed that the backscattering values in the HH polarization has the highest correlation is increasing with the highest coefficients (r = 0.9088) was used to develop the model.

Presentation could be identifying the level of service of running on the airport pavement. The analysis showed that the backscattering values in the HH polarization have the correlation with IRI. If the backscattering value in HH polarization is increased, the roughness will be increased. The analysis of data predicted. The accuracy of the model to 82.50 percent, which is used in the assessment to assess the quality of the airport runway and timely to pavement maintenance.

____________________________ ____________________________ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.วีระเกษตร สวนผกา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัย และขอบคุณ Dr.Yoshikazu Kamiya ที่ได้ให้องค์ความรู้พื้นฐานที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ และขอบคุณอาจารย์ทุกท่านให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึงให้ความเมตตาและคำปรึกษาและคำแนะนำ อันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัย ทำให้การตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

งานวิจัยนี้สำเร็จได้เพราะได้รับการสนับสนุนข้อมูลจาก Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) ที่เอื้อเฟื้อให้ข้อมูล PALSAR และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สนามบินสุวรรณภูมิที่ช่วยรวบรวมข้อมูลความขรุขระสนามบิน ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ท้ายที่สุด ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้ให้ความรักและสนับสนุนทุนการศึกษาเสมอมา ขอขอบคุณ คุณครูและอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน ประสิทธิ์ประสาทความรู้ตั้งแต่เยาว์วัยจนถึงปัจจุบัน รวมถึงน้องสาว พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด คุณความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ คุณพ่อ คุณแม่และคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้เมตตาอบรมสั่งสอนให้มีความรู้จนถึงปัจจุบัน

ภัทราพร มัจฉาฉ่ำ

พฤษภาคม 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
บทนำ	1
วัตถุประสงค์การศึกษา	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์ ระเบียบวิธีวิจัย	42
อุปกรณ์	42
วิธีการ	43
ผลและวิจารณ์	57
ผล	57
วิจารณ์	71
สรุปและข้อเสนอแนะ	72
สรุปผลการวิจัย	72
ข้อเสนอแนะ	76
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	77
ภาคผนวก	80
ภาคผนวก ก สรุปค่าพิกัดของสนามบินสุวรรณภูมิ	81
ภาคผนวก ข ตัวอย่างทดสอบสมการของแบบจำลอง	90
ภาคผนวก ค Suvarnabhumi Airport Chart	94
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	100

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความขรุขระสากลและแบ่งระดับการบริการในการขับขี่บนทางวิ่งสนามบิน 11

2 คุณสมบติของดาวเทียม ALOS 23

3 ผลิตภัณฑ์ข้อมูลดาวเทียม ALOS 24

4 รายละเอียดข้อมูลภาพ PALSAR 25

5 คลื่นความถี่ไมโครเวฟสามารถแบ่งเป็นช่วงตามกำหนดของ RSGB 28

6 รายละเอียดลักษณะสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 30

7 การจัดระเบียบของทางวิ่ง Runway คุณภาพการขับขี่ Ride Quality 50

8 แสดงรายละเอียดของข้อมูลภาพ ALOS/PALSAR (ระวางที่ ALPSRP239383340) 59

9 แสดงรายละเอียดของข้อมูลภาพ ALOS/PALSAR (ระวางที่ ALPSRP198470260) 60

10 แสดงค่าสถิติพื้นฐานทั้งหมดของค่าการสะท้อนกลับในทิศทาง HH, HV polarization 61

11 แสดงค่าตัวอย่างสถิติพื้นฐาน ของทางวิ่งสนามบินสุวรรณภูมิ 62

12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความขรุขระสากลและแบ่งระดับการบริการในการขับขี่บนทางวิ่งสนามบิน 62

13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่สะท้อนกลับกับค่าดัชนีความขรุขระสากล 63

14 แสดงผลการจำแนกระดับการบริการในการขับขี่บนทางวิ่งสนามบินสุวรรณภูมิ 65

15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่สะท้อนกลับกับค่าดัชนีความขรุขระสากล 66

16 แสดงผลการจำแนกระดับการบริการในการขับขี่บนทางวิ่งสนามบินสุวรรณภูมิ 68

17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่สะท้อนกลับกับค่าดัชนีความขรุขระสากล 69

18 แสดงผลการจำแนกระดับการบริการในการขับขี่บนทางวิ่งสนามบินสุวรรณภูมิ 71

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ก1 สรุปค่าสถิติเบื้องต้นของข้อมูลพิกัดสนามบิน 82
ก2 ค่าความสัมพันธ์ของภาพถ่ายและค่าความขรุขระ 83

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะทางวิ่งและทางขับของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ	4
2	ดัชนีความขรุขระสากล	8
3	รถยนต์อ้างอิง	9
4	แสดงการจัดอันดับของ RCI	10
5	ความเสียหายแบบ Alligator cracking	12
6	ความเสียหายแบบ Bleeding	12
7	ความเสียหายแบบ Block Cracking	13
8	ความเสียหายแบบ Depression	13
9	ความเสียหาย Longitudinal and Transverse Cracking	14
10	ความเสียหายแบบ Patching and Utility Cut Patch	15
11	ความเสียหายแบบ Polished Aggregate	15
12	ความเสียหายแบบ Rutting	16
13	ความเสียหายแบบ Shoving	16
14	ความเสียหายแบบ Slippage cracking	17
15	ความเสียหายแบบ Blowup	18
16	ความเสียหายแบบ Corner Break	18
17	ความเสียหายแบบ longitudinal	19
18	ความเสียหายแบบ Durability cracking	19
19	ความเสียหายแบบ Patch	20
20	ความเสียหายแบบ Pumping	20
21	ความเสียหายแบบ Spalling	21
22	ความเสียหายที่เกิดบริเวณมุม	21
23	ระบบของดาวเทียม ALOS	23
24	กระบวนการและองค์ประกอบการรับรู้จากระยะไกล	26

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

25 จำแนกประเภทการสำรวจระยะไกล 27

26 แสดงแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 29

27 คลื่นสะท้อนกลับไปทุกทิศทุกทาง 31

28 แสดงเส้นตรงที่ใช้กระบวนการทางสถิติ 32

29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมการแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น 34

30 แสดงค่าพยากรณ์ $S_{Y.X} > 0$ และ แสดงค่าพยากรณ์ $S_{Y.X} = 0$ 36

31 กราฟแสดงความชันของกราฟเส้นตรง 37

32 กราฟแสดงการตรวจสอบความเป็นเชิงเส้นของการกระจายของข้อมูล 38

33 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 43

34 RIDING COMFORT INDEX RATING 45

35 การใช้เครื่องมือ Walking Profiler 46

36 RIDE QUALITY INDICES 48

37 ประเมินคุณภาพการขับขี่กับค่าดัชนีกับค่าดัชนีความขรุขระสากล 49

38 ตัวอย่างตารางแสดงคุณภาพของการขับขี่บนทางวิ่ง 52

39 กราฟแสดงการเปรียบเทียบคุณภาพของอายุผิวทาง 53

40 ข้อมูลภาพสะท้อนกลับ PALSAR จากดาวเทียม ALOS 58

41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับในทิศทาง HH polarization
และค่าดัชนีความขรุขระสากล 64

42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับในทิศทาง HV polarization
และค่าดัชนีความขรุขระสากล 64

43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับในทิศทาง HH polarization
และค่าดัชนีความขรุขระสากล 67

44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับในทิศทาง HV polarization
และค่าดัชนีความขรุขระสากล 67

45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับในทิศทาง HH polarization
และค่าดัชนีความขรุขระสากล 70

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับในทิศทาง HV polarization และค่าดัชนีความขรุขระสากล 70

ภาพผนวกที่

ข1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับในทิศทาง HH * HV และค่าดัชนีความขรุขระสากล 91
ข2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับในทิศทาง HH / HV และค่าดัชนีความขรุขระสากล 92
ข3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับในทิศทาง HV / HH และค่าดัชนีความขรุขระสากล 93
ค1 Aircraft Parking/Docking Chart 84
ค2 Airport Ground Movement Chart (Inbound Taxi Routes - RWY 19R) 85
ค3 Airport Ground Movement Chart (Inbound Taxi Routes – RWY 19L) 86
ค4 Airport Ground Movement Chart (Outbound Taxi Routes – RWY 19R) 87
ค5 Airport Ground Movement Chart (Outbound Taxi Routes – RWY 19L) 88

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AC	=	Asphalt concrete
ACN	=	Aircraft classification number
APMS	=	airfield pavement management system
ASTM D	=	American Society for Testing and Materials
FAA	=	Federal Aviation Administration
ICAO	=	International Civil Aviation Organization
IRI	=	International Roughness Index
PCC	=	Portland cement concrete
PCI	=	Pavement Condition Index
PCN	=	Pavement classification number
PSI	=	Pavement Smooth Index
RCI	=	Riding Comfort Index
RQI	=	Ride Quality Index
RMSVA	=	Root Mean Square Vertical Acceleration
RVR	=	Runway Visual Range
SAR	=	Synthetic Aperture Radar
SEE	=	Standard Error of the Estimat

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แบบจำลองคุณภาพการวิ่งบนทางแอสฟัสต์ของสนามบินโดยใช้การรับรู้ระยะไกลในย่านไมโครเวฟ

Riding Quality Model of Asphalt Airport-Pavement by Using Microwave Remote Sensing Satellite

คำนำ

ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิเป็นท่าอากาศยานภายใต้การดำเนินการของบริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) มีความมุ่งมั่นที่จะพัฒนาท่าอากาศยานสุวรรณภูมิให้เป็นศูนย์กลางทางการบินของภูมิภาคเอเชีย ทำให้ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิจำเป็นที่จะต้องเพิ่มขีดความสามารถในการรองรับอากาศยานและผู้โดยสาร เมื่อมีปริมาณจราจรสูงขึ้นจะทำให้เกิดปัญหาพื้นทางวิ่งร้าว-ทรุด ผิวทางขรุขระ เกิดรอยแตกร่อนบริเวณทางขับ และทางวิ่งของสนามบินสุวรรณภูมิ ซึ่งหากไม่มีการซ่อมบำรุงผิวทางดังกล่าว อาจทำให้เกิดอันตรายต่อการขับเคลื่อนเครื่องบินได้ ถ้าหากเรามีเครื่องมือที่ช่วยเตือนและติดตามความเสียหายผิวทางก็จะสามารถซ่อมแซมผิวทางได้ทันเวลา การนำข้อมูลดาวเทียมมาประยุกต์ใช้ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ผู้ใช้สามารถเลือกใช้ข้อมูลได้ทุกเวลาอย่างต่อเนื่อง เพราะ ระบบบันทึกข้อมูลสามารถถ่ายภาพทะลุเมฆ หมอก ได้ และสามารถถ่ายภาพได้ทั้งกลางวันกลางคืน โดยเรดาห์จะสร้างและส่งพลังงานไมโครเวฟไปยังพื้นที่เป้าหมาย และบันทึกสัญญาณสะท้อนกลับโดยอุปกรณ์บันทึกข้อมูล ระบบเรดาร์ยังถูกออกแบบให้มีปัจจัยเรื่องทิศทางการแผ่ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Polarization) แบบทิศทางการแผ่ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบหลากหลาย ทั้งแบบ HH VV HV และ VH เช่น ดาวเทียม ALOS RADARSAT-2 และ TerraSARX โดยเฉพาะดาวเทียม ALOS นั้นระบบบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นแบนด์ L มีความยาวคลื่นถึง 23.6 เซนติเมตรจึงสามารถทะลุทะลวงพื้นที่เป้าหมาย จึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำข้อมูลมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินสภาพผิวทางวิ่งบนสนามบินเบื้องต้น

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในเรื่องการศึกษาเบื้องต้นการพัฒนาแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นของการประเมินสภาพผิวทางวิ่งบนสนามบินและระดับบริการในการวิ่งบนสนามบินโดยการสร้างแบบจำลองจากการตรวจสอบความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนกลับของจากภาพ PALSAR ของดาวเทียม ALOS กับค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) เพื่อเป็นทางเลือกที่จะใช้เป็นเครื่องมือช่วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในการพิจารณาในการประเมินสภาพผิวทางวิ่งและระยะเวลาที่เหมาะสมในการซ่อมบำรุงผิวทาง ช่วยในเรื่องการลดค่าใช้จ่ายและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่นได้ เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือในเรื่องความมั่นคงและปลอดภัยของสนามบินต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) กับ ค่าการสะท้อนกลับจากภาพ PALSAR ที่ได้จากดาวเทียม ALOS

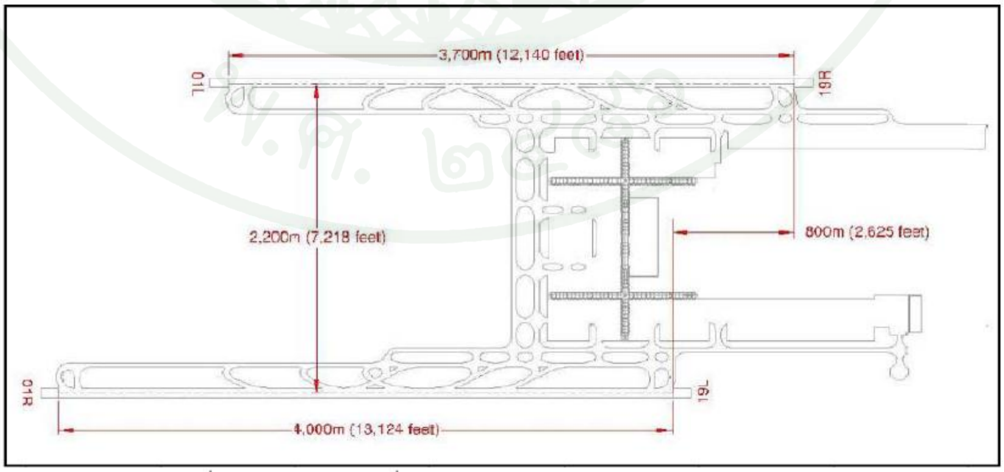
2. เพื่อพัฒนาแบบจำลองเชิงเส้น สำหรับการประเมินระดับการบริการในการวิ่งบนสนามบิน

ขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้มุ่งเน้นการพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อประเมินสภาพผิวทางวิ่งบนสนามบินและรายงานเป็นค่าของระดับการให้บริการในการวิ่งบน ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ โดยมีเส้นทางที่ทำการสำรวจ 3 เส้นทาง ได้แก่ TXL T6, TXL T11, Runway 19L, Runway 19R การศึกษาได้กำหนดขอบเขตการศึกษาไว้ดังนี้

1. ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาคือ ค่าการสะท้อนกลับจากภาพ PALSAR เท่านั้น

2. สร้างสมการเชิงเส้นในการประเมินระดับการบริการของทางวิ่งสนามบินโดยใช้เส้นทางที่กำหนด



ภาพที่ 1 ลักษณะทางวิ่งและทางขับของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. นำแบบจำลองที่ได้จากการวิจัย ไปใช้ประเมินสภาพทางวิ่งของสนามบินในปัจจุบัน และพื้นที่อื่น

2. สามารถรายงานสภาพผิวทางวิ่งของสนามบินได้ทั้งปี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

การวิจัยนี้ได้ทบทวนทฤษฎี แนวความคิดและการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองดัชนีสภาพผิวทาง และวิธีการวิเคราะห์เพื่อรวบรวมข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการกำหนดแนวทางและระเบียบวิธีการวิจัย ในหัวข้อนี้จะแบ่งแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง คือ ผิวทางสนามบิน ดัชนีความขรุขระสากล ประเภทความเสียหายของผิวทางวิ่ง ข้อมูลดาวเทียม การรับรู้ระยะไกลในย่ายไมโครเวฟ ค่าการสะท้อนกลับ หลักการณ์วิเคราะห์การถดถอยพหูคูณเชิงเส้น วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อวิทยานิพนธ์ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

ผิวทางของสนามบิน

สนามบิน Airport หรือท่าอากาศยานจะประกอบไปด้วยพื้นผิวของทางวิ่ง Runway pavement, พื้นผิวของทางขับ Taxiway pavement, พื้นผิวของลานจอด Apron pavement

Runway ทางวิ่ง หมายถึง พื้นที่สำหรับอากาศยานวิ่งขึ้น (Takeoff) และร่อนลง (Landing) ในมาตรฐานของสนามบินจะให้ความสำคัญมากในเรื่องของความปลอดภัยและมาตรฐานอื่น เช่น ความเสียดทานของพื้นผิว ของพื้นผิวสนามบินความราบเรียบของพื้นผิว และในส่วนของความแข็งแรงในชั้นโครงสร้างของพื้นผิวสนามบิน พฤติกรรมของการรับน้ำหนักของพื้นผิวในส่วนที่เป็นทางวิ่งนี้จะเป็นการรับน้ำหนักที่เคลื่อนที่เร็วเมื่อตอนที่อากาศยาน เคลื่อนตัวเพื่อที่จะวิ่งขึ้นและรับน้ำหนักแบบกระแทก เมื่อตอนอากาศยานร่อนลงบนพื้นของสนามบิน ดังนั้น จึงต้องให้ความสำคัญ ในส่วนของความเสียดทาน เพื่อป้องกันการลื่นไถลของอากาศยานเมื่อตอนที่วิ่งขึ้นและร่อนลงบนพื้นสนามบินทางวิ่ง Runway

Taxiway ทางขับ หมายถึง ทางเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่หนึ่งไปยังพื้นที่หนึ่ง เช่น จากทางวิ่ง Runway ไปยังลานจอด Apron เพื่อขนถ่ายผู้โดยสารหรือขนส่งสินค้า Taxiway ทางขับ คือ พื้นที่สำหรับอากาศยานใช้ขับเคลื่อนตัวเชื่อมต่อระหว่างลานจอดและทางวิ่ง เพื่อให้อากาศยานได้ขับเคลื่อนตัว เข้าไปเตรียมพร้อมสำหรับ เพื่อที่จะวิ่งขึ้น Takeoff และอากาศยานยังใช้ในการเคลื่อนตัว ออกจากทางวิ่งเมื่ออากาศยานร่อนลงบนพื้นผิวของทางวิ่งและอากาศยานยังใช้สำหรับขับเคลื่อนตัวไปเข้าหลุมจอดเพื่อขนส่งสินค้า หรือผู้โดยสาร สำหรับพฤติกรรมการรับน้ำหนักของพื้นผิวทางขับจะรับน้ำหนักแบบเคลื่อนที่ Dynamic และบางพื้นที่อาจรับน้ำหนักเป็นแบบ point

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Load เนื่องด้วยอากาศยานจอดรอเพื่อวิ่งขึ้นและใช้เวลานานในการรอเพื่อที่จะเข้าไปตั้งตัวเพื่อบินขึ้น

ชนิดของผิวทางสนามบิน

ผิวทางแบบที่ 1 Flexible Pavement

ใช้ทำเป็นพื้นที่สำหรับขึ้นลง และขับเคลื่อนของเครื่องบิน (Runway & Taxiway) เนื่องจากมักมีความเรียบมากกว่าและบำรุงรักษาสะดวกกว่า แรงที่ล้อเครื่องบินกดลงบนพื้นจะกระจายออกพร้อมทั้งจะมีความหนาแน่นลดลงไปตามความที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือ ชั้นวัสดุที่สัมผัสกับล้อจะต้องรับแรงกดที่หนาแน่นกว่าชั้นวัสดุที่อยู่ลึกลงไป

ผิวทางแบบที่ 2 Rigid Pavement

ใช้ทำเป็นบริเวณลานจอดเครื่องบิน เนื่องจากผิวทางไม่เกิดความเสียหายหากถูกน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ในระหว่างการจอด แรงที่ล้อกดลงบนพื้นจะถูกรับไว้ด้วยความแข็งของแผ่นคอนกรีต โดยจะเกิดการดัดหรือแอ่นตัวคล้ายกับรับน้ำหนักของคานที่วางอยู่บนจุดรองรับหลาย ๆ จุดที่มีลักษณะเป็นสปริง

การประกาศค่าความแข็งแรงของผิวทาง (PCN: Pavement Classification Number)
(ที่มา : องค์การการบินระหว่างประเทศ (ICAO))

เพื่อกำหนดมาตรฐานและจำแนกเครื่องบินที่จะมาใช้บริการบนผิวทางของสนามบินที่ต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม โดยการกำหนดหมายเลขจำเพาะ 2 อย่าง

1. หมายเลขจำแนกเครื่องบิน
(Aircraft Classification Number : ACN)

2. หมายเลขจำแนกผิวทาง (Pavement Classification Number : PCN)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตัวอย่างการประกาศค่าความแข็งแรงของผิวทาง

45/F/B/X/T

45 คือ ตัวเลขแสดงความแข็งแรงของผิวทางหรือผลที่น้ำหนักเครื่องบินกระทำ

F คือ ชนิดของผิวทาง F – Flexible Pavement, R – Rigid Pavement

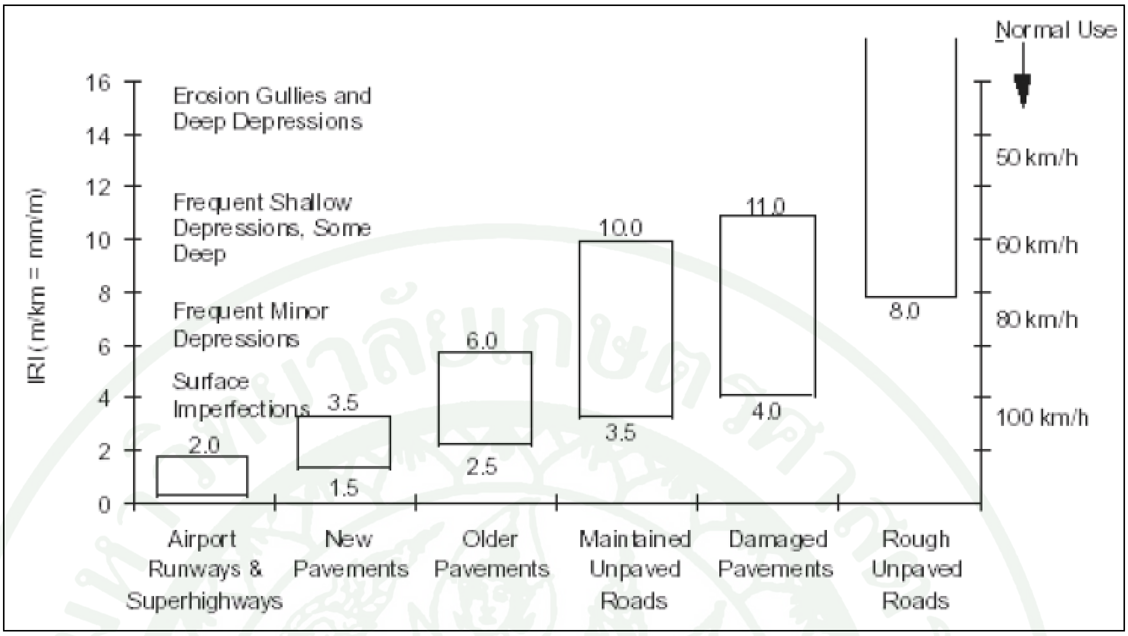
B คือ ความแข็งแรงของแรงดันลมยาง มีค่าระหว่าง w – High pressure ถึง Z – very Low Pressure

T คือ วิธีการหาค่าความแข็งแรง T – Technical evaluation, U – using aircraft experienc

ค่าความขรุขระผิวทางหรือค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index: IRI)

ค่าความขรุขระผิวทางหรือค่าดัชนีความขรุขระสากล ใช้ในการตรวจสอบกำหนดระดับความขรุขระของผิวทาง ที่มีผลทำให้ยานพาหนะมีการสั่นสะเทือน สามารถระบุเป็นลักษณะของค่าดัชนีได้ ค่าดัชนีนี้เป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย คือ ค่าดัชนีความเรียบสากล (International Roughness Index หรือ IRI) ถูกกำหนดขึ้นโดยธนาคารโลก (World Bank) ในปี พ.ศ. 2529 สามารถคำนวณได้จากการรวมผลการวัดค่าระดับของผิวทางไปตามทิศทางที่รถวิ่ง จากนั้นนำค่าผลรวมที่ได้มาหารด้วยระยะทางตามแนวราบตามระยะที่นำค่าการวัดนั้นมาใช้ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อเมตร (mm/m) หรือ เมตรต่อกิโลเมตร (m/km) โดยค่า IRI ต่ำกว่า จะมีความเรียบมากกว่าค่า IRI สูงกว่า แต่ไม่ได้เจาะถึงลักษณะสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวทาง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

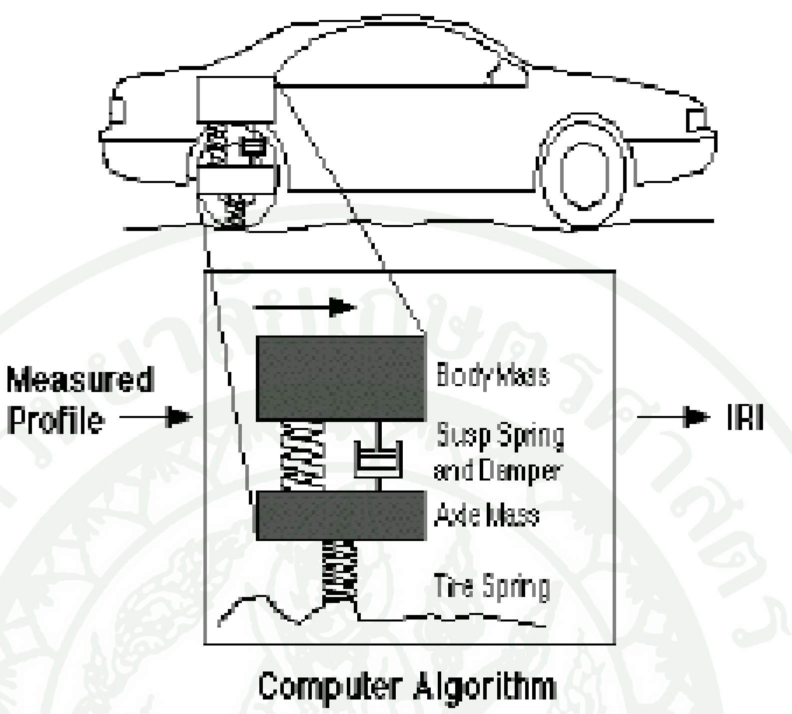


ภาพที่ 2 ดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index หรือ IRI)

ที่มา: Paterson (1987)

ค่าระดับตามยาวถนนเป็นค่าที่ได้จากการวัดด้วยกล้องระดับ หรือ Face Dipstick ทุกระยะ 0.25 เมตร ซึ่งจะตอบสนองการสั่นสะเทือนของรถยนต์ในขณะที่วิ่งผ่านไป รถยนต์อ้างอิงที่ว่านี้เป็นรถยนต์แค่ล้อเดียว หรือ รถยนต์หนึ่งในสี่ (Quarter Car) เป็นรถยนต์มาตรฐาน ประกอบด้วยค่าคงที่ของมวลที่ไม่ยึดหยุ่น (Unsprung Mass) มวลที่ยึดหยุ่น (Sprung Mass) ค่าของสปริงยืดหยุ่นและระบบกันสะเทือน (Suspension Spring and Damper) ซึ่งจะนำมาใส่ในแบบจำลองสูตรทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่ทางพลศาสตร์ (Dynamic) ด้วยความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จากผลกระทบของค่าระดับตามความยาวของถนนกับรถยนต์อ้างอิง ในแบบสูตรจำลองทางคณิตศาสตร์คำนวณระยะเคลื่อนที่สมบูรณ์ของแต่ละจุด เฉลี่ยออกมาเป็นค่า IRI

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 รถยนต์อ้างอิง (Reference Vehicle)

ในอเมริกาจะใช้เครื่องมือวัดความขรุขระบนถนนจะมีการใช้มาทุกปี และใช้แบบจำลอง Quarter-car ใช้สำหรับคำนวณค่า IRI Rough meter เป็นแบบรถพ่วงที่ใช้วัดการสะเทือนผ่านแกนล้อโชคอัพ เกิดขึ้นเมื่อตอนเคลื่อนไหว ระหว่างเพลาของล้อและหน่วยเป็น towed หลังรถ ในระหว่างดำเนินการทดสอบในการดำเนินการ โดยวัดตามยาวแบบ straightedge type profilometers จะกำหนดค่าอุปกรณ์ประเภทนี้ คือ แคลิฟอร์เนีย ซึ่งมี Profilograph ถูกใช้บ่อยในการก่อสร้าง เพื่อการควบคุมคุณภาพ

ดัชนีความพึงพอใจในการขับขี่ (Riding Comfort Index: RCI)

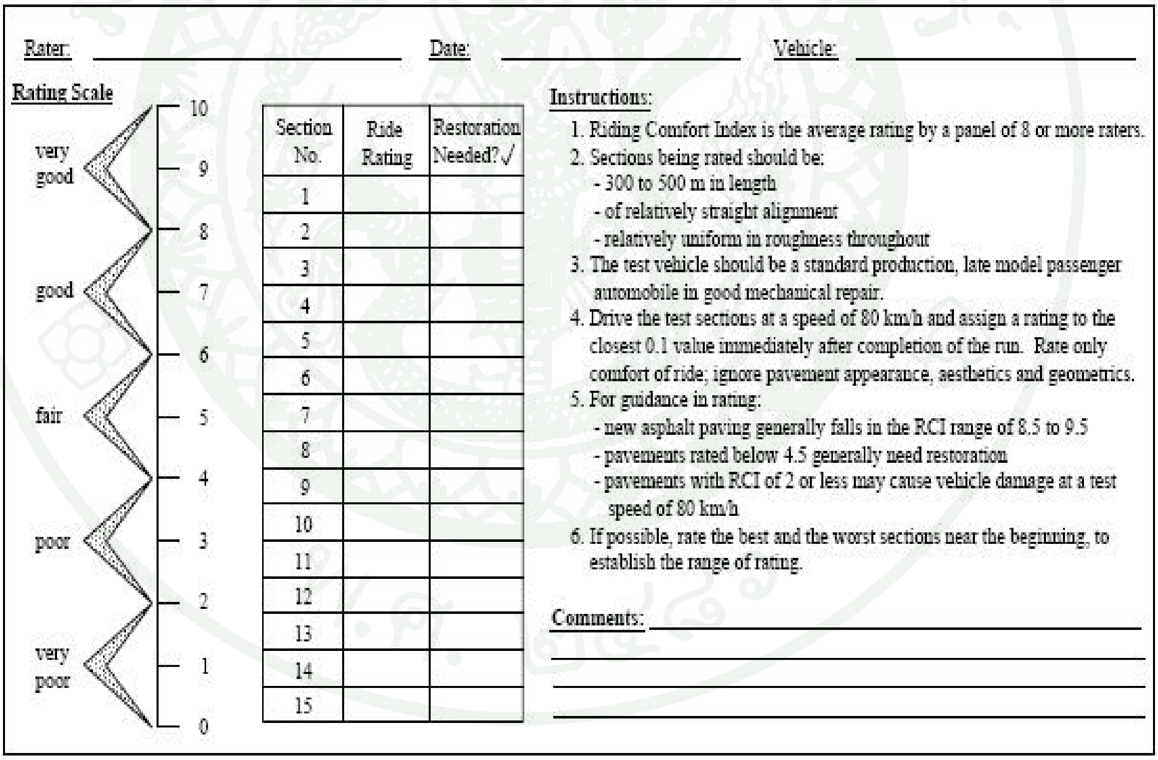
RCI หมายถึง การประเมิน คุณภาพในการนั่ง โดยผู้โดยสาร ประสบการณ์ ทั่วไปการตัดสินใจของนักบิน ระดับเฉลี่ยของคุณภาพการนั่งบนทางวิ่ง runways ในลักษณะเดียวกันโดยเฉพาะข้อร้องเรียน เกี่ยวกับคุณภาพของการนำร่อง สามารถคาด เมื่อ RCI พื้นผิวทางวิ่งต่ำกว่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.0 และได้รับการร้องเรียน ถ้า RCI อยู่ ด้าน ล่าง 4.0 ถ้าได้รับร้องเรียนคุณภาพการนำร่อง ของทางวิ่ง และ RCI มี ระดับ ความ พึง พอใจให้ข้อมูล ทางวิ่งควรมีการประเมินสำหรับ แต่ละ bump

การประเมินผลของพื้นผิวทางวิ่งสำหรับคุณภาพของอากาศยานต้องพิจารณาสองลักษณะ คือ ค่าระดับตามยาวของทางวิ่ง runway, ขนาดมากที่สุดของการเกิด bump และระดับตามยาวของความขุรขระเฉลี่ยการ bump ที่เกินขนาด อาจปลุกผู้โดยสารให้ตื่นได้ มีการเตือนตอนเครื่องขึ้น Take-off หรือ ตอนร่อนลง landing Riding Comfort Index เป็นวิธีพื้นฐานสำหรับการขับขี่ยานพาหนะบนพื้นผิว การจัดอันดับความพึงพอใจ จะจัดอันดับอยู่ที่ ระดับ 0 ถึง 10

ที่มา: Canadian Airfield Pavement Engineering Reference G.H. Argure Ottawa, Canada September (2005)


Rater: ____ Date: ____ Vehicle: ____

Rating Scale: very good (10–8), good (8–6), fair (6–4), poor (4–2), very poor (2–0)

Section No.	Ride Rating	Restoration Needed?✓
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		

Instructions:
1. Riding Comfort Index is the average rating by a panel of 8 or more raters.
2. Sections being rated should be:
   - 300 to 500 m in length
   - of relatively straight alignment
   - relatively uniform in roughness throughout
3. The test vehicle should be a standard production, late model passenger automobile in good mechanical repair.
4. Drive the test sections at a speed of 80 km/h and assign a rating to the closest 0.1 value immediately after completion of the run. Rate only comfort of ride; ignore pavement appearance, aesthetics and geometrics.
5. For guidance in rating:
   - new asphalt paving generally falls in the RCI range of 8.5 to 9.5
   - pavements rated below 4.5 generally need restoration
   - pavements with RCI of 2 or less may cause vehicle damage at a test speed of 80 km/h
6. If possible, rate the best and the worst sections near the beginning, to establish the range of rating.

Comments: ____

ภาพที่ 4 แสดงการจัดอันดับของ RCI

ที่มา: Airports Consulting Associates, (2005)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความขรุขระสากลและแบ่งระดับการบริการในการขับขี่บนทางวิ่งสนามบิน

ค่าดัชนีความขรุขระสากล (m/km หรือ mm/m)	**ระดับการบริการ**
≤ 3	ดี
> 3	แย่

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Paterson (1987)

ลักษณะความเสียหายของพื้นผิวสนามบิน

ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างของพื้นผิว จะแสดงถึงความเสื่อมอายุของพื้นผิวโดยการรับน้ำหนักจากยานพาหนะ ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม หรือผลจากการก่อสร้าง โดยทั่วไปการซ่อมแซมจะมีราคาสูง ส่วนของการอธิบายชนิดความเสียหายของ HMA (flexible pavements) และ PCC (rigid pavement) ตามลำดับการพิจารณาในการประเมินพื้นผิวของสนามบิน ใน ASTM D 5340-03 ความหมายของความเสียหายอ้างถึงปัจจัยของทางหลวง

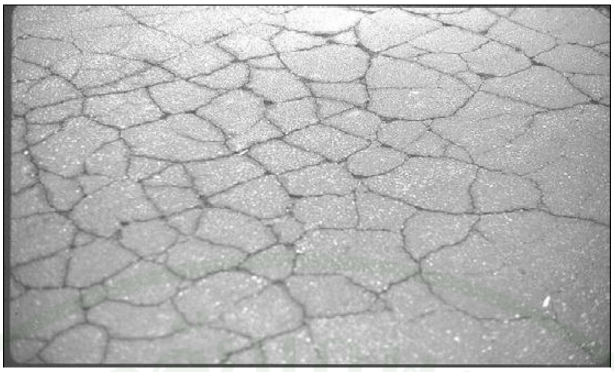
ความเสียหายของพื้นผิวที่เป็น HMA (Flexible pavement)

การพิจารณาของพื้นผิวสนามบินที่เป็น HMA (Flexible pavement) ความเสียหายอาจเกิดจาก วัสดุ สภาพแวดล้อม การก่อสร้าง หรือ การใช้งาน ตามรายละเอียดของความเสียหาย

Alligator Cracking

การเกิดการแตกร้าวแบบต่อเนื่อง เกิดจากความล้า และความเสียหายของพื้นผิวที่เป็น HMA ภายใต้การรับน้ำหนักของการจราจรเรียกว่า การแตกร้าวแบบ Alligator Cracking แรงดึงที่สูงภายใต้ชั้นแอสฟัสต์ที่กระทำกับน้ำหนักล้อ ทำให้เกิดการแตกร้าวจากความล้า เป็นการแตกร้าวแบบขนานที่เห็นเด่นชัดมักจะเกิดตามแนวเส้นทางการจราจร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

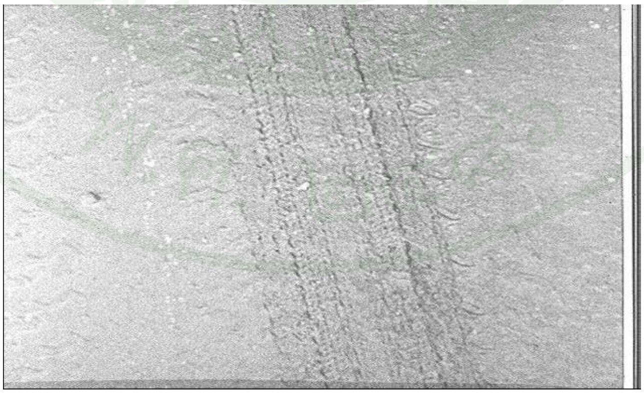


ภาพที่ 5 ความเสียหายแบบ Alligator cracking

ที่มา: DOT/FAA/AR-04/46 Operational Life of Airport Pavement (2004)

Bleeding

ผิวหน้าเยิ้ม (Bleeding) มีลักษณะเป็นฟิล์มบาง ๆ ของยางแอสฟัลต์เกิดขึ้นบนผิวทางปรากฏเป็นลักษณะแวววาว เป็นมันและเหนียวหนึบ มีสาเหตุเนื่องมาจากมีปริมาณของยางแอสฟัลต์ในส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีตมากเกินไป หรือในส่วนผสมมีปริมาณช่องว่างในอากาศ (Air Void) ต่ำ เมื่ออากาศร้อน ยางแอสฟัลต์จะเยิ้มออกมาบนผิวทาง แม้ว่าอุณหภูมิจะลดลงการเยิ้มก็จะไม่ย้อนกลับ แต่จะสะสมอยู่บนผิวทาง



ภาพที่ 6 ความเสียหายแบบ Bleeding

ที่มา: DOT/FAA/AR-04/46 Operational Life of Airport Pavement (2004)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Block Cracking

เป็นการการแตกร้าวแบบต่อเนื่องของพื้นผิว ที่เกิดขึ้นจากการหดตัวของวัสดุแอสฟัลต์ และอุณหภูมิระหว่างวัน ไม่ได้เกิดจากการรับน้ำหนักซ้ำ ๆ แต่จะเกิดความเสียหายกับ วัสดุ หรือ ปัจจัยสภาพแวดล้อม มักเกิดขึ้นเหนือพื้นที่ของพื้นผิว

ภาพที่ 7 ความเสียหายแบบ Block Cracking

ที่มา: DOT/FAA/AR-04/46 Operational Life of Airport Pavement (2004)

Depression

มีลักษณะเป็นบ่อที่บริเวณผิวของพื้นผิวที่มีระดับต่ำกว่ารอบ ๆ ของพื้นผิว จะทำให้เกิด Hydroplaning ของท่าอากาศยาน สามารถเกิดขึ้นได้โดยการทรุดตัวของดินที่ฐานราก หรือเกิดขึ้นได้ระหว่างก่อสร้าง

ภาพที่ 8 ความเสียหายแบบ Depression

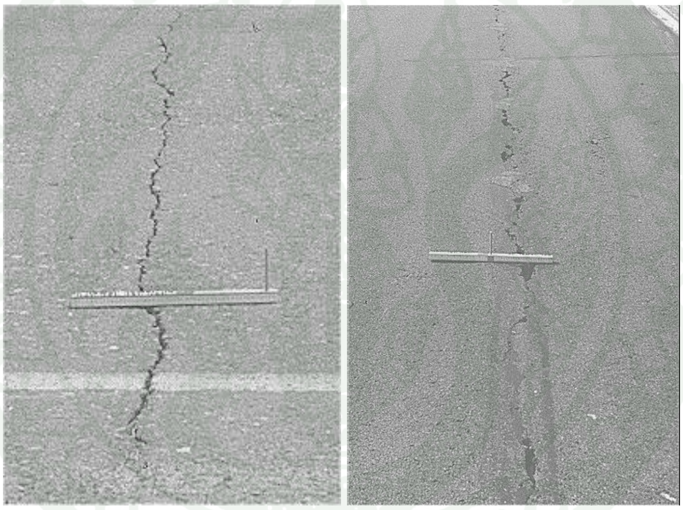
ที่มา: DOT/FAA/AR-04/46 Operational Life of Airport Pavement (2004)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Longitudinal and Transverse Cracking

การแตกร้าวตามยาว ที่ขนานกับศูนย์กลางของพื้นผิวอาจเกิดจากสาเหตุดังนี้

1. รอยต่อของการก่อสร้างไม่ดี
2. การหดตัวของพื้นผิวแอสฟัลต์เนื่องจากอุณหภูมิต่ำ หรือแอสฟัลต์แข็งตัว
3. เกิดจากรอยร้าวโดยรอยร้าวที่บิดงอของผิว รวมการแตกร้าวในแผ่นพื้น (ที่ไม่ใช่รอยต่อ)



ภาพที่ 9 ความเสียหาย Longitudinal and Transverse Cracking

ที่มา: DOT/FAA/AR-04/46 Operational Life of Airport Pavement (2004)

Patching and Utility Cut Patch

มีลักษณะเป็นการปะซ่อม หรือการขุดซ่อมผิวจราจรเดิมที่เกิดความเสียหายโดยการเสริมวัสดุใหม่ อาจทำให้คุณภาพการใช้งานไม่ดีเท่าผิวจราจรเดิม จึงถือว่าเป็นความเสียหายอย่างหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งรอยปะซ่อมที่เสื่อมสภาพหรือชำรุดทรุดโทรม จะมีผลกระทบต่อคุณภาพการใช้งานเป็นอย่างมาก ถือเป็นความเสียหายหนักจึงจำเป็นต้องรื้อซ่อมแซมใหม่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 10 ความเสียหายแบบ Patching and Utility Cut Patch

ที่มา: DOT/FAA/AR-04/46 Operational Life of Airport Pavement (2004)

Polished Aggregate

การรวมตัวของวัสดุมวลรวมหยาบเกิดขึ้นที่ผิวของชั้น binder เป็นการรวมของวัสดุหยาบ การลดความต้านทานของ การลื่นไถล ทำให้เป็นสาเหตุของความเสียหาย หรือเกิดจากขั้นตอนการก่อสร้าง เนื่องจากการบดอัดไม่เพียงพอ

ภาพที่ 11 ความเสียหายแบบ Polished Aggregate

ที่มา: DOT/FAA/AR-04/46 Operational Life of Airport Pavement (2004)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Rutting

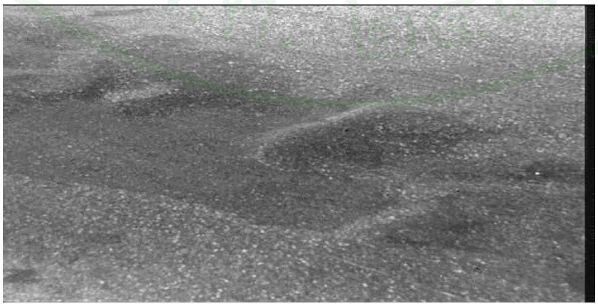
ร่องล้อ (Rutting) มีลักษณะความเสียหายเป็นผิวจราจรยุบตัวเป็นร่องตามรอยของล้อภายใต้น้ำหนักจราจร หรือมีการเคลื่อนตัวด้านข้าง โดยอาจปรากฏผิวจราจรปูดที่บริเวณขอบของร่องดังกล่าว มีสาเหตุมาจากน้ำหนักจราจรมากเกินพิกัด ความหนาของโครงสร้างชั้นทางไม่เพียงพอ การบดทับชั้นวัสดุไม่แน่นพอ หรือเกิดจากความอ่อนแอของวัสดุชั้นทางที่อยู่ใต้ผิวจราจร

ภาพที่ 12 ความเสียหายแบบ Rutting

ที่มา: DOT/FAA/AR-04/46 Operational Life of Airport Pavement (2004)

Shoving

การดันตัวของพื้นผิวที่เป็นแผ่น PCC มีโอกาศเกิดขึ้นได้เมื่ออยู่ติดกับพื้นผิวที่เป็นแอสฟรัส วัชพืชดันขึ้นมาบนผิวที่เป็นแอสฟัสต์ทำให้เกิดการบวมตัว swell และเกิดรอยแตกร้าว



ภาพที่ 13 ความเสียหายแบบ Shoving

ที่มา: DOT/FAA/AR-04/46 Operational Life of Airport Pavement (2004)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Slippage Cracking

การแตกร้าวเนื่องจากการลื่นไถล เกิดขึ้นเนื่องจากการเบรก หรือการเลี้ยวของล้อเป็นสาเหตุ ทำให้เกิดการสไลด์ และ เปลี่ยนรูป จากการผ่านของการจราจร ทำให้พื้นผิวความแข็งแรงลดลง และการยึดตัวระหว่างชั้นพื้นผิวลดลงของ

ภาพที่ 14 ความเสียหายแบบ Slippage cracking

ที่มา: DOT/FAA/AR-04/46 Operational Life of Airport Pavement (2004)

ความเสียหายเกิดขึ้นบนพื้นผิวที่เป็น RIGID

ชนิดความเสียหายของพื้นผิวที่เป็นคอนกรีต เกิดขึ้นโดยการแตกร้าว และ การเสื่อมของรอยต่อ (ASTM D 5340-03)

Blowup

แตกจากการกระแทก เกิดขึ้นตอนอากาศร้อน ปกติแตกร้าวตามมุมแผ่นพื้น เนื่องจากรอยต่อกว้างไม่เพียงพอเมื่อแผ่นคอนกรีตขยายตัว ยังสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อระบบสาธารณูปโภค และช่องระบายน้ำ และมีโอกาสเกิด FOD ขึ้นได้และนำพาไปสู่ความเสียหาย

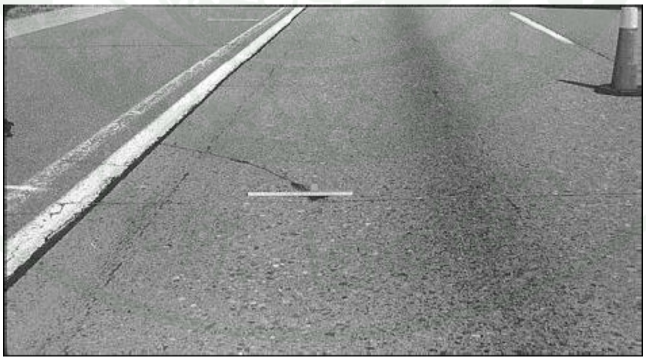
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 15 ความเสียหายแบบ Blowup

ที่มา: DOT/FAA/AR-04/46 Operational Life of Airport Pavement (2004)

Corner Break

การแตกที่มุม เป็นการแตกที่ครึ่งหนึ่งของรอยต่อของระยะหรือน้อยกว่าหรือเท่ากับความยาวของแผ่นพื้นทั้งสองข้างวัดจากมุมถึงแผ่นพื้น สาเหตุที่เกิดการแตกมุมเพราะเป็นการรับน้ำหนักซ้ำ ๆที่น้อยกว่าจุดรองรับ และ โก่งงอ



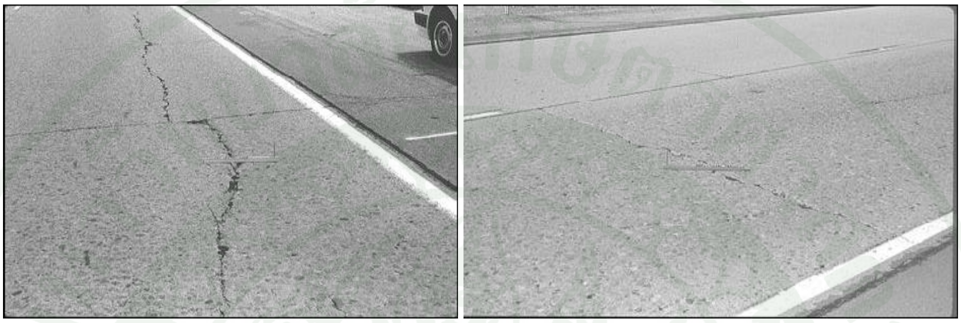
ภาพที่ 16 ความเสียหายแบบ Corner Break

ที่มา: DOT/FAA/AR-04/46 Operational Life of Airport Pavement (2004)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Longitudinal, Transverse, และ Diagonal Cracks

การแตกตามยาว และ เป็นเส้นทแยง แบ่งเป็น สอง หรือ สาม แผ่น ปกติทั่วไปเกิดขึ้นจากการรับน้ำหนักซ้ำ ๆ ทำให้เกิดการโก่งงอ และการหดตัว การแตกร้าวที่มีความรุนแรงต่ำ ปกติจะบิดเบี้ยว หรือ เกี่ยวข้องกับความเสียดทาน



ภาพที่ 17 ความเสียหายแบบ longitudinal

ที่มา: DOT/FAA/AR-04/46 Operational Life of Airport Pavement (2004)

Durability Cracking

Durability cracking เกิดขึ้นจากคอนกรีตไร้กำลัง รวมถึงการต้านทานสภาพแวดล้อม ชนิดของรอยแตกร้าวสามารถขยายตัวได้ 1 ถึง 2 ฟุต ของรอยต่อการแตกร้าว

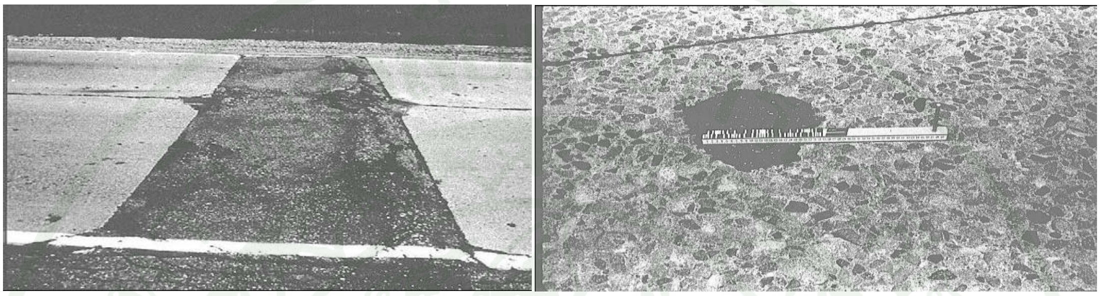
ภาพที่ 18 ความเสียหายแบบ Durability cracking

ที่มา: DOT/FAA/AR-04/46 Operational Life of Airport Pavement (2004)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Patch

แผ่นปะซ่อมที่ลื้อย้ายพื้นผิวเดิมแล้วแทนที่โดยวัสดุใหม่ลงไปแทนที่วัสดุเก่า ปัจจัยที่ทำให้เกิดความเสียหาย เช่น น้ำหนักที่กระทำซ้ำ, ความชื้น ความเสียหายที่เกิดขึ้นมีทั้งขนาดเล็ก และขนาดใหญ่



ภาพที่ 19 ความเสียหายแบบ Patch

ที่มา: DOT/FAA/AR-04/46 Operational Life of Airport Pavement (2004)

Pumping

Pumping คือการหลุดออกของวัตถุโดยน้ำผ่านซึมรอยต่อ หรือ รอยกะเทาะ เป็นสาเหตุให้ด้านใต้ของแผ่นพื้นคอนกรีตเคลื่อนย้าย เพราะ น้ำ, กรวด, หาดทราย, ดินเหนียว, หรือโคลน ถูกปล่อยออกมา ส่งผลในความเสียหายของพื้นผิวที่ Pumping ใกล้รอยต่อ แสดงถึงความเสียหายของรอยต่อผนึก และความเสียหายของการรองรับน้ำหนักที่ทำให้เกิดรอยแตกร้าว Pumping สามารถเกิดขึ้นที่รอยแตกร้าวรวมทั้งรอยต่อ

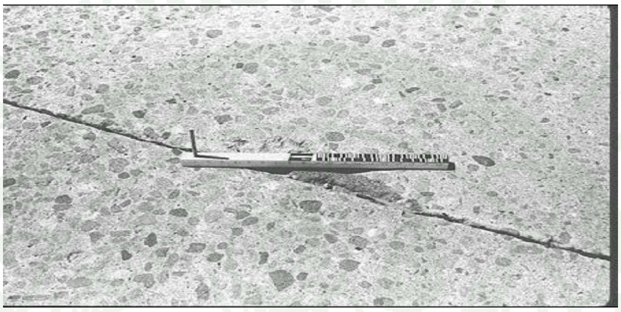
ภาพที่ 20 ความเสียหายแบบ Pumping

ที่มา: DOT/FAA/AR-04/46 Operational Life of Airport Pavement (2004)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Spalling (ทางขวาง และ ตามยาว)

รอยต่อ spalling คือความเสียหายของแผ่นพื้นที่ขอบในของด้านที่เป็นรอยต่อ ไม่ขยายผ่านทางแนวตั้งของแผ่นพื้นแต่รอยต่อตัดผ่านเส้นที่มุม Spalling เป็นสาเหตุของเกิดแรงมากเกินปกติที่ข้อต่อ หรือการแตกร้าวเป็นสาเหตุให้เกิดการซึมผ่านจากแรงกด หรือการรับน้ำหนักจราจร หรือสิ่งที่เกิดการอ่อนแอที่รอยต่อ

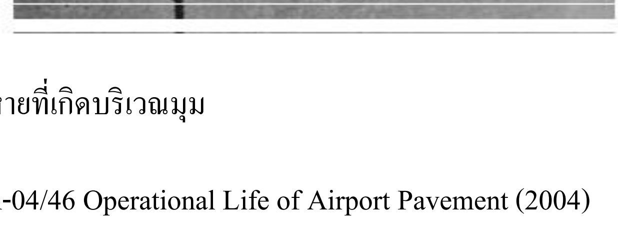


ภาพที่ 21 ความเสียหายแบบ Spalling

ที่มา: DOT/FAA/AR-04/46 Operational Life of Airport Pavement (2004)

Spalling (มุม)

Spalling ที่มุมแผ่นพื้น ความเสียหายจะเกิดที่บริเวณมุม โดยปกติจะเกิดที่มุมผ่านตรงข้ามถึงรอยต่อของเส้นที่ตัดผ่าน ขณะที่ความเสียหายเกิดการขยายทางแนวตั้งของมุมแผ่นพื้น



ภาพที่ 22 ความเสียหายที่เกิดบริเวณมุม

ที่มา: DOT/FAA/AR-04/46 Operational Life of Airport Pavement (2004)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อมูลดาวเทียม

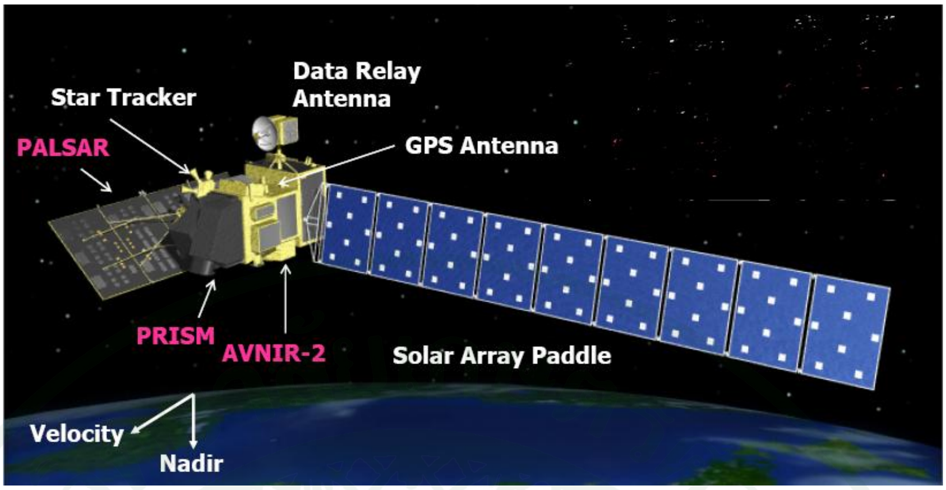
ดาวเทียม ALOS

พัฒนาโดยองค์การสำรวจอวกาศแห่งชาติญี่ปุ่น (JAXA) ขึ้นสู่วงโคจรโดยจรวด H-IIA จากฐาน Tanggashima Space Center ประเทศญี่ปุ่น เมื่อวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2549 ใช้เวลาโคจรรอบโลก 98.74 นาทีต่อรอบ ที่ความสูง 697 กิโลเมตร โคจรเอียงทำมุมกับแกนโลก 98.2 องศา และโคจรซ้ำบริเวณเดิมทุก 46 วัน มีอุปกรณ์บันทึกข้อมูลสามระบบ คือ PRISM ที่สามารถบันทึกข้อมูลบันทึกข้อมูลภูมิประเทศแบบสามมิติ บันทึกข้อมูลครอบคลุมพื้นที่กว้าง 70 กิโลเมตรณ รายละเอียด 10 เมตร และ PALSAR ซึ่งเป็นอุปกรณ์บันทึกภาพระบบเรดาร์ที่สามารถบันทึกภาพพื้นโลกทั้งช่วงกลางวันและกลางคืน โดยในแบบ Fine Mode บันทึกข้อมูลครอบคลุมพื้นที่กว้าง 70 กิโลเมตร รายละเอียดภาพ 10 เมตร และแบบ Scan Mode บันทึกข้อมูลครอบคลุมพื้นที่กว้าง 250-350 กิโลเมตร รายละเอียด 100 เมตรประกอบด้วยดาวเทียม ALOS อุปกรณ์ถ่ายภาพ 3 ระบบ คือ

1) Panachromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping (PRISM)
2) Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2 (AVNIR-2)
3) Phase Array type L-band Synthetic Aperture Rader (PALSAR)

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) จะเป็นผู้รับสัญญาณ และให้บริการข้อมูลดาวเทียม ALOS ในประเทศไทยและภูมิภาคอาเซียน ข้อมูลดาวเทียม ALOS สามารถให้บริการอย่างเป็นทางการหลังจากส่งดาวเทียม 8 เดือน หรือประมาณ เดือนเมษายน 2549 เป็นต้นไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 23 ระบบของดาวเทียม ALOS (JAXA, 2008)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของดาวเทียม ALOS

Main Characteristics of ALOS	
Launch Date	September , 2005
Launch Vehicle	H-IIA Rocket
Launch Site	Tanegashina Space Center
Satellite Weight	Approx. 4,000 Kg(at Lift-off)
Power	Approx.7,000 W(End of Lift)
Designed Life	3 to 5 years
Orbit	Sun Synchronous Sub-Recurrent Orbit
	Recurrent Period : 46 days, SubCyele : 2 days
	Altitude : Approx.692 km.(above the equator)
	Inclination : Apporx.98.2 deg

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

PALSAR

PALSAR เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้งานไมโครเวฟเรดาร์ ใช้ความถี่ส่งในชาวงคลื่น L - band เพื่อให้บรรลุความถี่ผ่านเมฆ และสำรวจได้ทั้งกลางวันและกลางคืน จะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าเรดาร์แสง the JERS - 1 ที่สังเคราะห์ (SAR) ความละเอียดปรับในโหมดธรรมดา แต่ PALSAR จะมีข้อได้เปรียบกว่า ScanSAR ซึ่งจะช่วยให้เราได้รับภาพ 250 ถึง 350 km ความกว้างของภาพ SAR (ขึ้นอยู่กับจำนวนของการสแกน) ที่สามารถส่ายไปมาได้แต่ละด้านถึง 3-5 ครั้ง

ตารางที่ 3 ผลิตภัณฑ์ข้อมูลดาวเทียม ALOS

ชนิดผลิตภัณฑ์	รายละเอียด
Level 1.0	เป็นข้อมูลดิบที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลดาวเทียมต้นฉบับ ซึ่งยังไม่ผ่านการปรับแก้ความถูกต้องของข้อมูล (สอบถามรายละเอียดก่อนสั่ง)
Level 1.1	เป็นข้อมูลที่มีการปรับแก้ slant range แล้ว แต่ยังมีความคาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งอยู่
Level 1.5	เป็นข้อมูลที่ทำการปรับแก้ความถูกต้องทั้งเชิงคลื่น (Radiometric Corrections) และเชิงเรขาคณิต (Geometric Corrections) แล้ว โดยใช้ค่าที่ได้จากการคำนวณวงโคจรของดาวเทียมในการปรับแก้ (Systematic Correction)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 รายละเอียดข้อมูลของภาพ PALSAR

Mode	**Fine**		**Scan SAR**	**Polari metric (Experimental mode)*1**
Center Frequency	1270 MHz (L- band)			
Chirp Bandwidth	28 MHz	14 MHz	14 MHz , 28 MHz	14 MHz
Polarization	HH or VV	HH+HV or VV+VH	HH or VV	HH+HV +VV+VH
Incident angle	8 to 60 deg.	8 to 60 deg.	8 to 43 deg.	8 to 30 deg.
Range Resolution	7 to 44 m.	14 to 88 m.	100 m (multi look)	24 to 89 m.
Observation Swath	40 to 70 km.	40 to 70 km.	250 to 350 km	20 to 65 km.
Bit Length	5 bits	5 bits	5 bits	3 or 5 bits
Data rate	240 Mbps	240 Mbps	120 Mbps,240 Mbps	240 Mbps
NE sigma zero *2	< -23 dB (Swath Width 70 km) <-25 dB (Swath Width 60 km)		< -25 dB	< -29 dB
S/A *2 , *3	> 16 dB (Swath Width 70 km) > 21 dB (Swath Width 60 km)		> 21 dB	> 19 dB
Radiometric accuracy	Scene : 1dB / orbit : 1.5 dB			

ที่มา: JAXA EORC (2006)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

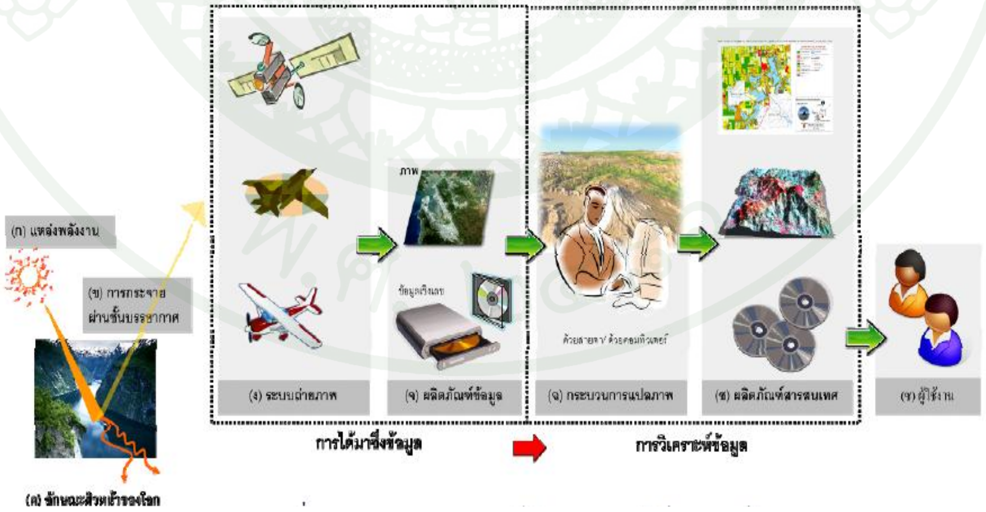
การรับรู้ระยะไกลในย่านไมโครเวฟ (Microwave Remote Sensing)

การรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing: RS)

กระบวนการและองค์ประกอบการรับรู้จากระยะไกลประกอบด้วย

1. การได้มาซึ่งข้อมูล (Data acquisition) โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดพลังงาน เช่น ดวงอาทิตย์ เคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศ เกิดปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับรูปลักษณ์พื้นผิวโลก และเดินทางเข้าสู่เครื่องรับรู้ที่ติดตั้งในตัวยาน ได้แก่เครื่องบิน ยานอวกาศ และดาวเทียม ถูกบันทึกและผลิตเป็นข้อมูลในรูปแบบภาพ (Pictorial หรือ Photograph) และ/หรือรูปแบบเชิงเลข (Digital form)

2. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) ประกอบด้วย การแปลตีความข้อมูลด้วยสายตา (Visual interpretation) และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเลข (Digital analysis) โดยมีข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องประกอบด้วยข้อมูลอ้างอิงต่างๆ เช่น แผนที่ดิน ข้อมูลปฏิทินและสถิติการปลูกพืช และอื่นๆ ผลการวิเคราะห์ผลิตผล ของการแปลตีความในรูปแบบแผนที่ ข้อมูลเชิงเลข ตาราง คำอธิบาย หรือแผนภูมิเป็นต้น เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป

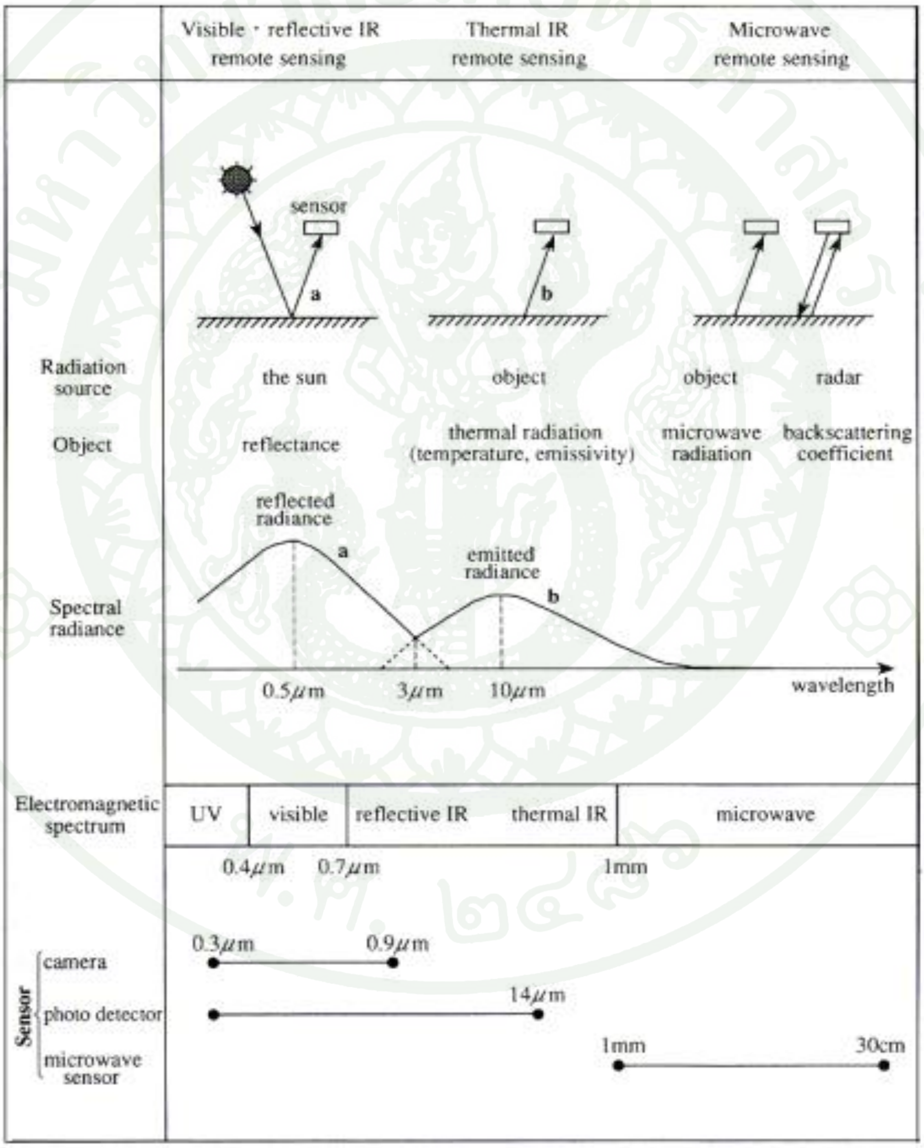


ภาพที่ 24 กระบวนการและองค์ประกอบการรับรู้จากระยะไกล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จำแนกประเภทการสำรวจระยะไกลตามช่วงคลื่นและการตรวจรับข้อมูล

1. รีโมตเซนซิงย่านแสงตามองเห็นและอินฟราเรดสะท้อน (Visible and Reflective Infrared Remote Sensing)
2. รีโมตเซนซิงย่านอินฟราเรดความร้อน (Thermal Infrared Remote Sensing)
3. รีโมตเซนซิงย่านไมโครเวฟ (Microwave Remote Sensing)



ภาพที่ 25 จำแนกประเภทการสำรวจระยะไกล

ที่มา: Japan Association of Remote Sensing (1996)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กลุ่มข้อมูลที่วิเคราะห์ด้วยตัววัดไมโครเวฟในระบบ Active ความสามารถทะลุทะลวงเมฆขณะถ่ายภาพ มีความละเอียดเชิงตำแหน่งระหว่าง 5 ถึง 100 เมตร ในระยะเริ่มต้นนั้นจะเป็นการปฏิบัติงานอยู่บนเครื่องบินซึ่งเรียกว่าระบบ Side-looking Airborne Radar (SLAR) โดยดำเนินการในช่วง X-band และ L-band

ที่มา: Lowry et al., (1981)

ระบบเรดาร์บันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นไมโครเวฟ (Microwave) มีความถี่อยู่ระหว่าง 0.3GHz - 300GHz ส่วนในการใช้งานนั้นส่วนมากนิยมใช้ความถี่ระหว่าง 1GHz - 60GHz หรือความยาวช่วงคลื่นระหว่าง 2.4-100 เซนติเมตร คลื่นความถี่ไมโครเวฟสามารถแบ่งเป็นช่วงย่อยๆ ตามการกำหนดของ Radio Society of Great Britain (RSGB) ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5 คลื่นความถี่ไมโครเวฟสามารถแบ่งเป็นช่วงตามกำหนดของ Radio Society of Great Britain (RSGB)

Letter Designation	**ช่วงความถี่**
L band	1 to 2 GHz
S band	2 to 4 GHz
C band	4 to 8 GHz
X band	8 to 12 GHz
K_u band	12 to 18 GHz
K band	18 to 26.5 GHz
K_a band	26.5 to 40 GHz
Q band	30 to 50 GHz
U band	40 to 60 GHz
V band	50 to 75 GHz
E band	60 to 90 GHz
W band	75 to 110 GHz
F band	90 to 140 GHz
D band	110 to 170 GHz (Hot)

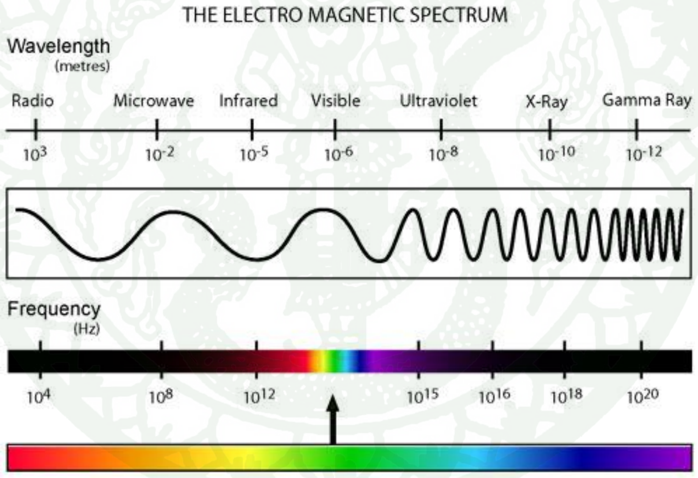
ที่มา : Radio Society of Great Britain (RSGB)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลักษณะของคลื่นวิทยุไมโครเวฟ

ลักษณะทั่วไปของ คลื่นวิทยุไมโครเวฟจะมีลักษณะ ดังต่อไปนี้

1. เดินทางเป็นเส้นตรง
2. สามารถหักเหได้ (Refract)
3. สามารถสะท้อนได้ (Reflect)
4. สามารถแตกกระจายได้ (Diffract)
5. สามารถถูกลดทอนเนื่องจากฝน (Attenuate)
6. สามารถถูกลดทอนเนื่องจากชั้นบรรยากาศ



ภาพที่ 26 แสดงแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 รายละเอียดลักษณะสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

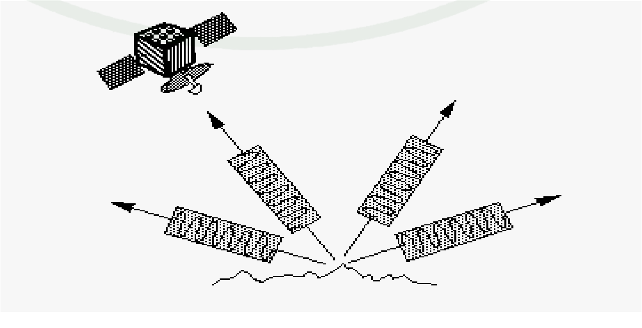
Region Name	Wavelength	Comments
Gamma Ray	< 0.03 nanometers	Entirely absorbed by the Earth's atmosphere and not available for remote sensing.
X-ray	0.03 to 30 nanometers	Entirely absorbed by the Earth's atmosphere and not available for remote sensing.
Ultraviolet	0.03 to 0.4 micrometers	Wavelengths from 0.03 to 0.3 micrometers absorbed by ozone in the Earth's atmosphere.
Photographic Ultraviolet	0.3 to 0.4 micrometers	Available for remote sensing the Earth. Can be imaged with photographic film.
Visible	0.4 to 0.7 micrometers	Available for remote sensing the Earth. Can be imaged with photographic film.
Infrared	0.7 to 100 micrometers	Available for remote sensing the Earth. Can be imaged with photographic film.
Reflected Infrared	0.7 to 3.0 micrometers	Available for remote sensing the Earth. Near Infrared 0.7 to 0.9 micrometers. Can be imaged with photographic film.
Thermal Infrared	3.0 to 14 micrometers	Available for remote sensing the Earth. This wavelength cannot be captured with photographic film. Instead, mechanical sensors are used to image this wavelength band.
Microwave or Radar	0.1 to 100 centimeters	Longer wavelengths of this band can pass through clouds, fog, and rain. Images using this band can be made with sensors that actively emit microwaves.
Radio	> 100 centimeters	Not normally used for remote sensing the Earth.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าการสะท้อนกลับ (Polarization characteristics)

ส่วนสำคัญของคลื่นความถี่ไมโครเวฟ คือ คลื่นถูกฉายออกมากระทบพื้นโลกก็จะสะท้อนกลับไปทุกทิศทุกทาง บางส่วนก็กลับไปถึงที่จานส่ง บางส่วนก็สูญหายไป ก็จะรับคลื่นที่กระทบกระท้อนกลับไปได้เพียงตามพื้นแนวนอน หรือพื้นแนวยืนเท่านั้น เรียกว่าเป็น Polarization ของแผงคลื่นนั้น คลื่นสะท้อนกลับจะถูกแปรเป็นจำนวนตัวเลขตามกำลังของคลื่น และส่งต่อไปยังเครื่องบันทึกข้อมูล เพื่อจะได้เอามาแปรต่อออกมาเป็นภาพเหมือนภาพถ่าย ความยาวของแผงที่บรรจุจานรับคลื่นทั้งหมด เป็นตัวกำหนดความคมชัดตามทางยาวของภาพ ข้อมูลที่รับส่งสัญญาณด้วยเสาอากาศเชิงสังเคราะห์ Synthetic Aperture Radar (SAR) ที่อยู่บนดาวเทียมซึ่งสามารถบินถ่ายซ้ำได้ตลอดเวลา โดยข้อมูลดาวเทียมในกลุ่มนี้ได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องได้แก่ ERS-1/2 (C-band), Radarsat-1/2(C-band), Envisat(C-band), JERS-1 (L-band), Alos (L-band), และ Terrasar-X (X-band) ในการวิเคราะห์ จะอาศัยคุณสมบัติการวัดการสะท้อนกลับของคลื่นเรด้าห์ (Radar Backscattering) ที่ถูกส่งไปยังพื้นผิวและสะท้อนกลับมาโดยหากพื้นผิวมีลักษณะที่ราบเรียบ (Specular Surface) คลื่นที่ส่งไปและตกกระทบจะมีการหักเหไปในทิศทางอื่นโดยไม่สะท้อนกลับมายังตัววัดแต่ในทางกลับกันหาพื้นผิวที่สัญญาณไปตกกระทบนั้นมีลักษณะขรุขระจะมีสัญญาสะท้อนกลับมา แนวระนาบพื้นผิวที่คลื่นเดินทางผ่าน (polarization) เครื่อง SAR สามารถส่งคลื่นออกไปได้ทั้งทางแนวนอนและแนวตั้ง และสามารถรับคลื่นได้ ทั้งแนวนอนและแนวตั้งได้ จึงเรียกระบบตามพื้นที่ส่งคลื่นออก-รับเข้า เป็น

HH	>>	Horizontal – Horizontal	(นอน-นอน)
VV	>>	Vertical – Vertical	(ตั้ง – ตั้ง)
VH	>>	Vertical – Horizontal	(ตั้ง-นอน)
HV	>>	Horizontal-Vertical	(นอน – ตั้ง)

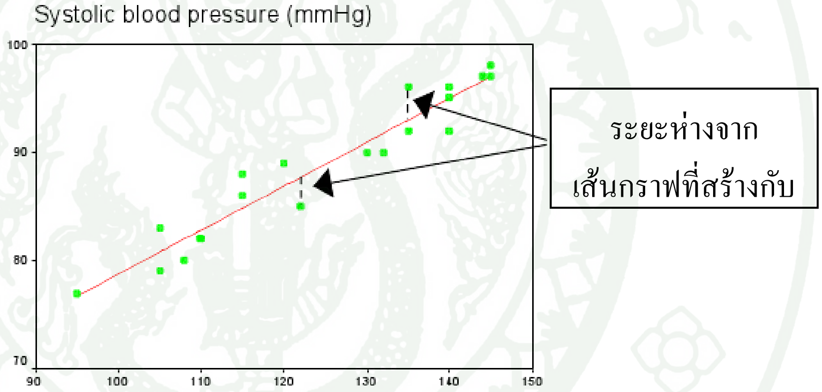


ภาพที่ 27 คลื่นสะท้อนกลับไปทุกทิศทุกทาง มีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่กลับไปยังจานเรดาร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หลักการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น

กัลยา วานิชย์บัญชา.(2546) กล่าวว่า การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple Linear Regression Analysis) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดวิธีหนึ่งในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) และตัวแปรอิสระ (X) ที่มีมากกว่า 2 ตัวขึ้นไป โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R2) ซึ่งเป็นค่าที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม (Y) ที่เกิดจากอิทธิพลของตัวแปรอิสระ (X) โดย R2 มีค่าระหว่าง 0 – 1 ถ้าค่า R2 มีค่าสูงหมายความว่าตัวแปรอิสระ (X) มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม (Y) ในสมการนั้นสูง หากค่า R2 มีค่าเข้าใกล้ 1.0 เรียกได้ว่าสมการถดถอยเชิงเส้นตรงนั้น ๆ สามารถอธิบายความแปรปรวนของเหตุการณ์ได้สูงเข้าใกล้ 100%



ภาพที่ 28 แสดงเส้นตรงที่ใช้กระบวนการทางสถิติเพื่อหาค่าคงที่และสัมประสิทธิ์สมการสร้างเป็นแบบจำลองในรูปสมการทางคณิตศาสตร์

สมการถดถอยเชิงเส้นหลังจากได้แบบจำลองแล้วจึงทำการตรวจสอบความสอดคล้องของแบบจำลอง เพื่อดูว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมามีความสอดคล้องและเหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ โดยมีการทดสอบทางสถิติดังต่อไปนี้

1. ทดสอบความเหมาะสมของโมเดล เป็นการตรวจสอบว่าตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกันหรือไม่
2. ทดสอบค่าคงที่ และค่าสัมประสิทธิ์ในสมการถดถอย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบพหุ (Multiple R) และค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์(Standard Error of Estimate)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression)

แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น

ตัวแปรอิสระ (X) 1 ตัว ตัวแปรตาม (Y) 1 ตัว

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (1)$$

$$Y' = b_0 + b_1 X \quad (2)$$

$$Z'Y = B_1 Z_X \quad (3)$$

เมื่อ

X , Z_X	เป็น	ค่าของตัวแปรอิสระในรูปคะแนนดิบ และคะแนนมาตรฐาน
Y	เป็น	ค่าของตัวแปรตาม
Y', $Z'Y$	เป็น	ค่าพยากรณ์ของตัวแปรตามในรูปคะแนนดิบ และคะแนนมาตรฐาน
β_0 และ β_1	เป็น	ค่าคงที่ และสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรอิสระในสมการ (ประชากร)
b_0 และ b_1	เป็น	ค่าคงที่ และสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรอิสระในสมการ (กลุ่มตัวอย่าง)
B_1	เป็น	สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรอิสระในสมการ (คะแนนมาตรฐาน)
ε	เป็น	ค่าความคลาดเคลื่อน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การหาค่าคงที่ และสัมประสิทธิ์ในสมการ

จาก $Y' = b_0 + b_1X$ เป็นสมการถดถอยของกลุ่มตัวอย่าง

สามารถหาค่าของ b_0 และ b_1 ได้จากสูตร

$$b_0 = \bar{Y} - b_1\bar{X} \quad \text{และ} \quad b_1 = r_{xy}\frac{S_y}{S_x}$$

(4)

เมื่อ Y, X เป็น ค่าเฉลี่ยของตัวแปร Y และ X

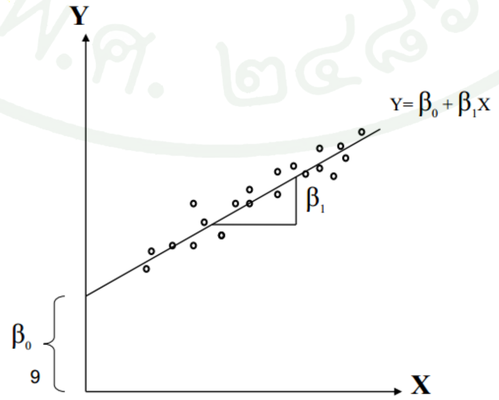
r_{xy} หรือ r เป็น ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X กับ Y

S_Y , S_X เป็น ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปร Y และ X

ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$r_{xy} = \frac{N\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N\sum X^2 - (\sum X)^2 IN\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

(5)



ภาพที่ 29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมการแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขั้นตอนการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย จะต้องตรวจสอบว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นหรือไม่และทำการสร้างสมการเพื่อพยากรณ์ข้อมูล ที่จะใช้สำหรับการประมาณค่าตัวแปร Y ทำการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของตัวแปรทั้งสอง

1) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

เป็นค่าความสัมพันธ์ของตัวแปร X กับ Y สัญลักษณ์ที่ใช้ คือ rxy หรือ r ค่าที่ได้จากคำนวณจะอยู่ในช่วงระหว่าง 1 ถึง 1

2) ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (The Coefficient of Determination)

เป็นการนำค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ยกกำลังสอง ใช้แสดงความแปรผันที่เกิดขึ้นกับตัวแปร Y มีผลเนื่องมาจากตัวแปร X คิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ และทำการศึกษาว่า สมการการประมาณค่ามีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ได้มากหรือน้อยเพียงใด ค่าคำนวณได้จะอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 สัญลักษณ์ที่ใช้คือ r

ถ้าค่า r^2 ที่ได้มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปร X มีอิทธิพลต่อตัวแปร Y อย่างมาก หมายความว่า สมการการประมาณค่าจะมีความเหมาะสมที่จะสามารถนำไปใช้งานได้มาก ถ้าค่า r^2 ที่ได้มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่า ตัวแปร X มีอิทธิพลต่อตัวแปร Y น้อยมาก หมายความว่า สมการการประมาณค่าจะมีความเหมาะสมที่สามารถจะนำไปใช้งานได้น้อยกว่าถ้าค่า r^2 ที่ได้มีค่าเข้าใกล้ 1

3) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณ (Standard Error of the Estimate)

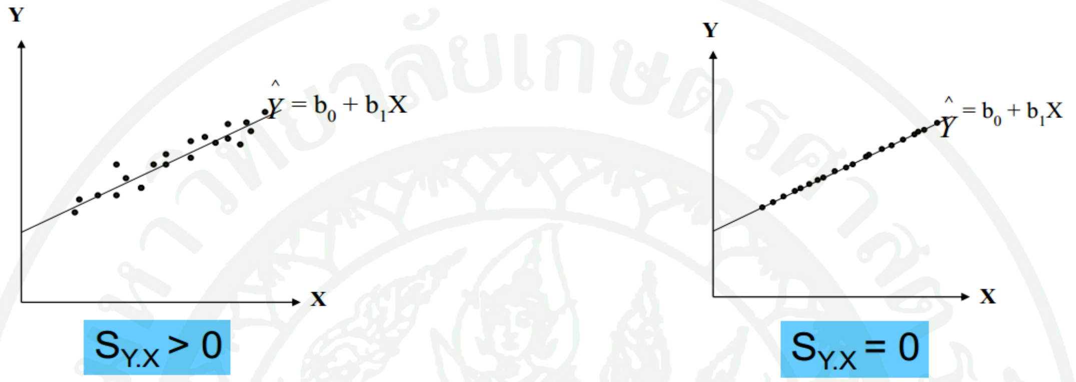
เป็นค่าที่บอกถึงความแปรปรวนของ Y ที่แตกต่างไปจากค่าพยากรณ์ ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$S_{Y.X} = \sqrt{\frac{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}{n-2}} \quad \text{หรือ} \quad S_{Y.X} = Sy\sqrt{\frac{(1-r^2)(n-1)}{n-2}} \qquad (6)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ถ้าค่า $S_{Y.X}$ = 0 แสดงว่าค่าพยากรณ์ (Y) ไม่มีความคลาดเคลื่อนเลย

แต่ถ้าค่า $S_{Y.X}$ ยิ่งมีค่ามากแสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนยิ่งมีค่าสูง



(a) (b)

ภาพที่ 30 ภาพ (a) กราฟแสดงว่าค่าพยากรณ์ $S_{Y.X} > 0$ แสดงค่า Y มีค่าความคลาดเคลื่อนสูง, ภาพ (b) กราฟแสดงว่าค่าพยากรณ์ $S_{Y.X} = 0$ แสดงค่าพยากรณ์ Y ไม่มีความคลาดเคลื่อนเลย

การทดสอบความมีนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การถดถอย

สมมติฐานของการทดสอบ

$H_0 : \beta = 0$ หรือ H_0 : Y ไม่มีความสัมพันธ์กับ X ในรูปเชิงเส้น

$H_1 : \beta \neq 0$ หรือ H_1 : Y มีความสัมพันธ์กับ X ในรูปเชิงเส้น

สถิติทดสอบ เป็นการทดสอบแบบสองทาง

$$t = \frac{b -}{\sqrt{\dfrac{S^2_{Y.X}}{(n-1)S^2_X}}} \quad , df = n-2 \qquad (7)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อาณาเขตวิกฤตและการสรุปผล

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า t ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า $t\alpha$, n-2 ที่เปิดจากตารางหรือ t ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า $-t\alpha$,n-2 ช่วงความเชื่อมั่น (1-α) 100% ของการประมาณค่า Y

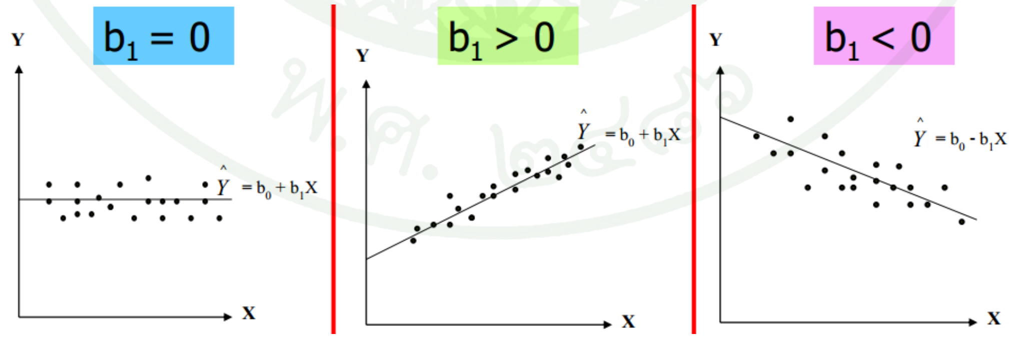
จากสมการถดถอย Y’ = $b_0 + b_1X$ ที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง สามารถใช้ค่า Y' มาประมาณค่า Y ที่จะเกิดขึ้นได้ เมื่อ $X=X_i$ ดังนี้

ช่วงความเชื่อมั่น (1-α) 100% ของ Y

$$Y = S_{Y.X}\sqrt{(1+\frac{1}{n})+\frac{(X_i-\overline{X})^2}{(n-1)S_x^{\ 2}}} \qquad (8)$$

4) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient)

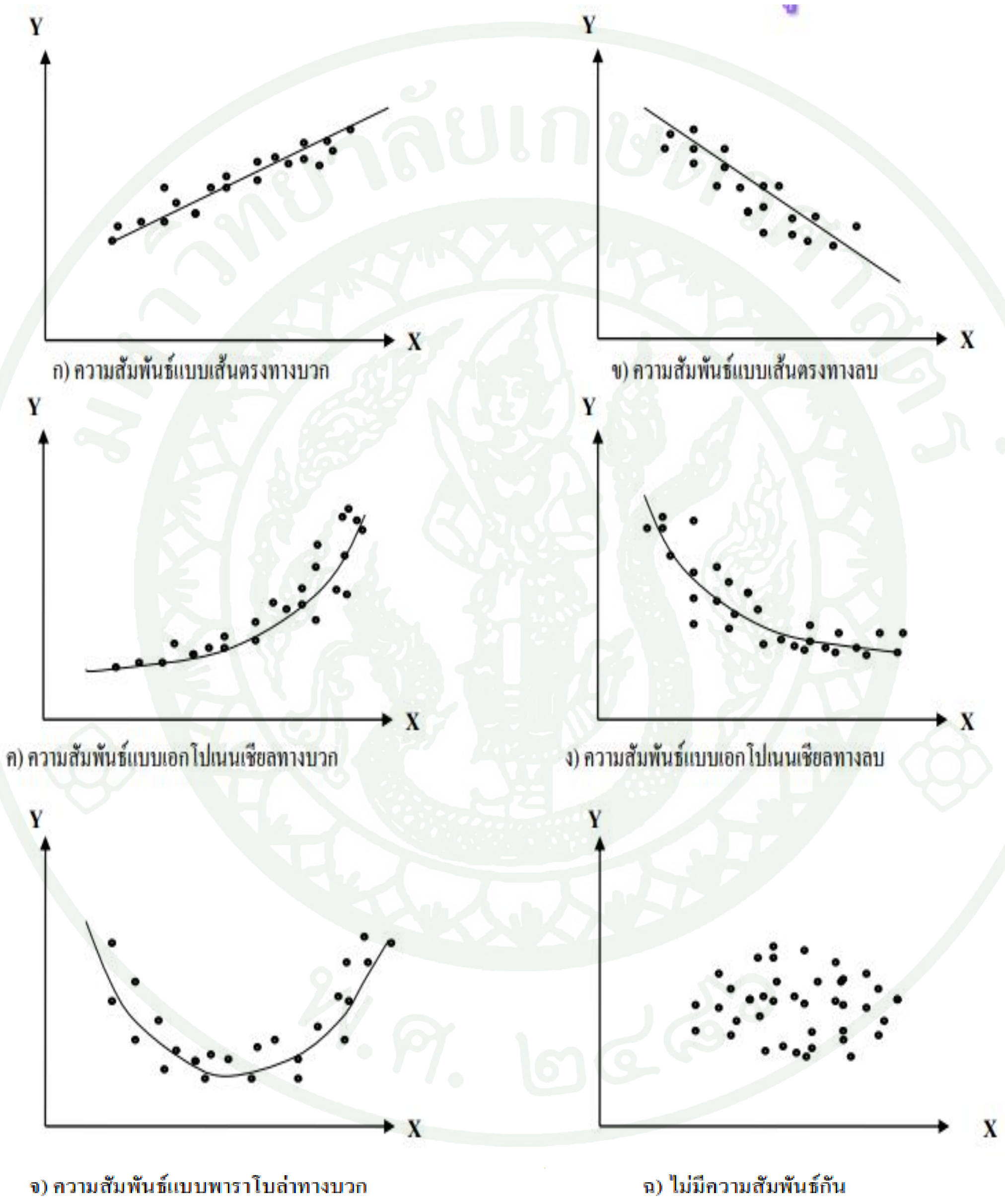
การพยากรณ์ ค่า b เป็นค่าความชันของกราฟเส้นตรง ที่เกิดจากสมการเชิงเส้น เป็นค่าที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของเส้นกราฟ ถ้าทราบค่าของ b และค่าของ a จะสามารถพยากรณ์ค่าของตัวแปร



ภาพที่ 31 กราฟแสดงความชันของกราฟเส้นตรง ถ้า b > 0 แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ถ้า X มีค่าสูงขึ้น ค่าของ Y ก็จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ถ้า b < 0 แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือ ถ้า X มีค่าสูงขึ้น ค่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของ Y จะต่ำลงถ้า b = 0 แสดงว่า X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์กันเลย เส้นกราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรง ค่าของ Y จะมีค่าเท่ากับค่าคงที่



ภาพที่ 32 กราฟแสดงการตรวจสอบความเป็นเชิงเส้นของการกระจายของข้อมูล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หลักการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression)

แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น

ตัวแปรอิสระ (X) n ตัว ตัวแปรตาม (Y) 1 ตัว

$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_n X_n + \varepsilon$ เป็นสมการถดถอยของประชากร

$Y' = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \ldots + b_n X_n$ เป็นสมการถดถอยของกลุ่มตัวอย่าง

$Z'_Y = B_1 Z_{X1} + B_2 Z_{X2} + \ldots + B_n Z_{Xn}$ เป็นสมการถดถอยของกลุ่มตัวอย่างในรูปคะแนนมาตรฐาน

สำหรับการประมาณค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ในสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ จะใช้วิธีการประมาณที่เรียกว่า การประมาณโดยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation: MLE) โดยวิธีดังกล่าวนี้สามารถประมาณค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ในสมการได้ทั้งในกรณีที่ตัวแปรอิสระมีจำนวน 1 ตัว หรือมากกว่า 1 ตัว โดยมีข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับตัวแปรอิสระแต่ละตัว คือ ตัวแปรอิสระจะต้องไม่มีความสัมพันธ์กันเอง (intercollinearity หรือเกิด Multicollinearity) การหาค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ในสมการจะใช้วิธีการคำนวณโดยรูปแบบเมตริกซ์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อวิทยานิพนธ์

วีระเกษตร (2554) ทำการศึกษาเบื้องต้นถึงการนำเสนอเทคนิคการพัฒนาแบบจำลองความน่าจะเป็นในการประเมินคุณภาพการขับขี่บนถนนซึ่งสามารถนำไปใช้ประเมินสภาพถนนในปัจจุบันได้ แบบจำลองได้พัฒนาจากการตรวจสอบความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนกลับของ Phase Array type L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR) และค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลในระหว่างวันที่ 3 ถึง 5 พฤษภาคม 2550 ในแขวงการทางอยุธยา การวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความขรุขระคือ ค่าการสะท้อนในทิศทางส่งข้อมูลในแนวราบและรับข้อมูลในแนวราบ (HH polarization) ถ้าค่าการสะท้อนในทิศทาง HH สูงแสดงว่า ตำแหน่งนั้นๆ มีความขรุขระสูง แบบจำลองนี้สามารถประยุกต์ใช้ได้กับถนนลาดยางเท่านั้น แบบจำลองในรูปแบบทวินามโลจิท (binary logit) นี้ ได้นำไปทดสอบกับทางหลวงหมายเลข 3467 และ 3063 ได้ความถูกต้องถึงร้อยละ 93.60 เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาขั้นต้นและได้นำภาพ PALSAR ในช่วงเวลาเดียวเท่านั้น การนำแบบจำลองนี้ไปใช้ควรนำภาพและข้อมูล IRI ในหลายๆช่วงเวลาทำการศึกษาจึงจะทำให้แบบจำลองมีความถูกต้องและสามารถนำไปใช้ในพื้นที่อื่นๆ ได้

ปนัดดา (2551) ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองดัชนีสภาพทางที่เหมาะสมสำหรับประเมินลักษณะสภาพและความเสียหายโดยรวมของถนนผิวทางลาดยางในความรับผิดชอบของสำนักทางหลวงที่ 12 (ชลบุรี) กรมทางหลวง ซึ่งมีระยะทาง 2,511 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ 5 จังหวัด ได้แก่ ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ระยอง จันทบุรี และตราดแบบจำลองดัชนีสภาพทางที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้คือ PCI = RR0.9 DR0.1 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R2) เท่ากับ 0.856 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถเป็นตัวแทนที่บ่งชี้สภาพความเสียหายโดยรวมของถนนได้ 7 ประเภท ได้แก่ ค่าความขรุขระหรือความเรียบของผิวทาง (IRI) ร่องล้อ การหลุดร่อนของวัสดุมวลรวม ความเสียหายของขอบผิวทาง หลุม บ่อ รอยแตกแบบหนังจระเข้ และรอยปะซ่อม สำหรับการนำค่าดัชนีสภาพทางไปใช้ในการตัดแบ่งช่วงความยาวถนนสำหรับวิเคราะห์เพื่อวางแผนงานบำรุงรักษาถนนผิวทางลาดยางด้วยโปรแกรม HDM–4 พบว่า สามารถจัดกลุ่มสายทางย่อยความยาว 1 กม. 3,453 สายทาง เหลือ 909 สายทาง ตามค่าดัชนีสภาพทางของถนน ผลที่ได้รับคือ สามารถวิเคราะห์แผนงานได้สอดคล้องกับการปฏิบัติงานซ่อมบำรุงจริงอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กชกร (2543) ได้ศึกษาการสร้างแบบจำลองสภาพความเสียหายของพื้นผิว โดยใช้ค่าดัชนีความเรียบสากล (IRI) เป็นตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า IRI ได้แก่ อายุของสายทางภายหลังการเสริมผิวแอสฟัลท์ โดยแบ่งกลุ่มตามสภาพแวดล้อมซึ่งใช้ภาคต่างๆ ของประเทศเป็นเกณฑ์ และปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลของโครงการทางหลวงทั่วประเทศจากฐานข้อมูลของระบบการบริหารบำรุงทาง (TPMS) ตั้งแต่ พ.ศ.2533 จนถึงปัจจุบัน จากการวิเคราะห์พบว่าภาคและปริมาณการจราจรมีผลต่อสภาพความเสียหายของผิวทางอย่างมีนัยสำคัญ โดยอัตราความเสียหายของผิวทางในภาคกลางสูงที่สุด รองลงมาคือภาคเหนือ ภาคใต้ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือตามลำดับ และอัตราความเสียหายของผิวทางจะแปรผันตามปริมาณการจราจร ในอนาคตจะมีการวิเคราะห์ตัวแปรอื่นๆเพิ่มเติม เช่น ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะภูมิอากาศ และจำนวนรถบรรทุกหนัก เพื่อให้แบบจำลองสามารถพยากรณ์ผลได้แม่นยำขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาการศึกษาเบื้องต้นการพัฒนาแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นของการประเมินสภาพผิวทางวิ่งบนสนามบินและระดับบริการในการวิ่งบนสนามบินสุวรรณภูมิ โดยการสร้างแบบจำลองจากการตรวจสอบความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนกลับกับค่าความขรุขระของสนามบิน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์
2. ซอฟท์แวร์โปรแกรม Microsoft Office 2007
3. ซอฟท์แวร์โปรแกรม AutoCAD 2011
4. ซอฟท์แวร์โปรแกรม ENVI
5. เครื่องอัดเสียง
6. เครื่องพิมพ์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

ระเบียบวิธีวิจัย

เพื่อให้การดำเนินงานครั้งนี้ บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้อย่างมีประสิทธิผล จึงได้แสดงขั้นตอนวิธีการดำเนินงานไว้

ภาพที่ 33 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการตรวจสอบ RIDE QUALITY

การวัด และ ประเมิน คุณภาพ ทางวิ่ง พื้นผิว ต้องพิจารณา สองลักษณะ ของรูปแบบทางวิ่ง : ขนาด Bump สูงสุด และ ในระดับเฉลี่ยของระดับตามยาวของเรื่องของความหยาบ โฟรไฟล์ bumps ขนาด มาก เกินไป อาจทำให้ผู้โดยสารไม่พอใจได้ ในขณะวิ่งขึ้นหรือร่อนลง อาจทำให้เกิดแรงมากขึ้นในขณะวิ่งขึ้นและร่อนลง อาจทำให้โครงสร้างของเครื่องบินเสียหายได้เนื่องจากการเกิดปัญหาเรื่อง bump และอาจเกิดปัญหาในการควบคุมอากาศยานได้

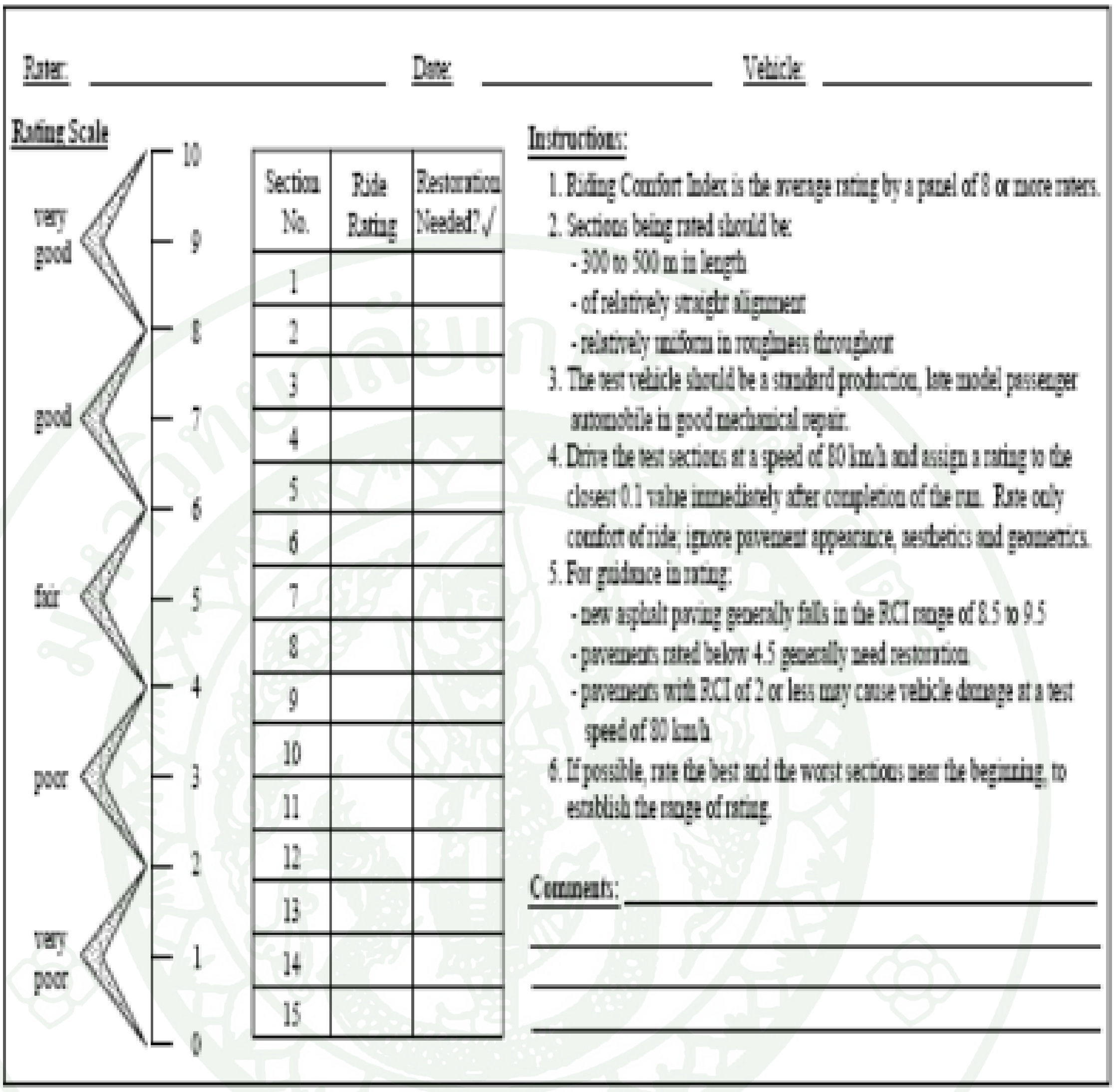
Ride quality คุณภาพการขับขี่ของทางวิ่งเนื่องจากพื้นผิวทางวิ่งในส่วนของโครงสร้างมีการทรุดตัวที่แตกต่างกันออกไป หรือการแยกออกของพื้นผิว patching และ ตำแหน่งที่ก่อสร้างใหม่เลือกวัดค่าในส่วนที่บำรุงรักษา และเกิดปัญหาเรื่อง ride deficiencies. การปูพื้นผิวขึ้นใหม่ต้องการแก้ปัญหาข้อบกพร่องในเรื่องของ Ride-related

เทคนิคและวิธีการตรวจสอบ Riding Comfort Index

วิธีการขั้นพื้นฐานที่สุด ของการประเมินคุณภาพการขับขี่ คือการนั่งอยู่ใน ขณะ ที่ขับรถในทางวิ่งของรถยนต์. จัดอันดับให้คะแนนจาก 0 ถึง 10, และการวัดเป็นการอ้างอิงจาก Riding Comfort Index (RCI) ถึงการฟื้นฟูสภาพ RCI จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของที่ตั้งระหว่างทั้งพื้นที่ geographical ตามการตัดสินใจของผู้ใช้ อีกอย่างหนึ่ง RCI ไม่บอกความเป็น bump ของระดับโปรไฟล์ของทางวิ่ง ไม่มีผลต่อช่วงคลื่นเมื่ออากาศยานได้วิ่งขึ้น

วัด RCI หมายถึง การประเมิน คุณภาพในการนั่ง โดยผู้โดยสาร ประสบการณ์ ทั่วไปการตัดสินใจของนักบิน ระดับเฉลี่ยของคุณภาพการนั่ง บนทางวิ่ง runways ใน ลักษณะเดียวกันโดยเฉพาะข้อร้องเรียน เกี่ยวกับคุณภาพของการนำร่อง สามารถคาด เมื่อ RCI พื้นผิวทางวิ่งต่ำกว่า 5.0 และได้รับการร้องเรียน ถ้า RCI อยู่ ด้าน ล่าง 4.0 ถ้าได้รับร้องเรียนคุณภาพการนำร่อง ของทางวิ่ง และ RCI มี ระดับ ความ พึง พอใจให้ข้อมูล ทางวิ่งควรมีการประเมินสำหรับ แต่ละ bumps

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



Rater: ____________ Date: ____________ Vehicle: ____________

Section No.	Ride Rating	Restoration Needed? √
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		

Instructions:

1. Riding Comfort Index is the average rating by a panel of 8 or more raters.
2. Sections being rated should be:
   - 300 to 500 m in length
   - of relatively straight alignment
   - relatively uniform in roughness throughout
3. The test vehicle should be a standard production, late model passenger automobile in good mechanical repair.
4. Drive the test sections at a speed of 80 km/h and assign a rating to the closest 0.1 value immediately after completion of the run. Rate only comfort of ride; ignore pavement appearance, aesthetics and geometrics.
5. For guidance in rating:
   - new asphalt paving generally falls in the RCI range of 8.5 to 9.5
   - pavements rated below 4.5 generally need restoration
   - pavements with RCI of 2 or less may cause vehicle damage at a test speed of 80 km/h
6. If possible, rate the best and the worst sections near the beginning, to establish the range of rating.

Comments: ____________

ภาพที่ 34 การจัดลำดับของการประเมินคุณภาพในการนั่ง

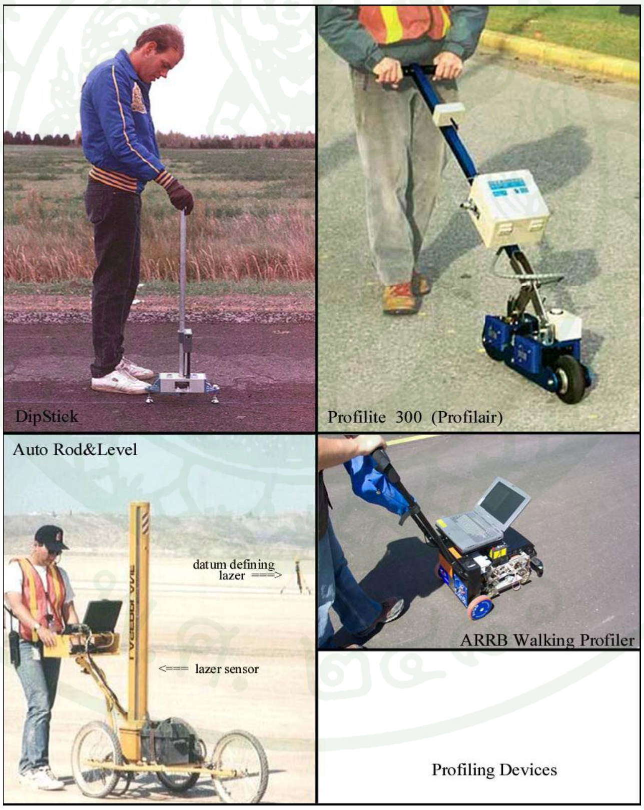
ที่มา : Airports Consulting Associates, (2005)

เทคนิคและวิธีการวัด Profile Analysis Methods

เป็นการประเมิน Ride quality ของพื้นผิวทางวิ่ง runway โดยการใช้คอมพิวเตอร์วิเคราะห์พื้นผิวทางวิ่งอีกรูปแบบหนึ่งเป็นการใช้ วิธีการ ของคณิตศาสตร์ การส่งผลสอดคล้อง จากพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง และให้คะแนน เวลาจะเปลี่ยนแปลงไม่ได้ การทำสำเนาของผลจึง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขึ้นอยู่เฉพาะในความสามารถในการวัดโปรไฟล์ของทางวิ่งที่มี ระดับของความถูกต้องที่พอเพียง Profile Measurement การวัดโปรไฟล์เพื่อการวิเคราะห์ ลักษณะโปรไฟล์ ของทางวิ่งที่เป็นปกติวัดออกไปข้างละ 3 เมตร หรือทางขวาของ centreline. วัดตามแนวล้อของเครื่องบินเมนเกียร์ หรือ ล้อหน้า แล้วแต่ชนิดของเครื่องแต่ละรุ่นอาจจะ 5 หรือ 6 เมตร ขึ้นอยู่กับความกว้างของอากาศยานแต่ละรุ่น การวิเคราะห์เต็มรูปแบบของ ride characteristics ที่ต้องการตามด้านยาวรูปแบบที่กำหนดโดยไม่เกิน 1ใน 3 ของความยาว เครื่องมือที่ใช้วัดจะวัดเป็น Class I Class II และ ClassIII ประเภทอุปกรณ์ โดยทั่วไปความถูกต้อง ของเครื่องมือ Class I จะมีความถูกต้องสูง ระดับความเปรียบเทียบของเครื่องมือที่วัดอ้างอิงมาตรฐานที่กำหนดอุปกรณ์สำหรับทดสอบทางวิ่งมันต้องเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลจะอ่านข้อมูลที่เป็นระดับสองจุดห่างกันและค่าระดับที่แตกต่างกันไปที่ที่ 300 มิลลิเมตรเพื่อดูค่าระดับตามยาว



ภาพที่ 35 การใช้เครื่องมือ Walking Profiler

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

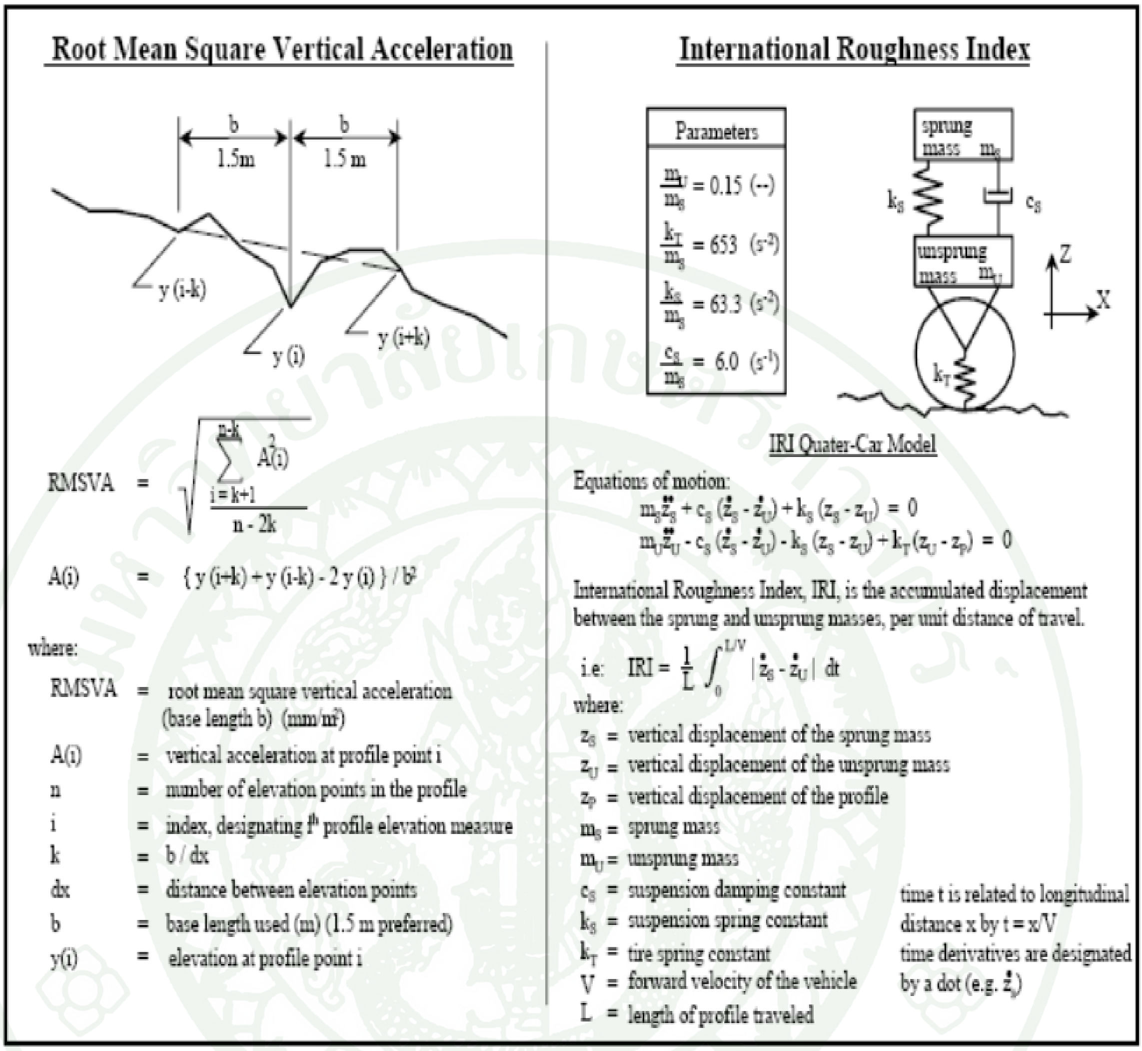
เทคนิคและวิธีการตรวจสอบ International Roughness Index (IRI) เครื่องมือในรุ่นที่ใช้รถลาก

Quarter-car model (น้ำหนักจะอยู่ที่ ตัวรองรับบนล้อเดี่ยวระบบรองรับจะเป็นสปิงค์ และโชคอัพ) และ IRI เป็นการคำนวณวัดความราบเรียบในแนวดิ่งมีหน่วย เป็นความแตกต่างของระดับในแนวดิ่งต่อหน่วยเป็นระยะทาง เช่น เมตร / กิโลเมตร ตามโปรไฟล์ การคำนวณค่าของ RMSVA และ IRI สามารถแปลงกับเป็นค่าของ RCI และ ค่าทั้งสองนี้ RCI จะบ่งบอกค่าระดับความขรุขระเป็นเปอร์เซ็นต์

Aircraft Simulation หลักเกณฑ์ของการ bump พื้นฐานจะอยู่ที่การกำหนดค่าความเร่งในแนวดิ่งของอากาศยาน ค่าน้อยกว่า 4 g ของการวิ่งขึ้นและร่อนลงแต่สำหรับการเกิด bump จะอยู่ที่การกำหนดค่า vertical accelerations ในอากาศยานแต่ระรุ่นจะไม่เท่ากัน และยังขึ้นอยู่กับความเร็วของอากาศยานและตำแหน่งตามยาวของการเกิด bump ที่เชื่อมโยงไปถึงอากาศยานขึ้นหรือลงด้วยการจำลองทางคณิตศาสตร์ของการตอบสนองของอากาศยานกับโปรไฟล์ทางวิ่งกับการประเมินที่แม่นยำของ ค่า bumps จะใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์สำหรับการคำนวณ เหล่านี้ ข้อมูลโปรไฟล์ของทางวิ่งจะเชื่อมโยงไปถึงชนิดขนาดของอากาศยานด้วย อีกหนึ่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ใช้ค่า g ที่สูงสุดในขณะที่อากาศยาน transverses บนทางวิ่งด้วย ความเร็วคงที่ที่แตกต่างกัน และเกิดคุณภาพของการขับขี่ของอากาศยานจะดูจากค่าของ Ride Quality Index (RQI)

Roughness Measuring Devices อุปกรณ์การวัดค่าความขรุขระมาตรการอุปกรณ์ต่างๆ ของพื้นผิวทางวิ่งที่ใช้ทดสอบ คุณภาพการขับขี่ ride quality เหล่า นี้นั้นอุปกรณ์มักจะมีข้อจำกัดที่สำคัญและการวัดปกติของค่าเหล่านี้จะสะท้อน เฉพาะระดับเฉลี่ยของยานพาหนะที่มีคุณภาพปัจจุบัน อุปกรณ์ Class I profiling ช้าเกินไปสำหรับการตรวจสอบคุณภาพของการขับขี่ของโครงข่ายของพื้นผิวสนามบิน และถนนแต่ไม่สามารถใช้ได้กับทางวิ่ง runways ที่ต้องการความเร็วในการทดสอบ Inertial profilometers เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าในรูปแบบของ bumper เป็นเนินสูง ได้รวดเร็ว เป็นรูปแบบของอุปกรณ์ที่ใช้เลเซอร์วัดหาค่าความขรุขระระบนพื้นทางวิ่ง และ accelerometer (สัญญาณเดี่ยว คู่) ยกระดับรูปแบบการติดตาม เมื่อเปรียบเทียบวิธีการวัดโปรไฟล์แต่ความถูกต้องเป็นขอบเขตจำกัด หรือระดับ Class II Class III.

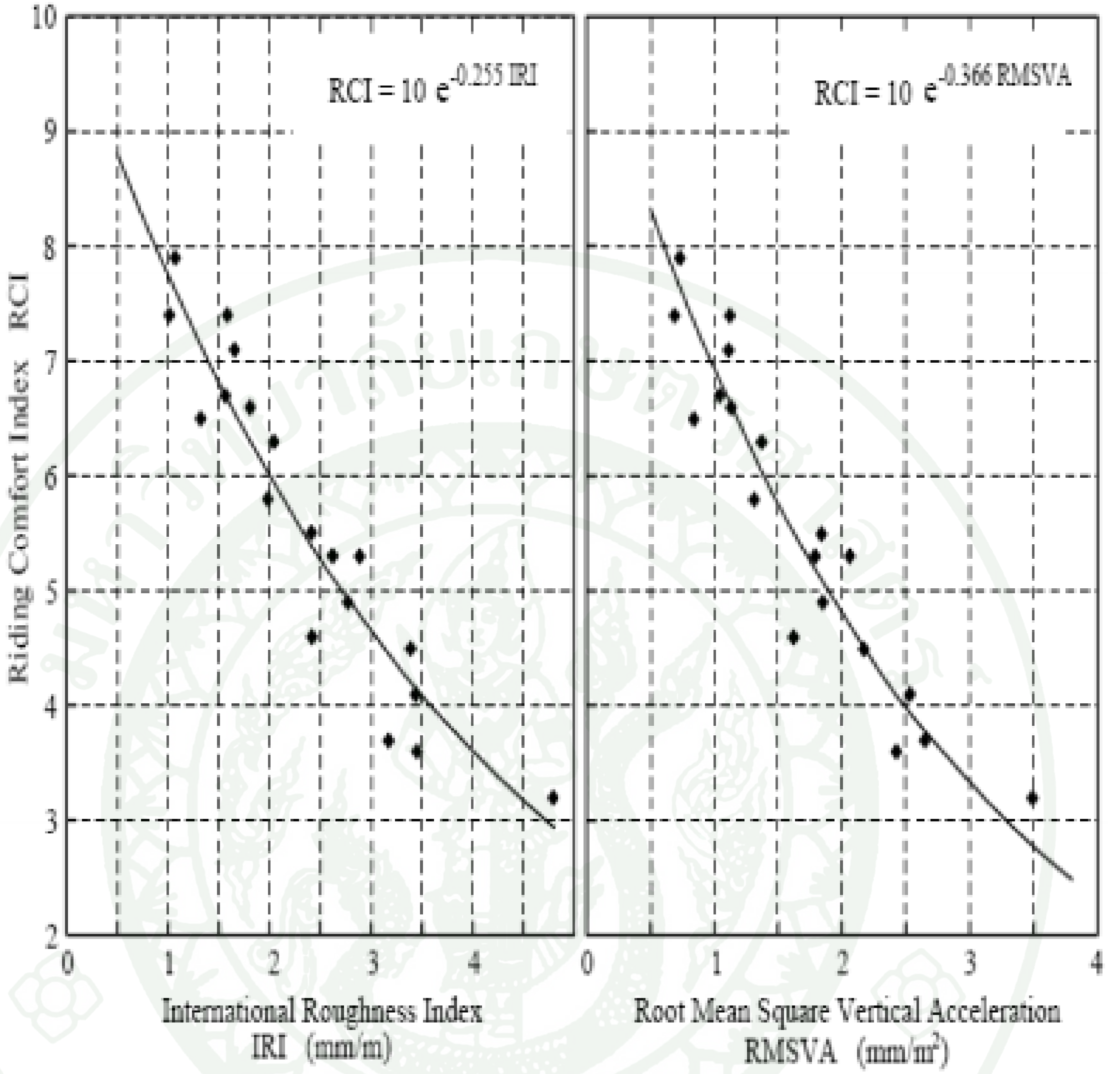
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 36 ดัชนีคุณภาพการขับขี่

ที่มา : Airports Consulting Associates, (2005)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 37 ประเมินคุณภาพการขับขี่กับค่าดัชนีความขรุขระสากลโดยการคำนวนค่าของ RMSVA

ที่มา : Airports Consulting Associates, (2005)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 การจัดระเบียบของทางวิ่ง Runway คุณภาพการขับขี่ Ride Quality

Airport : example					**Date of Profiling : June 1992**			
Runway : 06R-24L					**Profiling Method : Dipstick**			
Chainage		**3 m Left of Centreline**			**3 m Right of Centreline**			**Runway**
From	**To**	**IRI/RCI**	**MVA/RCI**	**Average RCI**	**IRI/RCI**	**MVA/RCI**	**Average RCI**	**Average RCI**
5+200	5+300	1.75/6.4	1.12/6.6	6.5	1.41/7.0	0.94/7.1	7.1	6.8
5+300	5+400	1.81/6.3	1.26/6.3	6.3	1.67/6.5	1.23/6.4	6.5	6.4
5+400	5+500	1.74/6.4	1.20/6.4	6.4	1.69/6.5	1.26/6.3	6.4	6.4
5+500	5+600	1.86/6.2	1.42/6.0	6.1	1.63/6.6	1.15/6.5	6.6	6.3
5+600	5+700	1.88/6.2	1.26/6.3	6.3	1.48/6.8	1.06/6.8	6.8	6.5
5+700	5+800	2.05/5.9	1.43/5.9	5.9	2.01/6.0	1.34/6.1	6.1	6.0
5+800	5+900	3.22/4.4	2.00/4.8	4.6	2.60/5.1	1.90/5.0	5.1	4.8
5+900	6+000	3.15/4.5	1.95/4.9	4.7	2.74/5.0	1.93/4.9	5.0	4.8
6+000	6+100	3.30/4.3	2.16/4.5	4.4	2.79/4.9	2.064.7	4.8	4.6
6+100	6+200	3.35/4.3	2.33/4.3	4.3	2.83/4.9	2.10/4.6	4.8	4.5
6+200	6+300	3.20/4.4	2.42/4.1	4.3	3.11/4.5	2.04/4.7	4.6	4.4
6+300	6+400	3.23/4.4	2.11/4.6	4.5	2.77/5.0	1.80/5.1	5.1	4.8
6+400	6+500	3.16/4.5	2.14/4.6	4.6	2.89/4.8	2.02/4.7	4.8	4.7
6+500	6+600	3.22/4.4	2.13/4.6	4.5	3.07/4.6	2.00/4.8	4.7	4.6
6+600	6+700	3.04/4.6	2.00/4.8	4.7	3.02/4.6	2.11/4.6	4.6	4.7
6+700	6+800	2.98/4.7	2.10/4.6	4.7	3.14/4.5	2.27/4.4	4.5	4.6
6+800	6+900	3.13/4.5	2.29/4.3	4.4	2.76/4.9	2.19/4.5	4.7	4.6
6+900	7+000	3.37/4.3	2.32/4.3	4.3	2.90/4.8	1.914.9	4.9	4.6
7+000	7+100	1.85/6.2	1.44/5.9	6.0	1.75/6.4	1.01/6.9	6.7	6.4
7+100	7+200	1.65/6.6	1.11/6.6	6.6	1.47/6.9	0.88/7.2	7.1	6.8
7+200	7+300	1.47/6.9	1.10/6.7	6.8	1.45/6.9	1.00/6.9	6.9	6.9
7+300	7+400	1.67/6.6	1.20/6.4	6.5	1.52/6.8	1.11/6.7	6.8	6.6
7+400	7+500	1.50/6.8	1.05/6.8	6.8	1.26/7.2	0.96/7.1.	7.2	7.0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7(ต่อ)

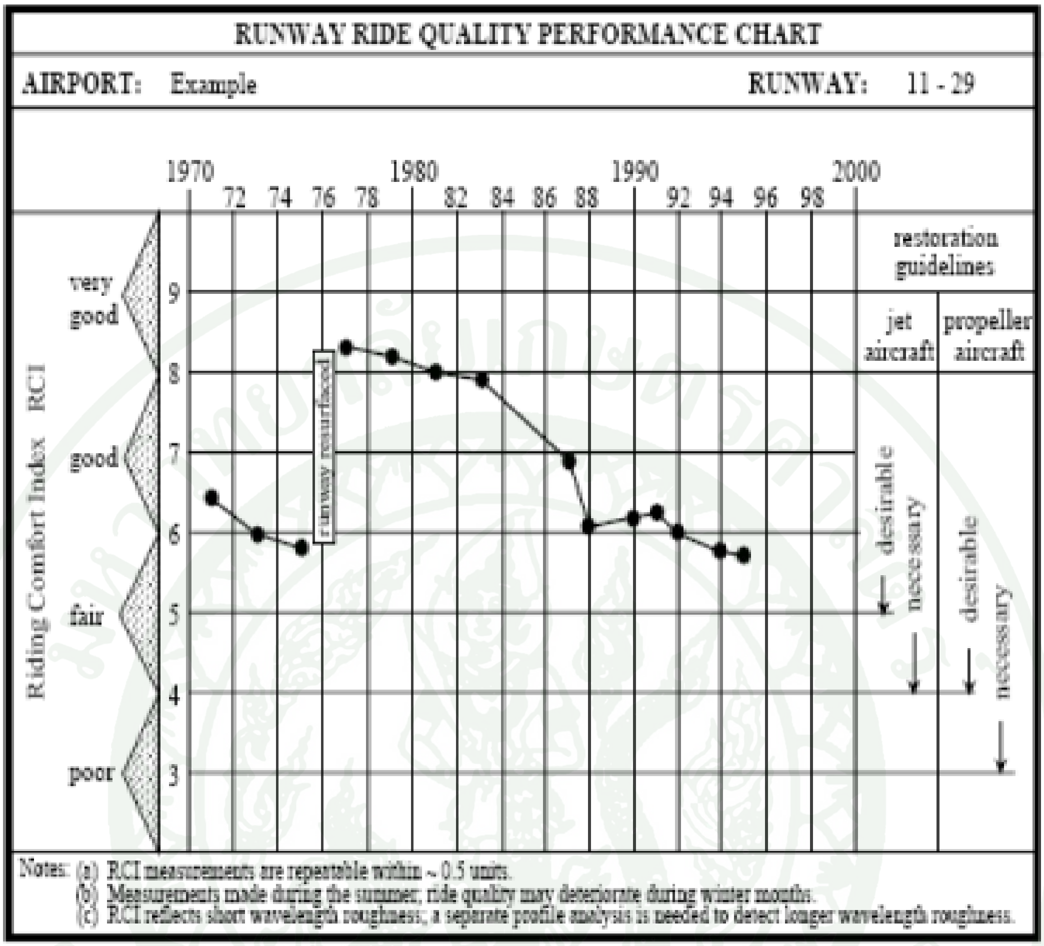
Airport : example					**Date of Profiling : June 1992**			
Runway : 06R-24L					**Profiling Method : Dipstick**			
Chainage From To		**3 m Left of Centreline**			**3 m Right of Centreline**			**Runway Average RCI**
		IRI/RCI	**MVA/RCI**	**Average RCI**	**IRI/RCI**	**MVA/RCI**	**Average RCI**	
7+500	7+600	1.55/6.7	1.12/6.6	6.7	1.34/7.1	0.84/7.3	7.2	6.9
7+600	7+700	1.64/6.6	1.14/6.6	6.6	1.21/7.3	0.86/7.3	7.3	7.0
Remarks : joint stepping prevalent throughtout the central portion of runway length					Runway Average : 5.7 Lowest 100 m Section : 4.4			

Restoration Guidelines	**Jet Aircraft**		**Propeller Aircraft**	
	Runway	**Taxi**	**Runway**	**Taxi**
Desirable	< 5.0	< 4.0	< 4.0	< 3.0
Program	< 4.0	< 3.5	< 3.0	< 3.0

Performance Trends แนวโน้มประสิทธิ์ภาพผลการดำเนินงาน

พื้นผิวสนามบินเสื่อมสภาพลง ด้วยอายุการใช้งานที่มากขึ้นของพื้นผิว pavements สนามบิน กลายเป็นสภาพพื้นผิวที่ไม่เหมาะสม สำหรับการทำงานเพราะมีคุณภาพของการขับขี่ไม่ดี เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่าความเรียบมีประโยชน์ในการติดตามการเสื่อมสภาพผิวทางและจากการคาดการณ์ของแนวโน้มที่ผ่านมา จากการคาดการณ์ว่าเมื่อระดับความไม่เหมาะสมของการขับขี่และความสะดวกสบายของการขับขี่ ประสิทธิภาพเฉลี่ยคุณภาพของพื้นผิวทางวิ่งจากการวัดคุณภาพของการขับขี่ ได้มีทำการวัดในสนามบินแคนาดา ในช่วงสามสิบปีเริ่มในทศวรรษที่ 1960 ตามเกณฑ์ข้อมูล ความขรุขระที่แนะนำ บริการ อายุการใช้งานเฉลี่ยจะอยู่ที่ 30 ปี ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต และพื้นผิวเดิมจะมีอายุการใช้ง่นเฉลี่ย ประมาณ 20 ปีสำหรับการแสดง ข้อมูลบนพื้นผิวแอสฟัลต์ อายุการใช้งานจริง บริการค่าเฉลี่ย จะน้อยกว่าค่า เหล่านี้เป็นส่วนใหญ่ของพื้นผิวทางวิ่งจะมีเหตุผลอื่นของการขับขี่ที่คุณภาพต่ำ

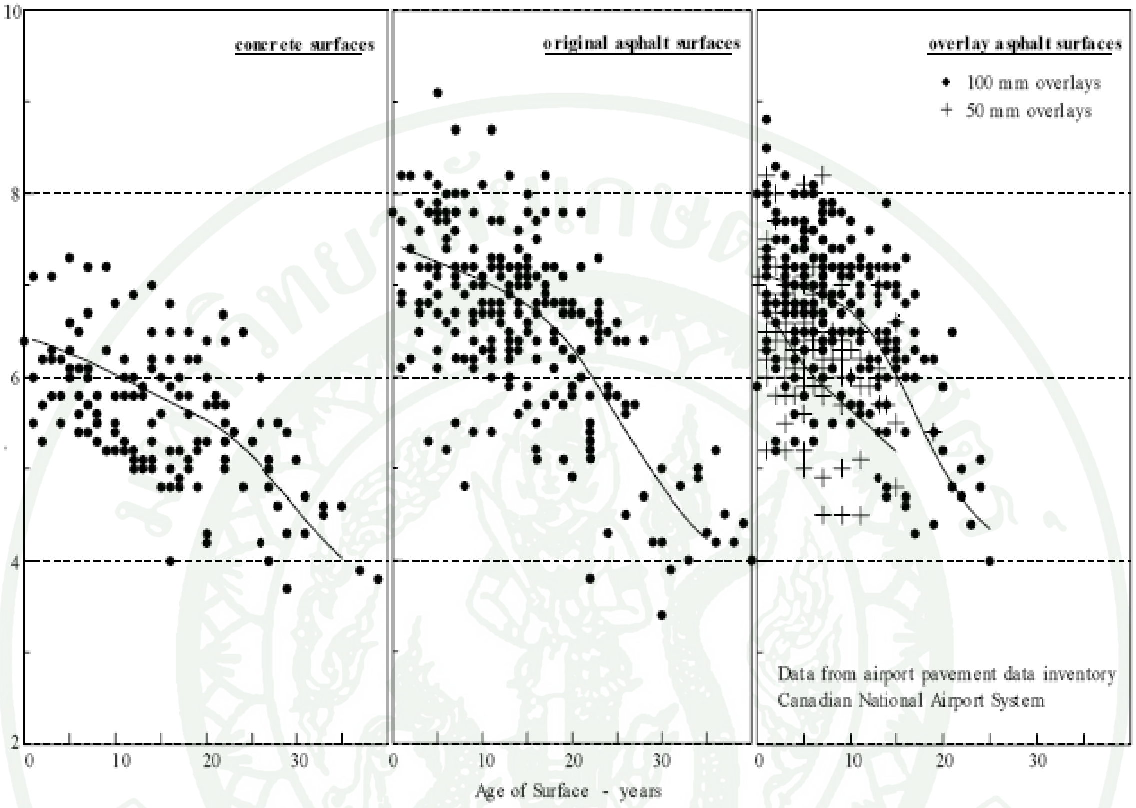
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 38 ตัวอย่างตารางแสดงคุณภาพของการขับขี่บนทางวิ่ง

ที่มา : Airports Consulting Associates, (2005)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 39 กราฟแสดงการเปรียบเทียบคุณภาพของอายุผิวทาง

ที่มา : Airports Consulting Associates (2005)

วิเคราะห์ค่าการสะท้อนกลับ

PALSAR เป็นเรดาร์ที่ใช้งานในคลื่นไมโครเวฟใช้ที่ ความถี่ L-band สามารถส่งคลื่นทะลุเมฆและการมีสังเกตภาคพื้นดินได้ทั้งกลางวันและกลางคืน มีรูปแบบอยู่ 3 โหมด คือ ความละเอียดสูง, ScanSAR และ polarimetric mode โดยโหมดความละเอียดสูงจะถูกนำมาใช้ในการการดำเนินงานปกติที่มีความละเอียดระดับพื้น 7 ม. ต่อมาโหมด ScanSAR จะช่วยในเรื่องสำรวจในมุมให้มุมปิดมีจุดต่ำสุด ที่จะเปลี่ยนจากสามถึงห้าครั้ง (สแกนแนวจาก 70 กม.) ที่จะครอบคลุมบริเวณกว้างจาก 210 ตารางกิโลเมตร (70 × 3) ถึง 350 ตารางกิโลเมตร (70 × 5) แต่ความละเอียด ทีjรองลงมาจากที่ของโหมดความละเอียดสูง PALSAR คือ สามารถจะรับได้ทั้งโพลาไรซ์ (V)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แนวนอน (H) และแนวตั้ง หรือ การสะท้อนกลับแบบรูปแบบเต็ม (HH, HV, VH และโพลาไรซ์ VV) มุมอุบัติการณ์จะอยู่ในช่วง 8-30 ° โหมดนี้ ถูกนำมาใช้ในการศึกษา

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis)

ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น จะเป็นการนำข้อมูลจากตัวแปรที่ทำการศึกษามาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ที่สามารถบอกแนวโน้มของความสัมพันธ์โดยใช้แผนภาพเส้นตรงแทนได้และจะทำการหาเส้นตรงที่ดีที่สุดเพื่อเป็นตัวแทนของรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษา เส้นตรงที่ดีที่สุดจะมีเพียงเส้นเดียวโดยถือหลักการว่าจะต้องมีผลรวมของระยะห่างกำลังสองจากเส้นกราฟถึงทุกๆจุดนั้น มีค่าน้อยที่สุด

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย จะประกอบด้วยตัวแปรตาม 1 ตัว และตัวแปรอิสระ เพียง 1 ตัว การวิเคราะห์เป็นการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองและสร้างรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นการพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม

แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น

$$\hat{Y} = a\hat{x} + b \qquad (9)$$

โดยที่	$\hat{x}$	คือ	ค่าการสะท้อนกลับในทิศทาง HH
	$\hat{Y}$	คือ	ค่าการประเมินระดับการบริการขับขี่บนทางวิ่ง
	a	คือ	ค่าคงที่
	b	คือ	ความชันของกราฟ

แบบจำลองเชิงทวีกำลัง (Exponential Model)

ฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล เป็นการแสดงความสัมพันธ์ของจำนวนที่เขียนอยู่ในรูปของเลขยกกำลัง อินเวอร์สของฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล เรียกว่า ฟังก์ชันลอการิทึม การศึกษาฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล และฟังก์ชันลอการิทึม ต้องอาศัยสมบัติของเลขยกกำลังที่มีเลขชี้กำลังเป็นจำนวนตรรกยะ การเปลี่ยนฐานของลอการิทึม เพื่อใช้ในการแก้สมการเอกซ์โพเนนเชียล และ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมการลอการิทึมรวมทั้งการนำความรู้ฟังก์ชัน เอกซ์โพเนนเชียล และ ฟังก์ชันลอการิทึม ไปประยุกต์ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา

สมการเอกซ์โพเนนเชียล สมการที่มีตัวแปรเป็นเลขชี้กำลัง ถ้าทั้งสองข้างของสมการสามารถทำให้ฐานของเลขยกกำลังเท่ากันได้ก็จะแก้สมการเพื่อหาคำตอบได้ ซึ่งอาศัยสมบัติของฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล โดยเฉพาะสมบัติความเป็นฟังก์ชัน 1 – 1 ช่วยในการแก้สมการ

<u>บทนิยาม</u> ฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล คือ ฟังก์ชัน

$$f = \{(x, y) \in R \times R / y = a^x, a > 0, a \neq 1\}$$

<u>ข้อสังเกต</u> 1. ฐานของฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล ต้องเป็นจำนวนจริงบวกและไม่เท่ากับ 1

2. $a^{-x} = \frac{1}{a^x} = \left(\frac{1}{a}\right)^x$

พิจารณา $y = a^x$ เมื่อ X เป็นจำนวนจริงใด ๆ ถ้า $a = 1$ จะได้

$y = 1^x = 1$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันคงที่ จึงไม่ใช่ฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล

<u>บทนิยาม</u> ฟังก์ชันลอการิทึม คือ $f = \{(x, y) \in R^+ \times R / y = \log_a x, a > 0, a \neq 1\}$
ซึ่งเป็นฟังก์ชันผกผันของฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล

<u>ข้อสังเกต</u> ความสัมพันธ์ระหว่าง X กับ y ที่เขียนในรูป $x = a^y$ เขียนในรูปลอการิทึม

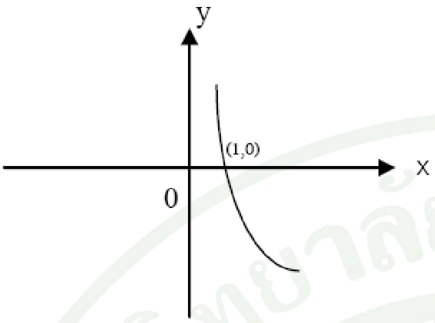
ได้ $y = \log_a x$

กราฟของฟังก์ชันลอการิทึม

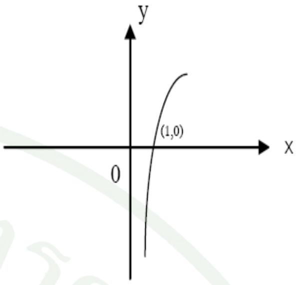
จากสมการ $y = \log_a x$; x > 0 และ a > 0 , a≠1 จึงสามารถแบ่ง a ได้เป็น 2 ช่วง คือ 0 < a < 1 และ a > 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อนำมาเขียนกราฟได้ดังนี้



กรณี 0 < a < 1



กรณี a > 1

ข้อสังเกตจากกราฟ

1. กราฟของฟังก์ชัน $y = \log_a x$; a > 0 และ a $\neq$ 1 จะผ่านจุด (1,0) เสมอ
2. ถ้า 0 < a < 1 แล้ว $y = \log_a x$ เป็นฟังก์ชันลด
3. ถ้า a > 1 แล้ว $y = \log_a x$ เป็นฟังก์ชันเพิ่ม
4. ฟังก์ชันลอการิทึมเป็นฟังก์ชัน 1 - 1 จาก R+ ไปทั่วถึง (ไปบน) R
5. ฟังก์ชันลอการิทึมเป็นฟังก์ชัน 1 - 1 จะได้ว่า $\log_a x = \log_a x$ ก็ต่อเมื่อ x = y

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

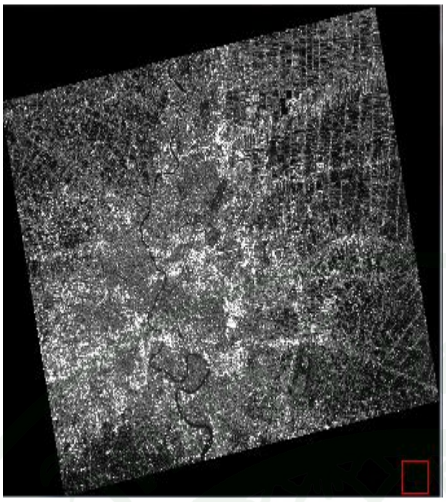
ข้อมูลนำเข้า

ค่าการสะท้อนกลับที่ได้จากภาพดาวเทียม ALOS/PALSAR และค่า IRI รายงานทุก 10 เมตร ข้อมูลทั้งสองเป็นข้อมูลที่อยู่ในช่วงระหว่างปี 2009-2010

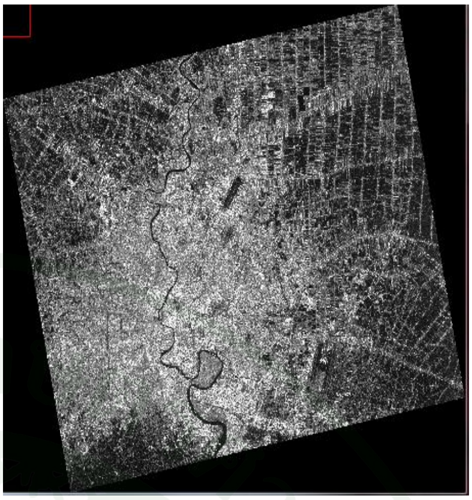
ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับ

เป็นข้อมูลภาพ ALOS/PALSAR (ALPSRP198470260) มีตำแหน่งศูนย์กลางอยู่ที่ละติจูด 13.841° (657466.9150 E, 1563524.9990 N) ณ วันที่ 15 ตุลาคม 2552 และ ข้อมูลภาพ ALOS/PALSAR (ALPSRP239383340) มีตำแหน่งศูนย์กลางอยู่ที่ละติจูด 13.831°(636349.6120 E, 1563819.3090 N) ณ วันที่ 23 กรกฎาคม 2553 ภาพที่ 43 แสดงค่าการสะท้อนกลับในทิศทาง HH, HV polarization ของภาพวันที่ 15 ตุลาคม 2552 และ วันที่ 23 กรกฎาคม 2553 โดยถูกซ้อนทับโดยทางวิ่งสนามบินสุวรรณภูมิ

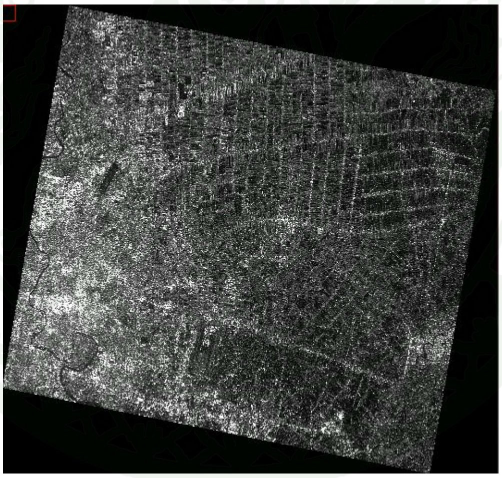
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 40 ข้อมูลภาพ PALSAR จากดาวเทียม ALOS เป็นภาพแสดงการสะท้อนกลับในทิศทาง (a) HH polarization ของภาพวันที่15 ตุลาคม 2552, (b) HV polarization ของภาพวันที่15 ตุลาคม 2552 polarization (c) HH polarization ของภาพวันที่ 23 กรกฎาคม 2553 ซ้อนทับโดยทางวิ่งสนามบินสุวรรณภูมิ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 แสดงรายละเอียดของข้อมูลภาพ ALOS/PALSAR (ระวางที่ ALPSRP239383340)

รายละเอียด	*ค่า*
Scene ID	ALPSRP 239383340
Scene Shift	0
Pixel Spacing	6.25
Orbit Data	Precision
Image Scene Center Latitude, Longitude	13.831, 100.815
Image Scene Left Top Latitude, Longitude	14.149, 100.549
Image Scene Right Top Latitude, Longitude	14.029, 101.185
Image Scene Left Bottom Latitude, Longitude	13.633, 100.446
Image Scene Right Bottom Latitude , Longitude	13.513, 101.081
Start Date Time	2010/07/23 03:36:27.351
End Date Time	2010/07/23 03:36:35.885
Off-Nadir Angle	34.3
No Of Pixels	12800
No Of Lines	11200
Process Level	1.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 แสดงรายละเอียดของข้อมูลภาพ ALOS/PALSAR (ระวางที่ ALPSRP198470260)

รายละเอียด	*ค่า*
Scene ID	ALPSRP198470260
Scene Shift	0
Pixel Spacing	12.5
Orbit Data	Precision
Image Scene Center Latitude, Longitude	13.841 ,100.609
Image Scene Left Top Latitude, Longitude	14.039 , 100.240
Image Scene Right Top Latitude, Longitude	14.161 , 100.872
Image Scene Left Bottom Latitude, Longitude	13.520 , 100.346
Image Scene Right Bottom Latitude , Longitude	13.642 , 100.976
Start Date Time	2009/10/15 15:59:11.368
End Date Time	2009/10/15 15:59:19.957
Off-Nadir Angle	34.3
No Of Pixels	6400
No Of Lines	5700
Process Level	1.5

ตารางที่ 10 แสดงค่าสถิติพื้นฐานทั้งหมด 758 ค่า ของค่าการสะท้อนกลับบนทางวิ่งสนามบินสุวรรณภูมิ ในทิศทาง HH, HV polarization โดยมีเส้นทางบนทางวิ่งสนามบินสุวรรณภูมิ ที่ทำการสำรวจ ได้แก่ TXL T6, TXL T11, Runway 19L, Runway 19R

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 แสดงค่าสถิติพื้นฐานทั้งหมด ของค่าการสะท้อนกลับบนทางวิ่งสนามบินสุวรรณภูมิ ในทิศทาง HH, HV polarization

ค่าสถิต	**ค่าการสะท้อนกลับ (หน่วย : DN)**	
	HH	**HV**
เฉลี่ย	1861.65	680.86
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	805.31	164.017
สูงสุด	10903	1387
ต่ำสุด	617	304
จำนวนค่าการสะท้อนกลับ	758	758

ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI)

เพื่อจะจำแนกระดับของการบริการขับขี่บนทางวิ่งของสนามบิน ได้ทำการจำแนกข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลจำนวน 390 ตัวอย่าง ดังตาราง (8) ตัวอย่างข้อมูลดังกล่าว จะถูกนำมาจำแนกตามมาตรฐานค่าดัชนีความขรุขระสากลซึ่งดัดแปลงจาก Paterson, 1987 สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระดับ ดังตารางที่ (9) ดังนั้น อาจสรุปได้ว่าค่าดัชนีความขรุขระสากลที่มีค่าต่ำ แสดงว่าผิวทางวิ่งสนามบินมีพื้นผิวทางที่เรียบ ไม่มีผลทำให้ยานพาหนะมีการสั่นสะเทือน มีผลให้ระดับบริการในการขับขี่บนทางวิ่งสนามบินอยู่ในระดับดีมาก ยิ่งค่าดัชนีความขรุขระสากลที่มีค่าสูง แสดงว่าผิวยิ่งขรุขระเกิดความชำรุดเสียหาย มีผลทำให้ยานพาหนะมีการสั่นสะเทือน มีผลให้ระดับการบริการอยู่ในระดับแย่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 แสดงค่าตัวอย่างสถิติพื้นฐาน ของทางวิ่งสนามบินสุวรรณภูมิ

ค่าสถิต	**ค่าการสะท้อนกลับ (หน่วย : DN)**		**IRI (mm/m)**
	HH	**HV**	
เฉลี่ย	1562.344	659.25	1.31
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	468.088	156.16	0.66
สูงสุด	3364	1005	4.60
ต่ำสุด	1025	385	0.50
จำนวนค่าการสะท้อนกลับ	195	195	390

ตารางที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความขรุขระสากลและแบ่งระดับการบริการในการขับขี่บนทางวิ่งสนามบิน (ดัดแปลงจาก Paterson, 1987)

ค่าดัชนีความขรุขระสากล (m/km หรือ mm/m)	**ระดับการบริการ**
≤ 3	ดี
> 3	แย่

ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความขรุขระสากลกับค่าการสะท้อนกลับ

เพื่อพัฒนารูปแบบระดับการบริการขับขี่บนทางวิ่งประการแรก คือจำเป็นที่จะต้องประเมินว่าข้อมูลที่สะท้อนกลับที่มีความสัมพันธ์สูงสุดกับค่าดัชนีความขรุขระ ดังนั้น จึงคัดเลือกชุดข้อมูลของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่สะท้อนกลับกับค่าดัชนีความขรุขระ โดยใช้แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นของการประเมินสภาพผิวทางวิ่งบนสนามบินและระดับบริการในการวิ่งบนสนามบินโดยการสร้างแบบจำลองจากการตรวจสอบความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนกลับของจากภาพ PALSAR ของดาวเทียม ALOS กับค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย จะประกอบด้วยตัวแปรตาม 1 ตัว และตัวแปรอิสระ เพียง 1 ตัว การวิเคราะห์เป็นการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองและสร้างรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นการพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม

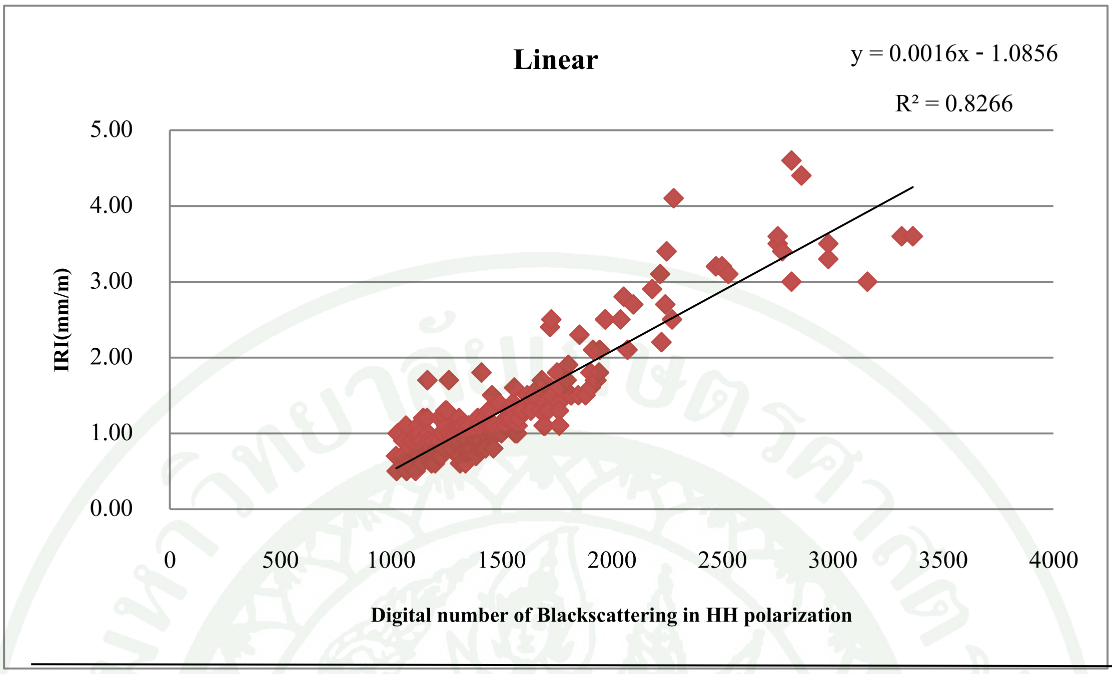
แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น $$\hat{Y} = a\hat{x} + b \quad (10)$$

ข้อมูลที่จะใช้ในการศึกษานี้ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลจำนวน 390 ตัวอย่าง สามารถแสดงความสัมพันธ์ดัง ภาพที่ 44 และ ภาพที่ 45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับและค่าดัชนีความขรุขระสากล สำหรับข้อมูลการสะท้อนกลับในทิศทาง (HH, HV) พบว่าค่า ข้อมูลการสะท้อนกลับในทิศทาง HH มีค่าสัมประสิทธิ์ของสมการสูงที่สุด (r = 0.9088) ดังนั้น ค่าการสะท้อนกลับในทิศทางนี้จะถูกใช้เป็นพารามิเตอร์ที่จะนำมาพัฒนาแบบการจำลอง

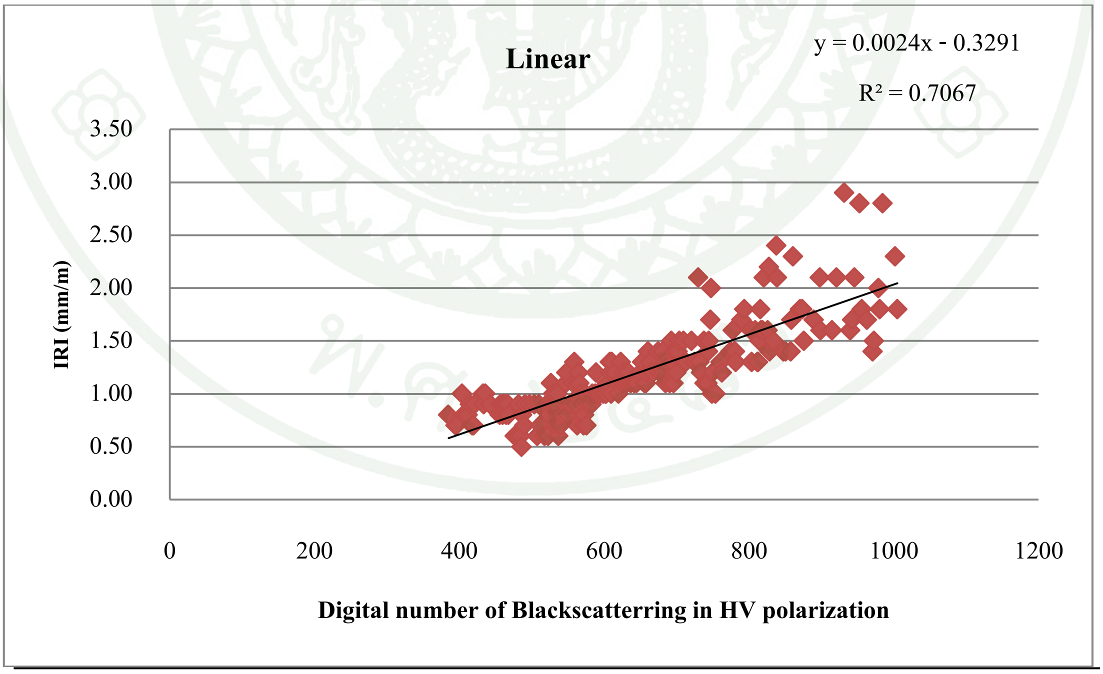
ตารางที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่สะท้อนกลับกับค่าดัชนีความขรุขระสากล

No	*Equation*	r^2	*r*
1	IRI=0.001HH - 1.085	0.826	0.9088
2	IRI=0.002HV - 0.329	0.706	0.8717

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับในทิศทาง HH polarization และค่าดัชนีความขรุขระสากล



ภาพที่ 42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับในทิศทาง HV polarization และค่าดัชนีความขรุขระสากล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดังนั้นรูปแบบการในประเมินระดับการบริการขับขี่บนทางวิ่ง ถูกสร้างขึ้นโดยใช้สมการที่ 10 เป็นตัวอ้างอิงในการสร้างแบบจำลอง โดยมีตัวแปรตามคือค่าดัชนีความขรุขระสากล โดยที่ a คือ ค่าคงที่ แทนค่า a = 0.001, b คือ ค่าความชันของเส้นกราฟ แทนค่า b = 1.085

$$\hat{Y} = 0.001(\hat{x}) + 1.085 \qquad (11)$$

เพื่อจำแนกระดับการบริการในการขับขี่บนทางวิ่ง โดยใช้สมการการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย เป็นตัวอ้างอิงในการสร้างแบบจำลอง โดยมีตัวแปรตามคือค่าดัชนีความขรุขระสากล โดยการคัดเลือกตัวอย่างเพื่อที่จะทำนายความถูกต้องของแบบจำลอง จำนวน 80 ตัวอย่าง เพื่อที่จะนำมาจำแนกตามมาตรฐานค่าดัชนีความขรุขระสากลสามารถจำแนกระดับการบริการ ได้เป็น 2 ระดับ คือ ระดับดี และ ระดับแย่

ตารางที่ 14 แสดงผลการจำแนกระดับการบริการในการขับขี่บนทางวิ่งสนามบินสุวรรณภูมิ

ข้อมูลจริงระดับ	**ทำนายระดับ**		**รวม**	**ร้อยละความถูกต้อง**
	แย่	**ดี**		
แย่	2	12	14	14.28
ดี	2	64	66	96.96
รวม	4	76	80	82.50
ร้อยละของทั้งหมด	5.00	95.00	100	82.50

แบบจำลองนี้ได้นำไปทดสอบกับผิวทางวิ่งของสนามบินสุวรรณภูมิ เพื่อจำแนกระดับการบริการในการขับขี่บนทางวิ่ง จำนวน 80 ตัวอย่าง จะเห็นได้ว่าแบบจำลองนี้มีความถูกต้องถึงร้อยละ 82.50 ดังแสดงในตารางที่ 11

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แบบจำลองเชิงทวีกำลัง (Exponential Model)

สมการเอกซ์โพเนนเชียล สมการที่มีตัวแปรเป็นเลขชี้กำลัง ถ้าทั้งสองข้างของสมการสามารถทำให้ฐานของเลขยกกำลังเท่ากันได้ก็จะแก้สมการเพื่อหาคำตอบได้ ซึ่งอาศัยสมบัติของฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล โดยเฉพาะสมบัติความเป็นฟังก์ชัน 1 – 1 ช่วยในการแก้สมการ

ฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล คือ ฟังก์ชัน

$$f = \{(x, y) \in R \times R / y = a^x, a > 0, a \neq 1\}$$

พิจารณา $y = a^x$ เมื่อ X เป็นจำนวนจริงใด ๆ ถ้า $a = 1$ จะได้

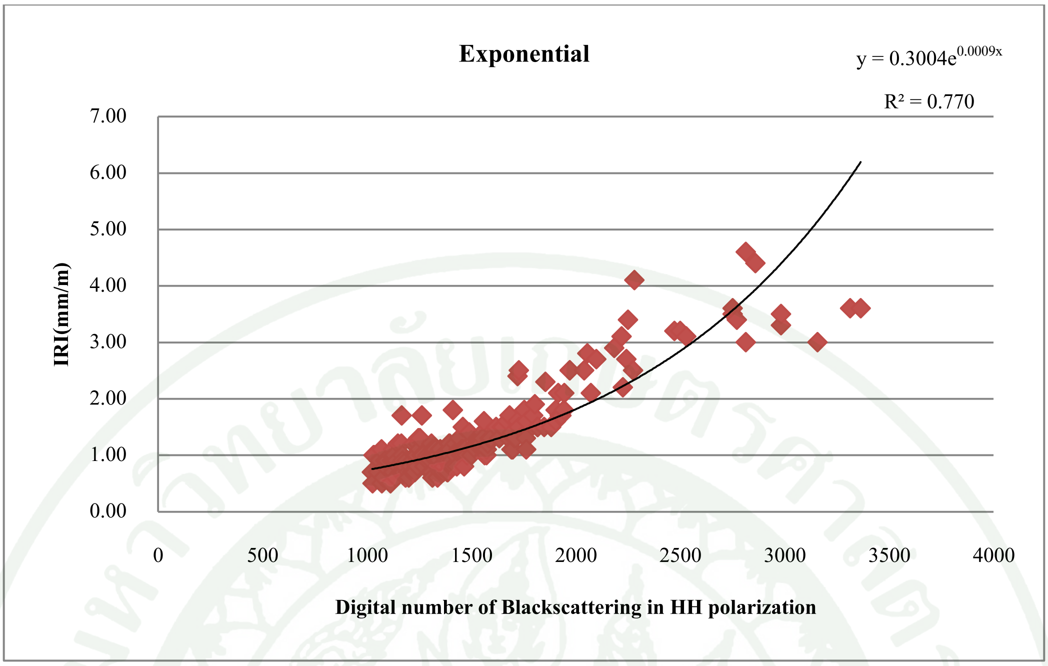
$$y = a^x \qquad (12)$$

ข้อมูลที่จะใช้ในการศึกษานี้ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลจำนวน 390 ตัวอย่าง สามารถแสดงความสัมพันธ์ดัง ภาพที่ 46 และ ภาพที่ 47 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับและค่าดัชนีความขรุขระสากล สำหรับข้อมูลการสะท้อนกลับในทิศทาง (HH, HV) พบว่าค่า ข้อมูลการสะท้อนกลับในทิศทาง HH มีค่าสัมประสิทธิ์ของสมการสูงที่สุด (r = 0.877) ดังนั้น ค่าการสะท้อนกลับในทิศทางนี้จะถูกใช้เป็นพารามิเตอร์ที่จะนำมาพัฒนาแบบการจำลอง

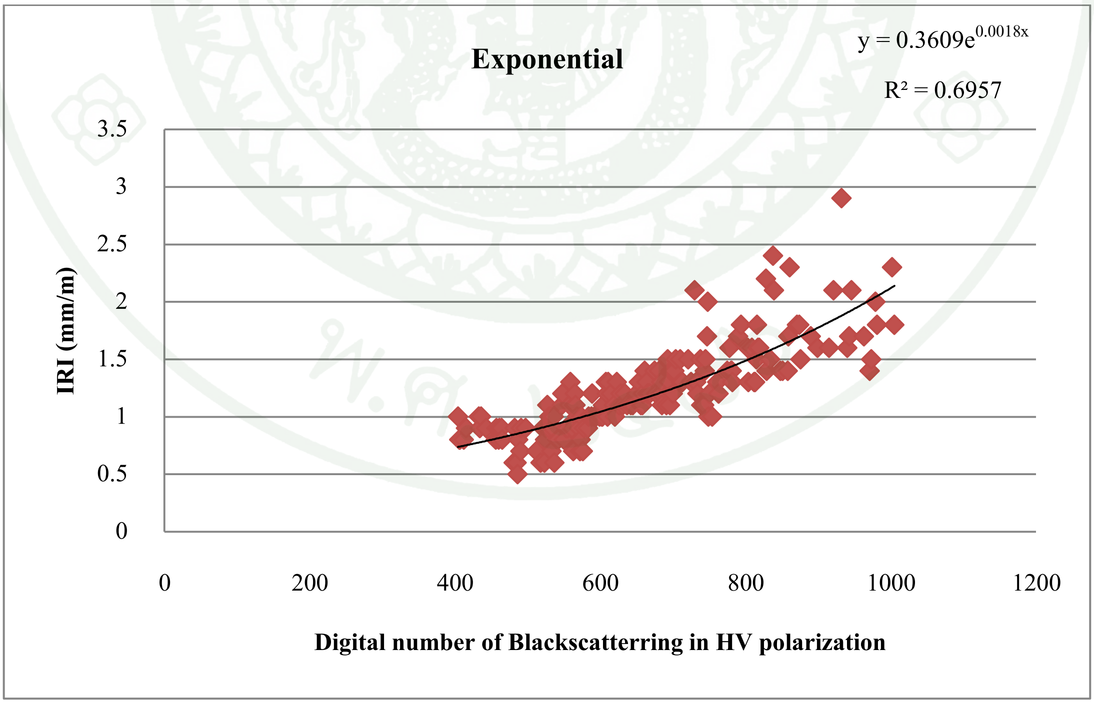
ตารางที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่สะท้อนกลับกับค่าดัชนีความขรุขระสากล

No	*Equation*	r^2	*r*
1	IRI= $0.3004e^{0.0090x}$	0.770	0.877
2	IRI= $0.360e^{0.001x}$	0.695	0.833

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับในทิศทาง HH polarization และค่าดัชนีความขรุขระสากล



ภาพที่ 44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับในทิศทาง HV polarization และค่าดัชนีความขรุขระสากล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดังนั้นรูปแบบการในประเมินระดับการบริการขับขี่บนทางวิ่ง ถูกสร้างขึ้นโดยใช้สมการที่ 12 เป็นตัวอ้างอิงในการสร้างแบบจำลอง โดยมีตัวแปรตามคือค่าดัชนีความขรุขระสากล โดยที่ a คือ ค่าคงที่ แทนค่า a = 0.3

เพื่อจำแนกระดับการบริการในการขับขี่บนทางวิ่ง โดยใช้สมการสมการเอกซ์โพเนนเชียล เป็นตัวอ้างอิงในการสร้างแบบจำลอง โดยมีตัวแปรตามคือค่าดัชนีความขรุขระสากล โดยการคัดเลือกตัวอย่างเพื่อที่จะทำนายความถูกต้องของแบบจำลอง จำนวน 80 ตัวอย่าง เพื่อที่จะนำมาจำแนกตามมาตรฐานค่าดัชนีความขรุขระสากลสามารถจำแนกระดับการบริการ ได้เป็น 2 ระดับ คือ ระดับดี และ ระดับแย่

ตารางที่ 16 แสดงผลการจำแนกระดับการบริการในการขับขี่บนทางวิ่งสนามบินสุวรรณภูมิ

ข้อมูลจริงระดับ	**ทำนายระดับ**		**รวม**	**ร้อยละความถูกต้อง**
	แย่	**ดี**		
แย่	3	15	18	16.67
ดี	17	45	62	72.58
รวม	20	60	80	77.5
ร้อยละของทั้งหมด	25	75	100	77.5

แบบจำลองนี้ได้นำไปทดสอบกับผิวทางวิ่งของสนามบินสุวรรณภูมิ เพื่อจำแนกระดับการบริการในการขับขี่บนทางวิ่ง จำนวน 80 ตัวอย่าง จะเห็นได้ว่าแบบจำลองนี้มีความถูกต้องร้อยละ 77.50 ดังแสดงในตารางที่ 13 ซึ่งมีค่าความถูกต้องน้อยกว่า แบบจำลองการถดถอบเชิงเส้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แบบจำลองสมการลอการิทึม Logarithmic

สมการลอการิทึม คือ สมการที่มีลอการิทึมของตัวแปร การแก้สมการเพื่อหาคำตอบของสมการลอการิทึมทำได้โดยการกำจัดลอการิทึม ซึ่งอาศัยสมบัติต่าง ๆของลอการิทึม โดยเฉพาะสมบัติการเป็นฟังก์ชัน

ฟังก์ชันลอการิทึม คือ $f = \{(x, y) \in R^{+} \times R / y = \log_a x, a > 0, a \neq 1\}$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันผกผันของฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล ได้ $y = \log_a x$

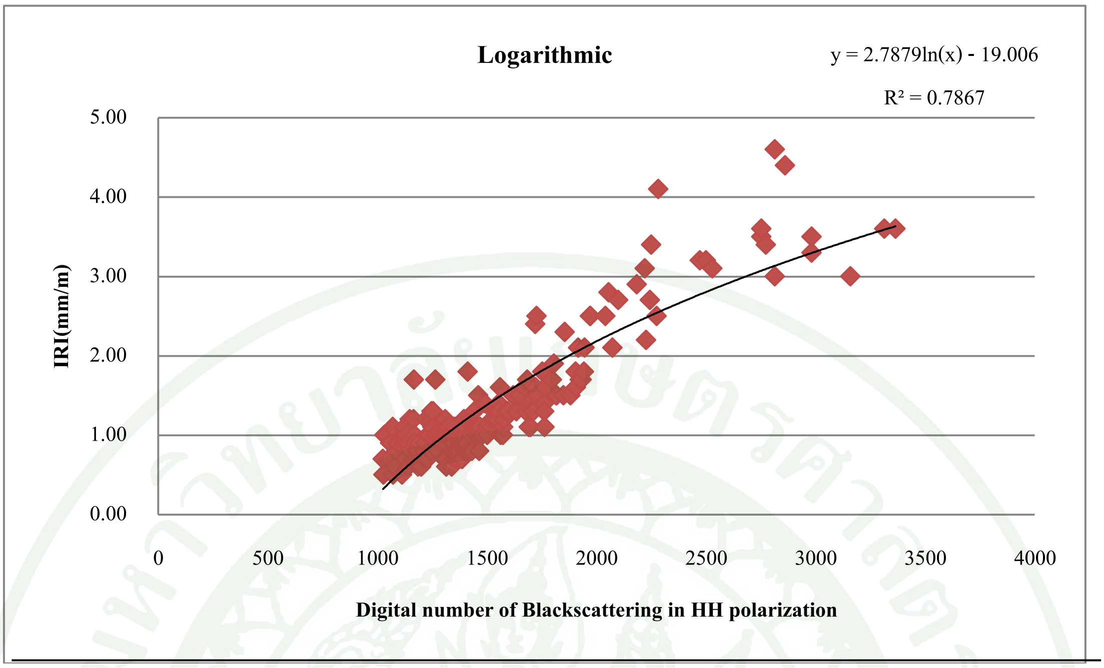
$$y = \log_a x \tag{13}$$

ข้อมูลที่จะใช้ในการศึกษานี้ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลจำนวน 390 ตัวอย่าง สามารถแสดงความสัมพันธ์ดัง ภาพที่ 48 และ ภาพที่ 49 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับและค่าดัชนีความขรุขระสากล สำหรับข้อมูลการสะท้อนกลับในทิศทาง (HH, HV) พบว่าค่า ข้อมูลการสะท้อนกลับในทิศทาง HH มีค่าสัมประสิทธิ์ของสมการสูงที่สุด (r =0.886) ดังนั้น ค่าการสะท้อนกลับในทิศทางนี้จะถูกใช้เป็นพารามิเตอร์ที่จะนำมาพัฒนาแบบการจำลอง

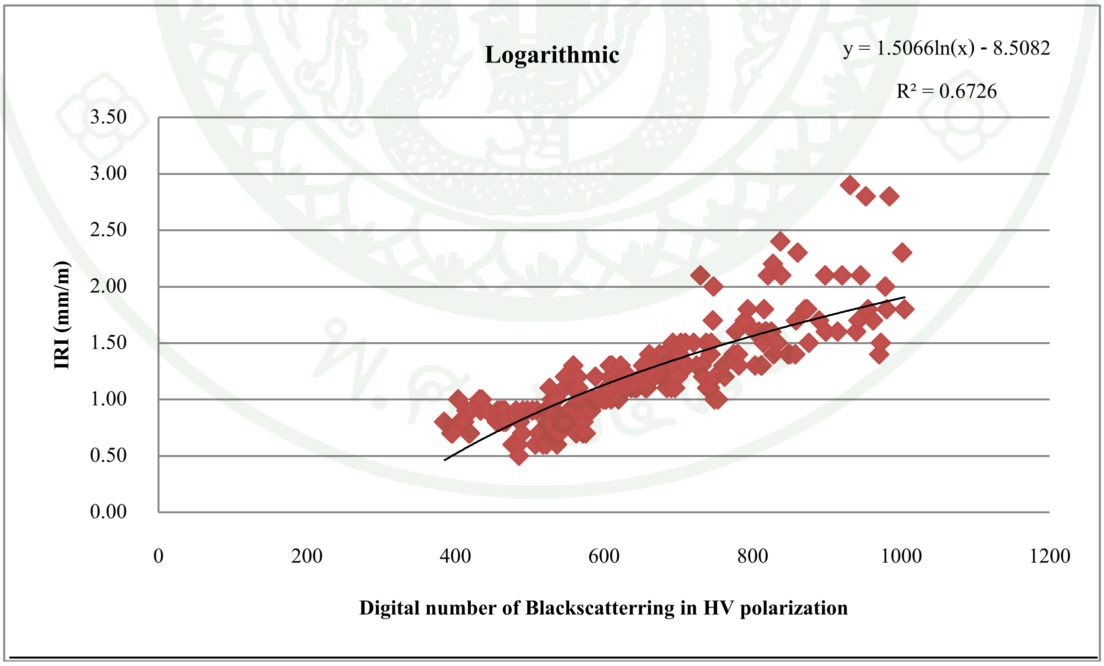
ตารางที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่สะท้อนกลับกับค่าดัชนีความขรุขระสากล

No	*Equation*	r^2	*r*
1	*IRI=2.787ln(x) -19.00*	0.786	0.886
2	*IRI= 1.506ln(x) 8.508*	0.672	0.819

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับในทิศทาง HH polarization และค่าดัชนีความขรุขระสากล



ภาพที่ 46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับในทิศทาง HV polarization และค่าดัชนีความขรุขระสากล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดังนั้นรูปแบบการในประเมินระดับการบริการขับขี่บนทางวิ่ง ถูกสร้างขึ้นโดยใช้สมการที่ 13 เป็นตัวอ้างอิงในการสร้างแบบจำลอง โดยมีตัวแปรตามคือค่าดัชนีความขรุขระสากล

เพื่อจำแนกระดับการบริการในการขับขี่บนทางวิ่ง โดยใช้สมการสมการสมการลอการิทึม เป็นตัวอ้างอิงในการสร้างแบบจำลอง โดยมีตัวแปรตามคือค่าดัชนีความขรุขระสากล โดยการคัดเลือกตัวอย่างเพื่อที่จะทำนายความถูกต้องของแบบจำลอง จำนวน 80 ตัวอย่าง เพื่อที่จะนำมาจำแนกตามมาตรฐานค่าดัชนีความขรุขระสากลสามารถจำแนกระดับการบริการ ได้เป็น 2 ระดับ คือ ระดับดี และ ระดับแย่

ตารางที่ 18 แสดงผลการจำแนกระดับการบริการในการขับขี่บนทางวิ่งสนามบินสุวรรณภูมิ

ข้อมูลจริงระดับ	ทำนายระดับ		รวม	ร้อยละความถูกต้อง
	แย่	ดี		
แย่	3	17	20	15
ดี	15	45	60	75
รวม	18	62	80	75
ร้อยละของทั้งหมด	22.5	77.5	100	75

แบบจำลองนี้ได้นำไปทดสอบกับผิวทางวิ่งของสนามบินสุวรรณภูมิ เพื่อจำแนกระดับการบริการในการขับขี่บนทางวิ่ง จำนวน 80 ตัวอย่าง จะเห็นได้ว่าแบบจำลองนี้มีความถูกต้องร้อยละ 75.00 ดังแสดงในตารางที่ 15 มีค่าความถูกต้องน้อยกว่า แบบจำลองที่ผ่านมาทั้ง 2 แบบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดังนั้น การคัดเลือกชุดข้อมูลของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่สะท้อนกลับกับค่าดัชนีความขรุขระ ที่จะใช้ในการศึกษานี้ พบว่าค่า ข้อมูลการสะท้อนกลับในทิศทาง HH ของแบบจำลองถดถอยเชิงเส้น มีค่าสัมประสิทธิ์ของสมการสูงที่สุด (r = 0.9088) ดังนั้น ค่าการสะท้อนกลับในทิศทางนี้จะถูกใช้เป็นพารามิเตอร์ที่จะนำมาพัฒนาแบบการจำลอง ดังนั้นรูปแบบการในประเมินระดับการบริการขับขี่บนทางวิ่ง ถูกสร้างขึ้นโดยใช้สมการการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายเป็นตัวอ้างอิงในการสร้างแบบจำลอง โดยมีตัวแปรตามคือค่าดัชนีความขรุขระสากล แบบจำลองนี้ได้นำไปทดสอบกับผิวทางวิ่งของสนามบินสุวรรณภูมิ เพื่อจำแนกระดับการบริการในการขับขี่บนทางวิ่ง จำนวน 80 ตัวอย่าง จะเห็นได้ว่าแบบจำลองนี้มีความถูกต้องถึงร้อยละ 82.50 ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อการทำนายระดับการบริการ คือ ค่าการสะท้อนกลับในทิศทางส่งข้อมูลในแนวราบและรับข้อมูลในแนวราบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

คุณภาพและระดับการให้บริการบนผิวทางวิ่งของสนามบินมีผลต่อผู้ใช้บริการ ดังนั้น ผิวทางวิ่งของสนามบินที่เกิดความเสียหาย ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือในเรื่องความปลอดภัยของสนามบิน จึงควรมีข้อกำหนดในมาตราฐานควบคุมคุณภาพของผิวทาง ถ้าสามารถทราบความเสียหายเบื้องต้นก่อนที่จะเกิดอันตราย จะทำให้สามารถวางแผนป้องกันและซ่อมแซมล่วงหน้าได้อย่างปลอดภัย

ที่มาในการที่จะศึกษางานวิจัยเนื่องจากต้องการที่จะพัฒนาแบบจำลองการประเมินสภาพผิวทางวิ่งบนสนามบินและระดับบริการในการวิ่งบนสนามบินโดยการสร้างแบบจำลองจากการตรวจสอบความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนกลับของจากภาพดาวเทียม ALOS ระบบ PALSAR กับค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) เพราะ ผิวทางวิ่งของสนามบินส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือในเรื่องความปลอดภัยของสนามบิน ในการพิจารณาในการวิจัยนี้มุ่งเน้นการประเมินสภาพผิวทางวิ่งและประเมินระยะเวลาที่เหมาะสมที่จะทำการการซ่อมบำรุงผิวทางและช่วยในเรื่องการลดค่าใช้จ่ายเพื่อสร้างความน่าเชื่อถือในเรื่องความมั่นคงและปลอดภัยของสนามบิน ส่วนในเรื่องความเสียหายในโครงสร้างของพื้นผิวทุกชนิดจะเกิดความเสียหายของที่พื้นผิว สามารถดูภายนอกจะชี้บอกถึงความเสื่อมอายุของพื้นผิวโดยการรับน้ำหนัก ปัจจัยที่จะเกิดความเสียหายสามารถเกิดได้จากทางสิ่งแวดล้อม หรือผลจากการก่อสร้าง เป็นต้น ดังนั้นการติดตามการเสียหายเชิงการใช้งานนี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับงานทาง ดังเช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้มีการลงทุนในการติดตาม ประเมินและซ่อมบำรุงทางหลวงมากกว่าที่จะมีการก่อสร้าง (Grote et al,2005)

มีผู้วิจัยจำนวนหนึ่ง ได้นำข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์มาพัฒนาเพื่อตรวจสอบคุณภาพทางยกตัวอย่าง เช่น **วีระเกษตร สวนผกา (2554)** ได้ศึกษาเบื้องต้นถึงการนำเสนอเทคนิคการพัฒนาแบบจำลองความน่าจะเป็นในการประเมินคุณภาพการขับขี่บนถนนซึ่งสามารถนำไปใช้ประเมินสภาพถนนในปัจจุบันได้ โดยใช้ข้อมูล GIS มาประยุกต์ใช้ได้กับถนนลาดยางและสร้างแบบจำลองทวินามโลจิท, **ชาติชาย ไวยสุระสิงห์ (2554)** ได้ทบทวนวรรณกรรมในการใช้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลสำหรับการประเมินความเสียหายจากน้ำท่วม ข้อมูลดาวเทียม ENVISAT และ RADARSAT-1/2 ได้รับการยอมรับให้เป็นข้อมูลดาวเทียมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการประเมินหรือ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ติดตามพิบัติภัยน้ำท่วม , **Adam et al. (1998)** ได้ทำแผนที่พื้นที่น้ำท่วมที่ Peace-Athabasca Delta ประเทศแคนนาดา ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องที่สูงถึง 90% , **Dewan et al. (2006)** ก็ได้นำภาพดาวเทียม RADARSAT-1 มาใช้วิเคราะห์น้ำท่วมที่เมืองดาก้า บังกลาเทศ

การศึกษานี้มุ่งเน้นการพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อประเมินสภาพผิวทางวิ่งบนสนามบินและรายงานเป็นค่าของระดับการให้บริการในการวิ่งบนท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ โดยมีเส้นทางที่ทำการสำรวจ 3 เส้นทาง ได้แก่ TXL T6, TXL T11, Runway 19L, Runway 19R และใช้ข้อมูลภาพ ALOS/PALSAR (ALPSRP198470260) มีตำแหน่งศูนย์กลางอยู่ที่ละติจูด 13.841° (657466.9150 E, 1563524.9990 N) ณ วันที่ 15 ตุลาคม 2552 และ ข้อมูลภาพ ALOS/PALSAR (ALPSRP239383340) มีตำแหน่งศูนย์กลางอยู่ที่ละติจูด 13.831°(636349.6120 E, 1563819.3090 N) ณ วันที่ 23 กรกฎาคม 2553

การทบทวนทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลในการวิจัยครั้งนี้ โดยจะเน้นในการของค่าดัชนีความขรุขระสากลที่จะนำมาประเมินสภาพผิวทางวิ่งของสนามบินโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการสร้างความสัมพันธ์

ค่าความขรุขระผิวทางหรือค่าดัชนีความขรุขระสากล ใช้ในการตรวจสอบกำหนดระดับความขรุขระของผิวทาง ที่มีผลทำให้ยานพาหนะมีการสั่นสะเทือน มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อเมตร (mm/m) หรือ เมตรต่อกิโลเมตร (m/km) โดยค่า IRI ต่ำกว่า จะมีความเรียบมากกว่าค่า IRI สูงกว่า แต่ไม่ได้เจาะถึงลักษณะสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิว

PALSAR เป็นระบบดาวเทียมของ ALOS เป็นเรดาร์ที่ใช้งานในคลื่นไมโครเวฟใช้ที่ความถี่ L-band สามารถส่งคลื่นทะลุเมฆและการมีสังเกตภาคพื้นดินได้ทั้งกลางวันและกลางคืน สามารถจะรับภาพได้ทั้งโพลาไรซ์ (V) แนวนอน (H) และแนวตั้ง หรือ การสะท้อนกลับแบบรูปแบบเต็ม (HH, HV, VH และโพลาไรซ์ VV) มุมอุบัติการณ์จะอยู่ในช่วง 8-30 °

วิธีการทดลองจะกล่าวถึงทฤษฎีที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ของงานวิจัยเพื่อการประเมินสภาพผิวทางวิ่งบนสนามบินและระดับบริการในการวิ่งบนสนามบินโดยการสร้างความเชื่อมโยงค่าความขรุขระและข้อมูลการสะท้อนกลับของภาพ PALSAR ทั้ง 2 ทิศทาง เพื่อคำนวนค่าสถิติเบื้องต้น เพื่อหาทิศทางของภาพ PALSAR ที่มีความสัมพันธ์กับค่าความขรุขระ เมื่อได้ค่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความสัมพันธ์มาแล้วจึงนำมาสร้างสมการคุณภาพในการขับขี่และระดับบริการบนทางวิ่งของสนามบิน ตามรูปแบบสมการ ในที่นี้จะเลือกการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่มีความสอดคล้องสูงสุด เพื่อที่จะนำไปใช้ในประเมินระดับการบริการขับขี่บนทางวิ่ง

ผลการวิเคราะห์ในงานวิจัยครั้งนี้ โดยข้อมูลนำเข้าเป็นค่าการสะท้อนกลับที่ได้จากภาพดาวเทียม ALOS/PALSAR และค่า IRI รายงานทุก 10 เมตร ข้อมูลทั้งสองเป็นข้อมูลที่อยู่ในช่วงระหว่างปี 2009-2010 ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับเป็นข้อมูลภาพ ALOS/PALSAR มาซ้อนทับโดยทางวิ่งสนามบินสุวรรณภูมิ เพื่อแสดงค่าการสะท้อนกลับในทิศทาง HH, HV polarization ของภาพวันที่ 15 ตุลาคม 2552 และ วันที่ 23 กรกฎาคม 2553 โดยมีค่าทางสถิติพื้นฐานทั้งหมด 758 ค่า และทำการคัดเลือกเพื่อจะจำแนกระดับของการบริการขับขี่บนทางวิ่งของสนามบิน โดยใช้จำนวนเท่ากับการจำแนกข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลจำนวน 390 ตัวอย่าง และนำมาจำแนกตามมาตรฐานค่าดัชนีความขรุขระสากลซึ่งดัดแปลงจาก Paterson, 1987 สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระดับ คือ ระดับดี และ ระดับแย่ เพื่อพัฒนารูปแบบระดับการบริการขับขี่บนทางวิ่งประการแรก คือจำเป็นที่จะต้องประเมินว่าข้อมูลที่สะท้อนกลับที่มีความสัมพันธ์สูงสุดกับค่าดัชนีความขรุขระ ดังนั้น จึงคัดเลือกชุดข้อมูลของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่สะท้อนกลับกับค่าดัชนีความขรุขระ ที่จะใช้ในการศึกษานี้ พบว่าค่า ข้อมูลการสะท้อนกลับในทิศทาง HH มีค่าสัมประสิทธิ์ของสมการสูงที่สุด (r = 0.9088) ดังนั้น ค่าการสะท้อนกลับในทิศทางนี้จะถูกใช้เป็นพารามิเตอร์ที่จะนำมาพัฒนาแบบการจำลอง ดังนั้นรูปแบบการในประเมินระดับการบริการขับขี่บนทางวิ่ง ถูกสร้างขึ้นโดยใช้สมการการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย เป็นตัวอ้างอิงในการสร้างแบบจำลอง โดยมีตัวแปรตามคือค่าดัชนีความขรุขระสากล แบบจำลองนี้ได้นำไปทดสอบกับผิวทางวิ่งของสนามบินสุวรรณภูมิ เพื่อจำแนกระดับการบริการในการขับขี่บนทางวิ่ง จำนวน 80 ตัวอย่าง จะเห็นได้ว่าแบบจำลองนี้มีความถูกต้องถึงร้อยละ 82.50

การศึกษานี้เป็นการนำเสนอวิธีการใหม่สำหรับการประเมินระดับการบริการในการขับขี่บนทางวิ่งสนามบิน โดยวิธีการสร้างขึ้นโดยใช้สมการการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย เป็นตัวอ้างอิงในการสร้างแบบจำลอง จากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่า ถ้าค่าการสะท้อกลับของข้อมูลมีการรับส่งในทิศทางเดียวกัน แนว HH polarization ที่เพิ่มขึ้น จะมีผลให้ทางวิ่งของสนามบินมีความขรุขระมากขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อการทำนายระดับการบริการคือ ค่าการสะท้อนกลับในทิศทางส่งข้อมูลในแนวราบและรับข้อมูลในแนวราบ (HH-polarization) จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นต้นที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ได้ทำนาย มีผลให้การวิเคราะห์ของแบบจำลองนี้มีความถูกต้องร้อยละ 82.50 ดังนั้น อาจสรุปได้ว่า ค่าดัชนีความขรุขระสากลที่มีค่าต่ำ แสดงว่าผิวทางวิ่งสนามบินมีพื้นผิวทางที่เรียบ ไม่มีผลทำให้ยานพาหนะมีการสั่นสะเทือน มีผลให้ระดับบริการในการขับขี่บนทางวิ่งสนามบินอยู่ในระดับดีมาก ยิ่งค่าดัชนีความขรุขระสากลที่มีค่าสูง แสดงว่าผิวยิ่งขรุขระเกิดความชำรุดเสียหาย มีผลทำให้ยานพาหนะมีการสั่นสะเทือน มีผลให้ระดับการบริการอยู่ในระดับแย่

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาขั้นต้นและนำภาพข้อมูล PALSAR ช่วงปี 2009-2010 เท่านั้น ซึ่งในอนาคตภาพถ่ายดาวเทียมจะมีความละเอียดมากกว่านี้จึงอาจส่งผลให้แบบจำลองจะมีความแม่นยำสูงกว่าดังนั้น ควรมีการนำภาพและข้อมูลดัชนีความขรุขระสากลในหลายช่วงเวลามาทำการพัฒนาแบบจำลอง เพื่อที่จะทำให้แบบจำลองมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ ทำให้สามารถนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่นๆได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2546. **หลักสถิติ.** พิมพ์ครั้งที่ 7. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ฐากูร จันทราภรณ์. 2544. **การศึกษาการซ่อมบำรุงผิวทางในประเทศไทย**, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท , มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปนัดดา ทัศวิล. 2551. **การพัฒนาดัชนีสภาพทางหลวงเพื่อวิเคราะห์การซ่อมบำรุงทางอย่างมีประสิทธิภาพ: กรณีศึกษาการวิเคราะห์ทางลาดยางภาคตะวันออกด้วยโปรแกรม HDM–4,** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรรณวิสา เมฆฉาย, อรรถกร จารุมณี, 2553**. การวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับอากาศยานบนทางวิ่ง ณ ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ โดยการดำเนินการพร้อมกันสองทางวิ่ง,** ปริญญาศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**.**

วีระเกษตร สวนผกา, วาทินี ศรีศักดา, 2547. **การศึกษาขั้นต้นเกี่ยวกับแบบจำลองคุณภาพการขับขี่บนทางหลวงโดยใช้การรับรู้ระยะไกลในย่านไมโครเวฟ**, เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 16, มหาวิทยาลัยมหิดล, นครปฐม

วีระชัย วงษ์วีระนิมิตร. 2547. **การพัฒนาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางลาดยางในถนนที่มีปริมาณจราจรต่ำโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: 10–13. อ้างถึง Paterson, William D.O. 1987. Road Deterioration and Maintenance Effects Models for Planning and Management. 1. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London.

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน).2006. **GISTDA All right Reserved**.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

องอาจ ยิ้มละมัย. 2553. **วิธีการประเมินผลสภาพความเสียหายของพื้นผิวสนามบิน เพื่อสนับสนุนการทำงานของ บริษัทการท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน),** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

American Society for Testing and Materials. 2005. **Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys**. ASTM. D5340–04.

Alexander T.Wells,Ed.D. and Seth B. Young.2004. **Airport Planning and Management**, United States McGraw-Hill.

Federal Aviation Administration (FAA). Federal Aviation Administration (FAA). FAA (Federal Aviation Administration) Subject: **AIRPORT PAVEMENT MANAGEMENT PROGRAM** Date: 9/01/06 AC No: 150/5380-7A

Japan International Cooperation Agency (JICA) and Airport of Thailand Public Company Limited (AOT). **Study for Establishment of An Airfield Pavement Management System (APMS) at Suvarnabhumi Airport Final Report.** February, 2006**.**

International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada, (ICAO) (www.icao.org). **International Standards and Recommended Practices, Aerodromes; Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation; Volume 1, "Aerodrome Design and Operations**,". 3rd Edition, 1999.

International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada, (ICAO) (www.icao.org). **Operational Life of Airport Pavements**. (DOT/FAA/AR-04/46) Report No. DOT/FAA/AR-04/46 Report Date December 2004 Author(s) Navneet Garg, Edward Guo, and Roy McQueen.

Sayers, M.W., Karamihas, S.M. , 1998. The Little Book of Profiling - **Basic Information about Measuring Interpreting Road Profiles**. University of Michigan: Ann Arbor, MI, USA, p.102.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

M.Y.Shahind Third Printing 1998. **Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots.**

Weerakaset S. and Kamiya Y. 2010, **Riding quality model for asphalt pavement monitoring using Phase Array type L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR)**, Open ACESS REMOTE SENSING, 2010, 2, 2531-2546.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

สรุปค่าพิกัดของสนามบินสุวรรณภูมิ

ตารางผนวกที่ ก1 สรุปค่าสถิติเบื้องต้นของข้อมูลพิกัดสนามบิน

Name	Value	HH	HV	IRI
Runway 19 R	AVERAGE	1544.732	638.1536	1.35
	Max	2954	1040	19.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

	Min	617	310	0.3
Runway 19 L	AVERAGE	1843.368	719.09	1.26
	Max	4004	1387	5.8
	Min	709	304	0.5
Taxiway T6 CL	AVERAGE	2217.636		1.41
	Max	2849		3.5
	Min	1439		0.6
Taxiway T6 L	AVERAGE	2217.636		1.83
	Max	2849		3.6
	Min	1439		0.7
Taxiway T6 R	AVERAGE	2217.636		1.85
	Max	2849		3.4
	Min	1439		0.9
Taxiway T11 CL	AVERAGE	2710.816		2.99
	Max	8198		8.2
	Min	1072		1.1
Taxiway T11 L	AVERAGE	2778.184		3.56
	Max	10903		9.3
	Min	1121		1.5
Taxiway T11 R	AVERAGE	2460.053		5.64
	Max	6803		14.4
	Min	959		1.7

ตารางผนวกที่ ก2 ค่าความสัมพันธ์ของภาพถ่ายและค่าความขรุขระ

HH	HV	IRI	HH*HV	HH/HV	HV/HH
1595	956	1.80	1524820	1.67	0.60
1904	981	1.80	1867824	1.94	0.52

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1943	794	1.80	1542742	2.45	0.41
2151	1005	1.80	2161755	2.14	0.47
2207	874	1.80	1928918	2.53	0.40
2502	648	1.80	1621296	3.86	0.26
2002	817	1.60	1635634	2.45	0.41
2019	809	1.60	1633371	2.50	0.40
2148	616	1.60	1323168	3.49	0.29
2804	803	1.60	2251612	3.49	0.29
3093	778	1.60	2406354	3.98	0.25
1392	979	1.50	1362768	1.42	0.70
1818	907	1.50	1648926	2.00	0.50
1882	721	1.50	1356922	2.61	0.38
1905	738	1.50	1405890	2.58	0.39
2034	876	1.50	1781784	2.32	0.43
2215	504	1.50	1116360	4.39	0.23
2325	822	1.50	1911150	2.83	0.35
1501	744	1.40	1116744	2.02	0.50
1684	890	1.40	1498760	1.89	0.53
1761	848	1.40	1493328	2.08	0.48
1813	634	1.40	1149442	2.86	0.35
1879	642	1.40	1206318	2.93	0.34
1926	641	1.40	1234566	3.00	0.33
2013	971	1.40	1954623	2.07	0.48
2111	781	1.40	1648691	2.70	0.37
2121	775	1.40	1643775	2.74	0.37
2320	548	1.40	1271360	4.23	0.24

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

HH	HV	IRI	HH*HV	HH/HV	HV/HH
2351	697	1.40	1638647	3.37	0.30
2372	908	1.40	2153776	2.61	0.38

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2660	829	1.40	2205140	3.21	0.31
2821	851	1.40	2400671	3.31	0.30
1091	607	1.30	662237	1.80	0.56
1144	725	1.30	829400	1.58	0.63
1247	595	1.30	741965	2.10	0.48
1291	485	1.30	626135	2.66	0.38
1320	497	1.30	656040	2.66	0.38
1373	440	1.30	604120	3.12	0.32
1411	664	1.30	936904	2.13	0.47
1430	498	1.30	712140	2.87	0.35
1465	550	1.30	805750	2.66	0.38
1502	384	1.30	576768	3.91	0.26
1546	477	1.30	737442	3.24	0.31
1556	761	1.30	1184116	2.04	0.49
1589	455	1.30	722995	3.49	0.29
1618	611	1.30	988598	2.65	0.38
1634	568	1.30	928112	2.88	0.35
1671	812	1.30	1356852	2.06	0.49
1678	653	1.30	1095734	2.57	0.39
1712	501	1.30	857712	3.42	0.29
1762	457	1.30	805234	3.86	0.26
1936	666	1.30	1289376	2.91	0.34
2014	684	1.30	1377576	2.94	0.34
2182	623	1.30	1359386	3.50	0.29
2197	695	1.30	1526915	3.16	0.32
2254	781	1.30	1760374	2.89	0.35

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

HH	HV	IRI	HH*HV	HH/HV	HV/HH
2279	813	1.30	1852827	2.80	0.36
2399	732	1.30	1756068	3.28	0.31

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

989	681	1.20	673509	1.45	0.69
1025	725	1.20	743125	1.41	0.71
1165	677	1.20	788705	1.72	0.58
1192	583	1.20	694936	2.04	0.49
1245	628	1.20	781860	1.98	0.50
1279	510	1.20	652290	2.51	0.40
1310	659	1.20	863290	1.99	0.50
1361	750	1.20	1020750	1.81	0.55
1377	843	1.20	1160811	1.63	0.61
1394	607	1.20	846158	2.30	0.44
1396	634	1.20	885064	2.20	0.45
1420	916	1.20	1300720	1.55	0.65
1523	774	1.20	1178802	1.97	0.51
1533	529	1.20	810957	2.90	0.35
1547	565	1.20	874055	2.74	0.37
1579	666	1.20	1051614	2.37	0.42
1736	609	1.20	1057224	2.85	0.35
1771	610	1.20	1080310	2.90	0.34
1841	665	1.20	1224265	2.77	0.36
1860	634	1.20	1179240	2.93	0.34
2008	836	1.20	1678688	2.40	0.42
2040	512	1.20	1044480	3.98	0.25
2237	801	1.20	1791837	2.79	0.36
2303	763	1.20	1757189	3.02	0.33
2313	783	1.20	1811079	2.95	0.34
2543	650	1.20	1652950	3.91	0.26

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

HH	HV	IRI	HH*HV	HH/HV	HV/HH
2667	734	1.20	1957578	3.63	0.28
1121	558	1.10	625518	2.01	0.50

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1125	713	1.10	802125	1.58	0.63
1201	790	1.10	948790	1.52	0.66
1252	637	1.10	797524	1.97	0.51
1316	696	1.10	915936	1.89	0.53
1328	566	1.10	751648	2.35	0.43
1351	739	1.10	998389	1.83	0.55
1378	661	1.10	910858	2.08	0.48
1398	468	1.10	654264	2.99	0.33
1453	645	1.10	937185	2.25	0.44
1458	527	1.10	768366	2.77	0.36
1553	697	1.10	1082441	2.23	0.45
1575	786	1.10	1237950	2.00	0.50
1605	707	1.10	1134735	2.27	0.44
1680	822	1.10	1380960	2.04	0.49
1699	589	1.10	1000711	2.88	0.35
1713	558	1.10	955854	3.07	0.33
1714	638	1.10	1093532	2.69	0.37
1763	772	1.10	1361036	2.28	0.44
1775	706	1.10	1253150	2.51	0.40
1786	831	1.10	1484166	2.15	0.47
1817	664	1.10	1206488	2.74	0.37
1870	743	1.10	1389410	2.52	0.40
1879	656	1.10	1232624	2.86	0.35
1966	712	1.10	1399792	2.76	0.36
1968	626	1.10	1231968	3.14	0.32
2005	547	1.10	1096735	3.67	0.27

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

HH	HV	IRI	HH*HV	HH/HV	HV/HH
2043	732	1.10	1495476	2.79	0.36
2134	685	1.10	1461790	3.12	0.32

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2164	691	1.10	1495324	3.13	0.32
2366	658	1.10	1556828	3.60	0.28
2462	604	1.10	1487048	4.08	0.25
2648	564	1.10	1493472	4.70	0.21
1032	766	1.00	790512	1.35	0.74
1117	711	1.00	794187	1.57	0.64
1131	662	1.00	748722	1.71	0.59
1238	711	1.00	880218	1.74	0.57
1270	602	1.00	764540	2.11	0.47
1313	735	1.00	965055	1.79	0.56
1321	620	1.00	819020	2.13	0.47
1330	532	1.00	707560	2.50	0.40
1334	588	1.00	784392	2.27	0.44
1425	636	1.00	906300	2.24	0.45
1431	529	1.00	756999	2.71	0.37
1452	683	1.00	991716	2.13	0.47
1455	592	1.00	861360	2.46	0.41
1559	599	1.00	933841	2.60	0.38
1561	507	1.00	791427	3.08	0.32
1568	561	1.00	879648	2.80	0.36
1573	574	1.00	902902	2.74	0.36
1679	504	1.00	846216	3.33	0.30
1760	730	1.00	1284800	2.41	0.41
1772	648	1.00	1148256	2.73	0.37
1839	613	1.00	1127307	3.00	0.33
1881	718	1.00	1350558	2.62	0.38

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

HH	HV	IRI	HH*HV	HH/HV	HV/HH
1991	683	1.00	1359853	2.92	0.34
2084	639	1.00	1331676	3.26	0.31

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2109	610	1.00	1286490	3.46	0.29
2252	613	1.00	1380476	3.67	0.27
2345	436	1.00	1022420	5.38	0.19
933	769	0.90	717477	1.21	0.82
940	608	0.90	571520	1.55	0.65
1058	723	0.90	764934	1.46	0.68
1061	643	0.90	682223	1.65	0.61
1130	467	0.90	527710	2.42	0.41
1142	534	0.90	609828	2.14	0.47
1171	588	0.90	688548	1.99	0.50
1219	497	0.90	605843	2.45	0.41
1243	703	0.90	873829	1.77	0.57
1265	497	0.90	628705	2.55	0.39
1274	625	0.90	796250	2.04	0.49
1290	415	0.90	535350	3.11	0.32
1314	464	0.90	609696	2.83	0.35
1379	680	0.90	937720	2.03	0.49
1389	482	0.90	669498	2.88	0.35
1408	690	0.90	971520	2.04	0.49
1459	642	0.90	936678	2.27	0.44
1472	634	0.90	933248	2.32	0.43
1515	616	0.90	933240	2.46	0.41
1598	525	0.90	838950	3.04	0.33
1630	578	0.90	942140	2.82	0.35
1654	529	0.90	874966	3.13	0.32
1679	504	0.90	846216	3.33	0.30

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

HH	**HV**	**IRI**	**HH*HV**	**HH/HV**	**HV/HH**
1808	498	0.90	900384	3.63	0.28
2123	461	0.90	978703	4.61	0.22

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1067	659	0.80	703153	1.62	0.62
1087	552	0.80	600024	1.97	0.51
1094	691	0.80	755954	1.58	0.63
1150	571	0.80	656650	2.01	0.50
1182	693	0.80	819126	1.71	0.59
1212	661	0.80	801132	1.83	0.55
1276	648	0.80	826848	1.97	0.51
1306	602	0.80	786212	2.17	0.46
1337	603	0.80	806211	2.22	0.45
1369	497	0.80	680393	2.75	0.36
1414	616	0.80	871024	2.30	0.44
1509	524	0.80	790716	2.88	0.35
1572	406	0.80	638232	3.87	0.26
1594	542	0.80	863948	2.94	0.34
1687	468	0.80	789516	3.60	0.28
1162	682	0.70	792484	1.70	0.59
1163	539	0.70	626857	2.16	0.46
1178	563	0.70	663214	2.09	0.48
1199	640	0.70	767360	1.87	0.53
1217	558	0.70	679086	2.18	0.46
1300	571	0.70	742300	2.28	0.44
1366	541	0.70	739006	2.52	0.40
1375	562	0.70	772750	2.45	0.41
1416	538	0.70	761808	2.63	0.38
1443	540	0.70	779220	2.67	0.37

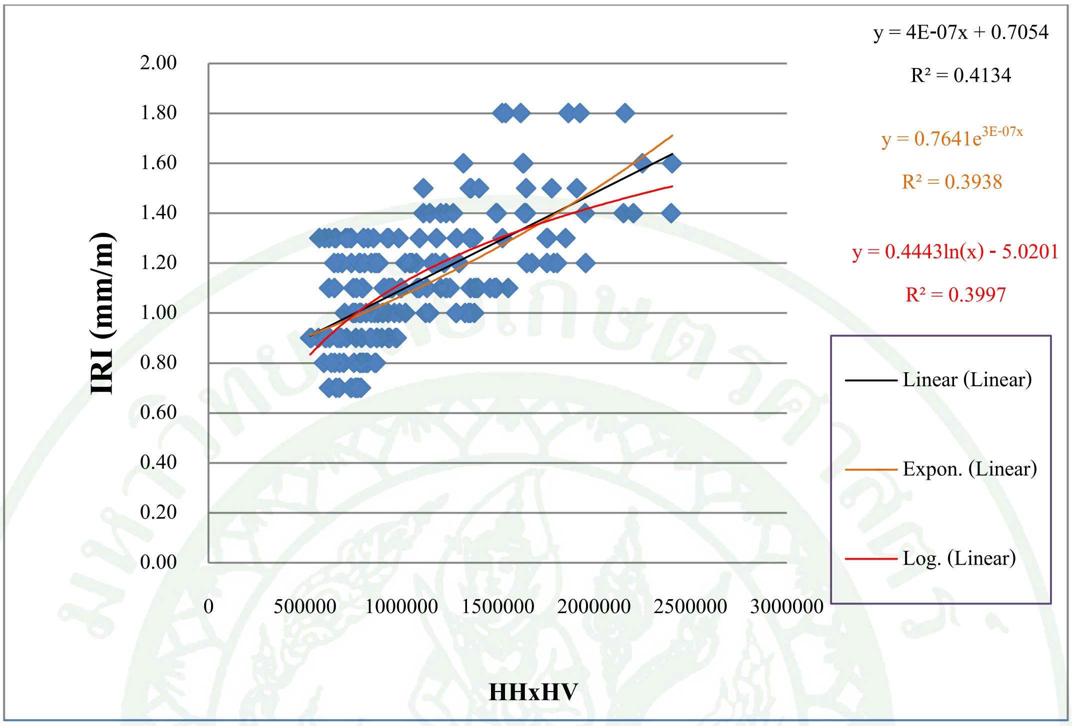
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างทดสอบสมการของแบบจำลอง

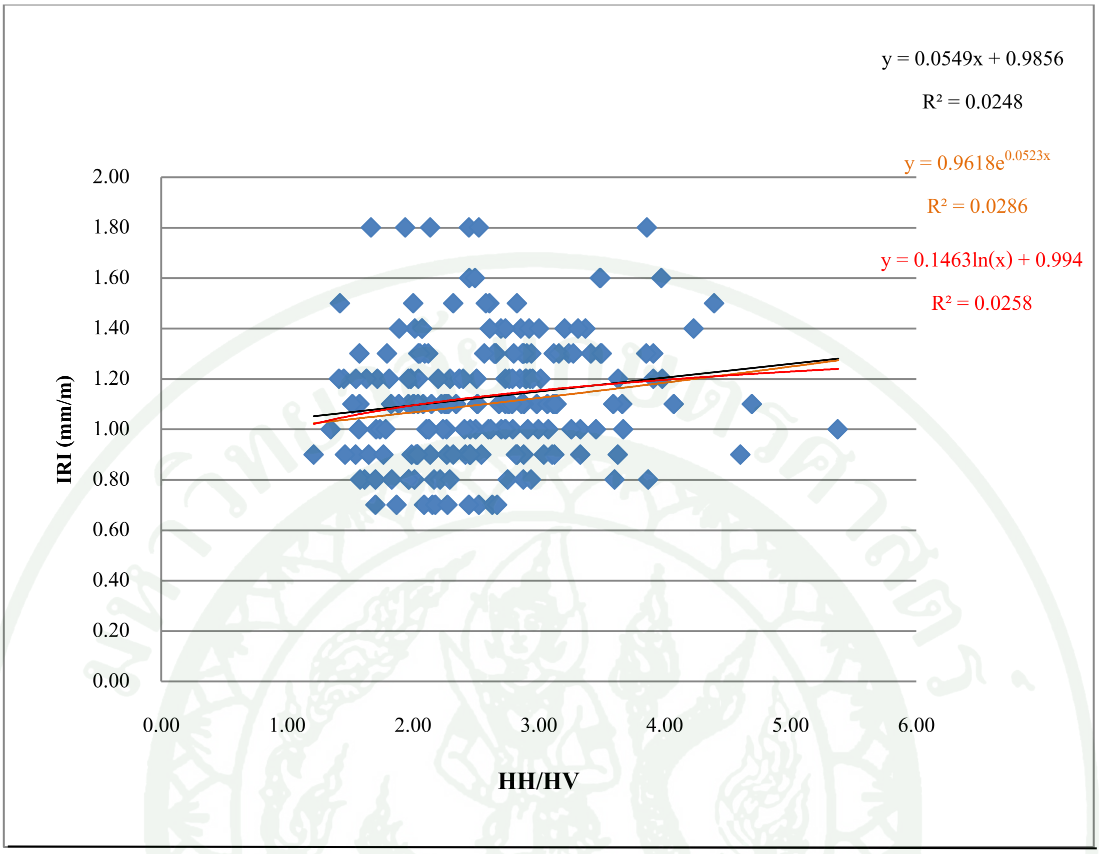
ข้อมูลในการศึกษานี้ คือ ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลจำนวน 390 ตัวอย่าง เป็นการนำมาหาพารามิเตอร์ที่จะนำมาพัฒนาแบบการจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับ และค่าดัชนีความขรุขระสากล สำหรับข้อมูลการสะท้อนกลับมีการตั้งสมมติฐานในหลายรูปแบบที่จะนำมาใช้ในการพิจารณา หาตัวพารามิเตอร์ที่จะนำมาพัฒนาแบบการจำลองต่อไป ดังตัวอย่างนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



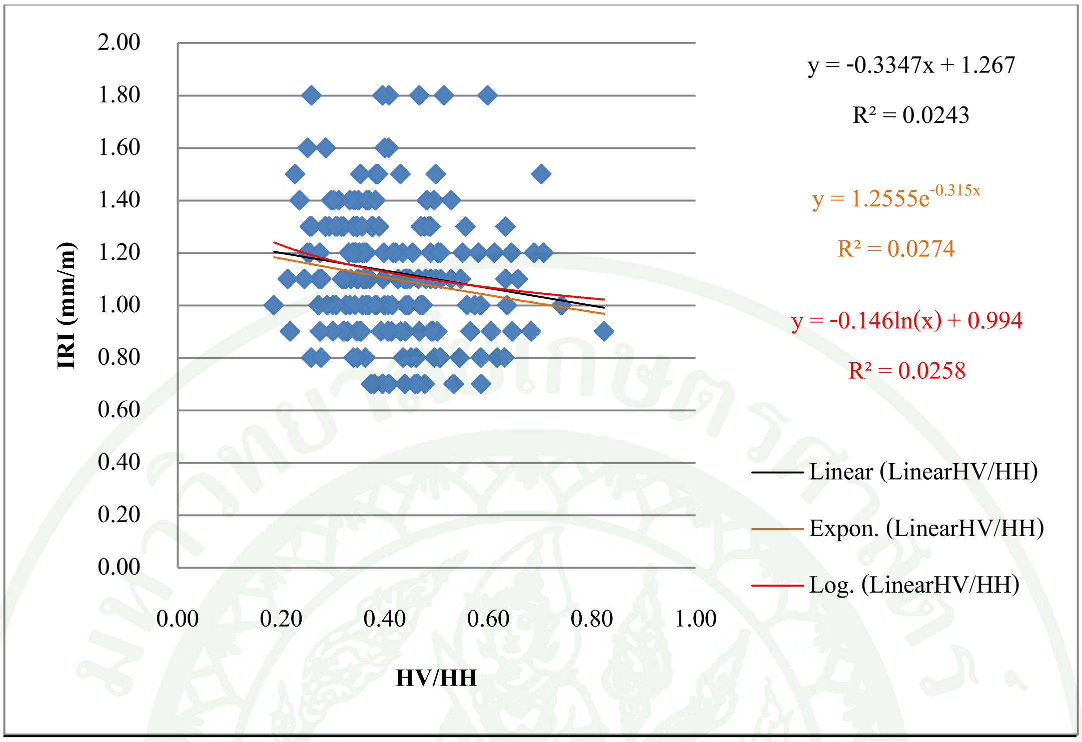
ภาพผนวกที่ ข1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับในทิศทาง HH polarization * HV polarization และค่าดัชนีความขรุขระสากล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ข2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับในทิศทาง HH polarization / HV polarization และค่าดัชนีความขรุขระสากล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



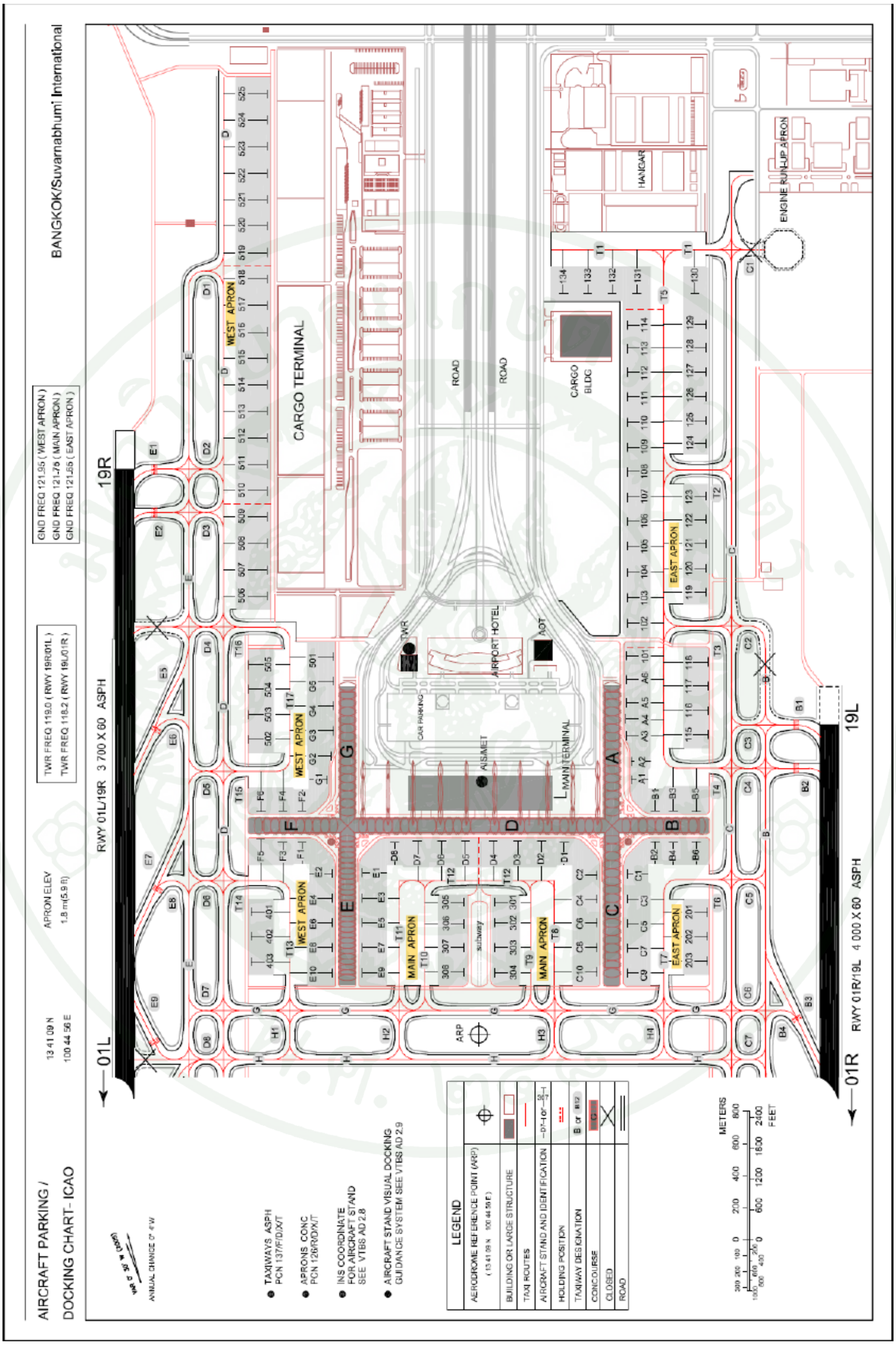
ภาพผนวกที่ ข3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับในทิศทาง HV polarization / HH polarization และค่าดัชนีความขรุขระสากล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ค

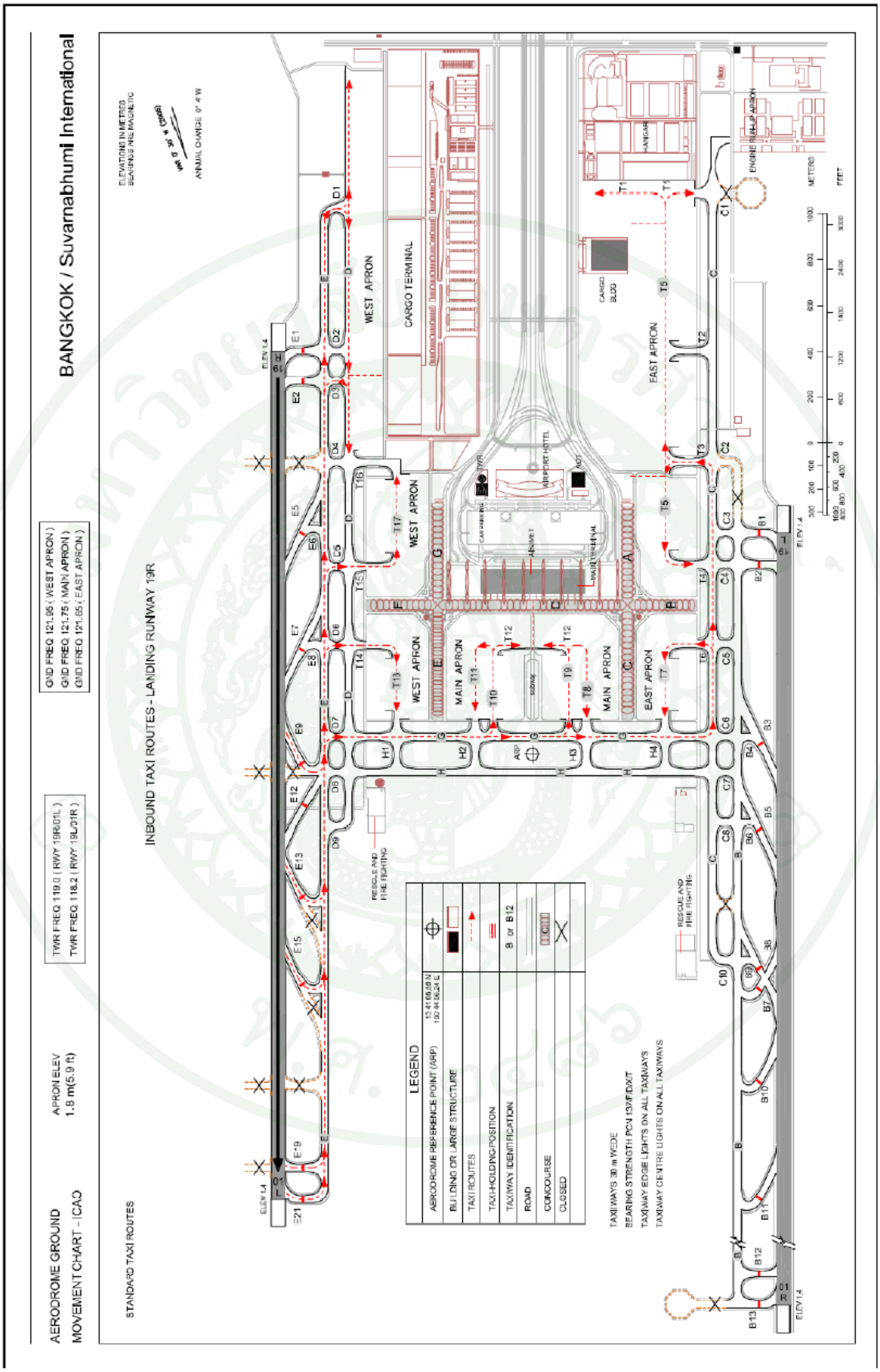
Suvarnabhumi Airport Chart

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



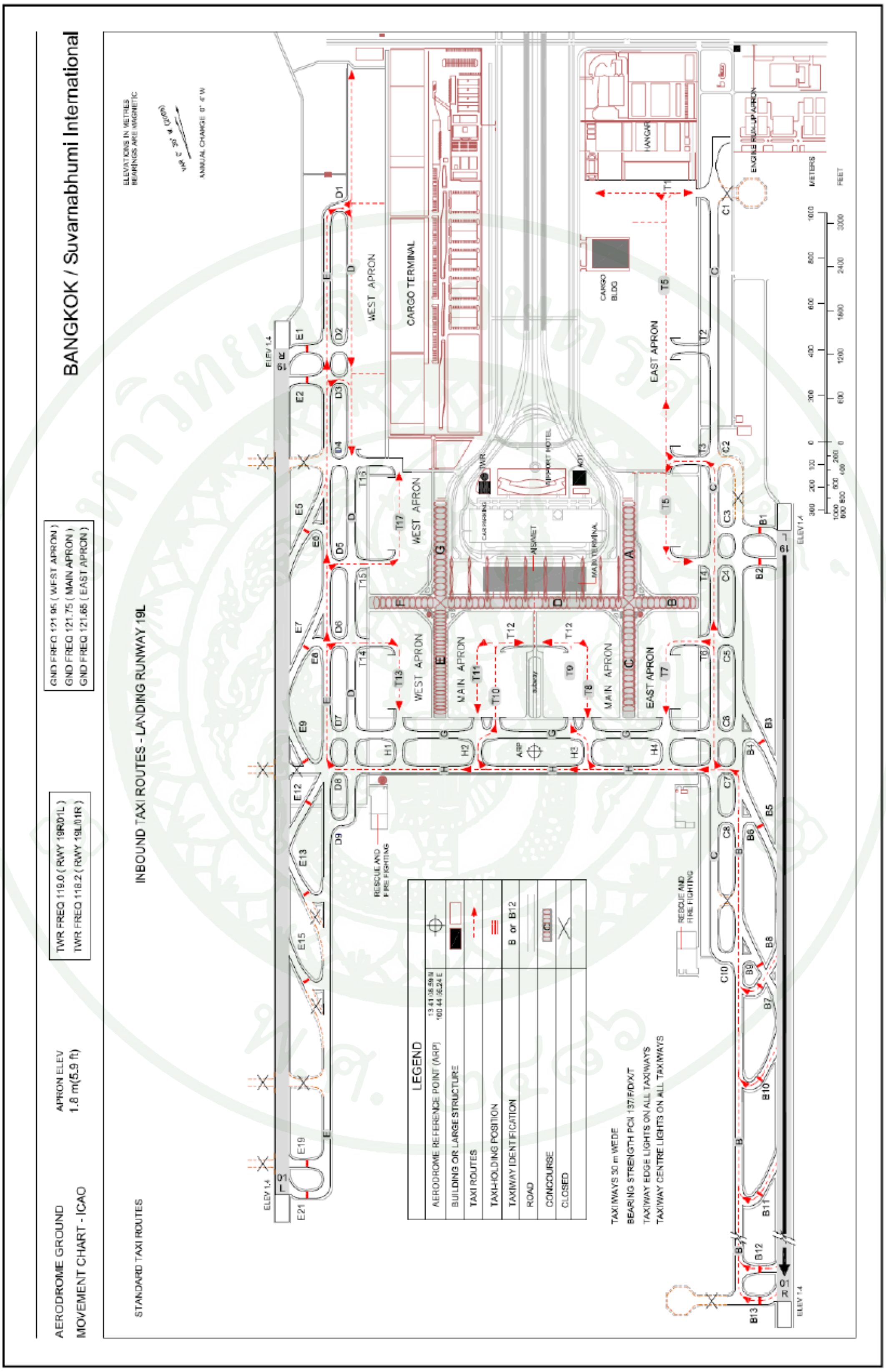
ภาพผนวกที่ ค1 Aircraft Parking/Docking Chart

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



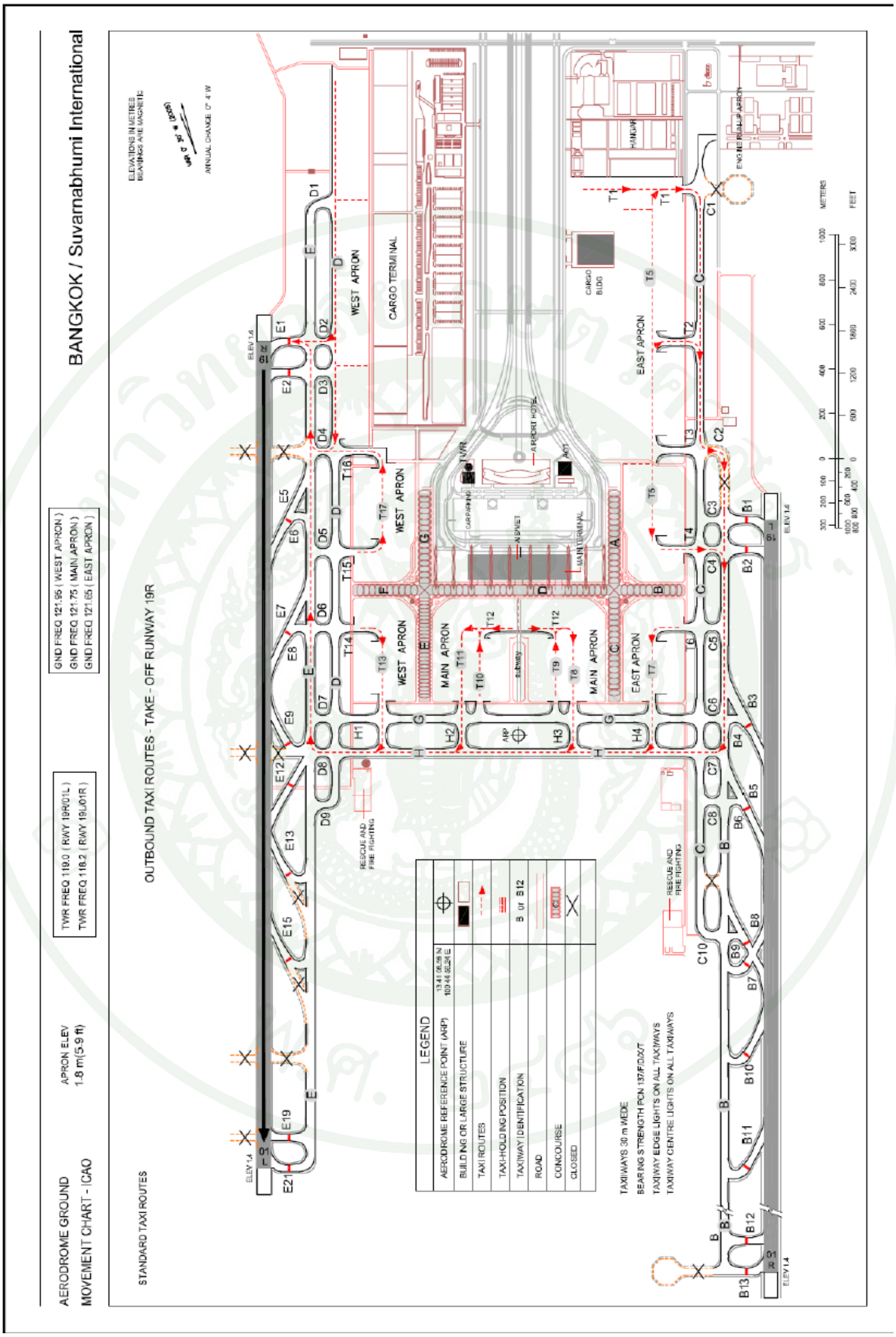
ภาพผนวกที่ ค2 Airport Ground Movement Chart (Inbound Taxi Routes - RWY 19R

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



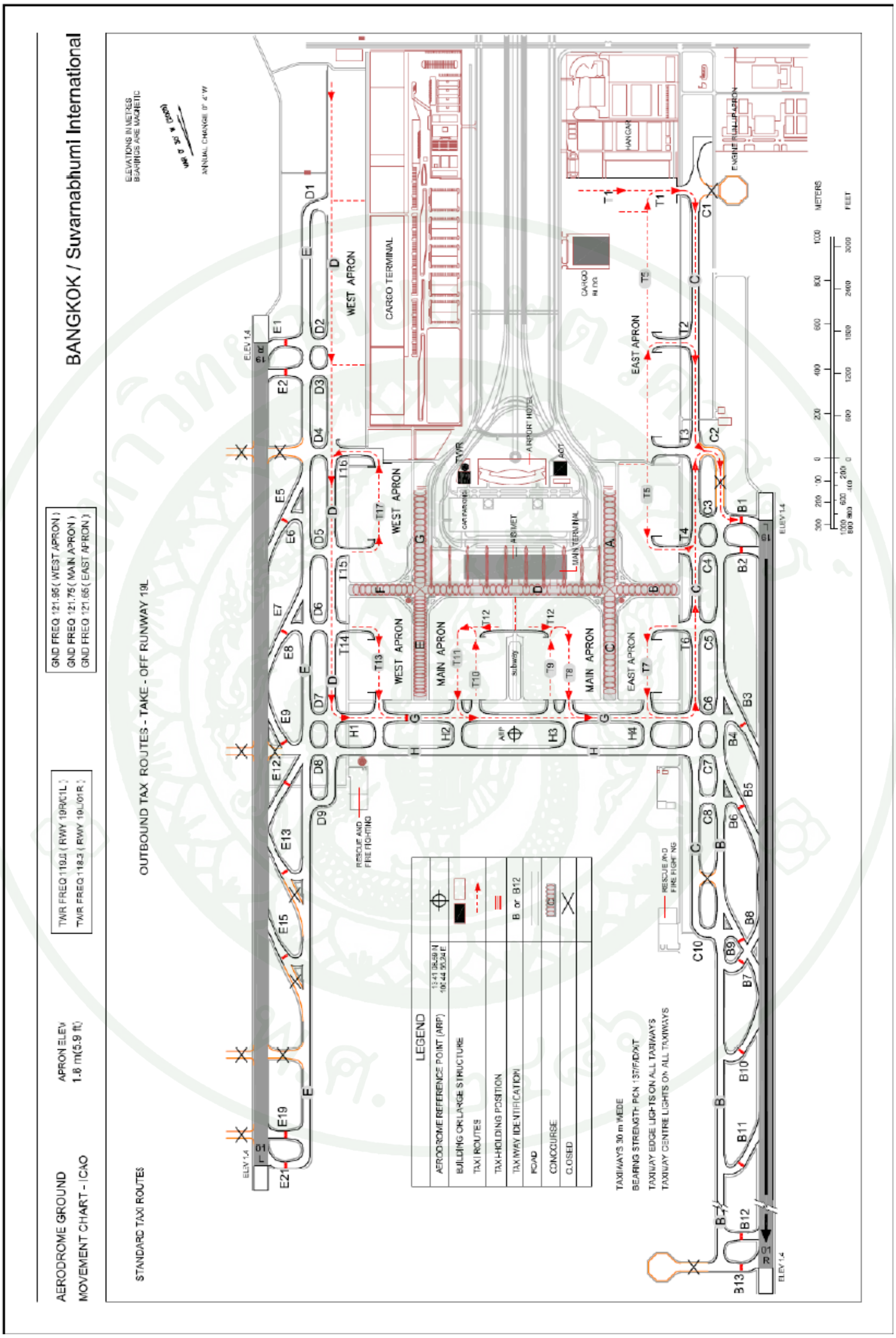
ภาพผนวกที่ ค3 Airport Ground Movement Chart (Inbound Taxi Routes – RWY 19L)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ค4 Airport Ground Movement Chart (Outbound Taxi Routes – RWY 19R)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ค5 Airport Ground Movement Chart (Outbound Taxi Routes – RWY 19L)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวภัทราพร มัจฉาฉ่ำ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 30 ธันวาคม 2529
สถานที่เกิด	สุพรรณบุรี
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (โยธา) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	–
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	–
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	–
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	–

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์