

โครงการวิศวกรรมการบินและօ瓦ກາສ
ภาควิชาวิศวกรรมการบินและօ瓦ກາສ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เรื่อง

การวิเคราะห์ข้อมูลการจราจรทางอากาศสำหรับการประเมิน
ความซับซ้อนของน่านฟ้า

Air Traffic Data Analysis for Airspace Complexity Assessment

โดย

นายชฎานนท์ ทาธิจันทร์ 6210506241

นายสหรัถ ฉัตรวัฒนาภูล 6210506861

พ.ศ. 2565

การวิเคราะห์ข้อมูลการจราจรทางอากาศสำหรับการประเมินความซับซ้อนของน่านฟ้า

Air Traffic Data Analysis for Airspace Complexity Assessment

โดย

นายชญาณนท์ ทาธิจันทร์ 6210506241

นายสหัสส ฉัตรวัฒนาภุล 6210506861

โครงการวิศวกรรมการบินและօวกาศ
ภาควิชาวิศวกรรมการบินและօวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการบินและօวกาศ

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ วันที่ เดือน พ.ศ.

(ดร.ศุภชัย ชัยเมธานันท์)

กรรมการ นันท์ ลีลาวดี วันที่ 16 เดือน ก.ย. พ.ศ. 2565

(ดร.พสิษฐ์ สีบลวงศ์)

กรรมการ 222 วันที่ 23 เดือน ก.ย. พ.ศ. 2565

(วงศ์.ดร.เวชพงศ์ ชุติชูเดช)

นายชญานนท์ ทาธิจันทร์ ปีการศึกษา 2565
นายสหรัถ ฉัตรวัฒนาภูด ปีการศึกษา 2565
การวิเคราะห์ข้อมูลการบริหารทางอากาศสำหรับการประเมินความซับซ้อนของน่าฝน
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (สาขาวิศวกรรมการบินและอวกาศ) ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการขนส่งทางอากาศมีความสำคัญทางด้านคมนาคมเป็นอย่างมากและยังเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญในการพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ โดยระบบห่วงอากาศและการบริหารจราจรทางอากาศถือเป็นหัวใจหลักที่ทำให้สามารถให้บริการด้านจราจรทางอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยในประเทศไทยการขนส่งทางอากาศมีการขยายตัวและเติบโตอย่างรวดเร็วทำให้การจราจรทางอากาศมีความหนาแน่นและความซับซ้อนอย่างยิ่งทำให้การจัดการจราจรทางอากาศอาจเกินขีดความสามารถในการจัดการของมนุษย์และก่อให้เกิดความล่าช้าและความเสียหายทางด้านความปลอดภัยได้ จึงต้องมีการควบคุมและจัดการอย่างเป็นระบบ

ในโครงการนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะวิเคราะห์ความซับซ้อนของการจราจรในห้วงอากาศเพื่อนำไปใช้สนับสนุนการออกแบบห้วงอากาศให้สามารถรองรับปริมาณจราจรทางอากาศที่เพิ่มสูงขึ้น เพื่อทำให้การขนส่งทางอากาศของประเทศไทยเกิดความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไป

ผลการเปรียบเทียบค่าความซับซ้อนของแต่ละอินดิเคเตอร์ การวัดค่าความซับซ้อนที่ได้จากทั้ง 3 อินดิเคเตอร์ มีความสอดคล้องกันและค่าความซับซ้อนค่อนข้างมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยค่าความซับซ้อนที่วัดได้ในแต่ละอินดิเคเตอร์สามารถนำไปสนับสนุนในด้านการจัดการจราจรทางอากาศ เช่น การแบ่งห้วงอากาศออกเป็นเซกเตอร์ เพื่อลดค่าความซับซ้อน การเปรียบเทียบกันว่าห้วงอากาศไหนมีค่าความซับซ้อนมากกว่าเพื่อพิจารณาว่าสามารถออกแบบห้วงอากาศใหม่เพื่อลดค่าความซับซ้อนได้ และการออกแบบห้วงอากาศใหม่สามารถใช้ค่าความซับซ้อนเพื่อประเมินว่าการออกแบบนั้นมีประสิทธิภาพหรือไม่

คำสำคัญ ความซับซ้อน, ห้วงอากาศ, การจัดการจราจรทางอากาศ

เลขที่เอกสารข้างต้น E1334-SCC-4-2565

Chayanon

Thatthichan

Academic Year 2022

Saharat

Chutwattanakul

Academic Year 2022

Air Traffic Data Analysis for Airspace Complexity Assessment

Bachelor Degree in Aerospace Engineering, Department of Aerospace Engineering

Faculty of Engineering, Kasetsart University

Abstract

In the present, air transportation is an essential form of transportation and it's also one of the most important factors in developing country's competitive advantage. Airspace system and Air Traffic Management (ATM) are keys to provide an efficient and safe air traffic services in Thailand. Growing rapidly, the density and complexity of air traffic are so great that air traffic management may exceed human capacity and cause delays and breach of safety. Therefore, it must be controlled and managed systematically.

The objective of this project is to analyze the complexity of air traffic in order to support the design of airspace, support increasing air traffic, and make Thailand's air transport safer and more efficient.

Comparison of the complexity of each indicator. The complexity measurements obtained from the three indicators are consistent and the complexity values tend to go in the same direction. The complexity measured in each indicator can be used to support air traffic management, such as dividing airspace into sectors to reduce complexity, comparing which airspace is more complex to determine if a new airspace can be designed to reduce complexity and new airspace design can use complexity values to assess whether the design is effective.

Keywords: Complexity, Airspace, Air Traffic Management

Department Reference No E1334-SCC-4-2565

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิเคราะห์ข้อมูลการจราจรทางอากาศสำหรับการประเมินความซับซ้อนของน่านฟ้าสามารถ
ลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลเหล่านี้ชึ่งทางผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณในความกรุณา
และเสียสละ สำหรับความรู้ คำแนะนำ และเวลาอันมีค่าที่ใช้ในการให้คำปรึกษา

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ที่ได้จัดสถานที่และทุนทรัพย์ในการทำโครงการ

ขอขอบพระคุณ ดร.ศุภชชชา ชัยเมธานันท์ อ้างารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้ความกรุณาช่วยเหลือในการ
ให้ความรู้ และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำโครงการ ตลอดจนช่วยประสานงานในทุก ๆ ด้านจน
ทำให้โครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ วงศ์.ดร.เวชพงศ์ ชุติชูเดช และ ดร.พลิชช์ สีบสุวงศ์ สำหรับคำแนะนำและชี้แนะแนวทางใน
การแก้ไขปัญหา รวมถึงข้อผิดพลาดต่างๆ จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้

ขอขอบพระคุณ บริษัท เดลว์ แอร์สเปซ จำกัด สำหรับการให้ข้อมูลเที่ยวบิน ข้อมูลขอบเขตประเทศไทย
และข้อมูลขอบเขตห้วงอากาศของประเทศไทย

สุดท้ายนี้ทางผู้จัดทำโครงการ ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอน ประสิทธิ์ประสาวิชาตลอด
การเรียนในหลักสูตรปริญญาตรี ครอบครัวที่เคยให้การสนับสนุน อิกทั้งเพื่อน พี่ และน้องในภาควิชาวิศวกรรมการ
บินและอวกาศที่เคยเป็นกำลังใจให้ผู้จัดทำตลอดมา

นายชุมานนท์ ทาธิจันทร์

นายสหัส ฉัตรวัฒนาภูล

ผู้จัดทำ

สารบัญ

สารบัญ	VI
สารบัญภาพ	IX
สารบัญตาราง.....	XII
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	XIII
1 บทนำ.....	1
1.1. วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.2. ขอบเขตของโครงการ.....	1
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2
2.1. ห้วงอากาศ (AIRSPACE).....	2
2.2. ADS-B (AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE – BROADCAST)	5
2.3. ความซับซ้อน (COMPLEXITY)	6
2.4. การนับจำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมง (HOURLY ENTRY COUNT)	7
2.4.1. หลักการ	7
2.4.2. ข้อดี	7
2.4.3. ข้อเสีย	8
2.4.4. ตัวอย่างการคำนวณ	9
2.5. การนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา (OCCUPANCY COUNT)	9
2.5.1. หลักการ	9
2.5.2. ข้อดี	10
2.5.3. ข้อเสีย	10
2.5.4. ตัวอย่างการคำนวณ	10
2.6. ความหนาแน่นไดนามิก (DYNAMIC DENSITY).....	11
2.6.1. หลักการ	11
2.6.2. ข้อดี	11
2.6.3. ข้อเสีย	11
2.7. การตรวจสอบเอกสาร (LITERATURE REVIEW)	12
3 เครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงการ	13
3.1. ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทำโครงการ	13
3.2. ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทำโครงการ	13

3.3.	สถานที่ในการปฏิบัติงาน.....	13
4	วิธีการดำเนินโครงการ	14
4.1.	การเก็บรวบรวมข้อมูล (DATA COLLECTION)	16
4.2.	การทำความสะอาดข้อมูล (DATA CLEANSING)	17
4.3.	การจัดเรียงแซมเพลจelaใหม่ (RESAMPLING TIME)	19
4.4.	ตรวจสอบเชกเตอร์ของหัวอากาศ	21
4.5.	การตรวจสอบความถูกต้องค่าความชั้บช้อน (VALIDATION)	21
4.6.	ผลค่าความชั้บช้อนในแต่ละอินดิเคเตอร์	21
4.7.	ทำการวิเคราะห์ค่าความชั้บช้อนที่ได้ในแต่ละอินดิเคเตอร์	22
4.8.	ทำการเปรียบเทียบค่าความชั้บช้อนที่ได้ในแต่ละอินดิเคเตอร์	22
5	ผลการดำเนินโครงการและวิจารณ์	23
5.1.	การเก็บรวบรวมข้อมูล (DATA COLLECTION)	23
5.2.	การทำความสะอาดข้อมูล (DATA CLEANSING)	24
5.2.1.	จัดการกับข้อมูลที่หายไปหรือไม่สมบูรณ์	24
5.2.2.	ทำการกรองข้อมูลตามเกณฑ์ตั้งไว้	24
5.3.	การจัดเรียงแซมเพลจelaใหม่ (RESAMPLING TIME)	24
5.4.	ตรวจสอบเชกเตอร์ของหัวอากาศ	25
5.5.	การตรวจสอบความถูกต้องค่าความชั้บช้อน (VALIDATION)	25
5.5.1.	การวัดค่าความชั้บช้อน ระยะเวลา (Duration) และขั้น (Step) คือ 1 ชั่วโมงและ 15 นาที ตามลำดับ ใน เชกเตอร์ 4S	25
5.5.2.	การวัดค่าความชั้บช้อนที่เวลาทุกๆ 3 ชั่วโมง ในเชกเตอร์ 4S	26
5.6.	ผลค่าความชั้บช้อนในแต่ละอินดิเคเตอร์	27
5.6.1.	ผลค่าความชั้บช้อนในอินดิเคเตอร์การนับจำนวนการเข้าออกรายชั่วโมง (Hourly Entry Count)	27
5.6.2.	ผลค่าความชั้บช้อนในอินดิเคเตอร์การนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา (Occupancy Count)	37
5.6.3.	ผลค่าความชั้บช้อนในความหนาแน่นไดนามิก (Dynamic Density)	47
5.7.	การวิเคราะห์ความชั้บช้อนในแต่ละอินดิเคเตอร์	57
5.7.1.	อินดิเคเตอร์การนับจำนวนการเข้าออกรายชั่วโมง (Hourly Entry Count)	57
5.7.2.	อินดิเคเตอร์การนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา (Occupancy Count)	58
5.7.3.	อินดิเคเตอร์ความหนาแน่นไดนามิก (Dynamic Density)	59

5.8.	การเปรียบเทียบค่าความชื้บช้อนในแต่ละอินดิเคเตอร์	60
5.9.	วิเคราะห์แนวโน้ม ความสัมพันธ์ระหว่างอินดิเคเตอร์ต่างๆ	62
6	สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	64
6.1.	สรุปผลการดำเนินงาน	64
6.2.	ปัญหาหรืออุปสรรคที่พบ	65
6.3.	ข้อเสนอแนะ	65
7	บรรณานุกรม	66
8	ภาคผนวก	67
8.1.	ขอบเขตประเทศไทย	67
8.2.	ขอบเขตห้างอากาศประเทศไทย	67
	ประวัตินิสิต	68
	ชื่อ-นามสกุลประวัตินิสิต	68

สารบัญภาพ

รูปที่ 1 ห้วงอากาศ (AIRSPACE)	2
รูปที่ 2 CONTROL ZONE	3
รูปที่ 3 TERMINAL CONTROL AREA	3
รูปที่ 4 CONTROL AREA	4
รูปที่ 5 CONTROL AREA	4
รูปที่ 6 CONTROL AREA แบบทั้งห้วงอากาศ	4
รูปที่ 7 FLIGHT INFORMATION REGION.....	5
รูปที่ 8 AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE – BROADCAST	6
รูปที่ 9 การนับจำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมงแบบไม่มีการกระจายการจราจรทางอากาศ.....	7
รูปที่ 10 การนับจำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมงแบบที่มีการกระจายการจราจรทางอากาศ	8
รูปที่ 11 การนับจำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมงแบบการทับซ้อน	8
รูปที่ 12 ตัวอย่างการคำนวณการนับจำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมง	9
รูปที่ 13 การนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา	10
รูปที่ 14 ตัวอย่างการคำนวณการนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา	10
รูปที่ 15 ค่าพังก์ชันของข้อมูล และกราฟของข้อมูล	19
รูปที่ 17 ตัวอย่างข้อมูลเที่ยวบินจาก ADS-B	23
รูปที่ 18 ตัวอย่างข้อมูลหลังจากการจัดเรียงแซมเบลิ่ลเวลาใหม่	24
รูปที่ 20 ค่าจากโปรแกรมของการนับจำนวนการเข้าออกรายชั่วโมง	26
รูปที่ 21 ค่าจากโปรแกรมของการนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา	26
รูปที่ 22 ค่าจากโปรแกรมของความหนาแน่นไดนามิก	26
รูปที่ 23 ค่าจากโปรแกรมของการนับจำนวนการเข้าออกรายชั่วโมง	26
รูปที่ 24 ค่าจากโปรแกรมของการนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา	26
รูปที่ 25 ค่าจากโปรแกรมของความหนาแน่นไดนามิก	26
รูปที่ 26 แผนที่ແກบສีแสดงค่าความซับซ้อนในชั่วโมงที่ 0 ถึง ชั่วโมงที่ 2	27
รูปที่ 27 แผนที่ແກบສีแสดงค่าความซับซ้อนในชั่วโมงที่ 3 ถึง ชั่วโมงที่ 5	28
รูปที่ 28 แผนที่ແກบສีแสดงค่าความซับซ้อนในชั่วโมงที่ 6 ถึง ชั่วโมงที่ 8	28
รูปที่ 29 แผนที่ແກบສีแสดงค่าความซับซ้อนในชั่วโมงที่ 9 ถึง ชั่วโมงที่ 11	29
รูปที่ 30 แผนที่ແກบສีแสดงค่าความซับซ้อนในชั่วโมงที่ 12 ถึง ชั่วโมงที่ 14	29
รูปที่ 31 แผนที่ແກบສีแสดงค่าความซับซ้อนในชั่วโมงที่ 15 ถึง ชั่วโมงที่ 17	30

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1	รายละเอียดขั้นตอนการเตรียมและการดำเนินโครงการ	15
ตารางที่ 2	ค่าจากทฤษฎีของทั้ง 3 อินดิเคเตอร์.....	25
ตารางที่ 3	ค่าความซับซ้อนในแต่ละเซกเตอร์ของอินดิเคเตอร์การนับจำนวนการเข้าออกรายชื่อใน	60
ตารางที่ 4	ค่าความซับซ้อนในแต่ละเซกเตอร์ของอินดิเคเตอร์การนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา	60
ตารางที่ 5	ค่าความซับซ้อนในแต่ละเซกเตอร์ของอินดิเคเตอร์ความหนาแน่นไกด์นาวิก	61

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ATC	ย่อมาจาก Air Traffic Controller
ATM	ย่อมาจาก Air Traffic Management
ADS-B	ย่อมาจาก Automatic Dependent Surveillance Broadcast
HEC	ย่อมาจาก Hourly Entry Count
OCC	ย่อมาจาก Occupancy Count
DD	ย่อมาจาก Dynamic Density
TC	ย่อมาจาก Traffic Complexity Factor
W	แสดงถึง Factor Weighting
i	แสดงถึง Number of Traffic Complexity Factors
TD	ย่อมาจาก Traffic Density
CI	ย่อมาจาก Air Traffic Controller Intent

1 บทนำ

ในปัจจุบันการขนส่งทางอากาศมีความสำคัญทางด้านคมนาคมเป็นอย่างมากและยังเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญในการพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศไทย โดยระบบห้วงอากาศ (Airspace System) และการบริหารจราจรทางอากาศ (Air Traffic Management: ATM) ถือเป็นหัวใจหลักที่ทำให้สามารถให้บริการด้านจราจรทางอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยในประเทศไทย การขนส่งทางอากาศมีการขยายตัวและเติบโตอย่างรวดเร็วทำให้การจราจรทางอากาศอาจเกินขีดความสามารถในการจัดการของมนุษย์และก่อให้เกิดความล่าช้าและความเสี่ยงทางด้านความปลอดภัยได้ จึงต้องมีการควบคุมและจัดการอย่างเป็นระบบ

ทั้งนี้ระบบการบินทั่วโลกกำลังอยู่ระหว่างการปรับปรุงให้มีความทันสมัยมากขึ้นเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการรองรับปริมาณเที่ยวบิน (Capacity) ใหม่ๆ เพิ่มความปลอดภัย และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยปัจจัยหลักที่มีผลต่อขีดความสามารถในการจราจรที่ต้องการปรับเปลี่ยนได้แก่ความซับซ้อนของการจราจรทางอากาศซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องทำการวิเคราะห์และติดตามระดับความซับซ้อนของการจราจรในห้วงอากาศเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนการบริหารจัดการห้วงอากาศและการออกแบบระบบเส้นทางบินให้มีประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

ในโครงการนี้ จึงมุ่งเน้นการวิเคราะห์ความซับซ้อนของการจราจรในห้วงอากาศ เพื่อนำไปใช้สนับสนุนการออกแบบห้วงอากาศให้สามารถรองรับปริมาณจราจรทางอากาศที่เพิ่มสูงขึ้น เพื่อทำให้การขนส่งทางอากาศของประเทศไทยเกิดความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไป

1.1. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) เพื่อขอรับความอนุมัติจากหน่วยงานที่ดูแลการจราจรทางอากาศ (Air Traffic Complexity)
- 2) เพื่อนำข้อมูลการจราจรทางอากาศมาวิเคราะห์ความซับซ้อนของห้วงอากาศเพื่อนำมาเป็นแนวทางการออกแบบห้วงอากาศใหม่ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น
- 3) เพื่อพัฒนาความสามารถซับซ้อนจากอินดิเคเตอร์ต่างๆ ในแต่ละช่วงเวลาและนำค่าความซับซ้อนที่ได้ในแต่ละอินดิเคเตอร์มาเปรียบเทียบกัน

1.2. ขอบเขตของโครงการ

- 1) ศึกษาความซับซ้อนของห้วงอากาศในพื้นที่ประเทศไทย
- 2) ศึกษาข้อมูลการจราจรทางอากาศจาก ADS-B
- 3) ศึกษาความซับซ้อนของห้วงอากาศในห้วงอากาศ En-route

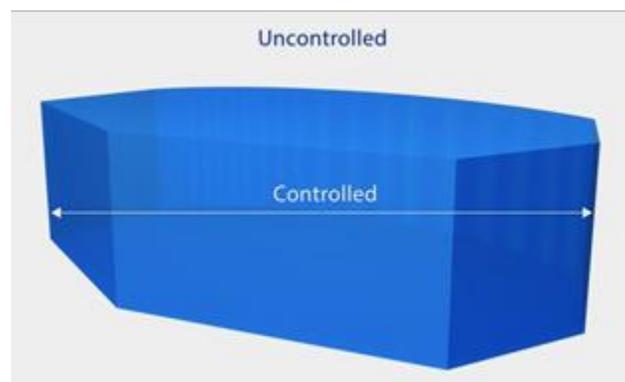
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาโครงการนวัตกรรม “การวิเคราะห์ข้อมูลการจราจรทางอากาศสำหรับการประเมินความซับซ้อนของผ่านฟ้า” เพื่อให้เกิดความเข้าใจในทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องในการจัดทำโครงการฉบับนี้ จึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านต่างๆเพื่อให่ง่ายต่อความเข้าใจและเป็นแนวทางในการศึกษาดังต่อไปนี้

2.1. ห้วงอากาศ (Airspace)

เพื่อให้การบริหารจัดการและการควบคุมการบินทั้งหมดในห้วงอากาศเป็นไปด้วยความปลอดภัยจำเป็นจะต้องเข้าใจหลักการบริหารห้วงอากาศ เครื่องมือ อุปกรณ์ และกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง นอกจากนั้นหัวใจใหญ่คือ ข้อหนึ่ง คือ ผู้ควบคุมจะไม่ได้ควบคุมการบินทุกไฟล์ทที่เกิดขึ้นแต่จะควบคุมเฉพาะเท่าที่จำเป็นเท่านั้น

ห้วงอากาศถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ห้วงอากาศที่ควบคุม (Controlled Airspace) และ ห้วงอากาศที่ไม่ควบคุม (Uncontrolled Airspace)

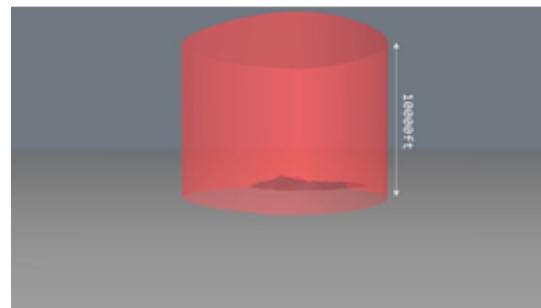


รูปที่ 1 ห้วงอากาศ (Airspace)

(ที่มา: <https://www.blockdit.com/posts/5e310e5478deb623cb8da1bd>)

มีหลากหลายปัจจัยในการพิจารณาว่าจะควบคุมห้วงอากาศนั้นหรือไม่ เช่น จำนวนอากาศยานที่ใช้งานในห้วงอากาศนั้น ๆ และเป็นการบินแบบใด เช่น เป็นห้วงอากาศที่ใช้ในการขึ้นลง หรือเป็นห้วงอากาศที่ใช้ในการสัญจร หรือ เป็นห้วงอากาศที่มีбинด้านการทหาร หรือ เป็นห้วงอากาศที่มีกิจกรรมการฝึกบินหรือแม้กระทั่งกิจกรรมสันทนาการ ซึ่งโดยทั่วไปห้วงอากาศที่ถูกควบคุมมักจะมีเป็นห้วงอากาศที่ประกอบด้วยกิจกรรมที่หลากหลายตามกล่าวมาแล้ว นอกจากนั้น ชนิดของอากาศยาน ก็มีปัจจัยที่สำคัญในการพิจารณา

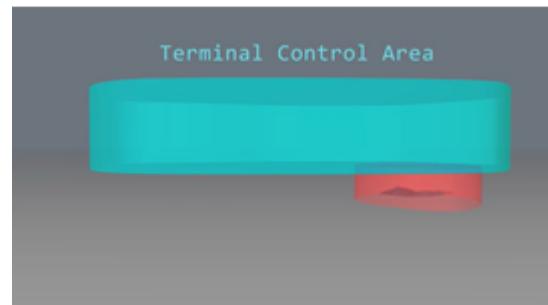
เมื่อ ATC (Air Traffic Controller) ตัดสินใจได้ว่า หัวءอากาศใดที่จะควบคุมแล้ว ประกาศแรกที่พิจารณาต่อไปคือควบคุมรูปทรงหัวءอากาศขนาดไหน ความสูงระยะใด และกว้างแค่ไหนจากจุดใหม่ถึงจุดใหม่ โดยทั่วไปแล้ว หัวءอากาศควบคุมเนื้อสนามบิน จะเริ่มจากผิวน้ำสูงขึ้นไปราว 4,000 ฟุต บางครั้งอาจถึง 10,000 ฟุตซึ่งจะเรียกหัวءอากาศควบคุมเนื้อสนามบินนี้ว่า Control Zone



รูปที่ 2 Control Zone

(ที่มา: <https://www.blockdit.com/posts/5e310e5478deb623cb8da1bd>)

นอกจากนั้นเหนือ Control Zone จะมีหัวءอากาศใหญ่ ๆ อีกก้อนหนึ่งเสมอ ซึ่งเรียกหัวءอากาศควบคุมนี้ว่า Terminal Control Area โดยทั่วไป Terminal Control Area นั้นจะประกอบด้วยหลาย Control Zone

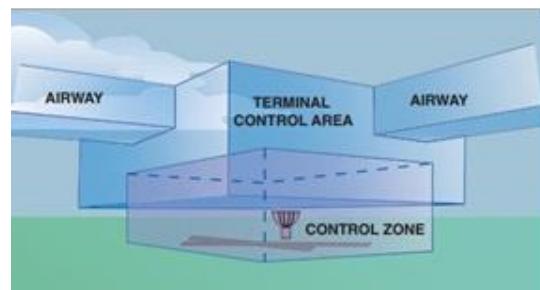


รูปที่ 3 Terminal Control Area

(ที่มา: <https://www.blockdit.com/posts/5e310e5478deb623cb8da1bd>)

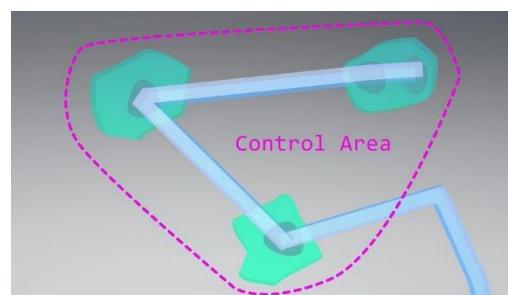
การทำการบินขึ้นหรือลงในหัวءอากาศควบคุมนี้ จะถูกควบคุมตำแหน่ง (Position) และลำดับ (Sequence) อย่างเคร่งครัดโดย ATC

เส้นห่วงอากาศที่ใช้ในการบินเชื่อมต่อระหว่าง Terminal Control Area จะเรียกห่วงอากาศนี้ว่า Airways ซึ่งมักจะมีความกว้าง 10 นาโนเมตร เมื่อต้องเชื่อมห่วงอากาศที่ประกอบด้วยกลุ่ม Terminal Control Area และ Airways จะเรียกห่วงอากาศทั้งหมดนี้ว่า Control Area อย่างไรก็ตามเพื่อความปลอดภัยในการทำการบิน ATC มักจะประกาศควบคุมทั้งพื้นที่ห่วงอากาศทั้งผืนแทน



รูปที่ 4 Control Area

(ที่มา: <https://www.blockdit.com/posts/5e310e5478deb623cb8da1bd>)



รูปที่ 5 Control Area

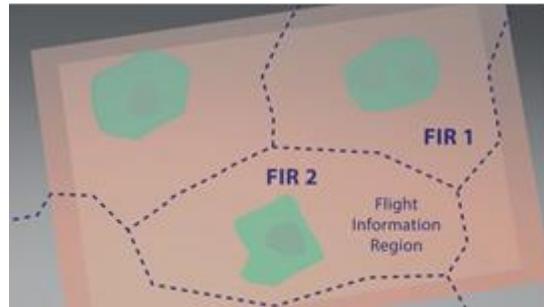
(ที่มา: <https://www.blockdit.com/posts/5e310e5478deb623cb8da1bd>)



รูปที่ 6 Control Area แบบทั้งห่วงอากาศ

(ที่มา: <https://www.blockdit.com/posts/5e310e5478deb623cb8da1bd>)

เนื่องจาก Control Area มักจะเป็นห่วงօากาศที่กว้างใหญ่และมีภาระการจราจรคับคั่งและหนาแน่น เพื่อความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการควบคุม โดยทั่วไปมักจะแบ่ง Control Area ออกเป็นหลาย ๆ Flight Information Region ซึ่งเป็นห่วงօากาศที่ใช้ในการเดินทางของเครื่องบินพาณิชย์หรือ En-Route Phase of Flight ซึ่งเป็นห่วงօากาศที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์สำหรับโครงการนี้



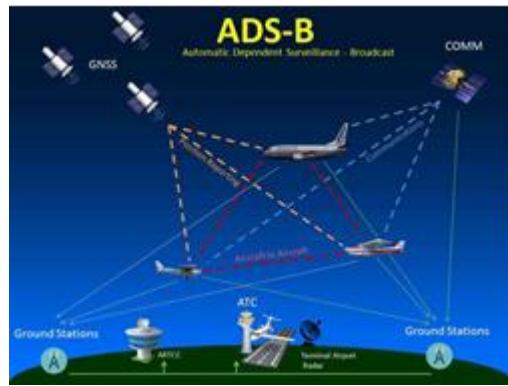
รูปที่ 7 Flight Information Region

(ที่มา: <https://www.blockdit.com/posts/5e310e5478deb623cb8da1bd>)

2.2. ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast)

ระบบ ADS-B มีส่วนประกอบพื้นฐานคือการใช้เทคโนโลยีดาวเทียมนำทางทั่วโลก (Global Navigation Satellite (GNSS)) แบบดั้งเดิมเชื่อมโยงกับการสื่อสารแสดงผลอย่างๆ โดยส่งข้อมูลต่างๆ ของเครื่องบิน ไปยังตัวรับสัญญาณ โดย ADS-B จะเป็นการกระจายออกไปตลอดเวลา ในทุกๆ 1 วินาที นอกจากนี้ระบบ ADS-B ยังแตกต่างจากเรดาร์ทั่วไป เพราะความแม่นยำของระบบ ADS-B จะไม่ลดประสิทธิภาพตามระยะทาง สภาพอากาศ หรือ ระดับความสูงเป้าหมาย ยิ่งไปกว่านั้นช่วงเวลาในการอัพเดทข้อมูลยังไม่เข้มข้นอยู่กับความเร็วของการหมุนหรือความเรื่องลือได้ของเสาօากาศเชิงกลอีกด้วย

สำหรับการใช้งานหลักนั้น օากาศยานที่ติดตั้งระบบ ADS-B จะใช้ตัวรับสัญญาณ GNSS ทั่วไป เช่น GPS หรือ Galileo ซึ่งรับตำแหน่งօากาศยานที่แน่นอนมาจากดาวเทียม GNSS จากนั้นก็นำตำแหน่งที่ได้มา กับข้อมูลต่างๆ ของօากาศยาน ซึ่งมีขอบเขตแน่นัด เช่น ความเร็ว ทิศทางเครื่องบิน (Heading) ความสูง และหมายเลขเที่ยวบิน และข้อมูลนี้จะถูกส่งทันทีไปยังօากาศยานที่ติดตั้งระบบ ADS-B รวมทั้งภาคพื้นที่ติดตั้งระบบนี้หรือเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม โดยจะถ่ายทอดตำแหน่งของօากาศยานและข้อมูลอื่นๆ มาอย่างต่อเนื่องควบคุมการจราจรสากลทั่วโลก



รูปที่ 8 Automatic Dependent Surveillance – Broadcast

(ที่มา: https://my.dek-d.com/caspereak/blog/?blog_id=10060345)

2.3. ความซับซ้อน (Complexity)

จากพจนานุกรม Random House กำหนดความซับซ้อนเป็นสถานะหรือคุณภาพของความซับซ้อน ความ слับซับซ้อน และความซับซ้อนประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อถึงกัน มีลักษณะการจัดเรียงซึ่งส่วน หน่วย ที่ซับซ้อนมากหรือเกี่ยวข้องและความซับซ้อนหรือความ слับซับซ้อนจนยากที่จะเข้าใจหรือจัดการ

ในการควบคุมการจราจรทางอากาศ ความซับซ้อนนั้นแบบจะไม่มีการกำหนดได้อย่างชัดเจนอาจเป็นเพราะความรู้ทั่วไปที่สมมติขึ้น ข้อมูลเว็บที่นำเสนอสังเกตอย่างหนึ่งคือ เมคคิฟฟ์และคณะ ระบุว่าความซับซ้อนของการจราจรทางอากาศสามารถกำหนดได้่ายที่สุดว่าเป็นความยากในการตรวจสอบและจัดการสถานการณ์การจราจรทางอากาศโดยเฉพาะและเป็นที่ชัดเจนโดยสัญชาตญาณว่าง่ายกว่าสำหรับผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศในการตรวจสอบภายนอกน้ำที่สันทางบินของเครื่องบินไม่ตัดกันและไม่มีการเปลี่ยนแปลงระดับใดมากไปกว่าส่วนที่มีกระแสน้ำจราจรรวมจำนวนมากและเครื่องบินมักจะเปลี่ยนระดับ

ด้วยเหตุนี้ความซับซ้อนของการจราจรทางอากาศจึงสามารถกำหนดได้ว่าเป็นปฏิสัมพันธ์ระหว่างเครื่องบิน กับเครื่องบินและสิ่งแวดล้อมของเครื่องบินในช่วงเวลาที่กำหนด การโต้ตอบเหล่านี้ไม่ได้ต้องการความสนใจ ความเร่งด่วน หรือปริมาณงานของผู้ควบคุมในระดับเดียวกันในการแก้ไข

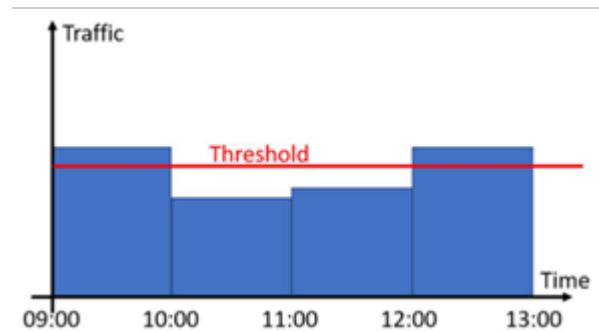
ความซับซ้อนไม่เหมือนกับความหนาแน่นของการจราจร เนื่นได้ชัดว่าจำนวนเครื่องบินในภาคส่วนหรือที่เรียกว่าความหนาแน่น ปริมาณการจราจร หรือจำนวนการจราจร ส่งผลโดยตรงต่อความซับซ้อนของการจราจรทางอากาศอย่างไรก็ตามตัวเลขที่ไม่ได้เป็นเพียงตัวบ่งชี้ระดับความซับซ้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งหากต้องการเปรียบเทียบส่วนต่างๆ ของน้ำที่สันทางบิน สถานการณ์การจราจรสองแห่งสามารถมีความหนาแน่นเท่ากัน แต่มีความซับซ้อนแตกต่างกันอย่างมาก เนื่องจากปฏิสัมพันธ์สองประเภทที่แตกต่างกัน นักวิจัยบางคนเลือกที่จะสร้างความแตกต่างระหว่างความซับซ้อนของน้ำที่สันทางบิน แต่ความซับซ้อนของการจราจร ซึ่งได้รับอิทธิพลจากความซับซ้อนของน้ำที่สันทางบิน

กลยุทธ์การรับปู้ของผู้ควบคุมสามารถปรับปรุงได้ผ่านการฝึกอบรมและประสบการณ์ที่มองเห็นได้เมื่อเปรียบเทียบตัวควบคุมที่มีประสบการณ์และไม่มีประสบการณ์อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาถึงผู้ควบคุมโดยเฉลี่ยที่ทำการฝึกอบรมโดยเฉลี่ยจะเหลือเพียงสองแนวทางในการลดปริมาณงานของผู้ควบคุม คือ การเพิ่มคุณภาพของอุปกรณ์และความตื้อขึ้นที่ลดลง

2.4. การนับจำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมง (Hourly Entry Count)

2.4.1. หลักการ

Marc Dalichampt and Christine Plusquellec (2007) HOURLY ENTRY COUNT VERSUS OCCUPANCY COUNT – DEFINITIONS AND INDICATORS (I) การนับจำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมง หรือ Hourly Entry Count (HEC) สำหรับเชกเตอร์ที่กำหนดจะถูกกำหนดเป็นตัวเลขของเที่ยวบินที่เข้าสู่เชกเตอร์ระหว่างจำนวนการเข้าออกรายชั่วโมงในแต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 9 การนับจำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมงแบบไม่มีการกระจายการจราจรทางอากาศ

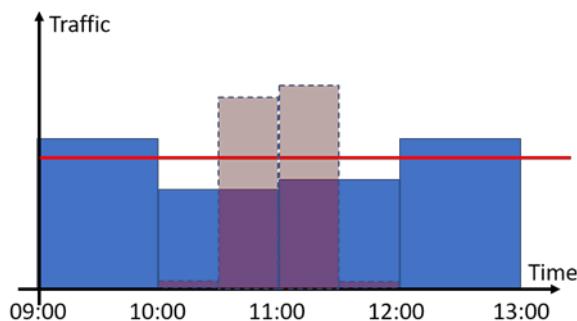
(ที่มา: <https://skybrary.aero/articles/methods-describe-sector-capacity>)

2.4.2. ข้อดี

- 1) มีความเป็นสาがら เพราะสามารถใช้กับเชกเตอร์ ATC ,วันเวย์ฯลฯ
- 2) เข้าใจง่าย เพราะต้องการเฉพาะเวลาเข้าของเครื่องบินแต่ละลำเท่านั้น
- 3) ง่ายต่อการใช้งาน แต่สามารถคาดการณ์ได้ตามแผนการบินเท่านั้น

2.4.3. ข้อเสีย

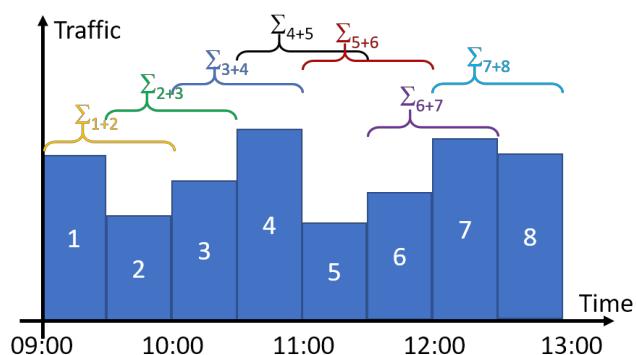
ข้อเสียที่สำคัญ คือ วิธีการนี้ไม่ให้ความสำคัญกับการกระจายปริมาณข้อมูล เช่น หาก ความจุของ เชกเตอร์ คือ 40 ลำต่อชั่วโมง และจำนวนเครื่องบินเข้าจริงคือ 31 ลำในชั่วโมงแรกและ 30 ลำ สำหรับ เที่ยวบินที่สองเมื่อมองดูเหมือนว่าเชกเตอร์จะสามารถรองรับเครื่องบินได้มากขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์อย่าง ปลดภัยอย่างไรก็ตามหากการจราจรหนาแน่นที่จุดศูนย์กลางของช่วงเวลาันก็จะมีปริมาณงานสูงสุดที่ รายล้อมไปด้วยช่วงเวลาที่ไม่มีการเคลื่อนไหวเป็นเวลานานสองช่วง



รูปที่ 10 การนับจำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมงแบบที่มีการกระจายการจราจรทางอากาศ

(ที่มา: <https://skybrary.aero/articles/methods-describe-sector-capacity>)

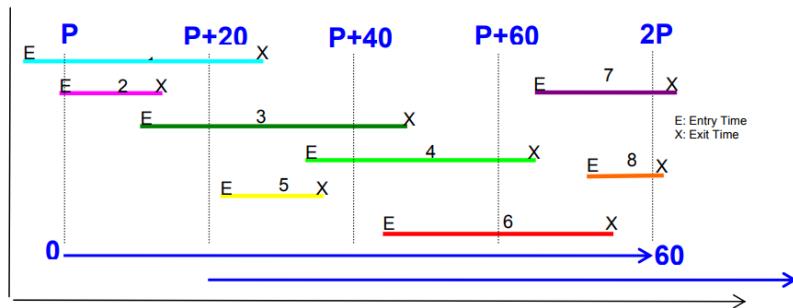
มีวิธีแก้ไขข้อเสียดังกล่าวคือใช้การนับแบบการทับซ้อน (Overlap) จึงต้องมีการตั้งพารามิเตอร์ คือ คาดเดาการนับจำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมง หรือ Hourly Entry Count Period โดยค่าระยะขั้น (Step Value) กำหนดความแตกต่างของเวลาระหว่างเวลาเริ่มต้นของช่วงเวลาการนับรายชั่วโมงสองค่า ติดต่อกันและค่าช่วงเวลา (Duration) กำหนดความแตกต่างของเวลาระหว่างเวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุด ของแต่ละรอบระยะเวลาการนับรายชั่วโมง



รูปที่ 11 การนับจำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมงแบบการทับซ้อน

(ที่มา: <https://skybrary.aero/articles/methods-describe-sector-capacity>)

2.4.4. ตัวอย่างการคำนวณ



รูปที่ 12 ตัวอย่างการคำนวณการนับจำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมง

(ที่มา: Marc Dalichampt and Christine Plusquellec ,2007)

จากตัวอย่างข้างต้น (Step) ของเวลา 20 นาที และค่าช่วงเวลา (Duration) 60 นาที โดยกำหนดช่วงการนับทุกๆ 20 นาที สามารถหาจำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมงได้ดังนี้

ที่ P จะได้ว่า จำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมงคือ 6 หมายเลข $\{3,4,5,6,7,8\}$

ที่ $P+20$ จะได้ว่า จำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมงคือ 5 หมายเลข $\{4,5,6,7,8\}$

ที่ $P+40$ จะได้ว่า จำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมงคือ 3 หมายเลข $\{6,7,8\}$

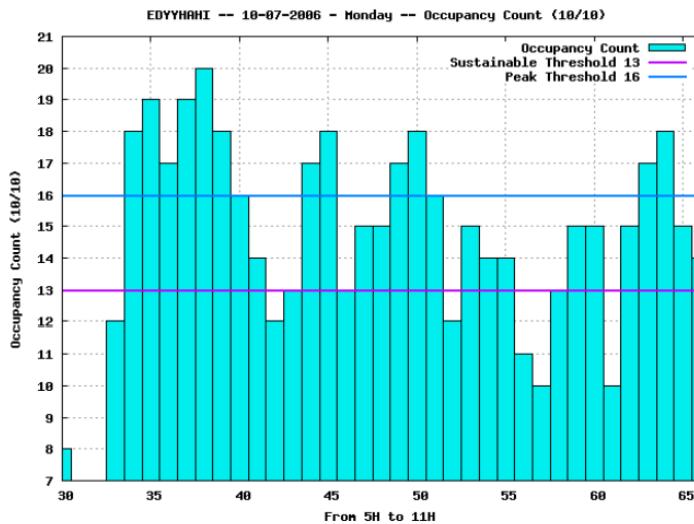
ที่ $P+60$ จะได้ว่า จำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมงคือ 2 หมายเลข $\{7,8\}$

2.5. การนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา (Occupancy Count)

2.5.1. หลักการ

Marc Dalichampt and Christine Plusquellec (2007) HOURLY ENTRY COUNT VERSUS OCCUPANCY COUNT – DEFINITIONS AND INDICATORS (I) Occupancy count (OCC) สำหรับ เชกเตอร์ที่กำหนดถูกกำหนดให้เป็นจำนวนของเที่ยวบินภายในเชกเตอร์ในช่วงเวลาการนับจำนวนเที่ยวบินที่ถูกเลือกโดยระยะเวลา

ค่าเวลาการนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา หรือ Occupancy Counting Period โดยค่าระยะขั้น (Step Value) กำหนดความแตกต่างของระยะเวลาระหว่างเวลาเริ่มต้นค่าเวลาการนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลาสองค่าต่อเนื่องกันและค่าช่วงเวลา(Duration) เป็นตัวกำหนดความแตกต่างของเวลาระหว่างเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดของแต่ละค่าเวลาการนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา



รูปที่ 13 การนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา

(ที่มา: Marc Dalichampt and Christine Plusquellec ,2007)

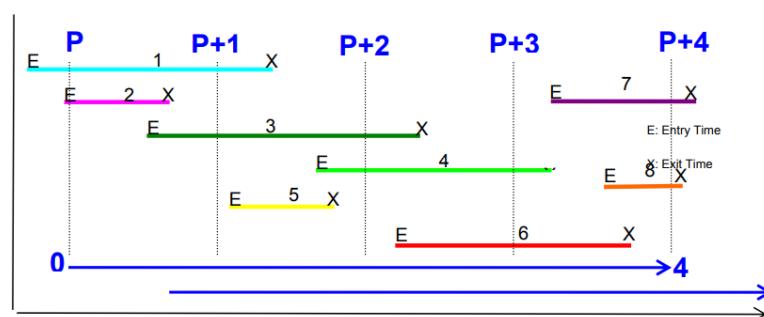
2.5.2. ข้อดี

มีความเป็นสากล เพราะสามารถใช้กับเซกเตอร์ ATC , วันเวย์ ๆ ลด

2.5.3. ข้อเสีย

วิธีนี้ต้องใช้การคำนวณที่ซับซ้อนมากขึ้นเนื่องจากต้องมีการพยากรณ์เวลาของเที่ยวบินแต่ละเที่ยวบินในส่วนที่ต้องคำนึงถึงความเร็วของเครื่องบินและเส้นทางนอกเหนือจากเวลาเข้า

2.5.4. ตัวอย่างการคำนวณ



รูปที่ 14 ตัวอย่างการคำนวณการนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา

(ที่มา: Marc Dalichampt and Christine Plusquellec ,2007)

จากตัวอย่างข้างต้น (Step) ของเวลา 1 นาที และค่าช่วงเวลา (Duration) 1 นาที โดยกำหนดช่วงการนับทุกๆ 20 นาที สามารถหาจำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมงได้ดังนี้

- ที่ P จะได้ว่า จำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมงคือ 3 หมายเลข {1,2,3}
- ที่ P+1 จะได้ว่า จำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมงคือ 4 หมายเลข {1,3,4,5}
- ที่ P+2 จะได้ว่า จำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมงคือ 3 หมายเลข {3,4,6}
- ที่ P+3 จะได้ว่า จำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมงคือ 4 หมายเลข {4,6,7,8}

2.6. ความหนาแน่นไนดามิก (Dynamic Density)

2.6.1. หลักการ

Parimal Kopardehr et al. (2002) Dynamic Density (DD) คล้ายคลึงกับความซับซ้อนหรือความยากของสถานการณ์การจราจรทางอากาศ ซึ่งมีต้นกำเนิดจากรายงาน RTCA Task Force 3 โดยอธิบายว่า เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่ออัตราความขัดแย้งทั้งในส่วนทางและเทอร์มินอลน่านฟ้า

I.V.Laudeman et al. (1998) Dynamic Density เป็นผลรวมถ่วงน้ำหนักของปัจจัยต่างๆ ที่สามารถวัดได้ในแต่ละเซกเตอร์ โดยที่ปัจจัยเหล่านี้รวมกันโดยใช้ตัวประกอบของการถ่วงน้ำหนักที่กำหนดโดยการคำนวณจากเหตุการณ์การจราจรต่างๆ โดยผู้ควบคุมการบินจำนวนมากซึ่งสามารถหาได้จากการดังนี้

$$DD = \sum_{i=1}^n W_i T_i C_i + TD + CI$$

โดยที่	DD	คือ	Dynamic Density
	TC	คือ	Traffic Complexity Factor
	W	คือ	Factor Weighting
	i	คือ	Number of Traffic Complexity Factors
	TD	คือ	Traffic Density
	CI	คือ	Air Traffic Controller Intent

2.6.2. ข้อดี

วิธีนี้มองเห็นความซับซ้อนมากขึ้น เพราะว่าอิน迪เคเตอร์นี้เป็นการวัดความซับซ้อนโดยคำนวณจากเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนทางการบิน เช่น การเปลี่ยนแปลงความเร็ว หรือ การเปลี่ยนแปลงความสูง เป็นต้น

2.6.3. ข้อเสีย

วิธีนี้เป็นการวัดค่าความซับซ้อนที่ไม่เป็นสากลและใช้ได้เฉพาะหน่วยงาน

2.7. การตรวจสอบเอกสาร (Literature Review)

- 1) Keumjin Lee, Eric Feron and Amy Pritchett. AIR TRAFFIC COMPLEXITY:AN INPUT-OUTPUT APPROACH. Proceedings of the 2007 American Control Conference, 2007(7): pp. 474-479.

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อพิจารณาผ่านพื้นที่ระบบอินพุท-เอาท์พุตแบบวงปิดประกอบด้วยเครื่องบินภายในเชกเตอร์และตัวควบคุมและเสนอแผนที่ความซับซ้อนที่แสดงสถานะของเชกเตอร์ซึ่งแผนที่ความซับซ้อนจะให้ข้อมูลเชิงลึกโดยละเอียดเกี่ยวกับความซับซ้อนของการจราจรทางอากาศและผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงด้านลิํงแวดล้อม โดยงานวิจัยนี้ได้จำกัดความของคำว่าความซับซ้อนของการจราจรทางอากาศอย่างชัดเจนจากมุ่งมองการดำเนินงาน

- 2) Marc Dalichamp (EEC) and Christine Plusquellec (Thales). Hourly Entry Count. HOURLY ENTRY COUNT VERSUS OCCUPANCY COUNT – DEFINITIONS AND INDICATORS (I), 2007.

งานวิจัยนี้ได้อธิบายนิยามและหลักการของการนับจำนวนเที่ยวบินเข้าออกรายชั่วโมง (Hourly Entry Count) และการนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา (Occupancy Count) โดยยกตัวอย่างการนับของทั้งสองรูปแบบซึ่งได้นำเสนอถูกต้องเป็นแผนภูมิแท่งแบบซ้อนทับกันโดยระบุการจราจรทางอากาศที่เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ด้วย

- 3) Tomislav Radišić, Petar Andrašić, Doris Novak, Biljana Juričić and Bruno Antulov-Fantulin. Air Traffic Complexity as a Source of Risk in ATM. Risk Assessment in Air Traffic Management, 2020(3): pp. 63-89

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเชื่อมโยงระหว่างความซับซ้อนของการจราจรทางอากาศกับความเสี่ยงในระบบการจัดการจราจรทางอากาศ ความซับซ้อนของการจราจรทางอากาศ (Complexity) มักถูกกำหนดให้เป็นความยากในการควบคุมสถานการณ์การจราจร ดังนั้นจึงเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญสำหรับปริมาณงานของผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ (Air Traffic Controller) ด้วยภาระงานที่มากขึ้นทำให้ความน่าจะเป็นที่ผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศจะเกิดข้อผิดพลาดเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสามารถประเมินและจัดการความซับซ้อนของการจราจรทางอากาศซึ่งในบทความนี้แสดงให้เห็นภาพรวมเกี่ยวกับวิธีการประเมินความซับซ้อนของการจราจรทางอากาศและปัญหาการประเมินความซับซ้อนของการจราจรทางอากาศ

- 4) I. V. Laudeman, S. G. Shelden, R. Branstrom and C. L. Brasil. Dynamic Density: An Air Traffic Management Metric . Ph.D. Thesis, Ames Research Center, San Jose State University. 2017.

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อการระบุปัจจัยความซับซ้อนของการจราจรทางอากาศที่อาจมายถึงการจับภาพความซับซ้อนของการจราจรในปริมาณของผ่านพื้นที่และสามารถคำนวณได้จากข้อมูลเรดาร์ และเพื่อสร้างสมการความหนาแน่นแบบไดนามิกที่รวมเงื่อนไขเข้าหนักต่อหน่วยสำหรับความหนาแน่นของการจราจรและความซับซ้อนของการจราจร

3 เครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงการ

3.1. ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทำโครงการ

- 1) Acer Swift X
- 2) คอมพิวเตอร์ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ

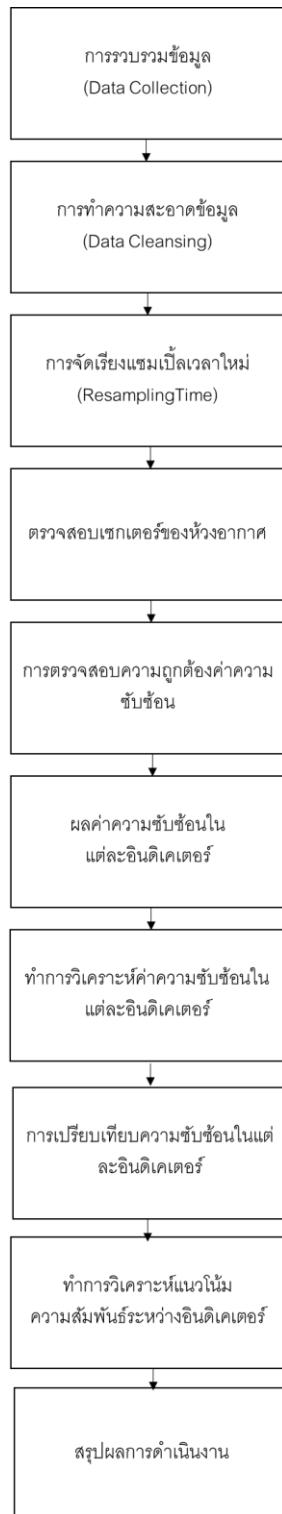
3.2. ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทำโครงการ

- 1) โปรแกรม Python
- 2) โปรแกรม Microsoft Office 365
- 3) Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B)

3.3. สถานที่ในการปฏิบัติงาน

- 1) ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

4 วิธีการดำเนินโครงการ



ตารางที่ 1 รายละเอียดขั้นตอนการเตรียมและการดำเนินโครงการ

การดำเนินงาน	พ.ศ.2565											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	
ขั้นตอนการเตรียมโครงการ												
เลือกหัวข้อโครงการ												
ศึกษาเอกสารและงานวิจัย												
ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง												
วางแผนการดำเนินโครงการ												
กำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์การศึกษา												
ขั้นตอนการดำเนินโครงการ												
การรวบรวมข้อมูล (Data Collection)												
การทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleansing)												
การจัดเรียงแซมเป็นเวลาใหม่ (Resampling Time)												
ตรวจสอบเชิงเตอร์ของหัวข้อการศึกษา												
การตรวจสอบความถูกต้องค่าความซับซ้อน												
ผลค่าความซับซ้อนในแต่ละอินดิเคเตอร์												
1) Hourly Entry Count												
2) Occupancy Count												
3) Dynamic Density												
ทำการวิเคราะห์ค่าความซับซ้อนในแต่ละอินดิเคเตอร์												
การเบริ่งเทียบความซับซ้อนในแต่ละอินดิเคเตอร์												
ทำการวิเคราะห์แนวโน้ม ความสัมพันธ์ระหว่างอินดิเคเตอร์												
สรุปผลการดำเนินงาน												
จัดทำรูปเล่มรายงาน												

4.1. การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection)

การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection) คือ การเก็บข้อมูลขึ้นมาใหม่ และการรวบรวมข้อมูลของตัวแปร หรือเหตุการณ์ที่เราสนใจอย่างเป็นระบบ เพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์หาคำตอบที่ถูกต้อง ในรูปแบบที่เหมาะสมกับความต้องการ เป็นได้ทั้งข้อมูลปัจจุบันและทุติยภูมิ ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ ด้วยวิธีต่างๆ เช่น การทำแบบสอบถาม การสัมภาษณ์ การสังเกตการณ์ เป็นต้น ข้อมูลจากการเก็บรวบรวมข้อมูลมี 2 ประเภท ดังนี้

1) ข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative Data)

ข้อมูลเชิงปริมาณ คือ ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลของมาในเชิงตัวเลข (Numerical Data) เพื่อแสดงปริมาณของสิ่งที่นับหรือสิ่งที่วัดได้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ คือ ข้อมูลปริมาณแบบต่อเนื่อง เป็นข้อมูลที่มีค่าต่อเนื่องกันในช่วงที่กำหนด เช่น อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และอิกรูปแบบ คือ ข้อมูลเชิงปริมาณแบบไม่ต่อเนื่อง เป็นข้อมูลจำนวนเต็มหรือจำนวนนับ เช่น จำนวนนักศึกษา เป็นต้น

2) ข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative Data)

ข้อมูลเชิงคุณภาพ คือ ข้อมูลที่ไม่สามารถวัดค่าได้ด้วยตัวเลขว่ามากหรือน้อย แต่จะเป็นข้อมูลที่แสดงถึงสถานภาพ คุณลักษณะ ทัศนคติ หรือคุณสมบัติ มักจะอยู่ในรูปแบบของคำพูด การบรรยาย การอธิบาย ตัวหนังสือ รูปภาพ หรือสัญลักษณ์ต่างๆ เช่น สีต่างๆ สถานที่ที่ชอบไป เชื้อชาติ สถานภาพสมรส ศาสนา กลุ่ม เลือด เป็นต้น

แหล่งที่มาของข้อมูลแบ่งได้ 2 ประเภทคือ ข้อมูลปัจจุบัน (Primary Data) และ ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) โดยข้อมูลปัจจุบัน คือ ข้อมูลที่เก็บจากแหล่งกำเนิดข้อมูลโดยตรง ซึ่งจะใช้วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลปัจจุบัน ด้วยการ ออกแบบสอบถาม การสัมภาษณ์ การสำรวจ หรือการสังเกตการณ์ เป็นต้น ทำให้ได้รายละเอียดตามที่ผู้จัด หรือผู้สอบถามข้อมูลต้องการ แต่ก็จะเสียเวลาในการเก็บข้อมูลค่อนข้างมากและมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าการเก็บข้อมูลแบบทุติยภูมิ ส่วนข้อมูลทุติยภูมิ คือ ข้อมูลที่ผู้ต้องการใช้ไม่ได้ทำการเก็บรวบรวมเอง แต่ได้จากผู้อื่นที่ทำการรวบรวมข้อมูลไว้ก่อนแล้ว ซึ่งวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจะได้จากการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆ เช่น รายงานที่ตีพิมพ์แล้ว การเก็บรวบรวมข้อมูลสถิติ ภาพต่างๆ เป็นต้น นี่จึงเป็นสาเหตุที่คนหาง่าย ช่วยลดระยะเวลาในการเก็บข้อมูล แต่ก็มีข้อจำกัดคือข้อมูลอาจไม่ตรงกับที่ต้องการทั้งหมด หรือเสี่ยงต่อการหยิบใช้ข้อมูลที่ไม่ถูกต้องได้ง่าย

ในโครงงานนี้ได้เก็บรวมรวบข้อมูลแบบทุติยภูมิโดยเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ คือ ข้อมูล ADS-B (Automatic Dependent Surveillance Broadcast) ซึ่งเป็นไฟล์ CSV จากบริษัท เดลว์ แอร์โรมสเปซ จำกัด

4.2. การทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleansing)

การทำความสะอาดข้อมูล หรือ Data Cleansing หมายถึง กระบวนการตรวจสอบ แก้ไข หรือจัดรูปแบบข้อมูลให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานที่สุด รวมไปถึงคัดกรองข้อมูลที่ไม่ถูกต้องหรือไม่จำเป็นออกไปจากชุดข้อมูลที่จะใช้เคราะห์หรือประมวลผล เพื่อให้ชุดข้อมูลที่จะใช้มีความสมบูรณ์ มีคุณภาพ พร้อมนำไปวิเคราะห์และใช้ประโยชน์ โดยกระบวนการทำความสะอาดข้อมูลสาเหตุของการที่ต้องทำความสะอาดข้อมูลก่อนใช้ ก็เพื่อหลีกเลี่ยงผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้องแม่นยำจากปัจจัยหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นความผิดพลาดของการบันทึกข้อมูล การพิมพ์ผิด รูปแบบข้อมูลที่แตกต่างกัน ชุดข้อมูลไม่สอดคล้องกับคำตาม ข้อมูลที่ไม่เป็นความจริง ข้อมูลที่ไม่สามารถอ้างอิงในระบบได้ เป็นต้น

ลักษณะของข้อมูลที่จะทำความสะอาดจะขึ้นอยู่กับค่าตอบที่ต้องการ ทำให้ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลแบบไหนก็ตามก็อาจต้องการทำความสะอาดก่อนเสมอ โดยมีลักษณะข้อมูลทั่วไปที่ต้องทำความสะอาดอยู่เสมอ 3 ลักษณะ สำคัญด้วยกัน ดังนี้

1) ชุดข้อมูลที่ไม่ได้อยู่ในรูปแบบหรือไฟล์ประเภทเดียวกัน

ในกรณีนี้ อาจเกิดจากการที่มีข้อมูลจากหลากหลายฐานข้อมูลเมื่อมาจากการหลากหลายแหล่ง จึงมีโอกาสที่แต่ละแหล่งจะจัดเก็บข้อมูลกันคนละสกุลไฟล์ เช่น จัดเก็บข้อมูลเป็นไฟล์ .pdf .ไฟล์ excel หรือสกุลไฟล์อื่นๆ ที่ไม่คุ้นเคย เมื่อจำเป็นต้องนำมาประมวลผลด้วยกันจึงไม่สามารถทำได้ การทำความสะอาดข้อมูลสำหรับข้อมูลประเภทนี้ จึงเป็นการแปลงไฟล์ข้อมูลต่างๆ ให้เป็นไฟล์สกุลเดียวกัน เพื่อให้สามารถนำมาประมวลผลด้วยกันได้ นอกจากนี้ การจัดรูปแบบไฟล์ใหม่อาจทำไปเพื่อลดการใช้พื้นที่จัดเก็บ เช่น การรวมไฟล์ข้อมูลเข้าไปไฟล์เดียว การแปลงข้อมูลมาอยู่ในรูปแบบไฟล์ที่กินพื้นที่น้อยกว่า

2) ข้อมูลไม่ได้ถูกจัดเก็บในรูปแบบที่ต้องการ

ผู้ทำโครงการจำเป็นต้องทำให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบที่พร้อมสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลหรือผลลัพธ์ที่เราต้องการได้ เช่น ข้อมูลไม่ได้ถูกเก็บอยู่ในไฟล์ที่สามารถส่งข้อมูลเข้าประมวลผลได้ เช่น ได้ข้อมูลเป็นไฟล์รูปภาพ .jpg หรือ .png อาจต้องแปลงเป็นไฟล์ข้อมูลหรือสคริปต์ .csv .tsv .json หรือ.xml เพื่อให้พร้อมสำหรับการวิเคราะห์ก่อน

3) ข้อมูลที่ไม่ถูกต้องหรือมีข้อผิดพลาดในการเก็บข้อมูล

ส่วนใหญ่ข้อมูลที่กรอกหรือนำเข้าสู่ระบบโดยคน อาจมีข้อผิดพลาด (Human Errors) บ้าง เช่น การกรอกข้อมูลผิดซ่อง การกรอกข้อมูลที่ไม่มีทางเป็นความจริง การกรอกข้อมูลที่ถูกต้องแต่ไม่ตรงกับข้อมูลหลัก เป็นต้น ทำให้ได้ชุดข้อมูลที่เมื่อประมวลผลออกมาแล้วได้ค่าตอบที่ไม่แม่นยำหรือผิดจากความจริงไปนอกจากข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากมนุษย์แล้ว ยังอาจมีความคลาดเคลื่อนของระบบได้ เช่น การติดตามกิจกรรมต่างๆ (Event Tracking) ที่เกิดขึ้นในระบบ ไม่ได้ถูกบันทึกตามเวลาจริง เพราะอาจมีความล้าช้าจากการส่งข้อมูล หรือเกิดความชัดข้ออื่นๆ

กระบวนการทำการทำความสะอาดข้อมูล สามารถแบ่งได้ 5 กระบวนการ ดังนี้

1) กำจัดข้อมูลที่ซ้ำซ้อนและข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องออก

ถึงแก่ที่ต้องทำในกระบวนการทำการทำความสะอาดข้อมูล คือ การกำจัดข้อมูลที่ซ้ำซ้อนและข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องเพื่อลดภาระในการประมวลผลและให้ได้ข้อมูลที่เกลี่ยงเกลาที่สุด ข้อมูลที่ซ้ำซ้อนนั้น มักจะได้มาจากการกรอกข้อมูลซ้ำซ้อนของคน การดึงข้อมูลจากหลากหลายแหล่ง หรือการรวมข้อมูลภายใต้ เหตุการณ์ที่แตกต่างกัน หากไม่นำข้อมูลที่ซ้ำซ้อนออกก่อนที่จะวิเคราะห์ ข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้อาจจะไม่ตรงกับความเป็นจริง ดังนั้นก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ประมวลผลจึงควรนำ ข้อมูลที่ไม่จำเป็น ไม่ใช่ปัจจัยที่จะทำให้ได้คำตอบออกไปก่อน

2) แก้ไขข้อมูลในเชิงโครงสร้างหรือรูปแบบ

ขั้นตอนต่อมาของการทำการทำความสะอาดข้อมูล คือ การจัดการกับข้อมูลที่ผิดพลาดในเชิงโครงสร้าง เช่น ข้อมูลข้อมูลหนึ่งหรือคำคำนึงที่มีค่าเท่ากัน ระบบอาจมองว่าเป็นข้อมูลคนละตัว การทำความสะอาด ข้อมูล ในขั้นตอนนี้คือการกำหนดให้ข้อมูลที่หมายถึงสิ่งเดียวกันมีค่าเท่ากัน เช่น กำหนด “N/A” กับ “Not Applicable” ให้มีค่าเท่ากัน รวมไปถึงการกำหนดการคำนวนทศนิยม ว่าต้องการเอา去หลักหรือต้องการปัด ขึ้นหรือลง

3) กรองข้อมูลที่มีค่าผิดปกติออกจากชุดข้อมูล

บางครั้งข้อมูลที่ได้โดยเฉพาะข้อมูลที่นำเข้าโดยมนุษย์ เช่น กรอกข้อมูล พิมพ์ฯลฯ มีโอกาสที่จะ ได้ค่าที่ไม่มีทางเป็นไปได้ ยกตัวอย่าง เช่น จำนวนสมาชิกในครอบครัว 500 คน ซึ่งระบบไม่รู้ว่าเป็นข้อมูลที่ เกินจริง หรืออัตราการซื้อสินค้าที่เกินสินค้าในคลัง หรือตัวเลขอื่นๆ ที่น้อยหรือมากกว่าที่ควรจะเป็น การทำ ความสะอาดข้อมูลในขั้นตอนนี้ คือ การกำจัดซึ่งของค่าหรือตัวเลขที่ไม่มีทางเป็นจริงออกในคราวเดียวด้วย การกำหนด Outliner ชี้ดเส้นกันเอาเฉพาะซึ่งข้อมูลที่ต้องการ

4) จัดการกับข้อมูลที่หายไปหรือไม่สมบูรณ์

หากมีข้อมูลที่หายไป ผลลัพธ์หรือคำตอบจากการวิเคราะห์ย่อมเปลี่ยนไป ความแม่นยำลดลง ยิ่ง ไปกว่านั้น หากมีข้อมูลที่หายไป อัลกอริธึม (Algorithm) หรือระบบที่ใช้วิเคราะห์อาจไม่ทำงานได้ ดังนั้น เรา จึงต้องจัดการกับข้อมูลที่หายไปก่อนที่จะทำการประมวลผลข้อมูล โดยวิธีที่อาจจะทำได้ก็อย่างเช่น ตัด ข้อมูลที่หายไปออกจากการประมวลผล ใส่หรือแทนค่าข้อมูลที่หายไป หรือ เปลี่ยนวิธีประมวลผลหรือใช้ชุด ข้อมูลอื่นๆ

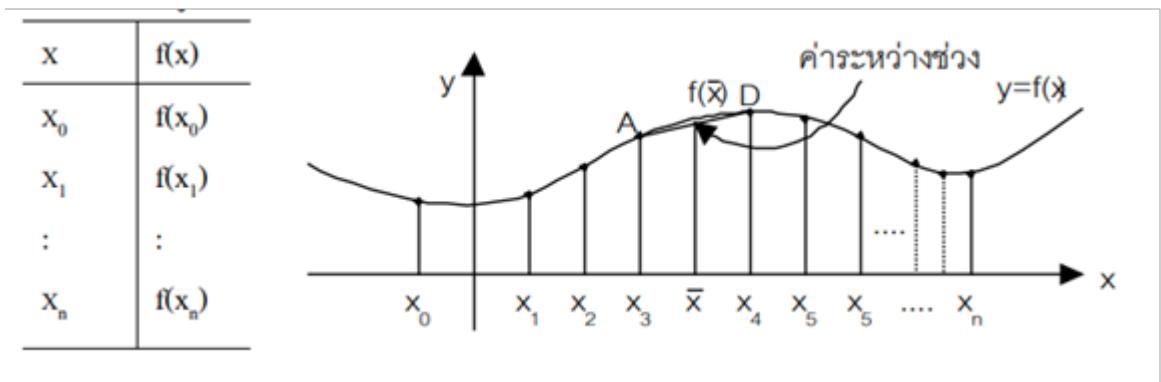
5) การตรวจสอบความถูกต้อง

ขั้นตอนสุดท้ายของการทำ Data Cleansing คือ ขั้นตอนการตรวจสอบชุดข้อมูลว่าได้ชุดข้อมูลที่ สมบูรณ์พร้อมสำหรับการวิเคราะห์เพื่อให้ได้คำตอบที่ต้องการแล้วหรือไม่

ผลงานนี้ได้ทำการทำความสะอาดข้อมูลโดยการจัดการกับข้อมูลที่หายไปหรือไม่สมบูรณ์และทำการกรองข้อมูล ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ในโปรแกรม Python

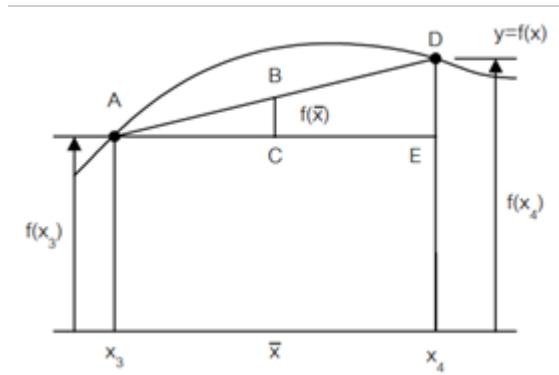
4.3. การจัดเรียงแซมเปิลเวลาใหม่ (Resampling Time)

การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น จะใช้การประมาณฟังก์ชันที่จะศึกษาความสัมพันธ์ด้วยสมการเส้นตรง ซึ่งจะได้ค่าของฟังก์ชันโดยประมาณที่มีความถูกต้องเป็นที่ยอมรับได้ในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามวิธีการประมาณแบบเชิงเส้นนี้เป็นพื้นฐานที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจสำหรับการหาค่าระหว่างช่วง พิจารณาจากรูปที่ ที่ค่า x ใดๆ เมื่อ $f(x)$ สามารถหาค่าอนุพันธ์ได้ต่อเนื่องทุกค่าที่อยู่ในช่วงที่ทำการพิจารณา สมมติว่าต้องการทราบค่า $f(x)$ ระหว่างค่า x_3 และ x_4 สามารถใช้วิธีลากเส้นตรงระหว่างจุด 2 จุดเพื่อแทนฟังก์ชันโดยประมาณแสดงให้เห็นดังรูปที่ 15 ซึ่งขยายให้เห็นชัดเจนขึ้นดังรูปที่ 16



รูปที่ 15 ค่าฟังก์ชันของข้อมูล และกราฟของข้อมูล

(ที่มา: http://www.rmuti.ac.th/user/kittiwit/company_files/numerical_pdf/num1_47U4.pdf)



รูปที่ 16 การประมาณฟังก์ชันด้วยเส้นตรงสำหรับหาค่าระหว่างช่วง

(ที่มา: http://www.rmuti.ac.th/user/kittiwit/company_files/numerical_pdf/num1_47U4.pdf)
พิจารณาจากรูปโดยใช้ทฤษฎีของรูปสามเหลี่ยมคล้ายจะได้ว่า

$$\frac{BC}{AC} \equiv \frac{DE}{AE}$$

สามารถหาค่าความสูงของจุดที่สนใจเมื่อเทียบกับจุดจำกัดล่างของช่วง (BC) จะได้ว่า

$$BC = \frac{AC}{AE} \times DE$$

$$BC = \frac{\bar{x} - x_3}{x_4 - x_3} (f(x_4) - f(x_3))$$

ดังนั้นค่าในช่วงพังก์ชัน คือ

$$p(\bar{x}) = f(x_3) + \frac{\bar{x} - x_3}{x_4 - x_3} (f(x_4) - f(x_3))$$

หรือเขียนให้อยู่ในรูปทั่วไป คือ

$$p(x) = f(x_i) + \frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i} (f(x_{i+1}) - f(x_i)) \dots (1)$$

เมื่อพิจารณาจากสมการในรูปทั่วไป

จะเห็นว่าที่ตำแหน่ง

$$p(x) = f(x_i)$$

และถ้า $x = x_{i+1}$

$$p(x) = f(x_i) + f(x_{i+1}) - f(x_i) = f(x_i)$$

เขียนสมการด้านขวาเมื่อได้เป็น

$$p(x) = \left\{ \frac{f(x_{i+1}) - f(x_i)}{x_{i+1} - x_i} \right\} x + \left\{ f(x_i) - \frac{f(x_{i+1}) - f(x_i)}{x_{i+1} - x_i} \right\} \dots (2)$$

จากสมการข้างบนจะเห็นว่าด้านขวาของสมการสามารถเขียนแทนได้ในรูปของสมการเส้นตรงคือ

$$p(x) = a_1 x + a_0$$

ซึ่งเทียบได้กับสมการเชิงเส้นทั่วไป

$$y = mx + b$$

อาจเรียกได้ว่าสมการ (2) เป็นสมการพหุนามกำลังหนึ่ง (First-degree polynomial) ของ x และเรียกสมการ (1) ว่าสูตรการประมาณค่าระหว่างช่วงแบบเชิงเส้น

ในโครงงานนี้ได้ทำการจัดเรียงแซมเบลเวลาใหม่ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือจัดเรียงแซมเบลเวลาใหม่ทุกๆ

10 วินาทีโดยวิธีการประมาณในช่วงเชิงเส้น (Linear Interpolate) ในโปรแกรม Python

4.4. ตรวจสอบเชกเตอร์ของห้องอากาศ

ตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการจัดเรียงแซมเปิลเวลาใหม่ๆ ว่าข้อมูลอยู่ในห้องอากาศเชกเตอร์ไหน เพื่อนำข้อมูลที่ถูกตรวจสอบไปหาค่าความชับช้อน โดยตรวจสอบจากข้อมูลห้องอากาศ En-Route โดยได้ข้อมูลข้อมูลไฟล์ JSON ซึ่งมีข้อมูลของห้องอากาศ 12 เชกเตอร์ จากบริษัท เดลว์ แอร์สเปซ จำกัด

4.5. การตรวจสอบความถูกต้องค่าความชับช้อน (Validation)

ทำการตรวจสอบความถูกต้องค่าความชับช้อนโดยการสร้างข้อมูลจำลองและหาค่าความชับช้อนของข้อมูลจำลอง โดยอ้างอิงจาก 3 ทฤษฎี คือ 1) การนับจำนวนการเข้าออกรายชั่วโมง (Hourly Entry Count) 2) การนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา (Occupancy Count) 3) ความหนาแน่นไดนามิก (Dynamic Density) โดยสร้างข้อมูลจำลอง 2 ชุด คือ

- 1) สร้างข้อมูลที่มี 5 กลุ่ม id หรือ 5 Trajectory โดยข้อมูลอยู่ใน เชกเตอร์ 4S เพื่อตรวจสอบค่าความชับช้อน ที่ระยะเวลา (Duration) และขั้น (Step) ของการนับ คือ 1 ชั่วโมง และ 15 นาที ตามลำดับ ของทั้ง 3 ทฤษฎี
- 2) สร้างข้อมูลที่มี 8 กลุ่ม id หรือ 8 Trajectory โดยข้อมูลอยู่ใน เชกเตอร์ 4S เพื่อตรวจสอบค่าความชับช้อน ที่เวลาทุกๆ 3 ชั่วโมง ของทั้ง 3 ทฤษฎี

4.6. ผลค่าความชับช้อนในแต่ละอินดิเคเตอร์

ทำการหาค่าความชับช้อนของข้อมูลจากการตรวจสอบเชกเตอร์ของห้องอากาศ โดยใช้ 3 อินดิเคเตอร์ดังนี้
1) การนับจำนวนการเข้าออกรายชั่วโมง (Hourly Entry Count)

ทำการหาค่าความชับช้อนโดยใช้อินดิเคเตอร์การนับจำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมงซึ่งจะกำหนดให้ระยะเวลา (Duration) และขั้น (Step) ของการนับของอินดิเคเตอร์ คือ 1 ชั่วโมง และ 15 นาที ตามลำดับ

2) การนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา (Occupancy Count)

ทำการหาค่าความชับช้อนโดยใช้อินดิเคเตอร์การนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลาซึ่งจะกำหนดให้ระยะเวลา (Duration) และขั้น (Step) ของการนับของอินดิเคเตอร์ คือ 1 ชั่วโมง และ 15 นาที ตามลำดับ

3) ความหนาแน่นไดนามิก (Dynamic Density)

ทำการหาค่าความชับช้อนโดยใช้อินดิเคเตอร์ความหนาแน่นไดนามิกให้ระยะเวลา (Duration) และขั้น (Step) ของการนับของอินดิเคเตอร์ คือ 1 ชั่วโมง และ 15 นาที ตามลำดับ โดยมีข้อจำกัดคือวิเคราะห์เหตุการณ์ การจราจรทางอากาศในขาเข้าและขาออกเชกเตอร์เท่านั้น ซึ่งให้ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละเหตุการณ์ค่า 1 และในโครงงานนี้ใช้เพียง 4 เหตุการณ์จราจรทางอากาศ เนื่องจากข้อมูลADS-B ที่ได้สามารถคำนวณได้เพียง 4 เหตุการณ์นี้เท่านั้น คือ เครื่องบินมีการเปลี่ยนมุมเลี้ยว (Heading) มากกว่า 15 องศา , เมื่อเครื่องบินมีการเปลี่ยนความเร็ว (Speed) มากกว่า 10 knot , เมื่อเครื่องบินมีการเปลี่ยนความสูง(Altitude) มากกว่า 750 ฟุต และจำนวนเที่ยวบินที่เข้ามาในแต่ละเชกเตอร์ หลังจากหาค่าความชับช้อนจะแสดงผลออกมาในรูปแบบแผนภูมิแท่ง (Bar Chart) และ แผนที่ແບสี (Choropleth Map)

4.7. ทำการวิเคราะห์ค่าความซับซ้อนที่ได้ในแต่ละอินดิเคเตอร์

ทำการวิเคราะห์ค่าความซับซ้อนที่ได้ใน 3 อินดิเคเตอร์ ดังนี้

- 1) ค่าความซับซ้อนจากการนับจำนวนการเข้าออกรายชั่วโมง (Hourly Entry Count)
- 2) ค่าความซับซ้อนจากการนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา (Occupancy Count)
- 3) ค่าความซับซ้อนจากความหนาแน่นไดนามิก (Dynamic Density)

4.8. ทำการเปรียบเทียบค่าความซับซ้อนที่ได้ในแต่ละอินดิเคเตอร์

ทำการเปรียบเทียบค่าความซับซ้อนของทั้ง 3 อินดิเคเตอร์ คือ การนับจำนวนการเข้าออกรายชั่วโมง (Hourly Entry Count), ค่าความซับซ้อนจากการนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา (Occupancy Count) และค่าความซับซ้อนจากความหนาแน่นไดนามิก (Dynamic Density) เปรียบเทียบว่ามีความสอดคล้องกันในแต่ละอินดิเคเตอร์ หรือไม่ และเปรียบเทียบว่าค่าความซับซ้อนในแต่ละอินดิเคเตอร์มีทิศทางของแนวโน้มเป็นอย่างไร

5 ผลการดำเนินโครงการและวิจารณ์

5.1. การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection)

ในโครงการนี้ได้เก็บรวบรวมข้อมูลแบบทุติยภูมิโดยเป็นข้อมูลเชิงปริมาณโดยข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมมาเพื่อใช้ในการศึกษาโครงการนี้ประกอบด้วยข้อมูล ADS-B โดยเป็นข้อมูลในระยะเวลา 1 วันของวันที่ 1 มิถุนายน 2565 มีจำนวนข้อมูล 121,333 แล้ว และ 13 คอลัมน์ ซึ่งได้รับความร่วมมือจากบริษัท เดลว์ แอโรสเปซ จำกัด

```
"id", "callsign", "lat", "lon", "alt", "heading", "speed", "epoch", "date", "arrival", "departure", "model", "registration"
"6297fdb3629bf3bb0098aec7", "ETD979", 20.99, 101.95, 41000, 83, 446, 1654041600, "2022-06-01 00:00:00", "HAN", "AUH", "B77L", "A6-DDF"
"6297fdb3629bf3bb0098aec7", "ETD979", 20.99, 103.27, 40425, 99, 452, 1654042200, "2022-06-01 00:10:00", "HAN", "AUH", "B77L", "A6-DDF"
"6297fdb3629bf3bb0098aec7", "ETD979", 20.98, 103.4, 39100, 87, 442, 1654042261, "2022-06-01 00:11:01", "HAN", "AUH", "B77L", "A6-DDF"
"6297fdb3629bf3bb0098aec7", "ETD979", 20.99, 103.49, 38000, 81, 448, 1654042301, "2022-06-01 00:11:41", "HAN", "AUH", "B77L", "A6-DDF"
"6297fdb4629bf3bb0098aec8", "AFR254", 12.38, 103.46, 39000, 121, 467, 1654041600, "2022-06-01 00:00:00", "SGN", "BKK", "B77W", "F-GZNU"
"6297fdb4629bf3bb0098aec8", "AFR254", 12.32, 103.57, 39000, 121, 466, 1654041660, "2022-06-01 00:01:00", "SGN", "BKK", "B77W", "F-GZNU"
"6297fdb4629bf3bb0098aec8", "AFR254", 12.25, 103.69, 39000, 121, 464, 1654041720, "2022-06-01 00:02:00", "SGN", "BKK", "B77W", "F-GZNU"
"6297fdb4629bf3bb0098aec8", "AFR254", 12.18, 103.8, 39000, 121, 464, 1654041780, "2022-06-01 00:03:00", "SGN", "BKK", "B77W", "F-GZNU"
"6297fdb4629bf3bb0098aec8", "AFR254", 12.11, 103.91, 39000, 121, 465, 1654041840, "2022-06-01 00:04:00", "SGN", "BKK", "B77W", "F-GZNU"
"6297fdb4629bf3bb0098aec8", "AFR254", 12.04, 104.03, 39000, 121, 464, 1654041901, "2022-06-01 00:05:01", "SGN", "BKK", "B77W", "F-GZNU"
"6297fdb4629bf3bb0098aec8", "AFR254", 11.98, 104.13, 39000, 121, 463, 1654041959, "2022-06-01 00:05:59", "SGN", "BKK", "B77W", "F-GZNU"
```

รูปที่ 17 ตัวอย่างข้อมูลเที่ยวบินจาก ADS-B

จากรูป เป็นข้อมูลเที่ยวบินจาก ADS-B ซึ่งประกอบด้วย 13 คอลัมน์ดังนี้

- 1) id: เลขประจำตัวของเครื่องบิน
- 2) callsign: นามเรียนจากของเครื่องบิน
- 3) lat: ละจูด (Latitude)
- 4) lon: ลองติจูด (Longitude)
- 5) alt: ความสูง (Altitude)
- 6) heading: ทิศทางการบิน
- 7) speed: ความเร็ว
- 8) epoch: เวลา
- 9) date: วันและเวลา
- 10) arrival: ตัวย่อสนามบินปลายทาง
- 11) departure: ตัวย่อสนามบินต้นทาง
- 12) model: รุ่นของเครื่องบิน
- 13) registration: ทะเบียนอากาศยาน

5.2. การทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleaning)

5.2.1. จัดการกับข้อมูลที่หายไปหรือไม่สมบูรณ์

จะเริ่มโดยการนำข้อมูล ADS-B มาตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้มา มีข้อมูลที่หายไปหรือไม่ หากมีข้อมูลแผลใดของตารางที่มีคอลัมน์ id callsign latitude longitude altitude heading speed และ date หายไป จะทำการตัดข้อมูลที่หายไปออก เนื่องจากหากข้อมูลส่วนนี้มีการหายไปจะไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ได้ ซึ่งจะเหลือข้อมูลจำนวน แต่ 118,101 จาก 121,333 และ คิดเป็น 97.34 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่ายอมรับได้

5.2.2. ทำการกรองข้อมูลตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้

ทำการนำข้อมูลที่จัดการกับข้อมูลที่หายไปแล้วมากรองตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ คือ

- 1) กรองແກ່ວທີ່ມີຄ່າພິກັດລອງຈົງດແລະລະຕິຈົດ ອູ້ໃນຂອບເຂດປະເທດໄທຍ
- 2) กรองແກ່ວທີ່ມີຄ່າວະດັບຄວາມສູງ (Altitude) ມາກກວ່າ 10,000 ພຸດ ຊຶ່ງເປັນຫ່ວງອາກາສ En-Route

5.3. การจัดเรียงແຜ່ມເປົ້າເວລາໃໝ່ (Resampling Time)

เนื่องจากตารางข้อมูลມີເວລາທີ່ມີສໍາເສນອງຈຶ່ງต้องทำการจัดเรียงແຜ່ມເປົ້າເວລາໃໝ່ โดยวິທີການປະມານຄ່າໃນຫ່ວງເຫັນເສັ້ນ (Linear Interpolation) ຊຶ່ງມີເກີນທີ່ກີ່ອ ทำการจัดเรียงແຜ່ມເປົ້າເວລາໃໝ່ທຸກໆ 10 ວິນາທີ ໃນແຕ່ລະກຸ່ມຂອງ id ໂດຍມີກຸ່ມ id ດືກີ່ອ 1,129 ກຸ່ມ ລັງຈາກນັ້ນສ່ວນອອກข้อมูลເປັນໄຟລ് CSV ເພື່ອນຳໄປໜ້າຄ່າຄວາມຫັບຫຼັນ

```
id,datetime,lat,lon,alt,speed,heading
6297fdb4629bf3bb0098aec9,2022-06-01 00:02:00,9.97,97.12,37000.0,406.0,138.0
6297fdb4629bf3bb0098aec9,2022-06-01 00:02:10,9.96,97.13,36991.67,405.83,138.17
6297fdb4629bf3bb0098aec9,2022-06-01 00:02:20,9.94,97.14,36983.33,405.67,138.33
6297fdb4629bf3bb0098aec9,2022-06-01 00:02:30,9.93,97.16,36975.0,405.5,138.5
6297fdb4629bf3bb0098aec9,2022-06-01 00:02:40,9.92,97.17,36966.67,405.33,138.67
6297fdb4629bf3bb0098aec9,2022-06-01 00:02:50,9.9,97.18,36958.33,405.17,138.83
6297fdb4629bf3bb0098aec9,2022-06-01 00:03:00,9.89,97.19,36950.0,405.0,139.0
6297fdb4629bf3bb0098aec9,2022-06-01 00:03:10,9.87,97.2,36930.0,405.4,138.8
6297fdb4629bf3bb0098aec9,2022-06-01 00:03:20,9.85,97.22,36910.0,405.8,138.6
6297fdb4629bf3bb0098aec9,2022-06-01 00:03:30,9.84,97.23,36890.0,406.2,138.4
6297fdb4629bf3bb0098aec9,2022-06-01 00:03:40,9.82,97.25,36870.0,406.6,138.2
6297fdb4629bf3bb0098aec9,2022-06-01 00:03:50,9.8,97.26,36850.0,407.0,138.0
```

ຮູບທີ 18 ຕັວອຢ່າງຂໍ້ມູນທັງຈາກການຈັດເວົາໃໝ່

5.4. ตรวจสอบเชกเตอร์ของห้องอากาศ

เริ่มต้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการจัดเรียงแซมเปิลเวลาใหม่ว่าข้อมูลอยู่ในห้องอากาศเชกเตอร์ไหน เพื่อนำข้อมูลที่ถูกตรวจสอบไปหาค่าความชับช้อน โดยตรวจสอบจากขอบเขตห้องอากาศ En-Route โดยได้ข้อมูลขอบเขตไฟล์ JSON ซึ่งมีขอบเขตห้องอากาศ 12 เชกเตอร์ จากบริษัท เดลว์ แอร์โตริสเป็นจำกัด

```
6297fdb4629bf3bb0098aec9,130,9.96,97.13,36991.67,405.83,138.17,SECTOR 4S
6297fdb4629bf3bb0098aec9,140,9.94,97.14,36983.33,405.67,138.33,SECTOR 4S
6297fdb4629bf3bb0098aec9,150,9.93,97.16,36975.0,405.5,138.5,SECTOR 4S
6297fdb4629bf3bb0098aec9,160,9.92,97.17,36966.67,405.33,138.67,SECTOR 4S
6297fdb4629bf3bb0098aec9,170,9.9,97.18,36958.33,405.17,138.83,SECTOR 4S
6297fdb4629bf3bb0098aec9,180,9.89,97.19,36950.0,405.0,139.0,SECTOR 4S
6297fdb4629bf3bb0098aec9,190,9.87,97.2,36930.0,405.4,138.8,SECTOR 4S
6297fdb4629bf3bb0098aec9,200,9.85,97.22,36910.0,405.8,138.6,SECTOR 4S
6297fdb4629bf3bb0098aec9,210,9.84,97.23,36890.0,406.2,138.4,SECTOR 4S
```

รูปที่ 19 ตัวอย่างข้อมูลหลังจากการตรวจสอบเชกเตอร์ของห้องอากาศ

5.5. การตรวจสอบความถูกต้องค่าความชับช้อน (Validation)

5.5.1. การวัดค่าความชับช้อน ระยะเวลา (Duration) และขั้น (Step) คือ 1 ชั่วโมงและ 15 นาที ตามลำดับ ใน เชกเตอร์ 4S

เวลา	HEC	OCC	DD
0:00 - 1:00	1	1	2
0:15 - 1:15	1	1	2
0:30 - 1:30	1	1	3
0:45 - 1:45	3	3	10
1:00 - 2:00	3	3	10
1:15 - 2:15	3	3	10
1:30 - 2:30	3	3	8
1:45 - 2:45	1	2	4

ตารางที่ 2 ค่าจากทุกช่วงของทั้ง 3 อินดิเคเตอร์

โดย HEC = การนับจำนวนการเข้าออกรายชั่วโมง (Hourly Entry Count) , OCC = การนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา (Occupancy Count) , DD = ความหนาแน่นไอนามิก (Dynamic Density)

รูปที่ 20 ค่าจากโปรแกรมของการนับจำนวนการเข้าออกรายชื่อในง

รูปที่ 21 ค่าจากโปรแกรมของการนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา

รูปที่ 22 ค่าจากโปรแกรมของความหนาแน่นในนามิก

5.5.2. การวัดค่าความชั้บช้อนที่เวลาทุก ๆ 3 ชั่วโมง ในเซกเตอร์ 4S

ເວລາ	HEC	OCC	DD
0:00 - 2:00	6	6	15
3:00 - 5:00	2	2	4
6:00 - 8:00	0	0	0

โดย HEC = การนับจำนวนการเข้าออกรายชั่วโมง (Hourly Entry Count) , OCC = การนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา (Occupancy Count) , DD = ความหนาแน่นไดนามิก (Dynamic Density)

```
{'SECTOR 1N': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 2N': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 3N': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 4N': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 5N': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 6N': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 1S': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 2S': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 3S': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 4S': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 5S': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 6S': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]}
```

รูปที่ 23 ค่าจากโปรแกรมของการนับจำนวนการเข้าออกรายชื่อในง

```
{'SECTOR 1N': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 2N': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 3N': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 4N': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 5N': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 6N': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 1S': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 2S': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 3S': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 4S': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 5S': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 6S': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]}
```

รูปที่ 24 ค่าจากโปรแกรมของการนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา

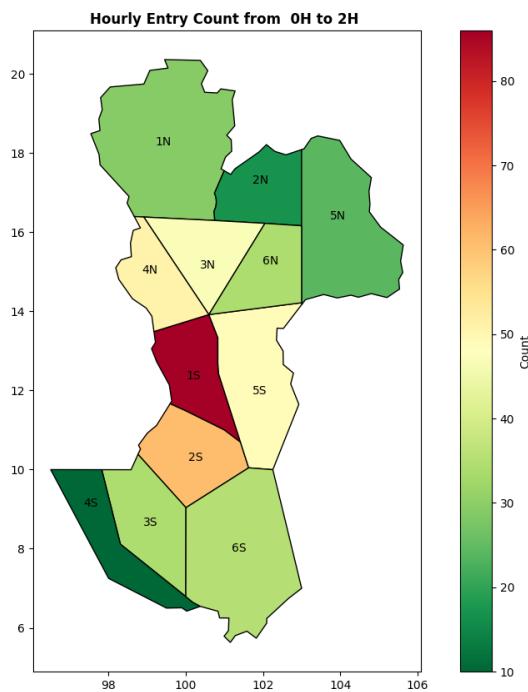
```
{'SECTOR 1N': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 2N': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 3N': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 4N': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 5N': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 6N': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 1S': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 2S': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 3S': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 4S': [15, 4, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 5S': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], 'SECTOR 6S': [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]}
```

รูปที่ 25 ค่าจากโปรแกรมของความหนาแน่นไดนามิก

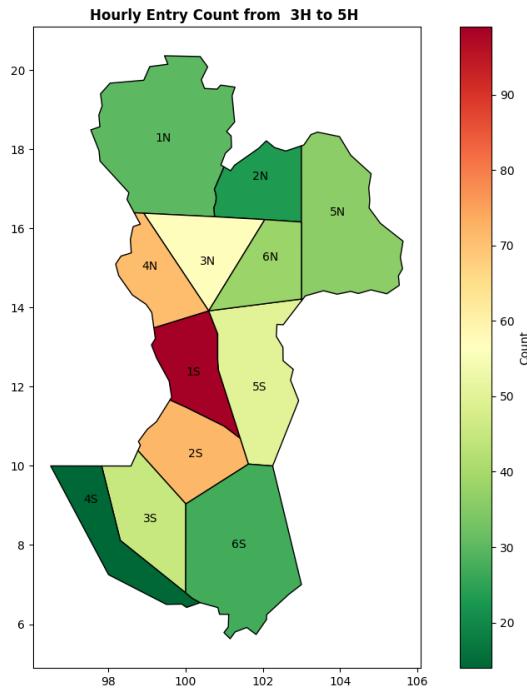
5.6. ผลค่าความซับซ้อนในแต่ละอินดิเคเตอร์

5.6.1. ผลค่าความซับซ้อนในอินดิเคเตอร์การนับจำนวนการเข้าออกรายชั่วโมง (Hourly Entry Count)

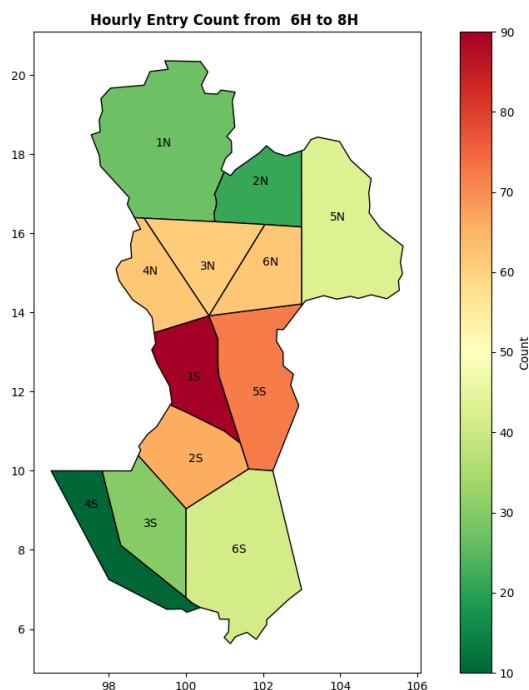
- 1) แผนที่แบบลี หรือ Choropleth Map แสดงค่าความซับซ้อนในแต่ละเขตโดยใช้สีตามค่าความซับซ้อนมากที่สุดจะเป็นสีแดงเลือดหมู



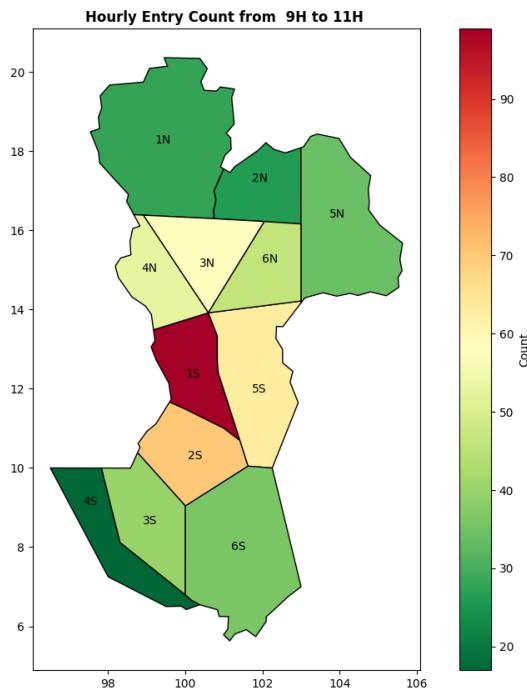
รูปที่ 26 แผนที่แบบลีแสดงค่าความซับซ้อนในชั่วโมงที่ 0 ถึง ชั่วโมงที่ 2



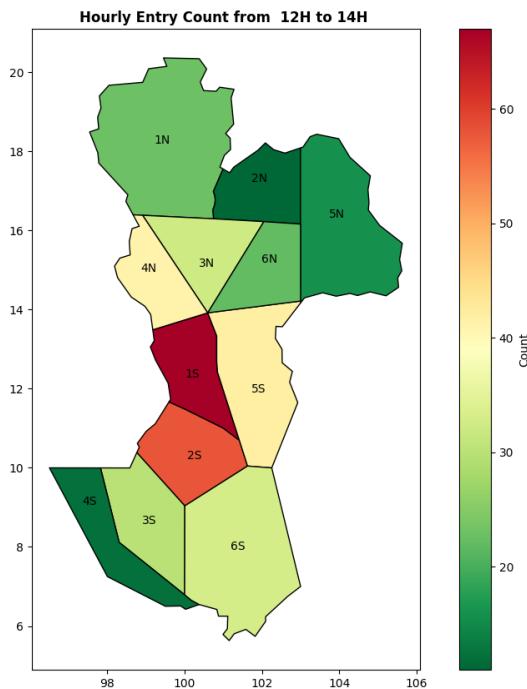
รูปที่ 27 แผนที่ແກบສีแสดงค่าความซับซ้อนในชั่วโมงที่ 3 ถึง ชั่วโมงที่ 5



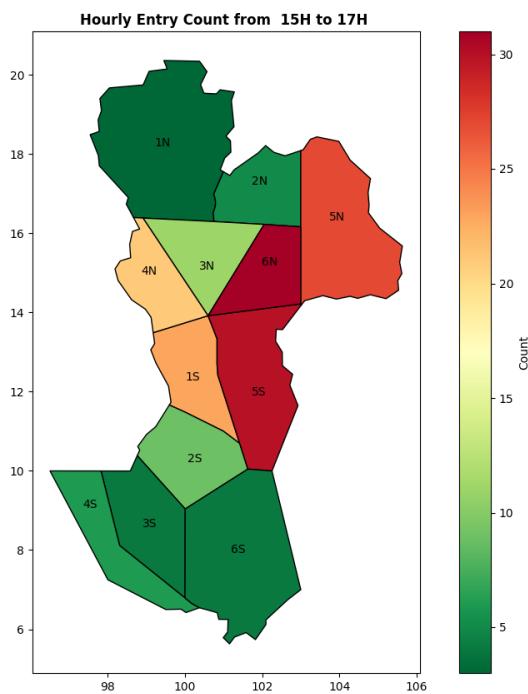
รูปที่ 28 แผนที่ແກบສีแสดงค่าความซับซ้อนในชั่วโมงที่ 6 ถึง ชั่วโมงที่ 8



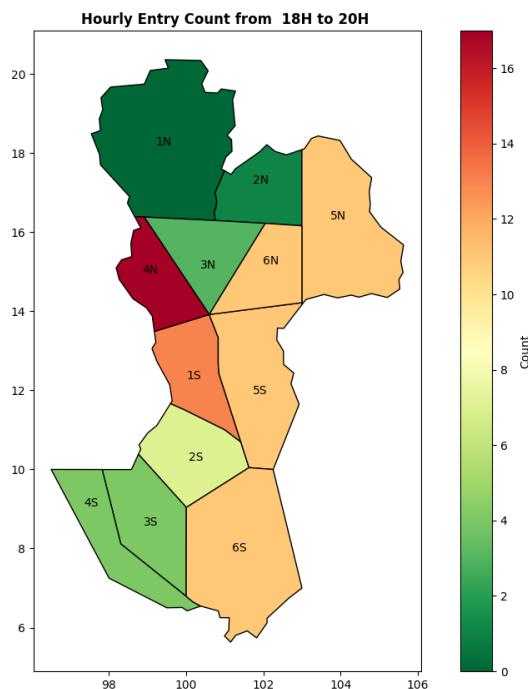
รูปที่ 29 แผนที่ແກบສีแสดงค่าความซับซ้อนในชั่วโมงที่ 9 ถึง ชั่วโมงที่ 11



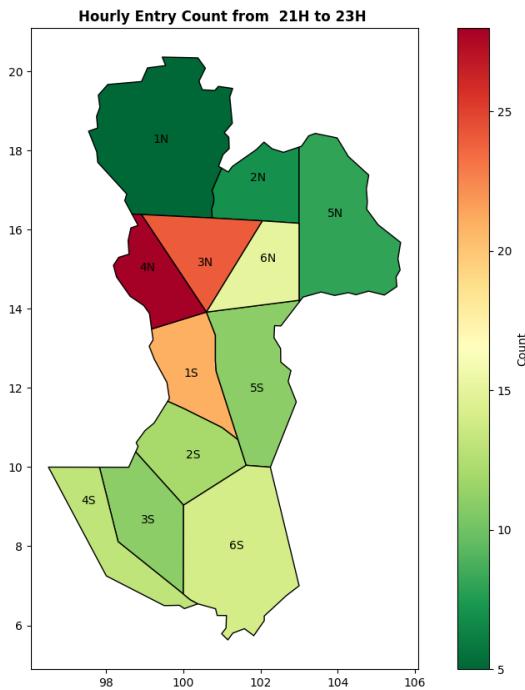
รูปที่ 30 แผนที่ແກบສีแสดงค่าความซับซ้อนในชั่วโมงที่ 12 ถึง ชั่วโมงที่ 14



รูปที่ 31 แผนที่ແແບສີແສດງຄ່າຄວາມຫັບຂອນໃນຊ້ວິໂນທີ 15 ຊື່ ຂ້ວິໂນທີ 17

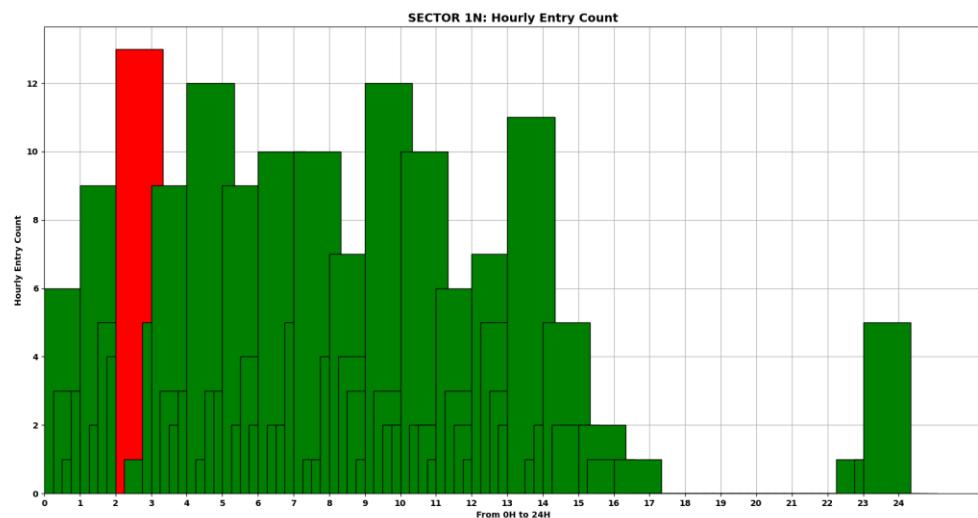


รูปที่ 32 แผนທີ່ແແບສີແສດງຄ່າຄວາມຫັບຂອນໃນຊ້ວິໂນທີ 18 ຊື່ ຂ້ວິໂນທີ 20

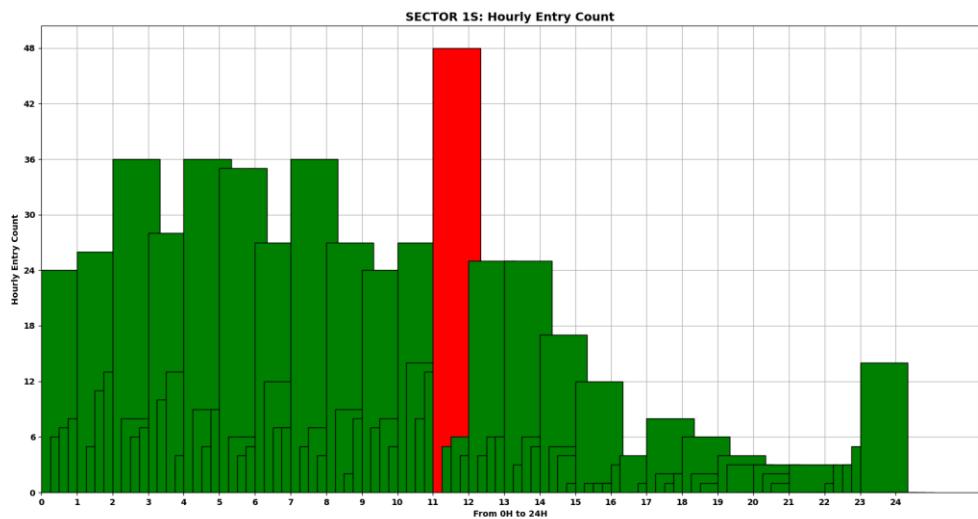


รูปที่ 33 แผนที่ແກบลีแสดงค่าความซับซ้อนในชั่วโมงที่ 21 ถึง ชั่วโมงที่ 23

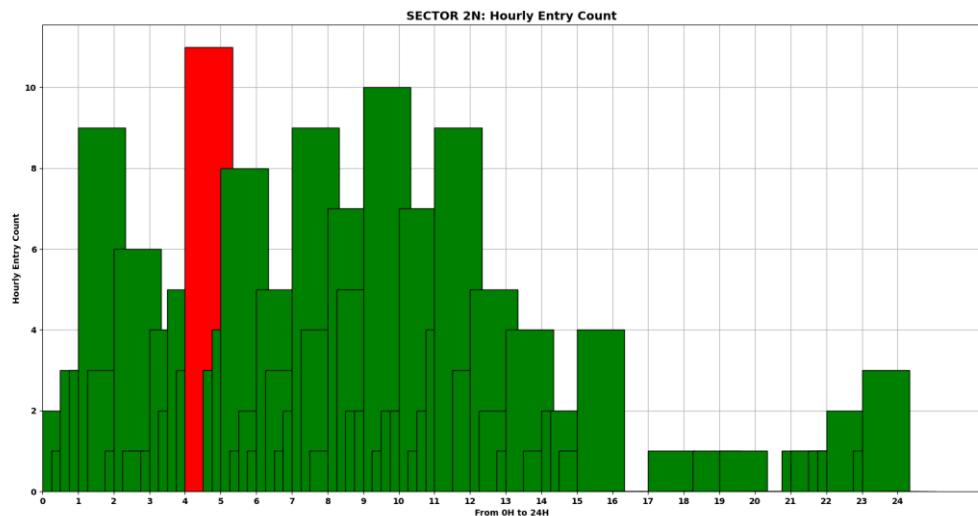
- 2) แผนภูมิแท่ง หรือ Bar Chart แสดงค่าความซับซ้อนของเชกเตอร์ในแต่ละชั่วโมงโดยชั่วโมงที่มีค่าความซับซ้อนมากที่สุดจะเป็นแท่งสีแดง



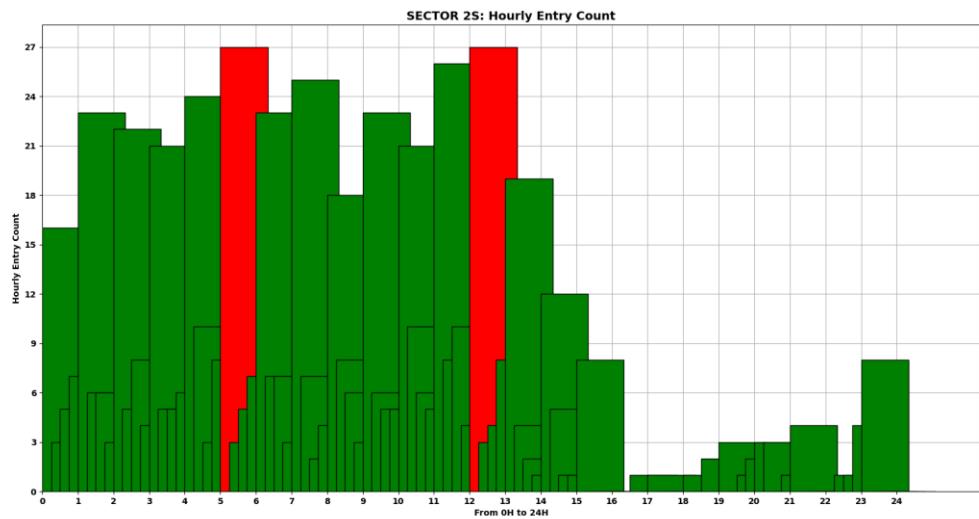
รูปที่ 34 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเชกเตอร์ 1N



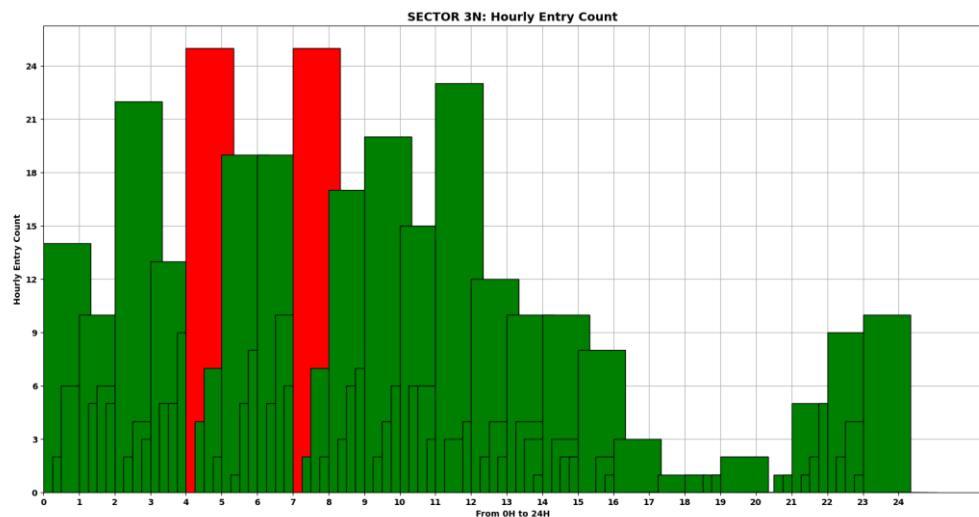
รูปที่ 35 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 1S



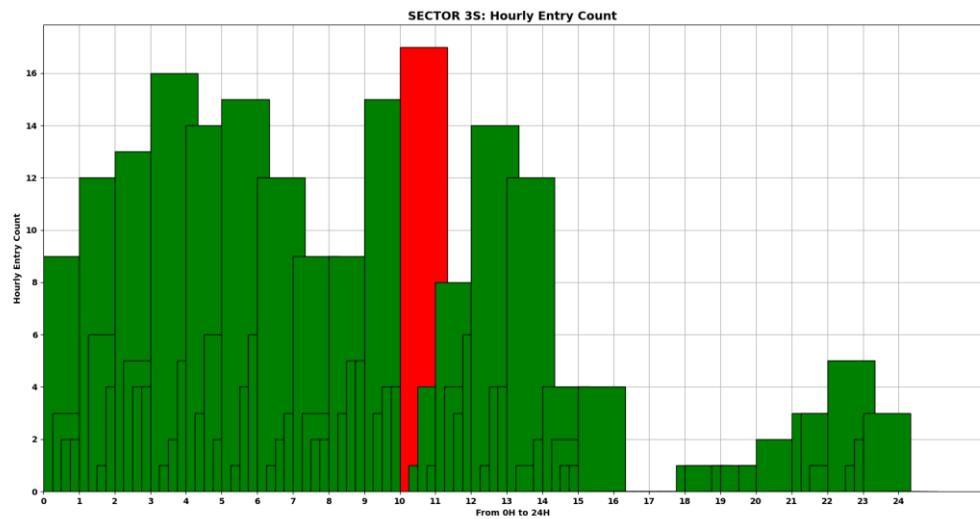
รูปที่ 36 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 2N



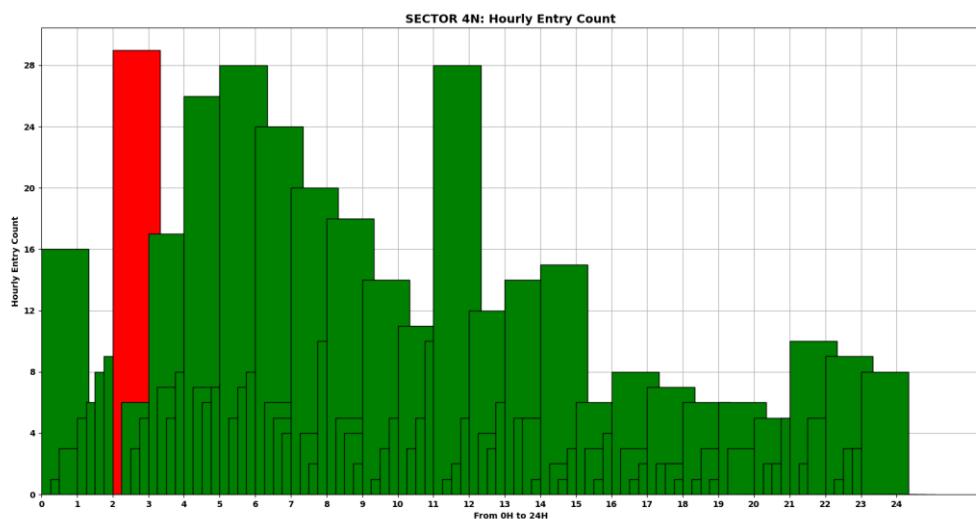
ງូប៖ រៀងរាល់ 37 របាយការណ៍ថែទាំសេចក្តីផលគោលការណ៍រំប៉ុងនៃក្រុងក្រោមតែគោរ 2S



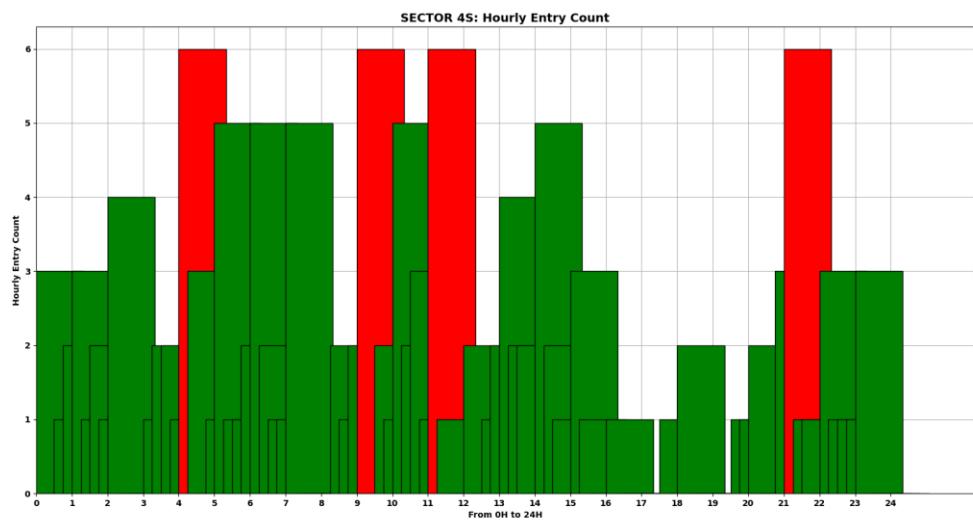
ងូប៖ រៀងរាល់ 38 របាយការណ៍ថែទាំសេចក្តីផលគោលការណ៍រំប៉ុងនៃក្រុងក្រោមតែគោរ 3N



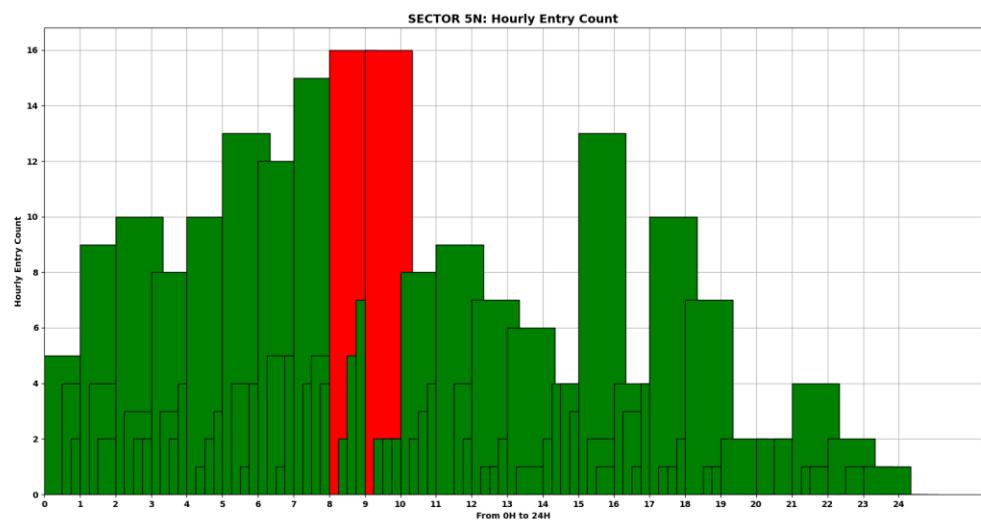
รูปที่ 39 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 3S



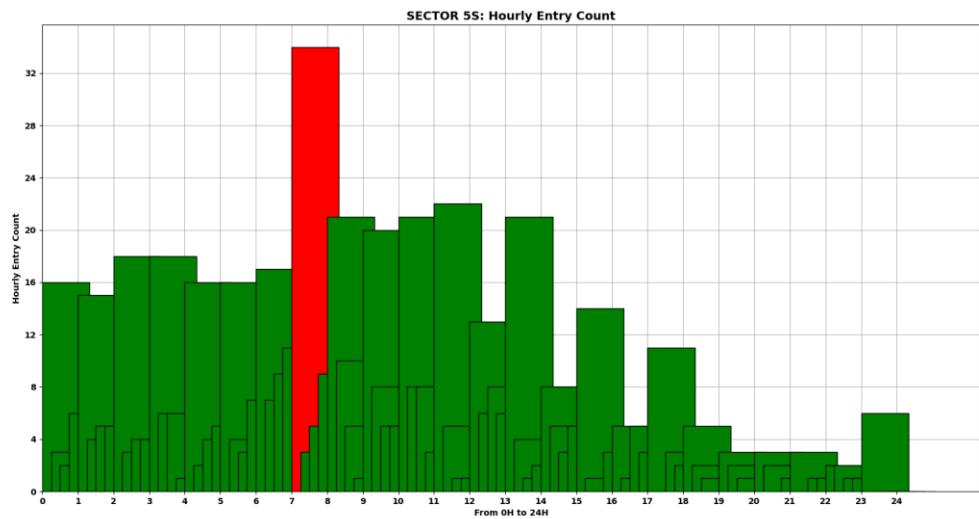
รูปที่ 40 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 4N



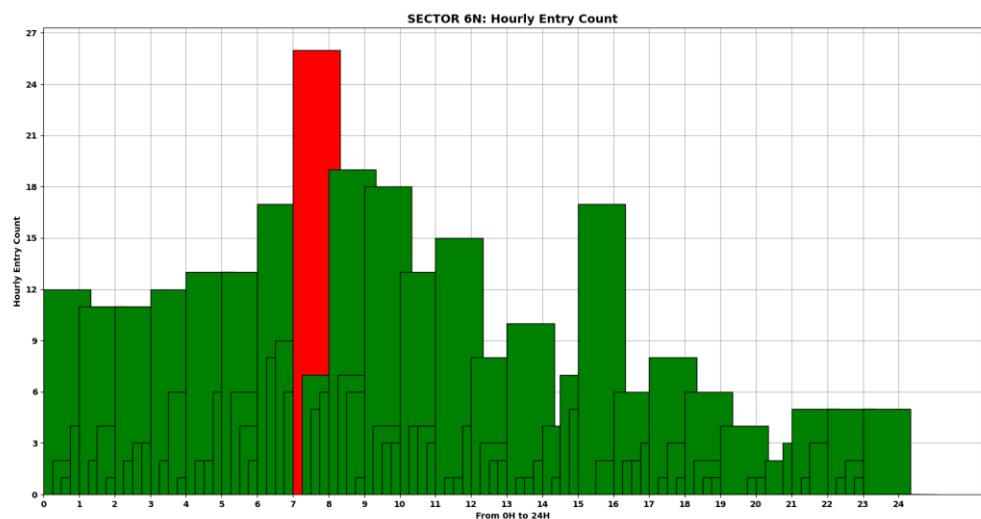
รูปที่ 41 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 4S



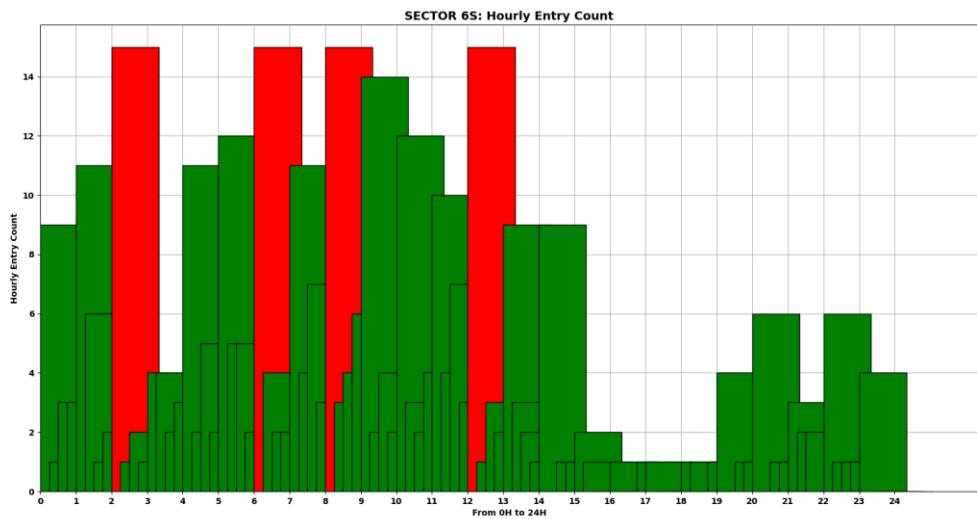
รูปที่ 42 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 5N



รูปที่ 43 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 5S



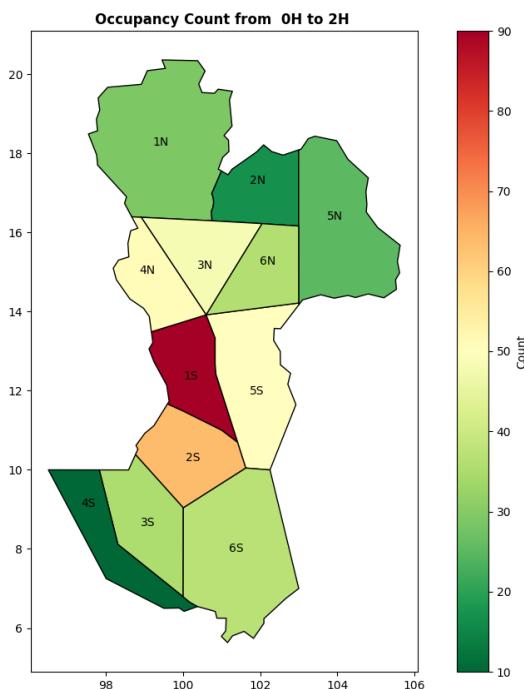
รูปที่ 44 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 6N



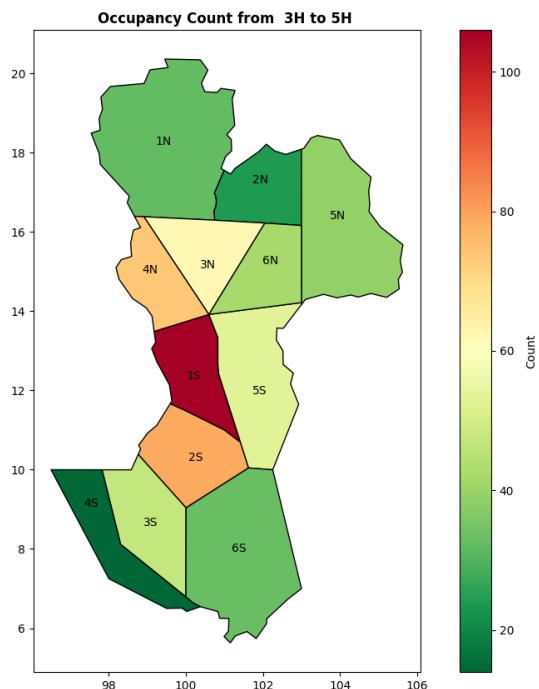
รูปที่ 45 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความชับช้อนในเซกเตอร์ 6S

5.6.2. ผลค่าความชับช้อนในอินดิเคเตอร์การนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา (Occupancy Count)

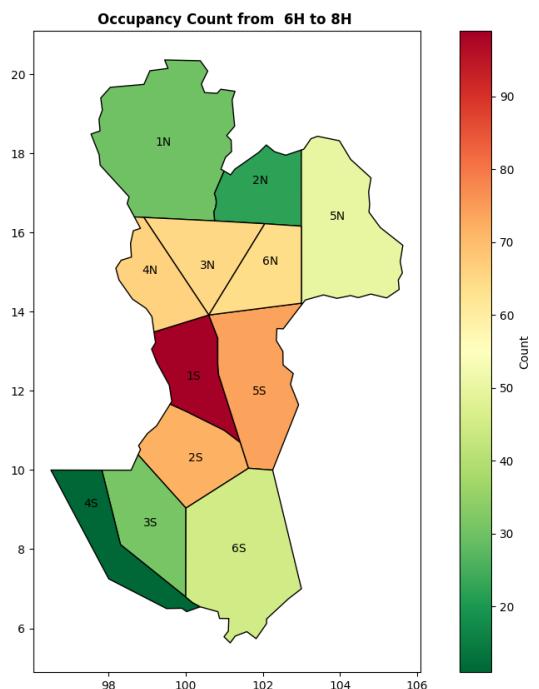
- 1) แผนที่ແກบสี หรือ Choropleth Map แสดงค่าความชับช้อนในแต่ละเซกเตอร์โดยเซกเตอร์ที่มีค่าความชับช้อนมากที่สุดจะเป็นสีแดงเลือดหมู



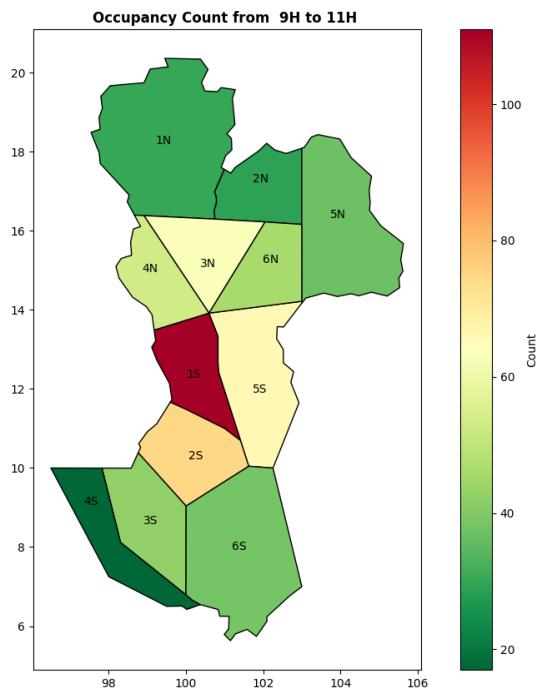
รูปที่ 46 แผนที่ແກบสีแสดงค่าความชับช้อนในชั่วโมงที่ 0 ถึง ชั่วโมงที่ 2



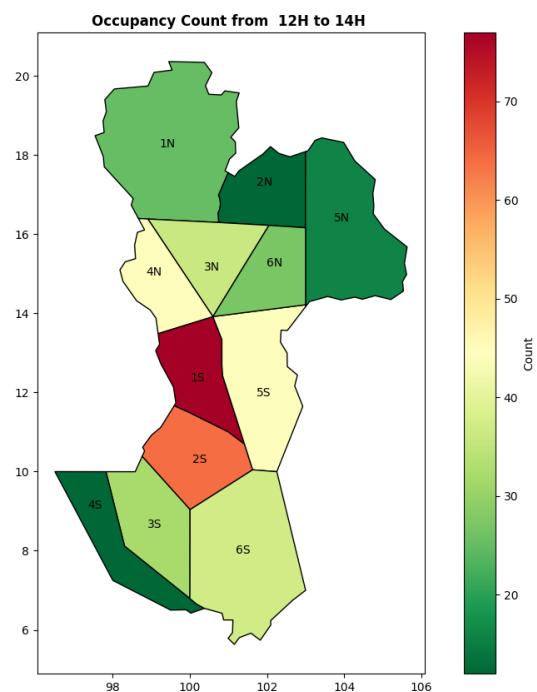
รูปที่ 47 แผนที่ແຄบສีແສດງค่าความชับช้อนในชั่วโมงที่ 3 ถึง ชั่วโมงที่ 5



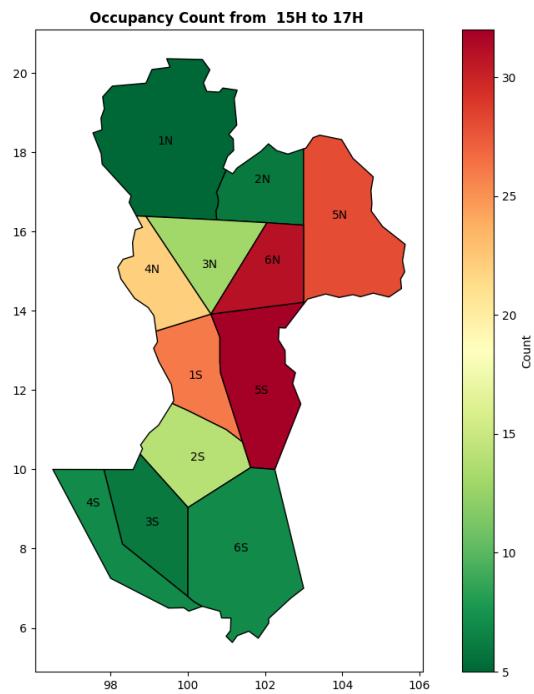
รูปที่ 48 แผนที่ແຄบສีແສດງค่าความชับช้อนในชั่วโมงที่ 6 ถึง ชั่วโมงที่ 8



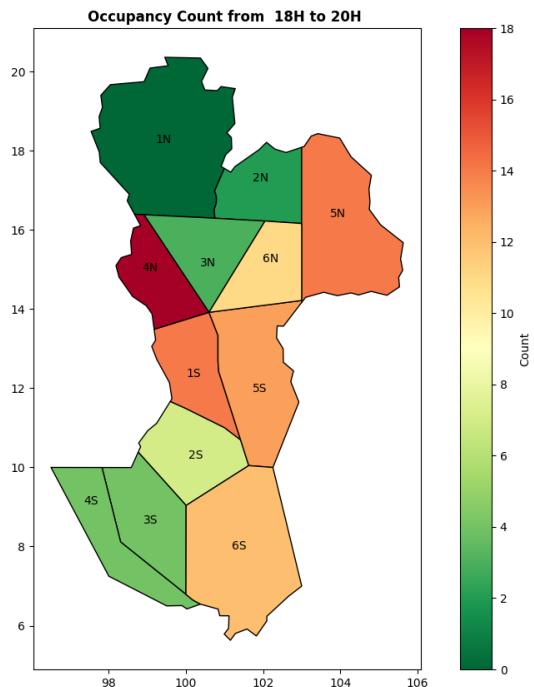
รูปที่ 49 แผนที่ແນບສีแสดงค่าความชับช่อนในชั่วโมงที่ 9 ถึง ชั่วโมงที่ 11



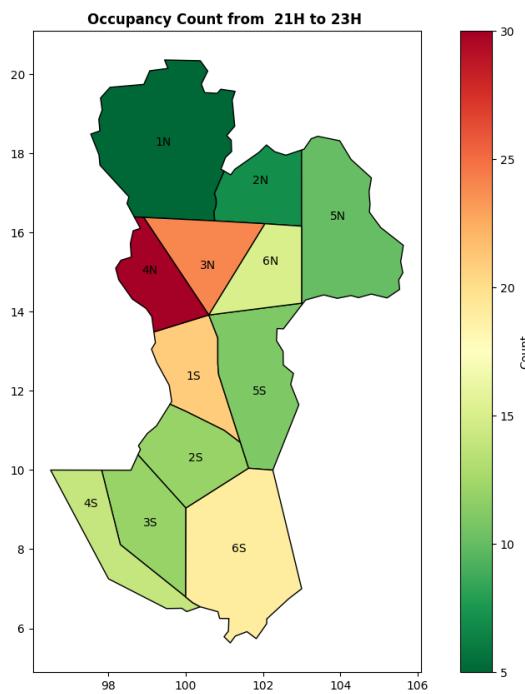
รูปที่ 50 แผนที่ແນບສีแสดงค่าความชับช่อนในชั่วโมงที่ 12 ถึง ชั่วโมงที่ 14



รูปที่ 51 แผนที่ແນບສีແສດงค่าความซับซ้อนในชั่วโมงที่ 15 ถึง ชั่วโมงที่ 17

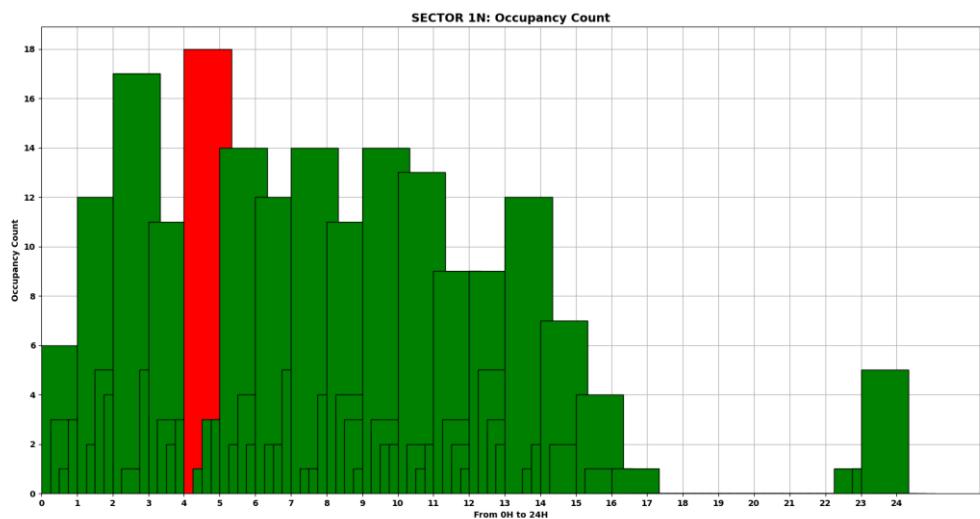


รูปที่ 52 แผนที่ແນບສีແສດงค่าความซับซ้อนในชั่วโมงที่ 18 ถึง ชั่วโมงที่ 20

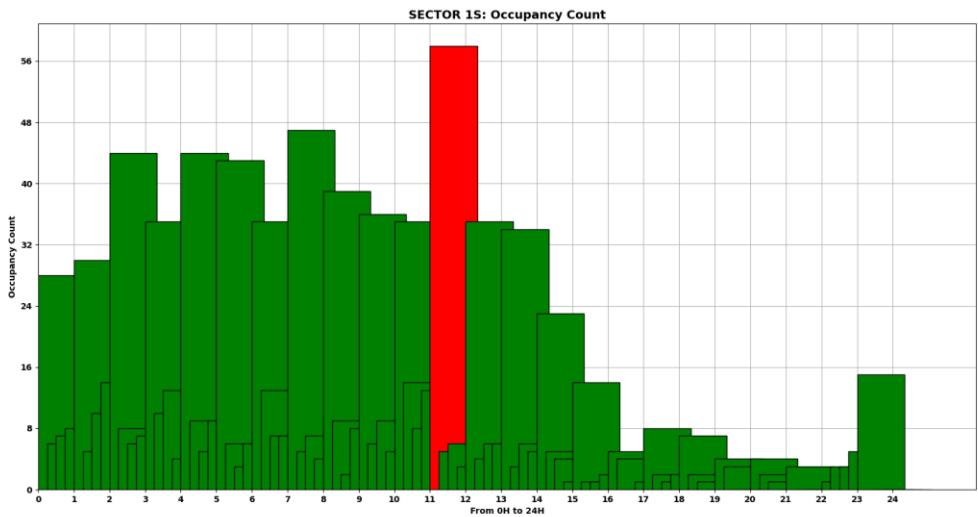


รูปที่ 53 แผนที่ແບสีแสดงค่าความซับซ้อนในชั่วโมงที่ 21 ถึง ชั่วโมงที่ 23

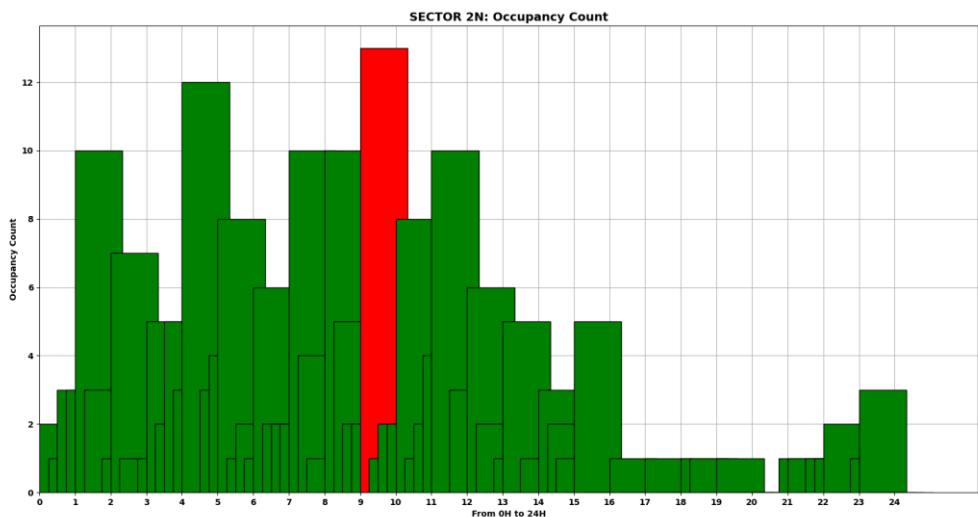
- 2) แผนภูมิแท่ง หรือ Bar Chart แสดงค่าความซับซ้อนของเซกเตอร์ในแต่ละชั่วโมงโดยชั่วโมงที่มีค่าความซับซ้อนมากที่สุดจะเป็นแท่งสีแดง



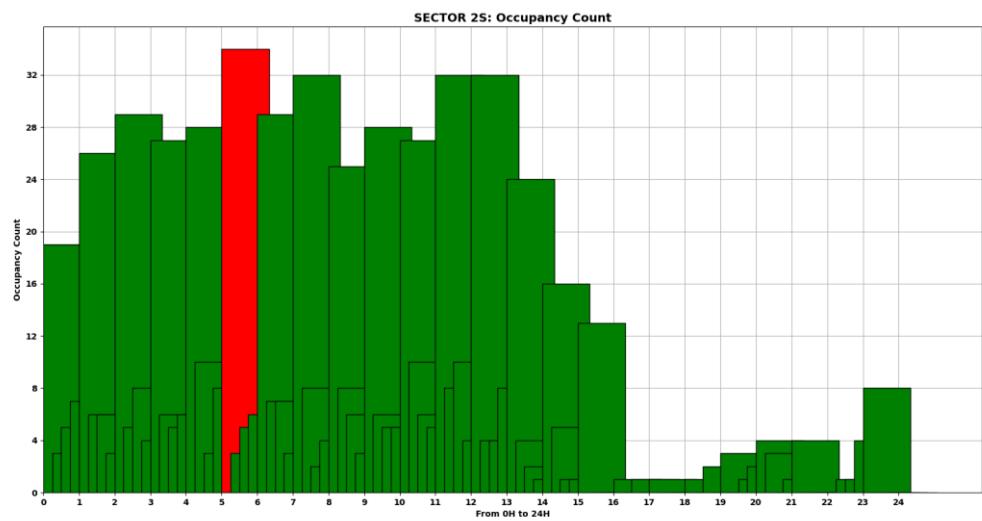
รูปที่ 54 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 1N



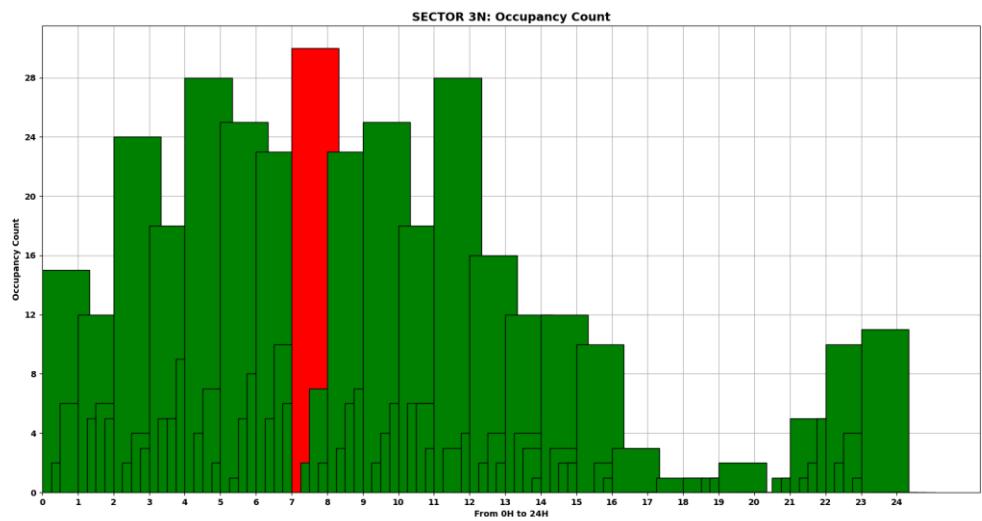
รูปที่ 55 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความชับช่อนในเซกเตอร์ 1S



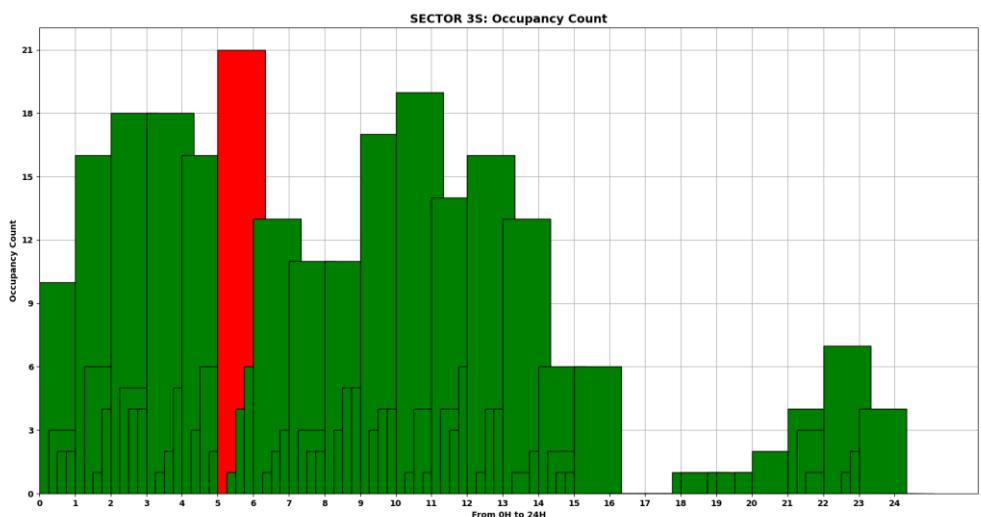
รูปที่ 56 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความชับช่อนในเซกเตอร์ 2N



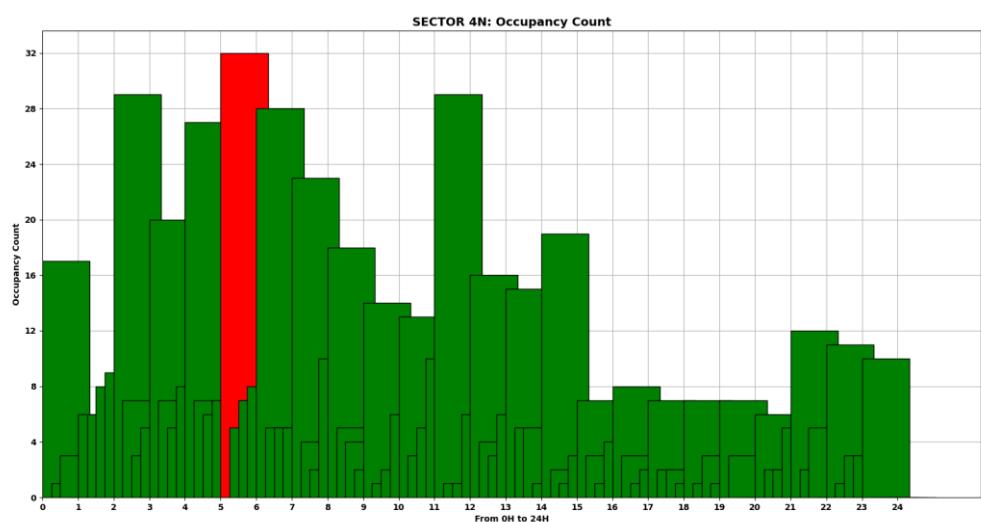
รูปที่ 57 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความชั้บชื่อนในเซกเตอร์ 2S



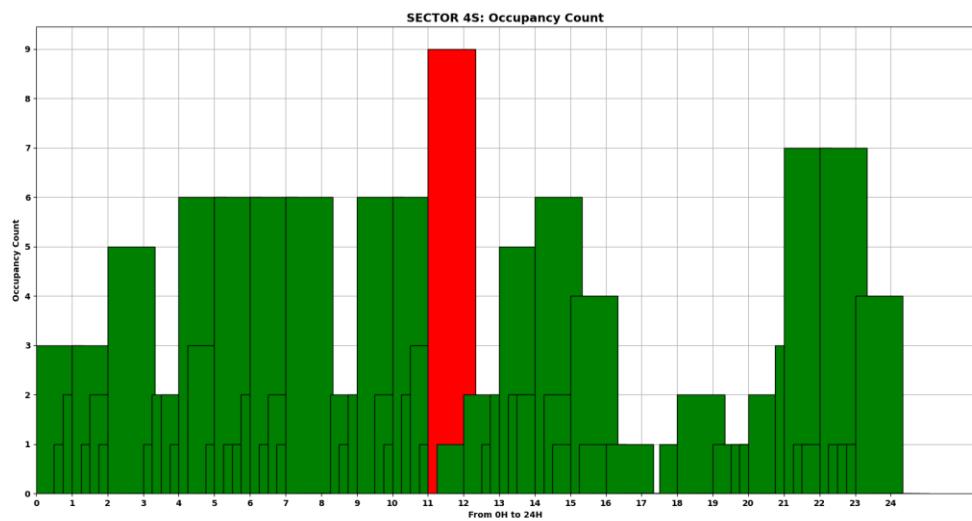
รูปที่ 58 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความชั้บชื่อนในเซกเตอร์ 3N



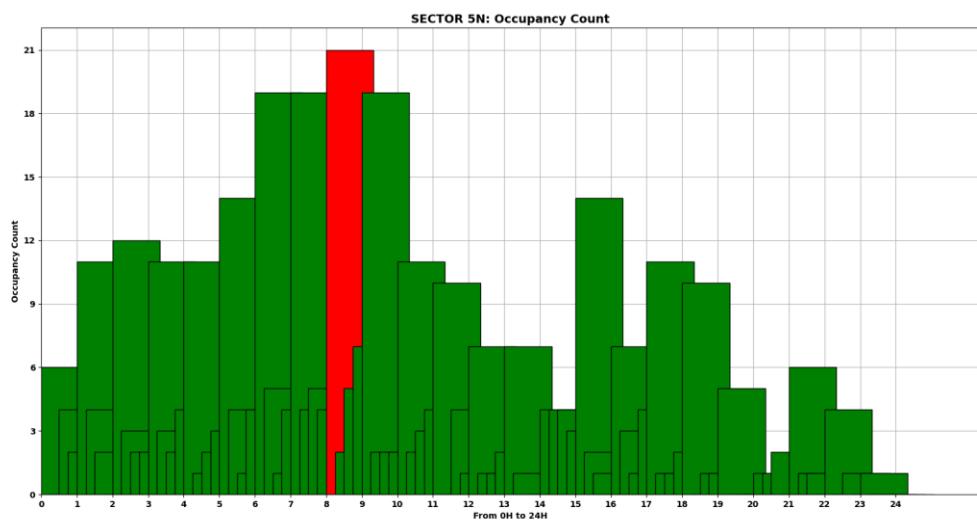
ງូបទី 59 ແណ្ឌភាសិទេសទេសចរការមុខប៉ូននៃផែកទេសទី 3S



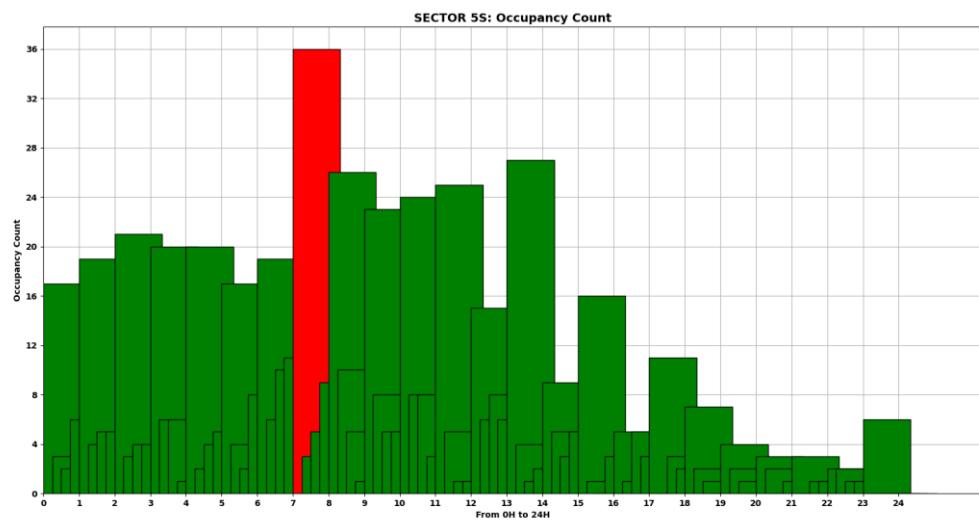
ងូបទី 60 ແណ្ឌភាសិទេសទេសចរការមុខប៉ូននៃផែកទេសទី 4N



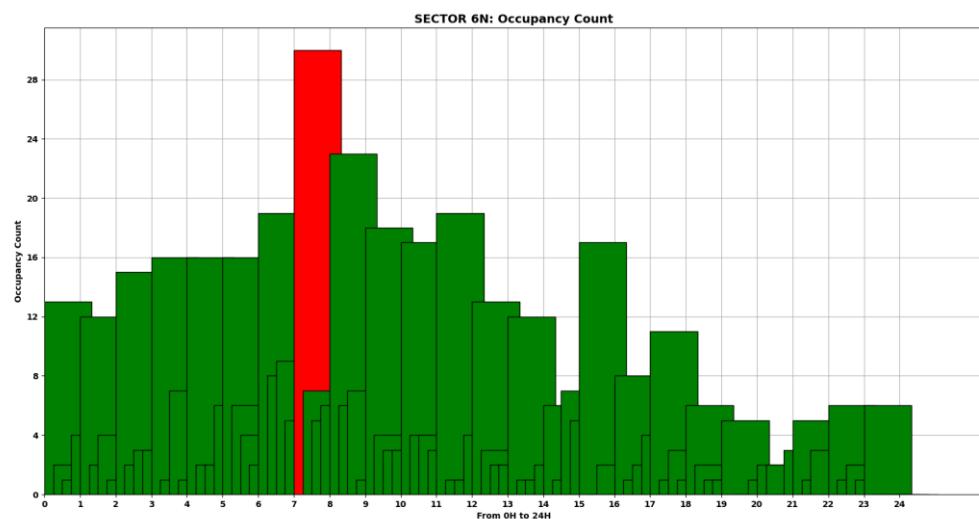
รูปที่ 61 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความชั่บช่อนในเซกเตอร์ 4S



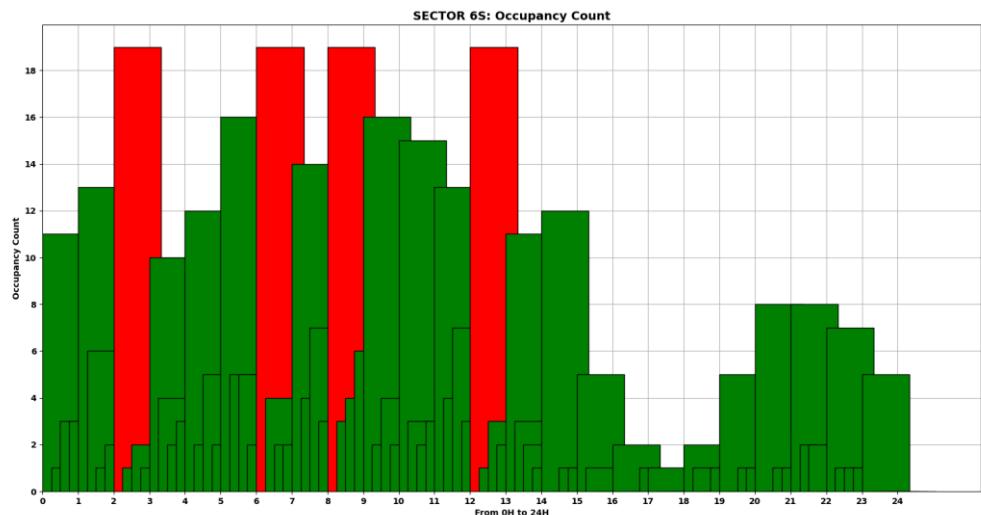
รูปที่ 62 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความชั่บช่อนในเซกเตอร์ 5N



รูปที่ 63 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 5S



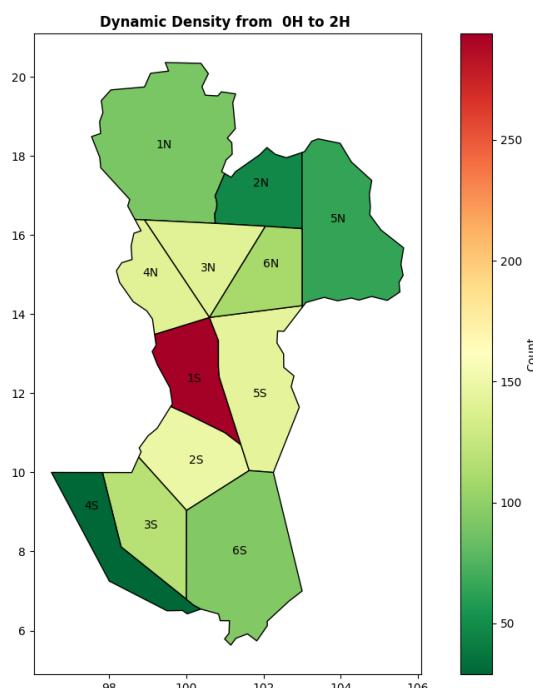
รูปที่ 64 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 6N



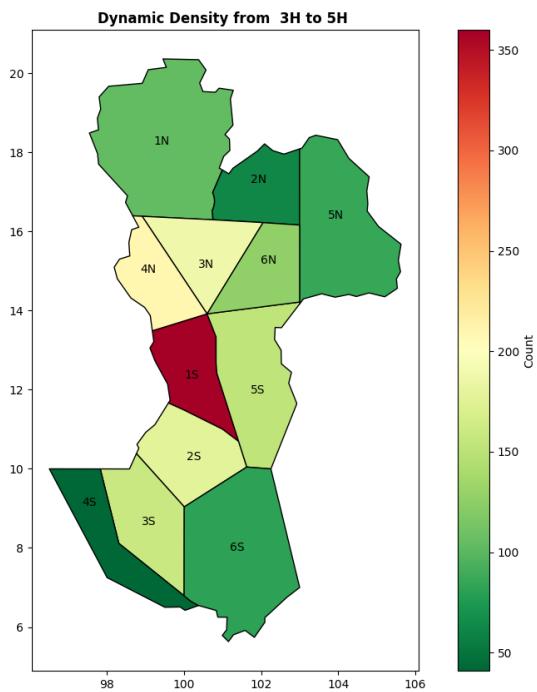
รูปที่ 65 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 6S

5.6.3. ผลค่าความซับซ้อนในความหนาแน่นไดนามิก (Dynamic Density)

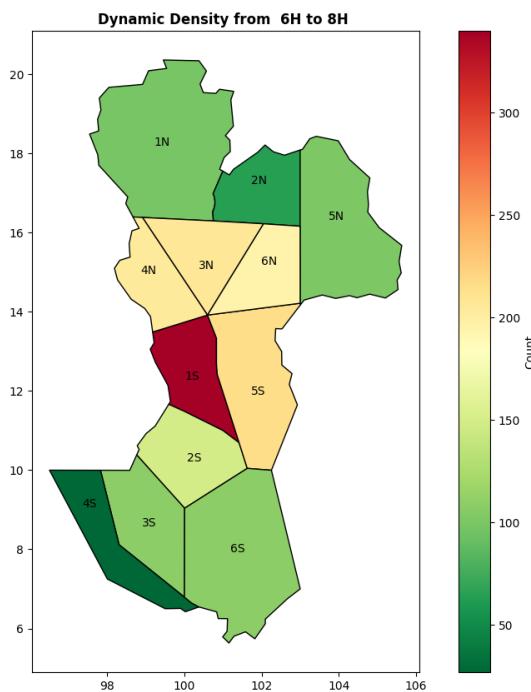
- 1) แผนที่ແຄบສี หรือ Choropleth Map แสดงค่าความซับซ้อนในแต่ละเซกเตอร์โดยเซกเตอร์ที่มีค่าความซับซ้อนมากที่สุดจะเป็นสีแดงเลือดหมู



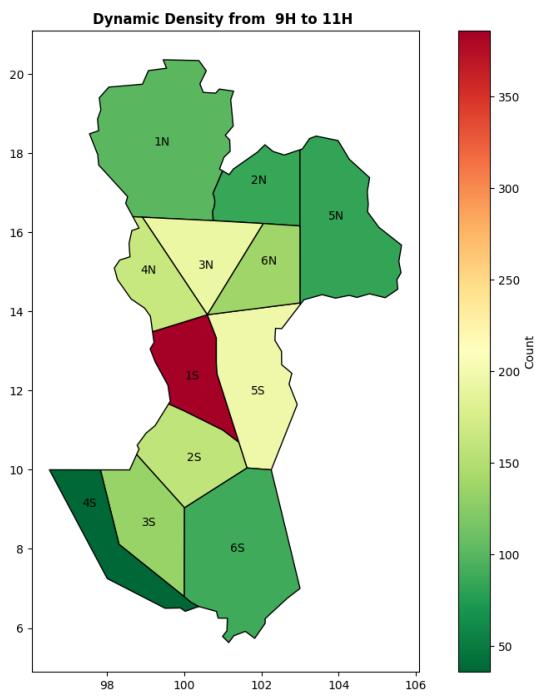
รูปที่ 66 แผนที่ແຄบສีแสดงค่าความซับซ้อนในชั่วโมงที่ 0 ถึง ชั่วโมงที่ 2



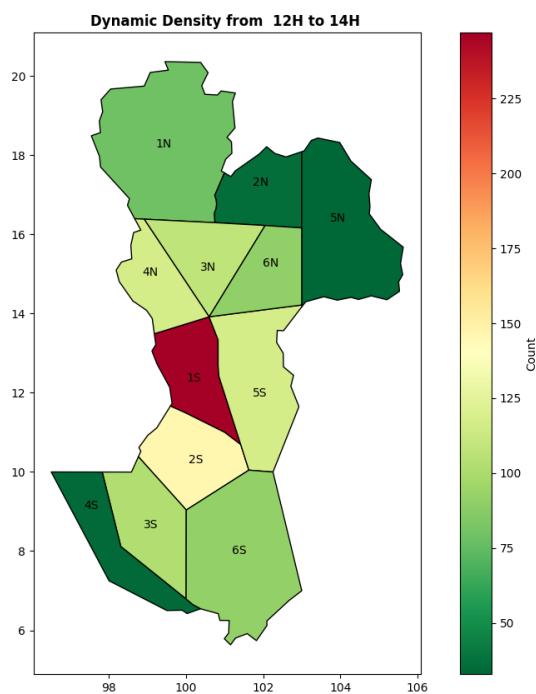
รูปที่ 67 แผนที่ແກบສีแสดงค่าความซับซ้อนในชั่วโมงที่ 3 ถึง ชั่วโมงที่ 5



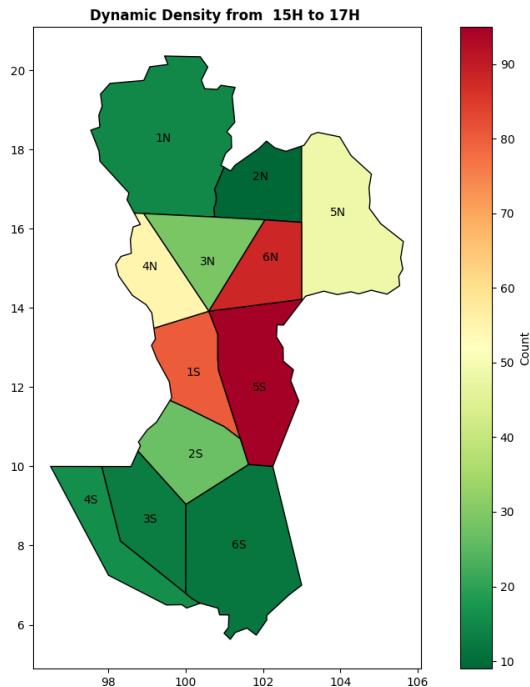
รูปที่ 68 แผนที่ແກบສีแสดงค่าความซับซ้อนในชั่วโมงที่ 6 ถึง ชั่วโมงที่ 8



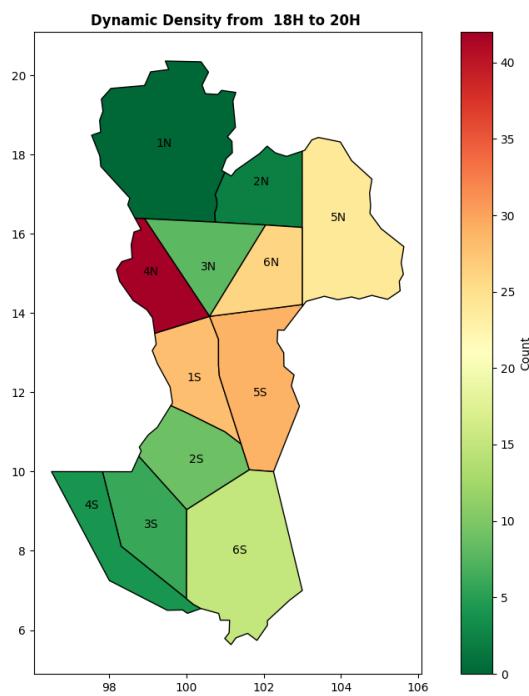
ຮູບທີ 69 ແຜນທີ່ແກບສື່ແສດງຄ່າຄວາມຫັບຂໍອນໃນໜັງໂມງທີ່ 9 ດຶງ ຫັງໂມງທີ່ 11



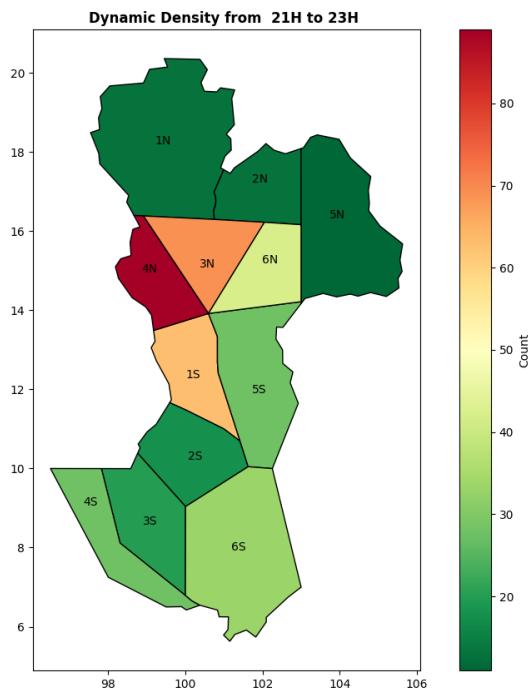
ຮູບທີ່ 70 ແຜນທີ່ແກບສື່ແສດງຄ່າຄວາມຫັບຂໍອນໃນໜັງໂມງທີ່ 12 ດຶງ ຫັງໂມງທີ່ 14



รูปที่ 71 แผนที่ແ胄บສີແສດງຄ່າຄວາມຫັບຂອນໃນຊ້ວໂມງທີ 15 ຊື່ ຂ້ວໂມງທີ 17

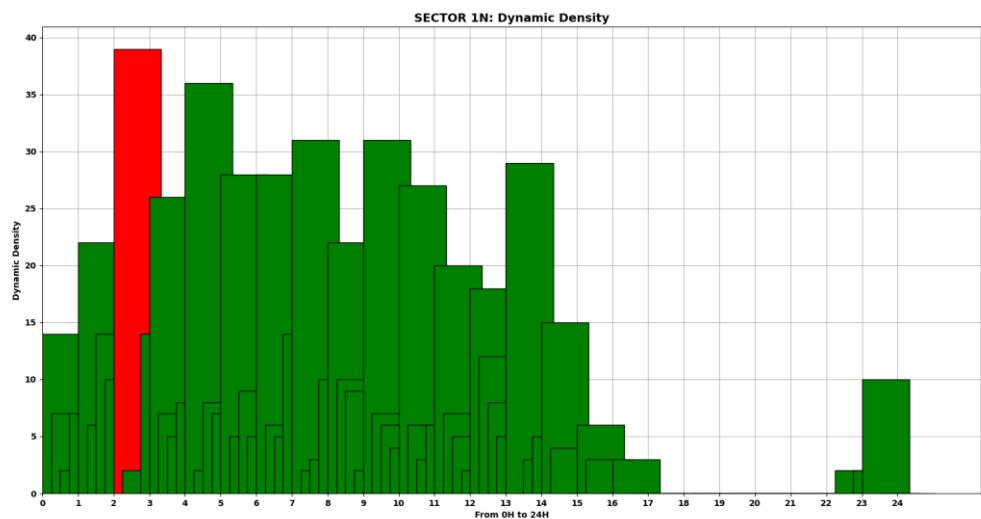


รูปที่ 72 แผนທີ່ແ胄ບສີແສດງຄ່າຄວາມຫັບຂອນໃນຊ້ວໂມງທີ 18 ຊື່ ຂ້ວໂມງທີ 20

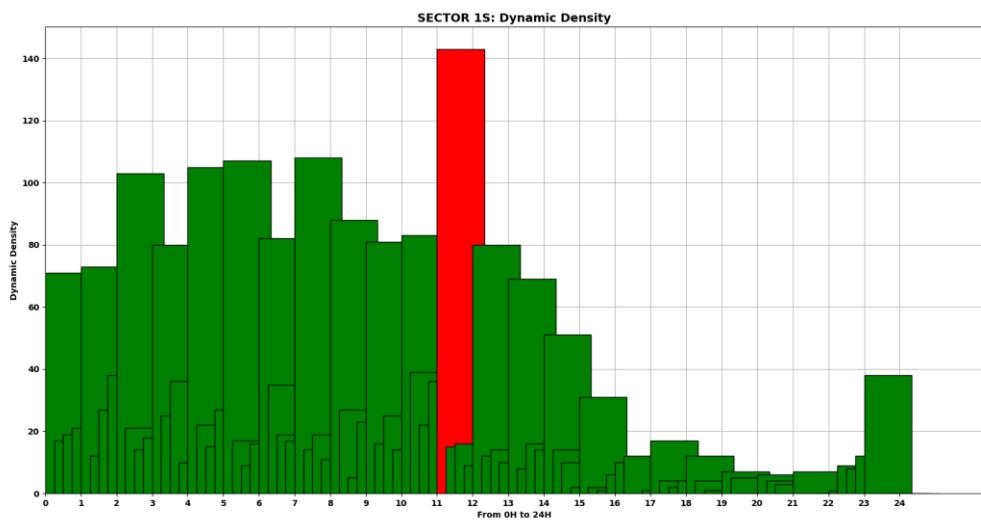


รูปที่ 73 แผนที่ແບสีแสดงค่าความซับซ้อนในชั่วโมงที่ 21 ถึง ชั่วโมงที่ 23

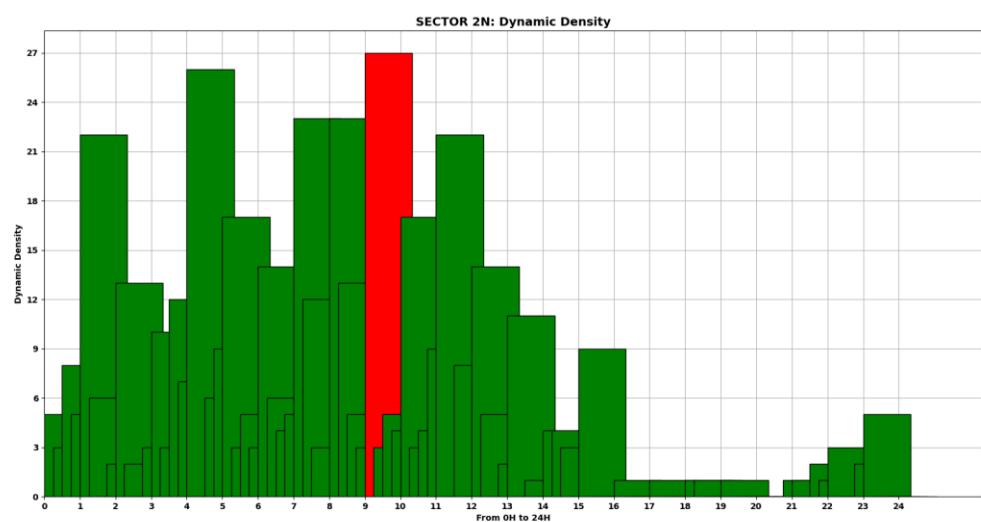
- 2) แผนภูมิแท่ง หรือ Bar Chart แสดงค่าความซับซ้อนของเซกเตอร์ในแต่ละชั่วโมงโดยชั่วโมงที่มีค่าความซับซ้อนมากที่สุดจะเป็นแท่งสีแดง



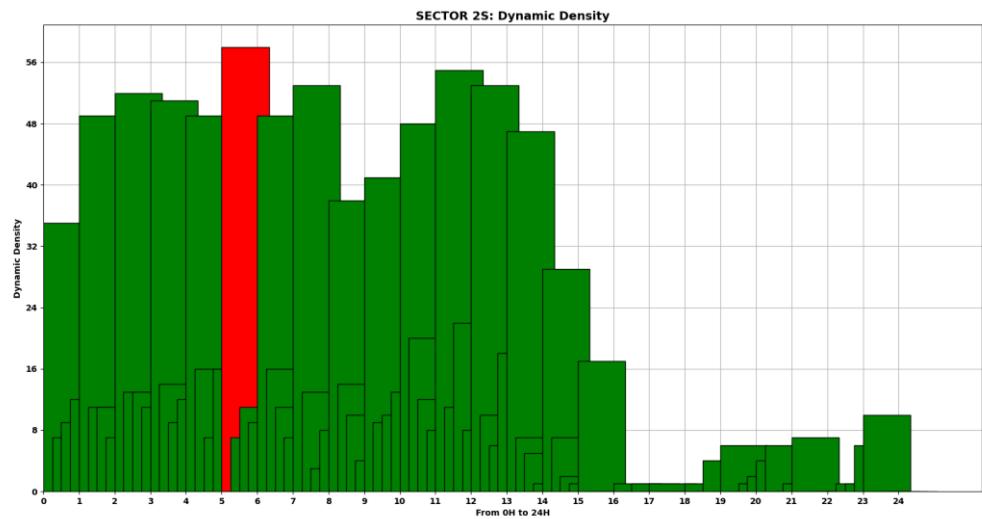
รูปที่ 74 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 1N



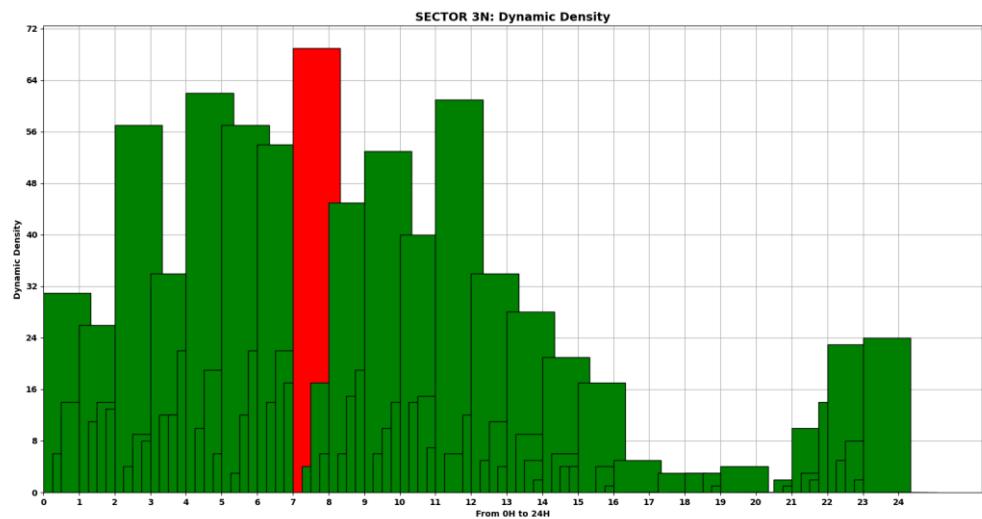
รูปที่ 75 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 1S



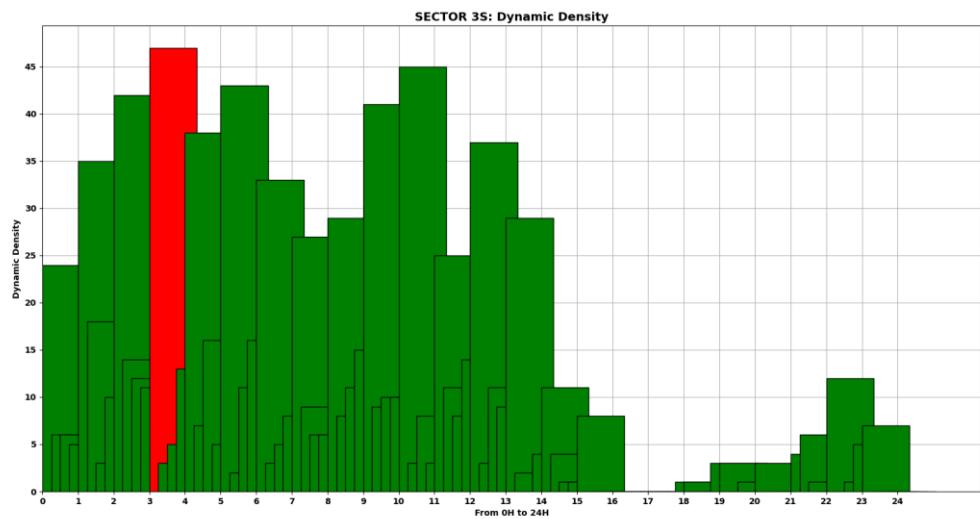
รูปที่ 76 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 2N



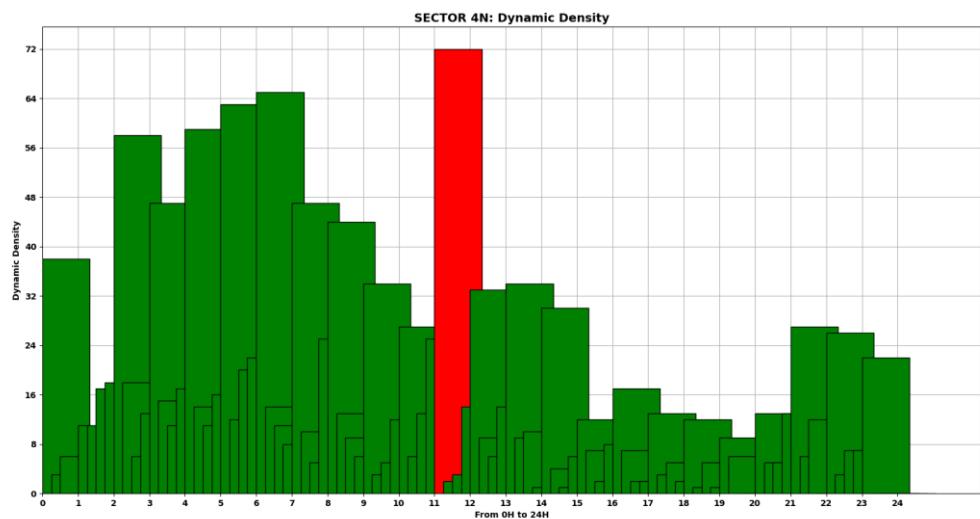
รูปที่ 77 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 2S



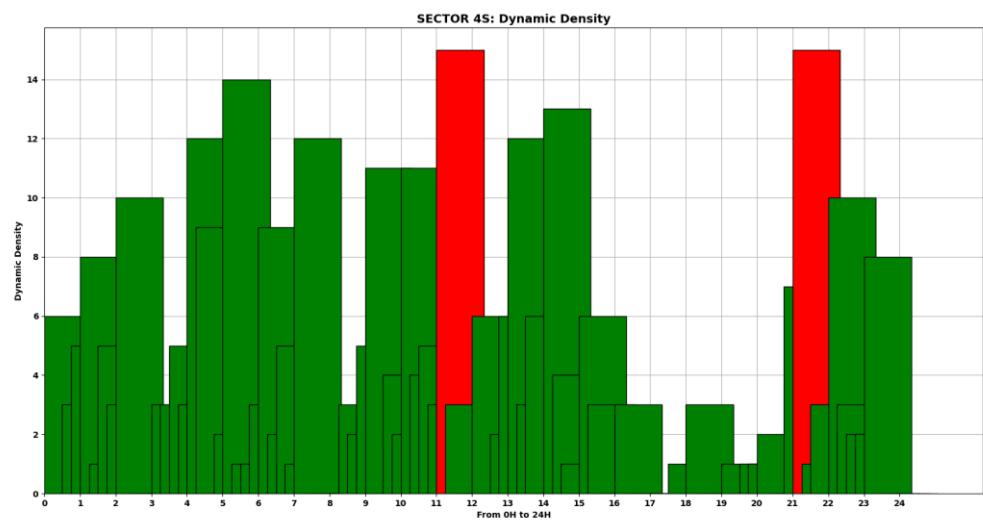
รูปที่ 78 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 3N



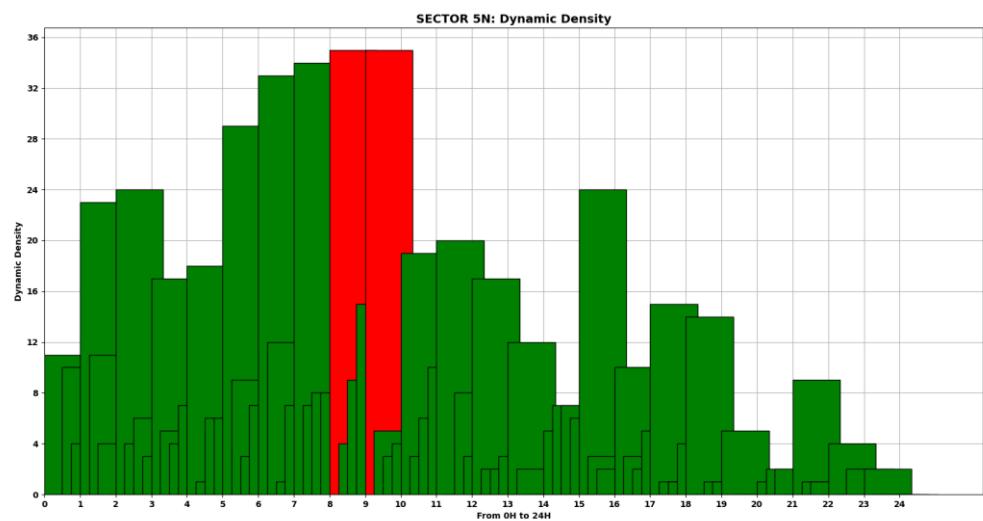
รูปที่ 79 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 3S



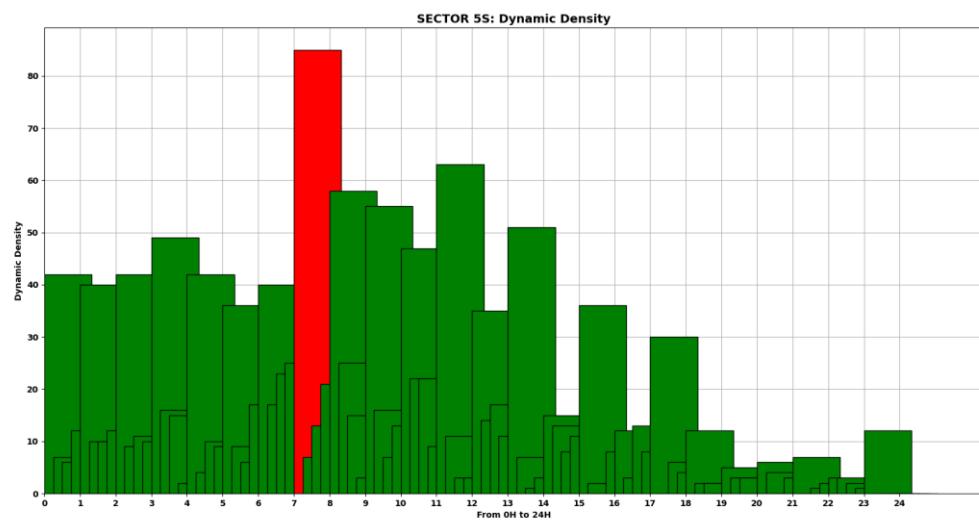
รูปที่ 80 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 4N



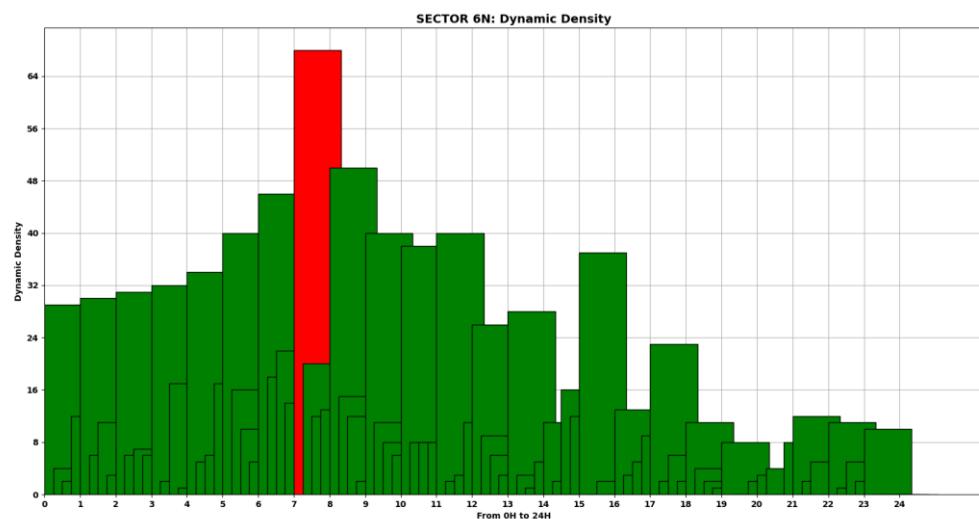
รูปที่ 81 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 4S



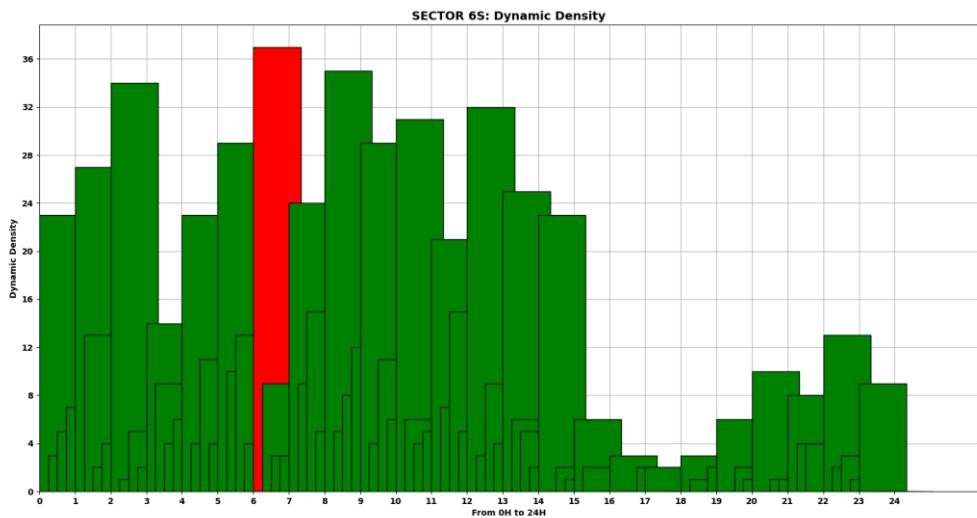
รูปที่ 82 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 5N



รูปที่ 83 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 5S



รูปที่ 84 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 6N



รูปที่ 85 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 6S

5.7. การวิเคราะห์ความซับซ้อนในแต่ละอินดิเคเตอร์

5.7.1. อินดิเคเตอร์การนับจำนวนการเข้าออกรายชั่วโมง (Hourly Entry Count)

ค่าความซับซ้อนของอินดิเคเตอร์การนับจำนวนการเข้าออกรายชั่วโมง (Hourly Entry Count) คือ ค่าของจำนวนเที่ยวบินที่เข้ามาในแต่ละเซกเตอร์เท่านั้น

จากแผนที่แบบสี(Choropleth Map) แสดงค่าความซับซ้อนในแต่ละเซกเตอร์ โดยเซกเตอร์ที่มีค่าความซับซ้อนมากที่สุด(จำนวนเที่ยวบินที่เข้ามาในเซกเตอร์มากที่สุด)จะเป็นสีแดงเดือดหมูและเซกเตอร์ที่มีค่าความซับซ้อนน้อยที่สุดจะเป็นสีเขียวเข้ม (จำนวนเที่ยวบินที่เข้ามาในเซกเตอร์น้อยที่สุด) จะเห็นได้ว่าเซกเตอร์ 1S จะมีค่าความซับซ้อนมากที่สุดในช่วงเวลาติดกัน 15 ชั่วโมง (ชั่วโมงที่ 0-14) จากพิกัดของสนามบินดอนเมืองและสนามบินสุวรรณภูมิซึ่งเป็นสนามบินที่มีการจราจรทางอากาศหนาแน่น จะเห็นได้ว่าสนามบินดอนเมืองและสนามบินสุวรรณภูมิอยู่ในเซกเตอร์ 1S และสนามบินสุวรรณภูมิอยู่ในเซกเตอร์ 5S เนื่องจากสนามบินดอนเมืองมีเที่ยวบินที่หนาแน่นโดยมีเครื่องบินที่ทำการบินในเซกเตอร์ แต่เนื่องจากข้อมูลที่ใช้หาค่าความซับซ้อนเป็นข้อมูลวันที่ 1 มิถุนายน 2565 ซึ่งเป็นช่วงสถานการณ์ระบาดของโควิด-19 ทำให้มีเที่ยวบินระหว่างประเทศน้อยลงเป็นเหตุผลว่าเซกเตอร์ 1S ที่มีสนามบินดอนเมืองจะมีค่าความซับซ้อนมากกว่าเซกเตอร์ 5S ที่มีสนามบินสุวรรณภูมิหลายช่วงเวลา เนื่องจากเซกเตอร์ 1S ที่มีค่าความซับซ้อนที่มาก(จำนวนเที่ยวบินที่เข้ามาในเซกเตอร์ 1S มาก) ทำให้มีเวลาเปลี่ยนไปเซกเตอร์ที่อยู่รอบข้างเซกเตอร์ 1S จะมีค่าความซับซ้อนมากขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการที่เครื่องบินเข้ามาในเซกเตอร์ 1S แล้วเครื่องบินออกจากเซกเตอร์ 1S ไปยังเซกเตอร์ที่อยู่รอบข้าง เช่น เซกเตอร์ 4N มีการเปลี่ยนแปลงสีในแผนที่แบบสี จากระดับสีเหลือง (ชั่วโมงที่ 0-2) เป็น สีส้ม (ชั่วโมงที่ 3-5) เป็นต้น

โดยปัจจัยที่ทำให้เชกเตอร์รอบข้างเปลี่ยนสีไปจากน้อยแค่ไหน คือ จำนวนเครื่องบินที่บินออกจาก เชกเตอร์ 1S ไปยังเชกเตอร์รอบข้าง ซึ่งการที่มีค่าความชับช้อนมาก อาจเกิดเหตุการณ์ที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุ โดยจะส่งผลต่อความยากในการจัดการจราจรทางอากาศของ ATC จึงต้องมีการเฝ้าระวังเชกเตอร์ที่มีค่า ความชับช้อนมาก ซึ่งสามารถเฝ้าระวังจากการดูค่าความชับช้อนอย่างละเอียดในแผนภูมิแท่ง (Bar Chart) โดยแผนภูมิแท่งจะแสดงค่าความชับช้อนของเชกเตอร์ในแต่ละชั่วโมง จะเห็นได้ว่า ในแต่ละเชกเตอร์จะบ่ง บอกได้ว่ามีค่าความชับช้อนสูงสุดที่ชั่วโมงไหน ทำให้สามารถวางแผนและพยากรณ์การจัดการจราจรทาง อากาศล่วงหน้าให้มีประสิทธิภาพได้

5.7.2. อินดิเคเตอร์การนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา (Occupancy Count)

ค่าความชับช้อนของอินดิเคเตอร์การนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา (Occupancy Count) คือ ค่าของจำนวนเที่ยวบินที่เข้ามาและบินอยู่ในแต่ละเชกเตอร์ เช่น การบินวนในเชกเตอร์

จากแผนที่ແບບສี(Choropleth Map) แสดงค่าความชับช้อนในแต่ละเชกเตอร์ โดยเชกเตอร์ที่มีค่า ความชับช้อนมากที่สุด(จำนวนเที่ยวบินที่เข้ามาและบินอยู่ในเชกเตอร์มากที่สุด) จะเป็นสีแดงเลือดหมูและ เชกเตอร์ที่มีค่าความชับช้อนน้อยที่สุดจะเป็นสีเขียวเข้ม (จำนวนเที่ยวบินที่เข้ามาและบินอยู่ในเชกเตอร์น้อย ที่สุด) จะเห็นได้ว่าเชกเตอร์ 1S จะมีค่าความชับช้อนมากที่สุดในช่วงเวลาติดกัน 15 ชั่วโมง (ชั่วโมงที่ 0-14) จากพิกัดของสนามบินดอนเมือง และสนามบินสุวรรณภูมิซึ่งเป็นสนามบินที่มีการจราจรทางอากาศ หนาแน่น ซึ่งทั้งสองสนามบินจะเกิดเหตุการณ์การบินวนบ่อยครั้งเนื่องจากมีการจราจรที่หนาแน่นทำให้ต้อง ทำการบินวนรอเพื่อที่จะลงจอด(Landing) และจะเห็นได้ว่าสนามบินดอนเมืองอยู่ในเชกเตอร์ 1S และ สนามบินสุวรรณภูมิอยู่ในเชกเตอร์ 5S เนื่องจากสนามบินดอนเมืองมีเที่ยวบินที่หนาแน่นโดยมีเครื่องบินที่ ทำการบินในเชกเตอร์ แต่เนื่องจากข้อมูลที่ใช้หาค่าความชับช้อนเป็นข้อมูลวันที่ 1 มิถุนายน 2565 ซึ่งเป็น ช่วงสถานการณ์ระบาดของโควิด-19 ทำให้มีเที่ยวบินระหว่างประเทศน้อยลงจึงเป็นเหตุผลว่าเชกเตอร์ 1S ที่มี สนามบินดอนเมืองจะมีค่าความชับช้อนมากกว่าเชกเตอร์ 5S ที่มีสนามบินสุวรรณภูมิหลายช่วงเวลา เนื่องจากเชกเตอร์ 1S ที่มีค่าความชับช้อนที่มาก (จำนวนเที่ยวบินที่เข้ามาและบินอยู่ในเชกเตอร์ 1S มาก) ทำให้มีเวลาเปลี่ยนไป เชกเตอร์ที่อยู่รอบข้างเชกเตอร์ 1S จะมีค่าความชับช้อนมากขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการที่เครื่องบินเข้ามาในเชกเตอร์ 1S แล้วเครื่องบินออกจากเชกเตอร์ 1S ไปยังเชกเตอร์ที่อยู่รอบข้าง เช่น เชกเตอร์ 4N มีการเปลี่ยนแปลงสีในแผนที่ແບບສี จากสีเหลือง(ชั่วโมงที่ 0-2) เป็น สีส้ม (ชั่วโมงที่ 3-5) เป็น ตัน โดยปัจจัยที่ทำให้เชกเตอร์รอบข้างเปลี่ยนสีไปมากน้อยแค่ไหน คือ จำนวนเครื่องบินที่บินออกจาก เชกเตอร์ 1S ไปยังเชกเตอร์รอบข้าง และจำนวนเครื่องบินที่ใช้เวลาในการบินในเชกเตอร์รอบข้าง เช่น การ บินวนอยู่ในเชกเตอร์รอบข้าง ซึ่งการที่มีค่าความชับช้อนมาก อาจเกิดเหตุการณ์ที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุ โดย จะส่งผลต่อความยากในการจัดการจราจรทางอากาศของ ATC จึงต้องมีการเฝ้าระวังเชกเตอร์ที่มีค่าความ ชับช้อนมาก ซึ่งสามารถเฝ้าระวังจากการดูค่าความชับช้อนอย่างละเอียดในแผนภูมิแท่ง (Bar Chart) โดย

แผนภูมิแท่งจะแสดงค่าความชัดข้อนของเซกเตอร์ในแต่ละชั่วโมง จะเห็นได้ว่าในแต่ละเซกเตอร์จะปะบ杌ได้กว่ามีค่าความชัดข้อนสูงสุดที่ชั่วโมงไหน ทำให้สามารถวางแผนและพยากรณ์การจัดการจราจรทางอากาศ ล่วงหน้าให้มีประสิทธิภาพได้

5.7.3. อินดิเคเตอร์ความหนาแน่นไดนามิก (Dynamic Density)

ค่าความชัดข้อนของอินดิเคเตอร์ความหนาแน่นแบบไดนามิก (Dynamic Density) คือ ผลกระทบต่อ น้ำหนักของปัจจัยต่างๆ ที่สามารถวัดได้ในแต่ละเซกเตอร์

จากแผนที่ແບບສີ(Choropleth Map) แสดงค่าความชัดข้อนในแต่ละเซกเตอร์ โดยเซกเตอร์ที่มีค่าความชัดข้อนมากที่สุด(ผลกระทบต่อ น้ำหนักของปัจจัยต่างๆ ที่สามารถวัดได้ในเซกเตอร์มากที่สุด)จะเป็นสีแดงเลือดหมูและเซกเตอร์ที่มีค่าความชัดข้อนน้อยที่สุดจะเป็นสีเขียวเข้ม (ผลกระทบต่อ น้ำหนักของปัจจัยต่างๆ ที่สามารถวัดได้ในเซกเตอร์น้อยที่สุด) จะเห็นได้ว่าเซกเตอร์ 1S จะมีค่าความชัดข้อนมากที่สุดในช่วงเวลาติดกัน 15 ชั่วโมง (ชั่วโมงที่ 0-14) จากพิกัดของสนามบินดอนเมืองและสนามบินสุวรรณภูมิซึ่งเป็นสนามบินที่มีการจราจรทางอากาศหนาแน่น ซึ่งทั้งสองสนามบินจะเกิดเหตุการณ์การบินวนหรืออาจเกิดเหตุการณ์ต่างๆ ระหว่างทำการบิน เช่น มีการเปลี่ยนแปลงมุมเลี้ยว(Heading) ไปมากกว่า 15 องศา , การเปลี่ยนแปลงความเร็ว(Speed) ไปมากกว่า 10 knot และการเปลี่ยนความสูง(Altitude) ไปมากกว่า 750 ฟุต เป็นต้น ซึ่งทุกเหตุการณ์ทำให้เกิดการจัดการจราจรทางอากาศที่ยุ่งยากขึ้น และจะเห็นได้ว่าสนามบินดอนเมืองอยู่ในเซกเตอร์ 1S และสนามบินสุวรรณภูมิอยู่ในเซกเตอร์ 5S เนื่องจากสนามบินดอนเมืองนี้เทียบกับที่หนาแน่นโดยมีเครื่องบินที่ทำการบินในเซกเตอร์ แต่เนื่องจากข้อมูลที่ใช้หาค่าความชัดข้อนเป็นข้อมูลวันที่ 1 มิถุนายน 2565 ซึ่งเป็นช่วงสถานการณ์ระบาดของโควิด-19 ทำให้มีเที่ยวบินระหว่างประเทศน้อยลงเป็นเหตุผลว่าเซกเตอร์ 1S ที่มีสนามบินดอนเมืองจะมีค่าความชัดข้อนมากกว่าเซกเตอร์ 5S ที่มีสนามบินสุวรรณภูมิหลายช่วงเวลา เนื่องจากเซกเตอร์ 1S ที่มีค่าความชัดข้อนที่มาก (ผลกระทบต่อ น้ำหนักของปัจจัยต่างๆ ที่สามารถวัดได้ในเซกเตอร์มากที่สุด) ทำให้มีเวลาเปลี่ยนไป เซกเตอร์ที่อยู่รอบข้างเซกเตอร์ 1S จะมีค่าความชัดข้อนมากขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการที่เครื่องบินเข้ามายังในเซกเตอร์ 1S และเครื่องบินออกจากเซกเตอร์ 1S ไปยังเซกเตอร์ที่อยู่รอบข้าง เช่น เซกเตอร์ 4N มีการเปลี่ยนแปลงสีในแผนที่ແບບສີ จากสีเหลือง (ชั่วโมงที่ 0-2) เป็น สีส้ม (ชั่วโมงที่ 3-5) เป็นต้น โดยปัจจัยที่ทำให้เซกเตอร์รอบข้างเปลี่ยนสีไปมากน้อยแค่ไหน แบ่งได้เป็น 2 ปัจจัยหลัก คือ 1) ปัจจัยระหว่างเซกเตอร์ คือ จำนวนเครื่องบินที่บินออกจากการเซกเตอร์ 1S ไปยังเซกเตอร์รอบข้าง และจำนวนเครื่องบินที่ใช้เวลาในการบินในเซกเตอร์รอบข้าง เช่น การบินวนอยู่ในเซกเตอร์ 2) ปัจจัยภายในเซกเตอร์ คือ เหตุการณ์ต่างๆ ระหว่างทำการบิน เช่น มีการเปลี่ยนแปลงมุมเลี้ยว(Heading), การเปลี่ยนแปลงความเร็ว (Speed) และการเปลี่ยนความสูง (Altitude) ซึ่งการที่มีค่าความชัดข้อนมาก อาจเกิดเหตุการณ์ที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุ โดยจะส่งผลต่อความยากในการจัดการจราจรทางอากาศของ ATC จึงต้องมีการเฝ้าระวังเซกเตอร์ที่มีค่าความชัดข้อนมาก ซึ่งสามารถเฝ้าระวังจากการดูค่า

ความชัดข้ออนอย่างละเอียดในแผนภูมิแท่ง (Bar Chart) โดยแผนภูมิแท่งจะแสดงค่าความชัดข้อนของ เชกเตอร์ในแต่ละชั่วโมง จะเห็นได้ว่าในแต่ละเชกเตอร์จะบ่งบอกได้ว่ามีค่าความชัดข้อนสูงสุดที่ชั่วโมงไหน ทำให้สามารถวางแผนและพยากรณ์การจัดการจราจรทางอากาศล่วงหน้าให้มีประสิทธิภาพได้

5.8. การเปรียบเทียบค่าความชัดข้อนในแต่ละอินดิเคเตอร์

ตารางที่ 3 ค่าความชัดข้อนในแต่ละเชกเตอร์ของอินดิเคเตอร์ก الرحمنปัจจันวนการเข้าออกกรุงเทพฯ ชั่วโมง

เชกเตอร์	ชั่วโมงที่							
	0-2	3-5	6-8	9-11	12-14	15-17	18-20	21-23
1N	29	30	27	28	23	3	0	5
1S	86	99	90	99	67	23	13	21
2N	17	23	21	26	11	5	1	7
2S	61	72	66	70	58	9	7	12
3N	47	57	61	58	32	11	3	24
3S	34	45	30	40	30	4	4	11
4N	51	71	62	53	41	21	17	28
4S	10	14	10	17	12	6	4	13
5N	24	36	43	34	16	27	11	8
5S	49	50	72	63	42	30	11	11
6N	34	38	62	46	22	31	11	15
6S	35	27	41	36	33	4	11	14

โดยตารางนี้แสดงค่าความชัดข้อนในแต่ละเชกเตอร์โดยเชกเตอร์ที่มีค่าความชัดข้อนมากที่สุดจะเป็นสีแดง เข้มและเชกเตอร์ที่มีค่าความชัดข้อนน้อยที่สุดจะเป็นสีเขียวเข้ม

ตารางที่ 4 ค่าความชัดข้อนในแต่ละเชกเตอร์ของอินดิเคเตอร์ก الرحمنปัจจันวนการเที่ยงบินที่อยู่ในช่วงเวลา

เชกเตอร์	ชั่วโมงที่							
	0-2	3-5	6-8	9-11	12-14	15-17	18-20	21-23
1N	29	32	30	30	25	5	0	5
1S	90	106	99	111	77	26	14	21
2N	17	24	22	29	12	6	2	7
2S	64	79	72	75	64	14	7	12
3N	48	62	65	63	36	13	3	24
3S	35	47	31	42	32	6	4	12
4N	51	74	66	53	45	22	18	30
4S	10	14	11	17	12	7	4	14
5N	25	39	50	37	16	28	14	10
5S	50	53	74	66	44	32	13	11
6N	36	42	64	46	27	31	11	15
6S	37	33	45	38	37	7	12	19

โดยตารางนี้แสดงค่าความชัดข้อนในแต่ละเชกเตอร์โดยเชกเตอร์ที่มีค่าความชัดข้อนมากที่สุดจะเป็นสีแดง เข้มและเชกเตอร์ที่มีค่าความชัดข้อนน้อยที่สุดจะเป็นสีเขียวเข้ม

ตารางที่ 5 ค่าความซับซ้อนในแต่ละเซกเตอร์ของอินดิเคเตอร์ความหนาแน่นไดนามิก

เซกเตอร์	ช่วงเวลาที่							
	0-2	3-5	6-8	9-11	12-14	15-17	18-20	21-23
1N	91	104	98	101	79	15	0	13
1S	294	360	340	386	247	80	28	63
2N	47	61	64	85	36	9	2	13
2S	149	177	149	159	146	27	9	18
3N	140	188	207	193	108	29	8	69
3S	118	159	108	134	102	13	6	20
4N	140	210	205	164	117	55	42	89
4S	29	41	27	36	34	16	4	28
5N	65	85	101	83	33	48	24	11
5S	143	153	216	195	117	95	29	28
6N	109	126	196	138	90	88	26	42
6S	94	82	108	88	91	12	15	33

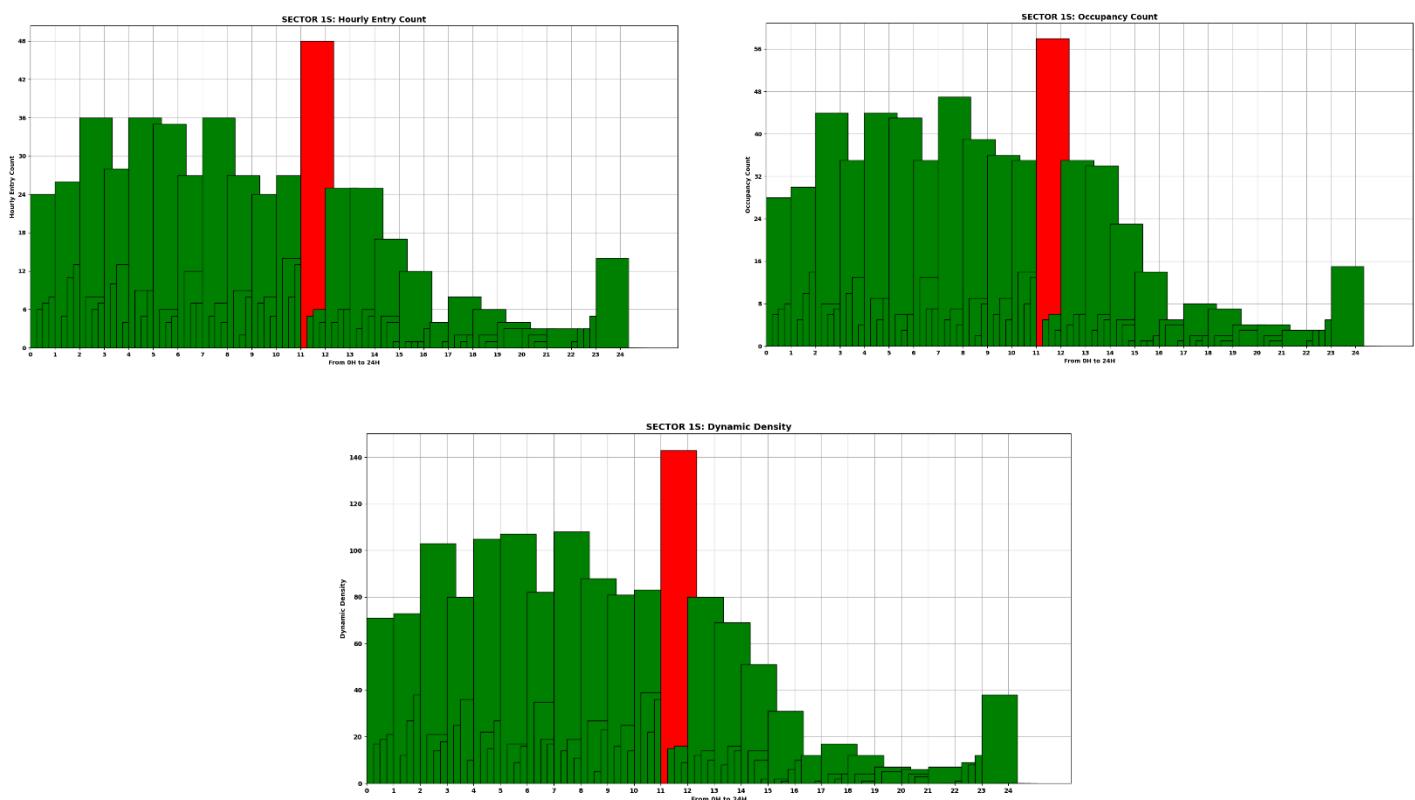
โดยตารางนี้แสดงค่าความซับซ้อนในแต่ละเซกเตอร์โดยเซกเตอร์ที่มีค่าความซับซ้อนมากที่สุดจะเป็นสีแดง เข้มและเซกเตอร์ที่มีค่าความซับซ้อนน้อยที่สุดจะเป็นสีเขียวเข้ม

จากการวิเคราะห์ค่าความซับซ้อนในแต่ละอินดิเคเตอร์ของชุดข้อมูลโครงการนี้ จะเห็นได้ว่า ค่าความซับซ้อนจาก 3 อินดิเคเตอร์ คือ การนับจำนวนการเข้าออกรายชั่วโมง (Hourly Entry Count) การนับจำนวนเที่ยวนิทอยู่ในช่วงเวลา (Occupancy Count) และ ความหนาแน่นไดนามิก (Dynamic Density) มีความสอดคล้องกัน คือ อินดิเตอร์การนับจำนวนการเข้าออกรายชั่วโมง กับ อินดิเตอร์การนับจำนวนเที่ยวนิทอยู่ในช่วงเวลา มีหลักการวัดค่าความซับซ้อนที่ใกล้เคียงกัน โดยอินดิเตอร์การนับจำนวนการเข้าออกรายชั่วโมงเป็นการนับจำนวนเที่ยวนิทเข้ามาในแต่ละเซกเตอร์ ส่วนอินดิเตอร์การนับจำนวนเที่ยวนิทอยู่ในช่วงเวลาเป็นการนับจำนวนเที่ยวนิทเข้ามาและบันทึกในแต่ละเซกเตอร์ เช่น การที่เครื่องบินเข้ามาในเซกเตอร์แล้วเกิดการบินวน ซึ่งจากผลค่าความซับซ้อนที่ได้จะเห็นได้ว่าทั้ง 2 อินดิเคเตอร์แสดงค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ต่างๆไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่ทั้ง 2 อินดิเคเตอร์แสดงเซกเตอร์ที่มีค่าความซับซ้อนมากที่สุด คือ เซกเตอร์ 1S

จากการวัดค่าความซับซ้อนของอินดิเคเตอร์การนับจำนวนการเข้าออกรายชั่วโมง (Hourly Entry Count) และ การนับจำนวนเที่ยวนิทอยู่ในช่วงเวลา (Occupancy Count) จะเป็นการวัดค่าความซับซ้อนแบบเข้าใจง่าย และสามารถบอกรายละเอียดเพียงแค่คร่าวๆเท่านั้น จึงต้องมีอินดิเคเตอร์ที่สามารถวัดค่าความซับซ้อนได้มากขึ้นหรือวัดค่าความซับซ้อนได้แม่นยำขึ้น เมื่อนำค่าความซับซ้อนที่ได้จากอินดิเคเตอร์ความหนาแน่นแบบไดนามิก (Dynamic Density) จะเห็นได้ว่าอินดิเคเตอร์ความหนาแน่นแบบไดนามิกจะแสดงเซกเตอร์ที่มีค่าความซับซ้อนมากที่สุด คือ เซกเตอร์ 1S เช่นกันเดียวกับทั้ง 2 อินดิเคเตอร์ที่กล่าวไปข้างต้น

จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าการวัดที่ได้จากทั้ง 3 อินดิเคเตอร์ มีความสอดคล้องกันและค่าความซับซ้อนค่อนข้างมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยค่าความซับซ้อนที่วัดได้ในแต่ละอินดิเคเตอร์สามารถนำไปสนับสนุนในด้านการจัดการจราจรทางอากาศ

5.9. วิเคราะห์แนวโน้ม ความสัมพันธ์ระหว่างอินดิเคเตอร์ต่างๆ



รูปที่ 86 ค่าความซับซ้อนในเซกเตอร์ 1S ทั้ง 3 อินดิเคเตอร์

จากค่าความซับซ้อนในแต่ละอินดิเคเตอร์ของเซกเตอร์ 1S จะเห็นได้ว่าทั้ง 3 อินดิเคเตอร์มีค่าความซับซ้อนสูงที่สุดในช่วงโมงที่ 11 เนื่องจาก การนับจำนวนการเข้าออกรายชั่วโมง (Hourly Entry Count) คือ การนับจำนวนเที่ยวบินที่เข้ามาในแต่ละเซกเตอร์, การนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา (Occupancy Count) คือ ค่าของการนับจำนวนเที่ยวบินที่เข้ามาและบินอยู่ในแต่ละเซกเตอร์ เช่น การบินวนในเซกเตอร์ เมื่อนำค่าความซับซ้อนจากทั้งสองอินดิเคเตอร์มาเปรียบเทียบกันจะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มไปพิเศษทางเดียว กัน แต่การนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา (Occupancy Count) จะมีข้อแตกต่างกับ การนับจำนวนการเข้าออกรายชั่วโมง (Hourly Entry Count) คือ ค่าความซับซ้อนของการนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา (Occupancy Count) อาจจะมากกว่า การนับจำนวนการเข้าออกรายชั่วโมง (Hourly Entry Count) ซึ่งสะท้อนถึงค่าความซับซ้อนที่ลະเอียดมากขึ้น เนื่องจากไม่ได้นับเพียงแค่จำนวนเที่ยวบินที่เข้ามาแต่ยังนับเครื่องบินที่บินอยู่ในเซกเตอร์อีกด้วย และทั้ง 2 อินดิเคเตอร์มีแนวโน้มไปพิเศษทางเดียว กับ ความหนาแน่นไนโามิก (Dynamic Density) แต่จะแตกต่างกันตรงที่ ความหนาแน่นไนโามิก (Dynamic Density) สามารถหาค่าความซับซ้อนได้ละเอียดมากขึ้นกว่าทั้งสองอินดิเคเตอร์ ข้างต้น เนื่องจากเป็นอินดิเคเตอร์ที่วัดค่าความซับซ้อนจากเหตุการณ์ทางการบินที่อาจส่งผลต่อการจราจรทาง

อากาศให้สูงมากขึ้น เช่น การเปลี่ยนแปลงมุมเลี้ยว(Heading) ที่มากเกินไป, อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็ว
มาก และการเปลี่ยนความสูง (Altitude) ที่รวดเร็วเกินไป

6 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

6.1. สรุปผลการดำเนินงาน

โครงการวิเคราะห์ข้อมูลการจราจรทางอากาศสำหรับการประเมินความซับซ้อนของน่านฟ้าที่มีวัตถุประสงค์ 3 ข้อด้วยกันประกอบด้วย 1) เพื่อขอรับความอนุมัติจากทางอากาศ 2) เพื่อนำข้อมูลการจราจรทางอากาศมาวิเคราะห์ความซับซ้อนของห้วงอากาศเพื่อนำมาเป็นแนวทางการออกแบบห้วงอากาศให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น 3) เพื่อพัฒนาค่าความซับซ้อนจากอินดิเคเตอร์ต่างๆ ในแต่ละช่วงเวลาและนำค่าความซับซ้อนที่ได้ในแต่ละอินดิเคเตอร์มาเปรียบเทียบกัน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความซับซ้อนและวิธีการวัดค่าความซับซ้อนสามารถสรุปเป็นรายละเอียดดังนี้
1. การวัดค่าความซับซ้อนคือเพื่อวัดความยากและความพยายามที่จำเป็นในการจัดการการจราจรทางอากาศอย่างปลอดภัยและเพื่อประเมินผลกระทบของการกำหนดค่าการจราจรทางอากาศที่กำหนดต่อปฏิมาณงานของ ATC ที่รับผิดชอบการส่งมอบอย่างปลอดภัยซึ่งในปัจจุบันมีการใช้การวัดความซับซ้อนเพื่อแจกจ่ายงานและเพื่อกำหนดค่าเชกเตอร์ใหม่เพื่อหลีกเลี่ยงภาระงานของ ATC ที่มากเกินไป ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการเดินทางทางอากาศ

อินดิเคเตอร์ที่ใช้หาค่าความซับซ้อนในโครงการนี้ คือ การนับจำนวนการเข้าออกในรายชั่วโมง (Hourly Entry Count) การนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา (Occupancy Count) และความหนาแน่นแบบไดนามิก (Dynamic Density) โดยการวัดค่าความซับซ้อนของอินดิเคเตอร์การนับจำนวนการเข้าออกรายชั่วโมงและการนับจำนวนเที่ยวบินที่อยู่ในช่วงเวลา จะเป็นการวัดค่าความซับซ้อนแบบเข้าใจง่ายและสามารถบอกค่าความซับซ้อนได้เพียงแค่คร่าวๆ เท่านั้น จึงต้องมีอินดิเคเตอร์ความหนาแน่นแบบไดนามิก มาใช้ร่วมเพื่อที่สามารถดูค่าความซับซ้อนที่มากขึ้นได้

นอกจากนั้นยังพบจุดที่น่าสนใจเมื่อเปรียบเทียบค่าความซับซ้อนของแต่ละอินดิเคเตอร์ การวัดค่าความซับซ้อนที่ได้จากทั้ง 3 อินดิเคเตอร์ มีความสอดคล้องกันและค่าความซับซ้อนค่อนข้างมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยค่าความซับซ้อนที่วัดได้ในแต่ละอินดิเคเตอร์สามารถนำไปสนับสนุนในด้านการจัดการจราจรทางอากาศ เช่น การแบ่งห้วงอากาศออกเป็นเชกเตอร์ เพื่อลดค่าความซับซ้อน การเปรียบเทียบกันว่าห้วงอากาศไหนมีค่าความซับซ้อนมากกว่าเพื่อพิจารณาว่าสามารถออกแบบห้วงอากาศใหม่เพื่อลดค่าความซับซ้อนได้ และการออกแบบห้วงอากาศใหม่ สามารถใช้ค่าความซับซ้อนเพื่อประเมินว่าการออกแบบนั้นมีประสิทธิภาพหรือไม่

6.2. ปัญหาหรืออุปสรรคที่พบ

- 1) ประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ค่อนข้างจำกัดทำให้การประมวลผลล็อกค์ค่อนข้างใช้เวลานาน
- 2) เนื่องจากเกิดสถานการณ์โควิด-19 ทำให้การติดต่อกันในคณะผู้จัดทำรวมไปถึงอาจารย์ที่ปรึกษาค่อนข้างลำบาก

6.3. ข้อเสนอแนะ

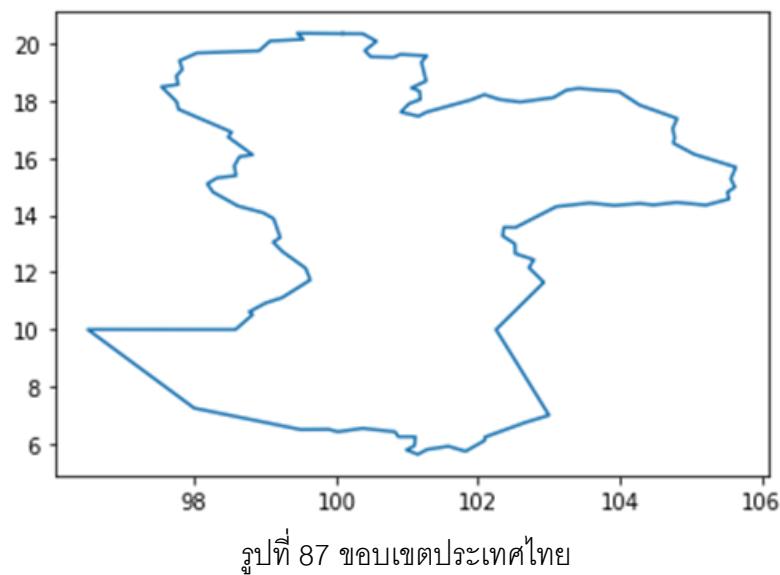
- 1) เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ของอินดิเคเตอร์ความหนาแน่นแบบไดนามิก (Dynamic Density) มีความแม่นยำมากขึ้น ควรใส่ค่าถ่วงน้ำหนักโดยการคำนวณจากเหตุการณ์การจราจรต่างๆ และควรวิเคราะห์เหตุการณ์ในเส้นทางการบินทั้งหมด ไม่เพียงแค่ 4 เหตุการณ์
- 2) ในกรณีที่มีความซับซ้อนทางการจราจรทางอากาศสามารถใช้อินดิเคเตอร์ประเภทอื่นที่มีความแม่นยำและเป็นที่ยอมรับในหน่วยงานนั้นๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสนับสนุนออกแบบห้องอากาศ

7 ປະເທດການກຽມ

- [1] Keumjin Lee, Eric Feron and Amy Pritchett. AIR TRAFFIC COMPLEXITY:AN INPUT-OUTPUT APPROACH. Proceedings of the 2007 American Control Conference, 2007(7): pp. 474-479.
- [2] Marc Dalichampt (EEC) and Christine Plusquellec (Thales). Hourly Entry Count. HOURLY ENTRY COUNT VERSUS OCCUPANCY COUNT – DEFINITIONS AND INDICATORS (I), 2007(7): pp. 5-6.
- [3] Marc Dalichampt (EEC) and Christine Plusquellec (Thales). Occupancy Count. HOURLY ENTRY COUNT VERSUS OCCUPANCY COUNT – DEFINITIONS AND INDICATORS (I), 2007(7): pp. 7-8.
- [4] Pr Daniel Delahaye and Pr Stéphane Puechmorel. Airspace Congestion Metric. Modeling and Optimization of Air Traffic, 2013(3): pp. 156-185
- [5] Teodosiy Todorov and Plamen Petrov. Measuring the efficiency of air traffic management systems. Ph.D. Thesis, Department of Air Transport, Technical University – Sofia. 2017.
- [6] Tomislav Radišić, Petar Andrašić, Doris Novak, Biljana Juričić and Bruno Antulov-Fantulin. Air Traffic Complexity as a Source of Risk in ATM. Risk Assessment in Air Traffic Management, 2020(3): pp. 63-89
- [7] I. V. Laudeman, S. G. Shelden, R. Branstrom and C. L. Brasil. Dynamic Density: An Air Traffic Management Metric . Ph.D. Thesis, Ames Research Center, San Jose State Universit. 2017.
- [8] SKYbrary. Methods to Describe Sector Capacity. Available Source:
<https://skybrary.aero/articles/methods-describe-sector-capacity>, March 14 , 1998.

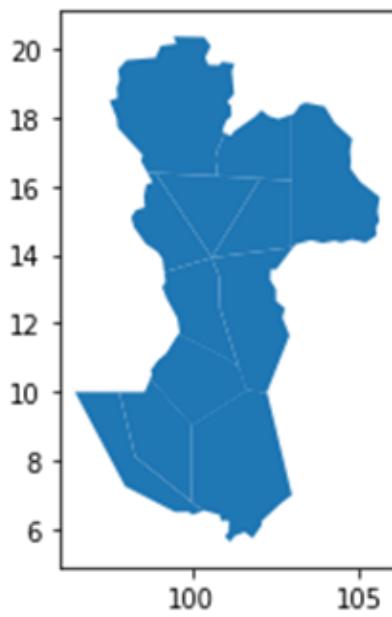
8 ภาคผนวก

8.1. ขอบเขตประเทศไทย



รูปที่ 87 ขอบเขตประเทศไทย

8.2. ขอบเขตหัวงากาศประเทศไทย



รูปที่ 88 ขอบเขตหัวงากาศประเทศไทย

ประวัตินิสิต

ชื่อ-นามสกุลประวัตินิสิต

1. นาย ชญานนท์ ทาธิจันทร์

เลขประจำตัวนิสิต 6210506241

ภาควิชา วิศวกรรมการบินและอวกาศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่อยู่ปัจจุบัน: 34 หมู่ 16 ตำบลสันทราย อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ 50110

โทรศัพท์ที่บ้าน: -

โทรศัพท์เคลื่อนที่: 095 689 7773

ระดับการศึกษา: ปริญญาตรี

คุณวุฒิการศึกษา

จากโรงเรียน/สถาบัน

ปีการศึกษาที่จบ

มัธยมศึกษาตอนปลาย

โรงเรียนมงฟอร์ตวิทยาลัย

2560

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย

2557

2. นาย สมรรถ ฉัตราวัฒนาภูล

เลขประจำตัวนิสิต 6210506861

ภาควิชา วิศวกรรมการบินและอวกาศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่อยู่ปัจจุบัน: 119/95 หมู่บ้าน ชัยพฤกษ์ 1 ตำบลบางคูวัด อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000

โทรศัพท์ที่บ้าน: -

โทรศัพท์เคลื่อนที่: 082 919 3955

ระดับการศึกษา: ปริญญาตรี

คุณวุฒิการศึกษา

จากโรงเรียน/สถาบัน

ปีการศึกษาที่จบ

มัธยมศึกษาตอนปลาย

โรงเรียนเซนต์ฟรังซิสเซเวียร์

2560

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนเซนต์ฟรังซิสเซเวียร์

2557