

ระบบคำนวณและแสดงค่ากำลังสัญญาณรับสำหรับโครงข่ายโทรศัพท์มือถือ
RECEIVED SIGNAL STRENGTH COMPUTATION AND VISUALIZATION
SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATION NETWORK



นางสาวฐิติรัตน์

นางสาวณัชชา

นางสาวณัชชดา

โดย

เกร์ภาค

พูนสุทธิพงศ์

เหลือทองเจริญ

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบคำนวณและแสดงค่ากำลังสัญญาณรับสำหรับโครงข่ายโทรศัพท์มือถือ
RECEIVED SIGNAL STRENGTH COMPUTATION AND VISUALIZATION
SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATION NETWORK

โดย

นางสาวฐิติรัตน์	เกรียงไกร	63010267
นางสาวณัชชา	พูนสุทธิพงศ์	63010291
นางสาวณัชชดา	เหลือทองเจริญ	63010294

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. เวธิต ภาคย์พิสุทธิ์

ศ.ดร. ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2566

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบคำนวณและแสดงค่ากำลังสัญญาณรับสำหรับโครงข่ายโทรศัพท์มือถือ

RECEIVED SIGNAL STRENGTH COMPUTATION AND VISUALIZATION SYSTEM
FOR MOBILE COMMUNICATION NETWORK

ผู้จัดทำ

1. นางสาวฐิติรัตน์ เภรีภาค 63010267
2. นางสาวณัชชา พูนสุทธิพงศ์ 63010291
3. นางสาวณัชชดา เหลืองทองเจริญ 63010294



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. เวริต ภาคย์พิสุทธิ)



..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ศ.ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง “ระบบคำนวณและแสดงค่ากำลังสัญญาณรับสำหรับโครงข่ายโทรศัพทมือถือ” จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์ที่ดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาฯ ดร. เวชิต ภาคย์พิสุทธิ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมศ.ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เป็นประโยชน์ในการจัดทำปริญญานิพนธ์นี้

ขอบคุณนักศึกษาปริญญาโทภาควิชาโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการจัดทำปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน ประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้ และประสบการณ์ให้แก่ผู้จัดทำ

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้ความรัก ความห่วงใย และเป็นกำลังใจที่สำคัญเสมอมาและที่สำคัญคือสนับสนุนโอกาสทางการศึกษาอันมีค่าแก่ผู้จัดทำ

นางสาวฐิติรัตน์	ภริยา
นางสาวณัชชา	พูนสุทธิพงษ์
นางสาวณัชชลา	เหลื่องทองเจริญ
	ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบคำนวณและแสดงค่ากำลังสัญญาณรับสำหรับโครงข่ายโทรศัพท์มือถือ
 RECEIVED SIGNAL STRENGTH COMPUTATION AND VISUALIZATION
 SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATION NETWORK

โดย นางสาวฐิติรัตน์ เกร์ภาค 63010267
 นางสาวณัชชา พุนสุทธิพงษ์ 63010291
 นางสาวณัชชดา เหลืองทองเจริญ 63010294

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. เวชิต ภาควิชาฟิสิกส์
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ศ.ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

ปฏิญานี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อออกแบบการจัดทำระบบสำหรับคำนวณและแสดงค่ากำลังของสัญญาณรับ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อคำนวณค่ากำลังในพื้นที่ต่าง ๆ โดยผลของการคำนวณจะแสดงบนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน ระบบที่พัฒนาสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกจะเป็นระบบแสดงข้อมูลบนแผนที่ ซึ่งประกอบด้วยการระบุตำแหน่งของสถานีฐานแต่ละแห่ง ค่ากำลังของสัญญาณ และขอบเขตพื้นที่ครอบคลุมของค่ากำลังของสัญญาณ ในส่วนที่สองจะเป็นระบบคำนวณค่ากำลังของสัญญาณรับ โดยใช้ Ericsson Model และ Standard Propagation Model ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ได้ตามต้องการ และผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับจะเป็นไปตามค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไป รวมทั้งผู้ใช้งานสามารถเลือกข้อมูล Cell Name เพื่อนำมาแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับได้อีกด้วย

ABSTRACT

This project aims to design the received signal strength computation and visualization system. The objective is to compute signal strength in any area. The result will be displayed on the web application. Our system can be divided into two parts. The first part is a system showing data visualization on map, which consists of identifying the location of each base station, signal strength, and the coverage area of signal strength. The second part is a system that uses the Ericsson Model and the Standard Propagation Model to calculate received signal strength. Users can change the parameters as needed. The calculation of received signal strength will be based on constantly changing parameters. Users can choose cell name data to display the calculation results of received signal strength.

สารบัญ

	หน้า	
กิตติกรรมประกาศ	I	
บทคัดย่อ	II	
สารบัญ	IV	
สารบัญรูป	VIII	
สารบัญตาราง	XIV	
บทที่ 1	บทนำ	
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2	วัตถุประสงค์	1
1.3	ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์	1
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1	การจัดเตรียมข้อมูล	3
2.1.1	การรวมไฟล์ข้อมูล	3
2.2	นิยามพารามิเตอร์	4
2.2.1	ข้อมูลผู้ใช้งาน	4
2.2.2	ข้อมูลสถานีฐาน	5
2.2.3	ข้อมูลสำหรับการสร้างแผนที่แบบตารางกริด	6
2.2.4	ข้อมูล Cell Name	7
2.3	การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss)	10
2.4	การคำนวณระยะทาง (Distance) ระหว่างพิกัด 2 พิกัดบนพื้นโลก	11
2.5	การคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ (Received Signal Strength)	11
2.6	Received Signal Strength Indicator (RSSI)	12
2.7	Reference Signal Receive Power (RSRP)	12
2.8	Reference Signal Receive Quality (RSRQ)	12
2.9	การแปลงหน่วย dBd เป็น dBi	13
2.10	การคำนวณอัตราขยายของสายอากาศ (Antenna Gain)	13
2.11	การคำนวณมุม Bearing ระหว่างพิกัด 2 พิกัดบนพื้นโลก	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.12 การคำนวณพารามิเตอร์ “diff_azimuth”	14
2.13 Curve Fitting	14
2.14 Library SciPy ในภาษา Python	16
2.15 Clustering Model	17
2.16 เว็บแอปพลิเคชัน (Web Application)	19
2.16.1 Application Program Interface (API)	20
2.16.2 Next.js	21
2.16.3 Leaflet	22
2.16.4 JSON Web Token	22
2.16.5 MUI	22
2.16.6 Bcrypt	23
2.16.7 ภาษาคอมพิวเตอร์ (Computer Programming Language)	23
2.17 ชนิดของข้อมูล	25
2.18 ฐานข้อมูล (Database)	25
2.18.1 Prisma	26
2.18.2 ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database)	26
2.19 ไฟล์สกุล msi	27
บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปฏิญญาพันธ	
3.1 การออกแบบ	32
3.1.1 การออกแบบระบบจัดการฐานข้อมูล	32
3.1.2 เว็บแอปพลิเคชัน	35
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	65
3.2.1 Laptop	65
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	67
3.3.1 การจัดการข้อมูลในฐานข้อมูล	67
3.3.2 การจัดเตรียมข้อมูล	67
3.3.3 การจัดการข้อมูล	67
3.3.4 การทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4	ผลการทดลอง	หน้า
	4.1 ผลการทดสอบการจัดการข้อมูลในฐานข้อมูล	69
	4.1.1 ฐานข้อมูลชื่อ AISData	69
	4.2 ผลการทดสอบการจัดเตรียมข้อมูล	70
	4.2.1 ผลการทดสอบการจัดเตรียมข้อมูลก่อนการแสดงผลค่ากำลังสัญญาณรับ	70
	4.2.2 ผลการทดสอบการจัดเตรียมข้อมูลก่อนการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ	72
	4.3 ผลการทดสอบการจัดการข้อมูล	74
	4.3.1 ผลการทดสอบการคำนวณระยะทางระหว่างพิกัด 2 พิกัดบนพื้นโลก	74
	4.3.2 ผลการทดสอบการคำนวณมุม Bearing ระหว่างพิกัด 2 พิกัดบนพื้นโลก	74
	4.3.3 ผลการทดสอบการคำนวณพารามิเตอร์ “diff_azimuth”	75
	4.3.4 ผลการทดสอบการคำนวณอัตราขยายของสายอากาศ	75
	4.3.5 ผลการทดสอบการคำนวณการสูญเสียเชิงวิถีด้วย Ericsson Model	77
	4.3.6 ผลการทดสอบการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ เมื่อใช้ Ericsson Model	78
	4.3.7 ผลการทดสอบการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับเทียบกับค่าจริง เมื่อใช้ Ericsson Model	78
	4.3.8 ทดสอบการจัดกลุ่มข้อมูลโดยใช้ K-mean Clustering	79
	4.3.9 ทดสอบผลจากการ Fitting Cluster 0 ถึง Cluster 7 กับสมการ SPM	81
	4.3.10 ทดสอบการคำนวณการสูญเสียเชิงวิถีด้วย Standard Propagation Model	108
	4.3.11 ทดสอบการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ เมื่อใช้ Standard Propagation Model	108
	4.3.12 ทดสอบผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับเทียบกับค่าจริง เมื่อใช้ Standard Propagation Model	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 การทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน	110
4.4.1 Front-End	110
4.4.2 Back-End	142
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	147
5.2 ข้อเสนอแนะ	148
บรรณานุกรม	149



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การรวมไฟล์ข้อมูลรูปแบบต่าง ๆ	4
2.2 พารามิเตอร์ “eNodeB_Name” และ “Cell_Name”	6
2.3 พารามิเตอร์ “m_tilt” และ “e_tilt”	8
2.4 พารามิเตอร์ “physical_azimuth” และ “delta_azimuth”	8
2.5 พารามิเตอร์ “horizontal_beam_width” หน้าต่างโปรแกรม	9
2.6 พารามิเตอร์ “ant_logical_beam”	9
2.7 Site Configuration (Top view)	14
2.8 กราฟของวิธีการ Interpolation	15
2.9 กราฟของวิธีการ Regression	15
2.10 ตัวอย่างการทำ Curve Fitting ด้วยภาษา Python โดยใช้สมการ เอกซ์โพเนนเชียล $f(x) = ae^{-bx} + c$ และสมมติค่าของพารามิเตอร์ a b และ c	16
2.11 ตัวอย่างการแบ่งกลุ่มตามการจำแนกด้วยสี	17
2.12 ตัวอย่างการสุ่มตำแหน่งแกน x,y ให้กับ C1 และ C2	18
2.13 ตัวอย่างการสังเกตตำแหน่งของสมาชิก	18
2.14 ตัวอย่างการปรับค่า x,y ของ C1 และ C2 ใหม่	19
2.15 ตัวอย่างตำแหน่งของ C1 และ C2 ที่คงที่แล้ว	19
2.16 ตัวอย่าง Folder App Router	21
2.17 ส่วนของ Header Payload และ Signature	22
2.18 รูปแบบเอาต์พุตของ Bcrypt	23
2.19 โครงสร้างของฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์	26
2.20 ตัวอย่างชื่อไฟล์ Antenna_Pattern ในส่วนที่ 1	27
2.21 ตัวอย่างมุมในระนาบแนวนอนของสายอากาศ	28
2.22 ตัวอย่างชื่อไฟล์ Antenna_Pattern ในส่วนที่ 2	28
2.23 ตัวอย่างมุมในระนาบแนวตั้งของสายอากาศ	29
3.1 บล็อกไดอะแกรมระบบเว็บแอปพลิเคชัน	31
3.2 แบบร่างเว็บแอปพลิเคชันหน้า Register	35
3.3 กระบวนการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันหน้า Register	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4	37
3.5	38
3.6	39
3.7	39
3.8	40
3.9	40
3.10	41
3.11	43
3.12	44
3.13	44
3.14	45
3.15	46
3.16	47
3.17	51
3.18	52
3.19	52
3.20	53
3.21	54
3.22	55
3.23	66
3.25	66
3.26	67
4.1	69
4.2	70
4.3	70
4.4	71
4.5	71
4.6	71
Cell_Name	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 ชื่อ Cell_Name สำหรับให้ผู้ใช้งานเลือก	72
4.8 ชุดข้อมูล Cell Name ที่ถูก Merge กับข้อมูลกริด	73
4.9 ชุดข้อมูล Cell Name ที่ถูก Merge กับข้อมูลกริด	73
4.10 ตัวอย่างการจัดกลุ่มโดยใช้พารามิเตอร์ Latitude และ Longitude และ n_clusters เท่ากับ 300	79
4.11 ตัวอย่างการจัดกลุ่มโดยใช้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีเฉลี่ยและ n_clusters เท่ากับ 8	80
4.12 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 0 ความถี่ 900 MHz	81
4.13 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 0 ความถี่ 1800 MHz	82
4.14 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 0 ความถี่ 2100 MHz	83
4.15 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 1 ความถี่ 900 MHz	84
4.16 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 1 ความถี่ 1800 MHz	85
4.17 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 1 ความถี่ 2100 MHz	86
4.18 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 2 ความถี่ 900 MHz	87
4.19 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 2 ความถี่ 1800 MHz	88
4.20 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 2 ความถี่ 2100 MHz	89
4.21 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 3 ความถี่ 900 MHz	90

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.22 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการ ทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 3 ความถี่ 1800 MHz	91
4.23 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการ ทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 3 ความถี่ 2100 MHz	92
4.24 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการ ทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 4 ความถี่ 900 MHz	93
4.25 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการ ทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 4 ความถี่ 1800 MHz	94
4.26 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการ ทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 4 ความถี่ 2100 MHz	95
4.27 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการ ทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 5 ความถี่ 900 MHz	96
4.28 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการ ทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 5 ความถี่ 1800 MHz	97
4.29 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการ ทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 5 ความถี่ 2100 MHz	98
4.30 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการ ทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 6 ความถี่ 900 MHz	99
4.31 31 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่าน การทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 6 ความถี่ 1800 MHz	100
4.32 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการ ทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 6 ความถี่ 2100 MHz	101
4.33 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการ ทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 7 ความถี่ 900 MHz	102
4.34 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการ ทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 7 ความถี่ 1800 MHz	103
4.35 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการ ทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 7 ความถี่ 2100 MHz	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.36 หน้าต่าง Register	110
4.37 หน้าต่าง Sign in	111
4.38 แถบเมนู	111
4.39 รายการหน้าเว็บแอปพลิเคชันอื่น ๆ	112
4.40 กล่อง Select Date	113
4.41 กล่อง Select eNodeB Name	113
4.42 ปุ่ม Submit	114
4.43 เว็บแอปพลิเคชันหน้า Data Visualization เมื่อเลือก Cell Name SIS3ML1812 และ Dominant_RSRP	115
4.44 เว็บแอปพลิเคชันหน้า Data Visualization เมื่อเลือก Cell Name SIS3ML1812 และ Dominant_RSRP	116
4.45 เว็บแอปพลิเคชันหน้า Data Visualization เมื่อเลือก Cell Name SIS3ML1812 และ Dominant_RSRO	116
4.46 แผนที่ระบุตำแหน่งที่ตั้งของสถานีฐานเมื่อเลือก eNodeB Name SIS3M	117
4.47 แผนที่แบบตารางกริดเมื่อเลือก eNodeB Name SIS3M Cell Name All และ Dominant_RSRP	118
4.48 ตารางระบุตัวอย่างข้อมูล	119
4.49 ช่วงแถบสี	119
4.50 กล่องเลือกช่วงแถบสี	120
4.51 ค่าของช่วงแถบสี	120
4.52 กล่อง Select Date	121
4.53 กล่อง Select Province	122
4.54 กล่อง Select District	122
4.55 ปุ่ม Submit	123
4.56 ตารางแสดงชุดข้อมูลสถานีฐาน	124
4.57 ตารางแสดงชุดข้อมูล Cell Name	124
4.58 ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้	125
4.59 ปุ่ม Compute	126
4.60 ผลลัพธ์เมื่อเลือกชุดข้อมูล Cell Name 1 ชุด	127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.61 ผลลัพธ์เมื่อเลือกคำนวณ PHN1M จำนวน 5 ชุด และแสดง Cell Name 1 เซลล์	128
4.62 ผลลัพธ์เมื่อเลือกคำนวณ PHN1M จำนวน 5 ชุด และแสดง Cell Name 5 เซลล์	129
4.63 ช่วงแถบสี	130
4.64 กล่องเลือกช่วงแถบสี	130
4.65 ค่าของช่วงแถบสี	131
4.66 กล่อง Select Date	132
4.67 กล่อง Select Province	132
4.68 กล่อง Select District	133
4.69 ปุ่ม Submit	134
4.70 ตารางแสดงชุดข้อมูลสถานีฐาน	134
4.71 ตารางแสดงชุดข้อมูล Cell Name	135
4.72 ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้	136
4.73 ปุ่ม Compute	136
4.74 ผลลัพธ์เมื่อเลือกชุดข้อมูล Cell Name 1 ชุด	138
4.75 ผลลัพธ์เมื่อเลือกคำนวณ PHN1M จำนวน 5 ชุด และแสดง Cell Name 1 เซลล์	139
4.76 ผลลัพธ์เมื่อเลือกคำนวณ PHN1M จำนวน 5 ชุด และแสดง Cell Name 5 เซลล์	140
4.77 ช่วงแถบสี	141
4.78 กล่องเลือกช่วงแถบสี	141
4.79 ค่าของช่วงแถบสี	142
4.80 ข้อมูลผู้ใช้งาน	143
4.81 ตัวอย่างข้อมูลสถานีฐาน	143
4.82 ตัวอย่างข้อมูลสำหรับการสร้างแผนที่แบบตารางกริด	144
4.83 ตัวอย่างข้อมูล Cell Name	144
4.84 ตัวอย่างข้อมูลกริดสุทธิในพื้นที่วงกลม	145
4.85 ตัวอย่างข้อมูลสถานีฐานที่พบทั้งหมด	146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อมูลผู้ใช้งาน	4
2.2 ข้อมูลสถานีฐาน	5
2.3 ข้อมูลสำหรับการสร้างแผนที่แบบตารางกริด	6
2.4 ข้อมูล Cell Name	7
2.5 ค่าคงที่ของ Ericsson Model ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ	10
2.6 ประเภทของ HTTP Methods	21
2.7 ชนิดของข้อมูล	25
2.8 ความหมายของส่วนประกอบของไฟล์ Antenna_Pattern	29
2.9 ความหมายของชื่อไฟล์ Antenna_Pattern	30
3.1 ตารางข้อมูลของผู้ใช้งานชื่อ User	32
3.2 ตารางข้อมูลของสถานีฐานชื่อ Sitehistorical	33
3.3 ตารางข้อมูลของพื้นที่กริดชื่อ Gridhistorical	33
3.4 ตารางข้อมูลของ Cell Name ชื่อ Cellnamehistorical	34
4.1 ตัวอย่างผลการทดสอบการคำนวณระยะทางระหว่างพิกัด 2 พิกัดบนพื้นโลก	74
4.2 ตัวอย่างผลการทดสอบการคำนวณมุม Bearing ระหว่างพิกัด 2 พิกัดบนพื้นโลก	74
4.3 ตัวอย่างผลการทดสอบการคำนวณพารามิเตอร์ “diff_azimuth”	75
4.4 ตัวอย่างผลการค้นหาชื่อไฟล์ Antenna_Pattern	75
4.5 ตัวอย่างผลการทดสอบการคำนวณอัตราขยายของสายอากาศ	77
4.6 ตัวอย่างผลการทดสอบการคำนวณการสูญเสียเชิงวิถีด้วย Ericsson Model	77
4.7 ตัวอย่างผลการทดสอบการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ เมื่อใช้ Ericsson Model	78
4.8 ตัวอย่างผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับเทียบกับค่าจริง เมื่อใช้ Ericsson Model	78
4.9 ตารางแสดงผลการจัดกลุ่มข้อมูลสุทธิ	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.10	ตารางแสดงตัวอย่างผลลัพธ์จากการ Fitting Cluster 0 ถึง Cluster 7 กับสมการ SPM	104
4.11	ตารางแสดงตัวอย่างสมการสุทธิที่ได้จากการ Fitting Cluster 0 ถึง Cluster 7 กับสมการ SPM	106
4.12	ตัวอย่างผลการทดสอบการคำนวณการสูญเสียเชิงวิธีด้วย Standard Propagation Model	108
4.13	ตัวอย่างผลการทดสอบการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ เมื่อใช้ Standard Propagation Model	108
4.14	ตัวอย่างผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับเทียบกับค่าจริง เมื่อใช้ Standard Propagation Model	109

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสื่อสารไร้สายเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมและมีความสำคัญมากในโลกปัจจุบัน โดยเฉพาะในด้านระบบโทรศัพท์มือถือ การสื่อสารไร้สายทำให้ผู้คนสามารถสื่อสารและเชื่อมต่อกับผู้อื่น รวมทั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดความความสะดวกสบาย ซึ่งส่งผลให้ความต้องการใช้ระบบสื่อสารไร้สายมีจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้ ผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบอยู่เสมอเพื่อให้รองรับผู้ใช้งานได้มากขึ้น

โดยทั่วไปแล้ว ผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงระบบโทรศัพท์มือถืออยู่เสมอ เพื่อให้ผู้ใช้งานได้รับสัญญาณที่ดี โดยเฉพาะในพื้นที่ที่สัญญาณโทรศัพท์มีความบกพร่อง ซึ่งหากจะแก้ไขปัญหาระบบดังกล่าว จำเป็นต้องมีการปรับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อค่ากำลังสัญญาณรับ โดยทำการวางแผนหรือทดลองการปรับพารามิเตอร์ก่อนปรับใช้งานจริง เพื่อลดความเสี่ยงที่อาจทำให้ค่ากำลังสัญญาณรับในพื้นที่นั้นแย่งลงจากการปรับพารามิเตอร์โดยไม่ได้ผ่านการวางแผนหรือทดลอง

ในปฏิญานิพนธ์นี้ได้มีการพัฒนาระบบคำนวณกำลังสัญญาณรับสำหรับโครงข่ายโทรศัพท์มือถือ (Received Signal Strength Computation for Mobile Communication Network) และจัดทำเว็บแอปพลิเคชันสำหรับแสดงผลการคำนวณกำลังสัญญาณรับในขอบเขตพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล เพื่อตรวจสอบค่ากำลังสัญญาณรับก่อนปรับปรุงพารามิเตอร์หรือติดตั้งสถานีฐานใหม่ ซึ่งส่งผลต่อค่ากำลังสัญญาณรับ ทำให้ได้ค่ากำลังสัญญาณรับที่ดีที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อพัฒนาระบบคำนวณกำลังสัญญาณรับสำหรับโครงข่ายโทรศัพท์มือถือ
- 2) เพื่อพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับแสดงผลค่ากำลังสัญญาณรับ

1.3 ขอบเขตของปฏิญานิพนธ์

ปฏิญานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบและสร้างระบบคำนวณและแสดงผลค่ากำลังสัญญาณรับสำหรับโครงข่ายโทรศัพท์มือถือ โดยระบบประกอบไปด้วย 4 ส่วน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) จัดการข้อมูลด้วย Prisma ร่วมกับฐานข้อมูล PostgreSQL โดยใช้ภาษาไทป์สคริปต์ (TypeScript)
- 2) ระบบคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับในพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑล พัฒนาโดยใช้ ภาษาไพธอน เฟรมเวิร์ก (Framework) Next.js และเฟรมเวิร์ก Django
- 3) การคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับจะใช้ค่ากำลังสัญญาณ อัตราขยายของสายอากาศ และค่าการสูญเสียเชิงวิถีด้วย Ericsson Model และ Standard Propagation Model (SPM) ในการ คำนวณ
- 4) แสดงผลด้วยเว็บแอปพลิเคชันโดยใช้เฟรมเวิร์ก Next.js



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ มีทฤษฎีและหลักการที่สำคัญที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 การจัดเตรียมข้อมูล

การจัดเตรียมข้อมูลเป็นกระบวนการที่ทำให้ข้อมูลมีคุณภาพมากขึ้นและพร้อมเข้าสู่กระบวนการประมวลผล

2.1.1 การรวมไฟล์ข้อมูล

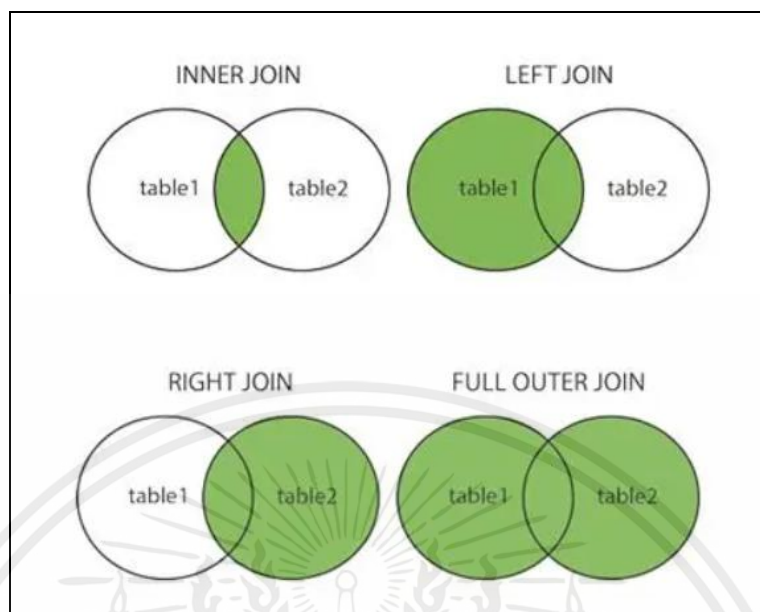
การรวมไฟล์ข้อมูล [1] เป็นการรวมข้อมูลในแต่ละไฟล์ที่มีความเกี่ยวข้องกันเอาไว้ด้วยกัน โดยใช้ลักษณะของข้อมูลที่เหมือนกันเป็นหลักในการรวมข้อมูล ดังรูปที่ 2.1 โดยมีรูปแบบการรวมข้อมูล ดังนี้

1) Inner Join คือการรวมข้อมูลตั้งแต่ 2 ไฟล์ขึ้นไป โดยให้ความสำคัญกับเงื่อนไขภายใน โดยข้อมูลจะต้องตรงตามเงื่อนไขเท่านั้นถึงจะสามารถนำมารวมได้

2) Left Join คือการรวมข้อมูลตั้งแต่ 2 ไฟล์ขึ้นไป โดยให้ความสำคัญกับข้อมูลฝั่งซ้าย โดยข้อมูลฝั่งซ้ายจะถูกนำมาทั้งหมดและนำข้อมูลฝั่งขวามารวมโดยใช้ฝั่งซ้ายเป็นเงื่อนไข หากข้อมูลฝั่งขวาไม่ตรงเงื่อนไข ข้อมูลจะแสดงเป็น NULL

3) Right Join คือการรวมข้อมูลตั้งแต่ 2 ไฟล์ขึ้นไป โดยให้ความสำคัญกับข้อมูลฝั่งขวา โดยข้อมูลฝั่งขวาจะถูกนำมาทั้งหมดและนำข้อมูลฝั่งซ้ายมารวมโดยใช้ฝั่งขวาเป็นเงื่อนไข หากข้อมูลฝั่งซ้ายไม่ตรงเงื่อนไข ข้อมูลจะแสดงเป็น NULL

4) Outer Join คือการรวมข้อมูลตั้งแต่ 2 ไฟล์ขึ้นไป โดยให้ความสำคัญกับข้อมูลฝั่งใดฝั่งหนึ่ง หากข้อมูลตรงตามเงื่อนไข ข้อมูลก็จะรวมกันได้ แต่หากข้อมูลฝั่งใดฝั่งหนึ่งไม่ตรงเงื่อนไข ข้อมูลจะแสดงเป็น NULL



รูปที่ 2.1 การรวมไฟล์ข้อมูลรูปแบบต่าง ๆ [1]

2.2 นิยามพารามิเตอร์

พารามิเตอร์ที่ใช้จำแนกประเภทข้อมูลสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ ข้อมูลผู้ใช้งาน ข้อมูลสถานีสฐาน ข้อมูลสำหรับการสร้างแผนที่แบบตารางกริด และข้อมูล Cell Name

2.2.1 ข้อมูลผู้ใช้งาน

ข้อมูลผู้ใช้งานที่มีการลงทะเบียนและเข้าสู่ระบบ มีรายละเอียดดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลผู้ใช้งาน

ชื่อของข้อมูล	ความหมายของข้อมูล
firstname	ชื่อจริง
lastname	นามสกุล
email	อีเมล
password	รหัสผ่าน
role	สถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ข้อมูลสถานีฐาน

ข้อมูลของสถานีฐานที่ตั้งอยู่ภายในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล มีรายละเอียดดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลสถานีฐาน

ชื่อของข้อมูล	ความหมายของข้อมูล
Time	วันที่
eNodeB_Name	ชื่อของสถานีฐาน
LATITUDE_WGS84	พิกัดละติจูดของสถานีฐาน
LONGITUDE_WGS84	พิกัดลองจิจูดของสถานีฐาน
province	จังหวัดที่สถานีฐานตั้งอยู่
district	ตำบล/เขตที่สถานีฐานตั้งอยู่

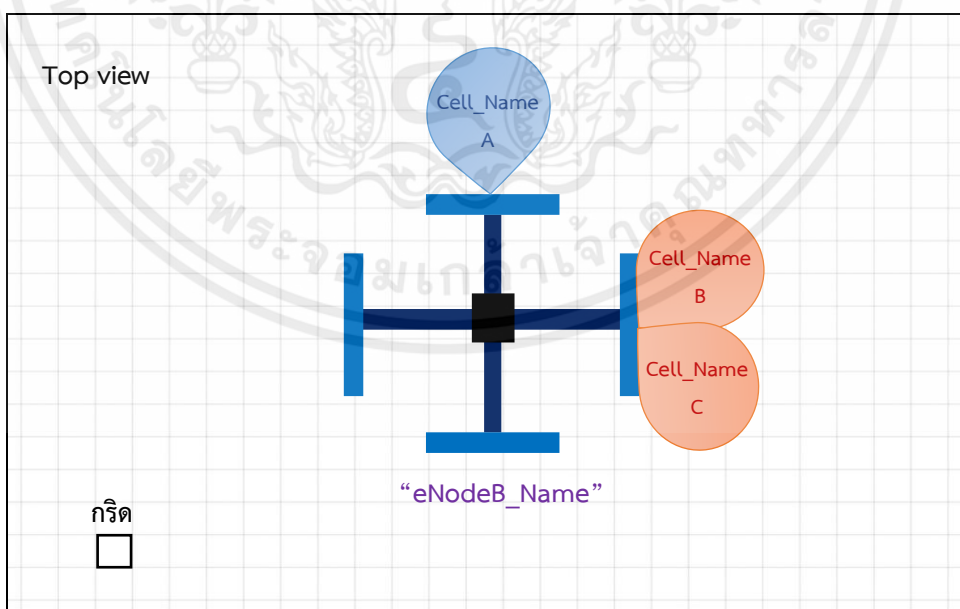
2.2.3 ข้อมูลสำหรับการสร้างแผนที่แบบตารางกริด

ข้อมูลพิกัดจุดศูนย์กลางของกริดแต่ละกริดที่อยู่รอบ ๆ สถานีฐานนั้น ๆ มีรายละเอียดดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลสำหรับการสร้างแผนที่แบบตารางกริด

ชื่อของข้อมูล	ความหมายของข้อมูล
Time	วันที่
eNodeB_Name	ชื่อของสถานีฐาน
Cell_Name	ชื่อของ Cell
Latitude	พิกัดละติจูดจุดศูนย์กลางของกริด
Longitude	พิกัดลองจิจูดจุดศูนย์กลางของกริด
Dominant_RSRP	กำลังเฉลี่ยของสัญญาณรับภายในพื้นที่กริด
Dominant_RSRO	คุณภาพของสัญญาณรับภายในพื้นที่กริด

พารามิเตอร์ “eNodeB_Name” และ “Cell_Name” แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 พารามิเตอร์ “eNodeB_Name” และ “Cell_Name”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ข้อมูล Cell Name

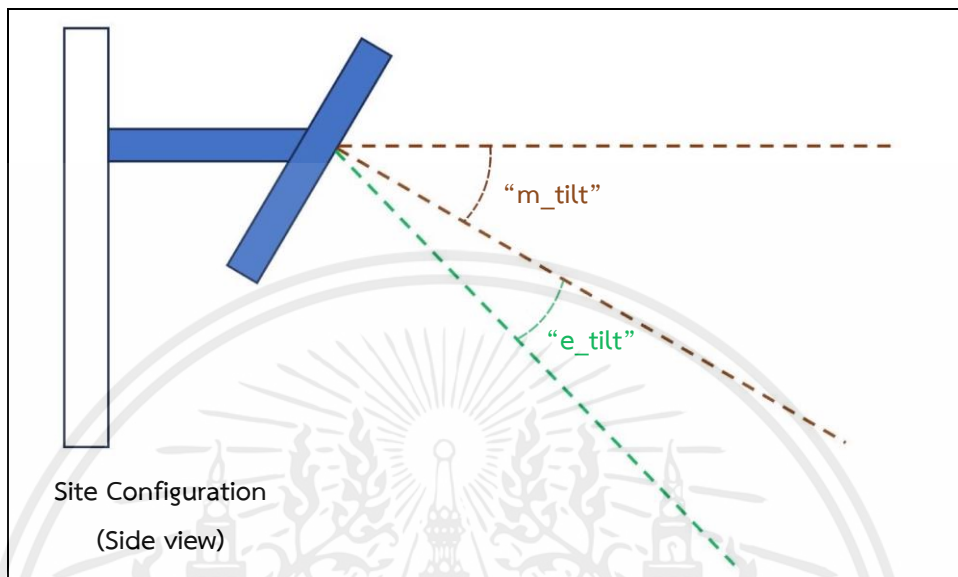
ข้อมูล Cell Name มีรายละเอียดดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ข้อมูล Cell Name

ชื่อของข้อมูล	ความหมายของข้อมูล
Time	วันที่
eNodeB_Name	ชื่อของสถานีฐาน
Cell_Name	ชื่อของ Cell
Frequency	ความถี่
LATITUDE_WGS84	พิกัดละติจูดของสถานีฐาน
LONGITUDE_WGS84	พิกัดลองจิจูดของสถานีฐาน
ant_height	ความสูงของสถานีฐาน
REFERENCESIGNALPWR	กำลังส่งสัญญาณอ้างอิง
m_tilt	มุมในระนาบแนวตั้งเชิงกายภาพของสายอากาศ
e_tilt	มุมในระนาบแนวตั้งเชิงอิเล็กทรอนิกส์ของสายอากาศ
physical_azimuth	มุมทางกายภาพในระนาบแนวนอนของสายอากาศ
horizontal_beam_width	ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบแนวนอนของสายอากาศ
ant_gain	อัตราขยายของสายอากาศ
ant_logical_beam	ลำดับลำคลื่นของสายอากาศ
ant_model	รุ่นของสายอากาศ
delta_azimuth	มุมในระนาบแนวนอนของลำคลื่นหลักของสายอากาศ ที่เบี่ยงเบนไปจาก physical_azimuth

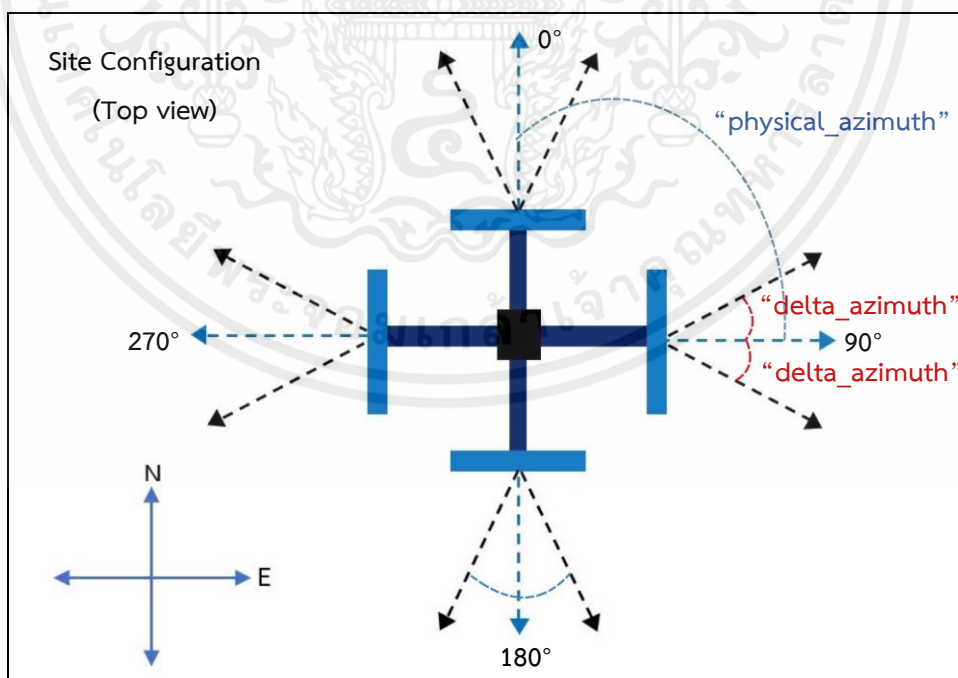
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ “ m_tilt ” และ “ e_tilt ” เป็นพารามิเตอร์มุมในระนาบแนวตั้งของสายอากาศ แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 พารามิเตอร์ “ m_tilt ” และ “ e_tilt ”

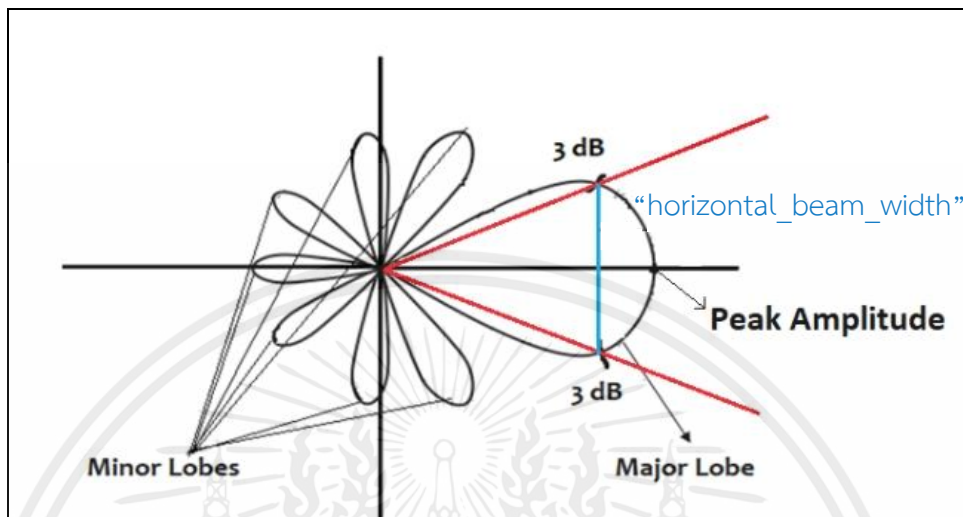
พารามิเตอร์ “ $physical_azimuth$ ” และ “ $delta_azimuth$ ” เป็นพารามิเตอร์มุมในระนาบแนวนอนของสายอากาศ แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 พารามิเตอร์ “ $physical_azimuth$ ” และ “ $delta_azimuth$ ”

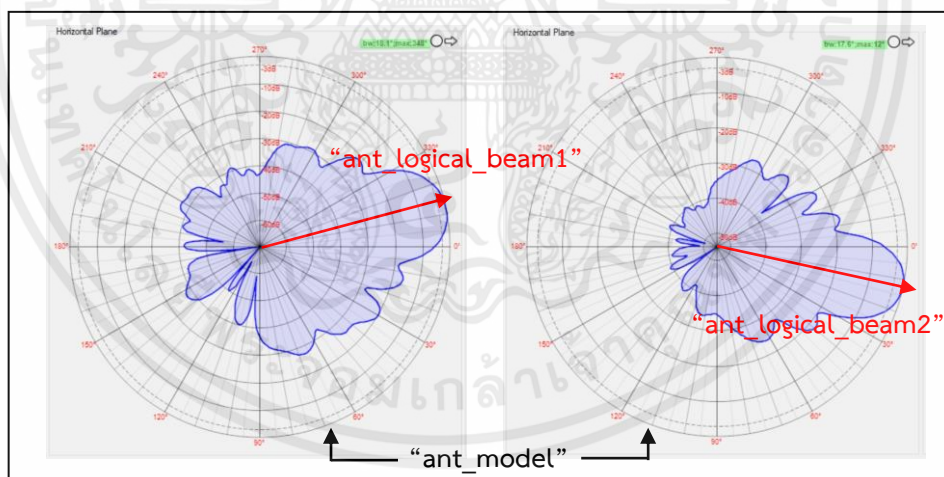
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ “horizontal_beam_width” คือความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบแนวนอนหรือความกว้างเชิงมุมของลำคลื่นในระนาบแนวนอน แสดงดังรูปที่ 2.5 [2]



รูปที่ 2.5 พารามิเตอร์ “horizontal_beam_width” [2]

พารามิเตอร์ “ant_logical_beam” แสดงดังรูปที่ 2.6 โดยจะแสดงรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบแนวนอนของ “ant_model” รุ่นเดียวกัน



รูปที่ 2.6 พารามิเตอร์ “ant_logical_beam”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss)

การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) [3] คือ การลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับสัญญาณ โดยในปริภูมิตฤษฎีจะใช้ Ericsson Model [4] ซึ่งเป็นแบบจำลองการคำนวณค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่พัฒนามาจากแบบจำลอง Okumura-Hata [5] สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$PL = a_0 + a_1 \log(d) + a_2 \log(h_b) + a_3 \log(d) \log(h_b) - 3.2(\log(11.75h_r))^2 + g(f) \quad (1)$$

โดยที่ $g(f)$ คำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$g(f) = 44.49 \log(f) - 4.78(\log(f))^2 \quad (2)$$

โดยที่ d คือ ระยะระหว่างภาคส่งและภาครับ หน่วยกิโลเมตร

f คือ ความถี่ หน่วยเมกะเฮิรตซ์ (MHz)

h_0 คือ ความสูงของเสาอากาศส่ง หน่วยเมตร

h_r คือ ความสูงของเสาอากาศรับ หน่วยเมตร

a_0, a_1, a_2 และ a_3 คือ ค่าคงที่มีค่าแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อม ซึ่งในปริภูมิตฤษฎีนี้จะใช้สภาพแวดล้อมบริเวณตัวเมือง ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าคงที่ของ Ericsson Model ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

สภาพแวดล้อม	a_0	a_1	a_2	a_3
เมือง	36.20	30.20	12	0.1
ชานเมือง	43.20	68.93	12	0.1
ชนบท	45.90	100.60	12	0.1

และในปริภูมิตฤษฎีนี้ยังใช้ Standard Propagation Model (SPM) [6] ซึ่งเป็นโมเดลที่ใช้ในการวิเคราะห์การกระจายของสัญญาณไร้สายในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น เครือข่ายโทรศัพท์มือถือ เครือข่ายไออาร์พี (WiFi) เป็นต้น โดย SPM ถูกออกแบบเพื่อปรับปรุงการคำนวณการแพร่กระจายของสัญญาณในพื้นที่เปิดหรือพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวาง ซึ่ง SPM จะพิจารณาตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อ การแพร่กระจายของสัญญาณ เช่น ระยะทาง ความสูงของเสาอากาศส่งและเสาอากาศรับ ลักษณะของพื้นที่ เป็นต้น พัฒนามาจาก Hata Formula [7] เหมาะสำหรับการคำนวณในช่วง 150 MHz - 3500 MHz ในระยะทาง 1-20 กิโลเมตร คำนวณได้จากสมการที่ (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$LSPM = K_1 + K_2 \log(d) + K_3 \log(HT_{xeff}) + K_4 DiffractionLoss + K_5 \log(d) \log(HT_{xeff}) + K_6 H R_{xeff} + K_{clutter} f_{(clutter)} \quad (3)$$

โดยที่ K_1 คือ ค่าคงที่ หน่วยเดซิเบล (dB)

K_2 คือ ตัวคูณสำหรับ $\log(d)$

d คือ ระยะระหว่างภาคส่งและภาครับ หน่วยเมตร

K_3 คือ ตัวคูณสำหรับ $\log(HT_{xeff})$

HT_{xeff} คือ ความสูงของเสาอากาศส่ง หน่วยเมตร

K_4 คือ ตัวคูณสำหรับ $DiffractionLoss$

K_5 คือ ตัวคูณสำหรับ $\log(d) \log(HT_{xeff})$

K_6 คือ ตัวคูณสำหรับ HR_{xeff}

$K_{clutter}$ คือ ตัวคูณสำหรับ $f_{(clutter)}$

$f_{(clutter)}$ คือ ค่าเฉลี่ยของการสูญเสียค่าถ่วงน้ำหนักจากปัจจัยอื่น ๆ

2.4 การคำนวณระยะทาง (Distance) ระหว่างพิกัด 2 พิกัดบนพื้นโลก

การคำนวณระยะทางระหว่างพิกัด 2 พิกัดบนพื้นโลกในปริภูมิพิกัดนี้ จะใช้สมการ Haversine [8] ในการคำนวณ โดยให้ระยะทางเป็นเส้นตรง คำนวณได้จากสมการที่ (4) (5) และ (6)

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) + \cos\phi_1 \cdot \cos\phi_2 \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right) \quad (4)$$

$$c = 2 \cdot \text{atan2}\left(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}\right) \quad (5)$$

$$d = R \cdot c \quad (6)$$

โดยที่ $\Delta\phi$ คือ ผลต่างระหว่างพิกัดละติจูดของสถานีฐานและกริด

$\Delta\lambda$ คือ ผลต่างระหว่างพิกัดลองจิจูดของสถานีฐานและกริด

R คือ รัศมีของโลก (มีค่าประมาณ 6,371 กิโลเมตร)

2.5 การคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ (Received Signal Strength)

ค่ากำลังสัญญาณรับ [9] สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7)

$$Received\ Signal\ Strength = Power + Antenna\ Gain - Path\ Loss \quad (7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ **Power** คือ ค่ากำลังสัญญาณ หน่วย dBm

Antenna Gain คือ อัตราขยายของสายอากาศ หน่วย dBi

Path Loss คือ ค่าการสูญเสียเชิงวิถี หน่วย dB คำนวณได้จากสมการที่ (1)

2.6 Received Signal Strength Indicator (RSSI)

Received Signal Strength Indicator (RSSI) [10] คือ การวัดระดับความแรงของสัญญาณที่อุปกรณ์ไร้สาย (Wireless Device) ที่ได้รับจากตัวส่งสัญญาณ เช่น เราท์เตอร์ไวไฟ (Wi-Fi Router) หรืออุปกรณ์โทรศัพท์มือถือในเครือข่ายเซลลูลาร์ (Cellular Network) โดยทั่วไปมักใช้หน่วยของเดซิเบลมิลลิวัตต์ (dBm) ในการวัดค่า RSSI โดยค่านี้จะแสดงระดับของพลังงานของสัญญาณที่ได้รับ ซึ่งมีค่าเป็นลบและมีความสัมพันธ์กับระดับความแรงของสัญญาณ นอกจากนี้ RSSI ยังมีบทบาทสำคัญในการจัดการและปรับแต่งเครือข่ายไร้สาย และสามารถใช้ในการตรวจสอบปัญหาการเชื่อมต่อที่ไม่เสถียรหรือในการทำงานด้านเทคนิคของระบบโทรคมนาคม และอุปกรณ์เชื่อมต่อไร้สายอื่น ๆ ด้วย

2.7 Reference Signal Receive Power (RSRP)

Reference Signal Receive Power (RSRP) [11] คือค่าเฉลี่ยเชิงเส้นของสัญญาณอ้างอิงที่ใช้ในเครือข่าย Long Term Evolution (LTE) หรือ 4G ใช้ในการประมาณความแข็งแรงของสัญญาณของเซลล์เบสสถานี (Cell Base Station) ที่โทรศัพท์มือถือกำลังเชื่อมต่ออยู่ มีหน่วยเป็น dBm

2.8 Reference Signal Receive Quality (RSRQ)

Reference Signal Receive Quality (RSRQ) [12] คือค่าคุณภาพของสัญญาณที่ได้รับ มีหน่วยเป็น เดซิเบล (dB) คำนวณได้จากสมการที่ (8)

$$RSRQ = N \times RSRP / RSSI \quad (8)$$

โดยที่ **RSRP** คือ ค่าเฉลี่ยของระดับพลังงานที่ได้รับ

N คือ จำนวน Physical Resource Blocks (PRB) ที่ใช้วัด RSSI ซึ่งโดยทั่วไปจะเท่ากับแบนด์วิธของระบบ

RSSI คือ การวัดกำลังไฟฟ้าย่านความถี่กว้างบริสุทธิ์ ซึ่งรวมถึงกำลังภายในเซลล์และสัญญาณรบกวน

2.9 การแปลงหน่วย dBd เป็น dBi

การแปลงหน่วย dBd เป็น dBi [13] สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (9)

$$dBi = dBd + 2.15dB \quad (9)$$

โดยที่ **dBi** คือ หน่วยของอัตราขยายของสายอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบ Isotropic Radiator

dBd คือ หน่วยของอัตราขยายของสายอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบ Dipole

2.10 การคำนวณอัตราขยายของสายอากาศ (Antenna Gain)

อัตราขยายของสายอากาศ [14] เป็นคุณลักษณะที่ใช้พิจารณาว่าสายอากาศที่ออกแบบสามารถแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ต้องการ เทียบกับตัวแพร่กระจายคลื่น Isotropic ในปริภูมิอนันต์นี้ จะคำนวณได้จากสมการที่ (10)

$$Antenna\ Gain = G_f - L(\phi) \quad (10)$$

โดยที่ **G_f** คือ อัตราขยายของสายอากาศ หน่วย dBi

$L(\phi)$ คือ ค่าลดทอนในระนาบแนวนอนที่มุม ϕ

ϕ คือ มุมในระนาบแนวนอนระหว่างลำคลื่นหลักและพิกัดใด ๆ

2.11 การคำนวณมุม Bearing ระหว่างพิกัด 2 พิกัดบนพื้นโลก

มุม Bearing [15] คือมุมในแนวราบที่วัดจากทิศเหนือหรือทิศใต้ไปทางทิศตะวันตกหรือตะวันออก มีค่าไม่เกิน 90 องศา โดยการคำนวณมุม Bearing ระหว่างพิกัด 2 พิกัดบนพื้นโลก ในปริภูมิอนันต์นี้ จะคำนวณได้จากสมการที่ (11) [8]

$$RA = \text{atan}(\sin \Delta\lambda \cdot \cos \varphi_2, \cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 - \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \cos \Delta\lambda) \quad (11)$$

โดยที่ **RA** คือ มุมระหว่างตำแหน่งของกริดเทียบกับทิศเหนือ

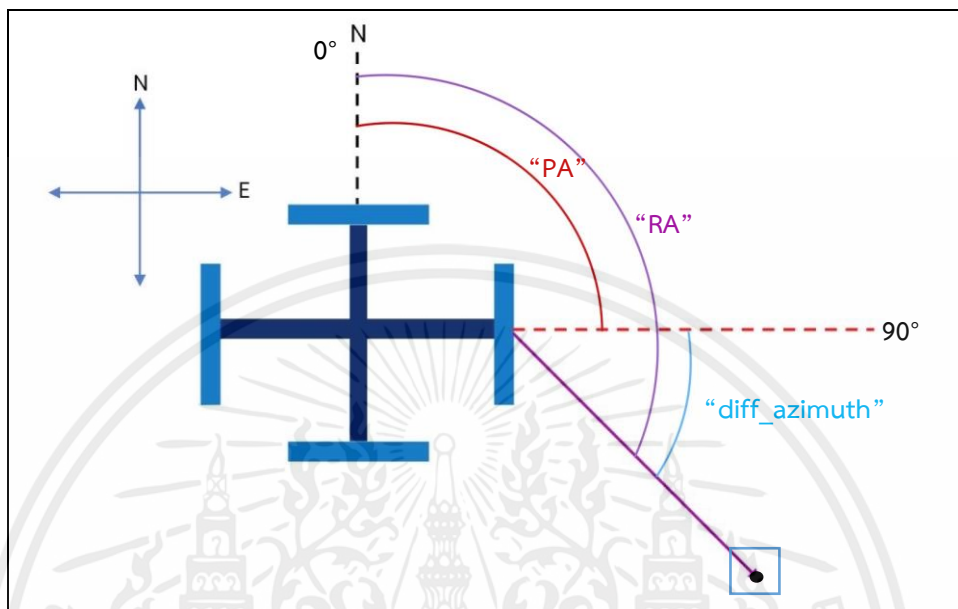
φ_1 คือ จุดเริ่มต้น

φ_2 คือ จุดสุดท้าย

$\Delta\lambda$ คือ ความแตกต่างระหว่างพิกัดลองจิจูด

2.12 การคำนวณพารามิเตอร์ “diff_azimuth”

พารามิเตอร์ “diff_azimuth” สามารถคำนวณได้จากรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 Site Configuration (Top view)

จากรูปที่ 2.1 สามารถหาค่าพารามิเตอร์ “diff_azimuth” ได้ดังสมการที่ (12)

$$\text{diff_azimuth} = |RA - PA| \quad (12)$$

โดยที่ diff_azimuth คือ มุมระหว่าง physical_azimuth และกริด

RA คือ มุมระหว่างตำแหน่งของสถานีฐานและกริด คำนวณโดยใช้สมการที่ (11)

PA คือ มุม physical_azimuth

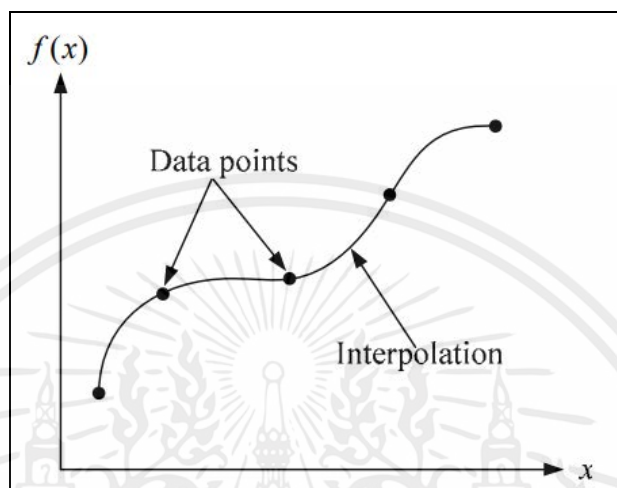
2.13 Curve Fitting

เมื่อพิจารณาปัญหาทางวิศวกรรม รวมถึงการทดลองทางวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ พบว่าข้อมูลโดยส่วนใหญ่จะเป็นจุดที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Points) หากต้องการวาดเส้นกราฟที่ต่อเนื่องผ่านจุดเหล่านั้น (To fit a curve over those data points) เพื่ออธิบายข้อมูลหรือ ต้องการทราบค่าที่อยู่ระหว่างจุดของข้อมูลที่มี ในทางวิศวกรรมจะอาศัยเทคนิคที่เรียกว่า Curve Fitting [16] ซึ่งสามารถกระทำได้ 2 แนวทาง ได้แก่ Interpolation และ Regression

วิธีการ Interpolation สามารถทำได้โดยลากเส้นกราฟซึ่งก็คือฟังก์ชัน ผ่านจุดทุกจุดของข้อมูลที่มี ดังรูปที่ 2.8 วิธีการนี้เหมาะสำหรับจุดข้อมูลที่แน่ใจว่ามีความถูกต้อง เช่น ข้อมูลที่ได้รับจาก

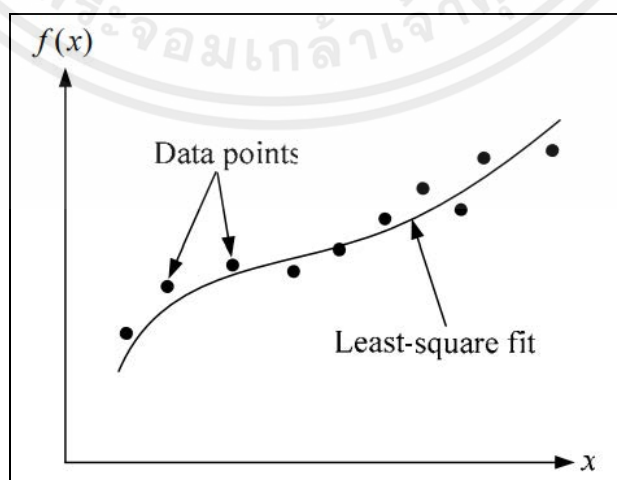
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณที่ซับซ้อน ข้อมูลที่ได้รับจากการทำการทดลองตามวิธีมาตรฐานด้วยเครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำสูง เป็นต้น โดยวิธีการ Interpolation สามารถแบ่งย่อยได้เป็นหลายวิธี เช่น Newton's Interpolating Polynomials Lagrange Interpolating Polynomials Splines เป็นต้น



รูปที่ 2.8 กราฟของวิธีการ Interpolation [16]

วิธีการ Regression สามารถทำได้โดยสร้างเส้นกราฟหรือลากเส้นโค้งผ่านจุดของข้อมูลที่มีให้มากที่สุด ดังรูปที่ 2.9 โดยเส้นกราฟที่สร้างขึ้นจะเป็นตัวแทนของข้อมูลเพื่อแสดงว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันแบบใด หรือมีแนวโน้มจะเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อปริมาณในแกนหนึ่งเพิ่มขึ้น วิธีการนี้เหมาะสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (Experimental Data) อาจรู้จักวิธีการนี้ในชื่อ Least Square Regression ซึ่งสามารถแบ่งย่อยได้เป็นหลายวิธี เช่น Linear Regression Nonlinear Regression Polynomial Regression Multiple Regression เป็นต้น



รูปที่ 2.9 กราฟของวิธีการ Regression [16]

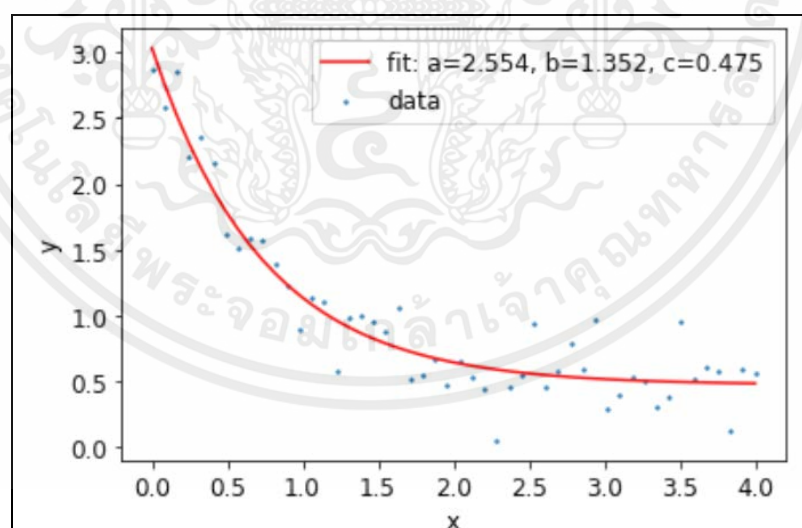
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปฏิญานิพนธ์นี้จะใช้เทคนิค Curve Fitting แบบ Nonlinear Least Square Regression ซึ่ง Non-linear Least Squares (NLS) [17] เป็นวิธีการในการปรับค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันที่ไม่เป็นเส้นตรงในลักษณะของข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อน (Residuals) โดยที่ต้องการทำให้ค่าคลาดเคลื่อนรวมต่าง ๆ มีค่าน้อยที่สุด เพื่อให้ฟังก์ชันที่ปรับค่าพารามิเตอร์แล้วเข้ากับข้อมูลที่ให้มาได้ดีที่สุด วิธี NLS มักถูกนำมาใช้ในหลายงาน เช่น การปรับค่าพารามิเตอร์ของโมเดลทางการแพทย์ การปรับค่าพารามิเตอร์ในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ หรือในการปรับค่าพารามิเตอร์ของโมเดลทางเศรษฐศาสตร์ เป็นต้น

2.14 Library SciPy ในภาษา Python

Library SciPy [18] เป็น Library ที่ใช้ในภาษา Python สำหรับการคำนวณทางวิทยาศาสตร์ซึ่งมีฟังก์ชันหลากหลาย เช่น Linear Algebra Calculus Optimization เป็นต้น โดย Library SciPy สามารถนำมาใช้ควบคู่และเติมเต็ม Library NumPy ได้เป็นอย่างดี

ฟังก์ชัน `curve_fit` จาก Library `scipy.optimize` สามารถใช้ในการปรับสมการให้เข้ากับข้อมูลที่มีมากที่สุด โดยจะต้องกำหนดลักษณะของสมการก่อน จากนั้นฟังก์ชัน `curve_fit` จะพยายามหาค่าพารามิเตอร์ที่จะทำให้สมการนั้นใกล้เคียงกับข้อมูลจริงที่สุด ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการทำ Curve Fitting ด้วยภาษา Python โดยใช้สมการเอกซ์โพเนนเชียล

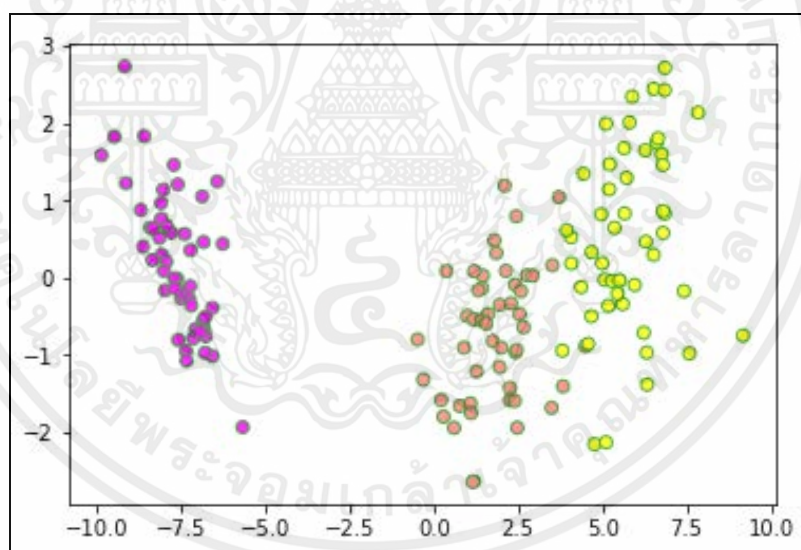
$$f(x) = ae^{-bx} + c \text{ และสมมติค่าของพารามิเตอร์ } a \text{ } b \text{ และ } c \text{ [18]}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15 Clustering Model

Clustering Model [19] เป็น Machine Learning ในประเภทการเรียนรู้แบบไม่ต้องสอน (Unsupervised Learning) [20] ซึ่งเป็นโมเดลที่ใส่ Input Data โดยไม่ได้กำหนด Target ของโมเดล และคอมพิวเตอร์จะกำหนดเองว่าข้อมูลที่ได้รับมาสามารถแปลงออกมาเป็นโมเดลในลักษณะรูปแบบใดได้บ้าง

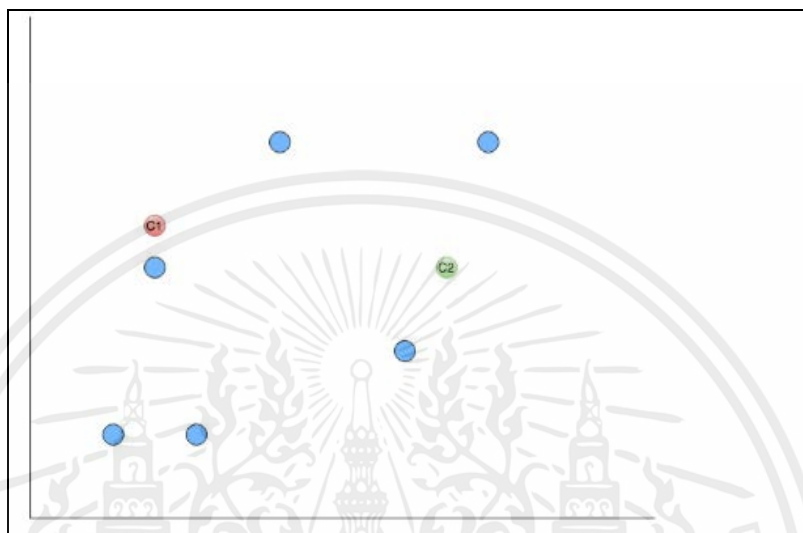
กระบวนการทำ Clustering เป็นการนำเอาข้อมูลมาจัดกลุ่ม ซึ่งเป็นหนึ่งในอัลกอริทึมที่ใช้ในการจัดการการทำงานที่มีการรวมกลุ่มกัน หรือเพื่อแยกกลุ่มให้ดูง่ายและชัดเจน โดยจะมีอัลกอริทึมที่เหมาะสมต่อการจัดกลุ่ม 2 อัลกอริทึม ได้แก่ Hierarchical Clustering และ K-mean Clustering ในส่วนของ Hierarchical Clustering [21] เป็นการจำแนกกลุ่มตามความคล้ายกันของข้อมูล ข้อมูลจะแสดงเป็นจุด มีสี และเป็นกลุ่มก้อนแบบกระจายตัวแต่ยังสามารถสังเกตเห็นเป็นกลุ่มได้ ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการแบ่งกลุ่มตามการจำแนกด้วยสี [21]

ในปริศยานิพนธ์นี้จะใช้ K-mean Clustering [22] เป็นอัลกอริทึมที่มีการจำแนกกลุ่มด้วย K ซึ่งค่าของ K คือกลุ่มข้อมูลที่ต้องการจำแนกออกจากกัน สามารถกำหนดได้เองตามความต้องการ อีกทั้งยังเป็นจุดศูนย์กลางของข้อมูล (Centroid) เมื่อทำการจำแนกข้อมูลแล้วข้อมูลเหล่านั้นจะเรียกว่า Dataset โดยวิธีการของ K-mean Clustering มี 4 ขั้นตอน ดังนี้

1) กำหนดจำนวนกลุ่มขึ้นมาก่อน เช่น กำหนดจำนวน 2 กลุ่มหรือหมายความว่าค่า $K=2$ โดยกำหนดเป็น $C1$ และ $C2$ และสุ่มตำแหน่งแกน x,y ให้กับ $C1$ และ $C2$ จะได้ $C1(x1,y1)$ และ $C2(x2,y2)$ จุด C แต่ละจุดนั้นเรียกว่าจุด Centroid ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างการสุ่มตำแหน่งแกน x,y ให้กับ $C1$ และ $C2$ [22]

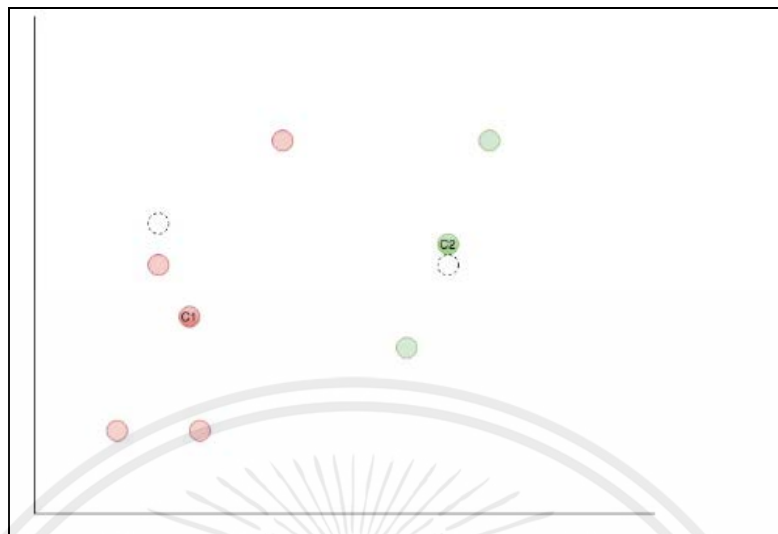
2) สังเกตตำแหน่งของสมาชิกแต่ละตัวว่าอยู่ใกล้ $C1$ หรือ $C2$ มากกว่ากัน แล้วจึงให้สมาชิกตัวนั้นเป็นสมาชิกของ C นั้น นั่นจึงทำให้ทราบแล้วว่าสมาชิกแต่ละตัวอยู่ในกลุ่มใดระหว่าง $C1$ และ $C2$ ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการสังเกตตำแหน่งของสมาชิก [22]

3) ปรับค่า x,y ของ $C1$ และ $C2$ ใหม่ให้อยู่ตรงกลางของกลุ่ม ดังรูปที่ 2.14

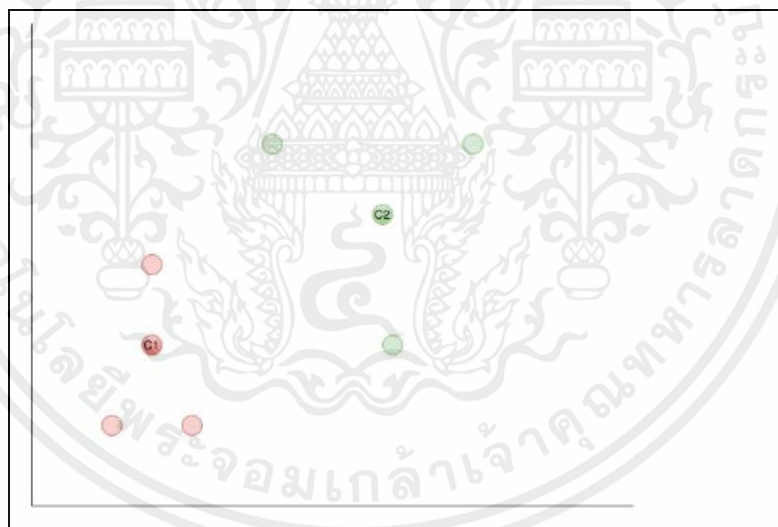
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างการปรับค่า x,y ของ $C1$ และ $C2$ ใหม่ [22]

4) ทำตามขั้นตอนที่ 2 และ 3 อีกครั้งจนกว่าตำแหน่งของ $C1$ และ $C2$ จะคงที่ ดังรูปที่

2.15



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างตำแหน่งของ $C1$ และ $C2$ ที่คงที่แล้ว [22]

2.16 เว็บแอปพลิเคชัน (Web Application)

เว็บแอปพลิเคชัน [23] คือแอปที่ถูกเขียนขึ้นมาให้สามารถเปิดใช้ในเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) ได้โดยตรงโดยไม่ต้องโหลดแอปพลิเคชันลงเครื่อง ทำให้ใช้ทรัพยากรต่ำและผู้ใช้งานสามารถเปิดใช้งานได้รวดเร็ว เว็บแอปพลิเคชันส่วนประกอบในการทำงาน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) เว็บแอปพลิเคชัน ทำหน้าที่เป็นตัวแรกในการรับข้อมูลจากฝั่งผู้ใช้งาน ซึ่งจะมีการดัดแปลงการใช้งานได้หลากหลาย เช่น การคำนวณต่าง ๆ ระบบซื้อขายแบบ eCommerce ระบบการชำระเงิน เป็นต้น

2) เว็บเบราว์เซอร์ คือเครื่องมือในการเปิดเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งมีหลายตัวเลือก เช่น Google Chrome Firefox Microsoft Edge เป็นต้น โดยในปัจจุบันเบราว์เซอร์เหล่านี้สามารถทำงานได้ทั้งบนคอมพิวเตอร์และสมาร์ทโฟน

3) เว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web Server) ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลจากฝั่งผู้ใช้งานและฝั่งเว็บแอปพลิเคชันซึ่งจะให้บริการแก่เว็บไซต์และเว็บแอปพลิเคชันต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น Apache Webserver IIS Web Server เป็นต้น

4) ฐานข้อมูล ในฝั่งผู้ให้บริการจะทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่จำเป็น โดยในบางครั้งมีการทำ Database Server แยกออกมาเพื่อความสะดวกในการควบคุมดูแลและความปลอดภัยของเว็บแอปพลิเคชัน

2.16.1 Application Program Interface (API)

Application Program Interface (API) [24] คือการเชื่อมต่อจากระบบหนึ่งไปสู่อีกระบบหนึ่ง เพื่อให้ซอฟต์แวร์ภายนอกเข้าถึงและอัปเดตข้อมูลนั้นๆได้ แต่ยังคงอยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ หรือก็คือ API เป็นตัวกลางที่จะทำให้คอยรับคำสั่งต่าง ๆ ประมวลผล และส่งกลับข้อมูลคืนไปยังคนสั่งโดยอัตโนมัติ

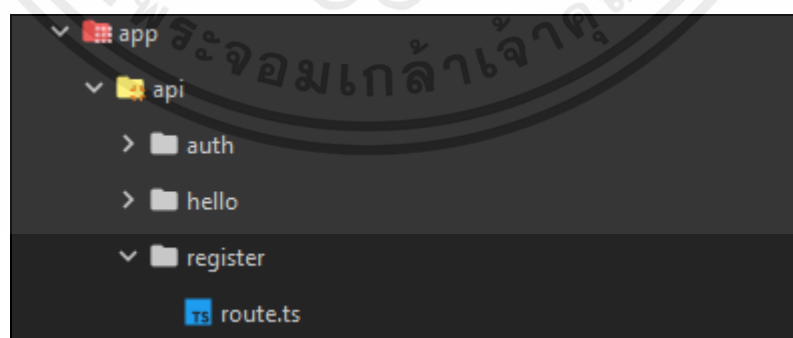
ประเภทของการสื่อสารของ API หรือ API Protocols นั้น จะแบ่งตาม Representational State Transfer (REST) หรือ RESTful API [25] ซึ่งเป็นรูปแบบที่ถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยจะขึ้นอยู่กับ HTTP Methods เช่น GET POST PUT DELETE เป็นต้น ดังตารางที่ 2.6 โดย REST นั้นจะอยู่ในรูปแบบ Stateless ซึ่งจะรองรับข้อมูลหลาย Format เช่น JSON XML Text เป็นต้น

ตารางที่ 2.6 ประเภทของ HTTP Methods

HTTP Protocols	คำอธิบาย
GET	ดึงข้อมูลมาแสดงผล
POST	เพิ่มหรือบันทึกข้อมูล
PUT	อัปเดตข้อมูล
DELETE	ลบข้อมูล
PATCH	แก้ไขข้อมูลบางส่วน

2.16.2 Next.js

Next.js [26] เป็นเฟรมเวิร์ก สำหรับพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแบบ Full-Stack ซึ่งภายใน Next.js จะมี Router 2 ตัวที่แตกต่างกัน โดย Router ตัวแรกคือ App Router เป็นพีเจอร์ที่ช่วยจัดการระบบ Routes และ Layout ผ่าน Folder app ในส่วนของ Router ตัวที่ 2 คือ Pages Router จะจัดการเกี่ยวกับการกำหนดเส้นทางภายในระบบสำหรับแต่ละหน้าต่างของเว็บแอปพลิเคชัน และช่วยให้สามารถกำหนดเส้นทางแบบ Dynamic รวมทั้งเข้าถึงพารามิเตอร์เส้นทางสำหรับแสดงผลเฉพาะบางหน้าต่างของเว็บแอปพลิเคชันได้ นอกจากนี้ Next.js ยังช่วยในเรื่อง Search Engine Optimization (SEO) ซึ่งคือการทำให้เว็บแอปพลิเคชันให้มีประสิทธิภาพและรองรับการติดอันดับการค้นหาบน Google ซึ่ง Next.js มีการ Render แบบ Server-Side และส่งผลให้ Source เกือบทั้งหมดเป็น HTML จึงทำให้ SEO สามารถค้นหาผ่าน Keyword Source เพื่อให้จัดหมวดหมู่ข้อมูลได้ง่าย ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ตัวอย่าง Folder App Router [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16.3 Leaflet

Leaflet [27] เป็นหนึ่งในไลบรารี JavaScript แบบ Open-Source สำหรับทำแผนที่ ซึ่งสามารถใช้แผนที่ได้หลากหลายแบบ เช่น OpenStreetMap Google Satellite Google Hybrid เป็นต้น

2.16.4 JSON Web Token

JSON Web Token (JWT) [28] เป็นหนึ่งในวิธีการสร้างรหัส Token โดยทำการเข้ารหัสด้วย Base64Url [29] ซึ่งคือวิธีการเข้ารหัสที่เปลี่ยนข้อมูลต้นฉบับไปเป็นข้อมูลชุดใหม่จำนวน 64 ตัวอักษรที่ไม่สามารถอ่านหรือรู้ว่าข้อมูลชุดนี้คืออะไร โดย JWT ถือว่าเป็นมาตรฐานเปิด (RFC 7519) ที่เข้ามาแก้ปัญหาการส่งข้อมูลอย่างปลอดภัยระหว่างกัน โดยข้อมูล JWT มีลักษณะเป็น aaaaaa.bbbbbbb.cccccc [30] ดังรูปที่ 2.17 ซึ่งข้อมูลถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนที่ถูกแบ่งด้วย (.) ดังนี้

- 1) Header เป็นส่วนที่บอกรายละเอียดของ JWT ประกอบไปด้วยชนิดของข้อมูลและการเข้ารหัส
- 2) Payload เป็นส่วนที่เก็บข้อมูลต่าง ๆ ที่ต้องการส่งไปใน Token โดยจะเก็บอยู่ในรูปของ JSON Object
- 3) Signature เป็นส่วนที่ไว้สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของ Header และ Payload ถูกต้องหรือไม่ รวมทั้งตรวจสอบการแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลภายใน Header และ Payload ซึ่งหากพบการเปลี่ยนแปลง Token จะไม่ถูกนำมาใช้ เพราะไม่มีความน่าเชื่อถือ



รูปที่ 2.17 ส่วนของ Header Payload และ Signature [30]

2.16.5 MUI

MUI [31] เป็น Open-Source React Component Library ที่มี Component หลากหลาย ใช้งานง่ายและสามารถปรับแต่งเองได้ตามต้องการ

2.16.6 Bcrypt

Bcrypt [32] เป็น Password Hashing Function ที่สร้างขึ้นจากพื้นฐานของ Blowfish Cipher ใช้ Bcrypt ในการ Hash รหัสผ่าน ซึ่งการทำงานของ Blowfish Cipher ที่การสร้าง Key ใหม่ขึ้นมาจะต้องทำการ Pre-process โดยใช้เวลาเทียบกับการเข้ารหัสตัวอักษรขนาด 4KB ซึ่งช้ากว่า Block Cipher รูปแบบอื่น ๆ ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จาก Bcrypt จะมีลักษณะดังนี้

ชุดแรกใช้ระบุ Bcrypt Version ในการ Hash ในส่วนของเลขถัดไปคือค่า Cost ที่กำหนดความซ้ำในการทำงานโดย 16 Bytes ถัดไปเป็นค่า salt ในรูปแบบ Radix-64 ความยาว 22 ตัวอักษร และ 24 Bytes สุดท้ายเป็นค่า Hash ที่อยู่ในรูปแบบ Radix-64 ความยาว 31 ตัวอักษร ดังรูปที่ 2.18

```
$2<a/b/x/y>${cost}${22 character salt}[31 character hash]
```

```
$2a$10$N9qo8uL0ickgx2ZMRZoMyeIjZAgcf17p92ldGxad68LJZdL17lhwy
```

Alg Cost Salt Hash

รูปที่ 2.18 รูปแบบเอาต์พุตของ Bcrypt [32]

2.16.7 ภาษาคอมพิวเตอร์ (Computer Programming Language)

ภาษาคอมพิวเตอร์ [33] หมายถึง โปรแกรมหรือชุดคำสั่งที่โปรแกรมเมอร์เขียนเพื่อใช้สั่งงานตามรูปแบบโดยที่คอมพิวเตอร์สามารถทำงานตามคำสั่งนั้นได้ ซึ่งภาษาคอมพิวเตอร์แบ่งได้เป็น 5 ระดับ คือ

1) ภาษาเครื่อง (Machine Language) เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ภาษาเดียวที่สามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง เพราะการเขียนคำสั่งและข้อมูลในภาษาเครื่องใช้ระบบเลขฐานสอง (Binary Number System) ซึ่งใช้ตัวเลข 0 และ 1 เท่านั้น

2) ภาษาระดับต่ำ (Low Level Language) เป็นภาษาที่เขียนตามลักษณะการทำงานของเครื่อง ดังนั้นผู้ที่ใช้ภาษาเหล่านี้จำเป็นต้องเข้าใจการทำงานของเครื่องเป็นอย่างดี เช่น ภาษาแอสเซมบลี (Assembly Language) โดยมีแอสเซมเบลอร์ (Assembler) เป็นตัวแปลภาษาแอสเซมบลี ซึ่งคือการเปลี่ยนภาษาระดับต่ำเป็นภาษาเครื่อง เป็นต้น

3) ภาษาระดับสูง (High Level Language) เป็นภาษาที่ทำความเข้าใจได้ง่าย มีลักษณะของการใช้คำสั่งเป็นภาษาอังกฤษซึ่งใกล้เคียงกับภาษามนุษย์มาก การสั่งให้คอมพิวเตอร์ทำงานจะต้องมีการแปลความหมายของคำสั่งโดยใช้ตัวแปลภาษาที่ละชุดคำสั่ง เรียกว่า อินเทอร์พรีเตอร์

(Interpreter) หรือแปลครั้งเดียวทั้งโปรแกรม เรียกว่า คอมไพเลอร์ (Compile) เช่น ภาษาเบสิก (BASIC) ภาษาโคบอล (COBOL) ภาษาฟอร์แทรน (FORTRAN) ภาษาซี (C) เป็นต้น

4) ภาษาระดับสูงมาก (Very High-Level Language) เป็นภาษาที่มีลักษณะสำคัญคือ ผู้เขียนโปรแกรมไม่ต้องบอกวิธีการทำงานโดยละเอียด เพียงแต่ระบุคำสั่งให้ทำงานสั้น ๆ ให้ภาษาระดับสูงมากเข้าใจก็เพียงพอ

5) ภาษาธรรมชาติ (Nature Language) จะเกี่ยวข้องกับระบบฐานความรู้และกฎอ้างอิง เพียงแต่ผู้ใช้ภาษาธรรมชาติป้อนคำถามเข้าไปในคอมพิวเตอร์ที่มีภาษาธรรมชาติ คอมพิวเตอร์ก็จะวิเคราะห์คำถาม แล้วไปค้นหาคำตอบจากระบบฐานความรู้ที่เก็บไว้

2.16.7.1 ภาษา Hyper Text Markup Language (HTML)

ภาษา Hyper Text Markup Language (HTML) [34] เป็นภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมข้อมูลที่ใช้แสดงผลบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในลักษณะของข้อความ รูปภาพ เสียง และภาพเคลื่อนไหวต่าง ๆ ภาษา HTML เป็นภาษาที่ง่ายต่อการเรียนรู้ สามารถกำหนดรูปแบบและโครงสร้างได้ง่าย ทำให้ได้รับความนิยม และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ใช้งานง่าย นอกจากนี้ยังตอบสนองต่องานด้านกราฟิกมาก สนับสนุนการแสดงผลในเว็บเบราว์เซอร์ และบันทึกในรูปแบบของไฟล์นามสกุล html

2.16.7.2 ภาษา JavaScript

ภาษา JavaScript [35] เป็นภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับการเขียนสคริปต์เพื่อเพิ่มความสามารถของ HTML ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน โดยสามารถทำให้หน้าเว็บแอปพลิเคชันทำงานแบบ Dynamic ตามเงื่อนไขหรือข้อกำหนดต่าง ๆ อีกทั้งยังสามารถพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันทั้งฝั่ง Front-End และฝั่ง Back-End ได้ด้วย JavaScript เพียงภาษาเดียว

2.16.7.3 ภาษา Typescript

ภาษา Typescript [36] คือภาษา JavaScript ในเวอร์ชันที่ได้มีการอัปเดต ปรับปรุง และพัฒนาแล้ว ภาษา TypeScript ช่วยให้เราสามารถเขียนโค้ดในภาษา JavaScript ที่เรียบง่ายและเรียบร้อยได้อย่างสะดวกขึ้น และเป็นภาษาที่สามารถดักจับ Error ก่อนที่จะรันโค้ดได้ ดังนั้นการใช้ภาษา TypeScript จะช่วยให้สามารถสร้าง Software ที่ปรับใช้งานได้ง่ายและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.16.7.4 ภาษา Python

ภาษา Python [37] คือภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงที่ถูกออกแบบมาให้เป็นภาษาสคริปต์ที่อ่านง่าย โดยตัดความซับซ้อนของโครงสร้างและไวยากรณ์ของภาษาออกไป ในส่วนของการแปลงชุดคำสั่งที่เขียนเป็นภาษาเครื่อง Python มีการทำงานแบบ Interpreter คือเป็นการแปลชุดคำสั่งทีละบรรทัด เพื่อป้อนเข้าสู่หน่วยประมวลผลให้คอมพิวเตอร์ทำงานตามที่ต้องการ อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ในการเขียนโปรแกรมได้หลากหลายประเภทโดยไม่ได้จำกัดอยู่ที่งานเฉพาะทางใดทางหนึ่ง

2.16.7.5 Tailwind Cascading Style Sheets (Tailwind CSS)

Tailwind Cascading Style Sheets (Tailwind CSS) [38] คือ CSS Utility เฟรมเวิร์กที่ช่วยให้นักพัฒนาสร้าง UI ที่ได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังสามารถปรับแต่งในรายละเอียดปลีกย่อยได้ง่าย เนื่องจากมาพร้อมทั้ง Class สำเร็จรูปที่สามารถใช้งานได้ทันทีในกรณีที่ต้องการเปลี่ยน UI หลักของเฟรมเวิร์ก ได้แก่ สี และขนาด โดยการจัดวางหรือปุ่มต่าง ๆ นั้นทำให้นักพัฒนาไม่จำเป็นต้องเข้าไปแก้ไขที่ไฟล์ CSS หลัก

2.17 ชนิดของข้อมูล

ชนิดของข้อมูล [39] ที่ใช้ในภาษาคอมพิวเตอร์ โดยจะต้องมีการประกาศชนิดของข้อมูลให้สอดคล้องกับข้อมูลที่จะเก็บในตัวแปรนั้น และจะต้องประกาศชนิดของข้อมูลไว้ก่อน จึงจะเรียกใช้ตัวแปรนั้น ๆ ได้ ชนิดของข้อมูลมีดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ชนิดของข้อมูล

ชนิดข้อมูล	ความหมายชนิดของข้อมูล
DateTime	ข้อมูลวันที่และเวลา
Int	ข้อมูลชนิดเลขจำนวนเต็ม
String	ข้อมูลชนิดข้อความ
Float	ข้อมูลชนิดเลขจำนวนจริง

2.18 ฐานข้อมูล (Database)

ฐานข้อมูล (Database) [40] คือ กลุ่มของข้อมูลที่ถูกเก็บรวบรวมไว้อย่างเป็นระบบ มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยไม่ได้บังคับว่าข้อมูลทั้งหมดนี้จะต้องเก็บไว้ในแฟ้มข้อมูลเดียวกันหรือแยกเก็บหลายๆ แฟ้มข้อมูล ซึ่งจะมีซอฟต์แวร์เข้ามาควบคุมกระบวนการใช้งาน การทำงาน หรือการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมวผล ทำให้ผู้ใช้งานสามารถใช้ข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยฐานข้อมูลที่มีประสิทธิภาพนั้น จะต้องมีความมั่นคงปลอดภัย มีเสถียรภาพ สามารถบริหารจัดการ บำรุงรักษาได้ง่าย และสามารถลด หรือเพิ่มขยายการจัดเก็บข้อมูลได้ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

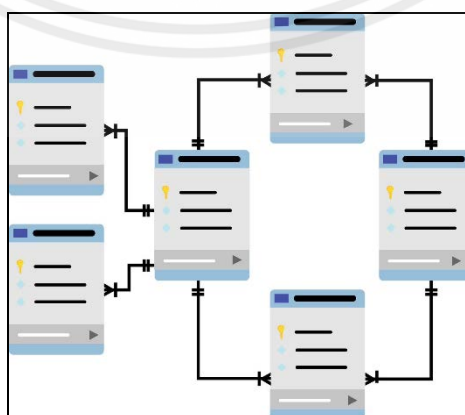
ระบบฐานข้อมูล (Database System) [40] คือ ระบบที่รวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกันเข้าไว้ด้วยกันอย่างมีระบบ มีความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลต่าง ๆ ที่ชัดเจน เปิดโอกาสให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานและดูแลรักษาป้องกันข้อมูลเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีซอฟต์แวร์ที่เปรียบเสมือนสื่อกลางระหว่างผู้ใช้งานและโปรแกรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ฐานข้อมูล เรียกว่า ระบบจัดการฐานข้อมูล หรือ Data Base Management System (DBMS) ซึ่งมีหน้าที่ช่วยให้ผู้ใช้งานเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายสะดวกและมีประสิทธิภาพ การเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้งานอาจเป็นการสร้างฐานข้อมูล การแก้ไขฐานข้อมูล หรือการตั้งคำถามเพื่อให้ได้ข้อมูลมา โดยผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องรับรู้เกี่ยวกับรายละเอียดภายในโครงสร้างของฐานข้อมูล

2.18.1 Prisma

Prisma [41] เป็น Open-Source ORM สำหรับ Node.js และ TypeScript ใช้เป็นทางเลือกแทนการเขียน Structured Query Language (SQL) หรือใช้เครื่องมือเข้าถึงฐานข้อมูลอื่น เช่น ตัวสร้างแบบสอบถาม SQL ORM เป็นต้น ปัจจุบัน Prisma รองรับฐานข้อมูล PostgreSQL MySQL SQL Server SQLite MongoDB และ CockroachDB

2.18.2 ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database)

ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ [42] คือ การเก็บข้อมูลในรูปของตารางหลาย ๆ ตารางที่มีความสัมพันธ์กัน โดยมีลักษณะการจัดเก็บข้อมูลเป็นคอลัมน์และแถว ซึ่งแต่ละแถวจะเชื่อมโยงกับแถวอื่น ๆ ด้วยรหัสเฉพาะ จึงส่งผลให้ข้อมูลเป็นระเบียบและลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล ดังรูปที่ 2.19 โดยในปฏิญยานิพนธ์นี้จะใช้ PostgreSQL เป็นระบบฐานข้อมูล



รูปที่ 2.19 โครงสร้างของฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ [42]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.18.2.1 PostgreSQL

PostgreSQL [43] เป็นระบบฐานข้อมูลแบบ Structured Query Language (SQL) เชิงวัตถุที่สามารถขยายได้สูง มีความน่าเชื่อถือ มีความทนทานของพีเจอร์ และมีประสิทธิภาพสูง รวมทั้งสามารถจัดการปริมาณข้อมูลและรองรับจำนวนผู้ใช้งานพร้อมกันได้มากขึ้น

2.19 ไฟล์สกุล msi

msi [44] เป็นไฟล์ประเภทที่ใช้งานได้เป็นรูปแบบพิเศษหรือเพียงแค่ Script ข้อความซึ่งสามารถเรียกใช้ได้โดยตรงโดยระบบปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ ไฟล์เหล่านี้มักจะถูกสร้างขึ้นจาก Source Code ของภาษาการเขียนโปรแกรมและมักจะไม่สามารถอ่านได้ ไม่สามารถแก้ไขได้ ถูกสร้างโดย Compiler ในรูปแบบ Binary

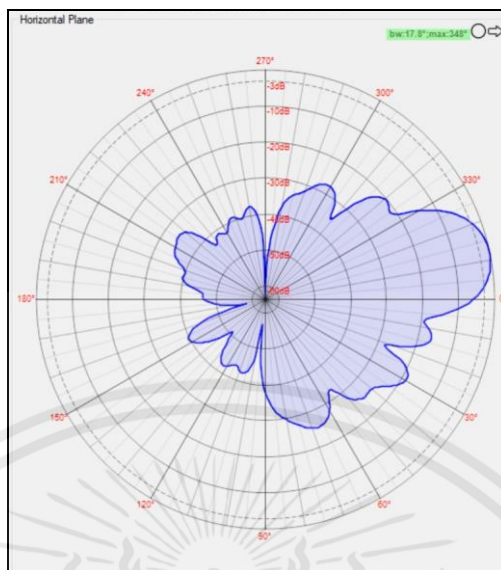
ในปริณิญาฉบับนี้จะใช้ไฟล์ Antenna Pattern ซึ่งเป็นข้อมูลเกี่ยวกับแบบจำลองการแพร่กระจายของสายอากาศ ใช้ระบุการสูญเสียอัตราการขยายในการแพร่กระจายคลื่นทิศทางต่าง ๆ ของสายอากาศโดยไฟล์ข้อมูลแบบจำลองสายอากาศ เป็นไฟล์สกุล msi

ตัวอย่างชื่อไฟล์ Antenna_Pattern แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 มุมในระนาบแนวนอนของสายอากาศจากมุม 0 ถึง 360 องศา ดังรูปที่ 2.20 ซึ่งสามารถนำค่า Path Loss มาแสดงได้ดังรูปที่ 2.21 และส่วนที่ 2 มุมในระนาบแนวตั้งของสายอากาศจากมุม 0 ถึง 360 องศา ดังรูปที่ 2.22 ซึ่งสามารถนำค่า Path Loss มาแสดงได้ดังรูปที่ 2.23 โดยข้อมูลในไฟล์จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.8 และมีความหมายของชื่อไฟล์ ดังตารางที่ 2.9

```
NAME HUawei AAU5726_2140_X_CO_P45_05T_4BEAM_BEAM1_WS2_4PORT
FREQUENCY 2140
GAIN 18.10 dBd
TILT ELECTRICAL
COMMENT VERSION V00 +45 degrees polarization 05T degree
downtilt
HORIZONTAL 360
0.00 5.91
1.00 7.19
2.00 8.67
3.00 10.38
4.00 12.36
5.00 14.57
6.00 16.87
7.00 18.69
8.00 19.25
9.00 18.65
10.00 17.71
11.00 16.91
12.00 16.44
13.00 16.31
```

รูปที่ 2.20 ตัวอย่างชื่อไฟล์ Antenna_Pattern ในส่วนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

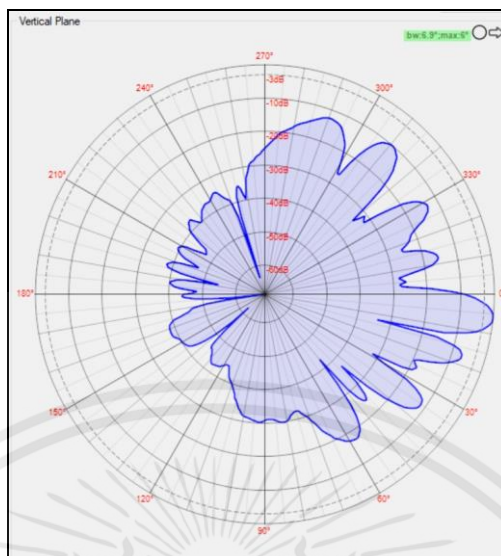


รูปที่ 2.21 ตัวอย่างมุมในระนาบแนวนอนของสายอากาศ

VERTICAL 360	
0.00	8.93
1.00	5.90
2.00	3.65
3.00	2.01
4.00	0.88
5.00	0.22
6.00	0.00
7.00	0.24
8.00	0.98
9.00	2.32
10.00	4.44
11.00	7.78
12.00	13.69
13.00	34.22
14.00	15.69
15.00	10.36
16.00	7.96
17.00	6.95
18.00	6.89
19.00	7.62

รูปที่ 2.22 ตัวอย่างชื่อไฟล์ Antenna_Pattern ในส่วนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 ตัวอย่างมุมในระนาบแนวตั้งของสายอากาศ

ตารางที่ 2.8 ความหมายของส่วนประกอบของไฟล์ Antenna_Pattern

ส่วนประกอบของไฟล์	ความหมาย
Antenna_Pattern	
NAME	ชื่อไฟล์
FREQUENCY	ความถี่
GAIN	อัตราขยายของสายอากาศที่มากที่สุด ในหน่วย dBd
TILT ELECTICAL	มุมในระนาบแนวตั้งเชิงอิเล็กทรอนิกส์ของสายอากาศ
COMMENT	เวอร์ชัน การตั้งค่าโพลาริเซชัน และการตั้งค่าองค์การเอียงของสายอากาศ
HORIZONTAL	มุมในระนาบแนวนอนของสายอากาศ
VERTICAL	มุมในระนาบแนวตั้งของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 ความหมายของชื่อไฟล์ Antenna_Pattern

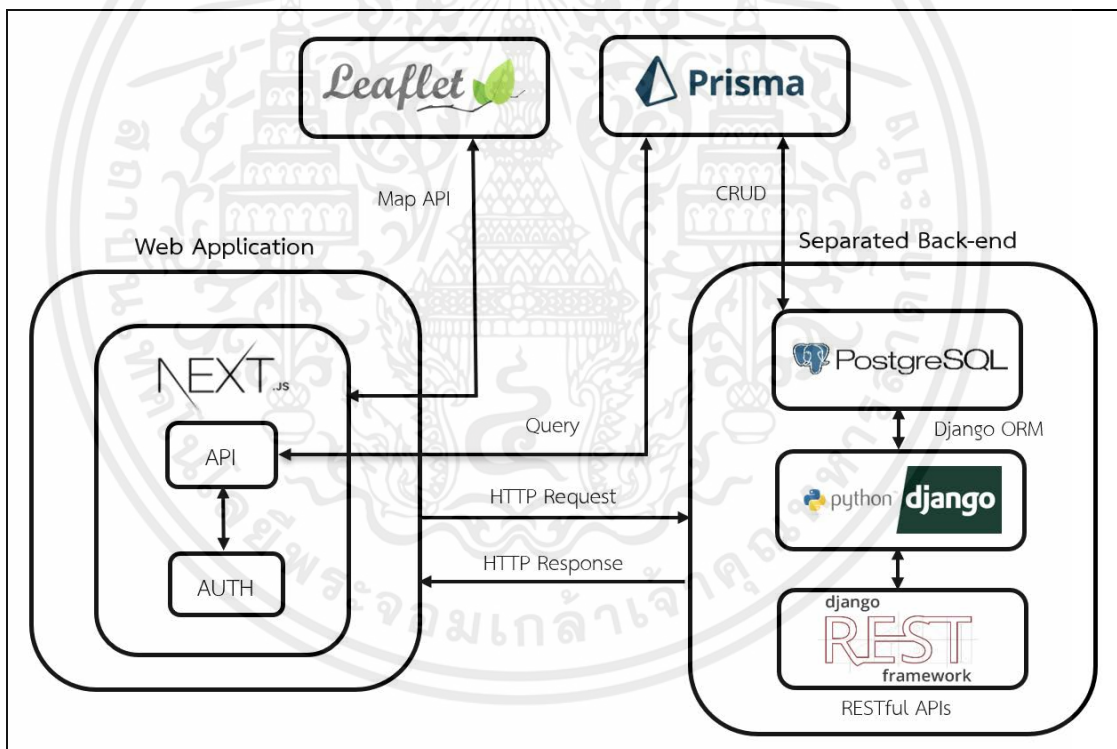
ชื่อไฟล์ Antenna_Pattern	ความหมาย
AAU5726	ชื่อของ ant_model
2140	ความถี่
05T	ค่ามุมในระนาบแนวตั้งเชิงอเล็กทรอนิกส์ ของสายอากาศ
BEAM1	ant_logical_beam ลำดับที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปฏิญานิพนธ์

ปฏิญานิพนธ์นี้ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ เว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) ที่มีระบบ Front-End และ Back-End ในตัว ซึ่งพัฒนาโดยใช้เฟรมเวิร์ก Next.js โดยภายในเว็บแอปพลิเคชันมีระบบการยืนยันตัวตน (Authentication) โดยใช้ JWT ระบบแสดงผลข้อมูลบนแผนที่โดยใช้ Leaflet และระบบจัดการ API โดยใช้ Prisma และส่วนที่ 2 คือระบบ Back-End ที่พัฒนาโดยใช้เฟรมเวิร์ก Django มีหน้าที่จัดการข้อมูลการประมวลผลของปัญหาประดิษฐ์รวมถึงรับส่งข้อมูลการคำนวณผ่าน API โดยใช้ Django REST เฟรมเวิร์กโดย API ทุกเส้นจะเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล PostgreSQL ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมระบบเว็บแอปพลิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การออกแบบ

ระบบคำนวณและแสดงค่ากำลังสัญญาณรับสำหรับระบบโทรศัพท์มือถือ ถูกพัฒนากระบวนการทำงาน 2 ส่วน ได้แก่ การออกแบบระบบจัดการฐานข้อมูล และการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน สำหรับคำนวณและแสดงค่ากำลังของสัญญาณรับ

3.1.1 การออกแบบระบบจัดการฐานข้อมูล

ออกแบบฐานข้อมูลโดยทำการเชื่อมต่อเว็บแอปพลิเคชันกับฐานข้อมูล PostgreSQL ชื่อ AISData โดยใช้ Prisma สื่อสารกับฐานข้อมูลและเข้าถึงข้อมูลในฐานข้อมูลได้ โดยฐานข้อมูลมีตารางข้อมูลทั้งหมด 4 ตาราง ดังตารางที่ 3.1 3.2 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 ตารางข้อมูลของผู้ใช้งานชื่อ User

Model	ชนิดข้อมูล
id	Int
firstname	String
lastname	String
email	String
password	String
role	String

ตารางที่ 3.2 ตารางข้อมูลของสถานีฐานชื่อ Sitehistorical

Model	ชนิดข้อมูล
id	Int
Time	DateTime
eNodeB_Name	String
LATITUDE_WGS84	Float
LONGITUDE_WGS84	Float
province	String
district	String

ตารางที่ 3.3 ตารางข้อมูลของพื้นที่กริดชื่อ Gridhistorical

Model	ชนิดข้อมูล
id	Int
Time	DateTime
eNodeB_Name	String
Sector	String
Cell_Name	String
Latitude	Float
Longitude	Float
Dominant_RSRR	Float
Dominant_RSRQ	Float

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ตารางข้อมูลของ Cell Name ชื่อ Cellnamehistorical

Model	ชนิดข้อมูล
id	Int
Time	DateTime
eNodeB_Name	String
Sector	String
Cell_Name	String
Frequency	Float
LATITUDE_WGS84	Float
LONGITUDE_WGS84	Float
ant_height	Float
REFERENCESIGNALPWR	Float
m_tilt	Float
e_tilt	Float
physical_azimuth	Float
horizontal_beam_width	Float
ant_gain	Float
ant_logical_beam	Float
ant_model	String
delta_azimuth	Float

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 เว็บแอปพลิเคชัน

การออกแบบโครงสร้างเว็บแอปพลิเคชันแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ Front-End และ Back-End ดังนี้

3.1.2.1 Front-End

1) เว็บแอปพลิเคชันหน้า Register

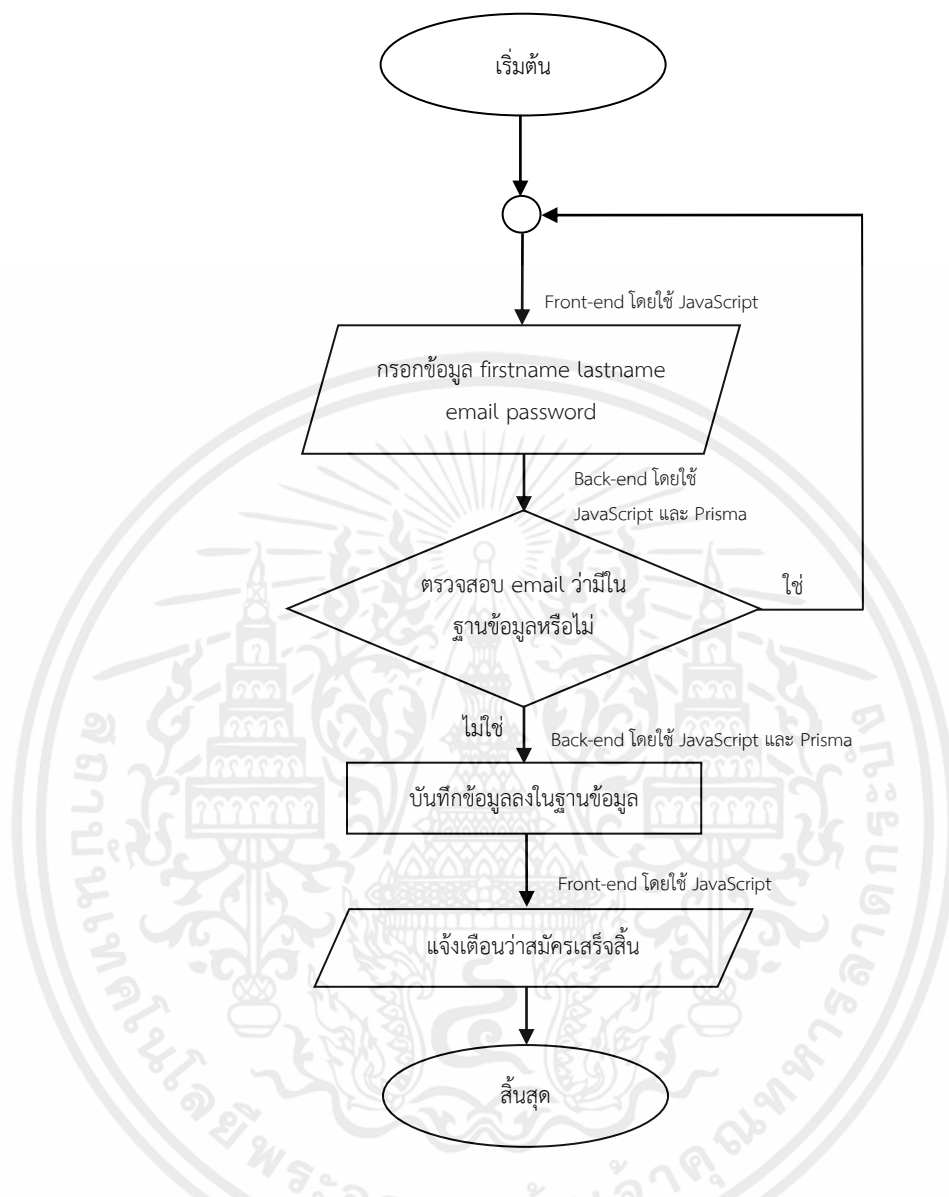
การออกแบบเว็บแอปพลิเคชันหน้า Register ผู้ใช้งานต้องใช้ข้อมูล Email First name Last name และ Password ในการสมัครบัญชีผู้ใช้งาน ดังรูปที่ 3.2 เมื่อผู้ใช้งานกรอกข้อมูลครบถ้วนแล้วสามารถกดปุ่ม Submit เพื่อเป็นการบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล หากผู้ใช้งานกรอกอีเมลที่มีอยู่ฐานข้อมูลแล้ว ก็จะไม่สามารถสมัครบัญชีผู้ใช้งานได้ ผู้ใช้งานจึงจำเป็นต้องใช้ Email อื่นในการสมัคร

The image shows a registration form with the following elements:

- Title: Register
- Input field: Enter your email
- Input field: Enter your firstname
- Input field: Enter your lastname
- Input field: Enter your password
- Submit button
- Login Now link

รูปที่ 3.2 แบบร่างเว็บแอปพลิเคชันหน้า Register

เว็บแอปพลิเคชันหน้า Register สำหรับให้ผู้ใช้งานที่ต้องการเข้าสู่ระบบ เพื่อใช้งานเว็บแอปพลิเคชันแต่ยังไม่มีบัญชีผู้ใช้งาน สามารถสมัครบัญชีผู้ใช้งาน โดยมีกระบวนการทำงานดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 กระบวนการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันหน้า Register

2) เว็บแอปพลิเคชันหน้า Sign in

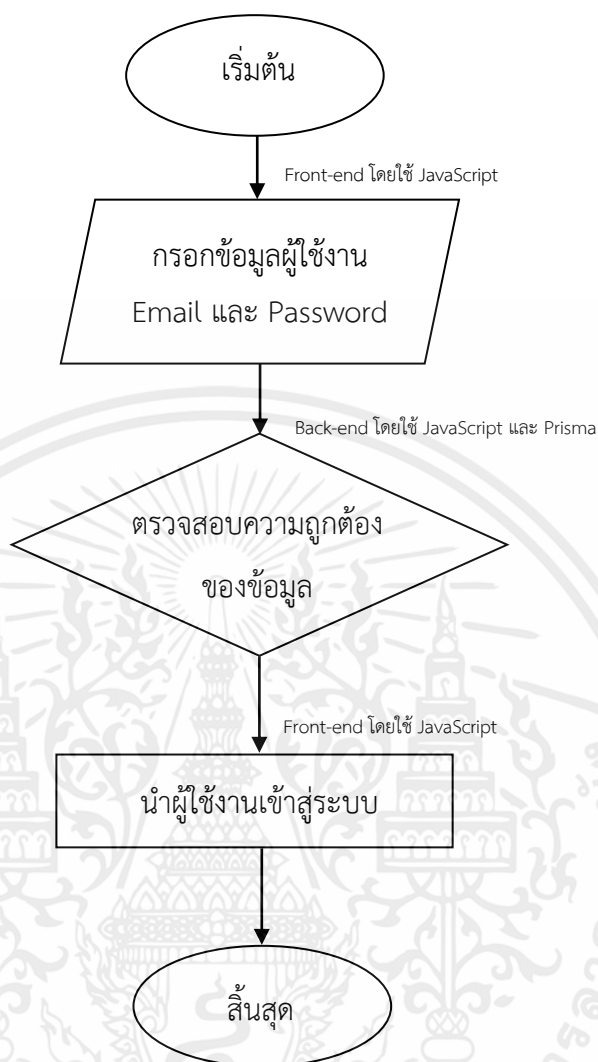
การออกแบบเว็บแอปพลิเคชันหน้า Sign in ผู้ใช้งานจำเป็นต้องเข้าสู่ระบบใหม่ทุกครั้ง โดยจะต้องกรอกข้อมูลลงในกล่อง Email และ Password ดังรูปที่ 3.4 แล้วจึงกด Login หากข้อมูลที่ผู้ใช้งานกรอกถูกต้องตรงตามข้อมูลในฐานข้อมูล ก็จะสามารถเข้าสู่เว็บแอปพลิเคชัน



The image shows a wireframe of a sign-in form. At the top, the text "Sign in" is centered. Below it, there are two input fields: the first is labeled "Enter your email" and the second is labeled "Enter your password". At the bottom of the form is a button labeled "Login". The entire form is enclosed in a rectangular border.

รูปที่ 3.4 แบบร่างของหน้าต่าง Sign in

เว็บแอปพลิเคชันหน้า Sign in สำหรับให้ผู้ใช้งานเข้าสู่ระบบ เมื่อต้องการเข้าถึงเว็บแอปพลิเคชัน โดยมีกระบวนการทำงานดังรูปที่ 3.5

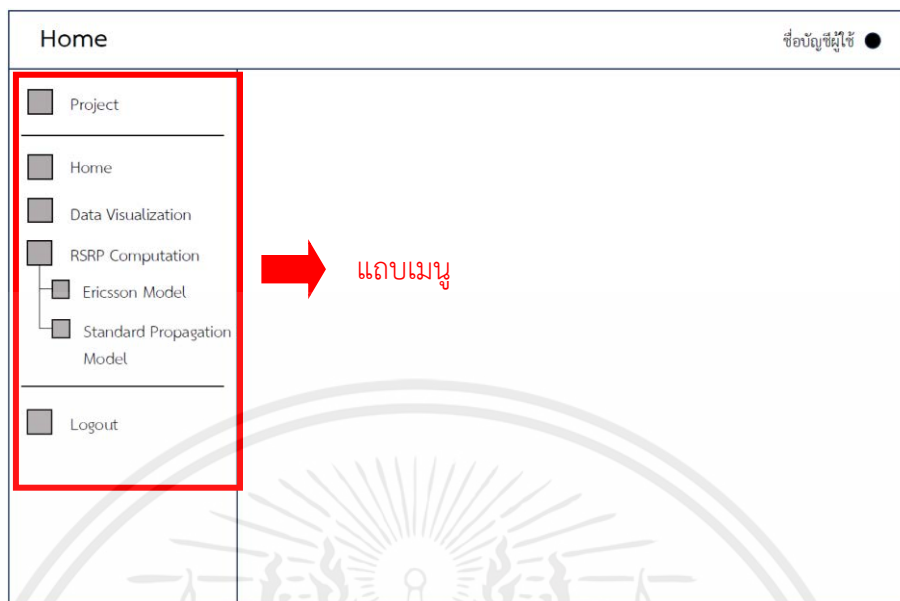


รูปที่ 3.5 กระบวนการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันหน้า Sign in

3) เว็บแอปพลิเคชันหน้า Home

เว็บแอปพลิเคชันหน้า Home แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เป็นแถบเมนูสำหรับเปลี่ยนไปยังหน้าอื่น ๆ โดยจะประกอบไปด้วยหน้า Home Data Visualization RSRP Computation และ Logout ตามลำดับ ซึ่งหน้า RSRP Computation จะประกอบไปด้วยหน้าย่อยอีก 2 หน้า ได้แก่ Ericsson Model และ Standard Propagation Model ดังรูปที่ 3.6 และส่วนที่ 2 เป็นหน้าหลักแสดงขอบเขตการทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน ดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แบบร่างของแถบเมนูบนเว็บแอปพลิเคชันหน้า Home



รูปที่ 3.7 แบบร่างของเว็บแอปพลิเคชันหน้า Home

4) เว็บแอปพลิเคชันหน้า Data Visualization

การออกแบบเว็บแอปพลิเคชันหน้า Data Visualization จะแบ่งการแสดงผลข้อมูล ออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 สำหรับเลือกวันที่และกรอกชื่อ eNodeB ส่วนที่ 2 สำหรับแสดง พื้นที่กริดบนแผนที่เมื่อมีการกดปุ่ม Submit และส่วนที่ 3 สำหรับปรับช่วงแถบสีของ RSRP และ RSRQ ดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

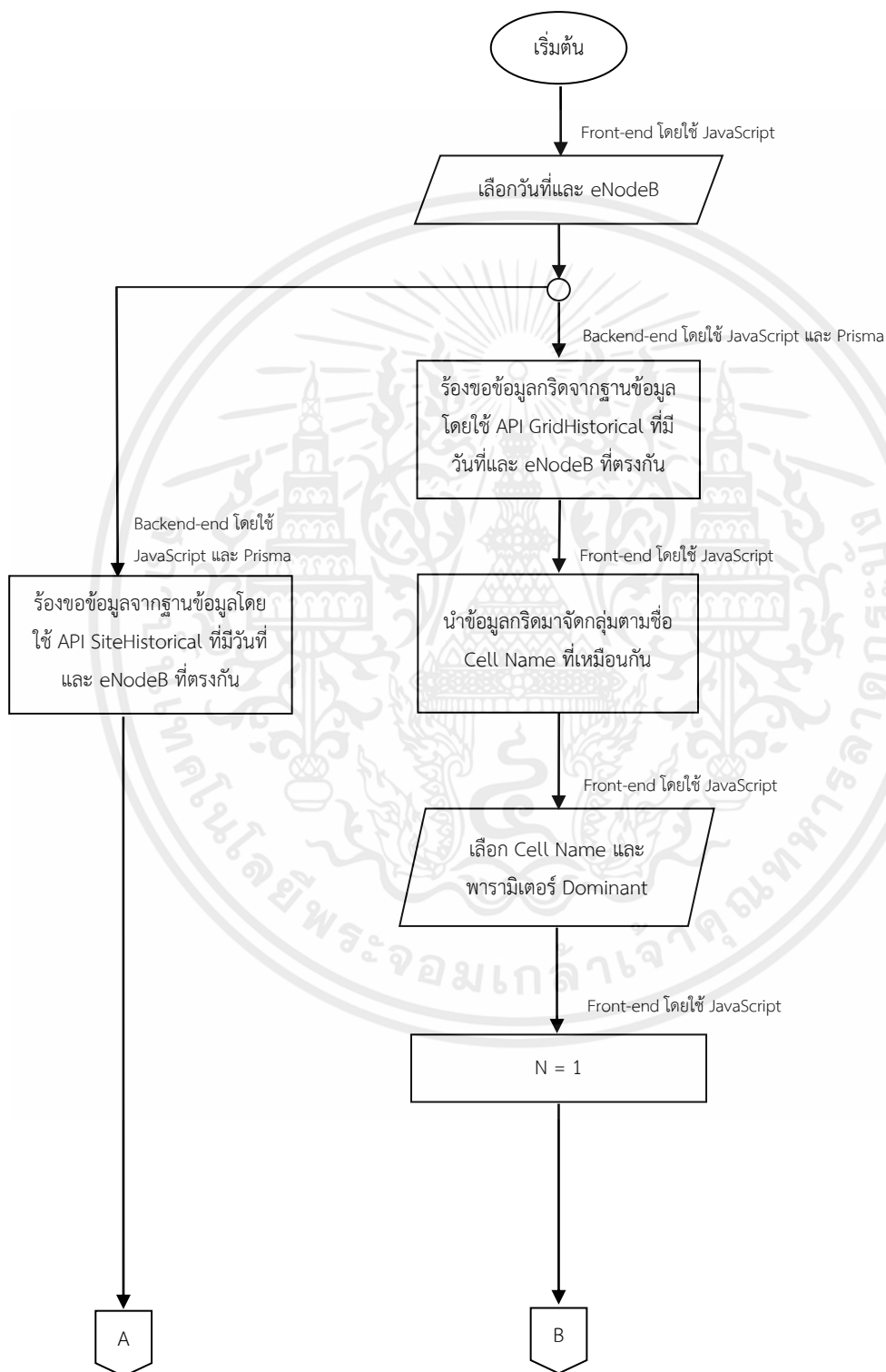
รูปที่ 3.8 แบบร่างของเว็บแอปพลิเคชันหน้า Data Visualization

เมื่อข้อมูลพื้นที่กริดของเสาสัญญาณแสดงบนแผนที่แล้ว ในส่วน 1 จะมีกล่องเพิ่มขึ้นมา 2 กล่อง คือ กล่อง Select Cell Name สำหรับค้นหาชื่อเซลล์และกล่อง Select Dominant สำหรับเลือกแสดงพารามิเตอร์อย่างใดอย่างหนึ่งบนกริดระหว่าง Dominant_RSRP ซึ่งเป็นกำลังเฉลี่ยของสัญญาณกับ Dominant_RSRQ ซึ่งเป็นคุณภาพของสัญญาณ ดังรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 แบบร่างของเว็บแอปพลิเคชันหน้า Data Visualization

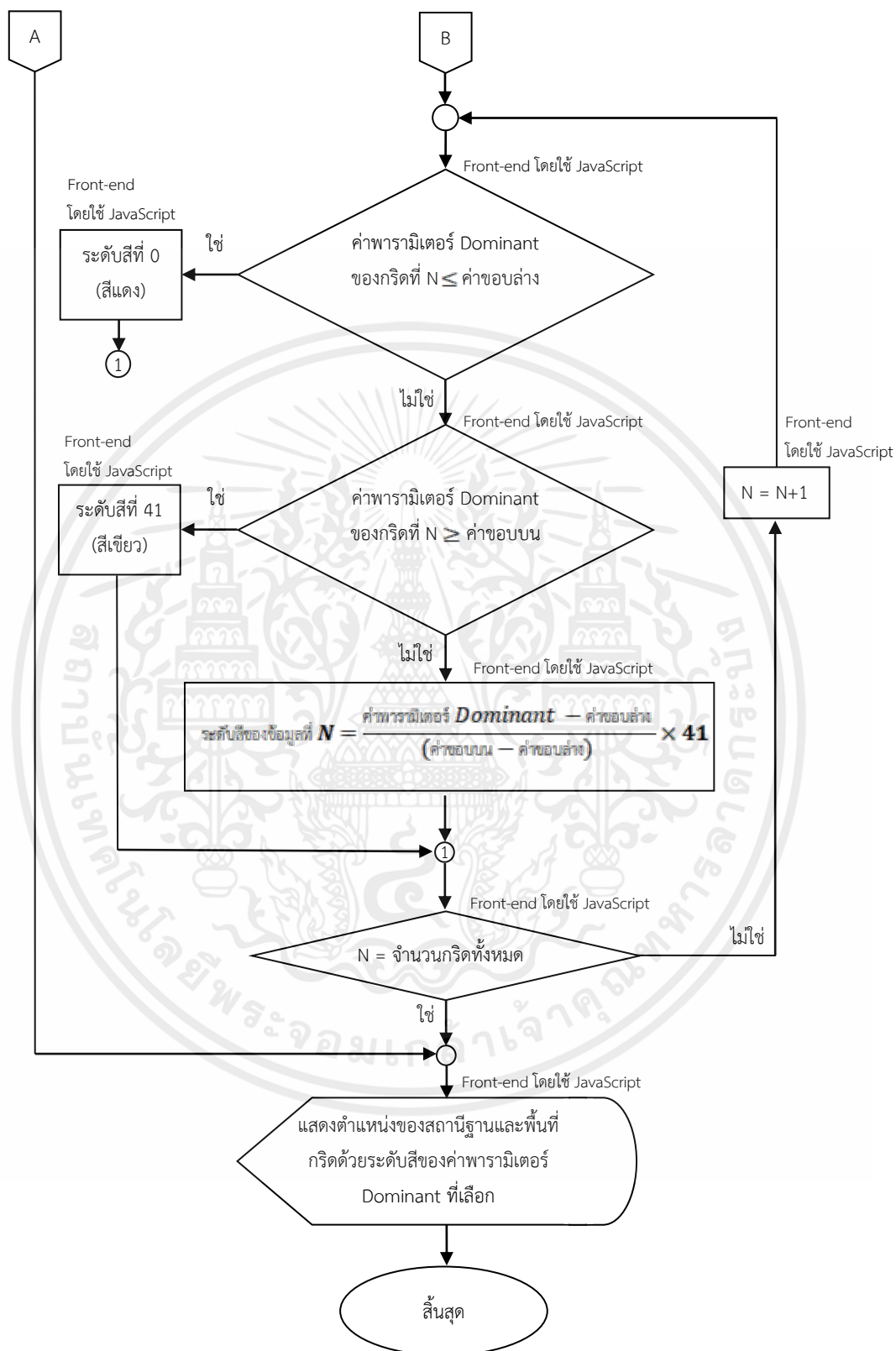
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เว็บแอปพลิเคชันหน้า Data Visualization ใช้สำหรับแสดงข้อมูลตำแหน่งของสถานี
ฐานและพื้นที่กริดบนแผนที่ โดยมีกระบวนการทำงานดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 กระบวนการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันหน้า Data Visualization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



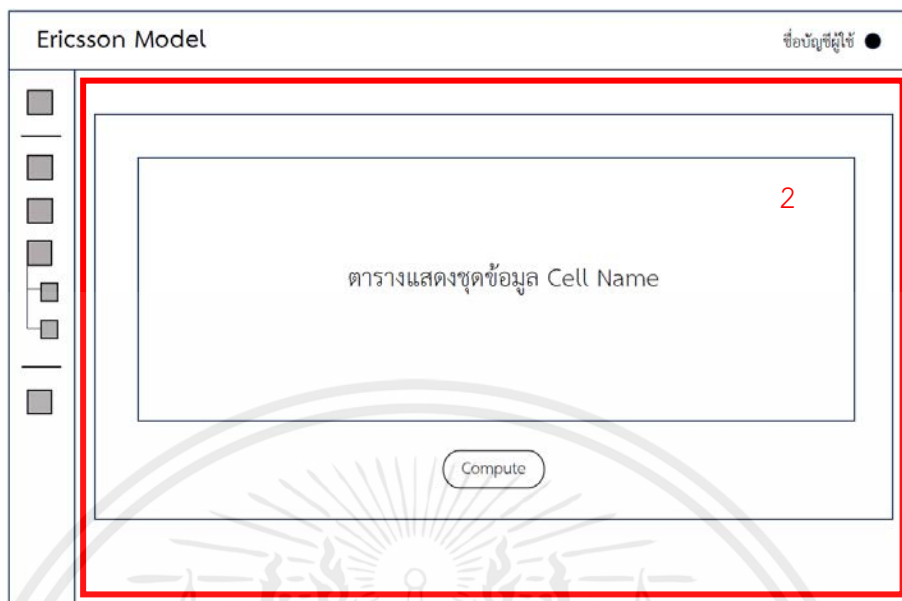
รูปที่ 3.10 กระบวนการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันหน้า Data Visualization (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

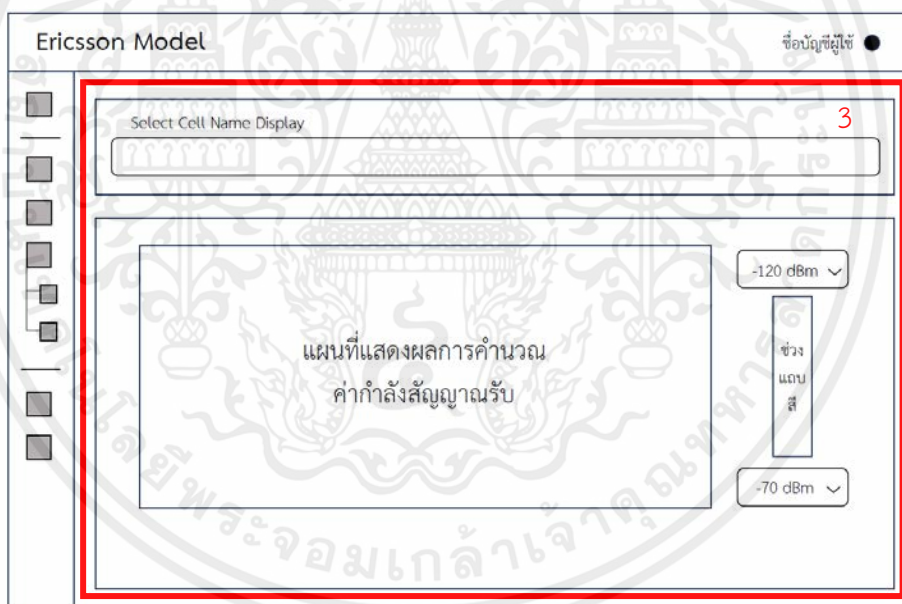
5) เว็บแอปพลิเคชันหน้า Ericsson Model

การออกแบบเว็บแอปพลิเคชันหน้า Ericsson Model โดยใช้ค่าคงที่ในสภาพแวดล้อม บริเวณตัวเมืองตามตารางที่ 2.5 ในการคำนวณค่าการสูญเสียเชิงวิถี ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 สำหรับแสดงข้อมูลของสถานีฐานในตาราง หลังจากการเลือกวันที่ กรอกชื่อจังหวัด และ กรอกชื่ออำเภอหรือเขต ดังรูปที่ 3.11 ส่วนที่ 2 สำหรับแสดงข้อมูลของ Cell Name ในตาราง หลังจากการกดปุ่ม Select eNodeB ดังรูปที่ 3.12 และส่วนที่ 3 สำหรับการแสดงผลการคำนวณค่า กำลังสัญญาณรับในรูปแบบแผนที่ตารางกริด หลังจากการกดปุ่ม Compute และเลือก Cell Name ที่ต้องการแสดงผล ดังรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.11 แบบร่างของเว็บแอปพลิเคชันหน้า Ericsson Model



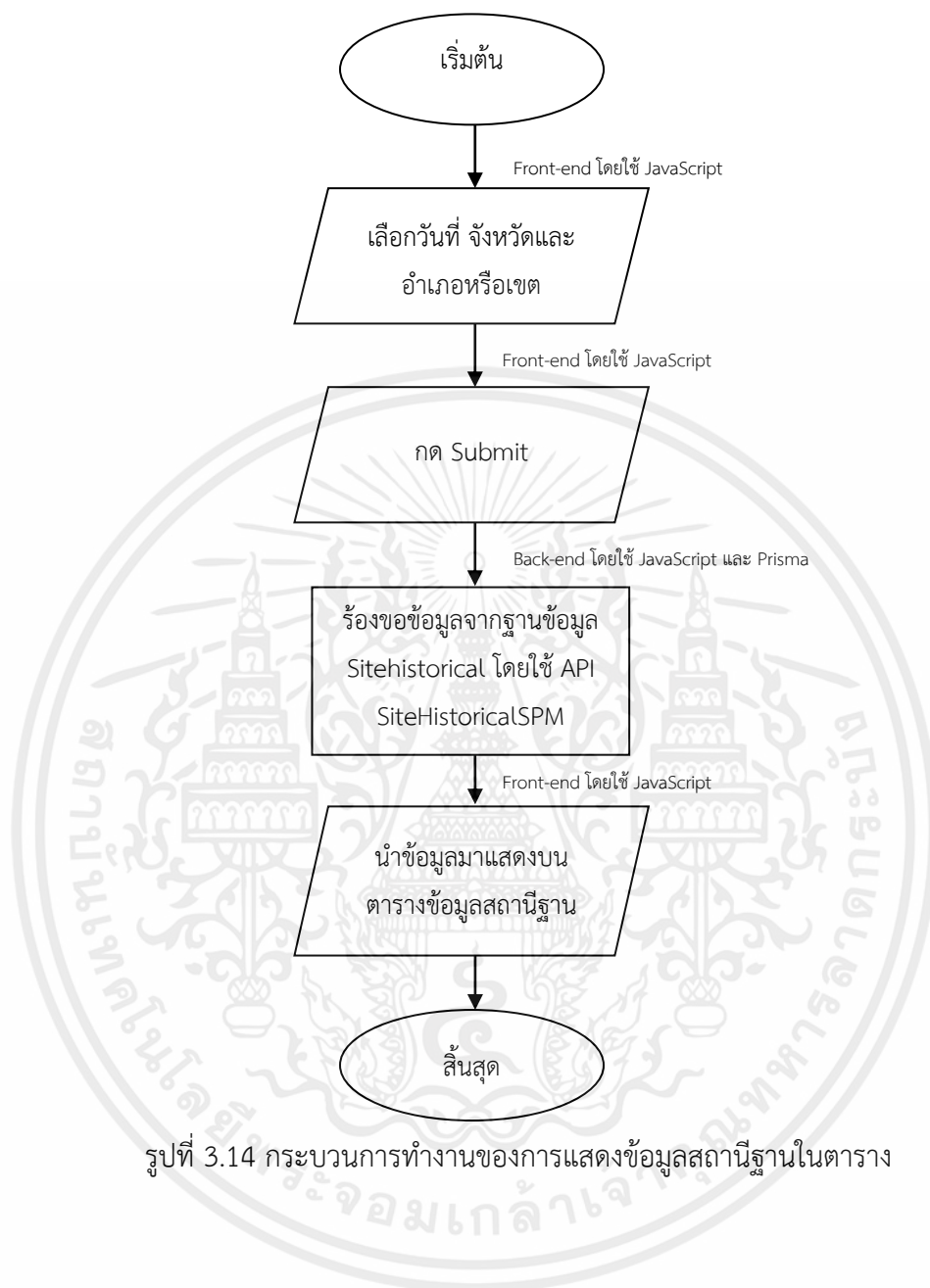
รูปที่ 3.12 แบบร่างของเว็บแอปพลิเคชันหน้า Ericsson Model



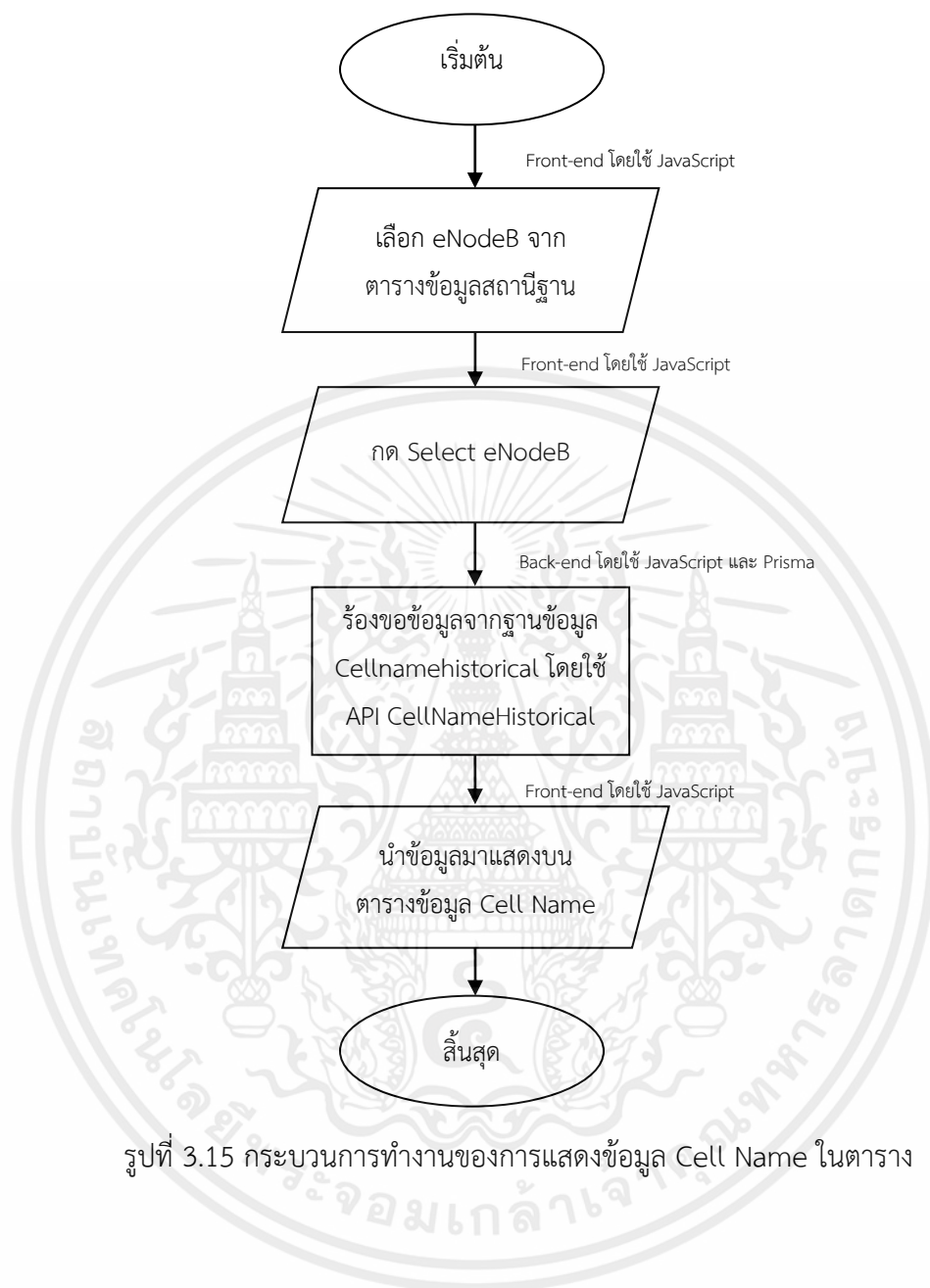
รูปที่ 3.13 แบบร่างของเว็บแอปพลิเคชันหน้า Ericsson Model

เว็บแอปพลิเคชันหน้า Ericsson Model Model ประกอบด้วยการแสดงผลข้อมูลสถานีฐานในตาราง การแสดงผลข้อมูล Cell Name ในตาราง และการแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ โดยมีกระบวนการทำงานดังรูปที่ 3.14 3.15 และ 3.16 ตามลำดับ

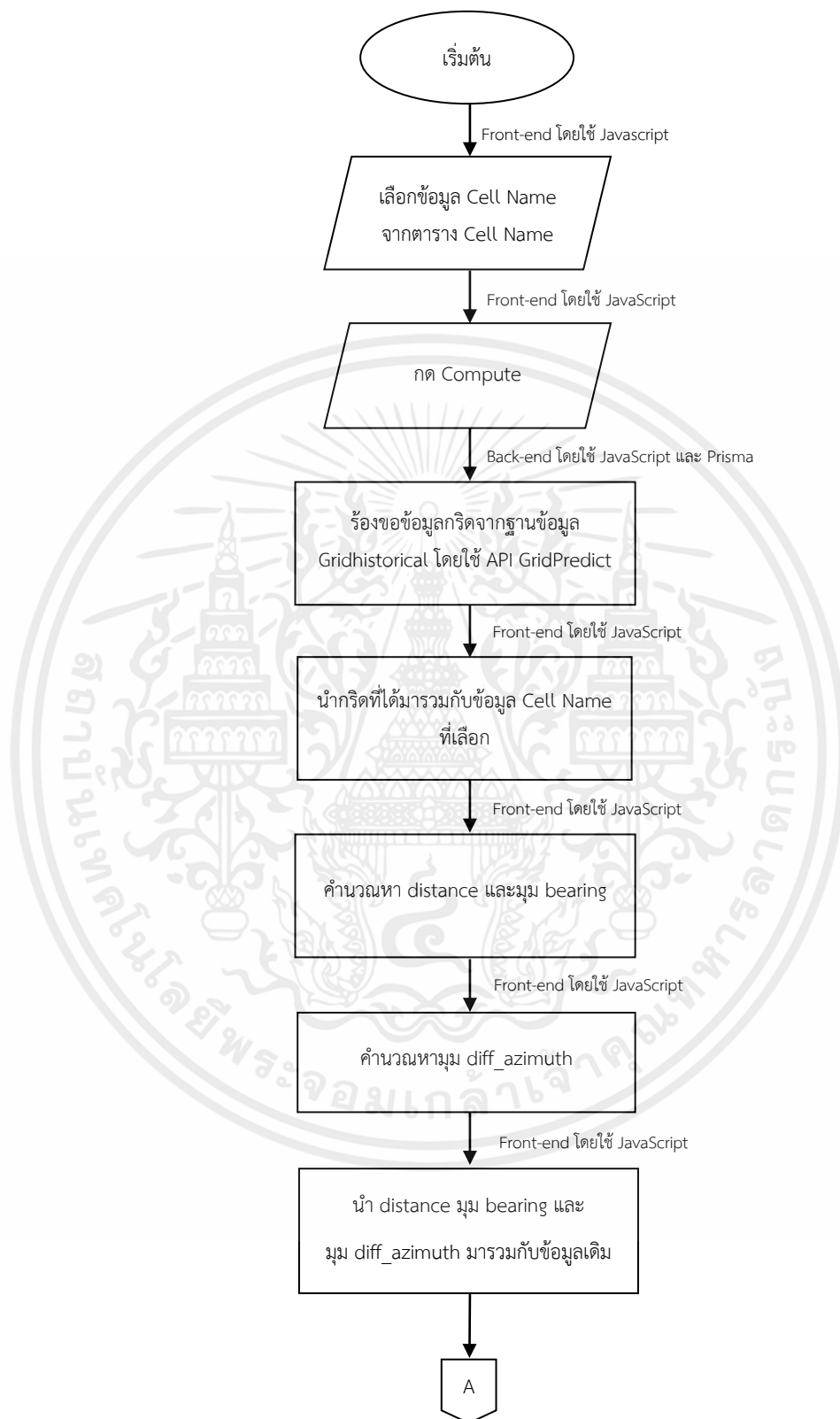
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 กระบวนการทำงานของการแสดงข้อมูลสถานีฐานในตาราง

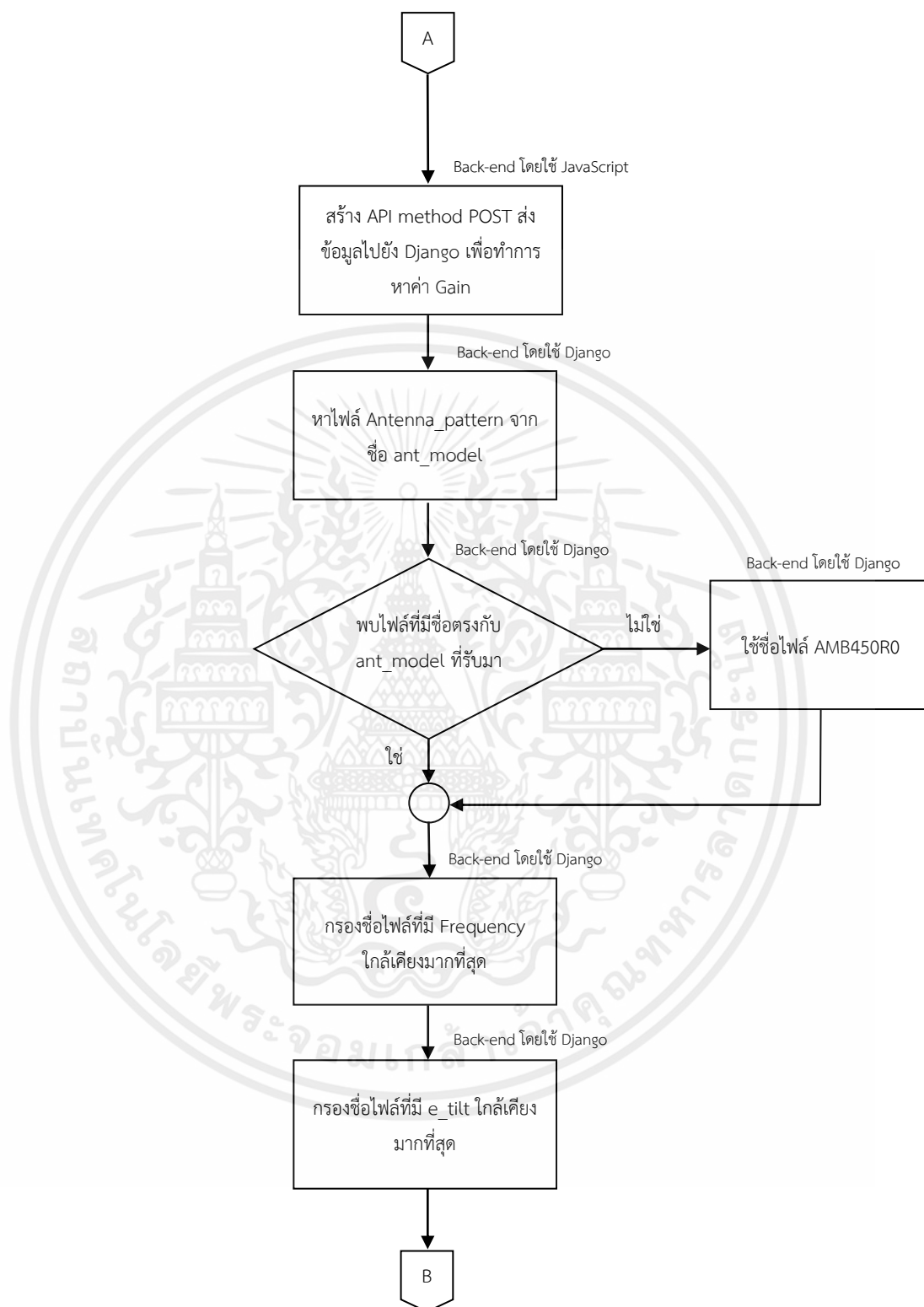


รูปที่ 3.15 กระบวนการทำงานของการแสดงข้อมูล Cell Name ในตาราง



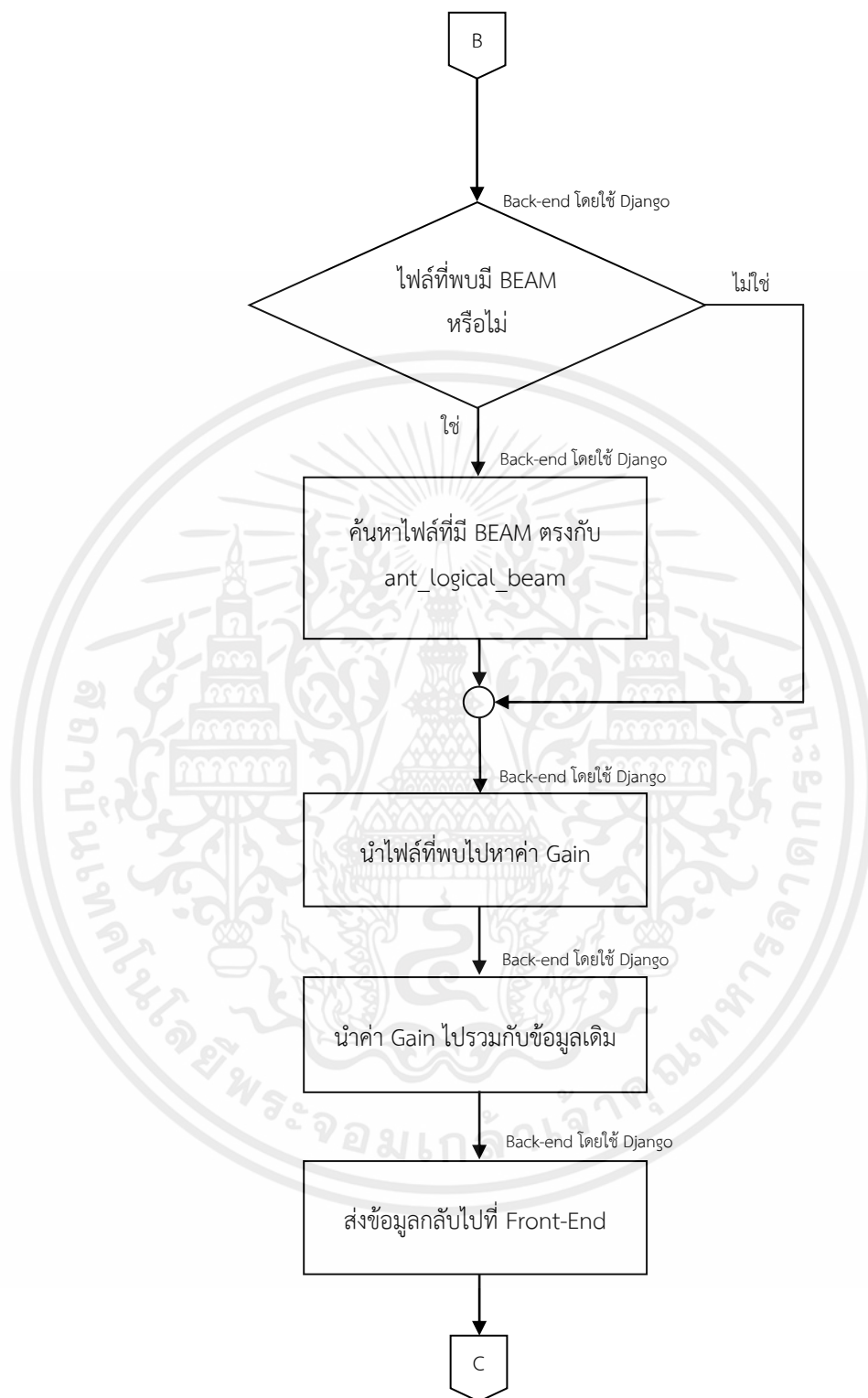
รูปที่ 3.16 กระบวนการทำงานของการแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



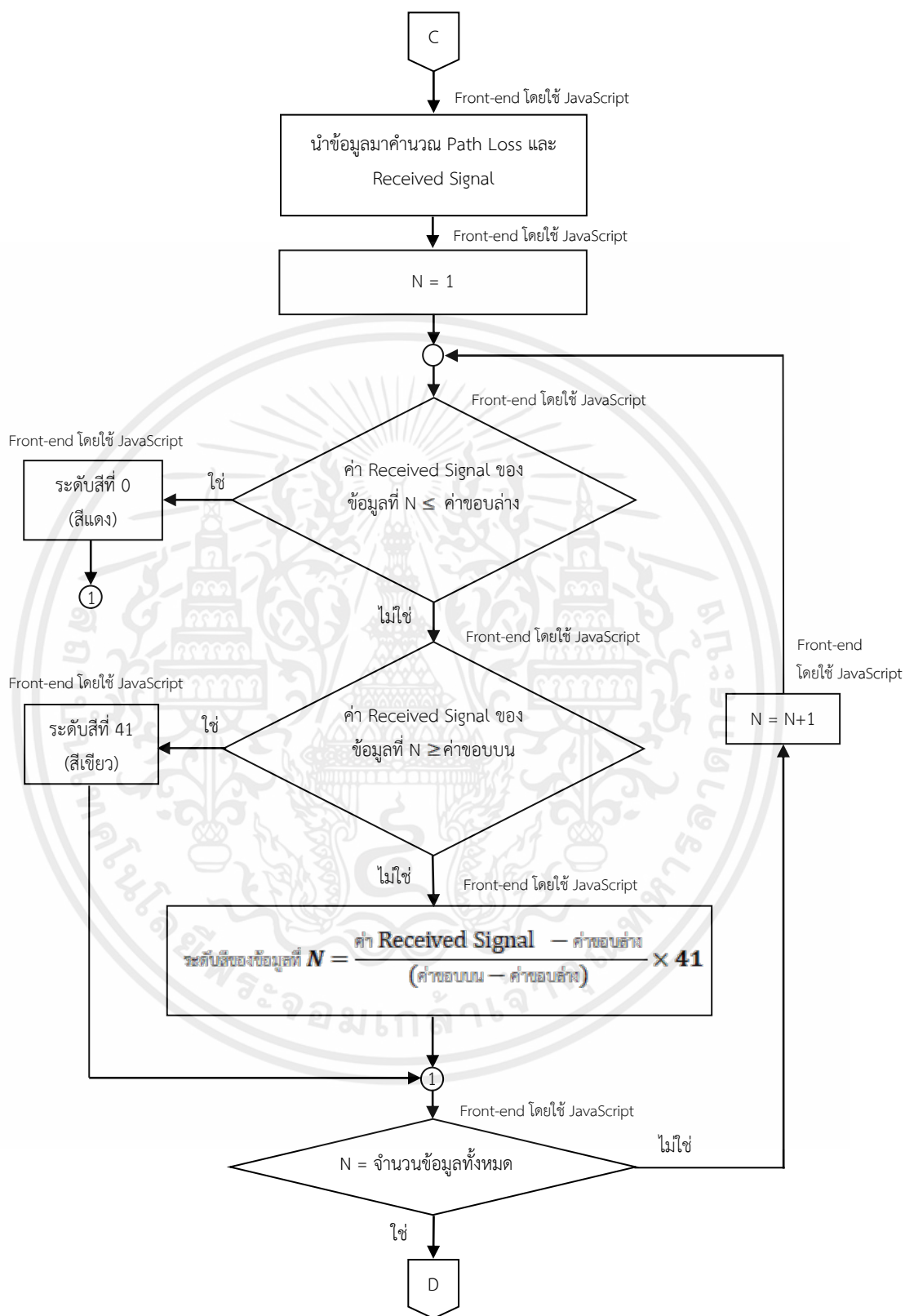
รูปที่ 3.16 กระบวนการทำงานของการแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



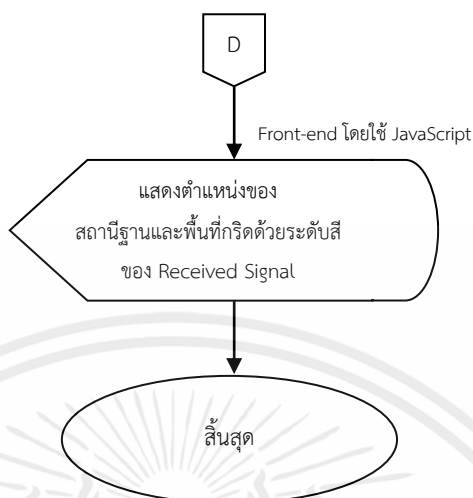
รูปที่ 3.16 กระบวนการทำงานของการแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 กระบวนการทำงานของการแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



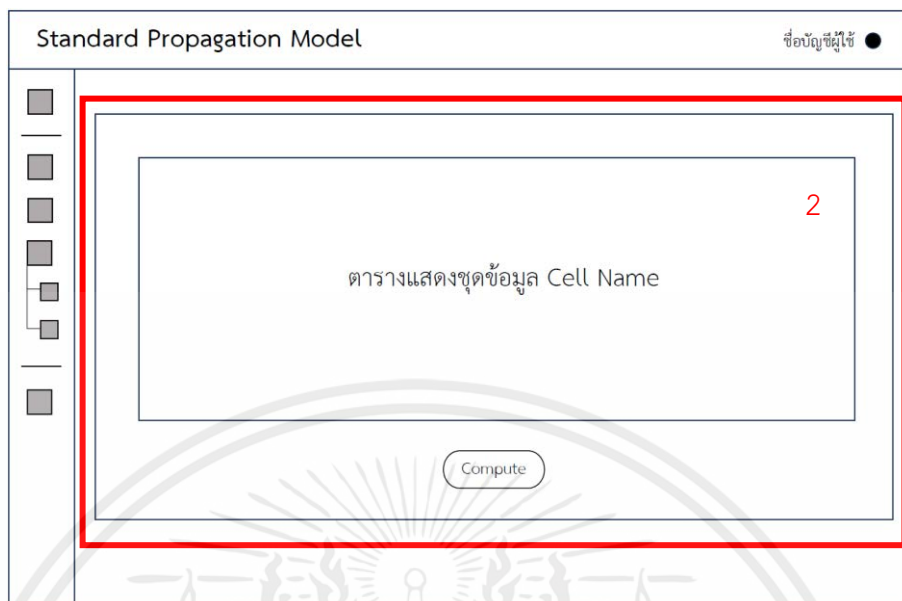
รูปที่ 3.16 กระบวนการทำงานของการแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ (ต่อ)

6) เว็บแอปพลิเคชันหน้า Standard Propagation Model

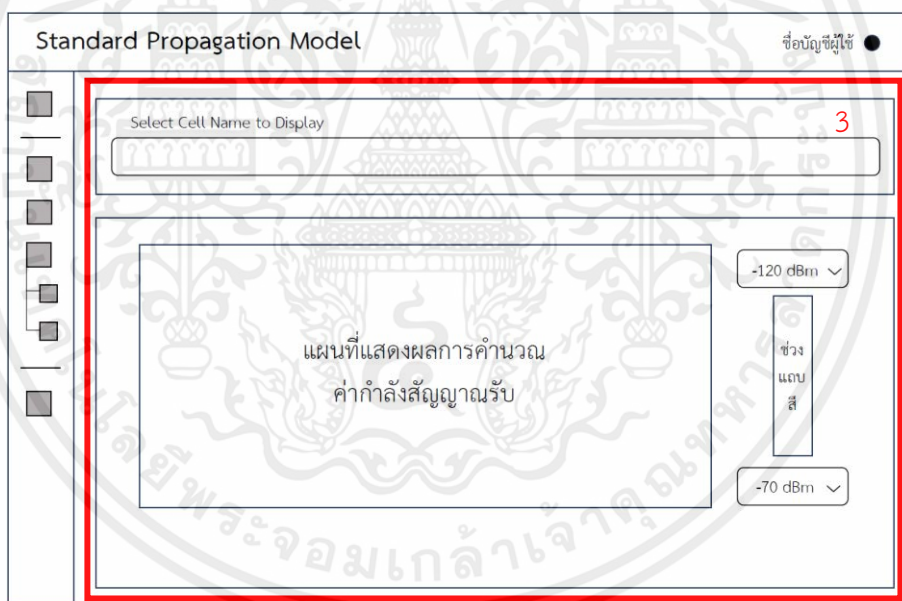
การออกแบบเว็บแอปพลิเคชันหน้า Standard Propagation Model จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 สำหรับแสดงข้อมูลของสถานีฐานในตาราง หลังจากการเลือกวันที่ กรอกชื่อจังหวัด และกรอกชื่ออำเภอหรือเขต ดังรูปที่ 3.17 ส่วนที่ 2 สำหรับแสดงข้อมูลของ Cell Name ในตารางหลังจากการกดปุ่ม Select eNodeB ดังรูปที่ 3.18 และส่วนที่ 3 สำหรับการแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับในรูปแบบแผนที่ตารางกริด หลังจากการกดปุ่ม Compute และเลือก Cell Name ที่ต้องการแสดงผล ดังรูปที่ 3.19

รูปที่ 3.17 แบบร่างของเว็บแอปพลิเคชันหน้า Standard Propagation Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



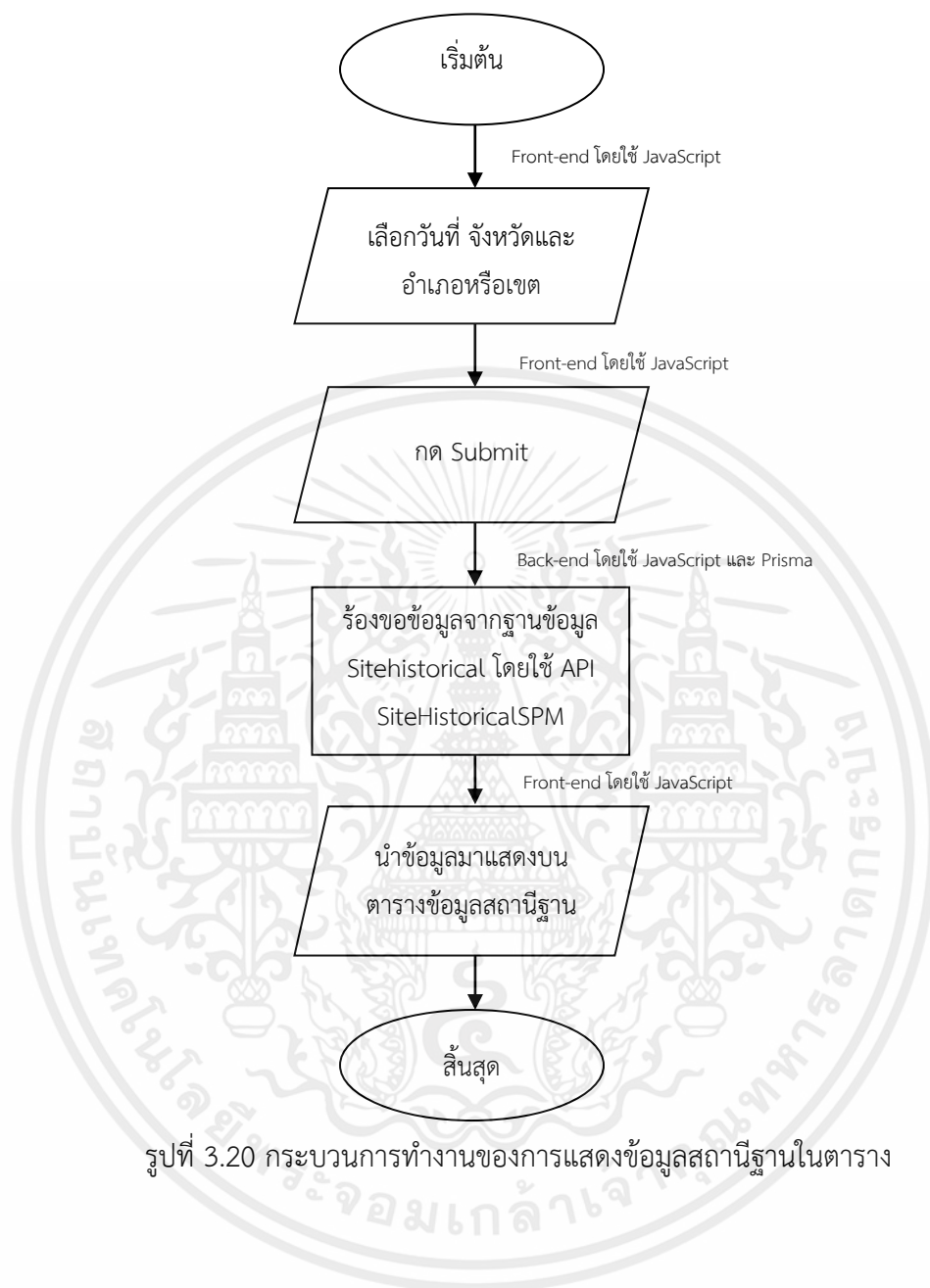
รูปที่ 3.18 แบบร่างของเว็บแอปพลิเคชันหน้า Standard Propagation Model



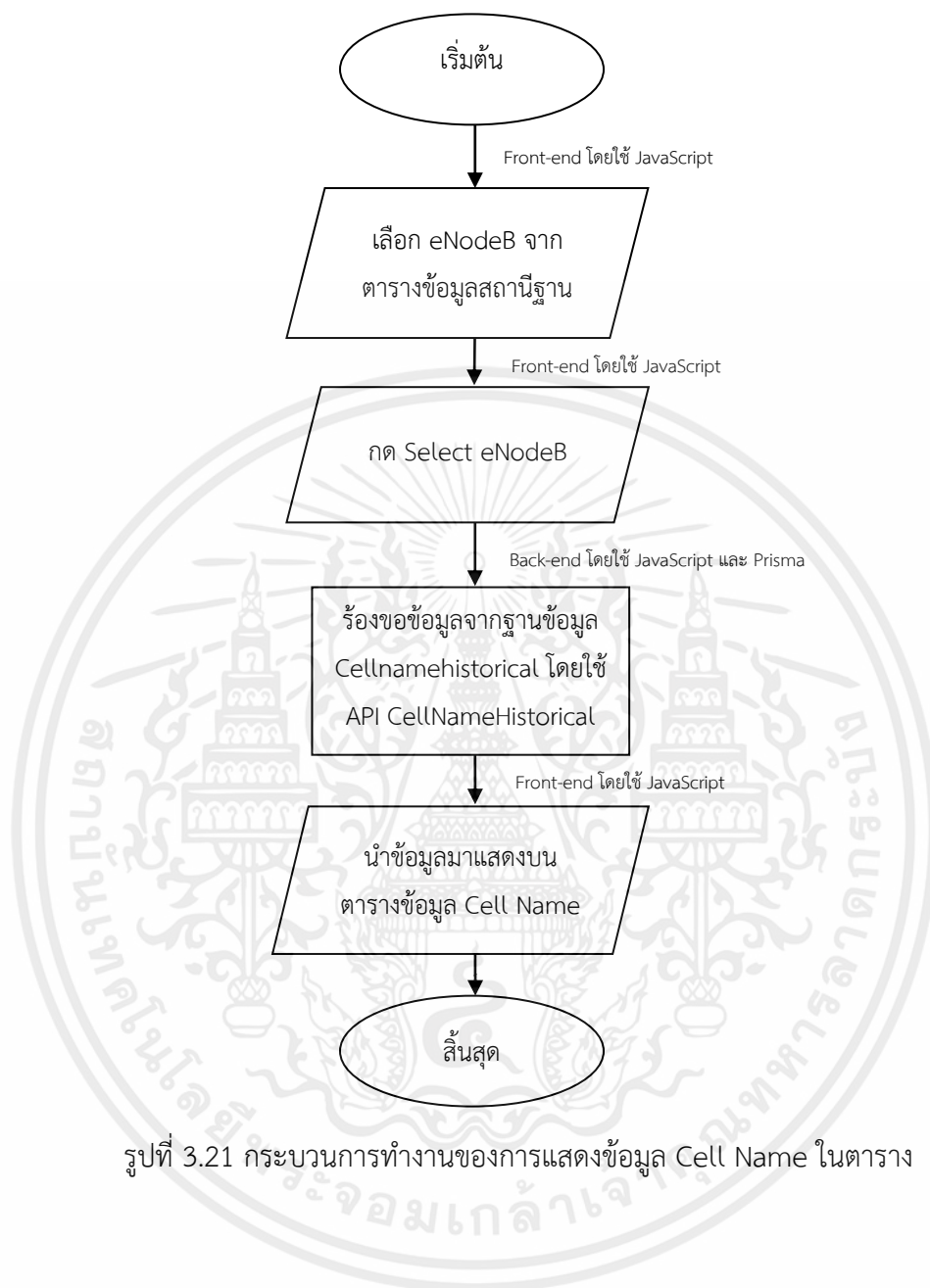
รูปที่ 3.19 แบบร่างของเว็บแอปพลิเคชันหน้า Standard Propagation Model

เว็บแอปพลิเคชันหน้า Standard Propagation Model ประกอบด้วย การแสดงข้อมูลสถานีฐานในตาราง การแสดงข้อมูล Cell Name ในตาราง และการแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ โดยมีกระบวนการทำงานดังรูปที่ 3.20 3.21 และ 3.22 ตามลำดับ

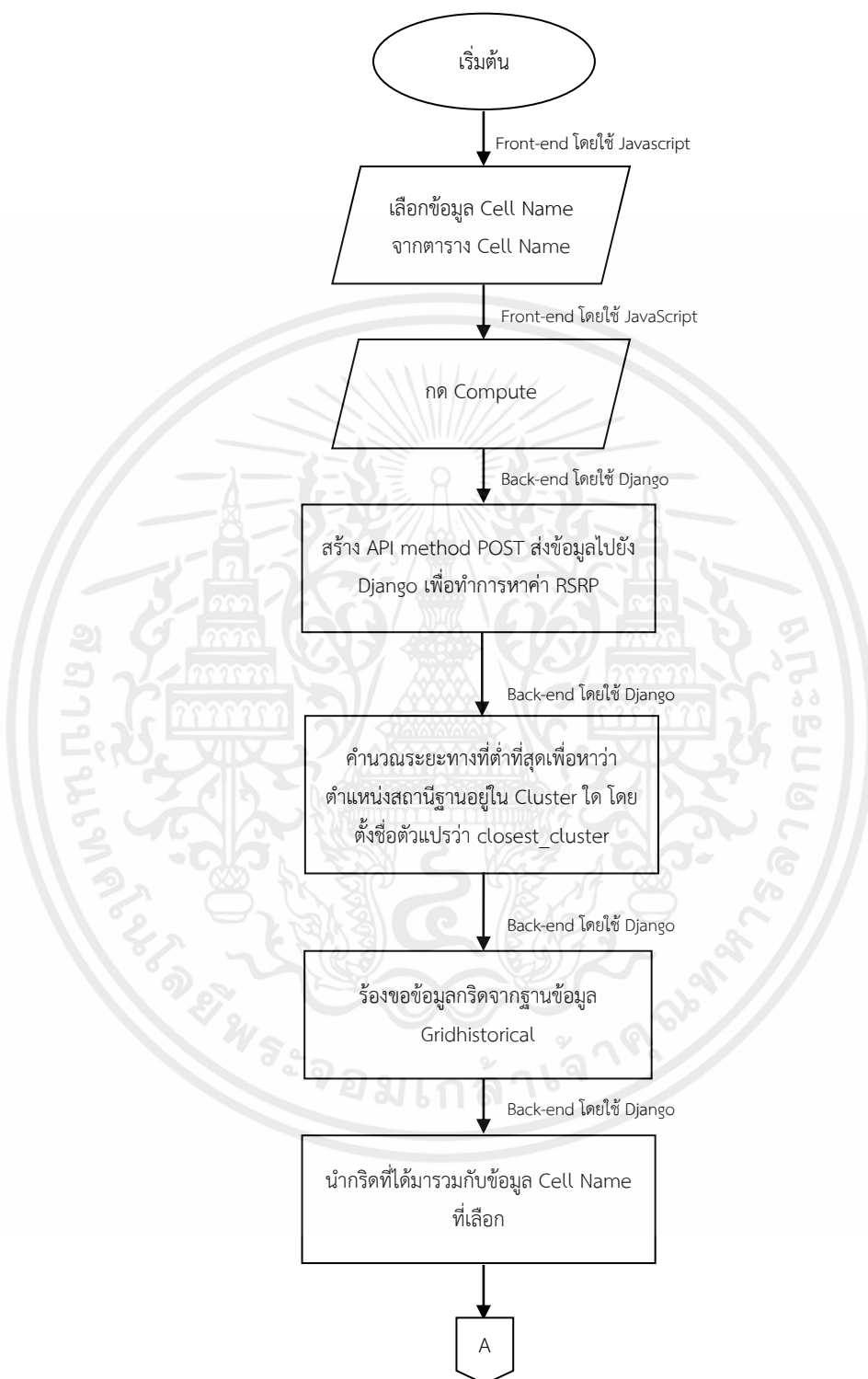
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 กระบวนการทำงานของการแสดงข้อมูลสถานีฐานในตาราง

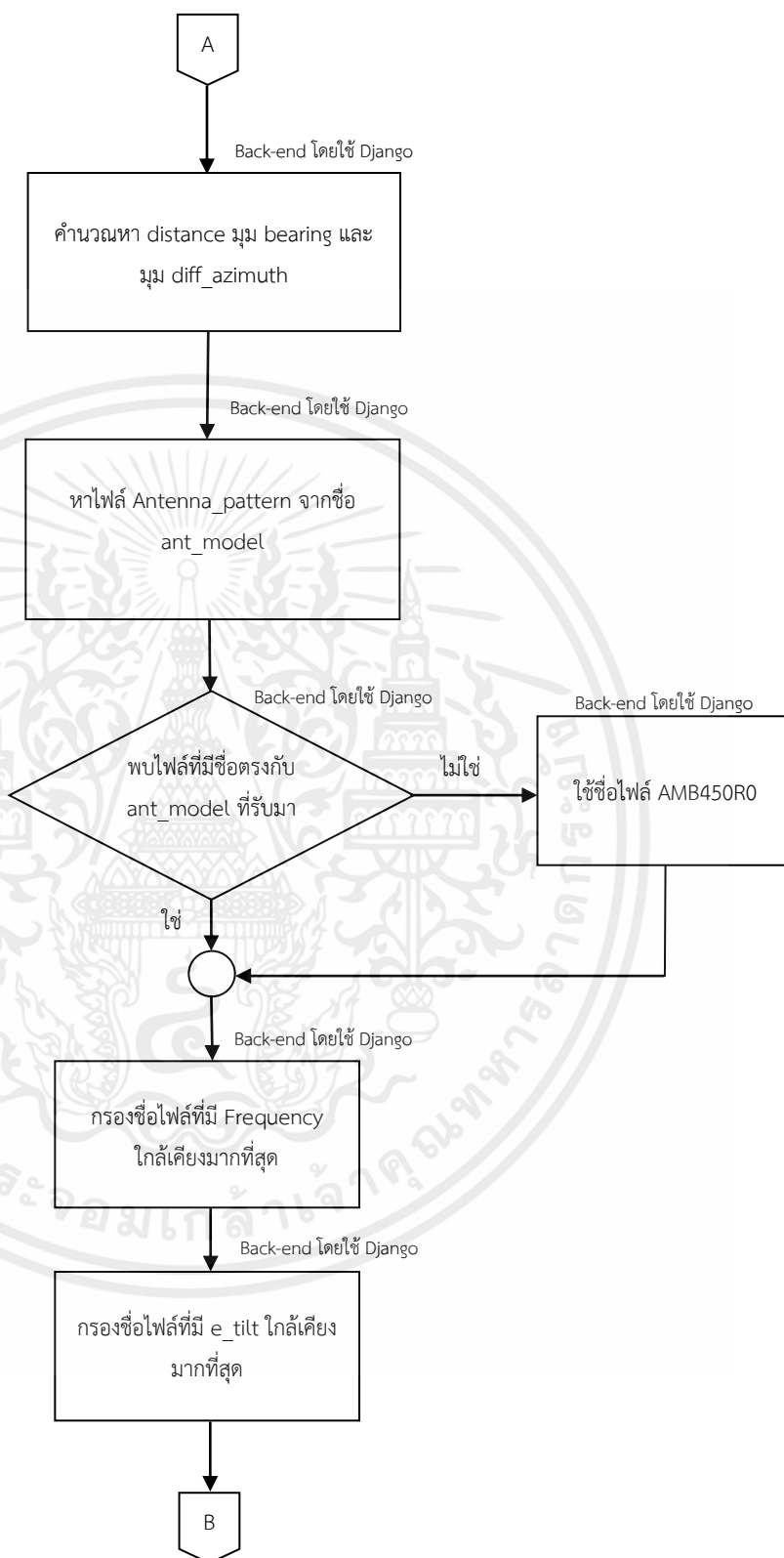


รูปที่ 3.21 กระบวนการทำงานของการแสดงข้อมูล Cell Name ในตาราง



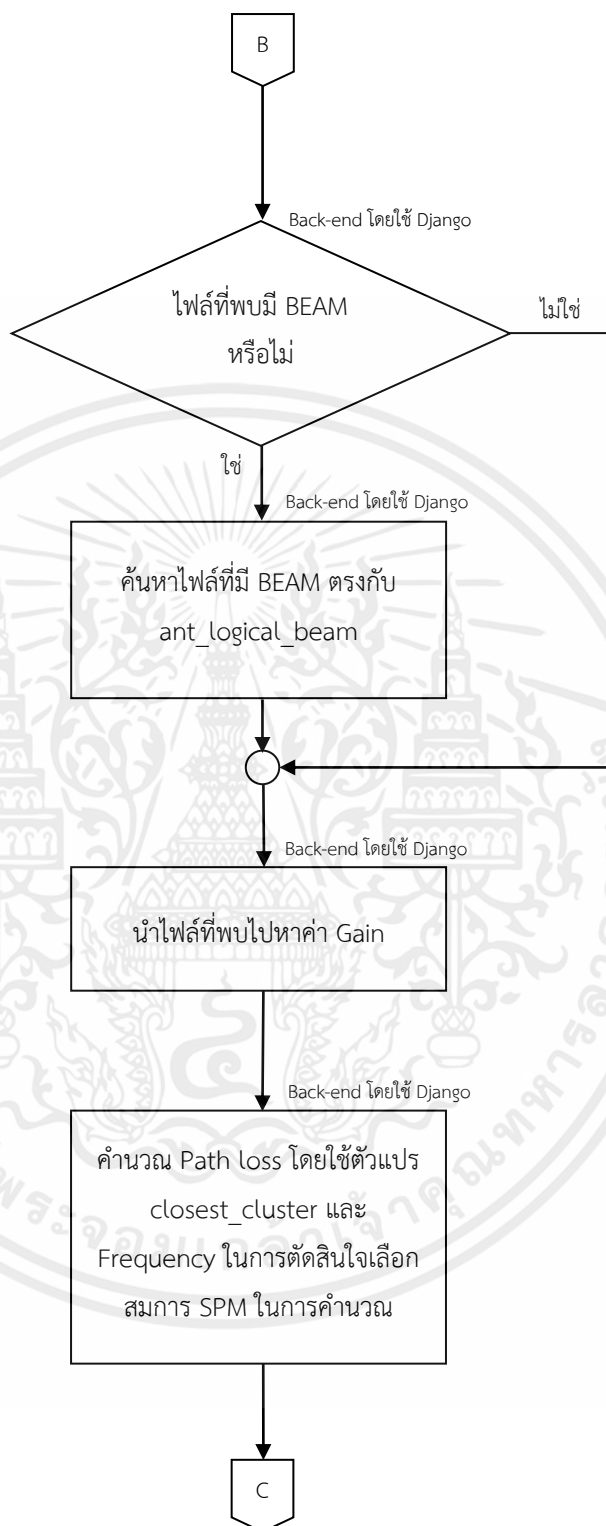
รูปที่ 3.22 กระบวนการทำงานของการแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



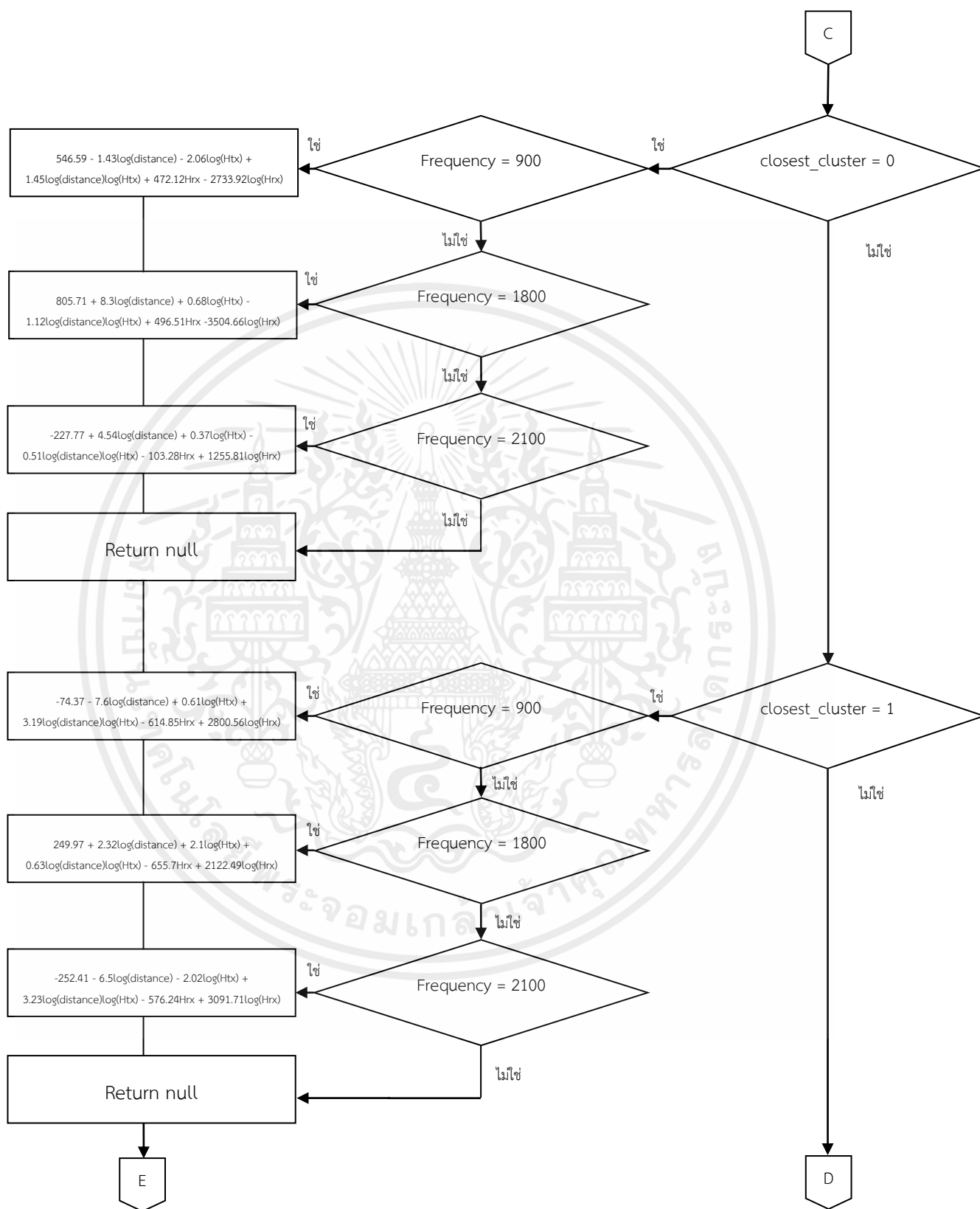
รูปที่ 3.22 กระบวนการทำงานของการแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



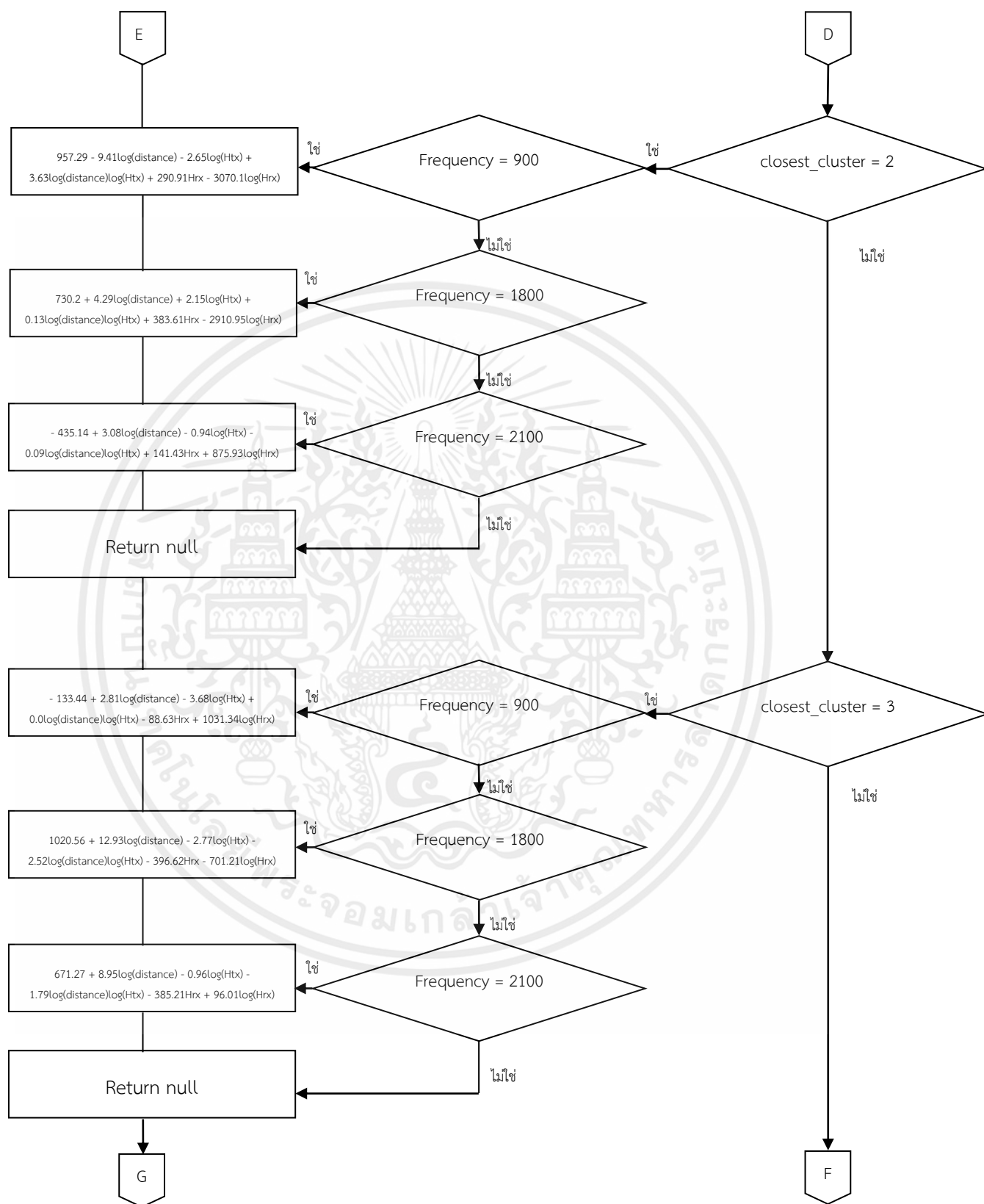
รูปที่ 3.22 กระบวนการทำงานของการแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



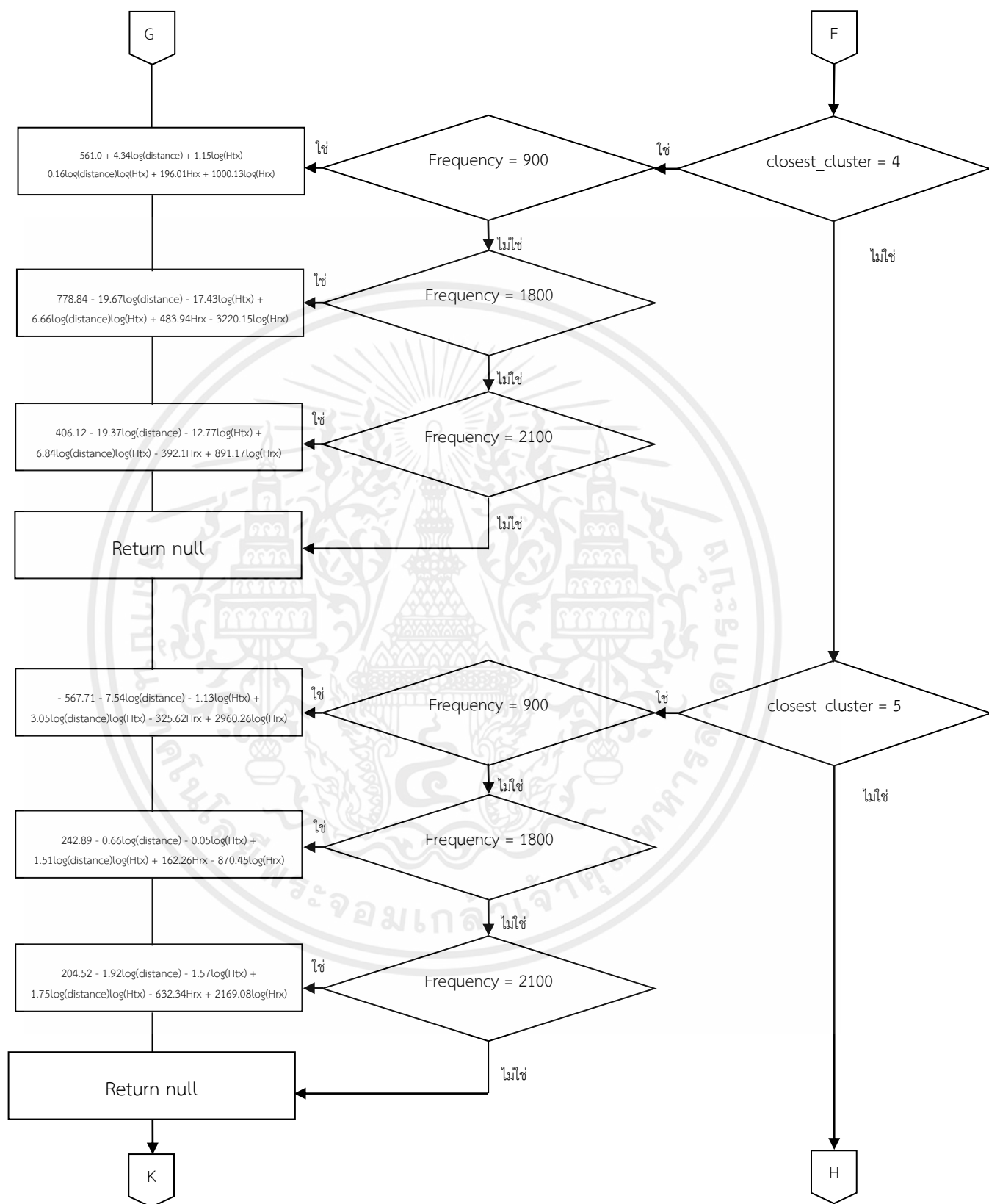
รูปที่ 3.22 กระบวนการทำงานของการแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



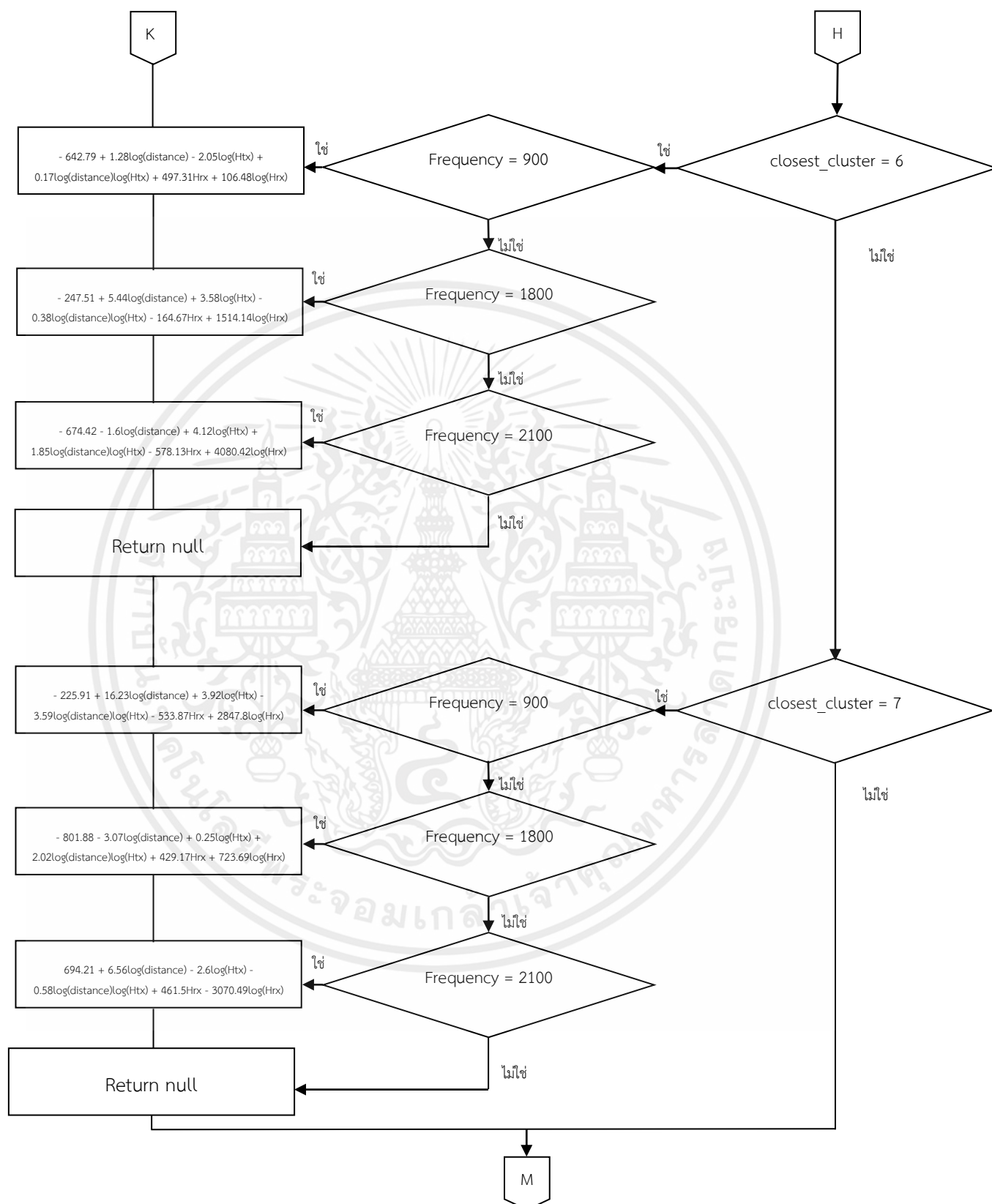
รูปที่ 3.22 กระบวนการทำงานของการแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



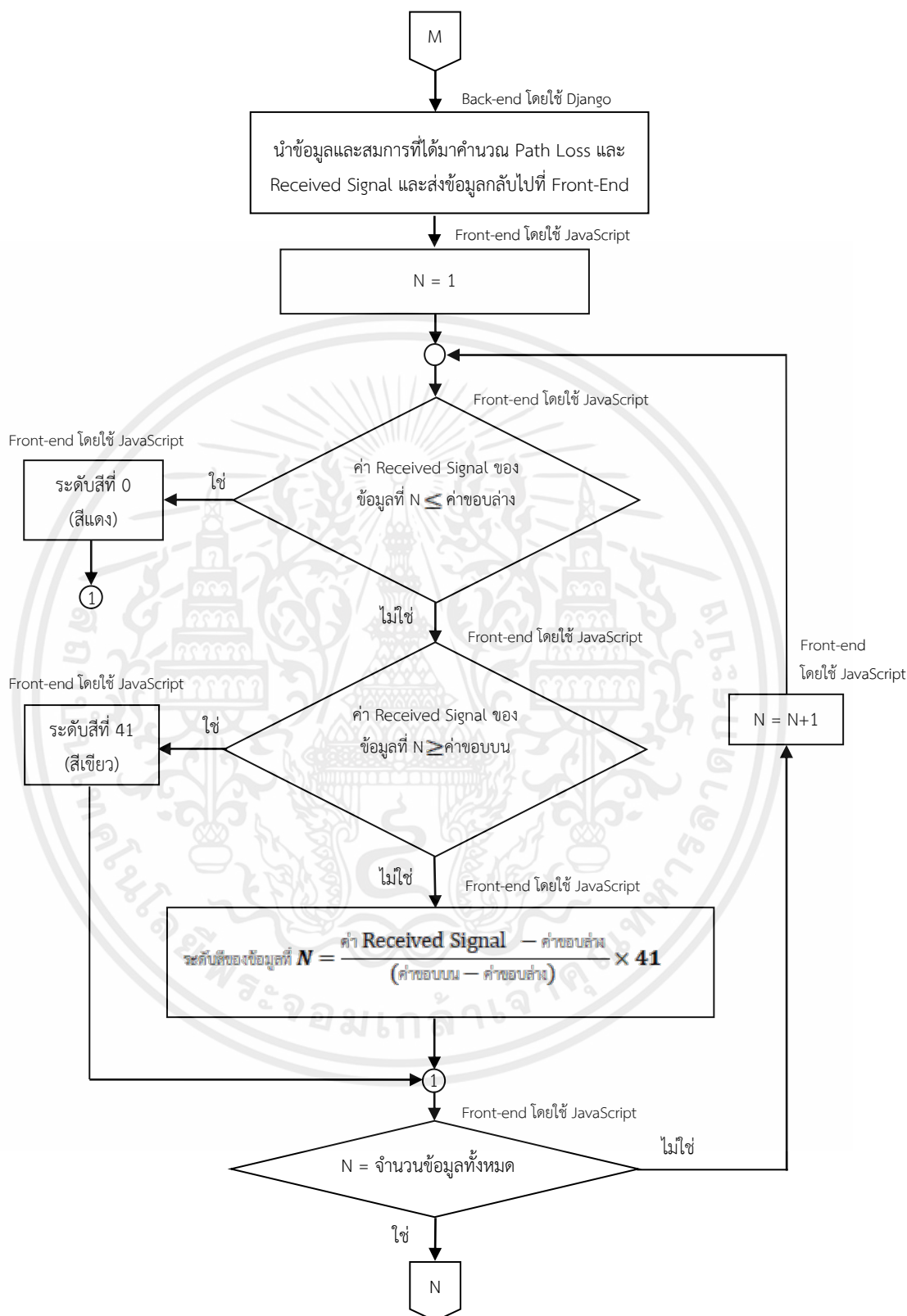
รูปที่ 3.22 กระบวนการทำงานของการแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



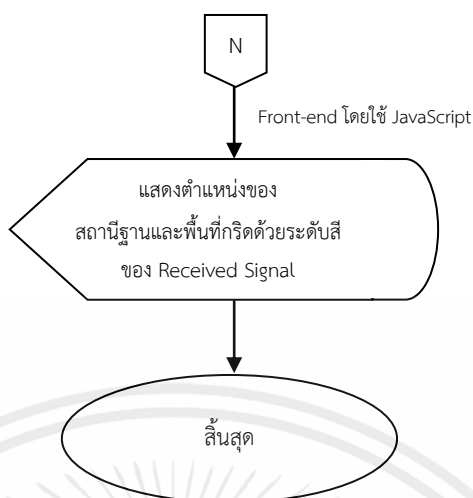
รูปที่ 3.22 กระบวนการทำงานของการแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 กระบวนการทำงานของการแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 กระบวนการทำงานของการแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ (ต่อ)

3.1.2.2 Back-End

1) การออกแบบ API

ออกแบบ API ชื่อ auth โดยใช้ Method POST ในการส่งข้อมูลไปเก็บในฐานข้อมูลเพื่อเก็บข้อมูลผู้ใช้งานเมื่อมีการสมัครบัญชีผู้ใช้งาน และตรวจสอบว่ามีบัญชีผู้ใช้งานในฐานข้อมูลหรือไม่เมื่อมีการเข้าสู่ระบบ

ออกแบบ API ชื่อ SiteHistorical โดยใช้ Method GET ในการร้องขอข้อมูลจากฐานข้อมูล Sitehistorical เพื่อใช้ระบุตำแหน่งที่ตั้งของสถานีฐาน และนำข้อมูลมาแสดงในรูปแบบตาราง

ออกแบบ API ชื่อ GridHistorical โดยใช้ Method GET ในการร้องขอข้อมูลจากฐานข้อมูล Gridhistorical เพื่อใช้ในการแสดงพื้นที่กริดโดยรอบของสถานีฐาน

ออกแบบ API ชื่อ CellNameHistorical โดยใช้ Method GET ในการร้องขอข้อมูลจากฐานข้อมูล Cellnamehistorical เพื่อนำข้อมูลมาแสดงในรูปแบบตาราง

ออกแบบ API ชื่อ GridPredict โดยใช้ Method GET ในการร้องขอข้อมูลจากฐานข้อมูล Gridhistorical เพื่อใช้ในการแสดงพื้นที่กริดโดยรอบของสถานีฐานในรัศมี 1.2 กิโลเมตร

ออกแบบ API ชื่อ SiteHistoricalSPM โดยใช้ Method GET ในการร้องขอข้อมูลจากฐานข้อมูล Sitehistorical และ Cellnamehistorical เพื่อนำข้อมูลสถานีฐานที่มีข้อมูล Cell Name มาแสดงในรูปแบบตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การออกแบบการจัดกลุ่มพื้นที่และสร้างสมการ SPM

ทำการเชื่อมต่อฐานข้อมูล PostgreSQL โดยใช้ SQLAlchemy และสร้าง Connection Engine เพื่อใช้ในการ Query ข้อมูลจากฐานข้อมูล จากนั้นร้องขอข้อมูลจากฐานข้อมูล Cellnamehistorical และ Gridhistorical โดยกำหนดเงื่อนไขการร้องขอข้อมูล ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2564 ถึงวันที่ 6 กันยายน 2564 แล้วจัดเก็บข้อมูลที่ร้องขอได้ในรูปแบบของ Dictionary หรือ List เพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผลข้อมูล และจัดการข้อมูลโดยการคำนวณหาค่าระยะทางและค่าการสูญเสียเชิงวิถีของแต่ละกริดจากข้อมูลที่ทราบ จากนั้นทำการจัดกลุ่มข้อมูลโดยใช้วิธี KMeans Clustering ในการจัดกลุ่มครั้งแรกจะใช้พารามิเตอร์ Latitude และ Longitude ในการจัดกลุ่ม โดยกำหนดให้ n_clusters เท่ากับ 300 (K=300) จะได้ข้อมูล 300 กลุ่ม (300 Clusters) จากนั้นนำข้อมูลที่จัดกลุ่มแล้ว 300 กลุ่ม มาคำนวณหาค่าการสูญเสียเชิงวิถีเฉลี่ยในแต่ละกลุ่ม แล้วจึงใช้ K-mean Clustering เพื่อจัดกลุ่มอีกครั้ง โดยใช้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีเฉลี่ยและกำหนดให้ n_clusters เท่ากับ 8 (K=8) จะได้ข้อมูลสุทธิที่ถูกจัดกลุ่มแล้วทั้งหมด 8 กลุ่ม (8 Clusters) และนำข้อมูลที่จัดกลุ่มแล้วมาแสดงผลในรูปแบบแผนภาพ Scatter Plot จากนั้นปรับสมการ SPM และหาค่าพารามิเตอร์ K1 ถึง K6 ที่เหมาะสมโดยใช้ Curve Fitting สำหรับแต่ละ Cluster และแต่ละความถี่ โดยให้แกน x แทนระยะทาง แกน y แทนค่าการสูญเสียเชิงวิถี แกน z แทนความสูงของสถานีฐาน และหาค่า Root Mean Square Error (RSME) ที่ต่ำที่สุด เพื่อให้การทำ Curve Fitting นั้นได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลมากที่สุด และได้สมการ SPM ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อทำกระบวนการข้างต้นเสร็จสิ้นแล้ว จึงทำการบันทึกข้อมูลของแต่ละ Cluster ทั้ง 8 Clusters ลงในไฟล์สกุล CSV เพื่อใช้ในการตรวจสอบตำแหน่งของสถานีฐานว่าควรจัดอยู่ใน Cluster ใดในการประมวลผลฟังก์ชัน find_spm ในขั้นตอนที่ 3.2

3) การออกแบบ Views

3.1) สร้างฟังก์ชันชื่อ find_gain

ทำการสร้างฟังก์ชันชื่อ find_gain ให้กับ API สำหรับรับ Request HTTP Method POST ที่เป็นข้อมูล JSON เพื่อใช้ในการหาไฟล์สกุล msi ในโฟลเดอร์ก่อนการคำนวณอัตราขยายของสายอากาศ โดยเริ่มจากการใช้ ant_model ในการค้นหาเป็นลำดับแรก กรณีที่ 1 หาก ant_model ตรงกับชื่อไฟล์ Antenna_Pattern ซึ่งเป็นไฟล์สกุล msi ก็จะใช้ชื่อไฟล์นั้นไปค้นหา Frequency ที่มีค่าใกล้เคียงกับ Frequency ในไฟล์ Antenna_Pattern เป็นลำดับต่อไป จากนั้นจะใช้ชื่อไฟล์นั้นไปค้นหา e_tilt ที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าของไฟล์ Antenna_Pattern โดยค่า e_tilt ต้องนำไปหาร 10 ก่อน แล้วจึงชื่อไฟล์นั้นไปค้นหา ant_logical_beam ที่มีค่าตรงกับ BEAM ในไฟล์ Antenna_Pattern เป็นลำดับสุดท้าย กรณีที่ 2 หาก ant_model ไม่ตรงกับชื่อไฟล์ Antenna_Pattern จะใช้ชื่อไฟล์ AMB4520R0 เป็นค่าเริ่มต้น และทำขั้นตอนที่เหลือตามเดิมเหมือนในกรณี 1 เมื่อได้ไฟล์สกุล msi เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้ว จะทำการเข้าถึงค่าอัตราขยายของสายอากาศที่มากที่สุด (GainMax) และค่าการสูญเสียเชิงวิถีในแต่ละองศา ซึ่งจะมีค่าที่แตกต่างกัน จากนั้นนำค่าอัตราขยายของสายอากาศที่มากที่สุดลบกับค่าการสูญเสียเชิงวิถีในแต่ละองศา จะได้ค่าอัตราขยายของสายอากาศ (Gain) สุดท้ายจะนำผลลัพธ์จากการคำนวณ ไปสร้างเป็น JSON แล้วจะส่งข้อมูล Response ไปยัง Front-End

3.2) สร้างฟังก์ชันชื่อ find_spm

ทำการสร้างฟังก์ชันชื่อ find_spm ให้กับ API สำหรับรับ Request HTTP Method POST ที่เป็นข้อมูล JSON โดยเริ่มจากการรับพิกัดละติจูดและลองจิจูดของสถานีฐาน วันที่ และ Cell Name แล้วเชื่อมต่อฐานข้อมูล PostgreSQL ผ่าน SQLAlchemy จากนั้นคำนวณหาค่าระยะทางระหว่างพิกัดโดยใช้วิธี Euclidean ในการคำนวณหาค่าระยะทางระหว่างพารามิเตอร์ LATITUDE_WGS84 LONGITUDE_WGS84 ซึ่งเป็นพิกัดละติจูดและลองจิจูดของสถานีฐาน และพารามิเตอร์ Latitude Longitude ซึ่งเป็นพิกัดละติจูดและลองจิจูดของกริดในฐานข้อมูลของแต่ละ Cluster ที่ถูกเก็บไว้ เพื่อหาว่าสถานีฐานนั้นควรถูกจัดอยู่ใน Cluster ไต จากนั้นทำการร้องขอข้อมูล Gridhistorical โดยใช้วันที่และกริดในพื้นที่วงกลมที่มีความกว้างรัศมีเป็น 1.5 กิโลเมตร มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ตำแหน่งสถานีฐาน แล้วรวมข้อมูลกริดทั้งหมดเข้ากับข้อมูล Cell Name ที่ผู้ใช้งานเลือก และคำนวณหาค่าระยะทาง ค่ามุม Bearing และค่ามุม diff_azimuth เพื่อหาค่าอัตราขยายของสายอากาศจากไฟล์สกุล msi ในหัวข้อที่ 3.1 โดยจะได้ผลลัพธ์เป็นค่าอัตราขยายของสายอากาศ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าการสูญเสียเชิงวิถีในแต่ละ Cluster และความถี่นั้น ๆ โดยใช้สมการ SPM จากในหัวข้อที่ 2 สุดท้ายจึงทำการคำนวณหาค่ากำลังสัญญาณรับและส่งผลลัพธ์กลับเป็น JSON Response

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในโครงการนี้ มีอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้

3.2.1 Laptop

Laptop ใช้สำหรับเปิดใช้งานโปรแกรม Visual Studio Code โปรแกรม PgAdmin4 โปรแกรม Antenna Pattern Editor 2 และเว็บเบราว์เซอร์สำหรับแสดงเว็บแอปพลิเคชัน ประกอบด้วย Laptop จำนวน 3 เครื่อง ดังนี้

3.2.1.1 Laptop Acer Swift 3 SF314-700Z [45] ดังรูปที่ 3.23 โดยมีคุณสมบัติ ดังนี้

- 1) CPU : Intel Core i7-1065G7 (1.30 GHz, 8 MB L3 Cache up to 3.90 GHz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) GPU : NVIDIA GeForce MX350 (2GB GDDR5)

3) RAM : 8 GB DDR4 2400Mhz



รูปที่ 3.23 Laptop Acer Swift 3 SF314-700Z [45]

3.2.1.2 Laptop Acer Aspire 7 A715-42G-R7RS – AMD [46] ดังรูปที่

3.24 โดยมีคุณสมบัติ ดังนี้

1) CPU : AMD Ryzen 5 5500U with Radeon Graphics
2.10 GHz Installed

2) GPU : NVIDIA GeForce GTX 1650 (4GB GDDR5)

3) RAM : 8.00 GB (7.34 GB usable)



รูปที่ 3.24 Laptop Acer Aspire 7 A715-42G-R7RS – AMD [46]

3.2.1.3 Laptop Notebook Acer Aspire 3 A315-R5BK [47] ดังรูปที่ 3.25

โดยมีคุณสมบัติ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) CPU : AMD Ryzen 5 3500U (2.10 GHz up to 3.70 GHz, 4 MB L3 Cache)
- 2) GPU : AMD Radeon RX Vega 8
- 3) RAM : 8 GB DDR4 2400Mhz



รูปที่ 3.25 Laptop Notebook Acer Aspire 3 A315-R5BK [47]

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.3.1 การจัดการข้อมูลในฐานข้อมูล

ทดสอบการเชื่อมต่อเว็บแอปพลิเคชันกับฐานข้อมูล PostgreSQL ชื่อ AISData โดยใช้ Prisma จัดการข้อมูล

3.3.2 การจัดเตรียมข้อมูล

- 1) ทดสอบการจัดเตรียมข้อมูลก่อนการแสดงผลค่ากำลังสัญญาณรับ
- 2) ทดสอบการจัดเตรียมข้อมูลก่อนการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ

3.3.3 การจัดการข้อมูล

- 1) ทดสอบการคำนวณระยะทางระหว่างพิกัด 2 พิกัดบนพื้นโลก
- 2) ทดสอบการคำนวณมุม Bearing ระหว่างพิกัด 2 พิกัดบนพื้นโลก
- 3) ทดสอบการคำนวณพารามิเตอร์ “diff_azimuth”
- 4) ทดสอบการคำนวณอัตราขยายของสายอากาศ
- 5) ทดสอบการคำนวณการสูญเสียเชิงวิถีด้วย Ericsson Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) ทดสอบการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ เมื่อใช้ Ericsson Model
- 7) ทดสอบผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับเทียบกับค่าจริง เมื่อใช้ Ericsson Model
- 8) ทดสอบการจัดกลุ่มข้อมูลโดยใช้ K-mean Clustering
- 9) ทดสอบผลจากการ Fitting Cluster 0 ถึง Cluster 7 กับสมการ SPM
- 10) ทดสอบการคำนวณการสูญเสียเชิงวิถีด้วย Standard Propagation Model
- 11) ทดสอบการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ เมื่อใช้ Standard Propagation Model
- 12) ทดสอบผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับเทียบกับค่าจริง เมื่อใช้ Standard Propagation Model

3.3.4 การทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน

ทดสอบการทำงานแต่ละส่วนของเว็บแอปพลิเคชันว่าสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบหรือไม่ การเชื่อมต่อระหว่าง Front-End และ Back-End ทำงานถูกต้องตามที่ออกแบบหรือไม่

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผู้จัดทำได้ทำการเก็บผลการทำงานของระบบ โดยแบ่งการทดลองและจัดเก็บผลการทดลองเป็นส่วน ๆ ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบการจัดการข้อมูลในฐานข้อมูล

4.1.1 ฐานข้อมูลชื่อ AISData

ทำการเชื่อมเว็บแอปพลิเคชันกับฐานข้อมูล PostgreSQL ชื่อ AISData ซึ่งเก็บข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นในการแสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชันหน้า Data Visualization และหน้า RSRP Computation โดยใช้ Prisma สื่อสารกับฐานข้อมูลและเข้าถึงข้อมูลในฐานข้อมูล โดยฐานข้อมูลมีตารางข้อมูลทั้งหมด 4 ตาราง ดังรูปที่ 4.1 4.2 4.3 และ 4.4 (ไม่สามารถเปิดเผยข้อมูลบางส่วนได้เนื่องจากเป็นความลับของบริษัท AIS)

id [PK]	integer	firstname text	lastname text	email text	password text	role text
1	1	natcha	Poonsuttipong	63010291@kmitl.ac.th	\$2a\$10\$C6f40QzTnucE7Jjs9RvISOV5XY2k6VhOA1fMMnxEZVfjVx99XV...	admin
2	2	mapraw	prew	1@kmitl.ac.th	\$2a\$10\$CExmTgs7K03aJkTby1jvA.1TDdyX.466B4eBavtjkdBbB0NwtQX...	user
3	3	kai	gig	2@kmitl.ac.th	\$2a\$10\$VJ3/bsWW0xPydTfJfIPM0.Ivjg20DBPBhW6u4kV8qDtnrSw6wk...	user
4	4	kai	gig	4@kmitl.ac.th	\$2a\$10\$TIBvtyv.f1fPCUM.J1aHimeV28gM/akUV0CU9uLEZMQSFCwGXx...	user
5	5	test	ba	9@kmitl.ac.th	\$2a\$10\$Nze.duWfOc2QyilSg/.ruu6f2SGLiuHTLGI71o8t/RGwjnBuXcVm.	user
6	6	asd	asd	10@kmitl.ac.th	\$2a\$10\$Mue7cSR.HwF39T02kXlz/eB7RI7123I91wAfGpeE.k6FV0Z0ses...	user
7	7	Ga	Gu	11@kmitl.ac.th	\$2a\$10\$drhPgxAf5PctGv.bdXNMP.HRq8pKxRlCeMenjtK.XISMP3s8wi9h0	user
8	8	nut	I	63010294@kmitl.ac.th	\$2a\$10\$/giYx954.mXKDIkabRlFD0tG.J1NFJqCVnk2ea.J5YRWjDOYmgINyK	user
9	9	Ploy	thii	63010267@kmitl.ac.th	\$2a\$10\$qSqo6feMnl3t8/rKkIN2Ze5gN4m.8dnpQIMlgtlhnvf14dB52tOcq	user

รูปที่ 4.1 ข้อมูลบางส่วนจากฐานข้อมูล AISData ตารางชื่อ User

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

id [PK] integer	Time date	eNodeB_Name character varying (50)	LATITUDE_WGS84 double precision	LONGITUDE_WGS84 double precision	province character varying (50)	district character varying (50)
1	2021-09-01	D167A			กรุงเทพมหานคร	ดินแดง
2	2021-09-01	C146A			ปทุมธานี	ลาดหลุมแก้ว
3	2021-09-01	SMBPR			สมุทรปราการ	เมืองสมุทรปราการ
4	2021-09-01	PSSMM			สมุทรปราการ	เมืองสมุทรปราการ
5	2021-09-01	QA7R			กรุงเทพมหานคร	วัฒนา
6	2021-09-01	SHRRR			กรุงเทพมหานคร	ดุสิต
7	2021-09-01	SWIRR			สมุทรปราการ	บางเสาธง
8	2021-09-01	WLSM			สมุทรปราการ	บางมอ
9	2021-09-01	LP1TM			สมุทรปราการ	บางมอ
10	2021-09-01	WSJRM			สมุทรปราการ	เมืองสมุทรปราการ
11	2021-09-01	KDN2M			สมุทรปราการ	บางมอ
12	2021-09-01	SJFRR			สมุทรปราการ	เมืองสมุทรปราการ

รูปที่ 4.2 ข้อมูลบางส่วนจากฐานข้อมูล AISData ตารางชื่อ Sitehistorical

id [PK] integer	Time date	eNodeB_Name character varying (50)	Sector character varying (50)	Cell_Name character varying (50)	Latitude double precision	Longitude double precision	Dominant_RSRP double precision	Dominant_RSRQ double precision
1	2021-09-01	PSSMM	PSSMM_2	PSSMML1812			-92	-33
2	2021-09-01	PSSMM	PSSMM_2	PSSMML1812			-97	-39
3	2021-09-01	PSSMM	PSSMM_2	PSSMML1812			-94	-32
4	2021-09-01	PSSMM	PSSMM_2	PSSMML1812			-93	-31
5	2021-09-01	PSSMM	PSSMM_2	PSSMML1812			-101	-40
6	2021-09-01	PSSMM	PSSMM_2	PSSMML1812			-98	-40
7	2021-09-01	PSSMM	PSSMM_2	PSSMML1812			-100	-40
8	2021-09-01	PSSMM	PSSMM_2	PSSMML1812			-98.33	-40
9	2021-09-01	PSSMM	PSSMM_2	PSSMML1812			-98	-40
10	2021-09-01	PSSMM	PSSMM_2	PSSMML1812			-98	-40
11	2021-09-01	PSSMM	PSSMM_2	PSSMML1812			-98	-40
12	2021-09-01	PSSMM	PSSMM_2	PSSMML1812			-97	-40
13	2021-09-01	PSSMM	PSSMM_2	PSSMML1812			-99	-40
14	2021-09-01	PSSMM	PSSMM_2	PSSMML1812			-97	-40

รูปที่ 4.3 ข้อมูลบางส่วนจากฐานข้อมูล AISData ตารางชื่อ Gridhistorical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ID	IMEI	Time date	Cellname	Signal	Cellname	Powerlevel	Latitude	Longitude	Altitude	RSRP	RSRQ	Signal	Powerlevel	Powerlevel	Powerlevel	Powerlevel	Powerlevel	Powerlevel	Powerlevel	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	1	2021-09-01	PSDM1	PSDM1_2	PSDM1212	1800				12	177	2	20	100	69	13.5	1	3700891302	0	
2	2	2021-09-01	KPZM1	KPZM1_3	KPZM1119	1800				30	162	4	0	800	31	19.7	2	AM42090	-80	
3	3	2021-09-01	PT1M1	PT1M1_7	PT1M1117	1800				44	16.4	4	4	100	34	20	2	AM42090-04	30	
4	4	2021-09-01	KHM1M	KHM1M_3	KHM1M113	1800				29	164	2	20	200	31	19.3	1	AM42090-04	30	
5	5	2021-09-01	WTTM1	WTTM1_3	WTTM1113	1800				30	177	0	30	200	31	19.7	1	AM42090	30	
6	6	2021-09-01	WTTM1	WTTM1_3	WTTM1113	1800				30	177	0	30	200	31	19.7	2	AM42090	30	
7	7	2021-09-01	SHM1	SHM1_1	SHM1211	2100				35	13.4	2	20	65	31	16.7	1	AM42090	30	
8	8	2021-09-01	SHM1	SHM1_1	SHM1211	2100				35	13.4	2	20	65	31	16.7	2	AM42090	30	
9	9	2021-09-01	SHM1	SHM1_2	SHM1211	1800				35	212	4	15	100	65	17.5	1	AT421701	0	
10	10	2021-09-01	KNCM1	KNCM1_3	KNCM1213	2100				29	10.4	0	7	320	22	21.2	1	AAUST01	-45	
11	11	2021-09-01	VHTM1	VHTM1_1	VHTM1211	1800				33	212	4	15	300	65	17.5	1	AT421701	0	
12	12	2021-09-01	STW1M	STW1M_3	STW1M113	2100				40	168	4	40	270	65	17	1	MB42090-04-18-1806-14-07m	0	
13	13	2021-09-01	NRM1	NRM1_7	NRM1117	1800				23	177	2	80	100	31	19.3	2	AM42090-04	-30	
14	14	2021-09-01	KPZM1	KPZM1_2	KPZM1113	1800				14	164	0	20	140	69	17.7	1	MB42090-04-18-1806-14-07m	0	
15	15	2021-09-01	KPZM1	KPZM1_3	KPZM1113	1800				14	164	0	20	230	69	17.7	1	MB42090-04-18-1806-14-07m	0	
16	16	2021-09-01	VHTM1	VHTM1_1	VHTM1111	1800				18	15	164	3.3	30	33	19.3	1	AM42090-04	-80	
17	17	2021-09-01	TFLM1	TFLM1_8	TFLM1118	1800				22	177	4	10	270	31	16.7	2	AM42090	-30	
18	18	2021-09-01	SHM1	SHM1_1	SHM1211	1800				29	164	2	40	30	65	21	1	MB42090-04-18-1806-14-07m	0	
19	19	2021-09-01	LPCM1	LPCM1_1	LPCM1111	1800				41	8	154	0	6	200	36	19	1	TA42090-04-18-1806-14-07m	0
20	20	2021-09-01	LPCM1	LPCM1_1	LPCM1111	1800				23	212	0	60	30	65	17.5	1	AT421701	0	
21	21	2021-09-01	SPM1	SPM1_8	SPM1118	1800				20	177	1.4	60	290	32	18.1	2	AM42090-04	-80	
22	22	2021-09-01	SPM1	SPM1_11	SPM1111	1800				20	177	2.4	60	30	65	17.9	1	AD42090-04	0	
23	23	2021-09-01	TBM1	TBM1_8	TBM1118	1800				20	177	1	70	180	31	19.3	1	AM42090-04	30	
24	24	2021-09-01	MGM1	MGM1_7	MGM1117	1800				30	177	2	50	105	31	16.7	2	AM42090	30	
25	25	2021-09-01	MGM1	MGM1_2	MGM1212	1800				30	212	7	9	100	65	17	1	MB42090-04-18-1806-14-07m	0	
26	26	2021-09-01	SHM1	SHM1_8	SHM1118	1800				23	154	0	60	300	70	14	1	AAUST01	0	
27	27	2021-09-01	SHM1	SHM1_1	SHM1211	1800				27	164	3.2	20	20	32	18.7	1	AM42090-04	-80	
28	28	2021-09-01	BRM1	BRM1_3	BRM1113	1800				30	177	4.05	60	285	69	17.7	1	MB42090-04-18-1806-14-07m	0	
29	29	2021-09-01	KPM1	KPM1_3	KPM1113	1800				30	205	2	20	270	65	17.5	1	AT421701	0	
30	30	2021-09-01	MBM1	MBM1_8	MBM1118	1800				37	160	2	20	11	31	19.3	2	AM42090-04	30	
31	31	2021-09-01	AMP1	AMP1_2	AMP1212	1800				35	212	3.4	20	100	65	17.5	1	AT421701	0	
32	32	2021-09-01	MBM1	MBM1_1	MBM1211	1800				37	222	3.9	40	30	65	17.5	1	AT421701	0	
33	33	2021-09-01	WTTM1	WTTM1_4	WTTM1114	1800				6	164	0	20	60	60	15.5	1	ST42090-04-18-1806-14-07m	0	
34	34	2021-09-01	LRTM1	LRTM1_2	LRTM1212	1800				35	212	4	0	100	65	17.5	1	AT421701	0	
35	35	2021-09-01	TFLM1	TFLM1_1	TFLM1111	1800				33	212	2	30	60	65	17.5	1	AT421701	0	

รูปที่ 4.4 ข้อมูลบางส่วนจากฐานข้อมูล AISData ตารางชื่อ Cellnamehistorical

4.2 ผลการทดสอบการจัดเตรียมข้อมูล

4.2.1 ผลการทดสอบการจัดเตรียมข้อมูลก่อนการแสดงผลค่ากำลังสัญญาณรับ

จัดกลุ่มข้อมูลที่ร้องขอจาก API ชื่อ GridHistorical โดยใช้ชื่อ Cell_Name เป็นเกณฑ์ ในการจัดกลุ่ม ดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 (ไม่สามารถเปิดเผยข้อมูลบางส่วนได้เนื่องจากเป็นความลับของ บริษัท AIS)

```

ดึงข้อมูล Grid 1 site จากฐานข้อมูล
(1112) [{"Cell Name": "S153M1212", "Dominant_RSRP": -95.66, "Dominant_RSRQ": -25.78, "Latitude": "13.5", "Longitude": "100.69", "Sector": "S153M_2", "Time": "2021-09-01T00:00:00.000Z", "eNodeB_Name": "S153M", "id": 56748}]]

```

รูปที่ 4.5 ข้อมูลที่ร้องขอจาก API ชื่อ GridHistorical

```

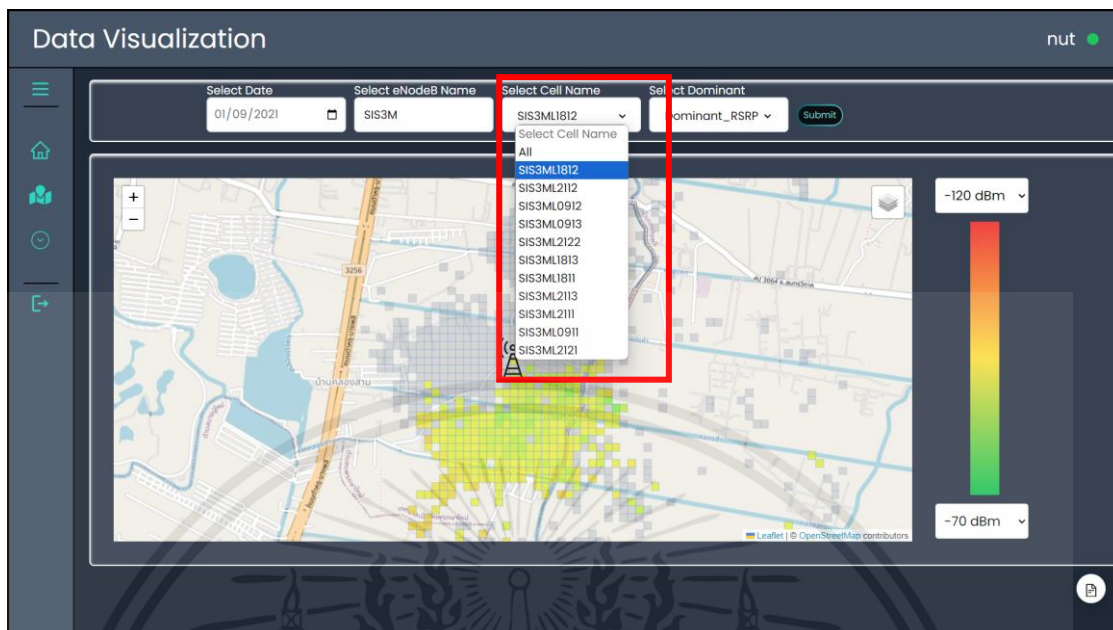
ข้อมูล Grid ที่แบ่งกลุ่มตามชื่อ CellName
{"S153M1212": Array(57), "S153M1812": Array(338), "S153M1811": Array(211), "S153M1813": Array(8), "S153M1811": Array(278), "S153M1812": Array(338), "S153M1813": Array(170), "S153M1811": Array(23), "S153M1212": Array(57), "S153M1211": Array(3), "S153M1212": Array(11)}]]

```

รูปที่ 4.6 ข้อมูลที่ร้องขอจาก API ชื่อ GridHistorical ที่จัดกลุ่มโดยใช้ชื่อ Cell_Name

เมนูตัวเลือกในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.7 ใช้เลือกดูข้อมูลที่ร้องขอจาก API ชื่อ GridHistorical ใน Cell_Name ที่สนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ชื่อ Cell_Name สำหรับให้ผู้ใช้งานเลือก

4.2.2 ผลการทดสอบการเตรียมข้อมูลก่อนการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ

เมื่อเลือกชุดข้อมูล Cell Name แล้วกดปุ่ม Compute ระบบจะกรองข้อมูลกริดสุทธิจาก API ชื่อ GridPredict ซึ่งประกอบด้วยข้อมูล id Latitude และ Longitude แล้วจึงนำมารวม (Merge) กับข้อมูล Cell Name ที่ถูกเลือก ด้วยฟังก์ชัน reduce โดยในกรณีที่ 1 จะมีการวนซ้ำข้อมูล Cell Name 1 ชุด เพื่อนำข้อมูล Cell Name ไปเพิ่มในทุก ๆ กริด ส่งผลให้ได้ค่าเอาต์พุตเพียงค่าเดียว แต่ในกรณีที่ 2 จะมีการวนซ้ำข้อมูล Cell Name มากกว่า 1 ชุด เพื่อนำข้อมูล Cell Name แต่ละชุดไปเพิ่มในทุก ๆ กริด ส่งผลให้ได้ค่าเอาต์พุตเท่ากับจำนวนชุดข้อมูล Cell Name ที่เลือก

- กรณีที่ 1 เลือกชุดข้อมูล Cell Name 1 ชุด ดังรูปที่ 4.8 (ไม่สามารถเปิดเผยข้อมูลบางส่วนได้ เนื่องจากเป็นความลับของบริษัท AIS)

4.3 ผลการทดสอบการจัดการข้อมูล

4.3.1 ผลการทดสอบการคำนวณระยะทางระหว่างพิกัด 2 พิกัดบนพื้นโลก

คำนวณระยะทางระหว่างพิกัด 2 พิกัดบนพื้นโลก โดยใช้สมการที่ (4) (5) และ (6) แสดงผลลัพธ์ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างผลการทดสอบการคำนวณระยะทางระหว่างพิกัด 2 พิกัดบนพื้นโลก (ไม่สามารถเปิดเผยข้อมูลบางส่วนได้เนื่องจากเป็นความลับของบริษัท AIS)

LATITUDE_WGS84	LONGITUDE_WGS84	Latitude	Longitude	Distance (km)
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	0.15656
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	0.60357
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	1.10390
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	1.25118
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	1.48439

4.3.2 ผลการทดสอบการคำนวณมุม Bearing ระหว่างพิกัด 2 พิกัดบนพื้นโลก

คำนวณมุม Bearing ระหว่างพิกัด 2 พิกัดบนพื้นโลก โดยใช้สมการที่ (11) แสดงผลลัพธ์ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างผลการทดสอบการคำนวณมุม Bearing ระหว่างพิกัด 2 พิกัดบนพื้นโลก (ไม่สามารถเปิดเผยข้อมูลบางส่วนได้เนื่องจากเป็นความลับของบริษัท AIS)

LATITUDE_WGS84	LONGITUDE_WGS84	Latitude	Longitude	Bearing (degree)
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	257.53094
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	271.53139
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	270.83807
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	247.25295
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	231.01811

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ผลการทดสอบการคำนวณพารามิเตอร์ “diff_azimuth”

คำนวณพารามิเตอร์ “diff_azimuth” โดยใช้สมการที่ (12) แสดงผลลัพธ์ ดังตารางที่

4.3

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างผลการทดสอบการคำนวณพารามิเตอร์ “diff_azimuth”

Bearing (degree)	physical_azimuth (degree)	diff_azimuth (degree)
257.53094	270	347.53094
271.53139	270	1.53139
270.83807	270	0.83807
247.25295	270	337.25295
231.01811	270	321.01811

4.3.4 ผลการทดสอบการคำนวณอัตราขยายของสายอากาศ

ก่อนการคำนวณอัตราขยายของสายอากาศ จะต้องทำการค้นหาชื่อไฟล์ Antenna_Pattern ซึ่งเป็นไฟล์สกุล msi ก่อน แสดงผลลัพธ์ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างผลการค้นหาชื่อไฟล์ Antenna_Pattern

ant_model	Frequency (MHz)	e_tilt	ant_logical_beam	ชื่อไฟล์ Antenna_Pattern
A19451811	2100	40	1	AMB4520R0_2140_X_CO_M45_02T_LB.msi
AAU5726	1800	7	1	AAU5726_1810_X_CO_M45_05T_4B_EAM_BEAM1_WS2_4PORT.msi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ตัวอย่างผลการค้นหาชื่อไฟล์ Antenna_Pattern

ant_model	Frequency (MHz)	e_tilt	ant_logical_beam	ชื่อไฟล์ Antenna_Pattern
AAU5726	1800	6	3	AAU5726_1810_X _CO_M45_05T_4B EAM_BEAM3_WS2 _4PORT.msi
ADU4518R6 v06	1800	40	1	ADU4518R6v06_ 1843_X_CO_M45_ 04T_yL.msi
AMB4519R9 v06	2100	10	1	AMB4519R9v06_ 2155_X_CO_M45_ 02T_By1.msi

เมื่อได้ไฟล์สกุล msi แล้ว จะทำการเข้าถึงค่าอัตราขยายของสายอากาศที่มากที่สุด และค่าการสูญเสียเชิงวิถีในแต่ละองศา ซึ่งจะมีค่าที่แตกต่างกัน จากนั้นคำนวณอัตราขยายของสายอากาศโดยใช้สมการที่ (10) แสดงผลลัพธ์ ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างผลการทดสอบการคำนวณอัตราขยายของสายอากาศ

ชื่อไฟล์ Antenna_Patten	diff_azimuth (degree)	Antenna Gain (dBi)
AMB4520R0_1750_X_ CO_M45_02T_LB.msi	347.53094	16.99
AMB4520R0_1750_X_ CO_M45_02T_LB.msi	1.53139	7.63
AMB4520R0_1750_X_ CO_M45_02T_LB.msi	0.83807	8.66
AMB4520R0_1750_X_ CO_M45_02T_LB.msi	337.25295	19.29
AMB4520R0_1750_X_ CO_M45_02T_LB.msi	321.01811	18.26

4.3.5 ผลการทดสอบการคำนวณการสูญเสียเชิงวิถีด้วย Ericsson Model

คำนวณการสูญเสียเชิงวิถี โดยใช้สมการที่ (1) และ (2) แสดงผลลัพธ์ ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างผลการทดสอบการคำนวณการสูญเสียเชิงวิถีด้วย Ericsson Model

Distance (km)	ant_height (m)	receiver_height (m)	Frequency (MHz)	Path Loss (dB)
0.15656	20	1.5	1800	116.59207
0.60357	20	1.5	1800	134.36704
1.10390	20	1.5	1800	142.31975
1.25118	20	1.5	1800	143.96933
1.48439	20	1.5	1800	146.22069

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6 ผลการทดสอบการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ เมื่อใช้ Ericsson Model

คำนวณค่ากำลังสัญญาณรับโดยใช้สมการที่ (7) โดยใช้ค่ากำลังสัญญาณที่หารด้วย 10 ก่อนนำมาคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ แสดงผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างผลการทดสอบการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ เมื่อใช้ Ericsson Model

Power (dBm)	Antenna Gain (dBi)	Path Loss (dB)	Received Signal (dBm)
177	16.99	116.59207	-81.90207
177	7.63	134.36704	-109.03704
177	8.66	142.31975	-115.95975
177	19.29	143.96933	-106.97933
177	18.26	146.22069	-110.26069

4.3.7 ผลการทดสอบการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับเทียบกับค่าจริง เมื่อใช้ Ericsson Model

ผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับเทียบกับค่าจริงที่ได้จากข้อมูลของบริษัท AIS ซึ่งคือค่า RSRP แสดงผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.8

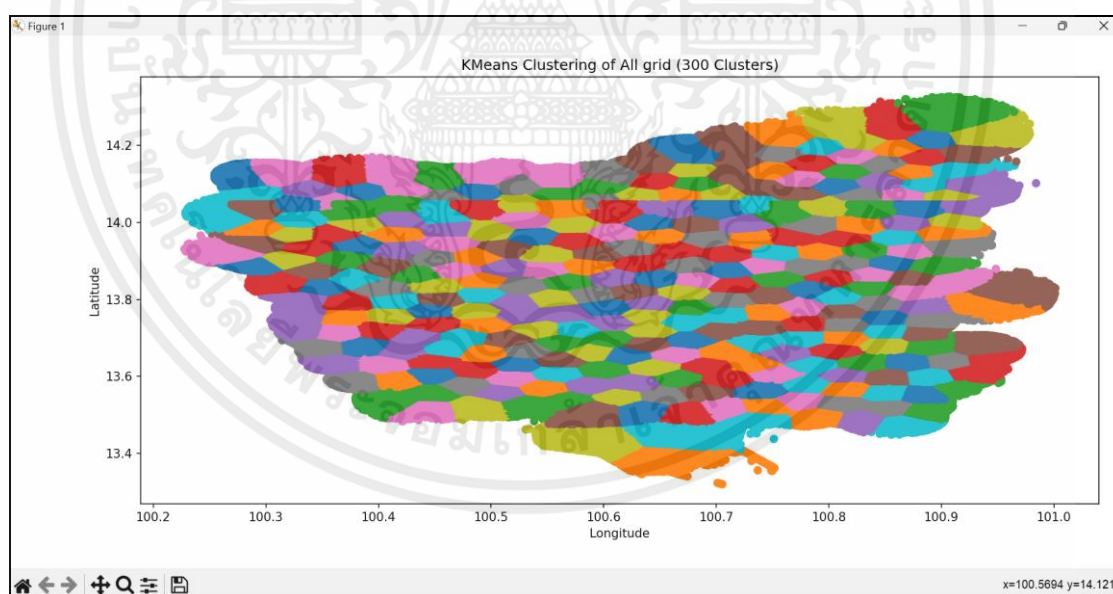
ตารางที่ 4.8 ตัวอย่างผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับเทียบกับค่าจริง เมื่อใช้ Ericsson Model (ไม่สามารถเปิดเผยข้อมูลบางส่วนได้เนื่องจากเป็นความลับของบริษัท AIS)

Latitude	Longitude	Received Signal (dBm)	RSRP (dBm)
██████	██████	-81.90207	-80.54
██████	██████	-109.03704	-97.28
██████	██████	-115.95975	-88.72
██████	██████	-106.97933	-77.74
██████	██████	-110.26069	-88.49

4.3.8 ทดสอบการจัดกลุ่มข้อมูลโดยใช้ K-mean Clustering

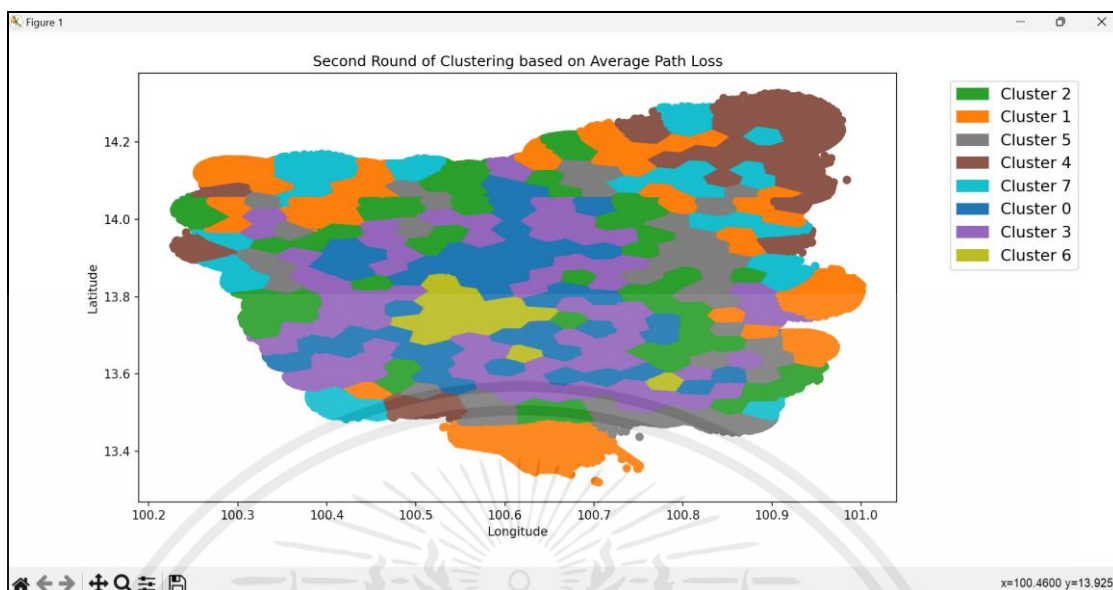
การจัดกลุ่มข้อมูลจะสามารถทำได้โดยร้องขอข้อมูล Gridhistorical และ Cellnamehistorical จากฐานข้อมูล จากนั้นทำการรวมข้อมูล Gridhistorical และ Cellnamehistorical โดยใช้พารามิเตอร์ Cell_Name เป็นเกณฑ์ในการรวมข้อมูล แล้วจึงหาค่าระยะทางและการสูญเสียเชิงวิถีของแต่ละกริด เพื่อนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางและการสูญเสียเชิงวิถี

นำข้อมูลสุทธิที่รวมแล้วมาจัดกลุ่มด้วย K-mean Clustering โดยใช้ฟังก์ชัน sklearn.cluster จาก Library Sklearn และใช้พารามิเตอร์ Latitude และ Longitude ในการจัดกลุ่ม โดยกำหนดให้ n_clusters เท่ากับ 300 (K=300) จะได้ข้อมูล 300 กลุ่ม (300 Clusters) ดังรูปที่ 4.10 จากนั้นนำข้อมูลที่จัดกลุ่มแล้ว 300 กลุ่ม มาคำนวณหาค่าการสูญเสียเชิงวิถีเฉลี่ยในแต่ละกลุ่ม แล้วจึงใช้ K-mean Clustering เพื่อจัดกลุ่มอีกครั้ง โดยใช้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีเฉลี่ยและกำหนดให้ n_clusters เท่ากับ 8 (K=8) จะได้ข้อมูลสุทธิที่ถูกจัดกลุ่มแล้วทั้งหมด 8 กลุ่ม (8 Clusters) ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างการจัดกลุ่มโดยใช้พารามิเตอร์ Latitude และ Longitude และ n_clusters เท่ากับ 300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างการจัดกลุ่มโดยใช้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีเฉลี่ยและ $n_clusters$ เท่ากับ 8

จากรูปที่ 4.11 สามารถสรุปผลการจัดกลุ่มข้อมูลสุทธิ ซึ่งจะจำแนกตามสีต่าง ๆ ได้ทั้งหมด 8 Clusters ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงผลการจัดกลุ่มข้อมูลสุทธิ

Cluster	สี
Cluster 0	สีน้ำเงิน
Cluster 1	สีส้ม
Cluster 2	สีเขียว
Cluster 3	สีม่วง
Cluster 4	สีน้ำตาล
Cluster 5	สีเทา
Cluster 6	สีเหลือง
Cluster 7	สีฟ้า

สุดท้ายจึงทำการ Fitting Cluster 0 ถึง Cluster 7 กับสมการ SPM ซึ่งในแต่ละ Cluster ประกอบด้วย 3 ความถี่ ได้แก่ 900 MHz 1800 MHz และ 2100 MHz จากนั้นนำข้อมูลทั้ง 8 Clusters ในแต่ละความถี่มาสร้างกราฟ โดยกำหนดให้ระยะทางเป็นแกน x ค่าการสูญเสียเชิงวิถี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

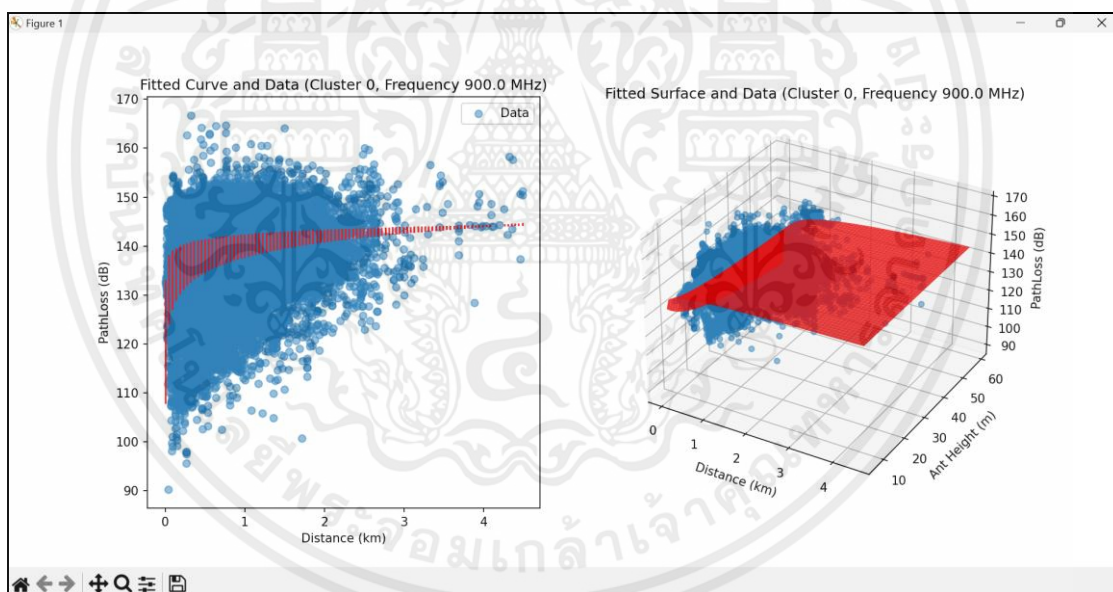
เป็นแกน y และค่าพารามิเตอร์ ant_height ซึ่งเป็นความสูงของสถานีฐานเป็นแกน z แล้วจึงเลือกใช้ฟังก์ชันสำหรับเป็นสมการ SPM ดังแสดงตัวอย่างในหัวข้อที่ 4.3.9

4.3.9 ทดสอบผลจากการ Fitting Cluster 0 ถึง Cluster 7 กับสมการ SPM

4.3.9.1 การ Fitting Cluster 0 กับสมการ SPM

- การ Fitting Cluster 0 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 900 MHz

เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน curve_fit จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ pcov และ popt ซึ่งจะบอกค่า K1 K2 K3 K4 K5 และ K6 ที่หามาได้ โดยจะได้ K1=546.59 K2=-1.43 K3=-2.06 K4=1.45 K5=472.12 K6=-2733.92 และ Root Mean Squared Error (RMSE)=5.62 แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง สุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.12

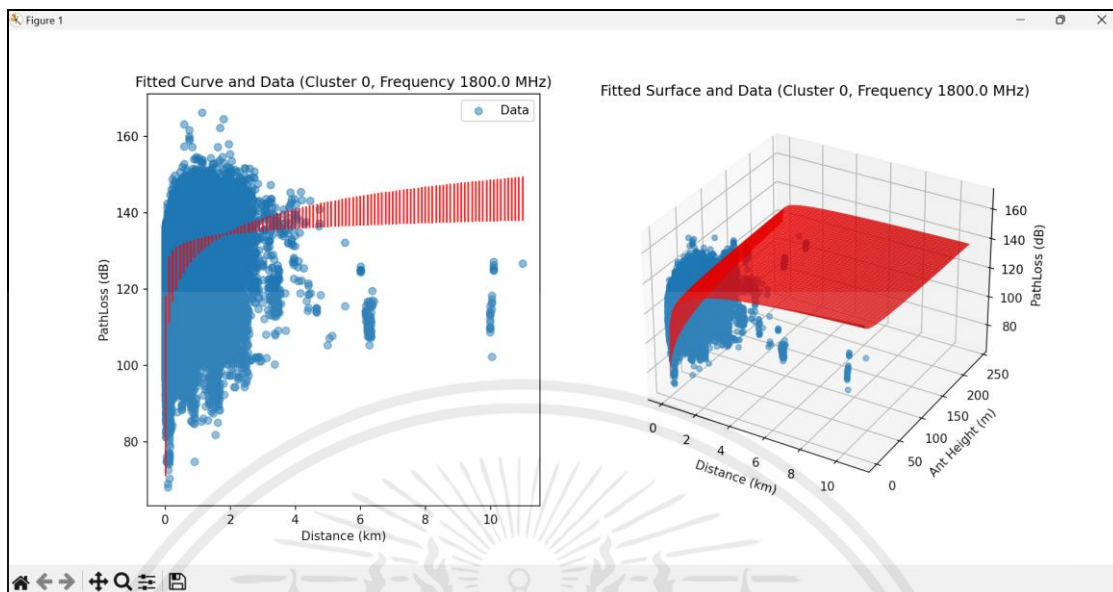


รูปที่ 4.12 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 0 ความถี่ 900 MHz

- การ Fitting Cluster 0 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 1800 MHz

เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน curve_fit จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ pcov และ popt ซึ่งจะบอกค่า K1 K2 K3 K4 K5 และ K6 ที่หามาได้ โดยจะได้ K1=805.71 K2=8.30 K3=0.68 K4=-1.12 K5=496.51 K6=-3504.66 และ RMSE=6.25 แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง สุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.13

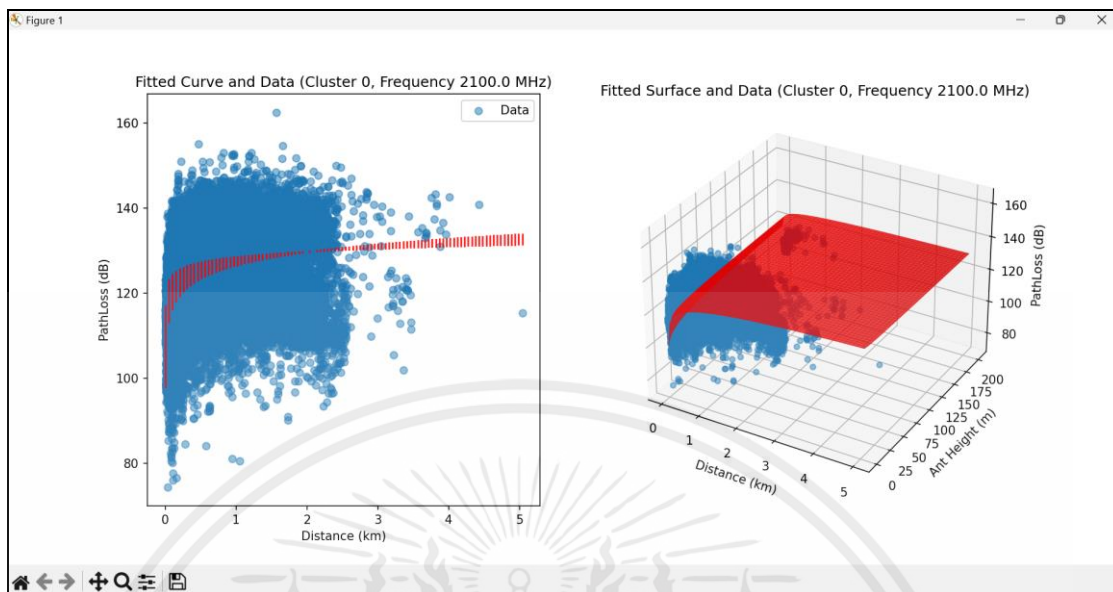
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 0 ความถี่ 1800 MHz

- การ Fitting Cluster 0 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 2100 MHz

เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน `curve_fit` จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ `pcov` และ `popt` ซึ่งจะบอกค่า K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 และ K_6 ที่หามาได้ โดยจะได้ $K_1=-227.77$ $K_2=4.54$ $K_3=0.37$ $K_4=-0.51$ $K_5=-103.28$ $K_6=1255.81$ และ $RMSE=9.45$ แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงสุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.14

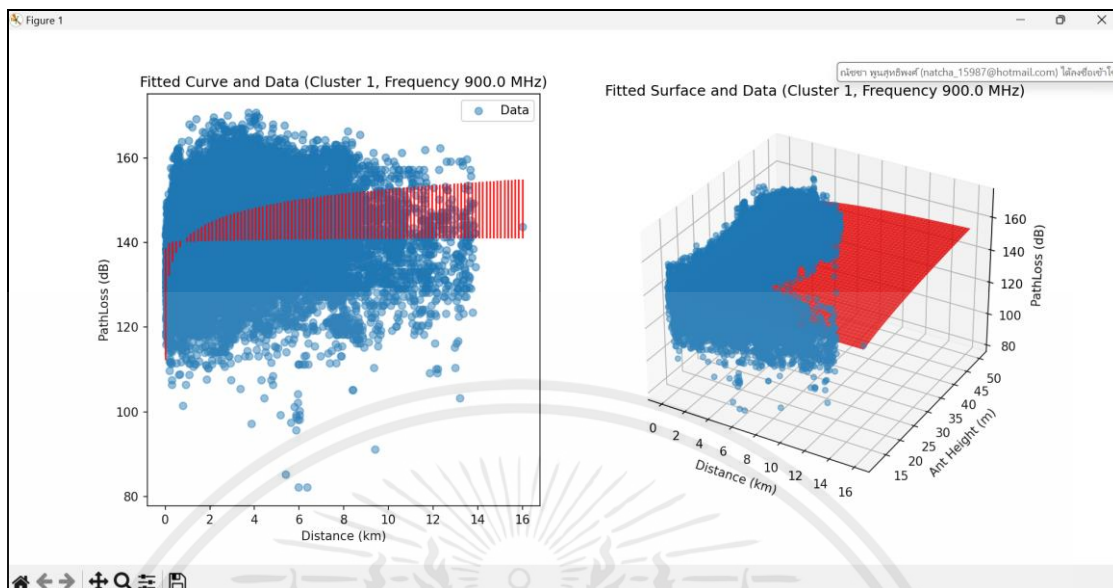


รูปที่ 4.14 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 0 ความถี่ 2100 MHz

4.3.9.2 การ Fitting Cluster 1 กับสมการ SPM

- การ Fitting Cluster 1 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 900 MHz

เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน `curve_fit` จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ `pcov` และ `popt` ซึ่งจะบอกค่า K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 และ K_6 ที่หามาได้ โดยจะได้ $K_1=-74.37$ $K_2=-7.60$ $K_3=0.61$ $K_4=3.19$ $K_5=-614.85$ $K_6=2800.56$ และ $RMSE=4.96$ แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงสุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.15

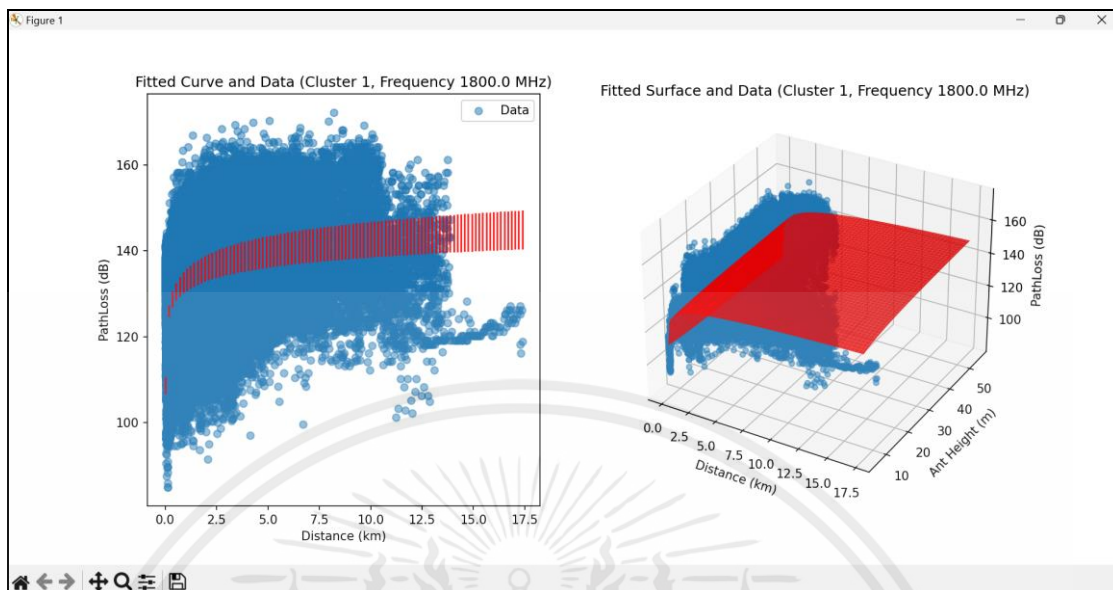


รูปที่ 4.15 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 1 ความถี่ 900 MHz

- การ Fitting Cluster 1 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 1800 MHz

เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน curve_fit จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ pcov และ popt ซึ่งจะบอกค่า K1 K2 K3 K4 K5 และ K6 ที่หามาได้ โดยจะได้ K1=249.97 K2=2.32 K3=2.10 K4=0.63 K5=-655.70 K6=2122.49 และ RMSE=6.21 แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงสุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.16

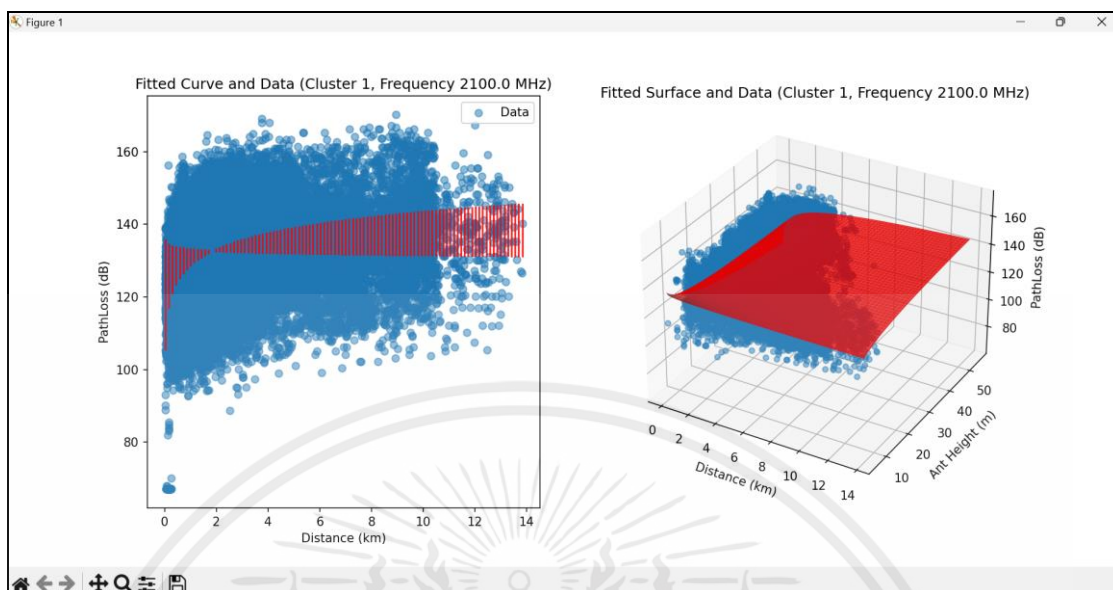
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 1 ความถี่ 1800 MHz

- การ Fitting Cluster 1 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 2100 MHz

เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน curve_fit จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ pcov และ popt ซึ่งจะบอกค่า K1 K2 K3 K4 K5 และ K6 ที่หามาได้ โดยจะได้ K1=-252.41 K2=-6.50 K3=-2.02 K4=3.23 K5=-576.24 K6=3091.71 และ RMSE=9.21 แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงสุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.17

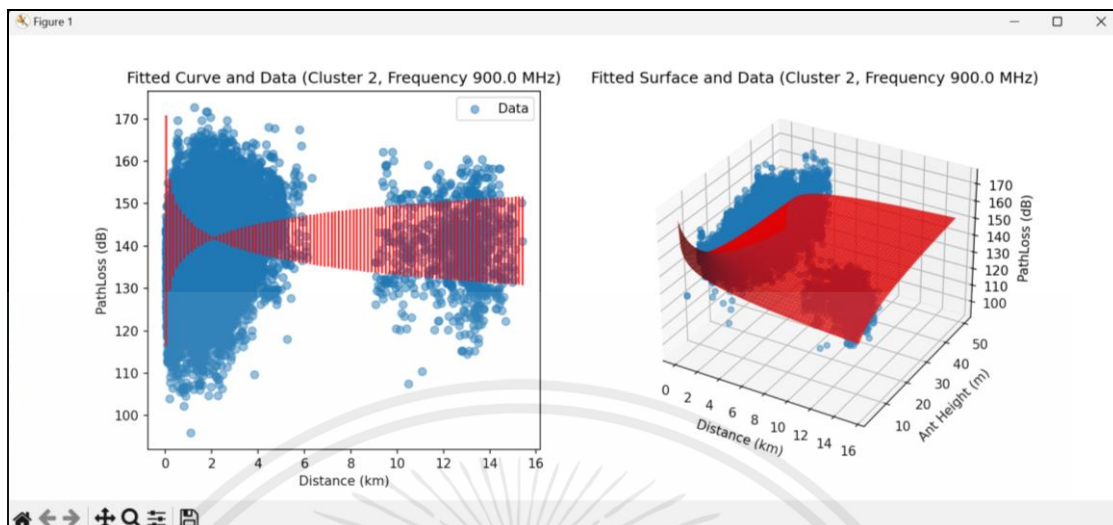


รูปที่ 4.17 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 1 ความถี่ 2100 MHz

4.3.9.3 การ Fitting Cluster 2 กับสมการ SPM

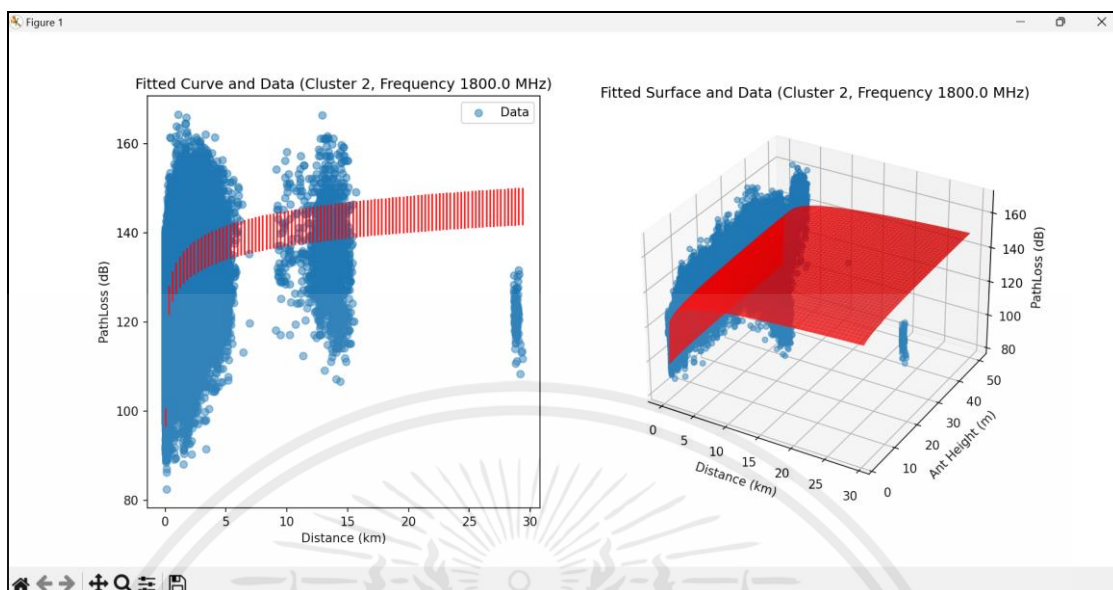
- การ Fitting Cluster 2 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 900 MHz

เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน `curve_fit` จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ `pcov` และ `popt` ซึ่งจะบอกค่า K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 และ K_6 ที่หามาได้ โดยจะได้ $K_1=957.29$ $K_2=-9.41$ $K_3=-2.65$ $K_4=3.63$ $K_5=290.91$ $K_6=-3070.10$ และ $RMSE=5.19$ แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงสุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 2 ความถี่ 900 MHz

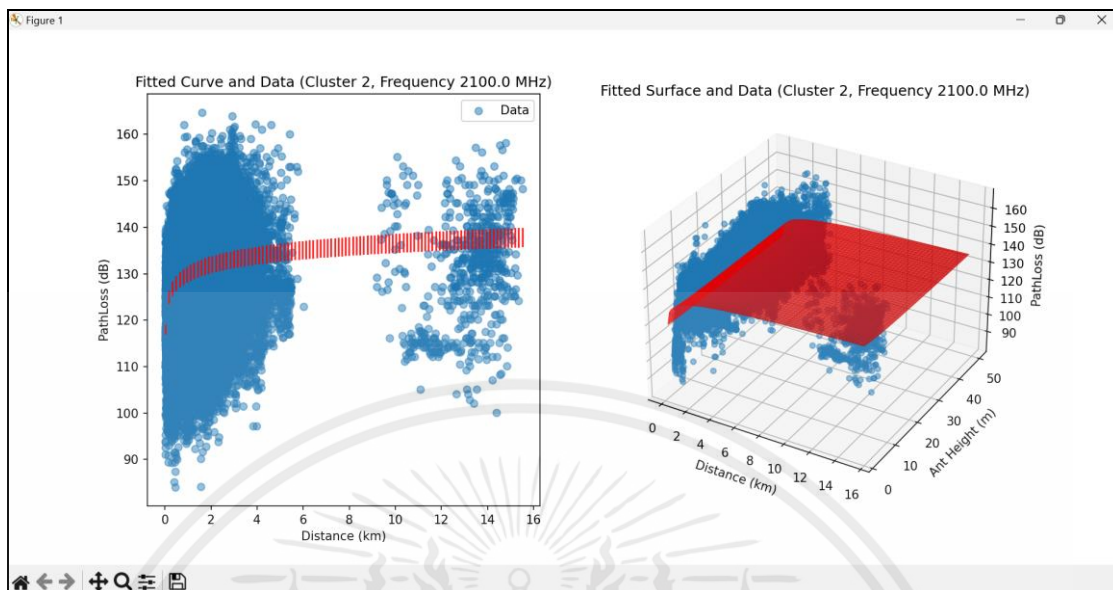
- การ Fitting Cluster 2 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 1800 MHz
เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน `curve_fit` จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ `pcov` และ `popt` ซึ่งจะบอกค่า K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 และ K_6 ที่หามาได้ โดยจะได้ $K_1=730.20$ $K_2=4.29$ $K_3=2.15$ $K_4=0.13$ $K_5=383.61$ $K_6=-2910.95$ และ $RMSE=6.20$ แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงสุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 2 ความถี่ 1800 MHz

- การ Fitting Cluster 2 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 2100 MHz

เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน curve_fit จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ pcov และ popt ซึ่งจะบอกค่า K1 K2 K3 K4 K5 และ K6 ที่หามาได้ โดยจะได้ $K1=-435.14$ $K2=3.08$ $K3=-0.94$ $K4=-0.09$ $K5=141.43$ $K6=875.93$ และ $RMSE=9.45$ แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงสุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.20

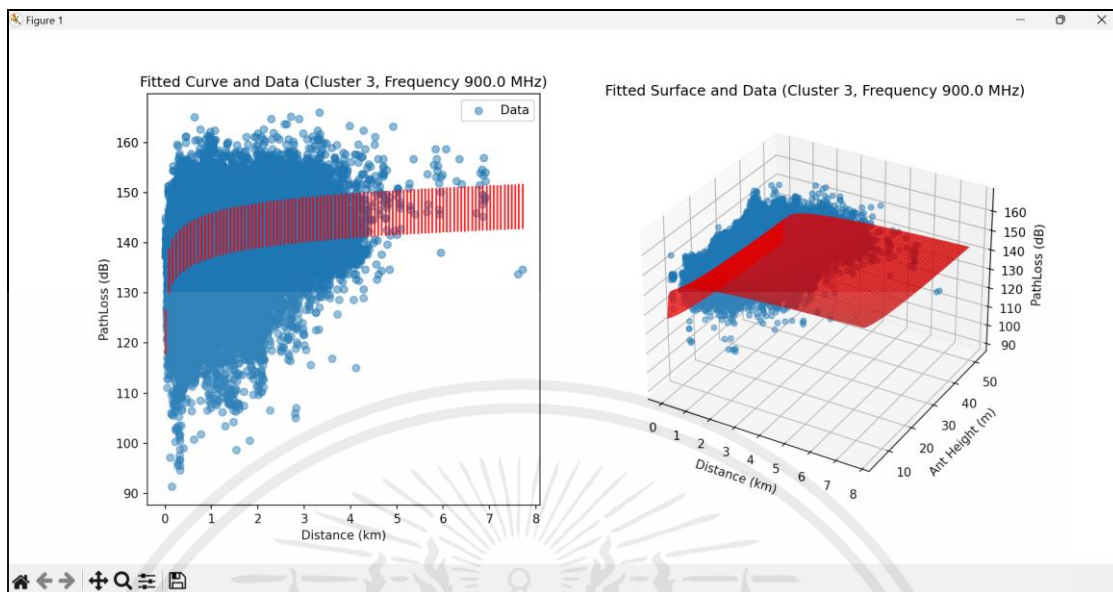


รูปที่ 4.20 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 2 ความถี่ 2100 MHz

4.3.9.4 การ Fitting Cluster 3 กับสมการ SPM

- การ Fitting Cluster 3 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 900 MHz

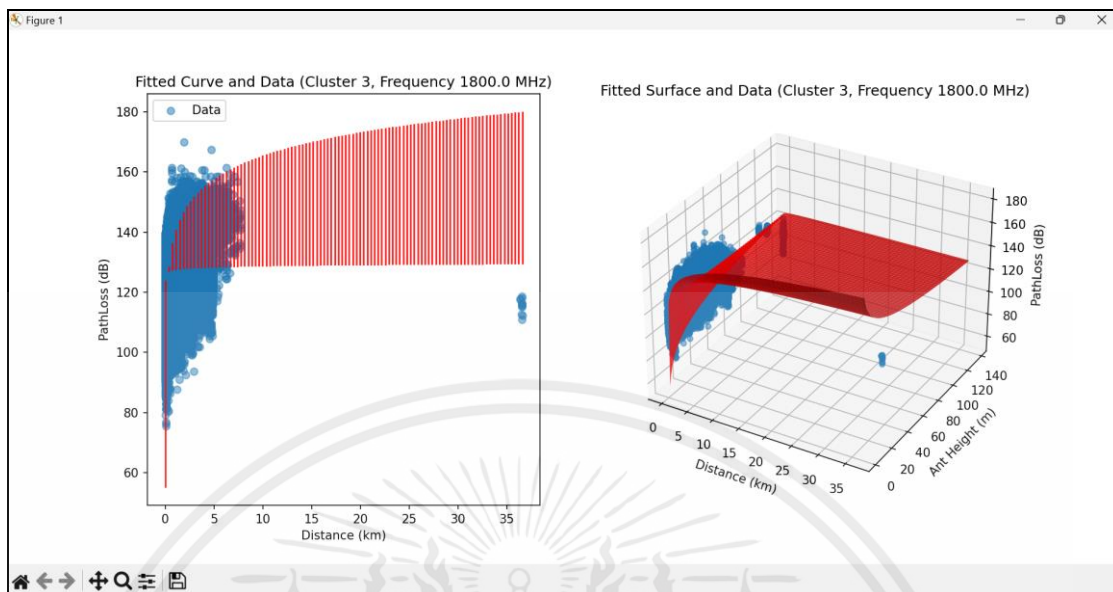
เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน `curve_fit` จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ `pcov` และ `popt` ซึ่งจะบอกค่า K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 และ K_6 ที่หามาได้ โดยจะได้ $K_1=-133.44$ $K_2=2.81$ $K_3=-3.68$ $K_4=0.00$ $K_5=-88.63$ $K_6=1031.34$ และ $RMSE=5.28$ แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงสุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 3 ความถี่ 900 MHz

- การ Fitting Cluster 3 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 1800 MHz

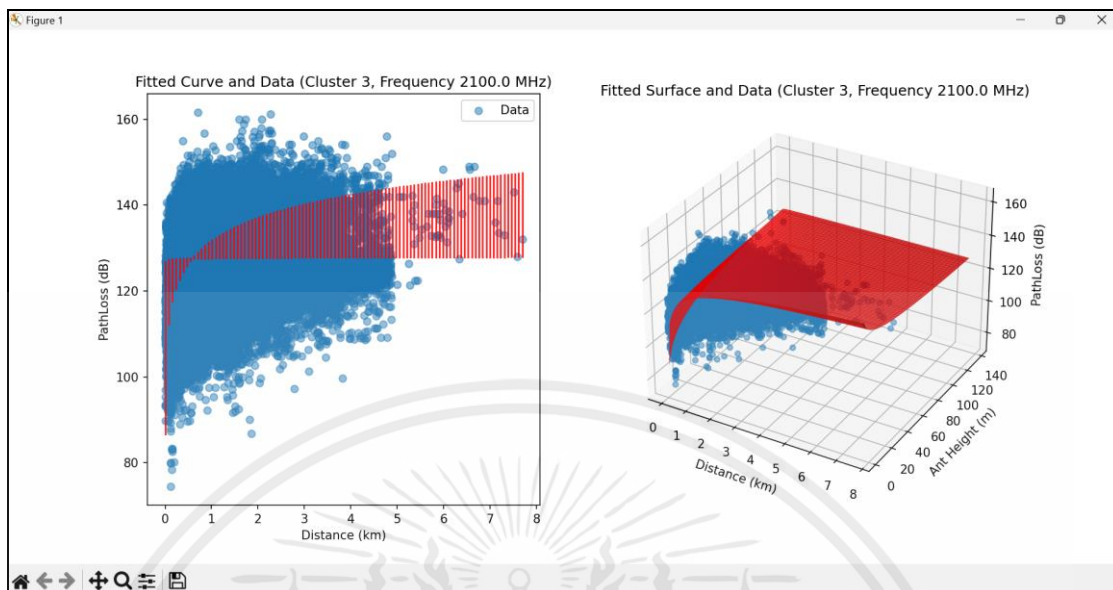
เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน `curve_fit` จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ `pcov` และ `popt` ซึ่งจะบอกค่า K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 และ K_6 ที่หามาได้ โดยจะได้ $K_1=1020.56$ $K_2=12.93$ $K_3=-2.77$ $K_4=-2.52$ $K_5=-396.62$ $K_6=-701.21$ และ $RMSE=6.16$ แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงสุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 3 ความถี่ 1800 MHz

- การ Fitting Cluster 3 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 2100 MHz

เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน `curve_fit` จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ `pcov` และ `popt` ซึ่งจะบอกค่า K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 และ K_6 ที่หามาได้ โดยจะได้ $K_1=671.27$ $K_2=8.95$ $K_3=-0.96$ $K_4=-1.79$ $K_5=-385.21$ $K_6=96.01$ และ $RMSE=8.36$ แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง สุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.23

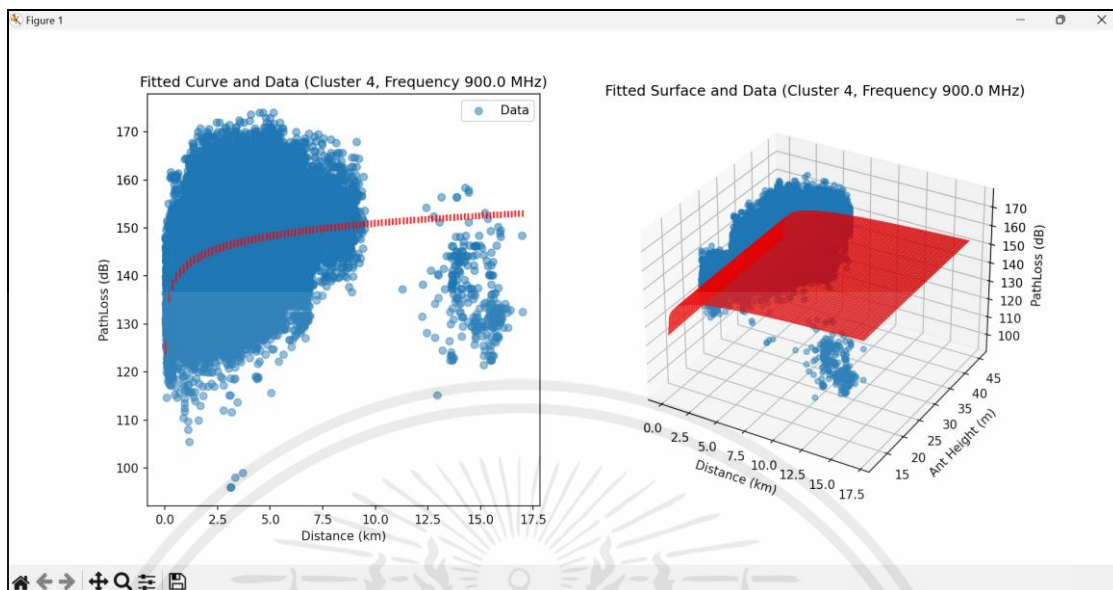


รูปที่ 4.23 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 3 ความถี่ 2100 MHz

4.3.9.5 การ Fitting Cluster 4 กับสมการ SPM

- การ Fitting Cluster 4 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 900 MHz

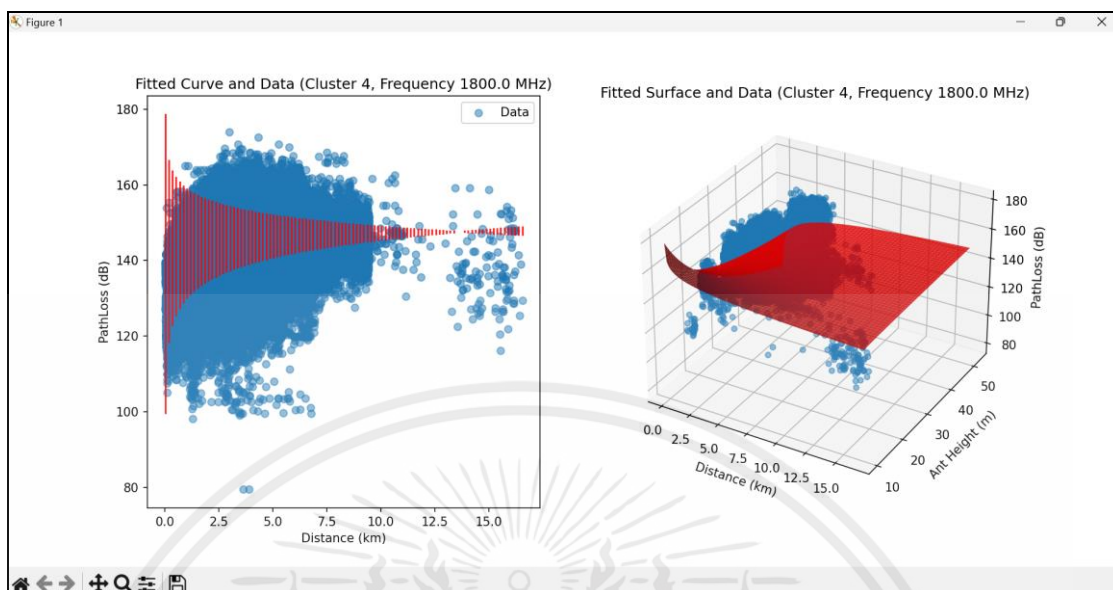
เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน `curve_fit` จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ `pcov` และ `popt` ซึ่งจะบอกค่า K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 และ K_6 ที่หามาได้ โดยจะได้ $K_1=-561.00$ $K_2=4.34$ $K_3=1.15$ $K_4=-0.16$ $K_5=196.01$ $K_6=1000.13$ และ $RMSE=5.11$ แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงสุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 4 ความถี่ 900 MHz

- การ Fitting Cluster 4 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 1800 MHz

เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน `curve_fit` จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ `pcov` และ `popt` ซึ่งจะบอกค่า K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 และ K_6 ที่หามาได้ โดยจะได้ $K_1=778.84$ $K_2=-19.67$ $K_3=-17.43$ $K_4=6.66$ $K_5=483.94$ $K_6=-3220.15$ และ $RMSE=6.35$ แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงสุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.25

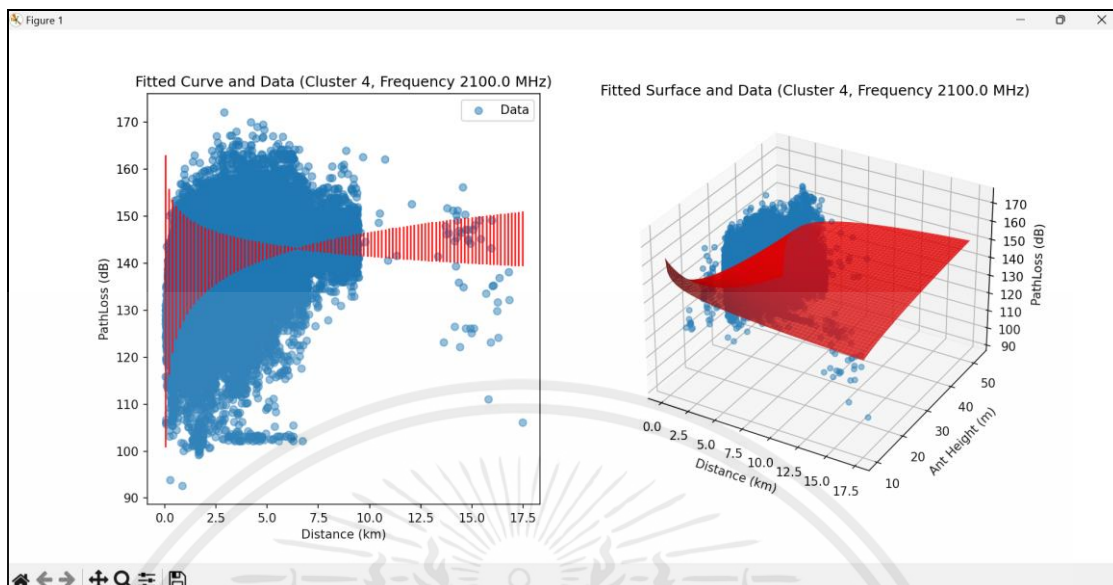


รูปที่ 4.25 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 4 ความถี่ 1800 MHz

- การ Fitting Cluster 4 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 2100 MHz

เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน `curve_fit` จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ `pcov` และ `popt` ซึ่งจะบอกค่า K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 และ K_6 ที่หามาได้ โดยจะได้ $K_1=406.12$ $K_2=-19.37$ $K_3=-12.77$ $K_4=6.84$ $K_5=-392.10$ $K_6=891.17$ และ $RMSE=8.65$ แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงสุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

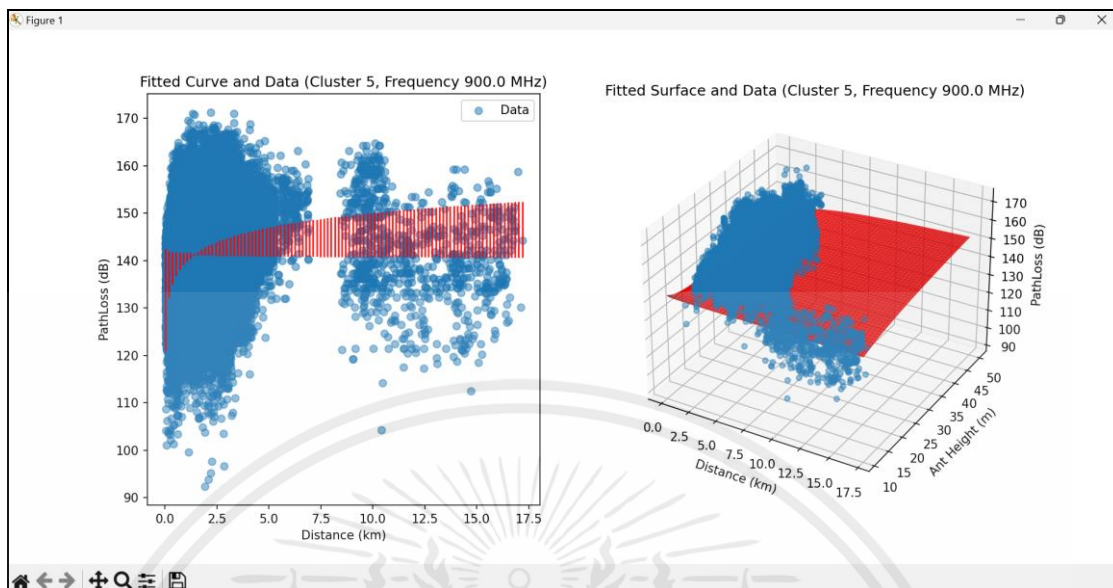


รูปที่ 4.26 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 4 ความถี่ 2100 MHz

4.3.9.6 การ Fitting Cluster 5 กับสมการ SPM

- การ Fitting Cluster 5 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 900 MHz

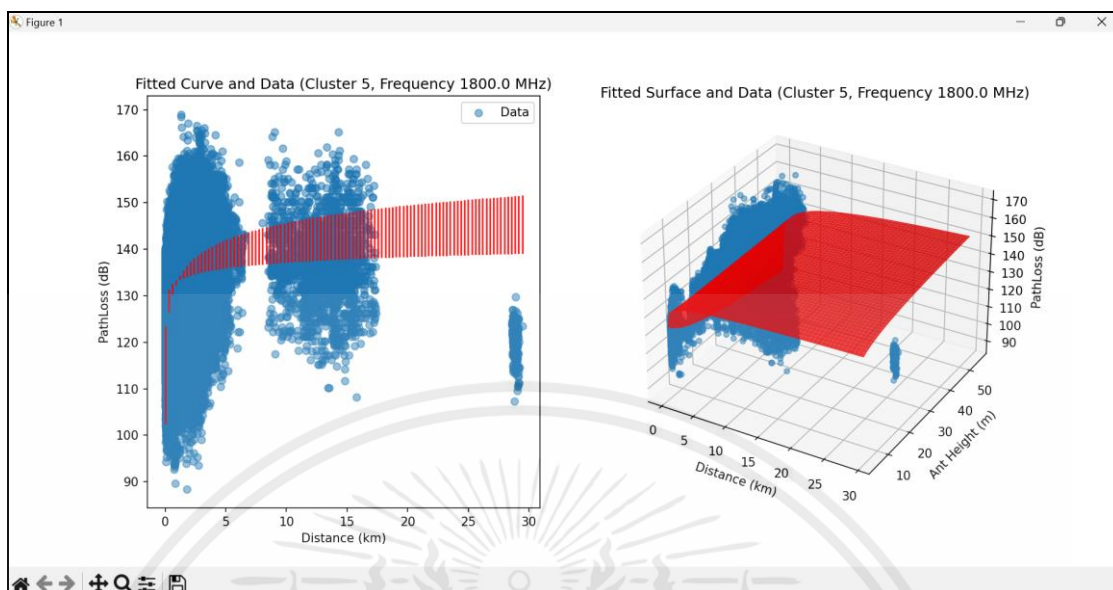
เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน `curve_fit` จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ `pcov` และ `popt` ซึ่งจะบอกค่า K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 และ K_6 ที่หามาได้ โดยจะได้ $K_1=-567.71$ $K_2=-7.54$ $K_3=-1.13$ $K_4=3.05$ $K_5=-325.62$ $K_6=2960.26$ และ $RMSE=5.54$ แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงสุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 5 ความถี่ 900 MHz

- การ Fitting Cluster 5 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 1800 MHz

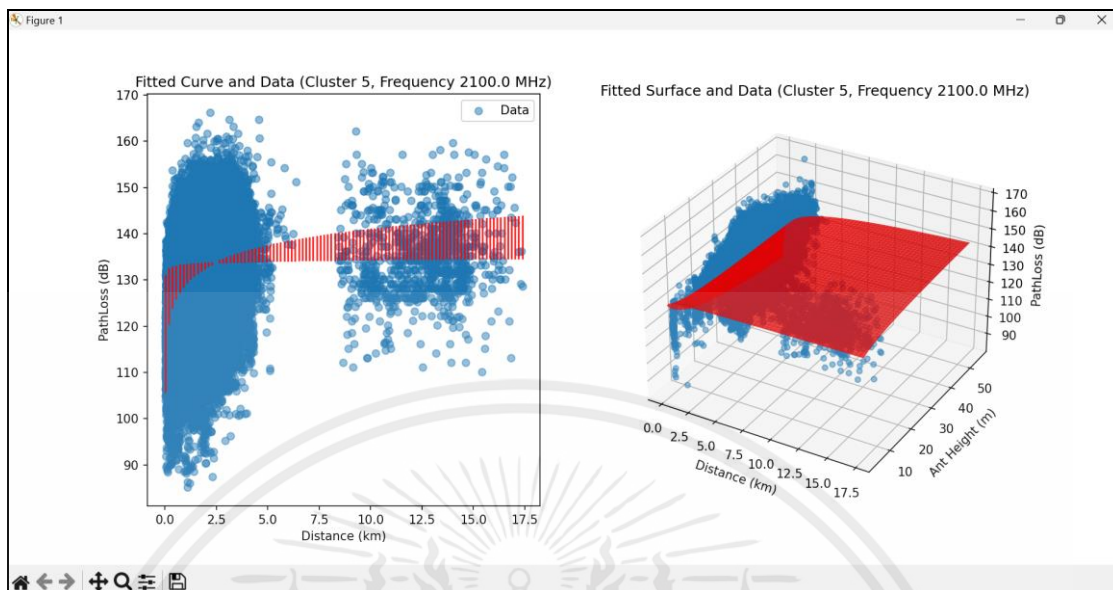
เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน curve_fit จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ pcov และ popt ซึ่งจะบอกค่า K1 K2 K3 K4 K5 และ K6 ที่หามาได้ โดยจะได้ $K1=242.89$ $K2=-0.66$ $K3=-0.05$ $K4=1.51$ $K5=162.26$ $K6=-870.45$ และ $RMSE=5.97$ แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงสุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 5 ความถี่ 1800 MHz

- การ Fitting Cluster 5 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 2100 MHz

เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน curve_fit จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ pcov และ popt ซึ่งจะบอกค่า K1 K2 K3 K4 K5 และ K6 ที่หามาได้ โดยจะได้ K1=204.52 K2=-1.92 K3=-1.57 K4=1.75 K5=-632.34 K6=2169.08 และ RMSE=8.64 แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงสุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.29

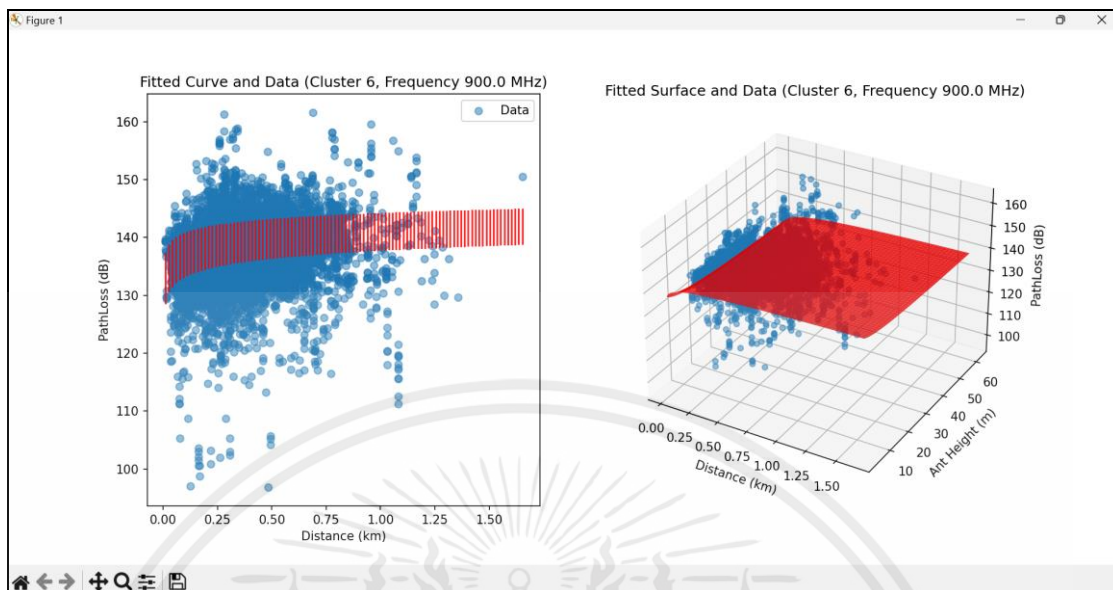


รูปที่ 4.29 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 5 ความถี่ 2100 MHz

4.3.9.7 การ Fitting Cluster 6 กับสมการ SPM

- การ Fitting Cluster 6 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 900 MHz

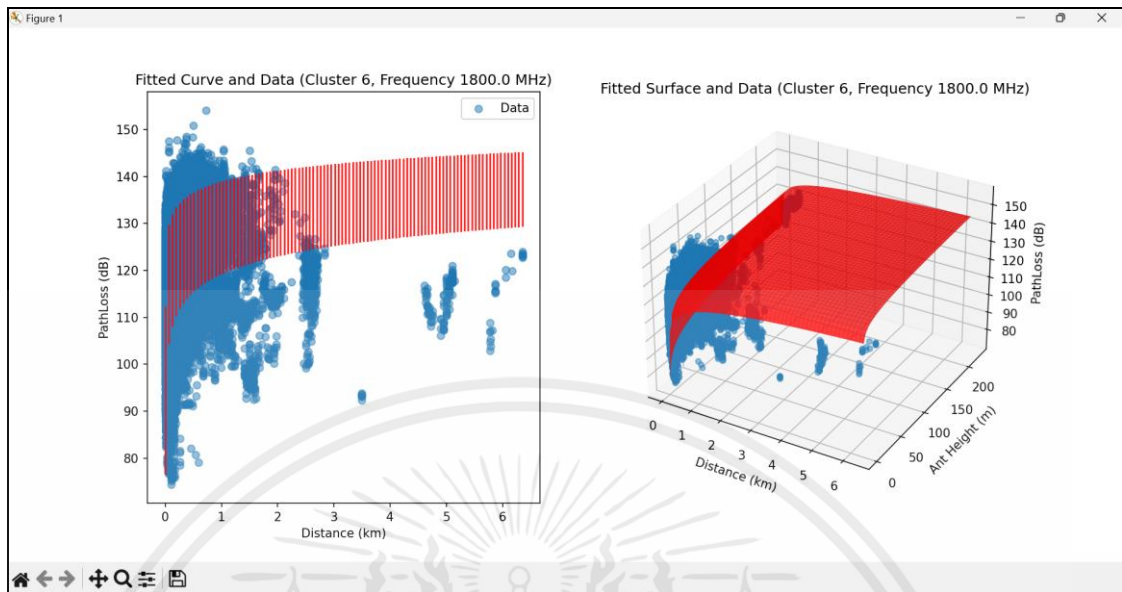
เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน `curve_fit` จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ `pcov` และ `popt` ซึ่งจะบอกค่า K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 และ K_6 ที่หามาได้ โดยจะได้ $K_1=-642.79$ $K_2=1.28$ $K_3=-2.05$ $K_4=0.17$ $K_5=497.31$ $K_6=106.48$ และ $RMSE=5.22$ แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงสุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 6 ความถี่ 900 MHz

- การ Fitting Cluster 6 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 1800 MHz

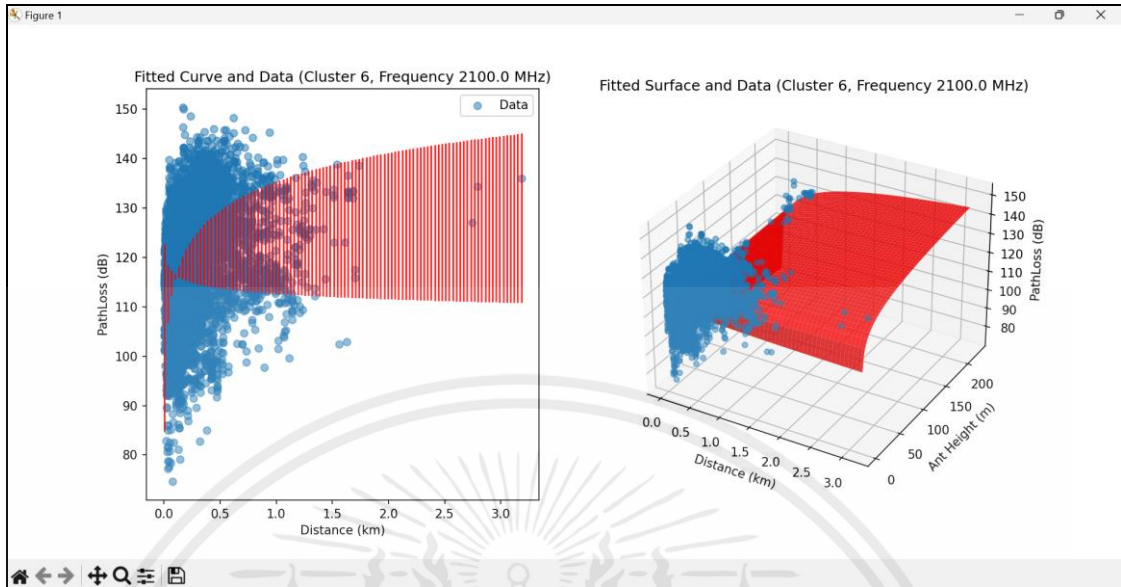
เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน curve_fit จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ pcov และ popt ซึ่งจะบอกค่า K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 และ K_6 ที่หามาได้ โดยจะได้ $K_1=-247.51$ $K_2=5.44$ $K_3=3.58$ $K_4=-0.38$ $K_5=-164.67$ $K_6=1514.14$ และ $RMSE=6.42$ แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงสุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 6 ความถี่ 1800 MHz

- การ Fitting Cluster 6 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 2100 MHz

เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน `curve_fit` จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ `pcov` และ `popt` ซึ่งจะบอกค่า K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 และ K_6 ที่หามาได้ โดยจะได้ $K_1=-674.42$ $K_2=-1.60$ $K_3=4.12$ $K_4=1.85$ $K_5=-578.13$ $K_6=4080.42$ และ $RMSE=10.13$ แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงสุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.32

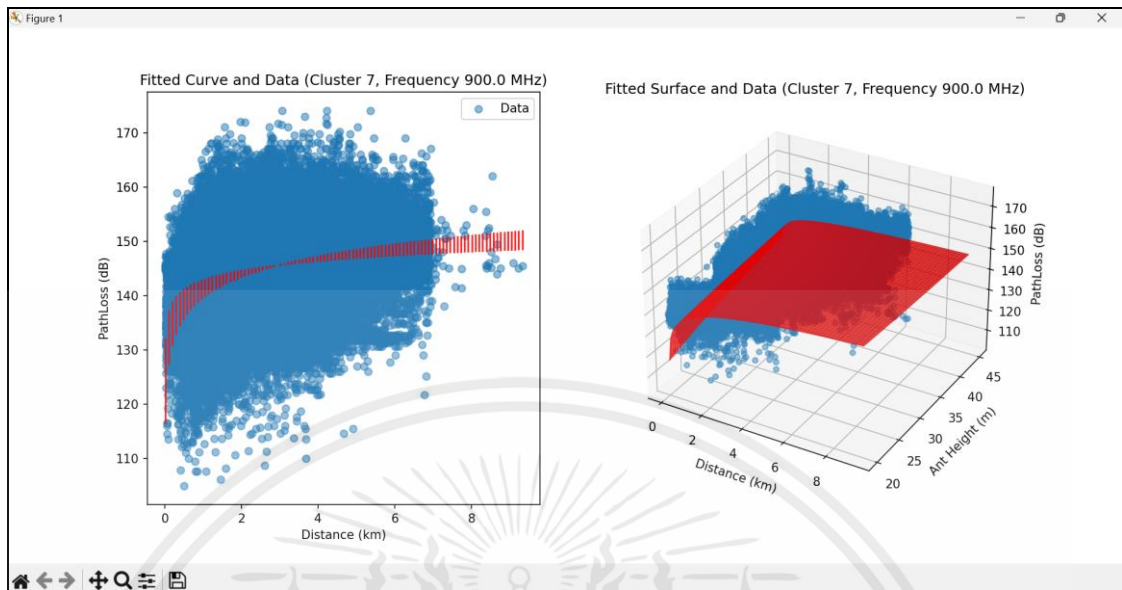


รูปที่ 4.32 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 6 ความถี่ 2100 MHz

4.3.9.8 การ Fitting Cluster 7 กับสมการ SPM

- การ Fitting Cluster 7 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 900 MHz

เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน `curve_fit` จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ `pcov` และ `popt` ซึ่งจะบอกค่า K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 และ K_6 ที่หามาได้ โดยจะได้ $K_1=-225.91$ $K_2=16.23$ $K_3=3.92$ $K_4=-3.59$ $K_5=-533.87$ $K_6=2847.80$ และ $RMSE=4.96$ แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงสุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.33

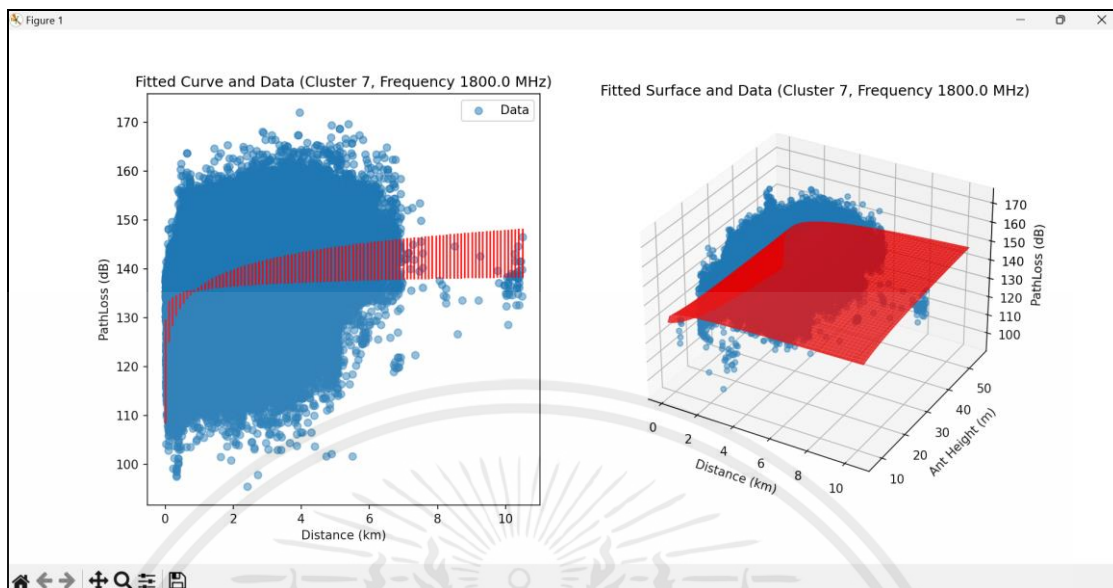


รูปที่ 4.33 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 7 ความถี่ 900 MHz

- การ Fitting Cluster 7 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 1800 MHz

เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน curve_fit จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ pcov และ popt ซึ่งจะบอกค่า K1 K2 K3 K4 K5 และ K6 ที่หามาได้ โดยจะได้ $K1=-801.88$ $K2=-3.07$ $K3=0.25$ $K4=2.02$ $K5=429.17$ $K6=723.69$ และ $RMSE=6.47$ แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงสุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

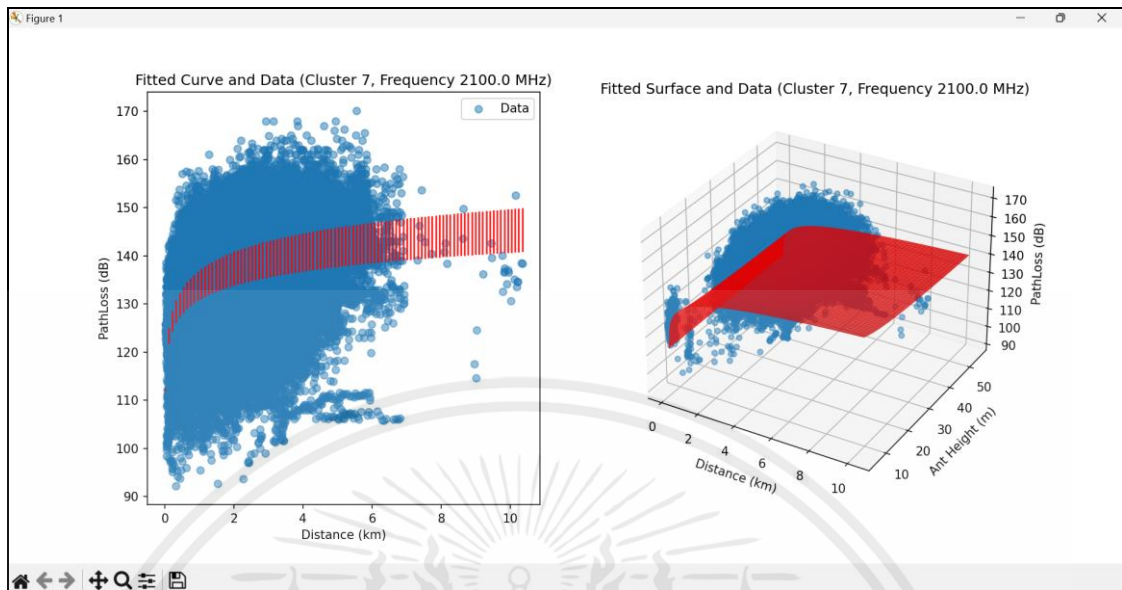


รูปที่ 4.34 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 7 ความถี่ 1800 MHz

- การ Fitting Cluster 7 กับสมการ SPM โดยใช้ความถี่ 2100 MHz

เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชัน curve_fit จะได้ผลลัพธ์ 2 ค่า คือ pcov และ popt ซึ่งจะบอกค่า K1 K2 K3 K4 K5 และ K6 ที่หามาได้ โดยจะได้ K1=694.21 K2=6.56 K3=-2.60 K4=-0.58 K5=461.50 K6=-3070.49 และ RMSE=9.19 แล้วจึงนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงสุดท้ายจะได้เส้นโค้งสีแดงที่เหมาะสมกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 4.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 ตัวอย่างกราฟ 2 มิติและ 3 มิติเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับเส้นโค้งที่ผ่านการทำ Curve Fitting แล้วของ Cluster 7 ความถี่ 2100 MHz

จากหัวข้อที่ 4.3.9 สามารถสรุปผลลัพธ์จากการ Fitting Cluster 0 ถึง Cluster 7 กับสมการ SPM จะได้ค่า K1 K2 K3 K4 K5 K6 และค่า RMSE ดังตารางที่ 4.10 ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงตัวอย่างผลลัพธ์จากการ Fitting Cluster 0 ถึง Cluster 7 กับสมการ SPM

Cluster	Frequency (MHz)	K1	K2	K3	K4	K5	K6	RMSE
0	900	546.59	-1.43	-2.06	1.45	472.12	-2733.92	5.62
	1800	805.71	8.30	0.68	-1.12	496.51	-3504.66	6.25
	2100	-227.77	4.54	0.37	-0.51	-103.28	1255.81	9.45
1	900	-74.37	-7.60	0.61	3.19	-614.85	2800.56	4.96
	1800	249.97	2.32	2.10	0.63	-655.70	2122.49	6.21
	2100	-252.41	-6.50	-2.02	3.23	-576.24	3091.71	9.21
2	900	957.29	-9.41	-2.65	3.63	290.91	-3070.10	5.19
	1800	730.20	4.29	2.15	0.13	383.61	-2910.95	6.20
	2100	-435.14	3.08	-0.94	-0.09	141.43	875.93	9.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ตารางแสดงตัวอย่างผลลัพธ์จากการ Fitting Cluster 0 ถึง Cluster 7 กับสมการ SPM

Cluster	Frequency (MHz)	K1	K2	K3	K4	K5	K6	RMSE
3	900	-133.44	2.81	-3.68	0.00	-88.63	1031.34	5.28
	1800	1020.56	12.93	-2.77	-2.52	-396.62	-701.21	6.16
	2100	671.27	8.95	-0.96	-1.79	-385.21	96.01	8.36
4	900	-561.00	4.34	1.15	-0.16	196.01	1000.13	5.11
	1800	778.84	-19.67	-17.43	6.66	483.94	-3220.15	6.35
	2100	406.12	-19.37	-12.77	6.84	-392.10	891.17	8.65
5	900	-567.71	-7.54	-1.13	3.05	-325.62	2960.26	5.54
	1800	242.89	-0.66	-0.05	1.51	162.26	-870.45	5.97
	2100	204.52	-1.92	-1.57	1.75	-632.34	2169.08	8.64
6	900	-641.79	1.28	-2.05	0.17	497.31	106.48	5.22
	1800	-247.51	5.44	3.58	-0.38	-164.67	1514.14	6.42
	2100	-674.42	-1.60	4.12	1.85	-578.13	4080.42	10.13
7	900	-225.91	16.23	3.92	-3.59	-533.87	2847.80	4.96
	1800	-801.88	-3.07	0.25	2.02	492.17	723.69	6.47
	2100	694.21	6.56	-2.60	-0.58	461.50	-3070.49	9.19

และสามารถสรุปสมการสุทธิต่างจากการ Fitting Cluster 0 ถึง Cluster 7 กับสมการ SPM จะได้สมการสุทธิทั้งหมด 24 สมการ ดังตารางที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงตัวอย่างสมการสุทธิต่างๆที่ได้จากการ Fitting Cluster 0 ถึง Cluster 7 กับสมการ SPM

Cluster	Frequency (MHz)	สมการสุทธิ
0	900	$546.59 - 1.43\log(\text{distance}) - 2.06\log(\text{Htx}) + 1.45\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) + 472.12\text{Hrx} - 2733.92\log(\text{Hrx})$
	1800	$805.71 + 8.3\log(\text{distance}) + 0.68\log(\text{Htx}) - 1.12\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) + 496.51\text{Hrx} - 3504.66\log(\text{Hrx})$
	2100	$-227.77 + 4.54\log(\text{distance}) + 0.37\log(\text{Htx}) - 0.51\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) - 103.28\text{Hrx} + 1255.81\log(\text{Hrx})$
1	900	$-74.37 - 7.6\log(\text{distance}) + 0.61\log(\text{Htx}) + 3.19\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) - 614.85\text{Hrx} + 2800.56\log(\text{Hrx})$
	1800	$249.97 + 2.32\log(\text{distance}) + 2.1\log(\text{Htx}) + 0.63\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) - 655.7\text{Hrx} + 2122.49\log(\text{Hrx})$
	2100	$-252.41 - 6.5\log(\text{distance}) - 2.02\log(\text{Htx}) + 3.23\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) - 576.24\text{Hrx} + 3091.71\log(\text{Hrx})$
2	900	$957.29 - 9.41\log(\text{distance}) - 2.65\log(\text{Htx}) + 3.63\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) + 290.91\text{Hrx} - 3070.1\log(\text{Hrx})$
	1800	$730.2 + 4.29\log(\text{distance}) + 2.15\log(\text{Htx}) + 0.13\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) + 383.61\text{Hrx} - 2910.95\log(\text{Hrx})$
	2100	$-435.14 + 3.08\log(\text{distance}) - 0.94\log(\text{Htx}) - 0.09\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) + 141.43\text{Hrx} + 875.93\log(\text{Hrx})$
3	900	$-133.44 + 2.81\log(\text{distance}) - 3.68\log(\text{Htx}) + 0.0\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) - 88.63\text{Hrx} + 1031.34\log(\text{Hrx})$
	1800	$1020.56 + 12.93\log(\text{distance}) - 2.77\log(\text{Htx}) - 2.52\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) - 396.62\text{Hrx} - 701.21\log(\text{Hrx})$
	2100	$671.27 + 8.95\log(\text{distance}) - 0.96\log(\text{Htx}) - 1.79\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) - 385.21\text{Hrx} + 96.01\log(\text{Hrx})$
4	900	$-561.0 + 4.34\log(\text{distance}) + 1.15\log(\text{Htx}) - 0.16\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) + 196.01\text{Hrx} + 1000.13\log(\text{Hrx})$
	1800	$778.84 - 19.67\log(\text{distance}) - 17.43\log(\text{Htx}) + 6.66\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) + 483.94\text{Hrx} - 3220.15\log(\text{Hrx})$
	2100	$406.12 - 19.37\log(\text{distance}) - 12.77\log(\text{Htx}) + 6.84\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) - 392.1\text{Hrx} + 891.17\log(\text{Hrx})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 (ต่อ) ตารางแสดงสมการสุทธิตี่ได้จากการ Fitting Cluster 0 ถึง Cluster 7 กับสมการ SPM

Cluster	Frequency (MHz)	สมการสุทธิ
5	900	$- 567.71 - 7.54\log(\text{distance}) - 1.13\log(\text{Htx}) + 3.05\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) - 325.62\text{Hrx} + 2960.26\log(\text{Hrx})$
	1800	$242.89 - 0.66\log(\text{distance}) - 0.05\log(\text{Htx}) + 1.51\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) + 162.26\text{Hrx} - 870.45\log(\text{Hrx})$
	2100	$204.52 - 1.92\log(\text{distance}) - 1.57\log(\text{Htx}) + 1.75\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) - 632.34\text{Hrx} + 2169.08\log(\text{Hrx})$
6	900	$- 642.79 + 1.28\log(\text{distance}) - 2.05\log(\text{Htx}) + 0.17\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) + 497.31\text{Hrx} + 106.48\log(\text{Hrx})$
	1800	$- 247.51 + 5.44\log(\text{distance}) + 3.58\log(\text{Htx}) - 0.38\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) - 164.67\text{Hrx} + 1514.14\log(\text{Hrx})$
	2100	$- 674.42 - 1.6\log(\text{distance}) + 4.12\log(\text{Htx}) + 1.85\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) - 578.13\text{Hrx} + 4080.42\log(\text{Hrx})$
7	900	$- 225.91 + 16.23\log(\text{distance}) + 3.92\log(\text{Htx}) - 3.59\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) - 533.87\text{Hrx} + 2847.8\log(\text{Hrx})$
	1800	$- 801.88 - 3.07\log(\text{distance}) + 0.25\log(\text{Htx}) + 2.02\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) + 429.17\text{Hrx} + 723.69\log(\text{Hrx})$
	2100	$694.21 + 6.56\log(\text{distance}) - 2.6\log(\text{Htx}) - 0.58\log(\text{distance})\log(\text{Htx}) + 461.5\text{Hrx} - 3070.49\log(\text{Hrx})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.10 ทดสอบการคำนวณการสูญเสียเชิงวิถีด้วย Standard Propagation Model

คำนวณการสูญเสียเชิงวิถี โดยใช้สมการที่ (3) แสดงผลลัพธ์ ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ตัวอย่างผลการทดสอบการคำนวณการสูญเสียเชิงวิถีด้วย Standard Propagation Model

Distance (km)	ant_height (m)	receiver_height (m)	Frequency (MHz)	Path Loss (dB)
0.15660	20	1.5	1800	123.08990
0.60360	20	1.5	1800	129.40450
1.10390	20	1.5	1800	132.22970
1.25120	20	1.5	1800	132.81580
1.48440	20	1.5	1800	133.61560

4.3.11 ทดสอบการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ เมื่อใช้ Standard Propagation Model

คำนวณค่ากำลังสัญญาณรับโดยใช้สมการที่ (7) โดยใช้ค่ากำลังสัญญาณที่หารด้วย 10 ก่อนนำมาคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ แสดงผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ตัวอย่างผลการทดสอบการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ เมื่อใช้ Standard Propagation Model

Power (dBm)	Antenna Gain (dBi)	Path Loss (dB)	Received Signal (dBm)
177	16.99	123.08990	-88.40000
177	7.63	129.40450	-104.07000
177	8.66	132.22970	-105.87000
177	19.29	132.81580	-95.83000
177	18.26	133.61560	-97.66000

4.3.12 ทดสอบผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับเทียบกับค่าจริง เมื่อใช้ Standard Propagation Model

ผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับเทียบกับค่าจริงที่ได้จากข้อมูลของบริษัท AIS ซึ่งคือค่า RSRP แสดงผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ตัวอย่างผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับเทียบกับค่าจริง เมื่อใช้ Standard Propagation Model (ไม่สามารถเปิดเผยข้อมูลบางส่วนได้เนื่องจากเป็นความลับของบริษัท AIS)

Latitude	Longitude	Received Signal (dBm)	RSRP (dBm)
		-88.40000	-80.54
		-104.07000	-97.28
		-105.87000	-88.72
		-95.83000	-77.74
		-97.66000	-88.49

4.4 การทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน

4.4.1 Front-End

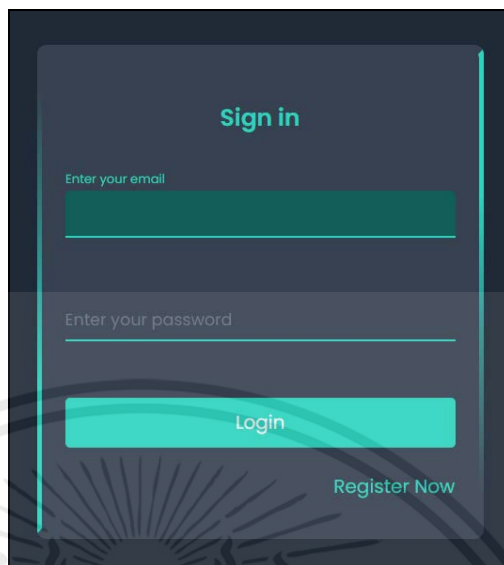
4.4.1.1 เว็บแอปพลิเคชันหน้า Register และ Sign in

ผู้ใช้งานจะต้องสมัครบัญชีผู้ใช้ก่อนจึงจะสามารถล็อกอินได้ ซึ่งจะสมัครได้โดยกดที่ Register Now จากนั้นกรอกข้อมูลลงในกล่อง Email First name Last name และ Password แล้วกดปุ่ม Submit หากสมัครบัญชีผู้ใช้เรียบร้อยแล้วสามารถกด Login Now เพื่อไปยังหน้า Sign in ได้ ดังรูปที่ 4.36

 A screenshot of a web application's registration page. The page has a dark blue background with a faint watermark of a university emblem. At the top, the word "Register" is written in a light blue font. Below it, there are four input fields with light blue borders and labels: "Enter your email", "Enter your first name", "Enter your lastname", and "Enter your password". At the bottom of the form, there is a large, solid light blue button labeled "Submit". In the bottom right corner of the form area, there is a link labeled "Login Now" in light blue text.

รูปที่ 4.36 หน้าต่าง Register

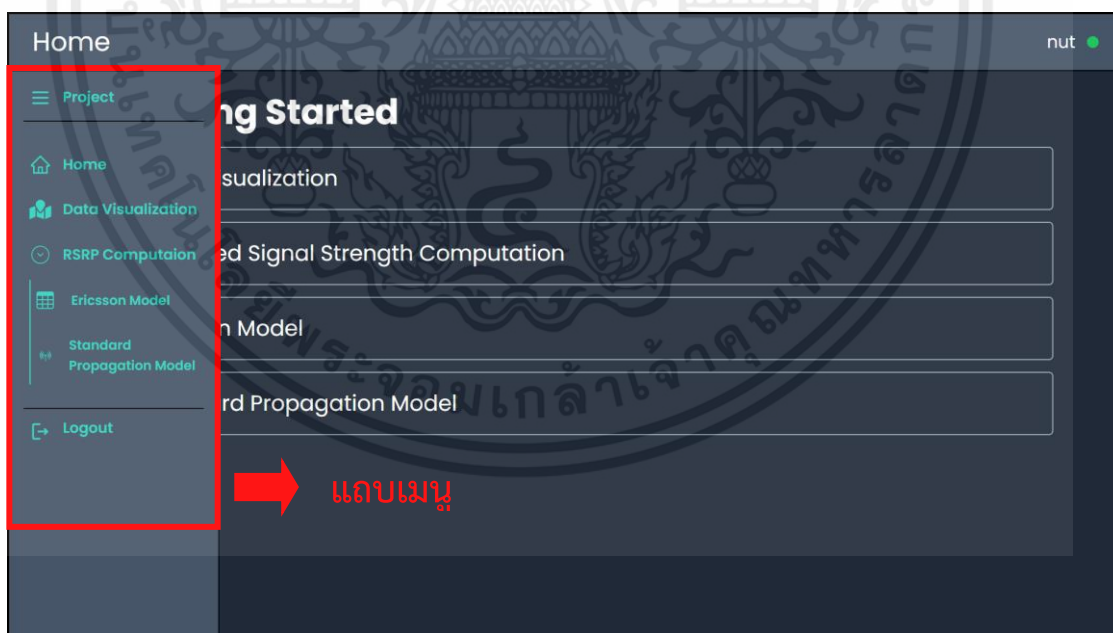
ทำการล็อกอินเข้าสู่ระบบโดยกรอกข้อมูลลงในกล่อง Email และ Password จากนั้นกดปุ่ม Login ดังรูปที่ 4.37



รูปที่ 4.37 หน้าต่าง Sign in

4.4.1.2 เว็บแอปพลิเคชันหน้า Home

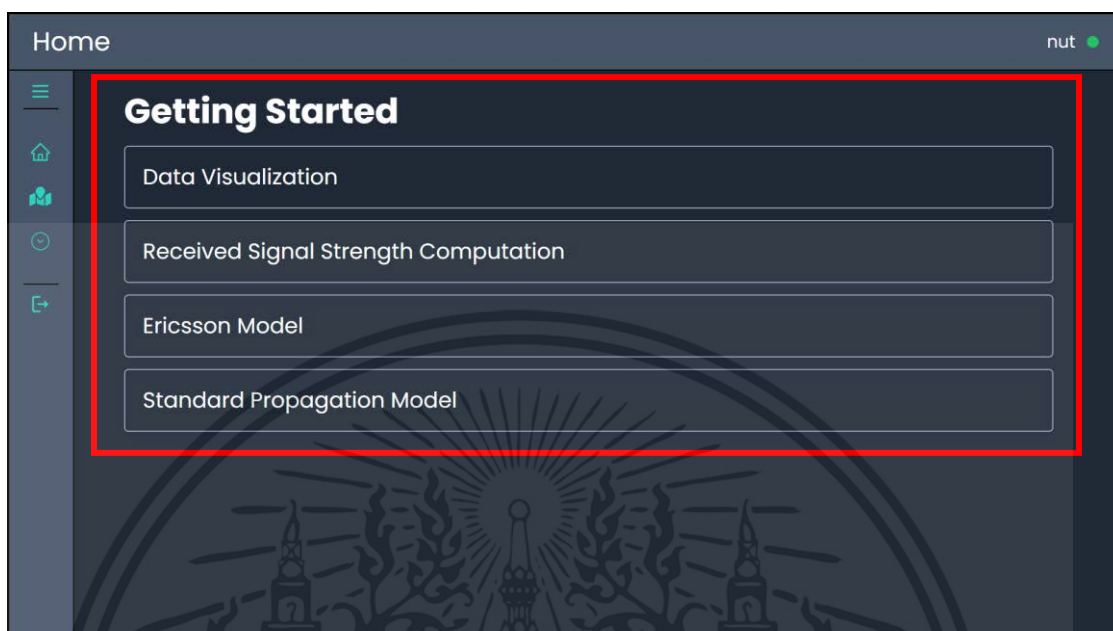
แถบเมนูด้านข้างของหน้า Home ของเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อเป็นแถบนำทางสำหรับการเชื่อมต่อไปสู่หน้าอื่น ๆ โดยแถบเมนูถูกออกแบบให้มีฟังก์ชันต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 แถบเมนู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า Home แสดงขอบเขตการทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน ดังรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.39 รายการหน้าเว็บแอปพลิเคชันอื่น ๆ

4.4.1.3 เว็บแอปพลิเคชันหน้า Data Visualization

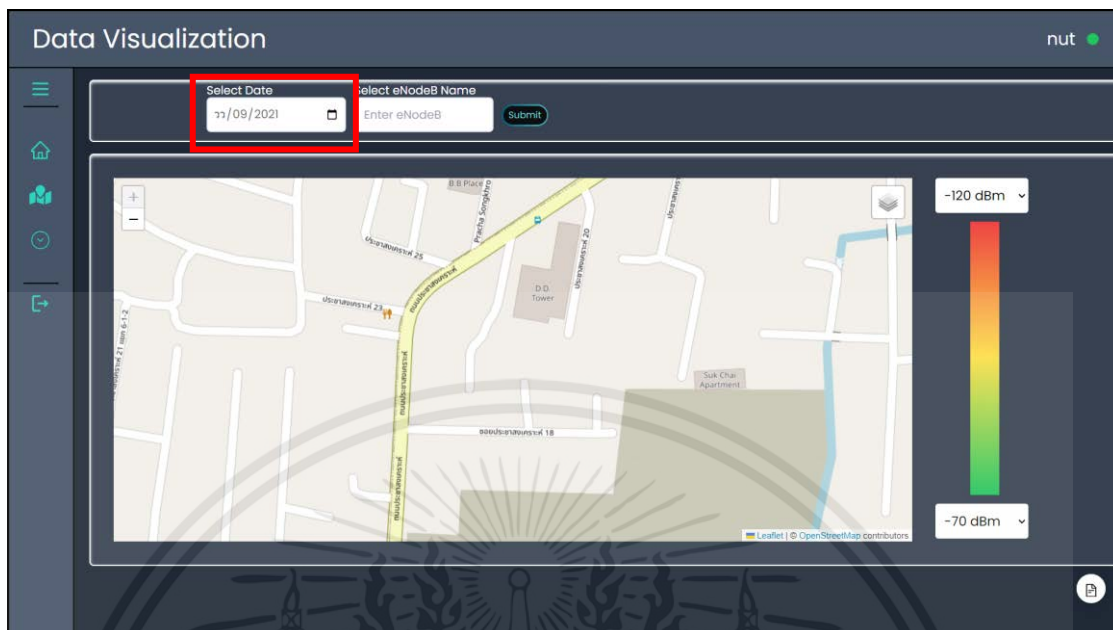
เว็บแอปพลิเคชันหน้า Data Visualization ใช้สำหรับแสดงข้อมูลตำแหน่งของสถานีฐานและพื้นที่กริดบนแผนที่ มีการแสดงผลดังนี้

1) กล่อง Select

1.1) กล่อง Select Date

กล่อง Select Date ในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.40 ใช้สำหรับค้นหาและเลือกวันที่

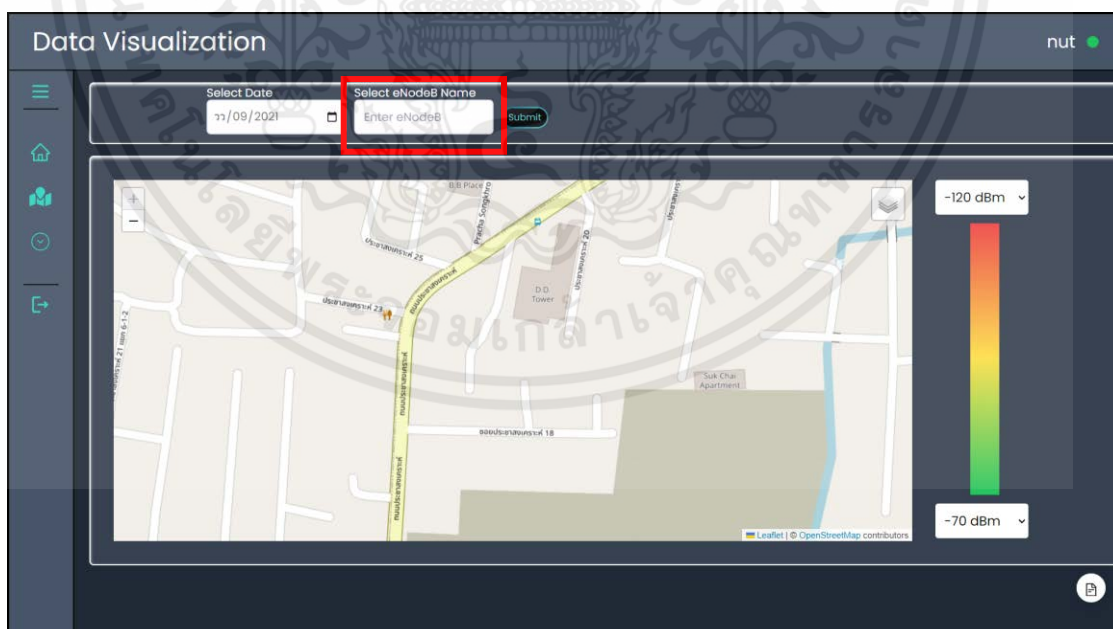
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.40 กล้อง Select Date

1.2) กล้อง Select eNodeB Name

กล้อง Select eNodeB Name ในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.41 ใช้สำหรับกรอก เพื่อค้นหา eNodeB_Name

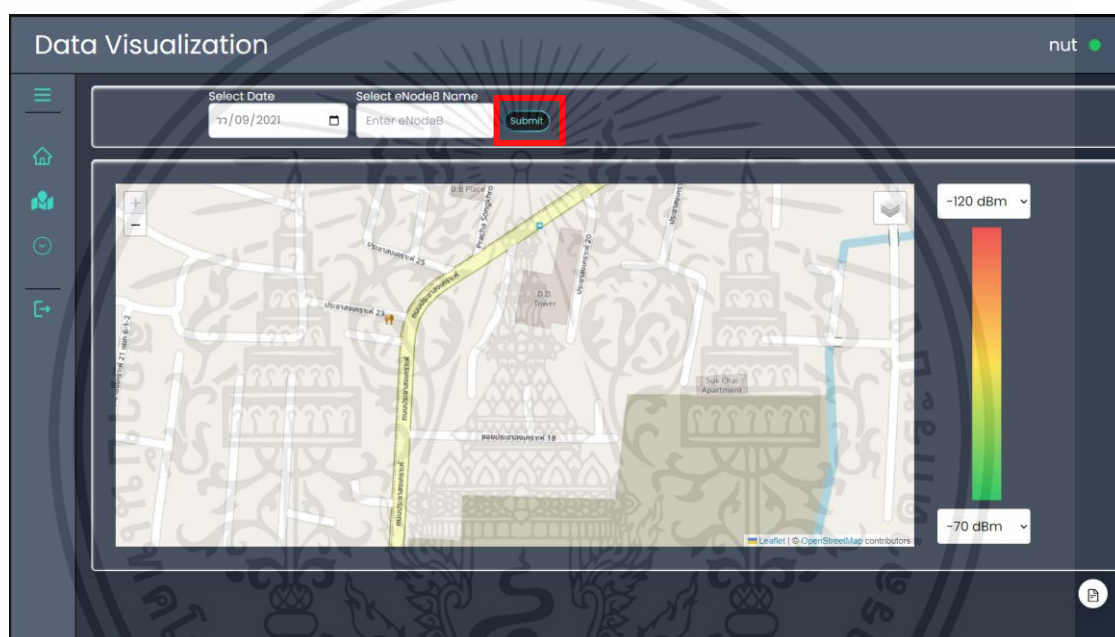


รูปที่ 4.41 กล้อง Select eNodeB Name

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ปุ่ม Submit

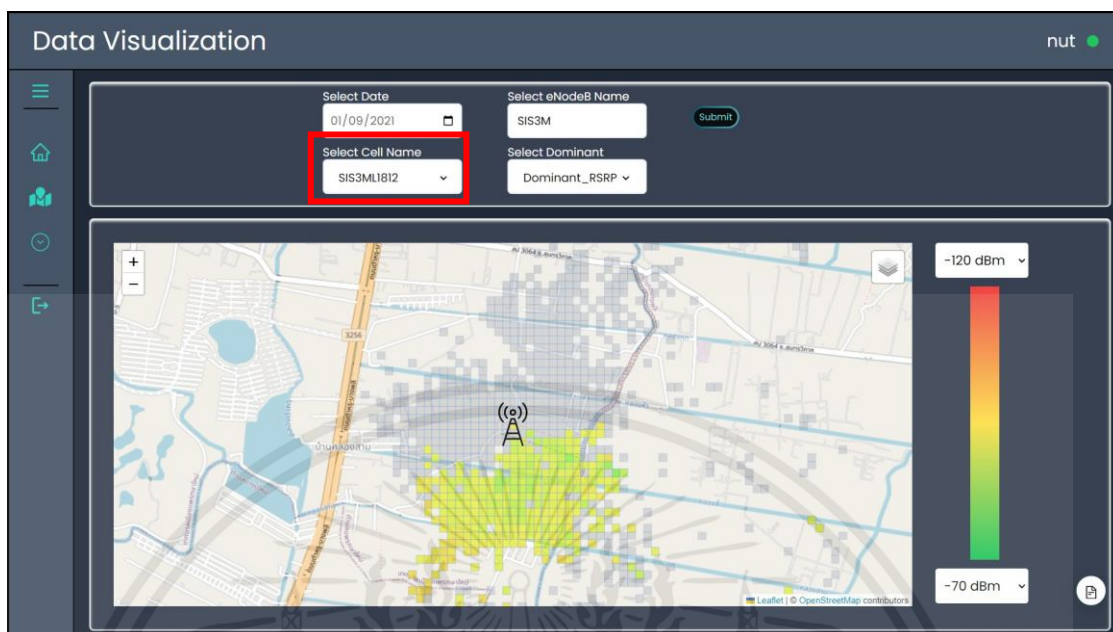
ปุ่ม Submit ในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.42 ใช้ยืนยันข้อมูล เพื่อแสดงข้อมูลสถานีฐานของ eNodeB Name ที่กรอกในกล่อง Select eNodeB Name ดังที่กล่าวถึงในหัวข้อที่ 1 โดยต้องเลือกวันที่ในกล่อง Select Date และกรอกชื่อ eNodeB ในกล่อง Select eNodeB Name ให้เสร็จสิ้นก่อน แล้วจึงกดปุ่ม Submit จากนั้นระบบจะแสดงกล่อง Select Cell Name เพื่อค้นหาชื่อเซลล์และกล่อง Select Dominant เพื่อเลือกแสดงพารามิเตอร์อย่างใดอย่างหนึ่งบนกริดระหว่าง Dominant_RSRP กับ Dominant_RSQR



รูปที่ 4.42 ปุ่ม Submit

3) กล่อง Select Cell Name

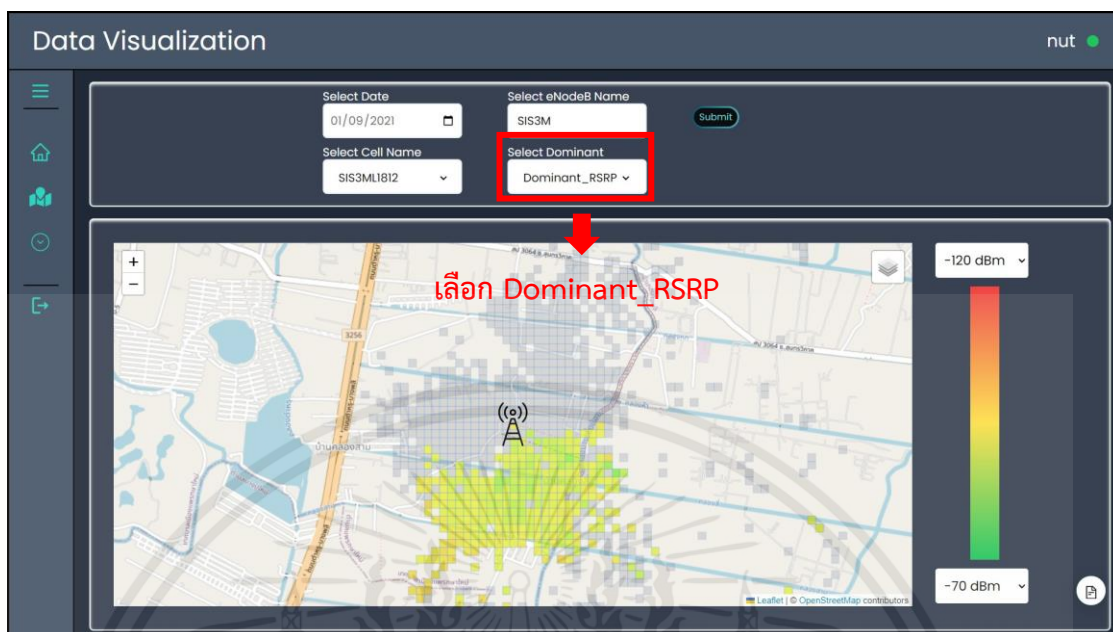
กล่อง Select Cell Name ใช้สำหรับค้นหาชื่อเซลล์ โดยกล่องจะแสดงก็ต่อเมื่อทำการเลือกวันที่ที่กล่อง Select Date และกรอกชื่อ eNodeB ที่กล่อง Select eNodeB Name และกดปุ่ม Submit แล้ว จากนั้นเลือกข้อมูล Cell Name ที่กล่อง Select Cell Name และเลือกพารามิเตอร์ที่จะแสดงบนกริดที่กล่อง Select Dominant แผนที่แสดงพื้นที่กริดที่เชื่อมต่อกับ Cell Name ที่เลือกด้วยค่าของพารามิเตอร์ที่เลือกจากกล่อง Select Dominant เป็นสีตามช่วงสีของแถบสีด้านขวา ส่วนกริดอื่นที่ไม่ได้เชื่อมต่อกับ Cell Name ดังกล่าวจะมีสีเทา ดังรูปที่ 4.43



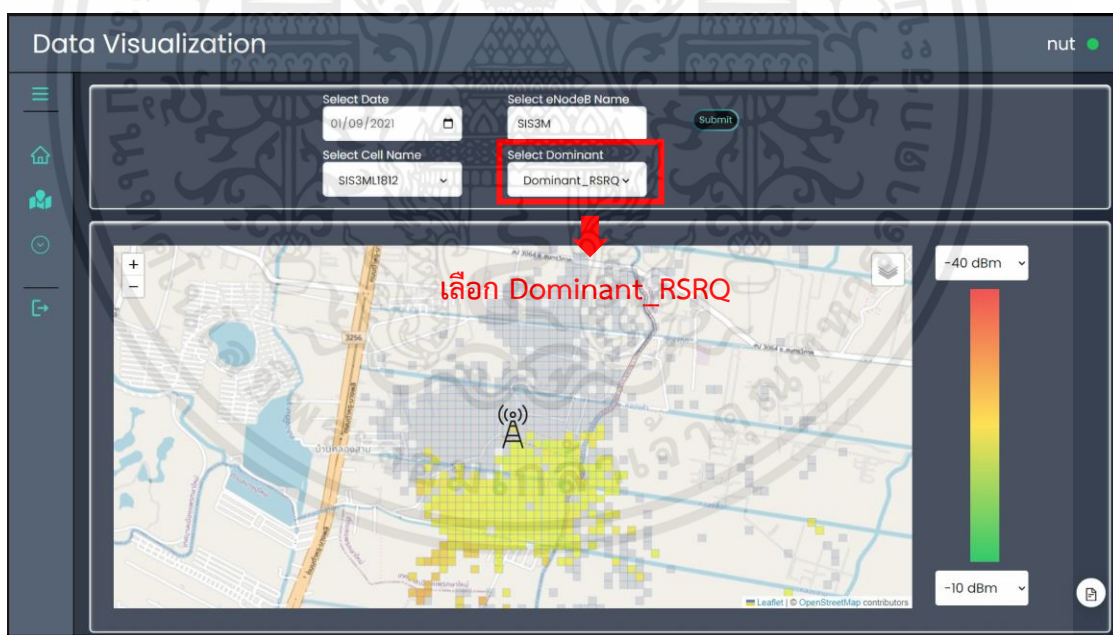
รูปที่ 4.43 เว็บแอปพลิเคชันหน้า Data Visualization เมื่อเลือก Cell Name SIS3ML1812 และ Dominant_RSRP

4) กลุ่ม Select Dominant

กลุ่ม Select Dominant ใช้สำหรับเลือกแสดงพารามิเตอร์อย่างใดอย่างหนึ่งบนกริดระหว่าง Dominant_RSRP ซึ่งเป็นกำลังเฉลี่ยของสัญญาณ กับ Dominant_RSQP ซึ่งเป็นคุณภาพของสัญญาณ เพื่อแสดงค่าที่เลือกนั้นบนพื้นที่กริดแต่ละกริด โดยกลุ่มจะแสดงก็ต่อเมื่อทำการเลือกวันที่ที่กลุ่ม Select Date ตามด้วยกรอกชื่อ eNodeB ที่กลุ่ม Select eNodeB Name และกดปุ่ม Submit แล้ว จากนั้นเลือกข้อมูล Cell Name ที่กลุ่ม Select Cell Name และเลือกพารามิเตอร์ที่จะแสดงบนกริดที่กลุ่ม Select Dominant แล้ว Cell Name และพารามิเตอร์ที่ถูกเลือกจะแสดงบนแผนที่ ดังรูปที่ 4.44 และรูปที่ 4.45 ตามลำดับ



รูปที่ 4.44 เว็บแอปพลิเคชันหน้า Data Visualization เมื่อเลือก Cell Name SIS3ML1812 และ Dominant_RSRP

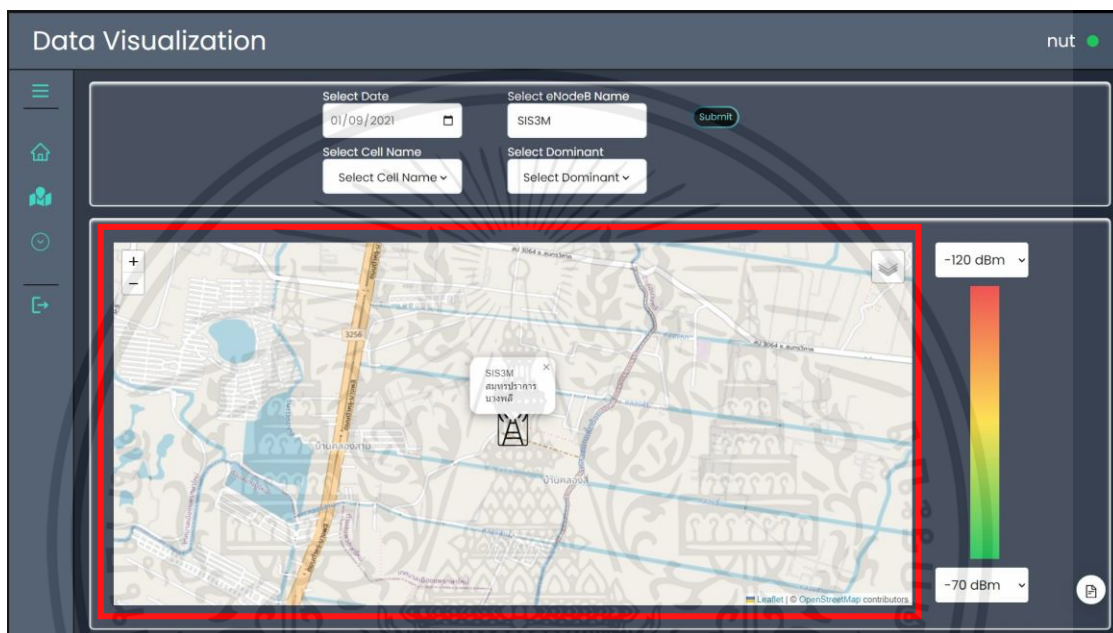


รูปที่ 4.45 เว็บแอปพลิเคชันหน้า Data Visualization เมื่อเลือก Cell Name SIS3ML1812 และ Dominant_RSRQ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ระบบแสดงข้อมูลในรูปแบบแผนที่

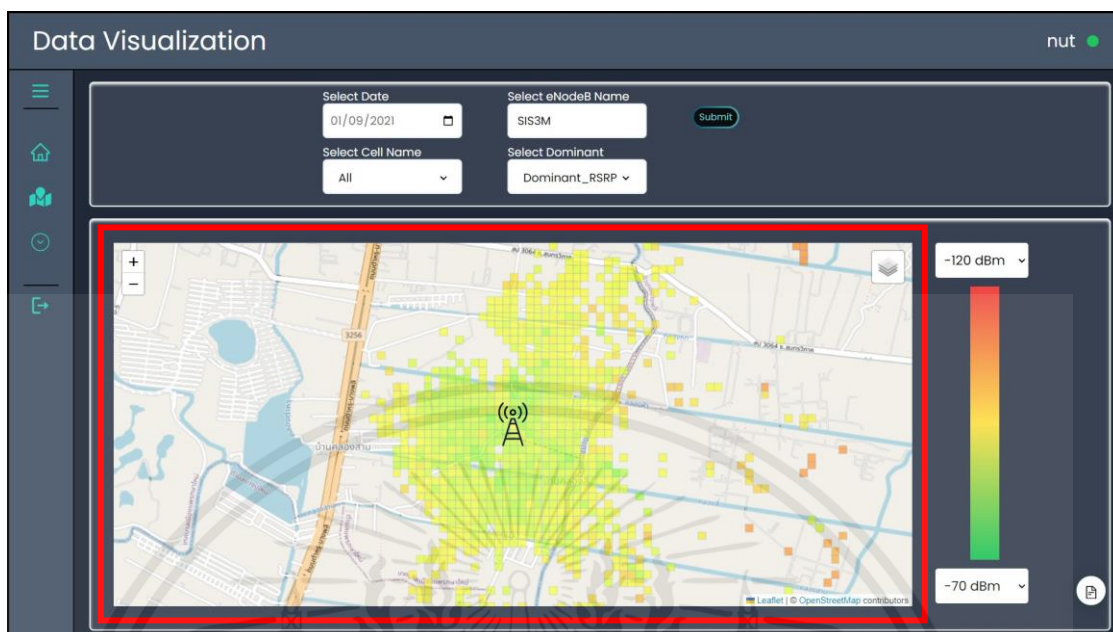
นำชุดข้อมูลที่ผู้ใช้งานเลือกจากฐานข้อมูลมาแสดงบนแผนที่ ซึ่งข้อมูลจะแสดงก็ต่อเมื่อผู้ใช้งานทำการเลือกวันที่ที่กล่อง Select Date ตามด้วยกรอกชื่อ eNodeB ที่กล่อง Select eNodeB Name และกดปุ่ม Submit แล้ว โดยใช้ข้อมูลละติจูดและลองจิจูดเพื่อระบุตำแหน่งของสถานีฐาน ดังรูปที่ 4.46



รูปที่ 4.46 แผนที่ระบุตำแหน่งที่ตั้งของสถานีฐานเมื่อเลือก eNodeB Name SIS3M

5.1) การแสดงพื้นที่กริดบนแผนที่

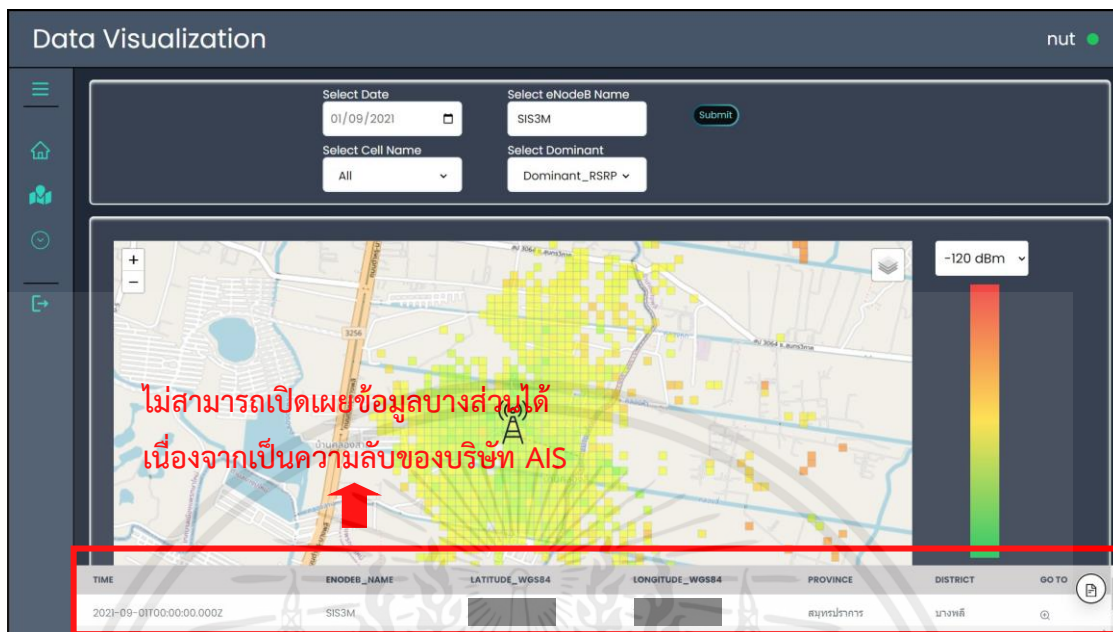
การแสดงพื้นที่กริดบนแผนที่ จะแสดงเป็นตารางกริดโดยใช้ข้อมูลที่ร้องขอจาก API ชื่อ GridHistorical เพื่อแบ่งกริดเป็นพื้นที่ย่อยขนาด 50 x 50 เมตร และใช้ข้อมูลละติจูดและลองจิจูดเพื่อแสดงตำแหน่งกริดบนแผนที่ รวมทั้งใช้ข้อมูล Reference Signal Received Power (RSRP) สำหรับกำหนดสีให้แก่กริด โดยหากค่ากำลังของสัญญาณมีค่ามากจะแสดงช่วงสีเขียว และหากค่ากำลังของสัญญาณมีค่าน้อยจะแสดงช่วงสีแดง ดังรูปที่ 4.47



รูปที่ 4.47 แผนที่แบบตารางกริดเมื่อเลือก eNodeB Name SIS3M Cell Name All และ Dominant_RSRP

6) ระบบแสดงข้อมูลในรูปแบบตาราง

ทำการกรองข้อมูลเพื่อจำกัดข้อมูลที่มีจำนวนมากให้แสดงในตารางเพียงข้อมูลเดียว โดยเริ่มจากการกรองข้อมูลวันที่และข้อมูล eNodeB ออกจากข้อมูลทั้งหมดในฐานข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลสุทธิที่กรองได้ มาแสดงในตาราง ซึ่งชุดข้อมูลประกอบด้วย TIME ENODEB_NAME LATITUDE_WGS84 LONGITUDE_WGS84 PROVINCE และ DISTRICT ดังรูปที่ 4.48



รูปที่ 4.48 ตารางระบุตัวอย่างข้อมูล

7) แถบสี

แถบสี ในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.49 ใช้สำหรับแสดงช่วงสีของค่าที่เลือกในกล่อง Select Dominant โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกค่าของช่วงแถบสีได้ตามต้องการ

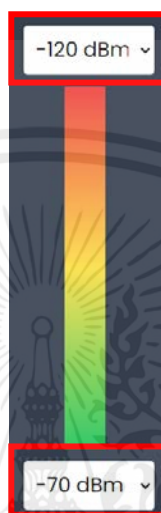


รูปที่ 4.49 ช่วงแถบสี

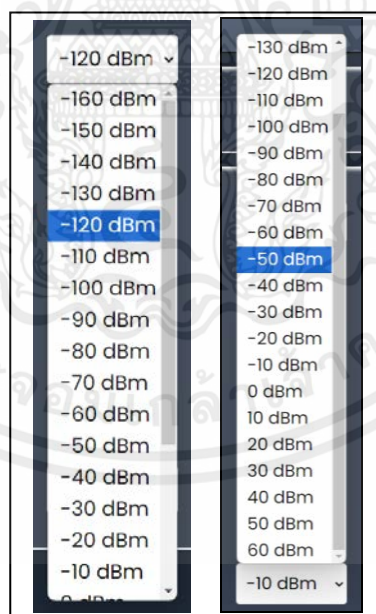
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) กล่องเลือกช่วงแถบสี

กล่องเลือกช่วงแถบสี 2 กล่อง ในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.50 ใช้เลือกค่าของช่วงแถบสีได้ตามต้องการ โดยค่าที่สามารถเลือกได้จะอยู่ในช่วง -160 dBm ถึง 60 dBm ทั้ง 2 กล่อง โดยกล่องซ้ายคือค่าขอบล่างของช่วงแถบสี และกล่องขวาคือค่าขอบบนของช่วงแถบสี ดังรูปที่ 4.51



รูปที่ 4.50 กล่องเลือกช่วงแถบสี



รูปที่ 4.51 ค่าของช่วงแถบสี

4.4.1.4 เว็บแอปพลิเคชันหน้า Ericsson Model

เว็บแอปพลิเคชันหน้า Ericsson Model ใช้สำหรับแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ มีการแสดงผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) กล่อง Select

1.1) กล่อง Select Date

กล่อง Select Date ในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.52 ใช้สำหรับค้นหาและเลือกวันที่

The screenshot shows the 'Ericsson Model' interface. At the top, there are three dropdown menus: 'Select Date' (highlighted with a red box), 'Select Province', and 'Select District'. Below these is a 'Submit' button. The main area contains a table with the following columns: id, eNodeB_Name, LATITUDE_WGS84, LONGITUDE_WGS84, District, Province, and Time. The table currently shows 'No result'. There are also 'Previous', 'Next', and 'Select eNodeB' buttons.

รูปที่ 4.52 กล่อง Select Date

1.2) กล่อง Select Province

กล่อง Select Province ในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.53 ใช้สำหรับกรอก เพื่อค้นหาชื่อ
จังหวัด

Ericsson Model nut

Select Date: ๖๖/๐๙/๒๐๒๑

Select Province: Enter Province

Select District: Enter District

Submit

Filter eNodeB_Name

id	eNodeB_Name	LATITUDE_WGS84	LONGITUDE_WGS84	District	Province	Time
No result						

Columns

Previous Next

Select eNodeB

รูปที่ 4.53 กล่อง Select Province

1.3) กล่อง Select District

กล่อง Select District ในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.54 ใช้สำหรับกรอก เพื่อค้นหาชื่ออำเภอหรือเขต

Ericsson Model nut

Select Date: ๖๖/๐๙/๒๐๒๑

Select Province: Enter Province

Select District: Enter District

Submit

Filter eNodeB_Name

id	eNodeB_Name	LATITUDE_WGS84	LONGITUDE_WGS84	District	Province	Time
No result						

Columns

Previous Next

Select eNodeB

รูปที่ 4.54 กล่อง Select District

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ปุ่ม Submit

ปุ่ม Submit ในกรอบสีแดงรูปที่ 4.55 ใช้ยืนยันข้อมูล เพื่อแสดงข้อมูลสถานีฐานของจังหวัดที่กรอกในกล่อง Select Province และอำเภอหรือเขตที่กรอกในกล่อง Select District ดังที่กล่าวถึงในหัวข้อที่ 1 โดยต้องเลือกวันที่ในกล่อง Select Date ให้เสร็จสิ้นก่อน แล้วจึงกดปุ่ม Submit

รูปที่ 4.55 ปุ่ม Submit

3) ตารางแสดงข้อมูลสถานีฐาน

ตารางแสดงข้อมูลสถานีฐานใช้แสดงข้อมูลที่ได้จาก API ชื่อ SiteHistorical ในหัวข้อที่ 4.4.2.1 ซึ่งประกอบด้วย id eNodeB_Name LATITUDE_WGS84 LONGITUDE_WGS84 District Province และ Time ดังรูปที่ 4.56

id	eNodeB_Name	LATITUDE_WGS84	LONGITUDE_WGS84	District	Province	Time
4	PSSMM			เมืองสมุทรปราการ	สมุทรปราการ	1/9/2564
10	WSJRM			เมืองสมุทรปราการ	สมุทรปราการ	1/9/2564
16	SVWWM			เมืองสมุทรปราการ	สมุทรปราการ	1/9/2564
17	BII5M			เมืองสมุทรปราการ	สมุทรปราการ	1/9/2564
20	SBS2M			เมืองสมุทรปราการ	สมุทรปราการ	1/9/2564
21	WRBRM			เมืองสมุทรปราการ	สมุทรปราการ	1/9/2564
25	MBPUM			เมืองสมุทรปราการ	สมุทรปราการ	1/9/2564

รูปที่ 4.56 ตารางแสดงชุดข้อมูลสถานีฐาน

4) ตารางแสดงข้อมูล Cell Name

ตารางแสดงข้อมูล Cell Name ใช้แสดงข้อมูลที่ได้จาก API ชื่อ CellNameHistorical ในหัวข้อที่ 4.4.2.1 ซึ่งประกอบด้วย eNodeB Sector Cell Name Frequency LATITUDE LONGITUDE ant_Height Power m_tilt e_tilt phy_azimuth HBW Gain Beam Ant_Model และ Δ Azimuth ดังรูปที่ 4.57

eNodeB	Sector	Cell Name	Frequency	LATITUDE	LONGITUDE	ant_Height	Power	m_tilt	e_tilt	phy_azimuth	HBW	Gain	Beam
PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML0911	900			20	182	4	25	0	65	17.5	1
PHN1M	PHN1M_3	PHN1ML2123	2100			20	164	4	40	270	67	17.2	1
PHN1M	PHN1M_3	PHN1ML1813	1800			20	177	4	60	150	67	17.2	1
PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML1811	1800			20	175	4	25	30	31	19.7	2
PHN1M	PHN1M_2	PHN1ML1812	1800			20	177	4	60	150	67	17.2	1
PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML1811	1800			20	175	4	25	30	31	19.7	2

รูปที่ 4.57 ตารางแสดงชุดข้อมูล Cell Name

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์บางพารามิเตอร์ได้ตามต้องการ โดยพารามิเตอร์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ ได้แก่ Frequency ant_height Power m_tilt e_tilt และ phy_azimuth ดังรูปที่ 4.58

The screenshot shows the Ericsson Model interface with a table of cell parameters. The 'ant_height' column is highlighted with a red box, indicating it is a modifiable parameter. The table contains the following data:

eNodeB	Sector	Cell Name	Frequency	LATITUDE	LONGITUDE	ant_height	Power	m_tilt	e_tilt	phy_azimuth	HBW	Gain	Beam
PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML0911	900			20	182	4	25	0	65	17.5	1
PHN1M	PHN1M_3	PHN1ML2123	2100			20	164	4	40	270	67	17.2	1
PHN1M	PHN1M_3	PHN1ML1813	1800			20	177	4	40	270	67	17.2	1
PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML1811	1800			20	175	4	25	30	31	19.7	1
PHN1M	PHN1M_2	PHN1ML1812	1800			20	177	4	60	150	67	17.2	1
PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML1811	1800			20	175	4	25	30	31	19.7	2

รูปที่ 4.58 ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้

5) ปุ่ม Compute

ปุ่ม Compute ในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.59 ใช้คำนวณชุดข้อมูลที่ถูกเลือกด้วยพิกัดละติจูดและลองจิจูดของสถานีฐานและกริด โดยใช้สมการที่ (1) และ (2) ในการคำนวณค่าการสูญเสียเชิงวิถี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ericsson Model nut

Select eNodeB

COLUMNS FILTERS DENSITY EXPORT

eNodeB	Sector	Cell Name	Frequency	LATITUDE	LONGITUDE	ant_Height	Power	m_tilt	e_tilt	phy_azimuth	HBW	Gain	Beam
PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML0911	900			20	182	4	25	0	65	17.5	1
PHN1M	PHN1M_3	PHN1ML2123	2100			20	164	4	40	270	67	17.2	1
PHN1M	PHN1M_3	PHN1ML1813	1800			20							1
PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML1811	1800			20							1
PHN1M	PHN1M_2	PHN1ML1812	1800			20	177	4	60	150	67	17.2	1
PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML1811	1800			20	175	4	25	30	31	19.7	2

Rows per page: 100 1-6 of 6

Compute

รูปที่ 4.59 ปุ่ม Compute

6) ระบบแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ

เมื่อกดปุ่ม Compute แล้ว ระบบจะทำการคำนวณผลของค่ากำลังสัญญาณรับ ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบแผนที่ โดยจะแบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

- กรณีที่ 1 เลือกชุดข้อมูล Cell Name 1 ชุด

เมื่อกดปุ่ม Compute แล้ว ระบบจะคำนวณระยะทางระหว่างพิกัดละติจูดและลองจิจูดของสถานีฐาน กับพิกัดละติจูดและลองจิจูดของกริด จากนั้นจึงนำค่าระยะทางที่ได้ไปคำนวณหาค่าการสูญเสียเชิงวิถี แล้วจึงนำค่าการสูญเสียเชิงวิถี ไปคำนวณหาค่ากำลังสัญญาณรับ โดยใช้ค่าอัตราขยายของสายอากาศ ที่ได้จากการหาชื่อไฟล์ Antenna_Pattern ซึ่งเป็นไฟล์สกุล msi เมื่อได้ไฟล์สกุล msi แล้ว จะทำการเข้าถึงค่าอัตราขยายของสายอากาศที่มากที่สุด และค่าการสูญเสียเชิงวิถีในแต่ละองศา ซึ่งจะมีค่าที่แตกต่างกัน จากนั้นนำค่าอัตราขยายของสายอากาศที่มากที่สุดลบกับค่าการสูญเสียเชิงวิถีในแต่ละองศา จะได้ค่าอัตราขยายของสายอากาศ สุดท้ายระบบจะแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับในรูปแบบของแผนที่ตารางกริดซึ่งใช้ข้อมูล Latitude และ Longitude ของกริดจากข้อมูลที่ถูก Merge แล้วในการระบุพิกัดกริดแต่ละกริด โดยสีของกริดแต่ละช่องจะถูกกำหนดตามค่า RSRP หากค่ากำลังของสัญญาณมีค่ามากจะแสดงช่วงสีเขียว และหากค่ากำลังของสัญญาณมีค่าน้อยจะแสดงช่วงสีแดงดังรูปที่ 4.60

Ericsson Model

#NodeB	Sector	Cell Name	Frequency	LATITUDE	LONGITUDE	ant_Height	Power	m_SR	k_SR	phy_azimuth	HBW	Gain	Beam
PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML0911	800			20	152	4	25	0	65	17.5	1
PHN1M	PHN1M_3	PHN1ML2123	2100			20	154	4	40	270	67	17.2	1
PHN1M	PHN1M_5	PHN1ML1813	1800			20	177						1
PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML1811	1800			20	175	4	25	30	31	19.7	1
PHN1M	PHN1M_2	PHN1ML1812	1800			20	177						1
PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML1811	1800			20	175						2

ไม่สามารถเปิดเผยข้อมูล
บางส่วนได้ เนื่องจากเป็น
ความลับของบริษัท AIS

Ericsson Model

Select Cell Name to Display
PHN1ML0911

Map showing signal strength distribution around a cell tower (A).

รูปที่ 4.60 ผลลัพธ์เมื่อเลือกชุดข้อมูล Cell Name 1 ชุด

- กรณีที่ 2 เลือกชุดข้อมูล Cell Name มากกว่า 1 ชุด

ระบบจะสร้างกล่อง Select Cell Name to Display สำหรับเลือกชื่อเซลล์ เพื่อให้ระบบแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ โดยจะสามารถค้นหาครั้งละเซลล์หรือครั้งละหลายเซลล์พร้อมกันก็ได้ จากนั้นระบบจะแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับตาม Cell Name ที่เลือก ซึ่งหากมีการเลือก Cell Name มากกว่า 1 Cell Name ระบบจะแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับแค่ Cell Name ที่มีค่า RSRP สูงสุด โดยการเปรียบเทียบ RSRP จะเปรียบเทียบแบบกริดต่อกริด ดังรูปที่ 4.61 และรูปที่ 4.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The image shows two screenshots of the Ericsson Model software interface. The top screenshot displays a table of cell parameters with a red box highlighting the first five rows. The bottom screenshot shows a signal strength map with a red box highlighting the selected cell name 'PHN1M0911' in the dropdown menu.

Table Data (from top screenshot):

eNodeB	Sector	Cell Name	Frequency	LATITUDE	LONGITUDE	ant_Height	Power	m_BW	e_BW	phy_azimuth	HSW	Gain	Beam
PHN1M	PHN1M_2	PHN1M1812	1800			20	177	60	200	67	17.2	1	
PHN1M	PHN1M_3	PHN1M2123	2100			20	164	4	40	270	67	1	
PHN1M	PHN1M_3	PHN1M1813	1800			20	177						
PHN1M	PHN1M_1	PHN1M0911	800			20	182	4	25	0	65	17.5	1
PHN1M	PHN1M_1	PHN1M1811	1800			20	175						

Text annotations in the top screenshot:

- ไม่สามารถเปิดเผยข้อมูล (Cannot disclose information)
- บางส่วนได้เนื่องจากเป็น (Some parts are obtained because it is)
- ความลับของบริษัท AIS (AIS company secret)

Text in the bottom screenshot:

- Select Cell Name to Display
- PHN1M0911
- 120 dBm
- 70 dBm

รูปที่ 4.61 ผลลัพธ์เมื่อเลือกค่านวน PHN1M จำนวน 5 ชุด และแสดง Cell Name 1 เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The image shows two screenshots of the Ericsson Model software interface. The top screenshot displays a table of cell parameters with a red box highlighting the first five rows. The bottom screenshot shows a heatmap of signal strength with a red box highlighting the 'Select Cell Name to Display' dropdown menu.

eNodeB	Sector	Cell Name	Frequency	LATITUDE	LONGITUDE	ant_Height	Power	m_BW	e_BW	phy_azimuth	HBW	Gain	Beam
PHN1M	PHN1M_2	PHN1ML1812	1800			20	177	4	60	190	67	17.2	1
PHN1M	PHN1M_3	PHN1ML2123	2100			20	164	4	40	270	67		1
PHN1M	PHN1M_3	PHN1ML1813	1800			20	177	4	60	190	67	17.2	1
PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML0911	800			20	182	4	25	0	65	17.5	1
PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML1811	1800			20	175	4	25	30	31	18.7	2

ไม่สามารถเปิดเผยข้อมูล
บางส่วนได้ เนื่องจากเป็น
ความลับของบริษัท AIS

Select Cell Name to Display
PHN1ML0911 > PHN1ML1812 > PHN1ML2123 > PHN1ML1813 > PHN1ML1811 >

รูปที่ 4.62 ผลลัพธ์เมื่อเลือกค่านวน PHN1M จำนวน 5 ชุด และแสดง Cell Name 5 เซลล์

7) แถบสี

แถบสี ในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.63 ใช้สำหรับแสดงช่วงสี โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกค่าของช่วงแถบสีได้ตามต้องการ

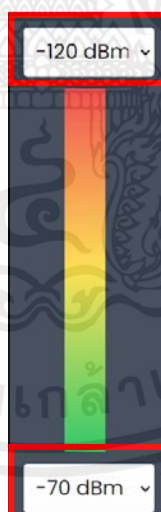
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



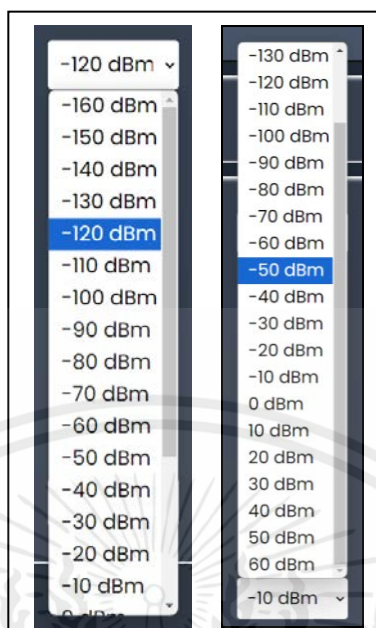
รูปที่ 4.63 ช่วงแถบสี

8) กล้องเลือกช่วงแถบสี

กล้องเลือกช่วงแถบสี 2 กล้อง ในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.64 ใช้เลือกค่าของช่วงแถบสีได้ตามต้องการ โดยค่าที่สามารถเลือกได้จะอยู่ในช่วง -160 dBm ถึง 60 dBm ทั้ง 2 กล้อง โดยกล้องซ้ายคือค่าขอบล่างของช่วงแถบสี และกล้องขวาคือค่าขอบบนของช่วงแถบสี ดังรูปที่ 4.65



รูปที่ 4.64 กล้องเลือกช่วงแถบสี



รูปที่ 4.65 ค่าของช่วงแถบสี

4.4.1.5 เว็บแอปพลิเคชันหน้า Standard Propagation Model

เว็บแอปพลิเคชันหน้า Standard Propagation Model ใช้สำหรับแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับตามพื้นที่ที่เลือก มีการแสดงผลดังนี้

1) กล่อง Select

1.1) กล่อง Select Date

กล่อง Select Date ในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.66 ใช้สำหรับค้นหาและเลือกวันที่

Standard Propagation Model nut

Select Date: ๖๖/09/2021

Select Province: Enter Province

Select District: Enter District

Submit

Filter eNodeB_Name

id	eNodeB_Name	LATITUDE_WGS84	LONGITUDE_WGS84	District	Province	Time
No result						

Previous Next

Select eNodeB

รูปที่ 4.66 กล่อง Select Date

1.2) กล่อง Select Province

กล่อง Select Province ในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.67 ใช้สำหรับกรอก เพื่อค้นหาชื่อจังหวัด

Standard Propagation Model nut

Select Date: ๖๖/09/2021

Select Province: Enter Province

Select District: Enter District

Submit

Filter eNodeB_Name

id	eNodeB_Name	LATITUDE_WGS84	LONGITUDE_WGS84	District	Province	Time
No result						

Previous Next

Select eNodeB

รูปที่ 4.67 กล่อง Select Province

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

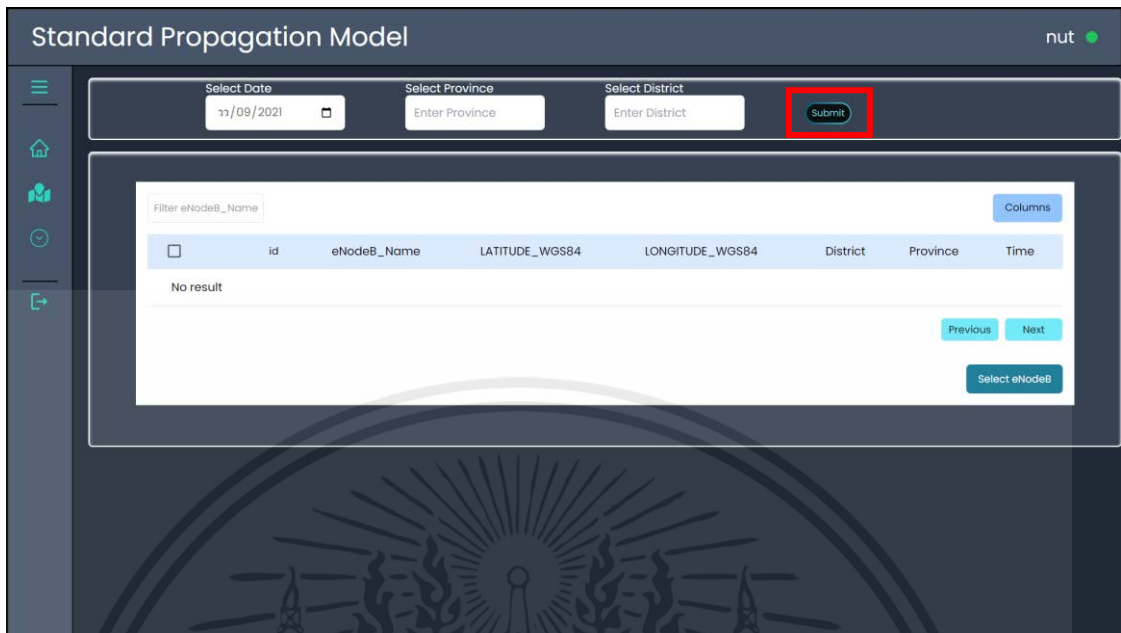
1.3) กล้อง Select District

กล้อง Select District ในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.68 ใช้สำหรับกรอก เพื่อค้นหาชื่ออำเภอหรือเขต

รูปที่ 4.68 กล้อง Select District

2) ปุ่ม Submit

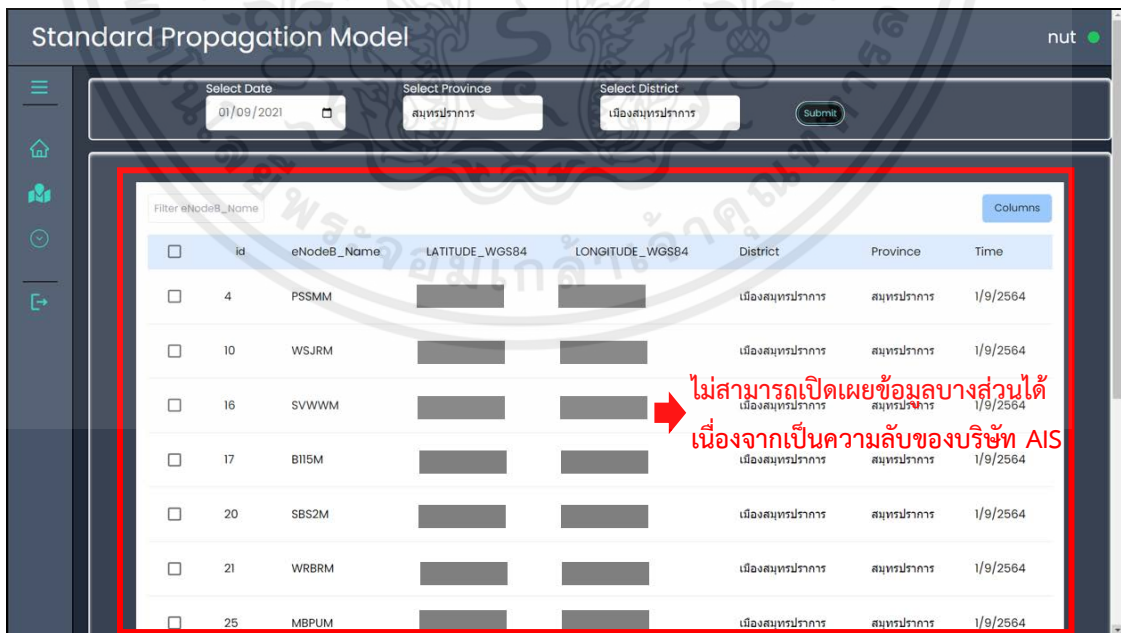
ปุ่ม Submit ในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.69 ใช้ยืนยันข้อมูล เพื่อแสดงข้อมูลสถานีฐานของจังหวัดที่กรอกในกล้อง Select Province และอำเภอหรือเขตที่กรอกในกล้อง Select District ดังที่กล่าวถึงในหัวข้อที่ 1 โดยต้องเลือกวันที่ในกล้อง Select Date ให้เสร็จสิ้นก่อน แล้วจึงกดปุ่ม Submit



รูปที่ 4.69 ปุ่ม Submit

3) ตารางแสดงข้อมูลสถานีฐาน

ตารางแสดงข้อมูลสถานีฐานใช้แสดงข้อมูลที่ได้จาก API ชื่อ SiteHistorical ในหัวข้อที่ 4.4.2.1 ซึ่งประกอบด้วย id eNodeB_Name LATITUDE_WGS84 LONGITUDE_WGS84 District Province และ Time ดังรูปที่ 4.70



รูปที่ 4.70 ตารางแสดงชุดข้อมูลสถานีฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ตารางแสดงข้อมูล Cell Name

ตารางแสดงข้อมูล Cell Name ใช้แสดงข้อมูลที่ได้จาก API ชื่อ CellNameHistorical ในหัวข้อที่ 4.4.2.1 ซึ่งประกอบด้วย eNodeB Sector Cell Name Frequency LATITUDE LONGITUDE ant_Height Power m_tilt e_tilt phy_azimuth HBW Gain Beam Ant_Model และ Δ Azimuth ดังรูปที่ 4.71

eNodeB	Sector	Cell Name	Frequency	LATITUDE	LONGITUDE	ant_Height	Power	m_tilt	e_tilt	phy_azimuth	HBW	Gain	Beam
PHN1M	PHN1M_3	PHN1ML2123	2100			20	164	4	40	270	67	17.2	1
PHN1M	PHN1M_3	PHN1ML1813	1800			20	177	4	40	270	67	17.2	1
PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML0911	900			20	182	4	25	0	65	17.5	1
PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML1811	1800			20	177	4	60	150	67	17.2	1
PHN1M	PHN1M_2	PHN1ML1812	1800			20	175	4	25	30	31	19.7	2
PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML1811	1800			20	175	4	25	30	31	19.7	2

รูปที่ 4.71 ตารางแสดงชุดข้อมูล Cell Name

ผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์บางพารามิเตอร์ได้ตามต้องการ โดยพารามิเตอร์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ ได้แก่ Frequency ant_height Power m_tilt e_tilt และ phy_azimuth ดังรูปที่ 4.72

Standard Propagation Model nut

COLUMNS FILTERS DENSITY EXPORT

<input type="checkbox"/>	eNodeB	Sector	Cell Name	Frequency	LATITUDE	LONGITUDE	ant_Height	Power	m_tilt	e_tilt	phy_azimuth	HBW	Gain	Beam
<input type="checkbox"/>	PHN1M	PHN1M_3	PHN1ML2123	2100			20	164	4	40	270	67	17.2	1
<input type="checkbox"/>	PHN1M	PHN1M_3	PHN1ML1813	1800			20	177	4	40	270	67	17.2	1
<input type="checkbox"/>	PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML0911	900			20	182	4	25	0	65	17.5	1
<input type="checkbox"/>	PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML1811	1800			20	175	4	25	30	31	19.7	1
<input type="checkbox"/>	PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML1811	1800			20	175	4	25	30	31	19.7	2
<input type="checkbox"/>	PHN1M	PHN1M_2	PHN1ML1812	1800			20	177	4	60	150	67	17.2	1

Rows per page: 100 1-6 of 6

Compute

รูปที่ 4.72 ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้

5) ปุ่ม Compute

ปุ่ม Compute ในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.73 ใช้คำนวณชุดข้อมูลที่เลือกด้วยพิกัดละติจูดและลองจิจูดของสถานีฐานและกริด โดยใช้สมการที่ (3) ในการคำนวณการสูญเสียเชิงวิถี

Standard Propagation Model nut

Select eNodeB

COLUMNS FILTERS DENSITY EXPORT

<input type="checkbox"/>	eNodeB	Sector	Cell Name	Frequency	LATITUDE	LONGITUDE	ant_Height	Power	m_tilt	e_tilt	phy_azimuth	HBW	Gain	Beam
<input type="checkbox"/>	PHN1M	PHN1M_3	PHN1ML2123	2100			20	164	4	40	270	67	17.2	1
<input type="checkbox"/>	PHN1M	PHN1M_3	PHN1ML1813	1800			20	177	4	40	270	67	17.2	1
<input type="checkbox"/>	PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML0911	900			20	182	4	25	0	65	17.5	1
<input type="checkbox"/>	PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML1811	1800			20	175	4	25	30	31	19.7	1
<input type="checkbox"/>	PHN1M	PHN1M_2	PHN1ML1812	1800			20	177	4	60	150	67	17.2	1
<input type="checkbox"/>	PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML1811	1800			20	175	4	25	30	31	19.7	2

Rows per page: 100 1-6 of 6

Compute

ไม่สามารถเปิดเผยข้อมูลบางส่วนได้ เนื่องจากเป็นความลับของบริษัท AIS

รูปที่ 4.73 ปุ่ม Compute

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ระบบแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ

เมื่อกดปุ่ม Compute แล้ว ระบบจะทำการคำนวณผลของค่ากำลังสัญญาณรับ ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบแผนที่ โดยจะแบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

- กรณีที่ 1 เลือกชุดข้อมูล Cell Name 1 ชุด

เมื่อกดปุ่ม Compute แล้ว ระบบจะรับค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูดของสถานีฐาน เพื่อนำไปค้นหาว่าสถานีฐานนั้นควรจัดอยู่ใน Clusters ไต โดยจะนำค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูดของสถานีฐานไปเปรียบเทียบเพื่อคำนวณระยะทางที่ต่ำที่สุดระหว่างพิกัดละติจูดและลองจิจูดของสถานีฐาน กับพิกัดละติจูดและลองจิจูดของกริดในแต่ละ Cluster จากทั้งหมด 8 Clusters ซึ่งแต่ละ Cluster ประกอบด้วย 3 ความถี่ ได้แก่ 900 MHz 1800 MHz และ 2100 MHz แล้วจึงเลือกใช้สมการสำหรับคำนวณค่าการสูญเสียเชิงวิถีใน Cluster นั้น ๆ จากทั้งหมด 24 สมการ จากนั้นจึงนำค่าการสูญเสียเชิงวิถี ไปคำนวณหาค่ากำลังสัญญาณรับ โดยใช้ค่าอัตราขยายของสายอากาศ ที่ได้จากการหาซื้อไฟล์ Antenna_Pattern ซึ่งเป็นไฟล์สกุล msi เมื่อได้ไฟล์สกุล msi แล้ว จะทำการเข้าถึงค่าอัตราขยายของสายอากาศที่มากที่สุด และค่าการสูญเสียเชิงวิถีในแต่ละองศา ซึ่งจะมีค่าที่แตกต่างกัน จากนั้นนำค่าอัตราขยายของสายอากาศที่มากที่สุดลบกับค่าการสูญเสียเชิงวิถีในแต่ละองศา จะได้ค่าอัตราขยายของสายอากาศ สุดท้ายระบบจะแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับในรูปแบบของแผนที่ตารางกริดซึ่งใช้ข้อมูล Latitude และ Longitude ของกริดจากข้อมูลที่ถูกรวม Merge แล้วในการระบุพิกัดกริดแต่ละกริด โดยสีของกริดแต่ละช่องจะถูกกำหนดตามค่า RSRP หากค่ากำลังของสัญญาณมีค่ามากจะแสดงช่วงสีเขียว และหากค่ากำลังของสัญญาณมีค่าน้อยจะแสดงช่วงสีแดงดังรูปที่ 4.74

Standard Propagation Model

eNodeB	Sector	Cell Name	Frequency	LATITUDE	LONGITUDE	ant_Height	Power	m_ssr	e_ssr	phy_azimuth	HBW	Gain	Beam
PHN1M	PHN1M_3	PHN1ML2123	2100			20	164	4	40	270	67	17.2	1
PHN1M	PHN1M_3	PHN1ML1813	1800			20	177	4	40	270	67	17.2	1
PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML0911	900			20	152						1
PHN1M	PHN1M_2	PHN1ML1812	1800			20	177	4	80	160	67	22.0	1
PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML1811	1800			20	175	4	25	30	31	18.7	1
PHN1M	PHN1M_1	PHN1ML1811	1800			20	175						2

Standard Propagation Model

Select Cell Name to Display
PHN1ML2123

รูปที่ 4.74 ผลลัพธ์เมื่อเลือกชุดข้อมูล Cell Name 1 ชุด

- กรณีที่ 2 เลือกชุดข้อมูล Cell Name มากกว่า 1 ชุด

ระบบจะสร้างกล่อง Select Cell Name to Display สำหรับเลือกชื่อเซลล์ เพื่อให้ระบบแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ โดยจะสามารถค้นหาครั้งละเซลล์หรือครั้งละหลายเซลล์พร้อมกันก็ได้ จากนั้นระบบจะแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับตาม Cell Name ที่เลือก ซึ่งหากมีการเลือก Cell Name มากกว่า 1 Cell Name ระบบจะแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับแค่ Cell Name ที่มีค่า RSRP สูงสุด โดยการเปรียบเทียบ RSRP จะเปรียบเทียบแบบกริดต่อกริด ดังรูปที่ 4.75 และรูปที่ 4.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Standard Propagation Model

eNodeB	Sector	Cell Name	Frequency	LATITUDE	LONGITUDE	ant. Height	Power	m. SR	e. SR	phy. azimuth	HRW	Gain	Beam
PHN1M	PHN1M_3	PHN1M2123	2100			20	177	4	40	270		17.2	1
PHN1M	PHN1M_3	PHN1M1513	1800			20	177	4	40	270	67	17.2	1
PHN1M	PHN1M_1	PHN1M0911	900			20	177	4	60	150	67	17.2	1
PHN1M	PHN1M_2	PHN1M1512	1800			20	177	4	60	150	67	17.2	1
PHN1M	PHN1M_1	PHN1M1511	1800			20	177	4	60	150	31	19.7	1

Standard Propagation Model

Select Cell Name to Display
PHN1M2123

รูปที่ 4.75 ผลลัพธ์เมื่อเลือกจำนวน PHN1M จำนวน 5 ชุด และแสดง Cell Name 1 เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Standard Propagation Model

eNodeB	Sector	Cell Name	Frequency	LATITUDE	LONGITUDE	ant_Height	Power	m_BW	e_IR	phy_azimuth	MSW	Gain	Beam
<input checked="" type="checkbox"/>	PHN1M	PHN1M_3	PHN1M2123	2100		20	164	4	40	70	68	17.2	1
<input checked="" type="checkbox"/>	PHN1M	PHN1M_3	PHN1M1813	1800		20	177	4	40	270	67	17.2	1
<input checked="" type="checkbox"/>	PHN1M	PHN1M_1	PHN1M0911	900		20	165	4	40	70	68	17.2	1
<input checked="" type="checkbox"/>	PHN1M	PHN1M_2	PHN1M1812	1800		20	177	4	60	150	67	17.2	1
<input checked="" type="checkbox"/>	PHN1M	PHN1M_1	PHN1M1811	1800		20	178	4	30	30	67	19.7	1
<input type="checkbox"/>	PHN1M	PHN1M_1	PHN1M1811	1800		20	175	4	25	30	31	19.7	2

ไม่สามารถเปิดเผยข้อมูล
บางส่วนได้ เนื่องจากเป็น
ความลับของบริษัท AIS

Standard Propagation Model

Select Cell Name to Display

PHN1M2123 > PHN1M1813 > PHN1M0911 > PHN1M1812 > PHN1M1811

รูปที่ 4.76 ผลลัพธ์เมื่อเลือกคำนวณ PHN1M จำนวน 5 ชุด และแสดง Cell Name 5 เซลล์

7) แถบสี

แถบสี ในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.77 ใช้สำหรับแสดงช่วงสี โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกค่าของช่วงแถบสีได้ตามต้องการ

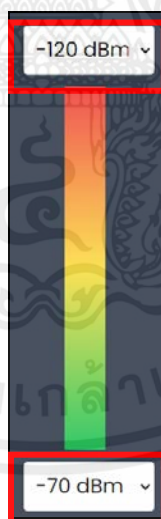
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



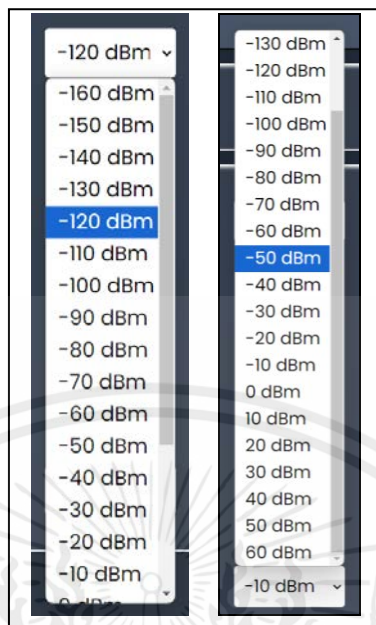
รูปที่ 4.77 ช่วงแถบสี

8) กล่องเลือกช่วงแถบสี

กล่องเลือกช่วงแถบสี 2 กล่อง ในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.78 ใช้เลือกค่าของช่วงแถบสีได้ตามต้องการ โดยค่าที่สามารถเลือกได้จะอยู่ในช่วง -160 dBm ถึง 60 dBm ทั้ง 2 กล่อง โดยกล่องซ้ายคือค่าขอบล่างของช่วงแถบสี และกล่องขวาคือค่าขอบบนของช่วงแถบสี ดังรูปที่ 4.79



รูปที่ 4.78 กล่องเลือกช่วงแถบสี



รูปที่ 4.79 ค่าของช่วงแถบสี

4.4.2 Back-End

4.4.2.1 API ร้องขอข้อมูลจากฐานข้อมูล

1) API ชื่อ auth

API ชื่อ auth ใช้เชื่อมกับ Model User ในตารางของฐานข้อมูล PostgreSQL โดยใช้ Method POST ในการสร้างข้อมูลผู้ใช้และ Method GET ในการรับข้อมูลผู้ใช้งานทั้งหมดเพื่อใช้ตรวจสอบว่ามีข้อมูลในฐานข้อมูลหรือไม่ ตัวอย่างข้อมูลที่ได้ แสดงดังรูปที่ 4.80

```

1 // 20230824183800
2 // http://localhost:3000/api/auth
3
4 {
5   [
6     {
7       "id": 1,
8       "firstname": "natcha",
9       "lastname": "Poonsuttipong",
10      "email": "63010291@kmitl.ac.th",
11      "password": "$2a$10$C6f40QzTnuc77js9Rvf50V5XY2k0Vh0A1F99nxEZVfJVx9XV9PG",
12      "role": "admin"
13     },
14     {
15       "id": 2,
16       "firstname": "mapran",
17       "lastname": "prew",
18       "email": "1@kmitl.ac.th",
19       "password": "$2a$10$CExmTgs7K03a3kTby1jvA.1TDdyX.46604eBavtjK0bb00WtQX45",
20       "role": "user"
21     },
22     {
23       "id": 3,
24       "firstname": "kal",
25       "lastname": "gig",
26       "email": "2@kmitl.ac.th",
27       "password": "$2a$10$9j7jD5M0xPydTF3rFf9W.1vJ2v0@P01hno4kVq0Lr5w0kkaU",
28       "role": "user"
29     },
30     {
31       "id": 4,

```

รูปที่ 4.80 ข้อมูลผู้ใช้งาน

2) API ชื่อ SiteHistorical

API ชื่อ SiteHistorical ใช้เชื่อมกับ Model SiteHistorical ในตารางของฐานข้อมูล PostgreSQL โดยใช้ Method GET เพื่อร้องขอข้อมูลสำหรับแสดงสถานีฐาน 1 สถานีฐาน ซึ่ง API จะกรองข้อมูลในฐานข้อมูลด้วย Time และ eNodeB_Name โดยข้อมูลจะแสดงก็ต่อเมื่อผู้ใช้ทำการเลือกวันที่และชื่อของ eNodeB ตัวอย่างข้อมูลที่ได้ แสดงดังรูปที่ 4.81 (ไม่สามารถเปิดเผยข้อมูลบางส่วนได้เนื่องจากเป็นความลับของบริษัท AIS)

```

ดึงข้อมูล 1 site จากฐานข้อมูล
▼ [{"-}"]
  ▼ 0:
    LATITUDE_WGS84: ██████████
    LONGITUDE_WGS84: ██████████
    Time: "2021-09-01T00:00:00.000Z"
    district: "บางพลี"
    eNodeB_Name: "SIS3M"
    id: 99
    province: "สมุทรปราการ"
    ▶ [[Prototype]]: Object
    length: 1
    ▶ [[Prototype]]: Array(0)

```

รูปที่ 4.81 ตัวอย่างข้อมูลสถานีฐาน

3) API ชื่อ GridHistorical

API ชื่อ GridHistorical ใช้เชื่อมกับ Model GridHistorical ในตารางของฐานข้อมูล PostgreSQL โดยใช้ Method GET เพื่อร้องขอข้อมูลสำหรับการสร้างแผนที่แบบตารางกริดจากฐานข้อมูล ซึ่ง API จะกรองข้อมูลในฐานข้อมูลด้วย Time และ eNodeB_Name โดยตารางกริดจะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปฏิญานินพนธ์ฉบับนี้ ประสบความสำเร็จในการศึกษา ออกแบบ และพัฒนาระบบแสดงผลและคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับสำหรับโครงข่ายโทรศัพท์มือถือ เพื่อนำมาคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับและแสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชัน ด้วยการปรับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อค่ากำลังสัญญาณรับ เพื่อตรวจสอบค่ากำลังสัญญาณรับก่อนปรับปรุงพารามิเตอร์หรือติดตั้งสถานีฐานใหม่ ซึ่งส่งผลต่อค่ากำลังสัญญาณรับ ทำให้ได้ค่ากำลังสัญญาณรับที่ดีที่สุด โดยสามารถสรุปผลการดำเนินงานดังนี้

ฐานข้อมูล PostgreSQL สามารถทำงานร่วมกันกับเว็บแอปพลิเคชันได้ด้วยการใช้ Prisma ในการสื่อสารกับฐานข้อมูล และสามารถใช้งาน API ได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน รวมทั้งสามารถเชื่อมต่อ Front-End กับ Back-End ได้ก่อนการแสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชัน ทั้งเว็บแอปพลิเคชันหน้า Data Visualization และเว็บแอปพลิเคชันหน้า Received Signal Strength Computation

การแสดงผลค่ากำลังสัญญาณรับในพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑล ผู้ใช้งานสามารถเลือกข้อมูลวันที่และชื่อของ eNodeB ได้ตามที่ต้องการ เพื่อทราบถึงตำแหน่งของสถานีฐาน ค่ากำลังสัญญาณ และคุณภาพของสัญญาณโดยรอบของสถานีฐานบนแผนที่แบบตารางกริด โดยสีที่แสดงในกริดแต่ละกริด จะแสดงตามช่วงของค่า RSRP และ RSRQ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถปรับค่าได้ตามต้องการในหน่วย dBm

การคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับในพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑล สามารถคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับได้อย่างถูกต้องตามทฤษฎี ซึ่งใช้ค่ากำลังสัญญาณ อัตราขยายของสายอากาศ ค่าการสูญเสียเชิงวิถีด้วย Ericsson Model และค่าการสูญเสียเชิงวิถีด้วย Standard Propagation Model (SPM) ในการคำนวณ และผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ได้ตามต้องการ ซึ่งผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับจะเป็นไปตามค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไป รวมถึงการเลือกข้อมูล Cell Name เพื่อนำมาแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับ โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกข้อมูล Cell Name ทีละตัว หรือข้อมูล Cell Name ทีละหลายตัว เพื่อนำมาแสดงผลการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรับได้ ซึ่งหากมีการเลือกข้อมูล Cell Name หลายตัว ระบบจะทำการเปรียบเทียบข้อมูล

RSRP ระหว่างกริดแต่ละกริด แล้วนำกริดที่มี RSRP สูงที่สุดมาแสดงบนแผนที่ ซึ่งเป็นไปตามขอบเขตที่วางไว้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ระบบเว็บแอปพลิเคชันจะใช้ Tailwind CSS ในการปรับแต่ง แต่ในส่วนของการแสดงข้อมูลหน้า Received Signal Strength Computation หรือตาราง MUI นั้นต้องใช้ CSS ในการปรับแต่งแทน หากใช้ Tailwind CSS จะมีความความซับซ้อนในการปรับแต่ง เนื่องจากทั้งสองระบบมีการจัดการสไตล์และคลาส CSS ต่างกัน ดังนั้นจึงควรเปลี่ยนรูปแบบตารางให้เป็นตาราง shadcn/ui ทั้งหมด เพื่อให้สามารถใช้งานร่วมกับ Tailwind CSS ได้ทั้งระบบ



บรรณานุกรม

- [1] Neeraj Mishra. (2562). Joins in SQL – Inner, Outer, Left and Right Join, สืบค้นเมื่อวันที่ 18 กันยายน 2566 จาก <https://www.thecrazyprogrammer.com/2019/05/joins-in-sql.html>
- [2] Marine Forte Enterprises. (2566). Radio Antenna Directivity, Gain & Polar Diagrams, สืบค้นเมื่อวันที่ 18 กันยายน 2566 จาก <https://www.linkedin.com/pulse/radio-antenna-directivity-gain-polar-diagrams-s-seetharaman>
- [3] ภาวตะ เพ็ชศรี. “การวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณเพื่อการประเมินจุดบกพร่องของเครือข่าย.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2556.
- [4] Bengawan Alfaresi, Taufik Barlian, Feby Ardianto and Muhammad Hurairah. “Path Loss Propagation Evaluation and Modelling based ECC-Model in Lowland Area on 1800 MHz.” Journal of Robotics and Control (JRC). 1 (September 2020) : 169.
- [5] Rappaport, Thomas S. (2545). แบบจำลองฮาดะ, สืบค้นเมื่อวันที่ 18 กันยายน 2566 จาก https://hmong.in.th/wiki/Hata_Model_for_Urban_Areas
- [6] Segun I. Popoola. (2 560). Standard Propagation Model Tuning for Path Loss Predictions in Built-Up Environments, สืบค้นเมื่อวันที่ 14 ธันวาคม 2566 จาก https://www.researchgate.net/publication/317845033_Standard_Propagation_Model_Tuning_for_Path_Loss_Predictions_in_Built-Up_Environments
- [7] Okumura, Y. (2 566). Hata model, สืบค้นเมื่อวันที่ 14 ธันวาคม 2566 จาก https://en.wikipedia.org/wiki/Hata_model
- [8] Chris Veness. (2556). Calculate distance, bearing and more between Latitude/Longitude points, สืบค้นเมื่อวันที่ 18 กันยายน 2566 จาก <https://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>
- [9] uniFi. (2556). Intro to Networking - Free Space Path Loss (FSPL), สืบค้นเมื่อวันที่ 18 กันยายน 2566 จาก <https://help.ui.com/hc/en-us/articles/115007689527-Intro-to-Networking-Free-Space-Path-Loss-FSPL->

- [10] Shahin Farahani. Received Signal Strength-Based Locationing Algorithms, สืบค้นเมื่อ วันที่ 19 กันยายน 2566 จาก <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/received-signal-strength>
- [11] บาช. (2566). จุดประสงค์ของ RSRP (กำลังรับสัญญาณอ้างอิง) ใน LTE คืออะไร?, สืบค้นเมื่อ วันที่ 19 กันยายน 2566 จาก https://forum.huawei.com/enterprise/en/what-is-handover-margin-in-lte/thread/69498910806_3125504-667213872962088960
- [12] ISO 9001. (2558). LTE RSSI, RSRP and RSRQ Measurement, สืบค้นเมื่อวันที่ 19 กันยายน 2566 จาก <https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/4glte/rsrp-rsrq-measurement-lte/#:~:text=RSRQ%20%E2%80%93%20Reference%20Signal%20Quality,of%20the%20received%20reference%20signal.>
- [13] DIGI. (2566). dBi vs. dBd summary, สืบค้นวันที่ 8 พฤศจิกายน 2566 จาก <https://www.digi.com/support/knowledge-base/dbi-vs-dbd-summary>
- [14] Lnw. (2566). การแบ่งประเภทของเสาอากาศ, สืบค้นวันที่ 8 พฤศจิกายน 2566 จาก www.hobbyelec.com/article/8/การแบ่งประเภทของเสาอากาศ
- [15] optAd360. (2564). แบริ่ง (มุม), สืบค้นเมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2566 จาก https://hmong.in.th/wiki/Relative_bearing
- [16] Pirun. (2544). การประมาณค่าในช่วง (Interpolation), Ch.5 Curve Fitting I : Interpolation, 1-2. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 ธันวาคม พ.ศ.2566 จาก https://pirun.ku.ac.th/~fengslj/02212471/doc54a/chap05_rev2.pdf
- [17] Strutz, T. (2559). Non-linear least squares, สืบค้นเมื่อวันที่ 18 ธันวาคม 2566 จาก https://en.wikipedia.org/wiki/Non-linear_least_squares
- [18] สถาบันข้อมูลขนาดใหญ่ (องค์การมหาชน). (2563). Curve Fitting อย่างง่ายด้วย SciPy : สำหรับการพยากรณ์แนวโน้มเบื้องต้น, สืบค้นเมื่อวันที่ 18 ธันวาคม 2566 จาก <https://bdi.or.th/big-data-101/curve-fitting-with-scipy/>
- [19] สถาบันนวัตกรรมและกรรมาภิบาลข้อมูล. (2565). รู้จัก Clustering Model คืออะไร, สืบค้น วันที่ 13 มกราคม 2567 จาก <https://digi.data.go.th/blog/what-is-clustering-model-and-example/>
- [20] aigen. (2565). รู้จักกับ Machine learning พร้อมตัวอย่างการใช้งานจริงทางธุรกิจ, สืบค้นวันที่ 13 มกราคม 2567 จาก <https://aigencorp.com/what-is-machine-learning-technology/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [21] ccp. (2562). Clustering คืออะไร, สืบค้นวันที่ 13 มกราคม 2567 จาก <https://www.mindphp.com/คู่มือ/73-คืออะไร/6841-clustering-algorithm.html>
- [22] Jutharath Thankittikoon. (2562). What is K-Means Clustering, สืบค้นวันที่ 13 มกราคม 2567 จาก <https://medium.com/@Jutharath.Thankittikoon/what-is-k-means-clustering-ee36ab6f7638>
- [23] sayhi. (2563). Web application คืออะไร? ต่างจากเว็บไซต์ทั่วไปอย่างไร?, สืบค้นเมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2566 จาก <https://1stcraft.com/website-application-vs-general-website/>
- [24] Thaibulksms. (2563). API คืออะไร? ขออธิบายแบบคนไม่รู้เรื่องไอที, สืบค้นเมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2566 จาก <https://www.thaibulksms.com/blog/post/what-is-an-api-explain-like-someone-who-do-not-know-about-it/>
- [25] <Dev /> Ahoy. (2566). แนะนำแนวทางการออกแบบ APIs เพื่อคนในทีม, สืบค้นวันที่ 10 พฤศจิกายน 2566 จาก <https://blog.devahoy.com/blog/2020/02/restful-api-guideline>
- [26] Vercel. (2566). What is Next.js?, สืบค้นเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2566 จาก <https://nextjs.org/docs>
- [27] Shajia AbidiHow. (2563). How To Create Maps With React And Leaflet, สืบค้นเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2566 จาก <https://www.smashingmagazine.com/2020/02/javascript-maps-react-leaflet/>
- [28] Chainarong Tangsurakit. (2559). JSON Web Token มาตรฐานใหม่ในการทำ Authentication, สืบค้นเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2566 จาก <https://medium.com/rootusercc/json-web-token-มาตรฐานใหม่-ในการทำ-authentication-b0760dd9acd1>
- [29] mindphp. (2562). ฟังก์ชัน base64_encode() : การเข้ารหัสข้อมูลด้วย BASE64, สืบค้นเมื่อวันที่ 24 สิงหาคม 2566 จาก https://www.mindphp.com/คู่มือ/63-ฟังก์ชัน-php/682-base64_encode.html
- [30] nich. (2562). JWT คือ JSON Web Token, สืบค้นเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2566 จาก <https://www.4x-treme.com/jwt/>
- [31] borntoDev. (2565). ทำ Palette สีให้กับหน้าเว็บ React ด้วย MUI, สืบค้นเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2566 จาก <https://www.borntodev.com/2022/11/25/palette-react-mui/>
- [32] Sethanant Pipatpakorn. (2564). ทำไมต้องใช้ bcrypt ในการ Hash Password, สืบค้นเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2566 จาก <https://blog.sethanantp.com/why-using-bcrypt/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [33] บริษัท เว็บไซต์เซอร์วิส จำกัด. (2565). ภาษาคอมพิวเตอร์ (Computer Programming Language), สืบค้นเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2566 จาก http://www.thaischool.in.th/_files_school/50103180/data/50103180_1_20111129-150157.pdf
- [34] l.thanawat. (2563). การพัฒนาเว็บไซต์ทางธุรกิจเบื้องต้น BC10203, สืบค้นเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2566 จาก <https://anyflip.com/cehwq/dfxf/basic>
- [35] Java Javascript. (2566). JavaScript คืออะไร, สืบค้นเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2566 จาก <https://www.mindphp.com/คู่มือ/73-คืออะไร/2187-java-javascript-คืออะไร.html>
- [36] Mindphp. (2565). JavaScript กับ TypeScript ต่างกันอย่างไร, สืบค้นเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2566 จาก <https://www.mindphp.com/บทความ/31-ความรู้ทั่วไป/8995-what-is-the-difference-between-javascript-and-typescript.html>
- [37] Sarayut Nonsiri. (2559). ภาษาโปรแกรม Python, สืบค้นเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2566 จาก <https://www.9experttraining.com/articles/python-คืออะไร>
- [38] รินทร์ เรืองลายคราม. (2565). Tailwind CSS เฟรมเวิร์ก ที่ช่วยให้ Dev ทำงานง่ายขึ้น, สืบค้นเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2566 จาก <https://morphos.is/th/blog/tailwind-css-a-Framework-that-makes-dev-work-easier>
- [39] krusarayut. (2555). ชนิดของข้อมูล (Data type), สืบค้นเมื่อวันที่ 18 กันยายน 2566 จาก <https://krusarayut.wordpress.com/คอมพิวเตอร์พื้นฐาน-6/หน่วยการเรียนรู้ที่-2/4-ชนิดของข้อมูล-data-type/>
- [40] Database. (2565). Database คืออะไร, สืบค้น เมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2566 จาก <https://www.mindphp.com/คู่มือ/73-คืออะไร/2055-database-คืออะไร23.html>
- [41] Linux-Console.net. (2566). วิธีสร้าง GraphQL API ด้วย Prisma, สืบค้นเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2566 จาก <https://th.linux-console.net/?p=6812#gsc.tab=0>
- [42] Muhammad Jahanzaib. (2566). Relational Database (Model, Operations & Constraints), สืบค้นเมื่อวันที่ 24 สิงหาคม 2566 จาก <https://databasetown.com/relational-database-model-operations-constraints/>
- [43] Linux-Console. (2562). PostgreSQL คืออะไร PostgreSQL ทำงานอย่างไร, สืบค้นเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2566 จาก <https://th.linux-console.net/?p=1801#gsc.tab=0>
- [44] EDDY. (2566). ทำความรู้จักความแตกต่างของไฟล์ EXE กับ MSI ของ Windows, สืบค้นวันที่ 8 พฤศจิกายน 2566 จาก <https://notebookspec.com/web/687303-difference-between-msi-and-exe-in-windows>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [45] NBS. (2562). Notebook Acer Swift 3 SF314-700Z, สืบค้นวันที่ 11พฤศจิกายน 2566 จาก <https://notebookspec.com/notebook/10111-acer-swift-3-sf314-700z.html>
- [46] Acer. (2562). โน้ตบุ๊ก Acer Aspire A715-42G-R4BX Black, สืบค้นวันที่ 11พฤศจิกายน 2566 จาก https://www.bnn.in.th/th/p/acer-notebook-aspire-a715-42g-r7rs-black-a-4710886444909_dxl8q6
- [47] DATEKS. (2563). Acer Aspire 3 A315-23 Black, สืบค้นวันที่ 11พฤศจิกายน 2566 จาก <https://www.dateks.lv/en/cenas/portativie-datori/982317-acer-aspire-3-a315-23-black-15-6-fhd-ips-ryzen-5-3500u-12gb-512gb-ssd-windows-11-home>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้