

แบบจำลองการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นในกรุงเทพมหานคร
PROPAGATION PATH LOSS MODELS IN BANGKOK



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นในกรุงเทพมหานคร
PROPAGATION PATH LOSS MODELS IN BANGKOK

โดย

นายดนูพล	โถมสวาย	61010372
นายธนภัส	วิเชียรภัลยารัตน์	61010446
นางสาวนภัสนันท์	บุญช่วย	61010547

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ดร.เวธิต ภาคย์พิสุทธิ์

ศ. ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2564

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แบบจำลองการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นในกรุงเทพมหานคร

PROPAGATION PATH LOSS MODELS IN BANGKOK

ผู้จัดทำ

- | | | |
|--------------------|-------------------|----------|
| 1. นายคณพล | โหมสวาย | 61010372 |
| 2. นายธนภัส | วิเชียรภัลยารัตน์ | 61010446 |
| 3. นางสาวนภัสนันท์ | บุญช่วย | 61010547 |


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ. ดร.เวจิต ภาคย์พิสุทธิ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ศ. ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์)

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ “แบบจำลองการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นในกรุงเทพมหานคร” จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจาก ผศ.ดร.เวธิต ภาคย์พิสุทธิ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา และแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้าวิจัยให้ปริญญาานิพนธ์นี้ สำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมถึงสนับสนุนสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ระหว่างการจัดทำ โครงการงาน

ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาโทภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการจัดทำปริญญาานิพนธ์

ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านเป็นอย่างสูงที่คอยช่วยเหลือให้ความรู้เพิ่มเติม และขอขอบคุณครอบครัวและเพื่อนที่เป็นกำลังใจสำคัญให้แก่ผู้จัดทำ ให้สามารถทำงานลุล่วงไปได้ ด้วยดี

นายدنุพล	โถมสวย
นายธนภัส	วิเชียรภัลยารัตน์
นางสาวนภัสนันท์	บุญช่วย
	ผู้จัดทำ

แบบจำลองการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นในกรุงเทพมหานคร
PROPAGATION PATH LOSS MODELS IN BANGKOK

โดย	นายตฤพล โฉมสวย	61010372
	นายธนภัส วิเชียรภัลยารัตน์	61010446
	นางสาวนภัสนันท์ บุญช่วย	61010547

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร.เวธิต ภาคย์พิสุทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ศ. ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้มีเป้าหมายในการออกแบบโมเดล Path Loss และใช้งานโมเดล Path Loss บนเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) ซึ่งโมเดล Path Loss เป็นโมเดลสำหรับทำนายค่า Path Loss ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร แบ่งจำนวนโมเดลตามจำนวนกลุ่มพื้นที่จากการจัดกลุ่มพื้นที่ด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบ K Means ซึ่งการออกแบบโมเดลจะใช้หลักการ Least Square ในการปรับค่าพารามิเตอร์ K จากสมการ Standard Propagation Model โดยปรับค่าพารามิเตอร์ K ตามค่า Path Loss จริงที่ได้จากการประมาณค่า Path Loss จากค่าพารามิเตอร์กำลังส่งของเสา ส่งสัญญาณ (Reference Signal Received Power: RSRP) และอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ ที่คำนวณได้จากวิธี Three-Dimensional Directive Antenna Pattern Interpolation ซึ่งโมเดล Path Loss หลังจากการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ K สามารถทำนายค่า Path Loss ค่า RSRP แสดงข้อมูล RSRP ของพื้นที่ในกรุงเทพมหานครผ่านเว็บแอปพลิเคชัน และแสดงข้อมูล RSRP บนแผนที่ที่พัฒนาโดย QGIS เพื่อใช้ในการแสดง แก๊ซ และวิเคราะห์ต่อในอนาคตได้ โดยระบบแสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชันและ QGIS เชื่อมต่อกับผู้ใช้งานและการควบคุมการทำงานจะเชื่อมต่อกันผ่านฐานข้อมูล (Database) ซึ่งฐานข้อมูลมีการเชื่อมต่อกับส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (Application Programming Interface: API) เพื่อนำเข้าข้อมูลและส่งค่ากลับไปยังระบบ โดยผลการปรับปรุงค่าคงที่ของสมการ Path Loss ที่ได้จากการคำนวณค่า Path Loss จะช่วยให้ได้ค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสมการ Path Loss ที่มีความเหมาะสมกับแต่ละพื้นที่เพื่อใช้ในการกำหนดสมการของที่ตั้งเซลล์ (Cell Site) และผลการทำนายค่า RRSP สามารถเปรียบเทียบกับค่า RSRP ในอดีต รวมถึงการประกอบการตัดสินใจในการจัดตั้งเสาสัญญาณเพื่อการพัฒนาสัญญาณในอนาคต

ABSTRACT

This thesis aims to design Path Loss models and implement Path Loss models on a web application. The Path Loss models are model for predicting Path Loss values in the Bangkok area, divide the model number by the number of area groups from the area grouping method using the K Means grouping method. The model design uses the Least Square principle to adjust the parameter K from the Standard Propagation Model equation by adjusting the parameter K according to the actual path loss obtained from the estimation of the path loss from Reference Signal Received Power (RSRP) and the 3D gain calculated using the Three-Dimensional Directive Antenna Pattern Interpolation. The Path Loss model, after adjusting the K parameter, can predict the Path Loss RSRP value, showing the RSRP data of the Bangkok area via a web application. and display RSRP data on a map developed by QGIS for future display, correction and analysis. The display system on the web application and QGIS is connected to the user and the operation control is connected through a database. The database is connected to an Application Programming Interface (API) to import data and return values to the system. The improvement of the Path Loss equation constant obtained from the Path Loss calculation results in obtaining a path loss constant that is appropriate for each region to be used to formulate cell site equations and predicted RSRP values can be compared with historical RSRP values, including decision making in the establishment of signal towers for signal development in the future.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	IX
สารบัญตาราง	XVII
บทที่ 1	
บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
บทที่ 2	
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 สมการ Path Loss	3
2.1.1 Standard Propagation Model	3
2.1.2 Ericsson Model	4
2.1.3 การวัดค่า Path Loss	4
2.1.4 โมเดล Path Loss	5
2.2 สมการ RSRP	6
2.3 การจัดเตรียมข้อมูล	7
2.2.1 การรวมไฟล์ข้อมูล	7
2.2.2 การทำความสะอาดข้อมูลด้วย Outlier	8
2.4 การจัดกลุ่มแบบ K Means	9
2.5 สายอากาศ	9

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 การคำนวณอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ	10
2.7 การคำนวณระยะทาง มุมในแนวตั้งและแนวนอนสำหรับอัตราการขยาย	12
2.7.1 พารามิเตอร์ “distance”	12
2.7.2 พารามิเตอร์ “relative_azimuth”	14
2.7.3 พารามิเตอร์ “Angle Horizontal” และ “Angle Vertical”	15
2.8 หลักการ Least Square	16
2.9 นิยามพารามิเตอร์ที่สำคัญ	18
2.9.1 ข้อมูลที่ตั้งเซลล์	18
2.9.2 ข้อมูลรายงานของผู้ใช้งาน	19
2.9.3 ข้อมูลแบบจำลองสายอากาศ	20
2.10 เว็บแอปพลิเคชัน (Web Application)	26
2.10.1 Django	26
2.10.2 Django REST Framework	27
2.10.3 React	30
2.10.4 Leaflet	32
2.10.5 ภาษาคอมพิวเตอร์	32
2.10.6 Cross Site Request Forgery Protection (CSRF)	34
2.10.7 Cross-Origin Resource Sharing (CORS)	35
2.11 ภาษาไพธอน (Python)	35
2.11.1 จุดเด่นของภาษาไพธอน	35
2.11.2 โครงสร้างของภาษาไพธอน	36
2.12 การใช้งาน Multiprocessing	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.13 ฐานข้อมูล	37
2.13.1 Structured Query Language (SQL)	38
2.13.2 Postgresql	39
2.14 QGIS	39
บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปฏิญานินทร์	
3.1 การออกแบบ	42
3.1.1 แบบจำลอง Path Loss	42
3.1.2 ฐานข้อมูล	52
3.1.3 เว็บแอปพลิเคชัน	57
3.1.4 QGIS	69
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	72
3.2.1 Laptop และ Personal Computer (Pc)	72
3.2.2 Cloud Server	74
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	75
3.3.1 แบบจำลอง Path Loss	75
3.3.2 ฐานข้อมูล	76
3.3.3 เว็บแอปพลิเคชัน	76
3.3.4 QGIS	76
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ผลการทดสอบหน่วยนำเข้าข้อมูล	77
4.1.1 ผลการทดสอบการรวมไฟล์ข้อมูลครั้งที่ 1	78
4.1.2 ผลการทดสอบการรวมไฟล์ข้อมูลครั้งที่ 2	79
4.1.3 ผลการทดสอบการคัดเลือกข้อมูล	80

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการทดสอบหน่วยจัดเตรียมข้อมูล	80
4.2.1 ผลการทดสอบการคำนวณระยะทาง มุมแนวตั้งและ แนวนอนสำหรับอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ	80
4.2.2 ผลการทดสอบการทำความสะอาดข้อมูล	83
4.2.3 ผลการทดสอบการคำนวณอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ	84
4.2.4 ผลการทดสอบการวัดค่า Path Loss	94
4.3 ผลการทดสอบหน่วยจัดกลุ่มข้อมูล	95
4.3.1 ผลการทดสอบแสดงค่า Path Loss ในพื้นที่ที่กำหนด	96
4.3.2 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ในพื้นที่ที่กำหนด	97
4.4 ผลการทดสอบหน่วยประมวลผลข้อมูล	106
4.4.1 ผลการทดสอบการวัดความคลาดเคลื่อนค่า Path Loss	107
4.4.2 ผลการทดสอบการวัดความคลาดเคลื่อนค่า RSRP	108
4.4.3 ผลการทดสอบการวัดความคลาดเคลื่อนค่า Path Loss ของแบบจำลอง Ericsson	109
4.5 ผลการทดสอบหน่วยจัดเก็บข้อมูล	110
4.6 ฐานข้อมูล	110
4.6.1 ฐานข้อมูลสำหรับเว็บแอปพลิเคชัน	110
4.6.2 ฐานข้อมูลสำหรับ QGIS	117
4.7 เว็บแอปพลิเคชัน	122
4.7.1 Front End	122
4.7.2 Back End	129
4.8 QGIS	135
4.8.1 ผลการเปลี่ยนแปลงข้อมูลและนำเข้า Table	135
4.8.2 ผลการออกแบบแผนที่สำหรับแสดงค่า RSRP	136

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
	5.1 สรุปผล	142
	5.2 ข้อเสนอแนะ	143
บรรณานุกรม		



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างการทำ Left Join	7
2.2 ตัวอย่างการทำ Right Join	8
2.3 Box Plot Outlier	8
2.4 การจัดกลุ่มแบบ K Means	9
2.5 การคำนวณอัตราการขยายแบบ 3 มิติ	11
2.6 การหาค่าพารามิเตอร์ “Angle Horizontal”	15
2.7 การหาค่าพารามิเตอร์ “Angle Vertical”	16
2.8 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของโมเดล ADU4518R6V06	21
2.9 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของโมเดล AMB4519R6V06	22
2.10 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของโมเดล AMB4519R9V06	23
2.11 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของโมเดล AMB4520R6V06	24
2.12 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของโมเดล AMB4520R9V06	25
2.13 โครงสร้างภายในโฟลเดอร์ diango_project	27
2.14 การทำงานของ HTTP	28
2.15 แผนภาพต้นไม้องค์ประกอบหลักของ React	31
2.16 เทคนิคการโจมตีแบบ Cross Site Request Forgery Protection (CSRF)	34
2.17 หลักการทำงานของ Cross-Origin Resource Sharing (CORS)	35
2.18 กระบวนการทำงานของ Multiprocessing	41
3.1 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลอง Path Loss เว็บแอปพลิเคชัน	42
3.2 บล็อกไดอะแกรมระบบออกแบบแบบจำลอง Path Loss	42
3.3 ผังการทำงานหน่วยนำเข้าสู่ข้อมูล	43
3.4 ผังการทำงานหน่วยจัดเตรียมข้อมูล	44
3.5 ผังการทำงานการคำนวณระยะทาง มุมในแนวตั้งและแนวนอนสำหรับ อัตราขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6	48
3.7	49
3.8	51
3.9	59
3.10	61
3.11	63
3.12	72
3.13	73
3.14	73
3.15	74
3.16	75
4.1	77
4.2	77
4.3	78
4.4	79
4.5	79
4.6	80
4.7	81
4.8	81
4.9	82

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ตัวอย่างข้อมูลผลการทดสอบการคำนวณมุมแนวตั้งและแนวนอน สำหรับอัตราขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ	83
4.11 ตัวอย่างข้อมูลค่า RSRP รายวันก่อนทำความสะอาดข้อมูล	84
4.12 ตัวอย่างข้อมูลค่า RSRP รายวันหลังทำความสะอาดข้อมูล	84
4.13 ตัวอย่างข้อมูลผลการทดสอบการคำนวณอัตราขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ	85
4.14 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 2 มิติของโมเดล ADU4518R6V06 จาก ซอฟต์แวร์ Antenna Pattern Editor	86
4.15 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 2 มิติของโมเดล ADU4518R6V06 จากการ คำนวณอัตราขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ	86
4.16 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของโมเดล ADU4518R6V06 ใน มุมมอง 3 มิติจากซอฟต์แวร์ Antenna Pattern Editor	87
4.17 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของโมเดล ADU4518R6V06 ใน มุมมองด้านบนจากซอฟต์แวร์ Antenna Pattern Editor	88
4.18 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของโมเดล ADU4518R6V06 ใน มุมมองด้านข้างจากซอฟต์แวร์ Antenna Pattern Editor	88
4.19 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของโมเดล ADU4518R6V06 ใน มุมมอง 3 มิติจากการคำนวณอัตราขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ	89
4.20 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของโมเดล ADU4518R6V06 ใน มุมมอง 3 มิติจากการคำนวณอัตราขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ	89
4.21 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของโมเดล ADU4518R6V06 ใน มุมมองด้านบนจากการคำนวณอัตราขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ	89
4.22 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของโมเดล ADU4518R6V06 ใน มุมมองด้านข้างจากการคำนวณอัตราขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ	90

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 2 มิติของโมเดล AMB4519R6V06 จากการ คำนวณอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ	91
4.24 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 2 มิติของโมเดล AMB4519R6V06 จาก ซอฟต์แวร์ Antenna Pattern Editor	92
4.25 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของแบบจำลอง AMB4519R6V06 ใน มุมมองด้านบนจากซอฟต์แวร์ ANTENNA PATTERN EDITOR	92
4.26 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของโมเดล AMB4519R6V06 ใน มุมมองด้านบนจากซอฟต์แวร์ Antenna Pattern Editor	93
4.27 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของโมเดล AMB4519R6V06 ใน มุมมองด้านข้างจากซอฟต์แวร์ Antenna Pattern Editor	93
4.28 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของโมเดล AMB4519R6V06 ใน มุมมอง 3 มิติจากการคำนวณอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ	94
4.29 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของโมเดล AMB4519R6V06 ใน มุมมองด้านบนจากการคำนวณอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ	94
4.30 ตัวอย่างข้อมูลผลการทดสอบการวัดค่า Path Loss	95
4.31 ผลการทดสอบแสดงค่า Path Loss ในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่ง สัญญาณ A	96
4.32 ผลการทดสอบแสดงค่า Path Loss ในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่ง สัญญาณ B	96
4.33 ผลการทดสอบแสดงค่า Path Loss ในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่ง สัญญาณ C	97
4.34 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 50 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่ง สัญญาณ A	98
4.35 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 100 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสา ส่งสัญญาณ A	98

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.36 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 150 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสา ส่งสัญญาณ A	99
4.37 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 200 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสา ส่งสัญญาณ A	99
4.38 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 250 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสา ส่งสัญญาณ A	100
4.39 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 300 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสา ส่งสัญญาณ A	100
4.40 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 50 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่ง สัญญาณ B	101
4.41 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 100 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสา ส่งสัญญาณ B	101
4.42 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 150 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสา ส่งสัญญาณ B	102
4.43 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 200 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสา ส่งสัญญาณ B	102
4.44 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 250 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสา ส่งสัญญาณ B	103
4.45 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 300 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสา ส่งสัญญาณ B	103
4.46 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 50 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่ง สัญญาณ C	104
4.47 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 100 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสา ส่งสัญญาณ C	104

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.48 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 150 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสา ส่งสัญญาณ C	105
4.49 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 200 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสา ส่งสัญญาณ C	105
4.50 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 250 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสา ส่งสัญญาณ C	106
4.51 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 300 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสา ส่งสัญญาณ C	106
4.52 ผลการทดสอบไฟล์ข้อมูลโมเดล Path Loss	110
4.53 หน้าแสดงฐานข้อมูล Postgresql โดยตารางชื่อ “Show”	111
4.54 หน้าแสดงฐานข้อมูล Postgresql โดยตารางชื่อ “Latlons”	111
4.55 หน้าแสดงฐานข้อมูล Postgresql โดยตารางชื่อ “Show_in_site”	112
4.56 หน้าแสดงฐานข้อมูล Postgresql โดยตารางชื่อ “Ant_model”	112
4.57 หน้าแสดงฐานข้อมูล Postgresql โดยตารางชื่อ “Cell_name”	113
4.58 หน้าแสดงฐานข้อมูล Postgresql โดยตารางชื่อ “Data_his”	113
4.59 หน้าแสดงฐานข้อมูล Postgresql โดยตารางชื่อ “Drop_down_info”	114
4.60 หน้าแสดงฐานข้อมูล Postgresql โดยตารางชื่อ “Position_ant”	114
4.61 หน้าแสดงฐานข้อมูล Postgresql โดยตารางชื่อ “Recept_ant”	115
4.62 หน้าแสดงฐานข้อมูล Postgresql โดยตารางชื่อ “Recept_info”	115
4.63 หน้าแสดงฐานข้อมูล Postgresql โดยตารางชื่อ “Test_data”	116
4.64 หน้าแสดงฐานข้อมูล Postgresql โดยตารางชื่อ “Rsrp_out”	116
4.65 หน้าแสดงฐานข้อมูล Postgresql สำหรับตารางชื่อ “district”	117
4.66 หน้าแสดงฐานข้อมูล Postgresql สำหรับตารางชื่อ “district” (ต่อ)	117
4.67 หน้าแสดงฐานข้อมูล Postgresql สำหรับตารางชื่อ “data_rsrp”	118

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.68 หน้าแสดงฐานข้อมูล Postgresql สำหรับตารางชื่อ “data_rsrp_prediction”	119
4.69 หน้าแสดงฐานข้อมูล Postgresql สำหรับตารางชื่อ “bangkok_rsrp”	120
4.70 หน้าแสดงฐานข้อมูล Postgresql สำหรับตารางชื่อ “Data_rsrp_diff”	120
4.71 หน้าแสดงฐานข้อมูล Postgresql สำหรับตารางชื่อ “1_PhraNakhon”	121
4.72 แถบหลักบนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน	122
4.73 หน้า Path Loss บนเว็บแอปพลิเคชัน	122
4.74 Marker และวงกลมแสดงพิกัดและบริเวณที่เลือกบนแผนที่เมื่อคลิกบนแผนที่ในหน้า Path Loss	123
4.75 พิกัดละติจูดและลองจิจูดที่ได้จากการคลิกบนแผนที่ในหน้า Path Loss	123
4.76 ข้อมูลพารามิเตอร์ K และสมการ Path Loss ในหน้า Path Loss	124
4.77 กลุ่มพื้นที่ที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ K เดียวกันในรัศมี 2,000 เมตร จากจุดพิกัดที่เลือกในหน้า Path Loss	124
4.78 หน้า RSRP Historical บนเว็บแอปพลิเคชัน	125
4.79 แรเงาวงกลมเป็นสีต่าง ๆ แสดงค่า RSRP ตามช่วงที่กำหนดไว้ในหน้า Historical RSRP	125
4.80 พิกัดละติจูดและลองจิจูด เมื่อวาง Cursor ไปบนแผนที่ในหน้า Historical RSRP	126
4.81 ค่า RSRP เมื่อคลิกบนแผนที่ในหน้า Historical RSRP	126
4.82 หน้า RSRP Prediction บนเว็บแอปพลิเคชัน	127
4.83 ค่า RSRP เมื่อคลิกบนแผนที่ Historical	127
4.84 ช่องกรอกค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้ทำนายค่า RSRP	128
4.85 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำนายค่า RSRP	128
4.86 แสดงค่า RSRP ที่ได้จากการทำนายลงบนแผนที่ Prediction	129

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.87 หน้าควบคุม Admin Site สำหรับแอปพลิเคชันชื่อ Path Loss	129
4.88 API ลิงก์ http://x.x.x.x/api-location	130
4.89 API ลิงก์ http://x.x.x.x/show	130
4.90 API ลิงก์ http://x.x.x.x/show-insite	131
4.91 API ลิงก์ http://x.x.x.x/api-dropdown	131
4.92 API ลิงก์ http://x.x.x.x/api_recept	132
4.93 API ลิงก์ http://x.x.x.x/api_history	132
4.94 API ลิงก์ http://x.x.x.x/test	132
4.95 API ลิงก์ http://x.x.x.x/api_position_ant	133
4.96 API ลิงก์ http://x.x.x.x/api_recept_ant	133
4.97 API ลิงก์ http://x.x.x.x/api_rsrp_out	134
4.98 API ลิงก์ http://x.x.x.x/api_ant_model	134
4.99 API ลิงก์ http://x.x.x.x/api_cell_name	134
4.100 ตัวอย่างหน้าต่างแสดงรายละเอียดของ Layer ชื่อ “data_rsrp” ซึ่งไม่ใช่ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์	135
4.101 ตัวอย่างหน้าต่างแสดงรายละเอียดของ Layer ชื่อ “data_rsrp” ซึ่ง เป็นข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์	136
4.102 Layer ชื่อ “Google maps” บน QGIS	137
4.103 Layer ชื่อ “district” บน QGIS	137
4.104 Layer ชื่อ “data_rsrp” บน QGIS	138
4.105 Layer ชื่อ “bangkok_rsrp” บน QGIS	139
4.106 Layer ชื่อ “data_rsrp_prediction” บน QGIS	139
4.107 Layer ชื่อ “data_rsrp_diff” บน QGIS	140
4.108 LAYER ชื่อ “เขตบางเขน” “เขตลาดกระบัง” “เขตตลิ่งชัน” และ “เขตบางขุนเทียน” บน QGIS	141

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ข้อมูลของไฟล์ที่ตั้งเซลล์	18
2.2	ข้อมูลของไฟล์รายงานของผู้ใช้งาน	19
2.3	ข้อมูลของไฟล์แบบจำลองสายอากาศ	25
3.1	ตารางแสดงความสัมพันธ์ URLs Views Method Model และ Serializer ภายใน Django Rest Framework	68
4.1	ผลการทดสอบการวัดความคลาดเคลื่อนค่า Path Loss	107
4.2	ผลการทดสอบการวัดความคลาดเคลื่อนค่า RSRP	108
4.3	ผลการทดสอบการวัดความคลาดเคลื่อนค่า Path Loss ของโมเดล Ericsson	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการสื่อสารแบบไร้สายยุคที่ 4 มีจำนวนผู้ใช้งานจำนวนมากในแต่ละพื้นที่ทำให้การรองรับผู้ใช้งานในบางพื้นที่ไม่สามารถรองรับผู้ใช้งานจำนวนมากได้เนื่องจากการไม่ครอบคลุมของสัญญาณหรือสัญญาณมีคุณภาพต่ำ ดังนั้นผู้ให้บริการสัญญาณจึงทำการออกแบบและพัฒนาวิธีการเพิ่มคุณภาพสัญญาณในแต่ละพื้นที่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การติดตั้ง Cell Site ใหม่ การปรับทิศทางของสายอากาศ การปรับกำลังส่งสัญญาณ ซึ่งวิธีการดังกล่าวสามารถใช้งานแบบจำลอง Path Loss สำหรับการช่วยตัดสินใจในการวางแผน ดังนั้นการพัฒนาแบบจำลอง Path Loss จึงเป็นส่วนช่วยสำหรับการพัฒนาความแรงของสัญญาณและครอบคลุมพื้นที่ที่ครอบคลุมได้

ในปฏิญานิพนธ์นี้ผู้จัดทำได้พัฒนาแบบจำลอง Path Loss ในพื้นที่กรุงเทพมหานครสำหรับทำนายค่า RSRP โดยแบบจำลอง Path Loss เป็นแบบจำลองสำหรับทำนายค่า Path Loss ในแต่ละพื้นที่ ซึ่งแต่ละพื้นที่จะใช้งานสมการ Path Loss ที่แตกต่างกันเนื่องจากคุณลักษณะของพื้นที่ตำแหน่งของ Cell Site และทิศทางของสายอากาศ นอกจากนี้สามารถทำนายค่า RSRP ในแต่ละพื้นที่ได้จากการปรับพารามิเตอร์ของเสาส่งสัญญาณ ดังนั้นการทราบค่า RSRP จึงสามารถทราบพื้นที่ที่มีสัญญาณไม่ครอบคลุมหรือคุณภาพสัญญาณต่ำ

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อจัดกลุ่มพื้นที่และปรับสมการ Path Loss ให้มีความเหมาะสมตามกลุ่มพื้นที่
- 2) เพื่อทำนายค่า RSRP ในพื้นที่กรุงเทพมหานครจากแบบจำลอง Path Loss
- 3) เพื่อออกแบบและพัฒนา Application Programming Interface (API) สำหรับการแสดงผลข้อมูล
- 4) เพื่อออกแบบหน้าการแสดงผล User Interface (UI) ของเว็บแอปพลิเคชัน

1.3 ขอบเขตของปฏิญานิพนธ์

- 1) ออกแบบและพัฒนาโมเดล Path Loss ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร
- 2) ออกแบบและพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับแสดงค่า Path Loss ค่า RSRP ในอดีตและทำนายค่า RSRP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) ออกแบบและจัดการฐานข้อมูล (Database) สำหรับจัดการข้อมูล โดยใช้ PostgreSQL
- 4) วิเคราะห์และแสดงผลค่า RSRP บนแผนที่ด้วยโปรแกรม QGIS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมการ Path Loss

สมการ Path Loss สามารถบ่งบอกคุณลักษณะทางกายภาพการสูญเสียกำลังส่งในการส่งสัญญาณระหว่างเสาส่งสัญญาณและเครื่องรับสัญญาณของแต่ละพื้นที่

2.1.1 Standard Propagation Model

Standard Propagation Model [1] เป็นแบบจำลองสำหรับคำนวณหาค่า Path Loss โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักเช่น ระยะห่างระหว่างเสาส่งสัญญาณและเครื่องรับสัญญาณ ความสูงของเสาส่งสัญญาณ ความสูงของเครื่องรับสัญญาณ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (2.1)

$$PL = K_1 + K_2 \log(d) + K_3 \log(h_t) + K_4 \text{diff}L + K_5 \log(d) \log(h_r) + K_6 h_r + K_7 \log(h_r) + K_{clutter} f_{clutter} \quad (2.1)$$

โดย

PL	คือค่า Path Loss หน่วย dB
d	คือระยะห่างระหว่างเสาส่งสัญญาณและเครื่องรับสัญญาณ หน่วยกิโลเมตร
h_t	คือความสูงของเสาส่งสัญญาณ หน่วยเมตร
h_r	คือความสูงของเครื่องรับสัญญาณ หน่วยเมตร
$\text{diff}L$	คือการสูญเสียพลังงานจากการเลี้ยวเบนของสัญญาณ (Diffraction Loss)
$f_{clutter}$	คือค่าเฉลี่ยการสูญเสียถ่วงน้ำหนัก
K_1	คือค่าคงที่ไบอัส
K_2	คือสัมประสิทธิ์เทอม $\log(d)$
K_3	คือสัมประสิทธิ์เทอม $\log(h_t)$
K_4	คือสัมประสิทธิ์เทอม $\text{diff}L$
K_5	คือสัมประสิทธิ์เทอม $\log(d) \log(h_r)$
K_6	คือสัมประสิทธิ์เทอม h_r
K_7	คือสัมประสิทธิ์เทอม $\log(h_r)$
$K_{clutter}$	คือสัมประสิทธิ์เทอม $f_{clutter}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 Ericsson Model

Ericsson Model [2] เป็นแบบจำลองสำหรับคำนวณค่า Path Loss ที่ถูกพัฒนาจากแบบจำลอง Okumura-Hata สำหรับปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ในสภาพแวดล้อมต่างๆ โดยทีมพัฒนาและออกแบบโครงข่ายด้วยซอฟต์แวร์ของบริษัท Ericsson โดยแบบจำลอง Ericsson แบ่งสมการตามคุณสมบัติของพื้นที่ได้ 3 พื้นที่ พื้นที่ในเมือง พื้นที่ชานเมือง และพื้นที่ชนบท ซึ่งสามารถคำนวณค่า Path Loss ได้ดังสมการที่ (2.2) (2.3) และ (2.4) ตามลำดับ

$$PL_{Urban} = 36.2 + 30.2 \log(d) + 12 \log(H_{Tx}) + 0.1 \log(d) \log(H_{Tx}) - 3.2[\log(11.75H_{Rx})^2] + 44.49 \log(f) - 4.78[\log(f)]^2 \quad (2.2)$$

$$PL_{Suburban} = 43.2 + 68.63 \log(d) + 12 \log(H_{Tx}) + 0.1 \log(d) \log(H_{Tx}) - 3.2[\log(11.75H_{Rx})^2] + 44.49 \log(f) - 4.78[\log(f)]^2 \quad (2.3)$$

$$PL_{Rural} = 45.95 + 100.6 \log(d) + 12 \log(H_{Tx}) + 0.1 \log(d) \log(H_{Tx}) - 3.2[\log(11.75H_{Rx})^2] + 44.49 \log(f) - 4.78[\log(f)]^2 \quad (2.4)$$

โดย	PL_{Urban}	คือค่า Path Loss ในพื้นที่ในเมือง หน่วย dB
	$PL_{Suburban}$	คือค่า Path Loss ในพื้นที่ชานเมือง หน่วย dB
	PL_{Rural}	คือค่า Path Loss ในพื้นที่นอกเมือง หน่วย dB
	d	คือระยะห่างระหว่างเสาส่งสัญญาณและเครื่องรับสัญญาณ หน่วยกิโลเมตร
	H_{Tx}	คือความสูงของเสาส่งสัญญาณ หน่วยเมตร
	H_{Rx}	คือความสูงของเครื่องรับสัญญาณ หน่วยเมตร
	f	คือความถี่ หน่วย MHz

2.1.3 การวัดค่า Path Loss

การวัดค่า Path Loss นั้นสามารถทำได้โดยการคำนวณหาผลต่างระหว่างกำลังส่งและกำลังรับ โดยสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (2.5)

$$PL_{measure} = P_{tx} + \hat{G}(\theta, \phi) - RSRP \quad (2.5)$$

โดย	$PL_{measure}$	คือค่า Path Loss หน่วย dB
	P_{tx}	คือสัญญาณอ้างอิงได้รับพลังงานหน่วย dBm

P_x คือกำลังส่งของเสาส่งสัญญาณ หน่วย dBm
 $\hat{G}(\theta, \phi)$ คืออัตราการขยายของเสาส่งสัญญาณคำนวณได้จากสมการที่ (2.18)

หน่วย dB

2.1.4 แบบจำลอง Path Loss

แบบจำลอง Path Loss ถูกพัฒนามาจากสมการ Standard Propagation Model ซึ่งได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ K ด้วยหลักการ Least Square ดังสมการที่ (2.1) โดยสมการ Path Loss สามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (2.6)

$$PL_{predict} = K_1 + K_2 \log(d) + K_3 \log(h_t) + K_5 \log(d) \log(h_t) + K_6 h_r + K_7 \log(h_r) \quad (2.6)$$

โดย $PL_{predict}$ คือค่า Path Loss จากการทำนาย หน่วย dB
 d คือระยะห่างระหว่างเสาส่งสัญญาณและเครื่องรับสัญญาณ หน่วยเมตร
 h_t คือความสูงของเสาส่งสัญญาณ หน่วยเมตร
 h_r คือความสูงของเครื่องรับสัญญาณ หน่วยเมตร
 K_1 คือค่าคงที่ไบอัส
 K_2 คือสัมประสิทธิ์เทอม $\log(d)$
 K_3 คือสัมประสิทธิ์เทอม $\log(h_t)$
 K_5 คือสัมประสิทธิ์เทอม $\log(d) \log(h_t)$
 K_6 คือสัมประสิทธิ์เทอม h_r
 K_7 คือสัมประสิทธิ์เทอม $\log(h_r)$

จากสมการที่ (2.6) เป็นการทำนายค่า Path Loss หลังจากปรับค่าพารามิเตอร์ K เรียบร้อยแล้ว โดยการวัดความแม่นยำและความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง Path Loss สามารถคำนวณได้จากผลต่างของค่า Path Loss จากสมการที่ (2.5) และค่า Path Loss จากสมการที่ (2.6) โดยการคำนวณค่า Root Mean Square Error (RMSE) และค่า Mean Absolute Error (MAE) ได้ดังสมการที่ (2.7) และ (2.8) ตามลำดับ

$$RMSE_{PL} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (PL_{measure} - PL_{predict})^2} \quad (2.7)$$

$$MAE_{PL} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} |PL_{measure} - PL_{predict}| \quad (2.8)$$

โดย	$PL_{predict}$	คือค่า Path Loss จากการทำนายตามสมการที่ (2.6) หน่วย dB
	$PL_{measure}$	คือค่า Path Loss จากการวัดค่าจริงตามสมการที่ (2.5) หน่วย dB
	$RMSE_{PL}$	คือค่า Root Mean Square Error หน่วย dB
	MAE_{PL}	คือค่า Mean Absolute Error หน่วย dB
	N	คือจำนวนข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง

2.2 สมการ RSRP

RSRP [12] คือค่าเฉลี่ยเชิงเส้นของสัญญาณอ้างอิง Downlink ผ่านช่องแบนด์วิดท์ สามารถบอกความแรงของสัญญาณและบ่งชี้คุณภาพของสัญญาณ มีหน่วยเป็น dBm ค่า RSRP เป็นค่าการลดทอนสัญญาณจึงมีค่าติดลบ ไม่เกิน 0 ยิ่งติดลบน้อยยิ่งดี ซึ่งการทำนายค่า RSRP สามารถทำนายได้จากการลดทอนของกำลังส่งสัญญาณเนื่องจากค่า Path Loss สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.9)

$$RSRP_{predict} = P_{Tx} + \hat{G}(\theta, \phi) - PL_{predict} \quad (2.9)$$

จากสมการที่ (2.9) เป็นการทำนายค่า RSRP โดยการวัดความแม่นยำและความคลาดเคลื่อนของค่า RSRP สามารถคำนวณได้จากผลต่างของค่า RSRP จากสมการที่ (2.9) และค่า RSRP ที่วัดได้จริงโดยการคำนวณค่า Root Mean Square Error (RMSE) และค่า Mean Absolute Error (MAE) ได้ดังสมการที่ (2.10) และ (2.11) ตามลำดับ

$$RMSE_{RSRP} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (RSRP_{measure} - RSRP_{predict})^2} \quad (2.10)$$

$$MAE_{RSRP} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} |RSRP_{measure} - RSRP_{predict}| \quad (2.11)$$

โดย	$RSRP_{predict}$	คือค่า RSRP จากการทำนายตามสมการที่ (2.9) หน่วย dB
	$RSRP_{measure}$	คือค่า RSRP จากการวัดค่าจริง หน่วย dB
	$RMSE_{RSRP}$	คือค่า Root Mean Square Error หน่วย dB
	MAE_{RSRP}	คือค่า Mean Absolute Error หน่วย dB

N

คือจำนวนข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง

2.3 การจัดเตรียมข้อมูล

การจัดเตรียมข้อมูลเป็นกระบวนการที่ช่วยเพิ่มคุณภาพของข้อมูลและเตรียมพร้อมข้อมูลก่อนเข้าสู่กระบวนการประมวลผล

2.3.1 การรวมไฟล์ข้อมูล

การรวมไฟล์ข้อมูลเป็นการรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกันจากไฟล์ข้อมูลแต่ละไฟล์ที่ถูกรวบรวมมาจากกระบวนการเก็บข้อมูลที่แตกต่างกัน สามารถจำแนกประเภทของการรวมไฟล์ได้ดังนี้

2.3.1.1 Left Join

Left Join [3] เป็นการรวมไฟล์ข้อมูลของข้อมูล 2 ไฟล์ขึ้นไปมารวมกัน โดยใช้คุณสมบัติข้อมูลชนิดเดียวกันเป็นหลักในการรวมไฟล์ ซึ่งจะยึดข้อมูลของไฟล์หลักอยู่ทางซ้ายและข้อมูลของไฟล์รองอยู่ถัดไปทางขวา สำหรับแถวข้อมูลของไฟล์สองไฟล์ที่มีคุณสมบัติไม่เหมือนกันจะถูกแทนค่าด้วย Null ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งใช้คอลัมน์ student_id เป็นคอลัมน์อ้างอิงการทำ Left Join

Left Table				Right Table		Left Join				
student_id	name	gender	age	student_id	grade	student_id	name	gender	age	grade
1	Anna	F	12	1	A	1	Anna	F	12	A
2	Batman	M	14	2	B	2	Batman	M	14	B
3	Cat	F	15	3	C	3	Cat	F	15	C
4	Dodo	M	12	6	D	4	Dodo	M	12	Null
5	Eddy	M	13	7	C	5	Eddy	M	13	Null

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการทำ Left Join [1]

2.3.1.2 Right Join

Right Join [3] เป็นการรวมไฟล์ข้อมูลของข้อมูล 2 ไฟล์ขึ้นไปมารวมกัน โดยใช้คุณสมบัติข้อมูลชนิดเดียวกันเป็นหลักในการรวมไฟล์ ซึ่งจะยึดข้อมูลของไฟล์หลักอยู่ทางขวาและข้อมูลของไฟล์รองอยู่ถัดไปทางซ้าย สำหรับแถวข้อมูลของไฟล์สองไฟล์ที่มีคุณสมบัติไม่เหมือนกันจะถูกแทนค่าด้วย Null ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งใช้คอลัมน์ student_id เป็นคอลัมน์อ้างอิงการทำ Right Join

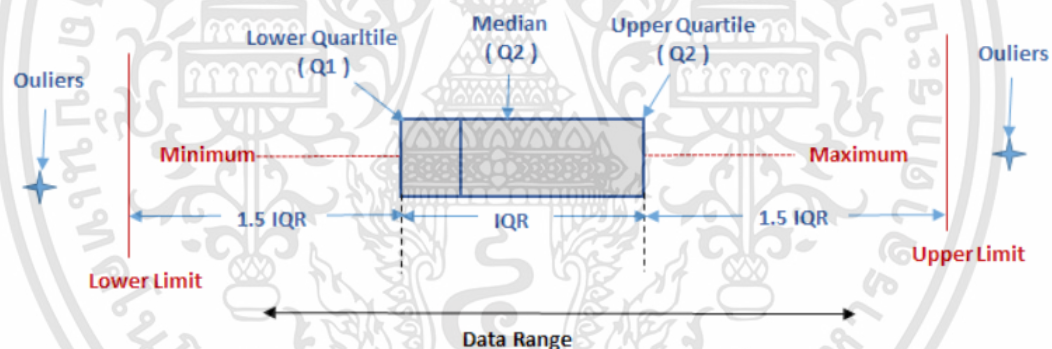
Left Table				Right Table		Right Join				
student_id	name	gender	age	student_id	grade	student_id	grade	name	gender	age
1	Anna	F	12	1	A	1	A	Anna	F	12
2	Batman	M	14	2	B	2	B	Batman	M	14
3	Cat	F	15	3	C	3	C	Cat	F	15
4	Dodo	M	12	6	D	6	D	Null	Null	Null
5	Eddy	M	13	7	C	7	C	Null	Null	Null

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการทำ Right Join [1]

2.3.2 การทำความสะอาดข้อมูลด้วย Outlier

การทำความสะอาดข้อมูลด้วย Outlier [4] เป็นกระบวนการตัดข้อมูลที่มีความผิดปกติออก เช่น ข้อมูลที่แยเกินไป ข้อมูลที่ดีเกินไป เป็นต้น โดยข้อมูลจำพวกนี้ส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของการประมวลผลอัลกอริทึม ดังนั้นการตัดข้อมูลดังกล่าวออกจึงส่งผลให้การประมวลผลของอัลกอริทึมมีความแม่นยำที่สูงขึ้นและเร็วขึ้น ซึ่งการตัดข้อมูล Outlier แสดงดังรูปที่

2.3



รูปที่ 2.3 Box Plot Outlier [4]

จากรูปที่ 2.3 สามารถคำนวณหา Upper Bound Outlier และ Under Bound Outlier ได้ดังสมการที่ (2.12) และ (2.13) ตามลำดับ

$$Outlier_{upper} = Q_3 + (1.5 \times IQR) \quad (2.12)$$

$$Outlier_{lower} = Q_1 - (1.5 \times IQR) \quad (2.13)$$

โดย Q_3 คือควอร์ไทล์ที่ 3

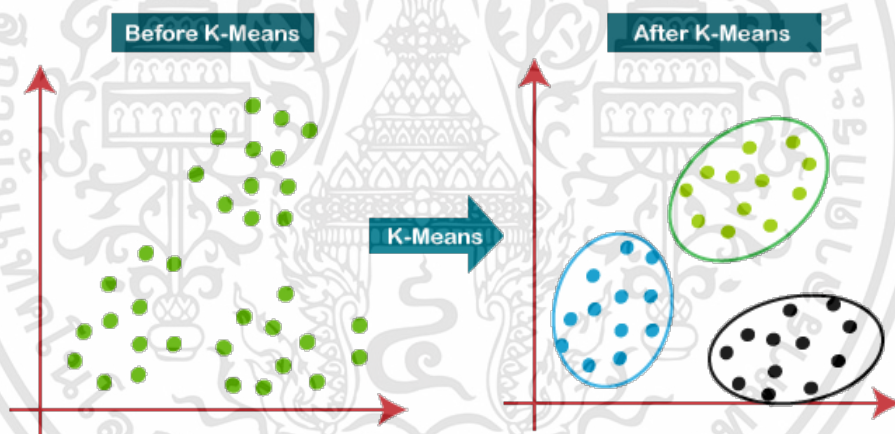
Q_1 คือควอร์ไทล์ที่ 1

จากสมการที่ (2.12) และ (2.13) สามารถคำนวณค่า IQR ได้ดังสมการที่ (2.14)

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (2.14)$$

2.4 การจัดกลุ่มแบบ K Means

การจัดกลุ่มแบบ K Means [5] เป็นอัลกอริทึมหนึ่งในปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ที่จัดอยู่ในประเภทการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) ซึ่งสามารถจัดกลุ่มได้ผ่านความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นโดยไม่จำเป็นต้องกำหนดผลลัพธ์สำหรับการฝึกฝน โดยเริ่มต้นกระบวนการทำงานจากการกำหนดจำนวนกลุ่ม และกำหนดพารามิเตอร์ Input แบบสุ่มตามจำนวนกลุ่ม จากนั้นข้อมูลกลุ่มตัวอย่างจะจัดกลุ่มตามระยะห่างที่น้อยที่สุดระหว่างข้อมูลกลุ่มตัวอย่างและพารามิเตอร์ Input แบบสุ่ม วนซ้ำเช่นนี้จนกระทั่งได้กลุ่มที่เหมาะสม ซึ่งตัวอย่างผลลัพธ์ก่อนและหลังการจัดกลุ่มแบบ K Means แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การจัดกลุ่มแบบ K Means [5]

2.5 สายอากาศ

สายอากาศ คืออุปกรณ์สำหรับรับและส่งคลื่น ความถี่วิทยุ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและในทางกลับกันสามารถเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานไฟฟ้าเช่นกัน สายอากาศมีหลายขนาดและรูปแบบขึ้นอยู่กับการใช้งาน สามารถแบ่งตามรูปแบบการรับ-ส่งคลื่นได้ดังนี้

- 1) สายอากาศแบบรอบตัว สามารถรับ-ส่งคลื่นได้ดีในทุกทิศทางเฉลี่ยกันไปโดยรอบ

2) สายอากาศแบบกึ่งรอบตัว สามารถรับ-ส่งคลื่นได้ดีเกือบรอบตัวแต่มีอัตราขยายสูงกว่าแบบรอบตัว

3) สายอากาศแบบทิศทางเดียว สามารถรับ-ส่งคลื่นได้ดีในทิศทางที่กำหนดและจะมีอัตราขยาย (gain) สูงกว่าประเภทอื่น

อัตราขยาย (gain) เป็นความสามารถของสายอากาศในการรับส่งคลื่นวิทยุ สายอากาศแต่ละแบบมีอัตราขยายแตกต่างกัน สายอากาศแบบทิศทางเดียวจะมีอัตราการขยายมากกว่าสายอากาศแบบกึ่งรอบตัวและแบบรอบตัว ลักษณะการใช้งานจึงแตกต่างกันไป สายอากาศที่มีอัตราขยายสูงจะสามารถรับ-ส่งคลื่นวิทยุได้ดีมาก ซึ่งมีหน่วยวัดอัตราการขยายได้แก่ dBi และ dBd

สายอากาศสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

1) สายอากาศรอบตัว (Omni-directional) ออกอากาศในแนวนอน 360 องศา ส่วนแนวตั้งขึ้นอยู่กับอัตราขยาย โดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่ 2 – 18 dBi

2) สายอากาศทิศทาง (Directional) สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือแบบกึ่งทิศทางและแบบทิศทาง

- แบบกึ่งทิศทาง (Dipole, Patch panel, Sector) การแพร่กระจายคลื่นออกมารอบทิศทาง เน้นออกไปทิศทางด้านหน้าของสายอากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราขยาย

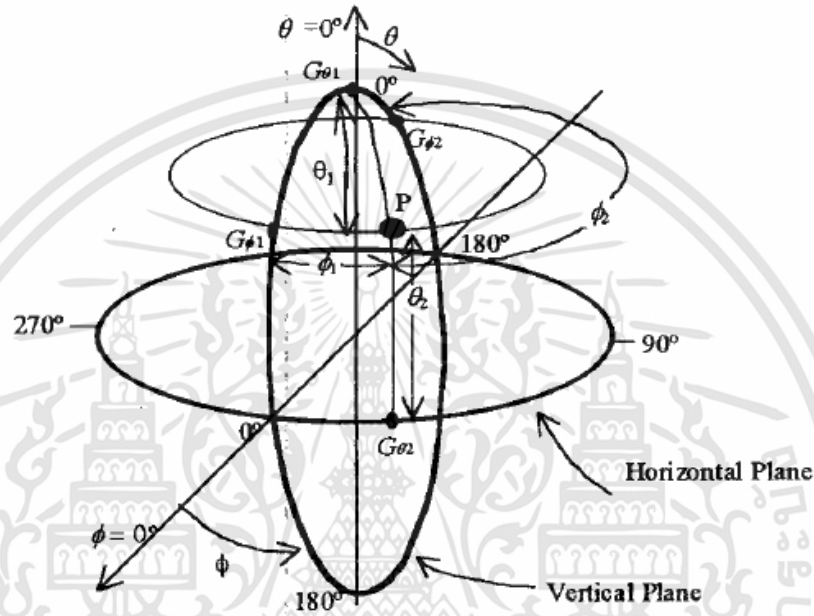
- แบบทิศทาง (Yagi-Uda, Helical (Helix), Grid) จะเน้นทิศทางด้านหน้ามากกว่าแบบอื่น ๆ และสัญญาณด้านหลังและด้านข้างแพร่กระจายออกมาน้อยมาก ส่วนใหญ่อัตราขยายสูงกว่า 20 dBi

3) สายอากาศแบบ Helical (Helix) หรือสายอากาศก้นหอย มีลักษณะของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกมา มีทั้งแนวตั้งและแนวนอนทำให้สายอากาศภาครับไม่จำเป็นต้องทำแนวเดียวกับสายอากาศต้นทางที่เป็น helical และค่าสัดส่วนอัตราขยายหน้า/หลัง (Front/Back ratio) มีอัตราที่ดีมาก แต่เป็นสายอากาศที่สร้างยาก

2.6 การคำนวณอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ

อัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติเป็นตัวแปรต้นสำหรับการคำนวณค่า Path Loss ซึ่งในการใช้งานจริงอัตราการขยายสัญญาณของเสาสัญญาณในแต่ละทิศทางมีขนาดไม่เท่ากัน ดังนั้นอัตราการขยายสัญญาณสำหรับการคำนวณค่า Path Loss จึงเป็นอัตราการขยายสัญญาณแบบ 3

มิติ โดยสามารถคำนวณอัตรการขยายสัญญาณแบบ 3 มิติได้จากวิธี Three-Dimensional Directive Antenna Pattern Interpolation [7] ซึ่งเป็นการคำนวณอัตรการขยายสัญญาณในรูปแบบ 3 มิติ ซึ่งพัฒนาจากวิธี Weight Summing [6] ให้สามารถใช้งานได้กับการกระจายคลื่นแบบ Directional แสดงการคำนวณอัตรการขยายสัญญาณแบบ 3 มิติดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การคำนวณอัตรการขยายแบบ 3 มิติ [6]

จากรูปที่ 2.5 การคำนวณอัตรการขยายสัญญาณแบบ 3 มิติสามารถคำนวณได้ตั้งสมการที่ (2.15)

$$\hat{G}(\theta, \phi) = G_{Hm}(\theta, \phi)W_3(\theta, \phi) + G_{Vm}(\theta, \phi)[1 - W_3(\theta, \phi)] \quad (2.15)$$

จากสมการที่ (2.15) การคำนวณค่าพารามิเตอร์ G_{Hm} , G_{Vm} และ W_3 สามารถคำนวณได้ตั้งสมการที่ (2.16) (2.17) และ (2.18) ตามลำดับ

$$G_{Hm}(\theta, \phi) = G_{\theta_1}(\phi)W_1(\theta) + G_{\theta_2}(\phi)[1 - W_1(\theta)] \quad (2.16)$$

$$G_{Vm}(\theta, \phi) = G_{\phi_1}(\theta)W_2(\phi) + G_{\phi_2}(\theta)[1 - W_2(\phi)] \quad (2.17)$$

$$W_3(\theta, \phi) = \frac{2}{\pi} \left| \left[\frac{\pi}{4} - |\theta| + \frac{\pi}{2} - \left| \left(\frac{\pi}{2} - |\phi| \right) \right| \right] \right| \quad (2.18)$$

โดย $G_{\theta_1}(\theta)$ คืออัตรการขยายตามแนวแกนตั้ง ณ ตำแหน่ง $(0, \phi = 0)$

$G_{\phi_2}(\theta)$	คืออัตราการขยายตามแนวแกนตั้ง ณ ตำแหน่ง $(0, \phi = \pi)$
$G_{\theta_1}(\phi)$	คืออัตราการขยายตามแนวแกนตั้ง ณ ตำแหน่ง $(\theta = 0)$
$G_{\theta_2}(\phi)$	คืออัตราการขยายตามแนวแกนนอน
ϕ	คือมุมตามแนวแกนนอน
θ	คือมุมตามแนวแกนตั้ง

จากสมการที่ (2.16) และ (2.17) คำนวณค่าพารามิเตอร์ W_1 และ W_2 ได้ตั้งสมการที่ (2.19) และ (2.20) ตามลำดับ

$$W_1(\theta) = 1 - \frac{2|\theta|}{\pi} \quad (2.19)$$

$$W_2(\phi) = 1 - \frac{|\phi|}{\pi} \quad (2.20)$$

จากสมการที่ (2.28) (2.19) และ (2.20) กำหนดขอบเขตของ $\theta = [-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$ และ $\phi = [-\pi, \pi]$ โดยที่ตำแหน่ง $(0,0)$ เป็นตำแหน่งที่มีค่า Gain สูงสุด

2.7 การคำนวณระยะทาง มุมในแนวตั้งและแนวนอนสำหรับอัตราการขยาย

สำหรับการรวมไฟล์แบบจำลองสายอากาศและไฟล์รวมครั้งที่ 1 มีหลายพารามิเตอร์ที่ต้องคำนวณขึ้นมา ได้แก่ “relative azimuth” “distance” “Angle Horizontal” และ “Angle Vertical” โดยพารามิเตอร์ดังกล่าวสามารถหาได้ดังนี้

2.7.1 พารามิเตอร์ “distance”

สำหรับการคำนวณค่าพารามิเตอร์ “distance” จำเป็นต้องมีการแปลงค่าพารามิเตอร์ “Latitude” และ “Longitude” ให้อยู่ในรูปแบบของ Earth-centered, Earth-fixed Coordinate System (ECEF) โดยสามารถแปลงค่าพารามิเตอร์เป็นตำแหน่ง $\hat{X} \hat{Y} \hat{Z}$ ได้ตั้งสมการที่ (2.21) (2.22) และ (2.23) ตามลำดับ

$$\hat{X} = \{N(\phi) + h\} \cos(\phi) \cos(\lambda) \quad (2.21)$$

$$\hat{Y} = \{N(\phi) + h\} \cos(\phi) \sin(\lambda) \quad (2.22)$$

$$\hat{Z} = \{N(\phi)[1 - e^2] + h\} \sin(\phi) \quad (2.23)$$

โดย ϕ คือตำแหน่ง Latitude
 λ คือตำแหน่ง Longitude
 h คือความสูงของตำแหน่ง กำหนดให้มีค่าประมาณรัศมีของโลกเท่ากับ 6,371 กิโลเมตร

จากสมการที่ (2.21) (2.22) และ (2.23) สามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ e และ $N(\phi)$ ได้ดังสมการที่ (2.24) และ (2.25) ตามลำดับ

$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} \quad (2.24)$$

$$N(\phi) = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2(\phi)}} \quad (2.25)$$

โดย a มีค่าเท่ากับ 6,378.136 กิโลเมตร

b มีค่าเท่ากับ 6,356.751 กิโลเมตร

จากสมการที่ (2.21) (2.22) และ (2.23) สามารถแปลงค่าพารามิเตอร์ “Latitude” และ “Longitude” เป็นตำแหน่ง X_{User} Y_{User} และ Z_{User} ได้ตามลำดับโดยใช้วิธีการ World Geodetic System [8] จากนั้นแปลงค่าพารามิเตอร์ “Latitude_Ant” และ “Longitude_Ant” เป็นตำแหน่ง X_{Ant} Y_{Ant} และ Z_{Ant} ได้ตามลำดับ เมื่อทำการแปลงค่าพารามิเตอร์ข้างต้นเรียบร้อยแล้วจึงคำนวณระยะทางระหว่างเสาส่งสัญญาณและเครื่องรับสัญญาณได้ดังสมการที่ (2.26)

$$d = \sqrt{(X_{User} - X_{Ant})^2 + (Y_{User} - Y_{Ant})^2 + (Z_{User} - Z_{Ant})^2} \quad (2.26)$$

โดย d คือระยะทางระหว่างเสาส่งสัญญาณและเครื่องรับสัญญาณ

X_{User} คือตำแหน่ง X ของผู้ใช้งาน (X_{User})

X_{Ant} คือตำแหน่งบนแกน X ของเสาส่งสัญญาณ (X_{Ant})

Y_{User} คือตำแหน่งบนแกน Y ของผู้ใช้งาน (Y_{User})

Y_{Ant} คือตำแหน่งบนแกน Y ของเสาส่งสัญญาณ (Y_{Ant})

Z_{User} คือตำแหน่งบนแกน Z ของผู้ใช้งาน (Z_{User})

Z_{Ant} คือตำแหน่งบนแกน Z ของเสาส่งสัญญาณ (Z_{Ant})

2.7.2 พารามิเตอร์ “relative_azimuth”

“relative_azimuth” เป็นมุมระหว่างตำแหน่งของผู้ใช้งานเทียบกับทิศเหนือ โดยการคำนวณพารามิเตอร์ “relative_azimuth” สามารถคำนวณได้โดยวิธี Topocentric Coordinate System [9] ซึ่งเป็นการแปลงตำแหน่งของเสาส่งสัญญาณและตำแหน่งผู้ใช้งานเป็นตำแหน่ง North East Up ของตำแหน่งผู้ใช้งานเมื่อตำแหน่งอ้างอิงเป็นตำแหน่งของเสาส่งสัญญาณ โดยการแปลงตำแหน่งที่กล่าวมานั้นสามารถแปลงได้ดังสมการที่ (2.27)

$$\begin{bmatrix} E \\ N \\ U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin(\phi) & \cos(\lambda) & 0 \\ -\sin(\phi)\cos(\lambda) & -\sin(\phi)\sin(\lambda) & \cos(\phi) \\ \cos(\phi)\cos(\lambda) & \cos(\phi)\sin(\lambda) & \sin(\phi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

โดย

E คือระยะทางของตำแหน่งผู้ใช้งานเทียบกับตำแหน่งเสาส่งสัญญาณเทียบกับทิศตะวันออก

N คือระยะทางของตำแหน่งผู้ใช้งานเทียบกับตำแหน่งเสาส่งสัญญาณเทียบกับทิศเหนือ

U คือความสูงของตำแหน่งผู้ใช้งานเทียบกับความสูงของตำแหน่งเสาส่งสัญญาณ

X_0 คือตำแหน่งบนแกน X ของผู้ใช้งาน (X_{User})

X คือตำแหน่งบนแกน X ของเสาส่งสัญญาณ (X_{Ant})

Y_0 คือตำแหน่งบนแกน Y ของผู้ใช้งาน (Y_{User})

Y คือตำแหน่งบนแกน Y ของเสาส่งสัญญาณ (Y_{Ant})

Z_0 คือตำแหน่งบนแกน Z ของผู้ใช้งาน (Z_{User})

Z คือตำแหน่งบนแกน Z ของเสาส่งสัญญาณ (Z_{Ant})

ϕ คือตำแหน่งบนแกน Latitude ของผู้ใช้งาน

λ คือตำแหน่งบนแกน Longitude ของผู้ใช้งาน

เมื่อทำการแปลงตำแหน่งดังสมการที่ (2.27) จะให้ผลลัพธ์ค่าพารามิเตอร์ “relative_azimuth” เป็นมุมระหว่างตำแหน่งของผู้ใช้งานเทียบกับทิศเหนือเมื่อตำแหน่งของเสา

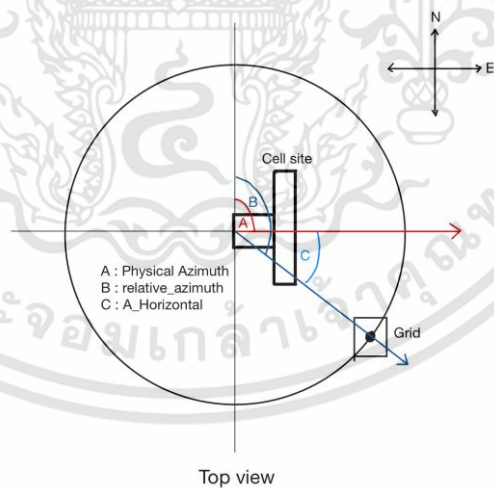
ส่งสัญญาณเป็นตำแหน่งอ้างอิง โดยสามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ “relative_azimuth” ได้ดังสมการที่ (2.28)

$$\text{relative_azimuth} = \begin{cases} \arctan\left(\frac{N}{E}\right) & ; (N \geq 0) \cap (E \geq 0) \\ 180 + \arctan\left(\frac{N}{E}\right) & ; (N \leq 0) \cap (E \geq 0) \\ 180 + \arctan\left(\frac{N}{E}\right) & ; (N \leq 0) \cap (E \leq 0) \\ 360 + \arctan\left(\frac{N}{E}\right) & ; (N \geq 0) \cap (E \leq 0) \end{cases} \quad (2.28)$$

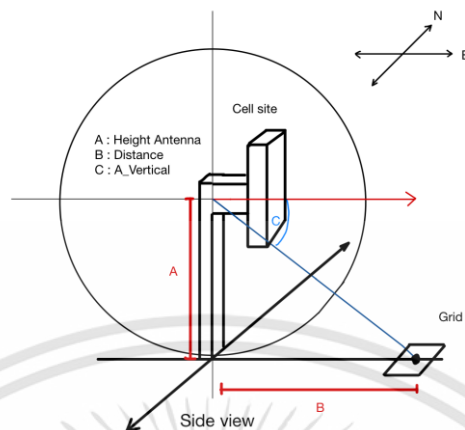
โดย E คือระยะทางของตำแหน่งผู้ใช้งานเทียบกับตำแหน่งเสาส่งสัญญาณเทียบกับทิศตะวันออก
 N คือระยะทางของตำแหน่งผู้ใช้งานเทียบกับตำแหน่งเสาส่งสัญญาณเทียบกับทิศเหนือ

2.7.3 พารามิเตอร์ “Angle Horizontal” และ “Angle Vertical”

พารามิเตอร์ “Angle Horizontal” และ “Angle Vertical” สามารถหาได้จากรูปที่ 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ



รูปที่ 2.6 การหาค่าพารามิเตอร์ “Angle Horizontal”



รูปที่ 2.7 การหาค่าพารามิเตอร์ “Angle Vertical”

จากรูปที่ 2.6 และ 2.7 สามารถหาค่าพารามิเตอร์ “Angle Horizontal” และ “Angle Vertical” ได้ดังสมการที่ (2.29) และ (2.30) ตามลำดับ

$$A_Horizontal = |\text{relative_azimuth} - \text{Physical_Azimuth}| \quad (2.29)$$

$$A_Vertical = \tan^{-1}\left(\frac{\text{Height_Antenna}}{\text{distance}}\right) \quad (2.30)$$

2.8 หลักการ Least Square

หลักการ Least Square [10] เป็นหลักการสำหรับปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ K โดยวิธีการหาสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมกับสมการ Path Loss ในรูปแบบสมการวิเคราะห์แบบถดถอย ซึ่งหลักการ Least Square สามารถอธิบายได้ดังนี้

จากสมการวิเคราะห์แบบถดถอย เป็นสมการเชิงเส้นสำหรับใช้หาความสัมพันธ์ของตัวแปร X ที่ส่งผลต่อตัวแปร Y โดยสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (2.31)

$$Y_i = b_1 + b_2 \sum_{j=1}^N X_j \quad (2.31)$$

โดย Y_i คือค่าตัวแปรตาม Y ที่ i

X_j คือตัวแปรต้น X ที่ j ที่ส่งผลต่อตัวแปรตาม Y

b_1 คือค่าคงที่ไบอัส

b_2 คือสัมประสิทธิ์ของ $\sum_{j=1}^N X_j$

N คือจำนวนกลุ่มตัวอย่างของตัวแปรต้น X

จากสมการที่ (2.31) เปลี่ยนรูปแบบเป็นสมการเชิงเมทริกซ์ได้ดังสมการที่ (2.32)

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_M \end{bmatrix}_{M \times 1} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{21} & \cdots & X_{M1} \\ 1 & X_{12} & X_{22} & \cdots & X_{M2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{1N} & X_{2N} & \cdots & X_{MN} \end{bmatrix}_{M \times N} \begin{bmatrix} \hat{b}_1 \\ \hat{b}_2 \\ \vdots \\ \hat{b}_M \end{bmatrix}_{M \times 1} \quad (2.32)$$

จากหลักการ Least Square สามารถออกแบบสมการความสัมพันธ์ระหว่าง \mathbf{X} กับ \mathbf{Y} ได้ดังสมการที่ (2.33)

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}\mathbf{b} \quad (2.33)$$

จากสมการที่ (2.33) เป็นสมการเมทริกซ์ ซึ่งค่าของเมทริกซ์พารามิเตอร์ \mathbf{Y} \mathbf{X} และ \mathbf{b} แสดงดังสมการที่ (2.34) (2.35) และ (2.36) ตามลำดับ

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N Y_i \\ \sum_{i=1}^N Y_i X_{1i} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^N Y_i X_{Mi} \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} N & \sum_{i=1}^N X_{1i} & \sum_{i=1}^N X_{2i} & \cdots & \sum_{i=1}^N X_{Mi} \\ \sum_{i=1}^N X_{1i} & \sum_{i=1}^N X_{1i}^2 & \sum_{i=1}^N X_{1i} X_{2i} & \cdots & \sum_{i=1}^N X_{1i} X_{Mi} \\ \sum_{i=1}^N X_{2i} & \sum_{i=1}^N X_{2i} X_{1i} & \sum_{i=1}^N X_{2i}^2 & \ddots & \sum_{i=1}^N X_{2i} X_{Mi} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^N X_{Mi} & \sum_{i=1}^N X_{Mi} X_{1i} & \sum_{i=1}^N X_{Mi} X_{2i} & \cdots & \sum_{i=1}^N X_{Mi}^2 \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_M \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

จากสมการที่ (2.33) เมื่อต้องการหาค่าของเมทริกซ์สัมประสิทธิ์ \mathbf{b} สามารถปรับปรุงสมการใหม่ได้ดังสมการที่ (2.37)

$$\mathbf{b} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}'\mathbf{Y} \quad (2.37)$$

2.9 นิยามพารามิเตอร์ที่สำคัญ

พารามิเตอร์ที่สำคัญถูกจำแนกประเภทของข้อมูลเป็น 3 ประเภทได้แก่ ข้อมูลที่ตั้งเซลล์ ข้อมูลรายงานของผู้ใช้งาน และข้อมูลแบบจำลองสายอากาศ โดยข้อมูลทั้ง 3 ประเภทอธิบายได้ดังนี้

2.9.1 ข้อมูลที่ตั้งเซลล์

ข้อมูลเสาอากาศใช้ระบุคุณลักษณะของที่ตั้งเซลล์ภายในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยไฟล์ข้อมูลที่ตั้งเซลล์เป็นไฟล์สกุล csv มีรายละเอียดดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลของไฟล์ที่ตั้งเซลล์

ชื่อของข้อมูล	ความหมายของข้อมูล
Latitude_Ant	ละติจูดของที่ตั้งเซลล์
Longitude_Ant	ลองจิจูดของที่ตั้งเซลล์
Cell_Name	ชื่อของ Cell
Frequency	ความถี่ของสายอากาศ
Bandwidth	ความกว้างของความถี่
ant_model	แบบจำลองสายอากาศ
Ant_logical	ค่าคงที่สำหรับกำหนดทิศทาง Main Lobe
m_tilt	มุมเชิงกายภาพของสายอากาศ
e_tilt	มุมเชิงอิเล็กทรอนิกส์ของสายอากาศ

ชื่อของข้อมูล	ความหมายของข้อมูล
physical_azimuth	มุมของเสาอากาศเทียบกับทิศเหนือ
ant_height_x	ความสูงของสายอากาศ
ant_gain	อัตราการขยายสูงสุดของสายอากาศ
diff_azimuth	มุมของ Main Lobe เทียบกับสายอากาศ
vertical_beam_width	ความกว้างลำคลื่นตามแนวตั้ง
horizontal_beam_width	ความกว้างลำคลื่นตามแนวนอน

2.9.2 ข้อมูลรายงานของผู้ใช้งาน

ข้อมูลรายงานของผู้ใช้งานใช้ระบุคุณลักษณะของผู้ใช้บริการในพื้นที่ Grid นั้น ๆ ซึ่งมีจำนวนรายงานข้อมูลรายวันจำนวน 13 วันตั้งแต่วันที่ 3-15 กันยายน พ.ศ. 2563 โดยไฟล์ข้อมูลรายงานของผู้ใช้งานเป็นไฟล์สกุล csv มีรายละเอียดดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลของไฟล์รายงานของผู้ใช้งาน

ชื่อของข้อมูล	ความหมายของข้อมูล
Time	วันที่
Longitude	ละติจูดของพื้นที่ครอบคลุม
Latitude	ลองจิจูดของพื้นที่ครอบคลุม
eNodeB_Name	ชื่อของ Cell
Cell_Name	ชื่อของ Cell Site
eNodeB_ID_Cell_ID	Tracking Area Code
TAC	รหัสที่ใช้ถอดรหัสเพื่อยืนยันตน
PCI	จำนวนรายงานที่ได้รับ
Dominant_Grid_Count	จำนวน Grid ที่ Broadcast ไป
Dominant_MR_count	กำลังรับสัญญาณอ้างอิง
Dominant_RSRP	คุณภาพรับสัญญาณอ้างอิง
Dominant_RSRQ	ปริมาณงาน Uplink
UL_Traffic_Volume	ปริมาณงาน Downlink
DL_Traffic_Volume	ปริมาณงาน Uplink เฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อของข้อมูล	ความหมายของข้อมูล
Average_UL_Throughput	ปริมาณงาน Downlink เฉลี่ย
Average_DL_Throughput	ปริมาณงานการโทรด้วยเสียงผ่านLTE
VOLTE_Traffic	จำนวนผู้ใช้งาน LTE

2.9.3 ข้อมูลแบบจำลองสายอากาศ

ข้อมูลแบบจำลองสายอากาศใช้ระบุการสูญเสียอัตราการขยายในการแพร่กระจายคลื่นทิศทางต่าง ๆ ของเสาส่งสัญญาณ โดยไฟล์ข้อมูลแบบจำลองสายอากาศเป็นไฟล์สกุล MSI มีรายละเอียดดังตารางที่ 2.3 และแสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของแบบจำลองสายอากาศดังนี้

2.9.3.1 แบบจำลอง AAU5726

แบบจำลอง AAU5726 [11] เป็นแบบจำลองสายอากาศประเภท Active Antenna มีรายละเอียดดังนี้

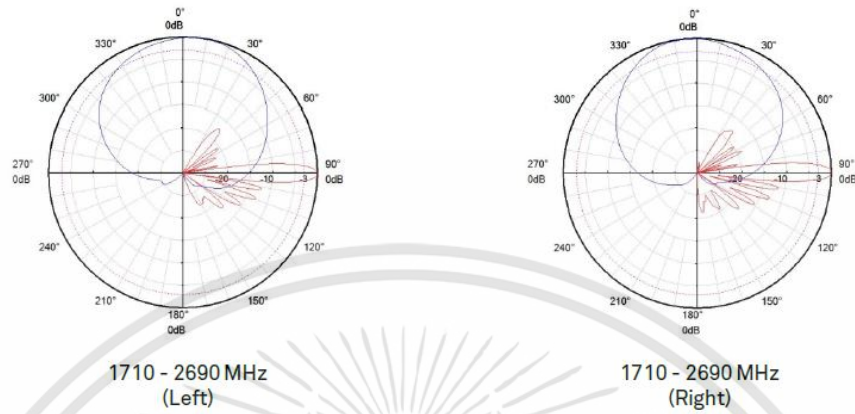
- 1) รองรับความถี่ 900 1800 และ 2100 MHz
- 2) มุมอิเล็กทรอนิกส์ (e_tilt) ประกอบด้วยมุม 5 6 7 8 และ 9 องศาจากแนวระดับ
- 3) จำนวน Beam เท่ากับ 4 beams ทำมุม -42 -12 12 และ 42 องศาที่ระนาบสายอากาศ

2.9.3.2 แบบจำลอง ADU4518R6V06

แบบจำลอง ADU4518R6V06 [11] เป็นแบบจำลองสายอากาศประเภท Dual-Beam มีรายละเอียดดังนี้

- 1) รองรับความถี่ 900 1800 และ 2100 MHz
- 2) การกระจายคลื่นแบบโพลาริเซชัน
- 3) อัตราการขยายสูงสุดเท่ากับ 18 dBi
- 4) แบบจำลองสายอากาศแบบ RCU6 รุ่นที่ 6
- 5) มุมอิเล็กทรอนิกส์ (e_tilt) ประกอบด้วยมุมตั้งแต่ 0 ถึง 12 องศาจากแนวระดับ
- 6) จำนวน Beam เท่ากับ 2 beams ทำมุม 0 องศาที่ระนาบสายอากาศ

7) ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแสดงดังรูปที่ 2.8

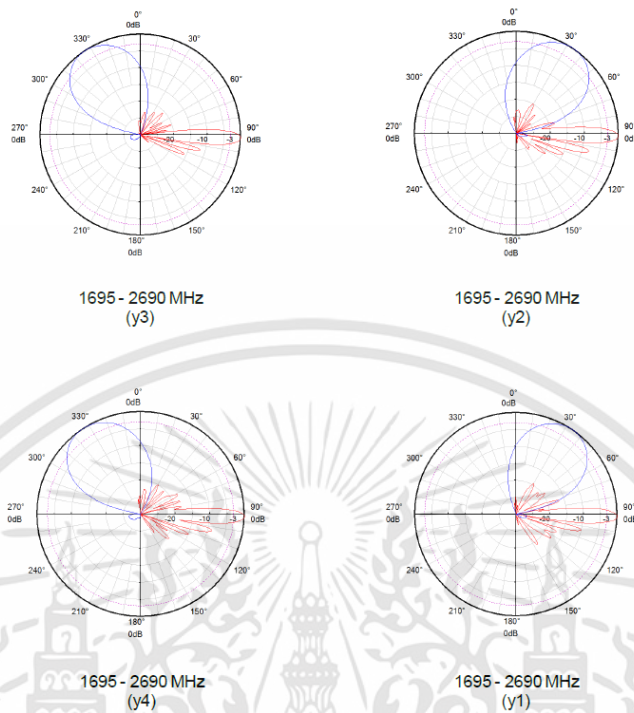


รูปที่ 2.8 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของแบบจำลอง ADU4518R6V06 [11]

2.9.3.3 แบบจำลอง AMB4519R6V06

แบบจำลอง AMB4519R6V06 [11] เป็นแบบจำลองสายอากาศประเภท Multi-Beam มีรายละเอียดดังนี้

- 1) รองรับความถี่ 900 1800 และ 2100 MHz
- 2) การกระจายคลื่นแบบโพลาริเซชัน
- 3) อัตราการขยายสูงสุดเท่ากับ 19 dBi
- 4) แบบจำลองสายอากาศแบบ RCU6 รุ่นที่ 6
- 5) มุมอิเล็กทรอนิกส์ (e_tilt) ประกอบด้วยมุม 2 7 และ 12 องศาจากแนวระดับ
- 6) จำนวน Beam เท่ากับ 4 beams ทำมุม -30 และ 30 องศากับระนาบสายอากาศ
- 7) ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแสดงดังรูปที่ 2.9



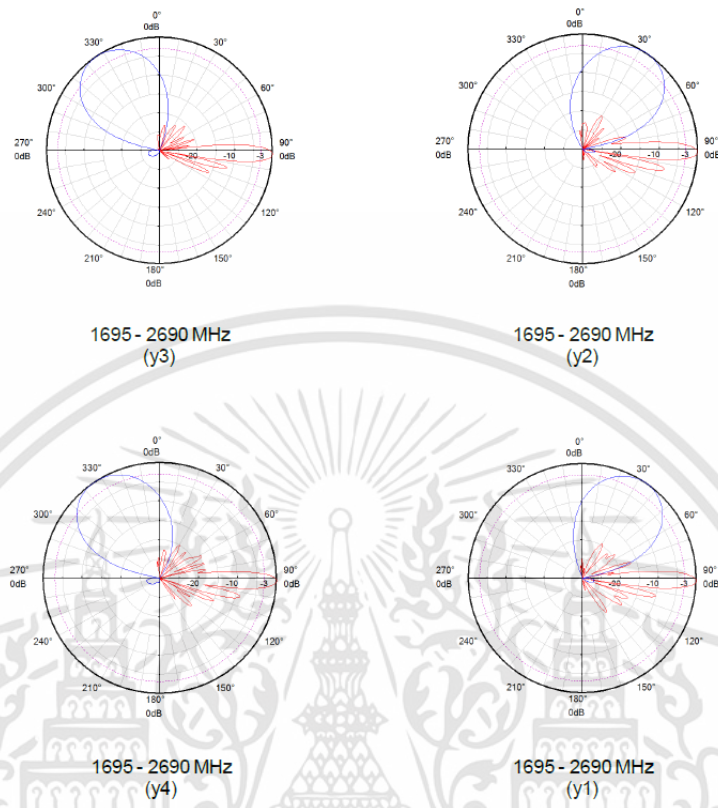
รูปที่ 2.9 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของแบบจำลอง AMB4519R6V06 [11]

2.9.3.4 แบบจำลอง AMB4519R9V06

แบบจำลอง AMB4519R9V06 [11] เป็นแบบจำลองสายอากาศประเภท Multi-Beam มีรายละเอียดดังนี้

- 1) รองรับความถี่ 900 1800 และ 2100 MHz
- 2) การกระจายคลื่นแบบโพลาริเซชัน
- 3) อัตราการขยายสูงสุดเท่ากับ 19 dBi
- 4) แบบจำลองสายอากาศแบบ RCU9 รุ่นที่ 6
- 5) มุมอิเล็กทรอนิกส์ (e_tilt) ประกอบด้วยมุม 2 7 และ 12 องศาจากแนวระดับ
- 6) จำนวน Beam เท่ากับ 4 beams ทำมุม -30 และ 30 องศาที่ระนาบสายอากาศ
- 7) ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแสดงดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของแบบจำลอง AMB4519R9V06 [11]

2.9.3.5 แบบจำลอง AMB4520R0

แบบจำลอง AMB4520R0 [11] เป็นแบบจำลองสายอากาศประเภท Multi-Beam มีรายละเอียดดังนี้

- 1) รองรับความถี่ 900 1800 และ 2100 MHz
- 2) การกระจายคลื่นแบบโพลาริเซชัน
- 3) อัตราการขยายสูงสุดเท่ากับ 20 dBi
- 4) แบบจำลองสายอากาศแบบ RCU0
- 5) มุมอิเล็กทรอนิกส์ (e_tilt) ประกอบด้วยมุม 2 7 และ 12 องศาจากแนวระดับ
- 6) จำนวน Beam เท่ากับ 2 beams ทำมุม -30 และ 30 องศาที่ระนาบสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3.6 แบบจำลอง AMB4520R6V06

แบบจำลอง AMB4520R6V06 [11] เป็นแบบจำลองสายอากาศประเภท Multi-Beam มีรายละเอียดดังนี้

- 1) รองรับความถี่ 900 1800 และ 2100 MHz
- 2) การกระจายคลื่นแบบโพลาริเซชัน
- 3) อัตราการขยายสูงสุดเท่ากับ 20 dBi
- 4) แบบจำลองสายอากาศแบบ RCU6 รุ่นที่ 6
- 5) มุมอิเล็กทรอนิกส์ (e_tilt) ประกอบด้วยมุมตั้งแต่ 2 ถึง 12 องศาจากแนวระดับ
- 6) จำนวน Beam เท่ากับ 2 beams ทำมุม -30 และ 30 องศากับระนาบสายอากาศ
- 7) ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของแบบจำลอง AMB4520R6V06 [11]

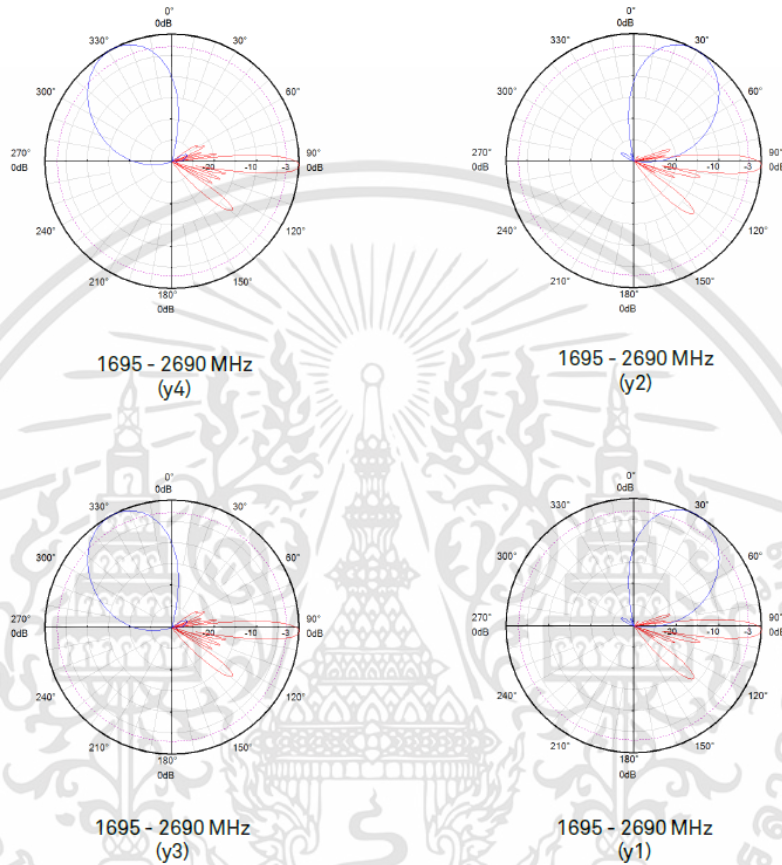
2.8.3.7 แบบจำลอง AMB4520R9V06

แบบจำลอง AMB4520R9V06 [11] เป็นแบบจำลองสายอากาศประเภท Multi-Beam มีรายละเอียดดังนี้

- 1) รองรับความถี่ 900 1800 และ 2100 MHz
- 2) การกระจายคลื่นแบบโพลาริเซชัน
- 3) อัตราการขยายสูงสุดเท่ากับ 20 dBi
- 4) แบบจำลองสายอากาศแบบ RCU9 รุ่นที่ 6
- 5) มุมอิเล็กทรอนิกส์ (e_tilt) ประกอบด้วยมุม 2 7 และ 12 องศาจากแนวระดับ

6) จำนวน Beam เท่ากับ 4 beams ทำมุม -30 และ 30 องศาที่ระนาบสายอากาศ

7) ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของแบบจำลอง AMB4520R9V06 [11]

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลของไฟล์แบบจำลองสายอากาศ

ชื่อของข้อมูล	ความหมายของข้อมูล
Angle	มุม
Loss_Horizontal	ค่าการสูญเสียอัตราการขยายตามแนวนอน
Loss_Vertical	ค่าการสูญเสียอัตราการขยายตามแนวตั้ง

2.10 เว็บแอปพลิเคชัน (Web Application)

เว็บแอปพลิเคชัน [13] คือแอปพลิเคชันที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อเป็น Browser สำหรับการใช้งานเว็บเพจต่าง ๆ ซึ่งถูกปรับแต่งให้แสดงผลลัพธ์เพียงส่วนที่จำเป็น เพื่อลดทรัพยากรสำหรับการประมวลผลของตัวเครื่องสมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ต ทำให้สามารถดาวน์โหลดหน้าเว็บได้เร็วขึ้น ซึ่งผู้ใช้งานสามารถใช้งานผ่านอินเทอร์เน็ตและอินทราเน็ตในความเร็วต่ำได้

ส่วนประกอบในการทำงานหลักของเว็บแอปพลิเคชัน [14] มีดังนี้

1) เว็บแอปพลิเคชัน ทำหน้าที่รับข้อมูลจากฝั่งผู้ใช้งาน ซึ่งจะมีการสร้างหรือตัดแปลงตามการใช้งาน ตัวอย่างเช่น การคำนวณค่าต่าง ๆ คิวเลข จับเวลา เว็บแอปสำหรับแปลภาษา ระบบ Membership ระบบซื้อขายแบบ eCommerce ระบบ Payment Gateway ระบบแผนที่หรือมูมกล็อง 360 องศา และระบบเก็บข้อมูล โดยส่วนมากจะเน้นใช้งานในเรื่องใดเรื่องหนึ่งเป็นหลัก

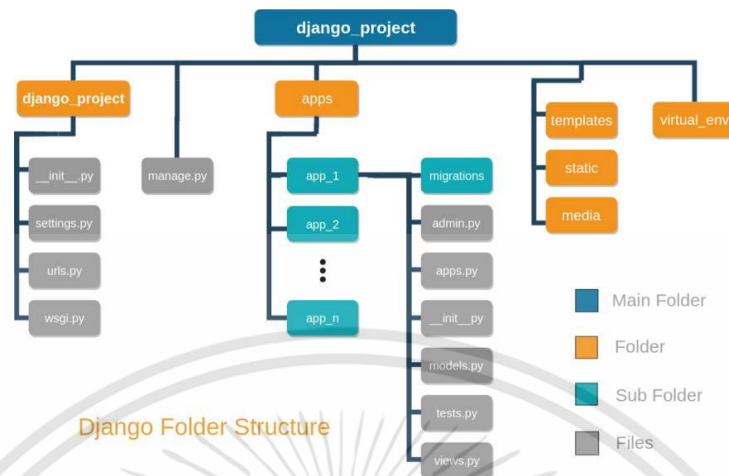
2) เว็บเบราว์เซอร์ คือเครื่องมือในการเข้าถึงเว็บแอปพลิเคชัน ตัวอย่างเช่น Google Chrome Firefox หรือ Microsoft Edge เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันเบราว์เซอร์เหล่านี้สามารถทำงานได้ทั้งบนคอมพิวเตอร์และสมาร์ทโฟน

3) เว็บเซิร์ฟเวอร์ คือระบบเซิร์ฟเวอร์ที่ให้บริการเว็บไซต์และเว็บแอปพลิเคชันต่าง ๆ ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลจากฝั่งผู้ใช้งานและฝั่งเว็บแอปพลิเคชันเช่น Apache Web Server และ IIS Web Server

4) ฐานข้อมูล คือฐานข้อมูลจากฝั่งผู้ให้บริการ ซึ่งทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่จำเป็น โดยมีการทำ Database Server แยกออกมาเพื่อความสะดวกในการควบคุมดูแลความปลอดภัยของตัวเว็บแอปพลิเคชัน

2.10.1 Django

Django [15] เป็น Framework ที่ใช้ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันในฝั่งของ Back End ที่มีการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาไพธอน โดยภายใน Framework มีส่วนประกอบที่จำเป็นตั้งแต่การเชื่อมต่อฐานข้อมูล ไปจนถึงการ Render ข้อมูลออกมาให้ฝั่ง Front End แสดงผล ซึ่งโครงสร้างโปรเจกต์ของ Django Framework [16] มีลักษณะดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 โครงสร้างภายในโฟลเดอร์ django_project [16]

จากรูปที่ 2.13 โครงสร้างภายในโฟลเดอร์ django_project มีดังนี้

- 1) manage.py คือไฟล์ Script สำหรับรันคำสั่งต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ Django ตัวอย่างเช่น Run Server Collectstatic Model และ Migrations เป็นต้น
- 2) __init__.py คือไฟล์เปล่า มีไว้เพื่อให้ภาษาไพธอนรู้โฟลเดอร์ที่อยู่นี้เป็นโฟลเดอร์ที่ใช้เก็บไพธอน Package ไฟล์นี้ถูกปล่อยเป็นไฟล์ว่างไว้ แต่สามารถใส่ไพธอน Script เข้าไปได้
- 3) settings.py คือไฟล์ที่ใช้เก็บ Configuration ทั้งหมดของโปรเจกต์ ตัวอย่างเช่น การตั้งค่าฐานข้อมูล Timezone และ Logging เป็นต้น ซึ่งค่าที่เก็บในนี้จะอยู่ในรูปแบบของ Dictionary และเป็นไฟล์แรกที่ Django อ่านเมื่อเริ่มการทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน
- 4) urls.py คือไฟล์ที่ใช้เก็บการ Routing ของ HTTP Request หรือเรียกว่าการกำหนด รูปแบบการทำงานของ URL ภายในเว็บแอปพลิเคชัน
- 5) wsgi.py คือไฟล์ที่ใช้เก็บข้อมูลของโปรเจกต์ Django ใช้สำหรับการ Deploy Project เมื่อต้องการเชื่อมต่อกับเว็บเซิร์ฟเวอร์

2.10.2 Django REST Framework

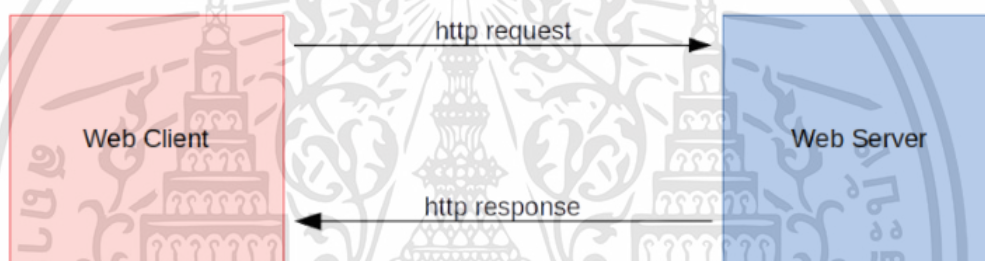
Django Rest Framework [17] คือ toolkit หรือไลบรารีของ Python ในการสร้าง RESTful APIs 6 คุณลักษณะคือ Uniform Interface Stateless Client-Server Cacheable Layered System และ Code on Demand โดย Representational State Transfer (REST) คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาปัตยกรรมของซอฟต์แวร์ที่อยู่บนพื้นฐานของ HTTP การทำงานของ HTTP แสดงดังรูปที่ 2.14 โดยมี 2 องค์ประกอบดังนี้

1) Client ทำการร้องขอข้อมูล (Request) ไปที่เซิร์ฟเวอร์พร้อมด้วย HTTP Request เพื่อบอกการร้องขอไปยังเซิร์ฟเวอร์ปลายทางและ Action ที่เกิดขึ้นสามารถรู้หรือคาดเดาได้ผ่าน HTTP Request

2) Server ทำการตอบกลับ (Response) กลับมาที่ Client โดยที่ข้อมูลที่แนบมากับ Body นั้นเป็นรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น JavaScript Object Notation (JSON) Extensible Markup Language (XML) หรือ Hypertext Markup Language (HTML) ซึ่งรูปแบบที่นิยมมากที่สุดคือ JSON



รูปที่ 2.14 การทำงานของ HTTP [18]

โดย Django Rest Framework มีโครงสร้างลักษณะเดียวกับ Django แต่โครงสร้างในการทำ REST คือ Serializers โดย Serializer คือกระบวนการแปลง Model Object ไปเป็นรูปแบบ JSON เพื่อส่งไปที่ Client การจัดการกับ Request และ Response จะจัดการผ่านโครงสร้าง Views ในการทดสอบ Application Programming Interface (API) ของ Django REST Framework มีหน้า Interface ที่ใช้สำหรับเรียกดู ทดสอบ API ได้เรียกหน้านี้ว่าBrowsable API

การสร้าง Web API หรือ Web Service ให้เว็บไซต์หรือแอปพลิเคชันอื่นใช้งาน เช่น เว็บแอปพลิเคชันที่ต้องสร้างแบบ Single Page Application (SPA) หรือโมบายแอปพลิเคชันทั้ง iOS และ Android สามารถใช้ Django Rest Framework เป็น Back End สำหรับสร้าง Web API เพื่อให้ Front End หรือ Client Side นำเข้าข้อมูลผ่าน API โดยฝั่ง Client ไม่จำเป็นต้องรู้เทคโนโลยีในการพัฒนาของ Back End หรือ Server ทำได้โดยการส่ง JSON มาฝั่ง Client และทำการ Format ซึ่งรูปแบบนี้ถือเป็นมาตรฐานเดียวกันหมด

2.10.2.1 HTTP Method

HTTP Method [19] สามารถสื่อความหมายและอธิบายได้ในตัวมันเอง (Self-explanatory) และตรงไปตรงมา ซึ่งสามารถพบเจอได้บ่อยและได้รับความนิยมที่สุดคือ 4 เมธอด ดังนี้

- 1) GET คือเมธอดที่ใช้สำหรับนำเข้ามาข้อมูลบางอย่างจากเซิร์ฟเวอร์เท่านั้น ไม่ได้ทำให้ข้อมูลในเซิร์ฟเวอร์เกิดการเปลี่ยนแปลง
- 2) POST คือเมธอดที่ใช้สำหรับสร้างข้อมูลขึ้นมาใหม่และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อเซิร์ฟเวอร์
- 3) PUT คือเมธอดที่ใช้สำหรับอัปเดตข้อมูลที่มีอยู่
- 4) DELETE คือเมธอดที่ใช้สำหรับลบข้อมูลออกจาก resource

GET เป็น Safe Method เนื่องจากไม่ได้ทำให้ข้อมูลในเซิร์ฟเวอร์เปลี่ยนแปลง ส่วน POST PUT และ DELETE เป็น Unsafe Method เนื่องจากทำให้ข้อมูลในเซิร์ฟเวอร์เกิดการเปลี่ยนแปลง ยกตัวอย่างเช่น การเรียกใช้งานเมธอด POST จะต้องใส่แท็กของ CSRF token เพื่อช่วยป้องกันทุกครั้ง

2.10.2.2 HTTP Status Code

HTTP Status Code [20] คือ Code มาตรฐานที่แสดงขึ้นมาจากการตอบสนองของเซิร์ฟเวอร์บนเว็บไซต์ต่าง ๆ ที่อยู่บนอินเทอร์เน็ตหรือ Code แสดงสถานะของ HTTP ซึ่ง Code เหล่านี้ช่วยวินิจฉัยและให้ทราบถึงปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเมื่อหน้าเว็บไซต์หรือทรัพยากรต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น รูปภาพ ข้อความ วิดีโอ ฯลฯ ที่ไม่สามารถโหลดได้อย่างเป็นปกติ รูปแบบของ HTTP Status Code มีรูปแบบที่เป็นสามัญ โดยจะแสดงเป็นสถานะในเส้นแนวนอน ทำได้โดยการรวม HTTP Status Code และประโยคที่เป็นคำอธิบายเหตุผลข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถพบเจอได้บ่อยบนอินเทอร์เน็ตมี 4 กลุ่มดังนี้

- 1) 2xx (Successful Responses) คือสถานะที่บ่งบอกว่าเซิร์ฟเวอร์ได้รับคำขอจาก Client เข้าใจคำขอ และยอมรับแล้ว
- 2) 3xx (Redirect Responses) คือสถานะที่บ่งบอกว่า Client จำเป็นต้องดำเนินการเพิ่มเติมเพื่อให้คำขอเสร็จสมบูรณ์ โดนส่วนใหญ่ใช้เมื่อมีการ URL Redirection

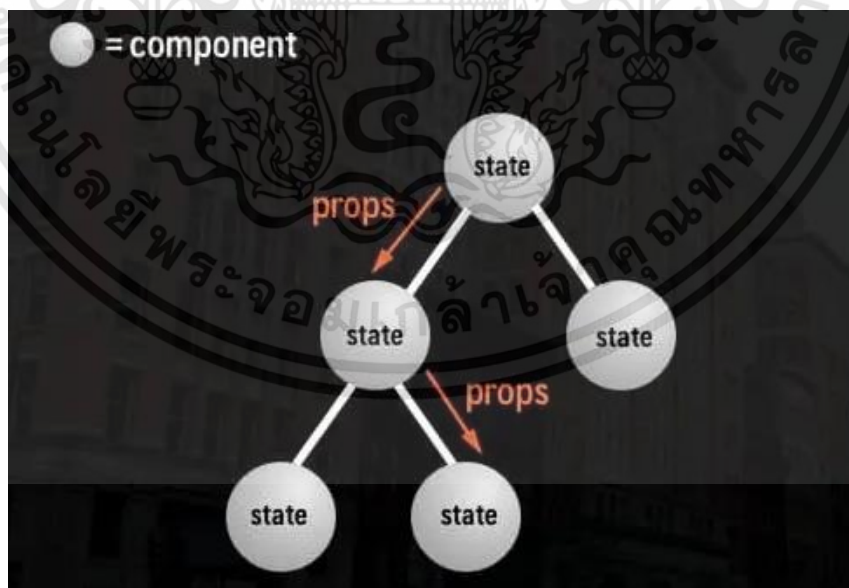
3) 4xx (Client Error Responses) คือสถานะที่บ่งบอกเมื่อเจอข้อผิดพลาดที่มีสาเหตุมาจากทางฝั่ง Client ยกเว้นว่าเป็นการตอบสนองต่อคำขอของ Header

4) 5xx (Server Error Responses) คือสถานะที่บ่งบอกว่าเซิร์ฟเวอร์ได้รับรู้แล้วว่ากำลังเผชิญหน้ากับปัญหาหรือไม่สามารถดำเนินการตามคำขอที่รับมาได้ โดยเซิร์ฟเวอร์ควรให้คำอธิบายถึงสถานการณ์ที่เกิดขึ้น พร้อมชี้แจงด้วยว่าเป็นปัญหาชั่วคราว หรือถาวร เพื่อแจ้งให้ผู้ใช้งานทราบ

2.10.3 React

React [21] เป็น JavaScript Library ที่ถูกพัฒนาโดยทีม Facebook ใช้สำหรับสร้าง User Interface (UI) ที่สามารถเขียนโปรแกรมสร้าง UI ที่มีความซับซ้อนแบ่งเป็นส่วนเล็กๆ ๆ ออกจากกันได้ ซึ่งแต่ละส่วนสามารถแยกการทำงานออกจากกันได้อย่างอิสระ จึงสามารถนำชิ้นส่วน UI เหล่านั้นไปใช้ซ้ำได้อีก จุดเด่นของ React คือมีระบบแคชในตัวทำให้หน้าเว็บไซต์มีการตอบสนองที่เร็ว เหมาะแก่การนำไปทำ SPA

การเขียน React สามารถแยกองค์ประกอบของหน้าเว็บไซต์ออกเป็นส่วน ๆ เรียกว่า Component แล้วนำมาประกอบกันเป็นหน้าเว็บไซต์ได้ จึงสามารถนำ Component ที่สร้างขึ้นไปใช้ที่อื่นได้ ทำให้ไม่เสียเวลาในการเขียนใหม่ ซึ่งมี 3 องค์ประกอบหลักแสดงเป็นแผนภาพต้นไม้ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แผนภาพต้นไม้้องค์ประกอบหลักของ React [22]

3 องค์ประกอบหลักของ React มีดังนี้

1) Component คือส่วนต่าง ๆ ในเว็บไซต์ เป็นส่วนที่สำคัญที่สุด เพราะช่วยสร้าง UI เข้าไป Render ซึ่ง Component จะเขียนให้ย่อยที่สุด แล้วนำมารวมกัน ยกตัวอย่างเช่น Header Footer และ Button ออกเป็นไฟล์ที่ต่างกัน

2) State คือส่วนของข้อมูลที่ใช้ทำงานภายใน Component สามารถส่งข้อมูล เก็บข้อมูลและเปลี่ยนแปลงข้อมูลได้

3) Props (Properties) คือข้อมูลที่ถูกส่งผ่านระหว่าง Component หนึ่งไปยังอีก Component หนึ่ง โดยเรียกผ่าน `this.props.name_of_parameter`

2.10.3.1 JavaScript Syntax Extension (JSX)

JSX [23] คือส่วนเสริมของ JavaScript ที่ช่วยจัดการกับการเขียน UI แบบ HTML ให้ถูก Render ภายใน React App ได้ง่ายขึ้นและสามารถใช้ความสามารถของ JSON ได้อย่างเต็มรูปแบบในการคำนวณ จัดการข้อมูลและเหตุการณ์ต่าง ๆ เพื่อให้ UI ถูก Render ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน โดย JSX ถูกพัฒนามาใช้กับ React โดยเฉพาะ ซึ่ง Syntax Extension ไม่ใช่ JavaScript โดยตรง เนื่องจากเบราว์เซอร์ไม่สามารถอ่านได้ ซึ่งถ้านำมาใช้จำเป็นต้องผ่านตัว Compiler เพื่อแปลงให้เป็น JavaScript แบบปกติก่อน ภายใน Component ต่าง ๆ มีการ Return HTML Element ออกมา ซึ่ง JSX สามารถใช้ HTML Element เปรียบเสมือนเป็นค่าค่าหนึ่งที่สามารถเก็บไว้เป็นค่าในตัวแปรได้ ซึ่ง Syntax ของ HTML Element มีความคล้ายคลึงกับการเขียน HTML เป็นอย่างมาก

การเขียน Component เหมือนกับการเขียน HTML โดย React ใช้ JSX ในการแสดง

2.10.3.2 Client Side Rendering (CSR)

CSR [24] คือ ท่ามาตรฐานสำหรับเว็บไซต์ยุคใหม่ในปัจจุบัน โดยข้อมูลที่เบราว์เซอร์ได้รับมีเพียง HTML พื้นฐาน หรือ Template แต่ยังไม่มีย่อหน้าใด ๆ จากนั้นเฟรมเวิร์กหรือไลบรารีจะทำหน้าที่ Render HTML มาประกอบเข้ากับเนื้อหาให้แสดงผล ซึ่งเนื้อหาถูกส่งในรูปแบบของ Rest JSON หรือ GraphQL ตามสมันิยม CSR รองรับ SPA และ Static ซึ่งสามารถนำไฟล์ไปวางบน Static File Hosting ได้โดยไม่จำเป็นต้องรันแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ทิ้งไว้ แต่หากแอปพลิเคชันมีขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการโหลดนาน ผู้ใช้จะพบหน้าว่างนานในครั้งแรกหากอินเทอร์เน็ตมีความเร็วต่ำ

2.10.4 Leaflet

Leaflet [25] เป็น Open-Source JavaScript Library ที่สนับสนุนการทำงานของแผนที่บนโทรศัพท์มือถือและบนคอมพิวเตอร์ ซึ่งนำมาใช้พัฒนาแผนที่ออนไลน์ได้ง่ายและสามารถปรับแต่งแผนที่ได้

2.10.5 ภาษาคอมพิวเตอร์

ภาษาคอมพิวเตอร์ [26] หมายถึง ภาษาใด ๆ ที่ผู้ใช้งานใช้สื่อสารกับคอมพิวเตอร์ หรือคอมพิวเตอร์สื่อสารกับคอมพิวเตอร์ด้วยกันแล้วสามารถทำงานตามคำสั่งนั้นได้ คำนี้มักใช้เรียกแทนภาษาโปรแกรม และมีภาษาอื่น ๆ ที่เป็นภาษาคอมพิวเตอร์เช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น HTML เป็นทั้งภาษา Markup และภาษาคอมพิวเตอร์ด้วย

ภาษาคอมพิวเตอร์สามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มคือ ภาษาระดับสูง (High Level) และภาษาระดับต่ำ (Low Level) ภาษาระดับสูงถูกออกแบบมาเพื่อให้ใช้งานง่ายและสะดวกสบายมากกว่าภาษาระดับต่ำ โปรแกรมที่เขียนถูกต้องตามกฎเกณฑ์และไวยากรณ์ของภาษาจะถูกแปล (Compile) ไปเป็นภาษาระดับต่ำเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถนำไปใช้งานหรือปฏิบัติตามคำสั่งได้ต่อไป ซอฟต์แวร์สมัยใหม่ส่วนมากเขียนด้วยภาษาระดับสูง แปลไปเป็น Object Code แล้วเปลี่ยนให้เป็นชุดคำสั่งในภาษาเครื่อง

ภาษาคอมพิวเตอร์อาจแบ่งกลุ่มได้เป็นอีกสองประเภทคือภาษาที่มนุษย์อ่านออก (Human-Readable) ถูกออกแบบมาเพื่อให้มนุษย์สามารถเข้าใจและสื่อสารได้โดยตรงกับ และภาษาที่มนุษย์อ่านไม่ออก (Non Human-Readable) จะมีโค้ดบางส่วนที่ไม่อาจอ่านเข้าใจได้

2.10.5.1 ภาษา HTML

ภาษา HTML [27] เป็นภาษาคอมพิวเตอร์รูปแบบหนึ่งที่มีโครงสร้างการเขียนโดยอาศัยตัวกำกับ (TAG) เพื่อควบคุมการแสดงผลข้อความ รูปภาพ หรือวัตถุอื่น ๆ ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ โดยแต่ละ TAG มีส่วนขยายที่เรียกว่า Attribute ซึ่งมีไว้สำหรับระบุหรือควบคุมการแสดงผลของเว็บไซต์เนื่องจาก HTML เป็นภาษาที่ถูกพัฒนาโดย World Wide Web Consortium (W3C) จากแม่แบบของภาษา SGML (Standard Generalized Markup Language) โดยตัดความสามารถบางส่วนออกไป จึงสามารถทำความเข้าใจและเรียนรู้ได้ง่าย

2.10.5.2 ภาษา JavaScript

JavaScript [28] เป็นภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับการเขียนโปรแกรมบนระบบอินเทอร์เน็ต ซึ่งเป็นภาษาสคริปต์เชิงวัตถุสามารถใช้ร่วมกับภาษา HTML เพื่อการสร้างและพัฒนาเว็บไซต์ ทำให้เว็บไซต์มีการเคลื่อนไหวสามารถตอบสนองผู้ใช้งานได้มากขึ้น ซึ่งมีวิธีการทำงานในลักษณะการแปลความและดำเนินงานไปที่ละคำสั่งที่เรียกว่า การเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object Oriented Programming: OOP) โดยมีเป้าหมายในการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมในระบบอินเทอร์เน็ตสำหรับผู้เขียนภาษา HTML และสามารถทำงานข้ามแพลตฟอร์มได้ โดยทำงานร่วมกับภาษา HTML และ JavaScript ได้ทั้งฝั่ง Client และฝั่งเซิร์ฟเวอร์ซึ่งมีลักษณะการเขียนแบบโปรโตไทป์ (Prototyped-based Programming) ซึ่งใช้ในหน้าเว็บไซต์เพื่อประมวลผลข้อมูลที่ฝั่งของผู้ใช้งาน โดยถูกพัฒนาขึ้นโดย Netscape Communications Corporation ซึ่งใช้ชื่อว่า Live Script ออกมาพร้อมกับ Netscape Navigator 2.0 เพื่อใช้สร้างเว็บเพจโดยติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์แบบ Live Wire ถัดมา Netscape จึงได้ร่วมมือกับ บริษัท ซันไมโครซิสเต็มส์ ปรับปรุงระบบของเบราว์เซอร์เพื่อให้สามารถติดต่อกับภาษา JavaScript ได้ และปรับปรุง LiveScript ใหม่เมื่อปี 2538 แล้วตั้งชื่อใหม่ว่า JavaScript ซึ่งสามารถทำให้การสร้างเว็บเพจมีลูกเล่นต่างๆ มากมาย และยังสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้ได้อย่างทันที ตัวอย่างเช่น การใช้เมาส์คลิก หรือการกรอกข้อความในฟอร์ม เป็นต้น

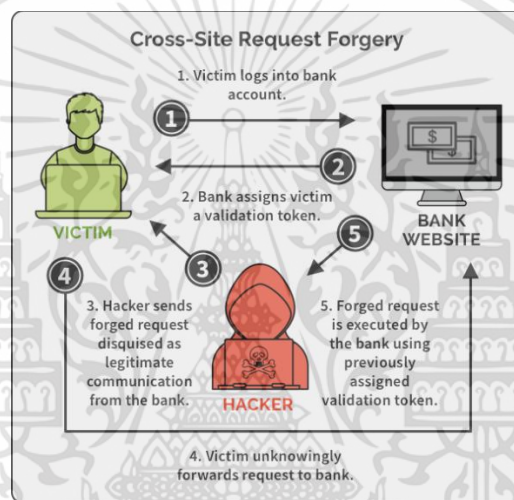
2.10.5.3 ภาษา Cascading Style Sheet (CSS)

ภาษา CSS [29] คือภาษาที่ใช้เป็นส่วนของการจัดรูปแบบการแสดงผลเอกสาร HTML โดยที่ CSS กำหนดกฎเกณฑ์ในการระบุรูปแบบของเนื้อหาภายในเอกสาร ได้แก่ สีของข้อความ สีพื้นหลัง ประเภทตัวอักษร และการจัดวางข้อความ ซึ่งการกำหนดรูปแบบนี้ใช้หลักการของการแยกเนื้อหาเอกสาร HTML ออกจากคำสั่งที่ใช้ในการจัดรูปแบบการแสดงผล และกำหนดให้รูปแบบของการแสดงผลเอกสารไม่ขึ้นอยู่กับเนื้อหาของเอกสาร เพื่อให้ง่ายต่อการจัดรูปแบบการแสดงผล ลัทธิของเอกสาร HTML โดยเฉพาะในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาเอกสารบ่อยครั้งหรือต้องการควบคุมให้รูปแบบการแสดงผลเอกสาร HTML มีลักษณะของความสม่ำเสมอทั่วกันทุกหน้าเอกสารภายในเว็บไซต์เดียวกัน โดยกฎเกณฑ์ในการกำหนดรูปแบบเอกสาร HTML ถูกเพิ่มเข้ามาครั้งแรกใน HTML 4.0 เมื่อปีพ.ศ. 2539 ในรูปแบบของ CSS Level 1 Recommendations ที่กำหนดโดยองค์กร W3C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.6 Cross Site Request Forgery Protection (CSRF)

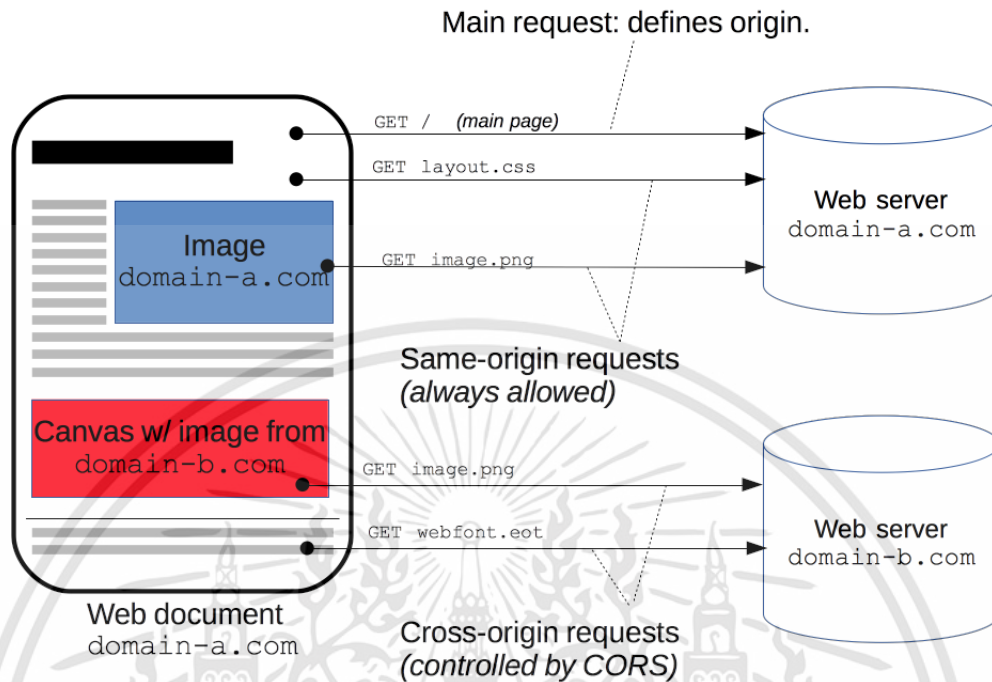
Cross Site Request Forgery (CSRF) [30] เป็นเทคนิคการโจมตีซึ่งเป็นการโจมตีที่ใช้ประโยชน์จากความเชื่อใจของเว็บไซต์ที่มีต่อข้อมูล Input และ Web browser จากผู้ใช้งานคือผู้ใช้งานจะถูกหลอกให้กระทำการบางอย่างบนเว็บไซต์ปกติทั่วไปที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ไม่หวังดี โดยที่ผู้ใช้งานไม่ต้องการกระทำหรือกระทำไปโดยไม่รู้ตัวโดยการโจมตีแบบ CSRF จะใช้ตัวตน (Identity) และ สิทธิ (Privilege) ของผู้ใช้งานที่มีบนเว็บไซต์ในการปลอมตัวเป็นผู้ใช้งานและกระทำการหรือธุรกรรมไม่พึงประสงค์โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 เทคนิคการโจมตีแบบ Cross Site Request Forgery (CSRF) [31]

2.10.7 Cross-Origin Resource Sharing (CORS)

Cross-Origin Resource Sharing (CORS) [32] คือเป็นกลไกที่ใช้ HTTP headers เพิ่มเติมเพื่อให้เบราว์เซอร์ได้รับสิทธิ์ในการเข้าถึงทรัพยากรที่เลือกจากเซิร์ฟเวอร์บนโดเมนอื่นมาแสดงบนหน้าเว็บเบราว์เซอร์ได้อินเตอร์เน็ตเป็นการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ตั้งนั้นคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องต้องมี Protocol ที่เหมือนกันถึงจะสื่อสารกันได้เว็บเบราว์เซอร์จะส่ง HTTP request เมื่อต้องการขอข้อมูลข้ามโดเมนหรือ port ที่ต่างกันสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 หลักการทำงานของ Cross-Origin Resource Sharing (CORS) [32]

2.11 ภาษาไพธอน (Python)

ภาษาไพธอน [33] เป็นภาษาที่พัฒนามาจากภาษา C โดยจะทำการประมวลผลแบบอินเทอร์พรีเตอร์ คือจะประมวลผลทีละบรรทัดและปฏิบัติตามคำสั่งที่ได้รับ ซึ่งปัจจุบันภาษาไพธอนเป็นภาษาสคริปต์ที่สามารถทำงานได้ทั้งในรูปแบบโครงสร้างแบบเก่าและแบบ OOP รวมทั้งสามารถใช้งานได้กับทุกระบบปฏิบัติการ

2.11.1 จุดเด่นของภาษาไพธอน

เนื่องจากไพธอนเป็นภาษาสคริปต์ ทำให้โปรแกรมใช้ระยะเวลาไม่นานในการคอมไพล์ รวมทั้งไวยากรณ์ของภาษาไพธอนได้ใช้การย่อหน้าแทนการใช้สัญลักษณ์ในการแบ่งบล็อกของโปรแกรม ทำให้สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย นอกจากนี้ภาษาไพธอนยังถือได้ว่าเป็นภาษากาว (Glue Language) เนื่องจากสามารถเรียกใช้ภาษาโปรแกรมอื่นๆ ได้หลายภาษา ซึ่งเหมาะต่อการใช้เพื่อประสานงานโปรแกรมที่เขียนในภาษาต่างกัน

2.11.2 โครงสร้างของภาษาไพธอน

2.11.2.1 โมดูล (Module)

โมดูลเป็นไฟล์โปรแกรมของภาษาไพธอน ซึ่งจะประกอบด้วยคลาส ฟังก์ชัน และตัวแปรต่าง ๆ นอกจากนี้ยังสามารถนำเข้าโมดูลอื่นๆ มาใช้งานในโปรแกรมได้

2.11.2.2 คอมเมนต์ (Comment)

คอมเมนต์ในภาษาไพธอนเริ่มต้นด้วยเครื่องหมาย # ซึ่งสามารถเริ่มต้นที่ตำแหน่งแรกของบรรทัดและหลังจากนั้นจะประกอบด้วย While Space คำสั่งของโปรแกรม หรือคำอธิบายโดยทั่วไป คอมเมนต์มักจะใช้สำหรับอธิบายคำสั่งของโปรแกรมและไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของโปรแกรม

2.11.2.3 คำสั่งการทำงานของโปรแกรม (Statement)

ในภาษาไพธอนแต่ละคำสั่งจะแบ่งแยกด้วยการขึ้นบรรทัดใหม่ และสามารถมีหลายคำสั่งในบรรทัดเดียวกันได้โดยการใช้เครื่องหมายอัฒภาค (Semicolon)

2.11.2.4 การย่อหน้าและการเว้นวรรค (Indentation and While Space)

การกำหนดบล็อกของโปรแกรมในภาษาไพธอนจะใช้ While Space และ Tab โดยจำนวนช่องว่างที่ใช้ต้องเท่ากัน นอกจากนี้ที่หัวของคำสั่งแบบบล็อกจะต้องมีเครื่องหมายเครื่องหมายทวิภาค (Colon) ต่อท้ายเสมอ

2.11.2.5 สัญพจน์ (Literals)

สัญพจน์ คือเครื่องหมายที่ใช้แสดงค่าของค่าคงที่ในโปรแกรม ซึ่งในภาษาไพธอนจะมีสัญพจน์ของข้อมูลประเภทต่างๆ เช่น เลขจำนวนเต็ม เลขทศนิยม ตัวอักษร และข้อความ เป็นต้น

2.11.2.6 นิพจน์ (Expressions)

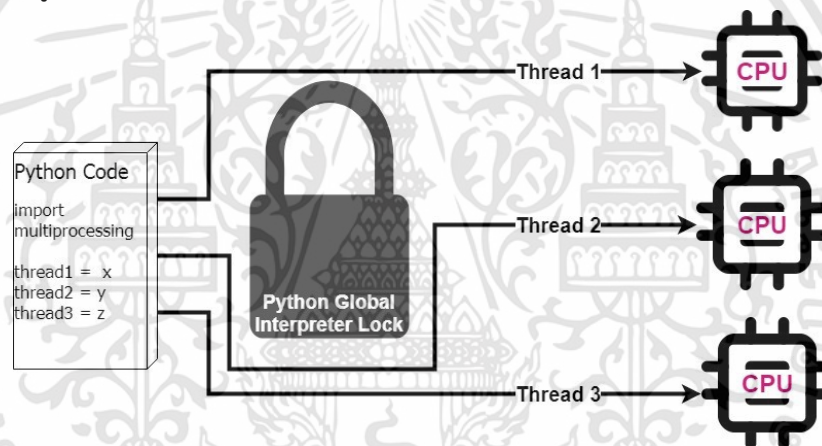
นิพจน์ คือการนำตัวแปรหรือค่าคงที่มาสัมพันธ์กันด้วยเครื่องหมายทางคณิตศาสตร์ เครื่องหมายเปรียบเทียบ หรือเครื่องหมายตรรกะ โดยในภาษาไพธอนจะมีสองแบบ ได้แก่ Boolean Expression ซึ่งเป็นการกระทำกันของตัวแปรและตัวดำเนินการ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่า Boolean และ Mathematic Expression ซึ่งเป็นการกระทำกับตัวดำเนินการและได้ผลลัพธ์เป็นค่าใหม่ที่ไม่ใช่ Boolean

2.11.2.7 คำสงวน (Keyword)

คำสงวนที่กำหนดไว้ในภาษาไพธอนจะไม่สามารถนำมาตั้งเป็นชื่อตัวแปร ฟังก์ชัน หรือ คลาสที่กำหนดขึ้นโดยผู้เขียนโปรแกรม

2.12 การใช้งาน Multiprocessing

การใช้งาน Multiprocessing [34] สำหรับการประมวลผลโปรแกรมส่งผลให้การประมวลผลที่เร็วขึ้น เนื่องจากโปรแกรมมีการแบ่งการทำงานเป็นชุด โดยแต่ละชุดสามารถทำงานพร้อมกันได้ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 กระบวนการทำงานของ Multiprocessing [34]

2.13 ฐานข้อมูล

ฐานข้อมูล [35] คือกลุ่มของข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันและถูกเก็บรวบรวมไว้อย่างเป็นระบบ โดยไม่ได้บังคับว่าข้อมูลทั้งหมดนี้จะต้องเก็บไว้ในแฟ้มข้อมูลเดียวกันหรือแยกเก็บหลายแฟ้มข้อมูล เพื่อให้สามารถค้นหา เพิ่มเติม ลบ และแก้ไขข้อมูลได้สะดวกและมีประสิทธิภาพ โดยประโยชน์ของฐานข้อมูลมีดังนี้

1) สามารถลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลได้ โดยข้อมูลบางชุดที่อยู่ในรูปของแฟ้มข้อมูล อาจมีปรากฏอยู่หลายแห่ง และมีผู้ใช้ข้อมูลชุดเดียวกันอยู่หลายคน เมื่อใช้ระบบฐานข้อมูลแล้วจะช่วยให้ความซ้ำซ้อนของข้อมูลลดน้อยลง

2) มีการรักษาความถูกต้องของข้อมูล เนื่องจากฐานข้อมูลมีเพียงฐานข้อมูลเดียว ในกรณีที่มีข้อมูลชุดเดียวกันปรากฏอยู่หลายแห่งในฐานข้อมูล ซึ่งหากมีการแก้ไขข้อมูลทุก ๆ แห่งที่ข้อมูลปรากฏอยู่จะแก้ไขให้ถูกต้องตามกันหมดโดยอัตโนมัติด้วยระบบจัดการฐานข้อมูล

3) ผู้ใช้งานสามารถใช้ข้อมูลร่วมกันได้ ฐานข้อมูลจะเป็นการจัดเก็บข้อมูลรวมไว้ด้วยกัน ดังนั้นหากผู้ใช้ต้องการใช้ข้อมูลในฐานข้อมูลที่มาจากแฟ้มข้อมูลต่าง ๆ จะสามารถทำได้โดยง่าย

4) การป้องกันและรักษาความปลอดภัยให้กับข้อมูลทำได้อย่างสะดวก การป้องกันและรักษาความปลอดภัยกับข้อมูลระบบฐานข้อมูลจะอนุญาตให้เข้าถึงได้เฉพาะผู้ที่เกี่ยวข้องเท่านั้น ซึ่งก่อให้เกิดความปลอดภัยของข้อมูลด้วย

5) สามารถกำหนดความเป็นมาตรฐานเดียวกันของข้อมูลได้ การเก็บข้อมูลรวมกันไว้ในฐานข้อมูลทำให้สามารถกำหนดมาตรฐานของข้อมูลได้รวมทั้งมาตรฐานต่าง ๆ ในการจัดเก็บข้อมูลให้เป็นไปในลักษณะเดียวกันได้ ตัวอย่างเช่น การกำหนดรูปแบบการเขียนวันที่ในลักษณะ วัน/เดือน/ปี หรือ ปี/เดือน/วัน

2.13.1 Structured Query Language (SQL)

SQL [36] เป็นภาษาที่สามารถเข้าฐานข้อมูลโดยเป็นภาษาที่เอาไว้จัดการข้อมูลที่อยู่ในระบบการจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database Management System : RDBMS) ที่เก็บข้อมูลในรูปแบบของตาราง (Schema-based) ทำให้มีประสิทธิภาพในการจัดเก็บของมูล ที่ค่อนข้างทนทาน ปลอดภัย และโอกาสที่จะเกิดการสูญเสียข้อมูลนั้นมีน้อยกว่า แต่ต้องแลกมากับการสร้างโครงสร้างที่ค่อนข้างชัดเจนทำให้ความยืดหยุ่นในการขยายฐานข้อมูลเป็นไปได้ยาก โดยลักษณะงานที่เหมาะสมกับ SQL [37] มีดังนี้

1) งานที่มีความสอดคล้องกับ Atomicity Consistency Isolation and Durability (ACID) ซึ่งความสัมพันธ์เหล่านี้จะช่วยให้ระบบฐานข้อมูลมีความเสถียรและช่วยลดปัญหาของความผิดปกติของระบบ ตัวอย่างเช่น การเก็บข้อมูลทางการเงิน ที่จำเป็นต้องอาศัยความแม่นยำสูง

2) งานที่มีโครงสร้างที่ชัดเจนและไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเหมาะกับ SQL เป็นอย่างมาก เนื่องจาก SQL ถูกจำกัดในเรื่องความยืดหยุ่นของการขยายฐานข้อมูล

2.13.2 PostgreSQL

PostgreSQL [38] เป็นระบบจัดการฐานข้อมูล Open Source ระดับองค์กรที่ทันสมัย พัฒนาโดย PostgreSQL Global Development Group เป็นระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงวัตถุสัมพันธ์ (Object Relational Database Management System: ORDBMS) ที่มีประสิทธิภาพและขยายได้สูงซึ่งได้รับความนิยมในด้านความน่าเชื่อถือ ความทนทานและประสิทธิภาพสูง สามารถปรับขนาดได้สูงทั้งในด้านปริมาณข้อมูลที่สามารถจัดเก็บและจัดการได้

PostgreSQL ให้บริการและเผยแพร่ภายใต้สิทธิการใช้งาน PostgreSQL ซึ่งเป็นสิทธิการใช้งาน Open Source สามารถดาวน์โหลดซอฟต์แวร์ใช้งาน แก้ไข และแจกจ่ายได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายเพื่อวัตถุประสงค์ใด ๆ และมีการอัปเดตให้ทันสมัยอยู่เสมอ PostgreSQL สามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการได้ทั้ง Linux UNIX และ Windows

2.14 QGIS

QGIS [39] เป็นโปรแกรม Desktop GIS ที่มีประสิทธิภาพในการนำมาใช้จัดการข้อมูลปริภูมิ จัดอยู่ในกลุ่มซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Free and Open Source Software: FOSS) สามารถเรียกใช้ข้อมูลเวกเตอร์ แรสเตอร์ ยกตัวอย่างเช่น Shapefile และ GeoTIFF QGIS สามารถแก้ไขข้อมูล Shapefile format ได้ QGIS พัฒนาค้นบนพื้นฐานของ Qt ที่เป็นไลบรารีสำหรับ Graphical User Interface (GUI) ที่ใช้งานได้ทั้ง Linux UNIX และ Windows การพัฒนาใช้ภาษา C++ และไพธอนเป็นหลัก นอกจากนี้ QGIS ยังเชื่อมต่อกับ Geospatial Relational Database Management System เช่น PostGIS PostgreSQL MySQL และ SQLite ซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับ Geographic Resource Analysis Support System (GRASS) ได้ ทำให้สามารถเรียกดูข้อมูลที่จัดเก็บใน GRASS โดยตรง และสามารถเรียกใช้ฟังก์ชันต่าง ๆ ของ GRASS ได้ สนับสนุนการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ (Spatial Analysis) ในเบื้องต้น การแสดงผลข้อมูลเชิงตำแหน่งในรูปแบบของแผนที่ การสร้างและการแก้ไขข้อมูลเชิงตำแหน่ง (Spatial Data) ข้อมูลตาราง (Attribute Data) สามารถจัดการข้อมูลได้ง่ายโดยใช้เครื่องมือตาม GUI ที่กำหนด รวมถึงนำเสนอข้อมูลในรูปแบบแผนที่ได้ทั้งแบบ Offline และ Online

QGIS ประกอบด้วย 4 ส่วนสำคัญดังนี้

- 1) QGIS Desktop สำหรับสร้าง แก้ไข แสดง วิเคราะห์ และนำเสนอข้อมูลด้านภูมิศาสตร์

2) QGIS Browser สำหรับเปิดดูข้อมูลภูมิศาสตร์และ Metadata ที่จัดเก็บไว้และจัดการโอนย้ายข้อมูลได้

3) QGIS Server สำหรับจัดการ Web Map Service (WMS) และ Web Feature Service (WFS) ควบคุมชั้นข้อมูลตาราง เลย์เอาต์ และระบบพิกัดที่จะแสดงออกไป

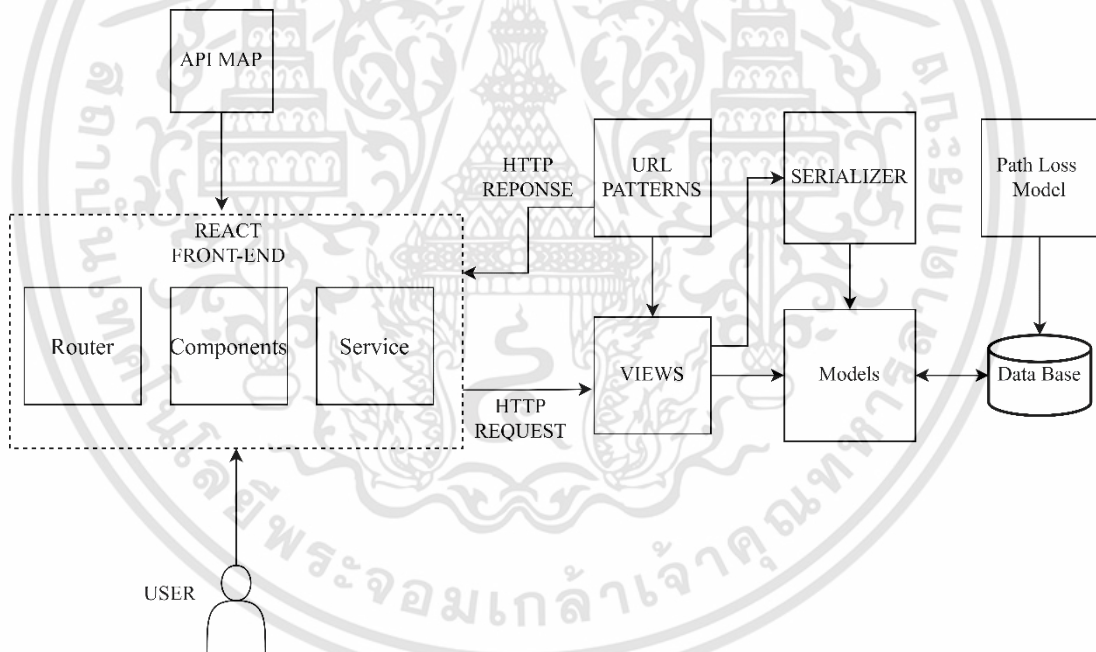
4) QGIS Web Client สำหรับแสดงผลระบบแผนที่บนเว็บ



บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปฏิญญานิพนธ์

เว็บแอปพลิเคชันมีการทำงานโดยเมื่อผู้ใช้งานทำการเปิดเว็บแอปพลิเคชัน โดยหน้าเว็บแอปพลิเคชันมีการแสดงแผนที่โดยผ่าน API แผนที่และหน้าเว็บแอปพลิเคชันทำการส่ง HTTP request ไปยังโมดูล Views ของเฟรมเวิร์ก Django REST โดยโมดูล Views มีการสร้าง API ของโมดูล Serializer โดยโมดูล Serializer มีการเชื่อมกับโมดูล Models และฐานข้อมูล โดยฐานข้อมูลมีการบันทึกค่าของแบบจำลอง Path Loss ซึ่งโมดูล Views มีการกำหนดรูปแบบการทำงานผ่านโมดูล URL ใน URL patterns ซึ่งมีการส่ง HTTP response ไปยังหน้าเว็บแอปพลิเคชันเพื่อแสดงผลและมีการนำข้อมูลจากฐานข้อมูลมาแสดงบน QGIS โดยบล็อกไดอะแกรมของแบบจำลอง Path Loss บนเว็บแอปพลิเคชันแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลอง Path Loss เว็บแอปพลิเคชัน

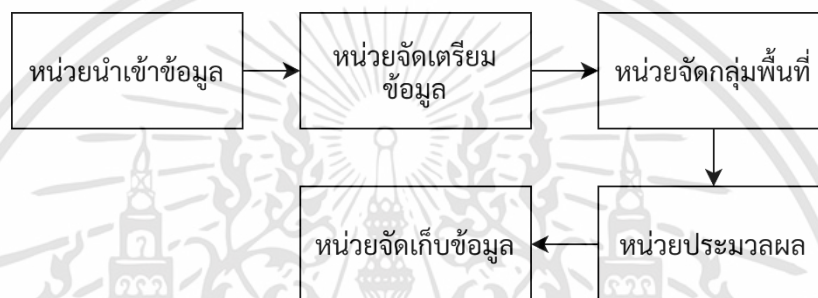
3.1 การออกแบบ

แอปพลิเคชันแบบจำลอง Path Loss มีการพัฒนา 2 ส่วน ได้แก่การพัฒนาแบบจำลอง Path Loss และพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับแสดงผลของแบบจำลอง Path Loss

3.1.1 แบบจำลอง Path Loss

แบบจำลอง Path Loss มีขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลอง Path Loss แสดงดังรูปที่

3.2

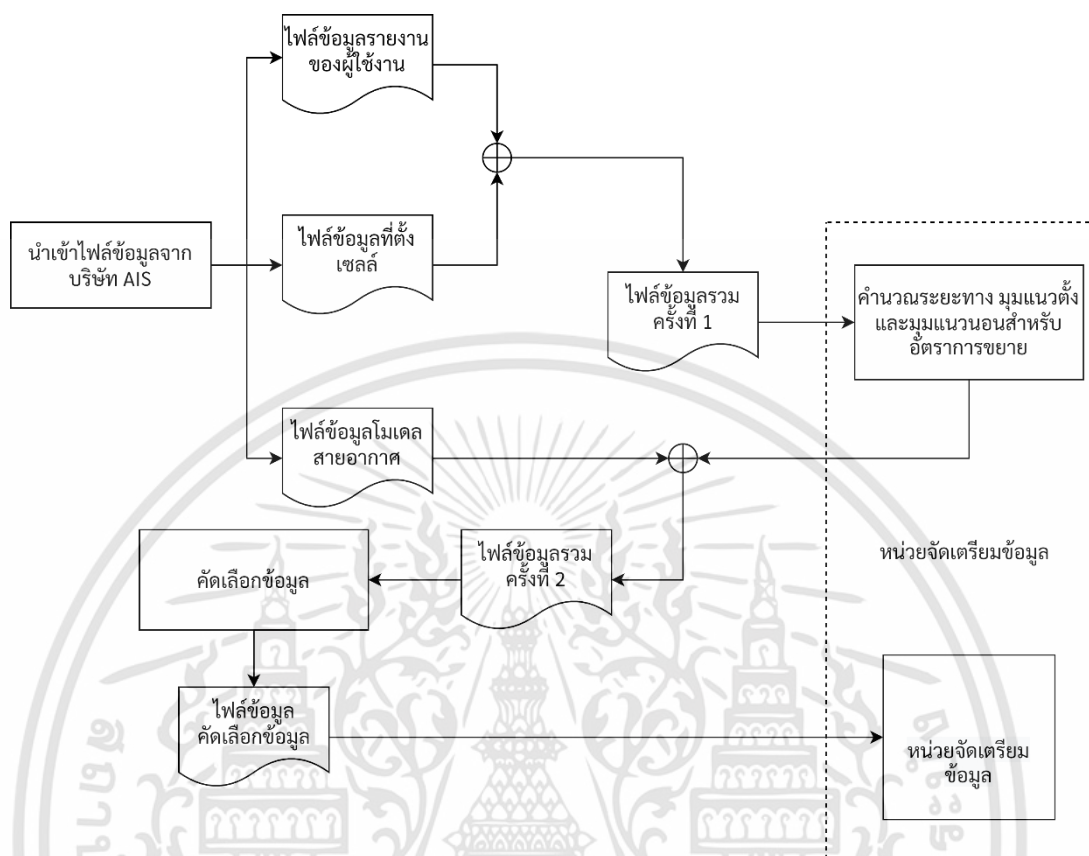


รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมระบบออกแบบแบบจำลอง Path Loss

3.1.1.1 หน่วยนำเข้าข้อมูล

หน่วยนำเข้าข้อมูล นำเข้าไฟล์ข้อมูล 3 ไฟล์ข้อมูลได้แก่ ไฟล์ข้อมูลที่ตั้งเซลล์ ไฟล์ข้อมูลรายงานของผู้ใช้งาน และไฟล์ข้อมูลแบบจำลองสายอากาศ จากนั้นรวมไฟล์ข้อมูล คัดเลือกข้อมูลและจัดเก็บไฟล์ข้อมูล ตามลำดับโดยแสดงผังการทำงานหน่วยนำเข้าข้อมูลดังรูปที่

3.4



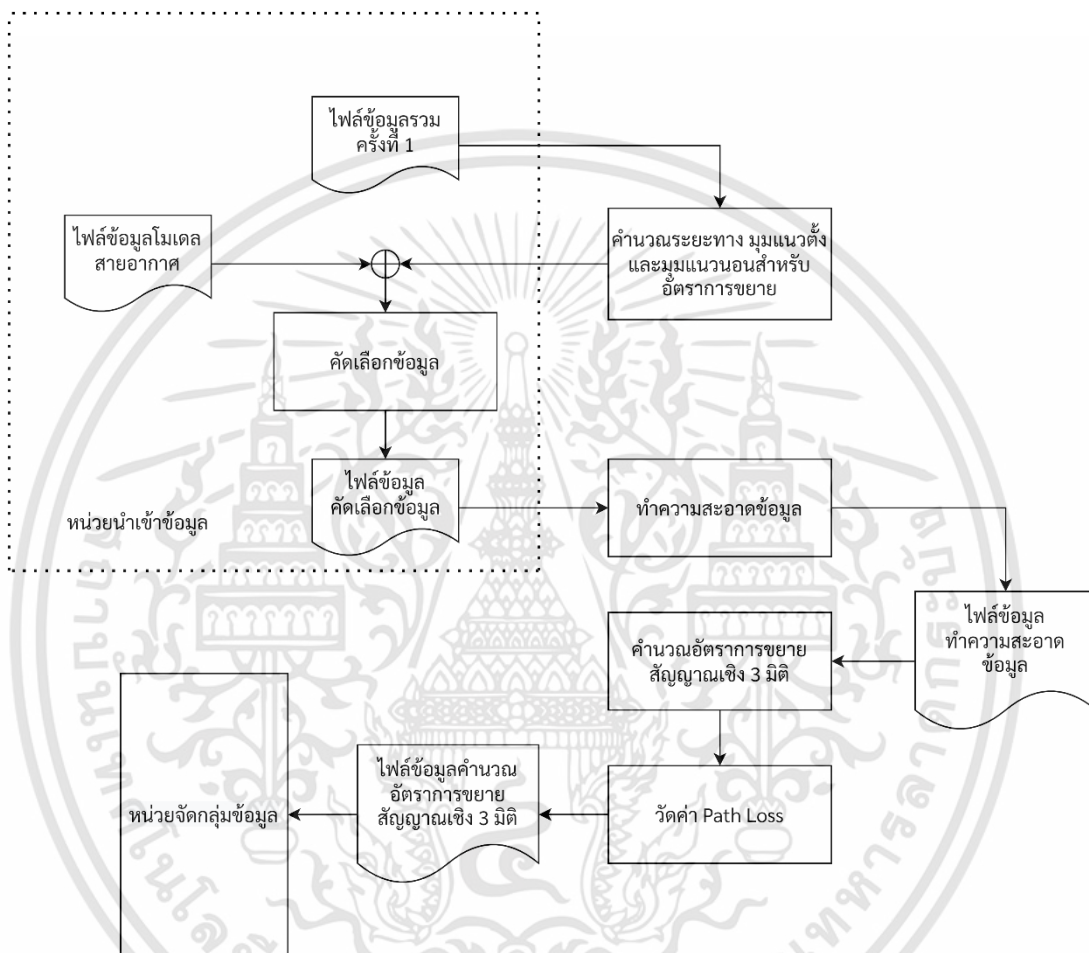
รูปที่ 3.3 ผังการทำงานหน่วยนำเข้าข้อมูล

จากรูปที่ 3.3 หน่วยนำเข้าข้อมูลมีขั้นตอนการทำงานมีดังนี้

- 1) รวมไฟล์ข้อมูลที่ตั้งเซลล์และไฟล์ข้อมูลรายงานผู้ใช้งานโดยใช้หลักการ Left Join ภายใต้เงื่อนไขคอลัมน์ “Cell_Name” จากนั้นจัดเก็บไฟล์ข้อมูลใน “ไฟล์ข้อมูลรวมครั้งที่ 1”
- 2) คำนวณมุมแนวตั้งและแนวนอนสำหรับอัตราการขยายสัญญาณในหน่วยจัดเตรียมข้อมูลดังสมการที่ (2.29) และ (2.30) ตามลำดับ
- 3) รวมไฟล์รวมครั้งที่ 1 และไฟล์แบบจำลองสายอากาศโดยใช้หลักการ Left Join ภายใต้เงื่อนไขคอลัมน์ “Angle” จากนั้นจัดเก็บไฟล์ข้อมูลเป็นไฟล์สกุล csv ชื่อไฟล์ “ไฟล์ข้อมูลรวมครั้งที่ 2”
- 4) คัดเลือกข้อมูลโดยคัดเลือกคอลัมน์ที่จำเป็นต่อการประมวลผล จากนั้นจัดเก็บไฟล์ข้อมูลเป็นไฟล์สกุล csv ชื่อไฟล์ “ไฟล์ข้อมูลคัดเลือกข้อมูล”

3.1.1.2 หน่วยจัดเตรียมข้อมูล

หน่วยจัดเตรียมข้อมูลทำหน้าที่จัดเตรียมข้อมูลก่อนทำการประมวลผลของอัลกอริทึมการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ K โดยผังการทำงานของหน่วยจัดเตรียมข้อมูลแสดงดังรูปที่ 3.5

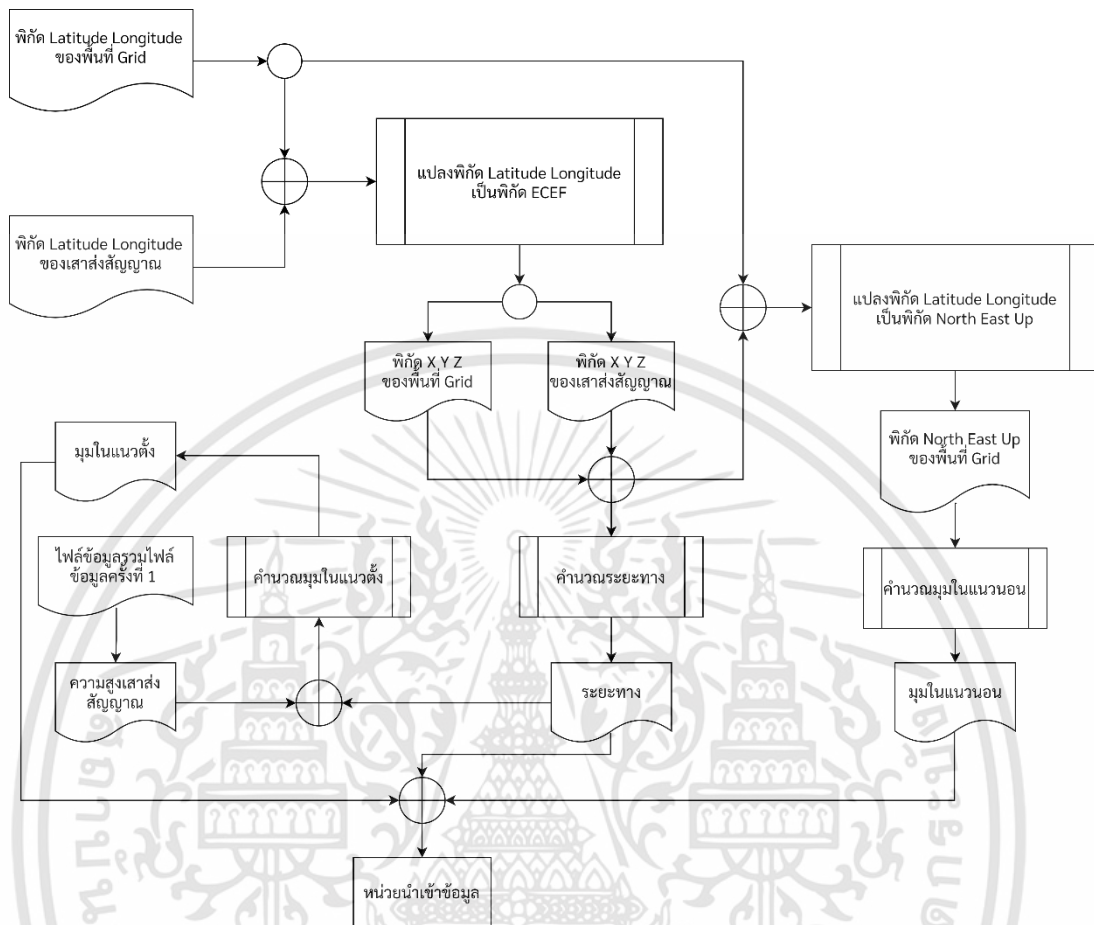


รูปที่ 3.4 ผังการทำงานของหน่วยจัดเตรียมข้อมูล

จากรูปที่ 3.4 หน่วยจัดเตรียมข้อมูลมีขั้นตอนการทำงานของหน่วยจัดเตรียมข้อมูลดังนี้

1. การคำนวณระยะทาง มุมแนวตั้งและแนวนอนสำหรับอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ

แสดงผังการทำงานการคำนวณระยะทาง มุมแนวตั้งและแนวนอนสำหรับอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ผังการทำงานการคำนวณระยะทาง มุมในแนวตั้งและแนวนอนสำหรับ อัตราขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ

จากรูปที่ 3.5 อธิบายผังการทำงานได้ดังนี้

- 1) แปลงพิกัดละติจูดและลองจิจูดของเสาส่งสัญญาณและพื้นที่ Grid เป็นพิกัด

$\hat{X} \hat{Y} \hat{Z}$

- 2) คำนวณระยะทางระหว่างเสาส่งสัญญาณและพื้นที่ Grid ดังสมการที่ (2.26)

- 3) แปลงพิกัด $\hat{X} \hat{Y} \hat{Z}$ ของพื้นที่ Grid เป็นพิกัด North East Up เมื่อตำแหน่งเสาส่งสัญญาณเป็นตำแหน่งอ้างอิง

- 4) คำนวณมุมในแนวนอนจากพิกัด North East Up ดังสมการที่ (2.29)

- 5) คำนวณมุมในแนวตั้งจากความสูงเสาส่งสัญญาณดังสมการที่ (2.30)

6) นำออกข้อมูลระยะทาง มุมแนวตั้งและแนวนอนสำหรับอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ ไปยังกระบวนการรวมไฟล์ข้อมูลรอบที่ 2 ในหน่วยนำเข้าข้อมูล

2. การทำความสะอาดข้อมูล

เมื่อทำการเก็บข้อมูลรายงานค่าพารามิเตอร์ “Dominant_RSRP” ของพื้นที่ Grid ทรายวัน 13 วันพบว่าบางพื้นที่ Grid ของวันนั้นมีค่าพารามิเตอร์ “Dominant_RSRP” ที่แปรปรวนสูงเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยราย 13 วันของพื้นที่นั้นส่งผลให้ค่าเฉลี่ยถูกถ่วงน้ำหนักด้วยค่าที่แปรปรวน ดังนั้นการตัดค่าพารามิเตอร์ “Dominant_RSRP” ที่มีความแปรปรวนสูงจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยไม่ถูกถ่วงน้ำหนักโดยค่าที่แปรปรวนหรือลดความแปรปรวนของข้อมูลลง โดยการทำความสะอาดข้อมูลค่าพารามิเตอร์ “Dominant_RSRP” สามารถทำได้ตามขั้นตอนดังนี้

- 1) ทำความสะอาดข้อมูลที่ละ 1 พื้นที่ Grid โดย 1 พื้นที่ Grid มีข้อมูลรายงานค่าพารามิเตอร์ “Dominant_RSRP” อยู่ 13 วัน
- 2) เลือก 1 พื้นที่ Grid และทำความสะอาดข้อมูลด้วย Outlier โดยคำนวณหาขอบเขตบนของ Outlier และขอบเขตล่างของ Outlier ดังสมการที่ (2.12) และ (2.13) ตามลำดับ
- 3) ตัดข้อมูลที่มากกว่า Upper Bound Outlier ที่ตั้งและตัดข้อมูลที่น้อยกว่า Under Bound Outlier ที่ตั้ง
- 4) ทำซ้ำข้อที่ 2 จนกว่าจะครบทุกพื้นที่ Grid
- 5) จัดเก็บข้อมูลในไฟล์สกุล csv ชื่อไฟล์ “ไฟล์ข้อมูลทำความสะอาดข้อมูล”

3. การคำนวณอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ

การคำนวณอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติเป็นการคำนวณโดยอัตราการขยายสัญญาณโดยใช้การปรับน้ำหนักของอัตราการขยายสัญญาณในระนาบแนวตั้งและแนวนอน โดยการคำนวณอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ สามารถคำนวณได้ตามขั้นตอนดังนี้

- 1) อ่านข้อมูลจากไฟล์ข้อมูลทำความสะอาดข้อมูลในคอลัมน์ “Angle_Horizontal” และ “Angle_Vertical” และคำนวณอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ
- 2) อ่านข้อมูลอัตราการขยายสัญญาณตามแนวตั้งและแนวนอนเพิ่มเติมได้จากไฟล์ข้อมูลแบบจำลองสายอากาศในคอลัมน์ “Loss_Horizontal” และ “Loss_Horizontal” ตามลำดับ

3) ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติมีหน่วยเป็น dBd จึงทำการบวก 2.15 เพื่อให้เป็นหน่วย dBi จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ “ant_gain” มาบวกกับผลลัพธ์ที่ได้รวมเป็นอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติที่คำนวณได้จากสมการที่ (2.15)

4) จัดเก็บข้อมูลอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติเป็นไฟล์สกุล csv ชื่อไฟล์ “ไฟล์ข้อมูลคำนวณอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ” ในคอลัมน์ชื่อ “Gain_3D”

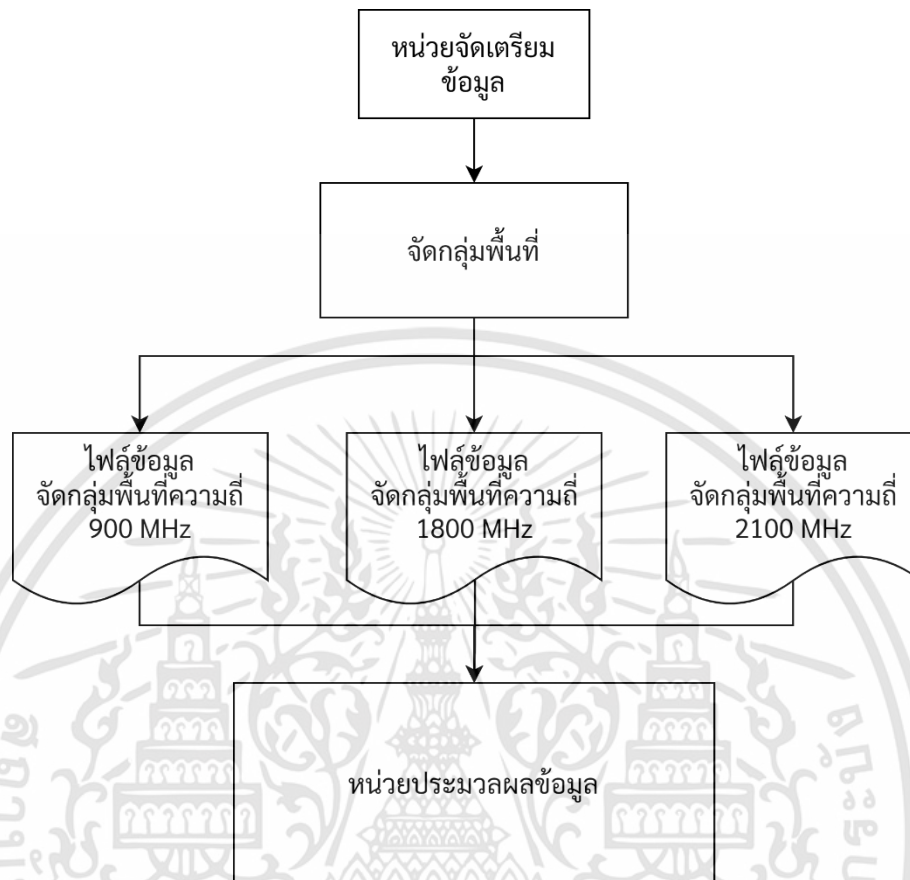
4. การวัดค่า Path Loss

สำหรับการวัดค่า Path Loss สามารถวัดได้จากการประมาณค่าจริงจากพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องได้แก่ ค่าพารามิเตอร์ “Dominant_RSRP” ค่าพารามิเตอร์ “Gain_3D” และค่าพารามิเตอร์ “Power_Tx” โดยการวัดค่า Path Loss สามารถวัดค่าได้ตามขั้นตอนดังนี้

- 1) อ่านข้อมูลค่าพารามิเตอร์ “Dominant_RSRP” และค่าพารามิเตอร์ “Power_Tx” จากไฟล์ข้อมูลทำความสะอาดข้อมูลในคอลัมน์ “Dominant_RSRP” และ “Power_Tx”
- 2) อ่านข้อมูลค่าพารามิเตอร์ “Gain_3D” จากการคำนวณอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ
- 3) คำนวณค่า Path Loss ดังสมการที่ (2.5)
- 4) จัดเก็บข้อมูลค่า Path Loss เป็นไฟล์สกุล csv ชื่อไฟล์ “ไฟล์ข้อมูลคำนวณอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ” ในคอลัมน์ชื่อ “Path_Loss”

3.1.1.3 หน่วยจัดกลุ่มข้อมูล

พื้นที่ Grid ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีปริมาณมากส่งผลให้การออกแบบแบบจำลอง Path Loss มีจำนวนที่มากเช่นกัน ดังนั้นการจัดกลุ่มพื้นที่ที่มีลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกันจึงช่วยลดจำนวนแบบจำลอง Path Loss ลง โดยหน่วยจัดกลุ่มข้อมูลทำหน้าที่จัดกลุ่มพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งผังการทำงานหน่วยจัดกลุ่มข้อมูลแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ผังการทำงานของหน่วยจัดกลุ่มข้อมูล

จากรูปที่ 3.6 หน่วยจัดกลุ่มข้อมูลแบ่งการจัดกลุ่มพื้นที่เป็น 3 ความถี่ได้แก่ การจัดกลุ่มพื้นที่ความถี่ 900 MHz การจัดกลุ่มความถี่ 1800 MHz และการจัดกลุ่มความถี่ 2100 MHz ซึ่งการจัดกลุ่มพื้นที่ในแต่ละความถี่เป็นการจัดกลุ่มพื้นที่โดยขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างค่า Path Loss ในพื้นที่ Grid เทียบกับค่าพารามิเตอร์จากแบบจำลอง Path Loss ได้แก่ ระยะเวลา ความสูงของเสาส่งสัญญาณและความสูงของเครื่องรับสัญญาณ ซึ่งการกำหนดจำนวนกลุ่มคือ 50 100 150 200 250 และ 300 กลุ่ม สำหรับวิธีการจัดกลุ่มพื้นที่ที่ใช้การจัดกลุ่มแบบ K Means เพื่อจัดกลุ่มพื้นที่ตามค่าพารามิเตอร์ โดยการจัดกลุ่มพื้นที่มีขั้นตอนดังนี้

- 1) แบ่งข้อมูลตามความถี่ 900 MHz 1800 MHz และ 2100 MHz
- 2) เลือกใช้ข้อมูลตามความถี่และกำหนดเขตจำนวนกลุ่มมีสมาชิกคือ 50 100 150 200 250 และ 300 กลุ่ม
- 3) เลือกจำนวนกลุ่มที่ต้องการตามสมาชิกในเขตจำนวนกลุ่ม

4) กำหนดข้อมูลอินพุตเป็นข้อมูลค่าพารามิเตอร์ “Path Loss/Distance” “Path Loss/transmitter Height” และ “Path Loss/Receiver Height” ของพื้นที่ Grid

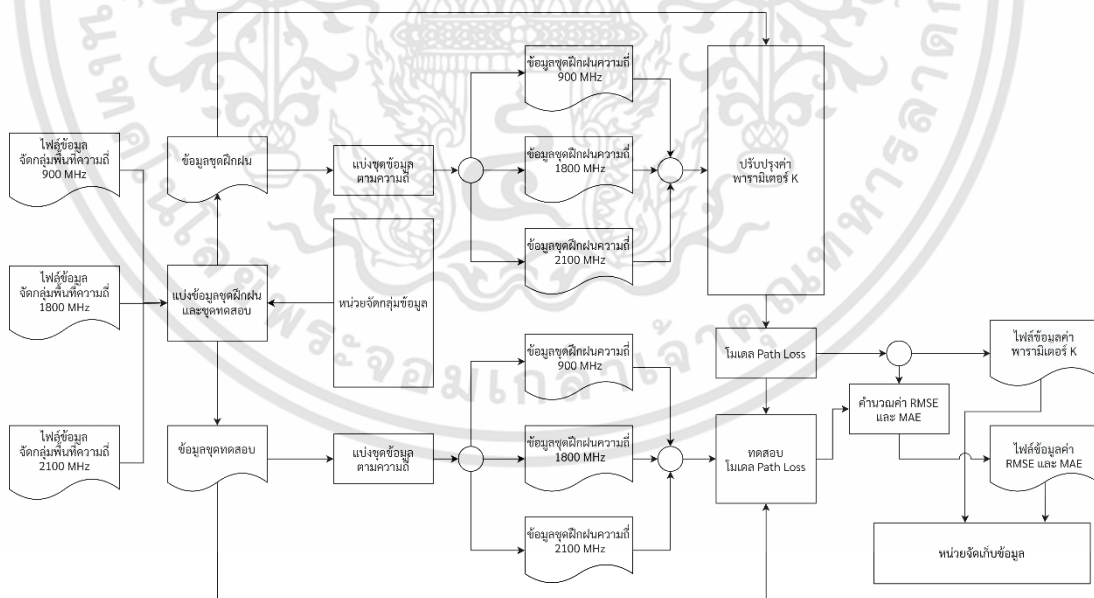
5) จัดกลุ่มด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบ K Means

6) จัดเก็บข้อมูลลำดับกลุ่มของพื้นที่ Grid เป็นไฟล์สกุล csv ชื่อไฟล์ “ไฟล์ข้อมูลจัดกลุ่มพื้นที่ความถี่ X MHz” ในคอลัมน์ชื่อ “No_Group” โดยที่ X คือความถี่ที่ได้จากการแบ่งความถี่

7) ทำซ้ำข้อที่ 2 ถึงข้อที่ 6 ตามจำนวนข้อมูลความถี่ในข้อที่ 1

3.1.1.4 หน่วยประมวลผลข้อมูล

หน่วยประมวลผลข้อมูลเป็นการประมวลผลอัลกอริทึมสำหรับปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ K ในสมการ (2.10) โดยการใช้หลักการ Least Square ซึ่งจากสมการที่ (2.10) การออกแบบแบบ Path Loss มีการกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ $diffL$ และ $f_{cluster}$ มีค่าเท่ากับ 0 ดังสมการที่ (2.12) สำหรับข้อมูลจากไฟล์ข้อมูลจัดกลุ่มพื้นที่รอบที่ 2 ถูกแบ่งข้อมูลเป็น 2 ชุดคือชุดฝึกฝนและชุดทดสอบ โดยชุดฝึกฝนเป็นชุดข้อมูลตั้งแต่วันที่ 3 กันยายน พ.ศ. 2563 ถึง 14 กันยายน พ.ศ. 2563 และชุดทดสอบเป็นชุดข้อมูลของวันที่ 15 กันยายน พ.ศ. 2563 ซึ่งแสดงผังการทำงานหน่วยประมวลผลข้อมูลดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ผังการทำงานหน่วยประมวลผลข้อมูล

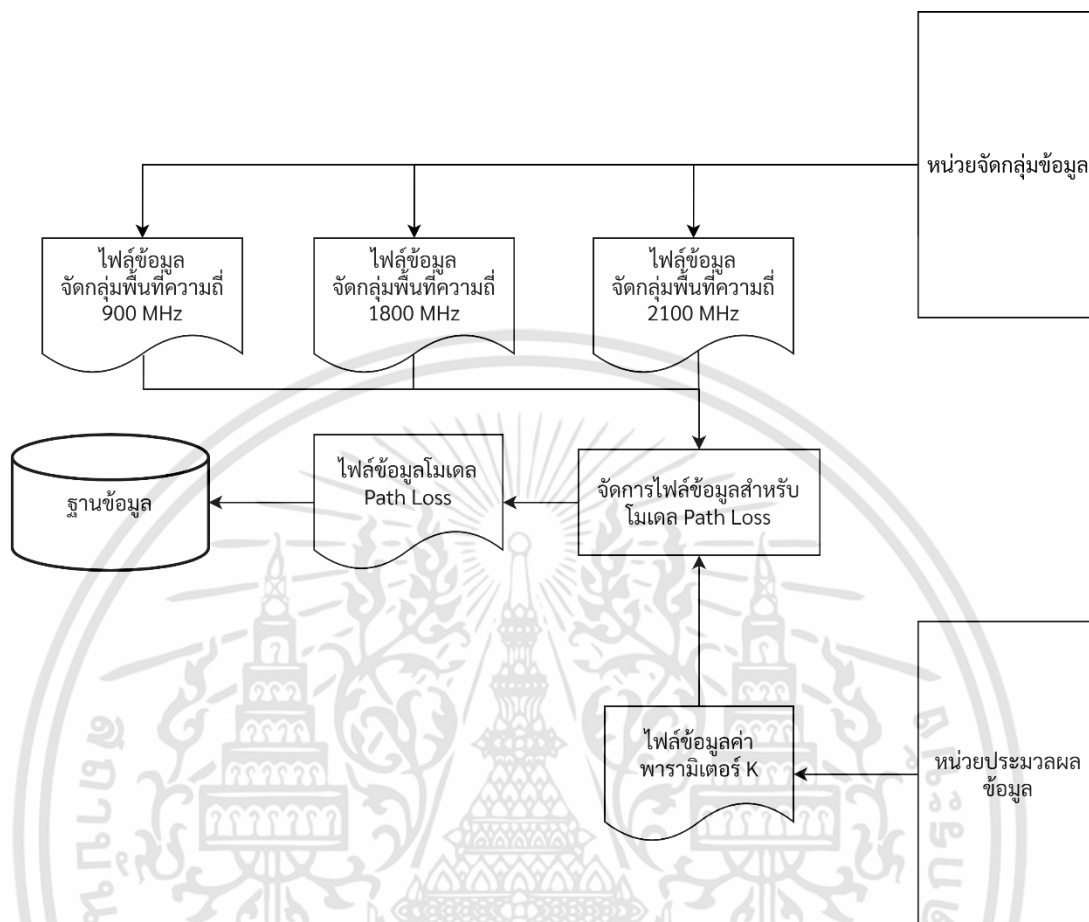
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.7 หน่วยการประมวลผลข้อมูลมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

- 1) แบ่งชุดข้อมูลจากไฟล์ข้อมูลจัดกลุ่มพื้นที่รอบที่ 2 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝนและชุดข้อมูลทดสอบ
- 2) แบ่งข้อมูลตามความถี่การใช้งานในพื้นที่ Grid เป็น 3 ความถี่ได้แก่ 900 1800 และ 2100 MHz
- 3) ปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ K โดยหลักการ Least Square ด้วยชุดข้อมูลฝึกฝน 4 รูปแบบได้แก่ ชุดข้อมูลฝึกฝนทุกความถี่ ชุดข้อมูลฝึกฝนความถี่ 900 MHz ชุดข้อมูลฝึกฝนความถี่ 1800 MHz และชุดข้อมูลฝึกฝนความถี่ 2100 MHz
- 4) นำค่าพารามิเตอร์ K มาสร้างแบบจำลอง Path Loss
- 5) จัดเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ K เป็นไฟล์สกุล csv ชื่อไฟล์ “ไฟล์ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ K”
- 6) คำนวณค่า RSRP จากค่า Path Loss ของแบบจำลอง Path Loss ดังสมการที่ (2.9)
- 7) ทดสอบแบบจำลอง Path Loss ด้วยชุดข้อมูลทดสอบ 4 รูปแบบได้แก่ ชุดข้อมูลทดสอบทุกความถี่ ชุดข้อมูลทดสอบความถี่ 900 MHz ชุดข้อมูลทดสอบความถี่ 1800 MHz และชุดข้อมูลทดสอบความถี่ 2100 MHz
- 8) วัดค่าความผิดพลาดของการทำนายค่า Path Loss ของแบบจำลอง Path Loss โดยการวัดค่า RMSE และ MAE ดังสมการที่ (2.7) และ (2.8) ตามลำดับ
- 9) วัดค่าความผิดพลาดของการทำนายค่า RSRP โดยการวัดค่า RMSE และ MAE ดังสมการที่ (2.10) และ (2.11) ตามลำดับ
- 10) จัดเก็บข้อมูลค่า RSME และ MAE เป็นไฟล์สกุล csv ชื่อไฟล์ “ไฟล์ข้อมูลค่า RSME และ MAE”

3.1.1.5 หน่วยจัดเก็บข้อมูล

หน่วยจัดเก็บข้อมูลทำหน้าที่จัดเตรียมข้อมูลสำหรับการใช้งานแบบจำลอง Path Loss และจัดเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล โดยแสดงผังการทำงานหน่วยจัดเก็บข้อมูลดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ผังการทำงานหน่วยจัดเก็บข้อมูล

จากรูปที่ 3.8 อธิบายกระบวนการสำหรับรวมไฟล์ข้อมูลมีกระบวนการดังนี้

- 1) รวมไฟล์ข้อมูลจัดกลุ่มพื้นที่ความถี่ 900 MHz ไฟล์ข้อมูลจัดกลุ่มพื้นที่ความถี่ 1800 MHz ไฟล์ข้อมูลจัดกลุ่มพื้นที่ความถี่ 2100 MHz และไฟล์ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ K ด้วยหลักการ Left Join
- 2) คัดเลือกข้อมูลสำหรับนำแบบจำลอง Path Loss ไปใช้งาน
- 3) จัดเก็บไฟล์ข้อมูลแบบจำลอง Path Loss ลงในฐานข้อมูล

3.1.2 ฐานข้อมูล

3.1.2.1 ฐานข้อมูลสำหรับเว็บแอปพลิเคชัน

ใช้ฐานข้อมูล PostgreSQL โดยแสดงข้อมูลผ่านหน้า Browsable API ผ่านลิงก์ <http://x.x.x.x/api-task/> สำหรับใช้งานในส่วนของ RSRP-Historical ลิงก์ <http://x.x.x.x/create/> และลิงก์ <http://x.x.x.x/add-show/> สำหรับใช้งานในส่วนของ Path Loss ในส่วนของ RSRP-Prediction ในการใช้งานนำค่า RSRP จากฐานข้อมูลใช้ผ่านลิงก์ <http://x.x.x.x/Pulldata/> และการทำนายค่า RSRP ใช้งานผ่านลิงก์ http://x.x.x.x/Rsrp-out_process/ (x.x.x.x แสดงแทนเลข IP Address ซึ่งไม่สามารถเปิดเผยได้)

สร้าง Model และตารางใน models.py เพื่อเก็บข้อมูลและใช้ติดต่อกับฐานข้อมูล โดยมีขั้นตอนการสร้างตารางและออกแบบตาราง จำนวน 11 ตารางสำหรับเก็บข้อมูลดังนี้

1) สร้างตารางชื่อ AllTask สำหรับจัดเก็บข้อมูลในส่วนของ RSRP โดยมีการออกแบบคอลัมน์ดังนี้

- คอลัมน์ที่ 1 id คือหมายเลขระบุข้อมูล
- คอลัมน์ที่ 2 Date คือวันที่ของการเก็บข้อมูลของการเก็บข้อมูล
- คอลัมน์ที่ 3 Lat คือพิกัดละติจูด
- คอลัมน์ที่ 4 Long คือพิกัดลองจิจูด
- คอลัมน์ที่ 5 RSRP คือค่า RSRP ในอดีต
- คอลัมน์ที่ 6 Site_Code คือชื่อของ Site Code

2) สร้างตารางชื่อ Show สำหรับจัดเก็บค่าพารามิเตอร์ K ที่ได้จากการปรับปรุงสมการ โดยมีการออกแบบคอลัมน์ดังนี้

- คอลัมน์ที่ 1 id คือหมายเลขระบุข้อมูล
- คอลัมน์ที่ 2 คือ ค่าพารามิเตอร์ $K1$
- คอลัมน์ที่ 3 คือ ค่าพารามิเตอร์ $K2$
- คอลัมน์ที่ 4 คือ ค่าพารามิเตอร์ $K3$
- คอลัมน์ที่ 5 คือ ค่าพารามิเตอร์ $K5$
- คอลัมน์ที่ 6 คือ ค่าพารามิเตอร์ $K6$
- คอลัมน์ที่ 7 คือ ค่าพารามิเตอร์ $K7$

3) สร้างตารางชื่อ Latlons สำหรับจัดเก็บข้อมูลในส่วนของ Path Loss โดยมีการออกแบบคอลัมน์ดังนี้

- คอลัมน์ที่ 1 id คือหมายเลขระบุข้อมูล
- คอลัมน์ที่ 2 Lat คือพิกัดละติจูด
- คอลัมน์ที่ 3 Long คือพิกัดลองจิจูด
- คอลัมน์ที่ 4 Height คือความสูงของเสาสัญญาณ

4) สร้างตารางชื่อ Show_in_site สำหรับจัดเก็บค่าละติจูด ลองจิจูดโดยมีการออกแบบคอลัมน์ดังนี้

- คอลัมน์ที่ 1 id คือหมายเลขระบุข้อมูล
- คอลัมน์ที่ 2 Lat คือพิกัดละติจูด
- คอลัมน์ที่ 3 Long คือพิกัดลองจิจูด

5) สร้างตารางชื่อ Drop_down_info สำหรับจัดเก็บค่าชื่อ Cell Name โดยมีการออกแบบคอลัมน์ดังนี้

- คอลัมน์ที่ 1 id คือหมายเลขระบุข้อมูล
- คอลัมน์ที่ 2 Info คือข้อมูลชื่อ Cell Name ที่รับจากผู้ใช้งาน

6) สร้างตารางชื่อ Recept_info สำหรับจัดเก็บข้อมูลเพียง 1 ค่าของชื่อ Cell Name ที่ผู้ใช้งานเลือกโดยมีการออกแบบคอลัมน์ดังนี้

- คอลัมน์ที่ 1 id คือหมายเลขระบุข้อมูล
- คอลัมน์ที่ 2 Lat คือพิกัดละติจูด
- คอลัมน์ที่ 3 Long คือพิกัดลองจิจูด
- คอลัมน์ที่ 4 Enodeb คือชื่อ Cell Site
- คอลัมน์ที่ 5 Rsrp คือค่า RSRP ในอดีต
- คอลัมน์ที่ 6 Time คือวันที่ของการเก็บข้อมูล

7) สร้างตารางชื่อ Data_his สำหรับจัดเก็บข้อมูลของชื่อ Cell Name ที่ผู้ใช้เลือกโดยมีการออกแบบคอลัมน์ดังนี้

- คอลัมน์ที่ 1 id คือหมายเลขระบุข้อมูล
- คอลัมน์ที่ 2 Lat คือพิกัดละติจูด
- คอลัมน์ที่ 3 Long คือพิกัดลองจิจูด
- คอลัมน์ที่ 4 Enodeb คือหมายเลขระบุข้อมูล

- คอลัมน์ที่ 5 Rsrp คือค่า RSRP ในอดีต

- คอลัมน์ที่ 6 Time คือวันที่ของการเก็บข้อมูล

8) สร้างตารางชื่อ Test_data สำหรับจัดเก็บชื่อของชื่อ Cell Name โดยมีการออกแบบคอลัมน์ดังนี้

- คอลัมน์ที่ 1 id คือหมายเลขระบุข้อมูล

- คอลัมน์ที่ 2 Info คือข้อมูล Site Code

- คอลัมน์ที่ 3 Time คือวันที่ของการเก็บข้อมูล

9) สร้างตารางชื่อ Position_ant สำหรับจัดเก็บค่าละติจูด ลองจิจูดของเสาสัญญาณ โดยมีการออกแบบคอลัมน์ดังนี้

- คอลัมน์ที่ 1 id คือหมายเลขระบุข้อมูล

- คอลัมน์ที่ 2 Long_ant คือพิกัดละติจูดของเสาสัญญาณ

- คอลัมน์ที่ 3 Lat_ant คือพิกัดลองจิจูดของเสาสัญญาณ

10) สร้างตารางชื่อ Recept_ant สำหรับจัดเก็บค่าพารามิเตอร์ที่รับจากผู้ใช้งานโดยมีการออกแบบคอลัมน์ดังนี้

- คอลัมน์ที่ 1 id คือหมายเลขระบุข้อมูล

- คอลัมน์ที่ 2 Power_tx คือค่าพารามิเตอร์ Power_tx จากผู้ใช้งาน

ผู้ใช้งาน

- คอลัมน์ที่ 3 Physical_azimuth คือค่าพารามิเตอร์ Physical_azimuth จาก

- คอลัมน์ที่ 4 M_tile คือค่าพารามิเตอร์ M_tile

- คอลัมน์ที่ 5 Height_ant คือค่าพารามิเตอร์ Height_ant

- คอลัมน์ที่ 6 Gain_ant คือค่าพารามิเตอร์ Gain_ant จากผู้ใช้งาน

- คอลัมน์ที่ 7 Model_ant คือค่าพารามิเตอร์ Model_ant จากผู้ใช้งาน

- คอลัมน์ที่ 8 Pathloss_model คือค่าพารามิเตอร์ Pathloss_model

- คอลัมน์ที่ 9 Sector คือค่าพารามิเตอร์ Sector จากผู้ใช้งาน

11) สร้างตารางชื่อ Rsrp_out สำหรับจัดเก็บค่า RSRP ที่ได้จากการทำนายโดยมีการออกแบบคอลัมน์ดังนี้

- คอลัมน์ที่ 1 id คือหมายเลขระบุข้อมูล

- คอลัมน์ที่ 2 Lat คือพิกัดละติจูด

- คอลัมน์ที่ 3 Long คือพิกัดลองจิจูด

- คอลัมน์ที่ 4 Rsrp คือค่า RSRP จากการทำนาย

3.1.2.2 ฐานข้อมูลสำหรับ QGIS

ใช้ฐานข้อมูล PostgreSQL และส่วนขยายเชิงพื้นที่ PostGIS ซึ่งทำให้ฐานข้อมูล PostgreSQL ฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Database) PostGIS เนื่องจากฐานข้อมูลนี้รองรับภูมิสารสนเทศ สามารถแก้ไขและอัปเดตข้อมูลใน Attribute ได้ และจัดการฐานข้อมูลโดยใช้โปรแกรม PgAdmin 4

ทำการสร้างและออกแบบตารางเพื่อเก็บข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ใช้ในการแสดงผลบนโปรแกรม QGIS โดยมีขั้นตอนการสร้างตารางและออกแบบตารางจำนวน 55 ตาราง ดังนี้

1) สร้างตารางชื่อ district สำหรับจัดเก็บข้อมูลพื้นที่เขตการปกครองของกรุงเทพมหานครจากศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์กรุงเทพมหานคร (Bangkok GIS) ซึ่งมี Attribute เป็น Polygon โดยมีการออกแบบคอลัมน์ดังนี้

- คอลัมน์ที่ 1 gid คือหมายเลขระบุวัตถุ
- คอลัมน์ที่ 2 objectid คือหมายเลขระบุข้อมูล
- คอลัมน์ที่ 3 area คือเนื้อที่ของพื้นที่เขตการปกครอง
- คอลัมน์ที่ 4 dcode คือเลขเฉพาะพื้นที่เขตการปกครอง
- คอลัมน์ที่ 5 dname คือชื่อพื้นที่เขตการปกครองภาษาไทย
- คอลัมน์ที่ 6 dname_e คือชื่อพื้นที่เขตการปกครองภาษาอังกฤษ
- คอลัมน์ที่ 7 pcode คือรหัสไปรษณีย์
- คอลัมน์ที่ 8 no_female คือจำนวนประชากรผู้หญิงในกรุงเทพมหานคร
- คอลัมน์ที่ 9 pname คือชื่อจังหวัด
- คอลัมน์ที่ 10 no_male คือจำนวนประชากรผู้ชายในกรุงเทพมหานคร
- คอลัมน์ที่ 11 no_health คือจำนวนศูนย์สุขภาพในกรุงเทพมหานคร
- คอลัมน์ที่ 12 no_temple คือจำนวนวัดในกรุงเทพมหานคร
- คอลัมน์ที่ 13 no_commu คือจำนวนศูนย์การค้าขนาดเล็กในกรุงเทพมหานคร
- คอลัมน์ที่ 14 no_hos คือจำนวนโรงพยาบาลในกรุงเทพมหานคร
- คอลัมน์ที่ 15 no_sch คือจำนวนโรงเรียนในกรุงเทพมหานคร
- คอลัมน์ที่ 16 geom คือข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) สร้างตารางชื่อ data_rsrp สำหรับจัดเก็บข้อมูล RSRP ในอดีตซึ่งมี Attribute เป็น Point โดยมีการออกแบบคอลัมน์ดังนี้

- คอลัมน์ที่ 1 gid คือหมายเลขระบุวัตถุ
- คอลัมน์ที่ 2 id คือหมายเลขระบุข้อมูล
- คอลัมน์ที่ 3 date คือวันที่ของการเก็บข้อมูล
- คอลัมน์ที่ 4 lat คือพิกัดละติจูด
- คอลัมน์ที่ 5 long คือพิกัดลองจิจูด
- คอลัมน์ที่ 6 rsrp คือค่า RSRP
- คอลัมน์ที่ 7 no_site คือหมายเลขกลุ่มพื้นที่
- คอลัมน์ที่ 8 geom คือข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์

3) สร้างตารางชื่อ data_rsrp_prediction สำหรับจัดเก็บข้อมูลทำนาย RSRP ซึ่งมี Attribute เป็น Point โดยมีการออกแบบคอลัมน์ดังนี้

- คอลัมน์ที่ 1 gid คือหมายเลขระบุวัตถุ
- คอลัมน์ที่ 2 id คือหมายเลขระบุข้อมูล
- คอลัมน์ที่ 3 date คือวันที่ของการเก็บข้อมูล
- คอลัมน์ที่ 4 latitude คือพิกัดละติจูด
- คอลัมน์ที่ 5 longitude คือพิกัดลองจิจูด
- คอลัมน์ที่ 6 rsrp_out คือค่า RSRP
- คอลัมน์ที่ 7 geom คือข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์

4) สร้างตารางชื่อ bangkok_rsrp สำหรับจัดเก็บข้อมูล RSRP ในกรุงเทพมหานครซึ่งมี Attribute เป็น Point โดยมีการออกแบบคอลัมน์ดังนี้

- คอลัมน์ที่ 1 gid คือหมายเลขระบุวัตถุ
- คอลัมน์ที่ 2 id คือหมายเลขระบุข้อมูล
- คอลัมน์ที่ 3 date คือวันที่ของการเก็บข้อมูล
- คอลัมน์ที่ 4 lat คือพิกัดละติจูด
- คอลัมน์ที่ 5 long คือพิกัดลองจิจูด
- คอลัมน์ที่ 6 rsrp คือค่า RSRP
- คอลัมน์ที่ 7 no_site คือหมายเลขกลุ่มพื้นที่
- คอลัมน์ที่ 8 geom คือข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์

5) สร้างตารางชื่อ data_rsrp_diff สำหรับจัดเก็บข้อมูลผลต่างระหว่างค่าทำนาย RSRP กับค่า RSRP ในอดีต ซึ่งมี Attribute เป็น Point โดยมีการออกแบบคอลัมน์ดังนี้

- คอลัมน์ที่ 1 gid คือหมายเลขระบุวัตถุ
- คอลัมน์ที่ 2 id คือหมายเลขระบุข้อมูล
- คอลัมน์ที่ 3 date คือวันที่ของการเก็บข้อมูล
- คอลัมน์ที่ 4 lat คือพิกัดละติจูด
- คอลัมน์ที่ 5 long คือพิกัดลองจิจูด
- คอลัมน์ที่ 6 rsrp คือค่า RSRP
- คอลัมน์ที่ 7 no_site คือหมายเลขกลุ่มพื้นที่
- คอลัมน์ที่ 8 geom คือข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์

6) สร้างตารางจำนวน 50 ตารางโดยใช้ชื่อแต่ละตารางเป็นชื่อแต่ละพื้นที่เขตการปกครองของกรุงเทพมหานคร สำหรับจัดเก็บข้อมูล RSRP ในแต่ละพื้นที่เขตการปกครองของกรุงเทพมหานคร ซึ่งมี Attribute เป็น Point โดยมีการออกแบบคอลัมน์ดังนี้

- คอลัมน์ที่ 1 gid คือหมายเลขระบุวัตถุ
- คอลัมน์ที่ 2 id คือหมายเลขระบุข้อมูล
- คอลัมน์ที่ 3 date คือวันที่ของการเก็บข้อมูล
- คอลัมน์ที่ 4 lat คือพิกัดละติจูด
- คอลัมน์ที่ 5 long คือพิกัดลองจิจูด
- คอลัมน์ที่ 6 rsrp คือค่า RSRP
- คอลัมน์ที่ 7 no_site คือหมายเลขกลุ่มพื้นที่
- คอลัมน์ที่ 8 geom คือข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์

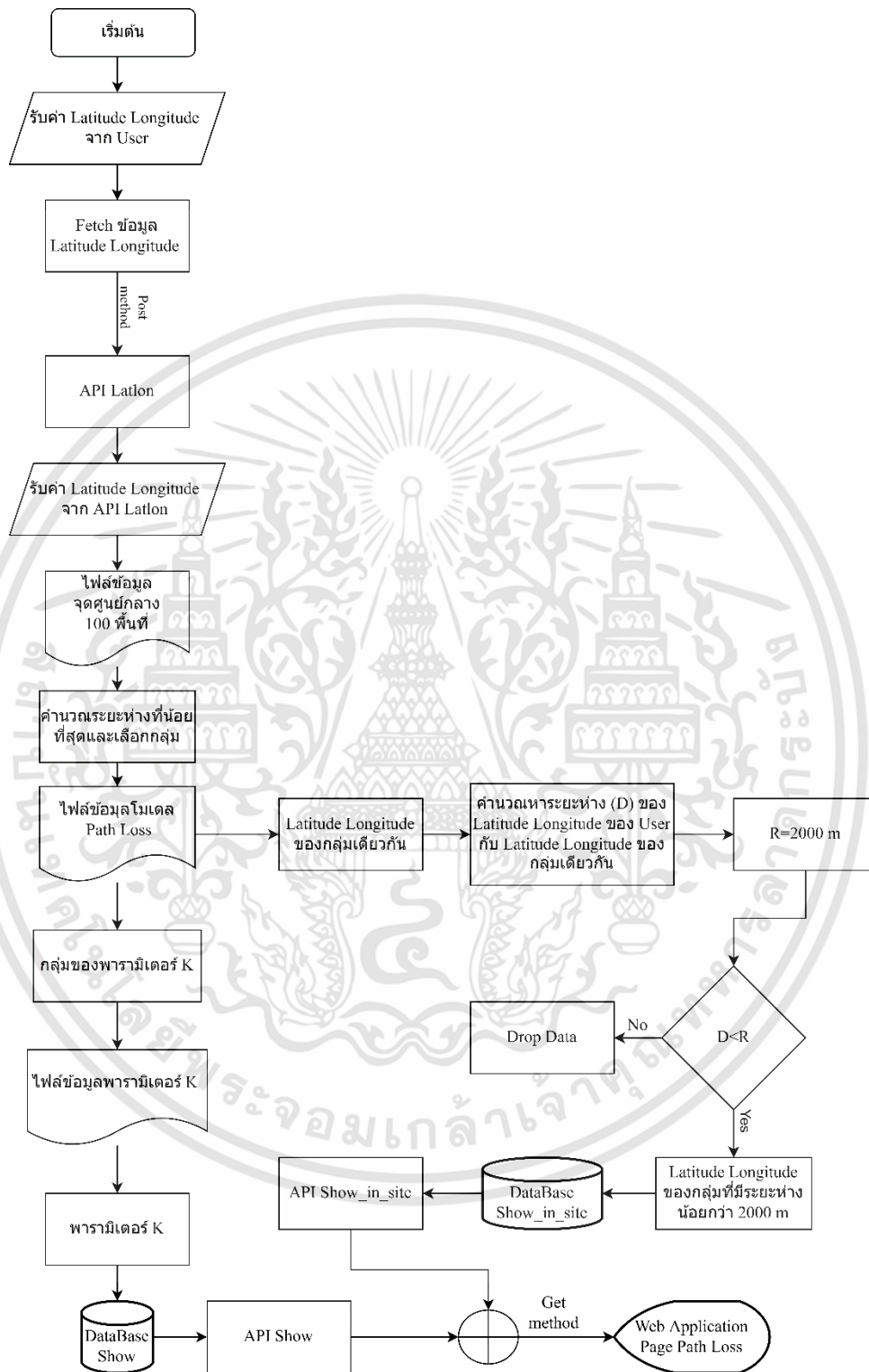
3.1.3 เว็บแอปพลิเคชัน

เว็บแอปพลิเคชันประกอบด้วยหน้า Path Loss หน้า Historical RSRP และหน้า RSRP Prediction โดยเว็บแอปพลิเคชันมีกระบวนการทำงานดังนี้

3.1.3.1 เว็บแอปพลิเคชันหน้า Path Loss

เว็บแอปพลิเคชันหน้า Path Loss มีกระบวนการทำงานดังรูปที่ 3.9 มีกระบวนการทำงานดังนี้

- 1) รับค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูดจากผู้ใช้งาน
- 2) ทำการ Fetch ข้อมูลพิกัดละติจูดและลองจิจูดผ่าน API ชื่อ “Latlon” โดยใช้ HTTP Request Method แบบ Post
- 3) ทำการรับค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูดจาก API ชื่อ “Latlon” โดยใช้โมดูล Request
- 4) นำค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูดมาคำนวณหาระยะห่างที่น้อยที่สุดจากจุดศูนย์กลาง 100 พื้นที่จากไฟล์จุดศูนย์กลาง 100 พื้นที่เพื่อทราบกลุ่มพื้นที่ที่ใกล้ที่สุด
- 5) นำค่ากลุ่มที่ระยะห่างน้อยที่สุดเปรียบเทียบกับไฟล์ข้อมูลโมเดล Path Loss เพื่อทราบกลุ่มของพารามิเตอร์ K
- 6) นำกลุ่มของพารามิเตอร์ K มาเปรียบเทียบกับไฟล์ข้อมูลพารามิเตอร์ K เพื่อทราบค่าพารามิเตอร์ K
- 7) นำข้อมูลพารามิเตอร์ K บันทึกลงฐานข้อมูลชื่อ “Show”
- 8) นำค่ากลุ่มที่น้อยที่สุดเปรียบเทียบกับไฟล์ข้อมูลโมเดล Path Loss เพื่อให้ทราบพิกัดละติจูดและลองจิจูดที่อยู่กลุ่มเดียวกัน
- 9) นำค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูดที่ได้จากผู้ใช้งานคำนวณหาระยะห่างกับพิกัดละติจูดและลองจิจูดที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน
- 10) นำค่าระยะห่างที่ได้จากการคำนวณมาเปรียบเทียบกับค่าระยะห่างที่ได้จากการคำนวณมีค่าน้อยกว่า 2,000 เมตรทำการเก็บข้อมูลพิกัดละติจูดและลองจิจูดหาระยะห่างที่ค่าน้อมีค่ามากกว่า 2,000 เมตรทำการ Drop ข้อมูล
- 11) นำค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูดที่มีระยะห่างน้อยกว่า 2,000 เมตรบันทึกลงฐานข้อมูลชื่อ “Show_in_site”
- 12) นำค่าจากฐานข้อมูล “Show_in_site” และฐานข้อมูล “Show” แสดงผลผ่าน API ชื่อ “Show_in_site” และ API ชื่อ “Show”
- 13) นำค่าพารามิเตอร์ K จาก API ชื่อ “Show” และนำค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูดจาก API ชื่อ “Show_in_site” แสดงผลผ่านหน้าเว็บแอปพลิเคชัน



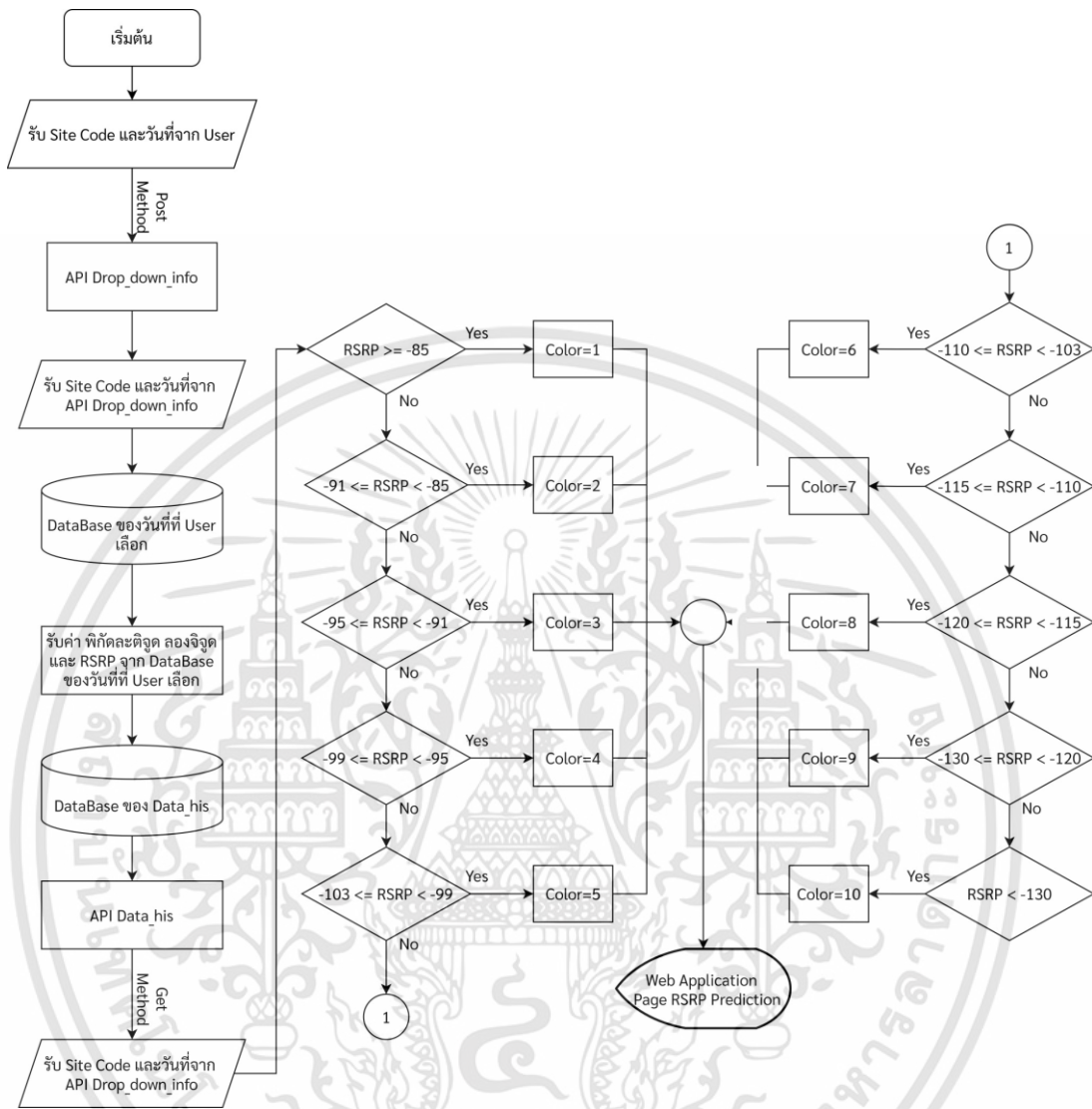
รูปที่ 3.9 ผังการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันหน้า Path Loss

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.2 เว็บแอปพลิเคชันหน้า Historical RSRP

เว็บแอปพลิเคชันหน้า Historical RSRP แสดงแผนที่ Historical ซึ่งเป็นแผนที่สำหรับแสดงค่า RSRP ในอดีต มีกระบวนการดังรูปที่ 3.10 โดยมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

- 1) รับค่าวันที่และชื่อ Cell Site จากผู้ใช้งาน
- 2) ทำการ Fetch ข้อมูลวันที่และชื่อ Cell Site ผ่าน API ชื่อ “Drop_down_info” โดยใช้ HTTP Request Method แบบ Post
- 3) ทำการรับค่าวันที่และชื่อ Cell Site จาก API ชื่อ “Drop_down_info”
- 4) ทำการเลือกข้อมูลจากฐานข้อมูลโดยเลือกข้อมูลตรงกับค่าวันที่และชื่อ Cell Site โดยใช้โมดูล sqlalchemy
- 5) บันทึกค่าพิกัดละติจูด ลองจิจูด และ RSRP ลงฐานข้อมูลชื่อ “Data_his”
- 6) รับค่าพิกัดละติจูด ลองจิจูด และ RSRP ผ่าน API ชื่อ “Data_his”
- 7) ทำการเปรียบเทียบค่า RSRP และแสดงสีต่างๆตามค่า RSRP
- 8) ทำการแสดงผลค่าละติจูด ลองจิจูด และค่า RSRP ลงบนแผนที่ Historical



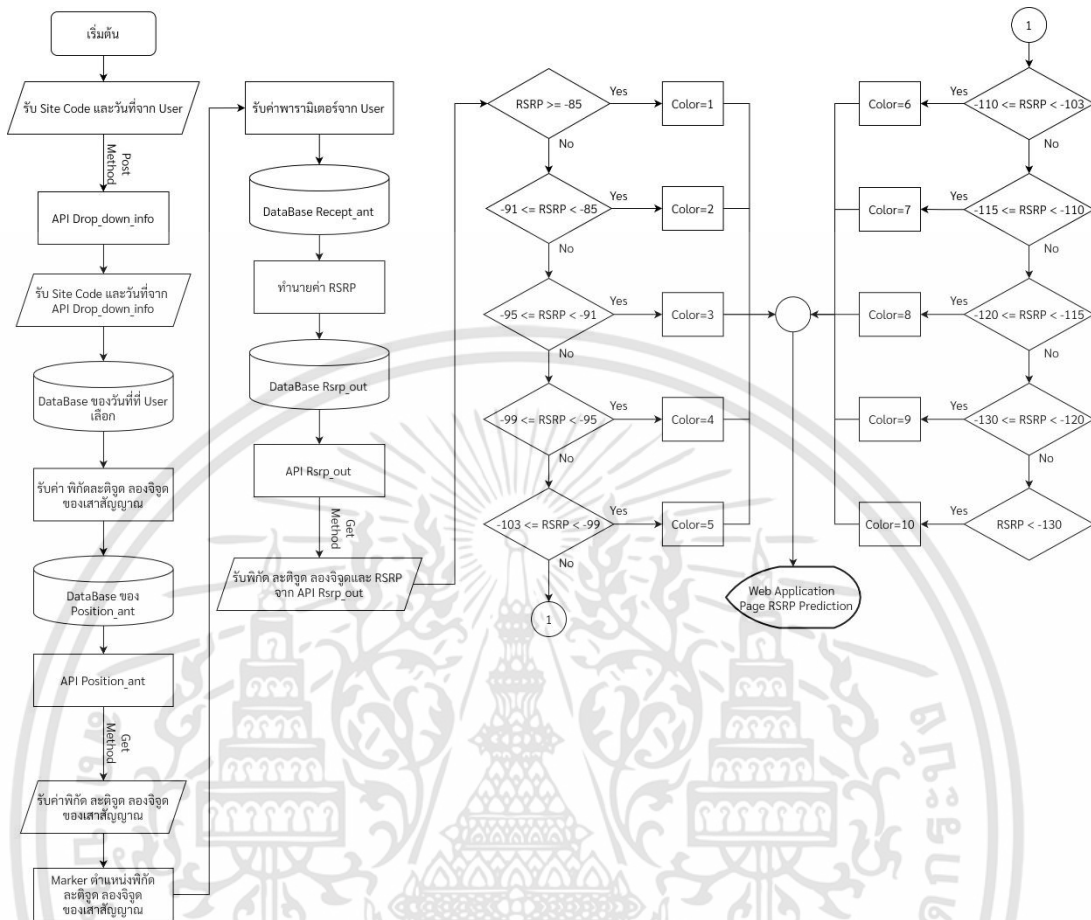
รูปที่ 3.10 ผังการทำงานเว็บแอปพลิเคชันหน้า Historical RSRP

3.1.3.3 เว็บแอปพลิเคชันหน้า RSRP Prediction

เว็บแอปพลิเคชันหน้า RSRP Prediction แสดงแผนที่ Historical และแผนที่ Prediction ซึ่งแผนที่ Prediction เป็นแผนที่แสดงค่าทำนาย RSRP มีกระบวนการดังรูปที่ 3.11 โดยมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

- 1) รับค่าวันที่และชื่อ Cell Site จากผู้ใช้งาน

- 2) ทำการ Fetch ข้อมูลวันที่และชื่อ Cell Site ผ่าน API ชื่อ “Drop_down_info” โดยใช้ HTTP Request Method แบบ Post
- 3) ทำการรับค่าวันที่และชื่อ Cell Site จาก API ชื่อ “Drop_down_info”
- 4) ทำการเลือกข้อมูลจากฐานข้อมูลโดยเลือกข้อมูลตรงกับค่าวันที่และชื่อ Cell Site โดยใช้โมดูล sqlalchemy
- 5) บันทึกค่าพิกัดละติจูด ลองจิจูดของเสาสัญญาณลงฐานข้อมูลชื่อ “Position_ant”
- 6) รับค่าพิกัดละติจูด ลองจิจูดของเสาสัญญาณผ่าน API ชื่อ “Position_ant”
- 7) รับค่าพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้งานต้องการทำนายค่า RSRP
- 8) ทำการ Fetch ข้อมูลพารามิเตอร์ ผ่าน API ชื่อ “Recept_ant” โดยใช้ HTTP Request Method แบบ Post
- 9) ทำการรับค่าพารามิเตอร์จาก API ชื่อ “Recept_ant”
- 10) คำนวณค่า RSRP โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ในการทำนายค่า RSRP
- 11) บันทึกค่า RSRP ที่ทำนายลงฐานข้อมูลชื่อ “Rsrp_out”
- 12) รับค่าพิกัดละติจูด ลองจิจูดและค่า RSRP ผ่าน API ชื่อ “Rsrp_out”
- 13) ทำการเปรียบเทียบค่า RSRP และแสดงสีต่างๆตามค่า RSRP
- 14) ทำการแสดงผลค่าละติจูด ลองจิจูด และค่า RSRP ลงบนแผนที่ Prediction



รูปที่ 3.11 ผังการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันหน้า RSRP Prediction ในส่วนของแผนที่ Prediction

3.1.3.4 Front End

สร้างเว็บแอปพลิเคชันโดยใช้ไลบรารี React สำหรับจัดการการนำเข้าข้อมูล การแสดงผลข้อมูลในเว็บแอปพลิเคชันง่ายขึ้นและสร้าง UI เพื่อกำหนด Component

ออกแบบและสร้าง Navbar ของหน้าเว็บแอปพลิเคชันโดยใช้โมดูล React CSS และ React-icons ซึ่งตั้งค่าการกำหนดเส้นทางพื้นฐานโดยใช้โมดูล React-Router ซึ่งใช้เป็นเค้าโครงสำหรับหน้าเว็บแอปพลิเคชันอื่นและนำเข้าโมดูล BrowserRouter Switch และ Route ซึ่ง Component ที่สร้างประกอบด้วย “Pathloss” “Historical RSRP” และ “RSRP Prediction”

หน้าเว็บแอปพลิเคชันที่ออกแบบมีรายละเอียดดังนี้

- 1) หน้า Path Loss คือหน้าที่ใช้สำหรับแสดงสมการ Path Loss โดยรับค่าพิกัด ละติจูดและลองจิจูดจากการที่ผู้ใช้งานทำการคลิกไปบนแผนที่บริเวณที่ต้องการทราบค่าพารามิเตอร์

K แสดงสมการ Path Loss ผ่านลิงก์ <http://x.x.x.x/PathLoss> โดยมีการส่งค่าละติจูดและลองจิจูดผ่าน API ลิงก์ <http://x.x.x.x/create> และแสดงสมการ Path Loss โดยนำเข้าพารามิเตอร์ K ผ่านลิงก์ <http://x.x.x.x/add-show> (x.x.x.x แสดงแทนเลข IP Address ซึ่งไม่สามารถเปิดเผยได้)

2) หน้า Historical RSRP คือหน้าที่ใช้สำหรับแสดงค่า RSRP ในอดีต โดยใช้วันที่ ค่าพิกัดละติจูด ลองจิจูด ค่า RSRP และหมายเลขกลุ่มพื้นที่จากเซิร์ฟเวอร์ AIS ผ่าน API ที่สร้างขึ้น แสดงค่า RSRP ผ่านลิงก์ <http://x.x.x.x/RSRP-Historical> (x.x.x.x แสดงแทนเลข IP Address ซึ่งไม่สามารถเปิดเผยได้) โดยใช้ข้อมูลพิกัดละติจูดและลองจิจูดเป็นจุดศูนย์กลางของวงกลมเพื่อแรเงาเป็นสีต่าง ๆ บนแผนที่ และผู้ใช้งานสามารถเลือกวันที่และหมายเลขกลุ่มพื้นที่สำหรับการแสดงค่า RSRP ในอดีตบนแผนที่ได้ โดยกำหนดสีของแรเงาวงกลมสำหรับค่า RSRP ดังนี้

- สีเขียวเข้มแสดงค่า RSRP ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ -85 dBm
- สีเขียวแสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -91 ถึง -85 dBm
- สีเขียวมึนตึ่มแสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -95 ถึง 91 dBm
- สีเขียวอ่อนแสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -99 ถึง -95 dBm
- สีเหลืองแสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -103 ถึง -99 dBm
- สีเหลืองแสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -110 ถึง -103 dBm
- สีส้มเหลืองแสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -115 ถึง -110 dBm
- สีส้มแสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -120 ถึง -115 dBm
- สีแดงแสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -130 ถึง -120 dBm
- สีแดงเข้มแสดงค่า RSRP ที่มีค่าน้อยกว่า 130 dBm

3) หน้าทำนาย RSRP Prediction คือหน้าที่ใช้สำหรับทำนายค่า RSRP โดยมีการรับค่าพารามิเตอร์ Tx Power Physical Azimuth M-tilt ค่าความสูงของเสาสัญญาณ ค่ากำลังขยายของเสาสัญญาณ ชนิดของเสาสัญญาณ ชนิดของแบบจำลอง PathLoss และ Sector โดยค่า RSRP ที่ทำนายแสดงผ่านลิงก์ http://x.x.x.x/RSRP_Prediction (x.x.x.x แสดงแทนเลข IP Address ซึ่งไม่สามารถเปิดเผยได้) โดยใช้ข้อมูลพิกัดละติจูดและลองจิจูดเป็นจุดศูนย์กลางของวงกลมเพื่อแรเงาเป็นสีต่าง ๆ บนแผนที่ และ ผู้ใช้งานสามารถเลือกชื่อ Cell Name สำหรับเลือกพื้นที่สำหรับแสดงค่าทำนาย RSRP บนแผนที่ โดยกำหนดสีของแรเงาวงกลมสำหรับค่า RSRP ดังนี้

- สีเขียวเข้มแสดงค่า RSRP ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ -85 dBm
- สีเขียวแสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -91 ถึง -85 dBm

- สีเขียวมีน้แสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -95 ถึง 91 dBm
- สีเขียวอ่อนแสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -99 ถึง -95 dBm
- สีเขียวเหลืองแสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -103 ถึง -99 dBm
- สีเหลืองแสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -110 ถึง -103 dBm
- สีส้มเหลืองแสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -115 ถึง -110 dBm
- สีส้มแสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -120 ถึง -115 dBm
- สีแดงแสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -130 ถึง -120 dBm
- สีแดงเข้มแสดงค่า RSRP ที่มีค่าน้อยกว่า 130 dBm

3.1.3.5 Back End

1. การกำหนด URLs

กำหนด URLs ให้กับแอปพลิเคชันนำเข้าโมดูล views จากแอปพลิเคชัน API เพื่อเรียกใช้งาน Class และ Object ต่าง ๆ ทำได้โดยการเพิ่ม URLs ลงในไฟล์ urls.py โดยมีการกำหนด URLs ดังนี้

- `http://x.x.x.x/add-show/` (x.x.x.x แสดงแทนเลข IP Address ซึ่งไม่สามารถเปิดเผยได้) เชื่อมต่อกับ `add_show` ในโมดูล views
- `http://x.x.x.x/pull_data/` (x.x.x.x แสดงแทนเลข IP Address ซึ่งไม่สามารถเปิดเผยได้) เชื่อมต่อกับ `pull_data` ในโมดูล views
- `http://x.x.x.x/rsrp_out_process/` (x.x.x.x แสดงแทนเลข IP Address ซึ่งไม่สามารถเปิดเผยได้) เชื่อมต่อกับ `rsrp_out_process` ในโมดูล views

2. การสร้าง Serializers

เมื่อ Project มี Model และสร้าง URLs แล้วจำเป็นต้องใช้ไลบรารี Serializers ในการ Return ข้อมูลกลับไปเป็น JSON เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าถึงข้อมูล โดยทำการสร้างไฟล์ชื่อ `serializers.py` และทำการนำเข้าโมดูล Serializers เพื่อเรียกใช้งาน Class `ModelSerializer` ประกาศ Class Meta โดยเพิ่มตารางเพื่อต้องการ Serializers และเพิ่ม Fields ดังนี้

- Serializers ชื่อ `Alltaskserializer` เชื่อมต่อกับตารางชื่อ `Latlon` โดยมีทั้งหมด 4 fields ประกอบด้วย `id` `Lat` `Long` และ `Height`

- Serializers ชื่อ Showserializer เชื่อมต่อกับตารางชื่อ Show โดยมีทั้งหมด 7 fields ประกอบด้วย id k1 k2 k3 k5 k6 และ k7
- Serializers ชื่อ Show_in_site_serializer เชื่อมต่อกับตารางชื่อ Show_in_site โดยมีทั้งหมด 3 fields ประกอบด้วย id Lat และ Long
- Serializers ชื่อ Drop_down_info_serializer เชื่อมต่อกับตารางชื่อ Drop_down_info โดยมีทั้งหมด 2 fields ประกอบด้วย id และ info
- Serializers ชื่อ Recept_info_serializer เชื่อมต่อกับตารางชื่อ Recept_info โดยมีทั้งหมด 6 fields ประกอบด้วย id Lat Long Enodeb Rsrp และ Time
- Serializers ชื่อ Data_his_serializer เชื่อมต่อกับตารางชื่อ Data_his โดยมีทั้งหมด 6 fields ประกอบด้วย id Lat Long Enodeb Rsrp และ Time
- Serializers ชื่อ Test_data_serializer เชื่อมต่อกับตารางชื่อ Test_data โดยมีทั้งหมด 3 fields ประกอบด้วย id Info และ Time
- Serializers ชื่อ Position_ant_serializer เชื่อมต่อกับตารางชื่อ Position_ant โดยมีทั้งหมด 3 fields ประกอบด้วย id Long_ant และ Lat_ant
- Serializers ชื่อ Recept_ant_serializer เชื่อมต่อกับตารางชื่อ Recept_ant โดยมีทั้งหมด 9 fields ประกอบด้วย id Power_tx Physical_azimuth M_tile Height_ant Gain_ant Model_ant Pathloss_model และ Sector
- Serializers ชื่อ Rsrp_out_serializer เชื่อมต่อกับตารางชื่อ Rsrp_out โดยมีทั้งหมด 4 fields ประกอบด้วย id Lat Long และ Rsrp

3. การกำหนด Views

Views คือส่วนของการเขียน Business Logic ของ Django โดยเขียนในรูปแบบ Class Based View (CBV) เนื่องจากสามารถเรียกใช้ฟังก์ชันต่าง ๆ ของ Rest Framework ได้เต็มที่ ทำให้โดยการใช้โมดูล Generics และกำหนด Views ที่แตกต่างกันดังนี้

- Add-show เป็นฟังก์ชันที่สร้างใน Views โดยฟังก์ชัน Add-show เป็นการค่าจาก API ชื่อ “Latlon” และคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ K บันทึกค่าพารามิเตอร์ K ในฐานข้อมูลชื่อ “Show” บันทึกค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูดผ่านตารางชื่อ “Show_in_site”

- Pull_data เป็นฟังก์ชันที่สร้างใน Views โดยฟังก์ชัน pull_data เป็นการรับค่าจาก ผู้ใช้งานและเลือกข้อมูลให้ตรงตามกับผู้ใช้งานทำการเลือกและบันทึกค่า Rsrp ลงในฐานข้อมูลโดย ข้อมูลบันทึกผ่านตารางของ Data_his

- Rsrp-out_process เป็นฟังก์ชันที่สร้างใน Views โดยฟังก์ชัน Rsrp-out_process เป็นการรับค่าจากผู้ใช้งานและเลือกข้อมูลให้ตรงตามกับผู้ใช้งานทำการทำนายและบันทึกค่า RSRP ลงในฐานข้อมูลโดยข้อมูลบันทึกผ่านตารางของ Rsrp_out

4. การสร้างและออกแบบ API

แอปพลิเคชันมีการสร้างแอปพลิเคชัน 2 แอปพลิเคชันย่อยประกอบด้วยแอปพลิเคชัน ชื่อ TASK สำหรับใช้งานในส่วนของค่า RSRP และแอปพลิเคชันชื่อ PATHLOSS สำหรับใช้งานในส่วน ของ Path Loss โดยมีขั้นตอนการสร้าง API ดังนี้

1) สร้างฟังก์ชันใน views.py โดยมีการนำเข้า Response และ api_view จากโมดูล djangorestframework

2) สร้างฟังก์ชันจากโมดูล api_view โดยกำหนด HTTP Method แบบ Post เพื่อให้ API ที่ต้องการสร้างสามารถเข้าถึงได้แค่ HTTP Method แบบ Post และนำเข้า Serializer โดย Serializer ที่ทำการนำเข้าเป็น Serializer ที่ต้องการอัปเดตหรือมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลและทำการ ตรวจสอบข้อมูลที่ต้องการเปลี่ยนแปลง ซึ่งหากข้อมูลไม่มีข้อผิดพลาดจะทำการบันทึกข้อมูลลงใน Serializer

3) สร้างฟังก์ชันจากโมดูล api_view โดยกำหนด HTTP Method แบบ Get โดยใช้ คำสั่ง @api_view(['GET']) เพื่อให้ API ที่ต้องการสร้างสามารถเข้าถึงได้แค่ HTTP Method แบบ Get และนำเข้า model และ Serializer โดย Serializer ที่ทำการนำเข้าเป็น Serializer ที่ต้องการ แสดงค่าข้อมูลและนำข้อมูลไปแสดงผลโดยเข้าถึงข้อมูลทั้งหมดในตารางและนำข้อมูลทั้งหมดใน model มาแสดงผลผ่าน Serializer โดยมีตารางความสัมพันธ์ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ URLs Views Method Model และ Serializer
ภายใน Django REST Framework

Urls	Views	HTTP Method	Models	Serializer
http://x.x.x.x/ api-location/	api_location	Get	Latlon	Alltaskserializer
http://x.x.x.x/ create/	create	Post	Latlon	Alltaskserializer
http://x.x.x.x/ create-show- insite/	create_show_in_si te	Post	Show_in_si te	Show_in_site_seriali zer
http://x.x.x.x/ show-insite	api_show_in_site	Get	Show_in_si te	Show_in_site_seriali zer
http://x.x.x.x/ show/	api_show	Get	Show	Show_serializer
http://x.x.x.x/ create-show/	create_show	Post	Show	Show_serializer
http://x.x.x.x/ dropdown- info/	create_api_dropd own	Post	Drop_dow_ info	Drop_down_info_ serializer
http://x.x.x.x/ api-dropdown/	api_dropdown	Get	Drop_dow_ info	Drop_down_info_ serializer
http://x.x.x.x/ api_recept/	Api_recept	Get	Recept_inf o	Recept_info_ serializer
http://x.x.x.x/ create-recept/	create_recept	Post	Recept_inf o	Recept_info_ serializer
http://x.x.x.x/ history/	Api_history	Get	Data_his	Data_his_serializer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Urls	Views	HTTP Method	Models	Serializer
http://x.x.x.x/ create_ history/	Create_history	Post	Data_his	Data_his_serializer
http://x.x.x.x/ api_position_a nt/	Api_position_ant	Get	Position_ ant	Position_ant_ serializer
http://x.x.x.x/ create_ position_ant/	Create_position_a nt	Post	Position_ ant	Position_ant_ serializer
http://x.x.x.x/ api_recept_ant /	Api_recept_ant	Get	Recept_ant	Recept_ant_ serializer
http://x.x.x.x/ create_ recept_ant/	Create_recept_an t	Post	Recept_ant	Recept_ant_ serializer
http://x.x.x.x/ api_rsrp_out/	Api_rsrp_out	Get	Rsrp_out	Rsrp_out_serializer

4) นำฟังก์ชันที่สร้างจากโมดูล api_view มากำหนด URLs ในไฟล์ urls.py เพื่อเรียกใช้ฟังก์ชันผ่าน URLs

3.1.4 QGIS

ออกแบบ สร้าง และแสดงแผนที่สำหรับแสดงค่า RSRP ผ่านโปรแกรม QGIS ซึ่งมีฟังก์ชันในการใช้งานที่เพิ่มเติมจากเว็บแอปพลิเคชัน

3.1.4.1 การเปลี่ยนแปลงข้อมูลและนำเข้าตาราง

เชื่อมต่อฐานข้อมูล PostGIS บนโปรแกรม QGIS เพื่อนำเข้าตารางจากฐานข้อมูลที่สร้างขึ้น QGIS จะสามารถแสดงข้อมูลบน Map View ได้ก็ต่อเมื่อตารางนั้นเป็นข้อมูลสารสนเทศ

ภูมิศาสตร์ ซึ่งตารางในฐานข้อมูลไม่ใช่ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงข้อมูลในตารางโดยมีขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงข้อมูลดังนี้

- 1) เพิ่ม Layer บน Map Legend จากตารางที่เชื่อมกับฐานข้อมูล
- 2) Export Layer โดยการคลิกขวาที่ Layer แล้วเลือก Save Features As... จากนั้นกำหนดรูปแบบไฟล์เป็น csv กำหนด Coordinate Reference System (CRS) เป็น WGS84 และ Authority ID เป็น EPSG:4326 กำหนดการเข้ารหัสเป็น UTF-8 จากนั้นทำการคลิกปุ่มตกลง จะได้ไฟล์สกุล csv ขึ้นมา
- 3) นำเข้าไฟล์สกุล csv ที่ได้มา โดยใช้เมนู Data Source Management เลือกรูปแบบเป็น Delimited Text จากนั้นทำการเลือกไฟล์ ตั้งค่า Geometry Definition โดยเลือก Point Coordinates กำหนด X field เป็นคอลัมน์ Long และ Y field เป็นคอลัมน์ Lat เลือก Geometry CRS เป็น WGS84 และ Authority ID เป็น EPSG:4326 จากนั้นกด Add จะได้ Layer ที่เป็นข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่มีคุณลักษณะเป็น Point ขึ้นมา
- 4) ทำการ Export Layer ที่ได้มาโดยการคลิกขวาที่ Layer แล้วเลือก Save Features As... จากนั้นกำหนดรูปแบบไฟล์เป็น ESRI Shapefile กำหนด Coordinate Reference System (CRS) เป็น WGS84 และ Authority ID เป็น EPSG:4326 กำหนดการเข้ารหัสเป็น UTF-8 จากนั้นทำการตกลง จะได้ไฟล์สกุล shp ขึ้นมา ซึ่งเป็นไฟล์ที่เป็นข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์
- 5) นำเข้าไฟล์สกุล shp ที่ได้มาลงในฐานข้อมูล โดยใช้โปรแกรม PostGIS Bundle 3 for PostgreSQL Shapefile ทำได้โดยการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลที่ต้องการเพิ่ม เลือก Import และ Add File ทำการเลือกไฟล์สกุล shp ที่ได้มา กำหนดชื่อตารางและเลือก SRID เป็น 4326 จากนั้นเลือก Options โดยกำหนด DBF File Character Encoding เป็น UTF-8 จากนั้นคลิกปุ่ม Import จะได้ตารางเพิ่มมายังฐานข้อมูล que เลือกไว้
- 6) เพิ่ม Layer บน Map Legend จากตารางที่สร้างขึ้นมาจากฐานข้อมูล จะได้ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่มีคุณลักษณะเป็น Point บน Map View

3.1.4.2 การออกแบบแผนที่สำหรับแสดงค่า RSRP

ออกแบบแผนที่สำหรับแสดงค่า RSRP โดยมีการนำเข้าข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ของ Map Service จาก Google Maps และนำเข้าตารางที่ถูกเปลี่ยนแปลงเป็นข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์จากฐานข้อมูลทำการเชื่อมต่อไว้

ข้อมูลที่น่าสนใจมีคุณลักษณะเป็น Point โดยมีกำหนดสี Point เป็นสีต่าง ๆ สำหรับค่า RSRP บนแผนที่ดังนี้

- สีเขียวเข้มแสดงค่า RSRP ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ -85 dBm
- สีเขียวแสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -91 ถึง -85 dBm
- สีเขียวมันต์แสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -95 ถึง 91 dBm
- สีเขียวอ่อนแสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -99 ถึง -95 dBm
- สีเขียวเหลืองแสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -103 ถึง -99 dBm
- สีเหลืองแสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -110 ถึง -103 dBm
- สีส้มเหลืองแสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -115 ถึง -110 dBm
- สีส้มแสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -120 ถึง -115 dBm
- สีแดงแสดงค่า RSRP ที่มีค่าระหว่าง -130 ถึง -120 dBm
- สีแดงเข้มแสดงค่า RSRP ที่มีค่าน้อยกว่า 130 dBm

ออกแบบให้แสดงค่า RSRP เฉพาะในแต่ละพื้นที่เขตการปกครองของกรุงเทพมหานคร โดยมีขั้นตอนการทำดังนี้

1) เลือก Layer ชื่อ district ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นที่เขตการปกครองของกรุงเทพมหานคร ที่มีคุณลักษณะเป็น Polygon และเลือกพื้นที่เขตการปกครองที่ต้องการโดยใช้ Select Features by Area or Sing Click บน Tool Bar

2) เลือก Extract by Location บน Processing Toolbox จากนั้นตั้งค่า Parameters โดยเลือก Extract Features เป็น Layer ที่มีข้อมูลค่า RSRP เลือก Features (Geometric Predicate) เป็น Intersect และเลือก By Comparing to The Features เป็น Layer district และคลิก Selected Features Only จากนั้นกดปุ่ม Run จะได้ Layer ใหม่ขึ้นมาที่แสดงค่า RSRP ในพื้นที่เขตปกครองที่เลือกไว้

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 Laptop และ Personal Computer (PC)

ใช้สำหรับเปิดใช้งานโปรแกรม Visual Studio Code โปรแกรม PgAdmin4 โปรแกรม QGIS แอปพลิเคชัน Remote Desktop Connection เพื่อเปิดใช้งาน Cloud Server และเว็บไซต์เบราว์เซอร์สำหรับรันเซิร์ฟเวอร์ มีสเปกและคุณลักษณะดังรูปที่ 3.12 ถึง 3.16



รูปที่ 3.12 Laptop Acer Nitro AN515-52-53TU [36]

Laptop Acer Nitro AN515-52-53TU มีสเปกดังนี้

- 1) CPU : Intel-Core i5-8300H @ 2.3GHz up to 4.GHz
- 2) GPU : GeForce GTX 1050 4GB DDR5
- 3) RAM : 8 GB DDR4 @ 2400MHZ



รูปที่ 3.13 Laptop Lenovo IdeaPad Gaming3 15IMH05 81Y400PATA [37]

Laptop Lenovo IdeaPad Gaming3 15IMH05 81Y400PATA มีสเปกดังนี้

- 1) CPU : Intel-Core i7-10750H @ 2.60GHz up to 4.50GHz
- 2) GPU : GeForce GTX 1650Ti
- 3) RAM : 16 GB DDR4 @ 2933MHz

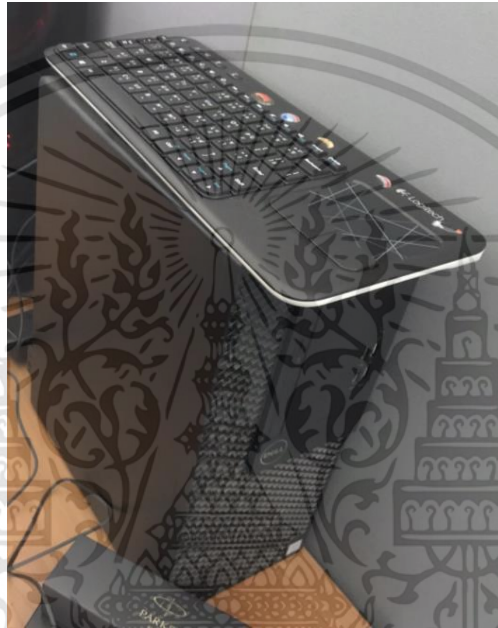


รูปที่ 3.14 Laptop Lenovo IdeaPad Y700-80NV00AUTA [38]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Laptop Lenovo IdeaPad Y700-80NV00AUTA มีสเปกดังนี้

- 1) CPU : Intel-Core i7-6700HQ @ 2.60GHz up to 3.50GHz
- 2) GPU : GeForce GTX960M 2GB GDDR5
- 3) RAM : 8 GB DDR4 @ 2133MHz



รูปที่ 3.15 PC

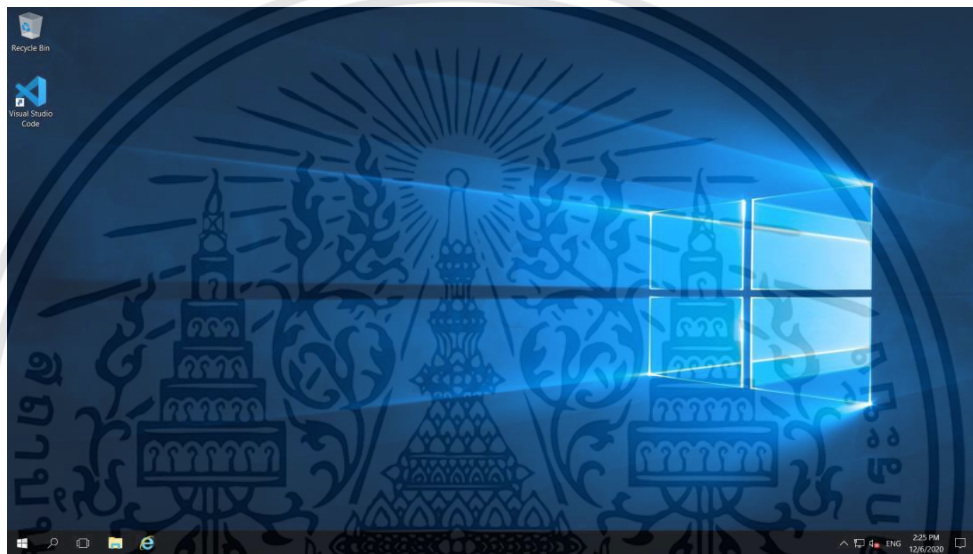
PC มีสเปกดังนี้

- 1) CPU : Intel-Core i5-7500 @ 3.4GHz to 3.8GHz
- 2) GPU : Intel HD Graphics 630
- 3) RAM : 12 GB DDR4 @ 2400MHz

3.2.2 Cloud Server

ใช้สำหรับเก็บข้อมูลที่รับมาจากหน่วยรับข้อมูลและหน่วยประมวลผล รวมถึงใช้ในการเขียนโปรแกรมและทดสอบ มีหน้าต่างของ Server ดังรูปที่ 3.23 ซึ่ง Server และ Ubuntu Server มีสเปกดังนี้

- 1) PC Name : PKMITLA801G
- 2) Edition : Windows Server 2016 Standard Version 1607
- 3) CPU : Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2695 v3 @2.3GHz (8 processors)
- 4) GPU : VMware SVGA 3D
- 5) RAM : 64 GB DDR4 @ 2133MHz



รูปที่ 3.16 หน้าต่างของ Server

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.3.1 แบบจำลอง Path Loss

3.3.1.1 หน่วยนำเข้าข้อมูล

ตรวจสอบการรวมไฟล์ข้อมูลโดยตรวจสอบไม่ให้มีคอลัมน์ที่ซ้ำกันและตรวจสอบจำนวนคอลัมน์หลังจากการคัดเลือกข้อมูลให้ตรงกับจำนวนพารามิเตอร์ที่ถูกคัดเลือก

3.3.1.2 หน่วยจัดเตรียมข้อมูล

ตรวจสอบข้อมูลหลังการทำความสะอาดข้อมูลโดยตรวจสอบการลดลงของจำนวนข้อมูลหลังการทำความสะอาดข้อมูลด้วย Outlier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.3 หน่วยจัดกลุ่มข้อมูล

บันทึกผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่โดยการพล็อตพิกัดละติจูดและลองจิจูดของพื้นที่ Grid ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลตามกลุ่มที่ได้จากการจัดกลุ่มพื้นที่รอบที่ 1 และ 2

3.3.1.4 หน่วยประมวลผลข้อมูล

เปรียบเทียบรูปแบบการจัดกลุ่มพื้นที่ที่ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อน RMSE และ MAE จากการทำนายค่า Path Loss จากตาราง

3.3.1.5 หน่วยจัดเก็บข้อมูล

ตรวจสอบข้อมูลในไฟล์ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ K โดยจำนวนแถวของไฟล์ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ K ควรมีค่าเท่ากับจำนวนกลุ่มจากการจัดกลุ่มพื้นที่รอบที่ 2

3.3.2 ฐานข้อมูล

เก็บข้อมูลที่ได้จากหน่วยนำเข้าข้อมูลและค่าทำนาย RSRP ไว้ในฐานข้อมูล PostgreSQL มีการใช้ส่วนขยายเชิงพื้นที่ PostGIS และตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

3.3.3 เว็บแอปพลิเคชัน

ทดสอบฟังก์ชันว่าสามารถใช้งานได้ตรงตามแบบจำลองหรือไม่ เมื่อสามารถใช้งาน GUI ได้ตรงตามผังการทำงานที่ต้องการ จึงบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูล

3.3.4 QGIS

ทดสอบการนำเข้าข้อมูลและการเชื่อมต่อ QGIS กับฐานข้อมูลว่าสามารถเชื่อมต่อได้หรือไม่ เมื่อสามารถเชื่อมต่อได้ จึงนำข้อมูลไปใช้ใน QGIS

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบหน่วยนำเข้าข้อมูล

สำหรับผลการทดสอบหน่วยนำเข้าข้อมูลมีการนำเข้าไฟล์ 3 ชนิดคือไฟล์ข้อมูลรายงานของผู้ใช้งาน ไฟล์ข้อมูลที่ตั้งเซลล์ และไฟล์ข้อมูลแบบจำลองสายอากาศ แสดงตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในไฟล์ดังรูปที่ 4.1 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

Time	Longitude	Latitude	eNodeB Name	Cell Name	DL_Traffic_Volume	Average_UL_Throughput	Average_DL_Throughput	VOLTE_Traffic	LTE_4G_Subscriber
0	2020-09-03		BLSNM	BLSNML1818	35138.036	3859.804466	1995.226147	0.005766	2.0
1	2020-09-03		BLSNM	BLSNML1818	33.764	134.160850	406.250000	0.053609	NaN
2	2020-09-03		BLSNM	BLSNML1818	2284.988	3098.557692	1502.776120	0.000000	NaN
3	2020-09-03		BLSNM	BLSNML1818	1381.057	320.845046	508.135000	0.000000	NaN
4	2020-09-03		BLSNM	BLSNML1818	1404.563	4318.055556	4130.251361	0.000000	NaN
5	2020-09-03		BLSNM	BLSNML1818	396.756	8645.819481	7597.498194	0.000000	NaN
6	2020-09-03		BLSNM	BLSNML1818	47.231	817.434211	1181.919643	0.000000	NaN
7	2020-09-03		BLSNM	BLSNML2128	0.000	0.000000	NaN	NaN	NaN
8	2020-09-03		BLSNM	BLSNML1818	195.745	5255.312500	9179.811508	0.000000	2.0
9	2020-09-03		BLSNM	BLSNML1818	63673.342	3778.559892	5010.192691	0.676680	1.0
10	2020-09-03		BLSNM	BLSNML2118	0.000	0.000000	NaN	NaN	NaN
11	2020-09-03		BLSNM	BLSNML1813	399.842	5600.260417	37865.722656	0.000000	NaN
12	2020-09-03		BLSNM	BLSNML2113	3526.509	13645.507813	12268.492793	0.000000	NaN
13	2020-09-03		BLSNM	BLSNML2118	5.918	4417.968750	8265.625000	0.000000	1.0
14	2020-09-03		NRCPH	NRCPHML0913	541.782	1636.589381	2049.634192	0.000000	1.0
15	2020-09-03		BLSNM	BLSNML2113	5898.021	1231.429303	3551.308527	0.000000	NaN
16	2020-09-03		BLSNM	BLSNML2118	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
17	2020-09-03		BLSNM	BLSNML1813	388.534	13500.883557	48059.972426	0.803149	NaN
18	2020-09-03		BLSNM	BLSNML1818	14861.483	262.823246	1336.319770	0.000000	NaN
19	2020-09-03		SAYIM	SAYIML1813	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างข้อมูลรายงานของผู้ใช้งาน

Cell Name	site code	eNodeB name	mcc	mnc	ant_height	y	diff	azimuth	ant_gain	vertical_beam_width	horizontal_beam_width
0	100CPL211P	100CP	100CP	520	3	...	0.0	0.0	NaN	NaN	360.0
1	100CPL211Q	100CP	100CP	520	3	...	0.0	0.0	NaN	NaN	360.0
2	100CPL211R	100CP	100CP	520	3	...	0.0	0.0	NaN	NaN	360.0
3	100FPL181P	100FP	100FP	520	3	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
4	100FPL181Q	100FP	100FP	520	3	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
5	100FPL181R	100FP	100FP	520	3	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
6	100FPL181S	100FP	100FP	520	3	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
7	100FPL181T	100FP	100FP	520	3	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
8	100FPL211P	100FP	100FP	520	3	...	0.0	0.0	NaN	NaN	360.0
9	100FPL211Q	100FP	100FP	520	3	...	0.0	0.0	NaN	NaN	360.0
10	100FPL211R	100FP	100FP	520	3	...	0.0	0.0	NaN	NaN	360.0
11	100FPL211S	100FP	100FP	520	3	...	0.0	0.0	NaN	NaN	360.0
12	100FPL211T	100FP	100FP	520	3	...	0.0	0.0	NaN	NaN	360.0
13	100OPL181P	100OP	100OP	520	3	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
14	100OPL181Q	100OP	100OP	520	3	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
15	100OPL181R	100OP	100OP	520	3	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
16	100OPL181S	100OP	100OP	520	3	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
17	100OPL181T	100OP	100OP	520	3	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
18	100OPL181U	100OP	100OP	520	3	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
19	100OPL211P	100OP	100OP	520	3	...	0.0	0.0	NaN	NaN	360.0

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างข้อมูลที่ตั้งเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Angle	Loss_Horizontal	Loss_Vertical
0	0.0	0.00	0.00
1	1.0	0.00	0.13
2	2.0	0.01	0.82
3	3.0	0.02	2.12
4	4.0	0.05	4.16
5	5.0	0.09	7.16
6	6.0	0.13	11.64
7	7.0	0.18	18.43
8	8.0	0.25	20.18
9	9.0	0.32	15.68
10	10.0	0.40	13.58
11	11.0	0.48	13.27
12	12.0	0.58	14.49
13	13.0	0.68	17.63
14	14.0	0.79	23.83
15	15.0	0.91	23.86
16	16.0	1.03	17.93
17	17.0	1.15	15.00
18	18.0	1.28	13.83
19	19.0	1.42	13.85

รูปที่ 4.3 ตัวอย่างข้อมูลแบบจำลองสายอากาศ

จากรูป 4.1 4.2 และ 4.3 (ไม่สามารถเปิดเผยพิกัดละติจูดและลองจิจูดได้) เป็นการอ่านค่าจากไฟล์ข้อมูลที่ตั้งเซลล์ ไฟล์ข้อมูลรายงานพื้นที่ของผู้ใช้งาน และไฟล์ข้อมูลแบบจำลองสายอากาศ ซึ่งเป็นการแสดงตัวอย่างข้อมูลในไฟล์จำนวน 20 แถว เมื่อนำเข้าข้อมูลจากไฟล์ข้อมูล 3 ชนิดเรียบร้อยแล้วสามารถดำเนินการตามกระบวนการหน่วยนำเข้าข้อมูลและแสดงผลการทดสอบดังนี้

4.1.1 ผลการทดสอบการรวมไฟล์ข้อมูลครั้งที่ 1

การรวมไฟล์ครั้งที่ 1 เป็นการรวมไฟล์ระหว่างไฟล์ข้อมูลรายงานของผู้ใช้งานและไฟล์ข้อมูลที่ตั้งเซลล์ สามารถแสดงผลการรวมไฟล์ครั้งที่ 1 ดังรูปที่ 4.4

	Time	Longitude	Latitude	eNodeB_Name	...	diff_azimuth	ant_gain	vertical_beam_width	horizontal_beam_width
0	2020-09-03			BLSNM	...	30.0	19.7	5.9	31.0
1	2020-09-03			BLSNM	...	30.0	19.7	5.9	31.0
2	2020-09-03			BLSNM	...	30.0	19.7	5.9	31.0
3	2020-09-03			BLSNM	...	30.0	19.7	5.9	31.0
4	2020-09-03			BLSNM	...	30.0	19.7	5.9	31.0
5	2020-09-03			BLSNM	...	30.0	19.7	5.9	31.0
6	2020-09-03			BLSNM	...	30.0	19.7	5.9	31.0
7	2020-09-03			BLSNM	...	30.0	19.7	5.9	31.0
8	2020-09-03			BLSNM	...	30.0	19.7	5.9	31.0
9	2020-09-03			BLSNM	...	30.0	19.7	5.9	31.0
10	2020-09-03			BLSNM	...	30.0	19.7	5.9	31.0
11	2020-09-03			BLSNM	...	-30.0	19.7	5.9	31.0
12	2020-09-03			BLSNM	...	30.0	19.7	5.9	31.0
13	2020-09-03			BLSNM	...	-30.0	19.7	5.9	31.0
14	2020-09-03			BLSNM	...	30.0	19.7	5.9	31.0
15	2020-09-03			BLSNM	...	30.0	19.7	5.9	31.0
16	2020-09-03			WKCCW	...	0.0	17.5	7.3	65.0
17	2020-09-03			BLSNM	...	-30.0	19.7	5.9	31.0
18	2020-09-03			BLSNM	...	30.0	19.7	5.9	31.0
19	2020-09-03			BLSNM	...	30.0	19.7	5.9	31.0

[20 rows x 108 columns]

รูปที่ 4.4 ตัวอย่างข้อมูลไฟล์ข้อมูลรวมครั้งที่ 1

จากรูปที่ 4.4 (ไม่สามารถเปิดเผยพิกัดละติจูดและลองจิจูดได้) แสดงตัวอย่างค่าพารามิเตอร์จากไฟล์ข้อมูลรวมครั้งที่ 1 จำนวน 20 แถว ซึ่งเมื่อทำการรวมไฟล์โดยหลักการ Left Join โดยแถวที่มีค่าพารามิเตอร์ e_NodeB_Name เหมือนกันจะมีค่าพารามิเตอร์ diff_Azimuth ant_gain vertical_beam_width และ horizontal_beam_width เท่ากัน

4.1.2 ผลการทดสอบการรวมไฟล์ข้อมูลครั้งที่ 2

การรวมไฟล์ครั้งที่ 2 เป็นการรวมไฟล์ระหว่างไฟล์ข้อมูลรวมครั้งที่ 1 และไฟล์ข้อมูลแบบจำลองสายอากาศ แสดงผลลัพธ์การรวมไฟล์ครั้งที่ 2 ดังรูปที่ 4.5

	Time	Longitude	Latitude	Cell_Name	...	Vertical Angle	Name_Ant_Model	Loss_Horizontal	Loss_Vertical
0	2020-09-03			EC66M0913	...	356.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	6.82	10.21
1	2020-09-03			KNCKM0911	...	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	6.40	4.48
2	2020-09-03			KTKLM0912	...	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	0.88	4.48
3	2020-09-03			KTKLM0912	...	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	0.16	4.48
4	2020-09-03			WSNITM0912	...	356.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	0.15	10.21
5	2020-09-03			KNCKM0911	...	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	2.25	4.48
6	2020-09-03			KNCKM0911	...	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	0.00	4.48
7	2020-09-03			TPCSM0912	...	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	1.18	4.48
8	2020-09-03			RP10M0911	...	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	5.12	4.48
9	2020-09-03			KTKLM0913	...	357.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	1.80	6.97
10	2020-09-03			WSNITM0912	...	356.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	1.94	10.21
11	2020-09-03			KWB7M0913	...	359.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	0.15	2.62
12	2020-09-03			TPCSM0913	...	359.0	AMB4519R9v06_0900_07T_Rr2	0.78	21.17
13	2020-09-03			TPCSM0912	...	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	0.71	4.48
14	2020-09-03			RP10M0911	...	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	6.82	4.48
15	2020-09-03			RP10M0911	...	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	0.12	4.48
16	2020-09-03			WADTMM0911	...	355.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	7.24	14.49
17	2020-09-03			LSE2M0913	...	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	0.49	4.48
18	2020-09-03			LSE2M0913	...	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	0.18	4.48
19	2020-09-03			LKSRM0912	...	356.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	8.31	10.21

[20 rows x 91 columns]

รูปที่ 4.5 ตัวอย่างข้อมูลไฟล์ข้อมูลรวมครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 แสดงตัวอย่างค่าพารามิเตอร์จากไฟล์ข้อมูลรวมครั้งที่ 2 จำนวน 20 แถว และมีจำนวนคอลัมน์ทั้งหมดเท่ากับ 91 คอลัมน์แสดงตัวอย่างจำนวน 8 คอลัมน์

4.1.3 ผลการทดสอบการคัดเลือกข้อมูล

การคัดเลือกข้อมูลจะคัดเลือกข้อมูลจากไฟล์ข้อมูลรวมครั้งที่ 2 โดยแสดงผลลัพธ์การคัดเลือกข้อมูลดังรูปที่ 4.6

	Time	Longitude	Latitude	Cell Name	Vertical_Angle	Name Ant Model	Loss_Horizontal	Loss_Vertical
0	2020-09-03			EC66ML0913	356.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	6.82	10.21
1	2020-09-03			KNCKML0911	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	6.40	4.48
2	2020-09-03			KTKLML0912	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	0.88	4.48
3	2020-09-03			KTKLML0912	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	0.16	4.48
4	2020-09-03			WSWTML0912	356.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	0.15	10.21
5	2020-09-03			KNCKML0911	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	2.25	4.48
6	2020-09-03			KNCKML0911	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	0.00	4.48
7	2020-09-03			TPCSML0912	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	1.18	4.48
8	2020-09-03			RP10ML0911	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	5.12	4.48
9	2020-09-03			KTKLML0913	357.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	1.80	6.97
10	2020-09-03			WSWTML0912	356.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	1.94	10.21
11	2020-09-03			KWB7ML0913	359.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	0.15	2.62
12	2020-09-03			TPCSML0913	359.0	AMB4519R9v06_0900_07T_Rr2	0.78	21.17
13	2020-09-03			TPCSML0912	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	0.71	4.48
14	2020-09-03			RP10ML0911	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	6.82	4.48
15	2020-09-03			RP10ML0911	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	0.12	4.48
16	2020-09-03			WADTML0911	355.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	7.24	14.49
17	2020-09-03			LSE2ML0913	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	0.49	4.48
18	2020-09-03			LSE2ML0913	358.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	0.18	4.48
19	2020-09-03			LKSRML0912	356.0	AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	8.31	10.21

[20 rows x 40 columns]

รูปที่ 4.6 ตัวอย่างข้อมูลไฟล์ข้อมูลคัดเลือกข้อมูล

จากรูปที่ 4.6 แสดงตัวอย่างค่าพารามิเตอร์จากไฟล์ข้อมูลคัดเลือกข้อมูลจำนวน 20 แถวและมีจำนวนคอลัมน์เท่ากับ 40 คอลัมน์ซึ่งน้อยกว่าคอลัมน์จากไฟล์รวมครั้งที่ 2 ที่มีจำนวนคอลัมน์เท่ากับ 91 คอลัมน์

4.2 ผลการทดสอบหน่วยจัดเตรียมข้อมูล

สำหรับผลการทดสอบหน่วยจัดเตรียมข้อมูลมีผลการทดสอบจากการทำงานของกระบวนการจัดเตรียมข้อมูลดังนี้

4.2.1 ผลการทดสอบการคำนวณระยะทาง มุมแนวตั้งและแนวนอนสำหรับอัตรา การขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ

ผลการทดสอบการคำนวณระยะทาง มุมแนวตั้งและแนวนอนสำหรับอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติสามารถแบ่งผลการทดลองจากขั้นตอนการทำงานได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.1 ผลการทดสอบการแปลงค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูดเป็นพิกัด

ECEF

แสดงตัวอย่างข้อมูลผลการทดสอบดังรูปที่ 4.7

	Longitude	Latitude	Longitude Ant	Latitude Ant	X Ant	Y Ant	Z Ant	X User	Y User	Z User
0										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										

รูปที่ 4.7 ตัวอย่างข้อมูลผลการทดสอบการแปลงค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูดเป็นพิกัด ECEF

จากรูปที่ 4.7 เป็นตัวอย่างข้อมูลผลการทดสอบจำนวน 20 ตัวอย่าง โดยค่าพารามิเตอร์ “Latitude” และ “Longitude” จะถูกแปลงเป็นค่าพารามิเตอร์ "X_User" "Y_User" และ "Z_User" ส่วนค่าพารามิเตอร์ “Latitude_Ant” และ “Longitude_Ant” จะถูกแปลงเป็นค่าพารามิเตอร์ "X_Ant" "Y_Ant" และ "Z_Ant"

4.2.1.2 ผลการทดสอบการแปลงค่าพิกัด ECEF ของพื้นที่ Grid เป็นพิกัด North East Up เมื่อพิกัดของเสาส่งสัญญาณเป็นพิกัดอ้างอิง

แสดงตัวอย่างข้อมูลผลการทดสอบดังรูปที่ 4.8

	Longitude	Latitude	X Ant	Y Ant	Z Ant	X User	Y User	Z User	North User	East User	Up User
0									0.548509	-0.330325	0.000032
1									0.245088	0.855824	0.000062
2									-0.609507	0.742277	0.000072
3									0.161685	0.892374	0.000064
4									-1.737221	0.900973	0.000302
5									1.787637	0.455373	0.000268
6									1.240211	2.557527	0.000634
7									-2.164398	-0.673183	0.000405
8									-0.162445	0.443318	0.000017
9									-0.211482	-0.958616	0.000076
10									-0.443403	0.050774	0.000016
11									-0.085766	-0.694155	0.000038
12									-0.970335	-2.526439	0.000574
13									-0.572192	-0.122151	0.000027
14									-0.212239	0.393352	0.000016
15									0.335025	-1.394631	0.000161
16									0.421374	0.232358	0.000018
17									0.386261	-1.541201	0.000198
18									0.187316	-1.191345	0.000114
19									-0.400136	-0.189497	0.000015

รูปที่ 4.8 ตัวอย่างข้อมูลผลการทดสอบการแปลงค่าพิกัด ECEF ของพื้นที่ Grid เป็นพิกัด North East Up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 เป็นตัวอย่างข้อมูลผลการทดสอบจำนวน 20 ตัวอย่าง โดยค่าพารามิเตอร์พิกัด ECEF ของพื้นที่ Grid คือ “Latitude” “Longitude” “X_User” “Y_User” และ “Z_User” สำหรับค่าพารามิเตอร์พิกัดอ้างอิงคือ “X_Ant” “Y_Ant” และ “Z_Ant” เมื่อแปลงค่าเรียบร้อยแล้วจะได้ค่าตำแหน่ง N E U เป็น “North_User” “East_User” และ “Up_User” ตามลำดับ

4.2.1.3 ผลการทดสอบการคำนวณระยะทาง

ตัวอย่างข้อมูลผลการทดสอบการคำนวณระยะทางแสดงดังรูปที่ 4.9

	X_Ant	Y_Ant	Z_Ant	X_User	Y_User	Z_User	Distance_m
0							640.294396
1							890.226624
2							960.454475
3							906.903510
4							1956.959060
5							1844.724873
6							2842.370113
7							2266.670054
8							472.143622
9							981.666948
10							446.300673
11							699.433719
12							2706.370641
13							585.084717
14							446.957439
15							1434.307078
16							481.192885
17							1588.866334
18							1205.980898
19							442.739544

รูปที่ 4.9 ตัวอย่างข้อมูลผลการทดสอบการคำนวณระยะทาง

จากรูปที่ 4.9 เป็นตัวอย่างข้อมูลผลการทดสอบจำนวน 20 ตัวอย่าง โดยค่าพารามิเตอร์ Input สำหรับการคำนวณระยะทางคือ “X_User” “Y_User” “Z_User” “X_Ant” “Y_Ant” และ “Z_Ant” ซึ่งได้ผลลัพธ์เป็นค่าพารามิเตอร์ “Distance_m”

4.2.1.4 ผลการทดสอบการคำนวณมุมแนวตั้งและแนวนอนสำหรับอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ

แสดงตัวอย่างข้อมูลผลการทดสอบดังรูปที่ 4.10

	North_User	East_User	relative_azimuth	Distance_m	physical_azimuth	diff_azimuth	ant_height_x	Horizontal_Angle	Vertical_Angle
0	0.548509	-0.330325	329.0	640.294396	280.0	0.0	26.0	49.0	356.0
1	0.245088	0.855824	77.0	890.226624	30.0	0.0	37.0	47.0	358.0
2	-0.609507	0.742277	130.0	960.454475	115.0	0.0	35.0	15.0	358.0
3	-0.161685	0.892374	101.0	906.903510	115.0	0.0	35.0	346.0	358.0
4	-1.737221	0.900973	153.0	1956.959060	150.0	0.0	30.0	3.0	356.0
5	1.787637	0.455373	56.0	1844.724873	30.0	0.0	37.0	26.0	358.0
6	1.240211	2.557527	24.0	2842.370113	30.0	0.0	37.0	354.0	358.0
7	-2.164398	-0.673183	198.0	2266.670054	180.0	0.0	35.0	18.0	358.0
8	-0.162445	0.443318	111.0	472.143622	70.0	0.0	37.0	41.0	358.0
9	-0.211482	-0.958616	258.0	981.666948	235.0	0.0	35.0	23.0	357.0
10	-0.443403	0.050774	174.0	446.300673	150.0	0.0	30.0	24.0	356.0
11	-0.085766	-0.694155	263.0	699.433719	260.0	0.0	25.0	3.0	359.0
12	-0.970335	-2.526439	249.0	2706.370641	270.0	0.0	35.0	339.0	359.0
13	-0.572192	-0.122151	193.0	585.084717	180.0	0.0	35.0	13.0	358.0
14	-0.212239	0.393352	119.0	446.957439	70.0	0.0	37.0	49.0	358.0
15	0.335025	1.394631	72.0	1434.307078	70.0	0.0	37.0	2.0	358.0
16	0.421374	0.232358	76.0	481.192885	25.0	0.0	35.0	51.0	355.0
17	0.386261	-1.541201	285.0	1588.866334	275.0	0.0	38.0	10.0	358.0
18	0.187316	-1.191345	279.0	1205.980898	275.0	0.0	38.0	4.0	358.0
19	-0.400136	-0.189497	206.0	442.739544	150.0	0.0	34.0	56.0	356.0

รูปที่ 4.10 ตัวอย่างข้อมูลผลการทดสอบการคำนวณมุมแนวตั้งและแนวนอนสำหรับ
อัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ

จากรูปที่ 4.10 เป็นตัวอย่างข้อมูลผลการทดสอบจำนวน 20 ตัวอย่าง โดยการคำนวณมุมแนวนอนจำเป็นต้องคำนวณค่าพารามิเตอร์ “relative_azimuth” จากค่าพารามิเตอร์ “North_User” และค่าพารามิเตอร์ “East_User” เมื่อคำนวณค่าพารามิเตอร์ “relative_azimuth” เรียบร้อยแล้วจึงคำนวณมุมแนวนอนแทนค่าด้วยค่าพารามิเตอร์ “Horizontal_Angle” ซึ่งคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ “physical_azimuth” “relative_azimuth” และ “diff_azimuth” จากนั้นคำนวณมุมแนวตั้งแทนค่าด้วย “Vertical_Angle” โดยคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ “Distance_m” และ “ant_height_x”

4.2.2 ผลการทดสอบการทำความสะอาดข้อมูล

ผลการทดสอบการทำความสะอาดข้อมูลเป็นผลการทดสอบทำความสะอาดค่าพารามิเตอร์ “Dominant_RSRP” โดยวิธีการทำความสะอาดข้อมูลด้วย Outlier ซึ่งแสดงผลการทดสอบก่อนทำความสะอาดข้อมูลและหลังทำความสะอาดข้อมูลได้ดังรูปที่ 4.11 และ 4.12

Time	Latitude	Longitude	Dominant_RSRP
2020-09-03			-110.545
2020-09-04			-102.250
2020-09-06			-104.143
2020-09-09			-90.000
2020-09-10			-105.800
2020-09-11			-107.500
2020-09-12			-107.417
2020-09-14			-105.333
2020-09-15			-107.000

รูปที่ 4.11 ตัวอย่างข้อมูลค่า RSRP รายวันก่อนทำความสะอาดข้อมูล

Time	Latitude	Longitude	Dominant_RSRP
2020-09-03			-110.545
2020-09-04			-102.250
2020-09-06			-104.143
2020-09-10			-105.800
2020-09-11			-107.500
2020-09-12			-107.417
2020-09-14			-105.333
2020-09-15			-107.000

รูปที่ 4.12 ตัวอย่างข้อมูลค่า RSRP รายวันหลังทำความสะอาดข้อมูล

จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 ข้อมูลที่แสดงเป็นตัวอย่างข้อมูลค่า RSRP รายวันสำหรับพื้นที่ Grid ที่มีพิกัดละติจูดและลองจิจูดที่เหมือนกันโดยหลังจากทำความสะอาดข้อมูลด้วย Outlier เรียบร้อยแล้วค่า RSRP วันที่ 9 กันยายน พ.ศ. 2563 ซึ่งมีค่า -90 dBm จะถูกตัดทิ้งจากข้อมูลทั้งหมดจำนวน 9 วัน ถูกตัดทิ้ง 1 วัน เหลือ 8 วัน

4.2.3 ผลการทดสอบการคำนวณอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ

ผลการทดสอบการคำนวณอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติตัวอย่างข้อมูลผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.13

	Latitude	Longitude	Name_Ant_Model	ant_gain	Horizontal_Angle	Vertical_Angle	Gain_3D
0			AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	19.4	49.0	356.0	9.671333
1			AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	19.4	45.0	358.0	12.832859
2			AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	19.4	15.0	358.0	15.593185
3			AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	19.4	346.0	358.0	18.063951
4			AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	19.4	3.0	356.0	14.785160
5			AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	19.4	345.0	358.0	18.140667
6			AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	19.4	35.0	358.0	14.702711
7			AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	19.4	18.0	358.0	15.402770
8			AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	19.4	41.0	358.0	13.595319
9			AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	19.4	23.0	357.0	13.920461
10			AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	19.4	24.0	356.0	12.235812
11			AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	19.4	3.0	359.0	17.127214
12			AMB4519R9v06_0900_07T_Rr2	19.4	339.0	359.0	19.610363
13			AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	19.4	13.0	358.0	15.729368
14			AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	19.4	49.0	358.0	12.056988
15			AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	19.4	7.0	358.0	16.182775
16			AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	19.4	4.0	355.0	13.381489
17			AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	19.4	10.0	358.0	15.950580
18			AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	19.4	4.0	358.0	16.436252
19			AMB4519R9v06_0900_02T_Rr2	19.4	56.0	356.0	8.745916

รูปที่ 4.13 ตัวอย่างข้อมูลผลการทดสอบการคำนวณอัตราขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ

จากรูปที่ 4.13 เป็นตัวอย่างข้อมูลผลการทดสอบจำนวน 20 ตัวอย่าง โดยนำเข้าข้อมูลค่าพารามิเตอร์ “Name_Ant_Model” “Horizontal_Angle” “Vertical_Angle” และ “Ant_Gain” เข้าอัลกอริทึมสำหรับคำนวณอัตราขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ จากนั้นจัดเก็บผลลัพธ์เป็นค่าพารามิเตอร์ “Gain_3D”

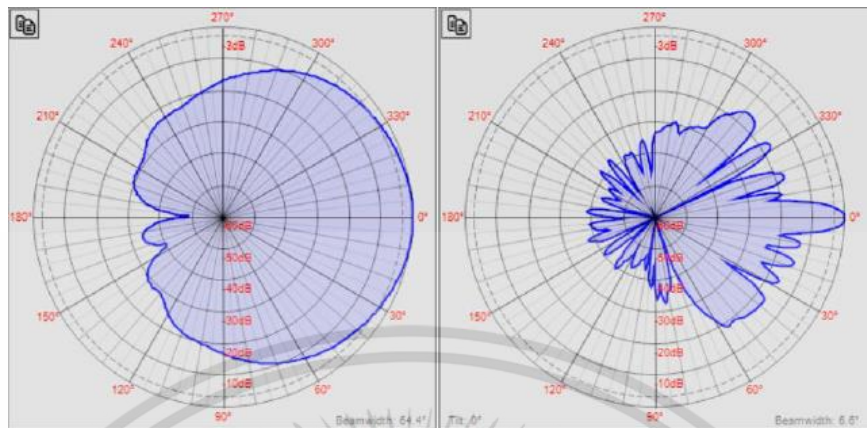
สำหรับผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของแบบจำลองสายอากาศมีผลการทดสอบดังนี้

4.2.3.1 ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของแบบจำลอง ADU4518R6V06

สำหรับผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของแบบจำลอง ADU4518R6V06 แบ่งออกเป็น 2 ผลการทดสอบดังนี้

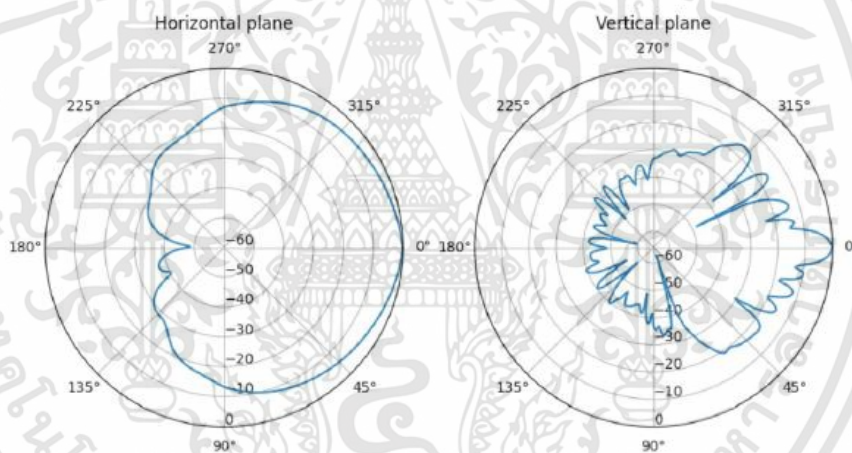
1) ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของแบบจำลอง ADU4518R6V06 เชิง 2 มิติ

แสดงผลลัพธ์การแพร่กระจายคลื่นเชิง 2 มิติที่ได้จากซอฟต์แวร์ Antenna Pattern Editor ตามระนาบแนวนอนและแนวตั้งดังรูปที่ 4.14 และผลลัพธ์การแพร่กระจายคลื่นเชิง 2 มิติที่ได้จากการคำนวณอัตราขยายเชิง 3 มิติตามระนาบแนวนอนและแนวตั้งดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.14 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 2 มิติของแบบจำลอง ADU4518R6V06 จากซอฟต์แวร์

Antenna Pattern Editor



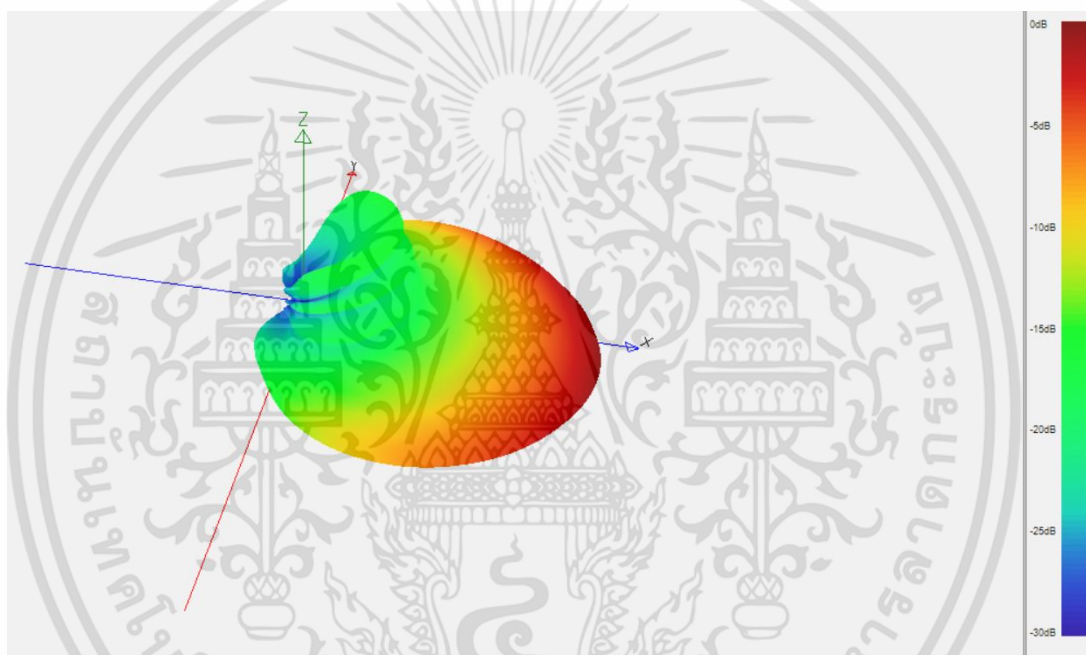
รูปที่ 4.15 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 2 มิติของแบบจำลอง ADU4518R6V06 จากการคำนวณ

อัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ

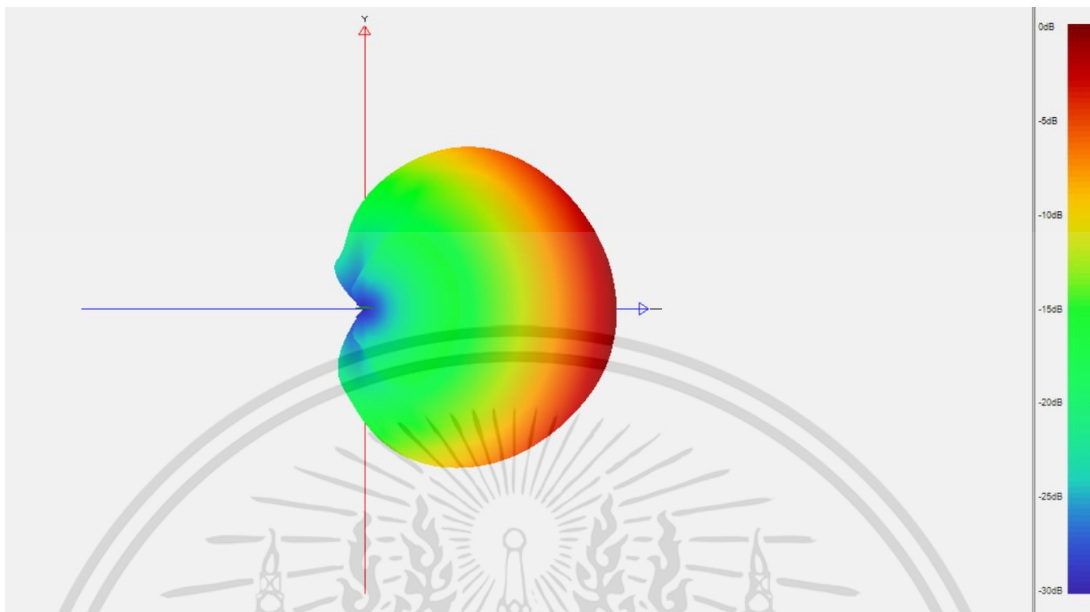
จากรูปที่ 4.14 และ 4.15 รูปทางซ้ายคือการแพร่กระจายคลื่นตามแนวนอนและรูปทางขวาคือการแพร่กระจายคลื่นตามแนวตั้ง

2) ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของแบบจำลอง
ADU4518R6V06 เชนิง 3 มิติ

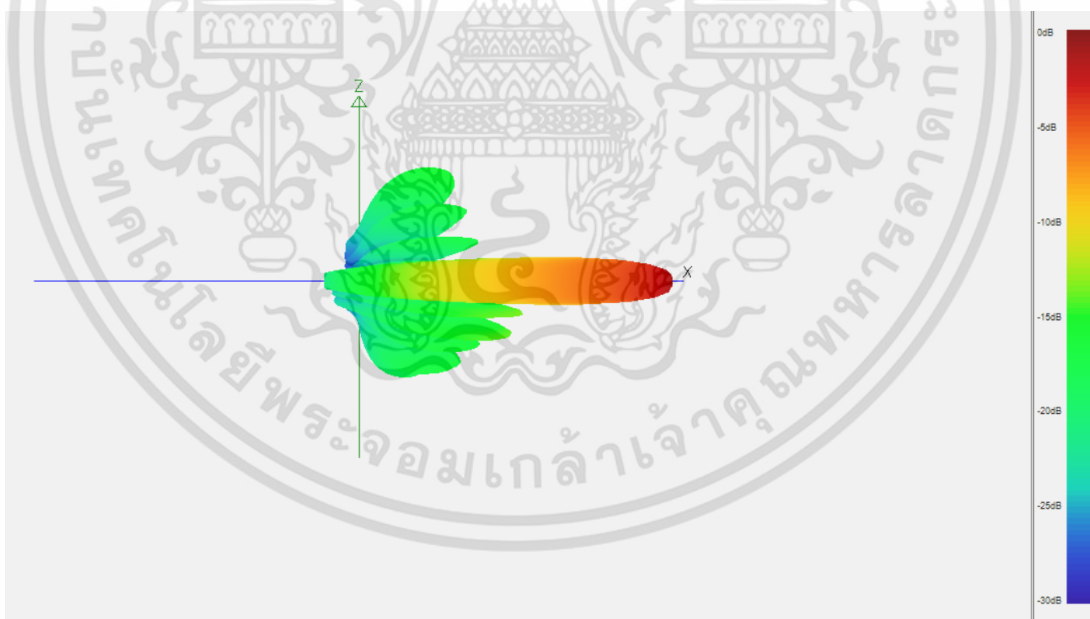
แสดงผลการแพร่กระจายคลื่นเชนิง 3 มิติที่ได้จากซอฟต์แวร์ Antenna Pattern Editor ตามมุมมอง 3 มิติ มุมมองด้านบนและมุมมองด้านข้างดังรูปที่ 4.16 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ และผลลัพธ์การแพร่กระจายคลื่นเชนิง 3 มิติที่ได้จากการคำนวณอัตราการขยายสัญญาณเชนิง 3 มิติตามมุมมอง 3 มิติ มุมมองด้านบนและมุมมองด้านข้างดังรูปที่ 4.19 4.20 และ 4.21 ตามลำดับ



รูปที่ 4.16 การแพร่กระจายคลื่นเชนิง 3 มิติของแบบจำลอง ADU4518R6V06 ในมุมมอง 3 มิติจากซอฟต์แวร์ Antenna Pattern Editor

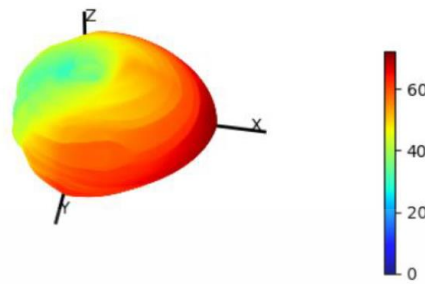


รูปที่ 4.17 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของแบบจำลอง ADU4518R6V06 ในมุมมองด้านบนจากซอฟต์แวร์ Antenna Pattern Editor

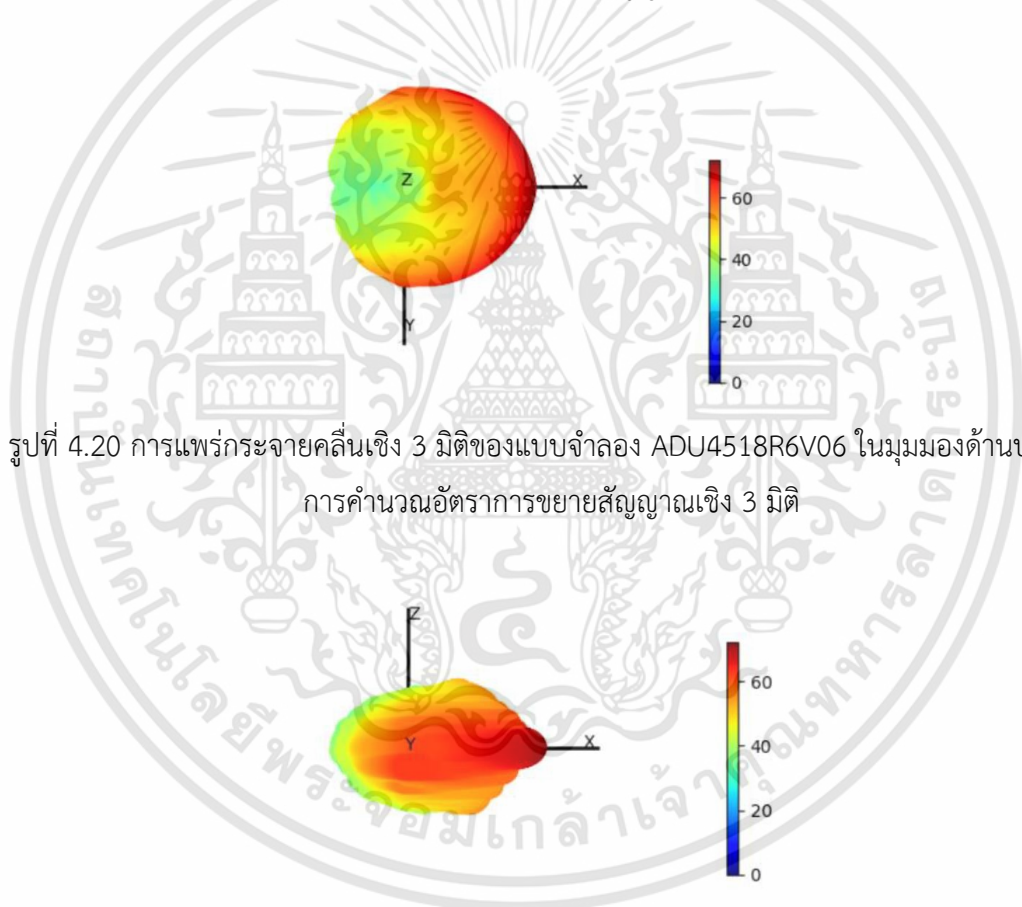


รูปที่ 4.18 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของแบบจำลอง ADU4518R6V06 ในมุมมองด้านข้างจากซอฟต์แวร์ Antenna Pattern Editor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของแบบจำลอง ADU4518R6V06 ในมุมมอง 3 มิติจาก
การคำนวณอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ



รูปที่ 4.20 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของแบบจำลอง ADU4518R6V06 ในมุมมองด้านบนจาก
การคำนวณอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ

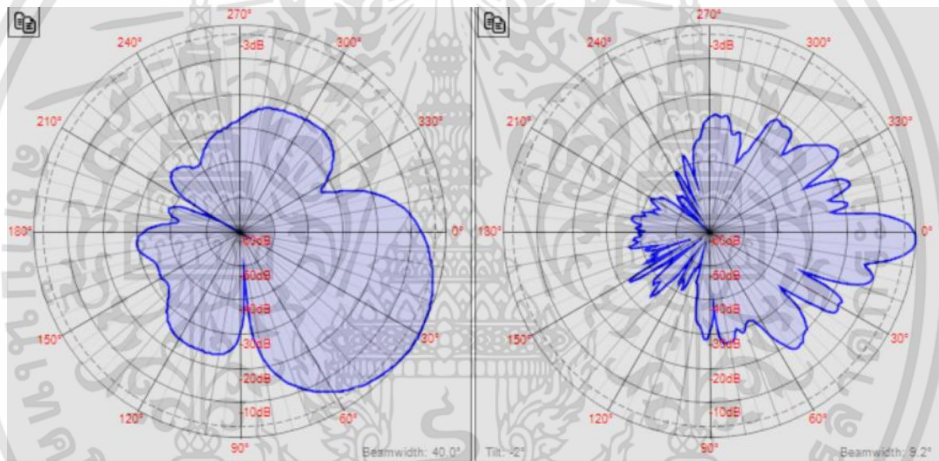
รูปที่ 4.21 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของแบบจำลอง ADU4518R6V06 ในมุมมองด้านข้าง
จากการคำนวณอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ

4.2.3.2 ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของแบบจำลอง AMB4519R6V06

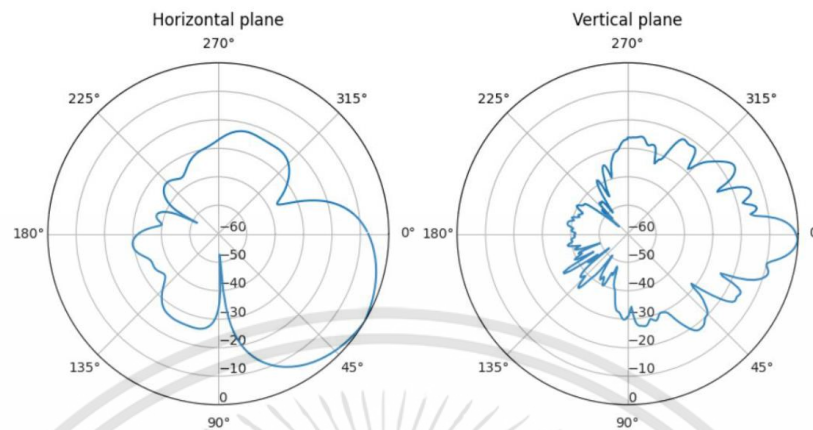
สำหรับผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของแบบจำลอง AMB4519R6V06 แบ่ง
ออกเป็น 2 ผลการทดสอบดังนี้

1) ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของแบบจำลอง ADU4518R6V06 เชนิง 2 มิติ

แสดงผลการแพร่กระจายคลื่นเชนิง 2 มิติที่ได้จากซอฟต์แวร์ Antenna Pattern
Editor ตามระนาบแนวนอนและแนวตั้งดังรูปที่ 4.22 ตามลำดับ และผลลัพธ์การแพร่กระจายคลื่น
เชนิง 2 มิติที่ได้จากการคำนวณอัตราขยายเชนิง 3 มิติตามระนาบแนวนอนและแนวตั้งดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.22 การแพร่กระจายคลื่นเชนิง 2 มิติของแบบจำลอง AMB4519R6V06 จากซอฟต์แวร์
Antenna Pattern Editor

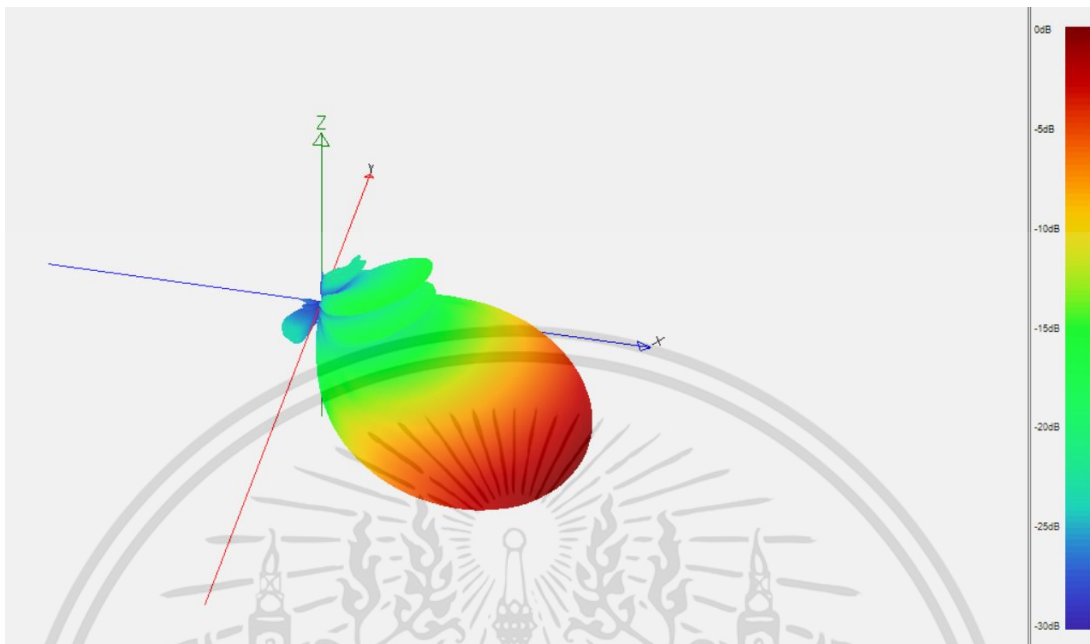


รูปที่ 4.23 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 2 มิติของแบบจำลอง AMB4519R6V06 จากการคำนวณ
อัตราขยายเชิง 3 มิติ

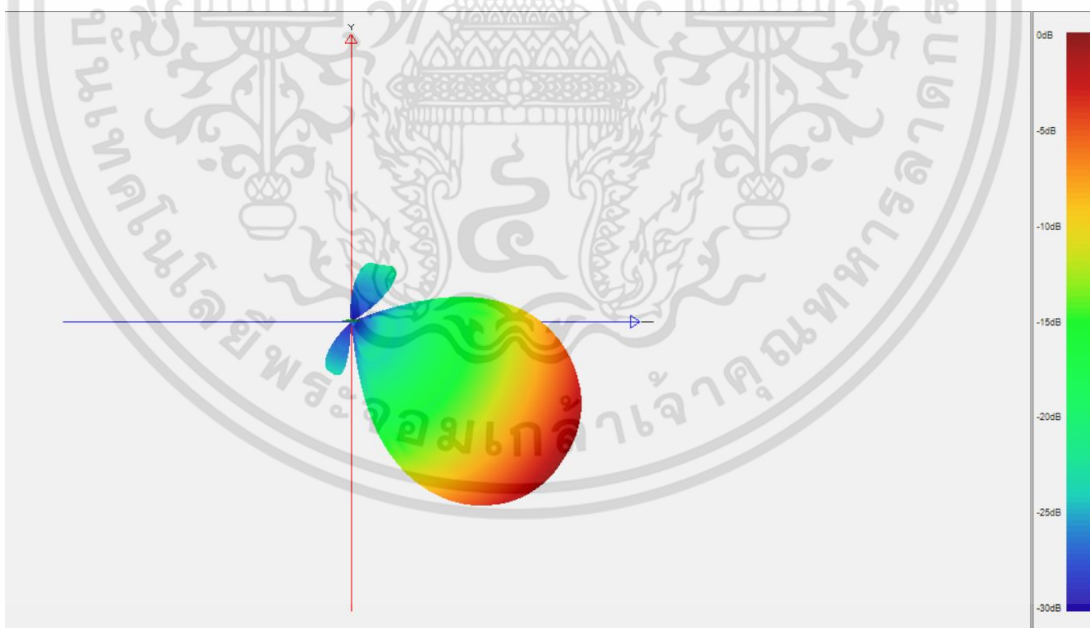
จากรูปที่ 4.22 และ 4.23 รูปทางซ้ายคือการแพร่กระจายคลื่นตามแนวนอนและรูปทางขวาคือการแพร่กระจายคลื่นตามแนวตั้ง

2) ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของแบบจำลอง AMB4519R6V06 เชิง 3 มิติ

แสดงผลการแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติที่ได้จากซอฟต์แวร์ Antenna Pattern Editor ตามมุมมอง 3 มิติ มุมมองด้านบนและมุมมองด้านข้างดังรูปที่ 4.24 4.25 และ 4.26 ตามลำดับ และผลลัพธ์การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติที่ได้จากการคำนวณอัตราขยายสัญญาณเชิง 3 มิติตามมุมมอง 3 มิติ มุมมองด้านบนและมุมมองด้านข้างดังรูปที่ 4.27 4.28 และ 4.29 ตามลำดับ

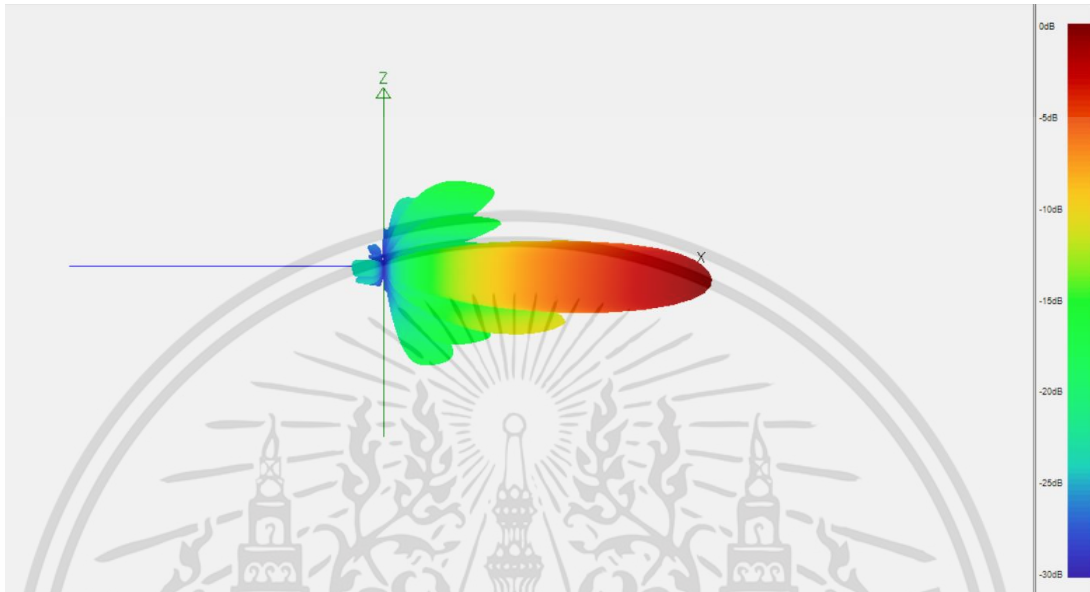


รูปที่ 4.24 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของแบบจำลอง AMB4519R6V06 ในมุมมอง 3 มิติจากซอฟต์แวร์ Antenna Pattern Editor

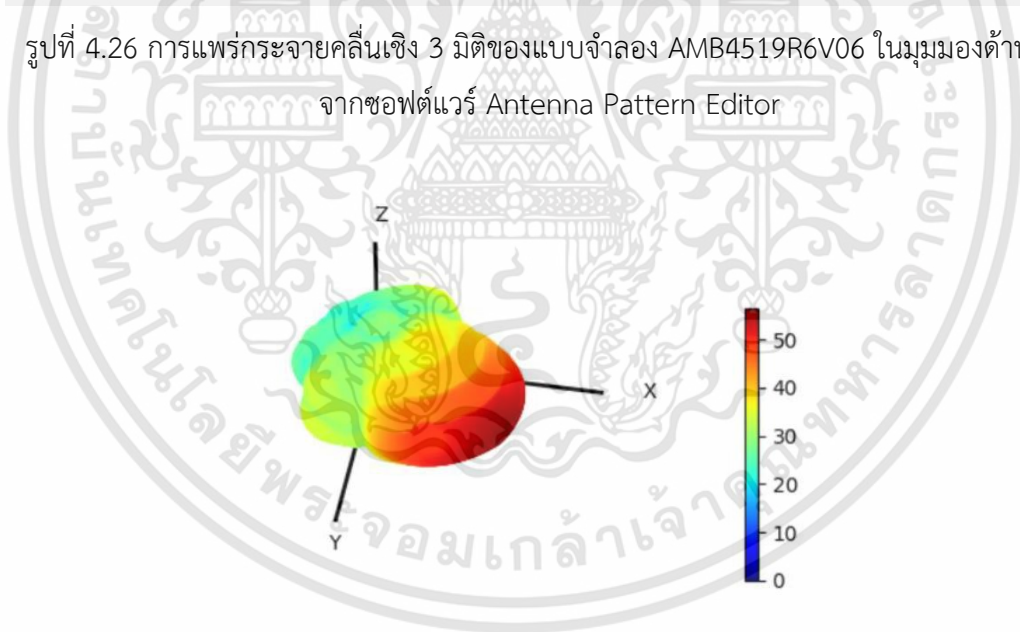


รูปที่ 4.25 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของแบบจำลอง AMB4519R6V06 ในมุมมองด้านบนจากซอฟต์แวร์ Antenna Pattern Editor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

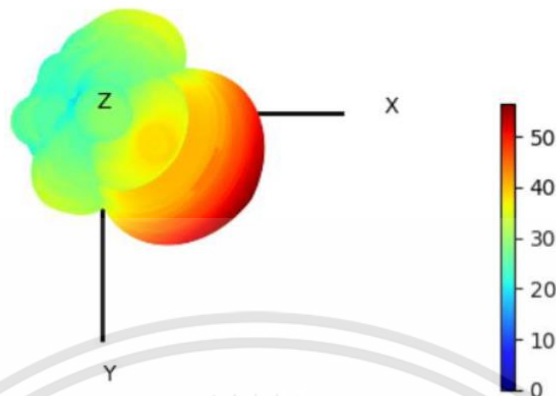


รูปที่ 4.26 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของแบบจำลอง AMB4519R6V06 ในมุมมองด้านข้าง จากซอฟต์แวร์ Antenna Pattern Editor

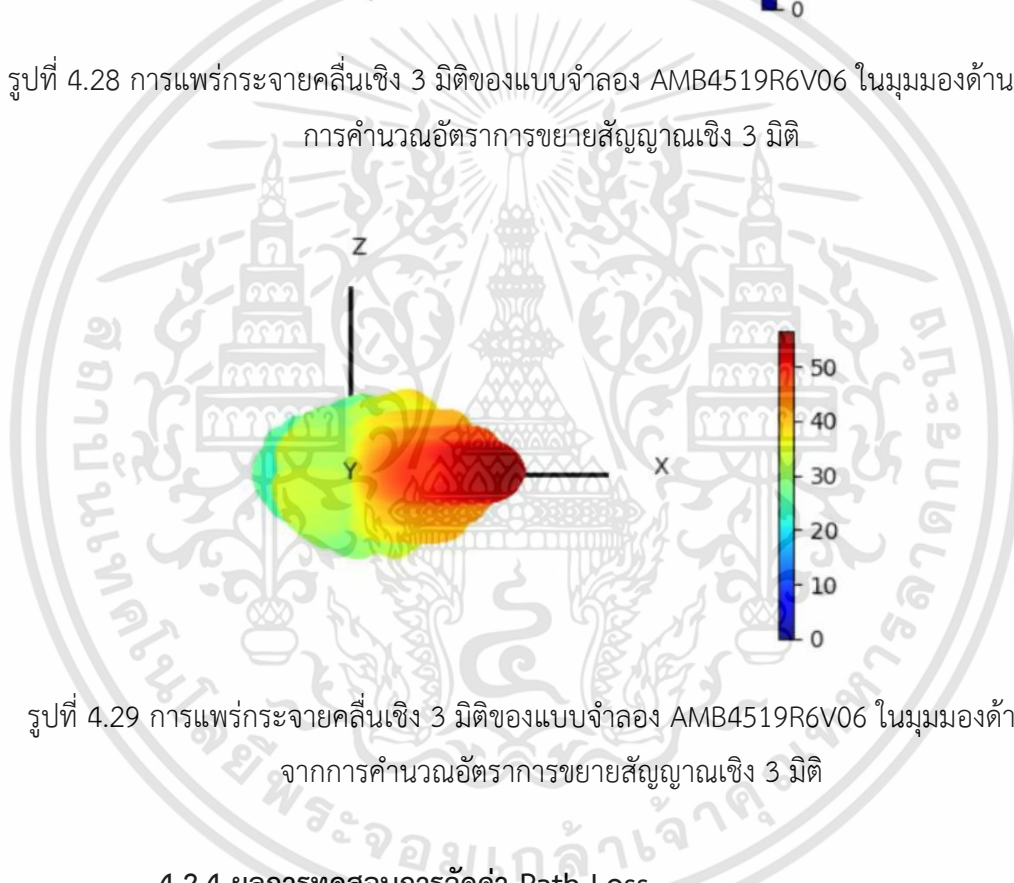


รูปที่ 4.27 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของแบบจำลอง AMB4519R6V06 ในมุมมอง 3 มิติจากการคำนวณอัตราขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของแบบจำลอง AMB4519R6V06 ในมุมมองด้านบนจาก
การคำนวณอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ



รูปที่ 4.29 การแพร่กระจายคลื่นเชิง 3 มิติของแบบจำลอง AMB4519R6V06 ในมุมมองด้านข้าง
จากการคำนวณอัตราการขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ

4.2.4 ผลการทดสอบการวัดค่า Path Loss

แสดงตัวอย่างข้อมูลผลการทดสอบดังรูปที่ 4.30

	Latitude	Longitude	Gain_3D	Dominant_RSRP	Power_Tx	Path_Loss
0			22.069822	-103.286	17.7	145.205822
1			17.801548	-98.333	17.7	135.984548
2			22.069822	-101.167	17.7	143.086822
3			-14.595685	-103.000	13.4	103.954315
4			2.500795	-101.667	17.7	124.017795
5			18.706341	-100.750	17.7	139.306341
6			22.069822	-100.667	17.7	142.586822
7			22.146296	-90.913	17.7	132.909296
8			17.668167	-102.250	17.7	139.768167
9			18.587378	-97.800	17.7	136.237378
10			22.146296	-101.000	17.7	142.996296
11			18.587378	-90.750	17.7	129.187378
12			2.500795	-100.292	17.7	122.642795
13			18.587378	-101.000	17.7	139.437378
14			22.245543	-102.500	17.7	144.595543
15			17.386993	-93.800	17.7	131.036993
16			22.245543	-100.200	17.7	142.295543
17			2.500795	-98.545	17.7	120.895795
18			22.245543	-95.600	17.7	137.695543
19			22.245543	-88.000	17.7	130.095543

รูปที่ 4.30 ตัวอย่างข้อมูลผลการทดสอบการวัดค่า Path Loss

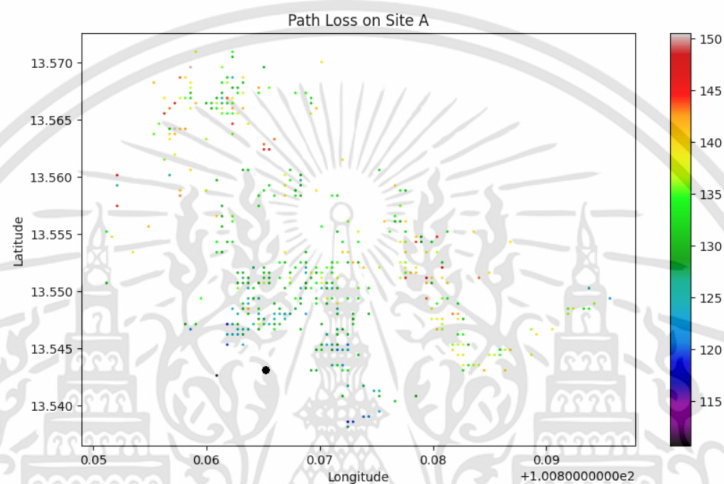
จากรูปที่ 4.30 ค่าพารามิเตอร์ “Path_Loss” เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดค่า Path Loss ซึ่งได้จากการคำนวณผ่านอัลกอริทึมดังสมการ (2.11) โดยนำเข้าค่าพารามิเตอร์ “Dominant_RSRP” “Power_Tx” และ “Gain_3D”

4.3 ผลการทดสอบหน่วยจัดกลุ่มข้อมูล

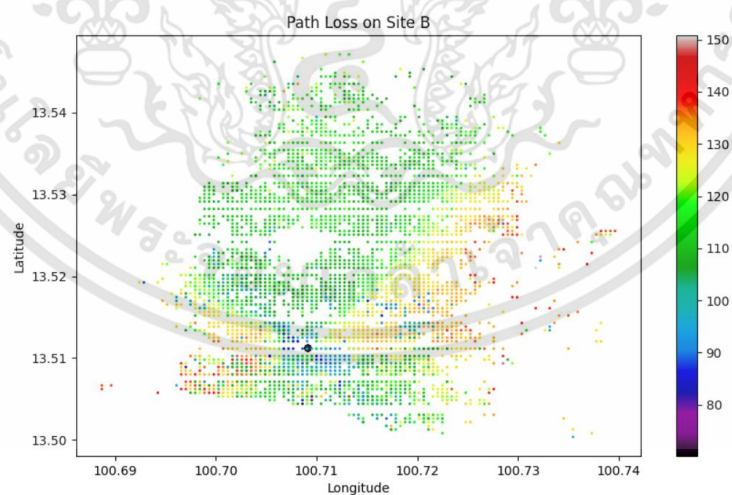
ผลการทดสอบหน่วยจัดกลุ่มข้อมูลจะแบ่งชุดข้อมูลสำหรับการจัดกลุ่มเป็น 3 ชุดข้อมูล ได้แก่ ชุดข้อมูลความถี่ 900 MHz ชุดข้อมูลความถี่ 1800 MHz และชุดข้อมูลความถี่ 2100 MHz โดยผลการทดสอบจะมีการแสดงผลการทดสอบแสดงค่า Path Loss ในพื้นที่ที่กำหนดและผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ในพื้นที่ที่กำหนด ซึ่งพื้นที่ที่กำหนดเป็นพื้นที่การครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณที่ใช้งานความถี่ 900 MHz 1800 MHz และ 2100 MHz ได้แก่ เสาส่งสัญญาณ A เสาส่งสัญญาณ B และเสาส่งสัญญาณ C ตามลำดับ โดยแสดงผลการทดสอบดังนี้

4.3.1 ผลการทดสอบแสดงค่า Path Loss ในพื้นที่ที่กำหนด

ผลการทดสอบแสดงค่า Path Loss ในพื้นที่ที่กำหนดแบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ ผลการทดสอบแสดงค่า Path Loss ในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ A ผลการทดสอบแสดงค่า Path Loss ในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ B และผลการทดสอบแสดงค่า Path Loss ในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ C แสดงดังรูปที่ 4.31 4.32 และ 4.33

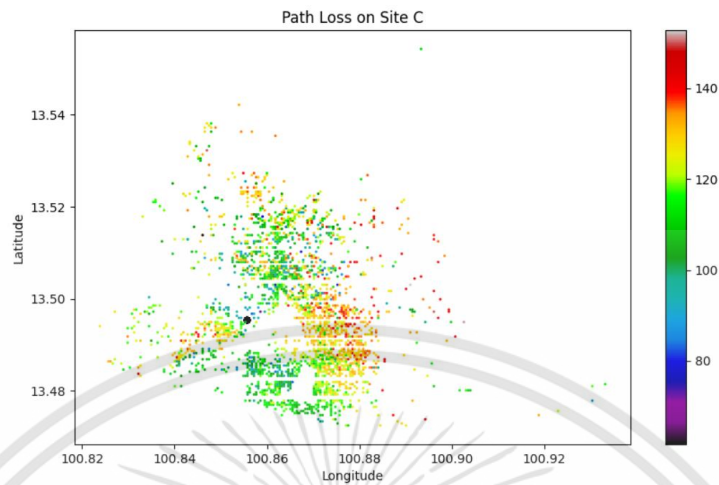


รูปที่ 4.31 ผลการทดสอบแสดงค่า Path Loss ในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ A



รูปที่ 4.32 ผลการทดสอบแสดงค่า Path Loss ในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 ผลการทดสอบแสดงค่า Path Loss ในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ C

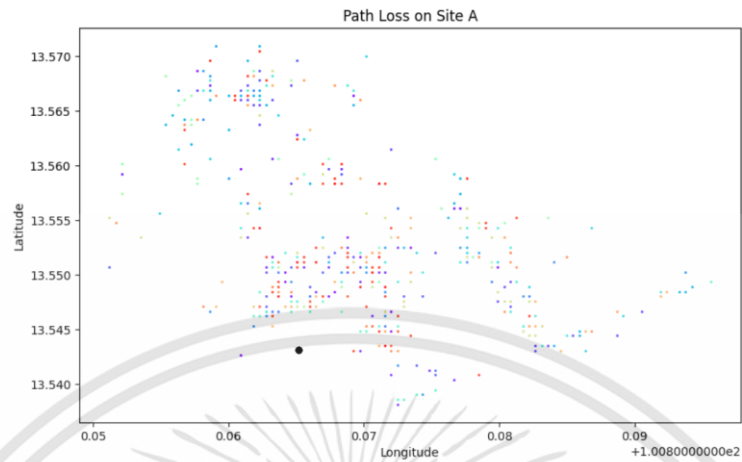
จากรูปที่ 4.31 4.32 และ 4.33 จุดสีดำคือตำแหน่งของที่ตั้งของเสาส่งสัญญาณ โดยค่า Path Loss จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่จุดสีแดงและมีค่าต่ำสุดอยู่ที่จุดสีม่วง

4.3.2 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ในพื้นที่ที่กำหนด

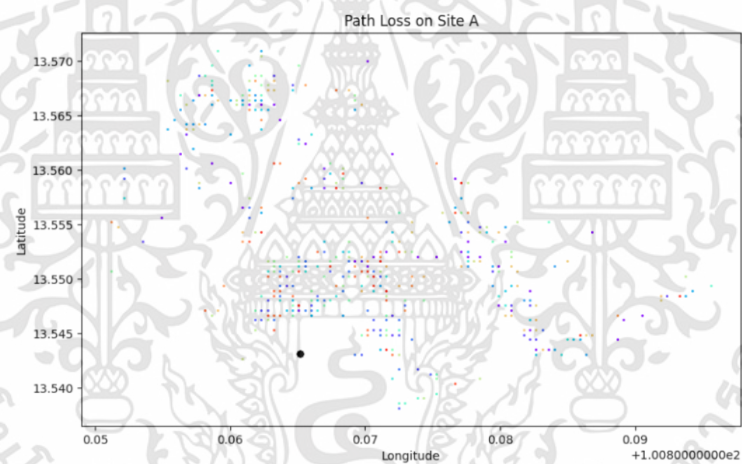
ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ในพื้นที่ที่กำหนดแบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ A ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ B และผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ C โดยจุดสีต่างๆจะมีจำนวนสีตามจำนวนกลุ่มที่กำหนดเช่นจำนวนกลุ่ม 50 กลุ่มจะมีจุดสีที่แตกต่างกัน 50 สี เป็นต้น แสดงดังนี้

4.3.2.1 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ A

ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ A จะถูกแบ่งออกตามจำนวนกลุ่มจากการจัดกลุ่มพื้นที่ได้แก่ 50 100 150 200 250 และ 300 กลุ่มแสดงดังรูปที่ 4.34 ถึง 4.39

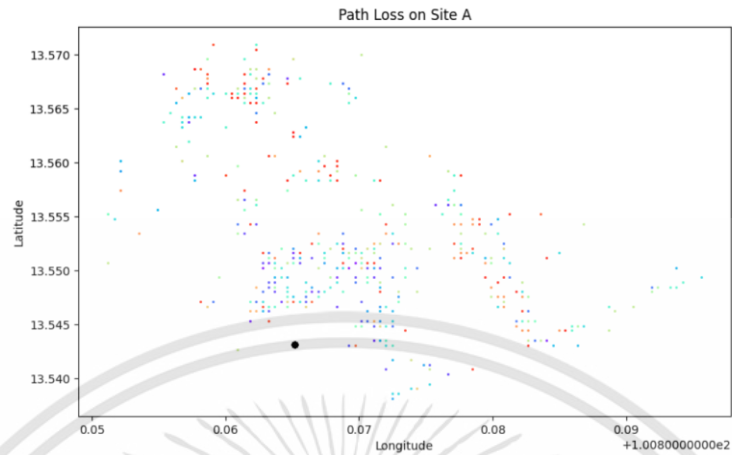


รูปที่ 4.34 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 50 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ A

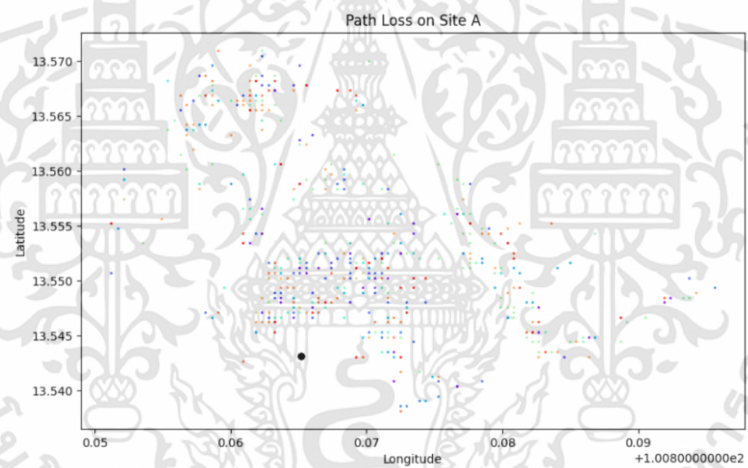


รูปที่ 4.35 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 100 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

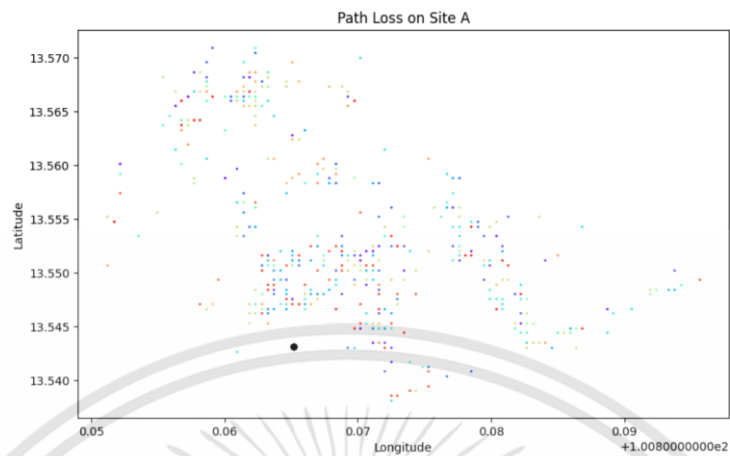


รูปที่ 4.36 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 150 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ A

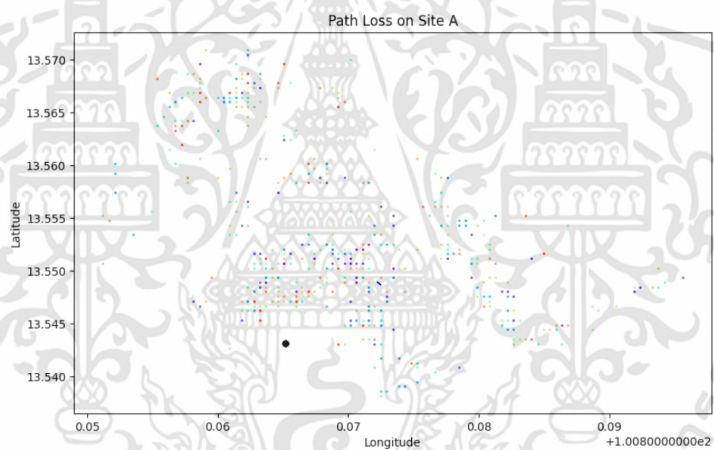


รูปที่ 4.37 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 200 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



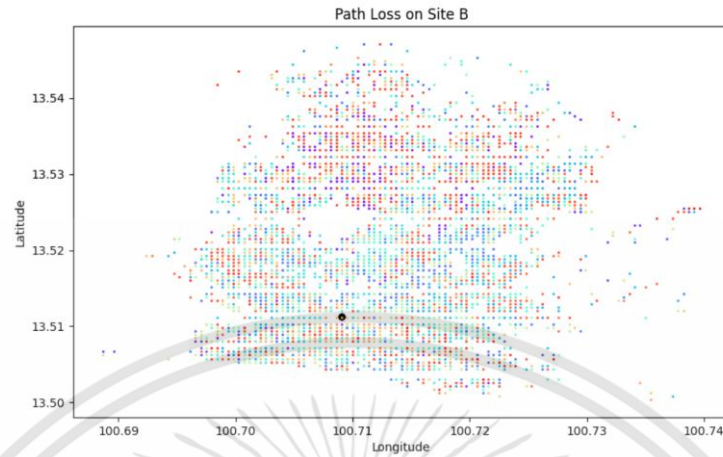
รูปที่ 4.38 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 250 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ A



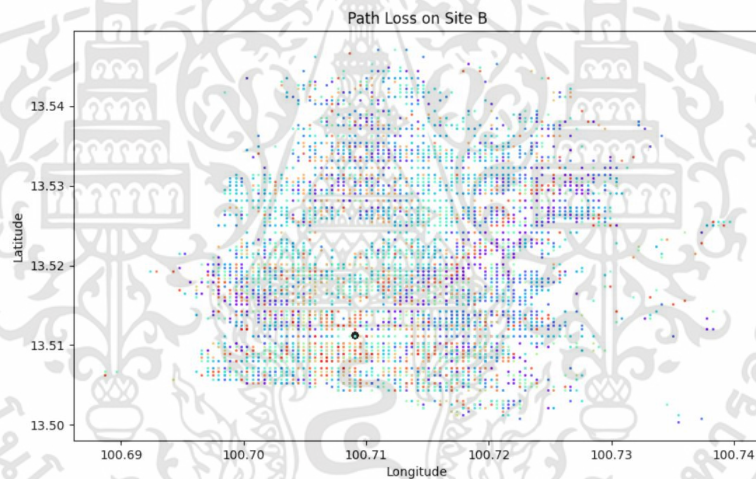
รูปที่ 4.39 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 300 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ A

4.3.2.2 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ B

ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ B จะถูกแบ่งออกตามจำนวนกลุ่มจากการจัดกลุ่มพื้นที่ได้แก่ 50 100 150 200 250 และ 300 กลุ่มแสดงดังรูปที่ 4.40 ถึง 4.45

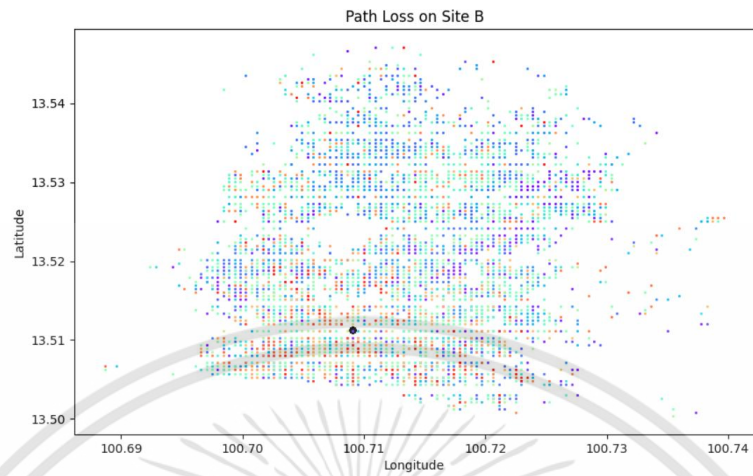


รูปที่ 4.40 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 50 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ B

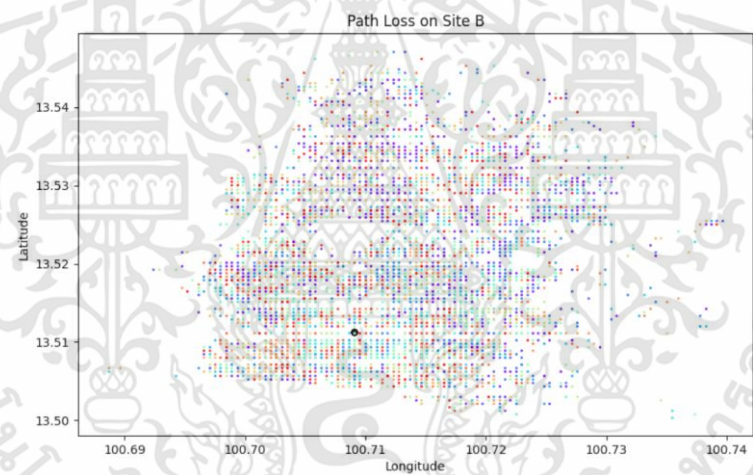


รูปที่ 4.41 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 100 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

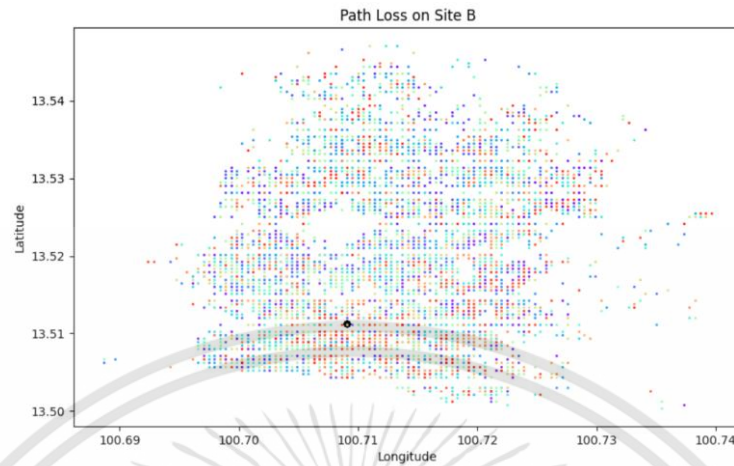


รูปที่ 4.42 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 150 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ B

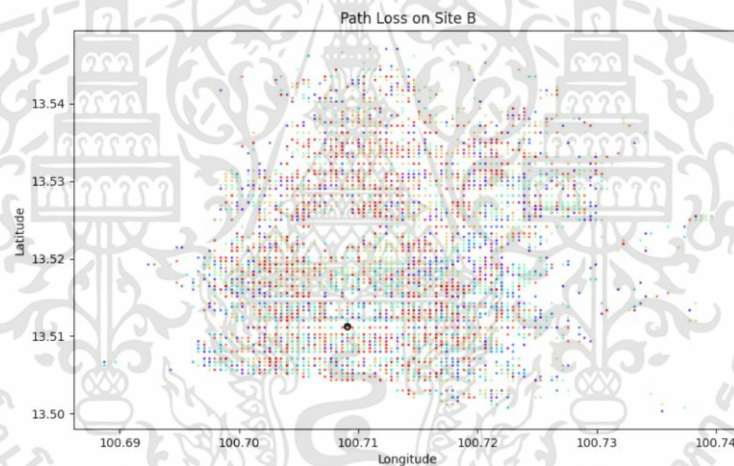


รูปที่ 4.43 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 200 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



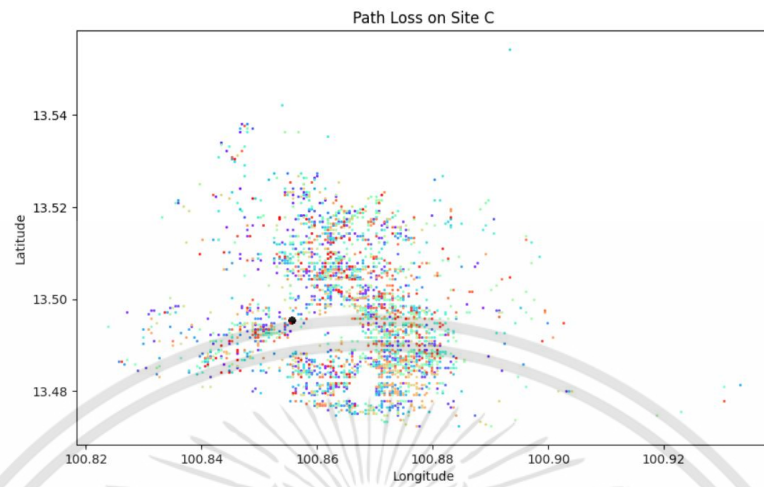
รูปที่ 4.44 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 250 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ B



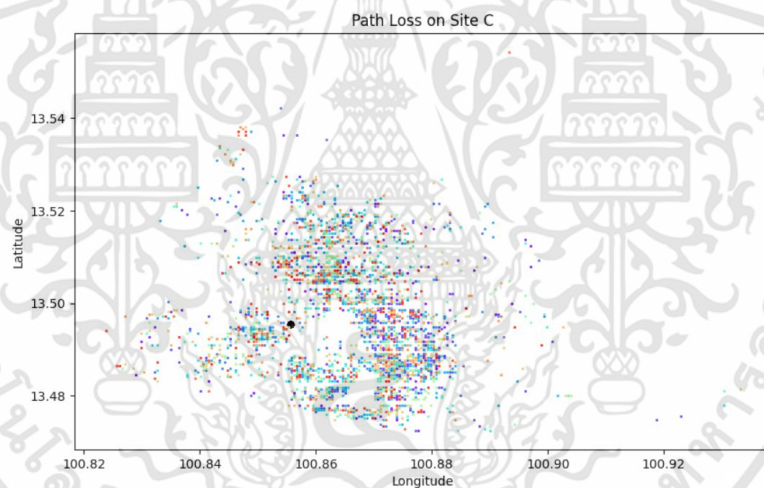
รูปที่ 4.45 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 300 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ B

4.3.2.3 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ C

ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ C จะถูกแบ่งออกตามจำนวนกลุ่มจากการจัดกลุ่มพื้นที่ได้แก่ 50 100 150 200 250 และ 300 กลุ่มแสดงดังรูปที่ 4.46 ถึง 4.51

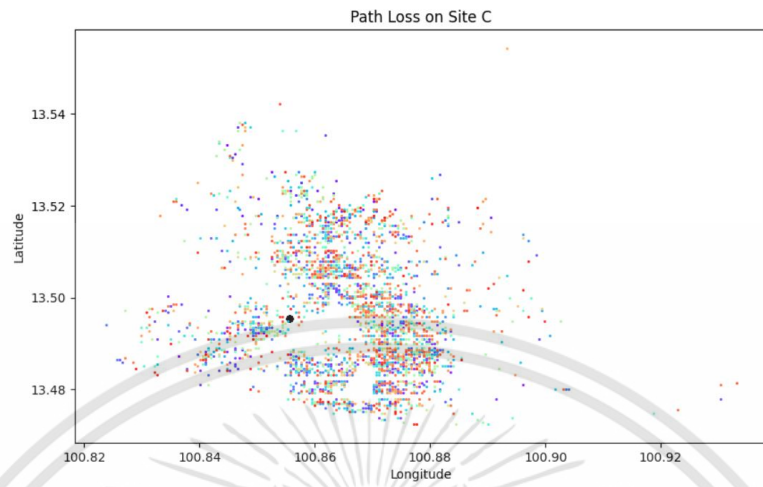


รูปที่ 4.46 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 50 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ C

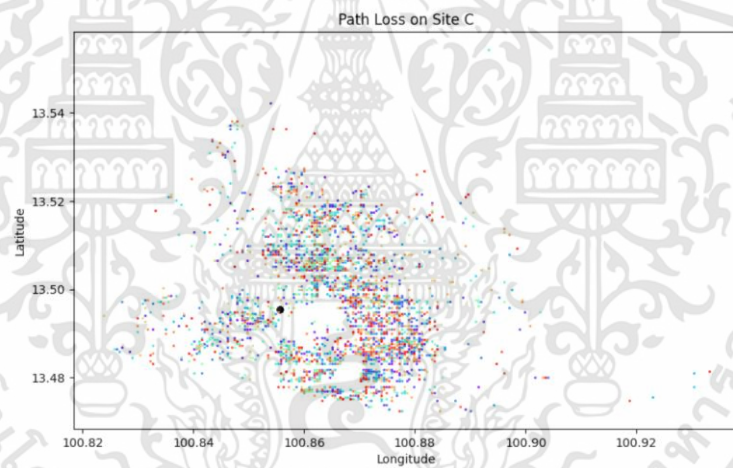


รูปที่ 4.47 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 100 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

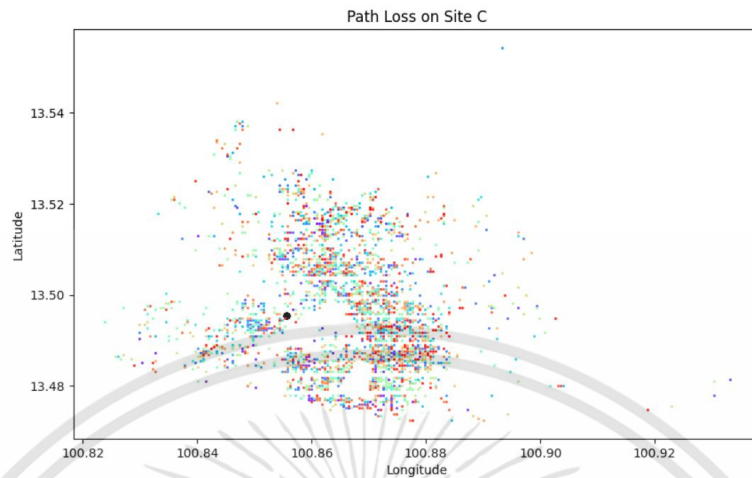


รูปที่ 4.48 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 150 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ C

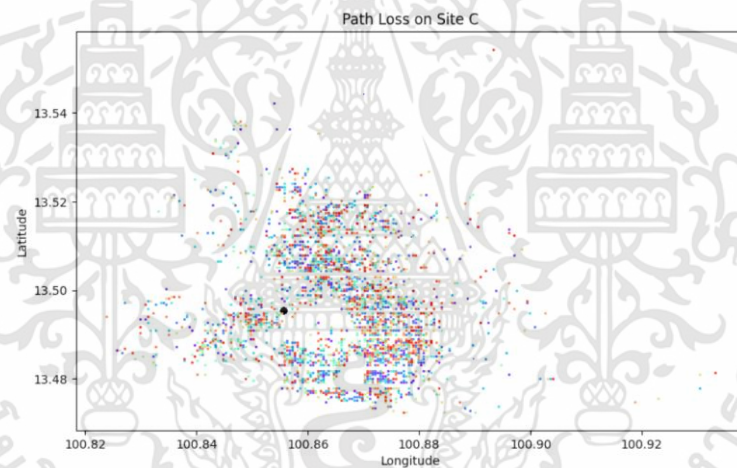


รูปที่ 4.49 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 200 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.50 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 250 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ C



รูปที่ 4.51 ผลการทดสอบการจัดกลุ่มพื้นที่ 300 กลุ่มในพื้นที่ครอบคลุมของเสาส่งสัญญาณ C

จากรูปที่ 4.34 ถึง 4.51 พบว่าเมื่อจำนวนกลุ่มของการจัดกลุ่มพื้นที่เพิ่มขึ้นจะพบจำนวนจุดสีของพื้นที่ Grid มีสีที่แตกต่างกันในแผนที่มากขึ้นแสดงให้เห็นถึงความละเอียดสำหรับการจัดกลุ่มพื้นที่ที่ละเอียดขึ้น โดยส่งผลให้สมการ Path Loss ของพื้นที่ Grid มีความแม่นยำมากขึ้น

4.4 ผลการทดสอบหน่วยประมวลผลข้อมูล

ผลการทดสอบหน่วยประมวลผลข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ผลการทดสอบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 ผลการทดสอบการวัดความคลาดเคลื่อนค่า Path Loss

ผลการทดสอบการวัดความคลาดเคลื่อนค่า Path Loss เป็นการวัดความคลาดเคลื่อน โดยการใช้ค่า RMSE และ MAE วัดค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า Path Loss ที่วัดได้จริงเทียบกับค่า Path Loss ที่ได้จากการคำนวณแบบจำลอง Path Loss แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการวัดความคลาดเคลื่อนค่า Path Loss

จำนวนกลุ่ม (กลุ่ม)	ความถี่ (MHz)	ชุดข้อมูลฝึกฝน		ชุดข้อมูลทดสอบ	
		ค่า RMSE (dB)	ค่า MAE (dB)	ค่า RMSE (dB)	ค่า MAE (dB)
50	900	1.7893	1.4539	3.7031	2.9443
	1800	2.7926	2.2665	3.8634	2.9383
	2100	2.5257	2.0893	5.3271	3.9530
100	900	1.3276	1.0857	3.4522	2.7418
	1800	2.3698	1.9382	3.6204	2.7076
	2100	2.0328	1.6763	5.0996	3.7654
150	900	1.1262	0.9132	3.2512	2.6939
	1800	2.1178	1.7386	3.5038	2.6065
	2100	1.8116	1.5061	5.0004	3.6708
200	900	0.9289	0.7515	3.2755	2.6846
	1800	1.9348	1.5897	3.3935	2.5162
	2100	1.6610	1.3770	4.9026	3.5767
250	900	0.8134	0.6555	2.9622	2.4226
	1800	1.7831	1.4696	3.3468	2.4691
	2100	1.5553	1.2903	4.8863	3.5505
300	900	0.6718	0.5375	3.0072	2.5009
	1800	1.6892	1.3934	3.2739	2.4092
	2100	1.4783	1.2297	4.8244	3.5110

จากตารางที่ 4.1 พบว่าเมื่อจำนวนกลุ่มเพิ่มขึ้นค่าความผิดพลาด RMSE และ MAE ของชุดข้อมูลฝึกฝนจะมีค่าลดลง แต่ชุดข้อมูลทดสอบที่ใช้งานความถี่ 900 MHz จะมีค่า RMSE ต่ำสุดที่ 250 กลุ่ม ซึ่งให้ค่า RMSE ของการทดสอบเท่ากับ 2.9622 dB สำหรับข้อมูลชุดทดสอบที่ใช้งานความถี่ 1800 MHz และ 2100MHz มีค่า RMSE ต่ำสุดที่ 300 กลุ่ม ซึ่งให้ค่า RMSE ของการทดสอบเท่ากับ 3.2739 dB และ 4.8244 dB ตามลำดับ โดยจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมในแต่ละความถี่เป็นจำนวนกลุ่มที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดของแต่ละความถี่

4.4.2 ผลการทดสอบการวัดความคลาดเคลื่อนค่า RSRP

ผลการทดสอบการวัดความคลาดเคลื่อนค่า RSRP เป็นการวัดความคลาดเคลื่อนโดยใช้ค่า RMSE และ MAE วัดค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า RSRP ที่วัดได้จริงเทียบกับค่า RSRP ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ค่า Path Loss จากแบบจำลอง Path Loss แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการวัดความคลาดเคลื่อนค่า RSRP

จำนวนกลุ่ม (กลุ่ม)	ความถี่ (MHz)	ชุดข้อมูลฝึกฝน		ชุดข้อมูลทดสอบ	
		ค่า RMSE (dB)	ค่า MAE (dB)	ค่า RMSE (dB)	ค่า MAE (dB)
50	900	3.2818	2.6737	4.3022	3.4100
	1800	4.0999	3.2519	4.5033	3.5246
	2100	3.6860	2.9325	5.8426	4.4691
100	900	3.0492	2.5300	4.1487	3.3732
	1800	3.8259	3.0588	4.2903	3.3515
	2100	3.3651	2.6991	5.6086	4.2824
150	900	2.9073	2.4597	3.8908	3.2245
	1800	3.6776	2.9594	4.1899	3.2822
	2100	3.2247	2.6148	5.5331	4.2250
200	900	2.8219	2.4363	3.8409	3.2179
	1800	3.5213	2.8638	4.0933	3.2204
	2100	3.1420	2.5659	5.4177	4.1285

จำนวนกลุ่ม (กลุ่ม)	ความถี่ (MHz)	ชุดข้อมูลฝึกฝน		ชุดข้อมูลทดสอบ	
		ค่า RMSE (dB)	ค่า MAE (dB)	ค่า RMSE (dB)	ค่า MAE (dB)
250	900	2.8068	2.4345	3.5928	3.0419
	1800	3.4732	2.8080	4.0556	3.1835
	2100	3.0896	2.5343	5.4211	4.1217
300	900	2.7295	2.3993	3.6604	3.1085
	1800	3.4052	2.7595	3.9562	3.1305
	2100	3.0415	2.5075	5.3683	4.0972

จากตารางที่ 4.2 พบว่ามีอัตราการลดลงของค่าความผิดพลาด RMSE และ MAE ขึ้นกับจำนวนกลุ่มเหมือนผลการทดสอบการวัดความคลาดเคลื่อนค่า Path Loss โดยแบบจำลองที่ใช้งานความถี่ 900 MHz 1800 MHz และ 2100 MHz มีค่าความผิดพลาด RMSE เท่ากับ 3.5928 dB 3.9562 dB และ 5.3683 dB ตามลำดับ แสดงถึงการทำนายค่า RSRP ด้วยค่า Path Loss จากแบบจำลอง Path Loss มีการแปรผันตรงกับค่า Path Loss ที่คำนวณได้จากแบบจำลอง Path Loss

4.4.3 ผลการทดสอบการวัดความคลาดเคลื่อนค่า Path Loss ของแบบจำลอง Ericsson

ผลการทดสอบการวัดความคลาดเคลื่อนค่า Path Loss ของแบบจำลอง Ericsson เป็นการวัดความคลาดเคลื่อนโดยใช้ค่า RMSE และ MAE วัดค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า Path Loss ที่วัดได้จริงเทียบกับค่า Path Loss ที่ได้จากการคำนวณแบบจำลอง Ericsson แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการวัดความคลาดเคลื่อนค่า Path Loss ของแบบจำลอง Ericsson

ความถี่ (MHz)	RMSE (dB)	MAE (dB)
900	52.5339	50.9531
1800	24.9131	20.6974
2100	30.9029	26.0502

จากตารางที่ 4.1 และ 4.3 พบว่าแบบจำลอง Path Loss มีประสิทธิภาพสูงกว่าโมเดล Ericsson ครอบคลุมทั้ง 3 ความถี่ โดยอ้างอิงตามค่า RMSE และ MAE ของแบบจำลอง Path Loss และโมเดล Ericsson

4.5 ผลการทดสอบหน่วยจัดเก็บข้อมูล

หน่วยจัดเก็บข้อมูลเป็นการจัดเก็บข้อมูลแบบจำลอง Path Loss สำหรับผู้ใช้งานซึ่งแสดงผลการทดสอบดังรูปที่ 4.52

Time	Latitude	Longitude	Cell_Name	Latitude_Ant	...	K5	K6	K7	Path_Loss_Prediction	RSRP_Prediction
0	2020-09-03		111BML1817	...					114.801562	-93.458726
1	2020-09-03		111BML1817	...					105.171101	-95.487893
2	2020-09-03		111BML1817	...					110.399277	-91.793348
3	2020-09-03		111BML1817	...					114.134895	-93.796379
4	2020-09-03		111BML1816	...					108.381640	-96.847282
5	2020-09-03		111BML1817	...					105.003068	-96.408298
6	2020-09-03		111BML1812	...					102.415643	-92.946742
7	2020-09-03		111BML1817	...					113.079281	-101.128968
8	2020-09-03		111BML1817	...					93.951462	-91.830797
9	2020-09-03		111BML1817	...					109.022342	-97.072020
10	2020-09-03		111BML1812	...					105.306490	-84.036890
11	2020-09-03		111BML1816	...					117.172767	-102.211867
12	2020-09-03		111BML1817	...					103.723571	-97.302142
13	2020-09-03		111BML1813	...					112.198570	-85.575325
14	2020-09-03		111BML1813	...					110.027552	-88.078942
15	2020-09-03		111BML1816	...					113.876784	-101.142013
16	2020-09-03		111BML1813	...					111.715751	-90.534359
17	2020-09-03		111BML1816	...					112.264447	-101.572394
18	2020-09-03		111BML1816	...					112.604073	-102.389994
19	2020-09-03		111BML1813	...					111.611715	-91.234819

รูปที่ 4.52 ผลการทดสอบไฟล์ข้อมูลแบบจำลอง Path Loss

จากรูปที่ 4.52 (ไม่สามารถเปิดเผยค่าพิกัดละติจูด ลองจิจูดและค่าพารามิเตอร์ K ได้) เป็นข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง 20 ตัวอย่างจากไฟล์ข้อมูลแบบจำลอง Path Loss ซึ่งประกอบด้วยวันที่ ตำแหน่งของพื้นที่ Grid ตำแหน่งของเสาส่งสัญญาณ ลำดับของเสาส่งสัญญาณ ค่ากำลังส่งเสาส่งสัญญาณ ค่าอัตราขยายสัญญาณเชิง 3 มิติ ค่า RSRP ค่า Path Loss ลำดับกลุ่มการจัดกลุ่มพื้นที่ ค่าพารามิเตอร์ K ค่า Path Loss ที่ได้จากการทำนาย และค่า RSRP ที่ได้จากการทำนาย

4.6 ฐานข้อมูล

4.6.1 ฐานข้อมูลสำหรับเว็บแอปพลิเคชัน

ผลการสร้างฐานข้อมูลสำหรับเว็บแอปพลิเคชันโดยใช้ฐานข้อมูล PostgreSQL มีดังนี้

1) ตารางชื่อ “Show” สำหรับจัดเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ K แสดงดังรูปที่ 4.53

public.pathloss_show/req/postgres@PostgreSQL 14

Query Editor Query History Scratch Pad

```

1 SELECT * FROM public.pathloss_show
2 ORDER BY id ASC

```

Data Output Explain Messages Notifications

id	k1	k2	k3	k5	k6	k7
[PK] bigint	character varying (100)	character varying (100)	character varying (100)	character varying (100)	character varying (100)	character varying (100)
1	5 101.988	7.108	-11.977	4.713	0.137	-0.372

รูปที่ 4.53 หน้าแสดงฐานข้อมูล PostgreSQL โดยตารางชื่อ “Show”

2) ตารางชื่อ “Latlons” สำหรับจัดเก็บข้อมูลค่าละติจูดและลองจิจูดที่ผู้ใช้งานต้องการทราบพารามิเตอร์ K แสดงดังรูปที่ 4.54

public.pathloss_latlon/req/postgres@PostgreSQL 14

Query Editor Query History Scratch Pad

```

1 SELECT * FROM public.pathloss_latlon
2 ORDER BY id ASC

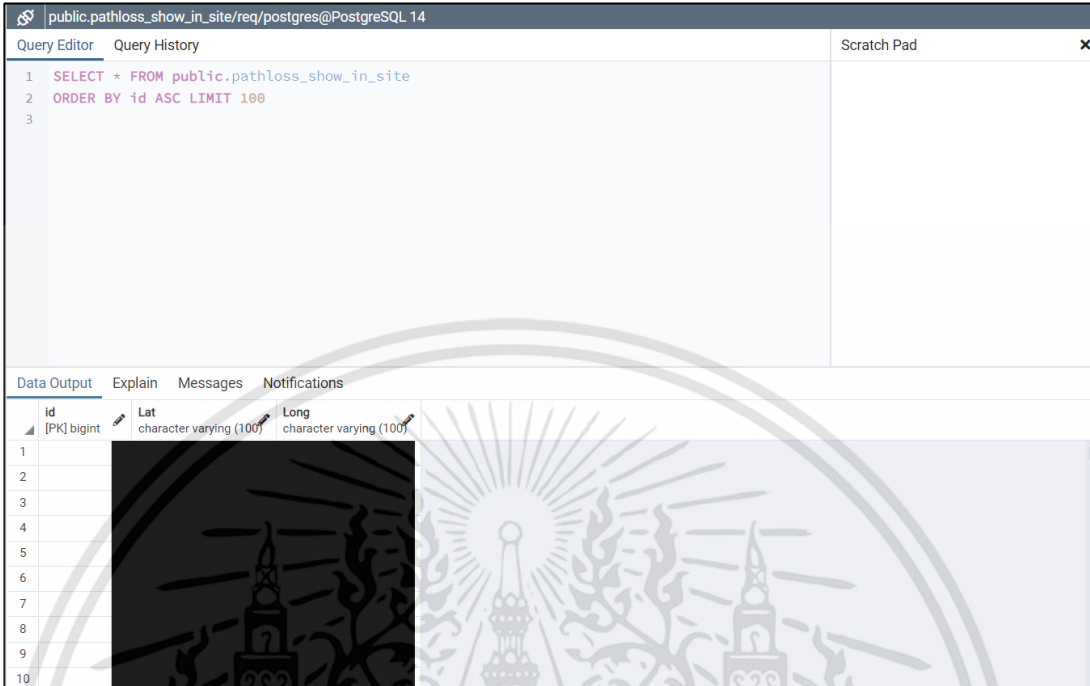
```

Data Output Explain Messages Notifications

id	Lat	Long	Height
[PK] bigint	character varying (100)	character varying (100)	character varying (100)
1	8 13.752549170861917	100.4962692281697	[null]

รูปที่ 4.54 หน้าแสดงฐานข้อมูล PostgreSQL โดยตารางชื่อ “Latlons”

3) ตารางชื่อ “Show_in_site” สำหรับจัดเก็บค่าละติจูดและลองจิจูดที่มีกลุ่มเดียวกับค่าพารามิเตอร์ K โดยระยะห่างไม่เกิน 2,000 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.55 (ไม่สามารถเปิดเผยแพร่ค่าละติจูดและลองจิจูด)



public.pathloss_show_in_site/req/postgres@PostgreSQL 14

Query Editor Query History Scratch Pad

```

1 SELECT * FROM public.pathloss_show_in_site
2 ORDER BY id ASC LIMIT 100
3

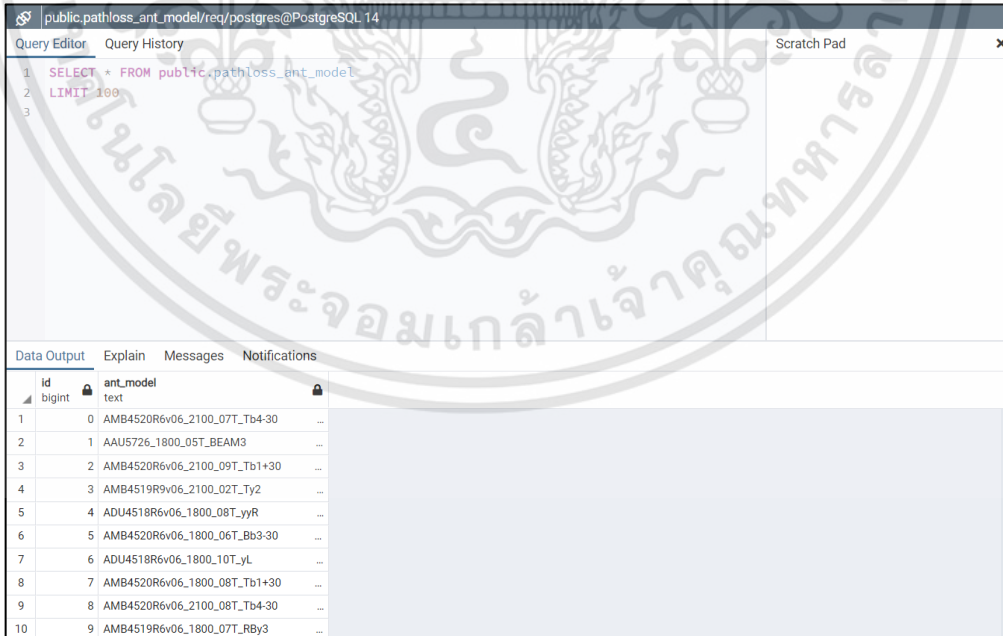
```

Data Output Explain Messages Notifications

id	Lat	Long
[PK] bigint	character varying (100)	character varying (100)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

รูปที่ 4.55 หน้าแสดงฐานข้อมูล PostgreSQL โดยตารางชื่อ “Show_in_site”

4) ตารางชื่อ “Ant_model” โดยใช้ฐานข้อมูล PostgreSQL สำหรับจัดเก็บชนิดของเสาสัญญาณ แสดงดังรูปที่ 4.56



public.pathloss_ant_model/req/postgres@PostgreSQL 14

Query Editor Query History Scratch Pad

```

1 SELECT * FROM public.pathloss_ant_model
2 LIMIT 100
3

```

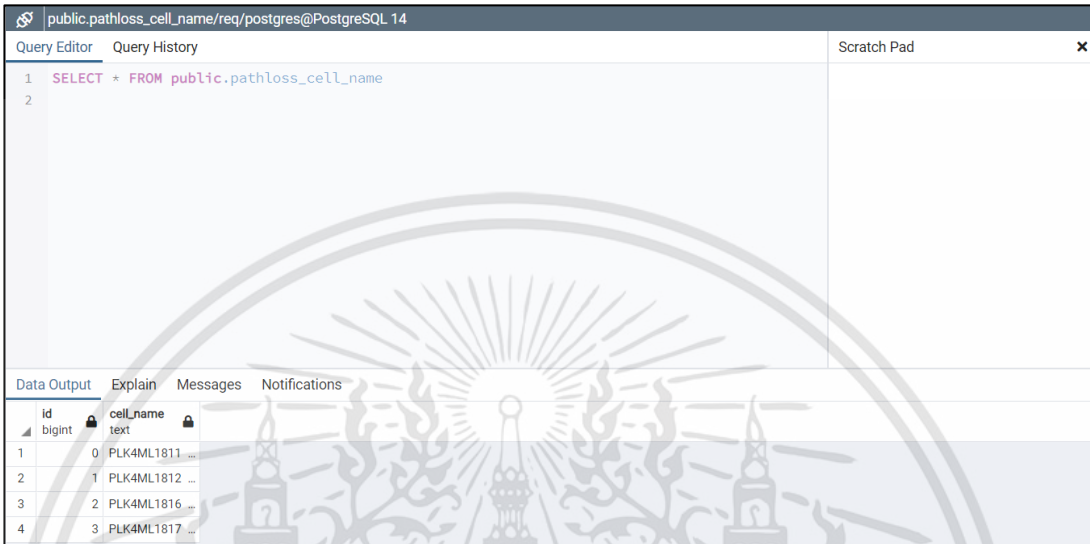
Data Output Explain Messages Notifications

id	ant_model
bigint	text
1	0 AMB4520R6v06_2100_07T_Tb4-30
2	1 AAU5726_1800_05T_BEAM3
3	2 AMB4520R6v06_2100_09T_Tb1+30
4	3 AMB4519R9v06_2100_02T_Ty2
5	4 ADU4518R6v06_1800_08T_yyR
6	5 AMB4520R6v06_1800_06T_Bb3-30
7	6 ADU4518R6v06_1800_10T_yL
8	7 AMB4520R6v06_1800_08T_Tb1+30
9	8 AMB4520R6v06_2100_08T_Tb4-30
10	9 AMB4519R6v06_1800_07T_RBv3

รูปที่ 4.56 หน้าแสดงฐานข้อมูล PostgreSQL โดยตารางชื่อ “Ant_model”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ตารางชื่อ “Cell_name” สำหรับจัดเก็บ Cell_name ของชื่อ Cell Site ที่ผู้ใช้งานเลือก แสดงดังรูปที่ 4.57



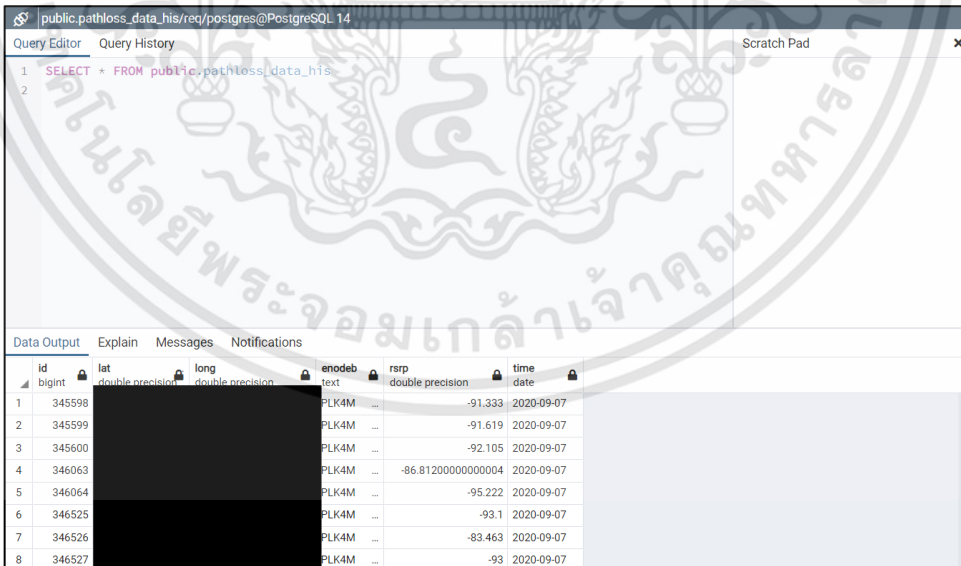
The screenshot shows a PostgreSQL Query Editor window with the following query and results:

```
1 SELECT * FROM public.pathloss_cell_name
2
```

id	cell_name
0	PLK4ML1811 ...
1	PLK4ML1812 ...
2	PLK4ML1816 ...
3	PLK4ML1817 ...

รูปที่ 4.57 หน้าแสดงฐานข้อมูล PostgreSQL โดยตารางชื่อ “Cell_name”

6) ตารางชื่อ “Data_his” สำหรับจัดเก็บข้อมูลของชื่อ Cell Name ที่ผู้ใช้งานเลือก แสดงดังรูปที่ 4.58 (ไม่สามารถเปิดเผยพิกัดละติจูดและลองจิจูด)



The screenshot shows a PostgreSQL Query Editor window with the following query and results:

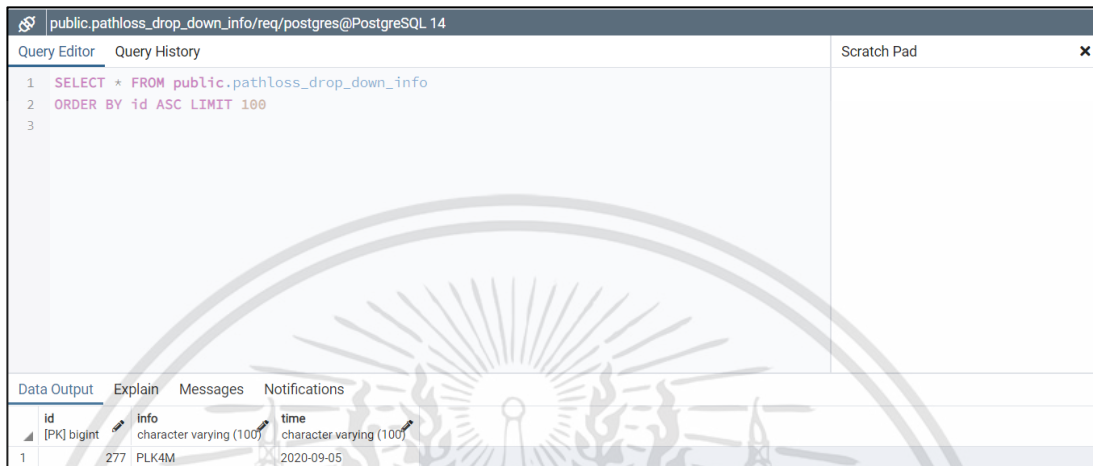
```
1 SELECT * FROM public.pathloss_data_his
2
```

id	lat	long	enodeb	rsrp	time
bigint	double precision	double precision	text	double precision	date
345598			PLK4M	-91.333	2020-09-07
345599			PLK4M	-91.619	2020-09-07
345600			PLK4M	-92.105	2020-09-07
346063			PLK4M	-86.81200000000004	2020-09-07
346064			PLK4M	-95.222	2020-09-07
346525			PLK4M	-93.1	2020-09-07
346526			PLK4M	-83.463	2020-09-07
346527			PLK4M	-93	2020-09-07

รูปที่ 4.58 หน้าแสดงฐานข้อมูล PostgreSQL โดยตารางชื่อ “Data_his”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) ตารางชื่อ “Drop_down_info” สำหรับจัดเก็บชื่อ Cell Name และวันที่ผู้ใช้งานเลือก แสดงดังรูปที่ 4.59



The screenshot shows a PostgreSQL Query Editor window with the following query:

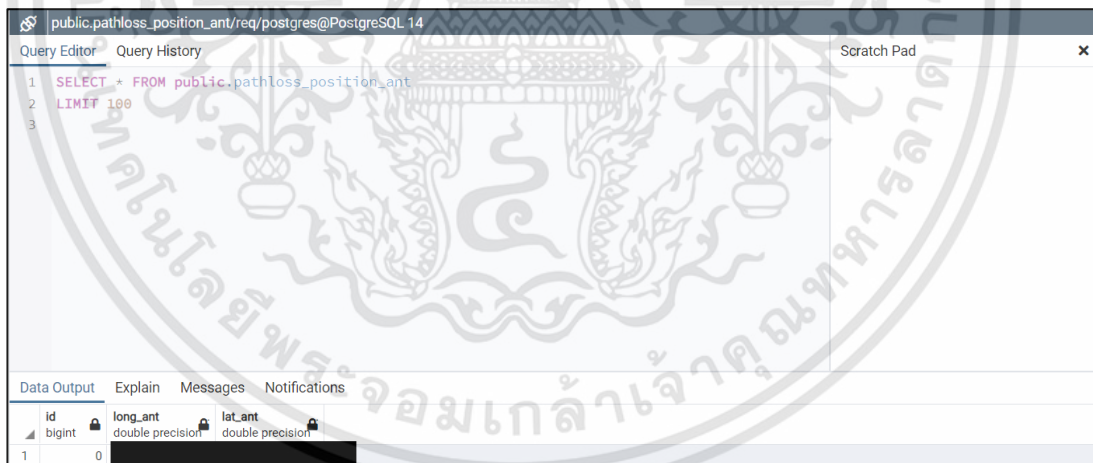
```
1 SELECT * FROM public.pathloss_drop_down_info
2 ORDER BY id ASC LIMIT 100
3
```

The Data Output tab shows the following result:

id	info	time
1	277 PLK4M	2020-09-05

รูปที่ 4.59 หน้าแสดงฐานข้อมูล PostgreSQL โดยตารางชื่อ “Drop_down_info”

8) ตารางชื่อ “Position_ant” สำหรับจัดเก็บค่าละติจูดและลองจิจูดของเสาสัญญาณในชื่อ Cell Name ที่ผู้ใช้งานเลือก แสดงดังรูปที่ 4.60 (ไม่สามารถเปิดเผยพิกัดละติจูดและลองจิจูด)



The screenshot shows a PostgreSQL Query Editor window with the following query:

```
1 SELECT * FROM public.pathloss_position_ant
2 LIMIT 100
3
```


The Data Output tab shows the following result:

id	long_ant	lat_ant
1	0	

รูปที่ 4.60 หน้าแสดงฐานข้อมูล PostgreSQL โดยตารางชื่อ “Position_ant”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9) ตารางชื่อ “Recept_ant” สำหรับจัดเก็บค่าพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้งานกรอกเพื่อใช้ในการทำนายค่า RSRP แสดงดังรูปที่ 4.61



id	power_tx	physical_azimuth	m_title	height_ant	gain_ant	model_ant	pathloss_model
[PK] bigint	character varying (100)	character varying (100)	character varying (100)	character varying (100)	character varying (100)	character varying (100)	character varying (100)

รูปที่ 4.61 หน้าแสดงฐานข้อมูล PostgreSQL โดยตารางชื่อ “Recept_ant”

10) ตารางชื่อ “Recept_info” สำหรับจัดเก็บค่าละติจูดและลองจิจูดเพื่อใช้ในฟังก์ชันในการเคลื่อนย้ายจุด Marker ในแผนที่ แสดงดังรูปที่ 4.62 (ไม่สามารถเปิดเผยแพร่ที่ละติจูดและลองจิจูด)



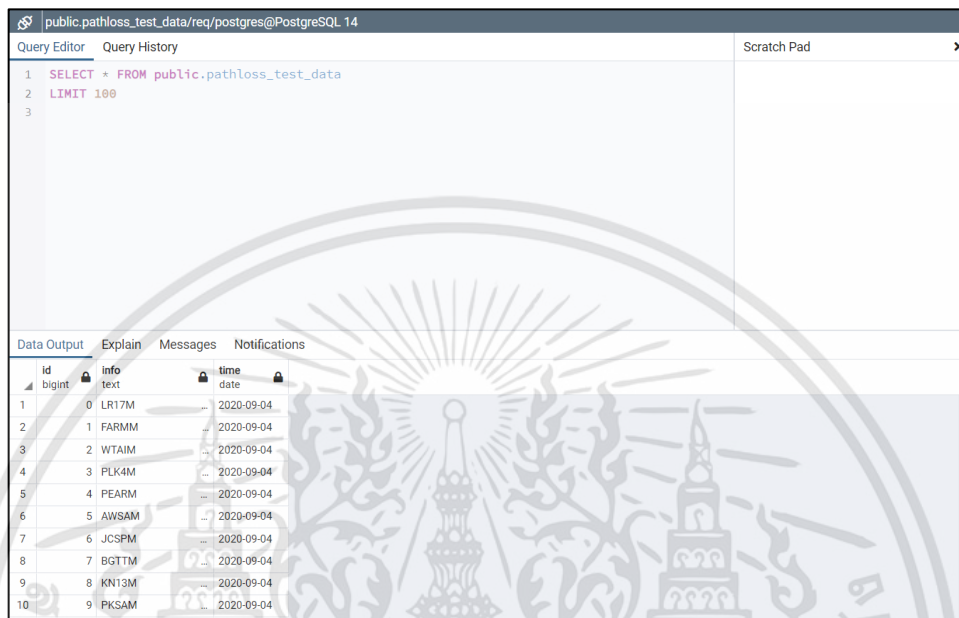
id	lat	long	enodeb	rsrp	time
bigint	double precision	double precision	text	double precision	date
1	345598		PLK4M	-91.333	2020-09-07

รูปที่ 4.62 หน้าแสดงฐานข้อมูล PostgreSQL โดยตารางชื่อ “Recept_info”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11) ตารางชื่อ “Test_data” สำหรับจัดเก็บค่าชื่อ Cell Name ทั้งหมด แสดงดังรูปที่

4.63



The screenshot shows a PostgreSQL Query Editor window with the following query:

```
1 SELECT * FROM public.pathloss_test_data
2 LIMIT 100
3
```

The Data Output tab displays the following results:

id	info	time
bigint	text	date
0	LR17M	2020-09-04
1	FARMM	2020-09-04
2	WTAIM	2020-09-04
3	PLK4M	2020-09-04
4	PEARM	2020-09-04
5	AWSAM	2020-09-04
6	JCSPM	2020-09-04
7	BGTTM	2020-09-04
8	KN13M	2020-09-04
9	PKSAM	2020-09-04

รูปที่ 4.63 หน้าแสดงฐานข้อมูล PostgreSQL โดยตารางชื่อ “Test_data”

12) ตารางชื่อ “Rsrp_out” สำหรับจัดเก็บค่าละติจูด ลองจิจูด และค่า RSRP จากการทำงาน แสดงดังรูปที่ 4.64



The screenshot shows a PostgreSQL Query Editor window with the following query:

```
1 SELECT * FROM public.pathloss_rsrp_out
2 LIMIT 100
3
```

The Data Output tab displays the following results:

id	Latitude	Longitude	RSRP_Out
bigint	double precision	double precision	double precision

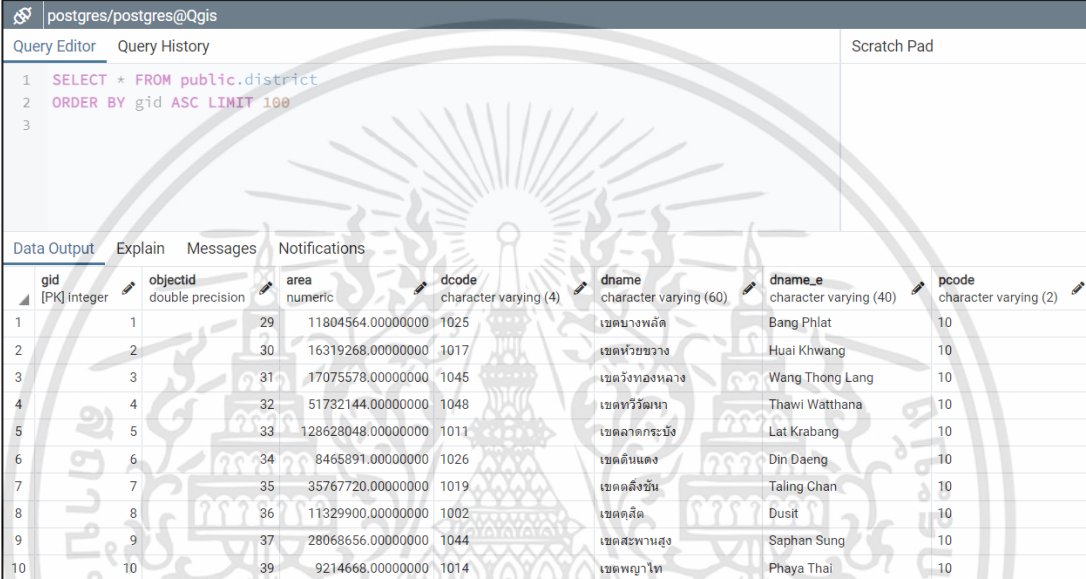
รูปที่ 4.64 หน้าแสดงฐานข้อมูล PostgreSQL โดยตารางชื่อ “Rsrp_out”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 ฐานข้อมูลสำหรับ QGIS

ผลการสร้างฐานข้อมูลสำหรับเว็บแอปพลิเคชันโดยใช้ฐานข้อมูล PostgreSQL มีดังนี้

1) ตารางชื่อ “district” โดยใช้ฐานข้อมูล PostgreSQL สำหรับจัดเก็บข้อมูลพื้นที่เขตการปกครองของกรุงเทพมหานครจากศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์กรุงเทพมหานคร (Bangkok GIS) ซึ่งมี Attribute เป็น Polygon แสดงดังรูปที่ 4.65 และ 4.66



gid	objectid	area	dcode	dname	dname_e	pcode
1	29	11804564.00000000	1025	เขตบางพลัด	Bang Phlat	10
2	30	16319268.00000000	1017	เขตห้วยขวาง	Huai Khwang	10
3	31	17075578.00000000	1045	เขตวังทองหลาง	Wang Thong Lang	10
4	32	51732144.00000000	1048	เขตทวีวัฒนา	Thawi Watthana	10
5	33	128628048.00000000	1011	เขตลาดกระบัง	Lat Krabang	10
6	34	8465891.00000000	1026	เขตดินแดง	Din Daeng	10
7	35	35767720.00000000	1019	เขตคลองสาน	Taling Chan	10
8	36	11329900.00000000	1002	เขตดุสิต	Dusit	10
9	37	28068656.00000000	1044	เขตสะพานสูง	Saphan Sung	10
10	39	9214668.00000000	1014	เขตพญาไท	Phaya Thai	10

รูปที่ 4.65 หน้าแสดงฐานข้อมูล PostgreSQL สำหรับตารางชื่อ “district”

postgres/postgres@Qgis

Query Editor Query History Scratch Pad

```

1 SELECT * FROM public.district
2 ORDER BY gid ASC LIMIT 100
3

```

Data Output Explain Messages Notifications

no_female	pname	no_male	no_health	no_temple	no_commu	no_hos	no_sch	geom
double precision	character varying (50)	double precision	smallint	smallint	smallint	smallint	smallint	geometry
53750	กรุงเทพมหานคร	46569	1	23	46	0	11	0106000020E610000001000000010300000001
42026	กรุงเทพมหานคร	35694	2	3	25	0	3	0106000020E610000001000000010300000001
62158	กรุงเทพมหานคร	52925	0	1	19	0	3	0106000020E610000001000000010300000001
40264	กรุงเทพมหานคร	35196	1	3	13	0	6	0106000020E610000001000000010300000001
83816	กรุงเทพมหานคร	77034	2	13	60	1	20	0106000020E610000001000000010300000001
70163	กรุงเทพมหานคร	61684	2	2	22	0	3	0106000020E610000001000000010300000001
56372	กรุงเทพมหานคร	50414	1	30	43	0	16	0106000020E610000001000000010300000001
51302	กรุงเทพมหานคร	57513	2	17	45	1	9	0106000020E610000001000000010300000001
47694	กรุงเทพมหานคร	41224	1	-1	28	0	6	0106000020E610000001000000010300000001
36894	กรุงเทพมหานคร	36639	2	1	29	0	1	0106000020E610000001000000010300000001

รูปที่ 4.66 หน้าแสดงฐานข้อมูล PostgreSQL สำหรับตารางชื่อ “district” (ต่อ)

2) ตารางชื่อ “data_rsrp” โดยใช้ฐานข้อมูล PostgreSQL สำหรับจัดเก็บข้อมูล RSRP ในอดีต ซึ่งมี Attribute เป็น Point แสดงดังรูปที่ 4.67 (ไม่สามารถเปิดเผยพิกัดละติจูดและลองจิจูด)

postgres/postgres@Qgis

Query Editor Query History Scratch Pad

```

1 SELECT * FROM public.data_rsrp
2 ORDER BY gid ASC LIMIT 100
3

```

Data Output Explain Messages Notifications

gid	id	date	lat	long	no_site	rsrp	geom
[PK] integer	double precision	character varying (254)	numeric	numeric	double precision	numeric	geometry
1	1	3/9/2020			2159	-85.9970000000000000	0101000020E61000002A1E17D52224
2	2	2 3/9/2020			912	-92.8949999999999996	0101000020E6100000B9C667B27F29
3	3	3 3/9/2020			151	-92.9219999999999997	0101000020E6100000D9942BBCCB19
4	4	4 3/9/2020			3058	-99.5889999999999999	0101000020E61000009624CFF57D1C
5	5	5 3/9/2020			3485	-93.5679999999999998	0101000020E6100000C0249529E623
6	6	6 3/9/2020			912	-93.3960000000000001	0101000020E6100000BB7F2C448729
7	7	7 3/9/2020			3058	-99.1869999999999998	0101000020E6100000ACADD85F761C
8	8	8 3/9/2020			912	-94.0720000000000003	0101000020E6100000A5F622DA8E29
9	9	9 3/9/2020			3058	-83.5109999999999996	0101000020E61000005589B2B7941C
10	10	10 3/9/2020			3058	-95.9530000000000003	0101000020E6100000C136E2C96E1C

รูปที่ 4.67 หน้าแสดงฐานข้อมูล PostgreSQL สำหรับตารางชื่อ “data_rsrp”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ตารางชื่อ “data_rsrp_prediction” โดยใช้ฐานข้อมูล PostgreSQL สำหรับจัดเก็บข้อมูล RSRP ในอดีต ซึ่งมี Attribute เป็น Point แสดงดังรูปที่ 4.68 (ไม่สามารถเปิดเผยพิกัดละติจูดและลองจิจูด)



gid [PK] integer	id double precision	latitude numeric	longitude numeric	rsrp_out numeric	geom geometry
1	1	144889		24.497245496462799	0101000000BB5E9A22C02B5940A19DD32CD0DE2B40
2	2	144892		35.485864788131202	0101000000E770ADF6B02B5940AC69FA86CE02B40
3	3	144895		41.948588125244498	0101000000A6D590B8C72B5940DA571EA4A7E02B40
4	4	144896		47.427559344571300	01010000004FB16A10E62B5940DA571EA4A7E02B40
5	5	144897		52.885501194525197	0101000000BB5E9A22C02B5940D9E89C9FE2E02B40
6	6	144898		40.422489551466597	01010000007AC37DE4D62B5940D9E89C9FE2E02B40
7	7	368956		31.466187240320100	0101000000D1E7A38CB82B5940603FC4060BDF2B40
8	8	368960		38.810223078928203	01010000007AC37DE4D62B5940DA571EA4A7E02B40
9	9	368961		40.308942446663501	0101000000392861A6ED2B5940DA571EA4A7E02B40
10	10	368964		33.243175663163598	01010000007AC37DE4D62B5940988A8D791DE12B40

รูปที่ 4.68 หน้าแสดงฐานข้อมูล PostgreSQL สำหรับตารางชื่อ “data_rsrp_prediction”

4) ตารางชื่อ “bangkok_rsrp” โดยใช้ฐานข้อมูล PostgreSQL สำหรับจัดเก็บข้อมูล RSRP ในกรุงเทพมหานคร ซึ่งมี Attribute เป็น Point แสดงดังรูปที่ 4.69 (ไม่สามารถเปิดเผยพิกัดละติจูดและลองจิจูด)

postgres/postgres@Qgis

Query Editor Query History Scratch Pad

```

1 SELECT * FROM public.bangkok_rsrp
2 ORDER BY gid ASC LIMIT 100
3

```

Data Output Explain Messages Notifications

gid [PK] integer	id double precision	date character varying (254)	lat numeric	long numeric	no_site double precision	rsrp numeric	geom geometry
1	1	660228	3/9/2020		2003	02.6770000000000007	0101000020E610000037C30DF8FC1F59403
2	2	660231	3/9/2020		2003	-87.7900000000000006	0101000020E61000003A77BB5E9A1F59403
3	3	660236	3/9/2020		2003	-90.2090000000000003	0101000020E61000003C3080F0A11F59403
4	4	660245	3/9/2020		2003	-90.0289999999999996	0101000020E610000026A77686A91F59403
5	5	660253	3/9/2020		2003	-94.8419999999999999	0101000020E6100000CF8250DEC71F59403
6	6	660264	3/9/2020		2003	-94.6029999999999994	0101000020E6100000BAF94674CF1F59403
7	7	660273	3/9/2020		2003	-99.1959999999999998	0101000020E6100000A4703D0AD71F59403
8	8	660283	3/9/2020		2003	-93.7639999999999996	0101000020E6100000E50B5A48C01F59403
9	9	660287	3/9/2020		2003	-90.3100000000000002	0101000020E6100000CF8250DEC71F59403
10	10	660306	3/9/2020		2003	-97.9659999999999994	0101000020E6100000A4703D0AD71F59403

รูปที่ 4.69 หน้าแสดงฐานข้อมูล PostgreSQL สำหรับตารางชื่อ “bangkok_rsrp”

5) ตารางชื่อ “data_rsrp_diff” สำหรับจัดเก็บข้อมูลผลต่างระหว่างค่าทำนาย RSRP กับค่า RSRP ในอดีต ซึ่งมี Attribute เป็น Point แสดงดังรูปที่ 4.70 (ไม่สามารถเปิดเผยแพร่ก๊อละติจูดและลองจิจูด)

postgres/postgres@Qgis

Query Editor Query History Scratch Pad

```

1 SELECT * FROM public.data_rsrp_diff
2 ORDER BY gid ASC LIMIT 100
3

```

Data Output Explain Messages Notifications

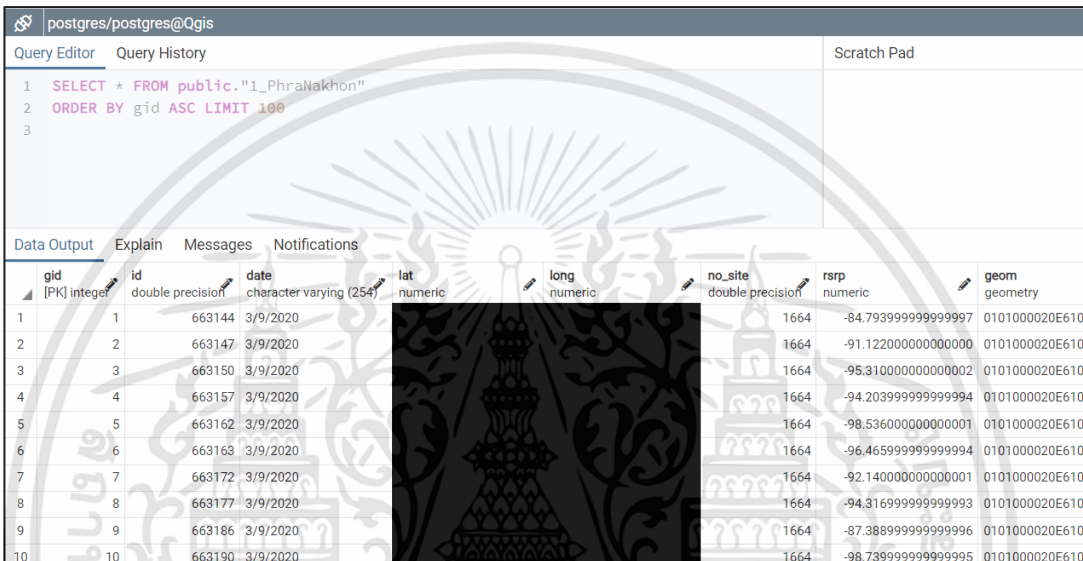
gid [PK] integer	id double precision	date character varying (254)	lat numeric	long numeric	no_site double precision	dif_rsrp numeric	geom geometry
1	1	1	3/9/2020		2159	0.553841919000000	0101000020E61000002A1E17D52224594
2	2	2	3/9/2020		912	0.279818935000000	0101000020E6100000B9C667B27F29594
3	3	3	3/9/2020		151	0.006817068000000	0101000020E6100000D9942B8CCB19594
4	4	4	3/9/2020		3058	0.759257146000000	0101000020E61000009624CF57D1C594
5	5	5	3/9/2020		3485	0.192036074000000	0101000020E6100000C0249529E623594
6	6	6	3/9/2020		912	0.555065723000000	0101000020E6100000BB7F2C448729594
7	7	7	3/9/2020		3058	0.916241577000000	0101000020E6100000ACADD85F761C594
8	8	8	3/9/2020		912	0.847552017000000	0101000020E6100000A5F622DA8E29594
9	9	9	3/9/2020		3058	0.969799322000000	0101000020E61000005589B2B7941C594
10	10	10	3/9/2020		3058	0.472716601000000	0101000020E6100000C136E2C96E1C594

รูปที่ 4.70 หน้าแสดงฐานข้อมูล PostgreSQL สำหรับตารางชื่อ “data_rsrp_diff”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการสร้างตารางจำนวน 50 ตารางโดยใช้ชื่อแต่ละตารางเป็นชื่อแต่ละพื้นที่เขตการปกครองของกรุงเทพมหานคร สำหรับจัดเก็บข้อมูล RSRP ในแต่ละพื้นที่เขตการปกครองของกรุงเทพมหานคร ซึ่งมี Attribute เป็น Point

แสดงตัวอย่างตารางชื่อ “1_PhraNakhon” สำหรับจัดเก็บข้อมูล RSRP ในพื้นที่เขตปกครองพระนครดังรูปที่ 4.71 (ไม่สามารถเปิดเผยพิกัดละติจูดและลองจิจูด)



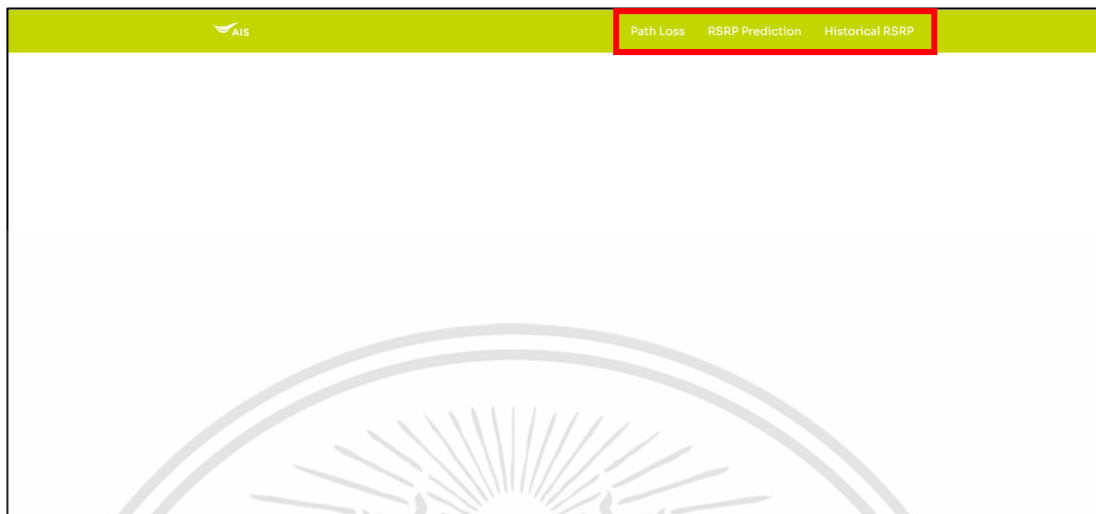
gid [PK] integer	id double precision	date character varying (254)	lat numeric	long numeric	no_site double precision	rsrp numeric	geom geometry	
1	1	663144	3/9/2020			1664	-84.79399999999997	0101000020E6100
2	2	663147	3/9/2020			1664	-91.12200000000000	0101000020E6100
3	3	663150	3/9/2020			1664	-95.31000000000002	0101000020E6100
4	4	663157	3/9/2020			1664	-94.20399999999994	0101000020E6100
5	5	663162	3/9/2020			1664	-98.53600000000001	0101000020E6100
6	6	663163	3/9/2020			1664	-96.46599999999994	0101000020E6100
7	7	663172	3/9/2020			1664	-92.14000000000001	0101000020E6100
8	8	663177	3/9/2020			1664	-94.31699999999993	0101000020E6100
9	9	663186	3/9/2020			1664	-87.38899999999996	0101000020E6100
10	10	663190	3/9/2020			1664	-98.73999999999995	0101000020E6100

รูปที่ 4.71 หน้าแสดงฐานข้อมูล PostgreSQL สำหรับตารางชื่อ “1_PhraNakhon”

4.7 เว็บแอปพลิเคชัน

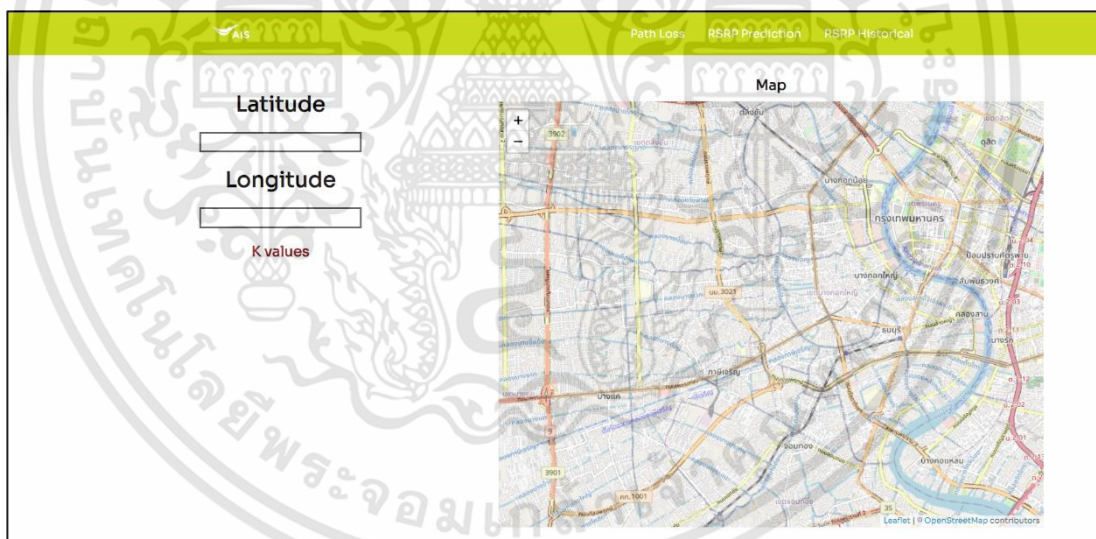
4.7.1 Front End

ผลจากการสร้างหน้าเว็บแอปพลิเคชัน โดยออกแบบให้มีแถบหลักเพื่อกดเข้าไปสู่หน้าต่าง ๆ ที่ทำการออกแบบไว้แสดงดังรูปที่ 4.72 ซึ่งประกอบด้วยหน้า Path Lost หน้า Historical RSRP และหน้า RSRP Prediction ในกรอบสีแดง



รูปที่ 4.72 แถบหลักบนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน

การออกแบบหน้า Path Loss สำหรับแสดงสมการ Path Loss โดยมีหน้าการออกแบบดังรูปที่ 4.73

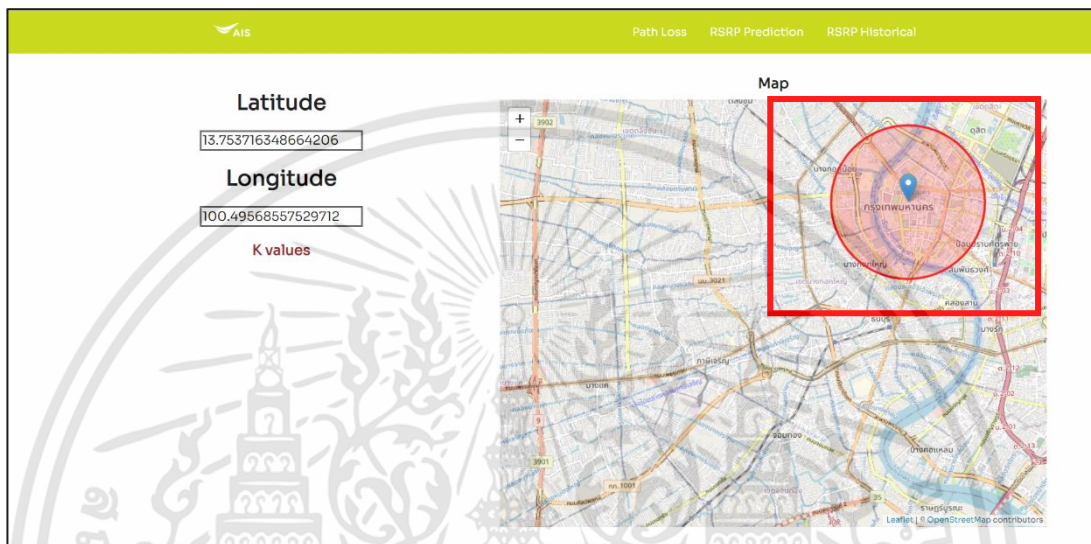


รูปที่ 4.73 หน้า Path Loss บนเว็บแอปพลิเคชัน

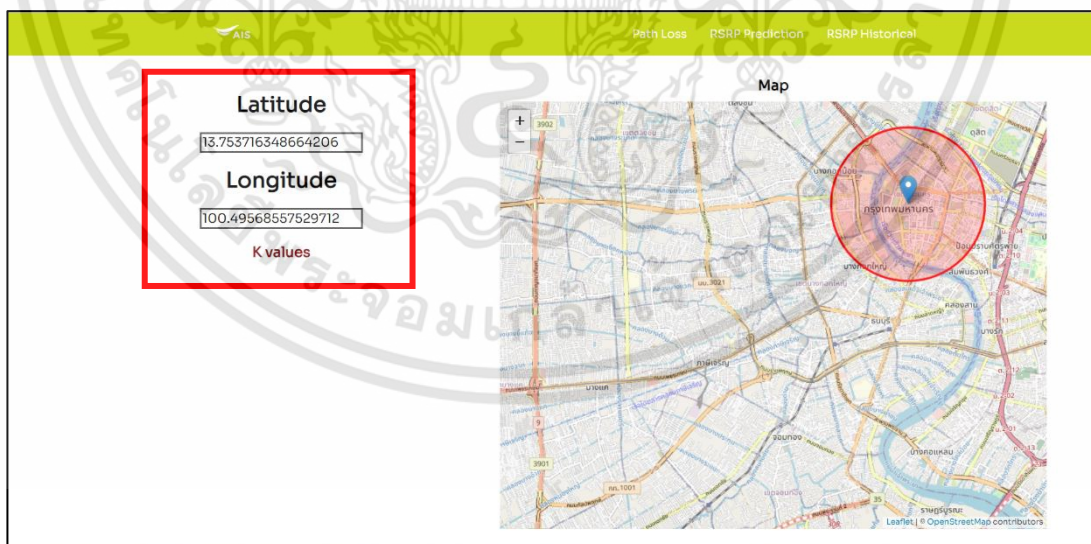
เมื่อผู้ใช้งานต้องการทราบค่าพารามิเตอร์ K ที่จุดใดจุดหนึ่งบนแผนที่ผู้ใช้งานทำการคลิกบนแผนที่ แบบจำลองจะส่งค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูดผ่าน API แสดงพิกัดในช่อง Latitude และ Longitude แสดงค่าพารามิเตอร์ K แสดงสมการ Path Loss บนหน้าเว็บแอปพลิเคชันโดยนำเข้าค่าพารามิเตอร์ K จาก API และแสดงกลุ่มพื้นที่ที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ K เดียวกันในวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รัศมี 2,000 เมตร จากจุดพิกัดที่เลือก โดยแรเงาเป็นสีแดงบนแผนที่ แสดงดังรูปที่ 4.74 แสดงค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูดที่ผู้ใช้งานทำการคลิกบนแผนที่ในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.75 แสดงค่าพารามิเตอร์ K และสมการ Path Loss ในกรอบสีแดงรูปที่ 4.76 และแสดงกลุ่มพื้นที่ที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ K กลุ่มเดียวกันในรัศมี 2,000 เมตรในกรอบสีแดงรูปที่ 4.77

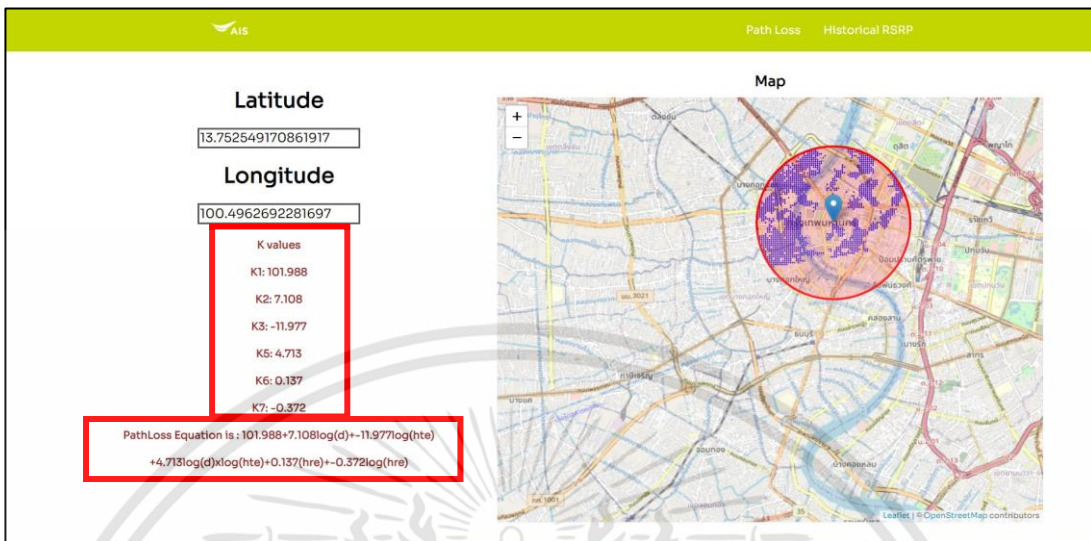


รูปที่ 4.74 Marker และวงกลมแสดงพิกัดและบริเวณที่เลือกบนแผนที่เมื่อคลิกบนแผนที่ในหน้า Path Loss

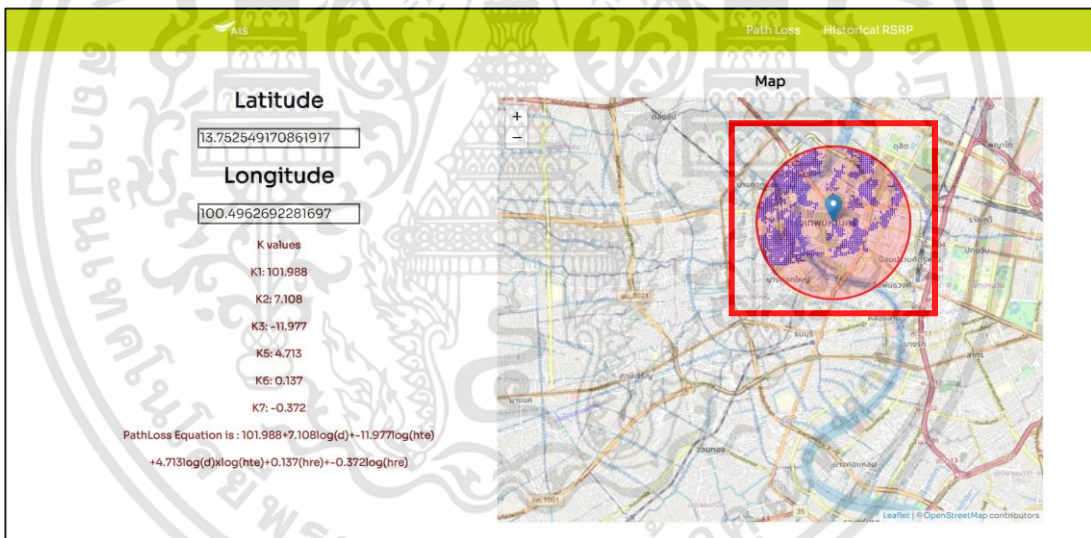


รูปที่ 4.75 พิกัดละติจูดและลองจิจูดที่ได้จากการคลิกบนแผนที่ในหน้า Path Loss

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



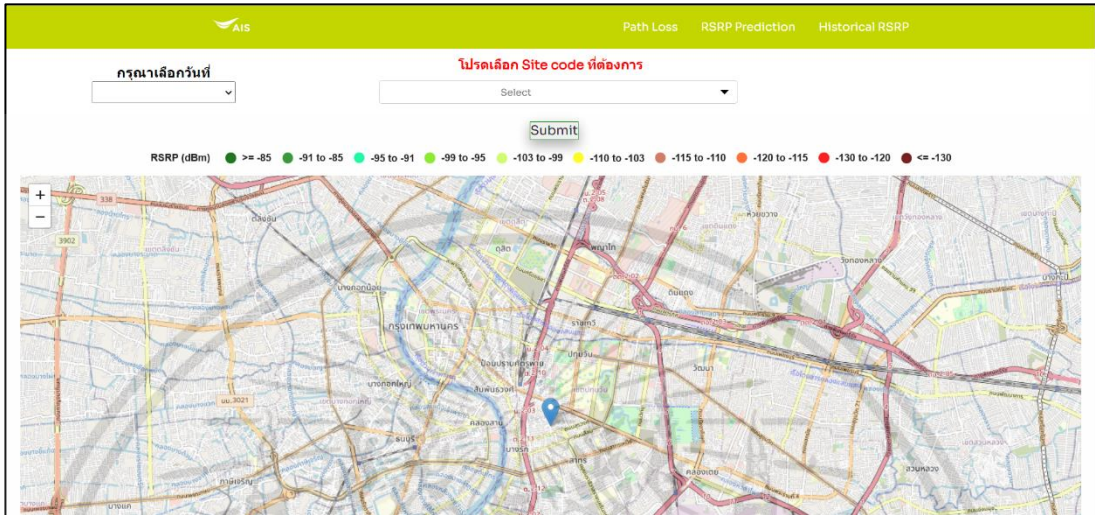
รูปที่ 4.76 ข้อมูลพารามิเตอร์ K และสมการ Path Loss ในหน้า Path Loss



รูปที่ 4.77 กลุ่มพื้นที่ที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ K เดียวกันในรัศมี 2,000 เมตร จากจุดพิกัดที่เลือกในหน้า Path Loss

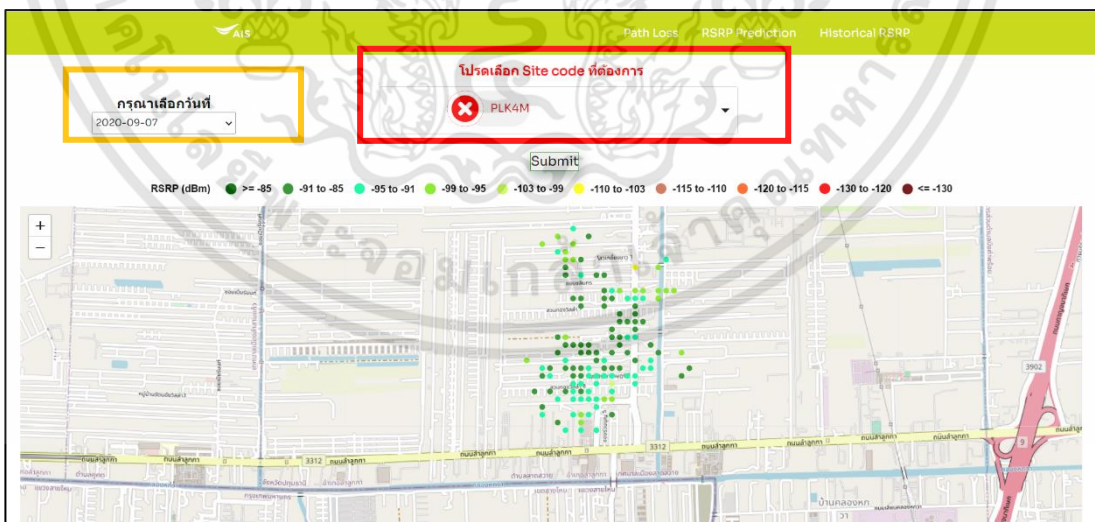
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบหน้า RSRP Historical สำหรับแสดงค่า RSRP ในอดีต โดยมีหน้าเว็บแอปพลิเคชันดังรูปที่ 4.78



รูปที่ 4.78 หน้า RSRP Historical บนเว็บแอปพลิเคชัน

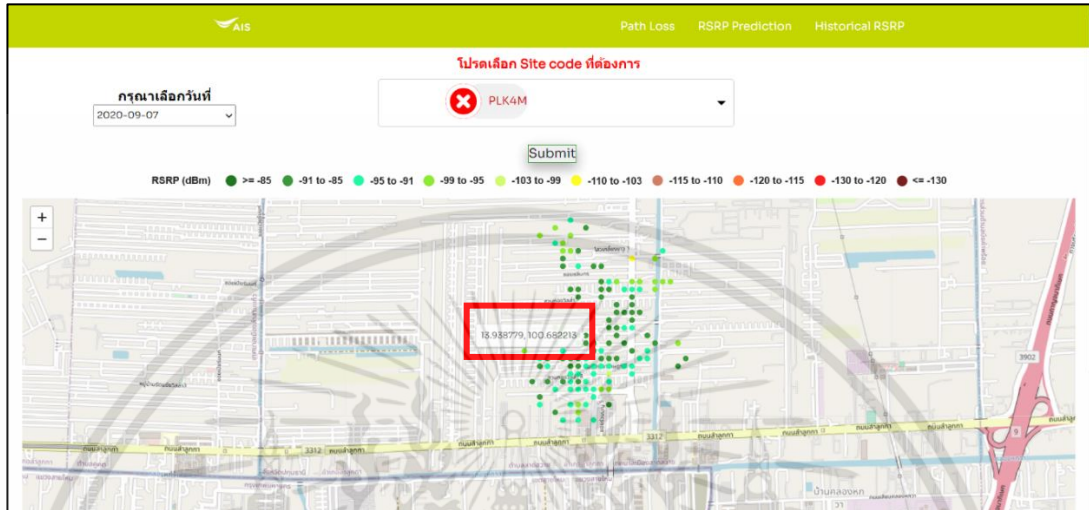
เมื่อผู้ใช้งานทำการเลือกวันที่ และชื่อ Cell Site เมื่อกดปุ่ม Submit แผนที่แสดงแสดงค่า RSRP ในอดีต โดยใช้พิกัดละติจูดและลองจิจูดเป็นจุดศูนย์กลางของวงกลมเพื่อแรเงาเป็นสีต่าง ๆ บนแผนที่ แสดงดังรูปที่ 4.79 โดยกรอบสี่เหลี่ยมคือวันที่ที่ผู้ใช้งานทำการเลือกและกรอบสีแดงคือชื่อ Cell Site ที่ผู้ใช้งานทำการเลือก



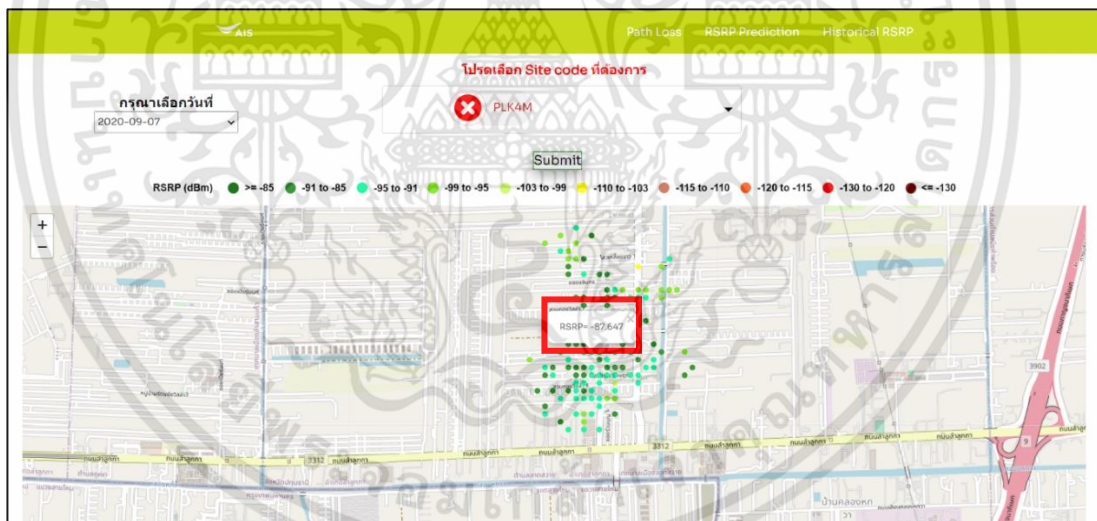
รูปที่ 4.79 แรเงาวงกลมเป็นสีต่าง ๆ แสดงค่า RSRP ตามช่วงที่กำหนดไว้ในหน้า Historical RSRP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการวาง Cursor ไปบนแผนที่ที่จะแสดงพิกัดละติจูดและลองจิจูดในกรอบสีแดง รูปที่ 4.80 และเมื่อทำการคลิกบนวงกลมจะแสดงค่า RSRP ในกรอบสีแดงรูปที่ 4.81



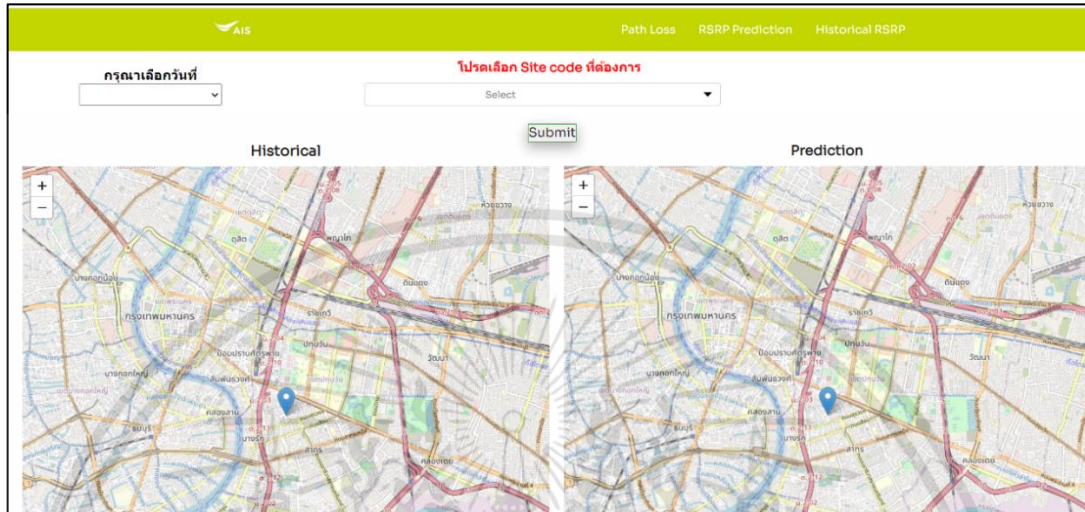
รูปที่ 4.80 พิกัดละติจูดและลองจิจูด เมื่อวาง Cursor ไปบนแผนที่ในหน้า Historical RSRP



รูปที่ 4.81 ค่า RSRP เมื่อคลิกบนแผนที่ในหน้า Historical RSRP

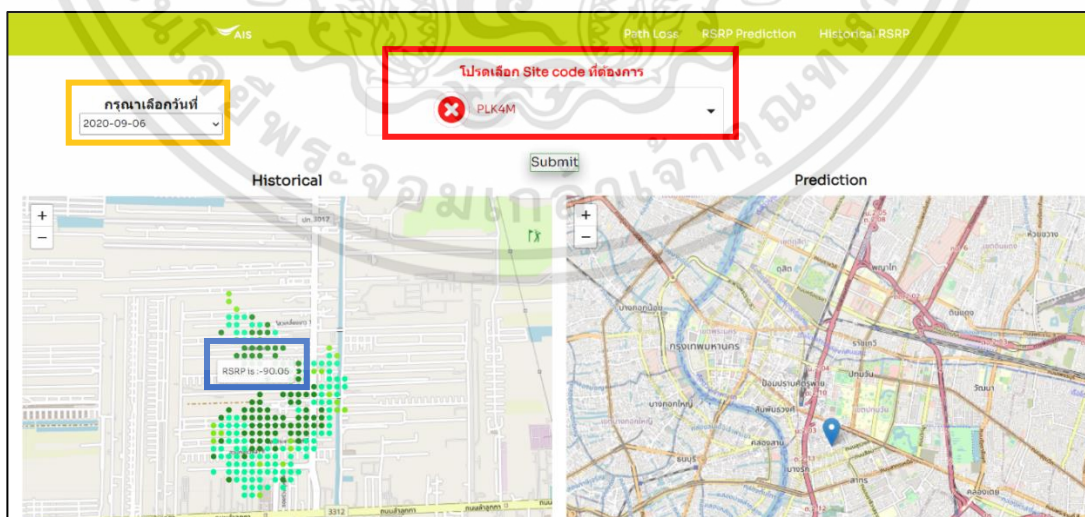
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบหน้า RSRP Prediction สำหรับเปรียบเทียบค่า RSRP ในอดีตและ RSRP ที่ได้จากการทำนายโดยมีหน้าการออกแบบดังรูปที่ 4.82



รูปที่ 4.82 หน้า RSRP Prediction บนเว็บแอปพลิเคชัน

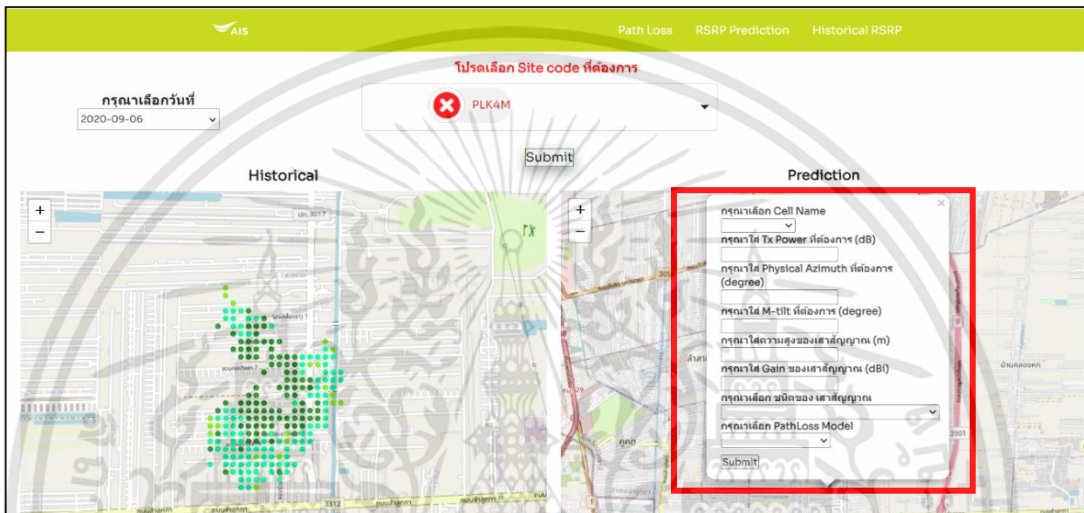
เมื่อผู้ใช้งานทำการเลือกวันที่และชื่อ Cell Site ที่ต้องการทราบค่า RSRP ผู้ใช้งานทำการคลิกบนแผนที่ แบบจำลองจะส่งค่าวันที่และชื่อ Cell Site ผ่าน API และแสดงค่า RSRP ลงบนแผนที่ Historical เมื่อนำ Cursor ไปวางบนแผนที่ที่จะแสดงค่า RSRP ดังรูปที่ 4.83 โดยกรอบสี่เหลี่ยมคือค่าวันที่ที่ผู้ใช้งานทำการเลือก กรอบสีแดงคือชื่อ Cell Site ที่ผู้ใช้งานทำการเลือกและกรอบสีน้ำเงินคือค่า RSRP เมื่อนำ Cursor ไปวางบนแผนที่



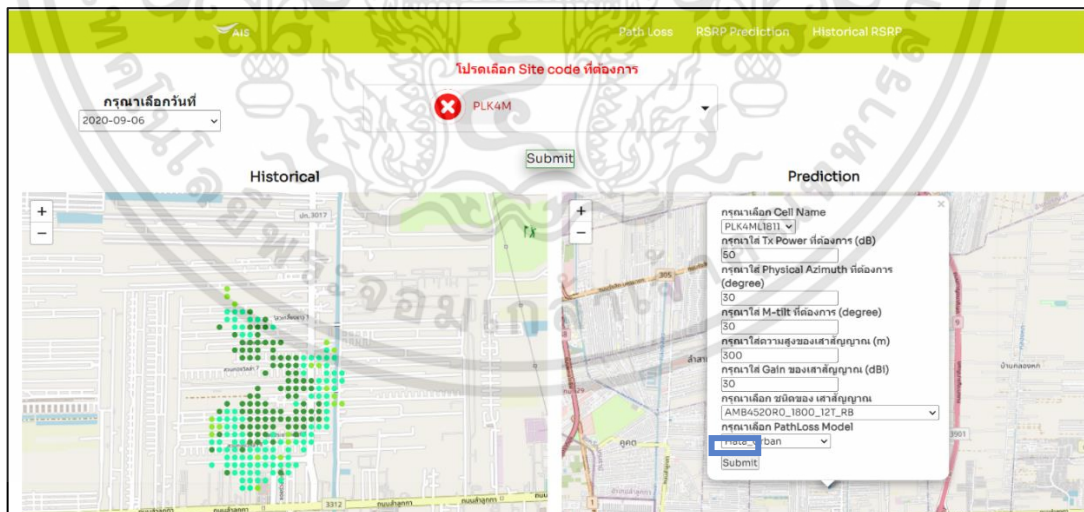
รูปที่ 4.83 ค่า RSRP เมื่อคลิกบนแผนที่ Historical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผู้ใช้งานคลิกบนแผนที่ Prediction จะย้าย Marker ไปบริเวณชื่อ Cell Name ที่ผู้ใช้งานทำการเลือกและแสดง Marker ตำแหน่งของเสาสัญญาณในเขตนั้นเมื่อทำการคลิกที่ Marker แสดงช่องกรอกค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการทำนายในกรอบสีแดงรูปที่ 4.84 เมื่อผู้ใช้งานทำการกรอกค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการปรับและกดปุ่ม Submit ทำการทำนายค่า RSRP ในกรอบสีน้ำเงินรูปที่ 4.85 แสดงค่า RSRP จากการทำนายบนแผนที่ Prediction ในกรอบสีเหลืองรูปที่ 4.86

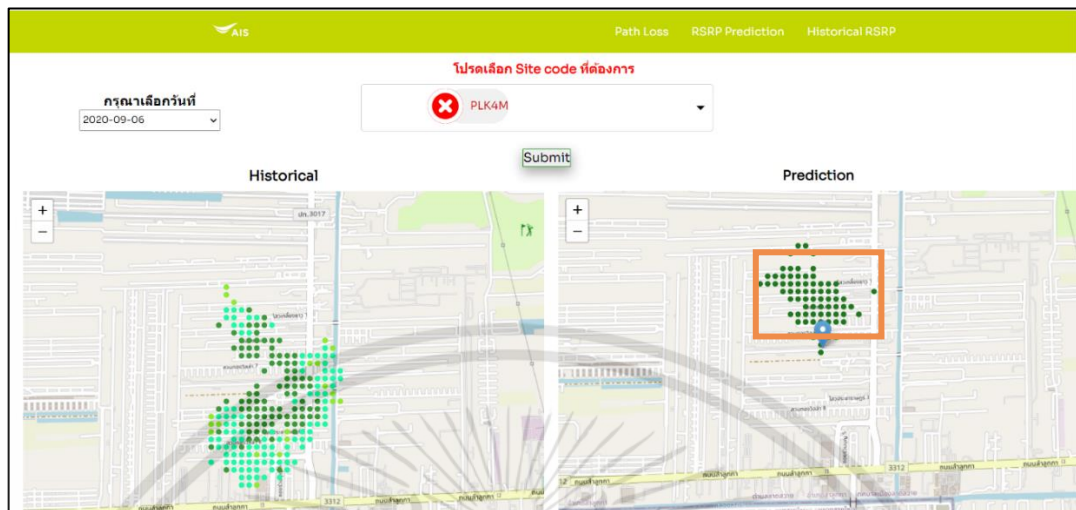


รูปที่ 4.84 ช่องกรอกค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้ทำนายค่า RSRP



รูปที่ 4.85 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำนายค่า RSRP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.86 แสดงค่า RSRP ที่ได้จากการทำนายลงบนแผนที่ Prediction

4.7.2 Back End

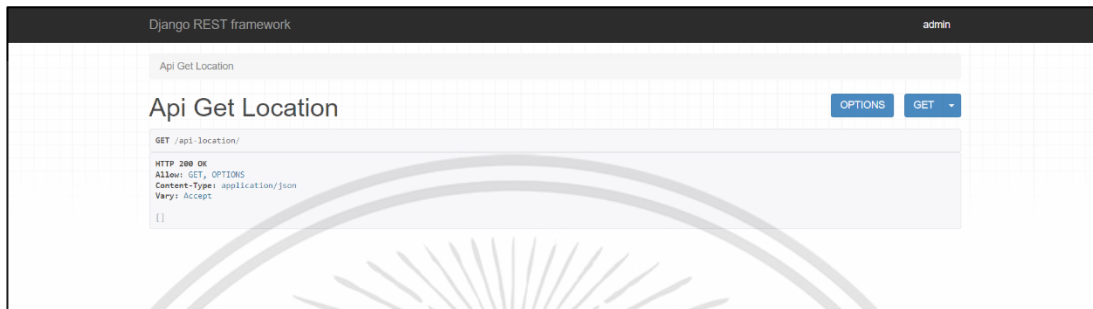
ผลจากการสร้าง Superuser และ Run Server จากนั้นทำการ Login เพื่อเข้าสู่หน้า Admin Site คือหน้าควบคุมและจัดการ Model ต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อกับเว็บแอปพลิเคชันใน Django เมื่อเข้าถึง <http://x.x.x.x/admin> (x.x.x.x แสดงแทนเลข IP Address ซึ่งไม่สามารถเปิดเผยได้) จะแสดงแอปพลิเคชันชื่อ Path Loss ดังรูปที่ 4.87



รูปที่ 4.87 หน้าควบคุม Admin Site สำหรับแอปพลิเคชันชื่อ Path Loss

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการสร้าง API ลิงก์ `http://x.x.x.x/api-location` (x.x.x.x แสดงแทนเลข IP Address ซึ่งไม่สามารถเปิดเผยได้) สำหรับการส่งค่าละติจูดลองจิจูดของจุดที่ผู้ใช้งานต้องการทราบค่าพารามิเตอร์ K ไปใช้ในส่วน Back End ดังรูปที่ 4.88



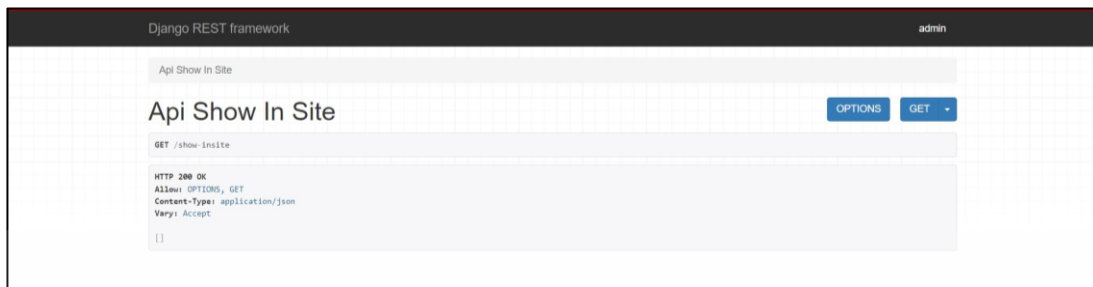
รูปที่ 4.88 API ลิงก์ `http://x.x.x.x/api-location`

ผลจากการสร้าง API ลิงก์ `http://x.x.x.x/show` (x.x.x.x แสดงแทนเลข IP Address ซึ่งไม่สามารถเปิดเผยได้) สำหรับนำค่าพารามิเตอร์ K ในฐานะข้อมูลมาแสดงผลในส่วนของ Path Loss ดังรูปที่ 4.89



รูปที่ 4.89 API ลิงก์ `http://x.x.x.x/show`

ผลจากการสร้าง API ลิงก์ `http://x.x.x.x/show-insite` (x.x.x.x แสดงแทนเลข IP Address ซึ่งไม่สามารถเปิดเผยได้) สำหรับนำค่าละติจูดและลองจิจูดมาแสดงผลในส่วนของ Path Loss ดังรูปที่ 4.90 (ไม่สามารถเปิดเผยพิกัดละติจูดและลองจิจูดได้)



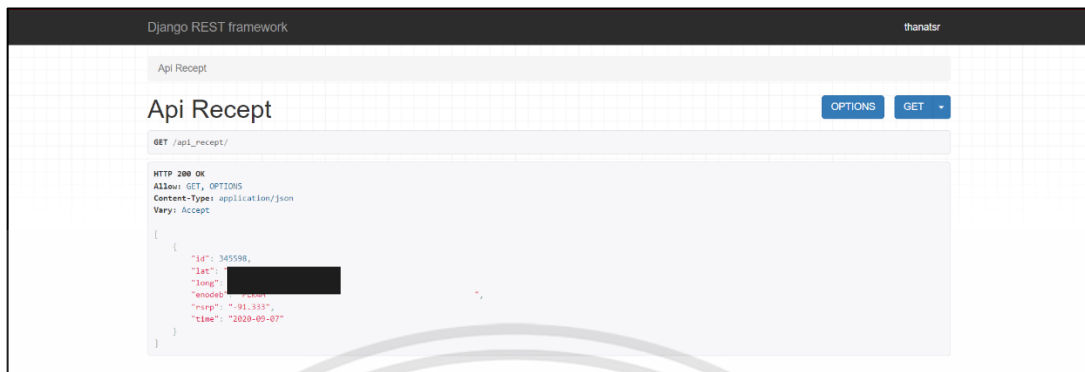
รูปที่ 4.90 API ลิงก์ <http://x.x.x.x/show-insite>

ผลจากการสร้าง API ลิงก์ <http://x.x.x.x/api-dropdown> (x.x.x.x แสดงแทนเลข IP Address ซึ่งไม่สามารถเปิดเผยได้) สำหรับนำค่า info และ time ไปใช้ในการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.91



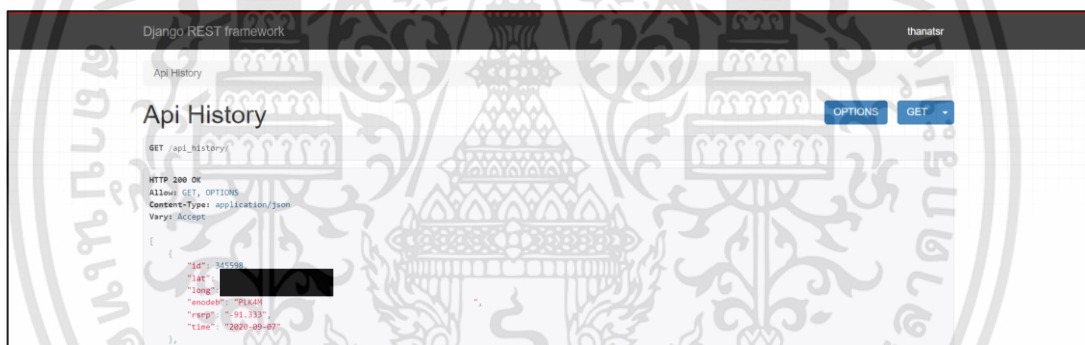
รูปที่ 4.91 API ลิงก์ <http://x.x.x.x/api-dropdown>

ผลจากการสร้าง API ลิงก์ http://x.x.x.x/api_recept (x.x.x.x แสดงแทนเลข IP Address ซึ่งไม่สามารถเปิดเผยได้) สำหรับนำค่า info และ time ไปใช้ในการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.92 (ไม่สามารถเปิดเผยพิกัดละติจูดและลองจิจูดได้)



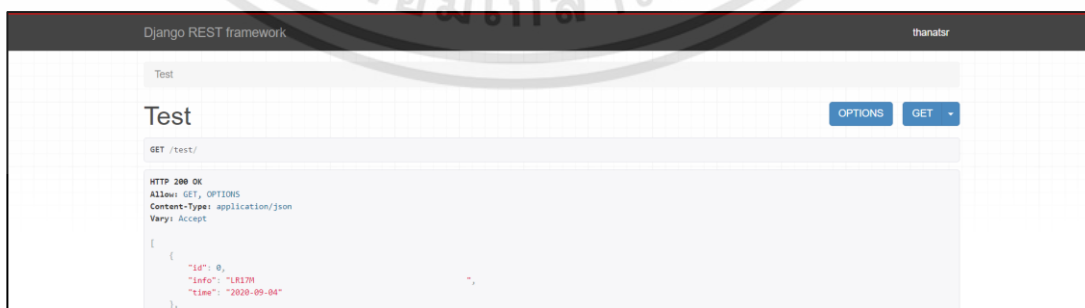
รูปที่ 4.92 API ลิงก์ http://x.x.x.x/api_recept

ผลจากการสร้าง API ลิงก์ http://x.x.x.x/api_history (x.x.x.x แสดงแทนเลข IP Address ซึ่งไม่สามารถเปิดเผยได้) สำหรับนำค่าละติจูด ลองจิจูด และ RSRP แสดงบนแผนที่ Historical แสดงดังรูปที่ 4.93 (ไม่สามารถเปิดเผยพิกัดละติจูดและลองจิจูดได้)



รูปที่ 4.93 API ลิงก์ http://x.x.x.x/api_history

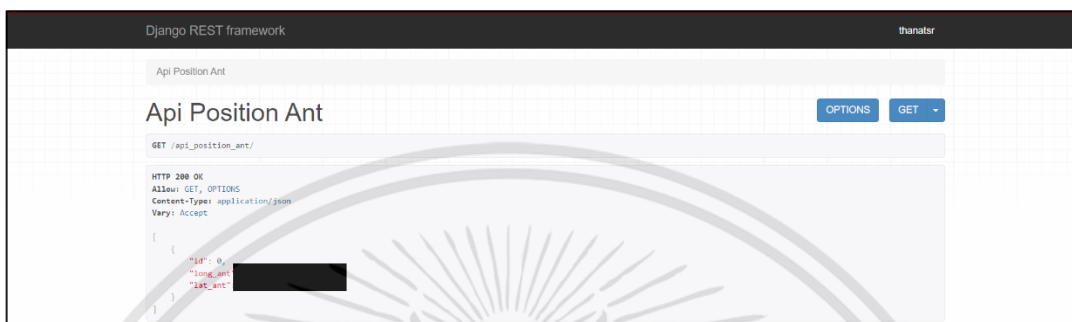
ผลจากการสร้าง API ลิงก์ <http://x.x.x.x/test> (x.x.x.x แสดงแทนเลข IP Address ซึ่งไม่สามารถเปิดเผยได้) สำหรับนำค่า info นำไปแสดงบน Drop down แสดงดังรูปที่ 4.94



รูปที่ 4.94 API ลิงก์ <http://x.x.x.x/test>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการสร้าง API ลิงก์ http://x.x.x.x/api_position_ant (x.x.x.x แสดงแทนเลข IP Address ซึ่งไม่สามารถเปิดเผยได้) สำหรับนำค่าละติจูดและลองจิจูดเป็นตำแหน่งของ Marker แสดงดังรูปที่ 4.95 (ไม่สามารถเปิดเผยพิกัดละติจูดและลองจิจูดได้)



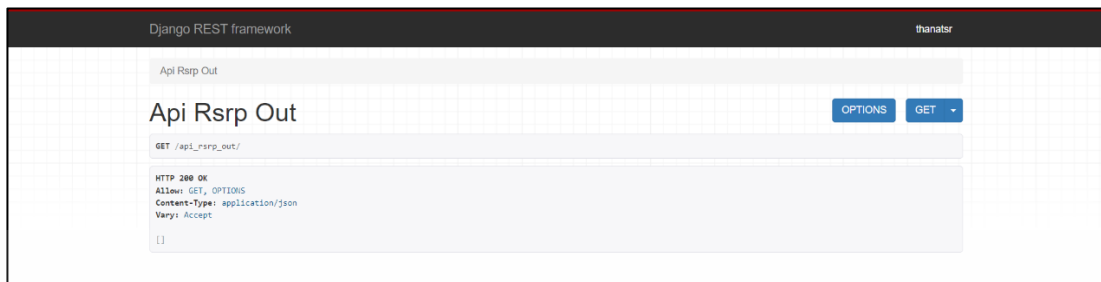
รูปที่ 4.95 API ลิงก์ http://x.x.x.x/api_position_ant

ผลจากการสร้าง API ลิงก์ http://x.x.x.x/api_receipt_ant (x.x.x.x แสดงแทนเลข IP Address ซึ่งไม่สามารถเปิดเผยได้) สำหรับนำค่าพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้งานทำการปรับเพื่อนำไปทำนายค่า RSRP แสดงดังรูปที่ 4.96



รูปที่ 4.96 API ลิงก์ http://x.x.x.x/api_receipt_ant

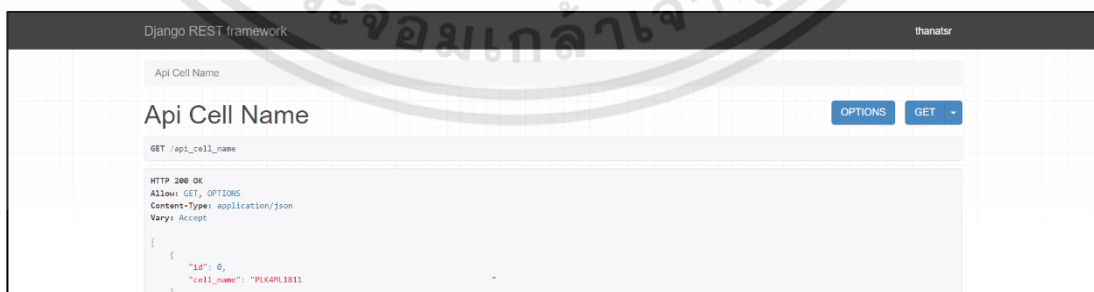
ผลจากการสร้าง API ลิงก์ http://x.x.x.x/api_rsrp_out (x.x.x.x แสดงแทนเลข IP Address ซึ่งไม่สามารถเปิดเผยได้) สำหรับนำค่าละติจูด ลองจิจูดและค่า RSRP ที่ได้จากการทำนาย แสดงผลบนแผนที่แสดงดังรูปที่ 4.97

รูปที่ 4.97 API ลิงก์ http://x.x.x.x/api_rsrp_out

ผลจากการสร้าง API ลิงก์ http://x.x.x.x/api_ant_model (x.x.x.x แสดงแทนเลข IP Address ซึ่งไม่สามารถเปิดเผยได้) สำหรับนำค่าชนิดของเสาสัญญาณไปแสดงค่าให้ผู้ใช้งานทำการเลือกแสดงดังรูปที่ 4.98

รูปที่ 4.98 API ลิงก์ http://x.x.x.x/api_ant_model

ผลจากการสร้าง API ลิงก์ http://x.x.x.x/api_cell_name (x.x.x.x แสดงแทนเลข IP Address ซึ่งไม่สามารถเปิดเผยได้) สำหรับนำค่า Cell name ไปแสดงค่าให้ผู้ใช้งานทำการเลือกแสดงดังรูปที่ 4.99

รูปที่ 4.99 API ลิงก์ http://x.x.x.x/api_cell_name

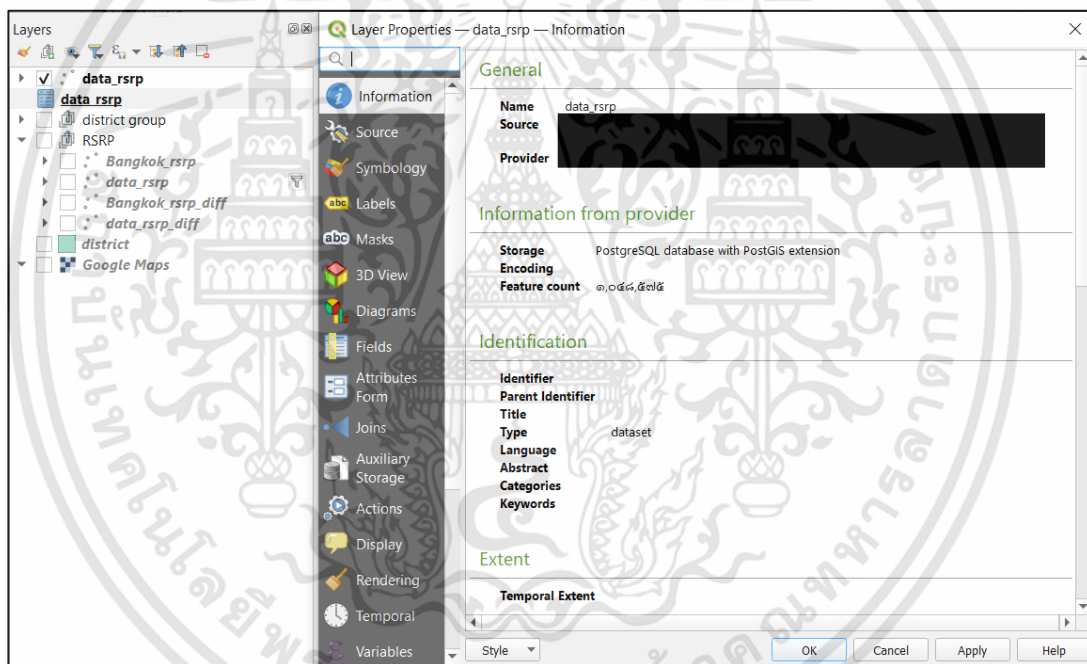
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 QGIS

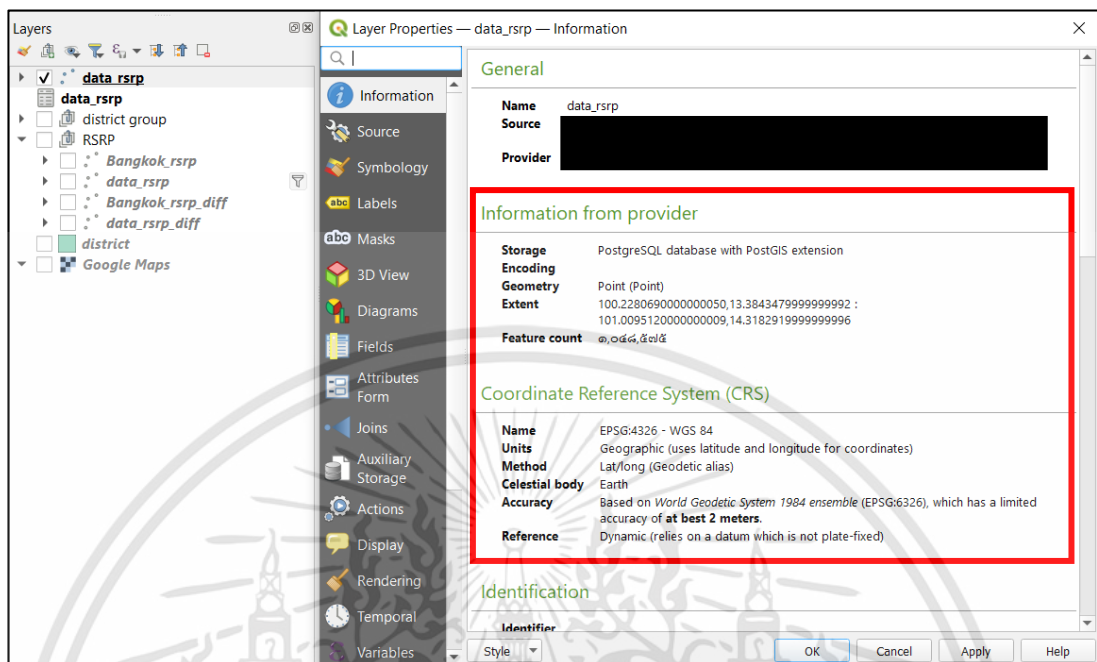
4.8.1 ผลการเปลี่ยนแปลงข้อมูลและนำเข้าตาราง

ผลการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่เชื่อมต่อกับฐานข้อมูลผ่าน PostGIS ซึ่งข้อมูลเดิมที่ไม่ใช่ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์เปลี่ยนแปลงให้เป็นข้อมูลใหม่ที่เป็นข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อให้ QGIS สามารถแสดงข้อมูลบน Map View ได้

แสดงตัวอย่างหน้าต่างรายละเอียดของ Layer ชื่อ “data_rsrp” สำหรับจัดเก็บข้อมูล RSRP ในอดีต ซึ่งจะเห็นได้ว่าไม่ใช่ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ ดังรูปที่ 4.100 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงให้เป็นข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ หน้าต่างจะแสดงรายละเอียดข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.101 (ไม่สามารถเปิดเผย Source ได้)



รูปที่ 4.100 ตัวอย่างหน้าต่างแสดงรายละเอียดของ Layer ชื่อ “data_rsrp”
ซึ่งไม่ใช่ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์

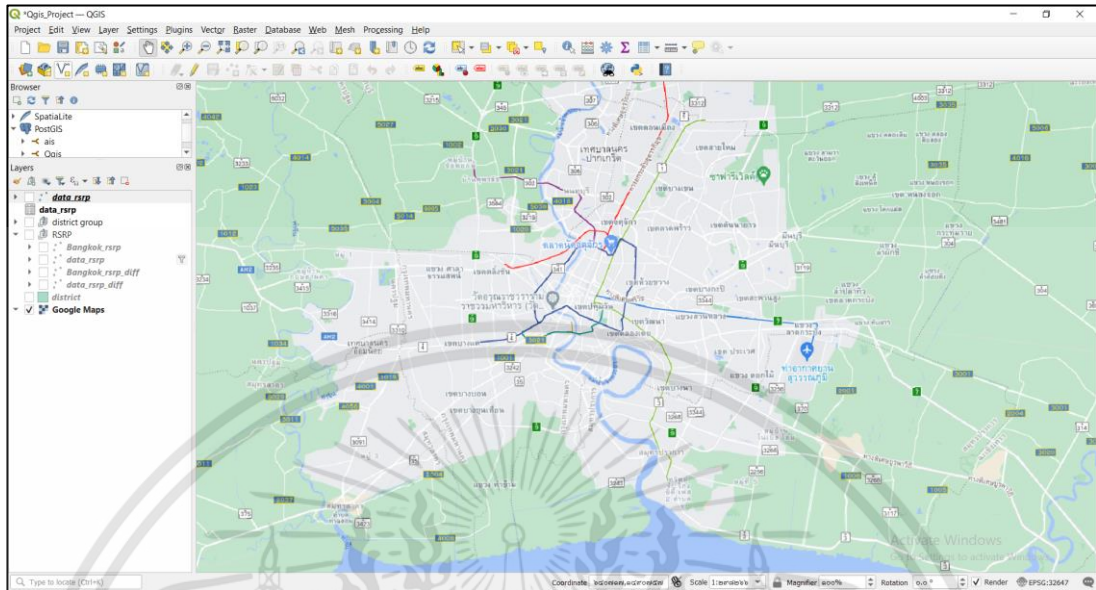


รูปที่ 4.101 ตัวอย่างหน้าต่างแสดงรายละเอียดของ Layer ชื่อ “data_rsrp” ซึ่งเป็นข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์

4.8.2 ผลการออกแบบแผนที่สำหรับแสดงค่า RSRP

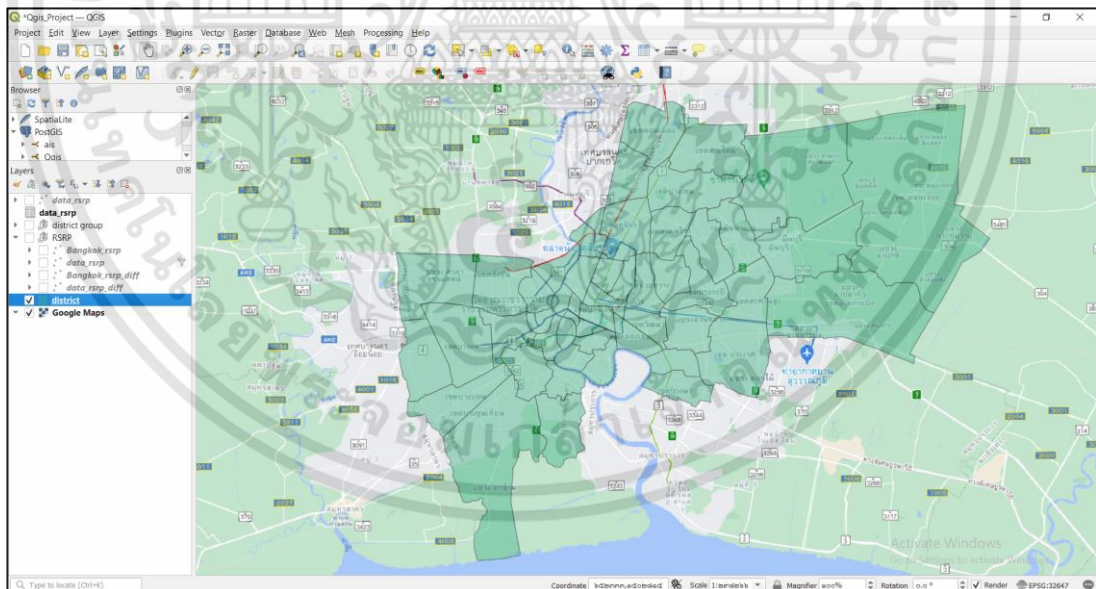
การออกแบบแผนที่สำหรับแสดงค่า RSRP มีการกำหนด Layer ต่าง ๆ บน Map Legend เพื่อแสดงข้อมูลตามที่ต้องการ เมื่อคลิกเครื่องหมายถูกหน้า Layer ใด ข้อมูลใน Layer นั้นจะแสดงข้อมูลบน Map View เมื่อไม่ต้องการให้แสดงข้อมูลบน Map View ให้คลิกเครื่องหมายถูกหน้า Layer ออก ในแต่ละ Layer สามารถสลับตำแหน่งกันได้ Layer ที่อยู่ด้านบนสุดจะแสดงตำแหน่งข้อมูลหน้าสุดของ Map View และ Layer อื่น ๆ ที่เรียงรองลงมาจะแสดงตำแหน่งข้อมูลรองลงมาตามลำดับ

ผลการเลือก Layer ชื่อ “Google Maps” ซึ่งนำเข้าสู่ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ของ Map Service จาก Google Maps แสดงดังรูปที่ 4.102



รูปที่ 4.102 Layer ชื่อ “Google Maps” บน QGIS

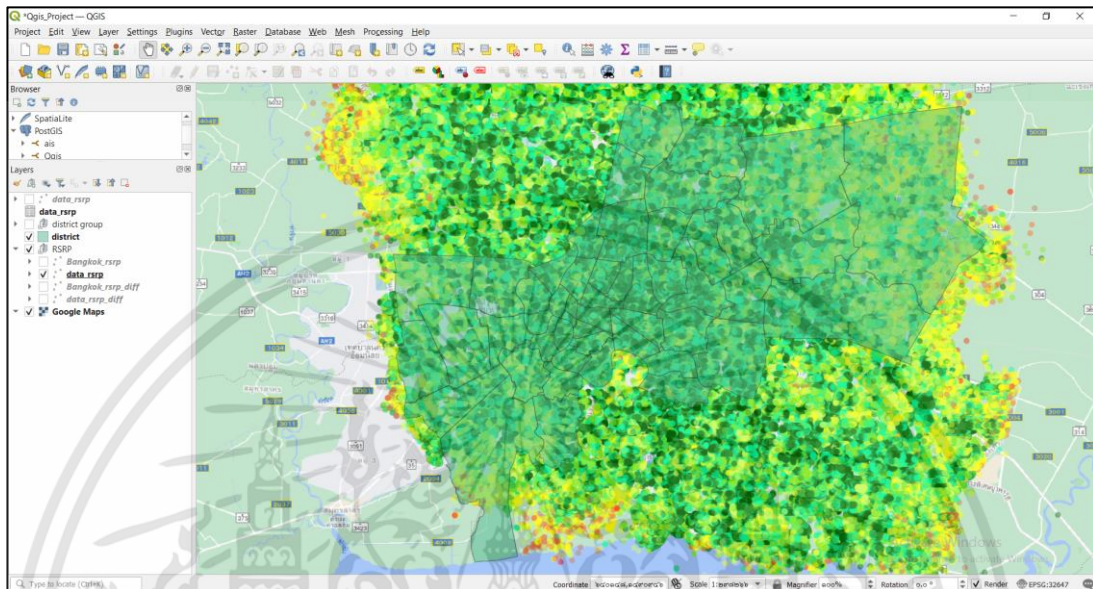
เมื่อผู้ใช้งานต้องการให้แผนที่แสดงพื้นที่เขตการปกครองของกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีคุณลักษณะเป็น Polygon ให้เลือก Layer ชื่อ “district” แสดงดังรูปที่ 4.103



รูปที่ 4.103 Layer ชื่อ “district” บน QGIS

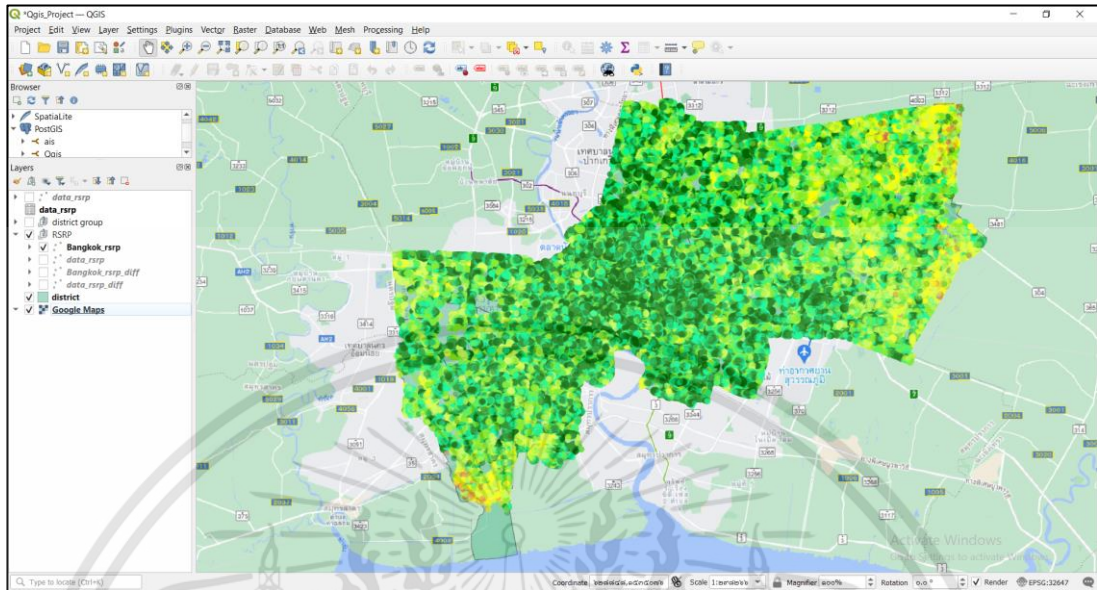
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผู้ใช้งานต้องการให้แผนที่แสดงค่า RSRP ในอดีต ซึ่งมีคุณลักษณะเป็น Point ให้เลือก Layer ชื่อ “data_rsrp” แสดงดังรูปที่ 4.104



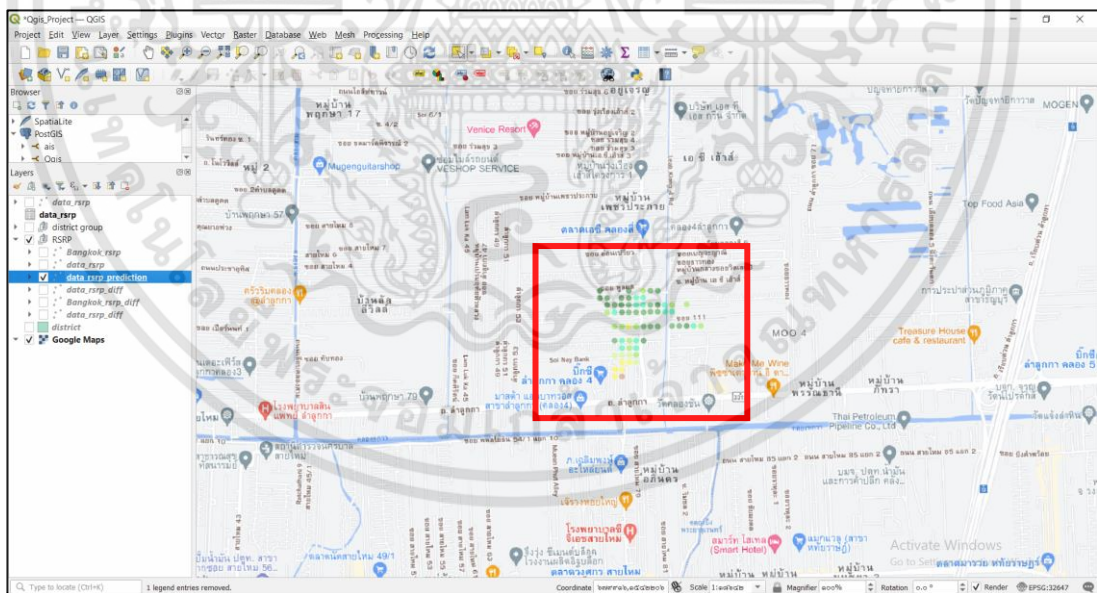
รูปที่ 4.104 Layer ชื่อ “data_rsrp” บน QGIS

เมื่อผู้ใช้งานต้องการให้แผนที่แสดงค่า RSRP ในอดีตเฉพาะพื้นที่เขตการปกครองของกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีคุณลักษณะเป็น Point ให้เลือก Layer ชื่อ “Bangkok_rsrp” แสดงดังรูปที่ 4.105



รูปที่ 4.105 Layer ชื่อ “Bangkok_rsrp” บน QGIS

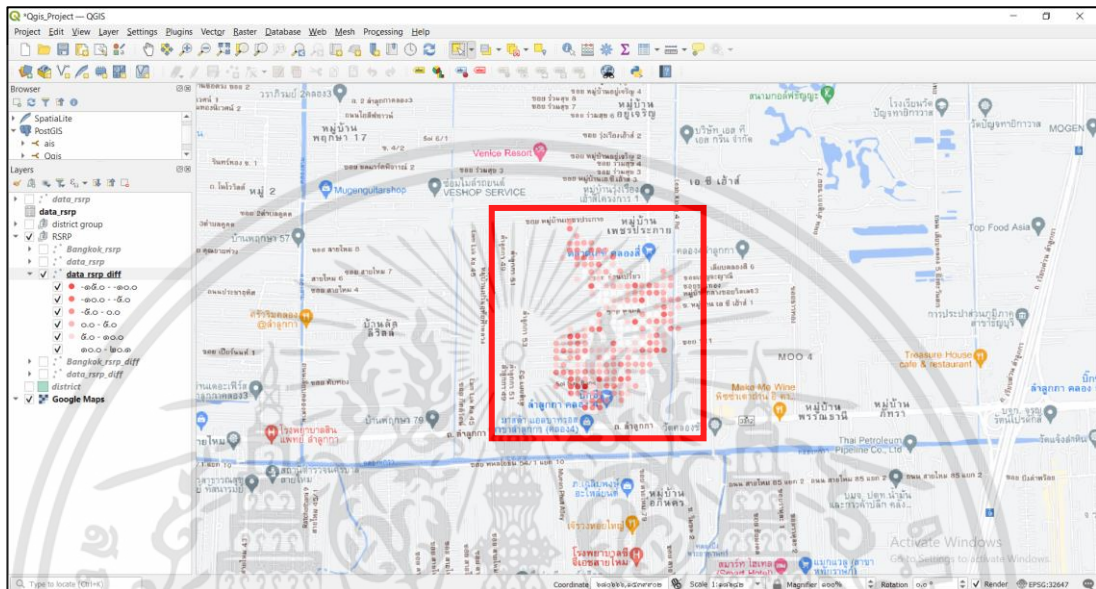
เมื่อผู้ใช้งานต้องการให้แผนที่แสดงค่าทำนาย RSRP ตามชื่อ Cell Name ที่เลือกไว้ในเว็บแอปพลิเคชัน ให้เลือก Layer ชื่อ “data_rsrp_prediction” แสดงในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.106



รูปที่ 4.106 Layer ชื่อ “data_rsrp_prediction” บน QGIS

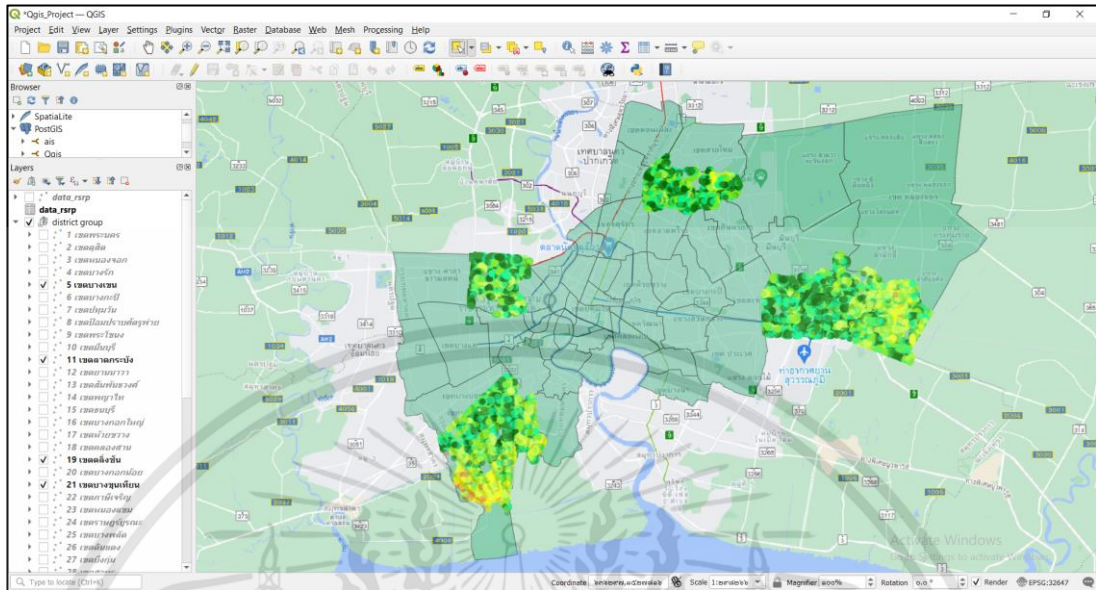
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผู้ใช้งานต้องการให้แผนที่แสดงค่าผลต่างระหว่างค่าทำนาย RSRP กับค่า RSRP ในอดีตตามชื่อ Cell Name ที่เลือกไว้ในเว็บแอปพลิเคชัน ให้เลือก Layer ชื่อ “data_rsrp_diff” แสดงในกรอบสีแดงดังรูปที่ 4.107



รูปที่ 4.107 Layer ชื่อ “data_rsrp_diff” บน QGIS

เมื่อผู้ใช้งานต้องการให้แผนที่แสดงค่า RSRP ในอดีตเฉพาะแต่ละพื้นที่เขตการปกครองของกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีคุณลักษณะเป็น Point ให้เลือก Layer ตามชื่อที่ผู้ใช้งานต้องการเลือกพื้นที่เขตการปกครอง แสดงตัวอย่างเลือก Layer ชื่อ “เขตบางเขน” “เขตลาดกระบัง” “เขตตลิ่งชัน” และ “เขตบางขุนเทียน” แสดงดังรูปที่ 4.108



รูปที่ 4.108 Layer ชื่อ “เขตบางเขน” “เขตลาดกระบัง” “เขตตลิ่งชัน”
และ “เขตบางขุนเทียน” บน QGIS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์นี้ทำการออกแบบแบบจำลอง Path Loss ซึ่งเป็นแบบจำลองสำหรับทำนายค่า Path Loss ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล และออกแบบเว็บแอปพลิเคชันสำหรับผู้ใช้งาน โดยผู้ใช้งานสามารถใช้งานแบบจำลองผ่านทางเว็บแอปพลิเคชันเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานและประกอบการตัดสินใจในการจัดตั้งเสาสัญญาณเพื่อพัฒนาสัญญาณในอนาคต และสามารถใช้งาน QGIS เพื่อการวิเคราะห์และใช้งานบางฟังก์ชันเพิ่มเติม โดยสามารถสรุปผลการดำเนินงานได้ดังนี้

ในส่วนของการออกแบบแบบจำลอง Path Loss

- 1) ผลการทดลองการจัดกลุ่มพื้นที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนกลุ่มและค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายค่า Path Loss โดยการจัดกลุ่มพื้นที่ที่มีค่า RMSE ของชุดข้อมูลทดสอบน้อยที่สุดสำหรับแบบจำลอง Path Loss
- 2) จำนวนกลุ่มที่เหมาะสมกับความถี่ 900 MHz 1800 MHz และ 2100 MHz ได้แก่ 250 300 และ 300 กลุ่ม ซึ่งมีค่า RMSE ของข้อมูลชุดทดสอบเท่ากับ 2.9622 dB 3.2739 dB และ 4.8244 dB
- 3) แบบจำลอง Path Loss มีประสิทธิภาพการทำนายค่า Path Loss สูงกว่าโมเดล Ericsson ในความถี่ 900 MHz 1800 MHz และ 2100 MHz ซึ่งโมเดล Ericsson มีค่า RMSE ของข้อมูลชุดทดสอบเท่ากับ 52.5339 dB 24.9131 dB และ 30.9029 dB
- 4) เว็บแอปพลิเคชันสามารถเชื่อมต่อระหว่าง Front End กับ Back End ได้ สามารถใช้งาน API ได้ตรงตามวัตถุประสงค์การใช้งานและมีความปลอดภัยสำหรับผู้ใช้งาน
- 5) QGIS สามารถเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลได้ สามารถใช้งานผ่านฟังก์ชันเพิ่มเติมจากเว็บแอปพลิเคชันได้และมีความปลอดภัยสำหรับผู้ใช้งาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) แบบจำลอง Path Loss ควรทำความสะอาดข้อมูลเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนของการประมวลผลอัลกอริทึมและจัดเตรียมข้อมูลอย่างเป็นระบบเพื่อให้ง่ายต่อการจัดการข้อมูล
- 2) เว็บแอปพลิเคชันมีข้อจำกัดในเรื่องของความเร็วในการแสดงผล ในครั้งแรกที่ใช้งานเว็บแอปพลิเคชันจะใช้เวลาเร็วในการแสดงผลนาน ส่วนของการเลือก Site Code อาจมีการเปลี่ยนแปลงและปรับปรุงเพื่อให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น
- 3) QGIS มีข้อจำกัดในเรื่องประเภทของข้อมูล ข้อมูลที่จะนำมาแสดงผลจำเป็นต้องเป็นข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ เนื่องจากข้อมูลพื้นฐานข้อมูลไม่ใช่ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ จึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลในหลายขั้นตอนก่อนนำไปใช้งานจริง



บรรณานุกรม

- [1] Segun I. Popoola, Nasir Faruk, Prof. Aderemi A. Atayero, Carlos Tavares Calafate, “Standard Propagation Model Tuning for Path Loss Predictions in Built-Up Environments”, International Conference on Computational Science and Its Applications.
- [2] Yahia Zakaria, Jiri Hosek, and Jiri Misurec, “Path Loss Measurements for Wireless Communication in Urban and Rural Environments”, American Journal of Engineering and Applied Sciences, pp. 95-99, April 2015.
- [3] Supalerk Pisitsupakarn. “[Pandas-Part IV] Join Type , Merge และ Concatenate.” <https://medium.com/data-cafe-thailand/pandas-part-iv-join-type-merge-%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0-concatenate-69cf24ee2016>
- [4] Whatissixsigma. “Box Plot Diagram to Identify Outliers.” <https://www.whatissixsigma.net/box-plot-diagram-to-identify-outliers/>
- [5] ICHI.PRO. “K-Means Clustering และกรณีการใช้งานในโดเมนความปลอดภัย.” <https://ichi.pro/th/k-means-clustering-laea-kni-kar-chi-ngan-ni-domen-khwam-plxdphay-136670984217932>
- [6] F. Gil, A. R. Claro, J. M. Ferreira, C. Pardelinha, and L. M. Correia, “A 3-D extrapolation model for base station antennas’ radiation patterns,” in Proc. IEEE VTC-Fall, Amsterdam, The Netherlands, Sep. 1999, pp.1341–1345
- [7] Nuno R. Leonor, Student Member, IEEE, Rafael F. S. Caldeirinha, Senior Member, IEEE, Manuel García Sánchez, Member, IEEE, and Telmo R. Fernandes, Member, IEEE, “A Three Dimensional Directive Antenna Pattern Interpolation Method”, IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, VOL. 15, 2016, pp.881-884

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [8] Wikipedia. “World Geodetic System.”
https://en.wikipedia.org/wiki/World_Geodetic_System
- [9] Esa. “Transformations between ECEF and ENU coordinates.”
https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Transformations_between_ECEF_and_ENU_coordinates
- [10] Mathforcollege. “Multivariate Least Squares Fitting.”
http://mathforcollege.com/nm/mws/gen/06reg/mws_gen_reg_spe_multivariate.pdf
- [11] Huawei. “Huawei WLAN AP Antenna Datasheet.”
<https://e.huawei.com/en/material/networking/wlan/5964dba0b2e64709ba0b692b0e06790c>
- [12] Abbreviation Finder. “RSRP: สัญญาณอ้างอิงได้รับพลังงาน.”
https://www.abbreviationfinder.org/th/acronyms/rsrp_reference-signal-received-power.html
- [13] AdminP. “Web Application หรือ โปรแกรมประยุกต์บนเว็บคืออะไร?”
<https://www.ko.in.th/web-application-คืออะไร/>
- [14] 1stCraft Team. “Web application คืออะไร? ต่างจากเว็บไซต์ทั่วไปอย่างไร?”
<https://1stcraft.com/website-application-vs-general-website/>
- [15] Wasin Thiengkunakrit. “เริ่มพัฒนา Web Application กับภาษา Python ด้วย Django Framework.” <https://codeburst.io/เริ่มพัฒนา-web-application-กับภาษา-python-ด้วย-django-framework-38ce132ac706>
- [16] Kong Ruksiamza. “ปูพื้นฐานการพัฒนา Web Application ภาษา Python ด้วย Django Framework.” <https://kongruksiamza.medium.com/ปูพื้นฐานการพัฒนา-web-application-กับภาษา-python-ด้วย-django-framework-9d3b7f48718a>.
- [17] Sonny. “Django REST Framework - สร้าง API ด้วย Python ฉบับเต็ม.”
<https://stackpython.co/tutorial/django-rest-framework-api-python>

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [18] Tanabodin Kamol. “http คืออะไร.” <https://medium.com/icreativesystems/basic-http-3a2b05e5aa19>
- [19] Thaiware. “HTTP Status Code คืออะไร? มีอะไรบ้าง?” <https://today.line.me/th/v2/article/WWgQK5>
- [20] รุจรวี ชุ่มจิตร์. “รวมความหมายของ Error Cod?” <https://sites.google.com/site/rwmsarphadxithi/rwm-khwam-hmay-khxng-error-code>
- [21] designil. “React คืออะไร? ไขข้อสงสัยสำหรับมือใหม่.” <https://www.designil.com/react-คืออะไร/>
- [22] Designil สอนเว็บดีไซน์ UI UX HTML CSS. “3 คอนเซ็ปต์สำคัญของ React รู้แค่นี้ก็เขียนได้.” <https://www.facebook.com/webdesignil/photos/-3-คอนเซ็ปต์สำคัญของ-react-รู้แค่นี้ก็เขียนได้-reactforbeginnerใครยังไม่ได้อ่านบท/1584291524978781/>
- [23] Facebook Open Source. “แนะนำ JSX.” <https://th.reactjs.org/docs/introducing-jsx.html>
- [24] No money, no honey. “CSR, SSR และ SSG มันคืออียังวะบน NextJS.” <https://blog.1moby.com/csr-ssr-และ-ssg-มันคืออียังวะบน-nextjs-363bd9d6651b>
- [25] Aegisz. “เริ่มต้นใช้งาน Leaflet สำหรับพัฒนาแผนที่ออนไลน์.” <https://gistnu.wordpress.com/2017/12/26/เริ่มต้นใช้งาน-leaflet-สำหรับพ/>
- [26] งานคอมพิวเตอร์ โรงเรียนสตรีวัดระฆัง. “ภาษาคอมพิวเตอร์.” http://www.sr.ac.th/sr_com/page_310.html
- [27] Somyong Khammuest. “ภาษา HTML คืออะไร.” <https://sites.google.com/site/somyongregina/academic/hnwy-kar-reiyn-ru-thi-1/html-languae>.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [28] Wipada Chaiwchan. “จาวาสคริปต์ (JavaScript).”
http://www.elfhs.sru.ac.th/wipada_ch/pluginfile.php/868/course/summary/Chapter7-JavaScript.pdf.
- [29] Wynnssoft. “CSS คืออะไร ? มีประโยชน์อย่างไรบ้าง.” <https://www.wynnssoft-solution.net/th/article/view/80/>.
- [30] TechTalkThai. “รู้จักการโจมตีแบบ Cross-site Request Forgery และวิธีป้องกันตนเอง.”
<https://www.techtalkthai.com/how-to-prevent-csrf/>
- [31] Creative Ground Technologies. “What is Cross-Site Request Forgery(CSRF)?.”
<https://creativegroundtech.com/what-is-cross-site-request-forgery-csrf/>
- [32] TAeng Trirong Pholphimai. “Cross-Origin Resource Sharing (CORS) เป็นสิ่งที่ Web Developer ต้องควรรู้” <https://medium.com/nellika/cors-เป็นสิ่งที่-web-developer-ต้องควรรู้-c906b1b47958>
- [33] Sarayut Nonsiri. “ภาษาโปรแกรม Python คืออะไร ?.”
<https://www.9experttraining.com/articles/python-คืออะไร>.
- [34] Data@Urban. “Using Multiprocessing to Make Python Code Faster.”
<https://urban-institute.medium.com/using-multiprocessing-to-make-python-code-faster-23ea5ef996ba>
- [35] Mindphp. “Database คืออะไร.” <https://mindphp.com/คู่มือ/73-คืออะไร/2055-database-คืออะไร23.html>.
- [36] Todspol Wonhchomphu. “SQL คืออะไร? และ NOSQL คืออะไร?”
<https://medium.com/@todspolwonhchomphu/sql-คืออะไร-และ-nosql-คืออะไร-561c750dbe4d#>.
- [37] Nutchasan Jantarah. “SQL VS NoSQL.”
<https://do-nutchasan.medium.com/sql-vs-nosql-a1428a623f45>.
- [38] M.D.Soft. “ระบบการจัดการฐานข้อมูลเชิงวัตถุสัมพันธ์ PostgreSQL.”
<https://www.mdsoft.co.th/ความรู้/92-what-is-postgresql.html>

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [39] สถานภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ภาคเหนือตอนล่าง มหาวิทยาลัยนเรศวร.
“คู่มือการใช้โปรแกรม Quantum GIS.” <http://water.rid.go.th/waterm/template/manager/mc/Doc/Gis/qGIS.pdf>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้