

การทำนายกำลังสัญญาณรับอ้างอิงโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ  
คอนโวลูชันนอลร่วมกับการสูญเสียที่เหลือ

REFERENCE SIGNAL RECEIVED POWER PREDICTION USING  
CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK WITH RESIDUAL LOSS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2566

KMITL-2023-EN-M-027-110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REFERENCE SIGNAL RECEIVED POWER PREDICTION USING  
CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK WITH RESIDUAL LOSS



THEARRAWIT NGENJAROENDEE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING  
SCHOOL OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2023

KMITL-2023-EN-M-027-110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทำนายกำลังสัญญาณรับอ้างอิงโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันนอลร่วมกับการสูญเสียที่เหลื่อม
นักศึกษา	นายเอียรวิชัย เงินเจริญดี
รหัสประจำตัว	64601071
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.เวธิต ภาคย์พิสุทธิ์

## บทคัดย่อ

การทำนายกำลังสัญญาณวิทยุที่แม่นยำมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการวางแผนเครือข่ายมือถือ โดยทั่วไป การทำนายกำลังงานวิทยุจะใช้แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถึ อย่างไรก็ตามแบบจำลองการสูญเสียมักเกิดการประมาณค่าพารามิเตอร์กำลังสัญญาณสูงหรือต่ำเกินไป ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงใช้การเรียนรู้เชิงลึกเพื่อทำนายความแรงของสัญญาณสำหรับระบบการสื่อสาร LTE โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อเรียนรู้พารามิเตอร์ของสายอากาศและโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันนอลเพื่อรับรู้สภาพแวดล้อมของสถานีฐาน นอกจากนี้ งานวิจัยนี้เสนอการสกัดคุณลักษณะที่เรียกว่า Residual Loss โดยนำมาเป็นส่วนหนึ่งของการสร้างอารีย์ 3 มิติที่มีลักษณะเหมือนรูปภาพเพื่อเป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันนอล ซึ่งช่วยให้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันนอล สามารถเรียนรู้การลดทอนของสัญญาณจากการส่งผ่านบริเวณต่าง ๆ ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจากบริษัท แอดวานซ์ ไรร์เลส เน็ตเวิร์ค จำกัด ที่มีการรวบรวมการวัดมากกว่า 2 ล้านข้อมูลเพื่อช่วยในการฝึกฝนและทดสอบการเรียนรู้เชิงลึก

Thesis	Reference Signal Received Power Prediction Using Convolutional Neural Network with Residual Loss
Student	Mr. Thearrawit Ngenjaroendee
Student ID.	64601071
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical and Computer Engineering
Year	2023
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Watid Phakphisut

## ABSTRACT

Accurate radio power prediction is essential for mobile network planning. In general, the path loss models are used as the radio power prediction. However, the path loss models frequently lead to either an overestimation or an underestimation. In this thesis, we deep learning-based signal strength prediction for LTE communication system. We use the It uses a neural network to learn antenna parameters and convolutional neural networks to recognize the environments of base station. We also propose the feature extraction, namely, Residual loss, as part of constructing image-like 3D arrays as input to convolutional neural networks, which enables the convolutional neural network to learn the penetration losses in Bangkok. The data are obtained from Advanced Wireless Network Company Limited. More than 2 million measurements are collected to aid in the training and testing of our deep learning.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.เวจิต ภาคย์พิสุทธิ์ ที่ให้คำแนะนำในการทำวิจัย ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง อีกทั้งยังช่วยปลูกฝังทัศนคติที่ในการทำงาน และชี้แนะแนวทางการใช้ชีวิตให้เหมาะกับการเรียนในระดับบัณฑิตศึกษา ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ และขอขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ คุณธัญญา จารุวิทย์โกวิท คุณพูนลาภ อารีประยูรกิจ และ คุณธงชัย วิจิตรพรชัย จากบริษัท แอดวานซ์ ไวร์เลส เน็ตเวอร์ค จำกัด ที่จัดเตรียมข้อมูลและทรัพยากรสำหรับการวิจัย รวมทั้งให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบิดา มารดา และบุคคลในครอบครัวทุกท่านที่เป็นกำลังใจและเป็นแรงผลักดันสำคัญที่ทำให้ผู้วิจัยสามารถจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วง

ผู้วิจัยหวังว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดแก่คณาจารย์และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น ผู้วิจัยขออภัยรับผิดชอบผู้เดียวและยินดีรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่เข้ามาศึกษาเพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

เธียรวิษณุ เงินเจริญดี

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 พื้นฐานโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 4G และปัญญาประดิษฐ์.....	4
2.1 พื้นฐานโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่.....	4
2.2 นิยามของกำลังรับสัญญาณอ้างอิงหรือพารามิเตอร์ RSRP (Reference Signal Received Power, RSRP).....	5
2.3 แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี Ericsson 9999.....	6
2.4 พารามิเตอร์ของที่ตั้งเซลล์ (Cell Site) ที่ได้จากข้อมูลของบริษัท.....	6
2.5 พารามิเตอร์ของกริด (Grid) ที่ได้จากข้อมูลของบริษัท.....	8
2.6 วิธีการจัดเก็บข้อมูลของบริษัทและข้อมูลที่ใช้ในโครงการวิจัย.....	8
2.7 พื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม.....	9
2.8 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม.....	14
2.9 การเรียนรู้เชิงลึก.....	14
2.10 การฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียม.....	15
2.11 สถาปัตยกรรม CNN.....	17
บทที่ 3 การออกแบบการจัดการข้อมูลและโครงข่ายประสาทเทียม.....	25
3.1 การจัดเตรียมข้อมูลสำหรับโครงข่ายประสาทเทียม.....	25
3.1.1 การรวมไฟล์ข้อมูลของ Site.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.2 การรวมไฟล์ข้อมูลของกริดและ Site.....	27
3.1.3 พารามิเตอร์ที่ต้องคำนวณเพิ่มเติม.....	27
3.1.4 Residual Loss.....	31
3.1.5 พารามิเตอร์ที่ต้องคำนวณเพิ่มเติม.....	27
3.1.6 การออกแบบข้อมูลสำหรับการฝึกฝนและทดสอบ.....	35
3.2 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม.....	36
3.2.1 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 1.....	37
3.2.2 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 2.....	38
3.2.3 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 3.....	39
3.2.4 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 4.....	40
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลของการออกแบบการจัดการข้อมูลและ</b>	
<b>โครงข่ายประสาทเทียม.....</b>	<b>42</b>
4.1 ผลการจัดเตรียมข้อมูลสำหรับโครงข่ายประสาทเทียม.....	42
4.1.1 การรวมไฟล์ข้อมูล.....	42
4.1.2 ข้อมูลอาเรย์จำนวน 3 มิติ.....	46
4.2 ผลการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม.....	49
4.2.1 ผลการฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียม.....	49
4.2.2 ผลการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม.....	51
<b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>54</b>
5.1 สรุปผล.....	54
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	54
<b>เอกสารอ้างอิง.....</b>	<b>55</b>
<b>ประวัติผู้เขียน.....</b>	<b>57</b>

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 พารามิเตอร์ของ SITE.....	7
2.2 พารามิเตอร์ของกริด.....	8
2.3 โครงสร้างของ CNN สถาปัตยกรรม VGG-4.....	19
2.4 โครงสร้างของ CNN สถาปัตยกรรม VGG-16.....	20
2.5 โครงสร้างของ CNN สถาปัตยกรรม VGG-19.....	21
3.1 พารามิเตอร์ที่คำนวณเพิ่มเติม.....	27
3.2 พารามิเตอร์ของการคำนวณ <i>RL</i> .....	33
3.3 อินพุตของ NN1.....	37
3.4 โครงสร้างของ NN ของโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 1.....	37
3.5 โครงสร้างของ CNN ของโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 1.....	38
3.6 โครงสร้าง NN1 และ NN2 ของโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 2.....	39
3.7 โครงสร้าง NN1 และ NN2 ของโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 3.....	40
3.8 โครงสร้าง NN1 และ NN2 ของโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 4.....	41
4.1 ค่าความสำคัญอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียม.....	50
4.2 ผลการฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียม.....	51
4.3 ผลการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 1.....	52
4.4 ผลการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 2.....	52
4.5 ผลการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 3.....	53
4.6 ผลการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 4.....	53

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การสื่อสารระหว่างโทรศัพท์มือถือกับสถานีฐาน.....	4
2.2 นิยามการวัดค่า RSRP จาก Resource Block.....	5
2.3 แบบจำลองพารามิเตอร์ในมุมมองด้านข้าง.....	6
2.4 แบบจำลองพารามิเตอร์ Site ในมุมมองด้านบน.....	7
2.5 จำลองการเชื่อมต่อของ UE ภายในกริดกับ Site ที่มีพารามิเตอร์ Cell Name ต่าง ๆ.....	9
2.6 ส่วนประกอบของโครงข่ายประสาทเทียม.....	10
2.7 โครงสร้างการทำงานของโหนดในโครงข่ายประสาทเทียม.....	11
2.8 ลักษณะของฟังก์ชัน Binary Step.....	12
2.9 ลักษณะของฟังก์ชัน Sigmoid.....	12
2.10 ลักษณะของฟังก์ชัน tanh.....	13
2.11 ลักษณะของฟังก์ชัน ReLu.....	13
2.12 ลักษณะของฟังก์ชัน Leaky ReLu.....	14
2.13 ความแตกต่างระหว่างโครงข่ายประสาทเทียมและการเรียนรู้เชิงลึก.....	15
2.14 หลักการ Backpropagation เทียบกับการ Forwardpass.....	16
2.15 การทำ Convolution ขนาด Kernel 3x3.....	18
2.16 การทำ Pooling ขนาด Filter 2x2 แบบ Max Pooling.....	18
2.17 บล็อกของ ResNet.....	22
2.18 การปรับจำนวนพีเจอร์ภายในบล็อก.....	22
2.19 โครงสร้างของ CNN สถาปัตยกรรม ResNet-34.....	23
2.20 โครงสร้างของ CNN สถาปัตยกรรม ResNet-152.....	24
3.1 แผนภาพเงื่อนไขการรวมไฟล์ข้อมูลของ Site.....	26
3.2 บล็อกไดอะแกรมลำดับการรวมไฟล์ข้อมูลของ Site.....	26
3.3 แบบจำลองพารามิเตอร์ที่คำนวณเพิ่มในมุมมองด้านข้าง.....	28
3.4 แบบจำลองพารามิเตอร์ที่คำนวณเพิ่มในมุมมองด้านบน.....	28
3.5 การจัดเตรียมอาเรย์ 2 มิติ.....	31
3.6 การนำ $PL_{error}$ มาคำนวณหา $RL$ .....	33
3.7 อาเรย์ 2 มิติ 3 ชั้น ขนาด 100x100.....	34
3.8 การทดสอบแบบ Non-Dominant.....	35

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 การทดสอบแบบ New Area.....	36
3.10 โครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 1.....	37
3.11 โครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 2.....	38
3.12 โครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 3.....	39
3.13 โครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 4.....	41
4.1 ข้อมูลกริดบางส่วน.....	42
4.2 ข้อมูล Site บางส่วน.....	43
4.3 ข้อมูลที่รวมไฟล์เสร็จสิ้นบางส่วน.....	44
4.4 ข้อมูลระดับน้ำทะเลบางส่วน.....	44
4.5 ข้อมูลระดับน้ำทะเลของกริดบางส่วน.....	45
4.6 ข้อมูล CI บางส่วน.....	45
4.7 ข้อมูล BP บางส่วน.....	45
4.8 ข้อมูลประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการจัดเตรียมไฟล์.....	45
4.9 ข้อมูล <i>RL</i> ของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล.....	46
4.10 ข้อมูล <i>RL</i> จากการกรองข้อมูลด้วยเงื่อนไข Distance น้อยกว่า 10 กิโลเมตร และ และ Diff Azimuth น้อยกว่า 90 องศา ของ Cell A (หัวข้อที่ 3.1.5 ขั้นตอนที่ 5 และ 6).....	46
4.11 ข้อมูล CI จากการกรองข้อมูลด้วยเงื่อนไข Distance น้อยกว่า 10 กิโลเมตร และ และ Diff Azimuth น้อยกว่า 90 องศา ของ Cell A (หัวข้อที่ 3.1.5 ขั้นตอนที่ 5 และ 6).....	47
4.12 ข้อมูล BP จากการกรองข้อมูลด้วยเงื่อนไข Distance น้อยกว่า 10 กิโลเมตร และ และ Diff Azimuth น้อยกว่า 90 องศา ของ Cell A (หัวข้อที่ 3.1.5 ขั้นตอนที่ 5 และ 6).....	47
4.13 ข้อมูล <i>RL</i> ขนาด 100x100 ของ Cell A (หัวข้อที่ 3.1.5 ขั้นตอนที่ 7-9).....	48
4.14 ข้อมูล CI ขนาด 100x100 ของ Cell A (หัวข้อที่ 3.1.5 ขั้นตอนที่ 7-9).....	48
4.15 ข้อมูล BP ขนาด 100x100 ของ Cell A (หัวข้อที่ 3.1.5 ขั้นตอนที่ 7-9).....	49

# สารบัญรูป

รูปที่

หน้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นวิทยุเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับการออกแบบระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ เช่น การวางแผนติดตั้งสถานีฐานและการจำลองกำลังสัญญาณบนพื้นที่ต่าง ๆ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองที่มีความแม่นยำ เพื่อที่จะคาดการณ์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของสถานีฐานก่อนนำไปปรับใช้จริง แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นวิทยุของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ได้รับความนิยม ได้แก่ Standard Propagation Model (SPM) ซึ่งสามารถนำมาทำการปรับค่าคงที่ในสมการเพื่อให้แบบจำลองมีความใกล้เคียงพื้นที่บริเวณโดยรอบมากที่สุด อย่างไรก็ตาม แบบจำลอง SPM จำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดกำลังสัญญาณในพื้นที่ต่าง ๆ เพื่อหาค่าคงที่ในแบบจำลอง SPM อีกทั้ง อาจต้องทำการแบ่งกลุ่มพื้นที่ที่มีลักษณะใกล้เคียงเพื่อลดจำนวนแบบจำลอง SPM สำหรับการใช้งานจริง (หากต้องการให้แบบจำลอง SPM มีความแม่นยำที่สูง จำเป็นต้องสร้างแบบจำลอง SPM สำหรับพื้นที่นั้น ๆ ทำให้พื้นที่ขนาดใหญ่ต้องการแบบจำลอง SPM จำนวนมาก) ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นวิทยุได้ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูง และมีส่วนช่วยในการออกแบบการติดตั้งสถานีฐานให้มีประสิทธิภาพ หนึ่งในเทคนิคที่สำคัญได้แก่เทคนิค Ray-Tracing ซึ่งมีการคำนวณการตกกระทบของสัญญาณสื่อสารในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางจำนวนมาก อย่างไรก็ตามเทคนิค Ray-Tracing มีความซับซ้อนมากและมีค่าใช้จ่ายสูง ในช่วงเวลาต่อมา ได้มีงานวิจัย [1] ที่นำเสนอการนำข้อมูลที่เก็บจากโทรศัพท์เคลื่อนที่บนพื้นที่ต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายค่า Reference Signal Received Power (RSRP) ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการใช้เครื่องมือวัดกำลังสัญญาณในพื้นที่ต่าง ๆ เพื่อสร้างแบบจำลอง SPM อีกทั้งเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมมีความซับซ้อนต่ำกว่าเทคนิค Ray-Tracing อย่างไรก็ตาม โครงข่ายประสาทเทียมที่เสนอในงานวิจัยดังกล่าว สามารถทำนายได้เพียงสถานีฐานที่มีอยู่ในปัจจุบัน หากต้องการทำนายค่า RSRP ในพื้นที่ที่มีการติดตั้งสถานีฐานหรือเสาสัญญาณใหม่ จำเป็นต้องมีข้อมูลทางภูมิศาสตร์มาช่วยในการเรียนรู้ของปัญญาประดิษฐ์ งานวิจัย [1] ได้มีการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อฝึกฝน Convolutional Neural Network (CNN) ให้เรียนรู้สภาพแวดล้อมของพื้นที่ที่ต้องการติดตั้งสถานีฐาน ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากแหล่งข้อมูล Open Source ถูกนำมาใช้ในการฝึกฝน CNN ให้สามารถเรียนรู้ลักษณะทางภูมิศาสตร์ โดยพื้นที่ทดสอบคือพื้นที่บริเวณมหาวิทยาลัยในประเทศเดนมาร์ก เนื่องจากมีข้อมูลเชิงพื้นที่ (ความสูงต่ำของพื้นที่

จำนวนอาคาร ถนน และ ป่าไม้) ครบถ้วนเพียงพอต่อการเปรียบเทียบกับเทคนิค Ray-Tracing ผลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบแสดงให้เห็นว่าการใช้งาน CNN ร่วมกับภาพถ่ายดาวเทียม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ Ray-Tracing และแบบจำลองการสูญเสีย UMa 38.901 พบว่าค่าความผิดพลาดของ CNN น้อยกว่า 2 วิธีการดังกล่าว อีกทั้งยังทำการทดสอบว่าการนำภาพถ่ายดาวเทียมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการทำนายได้จริง โดยการเปรียบเทียบการฝึกฝนของ CNN ระหว่างที่มีภาพถ่ายดาวเทียมและไม่มีภาพถ่ายดาวเทียม พบว่าการมีภาพถ่ายดาวเทียมมีค่าความผิดพลาดที่ต่ำกว่า ซึ่งมีค่าความผิดพลาดจากงานวิจัยดังกล่าวมีค่าประมาณ 4-5 dB วิธีการที่นำเสนอในงานวิจัย [1] ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีความแม่นยำและใช้จุดข้อมูลทางภูมิศาสตร์น้อยกว่า Ray-Tracing อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาพื้นที่ในกรุงเทพมหานครจะพบว่า การนำเทคนิคดังกล่าวมาประยุกต์ใช้มีข้อจำกัดข้อมูลทางภูมิศาสตร์ เช่น ข้อมูลตำแหน่งอาคารน้อยเกินไปและข้อมูลมีข้อผิดพลาด การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมที่ไม่ใช่ข้อมูลในปัจจุบัน เป็นต้น

งานวิจัย [2] ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน ได้มีการนำข้อมูลการวัดจากสถานีฐานจำนวนมากกว่า 4000 สถานี และเครื่องรับจำนวน 12,011,833 เครื่อง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้จากบริษัท Huawei เนื่องจากข้อมูลที่ได้รับจากบริษัทมีพารามิเตอร์จำนวนมาก ทำให้ในงานวิจัยดังกล่าวได้จำแนกพารามิเตอร์ที่ต้องการและคำนวณบางพารามิเตอร์ขึ้นมาใหม่ การคำนวณค่าความสำคัญของพารามิเตอร์ และยังมี การนำข้อมูลทางภูมิศาสตร์มาใช้แทนภาพถ่ายดาวเทียม ได้แก่ ค่าการแบ่งกลุ่ม ความสูงระดับน้ำทะเล และความสูงอาคาร มาเรียงเป็นอาร์เรย์ 2 มิติ 3 ชั้น เพื่อเป็นอินพุตของ CNN ซึ่งมีการเลือกใช้สถาปัตยกรรมเป็น VGG-4 โดยโครงสร้างของปัญญาประดิษฐ์จะเป็นการนำ Neural Network (NN) 2 ตัว และ CNN จำนวน 1 ตัว ต่อเข้าด้วยกันและทำการฝึกฝนพร้อมกัน

เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ข้อมูลความสูงอาคาร ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงนำเสนอการสร้างข้อมูลที่ได้จากโทรศัพท์เคลื่อนที่ เรียกว่า Residual Loss โดยการนำมาเรียงเป็นอาร์เรย์ 2 มิติ 3 ชั้น ร่วมกับการแบ่งกลุ่มพื้นที่และอัตราส่วนอาคารต่อกริด ปัญญาประดิษฐ์ที่นำเสนอจะทำนายค่าความผิดพลาดของแบบจำลองการแพร่กระจายของ Ericsson 9999 ซึ่งปัญญาประดิษฐ์ที่นำเสนอจะใช้ CNN จำนวน 1 ตัว และ NN จำนวน 2 ตัว โดย CNN จะใช้งานสถาปัตยกรรม ResNet-152 เมื่อปัญญาประดิษฐ์ทำนายค่าความผิดพลาดแล้ว จะนำค่าความผิดพลาดไปชดเชยแบบจำลองการแพร่กระจายของ Ericsson 9999 เพื่อทำนายค่า RSRP ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการใช้ Residual Loss สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำนายค่า RSRP ได้ โดยค่า RMSE เท่ากับ 5.17 dB

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาปัญญาประดิษฐ์สำหรับการทำนายค่า RSRP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้จะศึกษาการนำข้อมูลของบริษัท แอดวานซ์ ไร้เลส เน็ตเวอร์ค จำกัด ในระหว่างวันที่ 1-6 กันยายน พ.ศ.2564 ข้อมูลดังกล่าวถูกจัดเก็บภายในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล

### 1.4 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับการทำนายค่า RSRP ในบทที่ 2 โดยอธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับแบบจำลองการสูญเสีย Ericsson โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน และพารามิเตอร์ของโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ได้จากบริษัท แอดวานซ์ ไร้เลส เน็ตเวอร์ค จำกัด ในบทที่ 3 จะอธิบายระบบจัดเตรียมข้อมูล โครงสร้างปัญญาประดิษฐ์ และการออกแบบระบบสำหรับการทำนายค่า RSRP โดยผลการทดลองและการอภิปรายผลของงานวิจัยจะนำเสนอในบทที่ 4 และบทที่ 5 เป็นการสรุปผลและข้อเสนอแนะ

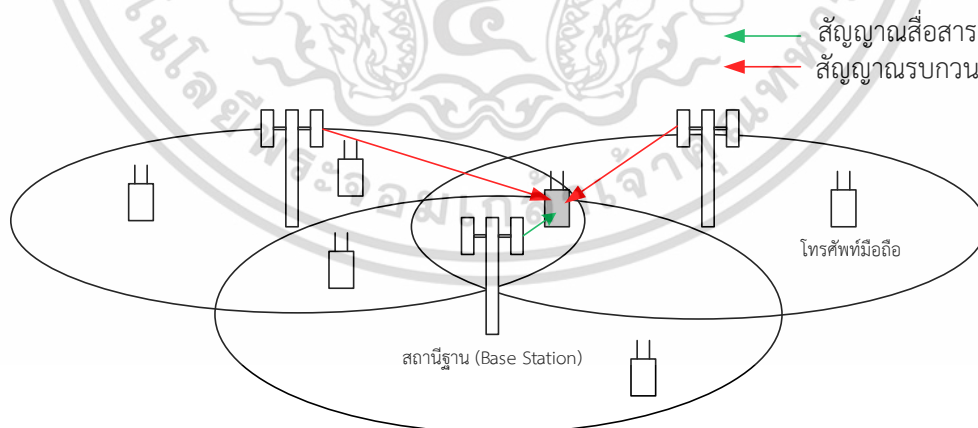
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# พื้นฐานโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 4G และปัญญาประดิษฐ์

### 2.1 พื้นฐานโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

พิจารณาโครงข่ายโทรศัพท์มือถือในรูปที่ 2.1 ประกอบไปด้วยสถานีฐาน (Base Station) จำนวน 3 สถานี และโทรศัพท์มือถือจำนวน 5 เครื่อง สถานีฐานจะส่งสัญญาณสื่อสารไปยังโทรศัพท์มือถือด้วยอัตรากำลังส่งที่กำหนดไว้ในเครื่องส่งสัญญาณ อย่างไรก็ตาม กำลังของสัญญาณสื่อสารจะถูกลดทอนตามระยะทางระหว่างสถานีฐานและโทรศัพท์มือถือ รวมถึงการบดบังของอาคารก็มีผลต่อการลดทอนเช่นกัน หน่วยงาน 3GPP (ผู้ออกแบบมาตรฐานโทรศัพท์มือถือ) ได้มีการศึกษาแบบจำลองการลดทอนของสัญญาณสื่อสารซึ่งแสดงในเอกสาร 3GPP TR 38.901 ทั้งนี้ แบบจำลองดังกล่าวสามารถใช้ประมาณการลดทอนของสัญญาณสื่อสารได้ แต่ความถูกต้องของการประมาณอาจมีความผิดพลาดจากความไม่จริงเนื่องจากลักษณะของพื้นที่ติดตั้งสถานีฐาน สัญญาณสื่อสารที่โทรศัพท์มือถือได้รับสามารถจำแนกได้เป็นสัญญาณสื่อสารและสัญญาณรบกวนดังรูปที่ 4 โดยสัญญาณสื่อสารจะถูกพิจารณาเป็นสัญญาณรบกวนก็ต่อเมื่อสัญญาณสื่อสารนั้นมาจากสถานีฐานอื่น ๆ ที่มือถือไม่ได้ต้องการจะสื่อสารด้วย โดยในมาตรฐาน 4G ได้มีการกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้วัดสัญญาณสื่อสารและสัญญาณรบกวน ได้แก่ พารามิเตอร์ RSRP ซึ่งบ่งชี้กำลังของสัญญาณที่โทรศัพท์มือถือได้รับจากสถานีฐาน และพารามิเตอร์ RSRQ บ่งชี้คุณภาพของการสื่อสาร

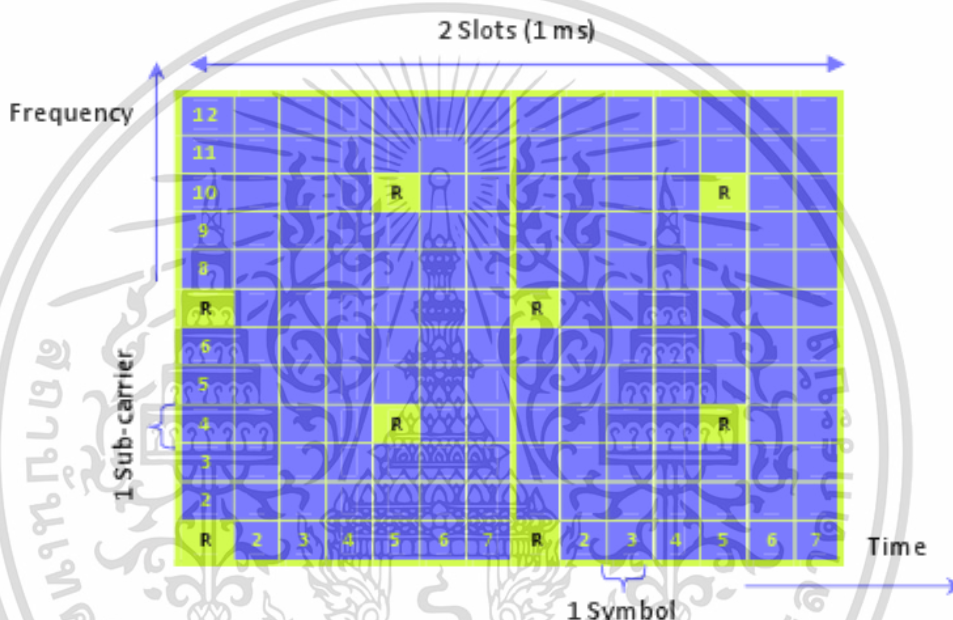


รูปที่ 2.1 การสื่อสารระหว่างโทรศัพท์มือถือกับสถานีฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 นิยามของกำลังรับสัญญาณอ้างอิงหรือพารามิเตอร์ RSRP (Reference Signal Received Power, RSRP)

พารามิเตอร์ RSRP คือค่าเฉลี่ยของสัญญาณอ้างอิงที่ส่งในช่องสัญญาณ downlink พารามิเตอร์ RSRP สามารถบอกความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้โทรศัพท์มือถือได้รับ โดยมีหน่วยเป็น dBm ค่าของพารามิเตอร์ RSRP ยิ่งดีดลบน้อยยิ่งดี โดยทั่วไปแล้วค่า RSRP จะมีค่าประมาณ -70 dBm ถึง -80 dBm ค่า RSRP หาได้จากค่าเฉลี่ยเชิงเส้นของ Resource Elements ที่บรรจุ Reference Signals ภายในแบนด์วิดท์ความถี่ที่ต้องการพิจารณา ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 นิยามการวัดค่า RSRP จาก Resource Block [3]

พิจารณา RSRP ที่ได้รับในพื้นที่ต่าง ๆ จะพบว่าค่า RSRP จะเกี่ยวข้องกับกำลังส่งสัญญาณของสถานีฐาน อัตราขยายของสายอากาศ และค่าการสูญเสียเส้นทางหรือ Path Loss เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้จะพิจารณาการคำนวณค่า RSRP โดยใช้การประมาณจากสมการดังต่อไปนี้

$$RSRP = P_{Tx} + Gain_{3D} - PathLoss \quad (2.1)$$

โดย	$RSRP$	คือค่ากำลังรับสัญญาณอ้างอิง หน่วย dBm
	$P_{Tx}$	คือกำลังส่งสัญญาณของสถานีฐาน หน่วย dBm
	$Gain_{3D}$	คืออัตราขยายของสายอากาศแบบ 3 มิติ หน่วย dBi
	$PathLoss$	คือค่า Path Loss หน่วย dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถึ Ericsson 9999

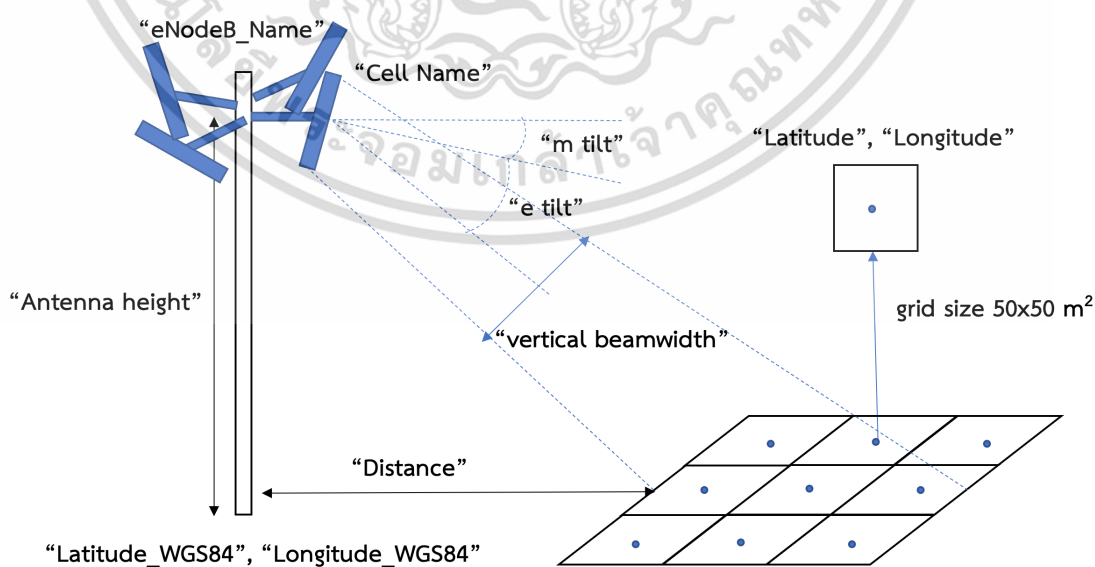
แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถึของบริษัท Ericsson หรือ Ericsson (9999) Model เป็นแบบจำลองที่ได้รับความนิยมในการใช้คำนวณการสูญเสียของกำลังงานจากการส่งสัญญาณจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งภายใต้สภาพแวดล้อมต่าง ๆ โดยค่า Path Loss สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.2)

$$PL_{Ericsson} = 36.2 + 30.2 \log(d) + 12 \log(h_b) + 0.1 \log(h_b) \log(d) - 3.2(\log(11.75h_r))^2 + 44.49 \log(f) - 4.78(\log(f))^2 \quad (2.2)$$

โดย	$h_b$	คือความสูงของสถานีฐาน หน่วยเมตร
	$d$	คือระยะห่างระหว่างสถานีฐานกับกริด หน่วยกิโลเมตร
	$h_r$	คือความสูงของเครื่องรับ หน่วยเมตร
	$f$	คือความถี่ของสายอากาศ หน่วย MHz

## 2.4 พารามิเตอร์ของที่ตั้งเซลล์ (Cell Site) ที่ได้จากข้อมูลของบริษัท

วิทยานิพนธ์นี้จะใช้ข้อมูลของบริษัท แอดวานซ์ ไวร์เลส เน็ตเวิร์ค จำกัด ซึ่งพารามิเตอร์ของสถานีฐานที่ได้จากข้อมูลของบริษัทมีแสดงดังตารางที่ 2.1 โดยข้อมูลดังกล่าวเป็นพารามิเตอร์ที่อธิบายลักษณะอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ถูกติดตั้งที่สถานีฐานในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ทั้งนี้สามารถแสดงพารามิเตอร์โดยใช้รูปที่ 2.3 และ 2.4

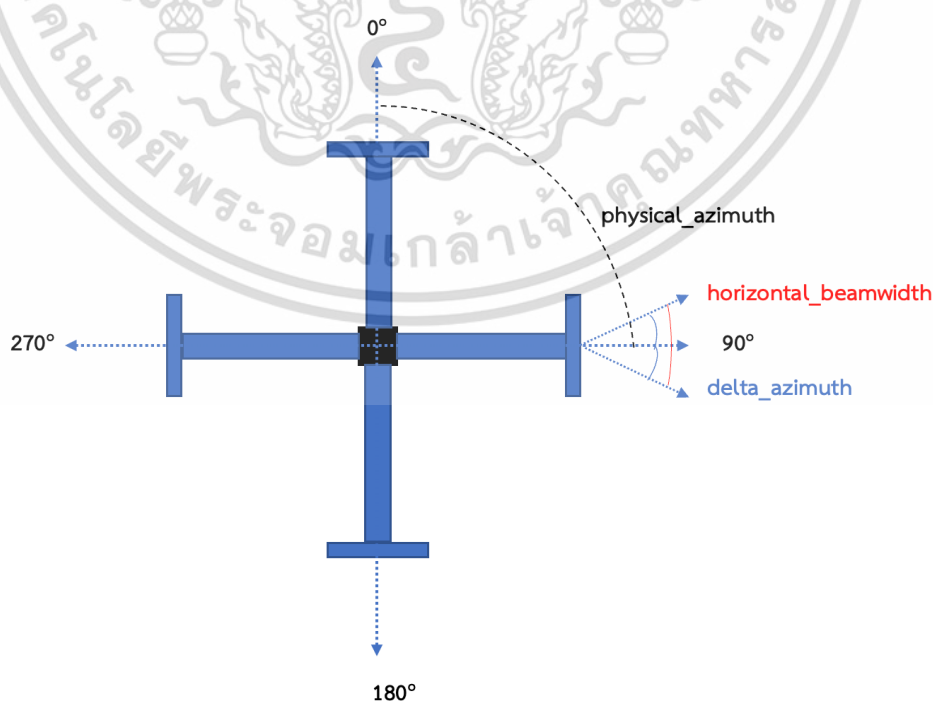


รูปที่ 2.3 แบบจำลองพารามิเตอร์ในมุมมองด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์ของสถานีฐาน

ชื่อของข้อมูล	ความหมายของข้อมูล
LATITUDE_WGS84	ละติจูดของที่ตั้งเซลล์
LONGITUDE_WGS84	ลองจิจูดของที่ตั้งเซลล์
Cell_Name	ชื่อของ Cell
REFERENCESIGNALPWR	กำลังส่งสัญญาณอ้างอิง
Frequency	ความถี่ของสายอากาศ
Bandwidth	ความกว้างของความถี่
ant_model	แบบจำลองสายอากาศ
ant_logical_Beam	ค่าคงที่สำหรับกำหนดทิศทาง Main Lobe
m_tilt	มุมเชิงกายภาพของสายอากาศ
e_tilt	มุมเชิงอิเล็กทรอนิกส์ของสายอากาศ
physical_azimuth	มุมของเสาอากาศเทียบกับทิศเหนือ
ant_height	ความสูงของสายอากาศ
ant_gain	อัตราขยายสูงสุดของสายอากาศ
delta_azimuth	มุมของ Main Lobe เทียบกับสายอากาศ
vertical_beam_width	ความกว้างลำคลื่นตามแนวตั้ง
horizontal_beam_width	ความกว้างลำคลื่นตามแนวนอน



รูปที่ 2.4 แบบจำลองพารามิเตอร์ Site ในมุมมองด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 พารามิเตอร์ของกริด (Grid) ที่ได้จากข้อมูลของบริษัท

โดยปกติ โทรศัพท์มือถือจะรายงานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารไปยังสถานีฐาน อีกทั้งยังระบุตำแหน่งของผู้ใช้งาน ซึ่งบริษัทจะจัดเก็บข้อมูลของผู้ใช้งานโทรศัพท์มือถือโดยอ้างอิงตำแหน่งกริด (grid) ของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ทั้งนี้ พื้นที่ต่าง ๆ ในกรุงเทพและปริมณฑลจะถูกแบ่งเป็นกริดขนาด 50 x 50 เมตร ซึ่งพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับกริดแสดงดังตารางที่ 2.2

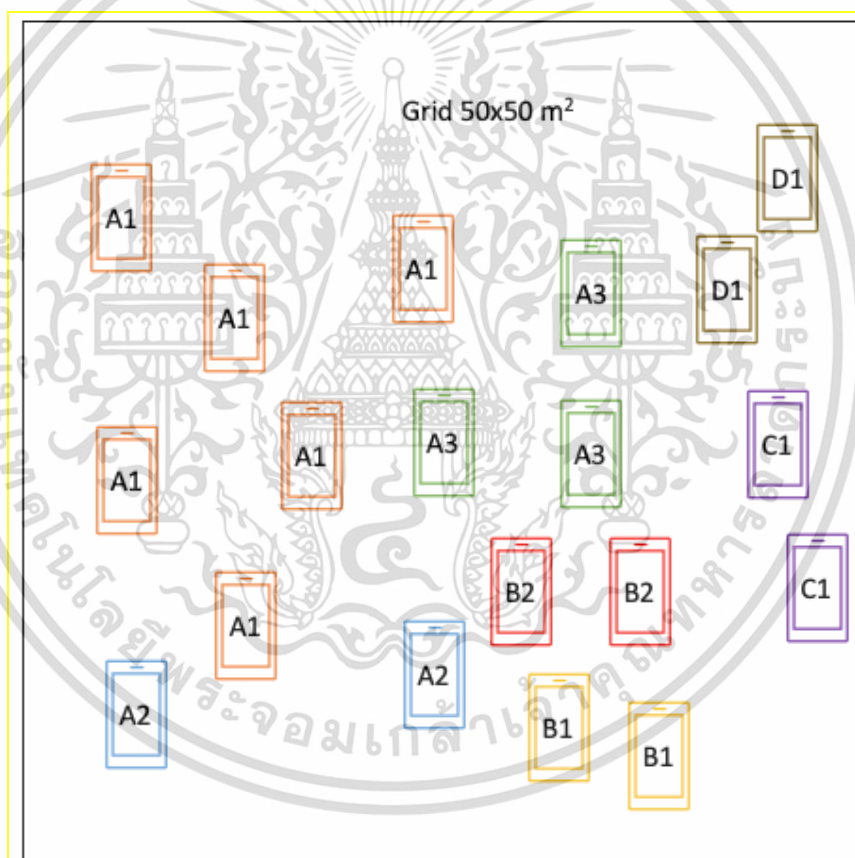
ตารางที่ 2.2 พารามิเตอร์ของกริด

ชื่อของข้อมูล	ความหมายของข้อมูล
Time	วันที่
Longitude	ลองจิจูดของพื้นที่ครอบคลุม
Latitude	ละติจูดของพื้นที่ครอบคลุม
eNodeB_Name	ชื่อของ Cell
Cell_Name	ชื่อของ Cell Site
eNodeB_ID_Cell_ID	Tracking Area Code
TAC	รหัสที่ใช้ถอดรหัสเพื่อยืนยันตน
ชื่อของข้อมูล	ความหมายของข้อมูล
PCI	จำนวนรายการที่ได้รับ
Dominant_Grid_Count	จำนวนกริดที่ Broadcast ไป
Dominant_MR_count	กำลังรับสัญญาณอ้างอิง
Dominant_RSRP	คุณภาพรับสัญญาณอ้างอิง
Dominant_RSRQ	ปริมาณงาน Uplink
UL_Traffic_Volume	ปริมาณงาน Downlink
DL_Traffic_Volume	ปริมาณงาน Uplink เฉลี่ย
Average_UL_Throughput	ปริมาณงาน Downlink เฉลี่ย
Average_DL_Throughput	ปริมาณงานการโทรด้วยเสียงผ่านLTE
VOLTE_Traffic	จำนวนผู้ใช้งาน LTE

## 2.6 วิธีการจัดเก็บข้อมูลของบริษัทและข้อมูลที่ใช้ในโครงการวิจัย

โดยทั่วไป ผู้ใช้งานโทรศัพท์มือถือ หรือ User Equipment (UE) ที่อยู่ใน Grid ขนาด 50 x 50 ตารางเมตร จะมีจำนวนมากกว่า 1 เครื่อง อีกทั้ง UE ยังสามารถได้รับสัญญาณสื่อสารจาก Site จำนวนหลาย Site ทำให้ บริษัทสามารถจัดเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ของ grid แบบ dominant และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

non-dominant โดยข้อมูลแบบ dominant คือข้อมูลของ grid ที่ UE ส่วนใหญ่เชื่อมต่อกับ Site หนึ่ง และข้อมูลแบบ non-dominant คือข้อมูลของ grid ที่ UE ได้รับจาก Site ต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น เมื่อพิจารณา UE ที่อยู่ใน Grid ขนาด 50 x 50 ตารางเมตรในรูปที่ 2.5 แต่ละ UE จะเลือกเชื่อมต่อกับ Site ที่มี Cell Name แตกต่างกันได้แก่ Cell Name หมายเลข A1 A2 A3 B1 B2 C1 และ D1 ข้อมูลแบบ Dominant คือข้อมูล grid ที่ถูกดึงมาจาก UE ที่เชื่อมต่ออยู่กับ Cell Name หมายเลข A1 ส่วนข้อมูลแบบ Non-Dominant คือข้อมูล grid ที่ถูกดึงมาจาก UE ที่เชื่อมต่อกับ Cell Name A1 A2 A3 B1 B2 C1 และ D1 ในรายงานฉบับนี้ จะใช้ข้อมูลของกริดแบบ Dominant โดยบริษัทจะให้ข้อมูลกริดในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยข้อมูลถูกจัดเก็บในปีคริสต์ศักราช 2020 และ 2021 ข้อมูลในปี 2020 จะถูกจัดเก็บแบบรายวันจำนวน 13 วันตั้งแต่วันที่ 3-15 กันยายน ค.ศ. 2020 และข้อมูลในปี 2021 จะถูกจัดเก็บแบบรายวันจำนวน 6 วันตั้งแต่วันที่ 1-6 กันยายน ค.ศ. 2021



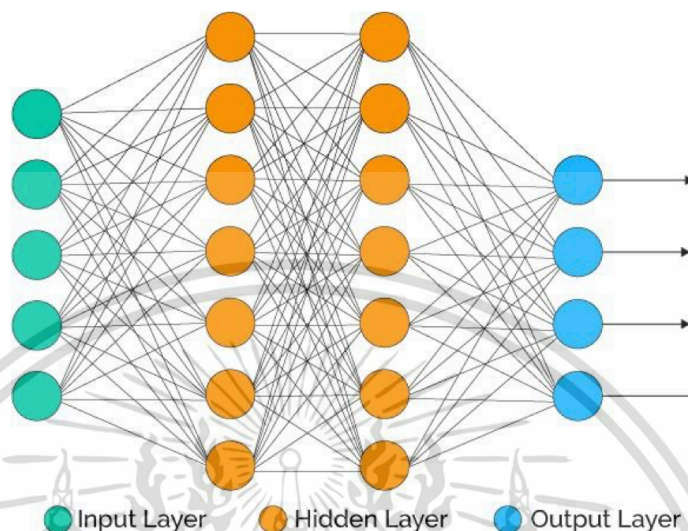
รูปที่ 2.5 จำลองการเชื่อมต่อของ UE ภายในกริดกับ Site ที่มีพารามิเตอร์ Cell Name ต่าง ๆ

## 2.7 พื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม

การสร้างแบบจำลองข้อมูลหรือโมเดลข้อมูล (Data modeling) โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neuron Network, ANN) [4] เป็นวิธีการที่มีพื้นฐานมาจากการเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ซึ่งประกอบด้วยนิวรอน (Neurons) จำนวนมาก ที่มีการเชื่อมโยงเพื่อแก้ปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่าง ๆ ตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียมแสดงดังรูปที่ 2.6 ซึ่งประกอบด้วยชั้นอินพุต (Input Layer) จำนวน 1 ชั้น ชั้นเอาต์พุต (Output Layer) จำนวน 2 ชั้น และชั้นซ่อน (Hidden Layer) จำนวน 2 ชั้น



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของโครงข่ายประสาทเทียม [4]

หน้าที่ของชั้นต่าง ๆ ในโครงข่ายประสาทเทียมสามารถสรุปได้ดังนี้

1) ชั้นอินพุต (Input Layer) ทำหน้าที่รับข้อมูลเพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่คาดหวัง จำนวนของโหนดในชั้นอินพุตนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนพารามิเตอร์ของข้อมูลที่จะนำเข้ามาคิดในแบบจำลอง เช่น ถ้าข้อมูลของลูกค้าเป็นข้อมูลที่ประกอบด้วย อายุ เพศ จังหวัดที่อาศัย รวมทั้งสิ้น 4 พารามิเตอร์ ดังนั้นชั้นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมจะมี 4 โหนด ซึ่งพารามิเตอร์ของข้อมูลสามารถบ่งชี้คุณลักษณะ (Feature) ของข้อมูล

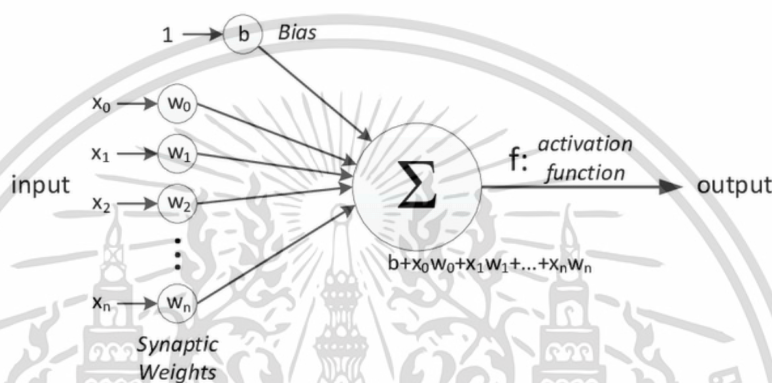
2) ชั้นซ่อน (Hidden Layer) เป็นชั้นที่อยู่ระหว่างกลาง ซึ่งมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ลักษณะของข้อมูลที่มีในชั้นเข้า จำนวนชั้นซ่อนจะมีกี่ชั้นก็ได้ และแต่ละชั้นจะมีจำนวนโหนดเท่าไรก็ได้เช่นกัน โดยทั่วไป โครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนชั้นซ่อนจำนวนมากจะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีการคำนวณที่ซับซ้อนเปรียบเสมือนการเรียนรู้ข้อมูลเชิงลึก (Deep Learning) โดยหน้าที่ของโหนดในชั้นซ่อนจะมีฟังก์ชันการคำนวณแบบไม่เป็นเชิงเส้น

3) ชั้นเอาต์พุต (Output Layer) เป็นชั้นที่นำเอาผลการคำนวณต่าง ๆ ในชั้นซ่อนไปใช้หาผลลัพธ์ที่ต้องการ จำนวนโหนดในชั้นนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบของข้อมูลที่จะเอาไปใช้ ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการให้โครงข่ายประสาทเทียมคำนวณหาผลลัพธ์จำนวน 1 พารามิเตอร์ที่มีลักษณะเป็นสมการถดถอย (Regression) ก็จะกำหนดให้ชั้นเอาต์พุตเป็นแบบ 1 โหนด เพราะต้องการคำตอบเพียง 1 พารามิเตอร์ ถ้าต้องการให้โครงข่ายประสาทเทียมคำนวณผลลัพธ์มากกว่า 1 พารามิเตอร์ก็สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มจำนวนโหนดในชั้นเอาต์พุตตามที่ต้องการ เช่น ในบางงานอาจจะต้องทำนายหาตำแหน่งของภาพในแกน  $x$  และ  $y$  พร้อม ๆ กัน ในกรณีนี้ก็ต้องกำหนดชั้นออกเป็น 2 โหนด เป็นต้น

รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างการคำนวณของโหนดในชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุต ในที่นี้กำหนดให้จำนวนเส้นที่เชื่อมกับโหนดก่อนหน้าประกอบด้วยข้อมูล  $x_0, x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  ซึ่งข้อมูลนี้จะถูกคูณด้วยค่าน้ำหนักต่าง ๆ ซึ่งแทนด้วย  $w_0, w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$  และค่า  $b$  คือค่าความลำเอียง (bias) ที่จะนำไปรวมกับผลคูณค่าน้ำหนักต่าง ๆ เพื่อให้ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) ทำงานได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.7 โครงสร้างการทำงานของโหนดในโครงข่ายประสาทเทียม [4]

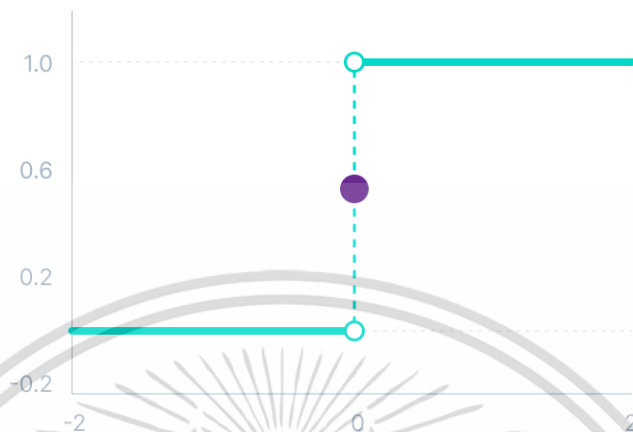
เมื่อโหนดนำข้อมูลมาคูณกับค่าน้ำหนัก และนำค่าทั้งหมดมารวมกัน หากค่าที่รวมกันนี้เกินกว่าค่าแบ่งที่กำหนดไว้ (Threshold) จะนำผลลัพธ์ไปคำนวณในฟังก์ชันกระตุ้น ดังสมการ (2.3)

$$y = f \left[ \left( b + \sum_{i=1}^n (x_i w_i) \right) - T \right] \quad (2.3)$$

ฟังก์ชันกระตุ้นหรือเรียกอีกชื่อว่า “ฟังก์ชันการส่งต่อ (Transfer function)” เป็นฟังก์ชันในการปรับระดับของค่าของข้อมูลออก ฟังก์ชันการส่งต่อที่ได้รับความนิยมคือเป็นฟังก์ชันไม่เชิงเส้น (Non-linear function) เนื่องจากปัญหาส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแบบสมการไม่เชิงเส้น ฟังก์ชันกระตุ้นทำหน้าที่ในการตัดสินใจว่านิเวรอนหรือโหนดควรจะถูกกระตุ้นหรือไม่ โดยดูค่าผลรวมของข้อมูลเข้าและค่าน้ำหนัก ฟังก์ชันกระตุ้นจะถูกนำไปใช้ Hidden Node และ Output Node ซึ่งโหนดในชั้นทั้งสองนี้อาจจะใช้ฟังก์ชันกระตุ้นที่เหมือนหรือต่างกันได้ แต่ส่วนมากจะใช้ฟังก์ชันแบบไม่เป็นเชิงเส้น เนื่องจากในโหนดซ่อนจะมีโอกาสใช้การคำนวณแบบการรวมเชิงเส้น (Linear combination) ถ้าฟังก์ชันกระตุ้นของโหนดซ่อนจะมีการคำนวณแบบเชิงเส้นอีก จะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีการคำนวณแบบการรวมเชิงเส้น ฟังก์ชันกระตุ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้นจะมีหลากหลายรูปแบบ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ฟังก์ชันกระตุ้นค่าแบ่ง (Threshold Activation Function) ฟังก์ชันนี้เรียกอีกชื่อว่า ฟังก์ชันไบนารีสเตป (Binary Step Function) ซึ่งจะพิจารณาค่าข้อมูลเข้าว่ามากกว่าหรือน้อยกว่า threshold หรือไม่ เพื่อส่งค่าต่อไปยังขั้นถัดไป โดยมีลักษณะดังรูปที่ 2.8



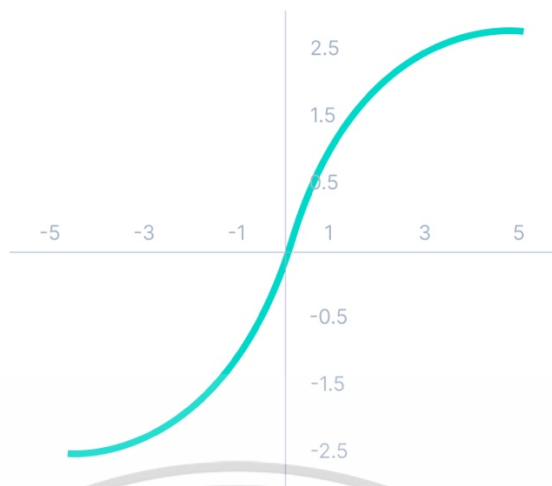
รูปที่ 2.8 ลักษณะของฟังก์ชัน Binary Step [5]

2) ฟังก์ชันกระตุ้นซิกมอยด์ (Sigmoid Activation Function) เป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่มีลักษณะเป็นตัวเอส “S-curve” หรือเรียกว่า “Sigmoid curve” จะมีค่าระหว่าง 0 และ 1 โดยมีลักษณะดังรูปที่ 2.9 ฟังก์ชันนี้จะใช้เมื่อ ต้องการทำนายความน่าจะเป็น (Probability) ของข้อมูลออก



รูปที่ 2.9 ลักษณะของฟังก์ชัน Sigmoid [5]

3) ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิคแทนกเจนท์ (Hyperbolic Tangent Function, tanh) มีการทำงานคล้าย Sigmoid แต่มีประสิทธิภาพดีกว่า จะมีค่าระหว่าง  $[-1, 1]$  โดยมีลักษณะดังรูปที่ 2.10 ข้อดีของ tanh คือ สามารถแปลงค่าข้อมูลเข้าที่มีค่าเป็นลบ ให้เป็นข้อมูลออกที่ติดลบได้ และข้อมูลที่มีค่าเป็นศูนย์จะถูกแปลงเป็นข้อมูลออกที่มีค่าใกล้ศูนย์ (near-zero output)



รูปที่ 2.10 ลักษณะของฟังก์ชัน tanh [5]

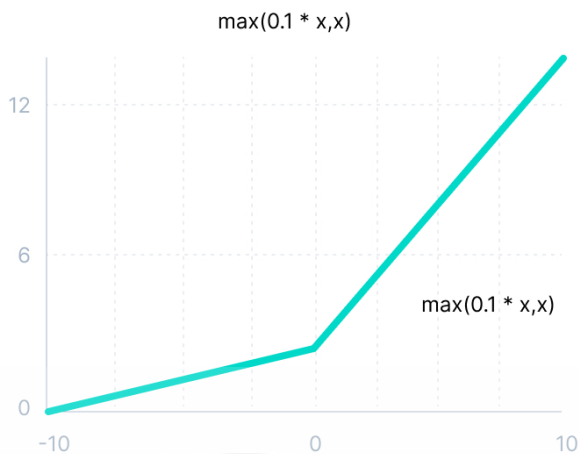
4) ฟังก์ชันเรกติไฟต์ไลน์เนี่ยยูนิต (Rectified Linear Units, ReLu) เป็นฟังก์ชันที่นิยมใช้งานมากที่สุดในโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Networks: CNN) และ ANN ฟังก์ชันนี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง  $[0, \infty)$  โดยมีลักษณะดังรูปที่ 2.11 หมายถึงถ้าข้อมูลเข้ามีค่ามากกว่าศูนย์ ข้อมูลออกจากเป็นค่าบวก และถ้าข้อมูลเข้ามีค่าศูนย์หรือติดลบ ข้อมูลออกจะมีค่าเป็นศูนย์



รูปที่ 2.11 ลักษณะของฟังก์ชัน ReLu [5]

โดยทั่วไป ReLu จะให้ประสิทธิภาพดีกว่า tanh แต่ข้อเสียของ ReLu คืออาจจะเกิดปัญหานิวรอนตาย (dead neurons) กล่าวคือ ฟังก์ชันกระตุ้นไม่ทำงานไม่ว่าข้อมูลเข้ามีค่าเท่าไรก็ตาม จึงมีการพัฒนา ReLu เป็นฟังก์ชัน “ลึคกีเรกติไฟต์ไลน์เนี่ยยูนิต (Leaky ReLu)” ซึ่งจะมีค่าจาก  $-\infty$  ถึง  $+\infty$  แสดงดังรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ลักษณะของฟังก์ชัน Leaky ReLu [5]

## 2.8 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม [4] มีกระบวนการเรียนรู้ข้อมูลเข้าและข้อมูลออกโดยการปรับค่าน้ำหนักในชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุตเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด โครงข่ายประสาทเทียมมีการเรียนรู้ 2 แบบ คือ

1) การเรียนแบบมีการสอน (Supervised Learning) เป็นการเรียนแบบที่มีการตรวจคำตอบเพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมปรับตัว โดยชุดข้อมูลที่ใช้สอนโครงข่ายประสาทเทียมจะมีข้อมูลออกซึ่งเป็นคำตอบที่ต้องการไว้คอยตรวจสอบว่าโครงข่ายประสาทเทียมให้คำตอบที่ถูกหรือไม่ ถ้าตอบไม่ถูก โครงข่ายประสาทเทียมก็จะปรับตัวเองเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น

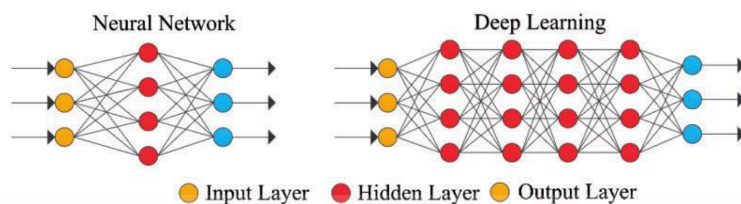
2) การเรียนแบบไม่มีการสอน (Unsupervised Learning) เป็นการเรียนแบบไม่มีผู้แนะนำ ไม่มีการตรวจคำตอบว่าถูกหรือผิด โครงข่ายประสาทเทียมจะจัดเรียงโครงสร้างด้วยตัวเองตามลักษณะของข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้ โครงข่ายประสาทเทียมจะสามารถจัดหมวดหมู่ของข้อมูลได้

## 2.9 การเรียนรู้เชิงลึก

การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) [4] คือวิธีการเรียนรู้ที่เลียนแบบการทำงานของโครงข่ายประสาทของมนุษย์ (Neurons) โดยนำระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) มาซ้อนกันหลายชั้น (Layer) เพื่อทำการเรียนรู้ข้อมูล ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกตรวจจับรูปแบบ (Pattern) หรือจำแนกข้อมูล (Classify the Data) เพื่อที่จะทำให้ Neural Network สามารถคิดและประมวลผลซับซ้อนได้เหมือนสมองมนุษย์ ดังนั้นชั้นที่เป็น Hidden Layer จึงต้องมีหลายชั้นเพื่อให้การคำนวณมีความซับซ้อน ในอดีตเนื่องจากยังไม่มีข้อมูลการฝึกฝน (Training Data) หรือความสามารถด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์ยังไม่สูงพอทำให้การเรียนรู้เชิงลึกทำได้อย่างยากลำบาก อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จึงทำให้สามารถใช้การเรียนรู้เชิงลึกได้ง่ายดังรูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างการเพิ่มจำนวนชั้นซ่อนเพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมมีการเรียนรู้เชิงลึก



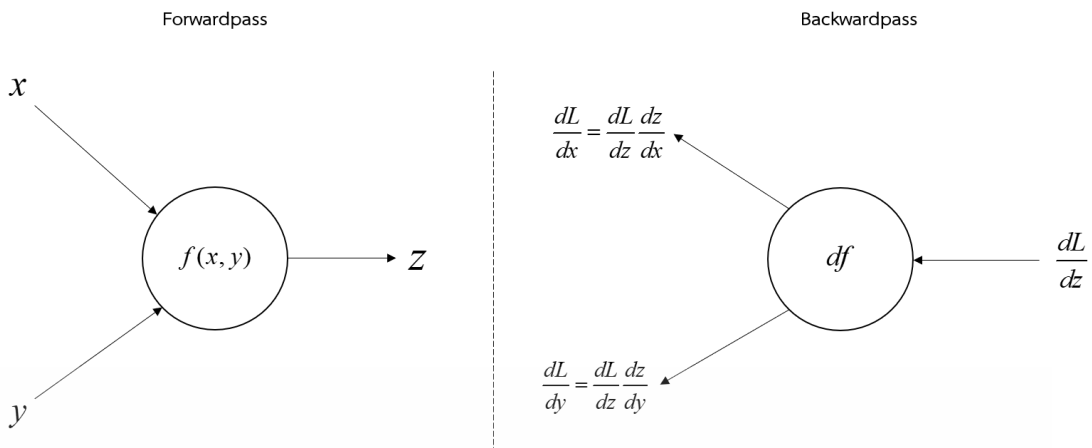
รูปที่ 2.13 ความแตกต่างระหว่างโครงข่ายประสาทเทียมและการเรียนรู้เชิงลึก [4]

เทคนิคในการปรับค่าน้ำหนักของการเรียนรู้เชิงลึกจะใช้วิธีการแพร่กลับเช่นเดียวกับ ปัญหาประติมาตรทั่วไป หรือ ANN อย่างไรก็ตามวิธีการแพร่กลับไม่ได้เป็นวิธีการที่ดีที่สุด

ปัจจุบันนักวิจัยได้คิดค้นการปรับค่าน้ำหนักด้วยวิธีการต่าง ๆ เพื่อให้ชั้นแรก ๆ เรียนรู้ข้อมูล ในระดับต่ำ (Low Level feature) และในชั้นต่อ ๆ ไปเป็นการเรียนรู้ข้อมูลในระดับที่สูงขึ้นเพื่อให้เห็น ภาพการทำงานของกรเรียนรู้เชิงลึก ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้ปัญหาประติมาตรเพื่อ เรียนรู้รูปภาพสุนัข โดยในชั้นแรก ๆ ก็อาจจะเป็นการสังเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ทราบลักษณะของสุนัข เช่น จมูกสุนัข หูสุนัข ปากสุนัข และชั้นถัด ๆ ไปจะเป็นการนำข้อมูลมาประกอบกันเพื่อสร้างรูปภาพ สุนัข

## 2.10 การฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียม

ขั้นตอนของการฝึกฝนของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือ การเรียนรู้แบบมีผู้สอนและการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน โดยใช้หลักการ Backwardpass หรือ Backpropagation [4] ในรูปที่ 2.14 ประกอบกับ Gradient Descent เพื่อหาค่าน้ำหนักหรือ สัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันเพื่อให้ผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าความผิดพลาดต่ำสุดในการ ฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียม ค่าน้ำหนักที่ได้จากการฝึกฝนจะกลายเป็นค่าน้ำหนักของโครงข่าย ประสาทเทียมที่ใช้งานจริงในอุปกรณ์ต่าง ๆ



รูปที่ 2.14 หลักการ Backpropagation เทียบกับการ Forwardpass

จากรูปที่ 2.14 จะเห็นว่าข้อมูลของระบบ Forwardpass จะถูกส่งไปทางเดียวโดยไม่มีการย้อนกลับของข้อมูล ต่างกับระบบ Backwardpass ที่มีการป้อนข้อมูลที่ประมวลผลกลับเข้าไปใน Layer จนกระทั่งได้คำตอบใหม่ ดังนั้น ในระบบ Backwardpass จึงต้องใช้สมการอนุพันธ์อันดับที่ 1 ของฟังก์ชันกระตุ้นดังสมการที่ (2.4)

$$\frac{df(x)}{d(x)} = f(x)(1 - f(x)) \tag{2.4}$$

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ Adaptive Moment Estimation (Adam) เป็น Optimizer ในการปรับค่าน้ำหนักและค่า Bias เนื่องจากสามารถฝึกฝนโครงข่ายปัญญาประดิษฐ์ให้สามารถแก้ปัญหา Decaying ของ Gradient ได้ดี ในวิทยานิพนธ์ใช้ค่าความผิดพลาดเป็น Mean Square Error (MSE) ซึ่งมีการคำนวณดังสมการที่ (2.5)

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 \tag{2.5}$$

โดย  $\hat{y}_i$  คือเอาต์พุตจากการทำนาย  
 $y_i$  คือเอาต์พุตที่ต้องการ

ภายในโครงข่ายประสาทเทียมจะมีการใช้งาน Batch Normalization เพื่อสเกลให้ค่าของฟังก์ชันกระตุ้นที่อยู่ระหว่างชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าที่เหมาะสม ให้ค่าไม่น้อยเกินไปหรือมากเกินไป

## 2.11 สถาปัตยกรรม CNN

นอกจากการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ที่มุ่งเน้นการปรับค่าน้ำหนักในชั้นต่าง ๆ โครงสร้างของปัญญาประดิษฐ์ก็มีส่วนสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม โครงสร้างที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน ได้แก่ โครงข่ายประสาทเทียมความเชื่อเชิงลึก (Deep Belief Network) โครงข่ายประสาทเทียมกองซ้อนของตัวเข้ารหัส (Stacked Auto Encoders) โครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ (Recurrent Neural Network, RNN) หน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (Long-Short Term Memory) โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network, CNN) โดยในวิทยานิพนธ์นี้มีการใช้งานโครงสร้างแบบ CNN เท่านั้น โดย CNN เป็นวิธีการที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางทั้งในคณิตศาสตร์ สถิติ การประมวลผลสัญญาณ (Signal processing) รวมถึงการประมวลผลภาพ (Computer vision)

คอนโวลูชัน [4] เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน ( $f$ ) เมื่อส่งผ่านระบบที่มีฟังก์ชัน ( $g$ ) โดย CNN ถูกนำมาใช้เรียนรู้ลักษณะเด่น (Feature extraction) ของรูปภาพ ปัจจุบัน CNN สามารถเรียนรู้และเลือกสังเคราะห์ลักษณะเด่นของภาพได้ดีกว่ามนุษย์ ข้อมูลเข้าของ CNN จะเป็นรูปภาพหรือข้อมูลที่ถูกจัดเรียงแบบ 2 มิติ โดยทั่วไปโครงสร้างของ CNN ประกอบไปด้วยชั้นการทำงานจำนวน 2 ชั้น ดังนี้

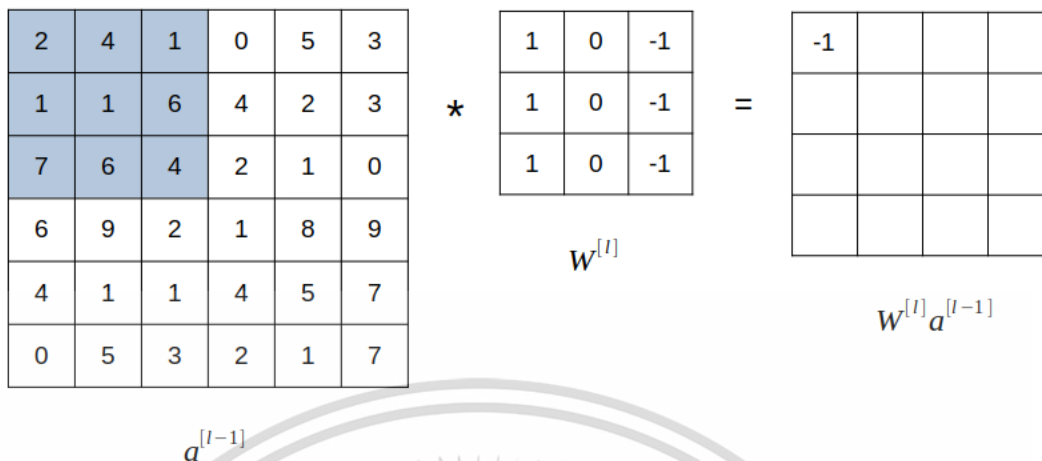
1) Convolutional Layer [6] คือชั้นที่ทำหน้าที่สกัดเอา Feature สำคัญจากรูปแบบ ซึ่งจะคงความสัมพันธ์ของ Pixel ที่อยู่บริเวณพื้นที่ใกล้เคียงกันเอาไว้ดังรูปที่ 2.15 โดยจะมีการกำหนดคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

1.1) กำหนดขนาด Kernel เพื่อกำหนดขอบเขตการ Filter ของการทำ Convolution เพื่อใช้ในการหาตามวัตถุประสงค์ที่ต่างกัน เช่น หาขอบรูป หาความเบลอ หาความคม เพื่อให้โมเดลสามารถเรียนรู้ลักษณะของภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ

1.2) กำหนดขนาด Stride เพื่อกำหนดจำนวนช่องที่จะเลื่อนไปในกระบวนการ Convolution แต่ละครั้ง

1.3) กำหนด Padding เป็น Valid หรือ Same หากเป็น Valid ขนาดเอาต์พุตหลังการทำ Convolution จะเล็กลง แต่หากกำหนดเป็น Same เอาต์พุตจะมีขนาดเท่าเดิม

$$2*1 + 4*0 + 1*1 + 1*1 + 1*0 + 6*1 + 7*1 + 6*0 + 4*1 = -1$$



รูปที่ 2.15 การทำ Convolution ขนาด Kernel 3x3 [6]

2) Pooling Layer [6] เป็นขั้นหลังจากการทำ Convolution โดย Pooling Layer มีหน้าที่สกัดเอาส่วนที่สำคัญที่สุดของข้อมูล และเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลให้รวดเร็วยิ่งขึ้น กลไกการทำงานจะนำเอาค่าสูงสุดของกริดเก็บไว้ในเอาต์พุต (Max Pooling) ดังรูปที่ 2.16 และอีกรูปแบบคือนำค่าเฉลี่ยของกริดเก็บเอาไว้แทน (Average Pooling)



รูปที่ 2.16 การทำ Pooling ขนาด Filter 2x2 แบบ Max Pooling [6]

โดยสถาปัตยกรรมของ CNN ที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์มีดังนี้

1) VGGNet [7] ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาจาก LeNet และ AlexNet ภายใต้ความเชื่อที่ว่ายิ่งมีความลึกมากยิ่งขึ้น VGGNet จึงมีจำนวนชั้นและความซับซ้อนที่มากขึ้นและให้ผลลัพธ์ที่ดี ในงานวิจัยนี้มีการใช้งาน VGG-4 VGG-16 และ VGG-19 ดังตารางที่ 2.3 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.3 โครงสร้างของ CNN สถาปัตยกรรม VGG-4 [2]

ชนิดเลเยอร์	ขนาดฟิลเตอร์	ขนาดเคอร์เนล	ฟังก์ชันกระตุ้น
Input	(100,100,3)	-	-
Conv3D	16	3	ReLu
Conv3D	16	3	ReLu
MaxPooling	2	-	-
Conv3D	32	3	ReLu
Conv3D	32	3	ReLu
MaxPooling	2	-	-
Conv3D	64	3	ReLu
Conv3D	64	3	ReLu
MaxPooling	2	-	-
Conv3D	128	3	ReLu
Conv3D	128	3	ReLu
AvgPooling	2	-	-
Flatten	-	-	-
Dense	14	-	ReLu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 โครงสร้างของ CNN สถาปัตยกรรม VGG-16 [8]

ชนิดเลเยอร์	ขนาดฟิลเตอร์	ขนาดเคอร์เนล	ฟังก์ชันกระตุ้น
Input	(100,100,3)	-	-
Conv3D	64	3	ReLU
Conv3D	64	3	ReLU
MaxPooling	2	-	-
Conv3D	128	3	ReLU
Conv3D	128	3	ReLU
MaxPooling	2	-	-
Conv3D	256	3	ReLU
Conv3D	256	3	ReLU
Conv3D	256	3	ReLU
MaxPooling	2	-	-
Conv3D	512	3	ReLU
Conv3D	512	3	ReLU
Conv3D	512	3	ReLU
MaxPooling	2	-	-
Conv3D	512	3	ReLU
Conv3D	512	3	ReLU
Conv3D	512	3	ReLU
MaxPooling	2	-	-
Dense	4096	-	-
Dense	4096	-	-
Dense	1000	-	-

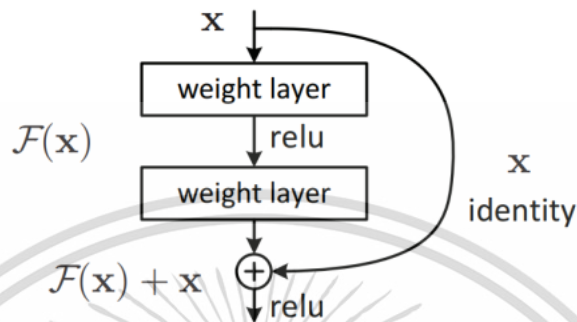
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 โครงสร้างของ CNN สถาปัตยกรรม VGG-19 [8]

ชนิดเลเยอร์	ขนาดฟิลเตอร์	ขนาดเคอร์เนล	ฟังก์ชันกระตุ้น
Input	(100,100,3)	-	-
Conv3D	64	3	ReLU
Conv3D	64	3	ReLU
MaxPooling	2	-	-
Conv3D	128	3	ReLU
Conv3D	128	3	ReLU
MaxPooling	2	-	-
Conv3D	256	3	ReLU
Conv3D	256	3	ReLU
Conv3D	256	3	ReLU
Conv3D	256	3	ReLU
MaxPooling	2	-	-
Conv3D	512	3	ReLU
Conv3D	512	3	ReLU
Conv3D	512	3	ReLU
Conv3D	512	3	ReLU
MaxPooling	2	-	-
Conv3D	512	3	ReLU
Conv3D	512	3	ReLU
Conv3D	512	3	ReLU
Conv3D	512	3	ReLU
MaxPooling	2	-	-
Dense	4096	-	-
Dense	4096	-	-
Dense	1000	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ResNet [9] ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหา Vanishing Gradient ซึ่งเกิดขึ้นกับโครงข่ายที่มีความลึกค่อนข้างมาก โดย Vanishing Gradient คือการที่ผลของการคอนโวลูชันตั้งแต่ต้นเริ่มเลือนหายจากการคำนวณคอนโวลูชันจำนวน นักวิจัยจึงทำการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการส่งผลของคอนโวลูชันตั้งแต่ต้นไปบวกกับผลจากเลเยอร์ที่สามดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 บล็อกของ ResNet [9]

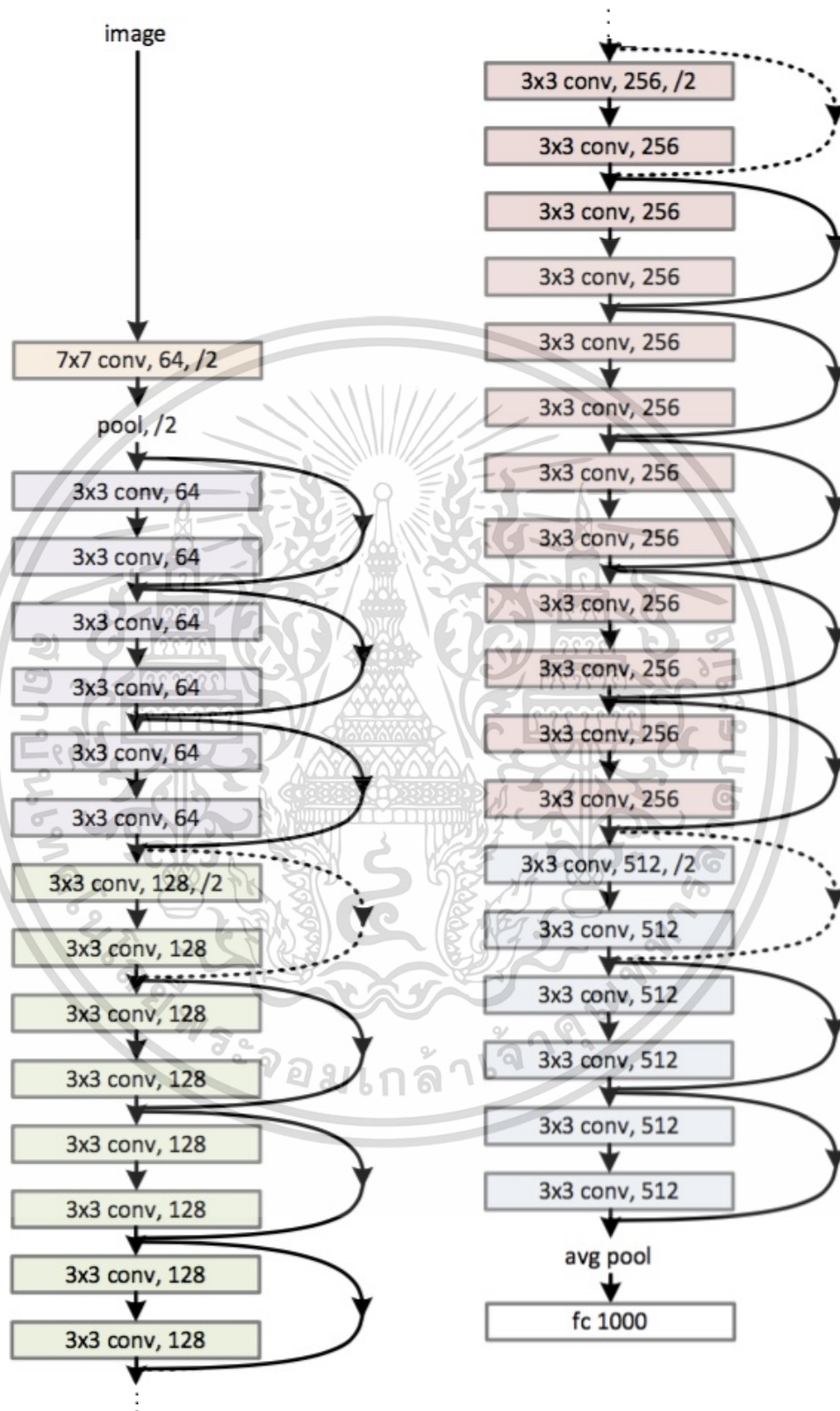
อย่างไรก็ตามการที่จะนำเลเยอร์มาบวกกันได้จำเป็นต้องมีขนาดที่เท่ากัน และเนื่องจากในบางเลเยอร์ชั้นคอนโวลูชันจะส่งผลให้เลเยอร์มีขนาดที่เปลี่ยนไป จึงจำเป็นต้องปรับจำนวนพีเจอร์แมปด้วยการใช้ฟิลเตอร์ขนาด  $1 \times 1$  โดยโครงสร้างของการปรับจำนวนไปมาจะถูกเรียกว่า Bottleneck Building Block ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การปรับจำนวนพีเจอร์ภายในบล็อก [9]

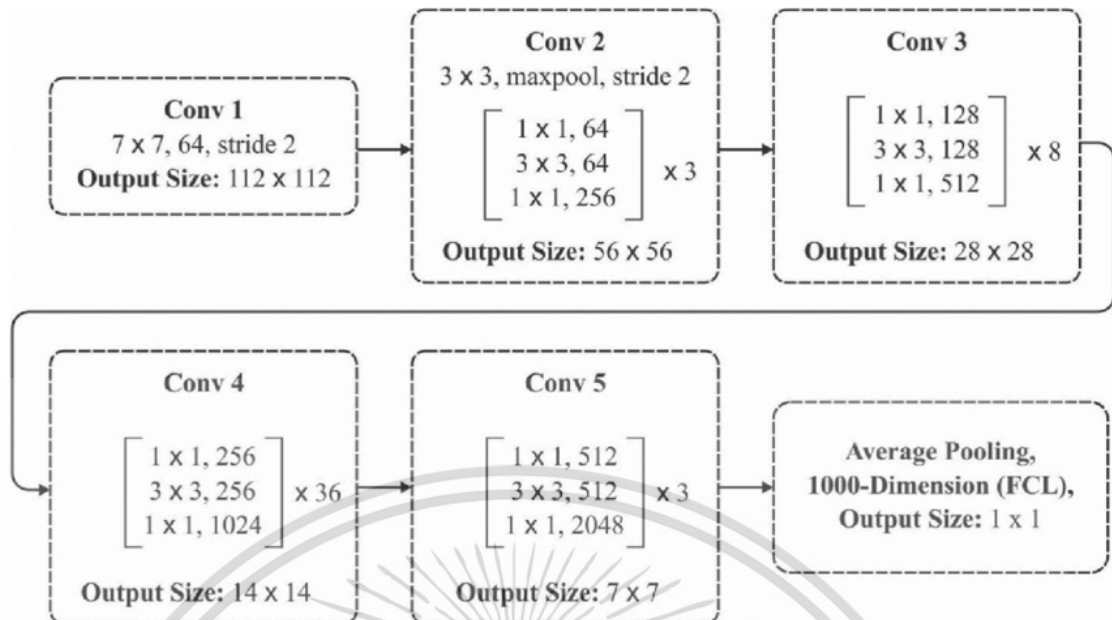
โครงสร้างของ ResNet ประกอบด้วย 4 บล็อกใหญ่ โดยมีการวางสลับบล็อกแบบปรับจำนวนกับไม่ปรับจำนวนพีเจอร์สลับไปมาดังรูปที่ 2 และมีการเรียกโครงสร้างเป็นเลขภายในบล็อกเช่น ResNet34 เป็น [3,4,6,3] หมายถึงมีจำนวน 16 คู่ภายในบล็อกที่ถูกแบ่งเป็น 4 ส่วน และมีเลเยอร์อินพุตกับเอาต์พุตปิดหัวท้ายรวมเป็นจำนวน 34 เลเยอร์ ในงานวิจัยนี้มีการใช้งาน ResNet-34 และ ResNet-152 ดังรูปที่ 2.19 และ 2.20 ตามลำดับ

## 34-layer residual



รูปที่ 2.19 โครงสร้างของ CNN สถาปัตยกรรม ResNet-34 [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 โครงสร้างของ CNN สถาปัตยกรรม ResNet-152 [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# การออกแบบการจัดการข้อมูลและโครงข่ายประสาทเทียม

### 3.1 การจัดเตรียมข้อมูลสำหรับโครงข่ายประสาทเทียม

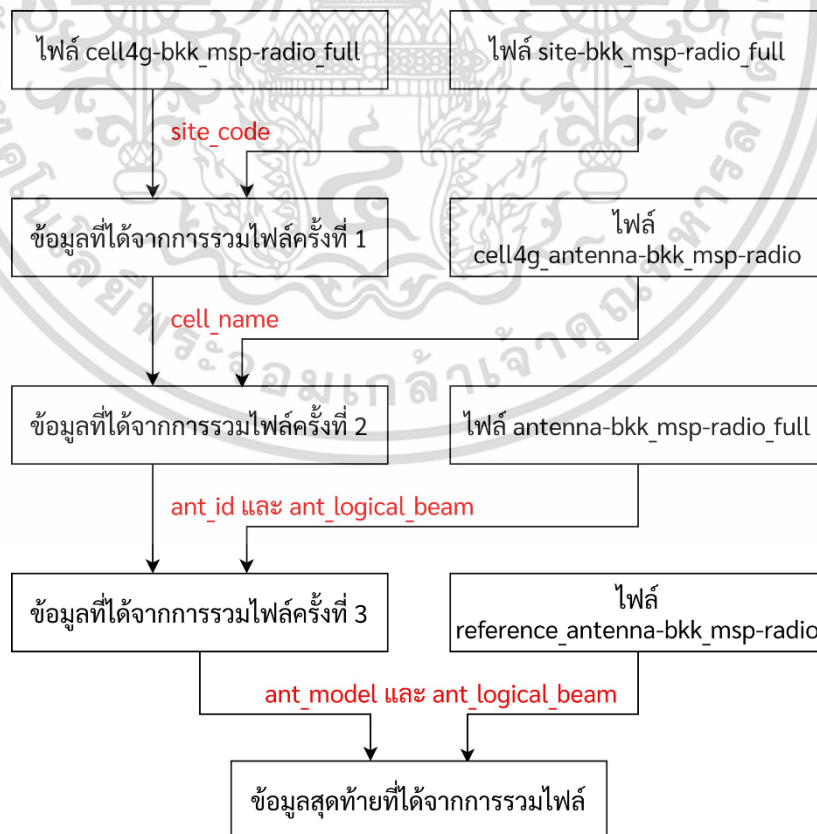
ข้อมูลกริดและข้อมูลไซต์วันที่ 1-6 กันยายน พ.ศ.2564 ข้อมูลที่ได้รับจากบริษัทจะถูกจัดเก็บลงในไฟล์แบ่งเป็นไฟล์ของพารามิเตอร์ Site และไฟล์ของพารามิเตอร์กริดตามที่ได้อธิบายในบทที่ 2 ซึ่งไฟล์ดังกล่าวจำเป็นต้องนำมาเชื่อมข้อมูลภายใต้เงื่อนไขในหัวข้อ 3.1.1 และ 3.1.2 และจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ในหัวข้อ 3.1.3 - 3.1.5

#### 3.1.1 การรวมไฟล์ข้อมูลของ Site

บริษัทจะจัดเก็บข้อมูลของ Site ในรูปแบบของไฟล์ csv จำนวน 5 ไฟล์ โดยแต่ละไฟล์จะมีข้อมูลสำคัญที่ต่างกันและมีการเชื่อมโยงข้อมูลกัน ทำให้ การนำข้อมูลของ Site มาใช้จำเป็นต้องนำข้อมูลที่อยู่ในไฟล์ต่าง ๆ มาเชื่อมโยงกันและจัดเก็บข้อมูลของ Site ในรูปแบบของไฟล์ csv จำนวน 1 ไฟล์ ซึ่งการรวมไฟล์จะรวมแบบ Left Join ทีละ 2 ไฟล์ โดยมีคอลัมน์หลักเป็นเงื่อนไขในการรวมไฟล์แต่ละครั้ง แสดงแผนภาพเงื่อนไขการรวมไฟล์ดังรูปที่ 3.1 โดยแถวสีฟ้า (แถวแรก) คือชื่อไฟล์แถวอื่น ๆ คือชื่อของคอลัมน์ที่อยู่ในไฟล์ และแถวสีเหลืองคือชื่อคอลัมน์หลักซึ่งเป็นเงื่อนไขการรวมไฟล์ และแสดงบล็อกไดอะแกรมลำดับไฟล์ที่รวมกันดังรูปที่ 3.2 ซึ่งตัวหนังสือสีแดงแต่ละตัวที่ปรากฏอยู่แสดงถึงชื่อคอลัมน์หลักที่ใช้ในการรวมไฟล์ของคู่ไฟล์นั้น ๆ

cell4g-bkk_msp-radio_full	cell4g_antenna-bkk_msp-radio	antenna-bkk_msp-radio_full	reference_antenna-bkk_msp-radio
cell_name	cell_name	ant_id	ant_model
site_code	ant_id	ant_model	ant_logical_beam
enodeb_name	ant_logical_beam	ant_logical_beam	band
mcc		m_tilt	ant_type
mnc		e_tilt	ant_weight
cn_operator_group_index		physical_azimuth	ant_height
local_area_id		ant_lat	diff_azimuth
enodeb_id		ant_lng	ant_gain
cell_id		ant_location	vertical_beam_width
local_cellid		ant_address	horizontal_beam_width
ecqi		ant_height	
system		diplexer_number	
bw		diplexer_type	
dl_earfcn		triplexer_type	
ul_earfcn		triplexer_number	
freq_band		hc	
duplex		bpf_number	
mme		bpf_type	
lac		tma	
tal		remark	
tac			
power_index			
sector_equipment_id			
sbs_id			
rsi			
pci			
rspwr			
cell_brrc			
convergence_scenario			
pa			
pb			
cell_radius			
emtc_flag			
multi_type			
cell_objective			
cell_status			
onservice			
cell_barred			
cell_reserve			
date_onservice			
ref_code_phase			
rru_model_1			
rru_num_1			
rru_model_2			
rru_num_2			
remark			

รูปที่ 3.1 แผนภาพเงื่อนไขการรวมไฟล์ข้อมูลของ Site



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมลำดับการรวมไฟล์ข้อมูลของ Site

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 การรวมไฟล์ข้อมูลของกริดและ Site

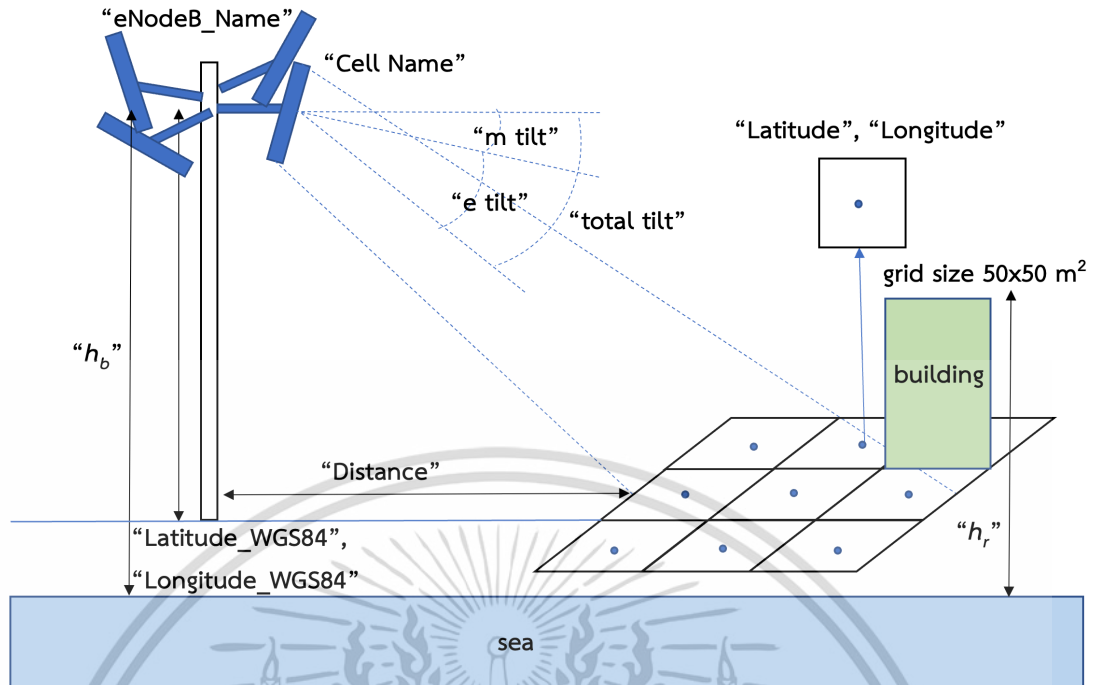
นำไฟล์ข้อมูลของ Site ที่รวมกันแล้วดังหัวข้อที่ 3.1.1 มารวมกับไฟล์ข้อมูลของกริดแบบ Left Join โดยมีไฟล์ข้อมูลของกริดเป็นไฟล์หลักและใช้คอลัมน์ Cell\_Name เป็นคอลัมน์หลักซึ่งเป็นเงื่อนไขในการรวมไฟล์ จะได้ไฟล์ข้อมูลดิบที่สมบูรณ์ก่อนนำไปคัดเลือกและจัดเตรียมเพื่อใช้พัฒนาปัญญาประดิษฐ์

### 3.1.3 พารามิเตอร์ที่ต้องคำนวณเพิ่มเติม

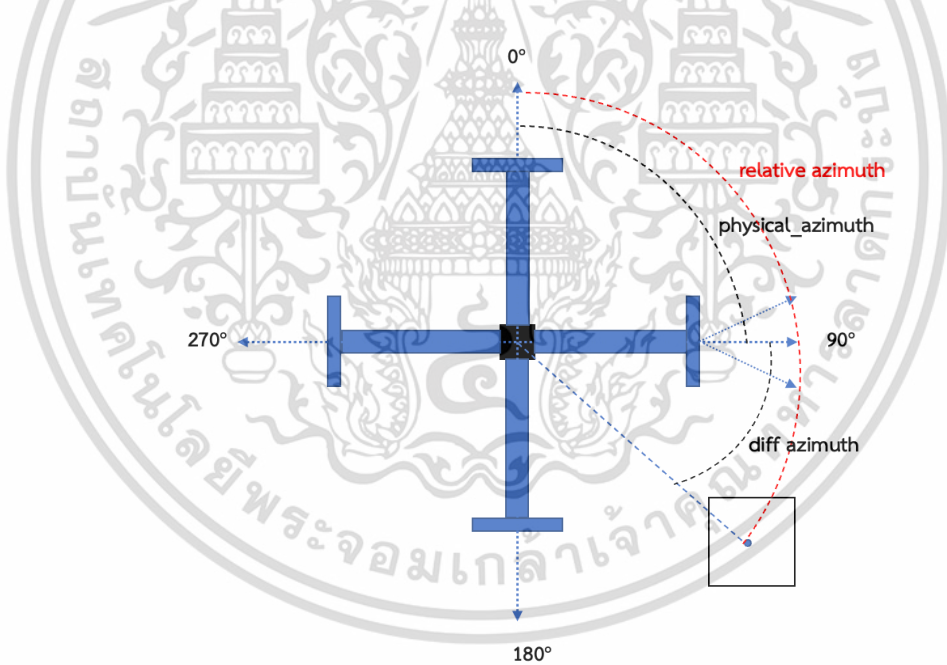
ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะมีการคำนวณพารามิเตอร์เพิ่มเติมดังตารางที่ 3.1 ซึ่งสามารถอ้างอิงได้จากรูปที่ 3.3 และ 3.4 การคำนวณแต่ละพารามิเตอร์มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่คำนวณเพิ่มเติม

ชื่อของข้อมูล	ความหมายของข้อมูล
Distance	ระยะทางระหว่าง Site กับกริด
Total Tilt	มุมแกนตั้งรวมของสายอากาศ
$PL_{MR}$	การสูญเสียเชิงวิถีจากการวัด
Relative Azimuth	มุมที่กริดทำต่อแกนของสายอากาศ
$PL_{error}$	ค่าความคลาดเคลื่อนของการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างการวัดกับ Ericsson
$h_b$	ความสูงของเครื่องส่งจากระดับน้ำทะเล
$h_r$	ความสูงของเครื่องรับจากระดับน้ำทะเล
$h_{DEM}$	ความสูงของกริดจากระดับน้ำทะเล
CI	ค่าที่บอกลักษณะของภูมิประเทศ
BP	อัตราส่วนสิ่งปลูกสร้างภายในกริด



รูปที่ 3.3 แบบจำลองพารามิเตอร์ที่คำนวณเพิ่มในมุมมองด้านข้าง



รูปที่ 3.4 แบบจำลองพารามิเตอร์ที่คำนวณเพิ่มในมุมมองด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ระยะห่างระหว่างสถานีฐานกับกริด สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.1)

$$Distance = R \times c \quad (3.1)$$

โดย  $R$  คือรัศมีของโลก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6,371 กิโลเมตร  
 $c$  คำนวณได้จากสมการที่ (3.2)

$$c = 2 \times \arctan2(\sqrt{a}, \sqrt{(1-a)}) \quad (3.2)$$

โดย  $a$  คำนวณได้จากสมการที่ (3.3)

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(lat_1) \times \cos(lat_2) \times \sin^2\left(\frac{\Delta lon}{2}\right) \quad (3.3)$$

โดย  $\Delta lat$  คือผลต่างระหว่างพิกัด LATITUDE\_WGS84 และพิกัด Latitude  
 $lat_1$  คือพิกัด LATITUDE\_WGS84  
 $lat_2$  คือพิกัด Latitude  
 $\Delta lon$  คือผลต่างระหว่างพิกัด LONGITUDE\_WGS84 และพิกัด Longitude

2) มุมแกนตั้งรวมของสายอากาศ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.4)

$$Total\ Tilt = m\ tilt + e\ tilt \quad (3.4)$$

3) ค่าความสูญเสียเชิงวิถีจากการวัด สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.5)

$$PL_{MR} = P + G_{3D} - RSRP \quad (3.5)$$

โดย  $P$  คือกำลังส่ง หน่วย dBm  
 $G_{3D}$  คืออัตราขยายของสายอากาศแบบ 3 มิติ [12] หน่วย dBi  
 $RSRP$  คือกำลังสัญญาณรับอ้างอิงจากการวัด หน่วย dBm

4) Relative Azimuth ( $\beta$ ) คือมุมที่กริดทำต่อแกนของสายอากาศตามแนวแกนนอน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.6)

$$\beta = \arctan2(X, Y) \quad (3.6)$$

โดย  $X$  และ  $Y$  สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.7) และ (3.8)

$$X = \cos\left(\frac{lat_1\pi}{180}\right) \sin\left(\frac{lat_2\pi}{180}\right) - \sin\left(\frac{lat_1\pi}{180}\right) \cos\left(\frac{lat_2\pi}{180}\right) \cos\left(\frac{\Delta lon\pi}{180}\right) \quad (3.7)$$

$$Y = \sin\left(\frac{\Delta lon\pi}{180}\right) \cos\left(\frac{lat_2\pi}{180}\right) \quad (3.8)$$

โดย  $lat_1$  คือพิกัด LATITUDE\_WGS84  
 $lat_2$  คือพิกัด Latitude  
 $\Delta lon$  คือผลต่างระหว่างพิกัด LONGITUDE\_WGS84 และพิกัด Longitude

5) ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการสูญเสียเชิงวิถี Ericsson กับการวัด สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.9)

$$PL_{err} = PL_{MR} - PL_{Eric} \quad (3.9)$$

โดย  $PL_{MR}$  คือค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่ได้จากการวัด  
 $PL_{Eric}$  คือค่าสูญเสียเชิงวิถี Ericsson 9999 (สมการที่ )

6) ค่าความสูงของสถานีฐาน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.10)

$$h_b = h_{DEM} + h \quad (3.10)$$

โดย  $h_{DEM}$  คือความสูงระดับน้ำทะเล  
 $h$  คือความสูงของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) ค่าความสูงของเครื่องรับ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.11)

$$h_r = h_{DEM} + 2 \quad (3.11)$$

โดย  $h_{DEM}$  คือความสูงระดับน้ำทะเล

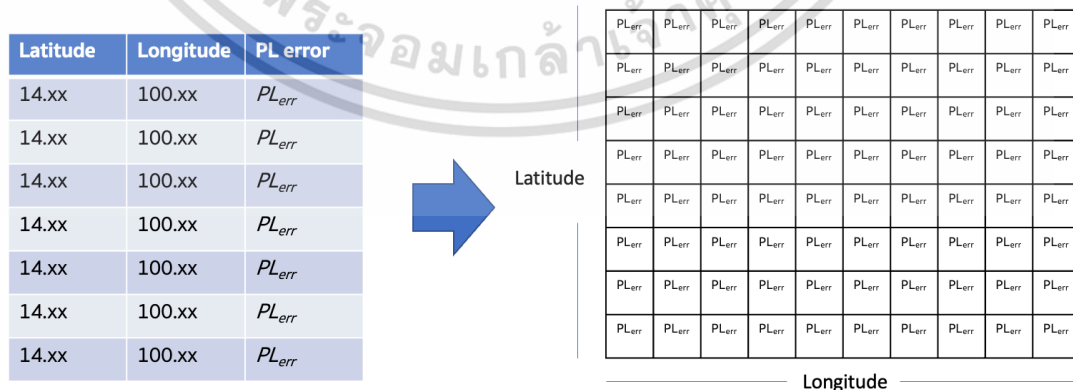
8) Class Index (CI) คือค่าที่บอกลักษณะของภูมิประเทศตามหมายเลขที่กำหนด ซึ่งสามารถสร้างข้อมูลได้จากแหล่งข้อมูล Open-Source โดยใช้โปรแกรม QGIS โดยแต่ละหมายเลขจะถูกกำหนดดังนี้

- หมายเลข 1 คือ พื้นที่น้ำ
- หมายเลข 2 คือ พื้นที่ป่า
- หมายเลข 3 คือ พื้นที่เกษตรกรรม
- หมายเลข 4 คือ พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง
- หมายเลข 5 คือ พื้นที่โล่ง

9) Building Percentage (BP) คือค่าที่บอกอัตราส่วนของสิ่งปลูกสร้างต่อพื้นที่อื่น ๆ ภายในกริด โดยคำนวณจาก Shape File โดยใช้โปรแกรม QGIS โดยที่ค่า BP อยู่ระหว่าง 0 ถึง 100

### 3.1.4 Residual Loss

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอการสร้าง Residual Loss ( $RL$ ) ซึ่งอธิบายการลดทอนสัญญาณที่ผ่านกริดใด ๆ ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ขั้นตอนการสร้างจะเริ่มจากการนำข้อมูล  $PL_{err}$  ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (3.12) มาเรียงใหม่ในรูปแบบของอาร์เรย์ 2 มิติ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การจัดเตรียมอาร์เรย์ 2 มิติ

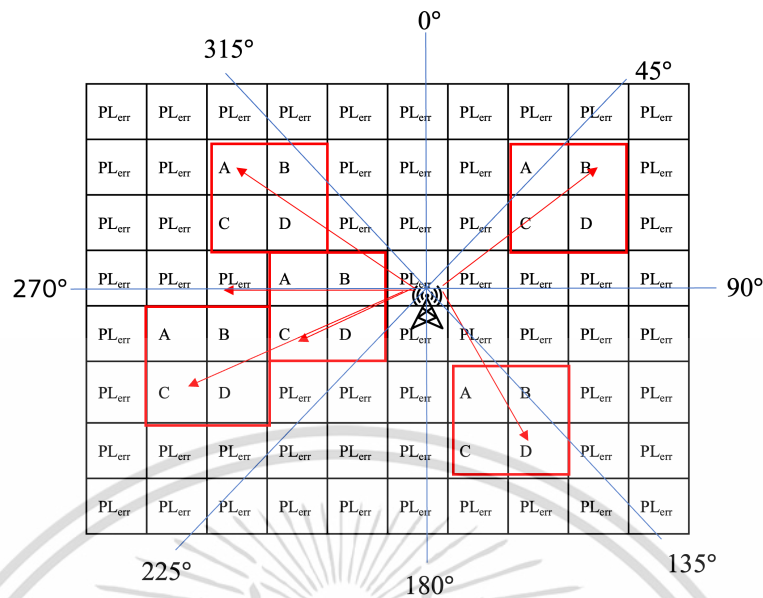
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณารูปที่ 2 ที่มีการติดตั้งเสาส่งสัญญาณบนกริดที่อยู่ตรงกลางของข้อมูล  $PL_{error}$  แบบ 2 มิติ จากรูปสามารถแบ่งตำแหน่งของกริดออกเป็น 8 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มของกริดที่ทำมุม 0-45 องศา 45-90 องศา 90-135 องศา 135-180 องศา 180-225 องศา 225-270 องศา 270-315 องศา และ 315-360 องศา ในที่นี้จะพบว่าเมื่อสัญญาณส่งถูกส่งจากสถานีฐาน (เส้นสีแดง) ไปยังกริดต่าง ๆ จะต้องผ่านกริดอื่น ๆ ในงานวิจัยนี้จะนิยามตัวรอกสัญญาณขนาด 2x2 กริด ประกอบด้วยค่า  $PL_{err}$  ที่ตำแหน่ง A B C และ D ดังรูปที่ 3.6 จากนั้นนำข้อมูล  $PL_{err}$  แบบ 2 มิติจะถูกนำมาคำนวณค่า  $RL$  ด้วยสมการต่อไปนี้

$$RL = PL_{err,G1} - (1 - coeff)PL_{err,G2} - coeff(PL_{err,G3}) \quad (3.12)$$

โดย  $PL_{err,G1}$  คือค่า  $PL_{err}$  ที่ตำแหน่ง G1  
 $PL_{err,G2}$  คือค่า  $PL_{err}$  ที่ตำแหน่ง G2  
 $PL_{err,G3}$  คือค่า  $PL_{err}$  ที่ตำแหน่ง G3

โดยที่ตำแหน่ง G1 G2 และ G3 จะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับตำแหน่งของตัวรอกสัญญาณ ดังตารางที่ 3.2 ตัวอย่างเช่น ถ้ากริดที่ได้รับสัญญาณจากเสาส่งสัญญาณทำมุม 285 องศา ค่า G1 = 140 G2 = 138 และ G3 = 135 ค่า  $RL$  ที่คำนวณได้จะมีค่า 2.99 และถ้ากริดที่ได้รับสัญญาณจากเสาส่งสัญญาณทำมุม 75 องศา ค่า G1 = 125 G2 = 122 และ G3 = 118 ค่า  $RL$  ที่คำนวณได้จะมีค่า 5.68



รูปที่ 3.6 การนำ  $PL_{err}$  มาคำนวณหา  $RL$

ในการคำนวณค่า  $RL$  จำเป็นต้องคำนวณหาอัตราส่วนของกริดสัญญาณสื่อสารวิ่งผ่านกริดต่าง ๆ (พิจารณาจากเส้นตรงสีแดงที่ลากผ่านกริด A B C และ D ดังรูปที่ 3.6) ซึ่งมีสัดส่วนที่ไม่เท่ากัน ในงานวิจัยนี้จะคำนวณค่า  $coeff$  เพื่อบ่งชี้ค่าน้ำหนักในกริดต่าง ๆ โดยใช้สมการที่ (3.13)

$$coeff = \frac{\beta \bmod 45}{45} \quad (3.13)$$

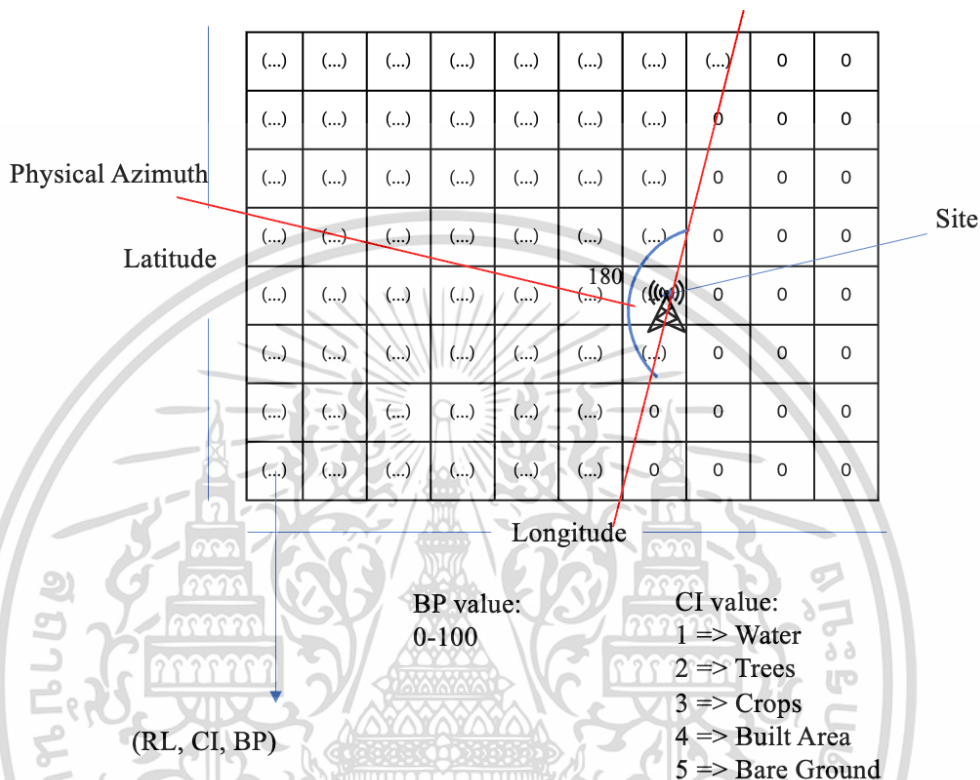
ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ของการคำนวณ  $RL$

มุมของกริด	$G_1$	$G_2$	$G_3$
0-45	B	C	D
45-90	B	A	C
90-135	D	C	A
135-180	D	A	B
180-225	C	A	B
225-270	C	B	D
270-315	A	B	D
315-360	A	D	C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.5 การสร้างข้อมูลอาเรย์จำนวน 3 มิติ

เมื่อคำนวณ *RL* สำเร็จเสร็จสิ้น จะนำข้อมูล *RL* มารวมกับข้อมูล *CI* และ *BP* ซึ่งจะได้อาเรย์ขนาด 100x100x3 โดยชั้นแรกจะเป็น *RL* และชั้นต่อไปจะเป็น *CI* และ *BP* ตามลำดับ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งอาเรย์ดังกล่าวสามารถครอบคลุมพื้นที่ 25 ตารางกิโลเมตร



รูปที่ 3.7 อาเรย์ 2 มิติ 3 ชั้น ขนาด 100x100

ในที่นี้สามารถสรุปการสร้างอาเรย์ดังนี้

- 1) จำกัด Cell Name ให้อยู่ภายในขอบเขต Latitude ที่ 13.8 ถึง 14 และ Longitude ที่ 100.6 ถึง 100.8
- 2) กรองหารายชื่อ Cell Name ทั้งหมดที่อยู่ภายใต้ขอบเขตข้อ 1)
- 3) กรองข้อมูลที่ผิดพลาดออก
- 4) คำนวณหา Distance Relative Azimuth และ Diff Azimuth ของแต่ละ Cell Name ต่อกริดทั้งหมด
- 5) กรองข้อมูลที่มี Distance น้อยกว่า 10 กิโลเมตร
- 6) กรองข้อมูล *RL* *CI* และ *BP* ที่มี Diff Azimuth น้อยกว่า 90 องศา
- 7) นำข้อมูล Latitude Longitude มาเรียงเป็นแกนตั้งและแกนนอนโดยมีค่าของแต่ละกริดเป็น *RL* *CI* และ *BP* จำนวน 3 เลเยอร์

8) คำนวณหาพิกัดของ Cell Name ภายในเลเยอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9) ทำการตัดและต่อข้อมูล โดยคำนวณหาจุดกึ่งกลาง ผ่านเฟรมข้อมูลที่เรียงอยู่ เนื่องจากการตัดแปลงคอลัมน์และแถวทำให้ค่าของทศนิยมมีความละเอียดที่เปลี่ยนแปลงไป จึงไม่สามารถจัดเรียงข้อมูลเพื่อหาจุดกึ่งกลางแบบปกติได้ เมื่อหาจุดกึ่งกลางได้แล้วจะเริ่มดูขนาดของเฟรมข้อมูล ถ้าข้อมูลที่กรองออกมามีขนาดเล็กกว่าจะทำการตัดข้อมูลกว่าจะทำการเติมคอลัมน์กับแถวตามจำนวนที่ขาดไปเป็น NaN โดยเริ่มการฟิลเตอร์จากขวาไปซ้ายและบนลงล่าง ตามลำดับ แต่ถ้าหากข้อมูลมีขนาดใหญ่จะตัดข้อมูลให้มีขนาด 100x100 โดยยึดจากจุดกึ่งกลางเป็นหลัก ซึ่งจุดกึ่งกลางคือ พิกัดของ Cell

10) เติมค่าในแต่ละเลเยอร์ให้ไม่มีค่าติดลบ

11) บันทึกเป็นไฟล์อาเรย์สกุล npz

### 3.1.6 การออกแบบข้อมูลสำหรับการฝึกฝนและทดสอบ

ชุดข้อมูลที่ได้รับจากบริษัทจะมีการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 รูปแบบ เพื่อใช้ทดสอบ ปัญญาประดิษฐ์ในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน ได้แก่ ชุดข้อมูลแบบ Non-Dominant และชุดข้อมูลแบบ New Area ดังนี้

1) ข้อมูล Non-Dominant จะได้สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของปัญญาประดิษฐ์ในการทำนายข้อมูลของกริดที่ตำแหน่งใด ๆ ของพื้นที่ที่มีการติดตั้งเสาสัญญาณอยู่ในปัจจุบัน โดยใช้ความแตกต่างจากการเก็บข้อมูลรายวัน ตัวอย่างเช่น วันที่ 1-3 กริดที่ 1 เชื่อมต่อกับ Cell A วันที่ 4 เชื่อมต่อกับ Cell B และ วันที่ 5-6 เชื่อมต่อกับ Cell C ดังนั้นข้อมูล Non-Dominant จะนำข้อมูลของกริดที่ 1 ที่เชื่อมต่อกับ Cell A มาเป็นข้อมูลฝึกฝนของปัญญาประดิษฐ์ และข้อมูลที่เชื่อมต่อกับ Cell B จะไม่ถูกใช้งาน และข้อมูลที่เชื่อมต่อกับ Cell C จะถูกนำมาเป็นข้อมูลทดสอบประสิทธิภาพของปัญญาประดิษฐ์ ดังรูปที่ 3.8

#### Non-Dominant Testing

Day	Grid	Cell	
1	1	A	Training
2	1	A	
3	1	A	
4	1	B	Testing
5	1	C	
6	1	C	
1	2	B	Training
2	2	C	Testing

รูปที่ 3.8 การทดสอบแบบ Non-Dominant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ข้อมูล New Area จะได้สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของปัญญาประดิษฐ์ในการทำนายพื้นที่ที่ไม่มีการติดตั้งเสาสัญญาณอยู่ในปัจจุบัน การทดสอบนี้เปรียบเสมือนการทดสอบข้อมูลในพื้นที่ปัญญาประดิษฐ์ที่ไม่เคยฝึกฝนหรือถูกเรียนรู้ ตัวอย่างเช่น วันที่ 1-3 กริดที่ 1 เชื่อมต่อกับ Cell A วันที่ 4 เชื่อมต่อกับ Cell B และ วันที่ 5-6 เชื่อมต่อกับ Cell C ดังนั้นข้อมูล New Area จะนำข้อมูลของกริดที่ 1 ที่เชื่อมต่อกับ Cell A มาเป็นข้อมูลฝึกฝน ข้อมูลที่เชื่อมต่อกับ Cell B และ Cell C จะไม่ถูกใช้งาน ส่วนข้อมูลทดสอบจะนำข้อมูลกริด 1000 ที่เชื่อมต่อกับ Cell F และ Cell G ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนี้ ตำแหน่งของกริดและการติดตั้งเสาสัญญาณจะอยู่ในพื้นที่อื่น ดังรูปที่ 3.9

### New Area Testing

Day	Grid	Cell
1	1	A
2	1	A
3	1	A
4	1	B
5	1	C
6	1	C
1	1000	F
2	1000	G

Training

Testing

รูปที่ 3.9 การทดสอบแบบ New Area

### 3.2 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม

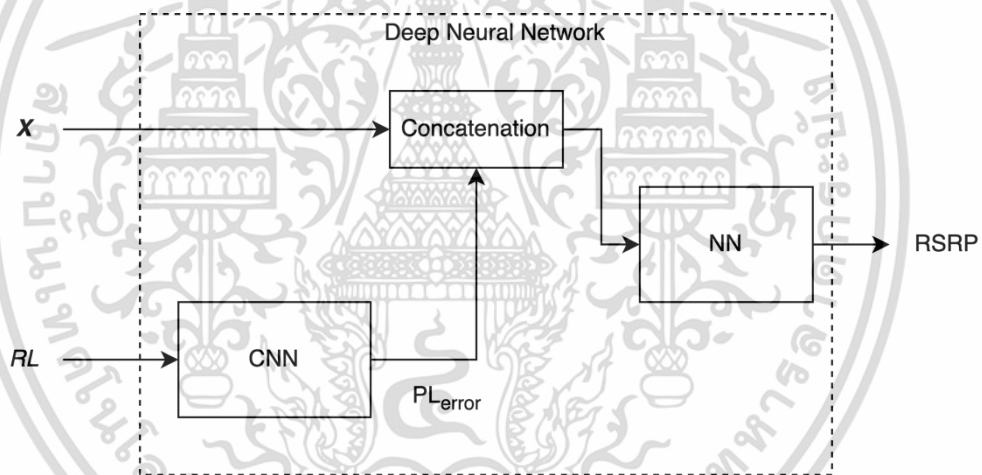
ในงานวิจัยนี้ได้นำ NN มาต่อเข้ากับ CNN เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้ข้อมูลได้ทั้ง 2 รูปแบบ ได้แก่ ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ซึ่งอยู่ในรูปของอาเรย์ 2 มิติ และข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในตารางที่ 3.3 โดยการพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทดสอบและเก็บผลตามเวอร์ชันต่าง ๆ ที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 3.3 อินพุตของ NN1

Longitude	Latitude
Antenna height	Horizontal beamwidth
Distance	Total Tilt
Frequency	Azimuth
Reference Signal Power	3D Gain
$PL_{Eric}$	Diff azimuth

### 3.2.1 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 1

โครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันแรกเป็นการทดลองนำ CNN มาทำนาย  $PL_{err}$  เพื่อเป็นอินพุตของ NN โดยทั้ง NN และ CNN ถูกเทรนและทดสอบแยกกัน ดังรูปที่ 3.10 ซึ่งอินพุตของ CNN เป็นอาร์เรย์ 2 มิติที่มีเพียงเลเยอร์เดียวคือ  $RL$



รูปที่ 3.10 โครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 1

ซึ่งโครงสร้างของ NN และ CNN สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.4 และ 3.5

ตารางที่ 3.4 โครงสร้างของ NN ของโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 1

โมเดล	ขนาดเลเยอร์	ฟังก์ชันกระตุ้น
NN	(100,160,140,126)	tanh

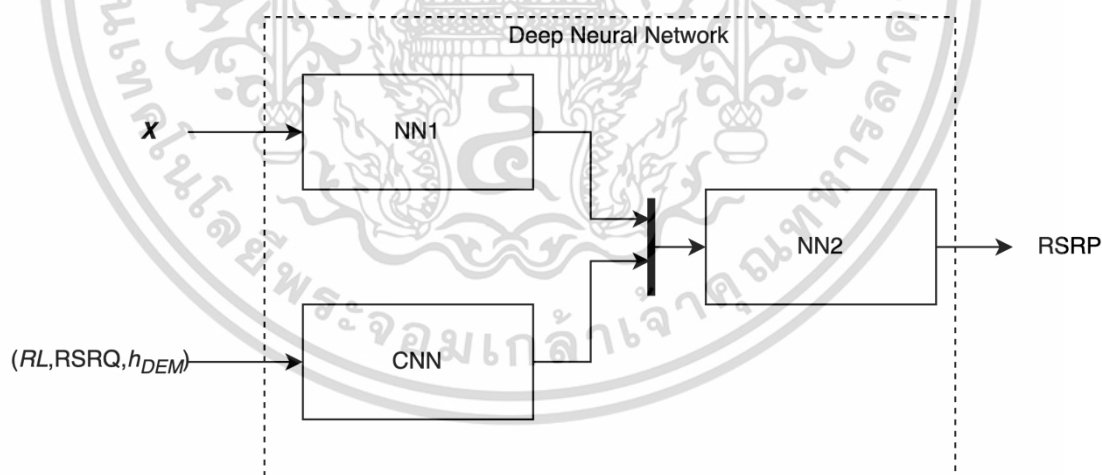
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 โครงสร้างของ CNN ของโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 1

ชนิดเลเยอร์	ขนาดฟิลเตอร์	ขนาดเคอร์เนล	ฟังก์ชันกระตุ้น
Input	(300,300,1)	-	-
Conv2D	32	5	ReLU
MaxPooling2D	2	-	-
Conv2D	32	5	ReLU
MaxPooling2D	2	-	-
Flatten	-	-	-
Dense	120	-	ReLU
Dense	84	-	ReLU
Dense	1	-	-

### 3.2.2 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 2

โครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 2 เป็นการทดลองนำ CNN มาต่อรวมเข้ากับ NN1 และ NN2 โดยทั้ง NN1 NN2 และ CNN ถูกเทรนและทดสอบรวมกัน ดังรูปที่ 3.11 ซึ่งอินพุตของ CNN เป็นอาร์เรย์ 2 มิติที่มี 3 เลเยอร์ ได้แก่  $RL$   $RSRQ$  และ  $h_{DEM}$



รูปที่ 3.11 โครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 2

ซึ่งโครงสร้างของ NN1 NN2 และ CNN สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.6 และ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 โครงสร้าง NN1 และ NN2 ของโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 2

โมเดล	ขนาดเลเยอร์	ฟังก์ชันกระตุ้น
NN1	(100,160,140,126)	tanh
NN2	(128,128,128)	tanh

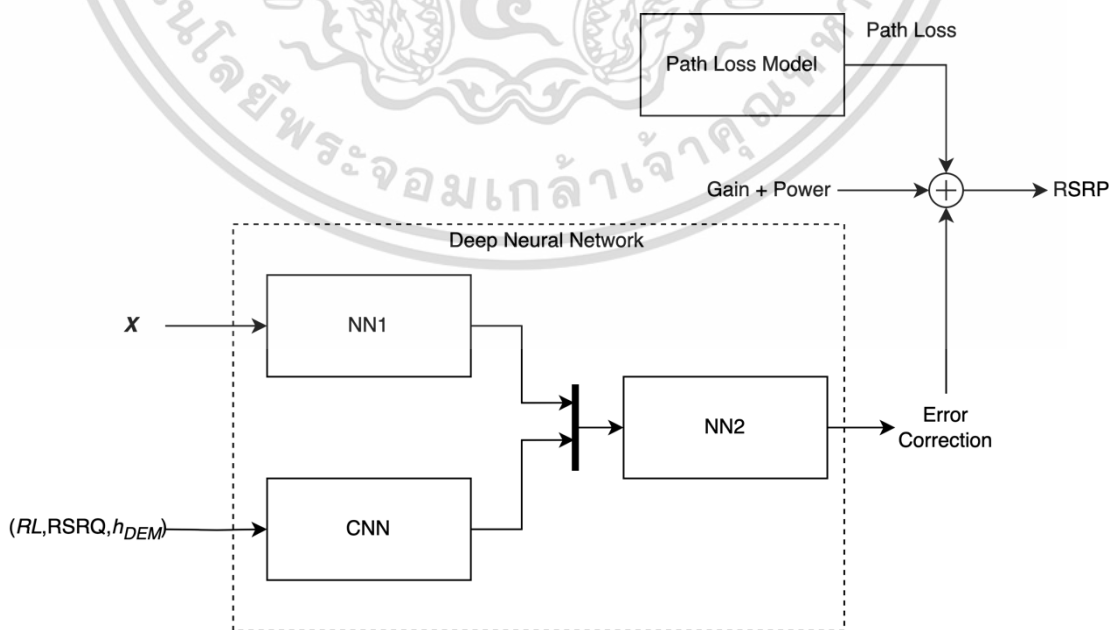
### 3.2.3 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 3

โครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 3 เป็นการทดลองนำ CNN ที่มีสถาปัตยกรรมแตกต่างกันจำนวน 2 โครงสร้าง ได้แก่

- 1) VGG-4 (ตารางที่ 2.3)
- 2) VGG-16 (ตารางที่ 2.4)
- 3) VGG-19 (ตารางที่ 2.5)
- 4) ResNet-34 (รูปที่ 2.19)
- 5) ResNet-152 (รูปที่ 2.20)

โดย NN1 NN2 และ CNN จะถูกเทรนและทดสอบรวมกัน นอกจากนี้ จะกำหนดให้เอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นค่า  $PL_{err}$  โดยค่า RSRP สามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ (3.14) ดังรูปที่ 3.12 และอินพุตของ CNN เป็นอาร์เรย์ 2 มิติที่มี 3 เลเยอร์ ได้แก่  $RL$  RSRQ และ  $h_{DEM}$

$$RSRP = Power + Gain - (PL_{Eric} + PL_{err}) \tag{3.14}$$



รูปที่ 3.12 โครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งโครงสร้างของ NN1 และ NN2 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 โครงสร้าง NN1 และ NN2 ของโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 3

โมเดล	ขนาดเลเยอร์	ฟังก์ชันกระตุ้น
NN1	(100,160,140,126)	tanh
NN2-VGG	(128,128,128)	tanh
NN2-ResNet	(1000, 1000, 1000)	tanh

### 3.2.4 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 4

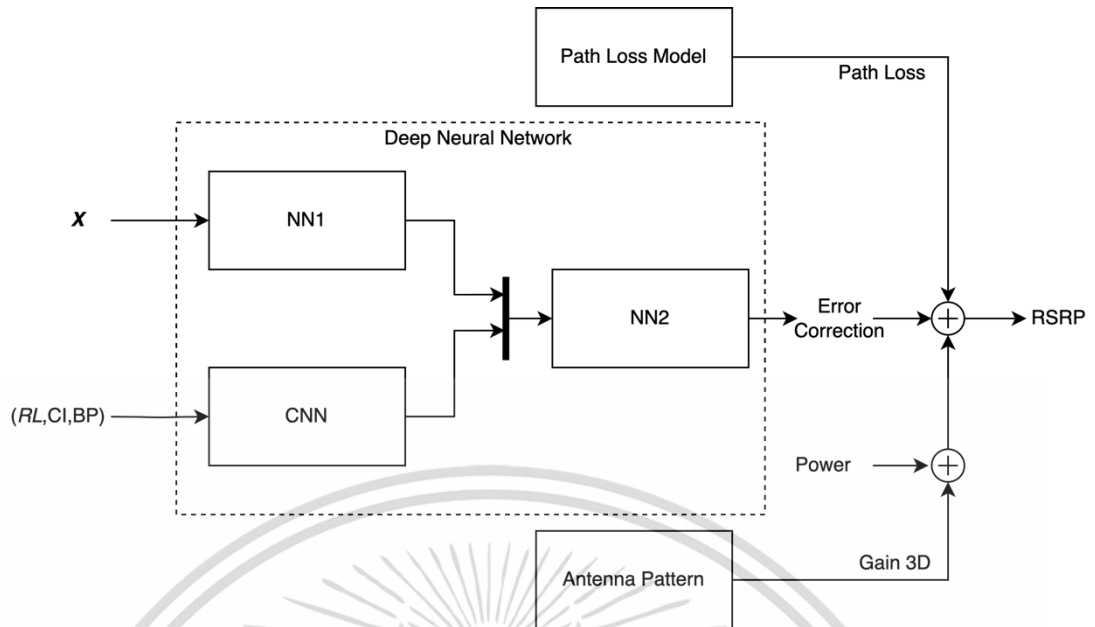
โครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 4 จะมีการนำค่าอัตราขยายของสายอากาศแบบ 3 มิติมาประยุกต์ใช้งาน โดยจะมีการทดลองนำ CNN ที่มีสถาปัตยกรรมแบบแตกต่างกันจำนวน 2 โครงสร้าง ได้แก่

- 1) VGG-4 (ตารางที่ 2.3)
- 2) VGG-16 (ตารางที่ 2.4)
- 3) VGG-19 (ตารางที่ 2.5)
- 4) ResNet-34 (รูปที่ 2.19)
- 5) ResNet-152 (รูปที่ 2.20)

ทำให้เอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นค่า  $PL_{err}$  โดยค่า RSRP สามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ (3.15) ดังรูปที่ 3.13

$$RSRP = Power + Gain_{3D} - (PL_{Eric} + PL_{err}) \quad (3.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 โครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 4  
 ซึ่งโครงสร้างของ NN1 และ NN2 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.8  
 ตารางที่ 3.8 โครงสร้าง NN1 และ NN2 ของโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 4

โมเดล	ขนาดเลเยอร์	ฟังก์ชันกระตุ้น
NN1	(100,160,140,126)	tanh
NN2-VGG	(128,128,128)	tanh
NN2-ResNet	(1000, 1000, 1000)	tanh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

## ผลการทดลองและอภิปรายผลของการออกแบบการจัดการข้อมูล และโครงข่ายประสาทเทียม

### 4.1 ผลการจัดเตรียมข้อมูลสำหรับโครงข่ายประสาทเทียม

#### 4.1.1 การรวมไฟล์ข้อมูล

การรวมไฟล์ข้อมูลจะนำข้อมูลกริดที่รวมไฟล์เสร็จแล้วดังรูปที่ 4.1 และข้อมูล Site ที่รวมไฟล์เสร็จแล้ว ดังรูปที่ 4.2 มารวมกันแบบ left join ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.3

31/8/21	13.496763	100.675269	SBS2M.1813	SBS2M	681019-103	888	219	BKK	523	1	-185.00	-36.00	0	0	0	1	2484.375	13769.53125			
31/8/21	13.496763	100.675792	SBS2M.1813	SBS2M	681019-103	888	219	BKK	523	7	-997.00	-27.48	0	6.389	11.791	0	2				
31/8/21	13.496763	100.676155	WRBPM.1813	WRBPM	681019-103	888	246	BKK	687	1	-93.00	-25.00	10.515	455.383	0	0	1	2462.5	3448.929815		
31/8/21	13.496763	100.677121	SBS2M.1813	SBS2M	681019-103	888	219	BKK	523	2	-119.00	-30.00	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.677584	PS5PM.1813	PS5PM	681037-103	765	95	BKK	1467	3	-117.00	-33.83	12.747	13.354	0	2	952.256944	4753.038194			
31/8/21	13.496763	100.678018	PS5PM.1813	PS5PM	681037-113	765	95	BKK	1467	1	-127.00	-20.00	2.243	1.97	0	0	1	770.3125	1625		
31/8/21	13.496763	100.678073	PS5PM.1813	PS5PM	681037-103	765	95	BKK	1467	3	-119.50	-30.00	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.678436	WRBPM.1813	WRBPM	681019-113	888	257	BKK	334	2	-109.50	-24.50	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.678998	PS5PM.2111	PS5PM	610037-222	765	9	BKK	142	1	-113.00	-24.00	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.680361	PS5PM.0912	PS5PM	681037-112	765	13	BKK	4009	1	-118.00	-29.00	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.681287	PS5PM.1813	PS5PM	681037-103	765	95	BKK	1467	1	-101.00	-34.00	36.683	642.151	0	0	1	1316.861979	3373.674671		
31/8/21	13.496763	100.684928	PS5PM.1813	PS5PM	681037-103	765	95	BKK	1467	1	-106.67	-29.11	869.345	2669.775	0	0	1	783.947368	11121.283936		
31/8/21	13.496763	100.682676	WRBPM.1813	WRBPM	681019-103	888	246	BKK	687	11	-102.91	-31.00	354.244	2911.379	0	0	2	329.688429	5664.915433		
31/8/21	13.496763	100.682122	WRBPM.0912	WRBPM	681019-112	888	257	BKK	334	1	-107.00	-26.00	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.683602	PS5PM.1812	PS5PM	681037-102	765	13	BKK	8324	2	-96.50	-55.50	0	1.041	0	0	1	2281.25			
31/8/21	13.496763	100.684905	WRBPM.1813	WRBPM	681019-103	888	246	BKK	687	1	-105.00	-31.00	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.684928	SBS2M.2112	SBS2M	681019-222	1192	719	BKK	64	20	-107.75	-27.00	587.379	28957.59	0	0	1	4977	7940.172288		
31/8/21	13.496763	100.684991	WRBPM.0913	WRBPM	681019-113	888	257	BKK	334	1	-185.00	-26.00	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.685380	WRBPM.1813	WRBPM	681019-103	888	246	BKK	687	1	-108.00	-29.00	0	0	0	0	1	778.645833			
31/8/21	13.496763	100.686843	WRBPM.1813	WRBPM	681019-103	888	246	BKK	687	1	-109.00	-32.00	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.687386	PS5PM.0912	PS5PM	681037-112	765	13	BKK	4409	1	-105.00	-25.00	143.392	8955.883	0	0	1	511.896243	2484.926721		
31/8/21	13.496763	100.688231	WRBPM.0913	WRBPM	681019-113	888	257	BKK	334	1	-111.00	-30.00	0	0	0	0	1	157.252083	1153.066396		
31/8/21	13.496763	100.688994	PS5PM.0912	PS5PM	681037-112	765	13	BKK	4409	1	-110.00	-31.00	22.381	1389.097	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.689157	PS5PM.1812	PS5PM	681037-102	765	13	BKK	8324	1	-129.00	-36.00	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.689628	WRBPM.0913	WRBPM	681019-113	888	257	BKK	334	1	-115.00	-35.00	75.515	181.496	0	0	1	886.101974	3617.989137		
31/8/21	13.496763	100.690983	WRBPM.1813	WRBPM	681019-103	888	246	BKK	687	17	-111.62	-33.24	56.976	742.748	0	0	1	1198.172483	1270.459405		
31/8/21	13.496763	100.691477	WRBPM.2113	WRBPM	681019-223	888	246	BKK	125	1	-116.00	-40.00	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.692261	PS5PM.1812	PS5PM	681037-102	765	13	BKK	8324	1	-104.00	-30.00	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.694713	WRBPM.1813	WRBPM	681019-103	888	246	BKK	687	2	-102.00	-30.58	24.797	0.949	0	0	2	998.546512	140.625		
31/8/21	13.496763	100.695176	WRBPM.1813	WRBPM	681019-103	888	246	BKK	687	4	-106.75	-36.00	8.257	13.159	0	0	2	781.171875	3988.547794		
31/8/21	13.496763	100.695838	PS5PM.1812	PS5PM	681037-102	765	13	BKK	8324	1	-113.00	-40.00	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.695654	PS5PM.1812	PS5PM	681037-102	765	13	BKK	8324	1	-109.00	-18.00	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.697427	PS5PM.2122	PS5PM	681037-222	1192	113	BKK	1013	2	-92.50	-26.50	689.754	643.293	0	0	1	2402.882788	7925.9375		
31/8/21	13.496763	100.698116	WRBPM.1812	WRBPM	681019-112	888	246	BKK	125	3	-115.00	-34.50	0	0	0	0	2				
31/8/21	13.496763	100.699342	WRBPM.1813	WRBPM	681019-103	888	246	BKK	687	2	-105.50	-34.50	588.88	161.6	0	0	2	10881.526299	612.630280		
31/8/21	13.496763	100.699895	PS5PM.0912	PS5PM	681037-102	765	12	BKK	8324	6	-97.50	-29.83	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.700268	PS5PM.1812	PS5PM	681037-102	765	13	BKK	8324	3	-98.67	-31.67	11.209	1015.227	0	0	3	6765.624	24247.844917		
31/8/21	13.496763	100.701194	WRBPM.0913	WRBPM	681019-113	888	257	BKK	334	2	-94.00	-35.00	114.396	1580.291	0	0	1	2019.642857	2921.214241		
31/8/21	13.496763	100.701957	SBS2M.1816	SBS2M	681019-106	888	15	BKK	421	7	-94.98	-32.68	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.702123	WRBPM.2116	WRBPM	681019-226	888	78	BKK	304	8	-102.50	-29.75	244.428	4856.258	0	0	2	7289.441489	75.41.859149		
31/8/21	13.496763	100.702283	SBS2M.1816	SBS2M	681019-106	888	15	BKK	421	14	-99.83	-25.89	1321.117	1310.856	0	0	1	0.043811	10	7488.691486	9562.721188
31/8/21	13.496763	100.703946	WRBPM.1816	WRBPM	681019-106	888	78	BKK	1293	1	-104.00	-30.00	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.703588	PS5PM.2122	PS5PM	681037-222	1192	113	BKK	1013	3	-116.00	-28.33	3.291	5.153	0	0	1	896.306810	4675.78125		
31/8/21	13.496763	100.704154	PS5PM.1812	PS5PM	681037-102	765	13	BKK	8324	4	-97.88	-34.25	28.573	339.146	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.704897	WRBPM.2126	WRBPM	681019-226	1192	78	BKK	142	3	-96.67	-17.00	179.707	21436.13	0	0	1	1979.819714	33427.788995		
31/8/21	13.496763	100.705360	WRBPM.1816	WRBPM	681019-106	888	78	BKK	304	1	-95.98	-21.00	282.007	6999.606	0	0.0926	1	3157.242603	13171.934687		
31/8/21	13.496763	100.705936	BI15M.1818	BI15M	681008-108	948	65	BKK	706	3	-102.67	-37.33	8.41	523.96	0	0	1	5645.833333	9999.758559		
31/8/21	13.496763	100.705749	SBS2M.1816	SBS2M	681019-106	888	15	BKK	421	1	-107.00	-30.00	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.707095	WRBPM.2112	WRBPM	681019-222	888	180	BKK	34	1	-93.00	-27.00	8.69	17.827	0	0	1	23875	5378.551136		
31/8/21	13.496763	100.705138	SBS2M.1816	SBS2M	681019-106	888	15	BKK	421	1	-104.00	-34.00	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.705281	WRBPM.0912	WRBPM	681019-112	888	256	BKK	61	1	-99.00	-26.35	95.816	3201.551	0	0	1	5481.770833	6503.909266		
31/8/21	13.496763	100.705994	WRBPM.1816	WRBPM	681019-106	888	180	BKK	251	64	-113.00	-39.00	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.705927	WRBPM.1816	WRBPM	681019-106	888	78	BKK	1293	2	-107.00	-30.00	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.710593	WRBPM.1812	WRBPM	681019-112	888	180	BKK	251	64	-102.64	-30.87	112.394	164.701	0	0	1	1917.578125	4569.728644		
31/8/21	13.496763	100.710453	WRBPM.2126	WRBPM	681019-226	1192	78	BKK	142	1	-104.00	-19.00	6.511	32.401	0	0	1	576.822917	15176.5623		
31/8/21	13.496763	100.710515	SBS2M.1816	SBS2M	681019-106	888	15	BKK	421	5	-99.46	-24.00	0	0	0	0	2				
31/8/21	13.496763	100.711579	WRBPM.1816	WRBPM	681019-106	888	78	BKK	1293	18	-103.72	-28.66	463.952	15433.561	0	0	2	3	3201.843262	19978.785591	
31/8/21	13.496763	100.711241	WRBPM.2116	WRBPM	681019-226	888	78	BKK	304	5	-105.70	-22.00	9.938	914.769	0	0	2	4474.338357	15892.39488		
31/8/21	13.496763	100.712284	WRBPM.2116	WRBPM	681019-226	888	78	BKK	304	3	-100.00	-22.00	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.712767	WRBPM.0913	WRBPM	681019-113	888	257	BKK	334	1	-120.00	-33.00	0	0	0	0	1				
31/8/21	13.496763	100.712738	WRBPM.2116	WRBPM	681019-226	888	78	BKK	304	2	-102.50	-25.00	38.117	637.78	0	0	1	895.833333	1445.3125		
31/8/21	13.496763	100.713273	WRBPM.1816	WRBPM	681019-106	888	78	BKK	1293	3	-102.31	-30.13	16.552	1699.793	0	0	1	9515.625	28592.		

```

TB54M,SOI SUKHAPITBAN54,ซอยสุชาติภักดี54,SP54,TB54M,SOI THETSABAN BANGPU 54,ซอยเทศบาลบางปู54,13.559081,100.60771,,BKK,BKK,AWN,เลขที่ 88/11-1
2,,,,,THAI BAN,ท้ายบ้าน,D41,MUEANG SAMUT PRAKAN,เมืองสมุทรปราการ,SAMUT PRAKAN,สมุทรปราการ,,online,,BKK_BKK,outer,MNM-AREA2 (BANGKOK-ONT),R
Z-SPK,,,,,teerayuv,,,,,ซอยเทศบาลบางปู54,,,,,online,TB54ML1813,TB54M,520.0,3.0,0.0,0.0,669064.0,103.0,103.0,52003669064103,4G1800,20.0,1450
.0,19450.0,3.0,FDD,,5025,6009.0,776.0,,52,,252.0,106.0,177.0,212R,-3.0,1.0,9000.0,False,SPN,,Yes,Yes,CELL_NOT_BARRED,CELL_NOT_RESER
VED_FOR_OP,,TB54M,,,,,update enodebName format May.2019,TB54M1H031,2.0,AMB4520R0,2.0,40.0,300.0,,,,,30,,,,,,High Band,Dual Beam
,18.5,1468.0,30.0,19.7,5.9,31.0
TB54M,SOI SUKHAPITBAN54,ซอยสุชาติภักดี54,SP54,TB54M,SOI THETSABAN BANGPU 54,ซอยเทศบาลบางปู54,13.559081,100.60771,,BKK,BKK,AWN,เลขที่ 88/11-1
2,,,,,THAI BAN,ท้ายบ้าน,D41,MUEANG SAMUT PRAKAN,เมืองสมุทรปราการ,SAMUT PRAKAN,สมุทรปราการ,,online,,BKK_BKK,outer,MNM-AREA2 (BANGKOK-ONT),R
Z-SPK,,,,,teerayuv,,,,,ซอยเทศบาลบางปู54,,,,,online,TB54ML1816,TB54M,520.0,3.0,0.0,0.0,669064.0,143.0,143.0,52003A35888F,4G1800,20.0,1450.0
,19450.0,3.0,FDD,"4MMEBPL1H,4MMETLS1H,4MMESLA1H,VMMETLS1H",5025,6009.0,776.0,,,,,300.0,231.0,11.3,32T32R,None,-3.0,1.0,9000.0,False,N
ORMAL,,Yes,Yes,NO,NO,2021-08-08,TB54M,AAU5726,1,,Add cell by kittisci,TB54M1H411,3.0,AAU5726,-5.0,60.0,160.0,,,,,30,,,,,,High B
and,4 Beam,50.0,1080.0,12.0,21.2,8.0,18.0
TB54M,SOI SUKHAPITBAN54,ซอยสุชาติภักดี54,SP54,TB54M,SOI THETSABAN BANGPU 54,ซอยเทศบาลบางปู54,13.559081,100.60771,,BKK,BKK,AWN,เลขที่ 88/11-1
2,,,,,THAI BAN,ท้ายบ้าน,D41,MUEANG SAMUT PRAKAN,เมืองสมุทรปราการ,SAMUT PRAKAN,สมุทรปราการ,,online,,BKK_BKK,outer,MNM-AREA2 (BANGKOK-ONT),R
Z-SPK,,,,,teerayuv,,,,,ซอยเทศบาลบางปู54,,,,,online,TB54ML1817,TB54M,520.0,3.0,0.0,0.0,669064.0,107.0,107.0,52003A35888F,4G1800,20.0,1450.0
,19450.0,3.0,FDD,"4MMEBPL1H,4MMETLS1H",5025,6009.0,776.0,,,,,618.0,336.0,164.0,212R,NONE,-3.0,1.0,9000.0,False,NORMAL,,Yes,Yes,NO,NO
,2021-02-03,TB54M,RRU3962,1,,Update RSI&PCI,TB54M1H021,2.0,AMB4520R0,2.0,40.0,180.0,,,,,30,,,,,,High Band,Dual Beam,18.5,1468.0
,30.0,19.7,5.9,31.0
TB54M,SOI SUKHAPITBAN54,ซอยสุชาติภักดี54,SP54,TB54M,SOI THETSABAN BANGPU 54,ซอยเทศบาลบางปู54,13.559081,100.60771,,BKK,BKK,AWN,เลขที่ 88/11-1
2,,,,,THAI BAN,ท้ายบ้าน,D41,MUEANG SAMUT PRAKAN,เมืองสมุทรปราการ,SAMUT PRAKAN,สมุทรปราการ,,online,,BKK_BKK,outer,MNM-AREA2 (BANGKOK-ONT),R
Z-SPK,,,,,teerayuv,,,,,ซอยเทศบาลบางปู54,,,,,online,TB54ML1818,TB54M,520.0,3.0,0.0,0.0,669064.0,108.0,108.0,52003669064108,4G1800,20.0,1450
.0,19450.0,3.0,FDD,,5025,776.0,,,,,606.0,263.0,163.0,212R,-3.0,1.0,9000.0,False,1.7,Yes,No,CELL_NOT_BARRED,CELL_NOT_RESERVED_FOR_O
P,,TB54M,RRU3962,1,,update enodebName format May.2019,TB54M1H031,2.0,AMB4520R0,2.0,40.0,300.0,,,,,30,,,,,,High Band,D
ual Beam,18.5,1468.0,30.0,19.7,5.9,31.0
TB54M,SOI SUKHAPITBAN54,ซอยสุชาติภักดี54,SP54,TB54M,SOI THETSABAN BANGPU 54,ซอยเทศบาลบางปู54,13.559081,100.60771,,BKK,BKK,AWN,เลขที่ 88/11-1
2,,,,,THAI BAN,ท้ายบ้าน,D41,MUEANG SAMUT PRAKAN,เมืองสมุทรปราการ,SAMUT PRAKAN,สมุทรปราการ,,online,,BKK_BKK,outer,MNM-AREA2 (BANGKOK-ONT),R
Z-SPK,,,,,teerayuv,,,,,ซอยเทศบาลบางปู54,,,,,online,TB54ML181G,TB54M,520.0,3.0,0.0,0.0,669064.0,142.0,142.0,52003A35888F,4G1800,20.0,1450.0
,19450.0,3.0,FDD,"4MMEBPL1H,4MMETLS1H,4MMESLA1H,VMMETLS1H",5025,6009.0,776.0,,,,,384.0,197.0,11.3,32T32R,None,-3.0,1.0,9000.0,False,N
ORMAL,,Yes,Yes,NO,NO,2021-08-08,TB54M,AAU5726,1,,Add cell by kittisci,TB54M1H411,2.0,AAU5726,-5.0,70.0,160.0,,,,,30,,,,,,High B
and,4 Beam,50.0,1080.0,-12.0,21.2,8.0,18.0
TB54M,SOI SUKHAPITBAN54,ซอยสุชาติภักดี54,SP54,TB54M,SOI THETSABAN BANGPU 54,ซอยเทศบาลบางปู54,13.559081,100.60771,,BKK,BKK,AWN,เลขที่ 88/11-1
2,,,,,THAI BAN,ท้ายบ้าน,D41,MUEANG SAMUT PRAKAN,เมืองสมุทรปราการ,SAMUT PRAKAN,สมุทรปราการ,,online,,BKK_BKK,outer,MNM-AREA2 (BANGKOK-ONT),R
Z-SPK,,,,,teerayuv,,,,,ซอยเทศบาลบางปู54,,,,,online,TB54ML181H,TB54M,520.0,3.0,0.0,0.0,669064.0,144.0,144.0,52003A358890,4G1800,20.0,1450.0
,19450.0,3.0,FDD,,5025,776.0,,,,,606.0,263.0,163.0,212R,-3.0,1.0,9000.0,False,1.7,Yes,No,CELL_NOT_BARRED,CELL_NOT_RESERVED_FOR_O
P,,TB54M,RRU3962,1,,update enodebName format May.2019,TB54M1H031,2.0,AMB4520R0,2.0,40.0,300.0,,,,,30,,,,,,High Band,D
ual Beam,18.5,1468.0,30.0,19.7,5.9,31.0
TB54M,SOI SUKHAPITBAN54,ซอยสุชาติภักดี54,SP54,TB54M,SOI THETSABAN BANGPU 54,ซอยเทศบาลบางปู54,13.559081,100.60771,,BKK,BKK,AWN,เลขที่ 88/11-1
2,,,,,THAI BAN,ท้ายบ้าน,D41,MUEANG SAMUT PRAKAN,เมืองสมุทรปราการ,SAMUT PRAKAN,สมุทรปราการ,,online,,BKK_BKK,outer,MNM-AREA2 (BANGKOK-ONT),R
Z-SPK,,,,,teerayuv,,,,,ซอยเทศบาลบางปู54,,,,,online,TB54ML2111,TB54M,520.0,3.0,0.0,0.0,669064.0,181.0,181.0,52003A358885,4G2100,10.0,350.0
,18350.0,1.0,FDD,"4MMEBPL1H,4MMETLS1H,4MMESLA1H,VMMETLS1H",5025,6009.0,776.0,,,,,354.0,261.0,11.3,32T32R,None,-3.0,1.0,9000.0,False,N
ORMAL,,Yes,Yes,NO,NO,2021-08-08,TB54M,AAU5726,1,,Add cell by kittisci,TB54M1H411,1.0,AAU5726,-5.0,70.0,160.0,,,,,30,,,,,,High B
and,4 Beam,50.0,1080.0,-42.0,21.2,8.0,22.0
TB54M,SOI SUKHAPITBAN54,ซอยสุชาติภักดี54,SP54,TB54M,SOI THETSABAN BANGPU 54,ซอยเทศบาลบางปู54,13.559081,100.60771,,BKK,BKK,AWN,เลขที่ 88/11-1
2,,,,,THAI BAN,ท้ายบ้าน,D41,MUEANG SAMUT PRAKAN,เมืองสมุทรปราการ,SAMUT PRAKAN,สมุทรปราการ,,online,,BKK_BKK,outer,MNM-AREA2 (BANGKOK-ONT),R
Z-SPK,,,,,teerayuv,,,,,ซอยเทศบาลบางปู54,,,,,online,TB54ML2112,TB54M,520.0,3.0,0.0,0.0,669064.0,122.0,122.0,52003669064122,4G2100,10.0,350
.0,18350.0,1.0,FDD,,5025,6009.0,776.0,,51,,0.0,107.0,163.0,212R,-3.0,1.0,9000.0,False,SPN,,Yes,Yes,CELL_NOT_BARRED,CELL_NOT_RESERVED
_FOR_OP,,TB54M,"RRU3962,RRU3962",2,,update enodebName format May.2019,TB54M1H021,1.0,AMB4520R0,2.0,40.0,180.0,,,,,30,,,,,,High
Band,Dual Beam,18.5,1468.0,-30.0,19.7,5.9,31.0
TB54M,SOI SUKHAPITBAN54,ซอยสุชาติภักดี54,SP54,TB54M,SOI THETSABAN BANGPU 54,ซอยเทศบาลบางปู54,13.559081,100.60771,,BKK,BKK,AWN,เลขที่ 88/11-1
2,,,,,THAI BAN,ท้ายบ้าน,D41,MUEANG SAMUT PRAKAN,เมืองสมุทรปราการ,SAMUT PRAKAN,สมุทรปราการ,,online,,BKK_BKK,outer,MNM-AREA2 (BANGKOK-ONT),R
Z-SPK,,,,,teerayuv,,,,,ซอยเทศบาลบางปู54,,,,,online,TB54ML2112,TB54M,520.0,3.0,0.0,0.0,669064.0,122.0,122.0,52003669064122,4G2100,10.0,350
.0,18350.0,1.0,FDD,,5025,6009.0,776.0,,51,,0.0,107.0,163.0,212R,-3.0,1.0,9000.0,False,SPN,,Yes,Yes,CELL_NOT_BARRED,CELL_NOT_RESERVED
_FOR_OP,,TB54M,"RRU3962,RRU3962",2,,update enodebName format May.2019,TB54M1H021,2.0,AMB4520R0,2.0,40.0,180.0,,,,,30,,,,,,High
Band,Dual Beam,18.5,1468.0,30.0,19.7,5.9,31.0

```

### รูปที่ 4.2 ข้อมูล Site บางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1/9/21, 13.398287, 100.607217, PSSMM\_2, PSSMM\_2, PSSMML1812, PSSMM, 681037-102, 785, 13, BKK, 9971, 1, -100.0, -27.0, 0.0, 7.283, 0.0, 1.0, 1648.4375, 1800.0, 177.0, 13.401353, 100.596481, STDW6513X2F2, 2.0, 20.0, 90.0, 0.0, 12, 13.5, 24.0, 63.0, 90.0, 4.0, 22.568717584155984, -32.96972903345547, 171.60799508054313, Yes, 1210.2986485665197

1/9/21, 13.398287, 100.60768, PSSMM\_2, PSSMM\_2, PSSMML1812, PSSMM, 681037-102, 785, 13, BKK, 9971, 1, -94.0, -28.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 1800.0, 177.0, 13.401353, 100.596481, STDW6513X2F2, 2.0, 20.0, 90.0, 0.0, 12, 13.5, 24.0, 63.0, 90.0, 4.0, 22.568717584155984, -32.96972903345547, 171.60799508054313, Yes, 1258.4314564683943

1/9/21, 13.398287, 100.608143, PSSMM\_2, PSSMM\_2, PSSMML1812, PSSMM, 681037-102, 785, 13, BKK, 9971, 4, -89.75, -17.5, 9.815, 0.0, 0.0, 1.0, 3340.900091, 1800.0, 177.0, 13.401353, 100.596481, STDW6513X2F2, 2.0, 20.0, 90.0, 0.0, 12, 13.5, 24.0, 63.0, 90.0, 4.0, 22.568717584155984, -32.96972903345547, 171.60799508054313, Yes, 1306.7107546526029

1/9/21, 13.398287, 100.608606, PSSMM\_2, PSSMM\_2, PSSMML1812, PSSMM, 681037-102, 785, 13, BKK, 9971, 1, -109.0, -28.0, 0.0, 320.607, 0.0, 1.0, 7002.130582, 1800.0, 177.0, 13.401353, 100.596481, STDW6513X2F2, 2.0, 20.0, 90.0, 0.0, 12, 13.5, 24.0, 63.0, 90.0, 4.0, 22.568717584155984, -32.96972903345547, 171.60799508054313, Yes, 1355.1208860497802

1/9/21, 13.398287, 100.609995, PSSMM\_2, PSSMM\_2, PSSMML1812, PSSMM, 681037-102, 785, 13, BKK, 9971, 16, -93.19, -26.06, 271.048, 4052.276, 0.0, 2.0, 3802.743056, 12915.291787, 1800.0, 177.0, 13.401353, 100.596481, STDW6513X2F2, 2.0, 20.0, 90.0, 0.0, 12, 13.5, 24.0, 63.0, 90.0, 4.0, 22.568717584155984, -32.96972903345547, 171.60799508054313, Yes, 1501.0095259480072

1/9/21, 13.398287, 100.610457, PSSMM\_2, PSSMM\_2, PSSMML2112, PSSMM, 681037-122, 785, 13, BKK, 3900, 6, -89.83, -27.17, 30.026, 42.23, 0.0, 1.0, 20210.9375, 17841.145833, 2100.0, 177.0, 13.401353, 100.596481, STDW6513X2F2, 2.0, 20.0, 90.0, 0.0, 12, 13.5, 24.0, 63.0, 90.0, 4.0, 22.568717584155984, -32.96972903345547, 171.60799508054313, Yes, 1549.7185466229942

1/9/21, 13.398287, 100.61092, PSSMM\_2, PSSMM\_2, PSSMML1812, PSSMM, 681037-102, 785, 13, BKK, 9971, 2, -104.5, -29.5, 48.263, 3489.271, 0.0, 1.0, 770.647321, 26289.100333, 1800.0, 177.0, 13.401353, 100.596481, STDW6513X2F2, 2.0, 20.0, 90.0, 0.0, 12, 13.5, 24.0, 63.0, 90.0, 4.0, 22.568717584155984, -32.96972903345547, 171.60799508054313, Yes, 1598.61131226645

1/9/21, 13.398287, 100.611383, PSSMM\_2, PSSMM\_2, PSSMML1812, PSSMM, 681037-102, 785, 13, BKK, 9971, 7, -97.86, -27.43, 1355.341, 17377.707, 0.0, 4.0, 2.843, 305386, 22195.25719, 1800.0, 177.0, 13.401353, 100.596481, STDW6513X2F2, 2.0, 20.0, 90.0, 0.0, 12, 13.5, 24.0, 63.0, 90.0, 4.0, 22.568717584155984, -32.96972903345547, 171.60799508054313, Yes, 1647.5755022016967

1/9/21, 13.398287, 100.611846, PSSMM\_2, PSSMM\_2, PSSMML1812, PSSMM, 681037-102, 785, 13, BKK, 9971, 4, -91.25, -25.75, 0.0, 167.86, 0.0, 3.0, 17731.423611, 1800.0, 177.0, 13.401353, 100.596481, STDW6513X2F2, 2.0, 20.0, 90.0, 0.0, 12, 13.5, 24.0, 63.0, 90.0, 4.0, 22.568717584155984, -32.96972903345547, 171.60799508054313, Yes, 1696.6049325001125

1/9/21, 13.398287, 100.612772, PSSMM\_2, PSSMM\_2, PSSMML1812, PSSMM, 681037-102, 785, 13, BKK, 9971, 1, -113.0, -23.0, 1.0, 1800.0, 177.0, 13.401353, 100.596481, STDW6513X2F2, 2.0, 20.0, 90.0, 0.0, 12, 13.5, 24.0, 63.0, 90.0, 4.0, 22.568717584155984, -32.96972903345547, 171.60799508054313, Yes, 1794.8381212235136

1/9/21, 13.398287, 100.613235, PSSMM\_2, PSSMM\_2, PSSMML1812, PSSMM, 681037-102, 785, 13, BKK, 9971, 3, -114.33, -23.67, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 1800.0, 177.0, 13.401353, 100.596481, STDW6513X2F2, 2.0, 20.0, 90.0, 0.0, 12, 13.5, 24.0, 63.0, 90.0, 4.0, 22.568717584155984, -32.96972903345547, 171.60799508054313, Yes, 1844.0325930621716

1/9/21, 13.398287, 100.615087, PSSMM\_2, PSSMM\_2, PSSMML1812, PSSMM, 681037-102, 785, 13, BKK, 9971, 6, -97.5, -24.67, 0.0, 0.245, 0.0, 2.0, 539.0625, 1800.0, 177.0, 13.401353, 100.596481, STDW6513X2F2, 2.0, 20.0, 90.0, 0.0, 12, 13.5, 24.0, 63.0, 90.0, 4.0, 22.568717584155984, -32.96972903345547, 171.60799508054313, Yes, 2041.2420320993756

1/9/21, 13.398287, 100.61555, PSSMM\_2, PSSMM\_2, PSSMML1812, PSSMM, 681037-102, 785, 13, BKK, 9971, 1, -117.0, -29.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 1800.0, 177.0, 13.401353, 100.596481, STDW6513X2F2, 2.0, 20.0, 90.0, 0.0, 12, 13.5, 24.0, 63.0, 90.0, 4.0, 22.568717584155984, -32.96972903345547, 171.60799508054313, Yes, 2090.637014259349

1/9/21, 13.398287, 100.616476, PSSMM\_2, PSSMM\_2, PSSMML2122, PSSMM, 681037-222, 1169, 13, BKK, 2034, 7, -104.0, -25.86, 349.913, 1273.325, 0.0, 1.0, 615.266012, 7621.010069, 2100.0, 16.3, 13.401353, 100.596481, STDW6513X2F2, 2.0, 20.0, 90.0, 0.0, 12, 13.5, 24.0, 63.0, 90.0, 4.0, 22.568717584155984, -32.96972903345547, 171.60799508054313, Yes, 2189.5205800122376

1/9/21, 13.398287, 100.620642, PSSMM\_2, PSSMM\_2, PSSMML1812, PSSMM, 681037-102, 785, 13, BKK, 9971, 2, -126.5, -34.5, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 1800.0, 177.0, 13.401353, 100.596481, STDW6513X2F2, 2.0, 20.0, 90.0, 0.0, 12, 13.5, 24.0, 63.0, 90.0, 4.0, 22.568717584155984, -32.96972903345547, 171.60799508054313, Yes, 2635.5857208037473

1/9/21, 13.398287, 100.621105, PSSMM\_2, PSSMM\_2, PSSMML1812, PSSMM, 681037-102, 785, 13, BKK, 9971, 3, -93.67, -21.67, 28.165, 187.77, 0.0, 1.0, 598.953333, 850.694444, 1800.0, 177.0, 13.401353, 100.596481, STDW6513X2F2, 2.0, 20.0, 90.0, 0.0, 12, 13.5, 24.0, 63.0, 90.0, 4.0, 22.568717584155984, -32.96972903345547, 171.60799508054313, Yes, 2685.2544747790444

1/9/21, 13.398287, 100.621568, PSSMM\_3, PSSMM\_3, PSSMML1813, PSSMM, 681037-103, 785, 95, BKK, 1431, 3, -128.67, -35.67, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 1800.0, 177.0, 13.401353, 100.596481, M8MF-65-18DDE-IN(R)-TH, 2.0, 20.0, 270.0, 0.0, 12, 17.7, 6.5, 65.0, 270.0, 4.0, 64.74620609182965, -274.8451865811744, 171.60799508054313, Yes, 2734.93829010927

1/9/21, 13.398287, 100.622031, PSSMM\_2, PSSMM\_2, PSSMML1812, PSSMM, 681037-102, 785, 13, BKK, 9971, 2, -116.5, -30.0, 0.0, 0.0, 0.0, 2.0, 1800.0, 177.0, 13.401353, 100.596481, STDW6513X2F2, 2.0, 20.0, 90.0, 0.0, 12, 13.5, 24.0, 63.0, 90.0, 4.0, 22.568717584155984, -32.96972903345547, 171.60799508054313, Yes, 2784.6363606164014

1/9/21, 13.398287, 100.622494, PSSMM\_2, PSSMM\_2, PSSMML1812, PSSMM, 681037-102, 785, 13, BKK, 9971, 2, -107.5, -27.5, 76.03, 234.694, 0.0, 1.0, 2123.397436, 14144.856771, 1800.0, 177.0, 13.401353, 100.596481, STDW6513X2F2, 2.0, 20.0, 90.0, 0.0, 12, 13.5, 24.0, 63.0, 90.0, 4.0, 22.568717584155984, -32.96972903345547, 171.60799508054313, Yes, 2834.3479364373225

1/9/21, 13.398287, 100.62342, PSSMM\_2, PSSMM\_2, PSSMML2112, PSSMM, 681037-122, 785, 13, BKK, 3900, 1, -99.0, -38.0, 0.0, 2.418, 0.0, 1.0, 2083.705357, 2100.0, 177.0, 13.401353, 100.596481, STDW6513X2F2, 2.0, 20.0, 90.0, 0.0, 12, 13.5, 24.0, 63.0, 90.0, 4.0, 22.568717584155984, -32.96972903345547, 171.60799508054313, Yes, 2933.808857768672

1/9/21, 13.398287, 100.623883, PSSMM\_2, PSSMM\_2, PSSMML2112, PSSMM, 681037-122, 785, 13, BKK, 3900, 2, -91.5, -26.5, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 2100.0, 177.0, 13.401353, 100.596481, STDW6513X2F2, 2.0, 20.0, 90.0, 0.0, 12, 13.5, 24.0, 63.0, 90.0, 4.0, 22.568717584155984, -32.96972903345547, 171.60799508054313, Yes, 2983.5569441766793

รูปที่ 4.3 ข้อมูลที่รวมไฟล์เสิร์จลีนบางส่วน

จากนั้นนำไฟล์ข้อมูลมารวมเข้ากับข้อมูลทางภูมิศาสตร์ได้แก่  $h_{DEM}$  CI และ BP ดังรูปที่ 4.4-4.7 การรวมข้อมูลและคำนวณพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในตารางที่ 2.1 และ 2.2 จะได้คอลัมน์ดังรูปที่ 4.8

	Latitude	Longitude	DEMBKK
0	12.934237	100.897480	25.918646
1	13.148276	100.977106	37.923524
2	13.190994	100.998401	39.306039
3	13.262490	100.618327	0.000000
4	13.263839	100.609995	0.000000
5	13.268335	100.630364	0.000000
6	13.275530	100.711378	0.000000
7	13.276429	100.676658	0.000000
8	13.277328	100.626660	0.000000
9	13.278228	100.626660	0.000000

รูปที่ 4.4 ข้อมูลระดับน้ำทะเลบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	LATITUDE_WGS84	LONGITUDE_WGS84	DEM
0	13.849917	99.037773	2.972893
1	13.946358	99.052133	5.868103
2	13.741738	99.063170	5.603620
3	13.767523	99.045319	5.042134
4	13.922953	99.062272	4.449431
5	13.905931	99.077528	5.175438
6	13.833193	99.057653	3.772393
7	13.871461	99.072370	11.361938
8	13.784949	99.072083	4.743473
9	13.851833	99.053844	5.742015

รูปที่ 4.5 ข้อมูลระดับน้ำทะเลของกริดบางส่วน

	Latitude	Longitude	Class
0	12.934237	100.897480	4
1	13.148276	100.977106	4
2	13.190994	100.998401	4
3	13.262490	100.618327	1
4	13.263839	100.609995	1
5	13.268335	100.630364	1
6	13.275530	100.711378	1
7	13.276429	100.676658	1
8	13.277328	100.626660	1
9	13.278228	100.626660	1

รูปที่ 4.6 ข้อมูล CI บางส่วน

	Latitude	Longitude	DEM1	Thailand_BKK_area	Thailand_BKK_pc
0	13.320046	100.705360	0.0	0	0
1	13.320945	100.703971	0.0	0	0
2	13.321845	100.703046	0.0	0	0
3	13.323194	100.701194	0.0	0	0
4	13.340281	100.674343	0.0	0	0
5	13.340731	100.674343	0.0	0	0
6	13.341630	100.672954	0.0	0	0
7	13.342979	100.671103	0.0	0	0
8	13.343878	100.670177	0.0	0	0
9	13.344328	100.669251	0.0	0	0

รูปที่ 4.7 ข้อมูล BP บางส่วน

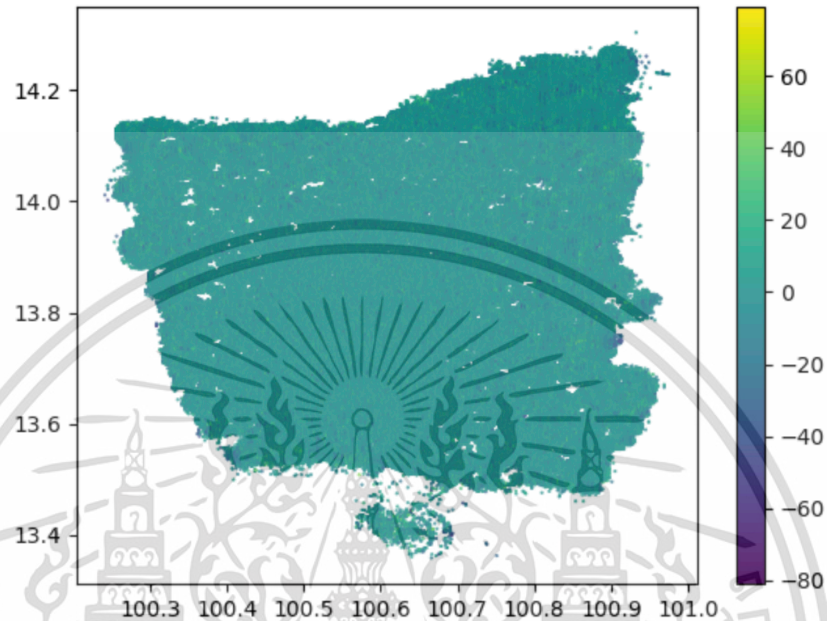
```
Index(['Time', 'Latitude', 'Longitude', 'Sector', 'Cell Name', 'eNodeB_Name',
      'Dominant_RSRP', 'Dominant_RSRQ', 'Frequency', 'REFERENCESIGNALPWR',
      'LATITUDE_WGS84', 'LONGITUDE_WGS84', 'ant_model', 'm_tilt', 'e_tilt',
      'physical_azimuth', 'ant_height', 'ant_gain', 'horizontal_beam_width',
      'Azimuth', 'Total_Tilt', 'Distance', 'Class', 'Thailand_BKK_pc',
      'DEMBKK', 'DEM', 'Gain_3D', 'RSRP_mean', 'pathloss_error',
      'pathloss_mr', 'pathloss_ericsson', 'pl_error_mean', 'relative_azimuth',
      'diff_azimuth'],
      dtype='object')
```

รูปที่ 4.8 ข้อมูลประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการจัดเตรียมไฟล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

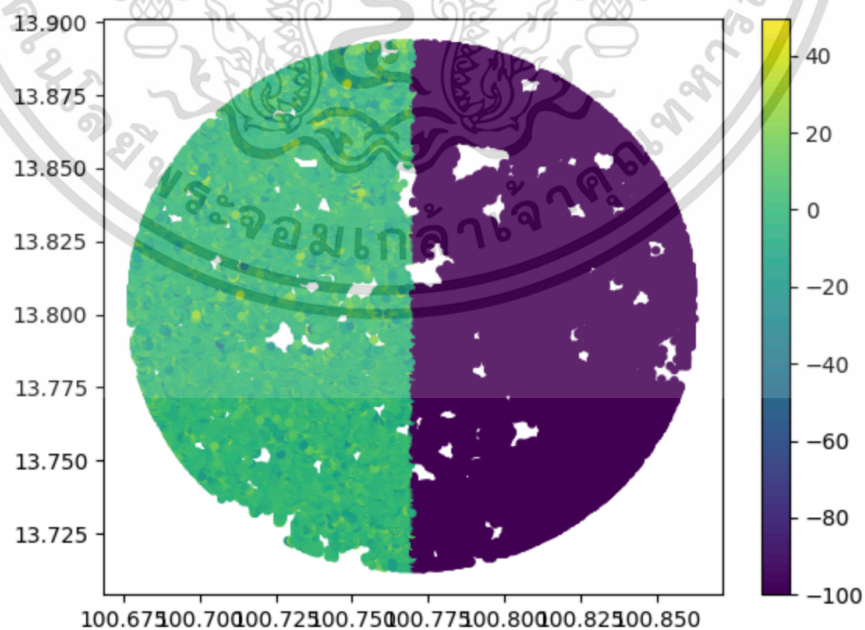
#### 4.1.2 ข้อมูลอาเรย์จำนวน 3 มิติ

หลังจากการคำนวณ  $RL$  โดยใช้สมการที่ 3.12 เสร็จสิ้น เมื่อนำมาพล็อตจะได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ข้อมูล  $RL$  ของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

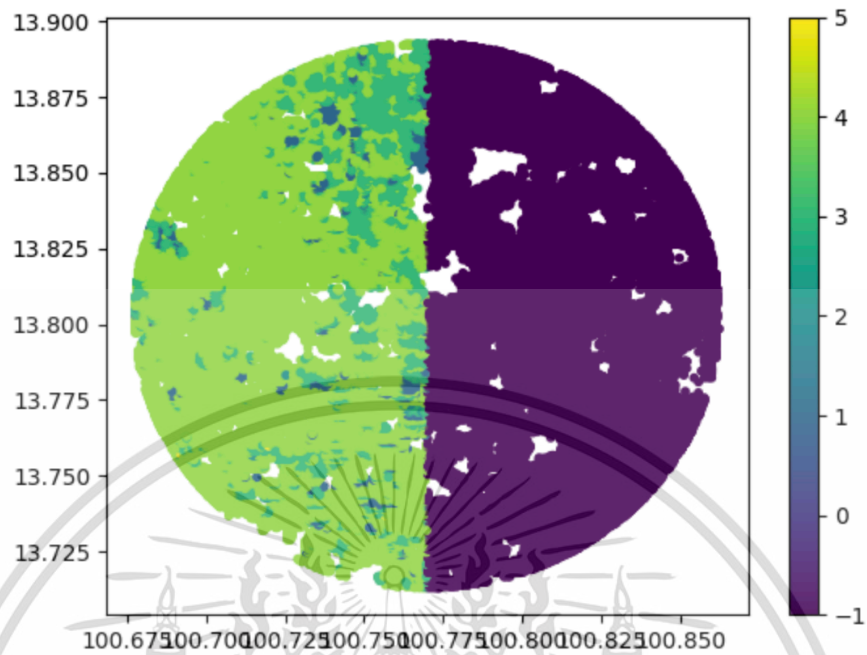
จากนั้นเริ่มการสร้างอาเรย์รูปภาพ ซึ่งมีการลำดับและคำอธิบายตามหัวข้อที่ 3.1.5 โดยมีผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.10–4.15



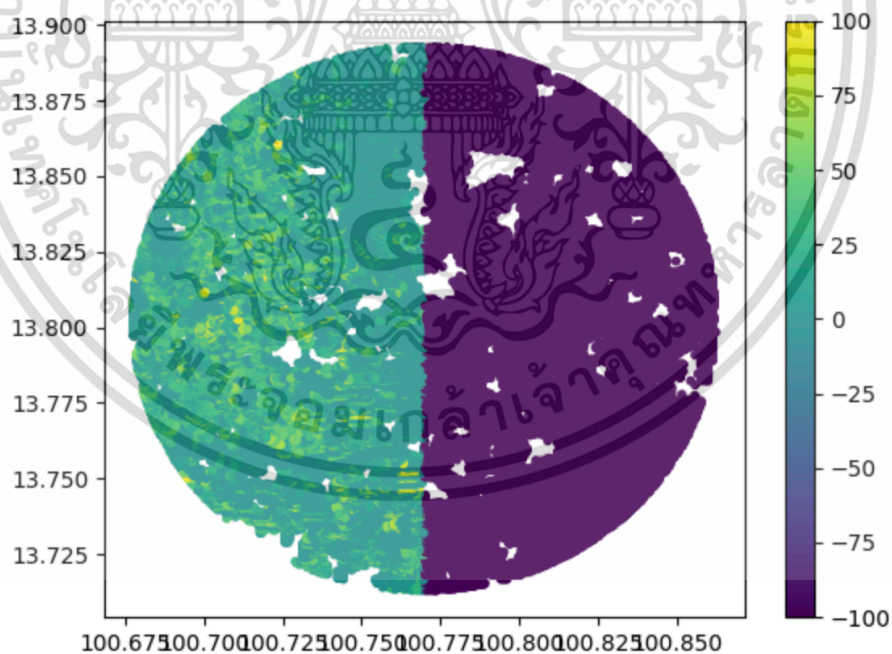
รูปที่ 4.10 ข้อมูล  $RL$  จากการกรองข้อมูลด้วยเงื่อนไข Distance น้อยกว่า 10 กิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ Diff Azimuth น้อยกว่า 90 องศา ของ Cell A (หัวข้อที่ 3.1.5 ชั้นตอนที่ 5 และ 6)

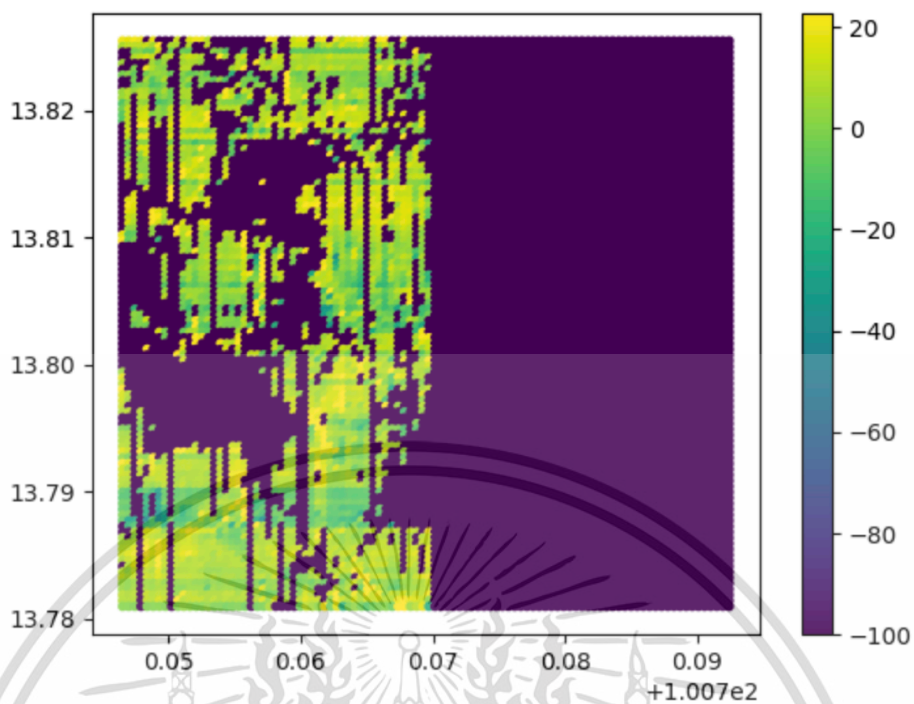


รูปที่ 4.11 ข้อมูล CI จากการกรองข้อมูลด้วยเงื่อนไข Distance น้อยกว่า 10 กิโลเมตร และ Diff Azimuth น้อยกว่า 90 องศา ของ Cell A (หัวข้อที่ 3.1.5 ชั้นตอนที่ 5 และ 6)

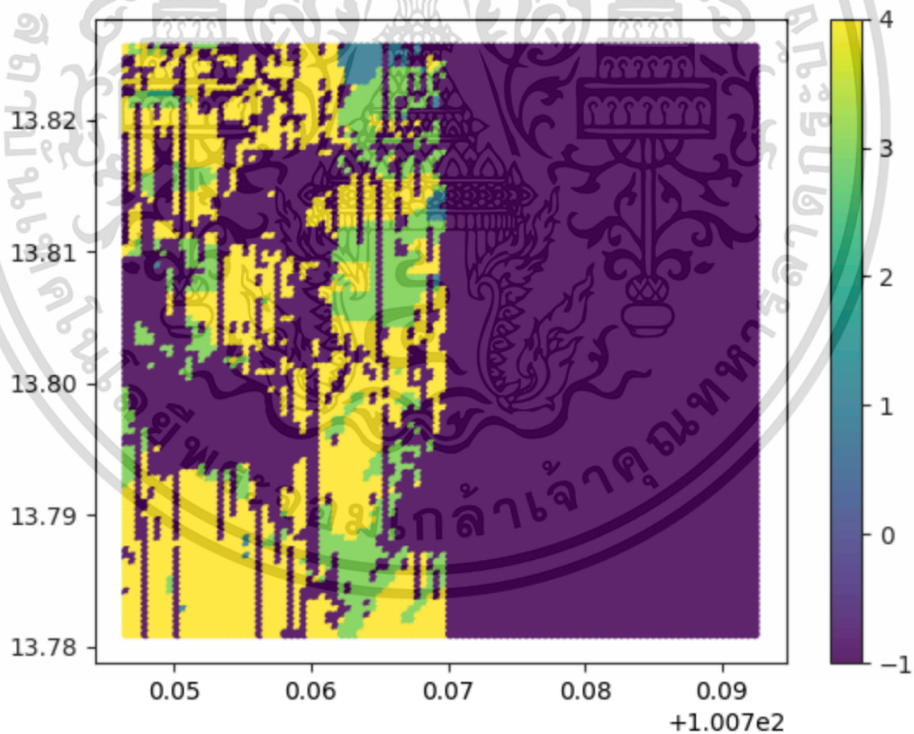


รูปที่ 4.12 ข้อมูล BP จากการกรองข้อมูลด้วยเงื่อนไข Distance น้อยกว่า 10 กิโลเมตร และ Diff Azimuth น้อยกว่า 90 องศา ของ Cell A (หัวข้อที่ 3.1.5 ชั้นตอนที่ 5 และ 6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

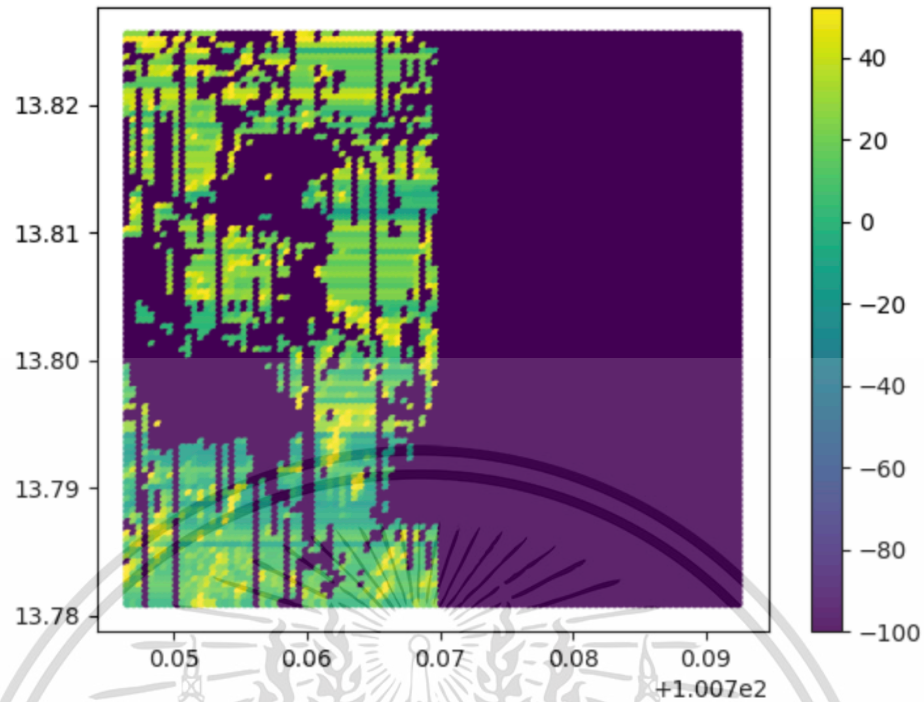


รูปที่ 4.13 ข้อมูล  $RL$  ขนาด  $100 \times 100$  ของ Cell A (หัวข้อที่ 3.1.5 ชั้นตอนที่ 7-9)



รูปที่ 4.14 ข้อมูล  $CI$  ขนาด  $100 \times 100$  ของ Cell A (หัวข้อที่ 3.1.5 ชั้นตอนที่ 7-9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ข้อมูล BP ขนาด 100x100 ของ Cell A (หัวข้อที่ 3.1.5 ชั้นตอนที่ 7-9)

## 4.2 ผลการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม

### 4.2.1 ผลการฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียม

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำพารามิเตอร์ที่จัดเตรียมมาทดสอบความสำคัญ โดยใช้วิธี Importance Parameter เพื่อบอกค่าความสำคัญและวิเคราะห์การเลือกใช้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งให้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าความสำคัญอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียม

ชื่อพารามิเตอร์	ค่าความสำคัญ	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
Latitude	177.856	0.201
Longitude	166.985	0.255
Reference Signal Power	43.198	0.072
3D Gain	59.905	0.105
Frequency	10.840	0.038
Antenna Height	17.298	0.040
Azimuth	10.808	0.034
Horizontal beamwidth	14.529	0.043
$PL_{Eric}$	94.702	0.137
Latitude_WGS84	145.707	0.172
Longitude_WGS84	148.860	0.226
Total Tilt	13.778	0.038
Distance	46.533	0.097
Diff azimuth	2.727	0.012

จากตารางที่ 4.1 พบว่า Latitude และ Longitude ของ Site และกริดมีความสำคัญอย่างมากต่อโครงข่ายประสาทเทียม แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการทำนาย Site ใหม่ การกำหนดให้ Latitude และ Longitude ของ Site มีความสำคัญมากเกินไปจะส่งผลให้โมเดลเกิดการ Overfitting ในการทำนาย Site ใหม่ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงนำพารามิเตอร์ดังกล่าวออก และได้อินพุตสุดท้ายดังตารางที่ 3.3

การฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียมมีการทดสอบหลายรูปแบบ ได้แก่ การทดลองปรับเลเยอร์ การต่อโมเดลรูปแบบใหม่ การเปลี่ยนอินพุตของ NN และ CNN การปรับขนาดรูปภาพ และการเปลี่ยนสถาปัตยกรรม CNN ซึ่งมีรูปแบบการทดสอบดังตารางที่ 4.2 โดยการฝึกฝนทุกรูปแบบเลือกใช้จำนวน epochs และ batch size สูงสุดเท่าที่ GPU จะสามารถรับได้ ซึ่งเซิร์ฟเวอร์ที่ใช้ประมวลผลมีรายละเอียดดังนี้

- CPU: Intel Xeon Gold 5118 2 ตัว
- RAM: 314 GB
- GPU: NVIDIA Tesla P4
- OS: Ubuntu 18.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่โมเดลที่ 1.x คือโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชัน 1 (หัวข้อ 3.2.1) โมเดลที่ 2.x คือโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชัน 2 (หัวข้อ 3.2.2) โมเดลที่ 3.x คือโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชัน 3 (หัวข้อ 3.2.3) และโมเดลที่ 4.x คือโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชัน 4 (หัวข้อ 3.2.4)

ตารางที่ 4.2 ผลการฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียม

โมเดล	อินพุต NN	อินพุต CNN	จำนวน batch size/ epoch	สถาปัตยกรรม CNN	จำนวนชุดข้อมูล	เวลาที่ใช้
1.1	ไม่ได้ใช้ Gain 3D	100,100,1	16/30	ตารางที่ 3.5	400000	5 ชม.
1.2	ไม่ได้ใช้ Gain 3D	300,300,1	1/30	ตารางที่ 3.5	100000	12 ชม.
2.1	ไม่ได้ใช้ Gain 3D	100,100,1	16/100	ตารางที่ 3.5	400000	15 ชม.
2.2	ไม่ได้ใช้ Gain 3D	300,300,1	1/100	ตารางที่ 3.5	100000	32 ชม.
3.1	ไม่ได้ใช้ Gain 3D	300,300,3	1/100	VGG-19	50000	200 ชม.
3.2	ไม่ได้ใช้ Gain 3D	100,100,3	64/100	VGG-19	50000	17 ชม.
3.3	ไม่ได้ใช้ Gain 3D	100,100,3	64/100	VGG-4	500000	35 ชม.
3.4	ไม่ได้ใช้ Gain 3D	100,100,3	64/100	VGG-4	800000	33 ชม.
3.5	ไม่ได้ใช้ Gain 3D	100,100,3	64/100	VGG-11	800000	50 ชม.
3.6	ไม่ได้ใช้ Gain 3D	100,100,3	64/100	VGG-19	800000	100 ชม.
3.7	ไม่ได้ใช้ Gain 3D	100,100,3	256/100	ResNet-34	800000	25 ชม.
3.8	ไม่ได้ใช้ Gain 3D	100,100,3	64/150	ResNet-152	800000	80 ชม.
4.1	-	100,100,3	64/150	ResNet-152	300000	30 ชม.
4.2	เพิ่ม Latitude Longitude Site	100,100,3	64/150	ResNet-152	300000	30 ชม.
4.3	ลบ Latitude Longitude กริด	100,100,3	64/150	ResNet-152	300000	30 ชม.
4.4	-	ใช้ DEM แทน <i>RL</i>	64/150	ResNet-152	300000	30 ชม.
4.5	-	ใช้ <i>PL<sub>error</sub></i> แทน <i>RL</i>	64/150	ResNet-152	300000	30 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 ผลการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม

นำโมเดลจากตารางที่ 1 มาทดสอบ จะได้ผลดังตารางที่ 4.3-4.6 ในงานวิจัยนี้จะใช้การวัดผลแบบ RMSE และ Mean Absolute Error (MAE) โดยรูปแบบการทดสอบจะมี 2 รูปแบบ ได้แก่ New Area และ Non-Dominant ตามที่อธิบายในหัวข้อที่ 3.1.6

ตารางที่ 4.3 และ 4.4 เป็นการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชัน 1 และ 2 ตามลำดับ การทดสอบจะสุ่ม Site ที่ไม่อยู่ในชุดข้อมูลฝึกฝนมาทดสอบ ซึ่งมีค่า RMSE อยู่ที่ 8-10 dB

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 1

โมเดล	ข้อมูลทดสอบ	รูปแบบการทดสอบ	RMSE	MAE
1.1	Site A	New Area	8.48	6.77
1.1	Site B	New Area	10.60	9.11
1.1	Site C	New Area	7.93	6.67
1.2	Site A	New Area	7.91	6.35
1.2	Site B	New Area	9.80	8.16
1.2	Site C	New Area	8.55	6.94

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 2

โมเดล	ข้อมูลทดสอบ	รูปแบบการทดสอบ	RMSE	MAE
2.1	Site A	New Area	8.42	6.79
2.1	Site B	New Area	7.81	6.95
2.1	Site C	New Area	8.14	7.04
2.2	Site A	New Area	7.83	6.27
2.2	Site B	New Area	7.20	6.19
2.2	Site C	New Area	8.35	7.07

ตารางที่ 4.5 เป็นการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 3 เนื่องจากในเวอร์ชันก่อนหน้าสามารถต่อโครงสร้างแบบ FCNN ได้แล้ว จึงมีเป้าหมายในการทดสอบเพื่อค้นหาสถาปัตยกรรมของ CNN ที่เหมาะสม ซึ่งสถาปัตยกรรมที่นำมาทดสอบได้แก่ VGG-4 VGG-11 VGG-19 ResNet-34 และ ResNet-152

ตารางที่ 4.6 เป็นการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 4 โดยมีเป้าหมายเพื่อทดสอบว่าการใช้ RL สามารถลดค่า RMSE ได้มากกว่าการไม่ใช้ RL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 3

โมเดล	ข้อมูลทดสอบ	รูปแบบการทดสอบ	RMSE	MAE
3.1	100000 ชุด	New Area	7.34	6.11
3.2	100000 ชุด	New Area	7.52	6.45
3.3	100000 ชุด	New Area	8.34	7.14
3.4	100000 ชุด	New Area	6.14	5.01
3.4	200000 ชุด	New Area	6.59	5.40
3.4	400000 ชุด	New Area	7.17	6.05
3.5	400000 ชุด	New Area	6.51	4.31
3.6	400000 ชุด	New Area	6.72	4.33
3.7	400000 ชุด	New Area	6.73	6.05
3.8	400000 ชุด	New Area	6.03	4.87
3.5	100000 ชุด	Non-Dominant	5.58	4.33
3.6	100000 ชุด	Non-Dominant	6.20	4.91
3.7	100000 ชุด	Non-Dominant	6.19	4.91
3.8	100000 ชุด	Non-Dominant	5.72	4.56

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเวอร์ชันที่ 4

โมเดล	ข้อมูลทดสอบ	รูปแบบการทดสอบ	RMSE	MAE
4.1	100000 ชุด	Non-Dominant	5.17	3.76
4.1	100000 ชุด	New Area	6.02	4.63
4.2	100000 ชุด	Non-Dominant	5.49	4.06
4.2	100000 ชุด	New Area	6.55	4.97
4.3	100000 ชุด	Non-Dominant	5.83	4.22
4.3	100000 ชุด	New Area	6.96	5.21
4.4	100000 ชุด	Non-Dominant	5.41	4.02
4.4	100000 ชุด	New Area	6.43	4.89
4.5	100000 ชุด	Non-Dominant	5.45	4.05
4.5	100000 ชุด	New Area	6.33	4.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผล

ในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนองานวิจัยเกี่ยวกับการทำนายค่า RSRP ในเขตพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑลโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้ข้อมูลรูปแบบอาเรียจำนวน 3 มิติ เป็นอินพุตของ CNN การทำนายค่า RSRP โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ โครงข่ายประสาทเทียมถูกออกแบบโดยใช้ NN จำนวน 2 ตัวและ CNN จำนวน 1 ตัว ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอนี้ สามารถเรียนรู้ข้อมูลสายอากาศและข้อมูลทางภูมิศาสตร์ไปพร้อมกันได้ โดยงานวิจัยได้ออกแบบข้อมูล *RL* สำหรับการหาค่าการสูญเสียรายกริดในเขตพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล เพื่อเป็นอินพุตของ CNN จากผลการทดสอบ ข้อมูลอาเรียจำนวน 3 มิติที่ถูกสร้างขึ้นโดยใช้ *RL* CI และ BP สามารถทำนายค่า RSRP ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และโมเดลที่ถูกเลือกใช้ได้แก่โมเดลที่ 4.1 โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 5.17 dB

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยของวิทยานิพนธ์นี้ไม่ได้เป็นผลจากการทดสอบติดตั้ง Site ใหม่จริง ๆ เป็นเพียงข้อมูลที่ถูกจำลองขึ้นให้มีลักษณะคล้ายกับ Site ใหม่ เนื่องจากข้อจำกัดในการเข้าถึงข้อมูล และข้อมูลที่ใช้ในการฝึกฝนไม่ได้เป็นข้อมูลแบบ Non-Dominant เนื่องจากข้อมูลมีขนาดใหญ่ จำเป็นต้องใช้ระบบคอมพิวเตอร์ที่มีพื้นที่จัดเก็บข้อมูลและประสิทธิภาพสูงที่ โดยข้อมูลแบบ Non-Dominant จะมีลักษณะของข้อมูลที่ละเอียดมากกว่า และให้ข้อมูลการเชื่อมต่อของกริดกับ Site แบบ Multiple Connection ได้ อีกทั้งยังส่งผลให้การคำนวณ *RL* มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น ทำให้การทำนายค่า RSRP จะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นเมื่อใช้ข้อมูลแบบ Non-Dominant

## เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Thrane, D. Zibar, and H. L. Christiansen, "Model-Aided Deep Learning Method for Path Loss Prediction in Mobile Communication Systems at 2.6 GHz," **IEEE Access.**, vol. 8, Jan. 2020, pp. 7925–7936.
- [2] Radio Access Blogger. 2012. **LTE RF conditions classification.** [Online].Available : <http://radioaccess.blogspot.com/2012/11/lte-rf-conditions-classification.html>.
- [3] ไกรศักดิ์ เกษร. **วิทยาศาสตร์ข้อมูล (Data Science).** พิมพ์ครั้งที่ 1. พิษณุโลก : ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. 2564.
- [4] Pragati B. 2021. **Activation Functions in Neural Networks [12 Types & Use Cases].** [Online].Available : <https://www.v7labs.com/blog/neural-networks-activation-functions>.
- [5] ชิตพงษ์ กิตตินราทร. 2563. **Convolutional Neural Network.** [Online].Available : <https://guopai.github.io/ml-blog19.html>.
- [6] Muffin. 2021. **การวิวัฒนาการของ Image Classification ในยุคสมัยของ Neural Networks.** [Online].Available : <https://medium.com/super-ai-engineer/การวิวัฒนาการของ-image-classification-ในยุคสมัยของ-neural-networks-f4e086024208>.
- [7] Z. Yi, L. Zhiwen, H. Rong, W. Ji, X. Wenwu, and L. Shouyin "Feature Extraction in Reference Signal Received Power Prediction Based on Convolution Neural Networks," **IEEE Communications Letters.**, vol.25, Issue 6, Jun. 2021, pp. 1751-1755.
- [8] Popular Networks. 2018. **VGG16 – Convolutional Network for Classification and Detection.** [Online].Available : <https://neurohive.io/en/popular-networks/vgg16/>.
- [9] Natthawat P. 2020. **มาทำความรู้จัก ResNet กันดีกว่า.** [Online].Available : <https://medium.com/@natthawatphongchit/มาทำความรู้จัก-resnet-กันดีกว่า-aec3a8c10793>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] Siddharth M. 2021. **Building Resnet-34 model using Pytorch – A Guide for Beginners.** [Online].Available : <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/09/building-resnet-34-model-using-pytorch-a-guide-for-beginners/>
- [11] D. A. Pustokhin , I. V. Pustokhina , P. N. Dinh , S. VanPhan , G. N. Nguyen , G. P. Joshi, and Shankar K. “An effective deep residual network based class attention layer with bidirectional LSTM for diagnosis and classification of COVID-19,” **Journal of Applied Statistics.**, vol. 50, no. 3, Nov. 2022, pp. 1-18.
- [12] N. R. Leonor, R. F. S. Caldeirinha, M. G. Sánchez and T. R. Fernandes “A Three-Dimensional Directive Antenna Pattern Interpolation Method,” **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters.**, vol. 15, 2016, pp. 881–884.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายเจียรวิชัย เงินเจริญดี
วัน เดือน ปีเกิด	9 ธันวาคม 2541
ที่อยู่	67 หมู่ 4 ตำบลกระทุ่มล้ม อำเภอสสามพราน จังหวัดนครปฐม 73220
ประวัติการศึกษา	2563 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม (เกียรตินิยมอันดับ 2) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานวิจัยที่ได้นำเสนอในงานประชุมวิชาการ พ.ศ. 2563	Deep Learning-based Reference Signal Received Power Prediction for LTE Communication System 2022 37th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC)
ประสบการณ์การทำงาน พ.ศ. 2563 – 2566	ผู้ช่วยนักวิจัยโครงการปัญญาประดิษฐ์สำหรับการทำนายความครอบคลุมและ การควบคุมคุณภาพในโครงข่ายโทรศัพท์มือถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้