# บทที่ 1

# บทนำ

## ความเป็นมา

การเจริญเติบโตและความต้องการที่มากขึ้นของการให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบสื่อสารไร้สายมีส่วนสำคัญในการผลักดันให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีด้านการสื่อสารไร้สายและการพัฒนาด้านการศึกษาพฤติกรรมการแพร่กระจายคลื่นวิทยุอย่างมาก เพื่อตอบสนองความต้องการพัฒนาและปรับปรุงระบบสื่อสารไร้สายให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด คลื่นวิทยุประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่เป็นสนามไฟฟ้าและองค์ประกอบสนามแม่เหล็กที่มีเวกเตอร์สนามตั้งฉากกันและมีขนาดสนามเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางและมีมุมเฟสเปลี่ยนแปลงในลักษณะเป็นรายคาบขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นที่พิจารณา โดยปกติคลื่นวิทยุที่ใช้ในระบบสื่อสารเคลื่อนที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงเซนติเมตรจนถึงเมตรแล้วแต่ความต้องการใช้งานในแต่ละระบบ ซึ่งสามารถแสดงความยาวคลื่นของระบบสื่อสารเคลื่อนที่แต่ละระบบที่ได้รับการจัดสรรคลื่นความถี่จากการสื่อสารแห่งประเทศไทยและองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทยดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 การจัดสรรย่านความถี่ระบบสื่อสารเคลื่อนที่ในประเทศไทย

| ชื่อระบบ (ระบบสื่อสารเคลื่อนที่) | ช่วงความถี่ (MHz) | ความยาวคลื่น ( cm) |
|---|---|---|
| NMT 470 | 479.00-483.50<br>489.00-493.50 | ~ 60-62 |
| AMPS 800 | 824.00-849.00<br>869.00-894.00 | ~ 33-36 |
| GSM 900 | 897.50-905.00<br>942.50-950.00 | ~ 31-33 |
| NMT 900 | 905.00-915.00<br>950.00-960.00 | ~ 31-33 |
| PCN 1800 | 1710.00-1785.00<br>1805.00-1880.00 | ~ 15-17 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมบัติการแพร่กระจายคลื่นวิทยุขึ้นอยู่กับขนาดความยาวคลื่นและขนาดของสิ่งกีดขวางด้วย โดยปกติการแพร่กระจายคลื่นผ่านอวกาศว่าง (free space propagation) พลังงานของคลื่นจะลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น ซึ่งถ้าพิจารณาตามสมการพอยท์ติงเวกเตอร์ $S = P/(4\pi d^2)$ จะพบว่าพลังงานของคลื่นเปลี่ยนแปลงโดยแปรผกผันตามระยะทางยกกำลังสอง ($\propto d^{-2}$)

การศึกษาพฤติกรรมการแพร่กระจายคลื่นในระบบสื่อสารใดๆ ต้องศึกษาโดยดูจากช่วงความถี่ที่พิจารณา เนื่องเพราะแต่ละความถี่จะมีลักษณะเฉพาะที่ทำให้สามารถประมาณได้ด้วยสมมุติฐานและความแม่นยำที่แตกต่างกัน สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้พิจารณาพฤติกรรมของคลื่นที่ใช้ในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ในประเทศไทยซึ่งเป็นคลื่นในย่านความถี่สูงพิเศษ (UHF) และจะใช้การประมาณสำหรับคลื่นความถี่สูงมาพิจารณาพฤติกรรมคลื่นดังจะกล่าวถึงรายละเอียดในภายหลัง โดยในเบื้องต้นนี้จะกล่าวถึงประวัติและความเป็นมาในการศึกษาพฤติกรรมการแพร่กระจายคลื่นวิทยุโดยสังเขป

งานวิจัยเกี่ยวกับพฤติกรรมการแพร่กระจายคลื่นวิทยุเริ่มขึ้นตั้งแต่การทดลองเรื่องคลื่นย่านความถี่ UHF ของ Hertz ในปี 1887 และการทดลองเรื่องคลื่นย่านความถี่ LF ของ Marconi ในปี 1900 แต่กลไกการแพร่กระจายคลื่นยังคงไม่เป็นที่เข้าใจนัก จวบจนกระทั่งปี 1930 T.L. Eckersley เป็นผู้เริ่มให้ความสนใจอย่างจริงจังกับกลไกการเกิดสัญญาณพหุวิถี (multipath) และการเกิดการประวิงเวลาของสัญญาณ (time delay) จากจุดเริ่มต้นของ Eckersley นี้ ทำให้ R.C.V. Macardio สามารถทำความเข้าใจกลไกของการแพร่กระจายคลื่นได้ดีขึ้นและได้ร่วมมือกับ Matthews ตีพิมพ์ผลงานวิจัยเกี่ยวกับผลการศึกษาการแพร่กระจายคลื่นในย่าน VHF และ UHF ของพวกเขาในปี 1965 [1]

ในช่วงระยะเวลาที่มีการพัฒนาโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเซลลูลาร์ เป็นระยะเวลาที่การศึกษากลไกการแพร่กระจายคลื่นได้รับความสนใจมากและแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นหลากหลายรูปแบบได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการในการทำนายรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นรอบๆ สถานีฐานเพื่อใช้กำหนดคุณลักษณะและประสิทธิภาพของระบบ โดยในทศวรรษที่ผ่านมามีผลงานวิจัยและบทความที่เกี่ยวกับการศึกษาพฤติกรรมการแพร่กระจายคลื่นได้รับการตีพิมพ์ออกมาเป็นจำนวนมาก ทั้งการแพร่กระจายคลื่นในอาคารและนอกอาคาร และสามารถสรุปแนวทางการศึกษาและการพัฒนาเกี่ยวกับแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นได้เป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

1. แบบจำลองเชิงประจักษ์ (empirical models)
2. แบบจำลองกึ่งประจักษ์ (semi-empirical models)
3. แบบจำลองเชิงวิเคราะห์ (analytical/theoretical models)

<u>แบบจำลองเชิงประจักษ์</u>

เป็นแบบจำลองที่สร้างโดยอาศัยข้อมูลของผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นในสภาพแวดล้อมจริง จากนั้นสร้างสมการการแพร่กระจายคลื่นในรูปของค่าความแรงสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันเชิงตำแหน่งของจุดสังเกตและพารามิเตอร์อื่นๆ เช่น ความถี่หรือความสูงของสายอากาศส่ง โดยมีเป้าหมายว่าค่าความแรงสัญญาณจากสมการที่ได้ต้องให้ผลตรงหรือใกล้เคียงกับเส้นกราฟผลการวัดความแรงสัญญาณที่ได้ แบบจำลองชนิดนี้ไม่จำเป็นต้องทราบกลไกการแพร่กระจายคลื่นและลักษณะสภาพแวดล้อมจริงของการแพร่กระจายคลื่น เพราะเป็นสมการที่ได้จากการปรับเทียบกับผลการวัดการแพร่กระจายจริง จึงทำให้ง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งเป็นข้อดีของแบบจำลองชนิดนี้ แต่ความแม่นยำของแบบจำลองก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของสภาพแวดล้อมบริเวณแพร่กระจายคลื่นด้วย คือ ถ้าในกรณีที่สภาพแวดล้อมบริเวณแพร่กระจายคลื่นที่พิจารณาคล้ายคลึงกับสภาพแวดล้อมที่ใช้เก็บข้อมูลในการสร้างแบบจำลองความแม่นยำของแบบจำลองจะสูง บางกรณีก็ต้องใช้ข้อมูลผลการวัดในสภาพแวดล้อมหลายๆ แบบมาปรับเทียบแบบจำลองบ่อยๆ เพื่อให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือและทันต่อการเปลี่ยนไปของสภาพแวดล้อมมากขึ้น ซึ่งทำให้ต้องสูญเสียทรัพยากรมากขึ้นทั้งเวลาบุคลากรและเงิน

ตัวอย่างของแบบจำลองเชิงประจักษ์ที่เป็นที่รู้จักกันดีและเป็นพื้นฐานของแบบจำลองเชิงประจักษ์อีกหลายแบบได้แก่แบบจำลองของ Okamura-Hata [2] โดยเป็นแบบจำลองที่ได้จากผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นในประเทศญี่ปุ่น นอกจากนี้ก็มีแบบจำลองที่สร้างจากผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นในประเทศอังกฤษของ Allesbrook-Parson และ Ibrahim-parsons (อ้างจาก [1]), แบบจำลองที่ใช้ข้อมูลผลการวัดอีกแบบหนึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้ระบบโครงข่ายประสาท (neural network) เพื่อทำนายรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของ K.E. Stocker [3]

<u>แบบจำลองเชิงวิเคราะห์</u>

เป็นแบบจำลองที่ใช้รายละเอียดของสภาพแวดล้อมและสภาพภูมิประเทศการแพร่กระจายคลื่นมาประกอบการคำนวณขนาดความแรงสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ โดยทั่วไปแบบจำลองเชิงวิเคราะห์จะไม่หาผลเฉลยแม่นตรง แต่จะใช้หลักการวิเคราะห์โดยประมาณเพื่อหลีกเลี่ยงความ

ซับซ้อนและยุ่งยากในการแก้สมการเงื่อนไขขอบเขต เนื่องจากความถี่ที่ใช้ในงานสื่อสารเคลื่อนที่ส่วนใหญ่เป็นย่านความถี่ UHF ซึ่งความยาวคลื่นสั้นมากเมื่อเทียบกับขนาดของสิ่งกีดขวางในระบบ ดังนั้นการวิเคราะห์จึงนิยมใช้ทฤษฎีเชิงรังสี (ray theory) ซึ่งเป็นวิธีประมาณย่านความถี่สูง เพื่ออธิบายพฤติกรรมการแพร่กระจายคลื่นออกจากสายอากาศส่งไปยังจุดสังเกตใดๆ

การสร้างแบบจำลองเชิงวิเคราะห์มีพื้นฐานอยู่บนการอธิบายและทำนายการเกิดกลไกการแพร่กระจายคลื่นซึ่งประกอบด้วย

1. การส่งผ่านอวกาศว่าง (free space transmission)
2. การสะท้อน (reflection)
3. การเลี้ยวเบน (diffraction)
4. การกระเจิง (scattering)
5. การทะลุผ่านสิ่งกีดขวาง (obstacle transmission)

จากกลไกพื้นฐานเหล่านี้ประกอบกับข้อมูลของภูมิประเทศและสภาพสิ่งกีดขวางในระบบการแพร่กระจายคลื่นทำให้สามารถทำนายลักษณะการแพร่กระจายของสัญญาณได้ ปัจจุบันแบบจำลองประเภทนี้ได้รับความสนใจและมีการพัฒนาอย่างมากเพราะข้อดีที่ไม่จำเป็นต้องคอยปรับเทียบแบบจำลองด้วยผลการวัดบ่อยๆ ใช้เพียงฐานข้อมูลของภูมิประเทศและสิ่งกีดขวางรอบๆ ซึ่งถึงแม้จะยุ่งยากในการเก็บรวบรวมครั้งแรก แต่จะง่ายต่อการปรับปรุงในกรณีที่สภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป และฐานข้อมูลชุดเดิมสามารถใช้เป็นวัตถุดิบให้แบบจำลองซ้ำได้ตลอด ความแม่นยำและประสิทธิภาพของแบบจำลองขึ้นอยู่กับฐานข้อมูลเหล่านี้และลักษณะการประมาณ รวมถึงวิธีที่ใช้คำนวณ แบบจำลองประเภทนี้ยังไม่นิยมนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์มากนักเนื่องจากข้อเสียในด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวนและความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์ นอกจากนี้ยังมีความยุ่งยากและความไม่แม่นยำในการเก็บรวบรวมฐานข้อมูลที่จะต้องใช้ด้วย ตัวอย่างของแบบจำลองประเภทนี้เช่นแบบจำลองของ Bertoni [4], S.Y. Tan และ H.S. Tan [5,6,7], Epstein และ Peterson (อ้างจาก [8]) เป็นต้น

<u>แบบจำลองกึ่งประจักษ์</u>

แบบจำลองประเภทนี้คำนวนขนาดสนามไฟฟ้าโดยพิจารณาทั้งจากแบบจำลองเชิงประจักษ์และแบบจำลองเชิงวิเคราะห์ประกอบกัน แล้วแต่จะให้น้ำหนักด้านใดมากกว่ากันในแต่ละกรณี ซึ่งความแม่นยำของแบบจำลองขึ้นอยู่กับลักษณะการให้น้ำหนัก (weight) และฐานข้อมูลของแต่ละส่วนที่นำมาประกอบกัน ตัวอย่างที่เป็นที่รู้จักของแบบจำลองประเภทนี้คือแบบจำลองของ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Walfisch-Ikegami [9] ซึ่งใช้ทฤษฎีการเลี้ยวเบนประกอบกับแบบจำลองเชิงประจักษ์ในการทำนายค่าสนามไฟฟ้ารอบสถานีฐานในเขตเมืองที่มีอาคารสูงรอบๆ แบบจำลองอื่นๆ เช่นแบบจำลองของ Longley-Rice [10], Blomquist-Ladell [10] เป็นต้น

<u>แนวโน้มการพัฒนาแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่น</u>

ระบบสื่อสารเคลื่อนที่ในอนาคตมีแนวโน้มที่จะใช้งานในย่านความถี่ที่สูงขึ้น และเป็นการใช้งานในระบบพิโคเซลล์ (picocell) และไมโครเซลล์ (microcell) มากขึ้น เนื่องจากความต้องการใช้งานที่มากขึ้นและระบบมาโครเซลล์ (macrocell) ไม่เหมาะสมกับความถี่สูงและไม่สามารถเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณต่อเซลล์ (cell) ได้จึงต้องใช้วิธีเพิ่มจำนวนเซลล์ให้มากขึ้นด้วยการแยกเซลล์และนำเทคนิคนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ (frequency reuse) มาใช้ ซึ่งหมายถึงระยะครอบคลุมของแต่ละสถานีฐานจะแคบลง ดังนั้นรูปแบบของแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นในอนาคตน่าจะเป็นแบบจำลองที่ให้ความแม่นยำในกรณีระยะใกล้ๆ กับสถานีฐานเพื่อประโยชน์ในการวางแผนระบบพิโคเซลล์และไมโครเซลล์ ซึ่งแบบจำลองเชิงวิเคราะห์จะให้ความแม่นยำมากกว่า

แบบจำลองเชิงวิเคราะห์ที่เป็นที่สนใจของนักวิจัยและกำลังพัฒนาอย่างมากเป็นแบบจำลองเชิงรังสีที่ใช้ระเบียบวิธีทัศนศาสตร์เรขาคณิต (Geometrical Optic, GO) [11] ร่วมกับทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงเรขาคณิต (Geometrical Theory of Diffraction, GTD) [12] และทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงเอกรูป (Uniform Theory of Diffraction) [12] มีหลายแบบจำลองที่ประยุกต์ขึ้นจากทฤษฎีเหล่านี้ เช่น [13,14,15] เนื่องจากทฤษฎีเหล่านี้สามารถใช้อธิบายกลไกการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดขึ้นได้ทั้งการสะท้อนและการเลี้ยวเบน และนอกจากจะสามารถคำนวณขนาดสนามไฟฟ้าได้แล้วยังสามารถประยุกต์ให้คำนวณค่าคุณลักษณะอื่นๆ ของช่องสัญญาณซึ่งแบบจำลองเชิงประจักษ์ไม่สามารถทำได้ เช่น การเกิดเฟดดิงพหุวิถี (multipath fading) และการคำนวณ power delay profile เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการพิจารณาระบบที่เป็นดิจิตอล แม้ว่าแบบจำลองที่อาศัยระเบียบวิธีทัศนศาสตร์เรขาคณิต ทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงเรขาคณิต และทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงเอกรูป จะมีข้อดีกว่าแบบจำลองเชิงประจักษ์ดังที่กล่าวมาแล้ว แต่ในปัจจุบันแบบจำลองเหล่านี้ยังไม่สามารถใช้งานได้จริงอย่างเต็มที่นักเพราะความจำกัดในด้านฐานข้อมูลที่จะใช้ในแบบจำลองและความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการจำลองรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นวิทยุย่านความถี่สูงพิเศษสำหรับเขตเมืองของกรุงเทพมหานครโดยใช้ความถี่ย่าน 900 MHz เป็นย่านพิจารณาหลักและแบบจำลองที่ใช้เป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจากระเบียบวิธีทัศนศาสตร์เรขาคณิตและทฤษฎีการ

เลี้ยวเบนเชิงเอกรูป ประกอบกับการประมาณลักษณะสภาพแวดล้อมให้เป็นฐานข้อมูลเชิงเลขอย่างง่ายเพื่อการคำนวณด้วยแบบจำลอง และปรับเทียบแบบจำลองด้วยผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นในสภาพแวดล้อมจริงเพื่อหาฟังก์ชันประกอบการลดทอนสำหรับชดเชยความคลาดเคลื่อนจากการประมาณฐานข้อมูลเชิงเลขของสภาพแวดล้อมการแพร่กระจายคลื่น โดยผลการวัดการแพร่กระจายจริงเป็นผลจากการร่วมมือกับบริษัทเอกชนที่ให้บริการด้านการสื่อสารเคลื่อนที่ในประเทศไทย

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อศึกษารูปแบบการทำนายลักษณะการแพร่กระจายคลื่นที่เหมาะสมกับเขตเมืองของกรุงเทพมหานคร โดยใช้แบบจำลองเชิงรังสีเป็นพื้นฐาน และสร้างแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นในเขตกรุงเทพมหานคร โดยพิจารณาจากฐานข้อมูลที่สามารถจะหาได้ ร่วมกับแบบจำลองเชิงรังสี

<u>ขอบเขตวิทยานิพนธ์</u>

1. ศึกษาแนวทางและความเป็นไปได้ในการพัฒนาแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นสำหรับการแพร่กระจายคลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟในสภาพแวดล้อมของการใช้งานในเขตเมืองของกรุงเทพมหานครโดยใช้ทฤษฎีเชิงรังสี
2. พัฒนาแบบจำลองเชิงรังสีเพื่อทำนายการแพร่กระจายคลื่นวิทยุระบบสื่อสารไร้สายในเขตเมืองของกรุงเทพมหานครโดยใช้ความถี่ 900 MHz เป็นหลัก เนื่องจากการหาข้อมูลเปรียบเทียบเพื่อสนับสนุนทำได้ง่ายกว่าย่านความถี่อื่น
3. ศึกษาแนวทางและความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในการใช้งานจริง

<u>ขั้นตอนการดำเนินงาน</u>

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่น
2. ศึกษาวิธีการใช้ทฤษฎีเชิงรังสีในการพัฒนาแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่น
3. สำรวจและจำลองลักษณะทางกายภาพของอาคารและสิ่งกีดขวางในพื้นที่แพร่กระจายคลื่นวิทยุระบบสื่อสารไร้สายในเขตเมืองของกรุงเทพมหานคร (ตามแนวถนนหลักของเขตเมือง เช่น ถนนพหลโยธิน และอื่นๆ)
4. พัฒนาแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นสำหรับการแพร่กระจายคลื่นในพื้นที่เขตเมืองของกรุงเทพมหานคร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. ตรวจสอบและปรับเทียบแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นกับผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นที่สามารถหาได้
6. สรุปงานวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

<u>ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ</u>

สามารถพัฒนาองค์ความรู้เกี่ยวกับการแพร่กระจายคลื่นวิทยุในย่านความถี่สูงพิเศษ และพัฒนาแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นในรูปของซอฟต์แวร์เพื่อใช้ทำนายลักษณะการแพร่กระจายคลื่นในเขตเมืองของกรุงเทพมหานครภายใต้ความจำกัดของข้อมูลเท่าที่สามารถจะจัดหาได้จากแหล่งข้อมูลต่างๆ และข้อมูลที่ต้องรวบรวมเอง ทั้งข้อมูลของสภาพแวดล้อมและข้อมูลผลวัดที่จะนำมาทดสอบแบบจำลอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกัน บทที่ 2 กล่าวถึงระเบียบวิธีและทฤษฎีที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งประกอบด้วยระเบียบวิธีทัศนศาสตร์เรขาคณิต, ทฤษฎีการเลี้ยวเบนเชิงเรขาคณิต และทฤษฎีการเลี้ยวเบนเอกรูป รวมถึงความสัมพันธ์ของทฤษฎีเหล่านี้และการนำไปใช้งานด้วย บทที่ 3 กล่าวถึงแบบจำลองตามแนวทางของทฤษฎีเชิงรังสีโดยประยุกต์ทฤษฎีที่ได้กล่าวแล้วในบทที่ 2 ประกอบกับขั้นตอนการหาทางเดินรังสีสัญญาณในระนาบการแพร่กระจายคลื่น การดำเนินการเกี่ยวกับฐานข้อมูลของสายอากาศและสิ่งกีดขวางและการจัดการทรัพยากรเพื่อใช้ในแบบจำลอง ส่วนบทที่ 4 จะแสดงผลที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองและการเปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการวัดจริง และบทที่ 5 เป็นส่วนของการสรุปผลและข้อเสนอแนะเพื่อใช้ในการปรับปรุงงานวิจัยต่อไปอนาคต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย