

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการรับสัญญาณในการสื่อสารไร้สาย ภายใต้สภาวะแวดล้อมต่างๆ

สุรพล ไกรจักร์ และ ปานวิทย์ ชูระนุติ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

Emails: macro.biggiez@gmail.com, panwit@it.kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการรับสัญญาณในการสื่อสารไร้สายภายใต้สภาวะแวดล้อมต่างๆ โดยมุ่งเน้นการค้นคว้าและวิจัยแบบจำลองการลดทอนตามระยะทางและแบบจำลองการจางหายของกำลังสัญญาณในแต่ละสภาวะแวดล้อมที่ได้คิดค้นขึ้นในหลากหลายแง่มุม ซึ่งในบทความฉบับนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การทดลองโดยการเลียนแบบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริง เพื่อนำผลการทดลองที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 รูปแบบในแต่ละสภาวะแวดล้อมมาเปรียบเทียบเพื่อหาว่าแบบจำลองการลดทอนตามระยะทางและแบบจำลองการจางหายของกำลังสัญญาณชนิดใดที่ก่อให้เกิดความแม่นยำ ถูกต้อง และเหมาะสมสำหรับการนำไปพยากรณ์อัตราการลดทอนตามระยะทางและอัตราการจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมนั้นมากที่สุด เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการออกแบบระบบโครงข่ายไร้สายต่อไป

คำสำคัญ – การติดต่อสื่อสารไร้สาย; แบบจำลองการลดทอนตามระยะทาง; แบบจำลองการจางหายของกำลังสัญญาณ

Abstract

In this article proposed a study of factors effecting wireless network in any environment and focus on investigate and research of path loss and fading models for each environment in the various aspects. Due to the experimental method in this article can be divided into two systems were experiment using computer simulation and direct measurement in order to compared the results of experiments and found out which path loss and fading model can be produced an accurate yield and suitable for path loss and fading prediction in each environments.

Keywords – Wireless communication; Path loss model; Fading model

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการดำเนินกระบวนการทางธุรกิจขององค์กรอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทำให้ผู้บริหารเริ่มมีความตระหนักถึงการนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้ภายในองค์กรมากขึ้น แต่ด้วยข้อจำกัดที่ผู้บริหารองค์กรส่วนใหญ่ มักขาดความรู้และทักษะทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จึงส่งผลทำให้เกิดการวิเคราะห์ ออกแบบ และนำเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายไปใช้อย่างไม่เหมาะสม ในเวลาต่อมาองค์กรธุรกิจได้เริ่มมีการจัดตั้งแผนกเทคโนโลยีสารสนเทศขึ้น ซึ่งแผนกดังกล่าวจะทำหน้าที่ในการวิเคราะห์ ออกแบบ แก้ไขปัญหา และดูแลรักษาระบบเครือข่ายขององค์กรให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและปราศจากข้อบกพร่อง แต่การจะวิเคราะห์ ออกแบบเครือข่ายให้มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น จำเป็นต้องอาศัยแบบจำลองที่มีความเหมาะสมและให้ผลลัพธ์ที่มีความใกล้เคียงกับสถานะแวดล้อมจริงมากที่สุด ซึ่งเป็นเรื่องที่ยากสำหรับนักคอมพิวเตอร์ในการเลือกแบบจำลองมาใช้ในการทดลองหรือวิเคราะห์ออกแบบ เนื่องจากแบบจำลองที่ถูกคิดค้นขึ้นในปัจจุบันมีอยู่มากมาย และไม่สามารถทราบได้เลยว่าแบบจำลองใดมีความเหมาะสมกับสถานะแวดล้อมแบบใด ซึ่งถ้าหากเลือกแบบจำลองผิดพลาดก็อาจจะส่งผลต่อการวิเคราะห์ ออกแบบ รวมไปถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบเครือข่ายในระยะยาวได้

โดยแนวความคิดในการแก้ปัญหาที่ถูกคิดค้นขึ้นในอดีต แม้จะมีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน แต่ก็ยังไม่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ในงานวิจัยของ W. Afric, B. Z. Cihlar และ Sonja Grgic [1] ในปี 2007 ได้กล่าวถึง แนวทางในการคำนวณหาการลดทอนตามระยะทางโดยใช้ผลที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งข้อจำกัดของงานวิจัยดังกล่าวคือ ขาดความหลากหลายในการทดลองที่สถานะแวดล้อมอื่นๆ จึง

ส่งผลให้ผลการทดลองที่ได้ นำไปใช้อ้างอิงได้เพียงในบางสถานะแวดล้อมเท่านั้น และยังมีข้อจำกัดในการนำผลการทดลองที่ได้ไปใช้ในการอ้างอิงอีกด้วยเนื่องจากผลการทดลองที่ปรากฏในบทความวิจัยฉบับนี้เป็นการคำนวณการเกิดการลดทอนตามระยะทางบนเครือข่ายไวแมกซ์ (WiMAX) ในย่านความถี่ 3.5 GHz. เท่านั้น ในงานวิจัยของ Mohammed Alshami, Tugral Arslan, J. Thompson และ Armet T. Erdogan [2] ในปี 2011 ได้กล่าวถึง การวิเคราะห์แบบการลดทอนตามระยะทางเชิงความถี่บนเทคโนโลยีการสื่อสารไวแมกซ์ ซึ่งข้อจำกัดของงานวิจัยดังกล่าวคือ ขาดการอธิบายให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือของผลการทดลองการลดทอนตามระยะทางในสถานะแวดล้อมจริงที่นำมาใช้ภายในบทความ และการเขียนสรุปผลการทดลองไม่ได้แสดงให้เห็นถึงสัดส่วนความคลาดเคลื่อนระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองโดยการเลียนแบบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองในสถานะแวดล้อมจริงอย่างชัดเจน

จากข้อจำกัดที่ได้กล่าวในข้างต้น จึงก่อให้เกิดแนวความคิดในการศึกษาและเปรียบเทียบแบบจำลองที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์และออกแบบระบบเครือข่ายไร้สาย เช่น แบบจำลองการลดทอนตามระยะทางแบบจำลองการจางหายของกำลังสัญญาณ ที่มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น เพื่อให้ให้นักวิเคราะห์และออกแบบระบบเครือข่ายไร้สาย หรือผู้ที่สนใจสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางประกอบการวิเคราะห์ ออกแบบหรือนำไปต่อยอดในงานวิจัยของตนเองต่อไป ตลอดจนเพื่อลดเวลาและข้อผิดพลาดในการวิเคราะห์ออกแบบระบบเครือข่ายไร้สาย อันจะส่งผลดีต่อองค์กรโดยรวมในแง่ของการลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพ รวมทั้งผลิตภาพ (Productivity) ในการทำงานของพนักงานภายในองค์กรให้เพิ่มมากขึ้นด้วย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงทฤษฎีที่นำมาใช้ประกอบการศึกษา ค้นคว้าและวิจัยภายในบทความ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ทฤษฎีแบบจำลองการลดทอนตามระยะทาง

การลดทอนตามระยะทาง(Path loss) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อสัญญาณที่ได้รับอ่อนลง เนื่องจากระยะห่างระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งที่เพิ่มมากขึ้น สำหรับในกรณีที่เครื่องรับอยู่ไกลจากเครื่องส่ง สัญญาณที่ถูกส่งออกไปจะมีการสูญเสียมากขึ้นตามกำลังสองของระยะทางที่เพิ่มขึ้นและกำลังสองของความถี่ที่ใช้ด้วย โดยทั่วไปแบบจำลองการลดทอนตามระยะทางสามารถจำแนกตามความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ทดลองในสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้ 4 แบบ ดังนี้

2.1.1 สภาวะแวดล้อมแบบพื้นที่เปิดโล่ง

แบบจำลองการลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมแบบพื้นที่เปิดโล่งที่นำมาทดลองภายในบทความฉบับนี้มีทั้งหมด 3 แบบจำลองด้วยกัน คือ Simplified model, Walfish model และ Lee model [2]

2.1.2 สภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมือง

แบบจำลองการลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมืองที่นำมาทดลองภายในบทความฉบับนี้มีทั้งหมด 7 แบบจำลองด้วยกัน คือ Ericsson model, Hata model, COST-231 model, Erceg model, ECC-33 model, COST231 Walfish-Ikegami model และ Lee model [2] [3]

2.1.3 สภาวะแวดล้อมแบบชานเมือง

แบบจำลองการลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมแบบชานเมืองที่นำมาทดลองภายในบทความฉบับนี้มีทั้งหมด 8 แบบจำลองด้วยกัน คือ Okumura model, Ericsson model, Hata model, COST-231 model,

Erceg model, ECC-33 model, Lee model และ Okumura-Hata model [2] [3] [4]

2.1.4 สภาวะแวดล้อมแบบชนบท

แบบจำลองการลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมแบบชนบทที่นำมาทดลองภายในบทความฉบับนี้มีทั้งหมด 6 แบบจำลองด้วยกัน คือ Okumura model, Ericsson model, Hata model, Erceg model, COST-231 model และ Lee model [2] [4] [5]

2.2 ทฤษฎีแบบจำลองการจางหายของกำลังสัญญาณ

การจางหายของกำลังสัญญาณ (Fading) หมายถึง การที่สัญญาณถูกลดทอนลงไป ทำให้มีความแรงของสัญญาณอ่อนลง โดยการจางหายของกำลังสัญญาณสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท ด้วยกันคือ แฟลตเฟดดิ้ง (Flat Fading) และฟรีควেনซีซีเล็กเฟดดิ้งเฟดดิ้ง (Frequency Select Fading) ซึ่งการจางหายของกำลังสัญญาณทั้งสองประเภทนั้น ไม่สามารถที่จะพยากรณ์การจางหายของกำลังสัญญาณออกเป็นตัวเลขที่แน่นอนได้ เนื่องจากปริมาณการจางหายของกำลังสัญญาณจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของชั้นบรรยากาศ ณ ขณะนั้น สภาพอากาศและสภาพภูมิประเทศในแต่ละพื้นที่ ซึ่งจะก่อให้เกิดการจางหายของกำลังสัญญาณในปริมาณที่ไม่เท่ากัน จากปัญหาดังกล่าวทำให้นักวิจัยทางด้านโทรคมนาคมได้ทำการคิดค้นแบบจำลองการจางหายของกำลังสัญญาณที่มีความน่าเชื่อถือขึ้นหลายแบบจำลองด้วยกัน โดยแบบจำลองที่ได้ทำการคัดเลือกและนำมาใช้ในการทดลองในบทความฉบับนี้มีอยู่ทั้งหมด 5 แบบจำลองด้วยกัน คือ Ricean distribution, Rayleigh distribution, Weibull model, Log-Normal Fading model และ Nakagami model [4] [5]

โดยแบบจำลองข้างต้นถือเป็นแบบจำลองที่มีความแม่นยำสูงและถูกนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการคาดการณ์อัตราการจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมใดๆ

ตารางที่ 1.แสดงพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

ชื่อตัวแปร	คำอธิบาย	ค่าพารามิเตอร์
f	ความถี่ที่ใช้ทดลอง	2400 MHz.
D	ระยะทาง ในหน่วยกิโลเมตร	5 km.
D0	ระยะทางอ้างอิง	100 m.
C	ขนาดความยาวคลื่น	0.125*
S	ขอบเขตการเกิดร่มเงา	10 dB.
Hb	ความสูงของสายอากาศในฝั่งส่ง	5 m.
Hm	ความสูงของสายอากาศในฝั่งรับ	5 m.
Gb	อัตราขยายของสายอากาศในฝั่งส่ง	10 dB.
Gm	อัตราขยายของสายอากาศในฝั่งรับ	10 dB.
s	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	8.2-10.6 dB.
r	ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่รับได้	0 – 6 Volt.
A	ค่าแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณที่รับได้	2 Volt.

*ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยสูตร $C = 3 \times 10^8 / f$

3. การวิเคราะห์และออกแบบการทดลอง

การวิเคราะห์และออกแบบการทดลอง ถือเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างมากสำหรับการจัดทำโครงการวิจัย ดังนั้นหัวข้อนี้จึงเป็นการกล่าวถึงรูปแบบและขั้นตอนการทดลองเป็นสำคัญ โดยในบทความฉบับนี้ได้ทำการจำแนกการทดลองออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การทดลองโดยการเลียนแบบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การทดลองโดยการเลียนแบบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในการทดลองโดยการเลียนแบบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภายในบทความฉบับนี้จะใช้โปรแกรม MATLAB สำหรับการเลียนแบบตามแบบจำลองการลดทอนตามระยะทางและการจางหายของกำลังสัญญาณที่ได้นำเสนอในหัวข้อ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับโดยการทดลองในรูปแบบนี้จะทำการทดลองในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน 4 แบบ คือ สภาวะแวดล้อมแบบพื้นที่เปิดโล่ง สภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมือง สภาวะแวดล้อมแบบชานเมือง และสภาวะแวดล้อมแบบชนบท ซึ่งขั้นตอนการทดลองในสภาวะแวดล้อมต่างๆ จะประกอบด้วย ขั้นตอนแรกทำการสร้างแบบจำลองการลดทอนตามระยะทางและการจางหายของกำลังสัญญาณลงบนโปรแกรม MATLAB ขั้นตอนที่ 2 ทำการประมวลผลการเลียนแบบตามแบบจำลองการลดทอนตามระยะทางและแบบจำลองการจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมต่างๆ ขั้นตอนที่ 3 บันทึกผลการทดลองและนำผลลัพธ์ดังกล่าวไปบันทึกลงบทกราฟ และขั้นตอนที่ 4 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.2 การทดลองในสภาวะแวดล้อมจริง

การทดลองในสภาวะแวดล้อมจริง จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์กำเนิดและรับสัญญาณคลื่นวิทยุในย่านความถี่ 2.4 GHz.



รูปที่ 1. ลักษณะของอุปกรณ์รับสัญญาณ HP8560A



รูปที่ 2. ลักษณะของอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณ IFR2025

ในการทดลองการลดทอนตามระยะทางและการจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมทั้ง 4 แบบ เช่นเดียวกับการทดลองโดยการเลียนแบบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงในบทความฉบับนี้มีทั้งหมด 2 ชิ้นด้วยกันคือ เครื่องรับสัญญาณ HP8560A (รูปที่ 1) และเครื่องกำเนิดสัญญาณ IFR2025 (รูปที่ 2) ซึ่งขั้นตอนการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริง จะประกอบด้วย ขั้นตอนแรก กำหนดพื้นที่ในการทดลองจริงตามแต่ละสภาวะแวดล้อม ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้ การทดลองในสภาวะแวดล้อมแบบพื้นที่เปิดโล่ง ใช้พื้นที่บริเวณถนนเลียบสนามบินสุวรรณภูมิ เขตลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3. ลักษณะสภาวะแวดล้อมแบบพื้นที่เปิดโล่งที่ใช้ในการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริง

จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงสภาวะแวดล้อมแบบพื้นที่ปิดโล่งที่ใช้ในการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริง ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของกระจายสัญญาณคลื่นวิทยุในปริมาณที่น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของสิ่งกีดขวางที่พบในสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมือง ชานเมือง และชนบท อีกทั้งพื้นที่ดังกล่าวยังมีลักษณะเป็นเส้นตรง และมีความเหมาะสมสำหรับการทดลองรับ-ส่งสัญญาณคลื่นวิทยุอีกด้วย ส่วนการทดลองในสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมือง ใช้พื้นที่บริเวณแพลตฟอร์มเคหะร่มเกล้า เขตลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4. ลักษณะสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมืองที่ใช้ในการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริง

จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นถึงสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมืองที่ใช้ในการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริง ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นพื้นที่ที่แวดล้อมไปด้วยสิ่งกีดขวางต่างๆ มากมาย เช่น ตึกอาคารและสำนักงานต่างๆ ภายในแพลตฟอร์มเคหะร่มเกล้า เสาส่งสัญญาณคลื่นวิทยุขนาดใหญ่ของผู้ให้บริการโทรศัพท์แต่ละราย และต้นไม้ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ที่ปลูกอยู่โดยรอบโครงการ อีกทั้งยังมีความพลุกพล่านของประชากรและยานพาหนะที่สัญจรอยู่ภายในพื้นที่ทดลองตลอดเวลาอีกด้วย ทำให้พื้นที่ดังกล่าวมีความเหมาะสมสำหรับการทดลองรับ-ส่งสัญญาณคลื่นวิทยุในสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมืองเป็นอย่างมาก ส่วนการทดลองในสภาวะแวดล้อมแบบชานเมือง ใช้พื้นที่บริเวณหน้าโชว์รูมโตโยต้า (หัวตะเข้) เขตลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5. ลักษณะสภาวะแวดล้อมแบบชานเมืองที่ใช้ในการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริง

จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นถึงสภาวะแวดล้อมแบบชานเมืองที่ใช้ในการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริง ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นพื้นที่ที่เป็นตึก อาคาร และห้างร้าน สลับกับพื้นที่โล่งเป็นระยะ ประกอบกับมีสิ่งกีดขวางที่ส่งผลกระทบต่อการแพร่กระจายสัญญาณคลื่นวิทยุในระดับปานกลาง เช่น อาคารสำนักงาน บ้านเรือนประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น และต้นไม้ที่ปลูกอยู่ตลอดแนวถนน อีกทั้งพื้นที่ดังกล่าวยังมีความพลุกพล่านของยานพาหนะที่สัญจรอยู่

บริเวณพื้นที่ทดลองตลอดเวลาอีกด้วย ทำให้มีความเหมาะสมสำหรับการทดลองรับ-ส่งสัญญาณคลื่นวิทยุในสภาวะแวดล้อมแบบชานเมืองเป็นอย่างมาก ส่วนการทดลองในสภาวะแวดล้อมแบบชนบท ใช้พื้นที่บริเวณซอยพัฒนาชนบท 3 เขตลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6. ลักษณะสภาวะแวดล้อมแบบชนบทที่ใช้ในการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริง

จากรูปที่ 6 แสดงให้เห็นถึงสภาวะแวดล้อมแบบชนบทที่ใช้ในการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริง ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นพื้นที่ที่โล่งสลับกับทุ่งนาเป็นระยะ ประกอบกับมีสิ่งกีดขวางที่ส่งผลกระทบต่อการแพร่กระจายสัญญาณคลื่นวิทยุในปริมาณค่อนข้างน้อย เนื่องจากพื้นที่ทดลองเป็นแหล่งชุมชนที่ยังไม่ได้รับการพัฒนาด้านสาธารณูปโภคมากเท่าที่ควร ทำให้มีบ้านเรือนประชาชนอาศัยอยู่เพียงไม่กี่หลังคาเรือน อีกทั้งพื้นที่ดังกล่าวยังไม่มีมีความพลุกพล่านของพาหนะที่สัญจรอยู่ในบริเวณพื้นที่ทดลองอีกด้วย ทำให้มีความเหมาะสมสำหรับการทดลองรับ-ส่งสัญญาณคลื่นวิทยุในสภาวะแวดล้อมแบบชนบทเป็นอย่างยิ่ง โดยในแต่ละสภาวะแวดล้อมจะทำการทดลองเป็นระยะทางประมาณ 5 กิโลเมตร ขั้นตอนที่ 2 ติดตั้งเครื่องกำเนิดและเครื่องรับสัญญาณคลื่นวิทยุตามจุดทดลองต่างๆ ขั้นตอนที่ 3 วัดระดับสัญญาณบนเครื่องรับที่รับได้ ตามระยะทางที่กำหนด โดยจะขยับไปครั้งละ 100 เมตรและทำการ

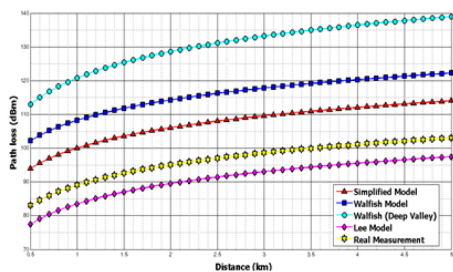
ทดลองซ้ำในแต่ละจุดจำนวน 10 ครั้ง ขั้นตอนที่ 4 บันทึกผลการทดลองและนำผลลัพธ์ดังกล่าวไปบันทึกลงบนกราฟ ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลและวิเคราะห์ผลการทดลองเปรียบเทียบกับผลการทดลองโดยการเลียนแบบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4. การทดลองและผลการทดลอง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงในแต่ละสภาวะแวดล้อมที่กำหนด รวมทั้งการนำผลการทดลองทั้งสองดังกล่าวมาวิเคราะห์ร่วมกัน เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในแต่ละแบบจำลอง เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริง โดยจะจำแนกการนำเสนอผลการทดลองและค่าความคลาดเคลื่อนออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ ผลการทดลองการลดทอนตามระยะทาง และผลการทดลองการจางหายของกำลังสัญญาณ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการทดลองการลดทอนตามระยะทาง

ในส่วนนี้จะเป็นการนำเสนอผลการทดลองการลดทอนตามระยะทางที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงในแต่ละสภาวะแวดล้อมที่กำหนด โดยแกนนอนคือระยะทางและแกนตั้งคือระดับสัญญาณที่รับได้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 7. แสดงผลการทดลองการลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมแบบพื้นที่เปิดโล่ง

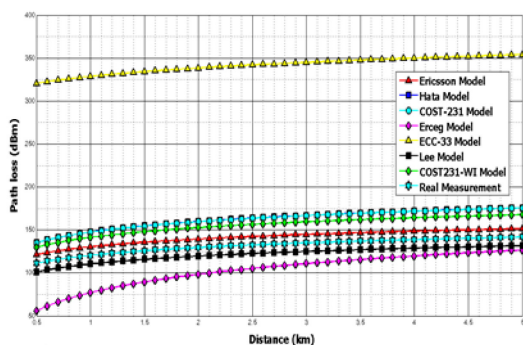
จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดลองการลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมแบบพื้นที่เปิดโล่ง ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่ามีการนำผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบพื้นที่เปิดโล่งมาพิจารณาร่วมด้วย โดยหลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง (Distance) และปริมาณของการลดทอนตามระยะทาง (Path Loss) แล้วพบว่าแนวโน้มการเกิดการลดทอนตามระยะทางจะเพิ่มมากขึ้นตามระยะห่างระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับที่เพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ที่ได้ยังไม่สามารถนำไปใช้สรุปและบอกได้ว่าผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของแบบจำลองใดมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงหรือเหมาะสมที่จะนำไปใช้คาดการณ์การลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมแบบพื้นที่เปิดโล่งมากที่สุดได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการคาดการณ์อัตราการลดทอนตามระยะทางจึงจำเป็นที่จะต้องนำอัตราการลดทอนตามระยะทางที่ได้จากการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงไปเปรียบเทียบกับหาค่าความคลาดเคลื่อนกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลองเสียก่อน ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1. แสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการนำผลการทดลองการลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมจริงแบบพื้นที่เปิดโล่งไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลอง

ชื่อแบบจำลอง	ค่าความคลาดเคลื่อน
Simplified Model	11.0374
Walfish Model	19.1765
Walfish Model (Deep Valley)	29.9774
Lee Model	5.5507

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นถึงความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการนำผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบพื้นที่เปิดโล่งไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลอง ซึ่งจะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการนำผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบพื้นที่เปิดโล่งไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของแบบจำลอง Lee Model มีค่าน้อยที่สุด ทำให้สามารถสรุปได้ว่าอัตราการลดทอนตามระยะทาง (Path Loss) ที่ได้จากแบบจำลอง Lee Model มีความใกล้เคียงกับอัตราการลดทอนตามระยะทางที่เกิดขึ้นจริงและเหมาะสมที่จะนำไปใช้คาดการณ์การลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมแบบพื้นที่เปิดโล่งภายในประเทศไทยมากที่สุด

ส่วนผลการทดลองการลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมชุมชนเมือง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8. แสดงผลการทดลองการลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมือง

จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดลองการลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมือง ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าการนำผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบชุมชนเมืองมาพิจารณาด้วย โดยหลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง (Distance) และปริมาณของการ

ลดทอนตามระยะทาง (Path Loss) แล้วพบว่าแนวโน้มการเกิดการลดทอนตามระยะทางจะเพิ่มมากขึ้นตามระยะห่างระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับที่เพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ที่ได้ยังไม่สามารถนำไปใช้สรุปและบอกได้ว่าผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของแบบจำลองใดมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงหรือเหมาะสมที่จะนำไปใช้คาดการณ์การลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมืองมากที่สุดได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการคาดการณ์อัตราการลดทอนตามระยะทางจึงจำเป็นต้องนำอัตราการลดทอนตามระยะทางที่ได้จากการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงไปเปรียบเทียบกับหาค่าความคลาดเคลื่อนกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลองเสียก่อน ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 2

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นถึงค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการนำผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบชุมชนเมืองไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลอง ซึ่งจะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการนำผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบชุมชนเมืองไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของแบบจำลอง Ericsson Model

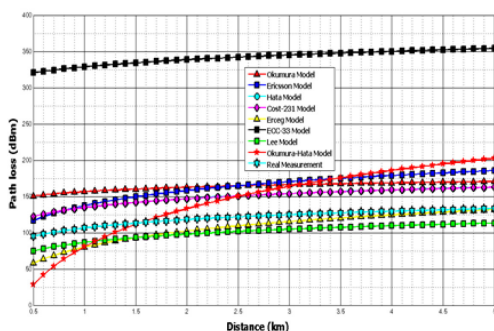
ตารางที่ 2. แสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการนำผลการทดลองการลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมจริงแบบชุมชนเมืองไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลอง

ชื่อแบบจำลอง	ค่าความคลาดเคลื่อน
Ericsson Model	10.4525
Hata Model	34.4233

COST-231 Model	34.4211
Erceg Model	35.2856
ECC-33 Model	219.3866
Lee Model	10.5820
COST231-WI Model	28.4825

มีค่าน้อยที่สุด ทำให้สามารถสรุปได้ว่าอัตราการลดทอนตามระยะทาง (Path Loss) ที่ได้จากแบบจำลอง Ericsson Model มีความใกล้เคียงกับอัตราการลดทอนตามระยะทางที่เกิดขึ้นจริงและเหมาะสมที่จะนำไปใช้คาดการณ์การลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมืองภายในประเทศไทยมากที่สุด

ส่วนผลการทดลองการลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมือง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 9 จากรูปที่ 9 แสดงให้เห็นถึงการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดลองการลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมือง ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าการนำผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบชุมชนเมืองมาพิจารณา ร่วมกับ โดยหลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง (Distance) และปริมาณของการลดทอนตามระยะทาง (Path Loss) แล้วพบว่าแนวโน้ม



รูปที่ 9. แสดงผลการทดลองการลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมือง

การเกิดการลดทอนตามระยะทางจะเพิ่มมากขึ้นตามระยะห่างระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับที่เพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ที่ได้ยังไม่สามารถนำไปใช้สรุปและบอกได้ว่าผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของแบบจำลองใดมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงหรือเหมาะสมที่จะนำไปใช้คาดการณ์การลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมืองมากที่สุดได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการคาดการณ์อัตราการลดทอนตามระยะทางจึงจำเป็นต้องนำอัตราการลดทอนตามระยะทางที่ได้จากการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงไปเปรียบเทียบกับเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลองเสียก่อน ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 3

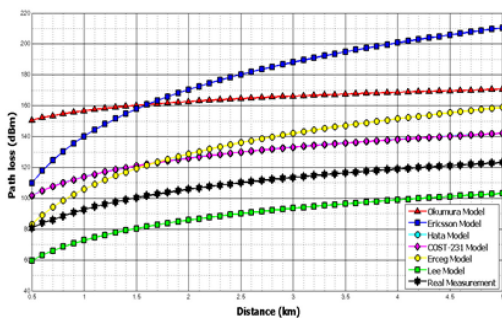
จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นถึงค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการนำผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบชุมชนเมืองไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลอง ซึ่งจะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการนำผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบชุมชนเมืองไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของแบบจำลอง Erceg Model มีค่าน้อยที่สุด ทำให้สามารถสรุปได้ว่าอัตราการลดทอนตามระยะทาง (Path Loss) ที่ได้จากแบบจำลอง Erceg Model มีความใกล้เคียงกับอัตราการลดทอนตาม

ตารางที่ 3. แสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการนำผลการทดลองการลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมจริงแบบชุมชนเมืองไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลอง

ชื่อแบบจำลอง	ค่าความคลาดเคลื่อน
Okumura Model	55.7297
Ericsson Model	36.7853
Hata Model	27.6281
COST-231 Model	27.5209
Erceg Model	19.3140
ECC-33 Model	225.6284
Lee Model	20.0082
Okumura-Hata Model	68.0282

ระยะทางที่เกิดขึ้นจริง และเหมาะสมที่จะนำไปใช้ คำนวณการลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมแบบชนเมืองภายในประเทศไทยมากที่สุด

ส่วนผลการทดลองการลดทอนตามระยะทางใน สภาวะแวดล้อมชนเมือง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10. แสดงผลการทดลองการลดทอนตามระยะทางใน สภาวะแวดล้อมแบบชนบท

จากรูปที่ 10 แสดงให้เห็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบ ผลการทดลองการลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อม แบบชนบท ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าการนำผลการ ทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบชนบทมาพิจารณาด้วย โดยหลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ระหว่างระยะทาง (Distance) และปริมาณของการ ลดทอนตามระยะทาง (Path Loss) แล้วพบว่าแนวโน้ม การเกิดการลดทอนตามระยะทางจะเพิ่มมากขึ้นตาม

ระยะห่างระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับที่เพิ่มมากขึ้น แต่ อย่างไรก็ดีตามผลการวิเคราะห์ที่ได้ยังไม่สามารถนำไปใช้ สรุปและบอกได้ว่าผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบ โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของแบบจำลองใดมีความ ใกล้เคียงกับความเป็นจริงหรือเหมาะสมที่จะนำไปใช้ คำนวณการลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อม แบบชนบทมากที่สุดได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความแม่นยำใน การคำนวณอัตราการใช้พลังงานตามระยะทางจึงจำเป็นต้อง นำอัตราการใช้พลังงานตามระยะทางที่ได้จากการ ทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงไปเปรียบเทียบกับค่า

ความคลาดเคลื่อนกับผลการทดลองที่ได้จากการ เลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลอง เสียก่อน ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4

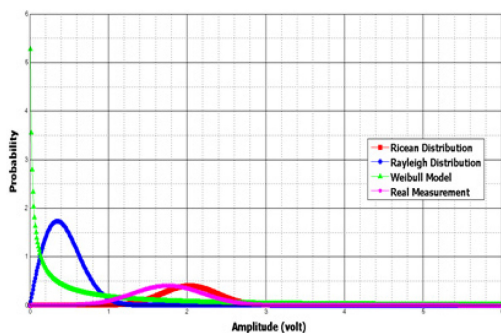
ชื่อแบบจำลอง	ค่าความคลาดเคลื่อน
Okumura Model	58.5097
Ericsson Model	29.2031
Hata Model	19.0053
COST-231 Model	18.9081
Erceg Model	35.8035
Lee Model	20.0348
Okumura Model	58.5097
Ericsson Model	29.2031

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นถึงค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ จากการนำผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบ ชนบทไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการ เลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลอง

ซึ่งจะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการนำผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบชนบทไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของแบบจำลอง COST-231 Model มีค่าน้อยที่สุด ทำให้สามารถสรุปได้ว่าอัตราการลดทอนตามระยะทาง (Path Loss) ที่ได้จากแบบจำลอง COST-231 Model มีความใกล้เคียงกับอัตราการลดทอนตามระยะทางที่เกิดขึ้นจริงและเหมาะสมที่จะนำไปใช้คาดการณ์การลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมแบบชนบทภายในประเทศไทยมากที่สุด

4.2 ผลการทดลองการจางหายของกำลังสัญญาณ

ในส่วนนี้จะเป็นการนำเสนอผลการทดลองการจางหายของกำลังสัญญาณที่ได้จากการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงและการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละสภาวะแวดล้อมที่กำหนด โดยแกนนอนคือขนาดของสัญญาณที่รับได้ และแกนตั้งคือค่าความน่าจะเป็นที่สามารถรับกำลังสัญญาณในระดับนั้นได้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 11. แสดงผลการทดลองการจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมแบบพื้นที่เปิดโล่ง

จากรูปที่ 11 แสดงให้เห็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดลองการจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมแบบพื้นที่เปิดโล่ง ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าการนำผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบพื้นที่เปิดโล่ง

มาพิจารณาร่วมด้วย โดยหลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังสัญญาณ (Amplitude) และโอกาสที่ฝั่งรับจะรับสัญญาณ (Probability) ดังกล่าวได้ พบว่าแนวโน้มของระดับกำลังสัญญาณที่ฝั่งรับนั้นมีโอกาสที่จะรับได้จะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับกำลังสูงสุด และหลังจากนั้นระดับกำลังสัญญาณจะมีการลดลงอย่างต่อเนื่องจนมีค่าเข้าใกล้ 0 โวลต์ ในที่สุด แต่อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ที่ได้ยังไม่สามารถนำไปใช้สรุปและบอกได้ว่าผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของแบบจำลองใดมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงหรือเหมาะสมที่จะนำไปใช้คาดการณ์การจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมแบบพื้นที่เปิดโล่งมากที่สุดได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการคาดการณ์อัตราการจางหายของกำลังสัญญาณจึงจำเป็นที่จะต้องนำอัตราการลดทอนตามระยะทางที่ได้จากการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงไปเปรียบเทียบกับหาค่าความคลาดเคลื่อนกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลองเสียก่อน ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 5

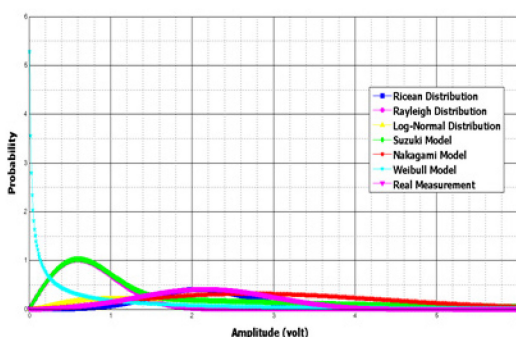
ตารางที่ 5. แสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการนำผลการทดลองการจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมจริงแบบพื้นที่เปิดโล่งไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลอง

ชื่อแบบจำลอง	ค่าความคลาดเคลื่อน
Ricean Distribution	0.0355
Rayleigh Distribution	0.5191
Weibull Model	ไม่สามารถหาค่าได้

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นถึงค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการนำผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบพื้นที่เปิดโล่งไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลอง

ซึ่งจะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการนำผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบพื้นที่เปิดโล่งไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของแบบจำลอง Ricean Distribution มีค่าน้อยที่สุด ทำให้สามารถสรุปได้ว่าอัตราการจางหายของกำลังสัญญาณ (Fading) ที่ได้จากแบบจำลอง Ricean Distribution มีความใกล้เคียงกับอัตราการจางหายของกำลังสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงและเหมาะสมที่จะนำไปใช้คาดการณ์การจางหายของกำลังสัญญาณ ในสภาวะแวดล้อมแบบพื้นที่เปิดโล่งภายในประเทศไทยมากที่สุด

ส่วนผลการทดลองการจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมชุมชนเมือง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12. แสดงผลการทดลองการจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมือง

จากรูปที่ 12 แสดงให้เห็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดลองการจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมือง ซึ่งจากการพิจารณาจะเห็นว่ามีการนำผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบชุมชนเมืองมาพิจารณาร่วมด้วย โดยหลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังสัญญาณ (Amplitude) และโอกาสที่ฝั่งรับจะรับสัญญาณ (Probability) ดังกล่าวได้ พบว่าแนวโน้มของระดับกำลังสัญญาณที่ฝั่งรับนั้นมีโอกาสที่จะรับได้จะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับกำลังสูงสุด และหลังจากนั้นระดับกำลังสัญญาณจะมีการลดลงอย่างต่อเนื่องจนมีค่าเข้าใกล้ 0 โวลต์ ในที่สุด แต่อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ที่ได้ยังไม่สามารถนำไปใช้สรุปและบอกได้ว่าผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของแบบจำลองใดมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงหรือเหมาะสมที่จะนำไปใช้คาดการณ์การจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมืองมากที่สุดได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการคาดการณ์อัตราการจางหายของกำลังสัญญาณจึงจำเป็นต้องนำอัตราการลดทอนตามระยะทางที่ได้จากการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงไปเปรียบเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลองเสียก่อน ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 6

โอกาสที่จะรับได้จะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับกำลังสูงสุด และหลังจากนั้นระดับกำลังสัญญาณจะมีการลดลงอย่างต่อเนื่องจนมีค่าเข้าใกล้ 0 โวลต์ ในที่สุด แต่อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ที่ได้ยังไม่สามารถนำไปใช้สรุปและบอกได้ว่าผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของแบบจำลองใดมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงหรือเหมาะสมที่จะนำไปใช้คาดการณ์การจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมืองมากที่สุดได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการคาดการณ์อัตราการจางหายของกำลังสัญญาณจึงจำเป็นต้องนำอัตราการลดทอนตามระยะทางที่ได้จากการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงไปเปรียบเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลองเสียก่อน ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 6

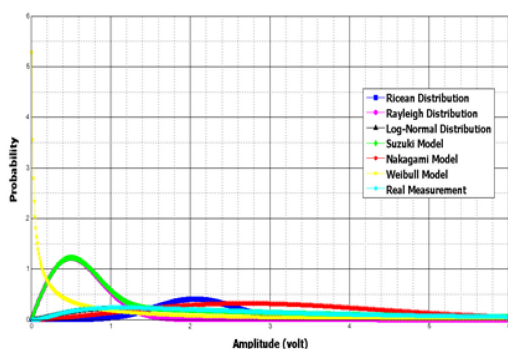
ตารางที่ 6. แสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการนำผลการทดลองการจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมจริงแบบชุมชนเมืองไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลอง

ชื่อแบบจำลอง	ค่าความคลาดเคลื่อน
Ricean Distribution	0.0073
Rayleigh Distribution	0.0075
Log-Normal Fading Model	0.0217
Suzuki Model	0.0158
Nakagami Model	0.0231
Weibull Model	0.0152

จากตารางที่ 6 แสดงให้เห็นถึงค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการนำผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบชุมชนเมืองไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลอง

ซึ่งจะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการนำผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบชุมชนเมืองไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของแบบจำลอง Ricean Distribution มีค่าน้อยที่สุด ทำให้สามารถสรุปได้ว่าอัตราการจางหายของกำลังสัญญาณที่ได้จากแบบจำลอง Ricean Distribution มีความใกล้เคียงกับอัตราการจางหายของกำลังสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงและเหมาะสมที่จะนำไปใช้คาดการณ์การจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมืองภายในประเทศไทยมากที่สุด

ส่วนผลการทดลองการลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมชุมชนเมือง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13. แสดงผลการทดลองการจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมือง

จากรูปที่ 13 แสดงให้เห็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดลองการจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมือง ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าการนำผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบชุมชนเมืองมาพิจารณาพร้อมด้วย โดยหลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังสัญญาณ (Amplitude) และโอกาสที่ฝั่งจะรับสัญญาณ (Probability) ดังกล่าวได้ พบว่าแนวโน้มของระดับกำลังสัญญาณที่ฝั่งรับนั้นมีโอกาสที่จะรับได้จะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับกำลังสูงสุด และ

หลังจากนั้นระดับกำลังสัญญาณจะมีการลดลงอย่างต่อเนื่องจนมีค่าเข้าใกล้โวลต์ ในที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ที่ได้ยังไม่สามารถนำไปใช้สรุปและบอกได้ว่าผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของแบบจำลองใดมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงหรือเหมาะสมที่จะนำไปใช้คาดการณ์การจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมืองมากที่สุดได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการคาดการณ์อัตราการจางหายของกำลังสัญญาณจึงจำเป็นที่จะต้องนำอัตราการลดทอนตามระยะทางที่ได้จากการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงไปเปรียบเทียบกับหาค่าความคลาดเคลื่อนกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลองเสียก่อน ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 7

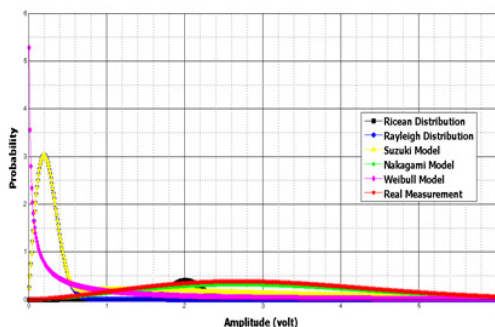
ตารางที่ 7. แสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการนำผลการทดลองการจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมจริงแบบชุมชนเมืองไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลอง

ชื่อแบบจำลอง	ค่าความคลาดเคลื่อน
Ricean Distribution	0.0064
Rayleigh Distribution	0.0044
Log-Normal Fading Model	0.0033
Suzuki Model	0.0039
Nakagami Model	0.0037
Weibull Model	0.0079

จากตารางที่ 7 แสดงให้เห็นถึงค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการนำผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบชุมชนเมืองไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลอง ซึ่งจะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการนำผล

การทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบชนเมืองไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของแบบจำลอง Log-Normal Fading Model มีค่าน้อยที่สุด ทำให้สามารถสรุปได้ว่าอัตราการจางหายของกำลังสัญญาณ (Fading) ที่ได้จากแบบจำลอง Log-Normal Fading Model มีความใกล้เคียงกับอัตราการจางหายของกำลังสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงและเหมาะสมที่จะนำไปใช้คาดการณ์การจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมแบบชนเมืองภายในประเทศไทยมากที่สุด

ส่วนผลการทดลองการลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมชนเมือง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14. แสดงผลการทดลองการจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมแบบชนบท

จากรูปที่ 14 แสดงให้เห็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดลองการจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมแบบชนบท ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าการนำผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบชนบทมาพิจารณา ร่วมกับ โดยหลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังสัญญาณ (Amplitude) และโอกาสที่ฝั่งรับจะรับสัญญาณ (Probability) ดังกล่าวได้ พบว่าแนวโน้มของระดับกำลังสัญญาณที่ฝั่งรับนั้นมีโอกาสที่จะรับได้จะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับกำลังสูงสุด และหลังจากนั้นระดับกำลังสัญญาณจะมีการลดลงอย่างต่อเนื่องจนมีค่าเข้าใกล้ 0 โวลต์ ในที่สุด แต่อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์

ที่ได้ยังไม่สามารถนำไปใช้สรุปและบอกได้ว่าผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของแบบจำลองใดมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงหรือเหมาะสมที่จะนำไปใช้คาดการณ์การจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมแบบชนบทมากที่สุดได้ ดังนั้น เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการคาดการณ์อัตราการจางหายของกำลังสัญญาณจึงจำเป็นที่จะต้องนำอัตราการลดทอนตามระยะทางที่ได้จากการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงไปเปรียบเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลองเสียก่อน ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8. แสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการนำผลการทดลองการจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมจริงแบบชนบทไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลอง

ชื่อแบบจำลอง	ค่าความคลาดเคลื่อน
Ricean Distribution	0.00052
Rayleigh Distribution	0.00035
Suzuki Model	0.0181
Nakagami Model	0.0085
Weibull Model	0.0157

จากตารางที่ 8 แสดงให้เห็นถึงค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการนำผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบชนบทไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลอง ซึ่งจะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการนำผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงแบบชนบทไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของแบบจำลอง Rayleigh Distribution มีค่าน้อยที่สุด ทำให้สามารถสรุปได้ว่าอัตรา

การจางหายของกำลังสัญญาณ (Fading) ที่ได้จากแบบจำลอง Rayleigh Distribution มีความใกล้เคียงกับอัตราการจางหายของกำลังสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงและเหมาะสมที่จะนำไปใช้คาดการณ์การจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมแบบชนบทภายในประเทศไทยมากที่สุด

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สืบเนื่องจากการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองการลดทอนตามระยะทางที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริง รวมทั้งการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองการจางหายของกำลังสัญญาณที่ได้จากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริง ส่งผลให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างการผลทดลองโดยเลียนแบบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแต่ละแบบจำลองกับผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงได้อย่างชัดเจนและสามารถนำมาสรุปเป็นผลการวิจัยรวมทั้งระบุแบบจำลองการลดทอนตามระยะทางและแบบจำลองการจางหายของกำลังสัญญาณที่มีความแม่นยำและเหมาะสมที่จะนำไปใช้พยากรณ์การลดทอนตามระยะทางและการจางหายของกำลังสัญญาณในแต่ละสภาวะแวดล้อมได้ดังตารางที่ 9 และ 10 ตามลำดับดังนี้

ตารางที่ 9. แสดงแบบจำลองที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้พยากรณ์การลดทอนตามระยะทางในสภาวะแวดล้อมต่างๆ

สภาพแวดล้อม	แบบจำลองที่เหมาะสม
พื้นที่เปิดโล่ง	Lee Model
ชุมชนเมือง	Ericsson Model
ชานเมือง	Erceg Model
ชนบท	COST-231 Model

จากตารางที่ 9 แสดงให้เห็นถึงแบบจำลองที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้พยากรณ์การลดทอนตามระยะทางในแต่ละสภาวะแวดล้อม ซึ่งจะเห็นได้ว่าในแต่ละสภาวะแวดล้อมจะมีแบบจำลองที่มีความเหมาะสมแตกต่างกันออกไป อีกทั้งในบางสภาวะแวดล้อมอาจมีแบบจำลองการลดทอนตามระยะทางที่มีความเหมาะสมมากกว่า 1 แบบจำลองอีกด้วย โดยในสภาวะแวดล้อมแบบพื้นที่เปิดโล่งแบบจำลองการลดทอนตามระยะทางที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือ Lee model ส่วนสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมืองแบบจำลองการลดทอนตามระยะทางที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือ Ericsson model ส่วนสภาวะแวดล้อมแบบชานเมืองแบบจำลองการลดทอนตามระยะทางที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือ Erceg model และในสภาวะแวดล้อมแบบชนบทแบบจำลองการลดทอนตามระยะทางที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือ COST-231 model โดยแบบจำลองทั้ง 4 ที่ได้กล่าวในข้างต้นถือเป็นแบบจำลองที่มีผลการทดลองจากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ใกล้เคียงกับผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงมากที่สุด และก่อให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดอีกด้วย

ตารางที่ 10. แสดงแบบจำลองที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้พยากรณ์การจางหายของกำลังสัญญาณในสภาวะแวดล้อมต่างๆ

สภาพแวดล้อม	แบบจำลองที่เหมาะสม
พื้นที่เปิดโล่ง	Ricean Distribution
ชุมชนเมือง	Rayleigh Distribution
ชานเมือง	Nakagami Model
ชนบท	Ricean Distribution

จากตารางที่ 10 แสดงให้เห็นถึงแบบจำลองที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้พยากรณ์การจางหายของกำลังสัญญาณในแต่ละสภาวะแวดล้อม ซึ่งจะเห็นได้ว่าในแต่ละสภาวะแวดล้อมจะมีแบบจำลองที่มีความเหมาะสม

แตกต่างกันออกไป อีกทั้งในบางสภาวะแวดล้อมอาจมีแบบจำลองการจางหายของกำลังสัญญาณที่มีความเหมาะสมมากกว่า 1 แบบจำลองอีกด้วย โดยในสภาวะแวดล้อมแบบพื้นที่เปิดโล่งแบบจำลองการจางหายของกำลังสัญญาณที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือ Ricean Distribution ส่วนสภาวะแวดล้อมแบบชุมชนเมืองแบบจำลองการจางหายของกำลังสัญญาณที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือ Ricean Distribution ส่วนสภาวะแวดล้อมแบบชานเมืองแบบจำลองการจางหายของกำลังสัญญาณที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือ Log-Normal Fading model และในสภาวะแวดล้อมแบบชนบทแบบจำลองการจางหายของกำลังสัญญาณที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือ Rayleigh Distribution โดยแบบจำลองทั้ง 4 ที่ได้กล่าวในข้างต้นถือเป็นแบบจำลองที่มีผลการทดลองจากการเลียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ใกล้เคียงกับผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงมากที่สุด และก่อให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดอีกด้วย

อย่างไรก็ตามผลการวิจัยอัตราการลดทอนตามระยะทางและสรุปแบบจำลองการลดทอนตามระยะทางที่เหมาะสมสำหรับแต่ละสภาวะแวดล้อมในเอกสารฉบับนี้อาจมีความคลาดเคลื่อนกับอัตราการลดทอนตามระยะทางที่เกิดขึ้นในสภาวะแวดล้อมจริงตามแต่ละภูมิภาคภายในประเทศไทยได้ เนื่องจากปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการลดทอนตามระยะทาง เช่น ความหนาแน่นของสิ่งกีดขวาง อุณหภูมิ และความชื้น ในแต่ละภูมิภาคจะมีความแตกต่างกันออกไป ดังนั้นก่อนที่จะทำการทดลองโดยการเลียนแบบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์จึงควรลงไปตรวจสอบพื้นที่ที่จะทำการทดลองและประเมินปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ที่มีโอกาสส่งผลกระทบต่อการรับสัญญาณทั้งหมดเสียก่อน เพื่อที่จะได้กำหนดปริมาณของปัจจัยแวดล้อมแต่ละประเภทบนแบบจำลองที่จะใช้พยากรณ์อัตราการลดทอนตามระยะทางได้อย่าง

เหมาะสมซึ่งจะช่วยส่งผลให้ผลการทดลองที่ได้มีความแม่นยำและใกล้เคียงกับอัตราการลดทอนตามระยะทางที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละสภาวะแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Afric et al., "Methodology of Path Loss Calculation using Measurement Result," 6th EURASIP Conference focused on Speech Image Processing and Multimedia Communication and Services, Maribor, Slovenia, June 27-June 30, pp.257-260, 2007
- [2] M. Alsami et al., "Frequency Analysis of Path Loss Models on WiMAX," 3rd Computer Science and Electronic Engineering Conference (CEECE), Colchester, United Kingdom, 2011.
- [3] L. Yarong et al., "The Research of Path Loss Model Based on WiMAX Wireless Channel," 2nd International Conference on Communication Systems, Damai Beach Resort, Kuching, Malaysia, 2010.
- [4] H. K. Sharma et al., "Survey of propagation Model in Wireless Network," IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol.8, Issue 3, No. 2, pp. 468-472, 2011.
- [5] T. K. Sakar et al., "A Survey of Various Propagation for Mobile Communication," IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 45, No. 3, pp. 51-82, 2003.