

# การทดสอบห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในช่วง ความถี่ 3.5 ถึง 5.5 GHz\*

อาคม แก้วระวัง<sup>1)</sup> วิชัย เปรมชัยสวัสดิ์<sup>2)</sup> วิสิฐศักดิ์ เจริญสุข<sup>3)</sup> และวัยอาจ สายคง<sup>4)</sup>

<sup>1),2)</sup> อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

<sup>3),4)</sup> นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

Email : arkhokm@yahoo.com

## บทคัดย่อ

บทความนี้ เป็นการทดสอบการสะท้อน และการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ของผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Shield Room) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ขอนแก่น นอกจากนี้ ยังได้เปรียบเทียบผลการทดสอบกับในกรณีไม่มีสิ่งกีดขวาง และในกรณีที่มีระนาบที่บ่อลูมิเนียมและระนาบตาข่ายทองเหลือง ผลการทดสอบพบว่า ในช่วงความถี่ 3.5 ถึง 5.5 GHz ที่ระยะสนามไกลของสายอากาศปากแตร ผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีกว่าระนาบทั้งสอง ทุกมุมตกกระทบ และช่วงความถี่ดังกล่าว และยังพบว่าผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดี

**คำสำคัญ :** ห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า, การสะท้อน, การส่งผ่าน

---

\* รับผิดชอบฉบับเมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2548 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 14 พฤศจิกายน 2548

# Testing of Electromagnetic Shield Room at the Frequency Range of 3.5 to 5.5 GHz<sup>\*</sup>

Arkorn Kaewrawang<sup>1)</sup> Wichai Premchaisawat<sup>2)</sup> Wisitsak Charoensuk<sup>3)</sup> and Waiard Saikong<sup>4)</sup>

<sup>1)2)</sup> Lecturer, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002.

<sup>3)4)</sup> Student, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002.

Email : arkhokm@yahoo.com

## ABSTRACT

The objective of this paper is to test the reflection and transmission of the shield room wall at Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University. In addition these results are compared with the case of no object body, the aluminium plane and the net brass plane. The operation frequencies in this paper were range of 3.5 GHz – 5.5 GHz in far field region of horn antenna.

The experimental results show that the shield room wall is the most efficient one among the three cases in terms of the capability in blocking the electromagnetic waves. Moreover, the results also show the shield room wall still performs the reflection of the electromagnetic waves as well as the other two cases.

**Keywords** : electromagnetic shield room, reflection, transmission

---

\* Original manuscript submitted: June 7, 2005 and Final manuscript received: October 14, 2005

## บทนำ

ในการทดลองอุปกรณ์สื่อสารในย่านความถี่วิทยุ และไมโครเวฟจะมีคลื่นจากแหล่งกำเนิดภายนอกเข้ามาบรรจบกันการทดลอง เราจึงจำเป็นต้องมีการป้องกันสัญญาณดังกล่าว เพื่อให้ได้ผลจากการทดลองที่ถูกต้องมากขึ้น ห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำหน้าที่ลดสัญญาณรบกวนจากแหล่งกำเนิดภายนอก โดยเราใช้ห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้ ในการทดสอบเครื่องมือและอุปกรณ์ การออกแบบวงจรดิจิทัลและอิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนี้ยังมีการใช้ห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในการทดลองเกี่ยวข้องกับ การวัดสนามแม่เหล็กที่เกิดจากหัวใจ สมอ และปอดของคน [David cohen 1975.]

จากโครงการร่วมระหว่างภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (KKU) กับมหาวิทยาลัย Florida Atlantic University (FAU) และได้รับการสนับสนุนจาก The Association of Thai Professional in America and Canada สร้างห้องปฏิบัติการ Electromagnetic Compatibility (EMC) ขึ้นมา ซึ่งเป็นห้องทดลองแห่งที่สี่แห่งประเทศไทย เป็นห้องทดลองแห่งที่สองที่จัดตั้งโดยสถาบันการศึกษา ซึ่งเป็นแห่งแรก และแห่งเดียวในภูมิภาค ในบทความนี้จะกล่าวถึงการทดสอบการสะท้อน และการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อเทียบกับแผ่นระนาบอะลูมิเนียมและระนาบตาข่ายทองเหลือง โดยเปลี่ยนมุมตกกระทบจากมุม 0 องศาเป็นมุม 30 และ 60 องศา ในช่วงความถี่ 3.5 ถึง 5.5 GHz ตามลำดับ

## โครงสร้างของห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สร้างจากตระแกรงโลหะทองเหลืองสองชั้น เพื่อให้มีการถ่ายเทของอากาศ โดยกันทั้งหมด 6 ด้าน มีโครงสร้างเป็นไม้ มีประตูเหล็กทึบสำหรับทางเข้า ดังรูปที่ 1(ก) และมีวงจรรองความถี่ฮาร์โมนิกของไฟฟ้ากระแสสลับ ดังรูปที่ 1(ข) ดังนั้นห้องนี้จึงสามารถป้องกันสัญญาณรบกวนที่มาทางอากาศ และที่มาทางสายไฟฟ้าได้ เพื่อทดสอบเครื่องมือและอุปกรณ์ การออกแบบวงจรทางด้านดิจิทัล และอิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้ความถี่สูงตั้งแต่ 1 MHz ขึ้นไป

## วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

### วัสดุอุปกรณ์

กลุ่มทดลองได้เลือกสายอากาศปากแตร (horn antenna) เป็นสายอากาศตัวส่งและรับ โดยให้สายอากาศปากแตรหมายเลข 1 เป็นตัวส่ง มีความกว้างลำ (power pattern) เฉลี่ยเป็น 32 องศา ในช่วงความถี่ 3.5 ถึง 5.5 GHz และสายอากาศปากแตร หมายเลข 2 เป็นตัวรับ มีความกว้างลำเฉลี่ยเป็น 32.33 องศา ในช่วงความถี่เดียวกัน แล้วนำมาติดกับฐานสายอากาศสูง 150 cm ในการวัดค่ากำลังจะใช้ Network analyzer โดยค่าที่วัดได้จะเป็นกำลังของสายอากาศตัวรับต่อตัวส่ง ในหน่วย dB

### วิธีการทดสอบผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

กำหนดให้  $\theta_T$  คือมุมที่สายอากาศตัวส่งทำกับเส้น 0 องศา หรือมุมตกกระทบ และ  $\theta_R$  คือมุมที่สายอากาศตัวรับทำกับเส้น 0 องศาหรือมุมสังเกต วิธีการทดสอบผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีขั้นตอนดังนี้

**ขั้นที่ 1** จากรูปที่ 2(ก) ให้สายอากาศปากแตร หมายเลข 1 เป็นตัวส่งและสายอากาศปากแตร หมายเลข 2 เป็นตัวรับ นำสายอากาศทั้ง 2 มาที่ผนังด้านนอกของห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากนั้นให้สายอากาศตัวส่งทำมุม 0 องศา กับเส้นปกติ นั่นคือ  $\theta_T = 0^\circ$  และห่างจากผนังด้านนอกของห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นระยะ 75 cm (ระยะสนามไกลของสายอากาศปากแตร)

**ขั้นที่ 2** นำสายอากาศปากแตรหมายเลข 2 เป็นตัวรับ มารับที่ผนังด้านนอกของห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นระยะ 75 cm โดยเลื่อนตำแหน่งที่ละ 30 องศา ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา แล้วบันทึกค่าจากมุม 300 องศา จนถึงมุม 60 องศา ที่ความถี่ 3.5 GHz 4.5 GHz และ 5.5 GHz ตามลำดับ

**ขั้นที่ 3** ทำตามขั้นที่ 1 และ 2 แต่ให้สายอากาศตัวรับมาอยู่ที่ด้านในห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แล้วบันทึกค่าจาก 120 โดยเพิ่มขึ้นทีละ 15 องศา จนถึงมุม 240 องศา

**ขั้นที่ 4** ทำตามขั้นที่ 1 ถึง 3 แต่เปลี่ยนตำแหน่งสายอากาศตัวส่งเป็น  $\theta_T$  คือมุมที่สายอากาศตัวส่งทำกับเส้น 0 องศา หรือมุมตกกระทบ  $\theta_R$  คือมุมที่สายอากาศตัวรับทำกับเส้น 0 องศา หรือมุมสังเกต  $\theta_T = 30^\circ$  และ  $\theta_T = 60^\circ$



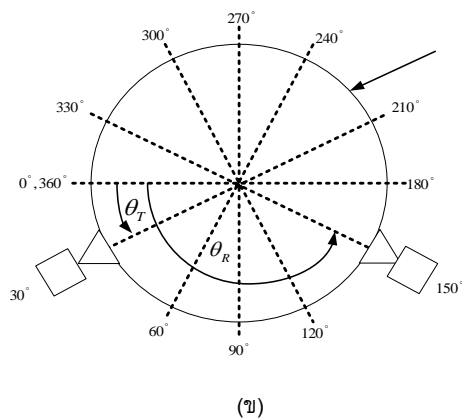
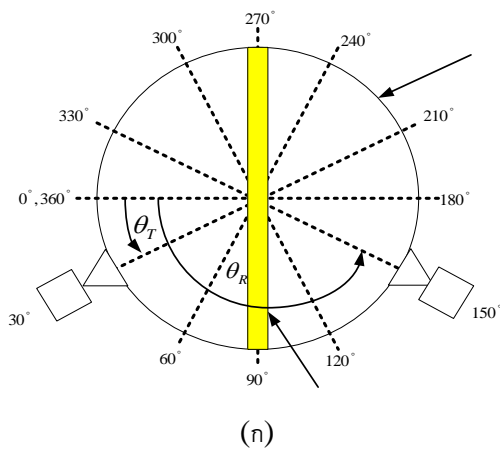
(ก)

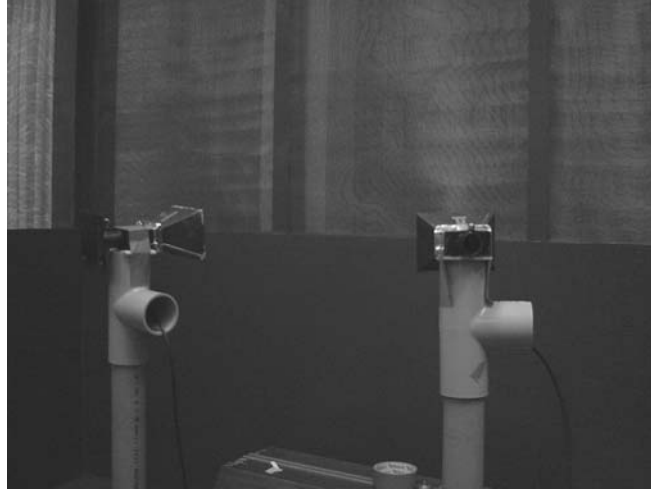


(ข)

**รูปที่ 1** ห้องปฏิบัติการ EMC ของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
(ก) ผังห้องกั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ด้านประตูทางเข้า (ข) ตัวกรองกระแสไฟฟ้า

ส่วนวิธีการทดสอบโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง วิธีการทดสอบโดยใช้ระนาบอะลูมิเนียม และวิธีการทดสอบโดยใช้ระนาบตาข่ายทองเหลือง ขนาด  $1.2 \times 1.2$  m จะทำการทดสอบในห้องเดียวกันกับวิธีการทดสอบผังห้องกั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยแทนผังห้องกั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ด้วยวัตถุตั้งกล่าว





(ค)

### รูปที่ 2 ภาพด้านบนแสดงวิธีการทดสอบ

(ก) ภาพด้านบนของการทดสอบของผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

(ข) ภาพด้านบนของวิธีการทดสอบโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง

(ค) ภาพจริงของการทดสอบผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



สายอากาศปากแตรตัวรับ



สายอากาศปากแตรตัวส่ง

## ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ประสิทธิภาพการกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (shielding effectiveness) จะวัดในรูปของการลดทอนความเข้มสนามแม่เหล็กและ/หรือสนามไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้ว เราจะวัดในหน่วยของเดซิเบล (dB) ประสิทธิภาพการกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (SE) สำหรับสนามไฟฟ้า มีนิยามดังสมการ [Henry W. Ott 1987.]

$$SE_{dB} = 20 \log_{10} \frac{E_0}{E_1} \quad (1)$$

และสำหรับสนามแม่เหล็กเป็น

$$SE_{dB} = 20 \log_{10} \frac{H_0}{H_1} \quad (2)$$

ในสมการข้างต้น  $E_0(H_0)$  เป็นความเข้มสนามตกกระทบ และ  $E_1(H_1)$  เป็นความเข้มสนามส่งผ่านของผนังห้องกันสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สำหรับในบทความนี้ ประสิทธิภาพการกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นประสิทธิภาพการเจาะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากมุมสังเกตเป็นมุมตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา และประสิทธิภาพนี้วัด

ในรูปของกำลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสนามไกล ในการทดสอบสำหรับบทความนี้ เราใช้ Network analyzer แล้วนำไปหาค่ากำลังงานสุทธิ โดยกำหนดค่ากำลังงานสุทธิ คือ ค่ากำลังงานที่วัดได้จากคลื่นกระเจิงเมื่อมีวัตถุตัวนำลบด้วยค่ากำลังงานที่วัดได้เมื่อไม่มีวัตถุ เป็นดังสมการ

$$\left(\frac{P_{net}}{P_0}\right)_{dB} = 10 \log_{10} \left( 10^{0.1 \left(\frac{P_2}{P_0}\right)_{dB}} - 10^{0.1 \left(\frac{P_1}{P_0}\right)_{dB}} \right) \quad (3)$$

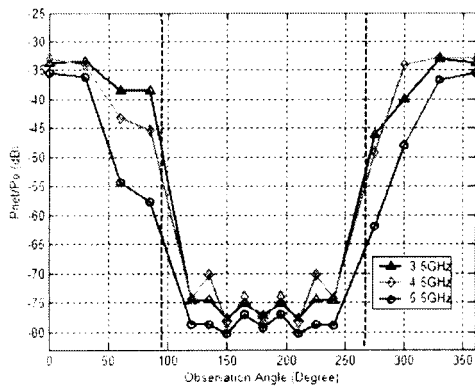
หรือ

$$\left(\frac{P_{net}}{P_0}\right)_{dB} = 10 \log_{10} \left( 10^{0.1 S_{20}(dB)} - 10^{0.1 S_{10}(dB)} \right) \quad (4)$$

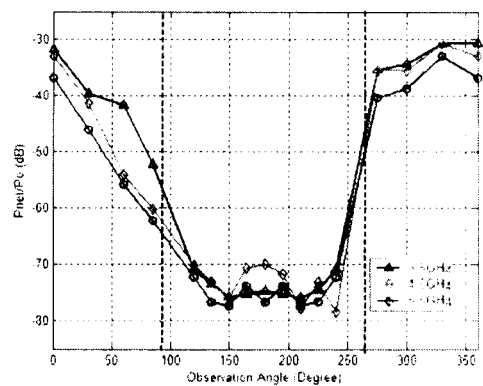
เมื่อค่า  $S_{10} = P_1 / P_0$ ,  $S_{20} = P_2 / P_0$ ,  $P_0$  เป็นค่ากำลังงานของสายอากาศตัวส่ง (W)  $P_1$  เป็นค่ากำลังงานที่วัด เมื่อไม่มีตัวกระเจิงคลื่น (W)  $P_2$  เป็นค่ากำลังงานที่วัดได้ขณะทดลอง เมื่อมีตัวกระเจิงคลื่น (W) และ  $P_{net}$  เป็นค่ากำลังงานสุทธิ (W)

### ผลการทดสอบของการสะท้อนและการส่งผ่านของผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

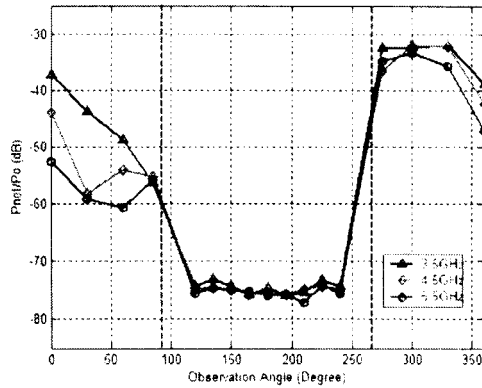
จากรูปที่ 3(ก), (ข) และ (ค) เราจะพบว่าที่มุม  $0^\circ$  ถึง  $90^\circ$  และมุม  $270^\circ$  ถึง  $360^\circ$  สามารถวัดค่ากำลัง (dB) ได้มากกว่าที่มุม  $90^\circ$  ถึงมุม  $270^\circ$  ในทุกมุมตกกระทบและทุกความถี่ที่ทำการทดสอบ เมื่อ มุมตกกระทบเป็น  $0^\circ, 30^\circ$  และ  $60^\circ$  จะเห็นว่ากำลังคลื่นสะท้อนมีมากที่สุดที่มุมของสายอากาศตัวรับเป็น  $0^\circ, 310^\circ$  และ  $300^\circ$  ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามกฎการสะท้อนของคลื่น ในขณะเดียวกัน เมื่อเราพิจารณาการส่งผ่าน พบว่าการส่งผ่านของคลื่นทุกความถี่และทุกมุมของผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีค่าประมาณใกล้เคียงกัน แสดงว่าผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดี แต่จะมีการสะท้อนคลื่น



(ก)



(ข)

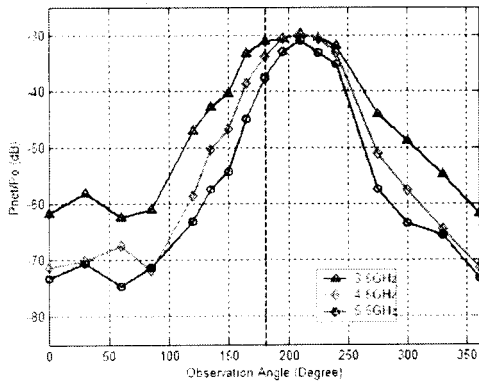


(ค)

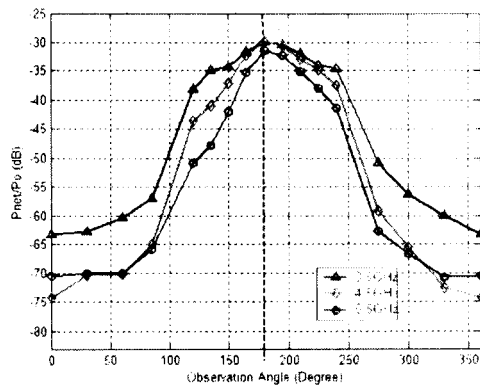
รูปที่ 3 ผลการทดสอบผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความถี่ 3.5 ถึง 5.5 GHz  
 (ก) มุมตกกระทบ 0 องศา (ข) มุมตกกระทบ 30 องศา (ค) มุมตกกระทบ 60 องศา

ผลการทดสอบเมื่อไม่มีสิ่งกีดขวาง

จากรูปที่ 4(ก), (ข) และ (ค) เราจะพบว่า มุมตกกระทบที่ 0°, 30° และ 60° สามารถวัดค่ากำลัง (dB) ได้มากที่สุดที่มุม 180°, 210° และ 240° ตามลำดับ ซึ่งเป็นมุมตรงกันข้ามของสายอากาศตัวส่ง ในทุกความถี่ที่ทำการทดสอบ ในขณะที่เดียวกัน เราสามารถวัดค่ากำลัง (dB) ได้น้อยที่สุดที่มุม 0°, 30° และ 60° ตามลำดับ ซึ่งเป็นมุมที่สายอากาศทั้งสองหันไปในทิศทางเดียวกัน

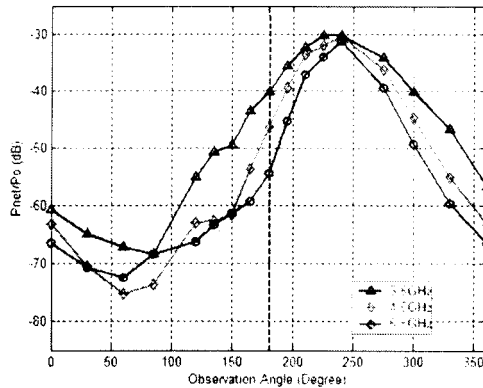


(ก)



(ข)





(ค)

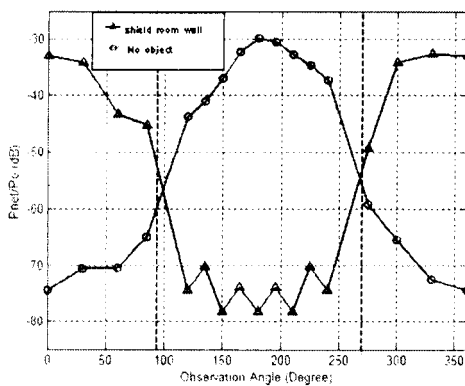
รูปที่ 4 ผลการทดสอบเมื่อไม่มีผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือสิ่งกีดขวางความถี่ 3.5 ถึง 5.5 GHz

(ก) มุมตกกระทบ 0 องศา (ข) มุมตกกระทบ 30 องศา (ค) มุมตกกระทบ 60 องศา

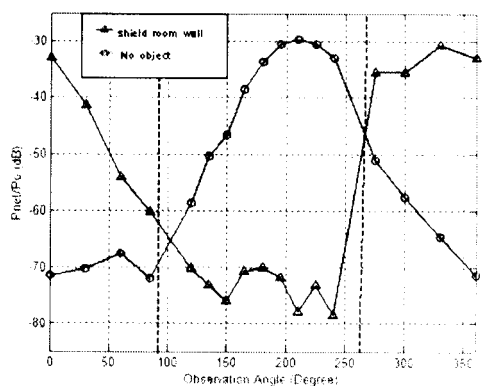
**เปรียบเทียบผลการทดสอบผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และผลการทดสอบโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง**

เมื่อนำกราฟผลทดสอบผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มาเขียนร่วมกับผลการทดสอบโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง การเขียนกราฟที่ความถี่ 4.5 GHz เพียงความถี่เดียว เพราะจากการทดสอบที่ผ่านมาพบว่าที่ความถี่ 3.5 และ 5.5 GHz มีแนวโน้มที่คล้ายกัน ได้ผลดังรูปที่ 5

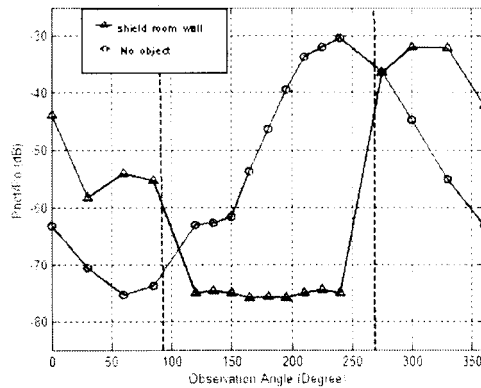
จากการเปรียบเทียบกราฟ พบว่าที่มุมตกกระทบ 0°, 30° และ 60° ค่ากำลังคลื่นส่งผ่านผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า น้อยที่สุด จะใกล้เคียงกับค่ากำลังเมื่อสายอากาศอยู่ตำแหน่งเดียวกัน และหันไปในทิศทางเดียวกันที่ทดสอบโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง ดังนั้นเราสรุปได้ว่าผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถกันคลื่นได้ดี และค่ากำลังสะท้อนมากที่สุดจากผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะใกล้เคียงกับค่ากำลังเมื่อสายอากาศอยู่ตรงข้ามกันที่ทดสอบโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง ดังนั้นเราจึงสามารถสรุปได้ว่าผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถสะท้อนคลื่นได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีภาพ (image theory) [C.A. Balanis, 1989.]



(ก)



(ข)



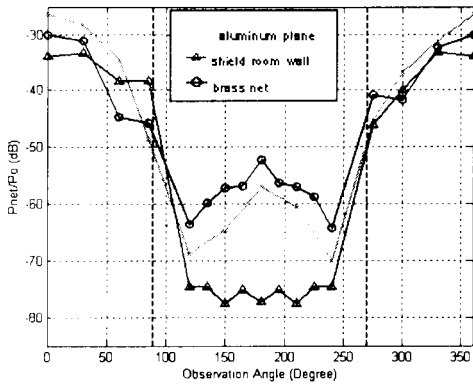
(ค)

รูปที่ 5 เปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและเมื่อไม่มีสิ่งกีดขวาง ที่ความถี่ 4.5 GHz( $\eta$ ) มุมตกกระทบ  $0^\circ$  ( $\theta_i = 0^\circ$ ) (ข) มุมตกกระทบ  $30^\circ$  ( $\theta_i = 30^\circ$ ) (ค) มุมตกกระทบ  $60^\circ$  ( $\theta_i = 60^\circ$ )

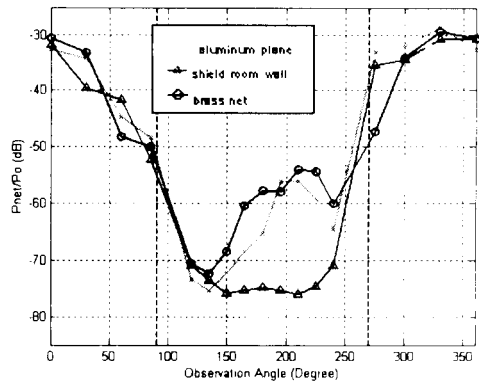
### เปรียบเทียบผลการทดสอบผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และผลการทดสอบระนาบที่บอละลูมิเนียม และระนาบตาข่ายทองเหลือง

ในหัวข้อนี้ เราจะเปรียบเทียบการสะท้อน และการส่งผ่านของผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับระนาบที่บอละลูมิเนียม และระนาบตาข่ายทองเหลือง โดยมีขนาด  $1.2 \times 1.2$  m ซึ่งเป็นขนาดใหญ่เพียงพอที่จะสามารถทะลุถึงผลจากการเลี้ยวเบนของคลื่นได้ เพราะว่า สายอากาศปากแตรทั้งตัวส่งและรับ มีความกว้างลำ (power pattern) เฉลี่ยเป็น 32 องศา ในขณะที่มุมที่ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนได้ (มุมจากเส้นขอบระนาบด้านหนึ่งกระทำกับสายอากาศ ไปยังเส้นขอบระนาบอีกด้านหนึ่งกระทำกับสายอากาศ) เป็น 77.3 องศา ผลการทดลอง ในการเปลี่ยนมุมตกกระทบของสายอากาศตัวส่ง ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 6

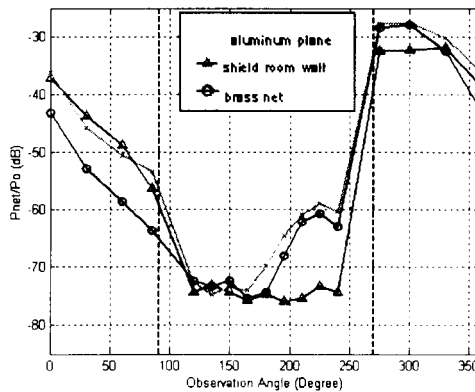
เมื่อระนาบตกกระทบเป็นระนาบที่บอละลูมิเนียมและตาข่ายทองเหลือง เมื่อเปลี่ยนแปลงมุมตกกระทบของสายอากาศเป็น  $0^\circ$ ,  $30^\circ$  และ  $60^\circ$  ดังรูปที่ 6(ก), (ข) และ (ค) จะได้ค่ากำลังงานคลื่นสะท้อนสูงสุดที่ด้านหน้าของระนาบที่มุม 0, 330 และ 300 องศา ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับกฎการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า [C.A. Balanis, 1989.] ส่วนค่ากำลังคลื่นส่งผ่านสูงสุดทางด้านหลังของระนาบที่มุม 180, 205 และ 216 องศา ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับกฎการหักเหของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า [C.A. Balanis, 1989.] สำหรับการสะท้อนของคลื่นจากผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะให้ผลใกล้เคียงกับโลหะอื่นๆ แต่การส่งผ่านจะน้อยกว่าระนาบโลหะอื่น ๆ ทุกมุมตกกระทบ



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 6 ผลการทดสอบการกระเจิงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบบนโลหะ ที่ความถี่ 3.5 GHz และระยะ 75 cm  
(ก) มุมตกกระทบบ 0 องศา (ข) มุมตกกระทบบ 30 องศา (ค) มุมตกกระทบบ 60 องศา

### สรุปผล

ห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น สามารถกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดี ทุกมุมตกกระทบบ ในช่วงความถี่ประมาณ 3.5 ถึง 5.5 GHz โดยผลต่างของค่าสูงสุดของกำลังงานเนื่องจากการสะท้อน กับค่าต่ำสุดของกำลังงานเนื่องจากการส่งผ่านประมาณ 45 dB อย่างไรก็ตาม พบว่าผนังห้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีเช่นกัน ในช่วงความถี่ดังกล่าว

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์สายอากาศปากแตร

## เอกสารอ้างอิง

- C.A. Balanis, **Advanced Engineering Electromagnetics**, John Wiley & Sons inc., USA., 1989.  
David cohen, **Measurements of the Magnetic fields produce by the Human Heart, Brain and Lungs**, IEEE Transactions on Magnetic, vol.Mag-11, No. 2, March. 1975.  
Henry W. Ott, **Noise Reduction Techniques in Electronic Systems**, 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Sons inc., USA., 1987.