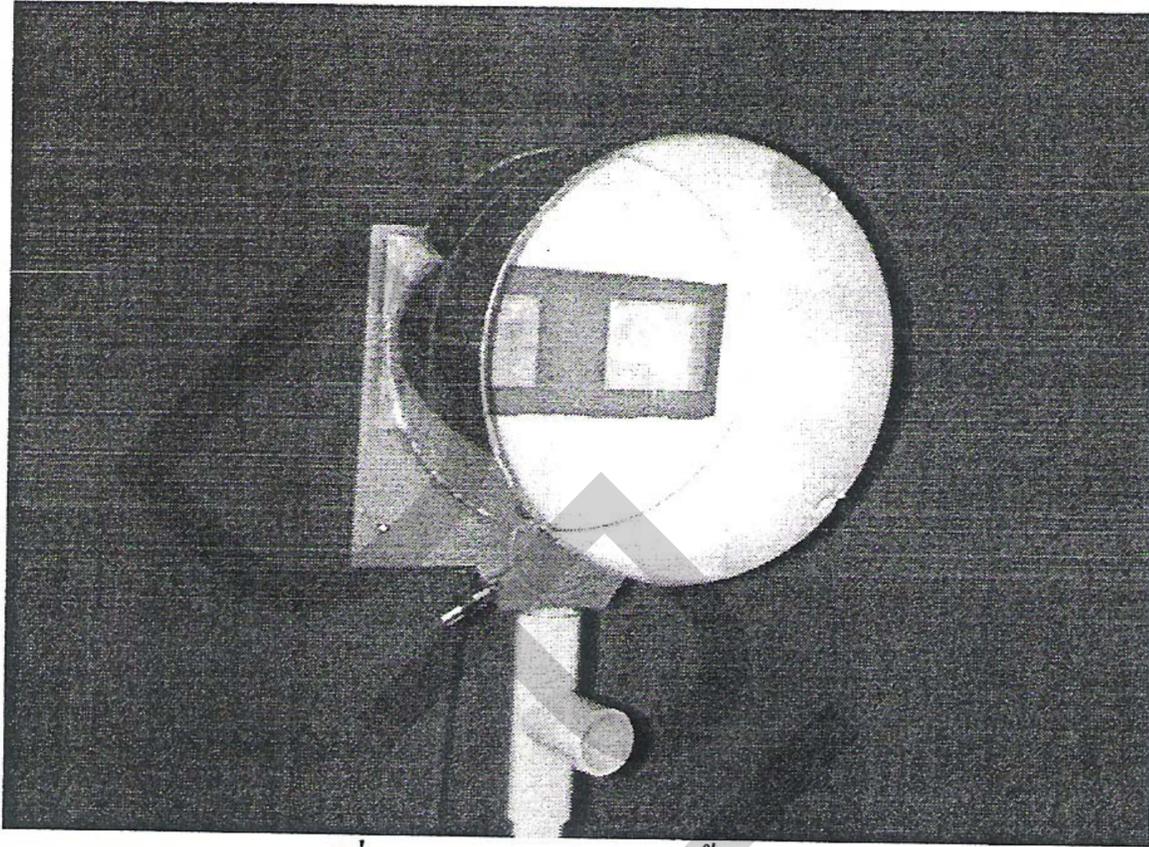


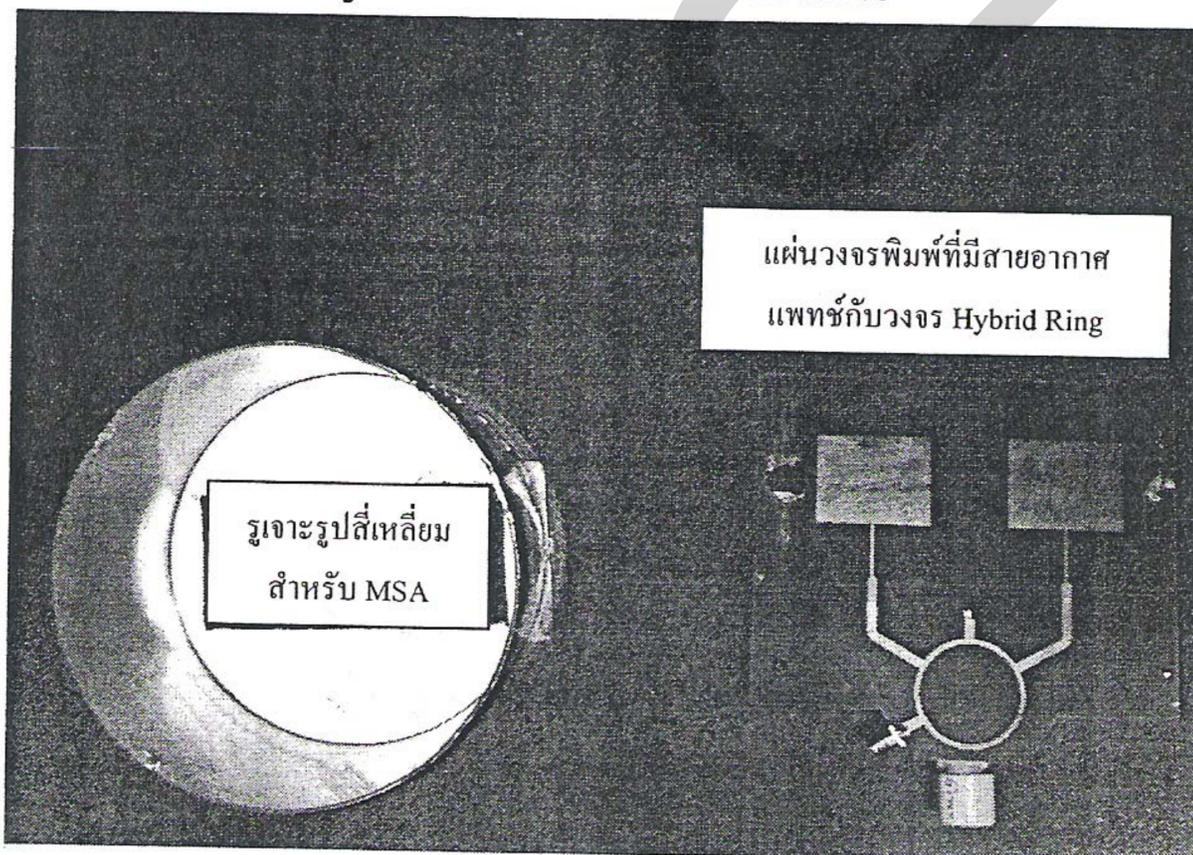
บทที่ 4

ผลการทดสอบ

จากการคำนวณและออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ ของงานวิจัยดังกล่าวไว้ในบทที่ 3 แล้ว ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างชิ้นงานขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ทั้งนี้เพื่อเป็นการยืนยันผลการออกแบบและการสร้างอย่างถูกต้อง ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบชิ้นงานที่ได้ออกแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ADS (Advanced Design System) ของบริษัท Hewlett-Packard เพื่อเป็นการเปรียบเทียบ



รูปที่ 4.1 ภาพด้านหน้าของชิ้นงานวิจัย



รูปที่ 4.2 ภาพด้านหลังของชิ้นงานวิจัยและแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีสายอากาศแพทช์กับ Hybrid Ring

ผลที่ได้รับจากการทดสอบชิ้นงานจริงในทางปฏิบัติ โดยโปรแกรม ADS นี้เป็นโปรแกรมระดับสากลที่ได้รับการยอมรับและถูกนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายโดยนักวิจัยจำนวนมากทั่วโลก

ผลการทดสอบที่จะนำเสนอถูกแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อหลัก คือ ผลการทดสอบที่ได้รับจากการจำลองชิ้นงานเชิงทฤษฎีด้วยโปรแกรม ADS และผลการทดสอบที่ได้จากการวัดจริงในทางปฏิบัติ โดยผลการทดสอบจากการจำลองชิ้นงานเชิงทฤษฎีด้วยโปรแกรม ADS จะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 3.1 มีดังนี้

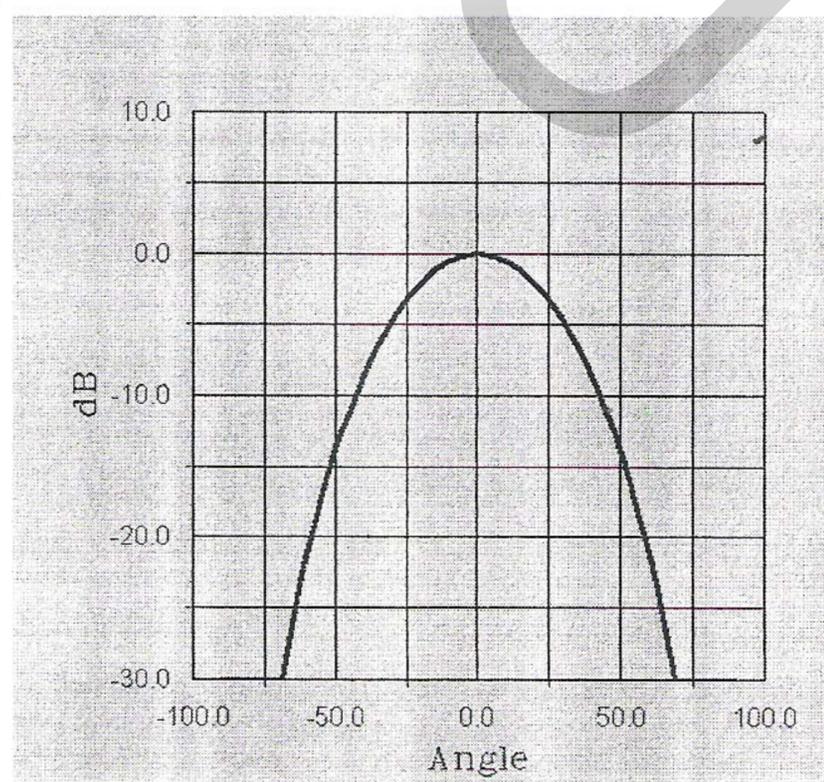
1. แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) ของ Sum Beam
2. แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ Delta Beam
3. ค่า Return Loss ของ Sum Port
4. ค่า Return Loss ของ Delta Port
5. ค่า Isolation (หรือค่า Decoupling) ระหว่าง Sum Port และ Delta Port

รวมถึง ผลการทดสอบจากการวัดจริงในทางปฏิบัติจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 3.2 มีดังนี้

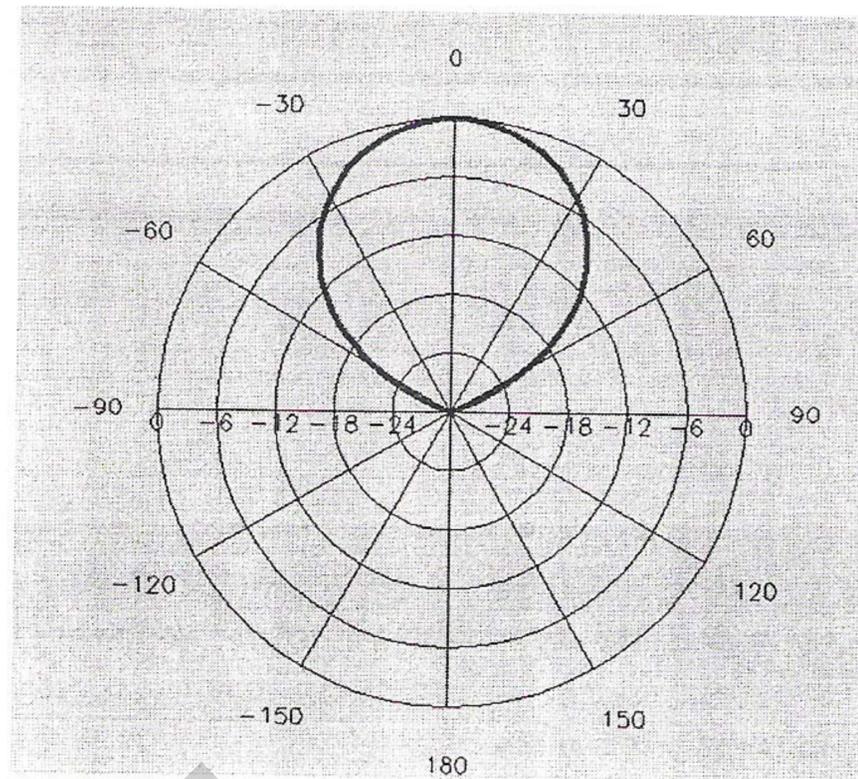
1. แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ Sum Beam
2. แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ Delta Beam
3. ค่า Return Loss ของ Sum Port ที่ได้จากทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ
4. ค่า Return Loss ของ Delta Port ที่ได้จากทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ
5. ค่า Isolation ระหว่าง Sum Port และ Delta Port ที่ได้จากทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ

4.1 ผลการทดสอบจากการจำลองชิ้นงานเชิงทฤษฎีด้วยโปรแกรม ADS

4.1.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ Sum Beam



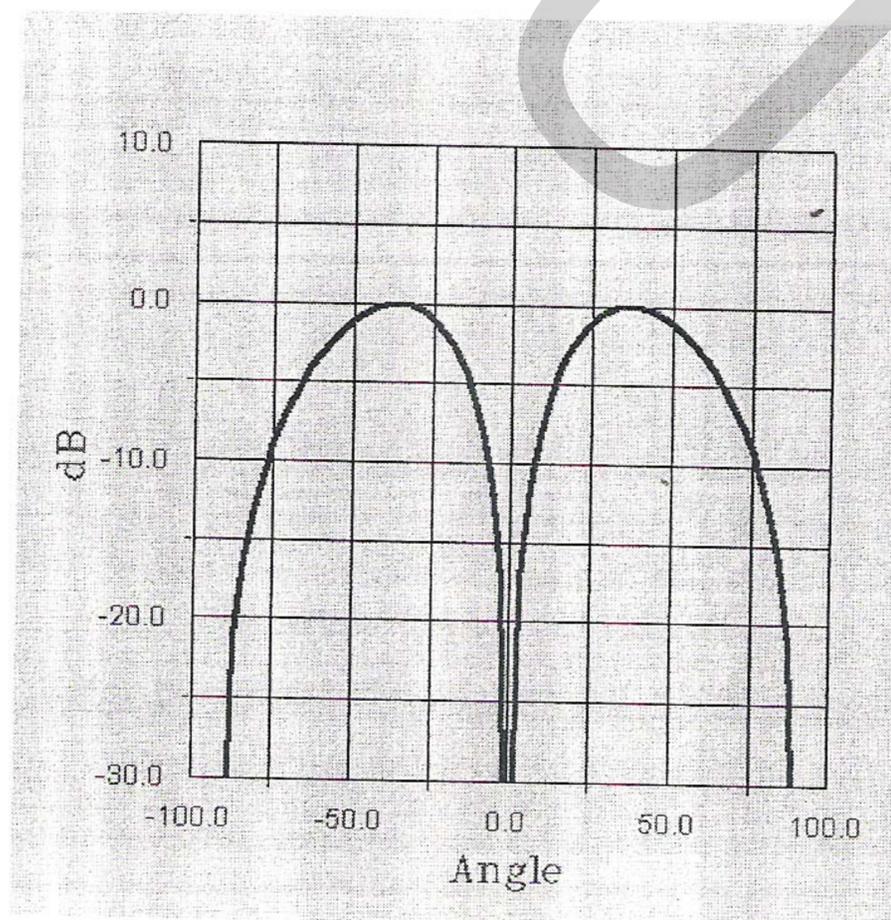
รูปที่ 4.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ Sum Beam ในระนาบ xz ของสายอากาศ



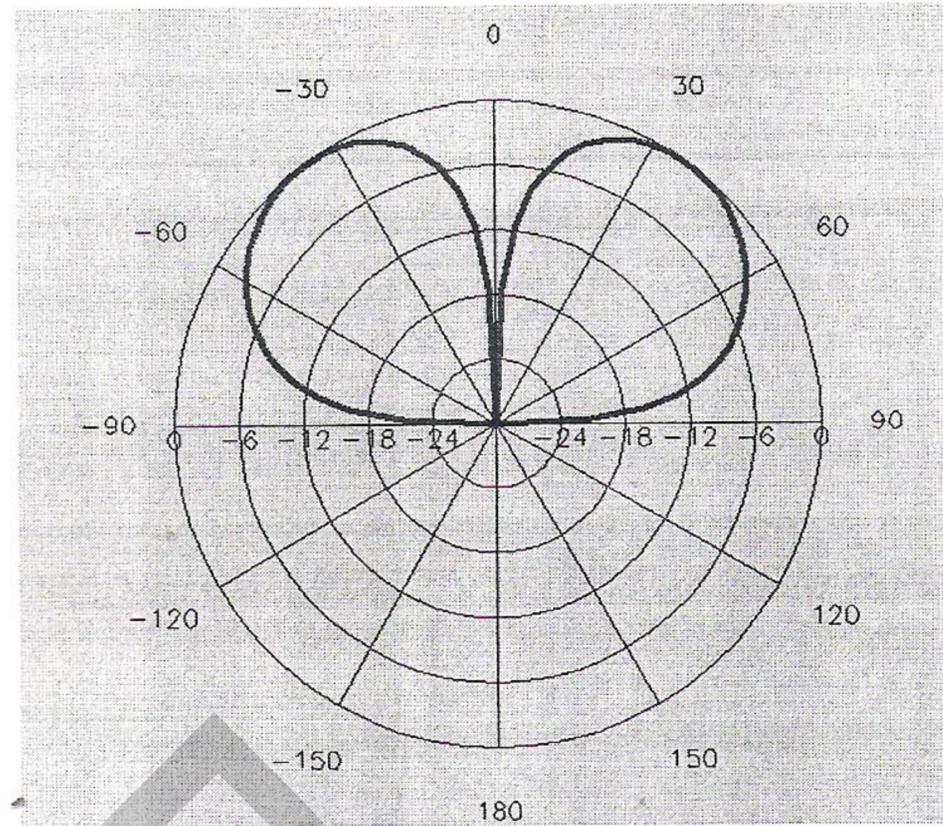
รูปที่ 4.4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ Sum Beam ในระนาบ yz ของสายอากาศ

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 นั้นแสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ Sum Beam ในระนาบ xz และ yz ของสายอากาศ ตามลำดับ โดยพิจารณาว่าระนาบ xy เป็นระนาบที่ขนานกับปากเปิดของสายอากาศที่นำคลื่นทรงกระบอก จากรูปที่ 4.1 พบว่า ค่าความกว้างลำคลื่นกำลัง (Half Power Beam Width หรือ HPBW) ของ Sum Beam มีค่าประมาณ 50° โดยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ได้รับนี้เกิดขึ้นที่พอร์ต 4 ของวงจรไฮบริดวงแหวน 180° (Sum Port)

4.1.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ Delta Beam



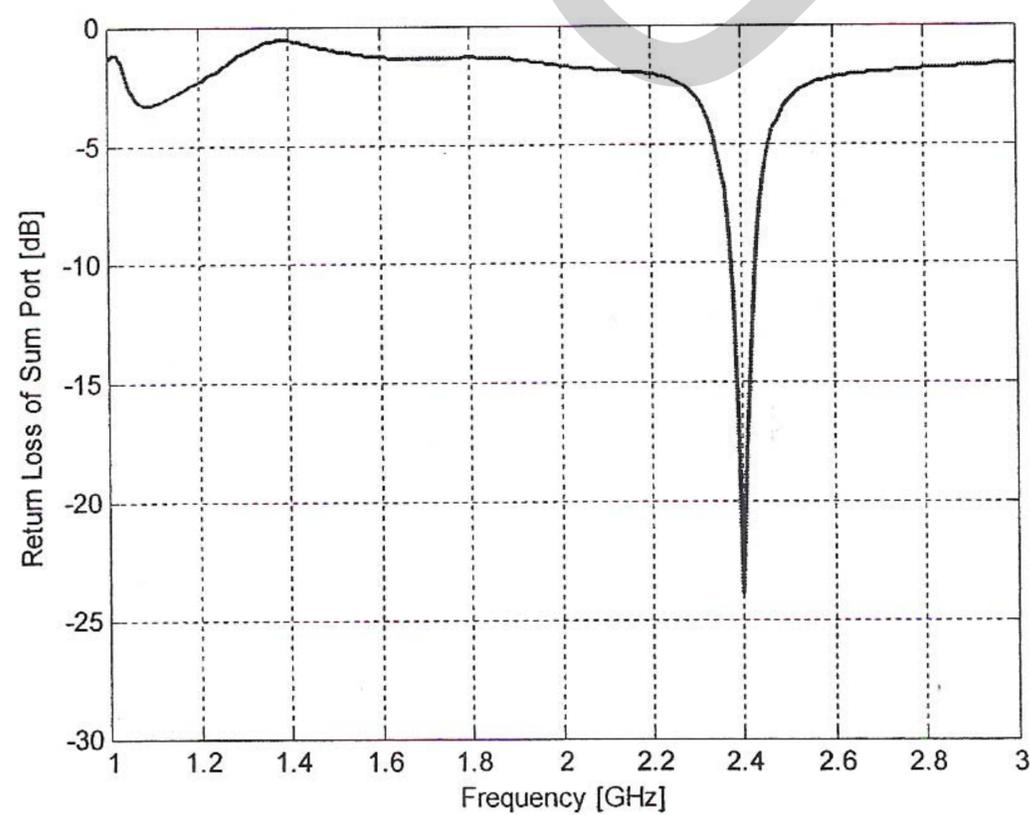
รูปที่ 4.5 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ Delta Beam ในระนาบ yz ของสายอากาศ



รูปที่ 4.6 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ Delta Beam ในระนาบ xz ของสายอากาศ

จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 นั้นแสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ Delta Beam ในระนาบ xz และ yz ของสายอากาศ ตามลำดับ โดยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ได้รับนี้เกิดขึ้นจากการวัดที่พอร์ต 1 ของวงจรไฮบริดวงแหวน 180° (Delta Port) จากรูปที่ 4.3 พบว่า ค่าความกว้าง ลำคลื่นกำลัง (HPBW) ทั้ง 2 ข้างของ Delta Beam มีค่าประมาณ 43° ($58^\circ-15^\circ$) และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ Delta Beam ที่ได้รับนี้มีความสมมาตรกันทั้งทางบีมซ้ายและบีมขวา

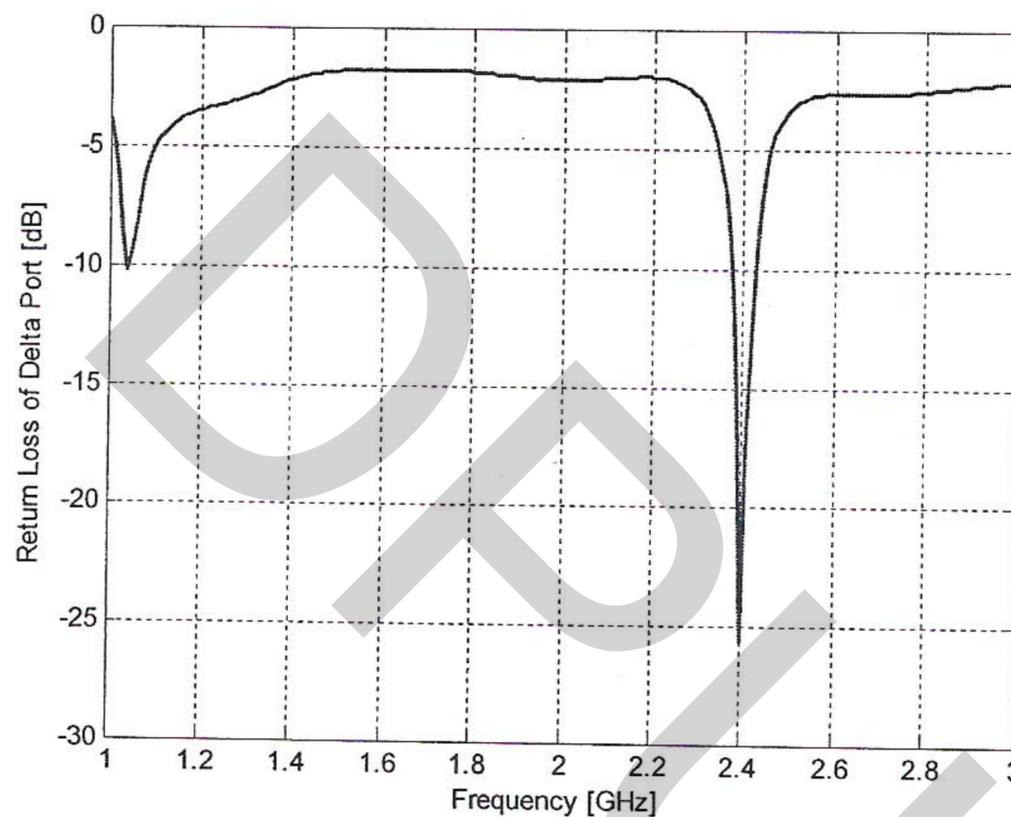
4.1.3 ค่า Return Loss ของ Sum Port ของวงจรไฮบริดวงแหวน 180°



รูปที่ 4.7 ค่า Return Loss ของ Sum Port ในทางทฤษฎีของวงจรไฮบริดวงแหวน 180°

รูปที่ 4.7 แสดงค่า Return Loss ของ Sum Port ที่ได้รับในทางทฤษฎีจากการใช้โปรแกรม ADS โดยค่า Return Loss หรือค่า S_{11} ที่ได้รับมีค่าประมาณ -24 dB ซึ่งถือว่าสายอากาศไมโครสตริปแบบแพทช์และสายป้อนสัญญาณไมโครสตริปแมทซ์เป็นอย่างดีกับวงจรไฮบริดวงแหวน 180° ทำให้มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสะท้อนย้อนกลับเข้าพอร์ต 4 ของวงจรไฮบริดวงแหวน 180° น้อยมาก ทั้งนี้ ในทางปฏิบัติ ค่า Return Loss ควรมีค่าต่ำกว่า -10 dB (ยังมีค่าต่ำกว่า -10 dB มากเท่าใด ยิ่งแสดงว่ามีคลื่นสะท้อนย้อนกลับเข้าวงจรมีน้อยมากเท่านั้น)

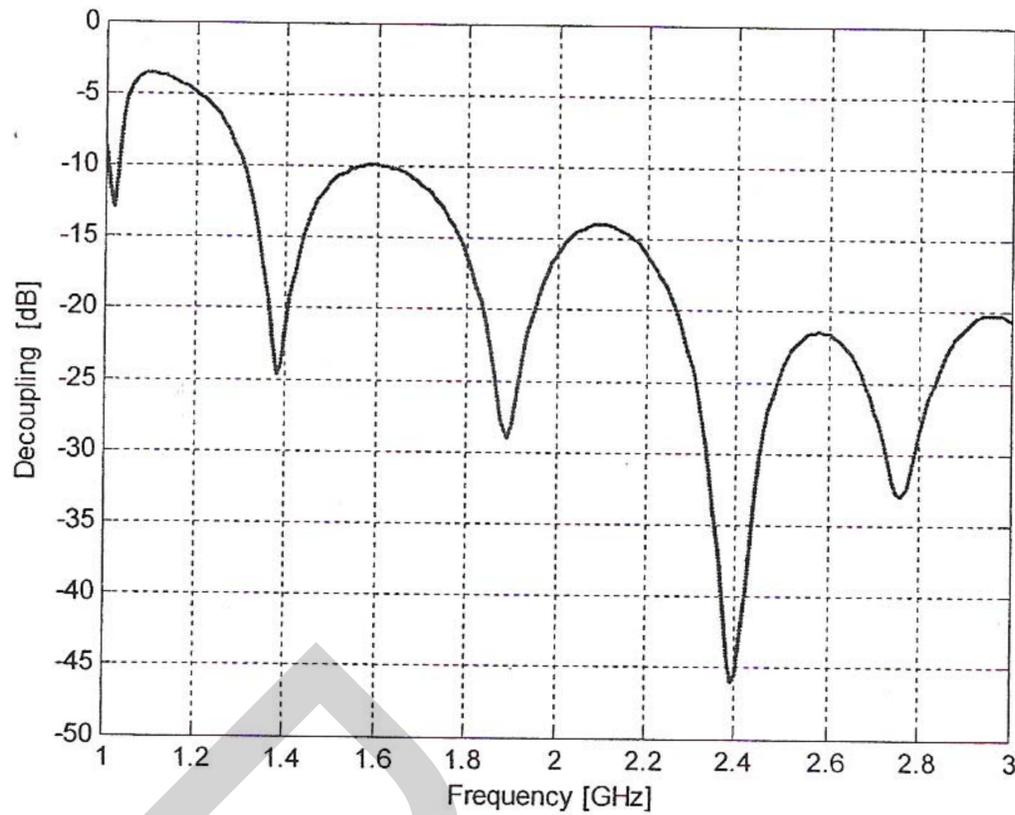
4.1.4 ค่า Return Loss ของ Delta Port ของวงจรไฮบริดวงแหวน 180°



รูปที่ 4.8 ค่า Return Loss ของ Delta Port ในทางทฤษฎีของวงจรไฮบริดวงแหวน 180°

จากรูปที่ 4.8 แสดงค่า Return Loss ของ Delta Port ที่ได้รับในทางทฤษฎีจากการใช้โปรแกรม ADS โดยค่า Return Loss ที่ได้รับมีค่าประมาณ -26 dB ซึ่งถือว่าสายอากาศไมโครสตริปแบบแพทช์และสายป้อนสัญญาณไมโครสตริปแมทซ์เป็นอย่างดีกับวงจรไฮบริดวงแหวน 180° ทำให้มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสะท้อนย้อนกลับเข้าพอร์ต 1 ของวงจรไฮบริดวงแหวน 180° น้อยมาก

4.1.5 ค่า Isolation ระหว่าง Sum Port และ Delta Port



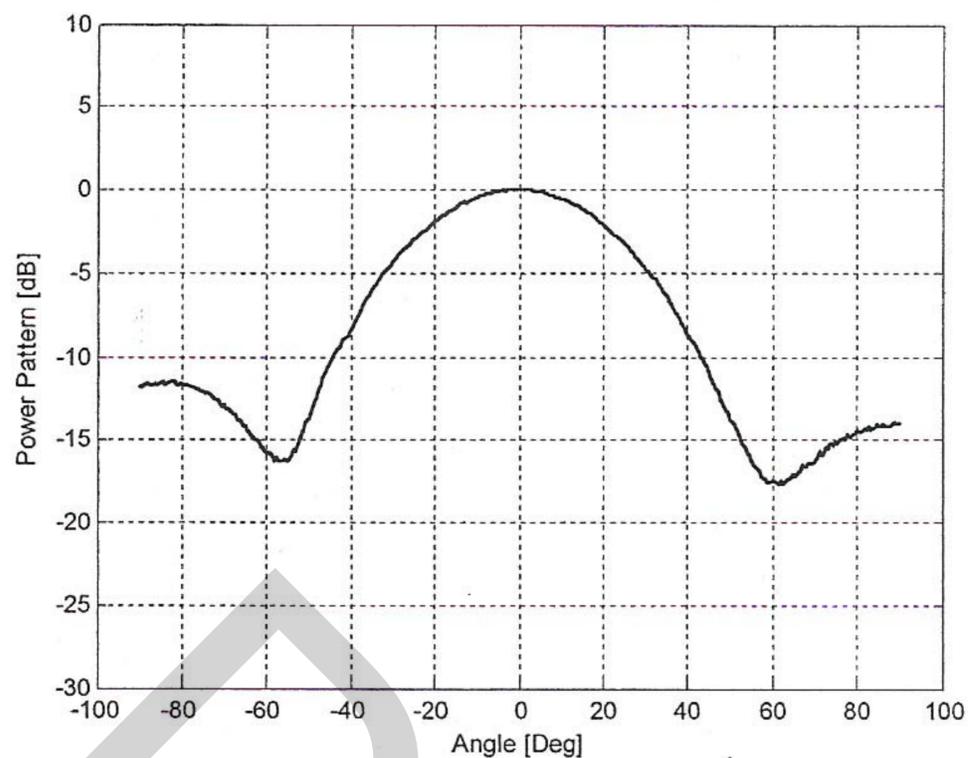
รูปที่ 4.9 ค่า Isolation ระหว่าง Sum Port และ Delta Port ในทางทฤษฎีของไฮบริดวงแหวน 180°

จากการที่งานวิจัยนี้ต้องใช้วงจรไฮบริดวงแหวน 180° จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาค่า Isolation หรือค่า Decoupling ระหว่างพอร์ต 4 (Sum Port) และพอร์ต 1 (Delta Port) ของวงจรไฮบริดวงแหวน 180° เพื่อเป็นการพิจารณาว่า Sum Port และ Delta Port นั้นอิสระต่อกันอย่างสมบูรณ์หรือไม่ กล่าวคือ สัญญาณที่เข้า Sum Port จะต้องไม่เดินทางไปเข้า Delta Port โดยเด็ดขาด ทำให้สัญญาณที่ได้รับ ณ Sum Port จะมีเฟสเท่ากับ 0° และสัญญาณที่ได้รับ ณ Delta Port จะมีเฟสเท่ากับ 180° รวมถึงผลต่างของเฟสที่ได้รับ Sum Port และ Delta Port จึงมีค่าเท่ากับ 180° โดยสมบูรณ์ ในที่นี้ ผู้วิจัยไม่ได้แสดงค่าเฟสของสัญญาณที่ได้รับจาก Sum Port และ Delta Port เพราะถือว่าหลักการที่กล่าวข้างต้นนี้เป็นจริงเสมอสำหรับการใช้งานวงจรไฮบริดวงแหวน 180° (ยิ่งค่า Isolation ระหว่าง Sum Port และ Delta Port มีค่าต่ำมากเท่าใด ยิ่งแสดงให้เห็นว่าวงจรไฮบริดวงแหวน 180° ที่ได้ออกแบบใช้งานมีคุณภาพที่ดีต่อการใช้งานมากขึ้นเท่านั้น)

จากรูปที่ 4.9 แสดงค่า Isolation ระหว่าง Sum Port และ Delta Port ในทางทฤษฎีของวงจรไฮบริดวงแหวน 180° พบว่า มีค่าประมาณ -46 dB ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ต่ำมาก ย่อมแสดงให้เห็นว่า Sum Port และ Delta Port ของวงจรไฮบริดวงแหวน 180° ที่ได้นำเสนอเพื่อใช้งานร่วมกับสายอากาศไมโครสตริปแบบแพทช์และสายป้อนสัญญาณไมโครสตริปมีความอิสระต่อกันสมบูรณ์ และมีเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะสร้างขึ้นใช้งานจริงในงานวิจัยนี้

4.2 ผลการทดสอบจากการวัดชิ้นงานจริงในทางปฏิบัติ

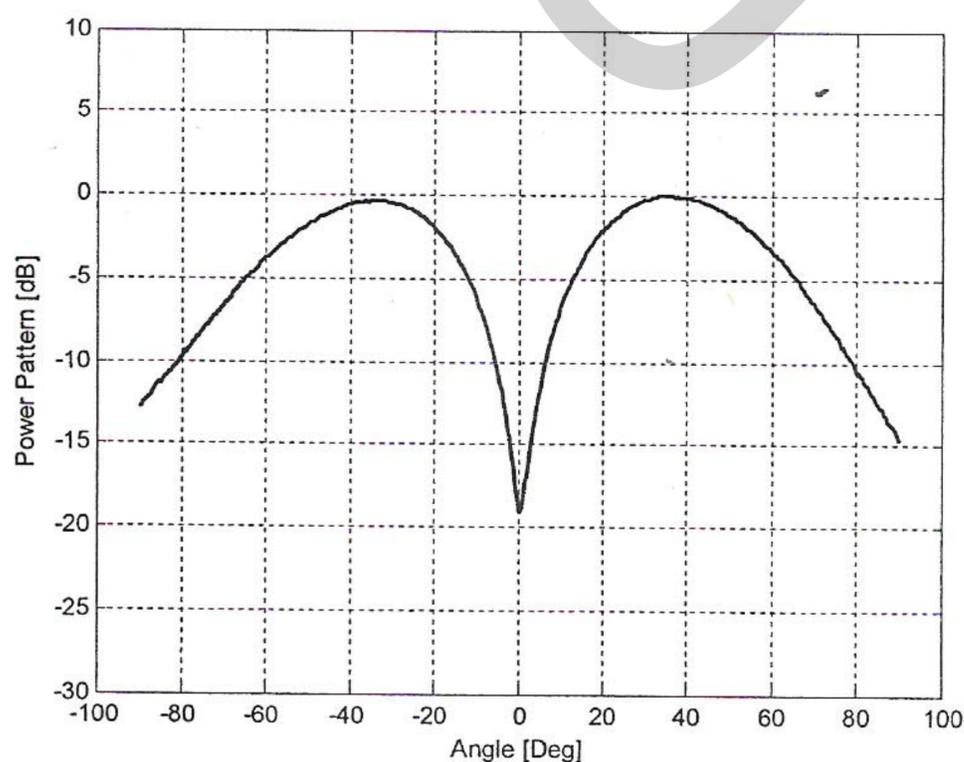
4.2.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ Sum Beam



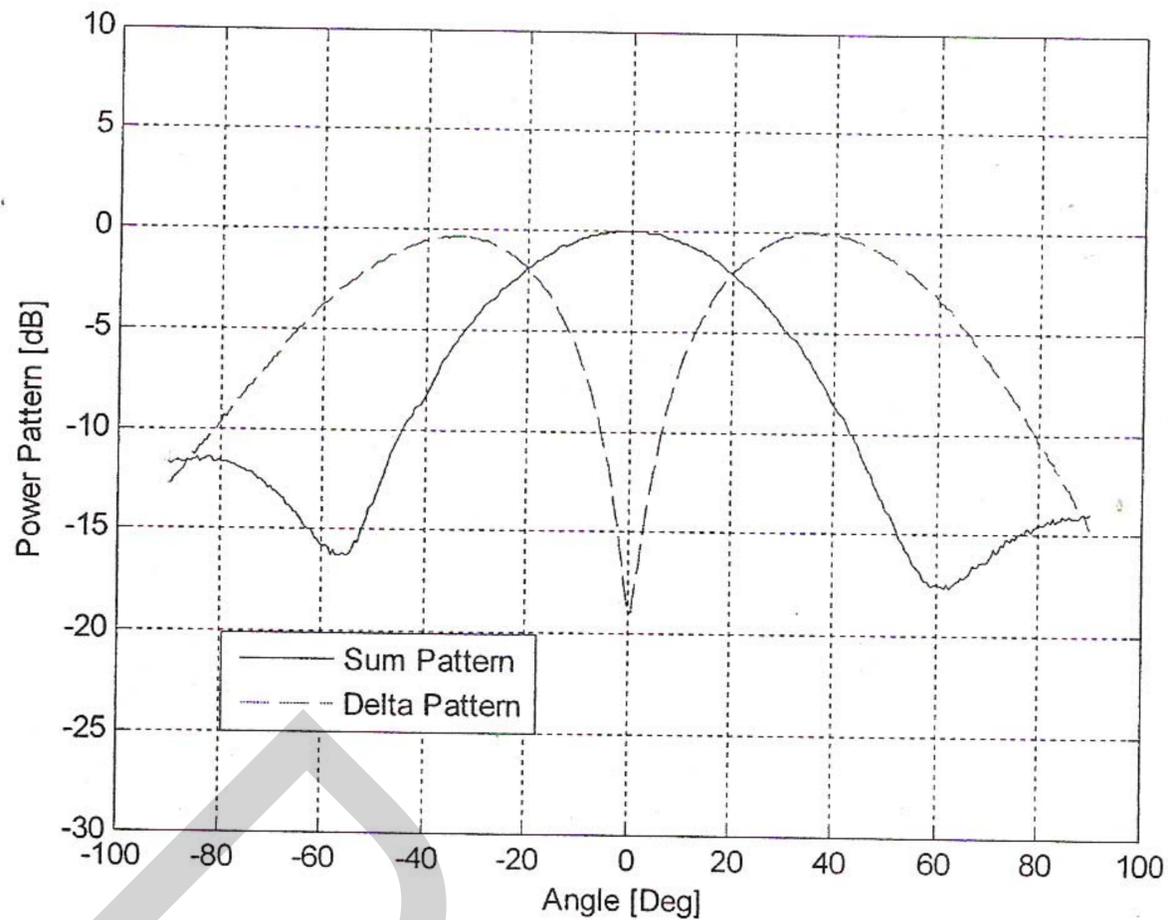
รูปที่ 4.10 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ Sum Beam

รูปที่ 4.10 นี้แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ Sum Beam ที่ได้รับจากการวัดชิ้นงานจริงที่พอร์ต 4 ของวงจรไฮบริดวงแหวน 180° (Sum Port) พบว่า ค่าความกว้างลำคลื่นกำลัง (HPBW) ของ Sum Beam มีค่าประมาณ 50° ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า HPBW ในทางทฤษฎีที่ได้รับจากการใช้โปรแกรม ADS

4.2.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ Delta Beam



รูปที่ 4.11 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ Delta Beam



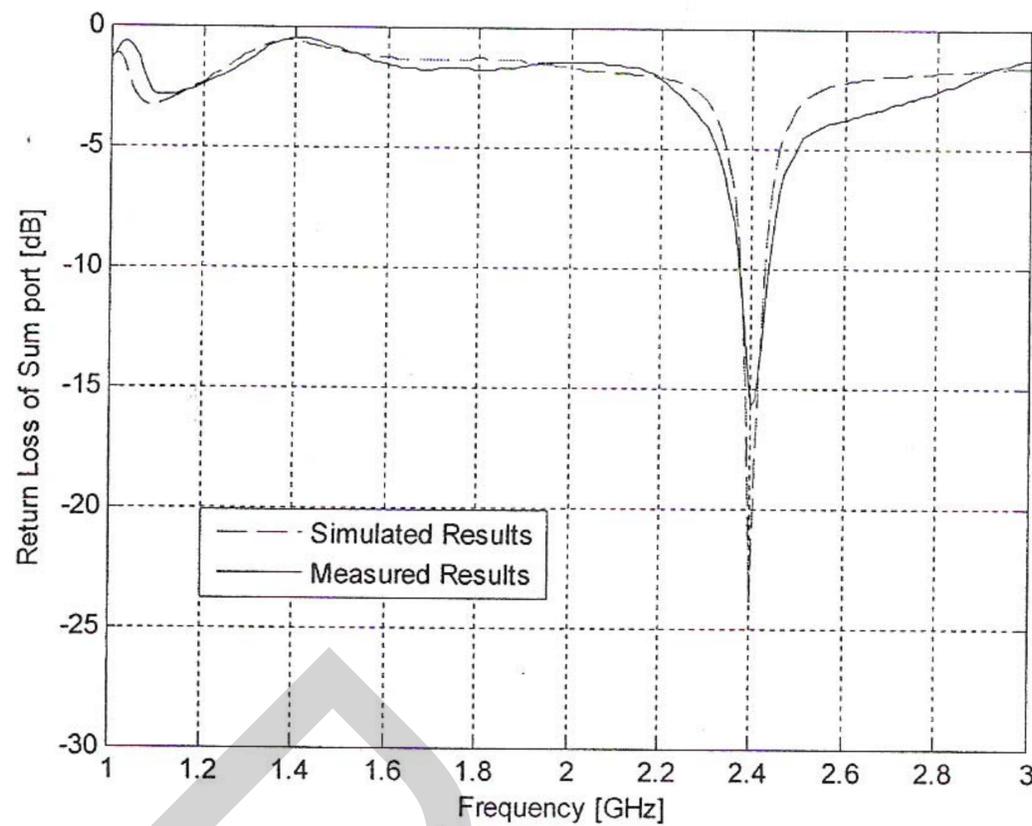
รูปที่ 4.12 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ Sum Beam กับ Delta Beam

จากการวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ Delta Beam ที่พอร์ต 1 (Delta Port) ของวงจรไฮบริดวงแหวน 180° ในทางปฏิบัติ พบว่า ค่าความกว้างลำคลื่นกำลัง (HPBW) ทั้ง 2 ข้างของ Delta Beam มีค่าประมาณ 43° ($58^\circ - 15^\circ$) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า HPBW ในทางทฤษฎีที่ได้รับจากการใช้โปรแกรม ADS และระดับลึกของนัล (Null Depth) ที่ได้รับของ Delta Beam มีค่าประมาณ -19 dB ดังแสดงในรูปที่ 4.11 อีกทั้ง แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ Delta Beam ที่ได้รับนี้มีความสมมาตรกันเป็นอย่างดีทั้งทางด้านซ้ายและขวาของลำปริม ซึ่งนับว่าสายอากาศที่ออกแบบและสร้างขึ้นมานี้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการตรวจจับและติดตามวัตถุใด ๆ ได้อย่างแม่นยำ [4] แทนสายอากาศฮอร์นที่ใช้วิธีการตรวจจับและติดตามดาวเทียมแบบโมโนพัลส์ (Monopulse Tracking) ของระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมแบบเดิมได้ [5] – [9] กล่าวคือ

1. เมื่อค่ายอด (Peak) ของ Sum Beam ตรงกับนัลของ Delta Beam ดังในรูปที่ 4.12 ผลต่างของเฟสที่ได้รับจาก Sum Port และ Delta Port จะมีค่าเท่ากับ 180° ย่อมแสดงว่า สายอากาศเล็งตรงกับวัตถุที่ต้องการตรวจจับและติดตาม

2. แต่ถ้านัลของ Delta Beam ไม่ตรงกับค่ายอดของ Sum Beam ผลต่างของเฟสที่ได้รับจาก Sum Port และ Delta Port จะมีค่าไม่เท่ากับ 180° ย่อมแสดงว่า สายอากาศเล็งไม่ตรงกับวัตถุที่ต้องการตรวจจับและติดตาม ซึ่งถ้ามีการออกแบบวงจร Tracking Receiver เพิ่มเติมเชื่อมต่อกับพอร์ต 1 และพอร์ต 4 ของวงจรไฮบริดวงแหวน 180° เราก็สามารถจะหมุนหรือขยับสายอากาศในแนวอะซิมูทเพื่อที่จะทำให้สายอากาศเล็งตรงกับวัตถุที่ต้องการตรวจจับและติดตามได้

4.2.3 ค่า Return Loss ของ Sum Port ที่ได้จากทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ

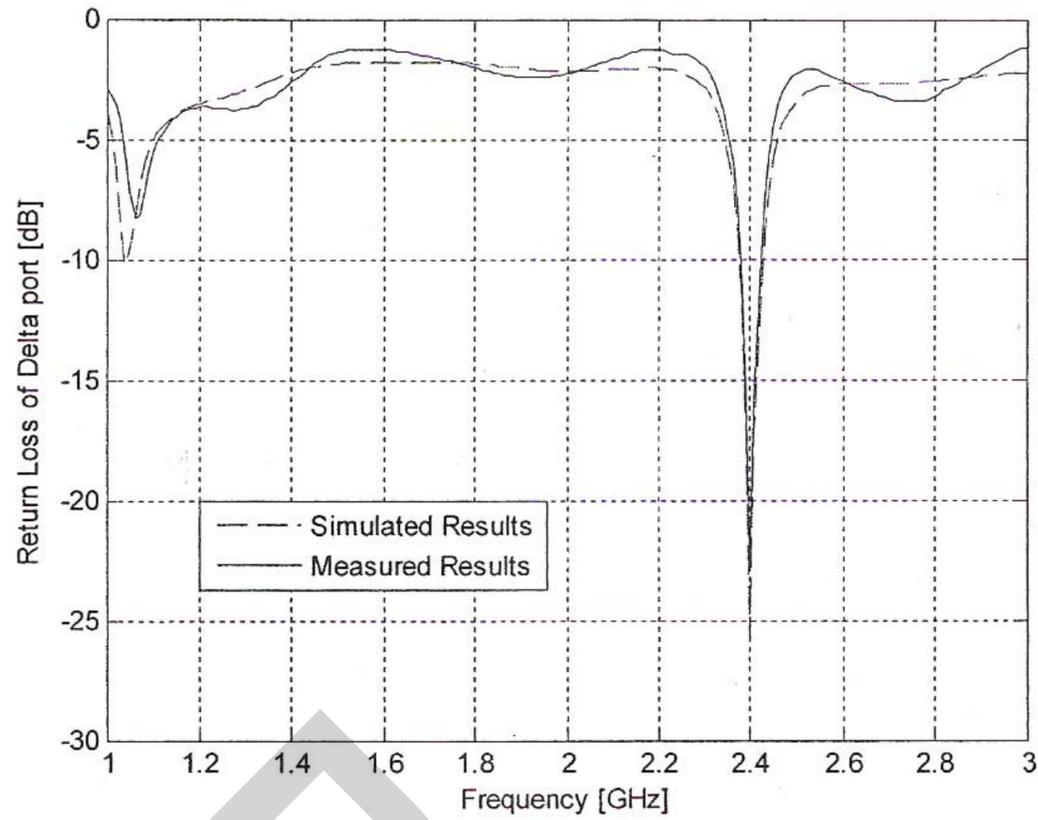


รูปที่ 4.13 ค่า Return Loss ของ Sum Port ที่ได้จากทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ

รูปที่ 4.13 แสดงค่า Return Loss ของ Sum Port ที่ได้รับในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ ซึ่งค่า Return Loss ของ Sum Port ที่ได้รับในทางทฤษฎีมีค่าประมาณ -24 dB และส่วนค่า Return Loss ของ Sum Port ที่ได้รับในทางปฏิบัติมีค่าประมาณ -16 dB ซึ่งมีค่าแตกต่างกัน 8 dB เหตุผลที่มีค่าแตกต่างกันคือความยาวของวงจรไฮบริดวงแหวน 180° ที่ได้คำนวณและสร้างขึ้นมาใช้งานในทางปฏิบัติเป็นค่าประมาณทศนิยม 2 ตำแหน่ง จึงทำให้ค่า Return Loss ไม่ใกล้เคียงกัน แต่ทั้งนี้ ค่า Return Loss ของ Sum Port ที่ได้รับในทางปฏิบัติมีค่าต่ำกว่า -10 dB และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ Sum Beam ที่ได้รับในทางปฏิบัติมีลักษณะและค่าต่าง ๆ ที่เหมือนกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ Sum Beam ที่ได้รับในทางทฤษฎี จึงอาจจะกล่าวได้ว่า วงจรไฮบริดวงแหวน 180° ที่ได้คำนวณและสร้างขึ้นมานี้ยอมรับและใช้งานได้

4.2.4 ค่า Return Loss ของ Delta Port ที่ได้จากทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ

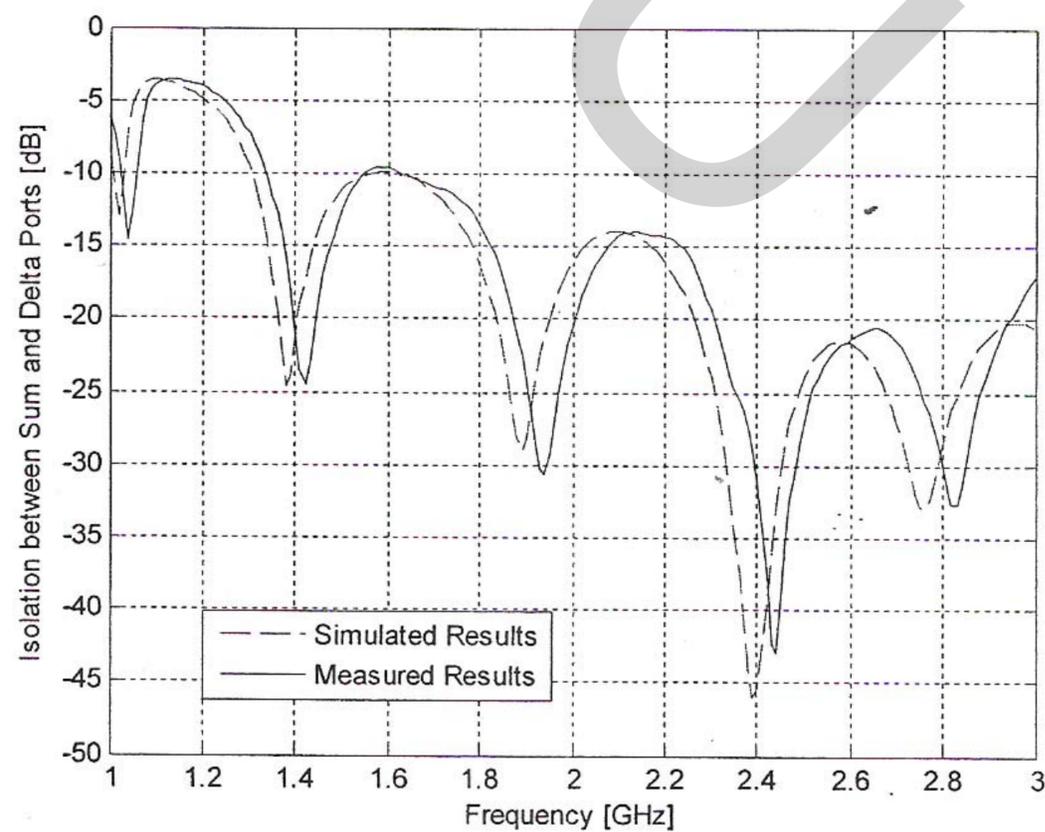
รูปที่ 4.14 แสดงค่า Return Loss ของ Delta Port ที่ได้รับในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ ซึ่งค่า Return Loss ของ Delta Port ที่ได้รับในทางทฤษฎีมีค่าประมาณ -26 dB และส่วนค่า Return Loss ของ Delta Port ที่ได้รับในทางปฏิบัติมีค่าประมาณ -23 dB ซึ่งมีค่าแตกต่างกัน 3 dB เหตุผลที่มีค่าแตกต่างกันคือความยาวของวงจรไฮบริดวงแหวน 180° ที่ได้คำนวณและสร้างขึ้นมาใช้งานในทางปฏิบัติเป็นค่าประมาณทศนิยม 2 ตำแหน่ง จึงทำให้ค่า Return Loss ไม่ใกล้เคียงกัน แต่ทั้งนี้ ค่า Return Loss ของ Delta Port ที่ได้รับในทางปฏิบัติก็มีค่าต่ำกว่า -10 dB และแบบรูปการ



รูปที่ 4.14 ค่า Return Loss ของ Delta Port ที่ได้จากทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ

แพร์กระจายคลื่นของ Delta Beam ที่ได้รับในทางปฏิบัติมีลักษณะและค่าต่าง ๆ ที่เหมือนกับแบบรูปการแพร์กระจายคลื่นของ Delta Beam ที่ได้รับในทางทฤษฎี จึงอาจจะกล่าวได้ว่า วงจรไฮบริดวงแหวน 180° ที่ได้คำนวณและสร้างขึ้นมานี้ยอมรับและใช้งานได้

4.2.5 ค่า Isolation ระหว่าง Sum Port และ Delta Port ที่ได้จากทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ



รูปที่ 4.15 ค่า Isolation ระหว่าง Sum Port และ Delta Port ที่ได้จากทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ

รูปที่ 4.15 แสดงค่า Isolation ระหว่าง Sum Port และ Delta Port ที่ได้จากทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ พบว่า ค่า Isolation ระหว่าง Sum Port และ Delta Port ที่ได้รับในทางทฤษฎีมีค่าต่ำสุด ณ ความถี่ใช้งาน 2.4 GHz ถูกต้องและมีค่าประมาณ -46 dB แต่ค่า Isolation ระหว่าง Sum Port และ Delta Port ที่ได้รับในทางปฏิบัติมีค่าต่ำสุด ณ ความถี่ 2.45 GHz ไม่ใช่ ณ ความถี่ใช้งาน 2.4 GHz และมีค่าประมาณ -43 dB โดยค่า Isolation ระหว่าง Sum Port และ Delta Port ณ ความถี่ใช้งาน 2.4 GHz มีค่าเท่ากับ -30 dB ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำและยอมรับได้ เนื่องจากสัญญาณที่เดินทางไปเข้า Sum Port จะถูกลดทอนอย่างมากและจะไม่เดินทางไปรบกวนสัญญาณที่ Delta Port อย่างแน่นอน