



สายอากาศอาร์เรย์สองแถบความถี่  
ใช้เทคนิคอินเตอร์ดิจิทัลบนพื้นฐานของสายอากาศไดโพล  
**A Dual-Band Array Antenna Using Interdigital Technique  
Based on Dipole Antenna**

นิตพล ดอกจอก และ พงศธร ชมทอง

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชากรามูร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

Emails: nu\_miw\_24@hotmail.com, pongsthornc@kmutnb.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอสายอากาศอาร์เรย์สองแถบความถี่ โดยการใช้เทคนิคอินเตอร์ดิจิทัลประยุกต์ร่วมกับสายอากาศไดโพล ซึ่งผลการตอบสนองของสายอากาศอาร์เรย์ที่ใช้เทคนิคอินเตอร์ดิจิทัลบนพื้นฐานของสายอากาศไดโพลพบว่า สายอากาศอาร์เรย์สามารถตอบสนองย่านการทำงานแถบความถี่ DCS 1800 ที่ช่วงความถี่ 1.71-1.88 GHz และ IEEE 802.11a WLAN ที่ช่วงความถี่ 5.15-5.35 GHz ในขณะที่ผลการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศอาร์เรย์มีลักษณะการแผ่กระจายคลื่นแบบชี้ทิศทางทุกช่วงความถี่ตลอดย่านการทำงาน อัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ 1.764 GHz และ 5.306 GHz มีค่าประมาณ 16.84 และ 12.6 dBi ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ( $|S_{11}|$ ) มีค่าประมาณ -19.27 และ -35.71 ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** สายอากาศอาร์เรย์ เทคนิคอินเตอร์ดิจิทัล

### Abstract

*This paper presents array antenna for an operation of dual-frequency bands. The attributes of interdigital technique concept are combined with dipole antennas. The results of array antenna using interdigital technique based on dipole antenna, which can operate in the DCS1800 (1.71-1.88 GHz) and IEEE 802.11a WLAN (5.15-5.35 GHz). The radiation patterns of antenna are unidirectional at all operating frequency bands. The gain of antenna is approximately 16.84 and 12.6 dBi, return loss ( $|S_{11}|$ ) are approximately -19.27 and -35.71 respectively.*

**Keyword:** Array antenna, Interdigital technique.

## 1. บทนำ

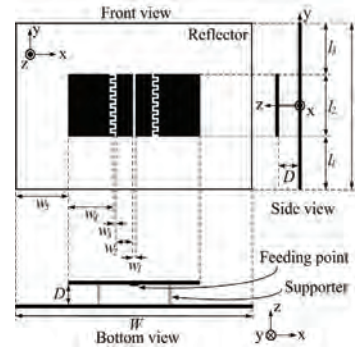
การติดต่อสื่อสารในปัจจุบันได้พัฒนาและมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วมาก ซึ่งนำไปสู่การสื่อสารแบบไร้สายมากขึ้น เพื่อที่จะทำให้ผู้ใช้งานเกิดความสะดวกสบายและสามารถใช้งานได้ทุกที่ทุกเวลา หารใดก็ตามการสื่อสารแบบไร้สายนั้นจำเป็นต้องใช้สายอากาศเป็นสื่อในการติดต่อสื่อสารทั้งสิ้น เนื่องจากเทคโนโลยีสื่อสารได้พัฒนาไปอย่างก้าวไกลทำให้พบว่าอุปกรณ์ในระบบสื่อสารต่างๆ มีขนาดเล็กลงและสามารถรองรับการทำงานได้หลายย่านความถี่มากขึ้น ดังนั้นจะเห็นว่า เพื่อเป็นการพัฒนาให้สอดคล้องกับอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบสื่อสาร จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาสายอากาศให้มีขนาดเล็กลงและสามารถใช้งานได้สองแถบความถี่ เป็นสาเหตุทำให้เกิดการนำเทคนิคอินเตอร์ดิจิตอล [1], [2] มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบร่วมกับสายอากาศอาร์เรย์บนพื้นฐานของสายอากาศไดโพล เพื่อให้มีขนาดเล็กและใช้งานได้สองแถบความถี่ [3] อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้งานด้านการสื่อสารระบบต่างๆ อย่างมากมาย เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ DCS (Digital Communication System ช่วงความถี่ 1710-1880 MHz) ไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบเครือข่ายไร้สาย WLAN (Wireless Local Area Network ช่วงความถี่ 5.15-5.35 GHz) ได้อีกด้วย จากคุณสมบัติของเทคนิคอินเตอร์ดิจิตอลซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานในช่วงความถี่หลายๆ ความถี่ อีกทั้งสามารถลดขนาดของสายอากาศ โดยการเพิ่มความยาวทางไฟฟ้าได้ในขณะที่ความยาวหรือขนาดของสายอากาศยังคงเท่าเดิม และยังคงควบคุมทิศทางการแผ่กระจายคลื่นให้มีลักษณะเหมือนเดิมได้อีกด้วย

## 2. การออกแบบสายอากาศ

### 2.1 การออกแบบสายอากาศไดโพลที่ใช้เทคนิคอินเตอร์ดิจิตอล

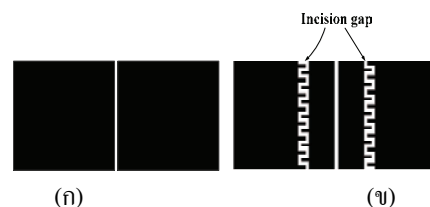
ในการออกแบบสายอากาศไดโพลเบื้องต้น ดังภาพที่ 1 แสดงให้เห็นถึงการกำหนดค่าที่เหมาะสมของส่วนประกอบของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์เริ่มต้น ( $f_0$ ) มีค่า 1764 MHz ( $\lambda_0 = 17$  เซนติเมตร) ในการออกแบบโครงสร้างของสายอากาศและการใช้เทคนิคอินเตอร์ดิจิตอลกับสายอากาศไดโพล

สามารถลดขนาดของสายอากาศและใช้งานในช่วงความถี่หลายๆ ความถี่ได้ ด้วยการปรับปรุงโครงสร้างของสายอากาศทำได้โดยการปรับช่องว่าง (Incision Gap) ของสายอากาศไดโพล ดังภาพที่ 2

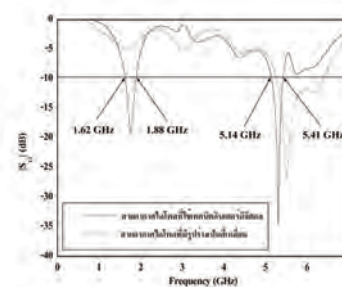


ภาพที่ 1 การกำหนดค่าที่เหมาะสมของส่วนประกอบสายอากาศ

ภาพที่ 3 แสดงผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ของสายอากาศไดโพลที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจะมีแถบความถี่กว้าง (Bandwidth) 5259-6391 MHz และสายอากาศไดโพลที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมโครงสร้างภายในใช้เทคนิคอินเตอร์ดิจิตอลจะมีแถบความถี่กว้าง 1626-1888 MHz และ 5147-5419 MHz

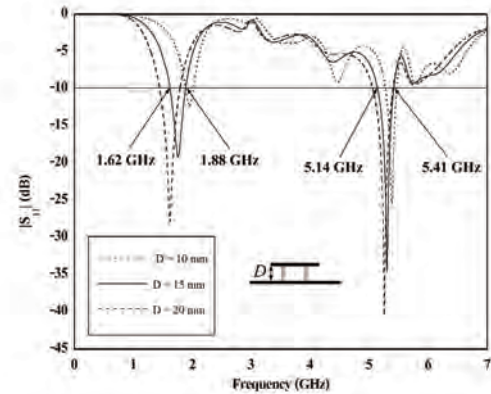


ภาพที่ 2 โครงสร้างของสายอากาศเบื้องต้น (ก) สายอากาศไดโพลที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม (ข) สายอากาศไดโพลที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมโครงสร้างภายในใช้เทคนิคอินเตอร์ดิจิตอล

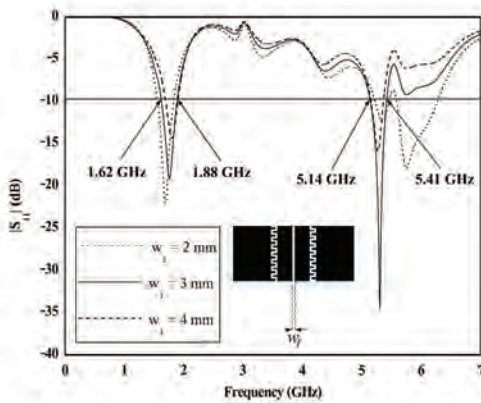


ภาพที่ 3 ผลการเปรียบเทียบของการจำลอง  $|S_{11}|$  ของสายอากาศไดโพลที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม และสายอากาศไดโพลที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมโครงสร้างภายในใช้เทคนิคอินเตอร์ดิจิตอล

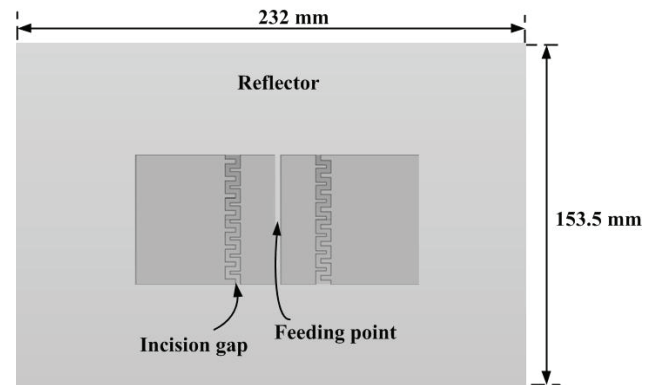
ในการออกแบบของค้ำประกอบสายอากาศทองแดงหนา 1.5 มิลลิเมตร ของสายอากาศที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม โครงสร้างภายในใช้เทคนิคอินเตอร์ดิคิตอลขึ้นด้วยวัสดุโพลีออกซิเมทิลีน (Polyoxymethylene) และติดตั้งอยู่ด้านบนของแผ่นสะท้อน (Reflector) ชนิดทองแดงสี่เหลี่ยมหนา 1.5 มิลลิเมตร เพื่อที่จะสร้างแบบรูปของการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) แบบชี้ทิศทาง [4] ขนาดที่เหมาะสมที่สุดของแผ่นสะท้อนคือ  $232 \times 153.5$  มิลลิเมตร การนำเทคนิคอินเตอร์ดิคิตอลมาใช้กับสายอากาศเพื่อให้สายอากาศมีขนาดเล็กและใช้งานได้สองแถบความถี่ดังภาพที่ 5 การสร้างสายอากาศถูกขับเคลื่อนพลังงานผ่านการเชื่อมต่อสายโคแอกเซียล (Coaxial Cable) 50 โอห์ม



ภาพที่ 6 ผลการเปรียบเทียบของการจำลอง  $|S_{11}|$  สำหรับการเปลี่ยนค่า (D) ในระยะที่ต่างกันระหว่างสายอากาศกับแผ่นสะท้อน

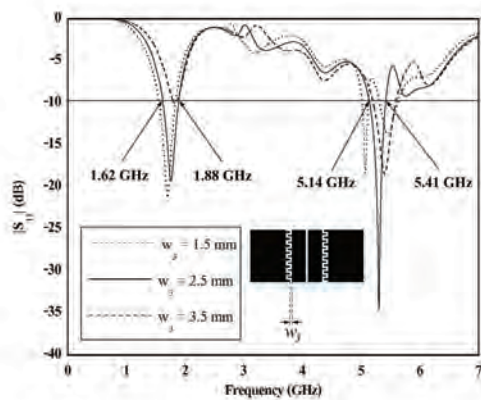


ภาพที่ 4 ผลการเปรียบเทียบของการจำลอง  $|S_{11}|$  การเปลี่ยนค่าช่องว่าง ( $w_1$ )



ภาพที่ 7 องค์ประกอบโครงสร้างของสายอากาศไดโพล

ความกว้างของช่องว่าง  $w_1$  และ  $w_3$  ของสายอากาศมีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ดังภาพที่ 4 และภาพที่ 5 แสดงผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ของความถี่เรโซแนนซ์เมื่อเปลี่ยนค่า  $w_1$  และ  $w_3$  ที่แตกต่างกัน จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าค่าของช่องว่าง  $w_1$  ที่ 3 มิลลิเมตร และค่าของช่อง (Incision gaps)  $w_3$  ที่ 2.5 มิลลิเมตร ได้ความถี่เรโซแนนซ์ และ Bandwidth ดีที่สุด



ภาพที่ 5 ผลการเปรียบเทียบของการจำลอง  $|S_{11}|$  การเปลี่ยนค่าความกว้างของช่อง ( $w_3$ ) ที่ใช้เทคนิคอินเตอร์ดิคิตอล

จากภาพที่ 6 แสดงให้เห็นถึงผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ของระยะห่าง D ระหว่างสายอากาศกับแผ่นสะท้อน ระยะห่างเริ่มต้นจากขอบแผ่นสะท้อนถึงขอบสายอากาศ  $\lambda/4$  ( $= 43$  มิลลิเมตร) ดังนั้นจะได้ความถี่เรโซแนนซ์ที่เหมาะสมคือ 1626–1888 MHz และ 5147–5419 MHz ถูกกำหนดโดยค่าพารามิเตอร์ D ที่แตกต่างกัน ค่า D ที่เหมาะสมที่สุดคือ 15 มิลลิเมตร เป็นผลมาจากการใช้เทคนิคอินเตอร์ดิคิตอล ซึ่งทำให้เกิดความถี่เรโซแนนซ์ที่เหมาะสมที่สุดและทำให้ขนาดของสายอากาศเล็กดังภาพที่ 7 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมขององค์ประกอบสายอากาศถูกกำหนด โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป CST

Microwave Studio Suit 2012 และแสดงเป็นรายการ ดังตาราง  
ที่ 1

## 2.2 สายอากาศอาร์เรย์

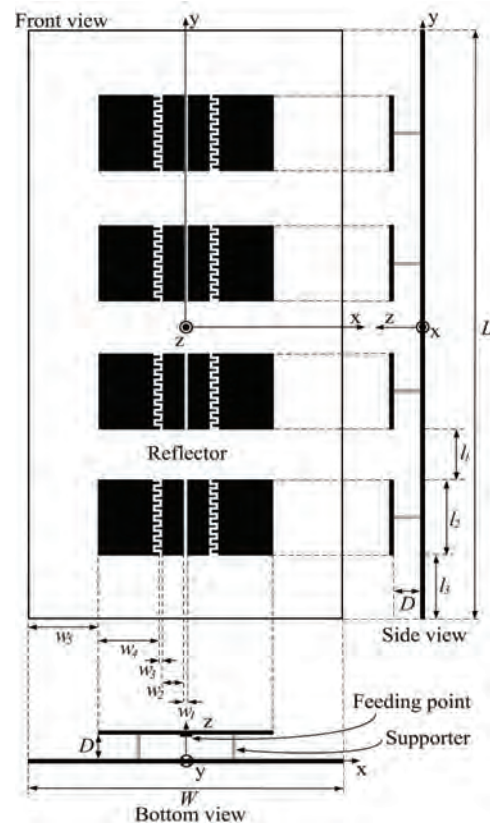
องค์ประกอบของสายอากาศอาร์เรย์อย่างน้อย 4 องค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับสถานีฐานเพื่อให้มีอัตราขยายสูงและแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นเป็นไปในทิศทางที่ต้องการ เช่น การกำหนดค่าขององค์ประกอบสายอากาศ 4 องค์ประกอบในรูปแบบอาร์เรย์ และเจาะจงแถบความถี่ นอกจากนี้ระยะห่างของแต่ละองค์ประกอบยังจะช่วยลดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นซึ่งหมายถึงฟูหรือโลบที่ไม่ต้องการ บทความนี้นำเสนอสายอากาศอาร์เรย์ 4 องค์ประกอบ ซึ่งเป็นจำนวนต่ำสุดขององค์ประกอบสำหรับสายอากาศสถานีฐาน [5] สายอากาศ 4 องค์ประกอบจะถูกเชื่อมต่อ Splitter 4 ทาง ด้วยระยะห่างขององค์ประกอบที่เหมาะสม 67.5 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 8 และพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศอาร์เรย์ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของโครงสร้างของสายอากาศไดโพล

พารามิเตอร์	รายละเอียด	ขนาด (mm)
$L$	ความยาวของแผ่นสะท้อน	153.5
$W$	ความกว้างของแผ่นสะท้อน	232
$D$	ระยะระหว่างสายอากาศกับแผ่นสะท้อน	15
$w_1$	ความกว้างของช่องว่าง	3
$w_2$	ความกว้างของส่วนที่เล็กกว่าของสายอากาศ	18
$w_3$	ความกว้างของช่องว่าง (Incision gaps)	2.5
$w_4$	ความกว้างของส่วนที่ใหญ่กว่าของสายอากาศ	51
$w_5$	ระยะห่างทางแนวอนจากขอบแผ่นสะท้อนถึงขอบสายอากาศด้านข้าง	43
$l_1$	ระยะห่างทางแนวตั้งจากขอบแผ่นสะท้อนด้านล่างถึงขอบล่างสายอากาศ	43
$l_2$	ความยาวของสายอากาศ	67.5
$l_3$	ระยะห่างทางแนวตั้งจากขอบแผ่นสะท้อนด้านบนถึงขอบบนสายอากาศ	43

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของโครงสร้างสายอากาศอาร์เรย์

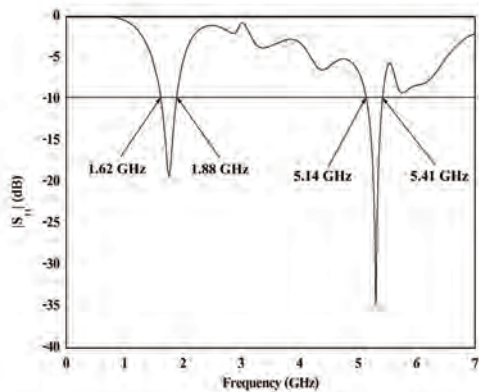
พารามิเตอร์	รายละเอียด	ขนาด (mm)
$L$		558.5
$W$	ความยาวของแผ่นสะท้อน	232
$D$	ความกว้างของแผ่นสะท้อน	15
$w_1$	ระยะระหว่างสายอากาศกับแผ่นสะท้อน	3
$w_2$	ความกว้างของช่องว่าง	18
$w_3$	ความกว้างของส่วนที่เล็กกว่าของสายอากาศ	2.5
$w_4$	ความกว้างของช่องว่าง (Incision gaps)	51
$w_5$	ความกว้างของส่วนที่ใหญ่กว่าของสายอากาศ	43
$l_1$	ระยะห่างทางแนวอนจากขอบแผ่นสะท้อนถึงขอบสายอากาศด้านข้าง	67.5
$l_2$	ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ	67.5
$l_3$	ความยาวของสายอากาศ 1 องค์ประกอบ	43
	ระยะห่างทางแนวตั้งจากขอบแผ่นสะท้อนด้านล่างถึงขอบสายอากาศด้านล่าง	



ภาพที่ 8 การกำหนดค่าที่เหมาะสมของสายอากาศอาร์เรย์

### 3. ผลการจำลองการทำงาน

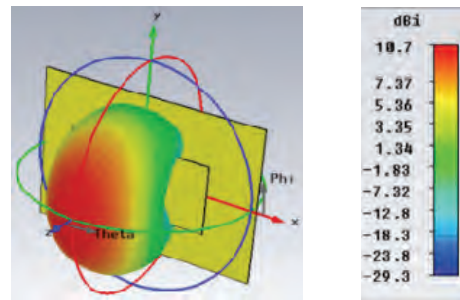
ผลการวัดที่ได้จากการจำลององค์ประกอบของสายอากาศไดโพล ดังภาพที่ 9 แสดงให้เห็นว่า  $|S_{11}|$  ที่  $< -10$  dB อยู่ในช่วงความถี่ 1626–1888 MHz และ 5147–5419 MHz แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นระนาบของสนามไฟฟ้า(E-plane)  $\theta = 0$  และระนาบของสนามแม่เหล็ก (H-plane)  $\theta = 90$  ที่ความถี่ 1764 MHz มีทิศทางของโลบหลัก 0 องศา ส่วนที่ความถี่ 5306 MHz ระนาบของสนามไฟฟ้า(E-plane)  $\theta = 0$  มีทิศทางของโลบหลัก 23 องศา และระนาบของสนามแม่เหล็ก (H-plane)  $\theta = 90$  มีทิศทางของโลบหลัก 38 องศา เป็นผลมาจากการใช้เทคนิคอินเตอร์ดิจิตอล ที่ทำให้ขนาดของสายอากาศเล็กลงและใช้งานได้สองแถบความถี่ อัตราขยายของความถี่เป็น 10.71 และ 8.37 dBi ดังภาพที่ 10 และภาพที่ 11 และคุณสมบัติของแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแสดงรายละเอียดต่างๆ ดังตารางที่ 3 ผลการจำลองแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศอาร์เรย์ที่ 1764 MHz และ 5306 MHz คล้ายกับองค์ประกอบของสายอากาศแบบไดโพลในช่วงต้น ดังภาพที่ 12 และภาพที่ 13



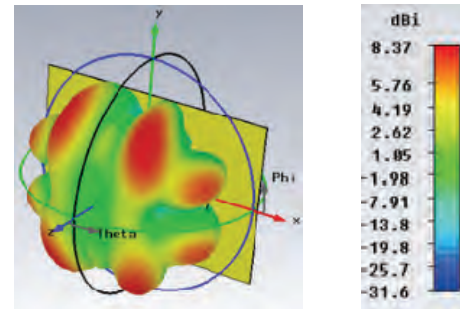
ภาพที่ 9 ผลการจำลอง  $|S_{11}|$  ของสายอากาศ

ตารางที่ 3 คุณสมบัติการแผ่กระจายคลื่นขององค์ประกอบสายอากาศ ( $\theta=0$ )

คุณสมบัติ	1764 MHz	5306 MHz
ขนาดของโลบหลัก (dBi)	10.7	3.1
ความกว้างเชิงมุม 3 dB (deg)	42.1	22.9
ทิศทางของโลบหลัก (deg)	0.0	23
ระดับของโลบหลัง (dB)	-10.1	-23.29
ระดับของโลบข้าง (dB)	-20.8	-13.3
อัตราขยาย (dBi)	10.71	8.37

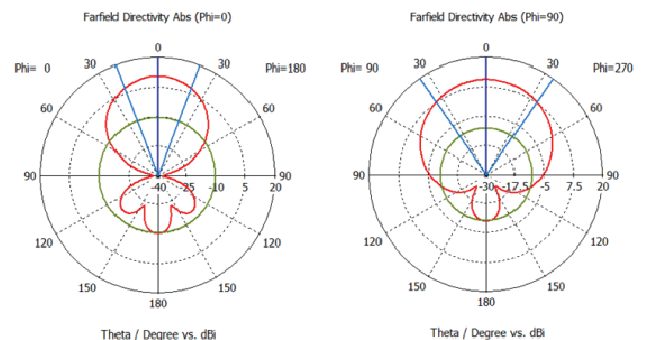


(ก) 1764 MHz

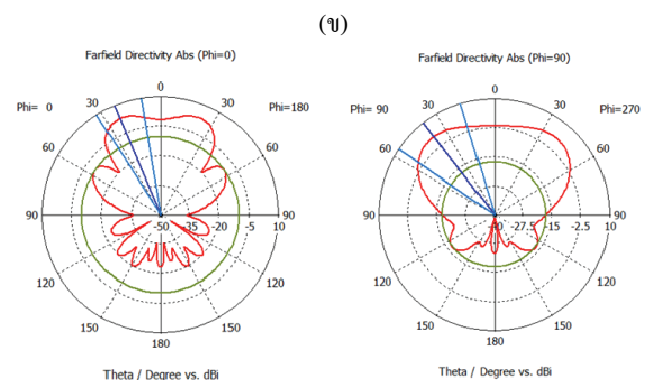


(ข) 5306 MHz

ภาพที่ 10 การจำลองแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบสามมิติขององค์ประกอบสายอากาศที่ (ก) 1764 MHz และ(ข) 5306 MHz

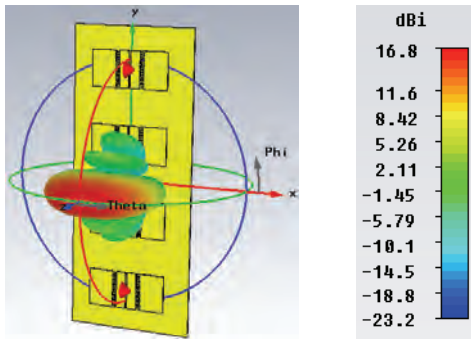


(ก) 1764 MHz

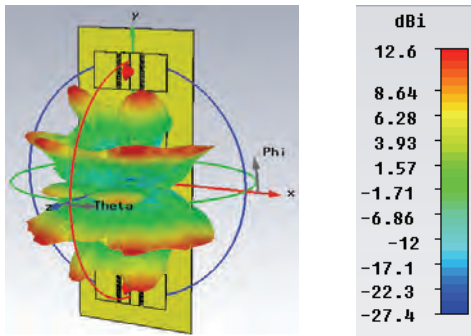


(ข) 5306 MHz

ภาพที่ 11 การจำลองแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นขององค์ประกอบสายอากาศที่ (ก) 1764 MHz และ(ข) 5306 MHz

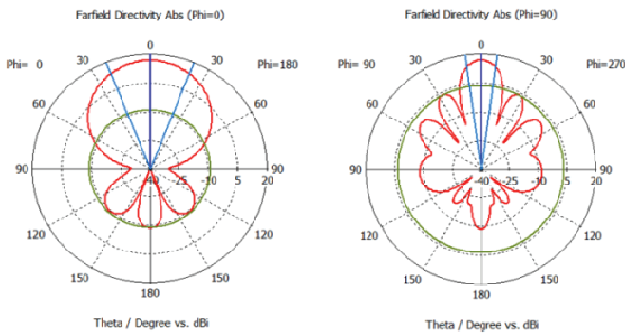


(ก) 1764 MHz

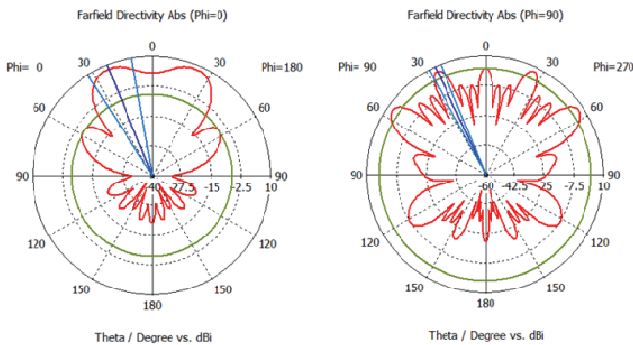


(ข) 5306 MHz

ภาพที่ 12 การจำลองแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบสามมิติของสายอากาศอาร์เรย์ที่ (ก) 1764 MHz และ(ข) 5306 MHz



(ก) 1764 MHz



(ข) 5306 MHz

ภาพที่ 13 การจำลองแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศอาร์เรย์ที่ (ก) 1764 MHz และ(ข) 5306 MHz

ตารางที่ 4 คุณสมบัติการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศอาร์เรย์ ( $\theta=0$ )

คุณสมบัติ	1764 MHz	5306 MHz
ขนาดของโลบลหลัก (dBi)	16.8	8.3
ความกว้างเชิงมุม 3 dB (deg)	43.5	22.3
ทิศทางของโลบลหลัก (deg)	0.0	22
ระดับของโลบลข้าง (dB)	-8.87	-20.25
ระดับของโลบลข้าง (dB)	-25.7	-14.2
อัตราขยาย (dBi)	16.84	12.6

#### 4. สรุป

บทความนี้เกี่ยวข้องกับการออกแบบสายอากาศอาร์เรย์สองแถบความถี่โดยใช้เทคนิคอินเตอร์ดิจิตอลบนพื้นฐานของสายอากาศไดโพล ที่มีคุณสมบัติของการแผ่กระจายคลื่นแบบชี้ทิศทาง ผลที่ได้จากการจำลอง  $|S_{11}|$  ของสายอากาศอาร์เรย์ที่  $< -10$  dB อยู่ในช่วงความถี่ 1626–1888 MHz และ 5147–5419 MHz ซึ่งครอบคลุมโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ DCS ช่วงความถี่ 1710-1880 MHz ร่วมกับระบบเครือข่ายไร้สาย WLAN ช่วงความถี่ 5.15-5.35 GHz นอกจากนี้อัตราขยายของคลื่นเป็น 16.84 และ 12.6 dBi ตามลำดับ ซึ่งสูงมากเมื่อเทียบกับสายอากาศที่ใช้เทคนิคอื่น และทำให้สายอากาศมีขนาดที่เล็กลง

#### 5. อ้างอิง

- [1] Ru-Yean Yang, Min-Hung Weng, Cheng-Yuan Hung, Han-Jan Chen, and Mau-Phon Houng, "Novel Compact Microstrip Interdigital Bandstop Filters," *IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control.*, vol.51, no.8, pp.1022-1025, 2004.
- [2] S. Meesomklin, P. Chomtong, P. Akkaraekthalin, and V. Vivek, "A Compact Multi-band BPF using Tri-section with interdigital Capacitor Hairpin Resonator for GSM, WiMAX, and WLAN Systems," *EECON35*, pp.667-670, Dec 2012.
- [3] P. Chomtong, P. Akkaraekthalin, and V. Vivek, "A Mono pole Antenna with Built-in Interdigital Capacitor and Interdigital Capacitive Feed for Wideband Response," *ECTI-CON 2013*, May 2013.
- [4] Sarawuth Chaimool., วิศวกรรมสายอากาศ : ปรุบมทกัับ วิศวกรรมสายอากาศ. V2. 2553.
- [5] Z. N. Chen and K.-M. Luk, *Antennas for base station in wireless communications*, USA: McGraw-Hill, 2009.