แนวทางปฏิบัติสำหรับการตั้งสถานีวิทยุคมนาคม

มีนาคม 2551

Second DRAFT

สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

87 ถนนพหลโยธิน ซอย 8 (สายลม) แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 10400

โทรศัพท์ 0 2271 0151-60 เว็บไซต์: www.ntc.or.th

แนวทางปฏิบัติสำหรับการตั้งสถานีวิทยุคมนาคม

คำนำ

เอกสารแนวทางปฏิบัติสำหรับการตั้งสถานีวิทยุคมนาคมนี้ ได้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อแนะนำวิธีการและข้อควรคำนึงในการตั้งสถานีวิทยุคมนาคม ทั้งในส่วนของแนวทางปฏิบัติโดยทั่วไป และแนวทางปฏิบัติเฉพาะด้านความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม เพื่อให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ มาตรการและมาตรฐานที่ กทช. ได้ประกาศกำหนดไว้ รวมทั้งแนวทางการทำความเข้าใจกับประชาชนให้มีแนวทางปฏิบัติที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน อันจะเป็นประโยชน์ต่อผู้มีส่วนเกี่ยวข้องต่อไป

สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

สารบัญ

		หน้า
1.	บทนำ	1
2.	แนวทางปฏิบัติทั่วไปสำหรับการตั้งสถานีวิทยุคมนาคม	4
3.	แนวทางปฏิบัติเฉพาะด้านความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์	12
4.	การประเมินระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการวิเคราะห์ทางทฤษฎี	16
	4.1 การคำนวณระยะต่ำสุดที่สอดคล้องกับระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	16
	4.2 การใช้แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่น	17
	4.3 การใช้ซอฟต์แวร์ EMF-estimator	21
5.	การประเมินระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการวัด	28
	5.1 การวัดระดับความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในกิจการเคลื่อนที่ทางบก	28
	5.2 การวัดระดับความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในกิจการประจำที่	28
6.	เครื่องหมายแสดงระดับความปลอดภัยจากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	37
7.	แนวทางปฏิบัติในการทำความเข้าใจประชาชน	41

ภาคผนวก ก กฎหมาย/กฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง

ภาคผนวก ข ขีดจำกัดความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ภาคผนวก ค พารามิเตอร์ของกิจการโทรคมนาคมที่เกี่ยวข้องกับการประเมินสถานีวิทยุคมนาคม

ภาคผนวก ง เทคนิคการบรรเทาเพื่อจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Example of mitigation technique)

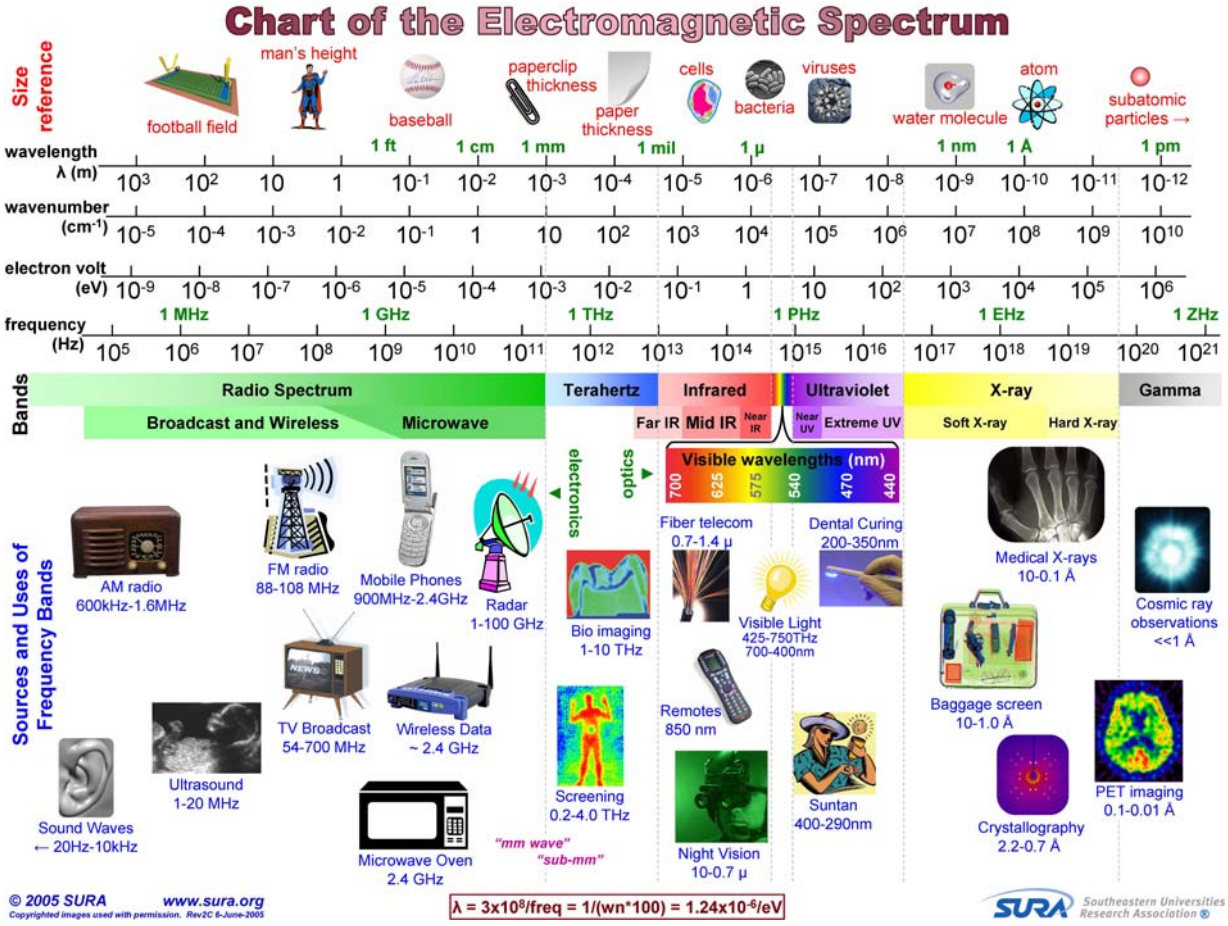
ภาคผนวก จ แบบรายงานระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม

ภาคผนวก ฉ คณะผู้จัดทำ

เอกสารอ้างอิง

1. บทนำ

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) เป็นคลื่นที่เกิดจากการทำให้สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลง เมื่อสนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก หรือถ้าหากสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงก็เหนี่ยวนำทำให้เกิดสนามไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงประกอบด้วยทั้งสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ซึ่งสามารถถ่ายเทพลังงานจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงสามารถถ่ายเทพลังงานผ่านอากาศได้ ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวจึงได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันในหลาย ๆ ด้าน เช่น ด้านสื่อสารและโทรคมนาคม การแพทย์ เป็นต้น



รูปที่ 1.1 แสดงการประยุกต์ใช้งานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

พัฒนาการด้านเทคโนโลยีโทรคมนาคมได้ขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะการสื่อสารไร้สายที่เกี่ยวข้องกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น การให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ การให้บริการวิทยุคมนาคมระบบทรังค์ เป็นต้น ซึ่งการให้บริการดังกล่าวผู้ให้บริการต้องติดตั้งสถานีวิทยุคมนาคม เพื่อให้บริการดังกล่าว การแพร่คลื่นจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีระดับความแรงที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับระยะห่างจากสถานีวิทยุคมนาคมและทิศทางการแผ่พลังงานของสายอากาศ ดังนั้น การติดตั้งสถานีวิทยุคมนาคมผู้ประกอบการต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย

คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.) ได้ประกาศกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคมและกำหนดขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของมนุษย์ในย่านความถี่วิทยุ 9 kHz - 300 GHz สำหรับใช้เป็นเกณฑ์ประกอบการกำกับดูแลการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม เพื่อลดผลกระทบและป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นกับสุขภาพของมนุษย์จากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่จากเครื่องวิทยุคมนาคม กทช. จึงได้จัดทำประกาศ เรื่อง หลักเกณฑ์และมาตรการกำกับดูแลความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม โดยมีการกำหนดประเภทเครื่องวิทยุคมนาคมในการกำกับดูแลเพื่อความปลอดภัยออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

ประเภทที่ 1 เครื่องวิทยุคมนาคมซึ่งส่วนประกอบที่สามารถแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ใกล้ชิดกับบริเวณศีรษะหรืออยู่ห่างจากร่างกายน้อยกว่า 20 เซนติเมตรในตำแหน่งใช้งานปกติ เช่น เครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ GSM900/GSM1800/GSM1900 และเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ CDMA

ประเภทที่ 2 เครื่องวิทยุคมนาคมซึ่งส่วนประกอบที่สามารถแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ห่างจากร่างกาย ไม่น้อยกว่า 20 เซนติเมตรในตำแหน่งใช้งานปกติ เช่น เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท RFID ที่มีกำลังส่งเกิน 100 mW เครื่องวิทยุคมนาคมระบบเรดาร์ติดรถยนต์ ที่มีกำลังส่งเกิน 100 mW เครื่องวิทยุคมนาคมในกิจการเคลื่อนที่/ประจำที่บางลักษณะ เครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้งานในลักษณะ On-site paging

ประเภทที่ 3 เครื่องวิทยุคมนาคมซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ถาวร และมีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าครอบคลุมบริเวณกว้าง เช่น สถานีฐาน (base station) ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ทุกระบบ สถานีฐานหรือสถานีประจำที่ในกิจการเคลื่อนที่ทางบก สถานีแม่ข่าย ระบบ Digital Trunked Radio และสถานีแม่ข่ายในกิจการวิทยุสมัครเล่น

สถานีวิทยุคมนาคมที่อยู่ภายใต้ขอบข่าย

สถานีวิทยุคมนาคมที่อยู่ภายใต้ขอบข่ายของเอกสารนี้ คือ เครื่องวิทยุคมนาคมซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ถาวรและมีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าครอบคลุมบริเวณกว้าง ซึ่งจัดเป็นเครื่องวิทยุคมนาคม ประเภทที่ 3 ตามประกาศคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง หลักเกณฑ์และมาตรการกำกับดูแลความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม และจะต้องได้รับการประเมินความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (ความแรงสนามไฟฟ้า– E-field (V/m), ความแรงสนามแม่เหล็ก- H-field (A/m) หรือ ความหนาแน่นกำลัง-power density- (W/m^2)) เช่น

- สถานีฐาน (base station) ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ทุกระบบ
- สถานีฐานหรือสถานีประจำที่ในกิจการเคลื่อนที่ทางบก
- สถานีแม่ข่าย ระบบ Digital Trunked Radio
- สถานีแม่ข่ายในกิจการวิทยุสมัครเล่น
- สถานีวิทยุคมนาคมในกิจการวิทยุคมนาคมอื่นที่คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติประกาศกำหนด

อย่างไรก็ตาม สถานีวิทยุคมนาคมบางประเภท เช่น สถานีฐานในกิจการเคลื่อนที่ทางบก (Base station in land mobile service) และสถานีแม่ข่ายในกิจการวิทยุสมัครเล่น ซึ่งมีการใช้งานในลักษณะกดเพื่อพูด (push-to-talk) นั้น อาจไม่จำเป็นต้องทำการประเมินระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการวัดจริงได้ หากมีกำลังส่ง (ก่อนเข้าสู่สายอากาศ) ไม่เกิน 60 วัตต์ (เฉพาะย่าน VHF)

เอกสารฉบับนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับแนวทางการติดตั้งสถานีวิทยุคมนาคม โดยคำนึงถึงความปลอดภัยต่อสุขภาพที่เกิดจากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบด้วย

- แนวทางทั่วไปสำหรับการตั้งสถานีวิทยุคมนาคม โดยจะกล่าวถึงแนวทางการเลือกพื้นที่ การเลือกอุปกรณ์ ข้อกำหนดทางเทคนิค การก่อสร้างและติดตั้งสถานีวิทยุคมนาคม การบริหารจัดการสถานีวิทยุคมนาคม การใช้งานและการบำรุงรักษา ปัญหาการรบกวนทางวิทยุ การพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการตั้งสถานีวิทยุคมนาคม และการแก้ไขปัญหาการรบกวน

- แนวทางปฏิบัติเฉพาะด้านความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์ เป็นสิ่งที่คำนึงถึงผลกระทบจากการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีวิทยุคมนาคม กฎระเบียบที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยต่อสุขภาพจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การปฏิบัติตามกฎระเบียบ ผู้ประเมินระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กำหนดเวลาการใช้บังคับกฎหมาย เป็นต้น

- การประเมินการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการวิเคราะห์ทางทฤษฎี อธิบายเกี่ยวกับการคำนวณระยะต่ำสุดที่สอดคล้องกับระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แบบจำลองการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การประเมินความสอดคล้องการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้ซอฟต์แวร์ EMF-estimator

- การประเมินระดับความแรงสนามคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการวัด ในรายละเอียดจะอธิบายถึงเครื่องมือสำหรับการวัดความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า วิธีการวัดความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม

- เครื่องหมายแสดงระดับความปลอดภัยจากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการแสดงเครื่องต่าง ๆ ตามพื้นที่ของความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยเครื่องหมายแสดงเขตพื้นที่มีระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสอดคล้องตามมาตรฐาน (Compliance Zone) เครื่องหมายแสดงพื้นที่สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน (Occupational Zone) และเครื่องหมายแสดงเขตพื้นที่ที่มีระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกินขีดจำกัด (Exceedance Zone)

- แนวทางปฏิบัติในการทำความเข้าใจกับประชาชน อธิบายถึงขั้นตอนการทำความเข้าใจกับประชาชน การวางแผนการมีส่วนร่วมกับประชาชน และขั้นตอนการนำไปสู่การปฏิบัติ

2. แนวทางปฏิบัติทั่วไปสำหรับการตั้งสถานีวิทยุคมนาคม

2.1 การวางแผนตั้งสถานีวิทยุคมนาคม

การเลือกพื้นที่หรือบริเวณที่จะตั้งสถานีวิทยุคมนาคมควรเลือกด้วยความระมัดระวัง ก่อนที่จะใช้งานจริง โดยคำนึงว่า เป้าหมายหลักของการตั้งสถานีวิทยุคมนาคมคือ การเป็นข่ายสื่อสารเชื่อมโยงระหว่าง สถานที่ต่าง ๆ หรือ การครอบคลุมพื้นที่เป้าหมายในการให้บริการ

การเลือกพื้นที่ควรนำประเด็นดังต่อไปนี้มาใช้ประกอบการพิจารณา

- ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม ภูมิทัศน์ และผลกระทบเชิงสังคม
- ความปลอดภัย โดยเฉพาะความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์
- การรบกวนหรือการแทรกสอดทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference) และความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic compatibility)
- ความจุช่องสัญญาณที่มีอยู่ ณ สถานีวิทยุคมนาคมเดิม
- ความมีอยู่ของระบบไฟฟ้าและสาธารณูปโภคอื่น
- การเข้าถึงที่ตั้งสถานี
- สัญญาณรบกวนด้านไฟฟ้า
- ระยะห่างจากท่าอากาศยานหรือสนามบิน
- การขยายตัวของเมือง และชุมชนในบริเวณที่จะตั้ง
- ความคุ้มค่าในแง่เศรษฐศาสตร์

การแพร่กระจายคลื่นเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการตั้งสถานีวิทยุคมนาคมในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง โดยเฉพาะในกรณีของคลื่นวิทยุในความถี่ย่าน VHF และ UHF ซึ่งแพร่กระจายคลื่นในแนวเส้นตรง ซึ่งส่งผลถึงพื้นที่ครอบคลุมในการให้บริการ สถานีที่มีความสูงมากกว่าย่อมมีพื้นที่ครอบคลุมในการให้บริการกว้างกว่า

ในการออกแบบสถานีวิทยุคมนาคม ต้องตระหนักว่าสิ่งกีดขวาง เป็นต้นว่า เนินเขาหรือตึกอาจทำให้ระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นลดลง แม้ว่าจะได้รับผลจากการสะท้อน (Reflection) และการเบี่ยงเบน (diffraction) อยู่บ้าง แต่ก็ช่วยได้ไม่มากนัก ดังนั้น อาจมีความจำเป็นที่ต้องเพิ่มความสูงให้มากขึ้น เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ ถ้ามีสิ่งกีดขวางอยู่ในบริเวณนั้น อีกทั้ง ตึกที่มีผนังห่อหุ้มชั้นนอกเป็นโลหะ อาจส่งผลให้เกิดการดูดกลืนสัญญาณคลื่นวิทยุ ทำให้สัญญาณอ่อนลงกว่าที่คาดการณ์ไว้ก็เป็นได้

เนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นจำเป็นต้องใช้สัญญาณขาเข้า (input signal) จากแหล่งอื่น ซึ่งอาจเป็นการรับคลื่นผ่านทางสาย (เส้นใยนำแสง สายเคเบิลพาดผ่านเสาไฟฟ้า หรือสายเคเบิลผ่านท่อร้อยสาย) หรือผ่านทางคลื่นวิทยุซ้ำอีกครั้ง (ผ่านโครงข่ายประจำที่แบบจุดต่อจุด (Point-to-Point) หรือจุดต่อหลายจุด (Point-to-Multipoint) หรือผ่านข่ายสื่อสารดาวเทียม) ซึ่งแต่ละรูปแบบก็จะมีเงื่อนไขความจำเป็นที่แตกต่างกัน เป็นต้นว่า

สถานีวิทยุกระจายเสียงอาจรับสัญญาณคลื่นวิทยุที่แพร่กระจายมาจาก studio link ได้เลยโดยตรง เพื่อนำมาขยายเพิ่มระดับความแรงและแพร่กระจายคลื่นต่อไป

สถานีฐานในโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่อาจมีความจำเป็นที่ต้องติดต่อกันในลักษณะ line-of-sight กับสถานีฐานอื่นหรือ MSC

สถานีรับส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมอาจตั้งอยู่ที่ใดก็ได้ที่สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง

ผู้ประสงค์จะตั้งสถานีวิทยุคมนาคม ควรพิจารณาที่จะเลือกใช้สถานีร่วมกับสถานีอื่นที่มีอยู่ก่อนแล้ว หากสามารถกระทำได้ในทางปฏิบัติ ทั้งนี้ อาจต้องคำนึงถึงประเด็นค่าใช้จ่าย ลักษณะทางเทคนิคของสถานีที่มีอยู่เดิมและที่จะตั้งใหม่ พื้นที่ใช้สอย ความคงทนแข็งแรงของเสา โครงสร้างและตัวตึก รวมทั้งอุปกรณ์ที่จะต้องติดตั้งเพิ่มเติมด้วย

แม้ว่าการตั้งสถานีบนที่สูงจะได้เปรียบในแง่ของพื้นที่การให้บริการแต่ก็มีข้อจำกัดในเรื่องของการเข้าถึงสถานีดังกล่าวด้วยเช่นเดียวกัน

ในกรณีของสถานีที่ตั้งบนเขา จำเป็นต้องมีการปรับพื้นที่ และการสร้างถนนเข้าถึงพื้นที่นั้น

ในกรณีของสถานีที่ตั้งบนตึก จำเป็นต้องมีช่องทางในการเข้าถึงเพื่อสร้างและติดตั้งอุปกรณ์ รวมทั้งการใช้งานและบำรุงรักษาตลอด 24 ชั่วโมง

ควรคำนึงในประเด็นอื่นที่อาจเกิดขึ้น เช่น ภัยพิบัติทางธรรมชาติ หรือไฟไหม้ ด้วย

ที่ตั้งสถานีวิทยุคมนาคมต้องมีสาธารณูปโภคครบครัน ทั้งในส่วนของไฟฟ้า ประปา ระบบบำบัดของเสีย และการสื่อสาร

ในการเลือกที่ตั้งสถานีวิทยุคมนาคมนั้น หากอยู่ใกล้กับท่าอากาศยานหรือสนามบิน จำเป็นต้องปฏิบัติตามกฎหมายว่าด้วยการเดินอากาศด้วย เนื่องจากเสาหรือหอคอยที่สูงเกินไปอาจเป็นอันตรายต่อการเดินอากาศ

ในการออกแบบและวางแผนการตั้งสถานีวิทยุคมนาคม ผู้รับผิดชอบจำเป็นต้องคำนึงถึงประเด็นของความปลอดภัยที่เกี่ยวข้องด้วย ไม่ว่าจะเป็น

ความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม ซึ่งกำหนดขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งหมดจากทุกกิจการที่ใช้สถานีวิทยุคมนาคมนั้น

ความปลอดภัยทางด้านโครงสร้างทางกายภาพ ซึ่งต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของกรมโยธาธิการและผังเมือง

ความปลอดจากมลภาวะทางด้านเสียงซึ่งต้องเป็นไปตามข้อกำหนดทางด้านสุขภาพอนามัยและความปลอดภัยในสถานที่ทำงาน

ความปลอดภัยจากอัคคีภัยซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดเกี่ยวกับอุปกรณ์ดับเพลิงของกรมบรรเทาและป้องกันสาธารณภัย

ความปลอดภัยจากการใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าอื่น ที่ไม่ใช่แหล่งจ่ายไฟประธาน ซึ่งต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

สำหรับในประเด็นของการรบกวนหรือการแทรกสอด (Interference) ที่เกิดจากการตั้งสถานีวิทยุคมนาคมใหม่นั้น ควรพิจารณาในประเด็นดังต่อไปนี้

การรบกวนต่อเครื่องรับวิทยุกระจายเสียงและเครื่องรับวิทยุโทรทัศน์ซึ่งอาจเกิดภาวะที่เรียกว่า receiver overload

การรบกวนต่อการใช้งานเครื่องวิทยุคมนาคมในกิจการอื่น รวมทั้งคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์อื่น

2.2 การก่อสร้างและติดตั้งสถานีวิทยุคมนาคม

ในกรณีของสถานีใหญ่และมีความซับซ้อนค่อนข้างมาก ควรจะมี project manager ซึ่งมีความรู้ทางด้านวิศวกรรมและเทคนิคการบริหารจัดการโครงการเป็นผู้ควบคุมดูแลการสร้างและติดตั้งสถานีวิทยุคมนาคมในภาพรวม และปรึกษาหารือกับ site manager ในประเด็นทางเทคนิคที่รับผิดชอบร่วมกัน

ในระหว่างการสร้างและติดตั้งสถานี ต้องมีมาตรการเกี่ยวกับความปลอดภัยที่จำเป็น โดยใช้หลักการ Safety First โดยเฉพาะความปลอดภัยจากอัคคีภัย

ต้องมีมาตรฐานสำหรับการก่อสร้างและติดตั้งสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นอาคาร เสาอากาศ หรือตัวสายอากาศเอง โดยคำนึงถึงหลักวิศวกรรมที่ดี (good engineering practice) ทั้งในแง่ของการรับแรงหรือรับน้ำหนัก (load) และสภาพแวดล้อมในบริเวณนั้น ตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์

นอกจากนั้น ในบางกรณี บริเวณที่จะปลูกสร้างและติดตั้งสถานีวิทยุคมนาคม อาจมีสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม และจำเป็นต้องมีแนวทางจัดการสภาพแวดล้อมดังกล่าว เช่น การกัดเซาะเนื่องมาจากน้ำเค็ม การป้องกันน้ำท่วมขังในพื้นที่ การป้องกันแผ่นดินไหว ให้เหมาะสมด้วย

การรักษาความปลอดภัยในพื้นที่ก่อสร้างเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องให้ความสำคัญเป็นลำดับต้น ๆ ซึ่งอาจต้องมีมาตรการเฉพาะ เช่น ล้อมรั้วปิด มีป้ายคำเตือน หรือจำกัดบริเวณที่เข้าถึงได้

ต้องมีการเตรียมความพร้อมทางด้านสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องการตั้งสถานีวิทยุคมนาคม และการพักอาศัย ไม่ว่าจะเป็นไฟฟ้า (ทั้งระบบไฟฟ้าหลักและไฟสำรอง) ระบบประปา ระบบสื่อสาร ระบบจัดการน้ำเสียและของเสียอื่น

ต้องมีการเก็บบันทึกข้อมูลเครื่องวิทยุคมนาคมและอุปกรณ์วิทยุคมนาคมที่ใช้สำหรับติดตั้ง ณ สถานีวิทยุคมนาคมนั้น ไม่ว่าจะเป็นชนิดของสายอากาศ ความยาวและชนิดของสายนำสัญญาณ ชนิดของขั้วต่อ การต่อพ่วง ข้อมูลอัตราขยายและรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ และรายละเอียดทางไฟฟ้าต่าง ๆ

ต้องติดตั้งสายอากาศตามข้อกำหนดที่ผู้ผลิตระบุ เนื่องจากอาจมีผลต่อการทำงานของสายอากาศได้ และค่ากำลังขาเข้าต้องไม่เกินค่าที่สายอากาศจะรับได้

ควรใช้สายนำสัญญาณแบบมีเปลือกหุ้มที่ป้องกันการรบกวนได้ดี (shielded) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแพร่คลื่นที่ไม่ต้องการไปยังสายเคเบิลอื่น และควรทำเครื่องหมายเพื่อระบุว่าสายใดใช้สำหรับขั้วต่อใด เพื่อป้องกันการสลับสายโดยไม่ตั้งใจ

ควรใช้ขั้วต่อที่แนะนำหรือระบุโดยผู้ผลิตสาย และควรปิดหัวขั้วต่อและเอาเทปพันสาย เพื่อป้องกันน้ำซึมเข้าสาย ทั้งนี้ หากมีการต่อสายลงดิน (earthing) ควรต่อที่บริเวณหัวสายบนเสาอากาศ และปลายสายตรงใต้เสาอากาศ

ในกรณีที่ต้องทำสายให้โค้งงอ ควรระมัดระวังไม่ให้เกินค่าที่กำหนดไว้โดยผู้ผลิต เพราะอาจเกิดความเสียหายต่อสายได้

ในกรณีที่มีการติดตั้งเครื่องส่งหลายตัวหรือเครื่องรับหลายตัว ทำให้จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์กรองสัญญาณ (filter) หรืออุปกรณ์มัลติเพล็กซ์ (multiplexer) ต้องใช้ความระมัดระวังในการติดตั้งให้ตรงกับความถี่ที่ต้องการและขั้วต่อที่มีอยู่

หากมีการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นร่วมด้วยที่สถานีวิทยุคมนาคมนั้น ต้องปฏิบัติตามกฎระเบียบที่เกี่ยวข้องโดยเคร่งครัด ทั้งนี้ ถ้าเป็นไปได้ ควรจะติดป้ายแสดงว่าเป็นของใคร ใช้ในกิจการใดไว้ด้วย

ในการลงสายดินนั้น ควรทำให้แน่ใจว่า ค่าความต้านทานต้องน้อยกว่า 10 โอห์ม และควรมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกันทั่วทั้งบริเวณสถานี

ถ้ามีปัญหาเรื่องการลงสายดิน แล้วส่งผลให้ค่าความต้านทานไม่เท่ากันและเกิดกระแสไฟฟ้าวิ่งผ่านสายเคเบิลที่ใช้งาน อาจจำเป็นต้องใช้ isolation transformer หรือเส้นใยนำแสง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

สายอากาศที่ติดตั้งอยู่บนที่สูงต้องมีอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าด้วย

2.3 การบริหารจัดการสถานีวิทยุคมนาคม

ควรมีผู้รับผิดชอบโดยตรงต่อสถานีวิทยุคมนาคมที่ได้ตั้งขึ้นมา (ในหน่วยงานนั้น ๆ) โดยเฉพาะในกรณีที่สถานีวิทยุคมนาคมนั้น เป็นสถานีที่ใช้ร่วมกันหลายหน่วยงาน

ควรมีการจัดการระบบเอกสารสำหรับสถานีวิทยุคมนาคมที่เหมาะสม ซึ่งอย่างน้อยต้องระบุรายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะทางเทคนิคของสถานีวิทยุคมนาคม และผู้รับผิดชอบในกรณีที่จำเป็นต้องติดต่อประสานงานนั้น

ควรมีผู้ซึ่งทำหน้าที่ site manager หรือ project manager เพื่อดูแลรับผิดชอบการดำเนินงานตั้งสถานีวิทยุคมนาคม และการบำรุงรักษาสถานีในภาพรวม

สถานีวิทยุคมนาคมที่ตั้งต้องปฏิบัติตามกฎระเบียบที่มีใช้บังคับในขณะนั้นให้ครบถ้วน ถูกต้องสมบูรณ์

ในกรณีที่หมดความจำเป็นที่จะใช้งานสถานีวิทยุคมนาคมนั้นแล้ว ควรแจ้งยกเลิกใบอนุญาตวิทยุคมนาคมที่เกี่ยวข้องด้วย

2.4 การใช้งานและการบำรุงรักษา

ผู้เกี่ยวข้องต้องร่วมกันดำเนินการเพื่อให้การใช้งานสถานีวิทยุคมนาคมเป็นไปอย่างเต็มประสิทธิภาพ รวมถึงการบำรุงรักษาเป็นระยะตามที่กำหนดไว้

ผู้รับผิดชอบต้องดำเนินการเพื่อให้แน่ใจว่า มีการป้องกันอันตรายต่อสุขภาพ และจัดการเรื่องความปลอดภัยในระหว่างการใช้งานและการบำรุงรักษาสถานี

ต้องปฏิบัติตามกฎระเบียบของ กทช. เกี่ยวกับมาตรฐานและแนวทางการกำกับดูแลความปลอดภัยอย่างเคร่งครัด ซึ่งอาจประกอบด้วย

- การกำหนดหน้าที่และผู้รับผิดชอบที่ชัดเจน
- การประเมินระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และการเก็บข้อมูลหลักฐาน
- การติดป้ายคำเตือน และการจำกัดเขตพื้นที่การเข้าถึง
- การจัดให้มีการฝึกอบรมเกี่ยวกับความปลอดภัย
- การควบคุมระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยอยู่เสมอ ทั้งในกรณีของบุคคลทั่วไป และคนทำงาน

ในกรณีที่คนทำงานได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์ที่อาจไม่ปลอดภัย จำเป็นต้องมีการตรวจร่างกายทางการแพทย์ และมีมาตรการบรรเทาผลกระทบอื่น ๆ ด้วย

ควรมีระบบรักษาความปลอดภัยในบริเวณพื้นที่สถานีที่เคร่งครัด โดยเฉพาะในบริเวณที่อาจเกิดอันตราย ซึ่งอาจใช้การล้อมรั้ว หรือกั้นประตู/มีทางเข้า และติดป้ายคำเตือนที่เหมาะสม

ในกรณีที่มีการใช้เครื่องจักรกลขนาดใหญ่ ควรมีป้ายคำเตือนเมื่อเกิดเสียงดัง มีพื้นที่ที่มีความร้อน หรือมีพื้นที่ที่เคลื่อนไหวได้

ควรมีการจัดเก็บวัสดุที่ติดไฟได้ง่าย เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง ไว้ในสถานที่ปลอดภัย รวมทั้งมีอุปกรณ์ดับเพลิงที่จำเป็น

ในส่วนของความปลอดภัยทางไฟฟ้านั้น ควรดำเนินการดังต่อไปนี้

- ควรมีระบบป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรที่เหมาะสม
- สายเคเบิลหรือสายไฟฟ้าต่าง ๆ ควรจะได้รับการตรวจสอบเป็นระยะ ๆ

- การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง ควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เหมาะสม
- การติดตั้งเครื่องส่งวิทยุ ต้องดำเนินการตามแนวทางปฏิบัติที่เหมาะสม ซึ่งข้อกำหนดส่วนใหญ่จะมีในเอกสารแสดงรายละเอียดทางวิชาการของเครื่องส่งวิทยุหรืออุปกรณ์วิทยุนั้นอยู่แล้ว

ข้อกำหนดทั่วไปว่าด้วยการบำรุงรักษา มีดังนี้

- ควรมีการทดสอบระบบป้องกันฟ้าผ่า และระบบการต่อสายดินเป็นระยะ ตามที่กำหนดไว้ในแผนการบำรุงรักษาสำหรับสถานีนั้น
- ควรนำข้อเสนอแนะว่าด้วยการบำรุงรักษาสายอากาศตามที่ผู้ผลิตระบุไว้ มาเป็นส่วนหนึ่งของแผนการบำรุงรักษา และในบางกรณี อาจจำเป็นต้องลดกำลังส่งของสถานีในระหว่างการบำรุงรักษาด้วย
- ควรตรวจเช็คขั้วต่อของสายอากาศและสายนำสัญญาณเป็นระยะว่ามีความเสียหาย ผุกร่อนหรือไม่อย่างไร
- ควรมีมาตรการป้องกันไม่ให้ส่วนประกอบของเสา โครงสร้าง หรือสายอากาศต่าง ๆ เป็นสนิมหรือผุกร่อน
- ควรทดสอบระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองเป็นระยะ เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถรองรับค่าโหลดสูงสุดที่ระบุไว้ได้
- ควรมีมาตรการบำรุงรักษาอาคารสถานที่ และระบบกันน้ำรั่วซึมที่มีใช้งานอยู่เป็นระยะ
- หากมีรั้วหรือถนนทางเข้ามาในบริเวณสถานีวิทยุคมนาคม ควรมีการตรวจสอบให้อยู่ในสภาพดีตลอดเวลา และอาจจำเป็นต้องมีมาตรการพิเศษ เพื่อป้องกันสัตว์ หนู แมลงเข้ามาในบริเวณอาคาร หรือบริเวณสถานีด้วย

2.5 ปัญหาการรบกวนทางวิทยุ

การรบกวนที่เกิดขึ้นทางภาคเครื่องส่ง มักเกิดได้ 3 ลักษณะ คือ

- สัญญาณรบกวน (noise) และการแพร่แปลกปลอม ที่เกิดจากตัวเครื่องส่งเอง
- ผลจากการมอดูเลตระหว่างกัน (intermodulation) ซึ่งเกิดจากเครื่องส่งหลายตัว ผสมคลื่นซึ่งกันและกันโดยไม่ได้ตั้งใจ
- ผลจากการมอดูเลตระหว่างกันซึ่งเกิดจากการที่อุปกรณ์บางตัวทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear)

ดังนั้น ควรจะต้องมีการทำให้เครื่องส่งมีความสามารถในการแยกแยะทางวิทยุออกจากกัน (isolation) ซึ่งอาจทำได้หลายวิธี เช่น

- การใช้ ferrite circulator ที่สามารถให้ค่า isolation ได้ประมาณ 20 – 40 dB
- การใช้ cavity resonator หรือ bandpass filter
- การใช้ notch filter ที่สามารถลดทอนสัญญาณที่ไม่ต้องการได้ประมาณ 15 – 30 dB
- การใช้ hybrid couplers ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีขั้วต่อ 4 ขั้ว และใช้ต่อร่วมกับเครื่องส่งสองเครื่องเข้าด้วยกัน จะช่วยเพิ่มค่า isolation ได้ประมาณ 30 – 40 dB
- การใช้ multicoupling schemes ซึ่งมักใช้ในกรณีที่ต่อเครื่องส่งหลายเครื่องเข้ากับสายอากาศ

โดยทั่วไปแล้ว การจัดวางสายอากาศให้อยู่เหนือกันในแนวตั้ง ก็จะทำให้มีค่า isolation เพิ่มขึ้นได้ถึง 30 dB

ในส่วนของสายอากาศนั้น โดยทั่วไปแล้ว สิ่งที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ คือ การจัดวางแยกกันทั้งทางด้านปริภูมิและทางด้านกายภาพ จึงควรพิจารณาในเรื่องดังกล่าวด้วย

ในการเลือกที่ตั้งสถานี เพื่อให้สายอากาศมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ หรือตามที่ระบุไว้ในเอกสารแสดงรายละเอียดทางวิชาการ

สายอากาศแบบแพร่กระจายรอบทิศทาง (omnidirectional) เช่น สายอากาศไดโพล ส่วนใหญ่จะแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางได้ ก็ต่อเมื่อติดตั้งอยู่บนสุดของเสาหรือโครงสร้าง หากติดตั้งอยู่ทางด้านข้าง จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลเวียนในตัวเสาหรือโครงสร้างซึ่งเป็นโลหะ และทำให้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเปลี่ยนแปลงไป เนื่องมาจากผลของการมอดูเลตระหว่างกัน

สายอากาศแบบมีทิศทาง (directional) จะไม่ค่อยเกิดปัญหาดังกล่าว แต่ควรพิจารณาติดตั้งสายอากาศให้อยู่ห่างจากเสาหรือโครงสร้างอย่างน้อย 1 ความยาวคลื่น เพื่อให้มีค่า VSWR ที่ดี นอกจากนั้น การติดตั้งสายอากาศอยู่ใกล้กับเสาหรือโครงสร้างมากเกินไป จะทำให้อัตราขยายสายอากาศในส่วนของ forward gain ลดลง ในขณะที่ side lobe/back lobe จะมีค่ามากขึ้น

ในกิจการวิทยุคมนาคมบางกิจการ เช่น กิจการประจำที่ในย่านความถี่ไมโครเวฟ อาจจำเป็นต้องพิจารณาข้อมูลเกี่ยวกับ cross-polar protection ระหว่าง vertical polarization กับ horizontal polarization ด้วย โดยพิจารณาจากค่า cross-polar discrimination (CPD) ของสายอากาศนั้น (มีค่าตั้งแต่ 10-40 dB) ประกอบการติดตั้งสายอากาศด้วย โดยข้อบกพร่องที่พบเห็นโดยทั่วไป คือ การจัดวางโพลาไรเซชันไม่ตรงกันระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ หรือการเกิดกระแสไฟฟ้าส่วนเกินที่ไหลเวียนในเสา/โครงสร้างที่เป็นโลหะ แล้วทำให้เกิดโพลาไรเซชันในระนาบที่ไม่ต้องการ

ควรประมาณค่า VSWR ที่เหมาะสม (ประมาณ 1-1.5) โดยในกรณีของย่านความถี่ VHF ค่า VSWR จะขึ้นอยู่กับว่าสายอากาศอยู่ติดกับเสาหรือโครงสร้างมากน้อยแค่ไหน แต่ในย่านความถี่ที่สูงขึ้น ค่า VSWR มักจะเกิดจากการสะท้อนกลับที่ขั้วต่อ หรือ mismatch ในระบบการส่งสัญญาณ

สภาพแวดล้อมอาจส่งผลกระทบต่อปัญหาการรบกวนทางวิทยุได้ เป็นต้นว่า

- การผุกร่อนหรือเป็นสนิมอาจทำให้ขั้วต่อมีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น แล้วทำให้มีผลจากการมอดูเลตระหว่างกันเกิดขึ้นได้ หรือทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนไป แล้วส่งผลให้ค่า VSWR เปลี่ยนไปด้วย
- การที่มีน้ำซึมเข้าไปในสายนำสัญญาณอาจทำให้ค่า permittivity เปลี่ยนไป และส่งผลให้ค่า VSWR เปลี่ยนไปด้วย
- การเกิดแผ่นดินไหวอาจทำให้เกิดการเสียดสีหรือทรุดตัวของโครงสร้างและอาจก่อให้เกิดอันตรายกับสถานีที่ติดตั้งไปแล้วได้

การรบกวนที่เกิดขึ้นทางภาคเครื่องรับ มีแนวทางแก้ไขดังนี้

- ในกรณีที่เกิด intermodulation/cross-modulation/blocking ในเครื่องรับซึ่งมีสาเหตุจากสัญญาณที่มีความแรงมากเข้ามารบกวนให้หาทางเลี่ยงสภาพแวดล้อมเช่นนั้น หรืออาจใช้ isolation สำหรับเครื่องรับหลาย ๆ ตัว ซึ่ง 20 dB ก็น่าจะเพียงพอ
- เพื่อป้องกันการเกิด blocking/intermodulation/desentitization ระหว่างเครื่องรับที่อยู่ใกล้กับเครื่องส่ง อาจใช้ filters หรือเลือกการติดตั้งที่ลดอาการดังกล่าว
- ในกรณีที่มีเครื่องรับหลายเครื่องอยู่ในบริเวณสถานีเดียวกันและรับความถี่ที่เหมือนกันหรือใกล้เคียงกัน อาจจำเป็นต้องใช้ multicouplers เพื่อช่วยในการแยกแยะสัญญาณ และใช้ low-noise amplifier เพื่อช่วยเพิ่มค่าอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) ให้ดีขึ้น
- ควรพิจารณาการรบกวนที่อาจเกิดจากแหล่งอื่น เช่น case radiation ด้วย

ในส่วนของการประสานงานความถี่นั้น ควรดำเนินการโดยใช้หลักการดังนี้

- การขออนุญาตใช้ความถี่วิทยุและตั้งสถานีวิทยุคมนาคมควรดำเนินการก่อนที่จะมีการตั้งสถานีจริง
- ต้องดำเนินการประสานงานความถี่ที่จำเป็นตามกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง
- ในกรณีของการเปลี่ยนแปลงสถานที่ตั้งสถานีวิทยุคมนาคม หรือเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเทคนิคของสถานีวิทยุคมนาคม จะต้องแจ้ง กทช. ให้ทราบและเห็นชอบทุกครั้ง

ในกรณีที่มีการรบกวนทางวิทยุเกิดขึ้น จำเป็นต้องมีผู้รับผิดชอบในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวให้ลุล่วงไป โดยต้องพิจารณาหาสาเหตุของการรบกวนนั้น และหาวิธีทางแก้ไขที่อาจแตกต่างกันไป

2.6 การพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการตั้งสถานีวิทยุคมนาคม

การตั้งสถานีวิทยุคมนาคมใหม่อาจจำเป็นต้องจัดทำรายงานผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (environment impact assessment - EIA) ขึ้นอยู่กับสภาพการณ์แวดล้อมในการตั้งสถานีนั้น โดยเฉพาะในกรณีของการตั้งสถานีในพื้นที่อ่อนไหวทางสิ่งแวดล้อม หรือพื้นที่ชุมชนหนาแน่น

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อาจแบ่งได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

- **ทางด้านกายภาพ** เช่น การทรุดตัวของพื้นดินหรือการพังทลายของผิวดิน การปนเปื้อนแหล่งน้ำ เป็นต้น
- **ทางด้านชีวภาพ** เช่น ผลกระทบต่อพันธุ์สัตว์และพันธุ์พืชในบริเวณที่จะตั้งสถานี ซึ่งอาจจำเป็นต้องประเมินผลกระทบโดยผู้เชี่ยวชาญในสาขานั้น ๆ รวมทั้งในกรณีที่เป็นสัตว์ป่าและพันธ์พืชหายากซึ่งมีกฎหมายหรือกฎระเบียบกำหนดไว้ ทั้งนี้ หากสถานีที่จะตั้งอยู่ในบริเวณป่าสงวนแห่งชาติ อุทยานแห่งชาติ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า หรือเขตพื้นที่อนุรักษ์อื่น ต้องได้รับอนุญาตจากหน่วยงานที่รับผิดชอบก่อน
- **ทางด้านสังคม** เช่น
  - ความปลอดภัย ซึ่งกล่าวไว้แล้วก่อนหน้านี้
  - ความสวยงามด้านภูมิทัศน์ โดยอาจแก้ไขได้โดยพิจารณาเลือกสายอากาศและจัดวางสายอากาศในรูปแบบที่สมดุล ไม่ให้มากจนเกินงาม การเลือกใช้โครงสร้างที่ดูดีมากกว่า การเลือกใช้วัสดุ สี หรือเลือกแบบการต่อสร้างอาคารสถานี ให้เหมาะสม และการตกแต่งปรับปรุงภูมิทัศน์รอบ ๆ บริเวณโดยใช้ต้นไม้เพิ่มมากขึ้น
  - การบดบังพื้นที่หรืออาคารใกล้เคียง โดยเฉพาะในกรณีที่โครงสร้างมีขนาดใหญ่
  - ควรหลีกเลี่ยงหรือใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ สำหรับการตั้งสถานีในบริเวณสถานที่ที่มีความสำคัญทางด้านประวัติศาสตร์ โบราณคดี และมานุษยวิทยา
- **ผลกระทบในขณะก่อสร้าง** เช่น จากการปรับพื้นที่ก่อนสร้างสถานี รวมถึงการตัดต้นไม้ การถมดิน การสร้างถนนหรือทางเข้าไปในบริเวณก่อสร้าง เสียงรบกวน ฝุ่นผง และการกำจัดขยะของเสีย
- **ผลกระทบในขณะใช้งาน** เช่น เสียงรบกวนจากเครื่องจักรกลบางประเภท (แหล่งกำเนิดไฟฟ้าสำรองแบบใช้น้ำมันดีเซล) ซึ่งจะมีเสียงดังมาก และการรักษาความปลอดภัยในบริเวณพื้นที่สถานีไม่ให้มีการบุกรุกเข้ามา หลีกเลี่ยงไม่ให้ผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกินเกณฑ์ที่กำหนด และป้องกันอุปกรณ์ราคาแพงถูกขโมยหรือทำลาย

เนื่องจากพื้นที่บางส่วนของประเทศไทย อาจมีความเสี่ยงจากภัยธรรมชาติ เช่น ดินถล่ม อุทกภัย วาตภัย แผ่นดินไหว หรือการกัดเซาะของน้ำเค็ม ดังนั้น ผู้ประสงค์จะตั้งสถานีในบริเวณที่มีความเสี่ยงดังกล่าว จำเป็นต้องศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องก่อนตั้งสถานี และหามาตรการหรือวิธีการที่จะป้องกันหรือบรรเทาผลกระทบจากความเสี่ยงดังกล่าวด้วย

2.7 การแก้ไขปัญหาการรบกวน

เนื่องจากการตั้งสถานีวิทยุคมนาคมจำเป็นต้องมีการใช้ความถี่วิทยุ ดังนั้น อาจมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการรบกวนระหว่างเครื่องส่ง (หลายเครื่อง) ภายในสถานีเดียวกันเอง หรือระหว่างสถานี ซึ่งควรแก้ไขปัญหาการรบกวนที่เกิดขึ้นโดยใช้หลักการดังต่อไปนี้

- ต้องแน่ใจว่าสถานีและอุปกรณ์มีมาตรฐานที่ดีพอตามหลักวิศวกรรม เช่น มีการใช้ isolator สำหรับสายอากาศส่งและรับแยกกัน เป็นต้น
- ต้องยอมรับว่า ในบางกรณี แม้จะใช้หลักวิศวกรรมที่ดีแล้วก็ตาม ก็อาจเกิดการรบกวนเกิดขึ้นได้ โดยไม่ได้มีผู้ใดเป็นฝ่ายผิด
- ถ้าในกรณีที่มีสถานีตั้งใหม่ แล้วเกิดการรบกวนขึ้น ผู้ที่รับผิดชอบสถานีที่ตั้งใหม่นั้นอาจต้องรับผิดชอบต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น หากสถานีที่มีอยู่เดิมสามารถแสดงให้เห็นว่ามีมาตรฐานที่ดีพอตามหลักวิศวกรรมแล้ว
- ควรร่วมกันแก้ไขปัญหา มิใช่โยนภาระรับผิดให้แก่สถานีที่ตั้งใหม่เสมอ
- กระบวนการแก้ไขปัญหาการรบกวน ควรมีขั้นตอนดังนี้
- กำหนดตัวผู้รับผิดชอบในกรณีที่มีการรบกวนเกิดขึ้น (เช่น อาจมอบหมายให้ site manager เป็นผู้รับผิดชอบ)
- ควรตรวจสอบสถานีที่ถูกรบกวนเบื้องต้นก่อน เพื่อตรวจทานว่าอุปกรณ์ที่ติดตั้งใช้งานยังอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ และมีมาตรฐานที่ดีพอ แล้วจึงสำรวจตรวจหาแหล่งกำเนิดการรบกวนว่ามาจากแหล่งใดบ้าง
- หลังจากพบแหล่งกำเนิดการรบกวนแล้ว ผู้รับผิดชอบ (site manager) ควรติดต่ออีกฝ่ายหนึ่ง เพื่อแจ้งให้ทราบว่ามีการรบกวนเกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดนั้น
- ผู้รับผิดชอบแหล่งกำเนิดการรบกวนต้องตรวจสอบอุปกรณ์ที่ติดตั้งใช้งาน ว่ามีข้อบกพร่องหรือไม่อย่างไร ซึ่งอาจต้องตรวจทานโดยละเอียดรอบคอบ
- ทั้งสองฝ่ายต้องพยายามแก้ไขปัญหาร่วมกัน โดยจำเป็นต้องใช้ความรู้ทางด้านเทคนิคเป็นหลักพอสมควร เพื่อจะได้หาข้อยุติที่เป็นที่พอใจของทั้งสองฝ่าย
- ในกรณีที่มีข้อพิพาทเกิดขึ้น และกระบวนการแก้ไขปัญหาการรบกวนที่กล่าวมาข้างต้นต้องหยุดชะงักไม่ได้ผล ต้องใช้กลไกอื่นที่เหมาะสม เช่น ร้องเรียนต่อ กทช. หรือ ฟ้องเป็นคดีความสู่ศาล เป็นต้น

3. แนวทางปฏิบัติเฉพาะด้านความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์

3.1 กฎระเบียบที่เกี่ยวข้องในการกำกับดูแลความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จาก การใช้เครื่องวิทยุคมนาคม

คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.) ได้กำหนดกฎระเบียบในการกำกับดูแลความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม ไว้สองฉบับดังนี้

1) **มาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม: ขีดจำกัดและวิธีการวัดสำหรับการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่วิทยุ 9 kHz – 300 GHz (กทช. มท. 5001–2550)** ซึ่งกำหนดขีดจำกัด (limits) และวิธีการวัด (methods of measurement) สำหรับการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของมนุษย์ จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคมในย่านความถี่วิทยุ 9 kHz – 300 GHz เพื่อลดผลกระทบและป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับสุขภาพของมนุษย์จากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่จากเครื่องวิทยุคมนาคม

2) **หลักเกณฑ์และมาตรการกำกับดูแลความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม** ซึ่งกำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการกำกับดูแลความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม ให้สอดคล้องเป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัย

3.2 การปฏิบัติตามกฎระเบียบเกี่ยวกับการกำกับดูแลความปลอดภัย

สถานีวิทยุคมนาคมที่มีลักษณะเป็นการติดตั้งแบบอยู่กับที่ถาวร และมีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าครอบคลุมบริเวณกว้าง (เป็นเครื่องวิทยุคมนาคมประเภทที่ 3 ตามที่กำหนดในมาตรฐานความปลอดภัย) จะต้องได้รับการประเมินระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (ความแรงสนาม ไฟฟ้า - **E-field (V/m)**, ความแรงสนามแม่เหล็ก **H-field (A/m)** หรือความหนาแน่นกำลัง - **power density – (W/m^2)**) แต่ไม่ต้องประเมินค่าอัตราการดูดกลืนพลังงานจำเพาะ (SAR)

เครื่องวิทยุคมนาคมประเภทที่ 3 นี้ หมายรวมถึง สถานีประจำที่ (fixed station) และสถานีฐาน (base station) ในกิจการวิทยุคมนาคม เช่น สถานีฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเซลลูล่าร์ เป็นต้น

3.3 ผู้รับผิดชอบการประเมินระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ผู้ได้รับอนุญาตให้ตั้งสถานีวิทยุคมนาคม หรือผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโทรคมนาคม ที่รับผิดชอบสถานีวิทยุคมนาคมนั้น เป็นผู้ประเมินระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

3.4 กำหนดเวลาเริ่มใช้บังคับกฎระเบียบเกี่ยวกับความปลอดภัย

กทช. กำหนดให้มาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคมมีผลใช้บังคับตั้งแต่วันที่ 5 พฤษภาคม 2550 เป็นต้นไป

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ผู้ประกอบการและผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถปรับตัวและเตรียมความพร้อมในการปฏิบัติตามมาตรฐานความปลอดภัย และหลักเกณฑ์การกำกับดูแล กทช. ได้มีบทเฉพาะกาลอนุโลมให้มีระยะเวลาเพื่อการปรับตัวและเตรียมความพร้อม (transitional period) โดยในกรณีของสถานีวิทยุคมนาคมที่ขอตั้งใหม่ ต้อง

ปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ตั้งแต่วันที่ 5 พฤษภาคม 2551 เป็นต้นไป และกรณีของสถานีวิทยุคมนาคมที่ตั้งอยู่เดิม ต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ตั้งแต่วันที่ 5 พฤษภาคม 2552 เป็นต้นไป

3.5 การประเมินระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม

3.5.1 สถานีวิทยุคมนาคมที่จะตั้งขึ้นใหม่

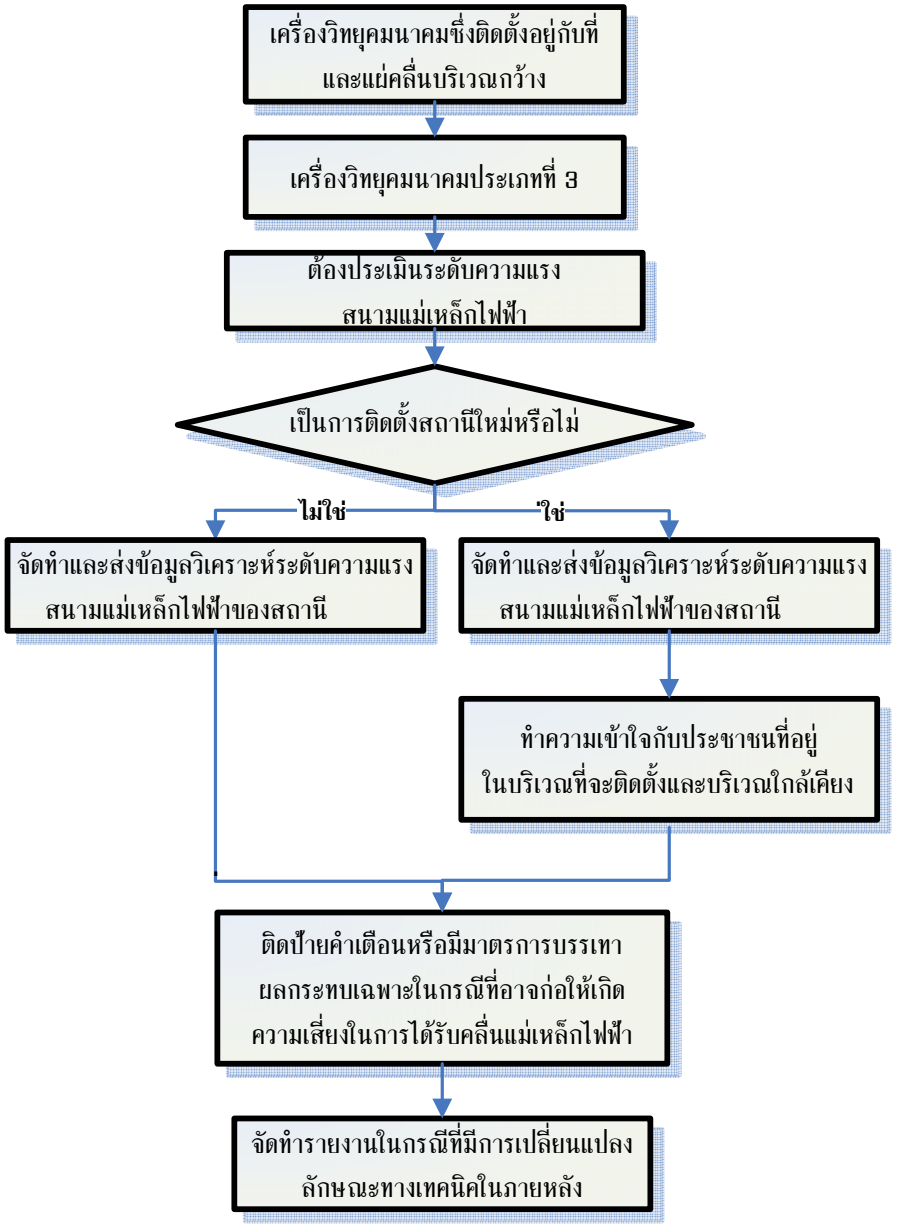
1) ผู้ประกอบการที่ประสงค์จะตั้งสถานีวิทยุคมนาคม จะต้องจัดทำและส่งข้อมูลการวิเคราะห์ระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคมนั้น และจะต้องจัดทำรายงานการสำรวจและ/หรือวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่จะทำการตั้งสถานีวิทยุคมนาคมนั้นด้วย เช่น ระยะห่างจากชุมชนและสถานพยาบาล เป็นต้น เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาให้อนุญาตตั้งสถานีวิทยุคมนาคม

2) เพื่อประโยชน์ในการคุ้มครองความปลอดภัยของประชาชน ผู้ประกอบการ และผู้ที่ประสงค์จะตั้งสถานีวิทยุคมนาคม จะต้องทำความเข้าใจกับประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่จะติดตั้งและบริเวณใกล้เคียงเพื่อสร้างเชื่อมั่นในความปลอดภัยและป้องกันความวิตกกังวลของประชาชนที่อาจเกิดขึ้นได้

3.5.2 สถานีวิทยุคมนาคมที่มีอยู่เดิม

1) ผู้ได้รับอนุญาตให้ตั้งสถานีวิทยุคมนาคมจะต้องจัดทำรายงานความสอดคล้องตามมาตรฐานเกี่ยวกับระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีวิทยุคมนาคมนั้น และเก็บเป็นเอกสารหลักฐานสำหรับการกำกับดูแล และการตรวจสอบในภายหลังตามที่ กทช. เห็นสมควร โดย กทช. อาจเรียกดูรายงานความสอดคล้องดังกล่าวในลักษณะสุ่มในบริเวณที่เห็นว่าอาจมีผลกระทบต่อประชาชนได้

2) ภายหลังจากที่จัดทำรายงานสรุปความสอดคล้องของสถานีวิทยุคมนาคมและส่งให้สำนักงาน กทช. แล้ว หากมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเทคนิคของสถานีวิทยุคมนาคมที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคมนั้น ให้ผู้ได้รับใบอนุญาตให้ตั้งสถานีวิทยุคมนาคมนั้น จัดทำรายงานเฉพาะสถานีวิทยุคมนาคมนั้น ๆ ส่งให้สำนักงาน กทช. ทราบภายใน 1 เดือน



3.6 ระยะเวลาการรายงานความสอดคล้องตามมาตรฐานเกี่ยวกับระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีวิทยุคมนาคม

หลังจากที่ผู้ประกอบการได้ส่งรายงานข้อมูลความสอดคล้องตามมาตรฐานเกี่ยวกับระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีวิทยุคมนาคมให้กับสำนักงาน กทช. แล้ว หากมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเทคนิคของสถานีวิทยุคมนาคมที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคมนั้น ผู้ประกอบการจะต้องจัดทำรายงาน**<u>เฉพาะ</u>**สถานีวิทยุคมนาคมนั้นๆ ส่งให้สำนักงาน กทช. ทราบภายใน 1 เดือน นับแต่วันที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเทคนิคดังกล่าว

3.7 มาตรการบรรเทาผลกระทบ

ผู้ประกอบการจะต้องติดป้ายคำเตือนในบริเวณที่มีความเสี่ยงในการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกินเกณฑ์ที่กำหนด หรือมีมาตรการบรรเทาผลกระทบที่เป็นรูปธรรมชัดเจนตามความเหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้มีการเข้าถึงบริเวณดังกล่าวโดยง่าย **<u>เฉพาะในกรณีที่</u>**ข้อมูลการวิเคราะห์หรือการวัดระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคมนั้นบ่งชี้ว่าอาจเกิดบริเวณที่มีความเสี่ยงในการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ขั้นตอนการพิจารณาพื้นที่ที่อาจเกิดความเสี่ยงในการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สรุปได้ดังนี้

1) คำนวณระยะห่างต่ำสุดจากสายอากาศของสถานีวิทยุคมนาคมถึงจุดสังเกตการณ์ (โดยใช้ระยะสูงกว่าพื้นระนาบ 1.5 เมตรแทนระดับศีรษะของมนุษย์) จากสูตรการคำนวณที่ระบุไว้ในหลักเกณฑ์

ตัวอย่างจุดสังเกตการณ์ได้แก่ บริเวณพื้นที่ใต้สถานีฐาน บริเวณดาดฟ้าที่มีการตั้งสถานีฐาน และบริเวณตึกอาคารที่อยู่หน้าสายอากาศของสถานีฐาน เป็นต้น

2) ในกรณีที่ค่าที่คำนวณได้น้อยกว่าค่าที่มากกว่าระหว่าง 3λ หรือ $2D^2/\lambda$ (D คือ ขนาดใหญ่ที่สุดของสายอากาศ และ λ คือความยาวคลื่น) ผู้ประกอบการจะต้องคำนวณระดับความแรงของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้แบบจำลองอื่นๆ ที่สะท้อนความเป็นจริงมากขึ้น หรือทำการวัดความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยตรง ในขณะที่สถานีอยู่ในสภาวะทำงาน

3) ติดป้ายคำเตือนหรือมีมาตรการบรรเทาผลกระทบตามความเหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้มีการเข้าถึงบริเวณที่อาจเกิดความเสี่ยงดังกล่าวโดยง่าย

เขตพื้นที่ที่อาจเกิดความเสี่ยงอาจแบ่งออกได้ตามระดับความแรงของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้เป็น

- เขตสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน (Occupational zone) คือเขตที่ระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดเฉพาะสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน
- เขตเกินขีดกำหนด (Exceedance zone) คือเขตที่ระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้ามีค่าสูงกว่าขีดจำกัดทั้งสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน และกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป

3.8 วิธีการประเมินระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ผู้ประกอบการสามารถประเมินระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ทั้งโดยการวิเคราะห์ทางทฤษฎีตามลักษณะทางเทคนิคของสถานีวิทยุคมนาคม หรือโดยการวัดความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยตรงในขณะที่สถานีอยู่ในสภาวะทำงาน โดยใช้วิธีการวัดที่กำหนดในมาตรฐานความปลอดภัยหรือที่เทียบเท่า เช่น IEC 61566, ANSI/IEEE C.95.3, ITU-T K.52 หรือ ITU-T K.61

3.9 มาตรการบรรเทาผลกระทบ

- เครื่องหมายแสดงระดับความปลอดภัยจากการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
- มาตรการบรรเทาผลกระทบอื่น

3.10 วิธีการประเมิน

- การประเมินทางทฤษฎี อธิบายรายละเอียดในบทที่ 4
- การประเมินโดยวิธีการวัด อธิบายรายละเอียดในบทที่ 5

3.11 การรายงาน

- รูปแบบแสดงการรายงานแสดงในภาคผนวก

4. การประเมินระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการวิเคราะห์ทางทฤษฎี

4.1 การคำนวณระยะต่ำสุดที่สอดคล้องกับระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Simplified method for the calculation of the compliance distances)

การประเมินความสอดคล้องของสถานีวิทยุคมนาคมในทางทฤษฎีสำหรับสถานีวิทยุคมนาคมที่ใช้ความถี่วิทยุสูงกว่า 1 MHz การคำนวณระยะห่างต่ำสุดจากสายอากาศ สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตรตามตารางที่แสดง ดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงระยะทางต่ำสุดของสายอากาศ ของสถานีวิทยุคมนาคมถึงจุดสังเกตการณ์ ที่ระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสอดคล้องตามขีดจำกัดสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป

Radio frequency range	General Public Exposure	
1 MHz to 10 MHz	$r = 0.10\sqrt{eirp \times f}$	$r = 0.129\sqrt{erp \times f}$
10 MHz to 400 MHz	$r = 0.319\sqrt{eirp}$	$r = 0.409\sqrt{erp}$
400 MHz to 2000 MHz	$r = 6.38\sqrt{eirp \div f}$	$r = 8.16\sqrt{erp \div f}$
2000 MHz to 300000 MHz	$r = 0.143\sqrt{eirp}$	$r = 0.184\sqrt{erp}$
r is the minimum antenna distance, in meters; *f* is the frequency, in MHz; erp is the effective radiated power in the direction of the largest antenna gain, in watts; eirp is the equivalent isotropically radiated power in the direction of the largest antenna gain, in watts;		

ตารางที่ 4.2 แสดงระยะทางต่ำสุดของสายอากาศ ของสถานีวิทยุคมนาคมถึงจุดสังเกตการณ์ ที่ระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสอดคล้องตามขีดจำกัดสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน

Radio frequency range	Occupational Exposure	
1 MHz to 10 MHz	$r = 0.0144 \times f \times \sqrt{eirp}$	$r = 0.0184 \times f \times \sqrt{erp}$
10 MHz to 400 MHz	$r = 0.143\sqrt{eirp}$	$r = 0.184\sqrt{erp}$
400 MHz to 2000 MHz	$r = 2.92\sqrt{eirp \div f}$	$r = 3.74\sqrt{erp \div f}$
2000 MHz to 300000 MHz	$r = 0.0638\sqrt{eirp}$	$r = 0.0819\sqrt{erp}$
r is the minimum antenna distance, in meters; *f* is the frequency, in MHz; erp is the effective radiated power in the direction of the largest antenna gain, in watts; eirp is the equivalent isotropically radiated power in the direction of the largest antenna gain, in watts;		

4.2 แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Point source model)

1) ลักษณะทั่วไป

แบบจำลองของแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นแบบจำลองที่ง่ายแต่นำมาใช้ได้ผลในการคำนวณหาระดับอ้างอิง ภายใต้ข้อสมมติฐานสายอากาศเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นคลื่นจุดเดียว สนามไฟฟ้าจะแผ่พลังงานออกจากจุดศูนย์กลางของสายอากาศ ความเที่ยงตรงของรูปแบบนี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ของบริเวณสนามและอัตราขยายสายอากาศ โดยมีการกำหนดรูปแบบพื้นที่ของสนามแตกต่างกันไป ซึ่งรูปแบบนี้เหมาะสมกับสนามระยะไกล (far-field) เมื่อระยะทางจากสายอากาศมีค่ามากกว่า

$$d_r = max(3\lambda, 2D^2/\lambda, D/2+\lambda)$$

เมื่อ

- d_r – ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและจุดสังเกตการณ์
- D – ขนาดสูงสุดของสายอากาศ (ในวิทยุคมนาคมและการกระจายเสียงมักเป็นขนาดในแนวตั้งของสายอากาศส่งหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวสะท้อน)
- λ - ความยาวคลื่น

ในบริเวณสนามระยะไกล (far-field) มีความสัมพันธ์ระหว่างความแรงของสนามไฟฟ้า (E) ความแรงของสนามแม่เหล็ก (H) ความหนาแน่นกำลัง (S) ซึ่งเป็นคลื่นระนาบกำหนดได้โดย

$$S_{eq} = \frac{EIRP}{4\pi R^2} G_i(\theta,\phi) = \frac{P \cdot G_i}{4\pi R^2} F(\theta,\phi) = \frac{P \cdot G_i}{4\pi R^2} H^2(\phi) V^2(\theta) = \frac{E^2}{Z_0} = H^2 \cdot Z_0$$

โดยที่

- S – ความหนาแน่นกำลัง (W/m^2) ในทิศทางที่พิจารณา
- $EIRP$ – equivalent isotropically radiated power (W)
- R - ระยะห่างจาก radiation source
- P - กำลังเฉลี่ย (W) ที่ป้อนให้กับ radiation source (สายอากาศส่ง)
- $G_i(\theta,\phi)$ - อัตราขยายของสายอากาศในทิศทางที่เกี่ยวข้อง (φ - azimuth angle, θ -elevation angle), โดยเทียบกับ isotropic radiator
- G - อัตราขยายสูงสุดของสายอากาศส่ง เมื่อเทียบกับ an isotropic radiator
- $F(\theta,\phi)$ - อัตราขยายเชิงตัวเลขของสายอากาศ (normalized gain), ϕ - azimuth angle, θ - elevation angle
- $H(\phi)$ - horizontal radiation pattern (HRP)
- $V(\theta)$ - vertical radiation pattern (VRP)
- E - electric field strength (V/m)
- H - magnetic field strength (A/m)
- Z_0 - free space wave impedance = $120\pi \approx 377$ (Ω).

กำลังส่งในสมการ คือกำลังส่งเฉลี่ยไม่ใช่กำลังส่งตามที่ระบุไว้ที่เครื่องส่ง (nominal rated power) ในทุกกรณี ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลเกี่ยวกับการแปลงค่า (conversion factor) ที่ใช้ทั่วไปในกิจการโทรคมนาคม และ

กำลังส่งของเครื่องส่งจะต้องกำหนดไว้ที่ค่าสูงสุดที่เครื่องส่งสามารถทำได้ นั่นหมายความว่าทุกช่องความถี่สามารถที่กำลังส่งสูงสุดเท่ากัน

ตารางที่ 4.3 ค่าของ **Conversation Factors** สำหรับกิจการโทรคมนาคมแต่ละกิจการ

Type of service	**Conversion factor nominal (rated) / mean (average) transmitter power**
GSM, CDMA, UMTS, DECT, TETRA	1.0
AM DSB (modulation depth = 0,7)	1.25
AM SSB	0.6
FM	1.0
TV PAL	0.7
TV NTSC	0.6
DVB-T, T-DAB, DRM, DVB-H, DMB	1.0

การแผ่พลังงานในสนามระยะใกล้ (near-field) ของแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ในระดับต่ำกว่าหรือสูงกว่าระดับที่กะไว้ขึ้นอยู่กับทิศทางของรูปแบบการแผ่พลังงาน ในทิศทางที่มีการแผ่พลังงานมักจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ประมาณไว้ตามจริง และในทิศทางที่ไม่มีการแผ่พลังงานในรูปแบบนี้จะมีค่าต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้

ในบริเวณสนามระยะใกล้แบบจำลองนี้ไม่ควรนำมาใช้เนื่องจากการแพร่กระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า หากไม่ทราบรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศ ซึ่งอาจจะสมมุติ $G_{i=}(\theta,\phi)=1$ จะทำให้การแผ่พลังงานสูงกว่าที่ประมาณการไว้ ค่าที่ได้จากการประมาณการมีค่าสูงมาก โดยเฉพาะสายอากาศที่มีอัตราขยายสายอากาศที่สูงเหมือนกับสายอากาศของสถานีฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น

ตัวอย่างที่ 4.1 GSM base station-รูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศ

อัตราขยายสายอากาศ (Transmitting antenna (panel) gain): 15.5 dBi

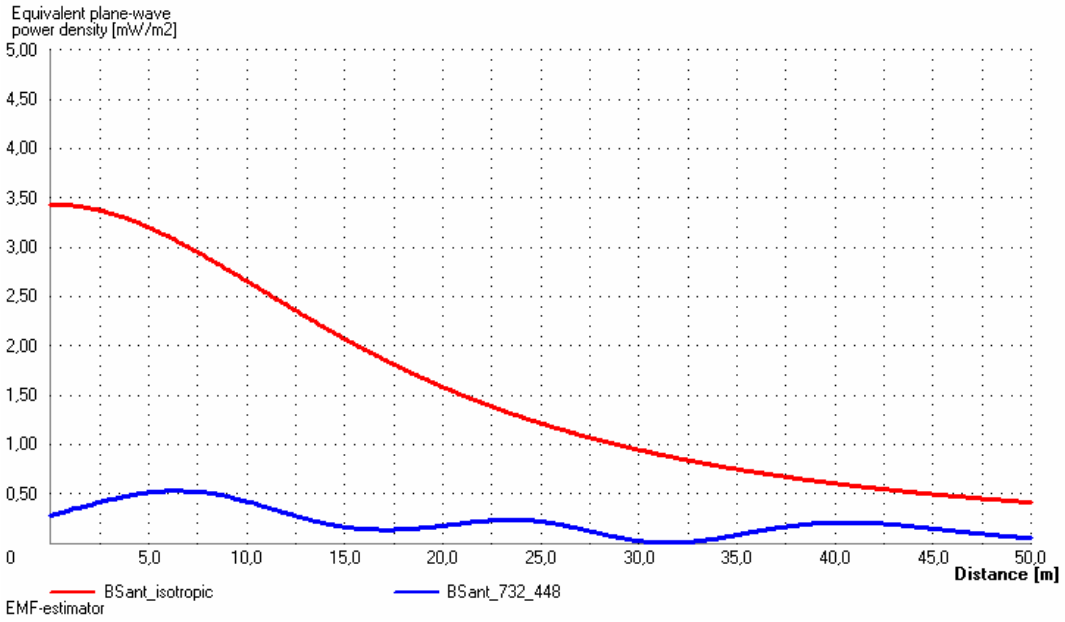
ความถี่วิทยุ (Frequency): 947.5 MHz

กำลังส่ง (Transmitter power): 25 วัตต์

ความกว้างลำคลื่นแนวตั้ง (Vertical beam width): 13°

ความสูงสายอากาศ : 35 เมตร สูงกว่าระดับพื้นดิน

การสูญเสีย: 2.32 dB



รูปที่ 4.1 แสดงการกระจายความหนาแน่นกำลังในฟังก์ชันของระยะทางสำหรับสถานีฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบ GSM 900: (เส้นสีน้ำเงิน) แสดงสายอากาศที่ใช้งานจริงและ (สีแดง) สำหรับสายอากาศแผ่พลังงานรอบทิศทาง

จากรูปความหนาแน่นกำลังมีรูปแบบการกระจายดังรูป สำหรับระบบ GSM 900 มีสองกรณีคือมีข้อมูลรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศและไม่มีข้อมูลการแผ่พลังงานของสายอากาศ โดยการคำนวณที่ความสูงกว่าระดับพื้นดิน 1.5 เมตร (ในบริเวณสนามระยะไกล)

จะเห็นได้ว่าถ้าสมมติ $f(\theta,\phi)=1$ ระดับความหนาแน่นกำลังจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ประมาณการณ์ไว้

2) การประยุกต์ใช้แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นแบบ point-source model

แหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะไม่คำนึงถึงขนาดของสายอากาศ อย่างไรก็ตาม การหาขอบเขตของบริเวณสนามขนาดของสายอากาศจะถูกนำมาใช้ ขนาดของสายอากาศในกิจการโทรคมนาคมและกิจการวิทยุกระจายเสียงจะมีขนาดประมาณ 0.3 เมตร (สายอากาศของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่มีอัตราการขยายสายอากาศต่ำหรือสายอากาศแบบพาราโบริก) ถึง 30 เมตร (สายอากาศเครื่องส่ง FM หรือ UHF TV) หรือในการวัดที่เกี่ยวข้อง จาก $\lambda/4$ ถึง 40λ ซึ่งความสามารถของรูปแบบนี้มีข้อจำกัด ผลของการคำนวณจะมีค่าแน่นอน ถ้าระยะทางระหว่างจุดสังเกตการณ์มีค่าอย่างน้อยอยู่ในบริเวณสนามระยะไกล ซึ่งเป็นข้อจำกัดของแบบจำลองนี้และข้อมูลที่สำคัญคือข้อมูลเกี่ยวกับสายอากาศ

ในการแสดงความแม่นยำของแหล่งกำเนินคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น การแพร่กระจายความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าบริเวณสถานีฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบ GSM ผลของการคำนวณจะมีความแม่นยำโดยใช้วิธี MoM และเปรียบเทียบความแรงของสนามไฟฟ้าในบริเวณพื้นที่อื่น

ตัวอย่างที่ 4.2 สถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบ GSM900 (มีอัตราขยายสายอากาศสูง)-เปรียบเทียบผลของการใช้วิธีการประเมินความสอดคล้อง ในบริเวณสนามระยะไกล

อัตราขยายสายอากาศ (Transmitting antenna (panel) gain): 14.49 dBi

ความถี่วิทยุ (Frequency) : 947.5 MHz

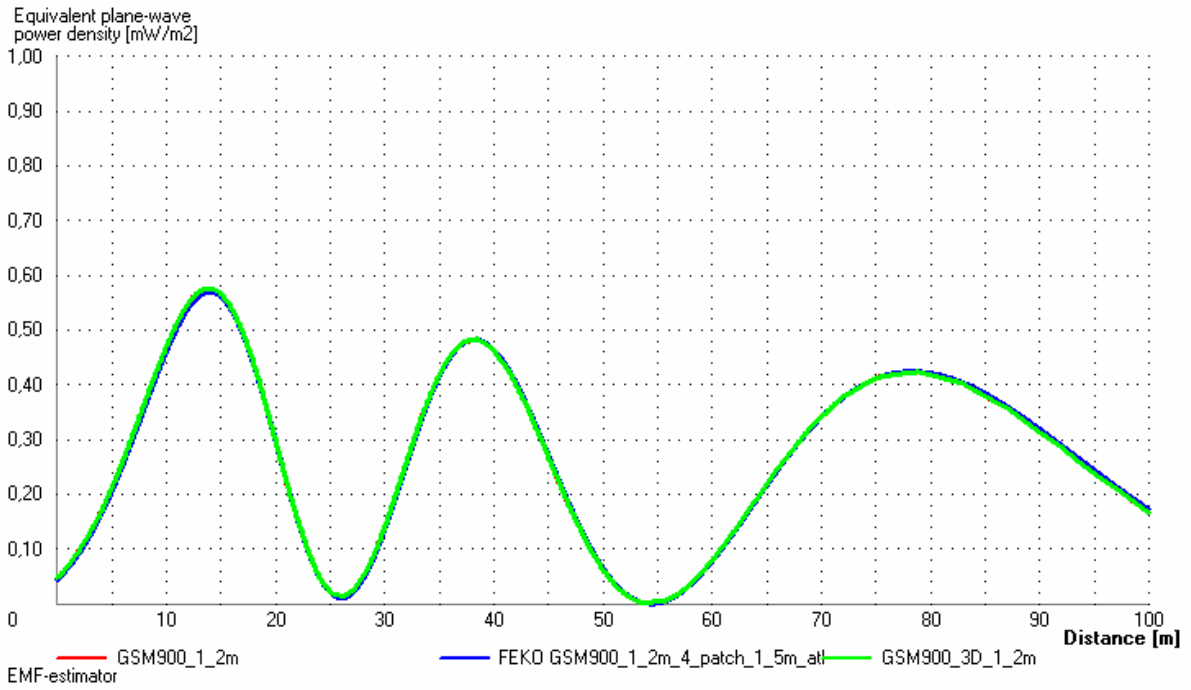
กำลังส่ง (Transmitter power): 50 วัตต์

EIRPmax = 820.4 วัตต์

ความกว้างลำคลื่นแนวตั้ง (Vertical beam width): 13°

ขนาดของสายอากาศ : 1.2 เมตร

การสูญเสีย: 2.35 dB



รูปที่ 4.2 แสดงการกระจายความหนาแน่นกำลังของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบ GSM900 (ขนาดสายอากาศ 1.2 เมตร) ในฟังก์ชันของระยะทางที่ความสูง 1.5 เมตร MoM – เส้นสีน้ำเงิน, point source (HRP with VRP) – เส้นสีแดง และ point source (3D radiation pattern) – เส้นสีเขียว.

ตัวอย่างที่ 4.3 สถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบ GSM900 (มีอัตราขยายสายอากาศสูง)-เปรียบเทียบผลของวิธีการวัดที่แตกต่างกันของการประเมินความสอดคล้อง การแผ่พลังงานในบริเวณสนามระยะไกล้

อัตราขยายสายอากาศ (Antenna panel) : 14.49 dBi

ความกว้างลำคลื่นหลักแนวตั้ง : 13°

ความสูงสายอากาศ: 35 เมตรเหนือระดับพื้นดิน

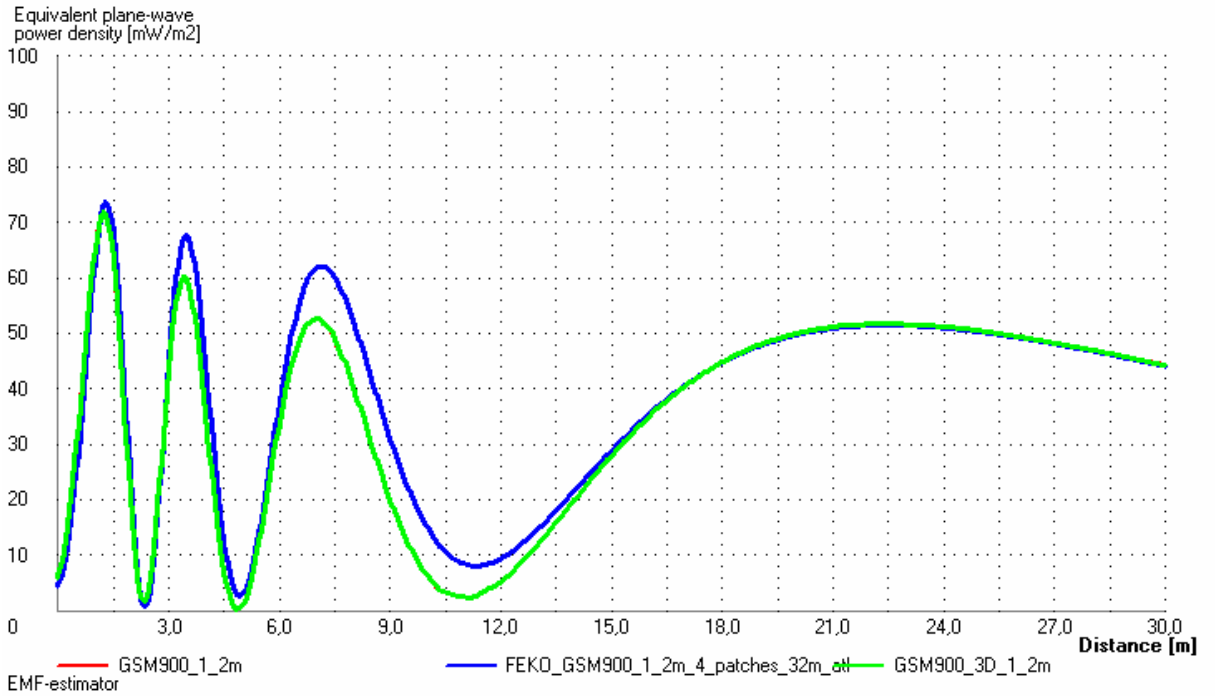
ความถี่วิทยุ: 947.5 MHz

กำลังส่ง: 50 วัตต์

EIRPmax: 820.4 W

ขนาดของสายอากาศ (size): 1.2 m

การสูญเสีย (attenuation): 2.35 dB



รูปที่ 4.3 แสดงการกระจายความหนาแน่นกำลังของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบ GSM900 ในฟังก์ชันของระยะทางที่ความสูงเสาอากาศ 32 เมตร เหนือระดับพื้นดิน MoM – เส้นสีน้ำเงิน, point source (HRP with VRP) – เส้นสีแดง, and point source (3D radiation pattern) – เส้นสีเขียว

ในกรณีที่อัตราขยายสายอากาศมีค่าสูง (20 dBi เป็นค่าที่สูงสุดที่นำมาใช้ในทางปฏิบัติยกเว้นสายอากาศสำหรับการถ่ายทอดสัญญาณ) ซึ่งจะทำให้ทิศทางการแผ่พลังงานมีขนาดใหญ่ขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบการกระจายความหนาแน่นกำลังที่คำนวณที่ความสูง 1.5 เมตร สูงกว่าระดับพื้นดิน (ในบริเวณสนามระยะไกล) ผลที่ได้จะมีค่าเกือบเหมือนกันยากที่จะสังเกตเห็นได้

ที่ความสูง 32 เมตร สูงกว่าระดับพื้นดิน (ในส่วนของการแผ่พลังงานในบริเวณสนามระยะใกล้และบริเวณสนามระยะไกล) ระดับของความหนาแน่นกำลังจะไม่เหมือนกันจนถึงที่ระยะทาง 13 เมตร ซึ่งแสดงถึงแหล่งกำเนินคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่าค่าจริง

ในสองตัวอย่างที่ผ่านมาไม่มีความแตกต่างผลของการใช้ HRP กับ VRP และการแผ่พลังงานแบบ 3 มิติ ในโมเดลของแหล่งกำเนินคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในบริเวณสนามระยะใกล้มีบางส่วนเท่านั้นที่มีความแม่นยำ ดังนั้น จะต้องกำหนดระยะทางต่ำสุด (minimum distance) ในโมเดลนี้จากสมการ

$$d_m = 0.6 * D^2 / \lambda$$

d_m คือระยะทางต่ำสุดจากแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

4.3 การประเมินความสอดคล้องการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้ซอฟต์แวร์ EMF-estimator

EMF-estimator เป็นซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อสนับสนุนวิธีการประเมินความสอดคล้องการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามรายละเอียดในข้อเสนอแนะของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ ITU-T Recommendation K.70 เพื่อใช้ในการประมาณระดับการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสะสม (cumulative exposure) ในบริเวณรอบ ๆ สถานีวิทยุคมนาคม ในกรณีที่มีระบบการทำงานที่แตกต่างกันและใช้ความถี่วิทยุแตกต่างกัน

4.3.1 ลักษณะโดยทั่วไปของซอฟต์แวร์ EMF-estimator

EMF-estimator เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ได้กับแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นแบบ point source และลักษณะการแผ่พลังงานของสายอากาศที่เต็มรูปแบบ 3 มิติตามรูปแบบของ $f(\theta,\phi)$ (ในฟังก์ชันของแนวระนาบและมุมเงย) หรือแสดงอยู่ในรูปของการแผ่พลังงานในแนวระนาบและแนวตั้งในรูปของ $HRP(\phi)$ และ $VRP(\theta)$ ความน่าเชื่อถือของการคำนวณจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับโมเดลที่ใช้พื้นที่ที่ใช้ในการสังเกตการณ์ข้อมูลของสายอากาศและความถี่ที่ใช้งาน

โดยทั่วไป ผลของการคำนวณเหมาะกับพื้นที่บริเวณสนามระยะไกลและพื้นที่ส่วนใหญ่ของการแผ่พลังงานในบริเวณสนามระยะใกล้ ขึ้นอยู่กับทิศทาง และการคาดการณ์การแผ่พลังงานที่มีระดับต่ำกว่าหรือสูงกว่าในพื้นที่บริเวณระยะใกล้ EMF-estimator จะไม่ใช้ในการคำนวณบริเวณสนามใกล้ชนิดรีแอกทีฟ เนื่องจากเป็นโมเดลที่ง่ายใช้สำหรับหาค่าจริงของการกระจายคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ในพื้นที่ที่ใกล้กับสายอากาศมากๆ ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ โดยใช้ซอร์ฟแวร์ EMF-estimator

การคำนวณจะมีความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้นหากมีข้อมูลแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศที่นำมาใช้อย่างละเอียด ตามฟังก์ชันของ $f(\theta,\phi)$ ซึ่งค่าที่ใช้สำหรับการประมาณการประกอบด้วยแบบการแผ่พลังงานแนวระนาบและแบบการแผ่พลังงานแนวตั้ง $HRP(\phi)$ และ $VRP(\theta)$ ที่นำมาใช้ การของการมีข้อมูลแบบการแผ่พลังงานสายอากาศจะทำให้ทราบอัตราการขยายสายอากาศ

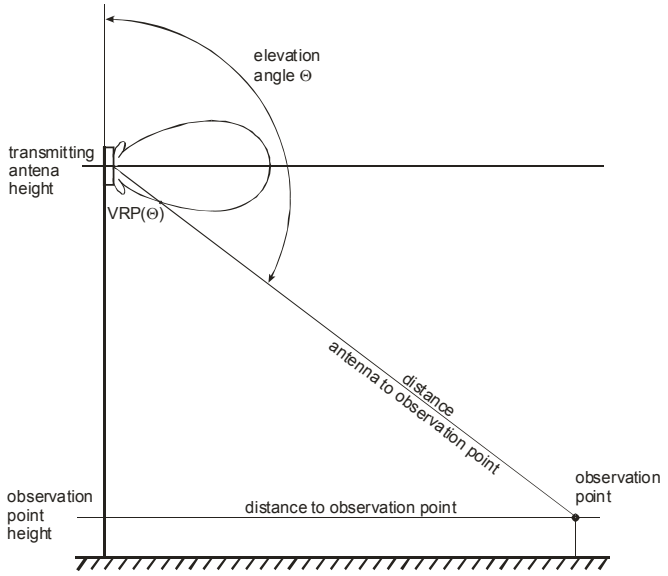
ในซอร์ฟแวร์ EMF-estimator จะมีตัวอย่างแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศซึ่งเป็นสายอากาศที่ใช้ในกิจการโทรคมนาคมและกิจการวิทยุกระจายเสียง อย่างไรก็ตาม แบบการแผ่พลังงานของสายอากาศเป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณและการประมาณการ เท่านั้น ซึ่งในตามเป็นจริงระดับการแผ่พลังงานจะต่ำกว่าขีดจำกัด ดังนั้น การประมาณการก็เพียงพอแล้ว

ข้อมูลที่ป้อนในซอร์ฟแวร์ EMF-estimator ประกอบด้วยความถี่วิทยุใช้งานและขนาดของจานสายอากาศ

The EMF-estimator จะใช้สำหรับการหาค่า:

- ความแรงสนามไฟฟ้า (electric field strength)
- ความแรงสนามแม่เหล็ก (magnetic field strength)
- ความหนาแน่นฟลักซ์กำลังสมมูล (the equivalent plane-wave power flux density)
- ระยะของสนามระยะใกล้และสนามระยะไกล (near- and far-field regions distances)
- ระยะทางที่สอดคล้องกับขีดจำกัด (compliance distances (for general public and occupational) exposure)
- สัมประสิทธิการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสะสม (cumulative exposure coefficients W_t and W_e)
- แผนผังแสดงระดับอ้างอิงในฟังก์ชันของระยะทาง (charts with the reference levels as functions of the distance)
- ระดับอ้างอิงที่เกี่ยวข้องกับขีดจำกัดของ ICNIRP (reference levels related to the ICNIRP limits) ซึ่งเป็นขีดจำกัดเดียวกันกับที่กำหนดไว้ในมาตรฐานความปลอดภัยของ กทช.

ในโปรแกรมนี้ได้จัดทำรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศที่มีการใช้งานอยู่ทั่ว ๆ ไป และผู้ใช้งานยังสามารถเตรียมหรือป้อนข้อมูลรูปแบบสายอากาศที่ซอร์ฟแวร์นี้ยังไม่ได้จัดเตรียมขึ้น ดังนั้น ในกรณีผู้ใช้งานป้อนข้อมูลรูปแบบสายอากาศเองข้อมูลที่ได้ก็มีผลต่อความแม่นยำของการคำนวณ



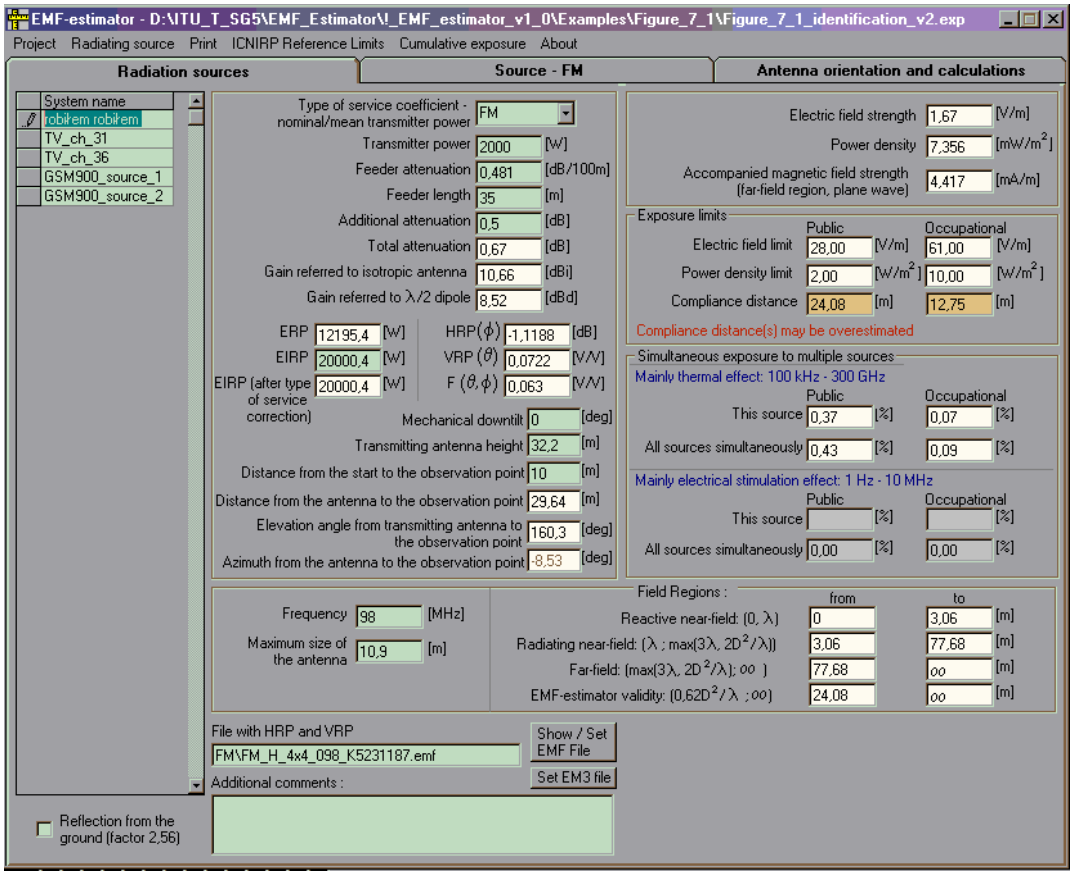
รูปที่ 4.4 แสดงจุดที่สำคัญที่ใช้ในซอร์ฟแวร์ EMF-estimator

4.3.2 การใช้ซอฟต์แวร์ (Software description)

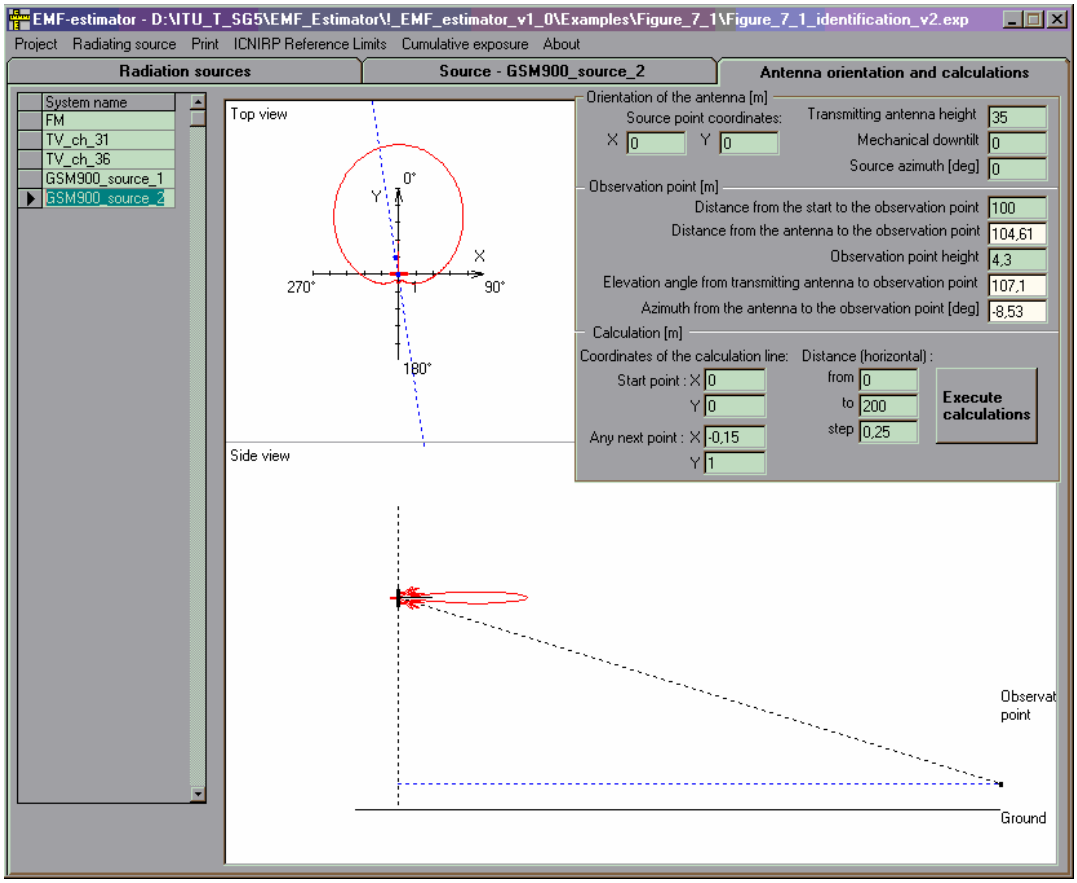
จากรูป 4.4 แสดงลักษณะของแหล่งกำเนิดการแผ่พลังงาน (Radiation Source) ซึ่งผู้ใช้ต้องใส่ข้อมูลที่ใช้ในแต่ละความถี่ที่ใช้งาน ในหน้านี้สามารถเลือกรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศ ทั้งนี้ หากไม่มีข้อมูลของรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศ ผู้ใช้งานสามารถเลือกรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศรอบทิศทาง (isotropic) ซึ่งจะทำให้ระดับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสูงกว่าค่าที่ประมาณไว้ เนื่องจากการใช้งานจริงสายอากาศมีอัตราการขยายด้วย

ในแทปของ Source-XXX แสดงในรูป 4.5 เป็นผลของการคำนวณ XXX-Source ของการแผ่พลังงานของแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งแสดงการกระจายของความหนาแน่นกำลังระนาบในแต่ละความถี่วิทยุที่ใช้งานในฟังก์ชันของระยะทางของจุดสังเกตการณ์ที่ผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้

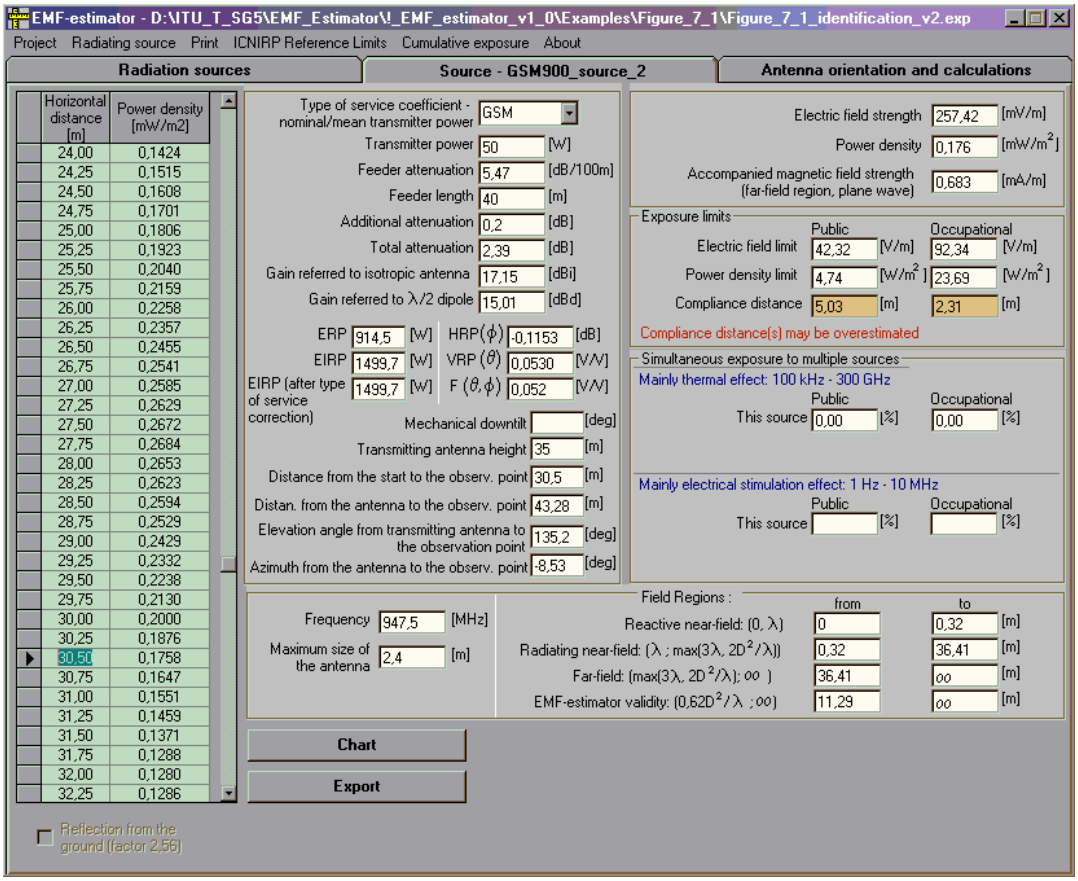
ลักษณะรูปทรงและการคำนวณ (Geometry and Calculation) แสดงในรูป 4.6 ซึ่งจะแสดงค่าความหนาแน่นกำลังสัมพันธ์กับระยะห่างจากจุดสังเกตการณ์



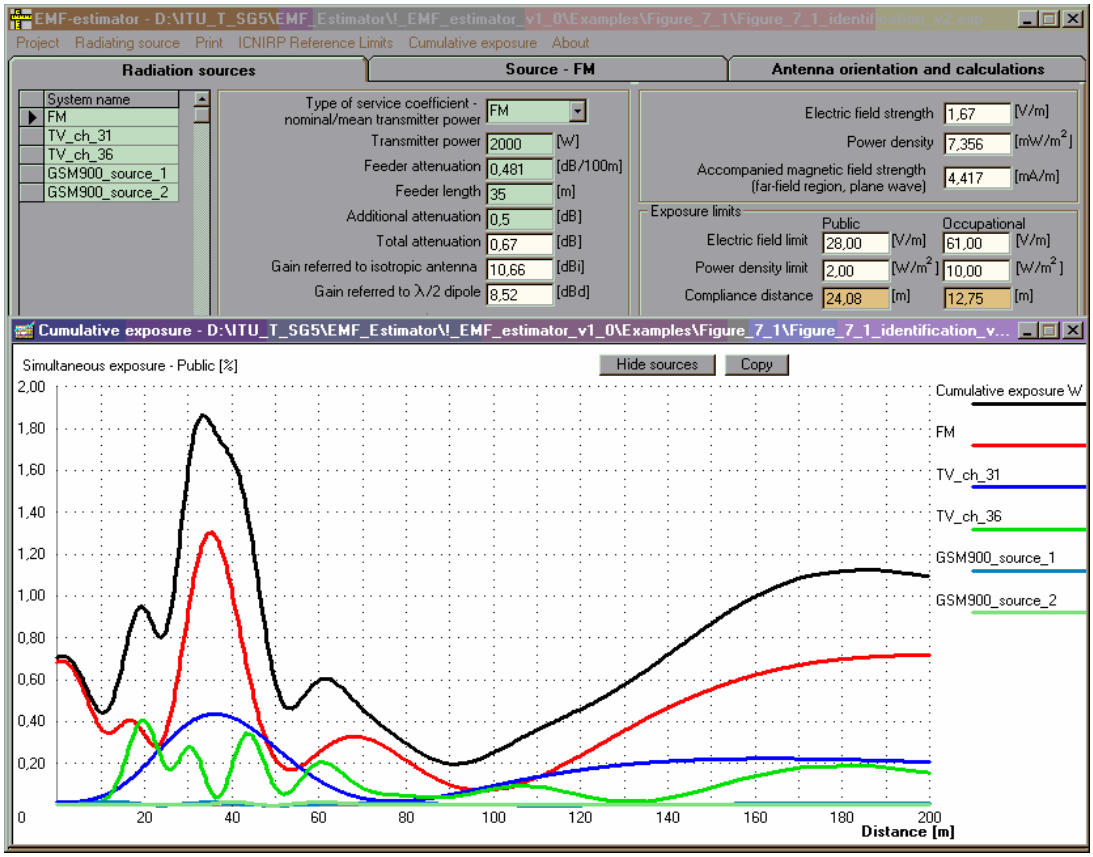
รูปที่ 4.5 แสดงหน้าหลักของโปรแกรม EMF-estimator with “Radiating sources”



รูปที่ 4.6 แสดงโปรแกรม EMF-estimator หน้า “Geometry and calculations”



รูปที่ 4.7 แสดงโปรแกรม EMF-estimator หน้า “Source - XXX” “Source - XXX”



รูปที่ 4.8 แสดงโปรแกรม EMF-estimator ผลของการคำนวณ

ในแถบเครื่องมือประกอบด้วยเมนูที่สำหรับป้อนข้อมูล เช่น open/save project การนำเข้าสายอากาศรูปแบบใหม่ add/remove source การพิมพ์ และกราฟแสดงระดับอ้างอิงตาม ICNIRP ขีดจำกัดและการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสะสม (Cumulative exposure)

4.3.3 ระยะสอดคล้องตามขีดจำกัด (Compliance distance)

ในแทป Source-XXX เป็นผลของการคำนวณระยะทางที่มีระดับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สอดคล้องกับขีดจำกัด (Compliance distance) หากระยะทางมีค่ามากกว่า $0.6D^2/\lambda$ ผลที่ได้จะแสดงดังรูป หากมีค่าน้อยกว่าผลที่ได้จะเป็นค่าเกินกว่าค่าประมาณการไว้ เช่น หากระยะทั้งสองมีค่าน้อยกว่าค่าที่คำนวณไว้ที่ระยะทาง $0.6D^2/\lambda$ และที่ระยะทางซึ่งอยู่ภายใต้การใช้สายอากาศที่มีรูปแบบการแผ่พลังงานแบบรอบทิศทาง $f(\theta,\phi)=1$ และในบางกรณีอาจมีค่าสูงกว่าค่าที่คำนวณไว้มากได้เช่นกัน

4.3.4 สัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวข้องกับกำลังส่ง (Coefficient concerning transmitter power)

ข้อมูลที่ต้องการเพิ่มเติมคือ ชนิดของสัมประสิทธิ์ของกิจการโทรคมนาคม (type of service coefficient) กำลังส่งที่ระบุ/กำลังส่งเฉลี่ย (nominal/mean transmitter power) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ต้องกำหนด เนื่องจากในหลายกรณีของกำลังส่งที่ระบุ (nominal power) ผู้ใช้งานจะทราบข้อมูล มีความแตกต่างจากกำลังส่งเฉลี่ย (mean power) ซึ่งใช้ในการคำนวณหาความแรงสนามไฟฟ้าอาร์เอ็มเอส หลังจากเลือกชนิดกิจการโทรคมนาคมแล้วกำลังส่งที่ระบุจะคูณกับสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมโดยอัตโนมัติ ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.3 ประกอบด้วยสัมประสิทธิ์สำหรับกิจการโทรคมนาคมทั่วไป

4.3.5 Library- รูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศ (radiation patterns of the antenna systems)

ในโฟลเดอร์ Library จะมีรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศที่มีใช้งานอยู่ทั่วไปสำหรับการใช้งานในกิจการโทรคมนาคมและกิจการวิทยุกระจายเสียง ซึ่งประกอบด้วยรูปแบบของสายอากาศสำหรับ FM, TV VHF, TV UHF, GSM900, GSM1800, AM และสายอากาศสำหรับถ่ายทอดสัญญาณ ซึ่งเป็นรูปแบบสายอากาศที่ง่ายและมีการใช้งานโดยทั่วไป โดยเฉพาะสายอากาศในกิจการวิทยุกระจายเสียงมีการออกแบบเป็นการเฉพาะ และไม่มีการระบุลักษณะของระบบ อย่างไรก็ตามสายอากาศใน Library นี้ จะแสดงวิธีการของกิจการโทรคมนาคมหลายระบบ และมีโฟลเดอร์ย่อย “User input templates” ประกอบด้วย “User_2D_Import_Radiation_Pattern.csv” และ ” User_3D_Import_Radiation_Pattern..csv” ซึ่งสามารถนำเข้าข้อมูลโดยผู้ใช้งานเพิ่มลักษณะของสายอากาศแบบอื่น โดยใช้ Import Option ของซอฟท์แวร์ EMF-estimator ซึ่งจะเพิ่มไฟล์ใน Library และใช้สำหรับการคำนวณ

4.3.6 ตัวอย่างการคำนวณ (Examples of calculations)

ในโฟลเดอร์ Examples ผลลัพธ์ของการคำนวณในข้อเสนอแนะนี้ ซึ่งจะสามารถนำมาเปิดใช้งานภายหลังได้และสามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลต่าง ๆ ได้

4.3.7 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม (Additional comments)

a) ข้อมูลที่ต้องการอย่างน้อยประกอบด้วย ค่าความแรงสนามไฟฟ้าต่ำสุดที่ใช้ในการคำนวณ EIRP หรือ ERP ความถี่วิทยุใช้งานขนาดของสายอากาศ และระยะทางจากสายอากาศไปยังจุดสังเกตุการณ์

b) ในหลาย ๆ สภาพการณ์ ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศ ในกรณีนี้ควรสมมุติให้ $f(\theta,\phi)=1$ และต้องคำนึงถึงว่าผลของการคำนวณภายใต้สมมุติฐานนี้จะให้ค่าความแรงสนามไฟฟ้าสูงสุดในทุกทิศทาง เนื่องจากไม่ได้ระบุทิศทางการแผ่พลังงานของสายอากาศ

c) ถ้าหากมีข้อมูลของการลดทอนและการสูญเสียผลของการคำนวณ EIRP จะมีความถูกต้องมากขึ้น

4.3.8 ข้อกำหนดของคอมพิวเตอร์ (System requirements)

- MS Windows 95/98/Me/NT/2000/XP/Vista
- Pentium processor 400 MHz
- 64 MB RAM
- 20 MB free space on HDD
- VGA monitor (800 x 600 resolutions).

5. การประเมินระดับความแรงสนามคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการวัด

5.1 การพิจารณาทางเทคนิค

5.1.1 ค่าเฉลี่ย

1) ค่าเฉลี่ยเชิงเวลา (Time averaging) โดยปกติค่าขีดจำกัดจะอยู่ในรูปของค่า rms ของ continuous wave ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาที่กำหนด ตัวอย่างเช่น reference level ที่กำหนดใน ICNIRP จะเป็นค่าเฉลี่ยในช่วงเวลา 6 นาทีสำหรับความถี่ต่ำกว่า 10 GHz และในช่วง $68/f^{1.05}$ นาทีสำหรับความถี่ที่เกิน 10 GHz ดังนั้น การพิจารณาผลการวัดอย่างละเอียดของสัญญาณที่ขึ้นกับเวลานี้จึงอาจเป็นเรื่องจำเป็นเพื่อเทียบกับขีดจำกัดที่กำหนดไว้

2) ค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ (Spatial averaging) โดยปกติขีดจำกัด SAR จะมีสองประเภท ได้แก่ localized SAR limit และ whole-body average SAR limit สำหรับ localized SAR limit นั้นจะเป็นไปตามการได้รับผลจากการแผ่พลังงานปริมาณน้อยใกล้กับร่างกาย เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ ส่วน whole-body average SAR limit นั้นจะใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับ reference level ซึ่งจำเป็นต้องเฉลี่ยค่าทั่วร่างกายเช่นกัน

สำหรับการติดตั้งทางโทรคมนาคม ค่าสนามสูงสุดจะเกิดขึ้นใกล้กับสายอากาศในบริเวณที่สนามสามารถเปลี่ยนแปลงตามสเกลของขนาดของมนุษย์ ในกรณีนี้จำเป็นต้องมีการเฉลี่ยค่าเชิงพื้นที่เพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้องมากขึ้น

5.1.2 บริเวณสนาม

ในการวัดและประเมินความแรงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้น จะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย ตัวอย่างเช่น

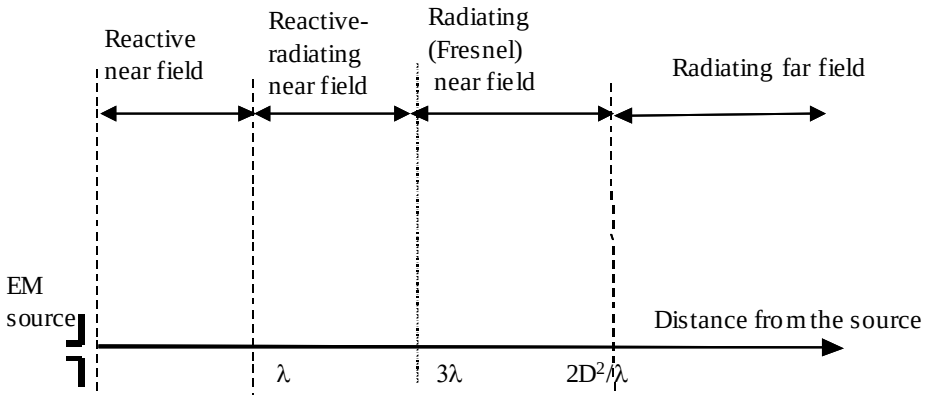
- การวัดค่าทั้งสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กอาจเป็นสิ่งจำเป็นในบริเวณที่ไม่ใช่ radiating near field
- สำหรับการพยากรณ์จากการคำนวณนั้น แบบจำลองของ far field นั้นมักจะทำให้เกิดการประมาณค่าความแรงสนามมากเกินไปหากนำไปใช้ในบริเวณ near-field

1) บริเวณ reactive near field เป็นบริเวณรอบๆ สายอากาศซึ่งเป็นบริเวณที่ reactive field มีผลมากที่สุด โดยถือว่าบริเวณนี้มีระยะถึงหนึ่งความยาวคลื่นจากสายอากาศ

2) บริเวณ Reactive near- field เป็นเขตบริเวณล้อมรอบที่มีการเปลี่ยนสนามการแผ่พลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบรีแอกทีฟ บริเวณนี้จะห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีจำนวนความยาวคลื่นที่น้อย เช่น 3λ

3) บริเวณ radiating near field (Fresnel) เป็นบริเวณสนามของสายอากาศที่อยู่ระหว่าง reactive near field และ far-field region ที่ซึ่งสนามชนิดแผ่พลังงาน (radiation field) มีผลมากที่สุด ถึงแม้ว่าการแผ่พลังงานจะไม่ได้มีลักษณะการแพร่กระจายเหมือนคลื่นระนาบ แต่สามารถพิจารณาส่วนประกอบทางไฟฟ้าและแม่เหล็กว่ามีลักษณะปกติ (normal) นอกจากนั้น สามารถสันนิษฐานได้ว่าอัตราส่วน E/H มีค่าคงที่ ทั้งนี้ บริเวณนี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อขนาดมากที่สุดของ D ของสายอากาศมีค่ามากเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น λ

4) บริเวณ radiating far field เป็นบริเวณสนามที่การกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำมุมที่เป็นอิสระจากระยะทางจากสายอากาศและมีความหนาแน่นกำลังคงที่ [W/m^2] บริเวณเขตบริเวณล้อมรอบสนามบริเวณ far-field ที่กำหนดโดยขนาดใหญ่กว่า 3λ และ $2D^2/\lambda$ (เช่น การจำกัด $2D^2/\lambda$ ถ้าขนาดสูงสุดของสายอากาศ D มีขนาดใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับ λ) ในบริเวณสนาม far-field องค์ประกอบของสนามจะแพร่กระจายและเคลื่อนที่ตามขวางเหมือนกับคลื่นระนาบ



รูปที่ 5.1 บริเวณสนามรอบๆ แหล่งแม่เหล็กไฟฟ้า (EM source)

ตาราง 5.1 คุณสมบัติหลักของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในบริเวณสนามต่างๆ

	Reactive near-field	**Reactive-radiating near field**	**Radiating near-field**	**Radiating far-field**
Inner boundary	0	λ	3λ	$\text{Max}(3\lambda;2D^2/\lambda)$
Outer boundary	λ	3λ	$\text{Max}(3\lambda;2D^2/\lambda)$	∞
Power density S [W/m^2]	$S \le \lvert E\rVert H\rvert$	$S \le \lvert E\rVert H\rvert$	$S = \lvert E\rVert H\rvert = \frac{\lvert E\rvert^2}{Z_0} = Z_0\lvert H\rvert^2$	$S = \lvert E\rVert H\rvert = \frac{\lvert E\rvert^2}{Z_0} = Z_0\lvert H\rvert^2$
E $\perp$ H	no	no	Locally	yes
Z=E/H	$\neq Z_0$	$\neq Z_0$	$\approx Z_0$	$= Z_0$

5.2 กระบวนการวัด

5.2.1 เครื่องมือการวัด

1) คุณลักษณะ

คุณลักษณะของเครื่องมือวัดของเครื่องมือการวัดมีความสำคัญมาก ในการเลือกควรคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้

1.1) ย่านความถี่ (Frequency range)

มีอยู่ 2 กรณีคือ ย่านความถี่กว้าง (broadband) และย่านความถี่แคบ (narrow-band)

■ เครื่องมือวัดแบบย่านความถี่กว้าง (broadband device) (เช่น ใช้โพรบของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าร่วมกัน) จะไม่จำกัดความถี่ที่ใช้งาน แต่กระนั้นการเลือกย่านความถี่ที่กว้าง

สามารถทำได้โดยการใช้สายอากาศขนาดเล็ก เช่น สายอากาศแบบ bi-conical สายอากาศแบบ horn เป็นต้น แล้วแต่กรณี และอุปกรณ์ดังกล่าวมีราคาแพง

■ เครื่องมือวัดแบบย่านความถี่แคบ (narrow-band device) โดยทั่วไปใช้กับสายอากาศแบบเฉพาะและจำกัดย่านความถี่ เช่น สายอากาศแบบไดโพล และใช้ได้เฉพาะกับเครื่องมือที่มีความถี่เฉพาะเท่านั้น

1.2) สภาพเจาะจงทิศทางสายอากาศ (Antenna Directivity)

การเลือกสายอากาศอาจจะเป็นสายอากาศแบบรอบทิศทาง (isotropic) หรือสายอากาศแบบทิศทาง (directional)

สำหรับสายอากาศแบบรอบทิศทาง (isotropic) สำหรับการวัดที่ไม่ได้คำนึงถึงทิศทางและการตกกระทบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สำหรับสายอากาศแบบทิศทาง (directional) สำหรับการวัดที่ต้องคำนึงถึงทิศทางและการตกกระทบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะมีขั้วและมีรูปแบบการแผ่พลังงานที่สมมาตร ดังนั้น คุณสมบัติของเครื่องมือวัดต้องมี 3 แกน ซึ่งมีความจำเป็นในการกลับมาสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

2) การเลือกเครื่องมือวัด

การเลือกเครื่องมือสำหรับการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญ ดังนี้

- มาตรฐานที่จะต้องแสดงความสอดคล้อง
- จำนวนและแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
- บริเวณสนามไฟฟ้า

การเลือกเครื่องมือวัดจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการวัด ความเที่ยงตรงผลของการวัดขึ้นอยู่กับกระบวนการวัดและคุณลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ในการวัด

3) บริเวณสนาม

สนามประเภทใดที่ต้องทำการวัด (E หรือ H) จะขึ้นอยู่กับสถานที่ (reactive หรือ radiating field) และ field impedance

- Reactive near field:วัดส่วนประกอบ E และ H หรือประเมินค่า SAR
- Reactive-radiating near filed: วัดค่าสนาม E และ H โดยหากมีข้อมูล field impedance ก็อาจเป็นไปได้ที่จะวัดเฉพาะส่วนประกอบของสนามแค่อย่างเดียว
  - วัดเฉพาะ E component ถ้า $\frac{E}{H} > Z_0 = 120 \times \pi [\Omega]$
  - วัดเฉพาะ H component ถ้า $\frac{E}{H} < Z_0 = 120 \times \pi [\Omega]$
- Radiating near field: วัดเฉพาะ E component โดยใช้ free space impedance (Z_0)
- Radiating far field: วัดเฉพาะ E component

สำหรับการแผ่คลื่นในบริเวณที่ใกล้กับแหล่งแม่เหล็กไฟฟ้ามากๆ นั้น ควรประเมินค่า SAR แทนการวัดความแรงของสนาม

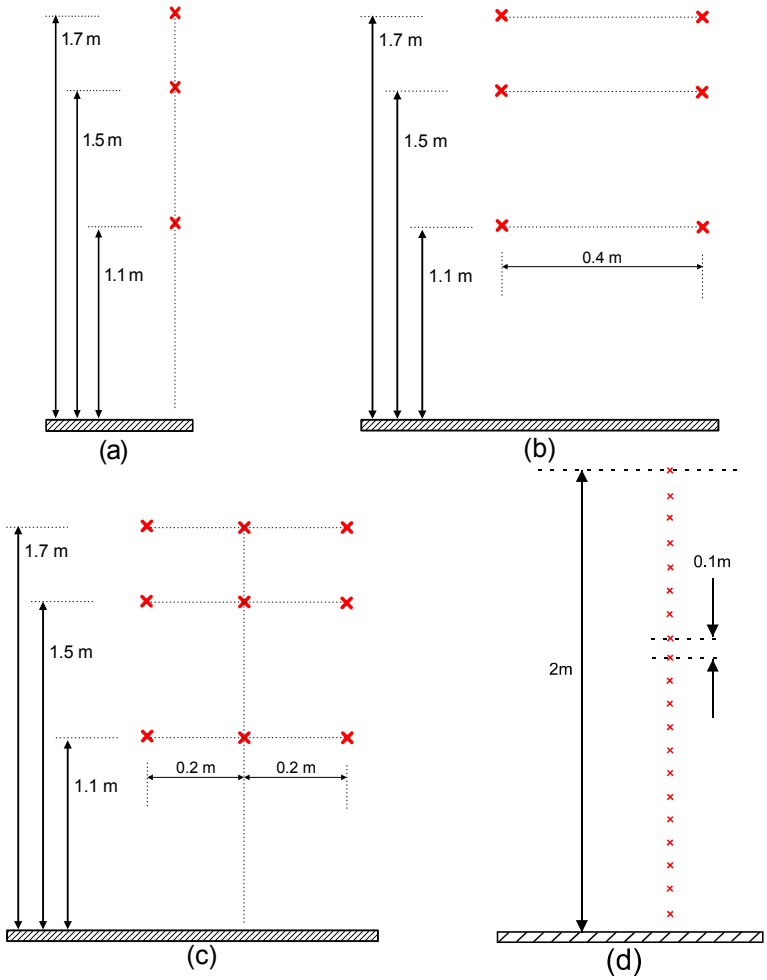
4) แหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหลายตัว

ควรมีการพิจารณาผลของแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหลายตัวที่ทำงานที่ความถี่แตกต่างกันด้วยตามข้อกำหนดของ ICNIRP Guidelines หรือมาตรฐานการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง

ซึ่งโดยปกติจะใช้วิธี weighted sum โดยที่แหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละตัวจะคิดแบบ pro-rated ตามขีดจำกัดตามความถี่ของแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้น

5) การเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาและระยะทาง (Time and spatial variability)

การสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากหลายเส้นทางจะทำให้เกิดการกระจายคลื่นโดยไม่มีรูปแบบ ดังนั้น ในการประเมินคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วร่างกายของมนุษย์ จึงจำเป็นต้องใช้ค่าเฉลี่ย ค่าของสนามหาได้จากจำนวนจุด N จุด ดังแสดงในรูป 5.2 โดยในรูป 5.2(a) กำหนดจุด 3 จุด ซึ่งเป็นการกำหนดจุดในการวัดขั้นพื้นฐาน หากต้องการความเที่ยงตรงมากขึ้นสามารถเพิ่มจุดเป็น 6 จุด 9 จุด หรือ 20 จุด ดังแสดงในรูป หรือขึ้นอยู่กับมาตรฐานที่กำหนดหรือหน่วยงานที่กำกับดูแลกำหนด



รูปที่ 5.2 จุดการวัดสำหรับ spatial averaging

สูตรการคำนวณสำหรับค่า spatially หาได้จาก

$$(E\ or\ H) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (E_i\ or\ H_i)^2}{N}}$$

โดยที่ N คือจำนวนจุดในการวัด เช่น 3 จุด 6 จุด 9 จุด หรืออื่น ๆ

การวัดไม่ควรวัดใกล้กับแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและวัตถุที่เป็นโลหะเพื่อหลีกเลี่ยงการ coupling มายังโพรบ เช่น โพรบควรห่างจากวัตถุที่เป็นโลหะอย่างน้อย 3 เท่าของขนาดโพรบ

ในกรณีมีแหล่งกำเนิดคลื่นหลายแห่ง การวัดควรจะกำหนดพื้นที่การวัดเป็นตารางประมาน 1 ตารางเมตร และกำหนดจุดวัดในแต่ละจุด

5.3 เครื่องมือสำหรับการวัดความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

1) Electric and Magnetic Field Strength Meters

เครื่องวัดความแรงสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก (Electric and Magnetic Field Strength Meters) ซึ่งประกอบด้วย สายอากาศ สายนำสัญญาณ เครื่องมือสำหรับการอ่านค่า เครื่องวัดความแรงสนามควรจะใช้สายอากาศเชิงเส้น เช่น monopole, dipole, loops, biconical or conical

2) Spectrum Analyzers

เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzers) จำเป็นต้องใช้เครื่องวัดที่มีความสามารถวัดได้ย่านความถี่กว้าง โดยใช้วัดกำลังส่งที่ออกจากสายอากาศในความถี่วิทยุที่กำหนด ถ้าหากเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมต่อเข้ากับสายอากาศย่านความถี่แคบก็จะมีลักษณะเหมือนเครื่องมือวัดความแรงสนามไฟฟ้า อย่างไรก็ตามเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมสามารถเชื่อมต่อเข้ากับสายอากาศที่มีขนาดสั้นและสามารถวัดย่านความถี่วิทยุได้กว้างขึ้น ในกรณีนี้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมสามารถแสดงผลสัญญาณที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อมนั้น และสามารถแสดงผลสัญญาณที่ต้องการวัดในขณะนั้นได้ ซึ่งการแสดงผลทั้งหมดจะเกี่ยวข้องกับความหนาแน่นกำลัง

3) Power Density Meters

เครื่องวัดความหนาแน่นกำลัง (Power Density Meters) โดยทั่วไปสามารถวัดสัญญาณได้รอบตัว และสามารถได้วัดความถี่ได้กว้างและมีความเที่ยงตรงในการวัดความหนาแน่นกำลังในสนามระยะใกล้ (near field) และในสนามระยะไกล (far field)

5.4 วิธีการวัดความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม

5.4.1) การเตรียมการ

1) ข้อมูลสถานีวิทยุคมนาคม ก่อนการสำรวจการตั้งสถานีวิทยุคมนาคมต้องกำหนดว่าต้องการสำรวจอะไรบ้าง เพื่อรวบรวมข้อมูลในการประเมินการตั้งสถานีวิทยุคมนาคม

ข้อมูลของสถานีวิทยุคมนาคมที่สำคัญ มีดังนี้

ข้อมูล	รายละเอียด
สถานที่	• พิกัดจุดที่ตั้งโดยการวัดจาก GPS • ความสูงของพื้นดินโดยอ้างอิงจากระดับน้ำทะเล (above mean sea level)
โครงสร้าง	• การตั้งสถานีวิทยุคมนาคมบนอาคารหรือ Tower • ความสูงจากระดับพื้นดิน
สายอากาศ	• จำนวนสายอากาศที่ตั้งในแต่ละสถานี • ความสูง • ผู้ผลิต • ตราอักษร รุ่น/แบบ

ข้อมูล	รายละเอียด
	• มุมกวาด (Azimuth) • มุมเงย (Elevation) • รูปแบบกระจายคลื่นของสายอากาศ (antenna patterns) • ความถี่วิทยุใช้งาน • ขั้วสายอากาศ • ลักษณะทางกายภาพของสายอากาศ
เครื่องส่ง	• จำนวนของเครื่องส่ง • กำลังส่ง • การสูญเสียการส่งผ่าน • ความถี่วิทยุใช้งาน

2) สิ่งที่มีผลกระทบต่อการวัดบริเวณใกล้สถานีวิทยุคมนาคม ดังนั้น ควรให้ความสนใจในการทำนายความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในพื้นที่ทำการวัดในแต่ละจุด โดยทั่วไปการตั้งสถานีวิทยุคมนาคมใหม่ต้องตั้งห่างจากสถานีวิทยุคมนาคมเดิมในรัศมี 500 เมตร และต้องห่างจากสถานีวิทยุคมนาคมที่มีกำลังส่งสูง เช่น สถานีวิทยุกระจายเสียงหรือเรดาร์ ในรัศมี 2 กิโลเมตร

2) การประมาณการทางทฤษฎี

2.1) กำหนดจุดสำหรับการวัดรอบ ๆ สถานีวิทยุคมนาคม

(1) ถ้าหากสถานีวิทยุคมนาคมที่ต้องการวัดมีสายอากาศหลายอัน ให้กำหนดจุดอ้างอิงในการวัดเพียงจุดเดียว เท่านั้น

(2) การคำนวณระยะห่างจากสถานีวิทยุคมนาคมในการวัดในบริเวณสนามระยะไกล (far field) โดยใช้สมการ ดังนี้

สำหรับสายอากาศขนาดใหญ่

$$R_f = 0.5\frac{D^2}{\lambda}$$

สำหรับสายอากาศขนาดเล็ก

$$R_f = 2\frac{D^2}{\lambda}$$

เมื่อ R_f คือ ระยะทางของจุดอ้างอิง เป็นจุดเริ่มต้นในการวัดในบริเวณสนามระยะไกล (far field) มีหน่วยเป็นเมตร (m)

D คือ ขนาดของสายอากาศ มีหน่วยเป็นเมตร (m)

λ คือ ความยาวคลื่น (Wavelength) มีหน่วยเป็นเมตร (m)

(3) หาระยะทางต่ำสุดในการวัดจากจุดอ้างอิง โดยใช้สูตรดังนี้

$$R^2 \geq \frac{2.56}{4\pi}\left[\frac{EIRP_1}{L_1} + \frac{EIRP_2}{L_2} + ... + \frac{EIRP_n}{L_n}\right]$$

$$R \geq R_f$$

เมื่อ R คือ ระยะทางจากจุดอ้างอิง มีหน่วยเป็นเมตร (m)

EIRP คือ effective isotropic radiated power ของแต่ละสายอากาศมีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

L คือ ขีดจำกัดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละย่านความถี่มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

R_f คือ ระยะทางของจุดอ้างอิง เป็นจุดเริ่มต้นในการวัดในบริเวณสนามระยะไกล (far field) มีหน่วยเป็นเมตร (m)

(4) วาดรูปสี่เหลี่ยมรอบ ๆ จุดอ้างอิง โดยปกติจะใช้ตารางสี่เหลี่ยมขนาด 1x1 ตารางเมตร

2.2) การคำนวณความหนาแน่นกำลังในแต่ละจุดภายในกรอบสี่เหลี่ยม

$$E = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} E_i^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$H = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} H_i^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} S_i$$

เมื่อ n คือ จำนวนของจุดที่ใช้ในการวัด

E คือ ความแรงสนามไฟฟ้า (Electric field strength) มีหน่วยเป็น V/m

H คือ ความแรงสนามแม่เหล็ก (Magnetic field strength) มีหน่วยเป็น A/m

S คือ ความหนาแน่นกำลัง (power density) มีหน่วยเป็น W/m^2

3.) การเลือกเครื่องมือและการสอบเทียบ

3.**1)** อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดควรมีลักษณะดังนี้

(1) เครื่องมือวัดสามารถวัดได้ครอบคลุมตลอดย่านความถี่ที่ต้องการวัด

(2) เครื่องมือวัดสามารถใช้งานได้ในสภาพแวดล้อมที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูง

(3) เครื่องมือวัดสามารถใช้งานได้ในภูมิอากาศที่ทำการวัดที่ต้องการสำรวจ

ทั้งนี้ ผู้สำรวจพื้นที่การตั้งสถานีวิทยุคมนาคมจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับการใช้เครื่องมือวัดเป็นอย่างดี

3.2) การสอบเทียบเครื่องมือวัดและการวัดเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง บันทึกวันที่ทำการสอบเทียบ หมายเลขเครื่อง ผู้ผลิต และตราอักษร รุ่น/แบบ ของเครื่องมือที่ใช้ในการวัด หากเครื่องมือวัดใช้แบตเตอรี่จะต้องมั่นใจว่าแบตเตอรี่มีประจุไฟฟ้าเต็ม

4) การบันทึกข้อมูล

การสร้างตารางในการบันทึกข้อมูล อย่างน้อยประกอบด้วยข้อมูลที่แสดง ตำแหน่งที่

ทำการวัด เวลาที่ใช้ในการวัด ผลที่วัดได้ และภายในรายงานต้องมีข้อมูลของสายอากาศและเครื่องส่งวิทยุคมนาคม เวลาและสภาพและภูมิอากาศ และภาพถ่าย (ถ้ามี)

5.4.2) ขั้นตอนการวัด

1) การสอบเทียบ

1.1) ก่อนทำการวัดต้องทำการปรับเทียบและทดสอบโพรบ ตามคำแนะนำของผู้ผลิต

1.2) ทำการวัดโดยโพรบรอบ ๆ สถานีวิทยุคมนาคม โดยการเริ่มต้นจากเสาอากาศและเดินออกห่างมา และเลื่อนโพรบขึ้นลง บันทึกจุดที่สามารถวัดค่าได้สูงสุด ในระหว่างการวัดและทดสอบต้องมั่นใจว่าผู้สำรวจเสี่ยงกับการได้รับระดับความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเกินขีดจำกัด หากพบว่าค่าที่วัดได้เกินขีดจำกัด ให้หลีกเลี่ยงบริเวณพื้นที่นั้นโดยเร็วและบันทึกค่าที่อ่านได้และตำแหน่งไว้ด้วย

1.3) ถ้าหากห้องติดตั้งเครื่องวิทยุคมนาคมไม่ได้อยู่ในพื้นที่ที่มีความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเกินขีดจำกัด ทำการวัดรอบ ๆ สถานที่ติดตั้งเครื่องวิทยุคมนาคมอย่างรวดเร็วและต้องมั่นใจว่าความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในบริเวณที่ติดตั้งสถานีวิทยุคมนาคมไม่เกินขีดจำกัดของกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน

2) การวัดพลังงานคลื่นความถี่วิทยุ

2.1) กำหนดจุดที่จะวัดลงในแผนที่

2.2)ไปจุดกำหนดในการวัดในแผนที่ เริ่มวัดจากจุดอ้างอิง โดยการเลื่อนโพรบขึ้นลงและเลื่อนจากจุดซ้ายไปขวาไปมาในจุดวัดที่กำหนด บันทึกค่าเปลี่ยนแปลงที่วัดได้

2.3) ในการวัดห้ามวางลำตัวบังระหว่างโพรบและสายอากาศจะทำให้ผลการวัดคลาดเคลื่อน ไม่ควรวัดใกล้กับวัตถุที่สามารถสะท้อนได้น้อยกว่า 20 เซนติเมตร

3) การวัดในจุดที่มีแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหลายแห่ง (Multiple Source)

โพรบบางประเภทสามารถวัดได้หลายความถี่ในการวัดครั้งเดียว หากโพรบนี้ใช้วัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหลายแหล่งกำเนิด และต้องแน่ใจว่าเครื่องส่งวิทยุคมนาคมที่ทำการทดสอบทำงานอยู่ระหว่างการทดสอบ เปิดเครื่องส่งทีละเครื่อง บันทึกค่าเปลี่ยนแปลงที่วัดได้

โพรบโดยทั่วไปสามารถที่จะวัดได้ครอบคลุมตลอดย่านความถี่วิทยุใช้งานในแต่ละสถานีวิทยุคมนาคม การวัดใช้โพรบแรกในการวัด เปิดเครื่องส่งวิทยุคมนาคมทีละเครื่องจนครบทุกเครื่อง บันทึกผลค่าที่วัดได้ผลของการเพิ่มเครื่องใช้งานทีละเครื่อง วัดความหนาแน่นกำลังในแต่ละจุด จากนั้นปิดเครื่องส่งวิทยุคมนาคมทีละเครื่อง โดยใช้โพรบอันที่สองในการวัด วัดความหนาแน่นกำลังในแต่ละจุด ทำอย่างนี้จนปิดเครื่องวิทยุคมนาคมได้ครบทุกเครื่อง

4) การวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีหลายคลื่นความถี่ใช้สูตรดังนี้

$$\sum_{9kHz}^{300GHz} R_f \leq 1 \qquad (reference: ICNIRP)$$

ในกรณีการวัดความแรงสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็ก (electrical and magnetic)

R_f = (Measured Field Strength/Exposure Field Strength Limit Value)^2

ในกรณีการวัดความหนาแน่นกำลัง (power density)

R_f = (Measured Field Strength/Exposure Field Strength Limit Value)

ตัวอย่าง

การวัดความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม โดยมีค่าความแรงของสนามไฟฟ้าเท่ากับ 0.02 V/m ที่ความถี่วิทยุ 1840 MHz และ 0.07 V/m ที่ความถี่วิทยุ 915 MHz โดยใช้ค่าในตารางที่ 1 ซึ่งแสดงถึงขีดจำกัดความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป

$$R_f = (R_{f1\,measured} \big/ R_{f1\,ICNIRP})^2 + (R_{f2\,measured} \big/ R_{f2\,ICNIRP})^2$$

$$R_f = (0.02 \big/ (1.375 \times \sqrt{1840}))^2 + (0.07 \big/ (1.375 \times \sqrt{952}))^2 < 1$$

ผลที่ได้จากการคำนวณมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง นั่นหมายความว่าผลรวมของความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ภายใต้ขีดจำกัดของกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป ทั้งนี้ หากผลรวมของความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่ามากกว่าหนึ่ง แสดงว่าผลที่วัดได้ไม่ได้อยู่ภายใต้ขีดจำกัดตามที่กำหนด

5.2.3 การรายงาน

รายงานการวัด (Measurement Report) ต้องประกอบ ด้วย

- อธิบายลักษณะของสถานีวิทยุคมนาคม เครื่องส่งวิทยุคมนาคมและอุปกรณ์ประกอบ และภาพถ่าย (ถ้ามี)
- สังเกตลักษณะภูมิอากาศ เวลา และอื่น ๆ
- ลักษณะทางวิชาการของสายอากาศและเครื่องส่งวิทยุคมนาคม รวมทั้ง ความถี่วิทยุ กำลังส่ง เพื่อเตรียมความพร้อมในเบื้องต้น
- อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ เช่น หมายเลขเครื่อง ผู้ผลิต และวันที่สอบเทียบ
- สำเนาแผนที่ของสถานีวิทยุคมนาคมที่จะทำการทดสอบในแต่ละครั้ง ที่สามารถอ่านได้ง่าย และทำเครื่องหมายในพื้นที่ที่มีความแรงสนมแม่เหล็กไฟฟ้าเกินขีดจำกัด
- การแสดงความสอดคล้องหรือไม่สอดคล้องกับขีดจำกัดความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
- ข้อมูลอื่น ๆ ที่จำเป็น

6. เครื่องหมายแสดงระดับความปลอดภัยจากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ตามประกาศ กทช. เรื่อง หลักเกณฑ์และมาตรการกำกับดูแลความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม ได้กำหนดเขตพื้นที่ของความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยแบ่งออกเป็น 3 พื้นที่ ดังนี้

1) เขตพื้นที่ที่มีระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสอดคล้องตามมาตรฐาน (Compliance Zone) คือเขตพื้นที่ที่ระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดทั้งสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน และกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานความปลอดภัย

2) เขตพื้นที่สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน (Occupational Zone) คือเขตพื้นที่ที่ระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน แต่สูงกว่าขีดจำกัดสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานความปลอดภัย

3) เขตพื้นที่เกินขีดกำหนด (Exceedance Zone) คือเขตที่ระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าสูงกว่าขีดจำกัดทั้งสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน และกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานความปลอดภัย

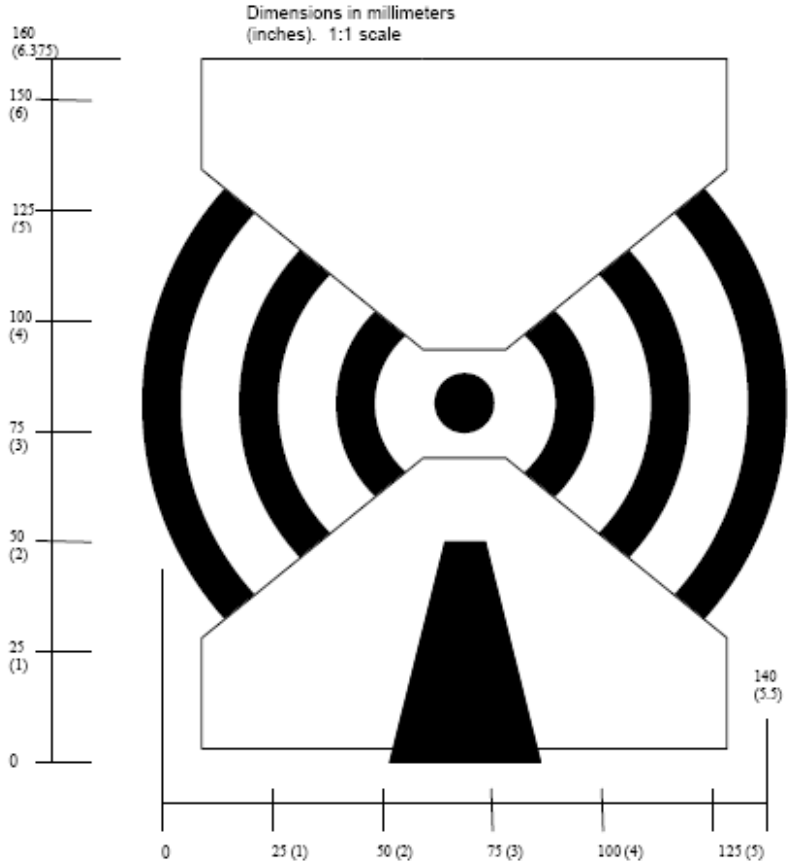
ในการจัดทำเครื่องหมายให้ใช้วัสดุที่มีความคงทนไว้ แข็งแรง ทนต่อสภาพภูมิอากาศ เช่น อลูมีเนียม โดยมีขนาด 14X10 นิ้ว ดังแสดงตัวอย่างของเครื่องหมายในรูปที่ 9.1-9.3 ซึ่งผู้รับผิดชอบมีหน้าที่ต้องติดป้ายคำเตือนในบริเวณที่มีความเสี่ยงในการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกินเกณฑ์ที่กำหนด (Occupational Zone และ Exceedance Zone) เพื่อให้ผู้เกี่ยวข้องทราบและตระหนักถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกินขีดจำกัดและป้องกันไม่ให้มีการเข้าถึงบริเวณดังกล่าวโดยง่าย

อนึ่ง ในส่วนของบริเวณพื้นที่ที่มีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสอดคล้องตามมาตรฐาน (Compliance Zone) นั้น อาจแสดงเครื่องหมายแสดงระดับความปลอดภัยจากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ก็ได้ หากประสงค์จะแสดงเครื่องหมายให้ใช้รูปแบบและข้อความตามที่แสดงไว้ในเอกสารนี้

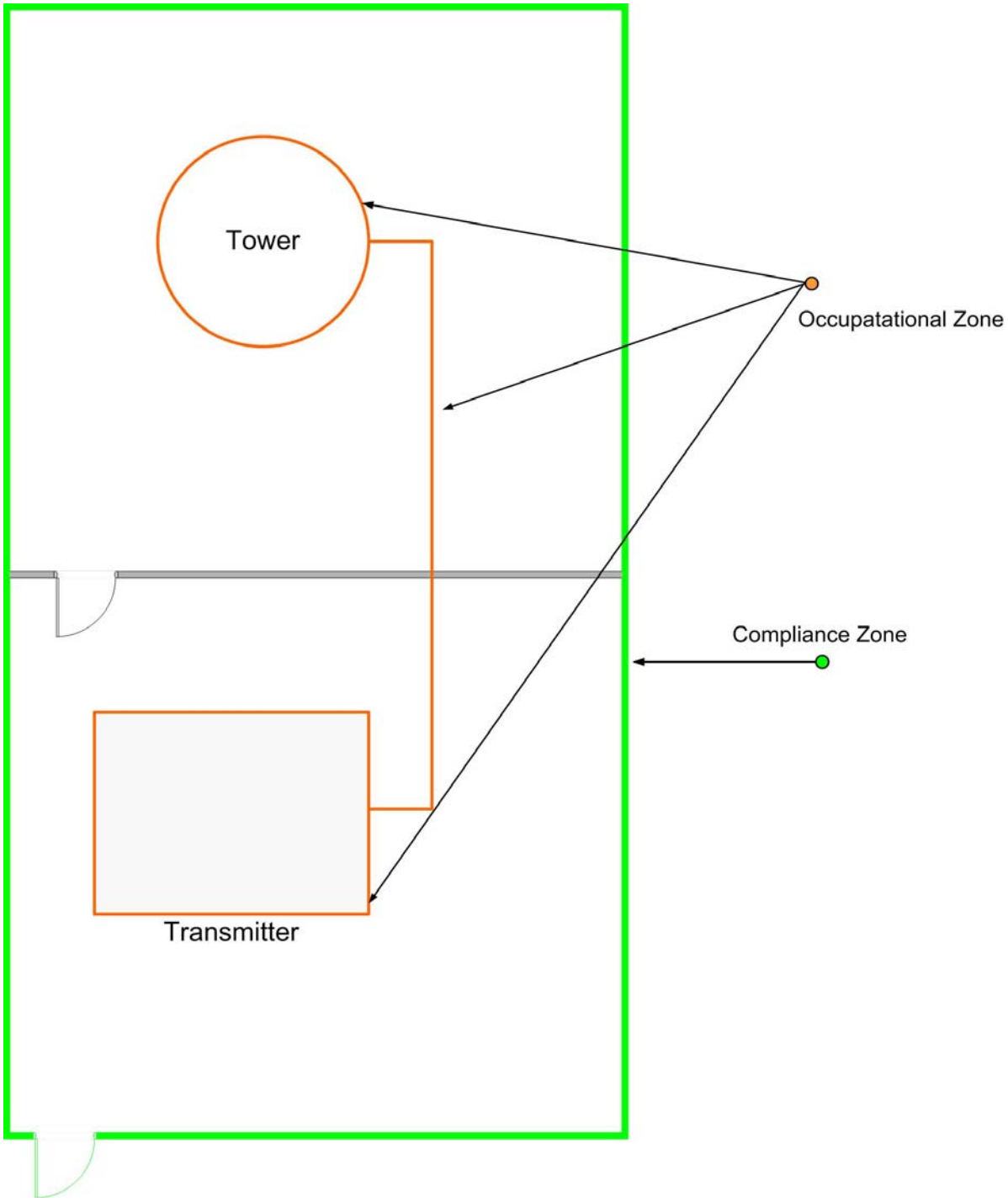
รูปที่ 6.1 เครื่องหมายแสดงเขตพื้นที่ที่มีระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสอดคล้องตามมาตรฐาน (Compliance Zone)

รูปที่ 6.2 เครื่องหมายแสดงเขตพื้นที่สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน (Occupational Zone)

รูปที่ 6.3 เครื่องหมายแสดงเขตพื้นที่มีระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกินขีดจำกัด (Exceedance Zone)



รูปที่ 6.4 แสดงขนาดของเครื่องหมาย



รูปที่ 6.5 แสดงตัวอย่างตำแหน่งการติดเครื่องหมาย

7. แนวทางปฏิบัติในการทำความเข้าใจกับประชาชน

7.1 ขั้นเตรียมการ

7.1.1 กำหนดทีมงานหรือผู้รับผิดชอบ เพื่อทำหน้าที่ประสานงานให้ข้อมูลกับประชาชนและสร้างความสัมพันธ์ที่ดีก่อนการเริ่มโครงการติดตั้งสถานีวิทยุคมนาคม โดยทีมงานดังกล่าวควรประกอบด้วยผู้มีหน้าที่รับผิดชอบโดยตรง และทราบขั้นตอน ระยะเวลาการดำเนินงานและการตัดสินใจ ผู้มีความชำนาญทางด้านเทคนิคการมีส่วนร่วมและการสื่อสาร

7.1.2 สำรวจความรู้สึกของประชาชนในบริเวณพื้นที่ที่จะติดตั้งสถานีวิทยุคมนาคมและบริเวณใกล้เคียง และประเมินสถานการณ์สาธารณะหรือชุมชน แนวโน้มที่จะต่อต้านหรือยอมรับการติดตั้งสถานีวิทยุคมนาคมในบริเวณพื้นที่นั้น ๆ เพื่อหาวิธีป้องกันการต่อต้านล่วงหน้า โดยการพูดคุยกับประชาชนและหน่วยงานในพื้นที่ หรือสัมภาษณ์ผู้นำชุมชน ในประเด็นต่าง ๆ เช่น

1) โครงการติดตั้งสถานีวิทยุคมนาคมในพื้นที่นั้น ๆ มีแนวโน้มที่จะมีความเห็นไม่ลงรอยกันหรือไม่

2) ชุมชนนั้นเคยมีประวัติหรือประสบการณ์การมีส่วนร่วมหรือแสดงความสนใจต่อประเด็นหรือโครงการอื่น ๆ หรือไม่อย่างไร

3) ขนาดพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการตั้งสถานีวิทยุคมนาคม

4) มีการสอบถามจากประชาชนมากหรือไม่ และเป็นความห่วงกังวลในเรื่องใดบ้าง

5) มีการรวมตัวเป็นกลุ่มในพื้นที่หรือไม่ โดยเฉพาะกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับประเด็นการตัดสินใจ

7.2 ขั้นวางแผนการมีส่วนร่วม

จากข้อมูลต่าง ๆ ในขั้นเตรียมการ ทีมงานต้องนำมาวิเคราะห์เพื่อจัดทำแผนการมีส่วนร่วมของประชาชนดังต่อไปนี้

7.2.1 ระบุและวิเคราะห์ผู้มีส่วนได้เสียและประเด็นที่ห่วงกังวล ผู้ได้รับผลกระทบหรือผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทุกฝ่ายไม่ว่าโดยทางตรงหรือโดยทางอ้อมควรมีโอกาสเข้าสู่กระบวนการมีส่วนร่วม แต่ละประเด็นการตัดสินใจย่อมมีผู้สนใจหรือผู้ได้รับผลกระทบไม่เท่ากัน แต่กลุ่มที่ได้รับผลกระทบโดยตรงอาจถือว่าต้องรับฟังข้อมูลหรือปรึกษาหารือเป็นอันดับแรก ๆ

การระบุผู้มีส่วนได้เสียอาจพิจารณาได้ดังนี้

1) ผู้อยู่อาศัยบริเวณพื้นที่ที่จะติดตั้งสถานีวิทยุคมนาคมโดยรอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่อาจมีความเสี่ยงในการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกินขีดกำหนดสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไปตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานความปลอดภัย จะต้องให้ข้อมูลเกี่ยวกับความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม และการหลีกเลี่ยงการเข้าใกล้บริเวณดังกล่าว

2) ผู้มีผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจ เช่น เจ้าของที่ดินหรือสถานที่ที่จะติดตั้งสถานีวิทยุคมนาคม

3) ผู้มีความสนใจมิติทางด้านสังคม/สิ่งแวดล้อมที่เป็นผลจากการตัดสินใจ

4) ผู้มีอำนาจที่ได้รับมอบหมายตามกฎหมาย เช่น องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในพื้นที่ หรือหน่วยงานของรัฐอื่น ๆ ที่มีอำนาจหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง (องค์การบริหารส่วนตำบลผู้มีอำนาจในการอนุญาตก่อสร้างอาคาร/สถานีวิทยุคมนาคม)

5) วิเคราะห์ความสำคัญและอิทธิพลของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย แต่ละกลุ่มมีประเด็นกังวลใจแตกต่างกัน ดังนั้น รูปแบบการมีส่วนร่วมที่นำมาใช้ย่อมแตกต่างกันตามความเหมาะสม เช่น กรณีกลุ่มผู้ต่อต้านเป็นนักวิชาการ ควรนำเสนอข้อมูลทางวิชาการโดยนำรายงานสรุปผลการดำเนินการของคณะกรรมการ

ร่างมาตรฐานความปลอดภัยเกี่ยวกับการใช้เครื่องวิทยุคมนาคมต่อสุขภาพผู้ใช้ เครื่องมือ และอุปกรณ์ทางการแพทย์ มาเป็นแนวทางในการให้ข้อมูล

7.2.2 คาดการณ์ระดับการโต้เถียง ขั้นตอนนี้ทีมงานต้องประเมินหรือคาดการณ์จากข้อมูลขั้นเตรียมการว่าระดับของการถกเถียง หรือการโต้แย้งจะเป็นอย่างไร ซึ่งการประเมินเป็นเรื่องยากแต่อาจพิจารณาจากตัวชี้วัด เช่น

1) เคยมีการถกเถียงหรือการโต้แย้งในประเด็นการตั้งสถานีวิทยุคมนาคมของผู้ประกอบการรายอื่นมาก่อนหรือไม่

2) มีประเด็นทางการเมืองเกี่ยวข้องหรือไม่ เช่น อยู่ในช่วงใกล้เลือกตั้งผู้นำท้องถิ่น ความขัดแย้งทางการเมืองท้องถิ่น เป็นต้น

3) เป็นเหตุผลของการรวมกลุ่มใดบ้างหรือไม่

7.2.3 ระบุเป้าหมายของการมีส่วนร่วม 4 ขั้นตอน

1) ขั้นการระบุปัญหา/ความต้องการ ผู้ประกอบการต้องให้เตรียมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น ปริมาณความต้องการใช้บริการของผู้ใช้บริการในพื้นที่เพิ่มสูงขึ้น ความสามารถในการให้บริการของโครงข่ายเดิมไม่เพียงพอ หรือบริเวณพื้นที่ดังกล่าวไม่มีสัญญาณ หรือเพื่อนำเสนอบริการใหม่ ๆ เพื่อให้ประชาชนในชุมชนสามารถเข้าถึงบริการนั้น ๆ เพื่อชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นและประโยชน์ของประชาชนและชุมชนที่จะได้รับ และตามรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พ.ศ. 2550 ส่วนที่ 3 แนวนโยบายด้านการบริหารราชการแผ่นดิน มาตรา 77 (8) ส่งเสริมและสนับสนุนการพัฒนาเศรษฐกิจท้องถิ่นและระบบสาธารณูปโภค และสาธารณูปการตลอดทั้งโครงสร้างพื้นฐานสารสนเทศในท้องถิ่นให้ทั่วถึงและเท่าเทียมกันทั่วประเทศ

2) ขั้นการศึกษาทางเลือก ผู้ประกอบการอาจหาข้อมูลสถานที่ที่เหมาะสมในการติดตั้งสถานีวิทยุคมนาคมในบริเวณพื้นที่ดังกล่าวและบริเวณใกล้เคียงไว้ 2-3 แห่ง

3) ขั้นประเมินทางเลือก ผู้ประกอบการประเมินทางเลือกจากปัจจัยต่าง ๆ ทั้งทางด้านเทคนิคและความพึงพอใจของประชาชน และได้ข้อเสนอทางเลือกของสถานที่ตั้งเพื่อพิจารณา เพราะหากประชาชนไม่พึงพอใจในสถานที่ตั้งที่ผู้ประกอบการเลือกไว้ ประชาชนก็อาจรวมตัวกันต่อต้านคัดค้านการตั้งสถานีวิทยุคมนาคมในสถานที่นั้น ๆ ได้

4) ขั้นการเลือกทางเลือกเพื่อให้ได้สถานที่ที่เหมาะสมที่สุดทั้งในด้านเทคนิคที่สามารถให้บริการได้ครอบคลุมพื้นที่เป้าหมาย และชุมชนยอมรับ

7.2.4 ระบุเป้าหมายพิเศษของชุมชน พิจารณาว่าชุมชนหรือพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบหรือกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย หรือประเด็นตัดสินใจ มีลักษณะหรือเงื่อนไขพิเศษที่อาจจะกระทบต่อรูปแบบการมีส่วนร่วม ตัวอย่าง เช่น ชุมชนที่มีลักษณะพิเศษทางวัฒนธรรม ประเด็นเกี่ยวข้องกับความขัดแย้งทางการเมือง กลุ่มผู้มีส่วนได้เสียหลากหลายอยู่กระจัดกระจายหรือประเด็นเป็นที่สนใจขององค์กรพัฒนาเอกชน

7.2.5 การเลือกเทคนิคและกิจกรรมการมีส่วนร่วมของประชาชน โดยนำข้อมูลเกี่ยววัตถุประสงค์ของการมีส่วนร่วมในแต่ละขั้นตอนของการตัดสินใจ ผู้ที่ได้รับผลกระทบที่มีความสำคัญและระดับความสนใจ ข้อมูลที่ต้องให้กับสาธารณะ และข้อมูลที่ต้องได้รับจากประชาชน และลักษณะหรือเงื่อนไขพิเศษ เพื่อตัดสินใจใช้เทคนิคการมีส่วนร่วมแต่ละขั้นตอน

7.2.6 การเขียนแผนการมีส่วนร่วม จะช่วยทำให้ความคิดชัดเจนก่อนให้เกิดความร่วมมือช่วยในการประสานงาน และสามารถสื่อสารกับประชาชนได้ง่ายขึ้น

7.3 ขั้นตอนการนำไปสู่การปฏิบัติ

การดำเนินตามแผนจะต้องมีการจัดทำแผนปฏิบัติของแต่ละกิจกรรมการมีส่วนร่วม เช่น การจัดเวทีสาธารณะจะต้องมีการตัดสินใจว่าจะจัดที่ใด เมื่อไร ใครเป็นวิทยากร การดำเนินการดังกล่าวควรมีความยืดหยุ่น และการตรวจสอบปรับปรุงแผนการมีส่วนร่วมให้สอดคล้องกับสถานการณ์ หากมีการเปลี่ยนแปลงจำเป็นต้องแจ้งให้ผู้เกี่ยวข้อง อาจรวมถึงประชาชนด้วย

การเลือกใช้เทคนิคการมีส่วนร่วมของประชาชนใดขึ้นอยู่ความเหมาะสมและสถานการณ์และกลุ่มของผู้ได้รับผลกระทบหรือผู้มีส่วนได้ส่วนเสียแต่ละกลุ่ม โดยทีมงานจะต้องวิเคราะห์ความเหมาะสมที่จะนำเทคนิคแต่ละชนิดมาปรับใช้ ดังต่อไปนี้

- **เทคนิคการมีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลแก่ประชาชน**
  1. เอกสารข้อเท็จจริง/แผ่นพับนำเสนอข้อมูล
  2. จดหมายข่าว
  3. รายงานการศึกษา
  4. การจัดทำวีดิทัศน์
  5. การจัดตั้งศูนย์ข้อมูลข่าวสาร
  6. การสื่อสารผ่านหอกระจายข่าวประจำชุมชน
  7. การชี้แจงให้ประชาชนในการประชุมของทางราชการปกครองส่วนท้องถิ่น
- **เทคนิคการมีส่วนร่วมในการรับฟังความคิดเห็น**
  1. การสัมภาษณ์รายบุคคล
  2. การสนทนากลุ่มย่อย
  3. การสำรวจความคิดเห็น
  4. การพบปะแบบไม่เป็นทางการ
  5. การจัดกิจกรรมการมีส่วนร่วมของประชาชนแก่ชุมชน

.

ภาคผนวก ก
กฎหมาย/กฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง

1. กฎหมายที่เกี่ยวกับเครื่องวิทยุคมนาคมและการตั้งสถานีวิทยุคมนาคม

1.1 พระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2543

1.2 พระราชบัญญัติการประกอบกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2544

1.3 พระราชบัญญัติวิทยุคมนาคม พ.ศ. 2498

2. กฎหมายเกี่ยวกับการคุ้มครองผู้บริโภค

2.1 ระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการรับฟังความคิดเห็นของประชาชน พ.ศ. 2548

2.2 ประกาศคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง กระบวนการรับเรื่องร้องเรียนและพิจารณาเรื่องร้องเรียนของผู้ใช้บริการ

2.3 (ร่าง) ประกาศคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการเกี่ยวกับการใช้สิทธิในการปักหรือตั้งเสาหรือเดินสาย วางท่อ หรือติดตั้งอุปกรณ์ประกอบใดในการให้บริการโทรคมนาคม

3. กฎหมายที่เกี่ยวกับการควบคุมอาคาร

3.1 พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

4. กฎหมายที่เกี่ยวกับการห้ามก่อสร้างอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างในบางสถานที่

4.1 พระราชบัญญัติการเดินอากาศ พ.ศ. 2547

4.2 พระราชบัญญัติทางหลวง พ.ศ. 2535

4.3 พระราชบัญญัติการประปานครหลวง พ.ศ. 2510

4.4 พระราชบัญญัติการประปาส่วนภูมิภาค พ.ศ. 2522

4.6 พระราชบัญญัติการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2511

4.7 พระราชบัญญัติการชลประทานหลวง พ.ศ. 2485

4.8 พระราชบัญญัติป่าสงวนแห่งชาติ พ.ศ. 2507

4.9 พระราชบัญญัติว่าด้วยเขตปลอดภัยในราชการทหาร พ.ศ. 2478

5. กฎหมายที่เกี่ยวกับการสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม

5.1 พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535

5.2 พระราชบัญญัติอุทยานแห่งชาติ พ.ศ. 2504

5.3 ระเบียบกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืชว่าด้วยการอนุญาตให้เข้าไปดำเนินกิจการท่องเที่ยวและพักอาศัยในอุทยานแห่งชาติ พ.ศ. 2547

ภาคผนวก ข

ขีดจำกัดความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

1) ขีดจำกัดความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน

ความถี่	E-field strength (V/m)	H-field strength (A/m)	equivalent plane wave power density S_{eq} (W/m^2)
9 kHz – 65 kHz	610	24.4	-
65 kHz – 1 MHz	610	$1.6/f$	-
1 MHz – 10 MHz	$610/f$	$1.6/f$	-
10 MHz – 400 MHz	61	0.16	10
400 MHz – 2 GHz	$3f^{½}$	$0.008f^{1/2}$	$f/40$
2 GHz – 300 GHz	137	0.36	50

2) ขีดจำกัดความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป

ความถี่	E-field strength (V/m)	H-field strength (A/m)	equivalent plane wave power density S_{eq} (W/m^2)
9 kHz – 150 kHz	87	5	-
150 kHz – 1 MHz	87	$0.73/f$	-
1 MHz – 10 MHz	$87/f^{½}$	$0.73/f$	-
10 MHz – 400 MHz	28	0.073	2
400 MHz – 2 GHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$f/200$
2 GHz – 300 GHz	61	0.16	10

หมายเหตุ:

1. E-field strength หมายถึง ความแรงสนามไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโวลท์ต่อเมตร (V/m)
2. H-field strength หมายถึง ความแรงสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นแอมแปร์ต่อเมตร (A/m)
3. f หมายถึง ความถี่ มีหน่วยเป็นเมกะเฮิรตซ์ (MHz)
4. สำหรับความถี่ระหว่าง 100 kHz และ 10 GHz ค่า S_{eq} , E^2 และ H^2 เป็นค่าเฉลี่ยในช่วงเวลา 6 นาทีใดๆ
5. สำหรับความถี่มากกว่า 10 GHz ค่า S_{eq} , E^2 และ H^2 เป็นค่าเฉลี่ยในช่วงเวลา $68 / f^{1.05}$ นาทีใดๆ โดย ในที่นี้ f คือความถี่ มีหน่วยเป็นกิกะเฮิรตซ์ (GHz)

สูตรคำนวณระยะห่างต่ำสุดจากสายอากาศของสถานีวิทยุคมนาคมถึงจุดสังเกตการณ์ ที่ระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสอดคล้องตามขีดจำกัดสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน

ย่านความถี่วิทยุ	ระยะห่างต่ำสุดสำหรับ กลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน	
	คำนวณจาก e.i.r.p	คำนวณจาก e.r.p
9 kHz – 1 MHz	N/A	N/A
1 MHz to 10 MHz	$r = 0.0144 \times f \times \sqrt{eirp}$	$r = 0.0184 \times f \times \sqrt{erp}$
10 MHz to 400 MHz	$r = 0.143\sqrt{eirp}$	$r = 0.184\sqrt{erp}$
400 MHz to 2 GHz	$r = 2.92\sqrt{eirp / f}$	$r = 3.74\sqrt{erp / f}$
2 GHz to 300 GHz	$r = 0.0638\sqrt{eirp}$	$r = 0.0819\sqrt{erp}$

r คือระยะห่างต่ำสุดจากสายอากาศถึงจุดสังเกตการณ์ มีหน่วยเป็นเมตร

f คือความถี่ มีหน่วยเป็น MHz

e.r.p. คือ effective radiated power ในทิศทางของอัตราขยายสายอากาศสูงสุด มีหน่วยเป็นวัตต์

e.i.r.p. คือ equivalent isotropically radiated power ในทิศทางของอัตราขยายสายอากาศสูงสุด มีหน่วยเป็นวัตต์

สูตรคำนวณระยะห่างต่ำสุดจากสายอากาศของสถานีวิทยุคมนาคมถึงจุดสังเกตการณ์ ที่ระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสอดคล้องตามขีดจำกัดสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป

ย่านความถี่วิทยุ	ระยะห่างต่ำสุดสำหรับ กลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป	
	คำนวณจาก e.i.r.p	คำนวณจาก e.r.p
9 kHz – 1 MHz	N/A	N/A
1 MHz to 10 MHz	$r = 0.10\sqrt{eirp \times f}$	$r = 0.129\sqrt{erp \times f}$
10 MHz to 400 MHz	$r = 0.319\sqrt{eirp}$	$r = 0.409\sqrt{erp}$
400 MHz to 2 GHz	$r = 6.38\sqrt{eirp / f}$	$r = 8.16\sqrt{erp / f}$
2 GHz to 300 GHz	$r = 0.143\sqrt{eirp}$	$r = 0.184\sqrt{erp}$

r คือระยะห่างต่ำสุดจากสายอากาศถึงจุดสังเกตการณ์ มีหน่วยเป็นเมตร

f คือความถี่ มีหน่วยเป็น MHz

e.r.p. คือ effective radiated power ในทิศทางของอัตราขยายสายอากาศสูงสุด มีหน่วยเป็นวัตต์

e.i.r.p. คือ equivalent isotropically radiated power ในทิศทางของอัตราขยายสายอากาศสูงสุด มีหน่วยเป็นวัตต์

ภาคผนวก ค
พารามิเตอร์ของกิจการโทรคมนาคมที่เกี่ยวข้องกับการประเมินสถานีวิทยุคมนาคม

ในภาคผนวกนี้ประกอบด้วยตารางแสดงค่าที่สำคัญของการประเมินความสอดคล้องของการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีการใช้งานโดยทั่วไป

1) องค์ประกอบของการประเมินความสอดคล้อง

1.1) รูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศ (Radiation pattern of the transmitting antenna)

สายอากาศสำหรับการส่งสัญญาณมีลักษณะรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเป็นรูปแบบ 3 มิติ $f(\theta,\phi)$ ระดับการแพร่กระจายคลื่นระหว่างการแพร่กระจายในทิศทางหลักและในทิศทางอื่น ๆ (เช่น การแพร่กระจายในทิศทางด้านหลังของสายอากาศของสายอากาศแบบพาราโบริกหรือสายอากาศของ GSM) จะมีความแตกต่างกัน 40 dB ขึ้นไป ดังนั้น ลักษณะรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศจึงมีผลกระทบต่อการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีผลต่อสุขภาพของมนุษย์

รูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศขึ้นอยู่กับการใช้งานของความถี่วิทยุและย่านความถี่วิทยุที่ต้องการที่ให้สายอากาศสามารถใช้งานได้ เช่น สายอากาศของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ GSM จะมีรูปแบบการแผ่พลังงานที่เหมาะสมกับความถี่วิทยุที่ใช้งานในแต่ละย่านความถี่

1.1.1) Horizontal and vertical radiation patterns

ในทางปฏิบัติสายอากาศสำหรับการส่งสัญญาณไม่ได้มีการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทางและแผ่พลังงานด้วยกำลังงานแผ่ประสิทธิผล (Effective Radiated power: ERP) ซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางระหว่างสายอากาศที่จุดที่สังเกต โดยทั่วไปรูปแบบรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศ $f(\theta,\phi)$ ขึ้นอยู่กับมุม azimuth และมุม elevation การคำนวณจะมีความแม่นยำยิ่งขึ้นหากรู้ทิศทางของรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศเป็นแบบ 3 มิติ อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติผู้ประกอบกิจการโทรคมนาคมต้องรู้การแผ่พลังงานข้ามรูปแบบการแผ่พลังงานในระนาบแนวระนาบ (เรียกว่า Horizontal Radiation Pattern: HRP)

$$H(\phi) = f(\theta,\phi)\big|_{\theta=\theta\max}$$

เมื่อ:

$H(\phi))$ - horizontal radiation pattern (HRP)

$f(\theta,\phi)$ - normalised radiation pattern of the antenna,

ϕ - azimuth angle,

θ - elevation angle

θmax - elevation angle at which the maximum radiation occurs.

และ

a vertical plane (called vertical radiation pattern – VRP):

$$V(\theta) = f(\theta,\phi)\big|_{\phi=\phi\max}$$

เมื่อ:

$V(\theta)$ - vertical radiation pattern (VRP)

ϕmax - elevation angle at which the maximum radiation occurs.

ค่าที่แท้จริงของรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศที่มุม elevator และมุม azimuth หาได้จากความสัมพันธ์

$$f(\theta,\phi) = H(\phi)\cdot V(\theta)$$

จากสมการข้างต้นเป็นสมมุติฐานบนส่วนที่แบบแนวนอนและแนวตั้งของรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศซึ่งจะมีรูปร่างเหมือนกันในส่วนแนวตั้งและแนวนอนซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ในทางปฏิบัติ จากสมการเป็นการประมาณการลักษณะโครงสร้างของสายอากาศซึ่งสามารถประมาณการการแผ่พลังงานไปข้างหน้าและด้านหลังของสายอากาศซึ่งนำมาใช้ได้กับการประเมินการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพราะว่ารูปแบบการแผ่พลังงานที่สำคัญคือระดับการแผ่พลังงาน

1.1.2) HRP and VRP for typical radiocommunication and broadcasting antenna

HRP จะแผ่พลังงานในแนวมุม azimuth แสดงการแผ่พลังงานในระดับแนวระนาบ โดยทั่วไปสายอากาศที่ใช้ในกิจการวิทยุโทรคมนาคมและกิจการวิทยุกระจายเสียง HRP จะแผ่พลังงานรอบทิศทางในแนวระนาบ ซึ่งไม่ได้หมายความว่าแผ่พลังงานในทุกมุม azimuth (สายอากาศไดโพลแบบแนวตั้งมีคุณสมบัติทางอุดมคติแผ่พลังงานในระดับแนวนอนรอบทิศทาง แต่สายอากาศที่ใช้ในทางปฏิบัติมีความซับซ้อนมาก) HRP การแผ่พลังงานในแนวระนาบจะแผ่พลังงานรอบทิศทางซึ่งมีความแตกต่างกันระหว่าง 3 ถึง 6 dB (ค่าแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด) ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละเซลล์จะมี 3 เซกเตอร์แต่ละเซกเตอร์ทำมุม 120° โดยแต่ละเวกเตอร์จะมีทิศทางของสายอากาศในแต่ละอัน

VRP เป็นการแผ่พลังงานในแนวตั้งแสดงการแผ่พลังงานในระดับแนวตั้ง โดยใช้เกณฑ์การกระจายพลังงานขึ้นอยู่กับสายอากาศที่จุดที่สังเกตการณ์ จากจุดที่ประเมินความสอดคล้องการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในบริเวณใกล้กับสายอากาศในบริเวณที่ทำมุมกับสายอากาศระหว่าง 120°-180° (โดยสมมุติมุม 90° ขนานกับพื้นดิน) ซึ่งมีทิศทางหลักจากการแผ่พลังงานในแนวตั้ง โดยครอบคลุมพื้นที่ของพูข้างและจุดศูนย์กลางของการแผ่พลังงานในแนวตั้ง พื้นที่การแผ่พลังงานในแนวตั้งจะมีพื้นที่ที่ใหญ่ที่ระดับ 20 dB หรือมากกว่า

2) สถานีฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile base stations)

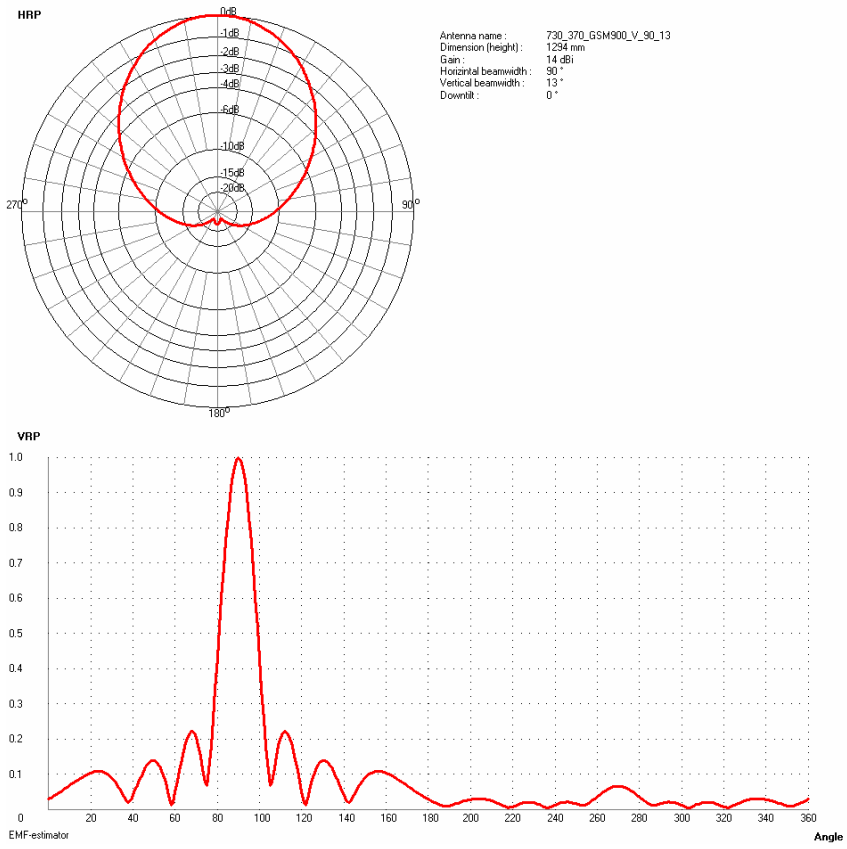
ตัวแปรหลัก (Main attributes) มีอัตราขยายสายอากาศสูง EIRP ต่ำ ผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยทั่วไปในบริเวณพื้นที่ระยะไกล

ตารางที่ ค.1 สถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

	GSM900	*GSM1800/1900*	*NADC IS-54/136*	*CDMA IS-95*	*PHS*	*DECT CT-3*	*W-CDMA / UMTS*
Geographical area	*Worldwide*	*Worldwide*	*USA*	*USA*	*Japan*	*Europe*	*Worldwide*
Transmitter frequency [MHz]	935-960	1805-1880 1930-1990	869-894	870-890	1893-1920	1880-1960	869 – 894 1930 – 1990 2110 - 2170 2620 - 2690
Transmitter* rated power [W]	10-60	10-40	10-30	10-20	10-30		1-80 per carrier
Rated power	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

	GSM900	*GSM1800/1900*	*NADC IS-54/136*	*CDMA IS-95*	*PHS*	*DECT CT-3*	*W-CDMA / UMTS*
Geographical area	*Worldwide*	*Worldwide*	*USA*	*USA*	*Japan*	*Europe*	*Worldwide*
/mean power coefficient							
Antenna height [m] a.t.l.	25-50	25-50	25-50	25-50	25-50	20-60	35-50
Antenna gain [dBi]	7.5-18	8-21	8.5-17.5	8.5-17,5	16.5-18	8.5-17.5	12-18
VRP [V/V]	0.4-0.03	0.3-0.02	0.3-0.03	0.3-0.03	0.05-0.03	0.3-0.03	0.15-0.05
VRP downtilt [deg]	0-15	0-10	0-15	0-15	0-10	0-10	0-8
EIRP [W]*	100-800	30-800	800	800	800	2-10	800

* per carrier or per transmitter
** attenuation of 3 dB has been taken



รูปที่ ค.1 HRP and VRP for the typical GSM900 transmitting panel (Kathrein 730 370)

3) Trunked radio and wireless access systems

Main attributes: high gain transmitting antennas, low EIRP, general public in the far-field region.

ตารางที่ ค.2 Trunked radio and wireless access base stations

	TETRA	Wi-Fi	WiMAX
Geographical area	Europe	Worldwide	Worldwide
Transmitter frequency [MHz]	390-400 420-430 460-470 915-933	2 400-2 483	3 400-3 600
Transmitter rated power [W]	0.6-40 per channel	0.1-1	0.1-1
Rated power /mean power	1.0	1.0	1.0
Antenna height [m] a.t.l.	35-50	120	30
Antenna gain [dBi]	12-15	7-24	10-18
VRP [V/V]	0.15-0.1		0.05-0.1
VRP downtilt [deg]	0-15		0
EIRP [W]**	<100	0,1 (non-licensed bands)	10-50

* per carrier or per transmitter
** attenuation of 3 dB has been taken

4) Radio relay links

Main attributes: very high gain transmitting antennas, very high point-to-point ERP, very high frequency.

ตารางที่ ค.6(1) กำลังส่ง EIRP สูงสุดสำหรับสถานีถ่ายทอดสัญญาณ

Geographical area	Worldwide						
Transmitter frequency [GHz]	1.9-2.1	2.52-2.67	5.925-6.425	6.425-7.11	7.425-7.725	8.275-8.5	10.15-10.67
Transmitter rated power [dBm]/[W]	29 / 0.8	29 / 0.8	33.3 / 2.1	28 / 0.6	32 / 1.6	34 / 2.5	30 / 1.0
Rated power /mean power	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Antenna gain [dBi]	37	37	45	47	47.2	45.6	42
Main beam width [deg]	2.2-8.6	2.2-7.2	0.8-2.7	0.7-2.7	0.6-2.4	0.6-2.3	0.7-3.6
EIRP [dBm]/[kW]*	58 / 0.6	58 / 0.6	77.3 / 54	74 / 25	74.5 / 28	77.6 / 57.5	64 / 2.5

* attenuation of 3 dB has been taken

ตารางที่ ค.6(2) กำลังส่ง EIRP สูงสุดสำหรับสถานีถ่ายทอดสัญญาณ

Geographical area	Worldwide						
Transmitter frequency [GHz]	10.695-11.7	12.75-13.25	14.5-15.35	17.7-19.7	22.0-23.6	24.25-29.5	37.0-39.5
Transmitter rated power [dBm]/[W]	31 / 1.3	31 / 1.3	27 / 0.5	27 /0.5	33 / 2.0	31 / 1.3	36 / 4.0
Rated power /mean power	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Antenna gain [dBi]	50	50	48	50	50	53,6	45.4
Main beam width [deg]	0.5-1.6	0.5-2.8	0.5-4.5	0.5-3.6	0.5-2.8	0.5-2.5	0.4-1.7
EIRP [dBm]/[kW]*	78 / 63.1	77.7 / 58.9	73 / 20.0	73 / 20.0	71.5 / 14.1	73.5 / 22.4	81.5 / 141.3

* attenuation of 3 dB has been taken

Note: Guidelines on compliance boundary assessment of parabolic antennas can also be found in ETSI TR 102 457 V1.1.1 (2006-08) *Technical Report* Transmission and Multiplexing (TM); Study on the electromagnetic radiated field in fixed radio systems for environmental issues

ภาคผนวก ง

เทคนิคการบรรเทาเพื่อจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Example of mitigation technique)

เมื่อพิจารณาในแง่ของการป้องกันการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้ว เป็นเรื่องจำเป็นที่จะมีระดับการแผ่คลื่นที่ต่ำที่สุดในบริเวณที่ประชาชนสามารถเข้าถึงได้ (ในระยะใกล้กับสายอากาศส่ง) ในบริเวณอื่นๆ ระดับการแผ่คลื่นอาจจะสูงกว่าและโดยปกติจะมีระดับสูงกว่ามากเนื่องจากความต้องการที่จะครอบคลุมพื้นที่ให้ได้มากที่สุด ซึ่งเป็นได้ที่จะบรรลุเป้าหมายทั้งสองอย่างที่ตรงข้ามได้โดยการใช้สายอากาศส่งที่มี directional radiation pattern ดังนั้น ประเด็นหลักในการป้องกันการแผ่คลื่นได้แก่การมี radiation pattern ที่เหมาะสมของสายอากาศส่ง

การลดระดับการแผ่คลื่นในบริเวณที่ประชาชนสามารถเข้าถึงได้นั้นมีอยู่หลายวิธีเทคนิคการลดระดับการแผ่คลื่นที่เสนอในข้อเสนอแนะนี้สามารถใช้ได้กับสายอากาศหลายๆ ประเภทที่ใช้ที่สถานีฐานและสถานีส่งสัญญาณ (เช่น GSM, UMTS, TETRA, FM, TV, DVB-T, T-DAB)

1) กำลังของเครื่องส่ง

วิธีที่ง่ายที่สุดคือการลดกำลังของเครื่องส่ง ซึ่งจะเป็นผลให้ความหนาแน่นกำลังลดลงแบบเชิงเส้นในทุกจุดสังเกตการณ์ และยังเป็นผลให้ E^2 ลดลง แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการลดกำลังของเครื่องส่งนี้จะทำให้พื้นที่ครอบคลุม (area coverage) ลดลงไปด้วย ดังนั้น วิธีนี้จึงเป็นวิธีสุดท้ายที่จะนำมาใช้หากวิธีอื่นไม่ได้ผล

2) ความสูงของสายอากาศ

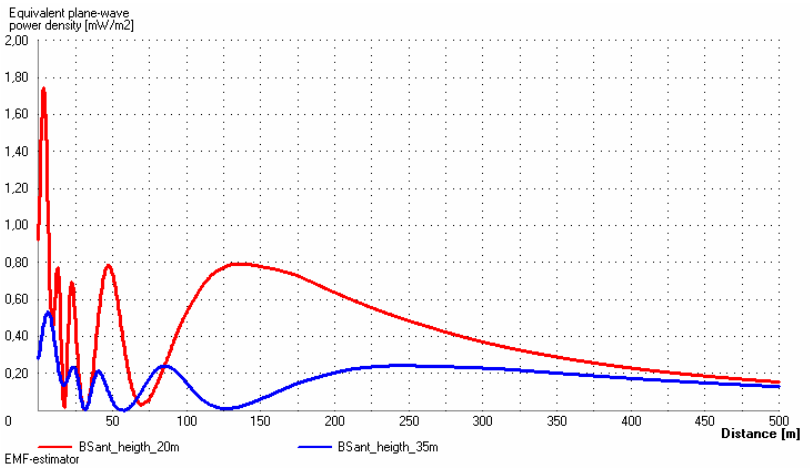
หากความสูงของสายอากาศเพิ่มขึ้น จะทำให้ระยะทางถึงจุดสังเกตการณ์ทุกจุดเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งหมายถึงว่าระดับการแผ่คลื่นก็จะลดลงด้วย วิธีนี้สามารถนำไปใช้ในกรณีที่สามารถขยายความสูงของสายอากาศได้ แต่อาจไม่สามารถที่จะนำไปใช้กับสายอากาศส่งสำหรับ broadcasting ได้ เนื่องจากโดยปกติแล้วสายอากาศเหล่านั้นจะถูกติดตั้งให้สูงที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ และเป็นเรื่องยากที่จะเพิ่มความสูงของเสาสายอากาศ

ตัวอย่างที่ ง.1 สถานีฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบ ***GSM900***

Transmitting antenna (panel) gain: 15.5 dBi *VRP downtilt: 0 ^{o}*

VRP main beam width: 13 ^{o} *Frequency: 947.5 MHz*

Transmitter power: 25 W *Total loses (attenuation): 2.32 dB*



รูปที่ ง.1 การกระจายความหนาแน่นพลังงานเมื่อเทียบกับระยะทางที่ความสูงความสูง 1.5 เมตร โดยที่ความสูงของสายอากาศ 35 เมตร (เส้นสีน้ำเงิน) และที่ความสูง 20 เมตร (เส้นสีแดง)

ผลจากการคำนวณแสดงดังรูป ง.1 แสดงถึงการเพิ่มความสูงของสายอากาศและลดระดับการแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในกรณีนี้ลดลงถึง 3 เท่า (จาก 1.75 mW/m^2 ลดลงเป็น 0.25 mW/m^2) ในทั้งสองกรณีความหนาแน่นกำลังจะต้องน้อยกว่าขีดจำกัดของ ICNIRP นั่นคือ 4.5 W/m^2 สำหรับกรณีนี้

อย่างไรก็ตาม สายอากาศที่มีอัตราขยายสูงจะมี VRP พร้อม sidelobe จำนวนมากที่เป็นปัจจัยสำหรับการแผ่คลื่นสูงสุด/ต่ำสุด ซึ่งเป็นเหตุผลที่ทำให้การลดระดับการแผ่คลื่นในทุกพื้นที่เป็นไปได้ยาก ในรูปข้างต้นสถานการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นที่ระยะประมาณ 75 เมตร จากเสาสายอากาศที่ซึ่งการเพิ่มความสูงของสายอากาศจะไม่ทำให้ระดับการแผ่คลื่นลดลง แต่ในแง่ของการป้องกันการได้รับคลื่นแล้ว สิ่งที่สำคัญที่สุดคือระดับการแผ่คลื่นสูงสุดในพื้นที่ทั้งหมดที่ประชาชนสามารถเข้าถึงได้ และเป็นที่ชัดเจนว่าการการเพิ่มความสูงของสายอากาศให้ประโยชน์ที่เพียงพอ

3) ความเอียงของลำคลื่นหลัก

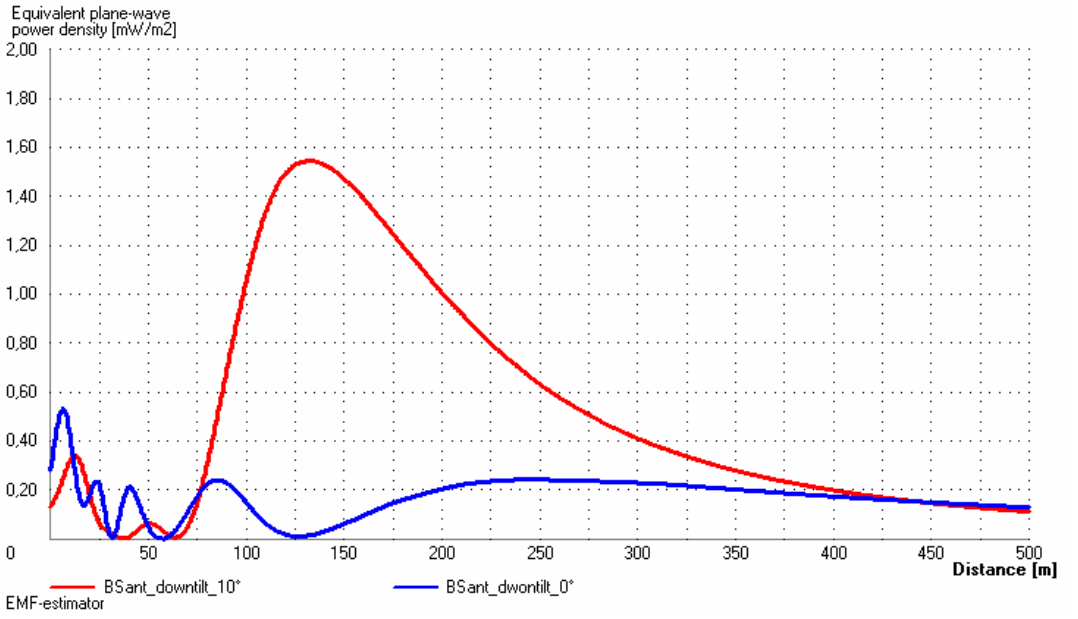
ความเอียงของลำคลื่นหลักของ VRP ของสายอากาศส่งมักจะถูกนำมาใช้ด้วยเหตุผลด้านสมรรถนะของบริการจากการประมาณคร่าวๆ ในโหมด line-of-sight พลังงานทั้งหมดที่แผ่ออกไปเหนือระนาบแนวนอนของสายอากาศจะสูญเสียไป การสูญเสียนี้จะลดลงได้โดยการปรับให้ VRP ของระบบสายอากาศแคบลงและเอียงลำคลื่นลง ในสถานีฐานระบบเซลลูล่าร์การเอียงลำคลื่นลง (downtilt) ยังใช้เพื่อจำกัดพื้นที่ครอบคลุมซึ่งจะเพิ่มโอกาสในการ reuse ความถี่ การเอียงลำคลื่นหลักลงยังมีผลต่อระดับการแผ่คลื่นในบริเวณใกล้กับสายอากาศส่งด้วย โดยการเอียงลำคลื่นลงมากก็จะทำให้เกิดระดับการแผ่คลื่นในบริเวณใกล้เคียงของสายอากาศส่งสูงขึ้นตาม การเพิ่มขึ้นของระดับการแผ่คลื่นจะเกิดขึ้นมากในทิศทางของลำคลื่นหลัก แต่การเปลี่ยนแปลงของระดับการแผ่คลื่นจะเกิดขึ้นทุกทิศทางตาม sidelobe และทิศที่ไม่มี VRP ของสายอากาศส่ง

ตัวอย่างที่ ง.2 สถานีฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบ GSM900

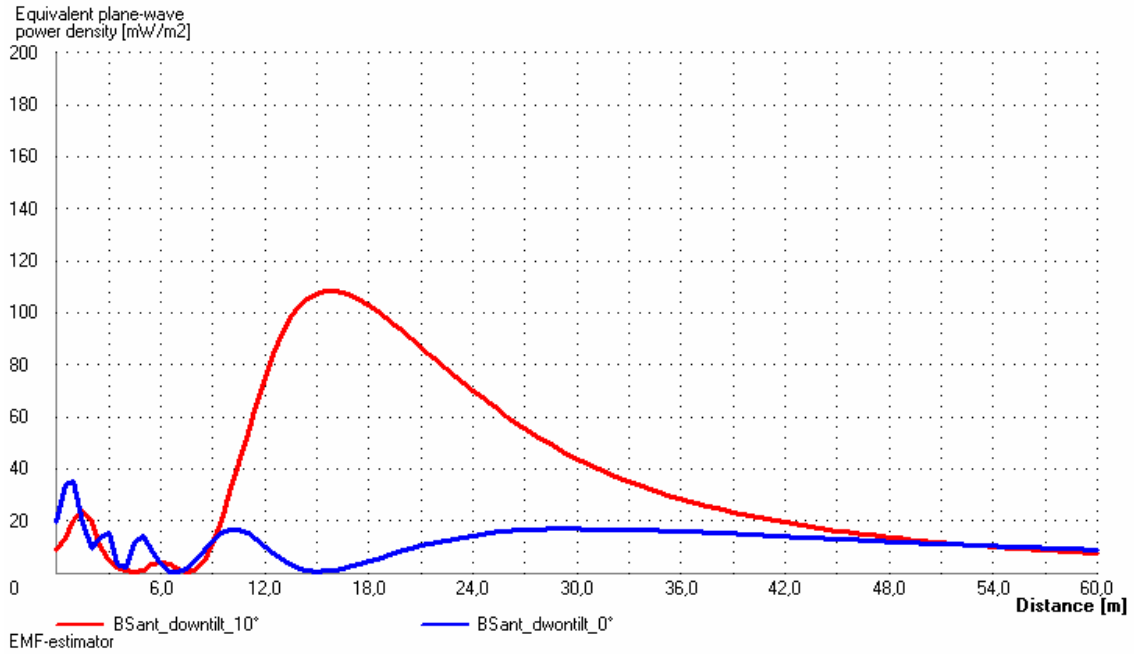
Transmitting antenna (panel) gain: 15.5 dBi *Transmitter power: 25 W*

VEP beam width: 13 ^{o} *Frequency: 947.5 MHz*

Antenna height: 35 m *I* *Total loses (attenuation): 2.32 dB*



รูปที่ ง.2 การกระจายความหนาแน่นกำลังเมื่อเทียบกับระยะทางที่ความสูง 1.5 เมตร
โดยมีความเอียงของลำคลื่นแตกต่างกัน



รูปที่ ง.3 การกระจายความหนาแน่นกำลังเมื่อเทียบกับระยะทางที่ความสูงเหนือระดับพื้นดิน 31 เมตร (อยู่บนดาดฟ้า 1.5 เมตร) และผลที่เกิดขึ้นที่ความเอียงของลำคลื่นหลักแตกต่างกัน

จะสังเกตเห็นได้ว่าการลดมุมเอียงของลำคลื่นหลักมีผลกระทบต่อระดับการแผ่พลังงานของสายอากาศทั้งในกรณีระดับพื้นดินและในระดับดาดฟ้า การลดมุมเอียงของลำคลื่นทำให้ความหนาแน่นกำลังเพิ่มในระยะที่ใกล้ ๆ ซึ่งเพิ่มสูงสุดถึง 5 เท่า

4) อัตราขยายของสายอากาศ

อัตราขยายของสายอากาศจะเปลี่ยนแปลงตาม directivity ของสายอากาศ ซึ่ง directivity ของสายอากาศเป็นความสามารถในการแผ่คลื่นได้มากขึ้นในทิศทางที่ต้องการ (ส่วนใหญ่ในแนวนอน) และจำกัดการแผ่คลื่นในทิศทางอื่น (ไปสู่พื้นหรือท้องฟ้า) ทั้งนี้ อาจใช้อัตราขยายสายอากาศ (ที่ถูกต้องคือ directivity ของสายอากาศ) ในการจำกัดการแผ่คลื่นในทิศทางที่ประชาชนสามารถเข้าถึงได้ directivity ของสายอากาศขึ้นอยู่กับ HRP และ VRP

HRP ของสายอากาศจะกำหนดโดยความต้องการของบริการ และส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็น omnidirectional ในระบบเซลลูล่าร์ซึ่งปกติแล้ว cell จะมีสาม sector แต่ละ sector จะมีสายอากาศของตัวเอง ในการพิจารณาเพื่อประเมินระดับการแผ่คลื่นนั้นจะต้องรวมส่วนประกอบของการแผ่คลื่นของทั้งสาม sector ซึ่งทำให้ระดับการแผ่คลื่นที่ได้รับเหมือนกับที่ได้รับจากสายอากาศแบบ omnidirectional หากการแผ่คลื่นในบางทิศทาง (azimuth) ถูกลดทอนลง พื้นที่ครอบคลุมของ aximuth นั้นจะลดลงด้วย ดังนั้น การเปลี่ยนแปลง HRP ของสายอากาศเพื่อจำกัดการแผ่คลื่นนั้นจะทำให้พื้นที่ครอบคลุมลดลงไปด้วย

ในอีกสถานการณ์หนึ่งซึ่งพิจารณา VRP ของสายอากาศ ซึ่งการกระจายของการแผ่คลื่นเป็นฟังก์ชันของระยะห่างจากสายอากาศ อัตราขยายที่สูงขึ้นจะหมายถึงความกว้างของลำคลื่นที่แคบลง และหาก VRP มี filled null จะไม่มีการสูญเสียใด ๆ เกิดขึ้นในพื้นที่ครอบคลุมในทางอ้อม (ผ่านความกว้างของลำคลื่นหลักของ VRP) อัตราขยายของสายอากาศจะมีผลต่อการแยกกระจายพลังงานในส่วนที่แผ่ออกไปในทิศทางของลำคลื่นหลัก (ด้านบนของพื้นที่ใกล้เคียงใต้สายอากาศ) และส่วนที่แผ่ออกไปยังพื้นที่ใต้สายอากาศที่อยู่ใกล้เคียง ดังนั้น จะ

เห็นว่าอาจ**ใช้อัตราขยายของสายอากาศ (หรือความกว้างของลำคลื่นหลักในแนวตั้ง) เพื่อลดระดับการแผ่คลื่นในบริเวณใกล้เคียงกับสายอากาศได้**

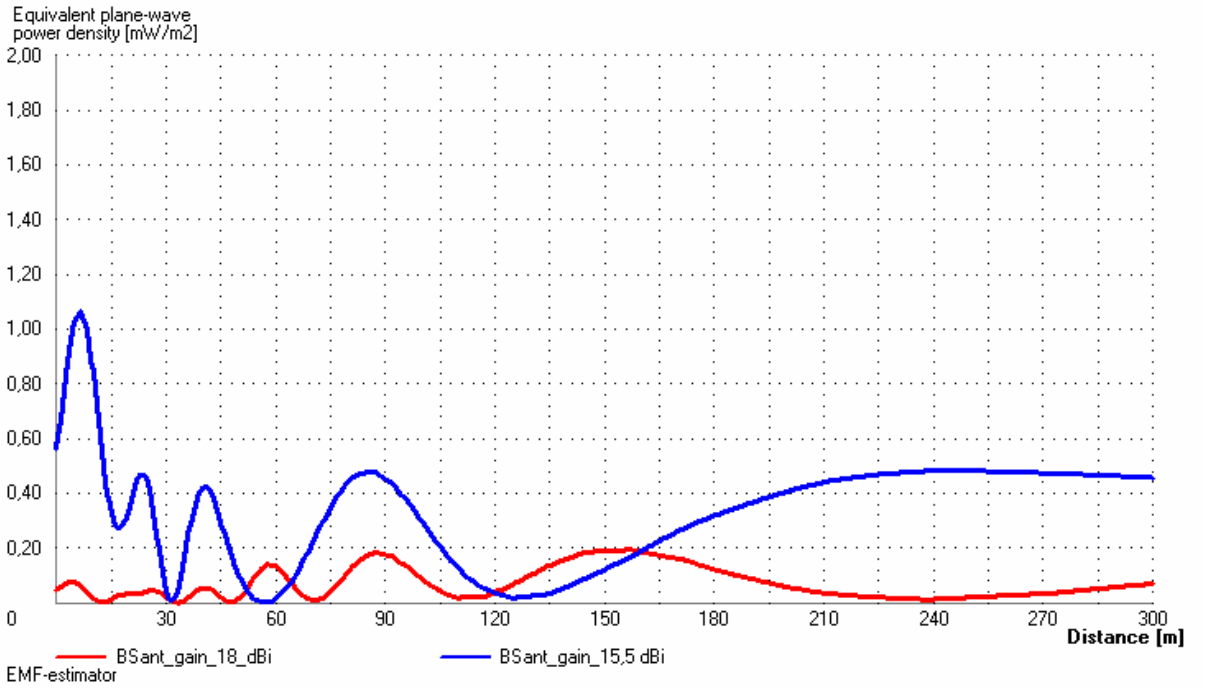
พื้นที่ครอบคลุมจะขึ้นอยู่กับ radiated ERP (หรือ EIRP) โดย ERP ค่าเดียวกันอาจได้จากเครื่องส่งกำลังต่ำป้อนไปยังสายอากาศที่มีอัตราขยายสูง หรือจากเครื่องส่งกำลังสูงป้อนไปยังสายอากาศที่มีอัตราขยายต่ำ ในแง่ของการป้องกันการแผ่คลื่นแล้ว การใช้เครื่องส่งกำลังต่ำป้อนไปยังสายอากาศที่มีอัตราขยายสูงจะเป็นวิธีที่ดีกว่ามาก

ตัวอย่างที่ ง.4 สถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบ GSM900

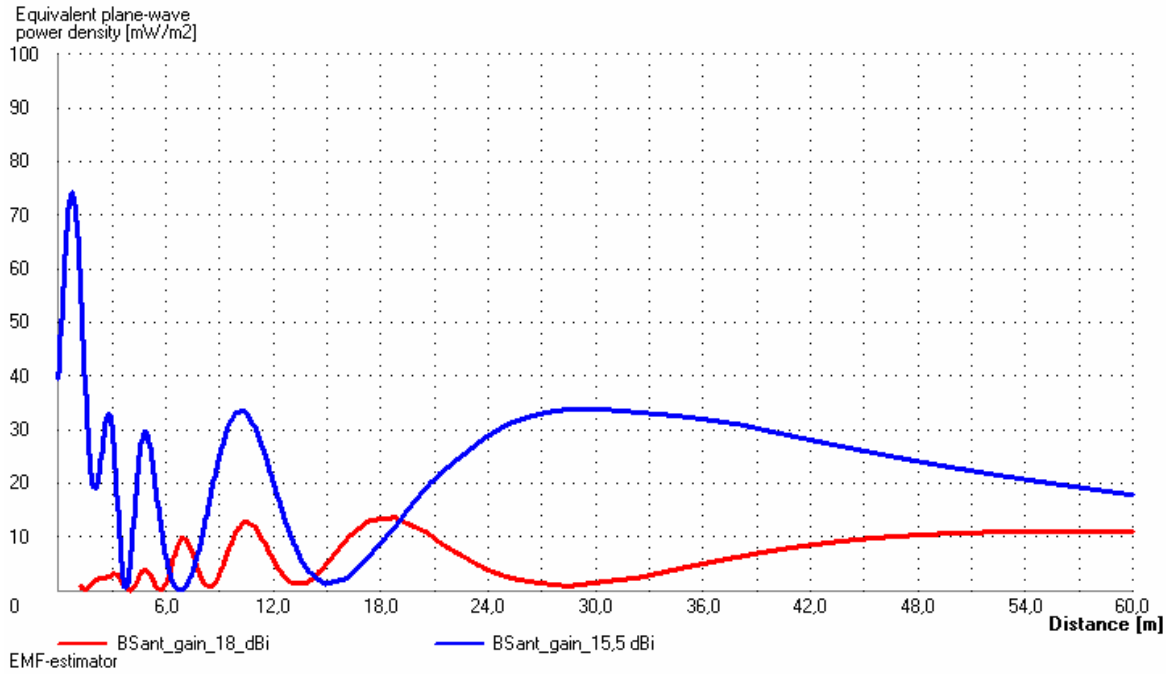
Antenna height: 35 m above the terrain level Frequency: 947.5 MHz

Transmitter power: 50 W Total loses (attenuation): 2.34 dB

EIRP = 1038 W



รูปที่ ง.4 แสดงการกระจายความหนาแน่นกำลังเมื่อเทียบกับระยะทางที่ความสูงเหนือระดับพื้นดิน 1.5 เมตร โดยเปรียบเทียบที่อัตราขยายสายอากาศแตกต่างกัน



รูปที่ ง.5 แสดงการกระจายความหนาแน่นกำลังเมื่อเทียบกับระยะทางที่ความสูงเหนือระดับพื้นดิน 31 เมตร (ผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ายืนอยู่บนดาดฟ้า) เปรียบเทียบกับอัตราขยายสายอากาศที่แตกต่างกัน

รูปที่ ง.4 และ ง.5 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของความหนาแน่นกำลังในฟังก์ชันของระยะทาง โดยเปรียบเทียบเป็นสองกรณี คือ กรณีที่หนึ่ง สถานีฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบ GSM900 สายสายอากาศแบบ panel มีอัตราขยายสายอากาศ 18 dBi โดยมีความเอียงลำคลื่นหลัก 7.5° (เส้นสีแดง) และในกรณีที่สองสถานีฐานระบบเดียวกัน อัตราขยายสายอากาศ 15.5 dBi โดยมีความเอียงลำคลื่นหลัก 13° (เส้นสีน้ำเงิน)

ในทางปฏิบัติระดับการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารอบ ๆ สถานีฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถลดได้โดยการใช้สายอากาศที่มีอัตราขยายสูงกว่าเดิม เมื่อใช้สายอากาศที่มีอัตราขยายที่สูงแล้วกำลังของเครื่องส่งต้องลดลงกว่าเดิม เพื่อที่จะสามารถครอบคลุมพื้นที่การให้บริการได้อย่างเหมาะสม

5) Vertical Radiation Pattern

VRP เป็นฟังก์ชันแบบ normalize ของการกระจายของความแรงสนามไฟฟ้าซึ่งเป็นฟังก์ชันของมุมเงยและเป็นตัวกำหนดการแปรผันของความแรงสนามซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะห่างจากสายอากาศ ในบริการต่างๆ เช่น ระบบเซลลูล่าร์, DECT, UMTS, TETRA นั้น VRP จะถูกกำหนดโดยผู้ผลิตและไม่สามารถเปลี่ยนค่าได้

แต่ในกิจการกระจายเสียงจะแตกต่างออกไป สายอากาศแต่ละตัวได้รับการออกแบบโดยเฉพาะ ซึ่งรวมถึงค่า VRP ด้วย ทั้งนี้ ควรให้ความสนใจเป็นพิเศษกับ VRP สำหรับมุมเงยที่มีค่าสูง ซึ่งเป็นผลให้เกิดการแผ่คลื่นไปยังพื้นที่ที่ประชาชนเข้าถึงได้ (ในบริเวณใกล้กับเสาสายอากาศ) โดยปกติแล้ว VRP ส่วนนี้จะไม่ถูกควบคุมเนื่องจากมีความสำคัญน้อยสำหรับสมรรถนะในการให้บริการ

ถึงแม้ว่าสายอากาศกำลังอยู่ในระหว่างการทำงาน ก็ยังมีโอกาสที่จะปรับปรุง VRP ให้ดีขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงในส่วนป้อนสัญญาณ (ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในโครงแบบของระบบสายอากาศ) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะต้องไปในทิศทางที่ทำให้ระดับการแผ่คลื่นในระยะใกล้เคียงกับเสาอากาศลดลง (มุมเงยมีค่าประมาณ 130° - 180°) และคงระดับการแผ่คลื่นสำหรับระยะไกลไว้เหมือนเดิม (มุมเงยมีค่าประมาณ 90°

- ทิศทางในแนวนอน) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในส่วนป้อนสัญญาณนั้นอาจกระทำโดยการเปลี่ยนแปลงความยาวของสายเคเบิลซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย

6) Horizontal Radiation Pattern

ความเป็นไปได้ที่จะลดระดับการแผ่คลื่นโดยการเปลี่ยนแปลง HRP นั้นมีอยู่จำกัดมาก การลดระดับการแผ่คลื่นด้วยวิธีนี้เป็นไปได้สำหรับสถานีฐานของระบบเซลลูล่าร์ ด้วยการเปลี่ยน panel ให้มีความกว้างลำคลื่นในแนวนอนที่แคบลง (หมายถึงอัตราขยายสูงขึ้น) ซึ่งหมายถึงว่า panel ที่มีความกว้างลำคลื่นในแนวนอนที่แคบลงนี้ต้องการกำลังของเครื่องส่งที่น้อยลงโดยไม่มีการสูญเสียในรัศมีของพื้นที่ครอบคลุมและในพื้นที่ที่ประชาชนสามารถเข้าถึงได้ด้วย

ตัวอย่าง ง.5 การเปลี่ยน ***HRP*** เซกเตอร์เดียวของสถานีโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบ ***GSM***

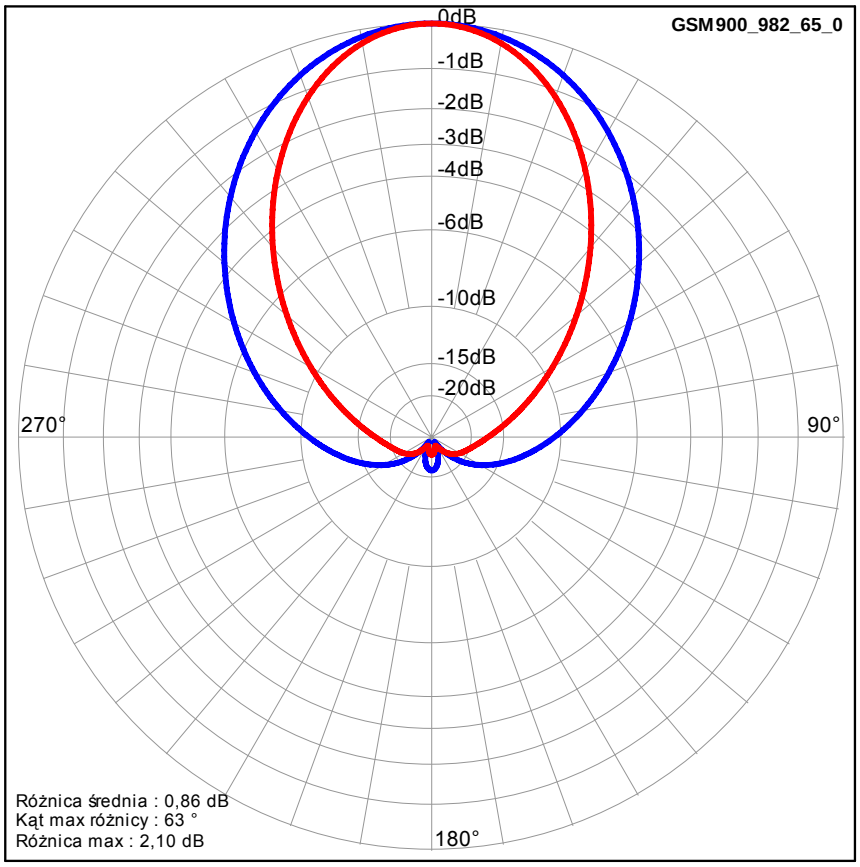
Antenna height: 35 m above the terrain level Frequency: 947.5 MHz

EIRP = 827 W *Total loses (attenuation): 1.82 dB*

Panel 1: horizontal beam width: 90 ° *Gain: 14 dBi*

Panel 2: horizontal beam width: 65 ° *Gain: 15.5 dBi*

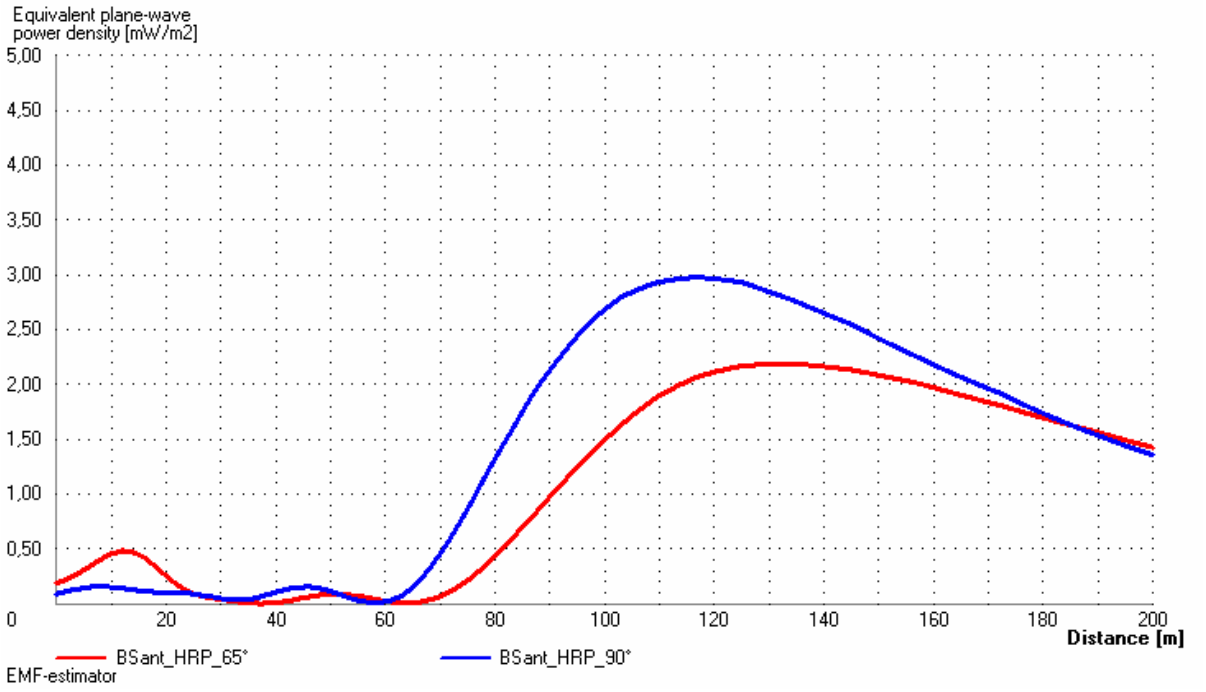
VRP beam width: 13 °(both panels)



รูปที่ ง.6 แสดงรูปแบบการแผ่พลังงาน HRPs ของ GSM900 panels – ความกว้างลำคลื่นหลัก 65° และ 90°

ในรูปข้างล่างแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยน panel ที่มีความกว้างลำคลื่นในแนวนอนที่แคบลงจาก 90° เป็น 65° นั้นจะทำให้ความหนาแน่นกำลังลดลงถึง 71% ของค่าเดิม อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้

อัตราขยายสายอากาศเพิ่มขึ้น 1.5 dB ซึ่งทำให้สามารถลดกำลังของเครื่องส่งลงได้ในค่าเดียวกันนั้น โดยที่รัศมีของพื้นที่ครอบคลุมยังคงเหมือนเดิมบนทิศทางหลักของ panel แต่สำหรับในทิศทางอื่นรัศมีของพื้นที่ครอบคลุมจะลดลงซึ่งเป็นข้อเสียของวิธีการเปลี่ยน panel นี้



รูปที่ ง.7 การกระจายความหนาแน่นกำลังในฟังก์ชันของระยะทางจากสถานีฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบ GSM900 โดยมีมุมของลำคลื่นหลักแนวระนาบ 90° (เส้นสีน้ำเงิน) และ 65° (เส้นสีแดง) ที่กำลังส่งสูงสุด EIRP เท่ากัน

ภาคผนวก จ

แบบรายงานระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม

แบบรายงานนี้เป็นรายงานสรุปผลการวัดค่าสูงสุดของระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ระดับสูงจากพื้นประมาณ 1.5 เมตร ในรัศมี 500 เมตร ของสถานีวิทยุคมนาคม [ที่มีจุดที่ตั้งดังแสดงในตาราง]

หน่วยงาน:			
ที่อยู่:			
ประเภทสถานีวิทยุคมนาคม	☐ **ขออนุญาตตั้งใหม่**		
	☐ **สถานีวิทยุคมนาคมเดิม**		
	เลขที่ใบอนุญาตใช้		
	เลขที่ใบอนุญาตตั้ง		
ที่ตั้ง		**หมู่ที่:**	
ตำบล		**อำเภอ**	
จังหวัด		**รหัสไปรษณีย์**	
Longitude		**Latitude**	

รายละเอียดของสถานีวิทยุคมนาคม

Frequency (MHz)	Brand/Model	Power (W)	Antenna Gain	Antenna Height (m)

ผลการวัดระดับการแผ่สนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ระยะห่างจากเสาอากาศ	ระดับการแผ่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุด (ค่าคลาดเคลื่อนจากมาตรฐาน) = [ค่าที่ประเมินได้ / ขีดจำกัดที่ กทช. กำหนด](%)
5 m to 50 m	
50 m to 100 m	
100 m to 200 m	
200 m to 300 m	
300 m to 400 m	
400 m to 500 m	
Maximum EME level	

วันที่ทดสอบ	

ลงชื่อ	
ผู้มีอำนาจลงนาม	
ตำแหน่ง	
วันที่รายงาน	

แบบรายงานระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม

แบบรายงานนี้เป็นรายงานสรุปผลการวัดค่าสูงสุดของระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ระดับสูงจากพื้นประมาณ 1.5 เมตร ในรัศมี 500 เมตร ของสถานีวิทยุคมนาคม [ที่มีจุดที่ตั้งดังแสดงในตาราง]

หน่วยงาน:	บริษัท..... จำกัด		
ที่อยู่:	เลขที่..... ถนน..... ซอย..... แขวง ..... เขต..... กรุงเทฯ		
ประเภทสถานีวิทยุคมนาคม	☑ **ขออนุญาตตั้งใหม่**		
	☐ **สถานีวิทยุคมนาคมเดิม**		
	เลขที่ใบอนุญาตใช้	*********	
	เลขที่ใบอนุญาตตั้ง	*********	
ที่ตั้ง	*********	**หมู่ที่:**	XX
ตำบล	*********	**อำเภอ**	*********
จังหวัด	*********	**รหัสไปรษณีย์**	**XXXXX**
Longitude	**100° XX′ XX″**	**Latitude**	**08° XX′ XX″**

รายละเอียดของสถานีวิทยุคมนาคม

Frequency (MHz)	Brand/Model	Power (W)	Antenna Gain	Antenna Height (m)
947.5	**XXXX**	**50**	**14.49**	**35**

ผลการวัดระดับการแผ่สนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ระยะห่างจากเสาอากาศ	**ระดับการแผ่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุด (ค่าคลาดเคลื่อนจากมาตรฐาน) = [ค่าที่ประเมินได้ / ขีดจำกัดที่ กทช. กำหนด](%)**
5 m to 50 m	**0.0000992%**
50 m to 100 m	**0.0020623%**
100 m to 200 m	***0.0117319%***
200 m to 300 m	**0.0108032%**
300 m to 400 m	**0.00767479%**
400 m to 500 m	**0.0054565%**
Maximum EME level (200 m)	***0.0117319%***

วันที่ทดสอบ	10 มีนาคม 2551

ลงชื่อ	(ลายเซ็น)
ผู้มีอำนาจลงนาม	นาย......
ตำแหน่ง	กรรมการผู้จัดการ
วันที่รายงาน	20 มีนาคม 2551

ภาคผนวก ฉ

คณะผู้จัดทำ

1. นายทองทวีป ขันติกุล
2. นายธีระศักดิ์ เชยชื่น
3. นางสาวพูลศิริ นิลกิจศรานนท์
4. นายวิทยา ต่อบุณย์ศุภชัย
5. นางณิชาภัทร วรสิทธิ์
6. นายเสน่ห์ สายวงค์
7. นายบวร มากนาคา

อ้างอิง

1. IEEE Std C95.2 -1999 (Revised 1982): IEEE Standard for Radio-Frequency Energy and Current-Flow Symbols
2. ANSI/IEEE C95.3: Recommened Practice for the Measurement of Potentially Electromagnetic Field – RF and Microwave
3. ITU-T Recommendation K.61: Guidance to measurement and numerical predict of electromagnetic field for compliance with human exposure limits for telecommunication installation.
4. ITU-T Recommendation K.70: Mitigation techniques to limit human exposure to EMFs in the vicinity of radiocommunication stations.
5. Industry Canada, Guidelines for the Measurement of Radio Frequency Fields at frequency from 3 kHz to 300 GHz October 2005.
6. AS 3516.2-1998: Siting of radiocommunications facilities Part 2: Guidelines for fixed, mobile and broadcasting services at frequency above 30 MHz
7. Industry Code ACIF C564:2004 Deployment of mobile phone network infrastructure

บันทึก