คู่มือการตรวจวัดระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม
(EMF Measurement Procedure for Base Station)

โดยความร่วมมือระหว่างสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

กับบริษัท มายคอม อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด

ภายใต้โครงการตรวจวัดระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ของสถานีวิทยุคมนาคม (EMF Measurement)

คำนำ

เอกสารคู่มือการตรวจวัดระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคมฉบับนี้ ได้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อแนะนำวิธีการและข้อควรคำนึงในการตรวจวัดระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้าแบบทั่วไป (General Public Exposure) ซึ่งหมายถึงกลุ่มประชาชนทั่วไปที่ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีวิทยุคมนาคม เพื่อนำข้อมูลมาศึกษาวิเคราะห์ผลการตรวจวัดเปรียบเทียบกับมาตรฐาน กทช. มท. 5001-2550 (เทียบเท่า ICNIRP) ซึ่งเป็นไปตามหลักเกณฑ์ มาตรการและมาตรฐานที่คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ ได้ประกาศกำหนดไว้ให้มีแนวทางปฏิบัติที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน

เนื้อหาส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับทางด้านทฤษฎีวิศวกรรมโทรคมนาคม มาตรฐานในต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับวิธีการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รวมทั้งขั้นตอนการวัดจริงในทางปฏิบัติ ผู้อ่านต้องมีความรู้พื้นฐานด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เครื่องมือวัด และการสอบเทียบ ซึ่งจะทำให้สามารถเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายยิ่งขึ้น

เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นโดยความร่วมมือระหว่างสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ กับบริษัท มายคอม อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัดภายใต้โครงการตรวจวัดระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม (EMF Measurement) โดยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องต่อไป

สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง
กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

สารบัญ

1. บทนำ 1

2. ขอบเขต (Scope) 4

3. คำนิยาม (Definitions) 5

4. คำย่อ (Abbreviations and Acronyms) 9

5. พารามิเตอร์ในการตรวจวัด (Measurement Parameters) 10

6. การวัด (Measurement) 17

7. รายงานผลการวัด (Reporting) 27

8. หลักการและขั้นตอนการวัดในทางปฏิบัติโดยใช้เครื่องมือวัด Narda SRM-3006 33

ภาคผนวก 1. ขีดจำกัด (Limits)

ภาคผนวก 2. มาตรฐาน ISO/IEC 17025, ข้อ 5.10 การรายงานผล (Reporting the result)

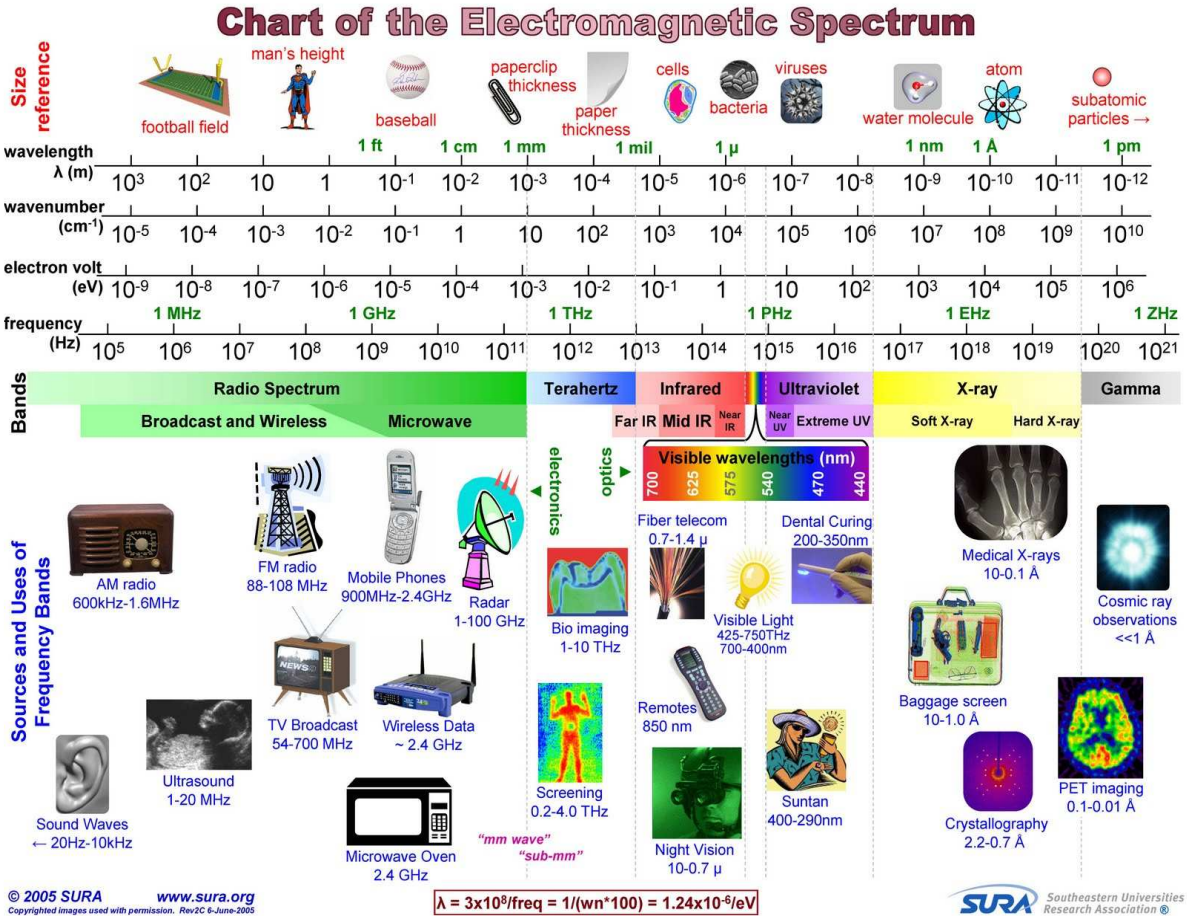
ภาคผนวก 3. ความไม่แน่นอนจากการวัด (Measurement Uncertainty)

ภาคผนวก 4. ตัวอย่างรายงานผลการตรวจวัดการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่

1. บทนำ

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) เป็นคลื่นที่เกิดจากการทำให้สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กเปลี่ยน แปลง เมื่อสนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก หรือถ้าหากสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงก็เหนี่ยวนำทำให้เกิดสนามไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงประกอบด้วยทั้งสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ซึ่งสามารถถ่ายเทพลังงานจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้โดยต้องอาศัยอากาศเป็นตัวกลาง ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวจึงได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในชีวิต ประจำวันในหลาย ๆ ด้าน เช่น ด้านการสื่อสารและโทรคมนาคม ด้านการแพทย์ เป็นต้น

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้ เกิดขึ้นได้โดยธรรมชาติ เช่น จุดดับบนดวงอาทิตย์ ฟ้าผ่า เป็นต้น หรือโดยการประดิษฐ์ของมนุษย์โดยตั้งใจ เช่น วิทยุโทรทัศน์ และโดยไม่ตั้งใจ เช่น การแผ่คลื่นจากคอมพิวเตอร์ เป็นต้น



รูปที่ 1 - แสดงการประยุกต์ใช้งานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

พัฒนาการด้านเทคโนโลยีโทรคมนาคมได้ขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะการสื่อสารไร้สายที่เกี่ยวข้องกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น การให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ การให้บริการวิทยุคมนาคมระบบทรังค์ เป็นต้น ซึ่งการให้บริการดังกล่าวผู้ให้บริการต้องติดตั้งสถานีวิทยุคมนาคมเพื่อให้บริการ การแพร่

คลื่นจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีระดับความแรงที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับระยะห่างจากสถานีวิทยุคมนาคม และทิศทางการแผ่พลังงานของสายอากาศ ดังนั้น การติดตั้งสถานีวิทยุคมนาคมผู้ประกอบการต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย

คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.) ได้ประกาศกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคมและกำหนดขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของมนุษย์ในย่านความถี่วิทยุ 9 kHz - 300 GHz สำหรับใช้เป็นเกณฑ์ประกอบการกำกับดูแลการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม เพื่อลดผลกระทบและป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นกับสุขภาพของมนุษย์จากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่จากเครื่องวิทยุคมนาคม กทช. จึงได้จัดทำประกาศเรื่อง 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

สถานีวิทยุคมนาคมที่อยู่ภายใต้ขอบข่ายต้องประเมินระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สถานีวิทยุคมนาคมที่อยู่ภายใต้ขอบข่ายของเอกสารนี้ คือ เครื่องวิทยุคมนาคมซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ถาวรและมีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าครอบคลุมบริเวณกว้าง ซึ่งจัดเป็นเครื่องวิทยุคมนาคมประเภทที่ 3 ตามประกาศคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง หลักเกณฑ์และมาตรการกำกับดูแลความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม และจะต้องได้รับการประเมินความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (ความแรงสนามไฟฟ้า - E-field (V/m), ความแรงสนามแม่เหล็ก - H-field (A/m) หรือความหนาแน่นกำลัง - 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 อาจไม่จำเป็นต้องทำการประเมินระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการวัดจริงได้ หากมีกำลังส่ง (ก่อนเข้าสู่สายอากาศ) ไม่เกิน 60 วัตต์ (เฉพาะย่าน VHF)

เครื่องวิทยุคมนาคมที่ได้รับการยกเว้นการประเมินระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เครื่องวิทยุคมนาคมที่ได้รับการยกเว้นไม่ต้องประเมินระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แต่ต้องมีระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสอดคล้องเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานความปลอดภัยของ กทช. ซึ่งมีดังต่อไปนี้

•เครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อความมั่นคงของรัฐ ในกรณีของการป้องกันประเทศ การรักษาความสงบเรียบร้อยภายในประเทศ การถวายความปลอดภัยพระมหากษัตริย์ พระบรมวงศานุวงศ์ และรักษาความปลอดภัยของบุคคลสำคัญของประเทศ และเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้โดยหน่วยงานของรัฐตามที่ กทช. เห็นชอบตามความจำเป็น แล้ว แต่กรณี

• เครื่องวิทยุคมนาคมแบบสื่อสารสองทาง (Two-way radios) ซึ่งมีลักษณะพกพาติดตัว หรือแบบมือถือ หรือที่ติดตั้งในยานพาหนะ ที่มีการทำงานแบบกดเพื่อพูด (Push-to-Talk) หรือการรับส่งข้อมูล ซึ่งผู้ใช้งานได้รับการอบรมหรือมีข้อแนะนำการใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าวอย่างเหมาะสม และเป็นผู้ที่ตระหนักหรือทราบถึงผลของการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ตัวอย่างของผู้ใช้งานในลักษณะดังกล่าว ได้แก่พนักงานประจำรถพยาบาล พนักงานดับเพลิง ตำรวจ และทหาร เป็นต้น

• เครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้สำหรับสถานีเรือและสถานีอากาศยาน

• เครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้สำหรับสถานีเชื่อมโยงประจำที่ (Fixed link station) แบบจุดต่อจุด (Point-to-Point) ในย่านความถี่สูงกว่า 2 GHz และมีกำลังส่ง (Transmitting output power) ไม่เกิน 2 วัตต์

• เครื่องวิทยุคมนาคมที่มีกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (e.i.r.p.) สูงสุดไม่เกิน 100 มิลลิวัตต์

2. ขอบเขต (Scope)

รายงานคู่มือการตรวจวัดระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีวิทยุคมนาคมฉบับนี้ ใช้สำหรับการประเมินผลกระทบจากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของมนุษย์ อันเนื่องมาจากสถานีวิทยุคมนาคม หรือสถานีฐานในระบบโทรศัพท์ มือถือ เพื่อตรวจสอบความแรงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อเทียบกับขีดจำกัดที่กำหนดตามมาตรฐาน กทช. มท. 5001-2550 เรื่องความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม

รายงานฉบับนี้ ไม่คลอบคลุมถึงการได้รับผลกระทบจากการแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอันเนื่องมาจากเครื่องโทรศัพท์มือถือ หรืออุปกรณ์อื่นๆที่มีการแผ่กระจายคลื่นใกล้ชิดกับบริเวณร่างกายมนุษย์มาก ซึ่งต้องทำการวัดค่า SAR หรือ อัตราการดูดกลืนพลังงานจำเพาะ (Specific Absorption Rate) รวมทั้งการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการใช้งานระบบเครือข่ายการสื่อสารโทรศัพท์ไร้สายประเภท WLAN และ DECT, TV, FM, Microwave และ Bluetooth

3. คำนิยาม (Definitions)

3.1 เครื่องวิทยุคมนาคม หมายถึง เครื่องวิทยุคมนาคม ตามกฎหมายว่าด้วยวิทยุคมนาคม

3.2 ขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Exposure Limit) หมายถึง ปริมาณเชิงตัวเลขสูงสุดของการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งแสดงในรูปของความแรงสนามไฟฟ้า ความแรงสนามแม่เหล็ก ความหนาแน่นกำลัง และอัตราการดูดกลืนพลังงานจำเพาะ

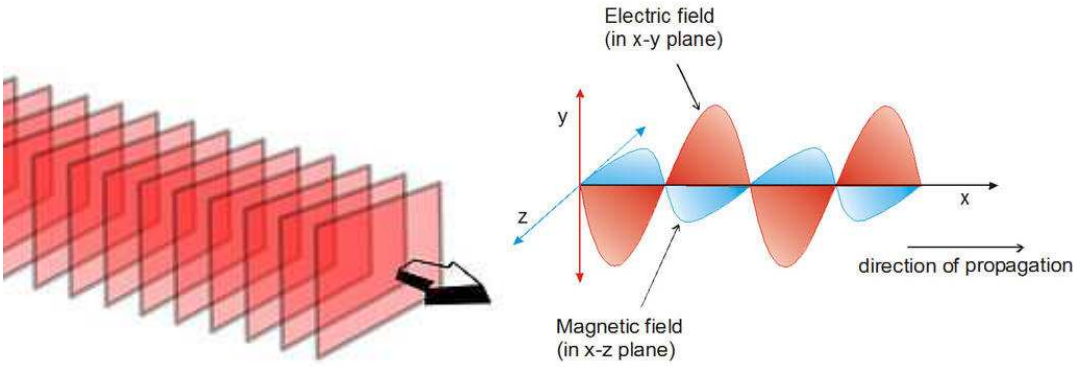
3.3 ความแรงสนามไฟฟ้า (Electric Field Strength) (E) หมายถึง แรงที่กระทำต่อประจุบวกที่อยู่กับที่ ณ ตำแหน่งใด ๆ ในสนามไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโวลต์ต่อเมตร (V/m)

3.4 ความแรงสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Strength) (H) หมายถึง ขนาดของเวคเตอร์ตามแกน ซึ่งเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงปริมาณของสนามแม่เหล็ก ณ ตำแหน่งใดๆ ในที่ว่าง มีหน่วยเป็น แอมแปร์ต่อเมตร (A/m)

3.5 ความหนาแน่นกำลัง (Power Density) (S) ในการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ หมายถึง กำลังต่อหน่วยพื้นที่ในทิศของการแพร่กระจายคลื่น มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

3.6 คลื่นระนาบ (Plane Wave) หมายถึง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เวคเตอร์ของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่อยู่บนระนาบในแนวตั้งฉากกับทิศทางของการกระจายของคลื่น เมื่อนำความแรงสนามแม่เหล็ก คูณด้วยอิมพีแดนซ์ของ free space จะมีค่าเท่ากับความแรงสนามไฟฟ้า ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกำลังกับสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ในกรณีของคลื่นระนาบสามารถอธิบายโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$S = E \times H$$



รูปที่ 2 - แสดงคลื่นระนาบและทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

3.7 ความหนาแน่นกำลังคลื่นระนาบสมมูล (Equivalent Plane Wave Power Density) (Seq) หมายถึง ความหนาแน่นกำลังของคลื่นระนาบที่มีความแรงสนามไฟฟ้า (E) หรือความแรงสนามแม่เหล็ก (H) เท่ากันโดย

$$S_{eq} = \frac{E^2}{377} = H^2 \times 377$$

หมายเหตุ: E คือความแรงสนามไฟฟ้า หน่วยเป็นโวลต์ต่อเมตร (V/m)

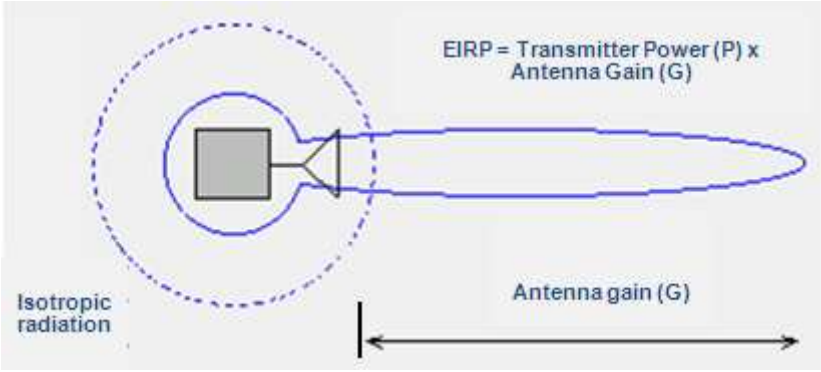
H คือความแรงสนามแม่เหล็ก หน่วยเป็น แอมแปร์ต่อเมตร (A/m)

377 คือค่าอิมพีแดนซ์ของอวกาศว่าง (free-space) หน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

3.8 การดูดกลืนพลังงานจำเพาะ (Specific Absorption) (SA) หมายถึง พลังงานที่ถูกดูดกลืนต่อมวลหนึ่งหน่วยของเนื้อเยื่อทางชีวภาพ (Biological tissue) การดูดกลืนพลังงานจำเพาะเป็นปริพันธ์เชิงเวลา (Time integral) ของอัตราการดูดกลืนพลังงานจำเพาะ มีหน่วยเป็น จูลต่อกิโลกรัม (J/kg)

3.9 อัตราการดูดกลืนพลังงานจำเพาะ (Specific Absorption Rate) (SAR) หมายถึง อัตราที่พลังงานถูกดูดกลืนโดยเนื้อเยื่อของร่างกาย มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อกิโลกรัม (W/kg) อัตราการดูดกลืนพลังงานจำเพาะ เป็นหน่วยการวัดปริมาณการได้รับรังสี (Dosimetric measure) ซึ่งใช้กันทั่วไปสำหรับการวัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่สูงกว่า 100 kHz

3.10 กำลังออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (Equivalent Isotropically Radiated Power) E.I.R.P. หมายถึง ผลคูณของกำลังที่ส่งไปยังสายอากาศ และอัตราขยายของสายอากาศในทิศทางที่สัมพันธ์กับสายอากาศไอโซทรอปิก



รูปที่ 3 - แสดงกำลังส่งของสายอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราขยายสายอากาศแบบไอโซทรอปิก

3.11 บริเวณสนามไกล (Far-field Region) หมายถึง เป็นบริเวณสนามของสายอากาศที่ซึ่งการกระจายของสนาม (Angular field distribution) เป็นอิสระจากระยะห่างจากสายอากาศอย่างมีนัยสำคัญ ในบริเวณสนามไกลนี้สนามจะมีลักษณะความเป็นคลื่นระนาบ (Plane-wave) อย่างโดดเด่น กล่าวคือ uniform distribution ของสนามไฟฟ้า (Electric field) และสนามแม่เหล็ก (Magnetic field) ในระนาบอยู่ในแนวขวางกับทิศทางการแพร่กระจาย

3.12 บริเวณสนามใกล้ (Near-field Region) หมายถึง เป็นบริเวณที่เกิดขึ้นในระยะใกล้ชิดกับสายอากาศหรือโครงสร้างที่มีการแผ่คลื่นพลังงานอื่นๆ ที่ซึ่งสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กไม่มีลักษณะเป็นคลื่นระนาบ (Plane-wave) อย่างเพียงพอ แต่จะเปลี่ยนแปลงอย่างมากเมื่อพิจารณาจุดต่อจุด บริเวณสนามใกล้นี้จะแบ่งย่อยออกเป็น Reactive near filed region (บริเวณสนามใกล้ชนิดรีแอกทีฟ) ซึ่งอยู่ใกล้กับโครงสร้างที่มีการแผ่คลื่นพลังงานที่สุด และบรรจุพลังงานที่เก็บไว้ส่วนใหญ่หรือเกือบทั้งหมด ส่วน Radiating near-field (บริเวณแผ่พลังงานสนามใกล้) นั้นเป็นสนามชนิดแผ่พลังงาน (Radiation field) ซึ่งมีผลเหนือกว่าสนามชนิดรีแอกทีฟ (Reactive field) แต่ไม่มีลักษณะความเป็นคลื่นระนาบอย่างเพียงพอ และมีโครงสร้างซับซ้อน

<u>หมายเหตุ</u>: สำหรับหลายๆ สายอากาศ รอบนอกของสนามใกล้ชนิดรีแอกทีฟจะเกิดขึ้นที่ระยะห่างหนึ่งความยาวคลื่น (Wavelength) จากพื้นผิวของสายอากาศ

3.13 ความยาวคลื่น (Wavelength) (λ) หมายถึง ความยาวของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า มีความสัมพันธ์กับความถี่ (f) และความเร็ว (v) ของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถแสดงโดยสมการ

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

ในบริเวณพื้นที่ว่าง (free space) ความเร็วของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (v) จะมีค่าประมาณ 3×10^{8} m/s

3.14 ความถี่วิทยุ (Radio Frequency) (RF) หมายถึงความถี่ในการแผ่คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการสื่อสารด้านโทรคมนาคม

3.15 กลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน (Occupational Exposure) หมายถึง กลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องวิทยุคมนาคมอันเป็นผลมาจากหน้าที่การงาน หรือผู้ที่ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นประจำ ทั้งนี้ บุคคลกลุ่มนี้เป็นผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายใต้สภาวะที่ทราบค่าและได้รับการฝึกอบรมให้ตระหนักถึงความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น รวมทั้งมีการระมัดระวังตนเองอย่างเหมาะสมในระหว่างการทำงาน หรือการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม

3.16 กลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป (General Public Exposure) หมายถึง กลุ่มประชาชนทั่วไปที่ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องวิทยุคมนาคม โดยไม่รวมถึงบุคคลในข้อ 3.15 ทั้งนี้ บุคคลกลุ่มนี้จะไม่ตระหนักถึงอันตรายจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามากนัก รวมทั้งไม่มีการระมัดระวังตนเองเพื่อลดหรือหลีกเลี่ยงการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นผลให้ขีดจำกัดสำหรับการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไปนี้ เข้มงวดกว่ากลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน

3.17 ระดับอ้างอิง (Reference Levels) หมายถึง การเปรียบเทียบกับปริมาณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศ จะแสดงในค่าของความแรงสนามไฟฟ้า (E) ความแรงสนามแม่เหล็ก (H) และความหนาแน่นกำลัง (S) โดยใช้ประเมินความเสี่ยงในการได้รับผลกระทบจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

4. คำย่อ (Abbreviations and Acronyms)

AF	ตัวประกอบสายอากาศ (Antenna Factor)
CF	ตัวประกอบการสอบเทียบ (Calibration Factor)
CW	คลื่นต่อเนื่อง (Continuous wave)
H	สนามแม่เหล็ก (Magnetic Field)
E	สนามไฟฟ้า (Electric Field)
EIRP	กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (Equivalent isotropically radiated power)
EM	สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electro Magnetic)
EMF	สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electro Magnetic Field)
Emeas	ความแรงของสนามไฟฟ้าที่อ่านได้จริง (Electric Field Measurement)
Eref	ความแรงของสนามไฟฟ้าอ้างอิง (Electric Field Reference)
MEL	ระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Exposure Level)
PD	ความหนาแน่นกำลัง (Power Density)
RF	ความถี่วิทยุ (Radio Frequency)
SAR	อัตราการดูดกลืนพลังงานจำเพาะ (Specific Absorption Rate)
SC6	มาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของแคนาดาหมายเลข 6 (Health Canada's Safety Code 6)

5. พารามิเตอร์ในการตรวจวัด (Measurement Parameters)

5.1 ย่านความถี่

5.1.1 3 kHz ถึง 300 MHz

ความถี่ย่านนี้ประกอบด้วยการติดต่อสื่อสารในการเดินเรือ, วิทยุการบิน, วิทยุโทรคมนาคม, วิทยุกระจายเสียงระบบ AM, วิทยุการกระจายเสียงแบบคลื่นสั้น (Shortwave broadcasting), โทรศัพท์พื้นฐาน, วิทยุ FM และการออกอากาศทางโทรทัศน์

เทคนิคและขั้นตอนการวัดจะเปลี่ยนแปลงตามความถี่และประเภทการให้บริการ โดยทั่วไปหากความถี่ต่ำกว่า 300 MHz จะต้องทำการวัดทั้งสนามไฟฟ้า (E) และสนามแม่เหล็ก (H) แต่ในกรณีที่มีกำลังส่งสูง (เช่นวิทยุ AM) การวัดจะรวมถึงกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induced current) และกระแสไฟฟ้าหน้าสัมผัส (Contact current)

5.1.2 300 MHz ถึง 300 GHz

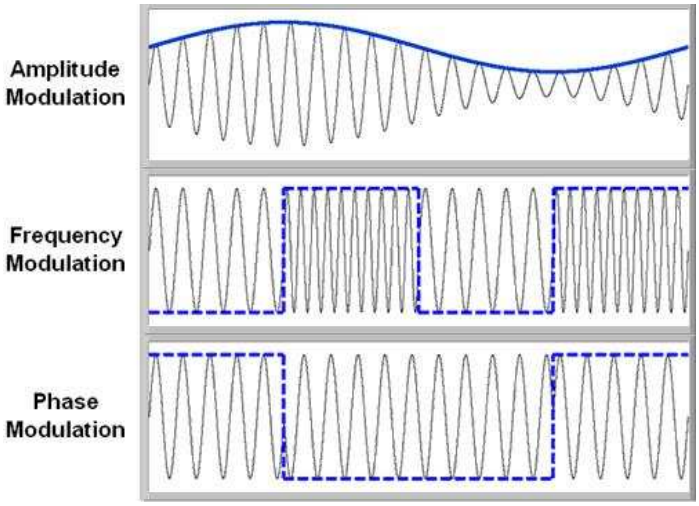
ความถี่ย่านนี้ประกอบไปด้วย บริการโทรทัศน์ย่าน UHF, วิทยุกระจายเสียงระบบดิจิตอล, ระบบโทรศัพท์มือถือ และระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม ความถี่ย่านนี้จะมีความยาวคลื่นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและขนาดของสายอากาศสั้น ตำแหน่งการวัดที่เหมาะสมคือระยะสนามไกล (Far field) ซึ่งปกติบริเวณสนามระยะไกลนี้จะทำการวัดเฉพาะสนามไฟฟ้า (E) เท่านั้น เนื่องจากสนามไฟฟ้ากับสนามแม่เหล็กจะสัมพันธ์กันเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง ในกรณีนี้การวัด $|E|^2$ ก็สามารถประมาณเป็นค่าความหนาแน่นกำลังได้

5.2 พารามิเตอร์แหล่งกำเนิด (Source Parameters)

แหล่งกำเนิดความถี่วิทยุของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีการกระจายพลังงานไปยังอากาศผ่านสายอากาศที่ติดตั้งบนเสาสูงและบนตึก แหล่งกำเนิดคลื่นเหล่านี้จะมีคุณลักษณะแตกต่างกันมาก ดังนั้นควรเลือกอุปกรณ์เครื่องมือให้เหมาะสม คุณลักษณะของแหล่งกำเนิดที่ต้องคำนึงถึงประกอบด้วย

5.2.1 การมอดูเลต (Modulation)

การส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีหลากหลายรูปแบบ แบบที่เป็นพื้นฐานมากที่สุดคือการส่งคลื่นแบบต่อเนื่อง (Continuous Wave, CW) หรือการไม่มอดูเลตคลื่นพาห์ที่ออสซิลเลตความถี่เดียว ถ้าคลื่นพาห์ถูกมอดูเลตด้วยสัญญาณอื่นๆหรือข้อความ เช่น คลื่น CW ถูกมอดูเลตโดยพัลส์ที่เปลี่ยนตามขนาดแอมพลิจูด หรือความถี่ หรือเฟส คลื่นนี้จะถูกเรียกว่าการมอดูเลตแบบ แอมพลิจูด ความถี่ หรือเฟส ตามลำดับดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 - การมอดูเลตแบบ AM, FM และ PM

5.2.2 บริเวณสนามใกล้และบริเวณสนามไกล (Near Field and Far Field Regions)

พื้นที่รอบๆในการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบ่งได้เป็น 2 บริเวณ คือบริเวณสนามใกล้และบริเวณสนามไกล สำหรับสายอากาศที่มีขนาดความยาวน้อยกว่าความยาวคลื่น ที่บริเวณสนามใกล้จะมีการรีแอกทีฟอย่างมาก องค์ประกอบของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจะเก็บพลังงานขณะที่มีการแผ่รังสีในปริมาณเล็ก น้อย พลังงานที่ถูกเก็บจะทำการถ่ายโอนเป็นช่วงๆระหว่างสายอากาศและบริเวณสนามใกล้ บริเวณสนามใกล้เชิงรีแอกทีฟ (Reactive near field) จะมีระยะทางจากสายอากาศไปถึงระยะ “R” ดังแสดงในสมการข้างล่างนี้

$$R = \frac{\lambda}{2\pi} \qquad (4.1)$$

โดยที่ λ คือความยาวคลื่น

ไม่มีสูตรคำนวณทั่วไปในการประมาณความเข้มของสนามในบริเวณสนามใกล้สำหรับสายอากาศขนาดเล็ก การคำนวณที่แน่นอนสามารถทำได้เฉพาะแหล่งกำเนิดที่เป็นไดโพล หรือโมโนโพล

สำหรับสายอากาศขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับความยาวคลื่น บริเวณสนามใกล้จะประกอบไปด้วยบริเวณสนามใกล้เชิงรีแอกทีฟ (Reactive near field) ตามระยะทางที่กำหนดในสมการที่ (4.1) และบริเวณสนามใกล้เชิงรีดิเอตติ้ง (Radiating near field) ซึ่งในบริเวณนี้ความเข้มของสนามไม่จำเป็นจะต้องลดลงตามระยะทางจากสาย อากาศ แต่อาจจะแสดงการแกว่งไปมาตามคุณลักษณะของคลื่น

เกณฑ์โดยทั่วไปที่ใช้ในการกำหนดระยะห่างจากแหล่งกำเนิดที่ระยะเริ่มต้นบริเวณสนามไกล กล่าวคือเฟสการแผ่คลื่นของสายอากาศในระยะของสนามทุกจุดจะไม่มากกว่า $\lambda/16$ โดยระยะห่างจากสายอากาศจะสอดคล้องกับสมการข้างล่างนี้

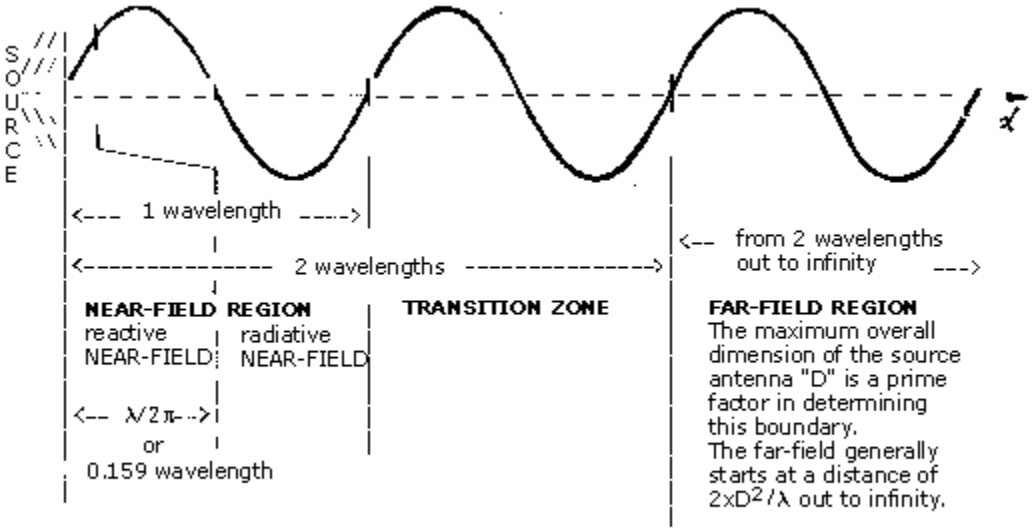
$$R = \frac{2D^2}{\lambda} \qquad (4.2)$$

โดย D คือขนาดของสายอากาศ

สำหรับสายอากาศพาราโบลอยด์พื้นที่หน้าตัดวงกลม จะประมาณได้เป็น "R" ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการทดลอง โดยหาได้จากสมการ

$$R = 0.5\frac{D^2}{\lambda} \qquad (4.3)$$

โดย D คือขนาดของสายอากาศ



รูปที่ 5 - แสดงบริเวณสนามของสายอากาศโดยทั่วไป

ในการแผ่คลื่นบริเวณสนามใกล้ ความแรงของสนามไฟฟ้า (E) และความแรงของสนามแม่เหล็ก (H) มีความสัมพันธ์กันโดย

$$\frac{E}{H} = \eta \qquad (4.4)$$

ความหนาแน่นกำลัง (S) คือ

$$S = \frac{E^2}{\eta} = H^2\eta \qquad (4.5)$$

เมื่อ η คือค่าความต้านทานภายใน (Intrinsic impedance)

ค่า η อาจจะเปลี่ยนแปลงกับระยะทางในระยะสนามใกล้ แต่ในระยะสนามไกลจะเกิดคลื่นระนาบ (Plane wave) อย่างเด่นชัด เวคเตอร์สนามไฟฟ้าจะตั้งฉากกับเวคเตอร์สนามแม่เหล็กและจะมีการแพร่ในทิศทางตามขวาง (Transverse) อัตราส่วนของความแรงสนามไฟฟ้ากับความแรงของสนามแม่เหล็กคือค่าคงที่ในพื้นที่ใด ๆ และในพื้นที่อวกาศว่าง (free space) ซึ่งเท่ากับ

$$\frac{E}{H} = \eta = 377\Omega \qquad (4.6)$$

5.2.3 ระดับกำลังและความหนาแน่นกำลัง (Power Levels and Power Density)

กำลังที่แผ่ออกมา บ่อยครั้งจะอยู่ในหน่วยเดซิเบลที่เทียบกับระดับกำลังที่ 1 mW (dBm) หรือ 1 W (dBW) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทแหล่งกำเนิด โดยทั่วไปสายอากาศแผ่กำลังตั้งแต่ต่ำกว่า 1 W หรือ 0 dBW (เช่นเครื่องส่งแบบพกพา) ไปจนถึง 100 kW หรือ 50 dBW หรือสูงกว่า (เช่น เรดาร์, เครื่องส่ง VLF) ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยและเกิดประสิทธิผล จะต้องรู้กำลังที่แผ่ออกมาก่อนจะทำการวัด

สำหรับสายอากาศประเภทที่มีอุปกรณ์สะท้อนคลื่น (Reflector) เช่น จานแบบพาราโบลิก ความหนาแน่นกำลังสูงสุด (ภายในลำคลื่นของสายอากาศ) ในระยะสนามใกล้สามารถประมาณได้โดย

$$S = 4\frac{P_a}{A} \qquad (4.7)$$

โดยที่ S คือความหนาแน่นกำลัง

P_a คือกำลังที่เข้าไปในสายอากาศ

A คือพื้นที่บริเวณปากช่อง (Aperture) ของสายอากาศ

ในบริเวณสนามไกล ความหนาแน่นกำลังบนแกนของสายอากาศ สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$S = \frac{P_a G}{4\pi r^2} \qquad (4.8)$$

โดยที่ r คือระยะทางจากสายอากาศ

G คืออัตราขยายเชิงทิศทาง (Directive gain) ของสายอากาศ

อัตราขยายของสายอากาศสัมพันธ์กับขนาดของสายอากาศดังสมการ

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \qquad (4.9)$$

โดยที่ A_e คือพื้นที่ประสิทธิผล (Effective area) ของสายอากาศ, A_e = pA

A คือพื้นที่ผิวหน้าของสายอากาศ

P คือค่าประสิทธิผลสายอากาศ

λ คือความยาวคลื่น

สังเกตว่าพื้นที่ประสิทธิผลของสายอากาศบางชนิด เช่นสายอากาศแบบอาเรย์เชิงเส้น (Linear arrays) จะใช้วิธีอื่นเนื่องจากพื้นที่นั้นพิจารณาได้ยาก

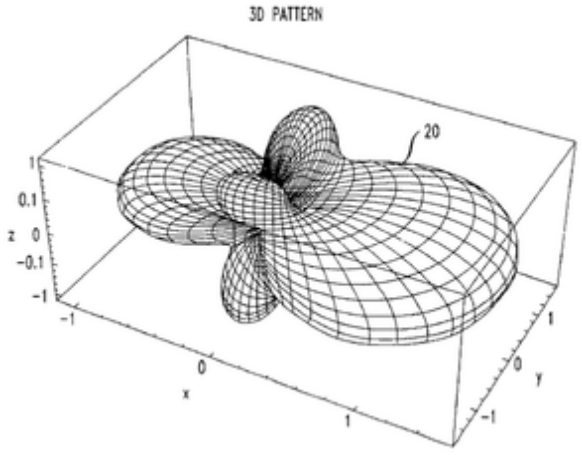
ความแรงสนามไฟฟ้าใน free-space (ค่า rms) ที่ระยะ "r" จากแหล่งจ่ายกับกำลังการแผ่ประสิทธิผล "P_e" (ค่าเฉลี่ยกำลังเอาท์พุตคูณด้วยอัตราขยายของสายอากาศ) บนแกนสายอากาศคือ

$$E = \frac{\sqrt{30P_e}}{r} \qquad (4.10)$$

โดยที่ E คือความแรงสนามไฟฟ้า หน่วยเป็นโวลต์ต่อเมตร (V/m)

5.2.4 แบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation Pattern)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะแพร่กระจายผ่านอากาศโดยสายอากาศ รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสาย อากาศจะบอกถึงกระแผ่ของพลังงานว่ามีการกระจายตัวในรูปแบบใด ระนาบที่ประกอบด้วยเวคเตอร์สนามไฟฟ้าเรียกว่าระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) ระนาบที่ตั้งฉากกับระนาบสนามไฟฟ้าเรียกว่าระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) รูปแบบทิศทางของสายอากาศจะกำหนดว่าพลังงานจะไปในทิศทางเดียว หรือตั้งค่าไปทิศทางอื่น

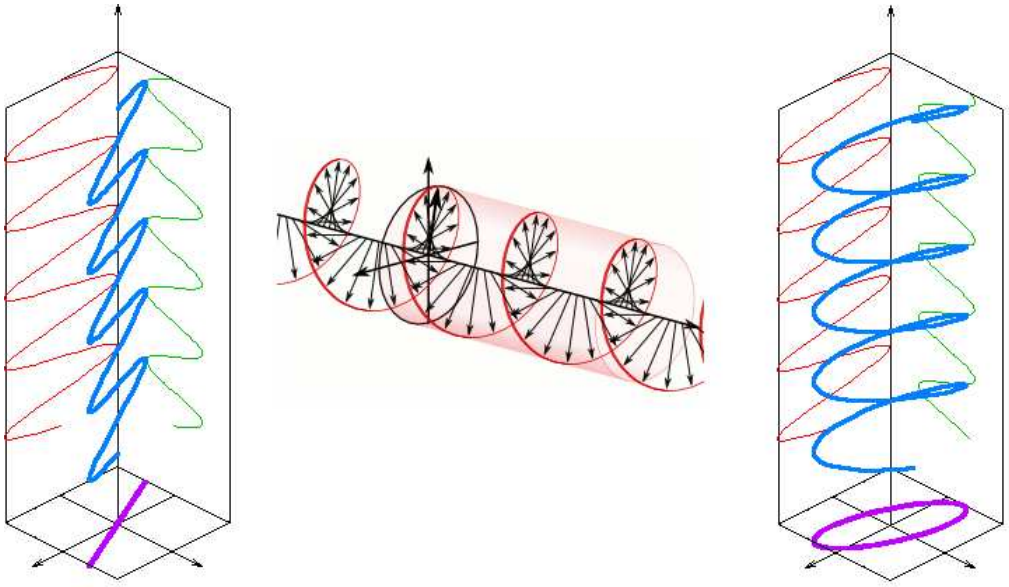


รูปที่ 6 - ตัวอย่างการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

ในสนามระยะใกล้ แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศจะเปลี่ยนตามระยะทางจากแหล่งกำเนิด ใน ขณะที่สนามระยะไกลจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะทาง

5.2.5 การโพลาไรซ์ (Polarization)

การเรียงตัวของเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าที่อยู่ในระนาบตั้งฉากกับทิศทางการแพร่กระจายคลื่นเรียกว่า "โพลาไรซ์" ถ้าเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้ามีทิศทางที่กำหนดแน่นอนเป็นเส้นตรงจะเรียกว่า "Linear Polarization" ถ้าเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้ามีการหมุนรอบๆทิศทางการแพร่กระจายคลื่นด้วยขนาดคงที่เรียกว่า "Circular Polarization" ถ้าเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้ามีการหมุนเป็นรูปวงรีจะเรียกว่า "Elliptical Polarization" โดยทิศทางการหมุนจะทวนเข็ม หรือตามเข็มนาฬิกาก็ได้อย่างใดอย่างหนึ่งดังรูป



(a) Linear Polarization (b) Circular Polarization (c) Elliptical Polarization

รูปที่ 7 - แสดงเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าในแต่ละประเภทของ Polarization

5.2.6 แหล่งกำเนิดเดียวหรือหลายแหล่ง (Single or Complex)

ในการตรวจวัดอาจจะเจอสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มาจากแหล่งเดียวหรือหลายแหล่ง ที่แหล่งกำเนิดเดียวอาจมีฮาร์มอนิกที่มีความแรงซึ่งสามารถกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่หลายความถี่ ในส่วนของแหล่งกำเนิดความถี่วิทยุ เช่น AM, FM, TV, โทรศัพท์มือถือ, ไมโครเวฟ อาจมีการติดตั้งสายอากาศบนพื้นที่เดียวกันหรือบนเสาส่งเดียวกัน และสามารถกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แทรกซ้อนกันได้ (Complex Electromagnetic) ในกรณีนี้เป็นการยากที่จะประเมินระดับความแรงสูงสุดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ดังนั้นเครื่องมือวัดทั้งแบบแบนด์กว้าง (Broadband) และแบนด์แคบ (Narrowband) ควรจะใช้วัดได้ทั้งในกรณีแหล่งกำเนิดเดียวและหลายแหล่ง

5.3 การรั่วไหลของการแผ่พลังงาน (Radiation Leakage)

สถานีส่งต่างๆ อาจมีการรั่วไหลของการแผ่พลังงานซึ่งเกิดจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (เครื่องขยายกำลัง), จากการแตกหักของชิลล์รอยต่อของสายหรือท่อนำคลื่น การรั่วไหลสามารถทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าเกินขีดจำกัดได้ ธรรมชาติในการรั่วไหลนี้จะคล้ายกับบริเวณสนามใกล้รอบๆสายอากาศ ดังนั้นอาจมีโพลาไรเซชันอยู่บริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่ที่รั่วไหล โดยทั่วไปเราไม่สามารถทำนายรูปแบบของสนามที่เกิดจากรั่วไหลได้ จึงต้องทำการตรวจสอบโดยการทดลองและหาค่าความผิดพลาด โดยการรั่วไหลของโพรบตามปกติจะมีคุณลักษณะแบบไอโซทรอปิก

5.4 กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และกระแสไฟฟ้าสัมผัส (Induced and Contact Currents)

คลื่นความถี่วิทยุ (RF) สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดความต่างศักย์กระแสไฟฟ้าแบบสลับได้ เมื่อมีการสัมผัสวัตถุกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านจากร่างกายลงสู่พื้นดิน กระแสแบบนี้เรียกว่า **กระแสสัมผัส (Contact Current)** ส่วนในกรณีที่แม้จะไม่ได้สัมผัสวัตถุที่เป็นโลหะแต่มีการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้านั้นอาจจะเข้าสู่ร่างกายลงพื้น ดินได้ เราเรียกว่า **กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induced Current)** ถ้ามีค่าสูงมากอาจทำให้ช็อคหรือไหม้ได้ ในมาตรฐานความปลอดภัยปี1999 หมายเลข 6 (Safety Code 6) จะกล่าวถึงค่าขีดจำกัดที่ไม่ควรเกินสำหรับกระแสไฟฟ้าสัมผัส (Contact Current) และกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induced Current) ในย่านความถี่ 3 kHz ถึง110 MHz การประเมินว่าค่าขีดจำกัดนี้ควรกระทำ แม้ว่าความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะไม่เกิดขีดจำกัดก็ตาม ซึ่งผลของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าสัมผัสอาจเกิดขึ้นได้แม้ความแรงสนามไฟฟ้าต่ำประมาณ 20-25% ของขีดจำกัด

5.5 ความผิดพลาดในการวัด (Measurement Errors)

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเที่ยงตรงในการวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีดังนี้

1. หากโพรบใกล้กับอุปกรณ์ที่แพร่กระจายคลื่น อาจจะเกิดการคัปปลิ้ง (Coupling) ระหว่างกันได้
2. ในการวัด หากอยู่ใกล้กับผนังโลหะจะเกิดการสะท้อนและการกระเจิงของคลื่นได้ คลื่นที่เกิดจากการสะท้อน หรือการกระเจิงจะรวมกับพลังงานจากแหล่งกำเนิดโดยตรง ทำให้เกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน หรือเกิด Multipath ส่งผลให้ความแรงของสนามเพิ่มขึ้นหรือลดลงกว่าปกติได้
3. ในการวัด อาจมีความถี่หลายความถี่จากแหล่งกำเนิดหลายแหล่ง หรือแหล่งกำเนิดแหล่งเดียวแต่มีฮาร์มอนิกที่แรงเกิดขึ้น หรือทั้งสองอย่าง
4. การมอดูเลตบางรูปแบบอาจส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของผลการวัด

5. การตอบสนองแบบ Spurious ของโพรบอาจเป็นปัจจัย เช่น โพรบประเภทสนามแม่เหล็ก (H probe) อาจจะมีความไวในการตอบสนองต่อสนามไฟฟ้า และในทางกลับกัน
6. อุณหภูมิและความชื้นมีผลต่อความเที่ยงตรงในการวัดของโพรบ ต้องมั่นใจว่าการวัดต้องอยู่ภายใต้ Specification ของโพรบ ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิที่ต่ำหรือสูงมากๆรวมทั้งความชื้นที่สูง ควรจะนำค่า Correction factor มาชดเชยความถูกต้องในเครื่องมือวัดด้วย
7. การผิดพลาดเนื่องจากไม่ได้มีการสอบเทียบหรือมีการสอบเทียบผิดพลาด

6. การวัด (Measurement)

6.1 เครื่องมือวัด (Measurement Instrumentation)

6.1.1 คุณลักษณะของเครื่องมือวัด (Characteristics)

คุณลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องมือวัดที่มีความสำคัญต่อการวัด ควรคำนึงถึงสิ่งดังต่อไปนี้

6.1.1.1 ย่านความถี่ (Frequency range)

แบ่งเป็นสองประเภทได้แก่ ย่านความถี่กว้าง (Broad Band) และ ย่านความถี่แคบ (Narrow Band)

1) เครื่องมือวัดแบบย่านความถี่กว้าง (Broad-band Device) เช่นโพรบสนามไฟฟ้าและสนาม แม่เหล็กที่มีการใช้งานกันโดยทั่วไป ซึ่งไม่จำกัดความถี่ที่ใช้งาน อย่างไรก็ตามการเลือกวัดย่านความถี่บนย่านความถี่กว้าง สามารถทำได้โดยใช้สายอากาศบรอดแบนด์ขนาดเล็ก (เช่น สาย อากาศแบบฮอร์น, สายอากาศแบบ Bi - Conical ฯลฯ) แล้วแต่กรณี แต่อุปกรณ์ดังกล่าวมีราคาแพง

2) เครื่องมือวัดแบบย่านความถี่แคบ (Narrow-band Device) โดยทั่วไปใช้กับสายอากาศแบบเฉพาะและจำกัดย่านความถี่ เช่น สายอากาศแบบไดโพล และใช้ได้เฉพาะกับเครื่องมือที่มีความถี่เฉพาะเท่านั้น

6.1.1.2 รูปแบบทิศทางการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ (Antenna Directivity)

เสาอากาศที่เลือกใช้อาจจะเป็นเสาอากาศแบบไอโซโทรปิค (Isotropic) หรือเสาอากาศแบบมีทิศ ทาง (Directional) โดยเสาอากาศแบบไอโซโทรปิค (Isotropic) นั้น มีการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง ใช้สำหรับการวัดที่ไม่ได้คำนึงถึงทิศทางและการตกกระทบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับเสาอากาศแบบมีทิศทาง (Directional) เหมาะสำหรับการวัดที่ต้องคำนึงถึงทิศทางและการตกกระทบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีรูปแบบการแผ่พลังงานแบบแกนสมมาตรและมีโพลาไลซ์ ดังนั้น คุณสมบัติของเครื่องมือวัดต้องมี 3 แกนที่ Orthogonal คือตั้งฉากซึ่งกันและกัน

6.1.1.3 หน่วยที่ทำการวัด (Quantity Measured)

ในบริเวณสนามระยะไกล (Far Field) จะทำการวัดสนามไฟฟ้า หรือสนามแม่เหล็ก หรืออย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งโดยทั่วไปจะเลือกทำการวัดค่าสนามไฟฟ้าเป็นส่วนใหญ่ และทำการคำนวณหาค่าความหนาแน่นแม่เหล็กไฟฟ้าสมมูล (Equivalent power density)

6.1.2 การเลือกอุปกรณ์วัด

การเลือกเครื่องมือสำหรับการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีหลักการที่สำคัญดังนี้

- ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานที่มีอยู่ (เช่น ข้อจำกัดความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะขึ้น อยู่กับความถี่ที่ทำการวัด)
- จำนวนและแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รวมทั้งคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำการวัด
- รูปแบบบริเวณสนาม (Field region) ที่จะทำการวัด อาทิเช่น การแผ่คลื่นแบบสนามระยะใกล้เชิงรีแอคทีฟ (Reactive near-field), สนามระยะใกล้ (Near-field), สนามระยะไกล (Far-field)

การเลือกเครื่องมือวัดมีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการวัด เพื่อความถูกต้องแม่นยำของผลการวัดจึงขึ้นอยู่กับกระบวนการวัดและคุณลักษณะของเครื่องมือวัดที่นำมาใช้อีกด้วย

ผลรวมความไม่แน่นอนแบบช่วงกว้าง (Expanded measurement uncertainty) ที่ระดับความมั่นใจ 95% (Coverage Factor k = 1.96) จะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 4 dB จึงจะถือว่าเพียงพอที่จะยอมรับได้ ข้อแนะนำสำหรับการหาค่าความไม่แน่นอนแบบช่วงกว้าง (Expanded measurement uncertainty) ซึ่งต้องนำมาใช้ในการประเมินค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัด โดยนำมาจากการสอบเทียบของมิเตอร์และโพรบ อาทิประกอบด้วย Probe Isotropy, Linearity, การตอบสนองความถี่ (Frequency Response) และความร้อน เป็นต้น

ส่วนความไม่แน่นอนอันเนื่องมาจากวิธีการวัด ควรมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 dB ประกอบด้วยความแปรปรวนจากการอ่านค่ามิเตอร์ของเครื่องวัด, ตำแหน่งของ field probe, การสะท้อนของคลื่นต่อร่างกายมนุษย์

หากความไม่แน่นอนของการวัดเกิน 4 เดซิเบล ค่าขีดจำกัดที่กำหนดไว้ควรจะลดลงจากค่าขีดจำกัดเดิมเป็น ไปตามดังสมการด้านล่าง

$$X_{meas} \le X_{lim} - \frac{1}{2}(U - 4)$$

โดย U คือความไม่แน่นอนของการวัด (Measurement uncertainty)

X_{lim} คือค่าขีดจำกัด (Limit value)

X_{meas} คือค่าที่ได้จากกวัดจริง (Measured value)

6.1.3 ข้อกำหนดในการสอบเทียบ

6.1.3.1 ตัวประกอบการสอบเทียบ (Calibration Factor)

สำหรับบรอดแบนด์โพรบนั้น Calibration Factor (CF) ได้กำหนดความหมายตามสมการด้านล่าง คืออัตราส่วนระหว่างความแรงของสนามไฟฟ้าอ้างอิง (Eref) และความแรงของสนามไฟฟ้าที่อ่านได้จริง (Emeas) จากเครื่องรับ

$$CF = \frac{E_{ref}}{E_{meas}}$$

ค่าแฟคเตอร์ CF นี้ ส่วนใหญ่เป็นฟังก์ชันของความถี่และข้อผิดพลาดที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linearity error) ของความแรงสนามในแต่ละความถี่ โดยกำหนดให้ค่า CF จะต้องมีความไม่แน่นอนน้อยกว่า 1 dB นอกจากนี้ข้อผิดพลาดที่เกิดจากการประมาณค่าความถี่ (Frequency interpolation) จะรวมอยู่ในความไม่แน่นอนที่เกิดจากค่าแฟคเตอร์ CF นี้ด้วย

6.1.3.2 ตัวประกอบสายอากาศ (Antenna Factor)

Antenna Factor (AF) สำหรับสายอากาศ และ Frequency-selective probes จะมีการกำหนดตามอัตราส่วนของ

$$AF = \frac{E_{ref}}{V}\left[m^{-1}\right]$$

โดยที่ Eref [V/m] เป็นความแรงของสนามไฟฟ้าของโพรบ และ V [V] เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวัดสเปคตรัม แฟคเตอร์นี้เป็นฟังก์ชั่นหลักของความถี่ที่มีข้อผิดพลาดที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linearity error) และข้อผิดพลาดนี้อาจขึ้นอยู่กับความแรงของสนามอีกด้วย โดยกำหนดให้ค่า AF จะต้องมีความไม่แน่นอนเชิงกว้าง (An expanded uncertainty) น้อยกว่า 2 dB ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยข้อผิดพลาดที่เกิดจากการประมาณค่าความถี่ (Frequency interpolation) จะรวมอยู่ในความไม่แน่นอนที่เกิดจากค่าแฟคเตอร์ AF นี้ด้วย

6.1.3.3 ไอโซโทรปี (Isotropy)

โดยส่วนใหญ่ไอโซโทรปิกโพรบ จะถูกนำมาใช้ในการวัดที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งระบบโทรคมนาคม การตอบสนองแบบไอโซโทรปิก (Isotropic Response) ประกอบขึ้นจากระบบสายอากาศแบบ 3 แกน ซึ่งในแต่ละแกนก็จะมีลักษณะตั้งฉากซึ่งกันและกัน ความเบี่ยงเบนของการตอบสนองในลักษณะไอโซโทรปิคในทางทฤษฎีกับค่าที่ได้จากการทดสอบจริง เรียกว่า Isotropic error ซึ่งโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับทิศทางของ Incident wave โดยประเมินได้จาก

- การวัดความแตกต่างระหว่าง Cosine response ของแต่ละแกน ซึ่งสามารถกำหนดความต่างกันของสายอากาศในแต่ละแกนได้อย่างชัดเจน โดยมีการส่งสัญญาณออกจากสายอากาศทีละแกนได้
- การตรวจสอบการตอบสนองของสายอากาศโดยรวม จะกระทำในกรณีที่ไม่สามารถแยกตำแหน่งของสายอากาศในแต่ละแกนได้อย่างชัดเจน หรือการวัดสัญญาณในแต่ละแกนของสายอากาศไม่สามารถทำได้

ค่าเบี่ยงเบนของการตอบสนองแบบไอโซโทรปิค (Isotropic response) ควรจะมีค่าน้อยกว่า 1 dB

6.1.3.4 การตอบสนองเชิงเส้น (Linearity)

เป็นการเปรียบเทียบการตอบสนองเชิงเส้น (Linearity) กับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีแอมพลิจูดขนาดต่าง ๆ ค่าความผิดพลาดเชิงเส้นหมายถึง Antenna Factor และ Calibration Factor เป็นฟังก์ชั่นของความแรงของสัญญาณที่ได้จากการวัด ดังนั้น การทดสอบ Linearity ควรเป็นจุด เริ่มต้นของการทดสอบคุณสมบัติของโพรบ การทดสอบ Linearity ควรทำในช่วงความถี่ Dynamic range ของตัวโพรบ ด้วยการตรวจทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังของการแผ่กระจายคลื่น (Radiations power) และค่าสนามไฟฟ้า หรือค่าแรงดันไฟฟ้า

ความสัมพันธ์เชิงเส้นในหน่วยของลอการิทึม เมื่อนำมาคำนวณ Linear regression ควรมีขนาดของช่วงของความไม่แน่นอนเหมือนกับความไม่แน่นอนที่ได้จากการวัด ถ้าไม่เหมือนกัน การตอบ สนองเชิงเส้นจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ซึ่งควรทำการตรวจสอบเพิ่มเติมดังคำแนะนำดังต่อไปนี้

- ในการตรวจวัดค่า CF และ AF ควรจะทำการวัดสัญญาณที่มีขนาดแอมพลิจูดต่างๆกัน

- ความแตกต่างจากค่าจริงของความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถจัดการได้โดยเพิ่มค่าความไม่แน่นอนของการวัดให้มีช่วงกว้างมากขึ้น หรือพิจารณาปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบทำให้ขนาดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีความแตกต่างจากค่าที่ทำการวัด

ค่าเบี่ยงเบนของการตอบสนองเชิงเส้นที่ยอมรับได้ควรมีค่าได้มากที่สุดไม่เกิน 1 dB

6.1.3.5 สัญญาณพัลส์ (Pulse Signal)

เนื่องจากระบบโทรศัพท์มือถือแบบดิจิตอลมีการมอดูเลชั่นและการเข้าถึงหลายทาง (Multiple-Access) และมีระบบสื่อสัญญาณแบบ Pulse ดังนั้นการวัดคุณลักษณะของรูปคลื่นแบบ Pulse จึงมีความจำเป็นเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติที่เกิดขึ้น ถ้าการวัดค่า CF และ AF เปรียบเทียบระหว่างรูปคลื่นแบบ Pulse และรูปคลื่นแบบต่อเนื่อง (Continued Wave) มีค่าน้อยกว่าความไม่แน่นอนที่กำหนด แสดงว่าเครื่องมือวัดที่นำมาใช้สามารถใช้ได้กับสัญญาณแบบ Pulse และสัญญาณแบบต่อเนื่อง

6.1.3.6 การรวมสัญญาณหลายๆ สัญญาณเข้าด้วยกัน (Multiple signal integration)

เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณเมื่อมีการรวมสัญญาณหลายๆสัญญาณเข้าด้วยกัน ซึ่งแต่ละสัญญาณมีความถี่ต่างกัน การตรวจสอบนี้มีความสำคัญสำหรับ โพรบที่มีลักษณะแบบบรอดแบนด์ Non-Selective โดยจะทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของสนามไฟฟ้าแบบ RMS ตามสมการด้านล่าง

$$E_{rms} = \sqrt{\sum_i E_i^2}$$

การทดสอบสามารถทำได้โดยใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณ 2 แหล่ง ซึ่งผลต้องเป็นไปตามเงื่อนไขดังนี้

$$20\log_{10}\left\{\frac{\left|E_{mes} - \sqrt{E_1^2 + E_2^2}\right|}{E_{mes}}\right\} < 0.5\,\text{dB}$$

เมื่อ E_{mes} คือค่าสนามไฟฟ้าที่ทำการวัด

E_1 and E_2 คือค่าสนามจริงจากแหล่งกำเนิด

6.1.3.7 Axial Rejection

จะต้องมีการทดสอบการวัดผลตอบสนองของการแผ่กระจายคลื่นในแต่ละแกนที่มีโดยคลื่นมีลักษณะแบบ Incident wave ที่ Cross-polarize กัน โดยค่า Axial rejection

ที่มีค่าต่ำมีผลสำคัญต่อการวัดความแรงสนามไฟฟ้าซึ่งเป็นค่าเฉลี่ย RMS ของทั้งสามแกนที่ตั้งฉากกัน

6.2 การประเมินผลการวัดความไม่แน่นอน

ความไม่แน่นอนของการวัดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นผลของความผิดพลาดอันเนื่องมาจากระบบเครื่องมือวัด, การตอบสนองสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของโพรบ, การสอบเทียบและการคาดการณ์, การประมาณค่า, และอัลกอริธึมในการหาค่าเฉลี่ยของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับการประเมินผลและการหาค่าความไม่แน่นอนให้ดูเพิ่มเติมได้ที่ [ISO / IEC GUM], [IEC 62311], [EN 50383], [50,400 TH] และ [b IEC 62232], [b FprEN 50492], [b FprEN 50,413] และ [b IEEE - P.1597.1

6.3 หลักการเลือกโพรบ

6.3.1 ขนาดของโพรบ

ถ้าทำการวัดในสนามระยะใกล้ (Near Field) เซนเซอร์โพรบควรจะมีขนาดน้อยกว่าหนึ่งเท่าของความยาวคลื่นเมื่อคำนวณจากความถี่สูงสุดที่ทำการวัด

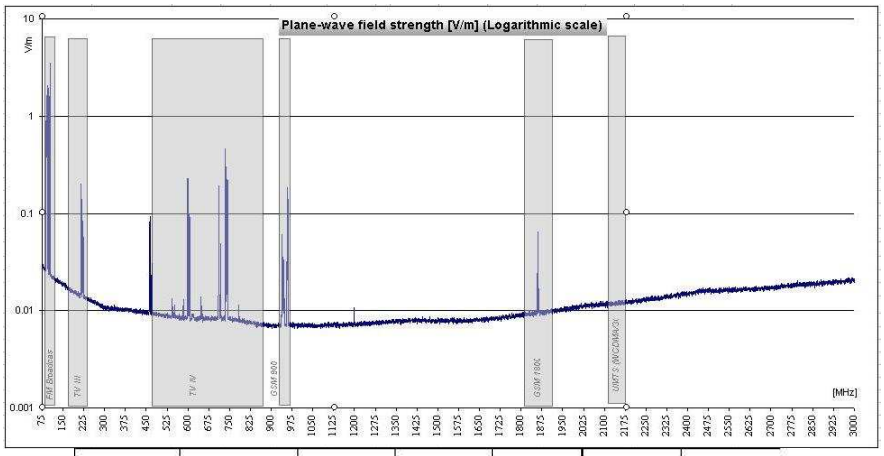
6.3.2 ย่านความถี่

โดยทั่วไปถ้าเป็นไปได้จะใช้การวัดในย่านความถี่บรอดแบนด์เพราะง่ายและรวดเร็ว ในกรณีที่ไม่สามารถแยกย่านความถี่หลักจากแหล่งกำเนิดที่แรงที่สุดได้ หรือเมื่อต้องการผลการวัดที่นำมาเปรียบเทียบกับค่าขีด จำกัดแบบค่าเฉลี่ย RMS

แต่บ่อยครั้งการวัดอาจจะใช้การวัดแบบเลือกช่วงความถี่ Frequency-selective ซึ่งการวัดแบบเลือกช่วงความถี่นี้จำเป็นในกรณีที่

- มีแหล่งกำเนิดหลายแหล่ง และ ค่าขีดจำกัดที่แตกต่างกัน
- มีแหล่งกำเนิดหลายแหล่งซึ่งมีเทคนิคในการวัดต่างกัน ตัวอย่างเช่น การตรวจวิเคราะห์สำหรับระบบโทรศัพท์ GSM
- มีความจำเป็นที่ต้องตรวจสอบค่าผลกระทบโดยรวมจากแหล่งกำเนิดหลายแหล่ง

ตัวอย่างผลการวัดแบบ Frequency-selective ดังรูปที่ 8



Measurement point	Band	Frequency MHz	Reference level V/m	Height m	Measured value V/m	Exposure ratio
4-1	FM broadcast	87,5 – 108	28	1,1	28,5100	1,0367603
				1,5	39,3300	1,9730216
				1,7	42,7800	2,3343474
					Average	1,7813764
	TV III	174 -230	28	1,1	0,4940	0,0003113
				1,5	0,4970	0,0003151
				1,7	0,4775	0,0002908
					Average	0,0003057
	TV IV/V	470 – 862	30	1,1	0,9781	0,0010630
				1,5	0,9163	0,0009329
				1,7	0,9970	0,0011045
					Average	0,0010334
	GSM 900	925 – 960	42	1,1	0,3883	0,0000855
				1,5	0,4025	0,0000918
				1,7	0,4409	0,0001102
					Average	0,0000958
	GSM 1800	1 805 – 1 910	58	1,1	0,4572	0,0000621
				1,5	0,4349	0,0000562
				1,7	0,5181	0,0000798
					Average	0,0000661
	UMTS (WCDMA/3G)	2 110 – 2 170	61	1,1	0,4337	0,0000505
				1,5	0,4328	0,0000503
				1,7	0,4343	0,0000507
					Average	0,0000505
					Sum	1,7829280

รูปที่ 8 - ตัวอย่างผลการวัดแบบ Frequency-selective

6.3.3 รูปแบบทิศทางของสายอากาศ (Directivity)

เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้น จึงขอแนะนำให้เลือกใช้โพรบแบบไม่มีทิศทาง (Isotropic Probe)

6.4 ขั้นตอนการวัด

ก่อนทำการวัดผลกระทบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อร่างกายมนุษย์ ควรมีการทำการประเมินผลจากการคำนวณตามมาตรฐาน ITU-T K.52 เพื่อที่จะประมาณค่าความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ขอบเขตของ Compliance Zone ซึ่งจะช่วยในการเลือกเครื่องมือและขั้นตอนการวัดที่เหมาะสมต่อไป

6.5 ข้อควรระวังด้านความปลอดภัย

ผู้ปฏิบัติงานควรปฏิบัติตามข้อควรระวังด้านความปลอดภัยอย่างเหมาะสมในขณะปฏิบัติงาน ถ้าทำการวัดใน Exceedance Zone ควรปฏิบัติตามข้อควรระวังที่กำหนดในมาตรฐาน ITU-T K.52 เพื่อป้องกันผลกระทบข้างเคียง อาทิเช่น การตรวจสอบผลของ Contact current เป็นต้น

6.6 บริเวณสนาม (Field Region)

การเลือกวัดความแรงสนามไฟฟ้าหรือความแรงสนามแม่เหล็กนั้น ขึ้นอยู่กับประเภทบริเวณสนามที่เราต้องการตรวจสอบว่าเป็น แบบ Reactive หรือ Radiating field และค่าอิมพีแดนซ์ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

- บริเวณสนามแบบ Reactive near-field จะทำการวัดค่าทั้งสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก และทำการประเมินผลกระทบค่า SAR
- บริเวณสนามแบบ Reactive radiating near-field ถ้าไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับค่าอิมพีแดนซ์ของสนาม แม่เหล็กไฟฟ้าที่นำมาใช้ได้ จะต้องทำการวัดค่าทั้งสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก แต่ถ้ามีข้อมูลเกี่ยวกับค่าอิมพีแดนซ์ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เราสามารถเลือกวัดค่าสนามไฟฟ้า หรือสนาม แม่เหล็กอย่างใดอย่างหนึ่ง ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขดังต่อไปนี้
  1) วัดเฉพาะค่าสนามไฟฟ้า ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไข $\frac{E}{H} > Z_0 = 120 \times \pi[\Omega]$ กรณีอิมพีแดนซ์สนาม แม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าสูง
  2) วัดเฉพาะค่าสนามแม่เหล็ก ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไข $\frac{E}{H} < Z_0 = 120 \times \pi[\Omega]$ กรณีอิมพีแดนซ์สนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าต่ำ
- บริเวณ Radiating near-field ทำการวัดเฉพาะค่าสนามไฟฟ้า โดยกำหนดให้ค่าอิมพีแดนซ์มีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์ในกรณี free space (Z_0)
- บริเวณ Radiating far-field จะทำการวัดเฉพาะค่าสนามไฟฟ้า

สำหรับการแผ่คลื่น ณ ตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามากๆ ควรประเมินค่า SAR แทนการวัดความแรงของสนาม

6.7 แหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหลายตัว (Multiple Source)

ควรมีการพิจารณาผลของแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหลายตัวที่ทำงานที่ความถี่แตกต่างกัน ตามข้อ กำหนดของ ICNIRP Guideline หรือมาตรฐานการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง โดยปกติจะรวมผลของแต่ละแหล่งกำเนิดเข้าด้วยกันแบบ Weighted Sum โดยที่แหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละตัวจะคิดแบบ pro-rated ตามขีดจำกัดตามความถี่ของแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้น

$$\sum_{i=100kHz}^{1MHz}\left(\frac{Ei}{c}\right)^2+\sum_{i>1MHz}^{300GHz}\left(\frac{Ei}{El,i}\right)^2\le 1$$

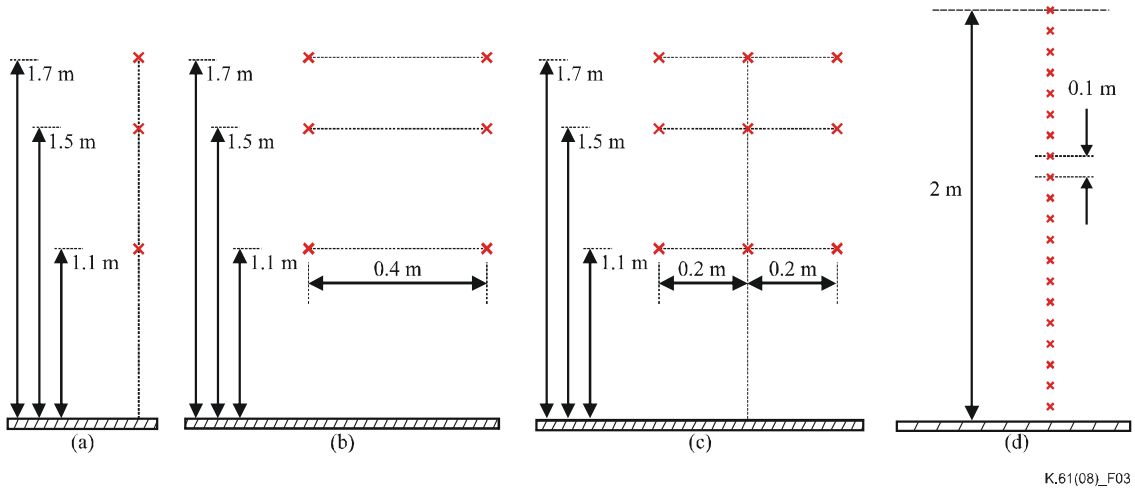
E คือ ความแรงสนามไฟฟ้า ณ ความถี่ i

El,i คือ ระดับขีดจำกัด ณ ความถี่ i

c มีค่าเท่ากับ $87/f^{1/2}$ V/m (*f* มีหน่วยเป็น MHz) สำหรับกลุ่มผู้ที่ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป

6.8 การเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาและระยะทาง (Time and spatial variability)

การสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากหลายเส้นทาง (Multi-path) ทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีการกระจายแบบไม่มีรูปแบบแน่นอน ดังนั้นจึงต้องมีการประเมินเป็นค่าเฉลี่ยจากผลกระทบของการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วร่างกายมนุษย์ ค่าของสนามหาได้จากจำนวนจุด N จุด ตามรูปด้านล่าง โดยในรูป (a) เป็นการกำหนดจุด 3 จุด ซึ่งเป็นการกำหนดจุดในการวัดขั้นพื้นฐาน แต่ถ้าต้องการความเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้นก็สามารถเพิ่มเป็น 6 จุดตามรูป (b), 9 จุดตามรูป (c) และ 20 จุดตามรูป (d) เป็นต้น หรือขึ้นอยู่กับมาตรฐาน หรือหน่วยงานที่กำกับดูแลกำหนด แต่ในทุกกรณีควรมีการตรวจสอบและการประเมินค่าความไม่แน่นอนร่วมด้วย



รูปที่ 9 - จุดที่ทำการวัดค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ (Spatial Averaging)

สูตรในการคำนวณค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ (Spatial Averaging) เป็นไปดังสมการด้านล่าง

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

โดย N คือจำนวนจุดที่ทำการวัด ตัวอย่างเช่น 3, 6, 9, 20 จุด

การวัดไม่ควรกระทำใกล้กับวัตถุที่เป็นโลหะเพื่อหลีกเลี่ยงการเหนี่ยวนำ (Coupling) ทางแม่เหล็กไฟฟ้ากับตัวโพรบ ตัวอย่างเช่น ควรมีระยะห่างระหว่างโพรบกับวัตถุที่เป็นโลหะอย่างน้อย 3 เท่าของความยาวโพรบ

ในการกรณีที่มีแหล่งกำเนิดคลื่นหลายแหล่ง การวัดควรจะทำการแบ่งพื้นที่เป็นตาราง (Grid) ขนาด 1 ตารางเมตร และทำการวัดในแต่จุดของตาราง การวัดควรมีระยะห่างระหว่างจุดไม่มากนักเพื่อความแม่นยำในการหาขอบเขตพื้นที่ที่มีระดับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสอดคล้องตามมาตรฐาน

ในพื้นที่ที่คาดว่ามีการผันแปรเชิงเวลาของแหล่งกำเนิด (Time Variability) การวัดควรขยายช่วงระยะ เวลาที่ทำการวัดในแต่ละจุดให้นานขึ้นกว่าปกติ ตัวอย่างในกรณีของ Channel variability ควรจะทำการวัดในช่วง เวลาที่มีการใช้สูงสุด

<u>หมายเหตุ</u>: สามารถที่จะกำหนดขอบเขต Compliance zones ได้จากผลของการวัด ณ จุดที่มีค่าความแรงสนามสูงสุด แต่ถ้าต้องการความละเอียดมากยิ่งขึ้นก็สามารถใช้วิธีการวัดแบบค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ (Spatial Averaging) ดังที่ได้อธิบายแล้วด้านบน

7. รายงานผลการวัด (Reporting)

โดยทั่วไปการรายงานผลจะประกอบไปด้วย แผ่นเอกสารข้อมูลการประเมินผลและรายงานขั้นสุดท้าย

- แผ่นเอกสารข้อมูลการประเมินผล (Evaluation data sheet) ใช้ในการบันทึกผลการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือ, ผลการวัดค่า และผลการคำนวณค่าต่าง ๆ
- รายงานขั้นสุดท้าย (Final report) ประกอบไปด้วย รายงานทางด้านเทคนิคและบทสรุปผู้บริหาร รายงานทางด้านเทคนิคจะเก็บบันทึกค่าทางด้านเทคนิคต่าง ๆ ตามมาตรฐานเพื่อใช้ในการประเมินผล ส่วนบทสรุปผู้บริหารนั้นไม่มีรูปแบบที่แน่นอน อาจจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า

7.1 รายงานการประเมินผล (Evaluation report)

7.1.1 ทั่วไป

รูปแบบของรายงานการประเมินผลให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดทั่วไปของ ISO/IEC 17025, ข้อ 5.10

โดยข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมดจะถูกนำไปใช้ในการสร้างรายงานการประเมินผลและถูกเก็บไว้ในแผ่นเอกสาร ซึ่งข้อมูลอาจจะอยู่ในรูปแบบกระดาษหรืออิเล็กทรอนิกส์ก็ได้

7.1.1.1 แผ่นเอกสารข้อมูลจากการตรวจวัด ประกอบด้วย

- เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด
- วิธีการที่ใช้ในการตรวจวัด เช่น การวัดแบบเลือกช่วงความถี่ (Frequency selective) หรือการวัดแบบย่านความถี่กว้าง (Broadband), การวัดโดยใช้ค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ (Spatial averaging) หรือการวัดโดยใช้ค่าสูงสุด (Peak) ฯลฯ
- ข้อมูลอื่นๆ ที่อนุญาตให้เกิดการทำซ้ำของผลการตรวจวัด
- หน่วยและข้อมูลที่ได้หลังจากการประมวลผล
- ข้อมูลจากการตรวจวัดที่แท้จริง
- และอื่นๆ ที่แสดงไว้ใน ISO/IEC 17025, ข้อ 5.10

7.1.1.2 แผ่นเอกสารข้อมูลจากการคำนวณ ประกอบด้วย

- พารามิเตอร์ที่ป้อนเข้าไปในแบบจำลอง
- สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้
- รูปแบบของแบบจำลองที่เลือก เช่น full wave, ray trace ฯลฯ
- ข้อมูลอื่น ๆ ที่อนุญาตให้เกิดการทำซ้ำของผลการคำนวณ
- หน่วยสำหรับข้อมูลที่ยังไม่ได้ประมวลผล

- ข้อมูลจากการคำนวณที่แท้จริง
- และอื่นๆ ที่แสดงไว้ใน ISO/IEC 17025, ข้อ 5.10

7.1.2 รายงานขั้นสุดท้าย

รูปแบบของรายงานขั้นสุดท้ายนี้ได้ถูกออกแบบมาหลาย ๆ รูปแบบเพื่อให้สะดวกต่อการดำเนินการและการประเมินผลในแต่ละรูปแบบต่างๆ กัน เพื่อลดความเป็นไปได้ที่จะนำรายงานดังกล่าวไปใช้อย่างไม่เข้าใจหรือใช้อย่างผิดวัตถุประสงค์

ข้อสังเกต1: ควรให้ความสนใจในตำแหน่งที่จะจัดวางสำหรับรายงานการทดสอบหรือใบรับรองการสอบเทียบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องที่เกี่ยวกับการนำเสนอข้อมูลการทดสอบหรือการสอบเทียบเพื่อให้ง่ายต่อการรับรู้และเข้าใจของผู้อ่าน

ข้อสังเกต 2: การตั้งชื่อหัวข้อ ควรจะเป็นมาตรฐานที่สุดเท่าที่ทำได้

เนื้อหาในรายงานควรจะประกอบไปด้วย

- ชื่อเรื่อง เช่น รายงานการประเมินผล
- ชื่อและที่อยู่ของห้องทดลอง และสถานที่ที่ทำการตรวจวัดหรือคำนวณ (ถ้าแตกต่างจากที่อยู่ของห้อง ทดลอง)
- ลักษณะเฉพาะสำหรับรายงานแต่ละเล่ม เช่น เลขหมายประจำตัว (Serial number) และลักษณะเฉพาะสำหรับแต่ละหน้าของรายงาน เพื่อที่จะแน่ใจได้ว่าแต่ละหน้านั้นได้รับการรับรองว่าเป็นส่วนหนึ่งของรายงานการทดสอบ พร้อมทั้งควรทำการระบุให้ชัดเจนถึงจุดสิ้นสุดของรายงานด้วย
- ชื่อและที่อยู่ของลูกค้า
- รายละเอียด สภาพ และลักษณะเฉพาะที่ชัดเจนของรายการต่างๆ ที่ทำการประเมินผล
- วันที่ที่ทำการประเมินผล
- สถานที่ต่าง ๆ ที่ทำการประเมินผล
- สภาวะต่าง ๆ ที่อาจส่งผลต่อข้อมูลที่ทำการประเมินผล
    1) สำหรับการสำรวจภายนอกอาคาร; รายละเอียดของสภาพอากาศและภูมิประเทศ ดิน ความสูงของสถานีฐาน พิกัดสถานที่ และตำแหน่งของวัตถุต่าง ๆ เช่น ต้นไม้ ตึก แหล่งผลิตพลังงาน ฯลฯ
    2) สำหรับการสำรวจภายในอาคาร; รายละเอียดของโครงสร้างอาคารรวมไปถึงวัสดุก่อสร้าง ขนาดของพื้น กำแพง และเพดาน ขนาดและตำแหน่งของหน้าต่าง ชนิดของฉนวน ตำแหน่งที่ติดตั้งระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ท่อระบบปรับอากาศ จำนวนชั้นและความสูงของแต่ละชั้น และรูปถ่ายต่าง ๆ

3) สภาวะอื่น ๆ ที่ถือว่าเป็นการทดสอบในสภาวะพิเศษ เช่น ความใกล้ของสายอากาศที่ทำให้เกิดการดูดซับ การกระจัดกระจาย และการแพร่กระจายของคลื่นทางด้านบนและด้านล่างของพื้น ผิวโครง สร้างของวัตถุ สภาพอากาศที่รุนแรง และการเคลื่อนไหวของมนุษย์ที่ไม่ปกติหรือ ไม่สามารถควบคุมได้ในพื้นที่ที่ทำการสำรวจ

- วิธีการประเมินผลที่ใช้ (ไม่ว่าจะโดยการอธิบายออกมาอย่างชัดแจ้งหรือโดยการอ้างอิง)
- ผลการประเมินและหน่วยที่ทำการตรวจวัด ยกตัวอย่าง เช่น สำหรับการสำรวจสเปกตรัม จะทำการเปรียบเทียบระหว่างความแรงของสัญญาณและความถี่โดยการลากเส้นหรือในรูปแบบของตาราง
- อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด
  1) รายชื่อของเครื่องมือ สายอากาศ อัตราส่วนระหว่างสนามไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้าของสาย อากาศ (Antenna factor)
  2) สายอากาศ/โพรบที่ใช้ (ความสูง มุม อัตราส่วนระหว่างสนามไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้าของสาย อากาศ อัตราขยาย ชนิด และช่วงความถี่)
  3) ค่าความสูญเสียในสายเคเบิลระหว่างสายอากาศ/โพรบและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง นอกจากว่าค่านี้จะถูกรวมไว้ในค่าอัตราส่วนระหว่างสนามไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้าของสายอากาศ
  4) อัตราขยายหรือค่าความสูญเสียของอุปกรณ์ทั้งหมดในภาครับ ยกตัวอย่าง เช่น Amplifiers Filters Attenuators Power Splitters ฯลฯ
  5) การตั้งค่าภายในอื่น ๆ ของอุปกรณ์ Attenuator
  6) ความถี่ต่าง ๆ ที่ทำการตรวจวัด
  7) แบนด์วิดธ์ที่ใช้ในการประเมินผล
  8) หน้าที่และคุณลักษณะของเครื่องตรวจจับ (Detector) ที่เลือก ยกตัวอย่าง เช่น ค่าคงที่ทางด้านเวลา
  9) คุณลักษณะของตัวกรองเครื่องตรวจจับ เช่น แบนด์วิดธ์
  10) ชนิดของผลรับที่ได้ ยกตัวอย่างเช่น รูปแบบ Logarithm Linear, และคุณลักษณะพิเศษ เช่น เป็นย่าน (Range)
  11) ระดับของสัญญาณและสัญญาณรบกวนที่ตรวจวัดได้
  12) การยืนยันว่าสามารถทำการสอบเทียบย้อนกลับได้
- ชื่อ ตำแหน่ง และลายเซ็นหรือลักษณะเฉพาะที่เทียบเท่าของบุคคลที่ทำการประเมินผลและรับรองรายงานการประเมินผล

- ข้อความที่มีผลกระทบต่อผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องกับรายการต่างๆ ที่ทำการทดสอบ
- การวิเคราะห์ค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty Analysis)
- รูปแบบการประเมินผลที่ใช้ (Assessment Scheme)

7.2 การแปลผล (Interpretation of results)

7.2.1 การเปรียบเทียบกับขีดจำกัด

7.2.1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการเปรียบเทียบกับขีดจำกัด

จุดประสงค์ในส่วนนี้ก็คือ การเปรียบเทียบค่าสนามของ RF ที่ได้จากการวัดและประเมินผลกับค่าขีด จำกัด โดยการประเมินผลจะทำให้ได้ค่าสนามของ RF และค่าความไม่แน่นอนในการวัด ซึ่งจะทำให้ผู้ประเมินมีความเข้าใจถึงความน่าจะเป็นที่ว่าค่าที่แท้จริงนั้นมีโอกาสที่จะมีค่าสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่า ที่ได้จากการประเมินผล รูปแบบในการประเมินผล (Assessment Scheme) จะบอกถึงวิธีการในการแปลผลที่ได้จากการประเมินที่มีค่าสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าขีดจำกัด

7.2.1.2 ข้อมูลที่ต้องใช้ในการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากประเมินผลกับค่าขีดจำกัด

โดยปกติแล้วผู้ประเมินจะใช้ข้อมูลดังต่อไปนี้ในการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการประเมินผลกับค่าขีดจำกัด ทั้งนี้ก็แล้วแต่กรณี ๆ ไป

- ค่าที่ได้จากการประเมินผล
- การกำหนดค่าในการประเมินผล
- ข้อมูลในส่วนของค่าความไม่แน่นอนในการวัด
  1) ค่าระดับความเชื่อมั่นของค่าที่ได้จากการประเมิน ยกตัวอย่างเช่น “จากการคาดคะเนที่ดีที่สุด (Best estimate)” “จากค่าที่ดีกว่า 95% (Upper 95%)”
  2) ค่าที่ชดเชยให้กับค่าระดับความเชื่อมั่นตามรูปแบบการประเมินผลที่ใช้
- รูปแบบการประเมินผลที่ใช้
  1) ค่าขีดจำกัด
  2) ค่าชดเชยสำหรับตัวเปรียบเทียบ
  3) ค่าระดับความเชื่อมั่นอ้างอิงของค่าที่ได้จากการประเมินผล
  4) ค่าความไม่แน่นอนในการวัดของเป้าหมาย
  5) ค่าระดับความเชื่อมั่นของตัวเปรียบเทียบ

7.2.1.3 การเปรียบเทียบขีดจำกัดที่ระดับความเชื่อมั่น

กระบวนการต่อไปนี้เป็นกระบวนการที่ใช้ในกรณีที่มีรูปแบบการประเมินผลโดยเฉพาะ

- การสร้างขอบเขตการปฏิบัติตามด้วยค่าความเชื่อมั่นที่ให้มา
- การประเมินผลถ้าค่าที่แท้จริงมีค่าต่ำกว่าค่าขีดจำกัดด้วยค่าความเชื่อมั่นที่ให้มา
- การประเมินผลถ้าค่าที่แท้จริงมีค่าสูงกว่าค่าขีดจำกัดด้วยค่าความเชื่อมั่นที่ให้มา โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้
- การคาดการณ์ (Extrapolation): ใช้วิธีการกำหนดค่าการประเมินผลในการสร้างปัจจัยในการคาดการณ์ (Extrapolation factor) โดยใช้ปัจจัยนี้กับค่าที่ได้จากการประเมินผล
- การประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty evaluation): ทำการสร้างค่าระดับความเชื่อมั่นของค่าที่ได้จากการคาดการณ์ แล้วทำการขยายค่าความไม่แน่นอนในการวัดออก ไปทางใดทางหนึ่ง ไม่ว่าจะเป็นทางด้านที่ค่าที่แท้จริงนั้นมีค่าต่ำกว่าหรือสูงกว่าค่าที่ได้จากการประเมินผล
- ระดับความเชื่อมั่นปกติ (Normalize confidence level): ถ้าระดับความเชื่อมั่นที่ต้องการสำหรับขอบเขตการปฏิบัติตามมีค่าเท่ากับค่าที่ได้จากการคาดการณ์ ก็ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มค่าความไม่แน่นอนในการวัดเข้าไป แต่ถ้าไม่เป็นเช่นนั้นก็ต้องมีการเพิ่มค่าความไม่แน่นอนในการวัดเข้าไปเพื่อเป็นค่าชดเชยให้กับตัวเปรียบเทียบ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าค่าที่แท้จริงนั้นมีค่าต่ำกว่าค่าขีดจำกัดที่ระดับความเชื่อมั่นปกติ 98% และค่าที่ได้จากการคาดการณ์ถูกตั้งค่าไว้ที่การคาดคะเนที่ดีที่สุดแล้ว ความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการคาดคะเนที่ดีที่สุดกับค่าที่ดีกว่า 95% จะเป็นค่าชดเชยให้กับตัวเปรียบเทียบที่จะต้องเพิ่มเข้าไปให้กับค่าที่ได้จากการคาดการณ์
- เปรียบเทียบกับค่าขีดจำกัด (Compare with limit): นำค่าที่ได้จากการคาดการณ์ปกติมาเปรียบเทียบกับค่าขีดจำกัด

ข้อสังเกต: ค่าระดับความเชื่อมั่นของค่าที่แท้จริงนั้นอาจจะมีค่าต่ำกว่าหรือสูงกว่าค่าขีดจำกัดก็ได้

7.2.1.4 ค่าขีดจำกัดที่ใช้ในการรายงานผล

ค่าขีดจำกัดความแรงสนามไฟฟ้า (E) หน่วย V/m สามารถคำนวณได้ ดังสมการในภาคผนวกที่ 1 ขีดจำกัดมาตรฐาน (Limits) ตามมาตรฐาน ICNIRP 1998 General Public ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ที่ทำการตรวจวัด โดยความถี่ที่ใช้คำนวณจะเป็นความถี่ Minimum

ของช่วงความถี่ที่ทำการตรวจวัด ดังนั้นค่าขีดจำกัดที่ได้จะต่ำกว่าการใช้ความถี่ Maximum เป็นการคิดกรณี Worst case ดังตัวอย่างด้านล่าง

ผู้ให้บริการ	ช่วงความถี่ที่ทำการตรวจวัด (MHz)	ความถี่ที่ใช้คำนวณขีดจำกัดมาตรฐาน (MHz)	สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าขีดจำกัดความแรงสนามไฟฟ้า E (V/m)	ค่าขีดจำกัดความแรงสนามไฟฟ้า E (V/m)	ค่าขีดจำกัดความหนาแน่นกำลังของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า S_{eq} (W/m^2)
AIS-900	942.5-950.0	942.5	$1.375*f^{0.5}$	42.21272	4.7267
CAT-800	869.0-880.0	869	$1.375*f^{0.5}$	40.53336	4.3581
DPC-1800	1842.9-1855.5	1842.9	$1.375*f^{0.5}$	59.02739	9.2422
DTAC-1800 #1	1817.6-1842.9	1817.6	$1.375*f^{0.5}$	58.62082	9.1153
DTAC-1800 #2	1855.5-1880	1855.5	$1.375*f^{0.5}$	59.22884	9.3054
TMV-1800	1805.0-1817.6	1805	$1.375*f^{0.5}$	58.41727	9.0521
TOT-3G	2155.0-2170.0	2155	61	61	9.8703

ตารางที่ 1 – แสดงการคำนวณค่าขีดจำกัดมาตรฐานของความแรงสนามไฟฟ้าและความหนาแน่นกำลังสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

7.2.2 ความคิดเห็นและการแปลผล

ในรายงานการประเมินผลจะต้องมีการระบุถึงรายละเอียดในส่วนของความคิดเห็นและการแปลผลอย่างชัดเจนด้วย โดยความคิดเห็นและการแปลผลจะต้องประกอบไปด้วย

- ความคิดเห็นในส่วนของ Statement of compliance/exceedance ของผลที่ได้กับค่าขีดจำกัด
- การปฏิบัติตามข้อกำหนดของสัญญา
- ข้อเสนอแนะถึงวิธีในการใช้งานผลที่ได้
- คำแนะนำเพื่อใช้ในการปรับปรุง

8. หลักการและขั้นตอนการวัดในทางปฏิบัติโดยใช้เครื่องมือวัด Narda SRM-3006

8.1 หลักการเลือกสถานีฐานเพื่อทำการวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ในแต่ละพื้นที่

8.1.1 ทำการเลือกสถานีฐานโดยเลือกบริเวณแหล่งชุมชน สถานที่สำคัญ ๆ อาทิ เช่น อาคาร ร้านค้า โรงพยาบาล ตลาด โรงเรียน สถานรับเลี้ยงเด็กอ่อน หรือแนวถนนหลักที่มีผู้คนสัญจรหนาแน่น

8.1.2 มีแนวถนนตัดผ่านเพื่อความสะดวกในการวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

8.1.3 ทำการสำรวจสถานีฐานตรวจสอบผู้ให้บริการของสถานีฐานที่ทำการเลือก บันทึกค่าตำแหน่งพิกัด ละติจูด ลองจิจูด ถ่ายภาพสภาพแวดล้อมโดยทั่วไปของตำแหน่งสถานีฐาน

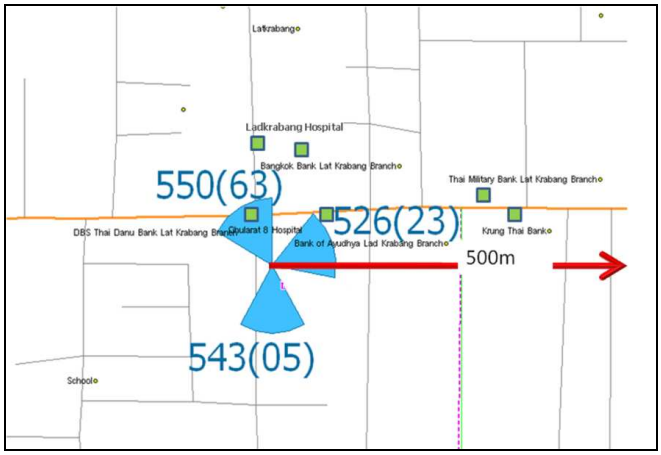
8.1.4 ทำการเลือกเซกเตอร์ (Sector) ของสถานีฐานที่จะใช้ทำการวัด โดยมีแนวลำคลื่น (Main beam width) หันไปยังทิศทางตามแนวถนนที่มีแหล่งชุมชนหนาแน่น มีลักษณะเป็น Line of Sight ไม่มีสิ่งกีดขวาง เพื่อความสะดวกในการวัดและเพื่อให้ได้แนวของความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามากที่สุด

8.1.5 เลือกแนวถนนที่จะทำการวัด ควรมีระยะทางประมาณ 500 เมตรซึ่งเป็นระยะทางสูงสุดในการตรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยทั่วไป

8.1.6 พื้นที่ที่เหมาะสมในการวัด ควรเป็นพื้นที่ที่สามารถเข้าถึงพื้นที่ได้สะดวก และตำแหน่งที่ทำการวัดควรมอง เห็นสถานีฐานได้ชัดเจน

ในทางปฏิบัติเราสามารถสแกนความแรงของสัญญาณ เพื่อยืนยันว่าเสาส่งนั้นเป็นของผู้ให้บริการรายใด (Service Provider) โดยเปรียบเทียบจากความแรงสูงสุดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าใต้สถานีฐานของแต่ละย่านความถี่

ตัวอย่างการเลือกสถานีฐาน และทิศทางในการวัด



รูปที่ 10 - แสดงตัวอย่างการเลือกสถานีฐานและสถานที่สำคัญรอบสถานีฐาน

ข้อมูลเบื้องต้นของสถานีฐาน

- ชื่อผู้ให้บริการ (Service Provider Name) : XXX
- หมายเลขสถานีฐาน (SiteID) : LKB001
- ชื่อสถานีฐาน (Site Name) : Ladkrabang
- ประเภทสายอากาศ (Antenna Type) : AP10034T3
- ทิศทางสายอากาศ (Azimuth) : 70 deg
- ตำแหน่งสถานีฐาน ลองจิจูด&ละติจูด (Longitude, Latitude) : 100.1234 deg, 13.1234 deg;
- ความสูงของสายอากาศ (Antenna Height) : 19 m
- สถานที่สำคัญบริเวณสถานีฐาน (Point of Interest)
  - Ladkrabang Hospital
  - Huatake Market
  - Chularat 8 Hospital & Clinic
  - Bank: TMB, KBANK, BBL, DBS, KTB

8.2 การเตรียมอุปกรณ์ก่อนทำการวัด

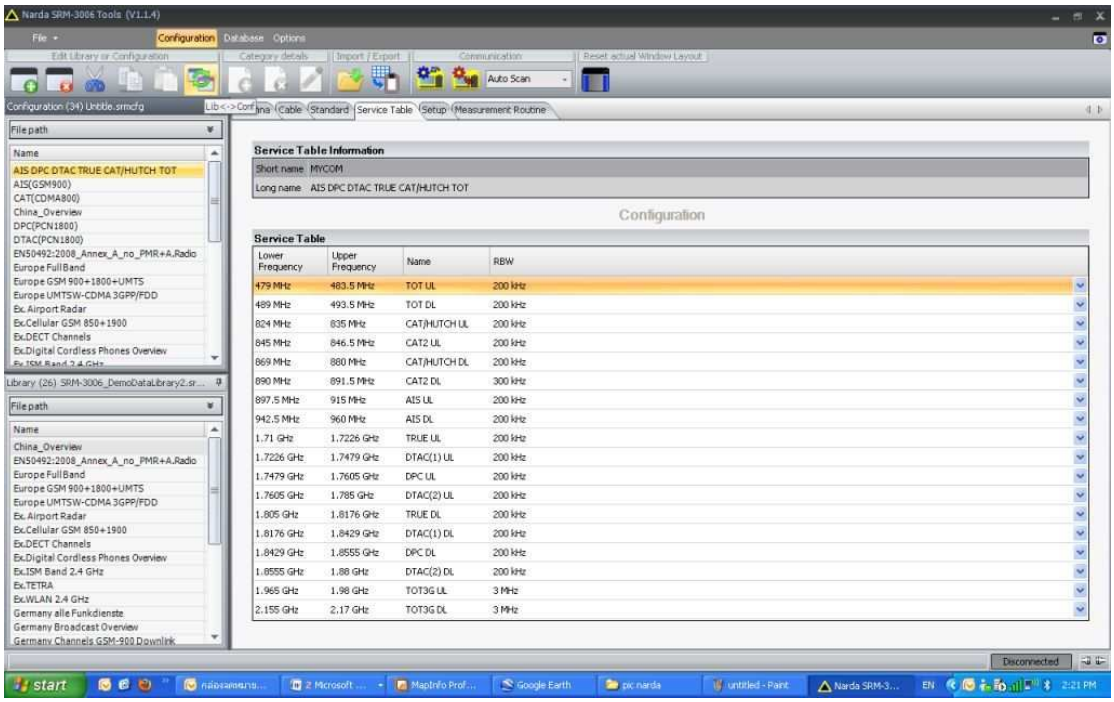
8.2.1 จัดเตรียมอุปกรณ์สำคัญในการสำรวจสถานีฐานและอุปกรณ์วัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า อันได้แก่

Item	Description	Brand	Model	Freq Range	Qty
1	Selective Radiation Meter	Narda	SRM-3006	9 kHz – 6 GHz	1
2	Isotropic Antenna (Three axis)	Narda	SRM-3501	27 MHz – 3 GHz	1
3	RF Cable SRM (Option)	Narda	SRM-3602	9 kHz – 6 GHz	1
4	Tripod (Option)	Manfrotto	Manfrotto	N/A	1
5	GPS	Garmin	GPS12	N/A	1
6	Measuring Wheel	Rotosure	Professional	N/A	1
7	Digital Camera	Canon	Powershot A460	N/A	1

ตารางที่ 2 – แสดงรายการอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการสำรวจสถานีฐานและการวัดสัญญาณ

8.2.2 ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องมือวัด ก่อนทำการวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดแห่งเดียว

8.2.2.1 กำหนดความถี่ Lower/Upper Frequency ของ แต่ละ Service Provider ที่จะทำการวัดลงใน Service Table แล้ว Import ข้อมูลด้วย Narda SRM-3006 Software Tool ลงในเครื่องมือวัด SRM-3006



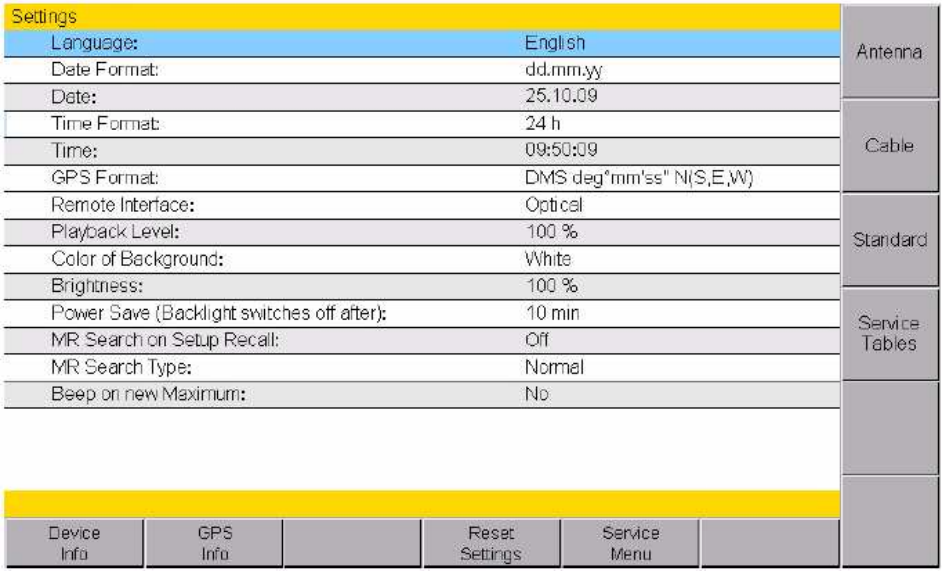
รูปที่ 11 - แสดงการ Import ข้อมูลความถี่แต่ละ Service Provider ใน Narda SRM-3006 Software

8.2.2.2 กำหนดย่านความถี่ของแต่ละเครือข่ายที่ทำการตรวจวัด

No	Service Provider	Freq (MHz)	
		Uplink	Downlink
1	TOT (470 MHz)	479.0-483.5	489.0-493.5
2	AIS (GSM900)	897.5-905.0	942.5-950.0
		905.0-915.0	950-960
3	CAT (CDMA800)	824.0-835.0	869.0-880.0
4	DTAC (PCN 1800)	1722.6-1747.9	1817.6-1842.9
		1760.5-1785.0	1855.5-1880
5	True Move (PCN 1800)	1710.0-1722.6	1805.0-1817.6
6	DPC (PCN 1800)	1747.9-1760.5	1842.9-1855.5
7	TOT 3G	1965.0-1980.0	2155.0-2170.0

ตารางที่ 3 – ตัวอย่างแสดงย่านความถี่ของผู้ให้บริการในแต่ละเครือข่าย

8.2.2.3 Setup General Setting ของเครื่องมือวัด Narda SRM-3006 อาทิเช่น วันที่, เวลา, หน่วยการวัด, GPS, ความสว่างหน้าจอ, ประเภท Measurement Range Search เป็นต้น



รูปที่ 12 - รูปการ Setup ข้อมูลทั่วไปสำหรับอุปกรณ์วัด Narda SRM-3006

8.2.3 ทำการเลือกมาตรฐานในการวัดให้เป็น อาทิเช่น ICNIRP 1998 General Public: Menu -> Settings -> Standard -> ICNIRP 1998 General Public

8.2.4 ทำการเลือก Service Table อาทิเช่น Menu -> Settings -> Service Table -> MYCOM

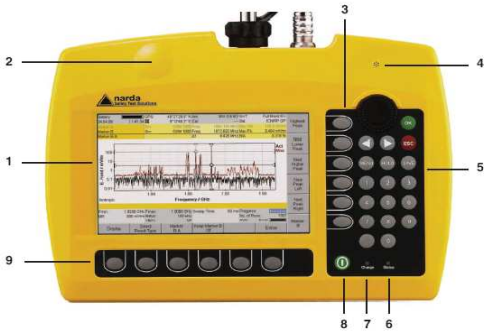
หมายเหตุ Service Table Name สามารถกำหนดขึ้นได้เอง อาทิเช่น MYCOM

8.3 การติดตั้งอุปกรณ์ (Narda SRM-3006) เพื่อเตรียมการวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

8.3.1 ประกอบ Isotropic Antenna เข้ากับเครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า SRM-3006 (ขณะประกอบ เครื่องต้องปิดอยู่) โดยทำการต่อ N Connector ของสายอากาศเข้ากับ Basic Unit ของเครื่องวัด และ ทำการต่อสาย Control Cable ที่มีหัวต่อแบบ Multi-pin เข้ากับ Basic Unit ของเครื่องวัด โดยให้ตำแหน่ง Marker สีแดงตรงกับเครื่องวัด ซึ่งสายนี้จะทำให้ตัวเครื่องสามารถทราบถึงรุ่นและประเภทของสายอากาศได้โดยอัตโนมัติ

8.3.2 เปิดเครื่อง โดยกดปุ่ม Power On

รูปที่ 13 - แสดง Isotropic Antenna (Three axis) ต่อกับเครื่องมือวัด Narda SRM-3006



No.	Element	Function / Description
1	LCD panel	Screened, high-resolution liquid crystal display.
2	GPS receiver	GPS receiver antenna area. Do not attach any metallic stickers to this area.
3	Vertical softkeys	Context-dependent, operating mode and function selection, changing settings.
4	Microphone	For recording voice comments.
5	Keypad and rotary control	Navigation, changing settings, entering values, confirming or cancelling entries.
6	Status display	• LED green: device is ready for use. • LED red: device is initializing or device error.
7	Charging indicator	• LED red: Battery is charging. • LED green: Charging cycle finished or AC adapter / charger still connected to device charging socket.
8	On/Off key	Switches device on or off (hold down key).
9	Horizontal softkeys	Context-dependent, function selection, changing settings.

รูปที่ 14 - แสดง Display and ปุ่มคอนโทรลบนเครื่องมือวัด Narda SRM-3006

8.4 สำรวจหาจุดสัญญาณที่แรงที่สุดในแต่ละช่วงการวัด

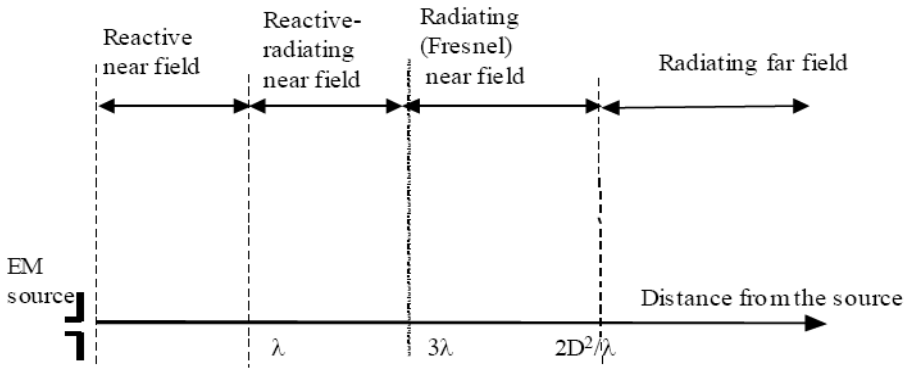
8.4.1 ทำการคำนวณระยะห่างจากสถานีฐานในการวัดในบริเวณสนามระยะไกล (Far field) เพื่อกำหนดจุดเริ่มต้นในการวัด โดยใช้สูตรตามสมการด้านล่าง

$$R_f = 2D^2/\lambda$$

เมื่อ R_f คือระยะทางของจุดอ้างอิง เป็นจุดเริ่มต้นในการวัดในบริเวณสนามระยะไกล (Far field) มีหน่วยเป็นเมตร (m)

D คือขนาดของสายอากาศ มีหน่วยเป็นเมตร (m)

λ คือความยาวคลื่น (Wavelength) มีหน่วยเป็นเมตร (m)



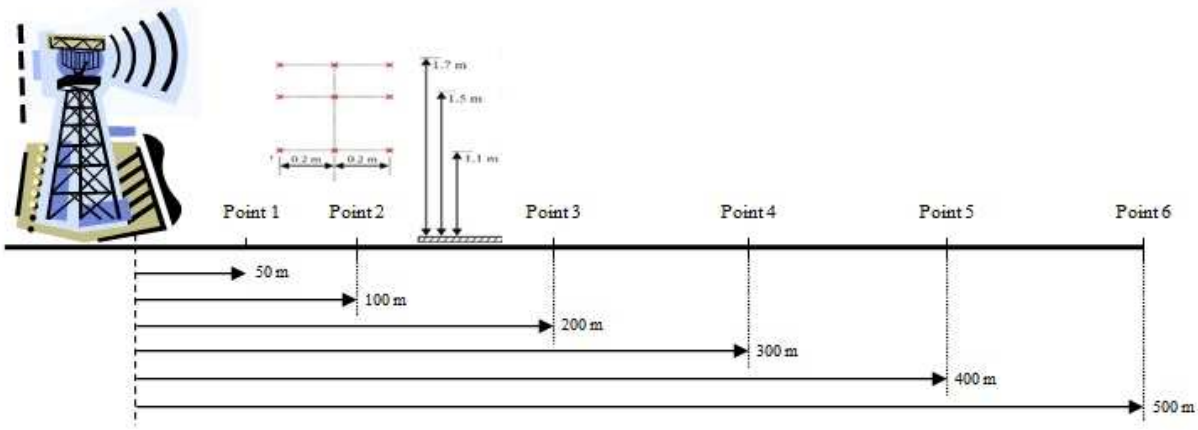
รูปที่ 15 – แสดงบริเวณสนามระยะไกล (Far field) รอบๆแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EM Source)

อาทิเช่น สถานีฐานความถี่ย่าน 900 MHzใช้สายอากาศแบบไดโพลขนาดความยาว 1 เมตร เพราะฉะนั้นสนามระยะไกล (Far field) จะเท่ากับ

$$\lambda = C/f = (3x10^8) / (900x10^6) = 0.33333 \text{ m}$$

$$R_f = 2D^2/\lambda = 2x(1)^2 / 0.33333 = 6 \text{ m}$$

8.4.2 ในการวัดสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าได้แบ่งช่วงการวัดไว้ทั้งหมด 6 ช่วงดังนี้ ตั้งแต่ระยะ 5 เมตร ถึง 50 เมตร 51 เมตรถึง 100 เมตร 101 เมตรถึง 200 เมตร 201 เมตรถึง 300 เมตร 301 เมตรถึง 400 เมตร และ 401 เมตรถึง 500 เมตร ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 – แสดงช่วงการวัดทั้ง 6 จุด และสำรวจระยะที่มีระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุด

8.4.3 ในแต่ละช่วงการวัด จะทำการเดินสำรวจรอบแรกเพื่อหาตำแหน่งค่าความหนาแน่นกำลังของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามากที่สุดก่อน โดยทำการวัดที่ระยะความสูง 1.5 เมตรโดยฉลี่ย เมื่อ

ได้ตำแหน่งที่มีค่าสูงที่สุดแล้วก็จะกลับมาทำการวัดค่า ณ ตำแหน่งที่ได้เลือกไว้ แล้วทำการบันทึกค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก และความหนาแน่นของกำลังต่อไป

8.4.4 ทำการถ่ายรูปตำแหน่งการวัด ณ จุดที่มีค่าความหนาแน่นกำลังของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามากที่สุดโดยถ่ายไปยังทิศทางของสถานีฐานให้เห็นสภาพลักษณะพื้นที่โดยทั่วไปในบริเวณนั้น

8.4.5 บันทึกค่าระยะห่างระหว่างสถานีฐานมายังจุดที่ทำการวัดโดยดูจากอุปกรณ์ GPS หรือจากอุปกรณ์วัดระยะ ทาง Measuring Wheel

8.5 วัดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของผู้ให้บริการแบบแหล่งกำเนิดเดียว

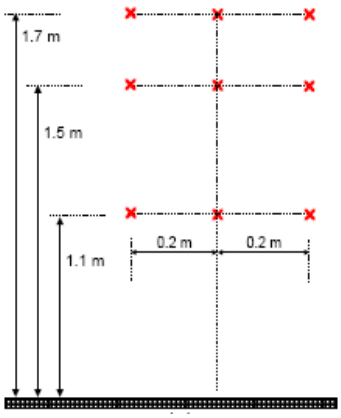
8.5.1 ในการวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของแต่ละสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ให้บริการแต่ละราย จะทำการวัดแบบแหล่งกำเนิดเดียวหรือ Single Source

8.5.2 ในโหมด Safety Evaluation ทำการเลือกชื่อผู้ให้บริการโดยเลือกที่ย่านความถี่ในช่วงขาลง (Downlink) อาทิเช่น DTAC DL (Menu -> Safety Eval -> Select Menu ->DTAC DL)

8.5.3 ในการวัดแต่ละจุดจะใช้หลักการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาและระยะทาง (Time and Spatial variability) ตามมาตรฐาน กทช. มท. 5001-2550 และมาตรฐาน ITU-T Recommendation K.61 (2005)

8.5.4 ในการวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในที่นี้จะใช้การวัด Spatial Averaging แบบ 9 จุด ค่าเฉลี่ย 6 นาที ดังแสดงในรูปที่ 17

8.5.5 การวัดไม่ควรวัดใกล้กับแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและวัตถุที่เป็นโลหะ เพื่อหลีกเลี่ยงการ Coupling มายังโพรบ เช่น โพรบควรห่างจากวัตถุที่เป็นโลหะอย่างน้อย 3 เท่าของขนาดโพรบ



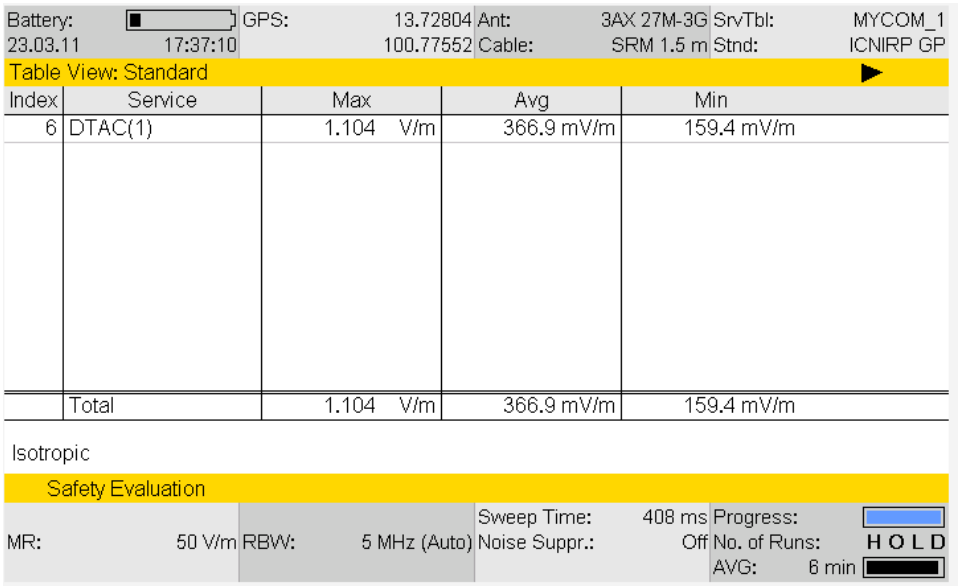
รูปที่ 17 – แสดงจุดการวัดแบบ Spatial Averaging

8.6 การวัดค่า, การบันทึกภาพและการบันทึกข้อมูลของความเข้มของสนามไฟฟ้า (V/m) ความหนาแน่นของกำลัง (W/m^2), และเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าขีดจำกัดมาตรฐาน (%) ของแต่ละช่วงการทดสอบ

เครื่องมือวัด Narda SRM-3006 ประกอบด้วยโหมดการวัดที่สำคัญได้แก่ โหมด Safety Evaluation และ โหมดการวัดแบบ Spectrum Analyzer

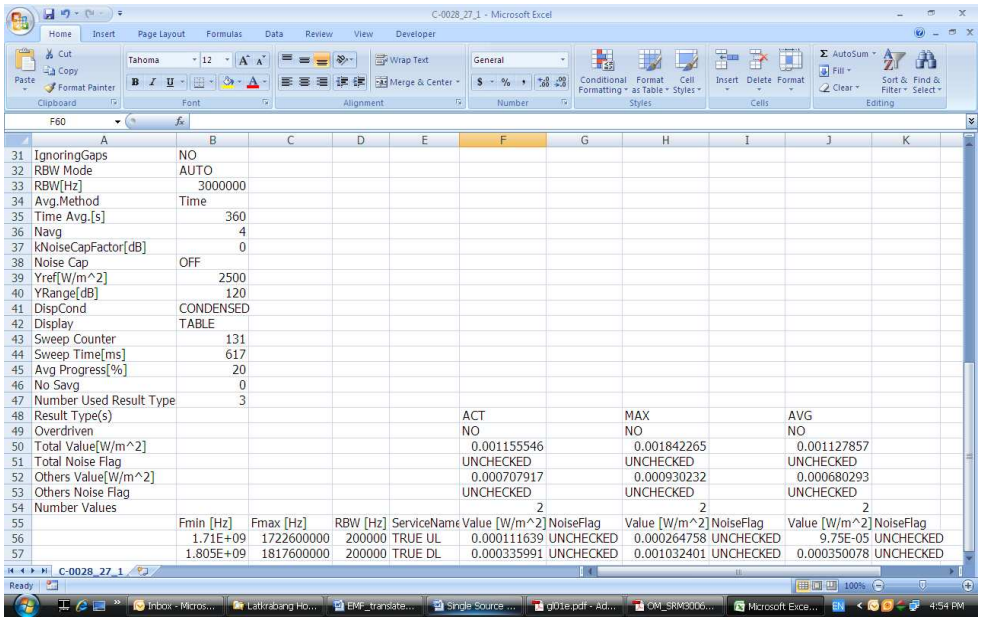
8.6.1 การวัดในรูปแบบตาราง และบันทึกข้อมูลแบบ Log file

เป็นการบันทึกในโหมด Safety Evaluation โดยเครื่องมือวัด Narda SRM-3006 สามารถทำการประเมินความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละ Service Provider ตามย่านความถี่ที่กำหนดไว้ได้ รวมทั้งสามารถแสดงผลในรูปแบบตารางได้ด้วย ซึ่งการแสดงผลนั้นสามารถแสดงผลได้หลากหลายหน่วย เช่น ในหน่วยของ V/m A/m W/m^2 % และสามารถอ่านค่า Average ใน 6 นาทีได้เมื่อทำการวัดครบทั้ง 9 จุด



รูปที่ 18 – ตัวอย่างรูปการวัดค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าในรูปแบบตาราง

หลังจากนั้นให้ทำการบันทึกโดยกดปุ่ม Save ที่ตัวเครื่องเพื่อบันทึกผลในรูปแบบของ Log file ซึ่งสามารถเปิดได้ด้วยโปรแกรม Excel หรือ Text Editor

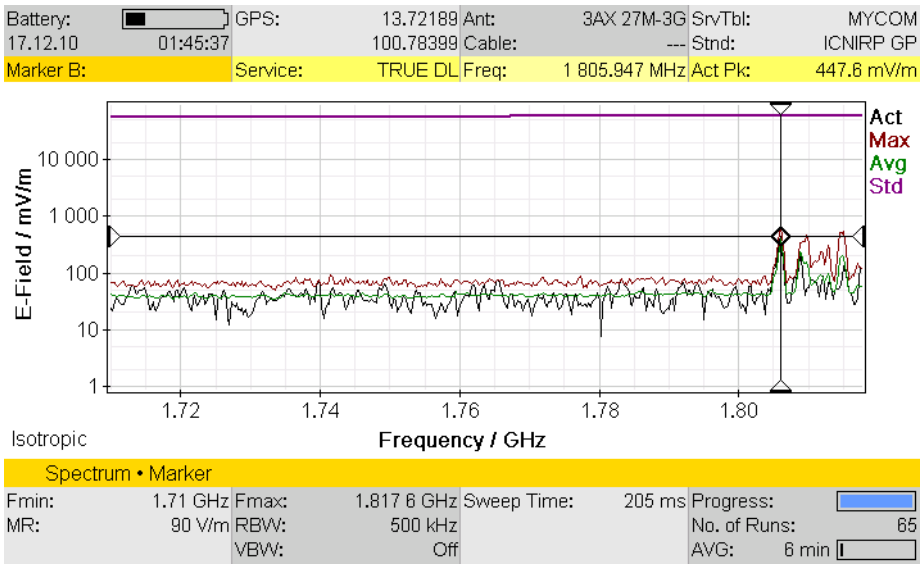


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
31	IgnoringGaps	NO									
32	RBW Mode	AUTO									
33	RBW[Hz]	3000000									
34	Avg.Method	Time									
35	Time Avg.[s]	360									
36	Navg	4									
37	kNoiseCapFactor[dB]	0									
38	Noise Cap	OFF									
39	Yref[W/m^2]	2500									
40	YRange[dB]	120									
41	DispCond	CONDENSED									
42	Display	TABLE									
43	Sweep Counter	131									
44	Sweep Time[ms]	617									
45	Avg Progress[%]	20									
46	No Savg	0									
47	Number Used Result Type	3									
48	Result Type(s)					ACT		MAX		AVG	
49	Overdriven					NO		NO		NO	
50	Total Value[W/m^2]					0.001155546		0.001842265		0.001127857	
51	Total Noise Flag					UNCHECKED		UNCHECKED		UNCHECKED	
52	Others Value[W/m^2]					0.000707917		0.000930232		0.000680293	
53	Others Noise Flag					UNCHECKED		UNCHECKED		UNCHECKED	
54	Number Values					2		2		2	
55		Fmin [Hz]	Fmax [Hz]	RBW [Hz]	ServiceName	Value [W/m^2]	NoiseFlag	Value [W/m^2]	NoiseFlag	Value [W/m^2]	NoiseFlag
56		1.71E+09	1722600000	200000	TRUE UL	0.000111639	UNCHECKED	0.000264758	UNCHECKED	9.75E-05	UNCHECKED
57		1.805E+09	1817600000	200000	TRUE DL	0.000335991	UNCHECKED	0.001032401	UNCHECKED	0.000350078	UNCHECKED

รูปที่ 19 – ตัวอย่างรูปการวัดค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าในรูปแบบ Log file

8.6.2 การวัดในรูปแบบสเปกตรัม

การวัดในรูปแบบสเปกตรัมสามารถแสดงค่า Highest Peak frequency ในย่านความถี่ที่ทำการวัด และแสดงความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปแบบกราฟ เมื่อเทียบกับเส้นมาตรฐาน ICNIRP 1998 GP

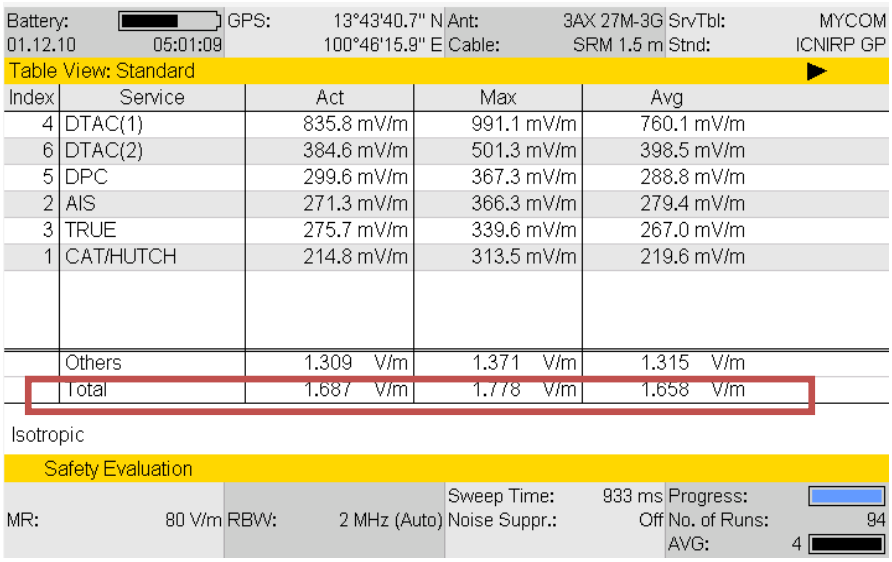


รูปที่ 20 – ตัวอย่างรูปความเข้มของสนามไฟฟ้าในรูปแบบสเปกตรัม

8.7 วัดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของผู้ให้บริการแบบหลายแหล่ง

8.7.1 ในการวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากรณีที่มีการร้องเรียนจากผู้บริโภค จะทำการวัดแบบที่มีแหล่ง กำเนิดหลายแหล่งหรือ Multi Source

8.7.2 วิธีการวัดจะมีขั้นตอนเช่นเดียวกับการวัดแบบแหล่งกำเนิดแหล่งเดียว แต่จะแตกต่างกันในส่วนของการเลือก Service Provider โดยเลือกย่านความถี่ทั้งหมดที่ทำการวัด ผลรวมของความแรงสนามไฟฟ้าทั้งหมดจะดูได้จากค่า Total ดังรูปด้านล่าง



Battery:		GPS:	13°43'40.7" N	Ant:	3AX 27M-3G	SrvTbl:	MYCOM
01.12.10	05:01:09		100°46'15.9" E	Cable:	SRM 1.5 m	Stnd:	ICNIRP GP

Table View: Standard

Index	Service	Act	Max	Avg
4	DTAC(1)	835.8 mV/m	991.1 mV/m	760.1 mV/m
6	DTAC(2)	384.6 mV/m	501.3 mV/m	398.5 mV/m
5	DPC	299.6 mV/m	367.3 mV/m	288.8 mV/m
2	AIS	271.3 mV/m	366.3 mV/m	279.4 mV/m
3	TRUE	275.7 mV/m	339.6 mV/m	267.0 mV/m
1	CAT/HUTCH	214.8 mV/m	313.5 mV/m	219.6 mV/m
	Others	1.309 V/m	1.371 V/m	1.315 V/m
	Total	1.687 V/m	1.778 V/m	1.658 V/m

Isotropic

Safety Evaluation

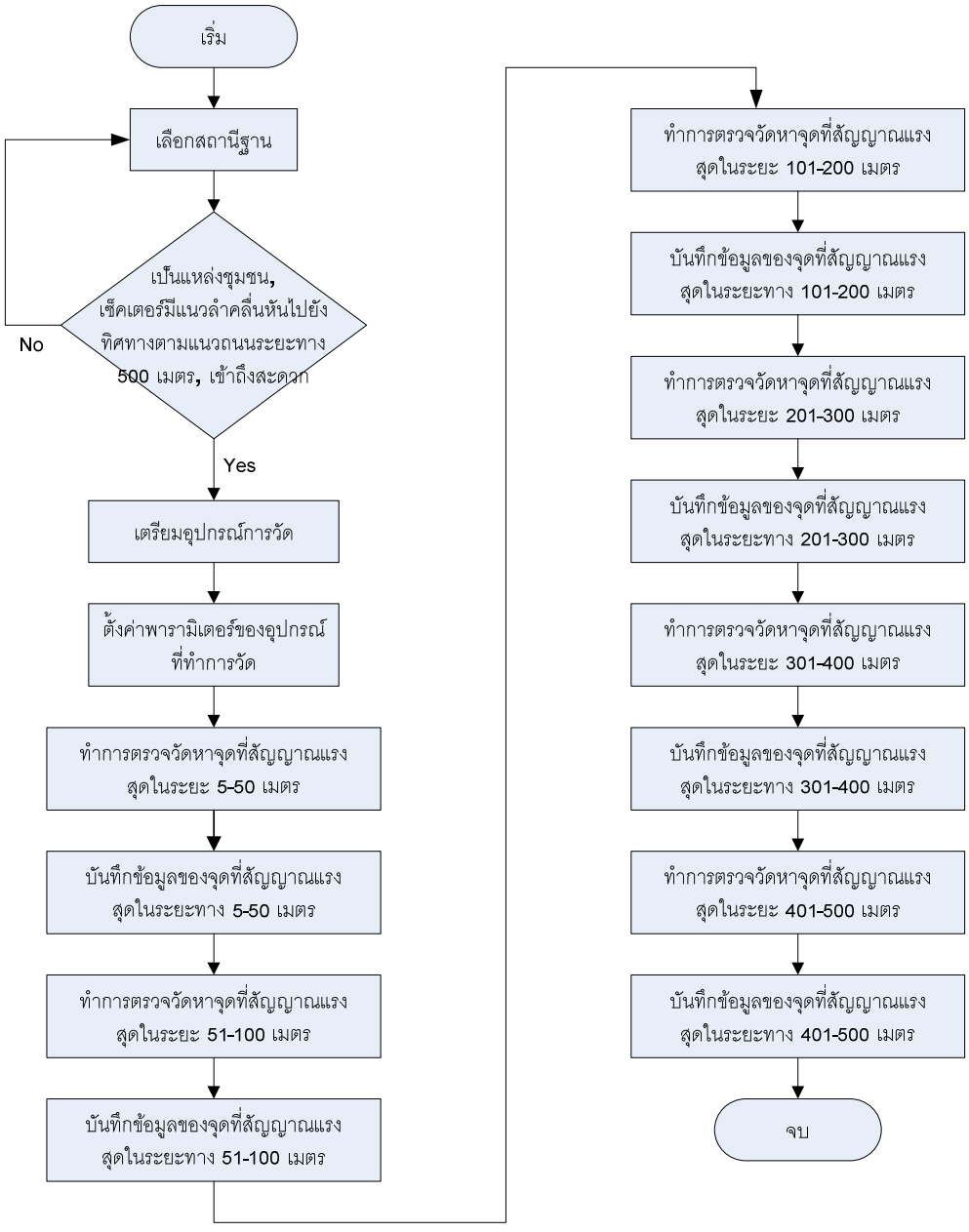
MR:	80 V/m	RBW:	2 MHz (Auto)	Sweep Time:	933 ms	Progress:	
				Noise Suppr.:	Off	No. of Runs:	94
						AVG:	4

รูปที่ 21 – ตัวอย่างตารางแสดงความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของผู้ให้บริการแบบหลายแหล่ง

8.7.3 นอกเหนือจากการวัดตามระยะทาง 5-500 เมตรที่แบ่งการวัดออกเป็นช่วงทั้งหมด 6 ช่วง ดังกล่าวแล้วในข้อ 8.4.2 จะมีการวัดเพิ่มเติมในจุดที่เป็นตำแหน่งที่พักอาศัยภายในห้องต่างๆ ของผู้ร้องเรียน อาทิเช่น ในห้อง นั่งเล่น ห้องนอน ห้องรับแขก ระเบียง เป็นต้น

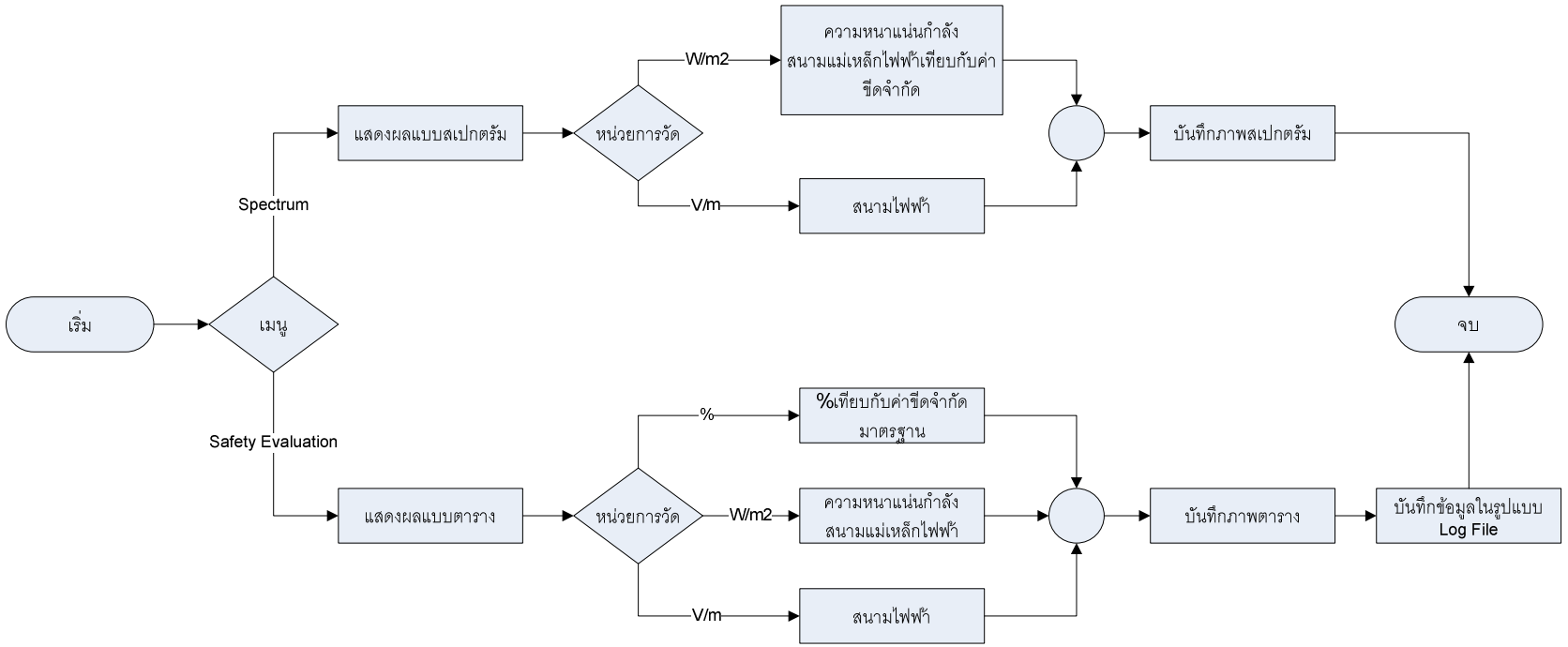
8.8 สรุปแผนงานขั้นตอนการวัด และบันทึกข้อมูล (Flow Chart)

8.8.1 แผนงานขั้นตอนการวัด



รูปที่ 22 – ตัวอย่างแผนงานขั้นตอนการวัด

8.8.2 แผนงานขั้นตอนการบันทึกข้อมูล



รูปที่ 23 – ตัวอย่างแผนงานขั้นตอนการบันทึกข้อมูล

8.9. รายการตรวจสอบการบันทึกข้อมูล (Check List)

ระยะ 5-50 เมตร
☐ บันทึกค่าสนามไฟฟ้า (V/m) ในรูปแบบตาราง
☐ บันทึกค่าสนามไฟฟ้า (V/m) ในรูปแบบ Log File
☐ บันทึกค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (W/m2) ในรูปแบบตาราง
☐ บันทึกค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (W/m2) ในรูปแบบ Log File
☐ บันทึกค่าเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าขีดจำกัดมาตรฐาน (%) ในรูปแบบตาราง
☐ บันทึกค่าเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าขีดจำกัดมาตรฐาน (%) ในรูปแบบ Log File
☐ บันทึกค่าสนามไฟฟ้า (V/m) ในรูปแบบสเปกตรัม
☐ บันทึกค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (W/m2) เทียบกับค่าขีดจำกัด ในรูปแบบสเปกตรัม
ระยะ 51-100 เมตร
☐ บันทึกค่าสนามไฟฟ้า (V/m) ในรูปแบบตาราง
☐ บันทึกค่าสนามไฟฟ้า (V/m) ในรูปแบบ Log File
☐ บันทึกค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (W/m2) ในรูปแบบตาราง
☐ บันทึกค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (W/m2) ในรูปแบบ Log File
☐ บันทึกค่าเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าขีดจำกัดมาตรฐาน (%) ในรูปแบบตาราง
☐ บันทึกค่าเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าขีดจำกัดมาตรฐาน (%) ในรูปแบบ Log File
☐ บันทึกค่าสนามไฟฟ้า (V/m) ในรูปแบบสเปกตรัม
☐ บันทึกค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (W/m2) เทียบกับค่าขีดจำกัด ในรูปแบบสเปกตรัม
ระยะ 101-200 เมตร
☐ บันทึกค่าสนามไฟฟ้า (V/m) ในรูปแบบตาราง
☐ บันทึกค่าสนามไฟฟ้า (V/m) ในรูปแบบ Log File
☐ บันทึกค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (W/m2) ในรูปแบบตาราง
☐ บันทึกค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (W/m2) ในรูปแบบ Log File
☐ บันทึกค่าเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าขีดจำกัดมาตรฐาน (%) ในรูปแบบตาราง
☐ บันทึกค่าเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าขีดจำกัดมาตรฐาน (%) ในรูปแบบ Log File
☐ บันทึกค่าสนามไฟฟ้า (V/m) ในรูปแบบสเปกตรัม
☐ บันทึกค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (W/m2) เทียบกับค่าขีดจำกัด ในรูปแบบสเปกตรัม

ระยะ 201-300 เมตร
☐ บันทึกค่าสนามไฟฟ้า (V/m) ในรูปแบบตาราง
☐ บันทึกค่าสนามไฟฟ้า (V/m) ในรูปแบบ Log File
☐ บันทึกค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (W/m2) ในรูปแบบตาราง
☐ บันทึกค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (W/m2) ในรูปแบบ Log File
☐ บันทึกค่าเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าขีดจำกัดมาตรฐาน (%) ในรูปแบบตาราง
☐ บันทึกค่าเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าขีดจำกัดมาตรฐาน (%) ในรูปแบบ Log File
☐ บันทึกค่าสนามไฟฟ้า (V/m) ในรูปแบบสเปกตรัม
☐ บันทึกค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (W/m2) เทียบกับค่าขีดจำกัด ในรูปแบบสเปกตรัม
ระยะ 301-400 เมตร
☐ บันทึกค่าสนามไฟฟ้า (V/m) ในรูปแบบตาราง
☐ บันทึกค่าสนามไฟฟ้า (V/m) ในรูปแบบ Log File
☐ บันทึกค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (W/m2) ในรูปแบบตาราง
☐ บันทึกค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (W/m2) ในรูปแบบ Log File
☐ บันทึกค่าเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าขีดจำกัดมาตรฐาน (%) ในรูปแบบตาราง
☐ บันทึกค่าเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าขีดจำกัดมาตรฐาน (%) ในรูปแบบ Log File
☐ บันทึกค่าสนามไฟฟ้า (V/m) ในรูปแบบสเปกตรัม
☐ บันทึกค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (W/m2) เทียบกับค่าขีดจำกัด ในรูปแบบสเปกตรัม
ระยะ 401-500 เมตร
☐ บันทึกค่าสนามไฟฟ้า (V/m) ในรูปแบบตาราง
☐ บันทึกค่าสนามไฟฟ้า (V/m) ในรูปแบบ Log File
☐ บันทึกค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (W/m2) ในรูปแบบตาราง
☐ บันทึกค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (W/m2) ในรูปแบบ Log File
☐ บันทึกค่าเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าขีดจำกัดมาตรฐาน (%) ในรูปแบบตาราง
☐ บันทึกค่าเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าขีดจำกัดมาตรฐาน (%) ในรูปแบบ Log File
☐ บันทึกค่าสนามไฟฟ้า (V/m) ในรูปแบบสเปกตรัม
☐ บันทึกค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (W/m2) เทียบกับค่าขีดจำกัด ในรูปแบบสเปกตรัม

สรุปจำนวนข้อมูลที่บันทึกเพื่อใช้ในการทำรายงานผลและอ้างอิงเพื่อการศึกษาเพิ่มเติม ต่อหนึ่งสถานีฐานเมื่อมีการทดสอบจำนวน 6 จุดเป็นดังนี้

- จำนวนข้อมูลที่บันทึกในรูปแบบตาราง จำนวน 18 รูป (Safety Evaluation Mode)
- จำนวนข้อมูลที่บันทึกในรูปแบบ Log file จำนวน 18 ไฟล์ (Safety Evaluation Mode)
- จำนวนข้อมูลที่บันทึกในรูปแบบสเปกตรัม จำนวน 12 รูป (Spectrum Mode)

ภาคผนวก

ภาคผนวก 1. ขีดจำกัด (Limits)

ขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคมในย่านความถี่วิทยุ 9 kHz – 300 GHz ได้อ้างอิงขีดจำกัดตามเอกสาร ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz) (1998) ซึ่งจัดทำขึ้นโดย International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) ดังนี้

1.1 ขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องวิทยุคมนาคมซึ่งส่วนประกอบที่สามารถแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ห่างจากร่างกายไม่น้อยกว่า 20 เซนติเมตรในตำแหน่งใช้งานปกติ และเครื่องวิทยุคมนาคมชนิดติดตั้งอยู่กับที่ถาวร และมีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าครอบคลุมบริเวณกว้าง

ขีดจำกัดความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงานและกลุ่มผู้ที่ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป จะต้องมีค่าไม่เกินค่าดังแสดงในตารางต่อไปนี้

1) ขีดจำกัดความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน

ความถี่	E-field strength (V/m)	H-field strength (A/m)	Equivalent plane wave power density Seq (W/m2)
9 kHz – 150 kHz	610	24.4	-
150 kHz – 1 MHz	610	$1.6/f$	-
1 MHz – 10 MHz	$610/f^{½}$	$1.6/f$	-
10 MHz – 400 MHz	61	0.16	10
400 MHz – 2 GHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{½}$	$f/40$
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 Seq (W/m2)
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	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{½}$	$f/200$
2 GHz – 300 GHz	61	0.16	10

หมายเหตุ:

1. E-field strength หมายถึง ความแรงสนามไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโวลต์ต่อเมตร (V/m)

2. H-field strength หมายถึง ความแรงสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นแอมแปร์ต่อเมตร (A/m)

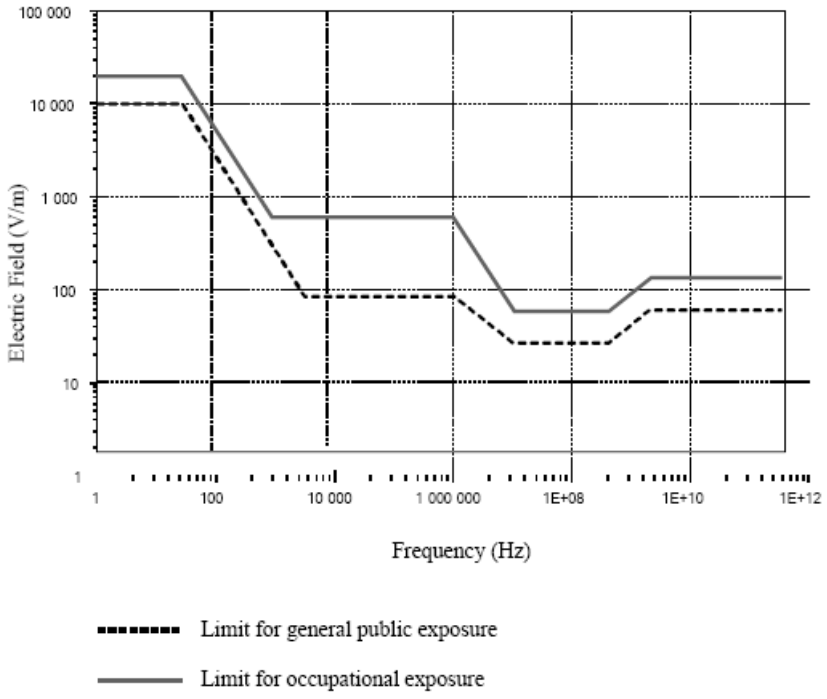
3. f หมายถึง ความถี่ มีหน่วยเป็นเมกะเฮิรตซ์ (MHz)

4. สำหรับความถี่ระหว่าง 100 kHz และ 10 GHz ค่า S_{eq} , E^2 และ H^2 เป็นค่าเฉลี่ยในช่วงเวลา 6 นาทีใดๆ

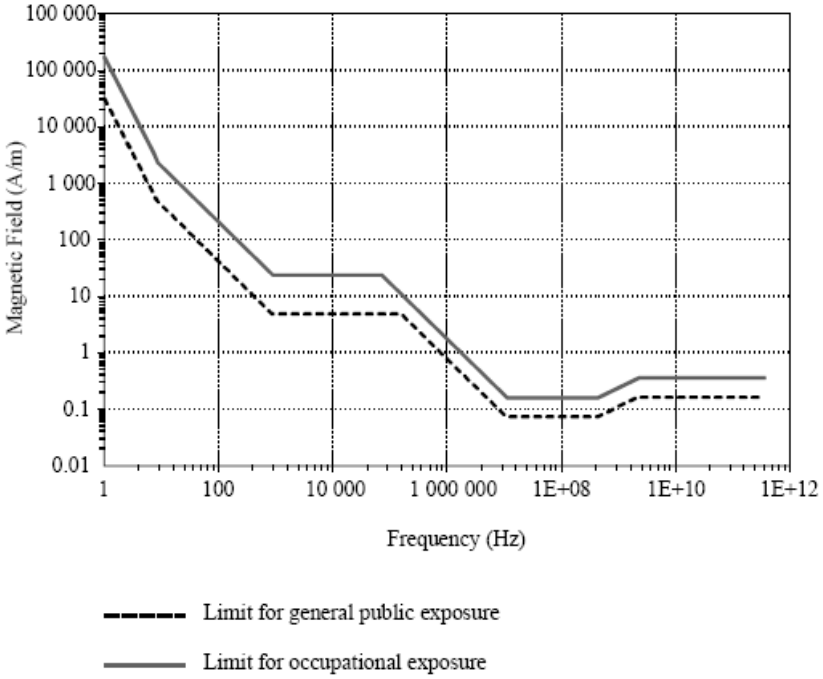
5. สำหรับความถี่มากกว่า 10 GHz ค่า S_{eq} , E^2 และ H^2 เป็นค่าเฉลี่ยในช่วงเวลา $68 / f^{1.05}$ นาทีใดๆ โดย

ในที่นี้ f คือความถี่ มีหน่วยเป็นกิกะเฮิรตซ์ (GHz)

ทั้งนี้ แผนภาพแสดงระดับขีดจำกัดความแรงสนามไฟฟ้า และระดับขีดจำกัดความแรงสนามแม่เหล็กสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงานและกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป แสดงในรูปที่ 22 และรูปที่ 23 ตาม ลำดับ



รูปที่ 22 - ระดับขีดจำกัดความแรงสนามไฟฟ้า



รูปที่ 23 - ระดับขีดจำกัดความแรงสนามแม่เหล็ก

1.2 ขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดมากกว่าหนึ่งแหล่งในช่วงเวลาเดียวกัน

ในกรณีของการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดมากกว่าหนึ่งแหล่งในช่วงเวลาเดียวกัน ณ ความถี่ต่าง ๆ นั้น การประเมินว่าระดับการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยรวมเป็นไปตามขีดจำกัดในข้อ 1.2 หรือไม่ ต้องใช้เงื่อนไขของสมการดังต่อไปนี้

$$\sum_{i=1kHz}^{1MHz} \frac{Ei}{El,i} + \sum_{i>1MHz}^{10MHz} \frac{Ei}{a} \leq 1$$

$$\sum_{i=1kHz}^{1MHz} \frac{Hj}{Hl,i} + \sum_{i>1MHz}^{10MHz} \frac{Hj}{b} \leq 1$$

หมายเหตุ:

Ei	คือ ความแรงสนามไฟฟ้า ณ ความถี่ i
El, i	คือ ระดับขีดจำกัด ณ ความถี่ i
H j	คือ ความแรงสนามแม่เหล็ก ณ ความถี่ j
Hl,j	คือ ระดับขีดจำกัด ณ ความถี่ j
a	มีค่าเท่ากับ 610 V/m สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน และมีค่าเท่ากับ 87 V/m สำหรับกลุ่มผู้ที่ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป
b	มีค่าเท่ากับ 24.4 A/m สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน และมีค่าเท่ากับ 5 A/m สำหรับกลุ่มผู้ที่ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป

$$\sum_{i=100kHz}^{1MHz}\left[\frac{Ei}{c}\right]^2+\sum_{i>1MHz}^{300GHz}\left[\frac{Ei}{El,i}\right]^2\le 1$$

$$\sum_{i=100kHz}^{1MHz}\left[\frac{Hj}{d}\right]^2+\sum_{i>1MHz}^{300GHz}\left[\frac{Hj}{Hl,i}\right]^2\le 1$$

หมายเหตุ:

Ei	คือ ความแรงสนามไฟฟ้า ณ ความถี่ i
El, i	คือ ระดับขีดจำกัด ณ ความถี่ i
Hj	คือ ความแรงสนามแม่เหล็ก ณ ความถี่ j
Hl,j	คือ ระดับขีดจำกัด ณ ความถี่ j
c	มีค่าเท่ากับ $610/f$ V/m (f มีหน่วยเป็น MHz) สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน และมีค่าเท่ากับ $87/f^{1/2}$ V/m สำหรับกลุ่มผู้ที่ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป
d	มีค่าเท่ากับ $1.6/f$ A/m (f มีหน่วยเป็น MHz) สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน และมีค่าเท่ากับ $0.73/f$ สำหรับกลุ่มผู้ที่ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป

ภาคผนวก 2. มาตรฐาน ISO/IEC 17025, ข้อ 5.10 การรายงานผล (Reporting the result)

5.10 การรายงานผล (Reporting the results)

5.10.1 ทั่วไป

ผลของแต่ละการทดสอบ สอบเทียบ หรือแต่ละชุดของการทดสอบ หรือสอบเทียบที่ดำเนินการโดยห้องปฏิบัติ การ ต้องมีการรายงานอย่างถูกต้อง ชัดเจน ไม่คลุมเครือ ตรงตามวัตถุประสงค์ และเป็นไปตามคำแนะนำที่ระบุใด ๆ ในวิธีการทดสอบ หรือสอบเทียบ

ตามปกติผลที่ได้จะต้องรายงานในรูปรายงานผลการทดสอบหรือใบรับรองการสอบเทียบ (ดูหมายเหตุ 1) และต้องรวมถึงข้อมูลทั้งหมดที่ร้องขอโดยลูกค้า และจำเป็นสำหรับการแปลผลทดสอบหรือการสอบเทียบ และข้อมูลทั้งหมดที่จำเป็นตามวิธีการที่ใช้ ตามปกติข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อกำหนดอยู่ในข้อ 5.10.2 และ 5.10.3 หรือ 5.10.4

ในกรณีที่เป็นการทดสอบ หรือสอบเทียบให้แก่ลูกค้าภายใน หรือในกรณีที่มีข้อตกลงเป็นลายลักษณ์อักษรกับลูกค้า การรายงานผลอาจทำโดยวิธีง่ายๆ ข้อมูลใด ๆ ที่ระบุไว้ในข้อ 5.10.2 ถึง 5.10.4 ซึ่งไม่ได้รายงานต่อลูกค้า จะต้องมีไว้พร้อมในห้องปฏิบัติการที่ดำเนินการทดสอบและ/หรือสอบเทียบ

***หมายเหตุ** 1. รายงานผลการทดสอบและใบรับรองการสอบเทียบ บางครั้งอาจถูกเรียกว่าใบรับรองผลการทดสอบและรายงานผลการสอบเทียบตามลำดับ*

***หมายเหตุ** 2. รายงานผลการทดสอบและใบรับรองการสอบเทียบอาจออกโดยการพิมพ์ออกมาเป็นกระดาษ (hard copy) หรือออกโดยการส่งผ่านข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์ในลักษณะที่เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้*

5.10.2 รายงานผลการทดสอบและใบรับรองการสอบเทียบ

รายงานผลการทดสอบหรือใบรับรองการสอบเทียบแต่ละฉบับ อย่างน้อยจะต้องประกอบด้วยข้อมูลดังต่อไปนี้ ยกเว้นกรณีที่ห้องปฏิบัติการมีเหตุผลสมควรที่จะไม่ปฏิบัติตาม

ก) หัวเรื่อง (เช่น “รายงานผลการทดสอบ” หรือ “ใบรับรองการสอบเทียบ”)

ข) ชื่อและที่อยู่ของห้องปฏิบัติการ และสถานที่ที่ทำการทดสอบและ/หรือสอบเทียบ ในกรณีที่อยู่คนละที่กับห้อง ปฏิบัติการ

ค) การชี้บ่งเฉพาะของรายงานผลการทดสอบหรือใบรับรองการสอบเทียบ (เช่น หมายเลขลำดับที่) และมีการชี้บ่งแต่ละหน้า เพื่อให้มั่นใจว่า หน้านั้นเป็นส่วนหนึ่งของรายงานผลการทดสอบหรือใบรับรองการสอบเทียบ และมีการชี้บ่งอย่างชัดเจนถึงการสิ้นสุดรายงานผลการทดสอบหรือใบรับรองการสอบเทียบ

ง) ชื่อและที่อยู่ของลูกค้า

จ) ระบุวิธีที่ใช้

ฉ) รายละเอียดลักษณะ สภาพ และการชี้บ่งอย่างไม่คลุมเครือ ของตัวอย่างที่ทดสอบหรือสอบเทียบ

ช) วันเดือนปีที่รับตัวอย่างทดสอบหรือสอบเทียบ ในกรณีที่วันที่มีผลอย่างยิ่งต่อความใช้ได้และการนำผลทดสอบหรือสอบเทียบไปใช้ และวันเดือนปีที่ทำการทดสอบหรือสอบเทียบ

ซ) มีการอ้างถึงแผนการชักตัวอย่าง และขั้นตอนที่ดำเนินงานโดยห้องปฏิบัติการหรือหน่วยงานอื่นในกรณีที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับความถูกต้องใช้ได้หรือการนำผลทดสอบ/สอบเทียบไปใช้

ฌ) ผลการทดสอบหรือสอบเทียบ พร้อมกับหน่วยของการวัดตามความเหมาะสม

ญ) ชื่อ หน้าที่ และลายมือชื่อ หรือการชี้บ่งอื่นที่เทียบเท่าของบุคคลที่มีอำนาจหน้าที่ในการออกรายงานผลการทดสอบหรือใบรับรองการสอบเทียบ

ฎ) ข้อความที่ระบุว่ารายงานนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบหรือสอบเทียบเท่านั้น แล้วแต่กรณี

***<u>หมายเหตุ</u>** <u>1.</u> รายงานผลการทดสอบ และใบรับรองการสอบเทียบที่พิมพ์ออกมาเป็นกระดาษ ควรมีหมายเลขหน้า และจำนวนหน้าทั้งหมด*

***<u>หมายเหตุ</u>** <u>2.</u> ห้องปฏิบัติการควรระบุข้อความที่ว่า รายงานผลการทดสอบ หรือใบรับรองการสอบเทียบ ต้องไม่ถูกทำสำเนาเฉพาะเพียงบางส่วน ยกเว้นทำทั้งฉบับ โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ*

5.10.3 รายงานผลการทดสอบ

5.10.3.1 นอกจากข้อมูลที่ระบุในข้อ 5.10.2 แล้วรายงานผลการทดสอบ ต้องรวมถึงข้อมูลดังต่อไปนี้กรณีที่จำเป็นต่อการแปลผลการทดสอบ

ก) การเบี่ยงเบนการเพิ่มเติม หรือการละเว้นจากวิธีการทดสอบ และข้อมูลเกี่ยวกับภาวะในการทดสอบเฉพาะ เช่น ภาวะแวดล้อม

ข) ข้อความระบุความเป็นไปตาม/ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด และ/หรือข้อกำหนดรายการแล้วแต่กรณี

ค) ถ้าทำได้ ต้องมีข้อความระบุค่าความไม่แน่นอนของการวัดที่ประมาณการไว้ ข้อมูลเกี่ยวกับค่าความไม่แน่นอนที่จำเป็นในรายงานผลการทดสอบ กรณีที่เกี่ยวข้องกับความถูกต้องใช้ได้หรือการนำผล ทดสอบไปใช้ กรณีที่ลูกค้าต้องการหรือเมื่อค่าความไม่แน่นอนมีผลต่อการเป็นไปตามขีดจำกัดข้อ กำหนดรายการ

ง) ข้อคิดเห็นและการแปลผล (ดูข้อ 5.10.5) ในกรณีที่เหมาะสมและจำเป็น

จ) ข้อมูลเพิ่มเติมที่อาจต้องระบุตามข้อกำหนดของวิธี ตามความต้องการของลูกค้าหรือกลุ่มของลูกค้า

5.10.3.2 นอกจากข้อมูลที่ระบุในข้อ 5.10.2 แล้ว และ 5.10.3.1 รายงานผลการทดสอบที่มีผลของการชักตัวอย่าง จะต้องรวมถึงข้อมูลดังต่อไปนี้ กรณีที่จำเป็นต่อการแปลผลการทดสอบ ดูข้อ 5.10.3.1

ก) วันเดือนปีที่ชักตัวอย่าง

ข) การชี้บ่งอย่างไม่คลุมเครือของสาร วัสดุ หรือผลิตภัณฑ์ที่ชักมาได้ (รวมทั้งชื่อผู้ผลิต รุ่น หรือประเภทของแบบ และหมายเลขลำดับที่ผลิตตามความเหมาะสม)

ค) สถานที่ชักตัวอย่าง รวมถึงแผนผัง แบบร่างหรือภาพถ่ายใดๆ

ง) การอ้างอิงถึงแผนการชักตัวอย่าง และขั้นตอนการดำเนินงานที่ใช้

จ) รายละเอียดของภาวะแวดล้อมใดๆ ระหว่างการชักตัวอย่างที่อาจมีผลกระทบต่อการแปลผลการทดสอบ

ฉ) มาตรฐานใดๆหรือข้อกำหนดอื่นๆ สำหรับวิธีหรือขั้นตอนการชักตัวอย่าง และการเบี่ยงเบน การเพิ่มเติม หรือการไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนดรายการที่เกี่ยวข้อง

5.10.4ใบรับรองการสอบเทียบ

5.10.4.1 ใบรับรองการสอบเทียบจะต้องรวมถึงข้อมูลดังต่อไปนี้ นอกจากข้อมูลที่ระบุให้ใน ข้อ 5.10.2 แล้ว กรณีที่จำเป็นต่อการแปลผลการสอบเทียบ

ก) ภาวะต่าง ๆ (เช่น ภาวะแวดล้อม) ที่สอบเทียบซึ่งมีอิทธิพลต่อผลการวัด

ข) ค่าความไม่แน่นอนของการวัด และ/หรือ ข้อความเกี่ยวกับความเป็นไปตามข้อกำหนดรายการทางมาตรวิทยาที่ระบุหรือข้อใดๆ ของข้อกำหนดรายการนั้น

ค) หลักฐานที่แสดงถึงความสอบกลับได้ของการวัด (ดูหมายเหตุ 2 ข้อ 5.6.2.1.1)

5.10.4.2 ใบรับรองการสอบเทียบต้องรายงานเฉพาะปริมาณ และผลตามรายการที่สอบเทียบ ถ้ามีการระบุข้อ ความเกี่ยวกับความเป็นไปตามข้อกำหนดรายการ จะต้องระบุหมายเลขข้อกำหนดที่สอดคล้อง หรือไม่สอดคล้องด้วย

ในกรณีที่มีการระบุข้อความเกี่ยวกับความเป็นไปตามข้อกำหนดรายการ โดยไม่รายงานค่าผลการวัดและค่าความไม่แน่นอนที่เกี่ยวข้อง ห้องปฏิบัติการจะต้องบันทึกผลต่างๆ เหล่านั้น และเก็บรักษาข้อมูลเหล่า นี้ไว้เพื่อการอ้างอิงได้ในอนาคต

ในกรณีที่มีการระบุข้อความเกี่ยวกับความเป็นไปตามข้อกำหนดรายการ จะต้องนำค่าความไม่แน่นอนของการวัดมาพิจารณาด้วย

5.10.4.3 ในกรณีที่เครื่องมือที่ใช้สอบเทียบมีการปรับแต่งหรือซ่อมแซม ต้องมีการรายงานผลการสอบเทียบทั้งก่อนและหลังการปรับแต่งหรือซ่อมแซม (ถ้ามี)

5.10.4.4 ใบรับรองการสอบเทียบ (หรือป้ายแสดงการสอบเทียบ) จะต้องไม่มีคำแนะนำใดๆ เกี่ยวกับช่วงเวลาการสอบเทียบยกเว้นในกรณีที่ได้มีการตกลงกับลูกค้าไว้ ข้อกำหนดนี้อาจทดแทนได้โดยข้อกำหนดของกฎหมาย

5.10.5 ข้อคิดเห็นและการแปลผล

ในกรณีที่มีการแสดงข้อคิดเห็นและการแปลผลด้วย ห้องปฏิบัติการจะต้องจัดทำเอกสารที่ใช้เป็นพื้นฐานในการแสดงเป็นข้อคิดเห็นและการแปลผล การแสดงข้อคิดเห็นและการแปลผล ต้องทำเครื่องหมายไว้ให้เห็นอย่างชัดเจนในรายงานผลการทดสอบ

หมายเหตุ *1. ข้อคิดเห็นและการแปลผลไม่ควรสับสนกับการตรวจและการรับรองผลิตภัณฑ์ตามวัตถุประสงค์ใน ISO/IEC 17020 และ ISO/IEC Guide 65*

หมายเหตุ *2. ข้อคิดเห็นและการแปลผลที่รวมอยู่ในรายงานผลการทดสอบ อย่างน้อยอาจประกอบด้วยรายละเอียดต่อไปนี้*

- ข้อคิดเห็นเกี่ยวกับข้อความที่ระบุความเป็นไปตาม/ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของผลที่ได้

- ความครบถ้วนตามข้อกำหนดที่ตกลงกันไว้

- ข้อแนะนำในการใช้ผลทดสอบที่ได้

- คำแนะนำเพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุง

หมายเหตุ *3. ในหลายๆ กรณี อาจเป็นการเหมาะสมที่จะสื่อสารข้อคิดเห็นและการแปลผลโดยการพูดคุยกับลูกค้าโดยตรง คำสนทนาดังกล่าวควรมีการจดบันทึกเก็บไว้*

5.10.6 ผลการทดสอบและการสอบเทียบที่ได้จากผู้รับเหมาช่วง

ในกรณีที่รายงานผลการทดสอบรวมผลของการทดสอบที่ดำเนินการโดยผู้รับเหมาช่วงไว้ด้วย ผลเหล่านี้ต้องระบุอย่างชัดเจน ผู้รับเหมาช่วงต้องรายงานผลที่ได้เป็นลายลักษณ์อักษรหรือโดยทางอิเล็กทรอนิกส์

ในกรณีที่การสอบเทียบได้ทำการจ้างเหมาช่วง ห้องปฏิบัติการที่ทำการสอบเทียบจะต้องออกใบรับรองการสอบเทียบให้แก่ห้องปฏิบัติการผู้ทำสัญญาจ้าง

5.10.7 การส่งผลทางอิเล็กทรอนิกส์

ในกรณีที่มีการส่งผลการทดสอบหรือสอบเทียบโดยทางโทรศัพท์ เทเล็กซ์ โทรสาร หรือสื่ออิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ หรืออิเล็กโทรแม็กเนติกส์อื่นๆ จะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ (ดูข้อ 5.4.7 ด้วย)

5.10.8 รูปแบบของรายงานผลและใบรับรองผล

รูปแบบต้องได้รับการออกแบบให้เหมาะกับแต่ละประเภทของการทดสอบหรือสอบเทียบที่ห้องปฏิบัติการดำเนินการ เพื่อลดการเกิดความเข้าใจผิดหรือนำไปใช้ผิดที่อาจเกิดขึ้นได้

***หมายเหตุ** 1. ควรเอาใจใส่ในการวางรูปแบบของรายงานผลการทดสอบหรือใบรับรองการสอบเทียบ โดยเฉพาะต้องคำนึงถึงการนำเสนอข้อมูลการทดสอบหรือสอบเทียบ และให้ง่ายต่อ การทำความเข้าใจโดยผู้อ่าน*

***หมายเหตุ** 2. หัวเรื่องควรเป็นรูปแบบมาตรฐานเท่าที่สามารถทำได้*

5.10.9 การแก้ไขรายงานผลการทดสอบและใบรับรองการสอบเทียบ

การแก้ไขข้อความในรายงานผลการทดสอบหรือใบรับรองการสอบเทียบที่ได้ออกไปแล้ว ต้องทำโดยการออกเอกสารเพิ่มเติมเท่านั้น หรือโดยการถ่ายโอนข้อมูล ซึ่งต้องมีข้อความดังนี้อยู่ด้วย “รายงานเพิ่มเติมของรายงานผลการทดสอบ (หรือใบรับรองการสอบเทียบ) หมายเลขลำดับ…….. (หรือตามที่ระบุเป็นอย่างอื่น)” หรือข้อความอื่นที่เทียบเท่า การแก้ไขดังกล่าวต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้

ในกรณีที่จำเป็นต้องออกรายงานผลการทดสอบหรือใบรับรองการสอบเทียบฉบับที่สมบูรณ์ใหม่ กรณีนี้จะต้องชี้บ่งเฉพาะและต้องมีการอ้างอิงถึงเอกสารต้นฉบับเดิมที่ออกแทนด้วย

ภาคผนวก 3. ความไม่แน่นอนจากการวัด (Measurement Uncertainty)

1. บทนำ

การประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานทางสถิติ และ ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการวัดรวมถึงเครื่องมือวัดเป็นอย่างดี วิธีการประเมินค่าความไม่แน่นอนที่ใช้กันในปัจจุบัน คือ การวิเคราะห์ตัวแปรอินพุทร่วมกับค่าความไม่แน่นอนต่างๆ ที่เกิดจากการวัด อย่างไรก็ตาม ค่าความไม่แน่นอนนี้สามารถทำให้ลดลงได้โดยการนำเอาระเบียบวิธีการทางมาตรวิทยามาใช้ ซึ่งจะจำกัดเพียงการประเมินสเปกตรัมความถี่บางความถี่เฉพาะความถี่ที่สนใจภายใต้การตรวจสอบ และบางช่วงของตัวแปรอินพุทด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ด้วยเหตุนี้ จึงจำเป็น ต้องมีการเพิ่มข้อมูลทางสภาวะแวดล้อมและระบบการวัดที่เหมาะสม โดยการใช้ข้อกำหนดจำเพาะทางทฤษฎี และคุณ ลักษณะของตัวประกอบการสอบเทียบของโพรบวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า วัตถุประสงค์ คือ เพื่อนำเอาแนวความคิดทางมาตรวิทยาบางส่วนมาใช้ และนำมาเป็นตัวอย่างการนำมาใช้จริงของการคำนวณค่าความไม่แน่นอนที่เกี่ยวกับการวัดสนาม แม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง โดยใช้ไอโซโทรปิก บอร์ดแบนด์โพรบร่วมกับเครื่องมือวัดวิเคราะห์สนามไฟฟ้าและสนาม แม่เหล็กแบบเลือกความถี่ได้

1. คำจำกัดความ (Definitions)

1.1 มาตรวิทยา (Metrology) หมายถึง ศาสตร์แห่งการวัด หรือวิชาที่ว่าด้วยเรื่องของการวัด ไม่ว่าจะเป็นสาขาใดก็ตาม เป็นการวัดที่รวมเอาทั้งทฤษฎีและทุกมิติของการปฏิบัติมาประยุกต์ใช้ เพื่อให้สามารถวัดได้อย่างถูกต้องตามต้อง การ และสามารถรายงานค่าของผลการวัดได้ โดยการรายงานนั้นได้รวมเอาการประเมินความไม่แน่นอนของการวัดไว้ด้วย

1.2 ความไม่แน่นอนของการวัด หมายถึง พารามิเตอร์ที่ร่วมมากับผลของการวัดที่บอกลักษณะการกระจายของค่า ซึ่งสามารถอ้างได้อย่างสมเหตุสมผลว่าเป็นของปริมาณที่ถูกวัดนั้น (Parameter, associated with the result of a measurement, that characterizes the dispersion of the values that could reasonably be attributed to the Measurand : VIM 3.9)

1.3 การสอบเทียบ คือ "ชุดของการดำเนินการเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ชี้บอกโดยเครื่องมือวัดหรือระบบการวัด หรือค่าที่แสดงโดยเครื่องวัดที่เป็นวัสดุกับค่าสมนัยที่รู้ของปริมาณที่วัดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้" (Set of operations that establish, under specified conditions, the relationship between values of quantities indicated by a measuring instrument or measuring system, or values represented by a material measure or a reference material, and the corresponding values realized by standards: VIM 6.11)

1.4 ความสามารถสอบกลับได้ (Traceability) หมายถึง "สมบัติของผลการวัดที่สามารถโยงไปกับมาตรฐานแห่งชาติที่เป็นที่ยอมรับโดยการเปรียบเทียบกันอย่างไม่ขาดช่วงเป็นลูกโซ่ และจะต้องรายงานค่าความไม่แน่นอนของการวัดไว้ด้วย" (Property of the result of a measurement or the value of a standard whereby it can be related to state references, usually national or international standards, through an unbroken chain of comparisons all having state uncertainties: VIM 6.10)

1.5 การวัด (Measurement) คือ ชุดของการปฏิบัติการที่มีความมุ่งหมาย เพื่อตัดสินค่าของปริมาณอันหนึ่ง

1.6 สิ่งที่ถูกวัด (Measurand) คือ ปริมาณจำเพาะใดๆ ที่ถูกนำมาวัด

1.7 ความสามารถซ้ำกันได้ (Repeatability) คือ ความใกล้เคียงของการเป็นไปตามกันระหว่างผลการวัดหลายๆ ครั้งของปริมาณเดียวกัน ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน

1.8 ความถูกต้องของการวัด (Accuracy of measurement) คือ ความใกล้เคียงของผลการวัดกับค่าจริงของสิ่งที่ถูกวัด

1.9 ความแม่นยำ (Precision) คือ ความใกล้เคียงของผลการวัดที่ทำซ้ำๆ กัน

1.10 ความคลาดเคลื่อนของการวัด (Error of measurement) คือ ผลการวัดลบด้วยค่าจริงของสิ่งที่ถูกวัด

1.11 ค่าจริง (Conventional true value) คือ ค่าจริงที่เป็นที่ตกลงยอมรับกันวาสมีความไม่แน่นอนที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

1.12 ค่าแก้ (Correction) คือ ค่าที่บวกทางพีชคณิตเข้ากับผลการวัดที่ยังไม่ได้แก้แล้ว จะสามารถชดเชยความคลาด เคลื่อนระบบ

1.13 ค่าความคลาดเคลื่อนสุ่ม (Random error) คือ ผลการวัดครั้งใดๆ ลบด้วยค่ากลางของผลการวัดที่ซ้ำกันมากมายของสิ่งที่ถูกวัดเดียวกัน

1.14 ค่าความคลาดเคลื่อนระบบ (Systematic error) คือ ค่ากลางของผลการวัดที่ซ้ำๆ กันอย่างมากมายของสิ่งที่ถูกวัดเดียวกันลบด้วยค่าจริงของสิ่งที่ถูกวัดนั้น

2. ความไม่แน่นอนในการวัด

ความไม่แน่นอนของการวัด คือ สิ่งที่ชี้บอกความไม่สมบูรณ์ในความรู้ของปริมาณที่ถูกวัด ความไม่แน่นอนของการวัดเกิดขึ้นทุกครั้งในการถ่ายทอดความถูกต้องของการวัด ไม่ว่าจะเป็นขั้นตอนไหนของความสามารถสอบกลับได้ ซึ่งในแต่ละระดับของการวัดจะเกิดความไม่แน่นอนของการวัดสะสมขึ้นเรื่อยๆ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสามารถในการถ่ายทอดการวัดของแต่ละห้องปฏิบัติการ ความไม่แน่นอนอาจเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น วิธีการวัด เครื่องมือวัด ผู้ปฏิบัติการ และสภาวะแวดล้อมในการวัด เป็นต้น ความไม่แน่นอนของการวัดจะต้องคำนวณโดยวิธีที่เป็นที่ยอมรับอย่างเป็นสากล และโดยทั่วไปจะต้อง

รายงานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% การคำนวณความไม่แน่นอนของการวัด ในแต่ละขั้นตอนของการถ่ายทอดความถูกต้องนั้น จะต้องจัดทำไว้เป็นเอกสาร เพื่อให้สามารถทวนสอบความถูกต้องได้โดยผู้เกี่ยวข้อง

เพื่อเป็นการยืนยันความสามารถสอบกลับได้ของการวัด ค่าความไม่แน่นอนของการวัดจะถูกรายงานร่วมกับค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดในใบรายงานผลการสอบเทียบโดยห้องปฏิบัติการสอบเทียบ และค่าที่รายงานนี้จะเป็นจริงก็เฉพาะ ณ เวลาที่ทำการสอบเทียบและภายใต้เงื่อนไขของการสอบเทียบที่ระบุเท่านั้น การใช้เครื่องมือวัดภายใต้เงื่อนไขเดียว กันกับผลการสอบเทียบ แต่ในเวลาที่ต่างออกไป หรือยิ่งกว่านั้นคือการใช้เครื่องมือวัดในเงื่อนไขที่ต่างออกไปจากผลการสอบเทียบก็จะยิ่งทำให้ค่าความคลาดเคลื่อน และความไม่แน่นอนของการวัดยิ่งมีค่ามากเกินกว่าที่ระบุไว้ในรายงานผลการสอบเทียบ ซึ่งบางครั้งอาจจะเกินกว่าที่จะยอมรับได้

ค่าความไม่แน่นอนของการวัดที่ระบุไว้ในใบรายงานผลการสอบเทียบ จะได้รับการยอมรับว่ามีความสัมพันธ์กับมาตรฐานแห่งชาติได้ก็ต่อเมื่อใบรายงานผลการสอบเทียบนั้นออกให้โดยห้องปฏิบัติการ ที่สามารถแสดงความสามารถโดยผ่านกระบวนการรับรองความสามารถโดยองค์กรที่เป็นที่ยอมรับระหว่างประเทศ บางครั้งใบรายงานผลการสอบเทียบจะรายงานความเป็นไปตามข้อกำหนดจำเพาะทางมาตรวิทยาของปริมาณที่ถูกวัด ในกรณีเช่นนี้ค่าที่วัดได้เมื่อรวมกับความไม่แน่นอนของการวัดจะต้องไม่ขยายไปเกินกว่าขีดจำกัด หรือเกณฑ์ยอมรับที่ระบุของปริมาณที่ถูกวัดนั้นๆ ความไม่แน่นอนของการวัดคือสิ่งที่บอกได้ถึงคุณภาพของผลการวัดว่ามีความน่าเชื่อถือได้ดีเพียงใด การรายงานความไม่แน่นอนของการวัดจะต้องรายงานพร้อมกับผลของการวัดเสมอ เพื่อที่จะให้เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดกับข้อกำหนดจำเพาะหรือมาตรฐาน หรือเกณฑ์ยอมรับสำหรับสิ่งที่ถูกวัด

เป็นที่ยอมรับกันว่าการวัดทุกครั้งมีความคลาดเคลื่อน (Error) เกิดขึ้นเสมอ ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ผลการวัดมีความแตกต่างจากค่าจริงของสิ่งที่ถูกวัด (True Value) และความไม่แน่นอนของการวัดส่วนหนึ่งได้มาจากการกระจายค่าของผลการวัดนั้นๆ เมื่อทำการวัดหลายๆ ครั้ง มีแนวคิดหลากหลายที่ใช้แสดงความน่าเชื่อถือได้ของผลการวัด อย่างไรก็ตามก็มีความยากลำบากในการใช้วิธีประเมินความน่าเชื่อถือได้ที่ต่างๆ กันเหล่านั้น ในปี ค.ศ. 1990 องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ (International Standardization Organization, ISO) ร่วมกับ สำนักงานชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (BIPM) ได้แนะนำให้ใช้ความไม่แน่นอนของการวัดเป็นมาตรการในการบอกความน่าเชื่อถือของผลการวัด และได้เสนอแนวทางในการประเมินความไม่แน่นอนของการวัด คือ Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) ซึ่งมีแนวคิดดังนี้

ปริมาณที่ถูกวัด "Y" ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการวัดจะขึ้นอยู่กับปริมาณอินพุทที่เกี่ยวข้องในกระบวนการวัด $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n$

$$Y = f(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n)$$

ในทางปฏิบัติไม่สามารถทราบค่าที่แท้จริงของปริมาณอินพุทเหล่านั้นได้ ปริมาณอินพุทที่เกี่ยวข้องกับกระบวน การวัดจะมีความไม่แน่นอนติดมาด้วยเสมอ ดังนั้นผลการวัด "Y" จึงเป็นเพียงค่าประมาณ "y" พร้อมกับความไม่แน่นอนของการวัดที่เกิดจากปริมาณอินพุทเหล่านั้นด้วย ในการรายงานผล ปริมาณที่ถูกวัดจะอยู่ในรูป

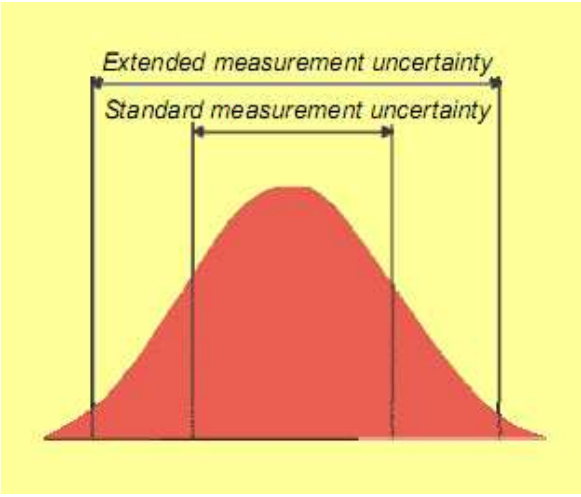
$$Y = y \pm U$$

โดยความไม่แน่นอน "U" ได้มาจากการประเมินองค์ประกอบรวมทั้งหมดของความไม่แน่นอนในรูปแบบที่เป็น Type A และ Type B การประเมิน Type A เป็นผลมาจากการประเมินทางสถิติที่อยู่ในรูปของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการประเมิน Type B จะใช้วิธีอื่นๆ ที่มิใช่การประเมินทางสถิติ ซึ่งอยู่ในรูปของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้มาจากใบรับรองการสอบเทียบ หรือข้อกำหนดจำเพาะของเครื่องมือ เป็นต้น

3. ความไม่แน่นอนจากการวัดแบบมาตรฐาน และแบบเชิงกว้าง (Standard Measurement Uncertainty and Extended Measurement Uncertainty)

ความไม่แน่นอนจากการวัดแบบมาตรฐาน คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ในการกระจายตัวของปริมาณการวัด

ความไม่แน่นอนจากการวัดแบบเชิงกว้าง คือ ภายในช่วงปริมาณการวัดที่มีการกำหนดค่าความน่าจะเป็น (Probability) ซึ่งโดยทั่วไปจะกำหนดไว้ที่ระดับความเชื่อมั่น (Confidence interval) 95% ในกรณีที่มีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ (Normal Distribution) ความไม่แน่นอนแบบเชิงกว้างจะมีค่าเท่ากับ 1.96 เท่าของความไม่แน่นอนแบบมาตรฐาน หรือสองเท่าโดยประมาณ โดยค่าความไม่แน่นอนในการวัดแบบเชิงกว้างจะถูกนำมาใช้เป็นค่าประเมิน แสดงในตัวรายงานผลการวัด



รูปที่ 24 - แสดงการแจกแจงแบบปกติของความไม่แน่นอนแบบมาตรฐานและแบบเชิงกว้าง

หากความไม่แน่นอนของการวัดมีการแจกแจงแบบปกติ ความน่าจะเป็นที่จะมีการวัดเบี่ยงเบนอยู่ภายในช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ซึ่งเท่ากับ 67% และ ความน่าจะเป็นที่การวัดมีการเบี่ยงเบนอยู่ภายในช่วง 2 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) หรือเท่ากับ 95%

การคำนวณความไม่แน่นอนจากการวัดแบบมาตรฐานดังสมการด้านล่าง

$$u = \sqrt{\sum_q u_q^2} = \sqrt{\sum_q \left[\frac{U_q}{k_q}\right]^2}$$

โดยที่ u = ค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบมาตรฐาน %

uq = ค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบมาตรฐานของแต่ละปัจจัยที่มีผลกระทบ q %

U = ค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบเชิงกว้าง %

Uq= ค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบเชิงกว้างของแต่ละปัจจัยที่มีผลกระทบ q %

kq = ตัวหารสำหรับลดปัจจัยที่มีผลกระทบ q ต่อค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบมาตรฐาน

ข้อมูลความไม่แน่นอนที่กำหนดไว้ในใบรับรองการสอบเทียบมักจะเป็นที่เข้าใจโดยทั่วไปว่าเป็นค่า 95% ของการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) ตัวหารการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบมาตรฐานในกรณีดังกล่าวเป็น kq เท่ากับ 2

ความไม่แน่นอนที่กำหนดใน สเปคของเครื่องมือวัดใน Data sheet มักจะพิจารณาว่าเป็นการกระจายตัวแบบรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular distribution) ซึ่งตัวหารการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบมาตรฐานในกรณีดังกล่าวเป็น kq เท่ากับ $\sqrt{3}$

การกระจายแบบรูปตัว U (U-Shaped distribution) ถูกสมมุติเป็นรูปแบบค่าความไม่แน่นอนเนื่องจาก Mismatch ซึ่งตัวหารการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบมาตรฐานในกรณีดังกล่าวเป็น kq เท่ากับ $\sqrt{2}$

4. การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด

4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความไม่แน่นอนในการวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

$$U_c = u(MEA_{RE}) + u(IP_{CF}) + u(IP_{FR}) + u(IP_L) + u(M_{FR}) + u(M_R) + u(C_L)$$

โดยที่

$u(MEA_{RE})$ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากลางของผลการวัดซ้ำจากการทดลอง สามารถหาได้จากการทดลองโดยการวัดซ้ำจำนวน 5 ครั้ง

$u(IP_{CF})$ คือ ค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจาก ค่าตัวประกอบแก้ไข (Correction factor) ของไอโซโทรปิกบอร์ดแบนด์โพรบที่ได้จากการสอบเทียบ

$u(IP_{FR})$ คือ ค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจาก ค่าผลตอบสนองทางความถี่ (Frequency response) ของ ไอโซโทรปิกบอร์ดแบนด์โพรบที่ได้จากการสอบเทียบ

$u(IP_L)$ คือ ค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากค่าความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ของไอโซโทรปิก บอร์ดแบนด์โพรบที่ได้จากการสอบเทียบ

$u(M_{FR})$ คือ ค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจาก ค่าผลตอบสนองทางความถี่ (Frequency response) ของเครื่องมือวัดวิเคราะห์สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กแบบเลือกได้จากการสอบเทียบ

$u(M_R)$ คือ ค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจาก ค่าความสามารถในการแยกชัด (Resolution) ของเครื่องมือวัดวิเคราะห์สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กแบบเลือกได้ ได้จากการคุณลักษณะจำเพาะของเครื่องมือ

$u(C_L)$ คือ ค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจาก ค่าความสูญเสียในสายตัวนำ (Cable loss) ของสายได้จากการสอบเทียบ

4.2 ค่าความไม่แน่นอนรวม U_C

4.2.1 ค่าความไม่แน่นอนรวม (Combine Uncertainty) เป็นการนำค่าความไม่แน่นอนจากสาเหตุต่างๆนำมารวม กันแบบ Root Sum Square ดังสมการ

$$U_c = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} U_i^2(x_i)}$$

4.2.2 การคำนวณหาค่าตัวประกอบ Coverage factor K_P

การคำนวณหาค่าตัวประกอบร่วมจากสมการ **Welch-Satterthwaite Equation**

$$V_{eff} = \frac{U_c^4(y)}{\sum_{i=1}^{n} \frac{U_i^4(y)}{V_i}}$$

Veff	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16
k_{95}	13.97	4.53	3.31	2.87	2.65	2.52	2.43	2.37	2.28	2.23	2.20	2.17

Veff	18	20	25	30	35	40	45	50	60	80	100	α
k_{95}	2.15	2.13	2.11	2.09	2.07	2.06	2.06	2.05	2.04	2.03	2.02	2.00

ตารางที่ 3 - Coverage k factor for difference effective degreed of freedom V_{eff} ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยไอโซโทรปิกบอร์ดแบนด์โพรบร่วมกับเครื่องมือวัดวิเคราะห์สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กแบบเลือกได้

Symbol	Source of Uncertainty	Value (dB)	Probability distribution	Division	C_i	Ui(y)	Vi or Veff
IP_{CF}	Correction factor of probe		Normal	2.0	1.0		∞
IP_{FR}	Frequency response of probe		Normal	2.0	1.0		∞
IP_{L}	Linearity of probe		Normal	2.0	1.0		∞
M_{FR}	Frequency response of meter		Normal	2.0	1.0		∞
M_{R}	Resolution of meter		Rectangular	1.732	1.0		∞
C_{L}	Cable loss		Normal	2.0	1.0		∞
MEA_{RE}	Repeatability of measurement		Normal	1.0	1.0		4
U (Ax)	Combined standard uncertainty		Normal				
U	Expanded uncertainty		Normal(k=2)				

ตารางที่ 4 - แสดงปัจจัยความไม่แน่นอน (Uncertainty budget) ของการวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ภาคผนวก 4. ตัวอย่างรายงานผลการตรวจวัดการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่

รายงานผลการตรวจวัด

การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่

บริเวณที่ทำการตรวจวัด : เขตสัมพันธวงศ์
กรุงเทพมหานคร

วันที่ดำเนินการตรวจวัด : 01 เมษายน 2554

วันที่ออกรายงาน : 02 เมษายน 2554

ดำเนินการตรวจวัดโดย : _____
(นางสาวชญาดา มะลินิน)
วิศวกร

จัดทำรายงานโดย : _____
(นายมนัส เชื้อสุวรรณ)
วิศวกรอาวุโส

รับรองผลโดย : _____
(นายศิรสิทธิ์ ภานุพรประพงศ์)
ผู้จัดการโครงการ

สารบัญ

1. บทนำ ..... **- 1 -**

2. วัตถุประสงค์ ..... **- 1 -**

3. หน่วยตรวจวัด ..... **- 1 -**

4. สถานที่ดำเนินการตรวจวัด ..... **- 1 -**

5. มาตรฐานและหน่วยที่ใช้ในการตรวจวัด ..... **- 3 -**

6. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด ..... **- 3 -**

7. การวัดระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ..... **- 4 -**

8. ผลการวัดระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ..... **- 5 -**

9. วิเคราะห์และสรุปผล ..... **- 5 -**

ภาคผนวก ก – ภาพแสดงตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด .....

ภาคผนวก ข – ภาพสเปกตรัมแสดงผลการวัดระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเปรียบเทียบกับขีดจำกัดตามมาตรฐาน .....

ภาคผนวก ค – Calibration Report .....

1. บทนำ

รายงานฉบับนี้เป็นรายงานสรุปผลการตรวจวัดระดับความแรงของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีฐานระบบโทรศัพท์ เคลื่อนที่ทุกระบบทุกเครือข่ายที่ให้บริการในประเทศไทย ในบริเวณพื้นที่ทั่วไป ในบริเวณสถานีฐาน **ท่าเรือราชวงศ์ - เขตสัมพันธวงศ์** โดยดำเนินการวัดที่ระดับความสูงเทียบเท่ากับระดับความสูงของมนุษย์ที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่ติดตั้งสายอากาศ โดยได้กำหนดจุดวัดขึ้นเป็น 9 จุด ที่ระดับความสูง 1.1 , 1.5 และ 1.7 เมตร

การตรวจวัดในบริเวณพื้นที่ทั่วไปนั้นจะทำการวัดแบบ Single Source แล้วนำค่าที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานทางด้านความปลอดภัยของการแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อมนุษย์ตามข้อกำหนดของกฎหมายโทรคมนาคม ซึ่งประกาศโดยสำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ กทช. มท. 5001-2550 หรือเทียบเท่ากับมาตรฐาน International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) สำหรับผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไปที่อาศัยในบริเวณใกล้กับเสาส่งสัญญาณ

2. วัตถุประสงค์

1) เพื่อดำเนินการวัดระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่จากสถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในบริเวณพื้นที่ทั่วไป โดยดำเนินการวัดที่ระดับความสูงเทียบเท่ากับระดับความสูงของมนุษย์ที่อาศัยอยู่ในบริเวณติดตั้งสายอากาศตามที่มาตรฐานสากลกำหนด

2) เพื่อเปรียบเทียบผลการวัดระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่จากสถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในบริเวณพื้นที่ทั่วไป กับค่ามาตรฐานทางด้านความปลอดภัยของการแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อมนุษย์

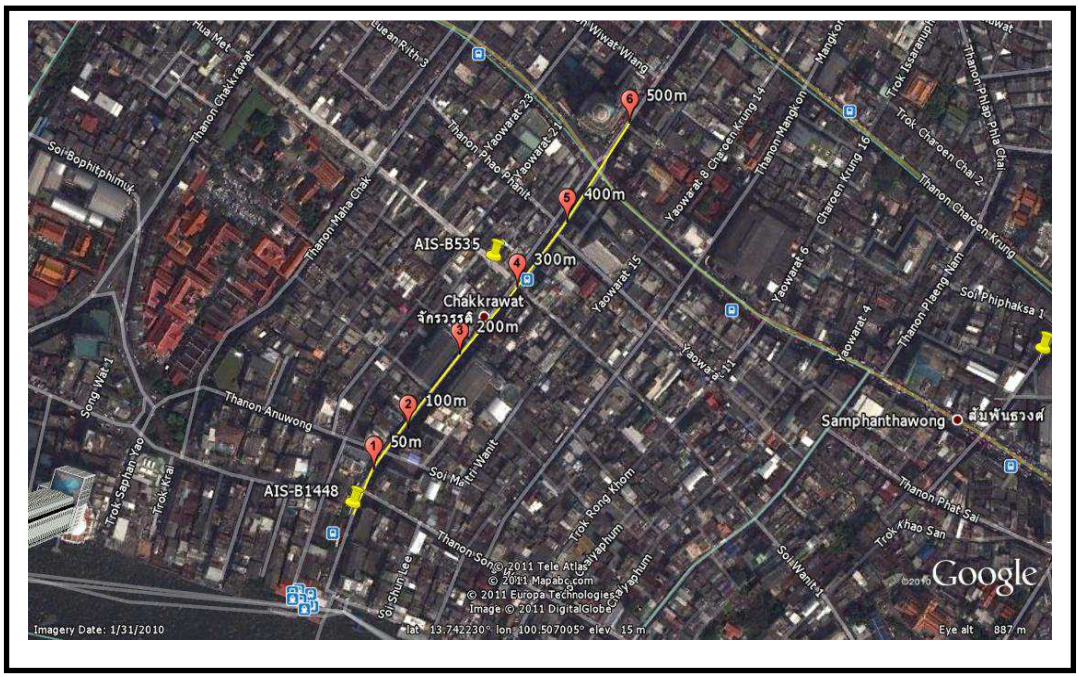
3. หน่วยตรวจวัด

ชื่อบริษัท :	บริษัท มายคอม อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด
ที่อยู่ :	86 วิน วิน ทาวเวอร์ ชั้น 6 ถ.รัชดาภิเษก แขวงจันทรเกษม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
เบอร์ติดต่อ :	02 9306900

4. สถานที่ดำเนินการตรวจวัด

บริเวณที่ทำการตรวจวัด :	บริเวณพื้นที่ทั่วไป
ชื่อสถานีฐาน :	ท่าเรือราชวงศ์
หมายเลขสถานีฐาน :	**EMF-013**
ผู้ให้บริการ :	AIS
ประเภทสถานีฐาน :	☐ Pole ☐ Tower ☒ Guy Mast ☐ Wall Mount
ระยะพิกัด :	ลองจิจูด : 100.50472 ละติจูด : 13.739366
ที่อยู่ :	เลขที่ 254-256 ถนนราชวงศ์เขตสัมพันธวงศ์ กรุงเทพมหานคร
ความสูงเสาอากาศ :	60 เมตร
กำลังส่ง :	19.95 วัตต์
อัตราขยายของสายอากาศ:	17 dB

รูปที่ 1 – รูปถ่ายของสถานีฐานที่ทำการตรวจวัด



รูปที่ 2 – แผนที่แสดงจุดของตำแหน่งการวัดจากสถานีฐานไปยังตำแหน่งอ้างอิง 500 เมตร

5. มาตรฐานและหน่วยที่ใช้ในการตรวจวัด

5.1 มาตรฐานที่ใช้ในการตรวจวัด

1) กทช. มท. 5001-2550 : มาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม

มาตรฐานนี้กำหนดขีดจำกัดและวิธีการวัดสำหรับการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของมนุษย์ จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคมในย่านความถี่วิทยุ 9 kHz – 300 GHz สำหรับใช้เป็นแนวทางในการกำกับดูแลการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม และการตั้งสถานีวิทยุคมนาคม เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับสุขภาพของมนุษย์จากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่จากเครื่องวิทยุคมนาคม โดยที่มาตรฐานนี้ไม่ครอบคลุมถึงการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระหว่างขั้นตอนการรักษาทางการแพทย์

2) มาตรฐาน ICNIRP : International Commission on Non-Ionizing Radiating Protection

ขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคมในย่านความถี่ 9 kHz -300 GHz ได้อ้างอิงขีดจำกัดตามเอกสาร ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz) (1998) ซึ่งจัดทำโดย International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)

5.2 หน่วยที่ใช้ในการตรวจวัด

Item	Description	Unit
1	ระยะห่าง (Distance)	เมตร (m), กิโลเมตร (km)
2	ความถี่ (Frequency)	เฮิร์ต (Hz)
3	ความเข้มสนามไฟฟ้า (Electric Field Strength)	โวลต์ต่อเมตร (V/m)
4	ความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Strength)	แอมแปร์ต่อเมตร (A/m)
5	ความหนาแน่นกำลัง (Power Density)	วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

ตารางที่ 1 – หน่วยที่ใช้ในการตรวจวัด

6. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

Item	Description	Brand	Model	Freq Range	Qty
1	Selective Radiation Meter	Narda	SRM-3006	9 kHz – 6 GHz	1
2	Isotropic Antenna (Three axis)	Narda	SRM-3501	27 MHz – 3 GHz	1
3	RF Cable SRM	Narda	SRM-3602	9 kHz – 6 GHz	1
4	GPS	Garmin	GPS12	N/A	1
5	Digital Camera	Canon	PowerShot A460	N/A	1
6	Measuring Wheel	Rotosure	Professional	N/A	1

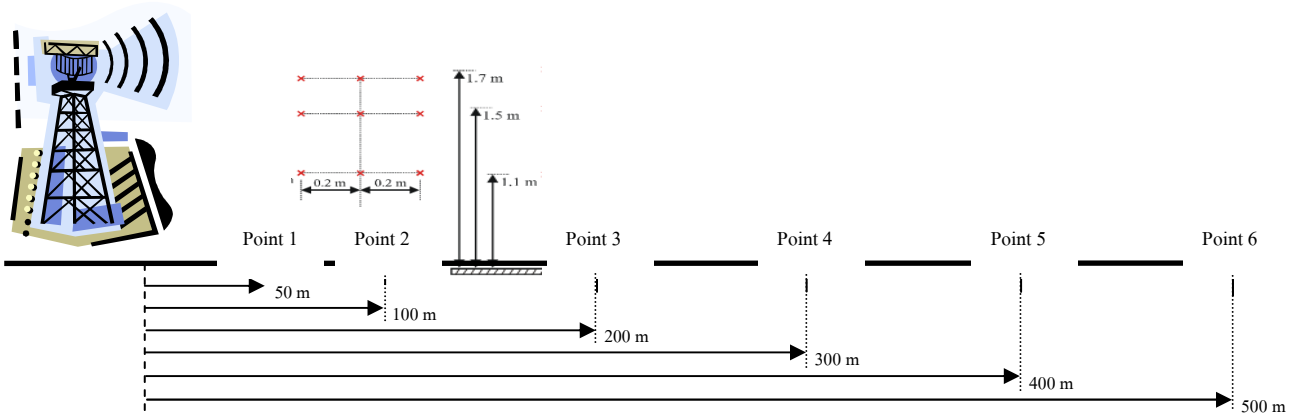
ตารางที่ 2 – เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

7. การวัดระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ในการวัดระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่จากสถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในบริเวณพื้นที่ทั่วไป จะใช้เครื่องมือตรวจวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบ 3 แกน (Three axis sensor) ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งสามารถทำการตรวจวัดได้ทั้งสนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้พร้อมกันทั้ง 3 แกน (X, Y และ Z) ในพิกัดทรงกลม (Spherical Co-ordinate) ซึ่งสามารถทำการวัดได้ในช่วงความถี่ 9 kHz ถึง 6 GHz

รูปที่ 3 – เครื่องมือตรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า SRM

ในการวัดระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในบริเวณพื้นที่ทั่วไป (บริเวณพื้นที่ทั่วไป หมายถึง บริเวณที่ทำการติดตั้งสถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั่วไป ซึ่งไม่มีประเด็นการฟ้องร้องมายังสำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ) จะทำการตรวจวัดแบบ Single Source ซึ่งก็คือการวัดระดับความแรงของคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดที่แรงที่สุดเพียงแหล่งเดียว โดยจะทำการวัดในทิศทางที่สายอากาศของสถานีฐานหันไปในแนวราบตั้งแต่ระยะ 5 เมตรถึง 500 เมตร โดยดำเนินการวัดที่ระดับความสูงเทียบเท่ากับระดับความสูงของมนุษย์ที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่ติดตั้งสายอากาศ โดยได้กำหนดจุดวัดขึ้นเป็น 9 จุด ที่ระดับความสูง 1.1 , 1.5 และ 1.7 เมตร เพื่อหาผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 4 ตามมาตรฐาน กทช. มท. 5001-2550 และมาตรฐาน ITU-T Recommendation K.61 (2003)



รูปที่ 4 – แสดงการตรวจวัดระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าบริเวณพื้นที่ทั่วไป

8. ผลการวัดระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ผลการวัดระดับความหนาแน่นกำลังของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่จากสถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในบริเวณพื้นที่ทั่วไป บริเวณ **ท่าเรือราชวงศ์ - เขตสัมพันธวงศ์** มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3 โดยผลการวัดในแต่ละตำแหน่งได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับขีดจำกัดความหนาแน่นกำลังของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามมาตรฐาน กทช. มท. 5001-2550 และ ICNIRP สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป

ระยะการวัด	ค่าความหนาแน่นกำลังของสนาม แม่เหล็กไฟฟ้า (W/m^2)	ค่าขีดจำกัดความหนาแน่นกำลังของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามมาตรฐาน (W/m^2)	ค่าความหนาแน่นกำลังของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเทียบกับค่ามาตรฐาน (%)
28 เมตร	0.000159139	4.7267	0.0034
84 เมตร	0.001545478	4.7267	**0.0327**
174 เมตร	0.000667922	4.7267	0.0141
300 เมตร	0.000204685	4.7267	0.0043
332 เมตร	0.000229787	4.7267	0.0049
449 เมตร	0.000343926	4.7267	0.0073

ตารางที่ 3 – แสดงผลการวัดระดับความหนาแน่นกำลังของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเปรียบเทียบกับขีดจำกัดตามมาตรฐาน ICNIRP

9. วิเคราะห์และสรุปผล

ระดับความหนาแน่นกำลังของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่วัดได้เปรียบเทียบกับขีดจำกัดตามมาตรฐานของ ICNIRP

ผลการวัดความหนาแน่นกำลังของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่จากสถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในบริเวณพื้นที่ทั่วไป บริเวณ **ท่าเรือราชวงศ์ - เขตสัมพันธวงศ์** ในตารางที่ 3 พบว่า มีระดับความหนาแน่นกำลังของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุดเป็น **0.001545478 W/m^2 ณ ตำแหน่ง 84 เมตร** เมื่อนำค่าระดับความหนาแน่นกำลังของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่วัดได้ ณ ตำแหน่งนี้ไปคำนวณเพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน กทช. มท. 5001-2550 และ ICNIRP โดยใช้ขีดจำกัดความหนาแน่นกำลังของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป (general public exposure)

ผลที่ได้จากการคำนวณมีค่าเป็น 0.0327% เทียบกับค่ามาตรฐาน ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานมาก **ซึ่งแสดงว่าผู้ที่ปฏิบัติงานและผู้อาศัยอยู่ในบริเวณติดตั้งสถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ยังมีความปลอดภัยและไม่ได้รับผลของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกจากเสาส่งของสถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่**

ภาคผนวก ก – ภาพแสดงตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด

ช่วงที่ 1 ระยะระหว่าง 5-50 เมตร ที่จุด 28 เมตร

ช่วงที่ 2 ระยะระหว่าง 51-100 เมตร ที่จุด 84 เมตร

ช่วงที่ 3 ระยะระหว่าง 101-200 เมตร ที่จุด 174 เมตร

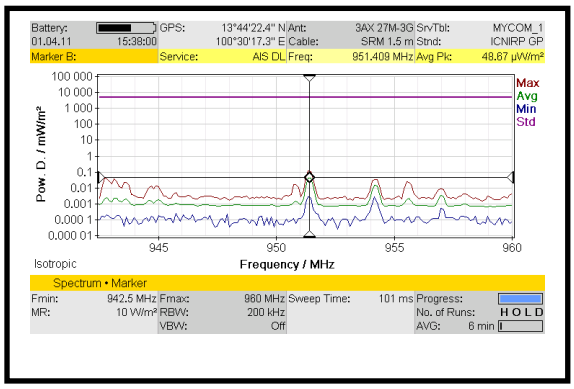
ช่วงที่ 4 ระยะระหว่าง 201-300 เมตร ที่จุด 300 เมตร

ช่วงที่ 5 ระยะระหว่าง 301-400 เมตร ที่จุด 332 เมตร

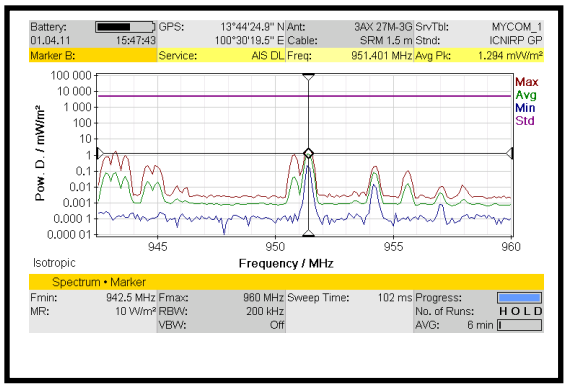
ช่วงที่ 6 ระยะระหว่าง 401-500 เมตร ที่จุด 449 เมตร

รูปที่ 5.1-5.6 – แสดงรูปถ่ายในตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดในช่วงระยะต่างๆ

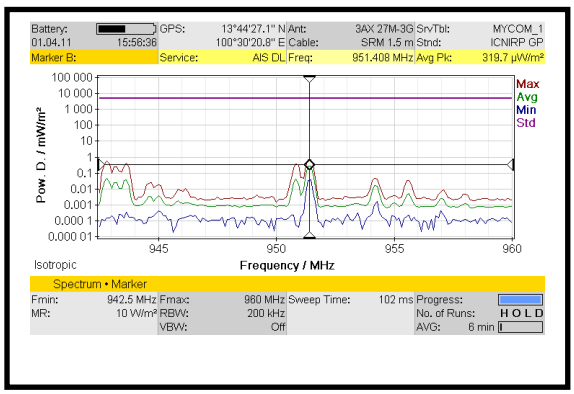
ภาคผนวก ข – ภาพสเปกตรัมแสดงผลการวัดระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเปรียบเทียบกับขีดจำกัดตามมาตรฐาน กทช. มท. 5001-2550 และ ICNIRP



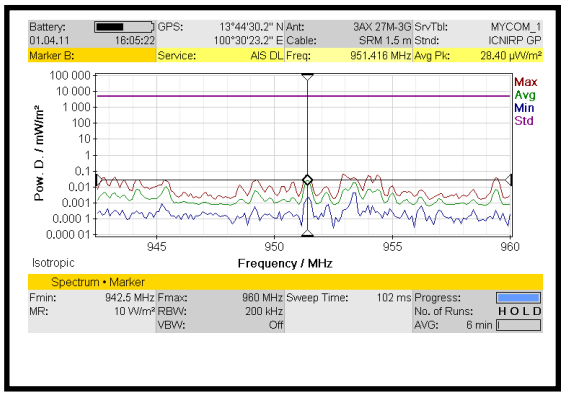
รูปที่ 6 – แสดงสเปกตรัมความหนาแน่นกำลังของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุดที่ระยะ 5-50 เมตร ที่จุด 28 เมตร



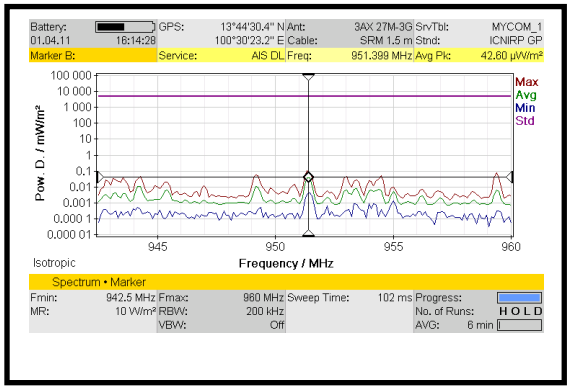
รูปที่ 7 – แสดงสเปกตรัมความหนาแน่นกำลังของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุดที่ระยะ 51-100 เมตร ที่จุด 84 เมตร



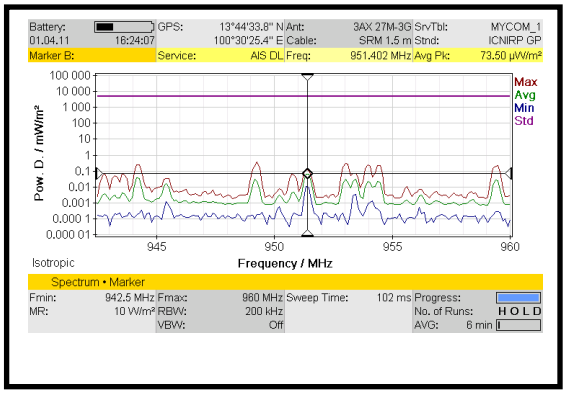
รูปที่ 8 – แสดงสเปกตรัมความหนาแน่นกำลังของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุดที่ระยะ 101-200 เมตร ที่จุด 174 เมตร



รูปที่ 9 – แสดงสเปกตรัมความหนาแน่นกำลังของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุดที่ระยะ 201-300 เมตร ที่จุด 300 เมตร



รูปที่ 10 – แสดงสเปกตรัมความหนาแน่นกำลังของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุดที่ระยะ 301-400 เมตร ที่จุด 332 เมตร



รูปที่ 11 – แสดงสเปกตรัมความหนาแน่นกำลังของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุดที่ระยะ 401-500 เมตร ที่จุด 449 เมตร

ภาคผนวก ค – Calibration Report

Item	Description	Brand	Model	Serial Number	Calibration Date
1	Selective Radiation Meter	Narda	SRM-3006	C-0028	2011-Jan-27
2	Isotropic Antenna (Three axis)	Narda	SRM-3501/03	K-0161	2011-Feb-01
3	RF Cable SRM	Narda	SRM-3602/01	AA-0127	2011-Jan-26

ตารางที่ 4 – แสดงรายละเอียดวันที่ทำการสอบเทียบสำหรับอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการตรวจวัด

Uncertainty Analysis : Best Measurement Capability

Symbol	Source of uncertainty	Value (dB)	Probability distribution	Divisor	Ci	Ui(y)	Vi or Veff
IP_{CF}	Correction factor of probe	1.900	Normal (k=2)	2.000	1.00	0.950	∞
IP_{FR}	Frequency response of probe	0.820	Normal (k=2)	2.000	1.00	0.410	∞
IP_{L}	Linearity of probe	0.820	Normal (k=2)	2.000	1.00	0.410	∞
M_{FR}	Frequency response of meter	0.200	Normal (k=2)	2.000	1.00	0.100	∞
M_{R}	Resolution of meter	0.001	Rectangular	1.732	1.00	0.001	∞
C_{L}	Cable loss	0.150	Normal (k=2)	2.000	1.00	0.075	∞
MEA_{RE}	Repeatability of measurement	0.00007	Normal	1.000	1.00	0.000	2
U (Ax)	Combined standard uncertainty		Normal			1.120	1.1E+17
U	Expanded uncertainty		Normal(K=2)			**2.24**	1.1E+17

1.29 V/m

Distribution	Divisor	Typical Type
Trianglar	2.449	B
Rectangular	1.732	B
U-Shaped	1.414	B
Normal	1.000	A
Normal (k=2)	2.000	A/B

RESULTS	
Combined Standard Uncertaint	**1.120 dB**
Effective degrees of freedom :	**1E+17**
Coverage Factor k :	**2.00**
Expanded Uncertainty :	**2.24 dB**

ตารางที่ 5 – แสดงรายละเอียดการคำนวณค่าความไม่แน่นอนที่ใช้ในการตรวจวัด

เอกสารอ้างอิง

[1] กฎระเบียบที่เกี่ยวกับมาตรฐานกับการตรวจสอบรับรอง, มาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม กทช.มท. 5001-2550, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ : สำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีโทรคมนาคม ,สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ, 2553

[2] สำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีโทรคมนาคม, แนวทางปฏิบัติสำหรับการตั้งสถานีวิทยุคมนาคม, กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ, เมษายน 2551

[3] GL-01 Issue 2 (October 2005), Guidelines for the Measurement of Radio Frequency Fields at Frequencies from 3 kHz to 300 GHz, Spectrum Management and Telecommunications, Industry Canada

[4] ITU-T Recommendation K.52, Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields, Geneva, 2004

[5] IEC 62232 Ed. 1, Determination of RF Fields and SAR in the vicinity of radio communication base stations for the purpose of evaluating human exposure, 2008