5G: คลื่นและเทคโนโลยี

บทสรุปผู้บริหาร (Executive Summary)

เทคโนโลยีสำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่โทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคแรก ซึ่งใช้งานระบบแอนะล็อก จนถึงยุคปัจจุบันที่โทรศัพท์กลายเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวันของ ผู้คนส่วนใหญ่ในสังคม การใช้งานอินเตอร์เน็ตเป็นไปด้วยความรวดเร็วและแพร่หลาย อย่างไรก็ตามความต้องการในการเข้าถึงข้อมูลเหล่านี้ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเราจำเป็นที่จะต้องหาเทคโนโลยีใหม่เพื่อรองรับความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้น รวมถึงรองรับการใช้งานในรูปแบบใหม่ๆ เพื่อสนองต่อการพัฒนาสังคมดิจิทัลในยุค 4.0 เทคโนโลยี 5G คือเทคโนโลยีที่จะเข้ามาตอบโจทย์ในเรื่องนี้ ระบบ 5G จะสามารถรองรับการใช้งานที่ต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูงกว่า 4G รองรับอุปกรณ์เชื่อมต่อกับระบบจำนวนมหาศาล รวมทั้งยังสามารถนำมาใช้ในกิจการที่ต้องการการส่งข้อมูลที่รวดเร็วและทันที โดยเฉพาะกิจการที่ต้องการความแม่นยำสูง ซึ่งการที่ระบบ 5G จะสามารถการรองรับการใช้งานเหล่านี้ได้ จำเป็นต้องใช้เทคนิคใหม่ๆ รวมถึงจำเป็นต้องใช้คลื่นความถี่ในปริมาณมากขึ้น โดยเฉพาะความถี่ในย่านที่สูงกว่า 1 GHz

ในส่วนแรกของบทความ 5G นี้ จะกล่าวถึงคุณสมบัติของระบบ 5G เทคโนโลยีที่ส่งผลให้ 5G เกิดขึ้นได้ การประยุกต์ใช้งาน 5G ในภาคส่วนต่างๆ รวมถึงคลื่นความถี่ที่มีความสำคัญต่อความสำเร็จของ 5G

1. บทนำ (Introduction): วิวัฒนาการของโทรศัพท์เคลื่อนที่

การใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคแรกเริ่มต้นขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1950 ถึง ประมาณ ค.ศ. 1980 โดยเริ่มต้นจากระบบ 1G หรือ The first generation of wireless mobile telecommunications ซึ่งโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 1G เป็นโทรศัพท์ระบบแอนะล็อก มีตัวเครื่องขนาดใหญ่ มีราคาแพง และสามารถใช้งานได้เพียงการสื่อสารด้วยเสียงผ่านการโทรเข้าและโทรออกเท่านั้น ในช่วงแรก มีการเริ่มใช้งานโทรศัพท์ระบบ 1G ในประเทศญี่ปุ่น และในประเทศยุโรปตอนเหนือ

ต่อมาในปี ค.ศ. 1982 องค์กรบริหารงานไปรษณีย์และโทรคมนาคมของสหภาพยุโรป หรือ The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT) ได้กำหนดมาตรฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2 หรือ 2G โดยมีเทคโนโลยีหลัก คือ Global System for Mobile communications (GSM) ซึ่งได้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายทั่วโลกในปี ค.ศ. 1991 ลักษณะเด่นของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคนี้ คือ การส่งสัญญาณด้วยระบบดิจิทัล ซึ่งมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าระบบแอนะล็อก ทำให้เสียงที่ได้รับมีความคมชัดมากขึ้น นอกจากนี้ โทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุค 2G ยังสามารถส่งข้อความ หรือ SMS และสามารถเข้าใช้งานอินเตอร์เน็ตในเบื้องต้นได้ด้วย

ยุคที่ 3 ของการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือยุค 3G เป็นยุคเริ่มต้นของการสื่อสารไร้สายความเร็วสูง (Mobile broadband) โดยตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 2000 โทรศัพท์มือถือถูกใช้งานในรูปแบบที่แตกต่างออกไปจากเดิม โทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคนี้ ไม่ได้มีไว้ใช้เพียงแค่โทรเข้าและโทรออกอีกต่อไป แต่มีการรองรับการใช้งานอินเตอร์เน็ต หรือ data service ไม่ว่าจะเป็น การโทรศัพท์ผ่านอินเตอร์เน็ต (Voice over IP) การพูดคุยผ่านวีดีโอ การเล่นเกม และดูทีวีออนไลน์ โดยมาตรฐานที่มากำหนดการใช้งานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3 นี้ คือ มาตรฐาน IMT-2000 และยุค 3G ยังเป็นยุคที่เริ่มมีการใช้งานโทรศัพท์มือถือที่มีความซับซ้อนและความสามารถใช้งานมากขึ้น ที่เราเรียกกันว่า สมาร์ทโฟน นั่นเอง

ต่อมา เทคโนโลยี 3G ได้ถูกพัฒนาขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดระบบ Long Term Evolution หรือ LTE ซึ่งระบบ LTE นี้ ได้รับการยอมรับให้เป็นจุดเริ่มต้นของโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 4G โดยมาตรฐานที่สำคัญของระบบ 4G คือมาตรฐาน IMT-Advanced ของ International Telecommunication Union Radiocommunication Sector (ITU-R) และมาตรฐาน LTE Release 10 ของ 3GPP ซึ่งมาตรฐานดังกล่าวทั้งสองมาตรฐานได้มีการกำหนดระบบที่มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้น มีประสิทธิภาพการใช้งานคลื่นความถี่เพิ่มขึ้นและความหน่วง (Latency) ของระบบลดลง เทคนิคหลักในการเพิ่มประสิทธิภาพของโทรศัพท์มือถือในยุคนี้ คือ การใช้เทคนิค Carrier Aggregation หรือการรวมช่องความถี่จำนวนมากเพื่อให้ได้ความจุที่มากขึ้นและสามารถส่งข้อมูลได้เร็วขึ้น และการใช้เทคนิค Multiple Input Multiple Output (MIMO) หรือการใช้สายอากาศจำนวนมากสำหรับการส่งและรับสัญญาณเพื่อให้ได้อัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้น

3GPP ได้ออกมาตรฐาน LTE เพิ่มเติม คือ Release 11 12 และ 13 โดยมีการเพิ่มเทคนิคใหม่ ๆ เข้ามา เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ และการลดต้นทุนการผลิต ซึ่งการพัฒนาเหล่านี้ส่งผลให้ระบบโครงข่ายสามารถรองรับการใช้งานอุปกรณ์จำนวนมากขึ้นได้อีกด้วย

IMT for 2020 and beyond

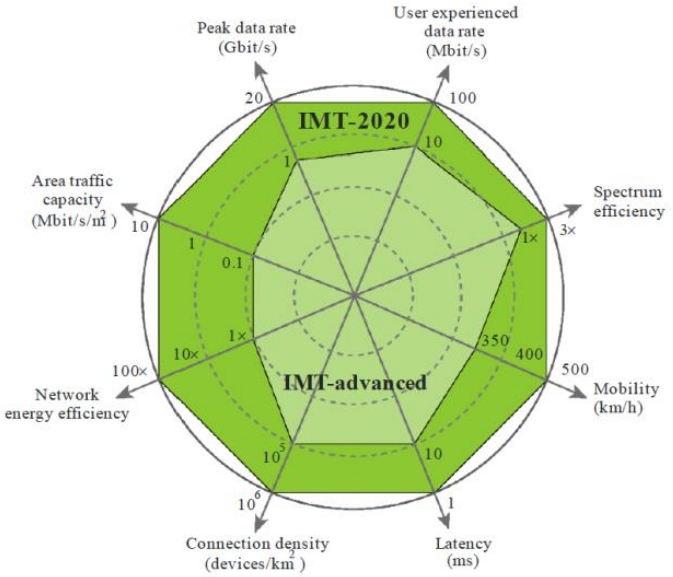
IMT 2020 and beyond เป็นข้อเสนอแนะสำหรับเทคโนโลยี 5G ที่ ITU-R ได้เริ่มจัดทำขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 2012 ซึ่งมีใจความหลักเพื่อกำหนดประเภทการใช้งานของเทคโนโลยี 5G ในเบื้องต้น ความสามารถที่ระบบ 5G พึงมี รวมไปถึงกำหนดเวลาของการพัฒนามาตรฐานต่าง ๆ สำหรับเทคโนโลยี 5G

2. แนวคิดของเทคโนโลยี 5G

การพัฒนามาตรฐานสำหรับระบบ 5G หรือมาตรฐาน IMT for 2020 and beyond ของ ITU-R นั้น มีวัตถุประสงค์หลักแตกต่างจากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ผ่านมาตั้งแต่ยุค 1G ถึง 4G โดยระบบ 5G ไม่ได้มีวัตถุประสงค์เพียงเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยง การรองรับการติดต่อสื่อสาร และการเข้าถึงข้อมูลของคน (Human-centric communication) เพียงอย่างเดียวอีกต่อไป แต่ยังมีวัตถุประสงค์เพื่อรองรับความต้องการในการติดต่อสื่อสารของสรรพสิ่ง (Machine-centric communication) ในภาคส่วนต่างๆ ของเศรษฐกิจ หรือที่เราเรียกว่า Verticals ซึ่งได้แก่ ภาคอุตสาหกรรม ภาคการขนส่ง ภาคการเงิน หรือ ภาคของสื่อ เป็นต้น อีกด้วย

การที่ระบบ 5G สามารถรองรับการติดต่อสื่อสารในภาคส่วนต่างๆ ของเศรษฐกิจ จะส่งผลให้โลกของเราก้าวสู่ยุคที่ 4 ของการปฏิวัติอุตสาหกรรมซึ่งเป็นยุคของการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมดิจิทัลอย่างเต็มตัว แนวโน้มอุตสาหกรรมจะมีการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ หรือที่เรียกว่า Internet of things (IoT) และการทำงานแบบอัตโนมัติจะเข้ามามีบทบาทสำคัญ โดยการทำงานต่างๆที่เป็นกิจวัตรของมนุษย์ในปัจจุบันอาจถูกแทนที่ด้วยเทคโนโลยี อุตสาหกรรมจะมีความแข็งแกร่งขึ้น รวดเร็วขึ้น และฉลาดขึ้น เทคโนโลยีสื่อสารจะไม่เป็นเพียงแค่ส่วนประกอบหนึ่งในวิถีชีวิตของเราอีกต่อไป แต่จะเป็นสิ่งจำเป็นที่เราขาดไม่ได้ในชีวิตประจำวัน รวมทั้งจะเป็นแรงผลักดันให้เกิดการรวบรวมข้อมูลและองค์ความรู้ขนาดใหญ่ และข้อมูลเหล่านี้จะเป็นกุญแจสำคัญในการเพิ่มศักยภาพและประสิทธิภาพในการใช้ชีวิตของมนุษย์ ไม่ว่าจะในด้านเศรษฐกิจหรือสังคม

เนื่องจากเทคโนโลยี 5G จะทำให้อัตราความเร็วในการส่งข้อมูลแบบไร้สายนั้นเทียบเท่ากับการเชื่อมต่อแบบไฟเบอร์ เทคโนโลยี 5G จึงจะมีบทบาทสำคัญในด้านต่างๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็น เกษตรกรรม ยานยนต์ การขนส่ง สิ่งก่อสร้าง พลังงาน การเงิน สุขภาพ อุตสาหกรรมการผลิต การบันเทิง ความมั่นคงปลอดภัย และพฤติกรรมผู้บริโภค ทั้งนี้ ITU-R ได้กำหนดมาตรฐาน IMT for 2020 and beyond ซึ่งมีขีดความสามารถในด้านต่างๆเพิ่มขึ้นจากมาตรฐาน IMT-Advanced ของระบบ 4G โดยมีรายละเอียดที่สำคัญตามแผนภาพใยแมงมุมในรูปที่ 1



รูปที่ 1 มาตรฐานสำหรับระบบ 5G ตาม ITU-R M.2083-0
ที่มา: ITU-R Recommendation M.2083-0, IMT Vision - "Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond")

เราจะเห็นว่าระบบ 5G จะมีอัตราการส่งข้อมูลสูงสุด (Peak data rate) เพิ่มขึ้น 20 เท่า, อัตราการส่งข้อมูลที่ผู้ใช้ได้รับ (User experienced data rate) เพิ่มขึ้น 10 เท่า, ความหน่วงของระบบ (Latency) ลดลง 10 เท่า , ความสามารถในการรับข้อมูลในขณะเคลื่อนที่ (Mobility) โดยสามารถรองรับการเคลื่อนที่มีความเร็วเพิ่มขึ้น 1.5 เท่า, ความหนาแน่นในการเชื่อมต่อ (Connection density) ซึ่งหมายถึงจำนวนอุปกรณ์ที่ระบบสามารถรองรับได้ เพิ่มขึ้น 10 เท่า, ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโครงข่าย (Energy efficiency) เพิ่มขึ้น 100 เท่า, ประสิทธิภาพการใช้คลื่นความถี่ (Spectrum efficiency) เพิ่มขึ้น 3 เท่า และอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดต่อพื้นที่ (Area traffic capacity) เพิ่มขึ้น 100 เท่า ซึ่งขีดความสามารถที่มากขึ้นเหล่านี้ จะตอบสนองความสามารถในรองรับการทำงานของ ระบบ 5G ใน 3 ด้านหลัก ดังนี้

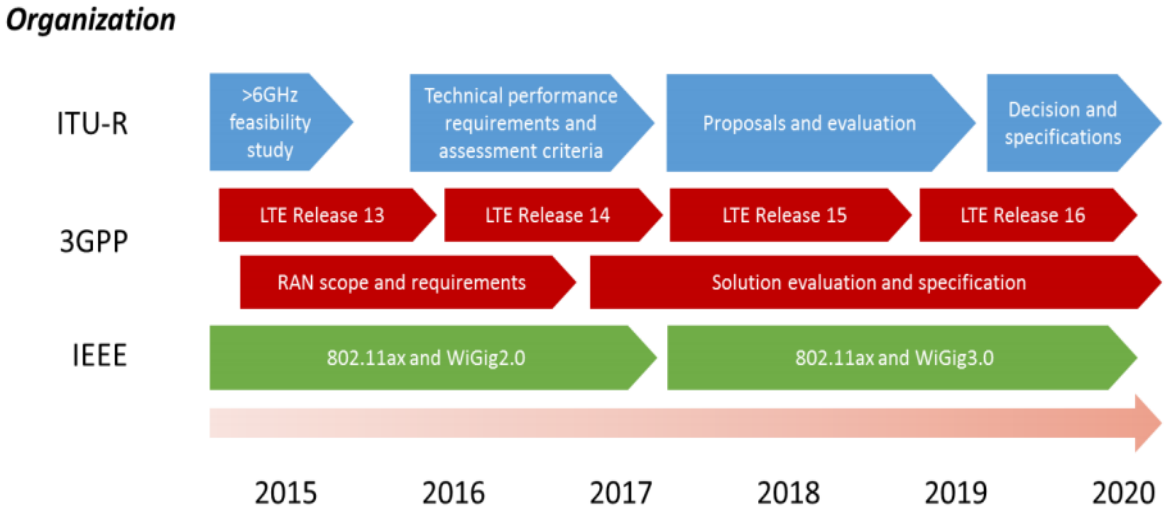
- ***eMBB หรือ enhanced Mobile Broadband*** คือ การใช้งานในลักษณะที่ต้องการการส่งข้อมูลความเร็วสูงในระดับกิกะบิตต่อวินาที (Gbps) ซึ่งการใช้งานลักษณะนี้ตอบสนองความต้องการการส่งและรับข้อมูลที่มากขึ้นเรื่อย ๆ
- ***mMTC หรือ massive Machine Type Communications*** คือการใช้งานที่มีการเชื่อมต่อของอุปกรณ์จำนวนมากในพื้นที่เดียวกัน โดยมีปริมาณมากถึงระดับล้านอุปกรณ์ต่อตารางกิโลเมตร โดยการส่งข้อมูลของอุปกรณ์ในการใช้งานลักษณะนี้ จะเป็นการส่งข้อมูลปริมาณน้อยๆ ที่ไม่ต้องการความเร็วสูง หรือความหน่วงเวลาต่ำ อุปกรณ์โดยทั่วไปมีราคาถูก และมีอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่มากกว่าอุปกรณ์ทั่วไป ซึ่งความสามารถนี้ทำให้ระบบ 5G เหมาะสมกับการทำงานของอุปกรณ์จำพวก IoT
- ***URLLC หรือ Ultra-reliable and Low Latency Communications*** คือการใช้งานที่ต้องการความสามารถในการส่งข้อมูลที่มีความเสถียรมาก รวมทั้งมีความหน่วงเวลา (latency) หรือความหน่วงในการส่งข้อมูลต่ำในระดับ 1 มิลลิวินาที (ระบบ 4G ในปัจจุบันรองรับความหน่วงเวลาในระดับ 10 มิลลิวินาที) ซึ่งความสามารถนี้ทำให้ระบบ 5G เหมาะกับการใช้งานระบบที่ต้องการความแม่นยำสูง (critical application) เช่น การผ่าตัดทางไกล การควบคุมเครื่องจักรในโรงงาน หรือการควบคุมรถยนต์ไร้คนขับ เป็นต้น

1 มิลลิวินาที

การส่งและรับข้อมูลในระบบ 5G จะมีความหน่วงเวลา น้อยกว่า 1 มิลลิวินาที ซึ่งความหน่วงเวลาในระดับนี้ส่งผลให้เราสามารถนำ 5G มาใช้งานแบบ URLLC โดยเฉพาะในกิจการที่ต้องการความแม่นยำสูงได้ เช่น การผ่าตัดทางไกล การควบคุมเครื่องจักรในโรงงาน หรือการควบคุมรถยนต์ไร้คนขับ เป็นต้น

2.1 การกำหนดมาตรฐาน 5G

องค์กรระหว่างประเทศ ได้แก่ ITU 3GPP และ IEEE ได้ทำการศึกษาและกำหนดมาตรฐานของระบบ 5G ไว้ในเบื้องต้น โดยเฉพาะสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) ได้จัดตั้งกลุ่มทำงาน Working Party 5D เพื่อทำการศึกษาการพัฒนาเทคโนโลยี IMT for 2020 and beyond ไม่ว่าจะเป็นในด้านมาตรฐานทางเทคนิค ความต้องการใช้งานของผู้บริโภค คลื่นความถี่ที่เหมาะสมกับการใช้งานเทคโนโลยีนี้ รวมไปถึงแนวทางการกำกับดูแล โดยมีผลการศึกษาออกมาเป็นรายงานในประเด็นต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นวิสัยทัศน์ และแนวโน้มการพัฒนาเทคโนโลยี IMT หรือคลื่นความถี่ที่มีแนวโน้มจะเลือกมาใช้รองรับ 5G โดยกำหนดกรอบเวลาดำเนินงานกำหนดมาตรฐานดังกล่าวให้แล้วเสร็จภายในปี พ.ศ. 2562 รายละเอียดปรากฏดังรูปที่ 2



รูปที่ 2: มาตรฐานของหน่วยงานต่างๆ สำหรับระบบ 5G (ที่มา: GSA)

2.2 เทคโนโลยีที่สนับสนุนความสามารถของเทคโนโลยี 5G

เมื่อพิจารณาความสามารถของระบบ 5G ในสามด้านหลักๆ ที่กล่าวมาซึ่งประกอบด้วย eMBB, mMTC และ URLLC จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีที่รองรับการทำงานของระบบ 4G ไม่เพียงพอที่จะรองรับขีดความสามารถของระบบ 5G จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาหาเทคนิคใหม่ๆ ขึ้น โดยในปัจจุบันเทคโนโลยีหลักที่น่าสนใจและมีโอกาสที่จะรองรับขีดความสามารถของระบบ 5G ทั้งสามด้าน มีรายละเอียด ดังนี้

2.2.1 eMBB: ทำอย่างไรให้อัตราการส่งข้อมูลสูงขึ้นถึงระดับกิกะบิตต่อวินาที

การที่จะรองรับการใช้งานแบบ eMBB ระบบ 5G จำเป็นต้องสามารถรองรับอัตราการส่งข้อมูลที่สูงในระดับ Gbps (100 เท่าของอัตราการส่งข้อมูลในระบบ 4G) และต้องสามารถรองรับการใช้งานของคนจำนวนมากในพื้นที่เดียวกันและในเวลาเดียวกันได้ จึงจำเป็นต้องนำเทคนิคและวิธีการต่อไปนี้มาปรับใช้กับระบบ 5G

- **ใช้คลื่นความถี่ที่สูงขึ้น**

วิธีการที่ง่ายที่สุดสำหรับการเพิ่มอัตราการส่งข้อมูล และเพิ่มความจุของช่องสัญญาณ (channel capacity) คือการใช้ความกว้างแถบความถี่สำหรับส่งข้อมูลหรือ bandwidth ที่สูงขึ้น ซึ่งในปัจจุบันคลื่นความถี่ที่เราใช้สำหรับการส่งข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความถี่ต่ำกว่า 6 กิกะเฮิรตซ์ เช่น คลื่นความถี่ย่าน 800 เมกะเฮิรตซ์ 900 เมกะเฮิรตซ์ 1800 เมกะเฮิรตซ์ และ 2100 เมกะเฮิรตซ์ โดยคลื่นความถี่ดังกล่าวมีข้อจำกัดของความกว้างแถบความถี่ที่เราสามารถใช้ได้ คลื่นความถี่ในย่านที่สูงขึ้นโดยเฉพาะในย่านที่สูงกว่า 6 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเราสามารถใช้ความกว้างแถบความถี่ที่สูงขึ้นได้ จึงเป็นคลื่นความถี่ที่ได้รับความสนใจสำหรับการนำมาใช้ในระบบ 5G ส่วนหนึ่งของคลื่นความถี่ที่มากขึ้นนี้ เราสามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า คลื่นความถี่ Millimeter Wave (mmWave) หรือคลื่นความถี่ที่มีความยาวคลื่นในระดับมิลลิเมตรนั่นเอง

อย่างไรก็ตามคลื่นความถี่ mmWave นี้ก็มีข้อจำกัดในหลายๆเรื่อง เช่น ระบบประมวลผลสัญญาณที่ต้องมีความซับซ้อนมากขึ้นหรือ การกระจายสัญญาณในระยะที่สั้นกว่าย่านความถี่ที่ต่ำกว่า จึงมีความเป็นไปได้ว่าคลื่นความถี่ mmWave นี้จะถูกใช้งานร่วมกับคลื่นความถี่ต่ำกว่า 6 GHz เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากข้อดีและข้อเสียของคลื่นความถี่ทั้งสองแบบ ขึ้นอยู่กับการใช้งานแต่ละประเภทที่เราต้องการ

mmWave

คลื่นความถี่ที่มีความยาวคลื่นในระดับมิลลิเมตร (mm) โดยเฉพาะคลื่นความถี่ย่าน
ตั้งแต่ 30 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 300 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร ถึง 10 มิลลิเมตร นั่นเอง

- **Massive MIMO**

อีกวิธีการหนึ่งสำหรับการเพิ่มความสามารถในการส่งข้อมูลที่มากขึ้นเพื่อรองรับการใช้งานแบบ eMBB คือการใช้เทคนิค Multiple Input Multiple Output หรือ MIMO ซึ่งเทคนิคนี้ ได้ถูกนำมาใช้เป็นการทั่วไป สำหรับระบบ 4G หรือแม้แต่ระบบ Wi-Fi โดยหลักการพื้นฐานของระบบ MIMO คือการใช้สายอากาศ มากกว่าหนึ่งสายอากาศในการส่งข้อมูล รวมทั้งใช้สายอากาศมากกว่าหนึ่งสายอากาศในการรับข้อมูล ซึ่งการใช้สายอากาศมากกว่าหนึ่งสำหรับการส่งและรับข้อมูลนี้ทำให้เราสามารถรองรับการใช้งานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือ อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับจุดส่งสัญญาณดังกล่าวในปริมาณมากขึ้นได้

ในระบบ 4G หรือ Wi-Fi ในปัจจุบัน มีการใช้งานระบบ MIMO โดยใช้สายอากาศ 4 หรือ 8 สายอากาศในการส่งและรับสัญญาณ อย่างไรก็ตาม สำหรับระบบ 5G ซึ่งมีความต้องการในการรองรับข้อมูลมากถึงกว่าร้อยเท่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบ 4G นั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้สายอากาศในการส่งและรับมาถึงระดับร้อยหรือระดับพันสายอากาศ ซึ่งเราเรียกเทคนิคการใช้สายอากาศในปริมาณมากในระดับนี้ว่า Massive MIMO นั่นเอง

- **Non-orthogonal Multiple Access**

เพื่อรองรับการส่งข้อมูลปริมาณมากจากการใช้งานของคนจำนวนมากในพื้นที่เดียวกันและในเวลาเดียวกัน ระบบ 5G จำเป็นต้องมีเทคนิคสำหรับการเข้าใช้งานโครงข่ายพร้อมกัน ซึ่งโดยทั่วไปเราเรียกเทคนิคดังกล่าวว่า Multiple Access Technique ซึ่งเทคนิคนี้มีหลากหลายประเภท และมีการใช้งานตั้งแต่ระบบโทรศัพท์ยุคแรก ดังนี้

ในระบบ 1G มีการใช้งานเทคนิค Frequency Division Multiple Access หรือ FDMA

ในระบบ 2G มีการใช้งานเทคนิค Time Division Multiple Access หรือ TDMA

ในระบบ 3G มีการใช้งานเทคนิค Code Division Multiple Access หรือ CDMA

ในระบบ 4G มีการใช้งานเทคนิค Orthogonal Frequency Division Multiple Access หรือ OFDMA

ซึ่งเทคนิคแต่ละประเภทข้างต้นรองรับการใช้งานของผู้ใช้มากขึ้นเรื่อยๆ ตามลำดับ สำหรับระบบ 5G เทคนิคการเข้าใช้ที่ได้รับความสนใจ คือเทคนิค Non-orthogonal Multiple Access หรือ NOMA ซึ่งสามารถรองรับการเข้าใช้ได้มากยิ่งกว่าเทคนิค OFDMA ของระบบ 4G อย่างไรก็ตาม เทคนิค NOMA ยังคงมีข้อจำกัดในหลายๆ ด้าน ที่ต้องได้รับการหาทางออกและการวิจัยเพิ่มเติมในอนาคต

- **Shared Spectrum**

เทคนิคที่ช่วยเพิ่มอัตราเร็วในการส่งข้อมูลซึ่งกำลังได้รับความสนใจจากผู้ประกอบกิจการโทรศัพท์เคลื่อนที่คือการใช้งานคลื่นความถี่ย่านที่ต้องได้รับใบอนุญาตสำหรับการใช้คลื่นความถี่ ที่ผู้ประกอบกิจการโทรศัพท์เคลื่อนได้รับจากการประมูลในปัจจุบัน ร่วมกับคลื่นความถี่ที่จัดสรรไว้สำหรับใช้งานเป็นการทั่วไป เช่น คลื่นความถี่สำหรับ Wi-Fi เพื่อเพิ่มปริมาณความถี่สำหรับส่งข้อมูล เทคนิคการใช้คลื่นหลายย่านคลื่นร่วมกัน ช่วยให้ระบบสามารถกระจายการส่งข้อมูลออกไปจากคลื่นหลักในช่วงเวลาที่มีการรับส่งข้อมูลปริมาณมาก (Peak traffic) ทำให้การส่งข้อมูลเป็นไปได้รวดเร็วขึ้น รวมทั้งการใช้งานคลื่นความถี่อื่นช่วยให้สามารถส่งข้อมูลได้ปริมารสูงขึ้นในเวลาที่เท่ากัน ซึ่งการใช้งานในรูปแบบดังกล่าวในปัจจุบันของระบบ 4G มีหลายรูปแบบ

เช่น LAA และ LWA สำหรับระบบ 5G ก็สามารถทำได้ในรูปแบบเดียวกัน โดยเราเรียกว่า 5G-New Radio Shared Spectrum

2.2.2 mMTC: ทำอย่างไรให้สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ได้จำนวนมาก

เนื่องจากมาตรฐานของระบบ 4G ไม่ได้ถูกสร้างมาเพื่อรองรับการใช้งานของอุปกรณ์จำนวนมากได้ ในเบื้องต้นมาตรฐานของ ITU กำหนดให้ระบบ 5G ต้องสามารถรองรับการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ได้ในระดับหลักล้านเครื่องต่อตารางกิโลเมตร ซึ่งจำเป็นต้องมีเทคนิคเข้ามาจัดการข้อมูลที่จะเพิ่มขึ้น

- **Cloud Computing**

เทคนิคที่มีความสำคัญมากสำหรับการรองรับอุปกรณ์ที่จะเข้ามาเชื่อมต่อกับระบบ คือ Cloud Computing การใช้งานอุปกรณ์ IoT บางประเภทจำเป็นต้องมีการประมวลผลข้อมูล ซึ่งอุปกรณ์ IoT บางอุปกรณ์ไม่มีความสามารถในการประมวลผลดังกล่าวได้ การส่งข้อมูลเพื่อไปประมวลผลบนอินเตอร์เน็ต ซึ่งเราเรียกว่า Cloud Computing จึงสามารถเข้ามาช่วยประมวลผลข้อมูลจำนวนมากที่เกิดจากอุปกรณ์ IoT เหล่านี้ได้

2.2.3 URLLC: ทำอย่างไรให้ระบบมีเสถียรภาพและความหน่วงต่ำ

สืบเนื่องจากเทคนิค Cloud Computing ซึ่งช่วยให้ระบบสามารถประมวลผลข้อมูล เมื่ออุปกรณ์ IoT ปลายทาง ไม่มีกำลังประมวลผลพอ อย่างไรก็ตาม การใช้งาน Cloud Computing มีจุดอ่อนตรงที่ต้องมี การส่งข้อมูลผ่านทางอินเตอร์เน็ตไปยังหน่วยประมวลผล ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นหน่วยประมวลผลของ Cloud Service Provider การส่งข้อมูลแบบนี้อาจส่งผลให้เกิดความล้าช้า โดยสำหรับระบบ 5G มีการกำหนดมาตรฐานความหน่วงของการส่งข้อมูลในระดับไม่เกิน 1 มิลลิวินาที (1 ms) ซึ่งต่ำมาก (เทียบกับระดับ 10 ms ของระบบ 4G) การใช้งานแบบ URLLC ซึ่งเน้นการใช้งานที่มีความหน่วงต่ำ เช่น การใช้งานของรถยนต์ไร้คนขับ จึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคอื่นเพิ่มเติมจาก Cloud Computing

- **Fog Computing**

เทคนิค Fog Computing (หรือเรียกอีกชื่อว่า Mobile Edge Computing) เป็นการย้ายหน่วยประมวลผลจากเดิมที่มีการประมวลผลที่อยู่กับ Cloud Service Provider มาเป็นการใส่หน่วยประมวลผลไว้กับอุปกรณ์เสริมที่มีทั้งหน่วยประมวลผลและหน่วยเก็บฐานข้อมูล ซึ่งอุปกรณ์เสริมเหล่านี้เราสามารถนำไปใช้งานในบริเวณใกล้เคียงกับอุปกรณ์ IoT ต่างๆ ทำให้ไม่ต้องส่งข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ IoT เหล่านี้เป็นระยะทางไกล ซึ่งจะช่วยให้ความหน่วงของการประมวลผลต่ำลง

อย่างไรก็ตาม Fog Computing ไม่ได้เป็นเทคนิคที่สามารถแทนที่ Cloud Computing ได้โดยสิ้นเชิง การใช้งานในหลายกรณีของระบบ 5G อาจมีข้อมูลที่จำเป็นต้องได้รับการประมวลผลด้วยความหน่วงต่ำ พร้อมกับข้อมูลที่ไม่จำเป็นต้องได้รับการประมวลผลอย่างรวดเร็ว พร้อมๆกัน การใช้งานร่วมกันของ Cloud Computing และ Fog Computing จึงเหมาะกับการใช้งานแบบนี้

สุดท้ายนี้ เราสามารถสรุปว่าเทคนิคที่กล่าวมาดังกล่าว ช่วยในการใช้งานของ 5G ในสามด้านหลังๆ ดังรายละเอียดที่ปรากฏในตารางต่อไปนี้

เทคนิค	eMBB	mMTC	URLLC
mmWave Frequency	X		
Massive MIMO	X	X	
NOMA	X	X	
Shared Spectrum	X	X	X
Cloud Computing		X	
Fog Computing		X	X

3. การนำไปใช้ (Application): การประยุกต์ใช้งาน 5G

แม้ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายปรากฏให้เห็นเป็นรูปธรรมในหลายด้าน เช่น การนำหุ่นยนต์มาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม การจัดการคลังสินค้าอัตโนมัติ การใช้โดรนหรืออุปกรณ์เซ็นเซอร์เพื่อช่วยในการบริหารจัดการเกษตร รถยนต์ที่มีระบบช่วยในการขับขี่ รวมไปถึงอุปกรณ์สวมใส่ติดตามตัวเพื่อช่วยในการดูแลสุขภาพและช่วยให้การรักษาได้ผลแม่นยำขึ้น แต่ด้วยข้อจำกัดบางประการของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในปัจจุบันที่ยังไม่สามารถรองรับการประยุกต์ใช้งานในบริการต่างๆ ได้อย่างเต็มที่ ทำให้การพัฒนาการใช้งานเหล่านี้ยังอยู่ในวงจำกัด อย่างไรก็ตาม ในยุคที่เทคโนโลยี IoT AI และ Big Data เข้ามามีบทบาทและทวีความสำคัญมากขึ้น เทคโนโลยี 5G ได้ถูกพัฒนาขึ้นให้สามารถก้าวข้ามข้อจำกัดของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในปัจจุบัน และช่วยต่อยอดให้สามารถประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ในเชิงพาณิชย์ได้อย่างทั่วถึง โดยจะเป็นยุคแห่งการนำเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายไปใช้งานในอุตสาหกรรมอื่นๆ อย่างกว้างขวางนอกเหนือจากการใช้งานสำหรับการสื่อสารทั่วไป ศักยภาพที่มากขึ้นในทุกด้านของระบบ 5G จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ในหลากหลายภาคส่วน ดังนี้

3.1 สื่อบันเทิง (Media and Entertainment)

เทคโนโลยี 5G สามารถรองรับความต้องการในการรับส่งข้อมูลปริมาณมากได้อย่างรวดเร็ว เช่น สามารถดาวน์โหลดภาพยนตร์และสื่อบันเทิงความคมชัดสูงในระดับ 4k ได้ในเวลาไม่กี่วินาที แม้ในช่วงที่มีผู้ใช้บริการพร้อมกันจำนวนมากก็ไม่เป็นปัญหาเนื่องจากเทคโนโลยี 5G จะสามารถรองรับการเชื่อมต่อที่หนาแน่นของอุปกรณ์จำนวนมากได้ (High-connection density) นอกจากนี้ นอกเหนือจากการดาวน์โหลดข้อมูลปริมาณมาก ในปัจจุบันความต้องการในการอัพโหลดก็เพิ่มขึ้นมากเช่นกัน โดยเฉพาะการแชร์ข้อมูลในโซเชียลมีเดีย การแชร์เนื้อหาที่ผลิตโดยผู้ใช้งานเอง (User-generated content) รวมถึงการเลือกรับชมตามคำขอ (Video on demand) ที่สามารถใช้งานได้ผ่านอุปกรณ์ที่หลากหลายโดยไม่จำกัดเพียงแค่ในโทรศัพท์มือถืออีกต่อไป ซึ่งผู้รับบริการสามารถใช้งานได้ทุกที่ ทุกเวลา

นอกจากนี้ เทคโนโลยี Virtual Reality (VR) และ Augmented Reality (AR) ยังได้ถูกนำมาพัฒนาเป็นเกมที่ให้ภาพเสมือนจริง 360 virtual tour ที่ใช้ในการนำเที่ยวสถานที่ท่องเที่ยวต่างๆ สื่อโฆษณาที่ใช้เทคโนโลยี AR ในการประชาสัมพันธ์ได้น่าตื่นตาตื่นใจมากยิ่งขึ้น รวมไปถึงการถ่ายทอดสดกีฬาและมหรสพที่จะทำให้ผู้ที่รับชมผ่าน VR สามารถรับรู้ประสบการณ์ได้เสมือนเข้าชมในสนามหรือลานคอนเสิร์ตจริงๆ การให้บริการเพื่อความบันเทิงเหล่านี้ ไม่ว่าจะเป็น VR หรือ AR ต้องอาศัยเทคโนโลยี 5G เข้ามาช่วยในเรื่องการรับส่งข้อมูลในปริมาณมากได้อย่างรวดเร็ว รวมถึงการประมวลผลและตอบสนองที่รวดเร็วอีกด้วย

สำหรับประเทศไทย อุตสาหกรรมท่องเที่ยวเป็นอุตสาหกรรมหลักของประเทศที่ทำให้เกิดการจ้างงานเป็นจำนวนมาก การนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ เช่น 360 virtual tour หรือการแสดงแผนที่นำทางด้วย AR จะช่วยลดจุดอ่อนในเรื่องอุปสรรคทางภาษา การวางผังเมือง และระบบขนส่งสาธารณะของไทยได้อย่างมาก

3.2 การผลิต (Manufacturing)

เทคโนโลยี 5G จะเป็นตัวขับเคลื่อนที่สำคัญในการเข้าสู่การปฏิวัติอุตสาหกรรมยุคที่ 4 โดยจะมีบทบาทอย่างมากในการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการผลิต ในยุคเริ่มแรกอาจใช้การเชื่อมต่ออุปกรณ์เครื่องจักรผ่านสาย (Wired) แม้มีความเสถียรแต่ต้องยอมรับว่าการใช้เทคโนโลยีการสื่อสารแบบมีสายนั้นมีความยืดหยุ่นต่ำ ทำให้เกิดอุปสรรคในการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์เครื่องจักรเพื่อปรับสายการผลิตสำหรับผลิตสินค้าใหม่ แต่ภายใต้เทคโนโลยี 5G การสื่อสารแบบไร้สายที่มีประสิทธิภาพสูงจะทำให้การโอนย้ายเครื่องจักรเป็นไปได้ง่ายและทำงานได้โดยอัตโนมัติ อุปกรณ์เครื่องจักรใดที่ไม่สามารถเชื่อมต่อด้วยสายได้ก็จะถูกเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบด้วยเทคโนโลยีแบบไร้สาย เช่น อุปกรณ์เซ็นเซอร์ในตู้คอนเทนเนอร์ ซึ่งอุปกรณ์เซ็นเซอร์เหล่านี้จะช่วยในการตรวจสอบและควบคุม รวมถึงรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการจัดการการผลิตได้อย่างอัตโนมัติ ระบบนี้เอื้อให้สามารถสั่งการได้จากระยะไกลโดยเฉพาะในการผลิตที่เสี่ยงอันตราย อีกทั้งสามารถอัพเดทโปรแกรมที่ใช้ในการ

ผลิตได้ง่ายและรวดเร็ว โดยทำการผลิตตามความต้องการของลูกค้าเฉพาะรายได้ และสามารถปรับเปลี่ยนการผลิตให้ตอบสนองต่ออุปสงค์ที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทำให้สามารถบริหารจัดการได้ทันต่อสถานการณ์ในตลาดได้ดีอีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการจัดการคลังสินค้าและโลจิสติกส์ ทำให้สามารถทราบตำแหน่งสินค้าและเคลื่อนย้ายสินค้าโดยอัตโนมัติได้อย่างรวดเร็ว ถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ในการบริหารจัดการการผลิตแบบองค์รวมร่วมกับโรงงานผลิตสินค้าที่ตั้งกระจายอยู่ในพื้นที่ต่างๆ รวมถึงผู้ประกอบการอื่นๆ ในห่วงโซ่คุณค่า (Value chain) เช่น supplier และ distributor ได้อย่างราบรื่น ทันต่อเหตุการณ์ และมีประสิทธิภาพ

เทคโนโลยี 5G ยังเข้ามามีบทบาทในการตลาดและช่องทางการจำหน่ายสินค้าที่ต่างไปจากเดิม เช่น เทคโนโลยี Virtual Reality หรือ Augmented Reality ทำให้ลูกค้าสามารถเลือกซื้อสินค้าออนไลน์แต่มีประสบการณ์เสมือนได้เลือกและลองสินค้าที่ร้าน แม้แต่ภาคการเกษตรซึ่งถือเป็นหนึ่งในแหล่งรายได้ที่สำคัญของประเทศไทยก็สามารถประยุกต์ใช้งาน IoT บนเทคโนโลยี 5G ได้ด้วยเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น การนำเอาอุปกรณ์เซ็นเซอร์ต่างๆ มาเชื่อมต่อกับโครงข่ายเพื่อเก็บข้อมูลความชื้นในดิน ทิศทางลม ปริมาณแสงแดด และข้อมูลสภาวะแวดล้อมในการเพาะปลูกอื่นๆ มาวิเคราะห์แสดงผล และทำงานร่วมกับระบบการจัดการเกษตร เช่น ระบบให้น้ำและปุ๋ย การเก็บเกี่ยว และการเก็บรักษาสินค้าเกษตรก่อนการกระจายสินค้า เป็นต้น ช่วยให้บริหารจัดการเกษตรได้อย่างแม่นยำ ได้ผลผลิตที่ดี มีประสิทธิภาพทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ (Precision farming) อุปกรณ์ IoT เหล่านี้ ได้ถูกนำมาใช้จริงแล้วในพื้นที่เกษตรเชิงพาณิชย์หลายแห่งทั้งในต่างประเทศและในประเทศไทยเอง แต่การนำไปประยุกต์ใช้ทั่วไปในวงกว้างอย่างเป็นระบบนั้นยังต้องคำนึงถึงอุปสรรคในหลายด้าน ทั้งเงินลงทุน ความรู้ด้านเทคโนโลยี รวมถึงโครงข่ายการสื่อสารไร้สายที่สามารถรองรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์เซ็นเซอร์จำนวนมากและมีระยะการทำงานครอบคลุมพื้นที่เกษตรเป็นบริเวณกว้าง ต้องมีการรับส่งข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งเทคโนโลยี 5G สามารถตอบโจทย์การเกษตรยุคใหม่ได้

3.3 สาธารณสุข (Healthcare)

อุปกรณ์สวมใส่ติดตามตัว (Wearable devices และ Internet of Medical Things: IoMT) สามารถเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพอย่างละเอียด เช่น สัญญาณชีพ ความดันโลหิต แล้วทำการประมวลผลและแสดงผลการวินิจฉัย เพื่อช่วยให้สามารถติดตามอาการผู้ป่วยตลอดวันแม้บุคลากรทางการแพทย์จะไม่ได้อยู่เฝ้าสังเกตอาการตลอดเวลา ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปใช้วางแผนการรักษาให้ได้ผลแม่นยำมากยิ่งขึ้น หรือผู้ป่วยสามารถดูแลตนเองได้ดีขึ้น โดยปัจจุบันอุปกรณ์เหล่านี้ได้ถูกนำมาใช้แล้ว แต่ส่วนใหญ่เป็นการใช้ในระดับบุคคลหรือในระดับโรงพยาบาลเฉพาะกลุ่ม โดยอาศัยแค่การสื่อสารแบบไร้สายที่สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับระบบเพื่อทำการรับส่งข้อมูลและประมวลผลได้ก็เพียงพอแล้ว แต่หากจะต่อยอดประยุกต์ใช้กับระบบสาธารณสุข ก็จำเป็นต้องมีเทคโนโลยีที่สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ติดตามตัวผู้ป่วยเป็นจำนวนมากพร้อมกันได้ อีกทั้งต้องรองรับ

การส่งข้อมูลสุขภาพอย่างละเอียดได้รวดเร็วเพื่อใช้ในการประมวลผลโดยทันที ในกรณีหุ่นยนต์ที่ใช้ในการผ่าตัดต้องอาศัยโครงข่ายการสื่อสารไร้สายที่มีความล่าช้าต่ำมาก (Low latency) เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถตอบสนองคำสั่งในการการรักษาได้ทันที ในปัจจุบันการแพทย์แม่นยำ (Precision medicine) และการรักษาแบบจำเพาะบุคคล (Personalized medicine) เป็นแนวทางในการรักษาที่จะได้ผลดีเมื่อมีการเก็บข้อมูลอาการของผู้ป่วยอย่างถูกต้องโดยละเอียดและเป็นระบบ เพื่อนำมาประมวลผลและหาวิธีการรักษาที่เหมาะสมกับแต่ละบุคคล ทำให้ได้ผลการรักษาที่แม่นยำมากขึ้น ช่วยลดค่าใช้จ่ายที่เคยสูญเปล่าไปกับการรักษาที่ไม่ประสบผลสำเร็จ ผลอีกทั้งข้อมูลเหล่านี้ยังสามารถต่อยอดไปใช้ในงานวิจัยทางการแพทย์ได้อย่างน่าเชื่อถือกว่าเดิมอีกด้วย นอกจากนี้ยังช่วยในการบริหารจัดการโรงพยาบาลเพื่อให้บริการทางการแพทย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และลดอุปสรรคในการเข้าถึงบริการทางการแพทย์แม้ผู้ป่วยจะอยู่ในพื้นที่ห่างไกลจากแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ โดยสามารถขอรับคำปรึกษาผ่านเทคโนโลยี AR ในระบบแพทย์ทางไกล (Telemedicine) ซึ่งเทคโนโลยีนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้กับการเรียนการสอนของนักศึกษาแพทย์ได้ด้วย เช่น การฝึกผ่าตัดจำลองโดยใส่ถุงมือที่มีเซ็นเซอร์จับการเคลื่อนไหวของมือ (Haptic gloves) และทำการจำลองการผ่าตัดเสมือนจริงได้โดยทันที

3.4 สาธารณูปโภค (Utility)

ระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart grid) และมิเตอร์อัจฉริยะ (Smart meter) ถูกนำมาใช้ในการบริหารจัดการการจ่ายไฟฟ้าโดยอาศัยเทคโนโลยี IoT ในปัจจุบันได้นำไปใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมและสำนักงานใหญ่ๆ แล้ว เช่นในแคนาดา สหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร และโครงการนำร่องโดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในเขตเมืองพัทยา เป็นต้น โดยมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ IoT และมิเตอร์อัจฉริยะเพื่อส่งข้อมูลการใช้ไฟฟ้าไปประมวลผลเพื่อการวางแผนการผลิตและจ่ายไฟให้เพียงพอกับช่วงเวลาที่มีการความต้องการใช้ไฟฟ้าในปริมาณสูงเพื่อไม่ให้เกิดไฟฟ้าขัดข้อง การคิดราคาไฟฟ้าให้เหมาะสมกับอุปสงค์และอุปทาน รวมไปถึงการบริหารจัดการทั่วไปอย่างการแจ้งยอดการใช้ไฟแก่ลูกค้าโดยไม่ต้องให้พนักงานออกไปจดมิเตอร์อีกต่อไป ซึ่งในเขตเมืองพัทยามีการติดตั้งจำนวนหนึ่งแสนห้าหมื่นเครื่องเพื่อใช้ในโครงการนำร่องดังกล่าว อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้ในด้านนี้ยังคงอยู่ในพื้นที่เฉพาะเนื่องด้วยข้อจำกัดด้านต้นทุน ในอนาคตหากมีการขยายพื้นที่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะและเพิ่มจำนวนบ้านเรือน อาคารหรือโรงงานที่เชื่อมต่อกับมิเตอร์อัจฉริยะ จะทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จึงต้องพิจารณาในเรื่องความคุ้มค่าในการลงทุน อย่างไรก็ตาม ในเชิงเทคนิค เทคโนโลยี 5G มีคุณสมบัติเด่นที่สามารถรองรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์จำนวนมาก มีความปลอดภัยและน่าเชื่อถือ ดังนั้นเทคโนโลยี 5G จะช่วยให้การขยายระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะครอบคลุมบริเวณเขตชุมชมเศรษฐกิจทั่วประเทศได้ นอกจากนี้ รถยนต์ไฟฟ้าจะเข้ามามีบทบาทในการคมนาคมขนส่งอย่างมากในอนาคตอันใกล้นี้ การผลักดันให้รถยนต์ไฟฟ้าถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายนั้น นอกจากจะต้องพัฒนาข้อดีและลดจุดด้อยของรถยนต์เป็นอันดับแรกแล้ว สถานีจ่ายไฟสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าจะต้องมีความพร้อมในการจัดหาพลังงานตลอดเส้นทางอีก

ด้วย การบริหารจัดการสถานีบริการ EV ให้เพียงพอต่อความต้องการพลังงานจึงถือเป็นความท้าทายหนึ่งของระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ และเทคโนโลยี 5G ย่อมเป็นหนึ่งในปัจจัยที่จะผลักดันให้รถยนต์ไฟฟ้ามีความพร้อมจนสามารถเป็นทางเลือกพลังงานทดแทนบนท้องถนนได้

3.5 การคมนาคมขนส่ง (Transportation and Logistics)

เทคโนโลยีที่ช่วยในการขับขี่ยานพาหนะถูกพัฒนาขึ้นอย่างเป็นรูปธรรมด้วยการประยุกต์ใช้ IoT กับการคมนาคมขนส่ง เช่น รถยนต์ไร้คนขับ การเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างยานพาหนะด้วยกันเอง และเชื่อมต่อระหว่างยานพาหนะและระบบควบคุมการจราจร เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การจะพัฒนาไปสู่เชิงพาณิชย์ได้นั้นจะต้องมีเทคโนโลยีเข้ามารองรับการเชื่อมต่อเซ็นเซอร์และอุปกรณ์จำนวนมากที่สามารถรับส่งข้อมูลในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะในบริเวณชุมชนเมืองที่มีการจราจรคับคั่ง ระบบการสื่อสารต้องมีความน่าเชื่อถือสูง (Reliability) และมีความหน่วงเวลาต่ำ (Latency) เพื่อให้รถยนต์สามารถตอบสนองต่อสถานการณ์บนท้องถนนได้ทันท่วงที ปลอดภัยไร้อุบัติเหตุ และสามารถเชื่อมต่อถึงกันแม้ในพื้นที่ที่อยู่นอกโครงข่าย อีกทั้งยังสามารถต่อยอดไปถึงการจัดการจราจรเพื่อแบ่งเบาปริมาณรถยนต์ในช่วงเวลาที่มีการจราจรคับคั่ง นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในยานพาหนะประเภทอื่นๆ เช่น รถไฟความเร็วสูง รถโดยสารสาธารณะ และรถแท็กซี่ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นโจทย์ที่ท้าทายศักยภาพของเทคโนโลยี 5G ในหลายด้าน โดยเฉพาะศักยภาพในการรับส่งข้อมูลในขณะเคลื่อนที่ (Mobility)

3.6 ระบบการจัดการเมือง

การประยุกต์ใช้งาน 5G ในระบบการจัดการเมืองถือเป็นความท้าทายอย่างมาก เนื่องจากการพัฒนาเมืองในปัจจุบันให้กลายเป็นเมืองแห่งอนาคตนั้นต้องอาศัยศักยภาพในหลายด้านของเทคโนโลยี 5G เพื่อมาสนับสนุนการทำงานของ IoT ให้สามารถบริหารจัดการเมืองให้รุดหน้าเหมือนที่เคยเห็นกันในภาพยนตร์แนววิทยาศาสตร์ ในอนาคต IoT จะถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายและอุปกรณ์จำนวนมหาศาลจะต้องเชื่อมต่อบนโครงข่ายการสื่อสารไร้สายได้ คาดการณ์กันว่าในปี 2020 จะมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ กว่า 25 พันล้านเครื่อง และกว่าครึ่งเป็นลักษณะ Machine to Machine ดังนั้นโลกยุคใหม่จะไม่ได้มีเพียงแค่สมาร์ทโฟนที่เชื่อมต่อบนโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่อีกต่อไปแล้ว แต่โครงข่ายจะถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อกิจการอื่นๆ อีกมากมาย โดยเฉพาะเมืองอัจฉริยะ (Smart City) ที่ประกอบไปด้วยระบบย่อยๆ จำนวนมาก การเชื่อมอุปกรณ์ IoT เข้ากับโครงข่ายเพื่อทำการรับส่งข้อมูล รวบรวมและวิเคราะห์ประมวลผล เพื่อการบริหารจัดการอย่างเป็นระบบอัตโนมัติ เช่น การจัดการเพื่อป้องกันน้ำท่วมและภัยธรรมชาติอื่นๆ การจัดการขยะ การจัดการสาธารณูปโภค การจัดการในบ้านและสำนักงาน (Smart Home และ Smart Office) การจัดการด้านการรักษาความปลอดภัย และโดยเฉพาะการจัดการจราจร การจัดการพื้นที่จอดรถ

(Smart Parking) และการจัดการขนส่งสาธารณะที่เป็นปัญหาของเมืองใหญ่เกือบทั่วโลก ยกตัวอย่างเช่น ระบบบริหารจัดการขนส่งสาธารณะสามารถประมวลผลเพื่อทำการปรับเปลี่ยนเส้นทางรถโดยสารสาธารณะ โดยหลีกเลี่ยงการจราจรที่ติดขัดได้อัตโนมัติ โดยระบบสามารถทราบได้ว่าป้ายรถใดที่ไม่มีผู้โดยสารรอขึ้นลงรถซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาเดินทางได้ รวมถึงสามารถจัดการให้มีรถแท็กซี่บริการในเขตพื้นที่ในช่วงเวลาที่มีความต้องการสูง โดยสามารถแสดงผลความต้องการใช้บริการแท็กซี่ในบริเวณต่างๆ เพื่อเชื่อมต่อกับผู้ให้บริการแท็กซี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและทันการณ์ ทั้งนี้เมื่อมีระบบขนส่งสาธารณะที่เชื่อถือได้ย่อมจูงใจให้ประชาชนหันมาใช้บริการขนส่งสาธารณะแทนการเดินทางโดยรถยนต์ส่วนตัว ซึ่งช่วยลดมลภาวะและลดความสูญเสียทางเศรษฐกิจที่เกิดจากการจราจรติดขัดได้อีกด้วย

Vertical Industry

Vertical Industry หมายถึงอุตสาหกรรมที่ให้บริการหรือผลิตสินค้าที่มีความเฉพาะกลุ่ม เช่น อุตสาหกรรมภาคการผลิต ภาคการเกษตร ภาคการให้บริการสาธารณะสุข ภาคการคมนาคมขนส่ง เป็นต้น ในบริบทของตลาดโทรคมนาคมโดยเฉพาะสำหรับเทคโนโลยี 5G นั้น การเข้ามาของเทคโนโลยี 5G จะเป็นจุดเปลี่ยน โดยเปลี่ยนจากเดิมที่ผู้ประกอบกิจการโทรคมนาคมให้บริการกับทุกภาคอุตสาหกรรมในแบบเดียวกัน (Horizontal Industry) เป็นการให้บริการการสื่อสารเป็นการเฉพาะสำหรับแต่ละ Vertical Industry

เทคโนโลยี 5G ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อข้ามผ่านข้อจำกัดบางประการของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันด้วยการรับส่งข้อมูลปริมาณมากได้อย่างรวดเร็ว มีความน่าเชื่อถือสูงและมีความล่าช้าต่ำมาก อีกทั้งสามารถรับส่งข้อมูลในขณะเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น และสามารถเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์จำนวนมากพร้อมกันได้ เทคโนโลยี 5G จึงเป็นเทคโนโลยีแห่งความหวังที่จะทำให้โลกที่เคยเห็นเพียงแค่ในนิยายวิทยาศาสตร์ขยับเข้าใกล้โลกแห่งความเป็นจริงได้ไม่ยากนัก ศักยภาพเหล่านี้นอกจากจะช่วยส่งเสริมให้บริการที่มีอยู่ในปัจจุบันสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นแล้ว ยังจะเอื้อให้เกิดการพัฒนาต่อยอดนวัตกรรมการบริการใหม่ๆ ในอนาคตอันใกล้ ซึ่งจะส่งผลต่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตรวมถึงการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจได้อย่างมีนัยสำคัญ

ที่มา: BISInfoTech

4. คลื่นความถี่ (Spectrum) สำหรับเทคโนโลยี 5G

4.1 ความต้องการคลื่นความถี่สำหรับเทคโนโลยี 5G

ความต้องการคลื่นความถี่สำหรับเทคโนโลยี 5G จะเพิ่มมากขึ้นกว่าความต้องการคลื่นความถี่สำหรับเทคโนโลยี 4G เนื่องจากปริมาณการใช้งานข้อมูล (Traffic) ที่มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจากรายงานของ Cisco Visual Networking Index ในปี 2017 คาดการณ์ว่าปริมาณการใช้งานข้อมูลทั่วโลกระหว่างปี 2016-2021 จะมีอัตราการเติบโต 47% ต่อปี ทั้งนี้ ในการศึกษาความต้องการคลื่นความถี่สำหรับ 5G นั้น กลุ่มศึกษา ITU-R Working Party 5D ของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) ได้ประเมินความต้องการคลื่นความถี่สรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ลักษณะของพื้นที่	ความต้องการคลื่นความถี่รวม
เขตเมืองที่มีประชากรหนาแน่นมาก	3.7 - 18.7 GHz (ขึ้นกับสมมุติฐานในการคำนวณ)
เขตเมืองที่มีประชากรหนาแน่น	1.8 - 11.4 GHz (ขึ้นกับสมมุติฐานในการคำนวณ)

4.2 ย่านความถี่สำหรับเทคโนโลยี 5G

จากปริมาณความต้องการคลื่นความถี่ที่มีเพิ่มมากขึ้นเพื่อรองรับเทคโนโลยี 5G จะเห็นได้ว่า คลื่นความถี่ที่ใช้สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทั้งเทคโนโลยี 2G 3G และ 4G ในปัจจุบัน ไม่เพียงพอต่อความต้องการ

ดังกล่าว ดังนั้น คลื่นความถี่สำหรับ 5G จะมีทั้งย่านความถี่ที่ใช้สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเดิม และย่านความถี่ใหม่เพิ่มเติม โดยสามารถแบ่งย่านความถี่ได้ตามคุณสมบัติของคลื่นความถี่ที่แตกต่างกันได้ ดังนี้

1) **ย่านความถี่ต่ำกว่า 1 GHz (Low Band)** เป็นย่านความถี่เพื่อรองรับความครอบคลุมของสัญญาณ (Coverage) เป็นบริเวณกว้าง โดยมีย่านความถี่ดังนี้

- ย่านความถี่ 900 **MHz** 1800 MHz และ 2100 MHz เป็นย่านความถี่ที่มีการใช้งานสำหรับกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (International Mobile Telecommunications – IMT) ในประเทศไทยในปัจจุบัน
- ย่านความถี่ 700 MHz เป็นย่านความถี่ที่หลายประเทศได้นำมาใช้สำหรับกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล สำหรับในประเทศไทยปัจจุบันมีการใช้งานในกิจการโทรทัศน์อยู่

2) **ย่านความถี่ระหว่าง 1 GHz และ 6 GHz (Mid Band) เป็น**ย่านความถี่เพื่อรองรับความจุของโครงข่าย (Capacity) โดยมีย่านความถี่ดังนี้

- ย่านความถี่ L-band (1427-1518 MHz) เป็นย่านความถี่ที่การประชุมใหญ่ระดับโลกว่าด้วยวิทยุคมนาคม ค.ศ. 2015 (World Radiocommunication Conference 2015: WRC-15) ได้กำหนดให้ใช้สำหรับกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่ สำหรับประเทศไทยปัจจุบันมีการใช้งานในกิจการประจำที่อยู่
- ย่านความถี่ C-band (3300-4200 MHz และ 4400-5000 MHz) ได้มีบางประเทศนำมาเริ่มทดลองใช้สำหรับ 5G โดยย่านความถี่ 3400-3600 MHz มีการระบุเป็นย่านความถี่สำหรับกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล ในข้อบังคับวิทยุของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ อย่างไรก็ตาม การนำคลื่นความถี่มาใช้งานในทางปฏิบัติจะต้องพิจารณาการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันกับกิจการอื่นด้วย โดยในประเทศไทย ย่านความถี่ 3400-4200 MHz มีการใช้งานในกิจการดาวเทียมอยู่ และย่านความถี่ 4400-5000 MHz มีการใช้งานในกิจการประจำที่อยู่

3) **ย่านความถี่สูงกว่า 24 GHz (High Band)** เป็นย่านความถี่ที่อยู่ในช่วงที่เรียกว่า millimeter-wave ซึ่งเป็นคลื่นความถี่ที่มีความยาวคลื่นสั้นมากในระดับมิลลิเมตร ปัจจุบันยังมีการใช้งานคลื่นความถี่ในช่วงนี้ไม่มากนัก มีขนาดความกว้างแถบความถี่ (Bandwidth) ที่กว้างมากจึงสามารถรองรับความจุได้สูงมาก (ultra-high capacity) และความหน่วง (latency) ที่ต่ำมาก โดยสถานีฐานส่งสัญญาณได้ครอบคลุมรัศมีขนาดเล็ก ซึ่งจะมุ่งเน้นใช้งานในพื้นที่ที่มีปริมาณการใช้งานสูงหรือมีความต้องการอัตราข้อมูลที่สูง โดยมีย่านความถี่ดังนี้

- ย่านความถี่ที่จะพิจารณาในการประชุมใหญ่ระดับโลกว่าด้วยวิทยุคมนาคม ค.ศ. 2019 (World Radiocommunication Conference 2019: WRC-19) ของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ โดยจะมีการพิจารณาระบุย่านความถี่ (identification) ที่จะนำมาใช้สำหรับ 5G ในย่านความถี่ที่เป็นตัวเลือก ดังนี้

- ย่านความถี่ 24.25-27.5 GHz, 37-40.5 GHz, 42.5-43.5 GHz, 45.5-47 GHz, 47.2-50.2 GHz, 50.4-52.6 GHz, 66-76 GHz และ 81-86 GHz ซึ่งมีการกำหนดคลื่นความถี่ให้กิจการเคลื่อนที่เป็น

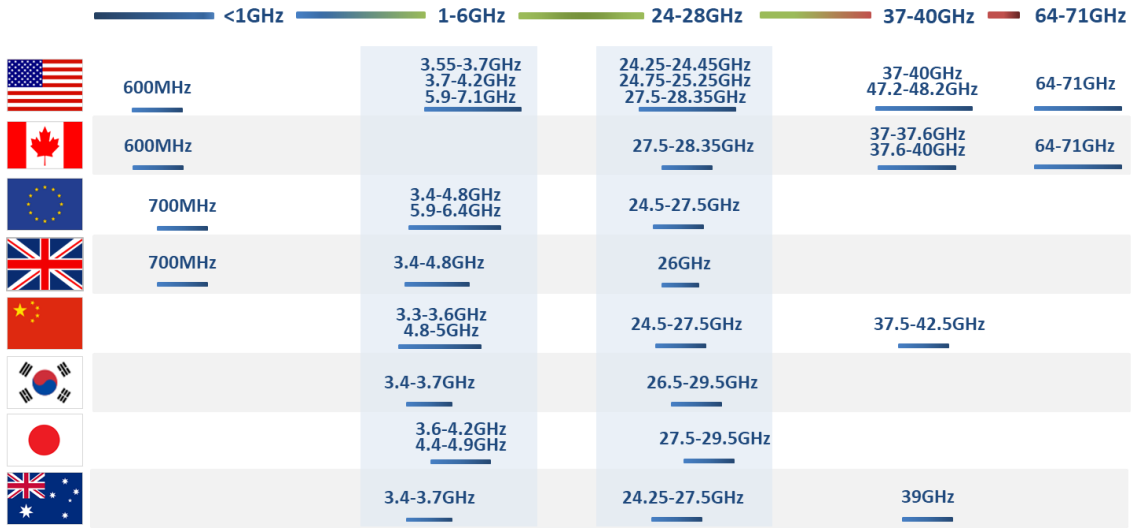
กิจการหลักในข้อบังคับวิทยุอยู่แล้ว โดยหากประเทศใดประสงค์จะนำย่านความถี่เหล่านี้มาใช้งานสำหรับ 5G ก่อนการประชุม WRC-19 ก็สามารถทำได้ เพียงแต่ว่าจะยังไม่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในระดับสากล

- ย่านความถี่ 31.8-33.4 GHz, 40.5-42.5 GHz และ 47-47.2 GHz ซึ่งปัจจุบันไม่ได้มีการกำหนดคลื่นความถี่ให้กิจการเคลื่อนที่เป็นกิจการหลักในข้อบังคับวิทยุ โดยหากจะนำมาใช้สำหรับ 5G จะต้องมีการกำหนดคลื่นความถี่เพิ่มเติมให้กิจการเคลื่อนที่เป็นกิจการหลักและระบุให้เป็นย่านความถี่สำหรับ 5G โดยการประชุม WRC-19

ในการพิจารณาระบุย่านความถี่ที่จะนำมาใช้สำหรับเทคโนโลยี 5G โดยการประชุม WRC-19 จะต้องพิจารณาการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันกับกิจการอื่นๆ (เช่น ดาวเทียม) โดยหากเทคโนโลยี 5G ไม่ก่อให้เกิดการรบกวนต่อกิจการอื่น ก็มีแนวโน้มที่จะนำคลื่นความถี่ดังกล่าวมาใช้ได้

- ย่านความถี่ 27.5-29.5 GHz เป็นย่านความถี่ที่มีการกำหนดให้กิจการเคลื่อนที่ในข้อบังคับวิทยุอยู่แล้ว มีบางประเทศเช่น สหรัฐอเมริกา เกาหลีใต้ ญี่ปุ่น อยู่ระหว่างพิจารณาสำหรับนำมาใช้กับ 5G เพิ่มเติม อย่างไรก็ตาม การนำคลื่นความถี่มาใช้งานในทางปฏิบัติจะต้องพิจารณาการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันกับกิจการอื่นด้วย โดยในประเทศไทย ย่านความถี่นี้มีการใช้งานในกิจการดาวเทียมอยู่

ย่านความถี่สำหรับเทคโนโลยี 5G ในประเทศต่างๆ สรุปได้ดังแผนภาพต่อไปนี้



รูปที่ 3: ย่านความถี่สำหรับ 5G ของต่างประเทศ (ที่มา: Qualcomm)

จากแผนภาพจะเห็นว่า ย่านความถี่สำหรับเทคโนโลยี 5G ที่ได้รับความนิยมสูงในต่างประเทศ ได้แก่ ย่านความถี่ C-band ย่านความถี่ 24 GHz (24.25-27.5 GHz) และย่านความถี่ 28 GHz (27.5-29.5 GHz)

4.3 ความเป็นไปได้ของย่านความถี่เพิ่มเติมสำหรับเทคโนโลยี 5G ในประเทศไทย

จากย่านความถี่สำหรับเทคโนโลยี 5G ที่กล่าวมานั้น สามารถวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการใช้ย่านความถี่ใหม่เพิ่มเติมมาใช้ในประเทศไทยสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ย่านความถี่	ความเป็นไปได้ในการนำมาใช้สำหรับ 5G ในประเทศไทย	ปีที่อาจนำมาใช้ได้
700 MHz	ปัจจุบันมีการใช้งานในกิจการโทรทัศน์ สามารถนำมาใช้สำหรับ 5G ได้ภายหลังการสิ้นสุดการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบแอนะล็อก (Analog TV Switch off) ในปี 2563 และมีการปรับเปลี่ยนคลื่นความถี่สำหรับโทรทัศน์ในระบบดิจิทัลใหม่	2563
L-band (1427-1518 MHz)	ปัจจุบันมีการใช้งานในกิจการประจำที่ อาจนำมาใช้สำหรับ 5G ได้หลังจากการเรียกคืนคลื่นความถี่	2568
C-band (3300-4200 MHz และ 4400-5000 MHz)	ต้องพิจารณาความสามารถในการใช้คลื่นความถี่ร่วมกับกิจการอื่น โดยปัจจุบันประเทศไทยใช้คลื่นความถี่ย่าน 3400-4200 MHz สำหรับดาวเทียม และย่านความถี่ 4400-5000 MHz สำหรับกิจการประจำที่	ขึ้นกับการศึกษาความสามารถในการใช้คลื่นความถี่ร่วมกัน
ย่านความถี่สูงกว่า 24 GHz ที่จะพิจารณาในการประชุม WRC-19	ขึ้นกับผลการพิจารณาของการประชุม WRC-19 ในปี ค.ศ. 2019 (พ.ศ. 2562) ว่าจะมีการระบุย่านความถี่ใดบ้างสำหรับ 5G	2563
27.5-29.5 GHz	ต้องพิจารณาความสามารถในการใช้คลื่นความถี่ร่วมกับดาวเทียม	ขึ้นกับการศึกษาความสามารถในการใช้คลื่นความถี่ร่วมกัน

4.4 รูปแบบการอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่

คลื่นความถี่สำหรับเทคโนโลยี 5G สามารถอนุญาตได้ทั้งในลักษณะที่ต้องขอรับอนุญาต (Licensed) และไม่ต้องขอรับอนุญาต/ใช้งานร่วมกัน (Unlicensed/Shared) ดังนี้

1) <u>คลื่นความถี่ที่ต้องขอรับอนุญาต (Licensed)</u> ซึ่งสามารถจัดสรรด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การประมูล โดยตัวอย่างในต่างประเทศได้มีการประมูลคลื่นความถี่สำหรับ 5G ดังนี้

ประเทศ	ย่านความถี่	กำหนดการประมูล
สหราชอาณาจักร	3.4 GHz	เมษายน 2561
สหรัฐอเมริกา	24 GHz, 28 GHz	พฤศจิกายน 2561
เยอรมนี	3.6 GHz	ปลายปี 2561
สวิตเซอร์แลนด์	700 MHz, 1400 MHz, 2.6 GHz, 3.5-3.6 GHz, 3.6-3.8 GHz	ครึ่งปีหลังของปี 2561
เกาหลีใต้	3.5 GHz, 28 GHz	มิถุนายน 2561
ออสเตรเลีย	3.6 GHz	ตุลาคม 2561

2) คลื่นความถี่ที่ไม่ต้องขอรับอนุญาต/คลื่นความถี่ที่ใช้งานร่วมกัน (Unlicensed/Shared) เป็นคลื่นความถี่ที่มีลักษณะทางเทคนิคที่ทำให้การใช้คลื่นความถี่ของผู้ใดผู้หนึ่งไม่ได้เป็นการกีดกันไม่ให้ผู้อื่นใช้งานได้ จึงทำให้สามารถใช้งานร่วมกันได้โดยไม่ต้องขอรับอนุญาต โดยตัวอย่างในต่างประเทศได้มีคลื่นความถี่ที่ไม่ต้องขอรับอนุญาต ดังนี้

ประเทศ	ย่านความถี่
สหรัฐอเมริกา	3.55-3.7 GHz, 64-71 GHz
แคนาดา	64-71 GHz

5. บทสรุป (Ways forward)

เราจะเห็นว่าระบบ 5G เริ่มเป็นรูปเป็นร่างมากขึ้น ทั้งในส่วนของมาตรฐาน ประเภทการนำไปใช้งาน รวมถึงคลื่นความถี่ที่มีความน่าสนใจ อย่างไรก็ตามการนำระบบ 5G มาใช้งานจริง ยังคงมีความท้าทายในหลายๆ ด้าน ทั้งด้านความคุ้มค่าต่อการลงทุน ความเหมาะสมของกฎระเบียบและข้อบังคับต่าง ๆ ขององค์กรกำกับดูแล ซึ่งบทความในส่วนต่อๆ ไปของซีรี่ 5G นี้จะสามารถตอบคำถามดังกล่าวได้

สำหรับการเตรียมความพร้อมเพื่อก้าวสู่ยุค 5G ของประเทศไทยในปัจจุบัน สำนักงาน กสทช. ได้จัดตั้งคณะทำงานเพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับเทคโนโลยี 5G โดยแบ่งออกเป็น 2 คณะทำงานย่อย ประกอบด้วย 1) คณะทำงานด้านคลื่นความถี่และมาตรฐานโทรคมนาคม เพื่อศึกษาและจัดทำข้อเสนอแนะในการใช้คลื่นความถี่และมาตรฐานทางเทคนิคเพื่อรองรับเทคโนโลยี 5G รวมทั้งจัดให้มีการทดลอง ทดสอบ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้คลื่นความถี่ร่วมกัน (Sharing and compatibility study) ระหว่างเทคโนโลยี 5G และกิจการวิทยุคมนาคมอื่นๆ ในประเทศไทย และ 2) คณะทำงานด้านการอนุญาตการประกอบกิจการและการอนุญาตให้ใช้ทรัพยากรโทรคมนาคม เพื่อศึกษาและจัดทำข้อเสนอแนะสำหรับแนวทางการอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ แนวทางการอนุญาตประกอบกิจการโทรคมนาคม แนวทางในการจัดการเลขหมายโทรคมนาคม และแนวทางการเตรียมความพร้อมด้านการเชื่อมต่อและความมั่นคงด้านโครงข่าย เพื่อรองรับเทคโนโลยี 5G ซึ่งคณะทำงานย่อยทั้งสองคณะจะประกอบไปด้วยผู้แทนจากภาคส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ของประเทศไทย ผู้แทนจากตลาดโทรคมนาคม รวมถึง ผู้แทนจากสถาบันการศึกษาในประเทศ

ผลลัพธ์ที่ได้จากคณะทำงานดังกล่าว จะเป็นแนวทางเบื้องต้นสำหรับการวางแผนและเตรียมความพร้อมสำหรับเทคโนโลยี 5G ของประเทศไทย เพื่อทำให้เราสามารถใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีนี้ได้อย่างเต็มที่ในอนาคต

บทความอ้างอิง

Eastwood, G. (2017, Jan). A guide to 5G drivers and vertical applications. Retrieved May, 2018, from https://knect365.com/5g-virtualisation/article/905c5935-e69e-443a-8d7e-1b37f9393a0a/a-guide-to-5g-drivers-and-vertical-applications

Herlich, M. (2016, May). Applications for 5G in Production Communication Networks. Retrieved May, 2018, from https://www.salzburgresearch.at/blog/applications-for-5g-in-production-communication-networks/

BrandInside. (2018, April). Smart Meter – Smart Grid เทคโนโลยี IoT เพื่อประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าที่ดีกว่าเดิม. Retrieved May, 2018, from https://brandinside.asia/smart-meter-smart-grid-iot-technology/5G PPP. 5G empowering vertical industries. Retrieved May, 2018, from https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2016/02/BROCHURE_5PPP_BAT2_PL.pdf

Ofcom. (2018, March). Enabling 5G in the UK. Retrieved May, 2018, from https://www.ofcom.org.uk/spectrum/information/innovation-licensing/enabling-5g-uk