# 5G: เทคโนโลยีการสื่อสารแห่งทศวรรษหน้า

เทอดพงษ์ แดงสี[1] และ พิสิฐ พรพงศ์เตชวาณิช[2*]

**บทคัดย่อ**

บทความวิชาการนี้เป็นบทความที่นำเสนอภาพรวมและสถานการณ์เกี่ยวกับเทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคมยุคที่ 5 หรือที่เรียกว่า 5G ที่กำลังจะถือกำเนิดขึ้นในประเทศไทยภายในปี พ.ศ. 2563 ซึ่งเนื้อหาในบทความนี้เริ่มอธิบายตั้งแต่วิวัฒนาการของเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ จากนั้นทำการอธิบายถึงปัจจัยที่ขับเคลื่อนให้เกิดเทคโนโลยี 5G เทคโนโลยีสำคัญที่สนับสนุน 5G ข้อกำหนดที่สำคัญๆ สำหรับการพัฒนาเทคโนโลยี 5G ตลอดจนเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะที่โดดเด่นของของเทคโนโลยีดังกล่าว (เช่น อัตราการรับส่งข้อมูลที่เร็วกว่า 4G ถึง 20 เท่า และการประวิงเวลาที่ต่ำมาก เป็นต้น) และกรณีการใช้งาน 5G หรือการประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ นอกจากนี้บทความนี้ยังนำเสนอสถานการณ์ที่เกี่ยวกับ 5G ที่เกิดขึ้นทั้งในต่างประเทศและในประเทศไทย ดังนั้น บทความนี้จึงเหมาะสำหรับผู้ที่กำลังเริ่มต้นศึกษาหรือผู้อ่านที่สนใจเกี่ยวกับเทคโนโลยี 5G ที่กำลังจะมีการให้บริการภายในอนาคตอันใกล้นี้

**คำสำคัญ :** 5G, IMT-2020, กสทช.

---

[1] สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

[2] สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ, คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ (วิทยาเขตวังไกลกังวล)

[*] ผู้ติดต่อ, อีเมล์: phisit.kha@rmutr.ac.th รับเมื่อ 4 มิถุนายน 2019 ตอบรับ 26 สิงหาคม 2562

# 5G: The Communication Technology of the Next Decade

Therdpong Daengsi[1] and Phisit Pornpongtechavanich[2*]

## Abstract

This academic paper is an article that presents the overview and situation about the fifth generation of mobile communication technology or called 5G for short, which should be available in Thailand by 2020. The content of this paper introduces the evolution of mobile communication technology. Then, the driving factors of this emerging 5G technology, the important technologies that support 5G, the important requirements for 5G technology development and the enhancements of this technology (e.g., the data speed that increases 20 times when compared to 4G and very low latency) and the 5G use cases or applications are also described. Furthermore, this paper also presents the status of 5G in other countries and in Thailand. Thus, this paper is an appropriate start for researchers or anybody who wishes to learn more about 5G technology that will provide the services in the near future.

**Keywords :** 5G, IMT-2020, NBTC

[1] Sustainable Industrial Management Engineer, Faculty of Engineering, RMUTP, Bangkok.

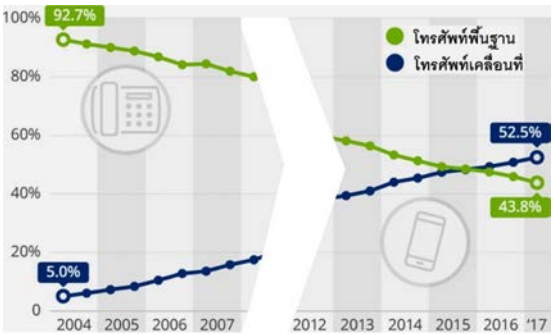
[2] Information Technology, Faculty of Industry and Technology, RMUTR (Wang Klai Kangwon Campus).

[*] Corresponding author, E-mail: phisit.kha@rmutr.ac.th, Received :4 June 2019, Accepted:26 August 2019

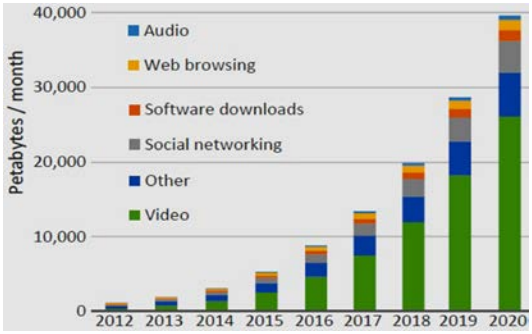
## 1. บทนำ

ปัจจุบันนี้ เทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่มีความก้าวหน้าขึ้นเป็นอย่างมาก โดยมีความสามารถในการรองรับการสื่อสารและบริการทั้งแบบข้อความ เสียง ภาพ และภาพเคลื่อนไหว ตลอดจนรองรับการใช้งานบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตซึ่งมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เพราะผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น เนื่องด้วยปัจจุบันเครื่องโทรศัพท์มีราคาถูกลงในขณะที่ความสามารถของเครื่องเพิ่มขึ้น หลักฐานหนึ่งที่สามารถยืนยันประเด็นนี้ได้ก็คือสัดส่วนของครัวเรือนที่ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยไม่ใช้โทรศัพท์พื้นฐานในอเมริกา ที่ได้จากการสำรวจกว่า 150,000 ครัวเรือน ในปี 2017 แล้วพบว่ามากกว่า 52 % ของครัวเรือน ใช้งานเพียงโทรศัพท์เคลื่อนที่เท่านั้น [1] แต่เมื่อพิจารณาข้อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่แสดงในรายงานของสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) กลับพบว่าค่อนข้างแตกต่างกัน ทั้งนี้ กสทช. ได้ระบุในรายงานของไตรมาสที่ 4 ปี พ.ศ. 2558 ว่า มีการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ประมาณ 103 ล้านเลขหมาย แต่มีการใช้งานโทรศัพท์พื้นฐานเพียง 5.3 ล้านเลขหมาย [2] และคาดว่า ในปัจจุบันอาจมีการใช้งานโทรศัพท์พื้นฐานน้อยกว่า 5 ล้านเลขหมาย เพราะมีอัตราการยกเลิกเลขหมายโทรศัพท์พื้นฐานเฉลี่ยอยู่ที่ 7% ต่อปี [3] นอกจากนี้ยังมีรายงานด้วยว่า การใช้งานบริการประเภทเสียงก็มีแนวโน้มลดลง ซึ่งสวนทางกับบริการประเภทที่ไม่ใช่บริการเสียงซึ่งครอบคลุมถึงการใช้บริการอินเทอร์เน็ตและบริการต่างๆ ที่ทำงานบนเครือข่ายไอพี (ย่อมาจากอินเทอร์เน็ตโปรโตคอล (Internet Protocol)) ที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น [2,4]

ด้วยความต้องการใช้งานอินเทอร์เน็ตในการเข้าถึงข้อมูล และการใช้งานแอปพลิเคชันและซอฟต์แวร์ต่างๆ ที่ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2 [5] นั่นหมายความว่า เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้กลายเป็นเครือข่ายการสื่อสารข้อมูลหลักในยุคปัจจุบันไปโดยปริยาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้งานแอปพลิชันหรือบริการ เช่น ประเภทวิดีโอที่มีความละเอียดของภาพสูง เทคโนโลยี 4G ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันอาจรองรับได้ไม่เพียงพอ องค์กรด้านการสื่อสารโทรคมนาคมต่างๆ จึงต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ ขึ้นมารองรับความต้องการที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเทคโนโลยีที่กำลังพัฒนาขึ้นก็คือ เทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคมยุคที่ 5 หรือ 5G ที่จะถูกพัฒนาให้มีความสามารถมากกว่าเทคโนโลยี 4G ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน และจะกลายเป็นโครงสร้างพื้นฐานในการที่จะทำให้อุตสาหกรรมต่างๆ สามารถเปลี่ยนผ่านสู่ดิจิทัล (Digital Transformation) ได้อย่างเป็นรูปธรรม [6] สำหรับประเทศไทย มีการคาดการณ์ว่า กสทช. จะเปิดประมูลคลื่นความถี่ใหม่เพื่อรองรับเทคโนโลยี 5G ในปี พ.ศ. 2563 นี้ [7]




**รูปที่ 1** สถิติการใช้งานโทรศัพท์พื้นฐานกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ในอเมริกา [1]




**รูปที่ 2** การคาดการณ์ทราฟฟิคของข้อมูลที่มีการใช้งานทั่วโลก [5]

ดังนั้น เพื่อความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยี 5G ดังกล่าว (ซึ่งในบทความนี้ มีความหมายเดียวกันทั้งคำว่า ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ 5G, เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 5G, โครงข่าย 5G และ ระบบ 5G) ผู้วิจัยจึงศึกษาและทำการรวบรวมประเด็นที่สำคัญๆ มาไว้ตาม ดังหัวข้อต่อไปนี้

## 2. วิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

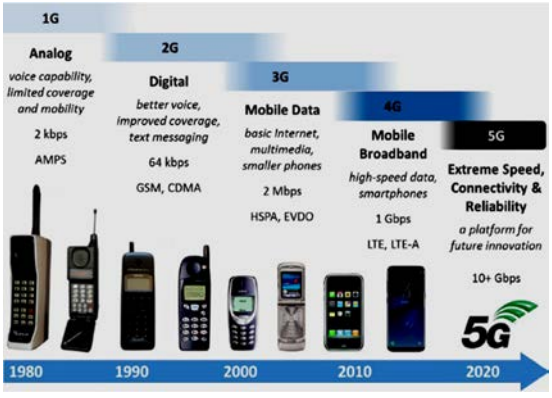
ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ 5G เป็นผลมาจากการพัฒนาอย่างต่อเนื่องของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งแบ่งออกเป็นยุคต่างๆ ดังนี้

### 2.1 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 1

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่1 (The First Generation of Mobile Communications Technology: 1G) ได้รับการพัฒนาขึ้นในเวลาใกล้เคียงกัน 3-4 ระบบ แต่ระบบที่ได้รับความนิยมสูงที่สุดในช่วงนั้นชื่อว่า AMPS (ย่อมาจาก Advanced Mobile Phone System) ซึ่งใช้เทคนิคการมอดูเลตสัญญาณแบบ FDMA (ย่อมาจาก Frequency Division Multiple Access) และใช้ช่วงความถี่ย่าน 800-900 MHz ที่สำคัญสามารถรับส่งได้เพียงสัญญาณเสียงเท่านั้น [8,9] ในขณะที่มีข้อจำกัดต่างๆ มากมาย เช่น คุณภาพเสียงไม่ดี เครื่องใหญ่ เปลืองแบตเตอรี่ รองรับเลขหมายและพื้นที่บริการได้ค่อนข้างน้อย และส่งข้อมูลได้จำกัดเพียง 2 Kbps เป็นต้น

### 2.2 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2 (The Second Generation of Mobile Communications Technology: 2G) ถือเป็นระบบที่มีการสื่อสารแบบดิจิทัล (Digital) อย่างสมบูรณ์ จึงสามารถสื่อสารได้ทั้งเสียงที่มีคุณภาพดีขึ้น และสามารถรับส่งข้อมูลได้ 64-144 Kbps จึงสามารถบริการรับส่งข้อความสั้น (Short Message Service: SMS) ภาพและมัลติมีเดีย (Multimedia Message Service: MMS) ได้ นอกจากนี้ยังครอบคลุมพื้นที่บริการได้กว้าง ขณะที่ตัวเครื่องมีขนาดเล็กลง รับส่งอีเมลได้และเข้าเว็บไซต์ได้โดยผ่าน GPRS และ EDGE (ย่อมาจาก General Packet Radio Services และ Enhanced Data for GSM Evolution ตามลำดับ) เป็นต้น [8,9] ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ 2G ที่มีการพัฒนาขึ้นมี 2 ระบบหลัก คือ ระบบ GSM (ย่อมาจาก Global System for Mobile Communications) ซึ่งใช้เทคนิคการมอดูเลตสัญญาณแบบ TDMA (ย่อมาจาก Time Division Multiple Access) ~~และ~~




**รูปที่ 3** วิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ [5]

ส่วนอีกระบบ คือ ระบบ CDMA (ย่อมาจาก Code Division Multiple Access) ซึ่งใช้เทคนิค Spread Spectrum คือการใช้คลื่นความถี่เดียวกันพร้อมๆ กัน

**2.3 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3**

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 (The Third Generation of Mobile Communications Technology: 3G) ตรงกับมาตรฐาน IMT-2000 (ย่อมาจาก International Mobile Telecommunications-2000) ของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศหรือ ITU (ย่อมาจาก International Telecommunication Union) [10] ระบบโทรศัพท์ 3G ได้ถูกพัฒนาและใช้งานในช่วงต้นทศวรรษ 2000 ในยุโรปเรียกระบบนี้ว่า UMTS (ย่อมาจาก Universal Mobile Telecommunication System) คุณสมบัติเด่นของระบบนี้ ได้แก่ ความสามารถรองรับบริการรับส่งข้อมูลแบบมัลติมีเดียได้ด้วยความเร็ว 2 Mbps จึงสามารถรองรับบริการและแอปพลิเคชันต่างๆ ได้หลากหลายขึ้นเช่น วิดีโอสตรีมมิง ทีวีสตรีมมิง วิดีโคคอลล์ และ เกมออนไลน์แบบ 3 มิติ เป็นต้น [8,9] นอกจากนี้ตัวเครื่องโทรศัพท์ยังได้รับการพัฒนาขึ้นเรียกว่า สมาร์ตโฟน (Smart Phone) ซึ่งสามารถใช้งานแอปพลิเคชันและบริการที่กล่าวมาข้างต้นได้ รวมไปถึงการรองรับการเข้าถึงอินเทอร์เน็ต การใช้งานอีเมล และใช้งานแอปพลิเคชันสื่อสังคมออนไลน์ต่างๆ ได้

**2.4 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4**

ในปี 2008 ITU ได้ออกมาตรฐานที่เรียกกันว่า IMT-Advanced (ย่อมาจาก International Mobile Telecommunications-Advanced) เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ 4G (The Fourth Generation of Mobile Communications Technology: 4G) [11] โดยมีหนึ่งในเป้าหมายหลัก คือ ระบบ 4G จะต้องรองรับความเร็วในการรับส่งข้อมูล (Data Rate) สูงสุด 100 Mbps ในขณะเคลื่อนที่ และสูงสุด 1 Gbps เมื่ออยู่กับที่ (เป็นเป้าหมายในทางทฤษฎี เพราะในปัจจุบันสามารถรองรับความเร็วสูงสุดประมาณ 44 Mbps เท่านั้น ในขณะที่ค่าเฉลี่ยทั่วโลกอยู่ที่ 16.9 Mbps [12] อย่างไรก็ดี ระบบ 4G ในที่นี้ มีความหมายรวมถึงมาตรฐาน LTE ที่ออกโดยองค์กรที่ชื่อว่า 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ออกมาในช่วงเวลาใกล้เคียงกันกับ IMT-Advanced และมีเป้าหมายคล้ายกันคือ เพื่อพัฒนาต่อยอดระบบสื่อสารโทรคมนาคมให้ก้าวหน้า ความพิเศษของระบบ 4G ที่เหนือกว่า 3G อย่างชัดเจน เช่น ทำให้ผู้ใช้ทั่วไปสามารถทำการถ่ายทอดสดเหตุการณ์ต่างๆ ผ่านสมาร์ตโฟนได้ นอกจากนี้ ยังรองรับการใช้งานแอปพลิเคชันและบริการต่างๆ ที่มีการพัฒนาบนพื้นฐานของอินเทอร์เน็ตโปรโตคอลได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ ในประเทศไทยได้เริ่มทดลองใช้ระบบ 4G ในบางพื้นที่ตั้งแต่ปี 2012 แล้วขยายไปในหลายพื้นที่ของกรุงเทพฯ ในปี 2013 [13,14] และมีการใช้งานอย่างเป็นทางการภายหลังการประมูลคลื่นความถี่สำหรับ 4G ในช่วงปลายปี 2015 [15]

## 3. ปัจจัยในการขับเคลื่อนให้เกิดเทคโนโลยี 5G

ปัจจัยที่ผลักดันให้เกิดเทคโนโลยี 5G (The Fifth Generation of Mobile Communications Technology: 5G) นั้น เกิดจากหลายปัจจัย เช่น ปัจจัยทางการเมือง ซึ่งจะไม่ได้กล่าวถึงในบทความนี้ อย่างไรก็ดี ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญเป็นปัจจัยที่เกิดจากวัฏจักรชีวิต (Life cycle) ของเทคโนโลยีการสื่อสาร ซึ่งจะมีการพัฒนาและนำออกใช้ในในระยะแรก จากนั้นก็จะมีการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะที่สอง แล้วใช้งานแพร่หลายถึงระดับ

สูงสุดหรือเติบโตเต็มที่ จากนั้นก็จะเริ่มล้าสมัยมีจำนวนผู้ใช้งานลดลง โดยส่วนหนึ่งอาจเปลี่ยนไปใช้งานเทคโนโลยีอื่นที่มีคุณสมบัติดีกว่าและตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้มากกว่า ซึ่งอาจคล้ายกับกรณีที่มีจำนวนผู้ใช้งานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ 2G และ 3G ที่ลดลงเรื่อยๆ ในขณะที่จำนวนผู้ใช้งานระบบ 4G มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น และคาดการณ์ว่าจะขยายตัวสูงที่สุดในช่วงปี 2020-2021 [5] นั่นหมายความว่าระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ 5G ควรจะถูกนำออกสู่ตลาดโทรคมนาคมภายในช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับเส้นเวลา (Time Line) ของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เปรียบเสมือนมีพันธะสัญญากับตลาดโทรคมนาคมว่าองค์กรที่เกี่ยวข้องตลอดจนผู้ผลิตจะต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่แล้วนำออกสู่ตลาดโทรคมนาคมทุกๆ 10 ปี ซึ่งหนึ่งในองค์กรหลักที่ผลักดันเทคโนโลยี 5G ก็คือ ITU ซึ่งเป็นองค์กรที่อยู่ภายใต้องค์การสหประชาชาติ โดยจัดทำข้อกำหนดสำหรับ 5G ในรูปของมาตรฐาน IMT-2020 [16] อีกปัจจัยสำคัญ เกิดจากการขับเคลื่อนโดยตลาดและระบบเศรษฐกิจ เพราะการสื่อสารโทรคมนาคมถือเป็นโครงสร้างพื้นฐาน เมื่อมีโครงสร้างพื้นฐานที่ดีรองรับภาคธุรกิจ เศรษฐกิจกิจจะเติบโต ตลาดโทรคมนาคมและตลาดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องก็จะเติบโต ทั้งนี้ ได้มีองค์กรหนึ่งทำการศึกษาและพบว่าจากการเปิดประมูล 4G ของ กสทช. ช่วงปลายปี 2015 สามารถกระตุ้นการเติบโตทางเศรษฐกิจไทยได้ประมาณ 700,000 - 820,000 ล้านบาท ภายในปี 2020 ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากการลงทุนโครงข่ายของผู้ชนะประมูล รวมถึงงบประมาณจากภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมเกี่ยวเนื่องอื่นๆ ที่จะนำเทคโนโลยีดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ [17] นอกจากนี้ ได้มีการประมาณการว่า 5G จะช่วยทำให้เศรษฐกิจของไทยให้เติบโตเพิ่มขึ้นไม่น้อยกว่า 2,000,000 ล้านบาท ในปี 2030 ในขณะที่ความเติบโตที่เพิ่มขึ้นส่วนหนึ่งมาจากการงบประมาณที่ใช้ในการลงทุนวางระบบหรือโครงข่าย [18]

## 4. เทคโนโลยีสนับสนุนที่สำคัญ

เพื่อผลักดันให้เทคโนโลยี 5G จำเป็นจะต้องอาศัยศักยภาพหรือความสามารถของเทคโนโลยีต่างๆ ดังนี้

### 4.1 เทคโนโลยีเอสดีเอ็น

เทคโนโลยีเอสดีเอ็น (Software Defined Networking: SDN) คือ เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ แม้ว่าเทคโนโลยีนี้จะไม่ใช่เทคโนโลยีใหม่เสียทีเดียว แต่ก็ยังถือว่าเป็นการจัดการอุปกรณ์เครือข่ายรูปแบบใหม่ ที่มีการแยกส่วนของการควบคุมเครือข่ายออกจากส่วนที่ทำหน้าที่อนุญาตหรือส่วนที่ทำหน้าที่บริการรับส่งข้อมูลบนเครือข่ายตามการตัดสินใจของภาคควบคุม [19] โดยเอสดีเอ็นอนุญาตให้ผู้ดูแลระบบสามารถทำการตั้งค่าและการบริหารจัดการจากส่วนกลางได้ นอกจากนี้เอสดีเอ็นยังมีหลักการสำคัญหรือรูปแบบสถาปัตยกรรมเครือข่ายที่มีการแยกระบบควบคุมหรือระบบบริการเครือข่ายออกจากอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นสถาปัตยกรรมที่ไม่มีการยึดติดกับอุปกรณ์ใดอุปกรณ์หนึ่งก็ได้ โดยที่ผู้ดูแลเครือข่ายสามารถบริหารจัดการและตั้งค่าอุปกรณ์ ณ จุดเดียวได้ ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ที่มีติดตั้งอยู่เดิมหรืออุปกรณ์ที่ติดตั้งเพิ่มขึ้นมาใหม่ จุดเด่นอีกข้อของเอสดีเอ็นก็คือการมีโครงสร้างเครือข่ายที่มีความยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังเอื้อต่อการขยายตัวเมื่อต้องเพิ่มอุปกรณ์ใหม่ๆ

**4.2 เทคโนโลยีเอ็นเอฟวี**

เทคโนโลยีเอ็นเอฟวี (NFV ย่อมาจาก Network Function Virtualization) เป็นเทคโนโลยีที่มีหลักการทำงานบนพื้นฐานของระบบเวอร์ชวลแมชีน (Virtual Machine) ที่ใช้บริหารจัดการภายในเครื่องแม่ข่าย (Server) ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ที่สามารถให้บริการเครือข่ายแบบเสมือนที่สามารถใช้ซอฟต์แวร์จำลองการทำงานของคอมพิวเตอร์แม่ข่ายเพียง 1 เครื่อง ให้เสมือนเป็นคอมพิวเตอร์หลายตัวทำงานแยกกันได้ [20] การทำงานเอ็นเอฟวี โดยปกติจะใช้เซิร์ฟเวอร์ในการรองรับการทำงานของซอฟต์แวร์เวอร์ชันต่างๆ ของบริการเครือข่ายที่เดิมเคยอาศัยฮาร์ดแวร์เป็นพื้นฐาน บริการที่ใช้ซอฟต์แวร์เป็นพื้นฐานเหล่านี้มีชื่อเรียกว่าวีเอ็นเอฟ (VNF ย่อมาจาก Virtual Network Functions) และจะทำงานในสภาพแวดล้อมแบบเอ็นเอฟวี ตัวอย่างของฟังก์ชันการให้บริการบนเครือข่ายผ่านเทคโนโลยีเอ็นเอฟวี ได้แก่ การกำหนดเส้นทางในเครือข่าย การทำไฟร์วอลล์ การกระจายงาน และการเข้ารหัสข้อมูล เป็นต้น ด้วยการทำให้บริการเครือข่ายเหล่านี้เป็นแบบเสมือน ทั้งนี้ ผู้ดูแลระบบสามารถตั้งค่าหรือเปลี่ยนแปลงการให้บริการต่างๆ ดังที่กล่าวมาได้ตามต้องการ [21]

**4.3 เทคโนโลยีเอสดีอาร์**

เทคโนโลยีเอสดีอาร์ (Software Defined Radio: SDR) หรือเทคโนโลยีการกำหนดสัญญาณวิทยุด้วยซอฟต์แวร์ เป็นระบบสื่อสารทางวิทยุที่สามารถกระทำการมอดูเลต (Modulation) และการดีมอดูเลต (Demodulation) สัญญาณวิทยุหรือคลื่นความถี่ด้วยซอฟต์แวร์ (Software) [22] ซึ่งถือเป็นการเปลี่ยนแปลงระบบสื่อสารจากรูปแบบเดิมที่ฟังก์ชันการทำงานหลักอยู่บนฮาร์ดแวร์เป็นหลัก ย้ายไปอยู่บนซอฟต์แวร์แทน นั่นหมายความว่า เอสดีอาร์เป็นระบบที่สามารถสื่อสารบนย่านความถี่ใดก็ได้ แบนด์วิดท์ขนาดเท่าใดก็ได้ ใช้เทคนิคสื่อสารใดก็ได้ หรือความเร็วในการสื่อสารเท่าใดก็ได้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่กล่าว จะอยู่บนพื้นฐานของซอฟต์แวร์เป็นหลัก [23] เอสดีอาร์มีหลักการทำงานคือ สัญญาณวิทยุจะถูกประมวลผลผสานทางอุปกรณ์หรือเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมชุดอุปกรณ์ที่ภาคส่งก่อนที่จะส่งสัญญาณจำเป็นที่จะต้องแปลงสัญญาณดิจิทัลไปเป็นสัญญาณ แอนะล็อก แล้วส่งออกไปผ่านทางสายอากาศ ส่วนที่ภาครับสัญญาณ สายอากาศจะรับและส่งสัญญาณไปแปลงจากสัญญาณแอนะล็อกไปเป็นดิจิทัลก่อนนำไปประมวลผลที่คอมพิวเตอร์ต่อไป แน่นอนว่า กระบวนการประมวลผลสัญญาณต่างๆ จะดำเนินการผ่านซอฟต์แวร์ จึงกลายเป็นจุดเด่นของเทคโนโลยีนี้คือ ระบบมีความยืดหยุ่นสูง เนื่องจากเป็นการกำหนดสัญญาณวิทยุด้วยซอฟต์แวร์

**4.4 เทคโนโลยีซี-แรน**

เทคโนโลยีซี-แรน (C-RAN ย่อมาจาก Cloud Radio Access Network หรือ Centralized Radio Access Network เป็นแนวคิดใหม่ ที่นำเสนอเกี่ยวกับการประมวลผลจากส่วนกลาง (แบบรวมศูนย์) คลื่นความถี่วิทยุที่มีการทำงานร่วมกัน การประมวลผลคลาวด์แบบเรียลไทม์ (Real-Time Cloud Computing) และโครงสร้างพื้นฐานที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงาน โดยสถาปัตยกรรมใหม่นี้รวบรวมทรัพยากรการประมวลผลของสถานีฐานทั้งหมดไว้ที่ส่วนกลาง ส่วนสัญญาณความถี่วิทยุจากสายอากาศที่กระจายต่างจุดต่างๆ จะถูกรวบรวมด้วยส่วนควบคุมวิทยุระยะไกล (Remote Radio Heads: RRHs) และส่งไปยังแพลตฟอร์มแบบคลาวด์

ผ่านทางเครือข่ายการสื่อสารแบบใยแก้ว (Optical Transmission Network: OTN) [24] กล่าวโดยสรุป ซี-แรน คือสถาปัตยกรรมที่รวมการส่งสัญญาณมาไว้ที่ศูนย์กลาง แล้วใช้เซลล์ไซต์ (Cell site) ขนาดเล็กในการกระจายคลื่นความถี่ออกไปให้ครอบคลุมอาณาบริเวณที่ต้องการ ทั้งนี้เพื่อลดจำนวนเซลล์ไซต์ขนาดใหญ่ดังที่ใช้งานในเครือข่าย 2G/3G/4G และลดต้นทุนที่เกี่ยวข้อง เช่น ต้นทุนในการวางระบบ ต้นทุนในการดำเนินการ และต้นทุนด้านพลังงาน แต่สามารถให้บริการที่ดีกว่าเดิม เช่น ครอบคลุมพื้นที่มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งตามพื้นที่อับสัญญาณในอาคารสำนักงาน ซึ่งเซลล์ไซต์แบบดั้งเดิมอาจครอบคลุมได้ไม่ทั่วถึง

**4.5 เทคโนโลยีแมสสีฟไมโม**

เทคโนโลยีแมสสีฟไมโม (Massive Multiple-Input Multiple-Output: Massive MIMO) เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการงานทรัพยากรความถี่เป็นอย่างมาก [21] เทคโนโลยีนี้ใช้แผงสายอากาศ (Antenna arrays) ที่ประกอบด้วยสายอากาศหลายร้อยตัวติดตั้งบนเสาส่งสัญญาณโทรศัพท์ เพื่อให้บริการแก่ผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่หลายสิบคนพร้อมๆ กัน โดยใช้ทรัพยากรความถี่ ณ ช่วงเวลาเดียวกัน อย่างไรก็ดี แม้เทคโนโลยีนี้จะมีข้อจำกัด เช่น การประมวลผลสัญญาณมีความซับซ้อน แต่ได้ช่วยเพิ่มคุณสมบัติต่างๆ [20] เช่น ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างน้อย 10% และยังปรับปรุงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสำหรับการแผ่คลื่นความถี่ให้ดีขึ้นไม่น้อยกว่า 100 เท่า ใช้พลังงานต่ำและราคาไม่แพง ลดค่าประวิงเวลาในการเชื่อมต่อสัญญาณผ่านอากาศได้อย่างมีนัยสำคัญ ทนทานต่อการก่อกวนสัญญาณ นอกจากนี้ยังเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขยายสัญญาณด้วยคุณสมบัติของแมสสีฟไมโม ซึ่งจะทำเกิดการรับส่งข้อมูลปริมาณมหาศาล นั่นหมายความว่าเทคโนโลยีแมสสิฟไมโม มีความสามารถที่เหมาะสมมากสำหรับสนับสนุนเครือข่ายโทรศัพท์ 5G

**4.6 เทคโนโลยีคลื่นมิลลิเมตร**

เทคโนโลยีคลื่นมิลลิเมตร (Millimeter-Wave) เทคโนโลยีนี้ ถือเป็นเทคโนโลยีความหวังสำหรับเครือข่าย 5G ที่จะช่วยทำให้เครือข่าย 5G สามารถรองรับซุปเปอร์วายด์แบนด์วิดท์ (Super Wide Bandwidth) ได้ เพราะคลื่นความถี่นี้มีย่านความถี่ระหว่าง 26.5 – 300 GHz นอกจากนี้ ด้วยคุณสมบัติของคลื่นมิลลิเมตร ทำให้สายอากาศที่ใช้มีขนาดเล็กลงมากเมื่อเทียบกับไมโครเวฟ อย่างไรก็ดี สิ่งที่อาจเป็นข้อจำกัดในการนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ก็คือ อุปกรณ์ที่ทำงานกับคลื่นมิลลิเมตรจะต้องมีความเที่ยงตรงสูงมาก นอกจากนี้ยังมีประเด็นที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของคลื่นมิลลิเมตร เช่น มีข้อจำกัดเกี่ยวกับการสูญเสียหรือการลดทอนเมื่อคลื่นเดินทางในอากาศ มีข้อจำกัดเกี่ยวกับการเลี้ยวเบนเมื่อเจอสิ่งกีดขวาง เช่น กำแพง ภูเขาหรืออาคารสูง ตลอดจนปัญหาที่เกิดจากผลกระทบจากวิ่งแวดล้อม เช่น ความชื้นในอากาศ หมอก และหยาดฝน เป็นต้น [25,26]

**4.7 เทคโนโลยีเครือข่ายเฮ็ตเทอโรจีเนียส**

เทคโนโลยีเครือข่ายเฮ็ตเทอโรจีเนียส หรือ เฮ็ตเน็ต (Heterogeneous Networks: HetNets) หากแปลตามตัวก็คือเครือข่ายที่แตกต่างกัน ซึ่งในที่นี้หมายถึงเครือข่ายแบบมัลติเปิลเทียร์ (Multi-Tier Network) ที่ผสมผสานเทคโนโลยีไร้สายแบบต่างๆ ที่มีสถานีฐานติดตั้งอยู่ในบริเวณเดียวกันหรือใกล้เคียงกันให้สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ นั่นก็คือเป็นเครือข่ายที่มีระบบการบริหารจัดการแบบองค์รวม โดยสถานีฐาน

ของเครือข่ายไร้สายในเฮ็ตเน็ตอาจเป็นเซลล์ไซต์ (Cell site) แบบหรือขนาดต่างๆ เช่น แบบแมคโคร (Macro) ไมโคร (Micro) พิโค (pico) และ เฟ็มโต (Femto) (อาจครอบคลุมอุปกรณ์เครือข่ายไร้สายแบบไวไฟ (WiFi) ด้วย) ปัจจุบัน เทคโนโลยีนี้ได้ถูกรวมไว้เป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐาน LTE-A (ย่อมาจาก Long-Term Evolution Advance) เฮ็ตเน็ตถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรคลื่นความถี่ โดยการใช้ความถี่ที่มีอยู่เดิมซ้ำเพื่อเพิ่มความความจุหรือสามารถของเครือข่ายตลอดจนการครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ ทั้งนี้ก็เพื่อสนองตอบต่อความต้องการของผู้ใช้งานที่เพิ่มสูงขึ้น [20,25]

## 5. ข้อกำหนดทั่วไป

ITU ได้ทำการศึกษาแล้วออกเป็นข้อกำหนดทั่วไปสำหรับระบบ IMT-2020 หรือ 5G เอาไว้ดังนี้ [16]

1) ควรมีความหลากหลายของบริการ (Service Diversity) หรือมีบริการที่หลากหลาย ที่รองรับลักษณะและพฤติกรรม การจราจรของข้อมูล (Traffic) ของข้อมูลที่หลากหลายได้ เช่น ความหลากหลายด้านคุณภาพของบริการ ความหลากหลายของระดับของการเคลื่อนที่ ความหลากหลายของชนิดของข้อมูล และความหลากหลายของรูปแบบของการจราจรของข้อมูล

2) ควรเป็นสถาปัตยกรรมเครือข่ายที่ได้รับการออกแบบให้เครือข่ายหลักสามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายร่วมทั้งเครือข่ายที่เดินสายปกติและเครือข่ายไร้สายโดยไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์พิเศษช่วยในการเชื่อมต่อ นั่นหมายความว่าเครือข่าย 5G ควรรองรับและสนับสนุนเครือข่ายที่เข้าถึงได้หลากหลายวิธี

3) ควรมีความยืดหยุ่นและสามารถขยายหรือปรับเปลี่ยนได้ เพื่อให้พร้อมสำหรับรองรับข้อกำหนดด้านบริการต่างๆ ที่หลากหลายหรือแม้แต่การรองรับปัญหาที่อาจเกิดขึ้น รวมถึงการรองรับข้อกำหนดด้านบริการต่างๆ ในรูปแบบที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ แทนที่จะต้องวางเครือข่ายแยกเฉพาะแต่ละบริการ

4) มีสถาปัตยกรรมเครือข่ายแบบกระจาย เพื่อให้เพียงพอที่จะจัดการกับการให้บริการที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากบริการที่ต้องการแบนด์วิดธ์ปริมาณมาก เช่น การประชุมทางวิดีโอและการผ่าตัดทางการแพทย์ระยะไกล นั่นหมายความว่า สถาปัตยกรรมแบบรวมศูนย์ขนาดใหญ่ไม่เหมาะสมสำหรับระบบ 5G

5) ควรได้รับการออกแบบและพัฒนาให้มีความสามารถในการประมวลผลข้อมูลปริมาณมากๆ ภายในเครือข่ายได้ ซึ่งจะช่วยจัดการข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น เครือข่าย 5G ควรจะมีกลไกที่อนุญาตให้ผู้ใช้งานสามารถดึงข้อมูลได้ทันทีโดยไม่ต้องสนใจว่าทำจากจุดใด

6) ควรมีการจัดการเครือข่ายที่ดี มีการบูรณาการเครือข่ายแบบเดิมให้ทำงานร่วมกับเครือข่ายใหม่ได้ สามารถจัดการได้ทั้งทรัพยากรกายภาพและทรัพยากรเสมือน นอกจากนี้การจัดการควรง่ายและควรเป็นระบบอัตโนมัติ และควรรองรับโปรโตคอลมาตรฐานที่ใช้ในการจัดการเครือข่ายได้

7) ควรมีความเป็นพลวัตในการส่งข้อมูลไปบนเครือข่าย และมีการเลือกเส้นทางในการส่งข้อมูลที่ชาญฉลาด เพื่อปรับตัวให้เข้ากับสภาวะในเครือข่ายที่มีความเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเสมอๆ

8) ควรได้รับการออกแบบให้มีความน่าเชื่อถือและมีความยืดหยุ่น เพื่อรองรับวิกฤตที่อาจเกิดขึ้น เช่น เกิดความแออัดในเครือข่าย และกรณีที่เกิดภัยพิบัติ เป็นต้น

9) ควรมีความมั่นคงปลอดภัย และสามารถรักษาข้อมูลส่วนตัวของผู้ใช้งานได้ รวมถึงการรักษาความลับ ความถูกต้องของข้อมูล และความพร้อมใช้งาน

10) ควรออกแบบให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งหมายรวมถึงการใช้พลังงานของอุปกรณ์พกพาต่างๆ ด้วย

## 6. ข้อกำหนดด้านบริการ: กรณีการใช้งาน 5G

ข้อกำหนดด้านบริการที่เกี่ยวข้องกับกรณีการใช้งานเทคโนโลยี 5G (5G Use Cases) มีลักษณะการใช้งาน 3 รูปแบบหลัก ที่เพิ่มขึ้นหรือแตกต่างจากเทคโนโลยี 4G ที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งสามารถอธิบายโดยสังเขปได้ดังนี้ [5,16,26]

### 6.1 บรอดแบนด์เคลื่อนที่แบบเพิ่มสมรรถนะ

บรอดแบนด์เคลื่อนที่แบบเพิ่มสมรรถนะ (Enhanced Mobile Broadband: eMBB) เป็นลักษณะการใช้งานที่ต้องการอัตราการรับส่งข้อมูล (Data Rate) ที่สูง สามารถสร้างประสบการณ์ที่ดีให้กับผู้ใช้งาน (User Experienced ata rate) มีการครอบคลุมพื้นที่ (Area Traffic Capacity) ที่ดีกว่าเดิม มีประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงาน (Network Energy Efficiency) ที่สูงขึ้น ใช้งานย่านความถี่ต่างๆ ได้อย่างคุ้มค่า (Spectrum Efficiency) และรองรับการใช้งานขณะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงได้ ทำให้ระบบ 5G สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น ความเป็นจริงเสมือน (VR)/ความเป็นจริงเสริม (AR) (VR/AR ย่อมาจาก Virtual Reality / Augmented Reality) วิดีโอแบบยูเอชดี (UHD: Ultra High Definition Video) และการประมวลผลคลาวด์แบบเคลื่อนที่ (Mobile Cloud Computing) เป็นต้น

### 6.2 การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์จำนวนมาก

การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์จำนวนมาก (Massive Machine Type Communications: mMTC) เป็นลักษณะการใช้งานที่ต้องการให้ระบบ 5G มีความสามารถรองรับอุปกรณ์จำนวนมากๆ ที่อยู่ในพื้นที่เล็กๆ ได้พร้อมๆ กัน (Connectivity density) ทำให้ระบบ 5G สามารถรองรับการใช้งานต่างๆ เช่น เครือข่ายสังคมออนไลน์ (Social Networking) และ ระบบเฝ้าระวังด้านสุขภาพ (Health Care Monotoring) และ สมาร์ตโฮม/สมาร์ตซิตี้ (Smart Home / Smart City) ได้เป็นอย่างดี

### 6.3 การสื่อสารด้วยความเร็วและความน่าเชื่อถือสูงยิ่ง

การสื่อสารด้วยความเร็วและความน่าเชื่อถือสูงยิ่ง ( Ultra-Reliable and Low Latency Communications: uRLLC ) เป็นลักษณะการใช้งานที่ให้ความสำคัญกับความต้องการที่เกี่ยวกับการประวิงเวลาและความน่าเชื่อถือของระบบ 5G เป็นอย่างมาก มีการประวิงเวลาในเครือข่าย (Latency) ที่ต่ำมาก แม้ในขณะที่มีการเคลื่อนที่ (Mobility) ด้วยความเร็วสูง ทำให้ระบบ 5G สามารถรองรับการใช้งานต่างๆ เช่น ความปลอดภัยสาธารณะ (Public Safety) การสื่อสารระหว่างคนบนถนนกับรถยนต์ รถยนต์กับรถยนต์ และ การสื่อสารการระหว่างระบบอัตโนมัติในอุตสาหกรรม ได้อย่างรวดเร็ว

**รูปที่ 4** กรณีการใช้งาน 5G [5]

## 7. สมรรถนะของเทคโนโลยี 5G

ดังที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 4 และ 5 ในหัวข้อนี้จึงสรุปความสามารถของเทคโนโลยี 5G โดยแยกเป็นแต่ละประเด็น เพื่อกำหนดเป็นเกณฑ์เชิงปริมาณสำหรับใช้เป็นเป้าหมายของการพัฒนาเทคโนโลยีดังกล่าว (ดังแสดงในรูปที่ 5) ดังนี้ [27]

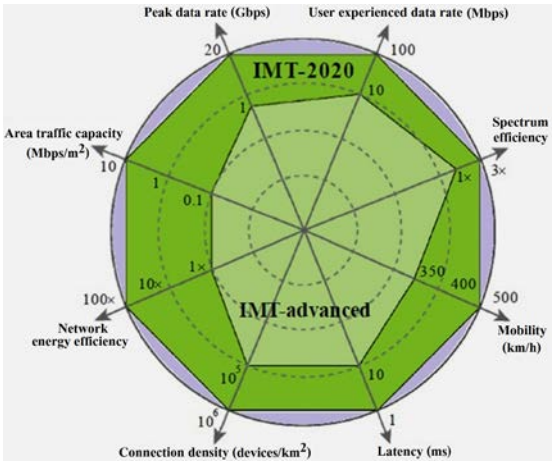
1) อัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุด (Peak Data Rate) ไม่น้อยกว่า 20 Gbps (คิดเป็น 20 เท่า เมื่อเทียบกับ 4G)

2) สร้างประสบการณ์ที่ดีให้กับผู้ใช้งานด้วยอัตราการรับส่งข้อมูลเฉลี่ย ไม่น้อยกว่า 100 Mbps (ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 10 เท่า เมื่อเทียบกับ 4G)

3) ใช้ย่านความถี่วิทยุได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยจะต้องมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นไม่น้อยกว่า 3 เท่า เมื่อเทียบกับ 4G

4) สามารถใช้งานบนยานพาหนะที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่ต่ำกว่า 500 กม./ชม. เช่น รถไฟฟ้าหัวกระสุนได้ ซึ่งดีกว่า 4G ที่รองรับได้สูงสุด 350 กม./ชม.

5) ค่าประวิงเวลาภายในเครือข่ายไม่เกิน 1 มิลลิวินาที ซึ่งดีขึ้น 10 เท่า เมื่อเทียบกับ 4G




**รูปที่ 5** แผนภูมิแสดงสมรรถนะด้านต่างๆ ของ 5G [27]

6) เครือข่ายสามารถรองรับการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆ ได้พร้อมๆ กันไม่น้อยกว่า 1 ล้านตัว/ตารางกิโลเมตร ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์เดิมของ 4G คิดเป็น 10 เท่า

7) มีประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 100 เท่า เมื่อเทียบกับสมรรถนะของเทคโนโลยี 4G (เช่น กินไฟน้อยลง)

8) รองรับการจราจรของข้อมูลในพื้นที่ 1 ตารางเมตร ได้ไม่น้อยกว่า 10 Mbps ซึ่งเพิ่มขึ้น 100 เท่า เมื่อเทียบกับ 4G

## 8. สถานการณ์ความเคลื่อนไหวในอุตสาหกรรมโทรคมนาคมที่เกี่ยวข้องกับ 5G

ดังที่ได้ระบุไว้ใน [28] นักวิชาการด้านการสื่อสารโทรคมนาคม ต่างให้ความสำคัญกับการพัฒนาเทคโนโลยี 5G และได้ทำการศึกษาเรื่องนี้หลายปีแล้ว เช่น เริ่มมีการตีพิมพ์บทความเกี่ยวกับ 5G ในปี 2009 [29] ก่อนที่จะตีพิมพ์แพร่หลายในปี 2013-2014 โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในงานประชุมวิชาการหลายๆ งานที่มีผู้เข้าร่วมงานเป็นจำนวนมาก เช่น IEEE ICC ที่เริ่มมีการประกาศรับบทความ 5G ในปี 2014 [30] ซึ่งสอดคล้องกับแผนผังแสดงช่วงเวลาในการพัฒนามาตรฐาน IMT-2020 ของ ITU (ดังรูปที่ 6) [31] จากนั้นก็เริ่มมีการพัฒนาเทคโนโลยี 5G ต่อยอดจาก 4G เดิม จนสามารถทำการทดสอบทั้งในห้องปฏิบัติการ ทดสอบภาคสนาม และเริ่มทดลองใช้งานจริงในประเทศต่างๆ ซึ่งมีหลายกรณีที่น่าสนใจ ดังนี้

1) ในช่วงต้นปี 2015 มีรายงานข่าวว่า ทีมนักวิจัยด้านเครือข่ายจากศูนย์นวัตกรรม 5G มหาวิทยาลัยแห่งเซอร์เรย์ ในอังกฤษ สามารถทดลองระบบ 5G ที่มี

ความเร็วสูงสุด 1 Tbps ได้สำเร็จในห้องปฏิบัติการ แต่ไม่มีการเปิดเผยข้อมูลทางเทคนิคที่ใช้ทดสอบ [32]

2) มิถุนายน ปี 2017 บริษัท China Mobile ในจีน ได้เปิดตัวสถานีทดสอบระบบและสัญญาณ 5G ในพื้นที่มหาลัยนครกว่างโจว โดยถูกติดตั้งในพื้นที่ต่าง ๆ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน [33]

3) ต้นปี 2018 มีรายงานข่าวระบุว่า บริษัท China Mobile Chongqing ได้เริ่มการทดสอบระบบเครือข่าย 5G เป็นครั้งแรกในเขตเมืองฉงชิ่งเมื่อต้นปี 2018 [34] แม้ยังไม่มีการเปิดเผยผลการทดสอบอย่างเป็นทางการ

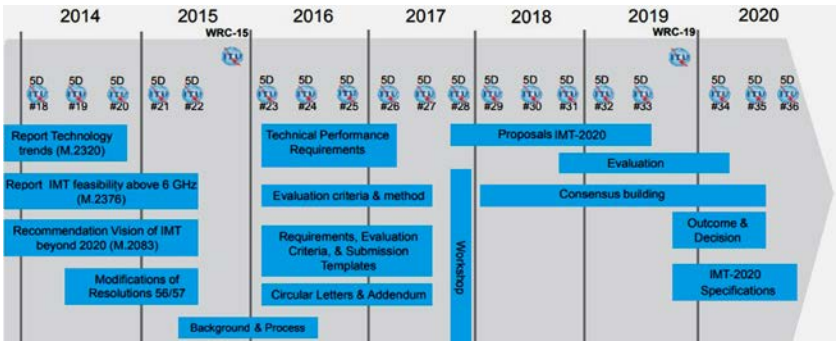
4) นอกจากนี้ ต้นปี 2018 บริษัท Samsung, Intel, Ericson และ KT Corporation ได้ร่วมกันทดสอบเทคโนโลยี 5G ในการแข่งขันกีฬาโอลิมปิคฤดูหนาวที่เกาหลีใต้ โดยมีการจับภาพและส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูง และนำข้อมูลภาพเหล่านั้นไปสร้างภาพเสมือนจริง (Virtual Reality: VR) ได้ [35]

5) มีนาคมปี 2018 บริษัท Qualcomm ได้เปิดเผยผลการทดสอบ 5G ในสภาพการทำงานจริงพบว่า ด้วยคลื่นความถี่ย่าน 3.5 GHz ที่เยอรมนีสามารถทำความเร็วได้สูงถึง 717 Mbps ส่วนคลื่นความถี่ย่าน 28 GHz ที่ใช้ในการทดสอบที่อเมริกาพบว่า สามารถทำความเร็ว (Data rate) ได้สูงสุดถึงกว่า 3000 Mbps [36,37]

6) ส่วนในญี่ปุ่น บริษัท NTT DOCOMO และ Huawei ได้ร่วมกันทดสอบ 5G ภาคสนามที่เมืองหนึ่งเมื่อเดือนพฤษภาคมปี 2018 โดยใช้หลักการการทำงาน Backhauling เชื่อมโยงโครงข่าย 5G จำนวน 2 สถานี ผ่านคลื่นความถี่ 39 GHz การทดสอบดังกล่าวที่ใช้ช่องสื่อสารภาคพื้นดินแบบบูรณาการการเข้าถึงแบคฮอล (Integrated Access Backhaul: IAB) สามารถทำความเร็วได้เกิน 650 Mbps และใช้เวลาตอบสนองต่ำเพียง 1.6 มิลลิวินาที [38]

7) มีรายงานว่า อินเดียก็มีการวางแผนทดลองใช้งานระบบ 5G ที่ 2 เมืองใหญ่ หลังจากที่ประสบความสำเร็จเมื่อช่วงเดือนกุมภาพันธ์ปี 2018 ในการทดสอบร่วมกันในห้องปฏิบัติการระหว่างบริษัท Huawei และ Bharti Airtel ซึ่งสามารถทำความเร็ว (Data rate) ได้สูงสุดถึง 3 Gbps ในขณะที่มีค่าประวิงเวลาเพียง 1 มิลลิวินาทีเท่านั้น ด้วยการทดสอบในย่านความถี่ 3.5 GHZ [39]

8) มีรายงานเมื่อปลาย 2018 ที่ผ่านมา ระบุว่า บริษัท EE ซึ่งเป็นผู้ให้บริการ 4G ที่ใหญ่ที่สุดในสหราชอาณาจักร ได้เตรียมเปิดให้บริการ 5G ในหลายๆ เมือง เช่น ที่เมืองแมนเชสเตอร์ และเบอร์มิงแฮมแล้ว และมีแผนที่จะขยายไปเมืองอื่นๆ เช่น เลสเตอร์ เชฟฟิลด์ และลิเวอร์พูล ภายในปี 2019 นี้ [40,41]




**รูปที่ 6** ช่วงเวลาในการพัฒนามาตรฐาน IMT-2020 ของ ITU [31]

9) ไตรมาสที่ 2 ปีนี้ ผู้ให้บริการโครงข่ายโทรคมนาคมของเกาหลีใต้ ได้ทำการเปิดตัวบริการ 5G เมื่อช่วงต้นเดือนเมษายนที่ผ่านมา (2019) ซึ่งสามารถใช้งานผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ Samsung รุ่น Galaxy S10 5G และเครือข่ายของ Huawei ได้ โดยถือเป็นประเทศแรกที่เปิดใช้บริการ 5G อย่างเป็นทางการ ซึ่งเร็วกว่าการเปิดตัว 5G ของบริษัท VERIZON ซึ่งทำการเปิดตัวบริการ 5G ใน 2 เมืองใหญ่ของอเมริกา [42,43]

10) เมื่อกลางเดือนมิถุนายนที่ผ่านมา มีรายงานว่า บริษัท Vodafone กลายเป็นผู้ให้บริการ 5G รายแรกในสเปน โดยเปิดให้บริการอย่างเป็นทางการที่มาดริด บาร์เซโลน่า และอีก 13 เมือง โดยผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้สูงสุดถึง 1 Gbps แม้จะยังจำกัดอยู่ในพื้นที่เดียวกัน โครงการนี้ บริษัท Vodafone ได้เลือกเทคโนโลยีเครือข่ายของบริษัท Ericsson และบริษัท Huawei [44,45]

11) ต้นเดือนกรกฎาคมที่ผ่านมา มีรายงานว่า บริษัท Vodafone ได้เปลี่ยนบริการ 4G มาเป็น 5G ในสหราชอาณาจักร 7 เมือง ได้แก่ ลอนดอน แมนเชสเตอร์ และอีก 5 เมือง โดยความสามารถของโครงข่าย 5G ใหม่นี้ มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลมากกว่า 4G 100 เท่า [46]

อย่างไรก็ดี เมื่อกลางไตรมาสที่ 2 ของปีนี้ อเมริกาได้ออกประกาศห้ามฉุกเฉินระดับชาติ เนื่องจากภัยคุกคามจากอุปกรณ์โทรคมนาคมของต่างประเทศ โดยอ้างถึงความเสี่ยงของการก่อวินาศกรรมต่อการสื่อสาร ความเสี่ยงด้านความมั่นคงทั่วไป และความเสี่ยงต่อโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญของเศรษฐกิจดิจิทัล ถึงแม้ว่าประกาศนี้จะไม่ได้เจาะจงถึง Huawei ซึ่งเป็นผู้นำด้านโทรคมนาคมและเทคโนโลยี 5G ของจีนโดยตรง แต่ก็มีผลกระทบต่อ Huawei เป็นอย่างมาก และอาจส่งผลต่อความก้าวหน้าและมาตรฐาน 5G ในอนาคตด้วย เนื่องจาก Huawei ถือครองสิทธิบัตรคิดเป็นสัดส่วน 20% ของสิทธิบัตร 5G ทั้งหมดบนโลก [47,48]

ในส่วนของประเทศไทย กสทช. ได้เริ่มทำการศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยี 5G ไปแล้วบางส่วน ไม่ว่าจะเป็นการศึกษาเรื่องคลื่นความถี่สำหรับการใช้งานในระบบ 5G หรือการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบหรือผลประโยชน์ทางด้านเศรษฐกิจ ทั้งนี้ กสทช. ยืนยันว่า ประเทศไทยจะต้องทำการเปิดใช้งานโครงข่าย 5G ภายในปี 2020 มิฉะนั้นจะส่งผลเสียต่อเศรษฐกิจและศักยภาพการแข่งขันของประเทศ [49,50]

นอกจากนี้ กสทช. ได้อนุญาตให้ผู้ให้บริการ ได้แก่ AIS และ TrueMove H ได้ทำการทดสอบภาคสนามไปบางส่วนแล้ว [51] นอกจาก กสทช. ซึ่งเป็นหน่วยงานหลักในการให้สิทธิ์และจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับรองรับบริการ 5G แล้ว กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม หรือกระทรวงดีอี ก็เป็นอีกหน่วยงานหลักในการวางนโยบายเกี่ยวกับเทคโนโลยี 5G รวมถึงการวางกรอบในการทดสอบเทคโนโลยี 5G ในห้องทดลองและทดสอบภาคสนาม ทั้งนี้ ทางกระทรวงดีอีมีเป้าหมายที่จะเปิดใช้บริการ 5G ในปี พ.ศ. 2563 และเป็นประเทศแรกในย่านอาเซียน มีแผนที่จะทำการทดสอบเกี่ยวข้องกับการนำเทคโนโลยีมาใช้กับแอปพลิเคชั่นในด้านต่างๆ โดยจัดตั้ง 5G Lab ร่วมกับผู้ผลิตและพัฒนาโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 5G ได้แก่ อีริคสัน, หัวเว่ย และโนเกีย เป็นต้น ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา เพื่อจะขับเคลื่อนและนำร่องทดสอบเทคโนโลยี 5G ในพื้นที่เขตเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor: EEC) [52] และพร้อมที่จะให้บริการ 5G ได้ภายในปี พ.ศ. 2563

## 9. อภิปรายและสรุป

จากข้อมูลที่ได้ศึกษาและรวบรวมมาจะเห็นได้ว่าเทคโนโลยี 5G ที่กำลังจะเกิดขึ้นภายในอนาคตอันใกล้นี้มีที่มาจากมาตรฐานสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ ซึ่งมีวิวัฒนาการมาจากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 1-4 โดยได้อธิบายเกี่ยวกับข้อกำหนดทั่วไปสำหรับเทคโนโลยี 5G เช่น ควรมีความสามารถในการประมวลผลข้อมูลภายในเครือข่ายได้ ควรมีการจัดการเครือข่ายที่ดี โดยมีการบูรณาการเครือข่ายแบบเดิมให้ทำงานร่วมกับเครือข่ายใหม่ได้ และควรช่วยลดการใช้พลังงาน เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้อธิบายเกี่ยวกับข้อกำหนดด้านบริการบรอดแบนด์เคลื่อนที่แบบเพิ่มสมรรถนะ (eMBB) บริการสำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์จำนวนมาก (mMTC) และบริการสำหรับการสื่อสารด้วยความเร็วและความน่าเชื่อถือสูงยิ่ง (uRLLC) ซึ่งครอบคลุมบริการทุกๆ ด้าน ที่ระบบ 5G จำเป็นต้องให้บริการ ยิ่งไปกว่านั้น บทความนี้ยังได้บรรยายเกี่ยวกับสมรรถนะของเทคโนโลยี 5G เช่น อัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุดที่กำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 20 Gbps คุณสมบัติที่สามารถใช้งานบนยานพาหนะที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่ต่ำกว่า 500 กม./ชม. ได้ และการเป็นโครงข่ายที่มีค่าประวิงเวลาภายในเครือข่ายไม่เกิน 1 มิลลิวินาที ซึ่งถือว่าน้อยมาก เป็นต้น นอกจากนี้บทความนี้ยังได้รวบรวมข้อมูลและบรรยายเกี่ยวกับสภาพความเคลื่อนไหวในอุตสาหกรรมโทรคมนาคมที่เกี่ยวข้องกับ 5G ในประเทศต่างๆ ในขณะที่ กสทช. ซึ่งมีหน้าที่ผลักดันและกำกับดูแลให้เทคโนโลยี 5G เป็นรูปเป็นร่างขึ้นในประเทศไทยภายในปี 2020 ก็กำลังทำการศึกษาระบบ 5G อย่างจริงจัง อย่างไรก็ดี ยังมีอีกหลายประเด็นที่ยังไม่มีกล่าวในบทความนี้ เช่น รายละเอียดเชิงเทคนิคที่สำคัญต่างๆ ข้อกำหนดด้านการดำเนินการเครือข่าย (เช่น การควบคุมคุณภาพของบริการ และการคิดค่าบริการ เป็นต้น) ข้อจำกัดที่เป็นอุปสรรคสำหรับการพัฒนาระบบ 5G ที่มุ่งเน้นการใช้ความถี่สูง ซึ่งเป็นความถี่ที่มีช่วงความยาวคลื่นสั้น ทำให้มีอำนาจการทะลุทะลวงกำแพงต่ำ และอาจได้รับผลกระทบกรณีที่เกิดฝนตก รวมถึงประเด็นการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบจากคลื่นความถี่สูงที่ใช้สำหรับ 5G ว่ามีผลต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ มากน้อยเพียงใด ซึ่งประเด็นเหล่านี้ควรได้รับการศึกษาและอธิบายเพิ่มเติมในโอกาสต่อไป

## 10. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และคณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ที่ให้การสนับสนุน

## 11. เอกสารอ้างอิง

[1] F. Richter, “Landline Phones Are a Dying Breed”, Available: https://www.statista.com /chart/2072/landline-phones-in-the-united-states, 6 August 2019.

[2] สำนักงาน กสทช, “รายงานสภาพตลาดโทรคมนาคมประจำปีไตรมาสที่ 1 ปี 2558”, Available:https://nbtc.go.th/getattachment/Business/commu/telecom/informatiton/research/รายงานสภาพตลาดโทรคมนาคม/ปี-2558/ปี-2558/1_2558.pdf.aspx, 6 สิงหาคม 2562.

[3] ไทยรัฐออนไลน์, “โทรศัพท์บ้านจะสูญพันธุ์ เปิดแผนฮัลโหลโทรเบอร์บ้าน”, Available: https://www.thairath.co.th/news/986956, 6 สิงหาคม 2562.

[4] สำนักงาน กสทช, “รายงานสภาพตลาดโทรคมนาคมประจำปีไตรมาสที่ 4 ปี 2560”, Available: http://www.nbtc.go.th/getattachment/Business/commu/telecom/informatiton/research/รายงานสภาพตลาดโทรคมนาคม/ปี-2560/32242/Report4Q60-final.pdf.aspx, 6 สิงหาคม 2562.

[5] 5G Americas, “5G Services and Use Cases”, Available: http://www.5gamericas.org/files/3215/1190/8811/5G_Services_and_Use_Cases.pdf, 6 August 2019.

[6] เศรษฐพงค์ มะลิสุวรรณ, “5G ขับเคลื่อนประเทศสู่เศรษฐกิจดิจิทัล”, Available: https://today.line.me/th/pc/article/5G+ขับเคลื่อนประเทศสู่เศรษฐกิจดิจิทัล+เศรษฐพงศ์+มะลิสุวรรณ-5o6PMy, 6 สิงหาคม 2562.

[7] Voicetv. “กสทช.เปิดแผนประมูลคลื่นความถี่เพิ่ม”, Available: https://www.voicetv.co.th/read/464184, 6 สิงหาคม 2562.

[8] L.J. Vora, “Evolution of Mobile Generation Technology: 1G to 5G and Review of Upcoming Wireless Technology 5G”, International Journal of Modern Trends in Engineering and Research, 2(10), 2015, pp. 281-290.

[9] Rajiv, “Evolution of Wireless Technologies 1G to 5G In Mobile Communication”, Available: https://www.rfpage.com/evolution-of-wireless-technologies-1g-to-5g-in-mobile-communication, 28 May 2018.

[10] ITU, “What is IMT-2000”, Available: http:// http://www.itu.int/osg/imt-project/docs/What_is_IMT2000.ppt, 6 August 2019.

[11] S. Sudhir, “IMT-Advanced Requirements for 4G Technology and Its Components”, International Journal of Electronics and Communication Technology, 4, 2013, pp. 58-60.

[12] OpenSignal, “The State if LTE (February 2018)”, Available: https://opensignal.com/reports/2018/02/state-of-lte, 6 August 2019.

[13] iT24Hrs, “เจาะลึกการทดลอง 4G ในไทย”, Available: https://www.it24hrs.com/2012/4g-technical-trial-thailand/. 6 สิงหาคม 2562.

[14] P. Wuttidittachotti and T. Daengsi, “QoE of Social Network Applications: A study of VoIP Quality From Skype vs LINE over 3G and 4G”, Proc. of ICUFN 2015. Sapporo, Japan, 2015, pp. 462-464.

[15] T. Wutt, “สิ้นสุดการประมูล 4G True-Ais ได้ไปครอง”, Available: https://news.mthai.com/economy/news/investment/468745.html, 6 สิงหาคม 2562.

[16] ITU-T, "ITU-T Y.3101 Requirements of the IMT-2020 network", Available: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-Y.3101-201801-I!!PDF-E&type=items, 6 August 2019.

[17] SET ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย, "ประมูล 4G ภารกิจสู่ Digital Economy", Available: https://web.facebook.com/set.or.th/posts/10150578924614975?_rdc=1&_rdr, 6 สิงหาคม 2562.

[18] กสทช, "เทคโนโลยี 5G กับผลประโยชน์ด้านเศรษฐกิจของประเทศไทย: Smart Contract และผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจต่ออุตสาหกรรมไทย", Available: http://www.nbtc.go.th/getattachment/Services/quarter2560/ปี -2561/33174/เอกสารแนบ.pdf.aspx, 6 สิงหาคม 2562.

[19] S. Sun, M. Kadoch, L. Gong and B. Rong, "Integrating Network Function Virtualization With Sdr and Sdn for 4g/5g Networks", IEEE Network, 29(3), 2015, pp.54–59.

[20] I. F. Akyildiz, N. Shuai, L. Shih-Chun and M. Chandrasekaran, "5G Roadmap: 10 Key Enabling Technologies", Computer Networks, 106, 2016, pp.17–48.

[21] พรชัย ทรัพย์นิธิ และ ศราวุธ รุ่งเรืองวจีเอก, "เครื่องวัดสัญญาณนำร่องอากาศยานในระบบ ILS ด้วยเทคโนโลยี Software defined radio (SDR)", สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง:กรุงเทพฯ, 2012.

[22] กิติกรณ์ งามสมชาติ, อนุสรณ์ จึงตระการ และ ศิริวัฒน์ หงษ์ทอง, "การพัฒนาระบบสำหรับทดสอบการส่งข้อมูลดิจิตอลด้วยเทคนิค QAM โดยใช้ SDR" การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติครั้งที่ 8 NCTechEd08TEE01, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, pp.1-6.

[23] W. Jun, Z. Zhifeng, H. Yu, and W. Yonggang, "Cloud Radio Access Network (C-RAN): A Primer", IEEE Network, January/February 2015, pp.35-41.

[24] MH. Alsharif, R. Nordin, NF. Abdullah and AH. Kelechi, "How to Make Key 5G Wireless Technologies Environmental Friendly: A Review", Trans Emerg Telecommun Technol, 29(1), 2018, DOI : 10.1002/ett.3254

[25] N. P. Narekar and D. M. Bhalerao, "A Survey on Obstacles For 5G Communication", 2015 International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSP), 2-4 April 2015, DOI : 10.1109/ICCSP.2015.7322610.

[26] W. Jun, "ITU IMT-2020 (5G)", Available: https://www.csie.nuk.edu.tw/~wuch/course/csf632/csf632-imt2020.pdf, 6 August 2019.

[27] B. Murara, "imt-2020 Network High Level Requirements, How African Countries can cope", Available:https://www.itu.int/en/ITUT/ Workshops-and-Seminars/standardization /20170402/Documents/S2_4.%20Presentation_IMT%202020%20Requirements-how%20developing%20countries%20can% 20 cope.pdf, 6 August 2019.

[28] เทอดพงษ์ แดงสี, มงคล มีลุน และ พงษ์พิสิฐ วุฒิดิษฐโชติ, "5G: เทคโนโลยีการสื่อสารแห่งอนาคต" การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4 "สังคมความรู้ และดิจิทัล" (Knowledge & Digital Society 2018), เชียงใหม่, pp.362-372.

[29] T. Janevski, "5G Mobile Phone Concept", Proc. of IEEE on CCNC. 2009, pp. 1–2.

[30] Iee Icc, "Welcome to Ieee Icc 2014! Message From The General Chair", Available: http://icc2014.ieee-icc.org/, 6 August 2019.

[31] ITU, "Workplan, timeline, process and deliverables for the future development of IMT", Available: https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Documents/ Anticipated-Time-Schedule.pdf, 6 August 2019.

[32] ISPreview, "UPDATE University of Surrey Claims 1Tbps Speed via 5G Mobile Technology", Available: https://www.ispreview.co.uk/index.php/2015/02/university-of-surrey-claims-1tbps-speed-over-future-5g-mobile-tech.html, 6 August 2019.

[33] THAIBIZChina, "4G หลบไป 5G กำลังมา กว่างโจวเริ่มทดสอบเป็นที่แรกในจีน", Available: https://www.thaibizchina.com/4g-หลบไป-5g-กำลังมา-กว่างโจว/, 6 สิงหาคม 2562.

[34] Level Up Thailand, "5G เริ่มแล้ว เมื่อจีนทดสอบการใช้งานรอบด้านที่นครฉงชิ่ง", Available: https://www.levelupthailand.com/single-post/ 2018/05/14/5G-เริ่มแล้ว-เมื่อจีนทดสอบการใช้งานรอบด้านที่นครฉงชิ่ง, 6 สิงหาคม 2562.

[35] ถิรพิรุฬห์ ทองคำวิฑูรย์, "เกาหลีมาแรง เปิดโฉม 5G โอลิมปิกฤดูหนาว", Available: https://www.matichon.co.th/sport/news_852238, 6 สิงหาคม 2562.

[36] Qualcomm, "Predicting Real-World Performance of 5G NR Mobile Networks and Devices", Available: https://www.qualcomm.com/news/ onq/2018/03/07/predicting-real-world-5g-performance, 6 August 2019.

[37] Adslthailand, "ทดสอบจริง 5G ความเร็วทะลุ 3 Gbps ที่ San Francisco ผสานคลื่นความถี่ 800 MHz และ 28 GHz (mmWave)", Available: http://www.adslthailand.com/post/ทดสอบจริง-5G-ความเร็วทะลุ-3-gbps-ที่-san-francisco-ด้วยการผสมใช้คลื่น800-mhz-และ-การใช้คลื่นความถี่สูง-28-ghz-mmwave, 6 สิงหาคม 2562.

[38] Adslthailandb, “NTT DOCOMO และ Huawei ทดสอบ 5G ความเร็วเกิน 650 Mbps ทดแทนการเดินสาย Fiber ทั่วประเทศ”, Available: http://www.adslthailand.com/post/ntt-docomo-และ-huawei-ทดสอบ-5g-ความเร็วเกิน-650-mbps-ทดแทนการเดินสาย-fiber-ทั่วประเทศ, 6 สิงหาคม 2562.

[39] Hindustantimes, “Huawei to Run 5G Trials in India, Receives Invitation from DoT”, Available: https://www.hindustantimes.com/tech/huawei-to-run-5g-trials-in-india-receives-invitation-from-dot/story-272lgaNvbYDOt6K5entlmI.html, 6 August 2019.

[40] 5G, “EE 5G coverage”, Available: https://5g.co.uk/ee/, 6 August 2019.

[41] 5G, “EE will launch 5G in 16 cities in 2019 and we know which ones”, Available: https://5g.co.uk/news/ee-will-launch-5g-in-16-cities-in-2019/4596/, 6 August 2019.

[42] TECHSAUCE, “เกาหลีใต้ ตัดหน้า US เริ่มใช้ 5G เป็นประเทศแรกของโลกวันนี้”, Available: https://techsauce.co/news/south-korea-launch-of-world-first-5g/, 6 สิงหาคม 2562.

[43] Voathai, “เกาหลีใต้เปิดตัว 'เครือข่าย 5G' ประเทศแรกในโลก”, Available: https://www.voathai.com/a/south-korea-launches-5g-networks-early-to-secure-world-first-/4865634.html, 6 สิงหาคม 2562.

[44] Chinadaily, "Vodafone Launches First 5G network in Spain in Cooperation with Huawei", Available:http://www.chinadaily.com.cn/a/201906/16/WS5d057dbfa3103dbf143286f0.html, 6 August 2019.

[45] Ericsson, "Ericsson 5G live in Spain with Vodafone",Available: https://www.ericsson.com/en/news/2019/6/ericsson-and-vodafone---5g-live-in-spain, 6 August 2019.

[46] J. Wakefield, "Vodafone switches on 5G network in seven UK cities", Available: https://www.bbc.com/news/technology-48853070, 6 August 2019.

[47] Voathai, “'ทรัมป์' ลงนามในคำสั่งฉุกเฉิน! ห้ามใช้เทคโนโลยีสื่อสารของจีน”, Available: https://www.voathai.com/a/trump-signs-order-to-safeguard-us-telecom-networks/4919114.html, 6 สิงหาคม 2562.

[48] MTHAI, “Huawei เผยถือครองสิทธิบัตรเทคโนโลยี 5G มากกว่า บริษัททั้งสหรัฐฯ รวมกัน”, Available: https://tech.mthai.com/it-news/113215.html, 6 สิงหาคม 2562.

[49] กสทช: 5G: คลื่นและเทคโนโลยี. (2561). [รายงาน]. กรุงเทพฯ: กสทช.

[50] สำนักข่าวไทย, “กสทช. เผยรัฐบาลเร่งดันไทยเข้า 5G”, Available: https://www.tnamcot.com/view/5b5000f8e3f8e4f6078654dc, 6 สิงหาคม 2562.

[51] สำนักข่าวอีไฟแนนซ์ไทย, “เอไอเอส-ทรู ลุยทดสอบ 5G ดีแทคลุ้นให้บริการปี 64”, Available: https://www.efinancethai.com/HotNews/hotnewsmain.aspx?name=NEtLUzZ1WHYvYkFCOXBlUlRHSU14QT09, 6 สิงหาคม 2562.

[52] The BANGKOK INSIGHT, “ดีอี ตั้งเป้าไทยเปิด 5G เชิงพาณิชย์ประเทศแรก ดึงธุรกิจลงพื้นที่จริง อีอีซี”, Available: https://www.thebangkokinsight.com/78161/, 6 สิงหาคม 2562.