การศึกษาผลกระทบของ Wi-Fi ที่มีต่อสุขภาพร่างกาย จากฐานข้อมูลออนไลน์ที่มีมาตรฐานรับรอง

กุลริศา พิชญาบูรณภัค

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ วิทยาลัยการแพทย์บูรณาการ
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
พ.ศ. 2562

Study of the impact of Wi-Fi on physical health

From certified standard online databases

Kulrisa Pitchayaburanapak

A Thematic Paper Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Anti-aging and Regenerative Medicine

College of Integrative Medicine, Dhurakij Pundit University

2019

ใบรับรองสารนิพนธ์

วิทยาลัยการแพทย์บูรณาการ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

หัวข้อสารนิพนธ์ การศึกษาผลกระทบของ Wi-Fi ที่มีต่อสุขภาพร่างกายจากฐานข้อมูลออนไลน์ที่มีมาตรฐานรับรอง

เสนอโดย นางสาวกุลริศา พิชญาบูรณภัค

สาขาวิชา วิทยาการชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ

กลุ่มวิชา วิทยาศาสตร์ชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ

อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์พันธ์ศักดิ์ ศุกระฤกษ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบสารนิพนธ์แล้ว

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกราช บำรุงพืชน์)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์พันธ์ศักดิ์ ศุกระฤกษ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พยงค์ วณิเกียรติ)

วิทยาลัยการแพทย์บูรณาการ รับรองแล้ว

..... คณบดีวิทยาลัยการแพทย์บูรณาการ

(นายแพทย์บรรจบ ชุณหสวัสดิกุล)

วันที่ 31 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2562

หัวข้อสารนิพนธ์	การศึกษาผลกระทบของ Wi-Fi ที่มีต่อสุขภาพร่างกาย จากฐานข้อมูลออนไลน์ที่มีมาตรฐานรับรอง
ชื่อผู้เขียน	กุลริศา พิชญาบูรณภัค
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.นพ. พันธ์ศักดิ์ ศุกระฤกษ์
สาขาวิชา	วิทยาการชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

ด้วยความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วของสังคมยุคใหม่ในปัจจุบัน การสื่อสารเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลด้วยระบบสัญญาณไร้สาย อย่าง wireless local area network (WLAN) และ Wi-Fi ถูกนำเข้ามาใช้ในการอำนวยความสะดวกเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกลายเป็นส่วนหนึ่งของปัจจัยในการดำรงชีวิตโดยเฉพาะประเทศที่กำลังพัฒนา เสาและตัวรับสัญญาณมากมาย อาทิ access point femtocell หรือ router ได้รับการติดตั้งเพิ่มขึ้นอย่างมากในแทบทุกพื้นที่ ทั้งโรงแรม สนามบิน พื้นที่สาธารณะ อาคารพักอาศัย ไม่เว้นแม้แต่ ห้องสมุด โรงพยาบาล หรือโรงเรียน ส่งผลต่อการเพิ่มโอกาสในการสัมผัสคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้น คุณสมบัติคลื่นสัญญาณ Wi-Fi เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดไม่มีประจุที่มีช่วงความถี่ 2.4 GHz ใกล้เคียงกับช่วงคลื่นของไมโครเวฟ สามารถส่งผลกระทบต่อร่างกายจากกลไกที่ทำให้อุณหภูมิของเนื้อเยื่อเกิดความร้อนสูงขึ้น แต่ไม่มีหลักฐานเชิงประจักษ์ที่แสดงถึงผลที่ชัดเจนต่อสุขภาพมนุษย์ในทางกายภาพ (Anatomy) ในขณะที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประเภทสัญญาณวิทยุหรือโทรศัพท์จัดอยู่ในกลุ่มสารก่อมะเร็งประเภท 2B โดยจำกัดเฉพาะมะเร็งสมอง (Glioma) และเนื้องอกที่ประสาทหู (Acoustic tumor) รวมถึงมีผลการศึกษาในสัตว์ว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า Wi-Fi สามารถก่อให้เกิดผลต่อเซลล์สมอง ประสิทธิภาพความคิด ความจำ ผลต่อพฤติกรรมการนอน และภาวะเครียดต่อการทำงานของหัวใจ เนื่องจากการรบกวนกลไกการทำงานระดับโครงสร้างและกระบวนการ metabolic ของเซลล์ที่ช่องทางนำเข้าสารบนเยื่อหุ้มเซลล์ สร้างผลกระทบต่อโครโมโซม การแสดงออกของสารชีวเคมีของร่างกายนำไปสู่ภาวะ oxidative stress และ apoptosis ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาไปสู่โรค จากกลไกหลักในเรื่องเพิ่มอนุมูลอิสระ และลดความสามารถในการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระภายในเซลล์ ซึ่งผู้ใช้งานควรคำนึงถึงปัจจัยเรื่องจุดติดตั้งสัญญาณ การจำกัดระยะเวลาในการใช้งาน หลีกเลี่ยงการสัมผัสสัญญาณของกลุ่มที่มีความ Sensitive ต่อคลื่นสูง และการเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย อย่างไรก็ตามเนื่องจากคลื่นสัญญาณ Wi-Fi เป็น

เทคโนโลยีที่เพิ่งมีการพัฒนาและนำมาใช้ในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมา การศึกษาข้อมูลเรื่องผลกระทบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง อาจยังไม่มากนักและยังไม่สามารถให้ข้อสรุปที่ชัดเจนได้ ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยเฉพาะการเก็บข้อมูลเรื่องผลกระทบต่อมนุษย์และปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องที่เป็นผลในระยะยาว อาทิ การศึกษาแบบ Cohort หรือ Case-control เป็นต้น

Thematic Paper Title	Study of the impact of Wi-Fi on physical health from certified standard online databases
Author	Kulrisa Pitchayaburanapak
Thematic Paper Advisor	Assist. Prof. Dr. Pansak Sugkraroek
Department	Anti-aging and Regenerative Medicine (Master of Science)
Academic Year	2018

ABSTRACT

The advancement of technology that has been developed rapidly in today's society and communication system for exchanging information with wireless technology such as wireless local area network (WLAN) and Wi-Fi has been used to facilitate more and more thus become a part of living factors. In developing countries many poles and receivers, such as the access point femtocell or router, have been installed significantly in almost every area, including hotels, airports, public areas, residential building not even the libraries, hospitals or schools thus increase the opportunity to expose more electromagnetic waves. The Wi-Fi waveform is an uncharged electromagnetic wave with a frequency range of 2.4 GHz close to the microwave wavelength, can affect the body from the mechanism that heats up the tissue though there is no empirical evidence showing the obvious physical effect on human health. While electromagnetic waves from radio or mobile phone signals are classified as 2B carcinogens, especially for glioma and acoustic tumors, including studies in animals that Wi-Fi electromagnetic waves have effect on brain cells such as alter effective thinking, memory effect , sleeping behavior and put stress on the heart's function due to interference in structure and metabolic processes of imported channels on the cell membrane which lead to defect on chromosomes and the body's biochemical expression. This leads to oxidative stress and apoptosis those can plays an important role in the development of diseases. These effects produce free radicals and reduce the ability to create antioxidants within cells. Users should consider the factors of signal installation points and time limit for using, avoid touching the group signals that are sensitive to high waves and increasing the antioxidants in the body. However, since the Wi-Fi wave is a technology that has recently been developed and used

in the past few decades. The study of information on various related effects may not enough and may not give a clear solution. Therefore, further studies should be conducted, especially the collection of information about human impacts and related factors that are long-term results, such as cohort studies or case-control.

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ด้วยความกรุณา และความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ผศ.นพ. พันธ์ศักดิ์ ศุกระฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำแนะนำวิธีการวิจัยในทุกขั้นตอนมาโดยตลอด และ ผศ.ดร. เอกราช บำรุงพืชน์ อาจารย์นักโภชนาการ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์และคณะผู้ช่วยการเรียนการสอนทุก ๆ ท่านของสาขาวิชาวิทยาการชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพสำหรับความรู้ คำแนะนำและความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาศึกษาจนกระทั่งสารนิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ท้ายนี้ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า สารนิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยในขั้นต่อ ๆ ไป และขอมอบคุณประโยชน์อันเกิดจากสารนิพนธ์ฉบับนี้ให้แด่บิดา มารดา ครอบครัว คณาจารย์และผู้ช่วยการเรียนการสอน และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนในการทำสารนิพนธ์ทุก ๆ ท่าน

กุลริศา พิชญาบูรณภัค

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ฆ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฎ
บทที่
1. บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา..... 3
1.4 ขอบเขตของการศึกษา..... 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ..... 4
1.7 กรอบแนวคิดในการศึกษา 4
2. แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.2 ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า..... 5
2.3 ทฤษฎีความเสื่อมของร่างกายจากความผิดปกติของสารพันธุกรรม..... 7
2.4 ทฤษฎีอนุมูลอิสระ 7
2.5 แนวคิดเรื่องคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีผลต่อการเกิด Oxidative stress และความเสียหายต่อ DNA..... 9
3. ระเบียบวิธีศึกษา..... 10
3.1 ประชากรและตัวอย่าง..... 10
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล..... 10
3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล..... 11

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4. ผลการศึกษาข้อมูล	12
4.1 Wi-Fi คืออะไร?	12
4.2 คุณสมบัติของสัญญาณ Wi-Fi	14
4.3 ผลกระทบและความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ต่อร่างกาย	16
4.3.1 ผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพมนุษย์	16
4.3.2 ข้อสรุปจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	19
4.3.3 ผลกระทบทางกายภาพ จากการศึกษาทดลองในสัตว์	19
4.3.4 ผลกระทบในระดับชีวโมเลกุล และสารชีวเคมี	23
4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ต่อผลของร่างกาย	27
4.4.1 ระยะเวลาที่สัมผัสคลื่นสัญญาณ Wi-Fi	27
4.4.2 อายุของผู้สัมผัสคลื่นสัญญาณ Wi-Fi	27
4.4.3 ระยะห่าง และสิ่งกีดขวางระหว่างจุดส่งคลื่นสัญญาณ Wi-Fi	28
4.4.4 ลักษณะของเซลล์ หรืออวัยวะที่สัมผัสคลื่นสัญญาณ Wi-Fi	28
4.4.5 ระดับค่า Specific absorption rate (SAR)	28
4.5 ทางเลือกในการใช้ Supplement และอุปกรณ์แทรกแซงสัญญาณ เพื่อลดผลกระทบจากคลื่นสัญญาณ Wi-Fi	29
5. สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	32
5.1 สรุปผลการศึกษา	32
5.2 อภิปรายผลการศึกษา	34
5.3 ข้อเสนอแนะ	34
บรรณานุกรม	35
ภาคผนวก	48
ก มาตรฐาน IEEE 802.11	49
ประวัติผู้เขียน	53

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 เปรียบเทียบคลื่นสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถพบได้ในชีวิตประจำวัน 2
5.1 สรุปจำนวนผลการศึกษาเรื่องผลกระทบของคลื่นสัญญาณ Wi-Fi 31

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1.1 กรอบแนวคิดในการศึกษา..... 4
2.1 ลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 6
2.2 สเปกตรัมของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า 6
2.3 ลักษณะของอะตอม หรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนโคจรรอบตัวไม่ครบคู่..... 7
2.4 ตัวอย่างปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับอนุมูลอิสระ 8
3.1 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล ……. 11
4.1 ตัวอย่างภาพเราท์เตอร์ Wi-Fi ……..... 13
4.2 ภาพจำลองการสาธิตคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสัญญาณ Wi-Fi ภายในอาคาร 15
4.3 การจำแนกระดับสารที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรคมะเร็ง 18
4.4 กลไกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการทำงานของ TRPV1 cation channels … 25
4.5 อุปกรณ์ Jammer หรือ เครื่องรบกวน/ตัดสัญญาณ …..... 30

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ด้วยความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วในสังคมปัจจุบัน การสื่อสารเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลด้วยระบบสัญญาณไร้สาย อย่าง wireless local area network (WLAN) และ Wi-Fi ถูกนำเข้ามาใช้ในการอำนวยความสะดวกเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ มีบทบาทสำคัญและมีความเกี่ยวข้องในการดำเนินชีวิตประจำวันแทบตลอดเวลา คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีการใช้ทั่วไปจนกลายเป็นส่วนหนึ่งของปัจจัยในการดำรงชีวิตโดยเฉพาะประเทศที่กำลังพัฒนา เสาและตัวรับสัญญาณมากมาย อาทิ access point femtocell หรือ router ได้รับการติดตั้งเพิ่มขึ้นอย่างมากในแทบทุกพื้นที่ ทั้งโรงแรม สนามบิน พื้นที่สาธารณะ อาคารพักอาศัย ไม่เว้นแม้แต่ ห้องสมุด โรงพยาบาล หรือโรงเรียน (Kumar et al., 2013, Nazıroglu et al., 2013) การนำคลื่นสัญญาณ wireless local area network (WLAN) และ Wi-Fi มาใช้ ได้รับการตอบรับและพัฒนาขึ้นเป็นอย่างมาก ภายในเวลาอันรวดเร็ว ส่งผลต่อการเพิ่มโอกาสในการสัมผัสคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้สูงยิ่งขึ้น (Fagua et al., 2016; Jurcevic and Malaric, 2016 and Woelders et al., 2017) ซึ่งปริมาณและสัดส่วนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ พบมากในพื้นที่เขตเมืองของแต่ละประเทศ (Sagar et al., 2018)

ข้อมูลจาก IARC monograph, 2013. ฉบับที่ 102 หน้า 77 รายงานว่าในการดำเนินชีวิตประจำวันมีโอกาสสัมผัสกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้หลากหลายชนิด อาทิ สัญญาณวิทยุ FM สัญญาณโทรทัศน์ สัญญาณโทรศัพท์มือถือ และสัญญาณ wireless local area network (WLAN) กับสัญญาณ Wi-Fi ที่นำมาใช้ภายในอาคารเพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วนและปริมาณที่ขึ้นอยู่กับพื้นที่และการใช้งาน ในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบคลื่นสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถพบได้ในชีวิตประจำวัน

https://monographs.iarc.fr/wpcontent/uploads/2018/06/mono102.pdf

แหล่งกำเนิด	ความถี่ (MHz)	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	หน่วย
FM transmitter	100	0.02	0.01	0.07	V/m
TV station	700	0.02	0.001	0.05	V/m
GSM900 base station	950	0.05	0.001	4	V/m
GSM1800 base station	1850	0.05	0.001	6	V/m
DECT base station	1890	0.1	0.03	1	V/m
UMTS 1950 base station	2140	0.05	0.001	6	V/m
WLAN base station	2450	0.03	0.007	1	V/m
WLAN base station	5200/5800	0.01	0.001	1	V/m
GSM900 mobile phone	900	50	0.2	250	mW
GSM1800 mobile phone	1750	40	0.1	125	mW
DECT cordless phone	1890	10	3	20	mW
UMTS mobile phone	1950	1	0.0003	200	mW
WLAN cordless phone	2450	10	3	20	mW

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีช่วงความถี่ระหว่าง 3 kHz–300 GHz มีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดมีประจุไฟฟ้า (ionizing radiation) และชนิดไม่มีประจุไฟฟ้า (nonionizing radiation) ซึ่งชนิดไม่มีประจุไฟฟ้านั้นมีข้อมูลว่าไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างโมเลกุลของเนื้อเยื่อที่มีชีวิต (Renke and Chavan, 2014; Jyoti, 2013 and Röösli et al., 2010) แต่ว่าผลกระทบต่อเซลล์ของมนุษย์นั้น ยังไม่สามารถหาคำตอบที่ชัดเจนได้ (Renke and Chavan, 2014; Mukhopadhyay and Sanyal, 1997) ในการศึกษาเพื่อให้ได้ผลชัดเจนอาจจำเป็นต้องใช้วิธีออกแบบกระบวนการด้วย RCT- Randomize control trail ซึ่งติดข้อจำกัดด้านจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ประกอบกับการศึกษาผลของการสัมผัสคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ที่มีต่อสุขภาพจำเป็นต้องใช้ระยะเวลานาน ดังนั้นการรวบรวมการศึกษาจากฐานข้อมูลออนไลน์ในเล่มนี้เพื่อต้องการประมวลผลการศึกษาข้อมูลองค์ความรู้เพื่อหาคำตอบเรื่องคุณสมบัติของ คลื่นสัญญาณ Wi-Fi และแนวโน้มความสัมพันธ์ที่มีต่อร่างกายมนุษย์ เพื่อนำเสนอแนวทางในการดูแลสุขภาพให้ปลอดภัยจากการใช้งานหรือสัมผัสคลื่นสัญญาณ Wi-Fi

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1) ศึกษาคุณสมบัติของคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ที่มีแนวโน้มส่งผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์

2) ศึกษาและวิเคราะห์ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวโน้มความเสี่ยงสุขภาพ

3) นำเสนอแนวทางในการดูแลสุขภาพให้ปลอดภัยจากการใช้งานหรือสัมผัสคลื่นสัญญาณ Wi-Fi

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

คลื่นสัญญาณ Wi-Fi สามารถส่งผลกระทบเชิงลบต่อสุขภาพร่างกายได้

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

รายงานการศึกษา งานวิจัย บทความวิชาการ หรือหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ได้รับการยอมรับ และเผยแพร่ผ่านทางออนไลน์ (on-line) จำนวน 99 ชิ้นงาน ที่เกี่ยวข้องกับของเขตเนื้อหาที่ผู้เขียนสนใจ ได้แก่

1.4.1 Wi-Fi คืออะไร?

1.4.2 คุณสมบัติของสัญญาณ Wi-Fi

1.4.3 ผลกระทบและความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ที่มีต่อร่างกาย

1.4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นสัญญาณ Wi-Fi และผลต่อร่างกาย

1.4.5 ทางเลือกในการใช้ Supplement และอุปกรณ์แทรกแซงสัญญาณ เพื่อลดผลกระทบจากคลื่นสัญญาณ Wi-Fi

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เกิดความรู้ ความเข้าใจที่ถูกต้องเรื่องคุณสมบัติของคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ที่มีแนวโน้มส่งผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ และแนวโน้มความเสี่ยงสุขภาพ

2) เกิดแนวทางในการดูแลสุขภาพให้ปลอดภัยจากการใช้งานหรือสัมผัสคลื่นสัญญาณ Wi-Fi

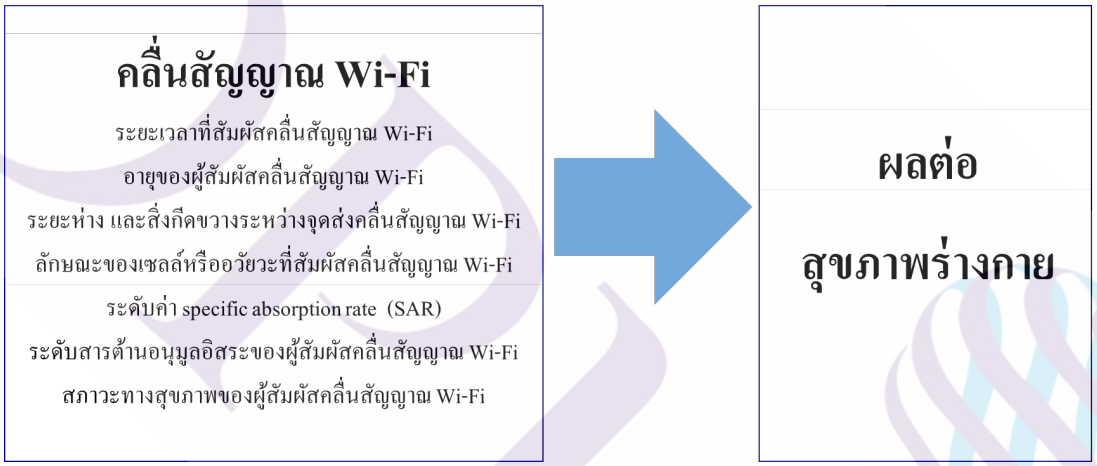
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

คลื่นสัญญาณ Wi-Fi หมายถึง การเชื่อมต่อสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยไม่ใช้สาย มีประสิทธิภาพการใช้งานในระยะใกล้ ด้วยช่วงคลื่นความถี่ 2.4 – 2.5 GHz

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หมายถึง คลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงหรือรบกวนความเข้มของสนามแม่เหล็ก และไฟฟ้าที่เกิดขึ้นพร้อมกันในลักษณะตั้งฉากและเคลื่อนที่ไปยังทิศทางเดียวกัน มีช่วงคลื่นความถี่ระหว่าง 2.4 – 2.5 GHz

สุขภาพ หมายถึง สภาวะหรือระดับของประสิทธิภาพในเชิงการทำงาน เชิงกายภาพ และเชิงชีวภาพทางร่างกายของสิ่งมีชีวิต

1.7 กรอบแนวคิดในการศึกษา



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดในการศึกษา

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รายงานการศึกษา งานวิจัย บทความวิชาการ หรือหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ได้รับการยอมรับ และเผยแพร่ผ่านทางออนไลน์ (on-line) จำนวน 99 ชิ้นงาน ที่เกี่ยวข้องกับของเขตเนื้อหาที่ผู้เขียนสนใจ ได้แก่

2.1.1 Wi-Fi คืออะไร?

2.1.2 คุณสมบัติของสัญญาณ Wi-Fi

2.1.3 ผลกระทบและความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ต่อร่างกาย

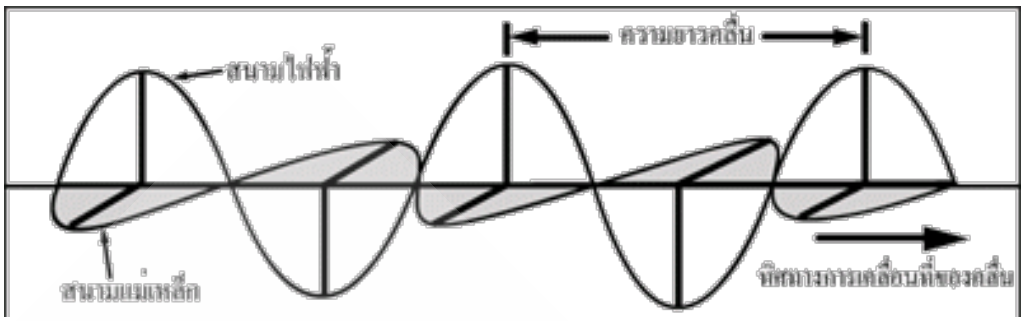
2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นสัญญาณ Wi-Fi และผลต่อร่างกาย

2.1.5 ทางเลือกในการใช้ Supplement และอุปกรณ์แทรกแซงสัญญาณ เพื่อลดผลกระทบจากคลื่นสัญญาณ Wi-Fi

สืบค้นจากเว็บไซต์ Scopus, Google Scholar, PubMed, Web of Sciences (ISIWeb of Knowledge), Medline, Wiley Online Library databases (ภาษาอังกฤษ) และ peer-reviewed journals ที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อ biological จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิด nonionizing ผ่านการสืบค้นด้วยคำว่า ‘electromagnetic field’, ‘Wi-Fi’, ‘bio-effect’, ‘Health’, ‘cancer’, ‘leukemia’, ‘reproduction’ และ ‘therapy’

2.2 ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ตามหลักฟิสิกส์ รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) หมายถึงคลื่น หรือควอนตัมโฟตอนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ผ่านปริภูมิ โดยสามารถพาพลังงานจากการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic waves-EM) ประกอบด้วยสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้าซึ่งเคลื่อนที่ทำมุมตั้งฉาก โดยมีระยะระหว่างยอดคลื่นหนึ่ง ถึงยอดคลื่นถัดไป เรียกว่า ความยาวคลื่น (Wavelength) ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 *ลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า*

ลักษณะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นการสั่นประสานของสนามไฟฟ้า ร่วมกับคลื่นแม่เหล็ก จึงสามารถแผ่ผ่านสุญญากาศได้ด้วยความเร็วแสง การสั่นของสนามทั้ง 2 จะตั้งฉากต่อกัน และตั้งฉากกับทิศทางการแผ่พลังงานและคลื่นเกิดเป็นคลื่นตามขวาง โดยแนวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดมีลักษณะการแผ่เป็นทรงกลม ตำแหน่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถจำแนกลักษณะได้โดยความถี่ของการสั่นหรือความยาวคลื่น สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้ามีคลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรด แสงที่มองเห็นได้ รังสีอัลตราไวโอเลต รังสีเอกซ์และรังสีแกมมา โดยเรียงความถี่จากน้อยไปมากและความยาวคลื่นจากมากไปน้อย (Maxwell, 1865)

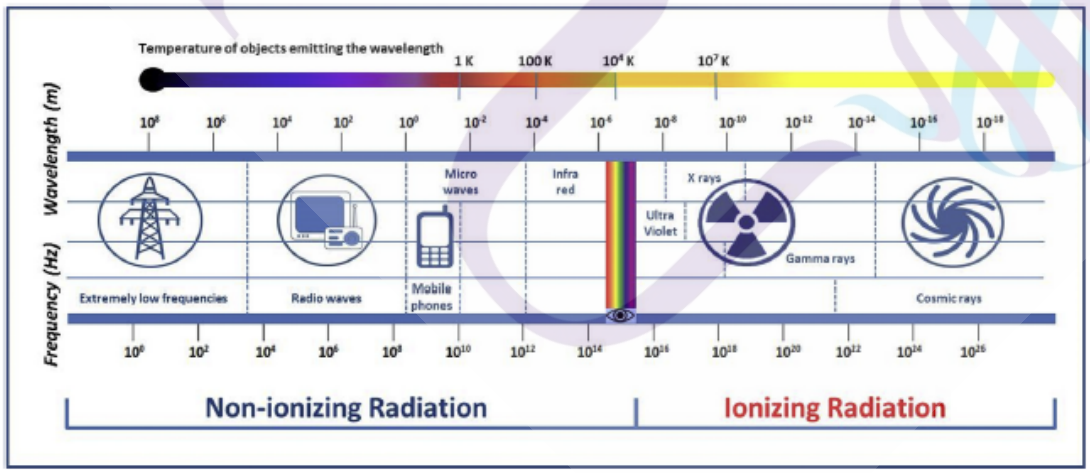


Fig. 1. Spectrum of electromagnetic radiation.

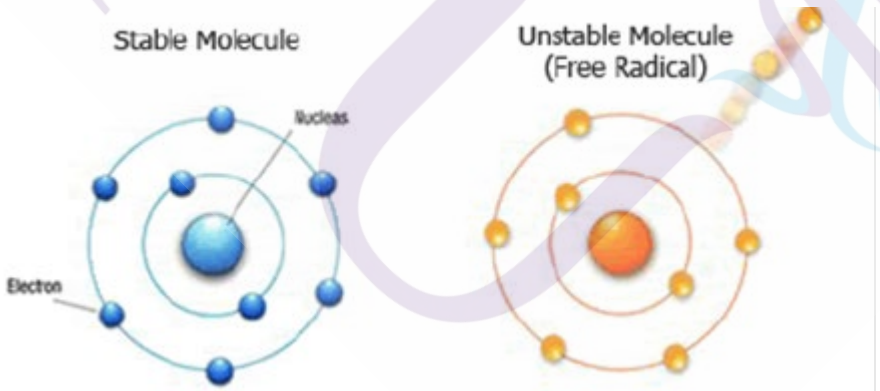
ภาพที่ 2.2 *สเปกตรัมของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า* https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2018.07.009

2.3 ทฤษฎีความเสื่อมของร่างกายจากความผิดปกติของสารพันธุกรรม

พันธุกรรมในเซลล์ (Cellular genetic theory) เกี่ยวข้องกับยีน (Gene) ที่มีบทบาทควบคุมลักษณะทางพันธุกรรม เรียงตัวบนโครโมโซม เป็นตัวกำหนดลักษณะของคน มีส่วนประกอบทางเคมี ได้แก่ DNA (Deoxyribonucleic acid) ที่เป็น โพลีนิวคลีโอไทด์ (Polynucleotide) เกลียวคู่ มีส่วนที่แกนกลางจากน้ำตาลดีออกซีไรโบส (Deoxyribose) กับกลุ่มฟอสเฟต และเบสของ DNA คือ พิวรีน (Purine) ไพริมิดีน (Pyrimidine) แขนข้างพิวรีน คือ อดีนีน (Adanine-A) หรือกัวนีน (Guanine-G) และไพริมิดีนของ DNA คือไทมีน (Thymine-T) หรือไซโตซีน (Cytosine-C) เบสจะจับคู่อย่างจำเพาะ ระหว่างอดีนีนจับกับไทมีน ด้วยพันธะ Hydrogen bond 2 bond และกัวนีนจับกับไซโตซีน ด้วยพันธะ Hydrogen bond 3 bond ยีนควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมโดยการสร้างเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับโปรตีนที่สำคัญ ทำหน้าที่เป็นรหัสพันธุกรรม (Genetic code) ที่ใช้สั่งการในการทำงาน ดังนั้นหาก DNA เกิดความเสียหาย หรือถูกทำลาย หรือกลายพันธุ์จะส่งผลต่อความผิดปกติที่เกี่ยวข้องต่อปฏิกิริยาของร่างกาย ซึ่งมีหลายปัจจัยสามารถส่งผลต่อความผิดปกติของ DNA อาทิ จากรังสี จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากพลังงานต่าง ๆ (Timiras and Hudson, 1993)

2.4 ทฤษฎีอนุมูลอิสระ

เจ้าของทฤษฎีนี้ คือ Denham Harman ด้วยแนวคิดว่า อนุมูลอิสระ คือ อะตอมหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนโคจรรอบตัวไม่ครบคู่ ตามภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ลักษณะของอะตอมหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนโคจรรอบตัวไม่ครบคู่

ทำให้เกิดภาวะไม่เสถียรและต้องการดึง/แย่งอิเล็กตรอนจากโมเลกุลใกล้เคียง สร้างผลกระทบแบบต่อเนื่องในการดึง/แย่งอิเล็กตรอนไปเรื่อย ๆ เกิดความเสียหายเป็นวงกว้าง นำไปสู่ความเสื่อมของร่างกายที่มาจากการสะสมของอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นจนกลายเป็นสารหรือโมเลกุล

ที่มีฤทธิ์ทำลายเซลล์ อนุมูลอิสระสามารถเกิดได้จากการ Metabolism ตามปกติของร่างกาย หรือมีสาเหตุจากปัจจัยภายนอก เช่น รังสี ความร้อน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น ตามภาพที่ 2.4

ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับอนุมูลอิสระ

ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลต่าง ๆ ที่อยู่ข้างเคียงนำไปสู่การอักเสบและการเสื่อมของร่างกาย ยิ่งอนุมูลอิสระเกิดขึ้นมากในบริเวณใดของร่างกาย สามารถนำไปสู่ความเสื่อมของระบบ หรืออวัยวะนั้นจนนำไปสู่โรคได้ อย่างไรก็ตามอนุมูลอิสระเป็นสิ่งจำเป็นต่อร่างกาย แต่หากมีมากเกินไปย่อมนำไปสู่ความเสื่อมหรือโรคได้ตามที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยปกติร่างกายมีกลไกในการรักษาสมดุลปฏิกิริยารีดอกซ์ เพื่อควบคุมอนุมูลอิสระให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมด้วยความสามารถในการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระเพื่อกำจัด ซึ่งความสามารถจะลดลงเมื่ออายุเพิ่มมากขึ้นหรือมีปัจจัยอื่นเกี่ยวข้อง เช่น ภาวะสุขภาพ การได้รับสารอาหารที่เพียงพอ การไม่สัมผัสปัจจัยเสี่ยงต่าง ๆ เป็นต้น (Timiras and Hudson, 1993 และ กฤษดา ศิรามพุช, 2551)

2.5 แนวคิดเรื่องคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีผลต่อการเกิด oxidative stress และสร้างความเสียหายต่อ DNA

ภาวะ Oxidative stress เป็นภาวะที่อนุมูลอิสระ reactive oxygen species (ROS) ไม่สมดุลกับความสามารถในการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ (capacity of antioxidant system to neutralize) เนื่องจากการถูกรบกวนจากกลไกใด ๆ อนุมูลอิสระส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในร่างกาย มักเป็นชนิด hydroxyl radical และ superoxide มีบทบาทสำคัญในหลายวงจรปฏิกิริยา biological ซึ่งหากเสียกลไกในการควบคุมระดับอนุมูลอิสระ หรือมีการสร้างอนุมูลอิสระมากเกินไป สามารถก่อให้เกิดความเสียหายต่อ DNA เช่น เกิดความเสียหายที่สาย single หรือdouble-strand หรือเกิดการ crosslinks (Menon et al., 2013; Uzunboy et al., 2016; Wells et al., 2015 and Xu et al., 2016) ตามปกติภาวะ Oxidative stress ถูกกระตุ้นได้ด้วยปัจจัยภายในหรือภายนอก รวมถึง รังสีแกมมา รังสียูวี ซึ่งนำไปสู่การสร้างอนุมูลอิสระ reactive oxygen species (ROS) และเกิด oxidation ที่โมเลกุลต่าง ๆ (de Oliveira et al., 2013; Kovacs and Keresztes, 2002; Mendling and Haller, 1977) เมื่อไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมามีการเปิดเผยข้อมูลว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีคลื่นความถี่ต่ำ ๆ สามารถส่งผลเพิ่มการสร้างอนุมูลอิสระ reactive oxygen species (ROS) โดยเฉพาะชนิด hydroxyl free radical ที่เป็นสาเหตุของ DNA double-strand break ได้ (Anderson, 1993; Buldak et al., 2012; Consales et al., 2012; Du et al., 2008; Esmaeili et al., 2017; Giorgi et al., 2011; Jouni et al., 2012; Koyu et al., 2009; Tkalec et al., 2007 and Yokus et al., 2005) มีการศึกษาผลกระทบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้ง in vivo และ in vitro ให้ข้อมูลว่าสามารถชักนำให้เกิดภาวะ oxidative stress และสร้างความเสียหายที่ DNA ข้อมูลจากการศึกษาของ Lai และคณะ รายงานว่าพบผลกระทบที่เซลล์สมองของหนูที่สัมผัสกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ 60-Hz และทำให้ DNA single และ double bond break (Lai and Singh, 1997) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเรื่องการใช้สารต้านอนุมูลอิสระอาทิ สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ catechin หรือ epicatechin เพื่อช่วยในกลไกจำกัดอนุมูลอิสระ และป้องกันความเสียหายของ DNA ซึ่งได้ผลดีในการป้องกันการเกิด oxidative stress ในเซลล์สมองของสัตว์ที่สัมผัสคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ 50-Hz (Gao et al., 2017) มีการศึกษาที่น่าสนใจของ Mihai และคณะ พบว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่100 Hz, 5.6 mT สามารถชักนำให้เกิด DNA strand break ในเซลล์ของมนุษย์ (Mihai et al., 2014)

บทที่ 3
ระเบียบวิธีศึกษา

3.1 ประชากรและตัวอย่าง

รายงานการศึกษา งานวิจัย บทความวิชาการ หรือหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ได้รับการยอมรับ และเผยแพร่ผ่านทางออนไลน์ (on-line) จำนวน 99 ชิ้นงาน ที่เกี่ยวข้องกับของเขตเนื้อหาที่ผู้เขียนสนใจ ได้แก่

3.1.1 Wi-Fi คืออะไร?

3.1.2 คุณสมบัติของสัญญาณ Wi-Fi

3.1.3 ผลกระทบและความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ต่อร่างกาย

3.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นสัญญาณ Wi-Fi และผลต่อร่างกาย

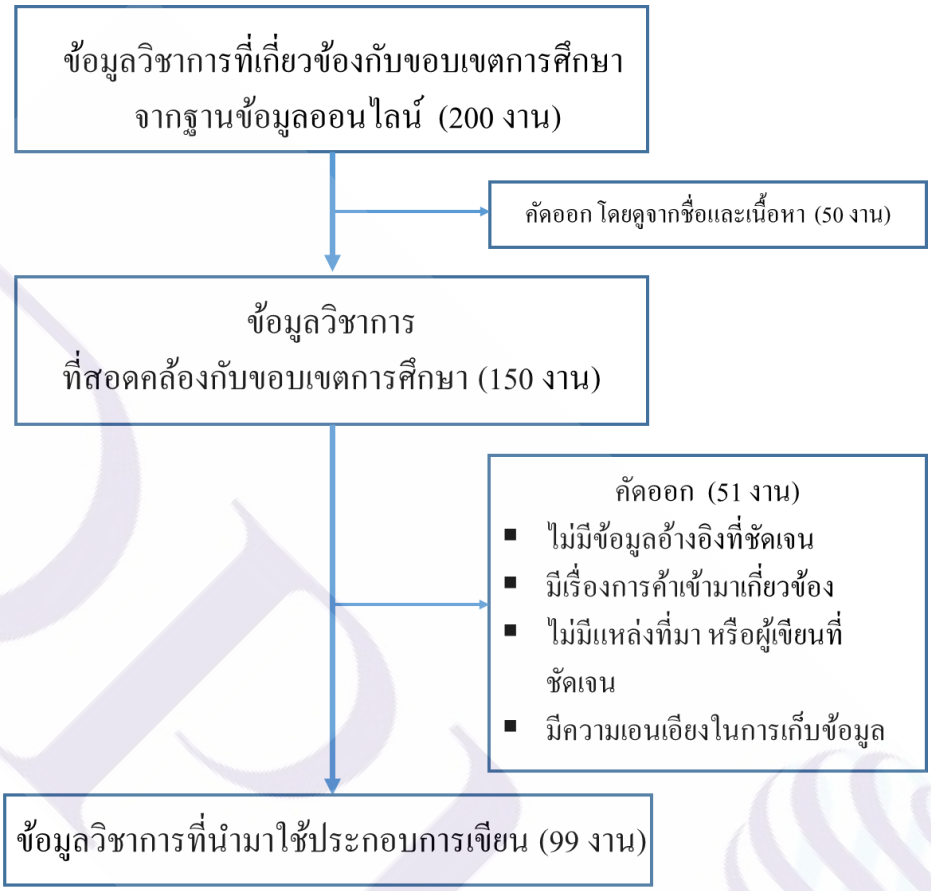
3.1.5 ทางเลือกในการใช้ Supplement และอุปกรณ์แทรกแซงสัญญาณ เพื่อลดผลกระทบจากคลื่นสัญญาณ Wi-Fi

สืบค้นจากเว็บไซต์ Scopus, Google Scholar, PubMed, Web of Sciences (ISIWeb of Knowledge), Medline, Wiley Online Library databases (ภาษาอังกฤษ) และ peer-reviewed journals ที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อ biological จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิด nonionizing ผ่านการสืบค้นด้วยคำว่า ‘electromagnetic field’, ‘Wi-Fi’, ‘bio-effect’, ‘Health’, ‘cancer’, ‘leukemia’, ‘reproduction’ และ ‘therapy’

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

สืบค้นจากเว็บไซต์ Scopus, Google Scholar, PubMed, Web of Sciences (ISIWeb of Knowledge), Medline, Wiley Online Library databases ที่เปิดสาธารณะอนุญาตให้เข้าถึงได้ (ภาษาอังกฤษ) และ peer-reviewed journals ที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อ biological จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิด nonionizing ผ่านการสืบค้นด้วยคำว่า ‘electromagnetic field’, ‘Wi-Fi’, ‘bio-effect’, ‘Health’, ‘cancer’, ‘reproduction’, ‘2.4 GHz’, ‘คุณสมบัติ’, ‘คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า’ และ ‘therapy’

3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล



ภาพที่ 3.1 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

บทที่ 4
ผลการศึกษาข้อมูล

4.1 Wi-Fi คืออะไร?

ข้อมูลจากเว็บไซต์ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ให้คำจำกัดความ “WiFi หรือ Wi-Fi” มาจากคำว่า wireless fidelity เป็นการเชื่อมต่อสัญญาณเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบเฉพาะถิ่น โดยไม่ใช้สาย ประสิทธิภาพการใช้งานทำได้ในบริเวณใกล้เคียง ไม่กว้างขวาง ด้วยเทคนิคการนำพาสัญญาณแบบการกล้ำ (modulate) ไปกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง (วิชิต ศรีตระกูล, 2559) ส่วนคำว่า Wireless LAN (WLAN) เป็นระบบสื่อสารส่งผ่านข้อมูลโดยไม่ต้องมีสายนำสัญญาณ ใช้การส่งคลื่นวิทยุ (RF) และคลื่นอินฟราเรด เพื่อสื่อสารแลกเปลี่ยนสัญญาณหรือข้อมูลผ่านอากาศไปยังเครื่องรับสัญญาณโดยตรง คลื่นวิทยุที่ใช้ส่งมีความสามารถทะลุวัตถุหรือสิ่งกีดขวางได้ ครอบคลุมพื้นที่ใช้งานเหมือนระบบเครือข่ายแบบใช้สายสัญญาณอย่าง LAN (Local Area Network)

ซึ่งความแตกต่างระหว่าง Wi-Fi กับ Wireless LAN (WLAN) อยู่ที่ Wi-Fi เป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับระบบเครือข่ายแบบไร้สายที่มีสัญญาณอินเตอร์เน็ตโดยตรงผ่านจุดให้บริการ ในขณะที่ Wireless LAN (WLAN) เป็นระบบเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับเครือข่าย ซึ่งหากเครือข่ายที่เชื่อมต่อมีสัญญาณอินเตอร์เน็ต ก็สามารถใช้งานอินเตอร์เน็ตได้เช่นเดียวกัน ทั้ง Wi-Fi และ Wireless LAN (WLAN) เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมในการช่วยให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แลกเปลี่ยนข้อมูลในเครือข่ายหรือเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบไร้สายโดยใช้คลื่นวิทยุทำงานบนย่านความถี่ 2.4 และ 5 GHz โดยในประเทศไทยจำกัดการใช้เฉพาะคลื่นความถี่ 2.4 GHz และมีมาตรฐาน IEEE 802.11 ที่ใช้เป็นมาตรฐานควบคุมการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สาย กำหนดโดยสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE) ของสหรัฐอเมริกา เพื่อเป็นมาตรฐานกลางในการปฏิบัติงานเชื่อมโยงอุปกรณ์เครือข่ายไร้สายเข้าด้วยกันบนระบบ คลื่นความถี่ 2.4 GHz นั้นมีหลายอุปกรณ์ที่ใช้แถบความถี่เดียวกัน อาทิ อุปกรณ์ ISM กล้องรักษาความปลอดภัย บลูทูธ การส่งวิดีโอ โทรศัพท์ไร้สาย เครื่องมอนิเตอร์ทารก และวิทยุสมัครเล่นในบางประเทศ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2558)

ศาสตราจารย์ ดร.วิชิต ศรีตระกูล (2559) กล่าวว่า ความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ 2.4 GHz มีความยาวคลื่นประมาณ 12 เซนติเมตร Wi-Fi มักใช้ อุปกรณ์กระจายสัญญาณ เช่น แอคเซสพอยท์ (access point) เราท์เตอร์ (router) ฮอทสปอต (hotspot) เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้มีลักษณะคล้ายกัน คือ เป็นกล่อง มีสายอากาศความยาวประมาณ 7-14 นิ้ว จำนวน 1-3 ต้น สำหรับกระจายสัญญาณ ซึ่งในโทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ โน้ตบุคในปัจจุบันสามารถทำหน้าที่เป็นฮอทสปอตได้ด้วยการกระจายสัญญาณอินเทอร์เน็ตที่ได้รับจากเครือข่ายโทรศัพท์

ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างภาพเราท์เตอร์ไวฟาย (http://www.bandwidthplace.com/wp/wp-content/uploads/2014/11/wifi_router.png)

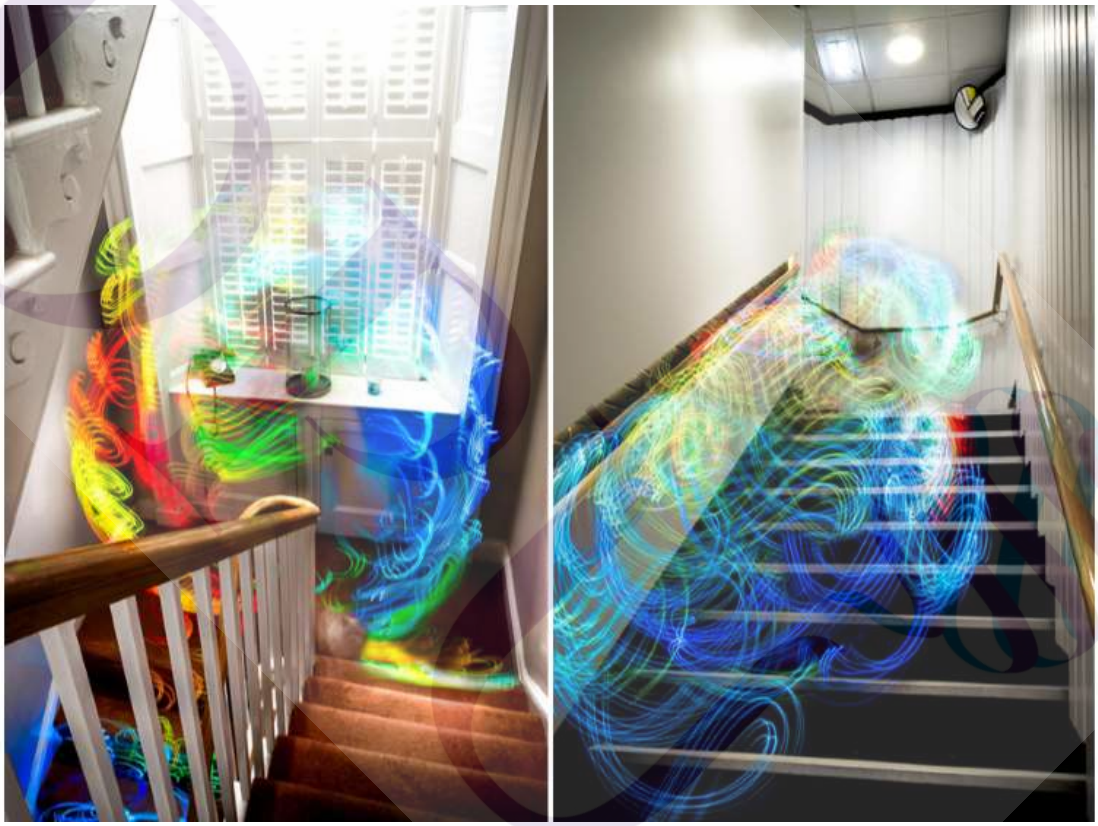
ในปี ค.ศ. 1971 Wireless LAN มีที่มาเริ่มจากกลุ่มนักศึกษามหาวิทยาลัยฮาวาย ชื่อ ALOHNET ทำการสร้างระบบเครือข่ายไร้สายด้วยการใช้สัญญาณคลื่นวิทยุในการรับส่งข้อมูลด้วยการติดตั้งคอมพิวเตอร์จำนวน 7 เครื่อง บนเกาะ 4 เกาะ ซึ่งมีระยะห่างไม่ไกลกันนักและมีศูนย์กลางเชื่อมต่ออยู่บนเกาะ Oahu แล้วประสบความสำเร็จด้วยดี นับเป็นการทดสอบการใช้ระบบ Wireless LAN เป็นครั้งแรก ส่วน Wi-Fi หรือเทคโนโลยีเครือข่ายแบบไร้สายที่มีการเชื่อมต่อสัญญาณกำเนิดขึ้นในปี ค.ศ. 1985 โดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (U.S. Federal Communications Commission) หรือ FCC ออกมาประกาศช่วงความถี่สำหรับใช้ในอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์และการแพทย์ (ISM) ในการใช้งานที่ไม่ต้องมีใบอนุญาต ต่อมาปี 1991

บริษัท เอ็นซีอาร์/เอทีแอนด์ที ซึ่งปัจจุบันชื่อ Alcatel-Lucent และ LSI คอร์ปอเรชั่น ได้สร้างชุดตั้งต้น 802.11 เพื่อใช้เป็นเทคโนโลยีระบบเก็บเงินที่เมือง Nieuwegein ประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยในช่วงแรก Wi-Fi มีความเร็วและประสิทธิภาพการทำงานค่อนข้างต่ำ และไม่มีการรับรองมาตรฐานคุณภาพการให้บริการ QoS (Quality of Service) จึงได้มีการพัฒนาความเร็วประสิทธิภาพและมาตรฐานให้เพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งปี 1992 จอห์น โอ ซัลลิแวน นักวิทยุ-ดาราศาสตร์ชาวออสเตรเลียได้พัฒนาสิทธิบัตรสำคัญใน Wi-Fi จากผลพลอยได้ของโครงการวิจัย CSIRO (the Australian Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) ที่สามารถ “กำจัดรอยเปื้อน” ของสัญญาณ จนได้รับสิทธิบัตรในปี 1996 ผลงานดังกล่าวทำให้ประสิทธิภาพการรับ-ส่งสัญญาณของคลื่น Wi-Fi เพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมาก ทั้งด้านความเร็วและความต่อเนื่องในการส่ง เนื่องจากความสามารถในการควบคุมความเสถียรของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าของช่วงคลื่นได้ดี และในปี ค.ศ. 1997 องค์การไอทริปเปิ้ลอี (IEEE) ที่เป็นสถาบันวิศวกรรมด้านไฟฟ้าและอิเล็กโทรนิคส์ ได้จัดตั้งคณะทำงานขึ้นมาปรับปรุง กำกับ ควบคุมมาตรฐานการให้บริการ Wi-Fi หลายกลุ่ม โดยมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับเป็นการเน้นควบคุมพัฒนาระบบความเร็ว ความเสถียร ปริมาณของข้อมูลที่ช่วงคลื่นสามารถรองรับการทำงานได้ และความปลอดภัยจากการถูกขโมยข้อมูลในการรับ-ส่งสัญญาณ ซึ่งการพัฒนาเหล่านั้นมีผลต่อพลังงานของช่วงคลื่นที่เพิ่มสูงและชัดเจนขึ้น โดยสรุป คือ คลื่นความถี่ที่ใช้กระจายสัญญาณ เป็นคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz กับ 2.5 GHz และคลื่นอินฟาเรด มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลที่ความเร็ว 1, 2, 5.5, 11 และ 54 Mbs (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2558)

4.2 คุณสมบัติของสัญญาณ Wi-Fi

Wi-Fi เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่จัดอยู่ในประเภทไม่มีไอออน คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย คือ ระดับความถี่ และระดับความเข้มของคลื่น โดยช่วงคลื่นความถี่สูงมีพลังงานมากกว่าช่วงคลื่นความถี่ต่ำ มีฤทธิ์ต่อการทำลายเซลล์ได้มากกว่าคลื่นความถี่ต่ำ โดยอาจเกิดผลในลักษณะไหม้ ทำให้เซลล์ตาย ส่วนความเข้มของคลื่นหมายถึงจำนวนคลื่นที่วิ่งมา ซึ่งลักษณะของคลื่น Wi-Fi เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีช่วงความถี่ 2.4 GHz ที่ใกล้เคียงกับช่วงคลื่นของเตาไมโครเวฟ แต่ความแรงของคลื่น Wi-Fi มักมีขนาดไม่เกิน 2 วัตต์ ในขณะที่คลื่นของเตาไมโครเวฟมีขนาด 700 – 1,100 วัตต์ ช่วงคลื่นที่ยิ่งมีความถี่สูงสามารถที่สามารถทะลุทะลวงเข้าสู่ร่างกายสิ่งมีชีวิตได้ตามสัดส่วน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบร่างกายและช่วงเวลาที่ได้รับคลื่น เนื่องด้วยองค์ประกอบของร่างกายแต่ละส่วน ประกอบด้วยแร่ธาตุที่แตกต่างกัน จึงส่งผลต่อความสามารถในการตอบสนองหรือรับคลื่นแต่ละความถี่ได้แตกต่างกัน ยิ่งมีความสามารถในการรับคลื่นได้มาก

ยิ่งสัมพันธ์ต่อการเพิ่มขึ้นของความเสี่ยง (วิชิต ศรีตระกูล, 2559) ธรรมชาติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ของ Wi-Fi มีความซับซ้อนของการกระจาย โดยเฉพาะผลกระทบที่เกิดจากการสะท้อนสัญญาณเมื่อตกกระทบสิ่งที่แตกต่างกันอย่าง ต้นไม้ หรือสิ่งปลูกสร้าง ยังไม่มีการบอกอัลกอริทึมที่ชัดเจนได้ เป็นเพียงการคาดการณ์ความแรงสัญญาณ Wi-Fi สำหรับพื้นที่ใด ๆ ที่สัมพันธ์กับตัวส่งสัญญาณซึ่งมีพิสัยในทางปฏิบัติขึ้นอยู่กับขอบเขตการใช้อุปกรณ์เคลื่อนที่เพื่อการใช้งานภายใต้ข้อกำหนดเรื่องขนาดพื้นที่ และการเคลื่อนที่ ตามภาพที่ 4.2 (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2558)



ภาพที่ 4.2 ภาพจำลองการสาธิตคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสัญญาณ Wi-Fi ภายในอาคาร (http://www.core77.com/posts/27373/shining-a-light-and-lots-of-color-on-previously-invisible-wi-fi-signals-27373)

ข้อมูลจาก International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection หรือชื่อย่อ ICNIRP เรื่องแนวคิดการเกิดผลกระทบจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อร่างกาย สามารถแสดงออกผ่าน 3 กระบวนการ คือ

1) ปฏิกิริยาระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อร่างกายมนุษย์ สามารถทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหล (electric current)

2) การเกิดขั้วไฟฟ้าขึ้นในร่างกาย (formation of electric dipoles)

3) การจัดเรียงขั้วไฟฟ้าใหม่ของเนื้อเยื่อในร่างกาย (reorientation of electric dipoles)

กลไกเหล่านี้สามารถส่งผลกระทบต่อร่างกายจากกลไกที่ทำให้อุณหภูมิของเนื้อเยื่อสูงขึ้น เกิดความร้อน (ICNIRP Guidelines, 1997)

4.3 ผลกระทบและความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ต่อร่างกาย

ด้วยคุณสมบัติที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า Wi-Fi และแนวโน้มที่มีการใช้เพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ร่างกายมีโอกาสได้รับคลื่นบ่อยและนานขึ้น อาจสร้างผลกระทบต่อร่างกายในด้านสุขภาพ (Saygin et al., 2011) ที่ความแรงของคลื่น Wi-Fi ทุก 1 วัตต์ สามารถเกิดอัตราการดูดซึมพลังงานจากคลื่น (Specific absorption rate-SAR) ได้ประมาณ 0.37×10 (W/kg) เป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานควบคุม ที่ส่งผลให้เซลล์มีอุณหภูมิสูงขึ้นได้ (Safari et al., 2017)

4.3.1 ผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพมนุษย์

มีการศึกษาทดลองมากมายที่พยายามพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของคลื่น Wi-Fi ที่มีผลต่อร่างกายหรือสุขภาพ ซึ่งหลายการศึกษาแสดงผลในลักษณะเป็นไปในทิศทางเดียวกันว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า Wi-Fi สามารถก่อให้เกิดผลลดลงต่อคุณภาพสเปิร์ม หรือ testicular ระดับเทสโทสเทอโรนลดลงส่งผลต่อขนาด testis ให้ลดลง เกิดการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของ testicular epithelial structure และลักษณะทางกายภาพ (Gross testicular histological changes) โดยเฉพาะการศึกษาจาก Office of Naval Medical Research study (Glaser, 1971) ส่งผลต่อความเสียหายของเซลล์สมอง (Dasdag et al., 2015) ลดประสิทธิภาพความคิด ความจำ (Gao et al., 2017) รวมถึงอาจมีผลต่อพฤติกรรม อาทิ การนอน ทำให้นอนไม่หลับหรือนอนหลับยาก เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของคลื่นสมอง ทำให้ตื่นตัวมากกว่าปกติ (Cunnington et al., 2013) ส่งผลการทำงานของสมองให้ช้าลง มีการศึกษาของประเทศเดนมาร์กพบว่า นักเรียนมัธยมที่สัมผัสสัญญาณ Wi-Fi สัมพันธ์กับการลดลงของสมาธิและการทำงานของสมอง (Bohn and Mathias, 2014) รวมถึงมีแนวโน้มก่อให้เกิดภาวะเครียดต่อการทำงานของหัวใจ โดยเฉพาะการเต้นของหัวใจ (Havas and Marrongelle, 2013)

การศึกษาของ Abdel-Rassoul และคณะ จากมหาวิทยาลัย Menoufiya ประเทศอียิปต์ ด้วยการเก็บข้อมูลผู้อาศัยในเมือง Menoufiya ที่อาศัยอยู่ใกล้เสาสัญญาณ จำนวน 85 ราย เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่อาศัยอยู่ห่างจากเสาสัญญาณ จำนวน 80 ราย พบว่า ผู้อาศัยใกล้เสาสัญญาณมีอาการปวด มึนศีรษะ มีการเปลี่ยนแปลงด้านความจำ และอาการเกี่ยวกับการนอน อาทิ นอนไม่หลับ มากกว่ากลุ่มควบคุมที่อาศัยอยู่ห่างจากเสาสัญญาณอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผู้อาศัยใกล้เสาสัญญาณสามารถทำแบบทดสอบบางรายการได้คะแนนสูงกว่ากลุ่มควบคุม เช่น การทดสอบการเคลื่อนไหวสัมพันธ์กับการมองเห็น (visuomotor speed test) การทดสอบและการทดสอบความมีสมาธิ (Attention) แต่มีคะแนนการทดสอบความจำระยะสั้นต่ำกว่ากลุ่มควบคุม (Abdel-Rassoul et al., 2007)

การศึกษาของ S.A. Falahati และคณะ ได้นำน้ำอสุจิของผู้ชาย 12 คน ไม่มีภาวะเป็นหมัน(fertile) โดยทำการแบ่งน้ำอสุจิของแต่ละคน เป็น 2 ส่วน นำไปวางในจุดที่ได้รับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ 50 Hz พบว่า สัมพันธ์กับการเคลื่อนไหวเร็วขึ้นของตัวอสุจิ แต่ไม่สัมพันธ์กับความผิดปกติของรูปร่าง (morphology) หรือระดับการอยู่รอด (viability) (Falahati et al., 2011)

ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากข้อมูลของ IARC, International Agency for Research on Cancer เมื่อวันที่ 31 มีนาคม 2014 ให้ข้อมูลเรื่องระดับของสารก่อมะเร็งไว้ตามภาพที่ 4.3

ภาพที่ 4.3 การจำแนกระดับสารที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรคมะเร็ง (http://www.compoundchem.com/2015/10/26/carcinogens/)

ระบุว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณวิทยุหรือโทรศัพท์ จัดอยู่ในกลุ่มสารก่อมะเร็งประเภท 2B โดยจำกัดเฉพาะมะเร็งสมอง (Glioma) และเนื้องอกที่ประสาทหู (Acoustic tumor) เท่านั้น ไม่รวมถึงมะเร็งชนิดอื่น เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำมาก ๆ ความถี่อยู่ในช่วง 3 – 3,000 Hz อาทิ สัญญาณคลื่นจากสายไฟฟ้าแรงสูงที่เป็นกระแสสลับ จัดเป็นสารที่อาจก่อมะเร็งกลุ่ม 2B โดยอ้างอิงหลักฐานเรื่องการอาศัยในพื้นที่ใกล้สายไฟฟ้าแรงสูง สัมพันธ์กับการเกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาวในเด็ก ซึ่งผลยังไม่เป็นที่ชัดเจนว่าสาเหตุจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือจากการอาศัยอยู่ในพื้นที่การจราจรคับคั่ง หรืออาจด้วยฐานะทางเศรษฐกิจเนื่องจากผู้ที่มักอาศัยในพื้นที่ลักษณะดังกล่าวมักมีฐานะทางเศรษฐกิจต่ำ ในขณะที่ข้อมูลจากบางการศึกษาให้แนวคิดว่าอาจเกิดจากไอออนรอบ ๆ สายไฟฟ้า (Corona ions) แต่ยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจน (Vince, 2015)

4.3.2 ข้อสรุปจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

จากการประเมินผลกระทบของ Wi-Fi ที่มีผลการศึกษาเป็นหลักฐานเชิงประจักษ์แสดงถึงผลที่ชัดเจนต่อสุขภาพมนุษย์นั้น ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากเป็นค่าพลังงานที่น้อยมาก ๆ เกินกว่าจะสามารถส่งผล (Foster and Moulder, 2013 and Pall, 2018) สอดคล้องกับผลจากองค์การ Telecommunications industry-linked individuals และเครือข่าย ที่ออกมาประกาศว่าคลื่น Wi-Fi ไม่มีผลและไม่สามารถเป็นไปได้ในการก่อให้เกิดผลกระทบทางสุขภาพ (Foster and Moulder, 2013 and Berezow and Bloom, 2017) โดยมีข้อมูลจากการศึกษาระบุถึงในแต่ละด้านว่า พลังงานจากช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ 2.4 GHz นั้นน้อยมาก ไม่มากพอที่จะทำลาย DNA หรือให้ผลโดยตรงต่อโรคมะเร็ง (Cancer research UK, 2018) เนื่องจากค่าปกติของอัตราการดูดซึมพลังงานจากคลื่น (Specific absorption rate-SAR) ที่ 1 วัตต์นั้น เป็นค่าสูงสุดต่อพลังงานที่ส่งออกมาจากเสาสัญญาณ WLAN antenna ขนาดใหญ่ ในขณะที่ตัวจ่ายสัญญาณ WLAN antenna ทั่วไปมีค่าส่งสัญญาณที่ประมาณ 10 ไมโครวัตต์ ตามระบบที่ใช้ทั่วโลก ณ ปัจจุบัน เป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยของยุโรป คือ ไม่เกิน 2 W/kg (IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Humans, 2005) ซึ่งการสัมผัสและอัตราการดูดซึมพลังงานจากคลื่น (Specific absorption rate-SAR) ตามที่กล่าวมานั้นต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ (Safari et al., 2017) ในด้านสมอง ICNIRP สรุปว่ามีความสัมพันธ์เล็กน้อยระหว่างการสัมผัสคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับคลื่นสมอง (Electroencephalogram: EEG) ส่วนที่เรียกว่า Alpha band แต่เชื่อว่าไม่มีผลต่อสุขภาพอย่างชัดเจน และไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างผลที่ cognitive กับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รวมถึงไม่สามารถหา ระดับที่สัมพันธ์กับการตอบสนองได้ (dose response relationship) โดยให้คำอธิบายเรื่องอาการปวดหัว อ่อนเพลีย หรืออาการคันทั่วตัวว่าไม่มี

ความสัมพันธ์ชัดเจนกับการสัมผัสคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และมีแนวโน้มเป็นได้ว่าเกิดจากความคาดหวังของแต่ละบุคคล (ICNIRP, 2014)

4.3.3 ผลกระทบทางกายภาพ จากการศึกษาทดลองในสัตว์

ข้อมูลจากการศึกษาผลกระทบจาก Wi-Fi ที่ทำการทดลองในสัตว์ พบว่าคลื่นสัญญาณจาก Wi-Fi ที่ช่วงความถี่ 2.4 GHz สามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพได้ (anatomy) มีการรายงานผลการศึกษาผลกระทบนั้นสัมพันธ์กับขนาดความถี่และช่วงเวลาที่สัมผัสกับคลื่น สามารถสร้างความเสียหายในระดับโครงสร้างและกระบวนการ metabolic ของเซลล์ เนื่องจากผลของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่รบกวนการทำงาน ทำให้เกิดความผิดปกติที่โครโมโซม แล้วแสดงออกมาที่เนื้อเยื่อต่าง ๆ (Al-Damegh, 2012; Lai and Singh, 1997; Moussa, 2005; Ozorak et al., 2013; Tsurita et al., 1999 and Valberg et al., 1997) ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อหัวใจในสัตว์ ลักษณะของเซลล์รวมถึงเซลล์ของมนุษย์ มีผลกระทบต่อระบบประสาท (neuropsychiatric effect) การเปลี่ยนแปลงของ EEG ความผิดปกติฮอร์โมน และเกิดภาวะ calcium overload เกิดภาวะ oxidative stress ไปสู่การ apoptosis หรือกระบวนการสั่งตายของเซลล์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาไปสู่โรคได้ (Glaser, 1971) ซึ่งผลของคลื่น Wi-Fi ที่มีต่อการทำงานของ biological ในเซลล์ที่มีชีวิตนั้นสามารถสร้างการเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากผลกระทบจากภาวะแวดล้อมภายในเซลล์ (Poletti et al., 2009)

ตับอ่อน มีข้อมูลการศึกษาว่าคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ที่ช่วงความถี่ 2.4 GHz ทำให้เกิดผลกระทบต่อความเสียหายของตับอ่อน ที่เป็นอวัยวะที่มีบทบาทในการหลั่งเอนไซม์ และฮอร์โมนของระบบทางเดินอาหารหลายตัว มีผลต่อสารในเลือด การควบคุม metabolism และการสะสมพลังงานให้ร่างกาย (Ozmen et al., 2010 and Yilmaz et al., 2009) โดยเฉพาะ Langerhans islet ที่มีบทบาทในการควบคุมระดับกลูโคส ด้วยการหลั่งฮอร์โมน insulin, glucagon, somatostatin และ pancreatic polypeptide หากเกิดความผิดปกติจะนำไปสู่การเกิดโรคเบาหวาน (Sakurai et al., 2004 and Sakurai et al., 2008) ซึ่งมีผลจากบางการศึกษาให้ข้อมูลว่าคลื่นสัญญาณ Wi-Fi มีผลต่อเซลล์ตับอ่อนที่ทำหน้าที่หลั่งฮอร์โมน (endocrine pancreatic cell) (Sakurai et al., 2004, Sakurai et al., 2005, Sakurai et al., 2008) โดยเฉพาะในหนูที่มีอายุน้อยกว่า (Topsakal et al., 2017)

การเจริญพันธุ์ ผลการศึกษามากกว่า 100 การศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์คลื่นช่วงความถี่ 2.4 GHz ส่วนใหญ่ให้ข้อมูลว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระบบการเจริญพันธุ์ (reproductive system) ที่ชัดเจนเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ในระดับต่ำกว่ามาตรฐานความปลอดภัยของ the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

(ICNIRP) ที่กำหนดไว้ใน the 26th Federal Pollution Control Ordinance (BImSchV) โดยประเทศเยอรมัน (Oksay et al., 2013) สอดคล้องกับการศึกษาผลของคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ที่มีต่อ sperm parameter ด้วยการวิเคราะห์ semen จากคนไข้ที่เข้ารับการตรวจระดับ infertility division ร่วมกับการตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับการสัมผัสคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นจำนวน 1,082 คน โดยตัดคนที่มีปัญหา Azoospermia (ภาวะตัวอสุจิต่ำ) ออกไป พบว่าการลดลงของประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ของอสุจิสัมพันธ์กับการสัมผัสคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงความถี่ 2.4 GHz เพิ่มมากขึ้น (Yildirim et al., 2015) การศึกษาของ Lukas H Margaritis และคณะ เรื่องการเกิด apoptosis ของเซลล์ไข่ในระยะOogenesis ในแมลงหวี่ 2 สายพันธุ์ ด้วยการนำแมลงหวี่ที่เพิ่งฟักตัวไปไว้ใกล้แหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อันได้แก่ โทรศัพท์มือถือชนิดต่าง ๆ แหล่งกำเนิดสัญญาณ Wi-Fi และสัญญาณ Blue tooth เป็นเวลา 3 -7 วัน พบว่าแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดมีผลต่อ apoptotic cell death ของไข่ (Margaritis et al., 2014)

สมอง คลื่นสัญญาณ Wi-Fi ช่วงความถี่ 2.4 GHz มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคลื่นสมอง (EEG) การทำงานของสมอง ทำให้ประสิทธิภาพการเรียนรู้ ความจำ สมาธิจดจ่อ การทำงานหัวใจ ตับ ต่อมไทรอยด์ การแสดงออกของยีน (gene expression) (Oksay et al., 2013) ความน่าสนใจเรื่องผลต่อสมองมีการศึกษาเพิ่มเติมเรื่องสมองส่วนการเรียนรู้ และความคิดความจำในหนูเพศเมีย (female Sprague Dawley rat) ว่าการได้รับคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ในช่วง 10.00 – 18.00 น. เป็นเวลา 4 ชั่วโมงต่อวันติดต่อกันเป็นเวลา 45 วัน ด้วยความเข้มข้นของพลังงานที่ 7.88 W/m2 สัมพันธ์กับการลดลงเมื่อสัมผัสกับคลื่นสัญญาณ Wi-Fi เพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อพฤติกรรมการแสดงออกเรื่องความวิตกกังวล (anxiety behavior) อันเนื่องมาจากการถูกกระตุ้นการแสดงออกของยีน caspase 3 โดยมีระดับเอนไซม์ super oxide dismutase เอนไซม์ catalase และเอนไซม์ reduced glutathione ลดลง เกิดการเพิ่มขึ้นของระดับ lipid peroxidation ในสมอง แต่ไม่มีผลต่อสารสื่อการอักเสบอย่าง TNF-α ผลการเปลี่ยนแปลงสารชีวเคมีดังกล่าวกระทบต่อการลดจำนวนลงของ dendritic arborization ที่เซลล์ประสาท เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการรับ-ส่งสัญญาณประสาท (Varghese et al., 2017) และมีการศึกษาด้วยการประเมิน genomic analysis and histopathological study พบว่าเกิด genotoxicity ในหนูที่มีการสัมผัสคลื่นเป็นระยะเวลานานติดต่อกัน สัมพันธ์กับการเพิ่มความเสี่ยง DNA damage ของเนื้อเยื่อสมอง (Ibitayo et al., 2017) การศึกษาในหนู Wistar ตัวผู้ ที่ได้รับคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ช่วงความถี่ 2.4 GHz ที่ค่าพลังงาน 23.6 dBm จำนวน 12 ชั่วโมงต่อวัน ต่อเนื่องเป็นเวลา 30 วัน พบว่ามีผลกระทบต่อการแสดงออกของ mRNA ในสมองส่วน hippocampus ที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ (Hassanshahi et al., 2017)

การได้ยิน ผลการศึกษาในหนู Wistar albino ที่ได้รับคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ที่ระยะห่าง 50 เซนติเมตร ตลอด 24 ชั่วโมงติดต่อกันเป็นเวลา 1 ปี แล้วประเมินผลการได้ยินก่อนเริ่มการทดลอง และหลังเริ่มการทดลองที่ช่วงเวลา 6 เดือน กับ 12 เดือน ด้วยวิธี distortion product otoacoustic emissions (DPOAE) พบว่า ในระดับความถี่ 6,000 Hz และ 2,000 Hz หนูกลุ่มที่ได้รับสัญญาณ Wi-Fi มีผลการได้ยินต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Yorgancilar et al., 2017)

หัวใจ การทดลองในกระต่ายโตเต็มวัยพบว่าได้รับคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ที่ระยะห่าง 25 เซนติเมตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีผลเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจ และความดันในหลอดเลือด arterial โดยเป็นผลจากการกระตุ้น catecholamines ได้แก่ dopamine และ epinephrine ที่มีอิทธิพลต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด (cardiovascular system) อาจเป็นผลจากการที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถกระตุ้น Ca++ และ Zn++ homeostasis especially Amara et al. (2007) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของภาวะหัวใจเต้นเร็ว (tachycardia) และภาวะความดันโลหิตสูง (hypertension) เนื่องมาจากการรบกวนการทำงาน physiological ของ catecholamine ที่เกี่ยวข้องกับระบบหัวใจและหลอดเลือด (cardiovascular system) หรืออาจเป็นไปได้ว่ามาจากการรบกวนปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ligand-receptor (Saili et al., 2015)

ผลต่อภาวะการตั้งครรภ์และตัวอ่อนในครรภ์ ผลการทดลองในหนูกำลังตั้งท้องที่ได้รับคลื่นสัญญาณ Wi-Fi เป็นเวลา 52 สัปดาห์ ความเข้มข้นพลังงาน 20 dB ในระดับ 11 V/m อัตราการดูดซับพลังงานทั่วทั้งตัว (SAR) 0.1 W/kg พบว่าที่เซลล์มดลูกมีการเพิ่มระดับ lipid peroxidation ส่วนการทำงานของเอนไซม์ glutathione peroxidase (วัดที่สัปดาห์ที่ 4 และสัปดาห์ที่ 5) และระดับโปรแลคติน เอสโตรเจน และโปรเจสเทอโรนในเลือด (วัดที่สัปดาห์ที่ 6) ลดลง ส่วนในภาพรวมมีการเพิ่มขึ้นของระดับภาวะ สารอนุมูลอิสระในเลือด และอุณหภูมิร่างกาย แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงระดับเอนไซม์ reduced glutathione สารต้านอนุมูลอิสระโดยรวม วิตามินเอ วิตามินซี และวิตามินอี ในหนูตัวแม่ที่ตั้งครรภ์ (samples of maternal rat) (Yüksel et al., 2015) และลูกหนูที่เกิดมา สามารถพบความผิดปกติที่ Tubular ในไต ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของไตได้ (Kuybulu et al., 2016) การศึกษาในหนู Wistar albino เรื่องผลการได้รับคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ช่วงความถี่ 2.4 GHz เป็นเวลา 2 ชั่วโมงต่อวัน ในช่วงก่อนและหลังคลอดที่มีต่อพัฒนาการและพฤติกรรมของลูกหนูที่คลอดออกมา พบว่าลูกหนูมีภาวะ oxidative stress ในเซลล์สมองส่วน cerebral ไม่สมดุล มีการเพิ่มขึ้นของระดับ malondialdehyde (MDA) กับ hydrogen peroxide (H_2O_2) และมีระดับเอนไซม์ catalase (CAT) กับเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) ลดลง รวมถึงการทำงานของสารสื่อประสาทชนิด acetylcholinesterase และ

cholinesterase ไม่ปกติ ส่งผลให้มีความบกพร่องในพัฒนาการระบบประสาท ซึ่งมีผลต่อการควบคุมอารมณ์และพฤติกรรมเมื่อโตขึ้นแตกต่างกันไป (Othman et al., 2017 (a) นอกจากนี้ยังพบการกลายพันธุ์ในการพัฒนาเซลล์ประสาทชนิด neuromotor ที่มีผลต่อการแสดงออกทางพฤติกรรมเมื่อโตขึ้น เป็นผลจากการที่สมองถูกรบกวนภาวะสมดุล oxidative และสารชีวเคมีในเลือด (Othman et al., 2017 (b)

การได้รับคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ช่วงความถี่ 2.4 GHz ต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน มีผลต่อวงจรชีวิตของเซลล์ (cell cycle) เยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ตลอดจนแบคทีเรีย และพฤติกรรมที่เกี่ยวเนื่องกับผลกระทบจากภาวะ cytotoxic (Oksay et al., 2013) ซึ่งการส่งผลได้ทั้งต่อเซลล์แบคทีเรียและเซลล์ของมนุษย์ทำให้มีการศึกษาผลต่อภาวะดื้อยา ด้วยการให้ทดลองให้เชื้อได้รับคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ช่วงความถี่ 2.4 GHz ที่ระยะห่าง 5 เมตรจาก Wi-Fi router ที่ให้ค่าพลังงานในระดับ 1 วัตต์ มีค่า specific absorption rate (SAR) ที่ 0.13 W/kg พบว่า การได้รับการกระตุ้นด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานต่ำเป็นระยะเวลานาน สามารถทำให้เกิดภาวะ microorganisms resistant ต่อยาปฏิชีวนะ (antibiotic) และมีผลยับยั้ง zone diameter และอัตราการเจริญเติบโตของ L monocytogenes ที่เกี่ยวข้องกับภาวะระบบภูมิคุ้มกัน เช่น การติดเชื้อ HIV การเปลี่ยนถ่ายอวัยวะ(organ transplant) ในคนที่มี received corticosteroid หรือได้รับผลกระทบจากยากดภูมิคุ้มกันสูง ๆ รวมถึงผลต่อเชื้อแบคทีเรีย E coli. ที่มีทำให้เกิดภาวะติดเชื้อคุกคาม (life-threatening infection) เช่น ในกระแสเลือด ในระบบทางเดินปัสสาวะ ในหูชั้นกลาง (otitis) เป็นต้น (Taheri et al., 2017) ผลดังกล่าวอาจมาจากการที่แบคทีเรียมีการตอบสนองต่อภาวะ environmental stresses ด้วยการใช้ระบบเฉพาะอย่างการปรับเปลี่ยน ion channel ของเยื่อหุ้มเซลล์ (membrane) ระบบการซ่อมแซม DNA และอาจเป็นไปได้ว่ามีการปรับ ion efflux pump ที่เยื่อหุ้มเซลล์ให้ทนต่อสารจากยาปฏิชีวนะ (antibacterial agent) (Tadevosyan et al., 2008)

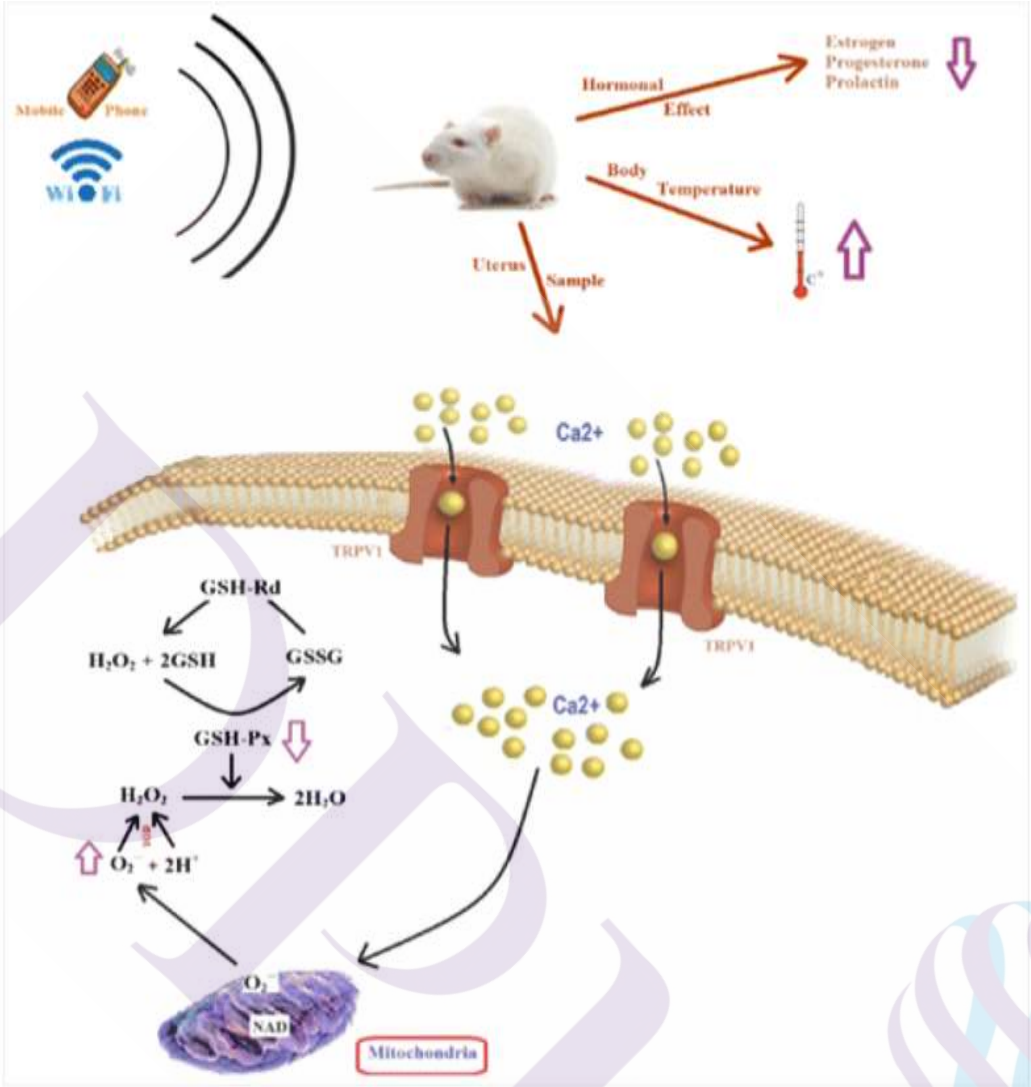
นอกจากผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพแล้ว คลื่นสัญญาณ Wi-Fi จาก router มีผลต่อการกระตุ้นสารปรอท (mercury) จากอะมัลกัมที่ใช้อุดฟัน (amalgam filling) ให้เพิ่มสูงขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Paknahad et al. 2016)

4.3.4 ผลกระทบในระดับชีวโมเลกุลและสารชีวเคมี

จากการศึกษาในภาพรวมพบว่า การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เป็นผลจากคลื่นสัญญาณ Wi-Fi เกิดขึ้นเนื่องมาจากกลไกในการรบกวนการทำงานในระดับเซลล์ โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นหลัก ๆ มาจากการลดระดับสารต้านอนุมูลอิสระภายในเซลล์ การเปลี่ยนแปลงระดับสาร biochemical ที่ทำให้เกิดภาวะ Oxidative stress ขึ้น อาทิ

การทำงานของ voltage-gated calcium channel (VGCC) โดย VGCC สามารถถูกกระตุ้นได้ด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้การตรวจจับและการทำงาน (sensor) มีความไวเพิ่มมากขึ้น รวมถึงกลไกอื่นที่เป็นวงจรรองลงมา อาทิ กลไก voltage-gated ion-channels ช่องทางการ calcium cyclotron resonance และ geomagnetic magnetoreception mechanism (Pall, 2018) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับฮอร์โมนโปรแลคติน เอสโตรเจน และโปรเจสเทอโรนลดลงในเลือด มีการเพิ่มขึ้นของระดับสารอนุมูลอิสระในเลือด และอุณหภูมิร่างกาย แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงระดับเอนไซม์ reduced glutathione สารต้านอนุมูลอิสระโดยรวม วิตามินเอ วิตามินซี และวิตามินอี ในหนูตัวแม่ที่ตั้งครรภ์ (samples of maternal rat) น่าจะเป็นผลจาก Transient receptor potential vanilloid 1 cation channel (TRPV1 cation channel) พบมากในเซลล์ประสาท ทำหน้าที่เป็น nociceptor (ปลายประสาทอิสระของเซลล์ประสาทรับความรู้สึกที่ตอบสนองโดยเฉพาะต่อตัวกระตุ้นที่อาจจะทำความเสียหายต่อร่างกาย/เนื้อเยื่อ โดยส่งสัญญาณประสาทไปยังระบบประสาทกลางผ่านไขสันหลังหรือก้านสมอง) ในการรับความร้อน จนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับฮอร์โมน ภาวะ oxidative stress และอุณหภูมิ ในระยะยาวอาจมีผลต่อ TRPV1-mediated Ca2+ entry ร่วมกับภาวะสะสมของ oxidative stress กระทบกับการรั่วของ mitochondrial membrane นำไปสู่การเกิด mitochondrial dysfunction เพราะการคั่งของสารจาก mitochondria ที่รั่วมาจากouter membrane และสารอนุมูลอิสระ เช่น superoxide (O2 -) และ hydrogen peroxide (H2O2) ที่ตามปกติจะถูกควบคุมโดยเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) และ Glutathione peroxidase (GSH-Px) (Yüksel et al., 2015)

ภาวะความเสียหายจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (oxidative damage) และกระบวนการอักเสบ (inflammatory process) ที่เกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีผลต่อโพรสตาแกลนดิน อี 2 (Prostaglandin E2- PGE2) ที่มีผลต่อการบีบตัวของมดลูก ภาวะการอักเสบต่าง ๆ และ Calcitonin gene related peptide (CGRP) ที่มีบทบาทสำคัญต่อภาวะไมเกรน รวมถึงการเปลี่ยนแปลงระบบ antioxidant redox ในเลือดส่งผลต่อการลดระดับความสามารถสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ การทำงานของสารที่เกี่ยวข้องในระบบเอนไซม์ อาทิ superoxide dismutase (SOD) catalase (CAT) glutathione peroxidase (GSH-Px) แต่สาร glutathione S-transferase (GST) มีระดับเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ reduced glutathione (GSH) และ ระดับสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับ thiobarbituric acid (TBARS) ไม่เปลี่ยนแปลง (Kamali et al., 2018)



ภาพที่ 4.4 กลไกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการทำงานของ TRPV1 cation channels (Yüksel et al., 2015)

ภาวะ oxidative stress ที่เซลล์สมอง สัมพันธ์ต่อทั้งหนูเพศผู้และเพศเมียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากการปรับระดับสารชีวเคมี ได้แก่ ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม กลูโคส ไตรกลีเซอร์ไรด์ และแคลเซียม ถูกรบกวน (Othman et al., 2017 (b) ในหนูที่กำลังตั้งท้อง พบว่าคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ช่วงความถี่ 2.45 GHz ที่ได้รับเป็นเวลา 1 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 5 วันต่อสัปดาห์ มีผลเพิ่มภาวะ Oxidative stress ในเซลล์ตับและเซลล์สมอง ที่สามารถส่งผลกระทบต่อลูกหนูที่เกิดมาได้ด้วย เป็นผลจากการสร้างสารอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น (reactive oxygen substances-ROS) และการลดลงของระบบการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ glutathione (GSH) การทำงานของ glutathione peroxidase (GSH-Px) และระดับวิตามินซี (Çelik et al., 2015)

เซลล์ตับอ่อน จากผลกระทบของคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ที่สร้างความเสียหายแก่เซลล์ตับอ่อน ทำให้การหลั่งอินซูลินและ glucose-stimulated insulin จากเซลล์ได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อทำการวิเคราะห์ในระดับชีวโมเลกุลพบว่า คลื่นสัญญาณ Wi-Fi ทำให้ระดับ lipid peroxidation ในเซลล์เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ระดับ superoxide dismutase (SOD) เอนไซม์ reduced glutathione (GSH) และการทำงานของ glutathione peroxidase (GSH-Px) ลดลง ทำให้เกิดภาวะระดับน้ำตาลในเลือดสูง (hyperglycemia) (Masoumi et al., 2018)

คุณภาพ sperm การทดลองเรื่องระยะเวลาที่ได้รับสัญญาณ และผลต่อคุณภาพ sperm ในหนู Wistar เพศผู้ที่แบ่งการได้รับสัญญาณเป็น 1-7 ชั่วโมงต่อวัน พบว่า จำนวนชั่วโมงที่เพิ่มมากขึ้นสัมพันธ์ต่อการลดลงของคุณภาพ sperm โดยเฉพาะน้ำหนักของ seminal vesicle เนื่องมาจากเกิดการ apoptosis สูง (Shokri et al., 2015)

วงจรชีวิตของเซลล์ ผลการศึกษาในหนูที่ได้รับคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ช่วงความถี่ 2.45 GHz จำนวน 24 ชั่วโมงต่อวันต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ปี มีผลต่อ MicroRNAs ที่มีบทบาทในวงจรชีวิตของเซลล์ อาทิ การเจริญ (growth) การเปลี่ยนบทบาท (differentiation) การแบ่งตัว (proliferation) และการตาย (death) ของเซลสมอง ซึ่งอาจนำไปสู่โรคทางสมองได้ (Dasdag et al., 2015) ในระยะยาวสามารถส่งผลต่อการเกิด DNA damages (genotoxicity) และเป็นสาเหตุไปสู่การเกิดโรคมะเร็ง (carcinogenicity) (Qureshi et al., 2017) โดยเฉพาะอวัยวะที่มีความไวต่อคลื่นสัญญาณ Wi-Fi อย่างสมอง ตับ ไต ผิวหนัง และเนื้อเยื่อ testicular (สัมผัสสัญญาณพลังงาน 100 ไมโครวัตต์ มีค่า specific absorption rate (SAR) ที่ 141.4-7,127 mW/kg ในระยะห่าง 50 เซนติเมตร 24 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 12 เดือน) (Akdag et al., 2016) คลื่นสัญญาณ Wi-Fi ช่วงความถี่ 2.45 GHz มีคุณสมบัติที่สามารถส่งผลต่อชีวภาพของสิ่งมีชีวิต ที่อาจรวมถึงมนุษย์ อาทิ calcium metabolism หรือ stress proteins โดยการสะสมของผลกระทบในระยะยาวสามารถสร้างความเปลี่ยนแปลงทางสมรรถภาพ (physiological) และลักษณะทางกายภาพ (morphological) ได้ (Halgamuge, 2016)

4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นสัญญาณ Wi-Fi และผลต่อร่างกาย

การรับคลื่นสัญญาณสามารถส่งผลลัพธ์ที่แตกต่างออกไปได้ ด้วยมีปัจจัยร่วมหลายปัจจัย ได้แก่

4.4.1 ระยะเวลาที่สัมผัสคลื่นสัญญาณ Wi-Fi

จากข้อมูลการศึกษาที่รวบรวมมาใช้ในการอ้างอิง มีเพียง 1 การศึกษาที่ทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของคุณภาพสเปิร์มในหนูกับระยะเวลาที่สัมผัส

คลื่นสัญญาณ Wi-Fi พบว่ายิ่งระยะเวลาที่สัมผัสคลื่นสัญญาณ Wi-Fi เพิ่มมากขึ้น ยิ่งสัมพันธ์กับการเกิด apoptosis สูงขึ้น (Shokri et al., 2015)

4.4.2 อายุของผู้สัมผัสคลื่นสัญญาณ Wi-Fi

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถส่งผลต่อคนอายุน้อยได้มากกว่า (Pall, 2018) การศึกษาข้อมูลใน 23 โรงเรียนที่ประเทศออสเตรเลีย พบว่าคลื่นสัญญาณ Wi-Fi มีความเฉพาะที่สามารถส่งผลต่อการเพิ่มความเสี่ยงสุขภาพในเด็กนักเรียน โดยเฉพาะเรื่องสมองและการเรียนรู้ (Karipidis et al., 2017) หรือแม้แต่ในสัตว์ทดลอง พบว่าการได้รับคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ในระหว่างตั้งครรภ์หรือหลังคลอดสามารถส่งผลต่อความผิดปกติได้มากกว่าสัตว์ที่โตเต็มวัย [(Kuybulu et al., 2016 and Othman et al., 2017 (a)] ข้อมูลจากเว็บไซต์ earth calm ระบุว่า เซลล์สมองและกะโหลกศีรษะของวัยเด็กโดยเฉพาะเนื้อสมองเด็กวัย 5 - 10 ปี ยังอยู่ในช่วงเจริญเติบโต มีความอ่อนนุ่ม จึงง่ายต่อการได้รับผลกระทบจากคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ที่มีคุณสมบัติทะลุทะลวงได้มากกว่าสมองของผู้ใหญ่ที่พัฒนากะโหลก และเซลล์จนโตเต็มที่แล้ว รวมถึงรายงานที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ the Australasian Journal of Clinical Environmental Medicine ว่า คลื่นสัญญาณ Wi-Fi มีผลต่อทารกในครรภ์ และหลังคลอด กระทบต่อการทำงานของเซลล์ การหายใจ ความเสียหายของ DNA และเซลล์เม็ดเลือดขาวหากสัมผัสสัญญาณเป็นเวลานานหรือต่อเนื่อง ยิ่งคลื่นความถี่ของระบบสัญญาณ Wi-Fi มีความเข้มข้น สัมพันธ์ต่อการเพิ่มความเสี่ยงต่อพัฒนาการและการเกิดเนื้องอกในสมอง นอกจากนี้สัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปล่อยจากอุปกรณ์ที่มีสัญญาณ Wi-Fi เป็นสาเหตุให้เกิดการจับตัวกันของธาตุโลหะหนักที่เซลล์สมอง อาจนำไปสู่การสะสมและเสี่ยงต่ออาการออทิสติก (Rein, 2015)

4.4.3 ระยะห่าง และสิ่งกีดขวางระหว่างจุดส่งคลื่นสัญญาณ Wi-Fi

ตามหลักฟิสิกส์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) หมายถึง คลื่น หรือควอนตัมโฟตอนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ผ่านปริภูมิโดยพาพลังงานด้วยการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบด้วย คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นการสั่นประสานของสนามไฟฟ้า และแม่เหล็กที่แผ่ผ่านสุญญากาศด้วยความเร็วแสง มีการสั่นของสนามทั้ง 2 ตั้งฉากกัน และตั้งฉากกับทิศทางการแผ่พลังงานและคลื่น ทำให้เกิดคลื่นตามขวาง โดยแผ่กระจายแนวของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นทรงกลมจากแหล่งกำเนิด ซึ่งสามารถจำแนกลักษณะได้จากความถี่ของการสั่นหรือความยาวคลื่น (Maxwell, 1865) ดังนั้นความแรงหรือค่าพลังงานของช่วงคลื่นจะลดน้อยลงเมื่อระยะห่างจากจุดกำเนิดเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งธรรมชาติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ของ Wi-Fi มีความซับซ้อนของการกระจาย ผลกระทบจากการสะท้อนสัญญาณเมื่อตกกระทบสิ่งต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน เช่น ต้นไม้ กำแพง หรือวัสดุของสิ่งปลูกสร้าง แม้จะยังไม่สามารถบอกอัลกอริทึมที่

ชัดเจนได้ แต่ความหนาแน่นและขนาดของสิ่งกีดขวางสามารถส่งผลต่อความแรงสัญญาณ Wi-Fi ได้ นอกจากนี้สำหรับพื้นที่ใด ๆ ที่สัมพันธ์กับตัวส่งสัญญาณซึ่งมีพิสัยในทางปฏิบัติขึ้นอยู่กับขอบเขตการใช้อุปกรณ์เคลื่อนที่ ความแรงของสัญญาณจะสัมพันธ์กับเงื่อนไขเรื่องขนาดพื้นที่ และการเคลื่อนที่ขณะส่งสัญญาณ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2558)

4.4.4 ลักษณะของเซลล์หรืออวัยวะที่สัมผัสคลื่นสัญญาณ Wi-Fi

ความสามารถในการทะลุทะลวงเข้าสู่ร่างกายสิ่งมีชีวิตของคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอวัยวะนั้น ๆ แตกต่างกันไปตามลักษณะของเซลล์ และแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบซึ่งมีความแตกต่างกัน ส่งผลต่อความสามารถในการตอบสนองหรือรับคลื่นแต่ละความถี่ หรืออัตราการดูดซึมพลังงานจากคลื่น (Specific absorption rate-SAR) หากความสามารถในการรับคลื่นได้มากจะสัมพันธ์ต่อการเพิ่มขึ้นของความเสี่ยง ซึ่งเซลล์ที่มีลักษณะอ่อนนุ่ม เช่น เซลล์สมอง เซลล์บริเวณทรวงอกของผู้หญิงมีความเสี่ยงต่อการเกิดเนื้องอกได้มากกว่า (วิชิต ศรีตระกูล, 2559)

4.4.5 ระดับค่า specific absorption rate (SAR)

ข้อมูลจากรายงานการศึกษาเรื่องผลการศึกษาค่าอัตราการดูดซับพลังงานจำเพาะในเนื้อเยื่อของมนุษย์ โดยสาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กล่าวว่า specific absorption rate (SAR) คือ อัตราการดูดกลืนพลังงานจำเพาะ เป็นหน่วยวัดอัตราที่เนื้อเยื่อของร่างกายดูดซับพลังงานไฟฟ้าไว้ มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อกิโลกรัม (W/Kg) ที่ใช้วัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่สูงกว่า 100 kHz เพื่อประเมินปริมาณการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้กันทั่วไป โดยคำนวณจากค่าเฉลี่ยทั้งหมดทุกส่วนของร่างกายหรือปริมาตรขนาดเล็กที่ 1 กรัมหรือ 10 กรัมของเนื้อเยื่อ) ซึ่งแต่ละประเทศมีมาตรฐานกำหนดแตกต่างกัน อาทิ สหรัฐอเมริกาและแคนาดา กำหนดโดยองค์กร Federal Communications Commission(FCC) ที่ไม่เกิน 1.6 W/Kg ที่ปริมาตรเนื้อเยื่อ 1 กรัม ส่วนประเทศในแถบยุโรปกำหนดโดยองค์กร International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) ที่ไม่เกิน 2.0 W/Kg ที่ปริมาตรเนื้อเยื่อ 10 กรัม (วรา สุวรรณสินธุ์ และคณะ, 2557) ซึ่งมีการสำรวจในเมือง Minnesota, USA พบว่าค่าอัตราการดูดซับพลังงานจำเพาะในเนื้อเยื่อของมนุษย์อยู่ที่ 50 mW/kg และสรุปว่าผลกระทบจากคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่สัมผัสคลื่นสัญญาณ (time) ระยะเวลาหรือความต่อเนื่อง (duration) และค่าอัตราการดูดซับพลังงานจำเพาะในเนื้อเยื่อของมนุษย์ (SAR value) (Saygin et al., 2011, Saygin et al., 2015).

4.5 ทางเลือกในการใช้ Supplement และอุปกรณ์แทรกแซงสัญญาณ เพื่อลดผลกระทบจากคลื่นสัญญาณ Wi-Fi

เนื่องจากผลที่ชัดเจนต่อเซลล์ที่เกิดจากการได้รับคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลานาน คือ การรบกวนการทำงานและสภาวะของเซลล์ เป็นผลให้ระดับสารอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ความสามารถและระดับสารต้านอนุมูลอิสระลดลง นำไปสู่ภาวะ oxidative stress ที่เป็นสาเหตุของความเสื่อมและโรคต่าง ๆ ได้ (Yüksel et al., 2015; Çelik et al., 2015; Kamali et al., 2018 and Masoumi et al., 2018) จึงมีหลายการศึกษาที่ทดสอบแนวคิดการใช้สารต้านอนุมูลอิสระเพื่อลดผลกระทบจากการได้รับคลื่นสัญญาณ Wi-Fi อาทิ

วิตามินซี ปริมาณ 250 มก./กก./วัน ให้ผลช่วยป้องกันการเปลี่ยนวงจร metabolic และการทำงานของเอนไซม์ที่ตับของหนู Wistar เพศผู้ ซึ่งได้รับผลจากการสัมผัสคลื่นสัญญาณ Wi-Fi 8 ชั่วโมงต่อวัน ที่ระยะ 20 เซนติเมตร (Shekoohi-Shooli et al., 2016)

Gallic acid (GA) ปริมาณ 30 มก./กก./วัน สัมพันธ์กับการช่วยฟื้นฟู หรือชะลอความเสื่อมของเซลล์ตับอ่อนที่เกี่ยวข้องกับการหลั่งฮอร์โมน (endocrine) และสารคัดหลั่ง (exocrine) ในหนู โดยให้ผลในการลดระดับสารอนุมูลอิสระภายนเซลล์ลง (Topsakala et al., 2017)

เมลาโทนิน สัมพันธ์ต่อการลดระดับ lipid peroxidation ที่เกิดจากการสัมผัสคลื่นสัญญาณ Wi-Fi 1 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 28 วันในหนู ด้วยการยับยั้งกระบวนการสร้างสารอนุมูลอิสระ จากการเพิ่มการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ glutathione peroxidase (Oksay et al., 2013)

Selenium และ L-carnitine ปริมาณ 1.5 มก./กก./วัน สัมพันธ์ต่อการยับยั้งการเกิดสารอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะการลดระดับของสารต้านอนุมูลอิสระวิตามินเอ วิตามินซี และวิตามินอี ด้วยการส่งเสริมประสิทธิภาพของระบบ antioxidant redox ในหนูที่สัมผัสคลื่นสัญญาณ Wi-Fi 1 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 28 วัน (Türker et al., 2011)

นอกจากข้อมูลจากการศึกษาที่มีการใช้ Supplement ที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ หรือส่งเสริมประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์ดังที่กล่าวมาแล้ว ปัจจุบันมีแนวคิดเรื่องการใช้อุปกรณ์แทรกแซงคลื่นสัญญาณ Wi-Fi อยู่ 2 รูปแบบ

แบบที่ 1 อุปกรณ์เรียกว่า เวฟชิลด์ (Wave Shield) คิดและพัฒนาโดย ดร.อิเกอร์ เสมียร์นอฟ ได้รับสิทธิบัตรจากสหรัฐฯ U.S. Patent เลขที่ 6,369,399 B1 สำหรับ “Electromagnetic Radiation Shielding Material and Device” ในปี 2002 และได้รับการรับรองโดย UL (Underwriter Laboratories) เป็นห้องปฏิบัติการทดสอบอย่างเป็นทางการสำหรับความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับอิเล็กทรอนิกส์ในสหรัฐอเมริกา ภายในเครื่องเวฟชิลด์ (Wave Shield) ประกอบด้วย

สารประกอบโพลีเมอร์ที่มีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูง มีกลไกการทำงานด้วยการใช้คลื่นความถี่ต่ำมาก ๆ (Noise Field) เข้าไปเกาะซ้อนกับคลื่นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ แบบคงที่ เช่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องใช้ไฟฟ้า คอมพิวเตอร์ สัญญาณโทรศัพท์ สัญญาณ Wi-Fi เป็นต้น ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่อง เว็บไซต์ผู้ผลิตให้ข้อมูลว่า ด้วยกลไกดังกล่าวทำให้เกิดรูปแบบคลื่นแบบสุ่มเหมือนความถี่ที่เกิดตามธรรมชาติ สามารถทำให้คลื่นสัญญาณ Wi-Fi กลายเป็นคลื่นที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อเซลล์ หรือระบบชีวภาพของร่างกาย และคลื่นความถี่ต่ำที่ส่งออกมาไม่มีผลกระทบต่อการรับส่งสัญญาณของอุปกรณ์ทั้งหลาย เชื่อว่าทำให้ใช้งานคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ได้ตามปกติ โดยยังคงมีความปลอดภัย (MGR Online, 2558: ออนไลน์)

ข้อมูลจากเว็บไซต์ผู้ผลิต (MERT, ออนไลน์) บอกเรื่องประสิทธิภาพในการลดผลกระทบที่เกิดจากการได้รับรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMR) ไว้ดังนี้

1. ลดค่า SAR ลง
2. ลดผลกระทบและฟื้นฟูสภาพเดิมของเซลล์เม็ดเลือดในเรื่องโครงสร้าง และรูปร่าง
3. ปรับลดผลกระทบเรื่องความเครียดและการกระตุ้นความตื่นเต้นของสมองจากรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
4. หยุดยั้งการทำงานของรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMR) ช่วยป้องกันเซลล์ที่มีชีวิตจากผลกระทบที่เป็นอันตราย

แบบที่ 2 อุปกรณ์เรียกว่า Jammer หรือ เครื่องรบกวน/ตัดสัญญาณ อาทิ สัญญาณโทรศัพท์มือถือ Bluetooth Wireless หรือ Wi-Fi เป็นต้น ข้อมูลจากอาจารย์ณัฏฐ์ มาเจริญ หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเครือข่ายและอินเตอร์เน็ต คณะวิทยาการและเทคโนโลยีสารสนเทศมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการตัดสัญญาณของอุปกรณ์ Jammer ณ อาคารคิว (Q) คณะวิทยาการและเทคโนโลยีสารสนเทศ เมื่อวันอังคารที่ 6 ตุลาคม 2558 ว่า เนื่องจากหลักการทำงานของคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ใช้การเชื่อมต่อช่องสัญญาณคู่ที่ว่าง ทำให้รับ-ส่งข้อมูลได้ ดังนั้นเครื่อง Jammer (เครื่องรบกวน/ตัดสัญญาณ) จะทำการสร้างสัญญาณรบกวนให้เต็มทุกย่านความถี่ ทำให้ไม่มีช่องว่างของสัญญาณ และไม่สามารถใช้งาน Wi-Fi ได้

ภาพที่ 4.5 อุปกรณ์ Jammer หรือ เครื่องรบกวน/ตัดสัญญาณ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, ออนไลน์)

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

คลื่นสัญญาณ Wi-Fi เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดไม่มีประจุที่มีช่วงความถี่ 2.4 GHz ใกล้เคียงกับช่วงคลื่นของไมโครเวฟ แต่ความแรงไม่เกิน 2 วัตต์ มีความสามารถในการทะลุทะลวงเข้าสู่ร่างกายสิ่งมีชีวิตได้ตามสัดส่วน ขึ้นอยู่กับปัจจัย อาทิ เซลล์ที่สัมผัสคลื่นสัญญาณ อายุของผู้ที่สัมผัสคลื่นสัญญาณ ช่วงเวลาที่ได้รับคลื่น สภาพแวดล้อมหรือสิ่งกีดขวาง เป็นต้น มีแนวคิดเรื่องการเกิดผลกระทบจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อร่างกาย เป็นผลจากคุณสมบัติที่สามารถแสดงออกผ่าน 3 กระบวนการ คือ

1) ปฏิกริยากระแสไฟฟ้าไหล (electric current) ระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อร่างกาย

2) การเกิดขั้วไฟฟ้าในร่างกาย (formation of electric dipoles)

3) การจัดเรียงขั้วไฟฟ้าใหม่ของเนื้อเยื่อ (reorientation of electric dipoles)

กลไกเหล่านี้สามารถส่งผลกระทบต่อร่างกายจากกลไกที่ทำให้อุณหภูมิของเนื้อเยื่อสูงขึ้น เกิดความร้อน และเมื่อแนวโน้มการใช้เพิ่มสูงขึ้น เป็นผลให้ร่างกายมีโอกาสได้รับคลื่นบ่อยและนานขึ้น อาจสร้างผลกระทบต่อร่างกายได้ แต่หลักฐานเชิงประจักษ์ที่แสดงถึงผลที่ชัดเจนต่อสุขภาพมนุษย์นั้นยังไม่มีหลักฐานที่ชัดเจนในทางกายภาพ (Anatomy)

อย่างไรก็ตามมีการจัดระดับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณวิทยุหรือโทรศัพท์ถูกจัดอยู่ในกลุ่มสารก่อมะเร็งประเภท 2B โดยจำกัดเฉพาะมะเร็งสมอง (Glioma) และเนื้องอกที่ประสาทหู (Acoustic tumor) และมีผลการศึกษาในสัตว์ว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า Wi-Fi สามารถก่อให้เกิดผลต่อเซลล์สมอง ประสิทธิภาพความคิด ความจำ ผลต่อพฤติกรรมการนอนไม่หลับหรือหลับยาก ภาวะเครียดต่อการทำงานของหัวใจ การเต้นของหัวใจ เนื่องจากการรบกวนกลไกการทำงานระดับโครงสร้างและกระบวนการ metabolic ของเซลล์ที่ช่องทางนำเข้าสารบนเยื่อหุ้มเซลล์ เช่น ทำให้เกิดภาวะ calcium overload การสร้างผลกระทบต่อโครโมโซมแล้วแสดงออกที่สารชีวเคมีของร่างกาย ส่งผลต่อคลื่นสมอง ฮอร์โมน ระบบประสาท (neuropsychiatric effect) และเนื้อเยื่อ โดยเฉพาะ ที่นำไปสู่ภาวะ oxidative stress และเกิด apoptosis หรือกระบวนการสั่งตายของเซลล์ ซึ่งมีบทบาท

สำคัญในการพัฒนาไปสู่โรคได้ ซึ่งกลไกหลัก ๆ จากการลดระดับสารต้านอนุมูลอิสระภายในเซลล์ การเปลี่ยนแปลงระดับสาร biochemical ที่ทำให้เกิดภาวะ Oxidative stress ขึ้น

ตารางที่ 5.1 สรุปจำนวนผลการศึกษาเรื่องผลกระทบของคลื่นสัญญาณ Wi-Fi

ความสามารถในการก่อผลกระทบ	**ประเภทการศึกษา**	**ผลต่อคน** (จำนวนการศึกษา)	**ผลต่อสัตว์** (จำนวนการศึกษา)
ไม่ชัดเจน	วิจัยเชิงสำรวจ	1	-
ไม่มีผล	ศึกษา/ ทดสอบความสัมพันธ์	8	-
อาจจะหรือเป็นไปได้ที่จะมีผล	ศึกษา/ ทดสอบความสัมพันธ์	2	-
มีผล	RCT	13 (In vitro)	45 (In vivo)

โดยมีปัจจัยที่สัมพันธ์กับผลกระทบ ได้แก่

ระยะเวลาที่สัมผัสคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ยิ่งระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น ยิ่งสัมพันธ์กับการเกิด apoptosis สูงขึ้น

อายุของผู้สัมผัสคลื่นสัญญาณ Wi-Fi โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถส่งผลต่อคนอายุน้อยได้มากกว่า

ระยะห่าง และสิ่งกีดขวางระหว่างจุดส่งคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ความหนาแน่นและขนาดของสิ่งกีดขวางสามารถส่งผลต่อความแรงสัญญาณ Wi-Fi

ลักษณะของเซลล์หรืออวัยวะที่สัมผัสคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ลักษณะของเซลล์และแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบมีผลต่อความสามารถในการตอบสนองหรือรับคลื่นแต่ละความถี่ โดยเซลล์ที่มีลักษณะอ่อนนุ่ม มีความเสี่ยงมากกว่า

ระดับค่า specific absorption rate (SAR) ผลกระทบจากคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่สัมผัสคลื่นสัญญาณ (time) ระยะเวลาหรือความต่อเนื่อง (duration) และค่าอัตราการดูดซับพลังงานจำเพาะในเนื้อเยื่อของมนุษย์ (SAR value)

การได้รับสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินซี Gallic acid (GA) เมลาโทนิน Selenium และ L-carnitine

5.2 อภิปรายผลการศึกษา

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ร่วมกับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในความสัมพันธ์แล้ว พบว่าในการใช้งานโดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ ควรคำนึงถึงประเด็นต่อไปนี้

1) จุดติดตั้งสัญญาณ ควรแยกโซนชัดเจนเฉพาะบริเวณพื้นที่ใช้งาน ไม่ควรติดตั้งในพื้นที่เสี่ยง เช่น ห้องนอน โรงเรียน โรงพยาบาล เป็นต้น รวมถึงเลือกใช้วัสดุที่มีความหนาแน่นสูงหรือมีขนาดหนาในการป้องกันสัญญาณ

2) จำกัดเวลาในการใช้งาน ตามความเหมาะสม เนื่องจากยังไม่มีข้อมูลที่ชัดเจนเรื่องระยะเวลาในการสัมผัสคลื่นสัญญาณที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ แต่อย่างน้อยควรเว้นการสัมผัสในช่วงของการนอน ซึ่งร่างกายจำเป็นต้องมีกระบวนการเพื่อการฟื้นฟู

3) หลีกเลี่ยงการสัมผัสสัญญาณ โดยเฉพาะกลุ่มที่มีความ Sensitive ต่อคลื่นสูง เช่น เด็ก หญิงตั้งครรภ์ ผู้สูงอายุ ผู้ป่วย

4) เพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากในปัจจุบันมีการติดตั้งและใช้สัญญาณกันอย่างแพร่หลาย ยากต่อการหลีกเลี่ยงการสัมผัสสัญญาณ ดังนั้นควรลดความเสี่ยงด้วยการเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระให้ร่างกาย โดยเฉพาะวิตามินซี วิตามินบี 2 ซิลิเนียม (ช่วยวงจรการทำงานของกลูตาไธโอน)

5) การใช้อุปกรณ์รบกวน/ตัดสัญญาณ ด้วยหลักการทำงานของอุปกรณ์ทั้ง 2 แบบที่ใช้การส่งคลื่นสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าแทรกแซงช่องคลื่นสัญญาณ Wi-Fi ซึ่งยังไม่มีหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ชัดเจนว่าสามารถลดผลกระทบต่อการสัมผัสคลื่นสัญญาณได้ อีกทั้งยังอาจเป็นการเพิ่มการสัมผัสคลื่นสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำมากขึ้นด้วย

5.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากคลื่นสัญญาณ Wi-Fi เป็นเทคโนโลยีที่เพิ่งมีการพัฒนาและนำมาใช้ในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมา การศึกษาข้อมูลเรื่องผลกระทบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง อาจยังไม่มากนักและยังไม่สามารถให้ข้อสรุปที่ชัดเจนได้ ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยเฉพาะการเก็บข้อมูลเรื่องผลกระทบต่อมนุษย์และปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องที่เป็นผลในระยะยาว อาทิ การศึกษาแบบ Cohort หรือ Case-control เป็นต้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร. เจาะลึก กับ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร เปิดประเด็น Jammer หรือ เครื่องรบกวน/ตัดสัญญาณ What is it?. สืบค้น 26 เมษายน พ.ศ. 2562 , http://www.mut.ac.th/news-detail-84

วรา สุวรรณสินธุ์, สุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมั่น, ภัทรพงษ์ ผาสุกกิจ. (2557). *รายงานผลการศึกษาค่าอัตราการดูดซับพลังงานจำเพาะในเนื้อเยื่อของมนุษย์.* กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วิชิต ศรีตระกูล. (2559,กุมภาพันธ์). *เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารอบตัวเราที่ชื่อว่าไวฟาย (WiFi).* ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์, ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สืบค้น 16 มกราคม 2562, จาก http://thep-center.org/src2/views/daily-life.php?article_id=14

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.). (2558, สิงหาคม). *มาตรฐาน wifi มีอะไรบ้าง มีประวัติความเป็นมาอย่างไร*. MODIFY: Technology News. สืบค้น 16 มกราคม 2562, จาก https://www.modify.in.th/11671

นพ.กฤษดา ศิรามพุช, Anti-Aging ต้านความแก่ด้วยวิธีธรรมชาติ,2551

MERT. Wave Shield : อุปกรณ์ป้องกันผลกระทบจากการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMR). สืบค้น 26 เมษายน พ.ศ. 2562 , จาก http://www.mret.co.th/portfolio-item/wave-shield-th/

MGR Online. (2558). เปิดตัว WAVE SHIELD อุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากสัญญาณไวไฟให้ลูกน้อย. สืบค้น 26 เมษายน พ.ศ. 2562 , จาก https://mgronline.com/goodhealth/detail/9580000079922

ภาษาต่างประเทศ

A. Ozorak, M. Nazıroglu, O. Celik, M. Yuksel, D. Ozcelik, M.O. Ozkaya, et al. (2013,Dec). Wi-Fi (2.45 GHz)- and mobile phone (900 and 1800 MHz)-induced risks on oxidative stress and elements in kidney and testis of rats during pregnancy and the development of offspring. *Biological Trace Element Research,* 156 (2013), pp. 221-229, From doi: 10.1007/s12011-013-9836-z

Abdel-Rassoul, G. El-Fateh. O.A. Salem, M.A. Michael, A. Farahat, F. El-Batanouny, M. & Salem, E. (2007,Mar). Neurobehavioral effects among inhabitants around mobile phone base stations. *Neurotoxicology,* 28(2). 434-40, From https://www.ncbi.nlm.nih.gov /pubmed/16962663

Akdag M. Z. Dasdag, S. Canturk, F. Karabulut, D. Caner, Y. & Adalier N. (2016,Jan). Does prolonged radiofrequency radiation emitted from Wi-Fi devices induce DNA damage in various tissues of rats?. *J Chem Neuroanat*, 75(Pt B):116-22. From doi: 10.1016/j.jchemneu.2016.01.003.

Al-Damegh, M.A. (2012). Rat testicular impairment induced by electromagnetic radiation from a conventional cellular telephone and the protective effects of the antioxidants vitamins C and E Clinics, 67 (2012), pp. 785-792

Amara, S. Abdelmelek, H. Garrel, C. & Guiraud, P. (2007). Zinc supplementation ameliorates static magnetic field-induced oxidative stress in rat tissues. *Environ Toxicol Pharmacol*. 23(2):193-7. From doi: 10.1016/j.etap.2006.09.001.

Anderson, L. E. (1993,Apr). Biological effects of extremely low-frequency electromagnetic fields: in vivo studies. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 54(4), From https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8480634

Bohn, M. (2013,May). Student Science Experiment Finds Plants Won't Grow Near Wi-fi Router. (last accessed 2014-04-01)

Buldak, R.J., Polaniak, R., Buldak, L., Zwirska-Korczala, K., Skonieczna, M., Monsiol, A., Kukla, M., Dulawa-Buldak, A. & Birkner, E. (2012,Dec). Short-term exposure to 50 Hz ELF-EMF alters the cisplatin-induced oxidative response in AT478 murine squamous cell carcinoma cells. *Bioelectromagnetics*, 33(8):641-51. From doi: 10.1002/bem.21732.

Çelik, Ö. Kahya, M.C. & Nazıroğlu, M. (2016,Sep). Oxidative stress of brain and liver is increased by Wi-Fi (2.45GHz) exposure of rats during pregnancy and the development of newborns. *J Chem Neuroanat.* 75(Pt B):134-9. From doi: 10.1016/j.jchemneu.2015. 10.005.

Consales, C. Merla, C. Marino, C. & Benassi, B. (2012). Electromagnetic fields, oxidative stress, and neurodegeneration. *International journal of cell biology*, 683897. From http://dx.doi.org/10.1155/2012/683897

Cunnington, D. Junge, M.F. & Fernando, A.T. (2013,Oct). Insomnia: prevalence, consequences and effective treatment. *Med J Aust.* 21;199(8):S36-40. From https://www.ncbi.nlm.nih. gov/pubmed/24138364

Dasdag, S. Akdag, M.Z. Erdal, M.E. Erdal, N. Ay, O.I. Ay, M.E. Yilmaz, S.G. & Yegin, K. (2015, Jul). Effects of 2.4 GHz radiofrequency radiation emitted from Wi-Fi equipment on microRNA expression in brain tissue. *Int J Radiat Biol*, 9(17):555-561. From http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25775055?dopt=Abstract

De Oliveira, G.C. Maia, G.A.S. Cortes, V.F. Santos, H.D. Moreira, L.M. & Barbosa, L.A., (2013 Jul;). The effect of gamma-radiation on the hemoglobin of stored red blood cells: the involvement of oxidative stress in hemoglobin conformation. *Ann. Hematol.* 92(7):899-906. From doi: 10.1007/s00277-013-1719-z.

Du, X.G. Xu, S.S. Chen, Q. Lu, D.Q. Xu, Z.P. & Zeng, Q.L. (2008,). [Effects of 50 Hz magnetic fields on DNA double-strand breaks in human lens epithelial cells], *Zhejiang da xue xue bao Yi xue ban,* 37(1):9-14. From https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18275113

Fagua, A. L. F. Abril, R. N. P. Casas, J. D. R. (2016). The adverse effects over human health caused by wireless wi-fi communication networks. Cultura Cientifica 34e45.

Falahati, S.A. Anvari, M. & Khalili M.A. (2011). Effects of combined magnetic fields on human sperm parameters. *Iran. J. Radiat. Res.,* 9(3): 195-200 from: http://www.ijrr.com/files/site1/user_files_fad21f/admin-A-10-1-402-e8b2ce0.pdf

Foste, K.R. & Moulder, J.E. (2013). Wi-Fi and health: review of current status of research. *Health Phys*. 105, 561-565. From http://dx.doi.org/10.1097/HP.0b013e31829b49bb

Gao, Q.H. Cai, Q. Fan, Y.N. (2017, August). Beneficial effect of catechin and epicatechin on cognitive impairment and oxidative stress induced by extremely low frequency electromagnetic field. *J. Food Biochem.* 41. From https://doi.org/10.1111/jfbc.12416.

Giorgi, G. Marcantonio, P. Bersani, F. Gavoci, E. Del Re, B. (2011). Effect of extremely low frequency magnetic field exposure on DNA transposition in relation to frequency, wave shape and exposure time. *Int. J. Radiat. Biol*. 87, 601e608. From doi: 10.3109/0955 3002.2011.570855.

Glaser, Z.R. (1971). Bibliography of Reported Biological Phenomena ("Effects") and Clinical Manifestations Attributed to Microwave and Radio-Frequency Radiation. Report No. 2. *Naval Medical Research Institute Research Report, June 1971.* (accessed 9 September 2017) Revised. https://scholar.google.com/scholar?Q=Glaser+naval+medical microwave+radio-frequency+1972&btnG=&hl=en&as_sdt=0%2C38

Halgamuge, MN. (2016). Review: Weak radiofrequency radiation exposure from mobile phone radiation on plants. *Electromagn Biol Med.* 2016 Sep 20:1-23. [Epub ahead of print] From http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27650031?dopt=Abstract

Hassanshahi, A. Shafeie, SA. Fatemi, I. Hassanshahi, E. Allahtavakoli, M. Shabani, M. Roohbakhsh, A. & Shamsizadeh, A. (2017). The effect of Wi-Fi electromagnetic waves in unimodal and multimodal object recognition tasks in male rats. *Neurol Sci.* 2017 Mar 22. From https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28332042

Havas, M. & Marrongelle, J. (2013). Replication of heart rate variability provocation study with 2.45GHz cordless phone confirms original findings. *Electromagn Biol Med*. 2013 Jun;32(2):253-66. From doi: 10.3109/15368378.2013.776437. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23675629

IARC monograph, 2013. Volum 102. Page 77. https://monographs.iarc.fr/wpcontent/uploads/2018/06/mono102.pdf

Ibitayo, AO. Afolabi, OB. Akinyemi, AJ. Ojiezeh, TI. Adekoya, KO. & Ojewunmi, OO. (2017). RAPD Profiling, DNA Fragmentation, and Histomorphometric Examination in Brains of Wistar Rats Exposed to Indoor 2.5 Ghz Wi-Fi Devices Radiation. *Biomed Res Int.* 2017;2017:8653286. From doi: 10.1155/2017/8653286. https://www.ncbi.nlm.nih.gov /pmc/articles/PMC5585657/.

ICNIRP Guidelines. (1997). At frequencies from 10MHz to 300GHz, heating is the major effect of absorption of electromagnetic energy" (Health Physics page 504)

ICNIRP. (2014). Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz). [Internet]. 2014 [cited 2014 June 6]. Available from: http://www.icnirp.de/documents/RFReview.pdf

Iyare, R. N. Volskiy, V. & Vandenbosch, Guy A.E. (2018, Aug). Study of the correlation between outdoor and indoor electromagnetic exposure near cellular base stations in Leuven, Belgium. *Environmental Research*. 168, pp. 428-438 From https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935118304651

Jauchem, J.R. (2003). A literature review of medical side effects from radio-frequency energy in the human environment: involving cancer tumors, and problems of the central nervous system, *J.Mierow. Power Electromagn Energy.* 38 (2003) 103-123. From https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15007865

Jouni, F.J. Abdolmaleki, P. & Ghanati, F. (2012). Oxidative stress in broad bean (Viciafaba L.) induced by static magnetic field under natural radioactivity. *Mutat. Res.*741, 116e121. From doi: 10.1016/j.mrgentox.2011.11.003.

Jurcevic, M. & Malaric, K. (2016). Assessment of wi-fi radiation on human health. In: 2016 24th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (Softcom), pp. 122e125.

Jyoti, P.S. (2013). Biological effect of high frequency electromagnetic radiation – a review. *Int. J. Adv. Res. Comput. Eng. Technol.* (IJARCET) 2 (6), 2173–2176.

Kamali, K. Taravati, A. Sayyadi, S. Gharib, FZ. & Maftoon, H. (2018). Evidence of oxidative stress after continuous exposure to Wi-Fi radiation in rat model. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2018 Oct 21 . From doi: 10.1007/s11356-018-3482-0.

Karipidis, K. Henderson, S. Wijayasinghe, D. Tjong, L. & Tinker, R. (2017). Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields From Wi-Fi in Australian Schools. *Radiat Prot Dosimetry.* 175(4):432-439. From doi: 10.1093/rpd/ncw370.

Karolinska Institute Department of Neuroscience, Stockholm, Sweden. LATEST WARNING: Wi-Fi Dangerous to Children and Pregnant Women - Must Read! February 3, 2011. (last accessed 2014-04-01)

Kovacs, E. & Keresztes, A. (2002). Effect of gamma and UV-B/C radiation on plant cells. *Micron*. 33, 199e210. From https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11567888

Koyu, A. Ozguner, F. Yilmaz, H.R. Uz, E. Cesur, G. & Ozcelik, N. (2009). The protective effect of caffeic acid phenethyl ester (CAPE) on oxidative stress in rat liver exposed to the 900 MHz electromagnetic field. *Toxicol. Ind. Health.* 25(6):429-34. From doi: 10.1177/0748233709106821.

Kumar, S. Behari, J. & Sisodia, R. (2013). Influence of electromagnetic fields on reproductive system of male rats. *International Journal of Radiation Biology,* 89(3):147-54. From doi: 10.3109/09553002.2013.741282.

Kuybulu, AE. Öktem, F. ÇiriŞ, İM. Sutcu, R. Örmeci, AR. Çömlekçi, S. & Uz, E. (2016). Effects of longterm pre- and post-natal exposure to 2.45 GHz wireless devices on developing male rat kidney. *Ren Fail.* 38(4):571-80. From http://1.usa.gov/1QCfuB6

Lai, H. & Singh, N.P. (1997). Melatonin and N-tert-butyl-alpha-phenylnitrone block 60 Hz magnetic field-induced DNA single and double strand breaks in rat brain cells. *J. Pineal Res.* 22, 152e162. From https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9213269.

Lai, H. Singh, N. P. (1997). Acute exposure to a 60 Hz magnetic field increase DNA strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics,* 18 (1997), pp. 156-165, From https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9084866

Margaritis, LH. Manta, AK. Kokkaliaris, KD. & et al. (2014). Drosophila oogenesis as a bio-marker responding to EMF sources. *Electromagn Biol Med.* 33(3):165-89. from: http://www.researchgate.net/profile/Lukas_Margaritis

Masoumi, A. Karbalaei, N. Mortazavi, SMJ. & Shabani, M. (2018). Radiofrequency radiation emitted from Wi-Fi (2.4 GHz) causes impaired insulin secretion and increased oxidative stress in rat pancreatic islets. *Int J Radiat Biol.* 94(9):850-857. From doi:10.1080/09553002.2018.1490039.

Maxwell, J. C. (1865). "A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London.* 155: 459–512. From doi:10.1098/rstl.1865.0008.

Mendling, W. & Haller, I. (1977). Effect of therapeutic doses of gamma-radiation on Candida-Albicans cells invitro. *Geburtshilfe Frauenheilkd*. 37, 947e951. From https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/336454

Menon, R. Taylor, R.N. Urrabaz-Garza, R. Kechichian, T. Syed, T.A. Papaconstantinou, J. & Boldogh, I. (2013). Reactive oxygen species (ROS) induce DNA damage and senescence in human amniochorionic membranes and amnion cells. *Reprod. Sci.* 20, 239a-239a.

Mihai, C.T. Rotinberg, P. Brinza, F. & Vochita, G. (2014). Extremely low-frequency electromagnetic fields cause DNA strand breaks in normal cells. *J. Environ. Health Sci.* 12(1):15. From doi: 10.1186/2052-336X-12-15.

Moussa, E. A. (2005). Effect of electromagnetic field on liver and kidney tissues of Swiss albino mice. *Journal of the Egyptian-German Society of Zoology,* 48 (2005), pp. 29-53

Mukhopadhyay, S. & Sanyal, A. (1997). A review of the effects of non-ionizing electromagnetic radiation on human body and exposure standards. *In: Proceedings of the International Conference on Electromagnetic Interference and Compatibility '99*, pp. 279–288.

Nazıroglu, M. Yuksel, M. Ozkaya, M.O. & Kose,S.A. (2013). Recent reports of Wi-Fi and mobile phone-induced radiation on oxidative stress and reproductive signaling pathways in females and males. *The Journal of Membrane Biology*, 246(12):869-75. From doi: 10.1007/s00232-013-9597-9.

Oksay , T. Naziroglu, M. Dogan, S. Güzel, A. Gümral, N. & KoŞar, P. A. (2013). Protective effects of melatonin against oxidative injury in rat testis induced by wireless (2.45 GHz) devices. *Andrologia* , 46(1) . From https://doi.org/10.1111/and.12044

Othman, H. Ammari, M. Rtibi, K. Bensaid, N. Sakly, M. & Abdelmelek, H. (2017). Postnatal development and behavior effects of in-utero exposure of rats to radiofrequency waves emitted from conventional WiFi devices. *Environ Toxicol Pharmacol.* 52:239-247. From doi: 10.1016/j.etap.2017.04.016.

Othman, H. Ammari, M. Sakly, M. & Abdelmelek, H. (2017). Effects of prenatal exposure to WIFI signal (2.45 GHz) on postnatal development and behavior in rat: Influence of maternal restraint. *Behavioural Brain Research.* 326:291-302. From doi: 10.1016/j.bbr.2017.03.011.

Ozmen, O. Sahinduran, S. & Mor, F. (2010). Pathological and immunohistochemical examination of the pancreas in subacute endosulfan toxicity in rabbits. *Pancreas,* 39(3):367-70. From doi: 10.1097/MPA.0b013e3181bd95d6.

Paknahad, M. Mortazavi, SM. Shahidi, S. & Mortazavi, G. Haghani M. (2016,Jul). Effect of radiofrequency radiation from Wi-Fi devices on mercury release from amalgam restorations. . *J Environ Health Sci Eng.* 13;14:12. From http://bit.ly/2abAgzp

Pall, ML. (2018). Wi-Fi is an important threat to human health. *Environmental Research.* 164:405-416. From https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.01.035

Poletti, A. Lisi, A. Ledda, M. de Carlo, F. & Grimaldi, S. (2009). Cellular ELF signals as a possible tool in informative medicine. *Electromagn Biol Med.* 28(1):71-9. From doi: 10.1080/15368370802708801.

Qureshi, ST. Memon, SA. Abassi, AR. Sial, MA. & Bughio, FA. (2017,Feb). Radiofrequency radiations induced genotoxic and carcinogenic effects on chickpea (Cicer arietinum L.) root tip cells. *Saudi Journal of Biological Sciences.* 24(4), pp. 883-891. From http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X16000589

Rein, G. (2015). Complete Reversal of the Harmful Effect of Electromagnetic Radiation on Human DNA. *of Quantum Biology Research, January 2015.* From www.earthcalm.com/lp-children-and-emfs/wi-fi-health-risks-and-children/

Renke, A. & Chavan, M. (2014). A review on RF field exposure from cellular base stations. *J. Comput. Appl.* 104 (12), 9–16.

Röösli, M. Frei, P. Mohler, E. & Hug, K. (2010). Systematic review on the health effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields from mobile phone base stations. *Bull. World Health Organ.* 88 (12), 887–896. From doi: 10.2471/BLT.09.071852

Safari, M. Mosleminiya, N. & Abdolali, A. (2017). Thermal mapping on male genital and skin tissues of laptop thermal sources and electromagnetic interaction. *Bioelectromagnetics*. 38(7):550-558. From doi: 10.1002/bem.22068.

Sagar, S. Adem, S.M. Struchen, B. Loughran, S.P. Brunjes, M.E. Arangua, L.& Roosli, M. (2018). Comparison of radiofrequency electromagnetic field exposure levels in different everyday microenvironments in an international context. *Environ. Int.* 114:297-306. From doi: 10.1016/j.envint.2018.02.036.

Saili, Hanini, Smirani, et al. Effects of acute exposure to WIFI signals (2.45 GHz) on heart variability and blood pressure in Albinos rabbit. *Environmental Toxicology and Pharmacology.* 40(2):600-605. From https://doi.org/10.1016/j.etap.2015.08.015

Sakurai, T. Koyama, S. Komatsubara, Y. Jin, W. & Miyakoshi, J. (2005). Decrease in glucose-stimulated insulin secretion following exposure to magnetic fields. *Biochemical and Biophysical Research Communications,* 332 , pp. 28-32. From https://www.ncbi.nlm.nih .gov/pubmed/15896294

Sakurai, T. Satake, A. Sumi, S. Inoue, K. & Miyakoshi, J. (2004). An extremely low frequency magnetic field attenuates insulin secretion from the insulinoma cell line, RIN-m. *Bioelectromagnetics,* 25 (2004), pp. 160-166. From https://www.ncbi.nlm.nih. gov/pubmed/15042624

Sakurai, T. Yoshimoto, M. Koyama, S. & Miyakoshi, J. (2008). Exposure to extremely low frequency magnetic fields affects insulin-secreting cells. *Bioelectromagnetics,* 29 (2008), pp. 118-124. From https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17929267

Saliev, T. Mustapova, Z. Kulsharova, G. Bulanin, D. & Mikhalovsky, S. (2014). Therapeutic potential of electromagnetic fields for tissue engineering and wound healing. *Cell Prolif.* 2014 Dec;47(6):485-93. From doi: 10.1111/cpr.12142.

Saliev, T. Tachibana, K. Bulanin, D. Mikhalovsky, S. & Whitby, R.D., (2014). Bio-effects of non-ionizing electromagnetic fields in context of cancer therapy. Front.Biosci. 6, 175e184. From https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24389151

Saygin, M. Asci, H. Ozmen, O. Cankara, F.N. Dincoglu, D. & Ilhan, I. (2015). Impact of 2.45 GHz microwave radiation on the testicular inflammatory pathway biomarkers in young rats: The role of gallic acid. *Environmental Toxicology,* 31(12):1771-1784. From doi: 10.1002/tox.22179.

Saygin, M. Caliskan, S. Karahan, N. Koyu, A. Gumral, N. & Uguz, A. (2011). Testicular apoptosis and histopathological changes induced by a 2.45 GHz electromagnetic field. *Toxicology and Industrial Health,* 27(5):455-63. From doi: 10.1177/0748233710389851.

Shekoohi-Shooli, F. Mortazavi, SM. Shojaei-Fard, MB. Nematollahi, S. & Tayebi, M. (2016). Evaluation of the Protective Role of Vitamin C on the Metabolic and Enzymatic Activities of the Liver in the Male Rats After Exposure to 2.45 GHz Of Wi-Fi Routers. *J*

Biomed Phys Eng. 2016 Sep 1;6(3):157-164. From https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27853723

Shokri, S. Soltani, A. Kazemi, M. Sardari, D. & Mofrad, F.B. (2015). Effects of Wi-Fi (2.45 GHz) Exposure on Apoptosis, Sperm Parameters and Testicular Histomorphometry in Rats: A Time Course Study. *Cell J.* 17(2): 322-31. From http://1.usa.gov/1KncYRN

Tadevosyan, H. Kalantaryan, V. & Trchounian, A. (2008). Extremely high fre- quency electromagnetic radiation enforces bacterial effects of inhi- bitors and antibiotics. *Cell Biochem Biophys*. 51(2-3):97-103. From doi: 10.1007/s12013-008-9020-9.

Taheri, M. Mortazavi, S. M. J. Moradi, Mansouri, M. S. Hatam, G. R. & Nouri, F. (2017). Evaluation of the Effect of Radiofrequency Radiation Emitted From Wi-Fi Router and Mobile Phone Simulator on the Antibacterial Susceptibility of Pathogenic Bacteria Listeriamonocytogenes and Escherichia coli. Published online January 23, 2017. From http://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1559325816688527

Taheri, M. Mortazavi, S.M.J. Moradi, M. Mansouri, S. Hatam, G.R. & Nouri, F. (2017). Evaluation of effect of Radiofrequency Radiation Emitted From Wi-Fi Router and Mobile phone Simulator on the Antibacterial Susceptibility of pathogenic Bacteria Listeria monocytogenes and Escherichia coli. *Dose Response.* 1-B, From DOI: 10.1177/1559325816688527

Timiras, PS. & Hudson, DM. (1993). Physiology of aging: Current and future. In Vellas B, Albarede JL, Garrv RJ ed. *Facts and Research in Gerontology*. 1993; 7: 31-9

Tkalec, M. Malaric, K. & Pevalek-Kozlina, B. (2007). Exposure to radiofrequency radiation induces oxidative stress in duckweed Lemna minor L. *Sci. Total Environ.* 388, 78e89. From https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17825879

Topsakal, S. Ozmen, O. Cicek, E. & Comlekc, Si. (2017). The ameliorative effect of gallic acid on pancreas lesions induced by 2.45 GHz electromagnetic radiation (Wi-Fi) in young rats. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 10(3), pp. 233-240. From http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1687850717300468.

Topsakala, S. Ozmenb, O. Cicekc , E. & Comlekcid, S. (2017, July). The ameliorative effect of gallic acid on pancreas lesions induced by 2.45 GHz electromagnetic radiation (Wi-Fi) in

young rats. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences.* 10(3), pp. 233-240. From https://doi.org/10.1016/j.jrras.2017.04.009.

Tsurita, G. Uno, S. Tsuno, N.H. Nagawa, H. Muto, T. (1990, August). Effects of exposure to repetitive pulsed magnetic stimulation on cell proliferation and expression of heat shock protein 70 in normal and malignant cells. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 26 (1999), pp. 689-694

Türker, Y. Nazıroğlu, M. Gümral, N. Celik, O. Saygın, M. Cömlekçi, S. & Flores-Arce, M. (2011,Dec). Selenium and l-Carnitine Reduce Oxidative Stress in the Heart of Rat Induced by 2.45-GHz Radiation from Wireless Devices . *Biological Trace Element Research*. 143(3):1640-50. From doi: 10.1007/s12011-011-8994-0.

Uzunboy, S. Cekic, S.D. & Apak, R. (2016). Determination of reactive oxygen species induced dna damage using modified cupric reducing antioxidant capacity (CUPRAC) colorimetric method. *FEBS J.* 283, 397e398.

Valberg, P.A. Kavet, R. & Rafferty, C.N. (1997). Can low level 50/60 HZ electric and magnetic field cause biological effects. *Radiation Research.,* 148 (1997), pp. 2-12. From https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9216613

Varghese, R. Majumdar, A. Kumar, G. & Shukla, A. (2017). Rats exposed to 2.45GHz of non-ionizing radiation exhibit behavioral changes with increased brain expression of apoptotic caspase 3. *Pathophysiology.* 25(1):19-30. From doi: 10.1016/j.patho phys.2017.11.001.

Vince, G. (2005). Large study links power lines to childhood cancer. From http://www.new scientist. com/article/dn7460-large-study-links-power-lines-to-childhood-cancer.html

Wells, P.G. Miller-Pinsler, L. Bhatia, S. Drake, D. & Shapiro, A.M. (2015). Reactive oxygen species (ROS) formation, oxidative DNA damage and repair in teratogenesis. *Birth Defects Res.* Part A Clin. Mol. Teratol. 103, 359e359.

Wilke, I. (2018). Review: Biological and pathological effects of 2.45 GHz radiation on cells, fertility, brain, and behavior. umwelt • medizin • gesellschaft. 31 (1) Suppl: 1-32. From https://www.diagnose-funk.org/publikationen/artikel/detail&newsid=1256

Woelders, H. de Wit, A. Lourens, A. Stockhofe, N. Engel, B. Hulsegge, I.& Zwamborn, P. (2017). Study of potential health effects of electromagnetic fields of telephony and wi-

fi, using chicken embryo development as animal model. *Bioelectromagnetics*. 38(3):186-203. From doi: 10.1002/bem.22026.

Xu, Z.Z. Fu, W.B. Jin, Z. Guo, P. Wang, W.F. & Li, J.M. (2016). Reactive oxygen species mediate oridonin-induced apoptosis through DNA damage response and activation of JNK pathway in diffuse large B cell lymphoma. *Leuk. Lymphoma.* 57(4):888-98. From doi: 10.3109/10428194.2015.1061127.

Yildirim, ME. Kaynar, M. Badem, H. Cavis, M. Karatas, OF. & Cimentepe, E. (2015). What is harmful for male fertility; cell phone or the wireless internet? *Kaohsiung Journal of Medical Sciences*. 31(9):480-4. From doi: 10.1016/j.kjms.2015.06.006.

Yilmaz, M. Topsakal, S. Herek, O. Ozmen, O. Sahinduran, S. Buyukoglu, T. & et al. (2009). Effects of Etanercept on sodium taurocholate–induced acute pancreatitis in rats. *Translational Research the Journal of Laboratory and Clinical Medicine,* 154(5):241-9. From doi: 10.1016/j.trsl.2009.07.009

Yokus, B. Cakir, D.U. Akdag, M.Z. Sert, C.& Mete, N. (2005). Oxidative DNA damage in rats exposed to extremely low frequency electromagnetic fields. *Free Radic. Res.* 39, 317-323. From https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15788236

Yorgancilar, E. Dasdag, S. Akdag, MZ. Akkus, Z. Akdag, M. & Topku I. (2017). Does all-day and longterm exposure to radiofrequency radiation emitted from Wi-Fi affect hearing? *Biotechnology and Biotechnological Equipment.* 31(6):1204-1209, From DOI: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13102818.2017.1373033

Yüksel, M. Nazıroğlu, M. & Özkaya, MO. (2015). Long-term exposure to electromagnetic radiation from mobile phones and Wi-Fi devices decreases plasma prolactin, progesterone, and estrogen levels but increases uterine oxidative stress in pregnant rats and their offspring. *Endocrine.* 52(2):352-62. From doi: 10.1007/s12020-015-0795-3.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

มาตรฐาน IEEE 802.11

IEEE 802.11 คือ มาตรฐานในการควบคุมการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สาย ที่กำหนดขึ้นโดย สถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE) เพื่อเป็นมาตรฐานกลางในการปฏิบัติงานเชื่อมโยงอุปกรณ์เครือข่ายไร้สายเข้าด้วยกันบนระบบ ตามปกติการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายไร้สาย จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ 2 ชิ้น ได้แก่

1) **แอคเซสพอยต์** เป็นตัวกลางช่วยในการติดต่อระหว่างตัวรับ-ส่งสัญญาณไวเลสของผู้ใช้กับเราต์เตอร์ผ่านสายนำสัญญาณทำจากทองแดงที่ได้รับการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่าย เช่น สายแลนหรือสายโทรศัพท์ ADSL หรือผ่านทางสายใยแก้วนำแสง

2) **ตัวรับ-ส่งสัญญาณไวเลส** ทำหน้าที่รับ-ส่ง สัญญาณ ระหว่างตัวรับส่งแต่ละตัวด้วยกันหรือระหว่างตัวลูกข่ายกับแอคเซสพอยต์

มาตรฐานที่อยู่ภายใต้ กรอบของเทคโนโลยี IEEE 802.11

ปัจจุบันมีการออกมาตรฐานจากหลายหน่วยงาน แต่ที่ได้รับความนิยม แบ่งเป็น 7 มาตรฐาน ได้แก่

1) **IEEE 802.11a** เป็นมาตรฐานที่จัดทำแล้วเสร็จสมบูรณ์เมื่อปี 1999 เผยแพร่ช้ากว่ามาตรฐาน IEEE 802.11b โดยใช้เทคโนโลยี OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) มาปรับปรุงความเร็วในการส่งข้อมูลได้สูงถึง 54 Mbps บนความถี่ 5 Ghz ที่มีคลื่นรบกวนน้อยกว่าช่วงความถี่ 2.4 Ghz ที่มาตรฐานอื่นนิยมใช้ ทำให้สามารถแพร่ภาพ ข่าวสารความละเอียดสูงได้ สามารถปรับระดับอัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลให้ช้าลงได้เพื่อเพิ่มระยะทางการเชื่อมต่อได้มากขึ้น ข้อเสียคือ ความถี่ 5 Ghz ไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้ในหลายประเทศอาทิ ประเทศไทย เนื่องจากมีการจัดสรรความถี่ให้อุปกรณ์ประเภทอื่นเป็นผู้กำเนินการ และมาตรฐานนี้ใช้การเชื่อมต่อความถี่สูงทำให้มีระยะการรับส่งประมาณ 35 เมตรในโครงสร้างปิด (ภายในตึก หรืออาคาร) และ 120 เมตรในที่โล่งแจ้ง ซึ่งนับว่าค่อนข้างใกล้ และด้วยการส่งข้อมูลด้วยความถี่สูงทำให้ไม่สามารถทะลุทะลวงโครงสร้างตึกได้มากนัก อุปกรณ์ไร้สายที่รองรับเทคโนโลยี IEEE 802.11a ราคาสูง และเข้ากันไม่ได้กับอุปกรณ์ที่รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g จึงได้รับความนิยมน้อยกว่า IEEE 802.11b มาก และไม่เป็นที่นิยม

2) **IEEE 802.11b** เสร็จสมบูรณ์เมื่อปี 1999 ใช้เทคโนโลยี CCK (Complimentary Code Keying) ผนวกกับ DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) มาปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ ให้สามารถรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps ผ่านคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz เป็นการใช้คลื่นความถี่ต่ำกว่าอุปกรณ์รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11a ทำให้มีความสามารถในการส่ง

คลื่นสัญญาณได้ไกลกว่าที่ 38 เมตรโดยประมาณในโครงสร้างปิด และ 140 เมตรในที่โล่งแจ้ง สัญญาณสามารถทะลุทะลวงโครงสร้างตึกได้มากกว่า ปัจจุบันผลิตภัณฑ์อุปกรณ์เครือข่ายไร้สายภายใต้มาตรฐานนี้ได้รับการผลิตเป็นจำนวนมาก เช่น IEEE 802.11, Bluetooth, โทรศัพท์ไร้สาย, และเตาไมโครเวฟ ที่สำคัญคือแต่ละผลิตภัณฑ์มีความสามารถทำงานร่วมกันได้ อุปกรณ์ที่ผลิตทุกยี่ห้อต้องผ่านการตรวจสอบจากสถาบัน Wi-Fi Alliance เพื่อตรวจสอบมาตรฐานอุปกรณ์และความเข้ากันได้ ปัจจุบันนี้นิยมนำอุปกรณ์ WLAN ที่มาตรฐาน 802.11b ไปใช้ในองค์กรธุรกิจ สถาบันการศึกษา สถานที่สาธารณะ และกำลังแพร่เข้าสู่สถานที่พักอาศัยมากขึ้น มาตรฐานนี้มีระบบเข้ารหัสข้อมูลแบบ WEP ที่ 128 บิต

3) **IEEE 802.11g** สำเร็จในปี ค.ศ. 2003 โดยนำเทคโนโลยี OFDM ของ 802.11a มาพัฒนาบนความถี่ 2.4 Ghz ทำให้ใช้ความเร็ว 36-54 Mbps ที่สูงกว่ามาตรฐาน 802.11b และ 802.11g สามารถปรับระดับความเร็วลงเหลือ 2 Mbps ได้ตามสภาพแวดล้อมของเครือข่ายที่ใช้งาน ทำให้เป็นที่ยอมรับจากผู้ใช้เป็นจำนวนมาก และมีแนวโน้มแทนที่ 802.11b ในอนาคตอันใกล้ นอกจากนี้มีบางผลิตภัณฑ์ใช้เทคโนโลยีเฉพาะตัวมาเสริมความเร็วเพิ่มขึ้น จาก 54 Mbps เป็น 108 Mbps แต่จำกัดการทำงานร่วมกันเฉพาะอุปกรณ์ที่ผลิตจากบริษัทเดียวกันเท่านั้น ซึ่งเกิดจากชิป (Chip) กระจายสัญญาณของตัวอุปกรณ์ ที่ผู้ผลิตบางรายสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการรับส่งสัญญาณเพิ่มเป็น 2 เท่าได้ แต่ปัญหาของการกระจายสัญญาณนี้มีผลลดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไร้สายในมาตรฐาน 802.11b ลงด้วยเช่นกัน

4) **IEEE 802.11n** เสร็จสมบูรณ์ในปี 2009 ทำงานบนย่านความถี่ 2.4 และ 5 GHz สามารถให้อัตราส่งถ่ายข้อมูลสูงสุด 300 Mbps ส่งคลื่นสัญญาณได้ระยะประมาณ 70 เมตรในโครงสร้างปิด และ 250 เมตรในที่โล่งแจ้ง เพิ่มความสามารถในการป้องกันสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ความถี่ 2.4 GHz เหมือนกันได้และรองรับอุปกรณ์มาตรฐาน IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g ได้

5) **802.11-2012** กลุ่มงาน TGmb ได้รับการอนุมัติให้ทำการรวบรวมแก้ไขมาตรฐานทั้งหมดให้เป็นเวอร์ชั่น REVmb หรือ 802.11mb ประกอบด้วย 802.11k, r, y, n, w, p, z, v, u, s เมื่อปี 2007 และได้รับการตีพิมพ์เมื่อ 29 มีนาคม 2012

6) **802.11ac** เป็นมาตรฐาน 5 GHz ที่ทรูพุทกับแลนไร้สายแบบหลายสถานีสูงกว่าอย่างน้อย 1 Gbps และสำหรับลิงก์เดี่ยวอย่างน้อย 500 Mbps โดยการใช้ RF แบนด์วิธที่กว้างกว่า (80 หรือ 160 MHz) สตรีมมากกว่า (สูงถึง 8 สตรีม) และมอดูเลทที่ความจุสูงกว่า (สูง 256 QAM)

7) **802.11ad** หรือเรียกว่า “WiGig” เกิดจากการผลักดันจากผู้ผลิตฮาร์ดแวร์เมื่อ 24 กรกฎาคม 2012 โดย Marvell และ Wilocity ประกาศเป็นคู่ค้าใหม่เพื่อนำ Wi-Fi solution แบบ tri-band ใหม่ออกสู่ตลาด ใช้ความถี่ 60 GHz ทรูพุททางทฤษฎีสูงสุด 7 Gbps ออกสู่ตลาดในต้นปี 2014

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	กุลริศา พิชญาบูรณภัค
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2543 บริหารธุรกิจบัณฑิต (การบัญชี) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	กรรมการผู้จัดการ บริษัท เอส แอล เค เทเลคอม จำกัด