



## ผลกระทบทางชีววิทยาจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ต่อศีรษะและสมองของมนุษย์

### Biological Effect from Mobile Phone to Human Head and Brain

ปิยะภัทร พ่วงศรี<sup>1\*</sup> นนชณัต ฉัตรภูติ<sup>2</sup> และ อภิบาล พฤกษานุบาล<sup>2</sup>

<sup>1</sup>โรงเรียนเตรียมวิศวกรรมศาสตร์ไทย-เยอรมัน วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
1518 ถนนพิบูลสงคราม แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

Piyapat Pongsri<sup>1</sup>, Nonchanut Chudputi<sup>2</sup> and Aphibal Pruksanubal<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Thai-German Pre-Engineering School, College of Industrial Technology

<sup>2</sup>Department of Electrical and Electronic, Faculty of Engineering

King Mongkut's University of Technology North-Bangkok

1518 Pracharat 1 Road, Wongsawang, Bangkok, Thailand, 10800

\*ผู้นิพนธ์ประสานงาน : piyapat.p@cit.kmutnb.ac.th

#### บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวเกี่ยวกับงานวิจัยเรื่องการจำลองผลกระทบจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ต่อศีรษะและสมองของมนุษย์ โดยการใช้ตัวแปรสามตัว ประกอบด้วยคุณสมบัติทางไฟฟ้า มวลเนื้อเยื่อเฉลี่ยของศีรษะและสมองและความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากโทรศัพท์ ผลลัพธ์ของการจำลองนี้ถูกวัดโดยค่าอัตราการดูดซับพลังงานจำเพาะ (Specific Absorption Rate: SAR) ค่าความหนาแน่นพลังงานสูญเสียในศีรษะมนุษย์ และรูปแบบการแผ่พลังงานจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ งานวิจัยนี้จำลองโดยใช้แบบจำลองศีรษะแบบ Flat Specific Anthropomorphic Mannequin (SAM) ร่วมกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ตามมาตรฐาน IEEE วิธีที่ใช้ในการจำลองนี้มีสองวิธีได้แก่ Perfect Boundary Approximation (PBA) และ Thin Sheet Technique (TST) สำหรับการแบ่งเมช ร่วมกับระเบียบวิธีผลต่างสลับเนื่องในโดเมนเวลาสำหรับการวิเคราะห์เชิงตัวเลข ผลการวิจัยพบว่าค่า SAR ในทุกเงื่อนไขการจำลองอยู่ในช่วง 0.013-9.95 วัตต์ต่อกิโลกรัม ประการที่สองมีความสัมพันธ์ในทางบวกระหว่างค่า SAR กับมวลเนื้อเยื่อเฉลี่ยและความถี่ ประการที่สามพื้นที่ค่า SAR อันเนื่องมาจากความถี่ 1800 MHz นั้นแคบที่สุดเพราะมี Main lobe direction เท่ากับ -60 องศา และสุดท้ายค่าความหนาแน่นพลังงานสูญเสียแปรผกผันกับค่าความถี่

**คำสำคัญ** อัตราการดูดซับพลังงานจำเพาะ ความหนาแน่นพลังงานสูญเสีย รูปแบบการแผ่พลังงาน

#### Abstract

This article describes research entitled the simulation of effect from mobile phone to human head and brain. Based on three variables, they are comprised of electrical properties, averaged mass tissues of human head and brain and frequencies of electromagnetic wave from the phone. The results of this simulation are power pattern of mobile phone, Specific Absorption Rate (SAR) and power loss density in human head. The research uses Flat Specific Anthropomorphic Mannequin (SAM) combined with IEEE mobile phone. The two methods named Perfect Boundary Approximation (PBA) and Thin Sheet Technique (TST) are used for mesh dividing. Finite Difference Time Domain numerical method is used to analyze. The results are found that SAR values in

all conditions are in the range of 0.013-9.95 W/kg. The second point, the SAR values are increased according to averaged mass tissues and frequencies. Then, the area of SAR values of 1800 MHz is the narrowest due to -60 degree Main Lobe direction. Finally, the power loss density varies directly with frequencies.

**Keywords:** specific absorption rate, power loss density, power pattern.

## 1. บทนำ

ในสภาวะการณ์ปัจจุบันโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ถูกพัฒนาและใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยอุปกรณ์นี้นั้นได้เป็นตัวกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือที่เรียกว่า การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic interference) ซึ่งถ้ามนุษย์ได้รับคลื่นนี้ในปริมาณและเวลาที่มากพอ ก็อาจนำไปสู่การเกิดโรคต่างๆ เช่น มะเร็ง พาร์กินสัน อัลไซเมอร์ และ โรคทางระบบสืบพันธุ์ เป็นต้น องค์การอนามัยโลก สื่อ และ งานวิจัยจำนวนมากได้มีคำเตือนถึงอันตรายที่เกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากโทรศัพท์เคลื่อนที่เหล่านี้ ดังรูปที่ 1 [1-2]



รูปที่ 1 ความเสี่ยงอันเนื่องมาจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ จาก (www.deesillustration.com)

ในทางวิศวกรรมการศึกษาผลกระทบจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อมนุษย์ หรือ biological effect เป็นสิ่งสำคัญสิ่งหนึ่งในด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic compatibility) ค่า SAR เป็นส่วนหนึ่งของการวัด biological effect โดยการวัดผลกระทบจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อสุขภาพของมนุษย์ งานวิจัยจำนวนมากเกี่ยวกับ SAR ในศีรษะมนุษย์สามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 วิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของการดูดซับพลังงานศีรษะมนุษย์อันเนื่องมาจากตำแหน่งของโทรศัพท์ โดยการวัดค่ายอดและค่ารวมของ SAR ทั้งมวลเนื้อเยื่อเฉลี่ย 1 และ 10 กรัม ที่ 850, 900 และ 1600

MHz ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งและมุมของโทรศัพท์ที่มีผลต่อค่า SAR กลุ่มที่ 2 เน้นการแปรผันของขนาดและชนิดของศีรษะ โดยการวัดค่ายอดของ SAR มวลเนื้อเยื่อเฉลี่ย 10 กรัม ความถี่ 835 และ 1900 MHz ในขณะที่กลุ่มที่ 3 ได้พัฒนาการตรวจสอบในทางปฏิบัติ โดยการเพิ่มมือของมนุษย์เข้ามาคำนวณค่า SAR ด้วย กลุ่มนี้มีสถานะการทดลองคือวัดค่า SAR รวม มวลเนื้อเยื่อเฉลี่ย 1 และ 10 กรัม ความถี่ 835 - 2100 MHz กลุ่มสุดท้ายเน้นการวิเคราะห์ผลกระทบจากวัตถุโลหะรูปทรงวงแหวนต่อการดูดซับพลังงานที่ถูกเหนี่ยวนำโดยโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งผลการวิจัยคือการดูดซับพลังงานขึ้นอยู่กับขนาดและตำแหน่งของวัตถุ สถานะการทดลองนี้คือการวัดค่า SAR รวม มวลเนื้อเยื่อเฉลี่ย 10 กรัม ความถี่ 1900 MHz บทความนี้สนใจในผลกระทบของการดูดซับพลังงานในศีรษะมนุษย์อันเนื่องมาจากมวลเนื้อเยื่อเฉลี่ย 1 และ 10 กรัม และความถี่ใช้งาน 850, 900, 1800 และ 1900 MHz ซึ่งเป็นความถี่ในระบบ Global System for Mobile communication (GSM) เพื่อช่วยเสริมข้อมูลของค่า SAR รูปแบบของสนาม ระยะไกล และค่าความหนาแน่นพลังงานสูญเสียมากขึ้น [3-9]

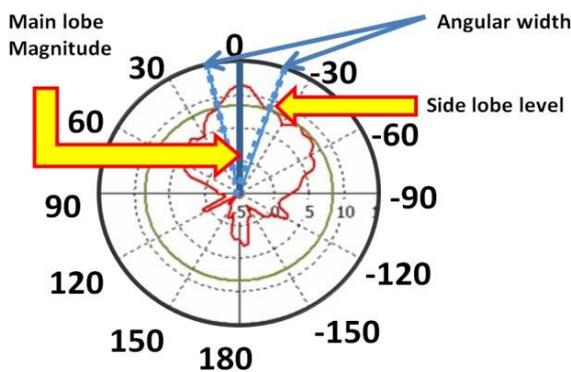
## 2. สนามระยะไกล

สนามระยะไกลคือกราฟแสดงคุณลักษณะของสายอากาศซึ่งแผ่ออกมาจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยประกอบด้วยค่าขนาดและทิศทางของโลบหลัก (main lobe magnitude and direction) ความกว้างประกอบไปด้วยค่าขนาดและทิศทางของโลบหลัก (main lobe magnitude and direction) ความกว้างของมุม (angular width) และระดับโลบข้าง (side lobe level) สนามระยะไกลแปรผันโดยตรงกับความถี่ขนาด

ของโอบหลักคือ เวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่แผ่ออกมามากที่สุด มีหน่วยเป็นเดซิเบล รัศมีของโอบหลักมีสูตรว่า [10]

$$R = 2d^2 / \lambda \quad [\text{m}] \quad (1)$$

โดยที่  $d$  หมายถึงค่าระยะห่างของสายอากาศที่มากที่สุด หน่วยเป็นเมตร และ  $\lambda$  คือความยาวคลื่น หน่วยเป็นเมตรทิศทางของโอบหลักแสดงทิศทางของเวกเตอร์ สนามไฟฟ้าในหน่วยองศา ระดับโอบข้างกล่าวเกี่ยวกับขนาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่ขอบของความกว้างของมุมงานวิจัยนี้เน้นที่พิทเชิงขั้วของสนามระยะไกล ที่ประกอบไปด้วย 4 ค่าหลักที่ได้กล่าวมาแล้วดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 พิกัดเชิงขั้วของสนามระยะไกล

### 3. อัตราการดูดซับพลังงานจำเพาะ (SAR) และความหนาแน่นพลังงาน

SAR ถูกใช้เพื่อคำนวณหาค่าปริมาณของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เนื้อเยื่อของมนุษย์ได้ดูดซับไว้ในหน่วยวัตต์ต่อ กิโลกรัม (W/kg) การเพิ่มขึ้นของการใช้อุปกรณ์ไร้สายทำให้ปริมาณของพลังงานการแผ่กระจายคลื่นต่อร่างกายมนุษย์เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย เพราะฉะนั้นเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะหลีกเลี่ยงพลังงานการแผ่กระจายคลื่นเข้าไปในศีรษะ ซึ่งค่า SAR สามารถคำนวณได้โดย [11]

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} E^2 = \frac{P}{\rho} \quad [\text{W/kg}] \quad (2)$$

โดยที่

$\sigma$  คือ ค่าความนำไฟฟ้า หน่วยเป็นซีเมนส์ต่อเมตร

$\rho$  คือความหนาแน่น หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$E$  คือสนามไฟฟ้า หน่วยเป็นโวลต์ต่อเมตร

$P$  คือความหนาแน่นพลังงาน หน่วยเป็นวัตต์ต่อลูกบาศก์เมตร

ในการทดลองทาง thermographic ค่า SAR สูงสุดสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$SAR = \frac{C \cdot \Delta T}{2\rho} \quad [\text{W/kg}] \quad (3)$$

เมื่อ

$C$  = ค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุภาพเสมือน [(จุลต่อ กิโลกรัม) \* เคลวิน]

$\Delta T$  = การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่จุดใดๆ [เคลวิน]

$\Delta t$  = ช่วงเวลาของการแผ่รังสี [วินาที]

โดยทั่วไปปริมาณเนื้อเยื่อที่ถูกนำมาคำนวณค่า SAR จะมีค่า 1 และ 10 กรัม อันเนื่องมาจากข้อกำหนดจาก International Commission on Non-Ionization Radiation Protection (ICNIRP) และ American National Standard Institute (ANSI) ในปี 1991 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) ได้ตีพิมพ์ “Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz.” ได้ระบุค่าของความหนาแน่นพลังงานไว้ด้วย โดยกล่าวว่าพลังงานทั้งหมดที่ล้อมรอบพื้นที่ผิวปิดสามารถคำนวณได้จากสูตร

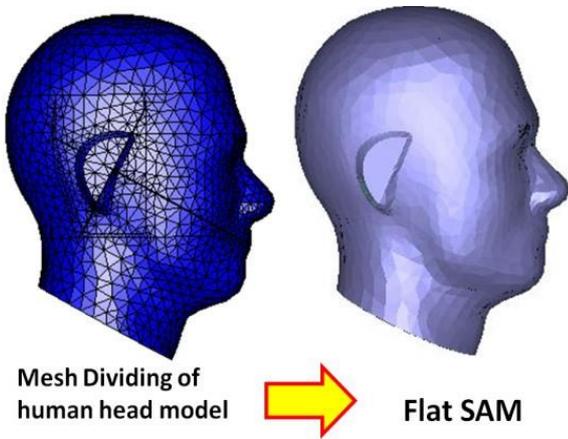
$$P = \frac{f}{300} \quad [\text{W/m}^3] \quad (4)$$

โดย  $f$  คือความถี่ จนมาถึงปัจจุบัน IEEE ได้ปรับปรุงมาตรฐานให้ทันสมัย จึงได้ตีพิมพ์ IEEE Std. 1528™ - 2013 “Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques.” ซึ่งได้มีการคำนวณค่า SAR บริเวณเฉลี่ยค่าอด ในทางปฏิบัติค่า SAR นั้นได้ถูกแนะนำถึงค่า SAR บริเวณเฉลี่ยค่ายอดสูงสุดที่ไม่ควรเกิน โดย 2 องค์กรคือ ICNIRP ได้จำกัดไว้ที่ 2 W/kg และ International Electrotechnical Commission (IEC) ร่วมกับองค์การอาหารและยา (FDA) ของประเทศสหรัฐอเมริกาได้จำกัดไว้ที่ 4 W/kg ถ้าค่า SAR เกินขีดจำกัด

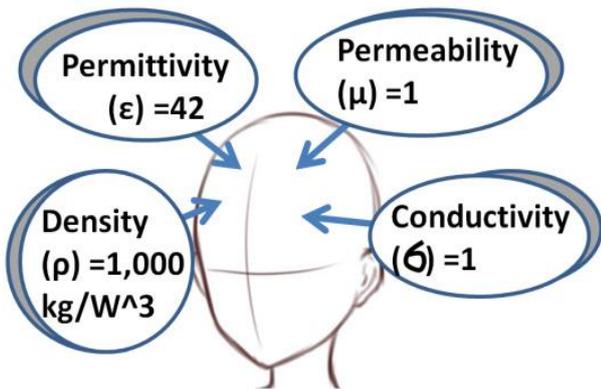
พลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอาจจะสามารถเอาชนะสมดุขของอุณหภูมิร่างกาย เนื้อเยื่อก็จะได้รับความร้อนมากขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดโรคต่างๆ ในที่สุด [12-15]

4. โมเดลการจำลอง

โมเดลศีรษะเป็นโมเดลที่ถูกปรับแต่งเพื่อลดความคลาดเคลื่อนของการทดลองของ Specific Anthropomorphic Mannequin (SAM) หรือเรียกว่า Flat SAM ดัง แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 Flat SAM



รูปที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลอง

ภายในบรรจุของเหลวที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเท่ากับ 42 ค่าสภาพยอมให้ซึมผ่านได้เท่ากับ 1 ค่าความหนาแน่นมวลเท่ากับ 1000 กก.ต่อลบ.ม. และค่าความนำไฟฟ้าเท่ากับ 1 ซี-เมนส์ต่อเมตรดังรูปที่ 4 โมเดลสมอมนั้นถูกออกแบบให้เป็นทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 170 มิลลิเมตร มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกกระจายตัวจำลองอันดับ 4 ค่าสภาพให้

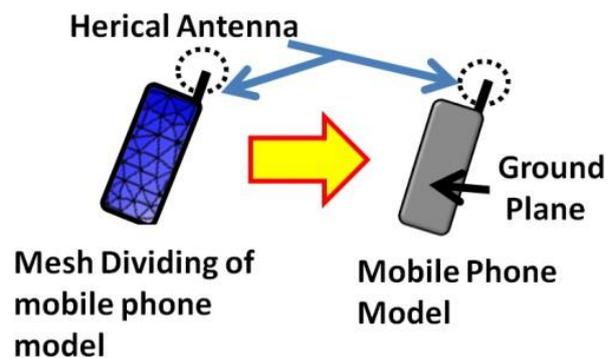
ซึมผ่านได้เท่ากับ 1 และค่าความหนาแน่นมวลเท่ากับ 1030 กก.ต่อลบ.ม. โมเดลโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เป็นโทรศัพท์ทั่วไปแบบโมโนโพลซึ่งเรียกว่า โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ IEEE โดยเป็นที่รู้จักกันว่าถูกใช้เพื่อการจำ ลองเพื่อหาค่า SAR โทรศัพท์เคลื่อนที่ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือโครงและสายอากาศโมโนโพล แบบเกลียว โครงนั้นทำมาจากตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด (PEC) ซึ่งทำหน้าที่เป็นกราวด์ ส่วนสายอากาศนั้นก็มีกำลังไฟฟ้า 1 วัตต์ ทำมาจาก PEC เช่นเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 5 การออกแบบสายอากาศเกลียวที่แสดงในรูปที่ 6 นั้นมี 5 ตัวแปร ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$L^2 = (\pi D)^2 + S^2 \quad [\text{cm}] \quad (5)$$

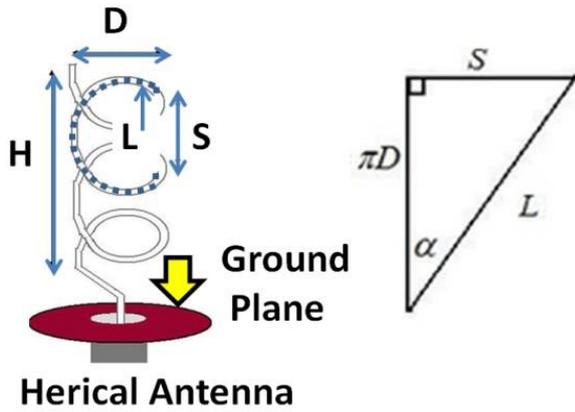
$$\tan \alpha = \frac{S}{\pi D} \quad (6)$$

$$H = NS \quad [\text{cm}] \quad (7)$$

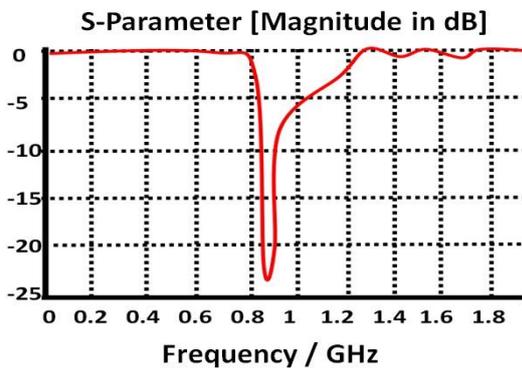
โดยที่ N นั้นคือจำนวนรอบของขดลวด ความถี่ที่สายอากาศส่งออกมานั้นคือ 900 MHz ซึ่งแสดงผ่านพารามิเตอร์ S11 ดังแสดงในรูปที่ 7 วิธีการที่ใช้คำนวณคือระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่องจำกัดโดเมนเวลา (finite difference time domain) เข้ากับสมการแมกซ์เวลล์ของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 5 โทรศัพท์เคลื่อนที่ตามมาตรฐาน IEEE



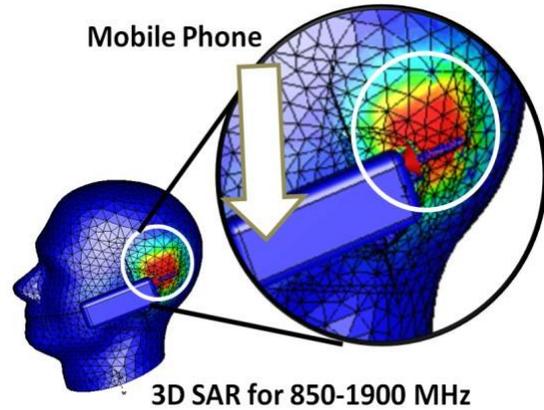
รูปที่ 6 การออกแบบสายอากาศแบบเกลียว



รูปที่ 7 พารามิเตอร์ S ของสายอากาศ

**5. ผลการจำลอง**

จากการศึกษาด้วยการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เชิงพาณิชย์เพื่อหาค่า SAR ค่ายอด สนามระยะไกล และความหนาแน่นพลังงานสูญเสียถูกวัดในความถี่ใช้งาน 4 ค่าอันได้แก่ 850, 900, 1800 และ 1900 MHz และมวลเนื้อเยื่อเฉลี่ย 2 ค่า คือ 1 และ 10 กรัม รูปแบบของการแสดงผลการจำลองอยู่ในรูปที่ 8 และจากตารางที่ 1 จะเห็นว่าค่า SAR นั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่มากขึ้น และค่านั้นใกล้เคียงกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ เช่นงานวิจัยของ Eduard (2012) ในกรณีมวลเนื้อเยื่อเฉลี่ย 10 กรัม ความถี่ 900 MHz ค่า SAR นั้นต่างกัน 0.15 W/kg และ Joo (2005) ก็สอดคล้องเช่นกัน [16] ในกรณีมวลเนื้อเยื่อเฉลี่ย 1 กรัมความถี่ 1800 MHz ค่า SAR นั้นต่างกัน 0.12 W/kg [17] และเมื่อเปรียบเทียบกับเงื่อนไขทางชีววิทยา คือ ถ้าค่า SAR เท่ากับ 1 W/kg จะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเนื้อเยื่อ 0.11 °C ก็สามารถสรุปได้ว่าผลการทดลองนี้อาจทำให้อุณหภูมิภายในศีรษะและสมองเพิ่มขึ้นอย่างน้อย 0.11°C



รูปที่ 8 ตัวอย่างการแสดงผลจากการจำลอง

ตารางที่ 1 ค่า SAR ในทุกสถานะการทดลอง

Frequency (MHz)	Mass Tissue (gram)	SAR (W/kg)	
		Head	Brain
850	1	5.21	3.266
	10	6.33	1.971
900	1	5.49	2.998
	effective frequency	10	6.48
1800	1	0.199	5.555
	10	8.41	3.544
1900	1	0.284	4.583
	10	9.95	2.765

สนามระยะไกลถูกกล่าวถึงเป็นผลการจำลองประการที่ 2 เวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่ออกมาจากสายอากาศถูกพิจารณาจากการที่โทรศัพท์อยู่ในแนวแกน x และจากผลการจำลองในตารางที่ 2 ที่มีค่าขนาดและทิศทางของโอบหลัก ความกว้างของมุมและระดับโอบข้างพบว่าค่าองศาของ เวกเตอร์สนามไฟฟ้าไม่ขึ้นอยู่กับมวลเนื้อเยื่อเฉลี่ยและความถี่ เวกเตอร์สนามไฟฟ้าจากความถี่ 1800 MHz นั้นเบี่ยงเบนไป จากแกน 0 องศามากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ -60 องศา [18-19]

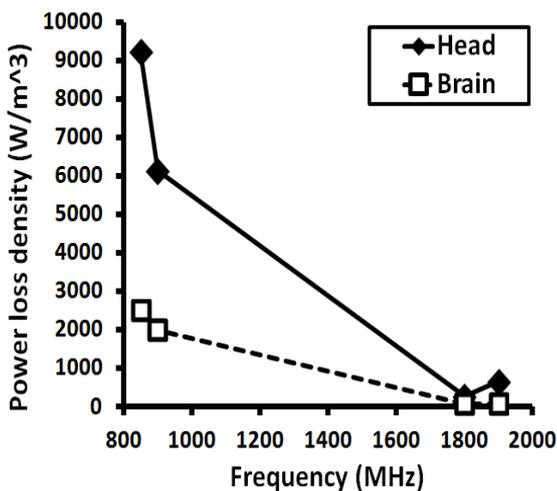
ตารางที่ 2 ส่วนประกอบต่างๆ ของสนามระยะไกล

Frequencies (MHz)	Electric Field Vector (Degree)	Angular Width (Degree)	Main lobe magnitude (dB)	Side lobe level (dB)
850	-5	117.2	0.03	-10.7
900	-5	114.9	0.7	-11.4
1800	-60	111.9	0.52	-11.4
1900	0	31.7	11.5	-3.1

ความหนาแน่นพลังงานนั้นหาได้จาก SAR\*ρ จากรูปที่ 9 ความหนาแน่นกำลังแปรผกผันกับความถี่ของศีรษะและสมองของมนุษย์ในลักษณะกราฟเอกซ์โปเนนเชียล ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของโทรศัพท์และความหนาแน่นกำลังของศีรษะและสมองด้วยวิธีการ regression [20] ค่า R<sup>2</sup> นั้นเท่ากับ 0.9709 นั้นหมายความว่ากราฟที่ได้มีความใกล้เคียงค่าที่พล็อตได้ ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$P = \frac{74}{ef} \quad [\text{kW/m}^3] \quad (8)$$

$$P = \frac{46}{ef} \quad [\text{kW/m}^3] \quad (9)$$



รูปที่ 9 ค่าความหนาแน่นกำลังแปรผกผันตามความถี่

## 6. สรุป

บทความนี้ได้แสดงให้เห็นว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นได้กระจายพลังงานออกมาแล้วศีรษะมนุษย์นั้นก็ได้ดูดซับพลังงานเอาไว้ อัตราการดูดซับพลังงานนั้นก็แปรผันตามความถี่ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยในทุกเงื่อนไขการทดลองมีค่าอยู่ใน ระหว่าง 0.199 – 9.95 W/kg และเมื่อเปรียบเทียบกับค่า ขีดจำกัดขององค์กรต่างๆ ก็เกินค่าที่กำหนดไว้ แต่อย่างไรก็ตาม อันตรายจากพลังงานจากโทรศัพท์ นั้นก็ต้องมีช่วงระยะเวลาหนึ่ง จึงอาจกล่าวได้ว่าคลื่นจากโทรศัพท์นั้นไม่ได้ทำอันตรายต่อ ศีรษะของมนุษย์มากนัก

## 7. กิตติกรรมประกาศ

บทความฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยในด้านต่างๆ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ซึ่งคณะผู้เขียนบทความจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] David M. Pozar, Microwave Engineering, Wiley, 4<sup>th</sup> Edition, 2012.
- [2] World Health Organization, Electromagnetic fields and public health: mobile phones, 2014.
- [3] J.G. Eduard, C. Moraru, and R. Mihai, “Study of Energy Absorption Field Emitted by Generic Mobile Phone at 900 MHz Frequency”, 9<sup>th</sup> International Conference on Communications (COMM), Bucarest, 2012, pp.267-270.
- [4] Lee A. K. and Yun J., “A Comparison of Specific Absorption Rates in SAM Phantom and Child Head Models at 835 and 1900 MHz”, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility Vol.53 No.3, (March 2011) : 619-627.
- [5] Hadjem A., et al., “Analysis of Power Absorbed by Children’s Head as a Result of New Usages of Mobile Phone”, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol.52. No.4. (August 2010) : 812-819.
- [6] C. Sriprasoet and A. Pruksanubal, “Effects of Ring Metallic Objects on Specific Absorption Rate in Human Head Caused by Mobile Phone”, 12<sup>th</sup> International conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecom-munications and Information Technology, Hua Hin, Thailand, 2015.
- [7] A.Hirata et.al., “Temperature Increase in the Human Head Due to a Dipole Antenna at Microwave Frequencies”, IEEE transactions on



- Electromagnetic Compatibility, Vol.45, No.1, Feb.2003
- [8] Behari J and Nirala JP, "Specific absorption rate variation in a brain phantom due to exposure by a 3G mobile phone: problems in dosimetry", Indian J Exp Biol. 2013 Dec;51 (12):1079-85.
- [9] P. Pongsri and A. Pruksanubal, "The biological effect from mobile phone in human head", 13th International conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, Chiangmai, Thailand, 2016.
- [10] Soo-Ji Lee, et al., "Bandwidth Enhanced Tri-Band Monopole Slot Antenna on Ultra-Thin Metal Housed Devices", The 44<sup>th</sup> European Microwave Conference, Italy, Oct 2014.
- [11] G. Schmid et. al., "Bestimmung der Expositionsverteilung von HF Feldern im menschlichen Koerper\_unter Beruecksichtigung kleiner Strukturen und thermophysologisch relevanter Parameter", Forschungsvorhaben, Deutschland, 2008.
- [12] Institute of Electrical and Electronics Engineers. "Recommended Practice for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields - RF and Microwave" IEEE Standard C95.3TM-1991. [serial online] 1991 : 1-93.
- [13] Institute of Electrical and Electronics Engineers. "Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz." IEEE Standard C95.1TM-2005. [serial online] 2005 : 1-238.
- [14] Institute of Electrical and Electronics Engineers. "Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques." IEEE Std 1528TM- 2013. [serial online] 2013 : 1-246.
- [15] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, "ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)." Health Physics 74 (4), [serial online] 1998 : 494-522.
- [16] Ervin Joo, "Absorption of The Electromagnetic Energy in Human Head", Doctoral Dissertation, 2005.
- [17] Lias K., et al. "Biological Effect of 900 MHz and 1800 MHz Mobile Phones in SAR Weight." In IEEE. 2<sup>nd</sup> International Conference on Information and Multimedia Technology (ICIMT), Jeju Island, 2009 : (422-425).
- [18] Andre V. Vorst, Arye Rosen and Youji Kotsuka, RF/Microwave Interaction with Biological Tissues, Wiley-Interscience, 2006.
- [19] Constantine A. Balanis, Antenna Theory Analysis and Design, Wiley-Interscience, 3<sup>rd</sup> Edition, 2005.
- [20] K. Huang and Y. Liao, "Transient Power Loss Density of Electromagnetic Pulse in Debye Media", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol.63, No.1, Jan. 2015.