

โคมไฟแอลอีดีกำลังสูงสำหรับรักษาภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิด

HIGH POWER LED LAMP PHOTOTHERAPY FOR NEONATAL HYPERBILIRUBINEMIA

ณัทกร เกษมสำราญ¹, ปราการ ทัดติยกุล² และ นรรัตน์ วัฒนมงคล^{1,*}
Natakorn Kasemsamran¹, Prakarn Tattiyakul² and Norrarat Wattanamongkhon^{1,*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

² สาขาวิชากุมารเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

บทคัดย่อ

ภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิดคือภาวะที่เมื่อมีปริมาณสารบิลิรูบินซึ่งเป็นสารสีเหลืองที่อยู่ในเลือดสูงกว่าปกติ มีผลต่อพัฒนาการทางสมองของทารกอย่างมาก การรักษาทางการแพทย์นิยมใช้วิธีการส่องไฟ ซึ่งมีความเสี่ยงในการรักษาน้อยกว่าวิธีอื่นและให้ผลการรักษาที่ดี

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาโคมไฟแอลอีดีกำลังสูงสำหรับรักษาภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิด โดยคุณสมบัติของโคมไฟจะให้แสงที่มีช่วงความยาวคลื่น 450-460 นาโนเมตร ใช้กำลังไฟสูงสุด 36 วัตต์ ใช้กับแหล่งจ่ายไฟได้ทั้งไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ และไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ หน้าจอแสดงผลแบบแอลซีดีซึ่งนำมาใช้แสดงค่าความเข้มแสงเชิงสเปกตรัม บันทึกอายุการใช้งานของหลอดไฟ อุณหภูมิภายในตัวโคมไฟ สถานะ การทำงานของพัดลมระบายความร้อน และวัน-เวลาในปัจจุบัน โคมไฟแอลอีดีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ได้ผ่านการรับรองมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางแสงของโคมไฟแอลอีดีจากสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ จากผลการทดสอบพบว่า โคมไฟแอลอีดีสามารถให้ความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมโดยเฉลี่ยมากกว่า 30 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรต่อนาโนเมตร ($\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$) ที่ระยะห่างจากเด็กทารก 30 เซนติเมตร ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานการรักษาทารกตัวเหลือง

คำสำคัญ: ภาวะตัวเหลือง, บิลิรูบิน, โคมไฟแอลอีดี, การส่องไฟ

* ผู้ประสานงาน: นรรัตน์ วัฒนมงคล

อีเมล: norrarat@eng.buu.ac.th

Abstract

Hyperbilirubinemia in the newborn (Neonatal Hyperbilirubinemia) is caused by the quantity of substance bilirubin, a yellow substance in the blood is higher than normal. It has effect to the brain development of baby greatly. For the medical treatment, the doctor is often to use phototherapy method because it is not only less risky than other treatments but also provides good therapeutic results.

In this paper, we present the development of high power LEDs for the treatment of Neonatal jaundice in newborns. The property of high-power LEDs provides the light source in the wavelengths range of 450-460 nanometers and consumes the highest power as 36 watts. It can use power supply with the both of 220VAC and 12DC. The LCD display can show the spectrum irradiance, record the life time of LED, temperature, status operation of fan and date-time at the present. The high-power LED lamp have been certified by the National Institute of Metrology (NIM) for the certification of wavelengths and spectrum irradiance. As a results, it can provide the spectrum irradiance higher than $30 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ at a distance of 30 cm from the baby which according to the AAP guideline.

Keywords: Jaundice, Bilirubin, LED lamp, Phototherapy

บทนำ

จากการศึกษาพบว่าทารกแรกเกิดมักเกิดภาวะแทรกซ้อนที่พบได้บ่อย คือภาวะตัวเหลือง (Jaundice) ซึ่งอาการตัวเหลืองของทารกเกิดจากสารสีเหลืองที่เรียกว่า “บิลิรูบิน (Bilirubin)” ในเลือดสูงกว่าปกติ (Ambalavanan & Carlo, 2016) มีสาเหตุมาจากเม็ดเลือดแดงของทารกที่หมดอายุซึ่งจะถูกทำลายที่ตับและม้าม เมื่อเม็ดเลือดแดงแตก สารสีเหลืองบิลิรูบินในเลือดจะถูกปล่อยออกมา แต่เนื่องจากตับของทารกยังทำหน้าที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้การขับถ่ายสารสีเหลืองออกจากร่างกายไม่ดีเท่าที่ควร จึงทำให้สารสีเหลือง

คั่งค้างอยู่ในร่างกายมากขึ้นและจับตามผิวหนัง ทำให้มองเห็นผิวหนังทารกเป็นสีเหลือง ถ้าระดับบิลิรูบินสูงมากอาจทำให้เด็กมีอาการสมองพิการถาวร (Kernicterus) และถ้าบิลิรูบินสูงเกิน 20 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ อาจมีผลต่อการได้ยินของเด็ก (อรุณี เจตศรีสุภาพ, 2560) สำหรับประเทศไทยยังไม่พบรายงานสถิติในภาพรวมของประเทศเกี่ยวกับอาการ ตัวเหลืองในทารกแรกเกิดที่ชัดเจน แต่มีการรายงานในโรงพยาบาลบางแห่ง เช่น โรงพยาบาลศรีนครินทร์ จังหวัดขอนแก่น ในปี พ.ศ. 2544-2547 พบอุบัติการณ์ตัวเหลืองในทารกแรกเกิดร้อยละ 25.50, 40.10, 53.90 และ 67.40 ตามลำดับ เป็นทารกตัวเหลืองได้รับการส่องไฟรักษาตั้งแต่แรกเกิดร้อยละ 18.98, 33.05, 29.14 และ 13.40 ตามลำดับ (บุษบา บุญกระโทก และคณะ, 2550) และสถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี ในปี พ.ศ. 2548 - 2550 พบทารกแรกเกิดมีอาการตัวเหลืองร้อยละ 26.10, 43.50 และ 29.90 ตามลำดับ (สถิติหอผู้ป่วยทารกแรกเกิด สถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี, 2551) จากสถิติดังกล่าวบ่งชี้ให้เห็นว่าจำนวนทารกแรกเกิดตัวเหลืองมีค่อนข้างมาก ดังนั้นการดูแลทารกตัวเหลืองอย่างมีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญเพราะจะช่วยลดภาวะแทรกซ้อนของโรค ลดระยะเวลาในการรักษา และลดความวิตกกังวลหรือปัญหาทางสุขภาพจิตของพ่อแม่และญาติได้

การรักษาอาการตัวเหลืองในทารกแรกเกิดมีจุดมุ่งหมายสำคัญคือ ต้องการลดระดับบิลิรูบินในเลือดให้ต่ำกว่าระดับความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะสมองพิการถาวร โดยการรักษาอาการตัวเหลืองในทางการแพทย์ที่นำมาใช้มี 3 วิธีคือ การรักษาด้วยยา การถ่ายเปลี่ยนเลือด และการส่องไฟรักษา สำหรับการรักษาอาการตัวเหลืองในทารกแรกเกิดแพทย์จะนิยมใช้วิธีการส่องไฟ (Phototherapy) เป็นหลัก เนื่องจากวิธีการส่องไฟมีความเสี่ยงในการรักษา น้อยกว่าวิธีอื่น ๆ อีกทั้งยังให้ผลการรักษาที่ดี และมีค่าใช้จ่ายไม่สูง (Atkinson et al., 2003) เนื่องจากแสงไฟจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของบิลิรูบิน ส่งผลให้บิลิรูบินซึ่งปกติละลายน้ำไม่ได้ให้กลับกลายเป็นสารที่ละลายน้ำได้ และถูกขับออกจากร่างกายผ่านทางน้ำดีออกทางอุจจาระ และผ่านไตออกทางปัสสาวะ ในทางปฏิบัติจะนิยมใช้แสงกลุ่มสีฟ้าที่มีความยาวคลื่นจำเพาะในช่วง 450-460 นาโนเมตร เพราะสามารถทะลุชั้นผิวหนังของทารกได้ดีและจะต้องมีความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมสูงกว่า $30 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ ที่ระยะห่างระหว่างตัวคอมไฟกับทารกประมาณ 30-50 เซนติเมตร ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานการดูแลทารกของ American Academy of Pediatrics (AAP: 2004)

ที่ผ่านมามารักษาด้วยวิธีการส่องไฟนั้นมักจะใช้แสงมาจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้งหลอดแสงสีขาวและสีฟ้า จากรูปที่ 1(ก) เช่น เครื่องส่องไฟ-ศิริราช ซึ่งประกอบด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์สีขาว 4 หลอด และสีฟ้าพิเศษ 2 หลอด จากผลการทดสอบทารกตัวเหลืองที่ได้รับการส่องไฟพบว่า มีอัตราการลดลงของบิลิรูบินในพลาสมาเร็วกว่าทารกที่ได้รับการรักษาจากด้วยเครื่องส่องไฟชนิดเก่า 4.2 เท่า และมีอุบัติการณ์ของการถ่ายเปลี่ยนเลือดลดลง 72% (เกรียงศักดิ์ จีระแพทย์ และวิมา จีระแพทย์, 2540) อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพในการรักษา ยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ โดยหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้ความร้อนออกมาระหว่างการใช้งานซึ่งอาจทำให้เด็กมีอุณหภูมิกายสูงขึ้น อาจมีผื่นขึ้นตามตัว หรืออาจมีอาการอุจจาระเหลวร่วมด้วย จึงทำให้ไม่สามารถปรับระดับความเข้มของแสงเพื่อเร่งให้ปริมาณบิลิรูบินในเลือดลดลงเร็วกว่าเดิมได้ อีกทั้งอายุการใช้งานของหลอดสั้นเพียง 10,000 ชั่วโมง และไม่สามารถควบคุมการปลดปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่นจำเพาะกับความต้องการใช้ในการรักษาได้ จึงเกิดแสงช่วงคลื่นอื่น ๆ ที่ไม่จำเป็นต่อการรักษาและอาจเป็นอันตรายต่อทารกได้ เช่น รังสีเหนือม่วง (Ultraviolet) จะทำให้ผิวหนังของทารกไหม้ ด้วยเหตุนี้ปัจจุบันโรงพยาบาลหลายแห่งจึงได้นำเอาเครื่องส่องไฟที่ใช้หลอดแอลอีดีมาใช้ในการรักษาซึ่งมีข้อดีกว่าโคมไฟที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์หลายประการ เช่น สามารถกำหนดช่วงความยาวคลื่นจำเพาะเจาะจงที่จำเป็นต้องใช้ในการรักษาได้ อายุการใช้งานยาวนานกว่า 50,000 ชั่วโมง ไม่มีการปลดปล่อยรังสีเหนือม่วง ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า และมีการแผ่ความร้อนออกมาจากหลอดไฟเพียงเล็กน้อย มีประสิทธิภาพในการรักษาที่ดีกว่า ดังรูปที่ 1(ข) เครื่องส่องไฟชนิดหลอดแอลอีดีสามารถนำไปใช้งานร่วมกับตู้อบ (Incubator) โดยวางที่ด้านบน หรือใช้กับขาตั้งเครื่องส่องไฟที่สามารถระดับความสูงได้เมื่อใช้รักษาทารกที่นอนอยู่บนเบาะ (Crib) ดังแสดงในรูปที่ 2



(ก) โคมไฟหลอดฟลูออเรสเซนต์



(ข) โคมไฟหลอดแอลอีดี

รูปที่ 1 ตัวอย่างโคมไฟที่ใช้รักษาทารกตัวเหลือง

ที่มา: Phoenix LED PT 100. Phoenix Medical System. (2016)



รูปที่ 2 ตัวอย่างการนำคอมไฟไปใช้รักษาทารกตัวเหลือง

ที่มา: <https://www.allthingsneonatal.com/tag/phototherapy/>

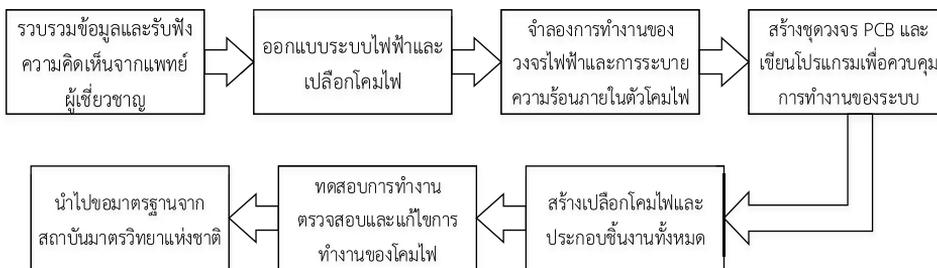
นอกจากนั้นยังมีคอมไฟแบบแอลอีดีที่คนไทยประดิษฐ์เองซึ่งมีการขอดสิทธิบัตรไปแล้วคือ สิทธิบัตรเลขที่คำขอ 1503001132 เครื่องรักษาด้วยแสงโดยใช้หลอดแอลอีดีแบบด้านเดียว (ธวัช แก้วกัณฑ์, 2558) สามารถตั้งค่าเวลาในการทำงานได้ตั้งแต่ 0-24 ชั่วโมง ใช้แอลดีอาร์ (LDR) เป็นเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง แผงหลอดแอลอีดีสามารถหมุนในแนวระนาบได้ 360 องศา และปรับระดับเครื่องส่องขึ้น-ลงได้ในช่วง 140-160 เซนติเมตร สิทธิบัตรเลขที่คำขอ 1503001073 เครื่องส่องไฟรักษาภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิดแบบ 360 องศา ชนิดไดโอดเปล่งแสง (LED) (จรรยา เวชพงษ์ และประเสริฐ สุวรรณอุดมลาภ, 2558) เป็นลักษณะเครื่องมือขนาดใหญ่แบบกระโจม ใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์เท่านั้น ใช้หลอดแอลอีดีที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 420-480 นาโนเมตร อย่างไรก็ตาม ยังไม่ปรากฏข้อมูลผลการรักษาแต่อย่างใด และยังมีข้อบกพร่องหลายประการ เช่น การรับรองมาตรฐานของเครื่องส่องไฟที่เกี่ยวข้อง รูปร่างความสวยงาม และฟังก์ชันการใช้งาน จึงมีการนำไปใช้งานจริงน้อยมาก ปัจจุบันจึงนิยมนำเข้าเครื่องมือชนิดนี้ต้องจากต่างประเทศแต่ก็มีราคาสูงถึง 70,000-200,000 บาทต่อชุด (Tiwari et al., 2011) รวมถึงค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง ทำให้โรงพยาบาลหลายแห่งมีงบประมาณไม่เพียงพอที่จะจัดซื้อมาใช้งานได้ ผู้ป่วยต้องเดินทางเข้ามารักษาในตัวจังหวัด จึงเกิดความเสี่ยงกับผู้ป่วยเป็นอย่างมากหากเข้ารับการรักษาช้าและเกิดปัญหาการเสื่อมลำทางสังคมในการเข้าถึงสิทธิการรักษาพยาบาลขั้นพื้นฐานของประชาชนซึ่งรัฐบาลในปัจจุบันให้ความสำคัญอย่างมาก

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอชุดคอมไฟแอลอีดีกำลังสูงสำหรับรักษาภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิดที่สามารถปรับระดับความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมได้ตามที่แพทย์ผู้รักษาต้องการ

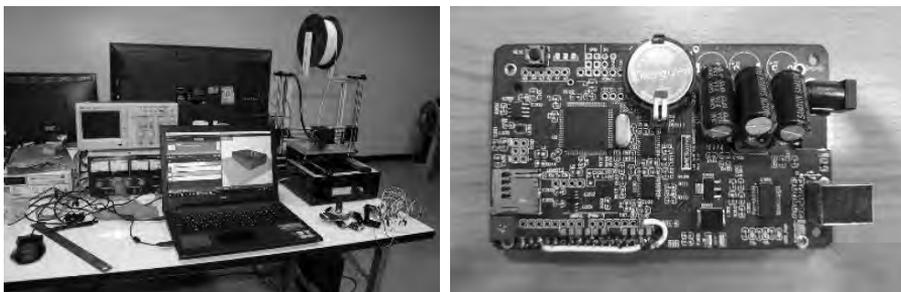
แสงจากหลอดไฟแอลอีดีมีความยาวคลื่นจำเพาะในช่วง 450-460 นาโนเมตร ใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 36 วัตต์ และมีต้นทุนในการผลิตต่ำประมาณ 50,000-60,000 บาท

วิธีดำเนินการวิจัย

จากรูปที่ 3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของขั้นตอนการสร้างคอมพิวเตอร์กำลังสูงสำหรับรักษาภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิด โดยเริ่มต้นจากการรวบรวมข้อมูลและรับฟังความคิดเห็นจากแพทย์ผู้เชี่ยวชาญเพื่อกำหนดคุณลักษณะเฉพาะตัวและคุณสมบัติที่ต้องการของคอมพิวเตอร์แอลอีดี จากนั้นจึงเริ่มออกแบบระบบไฟฟ้า ระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ และการออกแบบเปลือกคอมพิวเตอร์โดยใช้จากซอฟต์แวร์ต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ โดยคอมพิวเตอร์รุ่นแรกที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นมานั้นทำมาจากแผ่นอะคริลิกซึ่งได้รูปร่างจากการสเก็ตภาพด้วยมือ แต่ในคอมพิวเตอร์รุ่นต่อ ๆ มา ได้ใช้โปรแกรมออกแบบ 3 มิติ โดยเฉพาะแล้วใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ และใช้ฟิลาเมนต์ชนิด PLA ทำให้ได้รูปทรงตามที่ต้องการ รวมถึงการจำลองการทำงานของวงจรไฟฟ้าและสร้างบอร์ดวงจรไฟฟ้า ดังรูปที่ 4

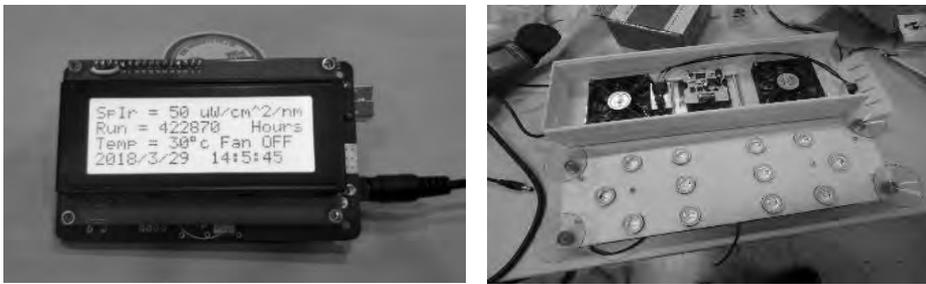


รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมการสร้างและทดสอบคอมพิวเตอร์แอลอีดี



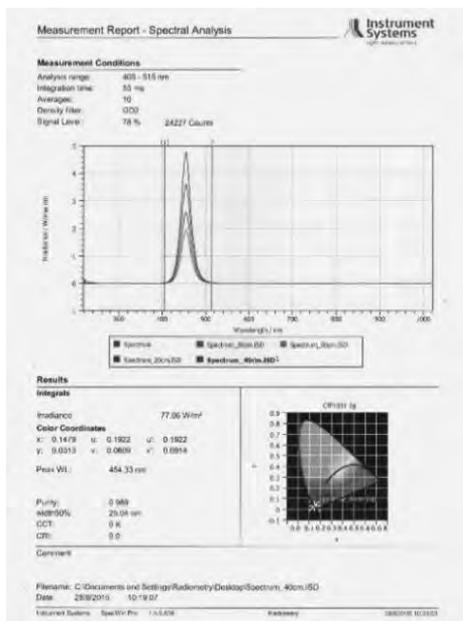
รูปที่ 4 การใช้โปรแกรมช่วยออกแบบเปลือกคอมพิวเตอร์และวงจรไฟฟ้าที่สร้างขึ้น

จากนั้นดำเนินการสร้างแผ่นวงจรตามที่ได้ออกแบบไว้และเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบโดยใช้คอนโทรลเลอร์ Arduino Uno/NANO กำหนดให้สามารถปรับระดับความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมได้ละเอียดโดยใช้ปุ่มแบบมือหมุน (ปกติจะมีให้เลือกใช้เพียง 2 ระดับเท่านั้น ตามความรุนแรงของอาการตัวเหลือง) ใช้พัดลมระบายความร้อน 2 ตัว ทำงานร่วมกับฮีทซิงค์ ซึ่งจะทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในตัวคอมไฟสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส โดยใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิรุ่น DS18B20 ซึ่งติดตั้งภายในเปลือกคอมไฟใช้จอแสดงผลแบบแอลซีดีชนิด 4 บรรทัด ระยะเวลาสะสมที่ใช้งานหลอดไฟแอลอีดี อุณหภูมิภายในตัวคอมไฟ สถานะการทำงานของพัดลมระบายความร้อน วันและเวลาปัจจุบันขณะกำลังใช้งาน และการประกอบชุดวงจรไฟฟ้าและจอแสดงผลแบบแอลซีดีเข้ากับเปลือกคอมไฟแอลอีดี ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การประกอบชุดวงจรไฟฟ้าและจอแสดงผลแบบแอลซีดีเข้ากับเปลือกคอมไฟแอลอีดี

จากนั้นจะทำการทดสอบการทำงานของตามฟังก์ชันต่าง ๆ ตรวจสอบและแก้ไขการทำงานของคอมไฟจนมั่นใจได้ว่าคอมไฟสามารถทำงานได้ถูกต้องตามที่ได้ออกแบบไว้ทั้งหมด ก่อนนำไปขอรับการรับรองมาตรฐานด้วยการทดสอบคุณสมบัติของคอมไฟแอลอีดีด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม รุ่น Instrument systems CAS 140CT compact array spectrometer จากห้องปฏิบัติการการกระจายคลื่นแสง ณ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ โดยในเอกสารรับรองมาตรฐานจะระบุค่าความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมที่ระยะห่างระหว่างคอมไฟและเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม 20, 30, 40 และ 50 เซนติเมตร โดยทุกระยะความห่างจะให้ค่าเข้มแสงเชิงสเปกตรัมสูงสุดที่ความยาวคลื่นเดียวกันคือ 455.33 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงคลื่นที่ต้องการนำไปใช้งานจริงตามที่ได้ออกแบบไว้คือระหว่าง 450-460 นาโนเมตร พิจารณาได้จากรูปที่ 6



รูปที่ 6 การทดสอบโคมโพไฟโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมและใบรับรองมาตรฐาน ห้องปฏิบัติการการกระจายคลื่นแสง สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในทางการแพทย์จะใช้การวัดความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมในหน่วย $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ โดยใช้เครื่องมือวัด Spectral irradiance portable meter รุ่น Minolta Air Shields 451D โดยกำหนดวิธีการวัดที่ความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมซึ่งใช้กำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 70% โดยเพิ่มกำลังไฟฟ้าขึ้นคราวละ 10% จนถึง 100% และกำหนดความสูงในช่วงระหว่างทารกและตัวโคมไฟ 10-50 เซนติเมตร โดยเพิ่มระยะขึ้นคราวละ 10 เซนติเมตร เพื่อต้องการทราบว่าโคมไฟจะต้องใช้กำลังไฟฟ้าต่ำสุดเท่าใดที่ยังเป็นไปตามมาตรฐานของการรักษาทางการแพทย์และการกระจายความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมโดยเฉลี่ยจะต้องมีค่ามากกว่า $30 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ ที่ระยะห่างระหว่างทารกและตัวโคมไฟ 30 เซนติเมตร ในพื้นที่ตกกระทบขนาด 1,500 ตารางเซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดจริงของเบาะรองนอนสำหรับทารก (Crib) โดยมีการแบ่งช่องสำหรับการสูมวัดค่าทั้งหมดจำนวน 15 ช่อง โดยแต่ละช่องจะมีขนาด 10×10 ตารางเซนติเมตร เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมเฉลี่ย (Average spectral irradiance) ดังรูปที่ 7

Sampling distances : 10 centimeters					Sampling distances : 20 centimeters				
2.52	10.5	12.7	11.1	3.16	9.92	34.8	38.4	27.6	5.83
8.00	170	123	152	11.0	24.9	107	112	91.4	12.7
3.46	26.9	24.8	21.9	3.40	12.3	38.3	43.4	28.5	6.37
Average spectral irradiance : 38.96 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$					Average spectral irradiance : 39.56 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$				
Sampling distances : 30 centimeters					Sampling distances : 40 centimeters				
11.5	36.2	47.1	38.4	14.3	18.7	36.7	40.4	27.9	11.9
19.4	64.8	83.4	67.1	21.0	25.2	55.3	60.3	41.2	14.4
11.2	25.7	33.0	25.5	9.10	6.20	30.4	32.5	22.2	8.62
Average spectral irradiance : 33.85 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$					Average spectral irradiance : 28.80 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$				
Sampling distances : 50 centimeters					Average spectral irradiance at 70%Dim				
14.5	28.4	33.2	23.5	12.3	38.96 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ at 10 centimeters				
18.5	38.7	45.1	33.2	16.0	39.56 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ at 20 centimeters				
14.1	27.5	30.4	22.7	11.5	33.85 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ at 30 centimeters				
Average spectral irradiance : 24.64 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$					28.80 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ at 40 centimeters				
					24.64 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ at 50 centimeters				

(ก) ผลการสุ่มวัดความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมที่ความเข้มแสง 70%

Sampling distances : 10 centimeters					Sampling distances : 20 centimeters				
3.00	13.5	15.4	13.1	3.57	11.6	42.2	48.2	30.9	6.72
8.40	201	153	171	13.9	31.3	125	131	108	13.7
4.00	36.5	30.5	34.2	5.04	15.2	44.6	49.8	36.4	7.63
Average spectral irradiance : 47.08 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$					Average spectral irradiance : 46.82 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$				
Sampling distances : 30 centimeters					Sampling distances : 40 centimeters				
14.4	45.9	55.2	44.6	16.5	21.5	41.6	45.8	32.2	13.6
22.0	75.7	98.0	76.7	24.5	30.6	63.9	71.5	49.4	16.3
12.8	31.0	41.5	32.6	10.5	18.4	35.6	39.7	27.3	10.1
Average spectral irradiance : 40.13 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$					Average spectral irradiance : 36.50 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$				
Sampling distances : 50 centimeters					Average spectral irradiance at 80%Dim				
17.9	34.6	39.1	27.9	13.7	47.08 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ at 10 centimeters				
23.1	45.5	52.8	38.7	19.2	46.82 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ at 20 centimeters				
17.6	30.5	36.4	26.7	14.2	40.13 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ at 30 centimeters				
Average spectral irradiance : 29.12 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$					34.50 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ at 40 centimeters				
					29.19 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ at 50 centimeters				

(ข) ผลการสุ่มวัดความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมที่ความเข้มแสง 80%

รูปที่ 7 ค่าความเข้มเชิงสเปกตรัมเฉลี่ยที่ระดับความเข้มแสงแตกต่างกัน

Sampling distances : 10 centimeters					Sampling distances : 20 centimeters				
3.05	14.0	18.6	15.2	4.10	14.3	48.6	53.0	32.5	7.46
9.18	229	164	196	12.7	37.9	138	145	118	18.7
4.81	42.4	33.2	35.4	5.60	17.6	49.4	59.1	37.2	7.98
Average spectral irradiance : <u>52.48</u> $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$					Average spectral irradiance : <u>52.32</u> $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$				
Sampling distances : 30 centimeters					Sampling distances : 40 centimeters				
15.9	49.8	64.1	50.8	17.9	24.9	48.9	52.6	35.4	13.8
25.1	86.4	110	86.5	27.7	35.1	71.6	79.5	52.8	18.6
13.2	34.1	43.4	32.6	12.9	20.6	39.6	44.5	30.3	11.7
Average spectral irradiance : <u>44.62</u> $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$					Average spectral irradiance : <u>38.66</u> $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$				
Sampling distances : 50 centimeters					Average spectral irradiance at 90%Dim 52.48 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ at 10 centimeters 52.32 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ at 20 centimeters 44.69 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ at 30 centimeters 38.66 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ at 40 centimeters 32.87 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ at 50 centimeters				
20.7	37.0	42.2	31.2	16.3					
26.9	52.2	59.3	45.3	20.4					
19.9	35.5	39.8	30.7	15.6					
Average spectral irradiance : <u>32.87</u> $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$									

(ค) ผลการสู่มวัดความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมที่ความเข้มแสง 90%

Sampling distances : 10 centimeters					Sampling distances : 20 centimeters				
4.09	20.9	24.1	20.6	6.33	18.5	67.7	65.7	42.2	10.0
13.5	298	217	257	24.4	46.6	187	196	163	23.2
6.19	45.1	40.2	37.0	7.48	20.6	65.9	72.0	50.3	10.6
Average spectral irradiance : <u>68.13</u> $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$					Average spectral irradiance : <u>69.29</u> $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$				
Sampling distances : 30 centimeters					Sampling distances : 40 centimeters				
22.1	67.2	82.4	69.3	23.5	33.5	62.9	69.1	47.3	18.6
35.3	115	148	114	37.5	45.8	95.8	106	71.9	23.6
17.4	50.4	62.9	48.5	16.6	28.2	53.9	59.3	41.0	15.7
Average spectral irradiance : <u>60.67</u> $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$					Average spectral irradiance : <u>51.51</u> $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$				
Sampling distances : 50 centimeters					Average spectral irradiance at 100%Dim 68.13 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ at 10 centimeters 69.29 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ at 20 centimeters 60.67 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ at 30 centimeters 51.51 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ at 40 centimeters 43.33 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ at 50 centimeters				
26.3	49.5	57.7	42.6	20.5					
35.0	70.0	79.0	60.9	27.1					
24.9	45.4	53.3	37.9	19.8					
Average spectral irradiance : <u>43.33</u> $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$									

(ง) ผลการสู่มวัดความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมที่ความเข้มแสง 100%

รูปที่ 7 ค่าความเข้มเชิงสเปกตรัมเฉลี่ยที่ระดับความเข้มแสงแตกต่างกัน (ต่อ)

ตารางที่ 1 ค่าความเข้มแสงโดยเฉลี่ยที่ระยะห่างและเปอร์เซ็นต์ความสว่างของแสงที่ต่างกัน

% ความสว่างของแสง จากหลอดแอลอีดี	ความเข้มแสงโดยเฉลี่ย ($\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$) ที่ระยะห่างระหว่างโคมไฟแอลอีดีกับตัวทารก		
	30 ซม.	40 ซม.	50 ซม.
70%	33.85	28.80	24.64
80%	40.13	34.50	29.19
90%	44.69	38.66	32.87
100%	60.67	51.51	43.33

จากตารางที่ 1 ความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 60.67, 51.51 และ 43.33 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ ที่ระยะห่างระหว่างโคมไฟกับตัวทารก 30, 40 และ 50 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อใช้ค่าที่แตกต่างกันระหว่าง 70-100% ของความสว่างสูงสุด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าโคมไฟนี้จะใช้กำลังไฟฟ้าเพียงแค่ 70% หรือคิดเป็น $36 \times 0.70 = 25.20$ วัตต์ เท่านั้น ก็จะทำให้ความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมมากกว่า 30 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ แล้ว

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาโคมไฟแอลอีดีกำลังสูงสำหรับรักษาภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิด ให้แสงที่มีค่าความยาวคลื่นประมาณ 450-460 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงที่ใช้ในการรักษาที่ดีที่สุด สามารถใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าทั้งกระแสสลับแรงดัน 220 โวลต์ และกระแสตรงแรงดัน 12 โวลต์ ซึ่งจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโซล่าเซลล์หรือรถพยาบาลฉุกเฉินได้และมีการระบบป้องกันการต่อแหล่งจ่ายสลับชั่วคราว ใช้กำลังไฟฟ้าเพียง 25.20 วัตต์ เท่านั้น ก็จะได้ค่าความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมโดยเฉลี่ยมากกว่า 30 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ ที่ระยะห่างระหว่างตัวโคมไฟและทารก 30 เซนติเมตร สามารถปรับระดับความเข้มแสงได้ตามต้องการของแพทย์ผู้ทำการรักษา มีระบบระบายความร้อนด้วยพัดลมแบบอัตโนมัติ ใช้จอแสดงผลแบบแอลซีดีสามารถแสดงค่าความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมระยะเวลาสะสมที่ใช้งานหลอดไฟแอลอีดี อุณหภูมิภายในตัวโคมไฟ สถานะการทำงานของพัดลมระบายความร้อน วันและเวลาปัจจุบันขณะกำลังใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้การสนับสนุนในการเข้าร่วมงานประชุมทางวิชาการ ECTI-CARD 2017 และขอขอบคุณคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา และโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา ที่อนุญาตให้ใช้สถานที่และบุคลากรในการช่วยเก็บข้อมูลงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- เกรียงศักดิ์ จีระแพทย์ และ วิธมา จีระแพทย์. (2540). ประสิทธิภาพของเครื่องส่องไฟศิริราช ในการลดระดับบิลิรูบินในพลาสมา. *วารสารกุมารเวชศาสตร์ โรงพยาบาลศิริราช*. 3(4), 284-290.
- จรรยา เวชพงษ์ และ ประเสริฐ สุวรรณอุดมลาภ. (2558). *สิทธิบัตรไทย เลขที่ 1503001073*. กรุงเทพฯ: กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์.
- ธวัช แก้วกัณฑ์. (2558). *สิทธิบัตรไทย เลขที่ 1503001132*. กรุงเทพฯ: กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์.
- บุษบา บุญกระโทก, รัตนา ร่องทองกุล, ศิรินารถ ศรีกาญจนเพชร, และ สุนทรี น้าใจทหาร. (2550). ความเครียดและพฤติกรรมการเผชิญของมารดาที่มีบุตรตัวเหลืองซึ่งได้รับการส่องไฟรักษาที่โรงพยาบาลศรีนครินทร์. *ศรีนครินทร์เวชสาร*, 2(2), 133-138.
- สถิตีหอผู้ป่วยทารกแรกเกิด สถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี. (2551). *สถิตีทารกแรกเกิด ตัวเหลืองปี พ.ศ. 2548-2550*. กรุงเทพฯ: สถิตีหอผู้ป่วยทารกแรกเกิด สถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี.
- อรุณี เจตศรีสุภาพ. (2560). *ภาวะตัวเหลืองในเด็กแรกเกิดและเด็กเล็ก (Neonatal hyperbilirubinemia / Neonatal jaundice)*. สืบค้นเมื่อ 17 เมษายน 2561, จาก <http://haamor.com/th/ภาวะตัวเหลืองในเด็ก/>.
- Ambalavanan N. R. & Carlo W. A. (2016). *Jaundice and Hyperbilirubinemia. Nelson Textbook of Pediatrics*. 20th ed. Philadelphia (US): ELSEVIER, 2016. pp. 871-875.
- American Academy of Pediatrics (AAP, 2004). *Section on Bilirubin Screening and Management of Hyperbilirubinemia*.

- Atkinson, L. R., Escobar, G. J., Takayama, J., & Newman, T. B. (2003). Phototherapy use in jaundiced newborns in a large managed care organization: Do clinician adhere to the guidelines?. *Pediatrics*, *111*, 555-561.
- Tiwari, N., Jha, S., & Beniwal N. (2016). *GE Lullaby LED Phototherapy System*. Retrieved March 10, 2018, from <http://www.colmed.in/pediatrics-accessories/ge-lullaby-led-phototherapy-system.html>