



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนาชุดคอมพิวเตอร์ดีสำหรับรักษาทารกตัวเหลืองด้วยระบบสมองฝังตัว

Development of LED Phototherapy for Neonatal Jaundice with Embedded System

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรรัตน์ วัฒนมงคล

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 256101A1080057

สัญญาเลขที่ 17/2561

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนาชุดคอมพิวเตอร์สำหรับรักษาทารกตัวเหลืองด้วยระบบสมองฝังตัว

Development of LED Phototherapy for Neonatal Jaundice with Embedded System

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรรตน์ วัฒนมงคล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 17/2561

ทีมผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสาขาวิชากุมารเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทำงานวิจัย นอกจากนี้แล้ว ทีมผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บริหาร ทีมแพทย์ พยาบาล และบุคลากรทุกคน ประจำโรงพยาบาล พหลพลพยุหเสนา อ.เมือง จ.กาญจนบุรี ที่ได้อนุญาตและให้ความช่วยเหลือโครงการวิจัยนี้ในการนำคอมพิวเตอร์ไปทดสอบรักษาทารกตัวเหลืองจนสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลการรักษาได้สำเร็จ

ขอขอบคุณผู้ปกครองและทารกผู้มีภาวะตัวเหลืองทุกรายที่เข้าร่วมเป็นอาสาสมัครเข้ารับการทดสอบรักษาในโครงการวิจัย ซึ่งผลข้อมูลผลการรักษาที่เกิดขึ้นทั้งหมดในโครงการวิจัยนี้จะช่วยเป็นข้อมูลยืนยันประสิทธิภาพการรักษาของคอมพิวเตอร์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ผลสรุปของโครงการวิจัยส่วนหนึ่งผู้วิจัยจะได้นำไปเผยแพร่ในบทความวิจัย งานประชุมวิชาการ และสังคม เพื่อให้เกิดการรับรู้และการนำไปใช้ประโยชน์ในวงกว้างต่อไป

บทคัดย่อ

ปัจจุบันโรงพยาบาลในประเทศไทยหลายแห่งได้นำเอาโคมไฟแอลอีดีมาใช้ในการรักษาภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิด แต่เนื่องจากโคมไฟนี้นำเข้ามาจากต่างประเทศจึงมีราคาสูงถึงหลักแสนบาท รวมถึงมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสูง และหากเครื่องเกิดการชำรุดเสียหายต้องใช้เวลาารับบริการนาน ส่งผลให้โรงพยาบาลหลายแห่งในประเทศไทยขาดแคลนเครื่องมือชิ้นนี้อยู่เป็นจำนวนมาก และเกิดความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงการรักษาพยาบาลของคนไทยด้วย

คณะผู้วิจัยจึงได้นำเสนอการพัฒนาชุดโคมไฟแอลอีดีสำหรับรักษาทารกตัวเหลืองด้วยระบบสมองกลฝังตัวที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำและมีประสิทธิภาพในการรักษาเทียบเท่ากับโคมไฟแอลอีดีที่นำเข้าจากต่างประเทศ โคมไฟแอลอีดีที่พัฒนาขึ้นใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ ผ่านตัวแปลงไฟฟ้ากระแสสลับแรงดัน 220 โวลต์ ใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 54 วัตต์ สามารถควบคุมการทำงานแบบไร้สายได้ นอกจากนี้ยังมีหน้าจอบ่งชี้ค่าความเข้มแสงเชิงสเปกตรัม อุณหภูมิภายในโคมไฟ เวลาการใช้งานสะสมของหลอดแอลอีดีวันและเวลาในปัจจุบัน โคมไฟนี้ได้ผ่านการรับมาตรฐานจากสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ให้ค่าความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมสูงสุดเท่ากับ $87.0 \pm 3.1 \text{ uw/cm}^2/\text{nm}$ ที่ระยะห่างจากตัวโคมไฟ 30 เซนติเมตร ที่มีค่าความยาวคลื่นเท่ากับ 456.15 ± 0.3 นาโนเมตร ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานการรักษาทางการแพทย์สากล

โครงการวิจัยได้นำโคมไฟแอลอีดีที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบรักษาทารกตัวเหลืองจำนวน 50 เคส ณ โรงพยาบาลพหลพลพยุหเสนา อ.เมือง จ.กาญจนบุรี แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการรักษาของโคมไฟแอลอีดียี่ห้อ Fanem รุ่น Biltron 3006 ซึ่งนำเข้าจากต่างประเทศและนิยมนำมาใช้งานในโรงพยาบาลหลายแห่งในประเทศไทย ผลการทดสอบพบว่าอัตราการลดลงของบิลิรูบิน (ซึ่งเป็นพารามิเตอร์หลักในการประเมินประสิทธิภาพการรักษา) มีค่าสูงกว่า อย่างไรก็ตาม พารามิเตอร์บางตัวอาจบ่งชี้ถึงสาเหตุได้ไม่ชัดเจนเพราะมีปัจจัยอื่นๆ มาเกี่ยวข้อง

คำสำคัญ: ภาวะตัวเหลือง, วิธีการส่องไฟ, ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ, ระบบสื่อสารระหว่างสรรพสิ่ง

Abstract

Nowadays, many hospitals in Thailand use the LED phototherapy to treat jaundice in newborns. But since this lamp is imported from abroad, the price is up to hundred thousand baht. Including high maintenance costs and if the device is damaged, it takes a long time to service. Many hospitals in Thailand is lacking this equipment a lot and there is a disparity in access to medical care of Thai's people

The team researchers therefore proposed the development of LED phototherapy for Neonatal Jaundice with embedded system that it has low production costs and provides the same treatment efficiency as the LED lamps which imported from abroad. The developed LED lamp uses a 12 VDC source through adapter 220 VAC, using a maximum power of 54 watts, wireless control of light intensity. It has LCD display to show the spectrum irradiance, internal temperature, accumulated usage time of the LED tube and the current date and time. This lamp has been certified by the National Institute of Metrology (NIM) Thailand. The maximum spectrum irradiance is $87.0 \pm 3.1 \text{ uw /cm}^2\text{/nm}$ at a distance of 30 cm from the LED lamp with a wavelength of $456.15 \pm 0.3 \text{ nm}$, which is in accordance with international medical standards.

The research project led the developed LED lamp to testing with 50 jaundice in newborns at Phahon Phon Phayuhaseana Hospital, Muang District, Kanchanaburi Province. The results were compared with the treatment results of the LED lamp, Fanem Bilitron 3006 model which imported from abroad and widely used in many hospitals in Thailand. From the treatment results showed that the decreasing rate of bilirubin (which is the main parameter in evaluating treatment efficiency) is higher than that of Bilitron 3006 model. However, some parameters may not be able to clearly identify the cause because there are other factors involved.

Keyword : Neonatal hyperbilirubinemia, phototherapy, autonomous control system, internet of things system

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	2
บทคัดย่อ.....	3
Abstract.....	4
สารบัญเรื่อง.....	5
สารบัญตาราง.....	7
สารบัญภาพ.....	8
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	10
บทที่ 1 บทนำ.....	11
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	12
1.2 วัตถุประสงค์.....	12
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	13
1.4 แผนการดำเนินงาน.....	13
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	14
บทที่ 2 ทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และอุปกรณ์.....	16
2.1 ปัญหาของภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิด.....	16
2.2 คุณลักษณะของเครื่องส่องไฟรักษาทารกตัวเหลือง.....	22
2.3 หลักการควบคุมการทำงานของหลอดแอลอีดีด้วยระบบสมองกลฝังตัว.....	24
2.4 คุณลักษณะของหลอดแอลอีดีและหลอดแอลอีดีกำลังสูง.....	27
2.5 เครื่องส่องไฟแอลอีดีรุ่น Bilitron 3006.....	29
บทที่ 3 การพัฒนาเครื่องส่องไฟไฟแอลอีดีด้วยระบบสมองกลฝังตัว.....	30
3.1 การออกแบบโครงสร้างและติดตั้งเครื่องส่องไฟแอลอีดี.....	30
3.2 การออกแบบวงจรไฟฟ้าและฟังก์ชันการทำงานเครื่องส่องไฟแอลอีดี.....	32
3.3 ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องส่องไฟแอลอีดี.....	38
3.4 การออกแบบส่วนควบคุมการทำงานแบบไร้สายด้วยระบบสมองกลฝังตัว.....	41
3.5 คุณสมบัติและวิธีการใช้งานเครื่องส่องไฟแอลอีดี.....	43
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ.....	46
4.1 การทดสอบและผลการสู่มวัดความเข้มแสงเชิงสเปกตรัม.....	46
4.2 การควบคุมการทำงานของเครื่องส่องไฟแบบไร้สายผ่านเครือข่าย NETPIE.....	51

สารบัญ (ต่อ)

4.3 การทดสอบและผลการทดสอบ ณ โรงพยาบาลพหลพลพยุหเสนา.....	54
4.4 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการรักษา.....	57
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินโครงการวิจัย.....	65
5.1 สรุปและเสนอแนะเกี่ยวกับการวิจัยในขั้นตอนต่อไป.....	65
5.2 ประโยชน์ในทางประยุกต์ของผลการวิจัยที่ได้.....	63
5.3 ผลผลิต (Output).....	63
รายงานการเงิน.....	62
เอกสารอ้างอิง.....	63
ภาคผนวก.....	66
ประวัตินักวิจัยและคณะ.....	86

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนดำเนินการวิจัย.....	15
2.1	เกณฑ์การจำแนก serum bilirubin ในทารกอายุครรภ์น้อยกว่า 35 สัปดาห์.....	19
2.2	ความแตกต่างของเทคโนโลยีของเครื่องส่องไฟรักษาทารกตัวเหลือง.....	23
4.1	ผลความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมจากการส่องวัตต์ในระยะ 30 เซนติเมตร.....	47
4.2	ผลความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมจากการส่องวัตต์ในระยะ 35 เซนติเมตร.....	48
4.7	ผลความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมจากการส่องวัตต์ในระยะ 40 เซนติเมตร.....	49
4.8	ผลความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมจากการส่องวัตต์ในระยะ 45 เซนติเมตร.....	50
4.9	ผลความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมจากการส่องวัตต์ในระยะ 50 เซนติเมตร.....	51
4.10	ปัจจัยส่วนบุคคลและข้อมูลการส่องไฟของทารกตัวเหลืองที่ทดสอบ.....	55
4.11	ข้อมูลสุขภาพของของทารกตัวเหลืองที่ทดสอบ.....	57
4.12	ข้อมูลการรักษาหลังการส่องไฟด้วยโคมไฟแอลอีดีที่พัฒนาขึ้น.....	57
4.13	ผลกระทบจากการส่องไฟด้วยโคมไฟแอลอีดีที่พัฒนาขึ้น.....	60
4.14	ผลรวมและค่าเฉลี่ยของปัจจัยต่าง ๆ	61
4.15	การเปรียบเทียบผลการรักษาทารกตัวเหลืองด้วยเครื่องส่องไฟแอลอีดีทั้งสองชนิด.....	64

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ภาวะตัวเหลือง (Jaundice) และภาวะสมองพิการ (Kernicterus)	16
2.2	กระบวนการกำจัดสารเหลือง (Bilirubin metabolism)	17
2.3	กลไกการเกิดสารเหลืองภายในม้าม (Spleen) และตับ (Liver).....	18
2.4	เกณฑ์การส่องไฟและเปลี่ยนถ่ายเลือดตามมาตรฐานสากล (AAP guideline).....	20
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดลงของบิลิรูบินกับปริมาณความเข้มแสงเชิงสเปกตรัม...	21
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมที่ระยะต่างๆ ของหลอดไฟแต่ละชนิด.....	22
2.7	เครื่องส่องไฟที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดแอลอีดีที่ใช้รักษาภาวะตัวเหลือง.....	23
2.8	แนวทางการรักษาด้วยวิธีการส่องไฟที่บ่งบอกความยาวคลื่นและระยะที่เหมาะสม.....	24
2.9	หลักการของ Pulse-width modulation (PWM) โดย arduino-info wikispaces, TES	25
2.10	การต่อระบบสมองกลฝังตัวเพื่อสร้าง PWM ไปควบคุมหลอดแอลอีดี.....	25
2.11	รูปแบบกลุ่มสมองกลที่ใช้ Arduino IDE.....	26
2.12	การต่อบอร์ดสมองกลฝังตัว Arduino Uno เข้ากับ MOSFET เพื่อควบคุมหลอดแอลอีดี	27
2.13	การคำนวณค่าทางไฟฟ้า เมื่อ MOSFET ได้รับสัญญาณจากระบบสมองกลฝังตัว.....	27
2.14	ตัวอย่างหลอดแอลอีดี (ซ้าย) และหลอดแอลอีดีกำลังสูง 3 วัตต์ (ขวา).....	28
2.15	เครื่องส่องไฟแอลอีดีรุ่น Bilitron 3006.....	29
3.1	การออกแบบโครงสร้างเครื่องส่องไฟแอลอีดีสำหรับรักษาภาวะตัวเหลือง.....	31
3.2	เปลือกเครื่องส่องไฟแอลอีดีที่ผลิตขึ้นในโครงการวิจัย.....	31
3.3	การออกแบบชุดขาตั้งเครื่องส่องไฟแอลอีดี.....	32
3.4	ขาตั้งเครื่องส่องไฟแอลอีดีที่สร้างขึ้น.....	32
3.5	องค์ประกอบของชุดควบคุมเครื่องส่องไฟสำหรับรักษาภาวะทารกตัวเหลือง.....	34
3.6	วงจรควบคุมในส่วนต่างๆ ของระบบสมองกลฝังตัว.....	36
3.7	การออกแบบวงจร Aluminum PCB และการวางตำแหน่งวงจรหลอดแอลอีดี.....	37
3.8	ลายวงจรของชุดสมองกลฝังตัว และ Aluminum PCB.....	37
3.9	ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ต่างๆ ลงบนแผ่นวงจร.....	39
3.10	เครื่องส่องไฟต้นแบบที่ประกอบเสร็จพร้อมนำไปใช้งาน.....	40
3.11	ขั้นตอนการทดสอบการทำงานของเครื่องส่องไฟแอลอีดี.....	40
3.12	ฟังก์ชันการทำงานของชุดคำสั่งโปรแกรมภายในเครื่องส่องไฟ.....	41
3.13	ฟังก์ชันการทำงานย่อยของ Sensor reading & Program process.....	42
3.14	ฟังก์ชันการทำงานย่อยของ NETPIE (IoT Data Recording).....	43
3.15	ตำแหน่งต่างๆ บนเครื่องส่องไฟแอลอีดีและขาตั้ง.....	45

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
4.1	สเกลแบบจำลองพื้นที่ตกกระทบของแสง 15 ช่อง.....	46
4.2	การวัดระยะห่างของเครื่องส่องไฟจนถึงแบบจำลองพื้นที่ตกกระทบของแสง.....	47
4.3	การควบคุมความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมผ่านระบบ NETPIE	52
4.4	ผลการควบคุมความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมผ่านระบบ NETPIE.....	53
4.5	การแจ้งเตือนผ่าน Line Notify และบันทึกค่าลง Datalogger.....	53
4.6	การนำเครื่องส่องไฟแอลอีดีไปทดสอบ ณ โรงพยาบาลพลพลพยุหเสนา.....	63

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

คำย่อ	คำเต็ม
LED	Light-emitting diode
AAP	American Academy of Pediatric
PWM	Pulse Width Modulation
UDPG-T	uridine diphosphate glucuronic transferase
IGBT	Insulated-Gate Bipolar Transistor
ADC	Analog to digital converter
NTP	Network Time Protocol
NETPIE	Network Platform for Internet of Everything
G6PD	Glucose-6-phosphate dehydrogenase
Rh	Rhesus blood group
ABO	ABO blood group

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ทารกแรกเกิดส่วนใหญ่จะได้รับการดูแลอย่างใกล้ชิดเป็นเวลา 24 – 72 ชั่วโมง ก่อนที่มารดาจะนำทารกกลับไปเลี้ยงดูที่บ้าน จากการศึกษาพบว่าทารกแรกเกิดมักเกิดภาวะแทรกซ้อนที่พบได้บ่อย คือภาวะตัวเหลือง (Jaundice) ซึ่งอาการตัวเหลืองของทารกเกิดจากสารสีเหลืองที่เรียกว่า “บิลิรูบิน (Bilirubin)” ในเลือดสูงกว่าปกติ มีสาเหตุมาจากเม็ดเลือดแดงของทารกที่หมดอายุซึ่งจะถูกทำลายที่ตับและม้าม เมื่อเม็ดเลือดแดงแตก สารสีเหลืองบิลิรูบินในเลือดจะถูกปล่อยออกมา แต่เนื่องจากตับของทารกยังทำหน้าที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้การขับถ่ายสารสีเหลืองออกจากร่างกายไม่ดีเท่าที่ควร จึงทำให้สารสีเหลืองคั่งค้างอยู่ในร่างกายมากขึ้นและจับตามผิวหนัง ทำให้มองเห็นผิวหนังทารกเป็นสีเหลือง ถ้าระดับบิลิรูบินสูงมากทำให้เด็กมีอาการทางสมองจากภาวะตัวเหลืองได้ (Kernicterus) และถ้าบิลิรูบินสูงเกิน 20 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ อาจมีผลต่อการได้ยินของเด็ก เหตุผลเหล่านี้จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องให้ความสนใจและรักษาโรคภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิดเพื่อลดภาวะแทรกซ้อนดังกล่าว จากการเก็บข้อมูลย้อนหลัง 3 ปี (2553-2555) (เวชสถิติ, 2553-2555) มีจำนวนทารกหลังเกิดที่มีภาวะตัวเหลืองทั้งหมด 80 คน จากทารกทั้งหมด 435 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 18.39 และมีอัตราการส่งต่อ 5 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 5 ของทารกตัวเหลืองทั้งหมด ซึ่งเป็นอันดับ 1 ของภาวะแทรกซ้อนของทารกหลังเกิดทั้งหมด การดูแลทารกตัวเหลืองอย่างมีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญในการลดภาวะแทรกซ้อนของโรค ลดอัตราการส่งต่อ ลดระยะเวลาในการรักษา และลดความวิตกกังวลของพ่อแม่

ทางการแพทย์กุมารเวชศาสตร์ มีวิธีในการรักษา 3 วิธีคือ 1) การส่องไฟ (phototherapy) เป็นการรักษา indirect hyperbilirubinemia เนื่องจากแสงไฟสามารถจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของโมเลกุลของบิลิรูบิน ทำให้เกิด isomerization ของ unconjugated บิลิรูบินซึ่งปกติละลายน้ำไม่ได้ให้กลับกลายเป็นสารที่ละลายน้ำได้ สามารถขับถ่ายสารนี้ได้ทางปัสสาวะและทางอุจจาระโดยออกมทางน้ำดี โดยความยาวคลื่นที่ดีที่สุดที่ใช้รักษาคือ 458 นาโนเมตร อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติจะนิยมใช้ความยาวคลื่นจำเพาะในช่วง 450-460 นาโนเมตร เพราะสามารถทะลุชั้นผิวหนังของทารกได้ดีกว่า และจะต้องมีความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมสูงกว่า $30 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ ขึ้นไป ที่ระยะห่างระหว่างตัวโคมกับทารกประมาณ 30-50 เซนติเมตร เพื่อให้แพทย์หรือพยาบาลสามารถทำการรักษาได้ในขณะยังเปิดโคมไฟ 2) การเปลี่ยนถ่ายเลือด (Blood exchange transfusion) เป็นการรักษาทารกที่มีตัวเหลืองที่ได้ผลเร็วที่สุดและมีประสิทธิผลสูงสุด โดยมีหลักการคือการนำเอาเลือดของทารกที่มีค่าบิลิรูบินเท่ากับค่าปกติในผู้ใหญ่มาเปลี่ยนกับเลือดของทารกที่มี hyperbilirubinemia แต่ต้องทำโดยใช้ปริมาณน้อย ๆ และทำหลาย ๆ ครั้ง เพื่อไม่ให้ทารกได้รับหรือสูญเสียเลือดที่ละมากเกินไป จนมีการเปลี่ยนแปลงของระบบหมุนเวียนโลหิต ดังนั้นเพื่อให้การเปลี่ยนเลือดได้ผลดี เราจึงต้องใช้จำนวนเลือดที่จะใช้เปลี่ยนให้มากเป็น 2 เท่าของปริมาณเลือดของทารกซึ่งจะต้องทำการรักษาโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญเพราะอาจจะเกิดอันตรายต่อทารกได้ 3) การรักษาด้วยยา (Pharmacological agents) เช่น การให้ยา Phenobarbital แก่ทารกเพื่อต้องการให้ปริมาณบิลิรูบินลดลง แต่อาจจะเกิดผลข้างเคียงเกิดขึ้นและยา

บางตัวต้องใช้วิธีการเปลี่ยนถ่ายเลือดรวมด้วย อย่างไรก็ตาม สำหรับวิธีการส่องไฟ (Phototherapy) มีความเสี่ยงในการรักษาน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ และให้ผลการรักษาดี นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายอย่างต่อเนื่อง และมีผลกระทบต่อทารกแรกเกิดน้อยกว่า ซึ่งแพทย์มักจะเลือกใช้วิธีการรักษานี้ก่อน เว้นแต่ทารกจะไม่สามารถรักษาด้วยวิธีนี้ได้

ในปัจจุบันทั้งโรงพยาบาลของรัฐและโรงพยาบาลเอกชนหลายแห่งได้นำเอาโคมไฟมาใช้ในการรักษาภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิด แต่ก็ยังมีโรงพยาบาลหรือสถานพยาบาลอีกเป็นจำนวนมากที่ขาดแคลนเครื่องมือชิ้นนี้ เนื่องจากเครื่องมือมีราคาสูงถึงหลักแสนบาท ทำให้เครื่องส่องแสงไฟมีจำนวนไม่เพียงพอต่อการใช้งาน โคมไฟที่นิยมใช้มีต้นกำเนิดแสงมาจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้งแบบหลอดแสงขาวและหลอดแสงสีฟ้า แต่ประสิทธิภาพในการรักษาด้วยแสงยังมีข้อจำกัด เนื่องจากตัวหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้ความร้อนออกมาระหว่างการใช้งานซึ่งอาจทำให้ผิวหนังของทารกไหม้และมีไข้สูงจึงทำให้ไม่สามารถเพิ่มความสว่างของไฟเพื่อเร่งให้ปริมาณบิลิรูบินลดลงเร็วกว่าเดิมได้ อีกทั้งหลอดมีอายุการใช้งานสั้นต้องเปลี่ยนหลอดบ่อยครั้งและหลอดชนิดนี้ไม่สามารถควบคุมการปลดปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่นจำเพาะได้จึงเกิดแสงช่วงคลื่นอื่น ๆ ที่ไม่จำเป็นต่อการรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รังสีเหนือม่วง (Ultraviolet) อาจส่งผลให้ผิวหนังของทารกไหม้หรือมีไข้สูงตามมาได้

คณะผู้วิจัยจึงได้นำเสนอการพัฒนาชุดโคมไฟแอลอีดีสำหรับรักษาทารกตัวเหลืองด้วยระบบสมองกลฝังตัวที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำและมีประสิทธิภาพในการรักษาเทียบเท่ากับโคมไฟแอลอีดีอื่นๆ ที่ใช้ในโรงพยาบาลทั่วไป สามารถนำไปใช้งานร่วมกับตู้อบ (Incubator) หรือวางทารกลงบนคลิบ (Clip) ที่มีใช้กันอยู่ทั่วไปได้ มีชุดขาตั้งที่สามารถปรับระดับและทิศทางของตัวโคมไฟได้ตามต้องการ สามารถเคลื่อนย้ายหรือพกพาได้สะดวก นอกจากนี้ยังได้นำระบบสมองกลฝังตัวมาใช้ควบคุมการทำงานโคมไฟแอลอีดีได้อย่างอิสระผ่านสมาร์ตโฟน

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษา รวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อนำไปใช้ประกอบการออกแบบโคมไฟแอลอีดีกำลังสูงสำหรับรักษาภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิดที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำ สามารถปรับระดับความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมได้ สามารถใช้งานและเคลื่อนย้ายได้ง่าย มีหน้าจอบริการค่าความเข้มแสง
2. ออกแบบและสร้างโคมไฟแอลอีดีกำลังสูงสำหรับรักษาภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิด
3. โคมไฟแอลอีดีกำลังสูงสำหรับรักษาภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิดได้รับการรับรองมาตรฐานจากสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติที่เกี่ยวข้องกับแสงจากหลอดแอลอีดี
4. เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรักษาโดยการทดสอบจริงกับทารกที่มีภาวะตัวเหลืองกับผลการรักษากับโคมไฟแอลอีดีที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. สร้างโคมไฟแอลอีดีกำลังสูงสำหรับรักษาภาวะตัวเหลืองในทารกแรก พร้อมชุดขาตั้งโคมไฟแอลอีดีจำนวน 5 ชุด
2. โคมไฟแอลอีดีใช้งานกับแหล่งจ่ายไฟบ้านคือไฟฟ้ากระแสสลับ 220 VAC ตามปกติ ผ่านตัวแปลงไฟฟ้า (Adapter) นอกจากนั้นยังสามารถใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 VDC ได้โดยตรง ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าต่ำจึงช่วยลดอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นในระหว่างใช้งาน
3. ระดับความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมสูงสุด (Peak spectral irradiance) ของหลอดแอลอีดีจะต้องอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 450-460 นาโนเมตร ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในการรักษาที่ดีที่สุด
4. ให้ค่าความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมสูงกว่า $30 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ ที่ระยะห่างระหว่างโคมไฟกับทารกประมาณ 30 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระยะมาตรฐานที่แพทย์ใช้ในการรักษา
5. ทดสอบโดยใช้โคมไฟที่พัฒนาขึ้นรักษาทารกที่มีภาวะตัวเหลืองจำนวน 50 เคส เพื่อเก็บรวบรวมวิเคราะห์และเปรียบเทียบเพื่อประเมินผลการรักษากับโคมไฟแอลอีดีรุ่น Bilitron 3006 (Fanem, Sao Paolo, Brazil) ที่ได้มีการศึกษาและข้อมูลเปิดเผยอย่างเป็นทางการแล้ว

1.4 แผนดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลต่างๆ เพื่อกำหนดเป็นปัญหาของโครงการวิจัยที่เกิดขึ้นจากความต้องการของแพทย์ผู้เชี่ยวชาญด้านกุมารเวชศาสตร์และมาตรฐานการรักษาที่เป็นสากล จนค้นพบแนวทางที่นำไปสู่การสร้างชุดโคมไฟแอลอีดีกำลังสูงที่ใช้รักษาภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิด
2. ออกแบบและสร้างชุดโคมไฟแอลอีดี ตามหลักการหรือทฤษฎีทางวิศวกรรมและมาตรฐานการรักษาของแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ โดยคำนึงถึงความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานและผู้รับการรักษาเป็นหลัก
3. สร้างแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลการรักษาและดำเนินการขอเอกสารการพิจารณารับรองจริยธรรมการทำวิจัยในคน มหาวิทยาลัยบูรพา
4. ดำเนินการทดสอบรักษาทารกแรกเกิดที่มีภาวะตัวเหลืองเกณฑ์การคัดเลือก จำนวน 50 ราย ณ โรงพยาบาลพหลพลพยุหเสนา อ.เมือง จ.กาญจนบุรี
5. เกณฑ์การคัดเลือกเป็นผู้ร่วมวิจัย (Inclusion criteria) คือ 1) ทารกมีภาวะตัวเหลือง 2) ทารกต้องมียุครรภ์ไม่น้อยกว่า 35 สัปดาห์ และ 3) ผู้ปกครองยินยอม
6. เกณฑ์การคัดออก (Exclusion criteria) คือ 1) ทารกที่ต้องอยู่ในตู้อบ (Incubator) 2) ทารกที่ต้องส่องไฟด้วยโคมไฟทั้งด้านบนและล่าง (Double phototherapy) ตั้งแต่เริ่มแรก 3) ทารกที่ต้องได้รับการเปลี่ยนถ่ายเลือด (Exchange transfusion) ตั้งแต่เริ่มแรก
7. ผู้วิจัยทำการคัดเลือกทารกแรกเกิดที่มีคุณสมบัติเข้าได้กับเกณฑ์การคัดเลือกเป็นผู้ร่วมวิจัย จากนั้นผู้วิจัยจะขอความยินยอมจากผู้ปกครองเป็นลายลักษณ์อักษร
8. พิจารณาให้การรักษาทารกด้วยโคมไฟแอลอีดีที่สร้างขึ้นโดยมีแนวทางดังนี้
 - 1) อ้างอิงตามเกณฑ์การส่องไฟและเปลี่ยนถ่ายเลือดตามมาตรฐานสากล (AAP guideline)

- 2) ระยะห่างระหว่างคอมไฟจนถึงตัวทารกประมาณ 30 เซนติเมตร
 - 3) ถอดเสื้อผ้าทารกออก นุ่งเพียงผ้าอ้อม
 - 4) ปิดตาของทารกด้วยวัสดุทึบแสง
 - 5) ขณะทำการส่องไฟจะต้องคลุมรอบคอมด้วยผ้าสีขาวหรือสีฟ้า
 - 6) ควบคุมอุณหภูมิห้องที่ 28-30 °c
 - 7) วัดสัญญาณชีพทุก 3-4 ชั่วโมง โดยเป็นการวัดอุณหภูมิกายทางรักแร้
 - 8) เจาะเลือดติดตามผลทุก 6-24 ชั่วโมง และติดตามหลังหยุดส่องไฟอีก 6-12 ชั่วโมง ถัดมา
 - 9) หยุดส่องไฟเมื่อค่าพลาสมาบิลิรูบินต่ำกว่าเกณฑ์การส่องไฟติดต่อกัน 2 ครั้ง
 - 10) การเก็บข้อมูลผู้วิจัยบันทึกข้อมูลพื้นฐานของผู้ป่วย อุณหภูมิกาย ความต้องการกลับไปส่องไฟซ้ำ ความต้องการส่องไฟด้วยคอมส่องด้านบนและล่าง (Double phototherapy) ความต้องการเปลี่ยนถ่ายเลือด (Exchange transfusion) ผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการระดับบิลิรูบินก่อนและหลังจากหยุดการส่องไฟ
9. การวัดผลผลลัพธ์หลักคืออัตราการลดลงของบิลิรูบินในพลาสมา ความต้องการกลับไปส่องไฟซ้ำ ความต้องการส่องไฟด้วยคอมส่องด้านบนและล่าง (Double phototherapy) และการเปลี่ยนถ่ายเลือด (Exchange transfusion) ผลลัพธ์รองคือความชุกของอุณหภูมิกายต่ำ และอุณหภูมิกายสูง โดยนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากคอมแอลอีดีรุ่น Bilitron 3006 (Fanem, Sao Paolo, Brazil) ที่ได้มีการศึกษาและข้อมูลเปิดเผยอย่างเป็นทางการแล้ว
10. นำชุดคอมไฟแอลอีดีที่ใช้รักษาภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิดไปแจกจ่ายตามสถานพยาบาลต่างๆ ที่ขาดแคลนและมีความต้องการ พร้อมทั้งถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับการใช้งานและประสิทธิภาพการทำงานของชุดคอมไฟแอลอีดีให้กับบุคลากรทางการแพทย์ที่ทำการรักษา
11. จัดทำรายงานผลการดำเนินโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์เพื่อใช้ประกอบการขอปิดโครงการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดงบประมาณในการจัดซื้อเครื่องมือทางการแพทย์จากต่างประเทศที่มีราคาสูง
2. ช่วยลดความเหลื่อมล้ำในเข้าถึงบริการรักษาพยาบาลขั้นพื้นฐานและเพิ่มความสะดวกในการเดินทางให้กับผู้ป่วย
3. สามารถลดเวลาและลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง ในการซ่อมแซม หากเกิดการชำรุดเสียหาย ต่างๆ เนื่องจากนักวิจัยไทยเป็นผู้พัฒนาขึ้นมาใช้ด้วยตัวเอง
4. สามารถผลิตบัณฑิตในระดับปริญญาตรี (ในสาขาที่เกี่ยวข้อง) คณะวิศวกรรมศาสตร์
5. ได้รับการตีพิมพ์ผลงานวิจัยเผยแพร่ทั้งในระดับชาติหรือนานาชาติ

ตารางที่ 1.1 แผนดำเนินการวิจัย

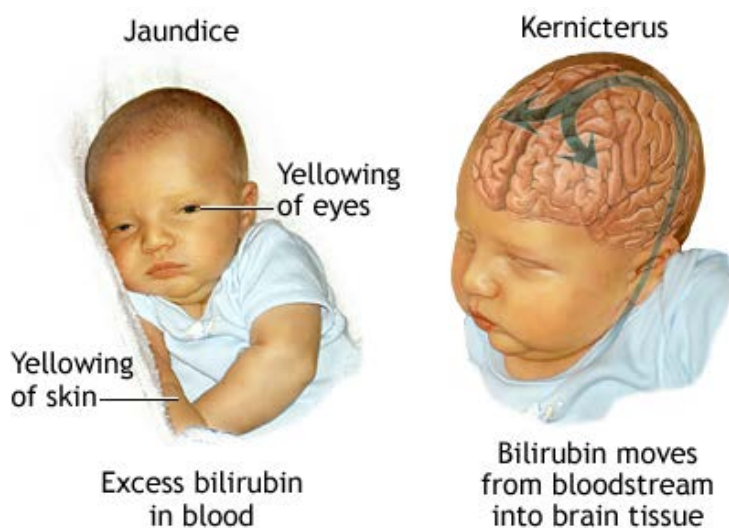
กิจกรรมหลัก	ช่วงระยะเวลาในการดำเนินงาน (เดือนที่)					
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
1. ออกแบบและสร้างโคมไฟแอลอีดีกำลังสูงสำหรับรักษาภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิด	←————→					
2. ดำเนินการจัดทำเอกสารต่างๆ เพื่อขอรับการพิจารณารับรองจริยธรรมการทำวิจัยในคน มหาวิทยาลัยบูรพา		←————→				
2. แก้ไขโคมไฟที่สร้างขึ้นจนสามารถใช้งานได้ตามที่ออกแบบไว้ แล้วจึงดำเนินการประสานงานพร้อมจัดประชุมชี้แจงโครงการวิจัยแก่บุคลากรทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง เพื่อดำเนินการทดสอบรักษาที่โรงพยาบาล พหลพลพยุหเสนา อ.เมือง จ.กาญจนบุรี			←————→			
3. ทดสอบและบันทึกผลการรักษาของโคมไฟแอลอีดีที่พัฒนาขึ้น นำไปทดสอบที่โรงพยาบาล พหลพลพยุหเสนา อ.เมือง จ.กาญจนบุรี เพื่อรักษาทารกแรกเกิดที่มีภาวะตัวเหลืองตามเกณฑ์การคัดเลือก จำนวน 50 ราย				←————→		
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรักษาระหว่างโคมไฟแอลอีดีที่พัฒนาขึ้นและผลการรักษาที่ได้จากโคมแอลอีดีรุ่น Bilitron 3006				←————→		
5. สรุปผลการวิจัย รวบรวมเอกสารทั้งหมด และจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ เพื่อใช้ประกอบการขอปิดโครงการวิจัย						←————→

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปัญหาของภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิด

ปัญหาของภาวะทารกตัวเหลือง (Neonatal hyperbilirubinemia) มักพบภาวะแทรกซ้อนได้บ่อย คือ ภาวะตัวเหลือง (Jaundice) เกิดจากจากสารสีเหลืองที่เรียกว่า unconjugated bilirubin หรือ บิลิรูบิน (Bilirubin) ในเลือดสูงกว่าปกติ สาเหตุเกิดจากเม็ดเลือดแดงของทารกที่หมดอายุ ปกติจะถูกทำลายที่ตับและม้าม เมื่อเม็ดเลือดแดงแตกทำให้สารบิลิรูบินถูกปล่อยออกมา แต่เนื่องจากอวัยวะที่ทำหน้าที่ทำลาย และขับสารบิลิรูบินออกจากร่างกายไม่ดีมากนัก ส่งผลให้สารดังกล่าวตกค้างในร่างกายและแสดงให้เห็นทางผิวหนังจนทารกเป็นสีเหลือง ถ้าระดับบิลิรูบินสูงมากอาจทำให้ทารกมีอาการทางสมอง เช่น สมองพิการ (Kernicterus) ที่อาจนำไปสู่การเสียชีวิตของทารกได้ (พิจารณาได้จากภาพที่ 2.1) ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องให้ความสนใจและรักษาโรคภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิดให้มีประสิทธิภาพ จากการเก็บข้อมูลของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ในปี พ.ศ. 2555 ถึง พ.ศ. 2558 ประชากรทารกหลังเกิดของทารกมีภาวะตัวเหลืองมาถึงร้อยละ 25 ถึง 50 ของจำนวนประชากรทารกทั้งหมด

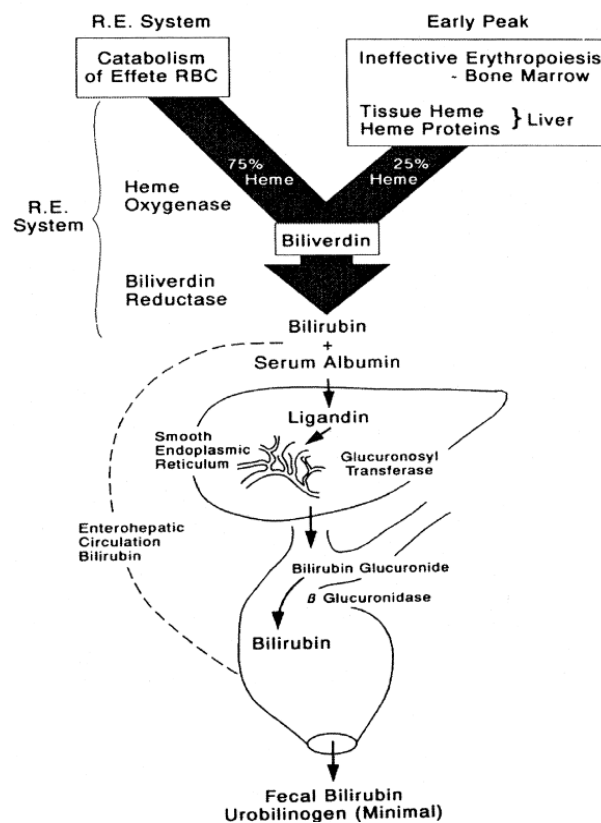


ภาพที่ 2.1 ภาวะตัวเหลือง (Jaundice) และภาวะสมองพิการ (Kernicterus)

(ที่มา : <https://sites.google.com/site/namfonhome24/xantray-cak-phawa-indirect-hyperbilirubinemia>)

ภาวะทารกตัวเหลืองที่แสดงออกทางผิวหนังที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า จัดเป็นกลุ่มที่พบเจอได้บ่อยที่สุดโดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับตัวทารก (Physiologic jaundice) และในกลุ่มของภาวะทารกตัวเหลืองมากกว่าปกติ (Pathologic jaundice) ที่เกิดจากเหตุต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาในขั้นต้น จึงต้องมีการจัดการและวินิจฉัยแยกทั้งสองกลุ่มให้เหมาะสมต่อการรักษาต่อไป กระบวนการกำจัดสารเหลือง (Bilirubin

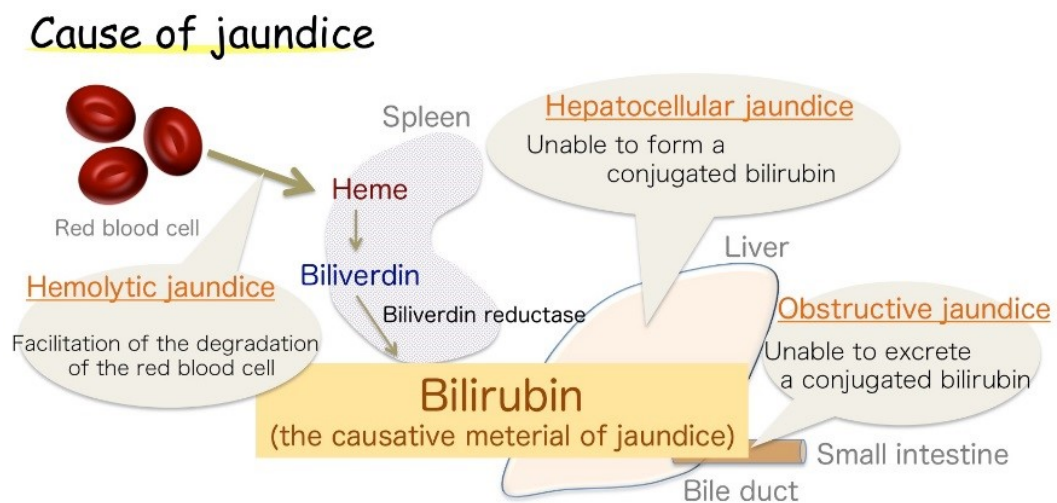
metabolism) นั้นจะมีความเกี่ยวข้องกับตับ และการกำจัดออกจากร่างกายของทารก unconjugated bilirubin เกิดจากการถูกทำลายของเม็ดเลือดแดงที่เสื่อมสภาพในระบบ Reticuloendothelial (RE system) และมีลำดับการกระบวนการคือ หากปริมาณของ unconjugated bilirubin ที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ ในกระแสเลือดมีมากขึ้นจะเกิดการจับตัวกับโปรตีน albumin ถูกส่งไปกำจัดที่ตับ ซึ่งจะมีหน้าที่ conjugate bilirubin หรือทำให้เกิด Isomerization ด้วยกลุ่มเอ็นไซม์ uridine diphosphate glucuronyl transferase (UDPG-T) แปลงสภาพโมเลกุลเป็น conjugated bilirubin ที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ จึงทำให้สามารถกำจัดสารเหลืองผ่านทางน้ำดีเข้าสู่ระบบลำไส้ จากนั้นกลุ่มแบคทีเรียในระบบลำไส้จะทำการแปลงสภาพโมเลกุลอีกครั้งก่อนกำจัดทางอุจจาระของทารก ซึ่งจะมีผลทำให้อุจจาระมีสีเหลืองเกิดขึ้น แต่หาก conjugated bilirubin ถูกกำจัดออกไม่ทันต่อปริมาณที่ถูกขับออกนั้น ในทารกจะมีกลุ่มเอ็นไซม์ beta glucuronidase ปริมาณมากตั้งแต่อยูในครรภ์ของมารดา และทารกแรกเกิด ทำการย้อนกระบวนการ isomerization ภายในลำไส้เปลี่ยนสารเหลืองกลับมาเป็น unconjugated bilirubin และดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดอีกครั้งหนึ่ง พิจารณาได้จากภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 กระบวนการกำจัดสารเหลือง (Bilirubin metabolism)

(ที่มา : Maisels MJ. Jaundice. In: MacDonald MG, Seshia MM, Mullett MD, eds. Neonatology pathophysiology and management of the newborn 6th ed. Philadelphia: Lippincott William & Wilkins, 2005: 768-846)

ภาวะตัวเหลืองที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับตัวทารก (Physiologic jaundice) ในกรณีของทารกแรกเกิดปกติทั่วไป เมื่อนำเลือดจากสายสะดือไปตรวจจะมีระดับของ unconjugated bilirubin ประมาณ 1.4-1.9 mg/dl และมีอัตราการเพิ่มขึ้นของสารดังกล่าวน้อยกว่าเท่ากับ 5 mg/dl อย่างค่อยเป็นค่อยไป โดยจะแสดงภาวะตัวเหลืองทางกายภาพทางผิวหนังให้เห็นได้ด้วยตา เมื่อระยะเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง และตัวเหลืองมากที่สุดภายในระยะเวลา 96-120 ชั่วโมงหลังจากออกจากครรภ์มารดา หากคลอดตามกำหนดอายุครรภ์ปริมาณสารเหลืองในเลือดจะอยู่ที่ 12-15 mg/dl และจะลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปจนเข้าสู่ภาวะไม่แสดงอาการตัวเหลืองประมาณ 2 สัปดาห์ แต่ในกรณีของทารกคลอดก่อนกำหนดปริมาณสารเหลือง จะเพิ่มจนถึงจุดสูงสุดประมาณ 1 สัปดาห์หลังคลอด และมีระดับที่สูงกว่าทารกที่คลอดตามกำหนด สาเหตุของการเกิด Physiologic jaundice ส่วนใหญ่เกิดจากที่ทารกมีการสร้างสารเหลืองมากกว่าผู้ใหญ่ มีความเข้มข้นของเลือด (hematocrit) สูงกว่าผู้ใหญ่ ทำให้จำนวนเม็ดเลือดแดงต่อหน่วยน้ำหนักตัวทารกมากขึ้น จึงก่อให้เกิดอัตราการเกิดสารเหลืองสูงขึ้น อายุของเม็ดเลือดแดงในทารกแรกเกิดประมาณ 90 วัน โดยที่ในผู้ใหญ่ประมาณ 120 วัน จึงทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเม็ดเลือดแดงมากขึ้น พบการสร้างเม็ดเลือดแดงที่ไม่สมบูรณ์ (ineffective erythropoiesis) มากกว่าผู้ใหญ่ รวมถึงกระบวนการแตกทำลาย ของ heme protein เกิดขึ้นเร็วกว่าการทำงานของตับในทารกยังไม่สมบูรณ์มากนัก จึงทำให้อัตราการขับสารเหลืองได้น้อยกว่าผู้ใหญ่ (Bilirubin metabolism) พิจารณาได้จากภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 กลไกการเกิดสารเหลืองภายในม้าม (Spleen) และตับ (Liver)

ภาวะทารกตัวเหลืองมากกว่าปกติ (Pathologic jaundice) จะเป็นกลุ่มที่ต้องแยกออกจากกลุ่มภาวะตัวเหลืองที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับตัวทารก ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างออกไป คือ แสดงอาการตัวเหลืองภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง มีอัตราการเพิ่มขึ้นของสารเหลืองมากกว่า 5 mg/dl หรือมากกว่า 0.2 mg/dl ต่อชั่วโมง ระดับของ conjugated bilirubin มีมากกว่า 2 mg/dl ปริมาณสารเหลืองในเลือดจะสูงกว่า 12-15 mg/dl โดยภาวะทารกตัวเหลืองมากกว่าปกติ สามารถแยกออกได้เป็น 2 กลุ่มย่อย คือ 1) Conjugated hyperbilirubinemia มีสาเหตุเกิดจากปัจจัยภายนอกเหนือจากการทำงานของตับ (extrahepatic) เช่น

choledochal cyst, biliary atresia และเกิดจากปัจจัยภายในของตับโดยตรง (intrahepatic) เช่น neonatal hepatitis เป็นต้น 2) Unconjugated hyperbilirubinemia จัดเป็นกลุ่มที่พบได้บ่อยโดยมีสาเหตุจากทารกคลอดก่อนกำหนด การสร้างสารเหลืองในปริมาณมาก และตับกำจัดสารเหลืองได้น้อยกว่าปกติ เกิดภาวะการล่มสลายตัวของเม็ดเลือดแดง (hemolysis) เช่น กลุ่มเลือดเข้ากันไม่ได้ (minor blood group incompatibility) หมู่ ABO หมู่ Rh และความบกพร่องของ G6PD deficiency การมีเลือดออกภายในร่างกายทารก เช่น cephalhematoma, hematoma หรือเกิดภาวะเลือดข้น (polycythemia)

วิธีการรักษาภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิด

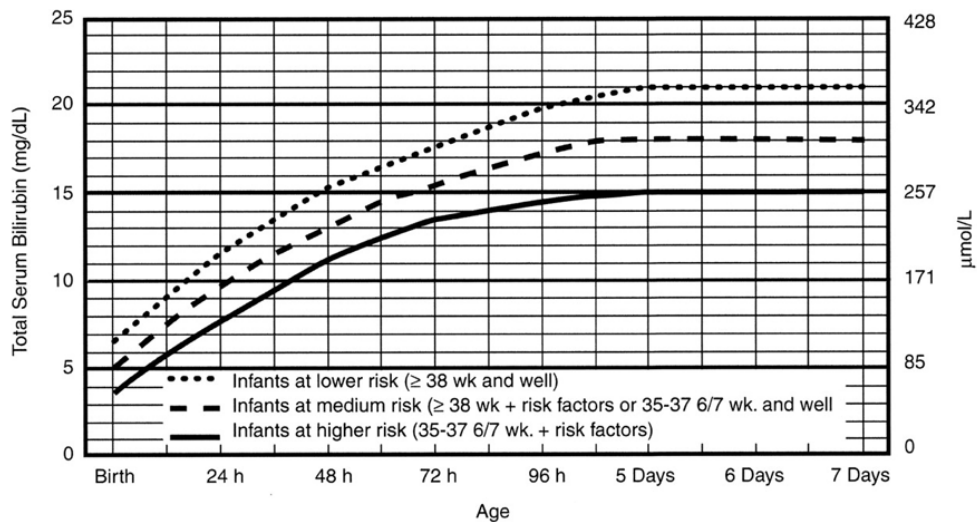
การรักษาภาวะตัวเหลืองชนิด unconjugated hyperbilirubinemia ในมียอยู่ 3 วิธี การส่องไฟ (phototherapy) การเปลี่ยนถ่ายเลือด (exchange transfusion) และการรักษาด้วยยา (pharmacological agents) [2] ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อลดปริมาณ unconjugated bilirubin ให้ต่ำกว่าเกณฑ์ในการเกิด bilirubin encephalopathy ตลอดจนลดโอกาสการเกิดภาวะแทรกซ้อนจากการรักษา เพื่อลดผลกระทบต่อตัวทารกและไม่ก่อให้เกิดการเสียชีวิตจากภาวะตัวเหลือง โดยจะกล่าวถึงวิธีการส่องไฟ (phototherapy) เท่านั้น

การรักษาทารกตัวเหลืองด้วยวิธีการส่องไฟ (phototherapy) การใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความคลื่นจำเพาะเจาะจงระหว่าง 450-460 นาโนเมตร ที่จะส่งผลต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลของบิลิรูบิน Isomerization ได้ชั้นผิวหนังของทารกจาก unconjugated bilirubin ไปเป็น conjugated bilirubin ที่สามารถละลายน้ำได้ดี และขับออกทางปัสสาวะและอุจจาระได้ แนวทางการพิจารณาการรักษาด้วยการส่องไฟนั้น พิจารณาจากภาพที่ 2.4 ในกรณีของทารกที่มีอายุครรภ์มากกว่า 35 สัปดาห์ให้พิจารณาตามอายุครรภ์และอายุหลังเกิดเป็นชั่วโมงตามหลักการรักษาตามเกณฑ์การส่องไฟและเปลี่ยนถ่ายเลือดตามมาตรฐานสากล (AAP guideline) แต่ในกรณีที่ทารกมีอายุครรภ์น้อยกว่า 35 สัปดาห์ หรือมีน้ำหนักตัวที่น้อยกว่าปกติให้พิจารณาหลักเกณฑ์ ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์การจำแนก serum bilirubin ในทารกอายุครรภ์น้อยกว่า 35 สัปดาห์

น้ำหนักตัว (กรัม)	Serum bilirubin level (mg/dl)	
	ทารกปกติ (uncomplicated)	ทารกป่วย (complicated)
< 1,000	12-13	10-12
1,001 - 1,250	12-14	10-12
1,251 - 1,499	14-16	12-14
1,500 - 1,999	16-20	15-17
2,000 - 2,500	20-22	18-20

Guidelines for phototherapy in hospitalized infants of 35 or more weeks' gestation. Note: These guidelines are based on limited evidence and the levels shown are approximations.



- Use total bilirubin. Do not subtract direct reacting or conjugated bilirubin.
- Risk factors = isoimmune hemolytic disease, G6PD deficiency, asphyxia, significant lethargy, temperature instability, sepsis, acidosis, or albumin < 3.0g/dL (if measured)
- For well infants 35-37 6/7 wk can adjust TSB levels for intervention around the medium risk line. It is an option to intervene at lower TSB levels for infants closer to 35 wks and at higher TSB levels for those closer to 37 6/7 wk.
- It is an option to provide conventional phototherapy in hospital or at home at TSB levels 2-3 mg/dL (35-50mmol/L) below those shown but home phototherapy should not be used in any infant with risk factors.

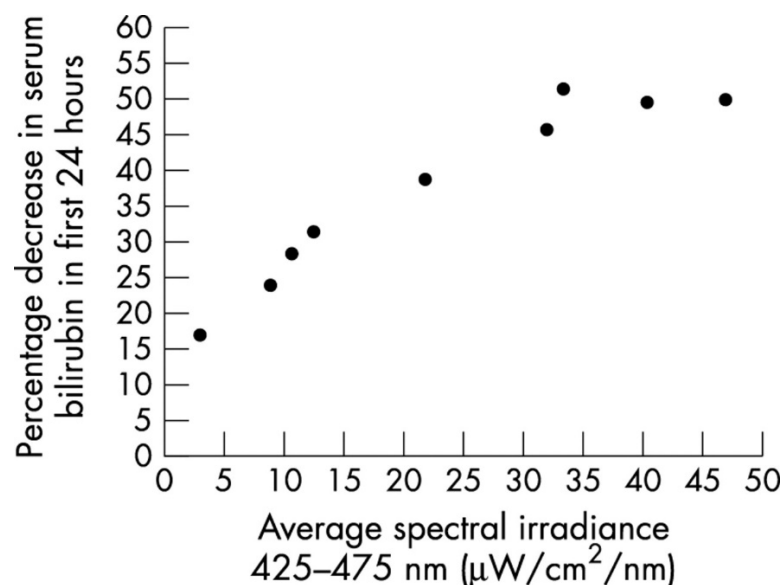
ภาพที่ 2.4 เกณฑ์การส่องไฟและเปลี่ยนถ่ายเลือดตามมาตรฐานสากล (AAP guideline)

แนวทางปฏิบัติในการรักษาด้วยวิธีการส่องไฟ

1. ใช้ผ้าทึบแสง หรือ ผ้าปิดตา (eye pad) ปกปิดดวงตาของทารกอย่างมิดชิด เพื่อป้องกันความเสียหายของจอประสาทตา (retina) เนื่องจากการเผาทำลายโดยแสงที่มีความเข้มสูงมาก พยายามลดการสวมใส่เสื้อผ้าให้ทารก เพื่อให้มีพื้นที่ผิวในการรับแสงได้มากที่สุด และตรวจวัดอุณหภูมิทุก ๆ 4 ชั่วโมง เพื่อเป็นการป้องกันภาวะอุณหภูมิร่างกายสูงหรือต่ำกว่าปกติ (hyperthermia or hypothermia)
2. ทารกจะต้องได้รับน้ำนม และของเหลวจำพวกน้ำมากกว่าปกติ ประมาณร้อยละ 30 เพื่อชดเชยน้ำที่สูญเสียไปจากการระเหยทางผิวหนัง และการขับออกทางปัสสาวะและอุจจาระ โดยมีการพิจารณาให้ของเหลวทางเส้นเลือดดำหากแสดงอาการขาดน้ำ (dehydrate) และชั่งน้ำหนักทารกทุกวัน เพื่อติดตามจำนวนรอบการถ่ายอุจจาระด้วย
3. ทำการเจาะเลือดทุก ๆ 12-24 ชั่วโมง เพื่อตรวจหาระดับ total serum bilirubin สำหรับทารกปกติ แต่ในกรณีที่มี total serum bilirubin สูงเข้าใกล้ 20 mg/dl ซึ่งอาจจะต้องทำการเปลี่ยนถ่ายเลือด (exchange transfusion) โดยให้ปรับมาเจาะเลือดทุก ๆ 4-6 ชั่วโมงแทน สาเหตุที่ต้องเจาะเลือดนั้นเมื่อทารกถูกส่องแสงในการรักษาจะไม่สามารถประเมินปริมาณ total serum bilirubin ด้วยการใช transcutaneous bilirubinometer ได้
4. ทำการส่องไฟรักษาแบบ Insensitive phototherapy ที่มีความยาวคลื่นจำเพาะเจาะลงช่วงแสงสีฟ้าจนถึงเขียว (Blue to green light) ในช่วงความยาวคลื่น 450 ถึง 460 นาโนเมตร จะให้ผลต่อการแปลงสภาพของ unconjugated bilirubin ไปเป็น conjugated bilirubin ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแสง

ที่มีความยาวคลื่นใกล้ 460 นาโนเมตร และจะต้องมีความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมสูงกว่า 30 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ ที่ระยะห่างระหว่างคอมไฟกับทารกประมาณ 30 เซนติเมตร โดยจะต้องมีอัตราการลดลงของ total serum bilirubin ขั้นต่ำ 0.5-1 mg/dl ต่อชั่วโมง ในระยะเวลา 4-8 ชั่วโมงแรก ในกรณีที่ใช้คอมไฟเครื่องเดียวจะเรียกว่า single photo หากใช้จำนวน 2 - 3 เครื่องจะเรียกว่า double photo และ triple photo ตามลำดับ เพื่อเร่งอัตราการลดลงของสารเหลืองให้เร็วขึ้น

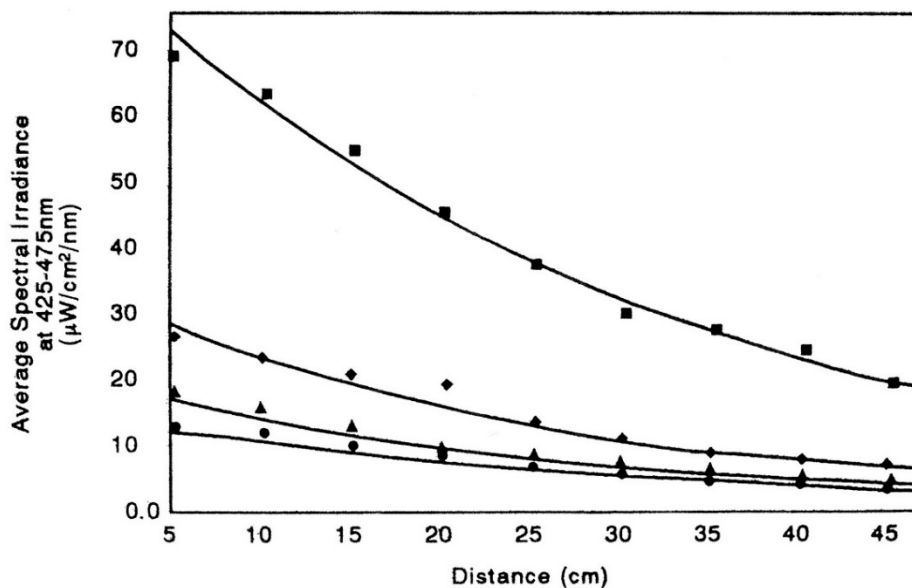
5. ตรวจสอบความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมด้วยมิเตอร์ที่ผ่านการสอบเทียบ เพราะคอมไฟแบบต้นกำเนิดแสงมาจากหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดแอลอีดีจะมีอัตราการเสื่อมสภาพของหลอดทำให้ความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมลดลง โดยมาตรฐานการส่องไฟจะต้องมีค่ามากกว่า 15-20 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ หรือการส่องไฟความเข้มสูงจะต้องมากกว่า 30 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ จะส่งผลให้การแปลงสภาพของ unconjugated bilirubin ไปเป็น conjugated bilirubin ได้ดี แต่เมื่อความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมมากกว่า 50 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ (maximum isomerization effective) จะมีผลน้อยมากต่ออัตราการลดลงของสารเหลือง สามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 2.5
6. ภาวะแทรกซ้อนจากการส่องไฟรักษาสามารถเกิดขึ้นได้หลายกรณี เช่น จอประสาทตาถูกทำลาย (Retinal damage) เนื่องจากความเข้มแสงที่สูง การเกิดผื่นแดงตามผิวหนัง (nonspecific erythematous rash) ผื่นไหม้จากความร้อนและรังสีอัลตราไวโอเล็ต และเกิดอาการทารกมีสีผิวคล้ำออกเขียวแถมน้ำตาล (Bronze Baby Syndrome) จากการส่องไฟที่มีรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นระยะเวลานาน
7. สำหรับข้อชี้บ่งในการหยุดการส่องไฟรักษาทารกตัวเหลือง (off-photo) หากปริมาณสารเหลืองในเลือดต่ำกว่า 13-14 mg/dL ถ้าหากหยุดการส่องไฟรักษาในทารกที่มีอายุน้อยกว่า 72-96 ชั่วโมง หรือทารกที่มีภาวะ hemolysis ร่วมด้วย จะต้องทำการเจาะเลือดตรวจปริมาณสารเหลืองซ้ำหลังจากหยุดส่องไฟใน 12-24 ชั่วโมง



ภาพที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดลงของบิลิรูบินกับปริมาณความเข้มแสงเชิงสเปกตรัม

2.2 คุณลักษณะของโคมไฟที่ใช้รักษาภาวะตัวเหลือง

การรักษาภาวะตัวเหลืองชนิด unconjugated hyperbilirubinemia ในมืออยู่หลายวิธี แต่การรักษาที่เกิดผลกระทบน้อยที่สุด คือการรักษาด้วยวิธีการส่องไฟ (Phototherapy) ซึ่งเป็นวิธีการที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อตัวทารกน้อยกว่าวิธีการอื่น ๆ ตลอดจนให้ผลการรักษาที่ดี โดยที่โคมไฟที่มีการใช้มากที่สุดในประเทศไทย มีต้นกำเนิดแสงมาจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ซึ่งจะมีข้อดีอยู่หลายประการ เช่น การคลายความร้อนออกมาจึงทำให้ทารกมิใช่สูง ส่งผลให้ไม่สามารถเพิ่มความเข้มของแสง เพื่อเร่งให้การเปลี่ยนรูปของบิลิรูบินลดลงเร็วที่สุด หลอดมีอายุการใช้งานสั้นต้องเปลี่ยนหลอดบ่อยครั้ง หากหลอดแตกจะทำให้เกิดเศษแก้ว และปล่อยไอปรอทออกมาเป็นอันตรายต่อมนุษย์ และหลอดไม่สามารถควบคุมการปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่นจำเพาะได้ จึงเกิดแสงช่วงคลื่นอื่น ๆ ที่ไม่จำเป็นต่อการรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รังสีเหนือม่วง (Ultraviolet) ที่ส่งผลทำให้ผิวหนังของทารกเกิดรอยไหม้ หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้ในโคมไฟมีหลายชนิด เช่น หลอด daylight fluorescent ที่มีราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย ใช้จำนวน 4-8 หลอด มีระยะห่างจากทารกจนถึงแผงหลอดไฟประมาณ 30 เซนติเมตร แต่จะประสิทธิภาพในการรักษาภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิดน้อยกว่าหลอด special blue fluorescent เช่น F20 T12BB by General Electrics (GE), TL52/20 W by Phillips และ FL18W/T8/DB หรือ deep blue lamp by Toshiba พิจารณาได้จากภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมที่ระยะห่างต่างๆ ของหลอดไฟแต่ละชนิด

- = ค่าของหลอดแสงสีฟ้า 20-W F20T12/BB tube by General Electrics (GE)
- ◆ = ค่าของหลอดแสงสีฟ้า 20-W F20T12/B tube by General Electrics (GE)
- ▲ = ค่าของหลอดแสงฟ้า 4 หลอด 20-W F20T12/B tube by General Electrics (GE) และเดย์ไลท์ 4 หลอด 20-W F20T12/D daylight tubes by Sylvania
- = ค่าของหลอดเดย์ไลท์ 20-W F20T12/D daylight tube by Sylvania

จากตารางที่ 2.2 จะเปรียบเทียบให้เห็นถึงความแตกต่างของเทคโนโลยีของโคมไฟรักษาทารกตัวเหลืองใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดแอลอีดีซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในโครงการงานวิจัยนี้ ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งในส่วนของระบบควบคุมการทำงานและความสามารถในการปรับแสง พิจารณาได้จากรูปที่ 2.7

ตารางที่ 2.2 ความแตกต่างของเทคโนโลยีของโคมไฟรักษาทารกตัวเหลือง

สิ่งที่พิจารณา	เทคโนโลยีที่ใช้ในปัจจุบัน	เทคโนโลยีที่ใช้
แหล่งกำเนิดแสง	หลอดฟลูออเรสเซนต์ขาว/น้ำเงิน	หลอดแอลอีดีกำลังสูง
ระบบควบคุมการทำงาน	วงจรรีเลย์ทรอนิกส์แปลงแรงดัน	ระบบสมองกลฝังตัว
ความสามารถในการปรับแสง	เปิด/ปิด หรือ ปรับสว่างคงที่	ปรับเพิ่มลดความเข้มแสงได้

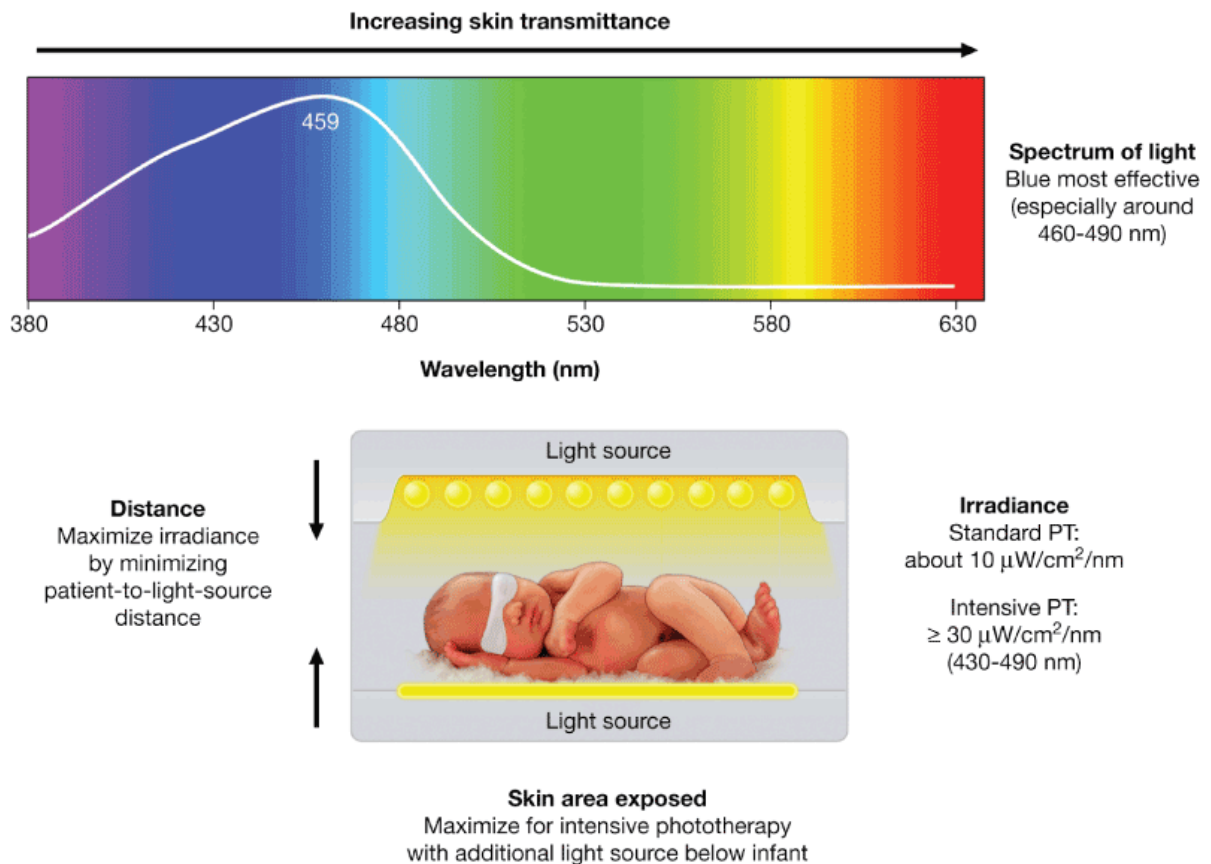


ภาพที่ 2.7 โคมไฟที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดแอลอีดีที่ใช้รักษาภาวะตัวเหลือง

จากการค้นคว้าเอกสารงานวิจัย และวารสารทางวิชาการ พบว่า ไฟแสงสีฟ้า (Blue light) ในช่วงความยาวคลื่น 450 ถึง 460 นาโนเมตร จะให้ผลต่อการแปลงสภาพของ unconjugated bilirubin ไปเป็น conjugated bilirubin ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แสงที่มีความยาวคลื่นใกล้ 460 นาโนเมตร บิลิรูบินจะดูดซับแสงเพื่อให้เกิดการแปลงสภาพได้ดีที่สุด โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลของบิลิรูบิน (Isomerization) ทำให้บิลิรูบินที่ไม่ละลายน้ำกลายเป็นสารที่ละลายน้ำได้ จึงขับถ่ายสารออกทางปัสสาวะและทางอุจจาระ โดยจะต้องมีความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมสูงกว่า $30 \text{ uW/cm}^2/\text{nm}$ ขึ้นไป ที่ระยะห่างระหว่างโคมไฟกับทารกประมาณ 30 ถึง 50 เซนติเมตร ซึ่งในเทคโนโลยีปัจจุบันของหลอดแอลอีดีสามารถแปลงแสงที่มีความยาวคลื่นจำเพาะเจาะจงได้ แต่ไม่สามารถปรับเพิ่มลดความเข้มแสงได้ตามความต้องการของแพทย์ผู้ทำการรักษา พิจารณาได้จากรูปที่ 2.8

เพื่อเป็นการเพิ่มสมรรถนะการทำงานของโคมไฟที่ใช้สำหรับรักษาภาวะทารกตัวเหลืองอย่างอัตโนมัติ มีการสร้างชุดควบคุมโคมไฟแบบอัตโนมัติสำหรับรักษาภาวะทารกตัวเหลือง ด้วยกลวิธีการใช้การเปลี่ยนแปลงคาบสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง แบบ Pulse Width Modulation (PWM) ผ่าน MOSFET N-channel และสามารถหาความสัมพันธ์หาความสัมพันธ์ของสมการระหว่าง ระยะห่างระหว่างโคมไฟจนถึงทารก กับค่าของ

ความเข้มแสงที่เกิดขึ้นที่เกิดจากการทำงานของชุดควบคุมที่สร้างขึ้นได้ ซึ่งยังไม่มีมีการนำกลวิธีดังกล่าวมาใช้ใน
คอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน



Source: Stevenson DK, Maisels MJ, Watchko JF: *Care of the Jaundiced Neonate*:
www.accesspediatrics.com

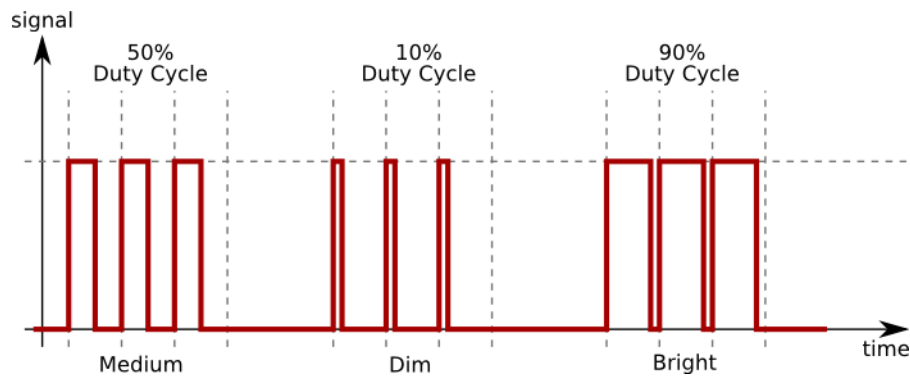
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.

ภาพที่ 2.8 แนวทางการรักษาด้วยวิธีการส่องไฟที่บ่งบอกความยาวคลื่นและระยะที่เหมาะสม

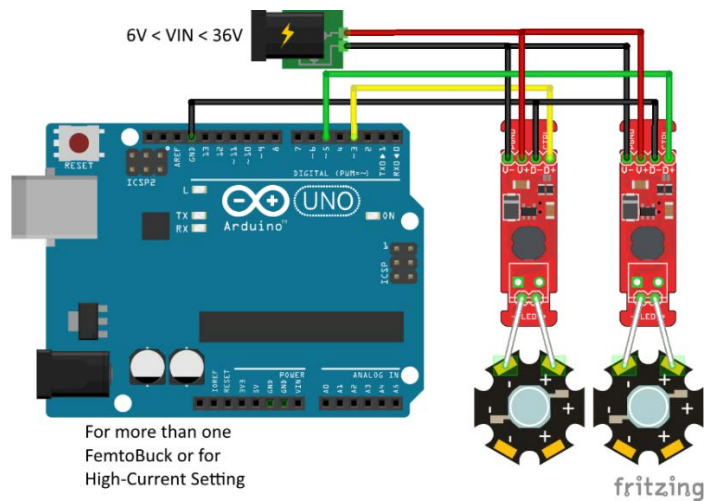
2.3 หลักการควบคุมการทำงานของหลอดแอลอีดีด้วยระบบสมองกลฝังตัว

การควบคุมแบบ Pulse Width Modulation (PWM) เกิดจากกระบวนการทำงานของการกำเนิดสัญญาณดิจิทัลแบบมีคาบ (Periodic Signal) จึงสามารถปรับค่าความกว้างช่วงแรงดันของลอจิกหรือ ค่า Duty Cycle ในระดับ HIGH ได้ ส่วนใหญ่ของระบบสมองกลฝังตัวจะให้ระดับการเปลี่ยนแปลงขนาด 8 บิต คือ ระหว่าง 0 ถึง 255 แสดงว่าที่ค่า 0 จะมี Duty Cycle = 0% ทำให้สัญญาณเป็น LOW ตลอดเวลา และค่า 255 จะมี Duty Cycle = 100% ทำให้สัญญาณเป็น HIGH ตลอดเวลา ส่วนค่าระหว่าง 1% จนถึง 99% จะเกิดเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบคาบคงตัว เรียกสั้นๆ ว่าพัลส์ (Pulse) ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 2.9 การปรับช่วงความกว้างของพัลส์ (Duty Cycle) เป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่มีความถี่คงที่ แต่ช่วงเวลา ON – OFF สามารถปรับเปลี่ยนได้ จึงสามารถนำสัญญาณดังกล่าวไปใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ เช่น การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ผ่าน IGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistor) จึงได้นำกลไกการทำงานของ PWM ไปควบคุมการทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังสูงขนาด 3 วัตต์ และทำการโปรแกรมผ่านระบบสมองกลฝังตัวเพื่อ

เปลี่ยนช่วงความกว้างของพัลส์ ส่งผลทำให้สามารถสร้างวงจรปรับระดับความเข้มแสงของหลอดแอลอีดีกำลังสูงได้ตามต้องการ พิจารณาได้จากรูปที่ 2.10



ภาพที่ 2.9 หลักการของ Pulse-width modulation (PWM) โดย arduino-info wikispaces, TES



ภาพที่ 2.10 การต่อระบบสมองกลฝังตัวเพื่อสร้าง PWM ไปควบคุมหลอดแอลอีดี

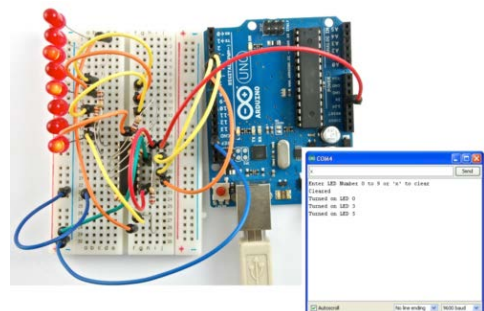
ระบบสมองกลฝังตัว (embedded system) คือประยุกต์ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือ ไมโครโปรเซสเซอร์ (microprocessor) ร่วมกับซอฟต์แวร์ฝังตัว (embedded software) เพื่อสร้างระบบวงจรรีเล็กทรอนิกส์ที่มีขีดความสามารถสูงกว่าวงจรแบบดั้งเดิม และประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายด้านการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ หรือกลไกการทำงานภายในเครื่องจักร และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในชีวิตประจำวัน โดยมีการเขียนโปรแกรมเข้ามามีส่วนในการจัดลำดับการทำงาน และสามารถตัดสินใจเมื่อมีเงื่อนไขจากภายนอกระบบมากระทำ ส่งผลให้อุปกรณ์ที่ใช้ระบบสมองกลฝังตัวมีขนาดเล็ก มีความหลากหลายของฟังก์ชันการทำงาน โดยซอฟต์แวร์ฝังตัวนั้นจะเรียกว่า เฟิร์มแวร์ (firmware) ซึ่งมีความแตกต่างจากระบบโปรแกรมภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ แบ่งออกได้ 3 ส่วน คือ

1. เฟิร์มแวร์จะมีคุณลักษณะเฉพาะตัวที่ออกแบบมาทำงานอย่างจำเพาะเจาะจง และสามารถทำงานซ้ำไปซ้ำมาอย่างต่อเนื่องหลายปี ยากต่อการปรับปรุงแก้ไขภายหลัง หากต้องการปรับปรุงพัฒนา จะต้องพัฒนาเฟิร์มแวร์รุ่นใหม่มาลงแทนที่เฟิร์มแวร์รุ่นก่อนหน้า

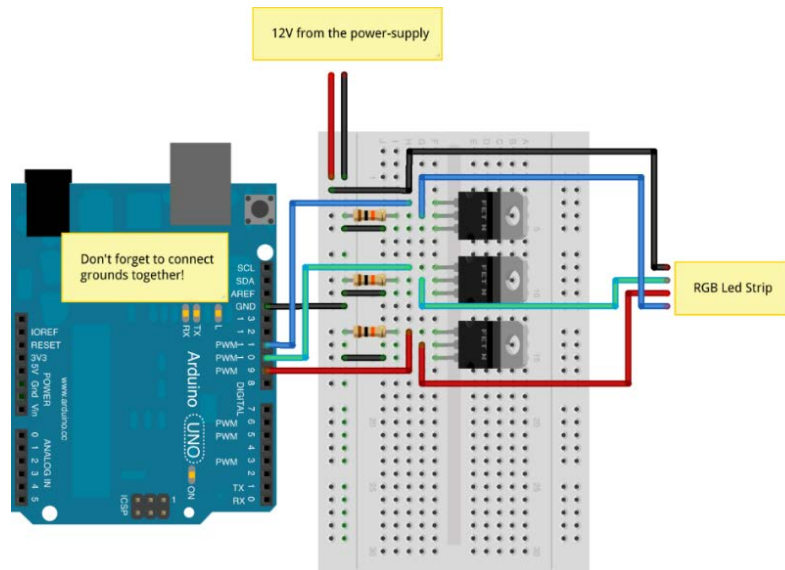
2. เฟิร์มแวร์มีหน้าที่ในการควบคุมการทำงานภายในของระบบประมวลผล (processing unit) และเป็นตัวควบคุมการทำงานของฮาร์ดแวร์และเซนเซอร์ที่ต่อผ่านอินเทอร์เฟซต่างๆ เช่น UART SPI และ RS485 จึงทำให้การพัฒนาเฟิร์มแวร์จะต้องเข้าใจหลักการสื่อสารของ interface รวมถึงลักษณะเฉพาะของฮาร์ดแวร์ที่นำมาต่อเข้ากับระบบสมองกลฝังตัว
3. การพัฒนาเฟิร์มแวร์จะต้องให้ความสำคัญต่อการมีทรัพยากรในระบบที่จำกัด ทั้งด้านความเร็วในการประมวลผล ความจุของหน่วยความจำ จำนวนอินเทอร์เฟซการเชื่อมต่อ ตลอดจนการทำ Cross platform เพื่อนำเฟิร์มแวร์ไปใช้งานบนระบบสมองกลฝังตัวที่มีสถาปัตยกรรมแตกต่างกันออกไป

เนื่องจากระบบสมองกลฝังตัวในปัจจุบันมีความหลากหลาย ทั้งทางด้านสถาปัตยกรรมของระบบ การพัฒนาชุดคำสั่งในการเขียนโปรแกรม จึงได้เลือกกลุ่มระบบสมองกลฝังตัวที่ใช้ Arduino IDE ในการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี ซึ่งมีจุดเด่นในส่วนของการเป็น open source จึงทำให้นักพัฒนาโปรแกรมจากทั่วโลกก่อตั้งเป็น community สำหรับช่วยกันพัฒนาโปรแกรมให้มีความสมบูรณ์ ดังภาพที่ 2.11 นอกจากนี้ Arduino IDE เลือกใช้ชุดคำสั่งภาษาซี ถือเป็นชุดคำสั่งที่มีความเป็นกลางในการเขียนโปรแกรมในระบบสมองกลฝังตัว และโปรแกรมที่ใช้งานบนคอมพิวเตอร์ จึงทำให้เรียนรู้ได้อย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องปรับตัวในการเรียนภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมใหม่ มีการเผยแพร่ source code และ schematics เพื่อฝึกทักษะการต่อวงจรและเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานได้ด้วยตนเอง มีรูปแบบคำสั่งที่ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานเฉพาะด้าน และยังสามารถสร้างชุดคำสั่งคำสั่งและ Library ใหม่ได้

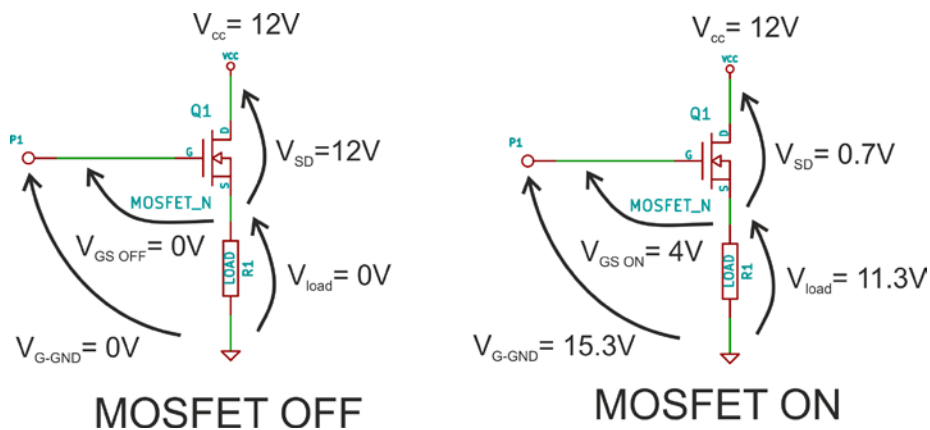
จากภาพที่ 2.12 และ 2.13 เป็นตัวอย่างของการใช้ระบบสมองกลฝังตัวมาใช้กำเนิดสัญญาณ PWM แทนการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยไอซีเบอร์ 555 ซึ่งทำให้สามารถเพิ่มขีดความสามารถในการควบคุมเพิ่มลดความเข้มแสงของหลอดแอลอีดีกำลังสูงได้ ผ่านการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี ในการทดสอบเบื้องต้นได้นำบอร์ด Arduino Uno ที่ใช้ AVR Microcontroller 8 bit มาใช้ ลักษณะการทำงานร่วมกับ MOSFET ที่จะใช้แรงดันเข้าไปควบคุมขา Gate สามารถดูค่าแรงดันที่ V_{gs} ได้จาก Datasheet ถ้ามีค่าการตอบสนองไม่ต่ำกว่าค่าแรงดันที่ออกจากขาของ Microcontroller ที่มีค่าเป็นไปตั้งแต่ 0 ถึง 5 โวลต์ โดยที่ถ้า V_{gs} มีค่าที่ 4 โวลต์ จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายใน MOSFET จนเกิดกระแสไหลและส่งแรงดันไปที่โหลด ซึ่งในทางปฏิบัติคือหลอดแอลอีดีกำลังสูง



ภาพที่ 2.11 รูปแบบกลุ่มสมองกลที่ใช้ Arduino IDE



ภาพที่ 2.12 การต่อบอร์ดสมองกลฝังตัว Arduino Uno เข้ากับ MOSFET เพื่อควบคุมหลอดแอลอีดี



ภาพที่ 2.13 การคำนวณค่าทางไฟฟ้า เมื่อ MOSFET ได้รับสัญญาณจากระบบสมองกลฝังตัว

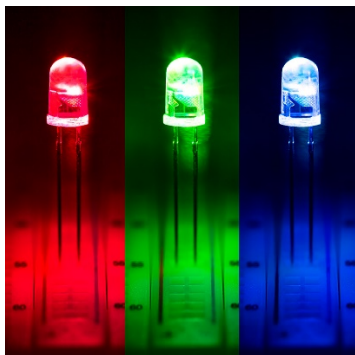
2.4 คุณลักษณะของหลอดแอลอีดีและหลอดแอลอีดีกำลังสูง

ในช่วงปี ค.ศ. 1955 นักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกัน Ruben Braunstein ค้นพบสารประกอบ Gallium arsenide (GaAs) นำมาทำเป็นส่วนประกอบของไดโอด เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านทำการเกิดการเปล่งแสงช่วงอินฟราเรด (Infrared) จากนั้นนักวิจัยของบริษัท Texas Instruments 2 คน Robert Biard กับ Gary Pittman ได้จดสิทธิบัตรไดโอด Gallium arsenide (GaAs) เป็นแอลอีดี (LED) ในปี ค.ศ. 1961 สำหรับแอลอีดีที่สามารถเปล่งแสงในช่วงแสงที่มองเห็นได้ (Visible light) ถูกคิดค้นโดย Nick Holonyak ในปี ค.ศ. 1962 เป็นแอลอีดีสีแดงจากการใช้สารประกอบ Gallium arsenide (GaAs) และ Gallium arsenide phosphide (GaAsP) และได้รับการยกย่องเป็นบิดาของหลอดแอลอีดี

สำหรับหลอดแอลอีดีกำลังสูง (High Power LED) ที่ให้ประสิทธิภาพและความเข้มแสงที่สูงมาก คิดค้นโดย Thomas P. Pearsall ในปี ค.ศ. 1976 เพื่อนำมาใช้งานทางด้าน Fiber-optic สำหรับการสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง และในปี ค.ศ. 1993 นักวิทยาศาสตร์ชาวญี่ปุ่น Shuji Nakamura ประสบความสำเร็จในการสร้าง

แอลอีดีสีน้ำเงินความเข้มสูงถือเป็นสิ่งที่ทำได้ยากที่สุด จากสารประกอบ Indium gallium nitride (InGaN) ถือเป็นต้นกำเนิดของหลอดแอลอีดีแสงสีน้ำเงิน และกลายเป็นแหล่งกำเนิดแสงสำหรับการรักษาภาวะทารกตัวเหลือง ซึ่งนำมาใช้ทดแทนแสงที่มาจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) ในปัจจุบัน

หลอดแอลอีดี (LED) หรือไดโอดเปล่งแสง ถือเป็นเทคโนโลยีเซมิคอนดักเตอร์อีกแบบหนึ่ง เพราะมันยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ แล้วเปล่งแสงสว่างออกมา ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบมานานแล้ว แต่เนื่องจากแสงที่เปล่งออกมาน้อยมาก จึงทำให้แอลอีดีในยุคนั้นไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควร แต่ปัจจุบันเทคโนโลยีได้พัฒนาแอลอีดีให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นมาก จนสามารถนำมาใช้แทนหลอดไฟส่องสว่างแบบเดิมได้เป็นอย่างดี สำหรับหลอดแอลอีดีกำลังสูง (High Power LED) เป็นผลมาจากความก้าวหน้าในด้านเทคโนโลยีเซมิคอนดักเตอร์ ที่มีความสามารถในการเปล่งแสงที่มีความเข้ม และความสว่างสูงขึ้นมาก ลักษณะของแอลอีดีชนิดนี้จะเป็นแผ่นชิป โดยทั่วไปมักจะมีสี่เหลี่ยม มีรูปทรงและขนาดที่แตกต่างกัน ในปัจจุบันได้ถูกนำมาผลิตเป็นหลอดไฟแอลอีดีและโคมไฟแอลอีดีที่มีมากมายหลากหลายแบบให้เราเลือกใช้ มีประสิทธิภาพสูงขึ้นมากและราคาถูกลงด้วย ช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าลงได้เป็นอย่างดี เราสามารถนำมาใช้แทนหลอดไฟแบบเดิมได้ นอกจากนี้จะเป็นไฟแอลอีดี ที่ใช้กับเครื่องจักร และใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ ใช้ในการเพาะปลูกพืชต่างๆ ซึ่งเป็นแอลอีดีชนิดพิเศษที่ผลิตขึ้นมาเฉพาะงานเท่านั้น ตัวอย่างตัวอย่างหลอดแอลอีดีและหลอดแอลอีดีกำลังสูง 3 วัตต์ สามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 ตัวอย่างหลอดแอลอีดี (ซ้าย) และหลอดแอลอีดีกำลังสูง 3 วัตต์ (ขวา)

ความเข้มแสงเชิงสเปกตรัม (Spectral Irradiance) คือ กำลังฟลักซ์ของแสง (Radiant Flux) ที่แต่ละความยาวคลื่น (Per Unit Wavelength) ซึ่งตกลงบนหนึ่งหน่วยของพื้นที่รับ (Per Unit Wavelength) (Per Unit Receiving Area) มีหน่วยภายใต้ระบบเอสไอ (SI Units) หรือระบบหน่วยวัดสากลเป็นวัตต์ต่อตารางเมตรต่อเมตร (W/m^3) หรือวัตต์ตารางเมตรต่อนาโนเมตร ($W/m^2/nm$) เป็นหน่วยวัดที่นิยมใช้ในการบ่งบอกปริมาณเชิงสเปกตรัม หรือการกระจายคลื่นแสงของแหล่งกำเนิดแสงไม่ว่าจะเป็นแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ เช่น ดวงอาทิตย์ หรือแหล่งกำเนิดแสงสังเคราะห์ เช่น หลอดไฟประเภทต่าง ๆ เป็นต้น เครื่องมือวัดที่ต้องมีการสอบเทียบเพื่อให้สอบกลับมายังปริมาณนี้ ได้แก่ เครื่องสเปกโตรเรดิโอมิเตอร์ (Spectroradiometers) เครื่องวัดแสงยูวี (UV Meters) มาตรฐานสเปกตรัมความถี่กว้าง (Broadband Radiometer) นอกจากนี้ในงานทดสอบเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ที่ต้องเป็นไปตามมาตรฐานสากลต่าง ๆ อาทิเช่น มาตรฐานของ IEC ก็ต้องมีการสอบกลับ

ได้มายังหน่วยวัดของปริมาณความเข้มแสงเชิงสเปกตรัม หรือเครื่องมือทางการแพทย์ที่ต้องมีการฉายแสงก็ต้องมีการสอบเทียบเครื่องมือวัด หรือหลอดไฟที่ใช้เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการรักษา

2.5 โคมไฟแอลอีดีรุ่น Bilitron 3006

โคมไฟแอลอีดีรุ่น Bilitron 3006 ถูกออกแบบมาให้มีขนาดเล็กเล็กเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถสังเกตเห็นทารกแรกเกิดได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในพื้นที่แคบๆ ก็สามารถนำมาใช้ร่วมกับขาตั้งได้ดี นอกจากนี้ประโยชน์เหล่านี้แล้ว ยังรับประกันประสิทธิภาพแสงและพื้นที่ในการรักษาทารกตัวเหลืองด้วยการใช้แสงที่มีความเข้มสูง ซึ่งถูกออกแบบมาให้สามารถใช้งานได้สอดคล้องตามมาตรฐานการรักษาของ AAP (American Academy of Pediatric)

ประโยชน์ของโคมไฟแอลอีดีรุ่น Bilitron 3006 คือสามารถนำใช้งานร่วมกับตู้อบทารก (Incubator) ได้ง่าย ใช้พื้นที่ในการวางน้อย ด้วยการออกแบบแสงที่เหมาะสมสำหรับการรักษาทารกตัวเหลือง หลอดแอลอีดีกำลังสูงที่ใช้มีอายุการใช้งานประมาณ 20,000 ชั่วโมง ซึ่งมีอายุการใช้งานมากกว่า 10 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั่วไป ทำให้ค่าใช้จ่ายในการใช้งานลดลงมากกว่า 80%

คุณลักษณะและสมบัติทั่วไปของโคมไฟแอลอีดีรุ่น Bilitron 300

- ประกอบด้วยหลอด Super LED จำนวน 5 หลอด
- ขนาดเครื่อง 11.6 x 23 x 5 cm.
- น้ำหนักเครื่อง 1 kg
- ความยาวคลื่นแสง 430-460 nm
- แสงตกครอบคลุมพื้นที่ 40x30 cm.
- ความเข้มแสง 45-65 $\mu\text{W}/\text{cm}^2.\text{nm}$ ที่ระยะห่าง 30 cm
- ความดัง น้อยกว่า 50 dBA.
- อายุหลอด 20 000 ชั่วโมง



ภาพที่ 2.15 โคมไฟแอลอีดีรุ่น Bilitron 3006

ที่มา: <http://www.mes.com.tr/EN,238/bilitron-3006-super-led-phototherapy-device.html>

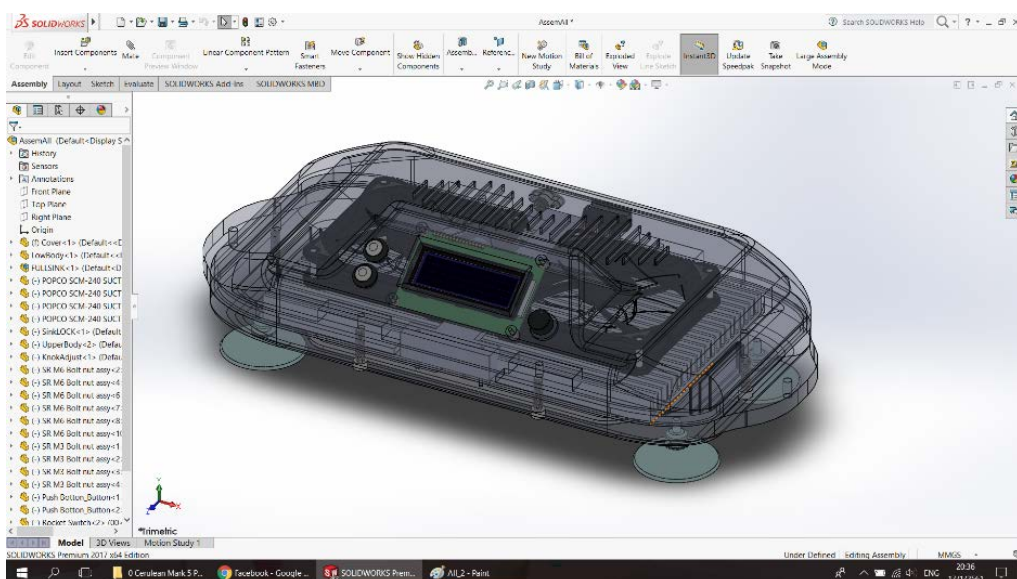
บทที่ 3

การพัฒนาคอมพิวเตอร์ด้วยระบบสมองกลฝังตัว

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบโครงสร้างและขาตั้งคอมพิวเตอร์ การออกแบบวงจรไฟฟ้า และฟังก์ชันการทำงานของคอมพิวเตอร์ การประกอบชิ้นส่วนและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ากับแผงวงจร ตลอดจนการจัดวางทั้งหมดเข้ากับเปลือกคอมพิวเตอร์ คุณสมบัติและวิธีการใช้งานคอมพิวเตอร์สำหรับผู้ใช้งาน รวมถึงพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการรักษาการกักตัวเครื่องเพื่อใช้ในการอธิบายและเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการทำงานของคอมพิวเตอร์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

3.1 การออกแบบโครงสร้างและขาตั้งคอมพิวเตอร์

จากภาพที่ 3.1 แสดงการออกแบบโครงสร้างของคอมพิวเตอร์ทั้งภายในและภายนอก โดยใช้โปรแกรม Solid work ซึ่งเป็นโปรแกรมออกแบบ 3 มิติ เพื่อให้สามารถออกแบบตำแหน่งในการวางอุปกรณ์ได้อย่างแม่นยำและถูกต้อง เห็นองค์ประกอบต่างๆ ได้อย่างชัดเจน สามารถออกแบบการจำลองการระบายอากาศหรือความร้อนภายในที่เกิดขึ้นได้ด้วย นอกจากนั้นแล้ว ยังเป็นประโยชน์ในการนำแบบไปสร้างแม่พิมพ์หรือโมล (Mole) เมื่อต้องการผลิตชิ้นงานเป็นจำนวนมากโดยใช้เวลาน้อยและต้นทุนในการผลิตต่อชิ้นจะลดลงอย่างมาก อย่างไรก็ตาม โมลที่ผลิตจากโลหะคุณภาพดีจะมีราคาประมาณสูงหลายแสนบาท ดังนั้นจึงต้องผลิตชิ้นงานเป็นจำนวนมากจึงจะคุ้มค่าในการลงทุน เนื่องจากทุนวิจัยมีงบประมาณจำกัดไม่สามารถจัดทำได้ ผู้วิจัยจึงได้ใช้วิธีการกัด-เจาะจากแท่งวัสดุมาตรฐานโดยตรงที่นำมาใช้ในทางการแพทย์ แต่มีราคาต่อชิ้นสูงและมีน้ำหนักค่อนข้างมาก โดยเปลือกคอมพิวเตอร์ที่ผลิตขึ้นในโครงการวิจัยนี้พิจารณาได้จากภาพที่ 3.2



(ก) การออกแบบโครงสร้างภายใน



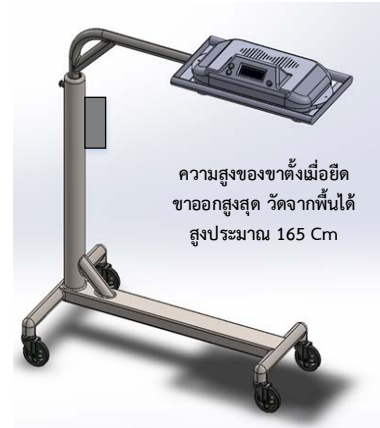
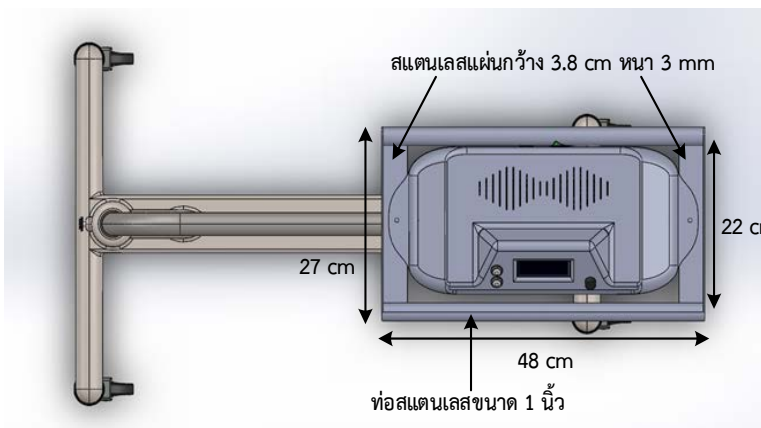
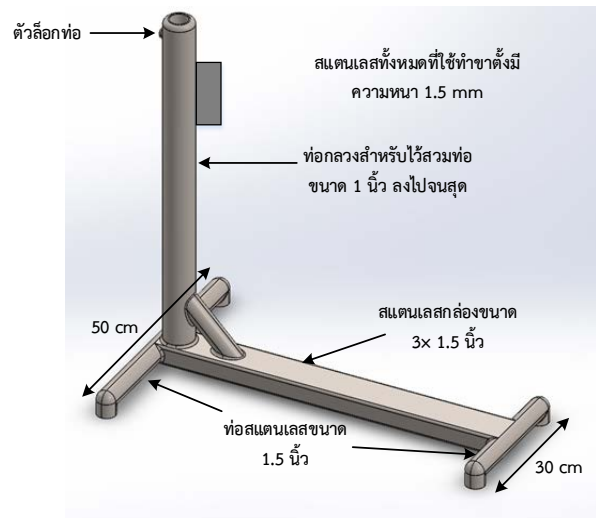
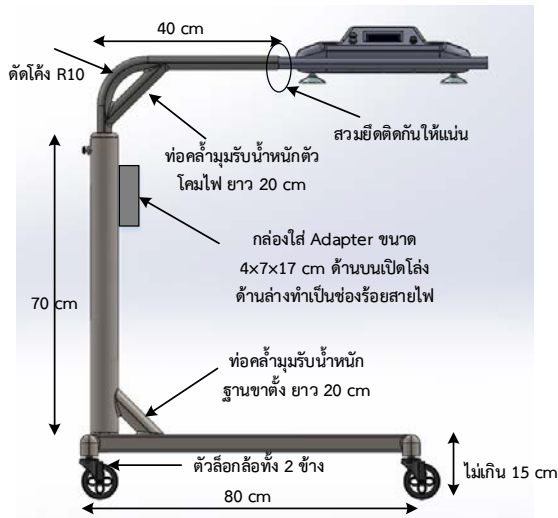
(ข) การออกแบบโครงสร้างภายนอก

ภาพที่ 3.1 การออกแบบโครงสร้างคอมพิวเตอร์แอลอีดีสำหรับรักษาภาวะตัวเหลือง



ภาพที่ 3.2 เปลือกคอมพิวเตอร์แอลอีดีที่ผลิตขึ้นในโครงการวิจัย

การออกแบบชุดขาตั้งโดยใช้โปรแกรม Solid work เช่นเดียวกับที่ใช้ออกแบบคอมพิวเตอร์ ขาตั้งถูกออกแบบให้สามารถใช้ได้กับเตียงนอนเด็กทารก สามารถปรับระดับความสูงได้ ฐานเป็นล้อเลื่อนจึงสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกเวลานำไปใช้งาน วัสดุผลิตจากอะลูมิเนียม ไร้สนิม มีน้ำหนักเบา มีความคงทน แข็งแรง ลดเหลี่ยมมุมที่อาจเป็นอันตราย ด้านบนออกแบบมาให้ใช้วางคอมพิวเตอร์แอลอีดีที่สร้างขึ้นโดยเฉพาะ โดยมีระยะต่างๆ ดังปรากฏในภาพที่ 3.3 และ 3.4



ภาพที่ 3.3 การออกแบบชุดขาตั้งโคมไฟแอลอีดี



ภาพที่ 3.4 ขาตั้งโคมไฟแอลอีดีที่สร้างขึ้น

3.2 การออกแบบวงจรไฟฟ้าและฟังก์ชันการทำงานโคมไฟแอลอีดี

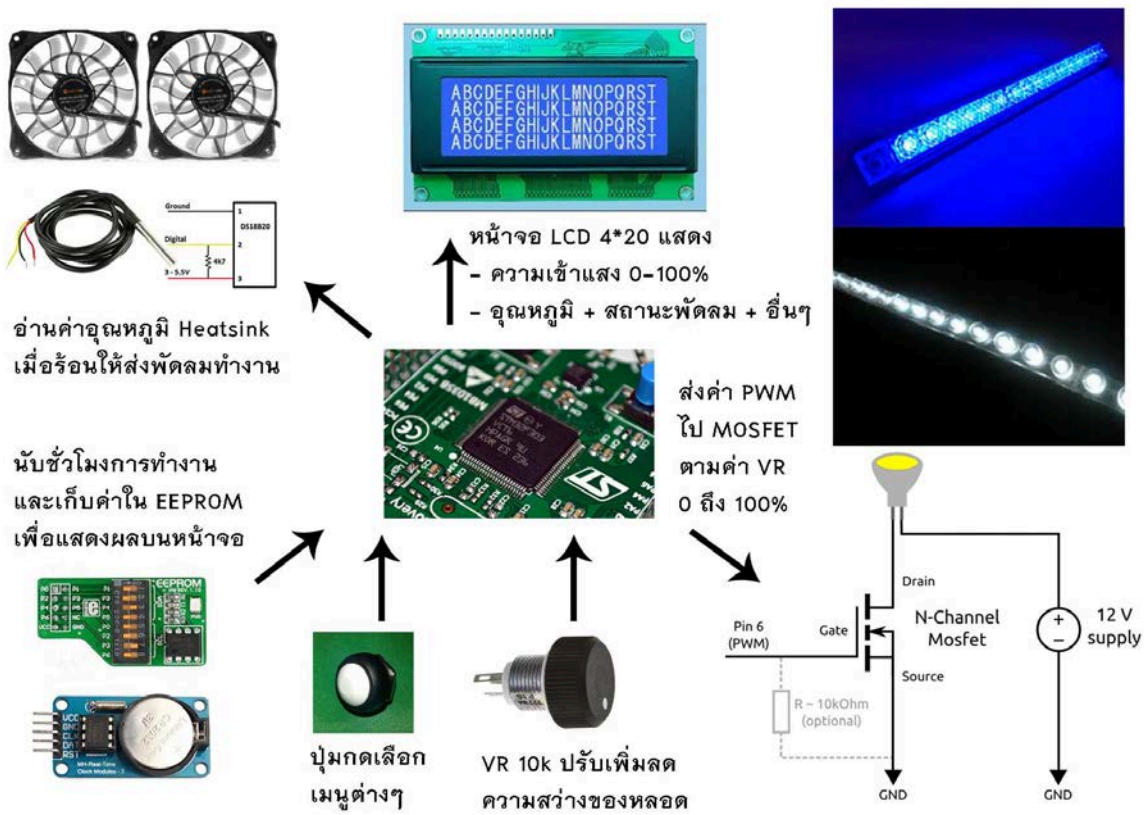
ชุดควบคุมโคมไฟแอลอีดีกำลังสูงสำหรับรักษาภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิดจะใช้การพัฒนาชุดคำสั่ง โปรแกรมภาษาซีผ่านโปรแกรม Arduino IDE ที่จะออกแบบลำดับการทำงาน และเงื่อนไขการตัดสินใจของ ระบบภายในระบบสมองกลฝังตัว (Embedded system) ที่ทำให้ปรับเพิ่มลดความเข้มแสงผ่านปุ่มควบคุมบน

ตัวเครื่อง การเรียกดูค่าการทำงานของโคมไฟในส่วนของความเข้มเชิงสเปกตรัม อุณหภูมิโคมไฟ และปฏิทินเวลา ผ่านการแสดงผลบนหน้าจอ LCD ซึ่งมีรายละเอียดที่จะพัฒนาดังต่อไปนี้

- 1) Digital signal input รับค่าจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 เข้าสู่ชุดคำสั่งโปรแกรมภายใน Code เป็นชุดข้อมูลตัวเลขเก็บในตัวแปร โดยสามารถแสดงผลพร้อมออกมาได้ทั้งหน่วยองศาเซลเซียส และองศาฟาเรนไฮต์ ทั้งหมดจะเกิดจากกระบวนการแจกแจงชุดข้อมูลระดับ 9 ถึง 12 บิต ผ่านการเชื่อมต่อแบบ One-Wire คือ 1 ช่องสัญญาณดิจิทัล ซึ่งค่าอุณหภูมิที่ได้จะนำไปใช้ในเงื่อนไขกับควบคุมการทำงานของพัดลมระบายความร้อน
- 2) Analog signal input รับค่าสัญญาณอนาลอกจากตัวต้านทานปรับค่าได้ (Potentiometer) เข้าสู่ชุดคำสั่งโปรแกรมภายใน Code เป็นชุดข้อมูลตัวเลขในเชิงค่าแรงดันที่ได้จาก ADC (Analog to digital converter) แบบทศนิยม และค่าการเปลี่ยนแปลงสเต็ปิตแบบจำนวนเต็ม โดยในที่นี้จะเลือกใช้แบบการเปลี่ยนแปลงสเต็ปิตเป็นจำนวนเต็ม เพื่อลดภาระในการประมวลผล และยังสามารถใช้ฟังก์ชันเทียบเคียงค่า จาก 0 ถึง 1023 สเต็ปิตไปเป็น 0 ถึง 255 โดยค่าที่อ่านได้จะนำไปใช้ควบคุมการทำงานของ PWM MOSFET ควบคุมเพิ่มลดความสว่างของหลอดแอลอีดี
- 3) PWM MOSFET output ส่งค่าที่ได้จากการประมวลผลภายในระบบสมองกลฝังตัวไปควบคุมการทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังสูง ในการใช้ชุดคำสั่งโปรแกรมกำเนิดสัญญาณ PWM และ Duty cycle ในการสั่ง ON-OFF MOSFET โดยผ่านฟังก์ชัน analogWrite(pin, value); ซึ่งในทางปฏิบัติฟังก์ชันนี้จะกำหนดความถี่ประมาณ 490Hz และมี GPIO เฉพาะบางขาของบอร์ดระบบสมองกลฝังตัวเท่านั้นที่จะสามารถสร้าง PWM ได้ โดยค่า Duty cycle ระหว่าง 0 ถึง 255
- 4) LCD Panel output ใช้แสดงผลค่าและสถานะต่าง ๆ ของโคมไฟบนหน้าจอแสดงผล LCD โดยจะรับค่าจากภายในชุดคำสั่งโปรแกรม เช่น ค่าความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมกับอุณหภูมิ แสดงออกผ่านทางฟังก์ชัน ซึ่งภายในเครื่องหมายถึงอุปกรณ์จะเป็นการแสดงตัวอักษรออกทางหน้าจอ และการเรียกค่าจากตัวแปรภายในชุดคำสั่งโปรแกรมออกมาแสดงค่าได้
- 5) ระบบควบคุมไฟเลี้ยง 12 VDC ผ่านอุปกรณ์แปลงไฟ (Adaptor) แรงดัน 12 โวลต์ กระแส 8.5 แอมป์แปร์ ที่ผ่านการรับรองมาตรฐาน IEC-60601-1 ซึ่งในโคมไฟทั่วไปจะรับไฟเลี้ยง 220 VAC จึงเป็นการลดความเสี่ยงจากการได้รับอันตรายจากกระแสไฟฟ้ารั่ว รุ่น Meanwell 120W AC-DC Reliable Green Medical Adaptor GSM120B12-R7B ที่มีหัวต่อแบบมาตรฐานเฉพาะแบบ 4 DIN pin with lock

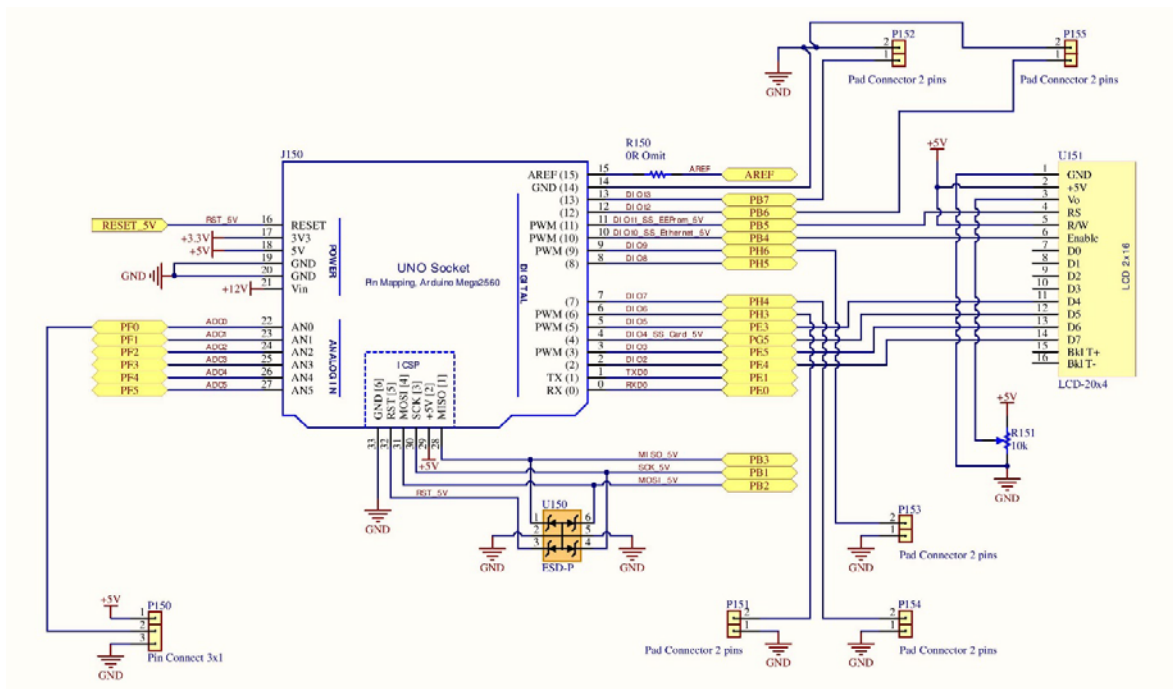
อุปกรณ์ที่ใช้สร้างโคมไฟแอลอีดีกำลังสูงสำหรับรักษาภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิด ประกอบด้วยหลอดแอลอีดี 3 วัตต์ สีน้ำเงิน มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 450-460 นาโนเมตร จำนวน 18 หลอด และหลอดแสงสีขาว 4 หลอด รวมเป็น 22 หลอด สำหรับการใช้งานจะมี 2 โหมดคือ ขณะทำการรักษาจะใช้เฉพาะหลอดแสงสีน้ำเงิน และขณะที่บุคลากรทางการแพทย์เข้ามาตรวจหรือทำหัตถการจะใช้หลอดแสงสีขาวเพื่อให้เกิดความสบายต่อสายตาผู้ใช้งาน ดังนั้นขณะที่ใช้รักษาโคมไฟนี้จะใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 54 วัตต์ (เปิดใช้

งาน 18 หลอด) เมื่อเปิดด้วยความเข้มแสงสูงสุด อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติแพทย์จะเปิดใช้ด้วยความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมประมาณร้อยละ 70 ของกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่านั้น หรือประมาณ 38 วัตต์ ภายในติดตั้งพัดลมระบายความร้อน 2 ตัว ร่วมกับฮีทซิงค์ บอร์ดควบคุมการทำงานของระบบจะใช้บอร์ด Arduino รุ่น ATMEGA2560 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิรุ่น DS18B20 และจอแสดงผลแบบ LCD ขนาด 4x20 เพื่อใช้แสดงค่าความเข้มแสงเชิงสเปกตรัม วัน-เวลาในปัจจุบัน เวลาการใช้งานสะสมของหลอดแอลอีดี และค่าอุณหภูมิภายในเครื่องขณะกำลังใช้งาน นอกจากนี้ ยังมีสวิตช์เปิด-ปิดเครื่อง ปุ่มกดเลือกโหมดการทำงาน ปุ่มเซต-รีเซตเวลาการใช้งานสะสมของหลอดแอลอีดี และปุ่มหมุนปรับระดับความเข้มแสงเชิงสเปกตรัม พิจารณาได้จากภาพที่ 3.5

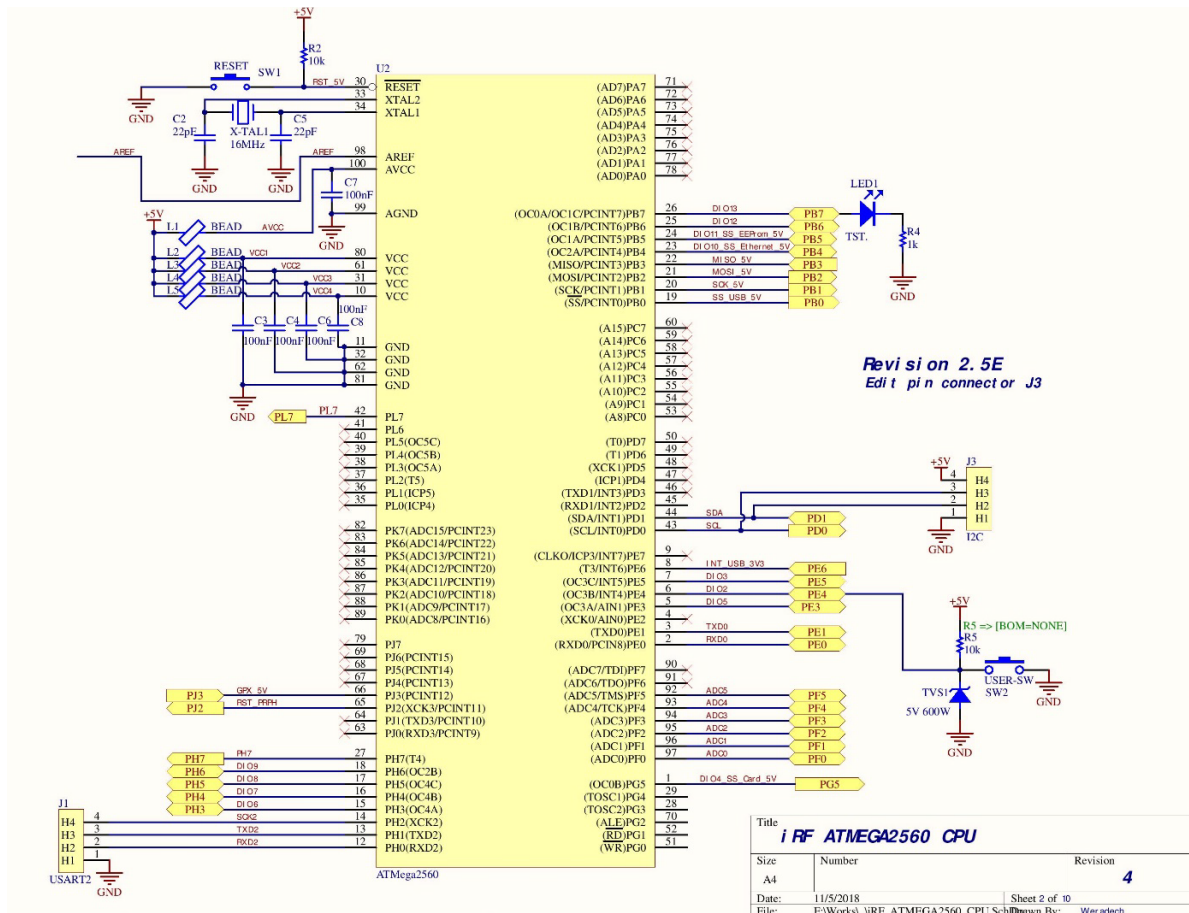


ภาพที่ 3.5 องค์ประกอบของชุดควบคุมคอมพิวเตอร์สำหรับรักษาภาวะทารกตัวเหลือง

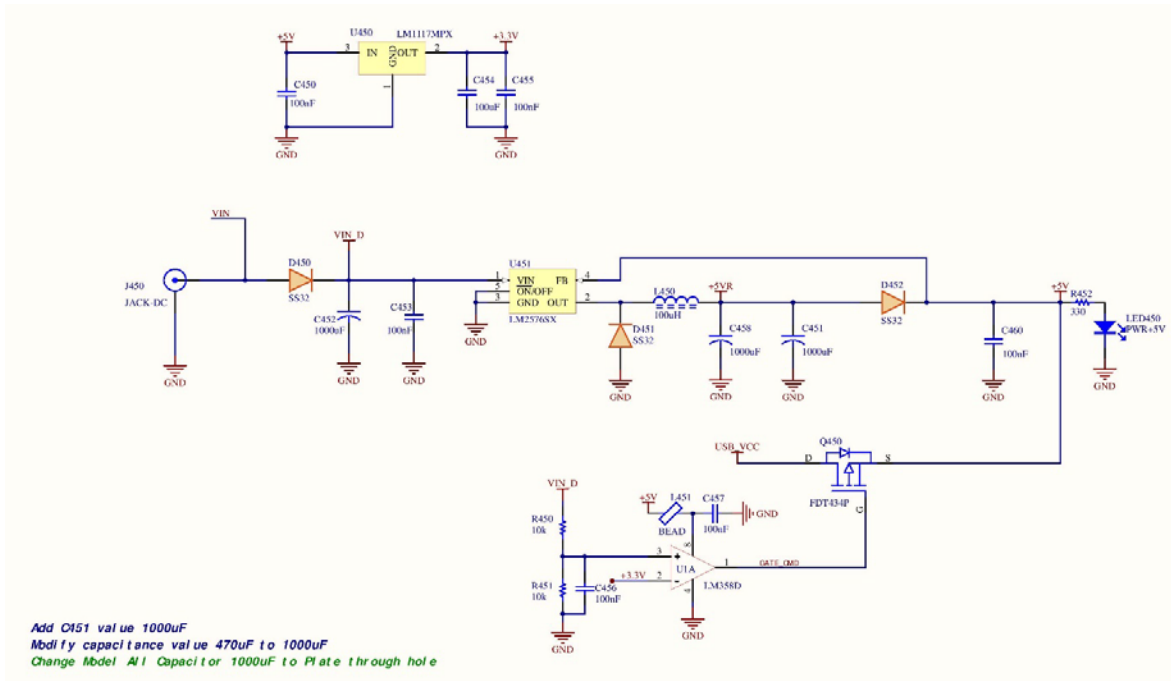
จากภาพที่ 3.6 แสดงวงจรควบคุมในส่วนต่างๆ ของระบบสมองกลฝังตัวซึ่งประกอบด้วยวงจรต่างๆ ที่สำคัญคือ (ก) วงจรระบบสมองกลฝังตัวที่ระบุการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ (ข) วงจรจ่ายไฟเข้ากับ Arduino รุ่น ATMEGA2560 และอินเทอร์เฟซของ I/O (ค) วงจรจ่ายไฟให้กับระบบสมองกลฝังตัวแบบแยกแรงดันขนาด 5 และ 3.3 โวลต์ และ (ง) วงจรเชื่อมต่อ FT232RL TTL to USB สำหรับเขียนโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์



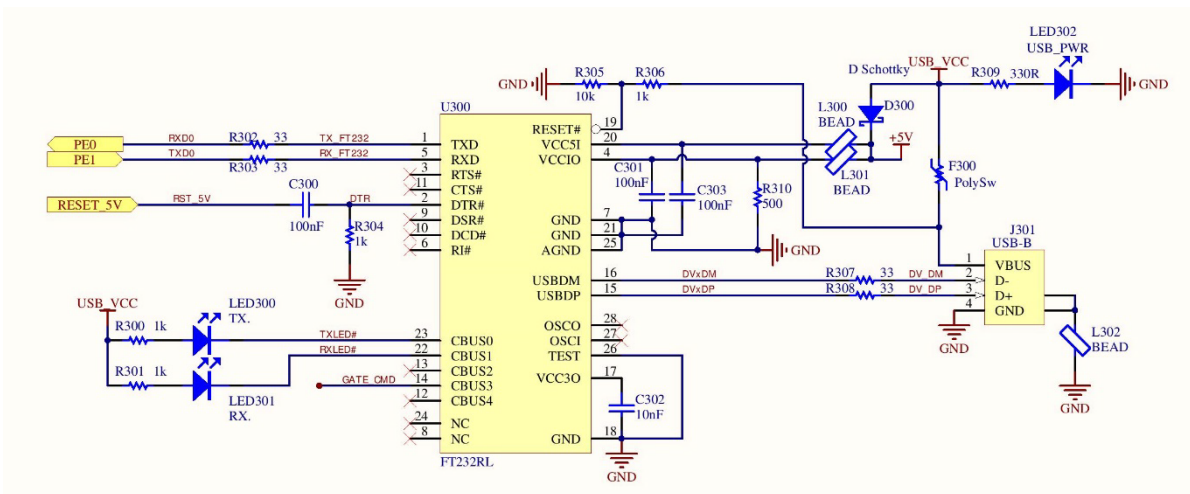
(ก) วงจรระบบสมองกลฝังตัวที่ระบุการเชื่อมต่อของอุปกรณ์



(ข) วงจรจ่ายไฟเข้ากับ Arduino รุ่น ATMEGA2560 และอินเตอร์เฟสของ I/O



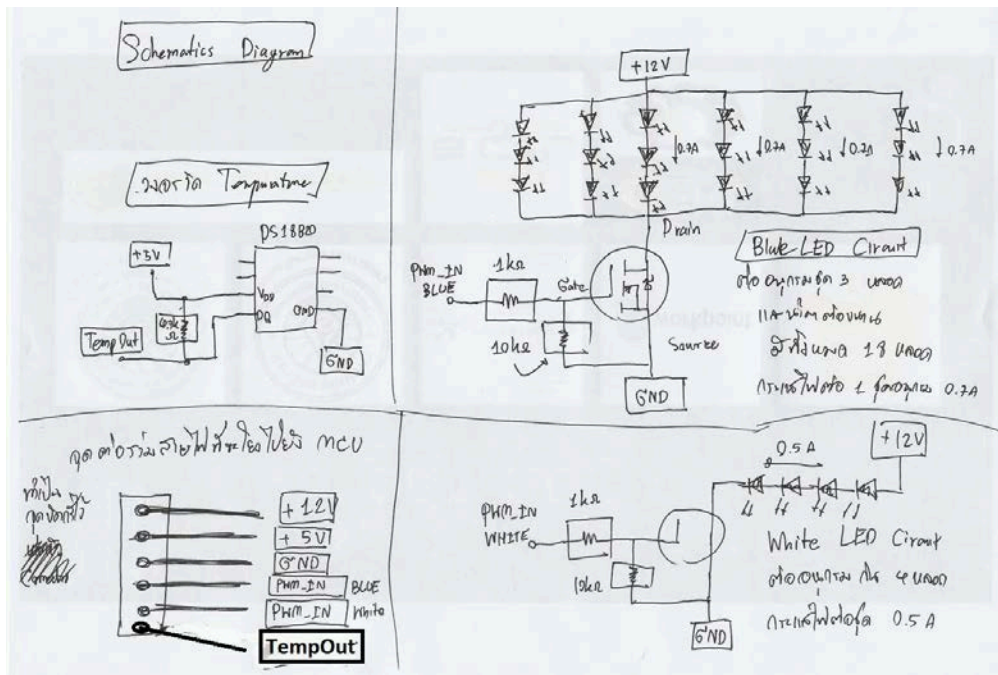
(ค) วงจรจ่ายไฟให้กับระบบสมองกลฝังตัวแบบแยกแรงดันขนาด 5 และ 3.3 โวลต์



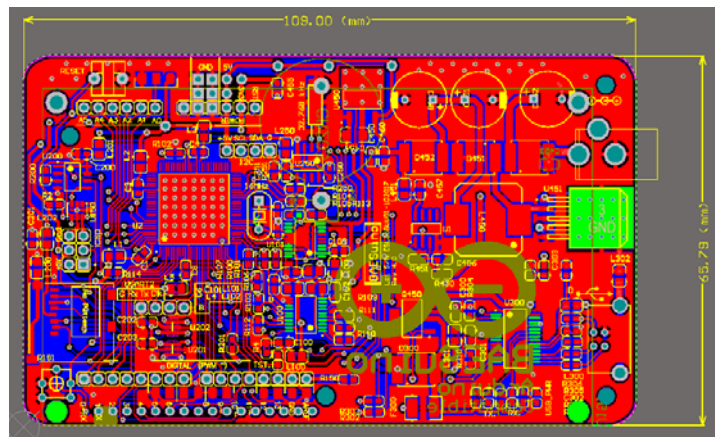
(ง) วงจรเชื่อมต่อ FT232RL TTL to USB สำหรับเขียนโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์

ภาพที่ 3.6 วงจรควบคุมในส่วนต่างๆ ของระบบสมองกลฝังตัว

ภาพที่ 3.7 แสดงการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของหลอดแอลอีดีทั้งกลุ่มหลอดแสงสีน้ำเงินและกลุ่มหลอดแสงสีขาว และการวางตำแหน่งวงจรหลอดแอลอีดี จากนั้นทำการออกแบบลายวงจร Aluminum PCB ซึ่งเป็นลายวงจรของชุดสมองกลฝังตัว ซึ่งประกอบด้วย (ก) ลายวงจรแบบ Double Layer ของชุดสมองกลฝังตัว และ (ข) ลายวงจรแบบ Single Layer ของ Aluminum PCB ดังแสดงในรูปที่ 3.8



ภาพที่ 3.7 การออกแบบวงจร Aluminum PCB และการวางตำแหน่งวงจรหลอดแอลอีดี



(ก) ลายวงจรแบบ Double Layer ของชุดสมองกลฝังตัว



(ข) ลายวงจรแบบ Single Layer ของ Aluminum PCB

ภาพที่ 3.8 ลายวงจรของชุดสมองกลฝังตัว และ Aluminum PCB

3.3 ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ของคอมพิวเตอร์

หลังจากที่ได้จัดซื้ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ รวมถึงได้จัดจ้างสร้างแผ่นวงจรของชุดสมองกลฝังตัว Aluminum PCB จะแสดงขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ต่างๆ ลงบนแผ่นวงจรดังแสดงในภาพที่ 3.9 ซึ่งประกอบด้วย (ก) การลงอุปกรณ์ชนิด SMD ของชุดควบคุมบนแผงวงจรแบบ Double Layer (ข) การทดสอบชุดโปรแกรมและการประกอบชุดสมองกลฝังตัวเข้ากับจอแอลซีดี (ค) การติดตั้งหลอดแอลอีดี และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิลงบนแผ่นวงจร PCB (ง) การเจาะรูและสร้างเกลียวบน Heatsink สำหรับยึดพัดลมระบายความร้อน (จ) การประกอบพัดลมระบายความร้อนเข้ากับ Heatsink และเชื่อมต่อไปยังแผงวงจร และ (ฉ) การเชื่อมต่อสายไฟเข้ากับชุดสมองกลฝังตัวและหน้าจอแสดงผล



(ก) แผงวงจรพิมพ์แบบ Double Layer และการลงอุปกรณ์ชนิด SMD ของชุดควบคุม



(ข) การทดสอบชุดโปรแกรมและการประกอบชุดสมองกลฝังตัวเข้ากับจอแอลซีดี



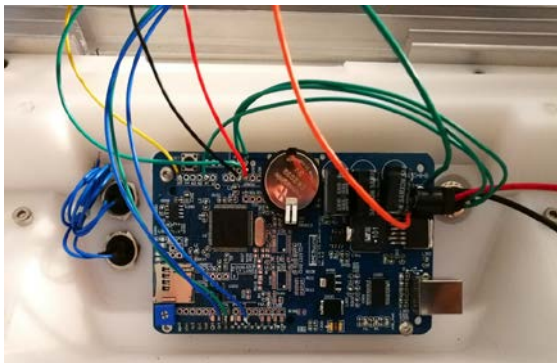
(ค) การติดตั้งหลอดแอลอีดี และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิลงบนแผ่นวงจร PCB



(ง) การเจาะรูและสร้างเกลียวบน Aluminum Heatsink สำหรับยึดพัดลมระบายความร้อน



(จ) การประกอบพัดลมระบายความร้อน เข้ากับ Aluminum Heatsink และเชื่อมต่อไปยังแผงวงจร



(ฉ) การเชื่อมต่อสายไฟเข้ากับแผงระบบสมองกลฝังตัวและรายละเอียดบนหน้าจอแสดงผล
รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ต่างๆ ลงบนแผงวงจร

หลังจากที่ประกอบและติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ส่วนเข้ากับเปลือกของคอมพิวเตอร์แล้วเสร็จ จากนั้นจึงโหลดโปรแกรมควบคุมเข้าไปยังบอร์ดระบบสมองกลฝังตัวเพื่อให้เครื่องสามารถทำงานตามฟังก์ชันต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้ ตรวจสอบความแน่นอนในการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ และตรวจสอบความเรียบร้อยของอุปกรณ์ดังปรากฏในรูปที่ 3.10 ก่อนนำไปทดสอบการทำงานทางวิศวกรรม



ภาพที่ 3.10 โคมไฟต้นแบบที่ประกอบเสร็จพร้อมนำไปใช้งาน

นำโคมไฟแอลอีดีไปประกอบเข้ากับขาตั้ง จากนั้นทำการทดสอบเปิดโคมไฟต่อเนื่องเป็นเวลานาน 72 ชั่วโมง หรือ 3 วัน เพื่อทดสอบว่าเครื่องมีความเสถียรหรือไม่เมื่อทำงานต่อเนื่องเป็นเวลานาน ซึ่งโดยทั่วไปการนำไปใช้งานจริงสูงสุดประมาณ 8-10 ชั่วโมงเท่านั้น ทั้งนี้ยังได้ทำการตรวจวัดค่าความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมระหว่างทารกและโคมไฟที่ระยะใช้งานต่างๆ ความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมที่กระจายแสงไปยังส่วนต่างๆ ของคลิปลวางทารก เพื่อตรวจสอบค่าเฉลี่ยและค่าต่ำสุดยังคงเป็นตามค่ามาตรฐานที่ใช้รักษาหรือไม่ ตรวจสอบอุณหภูมิและการทำงานของพัดลมระบายความร้อน ทดสอบการรับน้ำหนักของขาตั้งโคมไฟ และทดสอบการใช้งานสวิตช์ ปุ่มกด หรือปุ่มหมุนปรับค่า ดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 ขั้นตอนการทดสอบการทำงานของโคมไฟแอลอีดี

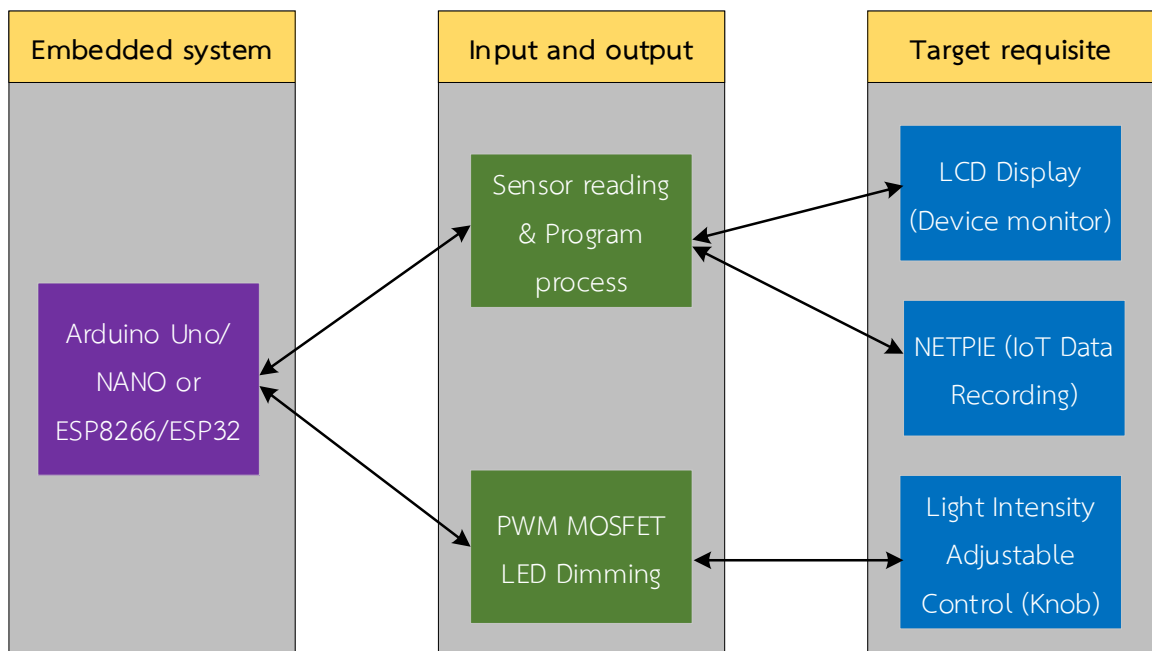
3.4 การออกแบบส่วนควบคุมการทำงานแบบไร้สายด้วยระบบสมองกลฝังตัว

การโปรแกรมฟังก์ชันการทำงานย่อยของระบบในส่วนต่างๆ สามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 3.12 3.13 และ 3.14 โดยมีการระบุ Input/output ดังนี้

Digital signal input รับค่าจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 เข้าสู่ชุดคำสั่งโปรแกรมภายในโค้ด เป็นชุดข้อมูลตัวเลขเก็บในตัวแปร โดยสามารถให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นองศาเซลเซียส และองศาฟาเรนไฮต์ ทั้งหมดจะเกิดจากกระบวนการแจกแจงชุดข้อมูลระดับ 9 ถึง 12 บิต ผ่านการเชื่อมต่อแบบ One-Wire สำหรับ Analog signal input รับค่าสัญญาณแอนะล็อกจากตัวต้านทานปรับค่าได้ (Potentiometer) เข้าสู่ชุดคำสั่งโปรแกรมภายในโค้ดเป็นชุดข้อมูลตัวเลขในเชิงค่าแรงดันที่ได้จาก ADC (Analog to digital converter) แบบทศนิยม และค่าการเปลี่ยนแปลงสเต็ปิตแบบจำนวนเต็ม แต่ในที่นี้จะเลือกใช้แบบการเปลี่ยนแปลงสเต็ปิต เนื่องจากเป็นจำนวนเต็ม และลดภาระในการประมวลผล และยังสามารถใช้ฟังก์ชันเทียบเคียงค่า จาก 0 ถึง 1023 ขึ้น ไปเป็น 0 ถึง 255 โดยค่าที่อ่านได้จะนำไปใช้ควบคุมการทำงานของ PWM MOSFET ควบคุมเพิ่มลด ความสว่างของหลอดแอลอีดี

Network Time Protocol (NTP) input รับค่าปฏิทินมาตรฐานจาก NTP server มาใช้ในการทำงาน ภายในโค้ดสำหรับการนับเวลาในเงื่อนไขของชุดคำสั่งโปรแกรม ตลอดจนการแสดงผลวันที่และเวลาบนหน้าจอ แอลซีดีของคอมพิวเตอร์

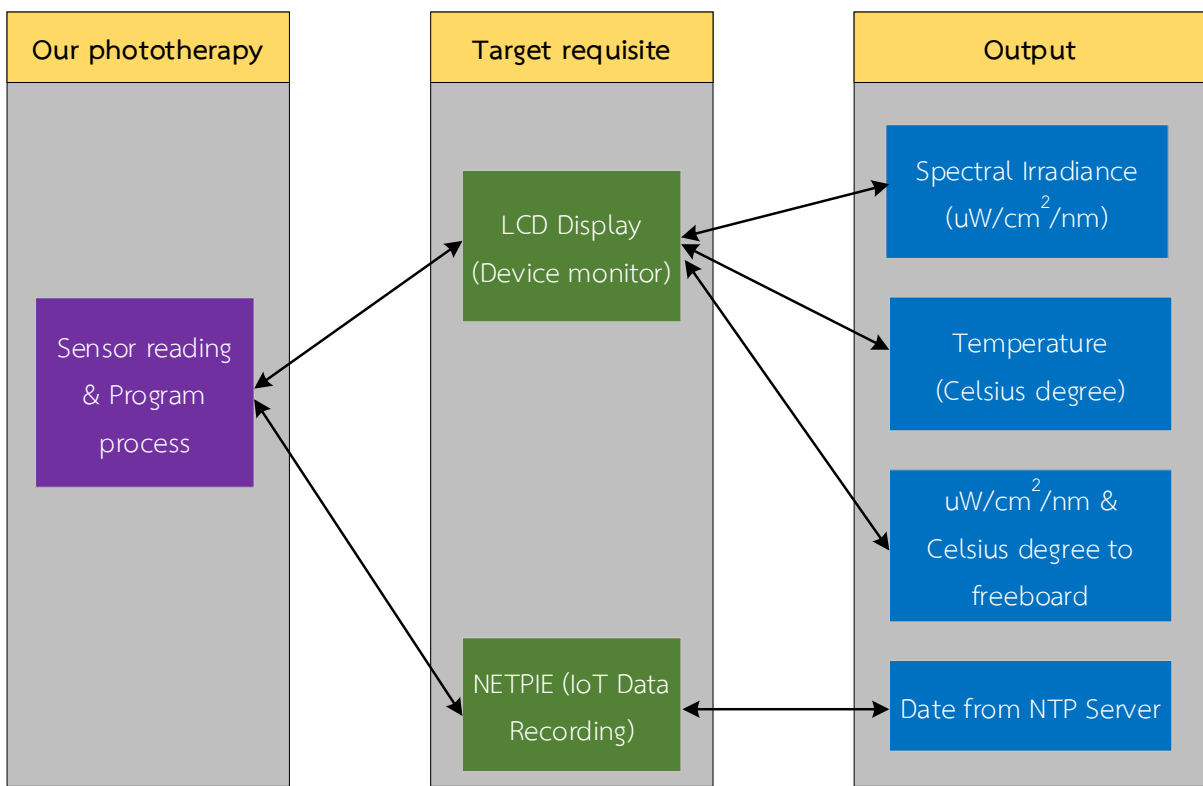
NETPIE I/O ใช้ระบบ IoT platform ของ NETPIE ทำให้สามารถเรียกดูค่าการทำงานของคอมพิวเตอร์ใน ส่วนของความเข้มเชิงสเปกตรัมที่ผ่านการทำฟังก์ชันจับคู่กับอุณหภูมิคอมพิวเตอร์ บนเว็บไซต์ NETPIE.io ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตของชุดคำสั่งโปรแกรม และ NETPIE freeboard ที่สามารถเขียน GUI ที่ทำงานผ่านหน้าเบราว์เซอร์ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นอินพุตของชุดคำสั่งโปรแกรม



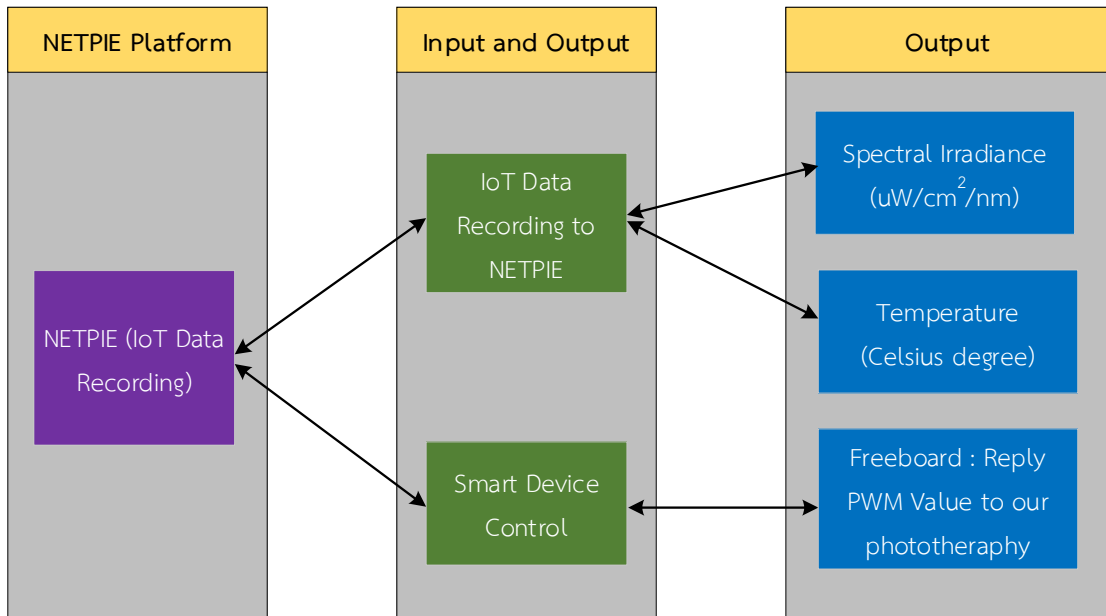
ภาพที่ 3.12 ฟังก์ชันการทำงานของชุดคำสั่งโปรแกรมภายในคอมพิวเตอร์

PWM MOSFET output ส่งค่าที่ได้จากการประมวลผลภายในระบบสมองกลฝังตัวไปควบคุมการทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังสูง ในการใช้ชุดคำสั่งโปรแกรมกำเนิดสัญญาณ PWM และ Duty cycle ในการสั่ง ON-OFF MOSFET โดยผ่านฟังก์ชัน analogWrite(pin, value); ซึ่งในทางปฏิบัติฟังก์ชันนี้จะกำหนดความถี่ประมาณ 490 Hz และมี GPIO เฉพาะบางขาของบอร์ดระบบสมองกลฝังตัวเท่านั้นที่จะสามารถสร้าง PWM ได้ โดยค่า Duty cycle ระหว่าง 0 ถึง 255 (always ON)

LCD Panel output ใช้แสดงผลค่าและสถานะต่าง ๆ ของคอมพิวเตอร์หน้าจอแสดงผลแอลซีดีดีจะรับค่าจากภายในชุดคำสั่งโปรแกรม เช่น ค่าความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมกับอุณหภูมิ แสดงออกผ่านทางฟังก์ชัน ซึ่งภายในเครื่องหมายอัฒภาคจะเป็นการแสดงตัวอักษรออกทางหน้าจอ และการเรียกค่าจากตัวแปรภายในชุดคำสั่งโปรแกรมออกมาแสดงค่าได้



ภาพที่ 3.13 ฟังก์ชันการทำงานย่อยของ Sensor reading & Program process



ภาพที่ 3.14 ฟังก์ชันการทำงานย่อยของ NETPIE (IoT Data Recording)

3.5 คุณสมบัติและวิธีการใช้งานโคมไฟแอลอีดี

3.5.1 คุณสมบัติ/คุณลักษณะของโคมไฟแอลอีดี

- 1) ใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 54 วัตต์ โดยใช้แหล่งจ่ายไฟบ้านทั่วไปขนาด 220 VAC ผ่านอุปกรณ์แปลงไฟเพื่อแปลงให้เป็นแรงดันไฟฟ้กระแสตรง 12 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 8.5 แอมแปร์ หรือสามารถใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยตรง เช่น แบตเตอรี่ แหล่งจ่ายจากที่จุดบุหรี่ในรพพยาบาล หรือโซลลาร์เซลล์
- 2) ใช้หลอดแอลอีดีชนิด 3 วัตต์ โดยมีกลุ่มหลอดสีฟ้าจำนวน 18 หลอด และกลุ่มหลอดสีขาว 4 หลอด
- 3) หลอดแอลอีดีสีฟ้ามีความยาวคลื่นสูงสุดที่ 450-460 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้รักษาทารกตัวเหลือง
- 4) ระยะห่างระหว่างตัวโคมไฟกับเด็กทารกที่ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 20 - 50 เซนติเมตร
- 5) ขาตั้งโคมไฟสามารถปรับระดับความสูงได้ในช่วง 115 - 165 เซนติเมตร และมีน้ำหนัก 4.5 กิโลกรัม สามารถใช้ร่วมกับเตียงนอนทารกมาตรฐานได้ และสามารถพกพานำไปใช้นอกสถานที่ได้ง่าย
- 6) สามารถปรับความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมได้ละเอียด (เลขจำนวนเต็ม) ในช่วง 0 - 70 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$
- 7) เปลือกโคมไฟใช้วัสดุ PTFE ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม PLA และอีกส่วนหนึ่งใช้วัสดุเรซินโดยการหล่อจากแม่พิมพ์
- 8) ตัวโคมไฟมีหน้าจอแสดงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สำคัญของเครื่อง
- 9) ตัวโคมไฟมีขนาดกว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 18×46×14 เซนติเมตร
- 10) ผ่านการรับรองมาตรฐานจากสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

3.5.2 วิธีการใช้งานโคมไฟแอลอีดี

จากภาพที่ 3.15 จะแสดงตำแหน่งอุปกรณ์และวิธีการใช้งานโคมไฟแอลอีดี ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- 1) สวิตช์สำหรับปิด-เปิด โคมไฟแอลอีดี

- 2) ปุ่มกดสลับเลือกระหว่างโหมดแสงสีฟ้าสำหรับใช้รักษาทารกตัวเหลือง และโหมดแสงขาวสำหรับแพทย์/พยาบาลใช้ระหว่างการทำการหัตถการ
- 3) ปุ่มรีเซ็ตเวลาการใช้งานสะสมของหลอดแอลอีดี หากไม่กดปุ่มนี้เวลาในการใช้งานหลอดแอลอีดีจะถูกสะสมไปเรื่อยๆ หากมีการกดปุ่มนี้ เวลาจะถูกรีเซ็ตเริ่มต้นนับเวลาสะสมใหม่ที่เลขศูนย์
- 4) ปุ่มหมุนปรับระดับความเข้มแสงเชิงสเปกตรัม
- 5) หน้าจอแสดงผลแบบแอลซีดีจะแสดงข้อมูล ความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมในหน่วย $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ อุณหภูมิภายในโคมไฟในหน่วยองศาเซลเซียส เวลาการใช้งานสะสมของหลอดแอลอีดีในหน่วยนาที่ แสดงวันและเวลาในปัจจุบัน
- 6) ช่องระบายความร้อน ซึ่งภายในมีพัดลม 2 ตัว และฮีทซิงค์ระบายความร้อนแผงหลอดไฟแอลอีดี
- 7) ตำแหน่งที่วางโคมไฟแอลอีดีพร้อมน็อตยึดเข้ากับตัวโคมไฟ
- 8) ก้านหมุนสำหรับปรับเลื่อนระยะในแนวนอนหรือปรับความเอียงของตัวโคมไฟ
- 9) ก้านหมุนสำหรับปรับระดับความสูงของขาตั้งโคมไฟ
- 10) ตำแหน่งที่วางตัวแปลงไฟ (Adaptor) และช่องเสียบสายเข้ากับตัวโคมไฟ
- 11) ล้อเลื่อนขาตั้งโคมไฟแบบยางสามารถล็อกหรือปลดล็อกในการเคลื่อนที่ได้เพื่อความปลอดภัยและเหมาะสมกับพื้นผิวในการเคลื่อนที่



(ก) ตัวโคมไฟแอลอีดี



(ข) ขาตั้งคอมพิวเตอร์แอลอีดี

ภาพที่ 3.15 ตำแหน่งต่างๆ บนคอมพิวเตอร์แอลอีดีและขาตั้ง

บทที่ 4

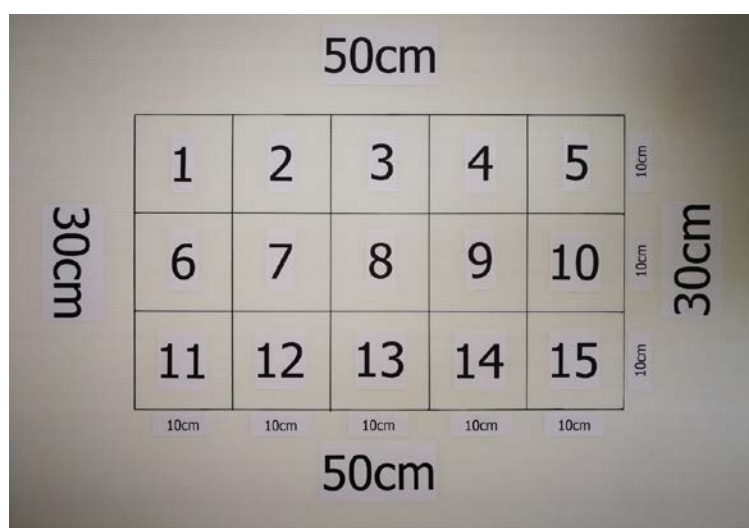
การทดสอบและผลการทดสอบ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง การทดสอบและผลการสุ่มวัดความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมด้วยเครื่องวัดความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมยี่ห้อ BiliBlanket Light Meter II (S/N 40002204) ซึ่งได้ผ่านการสอบเทียบและได้รับการรับรองจากสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ เพื่อต้องการทดสอบและให้ทราบผลว่าโคมไฟที่พัฒนาขึ้นให้ค่าความเข้มแสงเท่าใดที่ตำแหน่งต่างๆ โดยเฉพาะบริเวณตัวเด็กทารกที่จะได้รับแสงเป็นส่วนใหญ่ รวมถึงระยะความสูงระหว่างโคมไฟและตัวทารกที่แตกต่างกันเพื่อให้ทราบถึงระยะห่างเหมาะสมในการนำมาใช้งาน

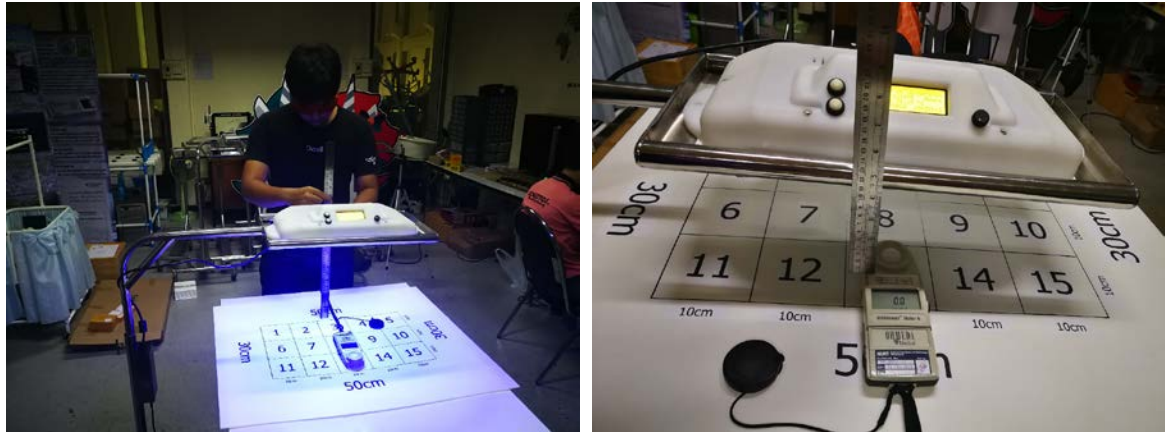
จากนั้นนำโคมไฟแอลอีดีที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบปริมาณการตัวเหลือง ณ โรงพยาบาลพหลพลพยุหเสนา อ.เมือง จ.กาญจนบุรี เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพในการรักษาทารกตัวเหลือง โดยผู้วิจัยจะนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลผลการรักษาด้วยโคมไฟแอลอีดีรุ่น Bilirubin 3006 ที่มีข้อมูลรายงานผลวิจัยเป็นที่เรียบร้อยแล้ว รวมถึงการอภิปรายผลต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในทางวิจัยมาพร้อมด้วย โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การทดสอบและผลการสุ่มวัดความเข้มแสงเชิงสเปกตรัม

จากการทดลองสุ่มวัดค่าความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมด้วย BiliBlanket Light Meter II มีความสามารถในตอบสนองต่อความยาวคลื่นในช่วง 400 ถึง 520 นาโนเมตร ระยะการสุ่มวัด 0.1 ถึง 229.9 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ โดยการวางในแนวตั้งฉากกับแหล่งกำเนิดแสงในระยะที่ต้องการวัด โดยการวัดในสเกล 15 ช่อง ที่มีความกว้างและความยาว 10 เซนติเมตร ในช่วงความสูงระยะ 10 ถึง 50 เซนติเมตร โดยมีลำดับการเพิ่มขึ้นทีละ 5 เซนติเมตร ระยะอ้างอิงระหว่างผิวหน้าทรงกลมของมิเตอร์วัดความเข้มแสงเชิงสเปกตรัม จนถึงพื้นที่ตกกระทบในแบบจำลอง โดยให้กึ่งกลางของผิวหน้าทรงกลมอยู่ตำแหน่งกลางของช่องพื้นที่ตกกระทบจะทำให้ได้ระยะตั้งแต่ 30, 35, 40, 45 และ 50 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งให้ผลลัพธ์ดังนี้



ภาพที่ 4.1 สเกลแบบจำลองพื้นที่ตกกระทบของแสง 15 ช่อง



ภาพที่ 4.2 การวัดระยะห่างของคอมโพเนนต์ถึงแบบจำลองพื้นที่ตกกระทบของแสง

ตารางที่ 4.1 ผลความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมจากการสู่วัดที่ระยะ 30 เซนติเมตร

ช่องที่	ผลการสู่วัด ($\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$)	ผลการสอบเทียบ ($\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$)	ค่าสูงสุด ($\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$)	ค่าต่ำสุด ($\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$)
1	27.3	37.3737 ± 1.6370	39.0107	35.7367
2	37.3	51.0637 ± 2.2366	53.3003	48.8271
3	41.5	56.8135 ± 2.4884	59.3019	54.3251
4	36.1	49.4209 ± 2.1646	51.5855	47.2563
5	24.4	33.4036 ± 1.4631	34.8667	31.9405
6	30.9	42.3021 ± 1.8528	44.1549	40.4493
7	42.5	58.1825 ± 2.5484	60.7309	55.6341
8	47.9	65.5751 ± 2.8722	68.4473	62.7029
9	41.9	57.3611 ± 2.5124	59.8735	54.8487
10	28.9	39.5641 ± 1.7329	41.2970	37.8312
11	27.5	37.6475 ± 1.6490	39.2965	35.9985
12	37.0	50.6530 ± 2.2186	52.8716	48.4344
13	40.9	55.9921 ± 2.4525	58.4446	53.5396
14	36.4	49.8316 ± 2.1826	52.0142	47.6490
15	26.1	35.7309 ± 1.5650	37.2959	34.1659

ความเข้มแสงเชิงสเปกตรัม (Spectral Irradiance) มีหน่วยเป็น ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรต่อนาโนเมตร
 ค่า calibration factor for irradiance responsivity ของเครื่องมือวัด = $(136.9 \pm 6.0) \times 10^{-2}$
 จาก Certificate's manual เครื่องวัด BiliBlanket Light Meter II (S/N 40002204)

วิธีคิด ค่าที่ได้จากตาราง Average = $(136.9 \pm 6.0) \times 10^{-2}$ จากผลการสุ่มวัดความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมที่ระยะ 10 เซนติเมตร บริเวณช่องที่ 8 วัดค่าได้ 47.9 uW/cm²/nm สามารถคำนวณหาค่าจริงได้

$$\text{ค่าจริงของเครื่องมือ} = 47.9 \times (136.9 \pm 6.0) \times 10^{-2} = 65.5751 \text{ uW/cm}^2/\text{nm}$$

$$\text{Uncertainty ของเครื่องมือ} = 6.0 \times 10^{-2} / 136.9 \times 10^{-2} = 0.0438 = 4.38\%$$

$$= 65.5751 \times 4.38 / 100 = \pm 2.8722 \text{ uW/cm}^2/\text{nm}$$

ตารางที่ 4.2 ผลความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมจากการสุ่มวัดที่ระยะ 35 เซนติเมตร

ช่องที่	ผลการสุ่มวัด (uW/cm ² /nm)	ผลการสอบเทียบ (uW/cm ² /nm)	ค่าสูงสุด (uW/cm ² /nm)	ค่าต่ำสุด (uW/cm ² /nm)
1	23.3	31.8977 ± 1.3971	40.8683	37.4385
2	30.2	41.3438 ± 1.8109	29.0079	26.5735
3	32.5	44.4925 ± 1.9488	37.7246	34.5586
4	28.6	39.1534 ± 1.7149	48.1560	44.1146
5	20.3	27.7907 ± 1.2172	52.8716	48.4344
6	26.4	36.1416 ± 1.5830	46.8700	42.9364
7	33.7	46.1353 ± 2.0207	33.7235	30.8933
8	37.0	50.6530 ± 2.2186	35.2954	32.3332
9	32.8	44.9032 ± 1.9668	44.2978	40.5802
10	23.6	32.3084 ± 1.4151	47.5844	43.5910
11	24.7	33.8143 ± 1.4811	42.5831	39.0093
12	31.0	42.4390 ± 1.8588	31.8659	29.1915
13	33.3	45.5877 ± 1.9967	40.8683	37.4385
14	29.8	40.7962 ± 1.7869	29.0079	26.5735
15	22.3	30.5287 ± 1.3372	37.7246	34.5586

ความเข้มแสงเชิงสเปกตรัม (Spectral Irradiance) มีหน่วยเป็น ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรต่อนาโนเมตร

ค่า calibration factor for irradiance responsivity ของเครื่องมือวัด = $(136.9 \pm 6.0) \times 10^{-2}$

จาก Certificate's manual เครื่องวัด BiliBlanket Light Meter II (S/N 40002204)

วิธีคิด ค่าที่ได้จากตาราง Average = $(136.9 \pm 6.0) \times 10^{-2}$ จากผลการสุ่มวัดความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมที่ระยะ 10 เซนติเมตร บริเวณช่องที่ 8 วัดค่าได้ 37.0 uW/cm²/nm สามารถคำนวณหาค่าจริงได้

$$\text{ค่าจริงของเครื่องมือ} = 37.0 \times (136.9 \pm 6.0) \times 10^{-2} = 50.6530 \text{ uW/cm}^2/\text{nm}$$

$$\text{Uncertainty ของเครื่องมือ} = 6.0 \times 10^{-2} / 136.9 \times 10^{-2} = 0.0438 = 4.38\%$$

$$= 50.6530 \times 4.38 / 100 = \pm 2.2186 \text{ uW/cm}^2/\text{nm}$$

ตารางที่ 4.7 ผลความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมจากการส่องวัดที่ระยะ 40 เซนติเมตร

ช่องที่	ผลการส่องวัด (uW/cm ² /nm)	ผลการสอบเทียบ (uW/cm ² /nm)	ค่าสูงสุด (uW/cm ² /nm)	ค่าต่ำสุด (uW/cm ² /nm)
1	19.8	27.1062 ± 1.1873	28.2935	25.9189
2	24.5	33.5405 ± 1.4691	35.0096	32.0714
3	26.3	36.0047 ± 1.5770	37.5817	34.4277
4	23.6	32.3084 ± 1.4151	33.7235	30.8933
5	18.4	25.1896 ± 1.1033	26.2929	24.0863
6	21.9	29.9811 ± 1.3132	31.2943	28.6679
7	27.0	36.9630 ± 1.6190	38.5820	35.3440
8	29.3	40.1117 ± 1.7569	41.8686	38.3548
9	26.6	36.4154 ± 1.5950	38.0104	34.8204
10	20.5	28.0645 ± 1.2292	29.2937	26.8353
11	20.8	28.4752 ± 1.2472	29.7224	27.2280
12	25.1	34.3619 ± 1.5051	35.8670	32.8568
13	26.8	36.6892 ± 1.6070	38.2962	35.0822
14	24.5	33.5405 ± 1.4691	35.0096	32.0714
15	19.3	26.4217 ± 1.1573	27.5790	25.2644

ความเข้มแสงเชิงสเปกตรัม (Spectral Irradiance) มีหน่วยเป็น ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรต่อนาโนเมตร
 ค่า calibration factor for irradiance responsivity ของเครื่องมือวัด = $(136.9 \pm 6.0) \times 10^{-2}$
 จาก Certificate's manual เครื่องวัด BiliBlanket Light Meter II (S/N 40002204)

วิธีคิด ค่าที่ได้จากตาราง Average = $(136.9 \pm 6.0) \times 10^{-2}$ จากผลการส่องวัดความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมที่
 ระยะ 10 เซนติเมตร บริเวณช่องที่ 8 วัดค่าได้ 29.3 uW/cm²/nm สามารถคำนวณหาค่าจริงได้
 ค่าจริงของเครื่องมือ = $29.3 \times (136.9 \pm 6.0) \times 10^{-2} = 40.1117 \text{ uW/cm}^2/\text{nm}$
 Uncertainty ของเครื่องมือ = $6.0 \times 10^{-2} / 136.9 \times 10^{-2} = 0.0438 = 4.38\%$
 = $40.1117 \times 4.38 / 100 = \pm 1.7569 \text{ uW/cm}^2/\text{nm}$

ตารางที่ 4.8 ผลความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมจากการส่องวัดที่ระยะ 45 เซนติเมตร

ช่องที่	ผลการส่องวัด (uW/cm ² /nm)	ผลการสอบเทียบ (uW/cm ² /nm)	ค่าสูงสุด (uW/cm ² /nm)	ค่าต่ำสุด (uW/cm ² /nm)
1	17.5	23.9575 ± 1.0493	25.0068	22.9082
2	21.2	29.0228 ± 1.2712	30.2940	27.7516
3	22.4	30.6656 ± 1.3432	32.0088	29.3224
4	20.5	28.0645 ± 1.2292	29.2937	26.8353
5	16.3	22.3147 ± 0.9774	23.2921	21.3373
6	18.8	25.7372 ± 1.1273	26.8645	24.6099
7	22.4	30.6656 ± 1.3432	32.0088	29.3224
8	23.9	32.7191 ± 1.4331	34.1522	31.2860
9	21.9	29.9811 ± 1.3132	31.2943	28.6679
10	17.6	24.0944 ± 1.0553	25.1497	23.0391
11	17.6	24.0944 ± 1.0553	25.1497	23.0391
12	20.4	27.9276 ± 1.2232	29.1508	26.7044
13	21.6	29.5704 ± 1.2952	30.8656	28.2752
14	20.2	27.6538 ± 1.2112	28.8650	26.4426
15	16.4	22.4516 ± 0.9834	23.4350	21.4682

ความเข้มแสงเชิงสเปกตรัม (Spectral Irradiance) มีหน่วยเป็น ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรต่อนาโนเมตร
 ค่า calibration factor for irradiance responsivity ของเครื่องมือวัด = $(136.9 \pm 6.0) \times 10^{-2}$
 จาก Certificate's manual เครื่องวัด BiliBlanket Light Meter II (S/N 40002204)

วิธีคิด ค่าที่ได้จากตาราง Average = $(136.9 \pm 6.0) \times 10^{-2}$ จากผลการส่องวัดความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมที่
 ระยะ 10 เซนติเมตร บริเวณช่องที่ 8 วัดค่าได้ 23.9 uW/cm²/nm สามารถคำนวณหาค่าจริงได้
 ค่าจริงของเครื่องมือ = $23.9 \times (136.9 \pm 6.0) \times 10^{-2} = 32.7191 \text{ uW/cm}^2/\text{nm}$
 Uncertainty ของเครื่องมือ = $6.0 \times 10^{-2} / 136.9 \times 10^{-2} = 0.0438 = 4.38\%$
 = $32.7191 \times 4.38 / 100 = \pm 1.4331 \text{ uW/cm}^2/\text{nm}$

ตารางที่ 4.9 ผลความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมจากการสู่วัดที่ระยะ 50 เซนติเมตร

ช่องที่	ผลการสู่วัด (uW/cm ² /nm)	ผลการสอบเทียบ (uW/cm ² /nm)	ค่าสูงสุด (uW/cm ² /nm)	ค่าต่ำสุด (uW/cm ² /nm)
1	15.2	20.8088 ± 0.9114	21.7202	19.8974
2	17.9	24.5051 ± 1.0733	25.5784	23.4318
3	19.0	26.0110 ± 1.1393	27.1503	24.8717
4	17.8	24.3682 ± 1.0673	25.4355	23.3009
5	14.8	20.2612 ± 0.8874	21.1486	19.3738
6	16.0	21.9040 ± 0.9594	22.8634	20.9446
7	18.5	25.3265 ± 1.1093	26.4358	24.2172
8	19.7	26.9693 ± 1.1813	28.1506	25.7880
9	18.5	25.3265 ± 1.1093	26.4358	24.2172
10	15.7	21.4933 ± 0.9414	22.4347	20.5519
11	14.8	20.2612 ± 0.8874	21.1486	19.3738
12	16.8	22.9992 ± 1.0074	24.0066	21.9918
13	17.9	24.5051 ± 1.0733	25.5784	23.4318
14	16.9	23.1361 ± 1.0134	24.1495	22.1227
15	14.5	19.8505 ± 0.8695	20.7200	18.9810

ความเข้มแสงเชิงสเปกตรัม (Spectral Irradiance) มีหน่วยเป็น ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรต่อนาโนเมตร

ค่า calibration factor for irradiance responsivity ของเครื่องมือวัด = $(136.9 \pm 6.0) \times 10^{-2}$

จาก Certificate's manual เครื่องวัด BiliBlanket Light Meter II (S/N 40002204)

วิธีคิด ค่าที่ได้จากราย Average = $(136.9 \pm 6.0) \times 10^{-2}$ จากผลการสู่วัดความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมที่ระยะ 10 เซนติเมตร บริเวณช่องที่ 8 วัดค่าได้ 19.7 uW/cm²/nm สามารถคำนวณหาค่าจริงได้

ค่าจริงของเครื่องมือ = $19.7 \times (136.9 \pm 6.0) \times 10^{-2} = 26.9693 \text{ uW/cm}^2/\text{nm}$

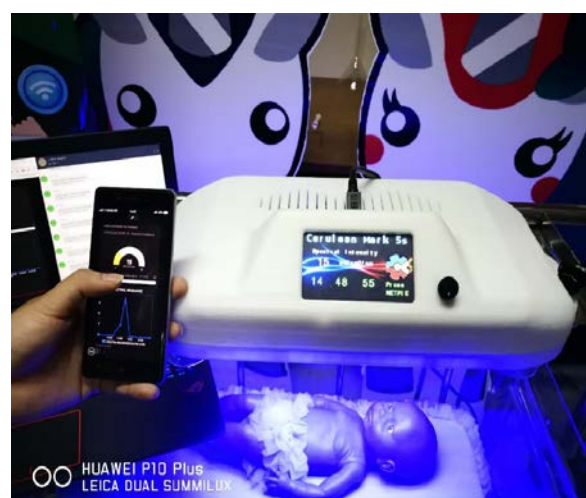
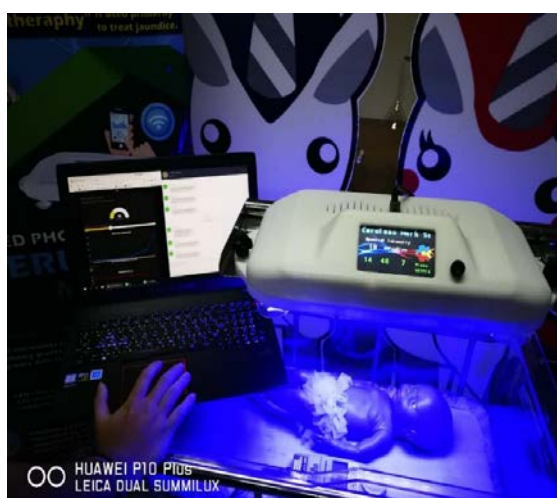
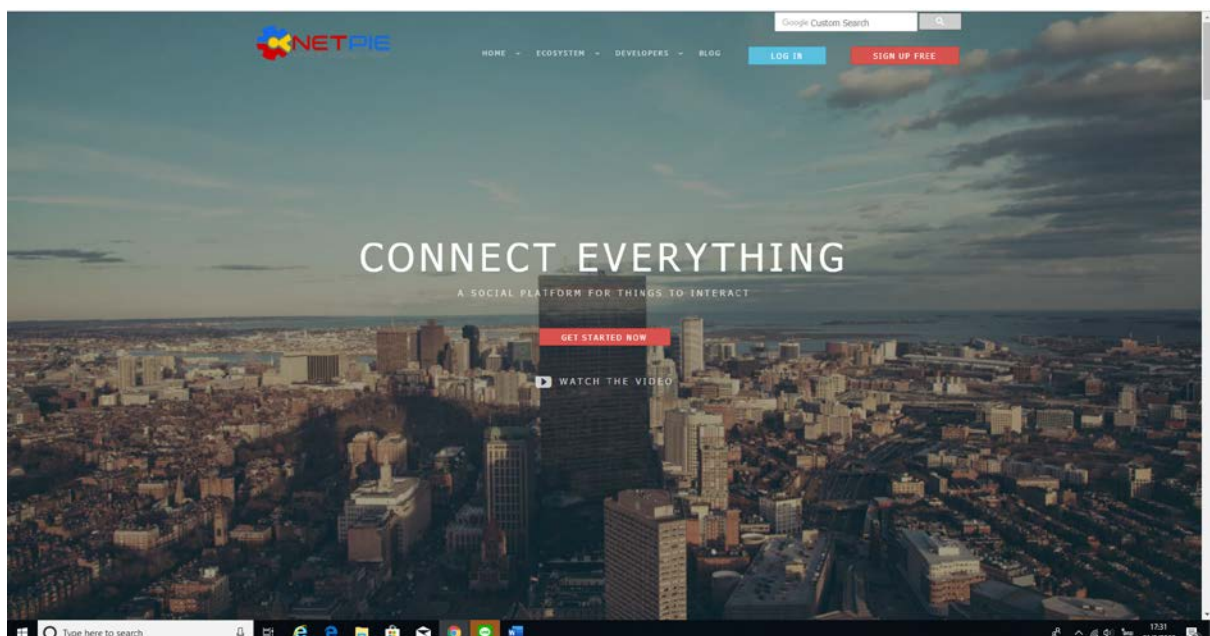
Uncertainty ของเครื่องมือ = $6.0 \times 10^{-2} / 136.9 \times 10^{-2} = 0.0438 = 4.38\%$

= $26.9693 \times 4.38 / 100 = \pm 1.1813 \text{ uW/cm}^2/\text{nm}$

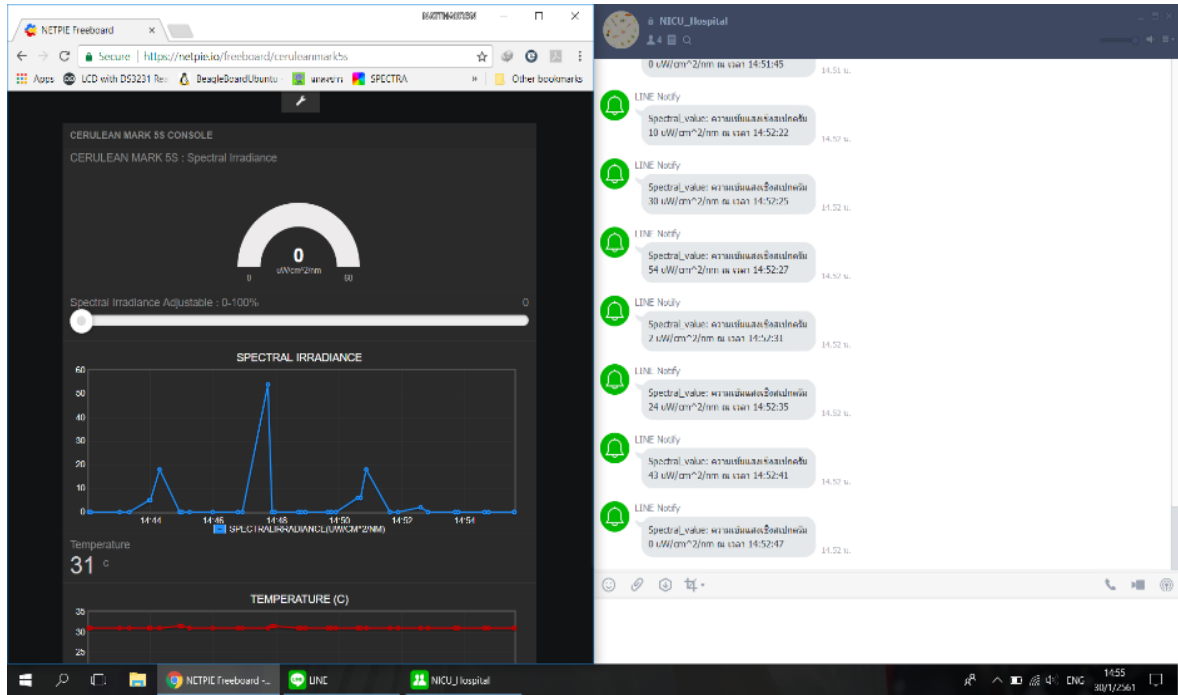
4.2 การควบคุมการทำงานของโคมไฟแบบไร้สายผ่านเครือข่าย NETPIE

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) มีบริการคลาวด์แพลตฟอร์ม NETPIE (Network Platform for Internet of Everything) ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกให้เกิดการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์หรือ things ในเครือข่าย IoT โดยมีประโยชน์ต่อนักพัฒนาและอุตสาหกรรมไทย สำหรับให้บริการเชื่อมต่อสื่อสารในรูปแบบ IoT สำหรับควบคุมค่าความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมของโคมไฟแบบไร้

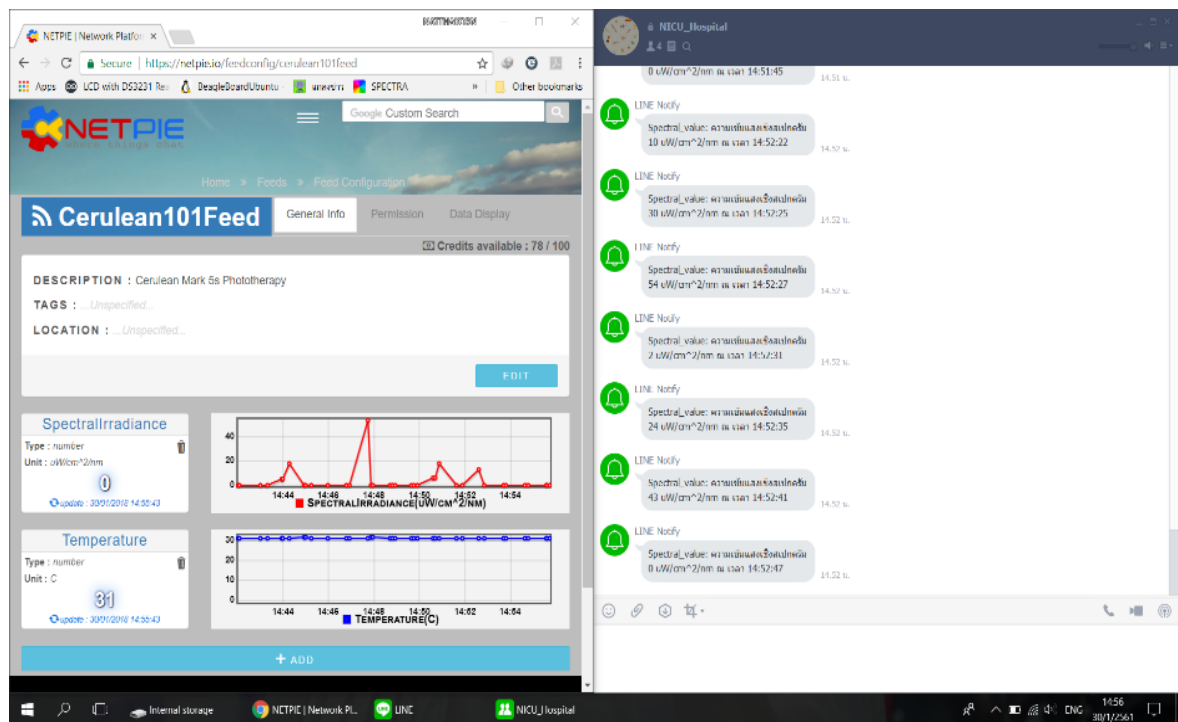
สายผ่านเครือข่าย NETPIE นั้น จะเริ่มจากการเลือกโหมดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับเครือข่าย NETPIE ซึ่งผู้วิจัยได้ลงทะเบียนเพื่อขอใช้งานแล้ว พร้อมทั้งกำหนดชื่อของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์เพื่อให้สามารถใช้คอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟนเข้าถึงอุปกรณ์นี้ได้ผ่านชื่อที่กำหนดไว้ดังกล่าวได้ ดังภาพที่ 4.3 โดยจะต้องทำการล็อกอินเพื่อแสดงตัวตนก่อนได้รับอนุญาตให้ใช้งานระบบได้ การปรับค่าความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมจะแสดงผลแบบทันทีผ่านทางหน้าจอแสดงผลที่ตัวเครื่องและที่สมาร์ทโฟน ดังภาพที่ 4.4 อีกทั้งยังมีการแจ้งเตือนผ่าน Line Notify และบันทึกค่าลง Datalogger (ดังภาพที่ 4.5) เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงานให้กับแพทย์หรือพยาบาลผู้ดูแลรักษา อย่างไรก็ตาม การควบคุมค่าความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมด้วยระบบไร้สายจะต้องอาศัยคุณภาพของเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเป็นหลัก จึงอาจส่งผลให้ไม่สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องได้ในบางช่วงเวลา อย่างไรก็ตาม หากเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไม่สามารถใช้งานได้ เรายังสามารถควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ได้โดยตรงเช่นเดิม โดยการกดปุ่มเปลี่ยนไปใช้โหมดควบคุมปกติ และใช้การหมุนปุ่มปรับค่าความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมที่ตัวเครื่องโดยตรงแทน



ภาพที่ 4.3 การควบคุมความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมผ่านระบบ NETPIE โดยใช้คอมพิวเตอร์และสมาร์ทโฟน



ภาพที่ 4.4 ผลการควบคุมความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมผ่านระบบ NETPIE



ภาพที่ 4.5 การแจ้งเตือนผ่าน Line Notify และบันทึกค่าลง Datalogger

การทดสอบในโครงการวิจัยนี้มิได้ใช้โหมดการเชื่อมต่อสัญญาณไร้สายในการควบคุมแต่อย่างใด เป็นเพียงการใช้ระควบคุมแบบมือหมุนปุ่มปกติ เนื่องจากคอมพิวเตอร์ไม่ได้รับการรับรองมาตรฐานด้านคลื่นสัญญาณจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องก่อน อย่างไรก็ตาม โหมดการควบคุมแบบไร้สายนั้นยังสามารถทำงานได้ตามปกติ

4.3 การทดสอบและผลการทดสอบ ณ โรงพยาบาลพหลพลพยุหเสนา

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยมีลำดับขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. ทำหนังสือถึงผู้อำนวยการโรงพยาบาลเพื่อขออนุมัติเก็บข้อมูลในโรงพยาบาล
2. ขออนุญาตคณะกรรมการจริยธรรมงานวิจัยในมนุษย์เพื่อขอเก็บข้อมูลที่แผนกกุมารเวชกรรมของโรงพยาบาล
3. แจ้งแพทย์หัวหน้าแผนกกุมารเวชกรรม แพทย์ผู้เกี่ยวข้อง พยาบาลหัวหน้าแผนกทุกแผนกที่ดูแลทารกแรกเกิดเพื่อขอเก็บข้อมูล
4. อธิบายขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลกับทีมแพทย์และพยาบาลที่ให้การดูแลรักษาทารกแรกเกิดตัวเหลือง
5. ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลจากเครื่องมือที่สร้างขึ้น และวิเคราะห์ผลที่ได้

ในการทดสอบและบันทึกผลจะเก็บข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 4.10 ปัจจัยส่วนบุคคลและข้อมูลการส่องไฟของทารกตัวเหลืองที่ทดสอบ

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลสุขภาพของของทารกตัวเหลืองที่ทดสอบ

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลการรักษาหลังการส่องไฟด้วยโคมไฟแอลอีดีที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 4.13 ผลกระทบจากการส่องไฟด้วยโคมไฟแอลอีดีที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 4.14 ผลรวมและค่าเฉลี่ยของปัจจัยต่าง ๆ

ตารางที่ 4.15 การเปรียบเทียบผลการรักษาทารกที่มีภาวะตัวเหลืองด้วยโคมไฟแอลอีดีทั้งสองชนิด

โดยมีรายละเอียดต่างๆ และคำอธิบายดังต่อไปนี้

จากตารางที่ 4.10 ทารกทั้งหมด 50 คน เป็นเพศชาย 27 คน เพศหญิง 23 คน น้ำหนักแรกเกิดน้อยที่สุด 2.25 กิโลกรัม น้ำหนักแรกเกิดมากที่สุด 4.16 กิโลกรัม อายุเมื่อเริ่มส่องไฟน้อยที่สุด 28 ชั่วโมง อายุเมื่อเริ่มส่องไฟมากที่สุด 648 ชั่วโมง ค่าบิลิรูบินเมื่อเริ่มส่องไฟน้อยที่สุด 9.6 มก./ดล. ค่าบิลิรูบินเมื่อเริ่มส่องไฟมากที่สุด 20.7 มก./ดล. อายุเมื่อหยุดส่องไฟน้อยที่สุด 74 ชั่วโมง อายุเมื่อหยุดส่องไฟมากที่สุด 672 ชั่วโมง ค่าบิลิรูบินเมื่อหยุดส่องไฟน้อยที่สุด 5.5 มก./ดล. ค่าบิลิรูบินเมื่อหยุดส่องไฟมากที่สุด 13.7 มก./ดล. ระยะเวลาส่องไฟน้อยที่สุด 18 ชั่วโมง ระยะเวลาส่องไฟมากที่สุด 96 ชั่วโมง อัตราการลดลงของบิลิรูบินน้อยที่สุด 0.023 มก./ดล./ชม. อัตราการลดลงของบิลิรูบินมากที่สุด 0.339 มก./ดล./ชม. ค่า Reticulocyte count น้อยที่สุด 0.1 % ค่า Reticulocyte count มากที่สุด 5.3%

จากตารางที่ 4.11 พบภาวะ ABO incompatibility 10 คน G6PD deficiency 7 คน ไม่พบภาวะ Rh incompatibility และ Minor blood group incompatibility

ตารางที่ 4.10 ปัจจัยส่วนบุคคลและข้อมูลการส่องไฟของทารกตัวเหลืองที่ทดสอบ

รายที่	เพศ	อายุครรภ์ (สัปดาห์)	น้ำหนักแรกคลอด (กิโลกรัม)	อายุเริ่มส่องไฟ (ชั่วโมง)	ค่าบิลิรูบินก่อนส่องไฟ (มก./ดล.)	อายุหยุดส่องไฟ (ชั่วโมง)	ค่าบิลิรูบินเมื่อหยุดส่องไฟ (มก./ดล.)	ระยะเวลาที่ส่องไฟ (ชั่วโมง)	อัตราการลดลงของค่าบิลิรูบิน (มก./ดล./ชม.)	Reticulocyte count (%)
1	ชาย	38.14	2.66	75	13.3	113	8.4	38	0.129	N/A
2	หญิง	38.28	2.94	72	16.5	120	11.8	48	0.098	4.67
3	ชาย	36.57	2.73	100	12.6	119	10.4	19	0.116	3.5
4	หญิง	39	2.81	71	14.9	101	7.1	30	0.260	4.67
5	หญิง	35.14	2.23	59	12	114	7.6	55	0.080	4.7
6	หญิง	39.14	3.26	48	12.2	78	9.3	30	0.097	2.87
7	หญิง	38.57	2.62	158	18.6	182	12.8	24	0.242	2.7
8	หญิง	38.85	4.16	103	19	125	11.5	22	0.341	2.72
9	ชาย	39.71	3.85	48	13.7	74	10.7	26	0.115	3.7
10	ชาย	39	3.71	50	13.5	80	13.2	30	0.010	3.28
11	หญิง	38.28	2.74	48	13.2	92	9.1	44	0.093	3
12	หญิง	38.14	2.58	48	11.6	66	5.5	18	0.339	4.5
13	ชาย	39.28	3.56	64	15.9	112	14.5	48	0.029	5.3
14	หญิง	36	2.68	72	13.5	121	8.6	49	0.100	6.5
15	ชาย	38	2.79	69	14.2	95	12.2	26	0.077	3.9
16	ชาย	39	2.99	70	13.1	99	8.6	29	0.155	3.5
17	ชาย	39.28	3.16	48	14.1	78	8.4	30	0.190	3.25
18	หญิง	38.28	2.6	192	18.7	216	12	24	0.279	0.85
19	ชาย	38.14	2.89	64	13.1	116	9.5	52	0.069	3.41
20	หญิง	39	3.21	60	12	108	7	48	0.104	3
21	ชาย	39.57	3.18	130	16.9	155	12.4	25	0.180	1.39
22	หญิง	37.71	2.6	65	15.7	89	12.4	24	0.138	0.4
23	หญิง	39.71	3.36	48	13.8	144	13.7	96	0.001	4.07
24	หญิง	39	3.91	91	15.6	118	10.1	27	0.204	2.55
25	ชาย	40	3.35	192	16.2	216	11.4	24	0.200	1.24

รายที่	เพศ	อายุครรภ์ (สัปดาห์)	น้ำหนักแรกคลอด (กิโลกรัม)	อายุเริ่มส่องไฟ (ชั่วโมง)	ค่าบิลิรูบินก่อนส่อง ไฟ (มก./ดล.)	อายุหยุดส่องไฟ (ชั่วโมง)	ค่าบิลิรูบินเมื่อหยุดส่อง ไฟ (มก./ดล.)	ระยะเวลาที่ส่องไฟ (ชั่วโมง)	อัตราการลดลง ของค่าบิลิรูบิน (มก./ดล./ชม.)	Reticulocyte count (%)
26	หญิง	40.28	3.33	46	16.6	96	7.6	50	0.180	4.4
27	หญิง	40.14	3.29	50	13.7	94	10.1	44	0.082	3.29
28	ชาย	39.14	3.93	72	12.7	103	9.6	31	0.100	2.65
29	ชาย	38.42	3.22	50	14.4	93	11.1	43	0.077	1.9
30	ชาย	39.85	3.95	42	9.6	116	11.3	74	-0.023	2.42
31	ชาย	35.57	2.35	312	14.3	339	10.3	27	0.148	1.71
32	ชาย	39	2.6	60	13.9	108	11.5	48	0.050	2.7
33	หญิง	37	3.12	240	14.8	264	12.6	24	0.092	1.26
34	ชาย	36.71	2.81	648	13.4	672	10.8	24	0.108	1.56
35	ชาย	35.57	2.36	216	15.1	240	11.3	24	0.158	1.42
36	หญิง	35	2.4	60	12	86	10.5	26	0.058	0.1
37	หญิง	38	3.7	84	16	110	12.6	26	0.131	4.2
38	หญิง	37	2.49	48	12.7	78	10.9	30	0.060	2.7
39	ชาย	38.85	3.76	67	15.4	97	12.5	30	0.097	2.19
40	หญิง	35.71	2.34	61	12.7	103	8.8	42	0.093	4.6
41	ชาย	39.57	3.63	84	13.6	108	11.7	24	0.079	3.6
42	ชาย	39.71	3.52	58	13.1	103	10.2	45	0.064	3.53
43	ชาย	38.28	2.25	60	13.8	110	8	50	0.116	4.03
44	ชาย	40	3.73	52	13.8	78	10.1	26	0.142	4.39
45	ชาย	38	2.78	160	20.7	208	12	48	0.181	0.55
46	ชาย	38.14	3.64	185	15.9	216	10.7	31	0.168	0.62
47	หญิง	38.28	3.24	70	16.8	115	11.4	45	0.120	4.24
48	ชาย	37	3.05	55	11.6	101	11.2	46	0.009	2.11
49	หญิง	38.85	3.53	51	15	94	13.1	43	0.044	3.16
50	ชาย	35.85	2.36	28	9.8	84	7.5	56	0.041	2.09

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลสุขภาพของของทารกตัวเหลืองที่ทดสอบ

รายที่	ABO incompatibility	Rh incompatibility	minor blood group incompatibility	G6PD
1	-	-	-	-
2	-	-	-	✓
3	-	-	-	✓
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	✓	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	✓
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	-	-	✓
14	-	-	-	-
15	✓	-	-	-
16	✓	-	-	-
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	✓	-	-	-
21	-	-	-	✓
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	✓	-	-	-
25	✓	-	-	-
26	✓	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-
30	✓	-	-	-
31	-	-	-	-
32	-	-	-	-
33	-	-	-	-
34	✓	-	-	-

รายชื่อ	ABO incompatibility	Rh incompatibility	minor blood group incompatibility	G6PD
35	-	-	-	-
36	-	-	-	-
37	-	-	-	-
38	-	-	-	-
39	-	-	-	-
40	-	-	-	✓
41	-	-	-	-
42	-	-	-	-
43	-	-	-	-
44	-	-	-	-
45	-	-	-	-
46	-	-	-	-
47	✓	-	-	-
48	-	-	-	-
49	-	-	-	-
50	-	-	-	✓

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลการรักษาหลังการส่องไฟด้วยคอมโพแอลอีดีที่พัฒนาขึ้น

รายชื่อ	Re-Photo	Double Photo	exchange transfusion
1	-	-	-
2	-	-	-
3	-	-	-
4	-	-	-
5	1	1	-
6	-	-	-
7	-	-	-
8	-	-	-
9	-	-	-
10	-	-	-
11	-	-	-
12	-	-	-
13	1	1	-
14	-	-	-
15	-	-	-

รายชื่อ	Re-Photo	Double Photo	exchange transfusion
16	-	-	-
17	-	-	-
18	-	-	-
19	-	-	-
20	-	-	-
21	-	-	-
22	-	-	-
23	-	-	-
24	-	-	-
25	-	-	-
26	-	-	-
27	-	-	-
28	-	-	-
29	-	-	-
30	-	-	-
31	-	-	-
32	-	-	-
33	-	-	-
34	-	-	-
35	-	-	-
36	-	-	-
37	-	-	-
38	-	-	-
39	-	-	-
40	-	-	-
41	-	-	-
42	-	-	-
43	-	-	-
44	-	-	-
45	-	-	-
46	-	-	-
47	-	-	-
48	-	-	-
49	-	-	-
50	1	-	-

(หน่วย: ครั้ง)

จากตารางที่ 4.12 มีการ Re-photo 3 ครั้ง Double photo 2 ครั้ง ไม่มีการ exchange transfusion

ตารางที่ 4.13 ผลกระทบจากการส่องไฟด้วยคอมไฟแอลอีดีที่พัฒนาขึ้น

รายที่	frequency of stool (ครั้ง: วัน)	Hypothermia น้อยกว่า 36.5°C	Hyperthermia มากกว่า 37.5°C	ผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน
1	5	0	0	0
2	7.6	0	0	0
3	2	0	1	0
4	6	0	0	0
5	4.7	0	0	0
6	7.5	0	0	0
7	3.6	0	0	0
8	5.5	0	0	0
9	7	0	0	0
10	8	0	0	0
11	6.5	0	0	0
12	5.5	0	1	0
13	7.5	0	0	0
14	8.00	0	3	0
15	9.2	0	0	0
16	6.5	1	0	0
17	11	0	4	0
18	8	0	0	คลื่นไส้ อาเจียน 2 ราย
19	4	0	0	0
20	10	0	2	0
21	6	0	0	0
22	4	0	2	0
23	1.25	0	3	0
24	5	0	0	0
25	2	0	1	0
26	4	0	0	0
27	5	0	1	0
28	5	0	0	0
29	1	0	2	0
30	2.5	0	0	0
31	9.8	0	0	0

รายที่	frequency of stool (ครั้ง: วัน)	Hypothermia น้อยกว่า 36.5°C	Hyperthermia มากกว่า 37.5°C	ผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน
32	4.5	0	0	เวียนศีรษะ 1 ราย ปวดศีรษะ 1 ราย
33	5	0	0	0
34	8	0	0	0
35	4	1	0	เวียนศีรษะ 1 ราย
36	3	0	1	ปวดศีรษะ 1 ราย
37	2.5	0	0	0
38	5.5	1	1	0
39	3.5	0	1	0
40	3	n/a	1	เวียนศีรษะ 1 ราย
41	8.5	0	0	0
42	2	0	0	0
43	2	0	2	0
44	4.5	0	0	0
45	10	0	0	0
46	1.3	0	0	0
47	0.5	0	3	ภาวะสายตาล้าจากการ เพ่งของตา 1 ราย
48	4.5	1	0	0
49	2	2	0	0
50	2.3	0	0	0

จากตารางที่ 4.13 ถ้าย่อยภาวะน้อยที่สุด 1 ครั้ง/วัน ถ้าย่อยภาวะมากที่สุด 11 ครั้ง/วัน ภาวะ Hypothermia 6 ครั้งจากทารก 5 คน ภาวะ Hyperthermia 29 ครั้งจากทารก 16 คน และผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน 8 คน (คลื่นไส้ 2 คน เวียนศีรษะ 3 คน ปวดศีรษะ 2 คน สายตาล้า 1 คน)

ตารางที่ 4.14 ผลรวมและค่าเฉลี่ยของปัจจัยต่าง ๆ

ปัจจัยที่นำมาพิจารณา	ผลรวม จำนวน : คน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ร้อยละ
เพศชาย	27	-	-	54
เพศหญิง	23	-	-	46
อายุครรภ์ (สัปดาห์)	50	38.23	1.41	-
น้ำหนักแรกเกิด (กก.)	50	3.08	0.53	-

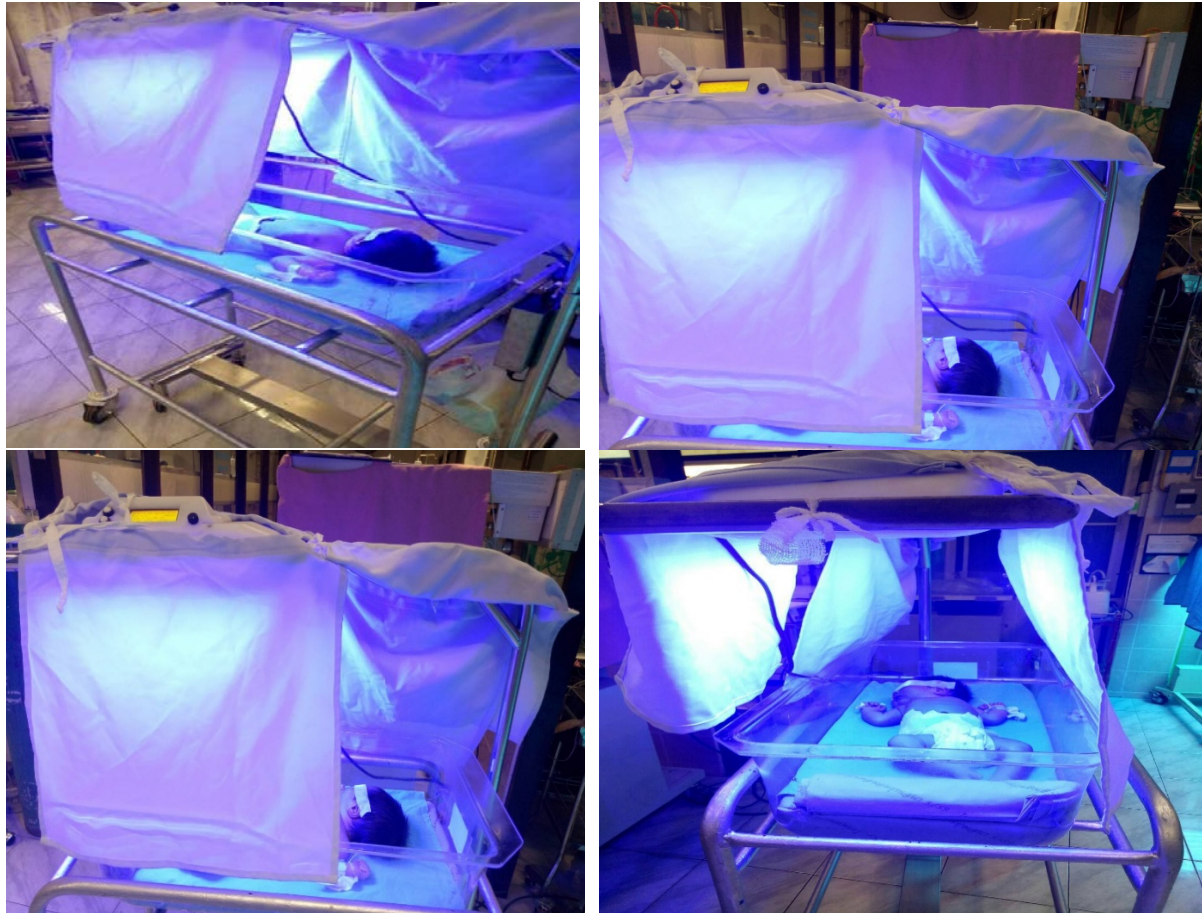
ปัจจัยที่นำมาพิจารณา	ผลรวม จำนวน : คน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ร้อยละ
อายุเริ่มส่องไฟ (ชม.)	50	98.08	98.78	-
ค่าบิลิรูบินก่อนส่องไฟ (มก./ดล.)	50	14.31	2.22	-
อายุเมื่อหยุดส่องไฟ (ชม.)	50	134.94	95.00	-
ค่าบิลิรูบินหลังส่องไฟ (มก./ดล.)	50	10.51	1.96	-
ระยะเวลาที่ส่องไฟ (ชม.)	50	36.86	14.91	-
อัตราการลดลงของค่าบิลิรูบิน (มก./ดล./ชม.)	50	0.12	0.07	-
Reticulocyte count (%)	50	2.96	1.40	-
ABO incompatibility	10	-	-	20
Rh incompatibility	0	-	-	0
minor blood group incompatibility	0	-	-	0
ภาวะ G6PD	7	-	-	14
re-photo	3	-	-	6
double photo	2	-	-	4
exchange transfusion	0	-	-	0
frequency of stool (จำนวนครั้ง/วัน)	50	5.1	2.7	-
Hypothermia น้อยกว่า 36.5°C (ครั้ง)	6	-	-	-
Hyperthermia มากกว่า 37.5°C (ครั้ง)	29	-	-	-
ผลกระทบผู้ปฏิบัติงาน (คน)	8	-	-	-

จากตารางที่ 4.14 มีทารกเพศชาย 27 คน เท่ากับร้อยละ 54 เพศหญิง 23 คน เท่ากับร้อยละ 46 มีอายุครรภ์เฉลี่ย 38.23 สัปดาห์ น้ำหนักแรกเกิดเฉลี่ย 3.08 กิโลกรัม อายุเมื่อเริ่มส่องไฟเฉลี่ย 98.08 ชั่วโมง ค่าบิลิรูบินเมื่อเริ่มส่องไฟเฉลี่ย 14.31 มก./ดล. อายุเมื่อหยุดส่องไฟเฉลี่ย 134.94 ชั่วโมง ค่าบิลิรูบินเมื่อหยุดส่องไฟเฉลี่ย 10.51 มก./ดล. ใช้ระยะเวลาส่องไฟเฉลี่ย 36.86 ชั่วโมง และมีอัตราการลดลงของค่าบิลิรูบินเฉลี่ย 0.12 มก./ดล./ชม.

ข้อมูลสาเหตุที่เกิดความผิดปกติ ตรวจพบภาวะ ABO incompatibility จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 20 G6PD deficiency จำนวน 7 คน คิดเป็นร้อยละ 14 โดยมีค่า Reticulocyte count เฉลี่ย 2.96% แต่ไม่พบภาวะ Rh incompatibility และ minor blood group incompatibility

ในแง่ผลกระทบที่ทารกจะต้องกลับมาใช้โคมไฟซ้ำ (re-photo) พบ 3 คน เท่ากับร้อยละ 6 ทารกที่จำเป็นต้องส่องไฟที่มีความเข้มแสงสูงขึ้น (double photo) พบ 2 คน เท่ากับร้อยละ 4 โดยไม่พบกรณีที่เกิดความจำเป็นต้องทำการถ่ายเลือด (exchange transfusion)

ในแง่ผลข้างเคียงกับทารก พบค่าการถ่ายอุจจาระเฉลี่ย (frequency of stool) 5.1 ครั้ง/วัน ภาวะตัวเย็น (Hypothermia) พบ 6 ครั้ง จากทารก 5 คน คิดเป็นร้อยละ 10 สำหรับภาวะตัวร้อน (Hyperthermia) พบ 29 ครั้ง จากทารก 16 คน คิดเป็นร้อยละ 32 และผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน 8 คน โดยมีอาการเวียนศีรษะ ปวดศีรษะ หรือภาวะสายตาฝ้าจากการเพ่งของตา



ภาพที่ 4.6 การนำโคมไฟแอลอีดีไปทดสอบ ณ โรงพยาบาลพหลพลพยุหเสนา

4.4 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการรักษา

ในหัวข้อนี้จะวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการรักษาทารกที่มีภาวะตัวเหลือง ระหว่างโคมไฟที่พัฒนาขึ้นโดยทีมผู้วิจัยกับโคมไฟแอลอีดียี่ห้อ Fanem รุ่น Bilitron 3006 ประสิทธิภาพในการรักษาทารกที่มีภาวะตัวเหลืองที่คืนนั้นจะต้องสามารถลดค่าบิลิรูบินลงได้มากในเวลาที่รวดเร็ว นอกจากนั้นแล้ว ยังต้องคำนึง อุณหภูมิร่างกายของทารกในระหว่างที่ส่องไฟรักษา ความต้องการใช้ double photo เพื่อเพิ่มความเข้มแสงในการลดค่าบิลิรูบินลงให้ได้เร็วขึ้น และการ re-photo การที่ต้องส่งทารกกลับมาทำการส่องไฟซ้ำอีกครั้ง

จากข้อมูลในตารางที่ 4.15 พบว่าลักษณะทั่วไปของประชากรทั้งสองกลุ่ม (โคมไฟแอลอีดีที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น VS โคมไฟแอลอีดียี่ห้อ Fanem รุ่น Bilitron 3006) มีความใกล้เคียงกัน ทั้งในด้านอายุครรภ์เฉลี่ย (38.23 สัปดาห์ VS 37.9 สัปดาห์) และเพศ ชาย/หญิง (54%/46% VS 60%/40%) ในด้านสาเหตุของการเกิดภาวะตัวเหลืองจากเม็ดเลือดแดงแตกโดย ABO incompatibility รวมกับ G6PD deficiency มีความ

ใกล้เคียงกัน (ร้อยละ 34 VS ร้อยละ 33.1) แต่ทารกที่ได้รับการรักษาด้วยโคมไฟแอลอีดีที่พัฒนาขึ้นมีอัตราการลดลงของบิลิรูบินที่สูงกว่า (0.12 มก./ดล./ชม. VS 0.1 มก./ดล./ชม.) และมีความต้องการส่องไฟบน-ล่าง (Double phototherapy) น้อยกว่า (ร้อยละ 4 VS ร้อยละ 20) แต่มีการใช้ระยะเวลาในการส่องไฟเฉลี่ยนานกว่า (36.8 ชั่วโมง VS 30 ชั่วโมง) และมีความต้องการในการส่องไฟซ้ำมากกว่า (re-phototherapy) มากกว่า (6% VS 0%) ในด้านของอุณหภูมิกายทารก กลุ่มโคมไฟแอลอีดีที่พัฒนาขึ้นมีภาวะอุณหภูมิกายสูงสูงกว่า (ร้อยละ 32 VS ร้อยละ 0) แต่มีภาวะอุณหภูมิกายต่ำเท่ากัน (ร้อยละ 10 VS ร้อยละ 10)

ตารางที่ 4.15 การเปรียบเทียบผลการรักษาทารกที่มีภาวะตัวเหลืองด้วยโคมไฟแอลอีดีทั้งสองชนิด

สิ่งที่พิจารณา	โคมไฟแอลอีดีที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น	โคมไฟแอลอีดียี่ห้อ Fanem รุ่น Bilitron 3006
เพศ:		
เพศชาย	27 (54%)	12 (60%)
เพศหญิง	23 (46%)	8 (40%)
อายุครรภ์ (สัปดาห์)	38.2	37.9
อายุเริ่มส่องไฟ (ชม.)	98.08	67.0
ค่าบิลิรูบินก่อนส่องไฟ (มก./ดล.)	14.31	14.2
Reticulocyte count	2.96	4.6
ABO Incompatibility	10 (20%)	2 (10%)
G6PD deficiency	7 (14%)	3 (23.1%)
อัตราการลดลงของค่าบิลิรูบิน (มก./ดล./ชม.)	0.12	0.10
ระยะเวลาที่ส่องไฟ (ชม.)	36.8	30.0
double photo	2 (4%)	4 (20%)
re-photo	3 (6%)	0
Hyperthermia มากกว่า 37.5°C (ครั้ง)	29 (58%)	0
Hypothermia น้อยกว่า 36.5°C (ครั้ง)	6 (12%)	2 (1%)
frequency of stool (จำนวนครั้ง/วัน)	5.1	5.1

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินโครงการวิจัย

5.1 สรุป ปัญหา และการวิจัยในอนาคต

โครงการวิจัยมีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาโคมไฟแอลอีดีสำหรับทารกตัวเหลืองด้วยระบบมองกลฝังตัวที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำและมีประสิทธิภาพในการรักษาเทียบเท่ากับโคมไฟแอลอีดีที่นำเข้ามาใช้งานจากต่างประเทศ โครงการวิจัยนี้สามารถผลิตโคมไฟแอลอีดีได้จำนวน 8 เครื่อง (ได้เปลือกโคมไฟที่มาจากแม่พิมพ์ชั่วคราว จำนวน 4 ชิ้น และได้จากการกัดเจาะแท่งพลาสติกอีกจำนวน 4 ชิ้น ซึ่งมีคุณภาพและรูปทรงดีกว่าเปลือกโคมไฟที่ได้จากแม่พิมพ์ชั่วคราว แต่มีราคาสูงกว่า) พร้อมชุดขาตั้งโคมไฟ โคมไฟแอลอีดีที่ผู้วิจัยพัฒนาใช้หลอดแอลอีดี 3 วัตต์ สีน้ำเงิน มีช่วงความยาวคลื่นจำเพาะอยู่ระหว่าง 450-460 นาโนเมตร จำนวน 18 หลอด และหลอดแสงสีขาว 4 หลอด รวมเป็น 22 หลอด สามารถควบคุมการทำงานแบบมือหมุนและแบบไร้สายผ่านเครือข่าย NETPIE (แต่เนื่องจากโคมไฟแอลอีดียังไม่ได้รับการรับรองด้านคลื่นสัญญาณ ดังนั้นการทดสอบรักษาทารกตัวเหลืองในโครงการวิจัยนี้จึงไม่ได้ใช้งานในรูปแบบนี้) สำหรับการใช้งานจะมี 2 โหมดคือ ขณะทำการรักษาจะใช้เฉพาะหลอดแสงสีน้ำเงิน และขณะที่บุคลากรทางการแพทย์เข้ามาตรวจหรือทำหัตถการจะใช้หลอดแสงสีขาวเพื่อให้เกิดความสบายต่อสายตาผู้ใช้งาน โคมไฟใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ ผ่านตัวแปลงไฟฟ้ากระแสสลับแรงดัน 220 โวลต์ ใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 54 วัตต์ นอกจากนั้น ยังมีหน้าจอแสดงระดับความเข้มแสงเชิงสเปกตรัม อุณหภูมิภายในโคมไฟ เวลาการใช้งานสะสมของหลอดแอลอีดี วันและเวลาในปัจจุบัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเตรียมแผนซ่อมบำรุงโคมไฟเพื่อยืดอายุการใช้งานและยังคงรักษาประสิทธิภาพการทำงานต่อไป

ผู้วิจัยได้ดำเนินการขอการรับรองจริยธรรมการทำวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยบูรพา ก่อนที่จะนำไปทดสอบรักษาจริง หลังจากได้รับการพิจารณารับรองแล้ว ผู้วิจัยได้ดำเนินการขอความร่วมมือกับแพทย์พยาบาล และเจ้าหน้าที่ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องของโรงพยาบาลพหลพลพยุหเสนา อ.เมือง จ.กาญจนบุรี เพื่ออธิบายวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้ และได้ชี้แจงแนวทางการดำเนินงานวิจัยร่วมกัน ซึ่งได้ทดสอบรักษาทารกจำนวน 50 เคส เพื่อเก็บรวบรวมวิเคราะห์และเปรียบเทียบเพื่อประเมินผลการรักษากับโคมไฟแอลอีดีรุ่น Bilitron 3006 ที่ได้มีการศึกษาและข้อมูลเปิดเผยอย่างเป็นทางการแล้ว อีกทั้งโคมไฟแอลอีดีที่พัฒนาขึ้นได้ผ่านการทดสอบเพื่อขอรับรองมาตรฐานทางแสงจากสถาบันมาตรฐานแห่งชาติซึ่งผลการทดสอบแล้ว โคมไฟแอลอีดีให้ค่าความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมสูงสุดเท่ากับ $87.0 \pm 3.1 \text{ uw/cm}^2/\text{nm}$ ที่ระยะห่างจากตัวโคมไฟ 30 เซนติเมตร ที่ค่าความยาวคลื่นเท่ากับ 456.15 ± 0.3 นาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีที่ระบุว่าค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการรักษาควรอยู่ระหว่าง 450-460 นาโนเมตร

ผลการวิจัยพบว่าลักษณะทั่วไปของประชากรทั้งสองกลุ่ม (โคมไฟแอลอีดีที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น VS โคมไฟแอลอีดียี่ห้อ Fanem รุ่น Bilitron 3006) มีความใกล้เคียงกัน ทั้งในด้านอายุครรภ์เฉลี่ย (38.23 สัปดาห์ VS 37.9 สัปดาห์) และเพศ ชาย/หญิง (54%/46% VS 60%/40%) ในด้านสาเหตุของการเกิดภาวะตัวเหลืองจากเม็ดเลือดแดงแตกโดย ABO incompatibility รวมกับ G6PD deficiency มีความใกล้เคียงกัน (ร้อยละ 34 VS ร้อยละ 33.1) แต่ทารกที่ได้รับการรักษาด้วยโคมไฟแอลอีดีที่พัฒนาขึ้นมีอัตราการลดลงของบิลิรูบินที่สูงกว่า

(0.12 มก./ดล./ชม. VS 0.1 มก./ดล./ชม.) และมีความต้องการส่องไฟบน-ล่าง (Double phototherapy) น้อยกว่า (ร้อยละ 4 VS ร้อยละ 20) แต่มีการใช้ระยะเวลาในการส่องไฟเฉลี่ยนานกว่า (36.8 ชั่วโมง VS 30 ชั่วโมง) และมีความต้องการในการส่องไฟซ้ำมากกว่า (re-phototherapy) มากกว่า (6% VS 0%) ในด้านของ อุณหภูมิกายทารก โคมไฟแอลอีดีที่พัฒนาขึ้นมีภาวะอุณหภูมิสูงสูงกว่า (ร้อยละ 32 VS ร้อยละ 0) แต่มี ภาวะอุณหภูมิต่ำเท่ากัน (ร้อยละ 10 VS ร้อยละ 10) โดยภาพรวมแล้วโคมไฟที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพใน การรักษาดีกว่าหรือเทียบเท่ากับโคมไฟแอลอีดียี่ห้อ Fanem รุ่น Bilitron 3006 ซึ่งพิจารณาได้จากอัตราการ ลดลงของบิลิรูบินที่สูงกว่าเป็นสำคัญ อย่างไรก็ตาม พารามิเตอร์บางตัวอาจบ่งชี้ถึงสาเหตุได้ไม่ชัดเจนเพราะมี ปัจจัยอื่นๆ มาเกี่ยวข้อง เช่น การส่องไฟซ้ำ หรือภาวะอุณหภูมิสูงสูงกว่า ซึ่งอาจมาจากความแตกต่างของ เคสที่เข้ารับการรักษาและสิ่งแวดล้อมในการรักษา พันธุกรรม อายุครรภ์ หรือน้ำหนักของทารก เป็นต้น

ปัญหาที่สำคัญในโครงการวิจัยนี้แยกได้เป็น 2 ส่วนคือ 1. ปัญหาด้านการผลิตโคมไฟแอลอีดีคือ ต้นทุน ในการผลิตต่อหน่วยค่อนข้างสูงเนื่องจากผลิตในจำนวนน้อย ด้วยงบประมาณที่จำกัดส่วนหนึ่งจะผลิตเปลือก โคมไฟจากแม่พิมพ์ชั่วคราว ซึ่งจะทำให้ได้เปลือกโคมไฟที่มีคุณภาพต่ำ แต่พอนำมาใช้งานได้ และส่วนหนึ่งผลิต เปลือกโคมไฟโดยใช้เทคนิคการกัดเจาะโดยตรงจากแท่งพลาสติกเกรดการแพทย์ มีคุณภาพสูง รูปร่างสวยงาม แต่มีต้นทุนในการผลิตสูง และ 2. ปัญหาในการเก็บเคสทารกตัวเหลืองซึ่งจะต้องผ่านการขอรับรองจริยธรรม การทำวิจัยในมนุษย์ การดำเนินการขอเก็บเคสกับโรงพยาบาล และเคสที่ต้องผ่านเกณฑ์ในการคัดเลือกเพื่อเข้า มาร่วมทดสอบในโครงการวิจัยจำนวน 50 เคส ซึ่งต้องใช้เวลามากในการดำเนินงานวิจัยในลักษณะเช่นนี้

งานวิจัยในอนาคต ในขั้นตอนการผลิตแม่พิมพ์คุณภาพสูงและวัสดุที่จะใช้ทำเปลือกโคมไฟจะต้องมี คุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน เพื่อให้สามารถนำไปขอรับรองมาตรฐานโคมไฟแอลอีดีจากศูนย์ทดสอบ ผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) เช่น IEC60601-1-2 การทดสอบ EMC จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การ ทดสอบการแผ่สัญญาณรบกวนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) และการทดสอบภูมิคุ้มกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMS) และมาตรฐาน IEC-60601-2-50 รับรองมาตรฐานเครื่องส่องไฟรักษาทารกตัวเหลืองโดยเฉพาะ ซึ่งต้องใช้เงิน ลงทุนประมาณ 2 ล้านบาท จะส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตโคมไฟแอลอีดีในครั้งต่อไป ลดลงเหลือเพียง 30,000 บาท/ชุด เท่านั้น

5.2 ประโยชน์ในทางประยุกต์ของผลการวิจัยที่ได้

ปัจจุบันโรงพยาบาลในประเทศไทยหลายแห่งได้นำเอาโคมไฟแอลอีดีมาใช้ในการรักษาภาวะตัว เหลืองในทารกแรกเกิด แต่เนื่องจากโคมไฟที่นำเข้ามาจากต่างประเทศจึงมีราคาสูงถึงหลักแสนบาท รวมถึงมี ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสูง และหากเครื่องเกิดการชำรุดเสียหายต้องใช้เวลารอรับบริการนาน ส่งผลให้ โรงพยาบาลหลายแห่งในประเทศไทยขาดแคลนเครื่องมือชิ้นนี้อยู่เป็นจำนวนมาก และเกิดความเหลื่อมล้ำใน การเข้าถึงการรักษาพยาบาลของคนไทยด้วย

คณะผู้วิจัยจึงได้นำเสนอการพัฒนาชุดโคมไฟแอลอีดีสำหรับรักษาทารกตัวเหลืองด้วยระบบสมองกลฝัง ตัวที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำและมีประสิทธิภาพในการรักษาเทียบเท่ากับโคมไฟแอลอีดีที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ สามารถนำไปใช้งานร่วมกับตู้บ่ม (Incubator) หรือวางทารกลงบนคลิป (Clip) ที่มีใช้กันอยู่ทั่วไปได้ มีชุดขาตั้ง ที่สามารถปรับระดับและทิศทางของตัวโคมไฟได้ตามต้องการ สามารถเคลื่อนย้ายหรือพกพาได้สะดวก สามารถ ใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากรถยนต์ รถพยาบาล หรือโซลาร์เซลล์ได้

5.3 ผลผลิต (Output)

- 1) ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการทั้งในระดับชาติ และนานาชาติ
 - ภัทกร เกษมสำราญ, ปราการ ทัดติยกุล, และนรรัตน์ วัฒนมงคล, "High Power LED Lamp Phototherapy for Neonatal Hyperbilirubinemia," วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (UDRU) ฉบับที่ 1 ปีที่ 6 (2561) ประจำเดือนมกราคม - มิถุนายน 2561 หน้า 81-93 อยู่ในฐานข้อมูล Thai-Journal Citation Index (TCI) กลุ่มที่ 2 (พ.ศ. 2560)
 - นรรัตน์ วัฒนมงคล และ ภัทกร เกษมสำราญ, "Automatic Control Set of Phototherapy for Neonatal Hyperbilirubinemia," 11th ECTI-CARD 2019, "การประชุมวิชาการ งานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์" หน้า 47-50, 4-7 มิถุนายน พ.ศ. 2562, อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี
- 2) การยื่นจดสิทธิบัตร
 - ยังไม่ได้ดำเนินการ แต่คาดว่าหลังจากปิดโครงการวิจัยโดยสมบูรณ์ ผู้วิจัยเตรียมดำเนินการขอจดสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์ และดำเนินการขึ้นบัญชีนวัตกรรมไทย หรือบัญชีสิ่งประดิษฐ์ไทย
- 3) ผลงานเชิงพาณิชย์ (มีการนำเสนอไปผลิต/ ขาย/ ก่อให้เกิดรายได้ หรือมีการนำไปประยุกต์ใช้โดยภาคธุรกิจ หรือบุคคลทั่วไป)
 - โรงพยาบาลพญาไท 2 เขตพญาไท จ.กรุงเทพฯ ได้จ้างผู้วิจัยผลิตโคมไฟแอลอีดีเป็นเงิน 250,000 บาท เพื่อนำไปบริจาคให้กับโรงพยาบาลต่างๆ ที่มีความต้องการนำโคมไฟแอลอีดีไปใช้งาน
- 4) ผลงานเชิงสาธารณะ (เน้นประโยชน์ต่อสังคม ชุมชน ท้องถิ่น)
 - ได้นำโคมไฟแอลอีดีที่พัฒนาขึ้นจากโครงการวิจัยนี้ไปใช้รักษาทารกที่มีภาวะตัวเหลืองจำนวน 50 เคส ณ โรงพยาบาลพหลพลพยุหเสนา อ.เมือง จ.กาญจนบุรี
 - หลังจากปิดโครงการวิจัยโดยสมบูรณ์แล้ว ผู้วิจัยจะได้ดำเนินการบริจาคโคมไฟแอลอีดีให้กับโรงพยาบาลที่เข้าร่วมทดสอบรักษาในโครงการวิจัยและอีกส่วนหนึ่งจะบริจาคให้สถานพยาบาลที่ยังขาดแคลนและมีความต้องการโคมไฟรักษาทารกตัวเหลืองไปใช้งาน

รายงานสรุปการเงิน

รหัสโครงการ (จากระบบ NRMS) 256101A1080057 สัญญาเลขที่ 17/2561

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 มหาวิทยาลัยบูรพา

ชื่อโครงการ การพัฒนาชุดคอมพิวเตอร์สำหรับรักษาทารกตัวเหลืองด้วยระบบสมองกลฝังตัว

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน (อ./ดร./ผศ./รศ./ศ.) ผศ.ดร.นรรัตน์ วัฒนมงคล

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ (วัน/เดือน/ปี) 1 ตุลาคม 2560 ถึงวันที่ (วัน/เดือน/ปี) 6 กันยายน 2562

ระยะเวลาดำเนินการ.....1.....ปี11..... เดือน ตั้งแต่วันที่ (วัน/เดือน/ปี) 1 ตุลาคม 2560

รายรับ

จำนวนเงินที่ได้รับ

งวดที่ 1 (50%)	423,900 บาท	เมื่อวันที่	6 ธ.ค. 2560
งวดที่ 2 (40%)	339,120 บาท	เมื่อวันที่	11 ก.ค. 2561
งวดที่ 3 (10%)	84,780 บาท	เมื่อวันที่	6 ก.ย. 2562
รวม	847,800 บาท		

รายจ่าย

รายการ	งบประมาณที่ตั้งไว้	งบประมาณที่ใช้จริง	จำนวนเงินคงเหลือ/เกิน
1. ค่าตอบแทน	84,780	84,780	0
2. ค่าจ้าง			
3. ค่าวัสดุ			
4. ค่าใช้สอย	678,240	678,240	0
5. ค่าครุภัณฑ์			
6. ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ (โปรดระบุเป็นข้อย่อย)			
- ค่าธรรมเนียมอุดหนุนสถาบัน	84,780	84,780	0
รวม	847,800	847,800	0

(.....)

ผศ.ดร.นรรัตน์ วัฒนมงคล

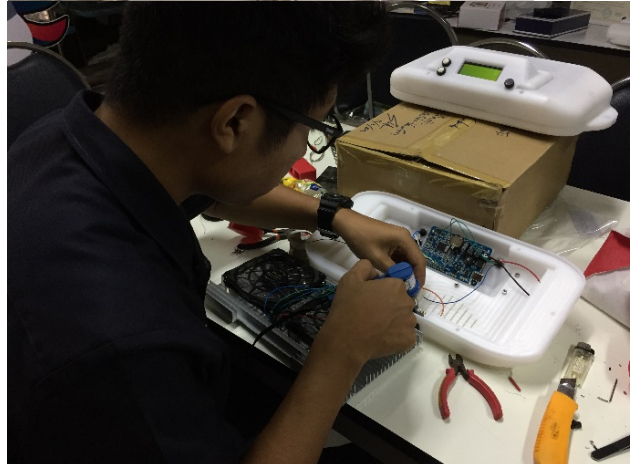
หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

เอกสารอ้างอิง

- [1] นันทพร พ่วงแก้ว. (2554). “Breastfeeding in neonatal jaundice,” งานการพยาบาลกุมารเวชศาสตร์ โรงพยาบาลศิริราช.
- [2] เกรียงศักดิ์ จีระแพทย์ และ วิณา จีระแพทย์. (2540). “ประสิทธิภาพของเครื่องส่องไฟ ศิริราชในการลดระดับบิลิรูบินในพลาสมา,” วารสารกุมารเวชศาสตร์ โรงพยาบาล ศิริราช, 36(4), 284-290.
- [3] ญัฐพงษ์ ฐิติรัตน์सानนท์. *ประสิทธิผลของเครื่องมือส่องไฟผลิตในประเทศ ที่ประกอบด้วยหลอดอิมิตทิงค์ไดโอดส์(แอลอีดี) เพื่อรักษาภาวะตัวเหลือง ในทารกแรกเกิด*. วิทยานิพนธ์เพื่อวุฒิมัธยมศึกษาตอนต้น สาขาทารก แรกเกิดและปริกำเนิด. 2554.
- [4] ธานินทร์ พิรุณเนตร. *ประสิทธิผลในการลดระดับบิลิรูบินในเลือด ภายหลังจากรักษาทารกที่มีภาวะตัวเหลือง โดยการส่องไฟ 24 ชั่วโมงแรก เปรียบเทียบระหว่างการใช้หลอดไฟ 3 ชนิด คือ หลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดา สีขาว สีฟ้า หลอดฟลูออเรสเซนต์สีฟ้า และหลอดไลท์อิมิตทิงค์ไดโอดส์(แอลอีดี)*. วิทยานิพนธ์เพื่อวุฒิมัธยมศึกษาตอนต้น สาขาทารกแรกเกิดและปริกำเนิด. 2553.
- [5] อารีรัตน์ ระวีวงศ์, 2557, *กรณีศึกษาการดูแลทารกตัวเหลืองอย่างมีประสิทธิภาพ*, แผนกผู้ป่วยใน กลุ่มการพยาบาล โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพ ศูนย์อนามัยที่ 11 นครศรีธรรมราช
- [6] โรงพยาบาลราชสีไศล, 2556, *ปัจจัยที่ส่งผลต่อทารกแรกเกิดที่มีภาวะตัวเหลืองในแม่ที่เกิดปกติในโรงพยาบาลราชสีไศล*
- [7] นันทพร พ่วงแก้ว, 2554, *Breastfeeding in neonatal jaundice*, งานการพยาบาลกุมารเวชศาสตร์ โรงพยาบาลศิริราช
- [8] SU, Serdar MA, Korkmaz A, Erdem G, Oran O, Tekinalp G, et al. *Incidence, course, and prediction of hyperbilirubinemia in near-term and term newborns*. Pediatrics 2004; 113:775-80.
- [9] American Academy of Pediatrics Subcommittee on Hyperbilirubinemia. *Management of hyperbilirubinemia in the newborn infant 35 or more weeks of gestation*. Pediatrics 2004; 114:297-316
- [10] Maisels MJ. *Phototherapy--traditional and nontraditional*. J Perinatol 2001;21 (suppl 1):S93-7.
- [11] Kumar P, Murki S, Malik GK, Chawla D, Deorari AK, Karthi N, et al. *Light emitting diodes versus compact fluorescent tubes for phototherapy in neonatal jaundice: a multi center randomized controlled trial*. Indian Pediatric 2010; 47:131-7.
- [12] Maisels MJ, Kring EA, DeRidder J. *Randomized controlled trial of light-emitting diode phototherapy*. J Perinatol 2007; 27:565-7.
- [13] Seidman DS, Moise J, Ergaz Z, Laor A, Vreman HJ, Stevenson DK, et al. *A new blue light-emitting phototherapy device: a prospective randomized controlled study*. J Pediatr 2000;136: 771-4.

- [14] Bianca M. R. Martins, Manoel de Carvalho, Maria E. L. Moreira and José M. A. Lopes. (2007). “*Efficacy of new microprocessed phototherapy system with five high intensity light emitting diodes (Super LED)*,” *Journal de Pediatria*, 83(3), 253-258.
- [15] Johanna V. C., Corey R., Marie A. D., and et al. (2011). “*Prospective Randomized Controlled Study Comparing Low-Cost LED and Conventional Phototherapy for Treatment of Neonatal Hyperbilirubinemia*,” *Journal of Tropical Pediatrics Advance Access*, 1-6.
- [16] Bianca M. R. Martins, Manoel de Carvalho, Maria E. L. Moreira, José M. A. Lopes, *Efficacy of new microprocessed phototherapy system with five high intensity light emitting diodes (Super LED)*, *Jornal de Pediatria*, 2007, vo. 83, no. 3, pp. 253-258.
- [17] Stephanie D. P., Wentworth, *Neonatal phototherapy – today’s lights, lamps and devices*, infant - Phototherapy Devices, 2015, vo. 1, Issue 1, pp. 14-19.
- [18] Johanna V. C., Corey R., Marie A. D., Yiwen C., and Maria O., *Prospective Randomized Controlled Study Comparing Low-Cost LED and Conventional Phototherapy for Treatment of Neonatal Hyperbilirubinemia*. *Journal of Tropical Pediatrics Advance Access*, Sept. 13, 2011, pp.1-6.
- [19] American Academy of pediatrics, Subcommittee on Hyperbilirubinemia. Management of hyperbilirubinemia in the newborn infant 35 or more weeks of gestation. *Pediatrics* 2004; 114:297-316
- [20] Piazza AJ, Stoll BJ. *Jaundice and hyperbilirubinemia in newborn*. In: Kliegman RM, Behrman RE, Jenson HB, Stanton BF, Nelson Textbook of Pediatrics. 18th ed. Philadelphia: Saunders Elsevier; 2007: pp. 756-66.
- [21] LED_Handbook (Online), 2011. Available: http://www.instrumentsystems.com/fileadmin/editors/downloads/Products/LED_Handbook_e.pdf
- [22] Vreman HJ, Wong RJ, Stevenson DK. *Phototherapy: current methods and future directions*. *Semin Perinatol* 2004; 28:326-33.
- [23] Wentworth SDP. *Neonatal phototherapy-today’s lights, lamps and devices*. *Infant* 2005; 1:14-9.
- [24] Maisels MJ, McDonagh AF. *Phototherapy for neonatal jaundice*. *N Engl J Med* 2008; 358:920-8.

ภาคผนวก



○ ○ HUAWEI P10 Plus
LEICA DUAL SUMMILUX

○ ○ HUAWEI P10 Plus
LEICA DUAL SUMMILUX



