รายงาน

โครงการวิจัยโดยเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์

2549

การนำสัญญาณโฟโตพลีทีสโมกราฟฟิค มาใช้ในการทำนายค่าฮีมาโตคริต

Photoplethysmographic signal for hematocrit prediction

หัวหน้าโครงการ สุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมั่น

SUPAN TUNGJITKUSOLMUN

หัวหน้าโครงการ สุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมั่น

SUPAN TUNGJITKUSOLMUN

มนตรี ไชยชาญยุทธ์

MONTREE CHAICHANYUT

RCH
RB
45
ส8311

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 84538
วัน,เดือน,ปี 13 ต.ค. 2551

b 11994095
i.....

คริตคือ กลุ่มของเม็ดเลือดแดงอัดแน่นต่อปริมาณเลือดตัวอย่างทั้งหมด เลือดจะมีองค์ประกอบหลักๆคือ เม็ดเลือดแดง od Cell: RBC) เม็ดเลือดขาว(White Blood Cell) เกร็ดเลือด(Platelet) และพลาสมา(Plasma) ค่าฮีมาโตคริตสามารถวัดได้ ง ด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งในหลายวิธีแต่วิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การปั่นให้เม็ดเลือดแดง ตกลงมานอนก้นในหลอดแก้ว (capillary tube) โดยใช้เครื่องเหวี่ยง (centrifuge) แล้วอ่านค่าเป็นร้อยละของปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่น ต่อปริมาณเลือด อย่างในหลอดแก้วทั้งหมด

มีการศึกษาค้นคว้ามากมายถึงกระบวนการวัดค่าฮีมาโตคริตด้วยกระบวนการต่างๆ ซึ่งเป็น noninvasive technology บ้างก็วัดด้วยกระบวนการการหาความต้านทานทางไฟฟ้าของเลือด หรือใช้คุณสมบัติ ความต้านทานไฟฟ้าทางด้านความถี่ของเลือด อย่างไรก็ตาม การใช้ค่าคุณสมบัติการดูดกลืนแสงของเลือดก็เป็นวิธีที่นิยมมากกว่าเนื่องจากว่า ค่าการดูดกลืนแสงของเลือดจะเปลี่ยนแปลงไปตามคุณสมบัติขององค์ประกอบในเลือด การทำนายค่าฮีมาโตคริตโดยใช้คุณสมบัติการดูดกลืนของแสงมีหลักการเช่นเดียวกับพัลส์ออกซี่มิเตอร์ ซึ่งมีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน แต่ในการวัดทำนายค่าฮีมาโตคริตนั้นต้องใช้ความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างออกไป มีงานวิจัยหลายชิ้นที่ใช้กระบวนการทางแสงในการทำนายค่าฮีมาโตคริต บางงานวิจัยได้ เจาะเลือดให้ไหลจากตัวผู้ที่ถูกวัดออกมาผ่านท่อใสขนาดเล็ก แล้ว ใช้แสงส่งผ่าน เพื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงแล้วนำไปคำนวณเป็นค่าฮีมาโตคริต แต่วิธีนี้ก็ต้องเจาะเลือดให้ไหลออกมาจากตัวผู้ที่ถูกวัดก่อน งานวิจัยบางชิ้นได้ใช้หลักการสะท้อนของแสงผ่านเนื้อเยื่อที่มีเลือดไหลผ่าน แล้วนำมาคำนวณค่าการดูดกลืนแสงก่อนที่จะนำค่าการดูดกลืนไปคำนวณเป็นค่าฮีมาโตคริต

ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้ไดโอดเปล่งแสง(Light Emitting Diode: LED) จำนวนสามดวงในการให้กำเนิดความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร 875 นาโนเมตร และ 950 นาโนเมตร แล้วใช้ โฟโตไดโอดเป็นตัวรับ แสงเพื่อเปลี่ยน พลังงานความเข้มแสงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อนำมาแสดงผล จากนั้นก็นำค่าของความเข้มแสงที่อ่านได้ จากส่วนแสดงผลของแต่ละความยาวคลื่นแสงมาใช้ในการคำนวณเพื่อทำนายค่าฮีมาโตคริต โดยแต่ละคู่ความยาวคลื่นแสงที่เลือก(525/875และ 525/950) ความยาวคลื่นหนึ่ง ต้องเปลี่ยนแปลงตามระดับค่าฮีมาโตคริต(525 นาโนเมตร) ส่วนอีกหนึ่งความยาวคลื่นแสงหนึ่ง(875 หรือ 950 นาโนเมตร)จะต้องไม่ตอบสนอง เพื่อใช้เป็นค่าความยาวคลื่นแสงอ้างอิง แต่ที่สำคัญความยาวคลื่นแสงทั้งสามความยาวคลื่น จะต้องไม่ตอบสนองต่อระดับค่าออกซิเจนในเลือดหรือก็คือ อยู่ในช่วงของ isobestic point ค่าฮีมาโตคริตที่ได้จากการทำนายด้วยสมการที่สร้างขึ้นได้นำมาเปรียบเทียบกับค่าฮีมาโตคริตที่ได้จากวิธีการปั่นเลือดดังได้นำมาแสดงไว้ในตอนท้าย บ่งบอกว่า มีความเป็นไปได้ในการใช้สมการดังกล่าวในการทำนายค่าฮีมาโตคริต แต่ทั้งนี้ต้องทำการศึกษาถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่มีอิทธิพลต่อค่าความผิดพลาดให้ละเอียดลึกซึ้งต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

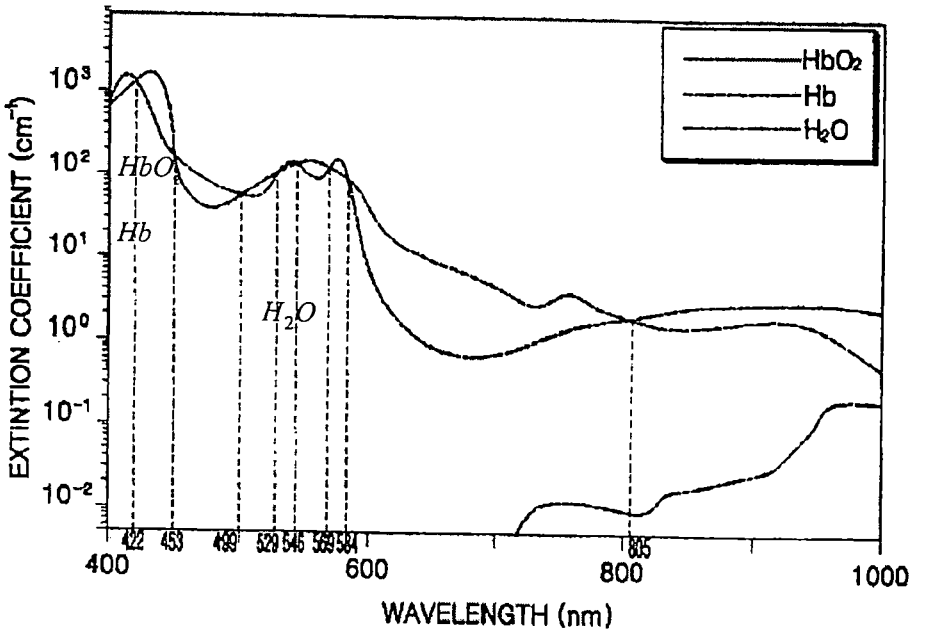
โครงการวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบควบคุมโดยพัฒนาวงจรควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์มาใช้ในการทำงาน

3.1 เพื่อเพิ่มศักยภาพในการวิจัยทางวิศวกรรมชีวการแพทย์

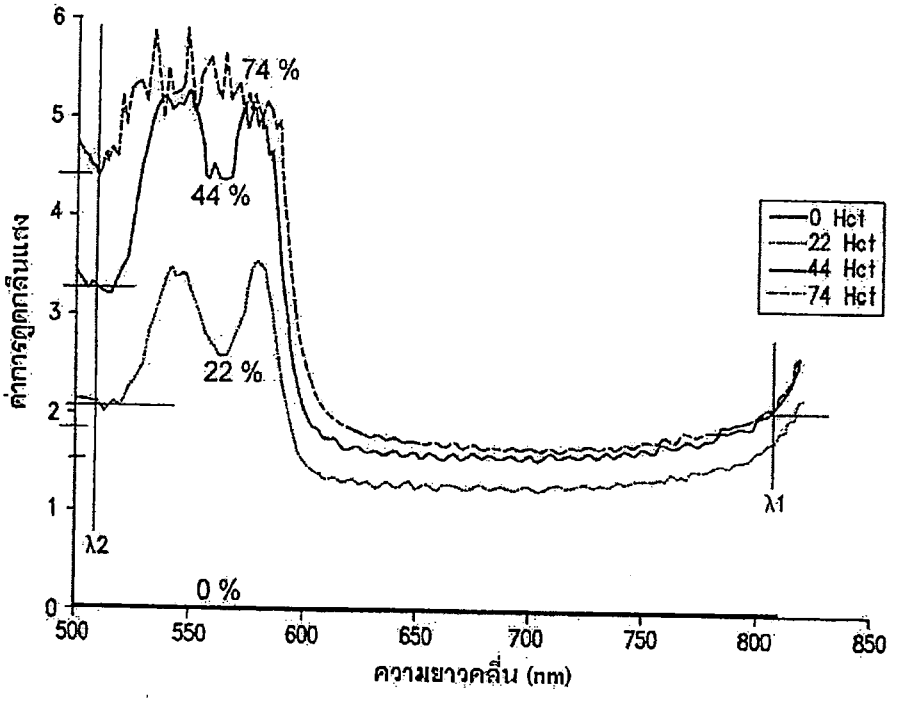
3.2 เพื่อการผลิตเชิงอุตสาหกรรมและการพาณิชย์ซึ่งมีความต้องการ และมีการแข่งขันสูงในระบบเศรษฐกิจอนาคต

3.3 เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัย เชิงประยุกต์

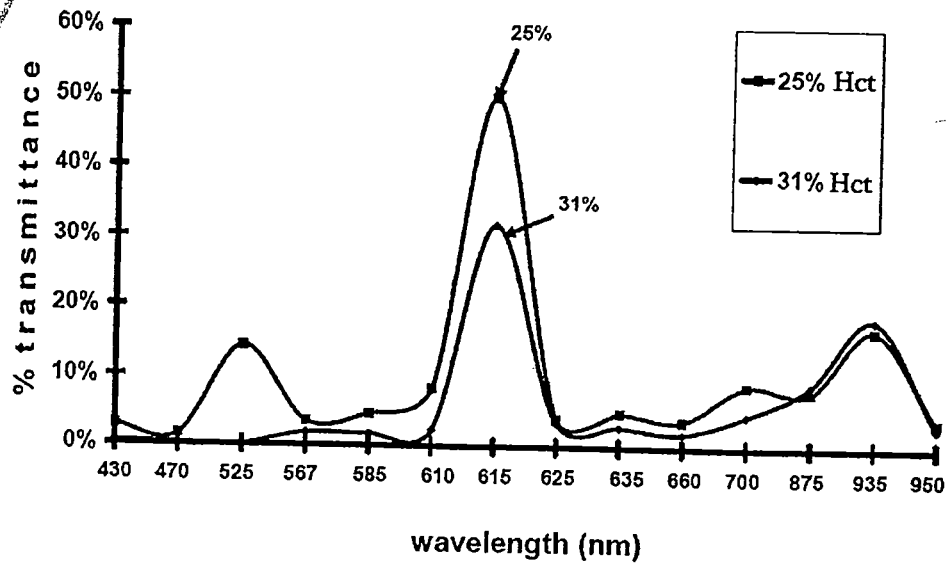
3.4 กระตุ้นให้เกิดการวิจัยในเชิงวิศวกรรมระดับสูง และเผยแพร่ต่อสาธารณะ



รูปที่ 1 แสดงถึงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Extinction Coefficient และค่าความยาวคลื่นแสงค่าต่าง ๆ ตั้ง แต่ 400 นาโนเมตร ถึง 1000 นาโนเมตร



รูปที่ 2 การดูดกลืนแสงของฮีมาโตคริตค่าต่างๆ ณ ความยาวคลื่นแสง 525 นาโนเมตร



รูปที่ 3 การส่งผ่านแสงของฮีมาโตคริตค่าต่างๆ ณ ความยาวคลื่นแสงใด ๆ

พิมล ผลพฤกษา. "วิธีการวัดหาค่าฮีมาโตคริตโดยวิธีทางแสงผ่านปลายนิ้วมือ." วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลาดกระบัง. 2546.

3. สมการสำหรับการทำนายค่าฮีมาโตคริตด้วย

ในการพิจารณาสมการเพื่อใช้สำหรับการทำนายค่าฮีมาโตคริตในการศึกษาทดลองนี้ ได้ใช้หลักการของ Victor Twersky เข้าช่วยพิจารณาซึ่งเป็นหลักการที่นำค่าการกระจายของแสงที่เกิดขึ้นมาร่วมพิจารณาด้วย สำหรับการตั้งต้นสมการก็ได้ใช้สมการของ Beer's Law ซึ่งเป็นสมการแสดงค่าการส่งผ่านของแสงในรูปของสมการเอ็กซ์โปแนนเชียล และ ไม่นำค่าการกระจายของแสงมาร่วมพิจารณา คือ

$$I = I_o e^{-\alpha} \tag{1}$$

โดย

I แทนความเข้มแสงที่ทะลุผ่านตัวกลางออกมาได้

I_o แทนความเข้มของแสงที่ตกกระทบตัวกลาง

α แทนค่าการดูดกลืนแสงของตัวกลาง.

เมื่อพิจารณาการดูดกลืนแสงของตัวกลาง หรือ α ในสมการ ซึ่งในการทดลองก็คือ เนื้อเยื่อบริเวณปลายนิ้วมือ ถ้าพิจารณาการดูดกลืนแสงที่มีผลมาจากการดูดกลืนของเลือดโดยตรง ก็สามารถที่จะแยกค่าการดูดกลืนออกเป็นสองส่วน ด้วยกันได้แก่ ส่วนของการดูดกลืนแสงที่เป็นไปตาม Beer's Law ซึ่งพิจารณาว่าไม่มีการกระจายของแสงเกิดขึ้นในตัวกลาง และ ส่วนที่สองเป็นส่วนของแสงที่กระจายออกจากเนื้อเยื่อ (Scattering Term) สามารถที่จะเขียนเป็นสมการ คือ

ค่าการดูดกลืนรวม = ค่าการดูดกลืนตาม Beer Lambert's Law + การกระจายตัวของแสง

ดังนั้นจะได้ค่าการดูดกลืนแสงรวม α_{tot} ของตัวกลาง เมื่อพิจารณาว่ามีการกระจายของแสงเกิดขึ้นในตัวกลางด้วย โดยอ้างหลักการของ Victor Twersky ดังนั้นเราก็สามารถที่จะเขียนสมการของค่าการดูดกลืนแสงของเลือดบริเวณปลายนิ้วมือได้ คือ

$$\alpha_{tot} = \log(\frac{I}{I_o}) = \varepsilon CD - \log[(1-q)10^{-aDH(1-H)} + q10^{-2q'\varepsilon CDaDH(1-H)/(2\varepsilon CD+aDH(1-H))}] \quad (2)$$

ให้

แทนความเข้มแสงที่ทะลุผ่านตัวกลางออกมาได้

แทนความเข้มของแสงที่ตกกระทบตัวกลาง

ε แทนค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน

C แทนค่าความเข้มข้นของตัวกลาง

a แทนค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับขนาดของตัวกลาง ค่าดัชนีหักเหการกระจายแสงของฮีโมโกลบิน n_{Hb} และ พลาสม่า n_{plasma} โดยที่ a มีค่าเท่ากับ

$$a = (\frac{4\pi^2 L}{\lambda^2})(\frac{n_{Hb}}{n_{plasma}} - 1)^2 \quad (3)$$

เมื่อกำหนดให้ L แทนองค์ประกอบทางด้านขนาดรูปร่างของ เม็ดเลือดแดง

D แทนระยะทางที่แสงเดินทางผ่าน

H แทน ฮีมาโตคริต

q แทนค่าคงที่การกระจายของแสงที่ขึ้นอยู่กับ ดัชนีหักเหแสงของ เม็ดเลือดแดง พลาสม่า ฮีโมโกลบิน และ ยังขึ้นอยู่กับโครงสร้าง และ คุณสมบัติการรับแสงของโฟโตไดโอด

q' แทนค่าคงที่การกระจายของแสงที่ขึ้นอยู่กับดัชนีหักเหแสงของ เม็ดเลือดแดง พลาสม่า ฮีโมโกลบิน และขึ้นอยู่กับโครงสร้างและคุณสมบัติของต้นกำเนิดแสง ตัวรับแสง และ สเป็กโต สโคปิกของแสงที่ตกกระทบ

จากสมการที่ (2) เห็นได้ว่าค่าการดูดกลืนมีอยู่สองส่วนด้วยกัน ดังที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้า โดยส่วนแรกทางขวามือเทอม εCD แทนส่วนของค่าการดูดกลืนแสงของตัวกลางตาม Beer's Law เมื่อพิจารณาว่า แสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความเข้มข้นเป็น C ด้วยระยะทาง D มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเท่ากับ ε และ ไม่คำนึงถึงการกระจายตัวของแสงที่เกิดขึ้น ส่วนในเทอมที่สอง แสดงถึงส่วนของแสงตกกระทบที่ถูกลดทอน อันเนื่องมาจากการกระจายตัวของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง ในขณะที่เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางด้วยระยะทาง D โดย ที่ $10^{-aDH(1-H)}$ แสดงถึงค่าของแสงที่กระจายออกอันเป็นผลมาจากเม็ดเลือดแดง $-q10^{-aDH(1-H)}$ และ $q10^{-2q'\varepsilon CDaDH(1-H)/(2\varepsilon CD+aDH(1-H))}$ แสดงถึงค่าการกระจายของแสงที่เกี่ยวข้องกับค่าดัชนีหักเหของตัวกลางเช่น พลาสม่า เม็ดเลือดแดง ฮีโมโกลบิน รวมถึงการกระจายที่เป็นผลมาจากลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติของแอลอีดี และ โฟโตไดโอด ซึ่งเป็นแหล่งต้นกำเนิดแสง และ ตัวรับแสง ตามลำดับ

เมื่อระยะทาง D มีขนาดเล็กลงมากๆ เป็น Δd ตามขนาดของหลอดเลือดเล็กๆ ที่แสงเดินทางผ่านบริเวณปลายนิ้วมือ[12] ก็จะส่งผลให้ดัชนีหักเห หรือค่าการกระจายตัวของแสง (back scattering effect) ที่เกิดจากองค์ประกอบต่างๆ ภายในเลือดมีค่าน้อยลงมาก ๆ ส่งผลให้ ค่าคงที่การกระจายของแสงในเลือดทั้ง q และ q' มีค่าน้อยมาก ๆ หรือ สามารถพิจารณาให้เป็นศูนย์ได้ ก็จะได้สมการ ค่าการดูดกลืนแสงรวมที่บริเวณปลายนิ้วมือ คือ

$$\Delta\alpha_{tot} = \log(\frac{I}{I_o}) = \varepsilon C\Delta d - \log(10^{-a\Delta dH(1-H)}) \quad (4)$$

จากสมการที่ (4) สามารถที่จะจัดรูปใหม่เพื่อให้อยู่ในรูปที่ง่ายขึ้น ดังสมการที่ (5)

$$\Delta\alpha_{tot} = \varepsilon C\Delta d + ka\Delta dH(1-H) \quad (5)$$

โดย k แทนค่าคงที่ใดๆ

เนื่องจากในเซลล์เม็ดเลือดแดงมีฮีโมโกลบินเป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้น ถ้าสมมุติให้ฮีโมโกลบินเป็นองค์ประกอบส่วนที่มีผลมากที่สุดต่อการดูดกลืนแสงของเลือด นั่นคือส่วนของค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของตัวกลาง ε ก็จะต้องเป็นตัวแปรที่แสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของฮีโมโกลบิน และค่าความเข้มข้นของตัวกลาง C ก็แสดงถึงค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน นั่นคือ จะได้

$$\varepsilon C = \varepsilon_{Hb} C_{Hb} \quad (6)$$

โดย C_{Hb} แทนค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบินในหน่วยกรัมต่อเดซิลิตร จากการศึกษาพบว่า ค่าความเข้มข้นของฮีโมโกลบินมีความสัมพันธ์กับค่าฮีมาโตคริต [13] ตามสมการที่ (7) คือ

$$C_{Hb} \approx 33 * H \quad (7)$$

นั่นคือ จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนรวมกับค่าฮีมาโตคริต คือ

$$\Delta\alpha_{tot} = 33H\varepsilon_{Hb}\Delta d + ka\Delta dH(1-H) \quad (8)$$

ในการทดลองได้ใช้สองความยาวคลื่นในการทำนายค่าฮีมาโตคริต ความยาวคลื่นหลักคือ 525 นาโนเมตร. เป็นความยาวคลื่นที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนของแสง เมื่อฮีมาโตคริตเปลี่ยนแปลงไป ส่วนอีกความยาวคลื่นหนึ่ง ใช้เป็นค่าความยาวคลื่นแสงอ้างอิง ใช้ที่ความยาวคลื่น 875 นาโนเมตรและ 950 นาโนเมตร. ดังนั้น สามารถที่จะหาค่าอัตราส่วนระหว่างค่าการดูดกลืนของคลื่นแสงหลัก และ คลื่นแสงอ้างอิง (R_{12}) เมื่อให้คลื่นแสงหลักแทนด้วย λ_1 และ λ_2 แทนคลื่นแสงอ้างอิง ได้ เป็น

$$R_{12} = \frac{\Delta\alpha_{tot@\lambda 1}}{\Delta\alpha_{tot@\lambda 2}} = \frac{33\varepsilon_{\lambda 1} + a_{\lambda 1}k_{\lambda 1}(1-H)}{33\varepsilon_{\lambda 2} + a_{\lambda 2}k_{\lambda 2}(1-H)} \quad (9)$$

หรือจัดรูปสมการใหม่ให้อยู่ในรูปอย่างง่ายขึ้น

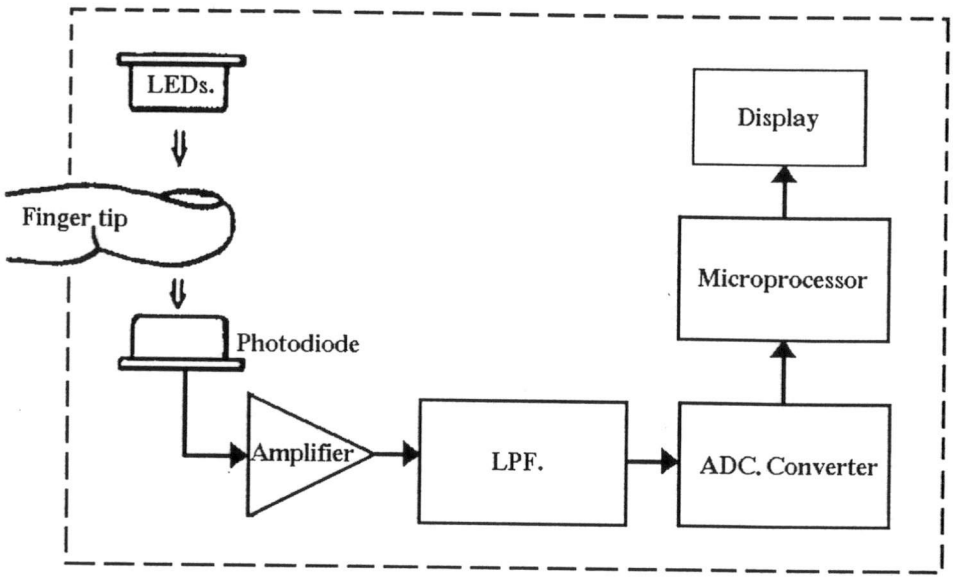
$$R_{12} = \frac{k_1 + k_2 H}{k_3 + k_4 H} \quad (10)$$

ซึ่งสมการที่ (10) เป็นสมการที่ได้นำมาใช้งานในการทำนายค่าฮีมาโตคริต โดยก่อนอื่นต้องทำการหาค่าคงที่ k_1 k_2 k_3 และ k_4 ที่ติดอยู่ในสมการออกมาก่อน ซึ่งในการทดลองได้สร้างเครื่องมือสำหรับวัดค่าการส่งผ่านแสง แล้วนำมาคำนวณหาค่าการดูดกลืนแสงจากนั้นก็ได้ใช้ค่าอัตราส่วนการดูดกลืนแสง (R_{12}) และค่าฮีมาโตคริตที่ได้จากวิธีการปั่นเลือดด้วยเครื่องปั่นนำมาหาค่าคงที่ในสมการออกมา แล้วนำค่าคงที่ที่ได้แทนกลับเข้าไปในสมการเพื่อที่จะนำสมการมาใช้ในการทำนายค่าฮีมาโตคริตต่อไป

4. การทดลองและผลการทดลอง

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

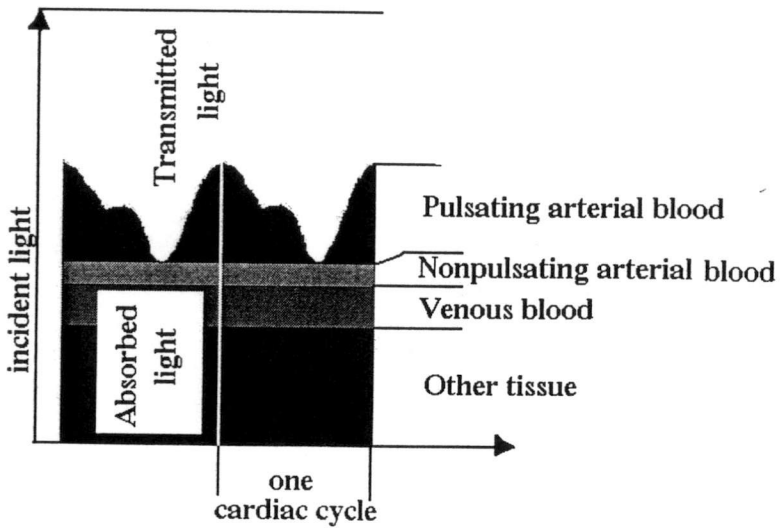
คลองได้สร้างเครื่องมือสำหรับวัดค่าการส่งผ่านของแสงที่ปลายนิ้วมือขึ้นตามบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 4 จากเครื่องมือษฐ์ขึ้น เราสามารถที่จะวัดระดับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณโฟโตพลีทิสโมกราฟฟิค ซึ่งแสดงถึงค่าการดูดกลืนแสงที่ามเวลา เราจะได้ใช้ค่าเหล่านี้ในการคำนวณค่า R_{12} ของแต่ละคู่ความยาวคลื่น เพื่อที่จะนำมาใช้สำหรับการทดลองในการค่าฮีมาโตคริตต่อไป



รูปที่ 4 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่องวัดค่าการส่งผ่านแสงบริเวณปลายนิ้วมือ

4.1 การใช้สัญญาณโฟโตพลีทิสโมกราฟฟิคที่ได้ในการหาค่าการดูดกลืน

จากสัญญาณโฟโตพลีทิสโมกราฟฟิค เราสามารถนำสัญญาณนี้มาถอดเอาเฉพาะค่าการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาได้ โดยจะต้องนำค่าสัญญาณดังกล่าวมาทำการนอร์มอลไลซ์ เพื่อตัดผลกระทบจากค่าแรงดันออฟเซ็ทออกไป จากนั้นเราก็จะได้เฉพาะค่าการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งจะได้อธิบายต่อไป



รูปที่ 5 สัญญาณความเข้มแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงตามการขยายตัวของหลอดเลือด

84538

แสดงในรูปที่ 5 ถ้าหากอ่านค่าแรงดันสูงสุด และแรงดันต่ำสุด ซึ่งก็คือ ค่าการส่งผ่านแสงต่ำสุดและสูงสุด ซึ่งเราจะค่าแรงดันสูงสุด หรือ ค่าการส่งผ่านต่ำสุด คือ I_L เมื่อนำมาเขียนอธิบายในรูปแบบของ Beer's Law จะได้คือ

$$I_L = I_o e^{-\alpha(d_{\max})} \tag{11}$$

ซึ่งค่าการส่งผ่านต่ำสุด I_L เกิดขึ้นขณะที่กล้ามเนื้อหัวใจมีการบีบตัว ทำให้หลอดเลือดมีการขยายตัวมากที่สุด ระยะทางที่แสงเดินทางผ่านกลายเป็น d_{max} ส่วนในขณะที่หลอดเลือดหดตัว เล็กที่สุด เกิดขึ้นในขณะที่หัวใจคลายตัว ระยะทางที่แสงเดินทางผ่านจะกลายเป็น d_{min} ซึ่งจะได้ค่าการส่งผ่านสูงสุด คือ I_H ดังสมการ

$$I_H = I_o e^{-\alpha(d_{\min})} \tag{12}$$

ถ้าหากว่า กำหนดให้ระยะทางที่แสงเดินทางผ่านปลายนิ้วมือ

$$d_{\max} = d_{\min} + \Delta d \tag{13}$$

ถ้ากำหนดให้ค่าการส่งผ่านนอร์มอลไลซ์ I_n คือ

$$I_n = \frac{I_L}{I_H} \tag{14}$$

จะได้เป็น

$$I_n = \frac{I_L}{I_H} = \frac{I_o e^{-\alpha(d_{\min}+\Delta d)}}{I_o e^{-\alpha(d_{\min})}}$$

$$= \frac{I_o e^{-\alpha d_{\min}} e^{-\alpha\Delta d}}{I_o e^{-\alpha d_{\min}}}$$

$$= e^{-\alpha\Delta d}$$

ดังนั้นจะได้ค่าการดูดกลืนที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา หรือ ค่าการดูดกลืนที่เกิดจากการดูดกลืนของเลือด คือ

$$-\ln I_n = -\ln(\frac{I_L}{I_H}) = -\ln(e^{-\alpha\Delta d}) = \Delta\alpha_{tot} \tag{15}$$

เมื่อ $\Delta\alpha_{tot}$ แทนค่าการดูดกลืนที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ที่ความยาวคลื่นใดๆ

เราก็จะได้ค่าการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาของค่าฮีมาโตคริตใดๆ ก่อนที่จะนำไปคำนวณเป็นค่า R_{12} สำหรับใช้ในการทดลองต่อไป

4.2 การทดลองตอนที่หนึ่ง การหาค่าคงที่ในสมการ

เพื่อให้สมการที่ 10 เป็นสมการที่สมบูรณ์ เราต้องหาค่าคงที่ที่ติดอยู่ในสมการออกมา ซึ่งในการทดลองนี้กระทำโดย บันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาของแต่ละความยาวคลื่น ที่ฮีมาโตคริตค่าต่าง ๆ จากนั้นค่าการดูดกลืนที่เปลี่ยนแปลงตาม

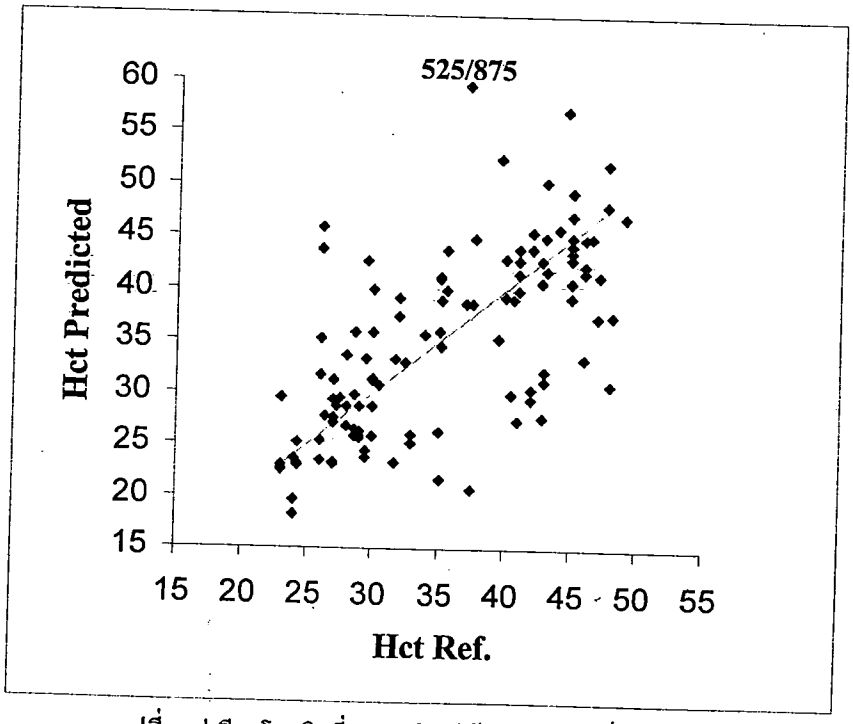
ค่า R_{12} จากนั้นก็แทนลงในสมการเพื่อให้ได้ค่าฮีมาโตคริตออกมา โดยในการทดลองการใช้สมการทำนายค่าฮีมาโตคริต ได้ทดลองทำนายฮีมาโตคริตจากค่า R_{12} จำนวน 125 ค่า แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าฮีมาโตคริตที่วัดได้ด้วยวิธีการปั่นเลือด

ที่ 2 แสดงอายุ และเพศของกลุ่มตัวอย่างในการนำสมการมาใช้งานจริง

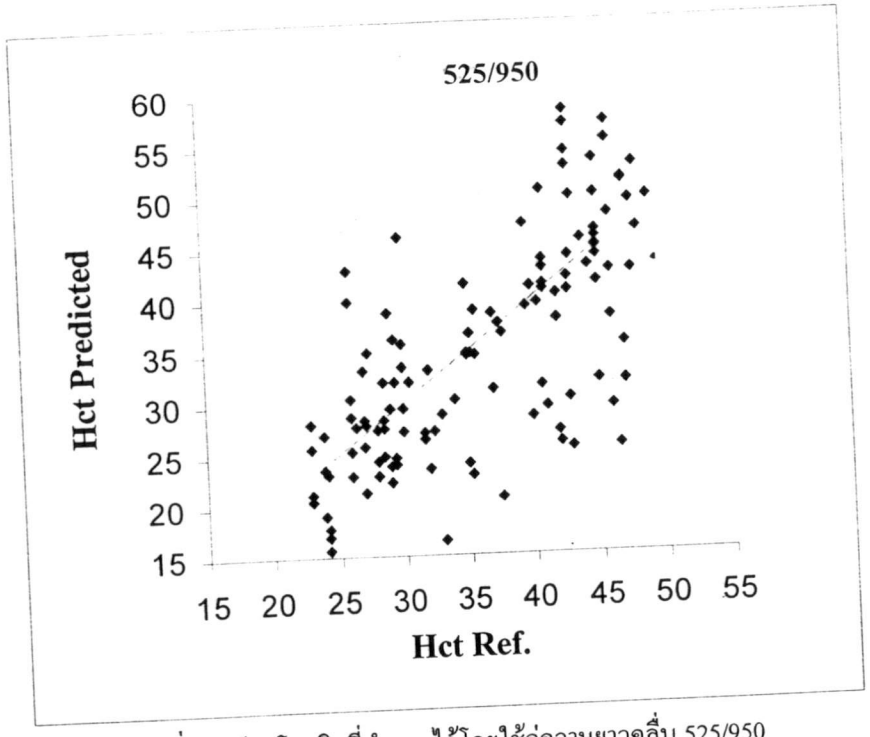
อายุ / เพศ	20 -29 (ปี)	30 – 39 (ปี)	40 – 49 (ปี)	รวม
ชาย	14	25	18	57
หญิง	11	24	33	68

ผลการทดลองตอนที่สอง

หลังจากที่ได้ค่า R_{12} จากค่าการส่งผ่านแสงที่ได้ จากนั้นก็นำค่า R_{12} ไปแทนในสมการเพื่อทำนายเป็นค่าฮีมาโตคริตออกมา แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าฮีมาโตคริตที่วัดด้วยวิธีการปั่นเลือด เพื่อดูความแตกต่าง ดังแสดงในรูปที่ 7. และ รูปที่ 8 ซึ่งใช้คู่ความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน โดยแกนตั้งเป็นค่าฮีมาโตคริตที่ได้ด้วยการใช้สมการ แกนนอนเป็นค่าฮีมาโตคริตที่ได้ด้วยวิธีการปั่นเลือด ถ้าหากค่าฮีมาโตคริตที่ได้ด้วยวิธีการใช้สมการมีค่าเท่ากับค่าฮีมาโตคริตที่ได้ด้วยวิธีการปั่นเลือดจุดก็จะถูกวางในตำแหน่งบนแนวเส้นทแยง



รูปที่ 7 ค่าฮีมาโตคริตที่ทำนายโดยใช้คู่ความยาวคลื่น 525/875

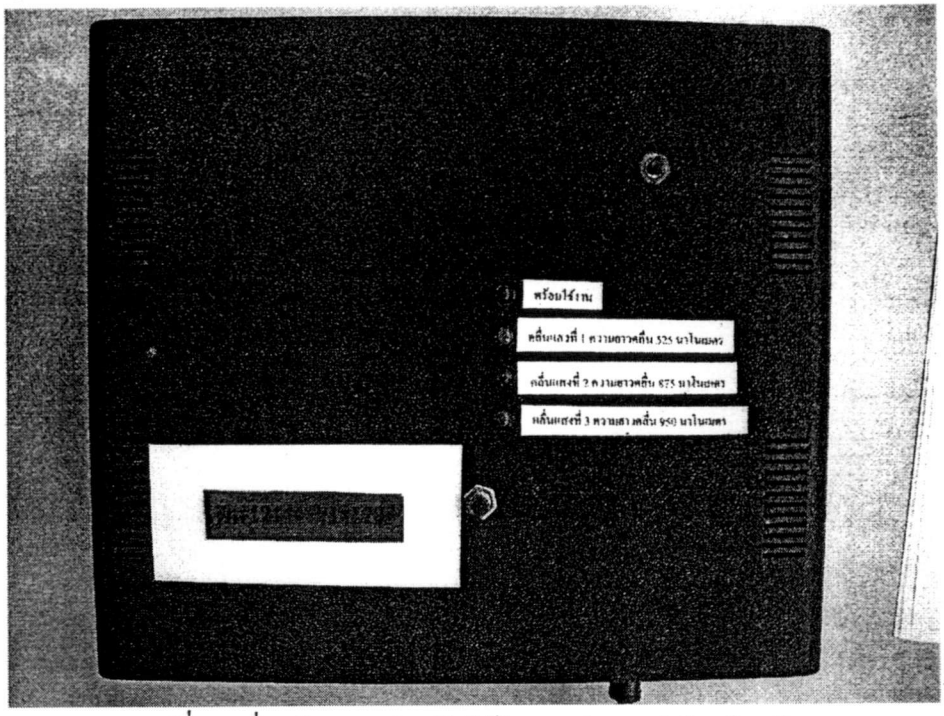


รูปที่ 8 ค่าฮีมาโตคริตที่ทำนายได้โดยใช้คู่ความยาวคลื่น 525/950

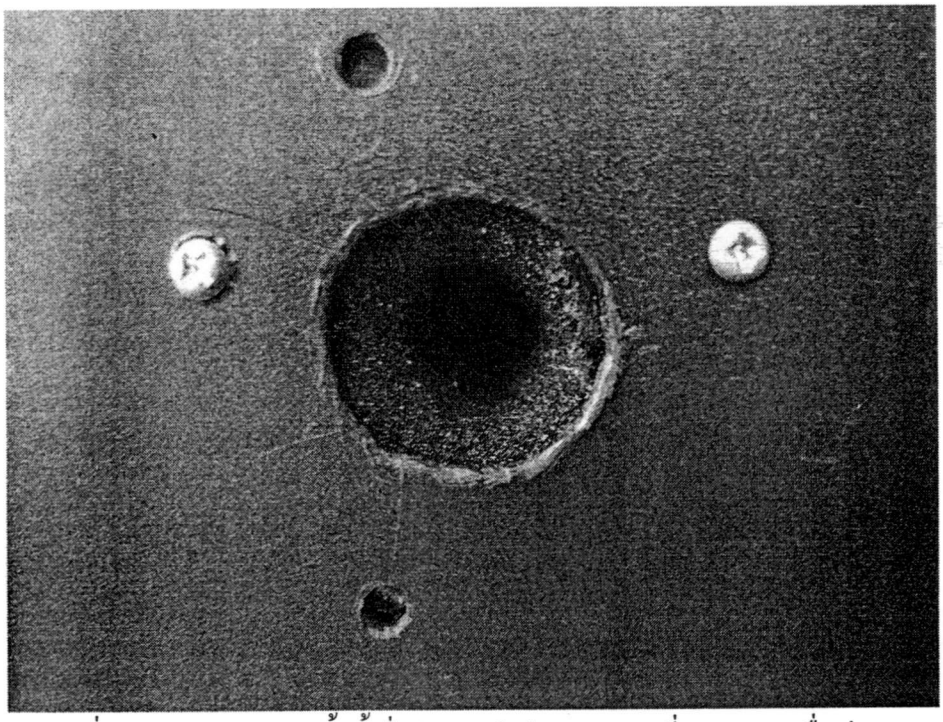
5. บทสรุป

จากการทดสอบด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยจากข้อมูลตัวอย่างที่มี พอที่จะสรุปได้ว่าค่าฮีมาโตคริตที่ทำนายได้โดยการใช้สมการแบบใหม่ในการทำนาย มีค่าความผิดพลาดในการทำนายค่าฮีมาโตคริตคลาดเคลื่อนไปจากค่าฮีมาโตคริตอ้างอิง ซึ่งได้มาด้วยวิธีการวัดแบบการใช้เครื่องเหวี่ยง พบว่า มีความเป็นไปได้สูงถึง 95 เปอร์เซ็นต์ ที่การใช้สมการแบบใหม่ในการทำนายโดยการใช้คู่ความยาวคลื่นแสง 525/875 และ 525/950 ทำนายค่าฮีมาโตคริตออกมา โดยได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ หากเมื่อวิเคราะห์ถึงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด พบว่าการทำนายค่าฮีมาโตคริตด้วยคู่ความยาวคลื่นแสง 525/875 และ 525/950 นั้นมีช่วงของค่าความผิดพลาดที่ใกล้เคียงกัน แต่จากข้อมูลที่มีพบว่า การทำนายด้วยคู่ความยาวคลื่น 525/875 น่าจะมีความถูกต้องในการทำนายค่าฮีมาโตคริตมากกว่าการใช้คู่ความยาวคลื่น 525/950 แต่ในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้ค่าฮีมาโตคริตที่วัดได้ด้วยวิธีการปั่นเลือดเป็นค่าฮีมาโตคริตอ้างอิง ซึ่งการวัดค่าฮีมาโตคริตด้วยวิธีนี้มีค่าความผิดพลาดอยู่ในตัวมันเองด้วย

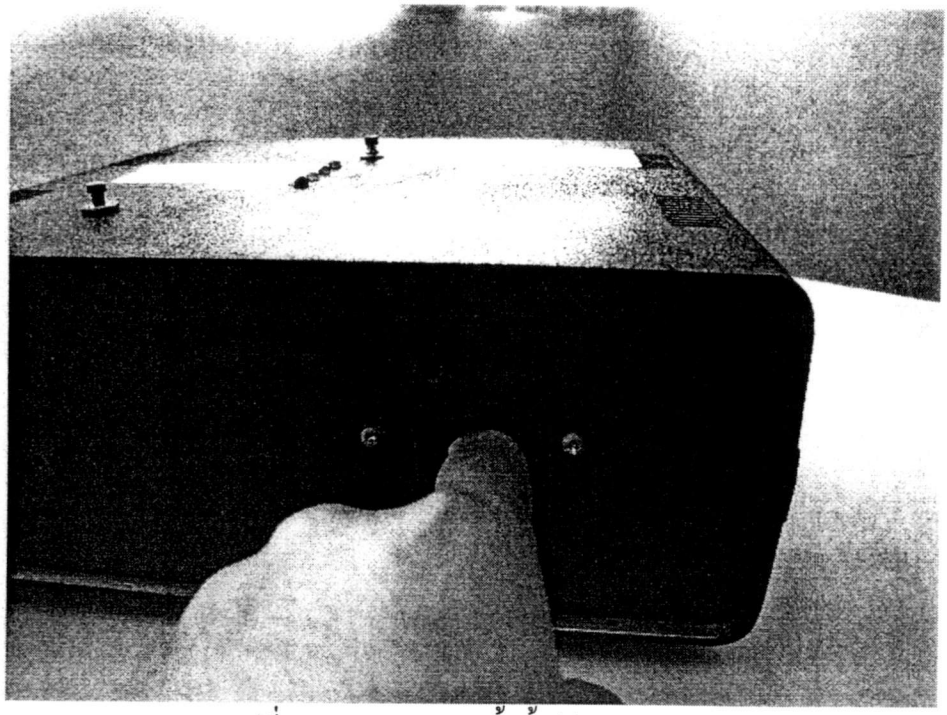
แสดงคุณลักษณะของเครื่องต้นแบบที่ได้ประดิษฐ์ขึ้น



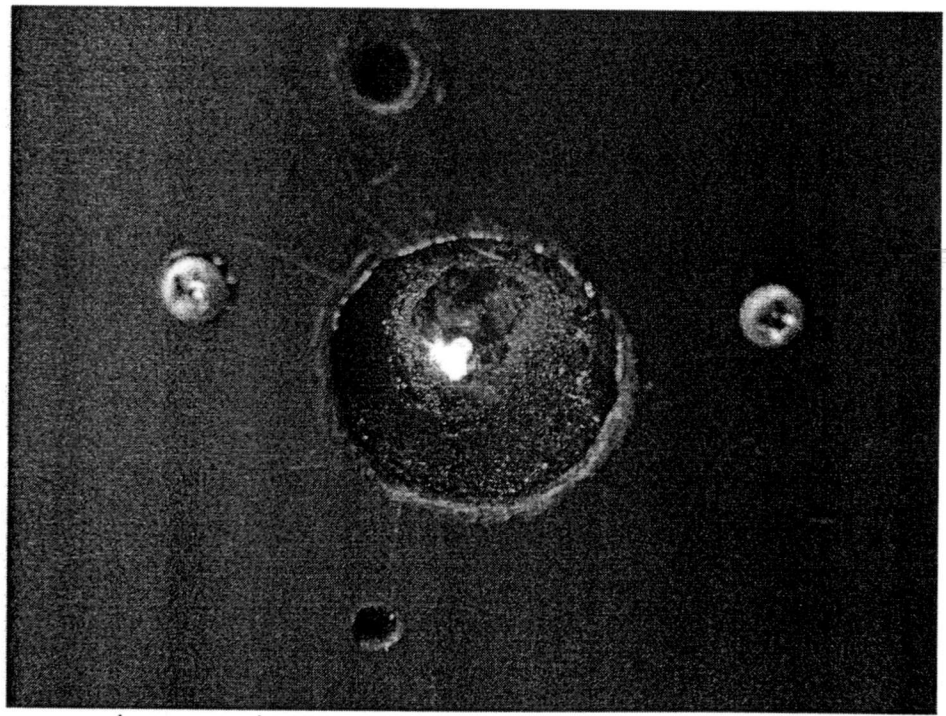
รูปที่ 9 เครื่องต้นแบบสำหรับใช้ในการทำนายค่าฮีมาโตคริต



รูปที่ 9 ช่องสำหรับสอดนิ้วชี้เพื่อวัดการส่งผ่านทางแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ



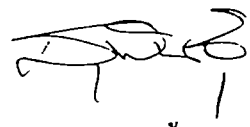
รูปที่ 11 แสดงการสอดนิ้วชี้เข้าไปยังช่องวัด



รูปที่ 12 เมื่อเลือก LED ที่ความยาวคลื่น 525 nm แสดงสีเขียวจาก LED ที่ด้านล่างของช่องส่งก็จะถูกส่งผ่านนิ้วไปยังตัวรับที่อยู่ด้านบน

ชั้นต์ความคืบหน้าของโครงการ 100%

ข้าพเจ้าขอรับรองข้อความข้างต้นเป็นจริงทุกประการ



(นายสุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมั่น)
หัวหน้าโครงการวิจัย

เอกสารบันทึกการส่งผ่าน

ชื่อ.....นามสกุล.....

เพศ ○ช ○ญ อายุ..... สีผิว..... น้ำหนัก..... สูง..... ภูมิลำเนา.....

ครั้งที่	ค่าแรงดันที่อ่านได้						ค่าฮีมาโตคริต %	ความดัน /
	คลื่นแสงที่ 1 525		คลื่นแสงที่ 2 875		คลื่นแสงที่ 3 950			
	Vh	Vl	Vh	Vl	Vh	Vl		
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								
6.								
7.								
8.								
9.								
10.								
11.								

บันทึกเพิ่มเติม (ผลการวิเคราะห์ โรค)

.....

.....

ผู้บันทึกข้อมูล.....วันที่.....ผู้ตรวจสอบ / วิเคราะห์.....วันที่.....

หมายเหตุ: ใบบันทึก 1 แผ่น ต่อ ผู้ป่วย 1 ท่าน และขณะทำการบันทึกข้อมูล ควรให้ผู้ป่วยอยู่ในท่านอน