สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบ/สร้างต้นแบบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย

Design and fabrication of a simple prototype spectrometer

T137633

ดร. ณัฐวุฒิ เชิงชั้น

RcH
ณ361ก
2557

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 137633
วัน เดือน ปี 13 ก.ค. 2558

b 12696638
i.....

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย จากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การออกแบบ/สร้างต้นแบบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย
แหล่งเงิน ทุนวิจัยและพัฒนาเพื่อผลิตอุปกรณ์หรือสื่อประกอบการเรียนการสอน เงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์
ประจำปีงบประมาณ 2557 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 280,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2556 ถึง 30 กันยายน 2557
ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น
สาขาวิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการออกแบบและพัฒนาเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย สำหรับนำไปใช้ในการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ และสามารถใช้กับงานวิเคราะห์ทางเคมีได้ด้วย ส่วนประกอบของเครื่องมี 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นฮาร์ดแวร์ ซึ่งประกอบด้วย (1)หลอดแอลอีดี เป็นแหล่งกำเนิดแสง (2)ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นส่วนประมวลผล และ (3)โฟโต้ทรานซิสเตอร์ เป็นส่วนรับแสง และส่วนที่สองเป็นส่วนซอฟต์แวร์ คือโปรแกรมซึ่งบรรจุอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการสร้างวงจรไฟฟ้าที่ใช้วัดค่าดูดกลืนแสง จะอาศัยหลักการในการแปลงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นค่าดูดกลืนแสงตามกฎของเบียร์ ได้ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือที่สร้างขึ้น โดยทำการตรวจวัดผลิตภัณฑ์ที่มีสีที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี 3 ปฏิกิริยา ได้แก่ ปฏิกิริยาระหว่างกรดฟอสโฟทังสติก กับกรดยูริก (ให้ผลิตภัณฑ์สีน้ำเงิน) ปฏิกิริยาระหว่างออร์โธฟีแนนโธรลีน กับไอออนของเหล็ก (II) (ให้ผลิตภัณฑ์สีแดง) และปฏิกิริยาระหว่างโพแทสเซียมไดโครเมต และเอทานอล (ให้ผลิตภัณฑ์สีเขียว) ผลการทดสอบ พบว่า กราฟมาตรฐานที่ได้จากทั้งสามปฏิกิริยามีความเป็นเส้นตรงที่ดีมาก ($R^2 > 0.99$) และเมื่อเปรียบเทียบความไวในการวิเคราะห์กับผลวิเคราะห์ที่ได้ เมื่อใช้เครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์โดยใช้ปฏิกิริยาที่ทดสอบเดียวกันนี้ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเครื่องเสปกโทรมิเตอร์อย่างง่ายที่พัฒนาขึ้นนี้มีความไวในการวิเคราะห์ (พิจารณาจากความชันของกราฟมาตรฐาน) ต่ำกว่าของเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงอาจกล่าวได้ว่า เครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่ายนี้ สามารถนำไปใช้ทดแทนเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ สำหรับงานการเรียนการสอน รวมถึงในงานวิจัยที่ไม่ต้องการความไวในการวิเคราะห์มากนักได้

คำสำคัญ : สเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย, แอลอีดีดีเทคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Design and fabrication of a simple prototype spectrometer

Grant: Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Fiscal year: 2014 (280,000 THB)

Period: 1 year (1 October 2013 – 30 September 2014)

Researcher: Dr.Nathawut Choengchan

Faculty: Science **Department:** Chemisrtry

ABSTRACT

A simple spectrometer was designed and developed for teaching in analytical laboratory class as well as analytical chemistry research. The device was comprised of two main components. The first components were hardware which consisted of (1) LED bulbs as light source, (2) Micro-controller as processer unit and (3) Phototransistor as light detector. The second component was software loaded onto microcontroller. The output voltage was converted to absorbance unit by the developed software according to the Beer's law. Performance of the device was studied by detection of colored products from three chemical reactions include (1) phosphotungstic acid and uric acid reaction (blue colored product), (2) *o*-phenanthroline and ferrous reaction (red colored product) and (3) potassiumdichromate and ethanol reaction (green colored product). The results showed the excellent linearity ($R^2 > 0.99$). The sensitivity was compared with the results obtained by UV-Visible Spectrophotometer by using the same reactions. They indicated that sensitivity (slope of calibration curves) of the simple spectrometer was slightly lower than UV-Visible Spectrophotometer. Hence, the simple spectrometer can be exploited for teaching in analytical laboratory class and analytical chemistry research.

Keywords : Simple spectrometer, LED detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินงานวิจัยตามโครงการนี้ สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ได้เป็นอย่างดี เนื่องด้วยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก ทุนวิจัยและพัฒนาเพื่อผลิตอุปกรณ์หรือสื่อประกอบการเรียนการสอน เงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2557 ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์ สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ร่วมพัฒนาเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่ายนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ นายศานติกรณ์ อำนวยผล นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ และนายอาจณรงค์ เมธาวีสรรเสริญ นักศึกษาปริญญาเอก สาขาวิชาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่ายนี้ โดยทุ่มเททำงานวิจัยนี้ด้วยดีตลอดมา ตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดโครงการ

ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น
หัวหน้าโครงการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... VI

สารบัญรูป..... VII

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย..... 2

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย..... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม..... 5

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1.1 หลักการวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorption spectroscopy)..... 6

2.1.2 หลักการของ Beer's law..... 6

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 7

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 9

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์..... 9

3.1.1 สารเคมี..... 9

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องตรวจวัด..... 9

3.2 การเตรียมสารละลาย..... 10

3.2.1 การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณกรดยูริก..... 10

3.2.2 การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก..... 11

3.2.3 การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอล..... 11

3.3 การดำเนินงานวิจัย..... 11

3.3.1 การพัฒนาเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย..... 11

3.3.2 ส่วนประกอบของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย..... 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.3 การทดสอบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ที่สร้างขึ้นในเบื้องต้น 15

3.3.4 การทดสอบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ที่สร้างขึ้นกับปฏิกิริยาจริง 16

บทที่ 4 ผลการวิจัย 17

4.1 การออกแบบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย 17

4.2 การทดสอบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ที่สร้างขึ้น 19

4.3 การทดสอบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ที่สร้างขึ้นกับปฏิกิริยาจริง 21

4.3.1 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดยูริก 21

4.3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำ 22

4.3.3การวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอล 23

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 25

5.1 สรุปการดำเนินงานวิจัย 25

5.2 ข้อเสนอแนะ 26

เอกสารอ้างอิง 27

ภาคผนวก ก ผลการทดสอบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย 28

ภาคผนวก ข การนำเสนอผลงานวิจัย 29

ภาคผนวก ค งบประมาณในการผลิตเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย 30

ภาคผนวก ง ข้อมูลสถิติระดับความพึงพอใจในการใช้เครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงสีและสีตรงกันข้ามของสเปกตรัมช่วงคลื่นที่ตามองเห็น..... 5
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจำเพาะของ High Power LEDs - Multi-Color XLAMP MCE 80LM RGBW .. 13
ตารางที่ ก.1 แสดงผลการคำนวณหาความแตกต่างของค่าความไวในการวิเคราะห์..... 28
ตารางที่ ค.1 ค่าใช้จ่ายต่อเครื่องในการผลิตเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงการดูดกลืนแสงของสาร 6

รูปที่ 2.2 แสดงแผนผังแสดงองค์ประกอบของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ 7

รูปที่ 2.3 แสดงแผนผังวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องสเปคโทรมิเตอร์ 8

รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย 12

รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของบอร์ด ET-EASY168 STAMP 13

รูปที่ 3.3 หลอดแอลอีดี High Power LEDs - Multi-Color XLAMP MCE 80LM RGBW 14

รูปที่ 3.4 โฟโต้ทรานซิสเตอร์ (Photo transistor รุ่น WPTS-505) 14

รูปที่ 3.5 หน้าจอ LCD 16x2 Blue on White 15

รูปที่ 4.1 แสดงเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่ายที่ได้ออกแบบ

ก) รูปเครื่องมือต้นแบบเมื่อมองจากด้านข้าง

ข) รูปเครื่องมือเมื่อมองจากด้านบน 17

รูปที่ 4.2 รูปถ่ายเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ 18

รูปที่ 4.3 แสดงกราฟมาตรฐานที่ได้จากการทดสอบเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์เบื้องต้นด้วยสารละลายสีผสมอาหาร

ก) ทดสอบหลอด LED สีแดง ด้วยสารละลายสีเขียว

ข) ทดสอบหลอด LED สีเขียว ด้วยสารละลายสีแดง

ค) ทดสอบหลอด LED สีน้ำเงิน ด้วยสารละลายสีส้ม

ง) ทดสอบหลอด LED สีน้ำเงิน ด้วยสารละลายสีเหลือง 19

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับสารละลายกรดยูริกที่ความเข้มข้นต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างเครื่องสเปกโทรมิเตอร์และเครื่องยูวี-วิซิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ 21

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับสารละลายเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างเครื่องสเปกโทรมิเตอร์และเครื่องยูวี-วิซิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ 23

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างเครื่องสเปกโทรมิเตอร์และเครื่องยูวี-วิซิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ข.1 รูปแสดงผลงานในงานวันวิทยาศาสตร์ ปี 2557 คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯลาดกระบัง 28
รูปที่ ง.1 แสดงร้อยละของความพึงพอใจของผู้ใช้งานในหัวข้อความถูกต้องน่าเชื่อถือ 31
รูปที่ ง.2 แสดงร้อยละของความพึงพอใจของผู้ใช้งานในหัวข้อใช้งานง่ายไม่ยุ่งยาก 32
รูปที่ ง.2 แสดงร้อยละของความพึงพอใจของผู้ใช้งานในหัวข้อขนาดกะทัดรัด พกพาสะดวก 32
รูปที่ ง.4 แสดงร้อยละของความพึงพอใจของผู้ใช้งานในหัวข้อมีความทนทานต่อการใช้งาน 33
รูปที่ ง.5 แสดงร้อยละของความพึงพอใจของผู้ใช้งานในหัวข้อข้อความสวยงามของเครื่องมือ
มีความทันสมัย น่าใช้งาน 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

แขนงเคมีวิเคราะห์ สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) เป็นผู้รับผิดชอบ จัดการเรียนการสอนในรายวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ให้แก่นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาเคมี (หลักสูตรเคมีอุตสาหกรรมและเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม) และสาขาชีววิทยาประยุกต์ (หลักสูตรจุลชีวอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพ) คณะวิทยาศาสตร์ รวมถึงมีหน้าที่รับผิดชอบในการสอนบริการต่างคณะ ในรายวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ให้แก่นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์อาหาร และสาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร รวมจำนวนนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนทั้งสิ้นประมาณ 500 - 600 คน ต่อ 1 ภาคการศึกษา

เนื่องจากตามคำอธิบายรายวิชา (Course description) ของรายวิชาดังกล่าวข้างต้น นอกจากจะมุ่งหวังให้นักศึกษามีทักษะการวิเคราะห์ด้วยวิธีแบบดั้งเดิม (Classical methods of analysis) โดยอาศัยการไทเทรตแล้ว ยังมุ่งเน้นให้นักศึกษาได้เรียนรู้การวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ (Instrumental methods of analysis) เพราะเป็นวิธีที่นิยมใช้ทั่วไปตามห้องปฏิบัติการของหน่วยงานทั้งภาครัฐและภาคเอกชน โดยการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ ที่แขนงวิชาเคมีวิเคราะห์ จัดให้มีในวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ คือ การหาปริมาณโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ แต่อย่างไรก็ตาม เครื่องสเปกโทรมิเตอร์ที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน ถึงแม้ในบางรุ่นและบางยี่ห้อ จะเป็นเครื่องอย่างง่าย มีประสิทธิภาพในระดับหนึ่ง แต่ยังคงมีราคาแพง เป็นเพราะต้องอาศัยเทคโนโลยีในการผลิตและนำเข้าจากต่างประเทศ ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้จำนวนเครื่องมือชนิดนี้มีอยู่อย่างจำกัดในห้องปฏิบัติการ ไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้และจำนวนนักศึกษา เครื่องมือหนึ่งเครื่อง ต้องใช้ร่วมกันหลายกลุ่ม ทำให้การเรียนการสอนไม่มีประสิทธิผลเท่าที่ควรเพราะนักศึกษาไม่สามารถทดลองใช้เครื่องมือได้อย่างทั่วถึงเท่ากันทุกคน ทำให้นักศึกษาบางคนขาดกระบวนการเรียนรู้และไม่มีโอกาสทำความเข้าใจหลักการการทำงานของเครื่อง

ด้วยเหตุที่หน่วยวิจัยเคมีวิเคราะห์เชิงประยุกต์ (Applied Analytical Chemistry Research Unit) มีความร่วมมือด้านงานวิจัย กับสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. และมีความสนใจที่จะร่วมกันผลิตเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่ายไว้ใช้สำหรับงานวิจัยอยู่แล้ว ดังนั้น หน่วยวิจัยฯ จึงมีแนวคิดจะใช้หลักการ 'Research to Routine' หรือ 'R2R' กล่าวคือ จะนำเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ซึ่งเป็นผลผลิตจากงานวิจัย (Research) ไปประยุกต์ใช้ต่อยอดเป็นสื่อการสอนในวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ซึ่งเป็นงานที่ต้องทำเป็นประจำ (Routine) เพื่อให้ผลผลิตจากงานวิจัยมีประโยชน์สูงสุด ทั้งต่องานวิจัยเองและต่องานการเรียนการสอน โดยการดำเนินงานในลักษณะ 'R2R' ดังกล่าวข้างต้นนี้ จะดำเนินงานภายใต้โครงการวิจัย 'ต้นแบบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย' โดยมุ่งหวังที่จะผลิตต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องสเปกโทรมิเตอร์ที่มีขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายสะดวก ง่ายต่อการจัดเก็บ มีต้นทุนในการผลิตต่ำ เพราะจะใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตขึ้นภายในประเทศ นอกจากนี้ ยังมุ่งหวังที่จะพัฒนาต่อยอดสู่เชิงพาณิชย์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

12.1 เพื่อสร้างและทดสอบประสิทธิภาพของต้นแบบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย

12.2 เพื่อนำต้นแบบที่ได้ไปพัฒนาต่อยอดสร้างเป็นเครื่องสเปกโทรมิเตอร์สำหรับใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการนี้ จะเริ่มจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นตามกฎของเบียร์ (Beer's law [1]) ซึ่งกล่าวว่าค่าการดูดกลืนแสงแปรผันตรงกับความเข้มข้น จากนั้นจะออกแบบรูปทรงของเครื่องต้นแบบ โดยต้องการสร้างให้มีขนาดเล็ก เพื่อสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและจัดเก็บ ต่อไปจะพัฒนาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับส่วนของหลอดกำเนิดแสงและหลอดรับแสง โดยจะเลือกใช้หลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดี (Light emitting diode, LED) ที่สามารถเปล่งแสงสีแดง-เขียว-น้ำเงิน ได้ภายในหลอดเดียวกัน และจะเลือกใช้หลอดโฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) เป็นหลอดรับแสง รวมถึงจะพัฒนาส่วนของช่องวางเซลล์สารตัวอย่าง (Sample cell) ซึ่งจะตั้งอยู่ระหว่างหลอดกำเนิดแสงและหลอดรับแสง พร้อมกันนี้จะได้สร้างโปรแกรมสำหรับประมวลผลและแสดงผลค่าการดูดกลืนแสงให้เป็นตัวเลขแบบดิจิตอล ผ่านทางหน้าจอแอลอีดี เมื่อนำหลอดกำเนิดแสง หลอดรับแสง ช่องวางเซลล์สารตัวอย่าง รวมถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ประกอบรวมกัน ได้เครื่องมืออย่างคร่าวๆแล้ว จึงจะทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือในเบื้องต้น โดยทดสอบการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีผสมอาหารสีแดง สีเขียว และสีเหลือง ที่ความเข้มข้นต่างๆ แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟเส้นตรงระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้น หากมีความเป็นเส้นตรงสูง แสดงว่า เครื่องมือสามารถอ่านค่าการดูดกลืนแสงได้อย่างถูกต้องสอดคล้องกับหลักการ Beer's law จากนั้น จะทดสอบความถูกต้องของเครื่องมือขั้นต่อไป โดยในเบื้องต้นจะทดสอบกับสารละลายสีผสมอาหารสีแดง เขียว และน้ำเงินก่อน จากนั้นจะทดสอบโดยใช้ปฏิกิริยาเคมี โดยให้อ่านค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์สีแดงที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างไอออนของเหล็ก (Fe (II)) กับ *o*-phenanthroline ซึ่งปฏิกิริยานี้ ใช้เป็นหลักการในการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ การทดสอบความถูกต้อง ก็จะประเมินจากความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน และจะทดสอบการอ่านค่าดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์สีเขียวจากปฏิกิริยาระหว่างโพแทสเซียมไดโครเมต และเอทานอล และผลิตภัณฑ์สีน้ำเงินจากปฏิกิริยาระหว่างฟอสโฟทังสติก กับกรดยูริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากผ่านการทดสอบในเบื้องต้นแล้ว จะบรรจุอุปกรณ์ต่างๆ ลงในกล่องอะครีลิกชนิดทึบแสงที่สร้างขึ้นตามรูปทรงที่ได้ออกแบบไว้ แล้วทำการทดสอบความถูกต้องของการอ่านค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีผสมอาหารและของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาจริงทั้งสามปฏิกิริยาอีกครั้งหนึ่ง โดยประเมินความถูกต้องจากค่าความเป็นเส้นตรงเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม อาจดำเนินการทดสอบความถูกต้องในการอ่านค่าการดูดกลืนแสงของเครื่องมือ กับปฏิกิริยาเคมีที่ให้ผลิตภัณฑ์สีอื่นๆนอกจากสีแดง เช่น สีเขียว และสีเหลือง ร่วมด้วย

เมื่อได้เป็นเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่ายแล้ว จะดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยี โดยจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ เพื่อสาธิตการใช้งานให้กับผู้ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อาจารย์ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ และอาจารย์ผู้ช่วยสอน ซึ่งมีหน้าที่โดยตรงในการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ นอกจากแนะนำการใช้งานแล้ว การจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ ยังมีวัตถุประสงค์เพื่อรับฟังความเห็นและสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้งาน เพื่อนำมาปรับปรุงให้เครื่องมือมีประสิทธิภาพสูงสุด อนึ่ง การถ่ายทอดเทคโนโลยี จะดำเนินการในลักษณะของการเข้าร่วมเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการและงานนิทรรศการที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ เพื่อเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ให้บุคลากรทางการศึกษา นักเรียน นักศึกษา ตลอดจนผู้ที่สนใจรับทราบผลงานสิ่งประดิษฐ์ของโครงการ ท้ายที่สุด จะนำต้นแบบเครื่องสเปคโทรมิเตอร์อย่างง่ายนี้ไปพัฒนาต่อยอดเป็นเครื่องสเปคโทรมิเตอร์ เพื่อใช้จริง สำหรับเป็นสื่อการเรียนการสอนในวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ต่อไป

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นตามกฎของเบียร์ และทบทวนวรรณกรรม

1.4.2 ออกแบบรูปทรงของต้นแบบเครื่องสเปคโทรมิเตอร์

1.4.3 พัฒนาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับส่วนของหลอดกำเนิดแสงและหลอดรับแสง

1.4.4 พัฒนาส่วนของช่องวางเซลล์สารตัวอย่าง

1.4.5 สร้างโปรแกรมสำหรับประมวลผลและแสดงผลค่าการดูดกลืนแสงผ่านหน้าจอแอลอีดี

1.4.6 ประกอบหลอดกำเนิดแสง หลอดรับแสง ช่องวางเซลล์สารตัวอย่าง และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เข้าด้วยกัน ได้เครื่องมืออย่างคร่าวๆ

1.4.7 ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือในเบื้องต้น จากนั้น จะทดสอบความถูกต้องของเครื่องมือ โดยให้อ่านค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์สีแดงที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างไอออนของเหล็ก (Fe (II)) กับ o-phenanthroline ค่าดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์สีเขียวจากปฏิกิริยาระหว่างโพแทสเซียมไดโครเมต และเอทานอล และผลิตภัณฑ์สีน้ำเงินจากปฏิกิริยาระหว่างฟอสโฟทังสติก กับกรดยูริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.8 บรรจุอุปกรณ์ลงในกล่องอะคิลิกชนิดทึบแสงที่สร้างขึ้นตามรูปทรงที่ได้ออกแบบไว้ แล้วทำการทดสอบความถูกต้องของการอ่านค่าการดูดกลืนแสงอีกครั้งหนึ่ง

1.4.9 ดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยี โดยจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ เพื่อสาธิตการใช้งานให้กับผู้ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อาจารย์ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ และอาจารย์ผู้ช่วยสอน ซึ่งมีหน้าที่โดยตรงในการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ นอกจากแนะนำการใช้งานแล้ว

1.4.10 เข้าร่วมเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการและงานนิทรรศการที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ต่างๆ เพื่อเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ให้ที่สนใจ รับทราบผลงานสิ่งประดิษฐ์ที่ได้รับจากโครงการ

1.4.11 นำต้นแบบเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์อย่างง่ายนี้ไปพัฒนาต่อยอดเป็นเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เพื่อใช้จริง สำหรับเป็นสื่อการเรียนการสอนในวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

15.1 ได้ต้นแบบของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย ขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายและจัดเก็บสะดวก รวมถึง ราคาถูก

15.2 สามารถนำเครื่องต้นแบบไปพัฒนาเป็นเครื่องสเปกโทรมิเตอร์สำหรับเป็นสื่อการเรียนการสอนในวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ได้อย่างเพียงพอต่อจำนวนนักศึกษา เพื่อให้การเรียนการสอนมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สารแต่ละชนิดสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่นแตกต่างกัน สารไม่มีสีส่วนใหญ่จะดูดกลืนช่วงอัลตราไวโอเลต ซึ่งมีความยาวคลื่น 200 ถึง 300 นาโนเมตร และช่วงคลื่นอินฟราเรด ซึ่งมีความยาวคลื่น 780 ถึง 1000 นาโนเมตร ส่วนสารที่มีสีจะดูดกลืนแสงในช่วงคลื่น 380 ถึง 780 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงคลื่นแสงขาวที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จากสมบัติของสารดังกล่าวจึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์สารชนิดต่างๆได้ การดูดกลืนของสารที่แสงสีต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงสีและสีตรงกันข้ามของสเปกตรัมช่วงคลื่นที่ตามองเห็น

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	สีที่ถูกดูดกลืน	สีตรงกันข้าม (complementary color) หรือสีของสารที่ตาเรามองเห็น
350 - 430	ม่วง	เหลือง
430 - 475	น้ำเงิน	ส้ม
475 - 495	เขียวแกมน้ำเงิน	ส้มแกมแดง
495 - 505	เขียวแกมน้ำเงิน	แดงแกมส้ม
505 - 555	เขียว	แดง
555 - 575	เขียวแกมเหลือง	ม่วงแดง
575 - 600	เหลือง	ม่วง
600 - 650	ส้ม	น้ำเงิน
670 - 700	แดง	เขียว

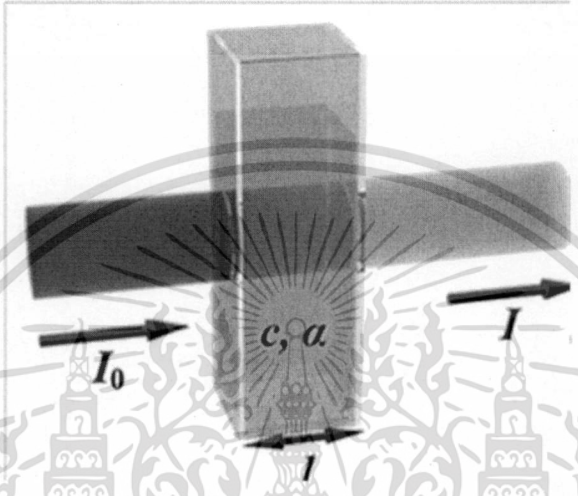
* ช่วงความยาวคลื่นที่ระบุเป็นค่าประมาณของแสงแถบสีต่าง ๆ

เนื่องจากโครงการนี้ เกี่ยวข้องกับการอ่านค่าการดูดกลืนแสงซึ่งสัมพันธ์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นตามหลักของ Beer's law ดังนั้น จึงต้องศึกษาหลักการ Beer's law [1] รวมถึงหลักการการวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorption spectroscopy, [2]) ให้ลึกซึ้งเพื่อประโยชน์ในการสร้างเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ จึงจะกล่าวถึงหลักการการวัดค่าการดูดกลืนแสง และ Beer's law พอเป็นสังเขปดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 หลักการวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorption spectroscopy)

เมื่อลำแสงขนานของรังสีความยาวคลื่นเดียว (Monochromatic radiation) ผ่านสารละลายที่มี absorbing species บรรจุอยู่ในเซลล์ที่ความหนา l (cm) โดยที่สารละลายนั้นมีความเข้มข้นของ absorbing species เป็น c (mol/L) absorbing species นั้นจะเกิดการดูดกลืนความเข้มของรังสีก่อนผ่านสารละลาย (I_0) จะลดลงเหลือความเข้มหลังผ่านสารละลาย (I) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงการดูดกลืนแสงของสาร [2]

2.1.2 หลักการของ Beer's law

กล่าวว่า ความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนไว้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของ absorbing species ในสารละลาย โดย absorbance (A) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ ความเข้มข้นของ absorbing species (c) และ path lengthของ absorbing medium (l) โดยที่

$$A = -\log\frac{I}{I_0} = \varepsilon cl$$

เมื่อ I_0 และ I = ความเข้มข้นของแสงก่อนและหลังผ่านสารละลายตามลำดับ

ε = ค่าคงที่ของการดูดแสง หรือค่า molar absorption coefficient เป็นค่าเฉพาะ สำหรับสารหนึ่งๆ และที่ช่วงคลื่นหนึ่งๆ

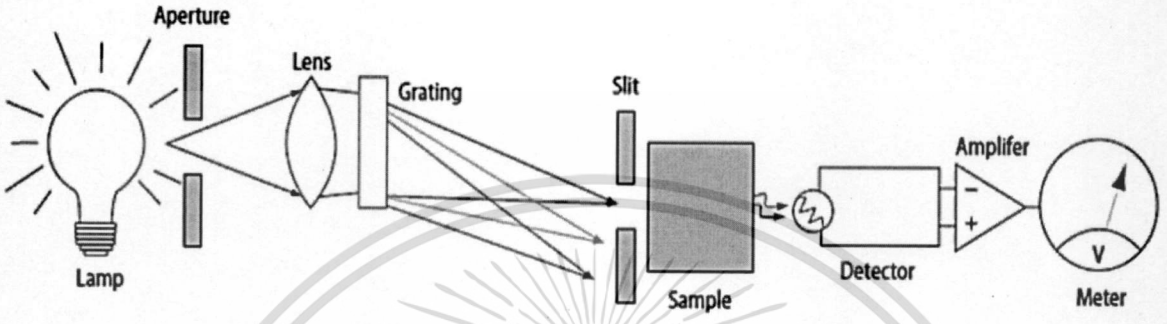
c = เป็นความเข้มข้นของสารละลาย

l = ความยาวของระยะทางที่แสงผ่านสารละลายที่จะวัดการดูดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

S. J. Tavener และ J. E. Thomas-Oates [3] ได้สร้างเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ขึ้นโดยใช้หลอด LED ทีเปล่งแสงขาวเป็นแหล่งกำเนิดแสงและใช้ตัวต้านทานที่ไวแสง หรือ Light Dependent Resistor (LDR) เป็นตัวรับแสง โดยแผนผังแสดงองค์ประกอบของเครื่องมือเป็นดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงแผนผังแสดงองค์ประกอบของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ [3]

ในงานวิจัยเดียวกันนี้ ยังได้เสนอสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความต่างศักย์ โดยการแทนความความเข้มแสง (I) ด้วยความต่างศักย์ (V_{out}) ลงในสมการของ Beer จึงได้เป็นสมการต่อไปนี้

$$A = \frac{V_{sample} - V_{zero}}{V_{solvent} - V_{zero}}$$

โดยที่ V_{zero} เป็นความต่างศักย์ (V_{out}) เมื่อยังไม่มีแสงมาตกกระทบตัว LDR ซึ่งมีค่าไม่เท่ากับ 0

V_{sample} เป็นความต่างศักย์ (V_{out}) เมื่อมีการดูดกลืนความเข้มแสงโดยสารตัวอย่างที่ละลายอยู่ในตัวทำละลาย

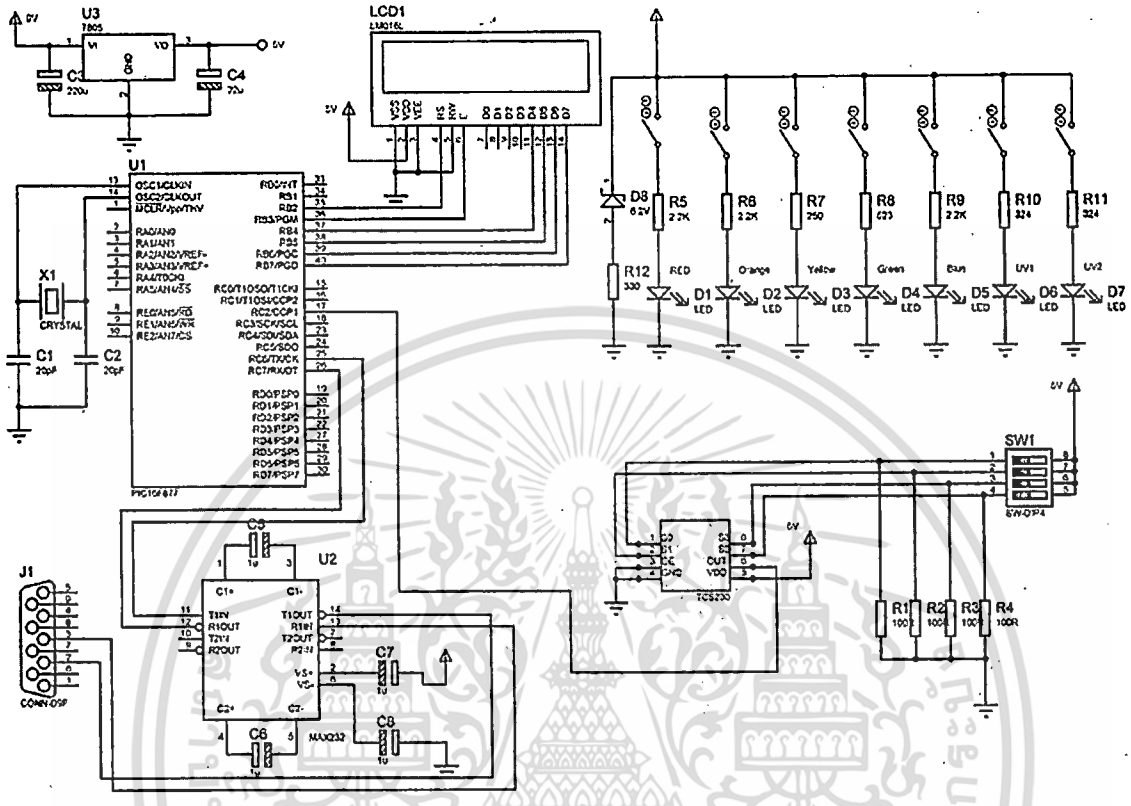
$V_{solvent}$ เป็นความต่างศักย์ (V_{out}) ของตัวทำละลายในขณะที่ไม่มีสารตัวอย่างละลายอยู่

ดังนั้นจากความสัมพันธ์จากสมการข้างต้นเมื่อสารตัวอย่างที่สนใจมีความเข้มข้นเปลี่ยนไปจะส่งผลต่อความเข้มแสงที่ผ่านออกมาตกกระทบ LDR ซึ่งจะส่งผลให้ค่า V_{out} ให้เปลี่ยนตามไปด้วย ซึ่งสามารถคำนวณออกมาเป็นค่าการดูดกลืนแสงได้ตามสมการข้างต้นนั่นเอง

T. S. Yeh และ S. S. Tseng [4] ได้สร้างเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ราคาถูกขึ้น โดยหลอดกำเนิดแสงทำจากหลอดไฟ LED เครื่องสเปกโทรมิเตอร์นี้ เลือกให้ทำงานได้ตามลำพังหรือจะทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ก็ได้ ส่วนของการแสดงผล สามารถแสดงได้ทั้งที่หน้าจอของตัวเครื่องเองและที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์ ตัวเครื่องสามารถเลือกความยาวคลื่นได้ถึง 7 ค่า แผนผังวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของตัวเครื่องแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงแผนผังวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องสเปคโทรมิเตอร์ [4]

L. Tymecki และคณะ [5] ได้เสนอการสร้างเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่ายขึ้น โดยได้ออกแบบให้หลอดกำเนิดแสงและหลอดรับแสงต่างก็ทำจากหลอดไฟ LED จึงเรียกเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบนี้ว่า 'Paired emitter detector diode' หรือ PEDD ข้อดีของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ชนิดนี้ คือมีราคาถูกมากเพราะทั้งหลอดกำเนิดแสงและหลอดรับแสงเป็นหลอด LED ซึ่งโดยทั่วไปมีราคาถูกอยู่แล้ว แต่ข้อเสียของการนำหลอด LED มาเป็นตัวรับแสง คือ ความไวในการรับแสงจะต่ำกว่าเมื่อเทียบกับหลอดรับแสงชนิด Phototodiode หรือ LDR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

1. กรดยูริก (Uric acid) - Sigma, USA
2. กรดฟอสโฟทังสติก (Phosphotungstic acid) - Lobachemic, India
3. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate)-Quality Reagent Chemical Product, Malaysia
4. แอมโมเนียมเฟอรัสซัลเฟส (Ammonium ferrous sulfate) - Sigma, USA
5. ออโทฟีแนนโทรลีน (Orthophenanthroline monohydrate) - Sigma, USA
6. โซเดียมซิเทรต (Sodium citrate) –Rankem, India
7. ไฮดรอกไซลามีนไฮโดรคลอไรด์ (Hydroxylamine hydrochloride) – Carlo Erba, Italy
8. เอทานอล (Ethanol) – Merck, Germany
9. โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate) - Carlo Erba, Italy
10. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid)- Thomas Baker, India
11. น้ำกลั่นปราศจากไอออน (Deionized-distill water)

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องตรวจวัด

1. ขวดวัดปริมาตร
2. บีกเกอร์
3. ปิเปต
4. หลอดหยด
5. นาฬิกาจับเวลา
6. เครื่องวัด pH- Metrohm® 827 pH Lab Meter, USA
7. เครื่องเขย่าสาร - Vortex Genie 2, USA
8. เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์- Jasco V630, USA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ไมโครคอมโทรลเลอร์

10.หลอดแอลอีดี High Power LEDs

11.แผ่น PCB

12. Photo transistor

13.จอ LCD

14.แบตเตอรี่ Li-ion

15.สวิสต์ปุ่มกด

16.ตัวต้านทาน

17.หัวเสียบ USB

18. PIN ขาตรง, ขางอ

19. Transistor BC337

20.สายไฟ พร้อม PIN

21.ขาตั้งบอร์ด + น็อตตัวผู้+เมีย

22.แผ่นคิลิก

23.หัวแร้งบัตกรี

24.Multi meter

25.Power supply

3.2 การเตรียมสารละลาย

3.2.1 การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณกรดยูริก

1. สารละลายมาตรฐานกรดยูริก 100 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร

ละลายกรดยูริก 0.1000 กรัม ด้วยน้ำปราศจากไอออน เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ ปริมาตร 3.00 มิลลิลิตร แล้วใช้น้ำปราศจากไอออนปรับปริมาตรเป็น 100.00 มิลลิลิตร

2. สารละลายมาตรฐานกรดฟอสโฟทังสติก

ละลายกรดฟอสโฟทังสติก 4.000 กรัม ด้วยน้ำปราศจากไอออน และปรับปริมาตรเป็น 10.00 มิลลิลิตร

3. สารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

ละลายโซเดียมคาร์บอเนต 2.0000 กรัม ด้วยน้ำปราศจากไอออน และปรับปริมาตรเป็น 10.00 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก

1. สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ละลายแอมโมเนียมเฟอรัสซัลเฟต 0.0702 กรัม ด้วยน้ำปราศจากไอออน 5.0 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.10 มิลลิลิตร แล้วใช้น้ำปราศจากไอออนปรับปริมาตรเป็น 100.00 มิลลิลิตร

2. สารละลายไฮดรอกไซลามีนไฮโดรคลอไรด์ ความเข้มข้น ร้อยละ 10

ละลายไฮดรอกไซลามีนไฮโดรคลอไรด์ 10.0000 กรัม ด้วยน้ำปราศจากไอออน 100.00 มิลลิลิตร และปรับค่าพีเอชด้วยสารละลายโซเดียมซิเทรตเข้มข้นร้อยละ 25 จนได้เท่ากับ 4.5

3.2.3. การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอล

1. สารละลายมาตรฐานเอทานอล

เตรียมสารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยปริมาตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 99.9 มา 1.25, 2.50, 5.00, 7.50, 10.00 และ 12.50 มิลลิลิตร ตามลำดับ และปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

2. สารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 1.5 โมลต่อลิตร

ปิเปตสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 8.20 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำปราศจากไอออน 91.80 มิลลิลิตร คนสารละลายให้เข้ากัน

3. สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ความเข้มข้น 0.03 โมลต่อลิตร

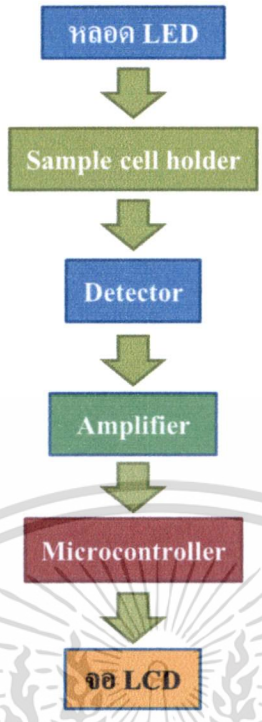
ละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 0.8830 กรัม ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3.3 การดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การออกแบบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย

ในส่วนแรกได้พัฒนาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับส่วนของหลอดกำเนิดแสงและหลอดรับแสง โดยเลือกใช้หลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดี (Light emitting diode, LED) ที่สามารถเปล่งแสงสีแดง-เขียว-น้ำเงิน ได้ภายในหลอดเดียวกัน และเลือกใช้หลอดโฟโต้ทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor) เป็นหลอดรับแสง รวมถึงได้พัฒนาส่วนของช่องวางเซลล์สารตัวอย่าง (Sample cell holder) ซึ่งจะตั้งอยู่ระหว่างหลอดกำเนิดแสงและหลอดรับแสง พร้อมกันนี้ได้สร้างโปรแกรมสำหรับประมวลผลและแสดงผลค่าการดูดกลืนแสงให้เป็นตัวเลขแบบดิจิตอล ผ่านทางหน้าจอแอลอีดี แผนภาพแสดงการจัดวางส่วนประกอบของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่ายที่จะสร้างขึ้น เป็นดังรูปที่ 3.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการจัดวางส่วนประกอบของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย

3.3.2 ส่วนประกอบของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ (ET-EASY168 STAMP)

ET-EASY168 STAMP เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ในตระกูล AVR8 ขนาดเล็ก โดยมีขนาดของบอร์ด 2 ซม. x 5 ซม. และใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR8 เบอร์ ATmega168 ของ ATMEL เป็น MCU ประจำบอร์ด ภายในตัวบอร์ดได้รวมเอาไอซี USB Bridge ของ FTDI เบอร์ FT232R เพื่อใช้ติดต่อสื่อสารแบบอนุกรมด้วย RS232 กับคอมพิวเตอร์ PC ผ่านทางพอร์ต USB ได้โดยตรง

คุณสมบัติของบอร์ด ET-EASY168 STAMP

(1) ใช้ MCU ตระกูล AVR8 เบอร์ ATmega168 ของ ATMEL Run ความถี่ 16.00 MHz

1.1 มีหน่วยความจำ Flash สำหรับเขียนโปรแกรม 16 KByte

1.2 มี SRAM ใช้งานขนาด 1 KByte และ EEPROM ใช้งานขนาด 512 Byte

1.3 มี GPIO ใช้งานจำนวน 22 บิต

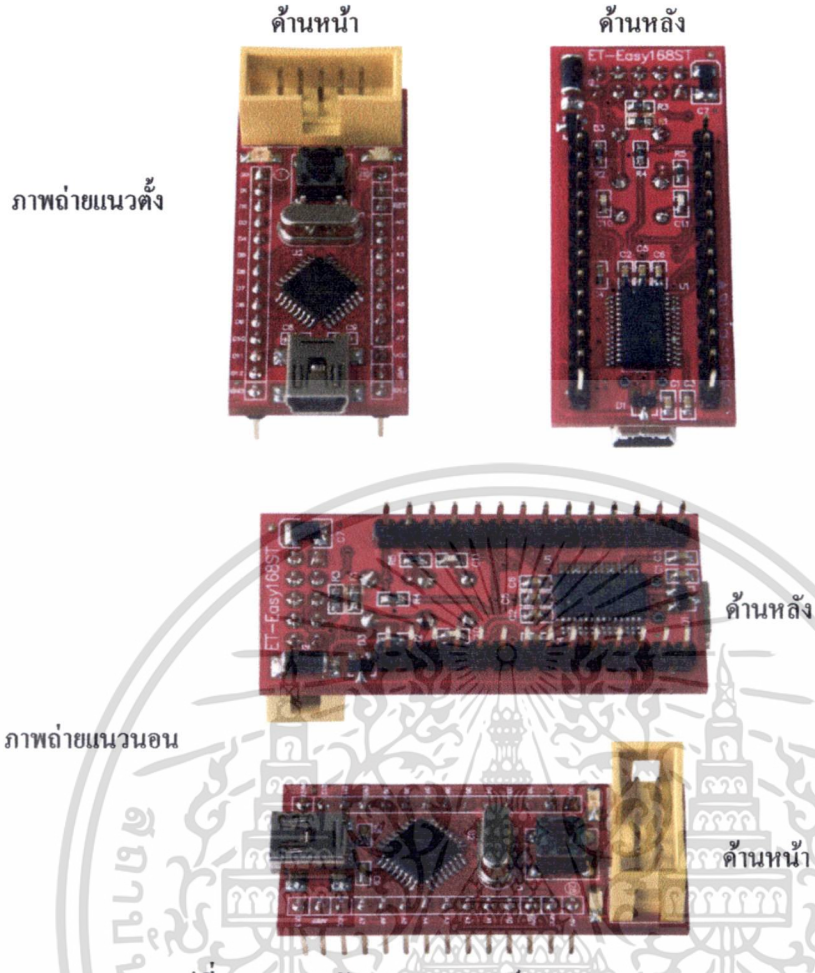
(2) ใช้งานกับแรงดันไฟตรงขนาด +5VDC พร้อม LED Power แสดงสถานะของแหล่งจ่าย

(3) มีวงจร External Reset แบบ RC Reset และ Switch Reset พร้อมภายในบอร์ด

(4) ขั้วต่อใช้งานวางตัวบน Pin Header ระยะห่าง 2.54 mm ขนาด 28 Pin

(5) มีขั้วต่อ USB สำหรับเชื่อมต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ PC ผ่าน USB Bridge ของ FTDI ในรูปแบบของการสื่อสารอนุกรม RS232 สำหรับใช้งานสื่อสารและ Download Code ให้กับ MCU ในบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของบอร์ด ET-EASY168 STAMP

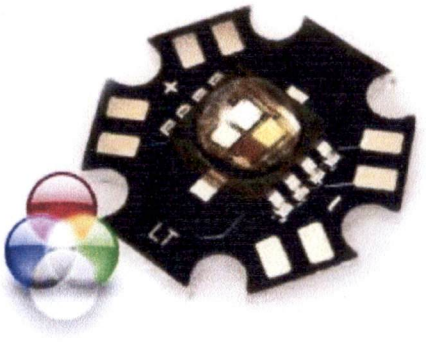
2. หลอดกำเนิดแสงแอลอีดี (Light emitting diode, LED)

ในงานนี้ใช้หลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีพลังงานสูงรุ่น High Power LEDs - Multi-Color XLAMP MCE 80LM RGBW ที่สามารถเปล่งแสงสีแดง-เขียว-น้ำเงิน ได้ภายในหลอดเดียวกัน ข้อมูลจำเพาะและรูปแสดงหลอด LED ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.3

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจำเพาะของ High Power LEDs - Multi-Color XLAMP MCE 80LM RGBW

รายการ	คุณลักษณะของหลอด
ความสว่างของสี	RGB, Neutral White
กระแสทางตรง	350 mA
แรงดันทางตรง	R: 2.1 V, G: 3.4 V, B: 3.2 V และ W: 3.2 V
ขนาดหลอดไฟ LED	7.5 mm x 7 mm x 4.48 mm
ฟลักซ์ส่องสว่าง/ฟลักซ์การแผ่รังสี	R: 30.6 lm, G: 67.2 lm, B: 8.2 lm และ W: 80 lm
อัตราพลังงาน	9.5 W

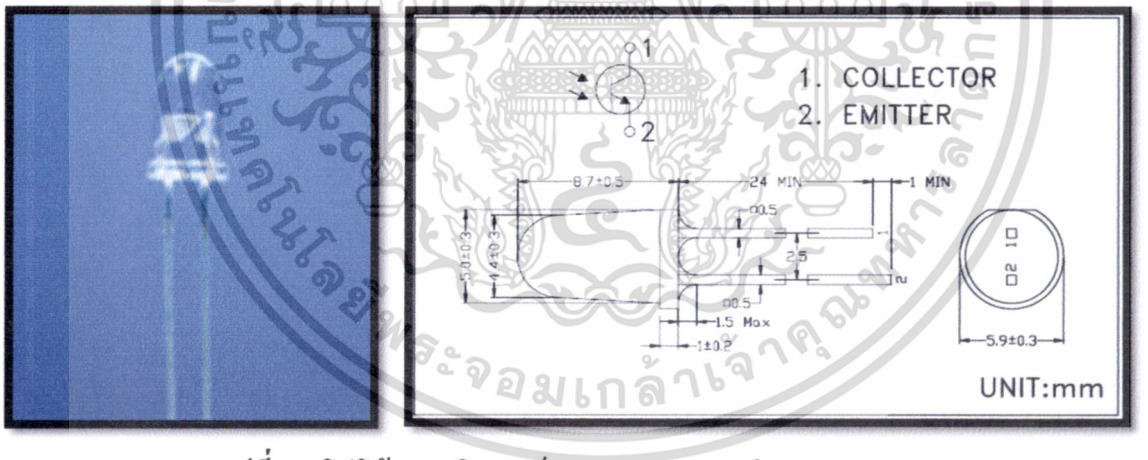
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 หลอดแอลอีดี High Power LEDs - Multi-Color XLAMP MCE 80LM RGBW

3. โฟโต้ทรานซิสเตอร์ (Photo transistor)

โฟโต้ทรานซิสเตอร์เป็นทรานซิสเตอร์ที่รวมเอาโฟโต้ไดโอดมาไว้ภายในวงจรเดียวกัน โดยให้โฟโต้ไดโอดทำหน้าที่เป็นตัวไบแอสกระแสให้แก่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ ดังนั้น เมื่อมีแสงตกกระทบที่โฟโต้ไดโอด จะเกิดการนำกระแสที่ขาเบส ทรานซิสเตอร์จึงสามารถนำกระแสได้ ซึ่งในงานนี้ใช้โฟโต้ทรานซิสเตอร์ รุ่น WPTS-505 เป็นดีเทคเตอร์ในการตรวจวัดแสง รูปโฟโต้ทรานซิสเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 โฟโต้ทรานซิสเตอร์ (Photo transistor รุ่น WPTS-505)

4.จอแสดงผล

ในส่วนของจอแสดงผลจะใช้หน้าจอ LCD 16x2 Blue on White ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งเป็นหน้าจอแสดงผลที่สามารถแสดงผลได้ 2 บรรทัด จำนวน 32 ตัวอักษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 หน้าจอ LCD 16x2 Blue on White

คุณสมบัติ LCD 16x2 Blue on White

(1) แสดงผลที่ 8 บิท และ 4บิท MPU

(2) ข้อมูลตัวอักษรอื่นๆ สามารถแสดงผลได้โดยเครื่องกำเนิดตัวอักษร(RAM)

(3) กะทัดรัดสามารถใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นได้โดยง่าย

(4) ใช้พลังงานเพียงเล็กน้อย

3.3.3 การทดสอบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ที่สร้างขึ้นในเบื้องต้น

ในการทดสอบเบื้องต้นจะใช้สารละลายน้ำสีแดง เหลือง และน้ำเงิน ที่ความเข้มข้นต่างๆในการทดสอบการทำงานของเครื่อง

1. การทดสอบหลอด LED สีแดง ด้วยสารละลายสีผสมอาหารน้ำเงิน

เตรียมสารละลายน้ำสีน้ำเงิน ความเข้มข้นร้อยละ 10, 25, 50, 75 และ 100 แล้วตรวจวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ที่สร้างขึ้นและเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และบันทึกผล แล้วจึงเปรียบเทียบค่าดูดกลืนแสงที่ได้จากเครื่องทั้งสอง

2. การทดสอบหลอด LED สีเขียว ด้วยสารละลายสีผสมอาหารสีแดง

เตรียมสารละลายน้ำสีแดง ความเข้มข้นร้อยละ 10, 25, 50, 75 และ 100 แล้วตรวจวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ที่สร้างขึ้นและเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และบันทึกผล แล้วจึงเปรียบเทียบค่าดูดกลืนแสงที่ได้จากเครื่องทั้งสอง

3. การทดสอบหลอด LED สีน้ำเงิน ด้วยสารละลายผสมอาหารสีเหลือง

เตรียมสารละลายน้ำสีเหลือง ความเข้มข้นร้อยละ 10, 25, 50, 75 และ 100 แล้วตรวจวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ที่สร้างขึ้นและเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และบันทึกผล แล้วจึงเปรียบเทียบค่าดูดกลืนแสงที่ได้จากเครื่องทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การทดสอบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ที่สร้างขึ้นกับปฏิกิริยาจริง

1. การวิเคราะห์หาปริมาณกรดยูริก

1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดยูริกเข้มข้น 100 มก./เดซิลิตร ปริมาตร 0.25, 0.5, 1.5, 2.5 และ 3.5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่หลอดทดลอง 5 หลอด

2) ปิเปตน้ำกลั่นปริมาตร 4.75, 4.5, 3.5, 2.5 และ 1.5 มิลลิลิตรตามลำดับ ใส่ในหลอดทดลองทั้ง 5 หลอด

3) ปิเปตสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 2 ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองทั้ง 5 หลอด

4) ปิเปตสารละลายกรดฟอสโฟทังสติก ความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

5) นำไปวัดค่าการดูดแสง

2. การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก

1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็กมา 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

2) เติมสารละลายไฮดรอกไซลามีนไฮโดรคลอไรด์ 1.0 มิลลิลิตร และสารละลายออโทฟีแนนโทรลีน 2 มิลลิลิตร

3) เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเติมน้ำกลั่นจนสารละลายมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร

4) นำไปวัดค่าการดูดแสง

3. การวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอล

1) ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 0.03 โมลต่อลิตร จำนวน 4 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตรจำนวน 1 มิลลิลิตร จากนั้นปิดฝาหลอดทดลอง เขย่าด้วยด้วยเครื่อง Vertex พร้อมจับเวลา 1 นาที

2) นำไปวัดค่าการดูดแสง

3) เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอลเป็นร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยปริมาตร

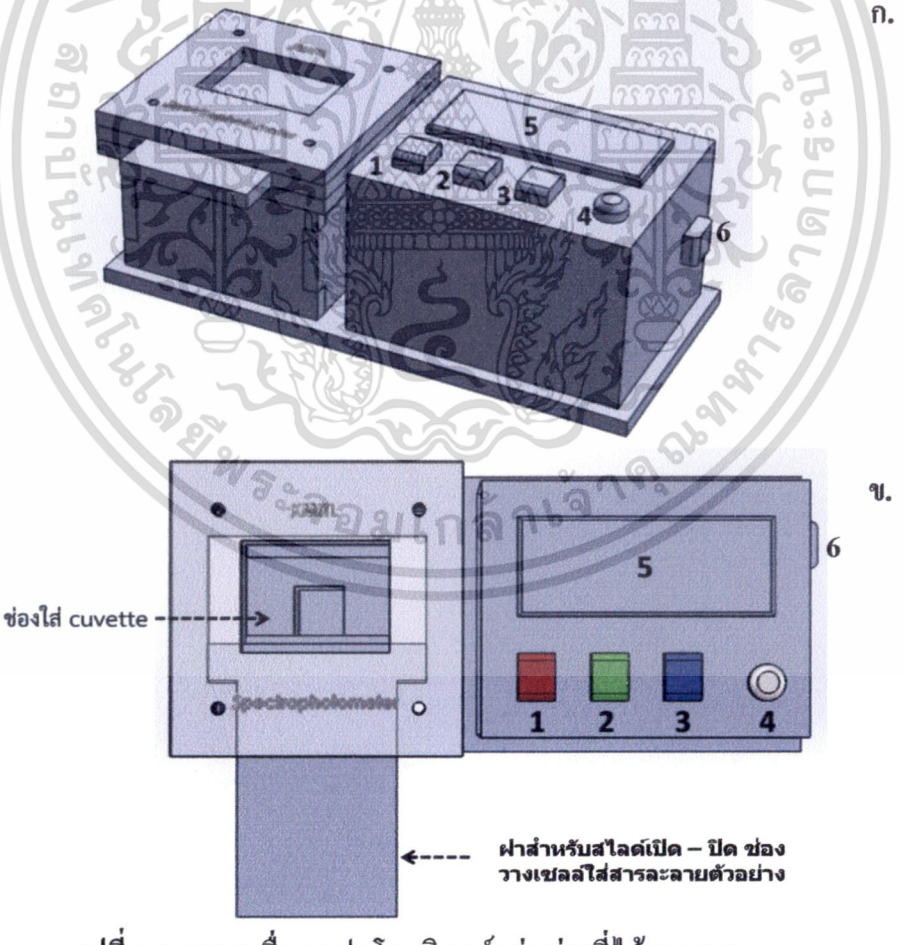
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 การออกแบบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย

ในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาต้นแบบสำหรับเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย โดยได้ออกแบบให้มีขนาดเล็ก เพื่อสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย จัดเก็บ และสามารถนำไปใช้งานนอกห้องปฏิบัติการได้ อีกทั้งได้เขียนโปรแกรมสำหรับประมวลผลและแสดงผลค่าการดูดกลืนแสงให้เป็นตัวเลขแบบดิจิตอล ผ่านทางหน้าจอแอลอีดี ซึ่งตัวเครื่องมีส่วนประกอบหลักดังนี้ (1) หลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดี (Light emitting diode, LED) ที่สามารถเปล่งแสงสีแดง-เขียว-น้ำเงิน ได้ภายในหลอดเดียวกัน, (2) ช่องบรรจุสารละลาย (3) ดีเทคเตอร์ เลือกใช้หลอดโฟโต้ทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor) เป็นหลอดรับแสง (4) ไมโครคอลโทลเลอร์ เป็นหน่วยประมวลผลค่าดูดกลืนแสง และ (5) หน้าจอแสดง ต้นแบบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่ายที่ได้ออกแบบ แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่ายที่ได้ออกแบบ

ก) รูปเครื่องมือต้นแบบเมื่อมองจากด้านข้าง ข) รูปเครื่องมือเมื่อมองจากด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

137633

ส่วนประกอบต่างของเครื่อง มีดังนี้

1. ส่วนควบคุมในการเลือกหลอดไฟ LED และการตรวจวัด
   1) ปุ่มเลือกหลอดสีแดง
   2) ปุ่มเลือกหลอดสีเขียว
   3) ปุ่มเลือกหลอดสีน้ำเงิน
   4) ปุ่ม Auto zero
   5) หน้าจอแสดงผล
   6) ปุ่มเปิด – ปิด เครื่อง

2. ส่วนบรรจุสารละลายในการตรวจวัด จะเป็นช่องใส่เซลล์บรรจุสารละลาย และมีฝาสไลด์ในการปิด เพื่อป้องกันแสงรบกวนจากภายนอก

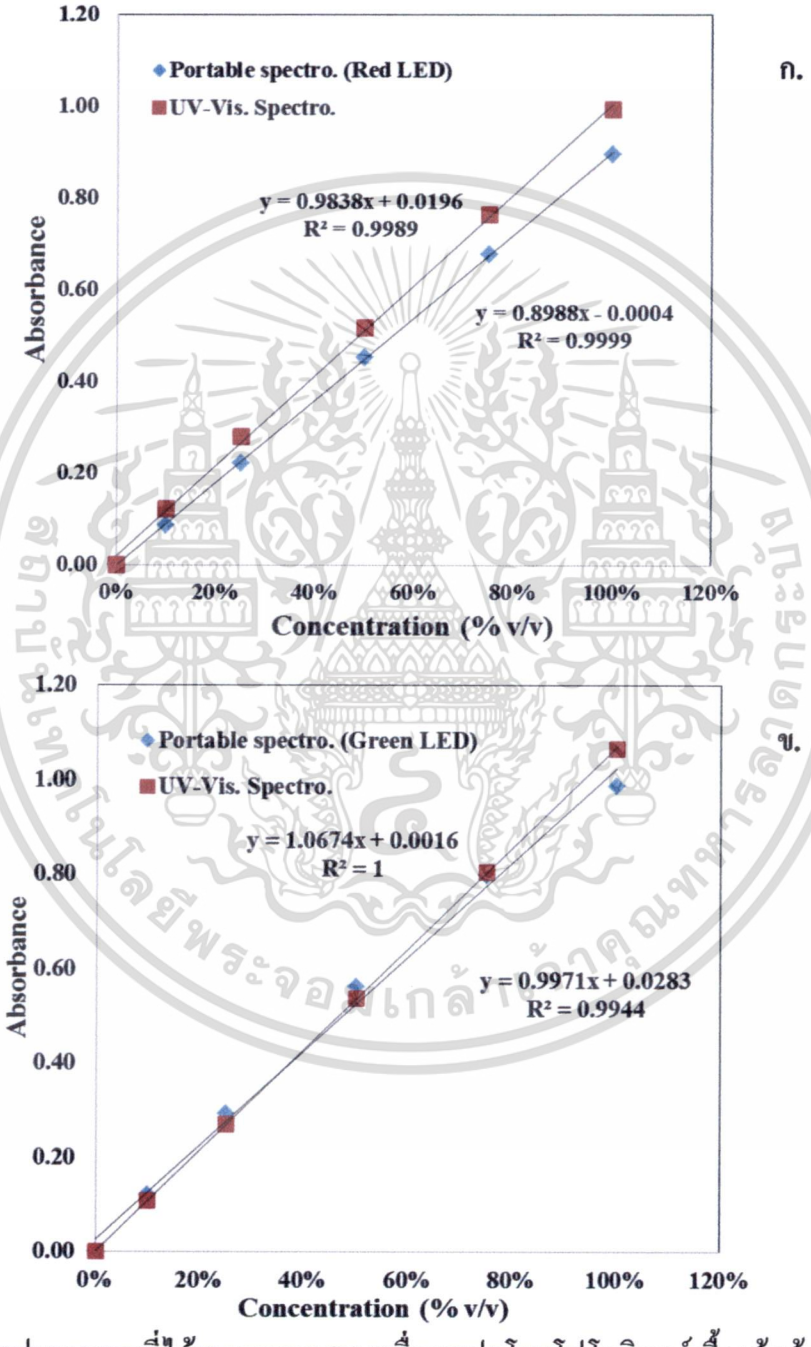
รูปถ่ายเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย แสดงดังรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.2 รูปถ่ายเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

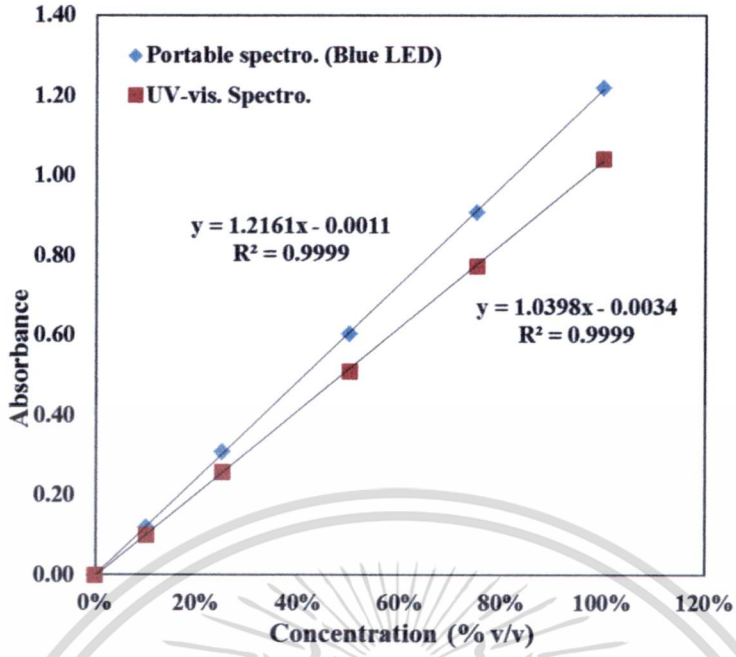
4.2 การทดสอบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ที่สร้างขึ้น

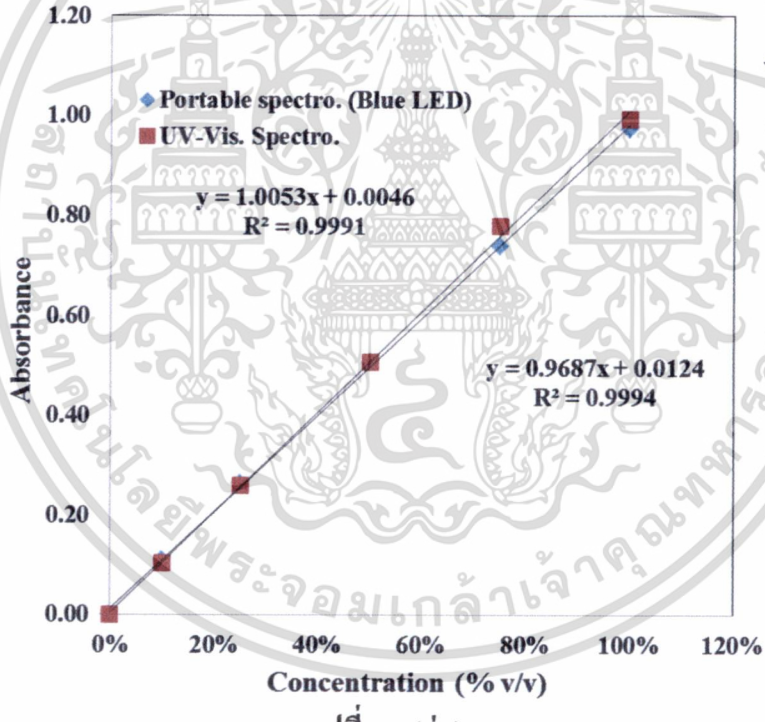
ในการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์เบื้องต้น ได้ทำการทดสอบโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีผสมอาหารสีแดง สีเขียว สีส้ม และสีเหลือง ที่ความเข้มข้นต่างๆ แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟเส้นตรงระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้น ผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.3 (ก) – (ง)



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟมาตรฐานที่ได้จากการทดสอบเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์เบื้องต้นด้วยสารละลายสีผสมอาหาร ก. ทดสอบหลอด LED สีแดง ด้วยสารละลายสีเขียว, ข. ทดสอบหลอด LED สีเขียว ด้วยสารละลายสีแดง, ค. ทดสอบหลอด LED สีน้ำเงิน ด้วยสารละลายสีส้ม และ ง. ทดสอบหลอด LED สีน้ำเงิน ด้วยสารละลายสีเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 4.3 (ต่อ)

จากการทดสอบเบื้องต้นจะเห็นว่า เครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่ายที่ได้ออกแบบขึ้น มีประสิทธิภาพที่ดีในการทดสอบ สังเกตได้จากค่าความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน ที่ให้ค่าใกล้เคียงหนึ่ง แสดงว่ากราฟมาตรฐานที่ได้จากเครื่องนี้มีความเป็นเส้นตรงสูง อีกทั้งยังมีค่าความไวในการวิเคราะห์ (ความชันของกราฟ) ที่ใกล้เครื่องกับผลจากเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยได้ค่าความชันน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ประมาณร้อยละ 8.6 สำหรับสารละลายสีแดง 6.6 สำหรับสารละลายสีเขียว และ 3.6 สำหรับสารละลายสีเหลือง ยกเว้นสารละลายสีส้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

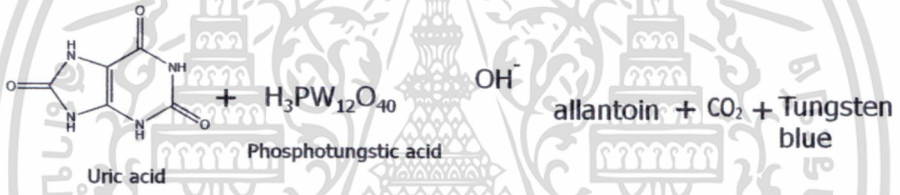
ที่มีค่าความชันสูงกว่า ร้อยละ 17 เมื่อเทียบกับเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ที่สร้างขึ้นนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้วัดค่าดูดกลืนแสงในการวิเคราะห์เชิงปริมาณต่อไปได้

4.3 การทดสอบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ที่สร้างขึ้นกับปฏิกิริยาจริง

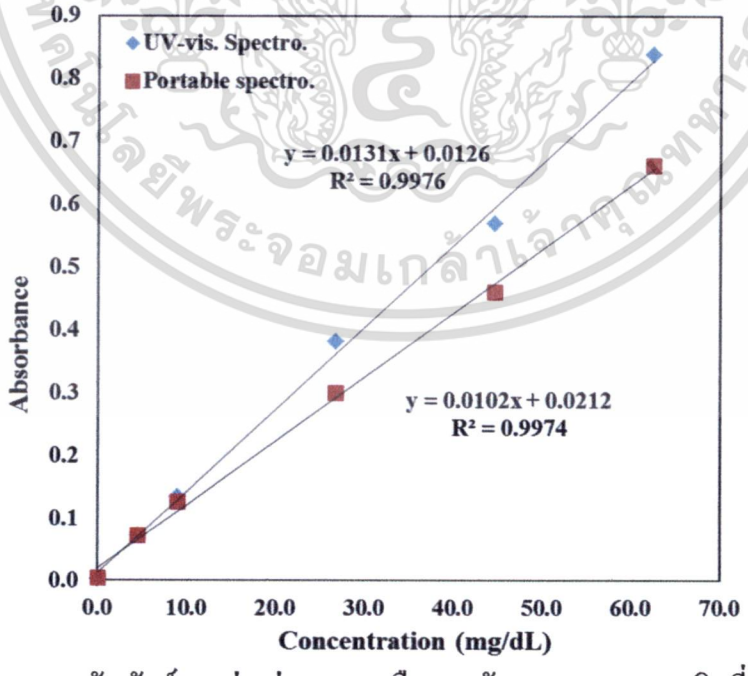
หลังจากการทดสอบเบื้องต้นด้วยสารละลายสีผสมอาหารแล้ว ได้นำมาทดสอบปฏิกิริยาเคมีจริง โดยนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.3.1 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดยูริก

ในส่วนนี้จะอาศัยหลักการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดยูริคกับกรดฟอสโฟทังสติกทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน แสดงดังปฏิกิริยาด้านล่าง แล้ววัดค่าดูดกลืนแสงของสารละลายสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์และเปรียบเทียบผลกับเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.4



... (1)



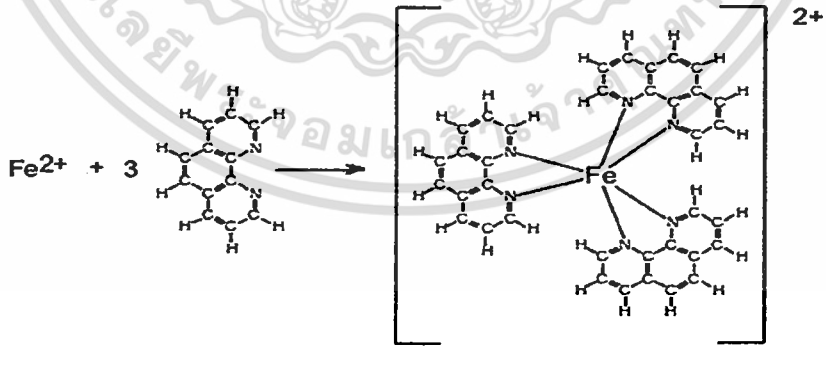
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับสารละลายกรดยูริกที่ ความเข้มข้นต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างเครื่องสเปกโทรมิเตอร์และเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์มีค่าน้อยกว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เนื่องจากเครื่องสเปกโทรมิเตอร์หลอดกำเนิดแสงที่ใช้ คือ หลอดแอลอีดี ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีค่าความยาวคลื่นตายตัวเพียงค่าเดียว (แสงสีแดง) แสงที่หลอดแอลอีดีเปร่งออกมานั้นอาจจะไม่ใช่ความยาวคลื่นสูงสุดที่สารละลายสามารถดูดกลืนได้ ซึ่งต่างจากเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่สามารถเลือกความยาวคลื่นสูงสุดของสารละลายในการตรวจวัดได้ จึงส่งผลให้เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพามีความไวในการวิเคราะห์ที่ต่ำกว่าเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยมีค่าความชันต่ำกว่าร้อยละ 22.1 แต่ทั้งนี้จากสมการเส้นตรง ($y = 0.010x + 0.021$) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2 เท่ากับ 0.9974) ของค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ดังนั้นเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาจึงมีสามารถที่จะนำไปใช้หาปริมาณของกรดยูริกได้ และปฏิกิริยาเคมีที่ให้ผลิตภัณฑ์สีน้ำเงินปฏิกิริยาอื่นๆ ที่ไม่ต้องการความไวในการวิเคราห์มากนักได้

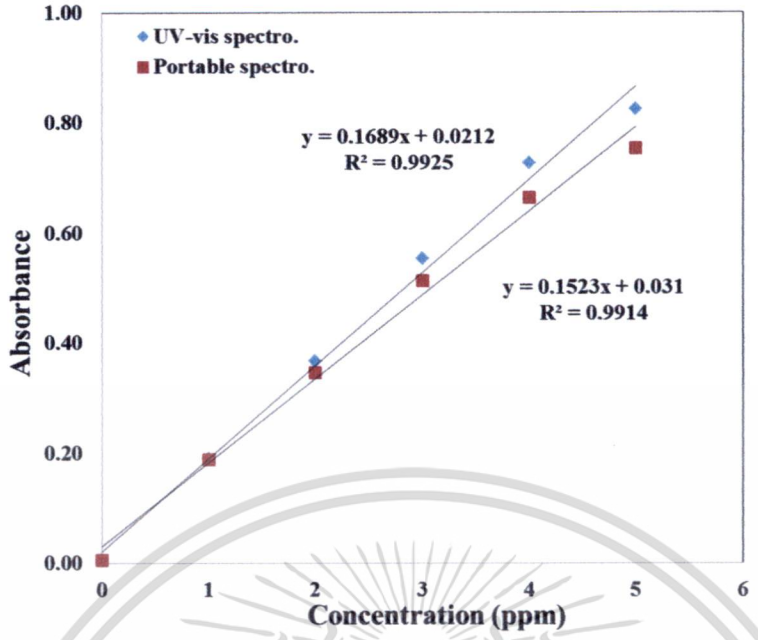
4.3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก

ในส่วนนี้จะอาศัยการเกิดปฏิกิริยาเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง ไอออนเหล็ก (II) กับออโทฟีแนนโทรลีน ซึ่งจะให้สารที่มีสีแดงส้ม แสดงดังปฏิกิริยาด้านล่าง ในการทดลองจะทำการรีดิวส์เหล็กทั้งหมดในสารละลายให้เป็นเหล็ก (II) โดยใช้สารละลายไฮดรอกไซลามีน ไฮโดรคลอไรด์ แล้ววัดค่าดูดกลืนแสงของสารละลายสีแดงส้มที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์และเปรียบเทียบผลกับเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.5



... (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับสารละลายเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างเครื่องสเปกโทรมิเตอร์และเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทร โฟโตมิเตอร์

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพาให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทร โฟโตมิเตอร์ อีกทั้งยังมีค่าความไวในการวิเคราะห์ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าเครื่องเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบพกพามีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กได้ รวมถึงนำไปประยุกต์ใช้กับปฏิกิริยาเคมีที่ให้ผลิตภัณฑ์สีแดงได้ดี

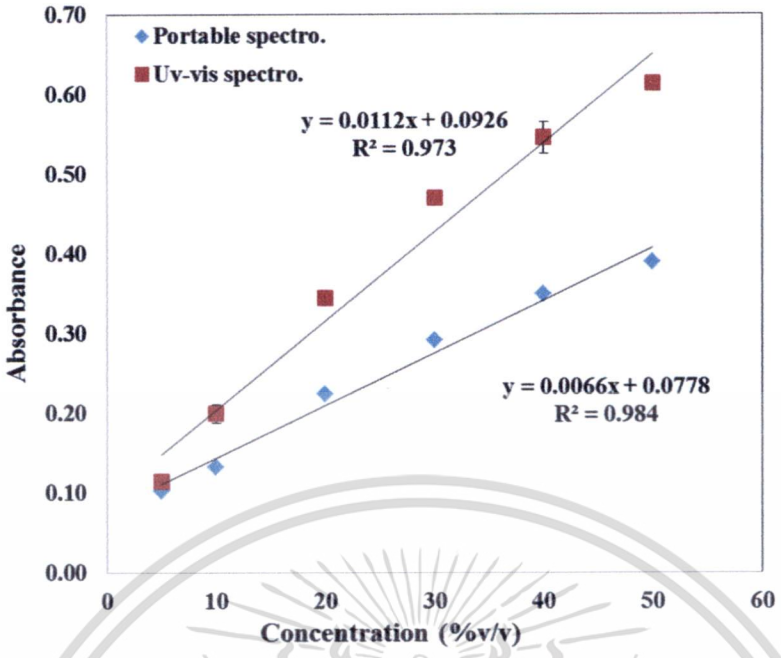
4.3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอล

ในส่วนนี้จะอาศัยหลักการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลกับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ซึ่งจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีเขียว แสดงดังปฏิกิริยาด้านล่าง แล้ววัดค่าดูดกลืนแสงของสารละลายสีเขียวที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์และเปรียบเทียบผลกับเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทร โฟโตมิเตอร์ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.6

$$3C_2H_2OH_{(aq)} + 2Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)} + 16H^+_{(aq)} \rightarrow 3CH_3COOH_{(aq)} + 4Cr^{3+}_{(aq)} + 11H_2O_{(l)} \quad \ldots(3)$$

(Orange) (Green)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างเครื่องสเปกโทรมิเตอร์และเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทร โฟโตมิเตอร์

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นผลการทดลองในทำนองเดียวกันกับการตรวจวัดกรดยูริก (ผลิตภัณฑ์สีน้ำเงิน) กล่าวคือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ให้ค่าน้อยกว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทร โฟโตมิเตอร์ เนื่องจากเครื่องสเปกโทรมิเตอร์มีหลอดกำเนิดแสงที่มีค่าความยาวคลื่นที่ตายตัว (แสงสีน้ำเงิน) ซึ่งแสงที่หลอดแอลอีดีเปร่งออกมานั้นอาจจะไม่ใช่ความยาวคลื่นสูงสุดที่สารละลายสามารถดูดกลืนได้ ซึ่งต่างจากเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทร โฟโตมิเตอร์ที่สามารถเลือกความยาวคลื่นสูงสุดของสารละลายในการตรวจวัดได้ จึงส่งผลให้เครื่องสเปกโทรมิเตอร์มีความไวในการวิเคราะห์ที่ต่ำกว่าเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทร โฟโตมิเตอร์ โดยมีค่าความชันต่ำกว่าร้อยละ 44.1 แต่ทั้งนี้จากสมการเส้นตรง $y = 0.0066x + 0.0778$ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.984 ของค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ดังนั้นเครื่องสเปกโทรมิเตอร์จึงสามารถที่จะนำไปใช้หาปริมาณเอทานอลได้ และปฏิกิริยาเคมีที่ให้ผลิตภัณฑ์สีน้ำเงินปฏิกิริยาอื่นๆ ที่ไม่ต้องการความไวในการวิเคราะห์มากนักได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย ซึ่งเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ที่พัฒนานี้ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

(1) หลอดกำเนิดแสง ใช้เป็นชนิดหลอดไฟแอลอีดี (Light emitting diode, LED) รุ่น High Power LEDs - Multi-Color XLAMP MCE 80LM RGBW ที่สามารถเปล่งแสงสีแดง-เขียว-น้ำเงิน ได้ภายในหลอดเดียวกัน

(2) ช่องบรรจุสารละลาย

(3) ดีเทคเตอร์ ใช้หลอดโฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor) รุ่น WPTS-505 เป็นหลอดรับแสง

(4) ไมโครคอลโทลเลอร์ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ET-EASY168 STAMP ซึ่งมีขนาดเล็ก โดยมีขนาดของบอร์ด 2 ซม. x 5 ซม.

(5) หน้าจอแสดงผล ใช้หน้าจอ LCD 16x2 Blue on White ซึ่งสามารถแสดงผลได้ 2 บรรทัด จำนวน 32 ตัวอักษร

หลังจากที่สร้างเครื่องเสร็จแล้ว ได้ทดสอบสอบเบื้องต้นโดยการวัดค่าดูดกลืนแสงของสารละลายน้ำสีแดง เขียว และน้ำเงิน พบว่าเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ที่ได้สร้างขึ้นนี้มีประสิทธิภาพที่ดีในการตรวจวัดค่าดูดกลืนแสง จากนั้นได้นำไปทดสอบกับปฏิกิริยาเคมีจริง โดยการประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารต่างๆ ดังนี้

(1) การวิเคราะห์หาปริมาณกรดยูริก ตัวแทนปฏิกิริยาที่ให้ผลิตภัณฑ์สีน้ำเงิน พบว่าได้สมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน ดังนี้ (ค่าดูดกลืนแสง = 0.0115 [กรดยูริก] + 0.012) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.9975 โดยมีค่าความชันต่ำกว่าเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ร้อยละ 22.1

(2) การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก ตัวแทนปฏิกิริยาที่ให้ผลิตภัณฑ์สีแดง พบว่าได้สมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน ดังนี้ (ค่าดูดกลืนแสง = 0.1523 [เหล็ก (II)] + 0.031) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.9914 โดยมีค่าความชันต่ำกว่าเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ร้อยละ 9.8

(3) การวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอล ตัวแทนปฏิกิริยาที่ให้ผลิตภัณฑ์สีเขียว พบว่าได้สมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน ดังนี้ (ค่าดูดกลืนแสง = 0.0083 [เอทานอล] –

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.0032) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.9935 โดยมีค่าความชันต่ำกว่าเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ร้อยละ 44.1

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่ายที่สร้างขึ้น มีความเป็นเส้นตรงที่ดี จึงสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้ ซึ่งต่อไปจะนำเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่ายนี้ไปใช้งานจริงเป็นสื่อการสอนในวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ อีกทั้งจะพัฒนาต่อยอดสู่เชิงพาณิชย์ต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ค่าความไวในการวิเคราะห์ (Sensitivity) ต่ำกว่าเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งอาจจะศึกษาหาอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพในการเป็นเซนเซอร์ตรวจวัดแสงที่มีความแม่นยำสูงมากขึ้น เพื่อประสิทธิภาพในการรับค่าที่ดี

5.2.2 เครื่องสเปกโทรมิเตอร์ที่สร้างขึ้นนี้ค่อนข้างหนัก อาจจะพัฒนาชนิดของบรรจุภัณฑ์เป็นวัสดุอื่น เพื่อให้มีน้ำหนักที่เบาลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Beer%E2%80%93Lambert_law

[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Absorption_spectroscopy

[3] S. J. Tavener และ J. E. Thomas-Oates. Education in Chemistry. 44 (2007): 151-154

[4] T. S. Yeh และ S. S. Tseng. Journal of the Chinese Chemical Society. 53 (2006): 1067-1072

[5] L. Tymecki, M. Pokrzywnicka และ R. Koncki. Analyst. 133 (2008): 1501-1504

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย

หลังจากได้ทดสอบเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ด้วยปฏิกิริยาเคมีทั้งสามปฏิกิริยาแล้ว จากนั้นได้นำผลการวิเคราะห์มาคำนวณหาความแตกต่างของค่าความไวในการวิเคราะห์ (Sensitivity) ระหว่างเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ และเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แสดงดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 แสดงผลการคำนวณหาความแตกต่างของค่าความไวในการวิเคราะห์

สารที่สนใจ	ค่าความไวในการวิเคราะห์ของเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์	ค่าความไวในการวิเคราะห์ของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์	ร้อยละของผลต่างค่าความไวในการวิเคราะห์
กรดยูริก	0.0131	0.0102	22.1
ไอออนของเหล็ก (II)	0.1689	0.1523	9.8
เอทานอล	0.0113	0.0066	44.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การนำเสนอผลงานวิจัย

รูปที่ ข.1 รูปแสดงผลงานในงานวันวิทยาศาสตร์ ปี 2557 คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
งบประมาณในการผลิตเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย

ค่าใช้จ่ายต่อเครื่องในการผลิตเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย แสดงดังตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 ค่าใช้จ่ายต่อเครื่องในการผลิตเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย

ลำดับที่	รายการ	ราคา (บาท) / ชิ้น
1	ไมโครคอมโทรลเลอร์	600
2	หลอดแอลอีดี High Power LEDs	720
3	PCB	700
4	Photo transistor	15
5	จอ LCD	240
6	แบตเตอรี่ Li-ion	350
7	สวิสต์ปุ่มกด	100
8	หัวเสียบ USB	20
9	ตัวต้านทาน	60
10	Transistor BC337	10
11	PIN ขาตรง, ขางอ	50
12	สายไฟ พร้อม PIN	50
13	ขาตั้งบอร์ด + น็อตตัวผู้+เมีย	100
14	ค่าอะคิลิก + ค่าตัด	3,500
15	ค่าแรง + อื่นๆ	2,000
	รวม	8,515

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

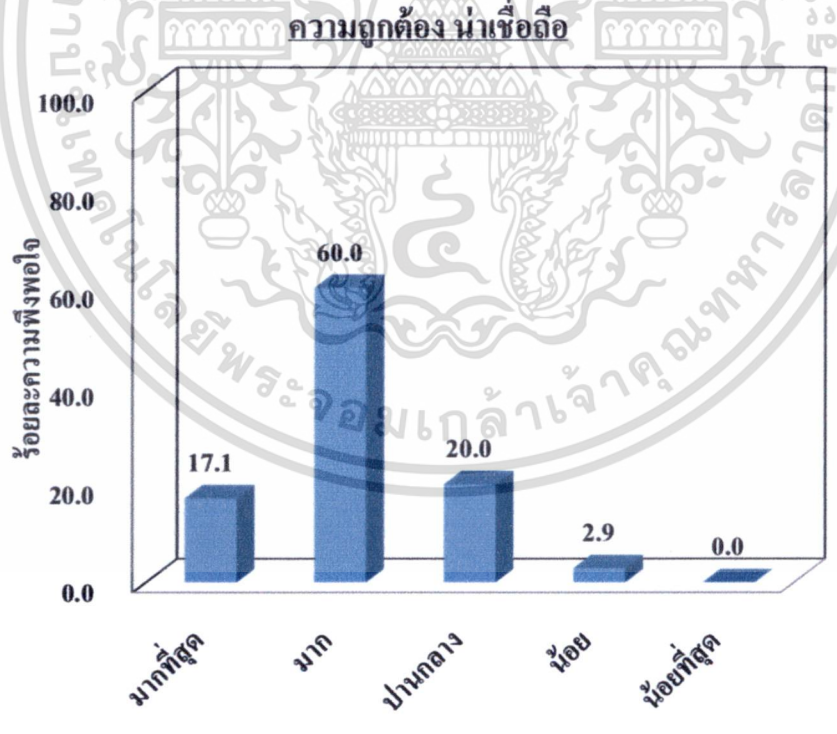
ภาคผนวก ง
ข้อมูลสถิติระดับความพึงพอใจในการใช้เครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย

ในงานนี้ได้ทำการสำรวจระดับความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย โดยแบ่งออกเป็น 5 หัวข้อในการประเมิน ดังนี้

1. มีความถูกต้องน่าเชื่อถือ
2. ใช้งานง่ายไม่ยุ่งยาก
3. ขนาดกะทัดรัด พกพาสะดวก
4. มีความทนทานต่อการใช้งาน
5. ความสวยงามของเครื่องมือ มีความทันสมัย น่าใช้งาน

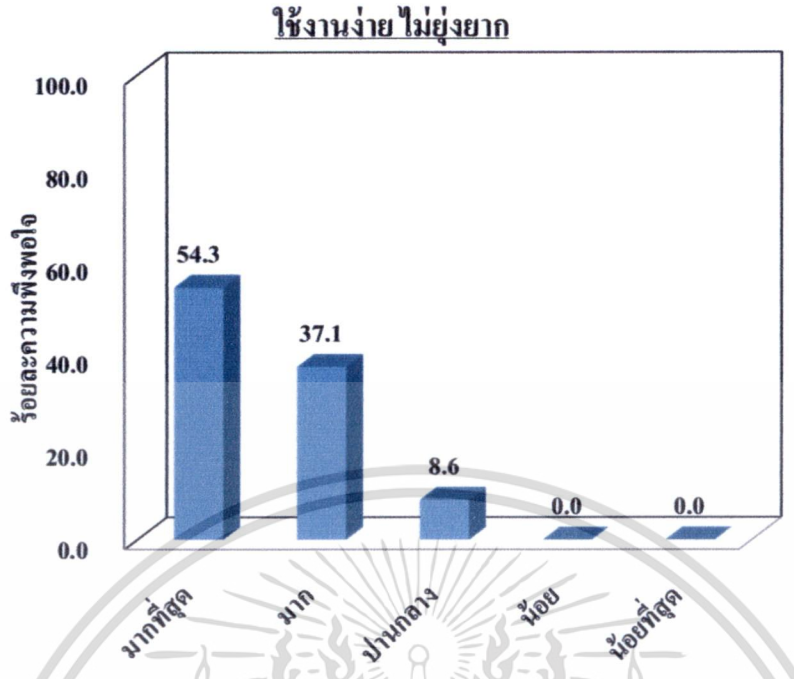
และได้แบ่งระดับความพึงพอใจออกเป็น 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด

ในการสอบถามนี้ได้ทำการสอบถามนักศึกษาในชั้นเรียนปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ จำนวน 35 คน โดยให้ทำการทดสอบการใช้งานของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ เทียบกับเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการ โดยได้สรุประดับความพึงพอใจดังรูปที่ ง.1 – ง.5

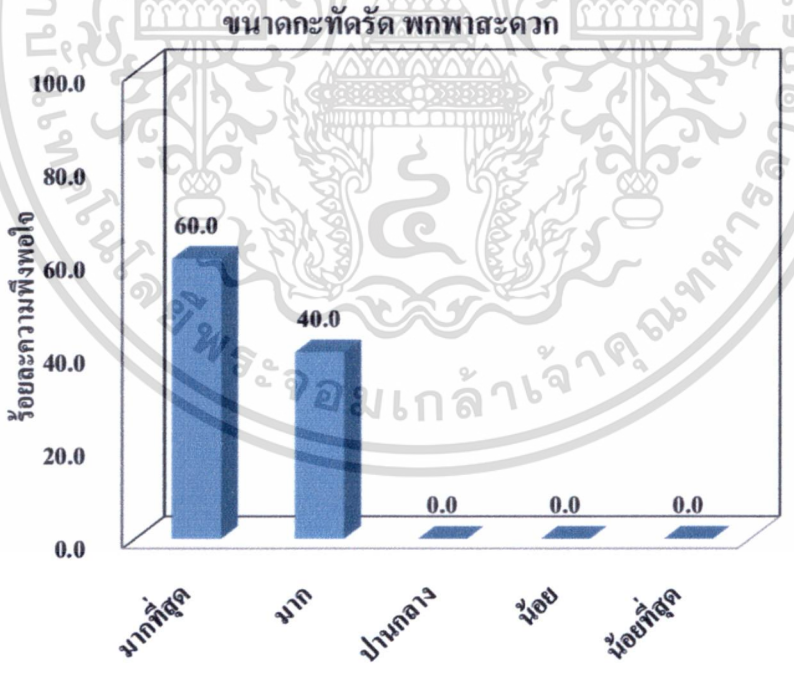


รูปที่ ง.1 แสดงร้อยละของความพึงพอใจของผู้ใช้งานในหัวข้อความถูกต้องน่าเชื่อถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

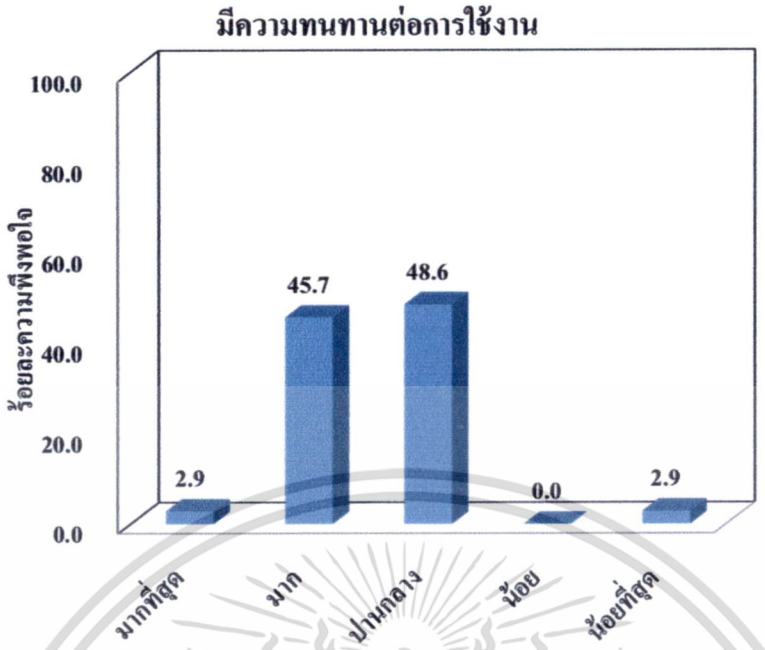


รูปที่ ง.2 แสดงร้อยละของความพึงพอใจของผู้ใช้งานในหัวข้อใช้งานง่ายไม่ยุ่งยาก

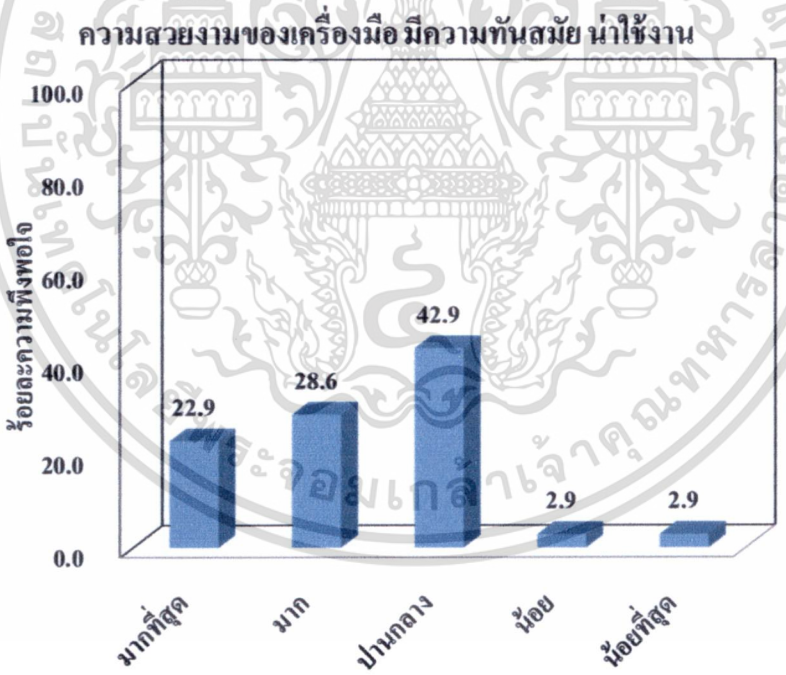


รูปที่ ง.3 แสดงร้อยละของความพึงพอใจของผู้ใช้งานในหัวข้อขนาดกะทัดรัด พกพาสะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.4 แสดงร้อยละของความพึงพอใจของผู้ใช้งานในหัวข้อมีความทนทานต่อการใช้งาน



รูปที่ ง.5 แสดงร้อยละของความพึงพอใจของผู้ใช้งานในหัวข้อความสวยงามของเครื่องมือ มีความทันสมัย น่าใช้งาน

จากรูปที่ ง.1 – ง.5 สรุปได้ว่าเครื่องสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่ายที่ได้สร้างขึ้นนั้น ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในการใช้งานในหัวข้อต่างๆ ในระดับปานกลางถึงมากที่สุด ดังนั้นเครื่องที่สร้างขึ้นนี้ค่อนข้างตอบสนองในการใช้งานจริง อาจจะมีการปรับปรุงเครื่องมือเพื่อให้ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจให้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้