



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

“ระบบทัศนศาสตร์เพื่อการวัดทางสเปกโตรสโคปีแบบผสม”

The Optical System for Combined Spectroscopic Measurements

โดย

วิฑูร ชื่นวชิรศิริ

สิงหาคม 2556

สัญญาเลขที่ MGR5080019

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

“ระบบทัศนศาสตร์เพื่อการวัดทางสเปกโตรสโคปีแบบผสม”

The Optical System for Combined Spectroscopic Measurements

ผู้วิจัย

1. วิฑูร ชื่นวชิรศิริ (หัวหน้าโครงการ) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

สนับสนุนโดย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการระบบทัศนศาสตร์เพื่อการวัดทางสเปกโตรสโคปีแบบผสมใช้เวลาในการวิจัยล่วงเลยมานานหลายปี ทั้งนี้เกิดจากความบกพร่องของผู้วิจัยที่ไม่สามารถควบคุมงานให้เป็นไปตามที่คาดหวังเอาไว้ดังที่แสดงเจตนาเอาไว้ในข้อเสนอโครงการ อย่างไรก็ตามผู้วิจัยยังคงมีความตั้งใจที่จะทำให้เงินทุนที่ได้รับจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ได้ก่อให้เกิดผลผลิตที่มีประโยชน์ต่อประเทศ จึงได้เฝ้าพยายามทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและปรับเป้าหมายของงานวิจัยเพื่อให้ได้มาซึ่งผลผลิตที่สามารถจับต้องได้ดังที่ได้นำเสนอในงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เล่มนี้

ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ สกว. และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความสนับสนุนและความช่วยเหลือมาโดยตลอดแม้ว่าผู้วิจัยเองปฏิบัติงานวิจัยได้อย่างล่าช้ามากก็ตาม งานวิจัยนี้คงจะไม่สามารถบรรลุผลดังที่เป็นอยู่นี้ถ้าไม่ได้ความสนับสนุนจาก สกว. ในรูปแบบที่เป็นอยู่นี้อย่างแน่นอน

ในท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยได้เรียนรู้ประสบการณ์การทำงานวิจัยภายในประเทศในลักษณะที่ตั้งใจเอาไว้ แม้ว่าโดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นอุปสรรค แต่ด้วยประสบการณ์ที่ได้รับมานี้จะเป็นส่วนช่วยให้การทำงานวิจัยที่กำลังดำเนินการอยู่ในปัจจุบันและในอนาคตเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และมีข้อผิดพลาดที่ลดลงรวมถึงผลผลิตที่ได้จากโครงการนี้น่าจะได้รับการพัฒนาจนเป็นผลผลิตที่สามารถถูกนำไปใช้ได้จริงตามที่ผู้วิจัยคาดหวังเอาไว้ในตอนต้น

วิฑูร ชื่นวชิรศิริ

หัวหน้าโครงการ

สิงหาคม 2556

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	iii
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	8
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	9
1.4 วัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัย (ปรับปรุง)	9
บทที่ 2 วิธีการดำเนินการวิจัย	
2.1 วิธีการวิจัย	10
บทที่ 3 เนื้อหางานวิจัย	
3.1 การออกแบบระบบทัศนศาสตร์แบบผสมและการจัดหา ชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องสเปกโตรมิเตอร์	11
3.2 การประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ในระบบทัศนศาสตร์และอุปกรณ์ที่พบ	13
3.3 การปรับเป้าหมายของอุปกรณ์ในงานวิจัย	15
3.4 ระบบทัศนศาสตร์เพื่อการเรียนการสอน	16
บทที่ 4 ผลผลิตจากโครงการ	18

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการออกแบบระบบทัศนศาสตร์เพื่อการวัดสเปกโตรสโคปีแบบผสม	21
5.2 สรุปผลการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบสเปกโตรมิเตอร์ต้นทุนต่ำ สำหรับการวัดการดูดกลืนแสงเพื่อการเรียนการสอน	22
5.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	22

เอกสารอ้างอิง	23
---------------	----

ภาคผนวก

บทคัดย่อ

การวัดทางสเปกโตรสโคปีนั้นมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารต่างๆ เป็นอย่างมาก โดยไม่ว่าจะเป็นทางด้านงานวิจัยหรือทางอุตสาหกรรมต่างก็ใช้เทคนิคทางสเปกโตรสโคปีเพื่อศึกษาหาองค์ความรู้ใหม่ๆ อยู่ตลอดเวลา ทั้งนี้เพราะการวัดทางสเปกโตรสโคปีนั้นเป็นวิธีช่วยให้ผู้วัดสามารถทราบส่วนประกอบและพฤติกรรมของอะตอมหรือโมเลกุลที่เป็นส่วนประกอบของสารตัวอย่างได้อย่างตรงไปตรงมาวิธีหนึ่ง การวัดทางสเปกโตรสโคปีนั้นมีหลากหลาย แต่การวัดที่ถือว่าง่ายที่สุดคือการวัดการดูดกลืนของแสงโดยพิจารณาสัดส่วนระหว่างแสงที่ตกกระทบกับแสงที่ถูกดูดกลืนไปที่ความยาวคลื่นต่างๆ ก็สามารถได้สเปกตรัมการดูดกลืนแสงสำหรับการวิเคราะห์ทางสเปกโตรสโคปีได้ทันที

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการวัดการดูดกลืนแสงเป็นสเปกโตรมิเตอร์สามารถหาได้ในท้องตลาดอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตามราคาของอุปกรณ์เหล่านี้ยังอาจถือว่ามีราคาสูงเพราะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ นอกจากนั้นลักษณะของสเปกโตรมิเตอร์จะอยู่ในลักษณะของกล่องดำ นั่นคือผู้ใช้มักไม่มีโอกาสได้เห็นหรือสัมผัสส่วนประกอบที่อยู่ภายใน ดังนั้นการเรียนรู้การทำงานของสเปกโตรมิเตอร์มักจะเป็นการใช้ซอฟต์แวร์ที่มากับเครื่องเสียมากกว่า ดังนั้นผู้ใช้อาจขาดความรู้ขั้นพื้นฐานที่อาจมีส่วนช่วยให้สามารถเกิดความเข้าใจที่ลึกซึ้งและนำไปต่อยอดได้ในอนาคตได้ ประกอบกับต้นทุนของเครื่องที่สูง ผู้ใช้จะถูกจำกัดไม่ให้อาจปรับเปลี่ยนแต่สเปกโตรมิเตอร์หรือคั่นเข้าไปดูกลไกภายในตามต้องการได้เพราะจะมีผลต่อการรับประกันเครื่อง ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การสร้างสเปกโตรมิเตอร์สำหรับการวัดการดูดกลืนแสงที่ใช้สำหรับการเรียนการสอนในลักษณะที่ผู้ใช้สามารถเห็นและทำความเข้าใจกลไกต่างๆ ที่ประกอบกันขึ้นเป็นสเปกโตรมิเตอร์ได้อย่างชัดเจน โดยทั้งหมดนี้จะสร้างขึ้นโดยใช้ต้นทุนที่ต่ำพอที่จะสามารถให้นักเรียนสามารถใช้อุปกรณ์นี้ได้อย่างกว้างขวาง ผลงานวิจัยที่ได้จากโครงการนี้คืออุปกรณ์ต้นแบบสเปกโตรมิเตอร์ต้นทุนต่ำสำหรับการวัดการดูดกลืนแสงเพื่อใช้ในการเรียนการสอน

Abstract

Spectroscopic measurement is an important technique in material characterization. It has been used in both research and industrial applications for investigating hidden properties in the newly found materials. The spectroscopic methods are probing tools that help researcher looking into the atomic and molecular components that compose into the material of interest in a straight forward fashion. There are many kinds of spectroscopic measurement but the one that can be considered the simplest is the photoabsorption measurement. In this measurement the intensity ratio between the incident beam and the transmitted beam are monitor and calculated. When this calculation is done at different wavelength the result is the absorption spectrum.

The instruments for detect the absorption is the spectrophotometer which is widely available. The price is, however, still considered expensive due to the fact that the manufacturers are mainly based outside Thailand. Moreover, these commercial spectrometers are offered in a complete sealed packaging and being operated though the accompanied software. This means that the users are normally interact with the spectrometer through only the software and treat the hardware as a black box. This will disconnect the user from the actual internal working component inside the spectrometer. The knowledge that could be gained from the understanding of underlying component is very valuable and should not be neglected. As a consequent, the main goal of this work is to construct a prototype of spectrophotometer for absorption measurement that is aimed at academic uses. The spectrometer will be able to demonstrate the principles used from the components of the spectrometer to the signal read off to generate the absorption spectrum. Besides the construction will be cost efficient to be used widely in academic environment. The output of this work is a working prototype of low-cost spectrophotometer for photoabsorption measurement for academic purposes.

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

ความสำคัญของปัญหา

การศึกษาคุณสมบัติทางแสงด้วยเทคนิคทางสเปกโตรสโคปี (spectroscopy) ของสารในรูปแบบต่างๆ ตั้งแต่ของแข็ง ของเหลว หรือสารละลาย เป็นเทคนิคอันสำคัญยิ่งอันหนึ่งต่อการศึกษาคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของสารและความสัมพันธ์ที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของสารนั้น ตัวอย่างของเทคนิคการวัดทางสเปกโตรสโคปีหลักๆ คือ การวัดการดูดกลืนแสงของสาร (photoabsorption) และการวัดการปลดปล่อยแสงของสาร (photoemission) ตัวแปรอันหนึ่งที่มิพบทาบสำคัญต่อกระบวนการดูดกลืนและปลดปล่อยแสงของสารคือ ลักษณะโครงสร้างในระดับโมเลกุลของสาร ด้วยเหตุนี้เองเทคนิคทางสเปกโตรสโคปีจึงสามารถนำไปใช้ในการจำแนกลักษณะโครงสร้างของสารและการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางแสงของสารกับโครงสร้างของโมเลกุลของสารนั้นๆ

การวัดทางสเปกโตรสโคปีของระบบต่างๆ อาศัยหลักการที่ตรงไปตรงมาตามหลักฟิสิกส์ อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์เหล่านี้ส่วนใหญ่มักมีราคาสูงและผลิตจากต่างประเทศจึงต้องมีการซื้อผ่านตัวแทนจำหน่าย อันเป็นเหตุต้นทุนสำหรับผู้ที่ต้องการจะนำไปใช้ยังคงสูงอยู่เช่นเดิม จึงเป็นที่น่าสนใจว่าด้วยทรัพยากรที่มีในประเทศนั้นสามารถที่จะออกแบบและทำการสร้างอุปกรณ์ทางทัศนศาสตร์ที่สามารถใช้เพื่อการวัดทางด้านสเปกโตรสโคปีขึ้นมาได้ด้วยตัวเองหรือไม่

เป้าหมายของโครงการนี้คือการออกแบบและสร้างระบบทางทัศนศาสตร์เพื่อการวัดทางด้านสเปกโตรสโคปีโดยอาศัยหลักทางฟิสิกส์ที่เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วด้วยทรัพยากรภายในประเทศ โดยมีความมุ่งหวังที่จะสร้างอุปกรณ์ที่สามารถนำไปใช้ได้จริง เนื่องด้วยสภาวะแวดล้อมและข้อจำกัดสำหรับการสร้างอุปกรณ์ในระดับงานวิจัย โครงการนี้จึงมีการลดเป้าจากการสร้างอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับงานวิจัยให้ลงมาเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเรียนการสอนเป็นลำดับแรกก่อน ทั้งนี้เพราะความต้องการในระดับการเรียนการสอนนั้นยังไม่สูงเท่ากับมาตรฐานของอุปกรณ์ระดับงานวิจัย ดังนั้นการเริ่มต้นโดยเน้นไปที่การประยุกต์ด้านการเรียนการสอนจะเป็นการพัฒนาศักยภาพของนักวิจัยอย่างเป็นขั้นเป็นตอนและมีผลผลิตที่สามารถใช้งานได้จริงเกิดขึ้นได้ โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จะมุ่งไปที่การสร้างอุปกรณ์ต้นแบบสเปกโตรมิเตอร์ต้นทุนต่ำสำหรับการวัดการดูดกลืนแสงเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเพื่อให้ได้อุปกรณ์ทางสเปกโตรสโคปีสำหรับการเรียนการสอนด้านการวิเคราะห์เชิงแสง โดยที่นักศึกษาผู้ใช้สามารถเห็นกลไกการทำงานของอุปกรณ์ภายในได้แทนที่จะใช้เพียงซอฟต์แวร์ที่อยู่บนคอมพิวเตอร์ อันจะนำไปสู่ความเข้าใจที่ลึกซึ้งมากยิ่งขึ้นและเกิดการเรียนรู้ได้ด้วยตนเองในอนาคต นอกจากนี้การที่อุปกรณ์มีต้นทุนต่ำจะทำให้การใช้งบประมาณเป็นไปอย่างคุ้มค่าและตรงจุดมากกว่าที่จะใช้อุปกรณ์สำหรับงานวิจัยมาใช้ในการเรียนการสอน ซึ่งอาจก่อปัญหาด้านความเสียหายและค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม นอกจากนี้ในมุมมองของนักวิจัยผู้สร้างอุปกรณ์เองก็มีโอกาสได้ศึกษา

การนำเอาส่วนประกอบที่เป็นระดับต้นน้ำ (เป็นวัตถุดิบหรือเป็นส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ระดับพื้นฐาน) อย่างเป็นขั้นบันได ซึ่งจะเป็นขั้นแรกที่จะนำไปสู่การสร้างอุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนและมีระดับที่สูงขึ้นต่อไป ในภาพหน้า

ขอบเขตงานวิจัยใหม่ประกอบไปด้วยการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบเพื่อการวัดการดูดกลืนแสงต้นทุนต่ำ ที่เน้นให้มีความสมบัติเหมาะสมกับการประยุกต์ด้านการเรียนการสอน

วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยประกอบไปด้วยขั้นตอนหลักสี่ขั้นตอนคือ (1) ออกแบบ (2) จัดเตรียมอุปกรณ์ (3) ประกอบชิ้นส่วน (4) ทดสอบความสามารถอุปกรณ์

ผลการวิจัยและผลผลิตจากงานวิจัย

เมื่อเป้าหมายของการสร้างระบบทัศนศาสตร์เพื่อการวัดสเปกโตรสโคปีแบบผสมถูกเปลี่ยนไปเป็นการสร้างสเปกโตรมิเตอร์เพื่อใช้ทางด้านการศึกษา เป้าหมายของงานวิจัยจึงเบนไปยังการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบสเปกโตรมิเตอร์เพื่อใช้ในการวัดการดูดกลืนแสงที่มีต้นทุนต่ำสำหรับการใช้ในการเรียนการสอน โดยยังคงมีคุณสมบัติความเป็นสเปกโตรมิเตอร์สำหรับวัดการดูดกลืนแสงที่พบในอุปกรณ์ระดับงานวิจัยอย่างครบถ้วนดังที่ได้กล่าวไปในจุดประสงค์แล้ว ผลการวิจัยคือสามารถสร้างอุปกรณ์ต้นแบบสเปกโตรมิเตอร์ต้นทุนต่ำดังที่ได้กล่าวไปเป็นที่สำเร็จ โดยใช้ต้นทุนในการสร้างขึ้นต้นแบบต่ำกว่า 8,000 บาท โดยที่มีขนาดกระทัดรัด และน้ำหนักเบา (กว้าง 15 cm ยาว 40 cm และหนา 10 cm) สามารถเปิดให้เห็นส่วนประกอบภายในได้อย่างชัดเจน

อุปกรณ์ต้นแบบนี้ได้รับการทดสอบเบื้องต้นว่าสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ได้ดีแล้ว ยังคงจะต้องมีการทดสอบกับสารตัวอย่างที่กว้างมากยิ่งขึ้นเพื่อให้สามารถอธิบายผลการวัดในเชิงปริมาณได้อย่างเป็นที่น่าพอใจด้วย งานในอนาคตสำหรับอุปกรณ์ต้นแบบนี้กำลังดำเนินการอยู่ในปัจจุบันคือทำการทดสอบกับสารตัวอย่างที่มากขึ้น พร้อมกับทำให้ชิ้นส่วนต่างๆ ประกอบรวมเข้ากับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ให้เป็นชิ้นเดียวกันเพื่อพร้อมต่อการนำไปใช้งานในชั้นเรียน ความคาดหวังที่จะได้จากผลงานวิจัยนี้คือผลผลิตที่เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำไปใช้ได้จริงในสถาบันการศึกษาระดับมหาวิทยาลัยและสามารถนำไปจดทะเบียนสิทธิบัตรได้ในลำดับถัดไป

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การศึกษาคุณสมบัติทางแสงด้วยเทคนิคทางสเปกโตรสโคปี (spectroscopy) ของสารในรูปแบบต่างๆ ตั้งแต่ของแข็ง ของเหลว หรือสารละลาย เป็นเทคนิคอันสำคัญยิ่งอันหนึ่งต่อการศึกษาคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของสารและความสัมพันธ์ที่มีต่อสมบัติต่างๆของสารนั้น เทคนิคทางสเปกโตรสโคปีเป็นส่วนสำคัญในการทดลองและงานวิจัยในหลากหลายแขนงวิชา ไม่ว่าจะเป็นทางด้านฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา วัสดุศาสตร์ นาโนศาสตร์ และพันธุศาสตร์ ตัวอย่างของเทคนิคการวัดทางสเปกโตรสโคปีหลักๆ คือ การวัดการดูดกลืนแสงของสาร (photoabsorption) และการวัดการปลดปล่อยแสงของสาร (photoemission) ไม่ว่าจะเป็นเกิดขึ้นจากกระบวนการการกระตุ้นด้วยแสงอันก่อให้เกิดปรากฏการณ์ photoluminescence หรือจากการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า (อิเล็กตรอนหรืออนุภาคที่มีประจุ) ที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ electroluminescence ตัวแปรอันหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการดูดกลืนและปลดปล่อยแสงของสารคือลักษณะโครงสร้างในระดับโมเลกุลของสาร ด้วยเหตุนี้เองเทคนิคทางสเปกโตรสโคปีจึงสามารถนำไปใช้ในการจำแนกลักษณะโครงสร้างของสารและการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางแสงของสารกับโครงสร้างของโมเลกุลของสารนั้นๆ

การวัดทางสเปกโตรสโคปีของระบบต่างๆ โดยอาศัยเทคนิคทางทัศนศาสตร์เป็นสิ่งที่มิได้ใช้กันมาเป็นเวลานานไม่ว่าจะในทางการศึกษา การวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ ไปจนถึงในวงการอุตสาหกรรมต่างๆ หลักการที่นำมาประยุกต์ใช้ในบางอุปกรณ์นั้นเป็นหลักการที่ตรงไปตรงมาตามหลักฟิสิกส์ อย่างไรก็ตามก็ดี อุปกรณ์เหล่านี้ส่วนใหญ่มักมีราคาสูงและผลิตจากต่างประเทศจึงต้องมีการซื้อผ่านตัวแทนจำหน่าย อันเป็นเหตุต้นทุนสำหรับผู้ที่ต้องการจะนำไปใช้ยังคงสูงอยู่เช่นเดิม จึงเป็นที่น่าสนใจว่าด้วยทรัพยากรที่มีในประเทศนั้นสามารถที่จะออกแบบและทำการสร้างอุปกรณ์ทางทัศนศาสตร์ที่สามารถใช้เพื่อการวัดทางด้านสเปกโตรสโคปีขึ้นมาได้ด้วยตัวเองหรือไม่

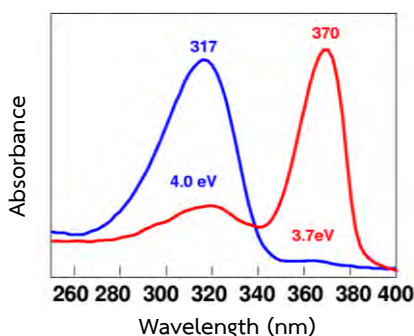
การดูดกลืนแสงนั้นเกิดจากอนุภาคอะตอมหรือโมเลกุลภายในสารทำอันตรกิริยากับแสงที่ตกกระทบแล้วดูดกลืนพลังงานเข้าไป ผลที่เกิดขึ้นคือพลังงานรวมของแสงผ่านออกมาจากสารจะมีพลังงานลดลงเมื่อเทียบกับพลังงานของแสงที่ตกกระทบ สัดส่วนของพลังงานที่ลดน้อยลงสามารถบ่งบอกถึงปริมาณอนุภาคที่ดูดกลืนภายในสารตัวอย่างได้ พลังงานของแสงที่ตกกระทบหรือผ่านสารตัวอย่างมักจะวัดโดยอาศัยความเข้มแสง (intensity) สำหรับสารที่มีลักษณะสม่ำเสมอในทุกทิศทาง (isotropic) การดูดกลืนแสงสามารถอธิบายได้ด้วยกฎของ Lambert Beer กล่าวคือ

$$I(x) = I_0 e^{-\alpha x}$$

โดยที่ I คือความเข้มแสงที่ผ่านออกมาจากสารตัวอย่าง I_0 คือความเข้มแสงที่ตกกระทบ x คือความหนาของสารตัวอย่าง และ α คือสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง ในทางปฏิบัติ ปริมาณที่มักจะใช้ในการระบุความสามารถในการดูดกลืนแสงคือ Absorbance ใช้สัญลักษณ์ย่อ A โดยมีนิยามว่า

$$A = -\log \frac{I_{out}}{I_{in}}$$

โดย I_{in} และ I_{out} คือความเข้มแสงที่ตกกระทบและที่ผ่านออกมาจากสารตัวอย่าง ตามลำดับ



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสาร

เนื่องจากความสามารถในการดูดกลืนแสงนั้นขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสงที่ตกกระทบด้วย นั่นคือค่า absorbance จะเป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่น λ (หรืออาจใช้ความถี่ f ก็ได้) ของแสงที่ใช้ในการวัด เมื่อเราเขียนกราฟระหว่าง A กับ λ ผลที่ได้คือสเปกตรัมการดูดกลืนแสง (absorption spectrum) ของสารที่ถูกวัดนั้น ตัวอย่างของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงแสดงดังในรูปที่ 1.1 โดยส่วนมากแล้วแสงที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงจะอยู่ในช่วงของแสงที่มองเห็น (visible light) ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400 – 700 nm หรือช่วงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet; UV) ที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 400 nm ดังนั้นสเปกตรัมที่ได้จากแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วงดังกล่าวมักจะเรียกว่า UV-Vis สเปกตรัม และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดก็จะมีชื่อเรียกว่า UV-Vis สเปกโตรมิเตอร์ (UV-Vis spectrometer) ในบางกรณีที่ต้องการที่จะครอบคลุมความยาวคลื่นในช่วงอินฟราเรด (IR) ก็สามารถปรับเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงให้สอดคล้องกันได้ ที่พบกันมากสำหรับการวัดการดูดกลืนแสงคือแสงในช่วง near infrared (NIR) ดังนั้นอุปกรณ์ที่มีช่วงของความยาวคลื่นครอบคลุมความยาวคลื่นทั้งสามช่วงก็จะมีชื่อว่า UV-NIR-Vis สเปกโตรมิเตอร์



รูปที่ 1.2 ลักษณะของอุปกรณ์ UV-Vis สเปกโตรมิเตอร์ โดยทั่วไป (ในที่นี้คือ Perkin-Elmer รุ่น Lambda 750) ข้อมูลเพิ่มเติมที่

<http://www.perkinelmer.com/Catalog/Product/ID/L750>

ลักษณะของเครื่อง UV-Vis สเปกโตรมิเตอร์ที่มีจำหน่ายอยู่ในตลาดมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1.2 ซึ่งอยู่ในลักษณะสำเร็จรูปพร้อมใช้งาน โดยเมื่อนำไปใช้งานจะอาศัยซอฟต์แวร์ที่บรรจุอยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์มาเชื่อมโยงเข้ากับเครื่องเพื่อการควบคุมและอ่านค่าที่ได้จากสเปกโตรมิเตอร์¹ ตัวเครื่องจะมีบริเวณที่สามารถนำตัวอย่างไปวางลงบนเส้นทางเดินแสง ซึ่งโดยมากแล้วสารตัวอย่างจะอยู่ในลักษณะของเหลวหรือสารละลาย ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้ในการบรรจุสารตัวอย่างก็คือ cuvette ในใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป

ลักษณะการทำงานภายในของสเปกโตรมิเตอร์เพื่อวัดการดูดกลืนแสงแสดงในลักษณะของแผนภาพดังในรูปที่ 1.3 โดยลักษณะของสเปกโตรมิเตอร์ลักษณะนี้เรียกว่าเป็นแบบช่องสัญญาณเดี่ยว (single channel) เพราะข้อมูลของความเข้มแสงที่ตกลงสู่เครื่องตรวจวัดจะทำให้ความยาวคลื่นส่วนประกอบหลักๆ ของสเปกโตรมิเตอร์แบบช่องสัญญาณเดี่ยวยังมีดังต่อไปนี้

แหล่งกำเนิดแสง เป็นอุปกรณ์ให้กำเนิดแสงในช่วงของความยาวคลื่นที่ต้องการ

อุปกรณ์รวมแสงชุดที่ 1 เป็นอุปกรณ์รวมแสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสง มักจะเป็นเลนส์รวมแสง

โมโนโครมาเตอร์ (monochromator) มีหน้าที่แยกแยะแสงที่มีความยาวคลื่นหลายค่าให้เป็นค่าเดียว (monochromatic light) จากแสงที่โมโนโครมาเตอร์รับจากอุปกรณ์รวมแสงที่เข้าเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นผสม อย่างไรก็ตามเมื่อแสงผ่านโมโนโครมาเตอร์แล้วจะมีค่าความยาวคลื่นที่มีช่วงแคบๆ รอบๆ ค่าที่ผู้ใช้ต้องการ ไม่ได้เป็นค่าเดียวจริงๆ ทั้งนี้เพราะในทางทฤษฎีแล้วแสงที่ผ่านจากโมโนโครมาเตอร์นั้นอาศัยเกรตติง (grating) ในการแยกแยะแสง ดังนั้นแสงที่ออกมาจึงไม่เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวดังชื่อของมัน

¹ แม้ว่าโดยส่วนมากแล้วจะต้องมีเครื่องคอมพิวเตอร์ควบคุมมาต่อพ่วงด้วยเมื่อใช้งาน อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีผู้ผลิตหลายรุ่นนำเสนอผลิตภัณฑ์ที่มีหน้าจอคำสั่งปฏิบัติงานอยู่บนตัวอุปกรณ์เลยเพื่อลดการพึ่งพาคอมพิวเตอร์

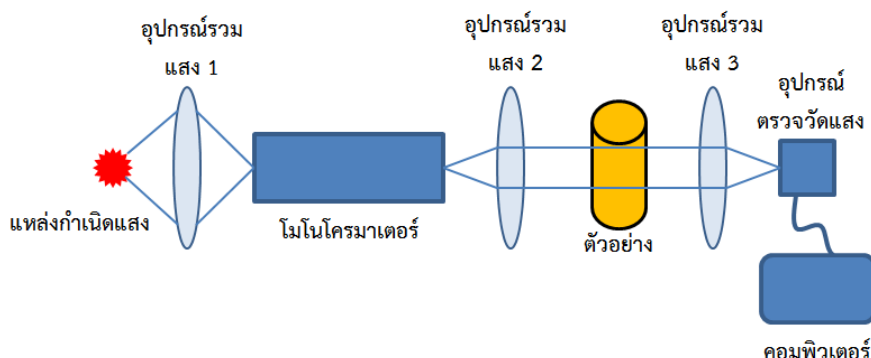
อุปกรณ์รวมแสงชุดที่ 2 ใช้สำหรับรวมแสงที่ออกจากโมนโครมาเตอร์ เนื่องจากแสงที่เข้าสู่โมนโครมาเตอร์มีลักษณะโพกัสเข้า ส่งผลให้แสงขาออกมีลักษณะถ่างออก เพื่อให้แสงที่จะผ่านเข้าสู่สารตัวอย่างมีลักษณะเป็นแสงขนานจึงต้องอาศัยอุปกรณ์รวมแสงอีกชุดหนึ่งเข้ามาช่วย

สารตัวอย่าง เป็นตำแหน่งที่วางสารตัวอย่างในเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

อุปกรณ์รวมแสงชุดที่ 3 ใช้สำหรับรวมแสงที่ผ่านสารตัวอย่างออกมาแล้วเพื่อโฟกัสไปยังอุปกรณ์ตรวจวัดแสงต่อไป

อุปกรณ์ตรวจวัดแสง ใช้สำหรับตรวจจับแสงที่เข้าสู่บริเวณรับแสงของอุปกรณ์ ค่าที่อ่านจากอุปกรณ์วัดแสงสามารถนำไปใช้ในการบอกค่าความเข้มของแสงที่สามารถส่งต่อไปแสดงผลที่หน้าปัดหรือที่คอมพิวเตอร์ต่อพ่วงต่อไป อุปกรณ์การตรวจวัดแสงอาจเป็นหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier tube) หรืออาจเป็นโฟโตไดโอด (photodiode)

อุปกรณ์เก็บข้อมูล/คอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่ควบคุม รวบรวม ประมวลผล และแสดงผลการวัดต่อผู้ใช้

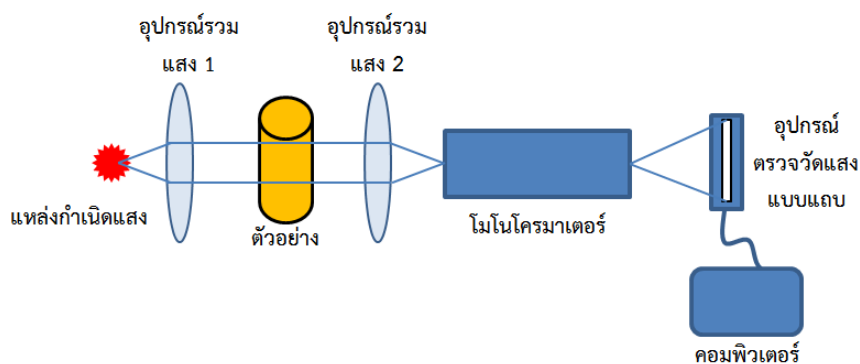


รูปที่ 1.3 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของ UV-Vis สเปกโตรมิเตอร์แบบช่องสัญญาณเดียว

การทำงานของสเปกโตรมิเตอร์แบบช่องสัญญาณเดียวต้องอาศัยการเปลี่ยนความยาวคลื่นของแสงที่ออกมาจากโมนโครมาเตอร์ นั่นคือโมนโครมาเตอร์จะทำการสแกนความยาวคลื่นในขณะที่อุปกรณ์ตรวจวัดแสงก็จะทำการเก็บข้อมูลไปทีละค่าความยาวคลื่นและข้อมูลแต่ละความยาวคลื่นมาประมวลรวมกันเป็นสเปกตรัมการดูดกลืนแสง

สเปกโตรมิเตอร์วัดการดูดกลืนแสงอาจมีลักษณะการจัดเรียงในอีกรูปแบบหนึ่งที่อาศัยอุปกรณ์ตรวจวัดแสงแบบแถว (array detector) ซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยวัดแสงหลายๆ หน่วยวางตัวเรียงกันเป็นแถว แต่ละหน่วยวัดแสงทำหน้าที่วัดสัญญาณแสงที่ตกกระทบแยกออกจากกัน ตัวอย่างของอุปกรณ์ตรวจวัด

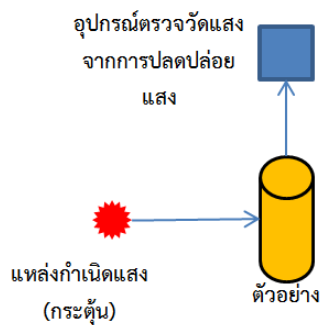
แสงลักษณะแฉกนี้เช่น แถบ charged-coupling device (CCD array) และแถบบัฟเฟอร์โฟโตไดโอด (photodiode array) เป็นต้น การจัดเรียงส่วนประกอบต่างๆ ภายในสเปกโตรมิเตอร์เพื่อใช้กับอุปกรณ์ตรวจวัดแสงแบบแถบบจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1.4 โดยจะเห็นได้ว่าแสงที่ตกกระทบสารตัวอย่างเป็นแสงขาว และแสงที่ผ่านออกมาจากสารตัวอย่างจะเดินทางเข้าสู่โมโนโครมาเตอร์ภายหลัง ซึ่งจะทำหน้าที่แยกแยะแสงตามหน้าที่ปกติของมันเพียงแต่แทนที่จะมีการคัดเลือกความยาวคลื่นใดความยาวคลื่นหนึ่งที่ปลายด้านที่ให้แสงจากโมโนโครมาเตอร์ (ซึ่งมักจะอาศัยช่องเปิดขนาดเล็ก) เราจะให้แสงทั้งหมดนั้นตกกระทบลงบนแผงตรวจวัดแสงแบบแถบบ ดังนั้นหน่วยวัดแสงต่างๆ ที่อยู่บนแถบบวัดแสงจะอ่านค่าความเข้มแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ กันในเวลาเดียวกัน ประโยชน์ที่เห็นได้ชัดสำหรับสเปกโตรมิเตอร์ที่ใช้อุปกรณ์การวัดแบบแถบบนี้ก็คือไม่จำเป็นต้องมีการสแกนความยาวคลื่นของแสงตกกระทบอีกต่อไป อันจะทำให้การเก็บข้อมูลทำได้รวดเร็วมากขึ้น



รูปที่ 1.4 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของ UV-Vis สเปกโตรมิเตอร์ที่ใช้แบบ
เครื่องตรวจวัดแสงแบบแถบบ

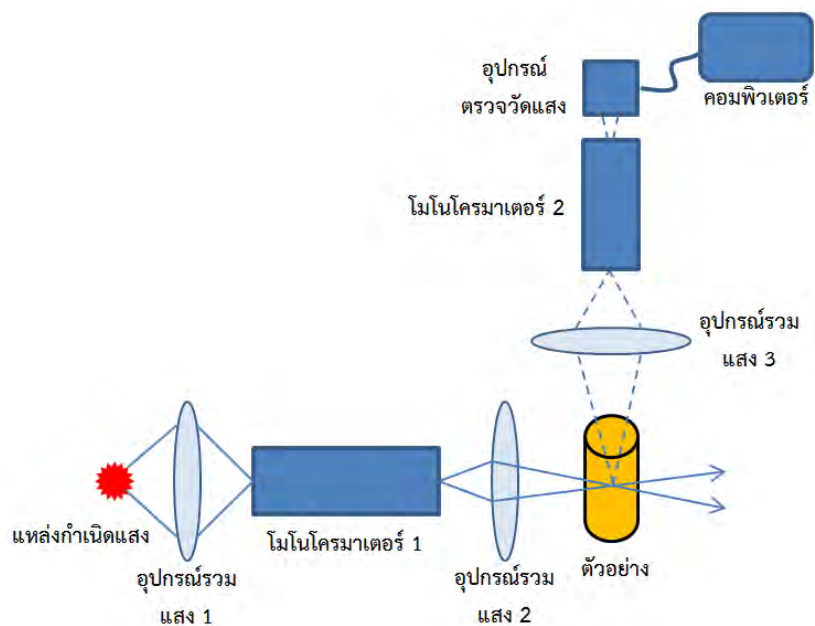
การปลดปล่อยแสงเกิดขึ้นจากอะตอมหรือโมเลกุลที่อยู่ในสภาวะกระตุ้นมีการเปลี่ยนสภาวะกลับไปยังสภาวะพื้นพร้อมกับปล่อยแสง (โฟตอน) ออกมาด้วย การปล่อยปล่อยแสงผ่านกระบวนการนี้เรียกว่า ฟลูออเรสเซน (fluorescence) อย่างไรก็ตามในบางกรณีการเปลี่ยนสภาวะจากสภาวะกระตุ้นกลับมายังสภาวะพื้นอาจเกิดขึ้นในลักษณะที่ไม่ได้เปลี่ยนสภาวะในแนวตั้ง (vertical relaxation) แต่อาจมีการปลดปล่อยพลังงานที่ผ่านการแลกเปลี่ยนระหว่างระบบที่เรียกว่า inter-system crossing หรืออาจเป็นไปได้ที่สภาวะกระตุ้นเป็นสภาวะที่มีความเสถียรมากกว่าปกติที่เรียกว่า metastable state อันส่งผลให้อะตอมหรือโมเลกุลสามารถอยู่ในสภาวะกระตุ้นได้นานกว่าปกติ การปลดปล่อยแสงอาจเกิดได้ช้าหรือเป็นไปอย่างช้าๆ การปลดปล่อยแสงจากกระบวนการในลักษณะเช่นนี้จะเรียกว่า ฟอสเฟอเรสเซน (phosphorescence) แต่ไม่ว่าจะเป็นการปลดปล่อยแสงจากกระบวนการใดก็ตาม เราสามารถเรียกรวมการปล่อยแสงโดยรวมว่าเป็นโฟ

โฟโตลูมิเนสเซน (photoluminescence) หรือเรียกอย่างตรงไปตรงมาว่าการปลดปล่อยแสง (photoemission)



รูปที่ 1.5 แผนภาพแสดงองค์ประกอบหลักของสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์

อุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาณแสงที่ปล่อยออกมาจากสารตัวอย่างจะเรียกว่าสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ (spectrofluorometer) หรือฟลูออโรมิเตอร์ (fluorimeter) องค์ประกอบหลักของสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ ประกอบด้วยสองส่วน คือส่วนที่ใช้สำหรับกระตุ้นสารตัวอย่างด้วยแสงและอีกส่วนหรือคือส่วนที่ใช้ตรวจวัดแสงที่เกิดจากกระบวนการปลดปล่อยแสงดังแสดงด้วยแผนภาพในรูปที่ 1.5 เพื่อให้สัญญาณที่ตรวจวัดได้ไม่ถูกรบกวนจากแสงที่ใช้ในการกระตุ้นสารตัวอย่าง ส่วนที่ใช้ตรวจวัดแสงมักจะถูกวางในลักษณะที่เป็นมุมตั้งฉากกับแนวทางเดินแสงที่ใช้สำหรับกระตุ้น



รูปที่ 1.6 แผนภาพแสดงอุปกรณ์ทางแสงที่เป็นส่วนประกอบของสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์

ลักษณะการทำงานภายในของสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์เพื่อวัดการปลดปล่อยแสงแสดงในรูปที่ 1.6 อุปกรณ์ทางทัศนศาสตร์หลายชิ้นจะเหมือนกับที่ใช้ในสเปกโตรมิเตอร์เพื่อการวัดการดูดกลืนแสงที่ได้กล่าวไปข้างต้น อุปกรณ์ทั้งหลายมีดังต่อไปนี้

แหล่งกำเนิดแสง เป็นอุปกรณ์ให้กำเนิดแสงในช่วงของความยาวคลื่นที่ต้องการ

อุปกรณ์รวมแสงชุดที่ 1 เป็นอุปกรณ์รวมแสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสง อาจจะเป็นเลนส์หรือกระจกรวมแสง

โมโนโครมาเตอร์เครื่องที่ 1 มีหน้าที่แยกแยะแสงที่มีความยาวคลื่นหลายค่าให้เป็นค่าเดียวเพื่อใช้สำหรับกระตุ้นสารตัวอย่าง ในบางกรณีถ้าความยาวคลื่นที่ใช้ในการกระตุ้นมีค่าแน่นอนและมีแหล่งกำเนิดแสงที่ให้ความยาวคลื่นนั้นๆ อยู่แล้ว โมโนโครมาเตอร์ไม่มีความจำเป็น

อุปกรณ์รวมแสงชุดที่ 2 และ 3 ใช้สำหรับรวมแสงที่ออกจากโมโนโครมาเตอร์ เพื่อให้แสงตกกระทบสารตัวอย่างในตำแหน่งที่สารตัวอย่างตั้งอยู่ และสำหรับรวมแสงที่ได้จากกระบวนการปลดปล่อยแสงของสารตัวอย่าง ตามลำดับ เหตุที่ต้องอาศัยอุปกรณ์ทัศนศาสตร์ในการรวมแสงก่อนที่จะนำเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจวัดแสงก็เป็นเพราะในสารตัวอย่างบางประเภทการปลดปล่อยแสงเกิดขึ้นในปริมาณที่ต่ำมาก จึงจำเป็นที่จะต้องมีการรวมแสงเพื่อให้ปริมาณสัญญาณที่จะทำการวัดมีค่าสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

สารตัวอย่าง เป็นตำแหน่งที่วางสารตัวอย่างในเครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์

โมโนโครมาเตอร์เครื่องที่ 2 และอุปกรณ์ตรวจวัดแสง มีหน้าที่แยกแยะแสงความยาวคลื่นต่างๆ ที่ได้จากการปลดปล่อยแสงของสารตัวอย่างเป็นความยาวคลื่นทีละค่าเพื่อส่งต่อไปยังอุปกรณ์ตรวจวัดแสง ในกรณีที่อุปกรณ์วัดแสงเป็นแบบช่องสัญญาณเดียวจะต้องทำการสแกนที่โมโนโครมาเตอร์ตัวที่สองเพื่อทำการอ่านค่าความยาวคลื่นทีละค่า แต่ถ้าอุปกรณ์วัดแสงเป็นแบบแถบก็สามารถวัดแสงทั้งช่วงความยาวคลื่นในการอ่านครั้งเดียวดังเช่นที่ใช้กับสเปกโตรมิเตอร์วัดการดูดกลืนแสงที่กล่าวไปข้างต้น

อุปกรณ์เก็บข้อมูล/คอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่ควบคุม รวบรวม ประมวลผล และแสดงผลการวัดต่อผู้ใช้

สเปกโตรมิเตอร์ที่ได้กล่าวไปนั้นแต่ละเครื่องจะสามารถทำการวัดคุณสมบัติทางแสงได้เพียงแบบเดียวต่อเครื่อง ดังนั้นเมื่อการทดลองหนึ่งๆ ต้องการทำการวัดทั้งการดูดกลืนและการปลดปล่อยแสงของสาร (ซึ่งการทดลองส่วนมากต้องการ) ต้องใช้เครื่องมือสองเครื่องในการวัด และสารตัวอย่างต้องถูกย้ายจากเครื่องมือหนึ่งไปยังอีกเครื่องหนึ่งหรือในกรณีที่เครื่องมือทั้งสองเครื่องไม่สามารถรองรับรูปแบบของสารตัวอย่างในรูปแบบเดียวกัน สารตัวอย่างต้องถูกเตรียมเป็นสองชิ้นแยกกัน จุดนี้เองที่ก่อให้เกิดปัญหาในการ

ทำการทดลอง ในกรณีแรกนั้นมีความเป็นไปได้ที่คุณสมบัติของสารจะมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่าง การเคลื่อนย้ายสารตัวอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสารที่มีความไวต่ออากาศสูง ส่วนในกรณีหลังสารตัวอย่าง อาจไม่มีคุณลักษณะที่เหมือนกันอันจะเป็นการทำให้การเปรียบเทียบผลจากการวัดทั้งสองการทดลองผิดพลาด ได้ จากลักษณะของการวัดสเปกตรัมของแสงโดยอุปกรณ์การวัดการดูดกลืนและการปลดปล่อยแสงจะเห็น ได้ว่ามีหลักการทางฟิสิกส์ที่ไม่ซับซ้อนมากนัก แต่ความซับซ้อนจะอยู่ที่กระบวนอุปกรณ์ทางทัศนศาสตร์มา ประกอบเข้าด้วยกันให้เป็นสเปกโตรมิเตอร์ที่สามารถใช้ในการวัดคุณสมบัติของสารต่างๆ ได้ นอกจากนี้จะ พบว่ามีอุปกรณ์หลายส่วนที่สามารถใช้ร่วมกันได้ระหว่างการวัดทั้งสอง

อุปกรณ์ที่มีวางจำหน่ายในท้องตลาดพร้อมใช้งานนั้นมีราคาที่สูงมาก เครื่อง UV-Vis สเปกโตร มิเตอร์มีราคาเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณ 40,000-50,000 สำหรับเครื่องรุ่นพื้นฐาน ไปจนถึงเครื่องที่มีราคาหลัก แแสนสำหรับเครื่องมีค่าจำเพาะต่างๆ ที่ดีขึ้นกว่ารุ่นพื้นฐาน ส่วนเครื่องฟลูออโรมิเตอร์โดยปกติแล้วจะมีราคา สูงกว่า UV-Vis สเปกโตรมิเตอร์เนื่องจากต้องใช้อุปกรณ์ทัศนศาสตร์ที่มากกว่า และในบางงานวิจัยจำเป็นที่ จะต้องใช้เครื่องที่มีความละเอียดสูงมาก อันทำให้เครื่องมีราคาสูงยิ่งขึ้นไปอีก สนนราคาเบื้องต้น สำหรับฟลูออโรมิเตอร์รุ่นพื้นฐานอยู่ที่ประมาณ 100,000 ไปจนถึงระบบที่มีราคาสูงระดับล้านบาท

จากเหตุผลทั้งหลายที่ได้กล่าวไปจึงเป็นแรงบันดาลใจให้เกิดความสนใจที่จะทำการออกแบบสเปก โตรมิเตอร์ที่สามารถใช้สำหรับการวัดทั้งการดูดกลืนแสงและการปลดปล่อยแสงได้ในเครื่องเดียวกัน นอกเหนือไปจากนั้นผู้วิจัยยังให้ความสำคัญกับการสร้างอุปกรณ์ที่มีราคาต่ำเพื่อทดแทนการนำเข้าอุปกรณ์ที่ ผลิตโดยผู้ผลิตนอกประเทศ ดังนั้นการทดลองสร้างอุปกรณ์ในโครงการนี้จึงเน้นไปที่การสร้างอุปกรณ์จาก ส่วนประกอบทั้งทางทัศนศาสตร์และทางอิเล็กทรอนิกส์ที่มีต้นทุนต่ำเพื่อดูความเป็นไปได้ที่จะสร้างอุปกรณ์ที่ สามารถใช้งานได้จริง

1.2 วัตถุประสงค์

เป้าหมายของโครงการนี้คือการออกแบบและสร้างระบบทางทัศนศาสตร์เพื่อการวัดทางด้านสเปก โตรสโคปีโดยอาศัยหลักทางฟิสิกส์ที่เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วด้วยทรัพยากรภายในประเทศ โดยมีความ มุ่งหวังที่จะสร้างอุปกรณ์ที่สามารถนำไปใช้ได้จริง วัตถุประสงค์ของโครงการคือ

1. เพิ่มศักยภาพในการทำงานวิจัยเรื่องคุณสมบัติพื้นฐานของสาร โดยใช้อุปกรณ์ทัศนศาสตร์ที่ถูก ออกแบบให้มีความสามารถในการวัดทาง optical spectroscopy แบบผสม
2. เพิ่มคุณภาพและขอบเขตของงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาโครงสร้างพื้นฐานของสาร และ ความสัมพันธ์ของโครงสร้างต่อคุณสมบัติทางแสงของสาร อันเนื่องมาจากความสามารถในการวัด

การดูกลืนและการปลดปล่อยแสงของสารตัวอย่าง ณ ตำแหน่งและเวลาเดียวกัน โดยความแม่นยำของตำแหน่งจะอยู่ในระดับไมโครเมตร

3. ลดปริมาณและค่าใช้จ่ายในการการจัดซื้ออุปกรณ์จากผู้ผลิตต่างชาติซึ่งมีราคาสูงและลดการพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างชาติโดยหันมาพึ่งพาความรู้จากแหล่งบุคลากรภายในประเทศ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ออกแบบระบบทัศนศาสตร์เพื่อการวัดทางสเปกโตรสโคปีแบบผสม
2. ทดลองสร้างอุปกรณ์ต้นแบบที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการวัดการดูกลืนแสงและการปลดปล่อยแสงในระบบทัศนศาสตร์ที่สร้างขึ้น

1.4 วัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัย (ปรับปรุง)

เนื่องด้วยการดำเนินงานวิจัยไม่เป็นไปตามที่คาดไว้ ส่งผลให้โครงการไม่สามารถทำตามขอบเขตงานวิจัยที่ผู้วิจัยได้ตั้งเป้าไว้ในตอนต้น อย่างไรก็ตามผู้วิจัยยังคงมีความพยายามที่จะสร้างผลผลิตจากเงินทุนวิจัยที่ได้รับมาเพื่อให้บรรลุผลในทางอื่นๆ เพื่อชดเชยเป้าหมายแรกที่ไม่อาจทำให้บรรลุได้ ผู้วิจัยจึงได้ปรับขอบเขตงานวิจัยเพื่อให้เป็นขอบเขตที่สามารถบรรลุได้ภายใต้สภาวะที่ได้พบจริง (รายละเอียดของปัญหาที่พบอันนำไปสู่การปรับเปลี่ยนวัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัยจะอธิบายในรายละเอียดในหัวข้อเนื้อหางานวิจัย) โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยใหม่จะมุ่งเน้นไปที่

1. เพื่อเป็นอุปกรณ์ทางสเปกโตรสโคปีสำหรับการเรียนการสอนด้านการวิเคราะห์เชิงแสง
2. นักศึกษาสามารถเห็นกลไกการทำงานของอุปกรณ์ภายในได้แทนที่จะใช้เพียงซอฟต์แวร์ที่อยู่บนคอมพิวเตอร์ อันจะนำไปสู่ความเข้าใจที่ลึกซึ้งมากยิ่งขึ้น
3. ไม่ต้องกังวลเมื่อเกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์เพราะค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมต่ำ
4. ใช้งบประมาณอย่างคุ้มค่าและได้ประโยชน์ทั่วถึง
5. เป็นการเตรียมความพร้อมพื้นฐานทั้งด้านฮาร์ดแวร์และฮาร์ดแวร์เพื่อนำไปสู่การสร้างอุปกรณ์ระดับงานวิจัยต่อไปในภายภาคหน้า

และขอบเขตงานวิจัยใหม่ประกอบไปด้วย

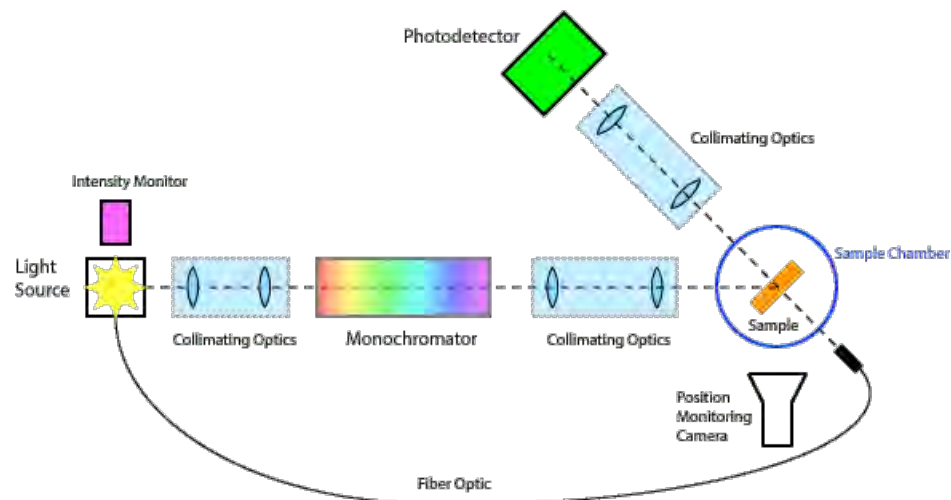
1. สร้างอุปกรณ์ต้นแบบเพื่อการวัดการดูกลืนแสงต้นทุนต่ำ
2. เน้นให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการประยุกต์ด้านการเรียนการสอน

บทที่ 2

วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 วิธีการวิจัย

2.1.1 ออกแบบ งานวิจัยนี้เริ่มต้นที่การออกแบบระบบทัศนศาสตร์เพื่อการวัดทางสเปกโตรสโคปีแบบผสม ซึ่งในเบื้องต้นนั้นผู้วิจัยมีแนวทางในการดำเนินการที่ชัดเจนคือระบบทัศนศาสตร์เพื่อการวัดแบบผสมมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงรูปแบบของระบบทัศนศาสตร์เพื่อการวัดทางสเปกโตรสโคปีแบบผสม

2.1.2 จัดเตรียมอุปกรณ์ ส่วนประกอบหลายส่วนต้องอาศัยอุปกรณ์ทางทัศนศาสตร์ที่จำเป็นต้องจัดซื้อเข้ามา แต่มีหลายส่วนประกอบที่ผู้วิจัยดำเนินการผลิตเอง ในขั้นตอนนี้จะมีการสั่งซื้อและสั่งผลิตชิ้นส่วนเพื่อนำมาประกอบกัน

2.1.3 ประกอบระบบสเปกโตรมิเตอร์ นำส่วนประกอบที่ได้สั่งซื้อ/สั่งผลิต มาประกอบเข้ากันเป็นระบบทัศนศาสตร์

2.1.4 ทดสอบความสามารถอุปกรณ์ ทดลองทำการอ่านค่าจากระบบที่ได้ประกอบขึ้นเพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากอุปกรณ์ที่ผลิตจากผู้ผลิตในท้องตลาด

บทที่ 3

เนื้อหางานวิจัย

3.1 การออกแบบระบบทัศนศาสตร์แบบผสมและการจัดหาชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

ในขั้นตอนนี้เป็นส่วนของการออกแบบระบบทัศนศาสตร์แบบผสมและจัดหาชิ้นส่วนต่างๆ ที่จะนำมาประกอบกันเป็นระบบทัศนศาสตร์เพื่อการวัดสเปกโตรสโกปีแบบผสม ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 2.1 ถึงลักษณะภาพรวมของลักษณะเครื่องมือทัศนศาสตร์ที่ต้องการจะสร้าง ส่วนที่เป็นขั้นตอนถัดมาคือการจัดหาชิ้นส่วนต่างๆ โดยชิ้นส่วนที่สำคัญหลักๆ อาจแบ่งได้เป็นสองกลุ่มตามมูลค่าของชิ้นส่วนและความสามารถในการจัดซื้อ/จัดทำ

กลุ่มที่ 1 ชิ้นส่วนที่มีมูลค่าต่ำและหาซื้อได้ง่าย เป็นส่วนที่สามารถหาซื้อได้ภายในประเทศด้วยราคาที่ไม่สูงเนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่เป็นที่ต้องการในวงการอื่นๆ ด้วย เช่น อุปกรณ์ยึดจับต่างๆ น๊อต สกรู ฮาร์ดแวร์ที่ใช้สำหรับปฏิบัติการต่างๆ ท่ออลูมิเนียม แผ่นพลาสติก เป็นต้น ชิ้นส่วนในกลุ่มนี้เป็นชิ้นส่วนที่หาได้ตลอด และสามารถซื้อทดแทนในกรณีที่เกิดการสูญเสียหรือชำรุด

กลุ่มที่ 2 ชิ้นส่วนที่มีมูลค่าต่ำแต่หาซื้อได้ยาก กลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่มีมูลค่าไม่สูงมากนัก แต่มีความยากลำบากในการสั่งซื้อเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ไม่สามารถหาได้ทั่วไปนัก ตัวอย่างที่เห็นได้อย่างชัดเจนคือเลนส์ กระจกคุณภาพสูง สายไฟเบอร์ออฟติกส์ ตัวจับประเภทต่างๆ เป็นต้น สำหรับเลนส์ที่วางแผนใช้ในตอนแรกเป็นเลนส์ที่มีความยาวโฟกัสเฉพาะและต้องการให้มีการเคลือบกันสะท้อนและผลิตด้วยสารที่สามารถให้แสง UV ผ่านได้ เมื่อมีความต้องการเช่นนี้ ผู้จำหน่ายเลนส์ที่มีนั้นเป็นผู้จำหน่ายจากต่างประเทศ ดังนั้นราคาที่หาซื้อได้จากตัวแทนจำหน่ายในประเทศจะมีราคาสูงกว่าราคาจริงในต่างประเทศ ยิ่งไปกว่านั้นเนื่องจากผู้วิจัยต้องการสั่งเพียงปริมาณน้อยจะมีค่าธรรมเนียมการจัดส่ง และค่าเอกสารต่างๆ ที่กลายเป็นค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าที่ควรจะเป็นอย่างมาก รูปแบบของปัญหาลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นกับการจัดหากระจกโค้ง สายไฟเบอร์ออฟติกส์ และตัวจับต่างๆ ในทำนองเดียวกัน

กลุ่มที่ 3 ชิ้นส่วนที่มีมูลค่าสูงและจัดทำเองได้ สำหรับชิ้นส่วนกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่มีราคาสูงถ้าทำการสั่งซื้อจากผู้ผลิตรายใหญ่แต่สามารถจัดทำขึ้นเองได้ โดยชิ้นส่วนที่อยู่ในกลุ่มนี้ประกอบไปด้วย

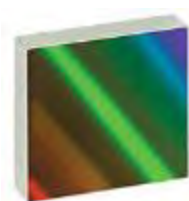
โต๊ะทัศนศาสตร์ (optical table หรือ optical breadboard) มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.1 เป็นโต๊ะที่ใช้สำหรับเป็นฐานให้กับอุปกรณ์ทัศนศาสตร์อื่นๆ มาจัดเรียงกันด้านบน ทำจากวัสดุอลูมิเนียมเนื่องจากราคาสำหรับโต๊ะขนาด 18 นิ้ว x 18 นิ้ว x 2.4 นิ้ว อยู่ที่ประมาณ 24,000 บาท โดยยังไม่รวมค่า

จัดส่งและค่าธรรมเนียมต่างๆ จากตัวแทนจำหน่ายในประเทศ ทางผู้วิจัยจึงทำการเขียนแบบและสั่งทำโดยช่างภายในประเทศ ทำให้ราคาอยู่ที่ชิ้นละ 4,500 บาท



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงรูปแบบของระบบทัศนศาสตร์เพื่อการวัดทางสเปกโตรสโคปีแบบผสม

โมนโครมาเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ถือว่ามีความราคาสูงมาก โดยที่โมนโครมาเตอร์ที่มีคุณสมบัติเพียงแค่พื้นฐานเท่านั้นก็มีความเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณ 40,000-50,000 บาท โดยที่ยังไม่รวมค่าจัดส่งและอื่นๆ ด้วย เหตุนี้เองผู้วิจัยจึงมีแนวทางในลักษณะเดียวกับชิ้นส่วนอื่นๆ คือจะทำการสร้างขึ้นเอง อย่างไรก็ตามการสร้างโมนโครมาเตอร์นั้นไม่ได้หมายความว่าสามารถสร้างทุกชิ้นส่วนภายในโมนโครมาเตอร์ขึ้นเอง แต่จะเป็นการซื้อเฉพาะชิ้นส่วนที่ไม่สามารถสร้างขึ้นมาได้เองแล้วนำมาประกอบเข้ากับชิ้นส่วนที่สามารถผลิตขึ้นมาได้เอง ชิ้นส่วนที่ไม่สามารถผลิตขึ้นมาได้เองคือเกรตติง (grating) โดยจากลักษณะของโมนโครมาเตอร์ที่ต้องการนั้นต้องอาศัยเกรตติงแบบสะท้อน ที่มีความสามารถในการแยกแยะความยาวคลื่นที่สูง ดังนั้นจึงทำการสั่งซื้อเกรตติงแบบโฮโลกราฟฟิก (holographic grating) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 เข้ามาเพื่อนำมาติดตั้งกับอุปกรณ์จัดยึดอื่นๆ แล้วสามารถทำหน้าที่เป็นโมนโครมาเตอร์ได้ ราคาของเกรตติงอยู่ที่ 2,000 บาท/ชิ้น สำหรับขนาด 12.7 mm x 12.7 mm และ 3,000 บาท/ชิ้น สำหรับขนาด 25 mm x 25 mm



รูปที่ 3.2 เกรตติง

กลุ่มที่ 4 ชิ้นส่วนที่มีมูลค่าสูง จัดทำเองไม่ได้ เป็นชิ้นส่วนที่มีราคาสูงและต้องซื้อเท่านั้น ไม่สามารถจะจัดทำขึ้นมาเองได้ ชิ้นส่วนที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์ตรวจวัดแสง สำหรับแหล่งกำเนิดแสงนั้นอาศัยแหล่งกำเนิดแสงที่มีอยู่แล้วในห้องปฏิบัติการที่มหาวิทยาลัยมหิดล แต่สำหรับอุปกรณ์ตรวจวัดแสงนั้นได้กำหนดว่าจะใช้ลักษณะของเครื่องตรวจวัดแสงแบบแถบ เพื่อให้ระบบทัศนศาสตร์ที่สร้างขึ้นสามารถวัดสเปกตรัมของแสงได้โดยไม่ต้องอาศัยการสแกนที่โมนโครมาเตอร์ดังที่

อธิบายไปในบทนำ ในท้องตลาดนั้นมีอุปกรณ์ตรวจวัดแสงสำเร็จรูปที่ออกแบบมาพร้อมใช้คู่กับระบบไฟเบอร์ออปติกอยู่แล้ว (อาจเรียกว่าเป็น miniature spectrometer) แต่ราคาสำหรับเครื่องตรวจวัดลักษณะนี้นั้นมีราคาประมาณ 60,000 บาท โดยที่ยังไม่รวมถึงไฟเบอร์ออปติกที่ต้องใช้ร่วมด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงมุ่งไปที่ส่วนประกอบหลักของเครื่องตรวจวัดแบบแถบคือแถบ CCD ประเภทที่ใช้ระบบเชื่อมต่อแบบ USB โดยราคาดังกล่าวนั้นย่อลงมาอยู่ที่ 25,000 บาท รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของแถบ CCD สำเร็จรูปที่กล่าวนี้ (คุณสมบัติโดยละเอียดอยู่ในภาคผนวกด้านท้าย)



รูปที่ 3.3 แถบ CCD สำเร็จรูปที่ใช้ระบบเชื่อมต่อแบบ USB (Thorlabs LC1-USB)

3.2 การประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ในระบบทัศนศาสตร์และอุปกรณ์ที่พบ

อุปกรณ์ที่เป็นองค์ประกอบหลักในระบบทัศนศาสตร์ของงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยสามส่วนคือแหล่งกำเนิดแสง โมโนโครมาเตอร์ และเครื่องตรวจวัดแสง ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสำหรับแหล่งกำเนิดแสงนั้นเราจะอาศัยแหล่งกำเนิดแสงที่มีในห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยจึงไม่ได้เป็นส่วนที่สร้างขึ้นมาเพิ่มเติม ในขณะที่เครื่องตรวจวัดแสงเราอาศัยแถบ CCD ผ่าน USB ดังนั้นส่วนที่เป็นงานที่ต้องอาศัยการจัดทำมากที่สุดเป็นลำดับแรกคือโมโนโครมาเตอร์ และจุดนี้เองถือว่าเป็นจุดที่เป็นอุปสรรคชิ้นใหญ่ที่สุดของงานวิจัยชิ้นนี้ ส่วนอุปสรรคถัดมาคือการนำแถบ CCD มาใช้ในลักษณะที่ใกล้เคียงกับที่พบในท้องตลาดนั้นทำได้ไม่เต็มที่ รายละเอียดของอุปสรรคที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ทั้งสองชิ้นนี้จะกล่าวโดยละเอียดดังต่อไปนี้

อุปสรรคในการสร้างโมโนโครมาเตอร์ แม้ว่าหลักการทำงานของโมโนโครมาเตอร์นั้นเป็นที่เข้าใจได้โดยไม่ยากนัก แต่ส่วนประกอบที่สำคัญต่อการสร้างโมโนโครมาเตอร์คือชิ้นส่วนฮาร์ดแวร์และอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องนำมาประกอบกันเข้าให้เป็นโมโนโครมาเตอร์ที่สามารถสั่งการให้ทำงานได้ในลักษณะเช่นเดียวกันกับโมโนโครมาเตอร์ในท้องตลาด (ตัวอย่างของโมโนโครมาเตอร์ที่มีในท้องตลาดแสดงประกอบในภาคผนวก) ปรากฏว่าประสบการณ์ในการทำชิ้นส่วนฮาร์ดแวร์ที่จะนำมาใช้โมโนโครมาเตอร์ไม่สามารถสร้างเป็นโมโนโครมาเตอร์ที่มีประสิทธิภาพเท่าเทียมกับโมโนโครมาเตอร์ที่มีในท้องตลาด การที่กล่าวเช่นนี้ไม่ใช่หมายความว่า การประกอบโมโนโครมาเตอร์ชิ้นนั้นไม่สามารถทำได้ แต่ด้วยเป้าหมายของการสร้างอุปกรณ์ที่

มีราคาต่ำแต่ให้ได้ผลที่เท่าเทียมกันนั้นไม่สามารถทำได้ดีเท่าที่ควรภายใต้งบประมาณที่มีในโครงการวิจัยนี้เท่านั้น ความผิดพลาดนี้ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการคาดการณ์โครงการในภาพรวมที่คลาดเคลื่อนไปจากที่เป็นจริงมากจนส่งผลให้งบประมาณที่จะใช้ในการลองสร้างชิ้นส่วนต่างๆ ด้วยตนเองนั้นมีเพียงพอ อย่างไรก็ตามอุปสรรคที่เกิดขึ้นนี้นำไปสู่แนวทางงานวิจัยในรูปแบบที่แตกต่างไปจากความตั้งใจเดิมในบางส่วน ดังจะกล่าวต่อไป

อุปสรรคในการผนวกแถบ CCD เข้ากับระบบไฟเบอร์ออปติกส์ เนื่องจากผู้วิจัยได้สั่งซื้อแถบ CCD ที่อยู่ในลักษณะพร้อมใช้งานผ่านระบบเชื่อมต่อ USB ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาวิธีสร้างฮาร์ดแวร์ที่รองรับสายไฟเบอร์ออปติกส์เพื่อนำแสงเข้าสู่แถบ CCD สิ่งที่เกิดขึ้นคือแม้ว่าฮาร์ดแวร์ที่อาศัยตัวจับทัศนศาสตร์ต่างๆ สามารถนำมาใช้ในระบบทดสอบได้ แต่ท้ายที่สุดแล้วการจะจับหัวของสายไฟเบอร์ออปติกส์ ยังคงต้องอาศัยอุปกรณ์จับเฉพาะที่จำเป็นต้องมีการสั่งซื้อเพิ่มเติม ประกอบกับการที่จำเป็นจะต้องสร้างอุปกรณ์ครอบที่ทำหน้าที่เช่นเดียวกับโมโนโครมาเตอร์ขนาดย่อมที่สามารถควมรวมเข้ากับแถบ CCD นี้ทำได้ยากและมีราคาสูง นี่จึงเป็นเหตุให้แม้ว่าผู้วิจัยสามารถแสดงให้เห็นหลักการว่าอุปกรณ์ที่มีอยู่นั้นสามารถนำไปใช้ในการวัดทางสเปกโตรสโกปีได้ แต่รูปแบบที่ออกมาไม่นับว่าเป็นระบบที่จะรองรับผู้ใช้ทั่วไป (general user) ที่อาจไม่มีพื้นฐานทางด้านทัศนศาสตร์เพียงพอต่อการจัดการกับชิ้นส่วนต่างๆ มากมายที่ประกอบกันขึ้นมาเป็นระบบทัศนศาสตร์นี้

อุปสรรคทั้งสองที่เกิดขึ้นนี้สามารถกล่าวได้ว่ามีต้นกำเนิดเดียวกันโดยสามารถกล่าวได้ว่ามีสองปัจจัยหลักดังต่อไปนี้

3.2.1 อุปสรรคด้าน economy of scale เนื่องจากในการผลิตชิ้นงานหนึ่งชิ้นในลักษณะที่เป็นชิ้นงานผลิตเฉพาะจะมีต้นทุนที่สูงกว่าชิ้นงานที่ได้รับการผลิตแบบ mass production ดังนั้นผู้วิจัยไม่สามารถบรรลุการประกอบอุปกรณ์ทั้งระบบภายใต้งบประมาณที่มีอยู่ได้ ตัวอย่างของปัญหานี้คือการสร้างฮาร์ดแวร์รอบโมโนโครมาเตอร์และรอบแถบ CCD ดังที่ได้กล่าวไปด้านบน

3.2.2 อุปสรรคด้านการใช้ชิ้นส่วนต้นน้ำ เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีอุปกรณ์หลายชิ้นไม่อาจถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่มาจากต้นน้ำอย่างแท้จริง ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดที่สุดคือแถบ CCD สำเร็จรูปเนื่องจากในเวลาที่ทำการวิจัยนั้นผู้วิจัยมองว่าเป็นการยากและใช้เวลามากที่จะเริ่มต้นจากการใช้แถบ CCD เปลือยมาทำการติดตั้งระบบวงจรไฟฟ้าด้วยตัวเอง พร้อมกับเขียนโปรแกรมเพื่อพูดคุยกับแถบ CCD โดยตรงจึงได้ตัดสินใจซื้อแถบ CCD สำเร็จรูป ผลก็คือราคาของแถบ CCD สำเร็จรูปนี้ยังถือว่าแพง 25,000 บาทถ้าเทียบกับแถบ CCD เปลือยที่มีราคาประมาณ 1 ใน 5

ด้วยสองปัจจัยหลักนี้ส่งผลให้เป้าหมายเดิมที่จะสร้างระบบทัศนศาสตร์เพื่อการวัดทางสเปกโตรสโคปีแบบผสมนั้นหยุดตัวลง และไม่สามารถเดินต่อในลักษณะเช่นเดิมได้

3.3 การปรับเป้าหมายของอุปกรณ์ในงานวิจัย

จากอุปสรรคที่เกิดขึ้นทางด้านการควบคุมต้นทุนการสร้างโดยยังคงเอาไว้ซึ่งความสามารถในการทำงานที่เทียบเท่ากับอุปกรณ์ที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดนั้นส่งผลให้งานวิจัยไม่สามารถเดินหน้าได้ตามที่ได้อธิบายในหัวข้อที่แล้ว ผู้วิจัยจึงหันกลับมามองถึงช่องว่างที่ยังคงมีอยู่ที่เกี่ยวข้องกับระบบทางทัศนศาสตร์ในสังคมวิทยาศาสตร์ของประเทศไทย ผลของการวิเคราะห์นี้นำไปสู่การปรับเป้าหมายของอุปกรณ์ที่จะทำการออกแบบและสร้างต่อไปในงานวิจัยชิ้นนี้ โดยที่มาและแนวคิดอันนำไปสู่การปรับเปลี่ยนมีดังต่อไปนี้

3.3.1 เป้าหมายของการนำอุปกรณ์ไปใช้ เนื่องจากในเบื้องต้นนั้นผู้วิจัยมุ่งเป้าไปที่การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้สำหรับงานวิจัยโดยคาดหวังว่าจะสามารถสร้างระบบที่มีขีดความสามารถระดับงานวิจัยได้โดยใช้เพียงทุนที่ได้รับมาเท่านั้น อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวิเคราะห์ย้อนกลับไปแล้วพบว่าสัดส่วนของทุนวิจัยกับมูลค่าของผลลัพธ์ที่วางเอาไว้ว่าจะมีความแตกต่างกันเกินกว่าที่จะสามารถทำให้บรรลุผลได้ ทั้งนี้เพราะในระดับงานวิจัยมีความต้องการในหลายๆ ด้านที่อุปกรณ์ทางงานวิจัยต้องสามารถตอบสนองได้ ไม่ว่าจะเป็นขีดความสามารถของอุปกรณ์ ความละเอียด ความแม่นยำ ความเที่ยงตรง ความเป็นมาตรฐาน และอื่นๆ ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะสามารถสร้างอุปกรณ์ที่ตอบโจทย์ในระดับงานวิจัยได้

ผู้วิจัยจึงมองในมุมกลับว่าถ้าเปลี่ยนเป้าหมายจากอุปกรณ์ในระดับงานวิจัยไปเป็นระดับงานด้านการศึกษาน่าจะช่วยให้อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นนี้ถูกนำไปใช้ได้ เหตุผลประกอบแนวคิดในมุมของการประยุกต์ในด้านการศึกษามาจากเสียงสะท้อนที่ได้รับจากอาจารย์ผู้สอนที่บอกว่าอุปกรณ์ทางด้านสเปกโตรมิเตอร์นั้นมีราคาแพง ดังนั้นจำนวนเครื่องมืออยู่ก็มีไม่มากนัก และการจะใช้สำหรับการเรียนการสอนก็ต้องอาศัยความระมัดระวังพอสมควรเพราะนักเรียนที่ยังไม่มีทักษะเพียงพออาจทำให้อุปกรณ์เสียหายได้ ดังนั้นเมื่อพิจารณาการสร้างอุปกรณ์ทางด้านการศึกษาแล้วผู้วิจัยมองว่าความรู้และบทเรียนที่ได้รับจากความพยายามสร้างอุปกรณ์จากวัสดุต้นน้ำจะสามารถตอบโจทย์ด้านการเรียนการสอนได้เป็นอย่างดี โดยที่ยังคงต้นทุนที่ต่ำเอาไว้ได้อย่างไม่มีปัญหา

3.3.2 เป้าหมายของการใช้วัสดุต้นน้ำอย่างแท้จริง เมื่อความต้องการต่างๆ ในระดับงานวิจัยถูกยกออกไป ความสามารถในการสร้างระบบทัศนศาสตร์โดยอาศัยวัสดุที่เป็นวัตถุดิบต้นน้ำอย่างแท้จริงก็สามารถทำได้มากขึ้น ยกตัวอย่างเช่นในกรณีของการตรวจจับแสง ในกรณีนี้เราไม่จำเป็นต้องใช้แถบ CCD ที่มีระบบเชื่อมต่อ USB สำเร็จรูปทั้งนี้เพราะเราต้องการเพียงแถบ CCD หรืออาจเป็นแถบอุปกรณ์ตรวจวัดแบบอื่นที่ไม่ต้องมีอัตราการบันทึกและอ่านข้อมูลที่รวดเร็วมาก และลักษณะการแสดงผลก็ไม่จำเป็นที่

จะต้องอยู่ในรูปแบบของซอฟต์แวร์ที่สำเร็จรูป แต่อาศัยการบันทึกข้อมูลของนักศึกษาเข้ามาแทนที่ได้ เป็นต้น เมื่อเป็นในลักษณะเช่นนี้แล้วต้นทุนในการผลิตสเปกโตรมิเตอร์จะสามารถทำให้ลดต่ำลงมาก

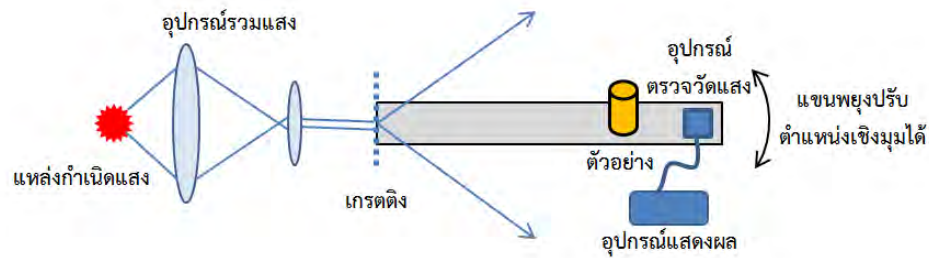
3.3.3 เป้าหมายของการเรียนรู้ที่จะเป็นผู้ผลิตอย่างเป็นขั้นบันได ลักษณะการพัฒนาอุปกรณ์ในรูปแบบที่ได้กล่าวไปนั้นสามารถมองได้ว่าเป็นการเรียนรู้ที่จะนำไปสู่การสร้างอุปกรณ์ในระดับงานวิจัยที่เป็นเป้าหมายแรกอย่างเป็นขั้นเป็นตอน และสามารถประสบความสำเร็จตามที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้ในตอนแรกในอนาคตต่อไปได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเปลี่ยนเป้าหมายของระบบทัศนศาสตร์ให้เป็นไปในลักษณะเพื่อการเรียนการสอน โดยวัตถุประสงค์สำหรับเป้าหมายใหม่นี้อาจสรุปได้ดังต่อไปนี้

- เพื่อเป็นอุปกรณ์ทางสเปกโตรสโคปีสำหรับการเรียนการสอนด้านการวิเคราะห์เชิงแสง
- นักศึกษาสามารถเห็นกลไกการทำงานของอุปกรณ์ภายในได้แทนที่จะใช้เพียงซอฟต์แวร์ที่อยู่บนคอมพิวเตอร์ อันจะนำไปสู่ความเข้าใจที่ลึกซึ้งมากยิ่งขึ้น
- ไม่ต้องกังวลเมื่อเกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์เพราะค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมต่ำ
- ใช้งบประมาณอย่างคุ้มค่าและได้ประโยชน์ทั่วถึง
- เป็นการเตรียมความพร้อมพื้นฐานทั้งด้านซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์เพื่อนำไปสู่การสร้างอุปกรณ์ระดับงานวิจัยต่อไปในภายภาคหน้า

3.4 ระบบทัศนศาสตร์เพื่อการเรียนการสอน

เมื่อเป้าหมายมีการปรับเปลี่ยนไปเป็นการสร้างอุปกรณ์เพื่อการเรียนการสอน หลักการทางฟิสิกส์ยังคงเหมือนเดิม โดยในที่นี้จะเริ่มต้นที่สเปกโตรมิเตอร์สำหรับการวัดการดูดกลืนแสง ด้วยความที่เราต้องการให้อุปกรณ์นี้แสดงหลักการการทำงานของเครื่อง UV-Vis สเปกโตรมิเตอร์เท่านั้น ดังนั้นความต้องการต่างๆ ที่เคยมีในระบบระดับงานวิจัยก็ลดลง ตัวอย่างเช่น แหล่งกำเนิดแสงในที่นี้ก็ไม่จำเป็นต้องมีช่วงของความยาวคลื่นครอบคลุมไปถึง UV แต่สามารถให้อยู่เพียงเฉพาะในบริเวณที่เป็นแสงที่มองเห็นก็เพียงพอแล้ว หรือสำหรับโมโนโครมาเตอร์ก็ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเป็นโมโนโครมาเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ ความละเอียดสูงแต่อย่างใด เราสามารถใช้เกรตติงชนิดส่องผ่านมาแทนที่ได้ ในขณะที่การตรวจวัดสัญญาณแสงที่ผ่านสารตัวอย่างมาก็สามารถทำได้โดยอาศัยโฟโตไดโอดเท่านั้นโดยไม่จำเป็นต้องเป็นแถบอีกต่อไป จากนั้นเราก็อาศัยการเลื่อนตำแหน่งของโฟโตไดโอดประกอบการคำนวณโดยสูตรฟิสิกส์พื้นฐานก็สามารถบอกได้ว่าตำแหน่งที่โฟโตไดโอดกำลังอ่านค่าอยู่เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นเท่าใด ค่าที่โฟโตไดโอดอ่านออกมาได้ก็สามารถแสดงออกมาในรูปของแรงดันไฟฟ้าได้โดยตรง จากนั้นจึงนำไปคำนวณเพื่อเปลี่ยนเป็นค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ต่อไปได้



รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของสเปกโตรมิเตอร์วัดการดูดกลืนแสงต้นทุนต่ำเพื่อการศึกษา

รูปที่ 3.4 แสดงแผนภาพการออกแบบสเปกโตรมิเตอร์เพื่อวัดการดูดกลืนแสงในรูปแบบสำหรับการเรียนการสอน โดยจะเห็นได้ว่าแสงจากแหล่งกำเนิดเมื่อผ่านอุปกรณ์รวมแสงแล้วจะถูกผ่านเข้าสู่เกรตติงแทนที่จะเป็นโมโนโครมาเตอร์ จากนั้นแสงที่ผ่านเกรตติงจะเลี้ยวเบนแยกออกจากแนวทางเดิมผ่านเข้าสู่สารตัวอย่างและอุปกรณ์ตรวจวัดแสงเป็นลำดับถัดไป โดยสารตัวอย่างและอุปกรณ์ตรวจวัดแสงนี้จะวางอยู่บนแขนพยางค์ขึ้นเดียวที่สามารถปรับตำแหน่งเชิงมุมได้ โดยจุดศูนย์กลางการหมุนจะอยู่ที่ตำแหน่งที่แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกลงบนเกรตติง ด้วยวิธีการลักษณะเช่นนี้การจัดตำแหน่งเชิงมุมจะเป็นการเลือกแสงที่ตกกระทบสารตัวอย่างโดยอาศัยสมการเกรตติง

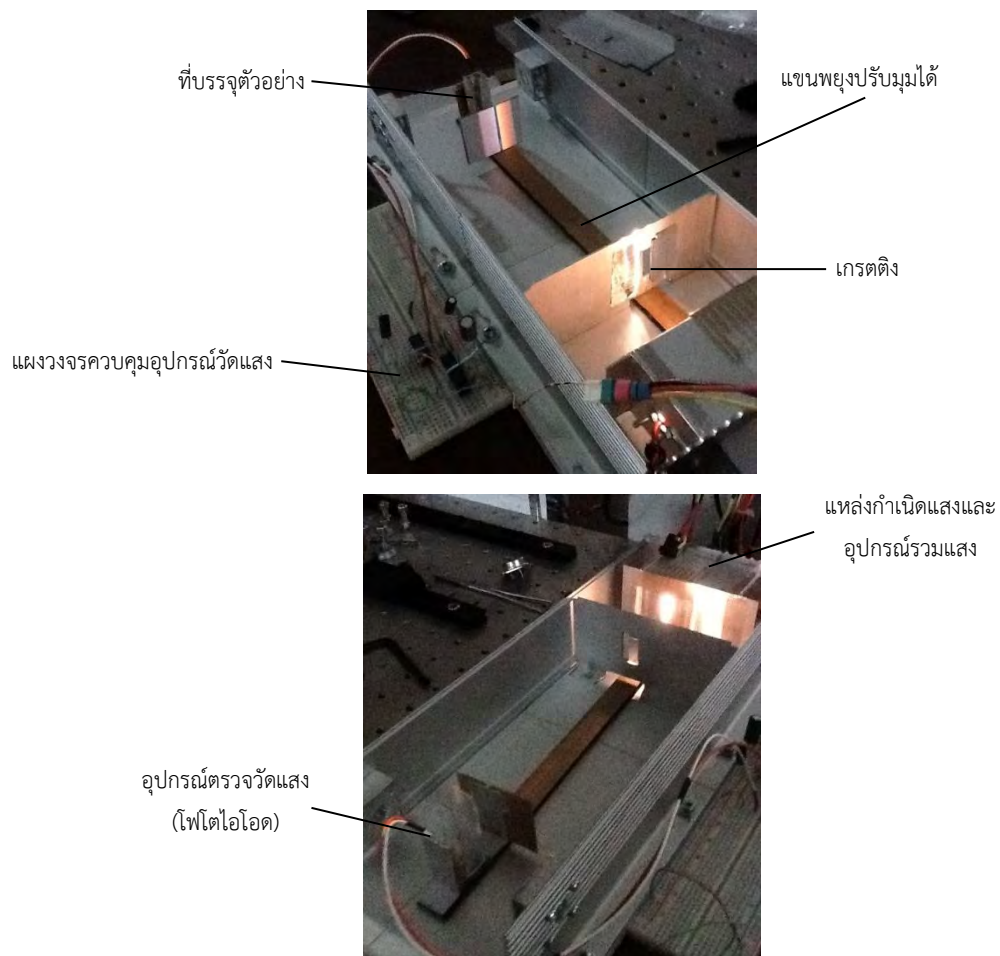
$$d \sin \theta = n\lambda$$

โดยที่ d คือจำนวนช่องเกรตติงต่อหนึ่งหน่วยความยาว θ คือมุมที่ทำกับแนวกลาง n คือลำดับของการเลี้ยวเบน (ลำดับที่ศูนย์คือแนวกลาง) และ λ คือความยาวคลื่นของแสง มีงานวิจัยหลายชิ้นเกี่ยวกับการออกแบบสเปกโตรมิเตอร์เพื่อวัดการดูดกลืนแสงที่มีลักษณะการออกอุปกรณ์ใกล้เคียงกับลักษณะเช่นนี้ ดังระบุในเอกสารอ้างอิง

บทที่ 4

ผลิตผลจากโครงการ

จากงานวิจัยที่ได้ดำเนินมาภายใต้โครงการวิจัยนี้เมื่อผ่านการปรับเปลี่ยนเป้าหมายของงานวิจัยให้สอดคล้องกับสภาวะการณ์ที่เกิดขึ้น ผลิตผลจากโครงการคืออุปกรณ์ต้นแบบสเปกโตรมิเตอร์สำหรับการวัดการดูดกลืนแสงของสารที่มีต้นทุนต่ำเพื่อการเรียนการสอน โดยลักษณะของอุปกรณ์ต้นแบบที่ได้แสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ต้นแบบสเปกโตรมิเตอร์สำหรับการวัดการดูดกลืนแสงของสาร
ต้นทุนต่ำเพื่อการเรียนการสอน

ส่วนประกอบต่างๆ ของอุปกรณ์ต้นแบบในรูปที่ 4.1 จะสอดคล้องกับแผนภาพที่แสดงในรูปที่ 3.4 นั่นคือประกอบไปด้วย

แหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์รวมแสง ใช้หลอดไฟที่ให้แสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น และมีเลนส์รวมแสงที่บริเวณด้านหน้า

เกรตติง เป็นแบบส่องผ่าน วางตัวในทิศตั้งฉากกับแนวทางเดินแสง

แขนพยางค์ปรับมุมได้ เป็นแขนที่มีจุดหมุนอยู่ที่ตำแหน่งที่แสงจากแหล่งกำเนิดตกกระทบกับเกรตติง สามารถหมุนปรับมุมได้

ที่บรรจุสารตัวอย่าง สารตัวอย่างจะบรรจุอยู่ใน cuvette และวางตัวอยู่บนแขนพยางค์ที่สามารถปรับมุมได้

อุปกรณ์ตรวจวัดแสงและแผงควบคุม เป็นโฟโตไดโอดที่รับแสงแล้วให้สัญญาณเป็นแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าแปรผันตามความเข้มแสงที่ตกกระทบ ค่าที่ได้จะอ่านโดยวงจรแผงควบคุม (วงจรบนแผงควบคุมจะถูกยุบลงไปอยู่บนวงจร IC ที่มีขนาดเล็ก สามารถบรรจุรวมเข้ากับกล่องบรรจุสเปกโตรมิเตอร์ได้ในภายหลังเมื่อเป็นอุปกรณ์ชิ้นสมบูรณ์)

ลักษณะของอุปกรณ์ต้นแบบมีขนาดที่กระทัดรัด น้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนย้ายไปมาได้สะดวก โดยความยาวของอุปกรณ์ต้นแบบอยู่ที่ความกว้าง 15 cm ยาว 40 cm และหนา 10 cm วัสดุที่ใช้เป็นอลูมิเนียมจากอลูมิเนียมแบบที่เป็นแท่งสำเร็จรูปเพื่อความสะดวกในการหาวัตถุดิบเพิ่มเติมและลดต้นทุน

ต้นทุนการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบสเปกโตรมิเตอร์สำหรับการวัดการดูดกลืนแสงนี้มีราคาอยู่ที่ไม่เกิน 8,000 บาท (ราคานี้เป็นราคาที่คิดถึงวัตถุดิบและชิ้นส่วนที่นำมาใช้สร้างเป็นสเปกโตรมิเตอร์หนึ่งเครื่อง โดยไม่รวมถึงต้นทุนที่ใช้ไปในการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบทดสอบรูปแบบเบื้องต้นอื่นๆ ก่อนที่จะมาเป็นอุปกรณ์ต้นแบบที่นำเสนอในรูปที่ 4.1 นี้) ดังนั้นถ้ารูปแบบของสเปกโตรมิเตอร์มีการสรุปเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ต้นทุนการผลิตต่อเครื่องจะต่ำลงไปกว่านี้ ยิ่งไปกว่านั้นถ้าในกรณีของการสร้างอุปกรณ์หลายชิ้นพร้อมๆ กันก็จะยิ่งช่วยให้ค่าเฉลี่ยต้นทุนต่อเครื่องลดลงยิ่งขึ้นไปอีก

การทดสอบความสามารถของอุปกรณ์ต้นแบบนั้นทำโดยการวัดสารตัวอย่างที่มีลักษณะของการดูดกลืนแสงที่ชัดเจน เช่นแท่งพลาสติกที่มีสีแดง เขียว และน้ำเงิน จากนั้นลองอ่านค่าที่ได้จากเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า ผลที่ได้ก็น่าสอดคล้องกับคุณสมบัติของสารตัวอย่างที่นำมาใช้ทดสอบอย่างเป็นที่น่าพอใจ อย่างไรก็ตามก็คิดว่าผู้วิจัยยังจำเป็นต้องทำการทดสอบกับสารตัวอย่างที่มากกว่านี้เพื่อศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์ต้นแบบในเชิงปริมาณให้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น

ภายหลังจากการทดสอบเพิ่มเติมและการนำส่วนประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ มาควบรวมเข้ากับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อย่างสมบูรณ์แล้ว ผู้วิจัยคาดว่าผลผลิตที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้จริงและสามารถจดทะเบียนสิทธิบัตรได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการออกแบบระบบทัศนศาสตร์เพื่อการวัดสเปกโตรสโคปีแบบผสม

สำหรับการออกแบบระบบทัศนศาสตร์เพื่อการวัดสเปกโตรสโคปีแบบผสมถือว่าผู้วิจัยไม่ประสบความสำเร็จ โดยมีอุปสรรคสำคัญอันเนื่องมาจากความสามารถในการสร้างระบบทัศนศาสตร์ที่มีขีดความสามารถในระดับที่ใช้ในงานวิจัยด้วยงบประมาณที่นำเสนอไปนั้นไม่เพียงพอต่อการจัดสร้างให้เป็นระบบที่สมบูรณ์ได้ โดยอุปสรรคหลักที่เป็นอุปสรรคอย่างยิ่งคือการสร้างโมโนโครมาเตอร์และการสร้างระบบที่ทำงานคู่กันระหว่างแถบ CCD สำเร็จรูปที่สั่งซื้อเข้ามากับระบบไฟเบอร์ออปติกส์ โดยอุปสรรคสำคัญคือไม่สามารถสร้างฮาร์ดแวร์มาทำให้อุปกรณ์ทั้งสองอยู่ในลักษณะที่นำไปใช้ได้โดยผู้ทั่วไป

5.2 สรุปผลการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบสเปกโตรมิเตอร์ต้นทุนต่ำสำหรับการวัดการดูดกลืนแสงเพื่อการเรียนการสอน

เมื่อเป้าหมายของการสร้างระบบทัศนศาสตร์เพื่อการวัดสเปกโตรสโคปีแบบผสมถูกเปลี่ยนไปเป็นการสร้างสเปกโตรมิเตอร์เพื่อใช้ทางด้านการศึกษา เป้าหมายของงานวิจัยจึงเบนไปยังการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบสเปกโตรมิเตอร์เพื่อใช้ในการวัดการดูดกลืนแสงที่มีต้นทุนต่ำสำหรับการใช้ในการเรียนการสอน โดยยังคงมีคุณสมบัติความเป็นสเปกโตรมิเตอร์สำหรับวัดการดูดกลืนแสงที่พบในอุปกรณ์ระดับงานวิจัยอย่างครบถ้วน นอกจากนี้ยังช่วยให้นักเรียน นักศึกษาผู้ใช้อุปกรณ์สามารถเห็นหลักการทำงานภายในอย่างชัดเจน และมีโอกาสได้นำเอาความรู้ฟิสิกส์พื้นฐานที่ได้เรียนมาแล้วมาลองใช้กับอุปกรณ์นี้อีกด้วย ซึ่งน่าจะช่วยเพิ่มให้ความรู้ความเข้าใจในการใช้เทคนิคด้านสเปกโตรสโคปีแบบดูดกลืนแสงได้เป็นอย่างดี

ผู้วิจัยสามารถสร้างอุปกรณ์ต้นแบบสเปกโตรมิเตอร์ต้นทุนต่ำดังที่ได้กล่าวไปเป็นที่สำเร็จ โดยลักษณะของอุปกรณ์ต้นแบบแสดงดังในรูปที่ 4.1 ต้นทุนในการสร้างชิ้นต้นแบบนี้ต่ำกว่า 8,000 บาท โดยที่มีขนาดกระทัดรัด และน้ำหนักเบา สามารถเปิดให้เห็นส่วนประกอบภายในได้อย่างชัดเจน โดยจากการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบนี้สามารถใช้งานได้จริงกับสารตัวอย่างที่นำมาใช้ทดสอบ

งานในอนาคตสำหรับอุปกรณ์ต้นแบบนี้คือทำการทดสอบกับสารตัวอย่างที่มากขึ้น พร้อมกับทำให้ชิ้นส่วนต่างๆ ประกอบรวมเข้ากับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ให้เป็นชิ้นเดียวกันเพื่อพร้อมต่อการนำไปใช้งานในชั้นเรียน โดยคาดหวังว่าการออกแบบที่ได้จากงานวิจัยนี้น่าจะให้ผลผลิตที่เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำไปใช้ได้จริงและสามารถนำไปจดทะเบียนสิทธิบัตรได้ในลำดับถัดไป

5.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.2.1 ปัญหาเกี่ยวกับการสร้างอุปกรณ์ด้วยตัวเองในระดับงานวิจัยภายในประเทศนั้นเป็นไปได้ อย่างยากลำบาก หรือถ้าทำได้ก็ไม่สมเหตุผลทางการเงิน อันจะทำให้ต้นทุนในการสร้างสูงกว่าที่จะ ทำให้อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเองนั้นมีคุณสมบัติที่น่าสนใจกว่าการซื้อจากผู้ผลิตรายใหญ่

5.2.2 วัตถุดิบต่างๆ ยังคงต้องมาจากต่างประเทศ ถึงแม้ว่าจะมีส่วนประกอบหลายส่วนสามารถ จัดหาได้ภายในประเทศ แต่ยังคงมีส่วนประกอบอีกเป็นจำนวนมากที่ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ จึงทำให้ ยังคงมีความซ้ำและยากลำบากต่อการปรับเปลี่ยนรูปแบบการสร้างให้เป็นไปอย่างทันท่วงที อย่างไรก็ตาม ด้ ลักษณะการค้าขายในปัจจุบันนั้นดีขึ้นมากกว่าในช่วงหลายปีที่ผ่านมา นอกจากนั้นผู้ผลิตทางฝั่งเอเชียก็เริ่ม ที่จะผลิตผลิตภัณฑ์มาตรฐานใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์จากฝั่งตะวันตกมากขึ้น ดังนั้นคิดว่าโครงการในลักษณะ เช่นนี้สามารถทำได้ในปัจจุบันด้วยประสิทธิภาพที่สูงขึ้นกว่าที่เวลาที่ดำเนินโครงการนี้ในขณะแรก หลายเท่าตัว

เอกสารอ้างอิง

Daniel R. Albert , Michael A. Todt , and H. Floyd Davis., (2012) “A Low-Cost Quantitative Absorption Spectrophotometer”, Journal of Chemical Education, 2012, 89 (11), 1432–1435

Tai-Sheng Yeh and Shih-Shin Tseng., (2006) “A Low Cost LED Based Spectrometer”, Journal of Chinese Chemical Society, 2006, 53, 1067-1072

Kevin Knagge and Daniel Raftery., (2002) “Construction and Evaluation of a LEGO Spectrophotometer for Student Use”, Chemical Educator, 2002, 7, 371-375

Martin Kocanda, Bryn M. Wilke and David S. Ballantine., (2010) “Using Lego Mindstorms Nxt™ Robotics Kits As A Spectrophotometric Instrument”, International Journal On Smart Sensing And Intelligent Systems, 2010, 3 (3), 400-410

ภาคผนวก

โมโนโครมาเตอร์แบบพื้นฐานจาก Oriel Instruments (Newport)

Oriel
INSTRUMENTS
A Newport Corporation Brand

Mini Monochromator



78024 Mini Monochromator

- Low cost, very compact instruments for general spectroscopy applications
- 74 mm focal length, moderate resolution
- Manual and stepping motor driven models
- VIS - NIR (190 nm to 1.2 μm) models
- Optional VIS-NIR light source

The Oriel Mini-monochromators are low cost, compact and simple-to-use instruments for moderate resolution applications and are ideal for general laboratory experiments and educational studies covering fixed wavelength ranges and not requiring sub-nanometer resolutions. The focal length of these instruments is 74 mm; the F/# is 3.9.

For demanding spectroscopy applications, please refer to our long focal length, <REF=145071>high resolution bench-top instruments.</hrefend/>

Manual and Motorized Versions

Oriel offers two families of Mini Monochromators:

Manual Monochromators

These models have a knurled knob, which causes a precision lead screw/sine bar mechanism to rotate the grating. A digital counter displays the wavelength in nanometers, to 0.2 nm.

Motorized Monochromators

For scanning applications, we recommend that you choose a motorized monochromator. These instruments use a stepping motor driven by an external motor controller with a USB interface. Included with the controller is an application program with over 25 commands to control a variety of operations of the grating drive. These motorized models also include a manual drive and a digital counter that displays the wavelength to 0.2 nm.

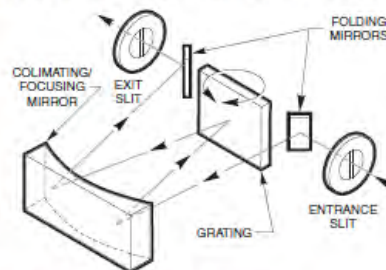


Fig. 1 Optical configuration of Mini Monochromator

Optical Configuration

Fig. 1 shows the Ebert-Fastie design of these monochromators. Full spectrum radiation is focused at the entrance slit and reflected by a folding mirror onto a spherical collimating/focusing mirror. This mirror collimates the radiation and directs it onto the grating, where it is diffracted.

Once diffracted, the radiation is directed back to the collimating/focusing mirror, and a segment of the dispersed radiation is focused at the exit slit via a second folding mirror.

Resolution

The resolution of the instrument is a function of its focal length, the dispersion of the grating, the width of the entrance and exit slits, and to a lesser degree, wavelength. As standard models, these instruments include two 300 μm x 4 mm slits. You can increase the resolution by using narrower slits. Request different slits at the time of purchase, or purchase extra sets so you can vary the throughput and resolution. The slits are easily interchangeable. Table 1 shows the resolutions possible with the standard and optional slits.

Table 1 Resolution of Mini Monochromators

Instrument's Usable Wavelength Range	Linear Dispersion (nm/mm)	Resolution with These Slits (nm)*					
		50 μm	100 μm	150 μm	300 μm	600 μm	1000 μm
190 - 650 nm	5.54	0.28	0.55	0.83	1.66	3.32	5.54
200 - 800 nm	7.41	0.37	0.74	1.11	2.22	4.44	7.41
300 - 800 nm	7.21	0.36	0.72	1.08	2.16	4.32	7.21
500 nm - 1.2 μm	11.29	0.56	1.13	1.69	3.39	6.77	11.29

*Instruments include 300 μm x 4 mm slits; other slit sizes are available as options.
Resolution = (slit width) X (linear dispersion)

Optional Accessories

Oriel offer various accessories specifically for these Mini Monochromators (note: these accessories cannot be used with our fully featured instruments.)

USB2.0 CCD Line Camera with External Trigger

Features

Hardware Features

- 3000 Pixel Silicon Linear CCD Array (7 μm x 200 μm Pixel Size)
- 12-Bit A/D Converter for High Intensity Resolution
- High Scan Rate (up to 190 scans/second)
- Optical Integration Time Adjustable from 1 μs to 200 ms
- Ext. Trigger Capability via BNC Input
- USB2.0 (480 Mb/s) and USB1.1 (12 Mb/s) Compatible
- No External Power Requirements

Software Features

- Real-Time Spectrum Measurement
- Zooming, Absorbance, Transmittance, and Relative Difference Measurements
- Gaussian Fitting Routines
- User-Defined, Real-Time Routines
- Compatible with Windows 2000/XP/Vista
- NI LabWindows/CVI™, NI LabVIEW™, MS Visual C++™, and Borland C++™



LC1-USB

Thorlabs' CCD Line Cameras have several advantages over their area-array counterparts, including high optical linear resolution. This allows system developers to use the cameras to capture two-dimensional (2D) images by moving the object or the CCD perpendicularly to the scan line. In the past, the lack of high-speed camera interfaces limited the choice to black and white camera arrays. To overcome this obstacle, Thorlabs introduced its LC1-USB Line Camera, a black and white line camera based on a single-line, 3000 pixel CCD chip with a USB2.0 (480 Mb/s) and USB1.1 (12 Mb/s) interface. The LC1-USB is a compact, plug-and-play, linear camera that is ideal for a variety of applications in industry process control, optics, biology, spectroscopy, and reflection imaging. The camera is based on a linear CCD array housed in a 3.60" x 2.60" x 1.00" (91.4 mm x 66.0 mm x 25.4 mm) enclosure. Setting up the LC1-USB Line Camera is very easy; the user simply installs the latest version of the operating software onto any desktop or notebook PC and then connects the USB cable from the line camera to the PC, eliminating the need for installing a DAQ card.

The LC1-USB accepts the NFM1LC1 F-Mount Adapters for interfacing to standard camera lenses. It has tapped holes (#4-40) at the front plate for easy connection to Thorlabs' 30 mm Cage Assemblies, allowing the user to integrate optical components in front of the camera. The LC1-USB also has five #8-32 and four M4-0.7 threaded mounting holes.

NFM1LC1

The NFM1LC1 is designed to adapt F-Mount based lens systems easily to our popular LC1-USB CCD Line Camera. It is ideal for applications requiring an adjustable zoom and focal length for imaging on the line camera.



For other F-Mount Adapters