	ال ب	บรับรองวิทย	ะ ภานิพนธ์ ้	
	บัณฑ์ตว์ท	ยาลัย มหาวทย	าลัยเกษตรศาสตร์	
	<u>ີ</u> ວິກ	ยาศาสตรมหาบัณ เจ	เฑิต (ฟิสิกส์)	
		ปรญญา		
	ฟิสิกส		ฟสกส	41
	ត ២ រ		1 Q.F 141 1.P	
เรื่อง ก	ารศึกษาองค์ประกอบเ	ทางเคมิที่มีผลต่อส้	iักษณะเฉพาะทางการวาวแสงของไม้	
St	udy of Effective Cher	nical Component	on Characteristics of Wood Fluorescence	
S	pectra			
	นางสาวพุทธธิดา ร	ชัยสวัสดิ์		
นามผู้วิจัย				
นามผู้วิจัย ได้พิจารณา	เห็บหอบโดย			
นามผู้วิจัย ได้พิจารณา	เห็นชอบโดย ร้องเอวิทยาวิทยาร์เวรัง			
นามผู้วิจัย ได้พิจารณา อาจารย์ที่ป <i>ี</i>	เห็นชอบโดย รักษาวิทยานิพนธ์หลัก)
นามผู้วิจัย ได้พิจารณา อาจารย์ที่ป <i>ี</i>	เห็นชอบโดย รี้กษาวิทยานิพนธ์หลัก	(e	บาจารย์อภิชาติ พัฒนโภครัตนา, Ph.D.)
นามผู้วิจัย ได้พิจารณา อาจารย์ที่ป ^ะ	เห็นชอบโดย รึ่กษาวิทยานิพนธ์หลัก หัวหน้าภาควิชา	(ê	บาจารย์อภิชาติ พัฒนโภครัตนา, Ph.D.)
นามผู้วิจัย ได้พิจารณา อาจารย์ที่ป	เห็นชอบโดย รี้กษาวิทยานิพนธ์หลัก หัวหน้าภาควิชา	(บาจารย์อภิชาติ พัฒนโภครัตนา, Ph.D. อาจารย์วิวัฒน์ วงศ์ก่อเกื้อ, วท.ค.)

(_____รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.____) คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

.....

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่มีผลต่อลักษณะเฉพาะทางการวาวแสงของไม้

Study of Effective Chemical Component on Characteristics of Wood Fluorescence Spectra

โดย

นางสาวพุทธธิดา ชัยสวัสดิ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์) พ.ศ. 2555 พุทธธิดา ชัยสวัสดิ์ 2555: การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่มีผลต่อลักษณะเฉพาะ ทางการวาวแสงของไม้ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์) สาขาฟิสิกส์ ภาควิชา ฟิสิกส์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์อภิชาติ พัฒนโภครัตนา, Ph.D. 165 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่มีผลต่อลักษณะเฉพาะทางการ ้วาวแสงของไม้สักและไม้เนื่ออ่อนอื่นๆที่ใช้ในอุตสาหกรรมไม้ของประเทศไทย โดยไม้ตัวอย่าง ถกทำให้เป็นผงไม้ แล้วสกัดสารแทรกออกโดยเครื่องซอกห์เลต (soxhlet extraction) หลังจากนั้น ้นำไม้ที่ไม่มีสารแทรกไปสกัคลิกนินและ โฮโลเซลลูโลส แล้วนำผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก ้โฮโลเซลลูโลส และลิกนิน จากไม้ตัวอย่างแต่ละชนิคมาวัคสเปกตรัมวาวแสงเพื่อเปรียบเทียบการ ตอบสนองต่อการกระตุ้นด้วยแสงกวามยาวกลื่น 365, 395 และ 532 nm รวมทั้งวัคสเปกตรัมของ ตัวอย่างด้วยเครื่อง ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectroscopy; FTIR) โดยใช้เทคนิคการสะท้อนกลับหมดของแสง (Attenuated Total Reflectance: ATR) แล้วเปรียบเทียบกับสเปกตรัมจากผงไม้นั้น ผลการศึกษาพบว่าสเปกตรัมวาวแสงของโฮโล เซลลูโลสในไม้ตัวอย่างทุกชนิดมีลักษณะเหมือนไม้ต้นแบบที่กระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 532 nm อีกทั้งแสดงลักษณะเฉพาะทางการวาวแสงในแต่ละไม้ตัวอย่างอย่างเห็นได้ชัดต่างจากสเปกตรัม ้วาวจากการกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 365 และ 395 nm ที่สเปกตรัมวาวแสงของโฮโลเซลลูโลสมี ้ลักษณะไม่แตกต่างกันมาก นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อใช้แสงกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 365 nm สเปกตรัมการวาวแสงของโฮโลเซลลูโลสโดยส่วนใหญ่จะแตกต่างจากสเปกตรัมวาวแสงของผง ้ไม้นั้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อนำสเปกตรัมวาวแสงที่ได้จากแต่ละความยาวคลื่นมาวิเคราะห์ องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis; PCA) พบว่า ที่ความยาวคลื่น 365 และ 532 nm ้สามารถแยกผงแก่นไม้สักอายุ 15 และ 30 ปี ออกจากผงไม้เนื้ออ่อนชนิคอื่นได้ แต่มีเพียงความยาว คลื่น 532 nm เท่านั้น ที่สามารถแยกโฮโลเซลลูโลสของแก่นไม้สักอายุ 15 และ 30 ปี ออกจากไม้ เนื้ออ่อนชนิดอื่นได้อย่างชัดเจน

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Phuttatida Chaisawas 2012: Study of Effective Chemical Component on Characteristics of Wood Fluorescence Spectra. Master of Science (Physics), Major Field: Physics, Department of Physics. Thesis Advisor: Mr. Apichart Pattanaporkratana, Ph.D. 165 pages.

This research aimed to study effective chemical components that characterized the fluorescence spectra of teak and soft woods used in furniture industry in Thailand. The wood sample were grinded to powder and removed extractives by soxhlet extraction. Lignin and holocellulose were then separately extracted from extractive - free samples. The fluorescence spectra excited by various light sources with wavelength of 365, 395 and 532 nm, and the transmission spectra from Fourier transforms infrared spectroscopy (FTIR) with attenuated total reflectance (ATR) were recorded and compared to the original wood powders. The result showed that the fluorescence spectra of holocellulose samples from the extraction wavelength of 532 nm were very similar to those of the original wood powders. The spectral shapes also showed dissimilarity between each sample. The spectra of holocellulose samples when excited by the wavelength of 365 and 395 nm and the FTIR spectra, on the other hand, looked similar and hard to differentiate. When excited by the 365 nm light, the fluorescence spectra of the holocellulose samples mostly showed some differences from those of the original wood powders. When the samples were statistically analyzed for similarity using Principle Component Analysis (PCA), the results showed that the original teak – powdered spectra when excited by wavelength of 365 and 532 nm were differentiable from those other soft woods. However, only the holocellulose spectra of teaks excited by the wavelength 532 nm were found to be differentiable.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของ คร.อภิชาติ พัฒนโภครัตนา ประธาน กรรมการที่ปรึกษาหลักที่ได้เสียสละเวลา ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาแนะนำด้านต่างๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขข้อบกพร่อง ตั้งแต่เริ่มต้น จนกระทั่งเขียนวิทยานิพนธ์สำเร็จเป็นรูปเล่ม ข้าพเจ้า ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

งอกราบงอบพระคุณ ดร. ไพบูลย์ ศรีอรุโณทัย ผู้ทรงคุณวุฒิ และ ผศ.ดร. สุธี บุญช่วย ประธานการสอบ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ตรวจแก้ไงปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้อง สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.พิทักษ์ เชื้อวงศ์ ห้องปฏิบัติการ PC ภาควิชาเคมี คณะ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก ในด้านการเตรียมตัวอย่างในทุกขั้นตอนแก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้อบรมสั่งสอนวิชาความรู้ วิชาการ และให้ความช่วยเหลือมาโดย ตลอด

ขอขอบคุณ โครงการสร้างขีดความสามารถด้านการวิจัยและพัฒนา และการแข่งขันของ ภาคอุตสาหกรรม โดยกล ใกความร่วมมือระหว่างภาครัฐ เอกชนและมหาวิทยาลัย (U-IRC) จาก สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ได้มอบทุนการศึกษาในปี 2551-2552

ขอขอบพระคุณบิคา มารคา พี่ น้องและครอบครัวที่ให้กำลังใจ การสนับสนุนในทุก ๆ ค้าน ตลอคระยะเวลาที่ได้เข้ารับการศึกษาในมหาวิทยาลัยแห่งนี้ และสุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ๆ ที่ภาควิชาฟิสิกส์ และห้องปฏิบัติการ PC ภาควิชาเคมี ทุกคน สำหรับคำปรึกษา ความช่วยเหลือ แรงกายและกำลังใจที่มีให้เสมอมา

> พุทธธิดา ชัยสวัสดิ์ พฤษภาคม 2555

สารบัญ

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
กำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	24
วัสดุและอุปกรณ์	24
วิธีการวิจัย	26
ผลและวิจารณ์	34
สรุป	155
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	157
ภาคผนวก	161
ภาคผนวก ก น้ำหนักองค์ประกอบทางเคมีของไม้และตัวอย่างการคำนวณ	162
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	165



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าองค์ประกอบทางเคมีในไม้ต่างๆ	34
2	ค่าสัคส่วนความแปรปรวนและสัคส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบ	
	หลักจากการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสงของไม้และผงไม้ที่ปรับความเข้มแสง	
	บริเวณยอด วัดด้วยกวามยาวกลิ่น 532 nm โดยใช้ PCA	37
3	ค่าสัคส่วนความแปรปรวนและสัคส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบ	
	หลักจากการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ วัคด้วยความยาวคลื่น 532 nm	
	โดยใช้ PCA	57
4	ค่าสัคส่วนความแปรปรวนและสัคส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบ	
	หลักจากการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ที่สกัดสารแทรกออก วัคด้วย	
	ความยาวคลื่น 532 nm โดยใช้ PCA	57
5	ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัคส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบ	
	หลักจากการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสงของโฮโลเซลลูโลส วัคด้วยความยาว	
	คลื่น 532 nm โดยใช้ PCA	58
6	ค่าสัคส่วนความแปรปรวนและสัคส่วนความแปรปรวนสะสมขององก์ประกอบ	
	หลักจากการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสงของถิกนิน วัดด้วย ความยาวคลื่น 532	
	nm โดยใช้ PCA	58
7	ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัคส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบ	
	หลักจากการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสงของไม้และผงไม้ที่วัคโดยใช้ความยาว	
	คลื่น 395 nm โดยใช้ PCA	72
8	ค่าสัคส่วนความแปรปรวนและสัคส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบ	
	หลักจากการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ วัคด้วย ความยาวคลื่น 395	
	nm โดยใช้ PCA	92
9	ค่าสัคส่วนความแปรปรวนและสัคส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบ	
	หลักจากการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก วัคด้วย	
	ความยาวคลื่น 395 nm โดยใช้ PCA	92

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
10	ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบ หลักจากการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสงของโฮโลเซลลูโลส ที่วัดด้วยความยาว	
11	กลน 395 nm โดยโช PCA ค่าสัคส่วนความแปรปรวนและสัคส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบ หลักจากการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสงของลิกนินที่วัคด้วยความยาวคลื่น 395	93
12	nm โดยใช้ PCA ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบ หลักจากการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ ที่วัดด้วยความยาวกลื่น 365	93
13	nm โดยใช้ PCA ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบ หลักจากการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ที่สกัดสารแทรกออก ที่วัดด้วย	122
14	ความยาวคลื่น 365 nm โดยใช้ PCA ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบ หลักจากการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสงของโฮโลเซลลูโลส ที่วัดด้วยความยาว	122
15	กลิ่น 365 nm โดยใช้ PCA ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบ หลักของผงไบ้ ที่วัดเครื่อง FTIR โดยใช้ PCA	123
16	แสดงค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัดส่วนความแปรปรวนสะสมของ องค์ประกอบหลักของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก ที่วัดเครื่อง FTIR โดยใช้ PCA	134
17	ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบ หลักของโฮโลเซลลูโลส วัคเครื่อง FTIR โคยใช้ PCA	134
18	ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบ หลักของลิกนินวัดเครื่อง FTIR โดยใช้ PCA	135
19	ความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นกับหมู่พันธะต่างๆ	144

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่

ก 1 ค่าบนองค์ประกอบหลัก PCA 1 ของไม้และผงไม้จำนวน 8 ชนิด ด้วยความยาว คลื่น 532 nm



163

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส	4
2	โครงสร้างเฮมิเซลลูโลสในไม้เนื้ออ่อน	4
3	โครงสร้างทางเคมีของ (ก) p-coumary alcohol (ข) coniferyl alcohol (ค) sinapyl	
	alcohol	5
4	โครงสร้างโมเลกุลของลิกนินในไม้เนื้ออ่อน	6
5	โครงสร้ำง (ก) biphenyl (ง) stilbene และ (ก) phenylcoumarone	7
6	การเปลี่ยนสภาวะเมื่อโมเลกุลดูดกลืนคลื่นแสง (A) เป็นการเปลี่ยนสภาวะการ	
	หมุน ในช่วงอินฟราเรคย่านไกลและช่วงไมโครเวฟ (B) เป็นการเปลี่ยนสภาวะ	
	ระหว่างการหมุนและการสั่นในช่วงอินฟราเรคย่านใกล้ (C) เป็นการเปลี่ยนสภาวะ	
	ระหว่างการหมุน การสั่น และการเปลี่ยนสภาวะอิเล็กตรอนในโมเลกุลในช่วง	
	อัลตราไวโอเลตและวิสิเบิล	10
7	แผนภาพของระดับพลังงานที่เกิดขึ้นของขบวนการดูดกลืนและผ่อนคลาย	12
8	การสั่นของโมเลกุล	15
9	ลำแสงที่ผ่านเข้าตัวอย่าง เป็นระยะทาง dx	16
10	ทางเดินแสงในระบบ ATR	19
11	กรวยรับแสงและมุมรับแสงของเส้นใยนำแสง	20
12	ทางเดินแสงในเส้นใยนำแสง	21
13	แผนภาพไคอะแกรมชุคอุปกรณ์ LIF เลเซอร์ไคโอค ความยาวคลื่น 532 nm	28
14	แผนภาพใดอะแกรมชุดอุปกรณ์ LIF ใฟฉายหลอดแอลอีดี ความยาวคลื่น 395 nm	29
15	แผนภาพใดอะแกรมชุดอุปกรณ์ LIF โดยใช้หลอดปรอทเป็นแหล่งกำเนิดแสง	
	เลือกความยาวคลื่น 365 nm	30
16	สเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอค ความยาวกลื่น 532 nm ที่วัดโดยใช้โปรแกรม	
	SpectraSuite	35
17	สเปกตรัมวาวแสงของไม้และผงไม้จำนวน 8 ชนิด วัดด้วยความยาวกลื่น 532 nm	
	(ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอค	36

ภาพที่		หน้า
18	แผนภาพการกระจายจากวิเคราะห์วิธีองค์ประกอบหลักระหว่าง PCA 1 Axis 1 กับ	
	PCA 1 Axis 2 ของไม้และผงไม้จำนวน 8 ชนิด ด้วยความยาวคลื่น 532 nm	38
19	กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 1 และ 2 ของไม้และผงไม้ ด้วย	
	ความยาวคลื่น 532 nm	38
20	สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้สักอายุ 30 ปี ด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับ	
	ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	41
21	สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้สักอายุ 15 ปี ด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับ	
	ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	42
22	สเปกตรัมวาวแสงของกระพี้ไม้สักอายุ 15 ปี วัคด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่	
	ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	43
23	สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้จามจุรี วัคด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับ	
	ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	44
24	สเปกตรัมวาวแสงของกระพี้ไม้จามจุรี วัคด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับ	
	ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอค	45
25	สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้นนทรี วัคด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับ	
	ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	46
26	สเปกตรัมวาวแสงของกระพี้ไม้นนทรี ด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับ	
	ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	47
27	สเปกตรัมวาวแสงของไม้ทุเรียน ด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความเข้ม	
	แสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอค	48
28	สเปกตรัมวาวแสงของไม้ยูกาลิปตัส ด้วยความยาวกลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความ	
	เข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอค	49
29	สเปกตรัมวาวแสงของไม้สยาเหลือง ด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความ	
	เข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอค	50
30	สเปกตรัมวาวแสงของไม้ป๊อปลาร์ ด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความ	
	เข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	51

ภาพที่		หน้า
31	สเปกตรัมวาวแสงของไม้ยางแดง ด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความ	
	เข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	52
32	สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้จำนวน 12 ชนิค วัคค้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก)	
	ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	53
33	แผนภาพการกระจายจากการวิเคราะห์วิธีองค์ประกอบหลักระหว่าง PCA 1	
	Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของผงไม้จำนวน 12 ชนิด วัดด้วยความยาวกลื่น 532	
	nm (ก) ใม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอค	54
34	กราฟแสดงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่	
	2 ของผงไม้ที่วัดด้วยความยาวคลื่น 532 nm	55
35	สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ที่สกัดสารแทรกออกจำนวน 12 ชนิด ด้วยความยาว	
	คลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	56
36	กราฟแสดงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่	
	2 ของผงไม้ที่วัคด้วยความยาวคลื่น 532 nm	62
37	กราฟแสดงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่	
	2 ของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก วัคด้วยความยาวคลื่น 532 nm	63
38	กราฟแสคงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่	
	2 ของโฮโลเซลลูโลส วัคค้วยความยาวกลื่น 532 nm	64
39	กราฟแสคงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่	
	2 ของลิกนิน วัดค้วยกวามยาวกลื่น 532 nm	65
40	แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis	
	2 ของผงไม้จำนวน 12 ชนิด ด้วยความยาวกลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความเข้ม	
	แสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	66
41	แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis	
	2 ของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกจำนวน 12 ชนิค ด้วยความยาวคลื่น 532 nm	
	(ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	67

(7)

ภาพที่		หน้า
42	แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของโฮโลเซลลูโลสของไม้จำนวน 12 ชนิด วัดด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่	(0)
43	บรบความเขมแสง (ข) บรบความเขมแสงบรเวณยอด แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2	68
	ของลิกนินของไม้จำนวน 12 ชนิด วัดด้วยความยาวกลืน 532 nm (ก) ไม่ปรับความ เข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	69
44	สเปกตรัมของหลอดไฟฉายแอลอีดีที่วัดโดยใช้โปรแกรม SpectraSuite	70
45	้ สเปกตรัมวาวแสงของไม้และผงไม้จำนวน 8 ชนิค โคยใช้ความยาวกลื่น 395 nm	
	(ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	71
46	แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA ระหว่าง PCA 1 Axis 1 กับ	
	PCA 1 Axis 2 ของไม้และผงไม้จำนวน 8 ชนิค โดยใช้ความยาวกลื่น 395 nm	72
47	กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 1 และ 2 ของไม้และผงไม้ ที่วัด	
	โดยใช้กวามยาวกลิ่น 395 nm	73
48	สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้สักอายุ 30 ปี วัคโคยใช้กวามยาวกลื่น 395 nm (ก)	
	ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอค	76
49	สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้สักอายุ 15 ปี วัคโคยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก)	
	ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	77
50	สเปกตรัมวาวแสงของกระพี้ไม้สักอายุ 15 ปี วัคโคยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก)	
	ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	78
51	สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้จามจุรี วัคโดยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับ	
	ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	79
52	สเปกตรัมวาวแสงของกระพี่ไม้จามจุรี วัคโคยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่	
	ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอค	80
53	สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้นนทรี วัคโคยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับ	
	ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	81

ภาพที่		หน้า
54	สเปกตรัมวาวแสงของกระพี่ไม้นนทรี วัคโดยใช้ความยาวกลื่น 395 nm (ก) ไม่	
	ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	82
55	สเปกตรัมวาวแสงของไม้ทุเรียน วัคโคยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับ	
	ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	83
56	สเปกตรัมวาวแสงของไม้ยูกาลิปตัส วัคโคยใช้ความยาวกลื่น 395 nm (ก) ไม่	
	ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	84
57	สเปกตรัมวาวแสงของไม้สยาเหลือง วัคโคยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่	
	ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	85
58	สเปกตรัมวาวแสงของไม้ป้อปลาร์ วัดโคยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับ	
	ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	86
59	สเปกตรัมวาวแสงของไม้ยางแคง วัคโคยใช้ความยาวกลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับ	
	ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	87
60	สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ 12 ชนิด วัดโดยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่	
	ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	88
61	สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกจำนวน 12 ชนิด วัคโดยใช้	
	ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณ	
	ยอด	89
62	สเปกตรัมวาวแสงของโฮโลเซลลูโลสของไม้จำนวน 12 ชนิค วัคโคยใช้ความ	
	ยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	90
63	สเปกตรัมวาวแสงของลิกนินของไม้จำนวน 12 ชนิด วัดโดยใช้กวามยาวกลื่น	
	395 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	91
64	กราฟแสดงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่	
	2 ของผงไม้ที่วัดด้วยความยาวกลื่น 395 nm	97
65	กราฟแสดงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่	
	2 ของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกที่วัคค้วยความยาวกลื่น 395 nm	98

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

(9)

ภาพที่		หน้า
66	กราฟแสดงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่	
	2 ของโฮโลเซลลูโลส ที่วัดด้วยความยาวกลื่น 395 nm	99
67	กราฟแสคงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่	
	2 ของลิกนิน ที่วัคด้วยความยาวกลื่น 395 nm	100
68	แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis	
	2 ของผงไม้ 12 ชนิด วัคโดยใช้ความยาวกลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง	
	(ง) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	101
69	แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis	
	2 ของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกจำนวน 12 ชนิด วัดโดยใช้ความยาวคลื่น 395	
	nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	102
70	แผนภาพการกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของโฮโล	
	เซลลูโลสของไม้จำนวน 12 ชนิด วัคโคยความยาวกลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับ	
	ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	103
71	แผนภาพการกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของลิกนินของ	
	ใม้จำนวน 12 ชนิด วัคโดยใช้ความยาวกลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง	
	(ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	104
72	สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้สักอายุ 30 ปี วัคโคยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก)	
	ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	107
73	สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้สักอายุ 15 ปี วัคโคยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก)	
	ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	108
74	สเปกตรัมวาวแสงของกระพี่ไม้สักอายุ 15 ปี วัคโคยใช้ความยาวคลื่น 365 nm	
	(ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	109
75	สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้จามจุรี วัคโคยใช้กวามยาวกลื่น 365 nm (ก) ไม่	
	ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอค	110
76	สเปกตรัมวาวแสงของกระพี่ไม้จามจุรี วัคโคยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่	
	ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอค	111

ลิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

(10)

ภาพที่		หน้า
77	สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้นนทรี วัคโดยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับ	
	ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	112
78	สเปกตรัมวาวแสงของกระพี้ไม้นนทรี วัคโคยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่	
	ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	113
79	สเปกตรัมวาวแสงของไม้ทุเรียน วัคโดยใช้ความยาวกลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับ	
	ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	114
80	สเปกตรัมวาวแสงของไม้ยูกาลิปตัส วัคโคยใช้ความยาวกลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับ	
	ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	115
81	สเปกตรัมวาวแสงของไม้สยาเหลือง วัคโคยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับ	
	ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	116
82	สเปกตรัมวาวแสงของไม้ป๊อปลาร์ วัคโคยใช้ความยาวกลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับ	
	ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	117
83	สเปกตรัมวาวแสงของไม้ยางแคง วัคโคยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับ	
	ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	118
84	สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ 12 ชนิค วัคโคยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับ	
	ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	119
85	สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกจำนวน 12 ชนิด วัดโดยใช้ความ	
	ยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	120
86	สเปกตรัมวาวแสงของโฮโลเซลลูโลสของไม้จำนวน 12 ชนิค วัคโคยใช้ความยาว	
	คลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	121
87	กราฟแสดงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่ 2	
	ของผงไม้ที่วัคด้วยความยาวกลิ่น 365 nm	126
88	กราฟแสดงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่ 2	
	ของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก วัคด้วยความยาวคลื่น 365 nm	127
89	กราฟแสดงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่ 2	
	ของโฮโลเซลลูโลสวัควัคค้วยความยาวคลื่น 365 nm	128

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ภาพที่		หน้า
90	แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของผงไม้ 12 ชนิด วัดโดยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด	129
91	แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกจำนวน 12 ชนิด วัดโดยใช้ความยาวคลื่น 365 nm	
	(ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอค	130
92	แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของโฮโลเซลลูโลสของไม้จำนวน 12 ชนิด วัดโดยใช้กวามยาวกลื่น 365 nm (ก)	
	ไม่ปรับกวามเข้มแสง (ข) ปรับกวามเข้มแสงบริเวณยอด	131
93	สเปกตรัมความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่งผ่านแสงและเลขคลื่นของผงไม้ 12 ชนิด	132
94	สเปกตรัมความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่งผ่านแสงและเลขคลื่นของผงไม้ที่	
	ปราศจากสารแทรกจำนวน 12 ชนิด	132
95	สเปกตรัมความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่งผ่านแสงและเลขคลื่นของโฮโล	
	เซลลูโลสของไม้จำนวน 12 ชนิด	133
96	สเปกตรัมความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่งผ่านแสงและเลขคลื่นของลิกนินของไม้	
	จำนวน 12 ชนิด	133
97	กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 1 ของผงไม้ วัดด้วยเครื่อง FTIR	136
98	กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 2 ของผงไม้ วัดด้วยเครื่อง FTIR	137
99	กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 3 ของผงไม้ วัดด้วยเครื่อง FTIR	137
100	กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 4 ของผงไม้ วัดด้วยเครื่อง FTIR	138
101	กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 1 ของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก	
	วัดด้วยเกรื่อง FTIR	138
102	กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 2 ของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก	
	วัดด้วยเกรื่อง FTIR	139
103	กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 3 ของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก	
	วัดด้วยเกรื่อง FTIR	139

ภาพที่		หน้า
104	กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 4 ของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก	
	วัดด้วยเครื่อง FTIR	140
105	กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 1 ของโฮโลเซลลูโลส วัคด้วย	
	เครื่อง FTIR	140
106	กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 2 ของโฮโลเซลลูโลส วัคด้วย	
	เครื่อง FTIR	141
107	กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 3 ของโฮโลเซลลูโลส วัคด้วย	
	เครื่อง FTIR	141
108	กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 4 ของโฮโลเซลลูโลส วัคด้วย	
	เครื่อง FTIR	142
109	กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 1 ของลิกนิน วัคด้วยเครื่อง FTIR	142
110	กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 2 ของลิกนิน วัคด้วยเครื่อง FTIR	143
111	กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 3 ของลิกนิน วัคด้วยเครื่อง FTIR	143
112	กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 4 ของลิกนิน วัดด้วยเครื่อง FTIR	144
113	แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2	
	ของผงไม้ 12 ชนิด วัดเครื่อง FTIR	149
114	แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 2 กับ PCA 1 Axis 3	
	ของผงไม้ 12 ชนิค วัดเครื่อง FTIR	149
115	แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 3 กับ PCA 1 Axis 4	
	ของผงไม้ 12 ชนิค วัดเครื่อง FTIR	150
116	แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2	
	ของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกจำนวน 12 ชนิด วัดเครื่อง FTIR	150
117	แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 2 กับ PCA 1 Axis 3	
	ของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกจำนวน 12 ชนิด วัดเครื่อง FTIR	151
118	แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 3 กับ PCA 1 Axis 4	
	ของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกจำนวน 12 ชนิด วัดเครื่อง FTIR	151

สิขสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ภาพที่		หน้า
119	แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2	
	ของโฮโลเซลลูโลสของไม้จำนวน 12 ชนิด วัดเครื่อง FTIR	152
120	แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 2 กับ PCA 1 Axis 3	
	ของโฮโลเซลลูโลสของไม้จำนวน 12 ชนิด วัดเครื่อง FTIR	152
121	แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 3 กับ PCA 1 Axis 4	
	ของโฮโลเซลลูโลสของไม้จำนวน 12 ชนิด วัดเครื่อง FTIR	153
122	แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2	
	ของลิกนินของไม้จำนวน 12 ชนิด วัดเครื่อง FTIR	153
123	แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 2 กับ PCA 1 Axis 3	
	ของลิกนินของไม้จำนวน 12 ชนิด วัดเครื่อง FTIR	154
124	แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 3 กับ PCA 1 Axis 4	
	ของลิกนินของไม้จำนวน 12 ชนิด วัคเครื่อง FTIR	154

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่มีผลต่อลักษณะเฉพาะทางการวาวแสงของไม้

Study of Effective Chemical Component on Characteristics

of Wood Fluorescence Spectra

คำนำ

ไม้ต่างชนิดกันมีความแตกต่างกันทั้งในลักษณะเนื้อไม้ สมบัติทางกายภาพ รวมถึง องค์ประกอบทางเคมีของไม้ชนิดนั้นๆ จึงเป็นผลให้ลักษณะการใช้งาน ความทนทานตามธรรมชาติ และราคาของไม้แต่ละชนิดย่อมต่างกันไปด้วย ดังนั้น การจำแนกชนิดของไม้เป็นสิ่งคัญมากใน อุตสาหกรรมไม้ เครื่องเรือนและไม้ประกอบ

ในอดีตการจำแนกชนิดของไม้ใช้วิธีการดูสี เสี้ยน น้ำหนัก และกลิ่นของไม้ ถ้าไม้มีจำนวน มากมายหลากหลายชนิด สมบัติที่ได้กล่าวไปในข้างต้นอาจช่วยในการจำแนกไม่ได้มากนัก เนื่องจากกวามคลายคลึงกันหรือแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อาจทำให้เกิดความผิดพลาดได้ง่าย จึงมีการนำลักษณะโครงสร้างของไม้มาช่วยในการตรวจพิสูจน์ไม้ โดยการใช้แว่นขยายส่องดูเนื้อ ไม้ด้านหน้าตัดที่ใช้มีดตัดไว้ ซึ่งอาศัยกวามเชี่ยวชาญเฉพาะบุคกล (ณรงก์, 2531) ข้อเสียคือมักต้อง ใช้เวลาในการตรวจวิเคราะห์ ทำให้เกิดกวามล่าช้าและไม่มีมาตรฐานยืนยันเรื่องกวามถูกต้อง แม่นยำ

เป็นที่ทราบกันดีว่าไม้ต่างชนิดกันย่อมมีความแตกต่างกัน เมื่อถูกกระตุ้นทางแสงจะเกิดการ ปล่อยสเปกตรัมที่แตกต่างกันไปด้วย ซึ่งสเปกตรัมเหล่านั้นเกิดจากส่วนประกอบทางเคมีที่แตกต่าง กันในเนื้อไม้ การวัดสเปกตรัมวาวแสงโดยการกระตุ้นด้วยแสงเลเซอร์เป็นวิธีการทางแสงที่สามารถ นำมาใช้วิเคราะห์เพื่อจำแนกชนิดของไม้ได้ ซึ่งมีข้อดีในเรื่องของการวัดที่สามารถวัดและแสดง ผลได้ในเวลาอันรวดเร็ว รวมถึงให้ผลการวัดที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง อีกทั้งราคาอุปกรณ์ไม่แพง และสามารถจัดตั้งอุปกรณ์ได้เอง ไม่ยุ่งยาก มีแนวโน้มที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้จริงในการกัดแยก ไม้ในโรงงานอุตสาหกรรม

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาส่วนประกอบทางเคมีของไม้ชนิดต่างๆ

2. ศึกษาความแตกต่างของสเปกตรัมวาวแสงระหว่างไม้กับผงไม้นั้น

 สึกษาความแตกต่างของสเปกตรัมวาวแสงและสเปกตรัมอินฟราเรดของผงไม้ ผงไม้ที่ ปราศจากสารแทรก โฮโลเซลลูโลสและลิกนินของไม้ชนิดเดียวกัน เพื่อหาสาเหตุการวาวแสงในไม้ นั้นๆ

 สึกษาการตอบสนองทางการวาวแสงของผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก โฮโล เซลลูโลสและลิกนินเมื่อกระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่นต่างๆ

5. จำแนกความแตกต่างของสเปกตรัมวาวแสงและสเปกตรัมอินฟราเรดของผงไม้ ผงไม้ที่ ปราศจากสารแทรก โฮโลเซลลูโลสและลิกนินของไม้ต่างชนิดกัน

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้ ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี คือ ปริมาณ โฮโลเซลลูโลส (Holocellulose) ลิกนิน (lignin) และสารแทรก (Extractive) ที่เป็นองก์ประกอบของไม้ โดยไม้ตัวอย่างที่นำมาวิเกราะห์มี 12 ชนิด ได้แก่ แก่นไม้สักอายุ 30 ปี แก่นไม้สักอายุ 15 ปี กระพี่ไม้สักอายุ 15 ปี แก่นไม้จามจุรี กระพื้ ไม้จามจุรี แก่นไม้นนทรี กระพี่ไม้นนทรี ไม้ยูกาลิปตัส ไม้ทุเรียน ไม้ยางแดง ไม้ป๊อปลาร์ และไม้ สยาเหลือง เพื่อหาสเปกตรัมวาวแสงโดยใช้อุปกรณ์ Laser Induced Fluorescence ที่ติดตั้งขึ้นในห้อง ปฏิบัตการทดลอง liquid crystal ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสเปกตรัม อินฟราเรดโดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared (FTIR) ของผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก โฮโลเซลลูโลสและลิกนินของไม้ชนิดเดียวกัน เพื่อหาสาเหตุการวาวแสงในไม้นั้นๆ รวมทั้งจำแนก ความแตกต่างของสเปกตรัมวาวแสงและสเปกตรัมอินฟราเรดของผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก โฮโลเซลลูโลสและลิกนินของในไม้ 12 ชนิด โดยใช้โปรแกรมวิเกราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle component analysis; PCA)

การตรวจเอกสาร

องค์ประกอบทางเคมีของไม้

เนื้อไม้ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักทางเคมีที่สำคัญอยู่ 4 ชนิด คือ เซลลูโลส (Cellulose) ประมาณ 40-50% เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) ประมาณ 20-35% ลิกนิน (Lignin) ประมาณ 15-35% และสารแทรก (Extractives) ประมาณ 5-10% โดยน้ำหนัก โดยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส เรียกรวมๆ ว่า โฮโลเซลลูโลส (Holocellulose) ซึ่งสารเหล่านี้สามารถหาปริมาณได้ด้วยการย่อย สลายทางโครงสร้างของสารก่อน ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในไม้แต่ละชนิดจะมีปริมาณ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนินและสารแทรกไม่เท่ากัน อาจขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของไม้ อายุ ความสูงและสภาพแวดล้อมต่างๆ โดยไม้ที่มีลิกนินมาก จะมีความแข็งสูง และในไม้ชนิด เดียวกัน ไม้ที่มีอายุมาก จะมีปริมาณลิกนินมาก และในแก่นไม้จะมีปริมาณลิกนินมากกว่าในกระพื้ ไม้เช่นเดียวกัน

โฮโลเซลลูโลส (Holocellulose) คือส่วนประกอบของผนังเซลล์ของเส้นใยไม้ที่มีอยู่ ประมาณ 60-80% ของเนื้อไม้ แบ่งออกเป็นเซลลูโลส (cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นสารการ์โบไฮเครต (Carbohydrate) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งเมื่อทำปริกิริยา (Hydrolyzed) กับกรคเจือจางจะได้น้ำตาลกลูโคส (Glucose) แมนโนส (Mannose) และไซโรส (Xylose) ซึ่งสามารถสกัดจากเนื้อไม้โดยวิธีการออกซิไดซ์ (Oxidized) เพื่อสกัดเอาลิกนินและสาร แทรกออกไป เหลือแต่โฮโลเซลลูโลส แล้วนำเอาโฮโลเซลลูโลส ไปทำปฏิกิริยากับเบสเจือจาง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 17.5% หรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 10-24% จะละลายกับเฮมิ เซลลูโลสออกมา 15-30% ส่วนที่ไม่ละลายในค่างเจือจางจะเหลืองเพียงเซลลูโลส

เซลลูโลส (Cellulose) เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของผนังเซลล์ของเส้นใยไม้พวกโมเลกุล ต่อเนื่อง ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส (glucose) มาต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิดเบค้า (1,4glycosidic bond) เป็นสายยาวมากกว่า 2000 โมเลกุล โครงสร้างอัดกันแน่นเป็นเส้นตรงไม่มีกิ่ง มี ลักษณะเป็นเส้นใยขนาดเล็กที่เรียกว่า ไมโครไฟเบอร์ (Micro Fiber) ที่เกิดการควบแน่นของอณู (Polymerization) ของหน่วยพื้นฐานของสารน้ำตาลกลูโคส (Glucose) เซลลูโลสมีความเหนียว น้ำหนักโมเลกุลสูงและเป็นสารที่มีความเป็นผลึกสูง เซลลูโลสจะไม่ละลายในน้ำ ตัวทำละลาย อินทรีย์สะเทิน (neutral organic solvent) เช่น เบนซีน แอลกอฮอล์และอีเธอร์ เป็นต้น อีกทั้งยังไม่ทำ

สิบสิทบิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ปฏิกิริยากับสารเคมีที่ใช้สำหรับต้มเยื่อไม้ และ ไม่ถูกออกซิไดซ์ โดยสารเคมีที่ใช้ฟอกเยื่อไม้ แต่จะ ละลายได้ดีใน กรดเกลือและกรดกำมะถันเข้มข้น ทำให้สามารถแยกเอาสารแทรกลิกนินออกจากไม้ ได้โดยเซลลูโลสยังคงอยู่ โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) คือโมเลกุลรวมของโพลีแซคคาไรค์ โครงสร้างลักษณะเป็น กิ่งจับกันอยู่แบบหลวมๆ น้ำหนักโมเลกุลค่ำซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกไซแลน (Xylans) และกลูโคแมน แนน (Glucomannans) ที่มีโมเลกุลข้างเคียง (Branched Chain) เป็นโมเลกุลที่แตกต่างจากโมเลกุล ยาวเดิม เฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลรวมของน้ำตาล 5 ชนิด คือ Hexoses (จำนวน C=6) ได้แก่ glucose, mannose, galactose และ Pentose (จำนวน C=5) ได้แก่ xylose, arabinose และกรด บางชนิด คือ 4-O-methyl-D glucuronic acid มีโครงสร้างซับซ้อนและเป็นผลึกมากกกว่าเซลลูโลส



ภาพที่ 2 โครงสร้างเฮมิเซลลูโลสในไม้เนื้ออ่อน

ที่มา: Hon and Shiraishi (2000)

สิบสิทขึ้ มหาวิทยาลัยเทษยรต่าส่ยร

ลิกนิน (Lignin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่รวมกับ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและเพคติน แทรกอยู่ที่ผนังเซลล์ของพืช มีหน่วยย่อยเป็นวงแหวนอะโร มาติกเชื่อมต่อกับหมู่ต่างๆ ของฟีนอลและ ไฮโดรการ์บอนสายสั้น สารตั้งต้นของลิกนิน คือ แอลกอฮอล์ 3 ชนิด ได้แก่ p-coumary alcohol (ภาพที่ 3 (ก)) coniferyl alcohol (ภาพที่ 3 (ข)) และ sinapyl alcohol (ภาพที่ 3 (ค)) รวมเป็นลิกนินในรูปของ phenylpropanoids p-hydroxyphenyl (H), guaiacyl (G) และ syringal (S) ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัตทางการยืดหยุ่น เพราะฉะนั้นจึงทำ ให้ไม้ที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทาน โครงสร้างของลิกนินแสดงดังภาพที่ 4 โดยโครงสร้าง ของหมู่ลิกนินที่เป็นส่วนประกอบหลักในการวาวแสง ได้แก่ Coniferyl alcohol, biphenyl (ภาพที่ 5 (ก)), stilbene (ภาพที่ 5 (ข)) และ phenylcoumarone (ภาพที่ 5 (ก)) เมื่อต้นไม้ตายลิกนินจะถูกย่อย ด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือลิกนินเนส (Ligninase)



ภาพที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของ (ก) p-coumary alcohol (ป) coniferyl alcohol (ค) sinapyl alcohol



สิบสิทธิ์ มหาวิทยาสัยเทษกรราสกร



ภาพที่ 4 โครงสร้างโมเลกุลของลิกนินในไม้เนื้ออ่อน



ภาพที่ 5 โครงสร้าง (ก) biphenyl (ป) stilbene และ (ค) phenylcoumarone

ทีมา: Heitner et al. (2010)

สารแทรก (Extractive) คือ สารที่ไม่ใช่องค์ประกอบของโครงสร้างของผนังเซลล์ แทรกอยู่ ในแก่นไม้ อาจเป็นกรดหรือเป็นกลางก็ได้ เช่น แทนนิน ยางน้ำมันไม้ ยางละลายน้ำ (gum) น้ำยาง (latex) สารไอโซพรีน เทอร์ฟีน เฮตเตอโรไซคลิก กรดเรซินสารโพลีฟีนอลต่างๆ อัลคาลอยด์ แอล คาลอยด์ และสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบซับซ้อน รวมทั้งสารที่มีสีอื่นๆ ด้วย เป็นสารประกอบที่ เป็นคุณสมบัติของพันธุ์ไม้แต่ละชนิด สารประกอบเหล่านี้ จะทำให้พืชแต่ละชนิดมีสี กลิ่น รส และ ความแข็งที่แตกต่างกันออกไป เช่น เนื้อไม้ของไม้สักจะมีน้ำมันหรือสารแทรกบางชนิด ได้แก่ สาร เทคโตควิโนน (tectoguinone) ซึ่งเป็นสารที่เป็นพิษต่อปลวก มอด แมลง และเชื้อรา สารแทรกพวก นี้มีประมาณ 5-10% โดยน้ำหนัก ซึ่งรวมไปถึงสารส่วนน้อย (minor constituent) เป็นสารประกอบ ที่ก่อให้เกิดเถ้า อันได้แก่ สารประกอบแคลเซียม โพแทสเซียม ฟอสเฟส และซิลิกา เป็นด้น สาร

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

พวกนี้มักมีปริมาณต่ำกว่า 1%โดยน้ำหนัก การใช้ประโยชน์ของสารแทรกขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทาง เคมีของสารนั้น เช่น สารแทรกพวกเทอร์พีนอาจใช้เป็นตัวทำละลาย ทำน้ำหอม ยา สบู่ กาว และใช้ ในอุตสาหกรรมอื่นๆ พวกโพลีฟีนอลใช้ในการฟอกหนัง สังเคราะห์กาว ส่วนพวกอัลกา-ลอยด์ ส่วนใหญ่มีประโยชน์ทางเภสัชกรรม

ลักษณะโดยทั่วไปของไม้แต่ละชนิดที่ใช้ในการทดลอง

ไม้สัก ชื่อการค้า - ชื่อภาษาอังกฤษ Teak ชื่อพฤกษศาสตร์ Tectona grandis Linn.f ลักษณะ เนื้อไม้สีเหลืองทองนานเข้าจะกลายเป็นสีน้ำตาลหรือน้ำตาลแก่มีกลิ่น เหมือนหนังฟอกเก่าๆ และมี น้ำมันในตัวมักมีเส้นสีแก่แทรกเสี้ยนตรงเนื้อหยาบและไม่สม่ำเสมอ แข็งพอประมาณแข็งแรง ความหนาแน่น 642 – 650 kg/m³ คุณสมบัติเด่นในไม้สักที่มีอายุมากว่า 15 ปี คือ มีคุณสมบัติคงทน ต่อ ปลวก แมลง เห็นราได้อย่างดี เพราะในเนื้อไม้สักมีสารเคมีพิเศษ ได้รับความนิยมในการนำมา ผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์

ยูกาลิปตัส ชื่อการก้า-ชื่อภาษาอังกฤษ Eucalyptus, Ironbark ชื่อพฤกษศาสตร์ Eucalyptus spp. แก่นไม้เป็นสีแดงเข้ม หรือสีน้ำตาล เนื้อละเอียดแต่เสี้ยนสน ถึงเป็นกลื่นแข็ง บางกรั้งบิดไปตามแนวลำต้น เหนียว ทนทาน ปลวกมอดไม่กิน แต่เชื้อราและแมลงทำลายได้ง่าย แปรรูปแล้วมักบิดงอ การนำมาใช้จึงต้องเพิ่มเทกนิกมากกว่าปกติ กวามหนาแน่น 550-650 kg/m³ ทนน้ำท่วมขังได้นานกว่า 2-3 เดือน ทนแล้งได้นาน 6-8 เดือน ทนน้ำก้างแข็งได้คี อายุ 2 ปีขึ้นไป

ทุเรียน ชื่อการค้า-ชื่อภาษาอังกฤษ Durian, Thurian ชื่อพฤกษศาสตร์ Durio zibethinus Merr. เนื้อไม้มีสีน้ำตาลอมแคง เนื้อไม้ก่อนข้างละเอียดและสม่ำเสมอ เสี้ยนตรง ความหนาแน่น 490 kg/m³ ความทนทานตามในการใช้งานกลางแจ้งสัมผัสดินต่ำ อายุการใช้งาน ประมาณ 1.9 ปี

นนทรี ชื่อการก้า–ชื่อภาษาอังกฤษ Non see ชื่อพฤกษศาสตร์ LEGUMINOSAE เนื้อไม้มีสี ชมพูถึงน้ำตาลแกมแดง เนื้อเป็นมันเลื่อม เสี้ยนตรง หรือสนเป็นกลื่นเล็กน้อย เนื้อไม้หยาบปาน กลาง กวามหนาแน่น 680 – 740 kg/m³ กวามทนทานตามธรรมชาติประมาณ 5.2 ปี การเลื่อย ไส เจาะ กลึงและการยึดเหนี่ยวตะปู ทำได้ปานกลาง การขัดเงาทำได้ง่าย การใช้ประโยชน์ จามจุรี ชื่อการค้า - ชื่อภาษาอังกฤษ East Indian Walnut, Raintree, Chamchuri ชื่อ พฤกษศาสตร์ Samanea saman (jacq.) Merr. เนื้อไม้มีสีน้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลเข้ม มีลายคำ พาค เสี้ยนสน เนื้อไม้ก่อนข้างหยาบ ความหนาแน่น 620 kg/m³

ยางแดง ชื่อการค้า - ชื่อภาษาอังกฤษ Yang, Gurjun, Keruing ชื่อพฤกษศาสตร์ Dipterocarpus spp. เนื้อไม้มีสีน้ำตาลแดงหรือสีน้ำตาลเทา เสี้ยนตรง เนื้อไม้หยาบ แข็งปานกลาง ความหนาแน่น 695 kg/m³ ความทนทานตามธรรมชาติประมาณ 4.3 ปี

สยาเหลือง ชื่อการค้า - ชื่อภาษาอังกฤษ Sereya , Saya, Yellow Salaya ชื่อพฤกษศาสตร์ Shorea parvifolia Dyer เนื้อไม้สีชมพูปนเหลือง เสี้ยนสนเล็กน้อย เนื้อไม้หยาบ อ่อน เหนียว ใช้ใน ร่มทนทาน เลื่อนไสกบชักเงาได้ดี ความหนาแน่น 510 - 640 kg/m³

ป๊อปลาร์ ชื่อการค้า - ชื่อภาษาอังกฤษ Poplar, Tulip Poplar, tulip tree, Yellow Poplar ชื่อ พฤกษศาสตร์ Liriodendron tulipifera สีเหลืองนวลถึงสีน้ำตาลเหลืองและอาจมีริ้วสีเทาหรือสีเขียว ปน เสี้ยนตรงสม่ำเสมอ เนื้อไม้ปานกลาง ไม่ทนทานต่อการทำลายของแมลง ความหนาแน่น 350 -500 kg/m³

การดูดกลืนคลื่นแสงของโมเลกุล

เมื่อ โมเลกุลดูดกลืนคลื่นแสงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนสภาวะพื้นฐาน 3 แบบ โดยทั้งสาม แบบจะทำให้ โมเลกุลมีพลังงานภายในสูงขึ้น ทำให้ โมเลกุล ไปอยู่ในสภาวะเร้า ซึ่งพลังงานแต่ละ การเปลี่ยนสถานะจะมีค่าพลังงานที่แน่นอน การเปลี่ยนสภาวะพื้นฐาน 3 แบบของ โมเลกุลมีดังนี้

 การเปลี่ยนสภาวะที่เกิดจากการหมุนของโมเลกุล (rotation transition) เนื่องจากโมเลกุล หมุนรอบแกนต่างๆด้วยพลังงานของการหมุนที่ระดับพลังงานแน่นอนหลายระดับพลังงาน ดังนั้น เมื่อโมเลกุลดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงไมโครเวฟและอินฟราเรดย่านไกลแล้วโมเลกุลนั้นมีระดับ พลังงานการหมุนสูงขึ้น

2. การเปลี่ยนสภาวะที่เกิดจากการสั่นของโมเลกุล (vibration transition) เนื่องจากโมเลกุล ไม่อยู่นิ่ง แต่ละอะตอมที่ประกอบกันเป็นโมเลกุลมีการสั่นตลอดเวลาและเกิดขึ้นที่ระดับพลังงาน แน่นอน ดังนั้นเมื่อ โมเลกุลดูดกลืนคลืนแสงในช่วงอินฟราเรด แล้วถูกเปลี่ยนระดับพลังงานเป็น ระดับพลังงานของการสั่นสูงขึ้น

 การเปลี่ยนสภาวะอิเล็กตรอนในโมเลกุล (electronic transition) เนื่องจากอิเล็กตรอนใน โมเลกุล เมื่อโมเลกุลดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอัตราไวโอเลตและวิสิเบิลจะทำให้เกิดการ เปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในโมเลกุลนั้นๆ เกิดการเร้าหรือกระดุ้นอิเล็กตรอน (electronic excitation) และทำให้อิเล็กตรอนตัวหนึ่งไปอยู่ในระดับพลังงานอิเล็กตรอนที่สูงกว่าเดิม

การเปลี่ยนสภาวะอิเล็กตรอนในโมเลกุลทุกครั้งจะต้องทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับ พลังงานของการสั่นและการหมุนด้วยเสมอไป



ภาพที่ 6 แสดงการเปลี่ยนสภาวะเมื่อโมเลกุลดูดกลืนคลื่นแสง (A) เป็นการเปลี่ยนสภาวะการหมุน ในช่วงอินฟราเรดย่านไกลและช่วงไมโครเวฟ (B) เป็นการเปลี่ยนสภาวะระหว่างการหมุน และการสั่นในช่วงอินฟราเรดย่านใกล้ (C) เป็นการเปลี่ยนสภาวะระหว่างการหมุน การ สั่น และการเปลี่ยนสภาวะอิเล็กตรอนในโมเลกุลในช่วงอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิล

E₀ แทนสภาวะพื้นของอิเล็กตรอนในโมเลกุล โมเลกุลในสภาวะพื้นอาจอยู่ในระดับ พลังงานของการสั่นได้หลายระดับพลังงานคือ V₀, V₁,... แต่ละระดับพลังงานของการสั่นยังมีระดับ พลังงานของการหมุนหลายๆระดับพลังงานคือ R₁, R₂,...

ลิขสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

จากภาพที่ 6 จะเห็นว่าผลต่างของระดับพลังงานของการหมุนมีค่าน้อยมาก โมเลกุลจึง สามารถเกิดการเปลี่ยนสภาวะของการหมุนด้วยการดูดกลืนแสงที่มีพลังงานไม่มาก ได้แก่ ช่วง อินฟราเรดย่านไกลหรือไมโครเวฟ สเปกตรัมดูดกลืนที่ได้มีลักษณะแหลมคม ผลต่างของระดับ พลังงานของการสั่นมากกว่าการหมุน การเปลี่ยนสภาวะการสั่นจึงต้องใช้พลังงานมากกว่า โดย ดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรดซึ่งจะไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะของการหมุนด้วย ทำให้ สเปกตรัมดูดกลืนมีลักษณะเป็นแถบดูดกลืนกว้างขึ้น การเปลี่ยนสภาวะอิเล็กตรอนจาก E₀ ไป E₁ จะต้องดูดกลืนกลื่นแสงในช่วงอัตราไวโอเลตและวิสิเบิล ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าช่วงอินฟราเรด การ ดูดกลืนพลังงานกลื่นแสงในช่วงอัตราไวโอเลตและวิสิเบิล ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าช่วงอินฟราเรด การ ดูดกลืนพลังงานกลิ่นแสงดังกล่าวจะทำให้มีการเปลี่ยนสภาวะของการสั่นและการหมุนเกิดขึ้นด้วย จึงเกิดการดูดกลืนกลื่นแสงดังกล่าวที่มีความยาวคลื่นหลายความยาวกลิ่นพร้อมกัน สเปกตรัม ดูดกลืนที่ได้เป็นลักษณะแถบดูดกลืนที่กว้าง

จากภาพ จะได้พลังงานทั้งหมดที่โมเลกุลดูดกลืนคลื่นแสง (E) ดังนี้

$$E = E_{electronic} + E_{vibrational} + E_{rotational}$$
⁽¹⁾

โดย E_{electronic} เป็นพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนอิเล็กตรอนจากสภาวะพื้นไปยังสภาวะเร้า E_{vibrational} เป็นพลังงานที่ใช้ในการสั่นของโมเลกุล E_{rotational} เป็นพลังงานที่ใช้ในการหมุนของโมเลกุล

พลังงานแต่ละชนิดเป็นค่าเฉพาะในแต่ละโมเลกุลซึ่งเปลี่ยนตามชนิดของสารในช่วงความ ยาวกลื่นเฉพาะ

การเกิดปรากฏการณ์วาวแสง

เมื่ออิเล็กตรอนในโมเลกุลได้รับพลังงานคลื่นแสงที่เหมาะสมในช่วงอัลตราไวโอเลตและวิ สิเบิลเป็นผลทำให้อิเล็กตรอนอยู่ในสภาวะเร้า หลังจากอยู่ในสภาวะเร้าประมาณ 10⁻⁸ วินาที ก็จะ กลับสู่สภาวะพื้น จะเห็นว่าในสภาวะเร้านั้นสั้นมากๆ จำนวนโมเลกุลในสภาวะเร้านั้นจะเกิดขึ้น ก่อนที่มันจะกายพลังงานออกมาในรูปการวาวแสงเมื่อกลับสู่สภาวะพื้น พลังงานที่กายออกมา อาจจะเท่ากับหรือมากกว่าที่โมเลกุลได้รับก็ได้ถ้าเท่าเดิมคือ ความยาวกลื่นไม่เปลี่ยน เรียกว่า เร โซแนนซ์ฟลูออเรสเซนซ์ (Resonance fluorescence) แต่ถ้าคายคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า จะเรียกว่า นอร์มอลฟลูออเรสเซนซ์ (Normal fluorescence)

เมื่อสารอินทรีย์ ณ อุณหภูมิห้องดูดกลืนคลื่นแสงจะเกิดการเปลี่ยนภาวะที่ระดับพลังงาน การสั่นต่ำสุด (S₀) ไปยังระดับพลังงานการสั่นที่สูงขึ้นคือ S₁ หรือ S₂ จะได้สเปกตรัมการเร้าหรือการ ดูดกลืน ที่ระดับ S₂ หลังการผ่อนคลายของการสั่น (vibrational relaxation) จะเกิดการแปลงผัน ภายในไปยังระดับพลังงาน S₁ แล้วเกิดการผ่อนคลายของการสั่น จากนั้นจะคลายพลังงานในรูปของ การวาวแสงกลับสู่ระดับพลังงานภาวะพื้น ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แผนภาพของระดับพลังงานที่เกิดขึ้นของขบวนการดูดกลืนและการผ่อนกลาย



การวาวแสงของไม้

เทคนิคทางแสงถูกนำมาใช้สำหรับการศึกษาวิทยาศาสตร์ไม้หลายชนิด เช่น ลักษณะของไม้ (Dyer, 1988; Sum et al., 1991) ตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พิสูจน์การสลายตัวของไม้และ อิทธิพลของธรรมชาติที่ทำให้ไม้สลายตัว (Beyer et al., 1993; Hon, 1994; Macleoad et al., 1995) รวมทั้งการใช้เทคนิคการสะท้อน FTIR, ESR และ SEM ศึกษาการเสื่อมของผิวไม้ที่มีสาเหตุมาก

12

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรร่าสกร์

จากธรรมชาติ เช่น แสงแคค, ความชื้น, ความร้อน และมลภาวะ (Hon et al. ,1994) เนื่องจากการ วาวแสงเป็นเทคนิคที่มีความไวสูง จึงถูกนำมาใช้วัคสารปริมาณน้อยพวกองค์ประกอบทางเคมีสาร ได้ การวาวแสงของไม้ขึ้นอยู่กับลิกนิน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและสารแทรกซึ่งเป็นองค์ประกอบ ทางเคมีที่มีอยู่ในเนื้อไม้นั้นๆ ดังนั้น ไม้ต่างชนิดกันจึงมีสเปกตรัมวาวแสงต่างกันไปด้วย

Krishna and Chowdhury (1935) และ Dyer (1988) วัดการวาวแสงของไม้ตัวอย่างสายพันฐ์ อินเดียนและแอฟริกาใต้ โดยการนำไม้ตัวอย่างมารับแสงอัลตราไวโอเลต และสรุปได้ว่าการวาว แสงเป็นหนึ่งในลักษณะเฉพาะที่สำคัญของไม้และสามารถจำแนกกระพี่ไม้และแก่นไม้ในหลายสาย พันธุ์ได้

Pandey et al. (1998) ได้ศึกษาการวาวแสงของไม้ ผงไม้ และสารสกัดจากไม้ด้วยเมทานอล ของแก่นไม้ 6 ชนิด ได้แก่ ไม้ acacia nilotica(Babul), Albizia lebbek (Kokko), Pterocarpus marsupium (Bijasal), Toona ciliate (Toon), Tectona grandis (Teak) และ Eucalyptus tereticornis (Eucalypt) โดยใช้เครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ ของ Jasco รุ่น FP-777 ใช้หลอดฮาโลเจน 150 วัตต์ เป็นแหล่งกำเนิดแสง พบว่า สเปกตรัมวาวแสงที่วัดจากไม้ไม่ขึ้นกับความยาวคลื่นที่ถูกกระตุ้น ขณะที่สเปกตรัมจากสารสกัดแสดงการวาวแสงขององค์ประกอบทางเคมีต่างๆ

Camorani et al. (2008) ศึกษาการจำแนกชนิดของไม้โดยใช้หลักการวิเคราะห์ด้วย สเปกตรัมวาวแสง วัดสเปกตรัมของไม้ 21 ชนิด ซึ่งระบบการวัดประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง เลเซอร์ความยาวคลื่น 473 nm กำลัง 50 มิลลิวัตต์ ยิงไปที่ไม้ตัวอย่างทำมุม 45 องศา ส่งข้อมูลไป ยังสเปกโทรมิเตอร์ ของ Ocean Optic รุ่น USB2000 ซึ่งใช้ long pass filtter วางระหว่างไม้ตัวอย่าง กับสเปกโทรมิเตอร์เพื่อตัดความยาวคลื่น 500 nm ออก วัดความเข้มของการวาวแสงในช่วง 500 ถึง 1000 nm ประมวลผลโดยใช้วิชีวิเคราะห์องคประกอบหลัก (Principal Component Analysis : PCA) การจำแนกชนิดของไม้โดยวัดสเปกตรัมให้ผลการวัดดี อีกทั้งอุปกรณ์ไม่ยุ่งยากและมีรากาไม่แพง สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมไม้ได้จริง

สมบัติการวาวแสงของลิกโนเซลลูโลสิก (lignocellulosics) มีการศึกษาอย่างกว้างขวางและ มีการกล่าวถึงในงานวิจัยของ Olmstead and Gray (1997) ลิกนินเป็นส่วนประกอบหลักในการวาว แสงของไม้และเยื่อ lignin-rich (castellan and Davidson, 1994; Castellen *et al.*, 1994a,b) ธรรมชาติสารวาวแสงในลิกนินสังเกตได้โดยการเปรียบเทียบสเปกตรัมที่ปล่อยออกมาจากแบบร่าง โมเลกุลลิกนิน (Lundquist *et al.*, 1978; Castellan *et al.*, 1994a; Tylli *et al.*, 1995; Albinsson *et*

ลิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

al., 1999) โครงสร้างของหมู่ถิกนินได้แก่ Coniferyl alcohol, biphenyl, stilbene และ phenylcoumarone เป็นส่วนประกอบหลักที่ปล่อยแสงในช่วง 300-450 nm (Machado *et al.*, 2006)

เมื่อลิกนินถูกกำจัดโดยกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษและการฟอกขาว กระดาษขาวที่ได้ ยังคงมีการวาวแสงเกิดขึ้นเนื่องจากลิกนินที่เหลืออยู่จากการฉายแสง UV แม้ว่าการ์โบไฮเครต จะ เป็นองค์ประกอบหลักของการวาวแสงจากกระดาษเหล่านี้ (Castellan *et al.*, 1995) Liukko *et al.* (2006) ได้ศึกษาการวาวแสงที่เกิดจากอิทธิพลของผลของลำดับการฟอกเยื่อ (bleaching sequence) ในเยื่อเกมี (chemical pulp) ซึ่งพิสูจน์ได้ว่าการฟอกเยื่อแสดงบทบาทสำคัญนำไปสู่หมู่การ์บอนิลใน โพลีแซกกาไรต์ที่มีอิทธิพลต่อการเกิดการวาวแสง

Castellan *et al.* (2007) ศึกษาสเปกตรัมวาวแสงของเซลลูโลสหลายชนิดได้แก่ CFC bleached papers จากไม้เนื้อแข็ง, Microcrystalline cellulose, cotton linter และ delignified sisal fibers วัดด้วยแสงกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 320 nm พบสเปกตรัมปล่อยออกมาในช่วงความยาวคลื่น 330-600 nm โดยความเข้มของการวาวแสงและความยาวคลื่นมากที่สุดที่ปล่อยออกมาขึ้นอยู่กับ ชนิดของเซลลูโลส และสเปกตรัมวาวแสงที่ได้นั้นไม่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบกรดคาร์บอซิลิก (carboxylic acid) และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของเซลลูโลส

การดูดกลืนคลื่นแสงอินฟราเรดของโมเลกุลสารอินทรีย์

ช่วงคลื่นอินฟราเรคอยู่ระหว่างช่วงคลื่นวิสิเบิลและช่วงคลื่นไมโครเวฟ โดยช่วง คลื่นอินฟราเรคที่ถูกนำมาใช้งานจะอยู่ในช่วง 4000-400 cm⁻¹ พลังงานของรังสีอินฟราเรคจะอยู่ ในช่วงที่สอคคล้องกับการสั่น (Vibration) ของพันธะในโมเลกุล หากการสั่นของพันธะเกิดที่ ความถี่ที่ตรงกับความถึ่ของรังสีอินฟราเรคก็จะเกิดการดูคกลื่นขึ้น

ตัวอย่างการสั่นของโมเลกุลแสดงคังภาพที่ 8 การสั่นของโมเลกุลมี 2 แบบ คือ การยืด-หด (Stretching) ของพันธะ และการงอ (bending) หรือการผิครูป (deformation) ของพันธะ การยืด-หด เป็นการเคลื่อนที่อย่างเป็นจังหวะตามแนวแกนพันธะของอะตอมที่ต่อกันอยู่ ทำให้เกิดการ เปลี่ยนแปลงกวามยาวพันธะของโมเลกุล มี 2 แบบ คือ การยืดแบบมีสมมาตร (symmetric, sym) และการยึดแบบปฏิสมมาตร (asymmetric, asym) การงอเป็นการเคลื่อนที่ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนมุม พันธะ มี 4 แบบ คือ การงอแบบตะ ใกรภายในระนาบ (in-plane scissoring) การงอแบบโคลงภายใน

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ระนาบ (in-plane rocking) การงอแบบกระดิกออกนอนกระนาบ (out-of-plane wagging) และการ งอแบบบิด (out-of-plane twisting)



ภาพที่ 8 การสั่นของ โมเลกุล

การสั่นแบบยึดและแบบงอของแต่ละพันธะจะมีการดูดกลืนพลังงานที่เป็นก่าความถี่เฉพาะ เมื่อ โมเลกุล ได้รับกลื่นแสงอินฟราเรดที่มีความถี่พอดีกับการสั่นของพันธะในโมเลกุลทำให้เกิด การแทรนซิชั่นที่เรียกว่า vibrational transition และให้แถบดูดกลืนแสงเป็นแถบ (band) หรือพีก (peak) หลายๆแถบหรือพีก โดยการสั่นของพันธะแต่ละแบบจะมีลักษณะเฉพาะของพีกที่แตกต่าง กันออกไป ซึ่งนำมาใช้พิจารณาโครงสร้างของโมเลกุลได้ ช่วงการดูดกลืนที่สำคัญของอินฟราเรด สเปกตรัมที่ให้ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับหมู่ฟังก์ชันมีอยู่ 2 ช่วงคือ ช่วง 4000-1300 cm⁻¹ ซึ่งเรียกว่าเป็น บริเวณหมู่ฟังก์ชัน (functional group region) มีการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันสำคัญหลายหมู่ เช่น OH, NH และ C=O stretching เป็นต้น ช่วง 1300-900 cm⁻¹ เรียกว่าเป็นบริเวณลายนิ้วมือ (fingerprint region) จะเป็นช่วงสเปกตรัมที่ดูซับซ้อน ใช้ยืนยันโดยการเปรียบเทียบกับสเปกตรัมอ้างอิงว่าสารที่ สนใจเป็นสารเดียวกับสารอ้างอิงหรือไม่ แถบหรือพีกการดูดกลืนในช่วงลายนิ้วมือเป็นผลโดยรวม ของการสั่นของหลายๆพันธะของโมเลกุลซึ่งจะมีความซับซ้อน

ลิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

การวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR อธิบายตามหลักการดูดกลืนแสงด้วยกฎของเบียร์-แลม เบิร์ต (Beer-Lambert's law) การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างสามารถทำได้โดยให้ลำแสง ผ่านเข้าไปในตัวอย่าง I_x แล้ววัดปริมาณแสงที่เหลือผ่านออกมา dI_xโดยเทียบกับแสงที่ผ่านออกมา เมื่อไม่มีสารตัวอย่าง ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงลำแสงที่ผ่านเข้าตัวอย่าง เป็นระยะทาง dx

พิจารณาแสงตกกระทบบนตัวอย่างด้วยพื้นที่ A, หนา dx และมีความเข้มข้นของโมเลกุล C จำนวนการแปล่งแสงของโมเลกุลเนื่องจากความเข้มของแสงตกกระทบ I_x เป็น CAdx และ ค่า Total effective area ที่โมเลกุลแสดงออกมาเป็น **G**CAdx

ความน่าจะเป็นของของแสงที่ถูกดูคกลื่นหรือกระเจิงออก ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงที่ กระทบตัวกลางนั้น แต่จะแปรผันโดยตรงกับระยะทางที่แสงส่องผ่านตัวอย่าง (path length) หนา dx จะได้สมการ

$$-\frac{dI_x}{Ix} = \frac{\sigma CA}{A} dx \tag{2}$$

เมื่อ dI_เป็นความเข้มแสงที่เปลี่ยนไปผ่านเข้าไปในตัวอย่างที่มีความหนา dx

อินทิเกรตทั้งสองข้างของสมการ จะได้

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรศาสกร

$$\int_{I_0}^{I} \frac{dI_x}{I_x} = -\int_0^x \sigma \ C \ dx$$
(3)

$$In(I) - In(I_0) = In\left(\frac{I}{I_0}\right) = -\sigma Cx \tag{4}$$

จะได้กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert's law) ตามสมการ

$$I = I_0 e^{-\sigma C x} = I_0 e^{-\mu x} \tag{5}$$

ค่าสัมประสิทธิ์ $\mu = \sigma C$ เป็นสัมประสิทธิ์การลดลงเชิงเส้น (linear attenuation coefficient) มีหน่วยเป็น cm⁻¹

ถ้าไม่สนใจการกระเจิงของแสง จะกล่าวได้ว่า สัมประสิทธิ์การลดลงเชิงเส้น คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงเส้น นั่นเอง สำหรับเทอม $e^{-\mu x}$ แสดงถึงการลดลงของความเข้มของ แสงที่ทะลุผ่านตัวกลางออกมา ซึ่งจะเห็นว่าก่าความเข้มของแสงที่ทะลุผ่านออกมาขึ้นกับ µ และ x โดยลดลงแบบ Exponential ตามความลึกของวัตถุ

ค่า **µ** เป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่น

$$\mu = \mu(\lambda) \tag{6}$$

ดังนั้น กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต จึงเป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่นด้วย จะได้

$$I(\lambda) = I_0(\lambda)e^{-\mu(\lambda)x}$$
⁽⁷⁾

หลักการทำงานของเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy

เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ชนิคลำแสงเคี่ยวจะให้สเปกตรัม ที่มี Background ที่เกิดจากการดูดกลืนของแก๊สการ์บอนได้ออกไซด์และความชื้นในอากาศ ต้อง

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์
บันทึกสเปกตรัม 2 ครั้ง ครั้งแรกไม่มีสารตัวอย่าง ได้เป็นสเปกตรัม Background แล้วจึงวัดสาร ตัวอย่างได้อินฟราเรคสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่หักเอา background ออกไป

Attenuated total reflection (ATR)

เป็นเทคนิกการวัดอย่างหนึ่งของเครื่อง FTIR อาศัยหลักการ Internal reflection โดยแสง อินฟราเรดจะเดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหสูง (ผลึกโปร่งแสง) ไปยังตัวกลางที่มีค่าดัชนีหัก เหต่ำกว่า (สารตัวอย่าง) คลื่นแสงอินฟราเรดบางส่วนที่ตกกระทบจะสะท้อนออกและการสะท้อน จะเพิ่มมากขึ้น เมื่อมุมตกกระทบเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเท่ากับมุมวิกฤต (critical angle, Q.) จะไม่มีการ หักเหเกิดขึ้นแต่จะเกิดการสะท้อนกลับหมด (totally reflected) ที่ผิวรอยต่อระหว่างผลึกโปร่งแสง กับสารตัวอย่างนั้น และพบว่าแสงจะทะลุตรงผิวรอยต่อระหว่างตัวกลางทั้งสองเข้าไปในสาร ด้วอย่างซึ่งเป็นตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหต่ำกว่าในระยะทาง 0.1-5 ไมครอน เรียกคลื่นแสงทะอุผ่าน นี้ว่า Evanescent wave เมื่อสารตัวอย่างดูดกลืน Evanescent wave ไว้จำนวนหนึ่ง จะเกิดแรงกระทำ ระหว่าง Evanescent wave กับตัวอย่างและมีการดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดไว้ จากนั้นกลื่นอินฟราเรด จึงสะท้อนออกมาสู่ผลึกและออกจากผิวผลึกถูกวัดค่าไว้โดยตัววัดสัญญาณและแสดงออกมาในรูป สเปกตรัม



ภาพที่ 10 ทางเดินแสงในระบบ ATR



จากภาพที่ 10 เครื่อง FTIR (ATR) ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสง (MIR Source) ตัวแยก แสง (OptKBr Beamsplitter) J-stop Iris หัววัด Universal ATR และตัวตรวจวัด (Detector) โดย ตัวอย่างที่ต้องการวัดจะวางอยู่บริเวณผลึกสีฟ้า หลังจากนั้นแสงอินฟราเรดจะผ่านเข้าไปที่ผิว ตัวอย่างก่อนที่จะสะท้อนออกมา

การศึกษาองค์ประกอบของไม้ด้วยเครื่อง FTIR

เทคนิค FTIR ถูกนำมาใช้ศึกษาลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของไม้เนื้อแข็งเขตร้อนหลาย ชนิด (Fengel et al., 1983; Owen and Thomas, 1989; Martinez et al., 1999; Kishino and Nakano, 2004) ลักษณะเฉพาะของผิวไม้ เพื่อประมาณส่วนประกอบของลิกนินและการ์โบไฮเดรตในไม้และ ลิกโนเซลลูโลสิก (Berben et al., 1987; Owen and Thomas, 1989; Backa and Brolin 1991; Pandey, 1997) ซึ่งเป็นวิธีที่ดีกว่าวิธีการทางเคมีทั่วไปที่ใช้เวลาในการวิเคราะห์นานและส่งผลให้ เกิดการสลายของโพลิเมอร์ธรรมชาติ

Pandey (1999) ศึกษาความแตกต่างในโครงสร้างทางเคมีของไม้เนื้อแข็ง เนื้ออ่อน และไม้ สังเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR โดยการวัดสเปกตรัมส่งผ่านและสเปกตรัม diffuse reflectance infrared (DRIFT) และสร้างความสัมพันธ์ปริมาณลิกนินและเซลลู โลสิกในไม้แต่ละชนิดที่แตกต่างกัน สัดส่วนที่ต่างกัน ความเข้มของแถบ IR สามารถอธิบายส่วนประกอบหลักที่แตกต่างกันของโพลิ เมอร์ในไม้เนื้อแข็งและเนื้ออ่อนได้

Nuopponen et al. (2006) ศึกษาสเปกตรัมไม้เนื้อแข็งเขตร้อนจากกาน่า จำนวน 25 ชนิด ด้วยเครื่อง FTIR พบความแตกต่างในองค์ประกอบของลิกนิน คือ G และ S unit สามารถแยกตัว อย่างไม้ตามชนิดของโครงสร้างและองค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินรวมทั้งปริมาณและ ชนิดของโครงสร้างหมู่การ์บอนีล (carbonyl) แต่ความทนทานต่อการทำลายของแมลงของไม้ขึ้นอยู่ กับหลายปัจจัย ได้แก่ ความหนาแน่น โครงสร้างลิกนิน ส่วนประกอบและปริมาณของสาร

Numerical Aperture

โดยทั่วไปค่า numerical aperture ของระบบทัศนศาสตร์เป็นจำนวนที่ไม่มีหน่วยซึ่งเป็น ลักษณะเฉพาะของช่วงมุมทั้งหมดที่ระบบสามารถรับหรือปล่อยแสงซึ่งสอดคล้องกับครรชนีหักเห เขียนความสัมพันธ์ได้เป็น

$$NA = n_1 \sin \theta_{max}$$

เมื่อ n₁ คือ ค่าดรรชนีหักเหของตัวกลางที่แสงตกกระทบ ซึ่งโดยทั่วไปคืออากาศ

θ_{max} คือ มุมรับแสงสูงสุด (maximum acceptance angle) กรวยรับแสง (acceptance cone) ดังรูปที่ 11



ภาพที่ 11 กรวยรับแสงและมุมรับแสงของเส้นใยนำแสง

เส้นใยนำแสง

เส้นใยนำแสง ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ แกนกลาง (core) และชั้นที่ห่อหุ้ม (cladding) ถูก ออกแบบขึ้นเพื่อส่งผ่านแสงจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งโดยให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุด โดย อาศัยหลักหลักการสะท้อนกลับหมด เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางต่างชนิดกันจะเกิดการเปลี่ยน ทิศทางของแสง ตามกฎของสเนลล์ (Snell's Law) ซึ่งมุมนี้สามารถหาได้จากก่าดรรชนีหักเหของ สองตัวกลาง เมื่อแสงทำมุมตกกระทบมากพอที่ทำให้มุมหักเหเท่ากับ 90 องศา(ขนานกับผิวรอยต่อ ของตัวกลาง) เรียกมุมนี้ว่ามุมวิกฤต(critical angle) และถ้ามุมตกกระทบมากกว่ามุมวิกฤต จะไม่มี

ลิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

(8)

แสงผ่านไปยังตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหน้อยกว่า จะเกิดการสะท้อนกลับหมดภายในตัวกลางนั้น เส้นใยนำแสงจะสามารถส่งผ่านแสงได้ก็ต่อเมื่อแสงที่เข้ามาอยู่ภายในขอบเขตของกรวยรับแสง ถ้า อยู่นอกขอบเขตนี้แสงจะสูญหายไปกับ cladding ส่วนแสงที่อยู่ภายในกรวยรับแสงจะมีค่ามุมตก กระทบมากกว่ามุมวิกฤต ซึ่งจะเกิดปรากฏการณ์ total internal reflection และเกิดการส่งผ่านแสงไป ยังปลายทางได้ ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ทางเดินแสงในเส้นใยนำแสง

กฎของสเนลล์สามารถทำนายมุมวิกฤตและมุม Exit angle Θ_{\max} จากครรชนีหักเหของ Core (n,) และ Cladding (n,) ซึ่งมุมนี้ยังขึ้นอยู่กับค่าครรชนีหักเหของตัวกลางด้วย ดังนั้น

$$n\sin\theta_{max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \tag{9}$$

โดยพจน์ทางซ้ายเรียกว่า ค่า numerical aperture (NA) ซึ่งเป็นตัวกำหนดช่วงของมุมที่เส้นใยนำแสง สามารถรับหรือปล่อยแสงออกมา

วิชีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) เป็นการวิเคราะห์ หลายตัวแปร ซึ่งลดจำนวนตัวแปร โดยการศึกษาโครงสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรและสร้างตัว แปรใหม่ที่เรียกว่า องค์ประกอบ โดยองค์ประกอบที่สร้างขึ้นจะเป็นการนำตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ หรือมีความร่วมกันสูงมารวมเป็นองค์ประกอบเดียวกัน ส่วนตัวแปรที่อยู่คนละองค์ประกอบจะมี ความร่วมกันน้อยหรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลย

หลักการสร้างองค์ประกอบหลัก

ถ้าเวกเตอร์ตัวแปรสุ่ม $X' = (X_p, X_2, ..., X_p)$ ซึ่งมีเมตริกซ์กวามแปรปรวนร่วม \sum โดยที่

$$\Sigma = Cov (X) = E(X - \mu)(X - \mu)' = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \dots & \sigma_{1p} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \cdots & \sigma_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{p1} & \sigma_{p2} & \cdots & \sigma_{pp} \end{bmatrix}$$
(10)

ค่าบนเส้นทแยงมุมคือ $\sigma_i = \sigma_i^2$ เป็นค่าความแปรปรวนของตัวแปที่ *i* และค่านอกเส้น ทแยงมุมเป็นค่าความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรที่ *i* และ *k, i ≠k*

ในการสร้างองค์ประกอบหลัก เริ่มจากการคำนวณค่าไอเกน (Eigenvalue) ซึ่งเขียนแทน ด้วย λ, คือ ค่าลักษณะเฉพาะ (Characteristic roots) ของแต่ละองค์ประกอบหลักที่ i ด้วยการ แก้ปัญหาเทอม

$$|\Sigma - \lambda I| = o \tag{11}$$

โดยที่ I เป็นเมทริกซ์เอกลักษณ์ (Identity matrix)

ส่วนไอเกนเวกเตอร์หรือเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ (Characteristic vector) คือค่าความชั้น (slope) ของแต่ละแกน ซึ่งเป็นคอลัมน์ของเมทริกซ์ W ซึ่งทำให้

$$\Sigma = WDW' \tag{12}$$

โดยที่

$$D = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \lambda_p \end{bmatrix}$$
(13)

เมื่อทำการประมาณก่าไอเกนของทุกองก์ประกอบหลักและเรียงลำคับจากมากไปหาน้อย $\lambda_1 > \lambda_2 > ... > \lambda_p$ แล้วสามารถกำนวณไอเกนเวกเตอร์ที่สอดกล้อง นั่นกือ $W' = [w_p, w_2, ..., w_p]$

สำหรับใช้ในการสร้างฟังก์ชันเชิงเส้นของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรองค์ประกอบหลักกับตัว แปรองค์ประกอบเดิมได้ดังนี้

โดยที่

 $Var(PC_i) = w'_i \Sigma w_i; \quad i = 1, 2, ..., p$ $Cov(PC_i, PC_k) = w'_i \Sigma w_k; \quad i, k = 1, 2, ..., p; \quad i \neq k$

 $PC_1, PC_2,...,PC_p$ เป็นตัวแปรใหม่หรือองก์ประกอบหลัก p ตัวและ w_{ij} เป็นค่าที่แสดง สัมประสิทธิ์หรือน้ำหนักของตัวแปรเดิม x_{ij} ที่มีต่อองก์ประกอบหลัก PC_i โดยที่ $PC_j, PC_2, ..., PC_p$ ไม่มีความสัมพันธ์กัน โดยที่ PC_i เป็นตัวแปรใหม่ตัวที่ 1 หรือองก์ประกอบหลักที่ 1 ซึ่งเป็นฟังก์ชัน เชิงเส้นของตัวแปรเดิม ซึ่งทำให้ค่าแปรปรวน $Var(PC_i) = w'_1 \Sigma w_1$ มีค่ามากที่สุด ส่วน PC_p เป็นตัวแปรใหม่ตัวที่ p หรือองก์ประกอบหลักที่ p จะมีค่าแปรปรวนต่ำที่สุด ทั้งนี้ระหว่าง PC_i กับ PC_k ไม่มีความสัมพันธ์กัน นั่นคือ $Cov(w'_i x, w'_k x) = 0$ เมื่อ $i \neq k$ (Richard and Dean, 1988) เมื่อได้ตัวแปรใหม่หรือองก์ประกอบหลักซึ่งมีจำนวนน้อยลง ทำให้สามารถเห็น รายละเอียดของความยาวกลื่นหลักในผงไม้แต่ละตัวอย่าง

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์

 1. ไม้ตัวอย่าง จำนวน 12 ชนิด ได้แก่ แก่นไม้สักอายุ 30 ปี แก่นไม้สักอายุ 15 ปี กระพี้ไม้ สักอายุ 15 ปี แก่นไม้จามจุรี กระพี่ไม้จามจุรี แก่นไม้นนทรี กระพี่ไม้นนทรี ไม้ยูคาลิปตัส ไม้ทุเรียน ไม้สยาเหลือง ไม้ยางแดงและไม้ป๊อปลาร์

2. สารละลายโซเคียมไฮครอกไซค์ 2%

3. สารละลายกรคซัลฟูริก (${
m H_2SO_4}$) 72%

- 4. เอทานอล
- 5. เฮกเซน

6. น้ำกลั่น

7. เครื่อง Soxhlet extraction

8. ชุด Reflux

- 9. เครื่อง Rotary vacuum Evaporator ประกอบด้วย
 - 9.1 เครื่องอังน้ำ (Water Bath, Buchi รุน B-480, Switzerland)
 - 9.2 เครื่องระเหยสารภายใต่สภาพแรงดันต่ำ (rotary evaporator, BUCHI รุ่น R-114,

Switzerland)

9.3 ปั๊มสุญญากาศ (Aspirator pumps, JEIO TECH รุ่น VE-11)

9.4 ปั๊มน้ำ Sonic รุ่น AP 1000

10. อุปกรณ์ให้ความร้อนและคน (Hot plate/Stirrer, IKA[®] C-MAG HS4)

11. แท่งแม่เหล็กสำหรับคนสาร (Magnetics bars)

12. เครื่องชั่งละเอียค 4 ตำแหน่ง

13. เครื่องแก้วและอุปกรณ์เคมี

14. ตู้ควัน

15. ขวดสำหรับบรรจุสารตัวอย่าง

16. กระจกสไลด์

17. กระทะใส่สารตัวอย่าง

18. ตะไบ

19. เลเซอร์ไดโอดกำลัง 2 วัตต์ ความยาวกลื่น 532 nm ชนิด TEM00

20. ไฟฉายหลอดแอลอีดี (LED, light-emitting diode) ความยาวคลื่น 395 nm

21. หลอดปรอท (Mercury lamp)

22. เครื่องโมโนโครเมเตอร์ Spectral Products รุ่น CM110 Compact 1/8 meter Monochromator

23. เครื่องสเปกโทรมิเตอร์ (Spectrometer, Ocean Optic รุ่น MAYA PRO 2000)

24. เครื่องสเปกโทรมิเตอร์ (Spectrometer, StellarNet Inc รุ่น BLACK-Comet C- 200)

25. ตัวกรองแสง เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 12.5 mm ช่วงความยาวคลื่น 532±2 nm (Semrock MaxLine Laser-line Filters รุ่น LL01-532-12.5)

26. ตัวกรองแสง (Laser line filter) เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 25.4 mm ช่วงความยาวคลื่น 532±2 nm

27. เลนส์นูน เส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 mm ความยาวโฟกัส 30 mm

28. เลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens, Nikon รุ่น L Plan SLWD 50X/0.45, WD 17 mm)

29. เลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens, Nikon Plan รุ่น LWD DL 40X/0.55, WD 2.1 mm)

30. เลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens, Nikon Plan รุ่น L Plan 20X/0.35, WD 24 mm)

31. Dichoric beamsplitters Passband 544.2-824.8 nm (Semrock รุ่น LPD01-532RS-25×36×1.1 mm)

32. หัววัด (Detector)

33. สายน้ำแสง (Fiber optics) SMA 905 to single-strand optical fiber (0.22 NA)

34. โต๊ะออปติค

35. เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Perkin Elmer รุ่น Spectrum 400 FT-IR/FT-NIR Spectrometer)

36. หัววัด ATR (Attenuated Total Reflectance)

37. เครื่องคอมพิวเตอร์

38. โปรแกรม SpectraSuite

39. โปรแกรม SpectraWiz Spectrometer OS v5.0 (c) 2001

40. โปรแกรม Tanagra 1.4

ີວສີກາรวิจัย

การเตรียมตัวอย่างไม้ที่ปราศจากสารแทรก มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. แปรรูปไม้ตัวอย่างให้มีขนาดเล็กลงด้วยการตะไบโดยใช้ตะไบไม้

2. นำผงไม้น้ำหนักประมาณ 10 g ที่ได้มาสกัดสารแทรกด้วยสารละลายเฮกเซน ปริมาตร
 200 ml โดยใช้เครื่อง Soxhlet extraction เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

 นำสารสกัดที่ได้มาแยกสารละลายเฮกเซนออกด้วยเครื่อง Rotary vacuum Evaporator แล้วเก็บสารที่สกัดได้ลงในขวดบรรจุสารตัวอย่าง ปล่อยให้ระเหยแห้งต่อในอุณหภูมิห้อง เพื่อ นำไปวัดสเปกตรัมต่อในการทดลองขั้นต่อไป ส่วนผงไม้ที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซนตากให้แห้งใน อุณหภูมิห้อง 1 คืน

4. นำผงไม้ไปสกัดใหม่ด้วยสารละลายเอทานอล ปริมาตร 200 ml โดยใช้เครื่อง Soxhlet extraction เป็นเวลา 9 ชั่วโมง

5. นำสารสกัดที่ได้มาแยกสารละลายเอทานอลออกโดยเครื่อง Rotary vacuum Evaporator แล้วเก็บสารที่สกัดได้ลงในขวดบรรจุสารตัวอย่าง ปล่อยให้ระเหยแห้งต่อในอุณหภูมิห้อง เพื่อ นำไปวัดสเปกตรัมต่อในการทดลองขั้นต่อไป ส่วนผงไม้ที่ผ่านการสกัดด้วยเอทานอลตากให้แห้ง ในอุณหภูมิห้องจนแห้งสนิท

 เก็บตัวอย่างผงไม้ไว้ในภาชนะที่มิดชิด เพื่อนำตัวอย่างที่เตรียมได้นี้ไปใช้ในการ วิเคราะห์หาองก์ประกอบต่างๆ ทางเกมี ได้แก่ โฮโลเซลลูโลสและลิกนิน รวมทั้งนำผงไม้ที่ ปราศจากสารแทรกไปวัดสเปกตรัมวาวแสงไป

7. คำนวณหา % สารแทรกจาก

% extractive =
$$\frac{(DW_{hex} + DW_{EtOH})}{DW_{w}} \times 100$$
 (15)

โดย DW_{hex} คือ น้ำหนักแห้งของสารสกัดจากเฮกเซน มีหน่วยเป็นกรัม (g) DW_{EtOH} คือ น้ำหนักแห้งของสารสกัดจากเอทานอล มีหน่วยเป็นกรัม (g) DW_w คือ น้ำหนักแห้งของผงไม้ มีหน่วยเป็นกรัม (g)

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

การสกัดและหาปริมาณลิกนินวิเคราะห์ตาม TAPPI T222 om-88 มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

ชั่งน้ำหนักแห้งที่ปราศจากสารแทรกของผงไม้หนัก 1 ± 0.01 g ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด
 100 ml

 2. วางบีกเกอร์ลงในอ่างน้ำแข็งแล้วค่อยๆ เติม 72% H₂SO₄ ที่แช่เย็นไว้ในตู้เย็นลงไป 15 ml พร้อมคนอย่างสม่ำเสมอ ทุกๆ 15 นาที เพื่อให้ผสมกันดีขึ้น

 ปิดบิกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา แล้วนำออกจากอ่างน้ำแข็งมาตั้งทิ้งไว้ในอ่างควบคุม อุณหภูมิที่ 20+1°C เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง พร้อมคนสารละลายอย่างสม่ำเสมอ ทุกๆ 15 นาที

4. เติมน้ำกลั่น 400 ml ลงในขวคก้นกลมขนาค 1000 ml แล้วเทสารละลายในบีกเกอร์ลง ไปในขวคก้นกลม พร้อมทั้งเติมน้ำกลั่นลงไปอีกจนถึงระคับ 575 ml ที่ขีคไว้ขางขวคก้นกลม

5. ทำการ Reflux สารละลายนาน 4 ชั่วโมง เมื่อเสร็จเทสารละลายทั้งหมดใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 1000 ml แล้วตั้งบีกเกอร์ทิ้งไว้ 1 คืน

 กรองผ่าน Sinter glass crucible เบอร์ 3 ที่ทราบน้ำหนักแล้ว ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนจน เป็นกลาง ตากให้แห้งในอุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นจึงชั่งน้ำหนักของลิกนิน เก็บตัวอย่างไว้วัด สเปกตรัมวาวแสงของลิกนินต่อไป

7. คำนวณหา % ลิกนินจาก

$$\% \ lignin = \frac{DW_l}{DW_w} \times 100$$

โดย DW₁ คือ น้ำหนักแห้งของลิกนิน มีหน่วยเป็นกรัม (g) DW_w คือ น้ำหนักแห้งของผงไม้ มีหน่วยเป็นกรัม (g)

การสกัดและหาปริมาณโฮโลเซลลูโลสโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2% มีขั้นตอน การทดลองดังนี้

 ชั่งน้ำหนักแห้งของตัวอย่างผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก 4 ± 0.01 g ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 250 ml

 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2% ปริมาตร 160 ml คนผงไม้เพื่อให้ กระจายเข้ากันดีด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชม.

3. กรองผงไม้ผ่าน Buchner funnel ล้างผงไม้ที่เหลือด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งเป็นกลาง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

(16)

4. ตากให้แห้งในอุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นจึงชั่งน้ำหนักของโฮโลเซลลูโลส เก็บตัวอย่างไว้
 วิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาเซลลูโลสและวัคสเปกตรัมวาวแสงของโฮโลเซลลูโลสต่อไป
 ภำนวณหาปริมาณโฮโลเซลลุโลสจาก

% holocellulose =
$$\frac{DW_h}{DW_w} \times 100$$
 (17)

โดย DW_b คือ น้ำหนักแห้งของโฮโลเซลลูโลส มีหน่วยเป็นกรัม (g) DW_w คือ น้ำหนักแห้งของผงไม้ มีหน่วยเป็นกรัม (g)

การติดตั้งอุปกรณ์ Laser Induced Fluorescence (LIF) โดยใช้เลเซอร์ไดโอด ความยาวคลื่น 532 nm



ภาพที่ 13 แผนภาพทางเดินแสงของชุดอุปกรณ์ LIF เลเซอร์ไดโอด ความยาวคลื่น 532 nm

จากภาพที่ 13 ใช้เลเซอร์ไดโอด ความยาวคลื่น 532 nm กำลัง 10 mW เป็นแหล่งกำเนิดแสง ผ่านเข้าฟิลเตอร์ 1 (Filter 1; Semrock MaxLine Laser-line Filters, LL01-532-12.5) ซึ่งทำหน้าที่ตัด ความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ออก แสงที่ออกจากฟิตเตอร์จะสะท้อนไปที่กระจกตัวที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เพื่อให้แสงเข้าสู่ dichroic beamsplitter (Semrock , LPD01-532RU-25x36x1.1) ซึ่งทำ

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

หน้าที่แยกแสงเป็นสองลำแสง โดยแสงที่ตกกระทบที่มุม 45° จะสะท้อนไปที่กระจกตัวที่ 3 ซึ่งอยู่ ด้านล่างกล้องไมโครสโคป ลำแสงจะถูกโฟกัสไปที่ตัวอย่างเพื่อกระตุ้นให้เกิดฟลูออเรสเซนซ์ แสง กระเจิงออกมาจากตัวอย่างถูกเก็บโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Nikon L Plan SLWD 50X/0.45, WD 17 mm) แสงที่ออกมาจากเลนส์ใกล้วัตถุจะเป็นลำแสงขนาน แล้วสะท้อนกลับทางกระจกตัวที่ 3 และ ส่งผ่าน dichroic beamsplitter เข้าสู่ฟิลเตอร์ 2 เพื่อลดความเข้มของแสงเลเซอร์ก่อนจะส่งเข้าสู่เลนส์ นูน ความยาวโฟกัส 30 mm เพื่อทำหน้าที่โฟกัสแสงไปที่หัววัด (detector) แล้วส่งผ่านแสงโดยสาย นำแสง (fiber optics) เข้าสู่สเปกโทรมิเตอร์ (Ocean Optic รุ่น MAYA PRO 2000) ซึ่งต่อเข้ากับ กอมพิวเตอร์ เพื่อทำการวัดสเปกตรัมของตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม Spectrasuit

การจัดตั้งอุปกรณ์ Laser Induced Fluorescence (LIF) โดยไฟฉายหลอดแอลอีดี ความยาวคลื่น 395 nm



ภาพที่ 14 แผนภาพทางเดินแสงของชุดอุปกรณ์ LIF หลอดแอลอีดี ความยาวคลื่น 395 nm

จากภาพที่ 14 แสงจากหลอดแอลอีดี ความยาวกลื่น 395 nm ผ่านเข้าสู่เลนส์ใกล้วัตถุ1 (Nikon L Plan SLWD 50X/0.45, WD 17 mm) ลำแสงที่ออกมาจากจะถูกโฟกัสไปที่ตัวอย่าง เพื่อ กระตุ้นให้เกิดฟลูออเรสเซนซ์ แสงที่กระเจิงออกมาจากตัวอย่างจะถูกเก็บโดยเลนส์ใกล้วัตถุ 2 (Nikon Plan LWD DL 40X/0.55, WD 2.1 mm) แสงที่ออกมาจะเป็นลำแสงที่งนาน ส่งเข้าสู่เลนส์ นูน ความยาวโฟกัส 30 mm ซึ่งทำหน้าที่โฟกัสแสงไปที่หัววัดโดยมีเส้นใยนำแสง (fiber optics) ส่ง

สิขสิทขึ้ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

เข้าสู่สเปคโทรมิเตอร์ (Ocean Optic รุ่น MAYA PRO 2000) ซึ่งต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการ วัดสเปกตรัมของตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม Spectrasuit



การจัดตั้งอุปกรณ์ Laser Induced Fluorescence (LIF) ของหลอดปรอท ความยาวคลื่น 365 nm

ภาพที่ 15 แผนภาพทางเดินแสงของชุดอุปกรณ์ LIF ของแสงยูวี โดยใช้หลอดปรอทเป็น แหล่งกำเนิดแสง เลือกความยาวคลื่น 365 nm

จากภาพที่ 15 ใช้หลอดปรอทเป็นแหล่งกำเนิดแสงย่านยูวี โดยเลือกความยาวคลื่น 365 nm ด้วยเครื่องโมโนโครเมเตอร์ (Spectral Products รุ่น CM110 Compact 1/8 meter Monochromator) ผ่านเข้าสู่ฟิลเตอร์ เพื่อตัดแสงย่านที่ตามองเห็นทิ้งไป โดยแสงส่วนนี้จะผ่านเข้าสู่เลนส์ใกล้วัตถุ1 (Nikon L Plan WD 20X/0.35, WD 24 mm) ลำแสงที่ออกมาจากจะถูกโฟกัสไปที่ตัวอย่าง เพื่อ กระตุ้นให้เกิดการวาวแสง ซึ่งแสงที่กระเจิงออกมาจากตัวอย่างจะถูกเก็บโดยเลนส์นูนความยาว ไฟกัส 30 mm จำนวน 2 เลนส์ เพื่อทำให้แสงที่ออกมาเป็นลำแสงขนาน โดยเลนส์นูน 1 ทำหน้าที่ โฟกัสแสงที่กระเจิงออกมาจากตัวอย่างส่งเข้าสู่เลนส์นูน 2 ซึ่งทำหน้าที่โฟกัสแสงไปที่หัววัคโดยมี เส้นใยนำแสง (fiber optics) ส่งเข้าสู่สเปกโทรมิเตอร์ (StellarNet Inc รุ่น BLACK-Comet C-200) ซึ่งต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการวัคสเปกตรัมของตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม SpectraWiz Spectrometer OS v5.0 (c) 2001

การวัดสเปกตรัม

1. วัคสเปกตรัมโคยใช้ชุดอุปกรณ์เลเซอร์ใคโอค ความยาวคลื่น 532 nm

 1.1 นำผงไม้ปริมาณเล็กน้อยวางบนกระจกสไลด์ แล้วนำไปวางบริเวณแท่นวางตัวอย่าง ของกล้องไมโครสโคปของชุดอุปกรณ์การวัดที่ได้จัดตั้งไว้

 1.2 เปิดแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์สีเขียวให้แสงเข้ามาในระบบเพื่อทำการวัด โดยปรับให้ แสงโฟกัสไปที่ผงไม้ตัวอย่าง

1.3 เปิดโปรแกรม SpectraSuite ตั้งค่า Integration Time: 3 seconds, Scans to Average: 3 และ Boxcar Width: 20 เริ่มทำการวัดโดยสุ่มตำแหน่งการวัดจำนวน 3 ครั้ง

 1.4 ทำการเปลี่ยนตัวอย่างจากผงไม้เป็นผงไม้ที่ปราสจากสารแทรก โฮโลเซลลูโลส ลิกนิน สารสกัดจากเฮกเซน และสารสกัดจากเอทานอล แล้วทำซ้ำตามข้อ 1.2 และ 1.3 เมื่อวัดครบแล้วให้ เปลี่ยนชนิดของไม้ตัวอย่าง แล้วทำซ้ำข้อ 1.1-1.4 จนครบทุกชนิดของไม้ตัวอย่าง

1.5 นำกราฟสเปกตรัมของผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกอออก โฮโลเซลลูโลสและ ลิกนิน ของตัวอย่างไม้ทุกชนิดมาวิเคราะห์องก์ประกอบหลักโดยใช้โปรแกรม Tanagra 1.4

2. วัคสเปกตรัม โดยใช้ชุดอุปกรณ์หลอดไฟฉายแอลอีดี ความยาวคลื่น 395 nm

2.1 เปิดแหล่งกำเนิดให้แสงเข้ามาในระบบเพื่อทำการวัดสเปกตรัมที่ไม่มีผงไม้ตัวอย่าง

 2.2 นำผงไม้ปริมาณเล็กน้อยใส่กระทะบรรจุสารตัวอย่างอัดแน่นปาดผิวหน้าให้เรียบ แล้ว นำไปวางบริเวณแท่นวางตัวอย่างของชุดอุปกรณ์การวัดที่ได้จัดตั้งไว้

2.3 ปรับให้แสงโฟกัสไปที่ผงไม้ตัวอย่าง

2.4 เปิดโปรแกรม SpectraSuite ตั้งค่า Integration Time: 3 seconds, Scans to Average: 3 และ Boxcar Width: 20 เริ่มทำการวัดโดยสุ่มตำแหน่งการวัดจำนวน 3 ครั้ง

2.5 ทำการเปลี่ยนตัวอย่างจากผงไม้เป็นผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก โฮโลเซลลูโลส และ ลิกนิน เมื่อวัดครบแล้วให้เปลี่ยนชนิดของไม้ตัวอย่าง แล้วทำซ้ำข้อ 2.2-2.5 จนครบทุกชนิดของไม้ ตัวอย่าง

2.6 นำกราฟสเปกตรัมของผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกอออก โฮโลเซลลูโลสและ ลิกนินของตัวอย่างไม้ทุกชนิดมาวิเคราะห์องค์ประกอบหลักโดยใช้โปรแกรม Tanagra 1.4

31

3. วัคสเปกตรัม โดยใช้ชุดอุปกรณ์หลอดปรอท ความยาวกลื่น 365 nm

3.1 เปิดแหล่งกำเนิดให้แสงเข้ามาในระบบ โดยเลือกความยาวกลื่น 365 nm ด้วยเครื่อง โมโนโครเมเตอร์

3.2 นำผงไม้ปริมาณเล็กน้อยใส่กระทะบรรจุสารตัวอย่างอัดแน่นปาดผิวหน้าให้เรียบ แล้ว นำไปวางบริเวณแท่นวางตัวอย่างของชุดอุปกรณ์การวัดที่ได้จัดตั้งไว้ ปรับให้แสงโฟกัสไปที่ผงไม้ ตัวอย่าง

3.3 เปิดโปรแกรม SpectraWiz Spectrometer OS v5.0 (c) 2001 ตั้งค่า Integration Time: 1 seconds และ Boxcar Width: 2 วัดตัวอย่างโดยสุ่มตำแหน่งการวัดจำนวน 3 ครั้ง

3.4 เปลี่ยนตัวอย่างจากผงไม้เป็นผงไม้ที่ปราสจากสารแทรก โฮโลเซลลูโลส และลิกนิน ตามลำลับ เมื่อวัคครบแล้วให้เปลี่ยนชนิดของไม้ตัวอย่าง แล้วทำซ้ำข้อ 2.2-2.4 จนครบทุกชนิดของ ไม้ตัวอย่าง

 3.5 นำกราฟสเปกตรัมของผงไม้ ผงไม้ที่ปราสจากสารแทรกอออก โฮโลเซลลูโลสและ ลิกนินของตัวอย่างไม้ทุกชนิดจากการวัดมาวิเคราะห์องค์ประกอบหลักโดยใช้โปรแกรม Tanagra
 1.4

4. วัคสเปกตรัมโคยใช้เครื่อง FTIR

4.1 เปิดเครื่อง FTIR ก่อนการวัด 15 นาที

4.2 เปิดโปรแกรม Spectrum เลือกหน้าต่าง Instrument Setup

4.1.1 เลือก Tap ฟังก์ชั่น Scan

4.1.1.1 Range ใส่เลขคลื่นที่ต้องการสแกน โดยใส่ก่า 4000-650 cm

4.1.1.2 Option คือฟังก์ชั่น Scan type โดยเลือก Background

4.1.1.3 Duration คือฟังก์ชั่น Scan number เลือก 4 ครั้ง

4.1.1.4 กดปุ่ม Apply

4.1.2 เลือก Tap ฟังก์ชั่น Sample เพื่อพิมพ์ชื่อตัวอย่างที่ทำการวัด กดปุ่ม Apply

และปุ่ม Start

4.3 หมุน Forge Gauge เพื่อให้แรงกคลงไปที่ตัวอย่างเป็นก่า 100 แล้วกคปุ่ม Scan เพื่อทำ การวัคสเปกตรัม

4.4 วางตัวอย่างบริเวณแท่นวาง แล้วทำซ้ำข้อ 3.2-3.3 โดยสเปกตรัมที่วัดได้จะถูกลบ Background ที่วัดไปครั้งแรกและ Scan Type จะเปลี่ยนเป็น Sample โดยอัตโนมัติ วัดจนครบทุก ชนิดของไม้ตัวอย่าง 4.5 นำกราฟสเปกตรัม FTIR ของผงไม้ ผงไม้ที่ปราสจากสารแทรกอออก โฮโลเซลลูโลส และลิกนินของตัวอย่างไม้ทุกชนิคมาวิเคราะห์องค์ประกอบหลักโดยใช้โปรแกรม Tanagra 1.4

การวิเคราะห้องค์ประกอบหลักด้วยโปรแกรม Tanagra 1.4

 กำสั่ง File เลือก new เพื่อนำเข้าข้อมูลสเปกตรัมผงไม้ 12 ชนิดจากการวัดด้วยเลเซอร์ ความยาวคลื่น 532 nm

 คำสั่ง Define attribute statuses กดปุ่ม Select continuous attribute กดปุ่ม Add selected attribute เพื่อนำเข้า Attribute คือความยาวคลื่นในช่วงที่ต้องการวิเคราะห์ กดปุ่ม OK

3. คำสั่ง Components เลือกวิธีวิเคราะห์ทางสถิติที่ต้องการคือ Factor analysis เลือก Principal Component Analysis (PCA) โปรแกรมจะคำนวณหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละความยาว กลื่นของทั้งผงไม้ 12 ชนิด โดยเริ่มตั้งแต่ความยาวคลื่น 540-790 nm สำหรับแสงกระตุ้นความยาว กลื่น 532 nm, 500-750 nm สำหรับแสงกระตุ้นความยาวคลื่น 395 nm, 420-700 nm สำหรับแสง กระตุ้นความยาวคลื่น 365 nm และเลขคลื่น 4000-650 cm⁻¹ สำหรับสเปกตรัม FTIR จะได้ค่า attribute เพื่อคำนวณค่าเมทริกซ์โควาเรียนซ์ (covariance matrix) ใช้ในการหาค่าไอเกนเวกเตอร์ (Eigenvector) และค่าไอเกน (Eigen Value) โดยค่าไอเกนเวกเตอร์ของเมทริกซ์โควาเรียนซ์นั้นจะ ทำให้ได้แกนใหม่ที่แสดงลักษณะพิเศษของข้อมูล และค่าไอเกนสูงสุดจะเป็นองค์ประกอบหลักของ ชุดข้อมูลนั้น

 คำสั่ง Components เถือก Data visualization โดยเถือก Scatterplot with label แถ้วเถือก แกนของกราฟเป็น PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 เพื่อแสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ในองค์ประกอบหลักที่ 1 และ 2 เพราะเป็นองค์ประกอบที่มีค่าไอเกนสูงสุดจึงความสำคัญมาก

5. เปลี่ยนตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์เป็นผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก โฮโลเซลลูโลส ลิกนินจาก การวัดด้วยความยาวกลื่น 365, 395, 532 nm ผงไม้ รวมทั้งตัวอย่างจากการวัดเครื่อง FTIR แล้วทำซ้ำ ข้อ 1-4 จนครบทุกชนิดของตัวอย่าง

ผลและวิจารณ์

ผลการหาองค์ประกอบทางเคมีของไม้แต่ละชนิด

เมื่อคำนวณปริมาณโฮโลเซลลูโลสของไม้จำนวน 12 ชนิด ตามสมการที่ (17) พบว่า มี ปริมาณโฮโลเซลลูโลสในช่วง 72.0217-84.5508% โดยกระพี่ไม้สักอายุ 15 ปี มีปริมาณโฮโล เซลลูโลสสูงสุดเท่ากับ 84.5508% คำนวณปริมาณลิกนินของไม้จำนวน 12 ชนิด ตามสมการที่ (16) พบว่า มีปริมาณลิกนินในช่วง 21.5487-38.2698% โดยแก่นไม้สักอายุ 30 ปี มีปริมาณลิกนินสูงสุด เท่ากับ 38.2698% ส่วนผลการคำนวณปริมาณสารแทรกในเนื้อไม้จำนวน 12 ชนิด ตามสมการที่ (15) พบว่า มีปริมาณสารแทรกในช่วง 1.7800-8.5029% โดยแก่นไม้สักอายุ 30 ปี มีปริมาณสาร แทรกสูงสุดเท่ากับ 8.5029% ผลการทดลองหาองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีแสดงได้ในตารางที่ 1

ชนิดของไม้	ខែាតែរមតត្តិតែក (%)	ลิกนิน (%)	สารแทรก (%)
แก่นสัก 30 ปี	72.5742	38.2698	8.5029
แก่นสัก 15 ปี	75.6781	33.7931	7.8205
กระพี้สัก 15 ปี	84.5508	32.5606	4.1948
แก่นจามจุรี	83.1901	24.1252	8.2384
กระพี้จามจุรี	74.4737	21.5487	5.6613
แก่นนนทรี	81.5289	28.5794	5.2043
กระพื้นนทรี	75.3885	22.3750	4.2668
ทุเรียน	82.4414	36.4266	2.3064
ยูคาลิปตัส	77.2963	30.2388	1.7800
สยาเหลือง	77.0633	36.2986	5.1251
ป๊อปลาร์	81.3160	26.2019	1.8124
ยางแดง	79.4371	27.2736	4.7613

ตารางที่ 1 ค่าองค์ประกอบทางเคมีในไม้ต่างๆ

ผลการวัดสเปกตรัมโดยใช้ชุดอุปกรณ์ LIF ความยาวคลื่น 532 nm กำลัง 10 mW เป็นแหล่งกำเนิด แสง

ผลการวัดสเปกตรัมเลเซอร์ไดโอด โดยใช้สเปคโทรมิเตอร์ในการวัด ประมวลผลโดย โปรแกรม SpectraSuite ซึ่งวัดความยาวคลื่นได้ 532 nm ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 สเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดแสง ความยาวคลื่น 532 nm ที่วัดโดยใช้โปรแกรม SpectraSuite

ผลจำแนกความแตกต่างของสเปกตรัมวาวแสงของไม้และผงไม้จำนวน 8 ชนิค ได้แก่ ไม้ สักและผงไม้สักอายุ 30 ปี ชนิคละ 5 ตัวอย่าง ไม้สักและผงไม้สักอายุ 15 ปี ชนิคละ 5 ตัวอย่าง กระพี่ไม้สักและผงกระพี่ไม้สักอายุ 15 ปี ชนิคละ 4 ตัวอย่าง ไม้และผงไม้ยูคาลิปคัส ชนิคละ 3 ตัวอย่าง ไม้และผงไม้ทุเรียน ชนิคละ 3 ตัวอย่าง ไม้และผงไม้ยางแคง ชนิคละ 3 ตัวอย่าง ไม้และผง ไม้จามจุรี ชนิคละ 3 ตัวอย่างและไม้และผงไม้สยาเหลือง ชนิคละ 4 ตัวอย่าง รวมไม้และผงไม้ ทั้งหมด 60 ตัวอย่าง ซึ่งวัคสเปกตรัมโดยใช้เลเซอร์ความยาวกลื่น 532 nm เป็นแหล่งกำเนิคแสง ผล การวัคพบว่าไม้ตัวอย่างทุกชนิคมีการวาวแสงในช่วงความยาวกลื่น 540-790 nm ซึ่งแสดงก่าเฉลี่ย สเปกตรัมของไม้และผงไม้แต่ละชนิค ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 สเปกตรัมวาวแสงของไม้และผงไม้จำนวน 8 ชนิด วัดด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด

วิเคราะห์ผลการวัคสเปกตรัมไม้และผงไม้จำนวน 8 ชนิค ที่ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด โดยใช้โปรแกรม Tanagra 1.4 วิเคราะห์ PCA สร้างคุณลักษณะข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Continuous attribute) จากความยาวคลื่นได้ทั้งหมด 1163 ค่า สกัดองค์ประกอบหลัก คำนวณค่าสัดส่วนความ แปรปรวนและสัคส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลักได้ผงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลักจาก การวิเคราะห์การวาวแสงของไม้และผงไม้ที่ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด วัดด้วยความ ยาวคลื่น 532 nm โดยใช้ PCA

องค์ประกอบหลัก	สัดส่วนความแปรปรวน	สัดส่วนความแปรปรวนสะสม
PCA 1 Axis 1	67	67
PCA 1 Axis 2	25	92
PCA 1 Axis 3	6	98
PCA 1 Axis 4		99
PCA 1 Axis 5		100

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าร้อยละของสัดส่วนความแปรปรวนขององค์ประกอบหลัก 2 ตัว แรกมีค่าสัดส่วนความแปรปรวนสะสมถึงร้อยละ 92 นั่นคือ องค์ประกอบหลัก 2 ตัวแรกสามารถ อธิบายความผันแปรเดิมได้ร้อยละ 92 ถือว่าองค์ประกอบหลักเหล่านี้สามารถอธิบายความผันแปร ของตัวแปรเดิมอยู่มาก ดังนั้นการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักสามารถลดจำนวนข้อมูลเดิม 1163 ข้อมูล ให้เหลือเพียง 2 องค์ประกอบหลัก คือ PCA 1 Axis 1 และ PCA 2 Axis 2 แล้วทำการสร้าง แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลักที่ 1 และ 2 ได้ผลดังภาพที่ 18 ซึ่งจะเห็นได้ว่ากลุ่ม ของไม้และผงไม้ชนิดเดียวกันนั้นจะอยู่ในบริเวณเดียวกัน แต่มีไม้หลายชนิด ได้แก่ กระพี่ไม้สักอายุ 15 ปี ไม้ยูกาลิปตัส ไม้ทุเรียน ไม้ยางแดง ไม้จามจุรี และไม้สยาเหลือง มีบางจุดที่อยู่ใกล้เกียงกัน หรือปนกันอยู่ ส่วนแก่นไม้สักอายุ 15 ปีและ 30 ปี จะแยกออกมาจากกลุ่มไม้ชนิดอื่นอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่า ขนาดของไม้ไม่ว่าจะเป็นชิ้นไม้หรือเล็กละเอียดจนเป็นผงไม้ล้วนแต่ไม่มีผลต่อการ เปลี่ยนรูปแบบของสเปกตรัมที่วัดได้



ภาพที่ 18 แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของไม้ และผงไม้จำนวน 8 ชนิด ด้วยความยาวคลื่น 532 nm

ค่าความยาวคลื่นที่มีส่วนสำคัญในองค์ประกอบหลักที่ 1 และองค์ประกอบหลักที่ 2 ของไม้ และผงไม้ที่ พิจารณาได้จากค่า Loading ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงอิทธิพลของความยาวคลื่นแต่ละตัวที่มี ผลต่อการสร้างองค์ประกอบหลัก ถ้าค่า Loading ของความยาวคลื่นมีค่าเข้าใกล้ ±1 แสดงว่าความ ยาวคลื่นนั้นมีความสำคัญหรือมีส่วนร่วมในการสร้างองค์ประกอบหลัก



ภาพที่ 19 กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 1 และ 2 ของไม้และผงไม้ วัดด้วยความ ยาวคลื่น 532 nm

38

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร

จากภาพที่ 19 แสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 1 และ 2 ของไม้และผงไม้ จะเห็น ได้ความยาวคลื่นช่วง 620-750 และ 540-550 nm คือ ความยาวคลื่นช่วงนี้มีส่วนสำคัญใน Axis 1 และ 2 ตามลำคับ

ผลการวัดสเปกตรัมวาวแสงของไม้ตัวอย่างจำนวน 12 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดของไม้ตัวอย่าง ประกอบด้วยของผงไม้ ผงไม้ที่ผ่านกระบวนการสกัดสารแทรก โฮโลเซลลูโลส ลิกนิน สารแทรกที่ สกัดด้วยเฮกเซนและสารแทรกที่สกัดด้วยเอทานอล วัดโดยใช้เลเซอร์ความยาวคลื่น 532 nm มีการ วาวแสงจะวาวแสงในช่วงความยาวกลื่น 540-790 nm แสดงดังภาพที่ 20-31

แก่นไม้สักอาขุ 30 ปี พบว่า ผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกและ โฮโลเซลลูโลสมีจุดขอด ของสเปกตรัมที่ความขาวคลื่น 640, 625 และ 630 nm ตามลำดับ ซึ่งผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกและ โฮโลเซลลูโลสมีรูปกราฟที่เหมือนกันมากจนซ้อนทับกันในบางช่วงความขาวคลื่นและมีการเลื่อน ตำแหน่งสเปกตรัมไปทางค้านความขาวคลื่นค้านน้อยในช่วง 590-790 nm

แก่นไม้สักอายุ 15 ปี พบว่า ผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกและ โฮโลเซลลูโลสมีจุดยอด ของสเปกตรัมตำแหน่งเดียวกันที่ความยาวคลื่น 630 nm อีกทั้งยังมีรูปกราฟที่คล้ายกัน ต่างเพียง ความเข้มในช่วง 540-600 และ 650-790 nm

กระพี่ไม้สัก 15 ปี พบว่า ผงไม้และผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกมีจุดยอดของสเปกตรัมอยู่ที่ 595 nm และมีรูปกราฟที่เหมือนกันมากจนซ้อนทับกันในบางช่วงความยาวคลื่น 540-600 nm ขณะที่สเปกตรัมวาวแสงของโฮโลเซลลูโลสเลื่อนตำแหน่งไปทางความยาวคลื่นด้านมาก จึงมีจุด ยอดที่ 615 nm

แก่นไม้จามจุรี พบว่า สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้และ โฮโลเซลลูโลสค่อนข้างคล้ายคลึง กันและมีจุดยอดอยู่ในช่วง 600-610 nm เหมือนกัน ส่วนสเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ที่ปราศจากสาร แทรกเลื่อนไปทางกวามยาวกลื่นด้านน้อยเล็กน้อย จึงมีจุดยอดอยู่ที่ 595 nm

กระพี้ไม้จามจุรี พบว่า สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกและโฮโล เซลลูโลสซ้อนทับกันในช่วงความยาวคลื่น 540-593 nm จึงมีจุดยอดของสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 593 nm เหมือนกัน

ลิขสิทขึ้ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

แก่นไม้นนทรี พบว่า ผงไม้และผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกมีรูปกราฟค่อนข้างคล้ายคลึงกัน แต่มีจุดยอดของสเปกตรัมอยู่ที่เดียวกันคือ 595 nm ส่วนสเปกตรัมวาวแสงของโฮโลเซลลูโลสมีการ เลื่อนมาทางความยาวกลื่นด้านน้อย มีจุดยอดอยู่ที่ 592 nmและช่วงความยาวกลื่น 540-590 nm สเปกตรัมมีลักษณะโค้งขึ้นซึ่งแตกต่างจากสเปกตรัมของผงไม้อย่างชัดเจน

กระพี่ไม้นนทรี พบว่า สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกและ โฮโล เซลลูโลสนั้นค่อนข้างแตกต่างกันที่ความยาวคลื่นช่วง 540-580 nm ในขณะที่ช่วง 580-590 nm เป็น ส่วนที่สเปกตรัมวาวแสงทั้งสามมีความคล้ายคลึงกันมากจนซ้อนทับกันพอดีที่ 595 nm ซึ่งเป็นจุด ยอดของสเปกตรัมวาวแสงด้วย หลังจากนั้นในช่วง 600-790 nm คือช่วงที่ทั้งสามมีรูปร่างสเปกตรัม วาวแสงที่คล้ายกัน

ไม้ทุเรียนและป๊อปลาร์ พบว่า ผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกและโฮโลเซลลูโลสมีจุด ยอดของสเปกตรัมตำแหน่งเดียวกันที่ความยาวคลื่น 595 nm อีกทั้งยังมีรูปกราฟที่คล้ายกัน

ใม้ยูคาลิปตัส พบว่า สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้มีความเข้มค่อนข้างน้อย ส่วนสเปกตรัม วาวแสงของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกและ โฮโลเซลลูโลสมีลักษณะคล้ายกันและมีจุดยอด ของสเปตรัมตำหน่งเดียวกันคือ 595 nm

ใม้สยาเหลือง ผงไม้และผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกมีสเปกตรัมวาวแสงคล้ายคลึงกันและมี จุดยอดของสเปกตรัมอยู่ที่เดียวกันคือ 615 nm ส่วนสเปกตรัมวาวแสงของโฮโลเซลลูโลสเลื่อนมา ทางกวามยาวกลื่นด้านน้อย มีจุดยอดอยู่ที่ 595 nm

ไม้ยางแดง พบว่า ผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกและโฮโลเซลลูโลสมีจุดยอดของ สเปกตรัมตำแหน่งเดียวกันที่ความยาวคลื่น 600-620 nm อีกทั้งยังมีรูปร่างสเปกตรัมที่คล้ายกัน

ลิกนินของไม้บางชนิด ได้แก่ แก่นไม้สักอายุ 30 ปี แก่นและกระพี่ไม้สีกอายุ 15 ปี กระพี่ไม้ จามจุรี ไม้ยูกาลิปตัสและ ไม้ยางแดง มีการวาวแสงเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่ไม้บางชนิด ได้แก่ แก่น ไม้จามจุรี แก่นและกระพี่ไม้นนทรี ไม้ทุเรียน ไม้สยาเหลืองและไม้ป๊อปลาร์กลับไม่มีการวาวแสง พิจารณาสารแทรกของไม้แต่ละชนิดที่สกัดด้วยเฮกเซนและเอทานอล พบว่า ไม่สามารถหาข้อสรุป ได้แน่ชัดว่าสารแทรกที่สกัดด้วยสารชนิดใดที่เกิดการวาวแสง เนื่องจากในแก่นไม้สักอายุ 30 และ 15 ปี และแก่นไม้จามจุรี พบว่าสารแทรกที่สกัดด้วนเฮกเซนเท่านั้นที่มีการวาวแสงเกิดขึ้น ขณะที่ แก่นไม้นนทรีมีการวาวแสงเกิดขึ้นเฉพาะสารแทรกที่สกัดด้วยเอทานอล ส่วนกระพี่ไม้สักอายุ 15 ปี



กระพี่ไม้จามจุรี กระพี่ไม้นนทรี ไม้ทุเรียน ไม้ยูกาลิปตัส ไม้ป๊อปลาร์และไม้สยาเหลือง มีสเปกตรัม วาวแสงเกิดขึ้นทั้งในสารแทรกที่สกัดด้วยเอทานอลและเฮกเซน

ภาพที่ 20 สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้สักอายุ 30 ปี วัคด้วยความยาวกลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับ ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 21 สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้สักอายุ 15 ปี วัคด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับ ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 22 สเปกตรัมวาวแสงของกระพี่ไม้สักอายุ 15 ปี วัคด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับ ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 23 สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้จามจุรี วัดด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความเข้ม แสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 24 สเปกตรัมวาวแสงของกระพี้ไม้จามจุรี วัดด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความ เข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 25 สเปกตรัมวาวแสงของแก่น ไม้นนทรี วัดด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความเข้ม แสง (ง) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 26 สเปกตรัมวาวแสงของกระพี่ไม้นนทรี วัดด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความ เข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 27 สเปกตรัมวาวแสงของไม้ทุเรียน วัคด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 28 สเปกตรัมวาวแสงของไม้ยูคาลิปตัส วัดด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความเข้ม แสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 29 สเปกตรัมวาวแสงของไม้สยาเหลือง วัดด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความเข้ม แสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 30 สเปกตรัมวาวแสงของไม้ป๊อปลาร์ วัดด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความเข้ม แสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 31 สเปกตรัมวาวแสงของไม้ยางแดง วัดด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความเข้ม แสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด

ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสง จากการกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 532 nm

ผลการวัดสเปกตรัมของผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก โฮโลเซลลูโลสและลิกนิน จำนวน 12 ชนิด กระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 532 nm โดยใช้โปรแกรม Tanagra 1.4 วิเคราะห์ PCA ในช่วงความยาวกลื่น 540-790 nm แสดงคังภาพที่ 32-35



ภาพที่ 32 สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้จำนวน 12 ชนิด ด้วยความยาวกลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับ ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด

53

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์


ภาพที่ 33 สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ที่ปราสจากสารแทรกจำนวน 12 ชนิด ด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรศาสกร์



ภาพที่ 34 สเปกตรัมวาวแสงของโฮโลเซลลูโลสของไม้จำนวน 12 ชนิด วัดด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 35 สเปกตรัมวาวแสงของลิกนินของไม้จำนวน 12 ชนิค วัคด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด

ผลการวัดสเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก โฮโลเซลลูโลสและ ลิกนิน จากไม้ตัวอย่างจำนวน 12 ชนิด ด้วยความยาวคลื่น 532 nm ถูกนำมาวิเคราะห์ PCA โดยใช้ โปรแกรม Tanagra 1.4 สร้างกุณลักษณะข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Continuous attribute) จากความยาว คลื่นในช่วง 540-790 nm ได้ทั้งหมด 1163 ค่า ทำการสกัดองค์ประกอบหลัก แล้วคำนวณค่าสัดส่วน ความแปรปรวนและสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลัก ได้ผลดังตารางที่ 3-6

องค์ประกอบ หลัก	สัคส่วนความแปรปรวน		สัคส่วนความแปรปรวนสะสม	
	ไม่ปรับความ เข้มแสง	ปรับความเข้มแสง บริเวณยอด	ไม่ปรับความ เข้มแสง	ปรับความเข้มแสง บริเวณยอค
PCA 1 Axis 1	57	69	57	69
PCA 1 Axis 2	34	22	92	91
PCA 1 Axis 3	7	8	99	99
PCA 1 Axis 4		1	100	100

ตารางที่ 3 ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลักจาก การวิเคราะห์การวาวแสงของผงไม้ ซึ่งวัดด้วยความยาวคลื่น 532 nm โดยใช้ PCA

ตารางที่ 4 ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลักจาก การวิเคราะห์การวาวแสงของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก ซึ่งวัดด้วยความยาวคลื่น 532 nm โดยใช้ PCA

องค์ประกอบ - หลัก	สัคส่วนความแปรปรวน		สัดส่วนความแปรปรวนสะสม	
	ไม่ปรับความ	ปรับความเข้มแสง	ไม่ปรับความ	ปรับความเข้มแสง
	เข้มแสง	บริเวณยอด	เข้มแสง	บริเวณยอด
PCA 1 Axis 1	60	70	60	70
PCA 1 Axis 2	27	23	86	93
PCA 1 Axis 3	13	5	99	98
PCA 1 Axis 4	1	2	100	100

ตารางที่ 5 ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลักจาก การวิเคราะห์การวาวแสงของโฮโลเซลลูโลส วัดด้วยความยาวคลื่น 532 nm โดยใช้ PCA

องอังไระอองเ	สัดส่วนความแปรปรวน		สัดส่วนความแปรปรวนสะสม	
หลัก	ไม่ปรับความ	ปรับความเข้มแสง	ไม่ปรับความ	ปรับความเข้มแสง
nan	เข้มแสง	บริเวณยอด	เข้มแสง	บริเวณยอด
PCA 1 Axis 1	65	76	65	76
PCA 1 Axis 2	26	19	91	95
PCA 1 Axis 3	8	4	99	99
PCA 1 Axis 4			100	100

ตารางที่ 6 ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลักจาก การวิเคราะห์การวาวแสงของลิกนิน วัดด้วยความยาวคลื่น 532 nm โดยใช้ PCA

องค์ประกอบ หลัก	สัคส่วนความแปรปรวน		สัคส่วนความแปรปรวนสะสม	
	ไม่ปรับความ	ปรับความเข้มแสง	ไม่ปรับความ	ปรับความเข้มแสง
	เข้มแสง	บริเวณยอด	เข้มแสง	บริเวณยอด
PCA 1 Axis 1	82	57	82	57
PCA 1 Axis 2	15	39	97	96
PCA 1 Axis 3	3	4	100	100

ค่าสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลัก 2 ตัวแรก คือ PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 เป็นตัวอธิบายความผันแปรเดิมของข้อมูลเดิม โดยผงไม้ร้อยละ 92 และ 91 (จาก ตารางที่ 3) ผงไม้สกัดสารแทรกออกร้อยละ 86 และ 93 (จากตารางที่ 4) โฮโลเซลลูโลสร้อยละ 91 และ 95 (จากตารางที่ 5) ลิกนินร้อยละ 97 และ 96 (จากตารางที่ 6) โดยเป็นค่าที่ไม่ปรับความเข้ม แสงและปรับความเข้มแสงบริวเณยอด ตามลำดับ

้ผงไม้ที่ไม่ปรับความเข้มแสงบริเวณยอคจากการวัคโดยการกระตุ้นด้วยความยาวกลื่น 532 nm ดังภาพที่ 32 (ก) พบว่า ผงไม้ตัวอย่างแต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะของสเปกตรัมวาวแสงแตกต่าง ้กัน ไม้ตัวอย่างหลายชนิดมีความเข้มของสเปกตรัมวาวแสงใกล้เคียงกัน ยกเว้นไม้ยูคาลิปตัสซึ่งมี ความเข้มของสเปกตรัมวาวแสงจากการกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 532 nm น้อยที่สุด พิจารณาจุด ยอคของสเปกตรัมวาวแสง พบว่า แก่นไม้สักอายุ 15 และ 30 ปี มีจุดยอดต่างจากสเปกตรัมวาวแสง ้ของผงไม้ตัวอย่างชนิคอื่น พิจารณาก่าความยาวกลื่นที่มีส่วนสำคัญในองค์ประกอบหลักที่ 1 และ องค์ประกอบหลักที่ 2 ของผงไม้ โดยใช้ค่า Factor Loading ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงอิทธิพลของความ ยาวกลื่นแต่ละตัวที่มีผลต่อการสร้างองก์ประกอบหลักที่ 1 และ 2 ซึ่งก่ากวามยาวกลื่นที่มีส่วนสำคัญ ใน Axis 1 คือ ความยาวคลื่นช่วง 650-770 nm แสดงคังภาพที่ 36 (ก) ในขณะที่ Axis 2 ภาพที่ 36 (ข) ความยาวคลื่นช่วง 570-630 nm คือช่วงที่มีส่วนสำคัญในการแบ่งกลุ่ม สร้างแผนภาพการ กระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 แสดงคังภาพที่ 40 (ก) จะเห็นได้ว่าใน Axis 1 ้สเปกตรัมวาวแสงของผงแก่นไม้สักอาย 15 ปี และ 30 ปี แยกออกมาจากกลุ่มผงไม้ชนิดอื่น แต่ใน Axis 2 ตามแนวแกนตั้ง พบว่า ผงไม้ตัวอย่างทกชนิดอย่ปะปนกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาทั้ง Axis 1 และ 2 สามารถแยกผงแก่นไม้สักออกจากผงไม้ตัวอย่างชนิดอื่นได้ อีกทั้งยังพบว่า ในการ แบ่งกลุ่มผงไม้ตัวอย่างขึ้นอยู่กับค่า Factor Loading พิจารณาผงไม้ที่ปรับความเข้มแสงบริเวณยอค ดังภาพที่ 32 (ข) พบว่าเมื่อปรับความเข้มแสงบริเวณยอด ทำให้ค่า Factor Loading ในแกน Axis 1 และ 2 เปลี่ยนแปลงค้วย โดยความยาวคลื่นที่มีส่วนสำคัญใน Axis 1 คือ ช่วง 620-720 nm ดังภาพที่ 36 (ก) และใน Axis 2 คือ ช่วง 540-570 nm ดังภาพที่ 36 (ข) สร้างแผนภาพการกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 แสดงดังภาพที่ 40 (บ) พิจารณา Axis 1 ตามแกนนอน พบว่า ้สเปกตรัมวาวแสงของผงแก่นไม้สักอายุ 15 ปีและ 30 ปี มีจุดยอดสเปกตรัมวาวแสงที่ความยาวคลื่น 640 nm แยกออกมาจากกลุ่มผงไม้อื่น และอยู่ใกล้เคียงกันบน PCA 1 Axis 1 ซึ่งใกล้เคียงกับผงไม้ยู คาลิปตัสและสยาเหลืองด้วย สอดคล้องกับค่า Factor Loading Axis 1 ในขณะที่ Axis 2 พบว่า ผงไม้ ตัวอย่างทุกชนิคมีก่าใกล้เกียงกับบน Axis 2 พิจารณาโคยรวมทั้ง PCA 1 Axis 1 และ PCA 2 Axis 2 สามารถแยกผงแก่นไม้สักออกจากผงไม้ตัวอย่างชนิดอื่นได้เช่นกัน และค่า Factor Loading Axis 1 มีส่วนสำคัญในแบ่งกลุ่มมากกว่าค่า Factor Loading Axis 2 สอดคล้องกับค่าสัคส่วนความ แปรปรวนของ PCA 1 Axis 1 และ PCA 2 Axis 2

ผงไม้ที่ปราสจากสารแทรกที่ไม่ปรับความเข้มแสงบริเวณยอดจากการวัดโดยการกระตุ้น ด้วยความยาวคลื่น 532 nm ดังภาพที่ 33 (ก) พบว่า ผงไม้ที่ปราสจากสารแทรกแต่ละชนิดมี สเปกตรัมวาวแสงคล้ายผงไม้นั้นๆและมีลักษณะเฉพาะของสเปกตรัมวาวแสงแตกต่างกันในแต่ละ

ลิขสิทฮิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

้ชนิด แต่มีความเข้มของสเปกตรัมวาวแสงใกล้เคียงกัน จุดยอดของสเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้สัก อายุ 15 และ 30 ปี ต่างจากจุดยอดของสเปกตรัมจากผงไม้ตัวอย่างชนิดอื่น พิจารณาค่า Factor Loading เพื่อวิเคราะห์ค่าความยาวคลื่นที่มีส่วนสำคัญในองค์ประกอบหลักที่ 1 และ 2 ของผงไม้ที่ ปราศจากสารแทรก พบว่าใน Axis 1 คือ ความยาวคลื่นช่วง 630-770 nm แสดงดังภาพที่ 37 (ก) ในขณะที่ Axis 2 คือ ความยาวคลื่นช่วง 560-620 nm ภาพที่ 37 (ข) แล้วสร้างแผนภาพการกระจาย ระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 แสดงดังภาพที่ 41 (ก) จะเห็นได้ว่าใน Axis 1 สเปกตรัม วาวแสงของแก่นไม้สักอายุ 15 ปีและ 30 ปี มีค่าบน PCA 1 Axis 1 ใกล้เคียงกับไม้ยูคาลิปตัส ไม้สยา เหลืองและแก่นไม้นนทรี เนื่องจากมีความเข้มของสเปกตรัมวาวแสงช่วงความยาวคลื่น 630-690 nm อยู่ใกล้กัน แต่ใน Axis 2 แก่นไม้นนทรีมีค่าบน PCA 1 Axis 2 ต่างจากแก่นไม้สักอายุ 15 ปีและ 30 ปี ไม้ยุคาลิปตัส และไม้สยาเหลือง เนื่องจากค่า Factor Loading Axis 2 ต่างกัน พิจารณาโดยรวม ทั้ง Axis 1 และ 2 พบว่า ความเข้มของผงไม้มีผลในการแบ่งกลุ่มผงไม้ คังนั้น จึงปรับความเข้มแสง บริเวณยอดให้เท่ากัน ดังภาพที่ 33 (ข) แบ่งกลุ่มผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกตามแกน PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 จากค่า Factor Loading พบว่า ความยาวคลื่นที่มีส่วนสำคัญใน Axis 1 คือ ช่วง 610-760 nm ดังภาพที่ 37 (ก) และใน Axis 2 คือ ช่วง 540-560 nm ดังภาพที่ 37 (บ) สร้างแผนภาพ การกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 ดังภาพที่ 41 (บ) พิจารณา Axis 1 ตามแกน ้นอน พบว่า สเปกตรัมวาวแสงของผงแก่นไม้สักอายุ 15 ปี และ 30 ปี แยกออกมาจากกลุ่มผงไม้อื่น และมีค่าใกล้เคียงกันบน PCA 1 Axis 1 สอคคล้องกับค่า Factor Loading Axis 1 ในขณะที่ Axis 2 พบว่า สเปกตรัมวาวแสงของผงแก่นไม้สักอายุ 15 ปีและ 30 ปี มีค่าบน PCA 1 Axis 2 ใกล้เคียงกัน และยังใกล้เคียงกับผงไม้ยางแคงด้วย อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณารวมทั้ง PCA 1 Axis 1 และ PCA 2 Axis 2 สามารถแยกผงแก่นไม้สักออกจากผงไม้ตัวอย่างชนิดอื่นได้และค่า Factor Loading Axis 1 มี ้ส่วนสำคัญในแบ่งกลุ่มมากกว่าก่า Factor Loading Axis 2 เนื่องจากก่าสัคส่วนความแปรปรวนของ PCA 1 Axis มากกว่า PCA 2 Axis 2

โฮโลเซลลูโลสสที่ไม่ปรับความเข้มแสงบริเวณยอดจากการวัคโดยการกระตุ้นด้วยความ ยาวกลื่น 532 nm ดังภาพที่ 34 (ก) พบว่า สเปกตรัมวาวแสงของโฮโลเซลลูโลสคล้ายผงไม้ต้นแบบ นั้นๆ และมีลักษณะเฉพาะของสเปกตรัมวาวแสงแตกต่างกันในแต่ละชนิดเช่นกัน ใช้ค่า Factor Loading วิเคราะห์ค่าความยาวคลื่นที่มีส่วนสำคัญในองค์ประกอบหลักที่ 1 และ 2 ของโฮโล เซลลูโลส พบว่าใน Axis 1 คือ ความยาวกลื่นช่วง 630-770 nm แสดงดังภาพที่ 38 (ก) ในขณะที่ Axis 2 คือ ความยาวกลื่นช่วง 570-610 nm ภาพที่ 38 (ข) แล้วสร้างแผนภาพการกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 แสดงดังภาพที่ 42 (ก) จะเห็นได้ว่าใน Axis 1 สเปกตรัมวาวแสง

ลิขสิตขึ้ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ของแก่นไม้สักอายุ 15 ปีและ 30 ปี มีค่าบน PCA 1 Axis 1 ใกล้เคียงกับไม้สยาเหลือง แต่ใน Axis 2 แก่นไม้สักอาย 15 ปีและ 30 ปี มีค่าใกล้เคียงกับโฮโลเซลลโลสของผงไม้ตัวอย่างหลายชนิด ้พิจารณาโดยรวมทั้ง Axis 1 และ 2 พบว่า โฮโลเซลลูโลสของแก่นไม้สักทั้งสองแยกออกจากโฮโล เซลลูโลสของผงไม้ตัวอย่างอื่นๆ พิจารณาโฮโลเซลลูโลสที่ปรับความเข้มแสงบริเวณยอค ดังภาพที่ 34 (ข) พบว่า จุดยอดของสเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้สักทั้งสองอยู่ที่ความยาวกลื่น 630 nm ต่าง จากจุดยอดของผงไม้ตัวอย่างชนิดอื่นซึ่งมีจุดยอดอยู่ในช่วง 590 หรือ 610 nm แบ่งกลุ่มโฮโล เซลลูโลสตามแกน PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 จากค่า Factor Loading พบว่า ความยาวคลื่น ที่มีส่วนสำคัญใน Axis 1 คือ ช่วง 620-760 nm ดังภาพที่ 38 (ก) และใน Axis 2 คือ ช่วง 600-610 nm ดังภาพที่ 38 (ข) แผนภาพการกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 แสดงดังภาพที่ 42 (ข) พิจารณา Axis 1 ตามแกนนอน พบว่า สเปกตรัมวาวแสงของผงแก่นไม้สักอายุ 15 ปีและ 30 ปี แขกออกมาจากกลุ่มผงไม้อื่นชัดเจน และมีค่าใกล้เคียงกันบน PCA 1 Axis 1 สอดคล้องกับค่า Factor Loading Axis 1 ในขณะที่ Axis 2 พบว่า สเปกตรัมวาวแสงของผงแก่นไม้สักทั้งสองมีค่า ใกล้เคียงกันและแยกออกจากโฮโลเซลลโลสของไม้ชนิคอื่นอย่างชัคเจน เมื่อพิจารณารวมทั้ง PCA 1 Axis 1 และ PCA 2 Axis 2 สามารถแยกผงแก่นไม้สักออกจากผงไม้ตัวอย่างชนิดอื่นได้ และค่า Factor Loading Axis 1 มีส่วนสำคัญในแบ่งกลุ่มมากกว่าค่า Factor Loading Axis 2 สอดคล้องกับค่า สัคส่วนความแปรปรวนของ PCA 1 Axis 1 และ PCA 2 Axis 2

ผลลิกนินในกรณีที่ไม่ปรับความเข้มแสงบริเวณขอดจากการวัดโดยการกระตุ้นด้วยความ ยาวกลื่น 532 nm ดังภาพที่ 35 (ก) จะเห็นได้ว่า ลิกนินของผงไม้ตัวอย่างทุกชนิดมีการวาวแสงน้อย มากหรืออาจไม่วาวแสงเลย เช่นในลิกนินของผงไม้ทุเรียน พิจารณาค่า Factor Loading เพื่อ วิเคราะห์ค่าความยาวกลื่นที่มีส่วนสำคัญในองค์ประกอบหลักที่ 1 และ 2 ของลิกนิน พบว่าใน Axis 1 ทุกช่วงความยาวกลื่นมีผลต่อการสร้างองค์ประกอบหลักที่ 1 และ 2 ของลิกนิน พบว่าใน Axis (ข) แล้วสร้างแผนภาพการกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 ดังภาพที่ 39 (ข) แล้วสร้างแผนภาพการกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 ดังภาพที่ 43 (ก) พบว่า สเปกตรัมวาวแสงของลิกนินของผงไม้ทุกชนิดก่อนข้างเกาะกลุ่มกันโดยเฉพาะค่าบน PCA 1 Axis 2 ไม่มีไม้ชนิดได้แยกจากกลุ่มอย่างชัดเจน แต่เมื่อปรับความเข้มแสงบริเวณยอด ดังภาพที่ 35 (ข) พบว่า ก่า Factor Loading มีก่าเปลี่ยนไป โดย Axis 1 ได้แก่ ความยาวกลื่นช่วง 540-790 และ 540-590, 640-680 และ 720-790 nm ดังภาพที่ 39(ก) ในขณะที่ Axis 2 ได้แก่ ความยาวกลิ่นช่วง 580-620 และ 680-720 nm ดังภาพที่ 39 (ข) แผนภาพการกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 ดังภาพที่ 43 (ข) พบว่า มีเพียงแก่นไม้สักอายุ 30 ปี เท่านั้นที่แยกออกจากกลุ่มไม้ชนิดอื่น

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรร่าสกร์

ใน PCA 1 Axis 1 แต่อย่างไรก็ตาม แก่นไม้สักอายุ 15 ปี ซึ่งเป็นแก่นไม้สักและมีเปอร์เซ็นต์ลิกนิน ใกล้เคียงกันกับแก่นไม้สักอายุ 30 ปี กลับมีตำแหน่งอยู่ใกล้กับส่วนกระพี่ไม้สัก และค่อนข้างเกาะ กลุ่มกับไม้ชนิคอื่นๆ



ภาพที่ 36 กราฟแสดงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่ 2 ของผง ใม้ที่วัดด้วยความยาวคลื่น 532 nm

62

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 37 กราฟแสดงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่ 2 ของผง ใม้ที่ปราศจากสารแทรก วัดด้วยความยาวคลื่น 532 nm

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 38 กราฟแสดงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่ 2 ของ โฮโลเซลลูโลส วัดด้วยความยาวคลื่น 532 nm



ภาพที่ 39 กราฟแสดงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่ 2 ของ ลิกนิน วัดด้วยความยาวคลื่น 532 nm

ลิขสิทชิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 40 แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของผง ใม้จำนวน 12 ชนิด ด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความ เข้มแสงบริเวณยอด

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 41 แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของผง ไม้ที่ปราศจากสารแทรกจำนวน 12 ชนิด ด้วยความยาวคลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความ เข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 42 แผนภาพการกระจายระหว่างองก์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของ โฮโลเซลลูโลสของไม้จำนวน 12 ชนิด วัดด้วยความยาวกลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความ เข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 43 แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของ ลิกนินของไม้จำนวน 12 ชนิด วัดด้วยความยาวกลื่น 532 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ผลการวัดสเปกตรัมโดยใช้ชุดอุปกรณ์หลอดไฟฉายแอลอีดี ความยาวคลื่น 395 nm กำลัง 1 mW

ผลการวัคสเปกตรัมหลอดไฟฉายแอลอีดี โดยใช้สเปคโทรมิเตอร์ในการวัคประมวลผลโดย โปรแกรม SpectraSuite ซึ่งวัดความยาวคลื่นได้ 395 nm ดังภาพที่ 44



ภาพที่ 44 สเปกตรัมของหลอดไฟฉายแอลอีดี ที่วัดโดยใช้โปรแกรม SpectraSuite

ผลจำแนกความแตกต่างของสเปกตรัมของไม้และผงไม้จำนวน 8 ชนิด ได้แก่ ไม้สักและผง ไม้สักอายุ 30 ปี ไม้สักและผงไม้สักอายุ 15 ปี กระพี่ไม้สักและผงกระพี่ไม้สักอายุ 15 ปี ไม้และผง ไม้ยูคาลิปตัส ไม้และผงไม้ทุเรียน ไม้และผงไม้ยางแดง ไม้และผงไม้จามจุรี และไม้และผงไม้สยา เหลือง ชนิดละ 3 ตัวอย่าง รวมไม้และผงไม้ทั้งหมด 48 ตัวอย่าง ซึ่งวัดสเปกตรัมโดยใช้หลอดไฟ ฉายแอลอีดีสีม่วง ความยาวคลื่น 395 nm เป็นแหล่งกำเนิดแสง ผลการวัดสเปกตรัมพบว่าไม้ตัวอย่าง ทุกชนิดเกิดการวาวแสงในช่วงความยาวกลื่น 500-750 nm ซึ่งแสดงก่าเฉลี่ยสเปกตรัมของไม้และผง ไม้แต่ละชนิด ดังภาพที่ 45



ภาพที่ 45 สเปกตรัมวาวแสงของไม้และผงไม้จำนวน 8 ชนิด โดยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด

วิเคราะห์ผลการวัคสเปกตรัมไม้และผงไม้จำนวน 8 ชนิค โดยใช้โปรแกรม Tanagra 1.4 แล้ววิเกราะห์ PCA ด้วยสร้างคุณลักษณะข้อมูลแบบต่อเนื่อง จากความยาวคลื่น 500-750 nm ได้ ทั้งหมด 1149 ค่า สกัดองค์ประกอบหลัก คำนวณค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัดส่วนความ แปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลักได้ผลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลักจาก การวิเคราะห์การวาวแสงของไม้และผงไม้วัดด้วยความยาวคลื่น 395 nm โดยใช้ PCA

องค์ประกอบหลัก	สัดส่วนความแปรปรวน	สัคส่วนความแปรปรวนสะสม
PCA 1 Axis 1	71	71
PCA 1 Axis 2	22	93
PCA 1 Axis 3	6	99
PCA 1 Axis 4	1	100

จากตารางที่ 7 องค์ประกอบหลัก 2 ตัวแรก อธิบายความผันแปรเดิมได้ร้อยละ 93 วิเคราะห์ PCA เพื่อลดจำนวนข้อมูลเดิม 1149 ข้อมูล ให้เหลือเพียง 2 องค์ประกอบหลัก คือ PCA 1 Axis 1 และ PCA 2 Axis 2 แล้วทำการสร้างแผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลักที่ 1 และ 2 ได้ผลดังภาพที่ 46



ภาพที่ 46 แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA ระหว่าง PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของไม้และผงไม้จำนวน 8 ชนิด โดยใช้ความยาวคลื่น 395 nm

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรศาสก

จากภาพที่ 46 จะเห็นได้ว่ากลุ่มของไม้และผงไม้ชนิดเดียวกันนั้นจะอยู่ในบริเวณเดียวกัน แต่มีไม้หลายชนิด ได้แก่ กระพี่ไม้สักอายุ 15 ปี ไม้ยูกาลิปตัส ไม้ทุเรียน ไม้ยางแดงและไม้จามจุรี ที่ มีบางจุดอยู่ใกล้เคียงกันหรือปนกันอยู่ ส่วนแก่นไม้สักอายุ 15 ปี แก่นไม้สักอายุ 30 ปี ไม้สยาเหลือง และผงไม้ยางแดงจะอยู่บริเวณใกล้กัน พิจารณาการจัดกลุ่มไม้และผงไม้ได้จากก่า Loading ดังภาพ ที่ 47 ความยาวคลื่นที่มีส่วนสำคัญในองค์ประกอบหลักที่ 1 และ 2 ของไม้และผงไม้ที่ คือความยาว กลื่นช่วง 550-750 nm และ 500-530 nm ตามลำดับ



ภาพที่ 47 กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 1 และ 2 ของไม้และผงไม้ ที่วัคโคยใช้ ความยาวกลื่น 395 nm

ผลการวัดสเปกตรัมวาวแสงของไม้ตัวอย่างจำนวน 12 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดของไม้ตัวอย่าง ประกอบด้วยของผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก โฮโลเซลลูโลสและลิกนิน วัดโดยการกระตุ้น ด้วยความยาวคลื่น 395 nm ผลการวัดสเปกตรัมพบว่า เกิดการวาวแสงในช่วงความยาวคลื่น 500-750 nm แสดงดังภาพที่ 48-59 พิจารณาลักษณะและตำแหน่งสเปกตรัมวาวแสงของไม้แต่ละชนิด พบว่า

ในแก่นไม้สักอายุ 30 ปีและกระพี่ไม้นนทรี ไม่สามารถมองเห็นความแตกต่างของ สเปกตรัมวาวแสงได้ เนื่องจากสเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก โฮโล เซลลูโลสและลิกนินมีรูปร่างคล้ายกัน โดยแก่นไม้สักอายุ 30 ปี และกระพื้ไม้นนทรี มีการซ้อนทับ กันที่กวามยาวคลื่นช่วง 560-605 และ 550-570 nm ตามลำดับ ซึ่งเป็นช่วงที่สเปกตรัมมีกวามเข้ม ของการวาวแสงสูงสุดพอดี ทำให้แก่นไม้สักอายุ 30 ปี มีจุดยอดที่ตำแหน่งเดียวกันคือ 595 nm ส่วน กระพื้ไม้นนทรี มีจุดยอดอยู่ที่ 565 nm

แก่นและกระพี่ไม้สักอายุ 15 ปี พบว่า ทั้งผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกและโฮโล เซลลูโลสมีจุดยอดที่ตำแหน่งเดียวกันคือ 570 และ 565 nm ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาในช่วง 500-560 และ 580-750 nm พบว่า สเปกตรัมวาวแสงของโฮโลเซลลูโลสเลื่อนตำแหน่งจากสเปกตรัมของ ผงไม้มาทางกวามยาวกลื่นด้านน้อยเล็กน้อย

แก่นและกระพี่ไม้จามจุรี พบว่าสเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกและโฮโล เซลลูโลสมีความคล้ายคลึงกับสเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ ในแก่นและกระพี่ไม้จามจุรีมีซ้อนทับ กันที่ความยาวคลื่นช่วง 530-580 และ 560-610 nm ตามลำดับ ทำให้แก่นและกระพี่ไม้จามจุรีมีจุด ยอดที่ตำแหน่งเดียวกันคือ 565 nm

แก่นไม้นนทรี พบว่า ผงไม้มีจุดยอดอยู่ที่ 565 nmงณะที่ผงไม้ที่ปราสจากสารแทรกและ โฮโลเซลลูโลสมีสเปกตรัมวาวแสงที่คล้ายกันจนซ้อนทับกันที่ความยาวคลื่นช่วง 500-650 nm และ มีการเลื่อนตำแหน่งสเปกตรัมไปทางด้านความยาวคลื่นด้านมากเมื่อเทียบกับสเปกตรัมวาวแสงของ ผงไม้และมีจุดยอดอยู่ที่ 595 nm

ใม้ทุเรียน ช่วง 500-580 nm ผงไม้ ผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกและ โฮโลเซลลูโลสมี สเปกตรัมวาวแสงที่คล้ายคลึงกันจนซ้อนทับกันที่บางช่วง แต่ช่วง 580-750 nm ผงไม้ที่ปราศจาก สารแทรกและ โฮโลเซลลูโลสเริ่มมีความแตกต่างจากผงไม้ แต่อย่างไรก็ตามทั้งหมดมีจุดยอดอยู่ที่ 565 nm เหมือนกัน

ใม้ยูคาลิปตัส ผงไม้และผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกมีลักษณะสเปกตรัมวาวแสงที่คล้ายคลึง กันและมีการซ้อนทับของสเปกตรัมในช่วง 550-650 nm โดยทั้งสองมีจุดยอดอยู่ที่ 565 nm ส่วน สเปกตรัมวาวแสงของโฮโลเซลลูโลสเลื่อนตำแหน่งจากสเปกตรัมของผงไม้มาทางความยาวคลื่น ด้านน้อยเล็กน้อยและมีจุดยอดอยู่ที่ 560 nm

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ไม้สยาเหลือง สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้และผงไม้ที่ปราสจากสารแทรกมีความคล้ายกัน มากจนซ้อนทับกันและมีจุดยอดอยู่ที่ 570 nm สเปกตรัมวาวแสงของโฮโลเซลลูโลสมีจุดยอด เลื่อน ตำแหน่งจากสเปกตรัมของผงไม้มาทางความยาวกลื่นด้านน้อยเล็กน้อยอยู่ที่ 560 nm

ใม้ป๊อปลาร์ พบว่าสเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกและ โฮโลเซลลูโลสมี ความคล้ายคลึงกับสเปกตรัมวาวแสงของผงไม้จนเกือบจะซ้อนทับกันพอคีตั้งแต่ความยาวคลื่นช่วง 500-750 nm ทำให้ทั้งหมคมีจุดยอคที่ตำแหน่งเดียวกันคือ 570 nm

ไม้ยางแดง พบว่า ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกมีการเลื่อนตำแหน่งของสเปกตรัมวาวแสงไป ทางความยาวคลื่นด้านมาก ส่วนโฮโลเซลลูโลสมีการเลื่อนตำแหน่งของสเปกตรัมวาวแสงไปทาง ความยาวคลื่นด้านน้อยเมื่อเทีบกับสเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ จึงทำให้ทั้งหมดมีจุดยอดที่ต่างกัน โดยผงไม้อยู่ที่ 570 nm ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกอยู่ที่ 595 nm และโฮโลเซลลูโลสอยู่ที่ 565 nm

ลิกนินของไม้ตัวอย่างมีความเข้มของสเปกตรัมวาวแสงก่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับความเข้ม ของสเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกและโฮโลเซลลูโลส แต่อย่างไรก็ตาม รูปร่างสเปกตรัมวาวแสงของลิกนินมีความคล้ายกับสเปกตรัมวาวแสงของผงไม้นั้น และส่วนมากมี การเลื่อนตำแหน่งไปทางด้านความยาวคลื่นมากเมื่อเทียบกับสเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ โดยมีจุด ยอดอยู่ที่ความยาวคลื่น 595 nm ยกเว้นแก่นไม้สักอายุ 30 ปีและกระพี่ไม้นนทรี ที่ไม่มีการเลื่อน ตำแหน่งสเปกตรัม จึงมีจุดยอดอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกับผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกและโฮโล เซลลูโลส



ภาพที่ 48 สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้สักอายุ 30 ปี วัคโดยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับ ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรร่าสกร์



ภาพที่ 49 สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้สักอายุ 15 ปี วัคโดยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับ ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 50 สเปกตรัมวาวแสงของกระพี่ไม้สักอายุ 15 ปี วัคโดยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด

ลิ่มสิทชิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรร่าสกร์



ภาพที่ 51 สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้จามจุรี วัคโคยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับความ เข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอค

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรศาสกร์



ภาพที่ 52 สเปกตรัมวาวแสงของกระพี่ไม้จามจุรี วัคโดยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับความ เข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรร่าสกร์



ภาพที่ 53 สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้นนทรี วัดโดยใช้ความยาวกลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับความ เข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษยรศาสยร์



ภาพที่ 54 สเปกตรัมวาวแสงของกระพี่ไม้นนทรี วัดโดยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับความ เข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด

ลิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 55 สเปกตรัมวาวแสงของไม้ทุเรียน วัคโคยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับความเข้ม แสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 56 สเปกตรัมวาวแสงของไม้ยูกาลิปตัส วัดโดยใช้ความยาวกลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับความ เข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษยรศาสยร์



ภาพที่ 57 สเปกตรัมวาวแสงของไม้สยาเหลือง วัดโดยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับความ เข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษยรศาสยร์



ภาพที่ 58 สเปกตรัมวาวแสงของไม้ป๊อปลาร์ วัคโคยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับความเข้ม แสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรศาสกร์



ภาพที่ 59 สเปกตรัมวาวแสงของไม้ยางแดง วัดโดยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับความเข้ม แสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรศาสกร์

ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสง จากการกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 395 nm

ผลการวัดสเปกตรัมของผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก โฮโลเซลลูโลสและลิกนินของ ไม้ตัวอย่าง จำนวน 12 ชนิด กระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 395 nm วิเคราะห์ PCA โดยใช้โปรแกรม Tanagra 1.4 ในช่วงความยาวคลื่น 500-750 nm แสดงดังภาพที่ 60-63



ภาพที่ 60 สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ 12 ชนิด วัดโดยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับความ เข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 61 สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ที่ปราสจากสารแทรกจำนวน 12 ชนิด วัดโดยใช้ความยาว คลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด


ภาพที่ 62 สเปกตรัมวาวแสงของโฮโลเซลลูโลสของไม้จำนวน 12 ชนิด วัดโดยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 63 สเปกตรัมวาวแสงของถิกนินของไม้จำนวน 12 ชนิด วัดโดยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด

วิเคราะห์ผลการวัคสเปกตรัมของผงไม้ ผงไม้ที่ปราสจากสารแทรก โฮโลเซลลูโลส และ ลิกนิน ของไม้จำนวน 12 ชนิค โคยใช้ PCA สร้างคุณลักษณะข้อมูลแบบต่อเนื่อง จากความยาวคลื่น 500-750 nm ได้ทั้งหมด 1149 ค่า สกัดองค์ประกอบหลัก คำนวณค่าสัดส่วนความแปรปรวนและ สัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลัก ได้ผลดังตารางที่ 7-10

ตารางที่ 8 ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลักจาก การวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ วัดด้วยความยาวคลื่น 395 nm โดยใช้ PCA

องค์ประกอบ หลัก	สัดส่วนความแปรปรวน		สัคส่วนความแปรปรวนสะสม	
	ไม่ปรับความ	ปรับความเข้มแสง	ไม่ปรับความ	ปรับความเข้มแสง
	เข้มแสง	บริเวณยอด	เข้มแสง	บริเวณยอด
PCA 1 Axis 1	67	74	67	74
PCA 1 Axis 2	31	20	98	94
PCA 1 Axis 3	2	5	100	99
PCA 1 Axis 4	0		100	100

ตารางที่ 9 ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลักจาก การวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกที่วัดด้วยความยาวคลื่น 395 nm โดยใช้ PCA

องค์ประกอบ หลัก	สัคส่วนความแปรปรวน		สัดส่วนความแปรปรวนสะสม	
	ไม่ปรับความ	ปรับความเข้มแสง	ไม่ปรับความ	ปรับความเข้มแสง
	เข้มแสง	บริเวณยอด	เข้มแสง	บริเวณยอด
PCA 1 Axis 1	73	79	73	79
PCA 1 Axis 2	25	16	98	96
PCA 1 Axis 3	2	4	100	100

ตารางที่ 10 ก่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลัก จากการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสงของโฮโลเซลลูโลส วัดด้วยความยาวคลื่น 395 nm โดยใช้ PCA

องค์ประกอบ หลัก	สัดส่วนความแปรปรวน		สัคส่วนความแปรปรวนสะสม	
	ไม่ปรับความ	ปรับความเข้มแสง	ไม่ปรับความ	ปรับความเข้มแสง
	เข้มแสง	บริเวณยอด	เข้มแสง	บริเวณยอด
PCA 1 Axis 1	71	72	71	72
PCA 1 Axis 2	23	24	94	96
PCA 1 Axis 3	5	4	100	100

ตารางที่ 11 ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลัก จากการวิเคราะห์การวาวแสงของลิกนินที่วัดด้วยความยาวคลื่น 395 nm โดยใช้ PCA

องค์ประกอบ หลัก	สัดส่วนความแปรปรวน		สัคส่วนความแปรปรวนสะสม	
	ไม่ปรับความ	ปรับความเข้มแสง	ไม่ปรับความ	ปรับความเข้มแสง
	เข้มแสง	บริเวณยอด	เข้มแสง	บริเวณยอด
PCA 1 Axis 1	82	70	82	70
PCA 1 Axis 2	15	25	97	95
PCA 1 Axis 3	3	5	100	100

ค่าสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลัก 2 ตัวแรก คือ PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 เป็นตัวอธิบายความผันแปรเดิมของข้อมูลเดิม ซึ่งอธิบายผงไม้ร้อยละ 98 และ 94 (จากตารางที่ 7) ผงไม้สกัดสารแทรกออกร้อยละ 98 และ 96 (จากตารางที่ 8) โฮโลเซลลูโลสร้อยละ 94 และ 96 (จากตารางที่ 9) ลิกนินร้อยละ 97 และ 95 (จากตารางที่ 10) โดยเป็นค่าที่ไม่ปรับความ เข้มแสงและปรับความเข้มแสงบริวเณยอด ตามลำดับ

ผงไม้ที่ไม่ปรับความเข้มแสงบริเวณยอคจากการวัคโดยการกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 395 nm ดังภาพที่ 60 (ก) พบว่า ผงไม้ตัวอย่างแต่ละชนิคมีลักษณะของสเปกตรัมวาวแสงคล้ายคลึงกัน และมีความเข้มของสเปกตรัมวาวแสงใกล้เคียงกัน พิจารณาค่าความยาวคลื่นที่มีส่วนสำคัญใน

้องก์ประกอบหลักที่ 1 และองก์ประกอบหลักที่ 2 ของผงไม้ โดยใช้ค่า Factor Loading ซึ่งเป็นค่าที่ แสดงถึงอิทธิพลของความยาวคลื่นแต่ละตัวที่มีผลต่อการสร้างองค์ประกอบหลักที่ 1 และ 2 ซึ่งค่า ้ความยาวคลื่นที่มีส่วนสำคัญใน Axis 1 คือ ความยาวคลื่นช่วง 500-680 nm แสดงคังภาพที่ 64 (ก) ในขณะที่ Axis 2 ภาพที่ 64 (ข) ความยาวคลื่นช่วง 700-750 nm คือช่วงที่มีส่วนสำคัญในการ แบ่งกลุ่ม สร้างแผนภาพการกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 แสดงดังภาพที่ 68 (ก) จะเห็นได้ว่าใน Axis 1 ผงแก่นไม้สักอายุ 15 และ 30 ปี กระพี่ไม้นนทรี กระพี่ไม้สัก แก่นไม้ ้จามจุรีและกระพี่ไม้จามจุรีมีค่าบน PCA ใกล้กัน แต่ใน Axis 2 มีผงแก่นไม้สักอายุ 15 และ 30 ปี กระพี่ไม้สัก กระพี่ไม้นนทรีและไม้ยางแดง ที่มีค่าบน PCA ใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับค่า Factor Loading จากการวิเคราะห์ด้วย PCA ดังนั้น เมื่อพิจารณารวมทั้ง Axis 1 และ 2 พบว่า ไม่สามารถ แยกผงแก่นไม้สักออกจากไม้ชนิดอื่นได้ พิจารณาผงไม้ที่ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด ดังภาพที่ 60 (บ) พบว่า ผงไม้หลายชนิดมีจุดยอดบองสเปกตรัมวาวแสงต่างกัน ใช้ค่า Factor Loading เพื่อ ้ วิเคราะห์ความยาวคลื่นที่มีส่วนสำคัญในการแบ่งกลุ่ม โดยใน Axis 1 คือ ช่วง 580-750 nm ดังภาพ ที่ 64 (ก) และใน Axis 2 คือ ช่วง 500-530 nm ดังภาพที่ 64 (ข) สร้างแผนภาพการกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 แสดงดังภาพที่ 68 (ข) พบว่าทั้ง Axis 1 และ 2 ผงแก่นไม้สักทั้ง ้สองมีค่าบน PCA ที่ต่างกันอย่างชัดเจน ดังนั้น การกระตุ้นด้วยความยาวกลื่น 395 nm ไม่สามารถ แยกสเปกตรัมวาวแสงของผงแก่นไม้สักออกจากไม้ชนิดอื่นได้

ผงไม้ที่ปราสจากสารแทรกไม่ปรับความเข้มแสงบริเวณยอดจากการวัดโดยการกระดุ้นด้วย ความยาวคลื่น 395 nm ดังภาพที่ 61 (ก) พบว่า ผงไม้ตัวอย่างแต่ละชนิดมีลักษณะของสเปกตรัมวาว แสงกล้ายคลึงกัน เช่นเดียวกับสเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ ใช้ค่า Factor Loading พิจารณาค่าความ ยาวคลื่นที่มีส่วนสำคัญในองค์ประกอบหลักที่ 1 และองค์ประกอบหลักที่ 2 พบว่าใน Axis 1 คือ ความยาวคลื่นช่วง 500-650 nm แสดงดังภาพที่ 65 (ก) ในขณะที่ Axis 2 ภาพที่ 65 (ข) ความยาว คลื่นช่วง 730-750 nm คือช่วงที่มีส่วนสำคัญในการแบ่งกลุ่ม สร้างแผนภาพการกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 แสดงดังภาพที่ 69 (ก) จะเห็นได้ว่าใน Axis 1 ผงแก่นไม้สักอายุ 15 และ 30 ปี มีค่าบน PCA ต่างกันอย่างชัดเจน โดย แก่นไม้สักอายุ 15 ปี มีค่า PCA ใกล้กับไม้สยา เหลือง แก่นไม้นนทรี แก่นไม้จามจุรี กระพี่ไม้จามจุรี ในขณะที่แก่นไม้สักอายุ 30 ปี มีค่าบน PCA ใกล้กับ ไม้ยางแดงและไม้ยูคาลิปดัส แต่ใน Axis 2 แก่นไม้สักอายุ 15 ปี มีค่า PCA ใกล้กับไม้สยา เหลือง แก่นไม้นนทรี กระพี่ไม้จามจุรี และไม้ทุเรียน ในขณะที่แก่นไม้สักอายุ 30 ปี มีค่าบน PCA ใกล้กับ ไม้ยางแดงและไม้ยูกาลิปดัส แต่ใน Axis 2 แก่นไม้สักอายุ 15 ปี มีค่า PCA ใกล้กับไม้สยา เหลือง แก่นไม้นนทรี กระพี่ไม้จามจุรี และไม้ทุเรียน ในขณะที่แก่นไม้สักอายุ 30 ปี มีค่าบน PCA ใกล้กับ ไม้ยางแดง แก่นไม้นาทรีและไม้ยูกาลิปตัส สอดกล้องกับค่า Factor Loading จากการ วิเคราะห์ด้วย PCA ดังนั้น เมื่อพิจารณารวมทั้ง Axis 1 และ 2 พบว่า ไม่สามารถแยกผงแก่นไม้สัก ออกจากไม้ชนิดอื่นได้ พิจารณาผงไม้ที่ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด ดังภาพที่ 61 (ข) พบว่า ผงไม้ หลายชนิดมีจุดยอดของสเปกตรัมวาวแสงต่างกันเช่นเดียวกับผงไม้ ใช้ค่า Factor Loading วิเคราะห์ ความยาวคลื่นที่มีส่วนสำคัญในการแบ่งกลุ่ม โดยใน Axis 1 คือ ช่วง 540-750 nm ดังภาพที่ 65 (ก) และใน Axis 2 คือ ช่วง 500-520 nm ดังภาพที่ 65 (ข) สร้างแผนภาพการกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 แสดงดังภาพที่ 69 (ข) พบว่า การปรับความเข้มบริเวณยอดไม่สามารถ แยกแก่นไม้สักออกจากไม้ชนิดอื่นได้เช่นกัน ใน Axis 2 แก่นไม้สักทั้งสองมีค่าบน PCA ใกล้กัน แต่ใน Axis 1 ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่มีความสำคัญมากที่สุดแก่นไม้สักทั้งสองกลับแยกกันอย่าง ชัดเจน

้โฮโลเซลลูโลสไม่ปรับความเข้มแสงบริเวณยอคจากการวัดโคยการกระตุ้นด้วยความยาว ุคลื่น 395 nm ดังภาพที่ 62 (ก) พบว่า โฮโลเซลลูโลสของไม้ตัวอย่างแต่ละชนิคมีลักษณะของ ้สเปกตรัมวาวแสงคล้ายคลึงกัน เช่นเดียวกับสเปกตรัมวาวแสงของผงไม้เช่นกัน ใช้ค่า Factor Loading พิจารณาค่าความยาวคลื่นที่มีส่วนสำคัญในองค์ประกอบหลักที่ 1 และองค์ประกอบหลักที่ 2 พบว่าใน Axis 1 คือ ความยาวกลื่นช่วง 550-690 nm แสดงดังภาพที่ 66 (ก) ในขณะที่ Axis 2 คือ ความยาวคลื่นช่วง 730-740 nm ดังภาพที่ 66 (ข) สร้างแผนภาพการกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 แสดงดังภาพที่ 70 (ก) จะเห็นได้ว่าใน Axis 1 โฮโลเซลลูโลสของแก่นไม้สัก ้อายุ 15 ปี มีค่า PCA ใกล้กับโฮโลเซลลูโลสของไม้ยางแคง ในขณะที่โฮโลเซลลูโลสของแก่นไม้สัก อายุ 30 ปี มีค่าบน PCA ใกล้กับโฮโลเซลลูโลสของไม้ป้อปลาร์ แต่ใน Axis 2 โฮโลเซลลูโลสของ แก่นไม้สักอายุ 15 ปี มีค่า PCA ใกล้กับโฮโลเซลลูโลสของกระพี่ไม้สักอายุ 15 ปี กระพี่ไม้นนทรี กระพี้ไม้จามจุรี แก่นไม้จามจุรีและไม้ป๊อปลาร์ ในขณะที่โฮโลเซลลูโลสของแก่นไม้สักอายุ 30 ปี มี ้ ค่าบน PCA ต่างจากโฮโลเซลลูโลสของไม้ตัวอย่างชนิดอื่น เมื่อพิจารณารวมทั้ง Axis 1 และ 2 ของ ้ โฮโลเซลลูโลสที่ไม่ปรับความเข้มแสงบริเวณยอคพบว่า โฮโลเซลลูโลสของแก่นไม้สักทั้งสองมีค่า บน PCA ต่างกันมากและ ใม่สามารถแยกโฮโลเซลลูโลสของแก่น ใม้สักออกจากโฮโลเซลลูโลส ของไม้ชนิคอื่นได้ พิจารณาโฮโลเซลลูโลสที่ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด ดังภาพที่ 62 (ข) พบว่า โฮโลเซลลูโลสของใม้ตัวอย่างหลายชนิดมีจุดยอดของสเปกตรัมวาวแสงต่างกัน โดยโฮโล เซลลูโลสของแก่นไม้สักอายุ 30 ปีมีจุดยอดเหมือนกับโฮโลเซลลูโลสของแก่นไม้นนทรีและแยก ้ออกจากโฮโลเซลลูโลสของไม้ตัวอย่างชนิด ใช้ก่า Factor Loading วิเคราะห์กวามยาวกลื่นที่มีส่วน ้สำคัญในการแบ่งกลุ่ม พบว่า ใน Axis 1 มีความยาวคลื่น 2 ช่วง คือ ช่วง 540-570 และ 580-730 nm ้ดังภาพที่ 66 (ก) และใน Axis 2 คือ ช่วง 500-550 nm ดังภาพที่ 66 (ข) สร้างแผนภาพการกระจาย ระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 แสคงคังภาพที่ 70 (ข) พบว่า ใน Axis 2 โฮโลเซลลูโลส

ของแก่นไม้สักทั้งสองมีค่าบน PCA ใกล้กัน แต่ใน Axis 1 โฮโลเซลลูโลสของแก่นไม้สักทั้งสอง กลับแยกกันอย่างชัดเจน ซึ่งผลบน PCA ของโฮโลเซลลูโลส แสดงให้เห็นว่า โฮโลเซลลูโลสของ แก่นไม้สักอายุ 30 ปี อยู่ในกลุ่มเดียวกับโฮโลเซลลูโลสของแก่นไม้นนทรี

้ถิกนินไม่ปรับความเข้มแสงบริเวณยอคจากการวัคโดยการกระตุ้นด้วยความยาวกลื่น 395 nm ดังภาพที่ 63 (ก) พบว่า ผงไม้ตัวอย่างแต่ละชนิดมีลักษณะของสเปกตรัมวาวแสงและจุดยอดของ สเปกตรัมคล้ายคลึงกัน ยกเว้นลิกนินของกระพี่ไม้นนทรี ใช้ค่า Factor Loading พิจารณาค่าความ ยาวคลื่นที่มีส่วนสำคัญในองค์ประกอบหลักที่ 1 และองค์ประกอบหลักที่ 2 พบว่าใน Axis 1 คือ ความยาวคลื่นช่วง 550-690 nm แสดงคังภาพที่ 67 (ก) ส่วนความยาวคลื่นใน Axis 2 นั้นมีส่วน สำคัญน้อยมาก ดังภาพที่ 67 (ข) สร้างแผนภาพการกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 แสดงดังภาพที่ 71 (ก) จะเห็นได้ว่าใน Axis 2 แก่นไม้สักทั้งสองมีค่าบน PCA ใกล้กัน แต่ใน Axis 1 แก่นไม้สักทั้งสองกลับแยกกันอย่างชัดเจน จึงไม่สามารถแยกผงแก่นไม้สักออกจากไม้ชนิดอื่นได้ พิจารณาผงไม้ที่ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด ดังภาพที่ 63 (ข) พบว่า ลิกนินของไม้ตัวอย่างหลาย ชนิดมีจดยอดของสเปกตรัมวาวใกล้กันมาก ยกเว้นลิกนินของกระพี่ไม้นนทรี ใช้ค่า Factor Loading ้วิเคราะห์ความยาวคลื่นที่มีส่วนสำคัญในการแบ่งกลุ่ม พบว่า ใน Axis 1 มีความยาวคลื่น 2 ช่วง คือ ช่วง 560-570 และ 600-750 nm คังภาพที่ 67 (ก) และใน Axis 2 คือ ช่วง 500-540 nm คังภาพที่ 67 (บ) สร้างแผนภาพการกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 แสดงคังภาพที่ 71 (บ) พบว่า เมื่อปรับความเข้มแสง PCA ให้ผลตรงข้ามกับกรณีไม่ปรับความเข้มแสง โดยใน Axis 1 แก่น ้ไม้สักทั้งสองมีค่าบน PCA ใกล้กัน แต่ใน Axis 2 แก่นไม้สักทั้งสองกลับแยกกันอย่างชัดเจน เมื่อ พิจารณาทั้ง Axis 1 และ 2 การวิเคราะห์ด้วย PCA ให้ผลในทางเดียวกัน คือ การกระตุ้นด้วยความ ยาวกลื่น 395 nm สามารถแยกสแกตรัมวาวแสงของลิกนินของไม้สักออกจากไม้ตัวอย่างชนิดอื่นได้



ภาพที่ 64 กราฟแสดงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่ 2 ของผง ไม้ที่วัดด้วยความยาวคลื่น 395 nm



ภาพที่ 65 กราฟแสดงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่ 2 ของผง ไม้ที่ปราศจากสารแทรกที่วัดด้วยความยาวคลื่น 395 nm



ภาพที่ 66 กราฟแสดงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่ 2 ของ โฮโลเซลลูโลส ที่วัคด้วยความยาวคลื่น 395 nm



ภาพที่ 67 กราฟแสดงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่ 2 ของ ลิกนิน ที่วัดด้วยความยาวคลื่น 395 nm



ภาพที่ 68 แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของผง ใม้ 12 ชนิด วัดโดยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความ เข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 69 แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของผง ใม้ที่ปราศจากสารแทรกจำนวน 12 ชนิด วัดโดยใช้ความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับ ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 70 แผนภาพการกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของโฮโลเซลลูโลสของ ใม้จำนวน 12 ชนิด วัดโดยความยาวคลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับ ความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 71 แผนภาพการกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของลิกนินของไม้จำนวน 12 ชนิด วัดโดยใช้ความยาวกลื่น 395 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้ม แสงบริเวณยอด

ผลการวัดสเปกตรัมโดยใช้ชุดอุปกรณ์ Laser Induced Fluorescence (LIF) ซึ่งใช้หลอดปรอท ความยาวคลื่น 365 nm

ผลการวัดสเปกตรัมวาวแสงของไม้ตัวอย่างจำนวน 12 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดของไม้ตัวอย่าง ประกอบด้วยของผงไม้ ผงไม้ที่ผ่านกระบวนการสกัดสารแทรก โฮโลเซลลูโลสและลิกนิน วัดโดย ใช้หลอดปรอท เป็นแหล่งกำเนิดแสง เลือกความยาวกลื่น 365 nm ผลการวัดสเปกตรัมพบว่า เกิด การวาวแสงในช่วงความยาวกลื่น 420-700 nm แสดงดังภาพที่ 72-83 พิจารณาโดยรวมพบว่า โฮโล เซลลูโลสของไม้ทุกชนิดเกิดการวาวแสงได้ง่ายกว่าผงไม้นั้น ขณะที่ลิกนินของไม้ทุกชนิดไม่มีการ วาวแสง แต่เมื่อพิจารณาในแต่ละไม้ตัวอย่าง ได้ผลดังต่อไปนี้

แก่นไม้สักอายุ 30 ปี พบว่า ผงไม้มีการวาวแสงได้ยากมาก จึงมีความเข้มของสเปกตรัมวาว แสงน้อย ส่วนโฮโลเซลลูโลสมีรูปคล้ายกับสเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ และมีจุดยอดที่ตำแหน่ง เดียวกัน คือ 510 nm ส่วนผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกมีจุดยอดอยู่ที่ 500 nm

แก่นไม้สักอาขุ 15 ปี พบว่า ผงไม้มีการวาวแสงได้ยากมากเช่นเดียวกับผงแก่นไม้สักอาขุ 30 ปี มีจุดยอดอยู่ที่ตำแหน่งกับผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกคือ 500 nm ส่วนสเปกตรัมวาวแสงของ โฮโลเซลลูโลสมีการเลื่อนตำแหน่งไปทางความยาวคลื่นด้านมากเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสเปกตรัม วาวแสงของผงไม้ จึงมีจุดยอดอยู่ที่ 510 nm

ขณะที่ในแก่นไม้จามจุรี พบว่า ผงไม้และผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกมีรูปร่างที่ก่อนข้าง กล้ายกัน แต่ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกและโฮโลเซลลูโลสมีการเลื่อนตำแหน่งไปทางความยาว กลื่นด้านน้อย โดยผงไม้มีจุดยอดอยู่ที่กวามยาวกลื่น 555 nm ส่วนผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกและ โฮโลเซลลูโลสมีจุดยอดอยู่ 500 และ 520 nm ตามลำดับ

ส่วนกระพี่ไม้จามจุรี เมื่อใช้ผงไม้เป็นสเปกตรัมหลักพบว่า ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกมี การเลื่อนตำแหน่งไปทางกวามยาวกลื่นด้านน้อย ส่วนโฮโลเซลลูโลสมีการเลื่อนตำแหน่งไปยัง กวามยาวกลื่นด้าน มาก โดยผงไม้มีจุดยอดอยู่ที่กวามยาวกลื่น 500 nm ส่วนผงไม้ที่ปราศจากสาร แทรกและโฮโลเซลลูโลสมีจุดยอดอยู่ 495 และ 505 nm ตามลำดับ

ลิขสิทขึ้ มหาวิทยาลัยเทษกรร่าสกร์

วาวแสงเลื่อนตำแหน่งไปทางความยาวคลื่นด้านน้อยเมื่อเทียบกับสเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ โดย ผงไม้มีจุดยอดอยู่ที่ความยาวคลื่น 540 nm ส่วนผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกและโฮโลเซลลูโลสมีจุด ยอดอยู่ 530 และ 500 nm ตามลำดับ

ในแก่นไม้นนทรี พบว่า ทั้งผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกและ โฮโลเซลลูโลสที่มีสเปกตรัม

กระพี่ไม้สักอาขุ 15 ปี กระพี่ไม้นนทรี ไม้ทุเรียน และไม้ป๊อปลาร์พบว่า สเปกตรัมวาวแสง ของผงไม้มีลักษณะคล้ายกับสเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกโดยมีจุดขอดสองจุด มีลักษณะเป็นจุดขอดที่ความเข้มไม่สูงนักในช่วง 420-470 nm ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้สเปกตัมโฮโล เซลลูโลสต่างจากผงไม้และผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกนั้น ส่วนสเปกตรัมวาวแสงของโฮโล เซลลูโลสแตกต่างจากผงไม้ก็อมีจุดขอดเพียงจุดเดียวและสเปกตรัมวาวแสงมีการเลื่อนตำแหน่งไป ทางด้านความยาวคลื่นด้านมากเมื่อเทียบกับสเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ โดยกระพี่ไม้สักอาขุ 15 ปี มีจุดขอดที่มีความเข้มสูงสุดของผงไม้และโฮโลเซลลูโลสอยู่ที่ความยาวกลื่น 500 และ 510 nm ตามลำคับ กระพี่ไม้นนทรีมีจุดขอดที่มีความเข้มสูงสุดของผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกและ โฮโลเซลลูโลสอยู่ที่กวามยาวกลื่น 500, 495 และ 510 nm ไม้ทุเรียนมีความเข้มสูงสุดของผงไม้และ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันคือ 500 nm ส่วนโฮโลเซลลูโลสอยู่ที่ 510 nm ไม้ป๊ อปลาร์ มีความเข้มสูงสุดของผงไม้และผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันคือ 495 nm ส่วนโฮโลเซลลูโลสอยู่ที่ 505 nm

ไม้ยูกาลิปตัส และ ไม้สยาเหลือง พบว่า สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสาร แทรกและ โฮโลเซลลูโลสมีลักษณะคล้ายกัน โดยมีจุดยอดสองจุด มีลักษณะเป็นจุดยอดที่ความเข้ม ไม่สูงนักในช่วง 420-470 nm ซึ่งจุดยอดที่มีความเข้มสูงสุดของผงไม้และผงไม้ที่ปราศจากสาร แทรกอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันคือ 495 nm แต่สเปกตรัมวาวแสงของโฮโลเซลลูโลสมีการเลื่อน ตำแหน่งไปทางด้านความยาวคลื่นด้านมากเมื่อเทียบกับสเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ จึงมีจุดยอดที่มี ความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 505 nm

และสุดท้าย ไม้ยางแดง พบว่า มีรูปกราฟที่ก่อนข้างกล้ายกันทั้งผงไม้ ผงไม้ที่ปราสจากสาร แทรกและโฮโลเซลลูโลสแต่ผงไม้ที่ปราสจากสารแทรกมีการเลื่อนตำแหน่งไปทางความยาวกลื่น ด้านน้อยเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผงไม้ โดยผงไม้และโฮโลเซลลูโลสมีจุดยอดของสเปกตรัมวาวแสง อยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันคือ 505 nm ขณะที่ผงไม้ที่ปราสจากสารแทรกอยู่ที่ 500 nm

สิขสิทขึ้ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 72 สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้สักอายุ 30 ปี วัคโคยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับ ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 73 สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้สักอายุ 15 ปี วัคโคยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับ ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 74 สเปกตรัมวาวแสงของกระพี่ไม้สักอายุ 15 ปี วัคโดยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่ ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 75 สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้จามจุรี วัคโคยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับความ เข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 76 สเปกตรัมวาวแสงของกระพี่ไม้จามจุรี วัคโดยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับความ เข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 77 สเปกตรัมวาวแสงของแก่นไม้นนทรี วัคโคยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับความ เข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 78 สเปกตรัมวาวแสงของกระพี้ไม้นนทรี วัดโดยใช้กวามยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับความ เข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 79 สเปกตรัมวาวแสงของไม้ทุเรียน วัดโดยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับความเข้ม แสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 80 สเปกตรัมวาวแสงของไม้ยูกาลิปตัส วัคโดยใช้ความยาวกลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับความ เข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 81 สเปกตรัมวาวแสงของไม้สยาเหลือง วัคโดยใช้ความยาวกลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับความ เข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 82 สเปกตรัมวาวแสงของไม้ป๊อปลาร์ วัดโดยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับความเข้ม แสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 83 สเปกตรัมวาวแสงของไม้ยางแคง วัคโดยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับความเข้ม แสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด

ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสงจากการกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 365 nm

ผลการวัคสเปกตรัมของผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก โฮโลเซลลูโลสและลิกนิน จำนวน 12 ชนิด ด้วยความยาวคลื่น 365 nm โดยใช้โปรแกรม Tanagra 1.4 วิเคราะห์ PCA ในช่วง ความยาวคลื่น 420-700 nm แสดงดังภาพที่ 84-87



ภาพที่ 84 สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ 12 ชนิด วัดโดยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับความ เข้มแสง (ง) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 85 สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกจำนวน 12 ชนิด วัดโดยใช้ความยาว คลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 86 สเปกตรัมวาวแสงของโฮโลเซลลูโลสของไม้จำนวน 12 ชนิด วัคโดยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด

เนื่องจากลิกนินของไม้ 12 ชนิดไม่เกิดฟลูออเรสเซนซ์เมื่อกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 365 nm จึงไม่วิเคราะห์ PCA ของลิกนิน ดังนั้น ผลการวัดสเปกตรัมของผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสาร แทรกและโฮโลเซลลูโลสของไม้จำนวน 12 ชนิด วิเคราะห์ PCA สร้างคุณลักษณะข้อมูล แบบต่อเนื่อง จากความยาวคลื่น 420-700 nm ได้ทั้งหมด 863 ก่า สกัดองค์ประกอบหลัก คำนวณก่า สัดส่วนความแปรปรวนและสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลัก ได้ผลดังตารางที่ 11-13

ตารางที่ 12 ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัคส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลัก จากการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสงของของผงไม้ที่วัดด้วยความยาวคลื่น 365 nm โดย ใช้ PCA

องค์ประกอบ หลัก	สัดส่วนกวามแปรปรวน		สัคส่วนความแปรปรวนสะสม	
	ไม่ปรับความ เข้มแสง	ปรับความเข้มแสง บริเวณยอด	ไม่ปรับความ เข้มแสง	ปรับความเข้มแสง บริเวณยอค
PCA 1 Axis 1	74	64	74	64
PCA 1 Axis 2	20	30	94	94
PCA 1 Axis 3	5	4	99	99
PCA 1 Axis 4	1	1	100	100

ตารางที่ 13 ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลัก จากการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสงของของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก วัดด้วยความ ยาวคลื่น 365 nm โดยใช้ PCA

องค์ประกอบ หลัก	สัคส่วนความแปรปรวน		สัคส่วนความแปรปรวนสะสม	
	ไม่ปรับความ	ปรับความเข้มแสง	ไม่ปรับความ	ปรับความเข้มแสง
	เข้มแสง	บริเวณยอด	เข้มแสง	บริเวณยอด
PCA 1 Axis 1	69	66	69	66
PCA 1 Axis 2	26	23	95	89
PCA 1 Axis 3	4	9	99	98
PCA 1 Axis 4	1	2	100	100

ตารางที่ 14 ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลัก จากการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสงของโฮโลเซลลูโลส วัดด้วยความยาวคลื่น 365 nm โดยใช้ PCA

องค์ประกอบ หลัก	สัดส่วนความแปรปรวน สัดส่วนความแปร		มแปรปรวนสะสม	
	ไม่ปรับความ	ปรับความเข้มแสง	ไม่ปรับความ	ปรับความเข้มแสง
	เข้มแสง	บริเวณยอด	เข้มแสง	บริเวณยอด
PCA 1 Axis 1	78	59	78	59
PCA 1 Axis 2	12	36	90	95
PCA 1 Axis 3	9	3	99	98
PCA 1 Axis 4	1 8	1	100	99
PCA 1 Axis 5	0		100	100

ค่าสัดส่วนความแปรปรวนสะสมองค์ประกอบหลัก 2 ตัวแรก คือ PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 เป็นตัวอธิบายความผันแปรเดิมของข้อมูลเดิม ซึ่งอธิบายผง ไม้ร้อยละ 94 (จากตารางที่ 11) ผงไม้สกัคสารแทรกออกร้อยละ 95 และ 89 (จากตารางที่ 12) โฮโลเซลลูโลสร้อยละ 90 และ 95 (จากตารางที่ 13) โดยเป็นค่าที่ไม่ปรับความเข้มแสงและปรับความเข้มแสงบริวเณยอด ตามลำดับ

การวิเคราะห์ PCA สามารถลดจำนวนข้อมูลเดิม 863 ข้อมูล ให้เหลือเพียง 2 องค์ประกอบ หลัก คือ PCA 1 Axis 1 และ PCA 2 Axis 2 พิจารณาผงไม้ที่ไม่ปรับความเข้มแสง ภาพที่ 84 (ก) โดยความเข้มและจุดยอดของสเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ก่อนข้างต่างกัน ก่าความยาวกลิ่นที่มีส่วน สำคัญใน Axis 1 ภาพที่ 87 (ก) ทุกความยาวกลิ่นตั้งแต่ 420-700 nm มีความสำคัญเท่ากันหมด แสดง ให้เห็นว่า Axis 1 แบ่งกลุ่มตามความเข้มของสเปกตรัม ในขณะที่ Axis 2 ภาพที่ 87 (ข) ความยาว กลื่นช่วง 450-520 nm คือช่วงที่มีส่วนสำคัญในการแบ่งกลุ่ม สร้างแผนภาพการกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 แสดงดังภาพที่ 90 (ก) พบว่า PCA 1 Axis 1 แบ่งไม้ออกเป็น 2 กลุ่มตามแกนนอนทางก่าบวกและก่าลบอย่างชัดเจน โดยที่ไม้ยูกาลิปตัส กระพี่ไม้นนทรีและสยา เหลืองจึงมีตำแหน่งบนแกน PCA 1 Axis 1 อยู่ในกลุ่มเดียวกัน เนื่องจากสเปกตรัมของผงไม้ 3 ชนิด นี้มีความเข้มสเปกตรัมก่อนข้างสูงและอีกทั้งยังมีรูปร่างกราฟที่ใกล้เคียงเช่นเดียวกับในกรณีของ แก่นไม้สักอายุ 30 ปีกับแก่นไม้จามจุรี ขณะที่ PCA 2 Axis 2 จะแบ่งไม้เป็น 2 กลุ่มตามแกนตั้ง ซึ่ง

1 Axis 2 ในแกนตั้งทางก่าลบ เมื่อพิจารณาโดยรวม พบว่า ไม่สามารถแยกแก่นไม้สักทั้งสอง ด้วอย่างออกจากกลุ่มไม้ชนิดอื่นได้ พิจารณาผงไม้ที่ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด ดังภาพที่ 84 (ข) เพื่อให้การวิเคระห์ด้วย PCA พิจารณาเพียงก่าความยาวกลื่นและจุดยอดของสเปกตรัมวาวแสงในผง ไม้แต่ละชนิด โดยก่าความยาวกลื่นที่มีส่วนสำคัญใน Axis 1 คือ ช่วง 420-450 และ 520-700 nm แสดงภาพที่ 87 (ก) ส่วนใน Axis 2 กลับพบว่าไม่มีความยาวกลื่นใดที่แสดงผลเด่นชัดนัก แสดงดัง ภาพที่ 87 (ข) สร้างแผนภาพการกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 แสดงดังภาพที่ 90 (ข) พบว่า แกน PCA 1 Axis 1 จะแยกแก่นไม้สักทั้งสองชนิดออกจากกลุ่มไม้ชนิดอื่นได้อย่าง ชัดเจนโดยใช้ก่าจากการวิเคราะห์ความยาวกลื่นของ PCA 1 Axis 1 เป็นหลักในการแบ่งกลุ่มไม้ ส่วน แกน PCA 1 Axis 2 พบว่า แก่นไม้นนทรีและจามจุรีมีตำแหน่งบนแกนตั้งของ PCA แยกออก จากไม้ชนิดอื่น เมื่อพิจารณาโดยรวม พบว่า สามารถแยกแก่นไม้สักทั้งสองตัวอย่างและแก่นไม้ นนทรีและจามจุรีออกจากกลุ่มไม้ชนิดอื่นได้

ผงไม้ที่ปราสจากสารแทรกที่ไม่ปรับความเข้มแสง ภาพที่ 85 (ก) พบว่า ไม้ที่มีความเข้ม ้ของสเปกตรัมวาวแสงมากที่สุด คือ ไม้ป๊อปลาร์อีกทั้งยังมีจุดยอดของสเปกตรัมสองจุด ส่วนความ เข้มแสงน้อยสุดได้แก่ ไม้ยางแดง และผงไม้ตัวอย่างที่ปราศจากสารแทรกส่วนใหญ่มีจุดยอดของ สเปกตรัมใกล้เคียงกัน พิจารณาค่าความยาวคลื่นที่มีส่วนสำคัญใน Axis 1 แสดงดังภาพที่ 88 (ก) พบว่า ทุกความยาวคลื่นตั้งแต่ 420-700 nm มีความสำคัญเท่ากันหมด แสดงให้เห็นว่า Axis 1 ้ จำแนกกลุ่มตามความเข้มของสเปกตรัม ในขณะที่ Axis 2 ภาพที่ 88 (ข) พบว่า ไม่มีความยาวคลื่น ใดที่แสดงผลเด่นชัดในการจำแนก สร้างแผนภาพการกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 แสดงดังภาพที่ 91 (ก) แยกพิจารณาตามแกน Axis 1 พบว่า การจำแนกกลุ่มของไม้จึ้นอยู่กับ ้ความเข้มแสงสเปกตรัมซึ่งเห็นได้ชัดเจนจากการจับกลุ่มของไม้สยาเหลือง กระพื้นนทรี ยูคาลิปตัส และป๊อปลาร์ และกลุ่มของแก่นไม้จามจุรี แก่นไม้นนทรีและทูเรียน ส่วนในแกน Axis 2 แม้ว่า แก่น สัก 15 และ 30 จะมีตำแหน่งบน PCA ที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อรวมกับ ผลการวิเคราะห์ของ Axis 1 ทำ ให้ไม่สามารถแยกแก่นไม้สักออกจากกลุ่มไม้ชนิดอื่นได้ เพื่อลดผลการจำแนกกลุ่มเนื่องจากความ เข้มแสงสเปกตรัม จึงปรับความเข้มแสงบริเวณยอคให้เท่ากัน ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกที่ปรับ ้ความเข้มแสงบริเวณยอค แสดงภาพที่ 85 (ข) ค่าความยาวคลื่นที่มีส่วนสำคัญใน Axis 1 แสดงคัง ภาพที่ 88 (ก) พบว่า ความยาวคลื่นช่วง 510-700 nm และในส่วน Axis 2 ความยาวคลื่นช่วงที่มีส่วน สำคัญ คือ 420-470 nm แสดงดังภาพที่ 88 (บ) สร้างแผนภาพการกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 แสดงดังภาพที่ 91 (ข) พบว่า แกน PCA 1 Axis 1 แบ่งไม้ออกเป็น 2 กลุ่มตาม แกนนอนทางค่าบวกและค่าลบ พิจารณา Axis 1 ทางค้านบวก แก่นไม้สักอายุ 30 ปี แยกออกจาก กลุ่มไม้ชนิดอื่นอย่างชัดเจน แต่แก่นไม้สักอายุ 15 ปี อยู่ปนกับแก่นไม้นนทรี แก่นไม้จามจุรี ไม้ ทุเรียน และไม้ยางแดง ซึ่งเป็นผลมาจากการแบ่งกลุ่มตามค่า Factor Loading Axis 1 แต่เมื่อพิจารณา ตามแกน Axis 2 พบว่า ไม่สามารถแยกความแตกต่างของไม้บน PCA ได้ เมื่อวิเคราะห์รวมทั้ง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 จึงไม่สามาถแยกแก่นไม้สักออกจากไม้ชนิดอื่นได้

โฮโลเซลลูโลสที่ไม่ปรับความเข้มแสง ภาพที่ 86 (ก) พบว่าสเปกตรัมวาวแสงของโฮโล เซลลูโลสที่มีความเข้มของมากสุด คือ ไม้สยาเหลืองและกระพี่ไม้นนทรี โดยมีความเข้มแสงสูงสุด รวมทั้งยอคสเปกตรัมอยู่ที่จุดเดียวกัน ส่วนโฮโลเซลลูโลสของไม้ที่มีความเข้มของน้อยสุด คือ แก่น ้ไม้สักอายุ 30 ปี ส่วนไม้ชนิดอื่นมีความเข้มสเปกตรัมวาวแสงใกล้เคียงกันแต่อาจมีจุดยอดสเปกตรัม แตกต่างกัน การวิเคราะห์ด้วย PCA ทำให้ทราบค่าความยาวคลื่นที่มีส่วนสำคัญใน Axis 1 ดังภาพที่ 89 (ก) พบว่า ความยาวคลื่นที่มีค่า Factor Loading สูง คือ ช่วง 420-700 nm แสดงให้เห็นว่า Axis 1 แบ่งกลุ่มตามความเข้มของสเปกตรัม ในขณะที่ Axis 2 ดังภาพที่ 89 (ข) พบว่า ค่า Factor Loading ้ ก่อนข้างน้อย แสดงว่า ไม่มีกวามยาวกลื่นใดที่แสดงผลเด่นชัดในการแบ่งกลุ่มใน Axis 2 เมื่อสร้าง แผนภาพการกระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 ดังภาพที่ 92 (ก) พิจารณาตาม แกน Axis 1 พบว่า การจำแนกกลุ่มของไม้ขึ้นอยู่กับความเข้มแสงสเปกตรัมซึ่งเห็นได้ชัดเจนจาก การจับกลุ่มของแก่นไม้สักอายุ 30 ปี ยางแดง ทุเรียน ยูคาลิปตัสและป๊อปลาร์ ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความ เข้มสเปกตรัมวาวแสงน้อย และอีกกลุ่ม ได้แก่ แก่นไม้สักอายุ 15 ปี กระพี้สักอายุ 15 ปี แก่นไม้ ้จามจุรี กระพื้จามจุรี แก่นนนทรี กระพื้นนทรีและสยาเหลือง ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความเข้มแสง ้สเปกตรัมสูงกว่า ส่วนในแกน Axis 2 แม้ว่า แก่นสักอายุ 15 และ 30 ปี จะมีตำแหน่งบน PCA ที่ ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อรวมกับ ผลการวิเคราะห์ของ Axis 1 ทำให้ไม่สามารถแยกแก่นไม้สักออกจาก กลุ่มไม้ชนิดอื่นได้ ส่วนโฮโลเซลลูโลสที่ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด แสดงดังภาพที่ 86 (ข) พบว่า จุดยอดของสเปกตรัมวาวแสงของโฮโลเซลลูโลสมีความความแตกต่างกันในช่วง 500-530 nm นำสเปกตรัมโฮโลเซลลูโลสที่ปรับความเข้มแสงมาวิเคราะห์ด้วย PCA ทำให้ทราบค่าความยาว คลื่นที่มีส่วนสำคัญใน Axis 1 คังภาพที่ 89 (ก) พบว่า ความยาวคลื่นที่มีค่า Factor Loading สูง คือ ช่วง 540-570 nm ในขณะที่ Axis 2 ดังภาพที่ 89 (บ) คือ ช่วง 420-540 nm เมื่อสร้างแผนภาพการ กระจายระหว่าง PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 ดังภาพที่ 92 (บ) พบว่า โฮโลเซลลูโลสบองไม้ ้ ตัวอย่างหลายชนิดมีความคล้ายคลึงกันตามแกน Axis 1 ยกเว้นเพียงแก่นไม้สักอายุ 30 ปี เท่านั้นที่ แยกออกจากกลุ่มอย่างชัดเจน สอดคล้องกับค่า Factor Loading Axis 1 ส่วนในแกน Axis 2 แก่น ้จามจุรี กระพี้สักอายุ 15 ปีและแก่นไม้สักอายุ 15 ปี มีตำแหน่งบน PCA 1 Axis 2 ที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากโฮโลเซลลูโลสของไม้ตัวอย่าง 3 ชนิคนี้ มีจุดยอคของสเปกตรัมวาวแสงที่เดียวกัน
สอดคล้องกับค่า Factor Loading Axis 2 จะเห็นได้ว่า แก่นสักอายุ 15 และ 30 ปี มีความแตกต่างกัน ตามแกน Axis 1 และ 2 เมื่อพิจารณาโดยรวมจึงไม่สามารถแยกโฮโลเซลลูโลสของแก่นไม้สักออก โฮโลเซลลูโลสของไม้ชนิดอื่นได้



ภาพที่ 87 กราฟแสดงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่ 2 ของผง ใม้ที่วัดด้วยความยาวคลื่น 365 nm

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 88 กราฟแสดงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่ 2 ของผง ใม้ที่ปราศจากสารแทรก วัดด้วยความยาวคลื่น 365 nm



ภาพที่ 89 กราฟแสดงค่า Loading ของ (ก) องค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) องค์ประกอบหลักที่ 2 ของ โฮโลเซลลูโลสวัควัคด้วยความยาวคลื่น 365 nm



ภาพที่ 90 แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของผง ใม้ 12 ชนิด วัดโดยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับความเข้มแสง (ข) ปรับความ เข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 91 แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของผง ไม้ที่ปราศจากสารแทรกจำนวน 12 ชนิด วัดโดยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับ ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด



ภาพที่ 92 แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของ โฮโลเซลลูโลสของไม้จำนวน 12 ชนิค วัคโคยใช้ความยาวคลื่น 365 nm (ก) ไม่ปรับ ความเข้มแสง (ข) ปรับความเข้มแสงบริเวณยอด

ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมซึ่งวัดด้วยเครื่อง FTIR

ผลการวัคสเปกตรัมของผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก โฮโลเซลลูโลสและลิกนิน จำนวน 12 ชนิด ด้วยเครื่อง FT IR วัคสเปกตรัมในช่วงเลขคลื่น 4000-650 cm⁻¹ โดยใช้โปรแกรม Tanagra 1.4 วิเคราะห์ PCA แสดงดังภาพที่ 93-96



ภาพที่ 93 สเปกตรัมความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่งผ่านแสงและเลขคลื่นของผงไม้ 12 ชนิด



ภาพที่ 94 สเปกตรัมความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่งผ่านแสงและเลขคลื่นของผงไม้ที่ปราศจากสาร แทรกจำนวน 12 ชนิด วัดเครื่อง

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรศาสกร



ภาพที่ 95 สเปกตรัมความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่งผ่านแสงและเลขคลื่นของโฮโลเซลลูโลสของ ใม้จำนวน 12 ชนิด





ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

วิเคราะห์ผลการวัดสเปกตรัมของผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก โฮโลเซลลูโลสและ ลิกนินจำนวน 12 ชนิด โดยใช้ PCA สร้างคุณลักษณะข้อมูลแบบต่อเนื่อง จากเลขคลื่น 3650-650 cm⁻¹ได้ทั้งหมด 3051 ค่า เมื่อทำการสกัดองค์ประกอบหลัก คำนวณค่าสัดส่วนความแปรปรวนและ สัดส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลัก ได้ผลดังตารางที่ 14

ตารางที่ 15 ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัคส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลัก ของผงไม้ ที่วัคเครื่อง FTIR โคยใช้ PCA

องค์ประกอบหลัก	สัดส่วนความแปรปรวน	สัคส่วนความแปรปรวนสะสม
PCA 1 Axis 1	97	97
PCA 1 Axis 2		98
PCA 1 Axis 3		99
PCA 1 Axis 4		100

ตารางที่ 16 ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัคส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลัก ของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก ที่วัดเครื่อง FTIR โดยใช้ PCA

องค์ประกอบหลัก	สัคส่วนความแปรปรวน	สัคส่วนความแปรปรวนสะสม		
PCA 1 Axis 1	99	99		
PCA 1 Axis 2		100		

ตารางที่ 17 ค่าสัดส่วนความแปรปรวนและสัคส่วนความแปรปรวนสะสมขององค์ประกอบหลัก ของโฮโลเซลลูโลส วัดเครื่อง FTIR โดยใช้ PCA

องค์ประกอบหลัก	สัดส่วนความแปรปรวน	สัคส่วนความแปรปรวนสะสม
PCA 1 Axis 1	98	98
PCA 1 Axis 2	1	99
PCA 1 Axis 3	1	100

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

113 1311 18	ו ומאט זהע ז וחוות בדי אוומבטאט זהע ז וחוות בדי איני מאסאמאר איני איני או אווער איני איני איני איני איני איני א
	ของลิกนินวัคเครื่อง FTIR โคยใช้ PCA

องคํประกอบหลัก	สัดส่วนความแปรปรวน	สัดส่วนความแปรปรวนสะสม
PCA 1 Axis 1	97	97
PCA 1 Axis 2	2	99
PCA 1 Axis 3		100

ค่าสัคส่วนความแปรปรวนสะสมองค์ประกอบหลัก 2 ตัวแรก คือ PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 เป็นตัวอธิบายความผันแปรเดิมของข้อมูลเดิม โดยผงไม้ร้อยละ 98 (จากตารางที่ 14) ผงไม้ สกัคสารแทรกออกร้อยละ 100 (จากตารางที่ 15) โฮโลเซลลูโลสร้อยละ 99 (จากตารางที่ 16) ลิกนิน ร้อยละ 99 (จากตารางที่ 17)

พิจารณาค่าเลขคลื่นที่มีส่วนสำคัญจากค่า Loading ในองค์ประกอบหลักที่ 1 ดังภาพที่ 97 ใด้แก่ เลขคลื่น 3686, 3298, 2918, 2850, 2324, 2175, 1734, 1619, 1594, 1542, 1511, 1457, 1327, 1270, 1237, 1121, 1064, 889, 809 และ 668 ใน Axis 2 ดังภาพที่ 98 ได้แก่ เลขคลื่น 3678, 2918, 2850, 2324, 2175, 1736, 1705, 1685, 1672, 1597, 1508, 1445, 1384, 1329, 1233, 1218, 1150, 1122, 1084, 1041, 976, 921, 837, 714 และ 668 cm⁻¹ ใน Axis 3 ดังภาพที่ 99 ได้แก่ เลขคลื่น 3620, 2158, 1734, 1701, 1538, 1512, 1271, 1016, 948, 882 และ 807 cm⁻¹ ใน Axis 4 ดังภาพที่ 100 ได้แก่ เลขคลื่น 2918, 2850, 1734, 1593, 1542, 1457, 1325, 1232, 1184 และ 1123 cm⁻¹

ผงไม้ที่ปราสจากสารแทรก ค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 1 จากภาพที่ 101 ได้แก่ เลขคลื่น 2920, 2851, 2361, 2325, 2158, 1795, 1742, 1730, 1595, 1560, 1543, 1512, 1460, 1438, 1325, 1267, 1224, 1190, 1122, 1105, 1065, 947, 879, 807 และ 668 cm⁻¹ ใน Axis 2 ดังภาพที่ 102 ได้แก่ เลขคลื่น 3621, 2920, 2851, 2361, 2158, 1738, 1700, 1629, 1508, 1464, 1438, 1391, 1329, 1271, 1190, 1140, 1095, 1067, 1020, 947 และ 807 cm⁻¹ ใน Axis 3 ดังภาพที่ 103 ได้แก่ เลขคลื่น 3629, 2325, 2172, 1595, 1459, 1425 และ 1122 cm⁻¹ ใน Axis 4 ดังภาพที่ 104 ได้แก่ เลขคลื่น 3620 และ 2165 cm⁻¹ โฮโลเซลลูโลส ค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 1 จากภาพที่ 105 ใค้แก่ เลขคลื่น 3686, 2325, 2174, 1734, 1593, 1542, 1512, 1458, 1419, 1327, 1164, 1121, 1053, 809, และ668 cm⁻¹ ใน Axis 2 ดังภาพที่ 106 ได้แก่ เลขคลื่น 3336, 1715, 1593, 1499, 1421, 1329, 1236, 1165, 1118, 1049, 985, 897 และ 668 cm⁻¹ สอดคล้องกับเลขคลื่นที่วัดได้ในโฮโลเซลลูโลสของไม้ Spruce (Schwanninger *et al.*, 2004) ไม้ Beech และ ไม้ Pine (Inari *et al.*, 2007) ใน Axis 3 ดังภาพที่ 107 ได้แก่ เลขคลื่น 3671, 1617, 932, 880 และ 814 cm⁻¹ ใน Axis 4 ดังภาพที่ 108 ได้แก่ เลขคลื่น 3335, 2349, 2175, 1575, 1512, 1264, 1214, 1163, 1113, 1067, 937, 871 และ 812 cm⁻¹

ลิกนิน จากภาพที่ 109 ค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 1 ใด้แก่ เลขคลื่น 3336, 2181, 1736, 1107, 1057 และ 668 cm⁻¹ ใน Axis 2 ดังภาพที่ 110 ใด้แก่ เลขคลื่น 3336, 3046, 1740, 1610, 1485, 1452, 1421, 1372, 1331, 1290, 1237, 1190, 1158, 1122, 1058, 831 และ 668 cm⁻¹ ใน Axis 3 ดังภาพที่ 111 ได้แก่ เลขคลื่น 2175, 2128, 1735, 1686, 1560, 1488, 1446, 1406, 1297, 1185, 1033, 914 cm⁻¹ ใน Axis 4 ดังภาพที่ 112 ได้แก่ เลขคลื่น 2172 cm⁻¹ ซึ่งสอดคล้องกับเลขคลื่นที่สังเกตเห็น ในลิกนินของไม้ Beech และ ไม้ Pine ในงานวิจัยของ Inari et al, 2007



ภาพที่ 97 กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 1 ของผงไม้ วัดเครื่อง FTIR

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 99 กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 3 ของผงไม้ วัดเครื่อง FTIR

137

ลิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 100 กราฟแสดงก่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 4 ของผงไม้ วัดเครื่อง FTIR



ภาพที่ 101 กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 1 ของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก วัด ด้วยเครื่อง FTIR



ภาพที่ 102 กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 2 ของผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก วัด ด้วยเครื่อง FTIR





ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษกรร่าสกร์



ภาพที่ 105 กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 1 ของโฮโลเซลลูโลส วัดด้วยเครื่อง FTIR

ลิขสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรศาสกร์



ภาพที่ 106 กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 2 ของโฮโลเซลลูโลส วัดด้วยเครื่อง



ภาพที่ 107 กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 3 ของโฮโลเซลลูโลส วัดด้วยเครื่อง FTIR



ภาพที่ 108 กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 4 ของโฮโลเซลลูโลส วัดด้วยเครื่อง



ภาพที่ 109 กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 1 ของลิกนิน วัดด้วยเครื่อง FTIR

142

สิบสิทบิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรร่าสกร์



ภาพที่ 110 กราฟแสดงก่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 2 ของลิกนิน วัดด้วยเครื่อง FTIR



ภาพที่ 111 กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 3 ของลิกนิน วัดด้วยเครื่อง FTIR

143

ลิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรร่าสกร์



ภาพที่ 112 กราฟแสดงค่า Loading ขององค์ประกอบหลักที่ 4 ของลิกนิน วัดด้วยเครื่อง FTIR

เลขคลื่นที่วัดได้จากผงไม้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก โฮโลเซลลูโลสและลิกนินจะให้ ข้อมูลเกี่ยวกับการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของหมู่ฟังก์ชั่นและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ โครงสร้างของโมเลกุล (นิพนธ์ และคณิตา 2547) โดยความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นกับหมู่พันธะ ต่างๆแสดงดังตารางที่ 18

เลขคลื่น	ความสัมพันธ์	ผงไม้	ผงไม้สกัด	โฮโล	ลิกนิน
(cm ⁻¹)	·· 19. 60	Q G	สารแทรก	เซลลูโลส	
3645-	พันธะอิสระ OH (Free OH)		3621		
3620	(Schwanningeer et al., 2004)				
3400-	การสั่นแบบยึดของพันธะไฮโครเจนใน	3298	3336		3336
3200	หมู่ OH, แรงระหว่างโมเลกุล O6H และ				
	O3 ในเซลลูโลส (Pandey, 1999,				
	Schwanningeer et al., 2004)				

ตารางที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นกับหมู่พันธะต่างๆ

ตารางที่ 19 (ต่อ)

เลขคลื่น	กวามสัมพันธ์	ผงไม้	ผงไม้สกัด	โฮโล	ຄືກນີ້ນ
(cm^{-1})			สารแทรก	រេ ៥តត្តូ តែឥ	
3000-	พันธะ CH2, CH2OH ในเซลลูโลสจาก	2850	2851		
2835	C6, การสั่นแบบยึดของพันธะ C-H	2918	2920		
	(Schwanningeer et al., 2004)				
2940-	การยึดแบบมีสมมาตรของพันธะ CH ₂	2850	2851		
2850	(Schwanningeer et al., 2004)	2918	2920		
2380-	หมู่ฟังก์ชั่น C-H ในเซลลูโลส, เฮมิ	2324	2325	2325	
2260	เซลลูโลส และโปรตีน (Labbé <i>et al</i> .		2361		
	2008)				
2260-	การสั่นแบบยึดของพันธะ C≡C, C≡N	2175	2158	2174	2181
2100	ของหมู่ Alkynes				
1740-	การสั่นแบบยึดของพันธะ C=O (Pandey,	1705	1730	1715	1736
1709	1999, Nuopponen et al., 2006, Dai et	1734	1742	1734	1738
	al., 2011)	1736			1740
1624-	การงอของพันธะ OH ของการดูดกลื่นน้ำ	1619	1629		
1623	(Dai et al., 2011)				
1605-	การสั่นของโครงสร้างเบนซีนรวมกับ	1594	1595	1593	
1593	การสั่นแบบยึดของพันธะ C-O (Pandey,	1597	1610		
	1999, Nuopponen et al., 2006)				
1515-	การสั่นของโครงสร้างเบนซีน (Pandey,	1508	1508	1512	
1505	1999, Nuopponen et al., 2006, Dai et	1511	1512		
	al., 2011)				
~1460	การงอของพันธะ C-H จากหมู่เมทอกซิล	1457	1460	1458	1452
	(Pandey, 1999)		1464		
1430-	การงอในระนาบของพันธะ C-H กับการ	1445	1438	1419	
1417	สั่นแบบยึดของวงเบนซีน (Pandey,			1421	
	1999, Schwanningeer et al., 2004)				

ใบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรร่าสกร์

ตารางที่ 19 (ต่อ)

เลขคลื่น	ความสัมพันธ์	ผงไม้	ผงไม้สกัด	โฮโถ	ลิกนิน
(cm ⁻¹)			สารแทรก	រេវតត្ថូ តៃឥ	
1375-	การผิดรูปของพันธะ CH (Schwanningeer				1372
1374	<i>et al.</i> , 2004)				
1330-	ฟีโนลิก (Phenolic-OH) (Schwanningeer	1327	1325	1327	1331
1325	<i>et al.</i> , 2004)	1329		1329	
1282-	การผิดรูปของพันธะ CH (Schwanningeer				1290
1277	<i>et al.</i> , 2004)				
1270-	พันธะ C-O ของ guaiacyl (Pandey, 1999,	1270	1267		
1266	Schwanningeer et al., 2004)		1271		
1235-	การผิดรูปของระนาบ OH และ COOH	1233		1236	1237
1225	(Schwanningeer et al., 2004)	1237			
1230-	การสั่นแบบยึครวมกันของ C-C, C-O		1224		
1221	และ C=O (Schwanningeer et al., 2004)				
1218	พันธะ C-O ของ guaiacyl (Pandey, 1999,	1218			
	Schwanningeer et al., 2004)				
1204-	การยึดแบบปฏิสมมาตรของพันธะ C-O-		1190		1190
1199	C, OH plane deformation (Dai et al.,				
	2011)				
1163-	การยึดแบบปฏิสมมาตรของพันธะ C-O-C	1150		1164	1158
1125	(Nuopponen et al., 2006, Dai et al.,			1165	
	2011,)				
1120-	Asymmetric in-phase ring Stretching			1118	
1115	และการสั่นแบบยึดของพันธะ C-C และ				
	C-O (Schwanningeer et al., 2004)				
1110-	Ring asymmetric valence vibration		1105		1107
1107	(Schwanningeer et al., 2004)				

ลิขสิทขึ้ มหาวิทยาลัยเทษยรศาสยร์

ตารางที่ 19 (ต่อ)

เลขคลื่น	ความสัมพันธ์	ผงไม้	ผงไม้สกัด	ໂອໂດ	ลิกนิน
(cm^{-1})			สารแทรก	เซลลูโลส	
1086	การผิดรูปของพันธะ C-O ใน secondary	1084			
	alcohols une aliphatic ether (Pandey,				
	1999)				
1086	การผิดรูปของพันธะ C-O ใน secondary	1084			
	alcohols une aliphatic ether (Pandey,				
	1999, Schwanningeer et al., 2004)				
1075-	การสั่นแบบยึดของพันธะ C-O ของ	1041	1020	1049	1057
1004	แอลกอฮอล์, อีเทอร์และหมู่คาร์บอนิล	1064	1065	1053	1058
	(Nuopponen et al., 2006)		1067		
996-985	การสั่นแบบยึดของพันธะ C-O			985	
	(Schwanningeer et al., 2004)				
925-915	C-H out-of-plane; aromatic	921			
	(Schwanningeer et al., 2004)				
895-892	การสั่นของวงกลูโคส (Pandey, 1999),			897	
	Anomere C-groups, C1-H deformation,				
	ring valence vibration (Schwanningeer				
	et al., 2004, Dai et al., 2011)				
827	S-lignin (Nuopponen et al., 2006)				831
805	กลู โคแมนแนน (glucomannan)	809	807	809	
	(Schwanningeer et al., 2004)				
715	Rocking vibration CH_2 (Schwanningeer	714			
	et al., 2004)				
668	out-of-plane ของพันธะ C-OH	668	668	668	668
	(Schwanningeer et al., 2004, Dai et al.,				
	2011) และการสั้นแบบงอของ Alkene				
	C-H (Nuopponen et al., 2006)				

ลิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

การวิเคราะห์ PCA สามารถลดจำนวนข้อมูลเดิม 3051 ข้อมูล ให้เหลือเพียง 2 องค์ประกอบ หลัก แล้วสร้างแผนภาพการกระจายระหว่างสององค์ประกอบหลักนั้น พิจารณาผลผงไม้ PCA 1 Axis 1 และ PCA 2 Axis 2 ดังภาพที่ 113 พบว่า ใน Axis 1 และ 2 แก่นไม้สักอายุ 30 ปี แยกออกจาก กลุ่มไม้ชนิดอย่างเด่นชัด ส่วนแก่นและกระพี่ไม้สักอายุ 15 ปีมีค่าบน PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 ที่ใกล้เคียงกับไม้ชนิดอื่น เนื่องจากใน PCA 1 Axis 1 วิเคราะห์ตามความเข้มของสเปกตรัม และแบ่งกลุ่มไม้ตัวอย่างตามค่า Factor Loading ส่วนการวิเคราะห์ด้วย Axis 2 กับ 3 ดังภาพที่ 114 และ Axis 3 กับ 4 ดังภาพที่ 115 ซึ่งเป็นการแบ่งกลุ่มไม้ตัวอย่างตามเลขคลื่นตามค่า Factor Loading เป็นหลัก แต่ก่าที่ได้มีความสำคัญก่อนข้างน้อย และไม่สามารถแยกแก่นไม้สักออกจากไม้ ตัวอย่างชนิดอื่น

ผลผงไม้ที่ปราสจากสารแทรก พิจารณา PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 แสดงดังภาพที่ 116 พบว่า บน PCA 1 Axis 2 แก่นสักอายุ 15 ปีมีค่าบน PCA มีค่าใกล้เคียงกับแก่นไม้สักอายุ 30 ปี แต่บน PCA 1 Axis 1 แก่นไม้สักทั้งสองมีค่าต่างกัน การวิเคราะห์ด้วย Axis 2 กับ 3 ดังภาพที่ 117 พบว่า มีเพียง Axis 3 ที่แก่นไม้สักสองมีค่าบน PCA ใกล้กัน และ Axis 3 กับ 4 ดังภาพที่ 118 พบว่า แก่นไม้สักทั้งสองมีค่าบน PCA ที่ต่างกันทั้งสอง Axis จึงไม่สามารถแยกความแตกต่างของผงแก่น ไม้สักที่ปราสจากสารแทรกจากไม้ชนิดอื่นได้

ผลโฮโลเซลลูโลส PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 แสดงดังภาพที่ 119 พบว่า ใน Axis 1 โฮโลเซลลูโลสของแก่นไม้สักทั้งสองมีค่าต่างกัน ในขณะที่ Axis 2 ตำแหน่งบน PCA ของแก่น ไม้สักอายุ 15 และ 30 ปีอยู่ใกล้กัน แต่มีกระพี่สัก ยางแดง แก่นนทรีอยู่รวมในบริเวณเดียวกันด้วย พิจารณา Axis 2 กับ 3 ดังภาพที่ 120 และ Axis 3 กับ 4 ดังภาพที่ 121 พบว่า แก่นไม้สักทั้งสองมีค่า บน PCA ต่างกันทั้งสอง Axis

ผลลิกนิน PCA 1 Axis 1 และ PCA 1 Axis 2 แสดงดังภาพที่ 122 พบว่า แก่นไม้สักอายุ 15 และ 30 ปีอยู่ใกล้กันมาก แต่มีไม้สยาเหลือง แก่นจามจุรี และป๊อปลาร์ปนอยู่ด้วยเช่นกัน อาจเป็นผล เนื่องจากลิกนินของไม้เหล่านี้มีสเปกตรัมส่งผ่านที่คล้ายกัน จึงทำให้มีค่า Factor Loading จากการ วิเคราะห์ด้วย PCA คล้ายคลึงกัน จึงถูกจัดกลุ่มให้อยู่ใกล้กัน ส่วน Axis 3 และ 4 ดังภาพที่ 123 แก่น ไม้สักอายุ 15 และ 30 ปีมีค่าบน PCA ใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับกระพี่ไม้นนทรีด้วย เนื่องจาก การจัดกลุ่มตามค่า Factor Loading และ Axis 3 กับ 4 ดังภาพที่ 124 ลิกนินของไม้ตัวอย่างแต่ละ ชนิดมีตำแหน่งบน PCA ที่ค่อนข้างกระจายตัว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 113 แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของ ผงไม้ 12 ชนิด วัดเครื่อง FTIR



ภาพที่ 114 แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 2 กับ PCA 1 Axis 3 ของ ผงไม้ 12 ชนิด วัดเครื่อง FTIR

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 116 แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของ ผงไม้ที่ปราสจากสารแทรกจำนวน 12 ชนิด วัดเครื่อง FTIR

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรร่าสกร์



ภาพที่ 117 แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 2 กับ PCA 1 Axis 3 ของ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกจำนวน 12 ชนิด วัดเครื่อง FTIR



ภาพที่ 118 แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 3 กับ PCA 1 Axis 4 ของ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกจำนวน 12 ชนิด วัดเครื่อง FTIR



ภาพที่ 119 แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของ โฮโลเซลลูโลสของไม้จำนวน 12 ชนิด วัดเครื่อง FTIR



ภาพที่ 120 แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 2 กับ PCA 1 Axis 3 ของ โฮโลเซลลูโลสของไม้จำนวน 12 ชนิด วัดเครื่อง FTIR



ภาพที่ 121 แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 3 กับ PCA 1 Axis 4 ของ โฮโลเซลลูโลสของไม้จำนวน 12 ชนิค วัดเครื่อง FTIR



ภาพที่ 122 แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 1 กับ PCA 1 Axis 2 ของ ลิกนินของไม้จำนวน 12 ชนิด วัดเครื่อง FTIR



ภาพที่ 123 แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 2 กับ PCA 1 Axis 3 ของ ลิกนินของไม้จำนวน 12 ชนิด วัดเครื่อง FTIR



ภาพที่ 124 แผนภาพการกระจายระหว่างองค์ประกอบหลัก PCA 1 Axis 3 กับ PCA 1 Axis 4 ของ ลิกนินของไม้จำนวน 12 ชนิด วัดเครื่อง FTIR

154

สิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

การศึกษาองค์ประกอบทางเกมีที่มีผลต่อลักษณะเฉพาะทางการวาวแสงของไม้ตัวอย่าง จำนวน 12 ชนิด ได้แก่ แก่นไม้สักอายุ 30 ปี แก่นและกระพี่ไม้สักอายุ 15 ปี แก่นและกระพี่ไม้ จามจุรี แก่นและกระพี่ไม้นนทรี ไม้ทุเรียน ไม้ยูกาลิปตัส ไม้สยาเหลือง ไม้ป๊อปลาร์และไม้ยางแดง สรุปผลได้ ดังนี้

ผลการหาองก์ประกอบทางเคมีของไม้แต่ละชนิด พบว่า มีปริมาณโฮโลเซลลูโลสในช่วง 72.0217-84.5508% โดยกระพี้ไม้สักอายุ 15 ปี มีปริมาณโฮโลเซลลูโลสสูงสุดเท่ากับ 84.5508% มี ปริมาณลิกนินในช่วง 21.5487-38.2698% โดยแก่นไม้สักอายุ 30 ปี มีปริมาณลิกนินสูงสุดเท่ากับ 38.2698% มีปริมาณสารแทรกในช่วง 1.7800-8.5029% โดยแก่นไม้สักอายุ 30 ปี มีปริมาณสาร แทรกสูงสุดเท่ากับ 8.5029%

ผลการวัดสเปกตรัมโดยใช้ชุดอุปกรณ์ Laser Induced Fluorescence (LIF) ซึ่งใช้ เลเซอร์ไดโอด ความยาวกลื่น 532 nm พบว่า ไม้ตัวอย่างทุกชนิดมีการวาวแสงในช่วงความยาวกลื่น 540-790 nm โดยผงไม้มีสเปกตรับวาวแสงเหมือนกับไม้เดิม แสดงให้เห็นว่าขนาดของไม้ไม่มีผล ต่อสเปกตรัมวาวไม้ อีกทั้งยังสามารถจำแนกความแตกต่างของสเปกตรัมวาวแสงของไม้และผงไม้ จำนวน 8 ชนิค ได้โดยใช้การวิเคราะห์ด้วย PCA ซึ่งแก่นไม้สักอายุ 15 ปีและ 30 ปี จะแยกออกมา ้จากกลุ่มไม้ชนิดอื่นอย่างชัดเจน ส่วนองค์ประกอบทางเกมีที่มีผลต่อลักษณะเฉพาะทางการวาวแสง ของไม้ ได้แก่ โฮโลเซลลูโลส เนื่องจากมีลักษณะการเกิดสเปกตรัมวาวแสงที่คล้ายคลึงกันกับผงไม้ ้ต้นแบบนั้นๆ ขณะที่ลิกนินของไม้บางชนิดมีการวาวแสงเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่ไม้บางชนิดกลับ ้ไม่แสดงการวาวแสงของถิกนินเลย พิจารณาสารแทรกของไม้แต่ละชนิดที่สกัดด้วยเฮกเซนและเอ ทานอล พบว่า ไม่สามารถหาข้อสรุปได้แน่ชัดว่าสารแทรกที่สกัดด้วยสารชนิดใดที่เกิดการวาวแสง เนื่องจากในไม้บางชนิด พบว่าสารแทรกที่สกัดด้วนเฮกเซนเท่านั้นที่มีการวางแสงเกิดขึ้น ขณะที่ บางชนิดมีการวาวแสงเกิดขึ้นเฉพาะสารแทรกที่สกัดด้วยเอทานอล หรือบางชนิดมีสเปกตรัมวาว แสงเกิดขึ้นทั้งในสารแทรกที่สกัดด้วยเอทานอลและเฮกเซน และผลการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสง โดยใช้โปรแกรม Tanagra 1.4 วิเคราะห์ PCA พบว่า ใม้แสดงลักษณะเฉพาะบางอย่างออกมาเห็นได้ ้ว่ารูปร่างสเปกตรัมวาวแสงของไม้แต่ละชนิดก่อนข้างแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในแก่นไม้ ้สักอายุ 15 และ 30 ปี ทำให้การวิเคราะห์ด้วย PCA ของผงไม้ ผงไม้ที่สกัดสารแทรก และโฮโล เซลลูโลสแยกแก่นไม้สักอายุ 15 และ 30 ปี ออกจากไม้ชนิดอื่นอย่างชัดเจน

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรร่าสกร์

ผลการวัดสเปกตรัมโดยใช้ชุดอุปกรณ์หลอดไฟฉายแอลอีดี ความยาวคลื่น 395 nm พบว่า ใม้ตัวอย่างทุกชนิดมีการวาวแสงในช่วงความยาวคลื่น 500-750 nm โดยผงไม้มีสเปกตรัมวาวแสง เหมือนกับไม้เดิม ให้ผลเช่นเดียวกับกรณีไม้และผงไม้จากการกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 532 nm แสดงให้เห็นว่าขนาดของไม้ไม่มีผลต่อสเปกตรัมวาวไม้ แต่การวิเกราะห์ด้วย PCA ไม่สามารถแยก แก่นไม้สักอายุ 15 ปีและ 30 ปี จากกลุ่มไม้ชนิดอื่นได้ ส่วนผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่มีผล ต่อลักษณะเฉพาะทางการวาวแสงของไม้ พบว่า สเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ ผงไม้ที่สกัดสารแทรก โฮโลเซลลูโลสและลิกนินมีของไม้ทุกชนิดมีการวาวแสงเกิดขึ้นอีกทั้งยังมีรูปร่างสเปกตรัมคล้ายกัน และผลการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสง โดยใช้โปรแกรม Tanagra 1.4 วิเคราะห์ PCA ไม่ทำให้ผงไม้ ผงไม้ที่สกัดสารแทรก โฮโลเซลลูโลสและลิกนินแสดงลักษณะเฉพาะออกมาก จึงทำให้การ วิเคราะห์ด้วย PCA ไม่สามารถแยกแก่นไม้สักอายุ 15 และ 30 ปี ออกจากไม้ชนิดอื่นได้

ผลการวัดสเปกตรัมโดยใช้ชุดอุปกรณ์ Laser Induced Fluorescence (LIF) ซึ่งใช้หลอด ปรอทเป็นแหล่งกำเนิด ความยาวคลื่น 365 nm เกิดการวาวแสงในช่วงความยาวคลื่น 420-700 nm พิจารณาโดยรวมพบว่า โฮโลเซลลูโลสของไม้ทุกชนิดมีการวาวแสงได้ง่ายกว่าผงไม้นั้น ขณะที่ ลิกนินของไม้ทุกชนิดไม่มีการวาวแสงเกิดขึ้น รูปสเปกตรัมวาวแสงของผงไม้ ผงไม้ที่สกัดสาร แทรกและโฮโลเซลลูโลสมีรูปร่างกราฟคล้านกันมาก ยกเว้นไม้บางชนิดที่อาจมีการเลื่อนดำแหน่ง ของโฮโลเซลลูโลสและผงไม้ที่สกัดสารแทรก หรือมีการเปลี่ยนรูปกราฟสเปกตัมโฮโลเซลลูโลส ช่วง 420-470 nm ทำให้สเปกตัมโฮโลเซลลูโลสต่างจากผงไม้และผงไม้ที่สกัดสารแทรกนั้น ส่วน ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมวาวแสง โดยใช้โปรแกรม Tanagra 1.4 วิเคราะห์ PCA พบว่า ผงไม้ ผงไม้ ที่สกัดสารแทรก โฮโลเซลลูโลสและลิกนินไม่แสดงลักษณะเฉพาะออกมาก จึงทำให้การวิเคราะห์ ด้วย PCA ไม่สามารถแยกแก่นไม้สักอายุ 15 และ 30 ปี ออกจากไม้ชนิดอื่นได้เช่นเดียวกับการ กระตุ้นด้วยความยาวกลื่น 395 nm

ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมซึ่งวัดด้วยเครื่อง FTIR วัดสเปกตรัมในช่วงเลขคลื่น 4000-650 cm⁻¹ โดยใช้โปรแกรม Tanagra 1.4 วิเคราะห์ PCA พบว่า เลขคลื่นที่วัดได้จากผงไม้ ผงไม้ที่สกัด สารแทรก โฮโลเซลลูโลสและลิกนินจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับหมู่ฟังก์ชั่นและโครงสร้างของโมเลกุล ซึ่ง ไม้บางชนิดอาจมีหมู่ฟังก์ชั่นและโครงสร้างทางโมเลกุลพื้นฐานที่เหมือนกัน จึงไม่สามารถแก่นไม้ สักอายุ 15 และ 30 ปี ออกจากไม้ชนิดอื่นได้เช่นกัน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- ณรงค์ โทณานนท์. 2531. <mark>ลักษณะโครงสร้างของไม้และการตรวจพิสูจน์.</mark> ฟันนี่พับบลิชชิ่ง, กรุงเทพฯ.
- เทียม คมกฤส. 2516. **ไม้ที่มีประโยชน์ของประเทศไทย และ การป่าไม้ในประเทศไทย.** บริษัทบพิธ จำกัด แผนกการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และ คณิตา ตั้งคณานุรักษ์. 2547. <mark>สเปกโทรสโกปีด้านการวิเคราะห์.</mark> สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ้ฝ่ายพฤกษศาสตร์ป่าไม้ กองบำรุง กรมป่าไม้. 2526. **ไม้ที่มีค่าทางเศรษฐกิจของไทย**. พิมพ์ครั้งที่ 1. ร.พ. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.
- Albinsson, B., S. Li, K. Lundquist and R. Stomberg. 1999. The origin of lignin fluorescence. J. Mol. Struct. 508: 19–27.

Browing, B.L. 1963. Method in Wood Chemistry. Interscience Publishers, New York.

- Camorani, P., M. Badiali, D. Francomacaro, M. Gamassi, V. Puiri, F. Scotti and M. Zanasi. 2008. A Classification Method for Wood Types using Fluorescence Spectra. Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceeding 2008. May 12-15, 2008, Vancouver Island, Canada.
- Castellan, A., H. Choudhury, R.S. Davidson and S. Grelier. 1994a. Comparative study of stoneground wood pulp and native wood. 2. Comparison of the fluorescence of stone-ground wood pulp and native wood. J. Photochem. Photobiol. A Chem. 81: 117–122.

157

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรศาสกร์

- Castellan, A., H. Choudhury, R.S. Davidson and S. Grelier. 1994b. Comparative study of stone-ground wood pulp and native wood. 3. Application of fluorescence spectroscopy to a study of the weathering of stone-ground pulp and native wood. J. Photochem.
 Photobiol. A Chem. 81: 123–130.
- Castellan, A. and R.S. Davidson. 1994. Steady-state and dynamic Fluorescence emission from abies wood. J. Photochem. Photobiol. AChem.78: 275–279.
- Castellan, A., R. Reinaldo, E. Frollini, L.A. Ramos and C. Chirat. 2007. Studies on fluorescence of cellulosics. Holzforschung 61: 504–508.
- Castellan, A., V. Trichet, J.C. Pommier, A. Siohan and S. Armagnacq. 1995. Photo and thermal stability of TCF softwood pulps Studied by UV/Vis diffuse reflectance and fluorescence spectroscopy. J. PulpPap. Sci. 21: J291–J295.
- Dai, D. and M. Fan. 2011. Investigation of the dislocation of natural fibres by Fourier-transform infrared spectroscopy. J. Vibspec. 55: 300–306.
- Dyer, S.T. 1988. Wood fluorescence of indigenous South African trees. IAWA Bull. n.s. 9: 75-87.
- Heitner, C., D. R. Dimmel and J.A. Schmidt. 2010. Lignin and Lignans: Advances in Chemistry. CRC Press, Boca Raton.
- Hon, D.N.-S. 1994. Degradative effects of ultraviolet light and acid rain on wood surface quality. Wood and Fiber Science. 26: 185-191.
- Hon, D. N.-S. and N. Shiraishi. 2000. Wood and cellulosic chemistry. 2nd ed. Marcel Dekker Inc, New York.

สิบสิทบิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

- Inari, G. N., M. Petrissans and P.Gerardin. 2007. Chemical reactivity of heat-treated wood. Wood Sci Technol. 41: 157–168.
- Krishna, S. and K.A. Chowdhury. 1935. Fluorescence of wood under ultraviolet light. Indian Forster. 61: 221-228.
- Lundquist, K., B. Josefsson and G. Nyquist. 1978. Analysis of lignin Products by fluorescence. Holzforschung. 32: 27–32.
- Labbé, N., X.P. Ye, J.A. Franklin, A.R. Womac, D.D. Tyler and T.G. Rials. 2008. Analysis of switchgrass characteristics using near infrared spectroscopy. BioResources. 3(4): 1329-1348.
- Liukko, S., V. Tasapuro and T. Liitia. 2006. Application of fluorescence spectroscopy to kraft pulp chromophores studies. **9th European Workshop on Lignocellulosics and Pulps.** August 27–30, 2006, Proceedings, 366–369 Vienna, Austria.
- MacLeod, I.T., A.D. Scully, K.P. Ghiggno, P.J.A. Ritchie, O.M. Paravagna and B. Leafy. 1995. Photodegradation at the wood-clearcoat interface. **Wood Sci. Technol.** 29: 183-189.
- Machado, A.E.H., R. DePaula, R. Ruggiero, C. Gardrat and A., Castellan, 2006. Photophysics of dibenzodioxocins. J. Photochem. Photobiol. A Chem. 180:165–174.
- Nuopponen, M.H., H.I. Wikberg, G.M. Birch, A. Jaaskelainen, S.L. Maunu, T. Vuorinen and D. Stewart. 2006. Characterization of 25 Tropical Hardwoods with Fourier Transform Infrared, Ultraviolet Resonance Raman, and ¹³C-NMR Cross-Polarization/Magic-Angle Spinning Spectroscopy. J. Appl. Polym. Sci. 102: 810–819.
- Olmstead, J.A. and D.G. Gray. 1997. Fluorescence spectroscopy of Cellulose lignin and mechanical pulps: A review. J. Pulp Pap. Sci. 23: J571–J581.

ิลิขสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรร่าสกร์

- Pandey, K.K. 1999. A Study of Chemical Structure of Soft and Hard wood and Wood Polymers by FTIR Spectroscopy. J. Appl. Poly. Sci. 71: 1969–1975.
- Pandey, K.K. and K.S. Theagarajan. 1997. Analysis of wood surfaces by diffuse reflectance (DRIFT) and photoacoustic (PAS) Fourier transform infrared spectroscopic techniques. Holz Roh Werkstoff 55: 383.
- Pandey, K.K., N.K. Upreti and V.V. Srinivasan. 1998a. A fluorescence spectroscopic study on wood. Wood Sci. Technol. 32: 309-315.

Pawlizak, S. 2009. Ph.D. Thesis, University of Leipzig.

- Richard, A.J., and W.W. Dean. 1988. Applied Multivariate Statistical Analysis. 2nd ed. Prentice Hall International Inc, New Jersey.
- Schwanninger, M., J.C. Rodrigues, H.Pereirac and B.Hinterstoisser. 2004. Effects of short-time vibratory ball milling on the shape of FT-IR spectra of wood and cellulose. J. Vibspec. 36: 23–40.
- Sum, S.T., Singleton, D.L., Paraskevopoulos, G., Irwin, R.S., Barbour, R.J. and Sutcliffe, R. 1991. Laser-excited fluorescence spectra of eastern SPF wood species, An optical technique for identification and separation of wood species. Wood Sci. Technol. 25:405-413

TAPPI T222 om-88. 1988. Acid-insoluble lignin in wood and pulp.

TAPPI T264 om-88. 1988. Preparation of wood for chemical analysis.

Tylli, H., I. Forsskåhl and C. Olkkonen. 1995. The effect of photoirradiation on high-yield pulps: spectroscopy and kinetics. J. Photochem. Photobiol. A Chem. 87: 181–191.

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์




ภาคผนวก ก

น้ำหนักองค์ประกอบทางเคมีของใม้และตัวอย่างการคำนวณ



		8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	~		9	0		<i>و و</i> 9		
้ สูกัดไฮไลเซลลูโย น้ำหนักใน้	ຕ ້ຕັດໄອໄລເຫ ດ ູໄເ	ា នព្វា ខែ	ាព័	%โตโก	สทัคธิ	้ำกนิน		นำหนัก	สารแทรก	,LP%
ั้นเหนือให้ น้ำหน้อใน น้ำหน้ (g)	น้ำหนักไม้ น้ำหน้	น้ำหน้	ក្រាំង	เพลลโลส	น้ำหนักไม้	น้ำหนักไม้	%ลิกนิน	สกัคด้วย	สกัคด้วย	แทรก
ั้ง ก่อนสกัด (g) หลังสกัด	ก่อนสกัด (g) หลังสกัด	หลังสกัด	(g)		ก่อนสกัด (g)	หลังสกัด (g)		Hexane (g)	Ethanol (g)	
9.8720 3.9714 3.0055	3.9714 3.0055	3.0055		75.6781	2.0300	0.6860	33.7931	0.1400	0.4700	6.179
9.7674 4.0015 3.3833	4.0015 3.3833	3.3833	~	84.5508	2.0015	0.6517	32.5606	0.1740	0.2329	4.165
10.3200 4.0028 2.9050	4.0028 2.9050	2.9050		72.5742	2.0217	0.7737	38.2698	0.1848	0.6927	8.502
9.9898 4.0274 3.3504	4.0274 3.3504	3.3504		83.1901	2.0120	0.4854	24.1252	0.0399	0.7831	8.2384
10.2150 4.0041 2.9820	4.0041 2.9820	2.9820		74.4737	1.9978	0.4305	21.5487	0.0442	0.5341	5.661
9.9241 4.0321 3.2873	4.0321 3.2873	3.2873		81.5289	1.9829	0.5667	28.5794	0.0772	0.4393	5.204
9.6996 2.9925 2.2560	2.9925 2.2560	2.2560		75.3885	2.0000	0.4475	22.3750	0.1014	0.3125	4.267
11.0000 4.0231 3.3167	4.0231 3.3167	3.3167		82.4414	2.0076	0.7313	36.4266	0.0327	0.2210	2.306
10.7394 4.0045 3.0860	4.0045 3.0860	3.0860		77.0633	1.9998	0.7259	36.2986	0.2481	0.3023	5.125
13.3934 3.9989 3.0910	3.9989 3.0910	3.0910		77.2963	2.0100	0.6078	30.2388	0.0686	0.1698	1.78(
9.5079 3.9795 3.1612	3.9795 3.1612	3.1612		79.4371	1.9924	0.5434	27.2736	0.0399	0.4128	4.761
9.9363 3.0031 2.4420	3.0031 2.4420	2.4420		81.3160	2.0197	0.5292	26.2019	0.0243	0.1558	1.812

<mark>ตารางผนวกที่ ก 1</mark> แสคงน้ำหนักขององค์ประกอบทางเคมีของใม้ —

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรร่าสกร

163

ตัวอย่างการคำนวณองค์ประกอบทางเคมีของแก่นไม้สักอายุ 15 ปี

$$\% \text{ lalawaqlar} = \frac{3.0055}{3.9714} \times 100$$

= 75.6781
$$\% \text{ anu} = \frac{0.6860}{2.0300} \times 100$$

= 33.7931
$$\% \text{ ansumso} = \frac{(0.1400 + 0.4700)}{9.8720} \times 100$$

= 6.1791



สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรศาสกร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล วัน เดือน ปี ที่เกิด สถานที่เกิด ประวัติการศึกษา ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน สถานที่ทำงานปัจจุบัน ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ ทุนการศึกษาที่ได้รับ

นางสาวพุทธธิดา ชัยสวัสดิ์ 3 มกราคม พ.ศ. 2529 กรุงเทพมหานคร วท.บ. ฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทุนการศึกษาในปี 2551-2552 จากโครงการสร้างขีด ความสามารถด้านการวิจัยและพัฒนา และการแข่งขันของ ภาคอุตสาหกรรม โดยกลไกความร่วมมือระหว่างภาครัฐ เอกชนและมหาวิทยาลัย (U-IRC) จากสำนักงานพัฒนา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ