

คู่มือปฏิบัติการ



# เห็ดราทำลายไม้

Laboratory Manuals of Wood Destroying Fungi



กลุ่มงานแมลงและจุลชีววิทยาป่าไม้

สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

พ.ศ. 2558

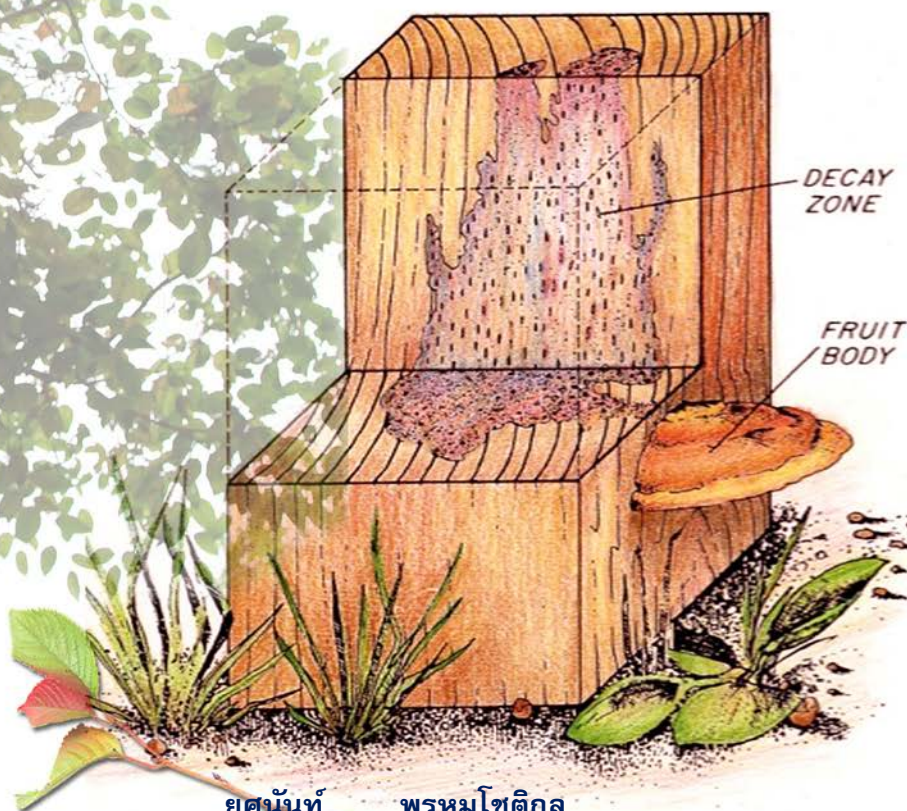
ISBN :  
หนังสือ : คู่มือปฏิบัติการเห็ดราทำลายไม้  
พิมพ์ครั้งแรก : 1,000 เล่ม  
ปีที่พิมพ์ : พ.ศ. 2558  
สำนักงาน : กลุ่มงานแมลงและจุลชีววิทยาป่าไม้  
สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้  
61 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร  
กรุงเทพฯ 10900  
โทร. 0 2561 4292-3 ต่อ 5487  
ผู้จัดทำ : ยศนันท์ พรหมโชติกุล นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ  
กิตติพัฒน์ ลิขิตวรโชติ ผู้ช่วยนักวิจัย  
ปรียากรณ์ กล้าใจ ผู้ช่วยนักวิจัย  
น้ำตาล คุ่มตะโก ผู้ช่วยนักวิจัย  
พิมพ์ที่ :



# คู่มือปฏิบัติการเห็ดราทำลายไม้

LABORATORY MANUALS OF WOOD

DESTROYING FUNGI



ยศนันท์ พรหมโชติกุล

กิตติพัฒน์ ลิขิตวรโชติ

ปรียากรณ์ กล้าใจ

น้ำตาล คุ่มตะโก

พ.ศ.2558

## สารบัญ

หน้า

สารบัญ

สารบัญภาพ

สารบัญตาราง

คำนิยม

คำนำ

บทที่ 1 คุณสมบัติของไม้

บทที่ 2 ความทนทานตามธรรมชาติของไม้

บทที่ 3 ชีวิตวิทยาของเชื้อรา

บทที่ 4 เห็ดราทำลายไม้

บทที่ 5 เทคนิคตรวจสอบการผุพังของเนื้อไม้

บทที่ 6 การป้องกันเห็ดราทำลายไม้

บทที่ 7 ภาศปฏิบัติการ

บรรณานุกรม

## สารบัญภาพ

| ภาพที่ | หน้า                                                             |
|--------|------------------------------------------------------------------|
| 1      | ลักษณะการเจริญเติบโตและการแบ่งเซลล์<br>เป็นส่วนต่างๆ ของเนื้อไม้ |
| 2      | ลักษณะความแตกต่างระหว่างแก่นและกระพี้                            |
| 3      | น้ำในเซลล์เนื้อไม้                                               |
| 4      | ชั้นของผนังเซลล์                                                 |
| 5      | ลักษณะของเส้นใยที่มีผนังกันตามขวาง                               |
| 6      | การเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อราเป็นอิสระ<br>แผ่เป็นวงกว้าง        |
| 7      | แบบจำลองปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรคพืช                      |
| 8      | ชีพจักรของเชื้อราทำลายไม้                                        |
| 9      | ปัจจัยสำคัญต่อการเจริญของเชื้อรา                                 |
| 10     | ลักษณะเนื้อไม้ภายหลังถูกเชื้อราฟุสสีน้ำตาล<br>เข้าทำลาย          |
| 11     | ลักษณะเนื้อไม้ภายหลังถูกเชื้อราฟุสสีขาว<br>เข้าทำลาย             |
| 12     | ลักษณะเนื้อไม้ภายหลังถูกเชื้อราฟุสอ่อนเข้าทำลาย                  |
| 13     | ลักษณะเนื้อไม้ภายหลังถูกเชื้อราเสียดสีเข้าทำลาย                  |
| 14     | กลุ่มของสปอร์เชื้อราฟิวไมไอสีสัม สีดำและสีเขียว                  |



| ภาพที่ | หน้า                                                                     |
|--------|--------------------------------------------------------------------------|
| 15     | เครื่องมือทดสอบกำลังไม้                                                  |
| 16     | รอยแตกหักจากการรับน้ำหนักของไม้ยูคาลิปตัสฯ                               |
| 17     | ตรวจสอบการผุพังของไม้ระยะเริ่มแรกด้วย<br>วิธี “Pick test”                |
| 18     | เครื่อง Resistograph สำหรับตรวจสอบการผุพัง                               |
| 19     | เครื่อง Shigometer สำหรับตรวจสอบการผุพังของไม้<br>หลังตัดฟันและไม่ยืนต้น |
| 20     | วิธีการตรวจสอบเอ็นไซม์บนอาหารเทียม                                       |
| 21     | ขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อด้วยวิธี Aseptic technique                          |
| 22     | ขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อราบนสไลด์                                           |
| 23     | อุปกรณ์สำคัญในการทดลองเห็ดราทำลายไม้                                     |
| 24     | การทดสอบความทนทานตามธรรมชาติของไม้ต่อเชื้อรา<br>ด้วยวิธี Agar Block Test |
| 25     | ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างไม้อัดสารเคมี                                    |
| 26     | ขั้นตอนการทดสอบความแข็งแรงของไม้                                         |
| 27     | เปอร์เซ็นต์การเกิดโคโลนีเชื้อรา                                          |
| 28     | ขั้นตอนการทดสอบเชื้อราเสียสีและราผิวไม้                                  |
| 29     | แสดงการวัดการเจริญเติบโตของเชื้อรา                                       |
| 30     | กราฟตอบสนองของความเป็นพิษของสารชีวภาพ<br>ต่อเชื้อราทำลายไม้ที่ ED.50     |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า                                                     |
|----------|----------------------------------------------------------|
| 1        | ระดับความทนทานตามธรรมชาติ<br>และอายุการใช้งาน            |
| 2        | มาตรฐานไม้เนื้อแข็งของกรมป่าไม้                          |
| 3        | การวัดเส้นผ่าศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา<br>บนอาหารเทียม   |
| 4        | แสดงเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเจริญของเชื้อรา                 |
| 5        | แสดงค่าโพธิทของน้ำส้มควันไม้<br>กระถินเทพา               |
| 6        | แสดงค่าความเป็นพิษของน้ำส้มควันไม้<br>ต่อเชื้อราทำลายไม้ |

## คำนิยม (ACKNOWLEDGEMENT)

คู่มือปฏิบัติการเห็ดราทำลายไม้ สำเร็จได้ด้วยความตั้งใจของผู้เขียนที่ต้องการตอบแทนพระคุณขององค์กร ซึ่งได้ให้การสนับสนุนในวิชาชีพวิทยาศาสตร์ จนกระทั่ง ได้สะสมความรู้คู่ประสบการณ์การวิจัย และการคิดวิเคราะห์ เพื่อถ่ายทอดสู่นักวิจัยรุ่นน้อง รวมทั้งผู้สนใจทั่วไป ผลงานชิ้นนี้สำเร็จได้ด้วยความร่วมมือของทุกท่าน

ขอขอบพระคุณ คุณธิตี วิสารัตน์ ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านวิชาการจัดการป่าไม้ รักษาการแทนผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ ที่ให้การสนับสนุนและผลักดันให้เกิดเป็นชิ้นงาน

ขอขอบคุณ คุณสุชีรา เดชสนธิ ผู้ผลิตงานศิลป์ให้สีภาพเขียน คุณกิตติพัฒน์ ลิขิตวรโชติ คุณน้ำตาล คุ่มตะโก ที่ช่วยถ่ายภาพประกอบเนื้อหาได้อย่างสวยงาม คุณปรียากรณ์ กล้าใจ ที่จัดพิมพ์ผลงานจนสำเร็จสมบูรณ์ คุณอินทรา พันธาสู ที่ช่วยพิสูจน์อักษร และคุณปอแก้ว เขียวขาว ที่ช่วยงานทั่วไป

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีของผลงาน ขอมอบแต่สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

## คำนำ

### (INTRODUCTION)

คู่มือปฏิบัติการเห็ดราทำลายไม้ เป็นเรื่องราวที่เกี่ยวข้องระหว่างไม้กับเชื้อรา โดยรวบรวมความรู้พื้นฐานต่าง ๆ เข้าไว้ด้วยกัน 7 หัวข้อ คือ คุณสมบัติของไม้ ความทนทานตามธรรมชาติของไม้ ชีววิทยาของเชื้อรา เห็ดราทำลายไม้ เทคนิคการตรวจสอบการรุกรานของเนื้อไม้ การป้องกันเห็ดราทำลายไม้ และภาคปฏิบัติการ เพื่อให้ นักวิจัยภายในหน่วยงาน นิสิต นักศึกษา และผู้สนใจทั่วไป ได้ใช้เป็น คู่มือการทำงาน เพื่อสร้างความเข้าใจ และการคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบในการใช้งานไม้ ให้มีความทนทาน โดยหลีกเลี่ยงปัจจัยเสี่ยงต่อการรุกราน เพื่อให้ไม้มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

กรมป่าไม้ หวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือปฏิบัติการเห็ดราทำลายไม้ จะสามารถนำพานักวิจัยและผู้สนใจทั่วไป ให้เข้าใจพื้นฐานและบทบาทของเห็ดรา ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการรุกรานของไม้ และใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไป



## บทที่ 1

# คุณสมบัติของไม้ (Properties of Wood)

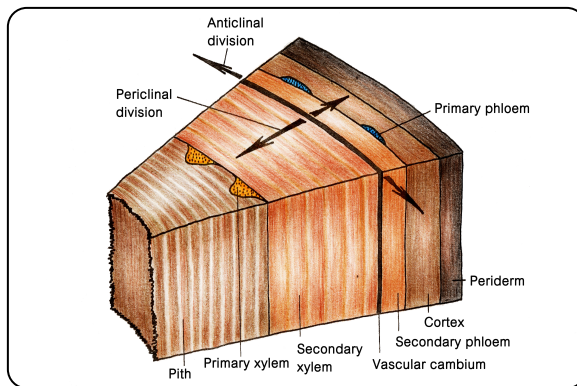
### 1.1 การเจริญเติบโตและการสร้างเนื้อไม้ (Growth and Wood Formation)

การเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืชชั้นสูงขึ้นอยู่กับ การแบ่งเซลล์และการเพิ่มจำนวนของเซลล์บริเวณเยื่อเจริญ 2 แห่ง คือ เยื่อเจริญส่วนปลายยอดเป็นการเจริญเติบโตทางด้านความสูง ส่วนเยื่อเจริญด้านข้างเป็นการเจริญเติบโตทางความโต ในส่วนของเยื่อเจริญด้านปลายยอดเป็นบริเวณที่ว่องไวต่อการแบ่งเซลล์ไปเป็นส่วนประกอบของเซลล์ต้นและใบ ซึ่งเป็นการสร้าง primary tissue และจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นมัดท่อน้ำท่ออาหาร (vascular bundle) เยื่อเจริญของต้นไม้ประกอบด้วยเซลล์ 3 ชนิด ได้แก่ ส่วนของท่อน้ำด้านใน (inner primary xylem) ส่วนของท่ออาหารด้านนอก (outer primary phloem) และเซลล์ส่วนกลางระหว่างท่อน้ำและท่ออาหาร เรียกว่า fascicular cambium เมื่อต้นไม้เจริญเต็มที่ส่วนของเยื่อเจริญ (cambium) จะแบ่งตัวเพิ่มปริมาณเซลล์ออกไปทางด้านนอกเป็นส่วนของ secondary phloem และแบ่งตัวเข้าทางด้านในเป็นส่วนของ secondary xylem ชั้นของท่อน้ำท่ออาหารเป็นส่วนของเยื่อเจริญ

ด้านข้างจะกลายเป็นเซลล์ใหม่ เพื่อสร้างเป็น secondary tissue ซึ่งเป็นเซลล์ที่ช่วยเพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นให้กว้างขึ้น การเจริญเติบโตลักษณะนี้เรียกว่า secondary growth ทำให้ลำต้นใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ

นอกจากนั้น ส่วนของ primary xylem จะถูกดันให้ไปรวมกับ pith สำหรับ primary phloem จะถูกบีบจนเล็กลงและรวมอยู่ในส่วนเปลือก เยื่อเจริญที่อยู่ใต้เปลือกทำหน้าที่แบ่งตัวและวิวัฒนาการต่อไปเป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่ต่างๆ เช่น เป็นท่อน้ำเลี้ยงเก็บสารอาหารให้ ความแข็งแรงและสร้างเปลือกกรุ่นใหม่ให้แก่ลำต้น บริเวณที่อยู่นอกเยื่อเจริญออกไป คือ เปลือกชั้นใน ส่วนที่อยู่ด้านนอกสุด คือ เปลือกชั้นนอก ทำหน้าที่ป้องกันลำต้นไม้ ส่วนเยื่อเจริญด้านในเข้ามาเป็นส่วนของเนื้อไม้ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำ แร่ธาตุและอาหารแม้ว่าพีชจะหยุดเติบโตและขยายตัวแล้วก็ตาม ส่วนนี้เรียกว่า กระพี้ (sapwood) เป็นส่วนที่มีอาหารพร้อมที่จะลำเลียงไปใช้ตามส่วนต่าง ๆ ที่พีชต้องการ ดังนั้น กระพี้ จึงเป็นแหล่งอาหารของแมลงและเชื้อรา บริเวณที่ต่อจาก กระพี้เข้าไปยังจุดศูนย์กลางของลำต้นจะเป็นส่วนที่ตายแล้ว ทำหน้าที่เสมือนเป็นโครงร่างของต้นไม้ เป็นที่สะสมของสารแทรกพวก polyphenol, oil, resin, gum, wax, tannin และสารให้สี บริเวณนี้มักมีความแข็งแรง มีน้ำหนักและมีสีเข้มกว่าบริเวณกระพี้ เรียกส่วนนี้ว่า “แก่น” (heartwood) บทบาทของสารแทรกที่อยู่ในผนังเซลล์และช่องว่างของเซลล์ ตามขอบระหว่างแก่นและกระพี้ โดยธรรมชาติ บริเวณนี้จะทนทานต่อแมลงและเชื้อราทำลายไม้ ในบางครั้งจะพบว่าสี

ของแก่นจะเหมือนสีของกระพี้ แต่แก่นมีน้ำหนัก มีอายุ และมีความแข็งแรงมากกว่า ในสภาพที่ต้นไม้มีการเจริญเติบโตเร็ว มีอายุน้อยจะไม่มีแก่น ดังนั้นการสร้างแก่นของไม้จึงขึ้นอยู่กับอายุ (Hollis, 1987, Dadswell and Hillis, 1962, Gominho and Perieirs, 2000)



ภาพที่ 1 ลักษณะของการเจริญเติบโตและการแบ่งเซลล์เป็นส่วนต่างๆ ของเนื้อไม้



ภาพที่ 2 ลักษณะความแตกต่างระหว่างแก่นและกระพี้

## 1.2 ลักษณะของไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง (Structure of Softwood and Hardwood)

ไม้ที่นำมาใช้ในการค้าแบ่งได้ 2 ชนิด ได้แก่ ไม้เนื้ออ่อน (Softwoods) และไม้เนื้อแข็ง (Hardwoods) เมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างของเนื้อไม้พบว่าไม้ทั้ง 2 ชนิดแตกต่างกันมาก ทั้งนี้ ไม้เนื้ออ่อนมีลักษณะโครงสร้างและรูปแบบของเซลล์เนื้อไม้ไม่ซับซ้อนเหมือนไม้เนื้อแข็ง ซึ่งไม้เนื้ออ่อนมีเซลล์รูปทรงกระบอกปลายแหลมทอดขนานกับแกนของลำต้น เรียกว่า tracheids มีหน้าที่ให้ความแข็งแรง ลำเลียงน้ำและอาหาร ส่วนไม้เนื้อแข็งประกอบด้วยเซลล์หลายประเภท กลุ่มเซลล์นี้มีหน้าที่ลำเลียงน้ำและอาหาร เรียกว่า vessel ส่วนกลุ่มเซลล์ที่ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรง เรียกว่า fiber จากลักษณะของไม้เนื้อแข็งที่มีกลุ่มเซลล์หลากหลายทำให้ไม้เนื้อแข็งหลายชนิดมีลักษณะสวยงามเหมาะต่อการทำเครื่องเรือนและตกแต่งให้สวยงาม

## 1.3 องค์ประกอบทางเคมีของไม้ (Chemical Composition of Wood)

ไม้ทุกชนิดประกอบด้วยสารประกอบหลัก 3 ชนิด คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน นอกจากนั้นเป็นสารแทรก เช่น สารประกอบแทนนิน แป้ง สีในไม้ น้ำมัน ยาง ไขมัน และพวกเกลืออนินทรีย์ต่างๆ สารแทรกเหล่านี้จะกระจายไปตามส่วนต่างๆ ของผนังเซลล์ ทำให้คุณสมบัติของไม้แต่ละชนิดแตกต่างกันไปทางด้านกลิ่น สี รส และความทนทานต่อการผุพังจากเชื้อราและแมลงทำลายไม้

### 1.3.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เป็นสารประกอบที่มีปริมาณมากที่สุด ประมาณ 40-55% ของผนังเซลล์ พบว่า เซลลูโลส 70-90% จะยึดติดกันอย่างเป็นระเบียบและยึดเหนี่ยวกันแน่นมาก บริเวณนี้เรียกว่า crystalline region น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ทำให้เป็นส่วนที่มีคุณสมบัติคงที่ ส่วนที่เหลืออีก 10-30% เป็นแผ่นเซลลูโลสที่ยึดติดกันอย่างหลวมๆ ไม่เป็นระเบียบ เรียกบริเวณนี้ว่า amorphous region เป็นส่วนที่น้ำสามารถซึมเข้าได้ ทำให้ความชื้นในไม้เปลี่ยนแปลงเป็นสาเหตุทำให้ไม่มีการยืดและหดตัว

### 1.3.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เป็นสารประกอบจำพวก polysaccharides มีปริมาณผันแปรตามชนิดของไม้ประมาณ 25-40% ของผนังเซลล์ทั้งหมด เฮมิเซลลูโลสมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าเซลลูโลส เป็นเส้นสายโพลิเมอร์สั้นๆ มีความคงที่น้อย และสามารถดูดซึมน้ำได้ง่ายกว่าเซลลูโลส

### 1.3.3 ลิกนิน (Lignin)

เป็นสารประกอบพวกโพลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลมากและมีโครงสร้างซับซ้อน เป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ไม้ มีประมาณ 18-33% ของผนังเซลล์ทั้งหมด ลิกนินอยู่ระหว่างเซลล์และภายในผนังเซลล์ ทำหน้าที่เป็นสารยึดติดเซลล์เข้าด้วยกันทำให้ไม้มีคุณสมบัติแข็งแรงและต้านทานการเสีรูป

### 1.3.4 สารแทรก (Extractives)

คุณสมบัติและปริมาณของสารแทรกมีความสำคัญต่อการใช้ประโยชน์ไม้มาก เนื่องจากมีอิทธิพลในการต้านทานการผุพังของไม้ที่เกิดจากเชื้อราได้ ปริมาณของสารแทรกมีความผันแปรในช่วง 1-20% ตามชนิดไม้และตำแหน่งภายในลำต้น

## 1.4 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของไม้ (Physical Properties of Wood)

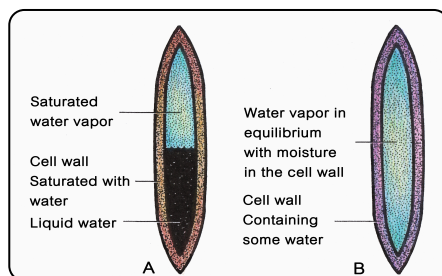
คุณสมบัติทางฟิสิกส์หรือคุณสมบัติทางกายภาพของไม้มีหลายประการ เช่น สี รูปแบบของเส้น และลวดลายภายในเนื้อไม้ คุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่มีบทบาทสำคัญต่อการใช้ประโยชน์ไม้ ได้แก่ บทบาทของน้ำและความหนาของผนังเซลล์ ในส่วนนี้จะกล่าวถึงปัจจัยของน้ำในไม้ ดังนี้

### 1.4.1 ความสัมพันธ์ของไม้และน้ำ (Wood and Water Relationship)

น้ำเป็นส่วนประกอบตามธรรมชาติของไม้สด โดยทั่วไปในส่วนท่อลำเลียงน้ำ (xylem) จะมีน้ำมากกว่าครึ่งของน้ำหนักทั้งหมด และจะมีปริมาณคงที่สม่ำเสมอในโครงสร้างของเซลล์ไม้ที่มีชีวิต แม้ฤดูกาลจะเปลี่ยนไป แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในช่องว่างของเซลล์ (cell lumen) ซึ่งน้ำในส่วนนี้จะมีธาตุอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงของพืช เรียกของเหลวนี้ว่า น้ำเลี้ยง (sap)

เมื่อมีการนำไม้มาใช้ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม จำเป็นต้องทำให้ไม้แห้งเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดย

กระบวนการอบและผึ่งไม้ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของไม้และคุณสมบัติทางฟิสิกส์ เนื่องจากน้ำในช่องว่างของเซลล์จะเคลื่อนที่ออกไปแต่ยังคงมีน้ำในสภาวะของไออยู่ภายในช่องว่างของเซลล์ ส่วนที่ผนังเซลล์จะยังคงมีปริมาณน้ำอยู่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการอบและผึ่งไม้ และสภาพแวดล้อมของการใช้ไม้ กล่าวคือน้ำในช่องว่างของเซลล์สามารถเพิ่มปริมาณได้ภายหลังอบ ผึ่งแห้ง หากการใช้งานไม้สัมผัสกับดินหรือน้ำฝน หรือบริเวณรอยรั่วซึมของน้ำ โดยปกติคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของไม้จะไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อระดับน้ำในช่องว่างของเซลล์เปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตาม หากปรากฏว่าน้ำระเหยออกจากช่องว่างของเซลล์หมด เหลือแต่น้ำที่ผนังเซลล์ในระดับอิมมัตว์ เรียกจุดนี้ว่า จุดหมาด (Fiber Saturation Point/FSP) ซึ่งเป็นจุดวิกฤตของการเปลี่ยนแปลง หากระดับน้ำในไม้ลดลงกว่าจุดนี้ คุณสมบัติของไม้จะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความชื้น ไม้ที่อบแห้งดีแล้วปริมาณน้ำในไม้จะน้อยกว่าจุดหมาดเสมอ เนื่องจากไม้ไม่สามารถดูดความชื้นในอากาศเข้ามาเกินกว่าจุดหมาดได้



ภาพที่ 3 น้ำในเซลล์เนื้อไม้ A น้ำในช่องว่างของเซลล์ไม้สด  
B น้ำในช่องว่างของเซลล์ไม้แห้ง



### 1.4.2 ธรรมชาติของน้ำในไม้ (Nature of Water in Wood)

น้ำในไม้ แบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่ น้ำในช่องว่างของเซลล์ เรียกว่า Free water และน้ำที่ผนังเซลล์ เรียกว่า Bound water น้ำทั้ง 2 ประเภท มีความสำคัญในกระบวนการอบและผึ่งแห้ง คือ free water จะระเหยได้ง่ายกว่า bound water เนื่องจากมีการดูดซับที่ผิวหน้า (surface adsorption) ภายในโครงสร้างของไม้ ดังนั้น น้ำที่ผนังเซลล์ จึงยึดติดกับผนังเซลล์ด้วยแรงดูดซับ (adsorption force) มีใช้แรงดูดซึม (absorption force) ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำมีแรงดึงดูดผิว (surface tension) ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วย H-bond ที่เกิดขึ้นในเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน

### 1.4.3 ความชื้นในไม้ (Moisture Content in Wood)

ไม้สามารถดูดและสูญเสียความชื้นได้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของไม้ ซึ่งมีผลต่อการแปรเปลี่ยนปริมาตรของไม้ เนื่องจากไม้สามารถยืดและหดตัวได้ตามระดับความชื้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทราบว่ามีน้ำอยู่ภายในเนื้อไม้มากน้อยเพียงใด ก่อนที่จะประเมินคุณสมบัติทางฟิสิกส์อื่นๆ ปริมาณความชื้นในไม้เป็นค่าแสดงน้ำหนักร้อยละของน้ำหนักไม้แห้ง สามารถคำนวณได้จากผลต่างของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งคงที่ของไม้

$$\text{ความชื้นในไม้} = \frac{\text{น้ำหนักไม้สด} - \text{น้ำหนักไม้แห้ง}}{\text{น้ำหนักไม้แห้ง}} \times 100$$

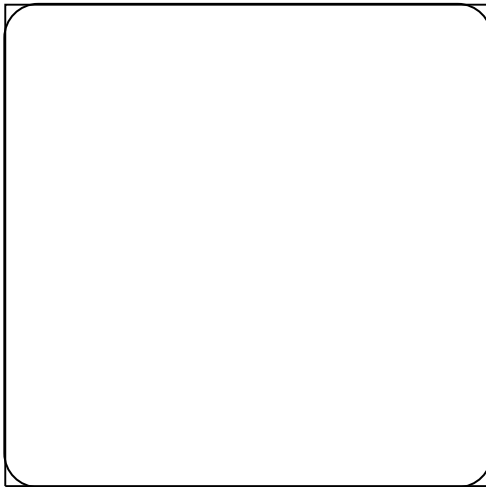
#### 1.4.4 ความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นของไม้ (Specific Gravity and Density of Wood)

ค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นของไม้ มีความใกล้เคียงกันมากสามารถใช้แทนกันได้ ซึ่งความหนาแน่น หมายถึง มวลหรือน้ำหนักของวัตถุต่อหน่วยปริมาตร เป็น กก./ม<sup>3</sup> หรือ กรัม/ซม.<sup>3</sup> หรือ ปอนด์/ฟุต<sup>3</sup> ส่วนความถ่วงจำเพาะ คือ อัตราส่วนของความหนาแน่นวัตถุต่อความหนาแน่นของน้ำ มีข้อสังเกตของการคำนวณค่าความหนาแน่น คือ ความหนาแน่นจะแสดงในรูปของน้ำหนักไม้สดและปริมาตรไม้สด ในขณะที่ความถ่วงจำเพาะคำนวณจากน้ำหนักไม้แห้งเสมอ ซึ่งค่าทั้งสองจะมีความสำคัญต่อคุณสมบัติเชิงกลและเชิงฟิสิกส์ พบว่า ความแข็งแรงของไม้ด้านความแข็งตึง (stiffness) จะมีค่ามากขึ้นเมื่อไม้มีความถ่วงจำเพาะสูง

#### 1.4.5 การยืดยและการหดตัวของไม้ (Swelling and Shrinking of Wood)

ไม้จะเกิดการหดตัวเมื่อมีการสูญเสียน้ำที่ผนังเซลล์ (bound water) ต่ำกว่าจุดอิ่มตัว (fiber saturation point) ในทางกลับกัน ถ้าน้ำอยู่ที่ผนังเซลล์มากไม้จะเกิดการพองตัว การหดตัวของไม้เกิดขึ้นเป็นสัดส่วนกับปริมาณน้ำที่เคลื่อนออกจากผนังเซลล์ ปริมาณการหดตัวจะขึ้นกับความหนาแน่นของไม้ โดยทั่วไปแล้วไม้ที่มีความหนาแน่นสูง ผนังเซลล์ชั้น  $S_2$  มีความหนาแน่นมากกว่าชั้น  $S_1$  และ  $S_3$  นอกจากนั้นในชั้น  $S_2$  โมเลกุลของเซลลูโลสส่วนใหญ่จะเรียงตัวแนวเดียวกัน จึงทำให้ไม่มีการหดตัว นอกจากนั้นไม้ที่มีความหนาแน่นสูง มีแนวโน้มย่ิด

และหดตัวมากกว่าไม้ที่มีความหนาแน่นต่ำ สิ่งที่น่าสนใจเมื่อไม่มีการยืดและหดตัว คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของช่องว่างเซลล์ (cell lumen) จะไม่เปลี่ยนแปลง



**ภาพที่ 4** ชั้นของผนังเซลล์แสดงให้เห็นการเรียงตัวของเส้นใย  
เซลลูโลสในชั้น  $S_3$   $S_2$   $S_1$  และ primary wall

#### 1.4.6 การซึมผ่านของน้ำในไม้ (Permeability of Wood)

การซึมผ่านของน้ำ (Permeability) ในไม้เป็นการเคลื่อนที่ของของเหลวในไม้โดยอาศัยความแตกต่างของความดัน (hydrostatic pressure) หรือการเปลี่ยนแปลงของความดันบรรยากาศ (barometric pressure) Stone (1956) ได้รายงานว่าการซึมผ่านของของเหลวในโครงสร้างของไม้ใบกว้างขึ้นอยู่กับลักษณะของ vessel และ scalariform

perforation plates และ tyloses ส่วนไม้ใบแคบของเลวจะเคลื่อนที่ผ่านเซลล์ tracheid ที่ติดต่อกันผ่านทาง border pits นอกจากนั้น Griffen (1977) และ Promachotikool (1979) พบว่า การเกิดปมเยื่ออุดหลุมผนังเซลล์ (aspiration pit) ทำให้การเคลื่อนที่ของของเหลวลดลงในโครงสร้างเนื้อไม้ระหว่างการอบและผึ่งแห้ง ซึ่งมักเกิดขึ้นกับไม้ที่มีความหนาแน่นต่ำ

#### 1.4.7 การแพร่กระจายของน้ำในไม้ (Diffusion of Water)

การเคลื่อนที่ของของเหลวในโครงสร้างเซลล์เนื้อไม้เกิดขึ้นได้ด้วยแรงดัน นอกจากนั้น ยังสามารถเคลื่อนผ่านผนังเซลล์ที่พองตัวได้ด้วยโมเลกุลของน้ำเคลื่อนจากที่มีความชื้นสูงไปยังจุดที่มีความชื้นต่ำเพื่อลดความแตกต่างระหว่างความชื้นให้สู่สภาวะสมดุล เรียกกระบวนการนี้ว่า diffusion อัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นในผนังเซลล์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นจาก 25-100 °C จะเพิ่มอัตราการแพร่กระจายถึง 37 เท่า ทำให้การแพร่กระจายของน้ำในไม้ มีบทบาทสำคัญในการอบไม้

#### 1.4.8 การเหนี่ยวนำความร้อนในไม้ (Thermal Conductivity of Wood)

ไม้ที่ผ่านกระบวนการอบแห้งจะมีการเหนี่ยวนำความร้อนในระดับต่ำ เนื่องจากช่องว่างภายในเซลล์ (cell lumen) เต็มไปด้วยอากาศซึ่งเป็นตัวนำความร้อนระดับต่ำ จึงเป็นคุณสมบัติที่ดีของไม้ ทำให้ผู้สัมผัสไม้ไม่รู้สึกร้อนหรือเย็นเกินไป

## บทที่ 2

### ความทนทานตามธรรมชาติของไม้ (Natural Durability of Timber)

ไม้จะแสดงความแตกต่างกันเมื่ออยู่ในสภาวะที่เสี่ยงต่อการผุพัง แก่นของไม้บางชนิด เช่น ไม้สักจะอยู่ได้ทนทานนานนับเป็นสิบๆ ปีในสภาพแวดล้อมที่เสี่ยงต่อการผุพัง ในขณะที่ไม้บางชนิดจะถูกทำลายได้ในเวลาไม่นานนัก ความสามารถของแก่นไม้บางชนิดที่ต้านทานการผุพังได้เรียกว่า “มีความทนทานตามธรรมชาติ” (natural durability) หรืออาจเรียกว่า “ต้านทานการผุพัง” (decay resistance) สำหรับส่วนของกระพี้ จะมีความทนทานตามธรรมชาติต่ำเสมอ แม้ว่าไม้หลายชนิดอาจมีส่วนของกระพี้เพียงเล็กน้อยหรือมีไม้เด่นชัดก็ส่งผลให้ไม้นั้นอ่อนแอต่อการถูกทำลายได้

กล่าวกันว่า **ความทนทาน** หมายถึง ความสามารถของวัตถุหรือสิ่งของต่างๆ ที่จะคงสภาพอยู่อย่างถาวร ดังนั้นความทนทานของไม้จึงหมายถึงความสามารถในการต้านทานการเสื่อมสภาพจากศัตรูทำลายไม้ รวมทั้งต้านทานการสึกหรอทางกายภาพ ทางฟิสิกส์และทางเคมี ไม้ที่ถูกสารเคมีพวกกรดซัลฟูริกหรือด่างจะทำให้โครงสร้างของไม้ถูกทำลาย หากป้องกันได้ไม้จะมีความคงทนนับพันปี และถ้าไม่มีการผุพังหรือถูกทำลายจากระบบธรรมชาติ ไม้จะมีอายุยืนยาวตลอดไป

## 2.1 ลักษณะความทนทานตามธรรมชาติของไม้ (Characteristics of Naturally Durable Timbers)

ความสัมพันธ์ของความทนทานและความต้านทานของไม้ชนิดต่างๆ ต่อเชื้อราโดยอาศัยลักษณะโครงสร้างทางฟิสิกส์ และทางเคมี เข้ามาประกอบกัน นอกจากนั้นความหนาแน่น และความชื้นของสีเนื้อไม้มีแนวโน้มที่จะต้านทานการผุพังได้มากกว่าไม้ที่มีน้ำหนักเบา และสีซีด แต่มีข้อยกเว้นสำหรับกฎเกณฑ์เหล่านี้ เนื่องจากโดยปกติแล้วส่วนของกระพี้ไม้เกือบทุกชนิดจะอ่อนแอต่อเชื้อรา และมีส่วนของแก่นเท่านั้นที่ต้านทานการผุพัง ลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้นเพราะไม่มีการสร้างสารต้านทานการผุพัง สารเหล่านี้รู้จักในรูปของสารแทรก (extractives)

ไม้ที่มีความหนาแน่นมากคือ ไม้ที่มีสารในเนื้อไม้มาก จึงเป็นตัวบ่งชี้ถึงระดับการผุพัง ด้วยเหตุผลดังกล่าว ทำให้ไม้ที่มีความหนาแน่นมาก จะมีความทนทานกว่าไม้ที่มีรู (pore) มาก นอกจากนั้น การแพร่กระจาย (diffusion) ของก๊าซออกซิเจนในเนื้อไม้เกิดขึ้นอย่างช้าๆ และสลายตัวไป ส่งผลให้การเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อราช้าลง จึงเกิดการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์รอบๆ เส้นใย ดังนั้น หากไม้มีความหนาแน่นน้อยแสดงว่าเนื้อไม้จะมี pore มาก การแพร่กระจายของออกซิเจนเกิดขึ้นได้ดี ทำให้เส้นใยเชื้อราเจริญได้ดีด้วย อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาถึงการเจริญเติบโตของไม้ พบว่า สภาวะการเจริญเติบโตมีอิทธิพลต่อคุณภาพไม้ กล่าวคือ ไม้ที่มีขนาดใหญ่และสมบูรณ์มีแนวโน้มจะทนทานกว่าไม้ที่มีอายุน้อย เนื่องจากไม้มีสัดส่วน

ของแก่นมากกว่ากระพี้ นอกจากนั้น ยศนันท์ และคณะ (2557) ได้ประเมินความทนทานตามธรรมชาติของไม้สะเดาต่อเชื้อราทำลายไม้พบว่า ส่วนต่างๆ ของลำต้นมีความต้านทานเชื้อราแตกต่างกัน คือ บริเวณโคนต้นมีความทนทานต่อเชื้อรามากกว่าบริเวณกลางลำต้น ส่วนบริเวณปลายลำต้นจะมีความทนทานน้อยที่สุด

## 2.2 สาเหตุการเกิดความทนทานตามธรรมชาติ (Causes of Natural Durability)

โดยทั่วไปไม้ที่มีความทนทานตามธรรมชาติสูงมักมีสีเข้มกว่าไม้ที่มีความทนทานตามธรรมชาติต่ำ ซึ่งลักษณะความเข้มของสีเนื้อไม้เป็นตัวบ่งชี้พื้นฐานที่ดีของความทนทานตามธรรมชาติ สีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในส่วนของแก่น คือ ผลของสารแทรกที่เกิดขึ้นเมื่อมีการสร้างแก่น ทำให้ไม้มีความทนทานสูง ส่วนไม้ที่มีสีปานกลาง ช่วงความทนทานจะอยู่ในช่วงกว้างและมีช่วงที่เหลื่อมล้ำกัน อย่างไรก็ตามไม้ที่มีสีซีดไม่จำเป็นต้องอ่อนแอต่อการเข้าทำลายจากเชื้อราเสมอไป เช่น ไม้ *Terminalia ivorensis* European oak (*Quercus robur* และ *Q. petraea*) จะทนทานต่อการเข้าทำลายจากเชื้อราได้ Rudmann และ Gay (1963) และ Bultman (1976) พบว่าสารแทรกจะแสดงความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ และอาจเป็นสารขับไล่แมลงได้เช่นกัน พิษของสารแทรกผันแปรระหว่าง species และ genus ของไม้และยังผันแปรกับคุณสมบัติทางเคมีของไม้ด้วย

นอกจากนั้น การแช่ไม้หลังตัดฟันในน้ำมีผลให้ไม้มีความต้านทานการผุพังได้ Suolahti (1948) พบว่าการแช่ไม้ในน้ำเป็นเวลา

6 เดือน ไม้จะถูกทำลายได้น้อยกว่าไม้ที่ไม่แช่น้ำ ซึ่งได้ให้ข้อคิดเห็นว่า ไม้อาจดูดซับสารปฏิชีวนะจากการผลิตของพวกจุลินทรีย์ในน้ำ การเกิดกลิ่นเน่าเสียของไม้สน obeche ซึ่งแช่น้ำพบว่า ไม้จะต้านทานการเกิดสีจากเชื้อรา *Diplodia* sp.

### **2.3 ความทนทานตามธรรมชาติและระดับความทนทาน (Natural Durability and Durability Classes)**

การศึกษาความทนทานตามธรรมชาติ เกิดจากการสังเกตเมื่อมีการนำไม้มาใช้ประโยชน์ในสภาพต่างๆ และมีการกำหนดชั้นความทนทานของไม้เป็นมาตรฐาน โดยหน่วยงานที่ชื่อว่า The Building Research Establishment แห่งสหราชอาณาจักรอังกฤษ ได้กำหนดชั้นความทนทานของไม้ไว้ 5 ระดับ โดยใช้กับไม้ในเขตอบอุ่น และไม้ในเขตร้อน ซึ่งจะมีช่วงอายุการใช้งานที่แตกต่างกัน เนื่องจากในเขตร้อนมีความหลากหลายทางชีวภาพ และจุลินทรีย์มีความว่องไวในการทำลายลิกนิน และองค์ประกอบอื่นๆ ของไม้ได้อย่างรุนแรง จึงทำให้อายุการใช้งานของไม้ในเขตร้อนน้อยกว่าไม้ในเขตอบอุ่น ในทางปฏิบัติพบว่า การทดสอบความทนทานตามธรรมชาติของไม้ในภาคสนาม โดยให้ไม้สัมผัสดิน ต้องใช้เวลา และแรงงานคนในการประเมินข้อมูล แต่การทดสอบในห้องปฏิบัติการจะให้ผลรวดเร็ว ส่วนใหญ่แล้วการทดสอบในภาคสนามซึ่งเรียกวิธีนี้ว่า graveyard test จะให้ผลใกล้เคียงกับการทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีวิธีการทดสอบที่เป็นมาตรฐานโดยใช้วิธี Agar block test หรือ Soil block method โดย



แปลผลจากค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของไม้ภายหลังถูกเชื้อราทำลาย

**ตารางที่ 1** ระดับความทนทานตามธรรมชาติ และอายุการใช้งาน

Findlay (1935)

| Durability<br>Class | Service life under   |                      |                              |
|---------------------|----------------------|----------------------|------------------------------|
|                     | Temperate            | Tropical             | Laboratory                   |
|                     | Condition<br>(years) | Condition<br>(years) | Condition<br>(% weight loss) |
| Perishable          | <5                   | <2                   | >30                          |
| Non durable         | 5-10                 | 2-5                  | 10-30                        |
| Moderately durable  | 10-15                | Not given            | 5-10                         |
| Durable             | 15-25                | 5-10                 | 1-5                          |
| Very durable        | 25+                  | 10+                  | <1                           |

อย่างไรก็ตาม วิธีการทดสอบความทนทานตามธรรมชาติของไม้ในห้องปฏิบัติการ สามารถดำเนินการได้ทั้ง 2 วิธี ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของกระบวนการทดสอบ หากต้องการทดสอบค่าความเป็นพิษของสารเคมีรักษาเนื้อไม้ประเภทที่ละลายในน้ำ นิยมใช้วิธี Soil block เนื่องจากไม้ที่อัดด้วยสารเคมีจะละลายน้ำจะดูดซับน้ำจำนวนมากจากอาหารวุ้น แต่สามารถแก้ปัญหาได้โดยการวางตะแกรงตาข่ายหรือแท่งรูปตัวยู ไม่ให้ตัวอย่างขึ้นไม้สัมผัสอาหารวุ้นโดยตรง สำหรับวิธีการทดสอบดังกล่าวให้ผลลัพธ์ที่เชื่อถือได้ทั้งสองวิธี

## บทที่ 3

# ชีววิทยาของเชื้อราทำลายไม้ (Biology of Wood Decay Fungi)

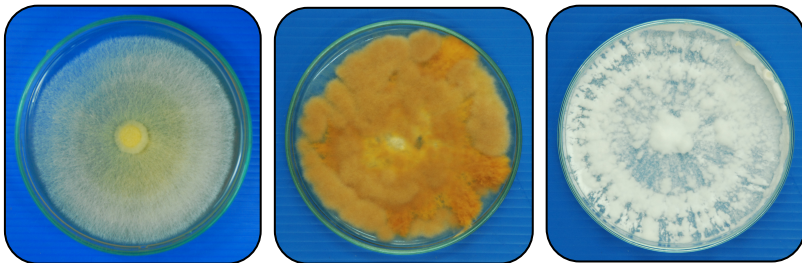
### 3.1 ลักษณะทั่วไปของเชื้อรา (General Characteristic of Fungal)

ราเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กไม่มีคลอโรพลาสต์ อาศัยอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ ทั้งบนบกและในน้ำมีลักษณะเป็นเซลล์เดี่ยว (unicellular) หรือหลายเซลล์ (multicellular) กลุ่มที่มีหลายเซลล์มีรูปร่างเป็นเส้นสาย (filament) การเจริญเติบโตจะเกิดที่ปลายเส้นใยเป็นเส้นใยเดี่ยวๆ เรียกว่า hypha จากนั้นจะแตกกิ่งก้านเป็นกลุ่มเส้นใย เรียกว่า mycelium การแพร่กระจายของเส้นใยเป็นไปอย่างอิสระเป็นวงกว้าง เชื้อราบางชนิดมีลักษณะเส้นใยอ้วนมาก บางชนิดเป็นเส้นหนาเกาะกลุ่มเป็นแผ่นเหนียว เส้นใยของเชื้อราจำนวนมากจะมีผนังกันตามขวาง (septate) ซึ่งเป็นลักษณะของเชื้อราใน Subdivision Ascomycotina, Deuteromycotina และ Basidiomycotina เชื้อราเหล่านี้ทำให้ไม้ผุพัง ส่วนกลุ่มเชื้อราที่เส้นใยไม่มีผนังกัน (non-septate) ได้แก่ เชื้อรา Subdivision Mastigomycotina และ Zygomycotina รวมทั้งพวกราน้ำขึ้นต่ำ สำหรับการสืบพันธุ์ เชื้อรามีการสืบพันธุ์ 2 แบบได้แก่แบบอาศัยเพศโดยการผสมระหว่างเซลล์เพศและนิวเคลียส มีการแบ่งตัวของนิวเคลียสแบบ meiosis ให้สปอร์ที่มีลักษณะเป็น sexual spore ส่วนแบบไม่อาศัยเพศ เป็นการขยายพันธุ์โดยไม่มีการรวม

nuclei หรือเซลล์เพศ มีการขยายพันธุ์ 4 แบบ คือ การแบ่งเส้นใยเป็นท่อนๆ (fragmentation) การแบ่งเซลล์ (fission) การแตกตา (budding) และการเกิดสปอร์ เช่น zoospore เกิดจาก sporangium และ conidia เกิดจาก conidiophores



**ภาพที่ 5** ลักษณะของเส้นใยที่มีผนังกันตามขวาง เส้นใยมีการสร้าง chlamydospore ซึ่งเป็นการขยายพันธุ์แบบไม่ใช้เพศ



A

B

C

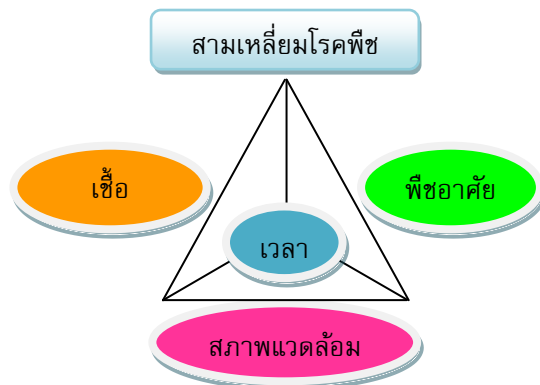
**ภาพที่ 6** การเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อราเป็นอิสระแผ่เป็นวงกว้าง

A ลักษณะเส้นใยที่อ่อนบาง

B,C เส้นใยหนาจับตัวเป็นกลุ่มก้อนและเหนียว

### 3.2 ชีพจักรของเชื้อราทำลายไม้ (Fungal Life Cycles)

เชื้อราทำลายไม้ เป็นสาเหตุการเสื่อมสภาพของไม้ สามารถเจริญอยู่ในไม้และได้รับสารอาหารจากเนื้อไม้เพื่อการดำรงอยู่และแพร่ระบาด ซึ่งวงจรชีวิตของเชื้อราทำลายไม้ เริ่มจากสปอร์ของเชื้อราแพร่กระจายโดยลม แมลง หรือสัตว์เป็นตัวนำพาไปยังไม้ที่อ่อนแอต่อการเกิดโรค เมื่อความชื้นพอเหมาะ สปอร์จะงอกโดยสร้างเส้นใยกระจายภายในเนื้อไม้ ปกติแล้วเส้นใยของเชื้อราทำลายไม้จะสร้างเอ็นไซม์ออกมาย่อยสลายเซลล์เนื้อไม้ ให้เกิดการผุพัง แสดงว่าไม่มีอาการของโรคเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามภาวะดังกล่าวจะเกิดขึ้นเมื่อมีพืชอาศัยที่อ่อนแอ เชื้อสาเหตุที่รุนแรง สภาพแวดล้อมเหมาะสม และระยะเวลาที่พอเหมาะ ปัจจัยดังกล่าวจึงมีการจำลองเป็นสามเหลี่ยมโรคพืชขึ้น ชีพจักรของเชื้อราทำลายไม้เริ่มจากเส้นใยรวมตัวเป็นกลุ่มเพื่อสร้างโครงสร้างเฉพาะ เรียกว่า ดอกเห็ด ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดสปอร์ในการแพร่ระบาดของโรคอีกครั้งหนึ่ง



ภาพที่ 7 แบบจำลองปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรคพืช



ภาพที่ 8 เชื้อฟักรของเชื้อราทำลายไม้

### 3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราทำลายไม้ (Requirement Factor for Fungal Growth)

เชื้อราต้องการอินทรีย์สารเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและคาร์บอนในกระบวนการ metabolism ของเซลล์ ซึ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิต ภายใต้อปัจจัยต่างๆ ได้แก่

#### 3.3.1 อาหาร (Nutrition)

เชื้อราใช้ไฮโดรเซลลูโลส ลิกนิน แป้ง และน้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานและสร้างเซลล์ใหม่ นอกจากนั้นเชื้อรายังต้องการไนโตรเจนและแร่ธาตุอื่นๆ เช่น ไทอะมีน ซึ่งเป็นสารอาหารที่เชื้อราทำลายไม้ส่วนใหญ่ต้องการในการเจริญเติบโต ส่งผลให้ไม่มีการผุพังอย่างรวดเร็ว

#### 3.3.2 ความชื้น (Moisture)

การเสื่อมสภาพของไม้จากจุลินทรีย์จะเกิดขึ้น เมื่อไม้มีปริมาณความชื้นมากกว่า 20% ของน้ำหนักแห้ง ดังนั้น แนวทางปฏิบัติที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการป้องกันจุลินทรีย์ทำลายไม้ คือ ต้องทำให้ไม้แห้งทันทีภายหลังจากตัดฟัน โดยใช้กระบวนการที่เหมาะสม เช่น การทำให้ไม้แห้ง หรือการใช้สารป้องกันรักษาเนื้อไม้ นอกจากนั้น เชื้อราทำลายไม้สามารถสร้างความรุนแรงในการเข้าทำลายไม้เมื่อไม้มีความชื้นสูงกว่าระดับจุดหมาด (fiber-saturation point) ปริมาณความชื้นที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อรา แบ่งได้เป็น

- ความชื้นในเนื้อไม้ ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเชื้อราทั่วไป คือ ประมาณ 35-50% และจะไม่เจริญเมื่อความชื้นในไม้ต่ำกว่า 20%

- ความชื้นในอากาศ เชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้ดีเมื่อมีความชื้นในอากาศประมาณ 60-70% หากสูงหรือต่ำเกินไป เชื้อราจะไม่สามารถเจริญได้อย่างสมบูรณ์

### 3.3.3 อุณหภูมิ (Temperature)

เชื้อราทำลายไม้ส่วนใหญ่สามารถเจริญได้ดีที่สุดในช่วง 25-35°C ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการทนความร้อนของเชื้อรา เช่น เชื้อราทำลายไม้ที่ทนความร้อนปานกลางเจริญได้ที่ 10-40°C และเจริญได้ดีที่สุดที่ 20-30°C ส่วนเชื้อราที่ทนความร้อนสามารถเจริญได้ในช่วง 20-50°C โดยทั่วไปเชื้อราสามารถมีชีวิตอยู่ได้ในอุณหภูมิ 3-39°C หากอุณหภูมิสูงเกินไปเชื้อราจะตายได้ แต่การใช้ความเย็นไม่สามารถฆ่าเชื้อราได้ เพียงแต่ชะงักการเจริญเติบโตเท่านั้น

### 3.3.4 ออกซิเจน (Oxygen)

เชื้อราต้องการออกซิเจนในการเจริญไม่มากนัก แต่เป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโต หากไม่มีออกซิเจนเชื้อราไม่สามารถเจริญได้ ดังนั้น การแช่ไม้ใต้ผิวน้ำจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการป้องกันเชื้อรา

### 3.3.5 แสงสว่าง(Light)

เชื้อราทำลายไม้เจริญเติบโตและลุกลามในเนื้อไม้ได้ดีในสภาพที่ไม่มีแสง แต่หลายชนิดต้องการแสงเพื่อสร้างดอกเห็ด หากเชื้อราได้รับแสงมากมีแนวโน้มที่จะเกิดการชะลอการเจริญเติบโต และในบางครั้ง เส้นใยเชื้อราจะมีสีเข้มขึ้น

### 3.3.6 ความเป็นกรด-ด่าง(Acidity and Alkalinity)

ในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดอ่อนๆ ช่วยให้เชื้อราทำลายไม้เจริญได้ดีขึ้น ความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมต่อการเข้าทำลายไม้อยู่ระหว่าง 4.5 – 5.5

### 3.3.7 ชนิดของไม้ (Wood Species)

ไม่ว่าจะชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะสารแทรกในเนื้อไม้ เช่น ยางเหนียว น้ำมัน เรซิน สามารถต้านทานเชื้อราได้ จึงทำให้เชื้อราบางชนิดเจริญได้ดีในไม้ชนิดหนึ่ง และไม่เจริญในไม้อีกชนิดหนึ่ง





ภาพที่ 9 ปัจจัยสำคัญต่อการเจริญของเชื้อรา

## บทที่ 4

### เห็ดราทำลายไม้ (Wood Destroying Fungi)

การเสื่อมสภาพทางชีววิทยาของไม้เกิดขึ้น เมื่อไม้หรือผลิตภัณฑ์ไม้อยู่ในสภาพที่เสี่ยงต่อการผุพัง เช่น ได้รับปริมาณความชื้นสูง อุณหภูมิพอเหมาะ หรือมีปัจจัยที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของศัตรูทำลายไม้ เช่น เห็ดราทำลายไม้เป็นจุลินทรีย์ชนิดหนึ่ง สามารถทำลายไม้ได้ในระยะก่อนและหลังตัดฟัน เห็ดราทำลายไม้หลายชนิดจัดอยู่ใน Class Ascomycetes และ Basidiomycetes สามารถสร้างเอ็นไซม์ออกมาจากปลายเส้นใยเชื้อราเพื่อย่อยสลายส่วนของกระพี้และแก่นของไม้ เมื่ออยู่ในสภาพที่เหมาะสม เส้นใยของเชื้อราจะเจริญและแทงทะลุไปในเนื้อไม้ทำให้ไม้ผุพัง การเข้าทำลายไม้แบ่งได้ 2 ระยะ คือ

**1. ระยะเริ่มแรก (Incipient Stage)** เส้นใยของเชื้อราเจริญอยู่ในเนื้อไม้โดยแทงทะลุผ่านไปตามผนังเซลล์เนื้อไม้ จากเซลล์หนึ่งไปอีกเซลล์หนึ่งและย่อยสลายอาหารในเนื้อไม้ ระยะนี้ไม้สูญเสียความแข็งแรงในการรับน้ำหนัก ทดสอบได้โดยใช้เครื่องทดสอบกำลังไม้ เมื่อถูกน้ำหนักกด ไม้จะหักลงทันที วิธีนี้สามารถตรวจสอบได้ก่อนที่จะตรวจพบการผุพัง แต่ในไม้เปียกจะตรวจวัดได้ยากกว่าไม้แห้ง

**2. ระยะสุพั้ง (Advance Stage)** เป็นระยะที่ตรวจพบได้ง่าย พบว่าเนื้อไม้เปื่อยยุ่ย และหลุดออกเป็นหย่อม ๆ หรือมีรอยแตกตามขวางเส้น ในขณะที่ไม่ปกติเส้นไม้จะไม่แตกกระจายเมื่อใช้ปลายมีด จัดเนื้อไม้

#### **4.1 คุณสมบัติของไม้ภายหลังถูกเห็ดราทำลาย (Properties of Wood Infection)**

ลักษณะอาการที่เกิดขึ้นกับไม้ภายหลังถูกเห็ดราเข้าทำลายจะปรากฏอาการอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือมีอาการต่าง ๆ ทั้งหมดได้ คือ

##### **4.1.1 เนื้อไม้มีสีเปลี่ยนแปลง (Change in Color)**

การเสื่อมสภาพในระยะเริ่มแรกจะเกิดขึ้นพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม้ เช่น รอยขีด หรือแถบสีน้ำตาลดำ สีน้ำตาล ม่วงหรือรอยต่างดำตามแนวยาวของเส้น หากอาการเกิดขึ้นรุนแรง เนื้อไม้จะแตกหรือหักเป็นชิ้นๆ

##### **4.1.2 เนื้อไม้อ่อนตัว (Change in Texture)**

เนื้อไม้ที่ถูกทำลายในระยะเริ่มแรกสามารถตรวจสอบได้โดยใช้มีดหรือเหล็กแหลมแทงลงในเนื้อไม้ แล้วค่อยๆ จัดขึ้น พบว่าไม้จะหักโดยไม่มีเสียง เนื่องจากเนื้อไม้ไม่มีความเหนียว การรับน้ำหนักจะลดลง

#### 4.1.3 ความหนาแน่นเปลี่ยนแปลง(Change in Density)

ไม้ที่ถูกทำลายจนถึงระยะผุพัง จะมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าปกติ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถยืนยันได้ เนื่องจากอาจเกิดจากธรรมชาติของเนื้อไม้ เช่น ไม้โตเร็ว จะมีความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นน้อยกว่าไม้โตช้า นอกจากนั้นปริมาณความชื้นของไม้มีผลต่อความหนาแน่น ซึ่งการถูกทำลายในระยะเริ่มแรกไม้จะดูดซับน้ำมากขึ้น แต่น้ำหนักแห้งจะลดลงตามระยะการถูกทำลาย

#### 4.1.4 กลิ่นของไม้เปลี่ยนแปลง (Change in Odour)

ไม้ที่ถูกเชื้อราเข้าทำลาย จะมีกลิ่นอับคล้ายเห็ด แต่ในสภาวะที่มีความชื้น จะพบว่าไม้เชื้อราทำลายไม้เกิดขึ้น ส่งผลให้เกิดกลิ่นอับได้ ซึ่งไม่จำเป็นว่าไม้ต้องเกิดการผุพัง ดังนั้นการตรวจสอบโดยใช้กลิ่นเพียงอย่างเดียว ไม่สามารถยืนยันว่า ไม้ผุ ต้องใช้เครื่องมือเจาะเนื้อไม้แล้วพิสูจน์กลิ่น

#### 4.1.5 การติดไฟ (Ignition)

ไม้ที่มีลักษณะผุ จะติดไฟได้ง่ายเนื่องจากภายในเนื้อไม้มีรูพรุน แต่ค่าความร้อนจะต่ำกว่าไม้ปกติ

### 4.2 ชนิดของราที่เกิดกับเนื้อไม้ (Fungal Type on Wood)

ราที่เกิดกับเนื้อไม้ แบ่งได้ 3 กลุ่ม ตามลักษณะอาการที่ปรากฏ ได้แก่

### 1. เห็ดราทำลายไม้ (Wood Destroying Fungi) ได้แก่

ราผู้สีน้ำตาล (brown rot fungi)

ราผู้สีขาว (white rot fungi)

ราผู้อ่อน (soft rot fungi)

### 2. ราที่ทำให้ไม้เสียสี (Wood Staining Fungi)

### 3. ราผิวไม้ (Surface Mold Fungi)

## 4.3 ลักษณะการเข้าทำลายไม้ (Characteristic of Wood Infection)

การทำลายไม้ของเห็ดราแต่ละชนิด มีลักษณะแตกต่างกัน เนื่องจากความต้องการอาหารของเห็ดราแตกต่างกัน ดังนั้นการแบ่งชนิดของเห็ดราตามลักษณะการทำลาย โดยดูสีที่ปรากฏบนเนื้อไม้ดังนี้

### 1. ราผู้สีน้ำตาล (Brown Rot Fungi)

รากุ่มนี้ จะเข้าทำลายเซลล์โลส ซึ่งสะสมอยู่ตามผนังเซลล์ไม้ โดยเส้นใยของเชื้อราจะผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยผนังเซลล์จนทะลุและแทงเข้าไปในเซลล์เนื้อไม้ ระยะแรกของการทำลายเชื้อราจะเข้าทำลายเซลล์เนื้อไม้อย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้เนื้อไม้มีการยุบตัวลงเป็นช่วงๆ เกิดรอยแตกตามแนวขวางเส้นไม้ (grain) จึงเห็นรอยแตกเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาดไม่สม่ำเสมอและมีสีน้ำตาลเข้มกว่าเนื้อไม้ปกติ หากถูกทำลายรุนแรงเนื้อไม้จะร่วนและหักได้ง่าย เมื่อกัดด้วยนิ้วจะเป็นผงละเอียด



A

B

**ภาพที่ 10** ลักษณะเนื้อไม้ภายหลังถูกเชื้อราผู้สีน้ำตาลเข้าทำลาย

A เนื้อไม้จะมีรอยแตกตามแนวขวางเฉียง

B สภาพเนื้อไม้จะแตกเป็นผง

## 2. ราผู้สีขาว (White Rot Fungi)

ราชนิดนี้เมื่อเข้าทำลายไม้ ส่งผลให้ไม้มีสีจางลงเหมือนถูกฟอกสี ซึ่งเกิดจากการสร้างเอนไซม์ phenol-oxidases สามารถย่อยสลายลิกนิน และส่วนประกอบต่างๆ ของผนังเซลล์ มีการทำลายลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส ในเวลาเดียวกันและมีอัตราการทำลายที่คล้ายคลึงกัน แต่มีราผู้สีขาวบางชนิดจะทำลายลิกนินและเฮมิเซลลูโลสก่อน แล้วค่อยเข้าทำลายเซลลูโลสในบริเวณผนังเซลล์ จึงแบ่งการทำลายออกเป็น 2 แบบ คือ การทำลายแบบต่อเนื่อง และการทำลายแบบค่อยเป็นค่อยไป ลักษณะการเข้าทำลาย พบว่าในระยะแรกไม้จะมีรอยขีดเป็นเส้นสีดำหรือน้ำตาลเข้ม เรียกว่า Zone line ภายหลังไม้ถูกทำลายในระยะสุดท้าย ไม้จะมีลักษณะอ่อนนุ่มและยุ่ย

เป็นเส้นตามแนวเส้น เนื่องจากเกิดการแยกตัวของเซลล์ในแนวยาวของ middle lamella น้ำหนักของไม้อาจลดลงถึง 90% นอกจากนั้นไม้ใบกว้างจะถูกทำลายได้ง่ายกว่าไม้ใบแคบ

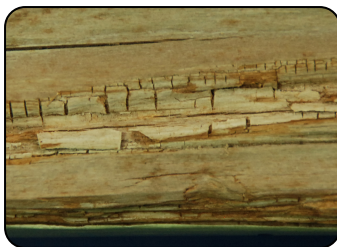


ภาพที่ 11 ลักษณะเนื้อไม้ภายหลังถูกเชื้อราผู้สีขาวทำลาย

- A การทำลายระยะแรก ปรากฏจุดและลายเส้นสีดำ เรียกว่า Zone line
- B เนื้อไม้มีลักษณะเหมือนถูกฟอกสี
- C,D การทำลายระยะสุดท้ายเนื้อไม้เปื่อยยุ่ย

### 3. ราผุอ่อน (Soft Rot Fungi)

การเข้าทำลายไม้ของราผู้อ่อนเกิดขึ้นโดยกลุ่มของเชื้อราใน Subdivision Ascomycotina และ Deuteromycotina ภายใต้สภาวะที่มีปริมาณความชื้นสูง การถ่ายเทอากาศน้อย มีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าพวก Basidiomycetes การเข้าทำลายไม้จะทำให้ผิวหน้าไม้อ่อนตัวลง ส่วนของเส้นใยเชื้อราแทงทะลุผนังเซลล์เข้าไปภายในเซลล์ และเจริญเติบโตโดยใช้อาหารสะสมในไม้ จากนั้นจะเจาะผนังเซลล์โดยสร้าง bore hole ซึ่งเป็นโครงสร้างชนิดหนึ่งของเชื้อราเข้าไปทำลายส่วนต่างๆ ในผนังเซลล์โดยไม่ใช้เอนไซม์ในการย่อยผนังเซลล์เหมือนเชื้อราทำลายไม้ แต่จะสร้างอวัยวะพิเศษ เรียกว่า appressorium เจาะผนังเซลล์ การทำลายจะเกิดขึ้นเฉพาะบางจุดที่เส้นใยแพร่กระจายเข้าไปถึงเท่านั้น แต่บางครั้งพบว่าจะทำลายลึกเข้าไปในเนื้อไม้ บริเวณที่ถูกทำลายจะอ่อนนุ่ม บริเวณที่ไม่ถูกทำลายจะแข็งและมีขอบเขตการทำลายที่ชัดเจน หากทำให้ไม้เปียกส่วนที่ถูกทำลายจะเปื่อยยุ่ยสามารถใช้เล็บขูดเนื้อไม้ออกได้ง่าย ถ้าทำให้ไม้แห้งไม้จะมีสีเข้มและมีรอยแตกเล็กๆ ทั่วไปตามยาวและตามขวางเฉียง หากนำไม้มาตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์จะพบช่องว่างเล็กๆ ภายในผนังเซลล์เป็นรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน ตัวอย่าง ราผู้อ่อนที่พบมาก ได้แก่ *Chaetomium globosum* สามารถทำลายไม้ได้รุนแรง จึงนิยมใช้เป็นเชื้อรามาตรฐานทดสอบความทนทานของไม้ต่อราผู้อ่อน





**ภาพที่ 12** ลักษณะเนื้อไม้ภายหลังถูกเชื้อราผุ่อนเข้าทำลายเนื้อไม้มีรอยแตกตื้นๆ ตามแนวขวางเฉียง

#### 4. ราเสียดสี (Staining Fungi / Blue Stain)

เชื้อรากลุ่มนี้สามารถเข้าทำลายไม้หลังตัดพื้นที่รอการแปรรูป ซึ่งเป็นสาเหตุให้ไม่เกิดการเสียดสี เนื้อไม้ปรากฏรอยต่างดำเป็นปัญหาสำคัญต่อการสูญเสียทางเศรษฐกิจ เนื่องจากไม้เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค แม้ว่าเชื้อราเหล่านี้ไม่ทำให้ไม้ผุพังเนื่องจากไม่มีการย่อยสลายผนังเซลล์และเซลลูโลส เพียงแต่ใช้อาหารพวกคาร์โบไฮเดรต แป้ง และน้ำตาลอิสระที่อยู่ในส่วนของเซลล์รัศมีและเซลล์ lumen ดังนั้น ภายหลังจากไม้ถูกเชื้อราเสียดสีเข้าทำลายจะเห็นรูปลักษณะอย่างชัดเจน บริเวณผิวหน้าตัดตามขวางของไม้มีลักษณะการทำลายเป็นรูปลิ้ม ส่วนผิวหน้าไม้ตามความยาวเฉียงจะปรากฏรอยดำเป็นแถบกว้าง

การเสียดสีของไม้หลังตัดพื้นที่เกิดจากการที่เส้นใยเชื้อราเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและมีการสร้างเม็ดสีเข้าไปในเนื้อไม้ สีที่เกิดขึ้นอาจเป็นสีน้ำเงินดำหรือสีดำ ตามชนิดของเชื้อราที่ให้ช่วงสีต่างกัน เช่น *Chlorosplenium* และ *Trichoderma* ให้สีเขียว *Cytospora* ให้สีเหลือง *Thielaviopsis* ให้สีน้ำตาล *Botryodiplodia* ให้สีน้ำเงินดำ นอกจากนั้นบนผิวไม้ที่เกิดรอยปนเปื้อนสีดำ หรือที่เรียกว่า

blue-stained จากกลุ่มเส้นใยและสปอร์ของเชื้อราที่พบได้ทั่วไป เช่น *Aureobasidium pullulans* พบได้ทุกที่บนแหล่งอาหาร ที่เป็นพวก เซลลูโลส สำหรับเชื้อราอื่นๆ ที่เป็นสาเหตุของการเสียสีในไม้ใช้งาน ได้แก่ *Cladosporium herbarum* *Alternaria tenuis* และ *Stemphylium verrucolusum* (Dickinson, 1971) อย่างไรก็ตาม มักพบเชื้อราเสียสีบนไม้เนื้อขาวหรือไม้ที่มีสีแป้งและน้ำตาลมาก โดยเฉพาะไม้ยางพารา และไม้พญาสัตบรรณ

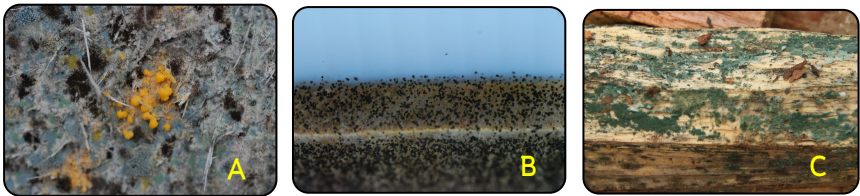


**ภาพที่ 13** ลักษณะเนื้อไม้ภายหลังถูกเชื้อราเสียสีเข้าทำลาย

- A หน้าตัดไม้ภายหลังถูกเชื้อราเข้าทำลายเป็นรูป V-shape
- B แถบสีภายในเนื้อไม้
- C เส้นใยราเสียสีทางผ่าน tracheid ทะลุผนังเซลล์ โดยการสร้าง Appressorium

## 5. ราผิวไม้ (Surface Mold Fungi)

ราผิวไม้มีชื่อเรียกทั่วไปว่า mold จะคล้ายกับราเสียสี (blue stain) คือ สามารถสร้างรอยต่างดำนบนผิวไม้บริเวณกระพี้ เพียงแต่รูปแบบเกิดสีบนเนื้อไม้แตกต่างกัน คือ ราผิวไม้สร้างเส้นใยแทงเข้าไปในเนื้อไม้แต่การเกิดสีจะปรากฏบริเวณผิวไม้เป็นรอยตื้นๆ ซึ่งสีที่เกิดขึ้นนั้น เป็นกลุ่มของสปอร์เชื้อราที่ปล่อยเม็ดสีออกมาเป็นสีต่างๆ เช่น สีเขียว สีส้ม สีชมพู เป็นต้น แต่ที่พบได้ทั่วไป คือ สีดำ ตัวอย่างเชื้อราผิวไม้ที่พบบนผิวไม้ ได้แก่ *Trichoderma* *Gliocladium* *Penicillium* *Aspergillus* และ *Rhizopus* เป็นต้น เชื้อราเหล่านี้เป็นปัญหาของไม้และผลิตภัณฑ์ไม้ที่ไม่ผ่านกระบวนการอบแห้ง นอกจากนั้นเฟอร์นิเจอร์ และเครื่องเรือนพวกไม้ อาจพบราผิวไม้ขึ้นได้โดยเฉพาะในช่วงที่มีความชื้นในบรรยากาศสูง และการระบายอากาศไม่ดี อย่างไรก็ตาม เชื้อราเหล่านี้สามารถกำจัดออกได้โดยการล้างทำความสะอาด หรือไสผิวหน้าไม้



ภาพที่ 14 กลุ่มของสปอร์เชื้อราผิวไม้ให้ สีส้ม (A) สีดำ(B) และสีเขียว(C)

#### 4.4 ผลกระทบของไม้ภายหลังถูกเชื้อราเข้าทำลาย (Effects on Damage Timber)

โดยทั่วไปแล้ว เมื่อไม้ถูกเชื้อราเข้าทำลายคุณสมบัติด้านต่างๆ ของไม้จะเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนี้

##### 4.4.1 ความแข็งแรงของไม้ (Wood Strength)

ไม้ที่ถูกเชื้อราทำลายมีผลกระทบรุนแรงต่อความแข็งแรง (strength) รวมทั้งคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของไม้ ส่วนเชื้อราเสียสีและราผิวไม้ไม่มีผลต่อความแข็งแรง เพียงแต่ความเหนียว (toughness) ของไม้จะลดลงประมาณ 15-30% (Chapman and Scheffer, 1940) สามารถตรวจสอบได้ด้วยเครื่องทดสอบกำลังไม้ในระยะแรกของการทำลาย



ภาพที่ 15 เครื่องมือทดสอบกำลังไม้

#### 4.4.2 ความสามารถในการดูดซึมน้ำจะสูงขึ้น (Ability of Wood Absorption)

สาเหตุที่ไม่มีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำสูงขึ้น ภายหลังจากถูกเชื้อราเข้าทำลาย เนื่องจากเส้นใยเชื้อราสามารถแทงทะลุผนังเซลล์ เนื้อไม้ทำให้เกิดรูพรุน ส่วนเชื้อราเลื้อยและราผิวไม้จะใช้อาหารพวก แป้งและน้ำตาลบริเวณผิวไม้ บริเวณช่องว่างของเซลล์ (cell lumen) และบริเวณ ray parenchyma ทำให้เกิดช่องว่างมากขึ้น จึงสามารถอุ้มน้ำได้มาก ดังนั้นไม้ที่ถูกเชื้อราเข้าทำลาย จะมีความชื้นสูงกว่าไม้ที่ไม่ถูกทำลาย จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เชื้อราชนิดต่างๆ เข้าทำลายซ้ำได้

#### 4.4.3 การดูดซึมน้ำจากบรรยากาศ (Hygroscopicity)

ไม้ที่ถูกเชื้อราทำลายจะดูดความชื้นจากบรรยากาศได้ดีขึ้น เล็กน้อย เชื่อว่าเกิดจากการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีในเนื้อไม้

#### 4.4.4 ลักษณะความคงรูปของไม้ (Dimensional Stability)

ความคงรูปของไม้ภายหลังถูกเชื้อราเข้าทำลาย มีผลกระทบต่อลักษณะของไม้เมื่อไม้แห้ง ทั้งนี้ขึ้นกับการเข้าทำลายไม้ เช่น การผุจากราผู้สีน้ำตาล ไม้จะมีการหด และยุบตัวลง ราผู้สีขาวไม่ทำให้ไม้หดตัว ส่วนราผู้อ่อนไม้จะสีกร่อน มีขอบเขตการทำลายระหว่างไม้ปกติ และไม้ผุชัดเจน

#### 4.4.5 ลักษณะไม้อบแห้ง (Drying Characteristic)

ผลจากความไม่คงรูปของไม้ที่ถูกเชื้อราเข้าทำลาย จะทำให้ไม้  
อบยาก มีการหดตัวและแตกบิดมากกว่าไม้ปกติภายหลังอบแห้ง  
อย่างไรก็ตามไม้ที่ถูกเชื้อราผู้สีน้ำตาลทำลายจะสร้างปัญหาในการอบ  
มากกว่าไม้ที่ถูกเชื้อราสีขาวเข้าทำลาย ไม้จะอบยากกว่าปกติ

## บทที่ 5

### เทคนิคตรวจสอบการผุพังของไม้ (Inspecting Wood Decay Technique)

ผลกระทบของการเข้าทำลายไม้จากเชื้อรา ประเมินได้จากกลสมบัติของไม้ เช่น การสูญเสียความแข็งแรง และการสูญเสียน้ำหนักของไม้ สำหรับการตรวจสอบการผุพังเนื่องจากจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรียและเชื้อราจะประสบปัญหาที่ค่อนข้างยุ่งยาก เนื่องจากการผุพังในระยะแรกไม้ยังคงลักษณะปกติ แต่กลสมบัติของไม้อาจสูญเสียไปแล้ว อย่างไรก็ตามวิธีการตรวจสอบกระทำได้หลายวิธี ดังนี้

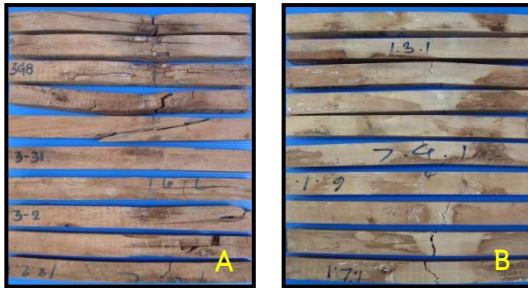
#### 5.1 การวัดกลสมบัติของไม้ (Measuring the Mechanical Properties of Timber)

การวัดกลสมบัติของไม้ด้วยเครื่องมือทดสอบกำลังไม้ ทำการทดสอบจากค่าแรงภายนอกที่มากระทำต่อไม้ ประกอบด้วยแรง 4 ประเภท ได้แก่ แรงดึง (แรงที่ทำให้ไม้ยืดออกตามแนวยาวเส้น) แรงอัด (แรงที่ทำให้ไม้หดลงหดตัวตามแนวยาวเส้น) แรงเฉือน (แรงที่ผ่าตามแนวเส้น) และแรงดัด (ประกอบด้วยแรงดึง แรงอัด และแรงเฉือนกระทำพร้อมกัน) ซึ่งมีความสำคัญต่อไม้โครงสร้าง ดังนั้นในการใช้งานไม้จำเป็นต้องมีการตรวจวัดค่าความแข็งแรงของไม้ โดยเฉพาะไม้ที่อยู่ในสถานะเสี่ยงต่อการถูกทำลายจากเชื้อรา จำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบความแข็งแรงในการรับแรงดัด ซึ่งเป็น

ตัวแทนความแข็งแรงของไม้ เป็นค่าที่คำนวณจากสัดส่วนของแรงกับการเสียรูป เรียกว่า ค่าโมดูลัส (modulus) และจุดที่ไม้แตกหัก (rupture) เรียกว่า โมดูลัสของการแตกหัก (modulus of rupture)

สำหรับการทดสอบความแข็งแรงของไม้ในห้องปฏิบัติการ จะเป็นค่าบ่งชี้การผุพังของไม้ได้ดีกว่าค่าน้ำหนักที่สูญเสีย เนื่องจากไม้ตัวอย่างอยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิ และความชื้น ค่อนข้างคงที่ ค่าความแข็งแรงที่นิยมใช้ประเมินคุณสมบัติของไม้ภายหลังถูกเชื้อราเข้าทำลาย คือ ค่าแรงดัดกระแทก เป็นตัวบ่งชี้การผุพังได้อย่างรวดเร็วซึ่ง Henningson (1967) ได้ทดสอบความแข็งแรงของไม้ birch ที่ถูกเชื้อรา *Fomitopsis pinicola* เข้าทำลายเพียง 2 สัปดาห์ ไม้สูญเสียแรงต้านทานการรับน้ำหนักถึง 47% ในขณะที่ไม้สูญเสียน้ำหนักเพียง 7% ยศนันท์และคณะ (2550) ทดสอบความแข็งแรงของไม้ ยูคาลิปตัส คามาลดูลเลนซิส อายุ 10 ปี จากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออก ภายหลังถูกเชื้อรา *Pycnoporus sanguineus* เข้าทำลายเป็นเวลา 4 เดือน ไม้สูญเสียน้ำหนัก 28.8% และ 30.94% ตามลำดับ และมีการสูญเสียความแข็งแรงจากแรงต้านทานการแตกหักถึง 49% และ 54% ตามลำดับ สรุปได้ว่า การผุพังของไม้จากเชื้อราในกลุ่ม Basidiomycotina มีผลรุนแรงต่อคุณสมบัติความแข็งแรงของไม้





**ภาพที่ 16** รอยแตกหักจากการรับน้ำหนักของไม้ยูคาลิปตัส

คามาลดูเลนซิส อายุ 10 ปี ภายหลังจากทดสอบกับเชื้อราทำลายไม้

(A) *Gloeophyllum sepiarium* (B) *Loweporus medullae-panis*

สำหรับผลของราเสียสีต่อกลสมบัติไม้ chapman และ Scheffer (1940) ชี้ให้เห็นว่ากระพี้ของไม้สนที่ถูกราสีเข้าทำลาย จะสูญเสียความเหนียว 15-30% การรับแรงดัดกระแทกลดลงเพียง 1-5% และความแข็งของผิวหน้าไม้ (hardness) ลดลง 2-10% ส่วน Findlay และ Pettifor (1939) รายงานว่ากระพี้ของไม้สน obeche ที่ถูกเชื้อราเสียสี *Botryodiplodia theobromae* เข้าทำลายอย่างรุนแรงจะสูญเสียความเหนียวถึง 43% ส่วนความแข็งแรงจากแรงดัดมีผลต่อไม้ 20%

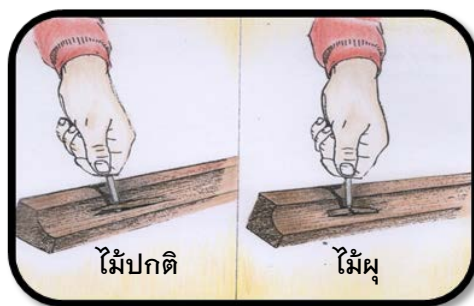
สำหรับไม้ที่ถูกรามุอ่อน (Soft rot fungi) เข้าทำลาย ซึ่ง Morell และ Zabel (1985) พบว่า การเกิดช่องว่างของผนังเซลล์ชั้น  $S_2$  จึงมีผลกระทบต่อ การสูญเสียความต้านทานจากแรงดึงทำให้กลสมบัติของไม้เปลี่ยนแปลงไป

## 5.2 การตรวจสอบด้วยวิธีไม่ทำลายเนื้อไม้ (Non-destruction Inspected Method)

เครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบสภาพไม้ใช้งานต้องเป็นแบบกะทัดรัด และง่ายต่อการพกพา ใช้ผลตรวจสอบรวดเร็วและสามารถนำมาใช้ นอกสถานที่ได้ เช่น

### 5.2.1 การประเมินผิวหน้าไม้(Wood Surface Assessment)

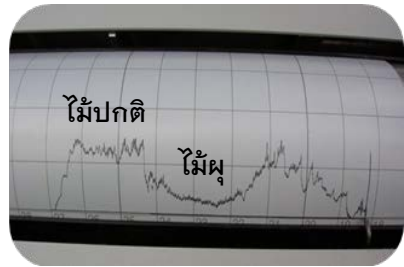
เป็นเทคนิคทางการค้าที่ใช้ตรวจสอบผิวหน้าไม้ ด้วยวิธี Pick test โดยใช้มีดหรือเหล็กแหลมแทงลงไปบนเนื้อไม้แล้ววัดเนื้อไม้ขึ้นมา เป็นวิธีการบ่งบอกถึงความลึกของการผุพังของไม้ หากไม้ผุเมื่อจัดขึ้น ไม้ขึ้นมา จะแตกเป็นชิ้นเล็กๆ แต่ถ้าไม้ปกติ เนื้อไม้จะถูกดีดขึ้น เนื่องจากส่วนของไฟเบอร์ไม้ถูกทำลาย หรืออาจใช้เครื่องมือเจาะผิวไม้ “Pilodyn” ที่มีคุณภาพและมีปัญหาน้อย นิยมใช้ตรวจสอบไม้เก่าที่เกิด การผุจากการผุอ่อนบริเวณคอดิน ด้วยเข็มเจาะขนาด 2-2.5x60 มม. เจาะเข้าไปในเนื้อไม้เพื่อวัดความลึกของไม้ผุ



ภาพที่ 17 ตรวจสอบการผุพังของไม้ระยะเริ่มแรกด้วยวิธีการ “Pick test”

### 5.2.2 การตรวจสอบการผุภายในเนื้อไม้ด้วยวิธีวัดความแข็งแรง (Detection of Internal Decay by Strength Method)

สามารถตรวจสอบโดยใช้สว่านเจาะเข้าไปในเนื้อไม้เพื่อตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงความเร็วของสว่านในเนื้อไม้บริเวณที่ปกติเปรียบเทียบกับบริเวณที่ผุพัง โดยดูค่าจากข้อมูลที่เครื่องบันทึกด้วยระบบคอมพิวเตอร์ เครื่องมือที่นิยมใช้คือ Resistograph เป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำสูง



ภาพที่ 18 เครื่อง Resistograph สำหรับตรวจสอบการผุพัง

### 5.2.3 การตรวจสอบการผุภายในด้วยคลื่นเสียง (Sound-Related Method )

นิยมใช้ตรวจสอบไม้เสาที่ใช้กันโดยทั่วไป รวมทั้งไม้เสาบริเวณคอดิน โดยใช้ค้อนตอกเสาซ้ำๆ ถ้าไม้ไม่ถูกทำลายเสียงจะแน่น (sharp ring) แต่ถ้าไม้ผุจะให้เสียงกลวง (hollow ring) วิธีการนี้เป็นการตรวจสอบอย่างหยาบๆ แต่สามารถบอกแนวโน้มของเสาที่ยังปกติได้

#### 5.2.4 การตรวจสอบโดยใช้กระแสไฟฟ้า (Electrical Method)

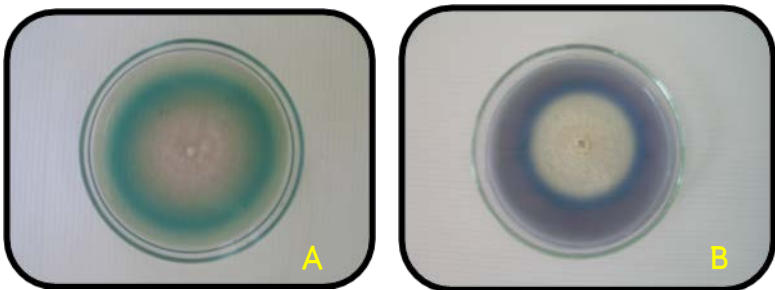
วิธีการนี้เป็นการตรวจสอบการผุพังของไม้โดยใช้ระบบความต้านทานและเหนี่ยวนำไฟฟ้า เป็นเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นโดยยึดหลักปริมาณความชื้นสมดุลย์ของไม้ผุจะมีการเหนี่ยวนำไฟฟ้ามากกว่าไม้ปกติ เครื่องมือที่นิยมใช้ คือ Shigometer และ Conditionmeter วิธีการใช้งานของเครื่องจะใช้ระบบการเจาะรูด้วยสว่านจำนวน 2 จุด จากนั้นใช้ตัวตรวจสอบเสียบเข้าไปในรูเนื้อไม้ เครื่องมือจะอ่านค่าความต้านทานไฟฟ้าโดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานหากความต้านทานไฟฟ้าต่ำ แสดงว่าไม่มีการผุภายใน อย่างไรก็ตามปริมาณความชื้นภายในเนื้อไม้มีอิทธิพลต่อการอ่านค่าเปอร์เซ็นต์การผุพัง ซึ่ง Morris และ Dickinson (1984) แนะนำว่า ความชื้นของไม้ที่มีค่ามากกว่า 45% จะอ่านค่าได้อย่างน่าเชื่อถือ



ภาพที่ 19 เครื่อง Shigometer สำหรับตรวจสอบการผุพังของไม้หลังตัดฟัน และไม้ยืนต้น

### 5.2.5 การตรวจสอบทางชีววิทยา ชีวเคมี และเคมี (Biological, Biochemical and Chemical Methods)

กระบวนการตรวจสอบด้วยวิธีนี้ต้องอาศัยความชำนาญในการปฏิบัติงานโดยการแยกและจำแนกเชื้อราจากไม้ผุ การตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์โดยใช้แสง Fluorescent สามารถใช้กับไม้ที่ถูกเชื้อราผู้สีน้ำตาลเข้าทำลายมากกว่า 3% (Krahmer *et.al*, 1982) ส่วนวิธีทางชีวเคมีเป็นการตรวจวัดเอ็นไซม์ Cellulase, Xylanase, laccase และCatalase หรือการวัดทางเคมีด้วยค่าการละลายในด่าง 2% NaOH



ภาพที่ 20 วิธีการตรวจสอบเอ็นไซม์บนอาหารเทียม

(A) Enzyme Laccase (B) Enzyme Peroxidase

## บทที่ 6

### การป้องกันรักษาเนื้อไม้ ( Wood Protection )

โดยธรรมชาติของไม้หากอยู่ในสภาวะที่เสี่ยงต่อการผุพัง เช่น ไม้ได้รับความชื้นสลับแห้ง อากาศถ่ายเทไม่สะดวก หรือสัมผัสดิน ไม้จะแสดงอาการผุพังจนเกิดความเสียหายไม่สามารถแก้ไขให้มีสภาพเหมือนเดิมได้ วิธีที่ดีที่สุดเพื่อให้ไม้มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น จำเป็นต้องมีการป้องกันรักษาเนื้อไม้ก่อนใช้งาน ซึ่งสามารถดำเนินการได้ 2 รูปแบบ คือ การป้องกันโดยไม่ใช้สารเคมีและการป้องกันโดยใช้สารเคมี

**6.1 การป้องกันรักษาเนื้อไม้โดยไม่ใช้สารเคมี (Non-preservative Protection )** สามารถดำเนินการได้ตามหลักการ ดังนี้

- ไม่ควรวางไม้สัมผัสดินโดยตรงเนื่องจากในดินมีความชื้นสูง ไม้สามารถดูดซึมความชื้นจากดินได้ง่าย
- การออกแบบก่อสร้างอาคาร บ้านเรือน การเก็บไม้ควรเป็นสถานที่ที่มีอากาศถ่ายเทได้ดี ความชื้นต่ำ
- ควรผึ่ง หรืออบไม้ให้มีความชื้นน้อยกว่า 20%
- การเผาให้เป็นถ่าน นิยมใช้กับไม้เสากลมโดยเผาระดับคอดิน ให้เป็นถ่านบางๆ หนาประมาณ 1 ซม.

- การใช้หินหรือคอนกรีต รองกันหลุมก่อนฝังเสาไม้แล้วใช้หินกลบโคนเสา สามารถป้องกันโคนเสาผุได้ดี
- กรณีที่เป็นไม้ซุงหรือไม้ท่อนกลมทั้งกระพี้ และไม้จำพวกไม้เนื้อแข็งหรือไม้ใบกว้าง ควรแช่ให้จมใต้น้ำสามารถป้องกันการผุได้ชั่วคราว แต่จะมีปัญหาจากเชื้อแบคทีเรียได้
- กรณีที่ไม่มีเห็ดราเริ่มเข้าทำลายเล็กน้อย ถ้าจำเป็นต้องนำมาใช้ ควรอบด้วยความร้อนสูง (Heat treatment) เพื่อฆ่าเชื้อราก่อนใช้งาน

การป้องกันรักษาเนื้อไม้โดยไม่ใช้สารเคมี แม้ว่าจะได้ผลดีอยู่บ้าง ก็เป็นเพียงการป้องกันอันตรายอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถป้องกันรักษาเนื้อไม้ได้ทุกส่วน จึงเป็นวิธีที่ค่อนข้างล้าหลังอยู่มาก ไม่เหมาะสมกับสถานการณ์ของโลกและความเป็นอยู่ของประชากรในยุคปัจจุบัน ดังนั้นจึงนิยมใช้สารเคมีในการรักษาเนื้อไม้ เพราะมีประสิทธิภาพ และสามารถปฏิบัติการได้อย่างรวดเร็วทันต่อเหตุการณ์และความจำเป็น

## 6.2 การป้องกันรักษาเนื้อไม้โดยใช้สารเคมี (Wood Preservatives Protection)

การใช้สารเคมีรักษาเนื้อไม้ เป็นกระบวนการป้องกันศัตรูทำลายไม้ที่ให้ผลดี สามารถปรับปรุงคุณภาพของไม้ที่มีความทนทานตามธรรมชาติต่ำให้มีคุณภาพทัดเทียมไม้ที่มีความทนทานสูงต่อการเข้าทำลายของแมลงและจุลินทรีย์ทำลายไม้ โดยใช้ความสัมพันธ์

ระหว่างความเป็นพิษของสารเคมีและการเลือกใช้ชนิดของสารเคมีควบคู่กับมีกรรมวิธีที่ถูกต้อง ก็จะบรรลุถึงวัตถุประสงค์ของการเพิ่มความทนทานของไม้ใช้งานได้

การป้องกันรักษาเนื้อไม้มีหลายกรรมวิธี จำแนกเป็นกรรมวิธีใหญ่ๆ ได้ 2 กรรมวิธี คือ

1. การอบสารเคมีรักษาเนื้อไม้อย่างง่าย (Non-pressure Processes) ได้แก่ การทา ฟัน จุ่มหรือแช่ การต้มไม้ในสารเคมีที่ให้ความร้อนแล้วนำมาแช่ในสารเคมีเย็น (Hot and Cold Bath) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “แบบถังเปิด” (Open-tank) และการดูดซึม (Diffusion Processes)

2. การอบสารเคมีรักษาเนื้อไม้ด้วยกำลังอัด (Pressure Processes) มี 2 วิธี ได้แก่ การอัดแบบเต็มเซลล์ (Full-cell Process) นิยมใช้กับสารเคมีที่ละลายน้ำทุกชนิด และการอัดแบบไม่เต็มเซลล์ (Empty-cell Process) เป็นการอัดสารเคมีให้ซึมเข้าไปในผนังเซลล์เนื้อไม้เท่านั้น

### **6.3 คุณสมบัติของสารเคมีรักษาเนื้อไม้ (Wood Preservatives Properties)**

การเลือกใช้สารเคมีรักษาเนื้อไม้ให้มีประสิทธิภาพ ควรคำนึงถึงลักษณะและคุณสมบัติด้านต่างๆ ดังนี้

1. มีความเป็นพิษสูงต่อศัตรูทำลายไม้เท่านั้น เช่น เชื้อราและแมลงทำลายไม้



2. สามารถซึมเข้าเนื้อไม้ได้ง่าย
3. ทนต่อการชะล้างไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี
4. ไม่กัดกร่อนโลหะ
5. ไม่ทำให้กลสมบัติด้านความแข็งแรงของไม้ลดลง
6. ไม่มีสีและไม่มีผลต่อการทาสี ชัดเงา หรือกระบวนการ

ตกแต่ง

7. ไม่มีกลิ่นที่เป็นพิษต่อระบบทางเดินหายใจ
8. ไม่ทำให้ไม้ขยายตัว
9. ไม่ไวไฟ
10. ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้และสภาพแวดล้อม

#### 6.4 ประเภทของสารเคมีรักษาเนื้อไม้ (Type of Wood

#### Preservatives)

การรักษาเนื้อไม้เป็นกระบวนการยืดอายุความทนทานของไม้ ต่อศัตรูทำลายไม้ทำให้ไม้มีอายุการใช้งานมากกว่าปกติ 3-5 เท่า สารเคมีรักษาเนื้อไม้มีมากมายในท้องตลาด แต่จะแตกต่างกันในเรื่อง ส่วนผสม รูปแบบการผลิตอาจเป็นผง สารชั้นเหนียวหรือเป็นของเหลว นอกจากนั้นยังแตกต่างกันที่ชื่อการค้า แต่ที่สำคัญ คือ จะมีสารตัวออกฤทธิ์เหมือนกัน สารเคมีรักษาเนื้อไม้แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 3 กลุ่ม ดังนี้

#### 6.4.1. Tar Oil Preservatives

สารประกอบกลุ่มนี้ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบถ่านหิน ซึ่งมี ส่วนประกอบของสารต่างๆ มากกว่า 200 ชนิด รู้จักกันในชื่อ “Creosote” กรรมวิธีที่ใช้ป้องกันรักษาเนื้อไม้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทาง ฟิสิกส์ คือ ความเหลว และความหนืด เช่น การอัดด้วยความดัน นิยม ใช้กับไม้หมอนรถไฟ โครงสร้างสะพาน ไม้ที่ใช้งานในทะเล เนื่องจาก ส่วนประกอบของสารต่าง ๆ ระเหยได้ยากและติดทนกับเนื้อไม้ หรือใช้ ความร้อนเข้าช่วยเพื่อให้สารเคมีซึมเข้าเนื้อไม้ได้ดีและลดความหนืด ของน้ำมัน จึงเหมาะกับการทำงานไม้ที่ใช้ภายนอก เช่น ไม้เสา ไม้รั้ว ไม้กั้น และโรงเรือน เป็นต้น

#### 6.4.2. Organic Solvent Preservatives

สารเคมีรักษาเนื้อไม้กลุ่มนี้ประกอบด้วยสารเคมีกำจัดแมลง และฆ่าเชื้อรา โดยมีตัวทำละลายเป็นสารอินทรีย์สามารถใช้ทา จุ่ม หรืออัดเข้าเนื้อไม้ด้วยความดันต่ำ แต่มีข้อเสีย คือ ตัวทำละลายมีราคา แพงไม้จะติดไฟได้ง่ายกว่าปกติ หากตัวทำละลายระเหยไม่หมด ส่วน ข้อดี คือ ไม้จะไม่ยืดหรือหดตัว เนื้อไม้สะอาดสามารถทาสีทับได้เมื่อ สารละลายระเหยออกไป ทำให้สารออกฤทธิ์ยึดติดกับเนื้อไม้และซึม เข้าเนื้อไม้ได้ดี ตัวอย่างของสารเคมีกลุ่มนี้ ได้แก่ Pentachlorophenol, Copper-8-Quinolinolate (Cu-8), Copper/Zinc Naphthenate และ Tributyl-tin-oxide (TBTO)

### 6.4.3. Water Borne Preservatives

สารเคมีรักษาเนื้อไม้กลุ่มนี้ละลายได้ในน้ำ ส่วนใหญ่เป็นพวกสารประกอบของเกลือเชิงซ้อน ซึ่งรู้จักกันในชื่อของ “CCA” (Chromated Copper Arsenate) ประกอบด้วยทองแดง โครเมียม และสารหนู นิยมใช้ในกระบวนการอัด ทา จุ่ม หรือพ่น เป็นกลุ่มที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันเชื้อราและแมลงได้ดี แต่ปัจจุบันหลายประเทศได้เรียกร้องให้เลิกใช้เนื่องจากมีส่วนประกอบของโลหะหนักซึ่งอาจก่อมะเร็งได้

นอกจากนั้น ยังมีกลุ่มสารประกอบของโลหะออกไซด์ ที่ได้รับการยอมรับจาก AWWA (American Wood Protection Association) ว่าเป็นสารเคมีป้องกันรักษาเนื้อไม้ ได้แก่ ACA (Ammonical Copper Arsenite) มีชื่อการค้าว่า “Chemonite” ACC (Acid Copper Chromate) มีชื่อการค้าว่า “Celcure” หรือ “Celcure O” CZC (Chromated Zinc Chloride) เป็นสารเคมีรักษาเนื้อไม้ที่ใช้ในการค้าเพียงชนิดเดียว ที่มีสังกะสีเป็นส่วนผสม ปัจจุบันปริมาณการใช้ลดลงมาก สารประกอบอีกกลุ่มคือ FCAP (Fluor-Chrome-Arsenate-Phenol) ประกอบด้วยส่วนผสมของ Sodium fluoride, Disodium arsenate, Sodium chromate และ 2,4-dinitrophenol แต่เนื่องจาก fluoride ถูกชะล้างได้เมื่ออยู่ในสภาพเปียกชื้น จึงมีการพัฒนาโดยการผสม dichromate เพื่อให้สารเคมีมีความคงทนในเนื้อไม้ แต่อย่างไรก็ตามสารเคมีชนิดนี้จะใช้กับไม้ที่อยู่เหนือพื้นดินเท่านั้น นอกจากนี้ ยังมีสารเคมีกลุ่ม Boron compound ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันแมลงและเชื้อรา แต่จะไม่คงสภาพ

ติดผิวไม้ จึงไม่ใช้กับไม้ที่สัมผัสดิน สารประกอบโบรอนเป็นสาร Disodium octaborate tetrahydrate ( $\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{18} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) สามารถใช้กับไม้สดด้วยกรรมวิธี diffusion ซึ่งแตกต่างจากสารเคมีรักษาเนื้อไม้ที่ละลายน้ำชนิดอื่นที่ใช้กรรมวิธีอัดแบบเต็มเซลล์ (Full-cell Process)

ปัจจุบันมีการพัฒนาสารป้องกันรักษาเนื้อไม้หลายชนิดเพื่อทดแทนกลุ่มของ CCA คือ สารประกอบของ Copper Azole ซึ่งมีอยู่ 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม A ได้แก่ Copper Boron Azole (CBA-A) และกลุ่ม B ได้แก่ Copper Azole (CA-B) นอกจากนั้นยังมีสารเคมีอีกหลายชนิดที่ใช้ป้องกันรักษาเนื้อไม้ได้ ขึ้นอยู่กับการยอมรับว่าสามารถป้องกันการเข้าทำลายของศัตรูทำลายไม้ได้เพียงใด และมีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการใช้งานเพียงใด เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

## บทที่ 7

### ภาคปฏิบัติการ (Laboratory Test)

จุดประสงค์ของภาคปฏิบัติการเห็ดราทำลายไม้ เพื่อสร้างความเข้าใจในการคิดวิเคราะห์หาสาเหตุ และแนวทางแก้ไขปัญหาผลกระทบโดยตรงต่อไม้ใช้สอยในการรับน้ำหนัก และเสื่อมสภาพภายหลังถูกเชื้อราเข้าทำลาย ดังนั้นเนื้อหาส่วนใหญ่จะสัมพันธ์กันระหว่างทฤษฎีและการปฏิบัติ ซึ่งนักวิจัย นิสิต นักศึกษา และผู้สนใจทั่วไป สามารถใช้เป็นแนวทางศึกษาทบทวนตามธรรมชาติของไม้ต่อเชื้อรา

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ภาคปฏิบัติการมีความสมบูรณ์ จึงได้เพิ่มเนื้อหาเกี่ยวกับอาหารเลี้ยงเชื้อ การเลี้ยงเชื้อ การตรวจตัวอย่างราด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อเป็นความรู้พื้นฐานในการปฏิบัติขั้นสูงต่อไป เช่น การทดสอบความทนทานตามธรรมชาติของไม้ต่อเชื้อรา การทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีรักษาเนื้อไม้ การทดสอบความแข็งแรงในการรับแรงต้านทานการแตกหัก การทดสอบการปนเปื้อนของเชื้อราเสียสี และวิธีประเมินพิษของสารเคมี

### 7.1. อาหารเลี้ยงเชื้อและการเลี้ยงเชื้อ (Fungal Culture Media and Cultivation)

อาหารเลี้ยงเชื้อมีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดแตกต่างกันที่ความต้องการของจุลินทรีย์เพื่อใช้ให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตาม อาหารเลี้ยงเชื้อทุกชนิดควรมีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้ คือ

1. ธาตุอาหารและความเข้มข้นที่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์
2. ไม่มีสารพิษ
3. มีความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมกับจุลินทรีย์แต่ละชนิด
4. ไม่มีการปนเปื้อนของสิ่งมีชีวิตอื่นในอาหารเลี้ยงเชื้อ

อาหารเลี้ยงเชื้อที่นิยมใช้ในงานทดสอบให้ตราทำลายไม้ ได้แก่ Malt Extract Agar (MEA) และ Potato Dextrose Agar (PDA) อาหารที่มีแหล่งคาร์โบไฮเดรตอุดมสมบูรณ์ จะช่วยส่งเสริมการเจริญของราได้ดี แต่มีข้อควรระวังในการใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ คือ อาหารที่มีสารอุดมสมบูรณ์เกินไป เชื้อราจะมีการเจริญทางด้านเส้นใยมากกว่าด้านการสืบพันธุ์ อย่างไรก็ตาม อาหารที่เหมาะสมที่สุดต่อราแต่ละชนิดในการเจริญเติบโต และสร้างสปอร์จะทราบได้เมื่อมีการทดลองเท่านั้น มีเชื้อราหลายชนิดต้องการแสงเป็นปัจจัยต่อการสร้างสปอร์ โดยเฉพาะแสง Near UV สามารถให้แสงกับ culture ประมาณ 12 ชั่วโมงต่อวัน จะกระตุ้นการสร้างสปอร์ของราได้

สิ่งที่ควรระมัดระวังในการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อทำ stock culture ในบางครั้งจำเป็นต้องใส่สารปฏิชีวนะลงไปในการอาหารเพื่อยับยั้ง

การปนเปื้อนของเชื้ออื่น สารที่นิยมใช้ได้แก่ สเตรปโตมัยซิน เพนนิซิลิน เป็นต้น แต่ต้องใส่ในอาหารหลังการฆ่าเชื้อแล้วเท่านั้น

### **ชนิดของอาหารเลี้ยงเชื้อ แบ่งได้ 2 กลุ่มใหญ่ (Type of Fungal Culture Media) คือ**

1. แบ่งตามลักษณะของอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งมีรูปแบบต่างๆ ได้แก่ อาหารเลี้ยงเชื้อที่เป็นของแข็ง (solid media หรือ nutrient agar) อาหารเลี้ยงเชื้อกึ่งแข็ง (semi-solid media) หมายถึง อาหารที่เติมวุ้นลงไปในปริมาณที่ต่ำกว่า solid media ประมาณ 0.5% หรือน้อยกว่านี้ และอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว (liquid media, broth หรือ nutrient broth) เป็นอาหารที่ไม่เติมวุ้น

2. แบ่งตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ได้แก่

– Enriched media คือ อาหารเลี้ยงเชื้อที่เติม

สารอาหารพิเศษนอกเหนือจากธาตุอาหารทั่วไป เพื่อให้จุลินทรีย์ที่ต้องการเจริญได้ดียิ่งขึ้น

– Selective media คือ อาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมสารบางชนิดลงไป เพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ แต่จะไม่มีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ต้องการ

– Differential media คือ อาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมสารเคมีบางชนิดลงไป เพื่อช่วยให้จุลินทรีย์ที่ต้องการเจริญได้อย่างรวดเร็ว และหรือมีลักษณะเชื้อที่แตกต่างไปจากเชื้ออื่น

## ตัวอย่างสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อที่สำคัญ

### 1. Malt extract agar

|              |      |      |
|--------------|------|------|
| Malt extract | 20   | กรัม |
| Agar         | 20   | กรัม |
| น้ำกลั่น     | 1000 | ซีซี |

อาหารที่ใช้เลี้ยงเชื้อราและแบคทีเรีย หากใช้เลี้ยงเชื้อรากลุ่ม basidiomycetes สามารถเพิ่มสัดส่วนของ Malt extract เป็น 30 กรัม

### 2. Malt extract-peptone-dextrose agar

|              |      |      |
|--------------|------|------|
| Malt extract | 20   | กรัม |
| Dextrose     | 20   | กรัม |
| Peptone      | 1    | กรัม |
| Agar         | 20   | กรัม |
| น้ำกลั่น     | 1000 | ซีซี |

### 3. Potato-carrot agar

|          |      |      |
|----------|------|------|
| Potato   | 20   | กรัม |
| Corrot   | 20   | กรัม |
| Agar     | 20   | กรัม |
| น้ำกลั่น | 1000 | ซีซี |



#### 4. Potato-dextrose agar

|          |            |
|----------|------------|
| Potato   | 200 กรัม   |
| Dextose  | 10-15 กรัม |
| Agar     | 15 กรัม    |
| น้ำกลั่น | 1000 ซีซี  |

อาหาร PDA เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อที่นิยมใช้ทั่วไปในห้องปฏิบัติการโรคพืช จัดเป็นอาหารเอนกประสงค์ (All-purpose medium)

#### การฆ่าเชื้อ (Sterilization)

ระบบการฆ่าเชื้อในห้องปฏิบัติการ จำแนกได้ 3 วิธีหลักได้แก่

1. การใช้ความร้อนชื้น (Moist heat) โดยใช้หม้อหุงความดันไอน้ำที่เรียกว่า autoclave เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมที่สุดในการนึ่งฆ่าเชื้อ โดยใช้ความดัน 15 ปอนด์/ตร.นิ้ว อุณหภูมิ  $121^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลาประมาณ 20 นาที หากวัสดุเป็นประเภทดินอาจจำเป็นต้องนึ่งฆ่าเชื้อนานถึง 1 ชั่วโมง

2. การใช้ความร้อนแห้ง (Dry heat) เป็นการฆ่าเชื้ออุปกรณ์หรือเครื่องแก้ว ก่อนทำการฆ่าเชื้อควรห่อเครื่องแก้วด้วยกระดาษฟรอยด์ หรือหากเป็นจานเลี้ยงเชื้อควรใส่ในภาชนะที่เหมาะสม เช่น กระบอก stainless เพื่อให้มั่นใจว่าอุปกรณ์ต่างๆ ปราศจากเชื้อภายหลังการเคลื่อนย้ายไปใช้งาน เครื่องมือที่ใช้ในการอบฆ่าเชื้อคือ hot-air oven ความร้อนที่ใช้อยู่ที่ระดับอุณหภูมิ  $150^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง

3. การฆ่าเชื้อที่ผิวหน้า (Surface sterilization) การอบฆ่าเชื้อเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ ที่ต้องการฆ่าเชื้อที่ติดอยู่ที่บริเวณผิวหน้าสามารถใช้ propylene oxide ในปริมาณเล็กน้อยเพียง 10 มล. นำไปวางไว้ใน bell jar ที่ปิดแน่นสามารถอบฆ่าเชื้ออาหารในจานเลี้ยงเชื้อได้ นอกจากนั้น ยังใช้ฆ่าเชื้อผิวหน้าไม้ทดลองได้เช่นกัน

### การเลี้ยงเชื้อ (Fungal Cultivation)

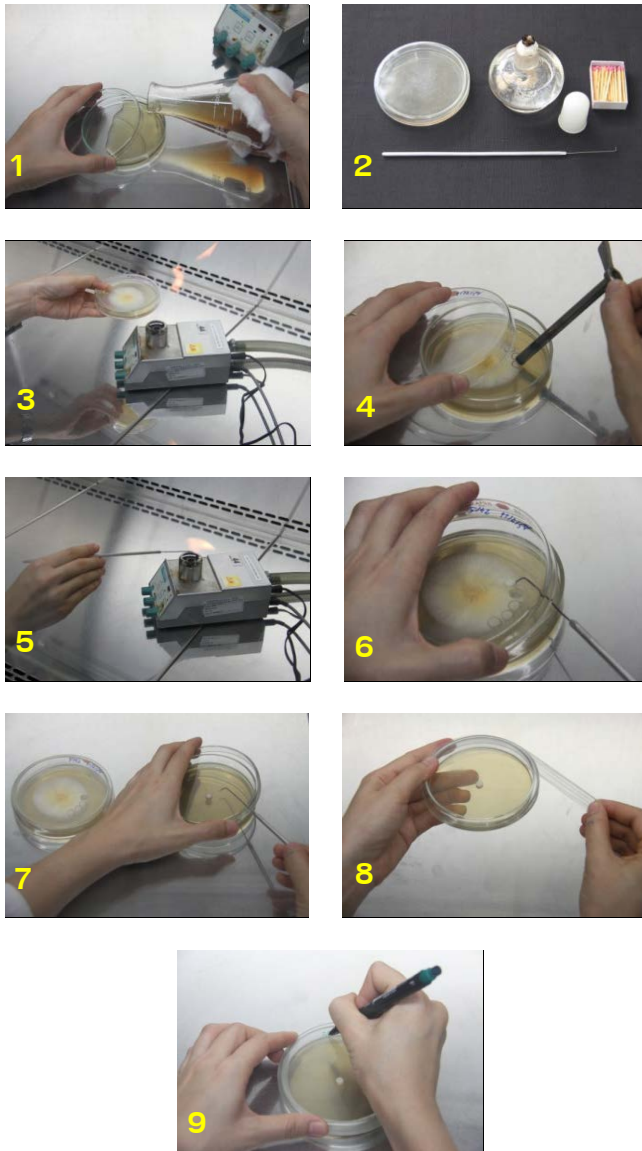
การเลี้ยงเชื้อทุกขั้นตอนต้องทำในลักษณะที่ปราศจากเชื้อปนเปื้อน ดังนั้นอุปกรณ์ทุกชนิดที่ใช้ต้องผ่านการฆ่าเชื้อก่อน ขั้นตอนต่างๆ ในการปฏิบัติเพื่อหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในอากาศเรียกว่า “Sterile technique” หรือ “Aseptic technique” การเลี้ยงเชื้อเป็นการนำเชื้อมาเลี้ยงบนอาหารในจานเลี้ยงเชื้อ (Petri-dish) หลอดเลี้ยงเชื้อ (Test tube) หรือในขวดเลี้ยงเชื้อ (Kolle’ flask หรือ Screw-top jar)

ขั้นตอนการย้ายเชื้อราที่เจริญบนอาหารในจานเลี้ยงเชื้อหนึ่งไปยังอีกจานเลี้ยงเชื้อ โดยวิธี Aseptic technique มีดังนี้

1. นำเข็มเชี่ยเชื้อ ซึ่งทำด้วยหลอดมาลนไฟจากตะเกียงแอลกอฮอล์หรือก๊าซ จนกระทั่งเข็มร้อนเปลี่ยนเป็นสีแดง
2. ให้เข็มเชี่ยเชื้อเย็นลงประมาณ 15 วินาที หากเข็มเชื้อในขณะเข็มร้อนจัด เชื้อจะตาย
3. เปิดฝาจานเลี้ยงเชื้อ ซึ่งบรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อให้กว้างพอประมาณที่เข็มเชี่ยเชื้อจะผ่านเข้าไปได้

4. ตัดชิ้นส่วนของเส้นใยโคโลนีเชื้อราบริเวณขอบโคโลนีด้วย เข็มเขี่ยเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมเล็กๆ ประมาณ 3-4 ตรมม. หรืออาจใช้ cork borer ขนาด 0.5 ซม. การตัดหรือเจาะส่วนปลายเส้นใยโคโลนีเชื้อรา จะให้ผลดีที่สุด เพราะเป็นบริเวณที่เชื้อรากำลังเจริญเติบโต

5. นำชิ้นส่วนของโคโลนีที่ตัด ไปวางตรงกึ่งกลางอาหารเลี้ยง เชื้อในจาน โดยเปิดฝาจานเลี้ยงเชื้อให้กว้างพอที่เข็มเขี่ยจะผ่านเข้าไป ได้เท่านั้น เมื่อเปิดฝาจานเรียบร้อยแล้ว ให้ลนเข็มเขี่ยเชื้ออีกครั้ง เพื่อฆ่าเส้นใยและสปอร์ที่อาจติดมากับเข็มเขี่ย จากนั้นให้ลนไฟรอบขอบ จานเลี้ยงเชื้อก่อนปิดขอบจานด้วยแผ่น parafilm เพื่อไม่ให้ฝาจานเปิด และป้องกันการปนเปื้อน หลังจากนั้น ระบุชื่อ culture และวันที่ทำการ ย้ายเชื้อ เมื่อแล้วเสร็จนำจานเลี้ยงเชื้อไปวางบนชั้นหรือในที่สะอาดมี การเคลื่อนที่ของอากาศน้อย



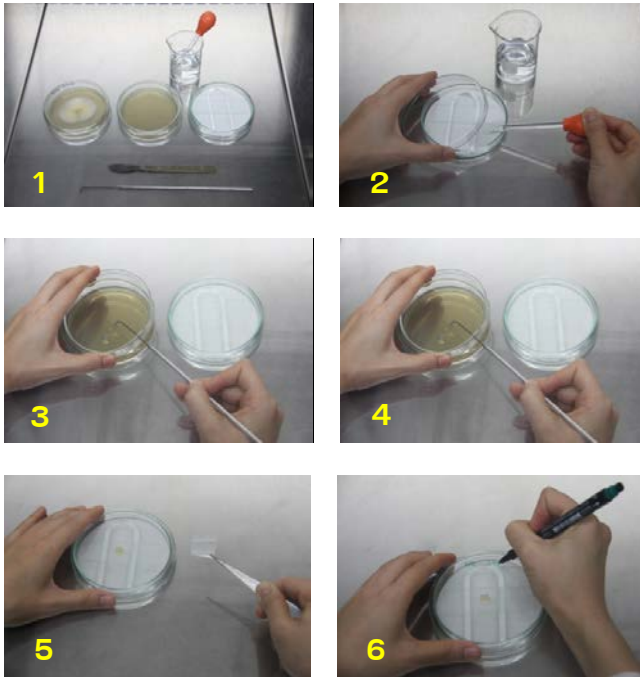
ภาพที่ 21 ขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อด้วยวิธี Aseptic technique

## 7.2 การตรวจตัวอย่างเชื้อราด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Microscope Examination of Fungi)

ปัญหาที่มักเกิดขึ้นเกี่ยวกับการเตรียมสไลด์เชื้อรา คือ สไลด์ที่เตรียมมักมีเพียงสปอร์หรือเส้นใย หรือโครงสร้างอื่นๆ ซึ่งไม่มีประโยชน์ต่อการใช้จำแนก genus หรือ species ของรา ดังนั้นสิ่งสำคัญที่ต้องยึดถือเป็นกฎเสมอว่า culture ของเชื้อราต้องอยู่ในระยะกำลังเจริญเติบโตไม่แก่เกินไป ซึ่งสามารถทำได้โดยการเลี้ยงเชื้อราบนสไลด์ จะให้ผลดีกับเชื้อราที่มีการสร้างสปอร์เป็นลูกโซ่ เช่น เชื้อราใน genus *Cladosporium* *Monilia* และ *Alternaria* มีวิธีดังนี้

1. เตรียมจานเลี้ยงเชื้อให้มีลักษณะเป็น moist chamber โดยวางกระดาษกรองรองไว้ที่ก้นจาน 2-3 แผ่น เติมน้ำหรือ 20% glycerol ในน้ำเพื่อให้อุ่น วางแท่งแก้วรูปตัววี (V) หรือยู (U) ในจานเลี้ยงเชื้อ 1 แท่ง
2. ตัดอาหารร่วนจากจานเลี้ยงเชื้อ ให้มีขนาดประมาณ 1 ตร.ซม. นำไปวางตรงกึ่งกลางแผ่นสไลด์ ซึ่งสนไฟฆ่าเชื้อแล้ว
3. นำแผ่นสไลด์วางบนแท่งแก้วในจานเลี้ยงเชื้อ ทำการ inoculate เชื้อราที่บริเวณขอบทั้ง 4 ด้านของชิ้นร่วนปิดทับด้วย cover-slip ที่ฆ่าเชื้อแล้ว
4. บ่มไว้ประมาณ 2-3 วัน เมื่อเส้นใยเจริญถึงขอบ cover-slip จะได้ตัวอย่างเส้นใยเชื้อรา 2 ส่วน คือ บน cover-slip และบนแผ่นสไลด์โดยเขี่ยเอาอาหารร่วนบนแผ่นสไลด์ทิ้งไป จากนั้นหยดด้วย

lacto-phenol ปิดทับด้วยแผ่น cover-slip ที่สะอาด ส่วนแผ่น cover-slip ที่มีเส้นใย ให้คว่ำลงบนหยด lacto-phenol บนแผ่นสไลด์ นำไปตรวจดูโครงสร้างภายใต้กล้องจุลทรรศน์ได้อย่างสมบูรณ์



ภาพที่ 22 ขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อราบนสไลด์



ตู้ชี้อยู่เชื้อ



อาหารเลี้ยงเชื้อ



เตาอบ (Hot air oven)



หม้อแรงดันไอน้ำ (Autoclave)



Kolle' flask



จานเลี้ยงเชื้อ, เชื้อเชื้อ,  
ตะเกียงแอลกอฮอล์

ภาพที่ 23 อุปกรณ์สำคัญในการทดลองเห็ดราทำลายไม้

### 7.3 การทดสอบความทนทานตามธรรมชาติของไม้ต่อเชื้อรา ด้วยวิธี Agar Block Test

- วัตถุประสงค์ - เพื่อประเมินความทนทานตามธรรมชาติของไม้ต่อเชื้อราทำลายไม้  
- เพื่อประเมินอายุการใช้งานของไม้

อุปกรณ์ ตัวอย่างไม้ทดลองขนาด 2 x 2 x 1 ซม. เครื่องซั่งหม้อหนึ่งฝาเชื้อความดันไอน้ำ เตาอบ ขวดเลี้ยงเชื้ออาหารเลี้ยงเชื้อ เข็มเขี่ยเชื้อ forceps สำลี

#### วิธีการทดลอง

1. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ malt extract agar ความเข้มข้น 2% บรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อในขวดทดลอง kolle' flask ปิดด้วยสำลีให้สนิท ทำการนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อหนึ่งความดันไอน้ำที่ 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 °C นาน 20 นาที

2. เมื่อครบกำหนดเวลา นำขวดทดลองมาวางในแนวระนาบให้อาหารแข็งตัว ทำการปลูกเชื้อราในขวดเลี้ยงเชื้อ บ่มที่อุณหภูมิห้อง จนกระทั่งเส้นใยเชื้อราเจริญเต็มขวดทดลอง

3. นำไม้ทดลองมาอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ  $100 \pm 5$  °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเข้าโถดูดความชื้น (Desiccator) เมื่อไม้ทดลองเย็น ทำการชั่งน้ำหนักแห้งคงที่ ( $W_1$ )



4. ทำการนึ่งฆ่าเชื้อไม้ทดลองด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่ 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว อุณหภูมิ  $121^{\circ}\text{C}$  นาน 25 นาที จากนั้นนำไม้ทดลองวางบนเส้นใยเชื้อราในขวดทดลอง ให้ผิวหน้าไม้ทดลองสัมผัสเส้นใยมากที่สุด ตัวอย่างไม้ทดลองไม่น้อยกว่า 6 ซ้ำ/เชื้อรา

5. ปิดปากขวดทดลองด้วยล้าให้สนิท และปิดทับด้วยกระดาษ parafilm เพื่อป้องกันการปนเปื้อน บ่มขวดทดลองที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 เดือน

6. เมื่อครบกำหนด นำไม้ออกจากขวดทดลอง เพื่อทำความสะอาดขึ้นไม้โดยเช็ดเส้นใยออกให้หมด ระวังมิให้ตัวอย่างขึ้นไม้เสียหาย ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

7. นำชิ้นไม้ทดลองเข้าโถดูดความชื้น เมื่อไม้ทดลองเย็นลง ทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ( $W_2$ )

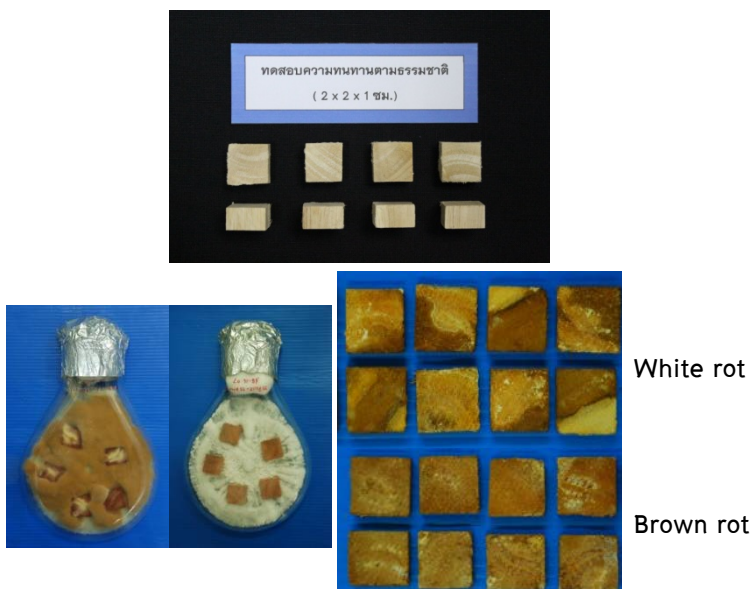
8. คำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของไม้หลังทดลองเทียบกับน้ำหนักไม้ก่อนทดลอง ด้วยสูตรดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

เมื่อ  $W_1$  = น้ำหนักแห้งของไม้ก่อนทดลอง

$W_2$  = น้ำหนักแห้งของไม้หลังทดลอง

การแปลผล นำค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของไม้ เทียบกับตารางความทนทานตามธรรมชาติ ซึ่งอ้างอิงจาก Findlay (1938) จะได้ค่าความทนทานของไม้ และอายุการใช้งานโดยประมาณ



ภาพที่ 24 การทดสอบความทนทานตามธรรมชาติของไม้ต่อเชื้อราด้วยวิธี  
Agar Block Test

### 7.3 การทดสอบสารเคมีรักษาเนื้อไม้ด้วยวิธี Wood Block Test

- วัตถุประสงค์
- เพื่อประเมินประสิทธิภาพของสารเคมีรักษาเนื้อไม้ต่อการป้องกันเชื้อรา
  - เพื่อประเมินความทนทานของไม้อบสารเคมีรักษาเนื้อไม้และอายุการใช้งาน

อุปกรณ์ ตัวอย่างไม้ทดลองขนาด 5 x 2.5 x 1.5 ซม. ตามมาตรฐาน German standard specification No.838 เครื่องซัง หม้อนึ่งความดันไอน้ำ เตอบอบ ขวดเลี้ยงเชื้อ

เชื้อราทดสอบ เชื้อเชื้อ forceps อาหารเลี้ยงเชื้อ  
สารเคมีรักษาเนื้อไม้ สำลี

### วิธีการทดลอง

1. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ malt extract agar ความเข้มข้น 2% บรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อในขวดทดลอง (Kolle' flask) ขั้นตอนต่างๆ ทำเช่นเดียวกับการทดสอบความทนทานตามธรรมชาติของไม้ด้วยวิธี agar block test

2. นำไม้ทดลองมาอบแห้งในโถอบที่อุณหภูมิ  $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไม้เข้าโถดูดความชื้น (Desiccator) เมื่อไม้เย็นทำการชั่งน้ำหนักครั้งที่ ( $T_1$ )

3. นำไม้ทดลองที่ผ่านการอบแห้ง มาอัดสารเคมีรักษาเนื้อไม้ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้สุญญากาศที่ความดัน 28.5 นิ้วปรอท โดยทำสุญญากาศนาน 30 นาที จนกระทั่งสารเคมีซึมเข้าเนื้อไม้ หลังจากนั้นค่อยๆ ลดความดันภายในตู้ลง และปล่อยให้ไม้ทดลองแช่ในสารเคมีรักษาเนื้อไม้อีกประมาณ 30-45 นาที เพื่อให้ไม้ดูดซับสารเคมีจนอิ่มตัว

4. นำไม้ออกจากตู้สุญญากาศ วางบนตะแกรง และทำการชั่งน้ำหนักทันที ( $T_2$ )

5. ฝังไม้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องประมาณ 2-3 วัน และอบแห้งที่อุณหภูมิ  $50-60^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลาประมาณ 18 ชั่วโมง นำไม้ทดลองเข้าโถดูด ความชื้น เมื่อไม้เย็น ทำการชั่งน้ำหนัก ( $T_3$ )

6. ทำการฆ่าเชื้อไม้ทดลองด้วยระบบไอน้ำที่  $100^{\circ}\text{C}$  นาน 20 นาที จากนั้นนำไม้ไปวางบนตะแกรงในขวดทดลอง เพื่อมิให้ผิวหน้าไม้สัมผัสกับ อาหารรูน ปิดปากขวดทดลองด้วยสำลีให้สนิท และปิดทับด้วยกระดาษ parafilm เพื่อป้องกันการปนเปื้อน และมีให้อาหารเลี้ยงเชื้อสูญเสียความชื้น

7. จำนวนชิ้นไม้ทดลองไม่น้อยกว่า 5 ชิ้นต่อเชื้อรา บ่มขวดทดลองที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 เดือน

8. เมื่อครบกำหนด นำไม้ออกจากขวดทดลอง เพื่อทำความสะอาดชิ้นไม้โดยเช็ดเส้นใยเชื้อราออกให้หมด ระวังมิให้ตัวอย่างชิ้นไม้เสียหาย ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

9. นำชิ้นไม้ทดลองเข้าโถดูดความชื้น เมื่อไม้ทดลองเย็นลงทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ( $T_4$ )

### การแปลผล

1. คำนวณค่าการดูดซึมสารเคมี (Retention) ด้วยสูตร

$$\text{Retention (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{GC}}{\text{V}} \times 10$$

เมื่อ  $G = T_2 - T_1$  คือ จำนวนกรัมของสารเคมีที่ไม้ทดลองดูดซับ

$C$  = ความเข้มข้นของสารเคมี (%)

$V$  = ปริมาตรของชิ้นไม้ทดลอง ( $\text{cm}^3$ )

ในกรณีที่มีหน่วยเป็นปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต

$$\text{ค่า Retention} = \frac{\text{GC} \times 62.4}{100 \text{ V}}$$

2. ค่า Retention เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของสารเคมีในการยับยั้งเชื้อรา หากไม้ดูดซับสารเคมีในปริมาณที่น้อยแต่มีผลยับยั้งต่อเชื้อรามาก โดยวัดจากค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของไม้ แสดงว่าสารเคมีมีประสิทธิภาพดี

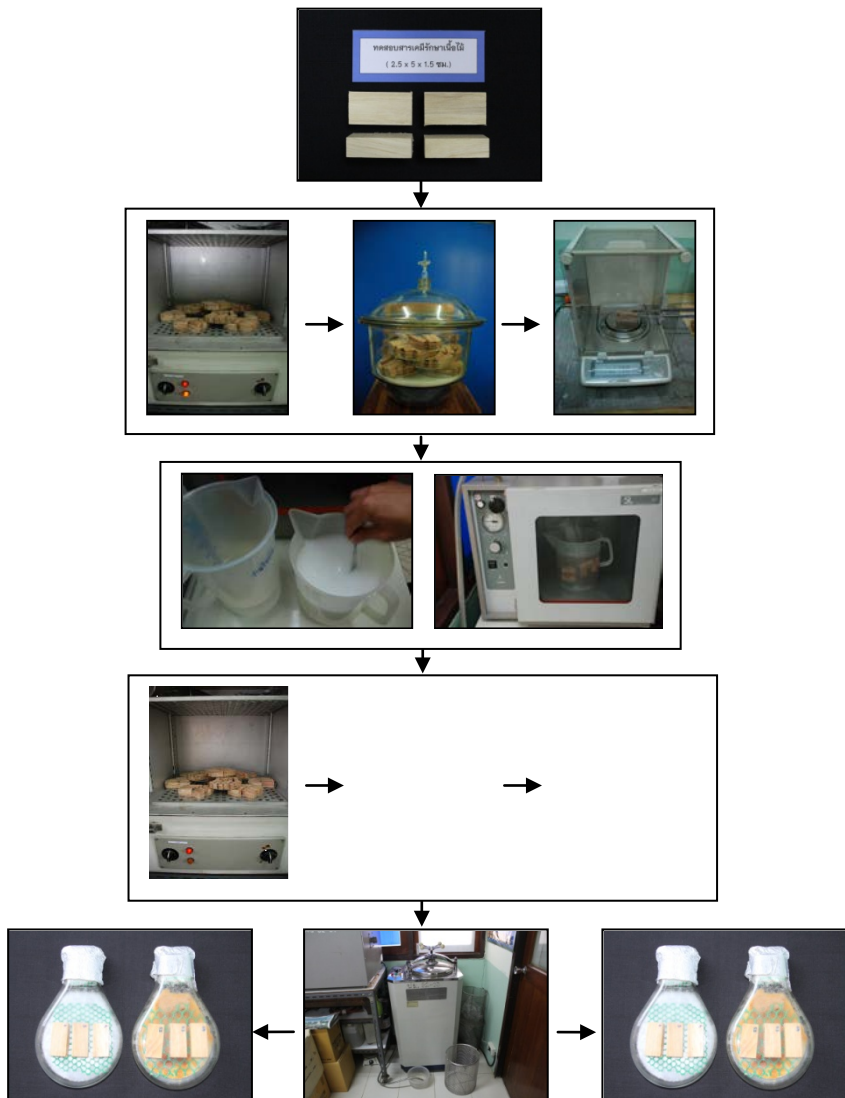
3. คำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของไม้ภายหลังทดลองเทียบกับไม้ก่อนทดลอง ด้วยสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{T_3 - T_4}{T_3} \times 100$$

เมื่อ  $T_3$  = น้ำหนักแห้งของไม้อัดสารเคมีก่อนทดลอง

$T_4$  = น้ำหนักแห้งของไม้อัดสารเคมีหลังทดลอง

4. นำค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเทียบกับตารางความทนทานตามธรรมชาติ อ้างอิงจาก Findlay (1938) จะได้ค่าความทนทานของไม้ที่ผ่านกระบวนการใช้สารเคมีรักษาเนื้อไม้ และอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับไม้ที่ไม่ผ่านการอัดหรืออาบสารเคมีรักษาเนื้อไม้ โดยเฉลี่ยแล้วไม้จะมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น 3-5 เท่า



ภาพที่ 25 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างไม้อัดสารเคมี

## 7.4 การทดสอบความแข็งแรงในการรับแรงดัดของไม้ด้วยวิธี

### Sandwich Method

วัตถุประสงค์ เพื่อประเมินการเสื่อมสภาพของไม้ในการรับแรงดัด  
ภายหลังเชื้อเข้าทำลาย

อุปกรณ์ ตัวอย่างไม้ทดลองขนาด 2 x 2 x 30 ซม. ตัวอย่างไม้  
สำหรับเป็น feeder strip ขนาด 2.5 x 5 x 1.5 ซม.  
กระเบทดสอบไม้ขนาด 30 x 20 ซม.  
สารดูดซับน้ำ (vermiculite) อาหารเลี้ยงเชื้อ  
เชื้อราทดสอบ หม้อนึ่งความดันไอน้ำ เข็มเย็บเชื้อ  
forceps (คีมจับชิ้นไม้)

วิธีการทดลอง แบ่งการเตรียมตัวอย่างไม้เป็น 2 ชุด ดังนี้

ชุดที่ 1 ขั้นตอนการเตรียม feeder strip

1. เตรียมตัวอย่างไม้ขนาด 2.5 x 5 x 1.5 ซม. โดยทำการนึ่งฆ่า  
เชื้อ ตัวอย่างไม้ด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่ 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว  
อุณหภูมิ 121°C นาน 20 นาที

2. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ 2% malt extract agar ทำการฆ่าเชื้อ  
ด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121°C  
นาน 20 นาที

3. เมื่ออาหารแข็งตัว ทำการเลี้ยงเชื้อในขวดทดลองจนกระทั่งเส้น  
ใยของเชื้อราทดสอบเจริญเต็มขวดทดลอง จากนั้นนำไม้ตัวอย่างวาง

บนเส้นใยเชื้อรา จนกระทั่งเส้นใยเจริญเต็มขึ้นไม้ ทั้งนี้ใช้ feeder strip จำนวน 6 ชิ้นต่อ 1 กระบะทดสอบ

### ชุดที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมไม้เพื่อรับแรงดัด

1. เตรียมไม้ทดลองขนาด 2 x 2 x 30 ซม. และ vermiculite จำนวน 1/3 ของความจุกระบะทดสอบ ทำการนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อหนึ่ง ความดันไอน้ำที่ 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 °C นาน 25 นาที

2. นำ vermiculite บรรจุลงในกระบะทดสอบเกลี่ยให้กระจายทั่ว กระบะ จากนั้นเติมน้ำกลั่นฆ่าเชื้อจน vermiculite ดูดซับน้ำจนขึ้น พอประมาณ ทำการเรียงชิ้นไม้ประกบเข้าหากันโดยมี feeder strip ชิ้น กลางตรงจุดกึ่งกลางไม้ทดลอง

3. ปิดฝากระบะให้สนิท ทุกขั้นตอนปฏิบัติการด้วยวิธี aseptic technique บ่มตัวอย่างชุดทดลองที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 4 เดือน จำนวนชิ้นไม้ 5 ชิ้น/กระบะทดลอง

4. เมื่อครบกำหนด นำไม้ทดลองออกจากกระบะทดสอบเพื่อทำความสะอาดเส้นใยเชื้อราออกให้หมด ผึ่งแห้งไม้ทดลองในกระแสรากาศ ประมาณ 30 วัน จนกระทั่งไม้แห้ง โดยมีความชื้นในไม้ประมาณ 12%

5. นำไม้ทดลองมาทดสอบความแข็งแรงในการรับแรงดัดด้วย เครื่องทดสอบกำลังไม้ โดยให้แท่นรองรับชิ้นไม้ห่างจากตัวอย่างไม้ 25 ซม. และมีน้ำหนักกดด้วยหัวกดน้ำหนักตรงกึ่งกลางไม้ ที่เคลื่อนลงอย่างช้าๆ ด้วยอัตราเร็วของน้ำหนักกด 0.6 ตร.ม./นาที จนกระทั่ง ไม้ทดลองแตกหัก



6. เครื่องทดสอบกำลังไม้ จะบันทึกค่าความแข็งแรงในการรับแรงต้านทานการแตกหักด้วยค่า modulus of rupture (MOR) และค่าความสามารถในการต้านทานการโก่ง ด้วยค่า modulus of elasticity (MOE)

#### การแปลผล

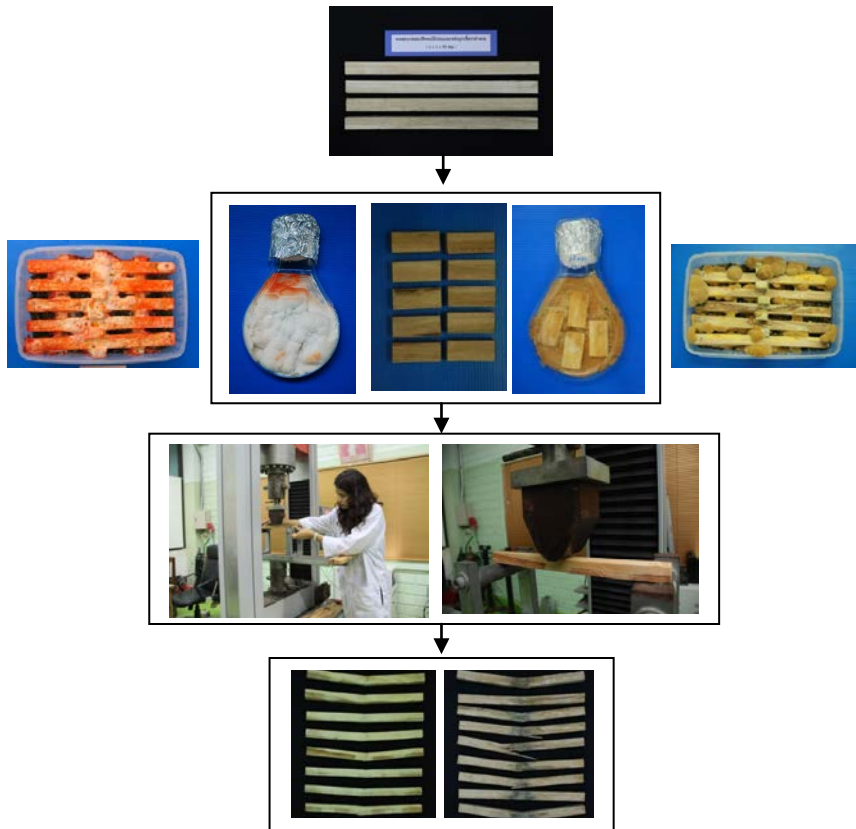
1. นำค่าที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบกำลังไม้ มาคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียความแข็งแรงจากการรับแรงต้านทานการแตกหัก(MOR) เทียบกับค่าความแข็งแรงของไม้ปกติ (control)

2. นำค่า MOR ที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับคุณภาพของไม้กับมาตรฐานไม้เนื้อแข็งของกรมป่าไม้ (2548) ซึ่งจะอ่านค่าความทนทานตามธรรมชาติของไม้ และประเภทไม้ซึ่งแบ่งเป็นไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้อแข็งปานกลาง และไม้เนื้ออ่อน จากตารางดังนี้

#### **ตารางที่ 2** มาตรฐานไม้เนื้อแข็งของกรมป่าไม้

| ประเภท              | ความแข็งแรงในการตัด<br>(กก./ซม. <sup>2</sup> ) | ความทนทานตาม<br>ธรรมชาติ(ปี) |
|---------------------|------------------------------------------------|------------------------------|
| ไม้เนื้อแข็ง        | สูงกว่า 1000                                   | สูงกว่า 6 ปี                 |
| ไม้เนื้อแข็งปานกลาง | 600-1000                                       | 2-6 ปี                       |
| ไม้เนื้ออ่อน        | ต่ำกว่า 600                                    | ต่ำกว่า 2 ปี                 |

3. สรุปผลประเมินคุณภาพของไม้ภายหลังถูกเชื้อราทำลายเพื่อใช้เป็นข้อมูลตัดสินใจการเปลี่ยนหรือซ่อมแซมไม้โครงสร้างที่เสื่อมสภาพเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน



ภาพที่ 26 ขั้นตอนการทดสอบความแข็งแรงของไม้

## 7.6 การทดสอบการปนเปื้อนของราเสียสีและราผิวไม้ด้วยวิธี

### Moist Chamber Method

วัตถุประสงค์ เพื่อประเมินการเสื่อมสภาพของไม้จากเชื้อราเสียสีและราผิวไม้

อุปกรณ์ หม้อหุงข้าว ความดัน จานเลี้ยงเชื้อ แท่งแก้วรูปตัวยู กระดาษกรอง เช็มเชื้อเชื้อ forceps อาหารเลี้ยงเชื้อ เชื้อเชื้อราทดสอบ

### วิธีการทดลอง

1. เตรียมตัวอย่างไม้ทดลองขนาด 2.5 x 5 x 0.5 ซม. จำนวน 10 ชิ้นต่อเชื้อรา ทำการฆ่าเชื้อไม้ทดลองด้วยหม้อหุงข้าวความดันไอน้ำที่ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 °C นาน 20-25 นาที

2. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ 2% malt extract agar ทำการฆ่าเชื้อด้วยหม้อหุงข้าวความดันไอน้ำที่ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 °C นาน 20 นาที

3. เทอาหารเลี้ยงเชื้อในจานเลี้ยงเชื้อ เมื่ออาหารแข็งตัวทำการปลูกเชื้อราเสียสี เช่น *Botryodiplodia theobromae*, *Ceratocystis virescens*, เป็นต้น ส่วนเชื้อราผิวไม้ ได้แก่ *Trichoderma* sp., *Aspergillus* sp. และ *Penicillium* sp. เป็นต้น จนกระทั่งเส้นใยเชื้อราเจริญเต็มจานเลี้ยงเชื้อ

4. นำเส้นใยเชื้อมาทำ mycelium suspension ด้วยน้ำกลั่นฆ่าเชื้อ จำนวน 500 มล. ด้วยเครื่องปั่น จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบาง จะได้

mycelium suspension หรือ spore suspension หากต้องการ suspension จำนวนน้อย สามารถเลี้ยงเชื้อราในหลอดทดลองและใช้น้ำกลั่นฆ่าเชื้อประมาณ 100 มล.

5. นำกระดาษกรองจำนวน 2-3 แผ่น วางในจานเลี้ยงเชื้อเติมน้ำให้กระดาษกรองเปียกเพื่อสร้างความชื้น จากนั้นนำแท่งแก้วรูปตัวยูวางบนกระดาษกรอง และทำการฆ่าเชื้อราด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 °C นาน 25 นาที

6. เมื่อครบกำหนดเวลา วางตัวอย่างไม้ทดลองบนแท่งแก้วจำนวน 2 ชิ้นไม้ตัวอย่าง หยด suspension จำนวน 0.5 มล. บนผิวหน้าไม้ให้ทั่ว

7. บรรจุจานเลี้ยงเชื้อในถุงพลาสติก เพื่อป้องกันไม่ให้สูญเสียความชื้น บ่มที่อุณหภูมิห้อง ตรวจสอบความเสียหายของผิวหน้าไม้ที่ระยะเวลา 7 วัน 15 วัน และ 30 วัน

8. ประเมินความรุนแรงของเชื้อราจากความหนาแน่นของจำนวนโคโลนีบนผิวหน้าไม้ด้วยสายตา

9. ล้างทำความสะอาดชิ้นไม้ทดลอง และประเมินรอยปนเปื้อนบนผิวหน้าไม้อีกครั้ง

### การแปลผล

1. ประเมินความรุนแรงของเชื้อราบนผิวหน้าไม้ก่อนล้างทำความสะอาด

2. ประเมินรอยปนเปื้อนบนผิวหน้าไม้ภายหลังล้างทำความสะอาด โดยเปรียบเทียบกับระดับความรุนแรงของเชื้อรา แบ่งได้ 5 ระดับ ดังนี้

ระดับ 0 = ไม่เกิดรอยปนเปื้อนบนเนื้อไม้

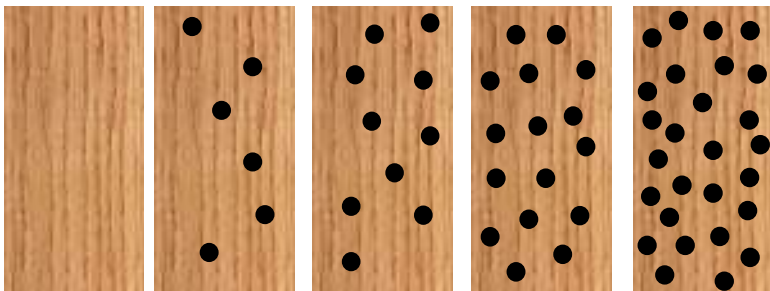
ระดับ 1 = เกิดรอยปนเปื้อนเล็กน้อย (น้อยกว่า 25% ของพื้นที่)

ระดับ 2 = เกิดรอยปนเปื้อนปานกลาง (26%-50% ของพื้นที่)

ระดับ 3 = เกิดรอยปนเปื้อนมาก (51%-75% ของพื้นที่)

ระดับ 4 = เกิดรอยปนเปื้อนรุนแรง (มากกว่า 75% ของพื้นที่)

#### DEGREE OF INFECTION RATING BY VISION



0

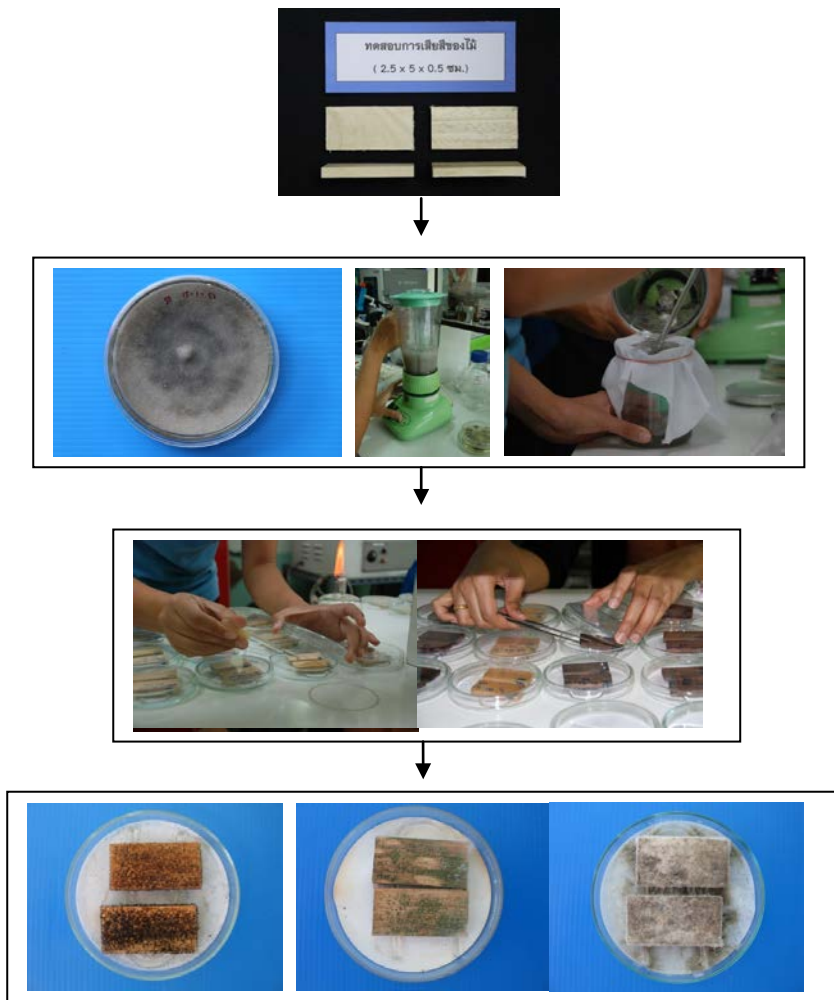
1

2

3

4

ภาพที่ 27 เพอร์เซ็นต์การเกิดโคโลนีเชื้อรา



ภาพที่ 28 ขั้นตอนการทดสอบเชื้อราเสียสีและราผิวไม้

## 7.7 การทดสอบความเป็นพิษและปฏิกิริยาออกฤทธิ์ของสารเคมี

### ด้วยวิธี Agar-plate Toxicity

- วัตถุประสงค์
- เพื่อประเมินความเป็นพิษของสารเคมีและปฏิกิริยาออกฤทธิ์ต่อเชื้อรา
  - เพื่อประเมินประสิทธิภาพของสารเคมีในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา

อุปกรณ์                      เชื้อราทดสอบ สารเคมี อาหารเลี้ยงเชื้อรา  
จานเพาะเลี้ยง หม้อนึ่งความดันไอน้ำ น้ำกลั่น

### วิธีการทดลอง

1. เตรียมเชื้อราบริสุทธิ์ โดยเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ 2% malt extract agar หรือ PDA จนกระทั่งเส้นใยเจริญเกือบเต็มจานเลี้ยงเชื้อเพื่อใช้เป็น stock สำหรับทดสอบอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อรา

2. เตรียมสารเคมีที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อ โดยเตรียมจากความเข้มข้นสูงสุด แล้วเจือจางลงมา เช่น 10,000 ppm เป็น 5000 1000 500 และ 100 ppm ตามลำดับ

3. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ 2% malt extract agar ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 °C นาน 20 นาที เมื่อครบกำหนดให้นำสารละลายเคมีใส่ใน malt agar ที่เตรียมไว้ แล้วค่อย ๆ เขย่าให้ผสมกัน นำไปเทลงในจานเลี้ยงเชื้อที่ฆ่าเชื้อแล้ว

4. เมื่ออาหารแข็งตัว ย้ายเชื้อจาก stock culture โดยใช้ cork borer ขนาด 0.5 ซม.เจาะบริเวณของเส้นใยโคโลนีเชื้อรา ซึ่งเป็นบริเวณที่เส้นใยเชื้อรามีความสม่ำเสมอทางสรีระ จากนั้นใช้เข็มเย็บดักขึ้นส่วนของเชื้อราวางลงจุดกลางของจานเลี้ยงเชื้อ บ่มที่อุณหภูมิห้อง

5. วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราทุกวันเป็นเวลา 5-7 วัน นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเจริญของเชื้อรา เปรียบเทียบกับ control

6. นำค่าเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเจริญของเชื้อรา มาแปลงเป็นค่า probit และค่าความเข้มข้นของสารเคมีเป็นค่า log เพื่อสร้าง DR-curve(dosage-response curve) โดยให้แกน x เป็นค่า log of concentration ส่วนแกน y เป็นค่า probit

7. เมื่อได้เส้นกราฟ DR-curve ให้ลากเส้นตรงจากแกน y ที่ค่า probit = 5 มาตัดกับลากเส้นขนานกับแกน y

8. นำค่าที่อ่านจากแกน x มาเปิดตาราง antilog จะได้ค่า ED.50 (Effective dose) ของสารเคมีในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา

9. คำนวณค่าความลาดชันของ DR-curve(Slope of regression)

#### การแปลผล

1. อ่านค่าเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเจริญของเชื้อราจากสูตร

$$(\%) \text{ ยับยั้งการเจริญของเชื้อรา} = \frac{D_1 - D_2}{D_1} \times 100$$



เมื่อ  $D_1$  = เส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีเชื้อราชุด Control

$D_2$  = เส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีเชื้อราบนอาหารผสม  
สารเคมียับยั้งเชื้อรา

2. อ่านค่าความเป็นพิษของสารเคมีที่ระดับยับยั้ง 50%  
(ED.50) ตรงจุดที่ตัดแกน x

ตัวอย่าง การคำนวณความเข้มข้นของสารเคมี A ที่ 10 50 100  
500 และ 1000 ppm

ถ้า  $\log$  of concentration = 2.5

$\log N$  = 2.5

เปิดตาราง antilog = 2 + 0.5

Take log =  $\log 100 + \log 3.162$

=  $\log (100 \times 3.162)$

=  $\log 316.2$

N = 316.2 ppm

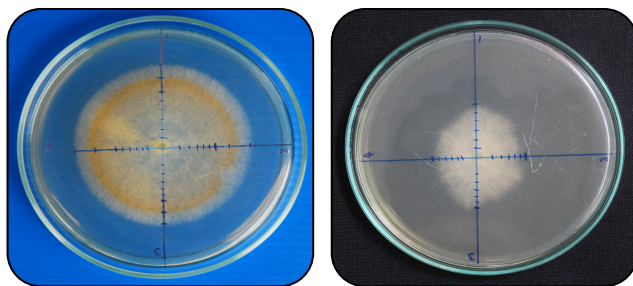
ดังนั้น ที่ความเข้มข้น 316.2 ppm จะยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้  
50 %

3. อ่านค่าลักษณะความเป็นพิษและปฏิกิริยาการออกฤทธิ์ของ  
สารเคมีจากค่า Slope of regression ของ DR-curve

-เส้นกราฟมีความลาดชันมาก แสดงว่าสารเคมีมีปฏิกิริยาออก  
ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราได้ดีกว่าสารเคมีที่มีค่าความลาดชันน้อย

**ตารางที่ 3** การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อราบนอาหารเทียม  
ผสมน้ำส้มควันไม้กระถินเทพา(ppm.)หลังปลูกเชื้อ 6 วัน

| ชนิดเชื้อรา              | ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีเชื้อรา (ซม.) <sup>1/</sup> |       |        |        |
|--------------------------|--------------------------------------------------------|-------|--------|--------|
|                          | Control                                                | 5,000 | 10,000 | 30,000 |
| <i>L. adusta</i>         | 9.00                                                   | 6.53  | 5.00   | 0.50   |
| <i>L. medullae-panis</i> | 9.00                                                   | 8.19  | 6.50   | 1.66   |
| <i>P. sanguineus</i>     | 9.00                                                   | 9.00  | 8.00   | 1.70   |
| <i>G. sepiarium</i>      | 6.09                                                   | 6.36  | 5.45   | 0.50   |
| <i>G. striatum</i>       | 5.85                                                   | 5.18  | 4.00   | 1.35   |
| เฉลี่ย                   | 7.79                                                   | 7.05  | 5.79   | 1.14   |



**ภาพที่ 29** แสดงการวัดการเจริญเติบโตของเชื้อรา

**ตารางที่ 4** แสดงเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเจริญของเชื้อราบนอาหารผสม  
น้ำส้มควันไม้กระถินเทพา ที่ความเข้มข้นต่างๆ (ppm.)

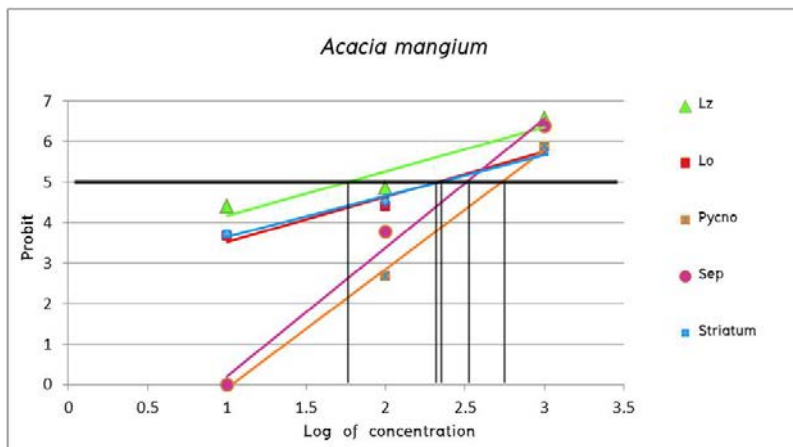
| ชนิดเชื้อรา              | เปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเจริญของเชื้อรา |        |        |
|--------------------------|--------------------------------------|--------|--------|
|                          | 5,000                                | 10,000 | 30,000 |
| <i>L. adusta</i>         | 27.44                                | 44.44  | 94.44  |
| <i>L. medullae-panis</i> | 9.00                                 | 27.77  | 81.55  |
| <i>P. sanguineus</i>     | 0.00                                 | 1.11   | 81.11  |
| <i>G. sepiarium</i>      | 0.00                                 | 10.51  | 91.78  |
| <i>G. striatum</i>       | 11.45                                | 31.62  | 76.92  |
| เฉลี่ย                   | 9.58                                 | 23.09  | 85.16  |

**ตารางที่ 5** แสดงค่าโพรบิทของน้ำส้มควันไม้กระถินเทพา (Finney, 1952)

| ชนิดเชื้อรา              | ค่าโพรบิทที่ความเข้มข้นต่างๆ (ppm.) |        |        |
|--------------------------|-------------------------------------|--------|--------|
|                          | 5,000                               | 10,000 | 30,000 |
| <i>L. adusta</i>         | 4.39                                | 4.86   | 6.58   |
| <i>L. medullae-panis</i> | 3.66                                | 4.41   | 5.90   |
| <i>P. sanguineus</i>     | 0.00                                | 2.67   | 5.88   |
| <i>G. sepiarium</i>      | 0.00                                | 3.77   | 6.38   |
| <i>G. striatum</i>       | 3.72                                | 4.53   | 5.73   |

**ตารางที่ 6** แสดงค่าความเป็นพิษของน้ำส้มควันไม้ต่อเชื้อราทำลายไม้

| ชนิดน้ำส้มควัน<br>ไม้ | ชนิดเชื้อรา      |       |                          |       |
|-----------------------|------------------|-------|--------------------------|-------|
|                       | <i>L. adusta</i> |       | <i>L. medullae-panis</i> |       |
|                       | ED <sub>50</sub> | Slope | ED <sub>50</sub>         | Slope |
| กระถินเทพา            | 8,750            | 1.095 | 18,400                   | 1.115 |
| สัก                   | 8,000            | 1.160 | 15,952                   | 1.955 |
| สนคาร์เบีย            | 5,625            | 0.880 | 10,244                   | 1.405 |
| ไผ่สีสุก              | 6,000            | 0.840 | 10,286                   | 1.495 |



**ภาพที่ 30** กราฟตอบสนองความเป็พิษของสารชีวภาพต่อเชื้อราทำลายไม้  
ที่ ED<sub>50</sub>

## บรรณานุกรม

ไพโรจน์ จ้วงพาณิชย์. 2525. หลักวิชาโรคพืช. ภาควิชาโรคพืช  
คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.  
393 น.

ยศนันท์ พรหมโชติกุล. 2541. เชื้อราทำลายไม้. ร.531. ส่วนวิจัย  
และพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้,  
กรุงเทพมหานคร. 260 น.

ยศนันท์ พรหมโชติกุล และคณะ. 2550. ผลกระทบของการเสื่อม  
สภาพทางชีวภาพและการใช้สารป้องกันรักษาเนื้อไม้ต่อ  
คุณภาพเชิงกลของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส. รายงาน  
ผลการวิจัย ประจำปี พ.ศ. 2550 สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้  
และผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพมหานคร. หน้า 201-  
247

ยศนันท์ พรหมโชติกุล และคณะ. 2557. การวิจัยการใช้ประโยชน์ไม้  
สะเดา เพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ. สำนักวิจัยและพัฒนาการ  
ป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพมหานคร. หน้า 21-32

วิจัย รักวิทยาศาสตร์. 2546. ราวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาโรคพืช  
คณะเกษตร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,  
กรุงเทพมหานคร. 351 น.

Bowyer, J.L.S. Rubin and J.G. Haygreen. 2003. Forest Products and Wood Science An Introduction. Fourth Edition Blackwell Publishing Company, Iowa State. 554 p.

Bulfman, J.D. 1976. Research at the Naval Research Laboratory on bio resistant tropical woods. An overview in chemical basis for natural resistance. Proceedings of a workshop on the biodeterioration of tropical woods. Naval Research lab. Dept. Navy, Washington, D.C. pp. 1-6.

Cartwright, K.ST.G. and W.P.K. Findlay. 1958. Decay of Timber and its Prevention. 2<sup>nd</sup> edn., Her Majesty Stationery office, London. 332 p.

Dadswell H.E. and W.E. Hillis. 1962. Wood. pp. 3-55. In W.E. Hillis ed.J. Wood Extractives and their Significance to Pulp and Paper Industries. New York Academic Press, New York.

Dickinson, D.J. 1971. Disfigurement of decorative timbers by blue stain fungi. Rec. Brit. Wood Press. Assoc. Ann. Conv. pp.151-169.

Eaton, R.A and M.D.C. Hale. 1993. Wood : Decay, pests and protection. Chapman & Hall, London. 546 p.

- Gominho, J. and H. Pereina. 2000. Variability of heartwood content in plantation-grown *Eucalyptus globus*. Wood and Fiber Sci. 32(2) : 189-195.
- Griffen, D.M. 1977. Water potential and wood-decay fungi. Ann Rev. Phytopathol. 15 : 319-329.
- Promachotikool, M. 1979. The Effect of Wood Density on the Kraft Pulping Properties of Douglass-fir. M.S. thesis, Oregon State Univ., Corvallis, Oregon. 98 numb. leaves.
- Rudman, P. and F.J. Gay. 1963. The causes of natural durability of timber. Holzforschung. 17(1) : 21-25.
- Suolahti, O.1948. Laboratory Tests on the Effect of Submersion in Water on Decay of Pine. Cited by K.ST.G Cartwright and W.P.K. Findlay (eds.). Decay of Timber and its Prevention. Her Majesty's Stationery office, London. 332 p.



งานวิจัยโรควิทยาป่าไม้ กลุ่มงานแมลงและจุลชีววิทยาป่าไม้  
สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

[www.forest.go.th](http://www.forest.go.th)