

ผลกระทบของเวลา อุณหภูมิและด่าง ต่อการต้มเยื่อซัลเฟตของไม้สนเขา

EFFECT OF TIME, TEMPERATURE AND ALKALI

TO SULFATE COOK OF NATIVE PINES

ปรีชา เกียรติกระจาย¹
 พันศักดิ์ ถ่องแท้มุ่งเจริญ²

Preecha Kiatgrajai
 Punsak Tongtaemungcharoen

ABSTRACT:- The effect of time, temperature and alkali to sulfate pulping of *Pinus merkusii* and *Pinus kesiya* has been reported. Both pine species, older than 30 years, were logged from the natural stand in Petchabun. Pine chip was cooked at least 36 times according to the following conditions : 2-5 hrs, 160-180°C, 15.3-18.7% effective alkali. Time and temperature were combined and calculated as H-factor. Total residual mass, screened pulp yield and Kappa No. of each cook was determined. About 12 determinations of sulfuric acid lignin in pulp of each pine were analyzed.

The effect of H-factor (H), effective alkali (EA), Kappa No. (K) and lignin (L) in pulp of both native pines has been represented by the following equations.

For *Pinus merkusii* :

$$K = 547.5 - 34.32 (EA)^{0.224} \ln H, r^2 = 0.934$$

$$L = -0.02649 + 0.1496 K, r^2 = 0.998$$

For *Pinus kesiya* :

$$K = 542.2 - 27.25 (EA)^{0.205} \ln H, r^2 = 0.949$$

$$L = -1.8381 + 0.1643 K, r^2 = 0.995$$

บทคัดย่อ:- ในการศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิ เวลา และด่าง จากการต้มเยื่อซัลเฟตของไม้สนสองใบและสนสามใบ ทำโดยนำไม้สนทั้งสองชนิดจากป่าธรรมชาติที่มีอายุเกินกว่า 30 ปี ในจังหวัดเพชรบูรณ์ มาต้มเยื่อชนิดละ 36 ครั้ง โดยใช้เวลา 2-5 ชั่วโมง อุณหภูมิ 160-180 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ของ H-factor (H) เอฟเฟกต์บด แอลคาไล (EA) ตัวเลขคัปปา (K) และปริมาณลิกนิน (L) ในเยื่อ ซึ่งได้ผลการทดลองออกมาดังนี้

ไม้สนสองใบ :

$$K = 547.5 - 34.32 (EA)^{0.224} \ln H, r^2 = 0.934$$

$$L = -0.02649 + 0.1496 K, r^2 = 0.998$$

ไม้สนสามใบ :

$$K = 542.2 - 27.25 (EA)^{0.205} \ln H, r^2 = 0.949$$

$$L = -1.8381 + 0.1643 K, r^2 = 0.995$$

¹ ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

² สำนักงานป่าไม้เขตนครราชสีมา อ. เมือง นครราชสีมา 30000

คำนำ

ไม้สนสองใบ (*Pinus merkusii*) และสนสามใบ (*Pinus khasya*) เป็นไม้ที่อยู่ในตระกูลจิมโนสเปอิร์ม พบในป่าธรรมชาติบางท้องที่ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พืชในตระกูลนี้มีสมบัติที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อกระดาษและนิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษมากกว่าพืชจากตระกูลอื่นๆ สมบัติที่ดีของพืชดังกล่าวคือเนื้อไม้ประกอบไปด้วยไฟเบอร์เป็นส่วนใหญ่ ไฟเบอร์มีขนาดยาวและผนังบาง มีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสสูง และมีปริมาณเพนโตแซนต่ำ ไม้สนสองใบและสนสามใบก็มีสมบัติตามที่กล่าวมาเช่นเดียวกับพืชในตระกูลจิมโนสเปอิร์ม

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการผลิตเยื่อกระดาษและสมบัติของไม้และเยื่อจากไม้สนสองใบและสามใบจากป่าธรรมชาติในประเทศไทยมีมานานกว่า 20 ปี แล้ว เช่น สรรเสริญ และ สมศรี (2513) ก้องไทย (2514) และ เพ็ญศรี และคณะ (2528) ได้รายงานสมบัติของเนื้อเยื่อจากไม้สนสองใบและสามใบ สรุปได้ดังนี้ ความยาวของเส้นใยจากไม้สนทั้งสองนี้มีค่ามากกว่า 5 มิลลิเมตร ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของเส้นใยมีความเหมาะสมมาก และให้ความเหนียวสูงพอที่จะนำมาผลิตเป็นกระดาษหลายชั้น ไม้ทั้งสองมีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสและปริมาณลิกนินสูง แต่มีปริมาณซีลล์และเพนโตแซนต่ำเมื่อเทียบกับพืชในตระกูลใบเลี้ยงคู่ทั่วไป ในการทดลองผลิตเยื่อกระดาษโดยวิธีซัลเฟตและสมบัติของเยื่อจากไม้สนทั้งสองชนิด จากรายงานทั้งสามกำหนดสภาวะในการทดลองดังนี้ ซัลฟิตี 20-30% แอคตินแอลคาไล 14-16% อุณหภูมิ 160-180 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการต้มเยื่อ 2-5 ชั่วโมง พบว่าสมบัติทางฟิสิกส์ของแผ่นเยื่อจากพืชทั้งสองเป็นที่น่าพอใจ และมีค่าใกล้เคียงหรือดีกว่าเยื่อใยยาวที่สังเคราะห์จากต่างประเทศ เช่น แรงดึงมีค่าสูงกว่า 9.0 กม. ค่าแฟกเตอร์ของความต้านทานต่อแรงฉีกขาดมีค่าสูงกว่า 400 ค่าแฟกเตอร์ของแรงทะลุสูงกว่า 70 และค่าความทนทานต่อแรงหักพับมีมากกว่า 1500

เนื่องจากรายงานวิจัยดังกล่าวทั้งสามฉบับไม่ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการแยกลิกนินและหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขคัลปากับปริมาณลิกนินในเยื่อ ซึ่งมีประโยชน์สำหรับการผลิตเยื่อกระดาษ ปรีชา (2532) ได้เริ่มศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการแยกลิกนินจากไม้สนสามใบ และรายงานถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขคัลปากับปริมาณลิกนินในเยื่อ และการแยกลิกนินจากไม้สนสามใบ และรายงานถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขคัลปากับปริมาณลิกนินในเยื่อ และการแยกลิกนินที่สภาวะการต้มเยื่อระดับต่างๆ เนื่องจากค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขคัลปากับปริมาณลิกนินในเยื่อมีค่าต่ำกว่า 90% จึงมีความเหมาะสมน้อยที่จะนำค่านี้มาใช้งาน

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อศึกษาหาบทบาทของอุณหภูมิ เวลา และปริมาณของสารเคมีที่มีต่อปฏิกิริยาของลิกนินในไม้สนสองใบ และสามใบจากการต้มเยื่อโดยวิธีซัลเฟต และยังหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขคัลปาและปริมาณลิกนินในเยื่อ

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมไม้สนสองใบและสนสามใบ

ไม้สนทั้งสองชนิดได้มาจากป่าธรรมชาติ จากอำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ ทำการตัดฟันในเดือนธันวาคม 2532 ตัดเป็นแวนที่โคนเพื่อหาเส้นผ่าศูนย์กลางและนับอายุจากวงปี นำไม้ดังกล่าวชนิดละประมาณ 150 กิโลกรัม มาแปรรูปที่คณะวนศาสตร์ ให้มีขนาดหน้าตัดประมาณ 4 x 4 เซนติเมตร นำไม้ที่แปรรูปได้ไปเข้าเครื่องทำชิ้นไม้สับ และคัดขนาด เก็บตัวอย่างของชิ้นไม้สับที่มีขนาดระหว่าง 3-19 มิลลิเมตร ผึ่งชิ้นไม้สับให้แห้งโดยการตากแดดไม่น้อยกว่า 7 วัน เพื่อลดความชื้นและให้ความชื้นในชิ้นไม้สับกระจายอย่างสม่ำเสมอ โดยคลุกชิ้นไม้สับที่ผึ่งแดดอย่างน้อยวันละสองครั้ง

สุ่มตัวอย่างชิ้นไม้สับจากพืชแต่ละชนิดใส่ถุงพลาสติกถุงละ 350 กรัมจนหมด คำนวณหาน้ำหนักอบแห้งของชิ้นไม้สับแต่ละถุงเพื่อนำไปคำนวณหาสารเคมีที่ใช้ในการต้มเชื้อแต่ละสภาวะต่อไป

สภาวะการต้มเชื้อและวิธีการ

นำชิ้นไม้สนที่เตรียมได้ มาผสมกับน้ำยาต้มเชื้อซัลเฟตในหม้อต้มเชื้อที่ทนต่อแรงดันสูงและหมุนได้ตลอดเวลา โดยใช้สภาวะการต้มเชื้อต่าง ๆ ดังนี้ สัดส่วนของน้ำยาคือชิ้นไม้สับอบแห้ง 3.5/1 ถึง 4.0/1 ปริมาณซัลฟิดิตี 25-35% ปริมาณแอลคิบ แอลคาไล 15-22% อุณหภูมิสูงสุด 170-180 องศาเซลเซียส เวลาที่อุณหภูมิสูงสุด 0-120 นาที รวมจำนวนครั้งที่ต้มของไม้สนแต่ละชนิด 36 ครั้ง ดังรายละเอียดที่แสดงใน Table 1

การคำนวณหาสารเคมีที่ใช้ วิธีการเตรียมและวิเคราะห์น้ำยาเคมีเชื้อ วิธีการต้มเชื้อ การบันทึกอุณหภูมิและเวลาเพื่อคำนวณหาค่า H-factor และวิธีการล้างเชื้อและหาผลผลิตเชื้อ ทำตามวิธีที่รายงานโดยปรีชา (2532)

Table 1. Cooking conditions for *P. kesiya* and *P. merkusii* at 60 minutes of heating time to maximum temperature

Sulfidity %	Active alkali, %	Effective alkali, %	Maximum temperature, °C	Time at maximum temperature, min			
Liquor to wood ratio = 3.5/1							
30	18	15.30	170	0	60	90	120
30	18	15.30	180	0	20	40	60
30	20	17.00	170	0	30	60	90
30	20	17.00	180	0	15	30	60
30	22	18.70	170	0	15	30	60
30	22	18.70	180	0	15	30	60
25	20	17.50	170	0	15	30	60
35	20	16.50	170	0	15	30	60
Liquor to wood ratio = 4/1							
25	18	15.75	170	0	30	60	120

การวิเคราะห์สมบัติของเยื่อ

นำชิ้นไม้สนและเยื่อที่ผ่านการต้มแต่ละครั้งมาวิเคราะห์หาตัวเลขค่าปเปอร์และปริมาณลิกนินตามมาตรฐาน TAPPI ที่ T 236 cm - และ T 222 cm - 88 และรายละเอียดที่รายงานโดยปรีชา (2532)

ผลและวิจารณ์

วัตถุดิบและการต้มเยื่อ

ไม้สนสองใบและสามใบที่นำมาทดลองมีอายุต่ำกว่า 30 ปี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยตามลำดับ คือ 28.1 และ 24.7 เซนติเมตร น้ำหนักของไม้ก่อนแปรรูปประมาณ 150 กิโลกรัม เมื่อทำเป็นชิ้นไม้สับสี่เหลี่ยมและหาค่าความชื้น พบว่าไม้สนสองใบมีความชื้นเฉลี่ยเป็น 13.40% (ระหว่าง 13.31 - 13.67%) และไม้สนสามใบมีความชื้นเฉลี่ยเป็น 12.97% (ระหว่าง 12.85 - 13.03%) คำนวณน้ำหนักของชิ้นไม้สับจากไม้สนสองใบและสามใบได้ 308.6 และ 309.8 กรัม ของการต้มแต่ละครั้ง ตามลำดับ น้ำหนักอบแห้งที่ได้จากการคำนวณนี้ใช้คำนวณหาปริมาณสารเคมีปริมาณน้ำยาคัดเยื่อผลผลิตเยื่อ (pulp yield) และชิ้นไม้ที่ไม่แยกเยื่อ (screened reject) ต่อไป

ปริมาณ NaOH และ Na₂S ที่ใช้ในการต้มเยื่อแต่ละครั้ง ขึ้นอยู่กับค่าเอฟเฟกต์ อัลคาลิ แอลคาไล และซัลฟิไดต์ ดัง Table 2

Table 2. Amount of sodium hydroxide and sodium sulfide per cook according to wood species and effective alkali.

Effective alkali %	<i>Pinus kesiya</i>		<i>Pinus merkusii</i>	
	NaOH, g	Na ₂ S, g	NaOH, g	Na ₂ S, g
15.50	50.37	21.05	50.30	20.97
15.75	55.96	23.39	55.75	23.30
16.50	61.56	25.73	61.33	25.63
17.00	53.97	17.54	53.77	17.47
17.00	59.96	19.49	59.74	19.41
18.70	51.97	27.27	51.78	27.17

เพื่อลดตัวแปรในการต้มเยื่อลงในการทดลองได้คำนวณค่า H-factor จากข้อมูลของอุณหภูมิ และเวลา และความเร็วสัมพัทธ์ของปฏิกิริยาในการต้มเยื่อที่อุณหภูมิต่างๆ ตามหลักของ Vroom (1957) แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยของ H-factor ที่อุณหภูมิ 170 และ 180 องศาเซลเซียส ในเวลาต่างๆ ดังนี้

ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 0, 1/4, 1/2, 1, 3/2, 2 และ 3 ชั่วโมง มีค่า H-factor เฉลี่ย ตามลำดับดังนี้ 99.3, 327.0, 581.0, 1029, 1438, 1829 และ 2837 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละ H-factor ที่มากกว่า 580 มีค่าต่ำกว่า 0.03

ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 0, 1/4, 1/2, 1, 2/3 และ 1 ชั่วโมง มีค่า H-factor เปลี่ยนตามลำดับดังนี้ 220.9, 720.4, 924.6, 1254, 1549 และ 2278 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ H-factor มีค่าต่ำกว่า 0.015

ความสัมพันธ์ระหว่าง H-factor กับมวลรวมที่เหลือ (total residual mass) มวลของเยื่อที่ได้ (screened pulp yield) และตัวเลขค้ำปจากไม้สนทั้งสองชนิดที่ต้มเชื้อของแต่ละเอฟเฟคตึบ แอลคาไล มีเส้นกราฟคล้ายกัน ดังเช่นผลจากการต้มเชื้อของไม้สนสองใบที่ เอฟเฟคตึบ แอลคาไล 15.30 % ตาม Figure 1

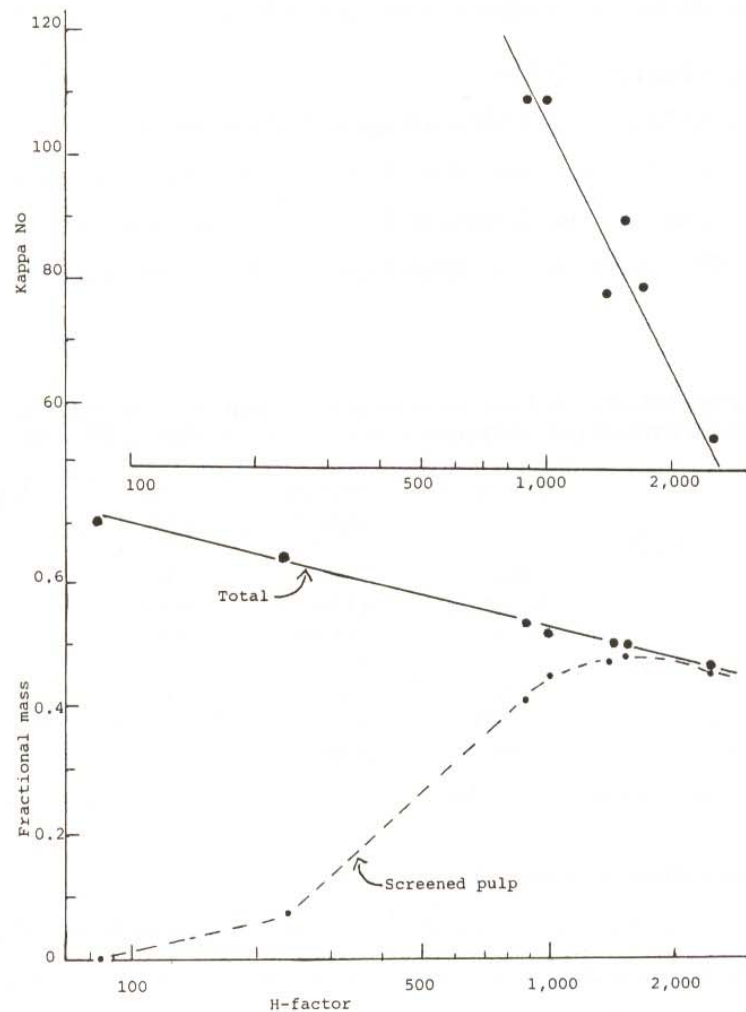


Figure 1. Relationship between H-factor vs. total residual mass, screened pulp yield and Kappa No. from sulfate cook of *P. merkusii* at 15.30% effective alkali.

จากภาพจะเห็นว่าขณะที่ H-factor เพิ่มขึ้น จะทำให้มวลรวมที่เหลือลดลงอย่างรวดเร็วในระยะแรก จนกระทั่งปริมาณมวลรวมลดลงประมาณครึ่งหนึ่ง การลดลงจะเป็นไปอย่างช้าๆ ซึ่งแสดงว่าปฏิกิริยาการตัดโมเลกุลของลิกนินในระยะแรกและระยะกลาง (initial and bulk delignification) โดยน้ำยาดัมเชื้อเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นปฏิกิริยาการตัดโมเลกุลของลิกนินในส่วนที่เหลือ (residual delignification) จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อมวลรวมเหลือน้อยกว่า 45% ดังเช่นตัวเลขค่าปัลปาของเชื้อจะลดลงอย่างรวดเร็วในระยะแรกและค่อยๆ ลดลง มวลรวมต่ำกว่า 45% มวลของเชื้อจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในระยะแรก และเพิ่มอย่างรวดเร็วเมื่อมวลของเชื้อเข้าไปใกล้ 40% จากการลดลงของมวลรวมและตัวเลขค่าปัลปา สามารถนำมาพิจารณาการผลิตเชื้อฟอกจากไม้สนทั้งสองชนิดว่าควรผลิตเชื้อที่มีผลผลิตเชื้อระหว่าง 40-45%

มวลรวมที่เหลือและมวลของเชื้อที่ได้

ในการศึกษาดัมเชื้อซัลเฟตจากไม้สนสองใบและสนสามใบ ชนิดละ 36 ครั้ง ตามสภาวะการดัมเชื้อที่กำหนดใน Table 1 พบว่าพืชทั้งสองชนิดให้เชื้อซัลเฟตสูงกว่า 40% ที่ H-factor ตั้งแต่ 700 ขึ้นไป เป็นไม้สนสองใบ จำนวน 19 ครั้ง และไม้สนสามใบ จำนวน 17 ครั้ง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของ H-factor, มวลรวมที่เหลือ มวลของเชื้อและตัวเลขค่าปัลปา และค่าสูงสุด-ต่ำสุด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ_{n-1}) ดังที่แสดงใน Table 3

Table 3. Average H-factor, total residual mass, screened pulp yield and Kappa No. from sulfate cooks at screened pulp yield greater than 40% of *P. merkusii* and *P. kesiya*

	H-factor	Residual mass, %	Pulp yield, %	Kappa No.
<i>Pinus merkusii</i> (19 cooks) :				
X	1499	48.8	46.4	82.9
min-max	740-2826	43.7-53.2	40.7-49.6	38.6-114
σ_{n-1}	0.39	0.0550	0.0457	0.276
<i>Pinus kesiya</i> (17 cooks) :				
X	1571	49.2	46.8	84.5
min-max	725-2853	43.4-54.6	42.1-49.4	41.9-116
σ_{n-1}	0.38	0.0585	0.0531	0.246

H - factor เอฟเฟคตีบ แอลคาไล และตัวเลขค่าปัลปา

จากการวิเคราะห์หาตัวเลขค่าปัลปา (K) ของเชื้อจากไม้สนสองใบและสามใบ พบว่าตัวเลขค่าปัลปาของไม้แต่ละชนิดเปลี่ยนไปตาม H-factor (H) และ เอฟเฟคตีบ แอลคาไล (EA) คือตัวเลขค่าปัลปาจะลดลงเมื่อเพิ่มตัวแปร H และ EA จากรายงานของ Vroom (1957), MacDonald และ Franklin (1970) Hatton (1973) และ Casey (1980) สามารถสร้างสมการทดแทนจากความสัมพันธ์ ของ K, H และ EA ดังนี้

$$K = A + B (EA)^2 \ln H \dots\dots\dots (1)$$

ในการประเมินค่า A, B และ EA หาโดยใช้หลักสถิติจากการวิเคราะห์ค่า K, EA และ H จากการทดลองที่ เอฟเฟคดิบ แอลคาไล 15.3, 17.0 และ 18.7% ของไม้สนสองใบและสนสามใบชนิดละ 18 ตัวอย่างที่ให้ผลผลิตเชื้อสูงกว่า 40% พบว่ากำลังสองของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) ของค่า A, B และ m จากไม้แต่ละชนิดมีค่าสูงกว่า 0.90 ดังสมการ (2) และ (3)

ไม้สนสองใบ

$$K = 547.5 - 34.32 (EA)^{0.224} \ln H \dots\dots\dots (2)$$

$$r^2 = 0.934$$

ไม้สนสามใบ

$$K = 542.2 - 27.25 (EA)^{0.295} \ln H \dots\dots\dots (3)$$

$$r^2 = 0.949$$

สมการ (2) และ (3) สามารถใช้ควบคุมการผลิตเชื้อที่มีตัวเลขค้ำปาที่ต้องการ จากค่าเอฟเฟคดิบ แอลคาไล และอุณหภูมิที่ใช้ในการต้มเชื้อ ก็จะบอกได้ว่าถ้าต้องการตัวเลขค้ำปาที่กำหนดจะต้องต้มเชื้อเป็นเวลานานเท่าใด

ตัวเลขค้ำปาและปริมาณลินินในเชื้อ

จากรายงานของปรีชา (2532) ยืนยันว่าตัวเลขค้ำปา และปริมาณลินินในเชื้อ มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และสามารถนำผลจากการวิเคราะห์ค่าทั้งสองมาหาความสัมพันธ์ตามสมการการทดลองแบบเส้นคือ

$$L = a + bK \dots\dots\dots (4)$$

ในการประเมินค่า a และ b ของไม้สนสองใบและสนสามใบ ได้นำตัวอย่างเชื้อจากไม้แต่ละชนิดที่มีตัวเลขค้ำปาตั้งแต่ 40-120 จำนวน 12 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์หาลินินในเชื้อ แล้วเขียนกราฟของความสัมพัทธ์ทั้งสองดัง Figure 2 แล้วคำนวณหาค่า a และ b ตามวิธีทางสถิติ แล้วประเมินหาค่ากำลังสองของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งมีค่าสูงกว่า 0.99 ตามแต่ละชนิดของไม้ดังสมการที่ (5) และ (6)

เชื้อไม้สนสองใบ

$$L = - 0.02649 + 0.1496 K \dots\dots\dots (5)$$

$$r^2 = 0.998$$

เชื้อไม้สนสามใบ

$$L = - 1.8381 + 0.1643 K \dots\dots\dots (6)$$

$$r^2 = 0.995$$

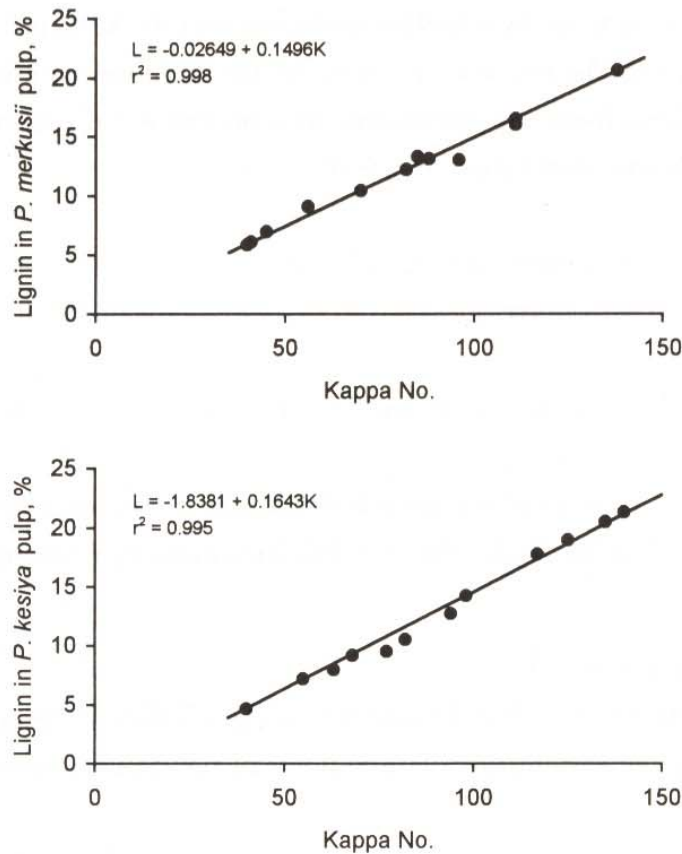


Figure 2. Relationship between lignin in sulfate pulp and Kappa No. of *Pinus merkusii* (upper) and *P. kesiya* (lower).

จากสมการการถดถอยแบบเส้นระหว่างตัวเลขคัปปา และปริมาณลิกนินในเยื่อ สามารถนำสมการนี้ มาใช้ประโยชน์ในการผลิตเยื่อและการฟอกเยื่อในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษต่อไป

สรุป

จากการศึกษาการต้มเยื่อโดยวิธีซัลเฟตของไม้สนสองใบและสนสามใบที่มีอายุมากกว่า 30 ปี จาก ป่าธรรมชาติ ที่ อำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยต้มไม้ครั้งละ 350 กรัม ที่เอฟเฟคตีบ แอลคาไล 15.30-18.70% ซัลฟิเตี 25-35% และอุณหภูมิ 170-180 องศาเซลเซียส โดยต้มเยื่อจากไม้แต่ละชนิด จำนวน 36 ครั้ง ที่เวลาต่าง ๆ กัน สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ผลผลิตเชื้อที่เกิดจากพลังงานความร้อนและเคมีสูงสุดที่มวลรวมลดลงประมาณ 50% โดยมีค่าตัวเลขคัปปาของเชื้อประมาณ 100 คิดเป็นปริมาณลิกนินในเชื้อประมาณ 17% ไม้สนสองใบแยกเป็นเชื้อได้ง่ายกว่าไม้สนสามใบ ไม้สนสองใบแยกเป็นเชื้อที่ H-factor ประมาณ 750 เมื่อต้มขึ้นไม้สับด้วย เอฟเฟคตีบ แอลคาไล 18.7% ส่วนไม้สนสามใบจะแยกเป็นเชื้อที่ H-factor ที่สูงกว่า 1,000 ตัวเลขคัปปา และปริมาณลิกนินในเชื้อจากไม้ทั้งสองชนิดจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อเพิ่มค่า H-factor และปริมาณลิกนินในเชื้อจากไม้สนสองใบและสนสามใบจะลดลงเหลือประมาณ 5 % ที่ H-factor ประมาณ 2,300 และเอฟเฟคตีบ แอลคาไล 18.7%

2. ความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขคัปปา (K) และปริมาณลิกนิน (L) ในเชื้อจากไม้สนสองใบและสนสามใบเป็นแบบสมการการถดถอยแบบเส้น ที่มีค่ากำลังสองของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงกว่า 0.99 ดังนี้

$$\text{ไม้สนสองใบ : } L = -0.02649 + 0.1496 K, r^2 = 0.998$$

$$\text{ไม้สนสามใบ : } L = -1.8381 + 0.1643 K, r^2 = 0.995$$

3. ความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขคัปปา (K) ในเชื้อ H-factor (H) และ เอฟเฟคตีบ แอลคาไล (EA) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{ไม้สนสองใบ : } K = 547.5 - 34.32 (EA)^{0.224} \ln H, r = 0.934$$

$$\text{ไม้สนสามใบ : } K = 542.2 - 27.25 (EA)^{0.295} \ln H, r = 0.949$$

คำนิยาม

งานวิจัยนี้ เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ ป-ม 2.32 ซึ่งได้รับเงินอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดร. ทรงศิริ แด่สมบัติ ให้คำแนะนำในการวิเคราะห์ตัวเลขทางสถิติ น.ส. สาวิตรี พัฒโนภาส, นายมงคล ภูมิโยชน์, นายสุชีพ คำกริกิจ และ นายเอกชัย สมุทรักษ์ ช่วยในการต้มเชื้อ วิเคราะห์ตัวเลขคัปปา และปริมาณลิกนินในเชื้อ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ช่วยในการพิมพ์ต้นฉบับ ผู้เขียนขอขอบคุณสถาบัน และผู้ที่มีรายชื่อดังกล่าว ทุกๆ ท่านที่ช่วยเหลือจนโครงการนี้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- ก้องไทย พานิชวิทย์. 2514. การทำเชื้อกระดานจากไม้สนสองใบในระดับซัลไฟต์ต่างๆ. ปัญหาพิเศษ ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- เพ็ญศรี นามประเสริฐ, อรรถพร อภิชาติบุตร และวิจิต สนิทวิช. 2528. การผลิตเชื้อกราฟจากไม้สนสองใบ และไม้สนสามใบจากป่าปลูก ป่าธรรมชาติ. รายงานวิจัยกองวิจัยผลิตผลป่าไม้ ที่ ร.243 กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ.
- ปรีชา เกียรติกระจ่าย. 2532. การแยกลิกนินของไม้สนสามใบ ไม้เลื้อยและไม้ไผ่รวกโดยวิธีซัลเฟต. วารสารวนศาสตร์ 8 : 12-27.

- สรเสรีญ์ เจริญศรี และสมศรี อรัญญูติ. 2513. การทำเยื่อกระดาษจากสนสองใบและสนสามใบ โดยกรรมวิธีซัลเฟต. การประชุมทางวิชาการป่าไม้ ครั้งที่ 3, 12-24 สิงหาคม 2513 เชียงใหม่.
- สรเสรีญ์ เจริญศรี และอรรณพ อภิชาติบุตร. 2519. ความเหมาะสมในการทำเยื่อกระดาษของไม้ไทยบางชนิด. การประชุมการป่าไม้ประจำปี 2518, 12-23 มกราคม 2519. ชลบุรี.
- Casey, C.P. 1980. Pulp and Paper. 3rd Ed. Vol 1. John Wiley & Sons, New York.
- Hatton, J.V. 1973. Development of yield prediction equations in kraft pulping. TAPPI 56(7) : 97-100.
- MacDonald, R.G. and J.N. Franklin. 1970. Pulp and Paper Manufacture. 2nd Ed. Vol. 1. McGraw-Hill Book, New York.
- Vroom, K.E. 1957. The "H" factor : a mean of expressing cooking times and temperature as a single variable. Pulp and Paper Magazine of Canada (1957) 228-231.

THAI JOURNAL OF FORESTRY

Volume 14, January - June 1995

ISSN 0857 - 1724

Marketing of Eucalypt timber in northeast Thailand	
.....Santi Suksard and Sonkram Thammincha	1
Survey on the natural enemies of teak defoliator, <i>Hyblaea puera</i> Cramer	
.....Chaweewan Hutacharern and Surachai Choldumrongkul	9
Effects of spacing and pruning on growth rate and yield of <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh. plantations	
.....Pongsak Sahunalu, Pricha Dhanmanonda, Buared Prachaiyo and Kanit Muangnil	17
Analysis of community structure of <i>Melientha suavis</i> (Pak Waan Paa) forest nearby Huay Hin Dam Village, Hod District, Chiangmai	
.....Soonthorn Khamyong	32
Economic value and management of Sublanka Bamboo Forest, Lopburi Province	
.....Saowaluck Chompunuch and Somporn Isvilanond	46
Physical properties, fibre dimensions and proximate chemical analysis of Malaysian rattans	
.....Abd. Razak Mohd. Ali, Abd. Latif Mohmod, K.C. Khoo and Jamaludin Kasim	59
Effect of time, temperature and alkali to sulfate cook of native pines	
.....Preecha Kiatgrajai and Punsak Tongtaemungcharoen	71