การศึกษาการคืนตัวของคานไม้อัดกาวโค้งเพื่อทำวงกบประตูโค้ง

A Study on Restitution of Curved Glued Laminated Timber Beam For Curved Door Frame

ภิรมย์ อ่อนละมูล (Pirome Onlamool)* ชยาทิตย์ วัฒนวิกย์กิจ (Chayatit Vadhanavikkit)**
ยิ่งศักดิ์ พรรณเชษฐ์ (Yingsak Pannachet)**

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการหาระยะเผื่อในการดัดโค้งชิ้นไม้ในการทำคานไม้อัดกาวและนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎีซึ่งเสนอโดยชยาทิตย์ (Vadhanavikkit C., 2005)

การทดสอบกระทำโดยทำคานไม้อัดกาวโค้งที่ทำจากไม้ชนิดเดียวกันทั้งหมดและมีจำนวนชั้นตั้งแต่ 2 ถึง 20 ชั้น โดยไม้ที่ใช้ทดสอบคือ ตะเคียนทอง, ประดู่ และเร็ดไพน์ หลังจากกาวแห้งแล้วคานไม้อัดกาวถูกปล่อยให้คืนตัวแล้วนำผลการคืนตัวนี้มาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎี โดยเปรียบเทียบเป็นระยะดัดโค้งซึ่งเบี่ยงเบนไปจากแนวเดิมของไม้ซึ่งเป็นเส้นตรง จากผลการทดสอบพบว่ามีความสอดคล้องกัน จึงสามารถนำไปใช้ในการกำหนดระยะดัดโค้งเผื่อได้

ABSTRACT

The objective of this research is to determine how much to over bend the timber in the manufacturing of curved glulam beam so that the correct profile of the curved beam is obtained. The theoretical calculation introduced by Chayatit (Vadhanavikkit C., 2005) is also compared and good agreement is found.

In the investigation the number of laminates in a beam varies from 2 to 20 and are of the same kind of wood. Three kinds of wood investigated are Iron wood, Padauk and Red pine.

คำสำคัญ : ไม้อัดกาว กลูแลม ไม้อัดกาวโค้ง

Key Words : Glued Laminated Timber, Glulam, Curved Glulam

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

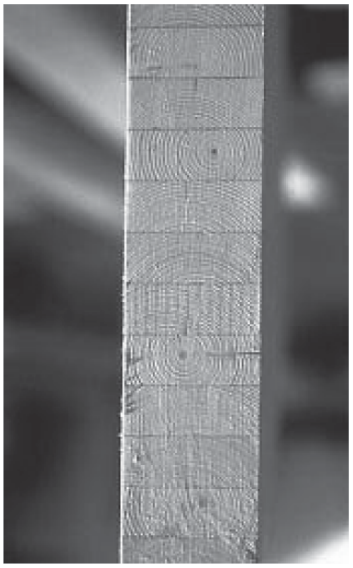
บทนำ

การก่อสร้างโดยใช้ไม้เป็นโครงสร้างในต่างประเทศได้แก่ อเมริกา แคนาดา อังกฤษ ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ ญี่ปุ่น เกาหลี และในยุโรป ยังคงได้รับความนิยมอยู่เนื่องจากโครงสร้างที่สร้างมาจากไม้จะมีความสวยงามเป็นเอกลักษณ์ แต่ในโครงสร้างขนาดใหญ่หรือกว้างที่จำเป็นต้องใช้ชิ้นส่วนโครงสร้างขนาดใหญ่ไม่สามารถจะหาไม้ดังกล่าวได้ จึงมีการคิดนำไม้แผ่นบาง ๆมาประกบกันโดยใช้กาวติดเรียกว่า “ไม้อัดกาว” (Glued Laminated Timber หรือ Glulam) กาวที่ใช้ได้แก่ กาวเรซอซินอลฟอร์มัลดีไฮด์, กาวเรซอซินอลฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์, กาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์,กาวโพลียูเรเทน, กาวอีพ๊อกซี, กาวเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ (วรธรรม, 2545 ; สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้, 2548) ซึ่งในต่างประเทศได้นำไปสร้างเป็นโครงสร้างอาคารได้หลายประเภทได้แก่ สนามกีฬา หอประชุม โบสถ์ สะพาน เป็นต้น ดังภาพที่ 1

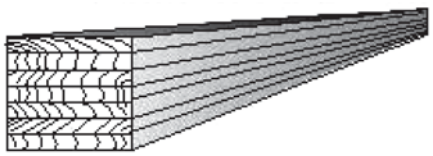
ภาพที่ 1 แสดงการนำไม้อัดกาวไปทำโครงสร้างสนามกีฬา (Forest and Wood Products Research and Development Corporation [FWPRDC], 2005)

ไม้ที่นำมาใช้ในงานก่อสร้างทั้งทางด้านโครงสร้างและทางด้านสถาปัตยกรรม นอกจากทำไม้แบบแล้วก็ยังทำวงกบประตู หน้าต่าง และในงานเฟอร์นิเจอร์ ในการทำโค้งวงกบประตู หน้าต่าง ไม่สามารถดัดไม้ให้โค้งได้มากเนื่องจากความหนาของไม้ในการผลิตในปัจจุบันจึงต้องนำไม้ชิ้นใหญ่มาตัดให้เป็นชิ้นไม้มีความโค้งตามต้องการหรือทำเป็นท่อนนำมาต่อกัน ซึ่งถือว่าเป็นการใช้ไม้โดยไม่คุ้มค่า โดยเฉพาะถ้าจำเป็นต้องทำโค้งขนาดใหญ่ขึ้นต้องหาไม้ที่มีขนาดใหญ่ตามไปด้วย ดังนั้นในประเทศไทยจึงไม่ค่อยพบเห็นโครงสร้างไม้ขนาดใหญ่ทั้งแบบตรงและแบบโค้งเท่าไรนัก ในการทำส่วนโครงสร้างโค้งของไม้ เมื่อมีการดัดโค้งไม้ทิ้งไว้ระยะหนึ่งแล้วปล่อยออกอย่างอิสระไม้จะมีความโค้งลดลงจากที่ดัดโค้งไว้ตอนแรก เนื่องจากมีการคืนตัวทำให้ได้ส่วนโค้งไม่ตรงตามความต้องการ ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งศึกษาหาการคืนตัวจากการดัดโค้งของคานไม้อัดกาวและเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้งานโดยเฉพาะในการนำไม้อัดกาวไปทำวงกบประตูหน้าต่างโค้งซึ่งต้องใช้จำนวนชั้นที่อัดน้อย ทำให้มีการคืนตัวมาก จึงจำเป็นต้องรู้ว่าการคืนตัวมีค่าเท่าไร

ไม้อัดกาวเป็นการนำไม้แปรรูปมากกว่า 3 ชั้นมาติดกาวให้เสี้ยนไม้ขนานกันดังภาพที่ 2 มีทั้งแบบแนวราบและแนวดิ่งดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2 แสดงหน้าตัดของคานไม้อัดกาว (Glued Laminated Timber Association [GLTA], 2005)



คานไม้อัดกาวในแนวราบ

คานไม้อัดกาวในแนวดิ่ง

ภาพที่ 3 แสดงคานไม้อัดกาวในแนวราบและแนวดิ่ง (FWPRDC, 2005)

คุณสมบัติของไม้อัดกาว

1. ข้อดีของไม้อัดกาว

1. แข็งแรงกว่าไม้จริง มีอัตราส่วนกำลังต่อน้ำหนัก (Strength to weight ratio) มากกว่าเหล็กและคอนกรีต นั่นคือถ้าโครงสร้างที่รับน้ำหนักได้เท่ากัน เหล็กและคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีน้ำหนักมากกว่าไม้อัดกาว 20% และ 600% ตามลำดับ อีกทั้งยังสามารถสร้างโครงสร้างที่มีช่วงยาว (Large Span) มากกว่า 50ม. (GLTA, 2005)

2. สามารถนำไปทำเป็นโครงสร้างได้แทบทุกชนิด (Versatility)

3. ทนไฟ (Fire Resistance) ไม้อัดกาวมีขนาดใหญ่เวลาไหม้ไฟผิวด้านนอก จะไหม้กลายเป็นถ่านและเป็นฉนวนป้องกันไม่ให้ไฟลุกลามสู่ภายในจึงทำให้ไม้อัดด้วยกาวไหม้ไฟยากกว่าไม้แปรรูปทั่วไป (บุญนำ, 2528)

4. ทนต่อสารเคมีกัดกร่อน (Chemical Resistance) เนื่องจากไม้อัดกาวเป็นสารอนินทรีย์ไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมี จึงเหมาะแก่โครงสร้างที่มีการกัดกร่อน เช่น โรงเก็บเกลือและน้ำตาล โรงงานผลิตสารเคมี (บุญนำ, 2528)

5. ประหยัดพลังงานในการผลิต นั่นคือในการผลิตไม้อัดกาว 1 ตันใช้พลังงานไฟฟ้า 453 kwh. ในขณะที่การผลิตเหล็กและอลูมิเนียมที่หนักเท่ากันต้องสิ้นเปลืองไฟฟ้า 3,720 kwh. และ 20,160 kwh. ตามลำดับ (บุญนำ, 2528)

6. เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากใช้พลังงานน้อยก็ทำให้เกิดมลภาวะจากการผลิตน้อยกว่าวัสดุอื่น ๆ (Andres and Smith , 2002)

7. น้ำหนักเบาทำให้ประหยัดโครงสร้างเช่น ฐานรากมีขนาดเล็กลง

8. เป็นที่ยอมรับเพราะมีมาตรฐานรองรับในอเมริกา, ยุโรป, ออสเตรเลีย, นิวซีแลนด์, ญี่ปุ่น, เกาหลีใต้ ฯลฯ (Andres and Smith, 2002 ; GLTA, 2005)

9. สวยงาม ตอบรับความต้องการทางสถาปัตยกรรม และให้บรรยากาศ ความรู้สึกอบอุ่นเมื่อได้สัมผัส

10. เป็นฉนวนความร้อน ฉนวนไฟฟ้า เก็บเสียงได้ดี

11. คุณภาพสม่ำเสมอเนื่องจากผลิตจากโรงงาน

2. ข้อเสียของไม้อัดกาว

1. ขนส่งยากเนื่องจากโครงสร้างมีขนาดใหญ่และไม่ตรงหรือบางชิ้นส่วนจำเป็นต้องประกอบสำเร็จจากโรงงานเช่น โค้ง หรือ รูปร่างแปลก ๆ

2. มีราคาแพงกว่าไม้จริง 3-4 เท่า (บุญนำ, 2528) เนื่องจากกาวที่ใช้มีราคาค่อนข้างจะแพง ดังนั้นไม่ควรจะผลิตนำมาแข่งขันกับไม้แปรรูปที่มีขายตามท้องตลาด

3. การดัดโค้งของคานไม้อัดกาว

จากสมการเส้นโค้งยืดหยุ่นของ คาน ชยาทิตย์ (Vadhanavikkit C., 2005) ได้นำมาใช้คำนวณหาระยะโก่งตัวของคานไม้อัดกาวในจำนวนชั้นต่าง ๆกันไป โดยสามารถคำนวณหาระยะที่ไม้จะคืนตัวกลับหลังจากการดัดโค้งไปได้โดยมีสมมติฐานเบื้องต้นเพื่อให้ง่ายแก่การคำนวณและการทำความเข้าใจดังนี้

1. ตัวอย่างทดสอบไม่เกิดการคืบในช่วงสั้น (Short Term Creep)ในขณะที่ทำการดัดโค้งตัวอย่างทดสอบ

2. พฤติกรรมของคานในขณะถูกดัดโค้งยังคงเป็นพฤติกรรมแบบคานตรงอยู่

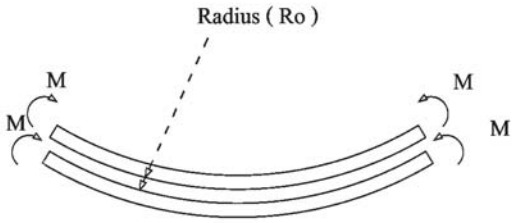
3. กาวที่ใช้ไม่เกิดการเลื่อนตัว (Slip) หลังจากติดกาวแล้วดัดโค้ง

4. ไม้แผ่นเป็นไม้ชนิดเดียวกันและมีขนาดเท่ากัน

3.1 พฤติกรรมการดัดโค้งของคานไม้อัดกาว 2 ชิ้น

3.1.1 สภาพก่อนการติดกาว

ที่สภาพก่อนการติดกาวคานไม้แต่ละชิ้นจะถูกทำให้โค้งตามที่ต้องการมาก่อนซึ่งถือว่าเป็นการให้แรงก่อน (Pre-Stress) ซึ่งแต่ละชิ้นถือว่ารับเฉพาะโมเมนต์ดัดเพียงอย่างเดียว (Pure Moment) มีค่าเท่ากับ M เท่ากันดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 สภาพก่อนการติดกาวของคานไม้ 2 ชิ้น

ดังนั้นแต่ละชิ้นจะมีระยะเสียรูปและความโค้ง

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{R_0} = \frac{M}{EO_0} \qquad (1)$$

เมื่อ M คือค่าเฉลี่ยของโมเมนต์ที่ใช้ในการดัดไม้แต่ละชิ้นให้ประกบกันพอดี

R_0 คือรัศมีเฉลี่ยของการดัดโค้งไม้สองชิ้นที่ประกบกันพอดี (รัศมีความโค้งของผิวติดกาวของไม้ทั้งสอง)

I_0 คือโมเมนต์ความเฉื่อยของคานไม้แต่ละชิ้น

E คือโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้

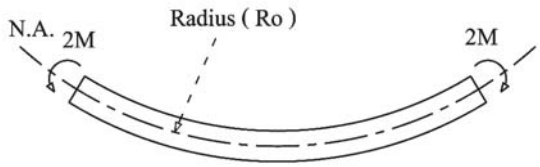
3.1.2 สภาพหลังการติดกาว

หลังจากทากาว ทิ้งให้กาวแห้งและเอาแรงดัดที่กระทำค้างจากภายนอกออกโดยไม่ถือว่าเกิดการคืบในช่วงสั้น หน่วยแรงภายในที่เกิดจากโมเมนต์ภายนอก 2M จะพยายามดัดกลับคานรวมทั้งหมดดังภาพที่ 5 โดยที่

โมเมนต์ที่ดัดคานประกบ = 2M

โมเมนต์ความเฉื่อย I_G =โมเมนต์ความเฉื่อยของไม้ 2 ชิ้นประกบกัน =

$$\frac{1}{12} = b(2h)^3 = \frac{1}{12} bh^3 + 8 = \frac{8}{0}$$



ภาพที่ 5 สภาพหลังการติดกาวของคานไม้ 2 ชิ้น

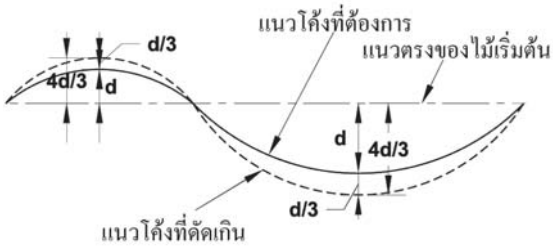
คานไม้เมื่อมีการติดกาวแล้วจะทำให้เป็นชิ้นเดียวกัน โดยมีโมเมนต์ความเฉื่อยเป็นแปดเท่าของไม้แต่ละชิ้น การดัดกลับของคานไม้จะเป็นพฤติกรรมของคานโค้งแต่ในการศึกษาครั้งนี้ได้ตั้งสมมติฐานให้เป็นคานตรง ดังนั้นการดัดคืนของคานไม้มีค่าเท่ากับ

$$\frac{1}{R_0} = \frac{(2M)}{E(8I_0)} = \frac{M}{4EI_0} = \frac{M/4}{EI_0} \qquad (2)$$

เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ (1) และ สมการที่ (2) จะเห็นว่าเมื่อดัดด้วยโมเมนต์ดัด M แล้วจะมีการคืนตัวด้วย M/4 ดังนั้นถ้าจะดัดให้ได้ความโค้งตามที่ต้องการจะต้องดัดเกินโดย

$$M_E - \frac{M_E}{4} = M \quad \text{ดังนั้น} \quad M_E - \frac{4}{3} = M \qquad (3)$$

เมื่อ M_E คือโมเมนต์ดัดที่ต้องใช้ในการดัดเผื่อการคืนตัวและเมื่อพิจารณาสมการที่ (1) จะพบว่าโมเมนต์ดัดกับระยะเสียรูปต่าง ๆก็เป็นสัดส่วนตรงต่อกันซึ่งสามารถนำความสัมพันธ์นี้ไปใช้กับโครงสร้างที่มีหลายโค้ง โดยถ้าต้องการได้โค้งตามที่ต้องการ ต้องดัดโค้งโครงสร้างดังกล่าวให้โค้งเกินไปเป็นระยะ 4/3 เท่าของเส้นแนวโก่งตัว (Deflection Profile) ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงแนวโค้งที่ดัดเกินของโครงสร้างที่มีหลายโค้ง

3.2 พฤติกรรมการดัดโค้งของคานไม้อัดกาว n ชิ้น

จากแนวคิดของคานไม้ที่ติดกาว 2 ชั้นดังกล่าว ดังนั้นถ้าจำนวนชั้นที่ใช้เป็น n ชั้น จะได้สูตรดังต่อไปนี้

$$I_G = \frac{1}{12}b(nh)^3 = \frac{1}{12}bh^3n^3 = n^3I_0$$

$$\text{และ} \quad \frac{1}{R_0} = \frac{(nM)}{E(n^3I_0)} = \frac{M}{n^2EI_0} = \frac{M/n^2}{EI_0} \qquad (4)$$

$$\text{จะได้ว่า} \quad M_E - \frac{M_E}{n^2} = M$$

$$\text{ดังนั้น} \quad M_E = \left(\frac{n^2}{n^2-1}\right)M \qquad (5)$$

สมการที่ (5) สามารถนำไปใช้หาระยะดัดโค้งเกินของไม้ที่มีจำนวนชั้นเป็น n ได้ โดยใช้ค่าตัวคูณเพิ่มระยะ ดัดโค้ง (Offset Factor; O.F.) ดังนี้

$$\text{ตัวคูณเพิ่มระยะดัดโค้ง (Offset Factor)} = \frac{n^2}{n^2-1}$$

จากสูตรตัวคูณเพิ่มดังกล่าวสามารถนำไปหาค่าตัวคูณเพิ่มระยะดัดโค้ง (Offset Factor) ของคานไม้อัดกาวที่มีจำนวนชั้นต่าง ๆได้ ตามตารางที่ 1 ซึ่งจะเห็นว่าถ้าจำนวนชั้นยิ่งมาก ตัวคูณเพิ่มระยะดัดโค้งก็ยิ่งน้อยลงนั่นคือไม้อัดกาวที่มีจำนวนชั้นมาก ๆ การดัดคืนแทบจะไม่มีเลย

ตารางที่ 1 แสดงค่าตัวคูณเพิ่มระยะดัดโค้ง (Offset Factor) ของคานไม้อัดกาวที่มีจำนวนชั้นต่าง ๆ

จำนวนชั้น	2	3	4	5	6
O.F.	4/3	9/8	16/15	25/24	36/25
	1.3333	1.1250	1.0667	1.0417	1.0286
จำนวนชั้น	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
O.F.	49/48	64/63	81/80	100/99	121/120
	1.0208	1.0159	1.0125	1.0101	1.0083
จำนวนชั้น	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**
O.F.	144/143	169/168	196/195	225/224	256/255
	1.0070	1.0060	1.0051	1.0045	1.0039
จำนวนชั้น	**17**	**18**	**19**	**20**	
O.F.	289/288	324/323	361/360	400/399	
	1.0035	1.0031	1.0028	1.0025	

วิธีการวิจัย

การทดสอบมี 2 ส่วนได้แก่การทดสอบการดัดโค้งและการคืนตัวและการทำวงกบประตูโค้งจากไม้อัดกาว

1. วิธีการทดสอบการดัดโค้งและการคืนตัว

การทดสอบคุณสมบัติการดัดโค้งของคานไม้อัดกาว เป็นการทดสอบเพื่อต้องการวัดการคืนตัวของไม้หลังจากทากาวแล้วอัดให้โค้ง ทิ้งไว้ให้แห้งแล้วปล่อยให้คืนตัวอย่างอิสระ เพื่อให้ทราบการคืนตัวของคาน ไม้อัดกาวในรูปของตัวคูณเพิ่มระยะดัดโค้ง

1.1 วัสดุที่ใช้ทดสอบ

ในการทดสอบครั้งนี้ใช้ไม้ 3 ชนิดได้แก่ ไม้ตะเคียนทอง ไม้ประดู่ และไม้เร็ดไพน์ (Red Pine :ไม้ตระกูลสนของสวีเดนและประเทศแถบสแกนดิเนเวีย) ขนาด 0.0125x0.045x1.7 ม. จำนวนชนิดละ 87 แผ่น เพื่อประกอบเป็นคานไม้อัดกาวที่มีจำนวน 2, 3, 4, 6, 8, 10, 14 และ20 ชั้นตามลำดับ รวมคานตัวอย่างทั้งหมด 42 ชุด โดยตัวอย่างดังกล่าวได้คัดเลือกจากไม้ที่มีความสมบูรณ์ ไม่แตกหักและไม่ผ่านการใช้งานมาก่อน ตัดและใสให้ ผิวเรียบเสมอกันทุกด้านเพื่อให้สามารถนำไปติดกาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วิธีการทดสอบ

1. เตรียมตัวอย่างแผ่นไม้เพื่อประกอบเป็นคานดังตารางที่ 2 ไสผิวหน้าไม้ให้เรียบและเสมอตลอดความยาวไม้ โดยไม้แต่ละชิ้นควรมีความชื้นต่างกันไม่เกิน 5% (U.S. Department of Agriculture [USDA], 1999)

2. นำชิ้นไม้มาทากาวโดยใช้แปรงหรือลูกกลิ้งในปริมาณที่ผู้ผลิตกาวแนะนำ การทากาวกระทำในวันเดียวกับการเตรียมไม้หรือภายในระยะเวลาไม่เกิน 24 ชั่วโมง และทา 2 ด้าน ดังภาพที่ 7

3. นำชิ้นไม้ที่ทากาวแล้วมาประกบติดกันแต่ยังไม่อัดทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที เพื่อให้กาวซึมซาบลงไปในเนื้อไม้

4. นำตัวอย่างดังกล่าวไปวางบนแท่นทดสอบที่ติดตั้งแม่แรงยาวที่ได้เตรียมไว้ โดยมีไม้รองอัดขนาดเท่ากับตัวอย่างรองอยู่ด้านนอก รัศมีดัดโค้งของเฟรมโค้งที่ใช้

ภาพที่ 7 แสดงการทากาวตัวอย่าง

คำนวณมาจากข้อแนะนำของ AF&PA (American Forest and Paper Association [AF&PA], 1991) ซึ่งมีค่ารัศมีเท่ากับ 1.5625 ม.

5. ขันแม่แรงที่ติดตั้งบนแท่นทดสอบจนแน่นจึงหยุด ใช้ปากกาจับไม้ยึดตัวอย่างให้แน่นและเพียงพอ (ถ้าหนามาก ๆจะใช้แม่แรงยาวยึดด้วย) แล้วทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 24 ชม. ดังภาพที่ 8

6. เมื่อครบระยะเวลาที่กาวแห้งแล้ว ก่อนการถอดตัวอย่างออกให้วัดค่าระยะออฟเซตระหว่างแกนสะเทินโค้ง และแกนสะเทินเริ่มต้นของตัวอย่างทดสอบดังภาพที่ 9

7. เมื่อวัดระยะออฟเซตเริ่มต้นแล้วทำการถอดตัวอย่างออกเพื่อให้ตัวอย่างได้มีการคืนตัวอย่างอิสระ โดยการคลายแม่แรงทีละตัวจนสามารถถอดตัวอย่างออกมาได้

ภาพที่ 8 แสดงตัวอย่างที่อัดแล้วเสร็จและยึดไว้แล้ว

8. เมื่อถอดตัวอย่างออกมาแล้วให้วางบนพื้นราบเสมอกันแล้ววัดระยะออฟเซตทันทีที่ถอด และที่เวลา 5, 10, 30 นาที 1 ชม. 1, 2, 3 วัน

ภาพที่ 9 แสดงการวัดระยะออฟเซตเริ่มต้น

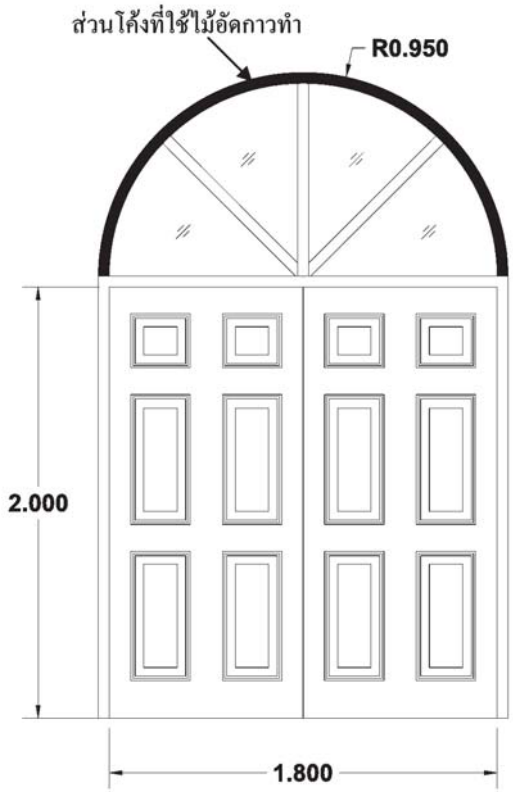
9. นำตัวอย่างที่ถอดออกมาไปไสให้เรียบเพื่อสังเกตลักษณะการทากาว ดังภาพที่ 10 หลังจากนั้นให้วัดระยะออฟเซตพร้อมบันทึกผลต่อไปที่ 7, 14, 21, 30, 60, 90, 120 วัน

10. ในตัวอย่างทดสอบส่วนที่เหลือให้ทำตามขั้นตอนที่ 1. – 9.

ภาพที่ 10 แสดงตัวอย่างคานไม้อัดกาวที่ไสแล้ว

2. วิธีการทำวงกบประตูโค้งจากไม้อัดกาว

เป็นการทดลองนำไม้อัดกาวไปใช้ในงานอุตสาหกรรมไม้แปรรูป โดยใช้ทำส่วนโค้งของวงกบประตูดังภาพที่ 11 ลองทำวงกบประตูโค้งรัศมีภายใน 0.95 ม.โดยใช้ไม้ตะเคียนทองขนาด 0.008 x 0.045 x 3 ม. ติดกาว 6 ชั้น วงกบรัศมี 0.95 ม.และไม้ประดู่ขนาด 0.006 x 0.045 x 2 ม. ติดกาว 8 ชั้น



ภาพที่ 11 แสดงการนำไม้อัดกาวมาทำส่วนโค้งวงกบโค้ง

2.1 วิธีการทดสอบ

1. เตรียมตัวอย่างใช้ไม้ตะเคียนทองขนาด 0.008 x 0.045 x 3 ม. 6 ชิ้น และไม้ประดู่ขนาด 0.006 x 0.045 x 2 ม. 8 ชิ้น

2. ทำตามขั้นตอน 2. ถึง 10. ในหัวข้อ 1.2 การยึดตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 12

ภาพที่ 12 แสดงการยึดตัวอย่างวงกบประตูโค้ง

ผลการวิจัย

1. ผลการทดสอบการดัดโค้งและการคืนตัวของคาน ไม้อัดกาว

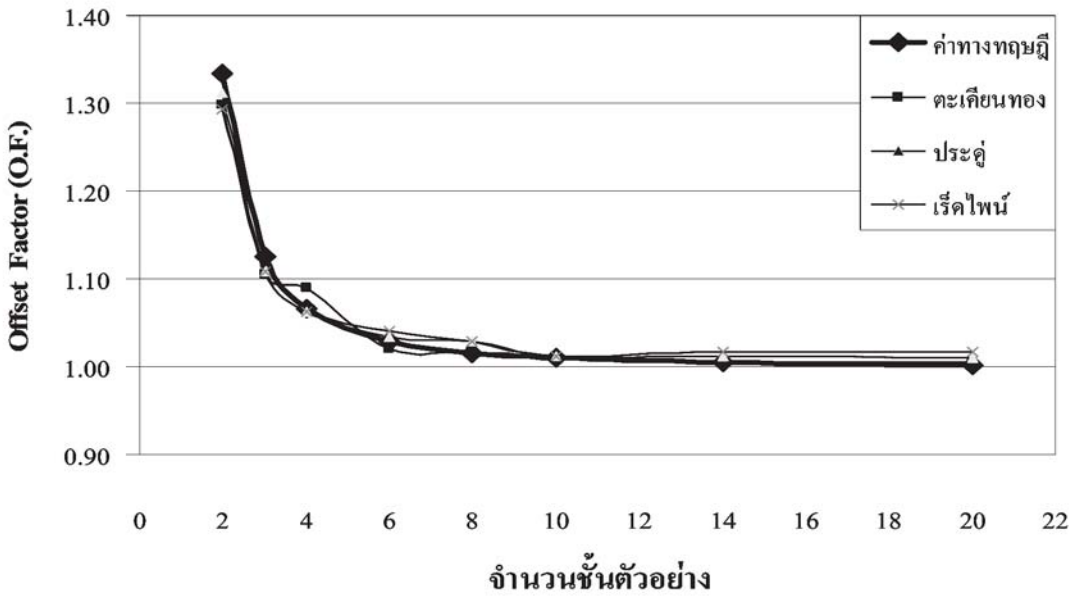
ผลการทดสอบสามารถเปรียบเทียบค่าตัวคูณเพิ่มระยะดัดโค้งทางทฤษฎีกับค่าที่ทดสอบได้ แสดงดังตารางที่ 3 และภาพที่ 13 และค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของตัวคูณเพิ่มระยะดัดโค้ง (O.F.)ของไม้ทั้ง 3 ชนิด ได้ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 แสดงค่าตัวคูณเพิ่มระยะดัดโค้งที่ทดสอบได้ของไม้ 3 ชนิดกับค่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎี

จำนวนชั้น	ค่า Offset factor			
	ทฤษฎี	ตะเคียนทอง	ประดู่	เร็ดไพน์
2	1.3333	1.2986	1.3117	1.2929
3	1.1250	1.1047	1.1084	1.1081
4	1.0667	1.0893	1.0620	1.0633
6	1.0286	1.0202	1.0341	1.0408
8	1.0159	1.0172	1.0284	1.0287
10	1.0101	1.0114	1.0114	1.0113
14	1.0051	1.0056	1.0111	1.0169
20	1.0025	1.0054	1.0109	1.0167

2. ผลการลองทำโค้งวงกบประตู

หลังจากได้ทดลองทำวงกบประตูโค้งรัศมีภายใน 0.95 ม. โดยใช้ไม้ตะเคียนทองขนาด 0.008 x 0.045 x 3 ม. ติดกาว 6 ชั้น ผลปรากฏว่าค่าคลาดเคลื่อนของตัวคูณเพิ่มระยะดัดโค้งเท่ากับ 1.27% และวงกบรัศมี 0.95 ม. โดยใช้ไม้ประดู่ขนาด 0.006 x 0.045 x 2 ม. ติดกาว 8 ชั้น ผลปรากฏว่าค่าคลาดเคลื่อนของตัวคูณเพิ่มระยะดัดโค้งเท่ากับ 0.88% ตัวอย่างหลังจากไสให้เรียบแล้วแสดงดังภาพที่ 14 (ก)-(ข) และยังสามารถนำมาคำนวณหาความหนาที่เหมาะสมในการนำไปทำวงกบประตูโค้งและอัตราส่วนปลอดภัยได้ดังตารางที่ 5



ภาพที่ 13 เปรียบเทียบค่าตัวคูณเพิ่มระยะตัดโค้งของไม้ทั้ง 3 ชนิดกับค่าทางทฤษฎี

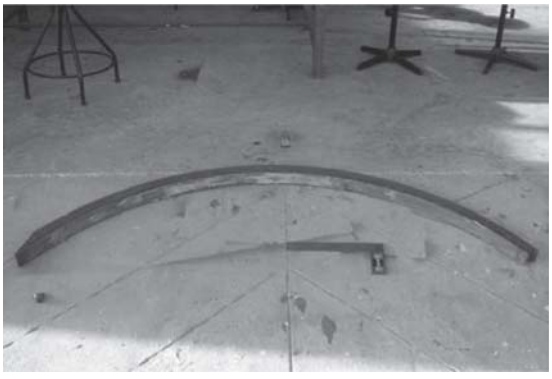
ตารางที่ 4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนเฉลี่ยของตัวคูณเพิ่มระยะดัดโค้งของไม้ทั้ง 3 ชนิด

จำนวนชั้น	เปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนเฉลี่ย		
	ตะเคียนทอง	ประดู่	เร็ดไพน์
2	2.61	1.62	3.03
3	1.81	1.48	1.50
4	-2.12	0.44	0.32
6	0.82	-0.54	-1.18
8	-0.13	-1.23	-1.27
10	-0.12	-0.12	-0.12
14	-0.05	-0.60	-1.18
20	-0.29	-0.84	-1.41
% ความชื้นเฉลี่ย	**11.3**	**7.5**	**8.3**

ตารางที่ 5 แสดงความหนาและจำนวนชั้นที่เหมาะสมของไม้ตะเคียนทองและไม้ประดู่ในการทำวงกบโค้ง

รัศมีโค้ง	ตะเคียนทอง			ประดู่		
	ความหนา (ซม.)	จำนวนชั้น	F.S.	ความหนา (ซม.)	จำนวนชั้น	F.S.
R95 cm.	0.9	5	1.76	1	5	1.86
	0.8	6	1.98	0.9	5	2.07
	0.7	7	2.26	0.8	6	2.33
	0.6	8	2.64	0.7	7	2.66
	0.5	10	3.17	0.6	8	3.10
R50 cm.	0.6	8	1.39	0.6	8	1.63
	0.5	10	1.67	0.5	10	1.96
	0.4	12	2.08	0.4	12	2.45

(ก) วงกบโค้งไม้ตะเคียนทองที่ทำจากไม้อัดกาว



(ข) วงกบโค้งไม้ประดู่ที่ทำจากไม้อัดกาว

ภาพที่ 14 แสดงตัวอย่างวงกบโค้งที่ทำจากไม้อัดกาว
(ก) วงกบโค้งไม้ตะเคียนทองที่ทำจากไม้อัดกาว
(ข) วงกบโค้งไม้ประดู่ที่ทำจากไม้อัดกาว

สรุปผลการวิจัย

1. ค่าคลาดเคลื่อนของตัวคูณเพิ่มระยะดัดโค้งของไม้แต่ละชนิดมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนชั้นที่ติดกาวมากขึ้น โดยที่ค่าคลาดเคลื่อนของตัวคูณเพิ่มระยะดัดโค้งที่เกิดมากที่สุด เกิดที่ไม้เร็ดไพน์และไม้ตะเคียนทองมีค่าเท่ากับ ๓3.03% และ-2.12% ตามลำดับ หรือคิดเป็น ๓3%

2. ระยะการคืนจะเกิดมากทันทีที่คลายตัวอย่าง หลังจากนั้นระยะการคืนตัวที่เกิดจะมีค่าน้อยมาก หรือไม่เกิดเลย

3. ค่าตัวคูณเพิ่มระยะดัดโค้งของไม้ทั้ง 3 ชนิด ที่ได้จากการทดสอบเมื่อพิจารณาจากภาพที่ 12 แล้ว มีค่าใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎี ดังนั้นค่าตัวคูณเพิ่มระยะดัดโค้งที่คำนวณได้จากทางทฤษฎีสามารถนำไปใช้งานได้

4. เมื่อนำไม้ตะเคียนทองจำนวน 6 ชั้น หนาชั้นละ 0.8 ซม. ทำวงกบรัศมีโค้ง 95 ซม.ให้ค่าอัตราส่วนปลอดภัยเท่ากับ 1.98 สามารถดัดโค้งวงกบประตูได้ตามต้องการโดยไม้ไม่แตกหัก ใช้ไม้ประดู่จำนวน 8 ชั้นหนาชั้นละ 0.6 ซม. ทำส่วนวงกบรัศมีโค้ง 95 ซม. ให้ค่าอัตราส่วนปลอดภัยเท่ากับ 3.10 สามารถดัดโค้งวงกบประตูได้ตามต้องการโดยไม้ไม่แตกหัก

อภิปรายผลการวิจัย

1. ถึงแม้จะมีค่าคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ ±3% แต่ค่าคลาดเคลื่อนเมื่อคิดเป็นระยะมีค่าในระดับมิลลิเมตรหรือน้อยกว่า ซึ่งถือว่ามีค่าน้อยมากในงานไม้ ดังนั้นค่าตัวคูณเพิ่มระยะดัดโค้งที่คำนวณได้จากทางทฤษฎีสามารถนำไปใช้งานได้

2. ตัวอย่างทดสอบที่มีจำนวนชั้นติดกาวเพิ่มมากขึ้นจะมีค่าการคืนตัวน้อยลง และจะมีค่าน้อยลงเมื่อจำนวนชั้นมากขึ้น เมื่อนำไปใช้งานจริงถ้าใช้จำนวนชั้นติดกาวมาก ๆ ก็ไม่จำเป็นต้องเผื่อระยะดัดโค้ง

3. ถึงแม้ว่าไม้เนื้อแข็งจะสามารถดัดโค้งได้มากกว่า แต่จะดัดได้ยากกว่าในความหนาที่เท่า ๆกับไม้เนื้อแข็ง ปานกลาง ดังนั้นในการนำไปทำวงกบโค้งประตูโค้งจึงต้องลดความหนาของไม้เนื้อแข็งที่ใช้ลง

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ในการนำผลการวิจัยครั้งนี้ไปใช้ในการทำส่วนโค้งวงกบ ควรเลือกใช้ความหนาของตัวอย่างให้เหมาะสมกับชนิดของไม้และรัศมีโค้ง

2. ไม้ตะเคียนทองหนา 8 ม.ม. ติดกาว 6 ชั้น สามารถดัดโค้งได้รัศมี 0.95 ม. แต่ถ้าใช้ไม้ประดู่ต้องลดความหนาลงเหลือ 6 ม.ม.ติดกาว 8 ชั้น ดัดโค้งได้รัศมี 0.95 ม. เหมาะแก่การนำไปใช้งานจริง

3. ในการทำวงกบโค้งจริงไม่จำเป็นต้องใช้ไม้ยาว อาจใช้ไม้สั้นมาทำโค้ง 1/4 ของวงกลม 2 ชิ้นมาต่อกันได้โค้งครึ่งวงกลม ทำให้ประหยัด

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ตัวอย่างทดสอบที่เกิดรอยแตกที่รอยต่อกาวส่วนใหญ่เป็นตัวอย่างไม้ที่มีความชื้นสูง ดังนั้นควรใช้ตัวอย่างที่มีความชื้นที่เหมาะสมตามกำหนด

2. เนื่องจากกาวที่ใช้มีราคาค่อนข้างแพง ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูง งานวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาถึงจำนวนชั้นที่เหมาะสมในการผลิตวงกบโค้งที่ทำจากไม้อัดกาว รวมทั้งความเป็นไปได้ในการผลิตใช้งานจริง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

บุญนำ เกี่ยวข้อง. 2528. ไม้ประกับสำหรับโครงสร้าง (Structural Glued-Laminated Timber). เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการเรื่องการใช้ไม้ในการก่อสร้าง, กรุงเทพฯ.

วรธรรม อุ่นจิตติธรรม. 2545. ความรู้ทั่วไปในการใช้กาวกับงานไม้. เอกสารประกอบการสัมมนาเชิงวิชาการเรื่องกาวกับการใช้งานโรงงานอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้, กรุงเทพฯ.

สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้. 2548. โครงการพัฒนากาวติดไม้. ค้นเมื่อ 2 กรกฎาคม 2548,จาก http://www.forest. go.th/ forprod/ ContractUs/org/details/wcs/adhesiveweb.

American Forest and Paper Association. 1991. NDS Commentary. Retrieved June 30, 2005, from: http://www.awc.org/pdf/ NDSCommentary. Compressed/Part05StructuralGluedLaminatedpp 74to84.pdf.

Andres, C., Smith, R. 2002. Principles and Practices of Commercial Construction. 6 th edition. U.S.A. : prectice hall.

Glued Laminated Timber Association. 2005. Glulam product. Retrieved June 30,2005, from: http://www.glulam.co.uk/ framesetGlulam.htm.

Vadhanavikkit, C. 2005. Lecture Note on Non-Cement Based Construction Materials. Faculty of Engineering Khon Kaen University Thailand: [unpublished].