

낙엽송 부재의 이중 전단 볼트 접합부 강도 성능*¹

박 천 영*^{2†} · 김 광 모*² · 이 전 제*²

Strength Property of Double Shear Bolted-Connections of Larch*¹

Chun-Young Park*^{2†} · Kwang-Mo Kim*² · Jun-Jae Lee*²

요 약

본 연구에서는 국산 낙엽송 부재를 이용한 이중 볼트 전단 접합부의 성능을 평가하였다. 주부재로 두께 39 mm, 89 mm, 139 mm, 189 mm로 제재된 국산 낙엽송 제재목과 국산 낙엽송으로 제조된 두께 80 mm, 140 mm, 170 mm 집성재를 사용하였으며, 측면 부재로는 동일 두께의 제재목과 6 mm 철판을 사용하였으며, 접합 철물로는 M12, M16, M20 볼트를 사용하였다. 접합부에 대한 하중 방향은 주부재와 측면 부재의 목리 경사에 대해 수직, 수평한 경우에 대하여 실시하였다. 다우얼 지압 강도 실험을 통해 부재의 다우얼 지압 강도를 산출하고, 볼트 휨 실험을 통해 볼트의 휨 강도를 구한뒤, 최종 볼트 접합부 실험을 통해 접합부 성능을 평가하였으며, 최종 결과는 EYM (European Yield Model)을 사용한 계산값과 비교 평가하였다.

연구 결과 국산 낙엽송 부재의 이중 전단 볼트 접합부 성능은 EYM을 사용하여 얻어진 계산값과 비교하였을 때 그에 상응하거나 그 이상임을 알 수 있었으며, 특히 측면 부재가 제재목인 경우는 거의 일치함을 알 수 있었다. 파괴 모드는 웅이나 건조 결함 등의 영향을 많이 받으며 주부재의 두께가 작을 경우는 mode I, 주부재가 커짐에 따라 mode III으로 옮겨감을 알 수 있었다.

ABSTRACT

This study was carried out to evaluate the structural property of double shear bolted connections in Korean Larch. For the main member, sawn lumber and Glulam were used in which thickness of lumber is 39 mm, 89 mm, 139 mm, 189 mm and Glulam 80 mm, 140 mm, 170 mm. For the side member, sawn lumber and steel plate were used in which thickness of lumber is the same of the main member and steel plate is 6mm. And connections were jointed by M12, M16, M20 bolts which were usually used for wood constructions in Korea. Directions of loading to connections were perpendicular and parallel to

*¹ 접수 2004년 8월 31일, 채택 2004년 11월 22일

*² 서울대학교 농업생명과학대학 College of Agriculture & Life Science, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

† 주저자(corresponding author) : 박천영(e-mail: bunny119@hanmail.net)

grain of main and side member. First, through the dowel bearing test, the dowel bearing strength was evaluated and through the bolt bending tests, the bolt bending strength was evaluated. And then experiments for the connection were performed. Obtained results from experiments were compared with calculated values by EYM and analyzed.

Strength of double shear bolted connections in Korean Larch was similar or higher than calculated value by EYM. Especially when the side member was made by the sawn lumber, it was similar to the calculated value. In failure mode, the mode was effected by the knot and the dry defect. In the thin main member, it was shown mode I and as the thickness of the main member was thicker, it was changed into mode III.

Keywords: EYM (European Yield Model), double shear bolted connection, dowel bearing test

1. 서 론

목구조물의 구조 성능은 그것을 이루고 있는 가로 세로의 각 부재와 접합부로 나누어 평가될 수 있다. 각각의 부재 성능은 부재의 종류와 치수, 용도에 따라서 휨, 압축 강도가 평가되어지며, 설계 시 반영되게 된다. 특히 목재는 재료 자체가 가지는 용이, 활렬, 목리 경사 등의 영향을 크게 받는다(Donald, E. B. *et al.*, 1998). 외국의 경우 다양한 수종과 치수에 따른 설계 기준이 마련되어 있으며, 국내의 경우도 국산재에 대한 산림청 고시가 있으며, 지속적인 연구가 수행되고 있다. 그러나 국산재를 이용한 접합부에 대한 연구는 미비하며, 특히 부재에 대한 목리방향, 각 부재의 치수, 부재를 구성하는 재료에 따른 정확한 평가는 미비한 상태이다.

목재의 접합부에 대한 강도 성능의 평가는 항복이론(Johanson, K.W., 1949)에 기초하고 있다. 이는 하중 방향에 따른 접합 철물의 강도와 부재의 밀도에 따른 지압강도(Dowel Bearing Strength)를 바탕으로 역학적인 성능을 계산하는 것이다. 이는 접합 철물의 거동 형태나 부재의 파괴(Crushing) 위치에 따라서 다양한 파괴 모드(Failure Mode)를 가지게 된다(McLain, T.E. & Thangjitham, S., 1983). 이러한 이론에 대한 검증은 여러 연구자들에 의해 시도되었으며 만족할 만한 결과를 얻었으며, 실제 설계 시에 반영할 수 있도록 기준으로 채택되어 사용되고 있다. 그러나 하중 방향이 섬유 방향과 수직을 이루게 될 경우

에는 접합부 자체의 성능보다는 목재의 활렬 등의 결합과 측면거리(Edge Distance)와 끝면 거리(End Distance)에 의해서 큰 영향을 받는 것으로 보고되었다(T. L. Wilkinson, 1992).

국산재의 경우 90년대 이후 부재의 성능 평가를 위한 다양한 연구가 진행되어 왔다. 그러나 주로 다양한 수종들에 대한 성능을 평가하기 위한 연구가 주류를 이루었다. 목구조물의 경우 실제 구조물의 성능을 좌우하는 큰 요소 중의 하나가 접합부의 거동을 예측하고 평가하는 것이다. 따라서 국산재를 이용한 다양한 형태의 접합부를 평가하는 것은 매우 중요한 일이다. 특히 대단면을 요구하는 건축 현상을 감안 할 경우 집성재를 사용한 접합부, 철판을 사용한 접합부에 대한 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 국산재의 효율적인 이용을 위하여 국산재 중 이용가치가 높은 낙엽송 부재에 대하여, 주요 구조부를 형성하고 있는 볼트 접합부의 강도 성능을 평가하였다. 접합부를 집성재와 제재목, 철판으로 조합하고 부재의 두께와 하중 방향에 따라서 다양한 성능 평가 실험을 진행하였고, 이를 각국에서 설계 기준으로 채택하고 있는 NDS (National Design Specification)와 비교하기 위하여 EYM (European Yield Model)을 사용하여 비교 분석하였으며, 실험이 완료된 접합부 시편들에 대한 절단 및 육안 확인을 통하여 파괴 모드 분석을 하여 최종 국산재의 이종 전단 볼트 접합부의 성능을 평가하였다.

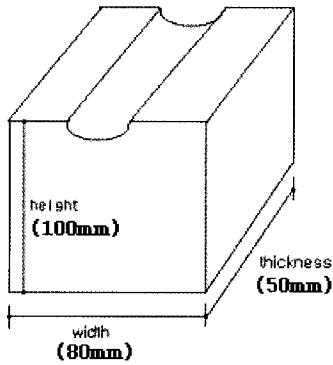


Fig. 1. Specimen for dowel.

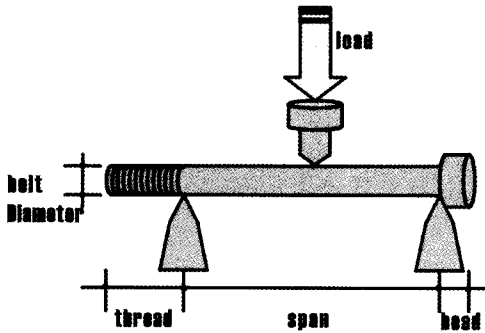


Fig. 2. Bolt bending test.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시 재료

본 연구에서 사용된 시편의 수종은 낙엽송(*Larix leptolepis*)이다. 모든 부재는 건조기를 이용하여 함수율을 18% 이하로 건조하였으며, 제재목 폭은 접합부의 측면과 끝면 길이를 고려하여 156 mm로 하였고 두께는 39 mm, 89 mm, 139 mm, 189 mm로 하였으며, 집성재는 전문 제조 업체(경민산업(주))를 통하여 폭이 200 mm이고 두께가 80 mm, 140 mm, 170 mm로 제조하였다. 또한 철판은 NDS를 참조하여 가장 보편적으로 사용되어지고 있는 6 mm로 하였고, 각 접합부 조합에 맞게 주문 절단하였다. 접합 철판은 국내 기준에 맞도록 M12, M16, M20볼트를 사용하였으며 각 조합의 두께에 맞도록 별도 가공하였다.

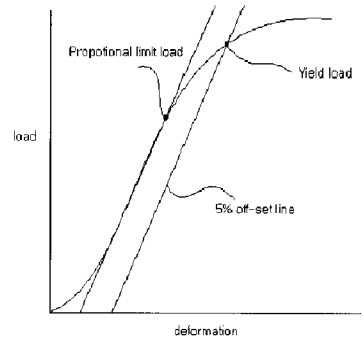


Fig. 3. Load-deflection curve.

2.2. 실험 방법

2.2.1. 다우얼 지압 강도 평가

다우얼 지압 강도는 ASTM5764에 따라 제재목과 집성재에 대하여 실험을 진행하였으며, 하중 방향은 하중이 목리에 평행하게 작용할 때와 목리에 직각 방향으로 작용할 때로 구분하였으며, 목리에 직각방향일 때는 3종류의 볼트에 대해서 실시하였다. 측정되어질 시편은 반원형 구멍을 매끄럽게 뚫고, Fig.1과 같이 볼트 산이 걸리지 않게 얹어 놓은 후 1.5 mm/min으로 하중을 가하여 볼트가 시편에 반쯤 잠기어 부재 자체의 압축 실험이 시작되기 직전에 종료한 후 얻어진 하중-변위 곡선에서 5% off-set line을 구하고 이 곡선과 교차점에서 항복하중을 산출하며, (볼트지름×시편 폭)으로 나누어 강도를 산출하였다 (Fig. 3).

$$\text{Dowel bearing strength} = \frac{P}{D \cdot t}$$

여기서, P는 항복 하중이며, D는 볼트 지름, t는 시편의 폭이다.

2.2.2. 볼트 휨 강도 측정

볼트의 휨강도의 측정은 ASTM F1575에 준하고 T. L. Wilkinson의 볼트 휨 실험에 따라 진행하였다. 볼트를 두 지점 사이 거리가 200 mm가 되도록 거치하고 중앙에 하중을 가하여 하중 변위 곡선을 얻었다.

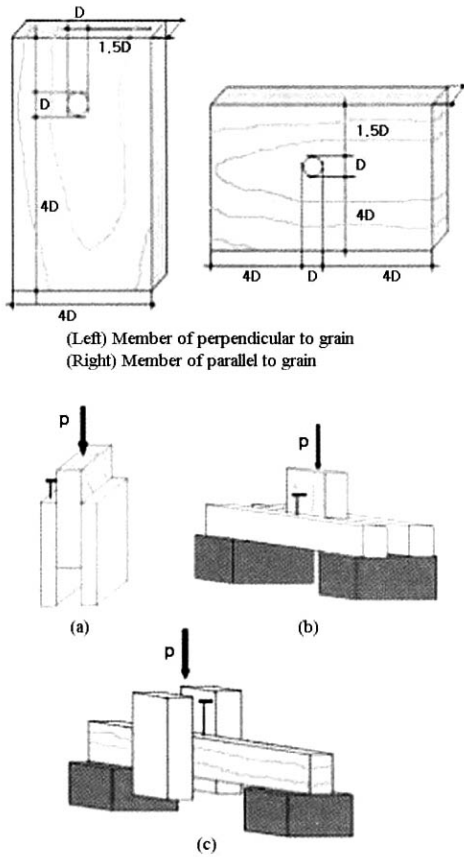


Fig. 4 Dimension and shape of double shear bolted connection.

이 때 볼트의 산 부분이 걸쳐지지 않도록 하였다. 얻어진 하중-변위 곡선으로부터 5% off-set line을 적용하여 항복 하중을 구하고, 다음의 식으로부터 볼트의 휨 강도를 측정하였다(Fig. 3).

$$\text{Bending yield strength of bolt} = \frac{1.5PL}{D^3}$$

여기서, P는 항복하중이며, L은 지간 거리, D는 볼트 지름이다.

2.2.3. 접합부 강도 실험

접합부의 성능평가를 위한 실험은 ASTM D1761에

따라서 두 개의 측면부재와 하나의 주부재로 이루어지는 이중 전단 접합부를 형성하여 실시하였다. 각 접합부의 주부재는 제재목과 집성재를 사용하였으며, 제재목의 경우 39 mm, 89 mm, 139 mm, 189 mm의 두께를, 집성재의 경우는 80 mm, 140 mm, 170 mm 두께를 각각 사용하였다. 측면부재는 각각의 주부재에 39 mm, 89 mm 두께의 제재목과 6 mm 철판을 사용하였다(Fig. 4). 각 시편은 NDS에서 제시하고 있는 끝면 거리와 측면 거리를 고려하여 제작하였으며, 볼트 구멍은 단면을 매끄럽게 하기 위하여 드릴 속도는 느리게 하고 회전 속도는 빠르게 하여 뚫었으며, 사용될 볼트 지름보다 0.8 mm 크게 뚫었다. 하중 속도는 1.5 mm/min로 하였고, 하중과 변위를 각각 다른 입력 장치를 통하여 측정하였다. 최대하중에 도달하거나 변위가 15 mm에 도달할 때 실험을 종료하였고, 각각의 데이터를 조합하여 하중-변위 곡선을 얻고, 5% off-set line (Fig. 3)을 이용하여 구하였다.

2.2.4. 접합부 성능 예측

구조 설계시 접합부 설계는 NDS를 기본으로 한 KS 기준이 사용되어지고 있다. NDS는 EYM을 기본으로 사용하며 본 연구에서는 EYM 식을 이용하여 예측치를 산출하였다. EYM은 접합부에 따라서 4가지 파괴 모드를 가지며, 각각의 모드별로 계산되어지는 설계값 중 가장 작은 값을 해당 접합부의 설계값으로 사용하게 된다. 구체적인 계산식은 다음과 같다.

$$\text{I}_m \quad Z = \frac{D t_m F_{em}}{400 K_\theta}$$

$$\text{I}_s \quad Z = \frac{D t_s F_{es}}{400 K_\theta}$$

$$\text{III}_m \quad Z = \frac{k_2 D t_m F_{em}}{320 K_\theta (1 + 2 R_e)}$$

$$\text{IV} \quad Z = \frac{D^2}{320 K_\theta} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3(1 + R_e)}}$$

여기서,

D = 파스너의 직경, mm

F_{em} = 주부재 다우얼 지압 강도, kgf/cm²

F_{es} = 측면 부재의 다우얼 지압 강도, kgf/cm²

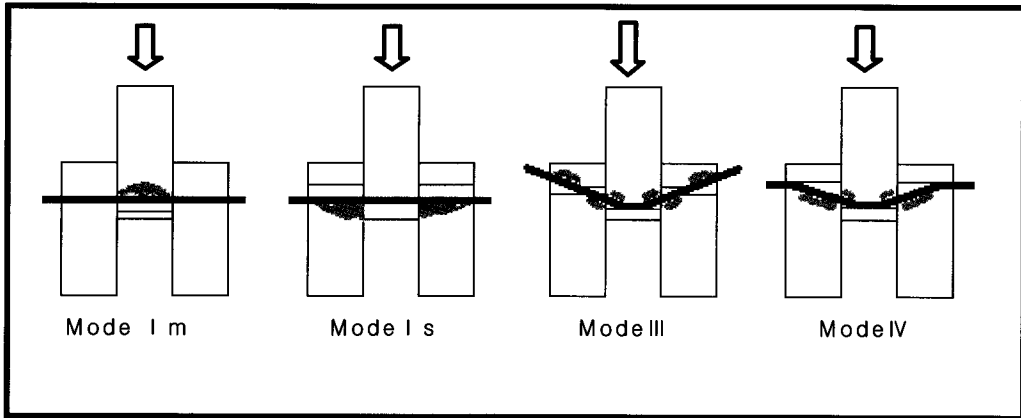


Fig. 5. Failure mode of EYM.

Table 1. EYM prediction types for input variables

	dowel bearing strength	bolt bending strength
A	calculation value (NDS)	calculation value (NDS) ¹⁾
B	calculation value (NDS)	experimental value
C	experimental value	experimental value
D	experimental value	calculation value (NDS)

¹⁾ bolt bending strength in NDS: 310,050 kPa (45,000 psi)

$$F_{e\parallel} = \text{목재의 목리에 평행한 다우얼 지압 강도} \\ = 790G, \text{ kgf/cm}^2$$

$$F_{e\perp} = \text{목재의 목리에 수직인 다우얼 지압 강도} \\ = \frac{2.160 G^{1.45}}{\sqrt{D}}, \text{ kgf/cm}^2$$

$$F_{yb} = \text{파스너의 휨 강도, kgf/cm}^2$$

$$k_1 = \frac{\sqrt{R_e + 2R_e^2(1 + R_t + R_t^2) + R_t^2 R_e^3} - R_e(1 + R_t)}{(1 + R_e)}$$

$$k_2 = -1 + \sqrt{2(1 + R_e) + \frac{2 F_{yb}(1 + 2 R_e) D^2}{3 F_{em} t_m^2}}$$

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{2 F_{yb}(2 + R_e) D^2}{3 F_{em} t_s^2}}$$

$$K_\theta = 1 + (\theta_{\max} / 360^\circ)$$

본 연구에서는 EYM의 입력 변수로 사용되어지는 다우얼 지압강도와 볼트의 휨강도의 산출 방법에 따라 4가지 기본 예측 모델을 설정하였다. 각각의 산출 방법은 실험을 통한 값과 비중을 기초로 NDS에서 제

시하고 있는 계산값이다. 각각의 예측 모델은 Table 1과 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 다우얼 지압 강도

EYM에 따르면, 일반적으로 다우얼 지압 강도는 목리에 평행한 하중이 가해 질 때는 볼트 지름에 관계없이 일정하나, 목리에 수직인 경우는 볼트 지름의 제곱근에 반비례한다. 실험 결과 제재목의 다우얼 지압 강도는 그 절대적인 값은 계산치보다 작았으나, 목리에 수직인 경우 볼트 지름이 커짐에 따라 지름의 제곱근에 반비례하여 작아지는 경향을 나타내었다. 그러나, 집성재의 경우에는 제재목보다는 큰 값을 나타내었으나, 볼트 지름 16 mm에서 20 mm로 커질 때 증가하는 경향을 나타내었다. 집성재는 제조 과정 중 접착

Table 2. Dowel bearing strength

load direction		perpendicular to grain			parallel to grain
		bolt diameter (mm)	12	16	
dowel bearing strength (kPa)	NDS	21704	19292	17914	38584
	lumber	11993 (1301) ¹	10822 (1450)	9774 (1618)	27443 (2296)
	glulam	16573 (4676)	11769 (1546)	16307 (2731)	27443 (2296)

¹ Standard deviation

Table 3. Bolt bending strength

	experimental value	NDS	T. L. Wilkinson (1992)
bolt bending strength (MPa)	522.7	310	546.1

Table 4. Root mean square of each calculation types

Member		calculated type			
main	side	A	B	C	D
Lumber	lumber	3955.4	5614.8	4668.5	5266.8
Lumber	steel	14401.5	9209.6	10222.8	14467.5
glulam	lumber	4356.3	4248.1	4923.4	6538.5
glulam	steel	24640.2	15670.4	17586.2	25614.9

제를 사용하여 열압을 가하게 되며 따라서 비중이 증가하므로 동일 수종이라 하더라도 제재목에 비해 다우얼 지압 강도가 크게 나타나게 된다. 본 실험에서 역시 제재목의 평균 비중이 0.47, 집성재의 평균 비중이 0.60인 것을 통해 알 수 있다. 그러나 집성재는 목리에 수직한 경우 볼트 지름이 16 mm에서 20 mm로 커짐에 따라 다우얼 지압 강도가 높아지는 것은 추가적인 연구가 필요하다.

3.2. 볼트의 휨 강도

일반적으로 볼트의 휨 강도는 NDS에서 제시하는 값보다 2배 정도 큰 것으로 알려져 있으며, 본 실험 결과 국내에서 사용되고 있는 일반 볼트에 대해서도 마찬가지로 결과를 얻었다.

3.3. 접합부 강도 성능

접합부 성능 평가는 볼트 지름과 하중 방향에 따라서 제재목-제재목, 집성재-제재목, 제재목-철관, 집

성재-철관 4가지로 분류하여 진행하였다. 각 조합별 3개의 반복수를 두어 실시하였으며 각각의 시편에 대해서 평균값을 구하고 실험이 종료된 시편에 대해서는 각각의 파괴모드를 분석하였다. 또한, 전체 시편에 대해서 어떠한 형태의 EYM 예측 모델이 가장 잘 일치하는 지를 평가하기 위하여 각 조합에 대한 전체 실험 데이터에 대해서 예측치를 일대일 대응시키고 Root mean square값을 구하여 예측 정도를 평가하였다.

Table 4는 각각의 각 조합별 실험 결과의 평균값과 각 예측 모델 사이의 Root mean square의 값을 나타낸 것이다. 표에서도 알 수 있듯이 주 부재에 관계없이 측면 부재가 제재목인 경우에는 A, C모델이, 철관인 경우에는 B, C모델이 가장 잘 일치함을 알 수 있다. 전체적으로 보면 다우얼 지압 강도와 볼트의 휨 강도에 있어 실험값을 사용한 C모델이 적합함을 알 수 있다. 그러나 측면 부재가 제재목인 경우에는 A모델이 가장 적합했으며, 이는 부재의 다우얼 지압 강도는 계산값보다 작게, 반대로 볼트의 휨강도는 크게 나옴으로써 서로 상쇄 효과로 인하여 최종 설계값이 유사하게 나온 것으로 사료된다. 또한 측면 부재가 철관

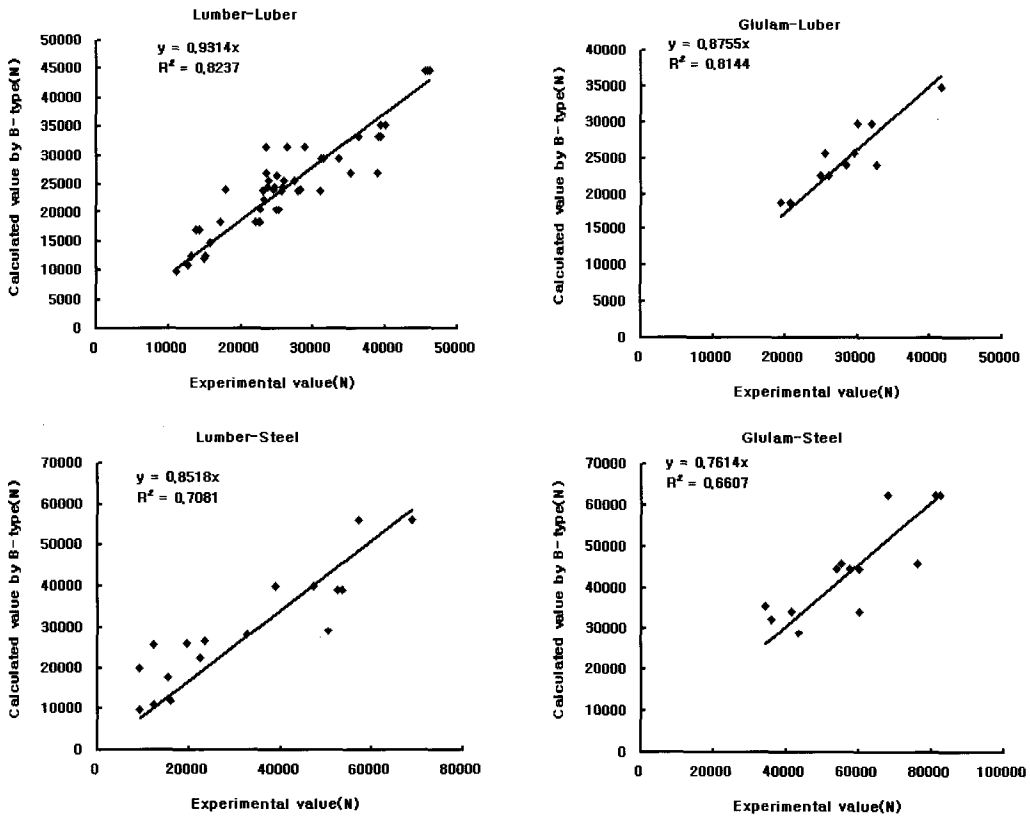


Fig. 6. Comparison between prediction and experiment.

인 경우는 상대적으로 제재목과 집성재의 영향보다는 볼트의 휨에 의해 항복에 도달함으로써 인해 B모델이 가장 적합한 결과로 나온 것으로 사료된다. 이러한 결과를 통해 EYM을 이용하여 국산 낙엽송의 접합부를 설계할 경우 각각의 적합 예측 모델 적용을 통해 정확한 항복 하중 값을 산출할 수 있을 것이다.

위의 결과를 통해 가장 적합한 모델로 계산된 값과 실험값과의 상관 관계 분석을 실시하였다. 그 결과는 Fig. 6과 같으며, 상관 계수가 0.9 정도로 매우 높았다.

따라서, EYM은 국산재를 이용한 이중 볼트 접합부의 설계에 유용하다는 결론을 얻을 수 있다. 특히 측면부재가 철판인 경우에는 볼트의 휨강도의 영향이 상대적으로 크며, 설계 시에도 이를 반영해야 한다. 위의 결과를 바탕으로 각각의 조합에 대한 접합부 설계값은 Table 5와 같다.

또한, Table 5에서 알 수 있듯이 각 조합에 대한 각각의 파괴 모드가 상당히 일치하는 것을 알 수 있다. 그러나 계산 과정에서는 IV모드가 나타나고 있으나, 실제 실험에 있어서는 거의 나타나지 않았다. 이는 IV모드로 진행되기 전에 볼트가 항복에 이르기 때문이다. 또한, 이러한 차이는 측면부재가 제재목인 경우 더욱 크게 나타나는데 이는 부재가 알려진 강도에 이르기 전에 시편 내에 존재하는 응이나 심면재용의 차이, 건조 할렬 등의 영향으로 파괴에 도달하기 때문이다. Fig. 7은 실제 파괴 모드 양상을 보여 주는 그래프이다. 그림에서도 알 수 있듯이 전체적인 파괴 양상은 주부재가 두껍지 않은 경우에는 주부재의 파괴에 의해 전체 접합부가 항복에 도달하는 I m 모드를 나타내다가 부재가 두꺼워 지면서 볼트의 휨에 의해 항복에 도달하게 되며(IIIs), 더 이상 항복 하중은 증가하

Table 5. Design value for double-bolted connection

a. Lumber-Lumber (Type A)

thickness of member		bolt diameter (mm)	parallel to grain				perpendicular to main member				perpendicular to side member			
main	side		experimental data (N)		calculated data (N)		experimental data (N)		calculated data (N)		experimental data (N)		calculated data (N)	
			value	mode	value	mode	value	mode	value	mode	value	mode	value	mode
39	39	12	14233	IIIs	16865	IIIs	11023	IIIs	9783	I m	14985	IIIs	12506	IIIs
		16	23101	I m	22372	I m	12560		10981	I m	22622	IIIs	18235	IIIs
		20	24947	I m	26633	I m	14850	IIIs	11982	I m	25499	I s	23963	I s
89	39	12	13759	IIIs	16865	IIIs	15734	IIIs	14732	IIIs	13049	IIIs	12506	IIIs
		16	23546	IIIs	24501	IIIs	24905	IIIs	20589	IIIs	22572	IIIs	18235	IIIs
		20	39385	IIIs	33179	IIIs	23523	IIIs	26978	IIIs	27823	IIIs	23963	I s
89	89	16	23520	IIIs	31555	IV	23787	IIIs	25606	I m	28179	IIIs	24012	IIIs
		20	45755	IIIs	44721	IV	-	-	-	I m	31054	IIIs	29382	IIIs
139	39	16	24560	IIIs	24501	IIIs	25175	IIIs	20589	IIIs	22014	IIIs	18235	IIIs
		20	39056	IIIs	33179	IIIs	35183	IIIs	26978	IIIs	22961	IIIs	23963	I s
139	89	16	26360	IIIs	31555	IV	25963	IIIs	25606	IV	24499	IIIs	24012	IIIs
		20	46176	IIIs	44721	IV	39942	IIIs	35230	IV	33485	IIIs	29382	IIIs
190	39	16	25702	IIIs	24501	IIIs	22615	IIIs	20589	IIIs	17133	IIIs	18235	IIIs
		20	36300	IIIs	33179	IIIs	38798	IIIs	26978	IIIs	30954	IIIs	23963	I s
190	89	16	28800	IIIs	31555	IV	27304	IIIs	25606	IV	17850	IIIs	24012	IIIs
		20	45414	IIIs	44721	IV	39310	IIIs	35230	IV	31356	IIIs	29382	IIIs

b. Glulam-Lumber (Type A)

thickness of member		bolt diameter (mm)	parallel to grain				perpendicular to main member				perpendicular to side member			
main	side		experimental data (N)		calculated data (N)		experimental data (N)		calculated data (N)		experimental data (N)		calculated data (N)	
			value	mode	value	mode	value	mode	value	mode	value	mode	value	mode
80	39	16	25438	IIIs	25674	IIIs	24862	IIIs	22541	IIIs	20581	IIIs	18862	IIIs
		20	41616	IIIs	34849	IIIs	30076	I m	29728	IIIs	28483	IIIs	23963	I s
130	39	16	29486	IIIs	25674	IIIs	25970	IIIs	22541	IIIs	19260	IIIs	18862	IIIs
		20	41615	IIIs	34849	IIIs	31938	IIIs	29728	IIIs	32675	IIIs	23963	I s
170	39	20	41616		34849	IIIs	-	-	-	-	-	-	-	-

지 않는다. 이는 부재가 두꺼워지더라도 그것에 상관 없이 볼트의 휨이 전체 접합부의 성능을 결정하기 때문이다. 또한, 측면 부재가 철판인 경우에는 IIIs 모드 이후 IV에 도달하기 전 중간 단계의 파괴 모드를 나타

내는 것을 알 수 있다. IV모드는 측면 부재에서 볼트의 휨이 일어나야 하지만 볼트의 휨이 일어나기 전 철판의 두께가 얇기 때문에 완벽한 휨이 일어나지 않고 파괴에 이르는 것이다. 이는 실험이 끝난 시편의 육안

Table 5. Continued

c. Lumber-Steel (Type B)

thickness of member		bolt diameter (mm)	parallel to grain				perpendicular to main member			
main	side		experimental data (N)		calculated data (N)		experimental data (N)		calculated data (N)	
			value	mode	value	mode	value	mode	value	mode
39	6	12	15328	I m	17756	I m	9030	I m	9783	I m
		16	22359	I m	22372	I m	12139	I m	10981	I m
		20	23534	I m	26633	I m	15904	I m	11982	I m
89		12	19487	IV	25935	IIIs	9030	IIIs	19929	IIIs
		16	38767	IIIs	40112	IIIs	12139	IIIs	25623	I m
		20	57041	I m	56194	IIIs	32483	I m	27957	I m
139		16	47196	IIIs	40112	IIIs	50411	IIIs	29107	IIIs
		20	-	-	-	-	52303	IIIs	39024	IIIs
190		20	68841	IIIs	56194	IIIs	53292	IIIs	39024	IIIs

d. Glulam-Steel (Type B)

thickness of member		bolt diameter (mm)	parallel to grain				perpendicular to main member			
main	side		experimental data (N)		calculated data (N)		experimental data (N)		calculated data (N)	
			value	mode	value	mode	value	mode	value	mode
80	6	12	43132	IIIs	28729	IIIs	-	-	-	-
		16	35278	IIIs	44523	IIIs	18903	I m	32464	I m
		20	48959	IIIs	62460	IIIs	27180	I m	35422	I m
130		16	35278	IIIs	44523	IIIs	27180	IIIs	34120	IIIs
		20	48959	IIIs	62460	IIIs	36137	IIIs	45848	IIIs
170		16	35278	IIIs	44523	IIIs	27180	IIIs	34120	IIIs
		20	48959	IIIs	62460	IIIs	36137	IIIs	45848	IIIs

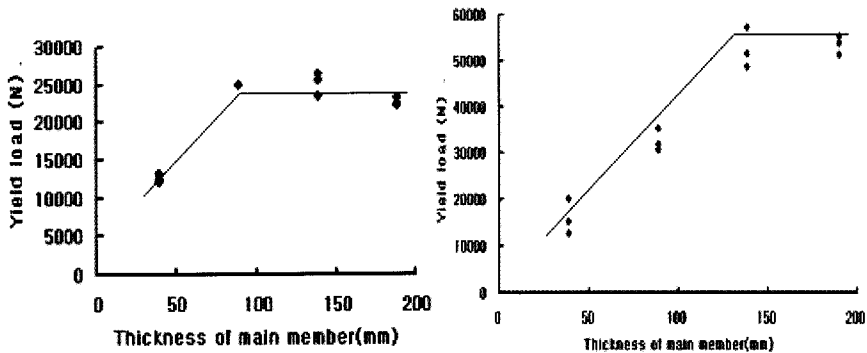


Fig. 7. Failure mode analysis of connection.

관찰을 통해 알 수 있었다.

4. 결 론

이상의 연구 결과 국산 낙엽송 부재의 강도가 외국 수종의 설계 기준인 NDS와 비교했을 때 그에 상응하는 강도값을 가짐을 확인할 수 있었다. 특히 측면 부재가 제재목인 경우에는 NDS와 거의 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 파괴 모드에서는 낙엽송 자체의 용이나 건조 결함 등에 의해 그 정확도가 약간 떨어짐을 알 수 있으며, 주부재가 작을 경우에는 모드 I m, 주부재가 커짐에 따라 모드 IIIs으로 옮겨감을 알 수 있었다. 이러한 결과를 통해서 국산 낙엽송을 이용한 이중 볼트 접합부는 EYM으로 계산이 가능하지만, 파괴 모드에 있어서는 모드 IV는 나타나지 않으며, 모드 I과 모드 III의 파괴 모드가 나타난다는 것을 확인할 수 있었다.

사 사

본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

또한, 연구를 수행함에 있어서 김광모, 박천영은 두 뇌한국 21사업에 의한 장학지원을 받아 수행하였음.

참 고 문 헌

1. American Society for Testing and Materials. 1995. Standard Test Methods of Mechanical Fasteners in wood. Volume 04.10 Wood, ASTM D 1761.
2. American Society for Testing and Materials. 1995. Standard Test Methods for Bolted Connection in Wood and Wood-base Products. Volume 04.10 Wood, ASTM D 5652.
3. American Society for Testing and Materials. 1995. Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-base Products. Volume 04.10 Wood, ASTM D 4442.
4. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 84 1995 Mechanical Connections in Wood Structures.
5. Doyle, D.V. and J. A. Scholten. 1963. Performance of Bolted Joints in Douglas-fir. Pap. FPL2. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products.
6. Donald E. Breyer, Kenneth J. Fridley, and Kelly E. Cobeen. 1998. Design of Wood Structures ASD
7. Douglas R. Rammer and Steve G. Winistorfer. 1999. Effect of Moisture Content on Dowel-Bearing Strength. Wood and Fiber Science, 33(1), pp. 126~139.
8. Johanson, K. W. 1949. Theory of Timber Connections. International Association for Bridge and Structural Engineering. 9: 249~262.
9. McLain, T. E. and S. Thangitham. 1983. Bolted Wood-Joint Yield Model. Journal of structure Division, ASCE. 109(8): 1820~1835.
10. National Design Specification for Wood Construction (NDS). 1997 Edition.
11. Soltis, L. A., F. K. Hubbard, and T. L. Wilkinson. 1986. Bearing Strength of Bolted Timber Joint. Journal of Structural Engineering, ASCE. 112(9): 2141~2154
12. T. L. Wilkinson. 1992. Strength of Bolted timber Connections with Steel Side Member. Forest Products Laboratory. FPL-RP-513
13. Trayer, G. W. 1932. The Bearing strength of Wood under Bolts. Tech. Bull. No.332. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC.