목재공학 31(5): 96~103, 2003
Mokchae Konghak 31(5): 96~103, 2003

국산 침엽수 철물접합부의 인장하중 특성*1

심 국 보*2† · 박 정 환*2 · 이 준 호*2

Tensile Properties of Metal Plate Connector in Domestic Softwood Lumber*1

Kug-Bo Shim*2† · Jung-Hwan Park*2 · June-Ho Lee*2

요 약

국산 주요 침엽수재인 소나무, 잣나무, 낙엽송의 철물접합부 인장하중 특성 구명을 위하여 본 연구를 수행하였다. 철물 접합부의 최대 인장하중은 AA형의 경우 소나무가 3,612 kgf로 낙엽송, 잣나무에 비해 각각 1.2배, 1.7배, EA형의 경우 2,704 kgf로 1.1배, 1.5배 우수하였다. 또한 AA형은 EA형에 비해 3 수종 모두 약 1.2배 이상 높은 인장하중을 나타내었다. 철물접합부의 파괴모드는 주로 이의 빠짐, 철물의 인장파괴와 목재의 전단파괴로 이루어지며, 특히 소나무 접합부는 철물의 인장파괴를 나타내었다. 철물접합부재의 인장하중-변위 특성은 Foschi 모형으로 정확하게 추정할 수 있었으며, 철물접합부의 초기강성은 소나무 접합부재가 높게 나타났다. 국산 침엽수재의 철물접합부에 대한 설계하중은 소나무, 낙엽송, 잣나무의 순으로 높게 나타났으며, AA형의 경우 이당 설계하중이 소나무 25 kgf, 낙엽송 22 kgf, 잣나무 15 kgf이었으며, EA형의 경우 소나무 19 kgf, 낙엽송 17 kgf, 잣나무 13 kgf 이었다.

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the tensile properties of metal plate connector for the domestic major softwoods, such as Korean red pine, Korean white pine, and Japanese larch. The maximum tensile load of Korean red pine was 3,612kgf in AA type, it was 1.2 and 1.7 times higher load than that of Japanese larch and Korean white pine. In EA type, it was 2,704kgf, and 1.1 and 1.5 times higher than the loads of Japanese larch and Korean white pine. The failure modes of metal plate connector were metal plate withdrawal, plate tensile failure, and wood shear block failure. The failure mode of Korean red pine connector was tensile failure of plate, that is reason of the high tensile load resistance for metal

* 1 접수 2003년 7월 7일, 채택 2003년 7월 23일
* 2 임업연구원 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea
† 주저자(corresponding author) : 심국보(e-mail: kbshim@foa.go.kr)

plate connections in Korean red pine. The mechanical properties of metal plate connector could be predicted by the Foschi model parameter. In the initial stage, the Korean red pine connector was stiffer than the other species. The design values for metal plate connector per tooth was 25, 22, and 15kgf for Korean red pine, Japanese larch, and Korean white pine in AA type and 19, 17, and 13kgf in EA type.

Keywords: metal plate, design value, tensile properties, failure

1. 서 론

국내의 산림은 산림녹화사업에 의해 목재자원의 공급량이 꾸준히 증가하고 있는 실정이다. 그러나 아직까지는 양질 대경재의 생산보다는, 산림의 자원화를 위한 간벌작업으로 생산되는 중소경재의 생산이 주를 이루고 있다. 따라서 간벌 중소경재를 고부가가치용으로 이용하기 위한 건축부재 적용을 위해서는 공학목재의 적용에 대한 연구 및 보급이 검토되어야 할 시점이라고 생각한다.

국산 중소경재의 공학목재 이용을 위해 가장 쉽게 적용할 수 있는 방법 중의 하나로 철물 플레이트(metal plate)에 의해 목재부재를 접합하여 구조용으로 이용할 수 있는 철물접합 트러스(metal plate connected truss)를 들 수 있다. 철물접합 트러스는 다양한 접합용 철물의 개발과 성능시험에 의해 지붕구조, 바닥 장선 등의 구조부재로 널리 이용되고 있다. 그러나 부재로 사용되는 목재가 주로 중·소경 침엽수재이기 때문에 대경재를 위주로 평가된 목재의 성능을 트러스의 구조성능 평가에 적용하는데 한계가 있다. 특히 우리나라에서 조림한 침엽수재 중 낙엽송, 잣나무 및 소나무에 대한 철물접합부재의 구조성능은 박 등(1996)이 중부지역 소나무에 대한 접합부재 인장하중 평가 외에는 거의 이루어진 바 없었다.

Karadelis 등(2000)은 구조부재로 사용되는 수종의 비중과 강도를 기준으로 하여 철물접합 트러스의 설계치를 구하기 위한 연구를 수행하였으며, 철물접합부의 횡방향 변형률은 서로 연결된 부재 사이, 즉 철물의 중앙부위에서 가장 높고, 철물의 가장자리 부분에서 가장 낮은 값을 나타냄을 보고하였다. Hilson (1991)은 철물 접합부의 파괴 형태 중 15% 이상의 경우가 철물의 이 끝부분에서 파괴가 있었음을 보고하였다.

Takemura(1990) 등은 철물접합 목재트러스의 비선형 거동을 예측하기위해 접합부의 하중-변위 관계의 비선형에 근거한 반강성 구조해석을 하였다. 접합부 강성계수의 50% 증가는 트러스의 부재 탄성계수를 증가시켰으며, 그 효과는 50% 이상의 탄성증가를 유발하였다. 또한, 접합부의 강성은 접합철물의 교체, 설계변경, 치수 변경 등으로 쉽게 향상시킬 수 있었음을 보고하였다.

본 연구는 중·소경 국산 침엽수재로부터 생산된 2×4″구조부재의 철물접합부재에 대해 인장하중 성능을 평가하여 목조트러스의 안정성 구명을 위한 구조설계의 기초 자료로 활용하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

공시원목으로 잣나무와 낙엽송은 중부임업시험장에서 벌채한 경급 18~38 cm의 중·소경재로 하였고, 소나무는 강원도 삼척국유림관리소에서 분양받은 경급 17~35 cm 원목을 공시재료로 사용하였다. 공시원목은 두께 55 mm로 평할제재하여 최대 함수율 15%까지 인공건조한 후 2×4″ 구조재로 제작하였다. 구조재는 길이 90 cm로 재단하여 절반으로 절단하였으며, 동일한 목재부재에 접합부를 제작하였다. 재단한 부재는 7.6×15.2 cm의 아연도금(galvanized iron)한 gauge 20의 철물 플레이트(metal plate)를 만능강도시험기로 시험편의 양편에 압입하였다. 철물접합 플레이트의 특성은 Table 1과 같았다.

Arbek(1979)와 Wilson(1978)은 비중과 함수율이 제어되는 조건에서 철물접합부의 강도손실을 최소화

Table 1. Plate specifications

Plate size	76×152 mm
Plate thickness(gauge number)	1.0 mm(20)
Tooth density	1.25 cm^2
Slot width	3.0 mm
Slot length	11.3 mm
Tooth length	7.5 mm
Teeth configuration	in-line
Manufacturer	Gang Nail

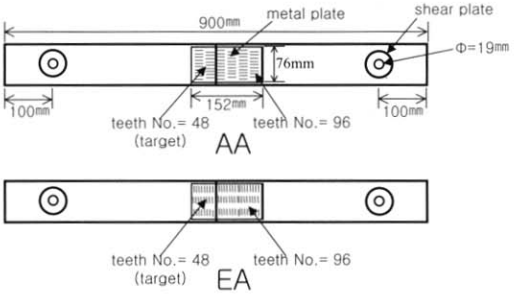


Fig. 1. Configuration of the test specimen.

하기 위해 시험일 최소 7일 전에 조립하여야 함을 제안하였다. 따라서, 본 연구에서도 철물 접합부를 제작한 후 7일 이상 항온항습실(RH 65%, 20°C)에서 조습처리한 후 인장시험을 수행하였다.

철물접합부의 형태는 접합철물 이(齒, teeth)의 배열에 따라 AA형(하중 부여 방향이 철물접합부의 주축에 평행하며, 목리에 평행함)과 EA형(하중 부여 방향이 철물접합부의 주축에 수직하며, 목리에 평행함)의 두 종류로 제작하였다. 철물 접합부 파괴위치를 제어할 수 있도록 목표 파괴지점에 48개의 이가 박히도록 제작하였으며, 실험 후 파괴형상 및 파괴모드를 조사하였다.

인장하중 시 그립(grip)부위의 전단파괴를 방지하기 위해 하중과 하중틀 연결부위에 전단플레이트를 고정할 수 있도록 원형 홈을 가공한 후 직경 6.5 cm의 전단플레이트를 고정하였다.

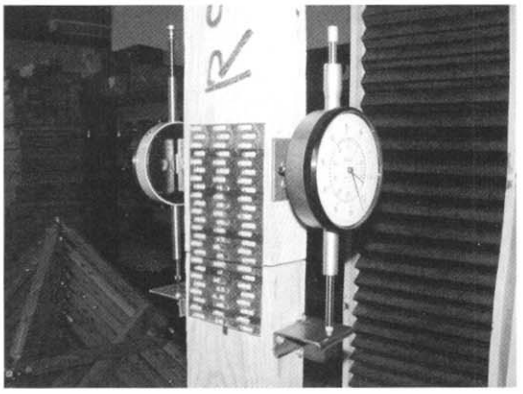


Fig. 2. Joint slip measurement.

2.2. 시험방법

철물접합부재의 최대 인장하중 성능을 평가하기 위해 인장시험은 Instron series IV-4206을 사용하였다. 이때 하중속도는 1 mm/min.으로 하여 파괴에 이르는 시간을 5-8분 정도가 되게 하였다. 인장시험 시 발생하는 접합부의 변위는 0.001 mm까지 측정이 가능한 다이얼 게이지를 접합 플레이트의 양 측면에 부착하여 목재부재의 변위를 측정하였으며, 10초 간격으로 하중과 변위를 측정하였다. 인장시험은 최대하중까지 또는 변위가 15.24 mm에 달할 때까지 측정하였으며 그 밖의 시험방법은 ASTM D1761-철물접합부의 인장시험(1995)-에 준하여 실시하였다.

2.3. 하중-변위 특성 조사

인장하중과 변위에 의한 접합부의 하중-변위 특성을 조사하기 위해 식 (1)과 같은 Foschi의 비선형 유한요소 모델을 적용하였다. Foschi 모형은 초기강성과 후기강성의 기울기 및 후기강성의 y-절편에 의해 철물접합부의 인장하중 특성을 비교적 정확하게 예측하는 것으로 알려져 있다(Foschi, 1977).

$$P = (M_0 + M_1|\Delta|)[1 - \exp(\frac{-K|\Delta|}{M_0})] \quad (1)$$

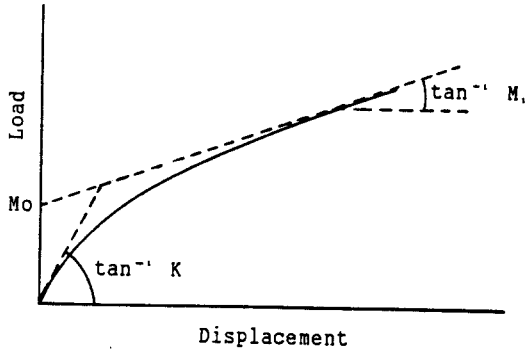


Fig. 3. Foschi's three parameter nonlinear model for metal plate load-displacement curve.

where, P = load (kgf)
Δ = Joint slip (mm)
K = initial stiffness (initial slope of load-joint slip curve)
M_1 = stiffness with large slip
M_0 = intercept of the asymptote with the slope M_1

3. 결과 및 고찰

3.1. 철물접합부재의 인장하중 성능

국산 주요 침엽수재인 소나무, 잣나무, 낙엽송에 대한 철물접합부재의 인장하중 특성은 Table 1과 같았다. 수종별 철물접합부재의 최대 인장하중은, AA형의 경우에 소나무 3,612 kgf, 낙엽송 3,144 kgf, 잣나무 2,092 kgf 순으로 높은 값은 나타내었으며, EA형의 경우에도 소나무 2,704 kgf, 낙엽송 2,408 kgf, 잣나무 1,823 kgf 순으로 크게 나타나 AA형과 같은 경향을 나타내었다. AA형의 경우 소나무는 낙엽송보다 15% 가량, 잣나무보다는 보다 73% 가량 큰 값을 나타내었다. EA형의 경우에는 소나무가 낙엽송보다 12% 가량, 잣나무보다 49% 가량 큰 값을 나타내었다.

또한 철물의 이(齒)가 목리와 하중방향에 평행한 AA형의 최대 인장하중은 이(齒)가 목리와 하중방향에 수직한 EA형보다 소나무의 경우 약 34%, 낙엽송의 경우 30% 가량, 잣나무의 경우 약 15% 정도 큰 값을 나타내었다.

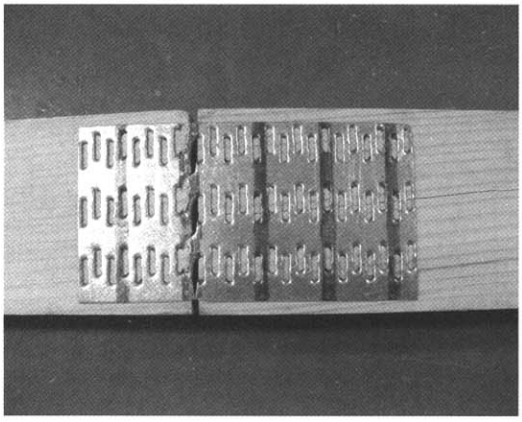
소나무 철물접합부의 최대인장하중은 박 등(1995)이 중부산 소나무에 대해 보고한 AA형의 이(齒)당 하중 47.7 kgf, EA형의 이당 하중 41.1 kgf에 비해서도 각각 1.5배 및 1.4배 큰 값을 나타내었다. 철물접합부의 최대 인장하중은 사용되는 접합철물의 종류와 목재의 조건에 따라 상이하기 때문에 이번 연구결과와 직접적으로 비교하기는 곤란하다. 그러나 박 등(1995)의 연구에 사용된 철물접합부는 본 연구에서 사용된 것보다 이(齒)의 길이가 약 0.6 mm 정도 짧았으며, 목재의 함수율은 12%로 본 연구보다 높았다.

Gupta 등(1988)은 철물접합부의 인장하중 변이는 목재의 특성 변이에 기인하며, 시편 제조 방법에 따라

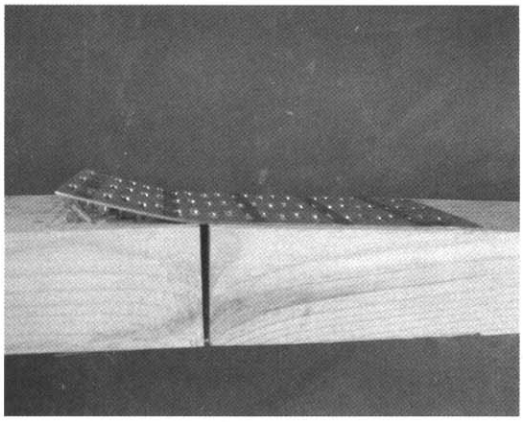
Table 2. Characteristics of tensile strength of metal plate connector

Species	MC(%)	Sp. Gr.	AA type		EA type	
			Maximum load (kgf)	Max. load per tooth (kgf)	Maximum load (kgf)	Max. load per tooth (kgf)
Korean red pine (*Pinus densiflora*)	7.22(0.60)	0.48(0.06)	3,612(268)	68.9(5.6)	2,704(82.7)	56.3(1.7)
Japanese larch (*Larix Leptolepis*)	8.11(0.74)	0.62(0.04)	3,144(491)	65.5(10.2)	2,408(356)	50.2(7.4)
Korean white pine (*Pinus koraiensis*)	8.33(0.83)	0.44(0.13)	2,092(336)	43.6(7.0)	1,823(198)	40.0(4.1)

( ) Standard deviation



Tensile failure of metal plate



Withdrawal of metal plate

Fig. 4. The failure modes of metal plate.

달라질 수 있음을 보고하였다. 따라서 동일 수종이라고 하더라도 철물접합부의 인장하중 성능은 목재의 함수율 조건과 이(齒)의 길이 차이에 따라 달라질 수 있으며, 이의 길이가 길수록, 함수율이 낮을수록 인장하중내력이 우수할 것으로 판단할 수 있었다.

일반적으로 목재의 강도는 비중에 영향을 받으나, 철물접합부의 최대인장강도는 낙엽송 보다 비중이 적은 소나무가 큰 값을 나타내었다. 철물접합부는 철물의 이(齒)와 목재의 상호작용에 의해 하중을 지지하게 된다. 따라서 수종별 철물압입저항, 섬유방향 인성(toughness) 등에 관한 추가적인 연구를 수행하여 철물접합부의 파괴기작을 구명하여야 한다고 판단되었다.

3.2. 철물접합부의 파괴모드

철물접합부의 인장하중 성능시험에서 관찰된 접합부의 파괴 형상은 철물의 인장파괴, 철물의 이가 빠지는 파괴와 목재의 전단파괴 등 크게 세 가지로 분류할 수 있었다. 수종별로 구분하여 보면, 낙엽송 AA형은 주로 철물이 이탈되었으며, EA형은 목재의 전단파괴, 접합부의 이탈과 인장파괴 현상이 관찰되었다. 소나무 AA형은 철물의 인장파괴, EA형은 철물의 이가 빠지거나 인장파괴 되었다. 잣나무 AA형의 경우에는 철물의 이가 빠졌으며, EA형은 모두 철물이 인장파괴되었다.

낙엽송 EA형의 경우 철물이 인장파괴된 경우 최대하중은 약 2,700 kgf이었으며, 목재 전단파괴의 경우는 2,370 kgf, 철물이 빠지는 경우는 약 1,900 kgf이었다. 소나무 EA형의 경우에서, 철물접합부가 인장파괴된 경우, 약 2,730 kgf, 철물이 이탈된 경우에는 약 2,706 kgf이었다.

Gupta(1994)는 철물 접합부의 인장성능 시험에서 철물의 빠짐에 의한 파괴보다 목재의 전단파괴와 철물의 인장파괴가 동시에 발생한 경우 하중지지성능이 11% 정도 크게 나타났음을 보고하였으며, 본 연구에서도 이와 비슷한 경향을 나타내었다. 철물접합부에서는 이의 첫 번째 열, 즉 접합면에서 가장 가까운 부분의 이가 접합부 인장성능에 중요한 역할을 한다. 이 면이 철물접합부의 유효단면에 작용하는 모든 축하중을 전달하기 때문이다. 하중이 증가하고 있는 동안, 철물의 첫 번째 이(齒)의 열이 변형되기 시작하며, 다른 이(齒)들은 파괴될 경우에 빠지게 된다. 그러나, 어떤 경우에는, 목재가 하중에 의해 전단파괴로 떨어져 나오게 되거나, 이(齒)가 목재로부터 빠져나오게 되는 두가지 파괴형태가 동시에 발생하게 된다. 본 연구에서도 낙엽송 EA형의 경우에는 철물의 이가 빠지는 파괴가 목재의 전단파괴보다 약 25% 정도 적은 하중내력을 나타내었다.

그러나 본 연구에서 특이하게 관찰된 파괴양상은 단지 철물의 인장파괴에 의한 것이었다. 특히 소나무

Table 3. Parameters of load-displacement for metal plate connector.

Species		Parameters			R^2
		K	M_1	M_0	
Korean red pine	AA	353.0	25.8	54.6	0.98
	EA	294.7	9.3	48.9	0.95
Japanese larch	AA	319.2	29.8	38.9	0.99
	EA	233.3	13.5	38.3	0.99
Korean white pine	AA	262.5	17.3	35.3	0.99
	EA	196.5	6.9	31.4	0.98

AA형의 시편이 모두 철물이 인장파괴되는 시점이 최대하중으로 관찰되었다. 이러한 파괴모드가 소나무에서 관찰된 원인에 대해서는 소나무에 대한 철물유지력 등과 같은 추가적인 연구가 필요한 부분이나, 소나무의 철물접합부 하중내력이 다른 수종보다 우수하게 나타난 원인이라 할 수 있었다.

또한, 목재의 전단파괴양상은 단지 낙엽송 EA형에서 발생하였으나, 목재의 전단파괴는 철물접합부의 이(齒)의 밀도와 작용하는 응력에 대한 그 수종의 최대 하중내력으로 볼 수 있으므로, 철물접합부의 설계자료 산출에 중요한 자료가 될 수 있다.

철물접합부에서 횡방향 변형률분포는 철물의 중앙부에서 최고이고, 양 끝부분에서 최소를 나타낸다. 따라서 철물접합부의 파괴 중 15% 이상의 경우는 이(齒)의 끝부분에 파괴가 있었다(Hilson, 1991). Karadelis (2000)은 철물 접합부의 변형률(strain)은 철물접합부 중앙부분에서 최대이고, 끝부분과의 차이는 상당히 크며, 이에 따라 접합부 중앙부 이의 파괴가 끝부분보다 빨리 나타남을 보고하였다.

3.3. 철물접합부재의 인장하중-변위 특성

철물접합부의 인장하중과 변위 특성은 Foschi 모형으로 비교적 정확하게 예측할 수 있었으며, Foschi 모형의 추정 파라메타는 Table 3과 같았다.

각 수종에 대한 접합부의 하중-변위 관계는 Fig. 5와 같았다. 그래프에서 y축은 이당 하중으로 하였으며, x축은 부재사이의 변위로 도시하였다. 실선은 Foschi 모델 파라메터를 이용하여 도시한 철물접합부의 인장하중 특성 곡선이다.

철물접합부의 탄성거동을 설명하는 초기강성(K)은 AA형의 경우 소나무가 353으로 가장 큰 값을 나타냈으며, 낙엽송 319, 잣나무 263의 순으로 나타났다. 소나무 AA형은 낙엽송과 잣나무보다 10~24% 정도 높았다. EA형의 경우에는, 소나무가 295로 가장 높았으며, 낙엽송 233, 잣나무 197의 순으로 나타났으며, 소나무가 낙엽송, 잣나무보다 26~50% 정도 높았다. 이러한 결과는 소나무의 경우 하중이 증가하기 시작한 초기에 철물의 이가 빠지지 않고, 전적으로 접합철물에서 하중을 지지하므로, 철물의 인장강성에 의해 접합부의 강성이 지배되기 때문으로 판단할 수 있었다. 또한, AA형의 초기강성은 EA형에 비해 소나무는 약 20%, 낙엽송과 잣나무는 약 30% 높은 값을 나타내었다.

철물접합부의 인장성능 예측 파라메타에서 후기강성을 나타내는 M_1은 AA형의 값이 EA형보다 소나무는 180% 정도, 낙엽송은 120% 정도, 잣나무는 150% 정도 크게 나타났다. 이에 의해서 AA형은 이당 하중이 접합부 변위의 증가에 따라 지속적으로 증가하는 양상을 나타낸 반면, EA형은 증가하는 양상이 적게 나타나고 있다.

3.4. 철물접합부재의 설계하중 산출

철물 접합부는 주로 이(齒)로 접합부에 가해지는 하중을 지지하며, 지지하여야 하는 하중에 적합한 형상으로 설계, 제조된다. 접합부의 강도는 인장시험에 의해 결정된다. 철물 접합부의 설계치는 이(齒)당 하중 또는 플레이트의 단위면적당 하중으로 표현된다. 철물 접합부의 설계내력은 최소 5개의 시편에서 금속판과 목재 부재의 slip이 0.38 mm를 초과할 때 또는 목재 사이의 거리가 0.76 mm를 초과할 때의 평균하중을 1.6으로 나눈 값과 평균 최대강도를 3.0으로 나눈 값(Wood Handbook) 중 적은 값으로 한다. 본 연구에서는 접합부의 slip을 두 부재 사이에서 측정하였으므로, 설계하중의 결정을 위해 목재 사이의 거리가 0.76 mm일 때의 하중을 1.6으로 나눈 값과 최대하중을 3.0으로 나눈 값을 비교하여 설계하중을 결정하였

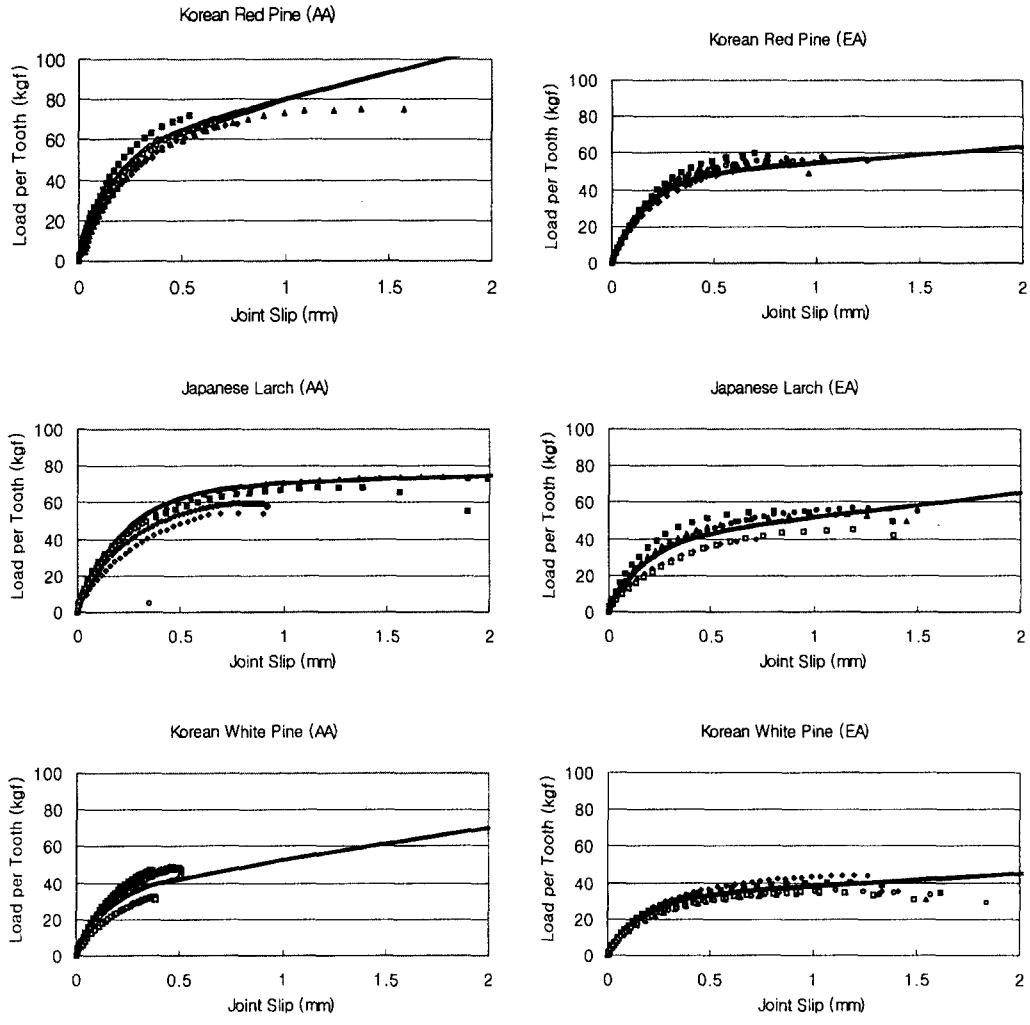


Fig. 5. Load-displacement curve of metal plate connector

다. 설계하중 결정을 위한 값은 Table 4에 나타내었다. 표에서와 같이 최대하중을 3으로 나눈 값이 목재부재 사이의 거리가 0.76 mm일 때의 하중을 1.6으로 나눈 값보다 적었기 때문에, 설계하중을 최대인장하중을 3으로 나눈 값으로 결정하였다.

국산 주요 침엽수재의 철물접합부 이(齒)당 인장설계하중은 최대하중과 같은 경향으로, AA형의 경우 소나무는 25 kgf로 가장 높은 값을 나타내었으며, 낙엽송은 22 kgf, 잣나무는 15 kgf이었다. EA형의 경우에서도 비슷한 경향을 나타내었으며, 소나무가 19 kgf로 가장 큰 값을 나타내었고, 낙엽송 17 kgf, 잣나무 13 kgf를 나타내었다. 따라서 이 값을 이용하여 철물접합부의 설계하중을 결정하기 위해서는 실제 구조물에서 목재부재에 박히는 이의 수에 이당 설계하중을 곱한 값을 적용하여 구하면 될 것으로 판단된다.

다만 철물이 인장파괴되는 경우를 가정하여 철물의 인장파괴 한계를 넘지 않는 설계하중을 적용하여야 한다. 따라서, 철물이 인장파괴되는 값이 소나무 EA형은 2,730 kgf이었고, 낙엽송 EA형은 2,700 kgf이었으므로, 최대 설계하중이 2,700 kgf를 넘지 않도록 설

Table 4. Design values estimation for metal plate connectors

Specimen type		Max. load/3 (kgf)	Load at slip 0.76 mm/1.6 (kgf)	Design value per tooth (kgf)
Korean red pine	AA	1,204(89)	2,046(11)	25
	EA	901(28)	1,652(56)	19
Japanese larch	AA	1,048(164)	1,861(212)	22
	EA	83(119)	1,447(212)	17
Korean white pine	AA	697(112)	-	15
	EA	608(66)	1,109(114)	13

계하여야 할 것으로 판단되었다.

4. 결 론

1) 소나무와 낙엽송, 잣나무 2×4″ 구조부재의 철물접합부재에 대한 인장하중 특성을 조사한 결과 최대 인장하중은 AA형의 경우 소나무가 3,612 kgf로 낙엽송, 잣나무에 비해 각각 1.2배, 1.7배, EA형의 경우 2,704 kgf로 1.1배, 1.5배 우수하였다. AA형은 EA형에 비해 3 수종 모두 약 1.2배 이상 높은 인장하중 특성을 나타내었다.

2) 철물접합부의 파괴모드는 주로 이의 빠짐, 철물의 인장파괴와 목재의 전단파괴로 이루어지며, 특히 소나무 접합부에서는 철물의 인장파괴를 나타내었다.

3) 철물접합부재의 인장하중-변위 특성은 Foschi 모형으로 정확하게 추정할 수 있었다. 또한 Foschi 모형에서 추정된 초기강성은 소나무 접합부재가 높게 나타났다.

4) 국산 침엽수재의 철물접합부에 대한 설계하중은 소나무, 낙엽송, 잣나무의 순서로 높게 나타났으며, AA형의 경우 이당 설계하중이 소나무 25 kgf, 낙엽송 22 kgf, 잣나무 15 kgf이었으며, EA형의 경우 소나무 19 kgf, 낙엽송 17 kgf, 잣나무 13 kgf 이었다.

참 고 문 헌

1. American Society for Testing and Materials (ASTM). 1995. Standard test methods for mechanical fasteners in wood. ASTM D-1761-88. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, PA D1761.
2. Arbek, T. 1979. The effect of time on strength of truss plate joints. Unpublished report submitted to the Dept. of Civil Eng., Carleton Univ., 3 April)
3. Foschi, R. O. 1977. Analysis of wood diaphragms and trusses. Part II. Truss plate connections. Canadian Journal of Civil Engineering 4(3): 353~362.
4. John N. Karadelis, Philip Brown, 2000, Punched metal plate timber fasteners under fatigue loading. Construction and Building Materials 14(2000) 99-108
5. Rakesh Gupta, K. G. Gebremedhin, 1988, Strength and stiffness of metal plate connected tension splice wood truss joints. 1988 summer meeting, American society of Agricultural Engineers
6. Wilson, F. 1978. The effect of time between assembly and testing of the strength of truss plate joints. Unpublished B. Sc. F. Thesis, Faculty of Forestry, Univ. of Toronto)
7. Yasutoshi S, Takemura T. Non-linear analysis of metal-plate wood trusses. Proceedings of the International Timber Engineering Conference, Tokyo, Japan, October, 1990
8. 박문재, 정희석. 1995. 목재-금속플레이트 접합부의 하중-변위 특성 및 조합하중성능에 대한 모형 분석 (II)- 조합하중모형과 실험적 입증. 목재공학 23(2): pp. 12-18.
9. 박문재, 정희석. 1995. 목재-금속플레이트 접합부의 하중-변위 특성 및 조합하중성능에 대한 모형 분석(1)-하중변위 특성. 목재공학 23(1): pp. 21-27.