

## 집성재 볼트 결합부의 강도 성능 개선에 관한 연구\*<sup>1</sup>

김 광 철\*<sup>2†</sup>

### Study on the Improvement of Strength Capacity for Glulam-to-bolt Connection\*<sup>1</sup>

Gwang-Chul Kim\*<sup>2†</sup>

#### 요 약

본 연구는 각 결합부 조건에 따른 결합부의 강도적 성능 증가를 살펴보고자 하였다. 주 부재로 집성재를, 측면 부재로 3 mm 두께의 강철판을 사용하여 제작하였으며, 1 mm 두께의 강철판을 개수를 달리하여 집성재에 삽입하여 결합부를 제조하였다. 본 연구를 통해 아주 얇은 두께의 강철판이라도 대단면 부재인 집성재 내부에 삽입하여 결합부를 제조할 경우 강도에 상당한 증가를 보였다. 집성재 결합부는 강철판을 삽입하지 않은 A 그룹, 강철판을 1개 삽입한 B 그룹, 강철판을 2개 삽입한 C 그룹, 그리고 강철판을 3개 삽입한 D 그룹으로 각각 분류하였다. 강철판을 삽입하지 않은 A 그룹에 비해 강철판을 1개 삽입한 B 그룹은 최대값과 항복 하중값을 각각 18%, 13%, 강철판을 2개 삽입한 C 그룹은 27%, 20%, 강철판을 3개 삽입한 경우 33%, 24%의 강도 증가를 보였다. 하지만 집성재 내부에 얇은 두께의 강철판을 삽입하는데 필요한 추가적인 경제적·기술적 어려움으로 인해 강철판 삽입으로서 얻을 수 있는 강도적 성능 증가와 그에 따른 어려움을 충분히 고려해야 할 것이다.

#### ABSTRACT

This research investigated the increase in strength capacity for the difference of various connection conditions. Connections were constructed with a main member, glulam and side members, 3 mm steel plates. Connections were varied in the number of inserted 1 mm steel plate. The strength capacity considerably increased by inserting the very thin steel plate within structural glulam connection. Glulam connections were classified as the number of inserted steel plate, group A was none, group B was one,

\*<sup>1</sup> 접수 2005년 6월 30일, 채택 2005년 9월 23일

본 연구는 2004년도 한국학술진흥재단 신진교수연구과제지원사업(과제번호:KRF-2004-003-F00021)에 의한 연구 결과의 일부임

\*<sup>2</sup> 익산대학, Iksan National College, Iksan 570-752, Korea

† 주저자(corresponding author) : 김광철(e-mail: gckim@iksan.ac.kr)

group C was two, and group D was three. Ultimate and design values of the group B were 18% and 13% greater than the group A, the group C were 27% and 20% than the group A, and the group D were 33% and 24% than the group A. However, the increase in strength capacity and the additional difficulty should be considered on economic and technical view.

**Keywords:** strength capacity, steel plate, design value, ultimate value, glulam

## 1. 서 론

최근 환경에 대한 관심과 자연에 대한 친근감을 앞세워 앞 다투어 펜션이나 휴양 시설 등이 목재를 이용해 대규모로 건설·이용되고 있음에도 불구하고 이들 대형 구조물의 결합부에 대한 연구 개발이나 관심은 진부한 형편이다. 철골조나 철근콘크리트 건축 방식의 연속식 구조와 달리 목구조물은 재료들을 철로 만든 결구로 연결하여야 하기 때문에 불연속적일 수밖에 없다. 따라서 응력의 집중이 결합부에 자주 발생하고 구조적으로 가장 약한 부분일 수 밖에 없다. 또한 목구조 분야의 여러 이론적 연구에서 이제 거의 유일하게 남아있는 몇 안 되는 연구 주제가 바로 결합부임을 인식한다면 이 부분의 중요성은 아무리 강조하여도 지나치지 않을 것이다. 이렇게 다른 건축양식보다 유난히 결합부의 중요성이 강조되어야 할 목구조물의 설계나 시공할 때 주먹구구식으로 결합부를 설계하고 구입과 사용이 편리한 기존의 결합철물을 무의식적으로 사용하고 있는 것이 우리의 현실이다.

흔히 국내에서는 가해지는 하중의 크기가 작은 결합부에는 못이나 직경이 작은 다우얼 형식의 결합철물을 경험에 의존해 사용하고 있으며, 그보다 큰 단면을 필요로 하는 큰 하중이 가해지는 결합부의 경우 역시 볼트나 나사못, 래그나사못 등의 다우얼 형식의 결합철물을 특별한 구조 설계나 전문적인 지식 없이 널리 사용하고 있는 추세이다.

따라서, 본 연구는 기존의 대형 목구조물을 시공할 때 사용되고 있는 결합부와 결합철물의 강도 성능을 평가하여 항복모델에 기초한 이론값과 비교하며, 이후 두께 1 mm의 얇은 강철판을 집성재 내부에 삽입하여 보강한 새로운 결합부의 강도적 성능이 어느 정도로 증가하는지에 관해 검토하고자 한다. 본 연구는

다양한 형태의 결합부 강도 성능 개선 정도를 비교·검토하여 새로운 형태의 고 성능 결합부를 개발하고자 하는 연구의 출발점이다. 본 연구에 이어지는 후속 연구들은 기존 접합부의 개선책 제시와 고 성능 접합부 개발 그리고 고성능 접합부 강도 실험 및 검증 등이다. 즉 이들 연구의 목적은 기존 접합부들의 문제점과 개선책을 제시하고 대형화되어가는 국내의 목구조물의 접합부를 안전하면서도 경제적으로 설계하고 시공할 수 있도록 고성능 접합부를 개발하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험 재료

본 연구에서는 낙엽송(*Larix kaempferi Carr.*)으로 제조한 집성재와 강철판을 이용하여 목재-강철판(wood-to-steel)결합부를 제작하였다.

#### 2.1.1. 공시 재료

본 연구에서, 결합부 제작에 관련된 각 재료의 특성들은 Table 1과 같다.

##### 2.1.1.1. 부재

결합부의 주 부재로는 대규모 구조용 결합부에 흔히 이용되는 집성재를 사용하였으며 측면 부재로는 3 mm 두께의 강철판을 사용하여 이중 전단 결합부 시편을 제작하였다. 대조구로 집성재 내부에 강철판을 삽입하지 않은 결합부와 강철판을 1개 삽입한 결합부, 2개를 삽입한 결합부 및 3개를 삽입한 결합부 각각의 반복수는 3으로 총 12개의 steel-to-glulam 결

Table 1. Characteristics of connections

Type	Materials	Size (mm)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	MC (%)	Fes*
Wood-to-Steel	Main member (Glulam)	100×140×200	0.45 (0.15)	12 (0.8)	-
	Side member (Steel)	3×100×150	-	-	4060 (kgf/cm <sup>2</sup> )
	Inserted member (Steel)	1×100×100	-	-	4060 (kgf/cm <sup>2</sup> )

\*Fes = Dowel bearing strength of steel plate. Ultimate tensile strength is generally assumed as a dowel bearing strength.

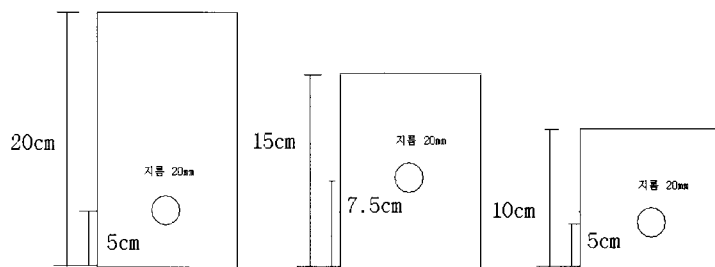


Fig. 1. The location of bolt holes for main member and side member; (a) Glulam main member, (b) steel side plate, (c) inserted steel plate.

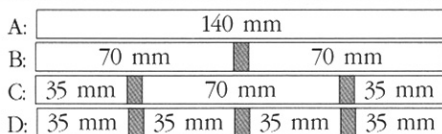
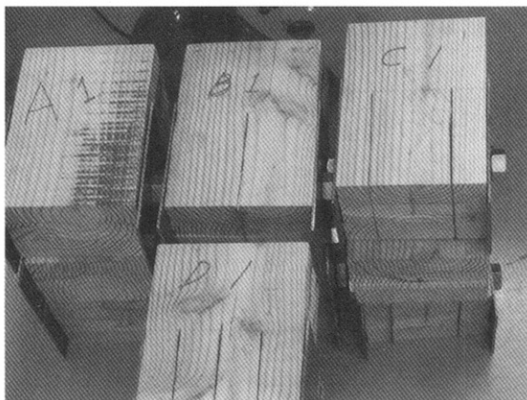


Fig. 2. The configuration of inserted steel plate within glulam (A: control specimen, B: one steel plate inserted specimen, C: two steel plates inserted, D: three steel plates inserted specimen.).

합부를 제작하였다. 집성재에 미리 홈을 파서 1 mm 두께의 얇은 강철판을 집성재 내부에 삽입하여 시편을 제작하였다. 사용하였다. 주 부재와 측면 부재, 그리고 삽입 강철판의 각각의 볼트 구멍의 위치는 Fig. 1과 같으며, 집성재 내부에 강철판을 삽입한 형태는 Fig. 2와 같다.

#### 2.1.1.2. 강철판

강철판은 집성재 내부 삽입용 두께 1 mm 강철판과 측면 부재용 3 mm A36 강철판을 사용하였다. Table 1에 제시된 바와 같이 강철판의 내력 강도는 최대 인장 강도를 다우얼 내력 강도로 사용하였다.

#### 2.1.1.3. 볼트

볼트는 지름이 20 mm, 항복강도가 2160 kgf/cm<sup>2</sup> 인 흔히 일반볼트라고 부르는 4T 볼트를 사용하였다.

#### 2.1.1.4. 집성재의 다우얼 내력 강도

결합부의 형태에 따른 강도 성능은 비교를 목적으로

실제 실험을 실시하지 않고 NDS의 값을 사용하였다.

## 2.2. 실험방법

ASTM의 기준에 따라 볼트의 직경이 20 mm이므로 볼트 구멍의 직경은 1.6 mm 크게 하였다(ASTM D 1761, 1995; D 5652, 1995). 예비구멍을 뚫는 방식도 성능에 영향을 미치므로, 평활한 면을 얻기 위해 드릴의 날은 날카롭고, 드릴의 회전속도는 빠르게 했으며, 드릴의 삽입속도는 느리게 했다.

시편은 온도  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ , 상대습도  $65 \pm 3\%$ 의 상태에서 장기간 건조하여 평균함수율 12% 정도로 건조시켰다. 종압축 시험은 하중을 연속적으로 증가시키면서 변형량(또는 슬립)을 측정하였다. 변형량(또는 슬립) 측정은 정확한 하중-변형량 곡선을 얻을 수 있도록 충분한 간격으로 하중값을 잡아주었다. 결합부는 대개 첫 하중 이완이 결합부 중심의 전단상태를 설명하는 것이기 때문에 정확히 측정하며, 최대하중이나 변형량이 15 mm에 도달할때까지 계속 실시하였다. 최대 하중이 5분에서 20분 사이에서 얻어지도록, 크로스 헤드(cross head)의 속도를  $1.0 \text{ mm/min} \pm 50\%$ 로 해주었다. 시편의 비중과 함수율은 ASTM D 2395와 D 4442(ASTM D 2395, 1995 ; ASTM D 4442, 1995)에 따라 측정하여, 항복하중과 비례한계 하중을 구하였다. 볼트 직경의 5%를 감한 offset line과 원래의 하중-변형량 곡선과 교차하는 부분이 항복 하중이고 교차점이 없을 때는 최대 하중을 항복하중으로 하였다. 비례한계 하중은 원래의 하중-변형량 곡선이 초기의 선형부분의 연결 직선에서 벗어나는 지점의 값을 택하였다. 결합부 실험의 반복수는 3반복으로 하였다. 목재-강철판 결합부의 이중 전단 실험은 결합부 간의 성능 비교에 목적이 있으므로 라미나에 평행하게 하중을 부하하는 실험만 실시하였다(ASTM D 4442, 1995).

## 3. 결과 및 고찰

대조구로서 집성재와 측면부재로 3 mm 강철판만을 사용한 형태의 이중 전단 결합부와 1 mm 강철판

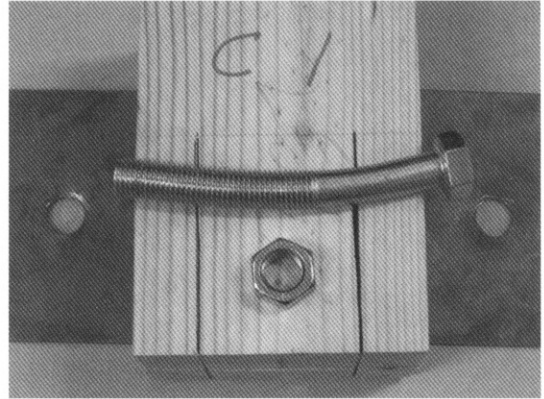


Fig. 3. Failure mode of steel-to-glulam connection.

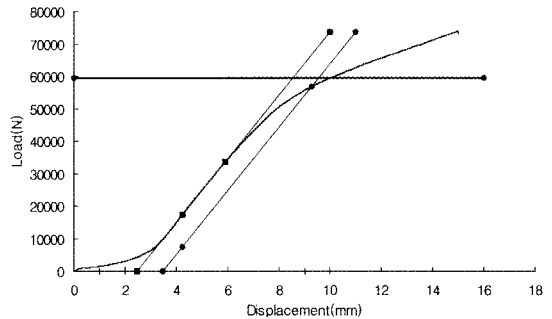


Fig. 4. Comparison of yield load between EYM value and experimental value.

을 개수를 달리하여 삽입한 3가지의 다른 형태의 이중 전단 강철-집성재 결합부를 제작하고 강도적 성능을 비교하였다.

### 3.1. 결합부의 파괴 모드

기존의 EYM (European yield model)에 의하면 이중 전단 결합부의 경우 Im, Is, IIIs, IV의 네 가지 파괴 모드만 나타난다고 보고되어 있지만, 파괴 모드에 대한 이론을 고찰 할 경우 주 부재를 집성재로 하고 측면 부재를 강철판을 사용하여 결합부를 제작할 경우 대부분 파괴 모드 IIIs가 주로 나타나야 한다. 본 연구의 결과 역시 Table 2와 같이 전단면 주위에 소성 힌지가 발생하는 파괴 모드 IIIs가 강철-집성재 결합부의 파괴 모드로 나타났다. 이러한 형태의 파괴 모

Table 2. Design value and failure mode of specimens

Type	Design value (N)	Maximum value (N)	Failure mode
A1	56744	73307	III <sub>s</sub>
A2	63102	73641	III <sub>s</sub>
A3	59603	66850	III <sub>s</sub>
Avg.	<b>59816</b>	<b>71266</b>	
B1	67881	86416	III <sub>s</sub>
B2	67585	83228	III <sub>s</sub>
B3	66578	82657	III <sub>s</sub>
Avg.	<b>67348</b>	<b>84100</b>	
C1	69874	88497	III <sub>s</sub>
C2	73071	91790	III <sub>s</sub>
C3	72415	90742	III <sub>s</sub>
Avg.	<b>71787</b>	<b>90343</b>	
D1	74256	94213	III <sub>s</sub>
D2	75249	95487	III <sub>s</sub>
D3	73568	91990	III <sub>s</sub>
Avg.	<b>74358</b>	<b>93987</b>	

드 III는 파스너가 휘며 파스너 내부에 소성 힌지가 형성되는 파괴 모드이다. Fig. 7에 각각의 파괴모드에 관한 그림을 제시하였다.

Table 2에 나타난 A 그룹은 대조구로서 1 mm 강철판을 삽입하지 않은 시편이며, B 그룹은 1개의 1 mm 강철판을, C 그룹은 2개 그리고 D 그룹은 3개의 1 mm 강철판을 집성재 내부에 삽입한 것이다.

### 3.2. 결합부 강도 비교

#### 3.2.1. 항복 이론 예측값과 실험값의 비교

항복 모델의 경우는 집성재 내부에 강철판을 삽입한 경우에 대한 계산이 불가능하여, 강철판을 삽입하지 않은 대조구 시편만으로 비교하였다. Fig. 4는 시편 A1의 5% offset line을 이용한 항복 하중(56744 N)과 항복 모델을 사용하여 예측한 값을 비교한 것으로, x 축에 평행한 직선이 항복 모델 예측값을 나타낸 것이다. 대부분의 항복모델에 의한 예측값이 실험값보다 5~10% 높게 나타나듯이 본 실험의 결과 역시 59581 N으로 6% 정도 예측값이 높게 나타났다.

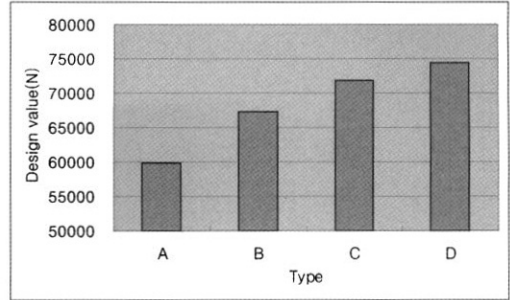


Fig. 5. Design values for various steel-to-glulam connection.

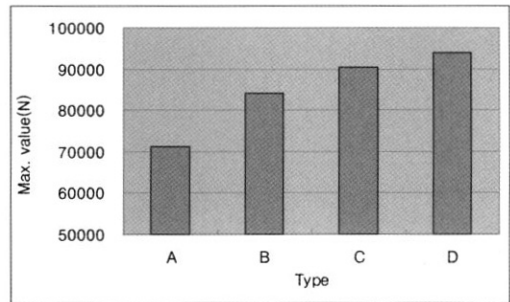


Fig. 6. Maximum values for various steel-to-glulam connection.

이러한 수치상의 차이는 항복 모델을 이용하여 유도한 예측식에 올바르게 반영되지 않은 파스너에 존재하는 축하중에 의한 영향 그리고 너트와 와셔로 인한 볼트 머리의 고정 효과에 의한 영향 등으로 판단된다.

#### 3.2.2. 대조구와 강철판 1개 삽입 결합부의 강도 성능 비교

Table 2에 의하면 최대값의 경우 집성재 내부에 강철판을 삽입하지 않은 대조구(A1, A2, A3)에 비해 1 mm 강철판을 집성재 중앙에 삽입한 결합부 시편(B1, B2, B3)의 경우 평균 12834 N (18%)이나 증가한 것을 알 수 있다. 항복 하중 역시 평균을 기준으로 7532 N (13%)이 증가했음을 볼 수 있고, 단지 두께 1 mm의 강철판 한 개 삽입으로 얻어지는 결과로 보기에 상당한 강도 성능 증가인 것으로 판단된다.

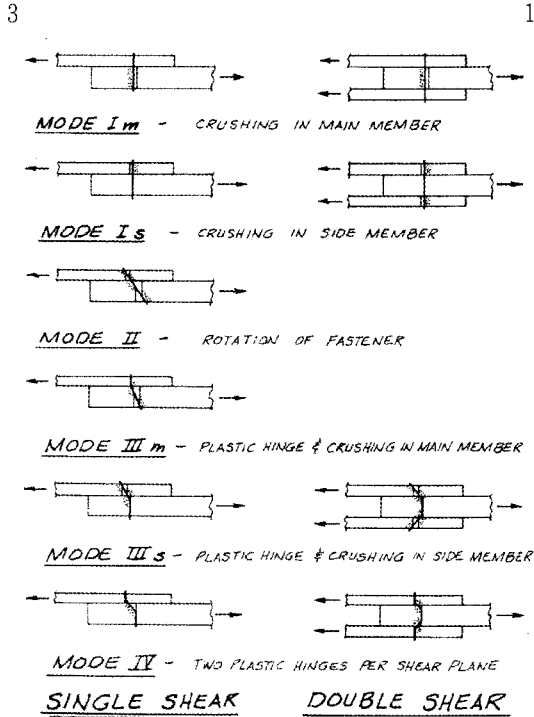


Fig. 7. Four basic yield modes in dowel-type connections.

### 3.2.3. 대조구와 강철판 2개 삽입 결합부의 강도 성능 비교

Table 2는 집성재 내부에 1 mm 강철판 두 개를 삽입한 경우가 한 개의 강철판을 삽입한 경우보다 더욱 우수한 강도 성능 증가가 나타남을 보여주고 있다. 평균값은 대조구에 비해 최대 하중값은 27%, 항복 하중의 경우 20%의 증가를, 강철판을 1개 삽입한 그룹에 비해서는 최대값은 7%, 항복 하중값의 경우는 6.6%의 증가를 보여 기대했던 값의 증가는 하지 않았지만 이는 실험 재료의 성질 변화가 크게 영향을 것으로 판단된다. C1과 C3의 경우에 실험 수행 후 확인한 사진 자료에 의하면 집성재와 3 mm 측면 강철판의 경우 다른 C2에 비해 더 많은 손상과 변형을 보였다. 특히 C1 시편의 집성재에는 상당한 양의 용이가 포함되어 있어 집성재 제조상의 강도 결합 요인이 결합부의 강도적 성능 저하에 크게 영향을 것으로 판단된다. 항복

하중값이나 최대값 모두에서 모든 집성재 결합부 시편 중 최고의 값을 보인 C2 결합부의 경우 가장 우수한 재료의 집성재 시편이 사용된 것으로 실험 후 관찰할 수 있었다.

### 3.2.4. 대조구와 강철판 3개 삽입 결합부의 강도 성능 비교

하지만, 집성재 내부에 1 mm 강철판 3개를 삽입한 시편인 D1, D2 및 D3는 주 부재인 집성재가 1 m 강철판 3개의 삽입으로 너무 강하게 보강되어 집성재 부위의 파괴가 없었으며 오히려 측면부재인 강철판이 휘어져 최대 변형량 15 mm에 도달했을 때 실험을 중단하였다. D 그룹은 대조구인 A 그룹에 비해 최대값의 경우 332%, 항복 하중의 경우 24%의 강도 증가를 보였다. 강철판을 1개 삽입한 B 그룹에 비해 최대값의 경우 12%, 항복 하중의 경우 10%의 증가를 보였으며 강철판을 2개 삽입한 C 그룹에 비해 최대값의 경우 4%, 항복 하중의 경우 3.6%의 강도 증가를 보였다.

결합부의 강도적 성능 증가는 휘어지지 않을 더 두꺼운 강철판을 측면부재로 사용한다면 현저했을 것으로 판단된다. 하지만, 더 두꺼운 강철판을 사용할 경우, 발생할 수 있는 결합부 주위와의 부조화나 부수적으로 증가할 주 부재의 두께나 폭에 관한 부분도 충분히 고려해야 할 것이다.

Fig. 5는 항복 하중의 경우 그리고 Fig. 6은 최대값에 있어 대조구와 강철판을 삽입한 시각 그룹들간의 전체적인 증가 경향이 어떤지를 보여주고 있다. 강도 성능 증가는 1 mm 두께의 얇은 강철판 삽입이지만 상당한 것으로 나타났다. 하지만 강철판 개수 증가에 따른 상대적 강도 성능 증가는 점차 감소함을 알 수 있다. 따라서, 원하는 결합부에서 요구되는 강도 성능을 정확히 사전에 파악하여 용도에 맞는 적절한 결합부를 설계·시공하는 것이 필요한 것으로 판단된다.

실제로, 집성재 내부에 강철판을 삽입한 결합부를 제작은 우선적으로 고려할 점이 강철판 삽입으로 인한 강도 성능 증가와 강철판 삽입을 위한 추가적인 경제적·기술적 부담 증가 사이에서 합의점을 찾는 것이 중요하다 할 것이다.

## 4. 결 론

본 연구는 고 성능 결합부를 개발하고자 하는 일련의 연구 중 하나로 주 부재로 집성재를, 측면 부재로 3 mm 두께의 강철판을 그리고 1 mm 두께의 강철판을 개수를 달리하여 집성재에 삽입하여 결합부를 제조하였다. 이러한 각 결합부 조건의 차이에 따른 각 결합부의 강도적 성능 증가를 살펴보고자 하였다.

본 연구를 통해 아주 얇은 두께의 강철판이라도 대단면 부재인 집성재 내부에 삽입하여 결합부를 제조할 경우 상당한 정도의 강도적 성능 증가를 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 강철판을 삽입하지 않은 A 그룹에 비해 강철판을 1개 삽입한 B 그룹은 최대값과 항복 하중값에서 각각 18%와 13%, 강철판을 2개 삽입한 C 그룹은 27%와 20% 그리고 강철판을 3개 삽입한 경우는 33%와 24%의 강도적 성능 증가를 보였다. 하지만 집성재 내부에 얇은 두께의 강철판을 삽입하는데 필요한 추가적인 경제적·기술적 어려움으로 인해 강철판 삽입으로서 얻을 수 있는 강도적 성능 증가와 그에 따른 어려움을 효율적으로 비교·판단하여 결정해야 할 것이다.

본 연구에서 의도한 고 성능 결합부의 설계 및 제작을 위해 추가적으로 다음과 같은 문제점들이 해결되어야 할 것으로 판단된다. 가장 먼저 고려되어야 할 점은 얇은 강철판 삽입 결합부의 여러 설계변수들의 최적화 즉, 파스너의 직경과 강도, 파스너의 끝면 거리, 측면 거리, 파스너의 간격이 규격화 되어야 할 것이고 다음으로 삽입 강철판의 두께, 강철판의 간격, 그리고 추가적으로 파스너의 수치 등이 결합부의 강도에 영향을 바를 규명해야 할 것이다. 이러한 문제 해결과 관련하여 결합 부재 자체를 강화시킬 수 있는 방법 개발과 접합부 제작 기술의 정교함 증대, 부재 중 직접 서로 결합되는 부분의 강화, 분활에 대한 국부적인 강화, 등급 구분 재료의 사용, 그리고 목재와 강철판 각각의 좀 더 정확한 파괴모드 분석 및 비교를 통해 고 성능의 접합부를 개발할 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

1. 김광철, 이진제. 2000. Analysis of the behavior of bolt jointed wood connections by applying semi-rigid theory. 목재공학. 28(4): 73~83.
2. 박천영, 김광모, 이진제. 2005. 낙엽송 부재의 이중 전단 볼트 접합부 강도 성능. 33(1): 7~16.
3. American Society for Testing and Materials (ASTM). D 1761. 1995 Edition.
4. American Society for Testing and Materials (ASTM). D 2395. 1995 Edition.
5. American Society for Testing and Materials (ASTM). D 4442. 1995 Edition.
6. American Society for Testing and Materials (ASTM). D 5652. 1995 Edition.
7. Gehri, E., 1997. A steel-to-timber doweled joint of high performance in combination with a high strength wood composite (Parallam). CIB-W18/30-7-4, Vancouver, 1997.
8. Haller, P. and C. J. Natterer, J. 1996. Experimental study on Glass-fibre Reinforced and Densified Timber Joints, Proc. of International Wood Engineering Conference, October 28~31, 1996, New Orleans, Louisiana, USA.
9. Johansen, K. W. 1949. Theory of timber connections. International Association for Bridge and Structural Engineering. 9: 249~262.
10. Mischler, A. 1997. Influence of ductility on the load-carrying capacity of joints with dowel-type fasteners. Paper 30-7-6. CIB-W18, Vancouver, Canada, 1997.
11. Mischler, A. 1998a. "Design of Joints with Laterally Loaded Dowels" Timber Connection Design Seminar, UBC. October 10, 1998, Vancouver, BC, Canada, 1997.
12. National Design Specification for Wood Construction (NDS). 1997 Edition.