

# 다양한 형태의 목재 결합부의 강도 성능 개선에 관한 연구\*<sup>1</sup>

김 광 철\*<sup>2†</sup>

## Study on the Improvement of Strength Capacity for Various Wood-to-wood Connections\*<sup>1</sup>

Gwang-Chul Kim\*<sup>2†</sup>

### 요 약

본 연구는 다섯 종류의 서로 다른 형태의 목재 대 목재 결합부를 제작하여 각 결합부 그룹의 강도 성능 증가를 살펴보았다. 가장 높은 강도 성능 증가를 보인 그룹은 동일 단면 손실을 고려한 소경 볼트를 사용한 결합부 그룹 이었고, 이어서 합판을 삽입한 결합부 그룹, 접착제를 볼트에 도포한 결합부 그룹, 그리고 마지막으로 고무판을 삽입한 결합부 그룹 순으로 나타났다. 이들 여러 형태의 결합부 그룹은 전체적으로 기존의 결합부 형태에 비해 최소 약 10% 이상의 강도 성능 증가를 보였다. 이 결과는 새로운 고 성능 결합부 개발에 다양한 형태로 응용이 가능할 것으로 판단된다. 하지만, 추가적인 작업으로 인한 시공상의 어려움과 추가적인 작업을 통해 얻을 수 있는 강도 성능 증가의 정도와 경제적인 이점 등을 종합적으로 고려해서 각 구조물에 적합한 결합부 형태와 재료를 선택해야 할 것으로 판단된다.

### ABSTRACT

This research was investigated on the increase in strength capacity among different five wood-to-wood connections. Group using small diameter bolts with equal area loss has the highest increase in strength capacity, secondly the group inserted plywood, thirdly the group used glued bolt, and lastly the group inserted rubber plate. These groups showed at least 10% increase in strength capacity more than existing connection groups. Therefore, these results can be applied to develop the new highly efficient connection. To select suitable connection configuration and materials, however,

\*<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)

economical advantage and increase in strength capacity and the difficulty should be considered by the additional works.

**Keywords:** wood-to-wood connection, small diameter bolt, glued bolt, rubber plate

## 1. 서 론

철골 구조물이나 철근-콘크리트 구조물과 달리 목 구조물 시공은 반드시 불연속의 결합부가 존재하게 된다. 이러한 결합부는 부수적으로 응력 집중이 발생하여 구조적으로 취약한 부분이 되며 안전성을 위해 신뢰성 있는 설계 및 시공이 필요하다. 특히 다양한 개성을 보유하고 있는 현대인의 목구조물의 설계 및 시공은 의뢰인의 의지에 따라 기존의 결합부를 적용할 수 없는 경우가 자주 발생하며 또한 기존의 결합부 형태로는 적합한 안전성을 보장할 수 없는 경우가 흔히 발생한다.

목구조물을 설계 및 시공 할 때 가장 어려움을 겪는 부분이 바로 결합부의 설계 및 시공이며 이를 극복하기 위해서 기존 결합부의 정확한 강도적 성능 해석 및 예측이 선행되어야 하고 이를 바탕으로 다양한 고 성능의 결합부를 개발하여야 한다. 특히 대형 목구조물의 시공 시에 적용 가능한 집성재와 강철 결합부의 혼합 시공에 관해서는 연구가 시작되었지만 개인 주택이나 중소형 목구조물을 시공할 경우 자주 이용되는 목재 대 목재 결합부의 경우 관행적인 방법으로 결합부를 시공하고 있는 실정이다. 하지만 목재 대 목재 결합부의 경우에도 다양한 형태의 결합부에 대한 구조적 성능 평가와 예측이 필요하며 또한 이를 바탕으로 다양한 고 성능의 목재 대 목재 결합부를 개발하여야 할 필요성이 목조 주택의 수요 증가와 함께 대두되고 있다.

본 연구는 주변에서 흔히 사용 가능한 재료들과 함께 목재 대 목재 결합부들을 제작하였다. 이들 제작한 결합부들을 가지고 각각의 강도 성능에 대해 평가했고, 어떤 형태의 결합부가 가장 우수한 강도 성능을 나타내는지 그리고 어떤 형태의 결합부가 국내의 현실에서 적용가능anz를 살펴보고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험 재료

낙엽송(*Larix kaempferi* Carr.) 제재목을 이용하여 다양한 종류의 목재-목재 볼트 결합부를 제작하였다. 제작한 결합부의 종류는 5종류로 각각 3반복으로 실험을 실시하였다.

#### 2.1.1. 공시 재료

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

##### 2.1.1.1. 부재

결합부의 주 부재와 측면 부재 모두 낙엽송으로, 항복 이론값과의 비교 목적으로 그리고 여러 다른 형태의 결합부들의 강도 성능과 비교 기준으로서 제재목만을 가지고 목재 대 목재 결합부를 이중 전단 결합부로 제작하였다. 본 연구에서 비교 목적으로 제작한 결합부는 대조구 이외에 총 4가지로 이루어져 있다. 먼저 주 부재와 측면 부재로 제재목을 그대로 사용한 조건은 목구조물의 중요한 요소인 구조물의 외관에 흠이 되지 않게 하기 위해 두 가지의 얇은 재료들을 주 부재와 측면 부재 사이에 삽입하여 기존의 결합부의 외형과 별 차이가 없도록 하였다. 저렴한 가격으로 구입 가능한 얇은 재료 중 흔히 주변에서 이용 가능한 3 mm 합판과 1.6 mm 고무판을 각각 이중 전단 결합부의 사이에 삽입하여 두 가지 형태의 다른 결합부를 제작하였다. 또한 볼트 체결시에 미리 볼트와 너트에 목공용 접착제를 도포하여 결합부 형태를 추가적으로 제작하였다. 위의 모든 결합부는 20 mm 볼트를 사용하였지만 마지막으로 10 mm 볼트 4개를 사용하여, 볼트 구멍에 따른 목재의 면적 손실이 동일하도록 하

Table 1. Characteristics of connections

Type	Materials	Size (mm)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	MC (%)
Wood-to-wood	Main member ( <i>Larix</i> )	40 × 100 × 200	0.45 (0.10)* <sup>1</sup>	12 (0.8)* <sup>1</sup>
	Side member ( <i>Larix</i> )	40 × 100 × 200	-	-
	Inserted material	Plywood	3 × 100 × 100	-
Rubber		1.6 × 100 × 100	-	-

\*<sup>1</sup>: Standard deviation

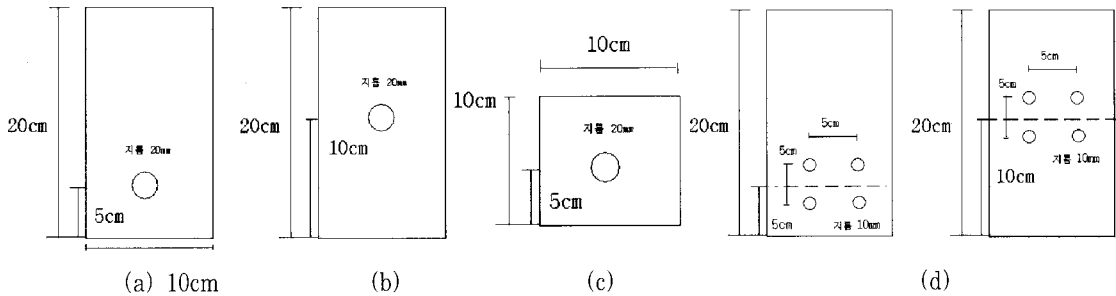


Fig. 1. The location of bolt holes for main member and side member; (a) main member, (b) side member, (c) inserted material(plywood, rubber plate), (d) small diameter specimen.

여 결합부를 제작하여 총 4가지의 변화된 결합부 형태를 제작하였다.

주 부재와 측면 부재, 그리고 삽입 물질 들의 각각의 볼트 구멍의 위치는 Fig. 1과 같으며, 제작된 결합부 형태 들은 Fig. 2와 같다.

### 2.1.1.2. 볼트

흔히 일반볼트라고 부르는 4T 볼트를 사용하였다. 지름은 20 mm 볼트와, 볼트 구멍으로 인한 단면 손실을 동일하게 할 경우의 성능 비교를 위하여 10 mm 볼트를 추가로 사용하였으며 항복강도는 2160 kg/cm<sup>2</sup> 이었다.

### 2.1.1.3. 제재목의 다우얼 내력 강도

결합부의 형태에 따른 강도적 성능은 실제 실험을 실시하지 않고 NDS의 값을 사용하였다.

## 2.2. 실험 방법

ASTM의 기준에 따라 볼트의 직경이 20 mm인 경우는 1.6 mm 크게, 그리고 10 mm 볼트로 제작한 결합부의 경우에는 볼트 구멍의 직경을 0.8 mm 크게 하였다(ASTM D 1761,1995; D 5652, 1995).

온도 20±3°C, 상대습도 65±3%의 상태에서 장기간 건조하여 평균함수율 12% 정도로 건조시켰다. 크로스 헤드(cross head)의 속도를 1.0 mm/min±50%로 해주었다. 시편의 비중과 함수율은 ASTM D 2395와 D 4442(ASTM D 2395, 1995 ; ASTM D 4442, 1995)에 따라 측정하였고, 항복하중과 비례한계 하중을 볼트 직경의 5%를 감한 offset line을 이용하여 구하였다. 결합부 실험은 3반복을 실시하였다. 결합부의 이중 전단 실험은 결합부 간의 성능 비교에 목적이 있으므로 목리에 평행하게 하중을 부하하는 실험만 실시하였다(ASTM D 4442, 1995).

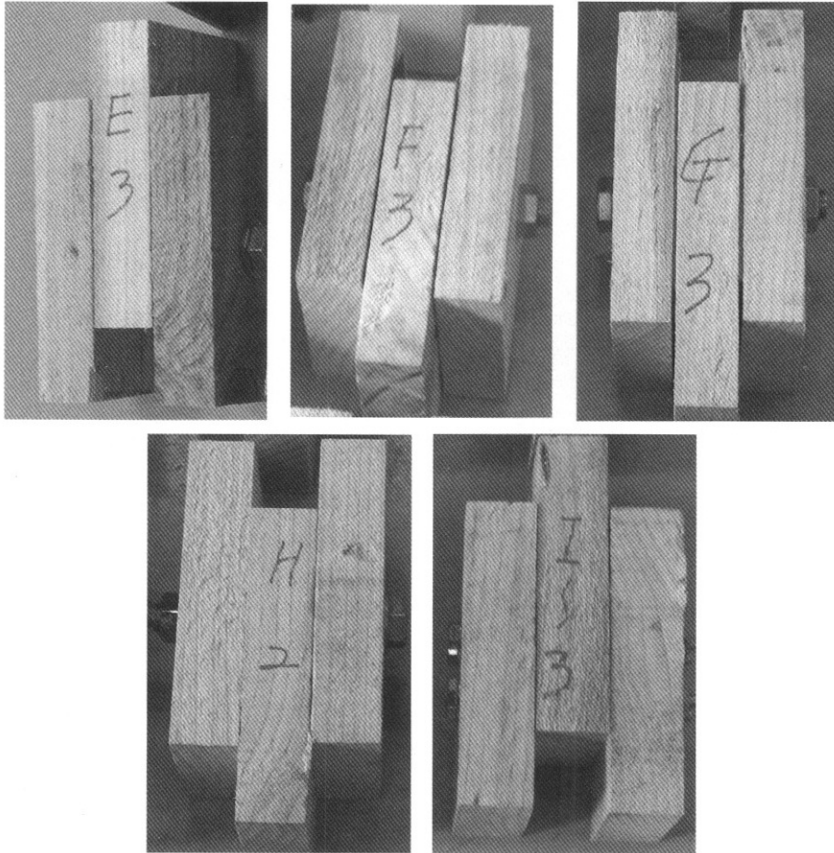


Fig. 2. Various configurations of wood-to-wood connection.

### 3. 결과 및 고찰

낙엽송 제재목은 다섯 종류의 목재 대 목재 이중 전단 결합부를 제작하기 위해 사용하였다. 제재목만을 주 부재와 측면 부재에 사용한 대조구 역할의 결합부(시편 E 그룹)와 저립하면서도 고무판이 주는 마찰력에 의해 결합부의 강도 성능 향상이 예상되는 고무판을 주 부재와 측면 부재 사이에 삽입한 결합부(F 그룹), 목재 관련 산업에서 손쉽게 접할 수 있는 얇은 합판을 주 부재와 측면 부재 사이에 삽입한 결합부(G 그룹), 결합부의 볼트 체결시에 볼트와 너트 등에 목공용 접착제를 미리 도포하여 체결한 결합부(H 그룹), 그리고 마지막으로 볼트에 의한 단면 손실을 동

일하게 하여, 즉 20 mm 볼트를 대신하여 10 mm 볼트를 네 개 사용하여 결합부를 만들어 동일 단면 손실에서 파스너의 크기에 따른 강도적 성능의 차이를 비교한 결합부(I 그룹)로 실험을 실시하였다. 다섯 종류의 결합부 형태에 관해 정리하면 다음과 같다.

Group	Configuration
E	대조구 시편
F	고무판 삽입 시편
G	합판 삽입 시편
H	접착제 도포 시편
I	소직경 볼트 사용 시편

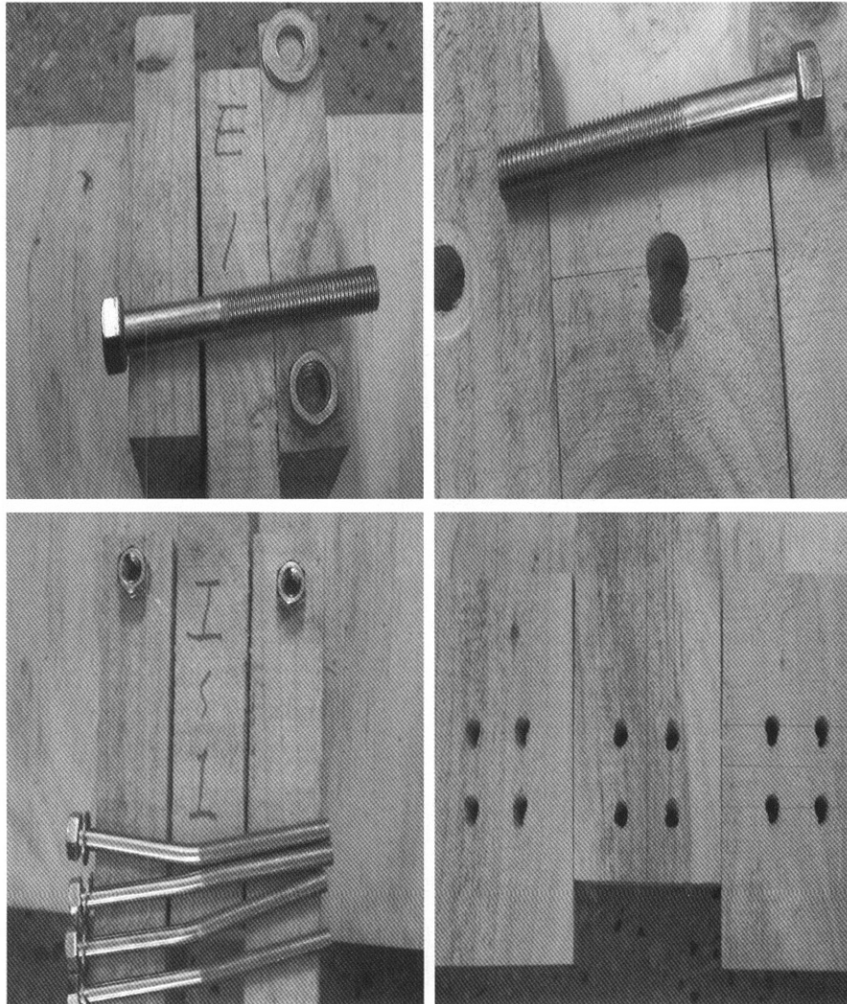


Fig. 3. Failure modes of wood-to-wood connection.

Table 2. Failure modes of various wood-to-wood connection

Type	Failure mode	Type	Failure mode
E1	Im	H1	Im
E2	Im	H2	Im
E3	Im	H3	Im
F1	Im	I1	IIIS
F2	Im	I2	IIIS
F3	Im	I3	IIIS
G1	Im		
G2	Im		
G3	Im		

### 3.1. 결합부 파괴 모드

실험 결과를 통해 알 수 있었던 파괴 모드는 작은 지름의 볼트를 사용한 결합부 I 그룹을 제외한 모든 결합부 형태에서 Im, 즉 패스너 전체가 하중하에서 균일하게 부재에 힘을 분포 전달하여 주 부재가 짓이겨지는 형태의 파괴 모드를 나타냈다. 전체적으로 파괴 모드 I은 패스너가 회전하거나 휘지 않기 때문에 내력 응력이 균일하다. 특히 본 연구의 결과처럼 Im의 파괴 모드에서는 과 응력이 주 부재내에서 발생하

는 경우에 해당한다.

결합부 I 그룹은 이중 전단 결합부의 각 전단면 근처에서 소성 힌지가 발생하는 IIIs가 주요 파괴 모드로 나타났다. 이러한 형태의 파괴 모드 III는 다우얼이 휘며 파스너 내부에 소성 힌지가 형성되는 파괴 모드로서 본 연구의 결과처럼 목재 대 목재의 이중 전단 결합부의 IIIs의 파괴 모드는 측면 부재 내에서 목섬유의 찢어짐이 나타난다.

### 3.2. 결합부 강도 비교

#### 3.2.1. 항복 이론값과 실험값의 비교

항복 모델 적용은 주 부재와 측면 부재로만 구성된 결합부의 강도 성능 예측에 가능하며 부재들 사이에 삽입 물질이 있을 경우는 예측이 불가능하기 때문에 아무런 삽입 물질을 가지지 않는 대조구 시편(E 그룹)만으로 비교하였다. Fig. 4는 시편 E2의 5% offset line을 이용한 항복 하중 실험값과 항복 모델을 사용하여 예측한 값을 비교한 것이다. 대부분의 항복모델에 의한 예측값이 그러하듯 본 실험의 결과 역시 예측값 17500 N, 실험값 16700으로 5% 정도 예측값이 높게 나타났다.

#### 3.2.2. 대조구와 고무판 삽입 결합부의 강도 성능 비교

1.6 mm의 아주 얇은 고무판을 주 부재와 측면 부재 사이에 삽입하고 제작한 결합부의 경우에는 예상한 만큼의 강도 성능 증가는 얻지 못했다. 즉 항복 하중은 9% 정도의 증가를 얻을 수 있었고 최대값의 경우는 약 10%의 증가를 얻을 수 있었다. 연구의 기획 단계에서 고무판의 마찰력이 결합부의 전단면에 작용하여 강도 성능을 크게 증가시킬 것으로 예상한 것은 실질적으로 고무판의 미끄러짐에 의한 마찰력의 손실로 인해 기대치 보다 낮게 나타났다. 하지만 고무판의 아주 저렴한 가격과 가공의 손쉬움을 고려한다면 10% 단계의 강도 성능 증가만으로도 앞으로의 고 성능 결합부 개발에 응용 가능하리라 생각된다.

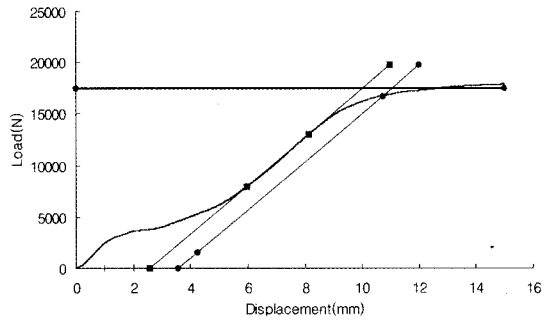


Fig. 4. Comparison of yield load between EYM value and experimental value (specimen =E2).

#### 3.2.3. 대조구와 합판 삽입 결합부의 강도 성능 비교

3 mm의 얇은 합판을 주 부재와 측면 부재 사이에 삽입한 결합부 그룹은 항복 하중의 경우 18%, 최대값은 27%의 증가를 보였다. 이는 같은 크기의 고무판을 삽입한 경우와 비교 할 경우 두배 이상의 강도 성능 증가를 보임을 알 수 있다. 고무판의 경우 고무판 자체의 얇은 두께로 인한 미끄러짐이 발생하지만 합판의 경우 합판 표면과 주 부재 그리고 측면 부재 사이에 마찰력이 충분히 생기고 또한 합판 자체의 높은 전단 강도로 인해 결합부 전체의 강도 성능 증가에 크게 기여한 것으로 생각된다. 3 mm 합판 역시 저렴한 가격과 가공의 편리성과 함께 전체적으로 우수한 강도 성능 증가는 새로운 고 성능 결합부 개발에 유용하게 이용될 수 있으리라 믿어진다.

#### 3.2.4. 대조구와 접착제를 도포한 볼트 삽입 결합부의 강도 성능 비교

결합부를 제작하기 전에 볼트와 너트 등에 목공용 접착제를 발라 결합부를 제조하였다. 일단 결합부의 외관상 볼트 주위의 접착제에 의한 영향으로 결합부 각 부재가 긴밀하게 접합되었음을 시각적으로 확인할 수 있었으며 이로 인해 높은 강도 성능 증가를 예상하였다. 하지만 실제 실험의 결과 최대값과 항복 하

Table 3. Mean of design value and maximum value

Type	Design value (N)	Maximum value (N)
E	16700	17889
F	18200	19632
G	19700	22632
H	18500	19901
I	28200	45765

중 모두 약 11% 정도의 강도 성능 증가를 보였다. 이는 아마도 접착제가 볼트 머리와 와서 그리고 너트사이에 존재함으로써 오히려 높은 하중 부하 시에 윤활제 역할을 했을 수도 있을 것으로 판단된다. 이러한 현상에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### 3.2.5. 대조구와 소경 볼트 삽입 결합부의 강도 성능 비교

4가지의 결합부 그룹 중 가장 높은 강도 성능 증가를 보였다. 20 mm 직경의 볼트 한 개와 10 mm 직경의 볼트 4개로 인한 부재의 단면 손실은 동일하다. Table 3에 따르면 부재 내에 존재하는 단면 손실은 동일하지만 강도 성능의 차이는 최대값의 경우 약 2.6배, 항복 하중의 경우 약 1.7배 증가함을 알 수 있다. 물론 작은 직경의 볼트를 사용함으로써 인해 추가적으로 볼트 구멍을 뚫어야 하는 작업상의 번거로움이 존재하지만 이런 정도의 강도 성능 증가라면 추가적인 작업의 필요에도 불구하고 그 이용 가능성은 충분하다고 판단된다. 또한 추가적으로 얻을 수 있는 경제적인 이점 역시 상당하다. 실제로 20 mm 볼트 하나를 구입할 가격으로 10 mm 볼트를 5개 구입할 수 있음을 고려한다면 소경 볼트를 사용하는 결합부 개발에 관심을 가져야 할 것으로 여겨진다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 다섯 가지의 다른 형태의 목재 대 목재 결합부를 제작하여 각 결합부 그룹의 강도 성능 증가 정도를 살펴보았다. 가장 높은 강도 성능 증가를

보인 그룹은 동일 단면 손실을 고려한 소경 볼트를 사용한 결합부 그룹이었고(최대값 2.6배, 항복 하중값 1.7배), 이어서 합판을 삽입한 결합부 그룹(최대값 27%, 항복 하중값 18%), 접착제를 볼트에 도포한 결합부 그룹(최대값 11%, 항복 하중값 11%), 그리고 마지막으로 고무판을 삽입한 결합부 그룹(최대값 10%, 항복 하중값 9%) 순으로 나타났다. 이들 여러 형태의 결합부 그룹은 전체적으로 기존의 결합부 형태에 비해서는 최소 약 10% 이상의 강도 성능 증가를 보였으므로 새로운 고 성능 결합부 개발에 다양한 형태로 응용 가능할 것으로 판단된다.

하지만, 결합부 제작의 여러 측면중 추가적인 작업으로 인한 시공상의 어려움과 추가적인 작업을 통해 얻을 수 있는 강도 성능 증가의 정도와 경제적인 이점 등을 종합적으로 고려해서 각 구조물에 적합한 결합부 형태와 재료를 선택해야 할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 김광철, 이전제. 2000. Analysis of the behavior of bolt jointed wood connections by applying semi-rigid theory. 목재공학. 28(4): 73~83.
2. 박천영, 김광모, 이전제. 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. Chen, C.J. 1998. "Mechanical Performance of fiberglass Reinforced Timber Joints", Proc. of World Conference on Timber Engineering, August 17~20, 1998, Montreux, Switzerland.
8. 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.
9. Haller, P., 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.
10. Johansen, K. W. 1949. Theory of timber connections. International Association for Bridge and Structural Engineering. 9: 249~262.
  11. Larsen, H. J. and B. Enquist, 1996. "Glass Fiber Reinforcement of Dowel-Type joints", Proc. of International Wood Engineering Conference, October 28~31, 1996, New Orleans, Louisiana, USA.
  12. 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.
  13. Mischler, A. 1998a. "Design of Joints with Laterally Loaded Dowels" Timber Connection Design Seminar, UBC. October 10, 1998, Vancouver, BC, Canada, 1997.
  14. National Design Specification for Wood Construction (NDS). 1997 Edition.