

## 파임을 가진 국산 침엽수재의 휨성능 및 구조설계기준에 관한 연구<sup>\*1</sup>

오 세 창<sup>\*2</sup>

### Bending Properties and Recommended Design Criteria for Domestic Softwood with Notch<sup>\*1</sup>

Sei-Chang Oh<sup>\*2</sup>

#### ABSTRACT

Test results of domestic softwood lumber were presented to examine the notch effect of beams and compare to present AIJ(Architecture Institute of Japan) formula in notched wood member especially positioned in bottom side (tension side) of a beam.

Notched lumber was tested under following condition : each specimen supported simply, and subjected to third-point loading at points of 1/3 of the span length. Notch was located opposite side to loading direction and notch depth were 1/6, 1/4, 1/3 of beam depth. Deflection and load were measured by digital dial guage each in 25kgf increment.

Bending test results were as follows;

$M_{pro}/M_{max}$  range (proportional and maximum bending moment ratio in notched beam) was 0.5 ~ 0.65. It was considered that maximum bending moment was about 1.5 times to proportional bending moment in notched beam and showed same tendency in the test result of ordinary wood specimens.

AIJ standard formula for the tension side notch,  $M_{max} = 0.6 \times (Z_o \cdot \sigma)$ , the constant 0.6 was suitable for notch ratio(notch depth to beam depth) 1/6, but this ratio for 1/4, and 1/3 was not. So it is preferable to accept smaller value than 0.6 for notch ratio more than 1/3. These experiment results showed critical effect in tension side notched wood beam especially in greater than notch ratio 1/3 of wood beam.

From the above results, it is recommended to revise design formula adoptable to domestic wood construction member with tension side notched member.

**Keywords** : notched wood member, bending test, notch ratio, proportional and maximum bending moment. AIJ standard, design formula

\*1. 접수 1998년 3월 17일 Received March 17, 1998.

본 연구는 1997학년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의해 수행되었음.

\*2. 대구대학교 자연자원대학 College of Natural Resources, Taegu University, Kyongsan, 712-714, Korea

## 1. 서 론

목구조물에서 목재보(beam)에 대해 원하는 높이를 맞추거나 일정한 간격이 요구될 때, 또는 배선배관작업시에 필요한 여유공간을 제공하고 각종 형태의 접합부 형성시 파임(notch)가공을 하는 경우가 많다. 파임을 가지는 부재의 강도는 파임으로 인한 단면의 감소에 따른 순단면적(net section)을 적용하여 계산하고 있으나, 이론상의 계산과는 달리 대부분의 경우에 있어서 예측된 강도치보다 낮은 값을 나타내는데 이는 파임부의 모서리근처에서의 응력집중에 의한 강도손실 및 부근에 존재하는 부재자체의 결점에 의한 성능저하에 의한 것으로 해석된다. 일반적인 목구조 관련설계기준인 Uniform Building Code(1991), NDS(1991)과 木構造設計基準(1988) 등에서는 보통 파임가공을 시행하지 말 것을 권장하고 있으며, 특히 인장측에서의 파임은 엄격히 제한하고 있는 경우가 많으나 실제 시공상에 있어서는 상당히 많은 경우에 파임을 적용하고 있는 경우가 많다. 파임을 지닌 부재의 파괴는 임계하중에 도달했을 때 파임부의 모서리부에서 목리를 따라 크랙이 확장되면서 발생한다. 이 경우 파넬부의 임계응력치를 산출하는데에는 목재와 같은 이방성재료에서는 매우 복잡한 것으로 알려져 있으며(Hirai & Minoru, 1979) 이에 따른 설계기준의 설정에도 많은 어려움이 따른다.

특히 우리나라와 같이 목구조관련 분야의 구조설계에 관한 설계기준이 세밀하게 확립이 되어 있지 않은 상황에서 많이 시공되고 있는 목조건축의 구조상의 안전설계문제가 큰 문제점으로 제기될 수가 있으며 이러한 문제점의 구명에 관한 객관적인 근거가 필요하게 된다.

구조부재, 그중 장선(joist)과 같이 휨을 받는 가로부재에 있어서 파임은 구조성능에 미치는 영향이 매우 크다. 따라서 미국, 호주 및 일본등지에서도 목구

조설계기준상에 파임에 관한 설계기준 및 제한요건을 설정해 놓고 있으며 그 기준은 파임의 깊이 및 폭, 위치에 따른 제반 제한사항을 제시하고 있다. 현재 국내에서는 이에 따른 규정이 미비되어 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 공법상의 효율면에서 사용가능성이 있는 파임을 함유한 휨부재, 특히 인장측에 파임을 한 부재의 휨성능에 대하여 고찰해보고 이를 통하여 목구조물의 설계시 파임에 관한 구조기준의 설정을 위한 기초자료를 제시하기 위하여 본 연구를 수행하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 시험재료

본 시험에서 사용된 공시재료는 낙엽송(*Larix leptolepis*)과 소나무(*Pinus densiflora*)였으며, 선정된 공시목을 단면이 4.5cm × 21.0cm, 길이가 260cm로 제재하여 평균함수율 12 ~ 14% 정도로 열기건조시킨 후 온도 20℃, 상대습도 65%의 조건하에서 약 6개월간 재료조습실에서 조습처리하였다.

### 2.2 시험편의 제작

조습처리된 시험재를 평삭가공하여 최종치수가 단면이 4.0cm × 20cm, 길이가 260cm인 부재를 제작하였다. 제작된 부재에 대하여 침엽수구조재의 품등(산림청, 1997)에 관한 기준을 적용하여 구조재료의 사용이 가능한 2등급제 이상을 공시시험편으로 하여 파넬가공을 실시하였다. 부재의 파넬가공은 휨시험시에 부재의 인장측에 위치하도록 하여 홑파기날을 사용하여 가공하였으며, 파임의 폭은 10cm(부재깊이의 1/2)로 하고 파임의 깊이는 부재깊이에 대해 1/6, 1/4, 1/3으로 하여 각기 4반복씩 되도록 제작하였다.

Table 1. Configuration of tested specimens

Specimens	Dressed dimension	Notch depth to beam depth	Position of notch
Japanese larch ( <i>Larix leptolepis</i> )	4.0cm × 20cm × 260cm	1/6, 1/4, 1/3 (3.3cm, 5.0cm, 6.7cm)	tension side
Red pine ( <i>Pinus densiflora</i> )	4.0cm × 20cm × 260cm	1/6, 1/4, 1/3 (3.3cm, 5.0cm, 6.7cm)	tension side

제작시 파임의 주위에 파괴시 할렬의 진전을 방해하는 용이가 존재하는 시험체는 제외하였다. 시험체의 함수율은 접촉식 휴대용 함수율 측정기로 4곳을 선정하여 측정하여 평균치로 구하였다. 측정된 함수율은 낙엽송의 경우 12.2%, 소나무의 경우 12.6%로 나타났다. 선정된 시험체의 내역은 표 1과 같다.

### 2.3 휨시험

파임가공을 한 시험체에 대하여 자체제작한 용량 5톤의 실대재 휨시험기를 사용하여 3등분점 2점하중을 가하여 휨시험을 수행하였으며, 시험조건은 하중 속도 10mm/min로 하였다. 시험체의 하중에 의한 처짐은 정도 1/100mm의 디지털-다이얼게이지(digital-dial gauge)를 사용하여 매 25kgf 하중마다 이에 해당하는 처짐량을 시험체의 중앙부에서 측정하였다. 시험종료후 각 시험편에 대하여 해당부재의 모멘트 산정에 필요한 기준치를 선정하기 위하여 무결점소형시험편을 채취하였으며 채취된 시험편에 대하여 휨탄성계수(MOE)와 휨파괴계수(MOR)를 측정하였다. 제작된 시험편의 형상 및 시험방법은 그림 1과 같다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 비례한도 휨모멘트와 최대휨모멘트의 비교

초기시험조건으로부터 각 하중값에 따라 산정된 휨모멘트의 계산식은  $M = \frac{\pi}{2} \times L/3 = \frac{\pi}{6} \times L$  ( $\pi$ =비례한도 및 최대하중,  $L$ =지간거리)이다. 양하

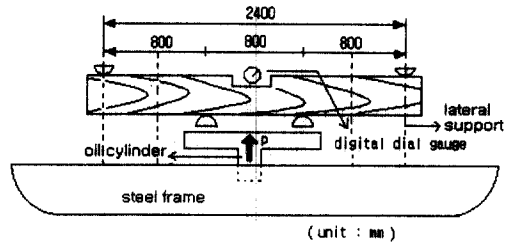
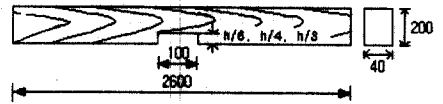


Fig. 1. Specimen geometry and method of bending test on notched beam

중점사이의 중간부분이 일정한 모멘트값을 지니는 영역으로 이 부분에서 모멘트는 최대가 되며 비례한도하중과 최대하중치를 이 식에 대입하여 비교하였다. 파임을 가진 부재의 휨시험결과로 부터 산출된 비례한도 휨모멘트와 최대휨모멘트의 결과는 표 2와 같다.

표 2에서 보듯이 낙엽송재가 소나무재보다 휨모멘트가 크게 나타났으며 최대하중에 대한 비례한도하중의 휨모멘트의 비교결과 그 비율은 낙엽송의 경우 0.56 - 0.60, 소나무의 경우 0.54 - 0.61정도로 나타났다. 杉山과 中田(1972)은 인장축에 파임을 지닌 길이 180cm의 일본산 가문비나무에 대해, 또 杉山

Table 2. Bending test results of notched beams.

Specimens	Notch ratio <sup>*1)</sup>	$M_{pro}$ <sup>*2)</sup> ( $\times 10^3$ kg-cm)	$M_{max}$ <sup>*3)</sup> ( $\times 10^3$ kg-cm)	$M_{pro}/M_{max}$
Japanese Larch ( <i>Larix leptolepis</i> )	1/6	36.6	62.0	0.59
	1/4	20.8	34.6	0.60
	1/3	17.4	31.0	0.56
Red Pine ( <i>Pinus densiflora</i> )	1/6	34.0	61.8	0.55
	1/4	19.6	36.2	0.54
	1/3	16.4	26.8	0.61

\* 1) notch depth to beam depth

2)  $M_{pro}$  : bending moment by proportional limit load

3)  $M_{max}$  : bending moment by maximum load

파임을 가진 국산 침엽수재의 휨성능 및 구조설계기준에 관한 연구

(1991)은 길이 360cm의 S-P-F 2×8재에 대해 각각 실험한 결과로부터 비례한도하중에 대한 최대하중의 비 또는 이들에 의한 모멘트의 비는 0.5 - 0.7정도로 나타난다고 하였다. 또 杉山과 前田(1990)의 Hem-fir 2×6재에 대한 연구결과에서도 인장축에 파임을 지닌 부재의 비례한도 및 최대하중에 의한 휨모멘트의 비교치는 앞의 연구와 별차이가 없음을 보였다. 본 실험에서의 연구결과와 이들의 연구결과를 비교하여 볼 때, 인장축에 파임을 지닌 재의 최대하중에 의한 모멘트는 비례한도하중에 의한 모멘트보다 1.64 - 1.79정도 큰 값을 나타내는 것으로 생각된다. 일반적으로 목재의 휨시험에서 휨강도측정시 비례한도하중은 최대하중값의 대략 2/3정도이며 따라서 비례한도 휨모멘트는 최대휨모멘트의 2/3정도된다는 것과 비교해 볼 때 파임을 지닌 부재의 비례한도휨모멘트와 최대휨모멘트의 비도 일반목재의 경우와 비슷할 것으로 생각된다. 한편 실험에 의해 산출된 휨모멘트의 비율과 파임깊이의 비와의 상호관계는 그림 2와 같다.

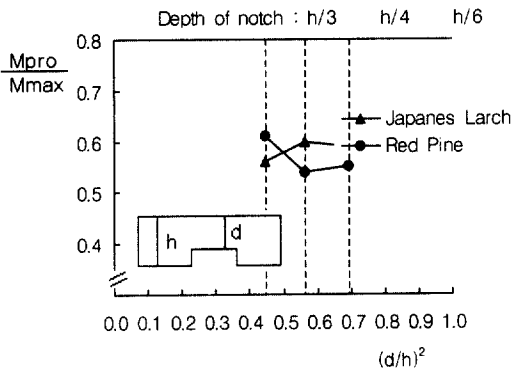


Fig. 2. Relationship between  $(d/h)^2$  and  $M_{pro}/M_{max}$

3.2 파념의 유무에 따른 부재의 최대휨모멘트의 비교

파임을 함유한 부재와 없는 부재의 휨시험에 의해 산출된 최대휨모멘트의 비교치는 표 3과 같다. 표에서 보듯이 낙엽송의 경우 파념의 깊이가 보깊이에 대해 1/6, 1/4, 1/3인 경우의 최대휨모멘트의 비교치는 각각 0.47, 0.17, 0.13, 소나무의 경우 0.49, 0.18, 0.14로 나타났다. 이를 杉山과 前田(1990)이 연구결과와 비

Table 3. Comparison of maximum bending moment between notched beam(Mnb) and unnotched beam(Mob)

specimens	Notch ratio <sup>*)</sup>	Mnb/Mob <sup>*)</sup>
Japanese Larch ( <i>Larix leptolepis</i> )	1/6	0.47
	1/4	0.17
	1/3	0.13
Red Pine ( <i>Pinus densiflora</i> )	1/6	0.49
	1/4	0.18
	1/3	0.14
Other results <sup>*)</sup>	1/6	0.51
	1/4	-
	1/3	0.15
Other results <sup>*)</sup>	1/6	0.48
	1/4	-
	1/3	0.15

- \* 1) Sugiyama and Maeda's results(1990)
- 2) Sugiyama and Nakada's results(1972)
- 3) notch depth to beam depth
- 4) Mnb/Mob : maximum bending moment of notched beam to unnotched beam

교하여 보면, 파념의 깊이가 보깊이의 1/6과 1/3의 경우에 이들의 결과가 다소 높게 나타났다. 또 다른 연구결과에서 杉山과 中田(1972)은 1/6인 경우에는 0.48, 1/3인 경우에는 0.15로 나타났다고 한 바, 이들의 연구결과와 비교하여 볼 때, 파념을 지닌 부재의 경우 휨성능은 파념이 없는 부재에 대해 깊이의 비가 1/3 - 1/6인 경우 0.13 - 0.49정도의 비율을 가지는 것으로 나타났다. 이들의 비교치를 나타내면 그림 3과 같다. 그림에서 보듯이 파념의 깊이가 보깊이의 1/4이하인 경우에 휨성능의 감소되는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 이는 矢代등(1988)의 실험에서 파념의 깊이가 증가할수록 휨강성은 감소하며 특히 1/3을 초과하는 경우 저하경향은 현저하다고 한 것과 비교되는 결과로 생각된다.

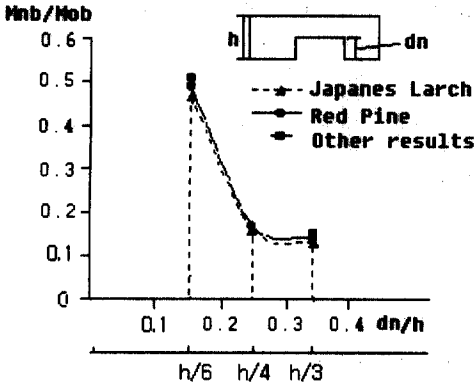


Fig. 3. Relation between Mnb/Mob and notch depth to beam depth

### 3.3 파임을 함유한 부재의 휨성능에 관한 설계식

일반적으로 휨부재의 용력산출식은 다음과 같다.

$$\sigma = M / Z$$

여기서 M : 휨모멘트(kg-cm)

Z : 단면계수(cm<sup>3</sup>)

파임을 지닌 부재의 경우 파임의 깊이에 따라 휨내력과 강성이 저하되며 이는 단면의 감소에 따른 영향에 의한 것이다. 따라서 파임을 지닌 부재, 특히 인장측에 파임을 지닌 부재의 단면계수(Ze)는 순단면계수(Zo)에 보정치(k)를 곱한 유효단면계수를 산정하여 계산하고 있다.

$$Ze = k \times Zo$$

여기서 Zo : 순단면계수(=b(h-dn)<sup>2</sup>/6)(cm<sup>3</sup>)

b : 부재의 폭 (cm)

h : 부재의 깊이(cm)

dn : 파임의 깊이(cm)

일본 목구조설계기준상에는 보정계수 k의 값을 과거에는 0.45(파임의 깊이를 보깊이의 1/3로 제한한 조건)로 하였으나 개정된 기준(日本建築學會, 1988)에서는 0.6(파임의 깊이를 보깊이의 1/4로 제한한 조건)으로 한 바, 이에 따른 상당한 논쟁이 이어지고 있다. 보정계수 k는 다음과 같이 구한다.

$$Mnb / Mob = k \times (Ze / Z) = k \times (d/h)^2 \quad \text{이므로}$$

여기서 Mnb = 파임을 한 부재의 최대휨모멘트

Mob = 파임을 하지 않은 부재의 최대휨모멘트

$$d = h - d_n$$

k = 보정계수

h : 부재의 깊이(cm)

dn : 파임의 깊이(cm)

$$k = \frac{(Mnb / Mob)}{(d / h)^2}$$

시험결과로부터 산출된 보정계수 k의 값은 표 4와 같다.

표 4에서 나타난 바와 같이 시험결과로부터 산정된 k값과 杉山과 前田(1991)의 연구결과와 비교하여 보면 파임의 깊이가 보깊이의 1/6인 경우에는 약간 높게, 1/3인 경우에는 약간 낮게 나타났다. 이 결과와 산구 일본 목구조설계기준상에서 제시된 값을 비교하여 파임부재의 구조기준에 적합한 값을 검토하기 위해 파임의 깊이에 따른 값을 그림 4에 나타내었다. 그림에서 보듯이 부재의 휨성능은 파임의 깊이가 보깊이의 1/4이상에서부터 급격히 저하하는 현상을 보여주었다. 또 파임의 깊이는 1/4이하로 제한하고 있는 조건하에서 k= 0.6인 경우 파임의 깊이가 보깊이 약 1/6인 경우에는 안전성이 있으나 그 이상인 경우 위험한 설계식으로 보여진다. k= 0.45인 경우 파임부재에 대한 휨설계식이 보다 안전한 설계식으로 보여진다. 이와 관련하여 杉山과 中田(1972), 杉山(1990, 1991,1992), 大越과 杉山(1994)의 연구결과에서도 인장측에 파임이 있는 경우 현행 일본목구조규정상의 설계식인  $f = Mmax / (0.6 \times Zo)$ 에서 보정계수 0.6의 적용의 위험성을 지적하여 몇 개의 다른 실험식을 제시한 바 있다. 소재가 아닌 단판적층재의 경우 인장측에 파임이 있을 경우 파임의 깊이가 보깊이의 1/3일때는 파임이 없을 때의 휨성능의 0.2%, 1/2일 경우에는 0.11% 에 불과하다 보고한 바(藤井, 1982) 파임의 깊이가 깊을수록 휨성능의 저하는 크게 나타난다고 볼 수 있다.

따라서 파임에 관한 제한요건 및 설계산정식을 규정할 경우, 특히 인장측에 파임이 있는 경우 압축측에 파임이 있는 경우와는 달리 그 구조성능은 감소된 단면에 의한 영향에다 보정상수의 도입이 필요하며, 이 상수값은 보다 안전한 값을 채택할 필요가 있다. 그러므로 인장측에 파임을 지닌 휨부재의 설계식은 일본목구조기준상에서 개정되기 전의 설계기준식

Table 4. Comparison of Mnb/Mob to  $(d/h)^2$  to determine k in tested beams.

specimens	Notch ratio <sup>*1)</sup>	Mnb/Mob <sup>*2)</sup>	$(d/h)^{2*3)$	k <sup>*4)</sup>
Japanese Larch ( <i>Larix leptolepis</i> )	1/6	0.47	0.694	0.677
	1/4	0.16	0.563	0.284
	1/3	0.13	0.444	0.293
Red Pine ( <i>Pinus densiflora</i> )	1/6	0.49	0.694	0.706
	1/4	0.17	0.563	0.302
	1/3	0.14	0.444	0.293
Other results**	1/6	0.51	0.694	0.630
	1/4	-	-	-
	1/3	0.15	0.444	0.350

\*1) notch depth to beam depth

2) Mnb/Mob : maximum bending moment of notched beam to unnotched beam

3)  $(d/h)^2$  : square of notched beam depth to unnotched beam depth

4) k : stress intensity factor

\*\* Sugiyama and Maeda's results(1991)

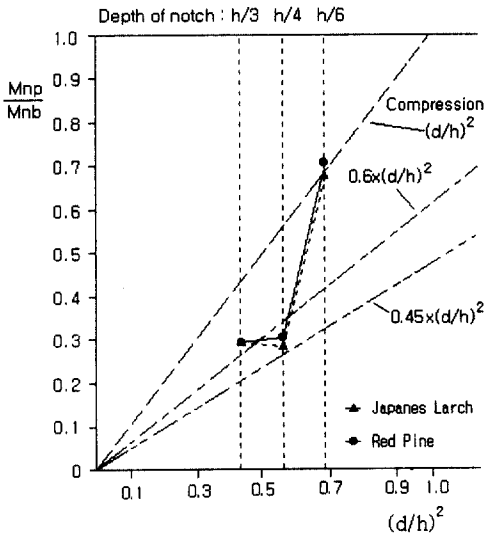


Fig. 4. Relation between Mnb/Mob and  $(d/h)^2$  to determine k in tested beams.

인  $f = M_{max} / (0.45 \times Z_0)$ 의 도입을 고려해 볼만 하며 궁극적으로 파임의 깊이가 보깊이의 1/4이상에서는 파임에 따른 단면감소의 영향으로 인해 휨성능 감소의 영향이 배가되므로 각 파임의 깊이에 관한

기준설계식을 다르게 설정하여 설계공식에 반영하는 것이 필요하나 이럴 경우 적용기준의 복잡성으로 인해 일관성을 유지하기가 쉽지 않으므로 보다 안전한 설계기준의 제시가 요망된다.

## 4. 결 론

인장축에 파임을 가진 국산 침엽수재의 휨성능을 평가하고 이를 일본 목구조설계기준상의 기준과 비교검토하여 국내목조건축의 부재설계기준설정시 이에 필요한 공식의 산정을 위해 실험한 결과는 다음과 같다.

1. 파임을 가진 부재의 비례한도 휨모멘트와 최대 휨모멘트의 비교결과, 낙엽송의 경우 0.56 - 0.60, 소나무의 경우 0.54 - 0.61정도로 나타났다. 杉山·前田(1990)의 연구결과에서도 인장축에 파임을 지닌 부재의 비례한도 및 최대하중에 의한 휨모멘트의 비교치는 0.5 - 0.7정도의 범주에 해당된다고 한 연구결과와 큰 차이가 없었다.

2. 설계공식의 산정에 필요한 파임의 깊이에 따른 영향을 조사하기 위해 파임의 유무에 따른 부재간의 최대휨모멘트를 비교한 바, 낙엽송의 경우 보의 깊이

에 대해 파임의 깊이가 1/6, 1/4, 1/3인 경우에 대해 파임이 없는 부재의 최대휨모멘트에 대한 각각의 비교치는 0.47, 0.17, 0.13, 소나무의 경우 0.49, 0.18, 0.14로 나타났다.

3. 시험결과로부터 산정된 인장측에 파임을 가진 부재의 설계식에 대한 보정상수 k값과 일본 목구조 설계기준상에서 제시된 값을 비교하여 보면 현행 일본의 규정은 파임의 깊이는 1/4이하로 제한하고 있는 조건하에서 k= 0.6으로 되어 있는 바, 본 연구결과와 비교하여 보면 파임의 깊이가 보깊이에 대해 1/6인 경우에는 타당성이 있어 보이나 1/4이상인 경우에는 이 보정상수값이 과대하게 산정된 것으로 나타났다. 이에 관한 언급은 杉山(1992)에 의해서 제시된 결과와 같은 경향을 보여 주었다. 따라서 파임에 관한 제한요건 및 설계산정식을 규정할 경우, 특히 인장측에 파임이 있는 경우 파임의 깊이가 1/4이상에서는 파임에 따른 성능감소의 영향이 매우 크므로 보다 안전한 설계식을 설정하여 설계공식에 반영하는 것이 필요하리라 생각된다. 특히 이러한 안전설계식의 산정에서 보정상수값은 수종에 따른 영향은 크게 받지 않는 것으로 나타나 파임에 관한 제한요건 설정시 응력확대계수를 사용한 해석이 가능하리라 보여지며 보정상수와와의 관계를 고려한 설계식의 도입이 추후 연구되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. American Standard for Testing Materials. 1986. Method for establishing structural grade and related allowable properties for visually grade lumber. ASTM D 245-81, Philadelphia, Pa
2. Bodig, J. and B.A. Jayne. 1982. Mechanics of wood and wood composite. Van Nostrand Reinhold Co. 712pp
3. International conference of building officials. 1991. Uniform building code. Ch.25. Wood. Whittier, Ca
4. National forest product association. 1991. National design specification for wood construction. NFPA, Washington, D.C. 125pp
5. 宮島 寛. 1985. 構造用材の強度性能評價方法. 木材學會誌 (6):429-434
6. 藤井 毅. 1982. 單板積層材の強度性能(1). 木材工業 37(8):367-430
7. 大越直子, 杉山英男. 1994. 引張側に各種切欠きを設けた木材梁の曲げ耐力比較. 日本建築學會 大會學術講演梗集: 9-10
8. 산림청. 1997. 침엽수 구조용재 한국산업규격 KS F3020
9. 杉山英男. 1991. 引張側に切欠きを持つS-P-F 2×8材の曲げ強度と剛性. 木材學會誌 37(9):790-794
10. 杉山英男. 1992. 引張側に切欠きを持つ断面の曲げに對する断面設計式. 日本建築學會 大會學術講演梗集: 11-12
11. 杉山英男, 前田一彦. 1990. 切欠きを持つ製材の曲げ試験資料と設計法についての寸考(第1報). 木材學會誌 36(6):491-496
12. 杉山英男, 中田和夫. 1972. 木質系のはりの曲げ耐力と剛性に及ぼす欠す込みの影響について(續報) 日本建築學會 論文報告集 第200号: 15-25
13. 矢代秀雄, 櫻田智之, 藤本利昭. 1988. 切に欠きを有する材のはりの曲げ耐力に關する實驗的研究. 日本建築學會大會 學術講演梗集: 85-86
14. 임업연구원. 1993. 표준임업연구실시요령
15. 日本建築學會. 1988. 木構造設計基準同解説. 236pp
16. 中田和夫, 杉山英男. 1978. 木質系のはりの曲げ耐力と剛性に及ぼす欠き込みの影響について. 日本建築學會大會 學術講演梗集: 673-674
17. 平正卓郎, 澤田 稔. 1979. 切り欠きを持つ木材梁の曲げ剛性と耐力-第1報. 有效曲げ剛性の評價について. 北海道大學 農學部 演習林研究報告 6(2): 387-420
18. 平正卓郎, 澤田 稔. 1979. 切り欠きを持つ木材梁の曲げ剛性と耐力-第2報. 等價切り欠き法の適用性有について. 北海道大學 農學部 演習林研究報告 6(3):663-680
19. 한국목구조연구회. 1994. 경골목조건축구조기준(안)