

## 경골목조주택의 벽체-바닥체 못결합부의 감쇠비에 관한 연구<sup>\*1</sup>

金 洸 模<sup>\*2</sup> · 李 銓 濟<sup>\*2</sup>

### Studies on Damping Ratio of Nailed Joint Connecting Wall to Floor in Light Frame House<sup>\*1</sup>

Kwang-Mo Kim<sup>\*2</sup> · Jun-Jae Lee<sup>\*2</sup>

#### ABSTRACT

In the design of wood structures, the consideration of the dynamic load effect has been increased. Generally, damping ratio is presented as the method of considering dynamic load effect. So, the relationship between joint type and damping ratio was investigated. It has been known that the joint extremely damp the dynamic load in wood structures.

Static test was performed to determine the effects of nail size and friction area on joint strength and stiffness. Joint strength and stiffness were increased with nail size. However, the static properties of joint was not affected by friction area.

Cyclic test was performed to determine the effects of nail size, friction area and load magnitude on damping ratio. Damping ratio was affected by all factors.

Increasing the width of the bottom plate was suggested as the most adequate method to increase the damping ratio without the reduction of the static properties of the structures.

**Keywords** : Damping ratio, lateral load, nail-joint, cyclic-test

#### 1. 서 론

최근 국내에서의 목조주택에 대한 관심과 수요가 증가함에 따라 목조주택의 설계와 시공에 필요한 건축기준 제정의 필요성이 증가하고 있다. 기존의 외국 자료들을 살펴보면 구조물에 정적으로 작용하는 하중에 관해서는 상세하게 기준을 정해주고 있지만 동적으로 작용하는 하중

에 관해서는 정적하중에 비해 영향이 현저하게 적다는 가정 하에 무시하거나 일정한 계수만을 곱해주도록 하고 있다. 최근 들어 재료의 낭비를 막고 시공을 편하게 하기 위한 노력이 계속되면서 기준에서 정한 강성과 강도를 유지하는 범위에서 구조가 단순해지고 재료의 무게가 크게 감소되었다. 이러한 결과 구조물에 대한 정적하중의 영향은 변화가 없지만 동적하중에 의한 영향에 대해서는 아

\*1 접수 1996년 5월 28일 Received May 28, 1996

\*2 서울대학교 농업생명과학대학 College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

직 제대로된 평가가 이루어지지 못하고 있다. 따라서 구조물에 작용하는 동적하중의 영향을 좀더 신중하고 정확하게 고려하여야 할 필요성이 증가하고 있다.

동적하중을 설계에 고려하는 방법으로 감쇠비가 여러 연구자들에 의해 연구되고 있는데 이는 구조물에 작용하는 동적하중의 영향이 그 진동의 진폭이나 진동수보다는 진동이 지속되는 시간에 의해 더 크게 영향받기 때문이다. 일반적으로 탄성영역 이상의 진폭에서는, 큰 진폭을 가지는 진동이 금방 소멸되었을 때보다 진폭이 작은 진동이 오랜 시간 지속될 때 구조물이 받는 피해는 더 크다(Ather-ton *et al.*, 1976; Atherton & Corder, 1978). 감쇠란 시간이 지남에 따라 진동이 감소하는 것을 말하며, 감쇠비로 그 크기를 나타낸다.

흔히 목구조물은 지진이나 태풍이 발생하였을 때 다른 형태의 구조물에 비해 안전하다고 알려져 있다. 이는 목재가 금속이나 콘크리트와 같은 다른 건축용 재료에 비해 탄성계수가 작고 비강도가 크기 때문에 쉽게 변형이 일어나고 목구조물의 결합부는 다른 구조물에 비해 접촉면적이 넓어 마찰에 의한 진동의 감소가 크게 일어나기 때문이다.

구조물에서의 감쇠는 재료 자체에서 발생하는 감쇠와 재료 사이를 연결시켜 주는 결합부의 감쇠로 크게 나눌 수 있다. 목재 자체의 감쇠비는 약 0.35%로 결합부의 감쇠비가 10%정도의 값을 가지는데 비해 현저히 작다(Polensek, 1988). 이는 구조물에서 발생하는 감쇠가 재료의 성질보다는 결합부에 의해 더 크게 영향받음을 알 수 있게 해 준다.

본 연구에서는 경골목조주택의 결합부중에서 특히 벽체-바닥체 결합부의 감쇠비에 대하여 연구하였다. 정적하중 실험을 수행하여 결합부의 성질에 영향을 미치는 인자로서 재료의 압축강도, 결합부 내의 마찰면적, 못의 크기 등이 결합부의 강도와 강성에 미치는 영향을 살펴보았으며, 또한 반복하중실험을 수행하여 내부인자로서 앞의 인자들과 외부인자로서 결합부에 작용하는 하중의 크기가 감쇠비에 어떻게 영향을 미치는 지를 알아보았다. 이 결과를 이용하여 구조물이 요구하는 정적 강도와 강성을 유지하는 범위에서 감쇠비를 증가시킬 수 있는 방법을 찾아내고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

본 연구에서는 구조용재료 흔히 사용되는 Hem-fir 2 등급재를 frame재료로 사용하였으며, 바닥덮개 재료로는 구조용재료로서 사용이 검토되고 있는 Radiata Pine

합판을 사용하였다. 사용된 frame 재료와 덮개재료의 함수율은 각각 14.5와 9.9%였으며, 비중은 0.36과 0.50이었다.

Hem-fir, 2×4 각재를 bottom plate용으로 30cm의 길이로 제작하였으며, rim joist용으로는 접촉면 사이의 마찰면적의 영향을 보기 위하여 10, 15, 20cm의 세 가지 길이로 제작하였다. 각재의 실제 폭은 8.89cm, 두께는 3.84cm였다. 합판의 폭은 2×4 부재의 폭과 일치하도록 8.89cm로 하고 길이는 rim joist의 길이와 일치하도록 10, 15, 20cm의 3종류로 제작하였다. 합판의 실제 두께는 1.24cm였다.

시험편은 Fig. 1과 같이 bottom plate와 rim joist 사이에 합판을 사이에 끼우고 중앙에 못을 박아 제작하였다. 그림에서 L은 길이방향을 표시한다. 못을 박기 전에 박으려는 위치에 지름 2.5mm의 드릴로 30mm의 깊이까지 구멍을 뚫어 못이 비스듬히 박히거나 휘는 것을 방지하였다. 못은 결합부 사이가 완전히 접촉하도록 박았다.

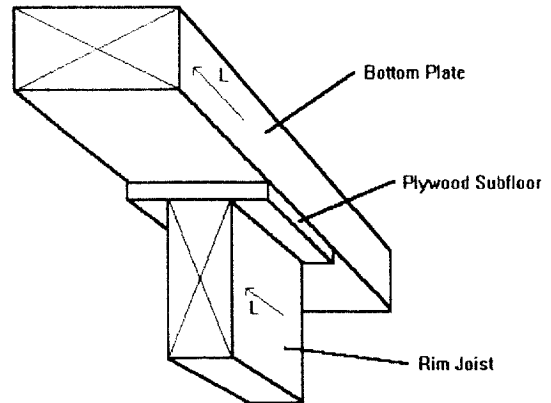


Fig. 1. Specimen configuration.

결합에 사용된 못은 못 크기에 따른 효과를 알아보기 위하여 3종류의 못을 사용하고 각각의 지름과 길이를 측정 한 결과는 아래와 같았다.

Table 1. Nail size.

	Diameter (mm)	Section area (mm <sup>2</sup> )	Length (mm)
Nail-1	3.70	10.75	93.66
Nail-2	3.35	8.81	75.10
Nail-3	2.95	6.83	65.62

실험은 모든 형태의 시험편에 대해 정적하중실험과 반복하중실험을 각각 수행하였다. 시험번호에 정적하중 시험편의 경우 S를 반복하중 시험편의 경우 D를 써서 구별하였다. 결합에 사용된 못은 Table 1의 3종류를 사용하였으며 크기가 가장 큰 것부터 a, b, c로 시험번호를 정하였다. 결합부의 사이에 바닥덮개로 사용된 합판의 길이 따라 10, 15, 20cm를 각각 1, 2, 3으로 표시하였으며 합판에 2개의 못을 바아 결합한 경우를 4로 하였다. 각 형태의 시험편에 대해 반복수를 3으로 하여 총 72개의 시험편을 제작하였다.

## 2.2 실험방법

본 연구에서는 강도시험기에서 주어지는 인장이나 압축하중을 결합부의 측방하중으로 전환시켜주기 위하여 그림과 같은 장치를 제작하여 사용하였다.

### 2.2.1 정적하중실험

Universal Testing Machine (Instron 15ton)을 사용하였으며 하중속도는 ASTM D1761에 따라 3mm/min로 하고 압축 mode의 하중을 가하여 실험하였다. 하중과 변형을 연속적으로 측정하여 기록하였고 하중이 감소하거나 변형이 10mm에 도달하면 결합부가 파괴된 것으로 보고 실험을 중지하였다.

각각의 시험편에 대해 하중-변형 곡선을 그리고 ASTM D1761에 못결합부의 최대 변형으로 정의한 7.62mm 변형이 일어났을 때의 하중값과, 강성으로써 초기 미끄러짐이 일어난 이후 하중의 증가가 일정한 부위에서의 기울기를 구하였다.

### 2.2.2 반복하중실험

정적하중실험에서 구해진 7.62mm 변형에서의 하중값의 15~30%의 범위에서 일정한 간격으로 4개의 하중

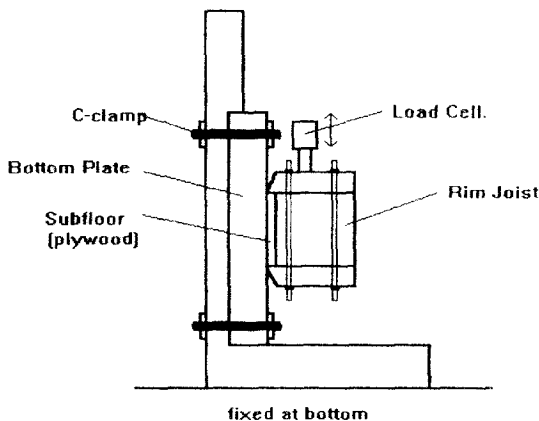


Fig. 2. Testing machine configuration.

Table 2. Cyclic test load level.

Specimen No.	Load Level(kgf)			
	L1	L2	L3	L4
Da1~3	70	100	130	160
Db1~3	50	70	90	110
Dc1~3	40	55	70	85
Da4	100	150	200	250
Db4	80	120	160	200
Dc4	70	100	130	160

값을 정하였다(Table 2). 한 시험편에 대해 하중을 단계별로 증가시키면서 각 하중에 대해 3번씩 인장과 압축을 반복하여 적용하였다. Universal Testing Machine (Shimadzu 1 ton)을 사용하였으며 하중속도는 30mm/min로 하였다. (Polensek · Bastendorff, 1987) 하중과 변형을 연속적으로 측정하여 기록하였다.

## 2.3 감쇠비의 계산

감쇠비를 계산하는 식은 다음과 같다. (Atherton *et al.*, 1980)

$$\lambda = D/(2\pi U) \dots \dots \dots (1)$$

여기서,

$\lambda$  : 감쇠비,

D : 임의의 주기가 한번 지났을 때 손실된 에너지,

U : 같은 주기에서 손실되지 않고 회복되는 변형 에너지.

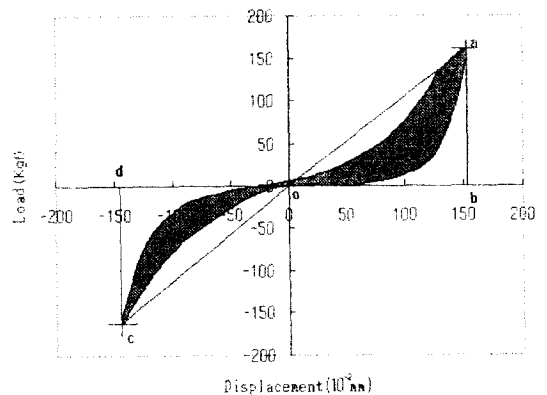


Fig. 3. One-cycle load-displacement curve.

각 하중단계에 대한 3번의 반복중 2번째 반복에서의 곡선의 면적을 이용하여 D와 U값을 구한다. Fig. 3에서 U는 점o, a, b와 o, c, d를 연결하여 얻어지는 두 삼각형의 면적을 합하여 얻어진다. D는 곡선의 내부, 색칠 되어진 부분의 면적이 된다. 이렇게 하여 얻어진 U와 D의 값을 식(1)에 대입하여 감쇠비를 구한다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 정적하중실험

정적하중실험을 통하여 얻어진 강도와 강성의 평균 값을 Table 3에 나타내었다. Table 3에서 보여지는 바와 같이 하나의 시편에 2개의 못을 박아서 실험한 경우(S4) 강성과 하중 모두가 2배 정도의 증가를 보였지만 강도의 경우가 강성에 비해 더 크게 증가하였다.

##### 3.1.1 마찰면적

마찰면적이란 바닥체의 바탕바닥과 벽체의 bottom plate 사이의 접촉 면적으로 실제 구조물에서 벽체와 바닥체를 못으로 결합시킬 경우 못 간격에 bottom plate의 폭을 곱한 값이다. 본 실험에서는 bottom plate의 폭이 일정하므로 바탕바닥의 길이로서 마찰면적을 표시하였다. 결합부의 강성과 강도에 대하여 마찰면적과 못 크기의 영향을 각각 Fig. 4와 5에 나타내었다. 마찰면적은 결합부의 강도와 강성 모두에 거의 영향하지 않음을 알 수 있다.

##### 3.1.2 못 크기

못 크기를 나타내는 척도로서 못지름을 사용하여 각각의 못 크기에 대한 강도와 강성의 변화를 그림에 나타내었다. 못의 지름이 증가하면 결합부의 강도와 강성 모두

Table 3. Stiffness and load at 7.62mm displacement at static test.

Specimen No.	Stiffness (kgf/mm)	Load (kgf)
Sa1	477.60	458.09
Sa2	447.07	497.45
Sa3	471.23	445.09
Sa4	751.65	1237.35
Sb1	275.62	374.64
Sb2	265.41	377.28
Sb3	278.26	378.72
Sb4	565.01	772.90
Sc1	212.41	306.58
Sc2	205.74	249.17
Sc3	220.80	286.46
Sc4	342.32	527.16

가 증가하는 경향을 나타내었다.

#### 3.2 반복하중실험

반복하중실험을 통하여 얻어진 감쇠비의 평균과 표준편차를 Table 4에 나타내었다. 두 개의 못을 사용한 경우(D4)는 같은 길이의 합판에 하나의 못을 사용한 경우(D3 : 합판의 길이 20cm)에 비해 감쇠비가 작게 나타났다. 이는 마찰면적의 영향으로 생각되어진다. 하나의 못에 해당하는 합판의 길이가 D4와 동일한 D1(합판의 길이 10cm)의 경우 감쇠비는 표에서 보여지는 바와 같이 D4와 거의 동일하게 나타났다. 따라서 결합부의 감쇠비는 사용된 못의 갯수에는 영향받지 않는 것으로 생각된다.

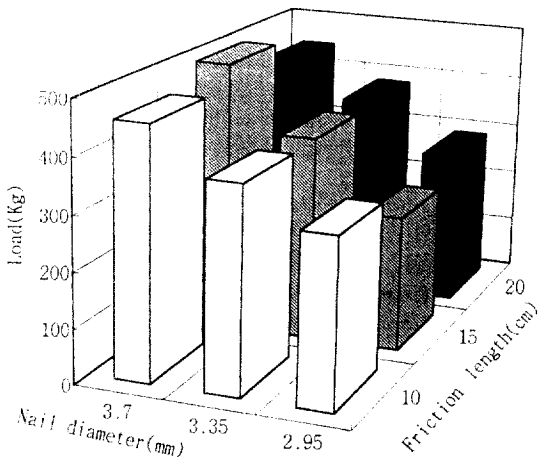


Fig. 4. Friction length and nail diameter effect to load at 7.62mm displacement.

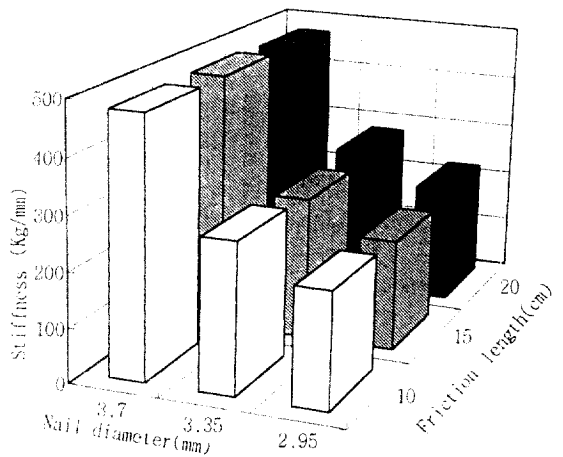


Fig. 5. Friction length and nail diameter effect to stiffness.

Table 4. Damping ratio of the tested specimen at cyclic test.

Sample	Load level			
	L1	L2	L3	L4
Da1	3.52	5.61	8.01	10.00
Db1	3.33	5.28	7.16	8.79
Dc1	3.44	5.19	6.38	8.36
Da2	4.77	5.76	7.83	12.24
Db2	4.95	6.04	6.84	8.22
Dc2	4.52	5.24	5.89	7.74
Da3	5.62	7.53	9.58	12.67
Db3	5.11	6.01	7.44	8.95
Dc3	4.52	5.30	6.49	7.75
Da4	4.43	5.64	7.98	10.57
Db4	3.77	5.26	6.34	8.48
Dc4	2.82	4.38	5.78	7.68

### 3.2.1 마찰면적

마찰면적과 하중크기가 감쇠비에 미치는 영향을 각각의 못에 대해 Fig. 6~8에 나타내었다. 마찰면적이 증가하면 감쇠비는 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 구조물이 진동을 받을 경우 접촉부에서의 마찰에 의해 에너지의 흡수가 일어나므로 진동이 감소하는 것으로 생각된다. 하지만 이러한 경향은 하중 단계가 증가함에 따라 줄어들거나 오히려 반대의 경향이 나타나기도 하였다. 이는 큰 하중이 적용될 경우 변형이 크게 일어나면 접촉면 사이에 틈이 발생하기도 하는데 이때 발생한 틈은 마찰의 영향을 감소시키기 때문이라고 생각된다. Chou 등

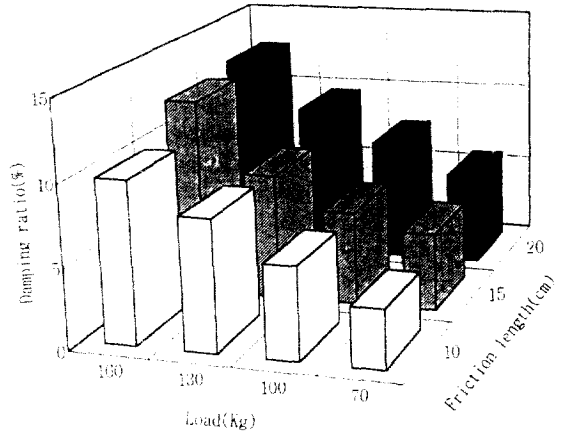


Fig. 6. Friction length and load level effect to damping ratio(nail-1).

(1987)은 결합부 사이에 틈이 있는 경우와 없는 경우의 감쇠비를 비교하여 틈이 있는 경우의 값이 훨씬 작음을 보였다. 이러한 경향은 못의 크기가 감소함에 따라 더 크게 나타났다. 이는 못의 크기가 감소하면 따라서 못의 침투깊이가 줄어들어 결합부 사이에 틈이 발생할 수 있는 가능성이 증가하기 때문이라고 생각된다.

### 3.2.2 하중크기

모든 시편에 대해 하중 크기가 증가함에 따라 감쇠비는 증가하였다. 이는 하중이 증가함에 따라 변형량이 증가하므로 결합부를 변형시키는데 손실되는 에너지의 양이 증가하기 때문이다. 감쇠비에 대한 하중크기의 영향에 대해 Chou 등(1987)과 Polensek 등(1987)은 하중크기가 증가함에 따라 결합부 사이의 틈이 발생하므로 감

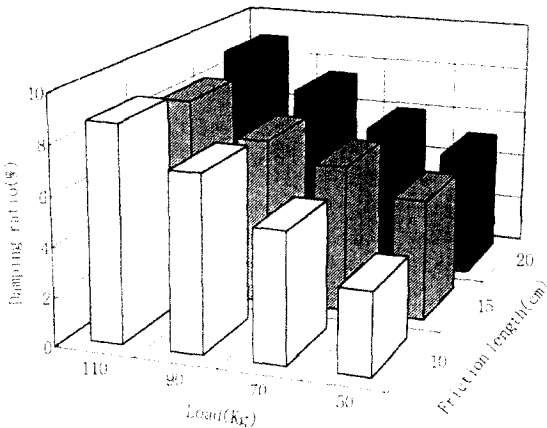


Fig. 7. Friction length and load level effect to damping ratio(nail-2).

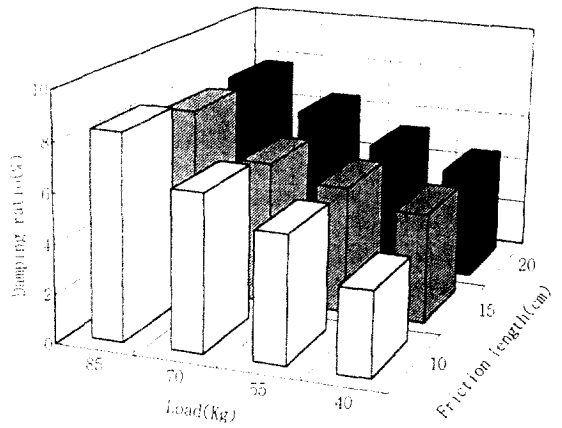


Fig. 8. Friction length and load level effect to damping ratio(nail-3).

쇠비는 감소한다고 하였다. 하지만 결합부 사이에 틈이 발생하지 않는 경우 Atherton 등(1980)은 본 연구의 결과와 같이 하중이 증가함에 따라 감쇠비는 증가한다고 하였다. 결과를 보면 다른 변수들에 비해 하중크기에 의한 영향이 가장 크고 정확하게 나타났다. 이는 하중크기의 경우 각각의 하중크기를 동일한 시험면에서 실험하게 되므로 비중 등의 다른 원인에 의한 영향은 포함되지 않기 때문이다. 다른 변수의 경우는 각각의 마찰면적이나 못 크기에 대한 시험편을 각각 제작하여 사용하므로 시험편 자체의 다른 요인에 의한 오차가 발생할 수도 있다.

### 3.2.3 못크기

반복하중실험에서 사용하는 하중크기는 정적하중실험에서의 약 15~30%의 하중범위를 사용하므로 못의 크기 중에서 하중이 가해지는 초기 단계, 즉 임계점 이하에서의 영향이 가장 큰 것으로 생각되는 못지름을 이용하여 못크기를 나타내었다. 동일한 조건에서 못크기의 영향을 알아보기 위하여 하중크기를 70kgf로 고정하고 각각의 마찰면적에 대한 못크기의 영향을 Fig. 9에 나타내었다. 못크기가 증가하면 감쇠비는 감소하는 경향을 나타내었다. 못의 크기가 큰 경우에 못의 휨강도가 크고 못과 목재 사이에 접촉하는 부위의 면적이 넓어 목재의 압축강도가 증가하므로 같은 하중에 대해 결합부의 변형량이 줄어들게 된다. 따라서 결합부를 변형시키는데 사용되는 에너지의 양이 적으므로 작은 값의 감쇠비를 가지는 것으로 생각된다. 하중값이 아닌 하중단계를 일정하게 하여준 경우에는 못의 크기가 증가함에 따라 감쇠비도 증가하는 것을 알 수 있다. (Table 4.) 이는 최대 하중값에 대한 일정한 비율의 하중값을 사용해 줌으로써 각각의 못에 대한 결합부의 변형량이 거의

같아지게 된다. 따라서 강한 결합부를 변형시키는데 더 많은 에너지가 소모되기 때문이라고 생각된다.

## 4. 결 론

정적하중실험을 수행하여 결합에 사용된 못의 크기와 마찰면적이 결합부의 강도와 강성에 미치는 효과를 알아 보았다. 못크기의 증가는 결합부의 강도와 강성 모두를 증가시켰다. 하지만 마찰면적은 결합부의 정적성질에 거의 영향을 미치지 못했다. 또한, 반복하중실험을 수행하여 못크기, 마찰면적, 하중크기 등이 감쇠비에 미치는 효과를 조사하였는데 모든 인자들은 결합부의 감쇠비를 증가시켰다.

이상과 같은 결과를 토대로 볼때, 구조물의 감쇠비를 증가시키는 방법으로는 못크기의 감소, 마찰면적의 증가, 하중크기의 증가 등을 들 수 있다. 결합에 사용되는 못크기를 감소시키면 감쇠비는 증가하지만 그에 따라 결합부 강성의 감소를 가져온다. 이러한 강성의 감소를 상쇄시키기 위해 못의 갯수를 증가시키면 그에 따라 마찰면적이 감소하므로 감쇠비는 다시 감소하게 된다. 결합부의 마찰면적은 길이와 폭, 두 방향으로 변한다. 길이 방향의 마찰면적을 증가시키는 것은 못간격의 증가를 의미하며 결국 구조물 전체의 강성을 감소시키게 된다. 따라서 강성에 영향을 주지 않고 감쇠비를 증가시키기 위해서는 폭 방향의 마찰면적을 증가시켜야 한다. 결합부에 작용하는 하중크기를 증가시키는 것은 그만큼 변형이 크게 일어나므로 전체적인 구조물의 성능을 감소시킨다.

결론적으로 구조물의 정적성질을 유지시키면서 감쇠비를 증가시킬 수 있는 가장 효과적인 방법은 결합부 폭 방향의 마찰면적을 증가시켜 주는 것이다.

## 참 고 문 헌

1. American Society for Testing and Materials. 1986. Annual Book of Standards, Vol. 4.09. Wood. Philadelphia, Pa.
2. Atherton, G. H., A. Polensek, and S. E. Corder. 1976. Human response to walking and impact vibration of wood floors. *Forest Prod. J.* 26(10) : 40~47
3. Atherton, G. H. and S. E. Corder. 1978. Human response to vibration of floors in occupied dwellings. *Forest Prod. J.* 29(7) : 29~38
4. Atherton, G. H., K. E. Rowe, and K. M.

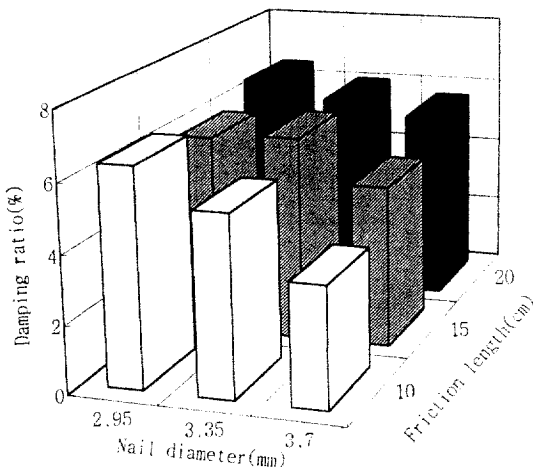


Fig. 9. Effect of nail diameter to damping ratio(load=70kgf).

- Bastendorff. 1980. Damping and slip of nailed joints. *Wood Sci.* 12(4) : 218~226
5. Chou, C., and A. Polensek. 1987. Damping and stiffness of nailed joints: response to drying. *Wood & Fiber Sci.* 19(1) : 48~58
6. Polensek, A., and K. M. Bastendorff. 1987. Damping in nailed joints of light-frame wood buildings. *Wood & Fiber Sci.* 19(2) : 110~125
7. Polensek, A. 1988. Structural damping and its effect on human response to floor vibrations. In Proceedings. International Conference on Timber Engineering. Seattle, Washington, USA : 746~755
8. Timoshenko, S. P. and D. H. Young. 1968. Elements of Strength of Materials. Fifth Edition. Prentice Hall