creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000242043

2011年 8月

博士學位論文

傳統 木構造 내민部材의 構造的 補强 特性에 관한 연구

朝 鮮 大 學 校 大 學 院

建 築 工 學 科

趙 鈗 喜

傳統 木構造 내민部材의 構造的 補强 特性에 관한 연구

A Study on the Structural Strengthening Characteristics of the Traditional Wood Structures Cantilever Members

2011年 8月 25日

朝 鮮 大 學 校 大 學 院

建 築 工 學 科

趙 鈗 喜

傳統 木構造 내민部材의 構造的 補强 特性에 관한 연구

指導敎授　金　政　燮

이 論文을 工學 博士學位申請 論文으로 提出함.

2011年 4月

朝 鮮 大 學 校　大 學 院

建 築 工 學 科

趙　銃　喜

趙銃喜의 工學博士學位論文을 認准함.

委 員 長	檀國大學校	敎授	鄭 尙 鎭	印
委 員	全南道立大學	敎授	曺 昌 鎬	印
委 員	朝鮮大學校	敎授	崔 宰 赫	印
委 員	朝鮮大學校	敎授	曺 昌 根	印
委 員	朝鮮大學校	敎授	金 政 燮	印

2011年 6月

朝 鮮 大 學 校 大 學 院

목 차

표 목차 iv
그림 목차 vi
사진 목차 vii
기 호 viii
Abstract ix

Ⅰ. 서 론 1
1.1 연구배경 및 목적 1
1.2 연구의 범위 및 진행방법 4
1.3 국내·외 연구 동향 7
1.3.1 국내의 연구동향 7
1.3.2 국외의 연구동향 10

Ⅱ. 이론적 연구 11
2.1 목재의 성질 11
2.1.1 목재의 탄성적 성질 11
2.1.2 목재의 구조적 특성 14
2.2 구조용 목재의 역학적 성질 16
2.2.1 인장응력 및 압축응력 16
2.2.2 전단응력 16
2.2.3 휨응력 17
2.2.4 탄성계수 18
2.2.5 허용응력 18
2.3 목재의 손상 및 원인 19
2.3.1 목재의 재질적 특성 19

2.3.2 목재의 손상 분류 ····· 19
2.3.3 전통 목구조 목재 손상사례 ····· 22
2.4 전통 목조 건축물의 부후 조사방법 ····· 24
2.4.1 드릴저항시험 조사방법 ····· 24
2.4.2 목재 함수율 조사방법 ····· 33
2.5 목조 건축물의 이해 ····· 37
2.5.1 궁궐(宮闕) ····· 37
2.5.2 성곽(城郭) ····· 38
2.5.3 사찰(寺刹) ····· 38
2.5.4 목탑(木塔) ····· 39
2.5.5 성당(聖堂) ····· 40
2.5.6 루정(樓亭) ····· 40
2.5.7 향교(鄕校), 서원(書院) ····· 41
2.5.8 관아(官衙) ····· 41
2.5.9 민가(民家) ····· 42
2.6 목구조의 보강 사례이해 ····· 43
2.6.1 목구조의 국외 보강 사례 ····· 43
2.6.2 목구조의 국내 보강 사례 ····· 44

Ⅲ. 실험계획 ····· 46
3.1 실험 개요 ····· 46
3.2 사용 재료 ····· 55
3.3 실험 방법 및 실험기기 ····· 58
3.3.1 내민부재 실험계획 ····· 58
3.3.2 실험 기기 ····· 60

Ⅳ. 내민부재 실험 결과 ····· 61
4.1 실험 결과 ····· 61
4.2 균열 및 파괴 양상 ····· 83
4.3 내민부재 실험체의 구조적 거동 ····· 99
4.3.1 연성(延性, Ductility) 평가 ····· 99

4.3.2 강성(剛性, Stiffness) 평가 ····· 102
4.3.3 내민부재 실험체의 실험값과 이론값 비교 ····· 106
4.3.4 내민부재의 하중-처짐 추정식 제안 ····· 109
4.4 소 결 ····· 114

Ⅵ. 결론 ····· 116
참고문헌 ····· 118
부록 ····· 121

표 목 차

<표 1.1> 국내 연구 동향 ····· 7
<표 1.2> 국외 연구 동향 ····· 10

<표 2.1> 각종 재료의 휨 탄성계수 ····· 13
<표 2.2> 목재의 응력 ····· 17
<표 2.3> 목재의 휨 탄성계수 ····· 18
<표 2.4> 목재의 허용응력 ····· 18
<표 2.5> 목조 건축물 성능저하의 요인 ····· 20
<표 2.6> 목재의 흠 ····· 21
<표 2.7> 목재 드릴저항 시험기 제원 ····· 24
<표 2.8> 목재 드릴저항 시험 ····· 26
<표 2.9> 목재 단면 드릴저항 수준평가 ····· 27
<표 2.10> 기준실험체 드릴저항 시험 ····· 28
<표 2.11> 기준실험체 목재 단면 드릴저항 수준평가 ····· 29
<표 2.12> 이음 보강실험체 드릴저항 시험 ····· 30
<표 2.13> 이음 보강실험체 목재 단면 드릴저항 수준평가 ····· 31
<표 2.14> 목재 함수율 측정기 제원 ····· 33
<표 2.15> 노강서원 내부 목재 함수율 측정 조사내용 ····· 35
<표 2.16> 기준실험체 함수율 측정 조사내용 ····· 36

<표 3.1> 내민부재 실험체 내민길이비 변수 ····· 50
<표 3.2> 내민부재 실험체 변수 ····· 54
<표 3.3> 목재의 재료시험 응력 ····· 55
<표 3.4> 구조부재의 허용응력 ····· 55
<표 3.5> 보강재의 물리적 특성 ····· 56

<표 4.1> TypeⅠ 내민부재 실험 결과 ····· 62
<표 4.2> TypeⅡ 내민부재 실험 결과 ····· 63
<표 4.3> 내민부재 실험체 파괴모드 ····· 91

<표 4.4> TypeⅠ 내민부재 실험체 연성계수 ····· 100
<표 4.5> TypeⅡ 내민부재 실험체 연성계수 ····· 100
<표 4.6> TypeⅠ 내민부재 실험체 강성 ····· 104
<표 4.7> TypeⅡ 내민부재 실험체 강성 ····· 104
<표 4.8> TypeⅠ 내민부재 실험체 실험값과 이론값의 비교 ····· 106
<표 4.9> TypeⅡ 내민부재 실험체 실험값과 이론값의 비교 ····· 106
<표 4.10> 내민부재 내민길이비별 실험체 이론값 산정 ····· 107

그 림 목 차

[그림 1.1] 연구 진행 흐름도 ····· 6
[그림 2.1] 목재의 각부 명칭 ····· 16
[그림 2.2] 목재의 수축 및 변형성향 ····· 17
[그림 2.3] 목조 건축물의 성능저하 원인 및 현상 ····· 21
[그림 2.4] 노강서원 드릴저항시험 조사위치 ····· 25
[그림 2.5] 노강서원 목재함수율 조사위치 ····· 34
[그림 2.6] 일본의 신재료 보강사례 ····· 43

[그림 3.1] 내민부재(추녀) 상세도 ····· 46
[그림 3.2] 내민부재(추녀)와 선자연의 상세도 ····· 47
[그림 3.3] 내민부재(추녀)의 물매 및 구조적 지점 상세도 ····· 48
[그림 3.4] 내민부재 실험체의 단면 상세도 ····· 53
[그림 3.5] 내민부재 실험체의 Set-up도 ····· 59

[그림 4.1] TypeⅠ 내민부재 실험체의 하중-처짐 곡선 ····· 71
[그림 4.2] TypeⅡ 내민부재 실험체의 하중-처짐 곡선 ····· 79
[그림 4.3] 내민부재 실험체의 항복, 최대하중 비교 ····· 80
[그림 4.4] TypeⅠ 내민부재 실험체의 하중-처짐 곡선 비교 ····· 81
[그림 4.5] TypeⅡ 내민부재 실험체의 하중-처짐 곡선 비교 ····· 82
[그림 4.6] TypeⅠ 내민부재 실험체의 균열도 ····· 95
[그림 4.7] TypeⅡ 내민부재 실험체의 균열도 ····· 98
[그림 4.8] TypeⅠ 내민부재 실험체별 연성계수 ····· 101
[그림 4.9] TypeⅡ 내민부재 실험체별 연성계수 ····· 101
[그림 4.10] TypeⅠ 내민부재 실험체 강성 ····· 105
[그림 4.11] TypeⅡ 내민부재 실험체 강성 ····· 111
[그림 4.12] TypeⅠ 내민부재 하중-처짐 추정식 제안 ····· 111
[그림 4.13] TypeⅡ 내민부재 하중-처짐 추정식 제안 ····· 113

사 진 목 차

[사진 2.1] 국내 목구조 손상사례 ····· 22
[사진 2.2] 일본 목구조 손상에 의한 보수 사례 ····· 23
[사진 2.3] 궁궐 ····· 37
[사진 2.4] 성곽 ····· 38
[사진 2.5] 사찰 ····· 39
[사진 2.6] 목탑 ····· 39
[사진 2.7] 성당 ····· 40
[사진 2.8] 루정 ····· 40
[사진 2.9] 향교, 서원 ····· 41
[사진 2.10] 관아 ····· 41
[사진 2.11] 민가 ····· 42
[사진 2.12] 국내 목구조 철띠 보강사례 ····· 44
[사진 2.13] 국내 목재 신보강재(탄소섬유막대) 연구사례 ····· 44
[사진 2.14] 국내 목재 철판+볼트 연구사례 ····· 45

[사진 3.1] 목재 재료시험 전경 ····· 47
[사진 3.2] 목재 보강재료 전경 ····· 48
[사진 3.3] 내민부재 보강(철띠, 강다리, 돌, 활주) 사례 ····· 51
[사진 3.4] 목재 실험체의 제작과정 ····· 54
[사진 3.5] 내민부재 실험체의 실험 전경 ····· 59

기 호

f_t : 목재의 인장응력(MPa)

f_b : 목재의 휨응력(MPa)

f_v : 목재의 전단응력(MPa)

P_y : 부재 실험체의 항복하중(kN)

tP_y : 재료강도 적용 산정 항복하중(kN)

σ_y : 부재 실험체의 항복응력(MPa)

δ_y : 부재 실험체의 항복하중 시 부재의 변위(mm)

P_u : 부재 실험체의 최대하중(kN)

σ_u : 부재 실험체의 최대강도(MPa)

δ_u : 부재 최대하중 시 부재의 변위(mm)

μ_u : 최대하중 시 연성계수

K_E : 초기강성

K_P : 소성역 강성

Abstract

A Study on the Structural Strengthening Characteristics of the Traditional Wood Structures Cantilever Members

By Cho, Youn hee
Adviser : Prof. Kim, Jeong sup, Ph.D.
Department of Architectural Engineering,
Graduate School of Chosun University

This study obtained the following conclusions through a test of reinforcement and joint reinforcement using a steel plate in consideration of the deflection and transformation by structural behavior and damage by wood decay in the cantilever members of traditional wood structures.

1. Test of cantilever members

1) In the reinforcement test of cantilever members, yield load increased by 44~135% in the reinforcement test sample compared to the standard test sample, and, specifically, yield load, initial stiffness, and maximum load were augmented in the reinforcement test sample of a double-T form steel plate as well as of a T form steel plate. Therefore, the effect of deflection control is expected through such reinforcement.

2) The coefficient of ductility increased by 7~46% in the reinforcement test sample of a - form steel plate compared to the standard test sample, and other reinforcement test samples were discovered to have deteriorated ductility, overall.

3) Concerning stiffness, initial stiffness was found to increase by 8~40% in the reinforcement test samples of T form and double-T form steel plates.

Given the fact that the initial stiffness was much higher in the reinforcement test samples than in the standard test samples, the effect of deflection control in the behavior of cantilever members in the elastic region is expected.

4) In consideration of the characteristics of cantilever members, when any damage is caused by the stress concentration and transformation in the upper part of a corner pillar, yield load was shown to increase more in the reinforcement test sample of which some part was replaced with new members than in the standard test sample.

As above, when summarizing the test results of the cantilever members of traditional wood structures, in consideration of the preservation of original forms for their beauty and structural safety in wooden cultural heritages, cantilever members(Hip Rafter) the reinforcement with the - form steel plate, T form steel plate, and double-T form steel plate is expected to increase yield load, maximum load, and initial stiffness and to control deflection compared to the reinforcement method.

Furthermore, if a member is replaced with a new one that is of appropriate thickness according to the depth of damage of the member and if it is reinforced with bolts and nails of T form and double-T form steel plates, it will show structural behavior and reinforcement effect which is similar to that of the standard test sample.

Ⅰ. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

우리나라는 반만년 역사의 우수성과 예술성을 지닌 다양한 문화재를 보유하고 있다. 천연자원중 돌, 흙, 나무 등을 이용하여 건축물을 축조하였으며, 그 중에서도 목재는 건축물의 사용 용도에 따라 궁궐, 관아, 객사, 사찰, 목탑, 서원, 한옥 등으로 건축되었다. 건축물의 역사적 가치로 인하여 국가지정문화재 2,812건 중 건축문화재가 670건(23.8%)으로 국보 및 보물로 지정되어 있다.

전통 목구조 건축물은 과거 전란이나 산불, 방화 등의 자연 및 인적재해를 통해서 많이 소실되었다. 또한, 자연적 유기물로 구성된 목재의 특성상 건축된 지 수백년 이상 경과되어 자연적 노후화(老朽化)와 습기에 의한 부후(腐朽), 구조적 원인, 재료적 원인 등에 의해 성능저하와 변형 등이 발생되어 예전의 모습을 잊어버리는 경우를 볼 수 있다.

전통 목구조 건축물은 문화 및 역사적 가치성은 증가하지만 목재의 재료적 잔존수명(殘存壽命)은 소진(消盡)되어 구조물의 손상을 방지하고 원형을 보존(保存)하기 위해 과학적인 보존에 관한 이해와 심층적인 연구(硏究)가 필요할 시점이다.

지금까지 목조문화재에 대한 보존 및 유지관리의 관점은 원형복원에 집중되어, 보수공사와 해체 복원공사 시 건축사적인 측면에서 의장(意匠), 건축적 양식(樣式) 등에 관점에서 접근되었다.

전통 목구조 건축물은 구조부재의 접합이 결구(結構)의 방법으로 구성되어 주요 구조부재 접합부에서 성능저하 및 변형이 발생되고 있지만 그 원인에 대한 연구는 초보적인 수준의 단계에 있다. 또한, 구조적으로 처짐이나 변형이 주로 발생되는 내민부재, 휨부재에 대한 구조적 접근도 미비한 수준이다.

문화재의 전문가 구성원이 건축계획과 고건축, 한국건축사(韓國建築史) 전공의 전문가들로 이루어져 있고, 전통 목조구조물의 구조적 특성이나 구조적 거동, 구조적 안전서 평가 등의 중요성을 인식하지 못하여 구조적 문제점에 대한 이해가 부

족한 상태에서 단순한 해체복원이나 보수공사가 이루어지고 있다.

전통 목구조 건축물은 부재를 결구하여 세워지는 가구식 구조로서, 목수들의 경험과 판단에 따라 부재의 크기와 조립방법의 차별화 되어 왔다. 구조설계 없이 천연재료인 목재를 벌목하여 치목(治木) 후 사용함에 따라 구조적인 측면에서 보면 상당히 큰 안전계수를 갖기도 하고 때로는 일부 부재에서는 안전성(安全性)이 확보되지 못한 상태로 시공되었다. 목구조 건축물이 가지고 있는 구조적인 문제점을 해결하지 못할 때에는 동일한 변형이나 2차적인 변형과 성능저하를 야기하게 된다.

목조 문화재의 보수 및 보강공사에서 주요부재의 손상(損傷)이 발생하였을 경우 부재의 해체복원이나 일시적으로 철물보수, 철재 띠 보수, 활주(活柱), 신목재로 교체 등의 방법으로 대처하는 실정이다. 창건이나 중건 당시에는 구조적 거동에 대한 구조적 문제점에 대한 이해부족으로 성능저하에 따른 적절한 대처방안을 수립하지 못하였다. 현재에는 과학적 접근과 구조 해석적 측면에서 구조적 문제점을 도출할 수 있으나 구조적 문제점을 내포한 상태로 해체복원만을 고집한다면 반복적인 해체 및 보수 등으로 인해 문화재의 수명이 단축될 것이다.

그러나 일본에서는 목구조 손상부재에 대해 철판 및 형강, 탄소섬유, 티타늄 등의 신재료와 소재를 이용하여 보수 및 보강공사를 실시하여 목조구조물의 구조적 안전성과 내구성을 증대하기 위한 노력과 천연목재 자원의 보호를 위해서 노력하고 있다.

문화재 보존 및 관리상 중요한 보존 가치가 있는 전통 목조 건축물에 대해 다양한 성능저하 현상들이 발생하면 보수 및 보강 등의 대책을 수립하여 보수 및 복원공사를 시행한다. 그러나 목조구조물의 구조적 특성 및 거동(擧動), 구조 내력(耐力)에 대한 평가가 미흡한 상태로 미관 및 재료적인 측면을 고려하여 부재를 완전 해체 복원하거나 신부재로 교체하면 구조적인 문제점이 그대로 방치되거나 2차변형을 야기하게 된다. 또한, 천연목재의 수요급증으로 인해 산림의 훼손이 지속적으로 증가된다.

우리나라 전통 목구조의 재료인 목재는 해당지역에서 자생(自生)하는 소나무(육송, 陸松)를 사용할 때 수축 및 팽창으로 인한 변형과 충해(蟲害)의 피해가 적어 내

구성(耐久性)측면에서 우수한 것으로 알려져 있다. 또한, 보수(補修) 및 보강(補强), 해체복원(解體復元) 등의 공사에서도 해당지역 또는 최소한 우리나라의 기후환경에서 생산되는 재료를 사용하는 것이 바람직하다. 그러나 기후의 변화와 환경오염 등으로 인해 건축물의 주요 구조부재인 기둥이나 대들보, 내민부재(추녀) 등의 큰 단면이 요구되는 재료의 수급에 상당한 어려움이 따른다. 구조부재의 보수 및 보강방법에 대한 연구 및 개발로 최소한의 부재교체를 통해 원형보존을 위한 노력이 요구된다.

따라서 본 연구는 전통 목구조 건축물에서 여수 진남관 팔작지붕 가구와 한옥의 내민부재를 기준 실험 모델로 삼아 구조적 거동 특성과 보강방법, 보강효과 등을 중심으로 연구하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 진행방법

전통 목조 건축물은 구조조건에 따라 도리, 보, 기둥 등이 결구되어 구성된 가구식구조물이다. 전통 목조 건축물의 구조시스템은 상부의 지붕하중을 수직부재인 기둥을 통해 지반으로 안전하게 전달한다.

현재까지 전통 목조 문화재와 관련한 연구는 건축 계획적 측면에서 구조의 형식과 분류, 목구조의 형성과정, 구조요소와 기법, 특수구조의 양식, 구조해석을 위한 모델링 기법, 1가구의 1방향 구조적 거동 등의 연구가 주로 이루어 졌다.

구조적 측면의 1가구의 1방향이나 보와 도리방향의 구조적 거동 실험에서 회전 및 전단스프링 상수를 도출하여 해석 모델화를 시도되었으나, 아직 미흡한 수준이다.

전통 문화재는 설계 및 시공 시 구조해석 및 검토가 일반화되지 않고 기존의 경험에 따라 시공되어 목조 구조물이 갖는 구조적 거동의 문제점을 예측하지 못한다. 또한, 중요 문화재로 지정되면 쉽게 수리 및 보수공사를 할 수 없으며 손상 부재를 신부재로 교체하는 데에도 많은 어려움이 따른다.

우리나라에서 목조 문화재의 보강은 외관에서 볼 때 손상이 발생되지 않아야 하는 어려운 구조적 전제조건과 구조적 부(-)모멘트에 의해 철판의 보강위치가 상부면에 위치하는 것으로 계획하였으며, 하부에 매입 후 면처리가 가능한 볼트 접합과 못으로 고정하였다.

내민부재의 내력을 증대시키기 위해 부재의 인장부에 '-'자 철판, T자 철판, 더블 T자 철판, 볼트+못 접합에 따른 보강재별 변수와 손상부재에 대한 신부재 교체의 크기를 변수로 보강하여 거동특성 및 보강효과를 평가하고자 한다.

전통 목구조의 구조적 특성에 따라 팔작지붕의 내민부재에 대해 실험체를 제작하여 재료시험과 부재실험을 실시한다.

재료시험은 부재실험체를 제작하는 목재에 대해 휨시험, 압축시험, 전단시험을 실시하여 목재의 물리적 성질을 파악한다.

지붕에서 주심도리 밖으로 내민 부분을 처마라 칭하며, 처마는 건축물의 바깥쪽

으로 추녀, 서까래, 평고대, 사래, 부연 등으로 구성된다. 추녀는 건축물의 네모서리 기둥 위에 대각선 방향으로 지붕의 하중을 직접 받고 있는 경사진 부재로 양방향 처마의 무게를 떠받고 사래를 받쳐준다. 추녀의 외측 끝단부 상부에는 사래와 추녀마루가 얹어져 하중요인으로 작용하여, 처짐이 발생된다. 추녀는 이 처짐 거동으로 인해 내측의 추녀가 들어 올려지는 솟음(들림)의 거동이 나타난다.

구조적 측면에서 외측은 내민보이고 내측은 왕지도리 위에 얹히거나 볼트로 고정된 상태이지만 구조적으로 완전한 고정단으로 볼 수 없다. 우주를 중심축으로 볼 때 놀이기구인 시소(seesaw)와 유사한 구조적 거동을 나타낸다.[1)]

이러한 추녀의 외측 처짐과 내측 솟음으로 추녀마루의 기와가 파손되거나 추녀와 연결된 선자연 및 갈모산방이 파손되어진다. 보수방법으로 보편적으로 활주를 세우는 방법을 사용하고 있으나 이로 인해 2차적인 처짐 및 변형을 초래하게 된다.

설계 및 시공 시 추녀의 외측 처짐이나 내측 들림에 사전에 구조안전성 확보를 위해 추녀 단면과 추녀 내민길이를 적정하게 조정하여야 한다. 만약 추녀의 단면과 내민 길이가 부적절하여 처짐과 들림 등의 변형이 발생하는 경우 구조적 안전성과 내구성이 확보 가능한 보강방법을 고려해야 한다.

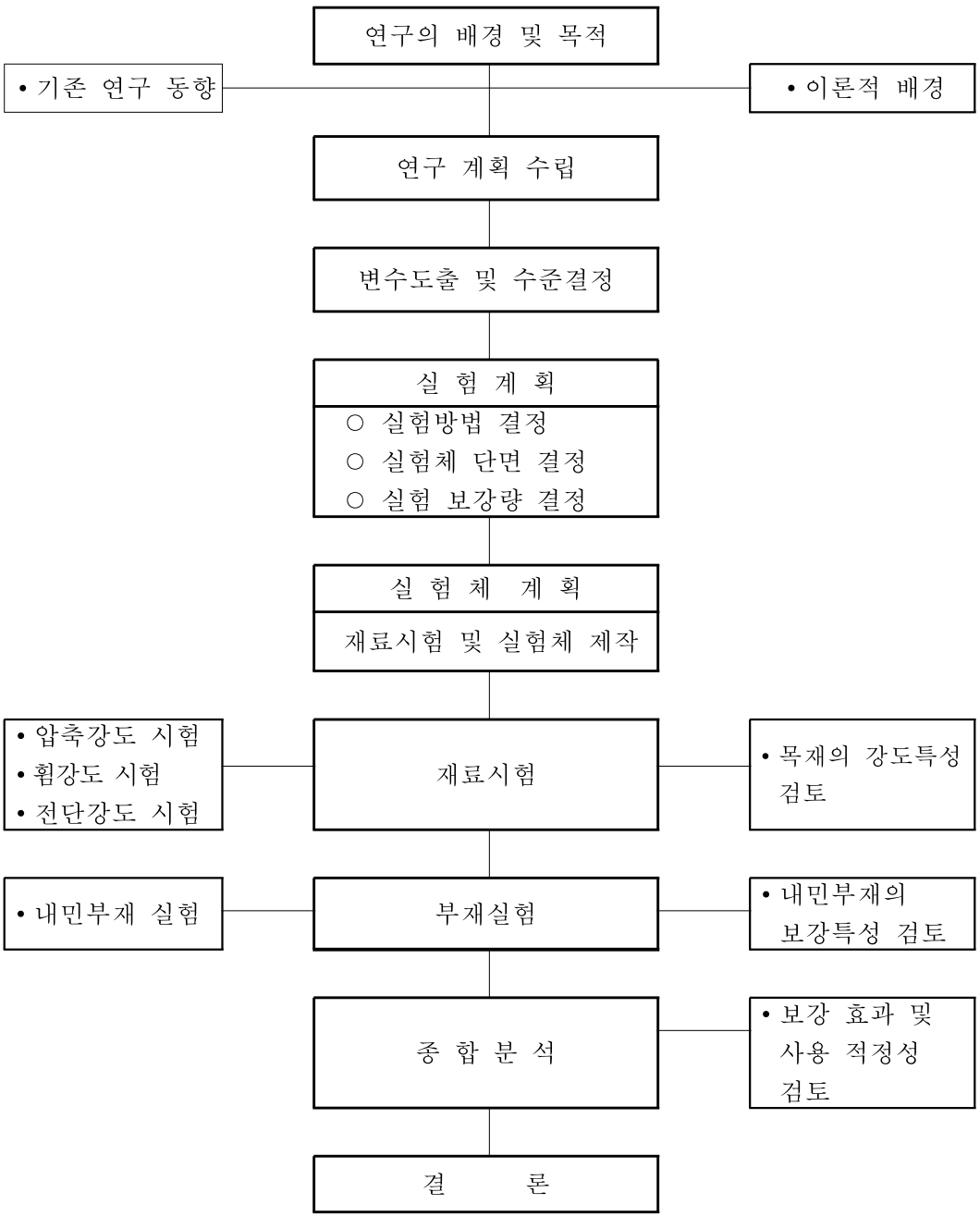
현대 구조물에서는 부재의 내력이 부족한 경우 이를 증대시키기 위해 여러 가지의 보강재료와 보강밥법이 연구 및 사용되고 있다. 이에 전통 목구조 문화재에도 부재의 구조성능에 따라 일반화된 보강재료 및 다양한 보강방법을 적용할 수 있는 방안을 검토하고자 한다.

이상과 같이 전통 목구조 건축물에서 부후(腐朽)와 구조적 원인에 의해 성능저하 현상이 주로 일어나는 기존부재에서 휨부재인 내민부재(추녀, Hip Rafter)의 손상에 대한 보강방안과 보강효과를 중심으로 연구하기 위하여 신재료를 기존부재로 가정하여 보강과 치환 후 실험체를 제작하고, 내민부재의 휨처짐 및 거동 특성에 대한 이해와 설계 및 시공 시 실용성을 제고하는 기초자료를 제공하고자 한다.

---

1) 김정섭외 4인, “전통목구조 추녀부재의 구조적 재보강 특성에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 구조계 제 27권 제3호, 22쪽.

본 연구를 수행하기 위하여 진행된 연구 흐름도는 다음과 같다.



[그림 1.1] 연구 진행 흐름도

1.3 국내·외 연구 동향

1.3.1 국내의 연구동향

국내에서는 목구조 문화재를 보존과 유지관리를 위해 문화재청 및 국립문화재연구소와 전문 안전진단기관, 학계 등에서 안전점검 및 정밀안전진단을 실시하고 있으며 건축물의 구조적 특성에 따라 그 기법이 다양하게 이루어지고 있다.

기존의 연구결과를 토대로 건축물의 재료별, 구조적 특성별로 국내외의 연구동향을 확인하여 검토하는 것은 선행된 연구에 대한 이해로 연구에 대한 방향성을 갖게된다. 기존 연구의 문제점에 대한 평가는 더 발전된 연구를 위한 근간이 되므로 연구자의 시행착오를 줄일 수 있는 기준이 된다고 할 수 있다.

본 연구를 수행하기 위해서 국내·외의 연구동향을 파악하여 목조 문화재의 실정에 맞게 적용하는 것도 반드시 필요하다. 지금까지 국내에서 연구된 연구동향을 재료별, 구조적 특성별로 구분 정리하여 <표 1.1>에 나타내었다.

<표 1.1> 국내 연구 동향

분야	연구자	연 도	연 구 내 용
가구 형식	김동현	1982	• 한국 목조건축의 가구기법의 인자 및 사용실례에 대해 연구
	김동현	1983	• 목조 건축의 가구 부재와 결구의 요인에 대해 연구 및 분류
	김동현	1995	• 한국 목조 건축의 기법에 대해 분류체계 및 구조적 특성에 대해 체계적인 연구.
	장기인	1988	• 한국건축사대계에서 가구의 형식부터 세부의 결구 수법에 이르기까지 상세히 정리함으로써 목구조의 규범이 되었음.

분야	연구자	연 도	연 구 내 용
구조 해석	김봉건	1987	• 전통 목조건축의 구조해석을 통해 목조건축의 단면 응력 해석 연구 시도
	이석하	1987	• 금산사 미륵전을 중심으로 구조부재의 내력검토와 분석을 통해 구조적 특성을 규명
	김봉건	1994	• 전통 중층(重層) 목조건축에 관해 온칸물림 방식 및 반칸물림 방식의 전단력, 축하중, 모멘트, 변형 등의 구조거동을 PC프로그램을 통해 구조적 특성 규명
	서정문	1998	• 역사지진의 진도추정을 위한 초가삼간의 내진성 평가 실험을 통해 4량(四樑) 구조의 초가삼간 구성 목조 프레임(frame)을 실험하여 수평내력을 평가하고, 1/4 모형실험을 통하여 가속도 및 응답을 조사한 최초의 동역학적 연구
	홍성걸	2000	• 경회루 추녀부에 대해 구조안전도에 관한 연구 조사를 통해 단면 응력 해석 및 구조적 특성 규명, 구조 안전성 평가
	조성산	2002	• 한국 전통 목조 건축물의 구조해석에 관한 연구.
요소 기법	김동현	1970	• 법주사 팔상전의 목조접합부에 대해 연구
	유성희	1987	• 한국목조건축 결구방법에 대해 목조건축의 구조 기법과 부재 결구(結構) 방법을 상세히 정리 연구
	홍승재	1985	• 한국 전통 목조 건축에 대한 구조와 의장의 상관성에 관해서 가구 부재별로 연구
	김성도	1985	• 한국 전통 목조 건축의 영조(營造) 규범에 관해 연구
	장헌덕	1990	• 목조 건축물의 인자(因子)형 대공(臺工) 발생과 변천에 관하여 집중 연구
	이우종 전봉희	2000	• 단층불전(單層佛典)에서 내부 기둥을 보 및 도리의 위치에 따라 고주, 차주두, 내진주, 외진주(外陣柱) 등 4가지로 구분하고 결구 방식과 지역적 분포, 내주의 결구 및 배열방식 연구
	박경훈	2010	• 다포식 목조 건축물의 구조적 거동에 대한 연구

분야	연구자	연 도	연 구 내 용
구조 실험	배병선 이영욱	1999	• 정림사 석불보호각(石佛保護閣) 구조진단보고서에서 컴퓨터 해석 프로그램과 1/2 공포(栱包) 모형실험을 통해 공포를 구성하는 부재의 전단력과 모멘트, 변형 등 구조적 거동을 분석하여 추력(推力)을 축력으로 바꾸어주는 현상 발견
	한재수 김창준	2005	• 전통 목조 건축의 접합부중 장부접합에 대한 구조적 거동에 대한 실험을 통해 구조적 성능을 평가
	정성진외 5인	2005	• 봉정사 대웅전을 중심으로 1가구에 대해 실험을 실시하여 공포 및 가구부재에 대한 부재간 마찰력 및 하중재하방법, 부재간 접촉 거동에 대한 분석을 통해 컴퓨터 해석을 위한 모형화 기법 연구
	이영욱외 5인	2006	• 봉정사 대웅전을 중심으로 1가구에 대해 실험을 실시하여 가구부재에서 시스템의 내력손실, 비선형 거동, 펀칭(Punching) 현상을 발견하였고, 회전과 전단스프링 상수를 이용하여 모델화하여 해석한 결과 층간 변위비 2% 이내에서 사용가능성 확인, 단면크기와 접합부 형태, 부재간 마찰력에 대해서는 미비
	이승중[A]	2008	• 전통 목조 건축물의 멍에부재에 대해 탄소섬유막대로 부재 실험을 실시하여 보강효과와 거동에 대해 평가
	조철희	2009	• 전통 목구조에서 변형이 주로 발생되는 멍에와 추녀의 부재 실험을 실시하여 탄소섬유막대 보강효과와 거동에 대해 평가, 처짐제한 평가, 부재실험체의 실험값과 이론값 비교, 추녀 응력 추정식 제안에 대해 연구
	박춘걸	2010	• 전통 목구조 팔작지붕에서 변형과 손상이 주로 발생되는 추녀에 대해 손상이 발생된 조건에서 철판으로 재보강하여 실험을 통해 철판 보강효과와 거동에 대해 연구
	이승중[B]	2011	• 손상이 발생된 휨부재에 대해 철판 및 볼트, 못을 이용한 재보강 실험을 실시하여 휨거동과 보강효과 대해 평가
특수 구조	김동현	1982	• 황룡사 9층 목탑의 5개 복원안에 대해 의장과 복원(復元) 연구
	김정수	1981	• 황룡사 9층 목탑의 형태추정에 관한 연구
	김정수	1984	• 망덕사 십삼층목탑의 형태추정에 관한 연구
	권종남	1998	• 한국 고대 목탑의 구조 및 의장에 관해 의장과 구조에 관한 복원적 연구
	김경표	1987	• 우리나라의 유일한 목탑인 팔상전의 구조형식에 관해 연구
	김경표	1992	• 동양목조탑파의 구조형식에 관해 법주사 팔상전과 일본 호우류지(法隆寺) 오층탑의 구조적 특징을 비교하여 고대 및 근세 목조탑파의 구조 방식을 체계적으로 정리

1.3.2 국외의 연구동향

일본은 지리적으로 우리나라와 인접한 지역에 위치하며, 문화적 특성상 목구조 건축물이 많아 목구조에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 일본에서는 자국의 실정에 맞는 목조 건축물의 가구 및 내진(耐震), 내화(耐火) 등에 대해 심도 있는 연구가 이루어지고 있다.

<표 1.2> 국외 연구 동향

분야	연구자	연 도	연 구 내 용
공포 (栱包)	세키노 (關野貞)	1905	• 韓國建築調査報告를 통해 한국 목조건축의 특성 연구
	후지시마 (藤島亥治郎)	1929	• 朝鮮建築史蕾에서 당시 한국에 현존하던 목조 건축물을 일본 건축의 분류 기준인 천축양계(亞麻組)와 당양계(詰組)로 구분하고 두 계통 모두 중국의 건축양식을 수입한 것이라는 주장으로 이는 식민사관의 관점에서 서술한 대표적인 예
	스키야마 (衫山信)	1957	• "高麗末朝鮮初の木造建築に關する硏究"에 시대에 따른 목조 가구의 특징 연구
	스키야마 (衫山信)	1984	• "韓國の中世建築"에서 한국 전통건축의 공포 형식을 주심포와 다포로 대별하고 주심포는 다시 주두(柱頭)와 첨차(檐遮)의 형태에 따라 제1형식, 제2형식 등으로 세분하였다. 주심포는 13세기 이후 중국 남방의 복건성 지방에서, 다포는 원의 강점기에 북방에서 전래된 형식이라는 주장을 제기하여 해방 이후 식민사학의 총결정판으로 평가
	카타키리 (片桐正夫)	1995	• 鳳停寺 極樂殿より見る高麗時代の建築樣式に關する一考察 • 木造建築よりみた朝鮮高麗朝建築の樣式に關する一考察 • 朝鮮建築の牛舌の成立形態に關する一考察에서 공포 구조의 진화론적 분석을 통하여 고려시대 목조건축은 원의 假昻구조의 영향을 매우 많이 받았다는 주장을 제기하여 식민사관의 연장선상에 있는 연구로 평가

Ⅱ. 이론적 연구

2.1 목재의 성질

목재는 선사시대(先史時代)부터 현재에 이르기까지 우리나라에서 건립된 건조물(建造物)의 중요자재로 사용되어 왔다. 전통 목구조 건축물의 주요 구조부재는 다양한 종류의 목재 중에서도 우리나라의 산지에 주로 서식하는 침엽수인 소나무(陸松)를 주로 사용하였다.

목재는 자연에서 성장하는 천연재료로 성장한 기후환경에 따라 목재의 재질, 성분, 내구성 등 역학적 특성이 차이가 나게 되는데 건조물의 위치 인근 환경에서 자란 수종이 건축물로 지어졌을 때 수축 및 팽창 등의 변형이 적어 내구성이 지속된다. 그러나 국내에서 자생하는 단면이 크고 길이가 긴 육송의 무분별한 벌채 및 연료사용 등으로 건축재료의 부족현상이 나타나 국외의 소나무과에 해당하는 더글라스 휘(Douglas fir), 외송(Radiata Pine), 미송(Western Hemlock) 등의 사용이 많아지고 있다.

2.1.1 목재의 탄성적 성질

일반적으로 물체에 외부하중이 작용하면 변형이 수반되고 외부하중이 제거되면 변형은 순간적으로 완전회복 되거나 부분회복 되며, 변형의 일부는 영구변형으로 나타나게 된다.

응력-변형률은 휨, 인장, 압축 및 전단 등 응력의 종류별, 목재구조, 가력된 하중방향, 온도와 함수율, 목재결함의 여부 등 많은 요인에 의해 영향을 받게되며 각자의 조건에 따라 응력-변형률의 상관관계를 나타낸다.

목재는 비교적 적은 변형에서만 탄성성질을 나타내지만 응력이 비례한계점을 넘어 작용하면 소성변형이 발생하고 응력이 목재조직의 파괴강도에 도달하면 파괴가 일어난다.

목재에서 비례한도 응력은 영구변형이 일어나지 않은 상태에서 인장강도의 약 60%, 압축강도의 약 30~50% 정도이다.

Bach와 Baumann은 대리석과 고무를 제외한 대부분 건축재료의 변형률과 응력 간에는 식 (2-1)과 같은 지수법칙이 성립함을 증명하였다.

$$\epsilon = \alpha\sigma^n \tag{2-1}$$

여기서 α와 n은 재료상수이며, 실험에 의한 재료별 n의 값은 다음과 같다.

n > 1 : 구리, 화강암, 사암(砂巖), 콘크리트 등

n = 1 : 목재 강철, 알루미늄 등

n < 1 : 가죽, 삼밧줄 등

후크의 법칙(Hooks Law)에 따라 목재의 변형률(ϵ)은 응력(σ)에 비례하는 것으로 나타난다.

$$\epsilon = \alpha\sigma \tag{2-2}$$

식 (2-2)로부터 구한 재료상수 $\alpha = \epsilon/\sigma$ 는 변형계수이고 단위응력당 변형률을 의미한다.

그리고 α의 역수($1/\alpha$)는 휨탄성계수(E)이다. 두 개의 휨탄성계수 E_1과 E_2의 평균값 E_m은 두 개의 재료상수 α_1과 α_2를 근거로 하여 식 (2-3)과 식 (2-4)를 구한다.

$$\alpha_m = (\alpha_1 + \alpha_2)/2 \tag{2-3}$$

$$E_m = 2E_1E_2/(E_1 + E_2) \tag{2-4}$$

목재의 주요 3축인 종축, 접선축, 방사축에서 압축응력(σ_c)와 인장응력(σ_t)은 각각 세 개의 수직응력 σ_{xx}, σ_{vv}, σ_{zz}를 갖으며, 3축에서 단위길이당 수축 또는 늘어남에 관계되는 세 개의 수직변형률은 ϵ_{xx}, ϵ_{vv}, ϵ_{zz}로 표시한다.

목재의 탄성계수(E)는 수직응력과 수직변형률과 관계되므로 3개의 탄성계수, 즉

종축의 탄성계수(E_l), 접선축의 탄성계수(E_t), 방사축의 탄성계수(E_r)를 갖는다.

<표 2.1> 각종 재료의 휨 탄성계수

재 료	탄 성 계 수 (MPa)
강 재	2.1×10^5
철 근	2.0×10^5
섬 유	$1.0\sim9.2\times10^4$
유 리	$5.0\sim7.8\times10^4$
목 재(종축)	1.4×10^4 (E_l)
목 재(방사축)	9.0×10^2 (E_r)
목 재(접선축)	6.0×10^2 (E_t)

목재의 탄성계수는 수종(樹種)과 축에 따라 달라지며, 다른 재료와 비교하면 고무보다는 크고, 강재보다는 작다. 목재의 각 축에 따른 휨탄성계수 차이는 세포의 모양과 배열, 미세구조의 차이에 따르게 된다.

또한, 침엽수재에서 탄성계수의 이방성(異方性)이 활엽수재의 탄성계수 이방성보다 더 큰 것은 일반적으로 전술한 방사조직과 증축세포의 배열과 관련된다.

방사조직은 방사방향에서 강도(强度)와 강성(剛性, stiffness)이 크며, 활엽수재에 있어서 방사조직의 양은 침엽수재의 것보다 더 많기 때문에 활엽수재는 침엽수재보다 방사축 변형에 대한 저항이 크다.

이밖에 종축세포의 규칙적인 방사열의 영향에 따라 일반적으로 활엽수재의 비중이 침엽수재의 비중보다 커서 이방성을 줄여주는 한 요인이 된다.

휨 탄성계수(E_b)는 일반적으로 응력 및 처짐곡선의 직선부분으로부터 계산된다. 식 (2-5)는 직사각형의 보에 정적(靜的)으로 중앙 집중하중을 가할 때에 응력 및 처짐의 비율로 탄성계수를 구하는 공식이다.

단순보의 정적 중앙 집중하중이 작용할 때 보의 항복처짐(δ_y)은 다음 식 (2-5)와 같다.

$$\delta_y = \frac{P_y L^3}{48 E_b I} \tag{2-5}$$

여기에서 보의 단면이 직사각형 형태로 폭과 춤이 각각 b와 d이면 $I = bd^3/12$ 이므로 식 (2-5)을 다소 변화시키면 식 (2-6)을 얻을 수 있다.

$$E_b = \frac{1}{4}\frac{P_y L^3}{\delta_y b d^3} \tag{2-6}$$

식 (2-6)으로부터 구한 E_b의 값은 처짐이 축변형뿐 아니라 전단변형에 의해서도 일어날 수 있기 때문에 실제의 휨탄성계수에 비하여 약간 큰 편이다.

전단응력의 영향은 $L/d \geq 20$ 인 경우에는 대체적으로 무시할 수 있다. Baumann은 변형계수 α는 경간 대 두께 비(= L/d)와, 휨탄성계수(E) 대 전단탄성계수(G)의 비(= E/G)가 중요 인자가 되며, E/G의 평균값은 17로 보고하였다.

E/G가 17이고 L/d의 값이 14, 15, 16일 때의 식 (2-6)으로 구한 E_b값은 각각 9.4%, 8.3%, 7.4%씩 적다.

2.1.2 목재의 구조적 특성

목재는 목재의 성장과 관련하여 나이테의 방향과 섬유의 방향에 따라 서로 다른 이방성(異方性, Isotropy)의 특징을 가지며, 모든 방향에 대해 동일한 성질의 물질로 이루어지지 않음으로써 생기는 목재의 특성이 있다. 재료의 특성상 3방향으로 다른 성질을 가지며 목재의 수간(樹間) 중심에서 각주(角柱, rectangular prism)를 취하면 섬유의 길이방향, 방사방향, 접선방향으로 서로 직교되는 3개의 축과 대칭되는 3개의 직교면(orthogonal plane)을 갖는 직교이방성(直交異方性) 물체로 등방성(等方性) 물체의 경우에 비하여 복잡한 기계적 성질을 갖는다.

3차원 물체로 고려할 때 목재 요소의 각 방향의 표시는 섬유와 평행인 종축방향을 z축, 섬유와 수직이고 연륜에 접선인 접선방향을 y축, 섬유와 직각이고 연륜

에 직각인 방사방향을 x축 등으로 나타낼 수 있다.

연륜은 연속된 동심륜(同心輪, concentric ring)으로 되어있다. 목재는 춘재(春材) 및 추재(秋材) 층으로 된 층상 복합체이므로 복합재의 성질은 조합법칙에 의해 계산할 수 있다.

예를 들어 층이 겹치는 방향에서 층상복합체의 유효탄성계수(E_e)는 식 (2-7)로 계산할 수 있다.

$$E_e = \sum P_i E_i \tag{2-7}$$

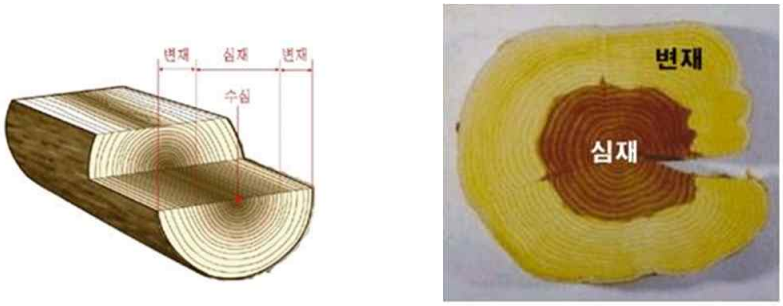
P_i ; i층의 용적율, E_i : i층의 탄성계수

2.2 구조용 목재의 역학적 성질

일반적으로 목재의 응력은 수종, 비중, 함수율, 가력방향, 심재와 변재, 섬유의 방향, 목재의 결함 등에 의해 차이가 있는 것으로 알려져 있다.

2.2.1 인장응력 및 압축응력

목재는 섬유가 긴 축방향으로 성장하고 수평방향으로 층상을 형성하기 때문에 섬유방향에 따라 강도 성능이 서로 다른 이방향성(異方向性) 재료이다.



[그림 2.1] 목재의 각부 명칭

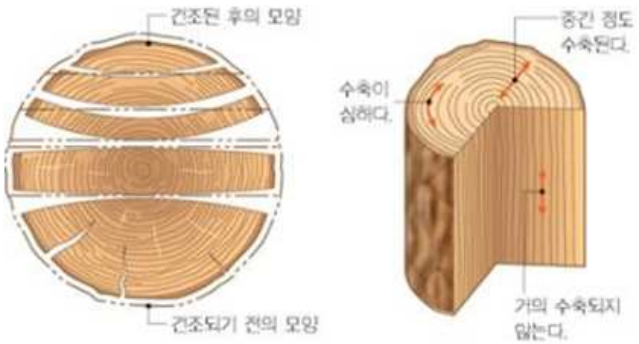
일반적으로 압축과 인장응력은 섬유의 평행 방향측에 응력이 크고, 가력 하중과 섬유방향이 직각인 경우가 강도가 최저가 된다. 또한, 비중이 크면 강도가 크고 함수율과의 관계에서는 섬유포화점 이상의 함수율에서는 목재의 응력은 변화하지 않지만 섬유포화점 이하에서는 함수율이 저하됨에 따라 휨·압축·인장과 전단강도는 증가한다.

2.2.2 전단응력

섬유의 조직 상태에 따라서 차이가 있으며, 목재의 상단부인 압축측과 하단부인 인장측인 접촉면에서 전단력이 작용하며 섬유에 평형방향이 약하고 섬유에 직각방향이 강하다.

<표 2.2> 목재의 응력

나무종류	압축응력 (MPa)	인장응력 (MPa)	휨응력 (MPa)	전단응력 (MPa)
참나무	64.1	125.0	118.0	12.3
소나무	48.0	51.9	89.0	10.1
낙엽송	63.8	69.5	82.7	9.0
밤나무	39.0	53.9	85.0	6.4
미 송	48.0	105.0	87.0	7.4
삼나무	40.0	44.7	57.6	5.2
나 왕	52.5	92.8	-	12.7



[그림 2.2] 목재의 수축 및 변형성향

2.2.3 휨응력

목재에 작용한 휨응력은 압축, 인장, 전단 등의 응력이 복합적으로 작용하며 하중에 의한 휨의 파괴 성상은 먼저 상부에서 압축면이 좌굴 파괴되고, 하부에서는 인장력이 작용 파괴되어 중심부에서는 전단력이 발생하여 파괴현상을 나타낸다.

응력과 변형이 비례하고 비례한도응력은 기건재의 압축에서 침엽수재가 파괴응력의 65~92%, 활엽수에서는 60~85% 휨에서는 침엽수재가 60~73%, 활엽수에서는 55~73% 정도이다.

2.2.4 탄성계수

목재에 작용하는 압축·인장력에 따라 다소 차이가 있으며, 함수율, 비중, 수종과 섬유방향에 따라 차이가 있다. 대체로 비중에 비례하며, 목재의 섬유방향에 대한 휨 탄성계수는 <표 2.3>과 같다.

<표 2.3> 목재의 휨 탄성계수

구 분	삼나무류	잣나무류	소나무류	낙엽송류
휨탄성계수 (MPa)	6,000~8,000	7,000~8,500	8,000~10,000	9,500~11,500
2등급 (MPa)	7,000	7,500	9,000	10,500

2.2.5 허용응력

목재의 허용응력은 수종, 함수율, 비중 등에 따라 다르고 가력 하중인 압축·인장·휨·전단에 따라 다르며 목재의 허용응력은 다음 <표 2.4>와 같다.

<표 2.4> 목재의 허용응력

수종	장기 허용응력 (MPa)			비고
	전단	인장	압축	
삼나무, 전나무	0.5	7.0	6.0	침엽수
소나무, 미송	0.7	9.0	8.0	침엽수
밤 나 무	1.0	9.5	7.0	활엽수
떡갈나무	1.4	12.5	9.0	활엽수
낙 엽 송	0.6	8.0	7.0	침엽수

2.3 목재의 손상 및 원인

2.3.1 목재의 재질적 특성

목재를 구성하는 화학적 조성은 생합성된 것으로 유기화합물이며, 구성하는 요소(要素)는 99%가 유기물로 매우 복합적으로 조성되어 있다.

원소(元素) 조성별(造成別)로는 탄소 50%, 산소 44%, 수소 6%, 질소 0.1%로 조성되어 있으며, 그 외 석회, 칼슘, 나트륨, 알루미늄, 철의 성분이 미소량 함유되어 있다. 침엽수나 활엽수재 또는 수종에 따라서도 거의 차이가 없다.

목재의 주요성분은 셀룰로오스(cellulose), 헤미셀룰로오스(hemicellulose) 및 리그닌(lignin) 등이 주성분이고, 추출물과 무기물은 부성분으로 구성된다.

2.3.2 목재의 손상 분류

전통 목구조 건축물은 대개 축조된 지 수백 년이 경과된 구조물로 자연생산물을 벌채하여 사용하였으며, 벌채시기와 취급방법, 시공단계 및 준공 후 유지관리 연수가 경과됨에 따라 다음과 같은 재료적, 구조적, 환경적 요인, 물 등으로 인하여 성능저하 현상이 발생하게 되고, 구조물의 사용성 및 내구성 저하가 나타나게 된다.

목구조 건축물에서 발생하는 각종 성능저하의 원인과 현상은 <그림 2.3>와 같이 대별할 수 있다.

성능저하 원인은 대체로 열화(劣化), 결함, 손상으로 나눌 수 있고, 그 원인에 의해 목조 구조물에 나타나는 여러 가지 현상들은 부재의 갈라짐, 비틀림, 변위(變位)· 변형(變形), 부재 이음새 연결부위 탈락, 이질(異質)부재 접합부 이격(離隔), 벽체균열 및 박리(剝離)· 박락(剝落), 침하(沈下), 누수(漏水), 붕괴(崩壞), 마모(磨耗)로 분류할 수 있다.

1) 목재 흠 및 종류

목재의 결점은 생목 시 생리적인 원인, 지질(地質), 자연적인 일광의 불균형의 기후의 변화와 곤충 및 균류, 조류에 의해서 흠이 발생되며 벌채 시 작업에 의한 손상, 벌목 후 운반과정에서 발생되며 목재의 흠은 외관손상, 강도 및 내구성 저하,

목재의 이용범위를 제한시킨다.

(1) 옹이(knot)

나무의 줄기 가지가 뻗어 나간 곳에서 목질내부로 말려들어가 생긴 생옹이(生옹이)와 죽은 가지가 목질부내로 말려들어가 생긴 죽은옹이(死옹이)가 있다. 옹이가 발생된 목질부는 가공성 나빠지며, 외관을 손상시켜 인장 및 휨 강도가 저하된다.

(2) 갈라짐(crack)

생목시 기후변화로 성장과정 중에 발생된 것과 벌목 후 건조과정에서 급격한 수분의 증발로 수축하면서 발생되며 노목(老木)에서 많이 발생된다.

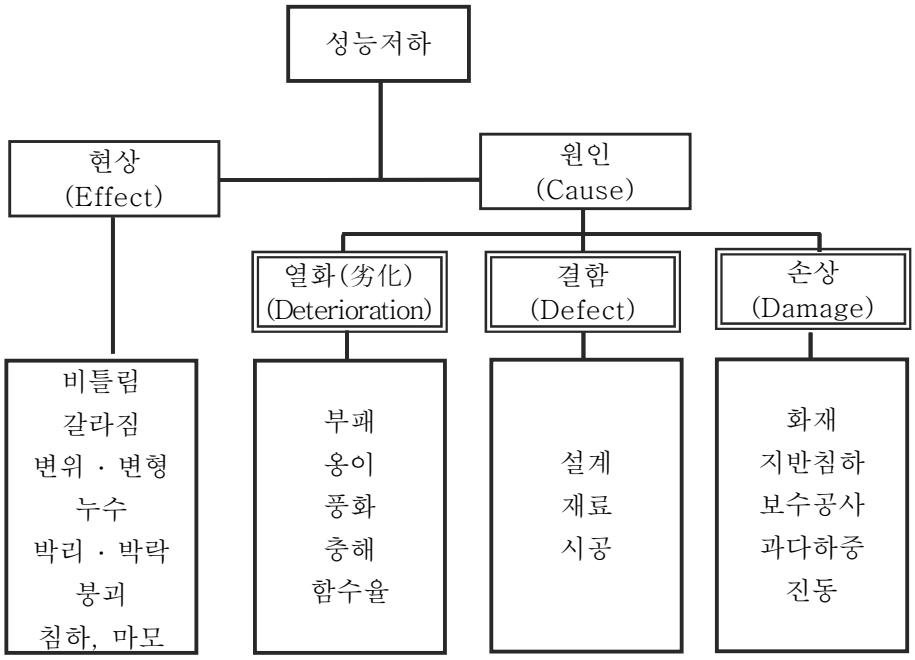
갈라진 형상과 목질부에 발생된 위치에 따라 갈라짐의 종류는 벌목 후 건조수축에 의해 발생된 심재성형 갈라짐과 함수된 수분이 동결후 팽창되면서 발생된 변재성형 갈라짐, 목질부 중심부인 수심의 수축변형이나 균류작용에 의하여 발생된 원형 갈라짐 등이 있다.

<표 2.5> 목조 건축물 성능저하의 요인

구 분	요 인
재 료 적	목재의 강도, 함수율, 변재(邊材)와 심재(心材), 벌채시기와 취급방법, 수종 등
구 조 적	과하중, 진동, 지반침하에 의한 변형 등
환 경 적	풍우, 일광, 자외선, 공기 등에 의한 풍화, 물리적 작용에 의한 마모 화학적 작용에 의한 부패, 곤충에 의한 충해 등

(3) 입피(入皮(껍질박이), bark porket)

나무가 성장하는 동안 상처를 입었다가 아물면서 계속 성장한 부분의 껍질이 안으로 말려들어간 형태의 결점이다.



[그림 2.3] 목조 건축물의 성능저하 원인 및 현상

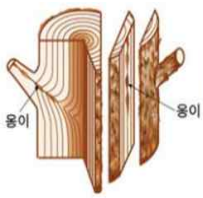
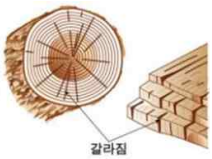
(4) 연륜간격의 차이

자연환경에서 성장한 수목은 변형된 조직이 형성되어 연륜간격의 차이가 발생한다. 비중이 크고, 인장에 약하고 수축으로 인한 변형이 발생된다.

(5) 송진구멍(지선)

소나무과에서 발생된 흠으로 목질부에 송진이 모여 있는 구멍 이외에도 목질부에서 수지(樹脂)가 계속 흘러나온 지선(支線)과 목재의 섬유소가 집중되어 대기의 변화, 일광의 불균성, 벌목운반 시 받는 상처 등의 원인에 의해 발생된다.

<표 2.6> 목재의 흠

흠의 명칭	옹 이	입피(入皮)	송진구멍	갈라짐
흠의 형태				

2.3.3 전통 목구조 목재 손상사례

전통 목조 건축물의 부후와 손상은 재료·구조적 원인과 외기노출, 상재하중 등 여러 가지 원인에 기인하여 발생되어지며 손상사례를 통하여 목조 구조물의 보수 및 보강에 대한 이해가 필요하다.

1) 국내 사례

국내의 전통 목조 건축물에서 성능저하를 발생시키는 가구의 처짐은 내림마루, 추녀마루 등에서 나타난다. 목재의 파손, 부연 및 서까래의 변형, 공포의 변형 등으로 지붕 기와가 흐트러져 침투하는 지붕의 습기에 의해 흙에 접하는 부위에서 부후가 발생되어진다. 성능저하 부재의 잦은 교체와 활주보강, 철판보강 등의 유지관리가 되어지고 있다. 팔작지붕의 목조 건축물인 진남관과 쌍계사 대웅전에서는 추녀의 처짐으로 활주설치, 활주의 2차 변형과 활주의 압괴, 공포부의 변형 등의 성능저하가 나타났다. 목조 건축물의 대표적인 손상사례로 내민부재의 처짐, 공포부의 변형, 신부재의 교체, 부재의 이격 등의 성능저하가 나타난다.

(a) 안동 임청각

(b) 청룡사 대웅전

(c) 수원 팔달문-1

(d) 수원 팔달문-2

[사진 2.1] 국내 목구조 손상사례

2) 일본 사례

일본 목조 건축물의 부후 및 손상의 사례는 국내의 전통 목구조 내민부재의 변형과 유사하게 외측 처짐과 내측 들림에 의해 변형과 이격 등이 발생되었다. 또한, 지진에 의해 구조부재 접합부와 벽체에서 변형과 이격 등이 발생되었다.

[사진 2.2] 일본 목구조 손상에 의한 보수 사례

2.4 전통 목조 건축물의 부후(腐朽) 조사방법

전통 목조 건축물에서 목재의 부후(腐朽)와 내부상태를 확인하기 위해 육안조사와 목수의 경험에 따라 부재의 상태를 파악하여 보수되어져 왔다. 현재에는 정밀기기의 발전으로 목재 드릴저항시험기와 목재 함수율 측정기를 통하여 목재의 내부 손상 및 부후상태, 목재의 함수율을 측정하여 목재의 상태를 정확하게 추정하여 부재의 보수 및 교체에 대한 기초 자료를 제공할 수 있다.

드릴저항시험을 실시한 노강서원의 목조 건축물은 1675년(숙종 1년)에 八松 윤황(1571~1639)의 학문과 덕행을 추모하기 위하여 창건하였으며, 1781년과 1883년의 두 차례 중수가 진행된 목조 건축물로 잘 보존된 서원 중의 하나이다.

2.4.1 드릴저항시험 조사방법

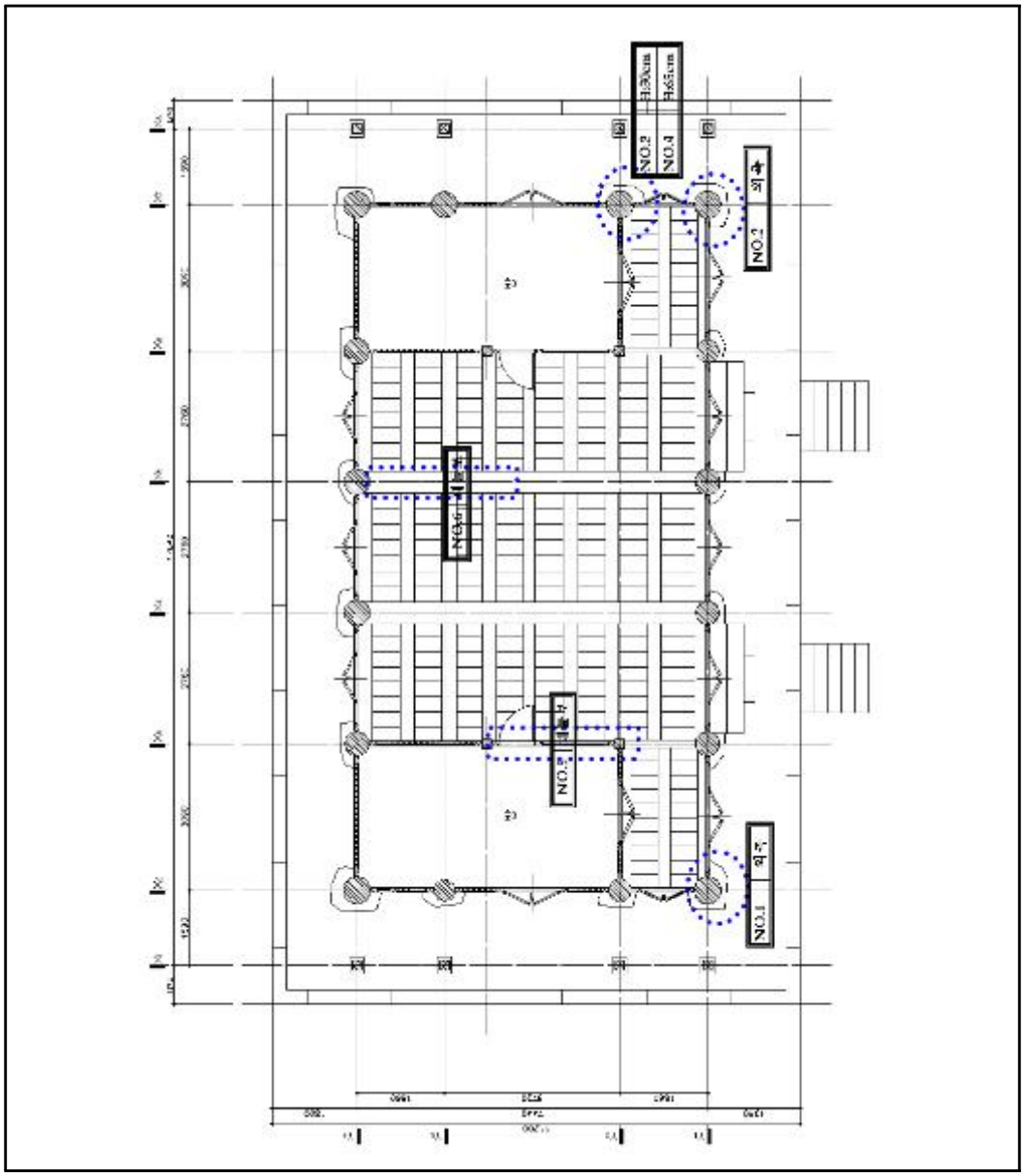
드릴저항시험은 일종의 준-비파괴 평가 방법으로서 실험체에 지름 약 3mm의 드릴구멍을 뚫어 내부의 상대적인 밀도 분포를 확인하는 방법으로 드릴의 저항값을 레지스트 그래프를 통하여 목재의 내부 강성 및 밀도를 추정할 수 있다. IML사의 Resi-F300 모델을 이용하여 실험하였으며, 육안조사와 타음 등 간단한 방법을 통해 조사할 부재를 선정하고 부재의 직각방향으로 시험하였다.

<표 2.7> 목재 드릴저항시험기 제원

	장비명 : 목재 드릴저항시험기 모델명 : Resi-F300 기 능 : 목재 내부를 드릴구멍을 뚫어 회전 저항값을 통하여 상대적인 밀도 분포를 확인하는 방법으로 목재의 내부 강도 및 밀도를 추정

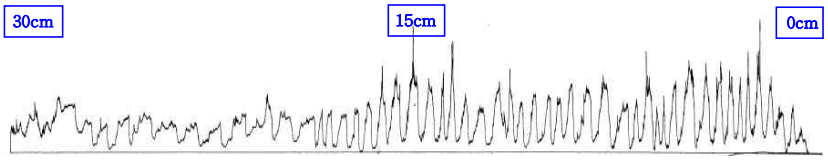
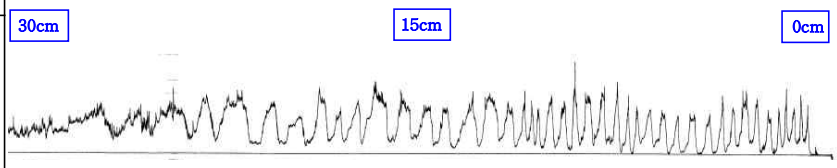
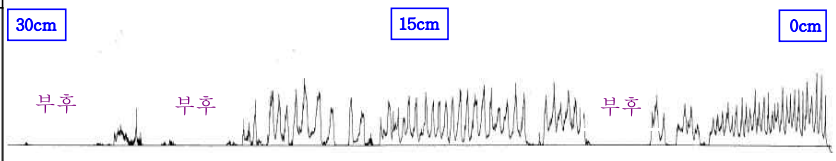
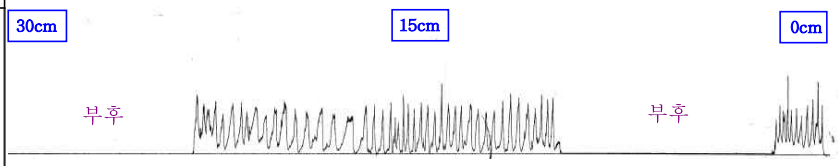
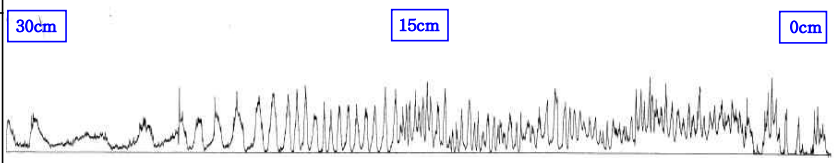
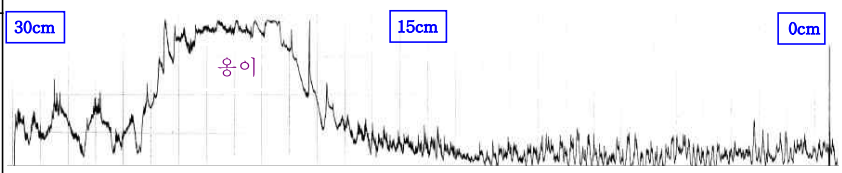
1) 노강서원의 드릴저항시험 조사

전통 목조 건축물인 노강서원에서 드릴저항시험한 조사위치는 [그림 2.4], 드릴저항시험한 레지스트 그래프는 <표 2.8>, 목재단면 드릴저항 수준평가는 <표 2.9>에 나타내었다.

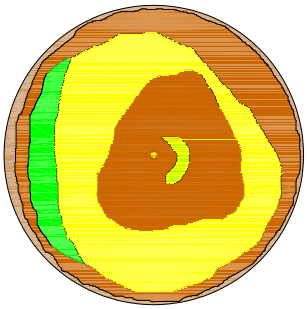
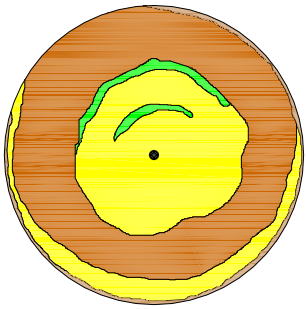
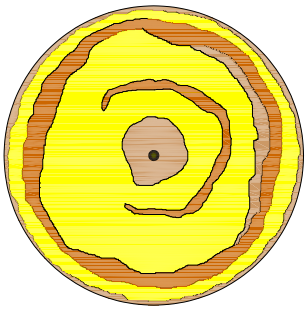
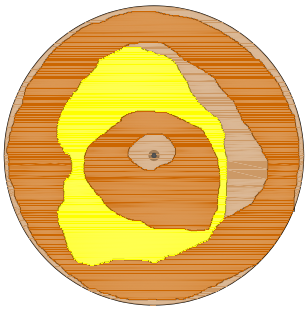
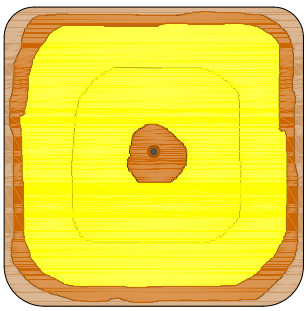
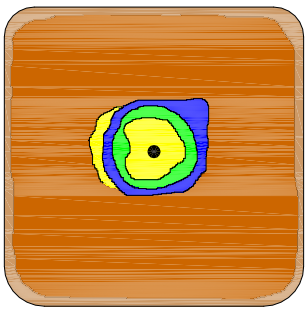


[그림 2.4] 노강서원 드릴저항시험 조사위치

<표 2.8> 목재 드릴저항 시험

위 치 - 기 둥		
NO. 1	X2 × Y1 좌측면 외측 하부	
위 치 - 기 둥		
NO. 2	X7 × Y1 정면 외측 하부	
위 치 - 기 둥		
NO. 3	X7 × Y2 우측면 외측 하부 하단 30cm	
위 치 - 기 둥		
NO. 4	X7 × Y2 우측면 외측 하부 하단 65cm	
위 치 - 대들보		
NO. 5	X2열 끝단 50cm	
위 치 - 대들보		
NO. 6	X5열 끝단 140cm	

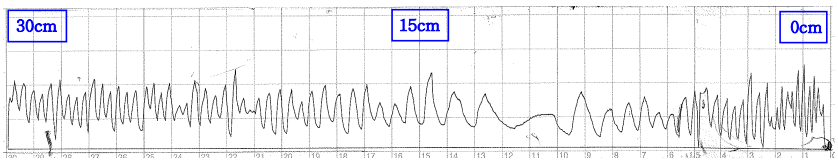
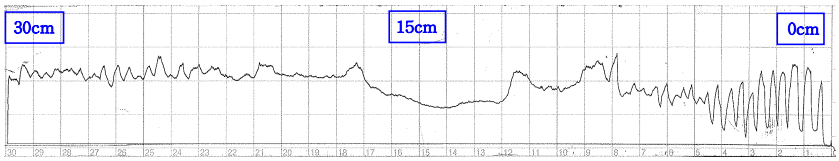
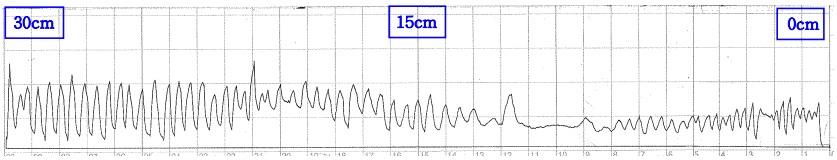
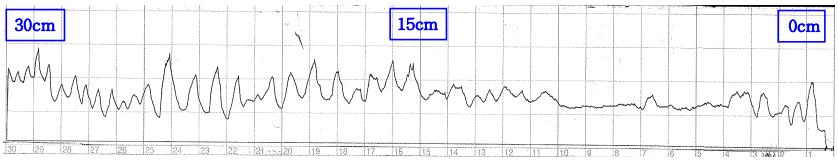
<표 2.9> 목재 단면 드릴저항 수준평가

조사위치	목재단면 성능저하		조사위치	목재단면 성능저하	
NO.1 X2 × Y1열 하부 - 30Cm 직경 : 554mm 기둥			No.2 X7 × Y1열 하부 - 30Cm 직경 : 577mm 기둥		
NO.3 X7 × Y2열 하부 - 30Cm 직경 : 540mm 기둥			NO.4 X7 × Y2열 하부 - 65Cm 직경 : 540mm 기둥		
NO.5 X3열 450×450mm 대들보			No.13 X5열 450×450mm 대들보		
범 례 (드릴저항 수준평가)	1단계	2단계	3단계	4단계	5단계

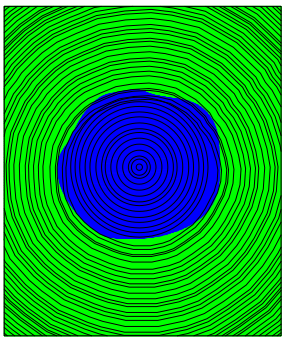
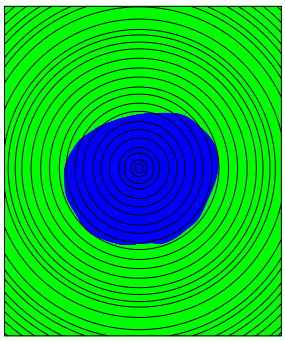
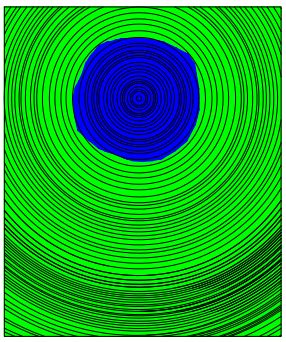
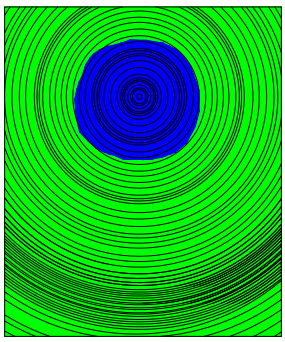
2) 기준실험체 목재 드릴저항시험 조사 결과

기준실험체에서 실시한 드릴저항시험 레지스트 그래프는 <표 2.10>, 드릴저항 수준평가는 <표 2.11>에 나타내었다. 이음 보강실험체의 드릴저항시험 레지스트 그래프는 <표 2.12>, 드릴저항 수준평가는 <표 2.13>에 나타내었다.

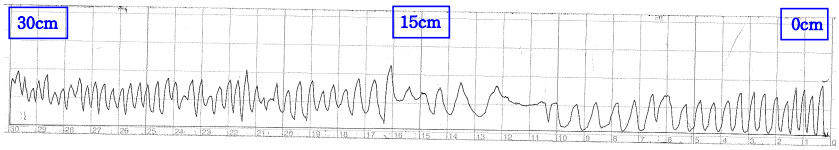
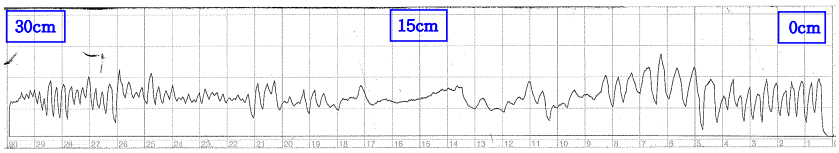
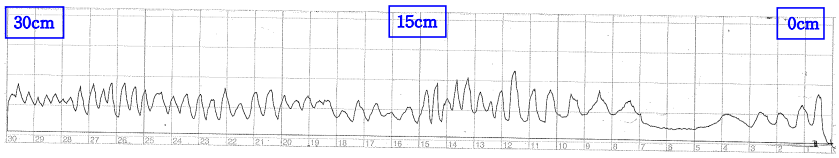
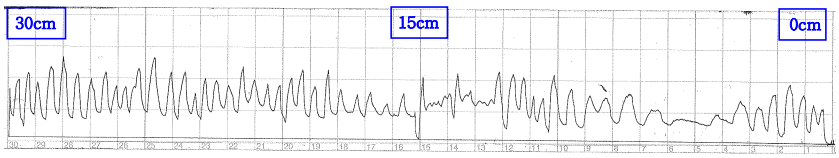
<표 2.10> 기준실험체 드릴저항 시험

실험체명		
NO. 1	기준실험체 HR Ⅰ-N-1	
실험체명		
NO. 2	기준실험체 HR Ⅰ-N-2	
실험체명		
NO. 3	기준실험체 HRⅡ-N-1	
실험체명		
NO. 4	기준실험체 HRⅡ-N-2	

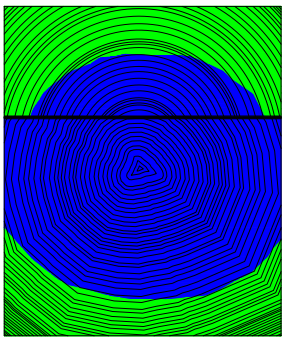
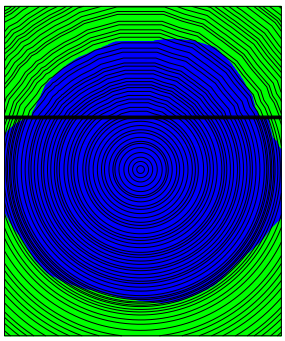
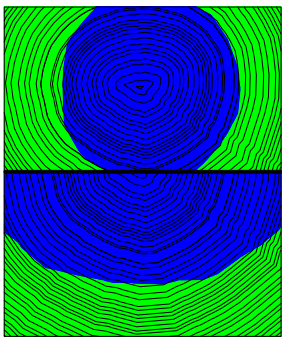
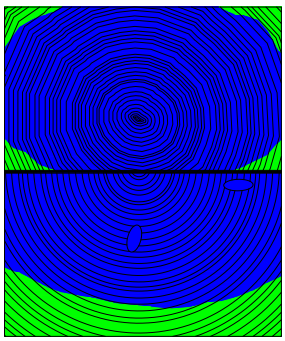
<표 2.11> 기준실험체 목재 단면 드릴저항 수준평가

실험체명	목재단면 성능저하		실험체명	목재단면 성능저하	
NO.1 HR Ⅰ-N-1 240×300mm			NO.2 HR Ⅰ-N-2 240×300mm		
NO.3 HRⅡ-N-1 240×300mm			NO.4 HRⅡ-N-2 240×300mm		
범 례 (드릴저항 수준평가)	1단계	2단계	3단계	4단계	5단계

<표 2.12> 이음 보강실험체 드릴저항 시험

실험체명		
NO. 1	이음 보강실험체 HR I -HJ10-1	
실험체명		
NO. 2	이음 보강실험체 HR I -HJ10-2	
실험체명		
NO. 3	이음 보강실험체 HR I -HJ15-1	
실험체명		
NO. 4	이음 보강실험체 HR I -HJ15-2	

<표 2.13> 이음 보강실험체 목재 단면 드릴저항 수준평가

실험체명	목재단면 성능저하		실험체명	목재단면 성능저하	
NO.1 HR I -HJ10-1 240×300mm			NO.2 HR I -HJ10-2 240×300mm		
NO.3 HR I -HJ15-1 240×300mm			NO.4 HR I -HJ15-2 240×300mm		
범 례 (성능저하 진행)	1단계	2단계	3단계	4단계	5단계

3) 실험체의 드릴저항시험 조사 결과

기준실험체와 이음 보강실험체 드릴저항시험에서 조사된 저항값을 통하여 실험체 내부 단면상태를 추정할 수 있었다.

기준실험체의 심재구간은 HRⅠ-N-1에서 10cm～16.5cm, HRⅠ-N-2에서 11.5cm～17.5cm, HRⅡ-N-1에서 3cm～12cm, HRⅡ-N-2에서 3.5cm～10cm로 조사되었으며, 심재구간에서 저항값이 큰 차이없이 대체로 일정한 수준임을 레지스트 그래프를 통하여 확인하였다. 드릴 관통시까지 특징적인 중공이나 갈라짐 등이 나타나지 않았다.

이음 보강실험체의 심재구간은 HRⅠ-HJ10-1에서 치환부재 구간중 6cm～10cm와 실험체모재에서 10cm～21cm, HRⅠ-HJ10-2에서 치환부재 구간중 4.5cm～10cm와 실험체모재에서 10cm～24.5cm, HRⅠ-HJ15-1에서 치환부재 구간중 0cm～11.5cm와 실험체모재에서 15cm～21.5cm, HRⅠ-HJ15-2에서 치환부재 구간중 0cm～15cm와 실험체모재에서 15cm～24.5cm로 조사되었다. 부재 밀착에 따른 경계구간의 저항값은 밀착 접합되어 구분되지는 않았다. 심재구간에서 저항값이 큰 차이없이 대체로 일정한 것을 레지스트 그래프를 통하여 확인하였다. 드릴 관통시까지 특정한 중공이나 갈라짐 등이 나타나지 않았다.

2.4.2 목재 함수율 조사방법

목재에 있어서 부식은 목재의 세포질에 배양되는 일종의 균류에 의해 발생하며, 이러한 균류의 생장은 적정습도, 공기, 온도 등 3가지 요소의 결합에 의해 가능하며, 이중 한가지 이상의 요인을 제거 혹은 억제하는 것으로 부식균의 생성을 방지할 수 있다.

이중 습기가 가장 중요한 요소로 작용하는데 함수율이 (KS F 3020) 20%이하에서는 부식균의 생성이 완전히 중단되기 때문에 건축물에 건조목(함수율 15%이하)을 구조재로 사용하는 이유이다.

목재에 함유된 수분은 목재의 수축· 팽창 및 강도에 큰 영향을 미친다. 목재의 역학적 성질은 섬유포화점(함수율 30%)을 경계로 하여 현저한 차이를 나타내며, 섬유포화점 이상에서는 강도가 일정하나 섬유포화점 이하에서는 함수율이 감소할수록 강도가 증가하며, 인성은 감소한다.

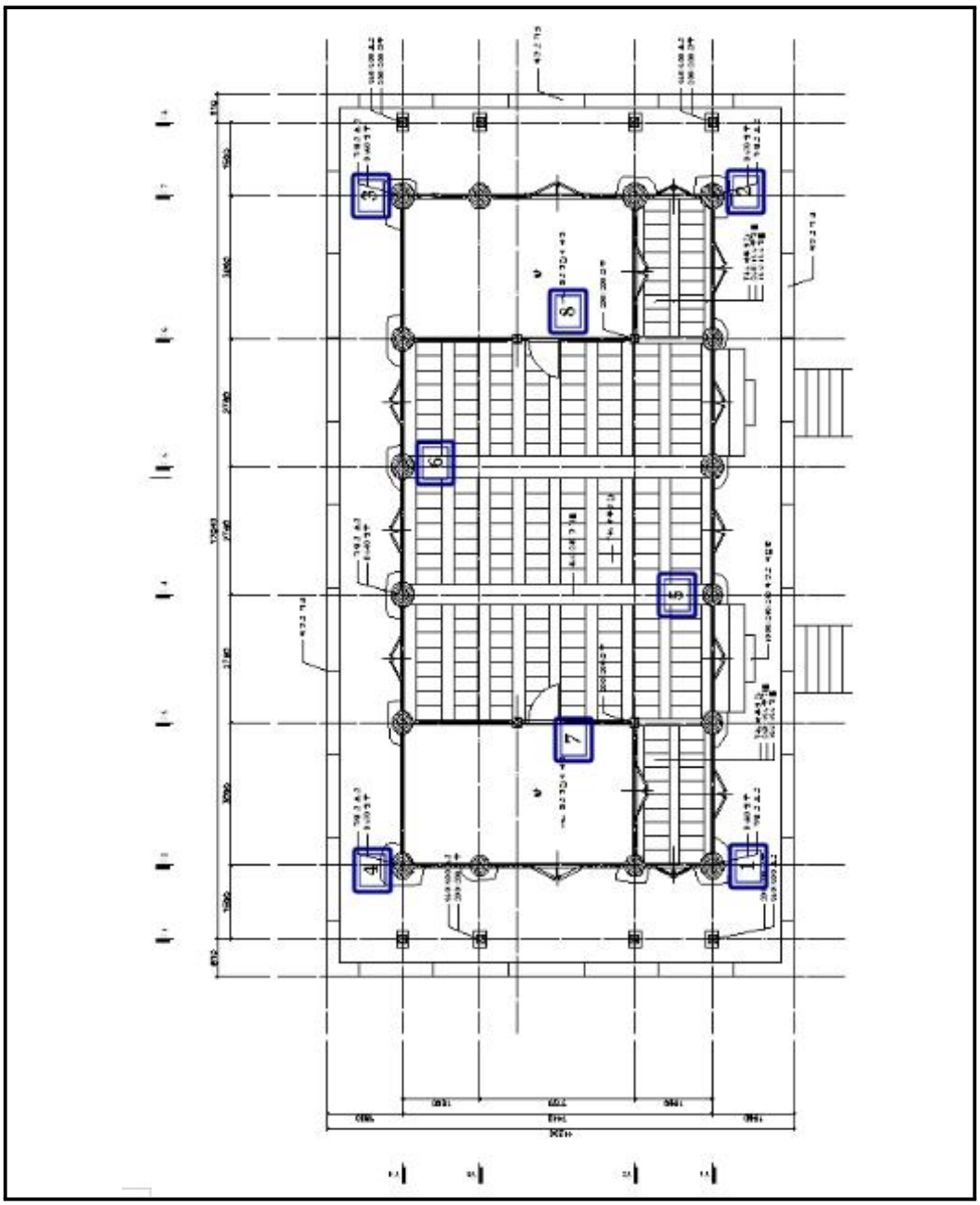
목재 함수율 측정기는 본체와 센서를 일체화하여 조작이 편리하며 센서부 침을 목재에 찔러넣어 목재의 함수율을 간단하게 사용할 수 있는 핸디 타입의 고주파식 수분계이다. 조작은 미리 수종과 목재 타입, 측정 상한값 등을 셋팅하고 목재 표면에 센서부의 침을 찔러 넣고 누르면 된다. 이때 센서의 침열은 목재의 결에 직각이 되게끔 한다. 측정범위가 6~40%이며, 자동 온도보정 기능이 있어 현장에서 편리하게 목재의 함수율을 측정할 수 있다. 또한 목재의 수분이 설정수분 이상이면 측정하면 부저가 울리는 알람설정기능도 갖추어져 있다.

<표 2.14> 목재 함수율 측정기 제원

	장비명 : 목재 함수율 측정기 모델명 : MT-100 기 능 : 미리 수종, 비중, 두께, 온도보정을 입력하면 자동으로 보정연산을 수행하는 핸디타입의 고주파식 수분계.

1) 노강서원의 목재 함수율 조사

전통 목조 건축물인 노강서원의 목재 함수율 조사 위치는 [그림 2.5]에, 조사내용은 <표 2.15>에 나타내었다.



[그림 2.5] 노강서원 목재 함수율 조사위치

<표 2.15> 노강서원 내부 목재 함수율 측정 조사내용

No.	측정위치	측 정 값 (%)	평 균 값 (%)		비 고
1	기둥 Y1×X2	8.5	8.43	13.4	외부 남서측
		7.5			
		9.3			
2	기둥 Y1×X7	9.1	8.50		외부 동남측
		7.9			
		8.5			
3	기둥 Y4×X7	13.2	15.00		외부 북동측
		15.7			
		16.1			
4	기둥 Y4×X2	25.5	21.73		외부 서북측
		17.8			
		21.9			
5	기둥 Y1×X4	19.6	24.43	18.7	내부 남측
		29.7			
		24.0			
6	기둥 Y4×X5	20.5	19.40		내부 북측
		19.3			
		18.4			
7	대들보 X3	18.2	17.37		중앙부
		16.5			
		17.4			
8	대들보 X6	13.7	13.73		중앙부
		12.4			
		15.1			

2) 기준실험체 목재 함수율 조사

Type Ⅰ과 TypeⅡ 기준실험체의 함수율 조사는 각 부재별 3회 측정 후 평균값을 기준으로 조사하여 평가하였다.

Type Ⅰ 기준실험체에서 조사된 함수율은 17.7%~18.6%로 평균 함수율 18.11%로 조사되었으며, TypeⅡ 기준실험체에서 조사된 함수율은 17.4%~20.1%로 평균 함수율 18.08%로 조사되었다. Type Ⅰ과 TypeⅡ 기준실험체에서 조사된 결과로 보아 내부의 목재함수율은 방향성과 상관없이 근사값의 함수율을 나타내었다.

<표 2.16> 기준실험체 함수율 측정 조사내용

No.	측정위치	측 정 값 (%)	평 균 값 (%)		비 고
1	기준실험체 HR Ⅰ-N-1	17.9	18.20	18.1	
		18.2			
		18.5			
2	기준실험체 HR Ⅰ-N-2	18.6	18.03		
		17.7			
		17.8			
3	기준실험체 HRⅡ-N-1	20.1	18.56		
		17.5			
		18.1			
4	기준실험체 HRⅡ-N-2	17.4	17.60		
		17.8			
		17.6			

2.4 목조 건축물의 이해

2.4.1 궁궐(宮闕)

궁궐은 궁(宮)과 궐(闕)이 합쳐진 용어로 왕실의 거주와 정치기능 건축으로 이루어져 있다. 궁궐은 그 쓰임에 따라 정궁(正宮)과 이궁(離宮), 별궁(別宮), 행궁(行宮) 등으로 나누어진다.

조선시대 대표적인 정궁은 경복궁이며, 이궁은 창덕궁, 창경궁, 경희궁이 있다.

이궁은 화재 등 재난이 발생했다거나 왕이 자의로 거처를 옮기고 싶을 때를 대비하여 만든 궁으로 조선시대는 정궁인 법궁과 이궁의 양궁체제를 가지고 있었다. 행궁은 비일상적인 행사때에 왕이 임시 머물기 위해 만들어진 궁으로 대표적인 것이 강화행궁, 화성행궁, 온양행궁 등이 있다. 별궁은 왕이 사신을 접대하거나 왕이나 왕세자가 비(妃)를 맞아들이기 위하여 특별히 마련된 궁을 말한다. 또 왕이 즉위하기 전에 살던 잠저를 일컫기도 한다. 별궁으로는 덕수궁, 남별궁, 수창궁 등이 있다.

(a) 경복궁

(b) 창덕궁

(c) 경희궁

(d) 화성행궁

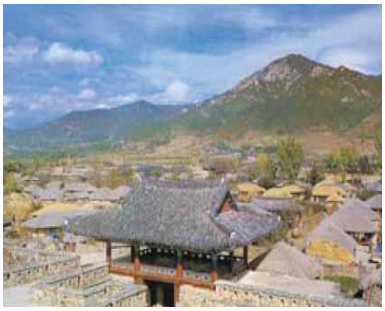
[사진 2.3] 궁궐

2.4.2 성곽(城郭)

성곽은 방어시설로서 그 사용목적에 따라 도성(都城), 산성(山城), 읍성(邑城), 진성(鎭城)으로 나눌 수 있다. 도성은 수도에 만들어진 성곽이며, 읍성은 지방의 읍마다 세워진 성곽이다. 산성은 도성과 읍성의 주변에 전쟁이 일어났을때 방어를 위해 만들어진 성곽이다. 진성은 해안변에 수군이 구축한 성곽이다.

(a) 숭례문

(b) 남한산성



(c) 낙안읍성

(d) 서천장암진성

[사진 2.4] 성곽

2.4.3 사찰(寺刹)

사찰은 불교의 유입과 함께 들어온 종교시설물로서 시대적으로나 양적으로 목조건축물중 가장 많은 부분을 차지하고 있다. 사찰은 부처를 모신 금당과 탑, 스님들의 거처인 요사채, 각종 문 등으로 구성되어 있다.

(a) 화엄사 각황전

(b) 송광사 국사전

(c) 청룡사 대웅전

(d) 무위사 극락전

[사진 2.5] 사찰

2.4.4 목탑(木塔)

목탑은 사찰의 탑 중에서 목조로 만들어진 탑을 지칭한다. 탑은 불교건축물로서 가장 많이 만들어졌지만 종교와 관계없이 등대 역할을 하는 망탑과 묘위에 세워진 묘탑도 있다. 현존하는 목탑은 법주사 팔상전과 쌍봉사 대웅전이 있다.

(a) 법주사 팔상전

(b) 쌍봉사 대웅전

[사진 2.6] 목탑

2.4.5 성당(聖堂)

강화 성공회성당과 같이 목조로 만들어진 그리스도교 종교건축물을 말한다. 역사나 수량적으로 불교건축과 같이 많지는 않지만 건축 문화재의 일부분을 차지하고 있다.

(a) 성당(강화 성공회성당)

[사진 2.7] 성당

2.4.6 루정(樓亭)

루정은 루와 정자를 합친 명칭이며, 전국에 걸쳐 원유시설로서 루와 정자가 건립되어 왔다. 루와 정자는 기능상의 차이가 있지만 대체적으로 루는 정자에 비해 많은 사람들이 모일 수 있는 큰 규모이며 대개 중층의 다락구조로 높게 만들어지는 것이 일반적이다. 이에 비해 정자는 규모도 작으며 때로는 온돌이 설치되기도 하였다.

(a) 경복궁 경회루

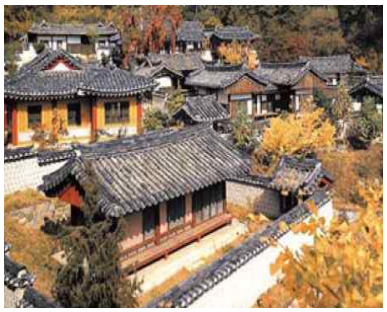
(b) 촉석루

[사진 2.8] 루정

2.4.7 향교(鄕校), 서원(書院)

조선시대 교육시설은 관학으로 한양의 성균관과 각 지방의 향교가 있고, 사학은 서원이 있다. 향교와 서원은 대부분 조선시대 유학을 가르치던 학교 건축물로서 많은 유적이 남아 있다.

(a) 나주향교 대성전



(b) 도산서원

[사진 2.9] 향교, 서원

2.4.8 관아(官衙)

관아는 중앙과 지방의 행정관서를 통칭하는 명칭으로 지방관아의 건축물은 동헌과 객사로 대표된다.

(a) 여수 진남관

(b) 통영 세병관

[사진 2.10] 관아

여수 진남관은 1598년(선조 31년) 전라좌수영 객사로 건립된 관아 건축물로서

임진왜란과 정유재란을 승리로 이끈 수군 중심기지로서의 역사성을 갖고 있다. 1718년(숙종 44년) 전라좌수사 이제면이 중창하여 당시의 면모를 간직하고 있다.

건축물 규모가 정면 15칸(54.33m), 측면 5칸(14.74m)으로 정면과 측면의 비례가 1:0.25 정도로 측면 전장의 4배가 정면이 되어 4:1의 비율을 나타낸다. 건축물 면적 240평(792m^2)으로 현존하는 지방관아 건축물로서는 최대 규모이다.

2.4.9 민가(民家)

민가는 궁궐, 관아, 향교, 서원 사찰 등과 같은 공적인 건축물과 대비되는 일반 백성들의 살림집을 의미한다.

(a) 김용학 민가

(b) 청원 노현리 민가

[사진 2.11] 민가

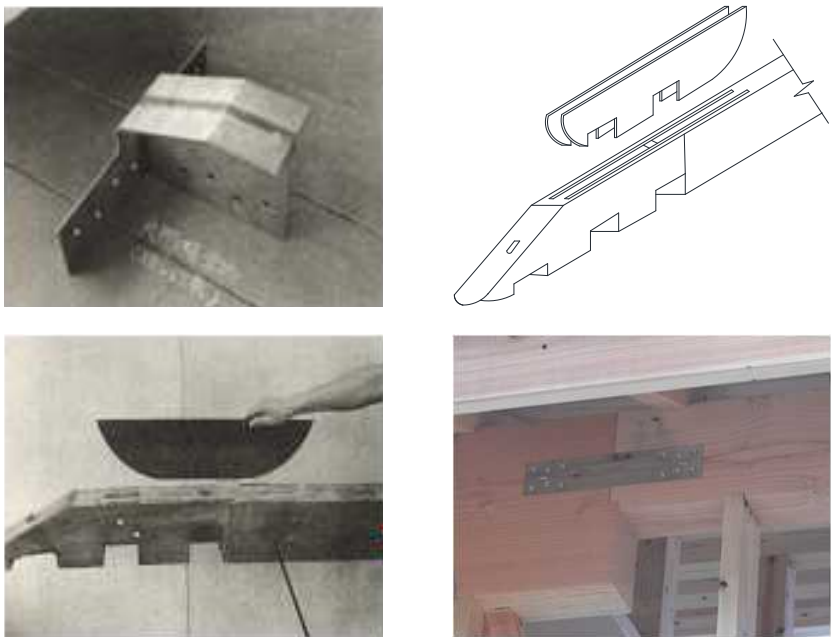
2.5 목구조의 국내외 보강 사례 이해

2.5.1 목구조의 국외 보강 사례

목조 문화재가 많은 일본에서는 주요 구조부재에 지진이나 추가하중 등에 의해 성능저하가 발생시, 직접적인 보수공사를 실시하기 전에 구조 및 내구성 검토 결과에 따라 가급적이면 새로운 목재로 교체하지 않고 기존 목재에 보수 및 보강을 실시하여 역사성을 갖도록 보존하는 것을 원칙으로 한다.

보강재료는 현대 건축물에 사용되는 거의 모든 재료를 이용하여 보강하는것을 볼 수 있다. 보강 방법은 영구적인 방법보다는 후대에 새로운 재료와 공법이 개발될 경우 언제든지 재보수 및 재보강 할 수 있는 가변적(可變的) 공법의 선정을 원칙으로 한다.

이러한 보강 재료에는 H형강, 철판, 탄소섬유판, 스테인리스, 티타늄 등 다양한 재료들이 성능 저하된 구조부재의 보강 목적에 따라 적절히 적용하고 있다.



[그림 2.6] 일본의 신재료 보강사례[2)]

2) 조철희, 조선대학교 박사학위논문, 2009.2, “전통 목구조 건축물의 구조적 보강특성에 관한 연구”, 28쪽

2.5.2 목구조의 국내 보강 사례

국내의 목구조 문화재에서 성능저하가 발생한 경우, 신재료 및 공법을 이용하여 적극적인 보수 및 보강보다는 원형보존의 관점에서 성능저하된 목재를 신부재로 교체, 부분교체 등으로 해체복원에 가까운 접근이 일반적이었다. 근래에 철띠 및 철물, 꺽쇠 등을 이용하여 간접적인 보수 및 보강을 일부 목조 건축물에서 이루어지고 있는 수준이다.

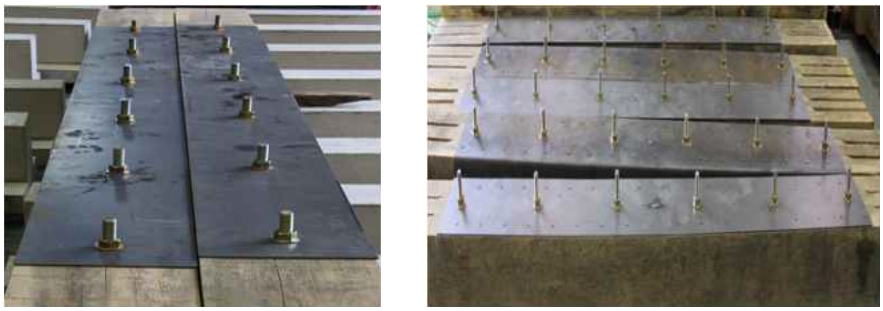
목구조에 신재료를 이용하여 보강하는 방법은 콘크리트의 보강에 주로 사용되었던 탄소섬유막대를 이용하여 내력(耐力) 증대 및 거동을 평가하기 위해 전통 목구조의 추녀, 멍에 등의 휨변형이 주로 발생한 부재에 대한 연구 및 실험이 조철희 박사(조선대학교, 2009.2)에 의해 이루어졌다. 또한, 철판을 표면에 볼트로 고정시켜 거동에 따른 보강효과를 평가하기 위한 실험(조선대학교, 2010.2, 박춘걸)을 수행한 정도에 그치고 있다.

(a) 여수 진남관

(b) 수원 팔달문

[사진 2.12] 목구조 철띠 보강사례

[사진 2.13] 목재 신보강재(탄소섬유막대) 국내 연구사례



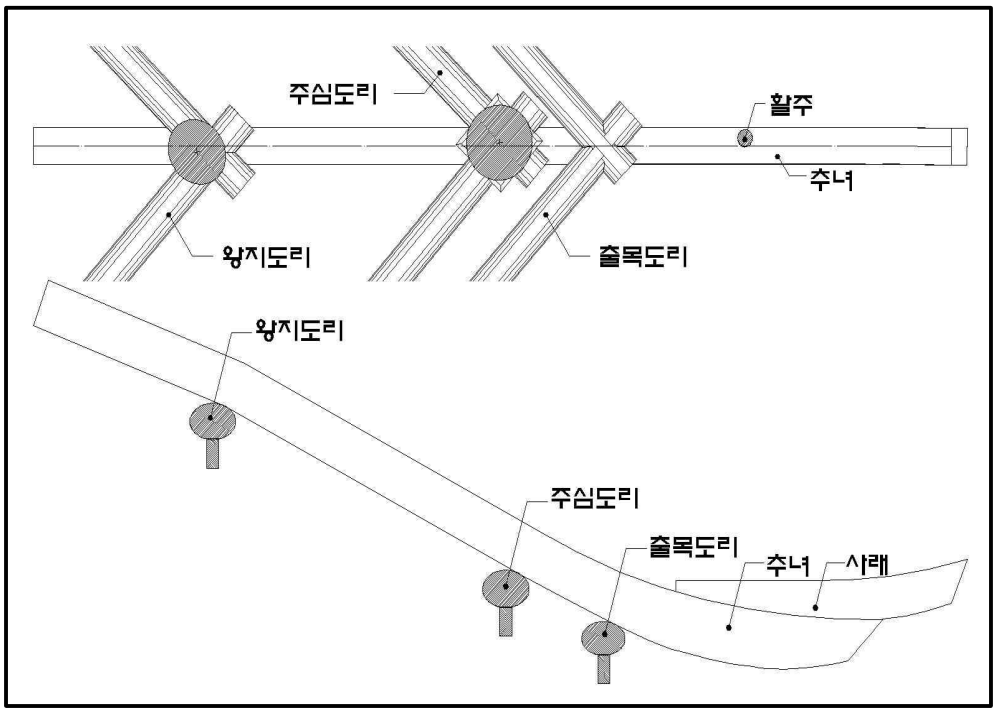
[사진 2.14] 국내 목재 철판+볼트 연구사례

Ⅲ. 실험계획

3.1 실험 개요

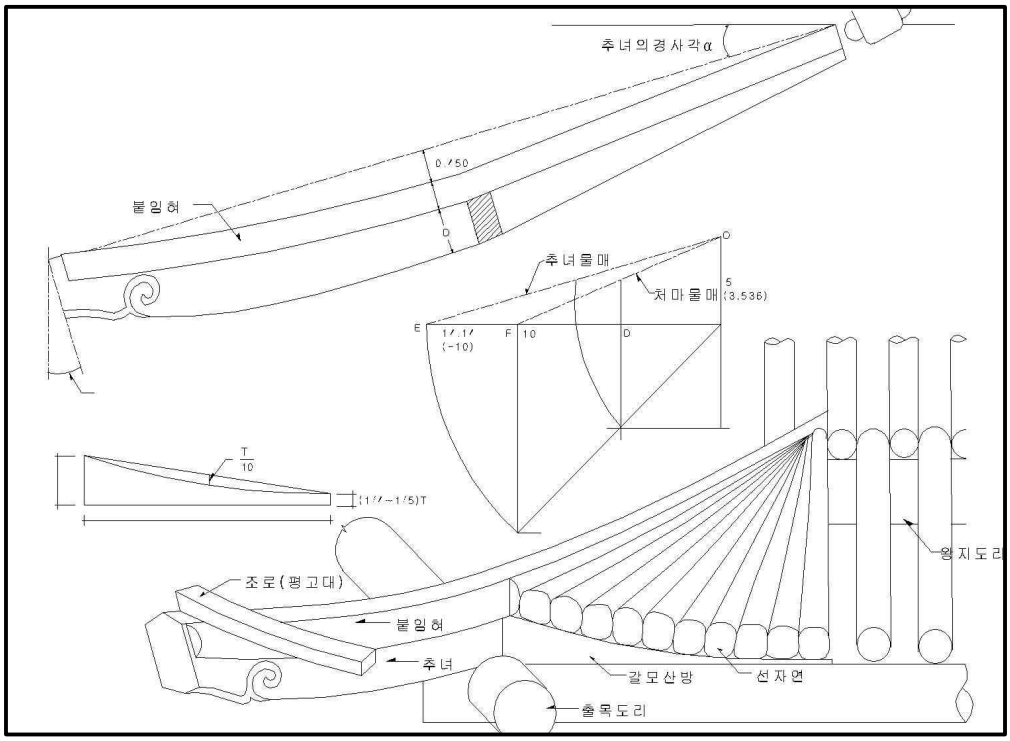
여수 진남관(국보 제304호)의 지붕가구에서 내민 부재의 제원을 토대로 축소 부재 단면을 적용하여 내민 부재 실험을 한다.

팔작지붕에서 내민 부재는 우주(隅柱)의 상부 주심도리에 얹혀서 내측은 왕지도리, 외측은 출목도리에 걸쳐 처마 밖으로 길게 내어 밀어 귀서까래 및 선자서까래를 받치는 구조부재이다. 지붕 상부에는 적심(積心), 보토(補土), 강회, 추녀마루, 기와 등의 하중이 적재된다. 선자연(扇子椽)의 뒤뿌리는 내민 부재(추녀)에 고정되어 모든 하중이 추녀에 재하된다. 사래(舍羅)는 내민 부재의 끝단에 얹어져 의장적 역할을 하는 부재인데 내민 부재의 추녀 끝단에서 집중하중으로 작용한다.



[그림 3.1] 내민부재(추녀) 상세도[3)]

3) 조철희, 조선대학교 박사학위논문, 2009.2, “전통 목구조 건축물의 구조적 보강특성에 관한 연구”, 38쪽

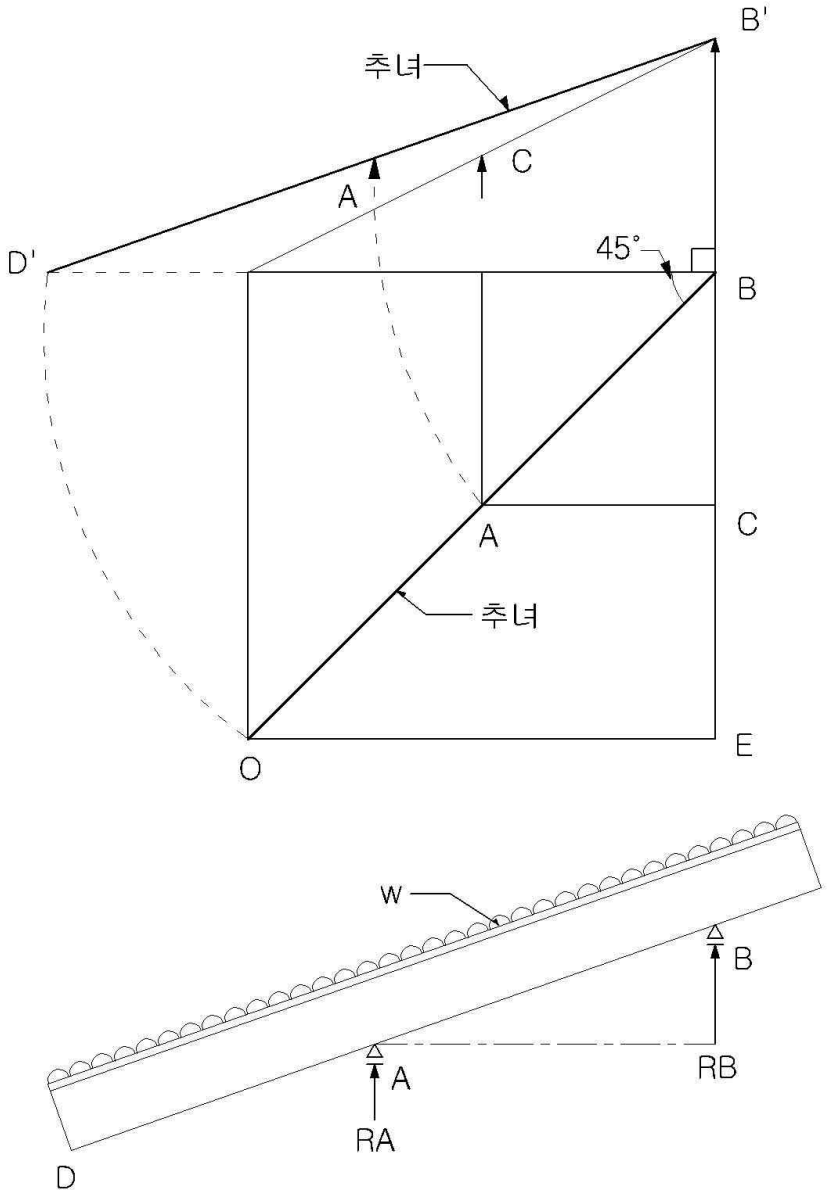


[그림 3.2] 내민부재(추녀)와 선자연의 상세도[4)]

내민부재(추녀)의 내민길이는 양면이 우주에서 45°로 만나므로 처마 서까래의 간사이 내밀기보다 $\sqrt{2}$배 길어지고 지붕 합각 및 내민부재(추녀) 마루의 물매에 따라 경사를 이루게 된다. 내민부재는 우주위에 놓인 주심도리를 통해 지지(支持)되고 외측으로 내밀어지게 되어 처짐이 발생함에 따라 이를 방지하기 위하여 활주(活柱)를 설치한다.

또한, 내측은 내민부재 뒤 끝이 들려지게 되므로 왕지도리 또는 중도리에서 내민부재 뒤 끝이 떠오르는 것을 방지하기 위해서 띠쇠나 강다리, 볼트 등을 설치하게 된다.

4) 조철희, 조선대학교 박사학위논문, 2009.2, “전통 목구조 건축물의 구조적 보강특성에 관한 연구”, 39쪽



[그림 3.3] 내민부재(추녀)의 물매 및 구조적 지점 상세도[5)]

5) 조철희, 조선대학교 박사학위논문, 2009.2, “전통 목구조 건축물의 구조적 보강특성에 관한 연구”, 40쪽

(a) 여수 진남관 - 철띠 보강

(b) 안성 청룡사 대웅전 - 강다리 설치

(c) 창덕궁 주합루(宙合樓)-내측 돌 얹어놓음 (b) 여수 진남관-활주(活柱) 설치

[사진 3.1] 내민부재 보강(철띠, 강다리, 돌, 활주) 사례[6)]

진남관의 내민부재(추녀는 팔작지붕의 네모서리에서 양면의 지붕이 맞닿는 부위의 대각선으로 형성되는데 우주의 상부에 직각으로 교차하여 주심도리가 얹히고 그 상부에 지붕 경사구배에 따라 내민부재(추녀)가 올려져 있다.

주심도리 외측의 내민부재 하부에는 출목도리가 위치하고 내측에는 왕지도리가 위치하여 양방향으로 하중을 부담하게 된다.

구조적 측면에서 내민부재(추녀)는 추녀마루 및 선자연과 그 상부의 개판. 앙토 및 적심, 기와 등의 하중을 부담하는 구조 부재이다. 또한, 지붕 모서리를 길게 밀어내는 효과를 얻기 위해서 내민부재(추녀) 외부 끝 상단에 사래를 얹히게 되어 하중

6) 조철희, 조선대학교 박사학위논문, 2009.2, “전통 목구조 건축물의 구조적 보강특성에 관한 연구”, 41쪽

은 증가된다.

내민부재(추녀)는 구조적으로 우주가 지점이 되어 외측은 내민보(cantilever)이고, 내측은 양방향 중도리 및 장혀에 결구되어 고정된 상태이지만 구조적으로 완전 고정 단(Fix)으로는 볼 수 없다. 이는 내민부재(추녀)의 외측 처짐에 따라 내측 내민부재(추녀)의 뿌리가 들림으로 인해 선자연 및 왕지도리 주변, 내민부재(추녀) 마루 상부 기와의 탈락 및 변형 등의 집중적인 성능저하가 발생되는 것에서 증명된다.

진남관 내민부재(추녀)의 처짐으로 인해 네 모서리 하부에서 직경 167~225㎜의 활주를 세워 처짐을 방지하였으나, 외측 처짐 및 내측 들림 현상은 지속되어 내측에서 철띠 및 쇠사슬을 통해 보강된 실정이다.

이와 같이 팔작지붕에서 내민부재의 처짐 및 들림이 발생하는데 허용변위와 내민부재의 단면 및 내민길이비에 대한 기준이 명확하지 않아 구조적인 평가의 필요성이 대두되었다.

진남관의 내민부재(추녀)의 단면인 400mm(*b*)×500mm(*d*)를 단면비(*b*(폭) : *d*(춤) = 1:1.25,)를 기준으로 하여 실험체의 단면(240mm(*b*)×300mm(*d*), 1:1.25)으로 부재 실험체의 단면을 결정한다.

<표 3.1> 내민부재 실험체 내민길이비 변수

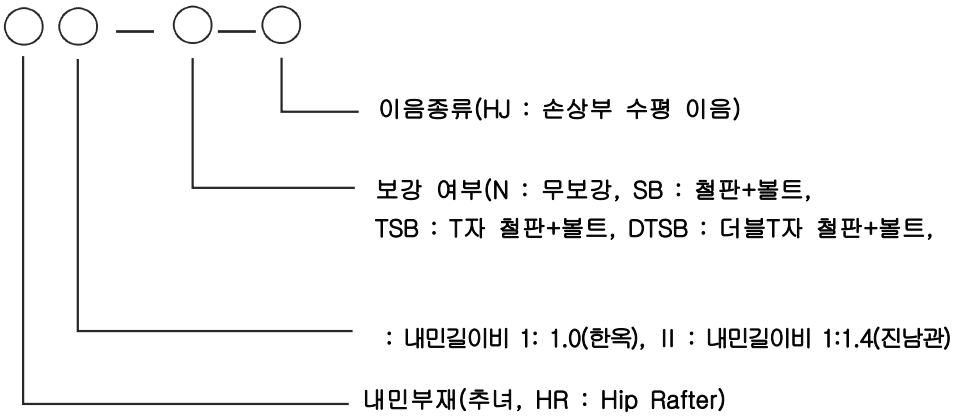
구분	대상건축물 지정문화재	내측길이 (*l''*) (㎜)	외측 내민길이 (*l'*) (㎜)	내민길이비 (*l''* : *l'*)	비 고
Type Ⅰ	전통 한옥 <미지정>	3,000	3,000	1 : 1.0	
Type Ⅱ	여수 진남관 <국보 제304호>	3,400	4,800	1 : 1.4	

또한, 한옥의 내민부재의 내민길이비를 검토하여 우주를 기준으로 내측 왕지도리까지의 길이가 3,000㎜(*l''*)이고 외측으로 내밀어진 길이가 3,000㎜(*l'*)를 기준으로 하여 1(*l''*):1.0(*l'*)의 Type Ⅰ을 결정한다. 진남관의 내민부재의 내측 중도리까지의 길이가 3,400㎜(*l''*)이고 내민길이가 4,800㎜(*l'*)를 기준으로 하여 내민부재 내민길이비를 1(*l''*):1.4(*l'*)로 Type Ⅱ를 변수로 한다.

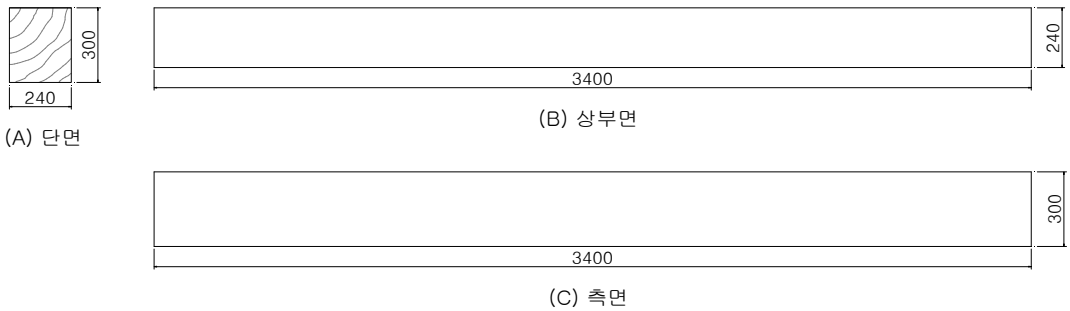
내민부재 실험체는 허용응력설계법(ASD)으로 동일하게 설계한다. 내민부재 실험

체의 크기는 [그림 3.4]과 같이 240㎜(b)×300㎜(d)×3,400㎜(L)로 제작한다.

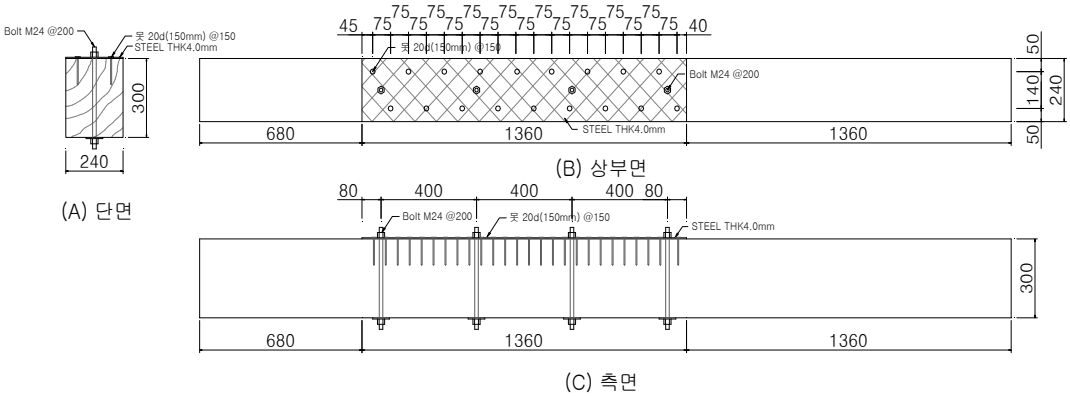
내민부재 실험체명에 따른 실험 변수별 구분은 다음과 같다.



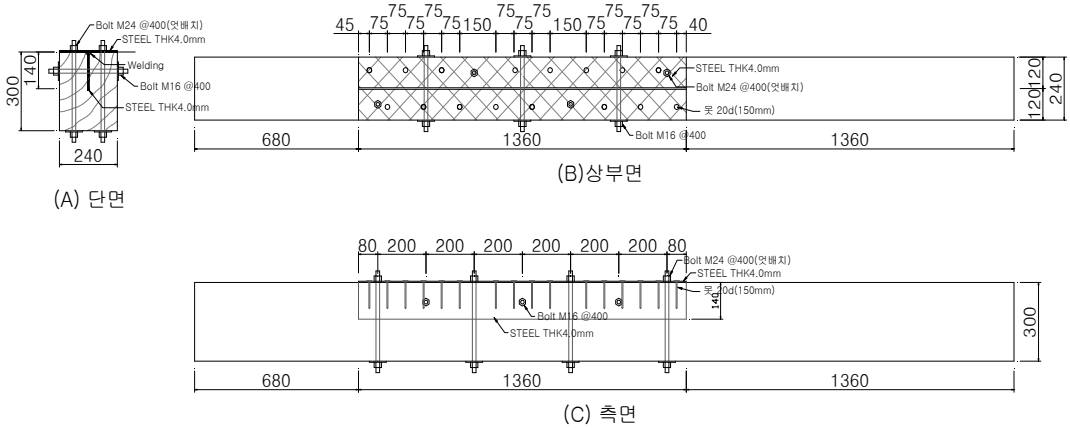
[사진 3.2] 목재 실험체의 제작과정



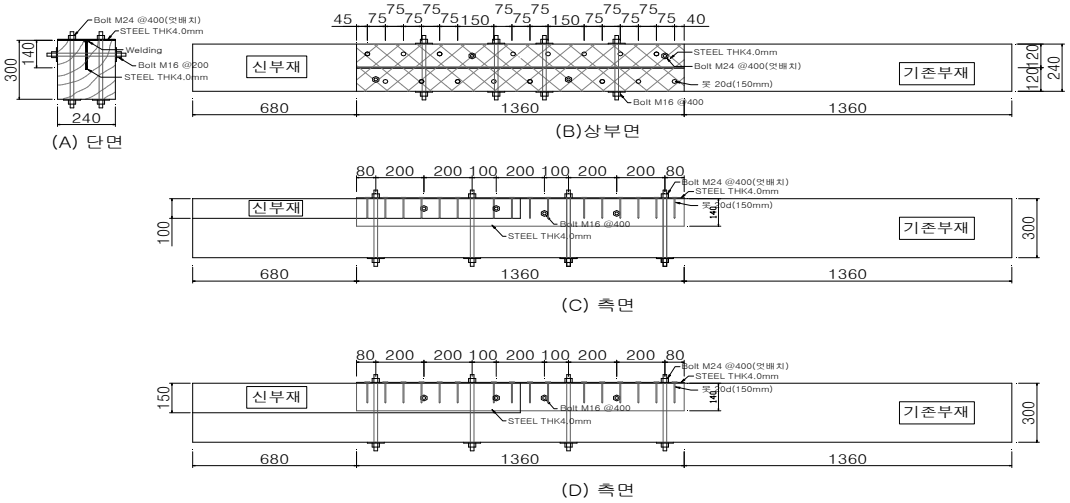
(1) 기준실험체(무보강)



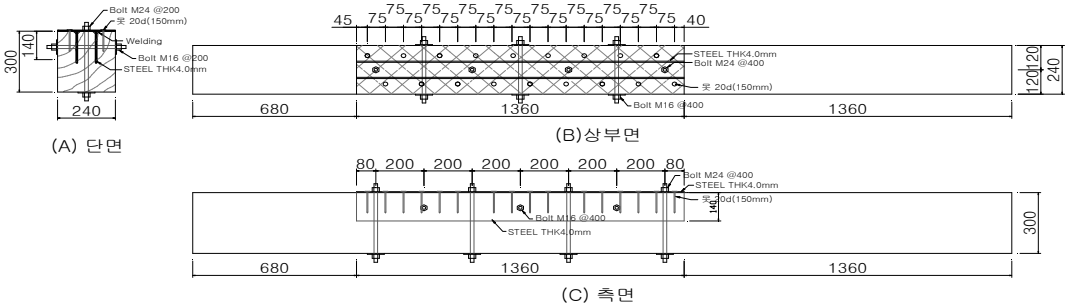
(2) 상부 철판보강



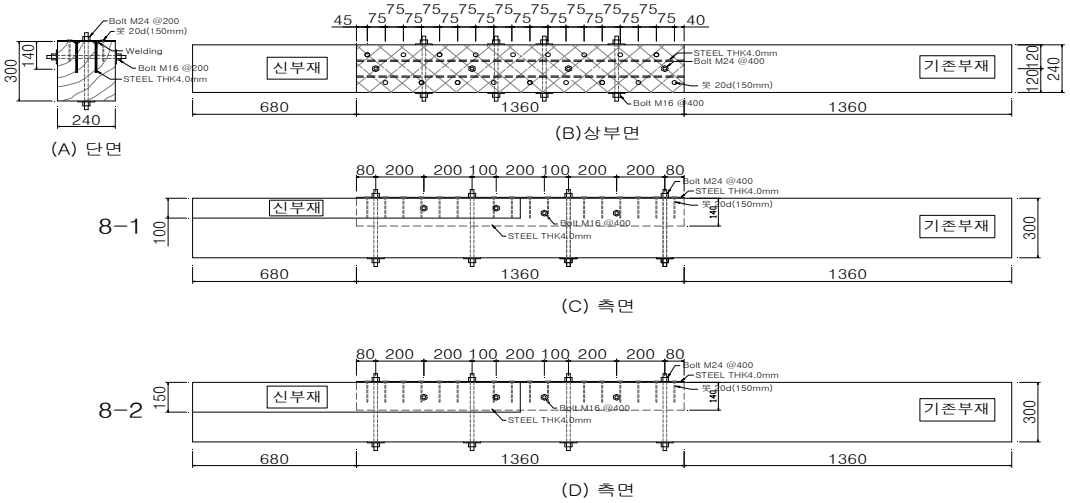
(3) T자 철판보강



(4) T자 수평이음 철판보강



(5) double T자 철판보강



(6) double T자 수평이음 철판보강

[그림 3.4] 내민부재 실험체의 단면 상세도

<표 3.2> 내민부재 실험체 변수

실험체명	부재 단면 (mm)	부재 길이 (mm)	보강재 종류 및 방법	실험체 수량	비 고
HR Ⅰ-N	240×300	3,400	무보강 기준실험체	2	Type Ⅰ 전통한옥 기준
HR Ⅰ-SB			-자 철판 4.0T, 볼트+못	2	
HR Ⅰ-TSB			T자 철판 4.0T, 볼트+못	2	
HR Ⅰ-TSB-HJ10			T자 철판 4.0T, 볼트+못, 손상 수평이음	2	
HR Ⅰ-TSB-HJ15			T자 철판 4.0T, 볼트+못, 손상 수평이음	2	
HR Ⅰ-DTSB			더블T자 철판 4.0T, 볼트+못	2	
HR Ⅰ-DTSB-HJ10			더블T자 철판 4.0T, 볼트+못, 손상 수평이음	2	
HR Ⅰ-DTSB-HJ15			더블T자 철판 4.0T, 볼트+못, 손상 수평이음	2	
HRⅡ-N			무보강 기준실험체	2	Type Ⅱ 진남관 기준
HRⅡ-SB			-자 철판 4.0T, 볼트+못	2	
HRⅡ-TSB			T자 철판 4.0T, 볼트+못	2	
HRⅡ-TSB-HJ10			T자 철판 4.0T, 볼트+못, 손상 수평이음	2	
HRⅡ-TSB-HJ15			T자 철판 4.0T, 볼트+못, 손상 수평이음	2	
HRⅡ-DTSB			더블T자 철판 4.0T, 볼트+못	2	
HRⅡ-DTSB-HJ10			더블T자 철판 4.0T, 볼트+못, 손상 수평이음	2	
HRⅡ-DTSB-HJ15			더블T자 철판 4.0T, 볼트+못, 손상 수평이음	2	
전체 실험체 계	※ 무보강 기준실험체 2개씩 포함 ※ 하부면 Washer 설치 ※ HR : Hip Rafter, N : 무보강 기준실험체 SB : 철판+볼트, TSB : T자 철판+볼트 DTSB : 더블T자 철판+볼트, HJ : 손상부 수평 이음 Ⅰ : 내민길이비 1: 1.0(한옥), Ⅱ : 내민길이비 1:1.4(진남관)			32개	

3.2 사용 재료

목조 구조물의 정량적인 구조적 거동을 평가하기 위해서는 동일부재를 이용하거나 동일한 수종(樹種) 및 수령(樹齡)의 부재를 통해 실험하는 것이 가장 바람직한 접근으로 볼 수 있다. 그러나 문화재로 지정되어 사용 중인 오래된 부재에 대해 직접 실험을 하는 것은 현실적으로 불가능하므로 소나무과의 새로운 목재의 응력 및 역학적인 성질을 파악하고 허용응력과 비교하여 구조적 실험을 한다.

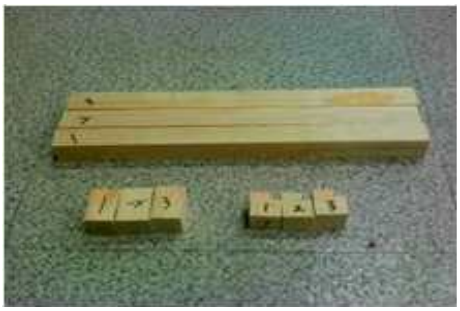
내민 부재의 실험에 사용된 목재에 대해 재료시험을 통해 얻어진 목재의 물리적 특성은 <표 3.3>과 같다. 구조실험에 사용된 목재는 <표 3.4>의 건축구조설계기준(KBC 2009)에서 정한 허용응력과 비교할 때, 소나무 1등급 이상의 구조부재로 평가되어 실험의 부재로 적정하다.

<표 3.3> 목재의 물리적 특성

목재 종류	압축응력 (MPa)	휨응력 (MPa)	전단응력 (MPa)	탄성계수 (MPa)	함수율 (%)
소나무	61.5	68.0	8.7	10.0×10^3	18.1

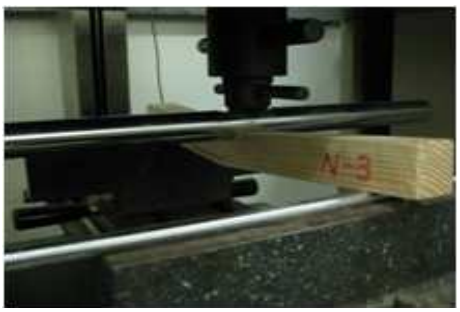
<표 3.4> 구조부재의 허용응력

구 분		압축응력 (MPa)	휨응력 (MPa)	전단응력 (MPa)	탄성계수 (MPa)	함수율 (%)
소나무류	1등급	7.5	7.5	0.5	10.0×10^3	○ 건조재 : 15% 이하 ○ 생재 : 18% 초과
	2등급	4.5	6.0	0.5	9.0×10^3	



(a) 재료시험체 가공 후 전경

(b) 압축응력 시험 전경



(c) 휨응력 시험 전경

(d) 전단응력 시험 전경

[사진 3.3] 목재 재료시험 전경

<표 3.5> 보강재의 물리적 특성

종 류	단면 및 제원(mm)	탄성계수(MPa)	인장응력(MPa)
철 판	4.0	2.0×10^5	240
볼 트	M24, M16	2.0×10^5	240
못	20d(150mm)	2.0×10^5	240

(a) 보강재

(b) 상부면 철판 + 볼트 보강

(c) T철판 + 볼트 및 못 보강

(d) double T철판 + 볼트 보강

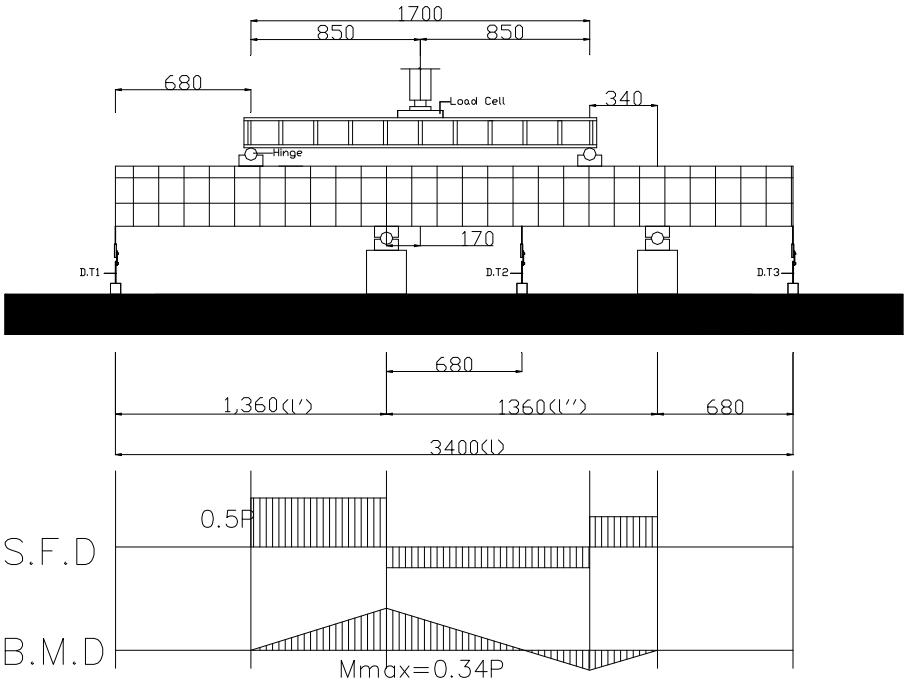
[사진 3.4] 목재 보강재료 전경

3.3 실험 방법 및 실험기기

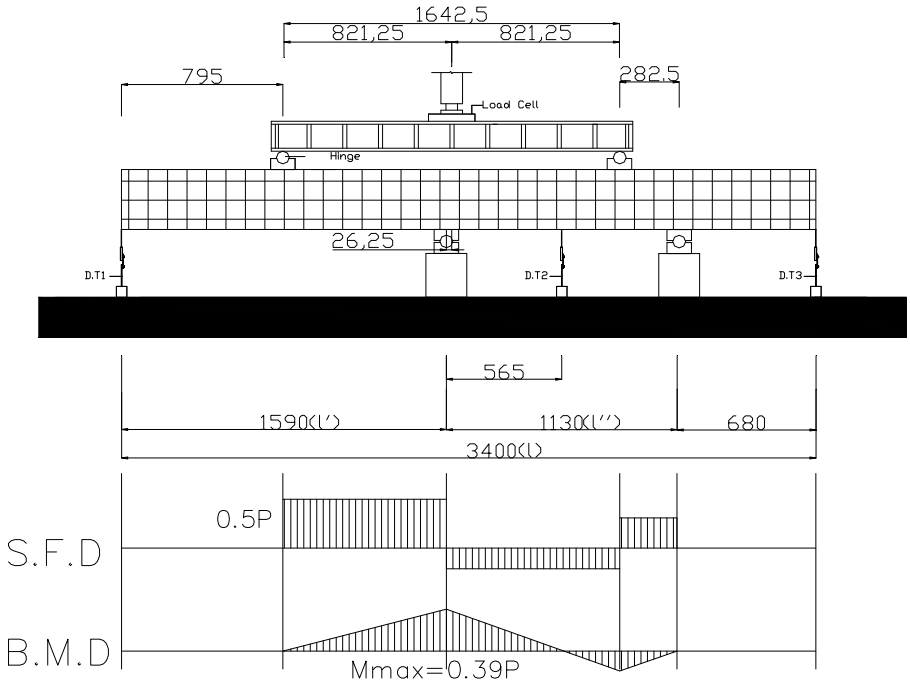
본 실험에 사용할 실험기기는 만능구조실험기(Universal Testing Machine, U.T.M)를 이용하여 팔작지붕 내민부재(추녀)의 실험을 실시한다.

3.3.1 내민부재 실험계획

내민부재 실험은 [그림 3.5]와 같이 만능구조실험기에서 내민보 단순지지상태로 실험체를 설치하고, 실제 내민부재의 지붕 집중하중 위치인 2점의 집중하중을 가력하여 실험체가 완전 휨파괴 될 때까지에 실시하여 최대내력을 결정한다. 가력판은 휨 실험체 위에 2개의 힌지를 올리고 그 위에 가력판과 로드셀을 올린 후 가압한다.

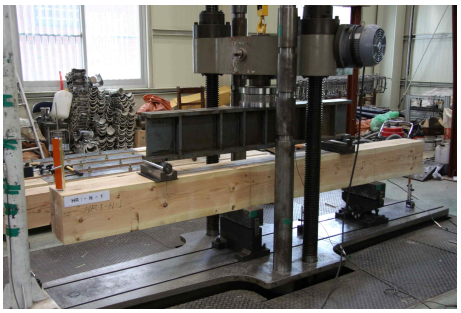


(a) Type I



(b) TypeⅡ

[그림 3.5] 내민부재 실험체의 Set-up도



(a) 파괴 전

(b) 파괴 후

[사진 3.5] 내민부재 실험체의 실험 전경

균열 및 손상부는 하중을 가력 하면서 하중단계에 따라 발생되는 균열이나 갈라짐 등을 유성펜을 사용하여 하중에 따라 나타난 위치를 표시하면서 파악한다.

가력은 초당 0.1mm의 변위가 발생하도록 변위 제어방식으로 재하하고, 데이터

(data)는 초당 6회 수집하여 저장한다. 부재실험체에 재하되는 하중을 정확히 측정하기 위하여 가력판 상부에 Load Cell을 설치하여 실시간 가력단계에 따른 하중을 측정한다.

실험체 하부의 단부에는 로울러(Roller)를 설치하여 수평변위와 회전에 대한 구속이 발생하지 않도록 하고, 지점파괴를 방지하기 위하여 120mm폭의 각형 철강을 설치하여 실험한다.

변위측정은 우측 및 좌측의 가력점 하부 각 1개소, 상부 철판 중앙부 1개소와 매입철판 변형위치 1개소에 LVDT(Linear Vertical Displacement Transducer, 변형게이지. 이하 D.T.)를 설치하여 가력단계에 따른 실험체의 변위를 측정한다.

모든 측정기기의 측정데이터는 Data Logger에 연결하여 수집하고 개인용 컴퓨터를 이용 변환 처리하여 하중 및 응력과 변형관계를 분석한다.

항복하중은 항복점이 명확하지 않으므로 실험결과에 따른 부재실험에서 얻은 하중 및 처짐 관계에서 탄성역의 초기강성을 연장한 직선과 소성역의 접선이 교차하는 점을 항복하중으로 결정한다.

3.3.2 실험 기기

본 실험은 만능구조실험기가 설치된 실험실에서 행하며, 실험체가 완전 파괴 될 때까지 가력하여 최대내력을 결정한다.

본 실험에 사용된 실험기구는 다음과 같다.

- 만능구조실험기(U.T.M) : Shimadzu Co., Japan
- Dateletty 402(Shimadzu ; Japan)
- Datelogger(STC-16NB ; 삼연기술(주) ; Korea)
- Displacement Transducer(100㎜)
- Load Cell (1MN, 압축 1MN, 인장 0.5MN)

Ⅳ. 내민부재 실험 결과

4.1 실험 결과

내민부재의 실험 결과, 기준실험체와 '-'자 철판, T자 철판, 더블 T자 철판으로 보강한 실험체를 비교할 때 항복하중, 최대하중이 증대되는 것으로 나타났다.

TypeⅠ 기준실험체의 항복하중은 77.2kN, 최대하중은 362.8kN이고, 목재 상부를 '-'자 철판으로 보강한 실험체의 항복하중은 62.1kN으로 20% 감소하였으나 최대하중은 368.0kN으로써 1.4%의 증가율을 나타냈다.

T자 철판으로 보강한 실험체의 항복하중은 171.7kN, 최대하중은 358.4kN으로써 항복하중은 122.4% 증가한 반면, 최대하중은 1.2% 정도 감소하였다.

더블 T자 철판으로 보강한 실험체의 항복하중은 146.3kN으로써 89.5% 증가하였고, 최대하중은 351.9kN으로써 18.5% 정도 감소를 보였다.

손상 수평이음(10cm) T자 철판 보강에서 항복하중은 181.5kN으로써 135.1% 정도 증가하였으나 최대하중은 16.4%~46.1% 감소하는 것으로 나타났다.

TypeⅡ 기준실험체의 항복하중은 90.4kN, 최대하중은 346.5kN이고, 상부를 '-'자 철판으로 보강한 실험체의 항복하중은 176.9kN으로써 95.7%의 증가를, T자 철판으로 보강한 실험체의 항복하중은 166.8kN 84.5% 정도 증가하였다.

더블 T자 철판으로 보강한 실험체의 항복하중은 189.4kN, 최대하중은 350.5kN으로써 항복하중은 109.5%, 최대하중은 1.2% 정도 증가를 보였다.

손상 수평이음(10cm) 더블 T자 철판 보강에서 항복하중은 150.1kN으로써 66.0% 정도 증가하였다. 특히, 손상 수평이음부재의 경우 부재의 T자 및 더블 T자 철판으로 보강하여 실험을 통해 기준실험체와 비교 결과 유사한 구조적 거동을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

내민부재의 내민길이비(1:1.0, 1:1.4)가 길수록 항복 및 최대하중이 낮아지는 구조거동에서 더블 T자 보강에 따른 강도의 증대의 보강효과는 상대적으로 증가하는 것으로 나타났다.

보강재의 하중 및 처짐 그래프를 보면 하중이 가력초기부터 내민부재의 단면과

일체화되어 거동하는 것으로 나타났다.

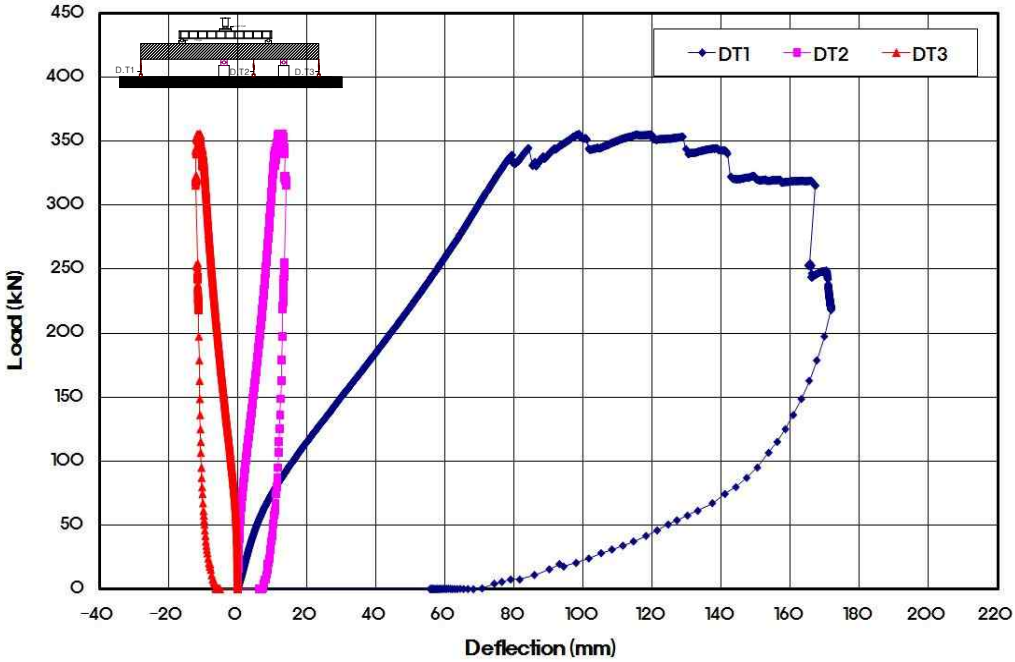
내민부재의 Type별 및 보강재별 실험체의 실험결과는 <표 4.1>~<표 4.2> 및 [그림 4.1]~[그림 4.5]와 같다.

<표 4.1> Type I 내민부재 실험 결과

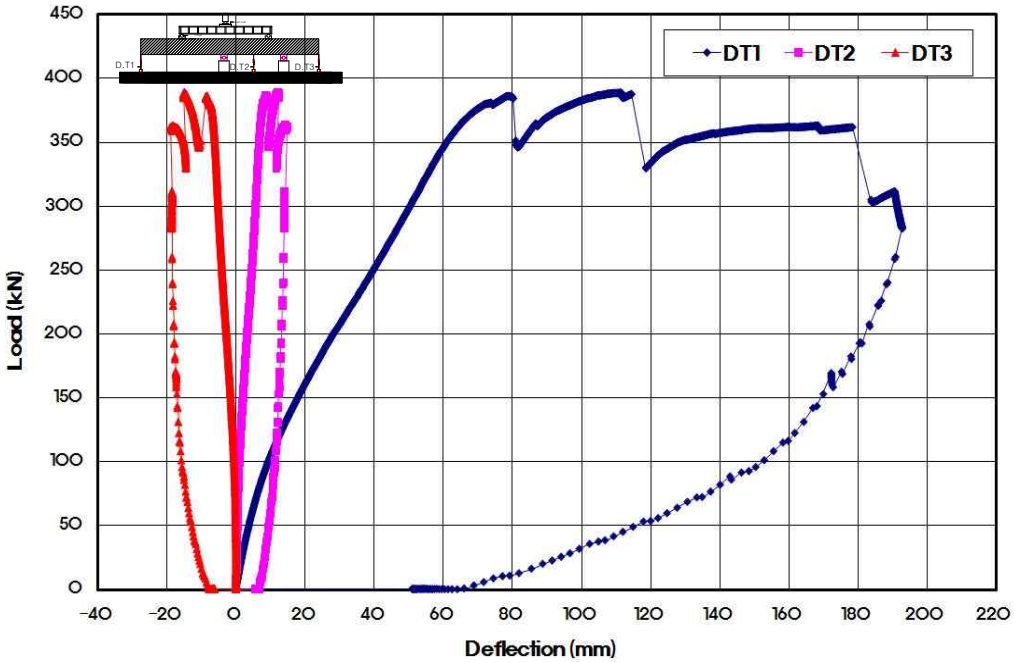
실험체명	항복하중		최대하중	
	Py	δy	Pu	δu
	(kN)	(mm)	(kN)	(mm)
HR I -N-1	64.6	7.9	340.9	83.1
HR I -N-2	89.73	8.0	384.7	77.5
HR I -SB-1	60.4	7.8	367.8	109.3
HR I -SB-2	63.8	9.2	368.2	142.4
HR I -TSB-1	195.8	12.6	347.8	75.2
HR I -TSB-2	147.6	12.8	369.0	114.8
HR I -TSB-HJ10-1	213.3	20.6	333.9	85.7
HR I -TSB-HJ10-2	149.6	19.5	257.2	89.9
HR I -TSB-HJ15-1	136.8	25.4	195.6	110.2
HR I -TSB-HJ15-2	154.2	21.8	211.5	114.0
HR I -DTSB-1	152.2	12.3	364.8	133.8
HR I -DTSB-2	140.3	11.0	339.0	117.8
HR I -DTSB-HJ10-1	152.2	18.6	281.8	133.0
HR I -DTSB-HJ10-2	158.9	17.4	324.9	127.3
HR I -DTSB-HJ15-1	148.6	22.9	221.9	82.0
HR I -DTSB-HJ15-2	180.1	23.0	237.6	61.8

<표 4.2> TypeⅡ 내민부재 실험 결과

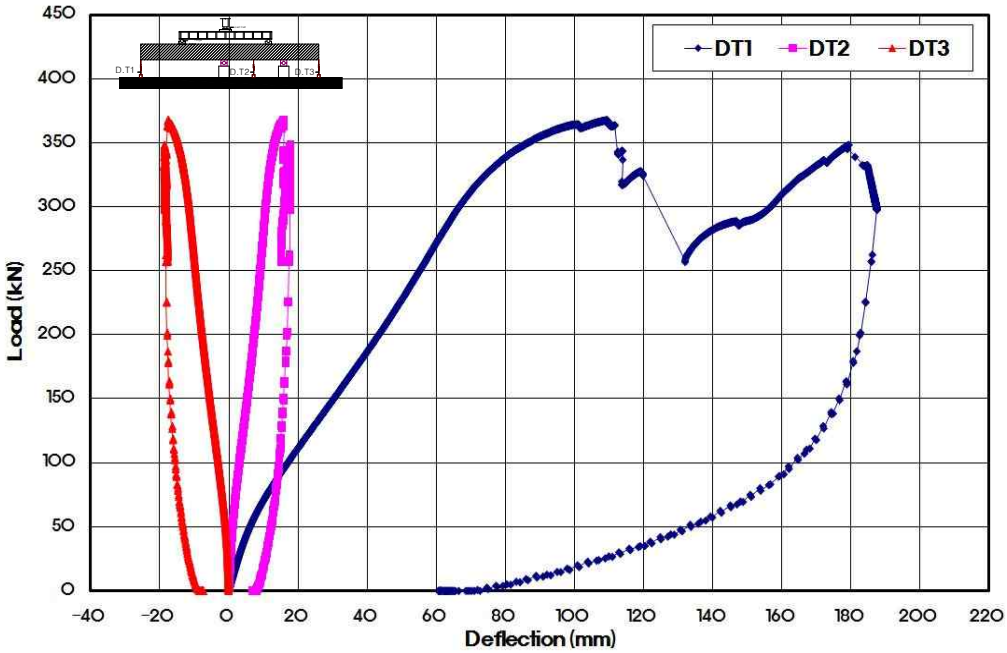
실험체명	항복하중		최대하중	
	Py	δy	Pu	δu
	(kN)	(mm)	(kN)	(mm)
HRⅡ-N-1	85.3	10.4	340.2	108.8
HRⅡ-N-2	95.4	11.2	352.7	78.2
HRⅡ-SB-1	200.7	19.9	311.5	78.3
HRⅡ-SB-2	153.0	19.1	315.1	199.7
HRⅡ-TSB-1	164.0	20.3	301.3	96.5
HRⅡ-TSB-2	169.5	20.6	307.7	99.1
HRⅡ-TSB-HJ10-1	135.8	25.6	198.0	111.3
HRⅡ-TSB-HJ10-2	143.3	23.7	219.6	99.0
HRⅡ-TSB-HJ15-1	141.4	26.9	202.7	195.0
HRⅡ-TSB-HJ15-2	139.5	21.3	217.3	142.9
HRⅡ-DTSB-1	167.2	15.0	329.7	171.5
HRⅡ-DTSB-2	211.5	23.2	371.3	185.0
HRⅡ-DTSB-HJ10-1	154.1	23.3	287.9	103.9
HRⅡ-DTSB-HJ10-2	146.0	19.7	287.1	164.4
HRⅡ-DTSB-HJ15-1	133.3	26.7	196.8	128.1
HRⅡ-DTSB-HJ15-2	126.4	24.4	211.1	135.8



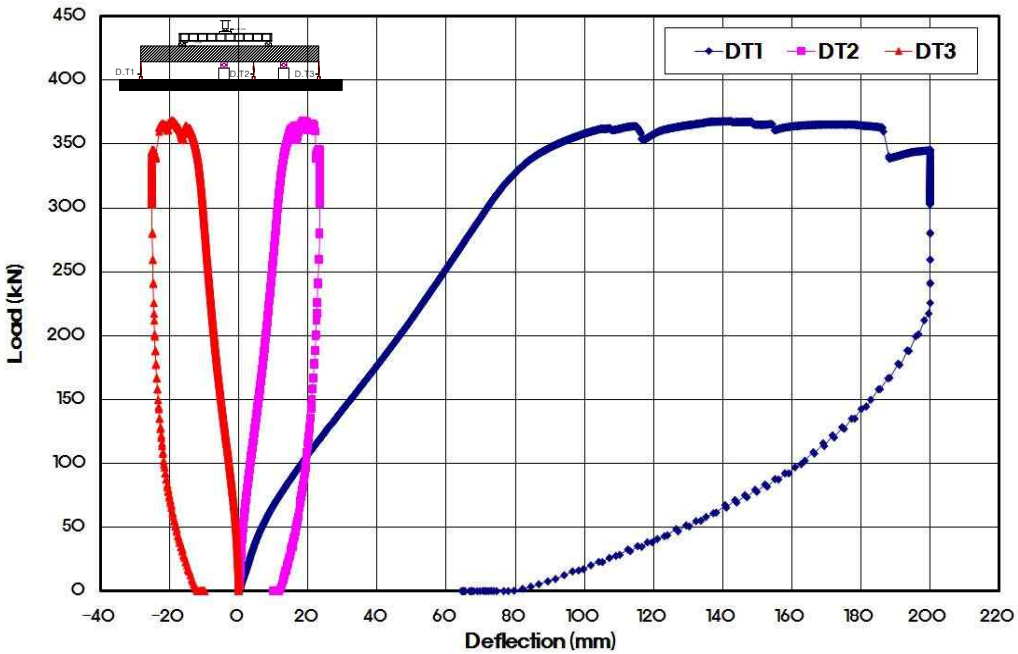
(a) HR I -N-1 실험체



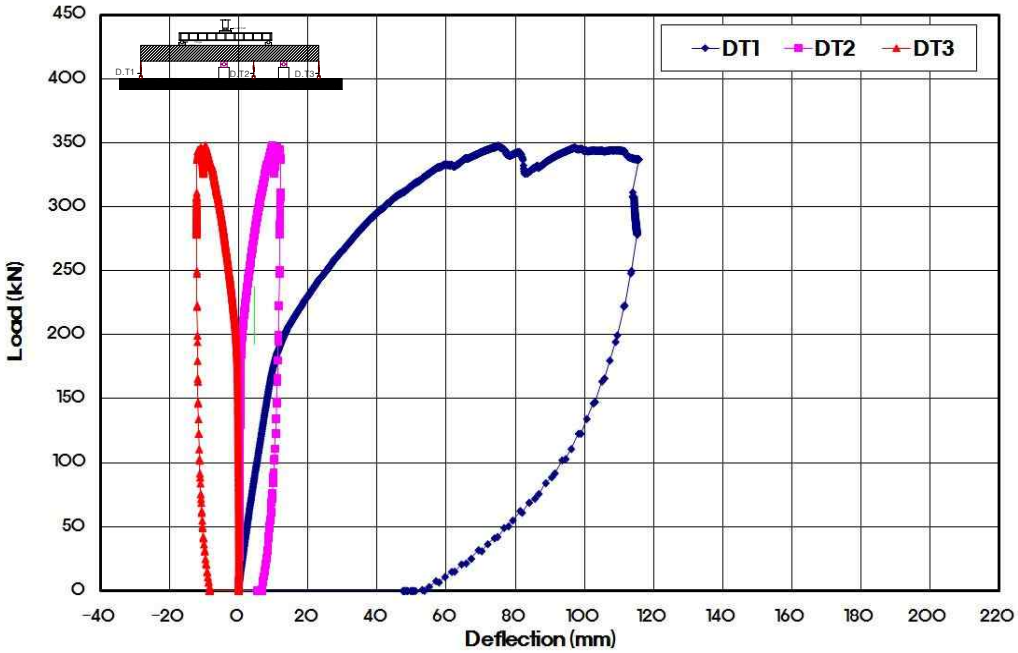
(b) HR I -N-2 실험체



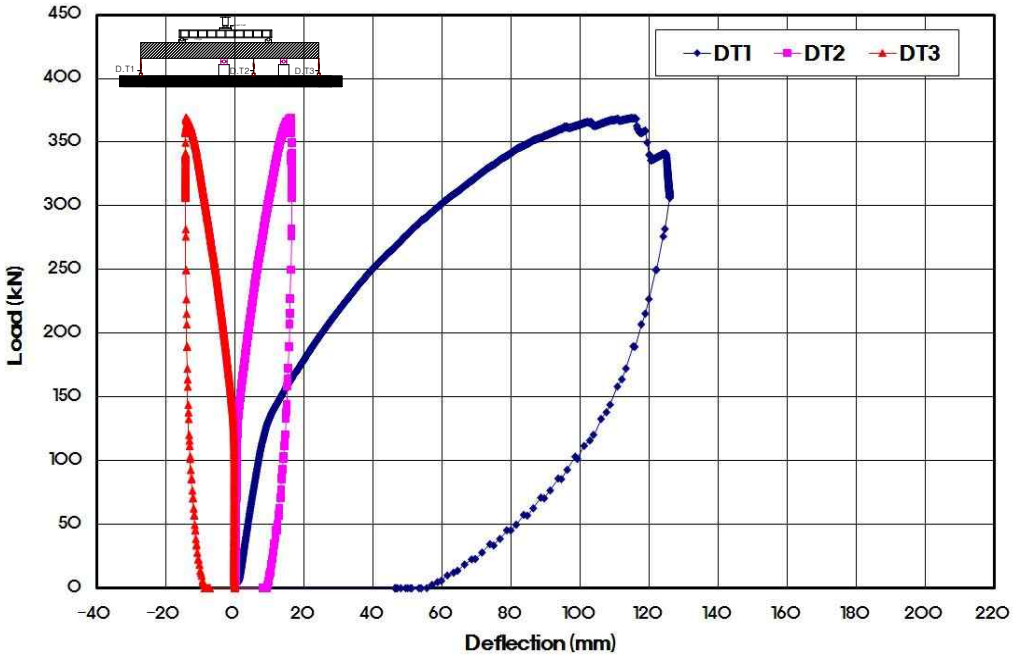
(c) HR I -SB-1 실험체



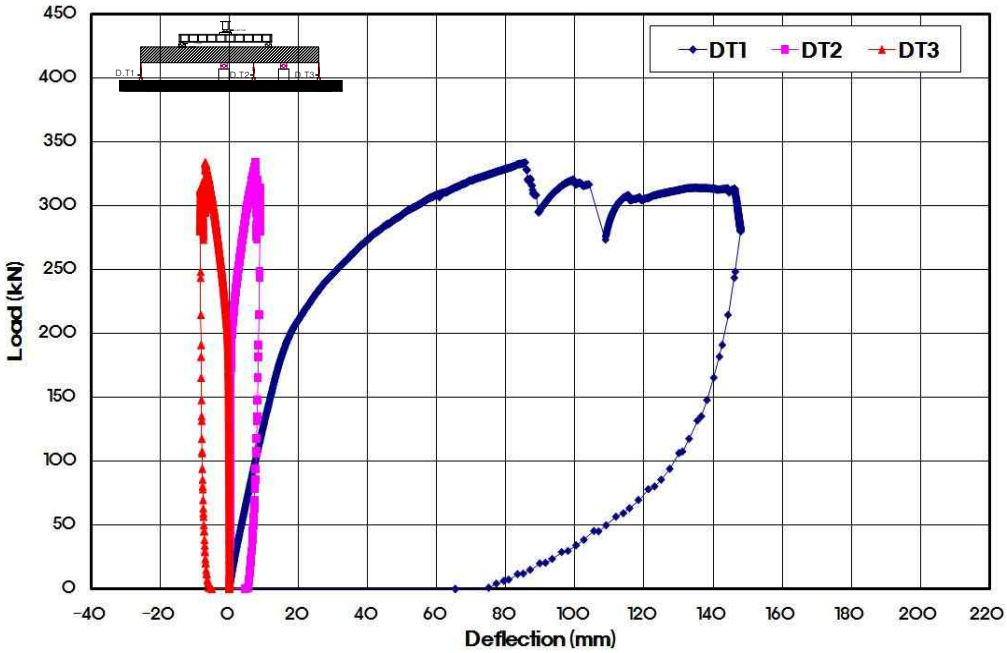
(d) HR I -SB-2 실험체



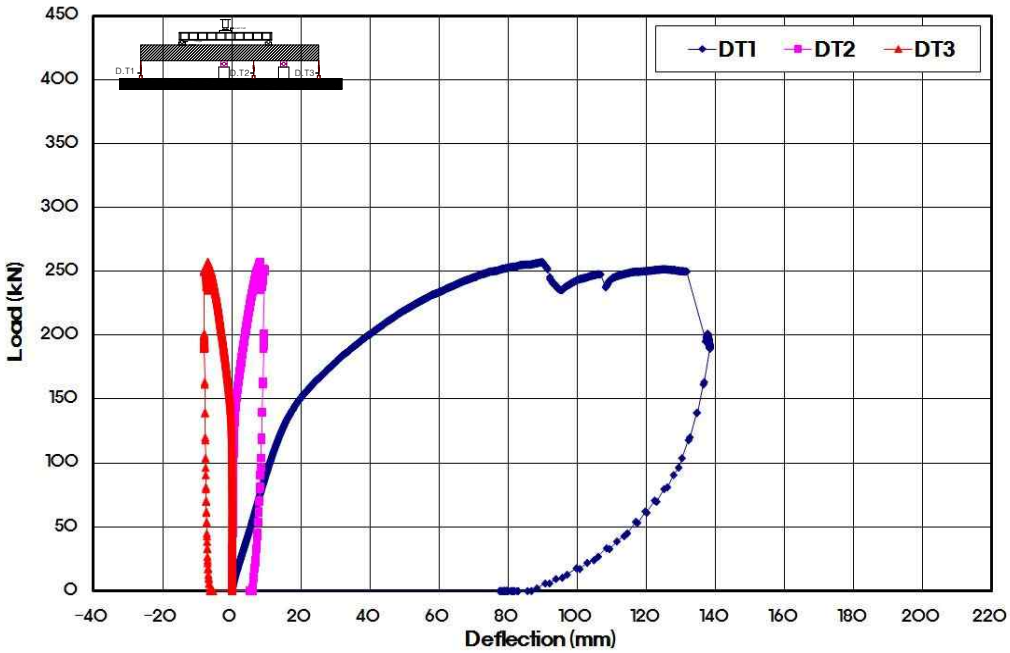
(e) HR I -TSB-1 실험체



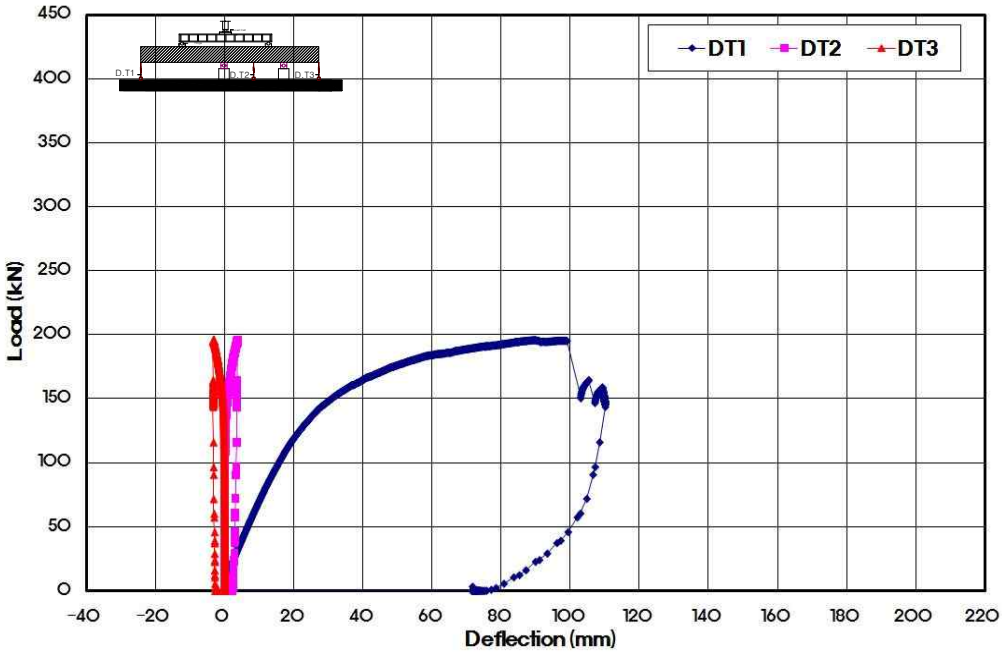
(f) HR I -TSB-2 실험체



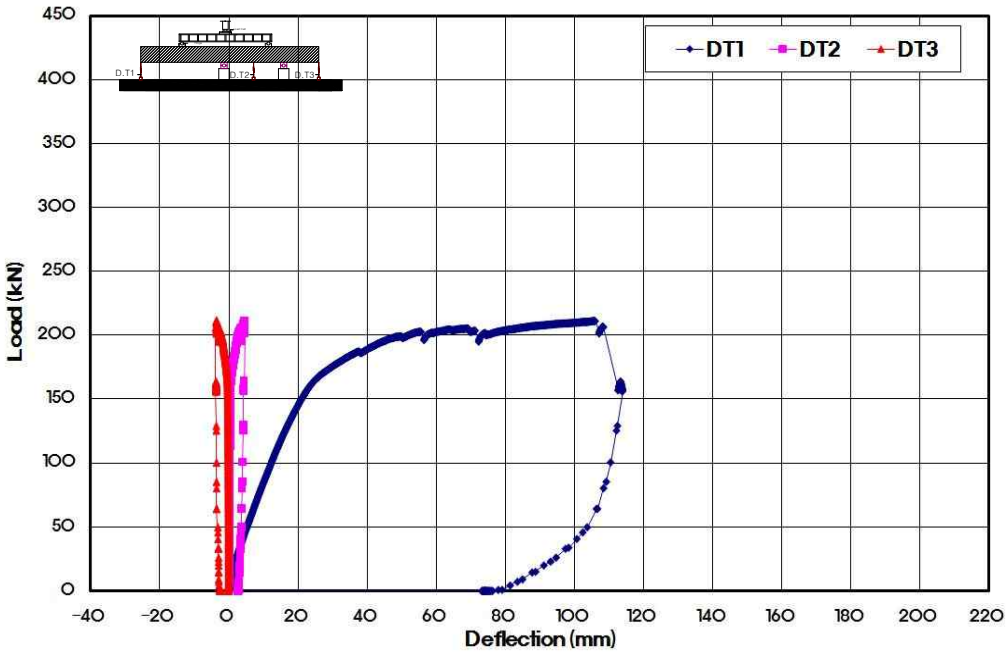
(g) HR I -TSB-HJ10-1 실험체



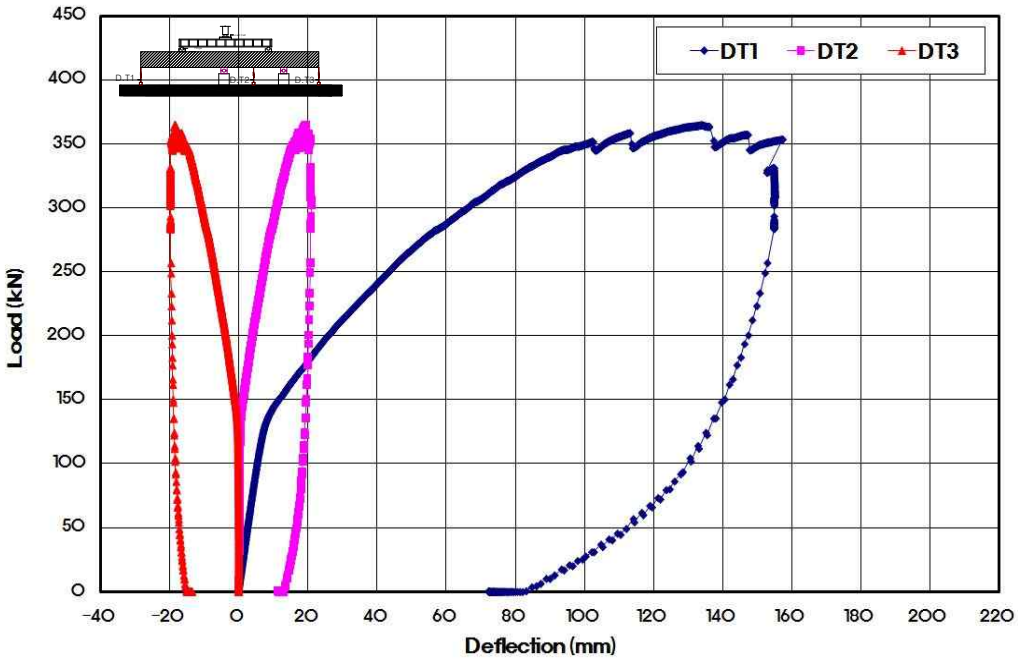
(h) HR I -TSB-HJ10-2 실험체



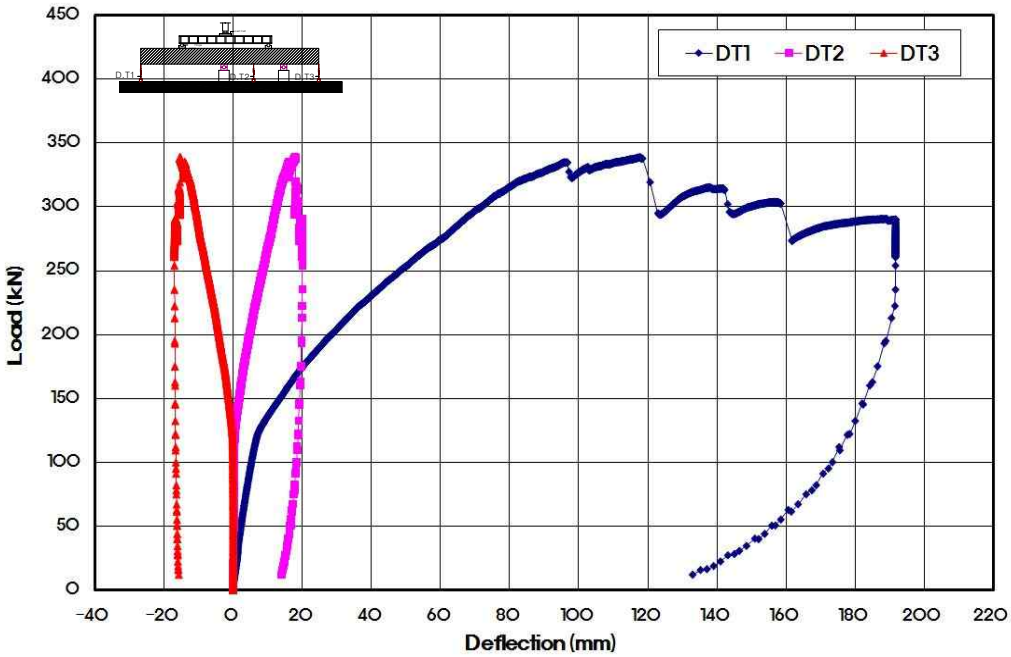
(i) HR I -TSB-HJ15-1 실험체



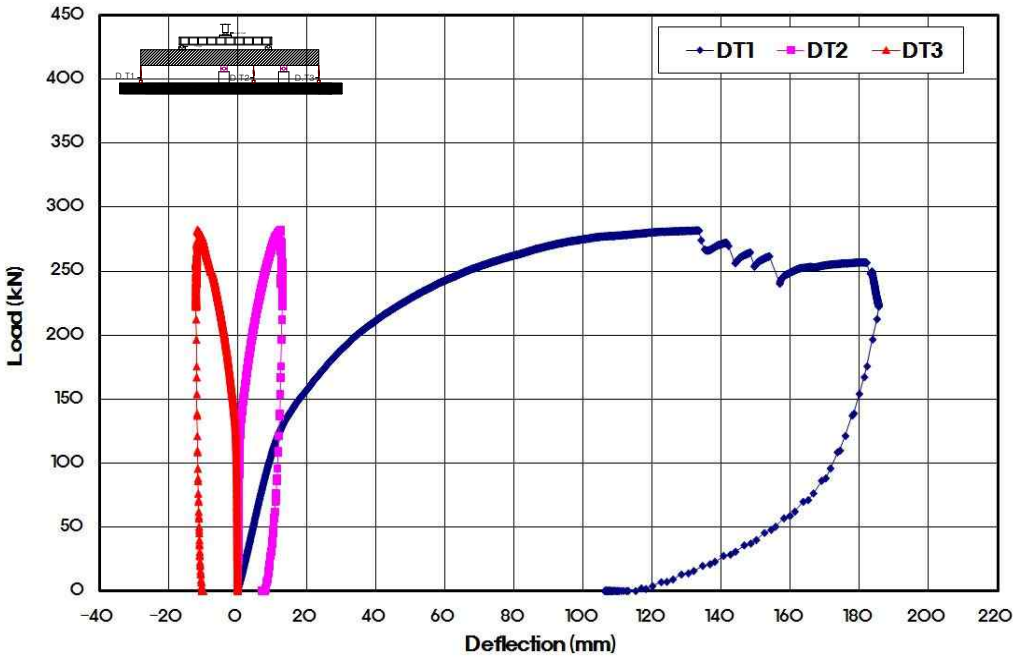
(j) HR I -TSB-HJ15-2 실험체



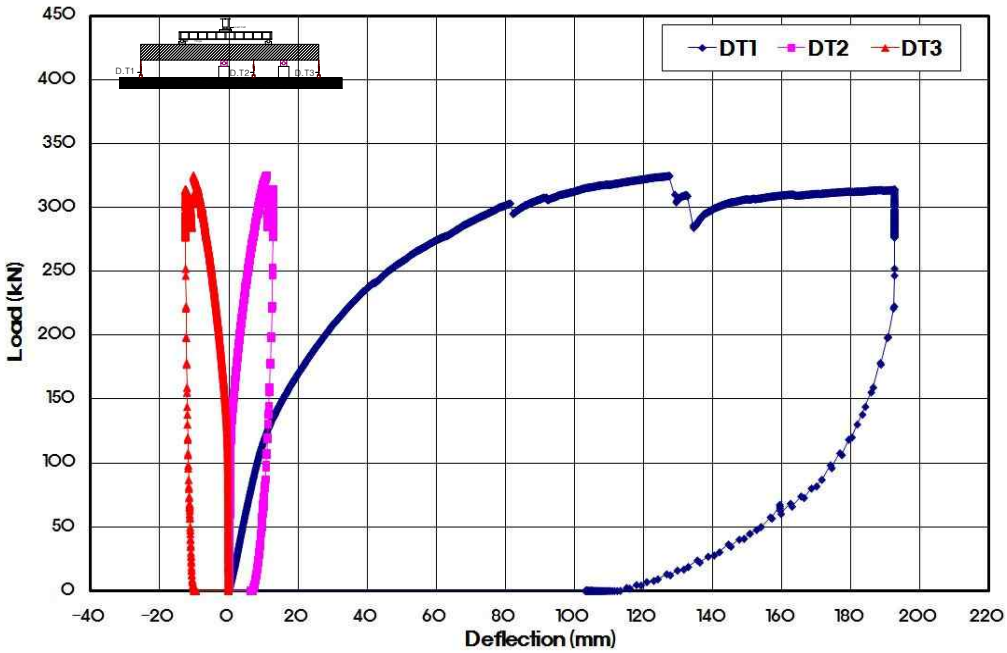
(k) HR I -DTSB-1 실험체



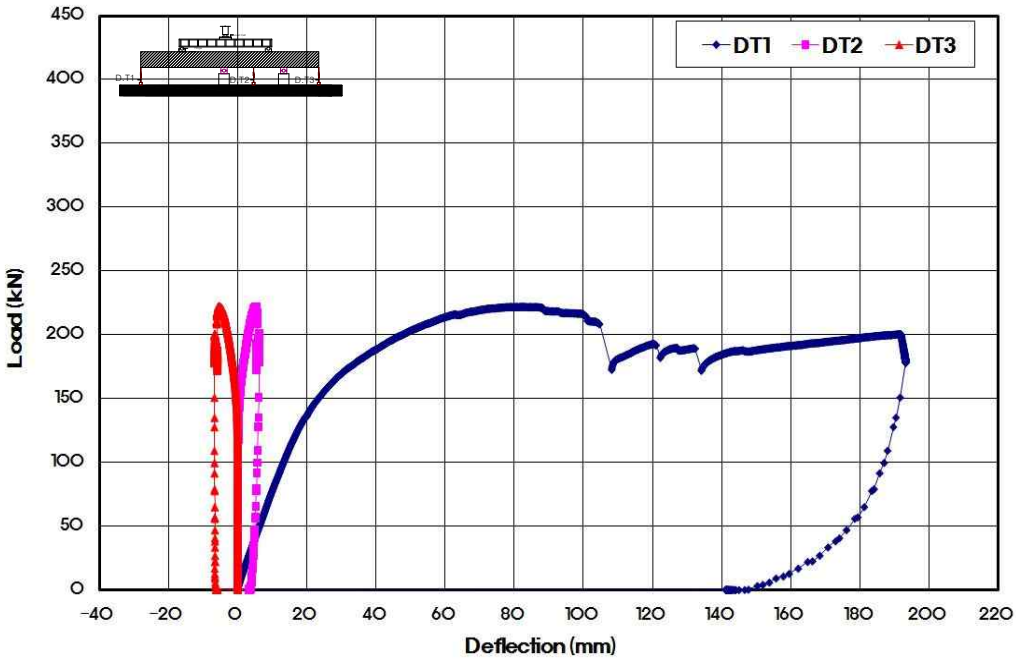
(l) HR I -DTSB-2 실험체



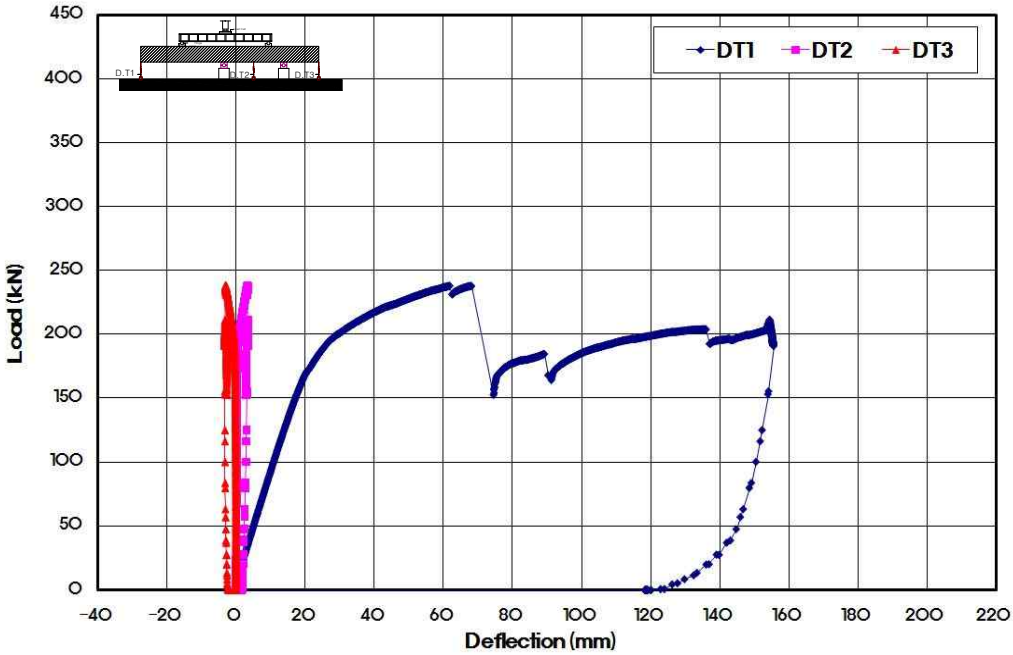
(m) HR I -DTSB-HJ10-1 실험체



(n) HR I -DTSB-HJ10-2 실험체

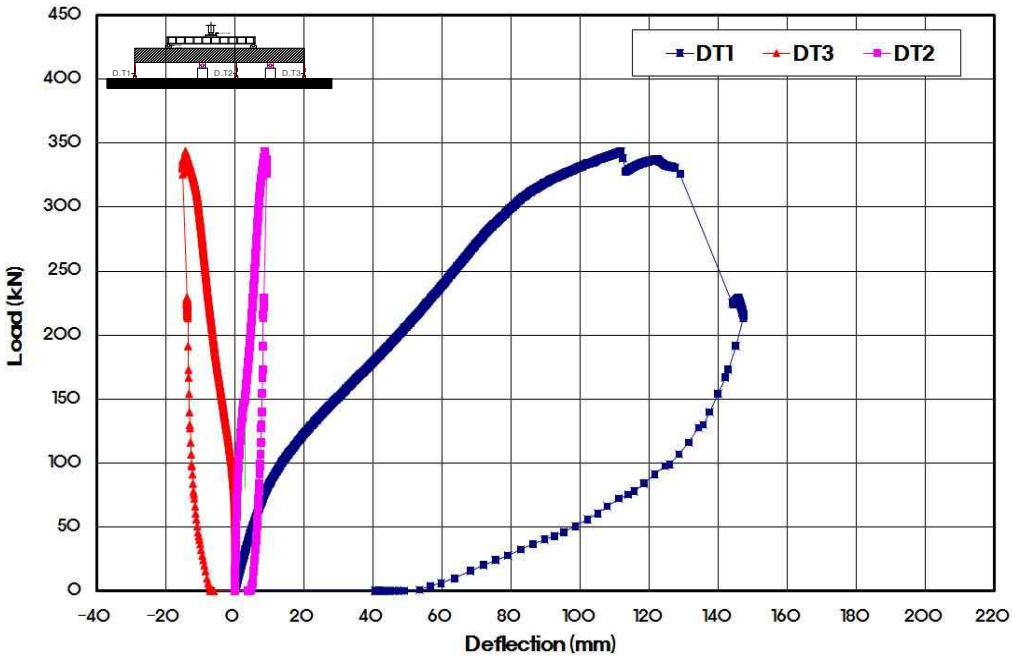


(o) HR I -DTSB-HJ15-1 실험체

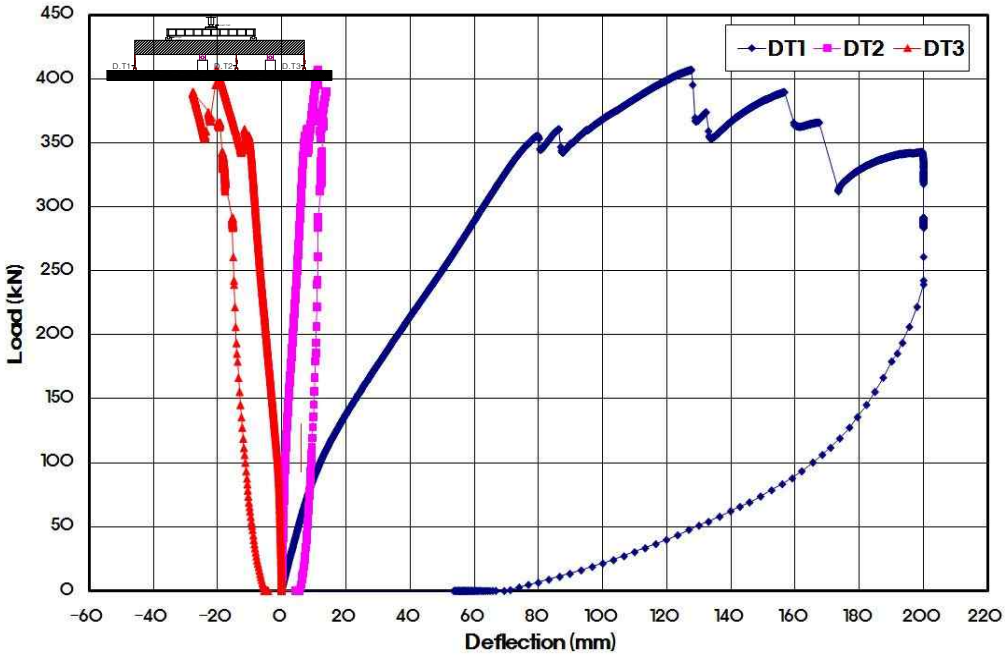


(p) HR I -DTSB-HJ15-2 실험체

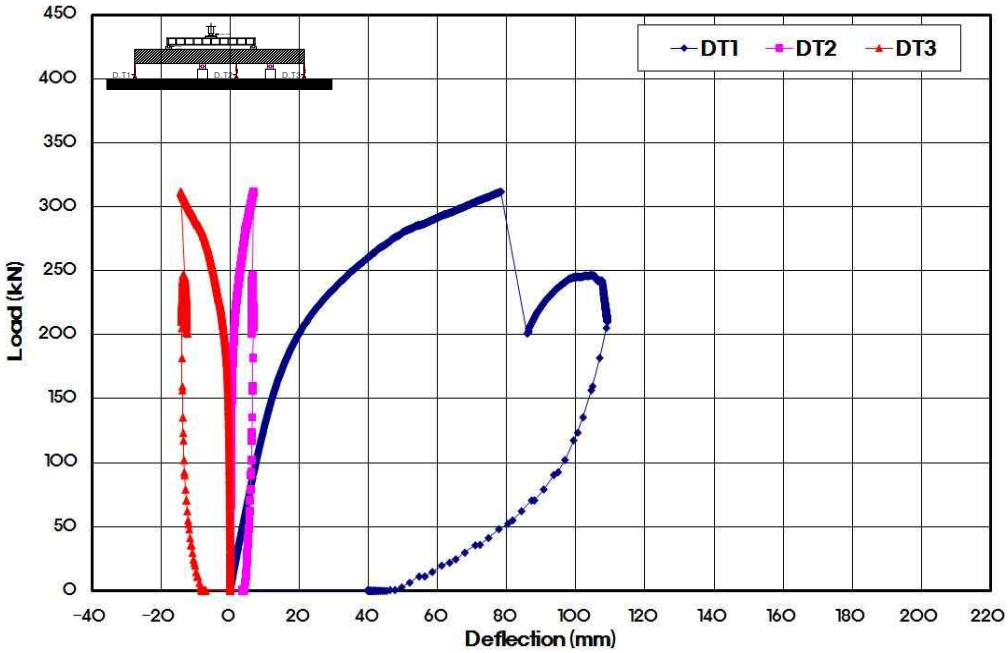
[그림 4.1] Type I 내민부재 실험체의 하중-처짐 곡선



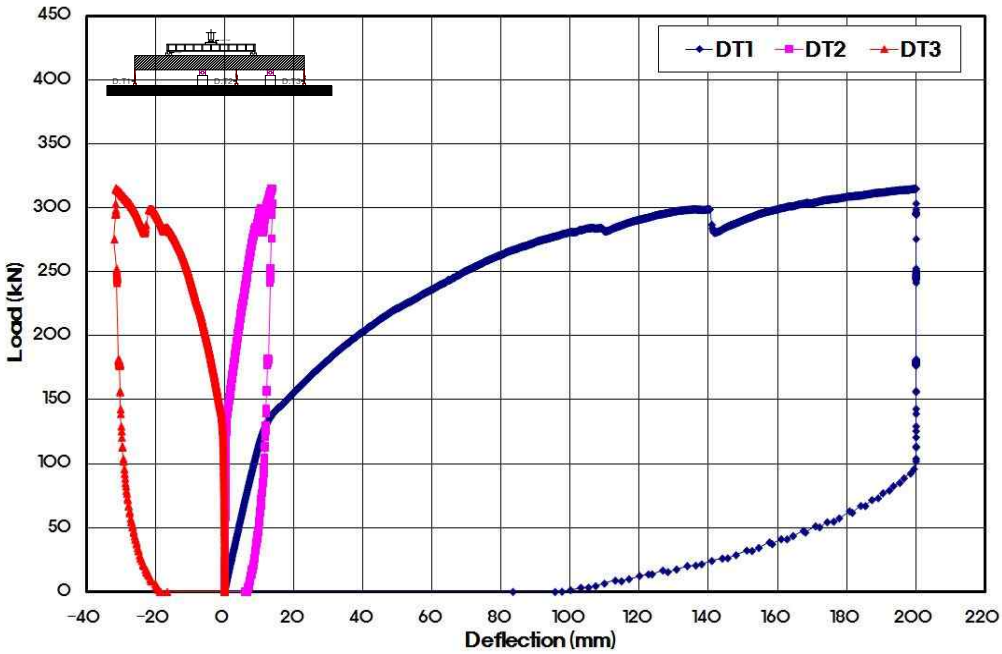
(a) HRⅡ-N-1 실험체



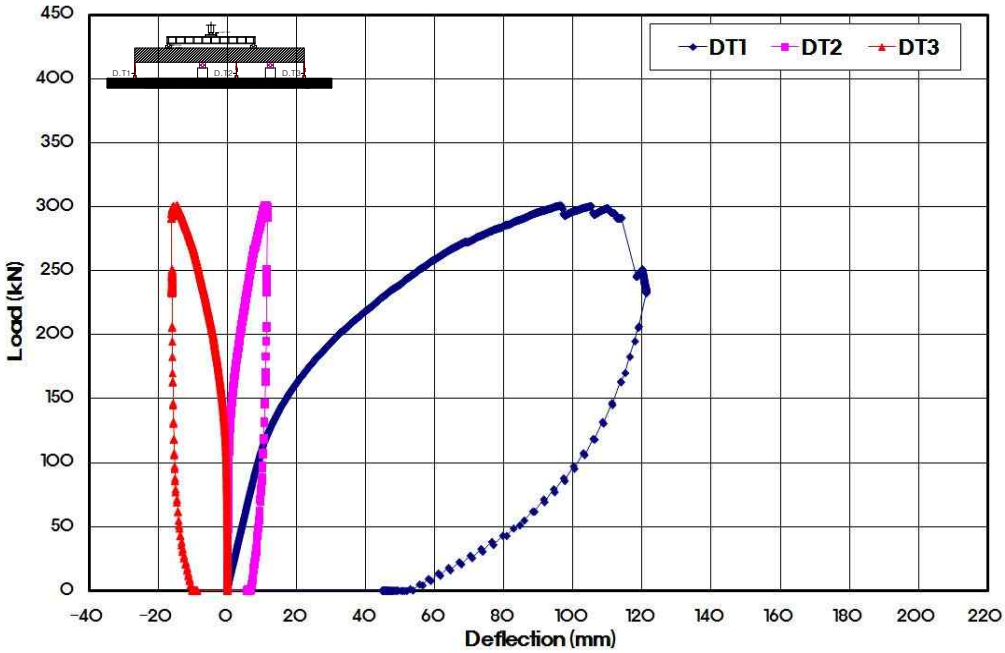
(b) HRⅡ-N-2 실험체



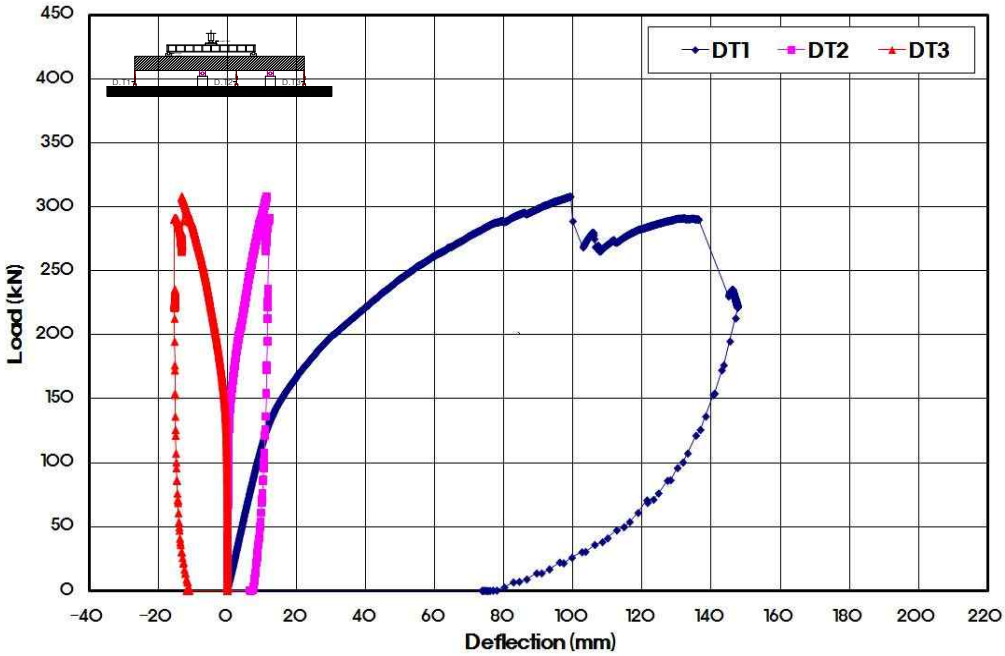
(c) HRⅡ-SB-1 실험체



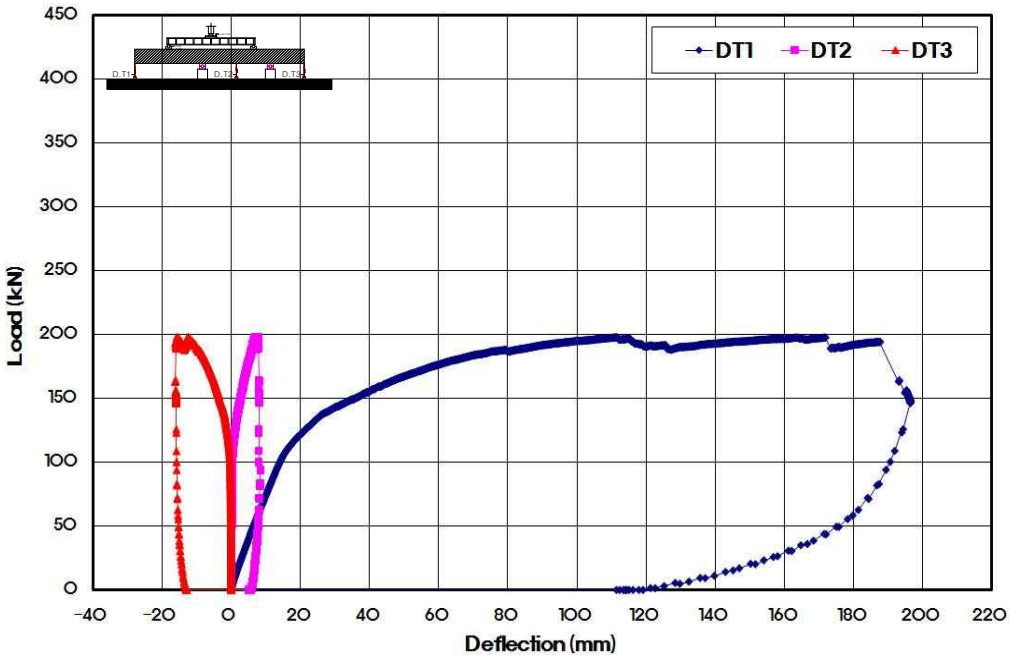
(d) HRⅡ-SB-2 실험체



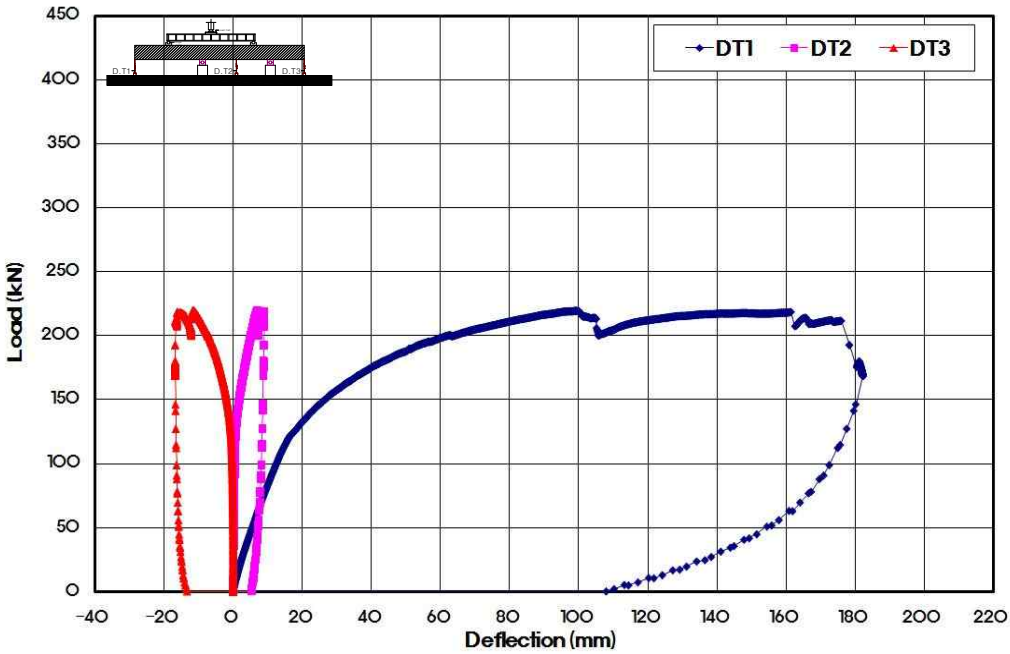
(e) HRⅡ-TSB-1 실험체



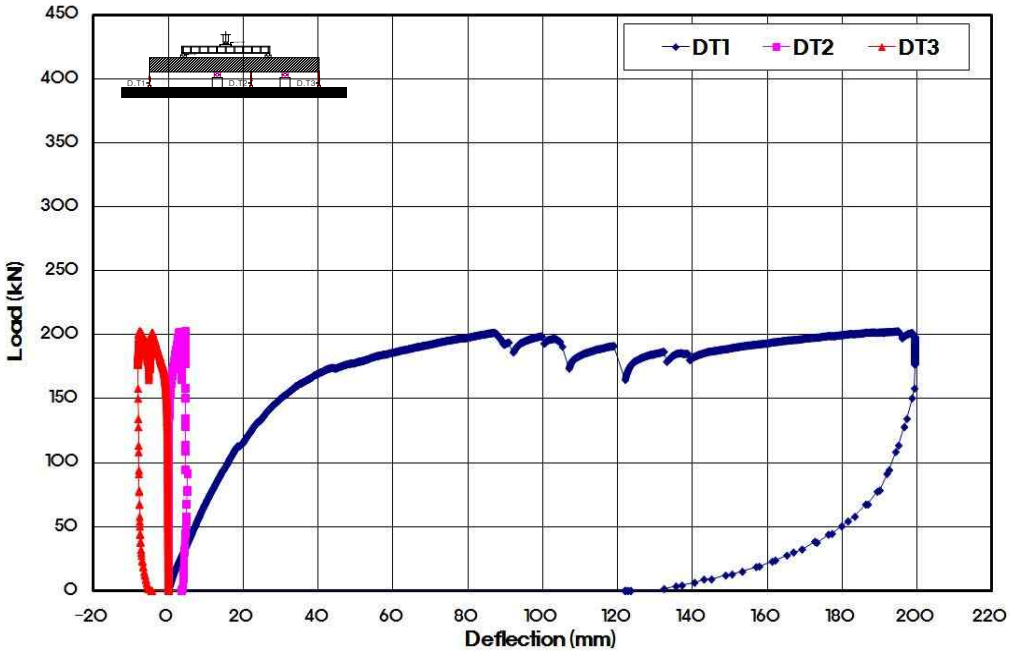
(f) HRⅡ-TSB-2 실험체



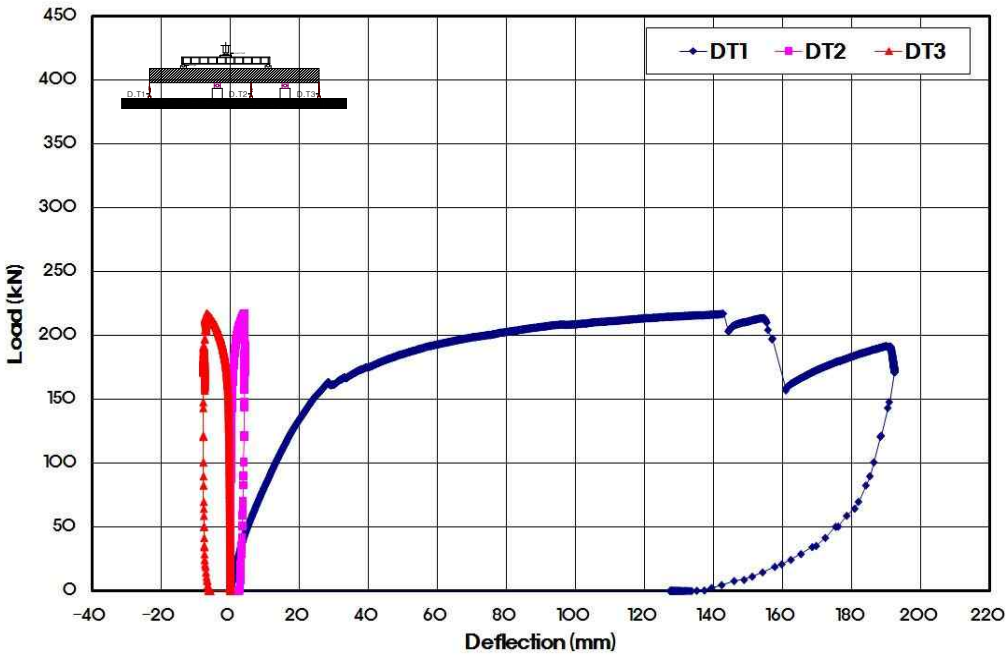
(g) HRⅡ-TSB-HJ10-1 실험체



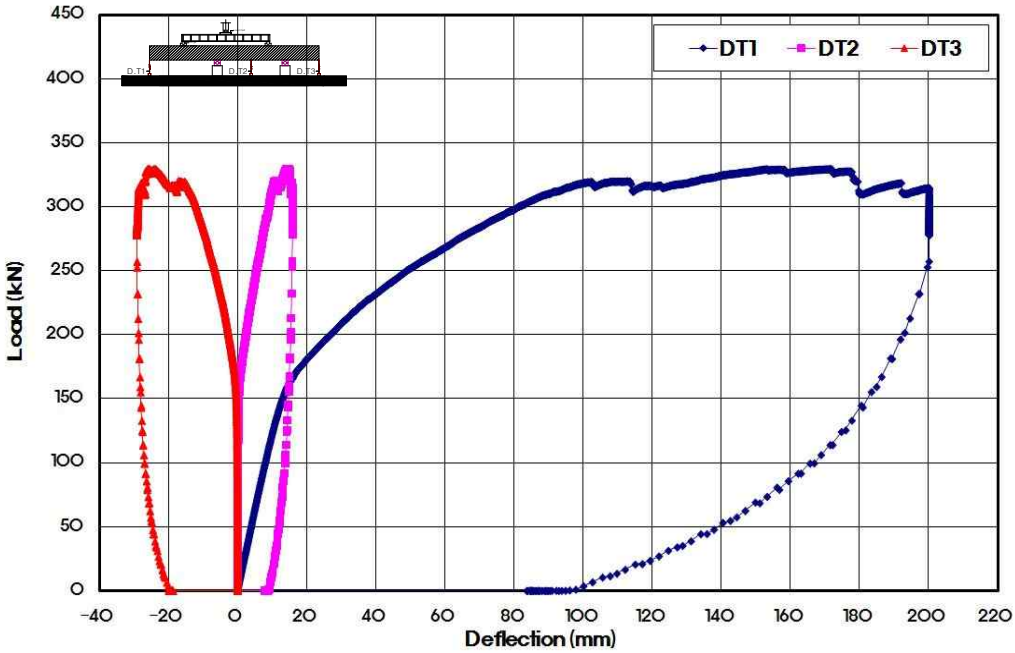
(h) HRⅡ-TSB-HJ10-2 실험체



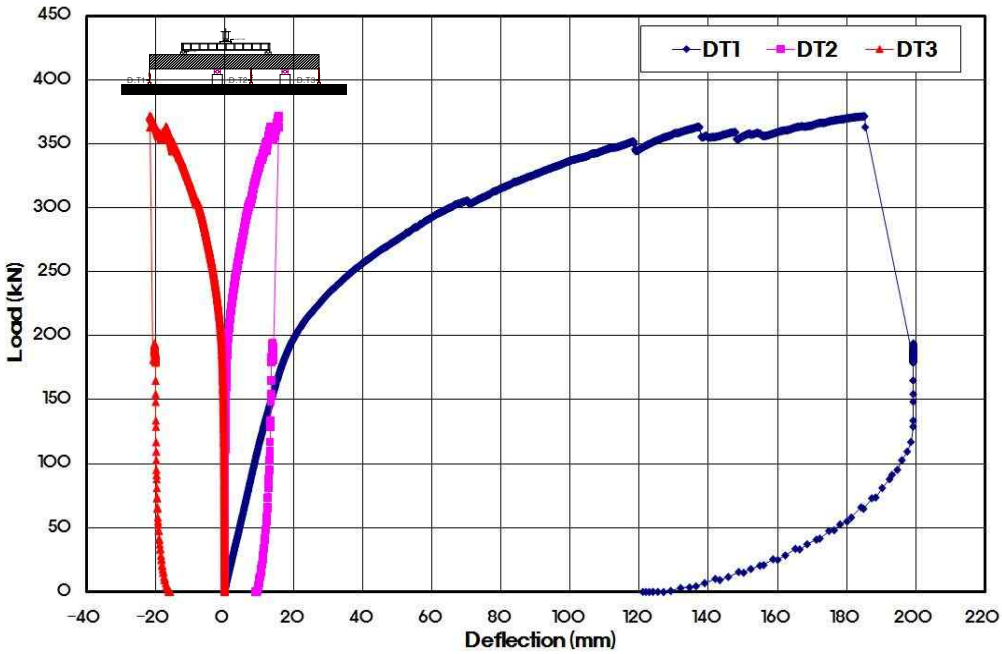
(i) HRⅡ-TSB-HJ15-1 실험체



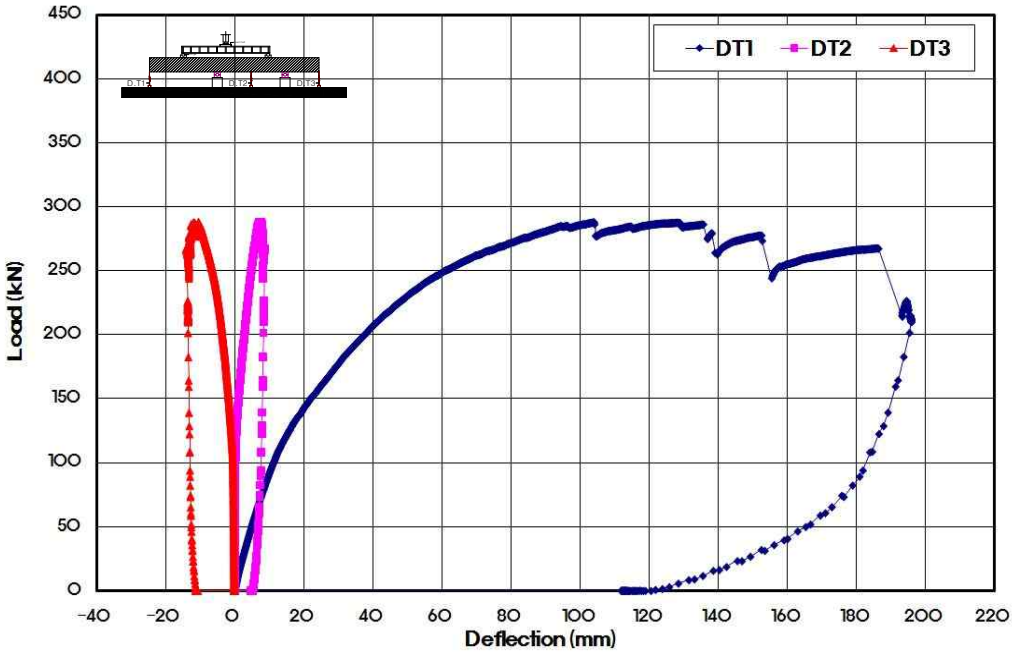
(j) HRⅡ-TSB-HJ15-2 실험체



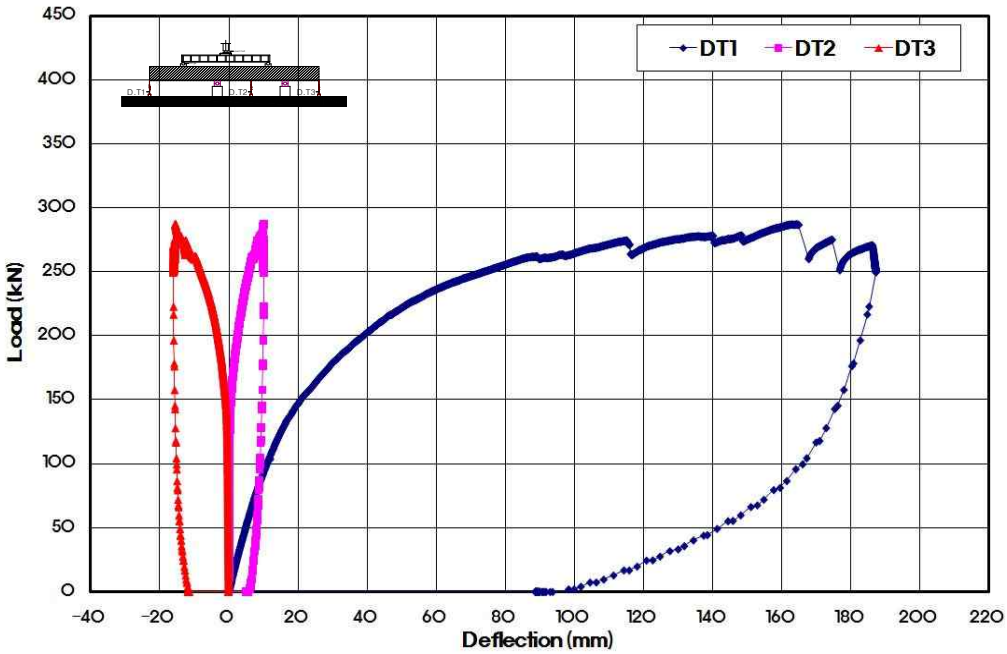
(k) HRⅡ-DTSB-1 실험체



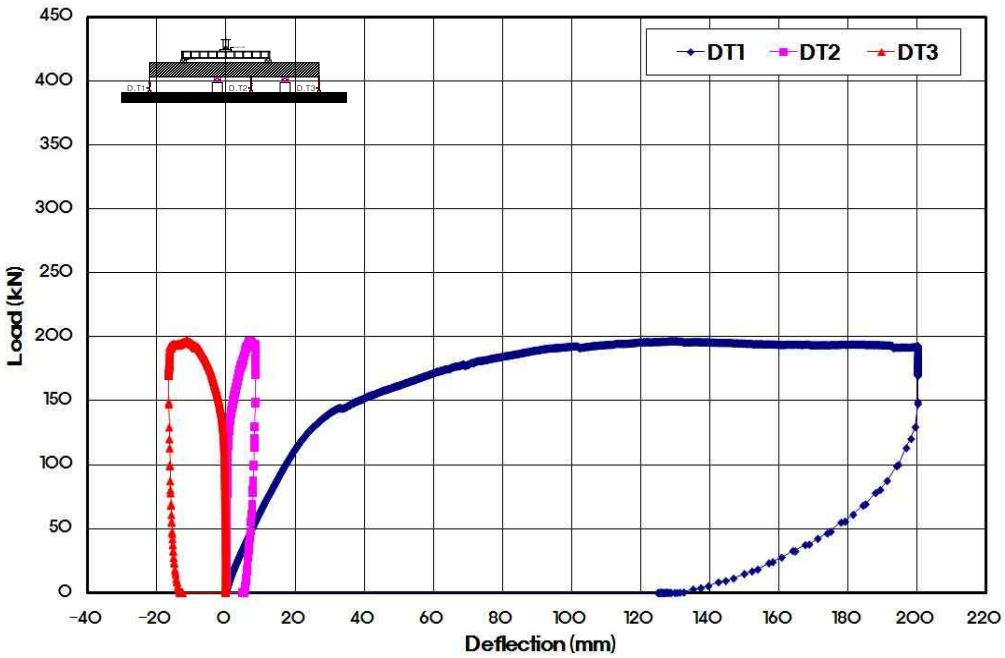
(l) HRⅡ-DTSB-2 실험체



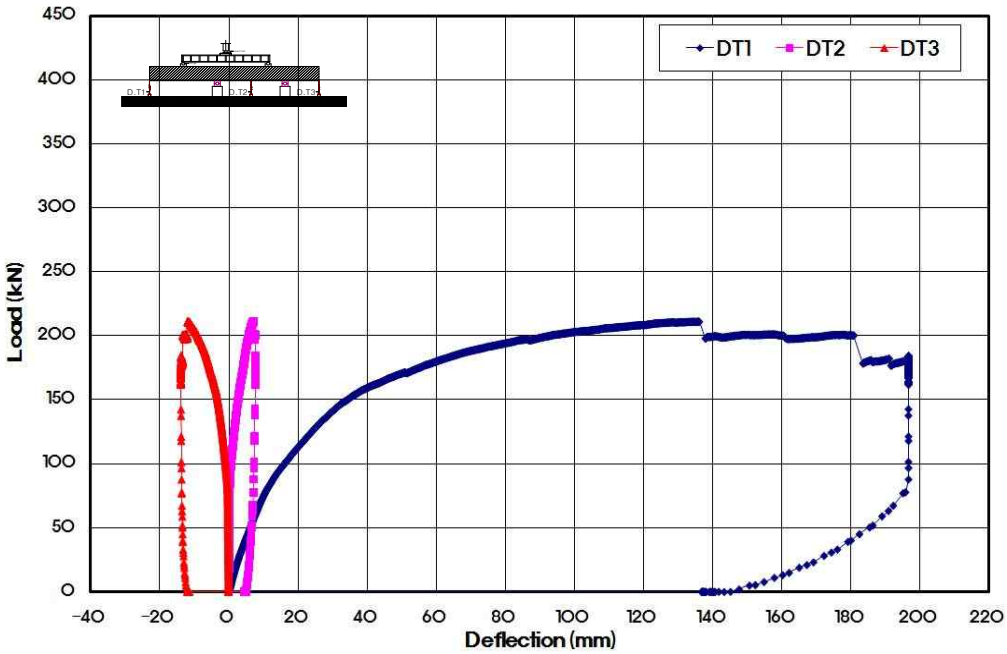
(m) HRⅡ-DTSB-HJ10-1 실험체



(n) HRⅡ-DTSB-HJ10-2 실험체

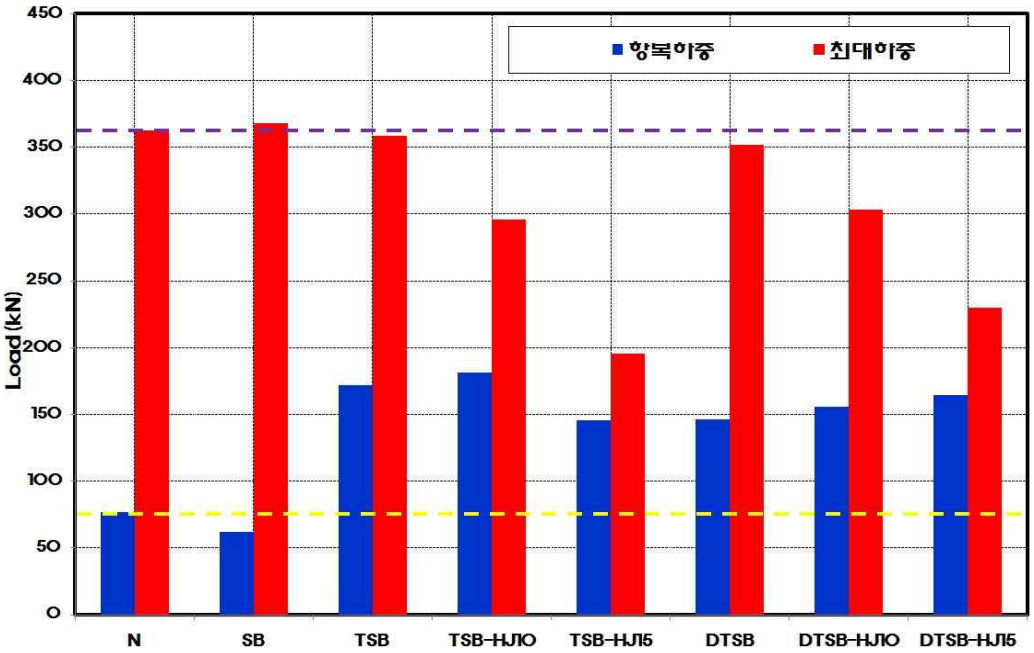


(o) HRⅡ-DTSB-HJ15-1 실험체

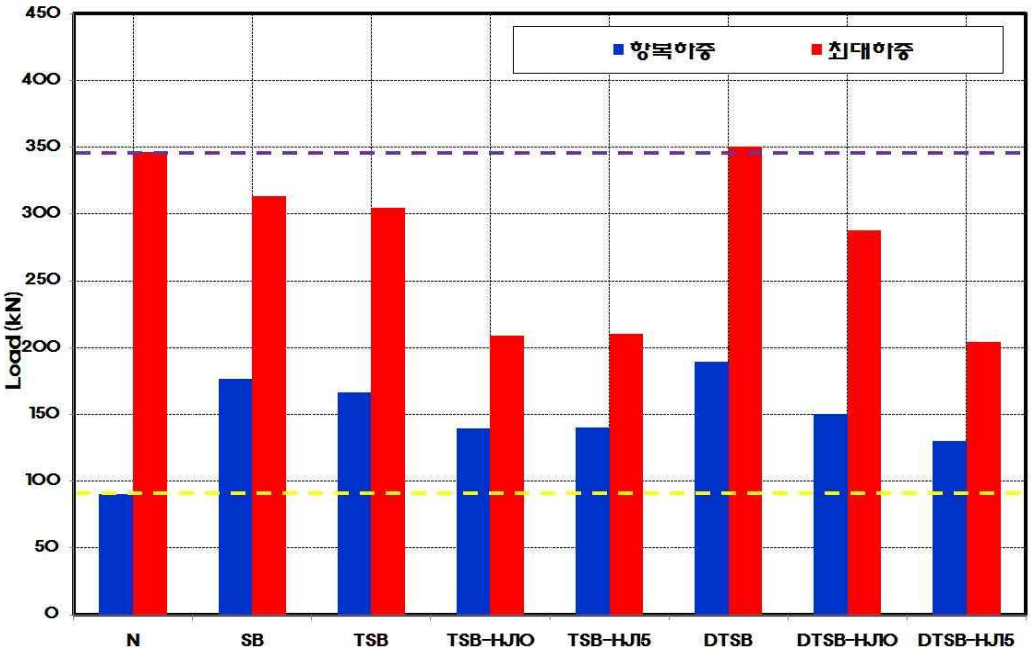


(p) HRⅡ-DTSB-HJ15-2 실험체

[그림 4.2] TypeⅡ 내민부재 실험체의 하중-처짐 곡선

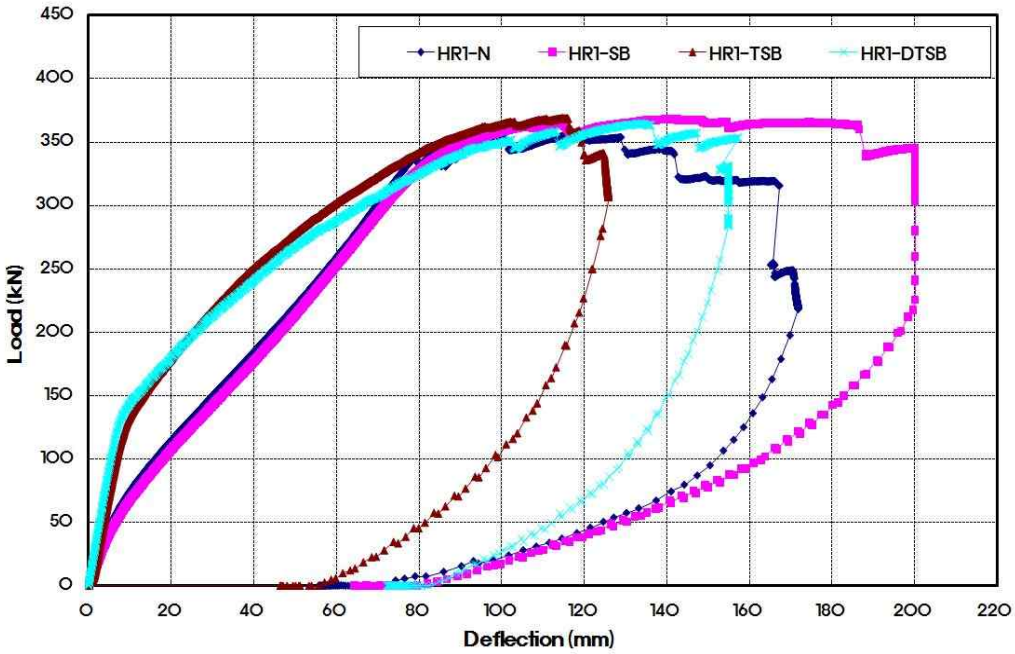


(a) Type Ⅰ 내민부재 실험체

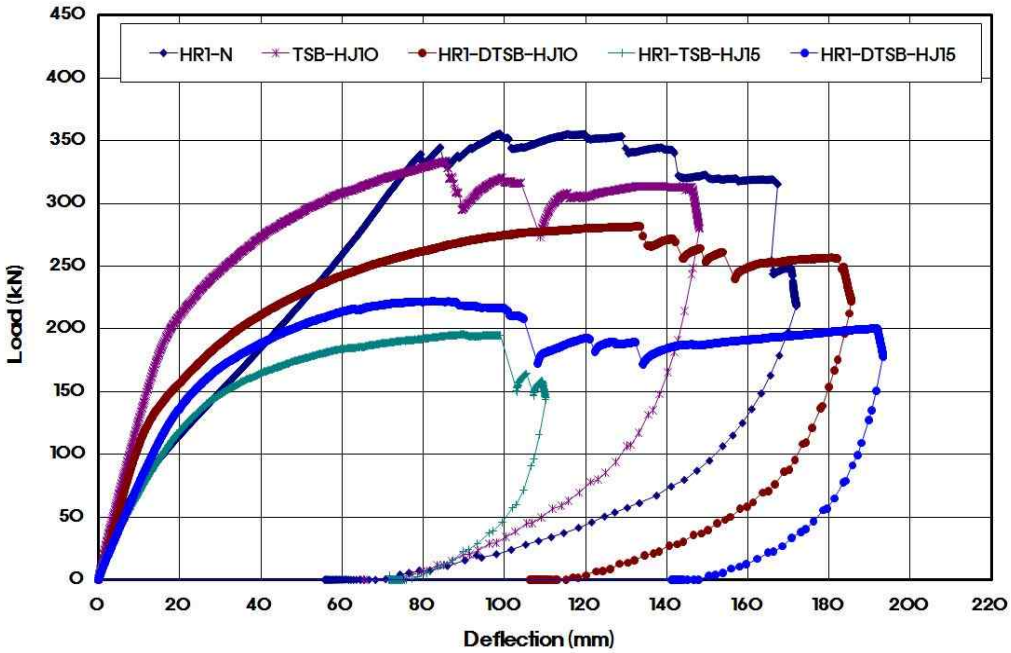


(b) TypeⅡ 내민부재 실험체

[그림 4.3] 내민부재 실험체의 항복, 최대하중 비교

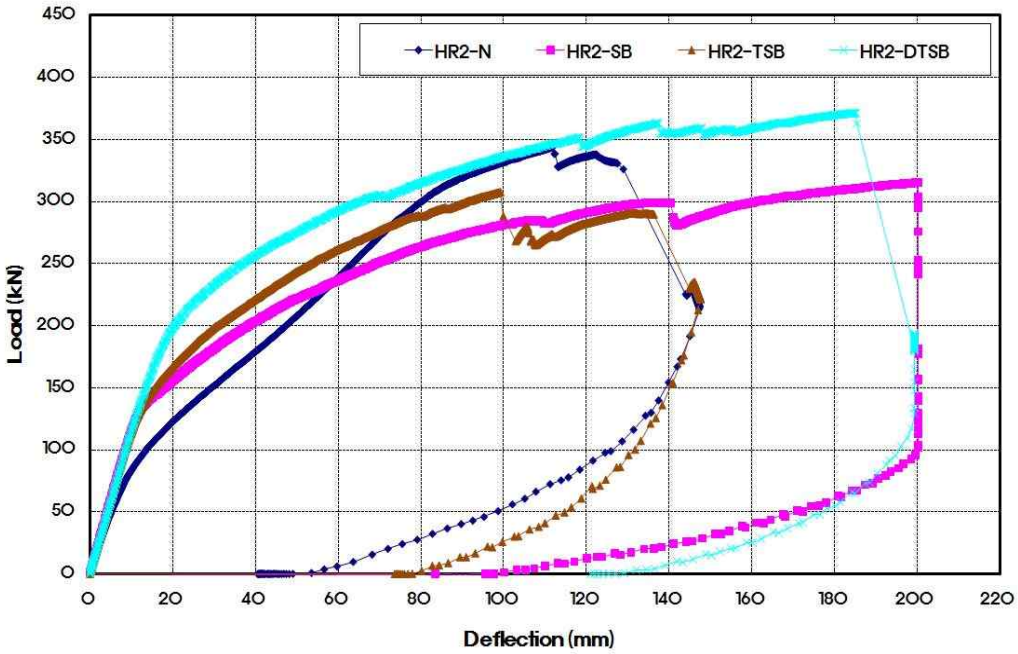


(a) T자 보강 내민부재 실험체

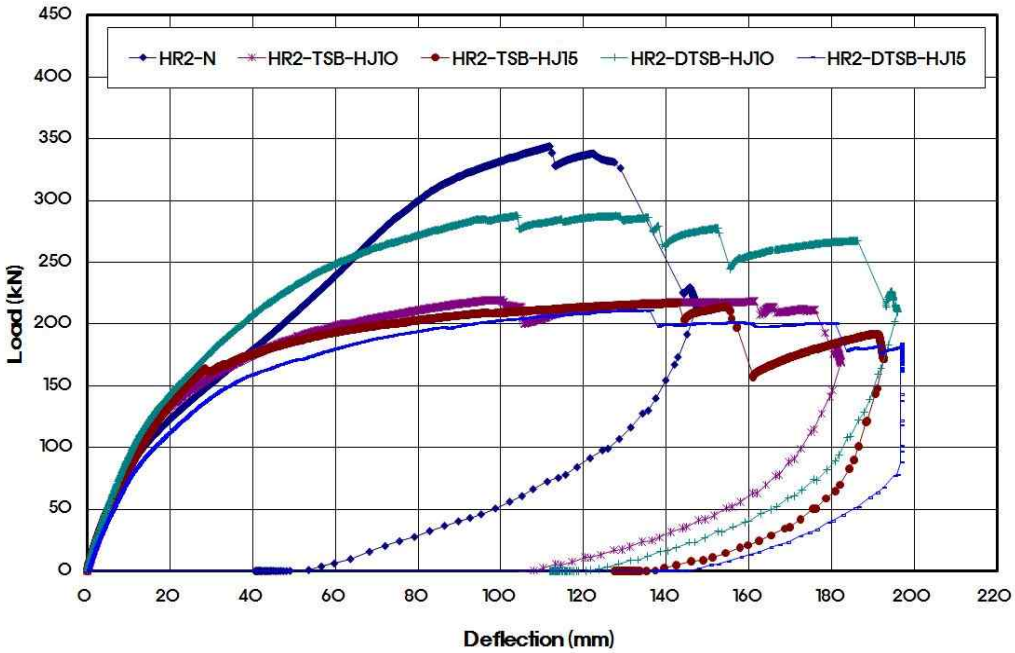


(b) HJ이음 보강 내민부재 실험체

[그림 4.4] Type I 내민부재 실험체의 하중-처짐 곡선 비교



(a) T자 보강 내민부재 실험체



(b) HJ이음 보강 내민부재 실험체

[그림 4.5] TypeⅡ 내민부재 실험체의 하중-처짐 곡선 비교

4.2 균열 및 파괴 양상

1) Type Ⅰ 내민부재 실험체

(1) HR Ⅰ-N-1 기준실험체

하중 가력 후 초기 균열은 명확하지 않은 상태에서 처짐 및 변형이 진행되었고, 122.6kN에서 뚝하는 소리가 처음 발생하고 183kN에서 쩍하는 소리가 났으며, 하중의 증가에 따라 변형이 진행되며 내민부재의 마구리와 지점 상부가 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 64.6kN, 최대하중은 340.9kN으로 나타났으며, 좌측지점 상부에 작은 옹이가 있어 옹이 주변에서 균열이 진행되다가 파괴되었으며, 마구리 부분이 갈라지며 파괴되는 것으로 나타났다.

(2) HR Ⅰ-N-2 기준실험체

하중 가력 후 142kN에서 뚝하는 소리가 처음 발생하고 252kN 정도에서 따닥 소리가 나고 나서 323kN에서 초기 균열이 발생하여 373kN~380kN 사이에 하중의 증가에 따라 계속된 균열이 발생하며 갈라지는 소리와 함께 내민부재의 마구리와 지점 상부가 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 89.7kN, 최대하중은 384.7kN으로 나타났으며, 좌측지점 상부에서 균열과 마구리 부분이 갈라지며 파괴되는 것으로 나타났다..

(3) HR Ⅰ-SB-1 보강실험체

기준실험체와 동일하게 초기 균열은 명확하지 않았으며, 148kN에서 뚝하는 소리가 처음 발생하고 265kN에서 쩍하는 소리와 함께 좌측지점 중앙부에 균열이 시작되었으며, 하중 증가에 따라 뚝뚝하는 목재 파단음이 연속적으로 계속되면서 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 60.4kN, 최대하중은 367.8kN으로 나타났으며, 좌측지점 중앙부와 마구리 부분에서 균열이 발생하여 파괴되었다.

(4) HR Ⅰ-SB-2 보강실험체

하중의 증가에 따라 별다른 이상이 없다가 157kN에서 처음 소리가 발생하였고, 보강부 아래부분이 199kN에서 뚝하는 소리가 발생하였지만 균열은 없었으며, 276kN 정도에서 목재에 결에 잔금이 가있는 부분이 갈라지기 시작하였다. 그 후 좌측지점 중앙부 부근이 368kN에서 균열이 진행되며 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 63.8kN, 최대하중은 368.2kN으로 나타났으며, 좌측지점 중앙부와 마구리 부분에서 균열이 발생하여 파괴되었다.

(5) HR I -TSB-1 보강실험체

하중이 증가하며 127kN에서 뚝 소리가 발생하였으며, 하중 증가에 따라 변형이 진행되면서 312kN에서 좌측 지점부분 상부와 T자철판을 결합한 볼트 부근에서 초기균열이 발생하였으며, 마구리 부분이 갈라지면서 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 195.8kN, 최대하중은 347.8kN으로 나타났으며, 좌측지점 상부와 좌측 마구리에서 균열이 발생하여 파괴되었다.

(6) HR I -TSB-2 보강실험체

하중증가에 따라 140kN에서 뚝 소리가 발생하였고 248kN~264kN까지 딱 소리가 계속해서 발생하였으며, 355kN에서 뚝 소리가 크게 발생하며 초기 균열이 발생하였다. 364kN에서 좌측지점 상부와 보강재 하부사이에 균열이 가고 T자철판을 결합한 볼트 부근에서 균열 발생과 마구리 부분이 갈라지면서 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 147.6kN, 최대하중은 369.0kN으로 나타났으며, 좌측지점 상부와 좌측 마구리에서 균열이 발생하여 파괴되었다.

(7) HR I -TSB-HJ10-1 보강실험체

하중증가에 따라 변형이 발생되면서 154kN에서 뚝소리가 처음 발생되었고 201kN과 267kN에서 뚝소리가 발생되었지만 균열이 발생되지는 않았으며, 지속한 하중을 가한후 293kN에서 초기 균열이 발생하여 333kN에서 꽝 소리와 함께 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 213.3kN, 최대하중은 333.9kN으로 나타났으며, 균열은 좌측

지점 상부 수평이음부와 볼트 부근에서 발생되었다.

(8) HR I -TSB-HJ10-2 보강실험체

하중증가에 따라 변형이 발생되면서 89kN에서 뚝소리가 처음 발생되었고 166kN 정도에 볼트 부근에서 초기 균열이 발생하였고, 250kN에서 신부재와 구부재의 연결부근에서 균열이 발생하였다. 그 후 하중이 증가하면서 250kN에서 좌측지점 상부와 신부재 아래 부분이 균일이 가고 갈라지며 꽝 소리와 함께 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 149.6kN, 최대하중은 257.2kN으로 나타났으며, 균열은 좌측지점 상부 수평이음부와 이음부 하부 및 볼트 부근에서 발생되었다.

(9) HR I -TSB-HJ15-1 보강실험체

실험체에는 옹이가 많은 상태로서 초기 뚝 소리는 87kN에서 나타났으며, 195kN에서 좌측지점 상부 옹이 부근에서 초기균열이 발생하였으며, 132kN에서부터 190kN까지 뚝소리가 여러 번 발생되다가 195kN에서 꽝 소리와 함께 파괴에 이르렀다. 실험체의 항복하중은 136.8kN, 최대하중은 195.6kN으로 나타났다.

(10) HR I -TSB-HJ15-2 보강실험체

처음소리는 93kN에서 뚝하며 나타났으며, 169kN에서 좌측지점 상부 수평이음부에서 초기균열이 발생하였으며 203kN에서는 신부재에 균열이 발생하였다. 그 후 211kN에서 쾅 소리와 함께 파괴에 이르렀다. 실험체의 항복하중은 154.2kN, 최대하중은 211.5kN으로 나타났다.

(11) HR I -DTSB-1 보강실험체

상당한 하중이 증가할 때 까지 변형은 발생되었지만 균열은 발생되지 않았으며, 146kN에서 처음 소리가 발생하였다. 좌측지점 상부의 볼트와 볼트사이, 좌측지점 상부에서 좌측 마구리 중앙부에 302kN과 350kN 사이에서 균열이 계속해서 발생하였으며, 마구리 부분이 갈라지면서 파괴되었다. 실험체의 항복하중은 152.2kN, 최대하중은 364.8kN으로 나타났다.

(12) HR I -DTSB-2 보강실험체

처음소리는 139kN에서 나타났으며, 151kN~302kN 까지 계속된 파괴소리가 나타났다. 그중 252kN에서 좌측지점부에서 찢어지는 소리가 났으며, 302kN에서부터 좌측 마구리 부분이 갈라지기 시작했다. 좌측지점 상부의 볼트와 볼트사이는 332kN에서 균열이 가며 파괴되었다. 실험체의 항복하중은 140.3kN, 최대하중은 339kN으로 나타났다.

(13) HR I -DTSB-HJ10-1 보강실험체

하중증가에 따라 변형이 발생되면서 115kN에서 뚝소리가 처음 발생되었고 222kN에서 좌측지점 상부 수평이음부에 초기균열이 발생하였으며, 302kN에서 꽝소리와 함께 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 152.2kN, 최대하중은 281.8kN으로 나타났으며, 균열은 좌측지점 상부 수평이음부와 볼트 및 옹이 부근에서 발생되었다.

(14) HR I -DTSB-HJ10-2 보강실험체

하중증가에 따라 변형이 발생되면서 115kN에서 초기소리가 발생하였고, 222kN에서 초기균열이 발생되었다. 그후 계속해서 수평이음 222kN에서 좌측지점 상부 수평이음부에 초기균열이 발생하였으며, 310kN에서 꽝 소리와 함께 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 158.9kN, 최대하중은 324.9kN으로 나타났으며, 균열은 좌측지점 상부 수평이음부와 볼트에서 발생되었다.

(15) HR I -DTSB-HJ15-1 보강실험체

하중이 증가하며 좌측지점 상부 수평이음부에서 뚝 소리가 135kN에서 처음 발생하며 초기균열도 함께 발생하였으며, 하중 증가에 따라 183kN과 218kN 사이에 좌측지점부와 수평이음부에서 끊임없이 균열이 발생하며, 217kN에서 꽝소리와 함께 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 148.6kN, 최대하중은 221.9kN으로 나타났으며, 좌측지점 상

부와 수평이음부 사이에서 균열이 발생하여 파괴되었다.

(16) HR Ⅰ-DTSB-HJ15-2 보강실험체

상부 수평이음부에서 뚝하는 소리와 초기 균열이 153kN에서 처음 발생하며 하중 증가에 따라 183kN과 203kN 사이에 좌측지점부와 수평이음부에서 끊임없이 균열이 발생하며, 237kN에서 꽝소리와 함께 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 180.1kN, 최대하중은 237.6kN으로 나타났으며, 좌측지점 상부와 수평이음부 사이에서 균열이 발생하여 파괴되었다.

2) TypeⅡ 내민부재 실험체

(1) HRⅡ-N-1 기준실험체

가력후 144kN에서 뚝하는 소리가 처음 발생하고 하중의 증가에 따라 변형이 진행되며 320kN에서 초기 균열이 발생하였으며, 340kN에서 꽝하며 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 85.3kN, 최대하중은 340.2kN으로 나타났으며, 좌측지점 상부에 균열이 가며 파괴되었으며, 양측 마구리 부분이 갈라지며 파괴되는 것으로 나타났다.

(2) HRⅡ-N-2 기준실험체

실험체에 하중을 가력하고 얼마 안되서 61kN 지점에서 처음 소리가 났으며, 315kN에서 초기균열이 나타나며 330kN 정도에서 좌측지점 부근에서 균열이 발생하였고, 목재의 결을 따라 균열이 발생하고 상부 부분과 우측 마구리 부분이 균열이 가며 파괴 되었다.

실험체의 항복하중은 95.4kN, 최대하중은 352.7kN으로 나타났으며, 좌측지점 상부에 균열이 가며 파괴되었으며, 양측 마구리 부분이 갈라지며 파괴되는 것으로 나타났다.

(3) HRⅡ-SB-1 보강실험체

초기균열은 명확하게 나타나지는 않았으며, 111kN에서 뚝하는 소리가 처음 발생하고, 194kN에서부터 285kN까지 계속된 뚝 하는 소리가 나타났다. 311kN에서 꽝 소리와 함께 좌측가력과 지점 사이에서 수평균열에 의해 실험체가 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 200.7kN, 최대하중은 311.5kN으로 나타났으며, 철판 보강재 하단부에 균열이 가며 파괴되었다.

(4) HRⅡ-SB-2 보강실험체

초기균열은 명확하게 나타나지는 않았으며, 149kN에서 뚝하는 소리가 처음 발생하고, 226kN에서 298kN까지 계속된 파단음이 나타났다. 298kN에서 쾅소리와 함께 하중이 감소하다가 다시 올라가면서 315kN에서 꽝하는 소리와 함께 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 153.0kN, 최대하중은 315.1kN으로 나타났으며, 좌측지점 상부와 철판 보강재 하단부에 균열이 진행되며 파괴되었다.

(5) HRⅡ-TSB-1 보강실험체

하중을 가한후 152kN에서 뚝 소리가 발생하였으며, 하중 증가에 따라 변형이 일어났다. 268kN에서 뚜둑 소리가 발생하였고, 294kN에서 좌측지점 상부와 보강재 하단부에서 볼트 부근에 걸쳐 균열이 발생하며 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 164.0kN, 최대하중은 301.3kN으로 나타났으며, 좌측지점 상부와 볼트사이 균열이 발생하여 파괴되었다.

(6) HRⅡ-TSB-2 보강실험체

하중을 가한후 161kN에서 뚝 소리가 발생하였으며, 하중이 증가하며 290kN에서 좌측 지점부분 상부와 T자철판을 결합한 볼트 부근 전체와 좌측 마구리 부분에서 초기균열이 발생하였으며, 307.7kN에서 꽝소리와 함께 보강재와 볼트사이, 마구리 부분이 갈라지면서 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 169.5kN, 최대하중은 307.7kN으로 나타났으며, 좌측지점 상부 보강재와 볼트사이, 좌측 마구리에서 균열이 발생하여 파괴되었다.

(7) HRⅡ-TSB-HJ10-1 보강실험체

하중증가에 따라 변형이 발생되면서 104kN에서 뚝소리가 처음 발생되었고 수평이음부와 옹이 사이가 171kN에서 초기 균열이 발생하였으며, 187kN에서 볼트와 볼트사이가 균열이 가며, 197kN에서 꽝 소리와 함께 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 135.8kN, 최대하중은 198.0kN으로 나타났으며, 균열은 좌측지점 상부 수평이음부와 옹이, 볼트와 볼트사이에서 발생되었다.

(8) HRⅡ-TSB-HJ10-2 보강실험체

하중증가에 따라 변형이 발생되면서 수평이음부가 124kN에서 처음으로 소리와 함께 균열이 발생되었고, 218kN에서 쩍 소리와 함께 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 143.3kN, 최대하중은 219.6kN으로 나타났으며, 균열은 좌측지점 상부 수평이음부 부근에서 발생되었다.

(9) HRⅡ-TSB-HJ15-1 보강실험체

실험체에는 77kN에서 처음으로 뚝 소리가 나타났으며, 98kN에서 수평이음부 부근에서 초기균열이 발생하였으며, 191kN에서 201kN까지 수평이음부 하단에서 좌측지점 상부 중앙에 균열이 일어나며 파괴에 이르렀다. 실험체의 항복하중은 141.4kN, 최대하중은 202.7kN으로 나타났다.

(10) HRⅡ-TSB-HJ15-2 보강실험체

실험체에는 옹이가 많은 상태로 처음 뚝 소리는 61kN에서 나타났으며, 수평이음부에 97kN 정도에서 초기균열이 발생하였으며, 156kN에서 옹이주변에 균열이 발생하였다. 217kN에서 뚝하는 소리와 함께 하중이 일시적으로 감소하였다가 다시 증가하면서 파괴되었다. 실험체의 항복하중은 139.5kN, 최대하중은 217.3kN으로 나타났다.

(11) HRⅡ-DTSB-1 보강실험체

초기 소리는 156kN에서 일어났지만, 상당한 하중이 증가할 때 까지 변형은 발생

과 계속된 파괴소리가 발생되었지만 균열은 발생되지 않았으며, 258kN에서 옹이 주변에 균열이 가면서 옹이가 돌출되어 나왔고, 그 후 볼트와 볼트 사이에서 균열이 발생하며 320kN 정도에서 좌측지점 상부 철판 아래부분과 양지점 중앙부 사이에서 균열이 발생하며 파괴되었다. 실험체의 항복하중은 167.2kN, 최대하중은 329.7kN으로 나타났다.

(12) HRⅡ-DTSB-2 보강실험체

처음 소리는 162kN에서 미음으로 발생하였고, 227kN에서 좀 더 큰소리로 쩍하며 발생하였다. 초기균열은 320kN 정도에서 발생하여, 좌측지점 상부 철판 아래부분과 양지점 중앙부 사이에서 균열이 계속해서 발생하며 파괴되었다. 실험체의 항복하중은 211.5kN, 최대하중은 371.3kN으로 나타났다.

(13) HRⅡ-DTSB-HJ10-1 보강실험체

처음 소리는 56kN으로 비교적 빠른 시간에 나타났으며 파괴양상은 계속해서 발생되면서 198kN에서 초기 균열이 수평이음부에서 발생하였다. 균열은 수평이음부와 좌측지점 사이에 274kN에서 계속해서 발생하며 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 154.1kN, 최대하중은 287.9kN으로 나타났으며, 균열은 좌측지점 상부 수평이음부와 볼트 부근, 좌측지점에서부터 좌측마구리까지 균열이 발생하며 파괴되었다.

(14) HRⅡ-DTSB-HJ10-2 보강실험체

처음 소리는 104kN으로 미음으로 뚝하며 나타났으며, 156kN에서 초기 균열이 수평이음부에서 발생하였다. 하중에 올라가면서 보강재인 못이 뚝뚝 빠지는 소리가 계속해서 나타났다. 272kN～287kN에 수평이음부재 하부인 좌측지점에서 좌측 마구리 부분 균열 발생하였으며, 287.1kN에서 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 146.0kN, 최대하중은 287.1kN으로 나타났으며, 균열은 좌측지점 상부 수평이음부 하부와, 좌측지점에서부터 좌측마구리까지 균열이 발생하며

파괴되었다.

(15) HRⅡ-DTSB-HJ15-1 보강실험체

처음소리가 55kN으로 비교적 빠르게 나타났으며, 하중이 증가에 따라 154kN에서 수평이음부 하부에서 길게 균열이 발생하며 193kN에서 초기에 균열이 갔던 부분이 튀어나오면서 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 133.3kN, 최대하중은 196.8kN으로 나타났으며, 좌측지점 상부와 수평이음부 사이에서 균열이 진행하면서 파괴되었다.

(16) HRⅡ-DTSB-HJ15-2 보강실험체

88kN에서 처음 뚝소리와 함께 초기균열이 발생하였다. 하중이 증가에 따라 160kN~210kN에서 계속된 균열이 좌측지점 상부와 수평이음부재 사이에서 나타났다. 211kN에서 꽝 소리와 함께 파괴되었다.

실험체의 항복하중은 126.4kN, 최대하중은 211.1kN으로 나타났으며, 좌측지점 상부와 수평이음부 옹이부근 사이에서 많은 균열이 발생하여 파괴되었다.

3) 실험체의 파괴모드

내민부재에 대해 무보강 기준실험체와 철판으로 보강한 보강실험체, 손상부위를 신부재로 교체한 실험체에 대하여 실험을 실시한 결과, 다음과 같이 파괴양를 나타내었다.

(1) 기준실험체

① 상부, 양측 마구리 휨균열 및 휨파괴

(2) 보강실험체

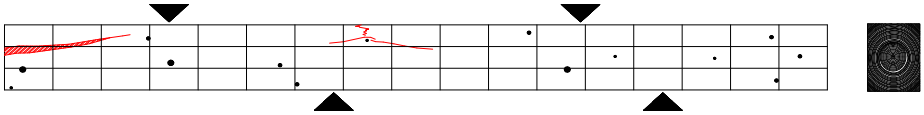
① 좌측지점 상부 주변, 좌측 마구리 휨균열

② 좌측지점 상부 위치 주변 및 보강재 볼트부근 휨균열

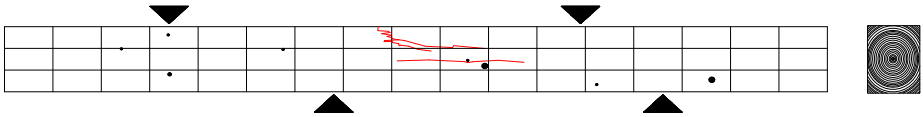
③ 좌측지점 상부 수평이음부와 보강재 볼트사이 휨균열

<표 4.3> 내민부재 실험체 파괴양상

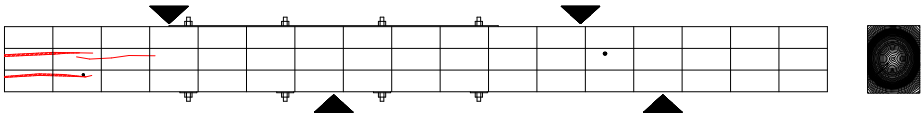
실험체명	파괴 양상	비 고
HRⅠ-N	상부 옹이 위치 주변 휨균열 및 휨파괴	
HRⅠ-SB	좌측지점 상부 주변, 좌측 마구리 휨균열	
HRⅠ-TSB	좌측지점 상부 위치 주변 및 보강재 볼트부근 휨균열	
HRⅠ-TSB-HJ10	좌측지점 상부 수평이음부와 보강재 볼트사이 휨균열	
HRⅠ-TSB-HJ15	좌측지점 상부 수평이음부와 보강재 볼트사이 휨균열	
HRⅠ-DTSB	좌측지점 상부 위치 주변 및 보강재 볼트부근 휨균열	
HRⅠ-DTSB-HJ10	좌측지점 상부 수평이음부와 보강재 볼트사이 휨균열	
HRⅠ-DTSB-HJ15	좌측지점 상부 수평이음부와 보강재 볼트사이 휨균열	
HRⅡ-N	상부, 양측 마구리 휨균열 및 휨파괴	
HRⅡ-SB	좌측지점 상부 주변, 좌측 마구리 휨균열	
HRⅡ-TSB	좌측지점 상부 위치 주변 및 보강재 볼트부근 휨균열	
HRⅡ-TSB-HJ10	좌측지점 상부 수평이음부와 보강재 볼트사이 휨균열	
HRⅡ-TSB-HJ15	좌측지점 상부 수평이음부와 보강재 볼트사이 휨균열	
HRⅡ-DTSB	좌측지점 상부 위치 주변 및 보강재 볼트부근 휨균열	
HRⅡ-DTSB-HJ10	좌측지점 상부 수평이음부와 보강재 볼트사이 휨균열	
HRⅡ-DTSB-HJ15	좌측지점 상부 수평이음부와 보강재 볼트사이 휨균열	



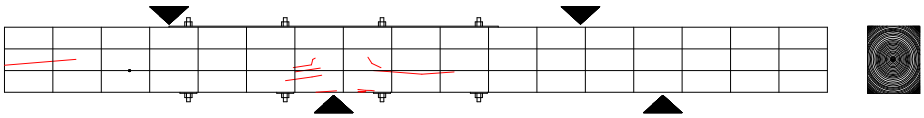
(a) HR I -N-1



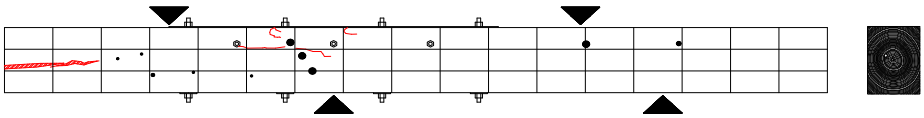
(b) HR I -N-2



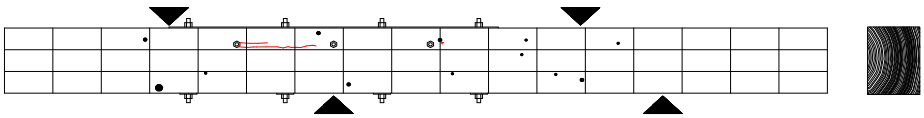
(c) HR I -SB-1



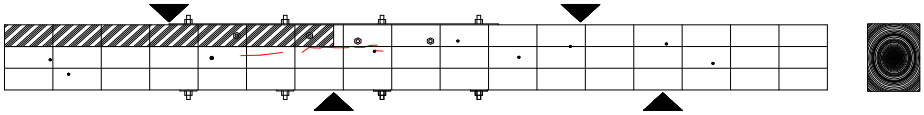
(d) HR I -SB-2



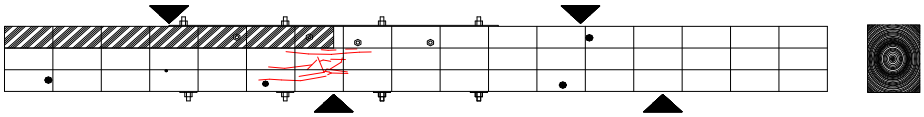
(e) HR I -TSB-1



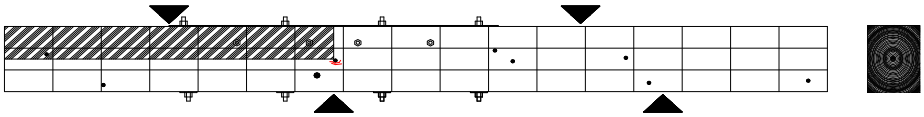
(f) HR I -TSB-2



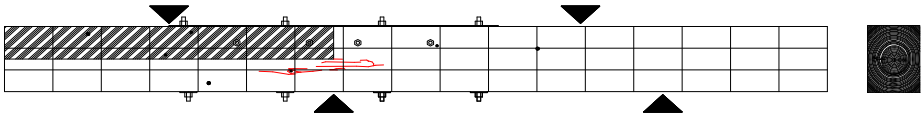
(g) HR I -TSB-HJ10-1



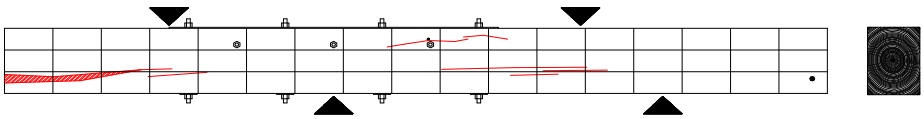
(h) HR I -TSB-HJ10-2



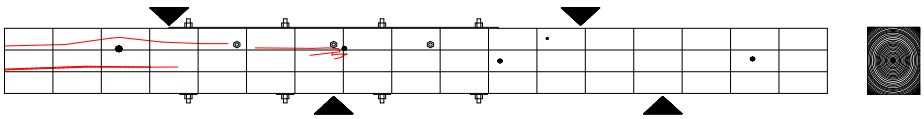
(i) HR I -TSB-HJ15-1



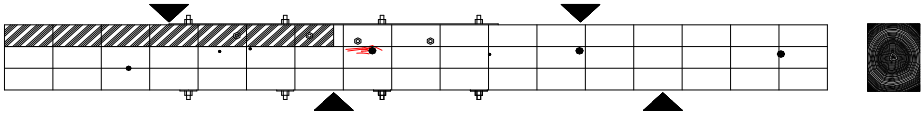
(j) HR I -TSB-HJ15-2



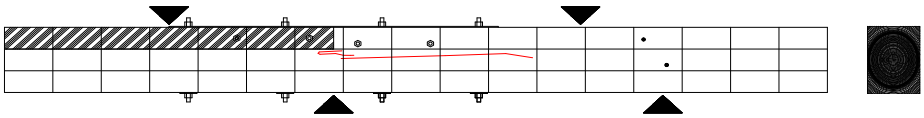
(k) HR I -DTSB-1



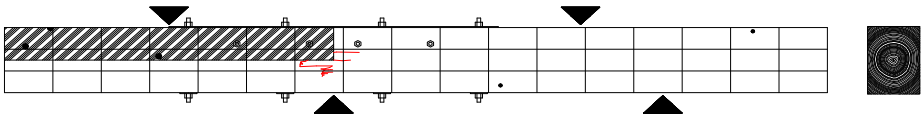
(l) HR I -DTSB-2



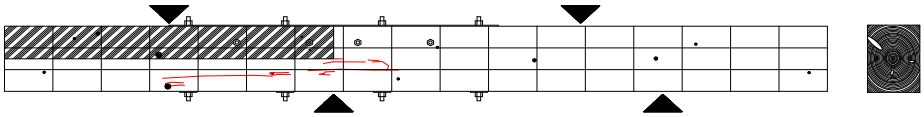
(m) HR I -DTSB-HJ10-1



(n) HR I -DTSB-HJ10-2

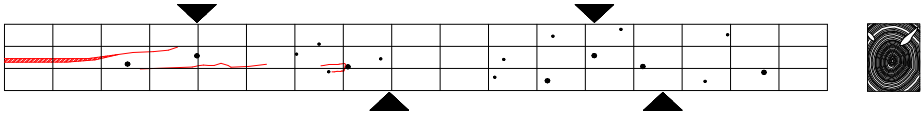


(o) HR I -DTSB-HJ15-1

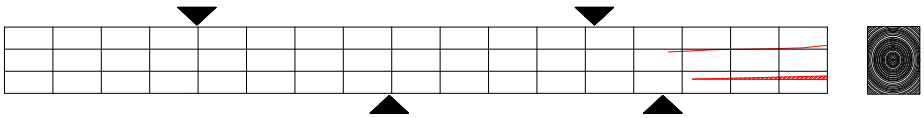


(p) HR I -DTSB-HJ15-2

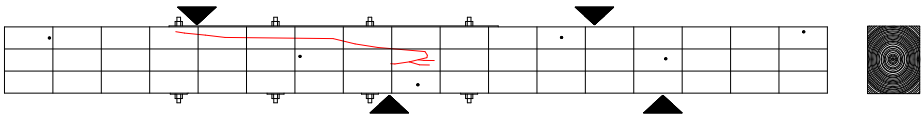
[그림 4.6] Type I 내민부재 실험체의 균열도



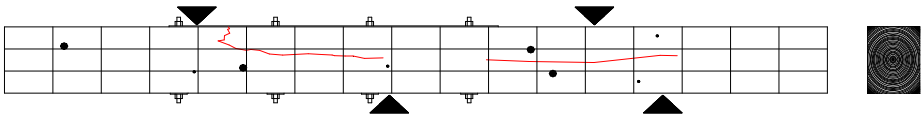
(a) HRⅡ-N-1



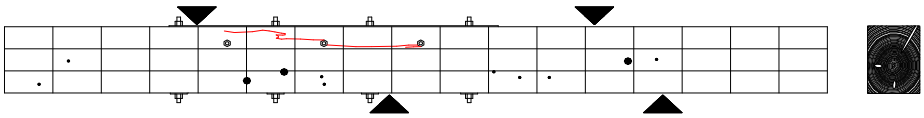
(b) HRⅡ-N-2



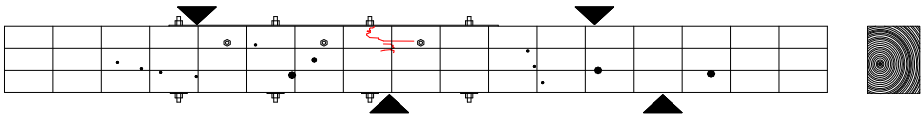
(c) HRⅡ-SB-1



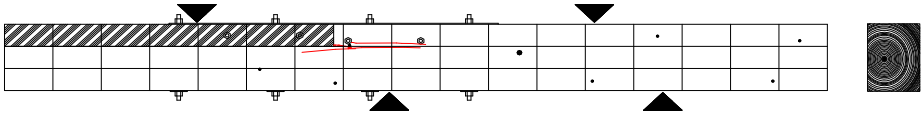
(d) HRⅡ-SB-2



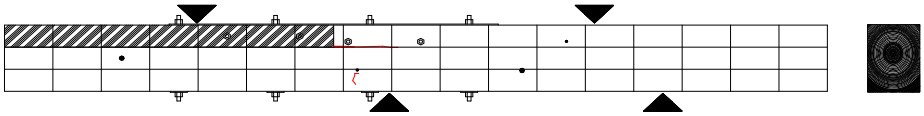
(e) HRⅡ-TSB-1



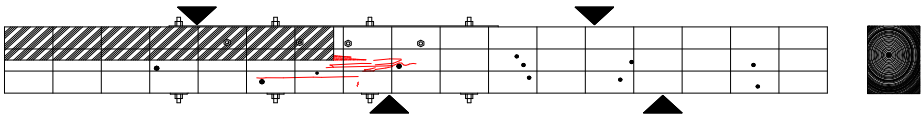
(f) HRⅡ-TSB-2



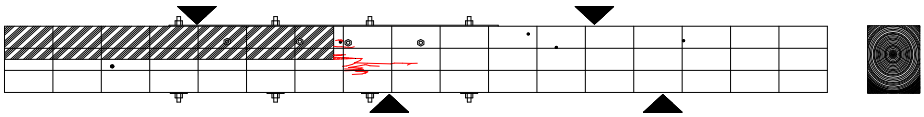
(g) HRⅡ-TSB-HJ10-1



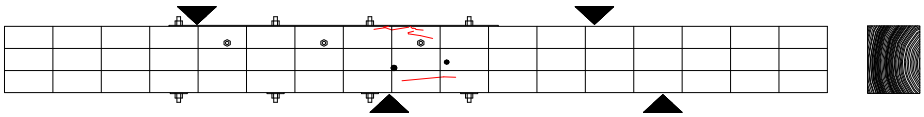
(h) HRⅡ-TSB-HJ10-2



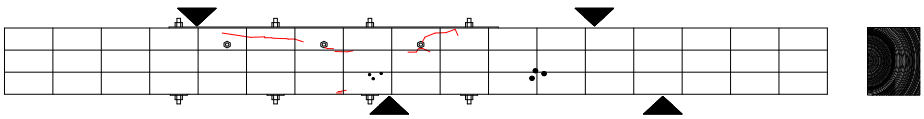
(i) HRⅡ-TSB-HJ15-1



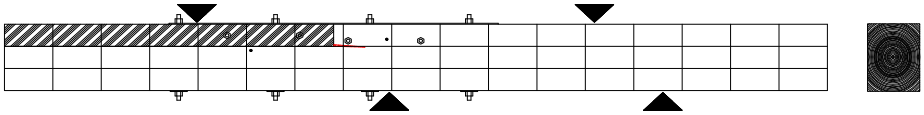
(j) HRⅡ-TSB-HJ15-2



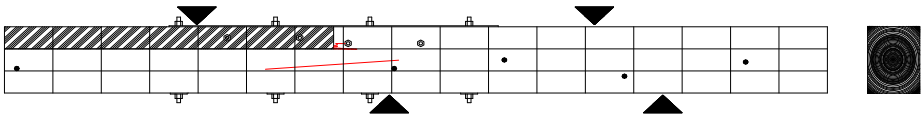
(k) HRⅡ-DTSB-1



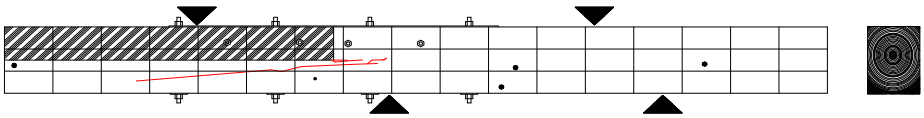
(l) HRⅡ-DTSB-2



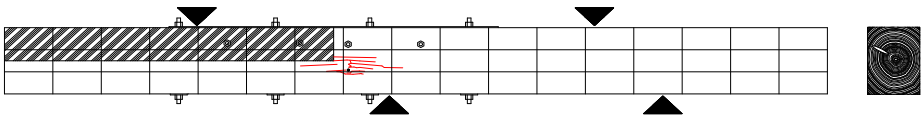
(m) HRⅡ-DTSB-HJ10-1



(n) HRⅡ-DTSB-HJ10-2



(o) HRⅡ-DTSB-HJ15-1



(p) HRⅡ-DTSB-HJ15-2

[그림 4.7] TypeⅡ 내민부재 실험체의 균열도

4.3 내민부재 실험체의 구조적 거동

4.3.1 연성(延性, Ductility) 평가

내민부재의 연성을 평가하기 위해서 부재의 항복 시 처짐을 기준으로 하여 부재 최대하중 시의 처짐을 비율로 나타냈다.

본 연구에서는 구조물이 견딜 수 있는 최대하중을 더 이상 지지할 수 없을 때 파괴된다고 하는 파괴의 정의에 따라 식 (4-1)을 적용한다.

$$\mu_u = \delta_u / \delta_y \tag{4-1}$$

μ_u : 부재 최대하중시의 연성계수
δ_u : 부재 최대하중의 변위(mm)
δ_y : 부재 항복하중의 변위(mm)

식 (4-1)에 따라 부재항복 시의 변위와 최대하중 시의 변위를 기준으로 연성계수를 산정하여 정리하였다.

Type Ⅰ과 TypeⅡ의 내민부재 실험체의 연성계수는 Type Ⅰ에서 기준실험체에 비해 '-'자 철판을 보강한 실험체가 46%, 더블 T자 철판 보강실험체에서 7%의 연성계수가 증가하는 것으로 나타났으며, TypeⅡ에서는 더블 T자 보강실험체가 11%의 증가를 나타냈으나, 그 외의 보강실험체에서 연성계수는 감소하는 경향을 보였다.

Type Ⅰ의 연성계수는 무보강 기준실험체에서 10.1이고 '-'자 철판 보강실험체에서 14.8로 46%의 높은 연성증가를 나타내었으며, 보강실험체에서 3.1~14.8로써 '-'자 철판 보강실험체와 더블 T자 철판 보강실험체외에 다른 보강 실험체에서 연성이 저하되는 것으로 나타났다. TypeⅡ의 연성계수는 무보강 기준실험체에서 8.7, 보강실험체에서 4.3~9.7로써 더블 T자 철판 보강실험체외에 다른 보강실험체에서는 연성이 저하된 결과를 나타내었다.

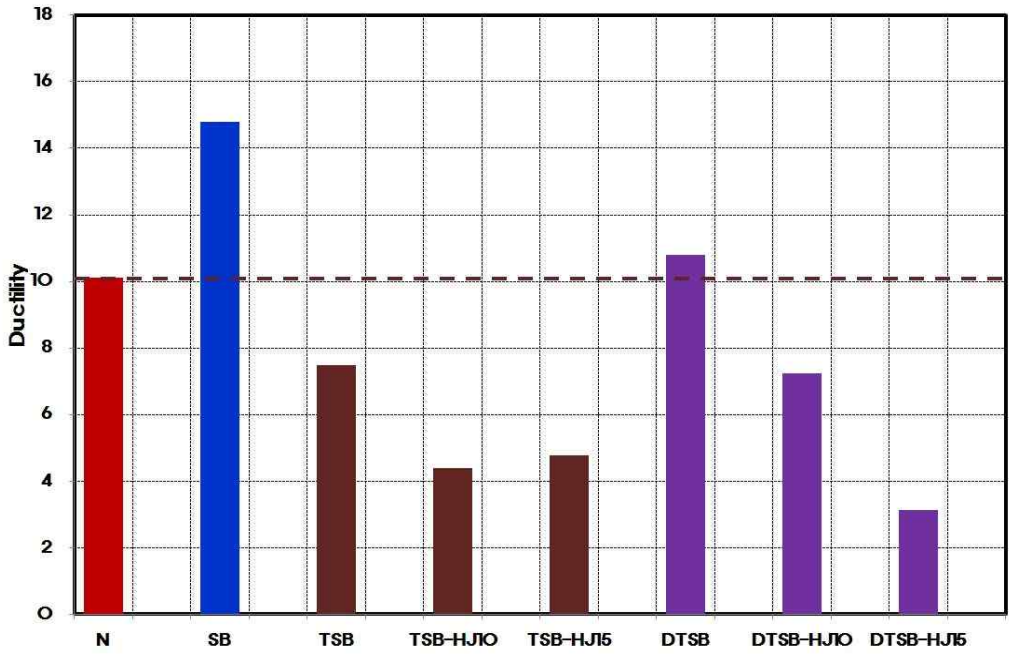
Type Ⅰ 내민부재 실험체 연성계수는 <표 4.4> 및 [그림 4.8], TypeⅡ 내민부재 실험체 연성계수는 <표 4.5> 및 [그림 4.9]와 같다.

<표 4.4> Type Ⅰ 내민부재 실험체 연성계수

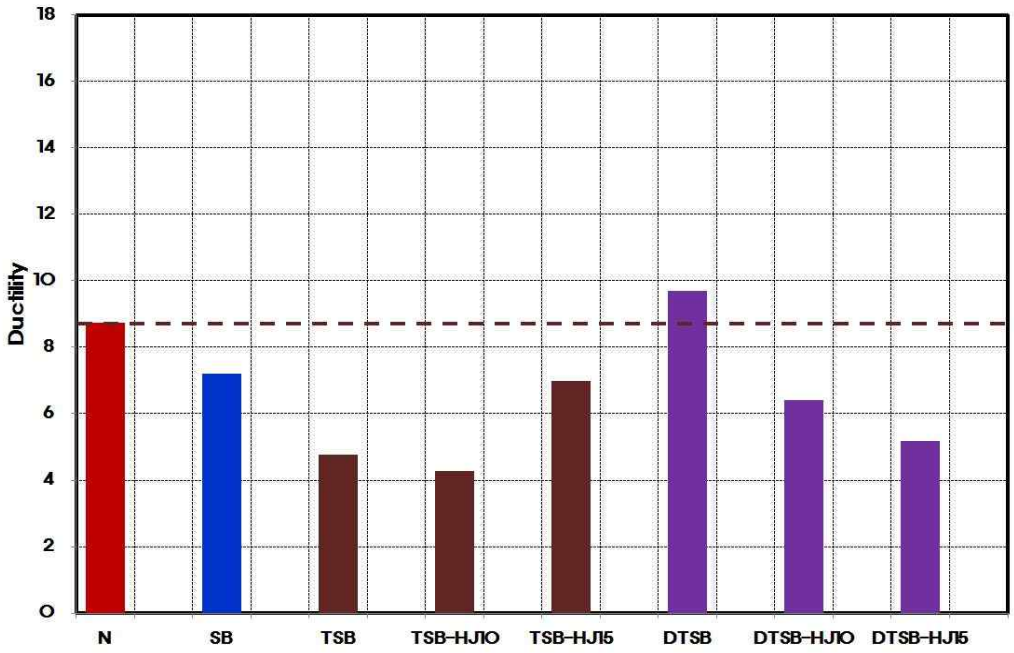
실험체명	연성계수	연성비
	μu	실험값/기준값
HR Ⅰ-N	10.1	1.00
HR Ⅰ-SB	14.8	1.46
HR Ⅰ-TSB	7.5	0.74
HR Ⅰ-TSB-HJ10	4.4	0.43
HR Ⅰ-TSB-HJ15	4.8	0.47
HR Ⅰ-DTSB	10.8	1.07
HR Ⅰ-DTSB-HJ10	7.2	0.72
HR Ⅰ-DTSB-HJ15	3.1	0.31

<표 4.5> TypeⅡ 내민부재 실험체 연성계수

실험체명	연성계수	연성비
	μu	실험값/기준값
HRⅡ-N	8.7	1.00
HRⅡ-SB	7.2	0.82
HRⅡ-TSB	4.8	0.55
HRⅡ-TSB-HJ10	4.3	0.49
HRⅡ-TSB-HJ15	7.0	0.80
HRⅡ-DTSB	9.7	1.11
HRⅡ-DTSB-HJ10	6.4	0.73
HRⅡ-DTSB-HJ15	5.2	0.59



[그림 4.8] Type Ⅰ 내민부재 실험체별 연성계수



[그림 4.9] TypeⅡ 내민부재 실험체별 연성계수

4.3.2 강성(剛性, Stiffness) 평가

일반적으로 구조 부재의 강성은 하중-처짐 곡선의 기울기로 정의 된다. 부재에 대한 강성은 구조적 거동에 따라 초기강성(K_E)과 소성역 강성(K_P)으로 나눌 수 있으며, ACI Committee 363에서는 각각의 식 (4-2), 식 (4-3)과 같이 정의한다.

(1) 초기강성 :

$$K_E = \frac{P_y}{\delta_y} \tag{4-2}$$

(2) 소성역의 강성 :

$$K_P = \frac{P_y - P_y}{\delta_u - \delta_y} \tag{4-3}$$

여기서,

P_u : 최대하중(kN)

δ_u : 최대하중시 변위(㎜)

P_y : 항복하중(kN)

δ_y : 항복하중시 변위(㎜)

본 연구에서는 식 (4-3)과 식 (4-4)에 따라 최대하중시의 휨하중 및 변위와 부재 항복시의 휨하중과 변위를 기준으로 초기강성 및 소성역 강성을 산정하여 정리하였다.

내민부재(추녀)의 Type Ⅰ부재 실험체의 강성은 내민부재의 내민길이에 따른 변수에서 기준실험체와 철판으로 보강한 실험체를 비교할 때, T자 철판, 더블 T자 철판 보강실험체에서 초기강성이 증대되었으며, TypeⅡ에서는 기준실험체와 보강실험체의

초기강성이 '-'자 철판을 보강한 실험체와 더블 T자 철판을 보강한 실험체에서 초기가성이 증대되었으나, 그 외의 보강실험체에서는 기준실험체와 유사한 것으로 나타났다.

또한, 소성역강성은 기준실험체와 보강실험체를 비교할 때 TypeⅠ, TypeⅡ에서 보강실험체보다 기준실험체에서 소성역강성이 높은 것으로 나타났다.

초기강성은 TypeⅠ의 기준실험체에서 9.7, T자 철판 보강실험체에서 13.6으로 40%, 더블 T자 철판 보강실험체에서 12.5로 29% 정도 증가된 것으로 나타났다.

TypeⅡ의 기준실험체에서 8.4, '-'자 철판 보강실험체에서 9.1로 8%, 더블 T자 철판 보강실험체가 10.1로 보강실험체가 21% 정도 초기강성이 증가된 것으로 확인되었다.

소성역강성은 TypeⅠ의 무보강 기준실험체에서 4.0이고 '-'자 철판 보강실험체에서 2.7로 보강실험체가 30%, 15cm수평이음 더블T자 철판 보강실험체에서 1.3으로 67.5% 정도 낮은 경향을 나타내었다.

TypeⅡ의 무보강 기준실험체에서 3.2, T자 철판 보강실험체에서 1.8로 보강실험체가 44%, 15cm 수평이음 보강실험체에서 0.5로 85% 정도 낮은 경향을 보였다.

목재 실험체의 특성상 초기강성은 TypeⅠ에서 보강실험체에서 기준실험체에 비해 6.2~13.6으로 상당히 높거나 비슷하게 나타났으며, TypeⅡ에서는 보강실험체가 5.1~10.1로 비교적 높거나 비슷하게 나타났다. 소성역강성은 TypeⅠ에서 0.7~2.7, TypeⅡ에서 0.7~1.8로 기준실험체에 비해 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

이는 실험체에서 항복하중 이후 응력의 증가는 그리 크지 않으며 변위는 상대적으로 증대되는 경향을 보였다.

그러므로 보강실험체가 기준실험체에 비해 초기강성이 높은 점은 탄성역의 항복강도를 기준으로 설계하는 개념상 외측 처짐 및 내측 들림으로 인해 많은 문제점이 발생하는 전통 목조가구의 내민부재에 대해서는 매우 중요한 구조적 의미를 갖는 것으로 평가할 수 있다.

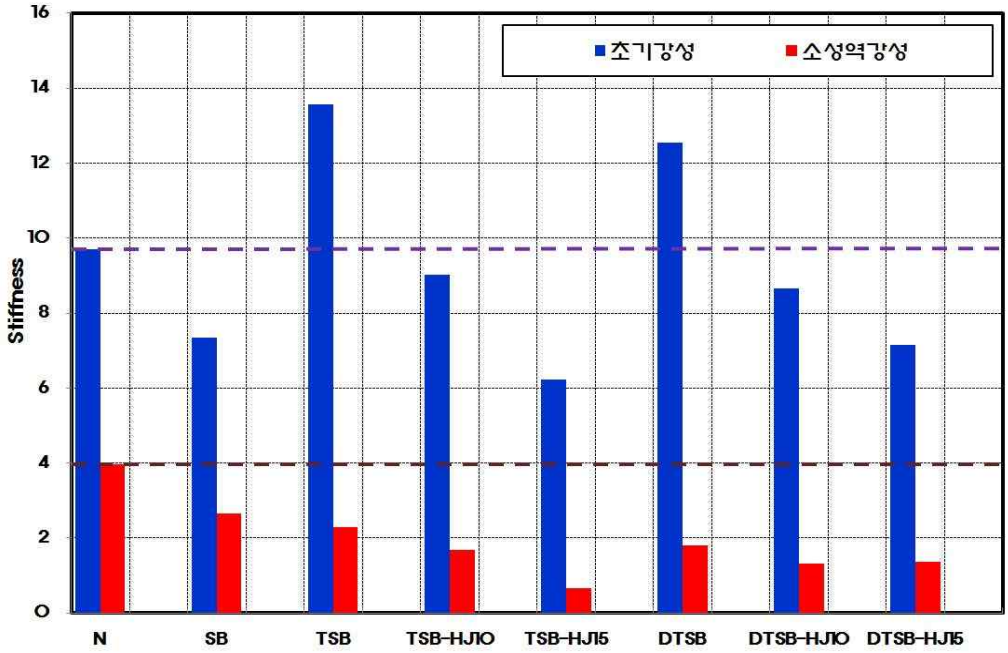
Type Ⅰ, TypeⅡ 내민부재 실험체별 강성은 <표 4.6>~<표 4.7> 및 [그림 4.10]~[그림 4.11] 와 같다.

<표 4.6> Type Ⅰ 내민부재 실험체 강성

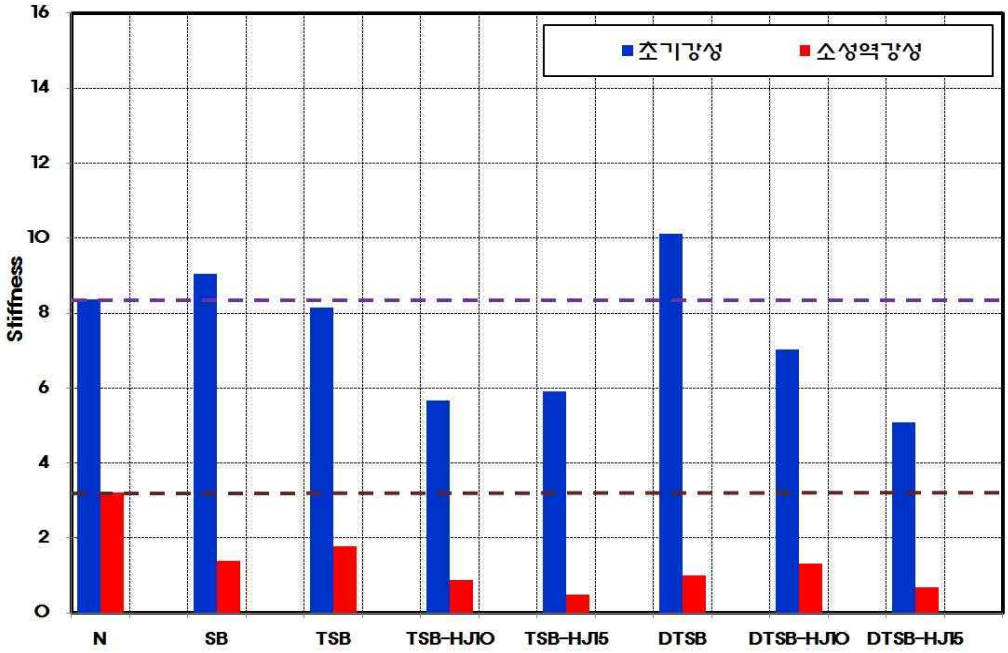
실험체명	강성			
	초기강성(K_E)		소성역강성(K_P)	
	강성	실험/기준	강성	실험/기준
HR Ⅰ-N	9.7	1.00	4.0	1.00
HR Ⅰ-SB	7.4	0.76	2.7	0.66
HR Ⅰ-TSB	13.6	1.40	2.3	0.57
HR Ⅰ-TSB-HJ10	9.0	0.93	1.7	0.42
HR Ⅰ-TSB-HJ15	6.2	0.64	0.7	0.16
HR Ⅰ-DTSB	12.5	1.29	1.8	0.45
HR Ⅰ-DTSB-HJ10	8.7	0.82	1.3	0.33
HR Ⅰ-DTSB-HJ15	7.1	0.74	1.4	0.34

<표 4.7> TypeⅡ 내민부재 실험체 강성

실험체명	강성			
	초기강성(K_E)		소성역강성(K_P)	
	강성	실험/기준	강성	실험/기준
HR Ⅰ-N	8.4	1.00	3.2	1.00
HR Ⅰ-SB	9.1	1.08	1.4	0.44
HR Ⅰ-TSB	8.1	0.97	1.8	0.56
HR Ⅰ-TSB-HJ10	5.7	0.68	0.9	0.27
HR Ⅰ-TSB-HJ15	5.9	0.70	0.5	0.16
HR Ⅰ-DTSB	10.1	1.21	1.0	0.32
HR Ⅰ-DTSB-HJ10	7.0	0.84	1.3	0.41
HR Ⅰ-DTSB-HJ15	5.1	0.61	0.7	0.22



[그림 4.10] Type Ⅰ 내민부재 실험체 강성



[그림 4.11] TypeⅡ 내민부재 실험체 강성

4.3.3 내민부재 실험체의 실험값과 이론값 비교

내민부재 실험체에 대해 재료시험에서 얻어진 실험체의 항복하중을 적용하여 이론식에 의한 항복하중과 부재실험에서 얻어진 항복하중을 비교하면 다음과 같다.

<표 4.8> Type Ⅰ 내민부재 실험체 실험값과 이론값의 비교

실험체명	Py[7] (kN)	tPy[8] (kN)	Py/tPy	보강실험체 /기준실험체
HR Ⅰ-N	77.2	360	0.214	1.00
HR Ⅰ-SB	62.1	360	0.173	0.81
HR Ⅰ-TSB	171.7	360	0.477	2.23
HR Ⅰ-TSB-HJ10	181.5	360	0.504	2.36
HR Ⅰ-TSB-HJ15	145.5	360	0.404	1.89
HR Ⅰ-DTSB	146.3	360	0.406	1.90
HR Ⅰ-DTSB-HJ10	155.6	360	0.432	2.02
HR Ⅰ-DTSB-HJ15	164.4	360	0.457	2.14

<표 4.9> TypeⅡ 내민부재 실험체 실험값과 이론값의 비교

실험체명	Py (kN)	tPy (kN)	Py/tPy	보강실험체 /기준실험체
HRⅡ-N	90.4	307.9	0.293	1.00
HRⅡ-SB	176.9	307.9	0.575	1.96
HRⅡ-TSB	166.8	307.9	0.542	1.85
HRⅡ-TSB-HJ10	139.6	307.9	0.453	1.55
HRⅡ-TSB-HJ15	140.5	307.9	0.456	1.56
HRⅡ-DTSB	189.4	307.9	0.615	2.10
HRⅡ-DTSB-HJ10	150.1	307.9	0.487	1.66
HRⅡ-DTSB-HJ15	129.9	307.9	0.422	1.44

7) Py : 부재실험에서 얻어진 항복하중의 실험값(kN)
8) tPy : 재료강도를 적용한 항복하중의 이론값(kN)

내민부재 실험체에 사용된 목재의 재료시험에서 얻어진 항복하중을 적용하여 휨강도식에 근거해 이론적으로 산정한 항복하중과 부재실험에서 얻어진 항복하중을 비교하였다.

<표 4.10> 내민부재 내민길이비별 실험체 이론값 산정

Type Ⅰ 내민부재(240mm×300mm)
$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{240 \times 300^2}{6} = 3,600,000mm^3$
$M_y = F_y \times Z_y = 68N/mm^2 \times 3,600,000mm^3$
$= 244,800kN.mm$
$M_y = -tP_y \cdot \frac{l'}{2} = \frac{-tP_y l'}{2}$
$tP_y = \frac{-2M_y}{l'} = \frac{-2 \times 244,800kN.mm}{1,360mm}$
$= -360kN$
$P_y = -77.2kN$
$\therefore \frac{P_y}{tP_y} = \frac{-77.2}{360} = 0.214$

Type Ⅱ 내민부재(240mm×300mm)
$tP_y = \frac{-2M_y}{l'} = \frac{-2 \times 244,800kN.mm}{1,590mm}$
$= -307.9kN$
$P_y = -9.04tf = -90.4kN$
$\therefore \frac{P_y}{tP_y} = \frac{-90.4}{-307.9} = 0.293$

※ l' : 실험상 내민길이(Type별 내민길이를 적용)

내민부재 실험체의 항복하중에 대한 이론값과 실험값을 비교한 결과, TypeⅠ에서 기준실험체는 79%, 보강실험체에서는 50~83% 정도, TypeⅡ에서 기준실험체는 71%, 보강실험체에서는 39~58% 정도 이론값보다 실험값이 낮게 나타났다.

그러나 기준실험체와 보강실험체를 비교하면, TypeⅠ에서 보강실험체는 기준실험체보다 -20%~140% 정도(평균 77.5%), TypeⅡ에서 보강실험체는 기준실험체보다 40%~110% 정도(평균 65%) 높게 나타났다.

내민부재 실험에서 항복강도가 이론값보다 낮게 나타난 것은 천연목재의 성장 및 재료적 특성상 심재와 변재의 강도 차이와 부재의 옹이 위치에 따른 휨응력의 저하 등이 주요 원인으로 사료된다.

4.3.4 내민부재의 하중-처짐 추정식 제안

전통 목구조 건축물의 내민부재는 구조적 특성상 외측에서 처짐과 내측에서 들림이 발생하는 구조적 거동이 발생된다.

이러한 처짐과 들림의 변형에 대해 구조적 안전성 여부를 평가하기 위해서는 부재응력의 비교, 건축구조설계기준(KBC 2009, 12.23) 에서 제한하는 처짐과 실제 발생한 처짐을 비교 및 검토해야 한다.

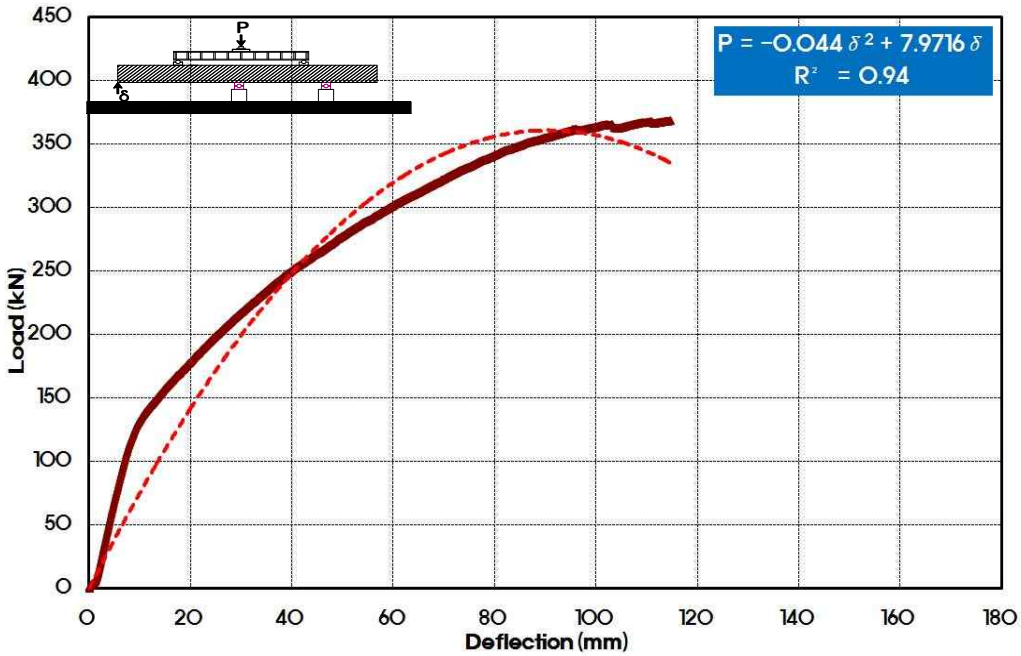
구조 부재에서 부재가 저항할 수 있는 응력이 초과하는 경우에는 처짐과 더불어 균열, 갈라짐, 파단 등의 성능저하가 발생되게 된다.

그러나 전통 목조 건축물은 구성 특성상 내민부재의 상부에 선자연, 개판, 적심, 앙토, 기와 등으로 이루어져 지붕의 상재하중을 명확히 확인할 수 없을 뿐만 아니라 부(-)모멘트 구간의 내민부재의 단면 및 상부 성능저하 상태를 확인 및 점검할 수 없는 조건이 대부분이다.

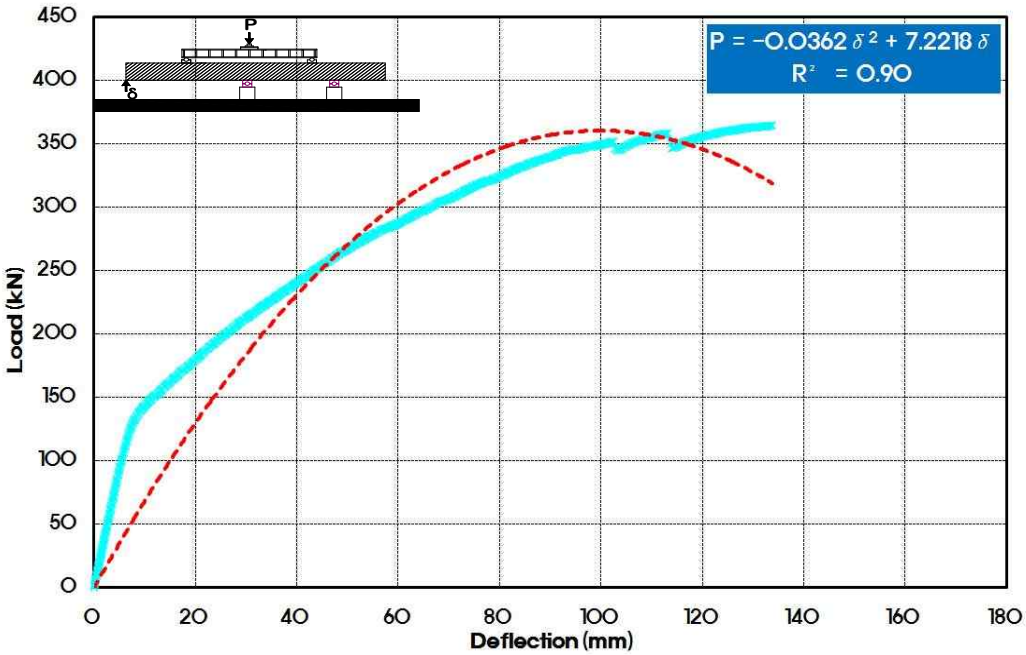
또한, 문화재로 지정된 경우, 평상시 유지 관리 측면에서 추녀마루 및 기와를 제거하는 등의 손상을 초래하는 일은 현실적으로 불가능하게 되어 내민부재의 심각한 변형이 육안으로 확인되기 전에 문제점을 찾아 낼 수 없는 것이 현실이다.

전통 목조 건축물을 유지관리하는 측면에서 제한된 조건에서 조사가 가능한 내민부재의 처짐 변위를 통해 내민부재의 상재하중을 개략적으로라도 추정할 수 있다면, 구조적 안전성을 평가하는데 매우 유용한 접근으로 볼 수 있다.

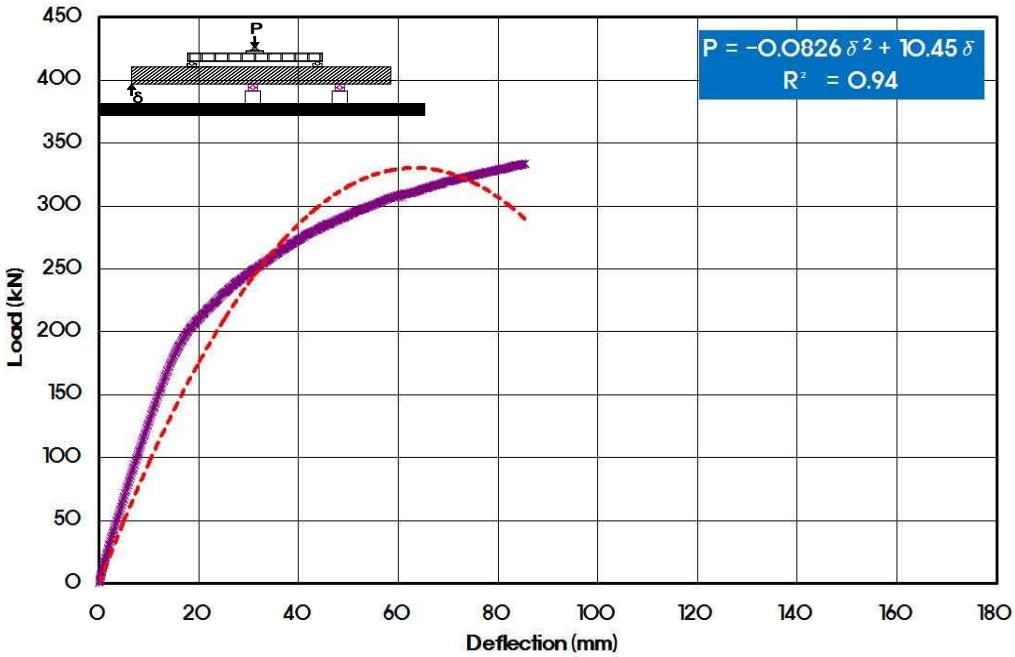
내민부재의 실험체에서 보강재와 이음부재의 크기에 따라 처짐을 기준으로 내민부재의 응력을 추정하기 위한 Type Ⅰ 하중-처짐 추정 제안식은 [그림 4.12], Type Ⅱ 하중-처짐 추정 제안식은 [그림 4.13]과 같다.



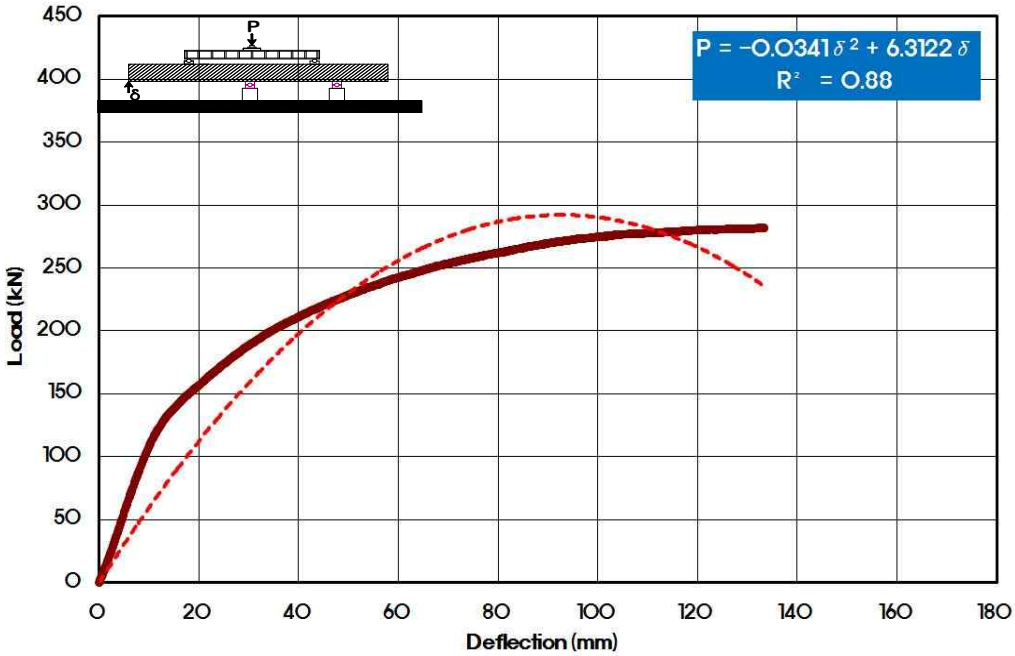
(a) TSB 보강 내민부재 하중-처짐 추정



(b) DTSB 보강 내민부재 하중-처짐 추정

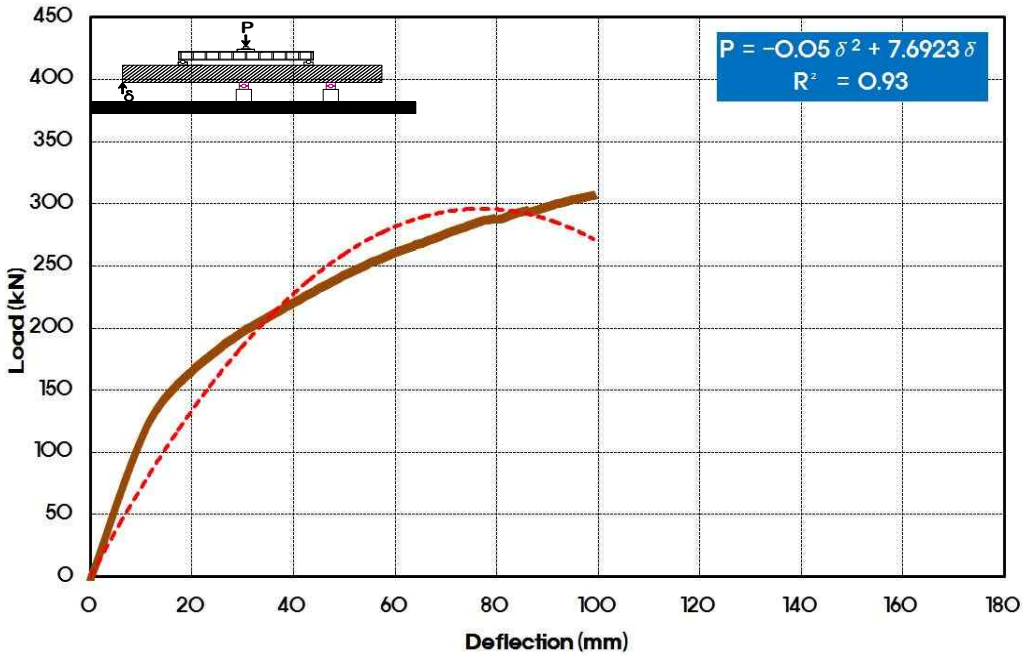


(c) TSB-HJ10 보강 내민부재 하중-처짐 추정

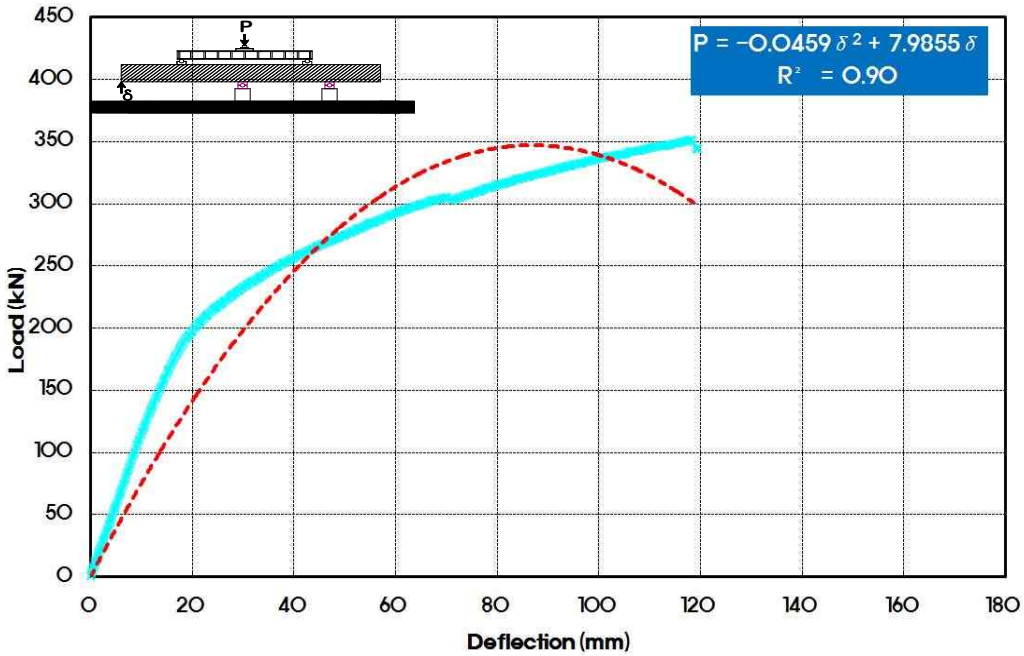


(d) DTSB-HJ10 보강 내민부재 하중-처짐 추정

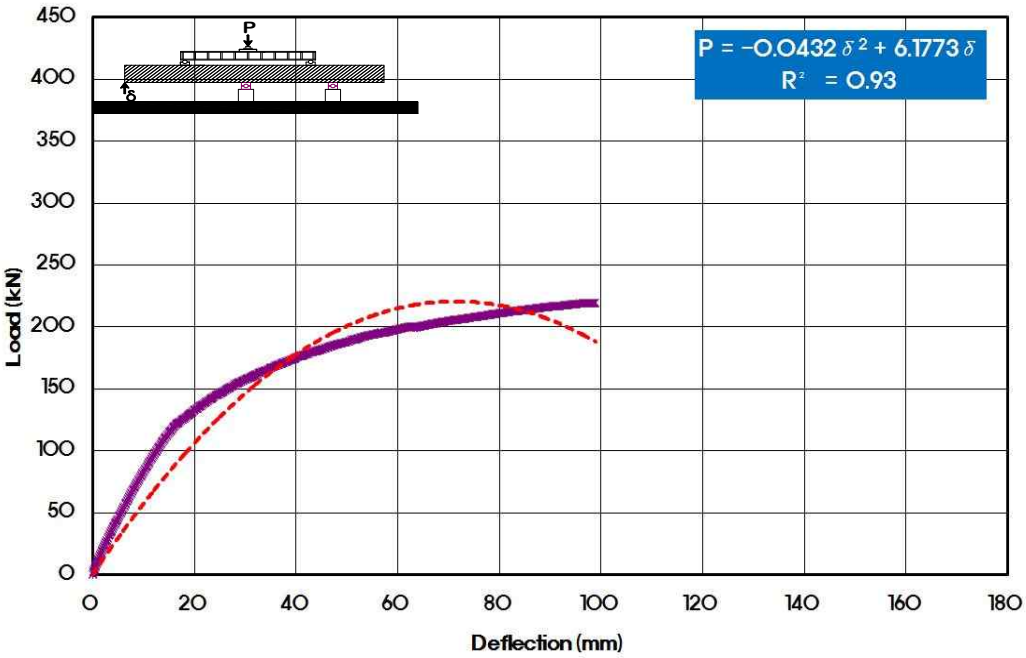
[그림 4.13] Type I 내민부재 하중-처짐 추정식 제안



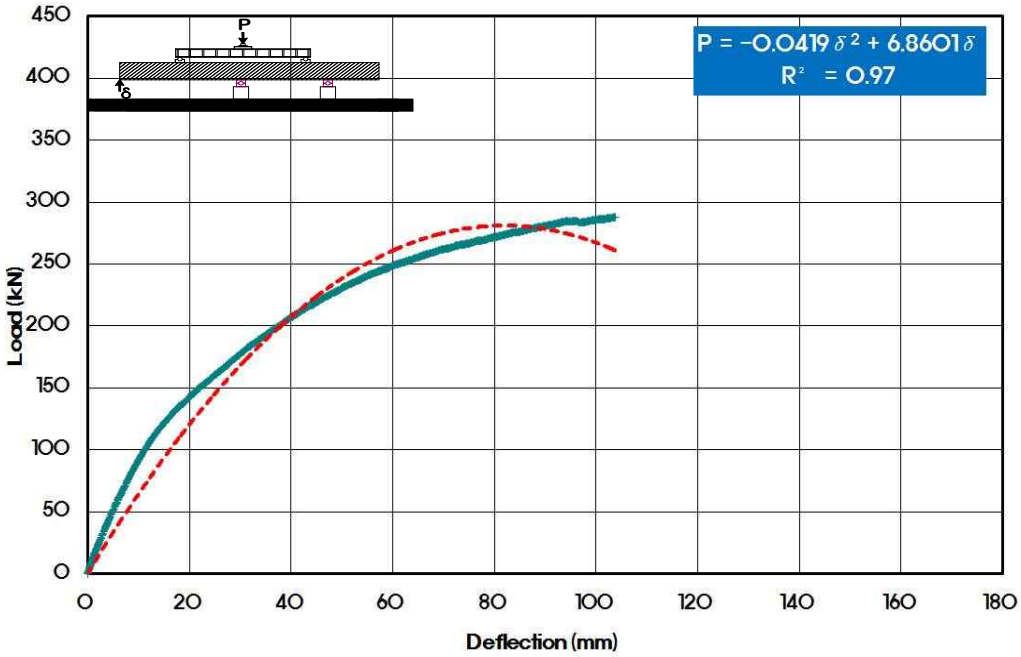
(a) TSB 보강 내민부재 하중-처짐 추정



(b) DTSB 보강 내민부재 하중-처짐 추정



(c) TSB-HJ10 보강 내민부재 하중-처짐 추정



(d) DTSB-HJ10 보강 내민부재 하중-처짐 추정

[그림 4.14] TypeⅡ 내민부재 하중-처짐 추정식 제안

4.4 소 결

전통 목조 팔작지붕의 내민부재의 내민길이비(TypeⅠ ; 1:10, TypeⅡ ; 1:1.4)에 따라 보강실험체별 휨실험을 통해 다음과 같은 소결을 얻었다.

1) TypeⅠ 내민부재의 실험 결과, 보강실험체별 변수에서 보강실험체가 기준실험체보다 항복하중이 -20~135% 증감하였으며, '-'자 철판으로 보강한 실험체의 항복하중은 20% 감소하였지만 최대하중은 1% 정도의 증가율을 보였다. T자형 철판으로 보강한 실험체의 항복하중은 123%, 최대하중은 1% 정도 감소하였으며, 더블 T자 철판으로 보강한 실험체의 항복하중은 90%, 최대하중은 3% 정도 감소를 보였다. 내민부재에 응력의 집중과 변형에 따라 손상이 발생한 경우 일부를 신부재로 치환한 보강실험체에서 기준실험체보다 항복하중이 135%의 높은 증가율을 보였다. 하지만 항복하중은 증가하였으나 최대하중은 보강실험체가 기준실험체에 비해 29% 저하되는 것으로 나타났다. 이는 내민보에서 내민길이가 길수록 휨모멘트가 크게 발생되는 구조적 거동에 의해 강도가 저하되는 것으로 사료된다.
2) TypeⅡ 내민부재의 실험 결과, 보강실험체별 변수에서 기준실험체보다 항복하중이 '-'자 철판 보강실험체가 96%, T자 철판 보강이 85%, 더블 T자 철판 보강이 110% 정도의 증가율을 보였다. 손상부 이음부재는 44%~66%의 증가율을 보였다. 최대하중은 더블 T자 철판을 보강한 실험체가 1% 정도 증가율을 보였지만 다른 보강실험체는 27% 저하되는 것으로 나타났다. 이는 내민부재에서 내민길이가 길수록 휨모멘트가 크게 발생되는 구조적 거동에 의해 응력이 저하되는 것으로 나타나 구조해석에 따른 단면설계 및 보강이 필요할 것으로 사료된다.
3) 연성계수는 내민길이비에 따른 Type별 실험체에서 내민부재의 기준실험체와 보강실험체를 비교할 때, TypeⅠ에서는 보강실험체에서 '-'자 철판으로 보강한 실험체가 46%, 더블 T자 철판으로 보강한 실험체가 7% 정도 증가하였으

나, 다른 보강실험체에서는 30%~70% 저하되었다. TypeⅡ에서는 더블 T자 보강실험체가 11%의 증가를 나타냈으나, 다른 보강실험체는 기준실험체에 비해 20%~50%정도 저하되는 것으로 나타났다.

4) 강성은 내민부재의 내민길이비에 따른 Type별 실험체에서 기준실험체와 보강실험체를 비교할 때, TypeⅠ에서 보강실험체는 초기 강성이 T자 철판과 더블 T자 철판에서 29%~40% 증대되었고 이외 보강실험체에서는 초기강성이 거의 유사한 것으로 나타났다. TypeⅡ에서는 '-'자 철판, 더블 T자 철판 보강실험체가 8%~21%의 증가율을 보였으나 손상부 이음부재에서 20~40% 저하되는 것으로 나타났다. 또한, 소성역 강성비는 초기강성비에 비해 매우 낮게 나타났으며, 기준실험체와 보강실험체를 비교할 때, 모든 Type에서 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다. 이는 목재의 특성상 모든 실험체에서 항복하중 이후 하중의 증가는 높지 않았지만 변위는 상대적으로 증대되는 경향에서 기인된 것이다.

   보강실험체에서 초기강성비가 상당히 높은 점은 내민부재의 탄성역 거동에서 처짐 제어 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

5) 항복하중에 대한 이론값과 실험값을 비교한 결과, 실험값이 이론값보다 TypeⅠ에서 기준실험체는 79%, 보강실험체는 50%~83% 정도, TypeⅡ에서 기준실험체는 71%, 보강실험체는 39%~58% 정도 낮게 나타났다. 이는 목재의 심재와 변재의 강도 및 함수율 차이와 옹이 위치에 따른 휨강도의 저하 등이 요인으로 사료된다.

   그러나 기준실험체와 보강실험체를 비교하면, TypeⅠ에서 보강실험체는 기준실험체보다 78%, TypeⅡ에서 보강실험체는 기준실험체보다 65% 정도 높게 나타났다.

6) 내민부재의 외측 처짐을 기준으로 내민길이비에 따른 내민부재의 작용하중을 추정하기 위한 추정식을 제안한다.

Ⅵ. 결론

본 연구는 전통 목구조 건축물의 내민부재에서 구조적 거동에 의해 처짐과 변형, 목재의 부후에 의한 손상 등을 고려하여 철판을 이용한 보강과 이음보강 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 내민부재 보강실험은 항복하중이 기준실험체에 비해 TypeⅠ에서 '-'자 철판보강 실험체를 제외하고 모든 보강실험체가 90%~135% 증가하였으며, TypeⅡ에서 보강실험체가 44%~110%의 증가를 보였다. T자 철판과 더블 T자 철판 보강실험체에서 특히, 항복하중, 초기강성 증대되고 최대하중은 기준실험체와 유사한 것으로 나타나서 보강에 따른 처짐제어 효과가 기대되는 것으로 사료된다.

2) 연성계수는 TypeⅠ에서 '-'자 철판보강 실험체에서 기준실험체에 비해 46%, 더블 T자 철판 보강실험체에서 7%, TypeⅡ에서 더블 T자 철판 보강실험체가 11% 증대되었으며, 다른 보강실험체는 전체적으로 연성이 저하되는 것으로 나타났다.

3) 강성은 T자와 더블 T자 철판 보강실험체에서 TypeⅠ에서 초기강성이 29~40% 증가, TypeⅡ에서 8%~20% 증가 하는 것으로 나타났다.
보강실험체에서 초기강성이 기준실험체에 비해 상당히 높게 나타난 것은 내민부재의 탄성역 거동에서 처짐제어 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

4) 내민부재의 특성상 우주(隅柱) 상부에서 응력의 집중과 변형에 따라 손상이 발생한 경우 일부를 신부재로 치환한 보강실험체에서 기준실험체보다 항복하중이 증가하는 것으로 나타났다.

5) 내민부재 실험결과에 따라 보강실험체별 하중-처짐 추정식을 제안하면 다음과 같다.

구 분	추 정 식 (δ : mm, P : kN)	결정계수 (CR^2)
HR Ⅰ-TSB	$P=-0.044\delta^2+7.9716\delta$	0.94
HR Ⅰ-DTSB	$P=-0.0362\delta^2+7.2218\delta$	0.90
HR Ⅰ-TSB-HJ10	$P=-0.0826\delta^2+10.45\delta$	0.94
HR Ⅰ-DTSB-HJ10	$P=-0.0341\delta^2+6.3122\delta$	0.88
HRⅡ-TSB	$P=-0.05\delta^2+7.6923\delta$	0.93
HRⅡ-DTSB	$P=-0.0459\delta^2+7.9855\delta$	0.90
HRⅡ-TSB-HJ10	$P=-0.0432\delta^2+6.1773\delta$	0.93
HRⅡ-DTSB-HJ10	$P=-0.0419\delta^2+6.8601\delta$	0.97

이상과 같이 전통 목조 건축물의 내민부재 실험 결과를 종합하면, 목조 문화재의 내민부재(추녀)에서 미관상의 원형보존과 구조적 안전성을 고려할 때 T자 철판, 더블 T자 철판 보강은 항복하중, 최대하중, 초기강성 등의 증대와 처짐제어 효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

또한, 부재의 손상깊이에 따라 적정한 두께로 치환하고 T자 및 더블 T자 철판을 볼트와 못으로 보강하면 기준실험체와 유사한 구조적 거동과 보강효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1) 김정섭외 4인, “전통 목구조 추녀부재의 구조적 재보강 특성에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 구조계, 제27권 3호, pp.21～29, 2011. 3

2) 김정섭외 3인, “전통 목구조 멍에 부재의 휨보강 특성”, 한국 구조물진단학회 논문집, pp.145～152, 2010. 3

3) 조철희외 4인, “전통 목구조 팔작지붕 추녀부재의 구조적 보강 특성에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 제26권 3호, pp.3～10, 2010. 3

4) 박강철, ″전남지방 전통주택의 형태적 특성과 지붕의 처마곡선에 관한 연구″, 대한건축학회 논문집, 제12권 10호, pp.181～191, 1996. 10

5) 박성무외 1인, “합성수지를 이용한 원형단면 목재의 휨 성능에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 제26권 8호, pp.47～54, 2010. 8

6) 박광섭외 3인, “합성수지를 이용한 사각단면 목재의 휨 보강 성능에 관한 연구”, 한국구조물진단학회 논문집, 제13권 6호, pp.106-114, 2009.11

7) 김순철외 2인, “섬유시트로 보강한 구조용집성재 보의 휨성능”, 대한건축학회 논문집 구조계, 제25권 12호, pp.39～46, 2009. 12

8) 박학길외 2인, “간벌 소경재를 이용한 집성목재 보의 휨 거동특성에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 구조계, 제19권 6호, pp.11～17, 2003. 6

9) 이영욱외 3인, “전통 목구조 시스템에서 장부이음을 가진 도리 방향 골조의 수평하중 저항 능력”, 대한건축학회 논문집 구조계, 제23권 2호, pp.35～42, 2007. 2

10) 김병진외 1인, “팔작지붕 추녀에 관한 목구조적 고찰(고려시대에서 19C까지 주불전을 중심으로” 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제27권 1호, pp.621～624, 2007. 10

11) 황종국외 1인, “전통목구조 기둥-창방 접합부 인장내력과 파괴모드에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 구조계, 제24권 11호, pp.41～52, 2008. 11

12) 고영훈외 1인, ″한국 목조건축물의 처마내밀기의 비례기법에 관한 연구″, 대한건축학회 논문집, pp.125～134, 1991. 10

13) 류성룡, "봉정사 대웅전 팔작지붕 가구에 관한 연구", 대한건축학회 논문집 계획계, 제23권 제5호, pp.125~132, 2007. 05
14) 이승중A, "전통 목구조 건축물의 구조적 휨부재 보강에 관한 연구", 조선대학교 석사학위 논문, 2008.08
15) 박춘걸, "전통목조 건축물의 구조적 재보강에 관한 실험적 연구", 조선대학교 석사학위논문, 2010.02
16) 조철희, "傳統 木構造 建築物의 構造的 補强 特性에 관한 연구", 조선대학교 박사학위논문, 2009.02
17) 이승중B, "목구조 휨부재의 구조적 재보강에 관한 실험적 연구", 조선대학교 석사학위논문, 2011.02
18) 김동현외 1인, "傳統木構造 이음方法에 對한 硏究", 保存科學硏究, 1985. 6
19) 김병호외 1인, "木造文化財 破損狀態 調査", 保存科學硏究, 1990. 11
20) 김익주, "木材文化財의 劣化에 對한 考察", 保存科學硏究, 1986. 7
21) 박상진, "梵魚寺 및 無量寺 古建築材의 構造와 樹種", 保存科學硏究, 1983. 4
22) 박경훈, "多包式 木造 建築物의 構造的 擧動에 대한 硏究", 2010.
23) 조현정, "韓國 建造物 文化財 保存史에 關한 硏究" 2004
24) 조성산, "韓國 傳統 木造建築物의 構造解析에 관한 硏究" 2002

25) 대한건축학회, 「건축구조설계기준 KBC 2009」, 2009. 12.23
26) 한국산업규격, 「KS F 2199 목재의 함수율 측정방법」, 2001. 5
27) 한국산업규격, 「KS F 2206 목재의 압축시험방법」, 2004. 6
28) 한국산업규격, 「KS F 2207 목재의 인장시험방법」, 2004. 6
29) 한국산업규격, 「KS F 2208 목재의 휨시험방법」, 2004. 6
30) 한국산업규격, 「KS F 2209 목재의 전단시험방법」, 2004. 6
31) 문화재청, 「문화재수리표준시방서」, 2005. 12
32) 장기인, 「한국건축대계 Ⅳ 한국건축사전」『보성각』, 1998. 12
33) 장기인, 「한국건축대계 Ⅴ 목조」『보성각』, 1998. 12

34) 김정섭외 10인, 「건축재료학」『보성각』, 2003. 3
35) 김병호, 「목조건조물 보존에 대한 일반적 고찰」,국립문화재연구소
36) 윤홍로, 「전통건축의 수리와 정비」, 『한국문화재보호재단』2007. 3
37) 배병선외 3인, 「알기쉬운 목조 고건축 구조」, 『국립문화재연구소』2007. 12
38) (주)옛터건축, 「진남관 실측조사보고서」, 2001. 12
39) 김정섭외 3인, 「안전점검 첨단시스템 연구개발(R&D) 보고서」, 2007. 12
40) 건축문화재 점검관리 매뉴얼, 『국립문화재연구소』2008.
41) 건축문화재 안전점검 실무편람, 『국립문화재연구소』2010.

42) Andrew H. Buchanan, "Bending Strength of Lumber", pp1213~1229, ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 116. No.5, May, 1990.
43) K.U. Schobern, "Experimental Investigations on Flexural Strengthening of Timber Structures with CFRP", pp457~464, Proceedings of International Symposium on Bond Behaviour of FRP in Structure(BBFS 2005)
44) A.U.F, "Basic Strength and Elastic Properties of Wood", pp1~12, Rev. 1a - first draft published, August 7, 2005
45) ASTM, "Standard Methods of Static Test of Lumber in Structural Sizes - D 198-94", pp57~75, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.10, May 15, 1994.

부록

사진 1. 부재 표면 대패질 작업 전경

사진 2. 부재 먹매김 및 제원측정 작업 전경

사진 3. 부재 홈파기 작업 전경

사진 4. 부재 홈파기 깊이 측정 작업 전경

사진 5. 가력위치 표시 작업

사진 6. 목재 결함확인(옹이, 갈라짐 등) 및 표시 작업

사진 7. 볼트체결 위치 구멍뚫기 작업

사진 8. 철판과 볼트체결 작업

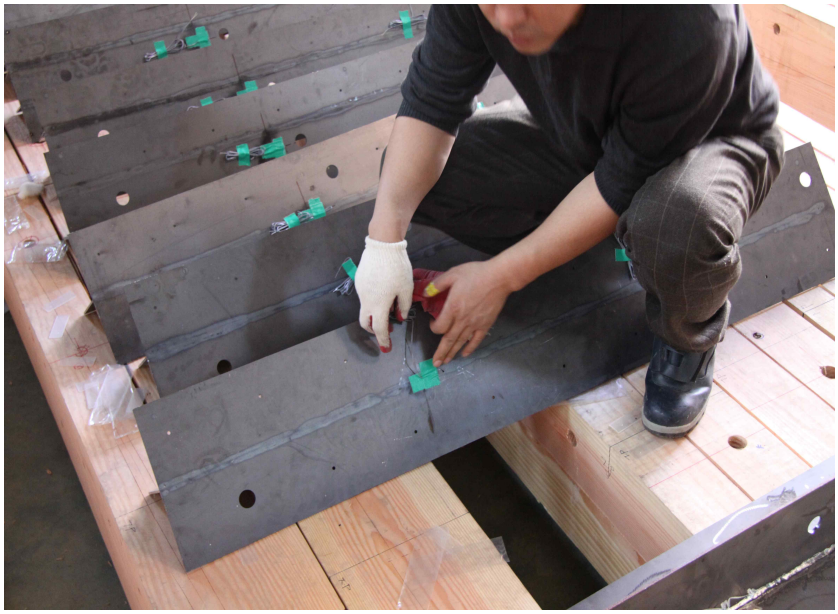


사진 9. 보강재 스트레인게이지 부착 작업

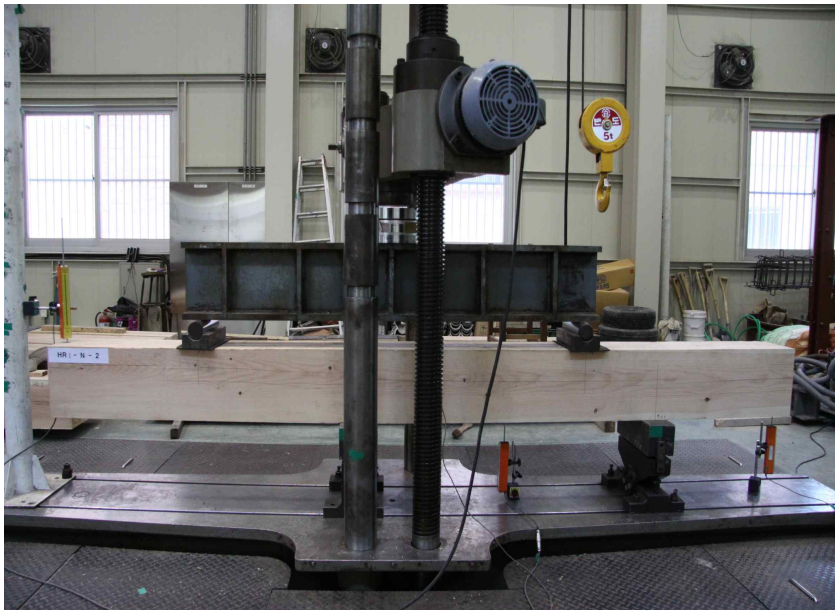


사진 10. 내민부재 실험 전 전경

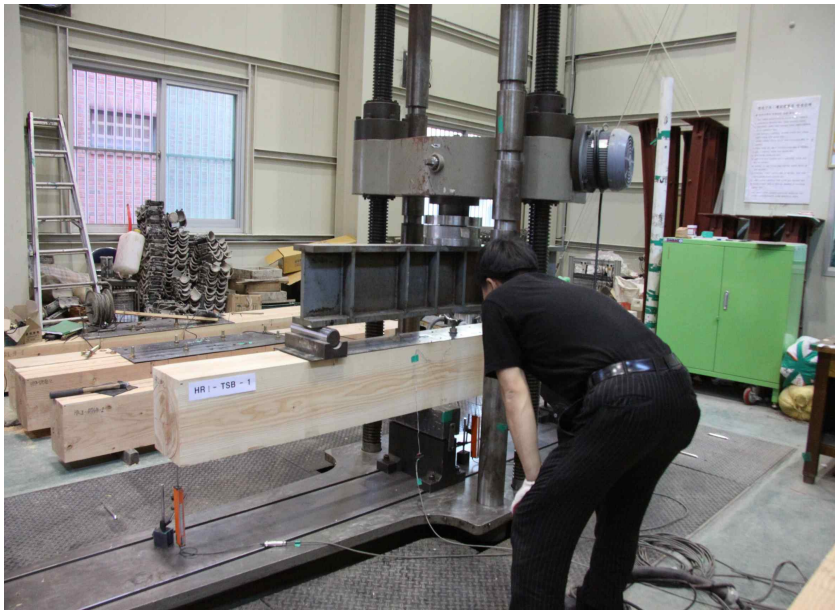


사진 11. 내민부재 실험 작업 전경

사진 12. 내민부재 실험 후 파손 전경

사진 13. 내민부재 시험체 절단 전경

사진 14. 재료 시험체 압축시험 전경

사진 15. 재료 시험체 휨시험 전경

사진 16. 재료 시험체 전단시험 전경

사진 17. 전통 목조 건축물 드릴저항시험 전경

사진 18. 기준실험체 드릴저항시험 전경

사진 19. 전통 목조 건축물 목재함수율 측정 전경

사진 20. 기준실험체 목재함수율 측정 전경

the way to trust KCL

시험성적서

1. 성적서번호 : TYR1511003
2. 의뢰자
   - o 업 체 명 : 조선대학교건축공학과 조윤희
   - o 주소 : 광주 동구 서석동 조선대학교
   - o 의뢰일자 : 2011년 05월 11일
   - o 시험발급일 : 2011년 05월 24일
3. 시험성적서의 용도 : 품질시험
4. 시료명 : 목재
5. 시험결과

시험항목	단위	구분	시험결과	시험방법
휨강도	N/㎟	1	63.5	KS F 2208:2004 (확인2009)
휨강도	N/㎟	2	70.0	KS F 2208:2004 (확인2009)
휨강도	N/㎟	3	70.6	KS F 2208:2004 (확인2009)
섬유방향 압축강도	N/㎟	1	60.6	KS F 2206:2004 (확인2009)
섬유방향 압축강도	N/㎟	2	62.4	KS F 2206:2004 (확인2009)
섬유방향 압축강도	N/㎟	3	61.5	KS F 2206:2004 (확인2009)
전단강도	N/㎟	1	10	KS F 2209 : 2004
전단강도	N/㎟	2	8	KS F 2209 : 2004
전단강도	N/㎟	3	8	KS F 2209 : 2004

※ 섬유방향 압축강도, 휨강도 함수율(평균): 18%

- - - - 이 하 여 백 - - - -

확 인	시험자 조혁환	승인자 민경완

비고: 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료 명으로 시험한 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

한국건설생활환경시험연구원장

광주전남제주지원 : 500-460 광주 북구 월출동 970-21
결과문의 : 광주전남제주지원 ☎062-973-1133

총 1 페이지 중 1 페이지 양식QP-20-01-05(0)

사진 21. 재료 시험성적서

감사의 글

나의 삶의 주인되신 아버지 하나님께 영광을 돌려 드립니다.

오늘이 있기까지 미숙한 상태에서 열매를 맺지 못하고 있던 저에게 인생의 방향과 조언을 아끼지않고 늘 아낌없는 사랑과 부족함이 없는 양분을 공급하여 결실을 맺게 해주신 김정섭 지도교수님과 사모님께 진심으로 감사와 존경의 마음을 전합니다.

본 논문의 심사과정부터 충실한 논문이 되도록 섬세함과 각별한 관심으로 학문적 조언을 해주신 정상진 교수님, 조창호 교수님, 최재혁 교수님, 조창근 교수님께 진심으로 감사의 마음을 표합니다.

또한, 대학원 과정동안 많은 격려와 가르침을 마다하지 않으신 양영성 명예교수님, 이청웅 명예교수님, 김수인 교수님, 조용준 교수님, 박강철 교수님, 임만택 교수님, 장동국 교수님, 김인호 교수님, 염대봉 교수님, 서장후 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

본 논문의 실험과 자료 정리를 함께한 신용석 박사와 대학원과정의 문형주, 김재환, 김상완외 학우들과 한국건설안전연구원과 한국구조안전연구원 직원들에게 고마운 마음을 나눕니다.

한가족처럼 선후배가 단결된 건축구조재료연구회 유명환 회장님과 늘 따뜻한 사랑으로 후배들을 격려해주시는 김판선 박사님, 김광섭 박사님, 이청수 선배님, 고송균 박사님, 노성열 박사님, 문금환 선배님을 비롯한 회원님께도 감사의 마음을 전합니다.

또한, 죽마고우 형섭외 12명의 시골동네 친구와 고등학교시절 우정의 친구인 인호, 창필외 다수의 친우와 대학시절 낭만과 배우기를 꿈꾸었던 승남, 경호, 정훈, 태훈, 영섭, 승우, 태양과 석사과정의 건산회 동기들에게 고마운 마음을 전합니다.

사업과 학업에 대해 늘 격려와 조언으로 이끌어주신 광주지방노동청 산재예

방지도과 서호원 과장님과 임학근 감독관님, 정영선 감독관님, 장영욱 감독관님 외 근로자의 안전을 최우선으로 생각하시는 감독관들에게 감사드리며, 또한 한국산업안전보건공단 광주지역본부 건설업팀 김경순 팀장님과 박종학 과장님, 송민호 과장님, 안전을 위해 함께 뛰는 여러 과장님께도 고마운 마음을 전합니다.

신앙의 길잡이가 되어주시고 말씀과 양육을 위해 열정을 쏟아 부으시는 손덕호 담임목사님을 비롯하여 희노애락을 함께 나누는 광주복음교회 지체들과 함께 이 기쁨을 나누고 싶습니다.

언제나 "내 사랑"이란 말을 습관처럼 들려주며, 늘 기도와 격려 가운데 같은 방향을 꿈꾸는 나의 사랑하는 아내 김현정, 건강하게 잘라준 예쁜 은빛, 하민, 곧 세상에 등장할 셋째에게 감사와 많은 시간을 함께 보내지 못해서 미안함과 고마움을 함께 나눕니다. 나의 삶의 길잡이를 자청하여 싫어하는 내색 없이 많은 조언과 멘토로 함께한 형과 형수님, 늘 동생의 앞길을 기도로 길을 열어주시는 네분의 누님과 매형, 조카, 하나뿐인 동생 선희, 신앙의 참 본이 되어주시는 이모님과 이모부, 가족 및 친지여러분, 아낌없는 사랑과 성원으로 가족애를 알게하고 든든한 후원자가 되어주신 처형가족과 처남, 장인 장모님께 사랑한다는 말로 감사의 마음을 대신하고 싶습니다.

살아생전 뿌린 기도의 씨앗이 한 톨도 버려지거나 썩지않고, 양질의 토양에서 싹트고 자라나 결실을 맺는 것을 천국에서 지켜보고 계실 부모님께 이 논문을 바칩니다.

오늘의 결실이 끝이 아니라 시작이다는 마음으로 더욱 배우기를 힘쓰고 사랑으로 많은 나눔을 통하여 실천하며 더욱 성실하고 책임있는 사람으로 거듭나겠습니다.

2011년 8월

조 윤 희 올림

저작물 이용 허락서

학 과	건축공학과	학 번	20097200	과 정	석사, (박사)
성 명	한글: 조윤희 한문 : 趙鈗喜 영문 : Cho, Youn-hee				
주 소	광주시 북구 매곡동 서광인텔파크 109-302호				
연락처	010-8616-7417	E-MAIL	jobja1004@hanmail.net		
논문제목	한글 : 傳統 木構造 내민部材의 構造的 補强 特性에 관한 연구				
	영어 : A Study on the Structural Strengthening Characteristics of the Traditional Wood Structures Cantilever Members				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(○) 반대( )

2011년 08월 일

저작자: 조 윤 희 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하