

수직 행거 내진설계용 스티프너의 단조 압축 실험

오 창 수* · 공 하 성**

*우석대학교 일반대학원 소방·안전공학과 박사과정

**우석대학교 일반대학원 소방방재학과 교수

Monotonic Loading Tests on Seismic Stiffeners for Vertical Hangers

Chang-Soo Oh* · Ha-Sung Kong**

*Graduate Student, Fire Protection and Safety Engineering, Woosuk University

**Associate Professor, Fire and Disaster Prevention, Woosuk University

Abstract

In piping systems, trapeze hangers are subjected to vertical and horizontal seismic loads and stiffeners are used. In this study, monotonic compression tests were conducted with the removable stiffeners using three variables: stiffener clamp fixing position, section length, and installation direction. The maximum load reinforced with stiffeners could withstand a compressive load of 11kN by applying a safety factor of 10%. It could be estimated that the fixing clamp spacing or the length of shape and load had a proportional relationship. And the stiffener must be fixed in the direction of the strong axis on hinge parts. Also the stiffener buckling load design proposes to use a method of calculate the flexural buckling compressive strength of and unreinforced full threaded bolt.

Keywords : Non-Structural, Seismic Design, Vertical Hangers, Stiffeners, Monotonic Loading Test

1. 서론

대형 건축물이 늘어나면서 복잡한 설비 배관을 효율적으로 설치하기 위해 시스템 채널을 이용한 트라페즈 행거 방식이 늘어나고 있는데, 지진 발생시 손상될 우려가 있다. 이를 방지하기 위해 트라페즈 행거에 브레이스를 연결해서 구조부에 고정하는 내진 조치를 할 수 있다. 그러나 브레이스로 전달된 수평 지진력은 수직 행거에 전달되어 행거의 좌굴을 일으킬 수 있고 수직 지진력이 행거에 좌굴 하중으로 직접 작용할 수도 있다. 특히, 재료의 순단면이 작은 부재를 수직재로 사용하는 경량 트라페즈 행거의 경우 지진으로 인한 행거의 좌굴을 예방하는 조치가 필요하다. 따라서 이런 문제점을 보완한 경량 트라페즈 행거용 스티프너를 개발하였고, 이의 구조적 안전성을 평가하고자 한다.

본 연구에서는 경량 트라페즈 행거로 현장에서 주로 사용되는 M12 전산볼트에 내진 보강용으로 설치된 스티프너 클램프의 위치에 따른 하중 실험과 형강의 길이에 따른

하중 실험을 통하여 스티프너 고정 클램프 위치와 최대 하중의 관계, 그리고 형강 길이와 최대 하중의 관계를 평가하고 설치 기준을 제시하고자 한다.

내진 보강 좌굴방지가새에 대해 박병태 외(2022)는 스티프너 일체형 좌굴방지가새의 증분가력 실험을 통해 실험체가 건축물내진 설계기준(KDS 41 17 00)에 적합하고 스티프너 간격에 따라 실험체의 이력특성은 달라서 스티프너 간격의 제한이 필요하고 국부좌굴 발생 문제를 해결하기 위한 두께 제한이 필요함을 실험과 해석으로 연구하였고, 천성철 외(2013)는 용접 강판 스티프너와 착탈식 스티프너의 단조 가력 실험을 통해 2개 착탈식 스티프너에 대한 가설 안전율을 1.5로 적용할 것을 제안하였으나 많은 연구가 건축 구조부와 관계된 연구로 사이즈가 작은 비구조요소에 대한 연구는 아니었다. 또 비구조요소 구성품인 수직 행거에 대한 스티프너 설치 기준으로 James R. Tauby 외(2011)는 13 mm Threaded Rod의 스티프너 최대 클램프 간격을 406 mm로, 클램프와 구조부 부착면까지의 최대 거리를 76 mm로 제시한 반면, 시스템채널

†Corresponding Author : Ha-Sung, Kong, 443, Samnye-ro, Samnye eup, Wanju-gun, Jeonbuk, E-mail: 119wsu@naver.com
Received May 23, 2023; Revision June 11, 2023; Accepted June 11, 2023

제조사 H에서는 M12 전산볼트의 스티프너 최대 클램프 간격은 450 mm, 구조부와의 최대 거리는 150 mm, 클램프와 형강 끝단 길이는 100 mm를 제시하였고 다른 제조사 C에서는 13 mm 전산볼트의 스티프너 최대 클램프 간격은 L/r 200에서 254 mm, 구조부와의 최대거리는 152 mm, 클램프와 형강 끝단 길이는 최소 50.8 mm를 제시하여 기준이 일치하지 않았고, 실험결과 등 기준의 근거도 확인할 수 없었다.

따라서 경량 행거를 내진 보강하기 위해 개발된 스티프너의 클램프 위치, 형강 길이, 형강 설치방향을 변수로 하는 단조 압축 실험을 통해 설계하중에 대한 안전성을 검토하고 최대 하중, 클램프 위치-하중, 형강 길이-하중, 형강 단면방향-하중 관계를 평가하고자 한다.

2. 실험 계획

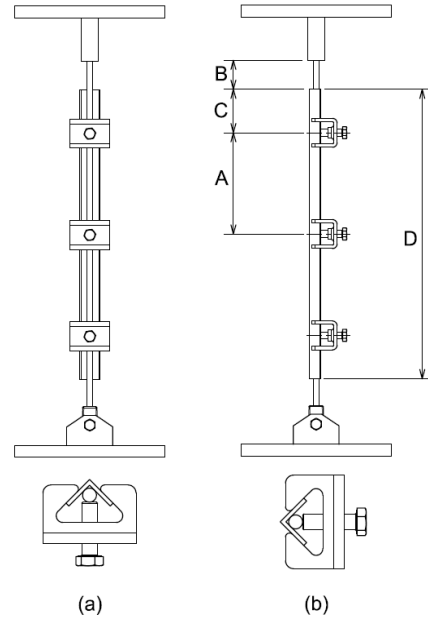
2.1 실험 방법

본 연구에서는 300 Ton UTM을 통한 정적 단조 가력 실험을 실시한다. 실험체별 최대내력까지 가력속도 1 mm/min로 단조가력하고 하중, 변위, 시간 데이터를 5 Hz 주기로 수집한다.

2.2 실험체 계획

본 연구에서는 길이 800 mm의 M12 전산볼트를 단조 압축 실험한다. Test Name 1은 스티프너 보강이 없는 M12 전산볼트이고, Test Name 2그룹은 형강 길이는 700 mm로 동일하고 스티프너의 클램프 고정 간격을 변

화시킨 실험체 그룹이고, Test Name 3그룹은 스티프너의 클램프 간격은 50 mm로 동일하고 형강 길이를 변화시킨 실험체 그룹이다. 그리고 그룹 2와 3에서는 형강 체결이 강축 방향인 "a"와 약축 방향인 "b"로 각 경우별 1개 이상의 실험체를 준비하였다.



[Figure 1] Rod Stiffener Test "a", "b"

이 때, 행거가 실제 설치된 상황을 모사하기 위하여 UTM 상부는 원통 압나사형 고정 지그로 회전고정 및 이동고정하고 하부는 설치환경을 모사하여 힌지 구조로 된 지그로 회전자유 및 이동고정하는 방법으로 M12 전산볼트를 조립 설치하였다. 모든 실험체의 스티프너와 클램프

<Table 1> List of Stiffener Test

| Test Name | Threaded Rod | | Stiffener | | | | | Test Number |
|---------------|--------------|-------------|--------------|--------|--------|--------|--------------|-------------|
| | O.D. | Length (mm) | A (mm) | B (mm) | C (mm) | D (mm) | Clamp Number | |
| 1 | M12 | 800 | No Stiffener | | | | | 2 |
| 2-1a*, 2-1b** | M12 | 800 | 300 | 50 | 50 | 700 | 3 | 3, 1 |
| 2-2a*, 2-2b** | M12 | 800 | 275 | 50 | 75 | 700 | 3 | 1, 1 |
| 2-3a*, 2-3b** | M12 | 800 | 250 | 50 | 100 | 700 | 3 | 1, 1 |
| 2-4a*, 2-4b** | M12 | 800 | 200 | 50 | 150 | 700 | 3 | 1, 1 |
| 3-1a*, 3-1b** | M12 | 800 | 275 | 75 | 50 | 650 | 3 | 2, 1 |
| 3-2a*, 3-2b** | M12 | 800 | 250 | 100 | 50 | 600 | 3 | 1, 1 |
| 3-3a*, 3-3b** | M12 | 800 | 225 | 125 | 50 | 550 | 3 | 1, 1 |
| 3-4a*, 3-4b** | M12 | 800 | 200 | 150 | 50 | 500 | 3 | 1, 1 |

a* Stiffener Shape is installed perpendicular to the hinge move. ("Strong Axis")

b** Stiffener Shape is installed in the same direction as the hinge move. ("Weak Axis")

볼트 체결 토크는 30~35 N·m로 고정 하였다. Figure 1은 실험체 형상을 나타낸 것으로, (a)는 강축 방향으로 형강을 고정 한 것이고, (b)는 약축 방향으로 형강을 고정 한 것을 보여준다. 그리고 Table 1은 실험체 내역을 나타 냈다.

2.3 실험 재료

본 연구에서는 신규 개발한 Z30A 스티프너 클램프, 25×25×3T 앵글 형강, M12 전산볼트, 12.9 강도 KS 육각볼트가 사용되었고 모두 제조사의 시험성적서로 실험체의 기계적 성질 테스트는 대체하였다. 검사성적서상의 M12 전산볼트는 DIN 975 규격으로 인장강도 465 MPa, 항복강도 395.3 MPa이고, 25×25×3T 형강은 KS D 3502 SS275 규격으로 인장강도 498 MPa, 항복강도 371 MPa이며, 조립식 스티프너의 소재인 6mm 두께 열연강판은 KS D 3503 SS275 규격으로 인장강도 482 MPa, 항복강도 370 MPa이다.

3. 실험 결과

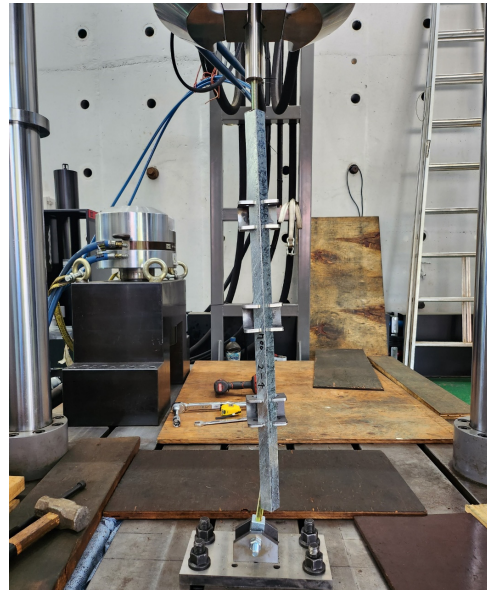
3.1 좌굴 양상

앵글 형강과 스티프너로 보강한 전산볼트는 모두 압축 항복 후 좌굴이 발생하였다. 대부분의 실험체에서 힌지가 움직이는 방향으로 좌굴하였는데, 앵글 형강을 힌지 움직임과 같은 방향으로 설치한 약축 방향인 "b"의 경우 모두 힌지 움직임 방향으로 좌굴하였고, 앵글 형강을 힌지 움직임과 직각되게 설치한 강축 방향인 "a"의 경우에는 2-3a와 3-1a에서 힌지 움직임과 직각되는 방향으로 좌굴했는데, 스티프너가 전산볼트와 잘 체결된 상황에서 UTM 설치도 정확히 수직으로 설치된 결과로 예상된다. 강축 방향 "a"와 약축 방향 "b"의 좌굴 양상은 Figure 2, 3과 같다.

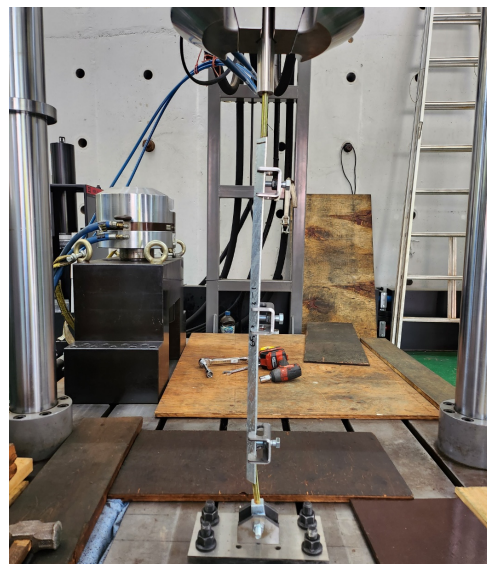
3.2 최대 하중

각 실험체별 최대 하중은 Table 2와 같다. 스티프너로 보강하지 않은 전산볼트의 평균 좌굴하중이 2.07 kN이었던 것에 비해, 스티프너로 보강한 전산볼트의 최대 하중은 클램프 체결 위치 A와 형강 길이(D)에 따라 차이는 있지만 크게 상승하였다. 이것은 전산볼트와 형강이 클램프로 체결되어 좌굴에 저항하는 단면적이 커졌기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 앵글 형강의 길이(D)가 가장 길고 스티프너 클램프 간격(A)도 가장 큰 2-1a에서 최대 좌굴

하중 17.37 kN을 기록하였다.



[Figure 2] Buckling of "a" Strong Axis



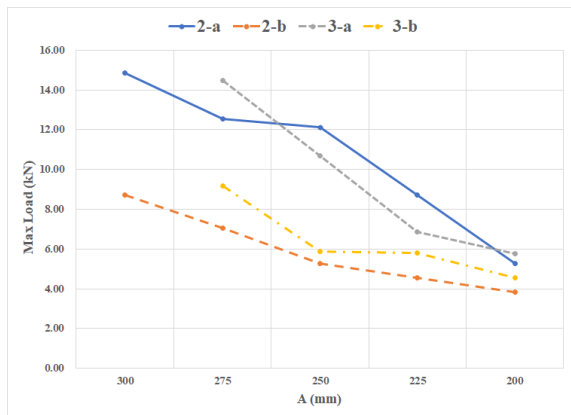
[Figure 3] Buckling of "b" Weak Axis

3.3 스티프너의 압축하중 평가

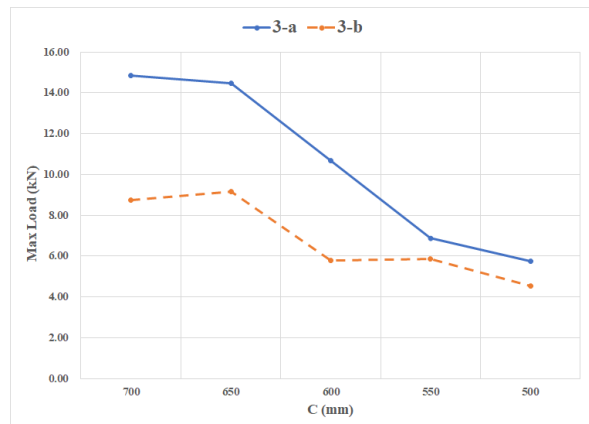
스티프너는 클램프 고정 간격(A)이 길수록 좌굴에 강한 것을 확인할 수 있었다. 설치 간격 300 mm(총 설치 간격 600 mm)로 가장 큰 2-1a의 평균 최대 하중이 14.86 kN이었던 것에 비해 가장 짧은 2-4a의 최대 하중은 5.28 kN이고, 2-1b의 최대 하중은 8.73 kN이었지만 2-4b의 최대 하중은 3.82 kN이었다. 클램프 간격과 최대 하중은 Figure 4로 나타내었다.

<Table 2> Stiffener Load Test Results

| Test Name | Stiffener | | | | Max Load (kN) | | | Load /No.1 (%) | Buckling Pattern |
|-----------|--------------|--------|--------|--------|---------------|--------|--------|----------------|------------------|
| | A (mm) | B (mm) | C (mm) | D (mm) | Test 1 | Test 2 | Test 3 | | |
| 1 | No Stiffener | | | | 2.03 | 2.11 | - | 100 | |
| 2-1a | 300 | 50 | 50 | 700 | 12.53 | 17.37 | 14.67 | 718 | hinge-move |
| 2-1b | 300 | 50 | 50 | 700 | 8.73 | | | 422 | hinge-move |
| 2-2a | 275 | 50 | 75 | 700 | 12.55 | | | 606 | hinge-move |
| 2-2b | 275 | 50 | 75 | 700 | 7.05 | | | 341 | hinge-move |
| 2-3a | 250 | 50 | 100 | 700 | 12.15 | | | 587 | forward |
| 2-3b | 250 | 50 | 100 | 700 | 5.26 | | | 254 | hinge-move |
| 2-4a | 200 | 50 | 150 | 700 | 5.28 | | | 255 | hinge-move |
| 2-4b | 200 | 50 | 150 | 700 | 3.82 | | | 185 | hinge-move |
| 3-1a | 275 | 75 | 50 | 650 | 17.13 | 11.81 | - | 699 | forward |
| 3-1b | 275 | 75 | 50 | 650 | 9.18 | | | 443 | hinge-move |
| 3-2a | 250 | 100 | 50 | 600 | 10.68 | | | 516 | hinge-move |
| 3-2b | 250 | 100 | 50 | 600 | 5.80 | | | 280 | hinge-move |
| 3-3a | 225 | 125 | 50 | 550 | 6.87 | | | 332 | hinge-move |
| 3-3b | 225 | 125 | 50 | 550 | 5.86 | | | 283 | hinge-move |
| 3-4a | 200 | 150 | 50 | 500 | 5.76 | | | 278 | hinge-move |
| 3-4b | 200 | 150 | 50 | 500 | 4.54 | | | 219 | hinge-move |



[Figure 4] A-Max Load

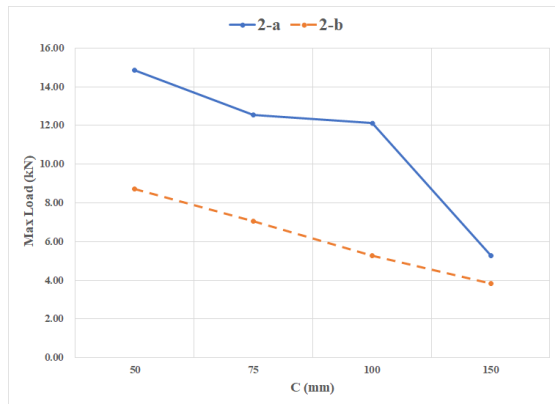


[Figure 5] D-Max Load

그리고 스티프너 형강 길이(D)가 길수록 좌굴에 강한 것을 확인할 수 있었다. C를 50으로 고정하고, D를 변경했을 때, D가 500 mm인 3-4a의 최대 하중이 5.76 kN으로 D가 700 mm인 2-1a에 비해 최대 하중이 9.1 kN만큼 작았다. 형강 길이와 최대 하중은 Figure 5로 나타내었다.

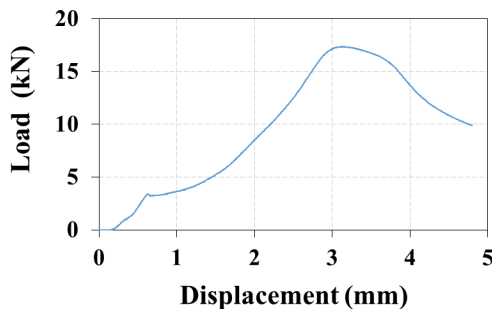
또 스티프너 클램프와 형강 끝단의 길이(C)가 길수록 최대 하중은 작아진다는 것도 Figure 6에서 확인할 수 있다. 형강 길이(D)가 길어도 C가 길고 A가 짧으면 내력은 작아진다. 따라서 클램프 고정 간격(A)이 스티프너의 최대 하중을 결정하는 주요 변수이고, 클램프와 형강 끝단 길이(C)는 제한을 두는 상수로 설정하는 것이 설계와 시공에 효과적임을 확인할 수 있었다. James R. Tauby 외 (2011)와 제조사 H, C가 서로 다른 수치를 제시한 이유는 제품 모델이 다르기 때문임을 추정할 수 있었다. 따라서 설계된 제품 모델마다 다르겠지만, 개발한 Z30A 스티

프너 제품은 B와 C를 각각 50 mm로 제한하여도 설치에 지장이 없으므로 B와 C는 50 mm로 제한하기로 한다.

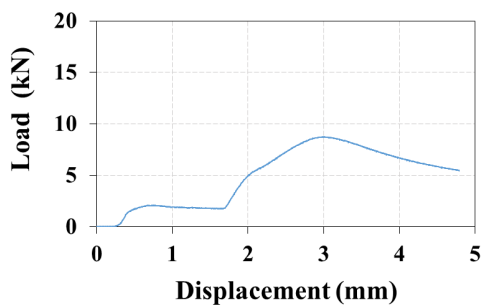


[Figure 6] C-Max Load

그리고 앵글 형강의 설치방향이 힌지 움직임 방향(약축 방향, "b")이 힌지 움직임 직각 방향(강축 방향, "a")에 비해 좌굴에 최대 45% 약한 것을 확인할 수 있었다. 2-1b는 2-1a의 59%, 2-2그룹은 56%, 2-3그룹은 43%, 2-4그룹은 72%, 3-1그룹은 63%, 3-2그룹은 54%, 3-3그룹은 85% 그리고 3-4그룹은 79%로 설치방향 "b"가 설치방향 "a"에 비해 최대하중이 작았다. Figure 7과 8은 2-1a와 2-1b의 하중과 가력시간 그래프다.



[Figure 7] Test No. 2-1a



[Figure 8] Test No. 2-1b

실험에 사용한 M12 전산볼트의 최대 좌굴하중은 2.07

kN이었고 유효좌굴계수(K)를 1.2로 계산한 이론 좌굴하중(P_n)은 1.1 kN이다. 그리고 실험체 2-1a의 경우 25×25×3T 앵글 형강으로 스티프너 보강된 550 mm를 제외한 비보강 전산볼트 길이 250 mm의 이론 좌굴하중은 10.68 kN이고 2-2a와 3-1a의 좌굴하중은 12.55 kN과 14.47 kN이었다. 또 비보강 전산볼트 길이가 300 mm로 같은 2-3a와 3-2a의 좌굴하중은 12.15 kN과 10.68 kN이었고, 비보강 길이가 400 mm인 2-4a와 3-4a의 좌굴하중은 5.28 kN과 5.76 kN으로 유사했다.

따라서 휨좌굴에 대한 압축강도는 식 (1)과 (2)로 계산하는데, 스티프너로 보강한 수직 행거의 압축강도는 비보강 행거 길이의 압축강도를 계산해서 설계에 사용할 수 있겠다.

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (3.3-1)$$

$$F_{cr} = 0.877 \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (3.3-2)$$

여기서, F_{cr} 는 좌굴응력(MPa), A_g 는 부재의 총단면적(mm^2), E 는 강재의 탄성계수(MPa), K 는 유효좌굴길이계수, L 은 부재의 휨좌굴에 대한 비지지길이(mm), r 은 좌굴축에 대한 단면2차반경(mm)이다.

4. 결론

본 연구에서는 경량 트라페즈 행거로 사용되는 M12 전산볼트를 내진 보강하기 위해 개발한 스티프너를 클램프 간격, 형강 길이, 형강 설치방향을 변수로 해서 단조 압축 실험을 진행 했었고 아래의 결과를 확인할 수 있었다.

첫째, 25×25×3t 앵글 형강을 이용한 조립식 스티프너의 최대 하중은 12.53 kN이상으로 M12 전산볼트를 보강할 경우 안전율 10%를 적용하여 11 kN의 압축 하중을 견딜 수 있음을 확인하였다.

둘째, 클램프 간격(A)과 좌굴하중, 그리고 앵글 길이(D)와 좌굴하중은 비례하는 관계에 있음을 확인할 수 있었다.

셋째, 앵글 형강의 설치방향을 약축 방향으로 설치하는 것이 강축 방향보다 최대 45%까지 강도가 감소하는 것을 확인하였다. 따라서 보강용 형강이 강축과 약축으로 방향성을 가진 형상이라면 반드시 강축 방향으로 스티프너를 보강해야 함을 확인할 수 있었다.

마지막으로 스티프너 좌굴하중 설계는 비보강된 전산볼트 길이의 휨좌굴 압축강도를 계산하는 방법을 사용하

는 것을 제안한다. 이 때, 형강과 구조부의 거리(B)와 클램프와 형강 끝단 길이(C)는 제조사별로 상수로 제시하는 것이 설계를 쉽게 하는 방법이다. 이 방법에 따라 이번 연구에서 개발한 스티프너는 구조상 형강과 구조부의 거리(B)와 클램프와 형강 끝단 길이(C)는 각각 50 mm로 정하기로 한다.

그러나 본 연구에서는 스티프너로 보강할 수 있는 형강의 최대 길이와 길이별 최대 하중을 확인하는 실험을 하지는 않았는데, 형강과 구조부의 거리(B)와 형강 끝단 거리(C)를 50 mm로 제한하고 형강의 길이(D)만을 변수로 하는 실험을 통해 M12 전산볼트와 25×25×3t의 합성단면과 하중의 관계를 확인하는 실험을 통해 개발 스티프너의 형강과 최대 사용 가능 길이와 길이별 최대 하중도 확인할 필요가 있다. 또 일반 기계설비 설계자도 비구조요소 내진설계를 쉽게 할 수 있도록 설계 프로그램의 지원이 된다면 설계자의 오류도 예방할 수 있을 것이다.

저자 소개



오 창 수

학 위 : 우석대학교 일반대학원 박사과정
관심분야 : 소방내진, 비구조내진, 내진설계 SW 등
근 무 지 : (주)양수금속 대표이사



공 하 성

학 위 : 공학 박사
경 력 : 대한안전경영과학회 편집위원
관심분야 : 소방전기, 소방기계, 소방방재정책 등
근 무 지 : 우석대학교 소방방재학과 부교수

5. References

- [1] B. T. Park, S. J. Lee, J. H. Lee(2022), "A study on the hysteresis characteristics of stiffener-integrated buckling restrained brace." Journal of Korean Society of Steel Construction, 34(3):161-172.
- [2] S. C. Chen, Y. H. Kim, J. Y. Kim, B. S. Han(2013), "Monotonic loading tests on removable stiffener." Spring Conference of AIK, 33(1):421-422.
- [3] J. R. Tauby, R. Lloyd(2011), Practical guide to seismic restraint (2nd ed.). ASHRAE, pp. 88-89.
- [4] Hilti Corporation(2014), "Earthquake resistant design of installation. p. I.09.
- [5] Nvent Caddy, Instruction sheet; Vertical Rod Stiffener. www.nvent.com
- [6] KDS 14 31 10 Korean Building Code(2017).
- [7] ANSI/AISC 360(2016), Specification for structural steel buildings.