

철골 내진보강공법 길이조절형 간접접합부의 전단내력평가를 위한 실험적 연구

김선웅^{1*}

¹부교수, 영산대학교, 건축공학과

Experimental Study on Shear-Resistant Capacity of Bolted Indirect Connection for Steel Seismic Retrofit Method

Kim, Seonwoong^{1*}

¹Associate Professor, Dept. of Architectural Engineering, Youngsan University, Yangsan, 50510, Korea

Abstract - To evaluate the seismically strengthened effect of buildings by embedded and perimeter steel moment frames with the indirect connection, a numerical analysis model should consider the indirect connection's shear-resistant capacity. The seismic code for the Korean school facilities does not support the particular indirect connection's design information, recommends to secure through the experiment. This paper investigates the shear-resistant capacity of bolted indirect connections of the steel retrofit method per the experimental results. The bolted indirect connection for the embedded steel retrofit method dissipated most of the indirect connection energy, excluding the connection plate and post-installed anchors as flexural behavior. Regardless of the lack of concrete shear strength of the post-installed anchors, it was not observed the cracks in the column. In contrast, the bolted indirect connection of the perimeter steel retrofit method was confirmed as the only vertical cracks due to the post-installed anchors in the column and the indirect connection. This indirect connection is that the post-installed anchors resisted the shear force as shear behavior. According to these experimental results, the shear-resistant capacity of bolted indirect connections of the embedded and perimeter steel retrofit methods was proposed.

Keywords - Seismic retrofit, Steel moment frames, Connection, Experiment, Shear-resistant capacity

1. 서론

1980년대 후반 이후 국내에서는 지진분석 시스템의 성능 향상 및 지진관측망의 현대화로 규모 2-3의 지진 감지 횟수가 증가하여 발생횟수가 전반적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 2000년대부터는 총 발생횟수의 증가세가 뚜렷하지는 않으나, 2016년 9·12 경주지진 및 2017년 포항지진으로 발생횟수가 크게 증가하였다. 2019년에 발생한 국내 지진(규모 2 이상) 횟수는 총 88회로 2016년 252회, 2017년 223회, 2018년 115회 이후 네 번째로 많은 지진이 발생하였다. 사람

이 진동을 느끼는 유감지진은 16회 발생하였고, 규모 3 이상의 지진은 연평균 10.9회보다 많은 14회가 발생하였다^[1].

한편, Neria *et al.*^[2]은 많은 연구에서 자연재난을 겪은 경우에 외상 후 스트레스 장애(post-traumatic stress disorder)가 약 20% 내외로 발병하였다는 결과가 보고가 있다고 주장하였다. 국내에서도 경주지진 및 포항지진 이후에 해당 지역 내의 심리상담수가 각각 2,498건 및 9,086건이 있었으며, 이 중에서 포항주민 425명은 정신건강 고위험군에 속하는 것으로 분석되었다. 특히 한반도는 판내에 위치하여 지진의 안전지대로 인식되어 왔기 때문에 큰 규모로 발생된 두 지진은 지역 주민들에게 심리적으로 상당한 충격이었음을 알 수 있다^[3]. 즉 자연재난에 대한 건물의 구조적 안전성의 제공은 건물이 시민에게 제공하는 고유의 목적이므로 “거주의 안정성”을 확보하기 위한 기본요구조건임을 재차 확인할 수 있다.

경주지진 및 포항지진을 계기로 모든 신축건물에 대한 내진설계가 도입되었다. 또한 우선적으로 내진설계가 적용되

Note.-Discussion open until August 31, 2021. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on November 29, 2020; revised December 30, 2020; approved on January 04, 2021.

Copyright © 2021 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-55-380-9497 Fax. +82-55-380-9249

E-mail. seonwoong.kim0428@gmail.com

지 않은 공공시설물 및 학교시설을 대상으로 내진보강사업이 활발히 펼쳐지고 있으며^[4], 이에 대한 사회적/공학적 요구에 따라 다양한 내진보강기술이 개발 및 적용되고 있다.

Kim and Lee^[5]는 실물대 실험을 통해 2층 비연성 철근콘크리트 골조 및 내부매입형 철골 끼움골조의 내진성능을 평가하였으며, 철골 끼움골조에 대한 설계방안을 제시하였다. Kim^[6]은 실험을 통해 외부매입형 철골 모멘트골조 내진보강공법의 보강효과를 검증하였으며, 내진보강공법에 대한 설계법을 제안하였다. Jung *et al.*^[7]은 철골 끼움골조를 활용한 내진보강공법에 대한 반복가력실험 및 전산해석을 수행하여 내진성능을 검증하였다. Lim^[8]은 개구부를 가지는 하이브리드 강재 연결보에 대한 실험을 통해 내진성능효과를 조사하였다. 아울러 Kim^[9]은 실험을 통해 철골 모멘트골조 내진보강공법의 전단내력을 평가하였다.

국내에서는 일본^[10] 및 미국기준^{[11],[12]}에 기반하여 국내 실정에 적합하도록 제정한 학교시설 내진설계기준(이하 기준)^[13]과 기준을 반영하여 실무를 수행하기 위한 학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼(이하 매뉴얼)^[14]이 학교시설물에 대한 국가 내진보강사업의 진행을 위해 전문가 집단의 요구로 제정되었다. 기준 및 매뉴얼은 다양한 시스템 보강 방식에 따른 내진성능평가법 및 요구사항을 제시하고 있다.

본 연구에서는 내진보강재와 후설치 앵커가 직접접합방식의 내진보강공법 및 시공상 문제점을 개선한 간접접합방식의 WAS 내진보강공법을 대상으로 연구를 수행하고자 한다. WAS 내진보강공법은 철골 끼움골조 및 모멘트골조를 활용한 내진보강공법으로서 볼트형 길이조절장치를 가지는 간접접합방식의 내진보강공법이다.

기준 및 매뉴얼에 근거하여 철골 끼움골조 및 철골 모멘트골조를 활용한 WAS 내진보강공법을 적용하기 위해서는 건물에 대한 전산해석모델 작성에서 요구되는 간접접합부의 전단내력값이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 WAS 내진보강공법 간접접합부의 전단내력을 파악하기 위한 실험을 수행하여 간접접합부의 거동을 살펴보고 전산해석모델 적용방안을 제시하고자 한다.

2. 직접접합의 문제점 및 전산해석모델

2.1 내진보강공법의 정의

기준은 모멘트골조 시스템 내진보강공법을 기존 골조 내부에 철골조를 매입하는 철골 끼움골조(window-type or

embedded steel moment frame) 공법과 외부에 철골조, 철근콘크리트 또는 철골철근콘크리트를 설치하는 모멘트골조(exterior-type steel moment frame) 공법으로 구분한다. 매뉴얼은 두 가지 공법에 대한 내진보강설계 상세방안을 제시하고 있다.

2.2 직접접합의 시공상 문제점

Fig. 1은 직접접합을 활용한 철골 모멘트골조 시스템 내진보강공법의 시공상 문제점을 나타낸 것이다. 설계단계에서 후설치 앵커의 정착위치가 정하여지므로 현장 시공시에 기존 철근콘크리트 골조의 전단철근과 간섭이 발생할 가능성이 높다. 또한 철근콘크리트 골조와 면하지 않는 보강용 H형강 플랜지를 회피하여 후설치 앵커를 정착하기 위해 천공할 경우에 후설치 앵커의 수직도 및 충분한 매입깊이를 확보하기 어렵다. 특히 이러한 시공상 문제점은 골조의 각 모서리에서 두드러지게 발생할 수 있다.

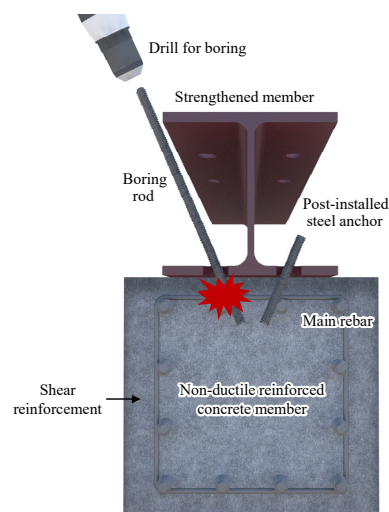


Fig. 1. Construction error of the direct connection

한편, 직접접합된 내진보강공법의 경우, 기존 골조의 전단철근을 회피하면서 후설치 앵커의 구조적 시공성 및 안전성을 확보하기 어려우므로 매뉴얼은 간접접합부를 활용할 것을 권장하고 있다.

2.3 내진성능평가를 위한 전산해석모델 작성 방안

본 절에서는 모멘트골조 및 철골 끼움골조를 활용한 내진보강공법의 전산해석모델 작성 방안을 알아보고 본 연구의 목적을 확인코자 한다.

2.3.1 철골 끼움골조

매뉴얼은 철골 끼움골조를 활용한 철근콘크리트 골조의 접합방식을 간접접합과 직접접합으로 구분된다. Fig. 2는 철골 끼움골조를 활용한 전산해석 모델 작성 예를 나타낸 것이다. 철골 끼움골조의 내진성능평가를 위한 전산해석모델 작성의 요구조건은 다음과 같다.

- (1) 보-기둥 접합부의 인장력은 기존 골조의 기둥에 의해서만 전달된다.
- (2) 철골 끼움골조와 기존골조를 결합하는 접합부는 압축력과 전단력만을 전달한다.
- (3) 선형 및 비선형해석에 모두 사용할 수 있다.

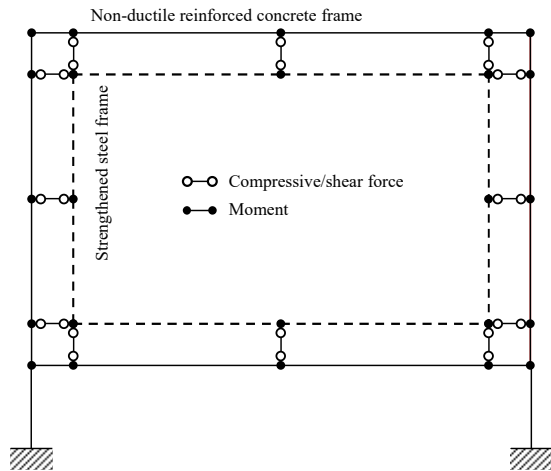


Fig. 2. Example of a numerical model for window-type steel moment frames per manual^[14]

이와 같이 철골 끼움골조를 활용하여 내진보강한 건축물의 전산해석모델을 작성하기 위해서는 접합부의 설계전단력을 파악하여 반영하여야 한다. 매뉴얼은 전단력을 건축구

조기준에 근거하여 산정하기 어려운 경우에 전단력은 후설치 앵커의 계면전단력(interfacial shear force)에 의해 결정하도록 한다. 또한 매뉴얼 15장 기존부재-보강재 연결부에 따라 설계하도록 권고하고 있다(매뉴얼 11.2.5절 참조). 단, 실험을 통해 접합부의 전단력을 검증한 경우에는 실험값을 준용할 수 있도록 하고 있다(매뉴얼 1.5.3절 참조). 따라서 본 연구에서는 실험을 통해 WAS 내진보강공법 간접접합부의 전단내력을 검증하고자 한다.

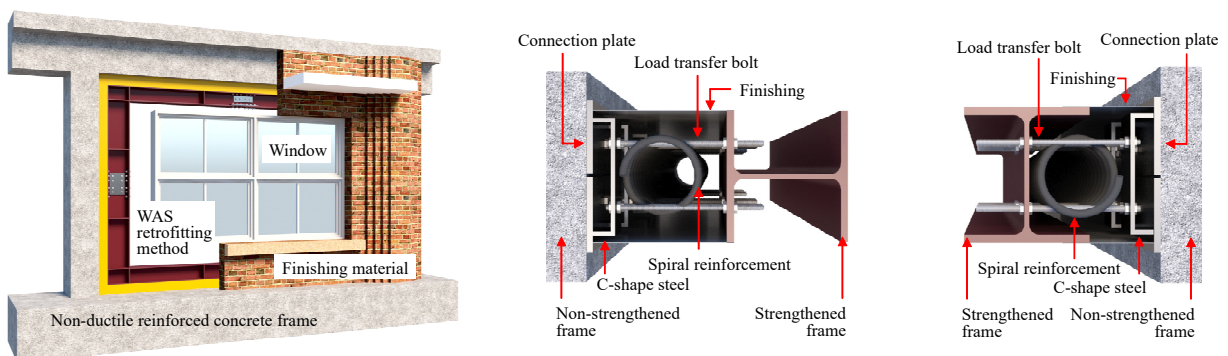
2.3.2 모멘트골조

매뉴얼은 철골 끼움골조 및 모멘트골조의 내진보강설계 방안을 구분하고 있으나, 내진보강재의 접합방식(외부부착형 또는 내부매입형)만 다를 뿐 접합부의 설계방안 및 골조의 내진성능평가를 위한 전산해석모델 방안은 동일하게 적용한다.

3. WAS 내진보강공법 개요

WAS 내진보강공법은 비연성 철근콘크리트 골조를 외부부착형 철골 모멘트골조 및 내부매입형 철골 끼움골조를 활용한 내진보강공법이다(Fig. 3(a) 참조). 여기서 WAS는 제품명이다. 간접접합방식의 WAS 내진보강공법은 기존 골조의 전단철근을 회피하여 후설치 앵커를 설치할 수 있으므로 후설치 앵커의 구조적 역할을 온전히 확보할 수 있다. 또한 볼트를 활용하여 기존 골조와 보강 골조간의 힘을 전달하므로 시공시에 간접접합부의 두께를 조절할 수 있어서 시공오차를 최소화할 수 있다.

철골 끼움골조를 활용할 경우, 우선 비연성 철근콘크리트 기둥과 보에 복수의 접착보강판(connection plate)을 철근콘



(a) Typical window-type WAS retrofit method (b) Window-type steel moment frames (c) Exterior-type steel moment frames

Fig. 3. Indirect connection details of WAS retrofit method

크리트 골조의 전단철근을 회피할 수 있는 위치를 정하고 후설치 앵커를 사용하여 고정한다. 다음으로는 그루브 용접 (groove weld)을 사용하여 C형강(C-shape steel)을 현장에서 설치하며, 보강재 시공 전에 보강재를 지면에 위치한 상태에서 C형강을 설치하므로 용이하게 현장 용접할 수 있다. C형강은 강판을 절곡하여 제작한다. C형강과 하중전달볼트(load transfer bolt)는 현장조립한다. 보강 철골조는 배면에 하중전달볼트를 현장조립하여 연결한다. 보강 철골조와 접착보강판의 배면 사이에는 무수축 몰탈(non-shrinkage mortar)을 충전하고 무수축 몰탈의 취성파괴를 방지하기 위해 나선철근을 설치하여 간접접합부를 완성한다(Fig. 3(b) 참조). 철골 모멘트골조를 활용하는 경우, 내부매입형 철골 끼

움골조와 유사하지만 보강부재인 H형강의 약축이 비연성 골조의 저항방향과 평행하도록 하중전달볼트가 H형강의 웨브와 연결된다(Fig. 3(c) 참조).

4. 실험체 설계 및 실험계획

4.1 간접접합부 설계 및 재료 물성

Figs. 4-6은 간접접합부의 전단내력을 파악하기 위한 내부매입형 및 외부부착형 실험체의 규격 및 간접접합부의 시공상태를 나타낸 것이다. Table 1은 실험체의 재료 및 규격을 정리한 것이다.

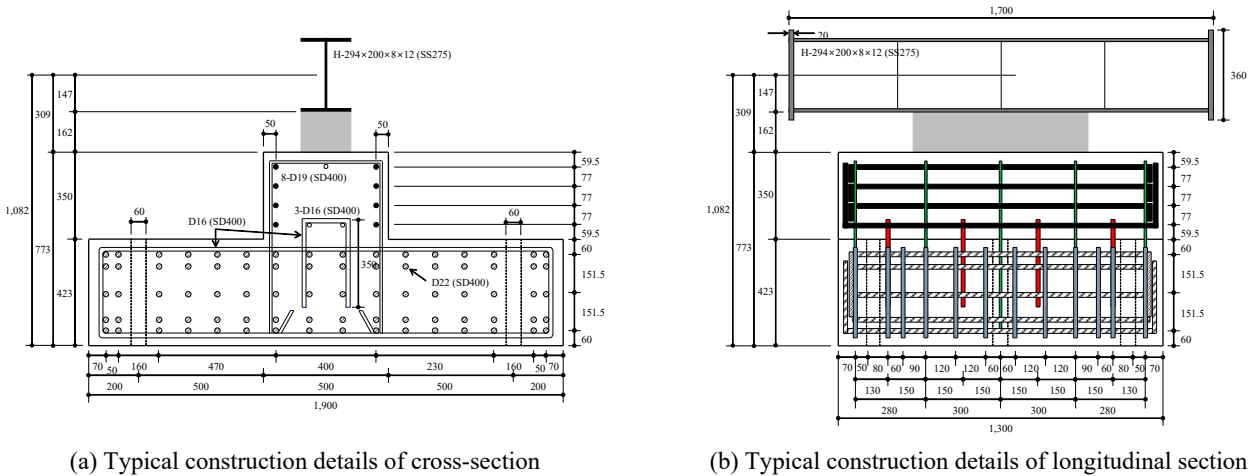


Fig. 4. Typical construction details of base and column part for specimens

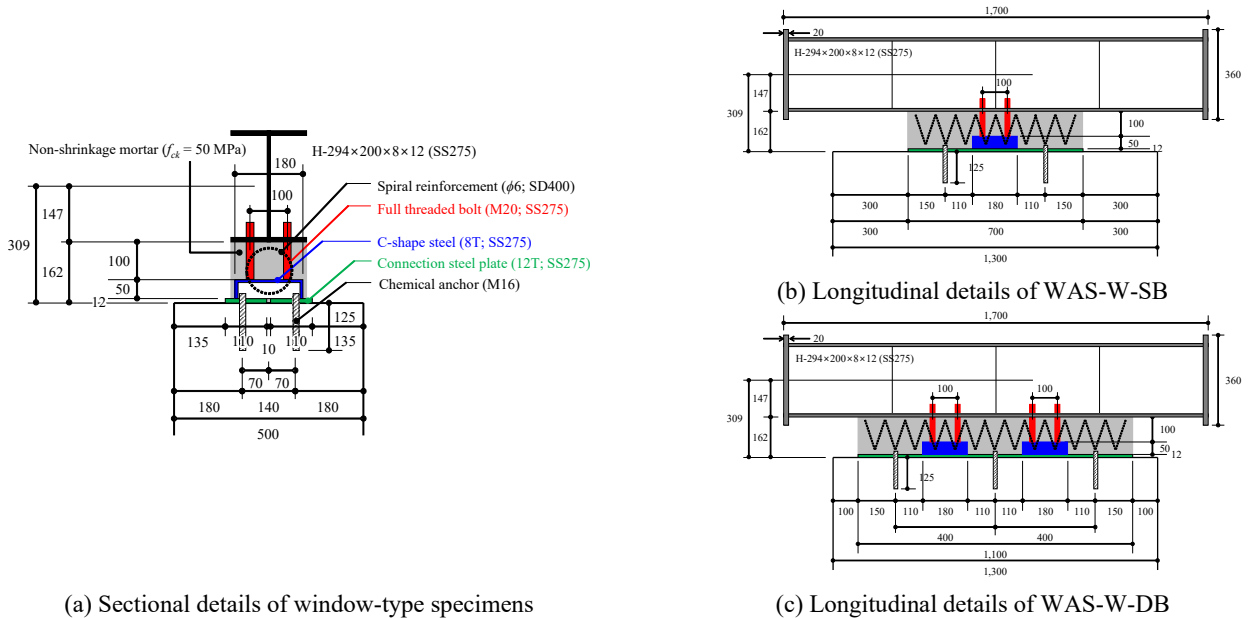


Fig. 5. Construction details of window-type specimens

접합부의 두께를 설계하였다. 단, 간접접합부의 두께는 기존 비연성 철근콘크리트 기둥의 외면과 모멘트골조 또는 철골 끼움골조의 H형강 플랜지 및 웹 배면까지의 거리이다.

내부매입형 접착보강판은 PL-110×700×12 및 PL-110×1100×12를, 외부부착형 접착보강판은 PL-130×1100×12를 사용하였다. 접착보강판의 폭은 보강재인 H형강의 플랜지 폭 또는 춤 이상으로 하며, 길이는 하중전달부가 최대 2개 이내에서 구성되도록 설계하였다.

후설치 앵커의 개수는 단일 하중전달부를 가지는 실험체는 4개, 두 개의 하중전달부를 가지는 실험체는 6개를 설치하였다. 후설치 앵커는 M16 케미컬 앵커^[16]를 사용하였다. 이 앵커의 공칭인장항복강도(nominal tensile yield strength, f_y)는 400 MPa이다.

ㄷ형강의 폭은 180 mm, 높이는 50 mm, 두께는 8 mm이며, 길이는 100 mm이다, 하중전달볼트는 M20을 사용하였다. H형강, 접착보강판, ㄷ형강, 하중전달볼트는 모두 SS275 강종을 사용하였다.

콘크리트의 설계기준강도(specified concrete strength, f_{ck})는 기초부에 대해서는 30 MPa을, 기둥부에 대해서는 24 MPa을 적용하였다. Table 2는 실험체 중 기둥부에 타설된 콘크리트의 설계기준 압축강도를 정리한 것이다. 콘크리트 압축강도는 평균 24.6 MPa을 나타내었다.

Table 2. Concrete strength of column for specimens

Cylinder	28-day axial compressive strength of concrete (MPa)
1	24.3
2	25.2
3	24.6
Average	24.6

무수축 몰탈은 최소기대압축강도 50 MPa을 가지는 제품^[17]을 사용하였다. 매뉴얼의 권고에 따라 지름 $\phi 6$ 를 가지는 나선철근을 삽입하여 무수축 몰탈의 취성파괴를 방지하도록 하였다.

4.2 테스트 셋업 및 가력 프로토콜

Fig. 7은 간접접합부의 순수전단실험을 위한 테스트 셋업을 보여준다. 실험체 보강재의 한쪽 단부에 가력기(actuator)를 설치하였다. 실험체는 기초부의 각 모서리에 강봉을

사용하여 반력바닥에 고정하였다. 실험체 양단에 힌지를 설치하여 간접접합부의 수직변형으로 발생할 수 있는 편심에 의한 모멘트 효과가 반영되지 않도록 하였다. 횡가새(lateral brace)는 실험체의 면외변형을 억제하기 위해 설치하였다 (Fig. 7 참조).

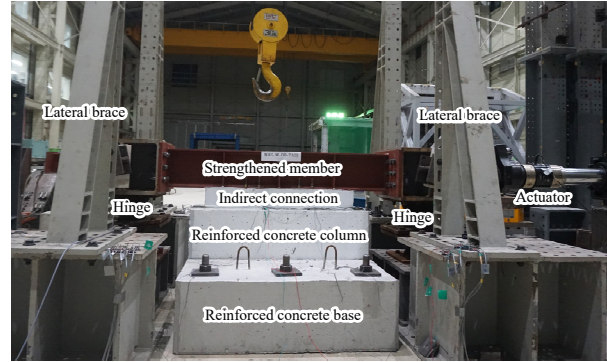


Fig. 7. Test set-up

가력 프로토콜은 ACI 374.1-05^[18]에 따라 1.0 % 층간변위비를 1.0 mm로 간주하여 실험을 수행하였다(Fig. 8 참조).

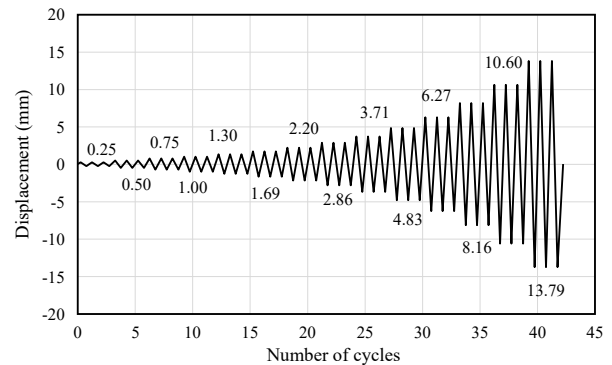


Fig. 8. Loading history protocol per ACI 374.1-05^[18]

4.3 후설치 앵커의 설계기준 전단강도

후설치 앵커의 전단강도는 앵커 강재의 전단강도, 콘크리트 전단강도, 콘크리트의 프라이아웃(pry-out) 전단강도 등의 세 값 중에서 최솟값으로 결정한다. 다음은 매뉴얼에서 제시한 세 가지의 설계전단강도 산정식을 정리한 것이다.

- (1) 후설치 앵커 강재의 전단강도(V_{anc}): 슬리브(sleeve)가 전단파괴면까지 연결되지 않고 전단을 받는 후설치 앵커 강재의 전단강도는 식 (1)을 이용하여 산정한다.

$$V_{anc} = n(0.6)A_{sc}f_{uta} \quad (1)$$

(2) 콘크리트의 전단강도(V_{conc}): 후설치 앵커 그룹이 설치된 콘크리트의 전단강도는 식 (2)를 사용하여 산정한다.

$$V_{conc} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \phi_{ec,v} \phi_{ed,v} \phi_{c,v} \phi_{h,v} V_b \quad (2)$$

(3) 콘크리트의 프라이아웃 전단강도(V_{pry}): 후설치 앵커 그룹이 설치된 콘크리트의 프라이아웃 파괴강도는 식 (3)을 사용하여 산정한다.

$$V_{pry} = k_{pry} N_{pry} \quad (3)$$

5. 실험결과 분석 및 설계전단내력 제안

5.1 파괴모드

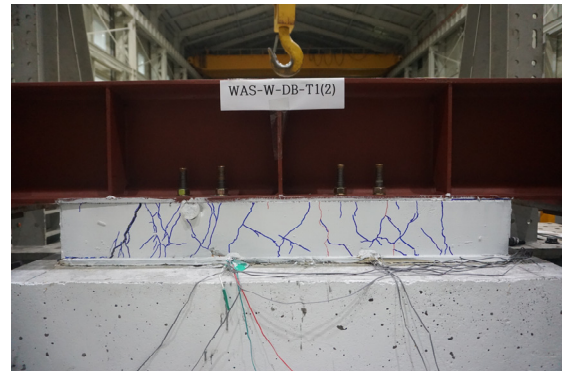
Figs. 9-10은 WAS 내진보강공법의 내부매입형 및 외부부착형 간접접합부 실험체의 파괴모드를 각각 나타낸 것이다.

내부매입형(WAS-W형) 실험체는 모두 하중전달부를 중심으로 주변까지 균열이 확대시키며 간접접합부에 널리 균등하게 발생하였다. 이것은 무수축 몰탈과 하중전달볼트간 상호작용에 의해 전단력에 저항하고 있는 것으로 판단된다. 여기서 무수축 몰탈의 전단내력의 발휘는 나선보강철근의 역할이 상당함을 알 수 있다. 반면에 간접접합부의 양단 끝에서만 미세한 계면 균열이 확인되었다. 또한 철근콘크리트 기둥부에서는 모두 균열이 관찰되지 않았다. 이것은 전단력이 접착보강판 및 후설치 앵커에 전달되지 않고 하중전달부를 포함한 간접접합부에서 대부분의 에너지를 흡수하는 것으로 판단된다. 따라서 WAS 간접접합부의 전단내력은 후설치 앵커에 의한 설계전단강도를 채용하지 않고 실험값을 사용하는 것이 합리적임을 의미한다.

외부부착형(WAS-E형) 실험체는 계면 및 하중전달부 균열없이 후설치 앵커가 정착된 위치에서 간접접합부의 균열 및 철근콘크리트 기둥부의 수직균열이 확인되었다. 또한 접착보강판의 길이방향으로 계면균열이 발생하였다. 외부부착형 간접접합부는 내부매입형에 비해 폭이 넓고 세장하지 않으며 철골보강재(H형강)에 의해 무수축 몰탈을 둘러싸고 있어서 일종의 구속효과(confinement effect)를 가지므로 내부매입형에 비해 간접접합부의 강도 및 강성이 크다. 이로 인해 외부부착형 간접접합부의 균열이 완전히 덜 발생하는 것으로 판단된다. 아울러 전단력이 간접접합부에 집중되



(a) WAS-W-SB



(b) WAS-W-DB

Fig. 9. Failure and crack patterns of specimens with the window-type indirect connection

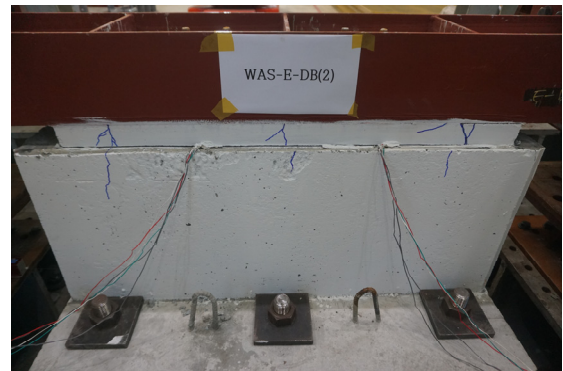
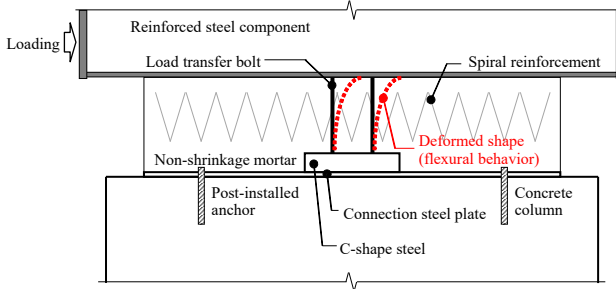


Fig. 10. Failure and crack patterns of specimens with the exterior-type indirect connection (WAS-E-DB)

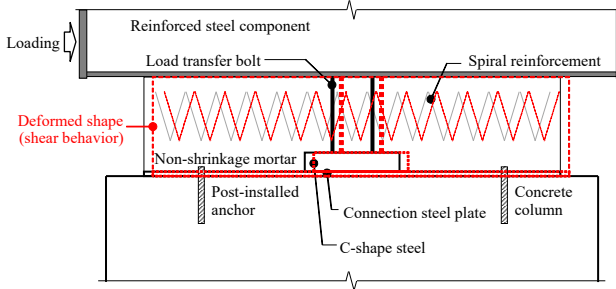
는 내부매입형과 달리 외부부착형은 간접접합부에서 에너지소산이 거의 발생하지 않으므로 전단력이 접착보강판 및 후설치 앵커에 대부분 전달되는 것으로 보인다. 따라서 실험체의 기둥부 균열은 후설치 앵커의 설계기준 전단강도 이상이 분담되어 발생하는 것으로 판단된다. 즉 외부부착형 WAS 간접접합부의 전단내력은 후설치 앵커의 설계기준 전단강도에 의해 결정될 수 있음을 의미한다.

Fig. 11은 전단력에 대한 WAS 내진보강공법 길이조절 간접접합부의 거동을 나타낸 것이다. 내부매입형 실험체는 하중전달볼트를 따라 균열이 시작된다. 이로 인해 무수축 몰탈 및 하중전달볼트간 부착력이 상실된다. 상실된 부착력은 무수축 몰탈이 세장한 하중전달볼트의 휨변형(flexural deformation)을 억제하지 못하게 되므로 하중전달볼트는 전단력에 대해서 휨거동을 통해 저항하게 된다. 이러한 하중전달볼트의 휨거동은 하중전달볼트를 중심으로 주변까지 균열을 점차 확대시켜 간접접합부에 균열이 전반적으로 균등하게 발생하는 경향을 나타내게 된다. 따라서 내부매입형 실험체는 전단력을 후설치 앵커에 온전히 전달하지 못하고 간접접합부에서 대부분의 에너지를 소산하는 것으로 판단된다(Fig. 11(a) 참조).

반면에 외부부착형 실험체는 전단력하에서 무수축 몰탈을 둘러싸고 있는 H형강이 무수축 몰탈의 균열을 억제하므로 하중전달볼트와 무수축 몰탈간의 일체성이 손상되지 않는다. 즉 외부부착형 실험체의 하중전달볼트는 전단거동을 하는 것이다. 따라서 외부매입형 간접접합부는 전단력을 온전히 후설치 앵커에 전달시키는 것으로 판단된다(Fig. 11(b) 참조).



(a) Behavior of window-type indirect connection against shear force



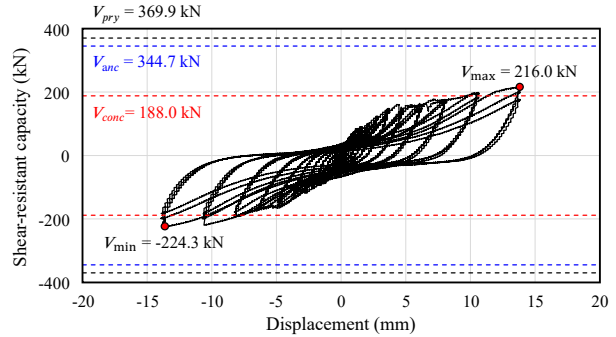
(b) Behavior of exterior-type indirect connection against shear force

Fig. 11. Structural behavior of WAS indirect connection against shear force

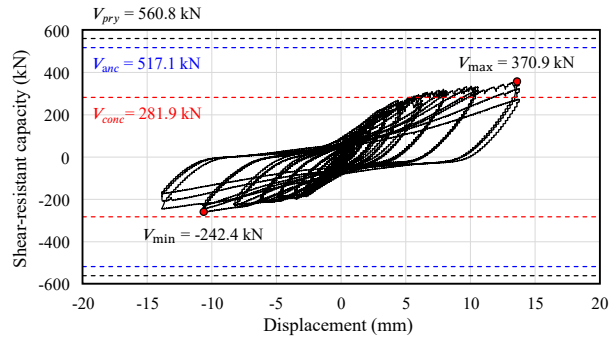
5.2 전단내력-변위 관계 및 설계전단내력 제한

Figs. 12-13은 내부매입형 및 외부부착형 WAS 간접접합부 실험체의 전단내력-변위관계 곡선을 각각 나타낸 것이다.

매뉴얼에 근거하여 산정된 4개의 후설치 앵커가 시공된 WAS-W-SB 실험체가 전단력에 저항하는 콘크리트 및 후설치 강재 앵커의 설계전단강도는 188.0 kN 및 344.7 kN이며, 콘크리트의 프라이아웃 설계전단강도는 369.9 kN이다.



(a) WAS-W-SB



(b) WAS-W-DB

Fig. 12. Shear-resistant capacity and displacement relationship of specimens with the window-type indirect connection

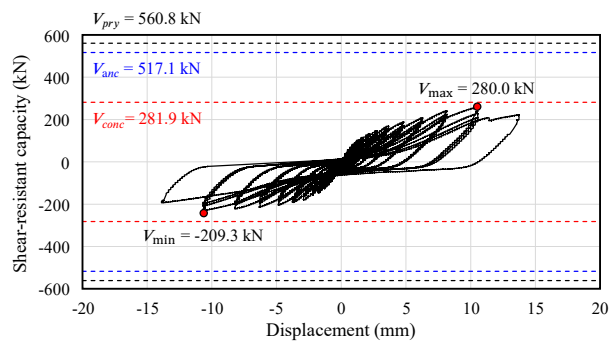


Fig. 13. Shear-resistant capacity and displacement relationship of specimens with the exterior-type indirect connection (WAS-E-DB)

6개의 후설치 앵커가 시공된 2개의 실험체(WAS-W-DB, WAS-E-DB)의 콘크리트 및 후설치 강재 앵커의 설계전단강도는 281.9 kN 및 517.1 kN이며, 콘크리트의 프라이아웃 설계전단강도는 560.8 kN이다.

WAS-W-SB 실험체의 최대전단내력은 224.3 kN이고, WAS-W-DB 실험체의 최대전단내력은 370.9 kN이다. 두 실험체 모두 전단력에 저항하는 콘크리트의 설계전단강도보다 크고 앵커 강재 및 프라이아웃 설계전단강도보다는 작다. 철골 보강재에 가해진 전단력이 간접접합부를 통해 온전히 후설치 앵커에 전달되었다면 철근콘크리트 기동부에 전단균열이 발생하였을 것으로 예상된다. 하지만 전절의 실험체 파괴모드에서 확인한 바와 같이 전단력 하에서 간접접합부에 균열이 전반적으로 균등하게 분포하였고, 접착보강판을 포함한 계면에서는 일부 균열만이 관측되었다. 게다가 두 실험체의 콘크리트 설계전단강도가 실험값에 비해 각각 84% 및 76%만을 보유하고 있음에도 불구하고 철근콘크리트 기동부에서는 균열이 확인되지 않았다. 이는 전 절에서 주장한 바와 같이, 하중전달부를 포함한 간접접합부에서 대부분의 에너지가 소산되었기 때문에 후설치 앵커의 설계전단강도 이상의 전단력이 전달되지 않은 것으로 판단된다. 따라서 내부매입형 WAS 간접접합부의 전단내력은 실험값을 사용하는 것이 합리적일 것이다(Fig. 12 및 Table 3 참조).

외부부착형인 WAS-E-DB 실험체의 최대전단내력은 280.0 kN으로서 후설치 앵커의 설계전단강도보다 작다(Fig. 13 및 Table 3 참조). 콘크리트의 설계전단강도가 실험값에 비해 단지 1.9 kN(0.7%) 차이가 나므로 철근콘크리트 기동부의 전단균열 발생을 예상할 수 있고, 전 절의 실험체 파괴모드에서 철근콘크리트 기동부의 전단균열을 확인하였다. 이 실험체는 실험값이 콘크리트의 설계전단강도보다

작으므로 이 실험체의 전단내력은 실험값을 적용하여 간접접합부를 설계하여야 한다. 만약 이 실험체의 경우에 실험값이 콘크리트 설계강도보다 크다면, 실험체의 전단내력은 콘크리트 설계전단강도를 채용하여야 한다. 전 절에서 기술한 바와 같이, 간접접합부가 접합부의 에너지 소산없이 전단력의 대부분을 후설치 앵커에 전달하기 때문이다.

실험체의 전단내력-변위 관계 곡선을 살펴보면, SB 실험체는 정가력과 부가력이 대칭으로 거동하지만 DB 실험체는 정가력과 부가력간에 현저한 차이가 발생한다. 본 연구에서는 무수축 몰탈 및 나선철근이 간접접합부의 전단내력에 기여하고 있음을 전 절의 실험체 파괴모드에서 확인하였다. SB 실험체는 하중전달부가 단수이기 때문에 전단내력에 대한 하중전달부의 기여도가 높기 때문에 하중전달부 주변의 무수축 몰탈 및 나선철근의 역할이 상대적으로 낮아서 정가력과 부가력의 차이가 발생하지 않는다. 하지만 복수의 하중전달부를 가지는 DB 실험체는 무수축 몰탈 및 나선철근의 기여도가 SB 실험체에 비해 상대적으로 높고 하중전달부와 상호작용을 한다. 따라서 정가력으로 발생한 간접접합부의 균열로 인해 부가력이 작용할 경우에는 무수축 몰탈 및 나선철근이 간접접합부의 전단내력에 대한 기여도가 현저히 감소하므로 DB 실험체의 정가력과 부가력의 차이가 발생하는 것으로 판단된다. 단, 이러한 실험결과는 실험체의 개수가 현저히 부족하여 검증된 결과를 도출하기 어려우므로 좀 더 다양한 변수의 추가연구를 통하여 검증할 필요가 있다.

Table 3은 실험결과 및 매뉴얼에 근거하여 산정한 실험체별 설계전단강도(후설치 강재 앵커의 전단강도, 콘크리트의 전단강도, 프라이아웃 전단강도), 간접접합부의 안전율 및 설계전단내력을 정리한 것이다.

WAS-W-SB 실험체의 안전율은 강재 앵커 및 콘크리트

Table 3. Experimental results and analysis

Specimen	Maximum shear-resistant capacity V_u^{\max} (kN)		Displacement corresponding V_u^{\max} (mm)		Design shear strength due to post-installed anchor and concrete (kN)			Safety factor			Design shear-resistant capacity (kN)
	Pos. (+)	Neg. (-)	Pos. (+)	Neg. (-)	Anchor (V_{anc})	Pry-out (V_{pry})	Concrete (V_{conc})	$\frac{V_{anc}}{V_u^{\max}}$	$\frac{V_{pry}}{V_u^{\max}}$	$\frac{V_{conc}}{V_u^{\max}}$	
WAS-W-SB	216.0	224.3	13.70	13.44	344.7	369.9	188.0	1.54	1.65	0.84	224.3
WAS-W-DB	370.9	242.4	13.81	-10.53	517.1	560.8	281.9	1.39	1.51	0.76	370.9
WAS-E-DB	280.0	209.3	10.59	-10.49				1.85	2.00	1.01	280.0

의 프라이아웃 설계전단강도에 대해서 각각 1.54 및 1.65이며, 콘크리트 설계전단강도에 대해서는 0.84를 나타내었다. WAS-W-DB 실험체의 안전율은 강재 앵커 및 콘크리트의 프라이아웃 설계전단강도에 대해서 각각 1.39 및 1.51이며, 콘크리트 설계전단강도에 대해서는 0.76을 나타내었다. 세 가지의 주요 안전율이 모두 WAS-W-SB가 우수하다. 아울러 콘크리트 설계전단강도에 대한 안전율은 두 실험체 모두 1.0을 하회한다.

WAS-E-DB 실험체의 안전율은 강재 앵커 및 콘크리트의 프라이아웃 설계전단강도에 대해서 각각 1.85 및 2.0이며, 콘크리트 설계전단강도에 대해서는 1.01을 나타내었다. 세 가지의 주요 안전율이 모두 내부매입형 두 실험체에 비해 높다.

내부매입형 및 외부부착형 WAS 간접접합부의 전단내력 실험을 통한 파괴모드 및 후설치 앵커의 설계기준 전단강도에 따른 안전율을 검토한 결과를 살펴보면, 내부매입형 실험체는 콘크리트 설계전단강도에 대한 안전율이 1.0을 하회하지만 간접접합부 구성요소간의 상호작용에 의해 전단력에 저항하고 있고 에너지 소산이 이루어지고 있음을 파괴모드를 통해 확인하였다. 아울러 외부부착형 실험체는 후설치 앵커의 설계전단강도에 대한 세 가지 요소의 안전율이 모두 1.0을 상회하고 있으며, 간접접합부가 전단력을 온전히 후설치 앵커에 전달하고 있음을 파괴모드를 통해 확인하였다. 따라서 본 연구대상인 WAS 내진보강공법 길이조절형 간접접합부의 설계전단강도는 접합방식과 상관없이 실험값을 준용하는 것이 합당할 것으로 판단된다.

6. 결론

본 연구에서는 길이조절형 간접접합부를 가지는 철골 끼움골조 및 철골 모멘트골조 WAS 내진보강공법에 대해서 매뉴얼에 부합하는 전산해석모델 작성을 위한 간접접합부의 전단내력 평가실험을 수행하였다. 실험결과는 다음과 같다.

- (1) 전단내력평가실험에 의한 실험체의 파괴모드를 통해 내부매입형 및 외부부착형 WAS 내진보강공법 간접접합부는 다른 거동을 나타냄을 확인하였다. 내부매입형 간접접합부는 하중전달부의 휨거동에 의해 전단력에 저항하였다. 대부분의 에너지 소산은 간접접합부에서 이루어졌으며, 후설치 앵커에 미치는 영향은 미미하였다.

- (2) 따라서 내부매입형 WAS 내진보강공법의 간접접합부의 전단내력은 후설치 앵커의 콘크리트 전단강도를 상회하지만 실험을 통해 얻어진 결과를 전산해석 모델에 적용하는 타당한 것으로 판단된다.
- (3) 반면에 외부매입형 간접접합부는 접합부의 일체성이 우수하여 간접접합부에서의 에너지 소산은 거의 발생하지 않았다. 이로 인해 간접접합부는 전단력을 후설치 앵커에 온전히 전달하는 전단거동을 나타내었다. 따라서 외부매입형 WAS 내진보강공법의 간접접합부의 전단내력은 후설치 앵커의 설계전단강도를 준용하는 것이 적절한 것으로 판단된다.
- (4) 이를 반영하여 얻어진 내부매입형 및 외부부착형 WAS 내진보강공법의 전단내력은 모두 실험값을 준용하도록 제시하였다. 내부매입형인 WAS-W-SB 실험체의 전단내력은 224.3 kN, WAS-W-DB 실험체의 전단내력은 370.9 kN, 그리고 외부부착형인 WAS-E-DB 실험체의 전단내력은 280.0 kN을 사용한다.
- (5) 단, 후설치 앵커의 설계전단력을 검토하여 전단내력을 결정해야만 하는 외부부착형 WAS 내진보강공법 간접접합부의 경우에는 기존 골조의 콘크리트 강도에 따라 후설치 앵커의 설계전단강도가 달라지므로 이에 대해서 검토하여 간접접합부의 전단내력을 결정하여야만 한다.

참고문헌(References)

- [1] Korea Meteorological Administration (2019) *National Earthquake Comprehensive Information System*, <http://necis.kma.go.kr> (in Korean).
- [2] Neria, Y., Nandi, A., and Galea, S. (2008) Post-Traumatic Stress Disorder Following Disasters: A Systematic Review, *Psychological Medicine*, Cambridge University Press, Vol.38, No.4, pp.467-480.
- [3] Ministry of the Interior and Safety (2018) *2017 Pohang Earthquake White Paper*, MOIS, Korea (in Korean).
- [4] Ministry of the Interior and Safety (2018) *Establishment of Master Plan for Korean Seismic Design and Retrofit*, MOIS, Korea (in Korean).
- [5] Kim, S., and Lee, K. (2020) Seismic Performance Evaluation of Reinforced Concrete Buildings Strengthened by Embedded Steel Frame, *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, EESK, Vol.24,

No.1, pp.29-37 (in Korean).

[6] Kim, S. (2020) Seismic Performance Evaluation of Non-Seismic Reinforced Concrete Buildings Strengthened by Perimeter Steel Moment Frame, *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, EESK, Vol.24, No.5, pp.233-241 (in Korean).

[7] Jung, H.-C., Jung, J.-S., and Lee, K.-S. (2019) Seismic Performance Evaluation of Internal Steel Frame Connection Method for Seismic Strengthening by Cycling Load Test and Nonlinear Analysis, *Journal of the Korea Concrete Institute*, KCI, Vol.31, No.1, pp.79-88 (in Korean).

[8] Lim, W.-Y. (2018) Seismic Performance of Shear Dominant Hybrid Steel Link Beam with Circular Web Opening, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.30, No.1, pp.37-48 (in Korean).

[9] Kim, S. (2020) Experimental Study on Shear-Resistant Capacity of Indirect Connection for Seismic Retrofit Using Steel Moment Frames, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.32, No.6, pp.363-374 (in Korean).

[10] Japan Building Disaster Prevention Association (2017) *Japanese Seismic Design Code and Guidelines of Seismic Retrofit and Commentary of Existing Reinforced Concrete Buildings*, JBDPA, Japan (in Japanese).

[11] Building Seismic Safety Council (1992) *NEHRP Handbook of Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*, Federal Emergency Management Agency, USA.

[12] Rutherford & Chekene Consulting Engineers (2006) *Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*, Federal Emergency Management Agency, USA.

[13] Ministry of Education (2020) *Seismic Design Code of Korean School Facilities* (MOE Notice No. 2020-223), MOE, Korea (in Korean).

[14] Ministry of Education (2019) *Manual of Seismic Performance Evaluation and Retrofit of Korean School Facilities*, MOE, Korea (in Korean).

[15] Lee, K.S. et al. (2011) *Development of Guideline for Seismic Evaluation and Rehabilitation of Existing School Buildings in Korea* (CR2011-41), Korean Educational Development Institute, Korea (in Korean).

[16] HILTI Corporation (2012) *Operating Instruction Hilti HIT-CT 1 with HIT-V*, HILTI Corporation, USA.

[17] Union Corp. (n.d.) *Union Official Website*, <http://www.unioncement.com> (in Korean).

[18] American Concrete Institute Committee 374 (2006) *Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary* (ACI 374.1-05), USA.

기 호(Notation)

A_{se}	$\pi/4(d_a - 0.9743/n_i)^2$ (mm ²)
A_{Vc}	단일 앵커 또는 앵커 그룹에 대해 콘크리트 가장자리 측면에 생기는 파괴면의 투영면적(mm ²)
A_{Vco}	단일 앵커의 콘크리트 파괴면을 부재 측면에 투영한 면적(= $4.5c_{a1}^2$, mm ²)
c_{a1}	앵커에서 콘크리트 단부까지의 거리(mm)
d_a	앵커의 외경(mm)
e'_{V}	앵커 중심과 전단력 작용지점 사이의 거리(mm)
f_y	앵커의 인장항복강도(MPa)
f_{uta}	$1.9f_y$ (MPa, ≤ 860 MPa)
h_{ef}	앵커의 묻힘 깊이(mm)
k_{pry}	2.0 ($h_{ef} \geq 65$ mm)
l_e	전단력에 의해 앵커가 지압을 받는 길이(mm)
N_{pry}	인장을 받는 앵커의 콘크리트 파괴강도(kN)
n	전단력을 지지하는 앵커의 개수
n_i	mm당 나사산의 수
V_b	균열콘크리트에 설치된 단일 앵커의 기본전단강도($\leq 0.6(l_e/d_a)^{0.2} \sqrt{d_a} \sqrt{f_{ck}} (c_{a1})^{1.5}$, kN)
δ	실험체의 변위(mm)
$\phi_{ec,V}$	편심하중에 관한 수정계수 (= $1/[1 + 2e'_{V}/(3h_{ef})] \leq 1.0$)
$\phi_{ed,V}$	가장자리 영향에 관한 수정계수 (= $1.0, c_{a1} \geq 1.5h_{ef}; = 0.7 + 0.3c_{a1}/(1.5h_{ef}), c_{a1} < 1.5h_{ef}$)
$\phi_{c,V}$	균열의 영향에 관한 수정계수(= 1.4, 비균열단면)
$\phi_{h,V}$	부재 두께에 관한 수정계수 (= $\sqrt{1.5c_{a1}/h_a}, h_a < 1.5c_{a1}$)

요 약: 간접접합부를 가지는 내부매입형 및 외부부착형 철골 모멘트골조에 의한 건물의 내진보강효과를 평가하기 위해서는 전산 해석모델에 간접접합부의 전단내력을 고려하여야만 한다. 학교시설 내진설계기준은 특정 간접접합부에 대한 전단내력 설계방안을 제공하고 있지 않으므로 실험을 통해 그 값을 확인하도록 하고 있다. 이에 근거하여 이 논문은 철골 내진보강공법의 길이조절형 간접접합부의 전단내력을 확인하기 위한 실험을 수행하였다. 내부매입형 철골 내진보강공법의 간접접합부는 휨거동에 의해 간접접합부에서 대부분의 에너지 소산이 이루어짐을 확인하였다. 간접접합부의 전단내력이 후설치 앵커의 콘크리트 전단강도에 미치지 못함에도 불구하고 철근콘크리트 기둥에서는 균열이 발생하지 않았다. 반면에 외부부착형 철골 내진보강공법의 간접접합부는 후설치 앵커에 의한 간접접합부의 무수축 몰탈 및 철근콘크리트 기둥에서만 균열이 관찰되었다. 간접접합부의 전단거동으로 인해 후설치 앵커가 대부분의 전단력에 저항한 결과이다. 이러한 실험결과를 준용하여 내부매입형 및 외부부착형 철골 내진보강공법의 길이조절형 간접접합부의 전단내력을 제안하였다.

핵심용어: 내진보강, 철골 모멘트골조, 접합부, 실험, 전단내력
