

외장 석재패널용 DK 내진앵글 연결재의 실험적 내진성능 평가

김준희¹ · 이경구^{1*} · 김우리² · 윤순관³

¹교수, 단국대학교, 건축학부, ²대표이사, ㈜우리스틸코리아, ³대표이사, ㈜두리파워

Experimental Seismic Performance Evaluation of DK Seismic Angle Connector for Exterior Stone Cladding

Kim, Junhee¹, Lee, Kyungkoo^{1*}, Kim, Woori², Yoon, Soonkwan³

¹Professor, School of Architecture, Dankook University, Yongin, 16890, Korea

²President, Wooristeelkorea Co., Ltd., Gimpo, 10048, Korea

³President, Dooripower Co., Ltd., Gimpo, 10048, Korea

Abstract - Recently, the seismic design of the nonstructural elements in the building has been further emphasized. The seismic capacity of the connection between exterior stone cladding and a structure is important because the stone cladding is adapted in the exterior of numerous buildings. In this study, the seismic performance of the DK seismic angle, which was developed as the connector for the exterior stone, was evaluated experimentally. To this end, the 1-directional and 3-directional shaking table tests on a full-scale specimen was conducted. The shaking table test results showed that the exterior marbles were not damaged and did not fall off the structure. In addition, a cyclic test on the was conducted to evaluate structural performance of the DK seismic angle against the interstory drift deformation. Therefore, it was evaluated that the developed DK seismic angle connector has a great seismic capacity.

Keywords - DK seismic angle connector, Exterior stone cladding, Stone panel, Seismic performance, Cold rolled stainless steel plate

1. 서론

2016년(경주지진)과 2017년(포항지진)에 연이은 규모 5 이상의 중강진이 발생하여 한반도에서의 지진피해에 대한 구체성이 확인되었다. 구조물의 손상과 더불어 간판, 건물 외벽 치장재, 유리 등 비구조재의 추락으로 인한 인명피해가 발생하였으며, 이를 통해 그동안 구조재에 비해 지진에 대한 대비가 부족했던 각종 비구조재에 대한 내진대책이 활발히 논의되고 있다.

많은 건축물의 외장에 석재패널이 사용되고 있어, 구조물과 석재패널을 연결하는 연결철물의 내진성능 확보는 지진 대책에 필수적이다. 이에 건축법상 건축물의 내진능력인 수

정 메르칼리 진도(MMI) 7등급 지진에 대한 안전성 확보를 위해 한국토지주택공사(LH)는 KDS 41 17 00^[1]에 따라 “LH공동주택 비구조요소 내진설계 매뉴얼”을 발간하였고, 외부치장 석재패널의 내진설계를 포함하였다. 또한 최근 석재 외장재와 구조물을 연결하는 하지재 시스템과 연결철물의 구조성능 및 내진성능에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^{[2],[3]}.

구조물의 내진성능은 일반적으로 보-기둥 접합부의 성능이 지배적이므로 새로운 접합부를 개발하고 반복가력 실험을 통해 내진성능을 평가한다^[4]. 외장재의 경우, 지진시 발생하는 큰 동적 횡하중과 구조변형에 대해 취성이 강한 석재패널의 손상방지를 위해서 충격흡수와 탄성거동 확보와 같은 강재 연결재의 구조적 성능이 요구된다. 이를 위해 특수 고무판이 적용된 DK 내진앵글 연결재가 개발되었다. 본 연구에서는 강진 발생시 구조적 안전성을 확보할 수 있는 석재패널용 연결철물인 DK 내진앵글 연결재에 대한 구조시험을 수행하였다. 지진발생시 건물의 진동거동을 모사하는 대형 진동대 실험과 지진으로 인한 건물의 층간변형에 대한 정적 변형실험을 통해 개발된 DK 내진앵글 연결재의 우수한 내진성능을 확인하였다.

Note.-Discussion open until February 28, 2022. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on June 24, 2021; revised on July 18, 2021; approved on July 19, 2021.

Copyright © 2021 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-31-8005-3742 Fax. +82-31-8021-7225

E-mail. kklee@dankook.ac.kr

2. DK 내진앵글 연결재

일반적으로 외부치장 석재패널은 연결철물로 지지되며, Fig. 1과 같이 석재 한 개 패널에 하부 2개와 상부 2개의 연결철물이 설치된다. 연결철물은 크게 L형 고정앵글, 조정판, 꽃음축으로 구성되며, 이 연결철물이 구조벽체에 앵커링된다. 지진 발생시 외부치장 석재의 탈락을 방지하기 위하여 석재패널과 연결철물의 연결부 안전성 확보가 매우 중요하다. 그러나 석재를 지지하기 위한 연결재인 꽃음축의 현재 상세와 요구조건들이 강진에 대하여도 안전성을 확보할 수 있는지는 의문이 존재한다. 또한 국내 제작 및 시공 현황을 고려할 때, 기준이나 매뉴얼 등에서 요구하는 연결철물 상세를 모두 만족시키지 못하는 경우가 많다.

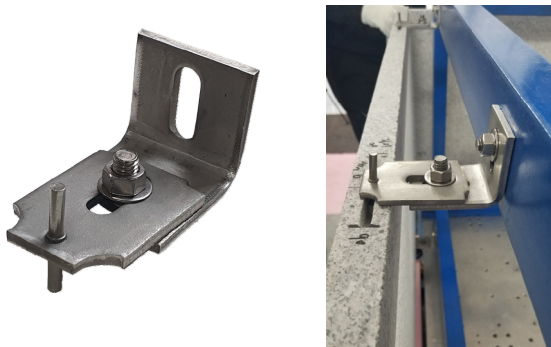


Fig. 1. Typical angle connector assembly

이와 같은 현재의 석재패널 연결철물의 내진 취약성을 개선하고, 강진에 대한 석재패널의 구조적 안전성을 확보하기 위해 개발된 DK 내진앵글 연결재는 Fig. 2와 같이 조정판과 고정앵글의 일체화를 향상하는 상세를 갖고 있으며, 대표적인 특징은 다음과 같다. 첫째, 조정판과 고정앵글 사이에 특수고무판(EPDM, ethylene propylene diene monomer)을 삽입하는 상세를 가지고 있다. 특수고무판의 전단변형을 통한 탄성거동이 확보되어 면내 변형에 따른 조정판의 비틀림과 강재의 영구변형을 방지할 수 있다. 둘째, 조정판에 일체화된 사각의 꽃음축 형상과 석재홈의 응력집중완화와 충격흡수를 위한 특수고무판(EPDM)을 추가하였다. 이를 통해 지진 발생시 석재와 꽃음축과의 접촉에 의한 석재 국부적 손상을 방지할 수 있다. 연결철물은 냉간 압연 스테인리스 강판 및 강대(KS D 3698)의 STS 304를 사용하였다.

사용된 특수고무판(EPDM)은 ASTM 표준 D-1418에 따른 M-Class 고무로, 최소인장응력 17 MPa, 파단변형률 2.0을 확보하고 있다. 고정앵글과 조정판을 연결하는 근각볼트

로 M8이 적용되었다. 고정앵글은 L-60×50×5(폭 75 mm), 굴곡조정판은 PL-70×50×3로 제작하였다. 마지막으로 꽃음축은 폭 22 mm, 높이 22 mm, 두께 2 mm로 제작하며, 두께 1 mm의 특수고무판(EPDM)이 끼워져, 꽃음축 총 두께는 4 mm이다.

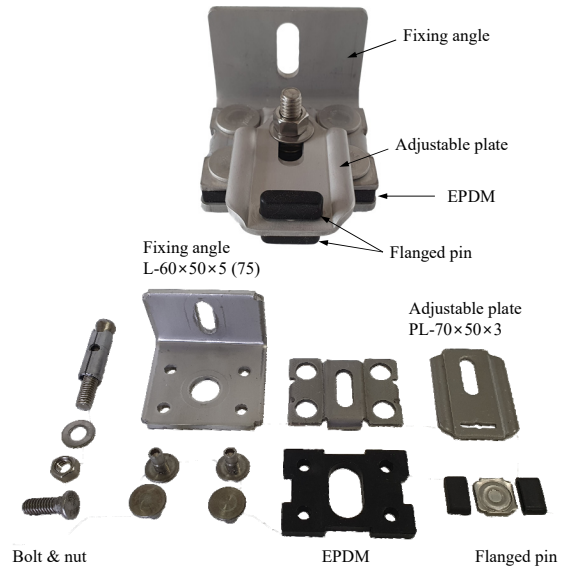


Fig. 2. DK seismic angle connector assembly and its elements

3. 대형 진동대 실험

폭 1,200 mm, 높이 600 mm, 두께 30 mm인 석재패널 9개를 DK 내진앵글 연결재를 사용하여 강성이 확보된 3600×1200×1000 지그에 설치하였다. 지그인 구조체의 수평부재와 가새 단면은 C-75×40×5×7, 수직부재 단면은 C-100×50×5×7.5로 제작하였다. 모든 부재의 강종 SS275를 사용하였다. 무게 60 kgf 석재패널 당 상부 2개, 하부 2개의 DK 내진앵글 연결재가 설치되었으며, 균등한 하중 분배를 위해 모서리에 서부터 폭의 1/4 지점에 각각 설치되었다. 꽃음축 설치를 위한 석재패널에는 두께 6 mm, 깊이 10 mm, 길이 70 mm의 홈을 천공하였다. 설치된 석재패널들은 6 mm의 이격거리를 가지며, 이를 최종적으로 실리콘 마감처리하였다. 이와 같이 시공된 시험체를 Fig. 3와 같이 대형 3축 진동대 위에 강결하였으며, 면외방향, 면내방향, 수직방향을 각각 x, y, z축으로 지정하였다. 시험체의 진동 응답 계측을 위해 4개의 3축 가속도계를 Fig. 4와 같이 진동대, 수직 지그 상부와 하부, 하부 석재패널에 설치하였다. 3축 가속도계의 설치 방향은 상기의 축방향과 동일하다.

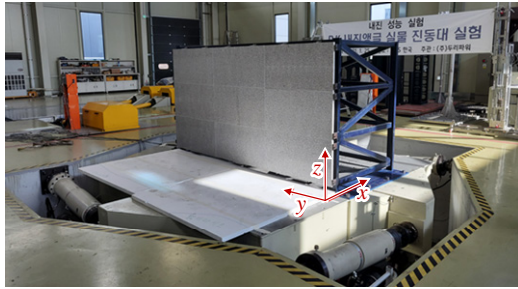


Fig. 3. Experimental setup

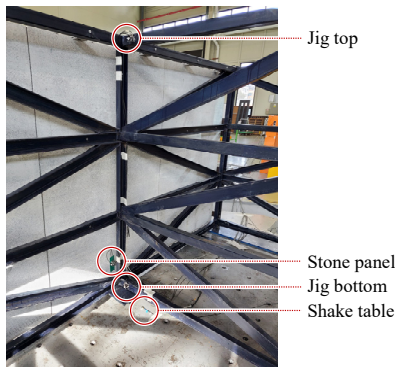


Fig. 4. Accelerometer deployment (12 channels)

진동대 가진 스펙트럼은 Table 1과 같이 KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준에 제시된 설계응답스펙트럼(지진구역계수 0.11, 위험도계수 2.0, 지반종류 S5), 국립전파연구원(National Radio Research Agency, 이하 KRRA) 고시 스펙트럼^[5]의 1.2배 및 북미지역의 통신설비시스템에 관한 종합규격, Telcordia GR-63-CORE^[6]에서 제시하는 스펙트럼 중 강도가 큰 Zone 4를 적용하였다. 설계응답스펙트럼은 건축물을 통해 증폭된 진동을 고려하기 위함이고, 나머지 2개의 응답스펙트럼은 건축물과 설비를 통한 증폭된 진동을 고려하기 위함이다. 기준별 가진 스펙트럼을 Fig. 5에 비교하였다.

Table 1. Test spectra

Spectra	Maximum spectral acceleration (g)	Peak frequency band (Hz)	Zero period acceleration* (g)
KDS 41 17 00	0.477	1.24 - 6.25	-
KRRA (1.2 times)	3.600	2.00 - 16.67	0.9
GR-63-CORE Zone 4	5.000	2.00 - 5.00	2.0

*The acceleration level of the high-frequency non-amplified portion of the response spectrum.

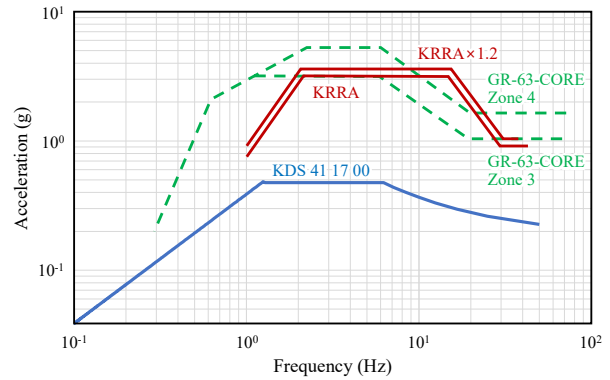
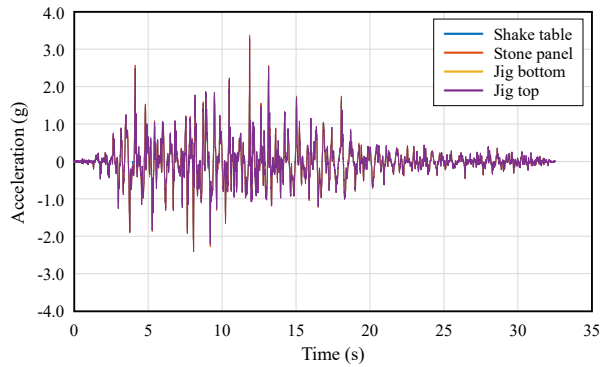


Fig. 5. Excitation spectra

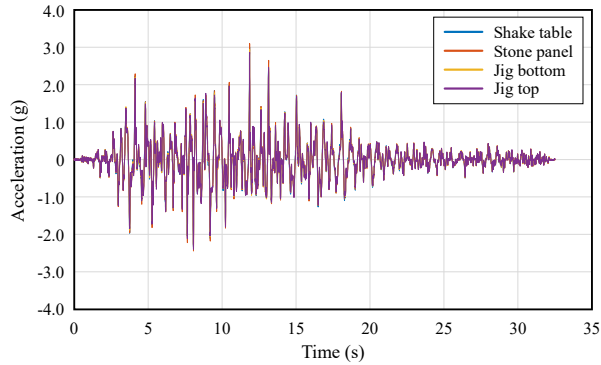
상기 3개의 가진 스펙트럼 중 Tecordia GR-63-CORE Zone 4에 대해서는 규정에서 제공하는 시간영역 파형인 VERTEQII-Zone4를 사용하였으며, 나머지 KDS 41 17 00과 KRRA 스펙트럼에 대해서는 강진지속시간 30초 포락함수가 고려된 인공지진파를 생성하였다. 고려된 감쇠비는 각각 KDS 41 17 00 5 %, KRRA 2 %, Tecordia GR-63-CORE 2 %이다.

x, y, z 각각의 축에 대한 Telcordia Zone 4 스펙트럼의 가진 실험을 수행한 결과, 석재패널의 전도, 이탈, 파손, 절단 등의 어떠한 손상도 발생하지 않음을 확인하였고, 모든 DK 내진앵글 연결재에서 잔류변형이 발생하지 않아 DK 내진앵글 연결재의 우수한 탄성 회복 능력을 확인하였다. 보다 자세한 실험 분석을 위해 계측된 가속도 응답을 Fig. 6에 나타냈다. 3개 축 모두에서 진동대, 지그, 석재패널에 대한 유사한 가속도를 확인할 수 있으며, 이는 DK 내진앵글 연결재의 매우 큰 동적 구조강성으로 지진과 같은 진동에 대해 석재패널이 지그와 강체연결된 일체거동을 하고 있는 것으로 설명될 수 있다.

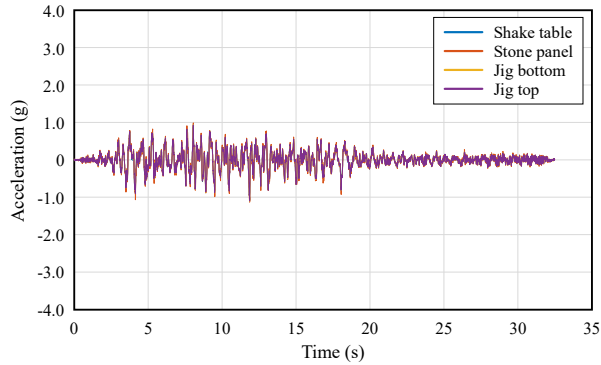
Tecordia GR-63-CORE에서 규정한 감쇠비 2 %를 사용하여 계측된 x 방향의 진동대 가속도신호에 대한 시험응답스펙트럼(TRS)을 산정한 결과, 1 Hz 이상의 모든 주파수 영역에서 충분한 여유치를 가지고 요구응답스펙트럼(RRS)을 포락하는 것을 확인하였다(Fig. 7). 1 Hz 이하의 진동은 현재 국내의 시험평가기관에서 사용되는 가속도계의 검교정 한한치로, 이에 따라 진동대 가진시 입력하는 스펙트럼도 1 Hz 이하는 무시한다. 산정된 시험응답스펙트럼(TRS)을 통해 차단주파수 23 Hz대의 가속도(영주기가속도, zero period acceleration)가 3 g임을 확인하였다. 영주기가속도는 강체와 같은 설비의 진동으로 이는 건물 내 해당층의 최대 진동가속도(peak floor acceleration)와 같다.



(a) x direction



(b) y direction



(c) z direction

Fig. 6. Results of single-axis excitation tests (GR-63-CORE Zone 4)

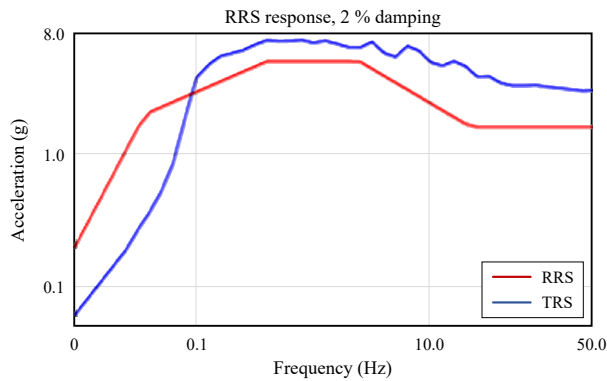
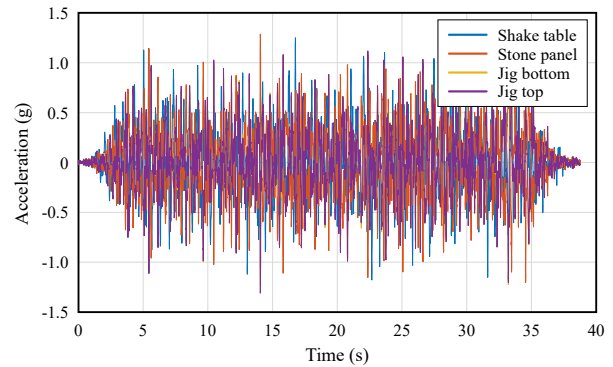
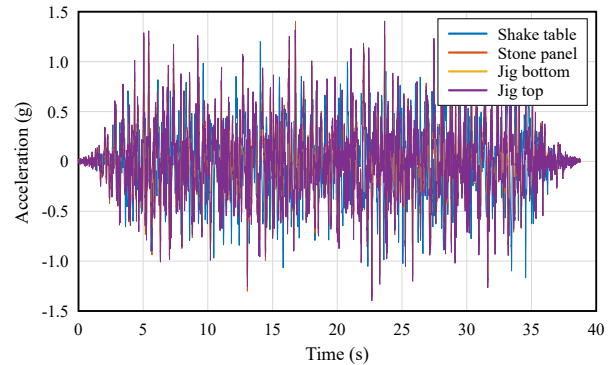


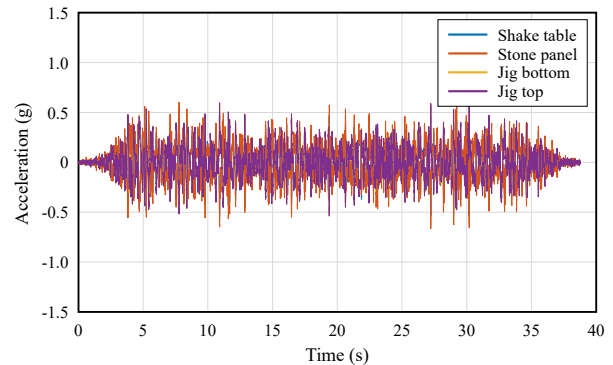
Fig. 7. Comparison of RRS and TRS (x direction)



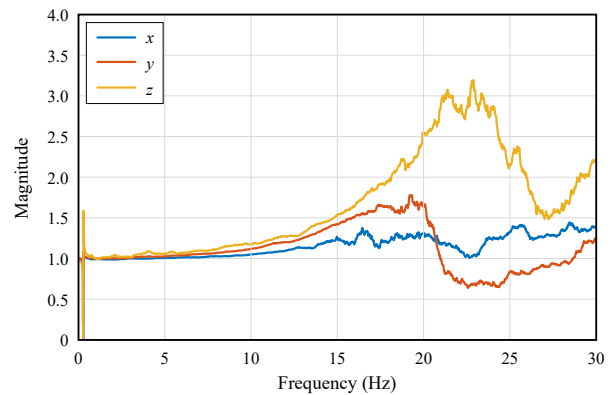
(a) x direction



(b) y direction



(c) z direction



(d) Frequency response function (FRF)

Fig. 8. Results of three-axis excitation tests (120 % KRRA)

본 영주기가속도값을 3으로 나누어 건물 높이에 따른 저감^[7]을 고려한 최대지반가속도 1g를 산정할 수 있으며, 이는 국내에서 내진설계시 대상이 되는 최대지반가속도(peak ground acceleration)의 일반값인 0.2 g의 5배에 해당하는 매우 큰 동적가진이 실험에 적용된 것을 확인할 수 있다.

3축 방향으로 KDS 41 17 00 지반응답스펙트럼과 국립전파연구원 고시 층응답스펙트럼의 1.2배 지진파를 동시에 가진하는 실험을 수행하였다. 단, z축 방향으로서는 가속도 크기를 0.5배로 조정하였다. 3축 동시가진의 특성으로 다양한 구조진동이 발생하여 각각의 축방향으로 진동대, 지그, 석재판의 계측 가속도가 상이함을 Fig. 8(a), Fig. 8(b), Fig. 8(c)와 같이 시간영역에서 확인하였다. 두 실험 결과, 석재패널의 전도나 이탈, 석재 흠 파손 등의 어떠한 손상도 발생하지 않았으며, 석재패널과 꽃음축과의 유격에 따른 패널의 이동이 약간 있었으나 연결재 조정판의 변형/회전 등을 육안으로 관찰할 수 없었다. 이는 목표로 하는 인명보호 내진성능 수준을 충분히 만족한다. 국립전파연구원 고시 층응답스펙트럼의 1.2배의 지진파에 대한 주파수응답함수(frequency response function, FRF)을 분석한 결과(Fig. 8(d)), 건축물의 주요진동 대역인 10 Hz 이하의 진동에 대해서 FRF는 크기가 1 정도로 지그와 석재판을 연결하는 내진앵글에서 진동 증폭이 발생하지 않았다. 건축물의 유효 구조진동에 대한 고주파 영역인 10 Hz - 15 Hz의 진동에 대해 z축 방향 FRF가 1.5로 50%의 증폭이 발생하고, x방향 및 y방향으로 30% - 40%의 증폭이 발생하였다.

4. 정적 반복가력 실험

KDS 41 17 00의 비구조요소 내진설계에서는 지진발생시 석재패널 낙하에 의한 인명손상 방지를 내진성능 목표로 요구하고 있다. KDS 41 17 00에서 제시하는 건축물의 최대 허용층간변형각은 0.02 rad이다. 따라서 건축물에 DK 내진앵글을 적용하기 위해서, 면내방향 층간변위 2% 이상의 변형에 대하여 석재패널의 손상 및 탈락이 발생하지 않음을 평가하는 실험을 계획하였다.

지진시 건물 구조체의 변형에 따른 건물의 석재패널의 구조안전성을 실험하기 위해 건물의 변형을 모사할 수 있는 변형이 가능한 실험용 프레임을 적용하였다. 건물에서 지진하중과 같은 횡력이 작용하는 경우 벽체는 주로 면내방향 전단력에 대하여 저항하며 변형하는데, 이와 같은 전단변형의 형

상이 평행사변형과 유사한 형태이다. 따라서, 변형시 평행사변형의 변형을 유도하기 위한 접합부에 핀결합이 적용된 프레임(2.5m×2.5m)을 기초로, 폭 1,200mm, 높이 600mm, 두께 30mm 석재패널 3개를 수직으로 설치하기 위한 연결기둥을 추가하여 실험용 프레임을 구성하였다. 석재패널의 설치와 시공은 앞선 대형 진동대 실험과 동일하며 DK 내진앵글 연결재가 사용되었다. 완성된 설치 형상은 Fig. 9과 같다. 프레임 상부에는 가력을 위한 액츄에이터와 변위를 측정할 LVDT를 설치하였다.



(a) Front view



(b) Side view

Fig. 9. Experimental setup

본 연구에서는 변위제어 반복가력 실험이 적용되었다. 상대변위에 민감한 비구조재 내진성능 테스트용으로 개발된 FEMA 461^[7]의 quasi-static cyclic testing 가력 프로토콜을 기반으로 적용 층간변위비를 0.25%에서 4%로 확대하여 가력 사이클을 결정하였다. 목표성능인 층간변위비 2%까지

는 구간을 상세하게 나누어 실험하였고, 그 이후에는 1%씩 변위를 늘리며 각 단계별로 3 사이클씩 반복 가력하였다. Table 2와 Fig. 10에 가력 단계별 층간변위비 및 변위를 나타내었다.

면내방향 반복가력 실험결과 힘과 층간변위각 관계는 Fig. 11과 같다. 층간변위각 2% 이상에서 층간변위각이 단

Table 2. Controlled loading steps

Step	Drift ratio (%)	Displacement (mm)
1	0.25	7.5
2	0.50	15.0
3	0.75	22.5
4	1.00	30.0
5	1.25	37.5
6	1.50	45.0
7	2.00	60.0
8	3.00	90.0
9	4.00	120.0

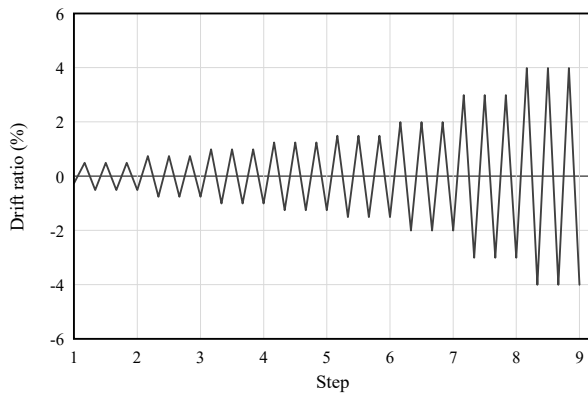


Fig. 10. Controlled loading history

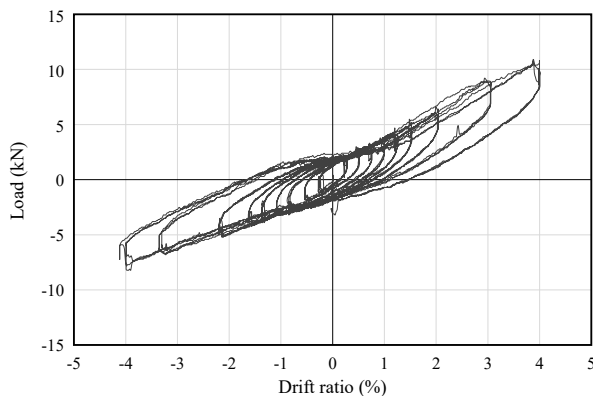


Fig. 11. Test results

계별 목표값보다 큰 경우가 일부 사이클에서 발생하였으나, 최대 가진 층간변위각 4%까지 석재패널의 손상 및 탈락이 발생하지 않아 DK 내진앵글 연결재의 변형 수용능력에 따른 우수한 내진능력을 확인하였다. 또한, Fig. 11에서 보듯이 때 사이클에서 비선형 하중-변위 곡선을 보이지만, 매 단계별 3회의 반복시험 결과들 간의 동일성이 확인되고, 모든 가진 단계 전반에 걸쳐 일정한 횡강성이 지속됨과 높은 좌우 대칭성을 확인할 수 있다.

최종 변형 형상의 관찰을 위해 반복가력 시험을 층간변위비 4%, 변위 120 mm에서 종료하고, 석재패널과 DK 내진 앵글 연결철물을 관찰하였다. 실험체 정면에서 촬영한 Fig. 12를 통해 실험체에 가한 변위와 이로 인한 시험체의 평행사변형 형태의 전단변형을 확인할 수 있다.



Fig. 12. Deformed shape of the experimental frame

실험체 뒤쪽의 석재패널과 DK 내진앵글 연결재 변형 형상을 통해 전단변형 수용 원리를 파악하였다. Fig. 13에는 실험 종료 후 3개의 석재패널을 지지하는 4개 층의 DK 내진 앵글 연결재 중 상부, 중간, 하부의 변형형상을 제시하고 있다. 모든 연결재의 조정판이 회전되었으나, 회전의 정도가 석재의 손상을 야기할 정도로 크지 않은 것으로 판단된다. 한편, 상부 연결재의 꽃음축이 석재홈 유격에 따라 많이 이동하였다. 층간변형각이 커짐에 따라 꽃음축이 석재패널 홈에 접촉한 후, 층간변형각이 지속적으로 증가함에도 석재 홈의 국부 손상 없이 꽃음축이 석재홈에 의해 지압 저장하였음을 알 수 있다. 조정판 회전이 작은 이유는 조정판과 고정앵글 사이에 설치한 특수고무판의 역할로 판단되며, 꽃음축의 특수고무판이 응력집중완화 역할을 하여 석재홈에서의 파손이 발생하지 않은 것으로 판단된다.



(a) Top connector



(b) Middle connector



(c) Bottom connector

Fig. 13. Zoom-up of deformed connectors

5. 결론

지진 발생시 석재패널과 연결철물의 연결부 구조 안전성 확보와 외부치장 석재패널의 탈락을 방지하기 위하여 개발된 DK 내진앵글 연결재의 내진성능 평가를 (1) 동적 진동대 실험과 (2) 정적 반복가력 시험을 통해 수행하였으며, 실험적 연구에 따른 결과는 다음과 같다.

- (1) 건물 내 특정 위치의 층가속도 3 g에 해당하는 진동에 대해 면내 및 면외 모든 방향에서 앵글 연결재를 통한 동적충폭 없이 석재패널과 구조체간의 강체거동이 확인되었고, 석재패널의 전도, 이탈, 파손, 절단 등 어

떠한 손상도 발생하지 않음을 확인하였다.

- (2) 석재흠을 통한 꽃음쪽의 이동과 특수고무판 층의 비틀림 변형으로, 면내방향 최대 층간변위비 4%의 프레임 전단변형에 대해 석재패널의 손상 및 탈락이 발생하지 않는 DK 내진앵글 연결재의 우수한 내진능력을 확인하였다.

감사의 글

이 연구는 산업통상자원부 한국에너지기술평가원 (KETEP)의 지원(20193110100020)으로 수행되었습니다.

참고문헌(References)

- [1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2019) *Seismic Design Standard for Buildings* (KDS 41 17 00: 2019), Korea (in Korean).
- [2] Baek, K.Y., Kim, I.H., and Park, J.W. (2017) A Study for Structural Performance of Cladding Support System with Bolting Type Connection, *Proceedings of the Annual Conference of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, pp.55-56.
- [3] Song, Y.J., Cho, B.H., and Jung, D.I. (2021) Seismic erformance Evaluation of Non-Welded Cladding System with Heavy-Weight Exterior Materials, *Proceedings of the Annual Conference of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, pp.99-100 (in Korean).
- [4] Jin, H., Kim, D.H., Kim, H., Shin, J., Park, K., and Lee, K. (2018) Experimental Evaluation of New Seismic Connections Between Rectangular Steel Tube Column and H-Shaped Beam, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.30, No.2, pp.77-85 (in Korean).
- [5] National Radio Research Agency (2020) *Seismic Test Method for Telecommunication Facilities* (NRRA Notice No. 2020-92), Korea (in Korean).
- [6] Telcordia Technologies (2017) *NEBS™ Requirements: Physical Protection* (GR-63 Issue 5), USA.
- [7] Applied Technology Council (2007) *Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components* (FEMA 461), Federal Emergency Management Agency, USA.

요 약: 최근 건축물의 비구조재에 대한 내진설계의 필요성이 더욱 강조되고 있다. 본 연구에서는 강진 발생시 구조적 안전성을 확보할 수 있는 석재패널용 연결철물인 DK 내진앵글 연결재에 대한 실험적 내진성능 평가를 수행하였다. 지진 발생시 건물의 진동거동을 모사하는 대형 진동대 실험을 통해 건물 진동가속도 3g에 해당하는 진동에 대해 면내 및 면외 모든 방향에서 앵글 연결재를 통한 동적충폭 없이 석재패널과 구조체간의 강체거동과 석재패널의 손상음을 확인하였다. 지진으로 인한 건물의 층간변형에 대한 정적 변형실험을 통해 면내방향 최대 층간변위비 4%의 프레임 전단변형에 대해 석재패널의 손상 및 탈락이 발생하지 않는 DK 내진앵글 연결재의 우수한 내진능력을 확인하였다.

핵심용어: DK 내진앵글 연결재, 석재 외장, 석재패널, 내진능력, 냉간 압연 스테인리스 강판
