다양한 진동 흡수가 가능한 내진 판넬

Seismic Panels With Multi-Directional Vibration Absorption

이 승 재*
Lee, Seungjae

기 창 군**
Ki, Chang-Gun

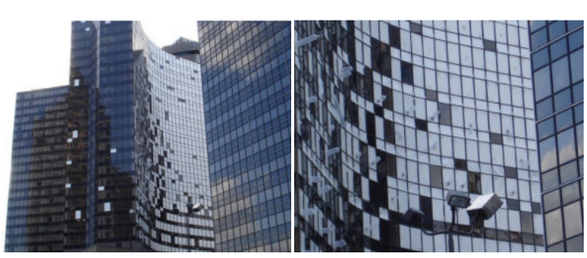
손 수 덕***
Shon, Sudeok

강 주 원****
Kang, Joo-Won

1. 외장재의 지진 피해와 연구

인구 집중으로 인한 고층 건물의 수요 급증으로 수평 하중에 대한 구조물의 안정성이 더욱 요구되고 있으며, 중·저층 건물을 설계할 때에도 지진의 영향을 많이 고려하게 되었다. 그러나 수평 하중으로 인한 내·외장재의 파손과 2차 손상은 주 구조부의 구조 설계와는 달리 예상치 못한 변화에 의해서 발생하는 경우이기에 다루기 쉽지 않다[1),2)]. 외장재는 성능을 설계 단계에서 고려하기 어렵고 일체화된 까닭에 다양한 형태의 2차 피해 사례가 발생한다[2-7)].

지진의 발생은 전 세계적으로 증가하고 있다. 일본이나 미국에 비해 빈도가 매우 낮으나 우리나라도 더 이상 지진으로부터 안전하다고 할 수 없다. 증가하는 지진의 발생 추이는 각종 건물에 상당한 피해를 줄 수 있다[8),9)]. 높은 지진 발생 빈도와 고층화에 따른 수평 하중의 증가로 인해 외장재의 파손과 2차 피해 가능성을 고려하지 않을 수 없게 되었다.



〈Fig. 1〉 Demage of the exterior panels (Hyatt Regency Hotel, 2005, USA)[19)]

〈Fig. 2〉 Demage of the exterior panels (2011 Tohoku earthquake, Japan)[19)]

* 한국기술교육대학교 건축공학부, 교수
Dept. of Architectural Eng., Koreatech University
** (주)덕인금속 상무이사
Deokin Co. Ltd
*** 한국기술교육대학교 건축공학부, 연구교수
Dept. of Architectural Eng., Koreatech University
**** 영남대학교 건축공학부, 교수
School of Architecture, Yeungnam University

일반적으로 공기 단축을 위해 외장재에 건식 공법을 이용하는 경우가 많아졌다. 이 때 지진과 강풍에 대한 설계가 미숙하거나 시공 결함이 있을 경우 외장재가 구조물에서 박리되어 치명적인 피해가 발생할 수 있다. 〈Fig. 1〉 및 〈Fig. 2〉와 같이 외장재 파손이나 지진에 의한 외장재 탈락은 주요 구조부의 파괴에 의한 손실과는 다른 양상의 피해를 예측할 수 있다. 이러한 피해의 원인 중 하나는 수평 하중에 대한 외장재의 면내 전단 변형이 발생하지 않도록 설계한 것이며, 이에 대한 외장재 관련 연구가 많이 진행되고 있다[3-6),10-15)].

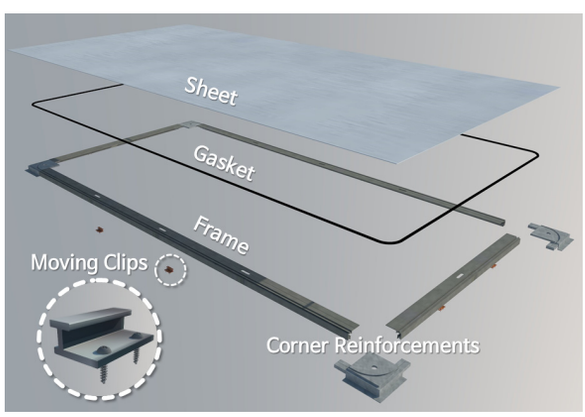
국내에서는 건축물 비구조 요소에 대한 내진 기준과 외장재 설계용 풍하중을 산정하는 기준이 국토해양부에서 고시된 건축구조기준(KBC2016)으로 마련되어 있다. 내진 관련 기준 및 법규가 강화되고 있으나 외벽 마감재의 진동 성능에 대한 실증적 검증은 이루어지지 않고 있다. 비구조재의 구조 성능을 평가하기 위한 연구는 풍하중에 대한 평가와 파손에 대한 연구[1),5),16),17),18)]가 주를 이루고 있으며, 지진에 대한 해석·실험 연구는 그리 많지 않다. 따라서 기존 건축물의 외장재 일체화로 인한 문제점에 대한 효과적인 내진 보강 변위 추종 외장재를 설명하고자 한다.

2. 변위추종형 내진 판넬

본고에서 소개하는 내진 성능을 높인 외장 판넬은 수평력에 대한 층간 변위 추종이 가능한 이동 클립에 연결된 시스템으로 유격을 활용한 손상 및 추락 방지용 판넬이다.

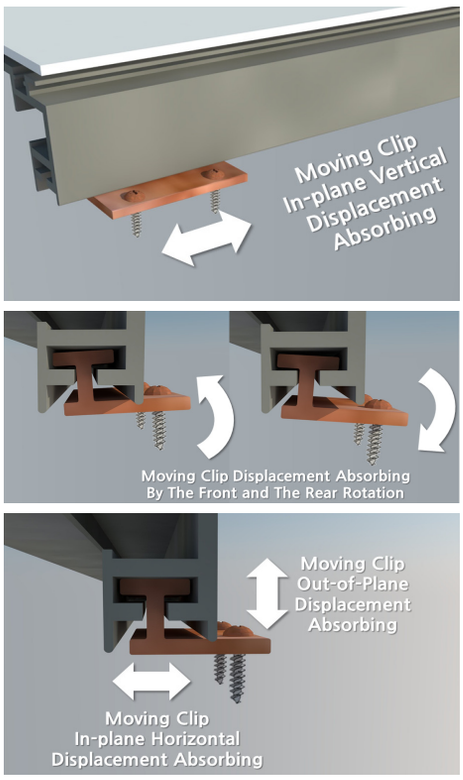
기존 외장재는 가공 방식에 따라 크게 알루미늄 복합 판넬과 금속 시트 판넬로 구분할 수 있다. 알루미늄 복합 판넬은 알루미늄 합금 판과 충진재 또는 합금 코어를 사용하여 판상으로 제조한 것이다. 금속 시트 판넬은 판상으로 제작된 아연 도금 강판 또는 알루미늄 판을 단일 금속 원판으로 절곡, 용접, 연마, 도장하여 제조한 판넬이다. 이러한 외장재들은 절곡 공정으로 인해 나타나는 판의 굴곡 현상과 더불어 진동 흡수 기능이 없으므로 추락 위험성을 지니고 있다. 특히 구조물과의 접합 방식은 두 가지 판넬 모두 건축물의 구조체에 설치되는 하지 철물과 나사못 또는 용접을 통하여 일체로 시공되므로 이로 인한 외장재의 손상은 2차 피해의 원인이 된다.

변위 추종 성능이 개선된 본고의 외장 판넬은 복합 판넬 방식이며 〈Fig. 3〉과 같다. 시트, 가스켓, 프레임, 코너 보강재, 이동 클립으로 구성되며, 외장재에 연결된 이동 클립은 하지 철물에 연결되어 지진에 의한 건축물의 층간 변위를 추종할 수 있는 장치에 외장재를 연결한다. 이러한 장치는 진동으로 인해 건축물의 구조체에 발생하는 변위가 이동 클립에 의해 흡수되거나 추종됨으로써 외장재가 탈락되는 것을 미연에 방지할 수 있다.



〈Fig. 3〉 Moving clip exterior panel[19)]

〈Fig. 4〉는 외장 판넬의 작동 원리를 설명하고 있다. 변위 추종을 위한 프레임에 클립이 움직일 수 있는 홈을 만들어 유격이 발생하도록 한다. 이 유격으로 상하·좌우·전후 회전을 가능하게 하여 지진이나 바람에 의해 건축물에 발생하는 층간 변위를 따라갈 수 있도록 하였다. 또한 〈Fig. 3〉과 같이 프레임의 모서리 부분에 설치된 보강재는 비틀림과 뒤틀림을 방지할 수 있도록 설계되었다.



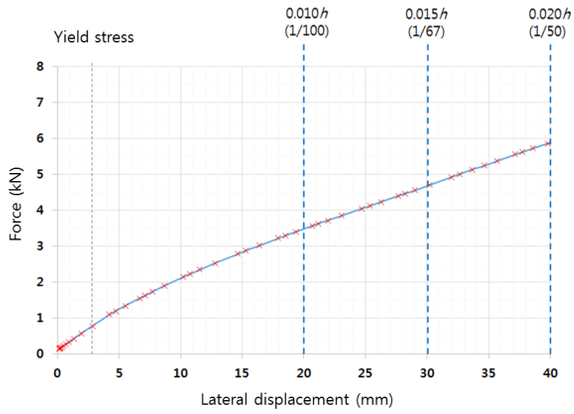
〈Fig. 4〉 Concept of following a lateral displacement[19)]

3. 내진 판넬의 내진 성능 해석

외장 판넬의 내진 성능 규준은 〈Table 1〉과 같이 국토교통부 고시 건축구조기준(KBC)에서 제안하는 건축물의 허용 층간 변위(Δ_a)를 고려해 볼 수 있다. 〈Table 1〉에서 보는 바와 같이 허용 기준은 해석 모델의 높이(h_s)에 대한 1%, 1.5%, 2%의 수평 변위를 각각 등급별로 허용 층간 변위로 제한하고 있다. 바람에 의한 변위 제한의 권장사항은 건물 높이의 1/500에 해당되는 변위가 지진에 의한 허용 층간 변위를 만족할 경우 건축구조기준을 만족한다고 가정한다.

〈Table 1〉 Allowable relative story displacement (KBC2009)[19)]

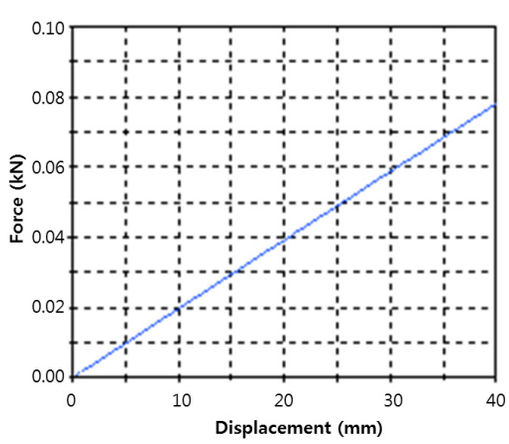
	Seismic classification		
	Special	I	II
Relative story displacement (h_{sx}: x-th story height)	0.010	0.015	0.020



〈Fig. 5〉 Displacement-Force relationship[19)]

대상 판넬의 수평 변위와 하중에 대한 해석적 연구를 통해서 〈Fig. 5〉와 같은 결과를 얻었다. 수평 변위가 2.86mm에 도달할 때 강판의 볼트 용접부에서 항복 응력이 발생하였다. 수평 변위는 항복 응력에 이를 때까지 증가하였고, 이후 다소 하락하였지만 전반적으로 안정된 거동을 보였다. 〈Table 1〉과 같이 허용 층간 기준에 대한 수평 변위가 20~40mm일 때의 최대 응력은 주로 강판의 볼트 용접부에서 131.1~147.9MPa이며, 재료 인장 강도는 176.13MPa 미만이다.

최대 수평 변위의 상태에서 변형 형상은 초기에 설정한 가정대로 적용되었음을 확인하였고, 접합부가 연결되는 몰드 부분과 볼트 용접부에 변형과 응력이 집중되었다. 면외 방향 성능도 해석을 통해서



〈Fig. 6〉 Displacement-Force relationship (Out of plane)[19)]

허용 층간 변위 즉, 해석 모델 높이의 20%($0.02h_{sx}$)에 해당하는 변위에서도 탄성 범위에 머무르는 것을 확인하였고, 〈Fig. 6〉에서 보는 바와 같다.

4. 진동 실험과 성능 검증

실제 진동에 대한 실험은 변위 추종에 대한 성능 개선 외장재를 가장 잘 평가할 수 있는 실험으로 판단된다. 국내에서는 외장재의 내진 성능 검증 방법이 별도로 규정되어 있지 않은 까닭에 상대 변위의 발생에 따른 실험 대상체의 파손이나 슬립 등을 관찰하여 구조적인 내진 성능을 평가하였다. 실험체는 강제 프레임에 설치하였고, El Centro(1940) 지진파를 이용하여 응답을 관찰하였다. 가속도 배율은 50%부터 350%까지 조절하였고, 실험은 건설연구인프라운영원 지진방재연구센터의 3자유도 진동대를 사용하였다. 실험체의 사진과 센서의 위치는 〈Fig. 7〉과 같다.

〈Fig. 7〉 Location of the sensors[19]

실험 결과인 변위와 가속도 응답을 〈Table 2, 3〉에 나타내었다. 표는 지진파 가속도 배율을 50~350%까지 50%씩 증가하여 가진하였을 때의 변위 및 가속도 응답을 정리한 것이다. 〈Table 3〉에서 R/h는 프레임 상부의 상대 변위와 실험체 높이의 비이다. 가진 지진파의 350% 경우 진동대 바닥 가속도계에서 계측된 최대 가속도는 1.29g이며, 최대 상대 변위는 44.12mm로 〈Table 3〉의 최대 층간 변위를 만족한다. T-01~06까지 실험 종료 후 육안 검사 결과에서 외부 변형 및 파손이 발견되지 않았다. 〈Fig. 8〉과 같이 T-07 종료 후 실험 대상 설비의 82개 볼트 중에서 파손과 슬립이 각각 1개씩 확인되었지만 실험 대상체를 구성하는 주요 부품의 탈락 및 변형은 없었다.

〈Table 2〉 Displacement response[19]

Test No. (%)	Max. displacement (mm)			Draft angle (R/h)
	Top of frame (D1)	Shake table (D2)	Relative Disp. (D2-D1)	
T-01 (50)	17.859	17.188	7.161	0.003
T-02 (100)	28.543	25.246	10.003	0.005
T-03 (150)	46.963	37.287	15.687	0.007
T-04 (200)	65.337	49.925	25.256	0.012
T-05 (250)	81.185	62.035	29.846	0.014
T-06 (300)	101.132	93.658	36.194	0.017
T-07 (350)	122.708	85.948	44.120	0.021

〈Table 3〉 Acceleration response[19]

Test No. (%)	Max. acceleration (g)	
	Shake table (A1)	Top of frame (A2)
T-01 (50)	0.129	0.189
T-02 (100)	0.324	0.471
T-03 (150)	0.487	0.733
T-04 (200)	0.655	1.101
T-05 (250)	0.846	1.271
T-06 (300)	1.041	3.825
T-07 (350)	1.290	3.536

〈Fig. 8〉 Damage and slip of the bolts[19]

5. 결언

본고는 변위 발생에 대한 추종 성능의 개선과 이를 위한 클립형 철물을 이용한 외장재를 소개하였다. 소개된 외장 판넬은 지진이나 바람과 같은 수평하중이 발생할 때의 구조 성능을 검토하였고, 외장재 손상과 추락 방지를 통한 2차 피해로부터의 안전성 확보를 생각해 보았다. 제시된 기준인 건축구조기준(KBC)에서 최대 층간 변위에 대한 외장재 몰드 및 강판의 항복 여부와 안정성에 대해서도 여러 가지 방법으로 검토하였다. 면내외 방향의 구조 성능과 진동 실험의 결과는 파손 및 탈락에 대해 좋은 성능을 보였고, 변위 추종 성능이 개선되었음을 알 수 있었다. 특히 몰드와 강판을 연결하는 부분에 일부 파손이 있었으나 외장재 주 구성품에는 탈락과 변형이 나타나지 않음을 확인할 수 있었다. 추후 구조물과 외장재 연결 철물의 추종 성능 검토가 필요하다고 판단된다.

References

1. Cho, K. P., & Hong, S. I., "Wind Damages of Claddings of High-Rise Apartment Building under Strong Wind", Journal of Architectural Institute of Korea, Vol.22, No.2, pp.43~50, 2006
2. Lee, D. W., Kwak, E. S., Shon, S. D., & Lee, S. J., "A Study on Horizontal Displacement Following Ability of Welded and Non-welded Building Hardware", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.16, No.4, pp.75~82, 2016
3. Kim, Y. S. (1996). A study on following capacity for metal panel curtain wall subjected to the horizontal displacement (Master's thesis). Soongsil University, Republic of Korea.
4. Lee, S. I., "Manual to Manufacturing Process for Curtain Wall", Journal of Architectural Institute of Korea, Vol.47, No.9, pp.44~50, 2003
5. Lee, Y. W., Yeun, K. W., & Kim, J. (2010). The Analysis of Wind Load on Curtain Wall Member of the Building. Proceeding of the Architectural Institute of Korea Autumn Conference, Republic of Korea, Vol.30, No.1, pp.37~38
6. Yim, H. C., Youn, K. J., Kim, J. H., & Park, J. H. (2010). Structural Performance Evaluation of Steel-Aluminum Unit Curtain-Walls for Super Tall Buildings. Proceedings of Architectural Institute of Korea, Republic of Korea, Vol.30, No.1, pp.109~110
7. Kwak, E. S., Jeong, G. M., Ki, C. G., Lee, S. H., & Lee, S. J. (2016). The Study on Structural Performance Review of Displacement Absorbing Performance Improvement Exterior Panel Utilizing Moving Clips. Proceedings of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection Spring Annual Conference, Republic of Korea, Vol.20, No.1, pp.269~270
8. Lee, K. S., "A Development of Seismic Rehabilitation Method of RC Buildings Strengthened with X-Bracing Using Carbon Fiber Composite Cable", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol.18, No.3, pp.1~9, 2014
9. Korea Meteorological Administration, Earthquake URL: http://www.kma.go.kr/weather/earthquake_volcano/report.jsp, 2016
10. Kim, K. S., "Wind Load on Tall Building", Journal of Architectural Institute of Korea, Vol.35, No.1, pp.29~32, 1991
11. Cho, Y. W. (2008). A Study on the Development of Structural Performance Evaluation Process/Manual for a Super

High-Rise Building Curtain Wall System from the Construction, Manager's Perspective (Master's thesis). Seoul National University of Science and Technology, Republic of Korea.

12. Jeon, E. K., & Kim, H. J. (2010). A Study on Structural Design of Aluminum Curtain Walls - Focused on Mullions and Transoms. Proceedings of the Regional Association of Architectural Institute of Korea, Republic of Korea, Vol.2010, No.01, pp.285~289
13. Lee, Y. O. (2011). A Study on the Economical Structual Design Method of Aluminum Curtain Wall System: Focusing on Mullion (Master's thesis). Seoul National University of Science and Technology, Republic of Korea.
14. Min, S. H., Jang, Y. J., Sa, J. C., Lee, J. M., Yun, J. E., … Kim, Y. H. (2012). A Survey about Installation Trend for Exterior in Domestic. Proceedings of the Korean Institute of Fire Science & Engineering Spring Annual Conference, Republic of Korea, pp.11~14
15. Chang, K. K., & Park, N. W., "Development and Performance Evaluation of Under Cut Anchor Stone Curtain Wall Construction Method", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol.18, No.4, pp.138~146, 2014
16. Ham, H. J., & Kim, Y. S., "Cladding System Failure by Strong Wind and its Mitigation Methods", Journal of Architectural Institute of Korea, Vol.48, No.7, pp.51~55, 2004
17. Cho, K. P., Hong, S. I., & Kim, W. S., "Wind-Resistant Design of High-rise Apartment Building Glasses", Journal of Architectural Institute of Korea, Vol.22, No.1, pp.77~85, 2006
18. Shim, H. B., Kim, D. W., Jeon, H. S., & Lee, J. H., "Application of Wind Tunnel Test for the Exterior and Serviceability Enhancement of Jeju City Hotel", Journal of Architectural Institute of Korea, Vol.57, No.1, pp.86~90, 2013
19. Kwak, E. S., Ki, C. G., Lee, S. H., Shon, S. D., & Lee, S. J., "A Study on the Structural Performance of the Building Exterior Panel Using the Moving Clips", Journal of the Architectural Institute of Korea Structures & Construction, Vol.33, No.12, pp.29~36, 2017