건축방재

조립식 강판밴드 보강공법에 의한 비보강 조적벽체의 내진보강효과 Seismic Retrofitting Effects of Retrofitted Unreinforced Masonry Walls Using Metal Laths and Steel Plates

이정환* · 김경민** · 김혜원*** · 김진선**** · 오상훈***** · 이상호*****

Lee, JungHan*, Kim, KyungMin**, Kim, HyeWon***, Kim, JinSun****, Oh, SangHoon*****, and Lee, SangHo*****

Abstract

In this paper, the novel retrofitting method using metal laths and steel plates for unreinforced masonry(URM) walls was presented, and the seismic retrofitting effects of URM walls were evaluated by the static test. The main variables were the presence of openings, and the application of the novel retrofitting method. The test results showed that the strengths of the retrofitted specimens became 1.27~2.51 times higher than those of the non-retrofitted specimens irrespective of whether there were openings or not. The ductilities of the retrofitted specimens were also 1.21~2.28 times higher than those of the non-retrofitted specimens. In the case that the steel plate for retrofitting located at the upper and lower end of a specimen was additionally fixed to the loading frame, the strength and ductility were even higher. Meanwhile, the specimens retrofitted by the novel method showed the highest energy dissipation capacities, and the metal laths were considered to be very effective on dissipating energy.

Key words : Unreinforced masonry wall, Metal lath, Steel plate, Retrofitting effect, Static test

요 지

지진시 내진설계가 실시되지 않아 큰 피해가 예상되는 저층 조적조 건축물의 내진성능을 향상시키기 위하여 조립식 강판밴드 보강공법을 개발하였다. 본 내진보강공법의 주요 구성 재료는 비보강 조적벽체의 연성을 향상시키고 면외 방향 탈락을 방지하기 위한 메탈라스와 비보강 조적벽체의 내력을 향상시키기 위한 강판이다. 또한, 조립식 강판밴드 보강공법의 내진보강효과를 평가하기 위하여 개구부 유무 및 형상이 다른 비보강 조적벽체의 내진보강 실시유무를 실험변수로 정적가력실험을 실시하였다. 그 결과, 개구부 유무, 보강공법 종류에 상관없이 내진보강으로 최대내력은 127~251%, 연성은 121~228% 향상되는 것으로 나타났으며, 실험체 상·하부를 고정하면 내진보강이 보다 효과적인 것으로 나타났다. 한편, 조립식 강판밴드 보강공법을 적용한 실험체의 누적흡수에너지는 강판보강 실험체보다 큰 것으로 나타나, 메탈라스는 에너지를 흡수하는데 매우 효과적인 것으로 판단된다.

핵심용어 : 비보강 조적벽체, 메탈라스, 강판, 내진보강효과, 정적가력실험

1. 서 론

과거 지진피해 사례(중국 쓰촨성 지진(2008), 뉴질랜드 크라이스트처치 지진(2010) 등)을 살펴보면, 비보강 조적조 건축물 및 중저층 철근콘크리트 건축물에 많은 피해가 발생하

였다. 한편, 2010년 6월 현재 내진설계가 실시되지 않은 5층 이하 건축물은 전체 건축물의 약 97%이며, 이중 1, 2층 조적조 건축물이 74.6%, 1~5층 철근콘크리트 건축물이 17.8%의 분포를 나타내고 있다(Kim *et al.*, 2013). 향후 국내에서 일정 규모 이상의 지진이 발생할 경우 막대한 피해가 발생할 것

*정회원. 국립재난안전연구원 시설연구사(E-mail: ljhunk@korea.kr)
Member. Researcher, NDMI

**교신저자. 정회원. 국립재난안전연구원 책임연구원(Tel: +82-2-2078-7788, Fax: +82-2-2078-7829, E-mail: kymkim@korea.kr)
Corresponding Author. Member. Researcher, NDMI

***정회원. 국립재난안전연구원 시설연구관
Member. Senior Researcher, NDMI

****정회원. 국립재난안전연구원 선임연구원
Member. Researcher, NDMI

*****정회원. 부산대학교 건축공학과 교수
Member. Professor, Department of Architectural Engineering, Pusan National University

로 예상되며 이에 대한 대책마련이 필요할 것으로 사료된다.

기존 중저층 철근콘크리트 건축물에 대해서는 내진성능평가, 내진보강 등에 관한 연구(Lee *et al.*, 2011, Park *et al.*, 2013 *et al.*)가 비교적 활발하게 이루어지고 있는 반면에, 비보강 조적조 건축물에 대해서는 관련 연구(Moon *et al.*, 2007)가 미비한 실정이다.

한편, 조적조 건축물은 다른 구조형식과 달리 조적벽체가 면내 방향으로 작용하는 지진력에 대해서는 일정부분 저항능력을 가지는 반면에, 면외 방향으로 작용하는 지진력에 대해서는 거의 저항하지 못하기 때문에 면외 방향 파괴가 많이 발생한다.

또한, 면내 방향 지진력에 대한 조적벽체의 파괴모드는 축력, 벽체 형상비(벽체 길이에 대한 높이의 비) 등에 따라 달라지며, 특히 국내 조적조 건축물의 경우 형상비 1미만의 벽체의 분포가 높은 상황(Lee, 2005)으로 형상비가 작은 벽체의 경우, 미끄러짐 파괴가 발생할 가능성이 높기 때문에 내진보강시 이에 대한 고려가 필요하다.

이에 본 논문에서는 비보강 조적벽체의 최대내력 및 연성을 향상시키고 면외 방향 변형에도 효과적인 내진보강공법을 개발하고, 개발 공법의 내진보강효과를 정적실험을 통하여 검증하고자 한다. 우선 조적벽체의 내진성능에 큰 영향을 미치는 개구부의 유무 및 형상을 주요 실험변수로 비보강 조적벽체의 내진성능을 평가하고, 개구부 유무 및 형상별 비보강 조적벽체에 내진보강을 실시하고 이에 따른 내진보강효과에 대하여 평가한다.

2. 조립식 강판밴드 보강공법

2.1 내진보강 개념

본 논문에서 제안하는 조립식 강판밴드 보강공법은 Fig. 1과 같이 강판과 메탈라스를 이용하여 비보강 조적벽체의 내력 및 연성을 향상시키고 면외 방향 탈락을 방지하고자 하는 것이다.

조립식 강판밴드 보강공법의 구성 재료는 크게 메탈라스와 강판이며, 메탈라스는 조적벽체 전면에 설치하여 벽체의 연성을 향상시키고 벽돌의 면외 방향 탈락을 방지하는 역할을 한다.

한편, 강판은 메탈라스를 조적벽체에 고정하는 역할과 함께

(a) Composition of retrofitting materials

(b) Fixing metal lath to URM wall

Fig. 1. Detail of Retrofitting Method.

(a) Window

(b) Door

Fig. 2. Retrofitting of Opening

조적벽체의 내력을 향상시키는 역할을 하는 것으로 특히, 형상비가 작아 미끄러짐 파괴가 일어나기 쉬운 조적벽체의 내력을 향상시키고자 하는 것이다. 또한, 개구부가 있는 조적벽체에 대해서는 강판을 Fig. 2와 같이 조적벽체 개구부 주변에 설치하여 개구부 주변 전단균열 발생을 제어하는 역할을 한다.

2.2 시공 순서

조립식 강판밴드 보강공법의 시공 순서는 Fig. 3과 같다. 우

(a) Fixing of metal lath

(b) Attaching of steel plates

(c) Plaster work

Fig. 3. Retrofitting Procedure.

선 보강하고자 하는 비보강 조적벽체 면을 정리하고 약 40 cm 간격으로 콘크리트 못을 사용하여 메탈라스를 벽체에 고정한다. 이때, 메탈라스 간 연결부위는 에폭시 피터로 고정한다. 다음으로 강판을 조적벽체에 고정하기 위한 앵커구멍을 벽체에 천공하고 엑폭시 피터를 이용하여 강판을 벽체에 부착한 후 앵커볼트로 고정한다. 마지막으로 보강면에 미장을 하여 공사를 마무리한다.

본 논문에서 제안하는 조립식 강판밴드 보강공법은 보강하고자 하는 조적벽체 표면의 간단한 도장면 처리 후 콘크리트 못, 볼트 등을 이용하여 메탈라스와 강판을 벽체에 부착하는 것으로 시공이 상당히 간편한 것이 특징이다.

3. 내진보강효과 검증 가력실험

3.1 실험체 개요

내진보강이 실시되지 않은 무보강 실험체는 개구부가 없는 순수 조적벽체인 실험체 NR-S를 기준 실험체로 하여, 창문이 있는 실험체 NR-W 및 문이 있는 실험체 NR-D의 총 3개를 제작하였으며, 실험체 상세는 Fig. 4(a) 및 Table 1과 같다.

내진보강기법 적용과 관련하여 순수벽체의 경우, 조립식 강판밴드 보강공법을 적용한 실험체 MS-S와 여기에 실험체를 가력 프레임에 고정하기 위해 설치한 하부 ㄷ-형강과 벽체 상·하부 강판을 고정(이하 단부고정)한 실험체 MS-SF 등 2

Fig. 4. Detail of Test Specimens.

Table 1. Specimen List

Specimen	Wall size ($l \times h$, m)	Opening		Retrofitting	Fixing
		Type	Size ($l \times h$, m)		
NR-S	4.0×2.7	-	-	-	-
NR-W	4.0×2.7	Window	1.5×1.2	-	-
NR-D	4.0×2.7	Door	0.9×2.1	-	-
MS-S	4.0×2.7	-	-	Steel plates + Metal lath	-
MS-SF	4.0×2.7	-	-	Steel plates + Metal lath	○
S-W	4.0×2.7	Window	1.5×1.2	Steel plate	-
MS-W	4.0×2.7	Window	1.5×1.2	Steel plates + Metal lath	-
S-DF	4.0×2.7	Door	0.9×2.1	Steel plates	○
MS-DF	4.0×2.7	Door	0.9×2.1	Steel plates + Metal lath	○

NR: Non Retrofitted, St: Steel plate, MS: Metal lath + Steel plate, S: Solid, W: Window, D: Door, F: Fixed

개, 창문이 있는 벽체의 경우, 강판보강(창문 주변 및 벽체를 강판으로 보강)을 적용한 실험체 S-W와 창문 주변 강판 보강 및 벽체 조립식 강판밴드 보강공법을 적용한 실험체 MS-W 등 2개, 문이 있는 벽체의 경우, 벽체 단부를 모두 고정하였으며, 강판보강을 적용한 실험체 S-DF와 문 주변 강판 보강 및 벽체 조립식 강판밴드 보강공법을 적용한 실험체 MS-DF의 2개로, 총 6개의 내진보강 실험체에 대하여 실험을 실시하였으

Fig. 5. Test Frame.

Fig. 6. Loading History.

며, 실험체 상세는 Fig. 4(b) 및 Table 1과 같다.

실험체 형상은 기존 조적조 건축물의 현황조사 결과를 바탕으로 벽체 크기는 폭 4 m×높이 2.67 m하였으며(형상비 0.67), 개구부 형상 및 위치는 가장 많이 분포하는 것으로 문 크기는 가로 0.9 m×세로 1.2 m, 창문 크기는 가로 1.5 m×세로 1.2 m로 선정하였다.

실험체의 조적쌓기는 1.0B 쌓기로 하였으며 건축구조기준(KBC, 2009)에 따라 1일에 1.5 m 이하 쌓기를 하여 2일에 걸쳐 완성하였다. 한편, 실험체 상부 및 하부에는 실험체를 가력 프레임에 고정하기 위하여 고력볼트를 미리 설치한 ㄷ-형강을 설치하고 실험체와 접촉제로 고정하였다.

3.2 가력 및 측정 방법

실험체 수평방향가력은 Fig. 5와 같이 1,000 kN 액츄에이터를 사용하여 변위제어 방식으로 반복가력을 실시하였으며, 가력기력은 Fig. 6과 같다. 한편, 축력은 실험체 상부에 부가 질량(69 kN)을 설치하여 실험체에 작용하도록 하였다.

가력에 따른 실험체의 수평 변위는 Fig. 5와 같이 LVDT를 사용하여 측정하였다.

4. 실험결과

4.1 비보강 실험체

4.1.1 파괴형상 및 하중-변위 관계

Fig. 7은 비보강 실험체의 최종파괴 형상 및 하중-변위 관계를 나타낸다.

무보강 기준 실험체인 실험체 NR-S는 벽체 하부에서 미끄

Fig. 7. Failure Patterns (Non-retrofitting Specimens).

러짐(Sliding)과 함께 강체회전(Rocking)이 발생하여 최종적으로 파괴되었다. 또한, 하중-변위 관계는 벽체 하부에서 미끄러짐으로 최대하중 도달 이후의 정방향 가력 중 최대하중보다 작은 하중에서 강성이 저하되었지만 미끄러짐과 함께 강체회전이 발생하여 최대하중과 비슷한 수준까지 하중이 증가하는 경향을 나타냈다. 창이 개구부가 있는 실험체 NR-W는 개구부 네 모서리에서 전단균열이 발생하고, 실험체 NR-S와 마찬가지로 벽체 하부의 미끄러짐과 강체회전으로 최종 파괴되었다.

문의 개구부가 있는 실험체 NR-D는 개구부 상부 모서리에서 전단균열이 발생하였으며, 부방향 가력시 개구부 옆 쪽이 좁은 벽체 상단에 발생한 휨균열로 개구부 좌우 벽체가 따로 거동하였다. 이에 하중-변위 관계는 정방향 가력시에는 실험체 NR-SD와 유사한 미끄러짐과 강체회전에 의한 형상을 나타냈다. 한편, 부방향 가력시에는 강체회전 거동이 탁월한 형상, 즉, 가력방향 최대하중 도달 이후 가력시 강성 변화점의 하중은 최대하중과 비슷하지만 변위는 최대하중 도달시의 변위보다 커지며, 제하시 일정구간 골격곡선 위를 이동하는 형상을 나타냈다.

최종적으로는 실험체 NR-S와 마찬가지로 벽체하부 미끄러짐과 강체회전에 의하여 파괴되었다.

4.1.2 개구부 영향

Table 2와 같이 실험체의 내력은 유효벽체길이(벽체 전체 길이에서 개구부 폭을 제외한 값)에 비례하여 증가하는 반면에 실험체의 최대변위는 유효벽체길이에 반비례하여 증가하는 것으로 나타났다.

4.2 보강 실험체의 파괴형상 및 하중-변위 관계

Fig. 8은 보강 실험체의 최종파괴 형상 및 하중-변위 관계를 나타낸다.

4.2.1 순수벽체 실험체

조립식 강판밴드 보강공법을 적용한 실험체 MS-S는 벽체 하부 미끄러짐과 강체회전으로 최종 파괴되었다. 반면에, 동일한 보강공법을 적용하고 단부를 고정된 실험체 MS-SF는 균열이 벽체 전면에 고르게 발생하였으며, 벽체 단부 고정으로 벽체 하부에서의 미끄러짐 없이 강체회전으로 최종 파괴되었다. 또한, 고정용 강판의 영향으로 실험종료시까지 비교적 에너지 흡수 능력이 크고 안정적인 형상의 하중-변위 곡선 형상을 나타냈다.

4.2.2 개구부(창문) 실험체

실험체 NR-W에 강판보강을 적용한 실험체 S-W는 강판보강으로 실험체 NR-W와 비교하여 개구부 모서리 균열 발생이 지연되었으며, 최종적으로는 벽체 하부 미끄러짐과 강체회전으로 파괴되었다.

한편, 개구부 주변 강판 보강 및 벽체 조립식 강판밴드 보강공법을 적용한 실험체 MS-W는 개구부 모서리를 시작으로 발생한 균열이 벽체 전면에 고르게 분포하였으며, 최종적으로 벽체 하부의 미끄러짐과 강체회전으로 파괴되어 실험체 S-W와 유사한 하중-변위 곡선 형상을 나타냈다.

4.2.3 개구부(문) 실험체

실험체 NR-D에 대하여 강판보강을 적용하고 벽체 단부를

Table 2. Test Results

Specimen	Opening	Retrofitting	Fixing	Failure mode	Maximum load(kN)			Maximum displacement(mm)		
					Positive	Negative	Average	Positive	Negative	Average
NR-S	-	-	-	R, SL	85.15	-71.96	78.56	20.37	-20.35	20.36
NR-W	Window	-	-	R, S, SL	59.15	-61.71	60.43	33.33	-34.04	33.69
NR-D	Door	-	-	R, S, SL	62.06	-60.29	61.18	23.71	-23.92	23.82
MS-S	-	Steel plate + Metal lath	-	R, SL	112.74	-109.27	111.01	40.82	-40.87	40.85
MS-SF	-	Steel plate + Metal lath	○	R	166.17	-202.80	184.49	37.43	-37.55	37.49
S-W	Window	Steel plate	-	R, SL	100.82	-140.61	120.72	40.82	-40.84	40.83
MS-W	Window	Steel plate + Metal lath	-	R, SL	83.12	-70.96	77.04	44.28	-44.32	44.30
S-DF	Door	Steel plate	○	R	76.44	-151.15	113.80	54.53	-54.12	54.33
MS-DF	Door	Steel plate + Metal lath	○	R	131.05	-176.01	153.53	51.02	-50.95	50.99

R: Rocking failure, SL: Sliding Failure, S: Shear failure

Fig. 8. Failure Patterns (Retrofitted Specimens).

고정한 실험체 S-DF는 실험체 하부에 균열이 발생하고 벽체의 강제회전으로 최종 파괴되었다.

한편, 개구부 주변 강판 보강 및 벽체 조립식 강판밴드 공법을 적용하고 벽체 단부를 고정한 실험체 MS-DF는 실험체 상부 개구부 모서리에 균열이 먼저 발생하여 실험체 전면으로 균열이 고르게 분포하였으며, 벽체의 강제회전에 의하여 최종 파괴되었다.

두 실험체 모두 하부가 고정되지 않은 다른 실험체와 비교하여 상대적으로 안정적인 형태의 하중-변위 곡선 형상을 나타내었다.

5. 내진보강효과 분석

Fig. 9는 개구부 유무에 따른 조적벽체의 최대내력, 최대변위 등 내진보강효과를 나타낸다. 여기서, 내진보강효과는 보강 실험체의 비보강 실험체에 대한 최대내력비와 최대변위비의 백분율을 의미하며, 각각의 값은 정방향과 부방향의 평균 값을 기준으로 하였다.

5.1 최대내력

개구부 유무, 보강공법 종류에 상관없이 보강 실험체는 비

(a) Loading capacity

(b) Deformation capacity

Fig. 9. Retrofitting Effect.

보강 실험체와 비교하여 최대내력이 127% 이상 향상되는 것으로 나타났다.

개구부가 없는 비보강 조적벽체에 조립식 강판밴드 보강공법을 적용한 경우(실험체 MS-S), 최대내력이 141% 증가하는 것으로 나타났으며, 실험체 단부 고정(실험체 MS-SF)으로 보강에 의한 내력상승효과는 235%로 크게 증가하는 것으로 나타났다.

창문의 개구부가 있는 비보강 조적벽체의 개구부 주변 강판보강 및 벽체 조립식 강판밴드 보강공법을 적용한 경우(실험체 MS-W), 보강에 의하여 최대내력이 127% 향상되는 것으로 나타난 반면에 강판보강을 적용한 경우(실험체 S-W) 최대

내력은 200%로 크게 향상되는 것으로 나타났다.

문의 개구부가 있는 비보강 조적벽체를 보강 한 경우, 다른 보강 실험체에 비하여 내력상승효과가 큰 것으로 나타났으며, 이는 실험체 단부를 고정한 결과로 판단된다. 강판보강을 적용한 경우(S-DF)는 186%의 내력상승효과를, 개구부 주변 강판 보강 및 벽체 조립식 강판밴드 보강공법을 적용한 경우(MS-DF)는 251%의 내력상승효과를 나타냈다.

5.2 최대변위

개구부 유무, 보강공법 종류에 상관없이 보강 실험체는 비보강 실험체와 비교하여 최대변위가 121%이상 증가하는 것으로 나타났다.

개구부가 없는 비보강 조적벽체에 조립식 강판밴드 보강공법을 적용한 경우, 단부를 고정하지 않아도(실험체 MS-S) 최대변위가 184%로 크게 증가하였으며, 단부를 고정한 경우(실험체 MS-SF)에는 최대변위가 201%까지 증가하였다.

창문의 개구부가 있는 비보강 조적벽체의 경우, 보강에 의한 최대변위 증가가 다른 실험체와 비교하여 가장 작은 것으로 나타났다. 구체적으로 개구부 주변 강판 보강 및 벽체 조립식 강판밴드 보강공법 적용(실험체 MS-W)으로 최대변위가 132%, 강판보강 적용(실험체 S-W)으로 최대변위가 121% 증가하는 것으로 나타났다.

문의 개구부가 있는 비보강 조적벽체의 경우, 보강종류에 상관없이 보강으로 최대변위가 200%를 초과하여 보강에 의한 연성 증가가 가장 큰 것으로 나타났다.

5.3 누적흡수에너지

Fig. 10은 가력 사이클별 실험체의 누적흡수에너지를 비교하여 나타낸다. 가력 초기에는 비보강 실험체와 보강 실험체의 누적흡수에너지는 비슷한 수준인 것으로 나타났다. 반면에 가력 종료시까지 보강 실험체가 흡수한 누적에너지는 비보강 실험체가 흡수한 누적에너지에 비하여 최대 7.3배까지 상승하는 것으로 나타났다.

개구부가 없는 비보강 조적벽체의 경우, 벽체 하부를 고정하지 않은 채 조립식 강판밴드 보강공법을 적용한 경우(실험

Fig. 10. Cumulative Dissipation Energy.

체 MS-S)에는 보강으로 최종 누적흡수에너지가 크게 증가하지 않는 반면에, 벽체 하부 고정으로 최종 누적흡수에너지는 5배 정도 증가하는 것으로 나타났다.

개구부가 있는 비보강 조적벽체의 경우, 벽체 하부 고정 유무에 상관없이 강판보강보다 개구부 주변 강판 보강 및 벽체 조립식 강판밴드 공법을 적용한 것이 보강으로 인한 누적흡수에너지 증가가 커지는 것으로 나타나 메탈라스는 에너지를 흡수하는데 효과적인 것으로 판단된다.

6. 결 론

비보강 조적벽체의 내진보강을 위하여 조립식 강판밴드 보강공법을 개발하고, 조립식 강판밴드 보강공법의 내진보강효과를 검증하기 위하여 개구부 유무 및 형상, 내진보강 실시여부를 주요 실험변수로 총 9개의 조적벽체 실험체에 대한 정적 실험을 실시하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 비보강 조적벽체의 최대내력은 개구부 길이를 제외한 유효벽체길이에 비례하여 증가하는 반면, 최대변위는 개구부를 제외한 유효벽체길이에 반비례하여 증가하는 것으로 나타났다.
- 2) 개구부 유무, 보강공법 종류에 상관없이 보강 실험체는 비보강 실험체에 비하여 최대내력이 127~251% 커지는 것으로 나타났다. 또한, 실험체 단부를 고정할 경우 내진보강에 의한 내력 향상 효과는 더욱 커지는 것으로 나타났다.
- 3) 개구부 유무, 보강공법 종류에 상관없이 보강 실험체는 비보강 실험체에 비하여 최대변위가 121~228% 커지는 것으로 나타났으며, 실험체 단부를 고정할 경우 내진보강에 의한 연성향상 효과는 더욱 커지는 것으로 나타났다.
- 4) 비보강 실험체와 보강 실험체의 누적흡수에너지는 가력 초기에는 비슷한 수준인 것으로 나타났으나, 가력 종료 시 보강 실험체의 누적흡수에너지는 비보강 실험체의 누적흡수에너지의 최대 7.3배까지 증가하였다.

- 5) 메탈라스는 실험체 에너지 흡수 능력을 향상시키는데 매우 효과적인 것으로 나타났다.
- 6) 조립식 강판밴드 보강공법은 최대내력, 연성, 에너지 흡수능력의 측면에서 비보강 조적벽체의 내진보강에 매우 효과적인 공법으로 판단되며, 벽체 하부를 기초나 슬래브에 고정할 경우 내진보강효과는 더욱 커질 것으로 기대된다.

References

- FEMA 306 (1998) Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings, Basic Procedures Manual.
- KBC (2009) Korean Building and Commentary, Architectural Institute of Korea.
- Kim, K.M., Lee, S.H., and Oh, S.H. (2013) Seismic Performance Evaluation of Existing Low-rise RC Frames with Non-seismic Detail, *EESK Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 17, No. 3, pp.97-105.
- Lee, J.H. (2005) Seismic Capacity Evaluation of Low Rise Buildings, Doctoral Thesis.
- Lee, S.H., Oh, S.H., and Baek, E.L. (2011) The Proposal of Steel Damper System to Improve the Seismic Performance of Reinforced Concrete Frame, *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 27, No. 9, pp. 21-28.
- Moon, F., Yi, T., Leon, R., and Kahn, L. (2007) Testing of a Full-scale Unreinforced Masonry Buildnig Following Seismic Strengthening, *Journal of Structural Engineering*, pp. 1215-1226.
- NIDP (2010) Development of Seismic Retrofitting Techniques for Vulnerable Part in Unreinforced Masonry Buildings.
- Park, J.W. and Paek, J.J. (2013) Seismic Performance of Reinforced Concrete Beam-to-Column Joints Strengthened wirh Recycled Fibers from Fiber-Reinforced Plastics, *Journal. of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 11, No. 6, pp. 25-30.

Received	April 30, 2014
Revised	May 8, 2014
Accepted	June 13, 2014