

특집기사

국내 학교 건물의 내진보강 적용사례 I - SRC 보강공법을 이용한 경북 ○○초등학교 내진보강 - Seismic Retrofit of Existing RC School Structure : Case I - Using SRC Frame -



이 종 권^{1)*}

Lee, Jong Kweon



조 남 철²⁾

Jo, Nam Cheul



김 시 범³⁾

Kim, Si Bum

1. 개요

1.1 목적

국내 내진구조설계는 1988년 KS-1988에 의하여 적용되었고 이후 2005년 개정된 자연재해 대책법과 건축법 시행령에서 기준이 강화되었으

나, 대부분의 학교 시설물은 내진설계가 적용되지 않았으며, 노후화가 진행되고 있어 이에 대한 대책이 시급하다. 이에 ○○초등학교에 대한 내진성능 평가 및 내진보강설계를 실시하여 건물의 안전성을 확보하고자 한다.

Table 1 대상학교의 개요

위치	경북 ○○초등학교	재료강도	기준	신설
구조	철근콘크리트조	콘크리트	fck	21MPa / 24MPa
규모	본관 지상4층 후관 지상4층	철근	fy	400MPa (SD400) / 400MPa (SD400)
		철골	Fy	- / 235MPa (SS400)
준공	본관 1998년 후관 1998년	앵커볼트, 스터드볼트	Fy	- / 235MPa (SS400)



Photo 1 대상 초등학교 전경

1) 정희원, CMR기술연구원(주) 연구소장, 공학박사

2) CMR기술연구원(주) 대표이사, 구조기술사

3) CMR기술연구원(주) 기술이사

* E-mail : jkweon2@naver.com

1.2 수행 내용.

1.2.1 내진성능 예비평가

(교과부 가이드라인 2011. 9)

대상구조물에 대한 간단한 자료를 토대로 내진성능 상세평가의 필요성을 판단하기 위함.

1.2.2 내진성능 상세평가

대상구조물의 보의 강도는 충분히 강하다는 가정 하에 건물이 가지는 보유성능을 간략하게 계산하고, 비선형 요구내력 스펙트럼을 이용하여 평가용 지진가속도 수준까지 순차적으로 지진 손상도를 추정하여 내진성능을 평가한다.

1.2.3 비선형 정적해석법 (Pushover 해석)

대상구조물의 성능평가는 비선형 해석을 원칙으로 하며 부재의 연성도 및 변형 능력을 고려하여 평가한다. 비선형 정적해석을 통해 구한 성능점에서 발생하는 부재의 응력 및 변형을 개별 부재의 연성도 및 변형능력과 비교하여 검토한다.

1.2.4 보강설계 및 검토

대상구조물의 비선형 해석을 통해 나타난 성능수준을 근거로 대상구조물이 평가용 지진가속도 수준을 만족할 수 있도록 보강하고 이를 비선형 정적해석으로 검토한다.

2. 보강 전 구조물의 내진성능평가

2.1 지진하중 산정

- (1) 지역계수(S) = 0.11(BSE-1),
0.21(BSE-2) (상세지진 재해도 적용)
- (2) 지반분류 = SD (단단한 토사지반)
- (3) 단주기 지반증폭계수, (Fa)
= 1.58(BSE-1), 1.36(BSE-2)

- (4) 1초주기 지반증폭계수, (Fv)
= 2.36(BSE-1), 1.96(BSE-2)
- (5) 단주기 설계스펙트럼 가속도, SDS
= BSE-1 : 0.24933 / BSE-2 : 0.4760
- (6) 1초주기 설계스펙트럼 가속도, SD1
= BSE-1 : 0.14373 / BSE-2 : 0.2744
- (7) 중요도계수, I = 1.0 (FEMA 356참조) :
비선형정적해석

학교시설 내진설계 기준(고시 제2009-13)에서는 학교시설의 중요도계수는 연면적에 따라 산정한지만, 내진성능 평가 및 보강을 목적으로 하는 FEMA 356에서는 중요도계수를 고려하지 않으므로 본 평가에서는 이를 적용하였다.

- (8) 반응수정계수, R=1.0(FEMA 356 참조:
비선형정적해석)

FEMA 356에 따라서 비선형 정적해석을 수행하면, 부재의 비탄성 거동 및 실제 재료강도가 해석에 직접적으로 반영되므로 선형해석에서 구조물의 비탄성거동 및 초과강도를 고려하기 위한 반응수정계수는 고려하지 않는다.

2.2 내진성능 예비평가

(교과부 가이드라인 2011. 9)

“학교시설 내진성능 평가 및 내진보강 가이드라인”(2011년 8월 교과부)에서 제시하는 1단계 예비평가와 2단계 상세평가를 실시하여 내진성능을 판정하였고, 정적 비탄성해석방법(Pushover Analysis)을 사용하여 구조물의 최대변형과 요구능력 구하여 기존구조물의 내진성능을 상세하게 평가하였다.

2.3 내진성능 상세평가

보유성능 평가시 전단극한강도 Qsu 및 휨극한

Table 2 1단계 내진성능 예비평가 결과

항 목		500년 재현주기	2400년 재현주기 2/3
본관 좌측동	X	지진피해 판정결과	소규모 피해
		내진성능 평가점수	130
		내진성능 등 급	A
	Y	판정 결과	소규모
		평가 점수	130
		등 급	A
본관 우측동	X	판정 결과	경미
		평가 점수	119
		등 급	A
	Y	판정 결과	중규모
		평가 점수	111
		등 급	A
후관동	X	판정 결과	중규모
		평가 점수	124
		등 급	A
	Y	판정 결과	중규모
		평가 점수	110
		등 급	A

Table 3 본관 좌측동 X방향 필요보강량 산정

층	보유 성능	500년 재현주기 지진			2400년 재현주기 지진의 2/3		
	E_b	보강목표 보유성능	보강 판정	필요보강량 (kN)	보강목표 보유성능	보강 판정	필요보강량 (kN)
4	1.268	0.372	보강 불필요	0.0	0.504	보강 불필요	0.0
3	0.674		보강 불필요	0.0		보강 불필요	0.0
2	0.463		보강 불필요	0.0		보강 필요	138.8
1	1.141		보강 불필요	0.0		보강 불필요	0.0

Table 4 본관 좌측동 Y방향 필요보강량 산정

층	보유 성능	500년 재현주기 지진			2400년 재현주기 지진의 2/3		
	E_b	보강목표 보유성능	보강 판정	필요보강량 (kN)	보강목표 보유성능	보강 판정	필요보강량 (kN)
4	2.616	0.372	보강 불필요	0.0	0.504	보강 불필요	0.0
3	1.746		보강 불필요	0.0		보강 불필요	0.0
2	1.345		보강 불필요	0.0		보강 불필요	0.0
1	1.065		보강 불필요	0.0		보강 불필요	0.0

Table 5 본관 우측동 X방향 필요보강량 산정

층	보유 성능	500년 재현주기 지진			2400년 재현주기 지진의 2/3		
	E_0	보강목표 보유성능	보강 판정	필요보강량 (kN)	보강목표 보유성능	보강 판정	필요보강량 (kN)
4	0.792	0.372	보강 불필요	0.0	0.504	보강 불필요	0.0
3	0.620		보강 불필요	0.0		보강 불필요	0.0
2	0.499		보강 불필요	0.0		보강 필요	215.9
1	0.509		보강 불필요	0.0		보강 불필요	0.0

Table 6 본관 우측동 Y방향 필요보강량 산정

층	보유 성능	500년 재현주기 지진			2400년 재현주기 지진의 2/3		
	E_0	보강목표 보유성능	보강 판정	필요보강량 (kN)	보강목표 보유성능	보강 판정	필요보강량 (kN)
4	1.136	0.372	보강 불필요	0.0	0.504	보강 불필요	0.0
3	0.785		보강 불필요	0.0		보강 불필요	0.0
2	0.638		보강 불필요	0.0		보강 불필요	0.0
1	0.597		보강 불필요	0.0		보강 불필요	0.0

Table 7 후관동 X방향 필요보강량 산정

층	보유 성능	500년 재현주기 지진			2400년 재현주기 지진의 2/3		
	E_0	보강목표 보유성능	보강 판정	필요보강량 (kN)	보강목표 보유성능	보강 판정	필요보강량 (kN)
4	0.841	0.372	보강 불필요	0.0	0.504	보강 불필요	0.0
3	0.638		보강 불필요	0.0		보강 불필요	0.0
2	0.537		보강 불필요	0.0		보강 불필요	0.0
1	0.484		보강 불필요	0.0		보강 필요	781.4

Table 8 후관동 Y방향 필요보강량 산정

층	보유 성능	500년 재현주기 지진			2400년 재현주기 지진의 2/3		
	E_0	보강목표 보유성능	보강 판정	필요보강량 (kN)	보강목표 보유성능	보강 판정	필요보강량 (kN)
4	1.555	0.372	보강 불필요	0.0	0.504	보강 불필요	0.0
3	0.923		보강 불필요	0.0		보강 불필요	0.0
2	0.730		보강 불필요	0.0		보강 불필요	0.0
1	0.667		보강 불필요	0.0		보강 불필요	0.0

강도 M_u 의 계산에는 기존 연구된 적합성이 좋은 식을 사용하는 것으로 한다.(일본내진진단기준, FEMA356, ACI318-08 참조). 본 상세평

가에서는 일본내진진단기준을 따라 보유성능을 평가한다.

2.4 비선형 정적해석법(PUSH OVER)을 이용한 내진성능평가

본관 좌측동 해석 및 검토 결과, X,Y방향 모두 목표성능을 만족하였다. 따라서 교과부 가이드라인 결과와 종합적으로 분석하여 최종적으로 X, Y 양방향에 대해 내진보강이 필요 없는 것으로 판단된다.

본관 우측동의 성능점 및 층간변위를 검토한 결과, Y방향은 목표성능을 만족하였으나 X방향은 만족하지 못하였다. 따라서 교과부 가이드라인

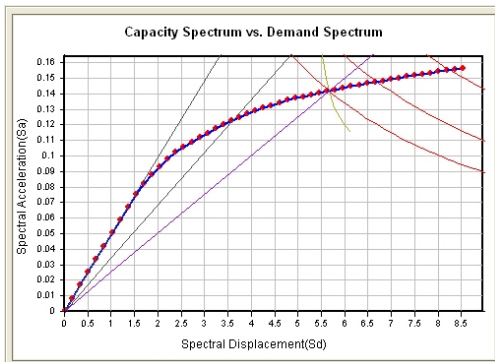
인 결과와 종합적으로 분석하여 최종적으로 X방향에 대해서는 내진보강이 필요한 것으로 판단된다.

후관동의 성능점 및 층간변위를 검토한 결과, X방향은 목표성능을 만족하지 못하였으나 Y방향은 만족하였다. 따라서 교과부 가이드라인 결과와 종합적으로 분석하여 최종적으로 X방향에 대해서는 내진보강이 필요한 것으로 판단된다.

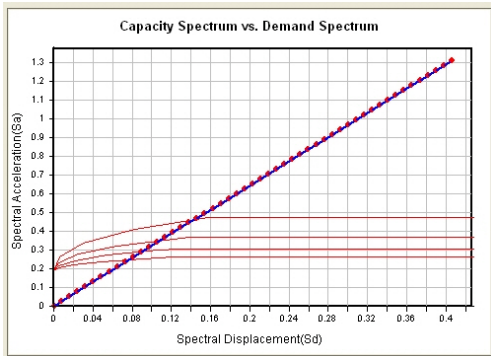
3. SRC 내진보강 설계

현재 진행되고 있는 내진보강은 구조물과 내진보강장치의 접합방법에 대한 검증이나 검토가 그중요도에 비하여 다소 소홀히 다루어지고 있는 실정이다. 내진보강장치의 접합강도가 확보되지 못할 경우, 지진에너지 감소에는 도움이 되지 못하고 오히려 파괴, 전도 등으로 인하여 인명과 재산상의 피해를 확대 발생 시킬 수 있는 가능성이 내재되어 있다.

RCS접합방법을 사용한 SRC프레임 내진보강 기술은 구조체와 보강장치의 일체거동을 확보하고, 성능이 충분히 검증된 SRC프레임을 사용함으로써 예측 가능한 내진보강효과를 기대할 수 있으며, 별도의 유지관리 활동 또는 유지관리 비



X-Dir (Vmax=807.4 kN, Dmax=6.642 cm)



Y-Dir (Elastic)

Fig. 1 본관 좌측동의 보강 전 지진하중에 대한 성능점

Table 9 본관 좌측동 층간변위 검토

I.O	L.S	C.P
1% 이내	2% 이내	4% 이내

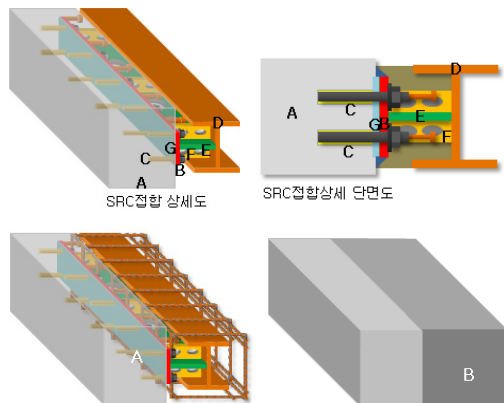


Fig. 2 SRC의 접합방법 개념도

용이 발생하지 않는 장점이 있다. 또한 전망이나 채광을 전혀 간섭하지 않아 기존 건물과 조화로운 입체적 디자인으로 적용할 수 있다.

4. 보강 후 내진성능평가

4.1 내진보강 도면

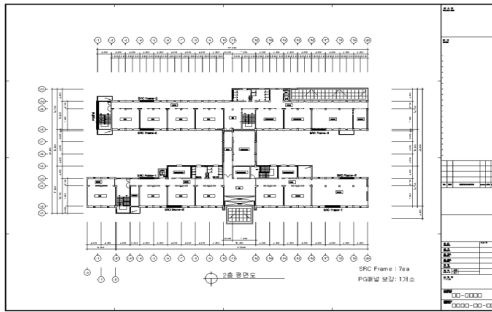


Fig. 3 내진보강(SRC프레임 설치)위치 - 2층

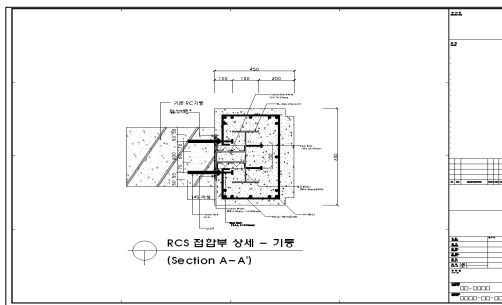


Fig. 4 RCS 접합부 상세도

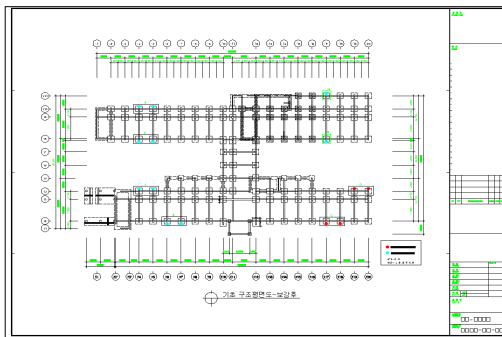
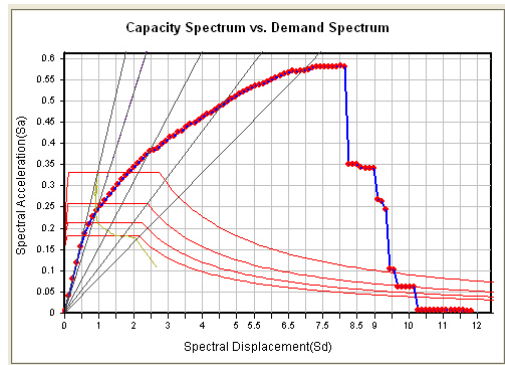


Fig. 5 기초보강 위치도

4.2 보강후 구조물의 안전성 검토

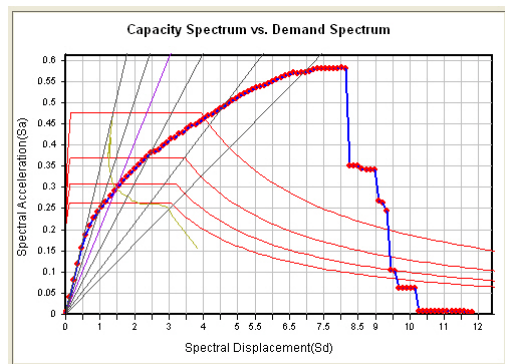
본관-우측동은 SRC 프레임 보강 후 성능점에서의 밀면전단력이 500년 재현주기의 경우 6,380kN, 2400년 재현주기 2/3의 경우 7,969kN로 보강 전 구조물보다 큰 성능 값을 나타내고 있다.

검토 결과, 본관-우측동 X방향의 설계 지진하중에 대해서 모든 부재가 목표성능(BSE-1일 때 IO : 즉시거주, BSE-2일 때 LS : 인명안전)을 만족하며, 층간변위역시 허용기준치를 만족하는 것으로 검토되어, 내진보강은 적절하게 이루어진 것으로 판단된다.



X-DIR. (Vmax = 6,380kN, Dmax = 0.5764 cm)

Fig. 6 BSE-1(500년 재현주기)의 성능점



X-DIR. (Vmax = 7,969 kN, Dmax = 1.242 cm)

Fig. 7 BSE-2(2400년 재현주기)의 2/3)의 성능점

Table 10 X방향 횡력지지 시스템의 내진성능 비교 - 500년 재현주기

	밀면전단력 (kN)	최상층 변위 (mm)	유효주기, T _{eff} (sec)	유효감쇠비, D _{eff}
기존횡력지지시스템, A	5,257	0.6273	0.3917	9.408
SRC 프레임을 사용한 횡력지지시스템, B	6,380	0.5764	0.3345	12.08

Table 11 X방향 횡력지지 시스템의 내진성능 비교 - 2400년 재현주기 2/3

	밀면전단력 (kN)	최상층 변위 (mm)	유효주기, T _{eff} (sec)	유효감쇠비, D _{eff}
기존횡력지지시스템, A	7,152	1.357	0.4941	18.87
SRC 프레임을 사용한 횡력지지시스템, B	7,969	1.242	0.4465	21.13

Table 12 Story Drift Ratio: X=0.00048 < 0.01 - OK

I.O	L.S	C.P
1% 이내	2% 이내	4% 이내

Table 13 Story Drift Ratio: X=0.00129 < 0.02 - OK

I.O	L.S	C.P
1% 이내	2% 이내	4% 이내

후관동은 SRC 프레임 보강 후 성능점에서의 밀면전단력이 500년 재현주기의 경우 8,343kN, 2400년 재현주기 2/3의 경우 11,400kN로, 보강 전 구조물 보다 큰 성능 값을 나타내고 있다.

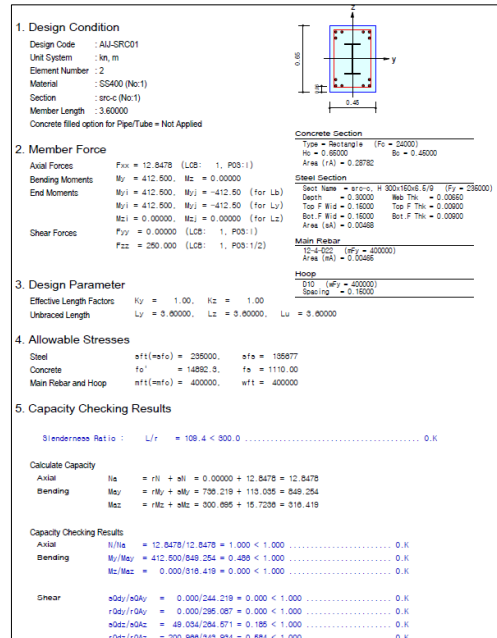
검토 결과, 후관동 X방향의 설계 지진하중에 대해서 벽체 2개를 제외한 모든 부재가 목표성능(BSE-1일 때 IO : 즉시거주, BSE-2일 때 LS : 인명안전)을 만족하며, 층간변위역시 허용 기준치를 만족하는 것으로 검토되어, 벽체 2개는 PG패널을 이용하여 부재보강을 실시하였다.

5. 기초 및 보강부재 설계

5.1 SRC 프레임 설계

비선형 정적해석 결과 구조물 성능이 대략 2335kN 증가 하여, SRC 프레임 기당 389kN의 최대수평력을 분담하고 있는 것으로 나타났다. 안전율을 고려하여 SRC프레임 기당 최대 500kN에서 탄성상태를 유지하도록 설계하였다.

* 기둥-프레임 검토



5.2 SRC 프레임 접합부 설계

기존 구조물과의 접합부 설계시 최대 500kN 보다 1.5배의 횡력에 대해 안전할 수 있도록 설

계하였다.

기준보와 Frame 접합부 검토

(1) 극한 전단력 (Vu) : 750 kN

(2) 단기를 고려한 사용 전단력 (Vs : Vu*0.7/1.5) : 350 kN

(3) 정착앵커 전단내력 (Vrec) 산정
 Try : M16 ANCHOR, 균열Conc
 Vrec = 47.7 kN/EA X 0.5 (안전율)
 Vrec = 23.85 kN/EA

(4) 정착앵커 배치
 $n = Vs / Vrec = 350 / 23.85 = 14.7$ EA (2열배치) 8
 접합부 길이 (l) : 4500 mm
 배치간격 = 4500 / (8-1) = 642.86 mm

USE, 정착앵커 : 2 - HD16 @ 300

기준기둥과 Frame 접합부 검토

(1) 극한 전단력 (Vu) : 600 kN

(2) 단기를 고려한 사용 전단력 (Vs : Vu*0.7/1.5) : 280 kN

(4) 정착앵커 전단내력 (Vrec) 산정
 Try : M16 ANCHOR, 균열Conc
 Vrec = 47.7 kN/EA X 0.5 (안전율)
 Vrec = 23.85 kN/EA

(5) 정착앵커 배치
 $n = Vs / Vrec = 280 / 23.85 = 11.7$ EA (2열배치) 6
 접합부 길이 (l) : 3600 mm
 배치간격 = 3600 / (6-1) = 720 mm

USE, 정착앵커 : 2 - HD16 @ 300

5.3 PG패널 보강설계

일부 벽체의 수직철근이 항복하는 부분에 대해 PG패널로 보강한다. PG패널의 강도를 철근의 강도로 환산하여 검토하였으며 이를 근거로 PG패널의 보강 간격 및 보강위치를 판단하였다.

5.4 내진보강 후 기초의 안전성 검토

본관동 및 후관동에 대한 기초의 보강 전 수직 하중에 대한 축력과 보강 후 지진하중과 조합된 하중에 대한 축력을 비교한 후 축력이 증가되거나 인발력이 발생하는 보강위치에 대한 기초보강을 실시하였다.

6. 맺음말

교육과학기술부에서 제시한 “학교시설 내진성능 평가 및 내진성능 가이드라인”과 비선형 정적 해석을 통해 ○○초등학교의 X,Y 양방향에 대해 500년 재현주기와 2400년의 재현주기 2/3 수준의 지진에 대한 안전성을 검토한 결과 추가

Table 14 기초 보강안

그룹명	보강전 축력 (SER) - (ton)	보강후 축력 (SER) - (ton)	파일 부담축력	보강안	비고
A	50.3	76.7 (인발: -16)	26.4 (인발: -16)	마이크로파일 (1-Ø50-50tf)	
B	94.8	119.6 (인발: -14.7)	24.8 (인발: -14.7)	마이크로파일 (1-Ø50-50tf)	
C	94.5	200.9 (인발: -83.4)	106.4 (인발: -83.4)	마이크로파일 (1-Ø75-130tf)	
D	52.3	193.5 (인발: -127.8)	141.2 (인발: -127.8)	마이크로파일 (1-Ø75-130tf)	SAY O.K
E	31.3	48.5 (인발: -11.8)	17.2 (인발: -11.8)	마이크로파일 (1-Ø50-50tf)	
F	79.8	87.2 (인발: -5.9)	7.4 (인발: -5.9)	마이크로파일 (1-Ø50-50tf)	
G	79	119.8 (인발: -36.5)	40.8 (인발: -36.5)	마이크로파일 (1-Ø50-50tf)	
H	10.3	53.1 (인발: -41.1)	42.8 (인발: -41.1)	마이크로파일 (1-Ø50-50tf)	



Photo 2 완공후 전경



Photo 4 완공후 상세



Photo 3 완공 후 상세

적인 내진보강이 필요하다 판단되었으며, 이에 SRC프레임과 PG판넬을 이용한 보강공법을 실시함으로써 지진력에 대해 안전성이 확보되는 것으로 검토되었다. 또한 SRC 보강으로 지반축력이 증가되어 기초에 대한 안전성을 확보하기 위해 마이크로 파일을 활용한 기초보강을 실시하였다.

담당 편집위원: 이강석
(전남대학교 건축학부 부교수)
kslnist@jnu.ac.kr