

발 간 등 록 번 호

11-1613000-001996-01

R&D / CTAP-C077924

1억 이하 비용으로 시공할 수 있는 고품격 학교건물 리모델링 내진보강 공법 개발 최종보고서

2017. 10. 27.

주관연구기관 / 동국대학교 산학협력단
협동연구기관 / (주)아이스트

국 토 교 통 부
(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

CTAP-C077924 R&D Report

2. 제출문

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘국토교통기술촉진연구사업’(연구개발 기간 : 2014. 07. ~ 2017. 07.) 과제의 최종보고서 2부를 제출합니다.

2017. 08. 03.

주관연구기관명 : 동국대학교 산학협력단 (대표자) 이 용규 (인)

공동연구기관명 : (주) 아이스트 (대표자) 이 동우 (인)

참여기관명 : 동서피씨씨(주) (대표자) 정 장원 (인)

(주)시엘에스이엔지 (대표자) 임 철우 (인)

주관연구기관책임자: 유 승룡

공동연구기관책임자: 이 동우

참여기관책임자: 정 장원, 임 철우

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

3. 보고서 요약서

보고서 요약서

과제 고유 번호	16CTAP-C07792 4-03	해당 단계 연구 기간	2016. 07. 18 - 2017. 07. 17(12개월)	단계구분	(3)/ (3)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	1억 이하 비용으로 시공할 수 있는 고품격 학교건물 리모델링 내진 보강 공법 개발			
	세부과제명				
연구책임자	유승룡	해당단계 참여 연구원 수	총: 14 명 내부: 9 명 외부: 5 명	해당단계 연구개발비	정부: 300,000천원 기업: 100,000천원 정부 외: 천원 계: 400,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 27명 내부: 18명 외부: 9명	총 연구개발비	정부: 900,000천원 기업: 300,000천원 정부 외: 천원 계: 1,200,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	동국대학교 산학협력단, 건축공학부			참여기업명 : (주)아이스트, 동서피씨 씨(주), (주)시엘에스이엔지	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
저층 학교 또는 공공건물 같은 리모델링 보강공사에서 저렴한 L 형 PC벽패널 부재를 활용하여 시공 전, 후가 동일하게 아름다운 외관을 얻을 수 있는 새로운 내진 보강방안 공법을 제안				보고서 면수: 24쪽	
1차년도 : (1) L형 PC 벽패널에 대한 시공, 설계방법, 실험에 대하여 연구 (2) 성능기반 내진 설계방법을 제안					
2차년도 : (1) PC와 RC사이에 수직 앵커와 수평앵커 접합부와 톱니형 철판 접합부 개발 (2) 실험결과 1차년도보다 보강 실험체의 횡 지지력은 훨씬 증가 (3) 전라도 전주에 있는 전라중학교 건물에서 L형 PC벽패널 공법 첫 실지 시공					
3차년도 : (1) 아래 3가지 안에 따라 실무에서 사용할 대표 3가지 실험체 설계 및 실험 성공 - 경제성과 효율성이 가장 좋은 수직 앵커와 수평앵커를 활 용한 접합부를 사용 - 보강재의 횡 지지력을 증가시키기 위하여 SD600 고강도 철 근을 주근으로 사용 - 두께 250mm와 180mm, 160mm L형 PC 벽패널을 개발 (2) 실무 활용을 위해 아래와 같은 많은 연구를 진행 - 본 공법의 실험체를 Abaqus로 비선형 유한요소 해석하여 보강실험체의 거동을 분석 - 성능설계를 위한 모델링을 만들고, 설계지침서를 제작 - 특기 시방서를 제작 - 팜플렛과 특허기술제안서 제작 - 2017년 하반기 사업시작을 위한 사업화 전략 연구					

4. 국문 요약문

연구의 목적 및 내용	이 연구 목표는 저층 학교 또는 공공건물 같은 리모델링 보강공사에서 저렴한 L형 PC 벽패널 부재를 활용하여 새로운 내진 보강방안 공법을 제안하는 데 있다. 1차 년도에서 L형 PC 벽패널에 대한 시공, 설계방법, 실험에 대하여 연구하였다. 이 실험에서 역량곡선이 먼저 산출되었다. 이 자료를 활용하여 샘플 학교에 적용할 수 있는 성능기반 내진 설계방법을 제안하였다. 2차 년도에서는 PC와 RC사이에 보다 많은 수직 앵커와 수평앵커를 설치한 접합부와 톱니형 철판 접합부 등을 이용하여 1차 년도보다 큰 강도를 발휘할 수 있는 L형 PC 접합부를 개발하였고, 이에 대한 구조 실험을 진행하였다. 실험결과 1차 년도보다 훨씬 개선된 높은 강도의 보강 실험체를 얻을 수 있었다. 이 실험결과를 전라도 전주에 있는 전라중학교 건물에서 L형 PC보강재를 설치하여 보강하였다. 3차 년도에서는 지난 실험에서 경제성과 효율성이 가장 좋은 다수의 수직 앵커와 수평앵커를 활용한 접합부에 대한 검토가 진행하였다. 보강재의 휨 지지력을 증가시키기 위하여 SD600 고강도 철근을 주근으로 사용한 두께 250mm와 180mm, 160mm L형 PC 벽패널을 개발하였다. 성능설계를 위한 모델링 과정과 모델링 결과를 나열하였다. 스펙트럼 선형 내진설계에 의하여 추가 기초공사가 필요하지 않는 이유를 분석하였고 하부 보에 추가 보강이 요구되지 않음을 확인하였다. 아울러 비선형 성능기반 내진설계방법으로 전라중학교 건물을 설계하였다.				
연구개발성과	제안하는 공법의 가장 큰 장점은 공사 전과 공사 후 외관이 변하지 않는다는 것이다. 아울러 보강 후 외벽에 다양한 타일공사 또는 노출콘크리트 페인트 공사가 가능하다는 점이다. 즉, 보강 후 건물의 외관은 보강시공을 실시하였는지 여부를 파악할 수 없으나, 적절한 외벽공사로 인하여 공사 전보다 훨씬 뛰어난 신축과 같은 건물외관을 보유하게 된다. 즉, 이 공법에서 제안하는 아름다운 외관은 PC공사를 활용함으로써만 가능한 방법이다. 그러나 현재까지 제안하는 PC 벽패널 공법에 비교되는 외관의 공법은 아직까지 없다고 할 수 있다.				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	금년에도 수백 개의 학교건물 내진보강 공사가 발주될 것으로 예상된다. 정부가 계획하고 있는 예산은 학교 1개동에 대하여 2~3억여 원 정도 이다. 제안하는 공법은 약 1억 원에 학교 1동 내진보강 공사를 완료할 수 있을 것으로 예상되므로 동일한 비용으로 2개동의 시공이 가능하다.				
핵심어 (5개 이내)	프리캐스트 콘크리트 벽패널	준 정적하중 실험	부분 채움	보강	앵커

5. 영문 요약문

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	This study aims to develop a new seismic resistant method by utilizing low-cost L-shaped precast concrete wall panels for the remodeling reinforcement works for low-rise schools or public facilities. In the first year of this project, the construction, structural design methods, and experiments on L-shaped precast concrete wall panels were investigated. From these experiments, the capacity curves were obtained first. Then, this data was utilized to propose a seismic performance design method applicable to the sample school. In the second year of the project, the L-shaped PC connections which could manifest greater strength than that of the first year were developed by using saw-type steel plate connection and connection with more installations of vertical and horizontal anchors between PC and RC, and the structural tests have been conducted. As the result of the test, high strength reinforced specimens with great improvements were obtained. With these test results, the building for Jeolla Middle School in Jeonju was reinforced by installing the L-shaped PC reinforcement materials In the third year of the project, the review was conducted regarding the connection that utilized multiple vertical and horizontal anchors, which exhibited the best economic value and efficiency. In order to increase the horizontal resistance, L-shaped precast concrete wall panels with thickness 250mm, 180mm, and 200mm which use high strength steel-SD600 as main bars were developed. There was also the analysis of the reason why additional foundation works were not needed by the spectrum linear seismic resistant design, and it was confirmed that additional reinforcement was not required at the lower beam. Moreover, the building for Jeolla Middle School was designed with the nonlinear performance-based seismic resistant design method.				
	Results				
	Expected Contribution				
	Keywords				

6. 영문 목차

< Contents >

1. Outline of Research and Development Project	6
2. Domestic and overseas technology development status	7
3. Research performance and performance	8
4. Achievement of goals and contribution to related fields	9
5. Plan to utilize R & D achievements	16
6. Overseas science and technology information collected during the research process	17
7. Security rating of R & D achievement	18
8. Research facilities and equipment registered in the National Science and Technology Comprehensive Information System	19
9. Implementation of safety measures in laboratories based on R & D tasks	20
10. Representative Research Results of R & D Project	21
11. Others	22
12. References	23

7. 본문 목차

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	6
2. 국내외 기술 개발 현황	7
3. 연구 수행 내용 및 성과	8
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	9
5. 연구개발성과의 활용 계획	16
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	17
7. 연구개발성과의 보안등급	18
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	19
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	20
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	21
11. 기타 사항	22
12. 참고 문헌	23

8. 본문

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

이 연구 목표는 저층 학교 또는 공공건물 같은 리모델링 보강공사에서 저렴한 L형 PC벽패널 부재를 활용하여 새로운 내진 보강방안 공법을 제안하는 것이다.

가. 연구개발이 종료될 시점에 달성하고자 하는 최종목표는 아래 사항을 만족시키는 독창적인 PC벽패널 내진보강 공법을 개발하는 것이다.

- (1) 최저 비용 - 1억 원 이하로 공사 할 수 있는 실용적인 공법,
- (2) 방학기간 안 - 40일 안에 충분히 완공 가능한 공법,
- (3) 단면 확장 공법으로 현재 신축건물에 적용되는 현행 국내 내진기준을 완벽하게 만족
- 구조 실험과 설계로 입증 할 수 있는 공법,
- (4) 아름다운 외관 - 국민 삶의 질 향상 기여할 수 있는 공법.

실제 시공에서 공사 전, 후가 동일하고, 다양한 치장이 가능한 내진보강공법,
지금까지의 시공된 어떠한 보강 공법보다 외관이 아름다운 공법.

나. 실제 노후 학교 건물에 제안 공법을 적용하여 상기 4가지 사항 준수 여부를 입증한다.

다. 학교건물 실무설계에 활용할 수 있는 설계 예시와 구조설계 지침서 작성하여 사용의 편리성을 높인다.

라. PC벽패널 공법을 위한 PC 재료의 대량 생산방법과 대량 시공방법에 대한 대책을 수립하여 새로운 건설시장 창출이 가능하도록 도모한다.

2. 연구개발의 필요성

가. 근래에, 우리나라에서 지진의 규모

- (1) 우리나라는 90년대 초까지 연 20회 정도 발생하던 지진이 1997년부터 본 연구가 시작하기 전까지 연평균 40회 이상 발생해 그 빈도와 강도가 증가하고 있다.
- (2) 2013년에는 우리나라에서 규모 2.0 이상의 지진이 93번, 규모 3 이상의 지진이 17번 발생하였다.
- (3) 본 연구가 시작한 해, 2014년 4월 1일 충남 태안에서 지난 역대 네 번째로 큰 규모인 진도 5.1의 지진이 발생하였다.

나. 근래의 교육부 발표: 시급하게 내진보강을 실행하여야 할 학교건물은 12,000여 동, 보강이 필요한 학교 건물의 95%가 철근 콘크리트구조 건물이다. 콘크리트 건물에 가장 적합한 내진보강 재료는 동일한 재료적 성능과 질감을 가지고 있는 PC(Precast Concrete)재라 할 수 있다. 그러나 지금까지 국내에서 PC를 활용한 내진보강 연구는 거의 없었다.

다. 학교건물 내진 또는 제진 보강공법 등으로 약 20여 개가 이미 사용 중이지만, 여전히 공사비는 비싸고, 효율성과 공사 후 외관 등에서 많은 문제가 있다.

라. 문제의 원인 분석과 대안제시

- (1) 공사 후 사용자의 입장에서 건물 외관의 중요성은 무시되었다고 할 수 있다. 그러나 건물 외관을 손상시키지 않아도 현행 내진기준을 충분히 만족 시킬 수 있는 공법 제안이 가능하다.
- (2) 일본 제진댐퍼를 사용하는 등 고비용 비효율의 공법을 주로 사용하고 있다.
- (3) 경험사례에 의하면, 3~5층 규모의 저층 노후 철근 콘크리트 건물이 조적조로 채워져 있을 때, 지진하중 하에서 이 건물들은 진동을 발생하지 않고 층 전단력에 의하여 취성 파괴되는 것이 일반적이었다. 전단파괴에 효과적인 공법은 단면 확장에 의한 공법이다.
- (4) 콘크리트 구조물 보강재로 주로 철골재를 사용하였다. 이 경우 보강 후 외관은 불량하게 되고, 철골은 고비용 재료이며, 철골재와 기존 콘크리트재료와의 부착 또는 합성에서 추가 문제가 발생 할 수 있다.

- 마. 따라서 이 연구에서는 단면 확장에 의한 PC 벽패널 내진 보강공법을 개발하려 한다.
- 바. 제안하는 L형 PC벽패널 내진 보강공법의 가장 큰 장점은 공사 전과 공사 후 외관이 변하지 않으며, 보강재 전면의 큰 부분을 차지하는 외벽에 다양한 타일 공사가 가능하다. 또 다른 장점은 설치 후 내력뿐 만 아니라 연성도 함께 증가하여 내진 보강재로 최적의 성능을 가지게 된다. L형 PC벽패널 공법은 순수한 창의력으로 개발된 이 연구 고유의 아이টে이라 할 수 있다.

3. 연구개발 범위

- 가. 근래에 국외에서 많은 부실한 학교건물들의 비참한 지진참사가 보도되고 있다. 아울러, 국내에서는 12,000여동의 초, 중, 고등학교 건물이 국외 쓰촨성 또는 아이티 건물과 같이 지진에 대하여 무방비 상태인 것으로 조사되었다.
- 나. 현행 내진기준에 의한 진도 6정도의 지진에서도 대규모 피해가 예상되는 12,000여 동의 학교 건물에 대한 내진 보강공사를 신속하게 완료할 수 없는 첫 번째 이유는 36조로 추정되는 공사에 대한 정부예산 부족인 것으로 보도되었다. 따라서 학교 건물 내진 보강 연구에서, 가장 중요한 화두는 “저렴한 공사비”라 할 수 있다. 즉, 학교건물 1개동을 1억 이하의 공사비로, 현행 내진 규정을 만족시킬 수 있도록, 보강 할 수 있다면 우리사회가 가지고 있는 큰 문제 중 하나를 해결 할 수 있는 방안이 될 수 있다. 또한 건물형식 중에 대부분인 철근 콘크리트 보-기둥 구조물의 내진보강 공법을 개발하여 앞으로의 노후건물의 구조 변경 보강 방법으로 활용할 수 있다.
- 다. 즉, 모재가 철근 콘크리트인 노후 학교건물에 대하여 가장 효율적이고 경제적인 공법을 제안할 수 있다면, 민생현안을 합리적인 비용으로 안전하게 해결한다는 차원에서 국가적으로나 사회적으로나 바람직한 시도라 할 수 있다. PC 벽패널 공법은 다음과 같은 구체적인 성능을 가지고 있다.
- 라. PC 재료는, 고강도 콘크리트와 고강도 철근을 사용하므로 기존의 철근콘크리트 콘크리트 물량을 절감 할 수 있는 탄소저감형 건설재료라 할 수 있다. 또한, PC 공법은 나무 거푸집을 사용하지 않고 영구 거푸집(permanent form)을 사용하므로 하나의 영구 거푸집에 의해서 백 여개의 PC를 생산하므로 친환경 공법이라 할 수 있다.
- 마. 따라서 이 연구에서는 다음과 같은 내용으로 연구를 진행하려 한다.
- (1) 일반 PC 벽패널 공법에 대한 실물 구조 실험진행 및 실무활용과 검증
 - (2) PC 벽패널 공법에 대한 내진 설계 방법 제안
 - (3) 이 공법에 대한 시공성, 경제성, 구조적 효율성 분석 보고서 작성
- 바. 연차별 연구 범위는 아래와 같다

구분	No.	연구 범위
1차년도 (2014-2015)	1-1	L형 PC벽패널 공법 제안, 실험보고서
	1-2	L형 PC벽패널 공법 스트럿-타이 모델 설계
	1-3	앵커전단접합부에 대한 모델 실험보고서
	1-4	박스앵커 설계와 Perform3-D 성능기반 내진설계
	1-5	L형 PC벽패널 공법 내진설계 예제집
2차년도 (2015-2016)	2-1	L형 PC벽패널 내진보강공법 2차 실험 및 해석
	2-2	박스 철판 용접 접합부 전단 실험 및 해석
	2-3	박스앵커 접합부 전단 실험 및 해석
	2-4	L형 PC벽패널 실무활용
3차년도 (2016-2017)	3-1	수평 앵커와 수직 앵커 접합부를 사용한 L형 PC벽패널의 최적 모델 제안
	3-2	고강도 철근 SD600사용한 L형 PC벽패널 개발
	3-3	200mm 두께 L형 PC벽패널 개발
	3-4	단일 앵커전단 실험
	3-5	L형 PC벽패널 비선형 해석과 비교하여 실무적으로 적용 가능한 모델식 또는 설계식을 제안
	3-6	전라중학교 L형 PC벽패널 공법의 구조설계와 시공 과정에 대한 팜플렛 및 광고물 작성 및 배포
	3-7	L형 벽패널 공법의 표준화, 경제성 분석, 설계 및 시공지침, 사업화전략 연구

제2장. 국내외 기술 개발 현황

국외에서 도입된 공법과 국내에서 개발된 공법을 합하여 20여개가 학교건물에 제안 및 사용되었으나, 현행 내진보강 공법은 비용이 너무 비싸고 구조적 신뢰성을 보증할 만큼 검증되지 않았다. 대부분의 기존 보강공법들은 실물 크기 실험이 아닌 1/3또는 1/5스케일로 실험하거나 접합부 또는 단일 기둥에 대해서만 실험을 진행하였으므로, 보-기둥 구간에 대한 보강 후 효과를 제안하는 성능 값만큼 그 효과를 신뢰할 수 없다. 특히, 그 외관도 불량하여 사용자에게 거부감을 주고 있다.

본 연구에서 개발한 내진보강 공법은 이러한 문제점을 획기적으로 해결해준다. 제안하는 공법으로 보강한 RC골조를 실물 크기로 제작하여 지진하중과 같은 반복 횡 하중 하에서 실험하였으므로, 보강 후 골조의 거동과 보강 효과를 예측할 수 있다. 그리고 실용화 과정의 성능기반 설계를 할 때, 실험 결과를 토대로 보다 정확한 보강재 모델링을 할 수 있다.

개발한 공법의 가장 큰 장점은 공사 전과 공사 후 외관이 변하지 않으며, 보강 후 전면에 많은 부분을 차지하는 외벽에 다양한 타일 공사가 가능하다는 점이다. 즉, 보강 후 건물의 외관은 보강시공을 하였는지 여부를 파악할 수 없으나, 적절한 노출 콘크리트 또는 타일 공사로 인하여 공사 전보다 훨씬 뛰어난 신축과 같은 건물 외관을 보유할 수 있다. 즉, 이 공법에 의한 아름다운 외관은 동일한 콘크리트 보강재인 PC공사를 활용함으로써만 가능한 방법이다.

내진보강설계는 건축 설계사무소에 일임하기보다 안전진단 면허를 소유한 구조사무실에 발주하고 있다. 정부가 계획하고 있는 예산은 학교 1개 동에 대하여 2~3억여 원을 내진보강 비용으로 투입되고 있다. 제안하는 공법은 약 5천만 원에 학교 1개 동 내진보강 공사를 완료할 수 있으므로 동일한 비용으로 4개 동의 시공도 가능하다.

개발한 L형 PC벽패널 공법은 아름다운 외관, 저렴한 공사비, 짧은 공사기간, 그리고 간편한 시공 등 다양한 장점을 가지고 있어 수요자나 공급자가 우선으로 선택할 가능성이 가장 높은 공법이다. 발주처인 교육청은 외관을 중시하는 각 학교당사자의 의견을 고려하여 가장 효율적이고, 아름답고 안전한 공법을 선택할 것으로 기대된다.

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 이론적, 실험적 접근방법, 연구내용, 연구결과

가. 1차년도

연구 범위 NO.*	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 내용	연구 결과
1-1	실험과 이론으로 연구를 수행	L형 PC 벽패널 공법 제안 실험보고서	기존 철근 콘크리트(RC) 보-기둥 건물에서 L형 PC벽패널을 내진보강재로 활용한 공법을 제안하고 개발하였다. 이 과정에서 PC부재와 RC부재간의 2개의 접합부, 앵커접합부와 철판접합부를 개발하였다. 이 접합부들은 L형 PC벽패널 수직재 상부와 RC 상부 보 하단을 연결해주는 상부접합부로, 상단에서 수직오차조절을 하고, 횡 지진하중 하에서 상단에 발생하는 큰 변위와 요구되는 전단강도에 대응할 수 있어야 한다. 개발한 접합부는 시공성이 좋고 공사비가 저렴하고, 전단성능이 우수하며 시공오차를 해소할 수 있다. 실물크기로 제작한 RC골조에 L형 PC벽패널을 삽입하고 실험하여 내진보강 효과를 분석하였다. 상부 철판접합부를 사용한 실험체 PR1-LP의 Forward와 Backward cycles에서 평균 횡 지지력은 798.5 kN이었다. 상부 앵커접합부를 사용한 실험체 PR1-LA의 평균 횡 지지력은 761 kN이었다. 보강실험체의 평균 횡 지지력은 무보강 RC골조 실험체의 것(평균 횡 지지력: 211.5 kN)보다 약 3.6~3.8배 더 증가하였다.
1-2	이론으로 연구수행하고 실험결과와 비교	L형 PC 벽패널 공법 스트럿-타이 모델 설계	스트럿 타이 모델설계방법으로 L형 PC벽패널로 보강한 RC골조를 모델링하고 해석을 진행하였다. L형 PC 벽패널 공법 스트럿-타이 모델 해석결과, 초기 균열과 최종 균열의 위치, 가력하중과 변형도의 크기는 실험 결과와 거의 일치하였다. 그러므로 실험 결과에 100% 가깝게 일치하는 STM 해석결과를 얻을 수 있었다. 스트럿-타이 모델을 사용하여, L형 PC 벽패널 공법에서 효율적인 배근방법 도출할 수 있었다.
1-3	실험과 이론으로 연구를 수행	앵커전단접합부에 대한 모델 실험보고서	RC골조와 삽입된 L형 PC벽패널이 합성거동하기 위해서는 큰 전단강도를 발휘 할 수 있는 효과적인 접합부가 필요하다. 또한 이 접합부는 신축성이 있는 전단보강 접합부로 PC 보강패널을 기존 RC구조물 내부에 삽입할 때 일정 부분에 오차를 해소할 수 있어야 하고 공사비가 저렴하고 시공이 편리한 접합 장비여야 한다. 본 연구에서는 이러한 접합부를 개발하였고 실물 크기 전단실험을 통해 접합부의 성능을 알아보았다. 제안하는 앵커 전단접합부는 접합부 폭이 조절가능하고 큰 전단력에도 견딜 수 있다.
1-4	실험결과를 바탕으로 이론에 따라 연구 수행	박스앵커 설계와 Perform3-D 성능기반 내진설계	현행 내진설계 규정에서는 L형 PC벽패널 내진보강 공법으로 학교 내진 설계할 때, 성능기반 내진설계를 하도록 하고 있다. 이를 위하여 실무에 쉽게 적용할 수 있는 비선형 등가해석모델을 개발하고 본 연구에서 개발한 박스앵커의 설계방법도 제시하였다. 제안하는 모델을 사용하여 설계를 하였을 때, 보강 이후 설계지진하중 및 최대발생 지진하중에 대한 목표 성능수준이 만족하는 것을 확인하였다.
1-5	실험결과를 바탕으로 이론에 따라 연구 수행	L형 PC 벽패널 공법 내진설계 예제집	L형 PC벽패널 공법으로 학교 내진공사를 할 때 Perform-3D를 활용하여 성능기반내진설계를 진행할 수 있는 설계기법 예제집을 만들었다. 예제집은 개발된 PC벽패널 내진 보강공법을 실무에서 쉽게 적용하여 활용할 수 있는 가이드이다.

* 제 1장 3. 연구개발 범위의 ‘바, 연차별 연구 범위 표’ 에서 연구범위의 No.이다.

나. 2차년도

연구 범위 NO.*	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 내용	연구 결과
2-1	실험과 이론으로 연구를 수행	L형 PC벽패널 내진보강공법 및 2차 실험 해석	L형 PC 벽패널 내진보강 공법으로 새로운 공법 2개와 접합부를 개발하였다. 톱니형 철판접합부는 기존구조물의 시공오차 또는 변형에 대응하여 모든 구간을 하나의 PC로 시공할 수 있다. 톱니형 철판 접합부는 후 설치 앵커가 RC 보 중앙 축 선에 정착토록 하고 철판 접합단면을 최대화하여 전단강도를 증가시킬 수 있는 철물이다. 수평 및 수직앵커 접합부는 기존 철근콘크리트 보기둥 건물에 PC벽패널로 채움보강할 경우 지진에 대한 횡지력을 증가시키기 위하여 PC콘크리트를 관통하여 수직과 수평 앵커를 기존 RC콘크리트에 정착하여 철물사용으로 인한 비용을 감소시킨다. 이 공법은 타공법보다 공사가 수월하고 공사비가 저렴하다. 저렴한 공사비에 비하여 횡지력도 우수하다. 따라서 L형 PC벽패널 보강공법을 실무에 적용하는 데 가장 적합한 모델로 사료된다. 위와 같은 새로운 2가지 접합부를 사용하여 L형 PC벽패널로 RC골조를 보강한 결과, 모두 목표치(400 kN)를 크게 초과하며 횡지력과 강성이 크게 증가하였다. 평균 971.3kN의 지진력을 지지하였다. 1차 년도까지는 250mm 두께 PC벽패널에 대하여 주로 연구하였다. 2차 년도에서는 150mm 두께 PC벽패널에 대하여 연구하였다. 톱니형 박스 철판접합부와 두께 150mm의 PC벽패널을 사용한 실험체 LPB2-H3의 Forward와 Backward cycles에서 평균 횡 지지력은 840.5 kN이었다. 그러므로 얇은 벽패널도 충분한 내진거동 개선능력을 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 두께 즉 자중을 줄이는 것은 공사비를 절감하고 양중하중을 감소하여 시공성을 개선할 수 있다.
2-2	실험과 이론으로 연구를 수행	박스 철판 용접 접합부 전단 실험 및 해석	L형 PC벽패널에 사용할 수 있는 톱니형 철판접합부를 연구하였다. 이 접합부는 기존 RC보의 중앙에 앵커를 설치할 수 있고 최대 단면의 철물을 사용할 수 있으며 높이를 조정할 수 있다. 실험크기 전단실험체 실험 결과, 두께가 250 mm인 접합부들의 평균 전단내력은 접합부 길이 1.2 m의 경우, 473.6 kN이었다. 두께 150 mm이고 접합부 길이가 1.2 m인 실험체 LPBS2는 461.5 kN의 지진력을 지지하였다. 제안하는 박스 철판 접합부는 500kN에 가까운 큰 전단력을 받을 수 있는 PC와 RC사이의 상부 접합부이다.
2-3	실험과 이론으로 연구를 수행	박스앵커 접합부 전단 실험 및 해석	L형 PC벽패널에 사용할 수 있는 앵커접합부를 연구하였다. 이 접합부는 기존 RC콘크리트보의 중앙에 앵커를 설치할 수 있고 높이를 조정할 수 있다. 특히 본 연구에서는 기존의 250 mm뿐만 아니라 150 mm의 앵커 접합부를 개발하였다. 실험크기 전단실험체 실험에 따르면 150 mm두께 앵커접합부의 접합 내력은 UAC2 실험체의 경우 237.4 kN으로 산출되었다. 제안하는 앵커접합부는 200kN이상의 전단력을 받을 수 있는 PC와 RC사이의 상부 접합부이며 철판 접합부에 비해 경제적이다.
2-4	공사 계약을 체결하고 실험과 이론을 바탕으로 구조설계를 진행하고 실시시공완료	L형 PC벽패널 실무활용	L형 부분채움 PC벽패널 임플란트 공법에 대하여 2016년 8월 전주시 전라중학교에 첫 번째 실시 시공이 진행되었다. PC벽패널 내진보강 공사는 약 9일이 소요되어 방학기간 내에 충분히 공사를 완료하였고, 시공전과 동일한 시공 후의 아름다운 외관을 얻을 수 있었다.

* 제 1장 3. 연구개발 범위의 ‘바. 연차별 연구 범위 표’ 에서 연구범위의 No.이다.

다. 3차년도

연구 범위 NO.*	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 내용	연구 결과
3-1	실험과 이론으로 연구를 수행	수평 앵커와 수직 앵커 접합부를 사용한 L형 PC벽패널의 최적 모델 제안	실무에 적용하기 위하여, 최적으로 설계하고 실험한 L형 PC벽패널 보강 RC골조의 최종모델 제안하였다. 연구 기간 동안 개발한 최고의 접합기술인 “후설치 앵커를 사용한 임플란트 기술” (수평 앵커와 수직 앵커를 사용한 접합부)을 사용하여 다수의 보강 실험체를 실험하고 내진보강효과를 분석하였다. 실무에 사용할 최적모델은 두께별로 3가지이다. 벽패널 두께가 250 mm인 실험체 LA1-H5V1의 평균 횡지지력은 1,003 kN, 벽패널 두께가 180 mm인 실험체 LA3-H5V2의 평균 횡지지력은 694.5 kN, 그리고 벽패널 두께가 260 mm인 실험체 LA4-H5V3의 평균 횡지지력은 610.5 kN이다. 현장에서 기존 구조물에 후 설치 앵커를 설치할 때, 앵커와 만나는 철근을 잘라 시공을 하는 것을 종종 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 보강 대상 RC 골조의 철근과 만나지 않도록 후 설치 앵커를 위치하였다. 보강 대상 RC 골조는 80년대 대한민국 교육부에서 발표한 학교건물 표준 설계도에 기초하여 제작하였다. 대한민국에서 20년 이상 노후화한 철근콘크리트 학교건물을 보강할 때, 제안하는 앵커 위치를 사용할 수 있다.
3-2	실험과 이론으로 연구를 수행	고강도 철근 SD600사용한 L형 PC벽패널 개발	PC벽패널을 삽입한 보 기둥 구조물은 내부 PC부재부터 파괴가 시작한다. 즉 고강도의 PC부재는 고효율의 내진보강부재가 된다고 할 수 있다. 효율적인 내진보강을 위하여 고강도의 철근 SD600을 사용한 L형 PC벽패널에 대한 실험과 분석을 하였다. 모든 보강 실험체의 PC벽패널 주근에 SD600을 사용하였다. 모두 지진력(횡력) 600 kN이상의 뛰어난 보강효과를 보여주었다. 또한 보강실험체의 파괴메커니즘 분석결과, PC벽패널에 고강도 철근을 사용한 것이 보강실험체의 내진거동 개선에 효과적이었다는 것을 알 수 있었다.
3-3	실험과 이론으로 연구를 수행	200mm 두께 L형 PC벽패널 개발	2차 년도까지는 250mm 두께 PC벽패널에 대하여 주로 연구하였다. 실무에서는 다양한 건물 구조에 대응할 수 있는 다양한 두께의 보강체가 요구된다. 또한 더 얇은 PC벽패널은 더욱 가법기 때문에 시공성이 좋다. 따라서 3차 년도에서는 기존에 연구해온 250 mm보다 더 얇은 PC벽패널을 연구하였다. 주근을 L형 모양으로 한 번에 접에서 배근하는 새로운 철근배근 아이디어를 사용하여, 연구시작단계에서 목표치였던 200 mm보다 더 얇은 180 mm와 160 mm 두께 PC벽패널을 개발에 성공하였다. 두께는 180 mm인 실험체 LA3-H5V2의 평균 횡지지력은 694.5 kN, 그리고 벽패널 두께는 260 mm인 실험체 LA4-H5V3의 평균 횡지지력은 610.5 kN이다. 모두 지진력(횡력) 600 kN이상의 뛰어난 보강효과를 보여주었다.
3-4	실험과 이론으로 연구를 수행	단일 앵커전단 실험	L형 PC벽패널공법에서 다수의 앵커가 사용되고 있다. 앵커 접합은 RC 부재에 후설치 앵커가 정착되고, PC 부재에 선설치 앵커가 정착되며 접합부에서 두 앵커가 교차된 상태라 할 수 있다. 1개 층 콘크리트 단일 앵커 전단강도에 기초한 ACI 318M-11 Appendix-D의 식을 활용하여 2개 층의 콘크리트에 걸쳐 정착한 앵커와 3개 층의 콘크리트에 걸쳐 엇갈려 정착한 앵커의 전단거동을 예측해 보았다. 이와 함께 접합부내 앵커군 간의 상대적 위치, 매립 깊이, 연단 거리를 실험 변수로 사용하였고 검토하였다. ACI 318M-14를 참조하여 실험체의 공칭 전단강도를 오차율이 10.8%로 예측하는데 성공하였다. 해석에 의한 공칭 전단강도와 실험 전단강도가 약 106%로 일치하였다.
3-5	이론으로 연구수행하고 실험결과와 비교	L형 PC벽패널 비선형 해석과 비교하여 실무적으로 적용 가능한 모델식 또는 설계식을 제안	실험 결과를 Abaqus 비선형 유한요소해석 프로그램에 의하여 분석하여 일반화하였다. 접합부의 파괴 거동을 알 수 있었기 때문에, 실무에서 접합부 해석결과가 필요할 때 매우 중요한 자료로 사용할 수 있다고 판단된다. 3차년도 실험체의 실험과 해석결과를 비교한 결과, 최대 하중(미는 하중)시 하중 Ratio 약 1.18~1.83, 최대 부하중(당기는 하중)시 하중 Ratio 약 1.85~3.15로 비선형해석결과가 크게 평가되었다.

* 제 1장 3. 연구개발 범위의 ‘바. 연차별 연구 범위 표’ 에서 연구범위의 No.이다.

연구 범위 No.*	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 내용	연구 결과
3-6	실험과 이론으로 수행된 연구결과를 바탕으로 제작	전라중학교 L형 PC벽패널 공법의 구조설계와 시공 과정에 대한 팜플렛 및 광고물 작성 및 배포	2차 년도에 전라중학교에 적용한 구조 설계와 시공과정을 정리하여 후속하는 타 공사의 구조설계와 시공과정에 사용할 수 있는 팜플렛과 특허기술제안서를 제작하였다. 팜플렛은 본 공법의 장점과 실험 및 시공까지 간결하게 이미지로 설명되어 있다. 특허기술제안서는 공법 개요와 실험 그리고 시공과정이 그래프, 그림, 사진 등을 사용하여 자세하게 설명되어 있다.
3-7	이론을 바탕으로 제작	L형 벽패널 공법의 표준화, 경제성 분석, 설계 및 시공지침, 사업화전략 연구	L형 벽패널 공법의 실무 활용을 위하여 공법을 표준화 하고, 마이다스 제을 사용하여 성능기반 내진설계를 할 때 사용하는 설계지침서 와 특기 시방서를 작성하였다. L형 벽패널 공법과 타 공법과 비교하여 경제성을 분석하고 사업화 전략을 연구하여 올해부터 사업을 시작할 수 있도록 준비하고 있다.

* 제 1장 3. 연구개발 범위의 ‘바. 연차별 연구 범위 표’ 에서 연구범위의 No.이다.

2. 연구개발성과

가. 기술적 성과

본 연구는 세계 최초로 개구부를 존치할 수 있으며 PC부재를 사용한 내진보강 공법을 개발하였고 보강공법의 실용화에 성공하였다는데 가장 큰 의의를 가진다. 이 공법은 시공전과 시공후가 동일하게 매우 큰 창문을 제공하고 아름다운 외관을 얻을 수 있다. 또한 구조적으로도 효과가 매우 크며, 시공이 매우 빨라 방학기간 내에 충분한 완공이 가능하다. 또한 연구의 주제와 같이 1억 이하에 시공이 가능할 뿐만 아니라 2동의 시공이 가능할 것으로 판단된다.

본 공법은 저층 구조물 대상의 국내외 다른 공법들과 비교하였을 때, 구조물의 내진거동을 매우 효과적으로 개선시킨다. 본 공법에서 250mm의 L형 PC벽패널로 RC골조를 보강하였을 때, RC골조가 받을 수 있는 평균 횡 지지력은 약 100 ton을 넘어선다.

본 연구에서는 RC부재와 PC부재를 연결시킬 수 있는 다양한 접합부를 개발하였다. 이 접합부는 필요한 내력을 충분히 발휘하고, 기존 구조물의 보수공사과정에서 반드시 고려해야하는 시공오차를 해결할 수 있다. 특히 2차년도에 개발하였고 3차년도에 완성한 접합기술인 “임플란트 기술(수직 수평 관통형 앵커 접합부)” 는 제안하는 내진보강 공법의 구조적, 경제적 효과를 급격하게 증가시킨 기술이다.

가장 큰 성과는 연구기간동안에 첫 번째 실시시공에 성공하였다는 점이다. 2016년 8월 전주시 전라중학교에 첫 번째 실시 시공이 진행되었다. PC벽패널 내진보강 공사는 약 9일이 소요되어 방학기간 내에 충분히 공사를 완료하였고, 시공 후에도 시공전과 동일한 아름다운 외관을 얻을 수 있었다.

연구과정에서 국내논문 7편, 국제학술발표 1건, 국외학술발표 1건, 국내학술발표 1건, 특허 출원 9건, 특허 등록 4건, 시제품 7건, 지침 및 가이드라인 1건, 기술거래 1건을 발표, 제작 및 계약하였다. 시제품과 그 밖의 보고서를 살펴보면, 본 연구에서 개발한 공법을 실용화하기 위하여 많은 연구를 진행하였다. 구조설계 부분에서는 본 공법의 실험체를 Abaqus로 비선형 유한요소 해석하여 보강실험체의 거동을 분석하였고, 실무에 적용할 수 있는 비선형 모델링을 만들었으며, 성능기반 구조설계지침서를 제작하였다. 시공 부분에서는 특기 시방서를 제작하였다. 또한 실무에 활용할 수 있는 팜플렛과 특허기술 제안서도 제작하였다.

나. 경제적 성과

제안하는 연구의 결과는 2만4천여 개의 학교 건물에 활용을 목표로 하므로, 지역별로 다수의 PC제작 사에게 생산을 의뢰하여 중소기업들의 수익을 보장하고 많은 지역 엔지니어의 참여로 엔지니어링 시장을 활성화시킬 수 있다. PC벽패널 리모델링 내진보강 기술은 국내 건설 환경과 학교건물 고유의 특성을 고려하여 이에 적합하도록 국내에서 독자적으로 개발된 앞으로의 원천기술이라 할 수 있다. PC벽패널 내진보강 공법은 그 고유의 장점, 획기적인 경제성, 효율성으로 인하여 학교건물 리모델링 내진보강” 을 위한 표준기술이 될 것으로 예상된다. PC벽패널 공법은 국민복지와 안전에 직접 관련된, 사회적 파급효과가 매우 큰 기술이다. 따라서 이 공법은 그 고유의 장점으로 인하여 새로운 건설시장 창출에 도움을 줄 수 있을 것으로 예상된다.

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

가. 1차년도

연구목표 : PC벽패널 공법 개발

세부 과제명	세부 연구 목표치		목표 달성		
	질적 성과	양적 성과	질적 성과	양적 성과	달성도
L형 PC 벽패널 공법 제안, 실험보고서	실험에서 구간 당 지진력(횡력) 400kN 이상 지지	국내외논문 1편 시제품 1건	실험체의 평균 지진력은 779.8 kN	국내논문 3편 시제품 1건	400%
L형 PC 벽패널 공법 스트럿-타이 모델 설계	실험결과와 비교 80%이상 일치	시제품 1건	실험 결과와 해석결과가 100% 일치	특허출원 1건 시제품 1건	200%
앵커전단접합부에 대한 모델 실험보고서	논문 1건 제출	국내외논문 1편 특허출원 1건	관련 논문 게재 및 학술발표 진행	국내논문 1편 국제 학술발표 1건 특허출원 2건	400%
박스앵커 설계와 Perform3-D 성능기반 내진설계	내진성능의 만족여부	시제품 1건	보강 이후 설계지진하중 및 최대발생 지진하중에 대한 목표 성능수준이 만족 확인	시제품 1건	100%
L형 PC 벽패널 공법 내진설계 예제집	예제집으로 학교건물의 설계가 가능한지 여부	시제품 1건	실무에 쉽게 적용하여 활용할 수 있는 가이드 제공	시제품 1건	100%

나. 2차년도

연구목표 : PC벽패널 공법 개발

세부 과제명	세부 연구 목표치		목표 달성		
	질적 성과	양적 성과	질적 성과	양적 성과	달성도
L형 PC벽패널 내진보강공법 2차 실험 및 해석	실험에서 구간 당 지진력 (횡력) 400kN 이상 지지	SCI논문 1편 시제품 1건	실험체의 평균 지진력은 971.3 kN	시제품 1건	75%
박스 철판 용접 접합부 전단 실험 및 해석	실험체당 지진력 200kN 이상 지지	특허출원 1건	접합부의 평균 지진력은 467.6 kN	특허출원 1건	100%
박스앵커 접합부 전단 실험 및 해석	실험체당 지진력 200kN 이상 지지	국외학술논문 1편	150 mm두께 접합부의 접합내력은 237.4 kN	미달성	50%
L형 PC벽패널 실무활용	제안공법 실제 적용	시제품 1건	전라중학교에 첫 번째 실시 시공	특허출원 1건 시제품 1건	200%

다. 3차년도

연구목표 : PC벽패널 공법 개발

세부 과제명	세부 연구 목표치		목표 달성		
	질적 성과	양적 성과	질적 성과	양적 성과	달성도
수평 앵커와 수직 앵커 접합부를 사용한 L형 PC벽패널의 최적 모델 제안	실험에서 구간 당 지진력(횡력) 600kN 이상 지지	특허 출원 2건 SCI논문 1편 국내외논문 1편 시제품 1건	두께가 각각 다른 최적모델 실험체의 평균 지진력은 769 kN	특허출원 4건 SCI논문(심사중) 1편 국내논문 1편 시제품 1건	290%
고강도 철근 SD600사용한 L형 PC벽패널 개발	실험에서 구간 당 지진력(횡력) 600kN 이상 지지	국내학술발표 1건 기술실시계약 1건	실험체의 평균 지진력은 769 kN	국외학술발표 1건 기술실시계약 1건	100%
200mm 두께 L형 PC벽패널 개발	실험에서 구간 당 지진력(횡력) 400kN 이상 지지	국내외논문 1편	얇은 PC벽패널 보강실험체의 평균 지진력은 652.5kN	국내논문 1편	100%
단일 앵커전단 실험	해석결과가 실험결과와 85%이상 일치	SCI논문 1편 국내학술발표 1건	해석결과와 실험결과가 평균 99.2%로 일치	SCI논문(심사중) 1편 국내학술발표 1건	75%
L형 PC 벽패널 비선형 해석과 비교하여 실무적으로 적용 가능한 모델식 또는 설계식을 제안	해석결과가 실험결과와 85%이상 일치	국내외논문 1편	해석결과가 실험결과보다 118%~315% 크게 평가	국내논문 1편	50%
전라중학교 L형 PC 벽패널 공법의 구조설계와 시공 과정에 대한 팸플렛 및 광고물 작성 및 배포	실무 활용에 도움	특허 등록 2건	실무활용에 사용할 수 있는 팸플렛과 특허기술 제안서를 제작	특허 등록 4건	300%
L형 벽패널 공법의 표준화, 경제성 분석, 설계 및 시공지침, 사업화전략 연구	실무 활용에 도움	지침 및 가이드라인 1 건	공법을 표준화하고, 경제성을 분석하고, 설계 및 시공지침서를 제작하고, 2017년 하반기부터 시작할 수 있는 사업화전략을 연구	지침 및 가이드라인 2건: 성능설계지침서, 특기 시방서	100%

2. 관련 분야 기여도

가. 1차년도

연구목표 : PC벽패널 공법 개발

구분	세부 과제명	관련 분야 기여도
1차 연도 (2014 -2015)	L형 PC 벽패널 공법 제안, 실험보고서	L형 PC벽패널의 형태와 상부와 측면접합부를 개발하였다.
	L형 PC 벽패널 공법 스트럿-타이 모델 설계	L형 PC 벽패널 공법에 대한 1차 예측 해석프로그램을 개발하였다.
	앵커전단접합부에 대한 모델 실험보고서	L형 PC 벽패널에 사용되는 상부앵커전단접합부에 대한 모델실험을 실시하였다.
	박스앵커 설계와 Perform3-D 성능기반 내진설계	박스앵커 설계를 제안하였고, Perform3-D 성능기반 내진설계를 1차적으로 진행하였다.
	L형 PC 벽패널 공법 내진설계 예제집	1차적으로 내진설계 예제집을 작성하였다.

나. 2차년도

연구목표 : PC벽패널 공법 개발

구분	세부 과제명	관련 분야 기여도
2차 연도 (2015 -2016)	L형 PC벽패널 내진보강공법 2차 실험 및 해석	L형 PC벽패널 내진보강공법 2차 실험 및 해석을 진행하였다. 이 실험에서 박스앵커접합부와 박스철판접합부가 개발되었다. 1차년도 보다 높은 강도의 실험모델이 개발되었다.
	박스 철판 용접 접합부 전단 실험 및 해석	실물크기 박스 철판 용접 접합부 전단 실험을 진행하였다. 결과로 접합부 전단내력을 파악할 수 있었다. 이 결과는 성능설계 과정에서 사용될 예정이다.
	박스앵커 접합부 전단 실험 및 해석	실물크기 박스 앵커 접합부 전단 실험을 진행하였다. 실험결과로 얻은 접합부 전단내력은 PC벽패널 성능설계에 사용될 예정이다.
	L형 PC벽패널 실무활용	전라중학교에 L형 PC벽패널을 적용하여 시공하였다.

다. 3차년도

연구목표 : PC벽패널 공법 개발

구분	세부 과제명	관련 분야 기여도
3차연도 (2016 -2017)	수평 앵커와 수직 앵커 접합부를 사용한 L형 PC벽패널의 최적 모델 제안	3차년대 3가지 두께의 L형벽패널 실물크기 실험이 진행되었다. 이 모델들은 임플란트 앵커접합부 공법에 의하여 개발된 최종모델이고, 실무에서 사용될 예정이다.
	고강도 철근 SD600사용한 L형 PC벽패널 개발	PC벽패널의 내력을 증가시키기 위하여 SD600철근을 사용한 L형 PC벽패널을 실험하고 개발하였다.
	200mm 두께 L형 PC벽패널 개발	200mm 두께 L형PC벽패널을 개발한다고 하였으나, 실제 실험에서는 250mm, 180mm, 160mm 두께 L형 PC벽패널을 실험하고 개발하였다.
	단일 앵커전단 실험	이 연구에서 개발한 상부앵커 전단접합부의 거동을 파악하기 위하여 실물크기의 단일앵커전단 실험을 16개의 실험체로 진행하였다. 전단접합부실험은 제안하는 접합부의 전단강도 예측이 가능한 실험식을 제안하였으므로, PC 벽패널 공법 설계에 도움을 줄 것으로 생각한다.
	L형 PC 벽패널 비선형 해석과 비교하여 실무적으로 적용 가능한 모델식 또는 설계식을 제안	이 연구에서는 비선형 해석을 Abaqus프로그램과 마이다스 프로그램에 의하여 진행하였다. 마이다스는 학교건물 성능설계과정에서 실제로 적용되는 과정이고, Abaqus는 정밀해석에 실험결과를 일반화 하는 과정이다.
	전라중학교 L형 PC 벽패널 공법의 구조설계와 시공 과정에 대한 팜플렛 및 광고물 작성 및 배포	이 공법의 활용을 촉진시키기 위하여 구조설계와 시공 과정에 대한 팜플렛 및 광고물 작성 및 배포를 하였다.
	L형 벽패널 공법의 표준화, 경제성 분석, 설계 및 시공지침, 사업화전략 연구	대표모델을 제안하여 L형 벽패널 공법의 표준화하였고, 경제성 분석, 설계 및 시공지침, 사업화전략에 대한 보고서를 기술하였다.

제5장. 연구개발성과의 활용계획

1. 기업화 추진방안

- 가. 학교건물과 같이 저층 철근콘크리트 보-기둥 구조로 되어있고 동일한 구간이 건물 전면에 걸쳐 반복되는 경우 가장 효율적인 재료는 PC(Precast Concrete)라 할 수 있다. PC만이 사회이슈가 되버린 학교건물에 내진보강을 시원하게 해결할 수 있는 열쇠이다. 따라서 이 연구는 “지금까지 시도되지 않은 새로운 재료를 활용하여 사회이슈 및 과학적 난제 해결에 기여할 수 있는 기술을 개발하는 연구”라 할 수 있다.
- 나. 2016년 9월 발생한 경주 지진으로 인하여 국내에서 연간 약 2,000억원의 예산으로 향후 20년 동안 학교건물에 대한 내진보강이 실시하고 있다.
- 다. 2차년도에 전라중학교에 L형 PC벽패널을 적용하여 첫 시공을 완료하였다. 2017년도 봄 특허출원인인 동국대학교는 서울 지역에 대해서는 성익건설과 경기도 지역은 삼호ENC와 전용 실시권 계약을 완료하였다. 앞으로도 추가적인 전용 실시권 또는 기술이전 계약이 진행 될 것으로 예상된다.
- 라. 남은 과제는 실용화를 위해서 성능설계에 의한 이 공법의 적용성을 검토해야 한다. 성능 설계는 1단계 선형스펙트럼 해석과 2단계 비선형 해석으로 나눌 수 있다. 이 연구에서는 선형스펙트럼 해석에 의하여 제안하는 공법에 타당성을 1차로 분석 하였고, 실물크기 실험결과를 활용하여 실제 건물에 적용한 모델링 작업도 함께 진행 하였다. 비선형해석에 의한 해석도 현재 완료된 상태이고, 후속되는 보고서에 정리 중에 있다.
- 마. 제안하는 공법은 저렴한 PC벽패널을 사용함으로 가장 저렴한 공사비로 시공할 수 있고, 임플란트 앵커접합 공법에 의하여 공사함으로 현재 국내에서 출시된 타 공법보다 훨씬 우월한 내진력을 보유하고 있으며, 공사 후 외관이 아름답고 큰 창문을 가지고 있으므로 경쟁력이 있다고 판단한다.

2. 추가연구의 필요성

- 가. 이 연구에서는 임플란트 앵커접합 L형 PC벽패널에 대하여 3가지 모델을 제안하였다. 두께 160mm, 180mm, 250mm 3종류이다. 두께가 두꺼워 질수록 내력은 커진다. 그러나 일반적으로 두께 160mm 벽패널이 실용성에서는 가장 우월하다고 판단한다.
- 나. 이 연구 과정에서 기본모델에 대한 구조실험과 해석을 충분히 진행하였다고 판단한다. 그러나 더 발전된 실용화를 위하여 PC두께의 다양화와 철근배근의 조절 등에 대하여 추가실험이 필요하다.
- 다. 모델링해석에서 실제 실험하중에 60%정도를 사용하고 있으나, 이것은 재료적 낭비이므로 이에 대한 보다 정밀한 해석모델링과 해석과정이 연구되어야한다.
- 라. 성능설계는 상당히 복잡한 설계과정을 거치게 되는데, 이를 자동화 시스템 등을 개발하여 짧은 시간에 설계할 수 있는 해석기구가 필요하다.

3. 타 연구에의 응용

- 가. L형 PC벽패널 공법은 학교 우선 적용한다고 하였으나, 동일한 구간의 건물에서는 광범위하게 사용 할 수 있다. 예를 들면 공공건물 또는 군용건물이다.
- 나. L형 PC벽패널 공법은 신축건물에서도 적용 할 수 있는 방법을 모색하였고 이에 대한 특허를 출원하였다.
- 다. 이 연구에서 개발한 임플란트 앵커접합부, 톱니형 앵커접합부, 부분채움 PC벽패널 공법은 모두 이 연구 고유의 공법이다. 이 기술은 현장 타설 콘크리트와 PC콘크리트 공사가 한 건물에서 동시에 사용되는 앞으로의 합성공법을 위하여 많은 도움이 될 것으로 생각한다.

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

칠레와 쓰촨성 지진참사에서 볼 수 있듯이 국외의 학교건물도 국내 학교건물과 마찬가지로 동일한 구간의 보-기둥 구조로 되어 있고 그 내부에는 조적조로 채워져 있다. 이러한 전 세계 많은 수의 5층 이하 저층 철근 콘크리트(RC) 보-기둥 학교 건물들은 내진설계가 요구되지 않을 때 지어졌다. 따라서 많은 학교들이 지진이 일어날 동안 심하게 손상되었거나 완전히 붕괴되었고, 수많은 어린 학생들이 사망하거나 다치는 등 피해를 입었다. 중국이나 인도네시아 등 대지진 발생 지역에서, 현재 사용 중인 대다수의 RC학교 건물들은 대규모 지진 피해가 언제든지 발생할 수 있는 것으로 예상된다. 수많은 저층 학교건물들을 즉각 보강할 수 있는, 구조적으로 효과적이고 실용적이며 경제적인 내진보강 공법 개발이 요구되고 있다.

RC골조를 내진 보강하는 방법에 대하여는 과거부터 많은 연구가 진행되었다. 특히, 실용적(practical) 측면에서 전체 채움 또는 부분 채움 방식으로, 현장타설 RC채움벽을 사용하여, RC골조를 보강하는 방법이 많이 연구되었다.^[1-5] 이 공법은 골조의 횡 강도와 강성을 상당히 증가시킨다. 그러나 이 공법은 공사기간이 길고, 공사현장에서 많은 현장작업이 진행되기 때문에 방학 동안에 공사가 완료되지 못하므로 학생들이 학기 중에 피해를 입을 수 있다.

이러한 문제점에 대하여, 전 세계의 연구원들은 RC채움 벽에 대한 대안으로 PC패널을 제안하고 있다.^[6-8] PC패널의 사용은, 공장 제작품을 현장에서 바로 사용하기 때문에, 공사기간이 절약되고, 분진과 콘크리트 타설 후 냄새 등이 없는 공사를 할 수 있다. 또한 제작이 간단하고, 시공이 쉽고, 구조적으로 효율적인 보강기술이다.

최근 들어 많이 연구되는 PC패널 공법은 조적벽에 얇은 PC 패널들을 붙이는 공법이다. 이 아이디어는 개구부가 없이 전체 벽으로 RC골조를 보강하는 것이다.^[9-14] 그러나 이와 달리, 학교 건물뿐만 아니라 대부분의 저층 건물들의 외벽은 반드시 창문이 있다. 또한 이러한 건물들의 지진피해 사례를 보면 주로 장변 방향의 창문 주변 부재들이 횡 전단균열로 파괴된 것을 볼 수 있었다. 그러므로 기존의 PC패널 연구는 바로 실용화 하는데 현실과 맞지 않는 문제점이 있다.

따라서 본 연구에서는 개구부를 가진 PC벽패널을 사용하는 내진공법을 제안하고 연구 개발하였다. 그 결과 L형 PC벽패널 공법으로 개구부를 존치시키면서도 RC골조의 내진능력을 확연하게 개선할 수 있었다. 제안하는 공법으로 보강한 RC골조의 강도와 강성은 상당히 증가하였다.

제7장. 연구개발성과의 보안등급

보안 등급은 일반으로 분류한다.

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」 제24조의4 제1항에 따라 이 과제는 보안과제에 속하지 않는다.

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호
-	-	-	-	-	-	-	-	-

-

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부	특기 사항
1	논문	L 형 프리캐스트 콘크리트 벽패널로 채운 기존 철근 콘크리트 골조 구조물의 휨 거동 분석	동국대 학교	제1저 자	한국구조물진단 유지관리공학회 논문집	0.28	2015.06.30.	단독 사사	-
2	논문	L 형 프리캐스트 콘크리트 벽패널로 채운 기존 철근 콘크리트 골조 구조물의 전단 거동 분석	동국대 학교	교신 저자	한국구조물진단 유지관리공학회 논문집	0.28	2015.06.30.	단독 사사	-
3	특허	철근콘크리트 프레임 내진 보강용 PC 벽 패널, PC 벽 패널을 이용한 철근콘크리트 프레임 내진 보강 구조 및 이의 시공 방법	동국대 학교	발명자	대한민국	-	2017.02.28.	중복 사사	-
4	특허	박스형 부재를 활용한 앵커접합부	동국대 학교	발명자	대한민국	-	2016.07.04.	중복 사사	-
5	특허	강도와 연성을 증가시킬 수 있는 전단 접합부	동국대 학교	발명자	대한민국	-	2016.12.06.	단독 사사	-

- [1] Altin, S.; Ersoy, U.; and Tankut, T., (1992). "Hysteretic Response of Reinforced Concrete Infilled Frames," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol 118, No. 8, pp. 2133-2150
 - [2] Turk, A. M.; Ersoy, U.; and Ozcebe, G., (2006). "Effect of Introducing RC Infill on Seismic Performance of Damaged RC Frames," *Structural Engineering and Mechanics*, Vol 23, No. 5, pp. 469-486.
 - [3] Sonuvar, M. O.; Ozcebe, G.; and Ersoy, U., (2004). "Rehabilitation of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Infills," *ACI Structural Journal*, Vol 101, No. 4, July-Aug. pp. 494-500
 - [4] Altin, S., Anil, O., Kara, M.E. (2008). "Strengthening of RC nonductile frames with RC infills: An experimental study" *Cement and Concrete Composites*, Vol 30, No. 7, pp. 612-621
 - [5] Kaltakci, M. Y. and Yavuz, G. (2014). "The seismic improvement and control of weak concrete frames with partial concrete shear walls." *Journal of Vibration and Control*, Vol. 20, No. 8, pp. 1239-1256
 - [6] Akin, A. and Sezer, R. (2016). "A Study on Strengthening of Reinforced Concrete Frames using Precast Concrete Panels." *KSCE Journal of Civil Engineering*, January, pp. 1-8
 - [7] Kesner, K., Billington, S.L. (2005) "Investigation of Infill Panels Made from Engineered Cementitious Composites for Seismic Strengthening and Retrofit." *Journal of Structural Engineering*, Vol 131, No. 11, pp. 1712-1720.
 - [8] Frosch, R. J., Li, W., Jirsa, J. O., and Kreger, M. E. (1996). "Retrofit of non-ductile moment-resisting frames using precast infill wall panels." *Earthquake Spectra*, Vol 12, No. 4, pp. 741-760.
 - [9] Baran, M., Tankut, T. (2011). "Experimental study on seismic strengthening of reinforced concrete frames by precast concrete panels" *ACI Structural Journal*, Vol 108, No. 2, pp. 227-237
 - [10] Baran, M., Tankut, T. (2011) "Retrofit of non-ductile RC frames with precast concrete (PC) wall panels." *Advances in Structural Engineering*, Vol 14, No. 6, pp. 1149-1166
 - [11] Baran, M., Okuyucu, D., Susoy, M., Tankut, T. (2011). "Seismic strengthening of reinforced concrete frames by precast concrete panels." *Magazine of Concrete Research*, Vol 63, No. 5, pp. 321-332
 - [12] Baran, M., Zçelik, R.Ö., Sevil, T., Canbay, E (2013). "Modelling of strengthened hollow brick infills", *Magazine of Concrete Research*, Vol 65, No. 4, pp. 257-271
 - [13] Baran, M., Aktas, M. (2013). "Occupant friendly seismic retrofit by concrete plates", *Journal of Zhejiang University: Science A*, Vol 14, No. 11, pp. 789-804
 - [14] Baran, M., Aktaş, M., Aykaç, V.S. (2014). "Strengthening of plastered hollow brick infill walls using strip concrete/reinforced concrete panels", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, Vol 29, No. 1, pp. 23-33
-

9. 뒷면지

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

