



고인성섬유 복합모르타르를 활용한 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부의 내진성능 평가 및 개선

하기주¹⁾ · 이동렬^{2)*}

¹⁾경일대학교 건축공학과 ²⁾(사)건설기술정책연구원

Improvement and Evaluation of Seismic Performance of Flat Plate Slab-Column Joint Using High Ductile Fiber-Reinforced Mortar

Gee-Joo Ha¹⁾ and Dong-Ryul Yi^{2)*}

¹⁾Dept. of Architecture Engineering, Kyungil University, Kyeongsan 712-701, Korea

²⁾Construction Technology & Policy Institute, Deagu 706-852, Korea

ABSTRACT Recently, as structures in Korea and other countries become much taller, larger, and more specialized, concrete used for constructions of these structures is required to have high performance characteristics. Especially, seismic performance of concrete must be improved to resist cyclic loading from earthquakes. Consequently, this study was performed to focus on developing optimal mixtures of high ductile fiber reinforced mortar with high ductility and durability, which have good serviceability, stability and reliability performances. Eventually, this material is expected to improve seismic performance of concrete structures such as load carrying capacity, ductility capacity, and energy dissipation capacity when applied to critical regions of flat plate slab-column joint. Ultimately, this research is intended to develop a material for basic designs and practical constructions of reinforced concrete structures. Test results showed that the maximum load carrying capacity, the ductility capacity, and the energy dissipation capacity of the test specimens titled RCFPP series were increased by 15%~34%, by 33%~37%, and by 2.14 times, respectively, compared to those of the standard specimen titled SRCFP.

Keywords : high ductile fiber-reinforced mortar, PVA fiber, flat plate, slab-column joint, seismic performance

1. 서 론

1.1 연구의 목적

최근 대도시의 용지난과 사회적 요구에 따라 건축물의 초고층화는 당연시 되어 더욱 증가하고 있는 추세이다. 또한, 경제적이고도 안전한 초고층 철근콘크리트 건축물의 설계 및 시공을 위하여 새로운 구조시스템의 개발이 절실히 요구되고 있다. 초고층 철근콘크리트 건축물의 경제성, 안전성 및 공간의 융통성을 고려하여 플랫 플레이트 바닥시스템의 도입을 적극 검토하고 있으며, 초고층 철근콘크리트 건축물의 경우 기둥에서 전달되는 큰 축하중의 영향에 따른 뚫림전단과 지진하중에 의한 내진성능의 확보가 구조설계시 대단히 중요한 고려사항으로 인식

되고 있다. 특히 초고층 철근콘크리트 건물이 지진하중을 받을 때 부재요소 보다는 슬래브-기둥 접합부가 더 취약적이고 응력부담이 높다는 것이 국내외의 실험연구 및 지진사례에서 밝혀지고 있다. 이러한 점을 고려하여 초고층 철근콘크리트 건축물의 구조성능을 개선하기 위하여 높은 인장강도와 탄성률을 가진 고인성 섬유 복합재료를 위험영역에 적용하여 보강하고자 한다. 고인성 섬유 복합재료는 현재 주목 받고 있으며, 국내외에서 활발한 연구가 진행 중에 있다. 국내에서는 김윤용,^{1,3)} 윤현도,^{4,5)} 하기주^{6,7)} 등에 의하여 국내 실정에 맞는 최적의 시멘트계 복합재료에 대한 연구가 진행 중이고, 국외에서는 Li⁸⁾ 등이 마이크로역학(micromechanics)을 PVA섬유를 이용한 시멘트계 복합재료에 적용하여 인장변형률 경화 거동 특성을 제안하였고, Marshall⁹⁾ 등은 안정상태 균열 이론을 제안하였다.

따라서 이 연구에서는 고인성 섬유 복합모르타르의 개발을 위하여 우선 마이크로 역학 이론을 이용해 역학적

*Corresponding author E-mail : puram68@hanmail.net

Received March 9, 2012, Revised May 28, 2012,

Accepted May 29, 2012

©2012 by Korea Concrete Institute

구성요소인 섬유(fiber), 매트릭스(matrix), 섬유-매트릭스 경계면(fiber-matrix interface)의 역학적 특성을 파악하고, 이를 최적화하기 위해 안정상태 균열이론을 적용한다. 이런 과정으로 사용성, 안정성 및 신뢰성이 우수한 최적배합의 고인성 섬유 복합모르타르를 개발하고자 한다. 그리고 초고층 철근콘크리트 건축물에서 지진하중과 같은 횡력이 작용할 때 취성적이고 응력부담이 높은 슬래브-기둥 접합부의 영역에 내력과 연성능력을 향상시키고, 초고층 철근콘크리트 건축물의 안전성을 증대시키기 위하여 고인성 섬유 복합모르타르를 활용한 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부의 파괴양상 및 이력거동, 에너지소산 등을 고찰하여 내진성능을 개선하고 초고층 철근콘크리트 건축물의 성능개선 설계시 기초자료로 활용하고자 한다.

1.2 연구의 방법

이 연구에서는 철근콘크리트 건축물이 지진하중을 받을 때 내력, 정착 등에 의한 파괴가 일어나기 매우 쉬운 내부 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부를 대상으로 하여 내력 및 내진성능 향상을 위한 새로운 보강 설계개념 개발을 위하여, 실제 건축물의 1/2크기로 모델화한 실험체를 대상으로 고성능 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부의 내진성능을 평가하고 그 결과를 비교분석한다.

또한, 고인성 섬유 복합 모르타르를 활용한 보 실험¹⁰⁾ 선행연구에서는 고인성 섬유(PVA)의 혼입률을 0~2.0%로 하여 실험한 결과 1.0%~2.0%에서 내력, 연성 등이 현저히 개선됨을 알 수 있었다. 따라서, 이 연구에서는 기존 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부의 내진성능을 개선하기 위해 시공성과 경제성 등을 고려하여, 고인성 섬유(PVA 섬유)의 혼입률을 1.0%, 1.5%로 정하였다. 이를 실험변수로 하여 위험단면영역에 고인성 섬유 복합모르타르를 적용하였으며, 실험변수별로 비교분석하여 내진성능을 평가하고, 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부의 내력증진 및 내진성능 향상을 위한 새로운 보강 설계 개념을 정립하고자 한다.

2. 고인성 섬유 복합모르타르를 활용한 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부의 설계 개념

2.1 설계 개념

현재 초고층 철근콘크리트 건축물에 적용되고 있는 철근콘크리트 플랫 플레이트 시스템에 지진하중 작용시 내진성능을 현저히 개선하고 초고층 철근콘크리트 건축물의 충고를 절감하고, 경제성, 안전성 및 공간의 활용성을 높일 수 있는 새로운 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부의 개발을 위하여 Fig. 1과 같이 슬래브-기둥 접합부 위험단면영역에 고인성 섬유 복합모르타르를 활용한 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부의 실험을 수행하고 내진성능을 평가한 후 고성능 플랫 플레이트 슬래브-기

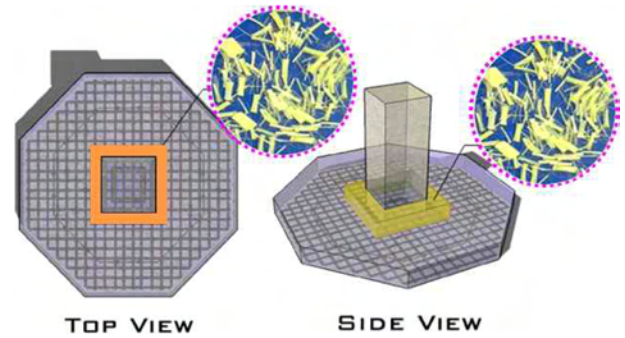


Fig. 1 Design concept of flat plate slab-column joint

둥 접합부를 제안하고자 한다.

2.2 고인성 섬유 복합모르타르의 설계 개념

고인성 섬유 복합모르타르는 콘크리트, 모르타르, 섬유 보강 콘크리트 등의 취성적인 시멘트계 재료와는 다르게 1축인장 하에서 금속과 같은 인장변형률 경화거동 특성을 나타낸다. 이러한 특성을 갖도록 하기 위해서는 안정상태 균열발생의 기본 요구 조건을 만족하여야 한다. 이를 통하여 인장 하에서 다수의 미세균열이 발생하게 되는데, 이러한 필요조건에 대한 이론적 배경을 제공하는 것이 마이크로역학이론이다. 또한, 이때에 고려되는 기본적인 역학적 구성요소는 섬유, 모르타르 매트릭스, 섬유-매트릭스 경계면으로 재료 개발 과정을 개념적으로 표현하면 Fig. 2와 같다.

안정상태 균열이론에서 매트릭스 내에 안정상태의 균

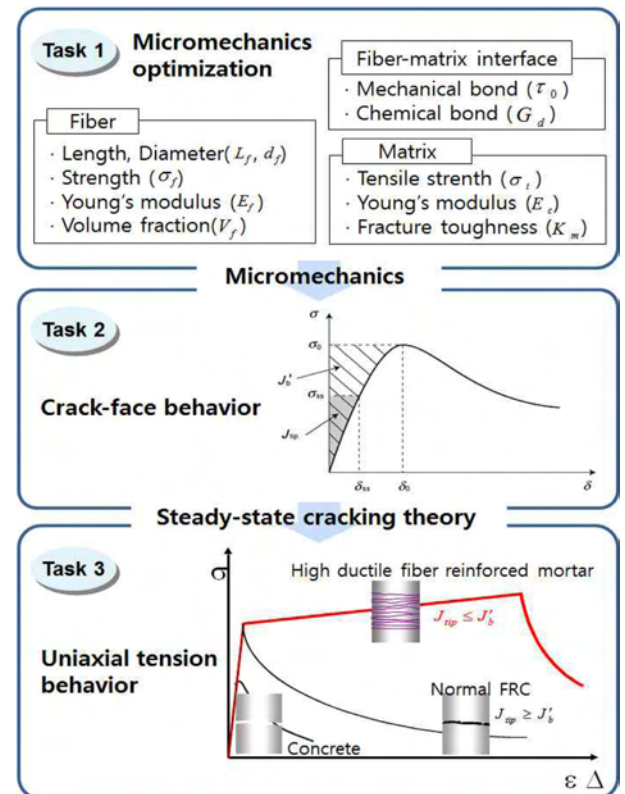


Fig. 2 Design concept

열을 발생시키기 위한 첫 번째 조건은 섬유복합 모르타르의 균열면 보상에너지 J'_b 가 매트릭스의 균열선단 파괴인성 J_{tip} 보다 항상 커야 한다는 에너지 조건이다. 이 조건을 수식으로 나타내면 식 (1)과 같다.

$$J_{tip} \leq \sigma_0 \delta_0 - \int_0^{\delta_0} \sigma(\delta_0) d\delta \equiv J'_b \quad (1)$$

$$J_{tip} = \frac{K_m^2}{E_c} \quad (2)$$

δ_0 : 최대 균열면 응력 σ_0 에 해당되는 균열개구변위
 K_m : 매트릭스의 파괴 인성
 E_c : 탄성계수

여기서, J'_b 는 Fig. 2의 Task 2에 나타난 균열면 응력(σ)와 균열개구변위(δ)의 관계로부터 계산할 수 있다.

두 번째 조건은 σ_0 가 1축인장 균열강도 σ_{fc} 보다 반드시 큰 값이어야 한다는 인장강도 조건이다. 이 조건이 만족되지 못할 경우, 변형이 다수의 균열(multiple cracks)로 전파되지 못하고, 최초에 발생된 균열로 모든 변형이 집중되는 유사취성재료의 거동을 나타내게 된다.

$$\sigma_{fc} < \sigma_0 \quad (3)$$

여기서, σ_{fc} 는 최대초기결합의 크기와 K_m 에 의하여 결정되는 것으로 알려져 있다. 마이크로역학 이론에 관한 자세한 내용은 Li⁽⁸⁾ 등에 의한 연구 결과에 나타난 바와 같다.

에너지 조건과 인장강도 조건은 반드시 함께 충족되어야 한다. 결과적으로 식 (1), (3)을 만족시킴으로써 기존의 콘크리트(또는 모르타르)가 갖고 있는 유사취성을 높은 연성으로 변화시킬 수 있다. 이러한 방법을 이용하면 최소의 실험적인 접근으로 고인성 섬유 복합모르타르를 설계할 수 있고 보강 섬유의 효율을 극대화 할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 고인성 섬유 복합모르타르를 활용한 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부의 구조성능 실험

3.1 실험 계획

지진하중과 같은 반복 주기하중을 받는 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부의 위험단면영역에 고인성 섬유 복합 모르타르를 타설한 실험체의 내진성능을 평가하기 위하여 실제 건축물의 1/2정도의 크기로 축소한 3개의 실험체를 제작하였다. 실험체에 대한 형상은 하중 작용시 실제 건축물에서의 응력분포와 유사하게 거동하도록 정팔각형 슬래브로 제작하였다. 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부 실험체의 변수 및 내용은 Table 1과 같고, 각 실험체의 상세는 Fig. 3에 나타나 있다.

Table 1 Design parameters of test specimens

Specimen	Slab			Column Section (mm)	Load	PVA fiber volume (%)
	Thickness (mm)	Bar	Distance (mm)			
SRCFP	160	HD13	90	400 × 400	Cyclic loading	-
RCFP _{1.0}	160	HD13	90	400 × 400		1.0
RCFP _{1.5}	160	HD13	90	400 × 400		1.5

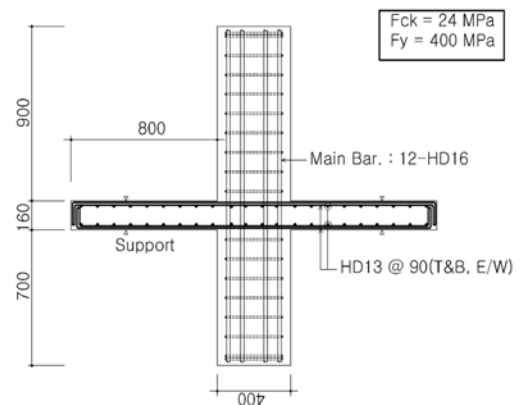
3.2 사용 재료

3.2.1 철근

이 연구의 실험체에 사용된 철근은 국내에서 생산된 SD40, 기둥의 주철근은 HD19가 배근되었고 슬래브에는 HD13이 배근되었다. 그리고 이 실험에 사용된 철근의 재료 특성을 파악하기 위하여 KS B 0801(금속재료 인장 시험편 규정)에 따라 시험편을 제작하였으며 KS B 0802의 금속재료 인장 시험방법에 따라 시험을 하였고 결과는 Table 2와 같다.

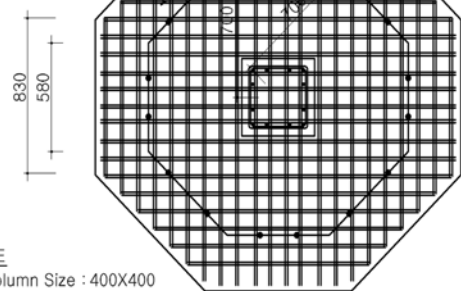
3.2.1 콘크리트

콘크리트의 배합은 설계기준강도와 시공성 및 선정된 재료를 고려하여 설계되었으며 콘크리트의 배합표는 Table 3



LAN

-HD13 @ 90(Top.) :
 Concrete cover THK 1cm
 -HD13 @ 90(Bott.) :
 Concrete cover THK 1cm



NOTE

1. Column Size : 400X400
2. Main Bar : 12-HD16

Fig. 3 Details of test specimen

Table 2 Mechanical properties of the reinforcing bar

Bar size	E_s (MPa)	f_y (MPa)	ϵ_y ($\times 10^{-6}$)	σ_s (MPa)	Elongation (%)
HD13	1.95×10^5	455	2,333	636	29
HD10	2.04×10^5	402.5	1,973	690	28
HD19	2.01×10^5	411	2,212	640	28

Table 3 Mix proportion of concrete

Compressive strength (MPa)	W/C (%)	S/A (%)	Mix proportion (kg/m^3)				Slump (mm)
			C	W	S	A	
24	52	49.1	363	172	643	906	150

Table 4 Test result of concrete strength

Age (day)	Slump (mm)	f_{ck} (MPa)	E_c ($\times 10_5$ MPa)
28	150	27	2.1

과 같다. 각 실험체는 콘크리트 타설과 함께 압축강도용 공시체를 제작하였다. 압축강도 실험용 원주형 공시체는 $\Phi 100 \times 200$ mm 몰드를 사용하여 KS F 2405에 따라 몰드를 제작하였고, 채령 28일까지 수중양생을 실시하였다. 그리고 UTM으로 일방향 압축강도 시험을 하였다. Table 4에 나타난 콘크리트 압축강도는 각각 5개의 공시체의 실험 결과에 대한 평균값이다.

3.2.2 고인성 섬유 복합모르타르

고인성 섬유 복합모르타르에 사용된 섬유는 Fig. 4와 같이 다양한 형상의 섬유 중에서 분산성, 적합성, 시공성 등을 고려하여 K사에서 생산되어진 PVA(poly vinyl alcohol)섬유 REC15를 선정하였다. 사용된 섬유의 물리적인 성질은 Table 5, 배합표는 Table 6과 같다. 주 결합재로는 제1종 포틀랜드 시멘트가 사용되었고 잔골재는 평균입도가 $110 \mu\text{m}$ 인 규사를 사용하였으며 섬유의 효과적인 분산을 위하여 카르복실계 감수제(PCSP)와 셀룰로오스계 분리지감제(HPMC)를 혼화제로 첨가하였다. 공시체는 콘크리트배합 때와 같은 방법으로 제작하였다.

3.3 실험 방법

이 연구는 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부용 프레임을 제작하여 설치하였으며, 실험체의 설치상황과 각종 시험기기 및 장치는 Fig. 5와 같다. 실험체에 작용하는 하

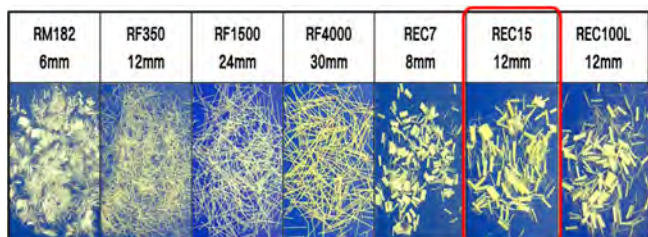


Fig. 4 Classification of PVA fiber

Table 5 Properties of PVA fiber

Diameter (μm)	Length (mm)	Tensile nominal strength (MPa)	Elongation (%)	Oiling agent content (%)	Young's modulus (GPa)
39	12	1,620	6	0.8	38.9

Table 6 Mix proportion of high ductile fiber-reinforced mortar

Material	Cement	Sand	Slag	Water	PCSP	HPMC	PVA fiber
Weight ratio (%)	100	80	25	48	3	0.3	1.0 1.5

중제어를 위하여 유압 서보시스템을 사용하였으며 실험체는 실험을 위한 프레임에 슬래브의 가장자리가 맞닿게 하여 설치하였다. 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부의 거동을 파악하기 위하여 3개의 실험체에 기둥의 허용 축하중(balanced axial load)을 기둥에 10%~15%를 일정하게 가력하였다. 그리고, 기둥의 변곡점에 유압 서보 액츄에이터를 사용하여 변위제어에 의해 반복 주기하중을 작용시켰다. 반복 주기하중의 형태는 Fig. 6과 같다. 반복 주기하중의 주기는 전 실험체를 $T = 60$ sec로 하였으며 반복 횟수는 2 Cycle로 실험체 최종파괴시까지 가력하였다.

4. 고인성 섬유 복합모르타르를 활용한 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부의 내진성능 평가

4.1 이력거동 특성

이 연구에서는 각 설계변수에 따른 실험체의 이력거동을 규명하기 위하여 표준실험체 SRCFP의 반복 주기하중을 가하여 기둥면의 슬래브 주근에 부착한 변형률 게이지의 측정치가 항복변형에 이를 때 슬래브의 하중 작용점의 변위를 항복변위를 구하고, 변위제어로 최종파괴시까지 가력하여 하중-변위곡선을 Fig. 7과 같이 구명하였다.

각 실험체의 이력거동곡선은 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부의 위험단면영역에 고인성 섬유 복합모르타르

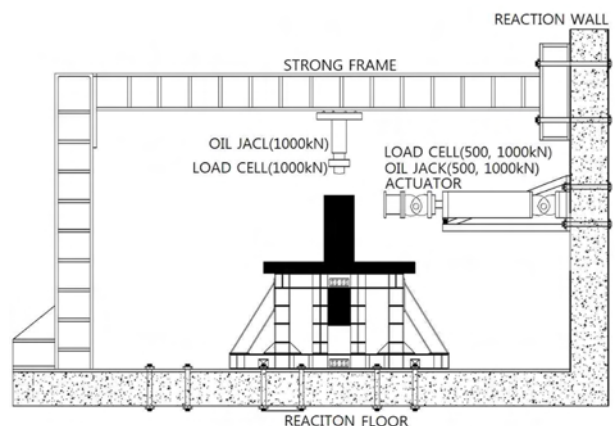


Fig. 5 Test setup

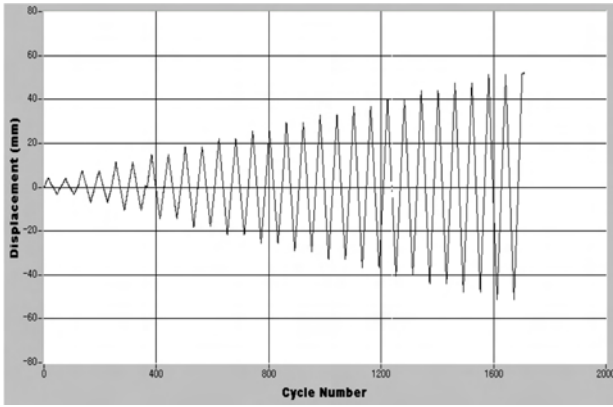
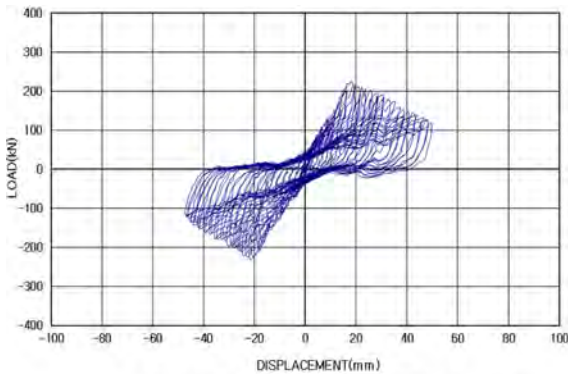
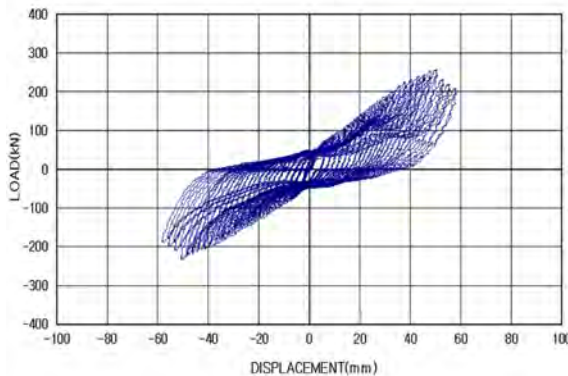


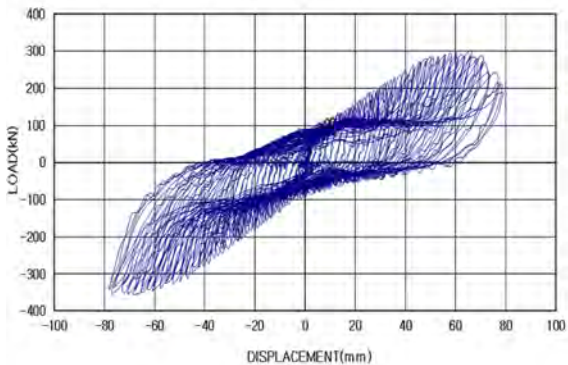
Fig. 6 Loading history



(a) SRCFP (standard specimen)



(b) RCFPP_{1.0}



(c) RCFPP_{1.5}

Fig. 7 Load-displacement relationship of specimens

를 활용한 실험체 RCFPP 시리즈는 고인성 섬유 혼입률에 따른 차이가 나타났다. 그리고 각 싸이클 또는 변위

연성마다 각 실험체의 최대내력, 에너지소산능력, 강도 및 강성 변화를 고찰할 수 있었다. 표준실험체 SRCFP는 반복 주기하중이 작용할 때 재하 전반부는 안정적인 이력거동을 나타내었으나 재하 후반부에서는 최대내력에 도달한 이후 강도저하현상을 나타냈다. 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부의 위험단면영역에 고인성 섬유 복합모르타르를 활용한 실험체 RCFPP 시리즈는 표준실험체 SRCFP 보다 하중재하시 전영역에 걸쳐 훨씬 안정적인 이력거동을 나타내었고 강도 및 강성, 연성이 증대되었다. 또한 최대내력에 도달 이후에도 안정적인 이력거동을 나타내었다.

4.2 파괴 형태

4.2.1 표준실험체

표준실험체 SRCFP는 반복 주기하중 작용시 가력방향의 기둥 좌우 모서리에서 사방향으로 슬래브 상부에서 초기균열이 발생하였으며, 하중이 증가함에 따라 슬래브와 기둥경계면 및 슬래브 상부에서 균열이 진전되며 점점 확대되어 갔다. 그리고 슬래브 상부면에서 기둥의 200 mm 위치에서 수평방향으로 휨 균열이 발생하였다. Fig. 8(a)와 같이 최종 파괴시에는 슬래브와 기둥경계면에서 위험단면영역에서 균열이 집중되어 발생하였고 기둥모서리 부분의 콘크리트가 파괴 현상이 발생하였다.

4.2.2 고인성 섬유 복합모르타르를 활용한 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부 실험체

고인성 섬유 복합모르타르를 활용한 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부 실험체(RCFPP 시리즈)의 파괴형태는 Fig. 8(b), (c)에 나타낸 바와 같이 안정적인 파괴가 나타났다. 실험체 RCFPP 시리즈는 반복 주기하중 작용시 가력방향 기둥 좌우 모서리에서 대각선 방향으로 슬래브-기둥 경계면에 균열이 진전되면서 하중 작용방향과 평행한 슬래브 상부에 균열이 확산되어 갔다. 또한, 슬래브의 균열은 발생된 이후에 균열의 폭이 증가하지 않고, 이미 발생되어진 균열의 주변으로 추가의 미세 균열들이 발생하는 특성이 나타났다. 이때의 균열 폭은 최종파괴를 일으킨 균열을 제외하고는 모두 미세하게 제어되었다. 이것은 섬유의 가교역할에 따른 균열제어 결과에 기인한 것으로 판단된다. 이러한 특성은 고층 철근콘크리트 플랫 플레이트 시스템의 내구성, 내진성능 증진에 크게 기여할 것으로 판단된다.

4.3 강도변화 특성

표준실험체 SRCFP의 최대내력은 225.6 kN으로 나타났다. 한편, 고인성 섬유 복합모르타르를 활용한 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부 실험체 RCFPP 시리즈는 이에 비하여 내력이 상승되었음을 알 수 있다. Table 7, Fig. 10은 각 실험체의 최대내력과 표준실험체에 대한 각 실험체의 최대내력의 비(CASE i/CASE 0)이며, Fig. 9는

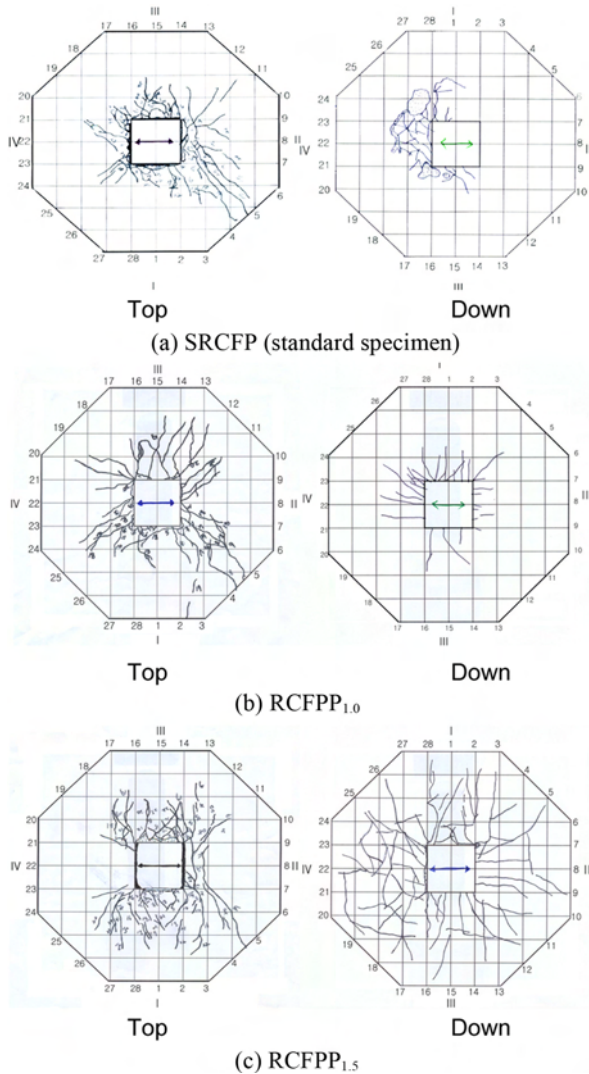


Fig. 8 Crack pattern and failure mode of specimens

변위연성별 최대내력을 비교하여 나타낸 것이다. 각 실험체의 내력비교를 통하여 실험체 RCFPP 시리즈는 표준실험체 SRCFP에 비하여 최대내력이 15%~34% 증가하였고, 섬유혼입률이 1.5%일 때 가장 크게 향상되었다.

4.4 강성변화 특성

각 실험체의 사이클별 강성(stiffness, k)의 변화를 Fig. 12에 나타내었고, 실험체의 강성은 Fig. 11과 같은 방법으로 산정하였다. 여기서 강성 k 는 각 하중의 사이클에서 정방향과 부방향에서의 최대하중과 최대변위가 만나는 점의 기울기로 산정하였다. 각 실험체의 강성은 반복 주기하중이 작용하는 동안 반복횟수가 증가할수록 점차 감소하는 현상을 보이고 있다. 이러한 강성 감소의 주요 원인은 접합부 영역의 콘크리트의 균열, 철근의 미끄러짐 등에 의한 것으로 사료된다. 초기강성은 표준실험체 SRCFP가 가장 작게 나타났으며, 실험체 RCFPP_{1.0}, RCFPP_{1.5} 순으로 커졌다. 실험이 진행됨에 각 실험체는 최종파괴시 초기강성의 약 20%를 확보하였으며 이러한 감소는 모든 실험체가 비슷한 양상을 보였다.

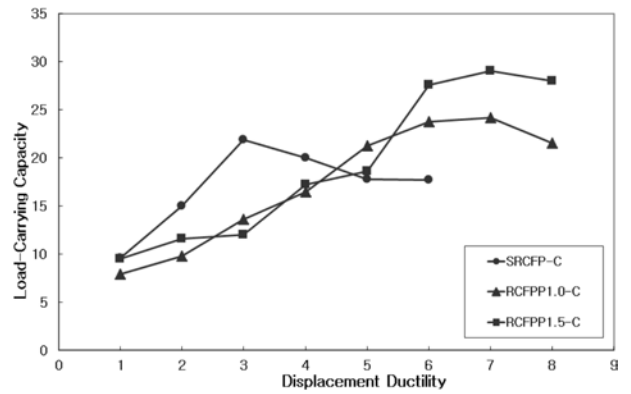


Fig. 9 Maximum load carried by each specimen at various displacement ductilities

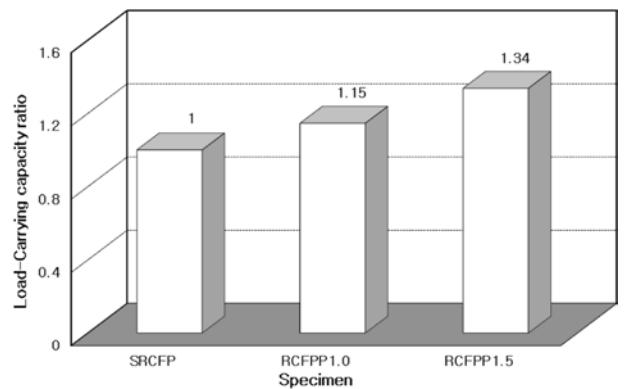


Fig. 10 Load-carrying capacity ratio of each specimen relative to standard specimen

Table 7 Comparison of the normalized load-carrying capacity of each specimen

CASE(i)	Specimen	Maximum strength (kN)	Strength ratio (CASE(i)/CASE0)
0	SRCFP	225.6	1
1	RCFPP _{1.0}	258.5	1.15
2	RCFPP _{1.5}	301.6	1.34

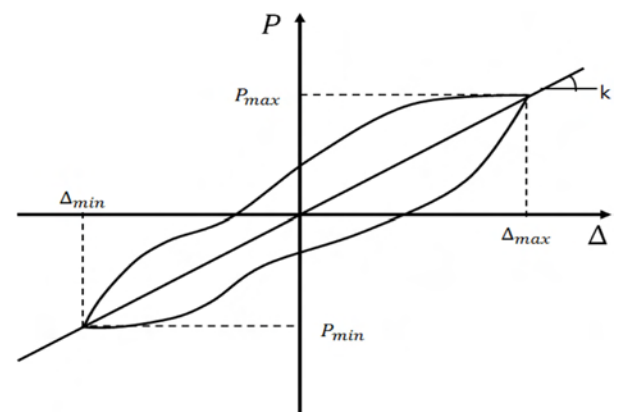


Fig. 11 Calculation method of stiffness

4.5 에너지소산능력

철근콘크리트 건축물의 내진성능을 평가함에 있어 에

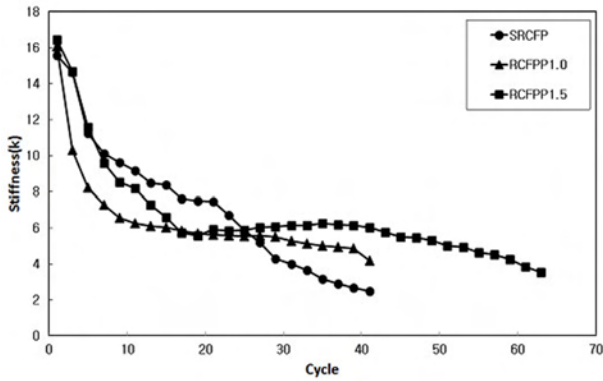


Fig. 12 Stiffness carried by each specimen at various cycle

너지소산능력은 대단히 중요하며, 철근콘크리트 건축물의 설계시 높은 에너지소산능력을 갖도록 설계되어야 한다. 일반적으로 에너지소산능력은 부재 또는 건축물의 이력거동 곡선으로 둘러싸인 면적에 의하여 산정된다. Figs. 13, 14에 변위연성별 최대에너지소산능력과 누적에너지소산능력을 나타냈다. 실험체 RCFPP 시리즈는 표준 실험체 SRCFP에 비하여 변위연성 3에서 에너지소산능력이 실험체 RCFPP_{1.0}의 경우 1.09배, 실험체 RCFPP_{1.5}의 경우 2.14배 증가하였다. 특히, 실험체 RCFPP_{1.5}의 경우 변위연성 5에서 표준실험체 SRCFP에 비하여 3.01배 증가하였다.

4.6 연성능력

일반적으로 지진하중을 받는 철근콘크리트 건축물의 구조성능 평가시 연성능력은 대단히 중요한 요소이므로, 연성능력 증가는 건축물의 거동에 매우 중요하다. 부재 변형능력인 연성은 연성능력이 증가는 건축물의 거동에 매우 중요하다. 부재 변형능력인 연성은 부재 항복시의 처짐량과 부재 최대하중시의 변위(δ_{max})와 최대하중(P_{max}), 최대하중 이후의 최대하중의 80%에서의 변위량(δ_u)을 이용하여 연성능력을 Table 8, Fig. 15에 나타내어 비교평가하였다. 실험체 RCFPP 시리즈의 경우 표준실험체 SRCFP에 비하여 연성비가 1.33~1.37배 증가하였다.

4.7 철근 슬립

지진하중과 같은 수평하중을 받는 철근콘크리트 슬래브-기둥 접합부의 강성저하의 주요 원인은 접합부를 통한 기둥철근의 슬립 및 접합부 내의 슬래브 주근의 뽑힘이므로 슬래브와 기둥의 철근은 부착응력을 저항할 수 있도록 설계되어야 한다. 접합부에 균열이 형성되면 접합부의 콘크리트와 접합부에 정착된 슬래브 주근사이의 부착에 대한 저항능력을 크게 상실하게 한다.

이 연구에서는 슬래브 철근의 뽑힘을 측정하기 위하여 변형률 게이지를 사용하였다. 기둥면으로부터 0, 0.5d, d 거리에 변형률 게이지를 부착하였다. 실험체가 받는 최대변위는 매 사이클마다 증대하기 때문에 슬래브 주근의

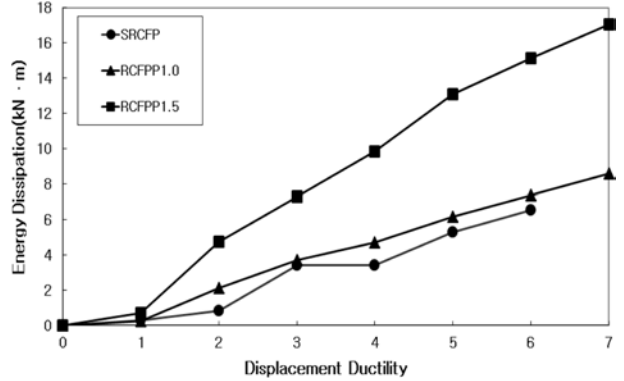


Fig. 13 Comparison of the energy dissipation capacity for each specimen at various displacement ductilities

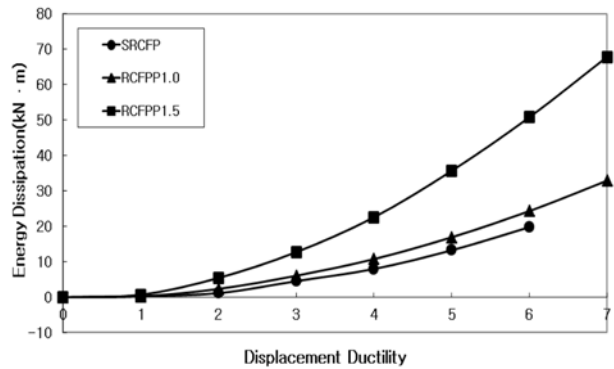


Fig. 14 Comparison of the accumulated energy dissipation capacity for each specimen at various displacement ductilities

Table 8 Experimental results of load-carrying, displacement and ductility

Specimen	δ_y (mm)	P_y (kN)	δ_{max} (mm)	P_{max} (kN)	δ_u (mm)	P_u (kN)	$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y}$
SRCFP	5.73	95.3	18.04	225.6	33.16	177	5.79
RCFPP _{1.5}	9.7	130	66.17	301.6	76.71	236.2	7.91
RCFPP _{1.0}	7.92	61.3	50.38	258.5	61	206.4	7.70

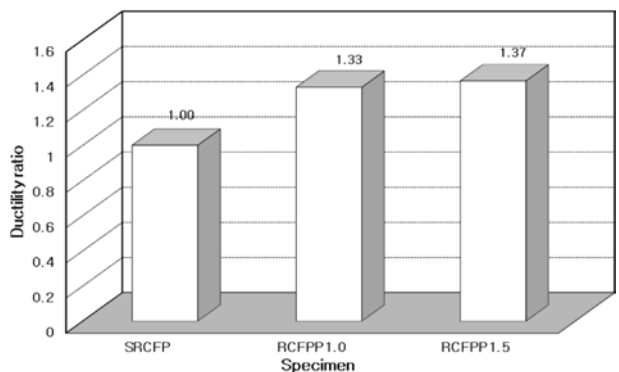


Fig. 15 Ductility ratio of specimens

변형은 철근의 슬립이 일어나기 전까지는 매 사이클마다 증가하였다. 그러나 연속적인 두 사이클의 최대 변형이 동일하거나 감소하는 때가 나타났으며 이는 철근의 뽑힘

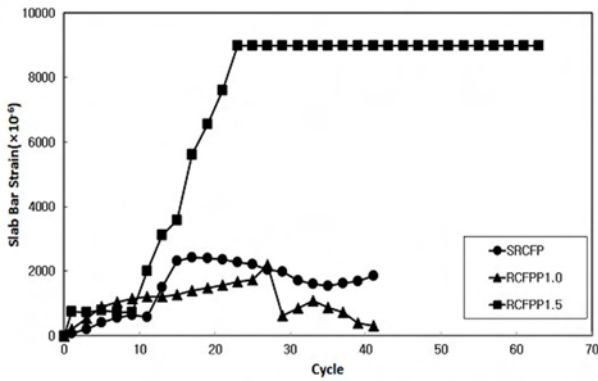


Fig. 16 Maximum strain during each cycle of loading in stain intensity of slab

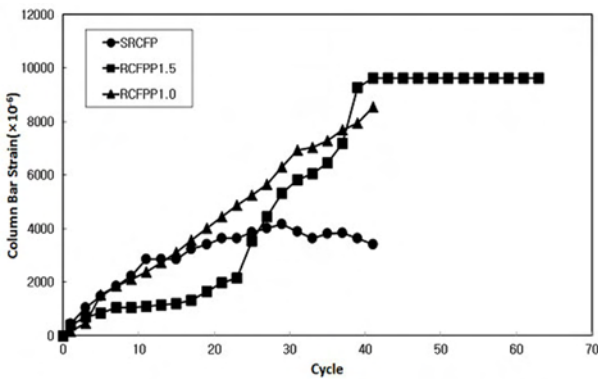


Fig. 17 Maximum strain during each cycle of loading in stain intensity of column

이 발생한 것으로 판단되었다. 실험을 통하여 Figs. 16, 17과 같이 각 싸이클에 따른 슬래브 및 기둥 주근의 변형도 관계를 구하였다.

5. 결 론

이 연구에서는 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부 영역의 손상을 최소화하고 슬래브의 위험단면영역을 접합부에서 슬래브의 내측으로 완전히 이동함과 동시에 내진 성능을 향상시키기 위하여 고인성 섬유 복합모르타르를 활용한 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부의 실험을 수행하여 내진 성능을 평가하였으며, 이 연구의 실험 결과를 근거로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 고인성 섬유 복합모르타르를 활용한 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부는 표준실험체와 비교하여 강도와 연성능력이 증대하였고, 최대내력 이후의 하중-변위곡선이 보다 안정적인 이력거동을 나타내었다.
- 2) 고인성 섬유 복합모르타르를 활용한 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부의 경우 표준실험체에 비하여 위험단면 영역에서 파괴시 뚜렷한 균열분산 능력과 매우 안정적인 파괴형태를 나타내었다.
- 3) 고인성 섬유 복합모르타르를 활용한 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부는 표준실험체에 비하여 각각 최대내력은 1.15배 1.34배 증가하였다.

- 4) 고인성 섬유 복합모르타르를 활용한 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부는 표준실험체와 비교하여 에너지소산능력이 훨씬 증가하였다. 실험체 RCFPP 시리즈는 에너지소산능력은 변위연성 3에서 RCFPP_{1.0}의 경우 1.09배, RCFPP_{1.5}의 경우 2.14배 증가함을 나타내었다.
- 5) 고인성 섬유 복합모르타르를 활용한 플랫 플레이트 구조시스템의 경우 반복 주기하중 작용시 표준실험체에 비하여 연성능력이 1.33~1.37배 증가하였다.
- 6) 고인성 섬유 복합모르타르를 활용한 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부는 섬유혼입률 1.0%, 1.5%일 경우 내력, 연성능력, 에너지소산능력 증진에 효과가 있는 것으로 나타났으며, 내진성능개선 측면에서 섬유혼입률 1.5%일 때가 최적 섬유혼입률인 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 및 경일대학교 교내연구비의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-313-D01126).

참고문헌

1. 김윤용, 김정수, 김희신, 하기주, 김진근, “마이크로역학에 의하여 설계된 ECC(Engineered Cementitious Composite)의 역학적 특성,” 콘크리트학회 논문집, 17권, 5호, 2005, pp. 707~714.
2. 김윤용, 조창근, 하기주, 배수호, “고성능 섬유복합재료 HPRCC의 개발 전략,” 콘크리트 학회지, 18권, 3호, 2006, pp. 82~86.
3. 김윤용, 하기주, 신중학, “마이크로역학과 안정상태 균열 이론에 의한 ECC(Engineered Cementitious Composite) 매트릭스 배합의 설계,” 대한건축학회 논문집, 23권, 5호, 2007, pp. 11~18.
4. 김장호, 윤현도, 전에스더, “ECC의 재료설계 특성 및 활용,” 콘크리트 학회지, 18권, 1호, 2006, pp. 28~35.
5. 양일승, 윤현도, 김선우, 박완신, 한병찬, 문연준, “고인성 섬유보강 시멘트 복합체를 사용한 내진요소의 이력 특성,” 대한건축학회 논문집, 21권, 1호, 2005, pp. 51~58.
6. 하기주, 신중학, 김윤용, “고인성 섬유 복합모르타르 전단벽체의 구조성능 평가,” 대한건축학회 연합논문집, 7권, 1호, 2005, pp. 39~45.
7. 하기주, “고로슬래그미분말과 신섬유 복합재료를 이용한 철근콘크리트 보의 구조성능 평가,” 대한건축학회 지회 연합회 논문집, 12권, 3호, 2010, pp. 261~268.
8. Li, V. C., Wang, Y., and Backer, S., “A Micromechanical Model of Tension-Softening and Bridging Toughening of Short Random Fiber Reinforced Brittle Matrix Composites,” *J. Mechanics and Physics of Solids*, Vol. 39 Issue 5, 1991, pp. 607~625.
9. Marshall, D. B. and Cox, B. N., “A J-Integral Method for Calculating Steady-State Matrix Cracking Stresses in Composite,” *Mechanics of Materials*, Issue 8, 1998, pp. 127~133.

10. 하기주, 이동렬, “고로슬래그미분말을 혼입한 고인성 섬유 복합모르타르를 이용한 철근콘크리트 보의 구조성능

평가 및 개선,” 구조물진단학회지, 14권, 6호, 2010, pp. 242~245.

요 약 최근 국내의 건축물이 초고층화, 대형화되고 다양화됨으로써 콘크리트의 고성능화가 요구되고 있으며 지진 하중과 같은 반복 주기하중이 작용할 때 철근콘크리트 부재의 내진성능의 개선이 필요한 실정이다. 따라서 이 연구에서는 사용성, 안정성 및 신뢰성이 우수한 고연성고내구성을 갖는 최적배합의 고인성 섬유 복합모르타르를 개발하고 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부의 위험단면영역에 적용하여 건축물의 내력, 연성능력, 에너지소산능력 등의 내진성능을 개선하고 철근콘크리트 건축물의 설계시 기초자료 및 실용화 기술을 제시하고자 한다. 실험 결과 고인성 섬유 복합모르타르를 활용한 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부 실험체(RCFPP 시리즈)는 표준실험체(SRCFP)보다 최대내력 15~34%, 연성능력 33~37%, 에너지소산능력은 최대 2.14배 증가함을 나타내었다.

핵심용어 : 고인성 섬유 복합모르타르, PVA섬유, 플랫 플레이트, 슬래브-기둥 접합부, 내진성능