



# 고인성섬유 복합 모르타르 및 고성능 배근상세를 활용한 고강도 철근콘크리트 내부 보-기둥 접합부의 내진성능 개선 연구

하기주<sup>1)</sup> · 이동렬<sup>2)</sup> · 홍건호<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>경일대학교 건축학부 <sup>2)</sup>(사)건설기술정책연구원

## A Study on Improvement of Seismic Performance of High Strength Reinforced Concrete Interior Beam-Column Joints Using High Ductile Fiber-Reinforced Mortar and Advanced Reinforcing Detailings

Gee-Joo Ha,<sup>1)</sup> Dong-Ryul Yi,<sup>2)</sup> and Kun-Ho Hong<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>School of Architecture, Kyungil University, Kyeongsan 712-701, Korea

<sup>2)</sup>Construction Technology & Policy Institute, Deagu 706-853, Korea

**ABSTRACT** In this study, experimental research was carried out to evaluate and improve the seismic performance of high strength R/C interior beam-column joints regions using advanced reinforcing detailings and high ductile fiber-reinforced mortar. Five specimens of retrofitted the beam-column joint regions using advanced reinforcing detailings and high ductile fiber-reinforced mortar were constructed and tested for their retrofitting performances. Specimens designed by retrofitting the interior beam-column joint regions (IJIR series) of existing reinforced concrete building showed a stable mode of failure and an increase in load-carrying capacity. Specimens of IJIR series, designed by the retrofitting of advanced reinforcing detailings and high ductile fiber-reinforced mortar in reinforced beam-column joint regions increased its maximum load carrying capacity by 114.2~123.5% and its energy dissipation capacity by 1.55~1.85 times in comparison with the standard specimen of SIJC with a displacement ductility of 5.

**Keywords** : high ductile fiber-reinforced mortar, advanced reinforcing detailings, seismic performance, interior beam-column joint, cyclic loads

### 1. 서 론

#### 1.1 연구배경 및 목적

최근 건설분야에서는 대형화 및 고층화 추세에 따라 우수한 성능을 지닌 고강도 건설재료가 요구되고 있다. 이에 따라 콘크리트의 고강도화가 시도되어 현재 세계적으로 사용되고 있으며, 보다 나은 성능확보 및 정확한 재료 특성을 파악하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 콘크리트는 모든 건설분야에서 가장 널리 사용되는 건설 재료로서 압축강도가 높고, 경제성 및 내구성 등이 매우 우수한 성능을 가지고 있으나 인장강도 및 휨강도가 약하고 에너지 흡수능력이 작아서 매우 취성적이며 균열에 대한 저항이 작다는 치명적인 단점이 있다. 특히 고강도

콘크리트는 최대 내력 이후의 강도 저하가 현저하고 파괴성상이 취성적인 성질이 크므로 이러한 관점에서 고강도 콘크리트의 제반 특성을 향상시키고 개선할 필요성이 대두되고 있다.

이에 유사취성적인 시멘트 재료에 합성섬유를 혼입하여 콘크리트의 변형능력과 파괴인성을 증가시키는 고인성 섬유복합재료에 대한 연구가 국외 뿐만 아니라 국내에서도 활발히 진행중이다. Victor C. Li<sup>1-3)</sup> 등은 시멘트계 복합재료의 인장 연화 곡선을 실험에 의해 도출하고 섬유가교현상을 마이크로역학으로 해석하여 부재 내부의 섬유와 매트릭스간의 응력전달과 파괴 현상 등을 파악하였다. 국내에서도 하기주,<sup>4,7)</sup> 윤현도,<sup>8,9)</sup> 윤영수<sup>10)</sup> 등에 의해 고인성 섬유 복합재료 및 이를 적용한 구조물에 대한 연구가 소개되었다.

이 연구에서는 고층 철근콘크리트 건축물이 지진하중과 같은 심각한 비탄성 변형을 일으키는 반복주기하중을 받을 때 보와 기둥부재 등의 단위부재보다 더욱 취약한 영역인 내부 보-기둥 접합부를 대상으로 접합부 영역을

\*Corresponding author E-mail : nmax7973@nate.com  
 Received November 26, 2012, Revised February 28, 2013,  
 Accepted March 29, 2013  
 ©2013 by Korea Concrete Institute

정착형 중간철근 및 폐쇄스터립의 이중구속과 같은 고성능 배근상세와 고인성섬유 복합 모르타르로 보강하여 구조물의 내력, 연성능력, 파괴형태 등의 내진성능을 평가하고자 한다. 또한, 이를 활용하여 기존 철근콘크리트 구조물의 내진성능 개선을 도모하고, 내진보강 설계규준을 위한 기초자료를 제공하며, 이에 따른 건축물의 고성능화 및 건설기술의 경쟁력에 기여하고자 한다.

## 1.2 연구범위 및 방법

이 연구에서는 고강도 철근콘크리트 구조물의 내부 보-기둥 접합부를 대상으로 하여 기존 고강도 철근콘크리트 구조물의 내부 보-기둥 접합부의 위험단면영역을 정착형 중간철근 및 폐쇄스터립의 이중구속과 같은 고성능 배근상세와 고인성섬유 복합 모르타르로 보강하여 기존 구조물의 내력 및 내진성능을 개선하고자 실제 구조물을 1/2크기로 모델화한 실험체를 통해 고강도 철근콘크리트 내부 보-기둥 접합부의 내진성능을 분석·평가 하고 이를 토대로 기존 고강도 철근콘크리트 내부 보-기둥 접합부의 내력증진 및 내진성능 향상을 위한 새로운 보강설계 개념을 정립하고자 한다.

## 2. 실험체 설계변수 및 사용재료

### 2.1 실험체 설계변수

이 연구에서는 지진하중과 같은 반복 주기하중을 받는 기존 고강도 철근콘크리트 내부 보-기둥 접합부의 내진성능을 개선하기 위하여 고강도 철근콘크리트 내부 보-

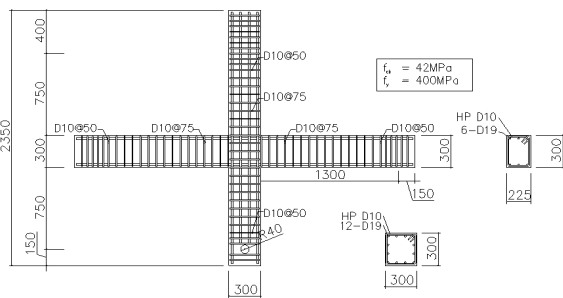
기둥 접합부의 위험단면영역에 정착형 중간철근 및 폐쇄스터립의 이중구속과 같은 고성능 배근상세 및 고인성섬유 복합 모르타르를 사용하여 보강한 후 고강도 철근콘크리트 내부 보-기둥 접합부의 내진성능을 평가하였다. 실험체는 실제 구조물의 1/2정도의 크기로 축소된 내부 보-기둥 접합부 형태의 5개를 제작하였으며, 접합부의 설계는 ACI Building code(318-08) 및 ACI-ASCE 352위원회의 권장안에 따라 설계되었고, 표준 고강도 철근콘크리트 내부 보-기둥 접합부 및 고성능 배근상세와 고인성섬유 복합 모르타르로 보강한 고강도 철근콘크리트 내부 보-기둥 접합부 시스템의 설계상세는 Fig. 1에 나타나 있으며, 각 실험체의 설계변수는 Table 1과 같다.

모든 실험체의 보와 기둥 주근은 D19, 스테럽 및 띠철

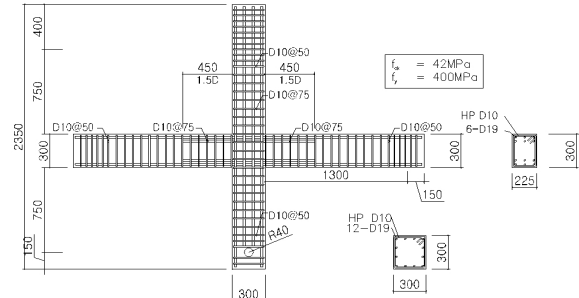
**Table 1** Design parameters of test specimen

Specimen	Main objectives and design parameters
SIJM	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluation of structural performance</li> <li>ACI Building Code 318M-08 and ASCE-ACI 352 Recommendation (monotonic loading, cyclic loading)</li> </ul>
SIJC	
IJI <sup>*</sup> R	<ul style="list-style-type: none"> <li>Retrofitting the joint regions using intermediate reinforcement</li> </ul>
IJI <sup>*</sup> RS <sup>*</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Retrofitting the joint regions using intermediate reinforcement and closed stirrup</li> </ul>
IJI <sup>*</sup> RP	<ul style="list-style-type: none"> <li>Retrofitting the joint regions using intermediate reinforcement</li> <li>PVA 1.5% content of joint region</li> </ul>

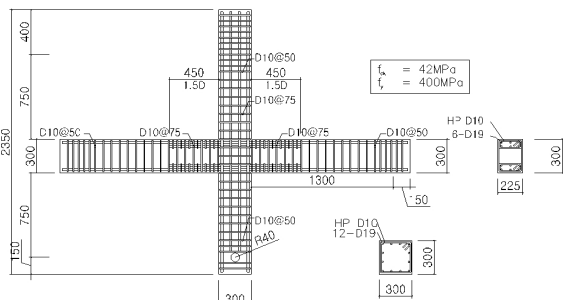
S: standard, I: interior, J: joint, M: monotonic, C: cyclic, I<sup>\*</sup>: intermediate, R: reinforcement, S<sup>\*</sup>: closed stirrup, P: PVA



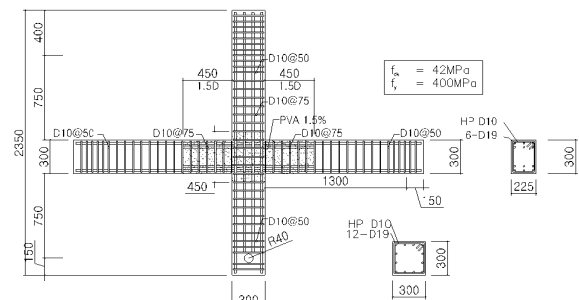
(a) Specimen SIJM, SIJC



(b) Specimen IJIR



(c) Specimen IJIRS



(d) Specimen IJIRP

**Fig. 1** Details of test specimen (unit: mm)

근은 D10을 배근하였다. 스티럽과 띠철근은 75 mm 간격으로 배근하였으며, 실험체 IJIR, IJRS, IJRSP의 중간철근의 경우 보와 기둥의 접합면에서 보의 내측으로 보 축의 1.5배 거리까지 배근하였다.

## 2.2 사용재료

### 2.2.1 철근

이 연구의 실험체에 사용된 철근은 국내에서 생산된 SD400의 고강도철근을 사용하였으며, 보와 기둥의 주근은 D19가 배근되었고 스티럽은 D10이 배근되었다. 그리고 이 실험체에 사용된 철근의 재료 특성을 파악하기 위하여 KS B 0801(금속재료 인장시험편 규정)에 따라 시험편을 제작하여 KS B 0802의 금속재료 인장 시험방법에 따라 시험을 하였으며 결과는 Table 2와 같다.

### 2.2.2 콘크리트

콘크리트는 요구강도, 시공성 및 선정된 재료를 고려하여 배합설계 되었으며 콘크리트의 배합표는 Table 3과 같다. 각 실험체는 콘크리트 타설시 함께 압축강도 실험용 공시체를 제작하였다. 압축강도 실험용 원주형 공시체는 KS F 2405에 따라  $\Phi 100 \times 200$  mm 몰드를 사용하여 3개 층으로 나누어 각 층을 25회씩 붓다짐하여 제작하였고, 재령 28일까지 수중양생 하였다. 그리고 1000 MPa 용량의 UTM으로 일방향 압축강도 시험을 하였으며 콘크리트 압축강도는 각각 5개 공시체의 실험 결과에 대한 평균값이고 Table 4와 같다.

### 2.2.3 고인성섬유(PVA) 복합 모르타르

이 연구에 사용된 섬유는 Fig. 2와 같이 다양한 형태의 섬유중에서 예비실험을 통하여 분산성, 시공성, 적합성이

**Table 2** Material properties of reinforcing bar

Bar size	$f_y$ (MPa)	$\sigma_s$ (MPa)	$E_s$ (MPa)
D19	411	640	$2.01 \times 10^5$
D10	455	636	$1.95 \times 10^5$

Note)  $f_y$ : yield strength,  $\sigma_s$ : tensile strength,  $E_s$ : elastic modulus

**Table 3** Mix proportion of concrete

Compressive strength (MPa)	W/C (%)	S/a (%)	Mix proportion (kg/m <sup>3</sup> )					Slump (mm)
			C	W	S	a	AD	
42	29.0	42.9	530	154	738	958	5.3	120

**Table 4** Test result of concrete strength (unit: MPa)

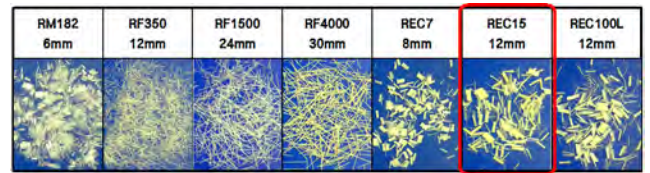
Age (day)	7	14	28
$f_{ck}$ (MPa)	30.62	34.14	45.5

검증된 K사의 PVA(poly vinyl alcohol)섬유 REC15를 선정하였다. 사용된 섬유의 물리적인 성질은 Table 5에 나타낸 바와 같고 배합표는 Table 6과 같다. 제1종 포틀랜드 시멘트가 주 결합재로 사용되었고 잔골재는 평균입도가 110  $\mu$ m인 규사를 사용하였으며 섬유의 효과적인 분산을 위하여 카르복실계 감수제(PCSP)와 셀룰로즈계 분리저감제(HPMC)를 혼화제로 첨가하였다. 공시체는 콘크리트배합 때와 같은 방법으로 제작하였다.

## 2.3 실험체 장치 및 실험방법

이 실험의 실험체 설치상황과 각종 실험기기 및 장치는 Fig. 3과 같다. 고강도 철근콘크리트 내부 보-기둥 접합부 실험체를 반력벽, 스트롱 프레임을 이용하여 정착한 후 기둥 하단에 직경 60 mm 강봉을 사용하여 회전 변형을 유도하였고 보의 양단에도 접합부의 회전 변형만 일어나도록 힌지로 고정하였다.

고강도 철근콘크리트 내부 보-기둥 접합부의 거동을



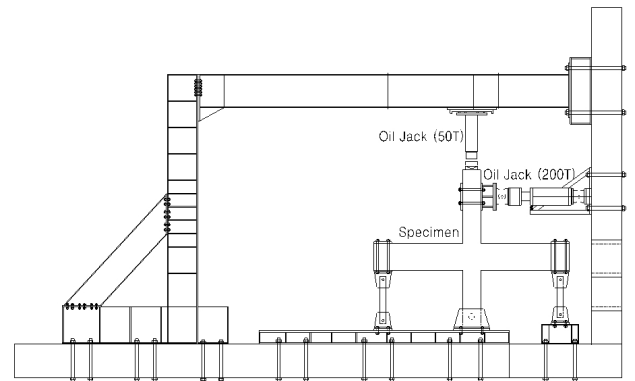
**Fig. 2** Material type of PVA fiber

**Table 5** Material properties of PVA fiber

Diameter ( $\mu$ m)	Length (mm)	Nominal strength (MPa)	Elongation (%)	Oiling agent content (%)	Young's modulus (GPa)
39	12	1620	6	0.8	38.9

**Table 6** Mix proportion of ECC

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



**Fig. 3** Test setup of test specimen

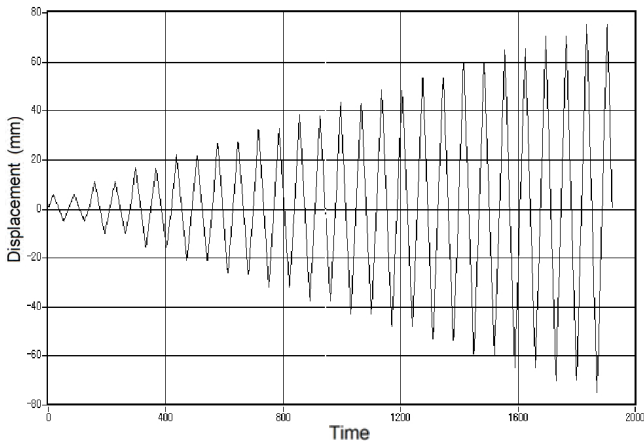


Fig. 4 Loading history

파악하기 위하여 5개의 전 실험체에 기둥의 허용축하중 (balanced axial load)의 10%를 기둥에 일정하게 가력하였다. 그리고 Fig. 3과 같이 기둥의 변곡점에 로드셀을 부착한 오일잭을 사용하여 변위제어에 의해 하중(단조하중, 반복주기하중)을 작용시켰으며, 반복주기하중의 형태는 Fig. 4와 같다.

변위연성은 각 사이클의 종료시 변위에 대한 실험체의 항복변위의 비로서 정의하고 항복변위는 단조하중 작용시 기둥면의 보 주근이 항복하였을 때의 하중작용점의 변위로 정의한다. 반복주기하중의 주기는 전실험체를 T=70 sec로 하였으며 반복회수는 2사이클로 극한변위 측정시까지 가력을 계속하였다.

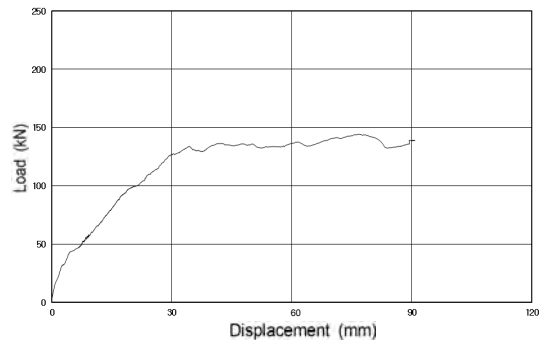
### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 이력거동 특성

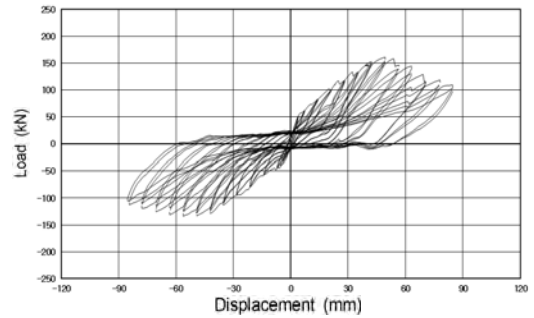
지진지역에서 철근콘크리트 구조물의 설계 및 해석을 위하여 비탄성 범위에서 부재의 특성, 즉 부재의 연성, 에너지 소산능력, 강성저하 등을 파악하여야 하며, 이를 위해서 부재의 이력거동 특성을 정확히 구명하여야 한다.

이 연구에서는 각 실험체의 이력거동 곡선을 구하기 위하여 단조하중 및 반복주기하중을 가력한 결과 각 실험체의 작용하중과 하중 작용점의 변위와의 관계는 Fig. 5와 같이 나타났으며, 단조하중을 가력한 표준실험체 SIJM의 기둥면 보 주근에 부착한 변형률 게이지의 측정치가 항복 변형률에 이를 때 보의 하중 작용점의 항복변위를 구하고, 변위를 제어하면서 최종 파괴시까지 가력하였다.

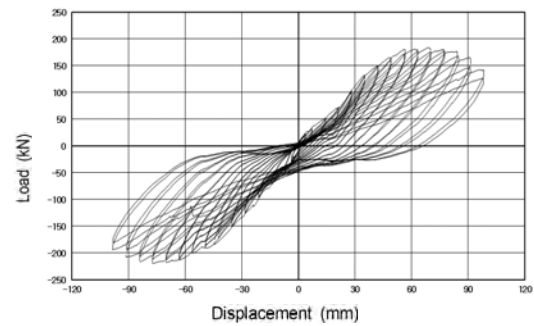
고강도 철근콘크리트 내부 보-기둥 접합부의 접합부 영역을 고성능 배근상세 및 고인성섬유 복합 모르타르로 보강한 실험체의 경우 이력거동 특성을 고찰하여 보면 각 실험체의 설계변수에 따라 강도 및 에너지 소산능력이 표준 철근콘크리트 내부 보-기둥 접합부에 비하여 증가하여 구조성능 및 내진성능이 현저히 개선됨을 알 수 있다.



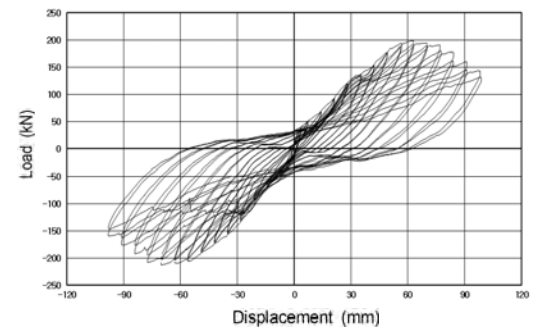
(a) Specimen SIJM



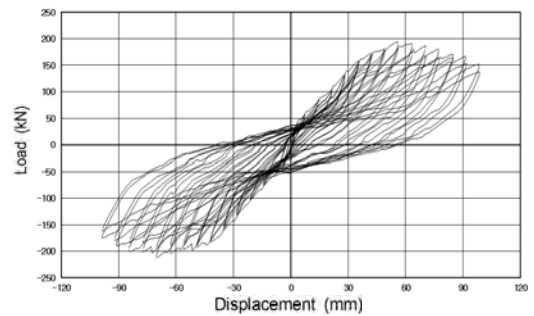
(b) Specimen SIJC



(c) Specimen IJIR



(d) Specimen IJRS



(e) Specimen IJRP

Fig. 5 Load-displacement relationship of each test specimen

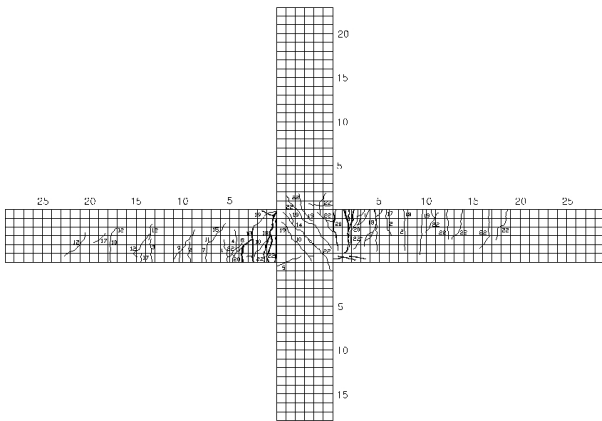
### 3.2 파괴형태

표준 단조하중 적용 실험체 SIJM의 경우 일방향 단조하중 실험에서 변위 14 mm에 해당하는 하중값이 76.39 kN 일때 보주근이 항복하였으며, 하중 증가에 따라 접합부 위험 단면 영역에 균열집중 현상과 더불어 변위 76.908 mm에서 하중이 144.24 kN으로 최대하중을 나타내면서 최종 파괴 되었다.

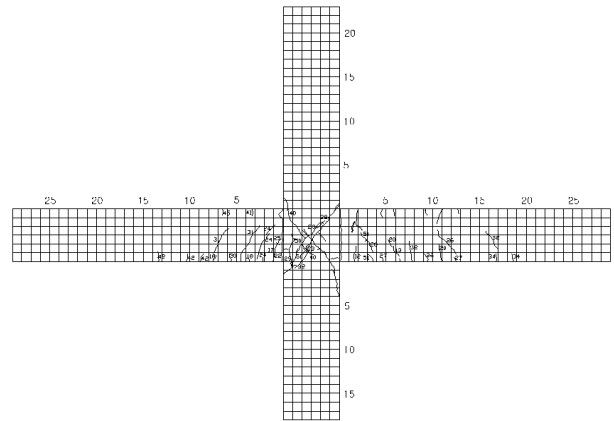
표준실험체 SIJC의 경우 반복 주기하중을 가했을 때 초기 재하시 보와 기둥의 접합면에서 보의 내측으로 넓

은 영역까지 균열이 분포하였고, 재하 후반부에는 보-기둥 접합면과 보 축만큼 떨어진 부분 이내에서 균열과 파괴가 집중되었다.

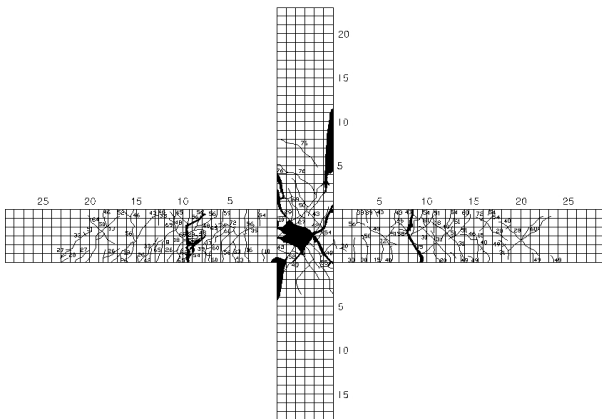
보-기둥 접합부영역에 정착형 중간철근을 보강한 실험체 IJIR의 경우 반복 주기하중 작용시 초기균열은 보와 기둥의 접합면에서 보의 내측으로 1.5d만큼 떨어진 곳에서 발생하였으며, 재하 후반부로 실험이 진행될수록 보와 기둥의 접합면에서 1.5d만큼 떨어진 곳에서 보의 내측으로 균열의 다수가 폭이 확대 되었다. 재하 후반부에는 보-기둥 접합면의 균열폭이 확대되면서 콘크리트 피복이



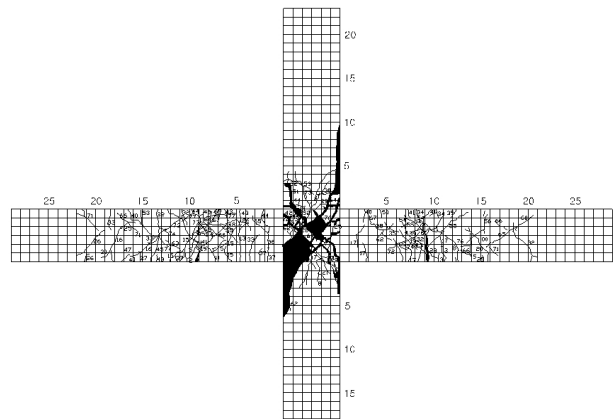
(a) Specimen SIJM



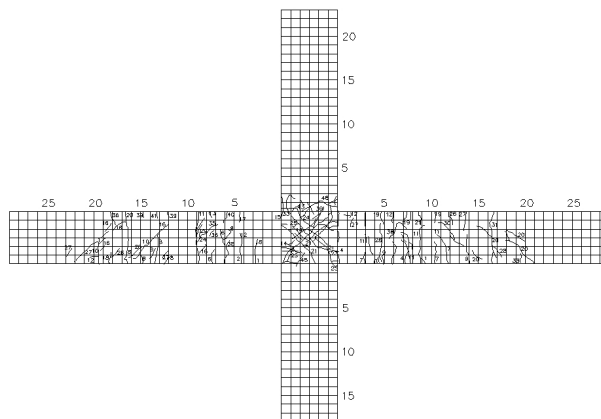
(b) Specimen SIJC



(c) Specimen IJIR



(d) Specimen IJIRS



(e) Specimen IJIRP

Fig. 6 Crack pattern of each test specimen

박리 되었으며, 최종파괴에 도달하였다.

보-기둥 접합부영역에 정착형 중간철근과 PVA섬유가 1.5% 함유된 고인성섬유 복합 모르타르를 보강한 실험체 IJIRP의 경우 반복 주기하중 작용시 IJIR과 거의 유사한 균열양상을 나타내었으나 보-기둥 접합부 영역과 보와 기둥의 접합면에서 보의 내측으로 1.5d만큼 떨어진 영역에서는 고인성섬유 복합 모르타르의 보강효과로 인하여 다수의 마이크로 균열이 발생하여 균열분산 효과를 보였으며 이로 인해 콘크리트 피복이 박리되지 않고 최종파괴에 도달하였다.

보-기둥 접합부영역에 정착형 중간철근과 페쇄스터립으로 이중구속 보강한 실험체 IJIRS의 경우 반복 주기하중 작용시 초기균열은 보와 기둥의 접합면에서 보의 내측으로 1.5d만큼 떨어진 곳에서 발생하였으며, 전반적인 균열양상은 IJIR 실험체와 유사하였다. 재하 후반부로 갈수록 균열폭이 확대되는 균열이 보와 기둥의 접합면에서 1.5d만큼 떨어진 곳에서 보의 내측으로 많이 발생하였으며, 보와 기둥의 접합면에서 1.5d 만큼 떨어진 영역에서는 균열폭이 확대되는 균열은 거의 나타나지 않았다. 재하 후반부에는 보-기둥 접합면의 균열의 균열폭이 확대되면서 콘크리트 피복이 박리 되었으며 최종파괴에 도달하였다.

### 3.3 최대내력 및 강성변화 특성

각 실험체의 강성은 Fig. 7과 같은 방법으로 정의하였다. 여기서 강성은 각 하중의 사이클에서 정방향과 부방향에서의 최대하중과 최대변위가 만나는 점의 기울기로 산정하였다. 각 실험체의 내진성능 평가를 실시하여 구한 각 실험체의 이력거동특성 및 실험진행 중의 균열양상을 근거로 각 실험체의 강성변화를 Fig. 8에 도시하였고, 일반적인 특성은 다음과 같다.

우선, 각 실험체의 강성은 반복 주기하중이 작용하는 동안 반복 회수가 증가할수록 점차 감소하였다. 이러한 강성 감소의 주요 원인은 접합부 영역 및 인접 콘크리트의 활열, 기둥 철근의 슬립 및 보 철근의 뽀뽀함 때문으로 판단된다.

반복 주기하중을 받을 때 각 실험체의 강도변화 특성

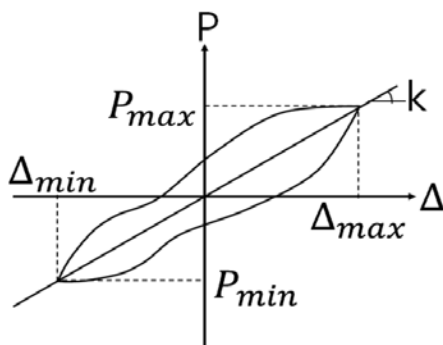


Fig. 7 Calculation of stiffness

을 비교하기 위하여 변위연성과 각 실험체의 강도와의 관계를 Fig. 9에 나타내었다. 모든 실험체가 변위연성 4, 5에서 각각 최대내력을 나타내었다.

그리고 내부 보-기둥 접합부 위험단면영역을 정착형 중간철근, 정착형 중간철근과 고인성섬유 복합 모르타르, 중간철근과 페쇄스터립의 이중구속으로 보강한 실험체 IJIR, IJIRP, IJIRS 실험체의 경우 각각의 최대내력이 표준실험체의 114.2%, 120.8%, 123.5%로 측정되었다.

내부 보-기둥 접합부 위험단면영역에 고인성섬유 복합 모르타르를 보강한 실험체 IJIRP의 경우 고인성섬유 복합 모르타르를 보강하지 않은 실험체 IJIR과 비교하여 최대내력은 105.7%로 상승하였다.

### 3.4 에너지소산능력

지진하중과 같은 반복주기하중을 받는 철근콘크리트 건축물의 경우 내진성능 평가시 에너지 소산능력은 매우 중요한 평가 요소이며 건축물의 설계시 높은 에너지 소산능력을 갖도록 설계하여야 한다.

에너지 소산능력은 일반적으로 이력거동 곡선이 둘러싸고 있는 면적에 의해서 산정된다. 각 실험체의 에너지 소산능력을 비교 평가하기 위하여 Fig. 5의 각 실험체별 이력거동 곡선을 비교하여 변위연성과 에너지 소산능력의 관계를 Fig. 10에 나타내었으며, 변위연성과 누적 에

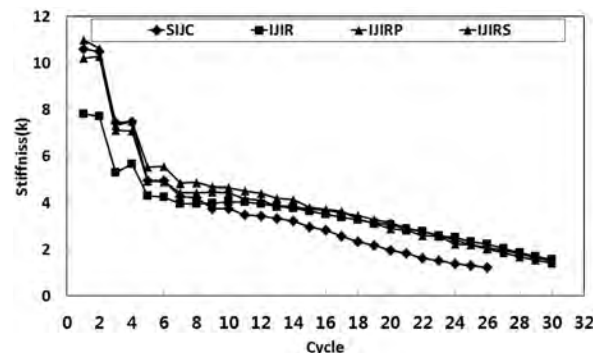


Fig. 8 Comparison of stiffness for each specimen at various cycle

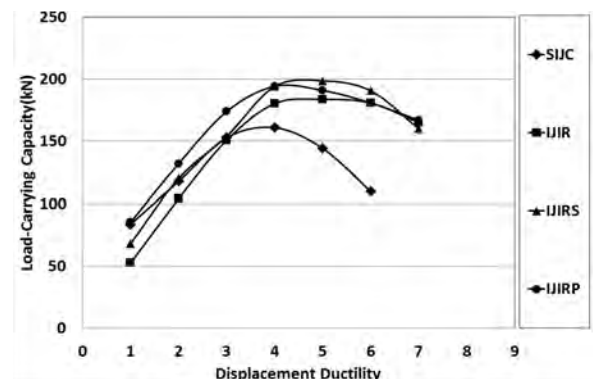


Fig. 9 Maximum load carried by each specimen at various displacement ductilities

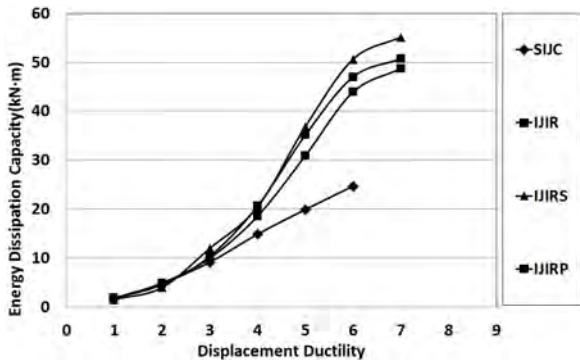


Fig. 10 Comparison of energy dissipation capacity for each specimen at various displacement ductilities

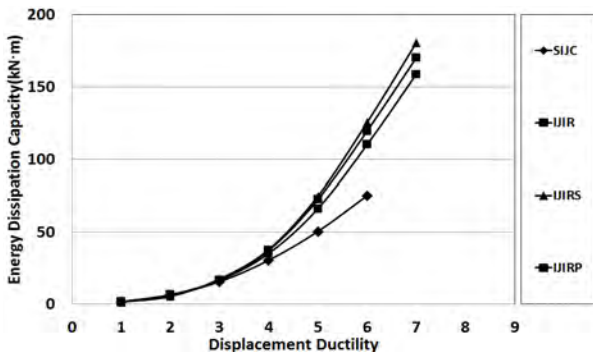


Fig. 11 Comparison of cumulative energy dissipation capacity for each specimen at various displacement ductilities

너지 소산능력의 관계를 Fig. 11에 나타내었다.

보-기둥 접합부영역을 정착형 중간철근, 정착형 중간철근과 고인성섬유 복합 모르타르, 중간철근과 폐쇄스터립의 이중구속으로 보강한 실험체 IJIR, IJIRP, IJIRS의 경우 각각의 에너지 소산능력이 변위연성 5에서 표준실험체의 1.55배, 1.76배, 1.85배로 매우 향상되었다.

또한 IJIRP 실험체의 경우 IJIR에 비하여 에너지소산능력이 1.14배 향상되어 고인성섬유 복합 모르타르의 보강효과를 확인할 수 있었다.

### 3.5 연성능력 비교

각 실험체의 연성능력은 항복변위에 대한 변위연성비 ( $\mu = \delta_u / \delta_y$ )로 정의하였다. 이 연구에서는 부재항복시의 처짐량( $\delta_y$ )을 기준으로 부재의 최대하중시 변위와 최대하중 이후 최대하중의 80%에서의 변위( $\delta_u$ )를 이용하여 평가하였다. 또한, 부재 항복변위( $\delta_y$ )는 보-기둥 접합면 보의 주철근이 항복하는 시점의 변위 또는 극한강도점을 지나는 수평선과 극한강도의 75%점을 지나는 할선강성선과의 교점으로 하는 Park Method로 정의하였다.

각 실험체의 연성능력은 Fig. 12와 같다. 보-기둥 접합부영역에 정착형 중간철근, 정착형 중간철근과 고인성섬유 복합 모르타르, 중간철근과 폐쇄스터립의 이중구속으로 보강한 실험체 IJIR, IJIRP, IJIRS의 경우 연성능력이

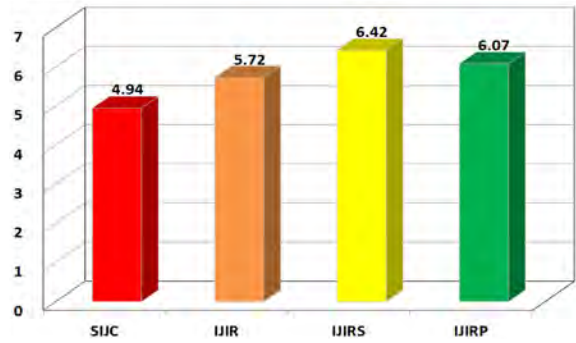


Fig. 12 Comparison of cumulative energy dissipation capacity for each specimen at various displacement ductilities

표준실험체 SIJC와 비교하여 1.16~1.30배 증가하였으며, IJIRP 실험체의 경우 IJIR에 비하여 연성능력이 1.06배 향상되어 고인성섬유 복합 모르타르의 보강효과를 나타내었다.

고인성섬유 복합 모르타르로 보-기둥 접합부영역을 보강한 실험체의 경우 고인성섬유 복합 모르타르의 효과로 인해 PVA섬유가 균열과 균열사이에서 가교역할을 하여 인장력 전달 능력이 지속되면서 균열폭이 제어 되어 균열이 미세균열로 확산되면서 연성능력이 증가한 것으로 사료된다.

## 4. 결 론

이 연구에서는 기존 철근콘크리트 건축물의 내부 보-기둥 접합부의 구조성능 및 내진성능을 개선하기 위하여 표준실험체, 내부 보-기둥 접합부 위험단면영역을 정착형 중간철근, 정착형 중간철근과 고인성섬유 복합 모르타르, 중간철근과 폐쇄스터립의 이중구속으로 보강한 실험체 총 5개의 실험체를 제작하고 실험을 수행하여 내진성능을 평가하였으며, 이 연구의 실험 결과를 근거로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기존 고강도 철근콘크리트 내부 보-기둥 접합부의 위험단면 영역을 정착형 중간철근, 정착형 중간철근과 고인성섬유 복합 모르타르, 중간철근과 폐쇄스터립의 이중구속으로 보강한 실험체(IJIR, IJIRP, IJIRS)의 경우 재하 전 과정을 통하여 안정적인 파괴형태 및 내력을 나타내었다.
- 2) 고강도 철근콘크리트 내부 보-기둥 접합부의 위험단면 영역을 정착형 중간철근, 정착형 중간철근과 고인성섬유 복합 모르타르, 중간철근과 폐쇄스터립의 이중구속으로 보강한 실험체(IJIR, IJIRP, IJIRS)의 경우 표준실험체 SIJC에 비하여 최대 내력은 변위연성 4, 5에서 각각 114.2%, 120.8%, 123.5%로 측정되었으며, IJIRP의 경우 IJIR에 비하여 각각 105.7% 상승하였다.
- 3) 각 실험체의 에너지소산능력을 비교한 결과 보-기

등 접합부의 위험단면영역을 정착형 중간철근, 정착형 중간철근과 고인성섬유 복합 모르타르, 중간철근과 페쇄스터럽의 이중구속으로 보강한 실험체(IJIR, IJIRP, IJIRS)의 경우 변위연성 5에서 표준실험체(SIJC)의 1.55배, 1.76배, 1.85배로 매우 향상되었으며, IJIRP의 경우 IJIR에 비하여 1.14배 향상되어 고인성섬유 복합 모르타르의 보강효과를 나타내었다.

- 4) 각 실험체의 연성능력을 비교한 결과 보-기둥 접합부의 위험단면영역을 정착형 중간철근, 정착형 중간철근과 고인성섬유 복합 모르타르, 중간철근과 페쇄스터럽의 이중구속으로 보강한 실험체(IJIR, IJIRP, IJIRS)의 경우 표준실험체(SIJC)보다 1.16~1.30배 증가하였으며, IJIRP의 경우 IJIR에 비하여 1.06배 향상되어 고인성섬유 복합 모르타르의 보강효과를 나타내었다.

## 감사의 글

이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단(2012-0005647, 2012-005941)의 지원을 받아 수행되었다.

## 참고문헌

1. 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," *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, Vol. 39, Issue 5, 1991, pp. 607-625. ([http://dx.doi.org/10.1016/0022-5096\(91\)90043](http://dx.doi.org/10.1016/0022-5096(91)90043))
2. Kanda, T. and Li, V. C., "A New Micromechanics Design Theory for Pseudo Strain Hardening Cementitious Composite," *Journal of Engineering Mechanics, ASCE*,

Vol. 125, No. 4, 1999, pp. 373-381.

3. Li, V. C., Wu, C., Wang, S., Ogawa, A., and Saito, T., "Interface Tailoring for Strain Hardening PVA-ECC," *ACI Materials Journal*, Vol. 99, No. 5, 2002, pp. 463-472.
4. Kim, Y. Y., Kim, J. S., Kim, H. S., Ha, K. J., and Kim, J. K., "Mechanical Properties of an ECC (Engineered Cementitious Composite) Designed Based on Micromechanical Principle," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 17, No. 5, 2005, pp. 709-716.
5. Kim, Y. Y., Ha, G. J., and Shin, J. H., "Design of ECC (Engineered Cementitious Composite) Matrix Compositions Based on Micromechanics and Steady-State Cracking Theory," *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 23, No. 5, 2007, pp. 11-19.
6. Kim, J. S., Ha, G. J., Hong, K. H., and Shin, J. H., "Tensile and Fiber Dispersion Performance of ECC (Engineered Cementitious Composites) Designed with Ground Granulated Blast Furnace Slag," *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, Vol. 12, No. 2, 2010, pp. 209-216.
7. Ha, G. J., Yi, D. R., and Hong, K. H., "Improvement and Evaluation of Repair-Retrofit Performance of Reinforced Concrete Beam using High Ductile Fiber-Reinforced Mortar with Ground Granulated Blast Furnace Slag," *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, Vol. 12, No. 4, 2010, pp. 261-270.
8. Yang, I. S., Yun, H. D., Kim, S. W., Park, W. S., Han, B. C., and Moon, Y. J., "Hysteretic Characteristics of Seismic Devices Using High Performance Fiber Reinforced Cement Composites," *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 21, No. 1, 2005, pp. 51-58.
9. Kim, J. H., Yun, H. D., and Jeon, E., "Material Design, Characteristics and Application of Engineered Cementitious Composites," *Magazine of the Korea Concrete Institute*, Vol. 18, No. 1, 2006, pp. 28-35.
10. Yoon, Y. S., "Concept and Background of Shear Design in Reinforced Concrete Beams," *Magazine of the Korea Concrete Institute*, Vol. 8, No. 5, 1996, pp. 61-69.

**요약** 이 연구에서는 고강도 철근콘크리트 내부 보-기둥 접합부의 내진성능을 개선하기 위하여 보-기둥 접합부 영역을 고성능 배근상세 및 고인성섬유 복합 모르타르를 사용하여 보강하고 내진성능을 평가하였다. 총 5개의 실험체를 제작하고 실험을 수행하여 내진성능을 평가하였으며, 이 연구의 실험 결과를 근거로 다음과 같은 결론을 얻었다. 기존 고강도 철근콘크리트 내부 보-기둥 접합부의 위험단면 영역을 고성능 배근상세 및 고인성섬유 복합 모르타르로 보강한 결과 재하 전 과정을 통하여 안정적인 파괴형태 및 내력을 나타내었다. 고강도 철근콘크리트 내부 보-기둥 접합부의 내진성능을 개선하기 위하여 고성능 배근상세 및 고인성섬유 복합 모르타르를 사용하여 보강한 실험체(IJIR, IJIRS, IJIRP)는 재하 전 과정을 통하여 안정적인 이력거동을 나타내었고, 최대내력이 표준실험체의 114.2~123.5%, 에너지소산능력은 1.55~1.85배로 표준실험체에 비하여 매우 향상되었다.

**핵심용어** : 고인성섬유 복합 모르타르, 고성능 배근상세, 내진성능, 내부 보-기둥 접합부, 반복하중