

## NRC 보-기둥 접합부의 구조적 거동 평가

전지환<sup>1</sup>, 이상윤<sup>2</sup>, 김승훈<sup>3\*</sup>

## Structural Behavior Evaluation of NRC Beam-Column Connections

Ji-Hwan Jeon<sup>1</sup>, Sang-Yun Lee<sup>2</sup>, Seung-Hun Kim<sup>3\*</sup>

**Abstract:** In this study, details of NRC beam-column connections were developed in which beam and columns pre-assembled in factories using steel angles were bolted on site. The developed joint details are NRC-J type and NRC-JD type. NRC-J type is a method of tensile joining with TS bolts to the side and lower surfaces of the side plate of the NRC column and the end plate of the NRC beam. NRC-JD type has a rigid joint with high-strength bolts between the NRC beam and the side of the NRC column for shear, and with lap splices of reinforcing bar penetrating the joint and the beam main reinforcement for bending. For the seismic performance evaluation of the joint, three specimens were tested: an NRC-J specimen and NRC-JD specimen with NRC beam-column joint details, and an RC-J specimen with RC beam-column joint detail. As a result of the repeated lateral load test, the final failure mode of all specimens was the bending fracture of the beam at the beam-column interface. Compared to the RC-J specimen, the maximum strength of the specimen by the positive force was 10.1% and 29.6% higher in the NRC-J specimen and the NRC-JD specimen, respectively. Both NRC joint details were evaluated to secure ductility of 0.03 rad or more, the minimum total inter-story displacement angle required for the composite intermediate moment frame according to the KDS standard (KDS 41 31 00). At the slope by relative storey displacement of 5.7%, the NRC-J specimen and the NRC-JD specimen had about 34.8% and 61.1% greater cumulative energy dissipation capacity than the RC specimen. The experimental strength of the NRC beam-column connection was evaluated to be 30% to 53% greater than the theoretical strength according to the KDS standard formula, and the standard formula evaluated the joint performance as a safety side.

**Keywords:** NRC Beam-column connections, Cyclic loads, Stiffness, Energy dissipation capacity

## 1. 서 론

철근콘크리트(Reinforced Concrete, RC) 구조 공법은 높은 경제성과 더불어 접합부 일체성 확보와 연성적인 거동 등 구조적 측면의 장점이 있지만, 복잡한 현장 배근 및 타설 공정, 공기 증가 등의 단점이 있다. 이에 기존 RC 구조의 단점을 해결하기 위하여 철근 이외의 강재를 사용한 다양한 공법들이 제안되어왔다. 이러한 구조공법들은 다음과 같이 크게 세 가지로 분류할 수 있다.

첫째, H형강 등 강재를 RC 부재 단면 내에 매입하여 설계하는 매입형 합성부재 공법이 있다(Kim and Choi, 2020).

둘째, 강관 및 강판을 사용하여 RC 단면 외측면 강재로 둘러싸게 하여 휨저항을 극대화시키고 거푸집 공정을 간소화시

키는 충전형 합성부재 공법이 있다(Choi et al., 2017).

셋째, 강재를 철근 대용으로 사용하거나 가설시 거푸집 대용으로만 사용하여, 시공단계의 구조안전성 및 시공성을 향상시키는 개선형 RC 공법이 있다.

합성부재를 이용한 공법은 휨강도, 휨강성 등을 향상시킬 수 있어 기존의 전통적인 RC 구조 공법에 비하여 많은 장점을 가지고 있지만 이에 상응하는 단점들도 있다. 매입형 합성부재 공법은 휨단면 설계 시 철근과의 간격 제한 등으로 비싼 강재에 대한 단면배치 효율성을 극대화시키기 어렵고, 여전히 거푸집 공사가 동반되어야 한다. 충전형 합성부재 공법도 접합부 설계의 어려움, 용접량 증가, 별도의 내화설계 필요성 등을 고려하여야 한다. 또한 두 공법 모두 강재의 사용량이 많으므로 강재와 콘크리트의 응력전달을 위한 부착성능을 고려해야 한다. 이에, KDS 41 31 00에서는 합성부재에 있어 부재 내 단면의 일체성 확보를 위한 접합연결재 설계, 부재와 부재 간 접합부에서 하중전달 도입부 설계 등을 하도록 규정되어 있다.

강재를 사용한 개선형 RC 공법은 거푸집 대체, 부재의 선조립 시공 등에 필요한 최소한의 강재양만 사용하고 RC 공법이 가지는 시공공기 증가 및 인건비 증가의 문제점을 해결함으로써 경제성을 극대화할 수 있다. 강재를 사용한 개선형 RC

<sup>1</sup>학생회원, 한밭대학교 건축공학과 석사과정

<sup>2</sup>정회원, (주)엔알씨구조연구소 기업부설연구소 소장, 공학박사

<sup>3</sup>정회원, 한밭대학교 건축공학과 교수, 교신저자

\*Corresponding author: kimsh@hanbat.ac.kr

Department of Architectural Engineering, Hanbat National University,  
Daejeon, 34158, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2022년 3월 31일까지 학회로 보내주시면 2022년 4월  
호에 토론결과를 게재하겠습니다.



**Fig. 1** Construction of frames using NRC structural system

공법의 하나로 개발된 NRC(New paradigm Reinforced Concrete) 보를 사용한 구조시스템은 공장에서 L형강(앵글)을 이용하여 선조립한 NRC 보와 NRC 기둥을 현장에서 볼트 조립하여 자체적으로 자립 가능한 골조가 구성되어, 현장타설 공정이 간소화되고 공기단축에 의한 경제성을 확보할 수 있는 신공법이다(Lee et al., 2020). NRC 구조시스템에 대한 골조 시공 현황사진을 Fig. 1에 나타내었다.

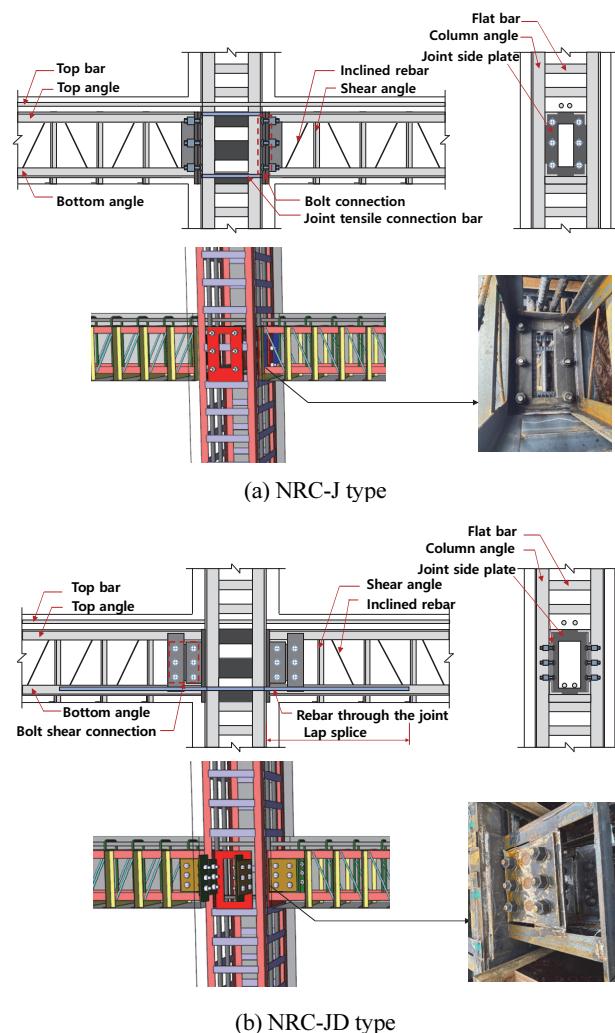
NRC 보-기둥 구조시스템은 일반적으로 보통모멘트골조와 중간모멘트골조로 설계되어지고 있다. 이러한 횡력저항 구조시스템에서 보 및 기둥 뿐만 아니라 접합부도 기준의 요구능성을 확보하여야 한다. 최근 포항 및 경주지역 지진에 의해 지진하중과 같은 수평 반복하중을 받는 구조물의 성능에 관한 관심이 고조되고 있다. 보통모멘트골조라 하더라도 이러한 반복하중에 의하여 접합부 하부면에 인장응력이 발생할 수 있어, 새로 개발된 접합부 상세에 대한 구조 안정성을 검증하는 것은 중요하다.

본 연구에서는 반복 횡하중을 받는 NRC 보-기둥 접합부의 두 가지 접합상세(NRC-J type, NRC-JD type)에 대한 접합부 성능평가를 목적으로, RC 보-기둥 접합부와 함께 접합부 횡하중 반복가력 실험을 실시하였다. 실험으로부터 접합부 강도, 강성, 변형성능 등을 비교함으로써 접합부 상세에 따른 내진성능을 비교·평가하였다.

## 2. NRC 보-기둥 접합부 상세

NRC 구조시스템의 보-기둥 접합부는 Fig. 2와 같이 2가지 형태의 접합상세를 사용하여 NRC 기둥과 보가 접합되도록 개발되었다.

첫째, Fig. 2(a)와 같이 NRC 기둥 측면의 강재 플레이트와 NRC 보의 엔드플레이트의 측면과 하부면에 TS볼트로 인장 접합하는 방식(NRC-J type)이다. 이는 강구조의 엔드플레이트 접합을 응용한 방식으로 NRC 보 하부 주앵글 및 철근의 응



**Fig. 2** Details of beam-column connections of NRC structural system

력을 고력볼트 인장접합으로 기둥 측면 강재 플레이트에 전달하고 기둥 측면 강재플레이트에 용접된 철근 또는 내부다이어프램으로 접합부내부로 응력을 전달하는 시스템이다. 이러한 방식은 접합면 하부에 작용하는 인장응력과 변형성능이 크게 요구되지 않은 보통모멘트골조에 대하여 적용할 수 있다.

둘째, Fig. 2(b)와 같이 NRC 보와 NRC 기둥을 고력볼트로 전단접합하고, 보-기둥 접합부 철근연결재를 보의 하부 주 보강재와 겹침이음합으로써 휨에 저항하도록 하는 강접합 방식(NRC-JD type)이다. 즉, 접합면에서 발생하는 전단력에 대해서는 NRC 보의 상하부 주 앵글에 용접한 측면플레이트와 NRC 기둥 측면 강재 플레이트에 용접된 전단접합용 플레이트의 TS볼트접합에 의해 저항하도록 한다.

NRC-JD형 접합부에서 접합면에 발생하는 휨모멘트에 대해서는 보 하부측은 보-기둥 접합부 내부를 관통하거나 정착되는 이형철근연결재와 보의 하부 앵글 및 주철근과 수직으로 겹침이음되도록 하고, 보 상부측은 기존 RC 구조와 같이

현장에서 배근되는 보 상부철근으로 저항하도록 한다. 이러한 방식은 첫째 방식에 비하여 접합부 하부면의 요구성능이 크더라도 사용할 수 있어 보통모멘트골조 뿐만 아니라 중간 모멘트골조 및 특수모멘트골조에도 적용할 수 있다.

두 가지 NRC 보-기둥 접합부 상세 모두 NRC 보 하부의 주 인장재로 사용되는 앵글과 철근이 보-기둥 접합부를 관통하여 연결되지 않으므로, 기존의 RC 보-기둥 접합부에 비해서 접합부 강성이 떨어질 가능성이 있다. 그리고 상시하중이 작용할 경우 보-기둥 접합부의 보는 부모멘트를 받지만 큰 지진 하중이 발생할 경우 보에 정모멘트가 발생할 가능성이 있어 이에 대한 NRC 보-기둥접합부의 저항성능에 대한 평가가 필요하다.

### 3. NRC보-기동 접합부 실험

### 3.1 실험체 계획

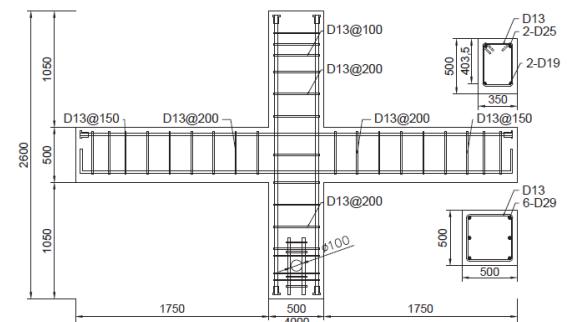
일반적으로 보-기동 접합부의 파괴 형태는 접합부에 접합 보 및 기등의 휨파괴와 전단파괴, 접합부 판넬존의 전단파괴 등 총 5가지로 구분할 수 있다. 건축구조물에 대한 구조설계 실무에서는 보가 휨 항복후 충분한 연성을 가지도록 거동하게 하고 기동과 접합부를 강하게 설계한다. 그리고 NRC 보-기동 접합부의 경우 연속하여 설계되는 NRC 기동에 NRC 보가 접합되어 보 단부에 작용하는 전단력과 휨모멘트의 접합부내 전달성능이 매우 중요하다. 이에 보의 휨파괴에 의한 접합부 파괴가 일어나도록 실험체를 계획하였으며, 보통 및 중간모멘트 골조로써의 요구성능을 발휘하도록 설정하여 설계하였다.

본 연구에서 계획한 실험체는 총 3개로 RC 보-기둥 접합부 상세를 가지는 RC-J 실험체, NRC 보-기둥 접합부상세(NRC-J Type, NRC-JD Type)를 가지는 NRC-J 실험체와 NRC-JD 실험체 등이다. Fig. 3에 실험체의 형상 및 단면치수, 배근상세 등을 나타내었으며, Table 1에 실험체의 배근상세를 나타내었다.

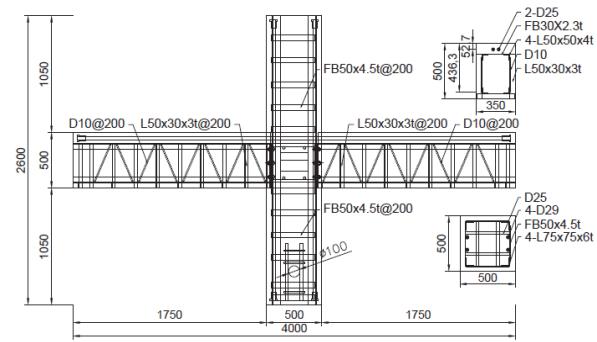
반복 횡하중을 받아 실험체 보 단부에 정힘모멘트가 발생 할 경우, 보 단부 하부 인장재에 의한 휨저항성능이 유사하도

록 NRC 보-기동 접합부 실험체와 RC 보-기동 접합부 실험체의 보 하부측 인장재 위치 및 보강량을 산정하였다.

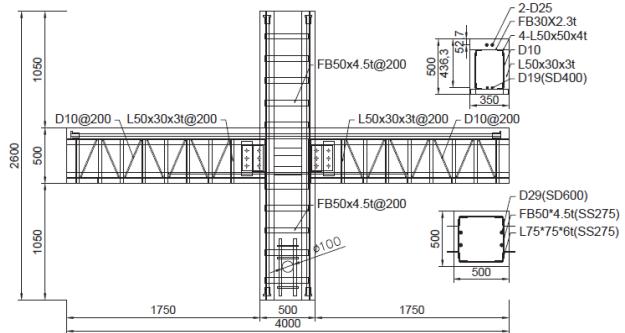
모든 실험체의 보 상부에 2개의 D25(SD400) 이형철근을 주철근으로 배근하였다. NRC-J 실험체와 NRC-JD 실험체에



(a) Specimen RC-J



(b) Specimen NRC-J



(c) Specimen NRC-JD

**Fig. 3** Details of test specimens (unit : mm)

**Table 1** Details of specimens

Specimens	Beam			Column	
	Top bars	Bottom bars	Stirrups	Main bars	Hoops
RC-J	2-D25	2-D19	D13@200	6-D29	D13@200
NRC-J	2-D25 2-L50×50×4t	2-L50×50×4t	D10@200 L50×30×3t@200	4-D29 4-L75×75×6t	FB50×4.5t@200
NRC-JD	2-D25 2-L50×50×4t	2-L50×50×4t	D10@200 L50×30×3t@200	4-D29 4-L75×75×6t	FB50×4.5t@200

대한 하부 주보강재는 2개의 L50×50×4t(SS275) 형강을 사용하였으며, 정모멘트에 대한 공칭휨강도가 유사하도록 RC-J 실험체에는 하부 주철근을 2개의 D19(SD400) 이형철근으로 계획하였다.

기둥에 대하여 NRC-J 실험체와 NRC-JD 실험체는 각각 4개의 D29(SD600) 이형철근과 L75×75×6t 형강을 주보강재로 사용하였으며, 공칭휨강도가 유사하도록 RC-J 실험체에는 6개의 D29(SD600) 이형철근을 배근하였다.

보 및 기둥의 전단보강재는 부재의 전단파괴가 나타나지 않도록 이형철근과 전단앵글로 보강하였다.

NRC-J 실험체의 접합부는 보 앤드플레이트에 각 열당 2개의 TS 볼트(규격 M20 S10T)를 수직으로 3열로 기둥측면 플레이트와 체결하여 인장접합되었다. 보 하부 측 볼트의 중심과 보 하부 앵글 중심과의 거리는 36mm이다. 기둥측면 플레이트는 접합부 내부에 두 개의 D25(SD400) 이형철근으로 용접되어 있다.

NRC-JD 실험체의 접합부는 보 웨브 플레이트와 기둥 측면 플레이트에 용접된 웨브 플레이트를 TS 볼트(규격 M20 S10T)로 전단접합하였으며, 접합부를 관통하는 D19(SD400) 이형철근으로 보 하부 앵글과 겹침이음하였다.

### 3.2 재료시험

실험체들에 사용된 철근과 강재의 재료특성을 파악하기 위하여 KS B 0801에 따라 시험편을 제작하여 KS B 0802에 따

**Table 2** Material properties of steel

Steel	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)	$E_s$ (MPa)	Elongation (%)
D29	658.8	768.2	$2.07 \times 10^5$	10.5
D25	449.0	593.9	$2.14 \times 10^5$	17.3
D19	463.8	592.7	$2.09 \times 10^5$	16.6
D13	445.1	594.3	$2.07 \times 10^5$	15.4
D10	370.9	479.5	$2.07 \times 10^5$	13.7
L75×75×6t	308.5	468.6	$1.88 \times 10^5$	25.7
L50×50×4t	319.3	460.2	$1.87 \times 10^5$	26.8
L50×30×3t	322.9	440.8	$1.89 \times 10^5$	25.7
FB4.5t	351.8	489.7	$1.78 \times 10^5$	32
FB9.0t	298.5	428.9	$1.76 \times 10^5$	28.9

**Table 3** Mix proportion of concrete

W/C (%)	S/a (%)	Mix proportion ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )				
		C	W	S	G	AD
42.1	46.9	406	171	817	942	2.84

라 재료시험을 실시하였다. 철근과 강재의 재료시험결과는 Table 2와 같다.

콘크리트는 Table 3의 배합을 가지는 레디믹스트콘크리트를 사용하였으며, KS F 2403에 따라 압축강도 시험용 원주형 공시체를 제작하였다. KS F 2405에 따른 재료시험결과, 보-기둥 접합부 실험체의 실험일 기준 콘크리트 평균압축강도는 27.4MPa로 평가되었다.

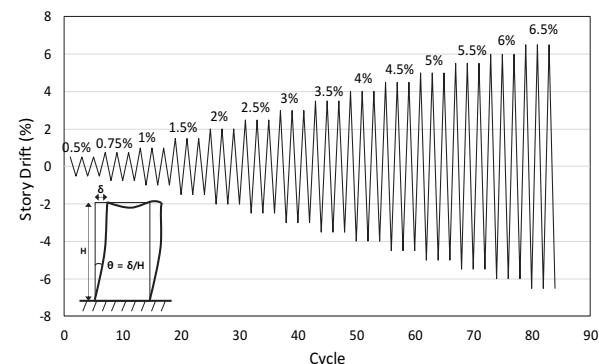
### 3.3 측정 및 가력방법

보-기둥 접합부 실험체 설치상황을 Fig. 4에 나타내었다. 기둥 하부는 편접합하고 기둥 상부에 2000kN급 액추에이터를 이용하여 수평 횡하중을 가하였으며, 보의 양단부는 수평변위만 발생하도록 하였다. 횡하중은 Fig. 5와 같이 각 변위비마다 3회씩 반복가력하였으며, 가력 초기에는 기둥 부재각을 기준으로 0.5%, 0.75%, 1%로 증가시켰으며, 기둥 부재각 1% 이후에는 0.5%씩 증가시키면서 최대하중에 대해 약 50%로 멀어질 때까지 가력하였다.

하중 가력에 따른 실험체의 변형을 측정하기 위하여 가력부 및 지점에 LVDT를 설치하였다. 그리고 실험체에 사용된 휨 보



**Fig. 4** Test setup of test specimen



**Fig. 5** Loading plan

강재, 전단보강재, 접합부 연결재 등 주요 철근 및 강재에 대한 변형률을 측정하기 위하여 변형률계이지를 부착하였다.

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 균열 및 파괴형태

본 실험체 실험에 적용된 Fig. 5의 부재각은 기둥 상부 하중 가력점의 변위를 기준으로 한 것이므로, 실부재각과는 상이 하다. 이에 기둥 상부의 하중가력점에서의 수평변위에 기둥 하부 힌지에서의 수평변위를 제외한 수평변위로 산정한 실부재각으로 분석하였다.

Fig. 6은 실험체의 최종 파괴양상을 나타내고 있으며, 격자의 크기는  $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 이다. 모든 실험체의 최종 파괴모드는 보의 접합부면 휨파괴로 나타났다.

RC-J 실험체는 하중가력 초기에 보 및 기둥의 휨균열이 발생한 후, 실부재각 0.75%에서 접합부의 전단균열이 발생되었다. 이후 접합부 전단균열이 확대됨에 따라 보-기둥 접합면에서의 균열폭도 증가하였다. 실부재각 2.2%에서 보에 접한 기둥 측면 피복 콘크리트의 박리와 보의 압축측 콘크리트 압괴가 시작되었으며, 이후 그 범위가 증가되어 실부재각 6.27%에서 최대하중의 50%이하로 저하되었다.

NRC-J 실험체는 실부재각 1.21%에서 보와 접한 기둥 측면

피복 콘크리트 박리와 압축측 콘크리트의 압괴가 시작된 점 이외에는 RC-J실험체와 균열 및 파괴상황이 유사하게 나타나는 것으로 평가되었다. 최종파괴시까지 인장접합된 TS볼트의 파단은 나타나지 않았다.

NRC-JD 실험체는 실부재각 1.65%에서 보와 접한 기둥 측면 피복 콘크리트 박리와 압축측 콘크리트의 압괴가 시작되었다. 균열 진행상황은 다른 실험체와 유사하게 나타났으며, 최종 파괴시 다른 실험체보다 0.4% 큰 실부재각으로 접합부 판넬존 및 보 상하부 피복 콘크리트의 박리가 나타났다.

### 4.2 하중-변위 곡선 및 최대내력

Fig. 7에 실험체 기둥 상부에 가력한 수평하중과 수평변위의 관계곡선을 나타내었다. Fig. 8은 실험체의 부재각별 첫 싸이클에 대한 최대하중과 실부재각을 이은 포락선 곡선을 나타낸 것이다.

RC-J 실험체는 기둥의 수평변위에 의한 실부재각을 기준으로 약 2.2%까지 내력이 증가하였으며, 최대하중은 정가력 시 205.7kN, 부가력시 191.2kN으로 나타났고, 실부재각 6.3%에서 최대하중이 50%이하로 떨어졌다.

NRC-J 실험체는 실부재각이 약 1.7%에 도달할 시까지 내력이 증가하였으며, 최대하중은 정가력시 226.5kN, 부가력시 202kN으로 나타났고, RC-J실험체와 마찬가지로 실부재각

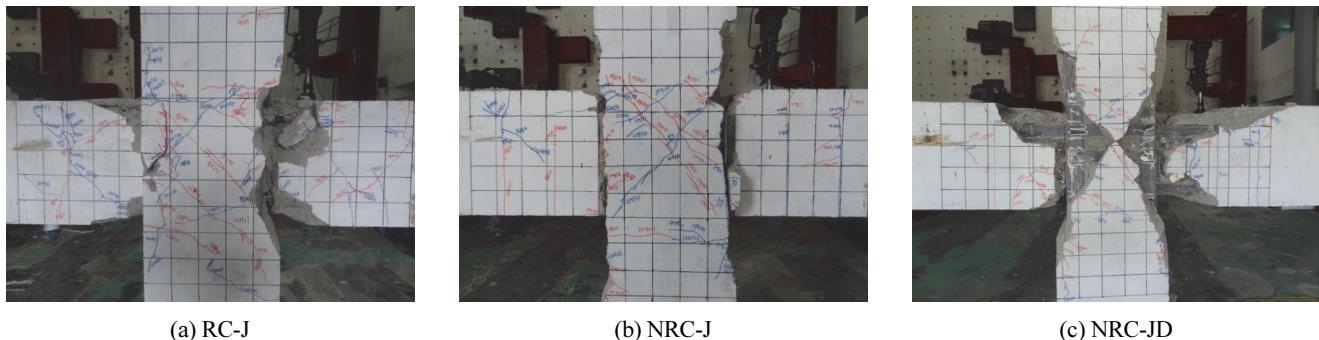


Fig. 6 Failure modes

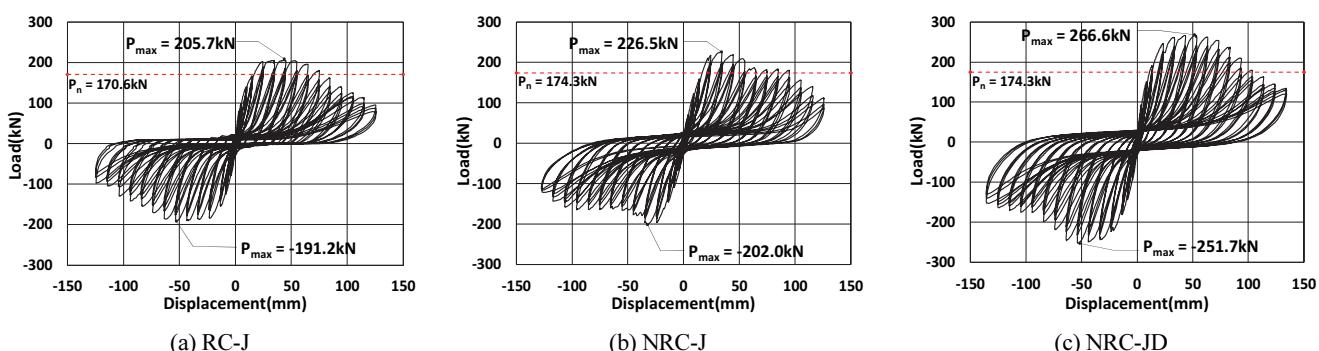


Fig. 7 Load-displacement curves

6.3%에서 최대하중이 50%이하로 떨어졌다.

NRC-JD 실험체는 실부재각이 약 2.6%에 도달할 시까지 내력이 증가하였으며, 최대하중은 정가력시 266.6kN, 부가력시 251.7kN으로 나타났고, 실부재각 6.7%에서 최대하중 50%이하로 떨어졌다.

RC-J 실험체에 비하여 NRC-J 실험체 최대내력은 정가력시 10.1%, 부가력시 5.6% 크게 나타났다. NRC-JD 실험체 최대내력은 RC-J 실험체에 비하여 정가력시 29.6%, 부가력시 31.6% 크게 나타났다.

최대 내력이후의 거동에서 NRC-J 실험체가 RC-J 실험체

내력과 유사해지는 실부재각 3.2%까지 강도저하가 나타났으며, 실부재각 3.2% 이후에서는 실험종료시까지 NRC-J 실험체가 RC-J 실험체보다 강도저하가 적어 연성적인 거동을 하는 것으로 나타났다. NRC-JD 실험체는 최대내력이후 정가력시 실부재각 4.2%까지 최대내력의 89%, 부가력시 실부재각 3.7%까지 최대내력의 87%를 유지하여 가장 연성적인 거동을 하는 것으로 나타났다. 최대내력의 50%이하로 저하되는 실부재각 역시 6.7%로 크게 나타났다. 이로부터 NRC-J 실험체 및 NRC-JD 실험체가 KDS 41 31 00의 합성중간모멘트골조 모멘트 접합부에 요구되는 총총간변위각 최소 0.03 rad 이상의 연성능력을 확보하였음을 알 수 있다.

#### 4.3 강성변화

각 실험체의 싸이클별 강성(Stiffness, k)의 변화를 Fig. 9에 나타내었다. 여기서 강성 k는 각 하중의 싸이클에서 정가력 방향과 부가력 방향에서의 최대하중과 최대변위가 만나는 점의 기울기로 산정하였다.

각 실험체의 강성은 수평하중의 반복횟수가 증가할수록 점차 감소하는 경향을 보였다. 초기 강성은 NRC-J 실험체가 RC-J 실험체 대비 약 9.6% 작게 나타났지만, 10싸이클(실부재각 1.22%)을 기준으로 NRC-J 실험체의 강성이 RC-J 실험체의 강성보다 커지는 것으로 나타났다. NRC-JD 실험체의 초기 강성은 RC-J 실험체 대비 26% 크게 나타났으며, 실험 시작시점부터 실험 종료시점까지 다른 실험체들의 강성보다 큰 값을 보였다.

#### 4.4 하중-변형률 곡선

Fig. 10에 실험체의 보 하부 철근 및 주 앵글에 설치한 변형률 게이지로부터 측정한 주보강재의 변형률과 하중의 관계곡선을 나타내었다.

RC-J 실험체는 보 하부 철근이 기둥 접합부를 관통하여 연속되므로 최대하중시 Fig. 8(a)와 같이 하부 철근이 항복후 연성적인 거동을 하는 것으로 평가되었다. NRC-J 실험체는 보

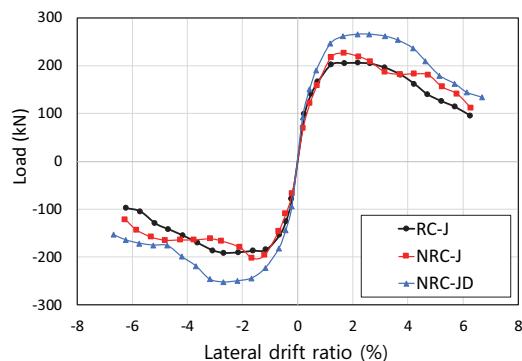


Fig. 8 Envelope of load and lateral drift ratio

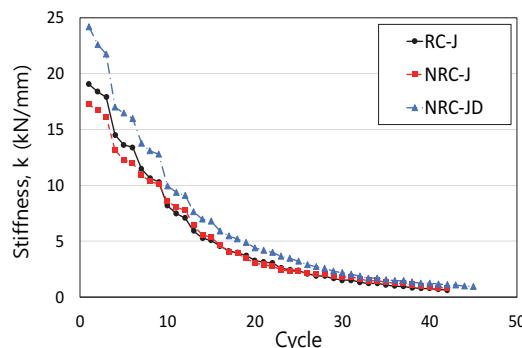


Fig. 9 Comparison of stiffness

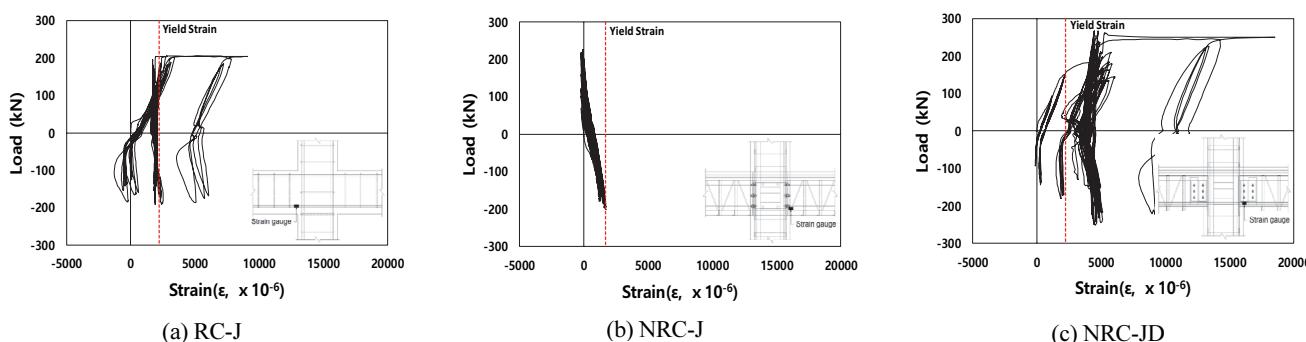


Fig. 10 Load-strain curves of flexural reinforcement

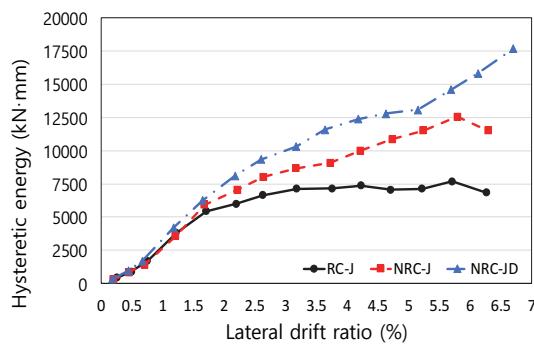
하부 주 앵글이 Fig. 8(b)와 같이 최대하중시 항복하였지만 큰 소성변형은 나타나지 않았다. 이는 접합면에서 주 앵글이 엔드플레이트 및 상하부 플레이트에 용접되어 있어 용접된 플레이트에 주 앵글의 인장응력이 분산된 후 볼트에 응력을 전달하였기 때문으로 판단된다. Fig. 8(c)는 NRC-JD 실험체의 보 하부 주 앵글과 겹침이음된 접합부 이형철근 연결재의 하중-변형률 곡선으로 RC-J실험체와 마찬가지로 최대하중시 항복 후 소성변형하는 것으로 나타났다.

따라서 겹침이음된 철근연결재는 보 하부 주 앵글의 인장응력을 보의 휨파괴에 의한 최종파괴시까지 충분히 접합부에 전달하면서 연성적인 거동을 할 수 있는 것으로 사료된다.

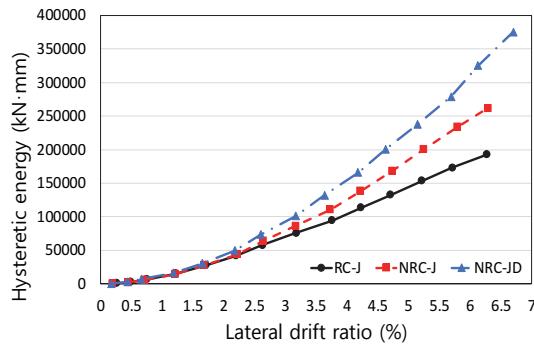
#### 4.5 에너지소산능력

보-기둥 접합부가 지진하중을 받을 시, 지진에 대한 저항능력은 얼마나 많은 지진에너지를 소산시킬 수 있는지가 중요하다. 이에 각 실험체의 실부재각별 에너지 소산능력을 분석하여 Fig. 11에 나타내었다.

Fig. 11(a)는 부재각별 첫 싸이클의 에너지 소산능력을 나타낸 것으로, NRC-J 실험체가 실부재각 1.2%까지 RC-J 실험체에 비해 약 6.5% 작은 에너지 소산능력을 가지는 것으로 평가되었지만, 이후 RC-J 실험체에 비해 큰 에너지 소산능력을 가지는 것으로 나타났다. RC-J 실험체가 최대 에너지 소산능력을 가지는 것으로 나타났다.



(a) Energy dissipation capacity for each cycle



(b) Accumulation of energy dissipation capacity

Fig. 11 Energy dissipation capacity

력을 가지는 실부재각 5.7%에서 NRC-J 실험체가 RC-J실험체에 비해 63.6% 더 큰 에너지 소산능력을 보였다.

NRC-JD 실험체는 첫 부재각을 제외하고 다른 실험체들에 비하여 큰 에너지 소산능력을 가지는 것으로 나타났다. 실부재각 5.7%에서 NRC-JD 실험체는 RC-J 실험체에 비해 약 90.1% 크게 나타났으며, NRC-J 실험체에 비해 약 16% 크게 나타났다. 또한 부재각 6.7%에서 최대 에너지 소산능력을 가지며, RC-J 실험체의 최대 에너지 소산능력에 비해 약 230% 더 큰 에너지 소산능력을 보였다.

Fig. 11(b)는 현 부재각을 포함한 이전의 모든 싸이클에 대한 에너지 소산능력을 합한 누적 에너지소산능력을 나타낸 것이다. NRC-J 실험체가 최대 실험내력을 가지는 실부재각 1.71%에서 누적 에너지 소산능력은 RC-J 실험체와 동일한 것으로 나타났으며, 그 이후 누적 에너지 소산능력은 NRC-J 실험체가 RC-J 실험체에 비해 큰 것으로 나타났다. 실부재각 5.7%에서 누적 에너지소산능력은 NRC-JD 실험체가 RC-J 실험체에 비하여 34.8% 큰 에너지소산능력을 보였다.

NRC-JD 실험체는 실부재각 전구간에서 누적 에너지 소산능력이 우수한 것으로 나타났다. NRC-JD 실험체가 최대실험내력을 가지는 실부재각 2.2%에서 누적 에너지소산능력은 RC-J 실험체에 비하여 약 19% 크게 나타났으며, 실부재각 5.7%에서 누적에너지 소산능력은 NRC-JD 실험체가 RC-J 실험체에 비하여 61.1% 큰 에너지 소산능력을 보였다.

#### 4.6 접합부 이론내력

본 실험체들의 최종 파괴모드는 보와 기둥 접합면에서의 휨파괴로 나타났다. NRC 보-기둥 접합부에 횡력이 가해지면 한 쪽 보가 정 휨모멘트를 받고 다른 쪽 보에는 부 휨모멘트가 작용한다. 한 쪽 보가 정 휨모멘트에 의해 최대 휨강도에 도달하더라도 다른 쪽 보가 부 휨모멘트에 의해 최대 휨강도에 도달할 때까지 연성적인 거동을 한다고 가정하여, 보의 휨파괴 거동에 따른 보-기둥 실험체 이론 강도를 산정하였다.

Table 4에 KDS 14 기준에서 제시하고 있는 공칭휨강도로부터 실험체 이론내력을 산정하여 실험내력과 비교하여 나타내었다. Table 4에서 이론내력에 비하여 실험내력이 RC-J 실험체 21%, NRC-J 실험체 30%, NRC-J실험체 53% 크게 나타나, 모든 실험체의 이론 내력이 실험내력을 안전측으로 평가하고 있는 것으로 나타났다.

Table 4 Test and analysis results

Specimen	$P_{max}$ (kN)	$P_n$ (kN)	$P_{max}/P_n$
RC-J	205.7	170.6	1.21
NRC-J	226.5	174.3	1.30
NRC-JD	266.6	174.3	1.53

## 5. 결 론

본 연구에서는 NRC 내부 보-기둥 접합부의 접합 상세를 변수로, 기존 철근콘크리트 내부 보-기둥 접합부와 내진성능을 비교평가하기위하여 수평 반복가력실험을 실시하였다. 실험을 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

- 1) 모든 실험체의 최종 파괴형상은 보와 접한 기둥 측면 피복 콘크리트 박리와 압축측 콘크리트의 압괴가 시작된 이후 최대하중을 도달한 후, 보-기둥 접합면에서 보의 휨파괴로 나타났다.
- 2) 정가력에 의한 실험체 최대내력은 RC-J 실험체에 비하여 NRC-J 실험체와 NRC-JD 실험체가 각각 10.1%, 29.6% 크게 나타났다.
- 3) NRC-JD 실험체의 초기강성은 RC-J 실험체에 비하여 약 26% 크게 나타났으며, 실험 종료 시점까지 큰 강성을 나타내었다. 두가지 NRC 접합부 상세 모두 건축물 강구조 설계기준(KDS 41 31 00)의 합성중간모멘트골조 모멘트 접합부에서 요구되는 최소 총충간변위각 0.03 rad 이상의 연성능력을 확보는 것으로 평가되었다.
- 4) RC-J 실험체가 최대에너지소산능력을 가지는 실부재각 5.7%에서 NRC-J실험체, NRC-JD 실험체가 RC실험체에 비해 약 34.8%, 61.1% 큰 누적 에너지 소산능력을 보유하고 있었다.
- 5) NRC 보-기둥 접합부의 실험내력이 이론내력에 비하여 30%~53% 큰 것으로 평가되어, 기준식이 보유성능을 안전측으로 평가하였다.

이상의 실험결과로부터 본 NRC 보-기둥 접합부 상세는 RC 보-기둥 접합부 상세 이상의 성능을 보유하고 있는 것으로 확인하였으며, 특히, 반복횡하중에 대한 강도 및 변형성능에서 NRC-JD 접합부 상세가 가장 우수한 저항능력을 가지는 것으로 평가되었다.

## 감사의 글

본 연구는 2020년 (주)엔알씨구조연구소의 연구비 지원(과제명: NRC 보 부재 및 보-기둥 접합부 성능평가 실험)하에 수행되었습니다.

## References

1. Choi, Y. C., Lee, S. S., Choi, H. K., and Park, K. S. (2017), Behavior Characteristics of U-Shape Wide Composite Beam, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 21(5), 125-133.
2. Joint ACI-ASCE Committee 352 (2010), Recommendations for Design of Beam-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures, 1-10.
3. Kim, Y. S. and Choi, B. J. (2020), An Analytical Study on Encased Steel Composite Columns Fire Resistance According to Axial Force Ratio, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 24(1), 97-107.
4. Korea Construction Standards Center (2021), Korean Design Standard (KDS). Seoul, Korea; KDS 14 20 00, KDS 41 31 00;2021.
5. KSEA (2018), KSEA Detailing Manual-2018, The Korean Structural Engineers Association, 90.
6. KS B 0801 (2017), Test pieces for tensile test for metallic materials, Korean Agency for Technology and Standards.
7. KS B 0802 (2018), Method of tensile test for metallic materials, Korean Agency for Technology and Standards.
8. KS F 2403 (2019), Standard test method for making and curing concrete specimens, Korean Agency for Technology and Standards.
9. KS F 2405 (2017), Standard test method for compressive of concrete, Korean Agency for Technology and Standards.
10. Lee, J. H., Jang, D. Y., Jeon, J. H., Lee, H. S., Lee, S. Y., and Kim, S. H., (2020) Experimental Study on the Flexural Performance of New Paradigm Reinforced Concrete (NRC) Beam, Proceeding of 2020 AIK Spring Conference, 40(1), 459~459

Received : 01/14/2022

Revised : 01/16/2022

Accepted : 01/18/2022

**요    지 :** 본 연구에서는 공장에서 L형강을 이용하여 선조립한 NRC 보와 NRC 기둥을 현장에서 볼트 조립하는 NRC 보-기둥접합부 상세를 개발하였다. 개발된 접합부 상세는 NRC-J형과 NRC-JD형이다. NRC-J형은 NRC 기둥 측면의 강재 플레이트와 NRC 보의 엔드플레이트의 측면과 하부면에 TS볼트로 인장접합하는 방식이다. NRC-JD형은 전단에 대해서 NRC 보와 NRC 기둥의 측면을 고력볼트접합하고, 휨에 대해서 접합부를 관통하는 철근연결재와 보의 보강재를 겹침이음하도록하는 강접합 방식이다. 접합부 내진성능평가를 위하여, 두 가지 NRC 보-기둥 접합부 상세를 가지는 NRC-J 실험체, NRC-JD 실험체와 RC 보-기둥 접합부 상세를 가지는 RC-J 실험체 등 3개의 실험체를 제작하였다. 반복횡하중가력 실험결과, 모든 실험체의 최종 파괴형상은 보-기둥 접합면에서 보의 휨파괴로 나타났다. 정가력에 의한 실험체 최대내력은 RC-J 실험체에 비하여 NRC-J 실험체와 NRC-JD 실험체가 각각 10.1%, 29.6% 크게 나타났다. 두가지 NRC 접합부 상세 모두 KDS 기준(KDS 41 31 00)의 합성중간모멘트골조 모멘트접합부에서 요구되는 최소 총충간변위각 0.03 rad 이상의 연성능력을 확보는 것으로 평가되었다. 부재각 5.7%에서 NRC-J실험체, NRC-JD 실험체가 RC실험체에 비해 약 34.8%, 61.1% 큰 누적 에너지 소산능력을 보유하고 있었다. NRC 보-기둥 접합부의 실험내력이 KDS 기준식에 의한 이론내력에 비하여 30%~53% 큰 것으로 평가되어, 기준식이 보유성능을 안전측으로 평가하였다.

**핵심용어 :** NRC 보-기둥 접합부, 반복가력, 강성, 에너지소산능력