

# 비부착 철근 여부에 따른 RC 보-기둥 접합부의 성능평가

## Performance Evaluation of R/C Beam-Column Joint According to Unbonded Rebar

권민호<sup>1)</sup>      정우영<sup>2)\*</sup>      정재훈<sup>3)</sup>  
Kwon, Min Ho      Jung, Woo Young      Jung, Jae Hoon

### Abstract

Many reinforced concrete structures have been constructed at the offshore in Korea and those are exposed in environments for long period. Due to that, the reinforcement of the structure faces possibility of corrosion by the salt damage. Such corrossions are effects on the bond performance between concrete and reinforcing bar as well as the performance of the structure. In this study, the performance of RC structure has been investigated when the reinforcing bars are totally bonded and unbonded in the structure. Through the experimental tests and finite element analyses of beam-column joint with bond and unbonded reinforcing bar, the energy dissipation capacity, strength, and crack distribution are compared and discussed.

**Keywords** : Reinforced concrete, Beam-Column joint, Corrosion, Cyclic load test, Finite element analysis

### 1. 서론

우리나라는 삼면이 바다로 이루어져 있으며 해안가 인근에 공항 및 발전소, 교량 등 사회적으로 중요한 기반 시설물뿐만 아니라 철근콘크리트로 이루어진 많은 구조물들이 위치하고 있다. 이는 철근콘크리트가 철근과 콘크리트간의 상호보완이 우수하고 콘크리트의 강알칼리성으로 인하여 철근의 방청성능 및 내구성능이 우수한 반영구적인 재료로 비교적 염해에 강한 건설재료로 인식되어 왔기 때문이다.

하지만 철근콘크리트 구조물이 오랜 시간동안 염해에 노출되면, 특히 노후화된 구조물일수록 콘크리트의 열화가 빠르게 진행되게 되며, 열화로 인하여 콘크리트의 알칼리 성분이 중화되어 중성화가 일어나게 된다. 콘크리트의 중성화가 철근 부근에까지 도달하게 되면 콘크리트는 더 이상 철근 부식을 방지하는 능력은 상실하게 되어 이후 철근을 부식을 시키게 된다. 콘크리트 내부의 철근이 부식이 일어나게 되면 철근의 부식 생성물로 인하여 철근 주변의 콘크리트 팽창압이 발생하게 되며 이는 콘크리트 표면에 균열이나 박리를 일으키는 원인이 되고 철근부식

이 가속화 되어 콘크리트 유효단면의 감소, 철근의 단면감소에 따른 철근의 역학적 성능저하 및 철근과 콘크리트의 부착성능 저하를 초래 할 수 있다.(대한주택공사, 1993)

철근부식으로 인한 철근-콘크리트 간의 부착성능은 부식량이 2%미만인 경우 소량의 부식물로 인하여 부착성능이 다소 증진되는 양상을 보이는 반면 부식량이 그 이상이 된 경우에는 부착성능이 급격히 감소한다. 또한 철근의 부식량이 20%일 때는 부착성능이 부식이 안 된 경우에 비하여 거의 절반정도 감소하며, 25%이상이 된 경우에는 콘크리트와 철근간의 부착성능이 상실하는 것으로 나타났다.(오병환 등, 2000) 이러한 염해에 대한 철근-콘크리트 부착성능의 사전연구를 바탕으로 하여 철근부식이 진행된 철근콘크리트 구조부재에 대하여 역학적 변화 및 내진성능에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 보부재는 철근의 부식이 진행이 될수록 부재의 내하력, 인성률, 누적 소산에너지는 저하되고, 파괴형상은 휨전단 파괴에서 철근파단에 의한 파괴형상을 나타냈으며(Koichi, 2004) 기둥부재의 경우 부식이 진행될수록 횡하중에 대한 최대내력의 감소보다는 최대내력 이후의 거동이 매우 취약적으로 변화하는 것으로 나타났다.(송한범 등, 2009)

1) 정회원, 경상대학교 토목공학과 공학연구원 부교수

2) 정회원, 강릉원주대학교 토목공학과 부교수

3) 학생회원, 경상대학교 토목공학과 석사과정

\* Corresponding author : woojung@gwnu.ac.kr 033-640-2421

• 본 논문에 대한 토의를 2011년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2012년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

본 연구에서는 극심한 부식이 진행되어 철근-콘크리트 부착성능이 상실된 RC 보-기둥 접합부에 대하여 기초적인 자료를 확보하기 위한 실험 및 해석적 연구를 수행하였다. 철근 부식으로 인해 철근-콘크리트 간의 부착성능이 상실된 것을 고려하여 철근부착용 고무튜브를 이용, 철근-콘크리트 간의 완전 비부착된 보-기둥 접합부를 제작하였다. 이러한 철근-콘크리트 부착 및 비부착 거동 특성 여부에 따라 반복 횡하중 실험 및 비선형 유한요소 해석을 수행하여 부착성능이 상실된 접합부의 역학적 변화 및 내진성능을 평가하고자 한다.

## 2. R/C 보-기둥 접합부 실험

### 2.1 실험체 계획

본 연구는 염해부식의 피해를 입어 콘크리트와 철근간의 부착성능이 상실된 완전 비부착이 된 보-기둥 접합부의 거동을 파악하기 위함이다. 2007년 콘크리트 설계기준의 인장철근 정착길이를 토대로 Fig. 1과 같이 보의 주철근 및 갈고리 철근에 얇은 고무튜브를 이용하여 산정된 정착길이 850mm만큼 콘크리트와 철근간의 부착거동을 저하시켰다.(김우 등, 2008) 예비시험체를 포함하여 부착형 실험체 2개 및 비부착형 실험체 2개, 총 5개의 실험체를 제작하였으며 그 내용은 Table 1과 같다.

실험체는 연구기간 및 비용적 제약을 고려하여 철근 콘

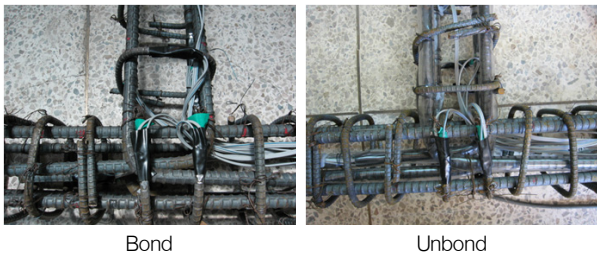


Fig. 1 State of Joint rebar

Table 1 Details of test specimen

Specimen	Rebar State	Design Share Strength	Remarks
STD-1	Bond	21kN	Preliminary specimen
BNH-1	Bond		Testing specimens
BNH-2	Bond		
UNH-1	Unbond		
UNH-2	Unbond		

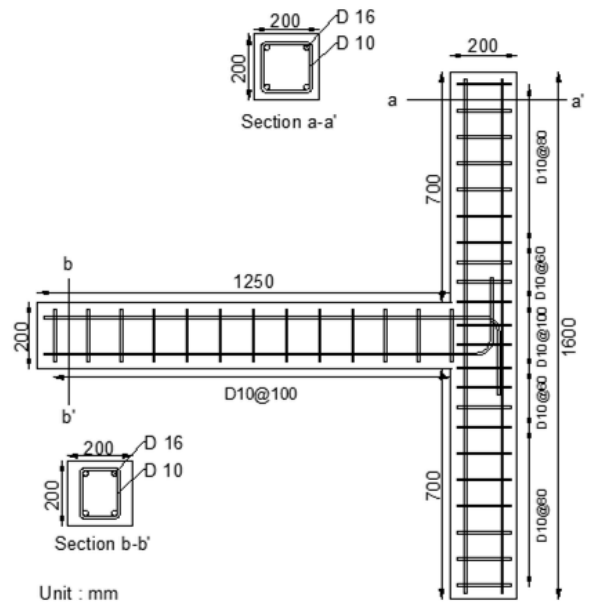


Fig. 2 Dimension of beam-column joint

크리트 골조 구조물의 외부 보-기둥 접합부를 1/3 축소 모델로 제작하였다. 표준접합부 설계를 위하여 ACI 위원회(318-95) 규정 설계지침에 의하여 실험체를 제작하였으며 횡보강 띠철근을 본 설계에 반영하였다. 기둥 및 보의 단면적은 200mm×200mm이며, 실험체 형상 및 치수는 Fig. 2와 같다.(ACI Committee, 1995)

### 2.2 콘크리트 압축강도 실험 및 철근 인장강도 실험

접합부 실험체에 배근된 보와 기둥부재의 강재는 SD400을 사용하였으며 주 철근은 D16, 띠철근 및 횡 보강은 D10 철근을 사용하였다. 실험체에 적용된 철근의 재료특성을 알기 위하여 KS B 0801, 0802규정에 따라 각 3개의 시편을 제작하여 철근 인장실험을 수행하였으며 그 결과는 Table 2와 같다.

콘크리트 재료의 경우, 압축강도 21MPa, 골재최대치수 25mm, 슬럼프 120mm의 보통콘크리트를 사용하였으며 KS F 2402, KS F 2404의 규정에 따라 3개의 공시체를 제작, 콘크리트 압축강도실험을 각각 수행하였다. Table

Table 2 Results of steel test

	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Modulus (MPa)
D10	419	561	18.2	$2.26 \times 10^5$
D16	384	598	21.6	$1.97 \times 10^5$

Table 3 Result of concrete test

Specimen	Compressive Strength (MPa)			Modulus (MPa)
	Design	28-day	Testing	
21	21	22.6	23.8	$2.65 \times 10^4$

3은 본 연구에 적용된 콘크리트 압축강도의 결과를 보여 주며 고려된 콘크리트의 탄성계수는 실험일을 기준으로 하여 2007년 개정된 철근 콘크리트 구조설계 기준을 적용하였다.

### 2.3 실험방법

본 실험을 위해 보-기둥 접합부 실험용 프레임을 제작, 설치하였으며 각종 실험기기 및 데이터 수집장치를 비롯한 실험체의 최종 설치현황은 Fig. 3과 같다. 그림에서 보여지듯 초기단계에서 기초 프레임에 보-기둥 접합부의 기둥부분이 수평이 되도록 설치하고 이후 기둥부분에 일정한 축 하중을 작용시키기 위하여 한쪽에는 반력프레임

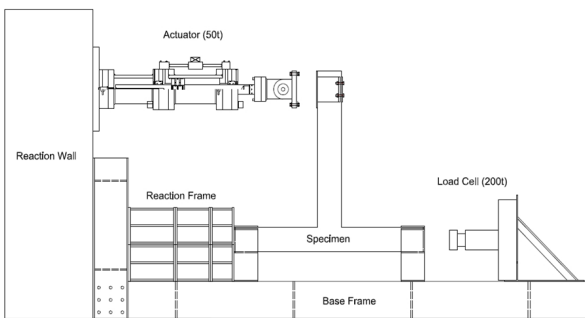


Fig. 3 Testing setup

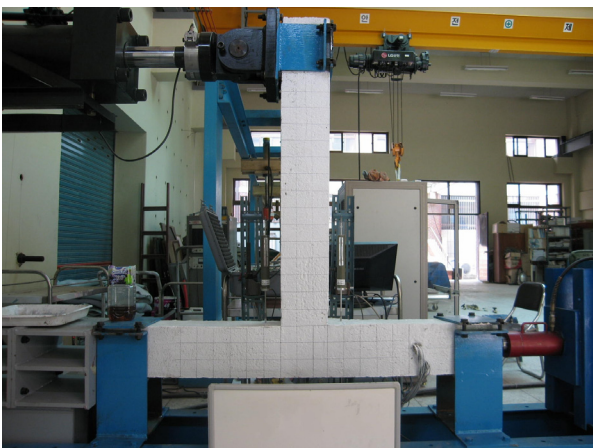


Fig. 4 Photo of testing setup

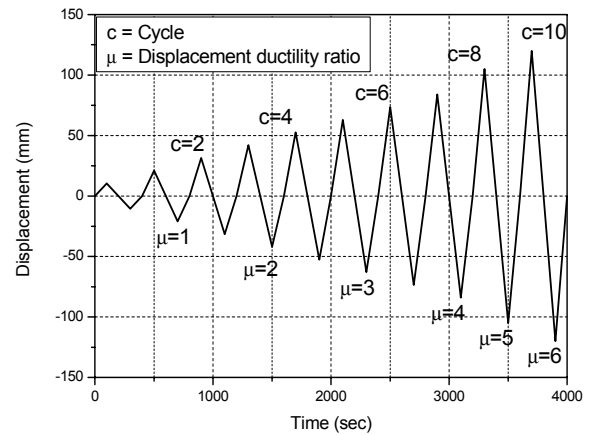


Fig. 5 History of displacement load

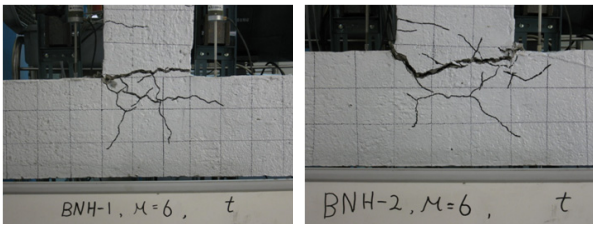
을 설치하고 반대편에는 용량 2000kN 로드 셀을 장착하였다. 실제 보-기둥 접합부의 거동을 정확히 조사하기 위하여 실험 시 재하하중으로 허용 축하중의 30%(59kN)를 로드셀을 이용, 일정하게 압축력으로 가력하였다.(하기주, 2004)

보-기둥 접합부 반복 횡하중을 실험하기 위하여 본 연구에서는 용량 500kN 액츄에이터를 부가적으로 내력벽에 장착 후 실험체 상단 보 부재의 강제 캡과 연결, 결합하였다. 실험 시 보 상단에 가력되는 하중이력조건의 경우 변위연성비를 기준으로 한 하중이력 데이터가 필요한 바 이들 데이터 조사를 위하여 본 연구에서는 예비실험체를 제작하여 사전 예비테스트를 수행하였다. 최종적으로 얻어진 예비실험체의 하중-변위곡선을 이용하여 최대강도의 75% 강도에 대한 변위를 항복변위로 결정하였고 변위 연성비를 산정, Fig. 5와 같이 최대 변위 연성비  $\mu = 6$ , 총 사이클 10회, 최대변위 120mm을 보 상단부에 횡방향으로 재하하였다.

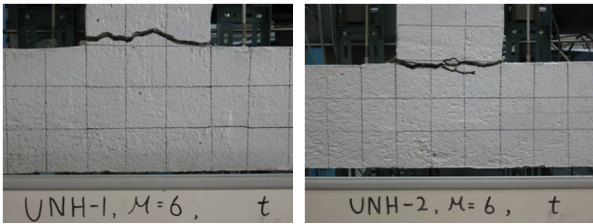
## 3. 실험결과

### 3.1 균열분포

Fig. 6은 부착형 실험체의 가력하중 최종 변위연성비에 대한 보-기둥 접합부의 균열 및 파괴 상황이다. 부착형 실험체는 변위 연성비  $\mu = 1$ (Cycle=2)에서 휨 균열이 보-기둥 접합 경계면에서 발생하기 시작하였으며 보-기둥 접합 경계면에서 접합부로 전단 균열 발생의 경우 변위 연성비  $\mu = 2$ (Cycle=4)에서부터 시작되었다. 이후 전



Bond (BNH)



Unbond (UNH)

Fig. 6 Crack distribution (final loading)

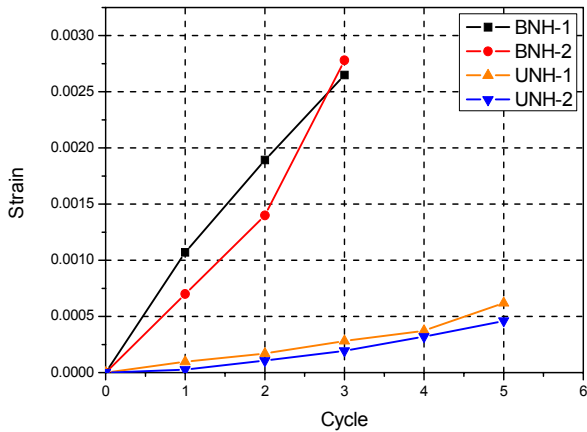


Fig. 7 Strain of longitudinal rebar

단 균열이 변위 연성비  $\mu = 4$  (Cycle=8)까지 진행되었으며 마지막 하중단계인 변위 연성비  $\mu = 6$  (Cycle=10)까지는 접합부의 전단 균열은 둔화되는 동시에 보-기둥 접합 경계면에서의 휨 균열 폭이 증대되기 시작하였다.

Fig. 7은 비부착형 실험체의 가력하중 최종 변위연성비에 대한 보-기둥 접합부의 균열 및 파괴 상황이다. 비부착형 실험체는 변위 연성비  $\mu = 1$  (Cycle=2)에서 보와 보-기둥 접합 경계면에서 휨 균열이 발생하기 시작하여 변위 연성비  $\mu = 2$  (Cycle=4)에서 변위 연성비  $\mu = 6$  (Cycle=10)까지 접합부로 균열이 진행되지 않고 보-기둥 경계면의 휨 균열의 폭이 지속적으로 증대되었다.

이러한 결과로부터 최종 하중단계까지 진행되기까지 비부착형 실험체는 전단균열과 휨균열이 분포한 반면, 비부

착형 실험체는 휨균열만 진행된 것을 확인할 수 있었다. 비부착형 실험체가 부착형 실험체와 달리 접합부 보 주철근과 갈고리 철근이 콘크리트와 합성이 제대로 되지 않고 부착력 상실로 인한 접합부의 콘크리트와 철근 사이의 활동이 일어나, 이러한 활동으로 인하여 보에 전달된 횡하중의 내력이 접합부에 전달이 되지 않아 전단균열이 진행되지 않은 것으로 판단된다.

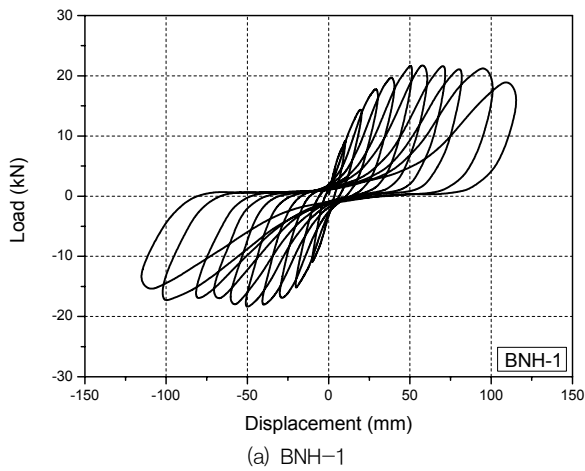
### 3.2 소성인성 지역의 보 주철근 변형률

철근과 콘크리트의 비부착에 의한 철근의 변형률을 비교하기 위하여 부재의 휨균열이 폭이 크게 발생하는 보와 기둥의 경계면에 있는 보 인장 철근에 대하여 변형률 게이지를 부착하여 데이터를 측정한다. Fig. 7과 같이 나타났다. 본 실험 결과, 부착형 실험체는 반복하중 가력 이후 3Cycle에서 변형률 0.00265, 0.00278에 도달하여 초기항복이 발생하는 것을 알 수 있었으며, 비부착형 실험체는 부착형 실험체보다 가력횟수가 5Cycle로 증가하였지만 오히려 초기항복 변형률은 0.00062, 0.000461 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

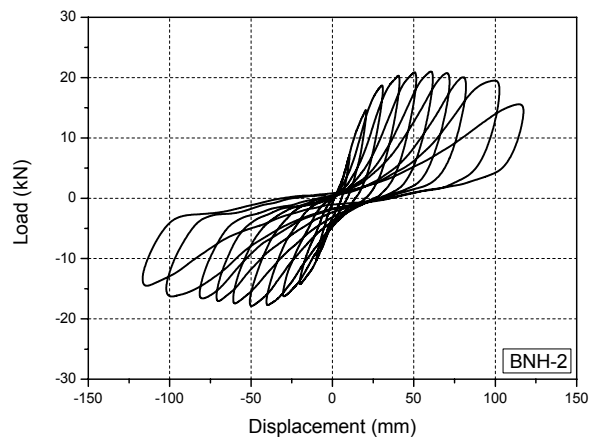
이처럼 초기항복이 일어나기까지 부착형 실험체는 철근과 콘크리트간의 완전한 합성으로 인하여 적은 가력횟수에도 휨균열 부근의 보 주철근의 변형률이 크게 증대한다. 하지만 비부착형 실험체는 접합부 내 갈고리 철근이 비부착으로 인한 콘크리트와 합성이 제대로 되지 않아 콘크리트와 철근사이의 활동이 일어남에 따라 철근의 인장응력이 감소됨으로써 많은 가력횟수에도 변형률이 크게 증대되지 않은 것으로 판단된다.

### 3.3 하중-변위 이력곡선

Fig. 8과 Fig. 9는 반복 횡하중에 의한 보-기둥 접합부 하중과 보 단부에서 나타난 총 변위와의 관계 곡선이다. Fig. 8에서 보여지듯 부착형 실험체는 변위 63mm까지 변위가 증가 할수록 하중이 증가하는 것을 알 수 있으며 최대하중은 22kN, 21kN로 각각 나타났다. 이후 변위 52.5mm부터 84mm까지 변위가 증가하여도 하중이 증가하지 않고 일정하게 유지되는 연성거동을 나타내다가 변위 105mm이후로 보의 주 철근 항복으로 인한 접합부의 내력저하로 점차 하중이 감소하였다. 비부착형 실험체는 Fig. 9에서 나타나듯 변위 42mm까지 변위가 증가할수록

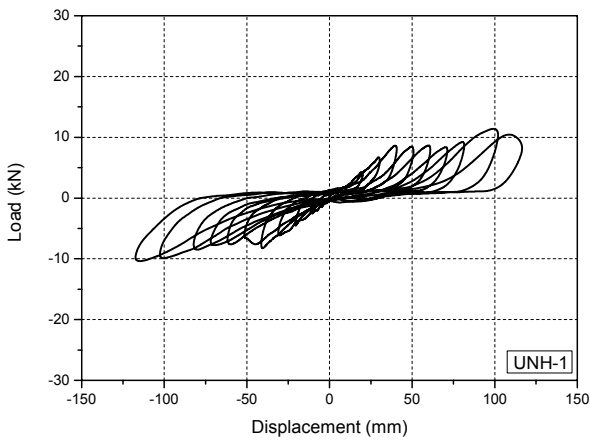


(a) BNH-1

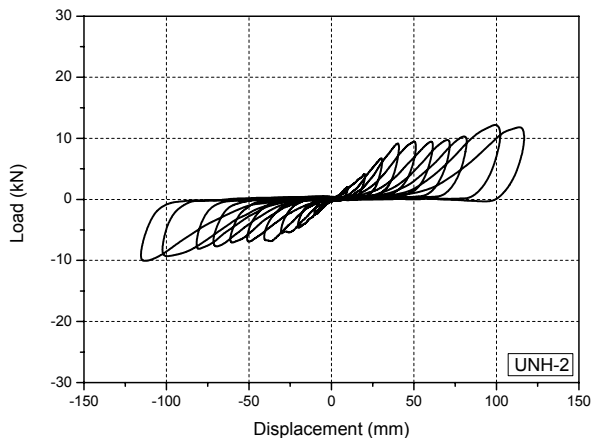


(b) BNH-2

Fig. 8 Load-Displacement relationship curve of bonded joints



(a) UNH-1



(b) UNH-2

Fig. 9 Load-Displacement relationship curve of unbonded joints

Table 4 Comparison of lateral displacement loading tests

Specimens		Joint's Failure Type	Yield Load	Yield Displacement	Load ratio	Displacement ratio
BNH	1	shear, Flexural	22kN	63mm	1	1
	2	shear, Flexural	21kN	63mm	0.96	1
UNH	1	Flexural	12kN	105mm	0.55	1.67
	2	Flexural	13kN	105mm	0.56	1.67

하중이 증가하였고 작용하중은 8.8kN, 8.4kN에서 초기 항복을 나타내었다. 그 후 변위 42mm부터 변위 84mm까지는 연성거동을 보인 후 변위 105mm에서 다시 하중이 다소 증가하여 최대하중 12kN, 13kN을 나타내었고, 이후 접합부의 내력저하로 하중이 점차 감소하였다.

이와 같이 각각의 실험체의 실험결과를 비교하기 위하

여 기준 실험체를 BNH-1실험체 정하고 정방향(+) 강도 및 변위를 다른 실험체와 비교하여 Table 4와 같이 정리하였다. Table 4에서 보여지는 바와 같이 기준 실험체와 같은 형태인 BNH-2실험체는 기준 실험체보다 최대하중이 약 4%로 감소되는 것으로 나타났으며 최대 항복변위는 기준 실험체와 같은 값이 조사되었다. UNH-1

실험체와 UNH-2실험체의 경우 최대하중이 기준 실험체보다 44~45%로 감소하였지만 변위는 67% 증가하였음을 알 수 있었다. 따라서 비부착 철근의 활동의 증대로 인해 접합부재의 항복강도는 감소하지만 항복강도에 도달하기까지의 변위가 증대하는 결과를 알 수 있으며 이들 결과들은 향후 보-기둥 접합부재 내 철근부식으로 인하여 철근-콘크리트 부착력이 상실될 경우 접합부 내 부재의 최대 내력은 감소하지만 항복시의 변형을 증대하는 패턴을 예측할 수 있는 기초자료로 적용될 것으로 사료된다.

#### 4. 비선형 유한요소 해석

##### 4.1 비선형 Fiber 단면해석 모델링

본 연구에서 수행된 실험결과에의 검증에 위하여 보-기둥 접합부 부착성능 변화에 관한 비선형 해석연구를 병행하여 수행하였다. 이들 해석을 위하여 부착 및 비부착에 관한 특징을 보다 정확히 표현하기 위하여 철근의 부착특성에 따라 재료모델링을 각각 다르게 표현하였다. 그 예로서 부착형 실험체는 실험 당일에 수행된 재료실험을 통하여 그 값을 결정하였다. 비부착형 실험체의 경우 콘크리트의 응력이 철근으로 전달되지 않고 콘크리트-철근 경계면에서의 활동으로 나타나게 되므로 철근은 기대한 만큼의 응력을 받을 수 없고, 합성되지도 않아 재료의 탄성계수도 합성단면에 영향을 끼치지 못한다는 가정하여 그 값을 산정하였다.

특히 비부착 철근의 재료 물성치의 경우 반복 횡하중 실험의 하중-변위결과를 이용하여 역으로 철근의 재료 물성치를 산출하였다. 반복 횡하중 실험의 하중-변위 결과부터 비부착형 실험체는 부착형 실험체에 비하여 강도는 감소, 항복변위는 증가한 것을 알 수 있기에 Fiber 단면해석을 통하여 실험결과 값으로부터 접합부 보 부재 단면의 모멘트 곡률관계로부터 비부착 철근의 탄성계수와 강도를 산출하였다. Fiber 단면해석은 해석단면을 미소단면(fiber)로 나누어서 각각의 미소단면의 응력과 변형률을 계산한 후에 이를 합하여 전체단면의 구성관계를 구하는 방법이며, (조창근 등, 2005) 해석을 수행하기 위하여 비선형 Fiber 단면해석 프로그램인 CAPSA를 이용하였다.

단면해석에 적용할 접합부의 유한요소 모델링의 경우, 보 부재를 콘크리트를 18개의 Fiber단면, 철근은 4개의 Fiber단면으로 나눠 Fig. 10과 같이 적용하였다. 부착형

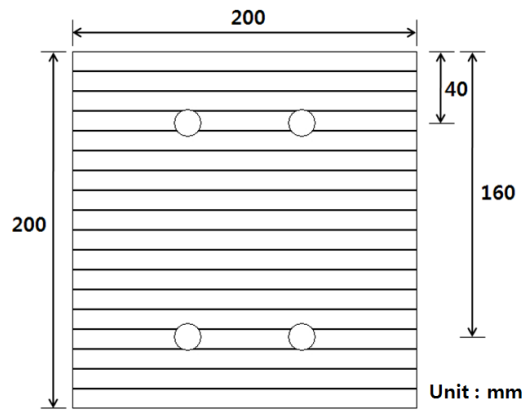


Fig. 10 Fiber section of beam

Table 5 Material properties of longitudinal rebar with bonded and unbonded

	Concrete	Bonded Rebar	Unbonded Rebar
Modulus (MPa)	$2.65 \times 10^4$	$1.97 \times 10^5$	$3.7 \times 10^4$
Strength (MPa)	23.8	386	180

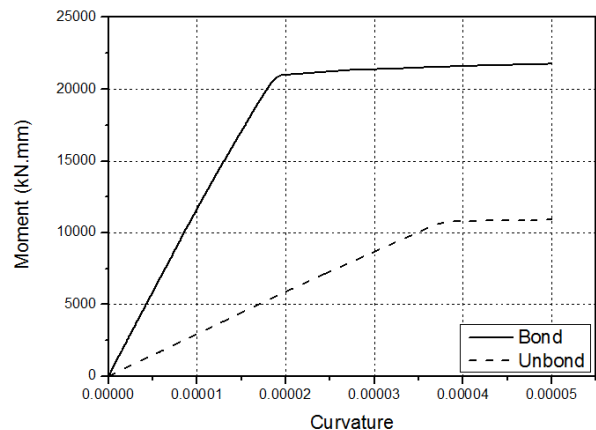


Fig. 11 Moment-Curvature relationship curve of fiber section analysis

실험체에 적용한 철근 재료 물성치와 단면 해석으로부터 얻어진 재료 물성치는 Table 5와 같으며, 단면 해석의 부착형 실험체와 비부착형 실험체의 모멘트-곡률 관계 곡선은 Fig. 11과 같다.

##### 4.2 유한요소 해석

비선형 Fiber 단면해석으로부터 구해진 비부착 철근의 물성치 산정값의 효율성 및 적용성을 검토하기 위하여 일반적으로 널리 사용되는 상용 구조해석 프로그램인 ABAQUS를

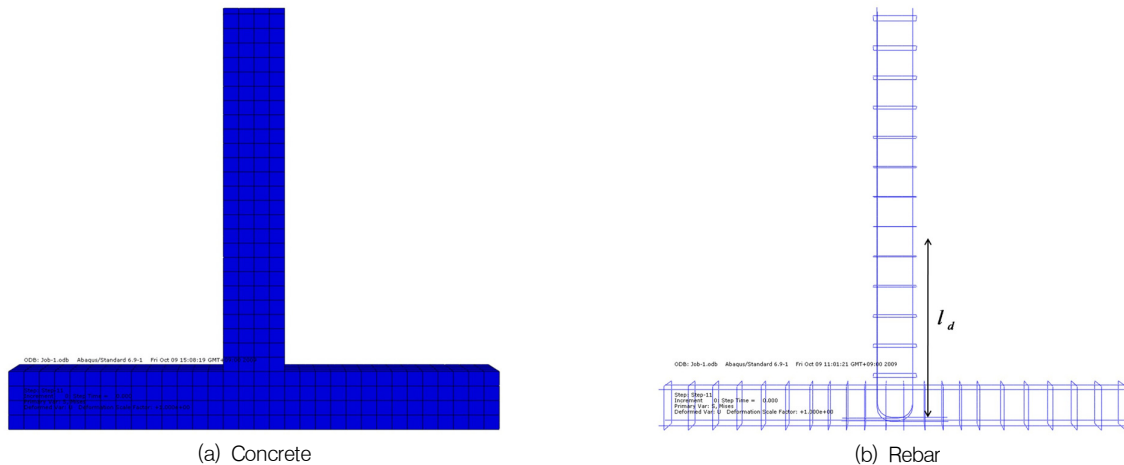


Fig. 12 Finite element modeling

Table 6 Applied material property to finite element

	Section State	Modulus (MPa)	$f_{ck}$ or $f_y(f_u)$ (MPa)
Concrete	-	$2.65 \times 10^4$	23.8
D10	-	$2.26 \times 10^5$	419(561)
D16	Bonded Section	$1.97 \times 10^5$	384(598)
	Unbonded Section ( $l_d$ )	$3.7 \times 10^4$	180(250)

이용, 검증하였다. 해석 시 콘크리트와 철근의 비선형 거동을 고려한 3차원 유한요소해석을 수행하였으며 실험체의 하중-변위 관계와 콘크리트의 균열에 대한 실험값과 비교, 분석하였다. 전체구조물에 대한 유한요소 모델링의 경우, 실험에 사용된 실험체의 형상과 치수를 적용하여 Fig. 12와 같이 모델링 하였으며 콘크리트는 재료의 비선형과 균열을 예측할 수 있는 구성재료 모델을 적용하여 Solid 요소로 모델링하였다.(Lee, J et al., 1998) 콘크리트 재료 물성치는 부착 및 비부착형 실험체 모두 재료 실험으로 얻어진 압축강도와 탄성계수를 적용하였다. 철근의 경우 재료 비선형을 고려한 트러스 요소를 사용하였으며 철근의 강도와 탄성계수는 비부착 실험체에 대하여 단면 해석으로 구해진 철근의 강도와 탄성계수를 Fig. 12에서 보여지 듯 인장철근 정착길이 850mm( $l_d$ )만큼 적용하였다. 그 외 보의 주철근과 기둥, 늑근 및 띠철근에는 재료실험으로부터 구해진 철근의 재료 물성치를 적용하였으며 각 실험체에 적용된 재료 물성치는 Table 6과 같다. 해석 시 고려된 하중조건으로는 반복 횡하중 실험과 같이 보의 상단에 변위 제어하중(총120mm)을 적용하였다. 또한 실험조건과 동일한 기둥부의 경계조건을 고려하

기 위하여 기둥 고정장치의 고정되고 있는 표면부에 대하여 축방향을 자유도를 제외한 나머지 자유도에 대하여 구속을 하였으며 실험체의 축력30%(59kN)을 적용하기 위하여 기둥 양단면 중 한면은 고정, 반대편 면은 축방향으로 축력을 적용하였다.

#### 4.3 해석결과

최종변위에서의 해석결과로 철근의 응력과 콘크리트의 균열 분포는 Fig. 13과 같다. 그림에서 보여지듯 최종 변위에 대한 부착 및 비부착형 실험체는 철근의 응력이 보-기둥 접합면의 보 주철근에서 가장 크게 발생하였으며 부착 및 비부착형 실험체 모두 접합부 주철근에서 항복응력에 도달하였다. 부착형 실험체의 경우 기둥 띠철근의 응력이 비부착인 경우보다 크게 발생하였으며 부착 및 비부착형 실험체 모두 휨 파괴 거동을 보여주었다.

콘크리트 균열분포의 경우, 부착형 실험체에서는 보-기둥 접합 경계면에서 휨균열 및 접합부 전단 균열이 분포하였으며 비부착형 실험체에서는 보-기둥 접합 경계면에서 휨균열만 상대적으로 크게 분포하는 것을 알 수 있다. 이는 앞서 수행된 반복하중 실험에서 나타난 각 실험체의 콘크리트 균열분포와 동일한 결과를 나타냄을 알 수 있다.

Fig. 14와 Fig. 15는 보의 상단부의 변위제어 하중으로 인한 하중-변위 관계를 각 실험체에 대하여 ABAQUS 해석값과 실험값을 각각 비교하여 정리하였다. 비교 결과 실험으로 인한 실험체의 하중-변위이력과 해석으로 인한 하중-변위이력이 모두 유사하게 나타냄을 알 수 있다. 이

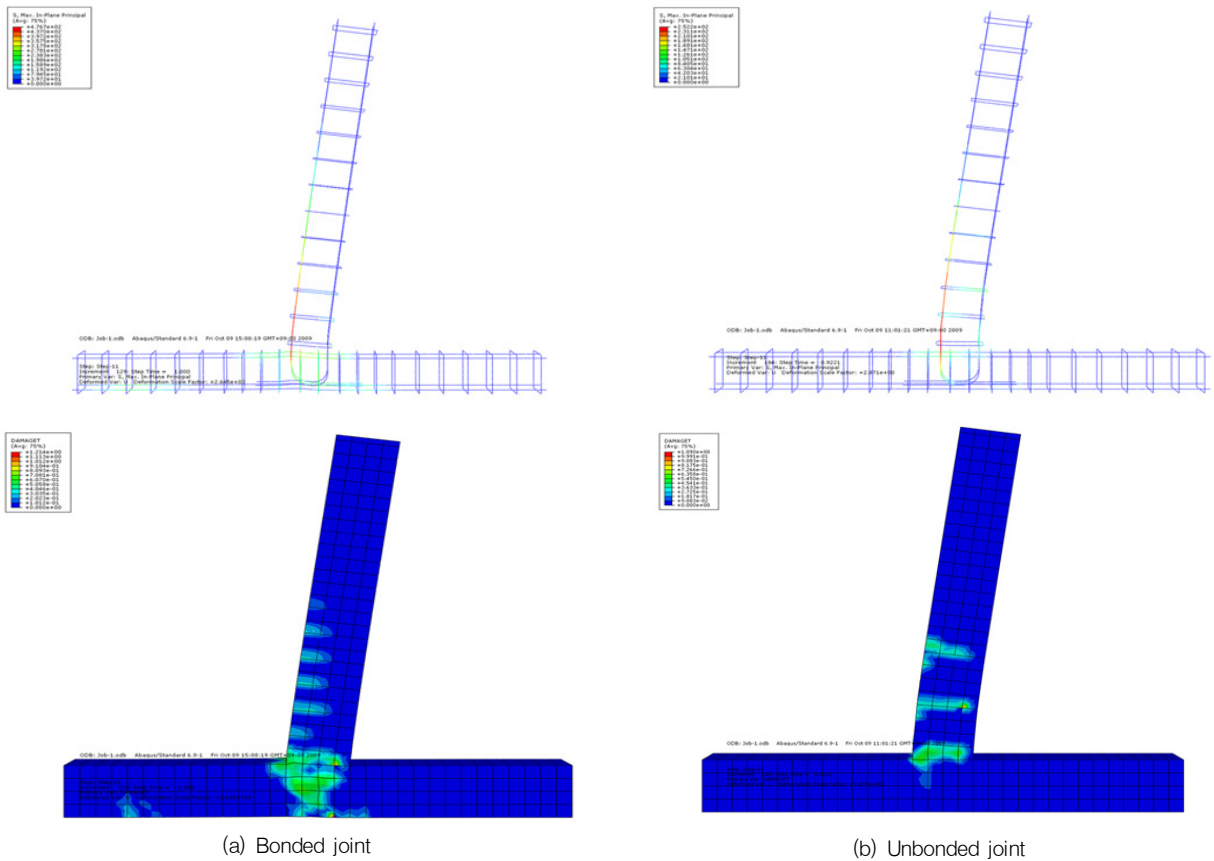


Fig. 13 Stress of rebar and crack distribution of concrete

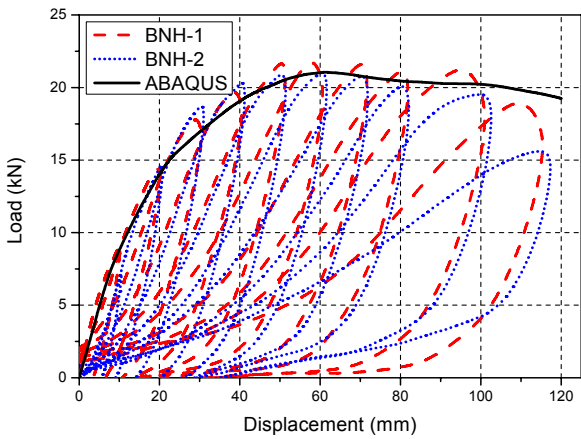


Fig. 14 Comparison of test and analysis result (Bonded joint)

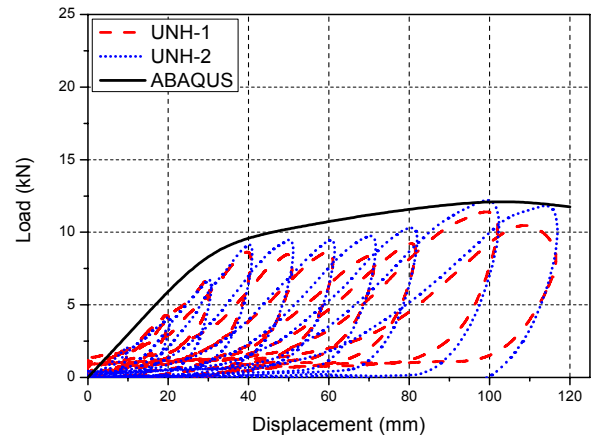


Fig. 15 Comparison of test and analysis result (unbonded joint)

와 같이 해석과 실험값을 비교한 최종 결과들은 정리하여 Table 7과 같으며 본 비교결과들로부터 해석결과와 실험 결과가 매우 유사하게 나타남을 알 수 있다. 실험체의 접합부 파괴유형은 부착 및 비부착형 실험체가 실험결과와 같은 유사한 형태의 파괴유형을 보였으며 해석결과에서도 실험결과와 동일하게 부착실험체에서는 접합부에서

휨 균열이 발생한 후에 전단균열이 발생하였고 비부착 실험체의 경우 휨균열만 발생하는 것으로 평가되었다.

실험체의 하중-변위이력의 경우, 부착 및 비부착형 실험체에 대한 해석 및 실험결과 또한 하중이력 거동이 대부분 유사하게 나타났으나 비부착 실험체의 경우 부재의 초기항복 이후 최종 변위까지 대하여 유사한 값을 가지나



Table 7 Results of nonlinear finite element analysis

Type		Joint's Failure Type	P <sub>1</sub> (kN)	P <sub>2</sub> (kN)	P <sub>y</sub> (kN)	Yield Displacement (mm)
Bond	ABAQUS	shear, Flexural	16.0	19.6	21.0	62
	BNH-1		14.6	20.0	22.2	63
	BNH-2		14.9	20.7	21.4	63
Unbond	ABAQUS	Flexural	6.3	9.7	12.3	103
	UNH-1		4.4	9.4	12.6	105
	UNH-2		4.3	8.8	11.6	105

\* P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> : Lateral force at  $\mu=1,2$

초기항복 변위 이전에 대해서는 하중값이 ABAQUS 해석 결과에서 다소 크게 나타났다.

보 부재의 주철근에 대한 해석결과에서 부착 및 비부착 실험체 모두 보-기둥의 접합면에 있는 주철근이 모두 항복하였고 접합부에 있는 기둥의 철근은 최종 변위연성비까지 항복은 하지 않았다. 하지만 부착형 실험체에서는 전단균열이 진행되는 접합부 내 2개의 횡보강 띠철근 평균응력이 268MPa로 비부착 실험체 10MPa보다 크게 발생하였다. 이는 비부착형 실험체가 보 주철근의 활동으로 인하여 보에 전달된 횡하중에 대한 내력이 부착형 실험체보다 접합부에 적게 전달됨으로써 접합부의 전달균열이 진행되지 않은 것으로 판단된다.

### 5. 에너지소산능력

에너지 소산능력은 구조부재가 내력을 유지하면서 흡수된 에너지로서, 실험체의 에너지 소산능력은 외력인 반복 횡 하중에 의하여 부재가 변형하면서 발생하는 외력에 저항하는 능력이다. 에너지 소산능력을 평가하기 위하여 하중이력의 변위연성비를 지표로 하여 나타내었다.(권민호 등, 2010)

에너지 소산능력을 산정하기 앞서 Fig. 16과 같이 실험으로 얻어진 각 실험체의 강도변화를 하중이력의 변위연성비에 대하여 나타내었다. Fig. 16의 곡선으로 바탕으로 하여 각 변위연성비에 대해 소산된 에너지와 누적된 에너지 소산능력을 Fig. 17, Fig. 18과 같이 나타내었다.

Fig. 17은 하중이력으로 인한 각 변위 연성비에 소산된 접합부의 에너지 소산능력이다. 부착형 실험체는 변위 연성비  $\mu=5$ 까지 변위 연성비가 증가할수록 각 사이클에 나타난 에너지 소산능력은 증가하였지만 최종 변위 연성비에서는 에너지 소산능력이 감소하였다. 반면 UNH실험

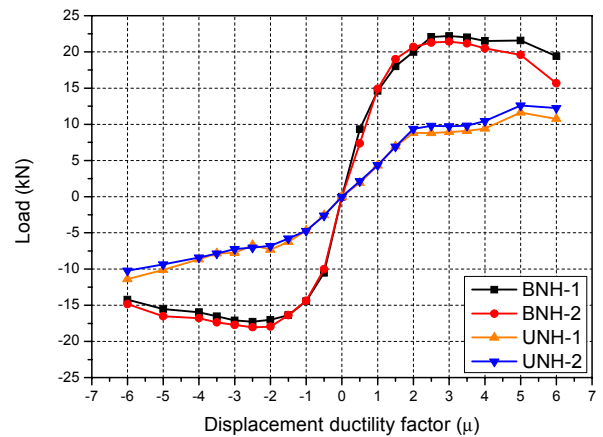


Fig. 16 Strength history curve of beam-column joints

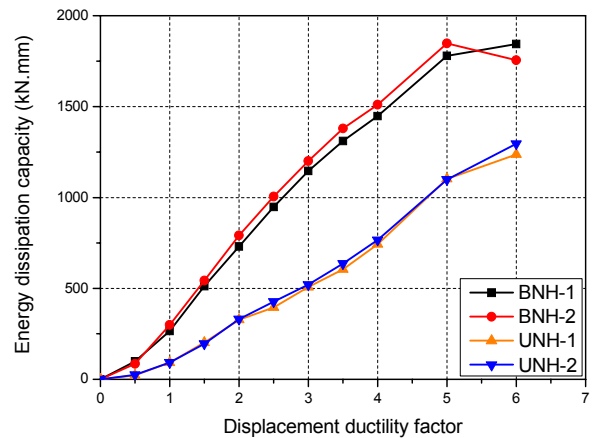


Fig. 17 Energy dissipation capacity at displacement ductility factor

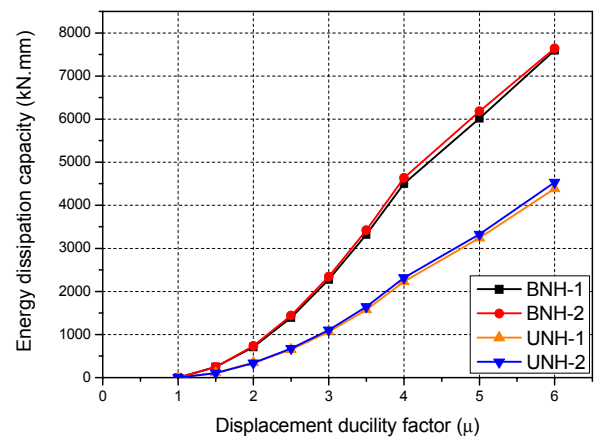


Fig. 18 Accumulating energy dissipation capacity

체는 최종까지 하중이 반복이 될수록 에너지 소산능력은 계속 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 18은 부재의 총 에너지 소산능력을 평가하기 위하

Table 8 Result of energy dissipation capacity

		$P_{y1}$ (kN)	$\mu_{y1}$	$P_{y2}$ (kN)	$\mu_{y2}$	E	E ratio
BNH	1	17	1.5	22	3	7595	1
	2	19	1.5	21	3	7638	1
UNH	1	9	2.5	12	5	4385	0.58
	2	10	2.5	13	5	4529	0.60

\*  $P_{y1}$ ,  $\mu_{y1}$  : Lateral force and ductility at first yield of reinforcement bar

\*  $P_{y2}$ ,  $\mu_{y2}$  : Lateral force and ductility at the yield of connection

\* E : Accumulated energy dissipation at final stage

여 변위 연성비에 대해 각 변위 연성비에 나타난 에너지 소산능력을 누적 시킨 것이다. 부착형 실험체는 최종 변위 연성비에 도달할 때까지 7595kN·mm, 7637 kN·mm의 에너지 소산능력을 누적시켰으나 비부착형 실험체는 최종 변위 연성비에 도달할 때까지 4385 kN·mm, 4529kN·mm의 에너지 소산능력을 누적시켰다. 이들 강도변화와 에너지 소산능력을 비교한 종합적인 결과들은 Table 8에 나타내었다.

보 인장철근이 항복 시와 부재의 항복에 따른 강도는 부착형 실험체가 크게 나타났지만 항복변위는 비부착형 실험체가 오히려 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 하지만 누적된 에너지 소산능력에서는 비부착형 실험체가 부착형 실험체에 비해 40~42% 감소된 것을 알 수 있는데 이는 비부착형 실험체가 철근 비부착으로 인한 활동에 의해 전체적인 항복변위는 증대되었으나 부재의 손상에 인한 강도저하 크에 따라 에너지 소산이 증대되지 못하고 감소된 것으로 판단된다.

## 6. 결론

본 연구는 철근콘크리트 구조부재 중 보-기둥 접합부에 대하여 염해의 피해를 입어 철근 부착성능이 상실되어 콘크리트-철근간의 부착이 비부착된 RC 보-기둥 접합부의 역학적 거동 및 에너지 소산능력을 확인하여 성능을 평가하고자 실험적 연구 및 비선형 유한요소 해석연구를 수행하였다. 본 연구를 통한 제시 결론들은 다음과 같다.

- (1) 철근 콘크리트 보-기둥 접합부의 반복 횡하중 실험 결과, 변위하중이 증가함에 따라 부착형 실험체는 접합부의 휨파괴와 전단파괴가 진행됨을 알 수 있으며, 비부착형 실험체의 경우 휨파괴만 주도적으

로 진행됨을 알 수 있다.

- (2) 하중-변위 이력곡선으로 부터 비부착형 실험체가 부착형 실험체보다 44~45%의 강도 감소치를 보였으나, 항복변위에서는 67% 증대된 것으로 나타났다. 이는 철근의 비부착으로 인한 활동의 증대에 의해 비부착 실험체는 최대내력은 감소하지만 항복시의 변형이 증대하는 것으로 사료된다.
- (3) 비선형 유한요소 해석과 실험결과를 비교한 결과 균열패턴 및 하중이력 거동이 유사하게 나타남을 알 수 있다. 비선형 해석결과로부터 철근의 응력은 부착 및 비부착형 실험체 모두 보-기둥 접합 경계면에서 가장 크게 작용했지만, 접합부 횡보강 철근 응력의 경우 비부착형 실험체가 부착형 실험체보다 적게 발생하였다. 따라서 비부착형 실험체가 보주철근의 활동으로 인해 보로 전달된 내력이 접합부로 적게 전달함으로써 접합부의 전단균열이 진행되지 않은 것으로 판단된다.
- (4) 횡 하중이력에 대해 누적된 에너지 소산능력의 경우 비부착형 실험체가 부착형 실험체에 비해 40~42% 감소된 것을 알 수 있다. 이는 비부착형 실험체가 철근의 비부착으로 인한 전체적인 항복변위는 증대되었으나 부재의 손상에 인한 강도저하가 크에 따라 에너지 소산이 증대되지 못하고 감소된 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서 얻어진 철근-콘크리트 부착성능이 상실된 RC 보-기둥 접합부의 결과를 통해, 염해에 대해 피해를 입은 보-기둥 접합부재 뿐만이 아닌 RC부재의 기초자료로 활용될 것으로 판단되며, 향후 염해피해를 입은 구조물의 보수·보강에 대해 유용하게 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

## 감사의 글

이 논문은 소방방재청의 자연재해저감기술개발사업의 지원[과제번호:NEMA-자연-2011-49] 과 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업의 지원[과제번호:2011-0011015]을 받아 수행된 연구임.

## 참고문헌

1. 권민호, 하기주, 박태규, 조창근, "2차원 래티스 모델에 의한

반복하중을 받는 철근콘크리트 기둥의 해석”, 한국콘크리트학회, 제22권 제1호, 2010.02월, pp.103-111.

2. 김우, 김진근, 오병환, 정란, 최완철, 콘크리트 구조설계, 도서출판 동화기술, 2008.10월, pp.215-224.

3. 대한주택공사 주택연구소, 염해구조물 진단 및 보수 기술서, 과학기술처, 1993.11.

4. 송한범, 남상욱, 이원호, 오상훈, 유홍식, 이학수, “콘크리트 강도와 철근 부식도에 따른 저층 구조물 철근콘크리트 기둥의 거동”, 대한건축학회 논문집, 제25권 제3호, 2009.3월, pp.19-26.

5. 오병환, 조윤구, “철근 콘크리트 부재의 부식에 따른 부착강도 특성연구”, 대한토목학회 논문집, 제20권 제5-A호, 2000.9월, pp.853-859.

6. 조창근, 권민호, 정희효, “변단면 형강 부재의 파이버 유한요소 비선형 정밀 해법 알고리즘”, 대한 토목학회 논문집, 제25권 제4호, 2005.7월, pp.611-619.

7. 하기주, “철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내진성능 개선 보강 신기술”, 한국지진공학학회 논문집, 제8권 제2호, 2004.4월, pp.73-81.

8. ACI Committee 318, “Building Code Requirments for Structural Concrete(ACI 318-95) and Commentry(ACI 318R-95)”, American Concrete Institute, Faramington Hill, pp.71-73.

9. Koichi Kobayashi “An experimental study on the seismic behavior of RC member deteriorated by chloride induced corrosion”, Proceedings of the First International Conference of Asian Concrete Federation (ACF), vol. 1, 2004. 10, pp.85-93.

10. Lee, J. and Fenvas, G. L., “Plastic-damage model for cyclic loading of concrete structures”, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 1998, vol. 124, pp.892-900.

(접수일자 : 2011년 1월 18일)  
 (수정일자 : 2011년 8월 16일)  
 (심사완료일자 : 2011년 8월 29일)

## 요 지

우리나라는 삼면이 바다로 이루어져 있으며 많은 철근콘크리트 구조물이 위치해 있다. 만약 철근콘크리트 구조물이 염해의 노출이 장기화 된다면 철근의 부식으로 인하여 철근-콘크리트 부착성능이 감소될 뿐만 아니라, RC 구조물의 성능저하가 우려되고 있다. 따라서 본 연구에서는 부착성능이 상실된 RC 보-기둥 접합부에 대한 기초자료를 확보하기 위해 연구를 수행하였다. 철근-콘크리트 부착이 상실된 보-기둥 접합부를 제작하여 부착 및 비부착 특성 여부에 따라 반복 횡하중 실험 및 해석적 연구를 수행하여 접합부의 성능을 평가 및 고찰하였다.

**핵심 용어** : 철근콘크리트, 보-기둥 접합부, 부식, 반복하중 실험, 유한요소 해석