

# 인장을 받는 고강도철근콘크리트 부재의 정착성능 평가

## Development Properties of Rebar in Tension with High Strength Concrete

박수희<sup>1</sup> · 이범식<sup>2</sup> · 김상연<sup>3</sup> · 박성식<sup>3</sup> · 배기선<sup>3</sup> · 김성덕<sup>4</sup>

Su-Hee Park<sup>1</sup>, Bum-Sik Lee<sup>2</sup>, Sang-Yeon Kim<sup>3</sup>, Seoung-Sik Park<sup>3</sup>, Kee-Sun Bae<sup>3</sup>, and Seong-Deok Kim<sup>4</sup>

(Received January 12, 2011 / Revised January 21, 2011 / Accepted January 23, 2011)

### 요 약

인장을 받는 고강도콘크리트 부재의 정착특성을 평가하고 KCI 2007 정착길이 산정기준의 적용가능성을 평가하기 위하여 콘크리트강도와 정착길이, 섬유혼입률을 변수로 한 정착실험을 수행하였다. 정착실험 수행 결과, 인장을 받는 80MPa의 고강도콘크리트 부재에서 KCI 2007의 최소정착길이의 적용이 가능할 것으로 기대된다. 고강도콘크리트의 내화성능을 확보하기 위하여 혼입되는 섬유(NY+PP)는 0.1%까지 혼입하여도 고강도콘크리트의 정착특성에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

**주제어** 고강도콘크리트, 정착길이, 정착시험, 부착응력

### ABSTRACT

In this study, development tests varying with concrete strength, development length, and the rate of fiber mix ratio are carried out to evaluate the development characteristics of high-strength concrete member with 80MPa, and the applicability of estimated standards of development length in KCI 2007. As a result, it can be expected that minimum development length of KCI 2007 is applicable to high-strength concrete member with 80MPa. Although the mixed fiber(NY+PP) to secure fire resistance performance of high-strength concrete is included up to 0.1%, it does not affect the development characteristics.

**Key words** High-Strength Concrete, Development Length, Development Test, Bond Stress

## 1. 서 론

철근콘크리트 구조물이 설계 당시의 성능을 충분히 발휘하기 위해서는 구조물에 외력이 작용할 때 철근과 콘크리트가 일체화되어 철근의 뽑힘현상이 발생하지 않도록 콘크리트와 적절한 부착이 이루어져야 한다. 콘크리트 속에 묻혀있는 철근이 뽑히거나 미끄러짐 없이 항복강도에 도달하는 최소한의 묻힘길이를 정착길이라고 정의하며, 철근의 정착길이는 철근의 직경과 항복강도 및 콘크리트 압축강도와 밀접한 관계를 가지고 있으며 철근의 부착응력으로 산정한다.

일반적으로 철근의 정착길이는 콘크리트 강도가 증가할수록 짧아진다고 알려져 있으나<sup>4-6),15)</sup>, 현행 콘크리트구조설계

기준(이하 KCI 2007)의 정착길이 산정식에서는 구조물의 안전을 고려하여 철근의 정착길이가 일정길이 이하로 짧아지는 것을 방지하기 위하여 콘크리트 강도를 70MPa이하로 제한하고 있다. 최근 고강도콘크리트를 이용한 초고층구조물의 건설이 활발히 이루어짐에 따라 고강도콘크리트를 적용한 구조부재의 성능구명이 활발히 이루어지고 있으며, 이의 일환으로 고강도콘크리트의 부착특성에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으나, 콘크리트 강도가 70MPa를 초과하는 고강도콘크리트가 적용되었을 경우 부착특성과 구조물을 설계할 때 활용하기 위한 철근의 정착길이와 관련된 연구가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 압축강도가 70MPa 이상인 고강도

1) 한국특허정보원 연구원(shpark104@kipi.or.kr)

2) 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원(교신저자: bslee417@lh.or.kr)

3) 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원

4) 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구원

콘크리트를 사용한 철근콘크리트 보를 대상으로 고강도콘크리트의 부착특성을 평가하고, 부착특성에 기초하여 설계강도 70MPa 이상의 고강도콘크리트가 적용된 인장을 받는 구조부재의 정착길이를 산정하기 위해 필요한 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 정착실험

### 2.1 실험체 계획

본 연구의 변수는 콘크리트강도(27MPa, 80MPa)와 정착길이(KCI 2007 제안식, Magnusson 제안식), 유기섬유혼입률(0%,0.075%, 0.1%)이다. 고강도콘크리트의 정착길이는 KCI 2007에서 정의하고 있는 인장을 받는 이형철근의 최소정착길이인 300mm(이하 정착길이 K)와 Magnusson<sup>12),13)</sup>이 압축강도 110MPa까지의 고강도콘크리트에서 HD16철근을 사용하여 수행한 인발실험 결과를 기초로 제안한 정착길이( $10d_b$ , 이하 정착길이 M)에 기초하여 산정하여 실험체를 제작하고, 정착길이에 따른 실험체의 거동을 평가하였다.

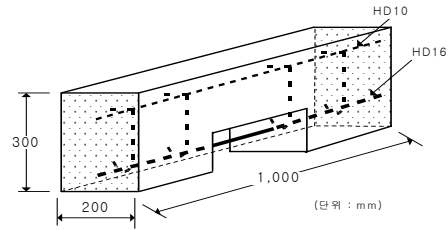
압축강도 50MPa 이상의 고강도콘크리트를 구조물에 적용하기 위해서는 개정된 고강도콘크리트 기둥, 보의 내화성능 관리기준('08.7.21)을 만족하여야 한다. 연구결과의 실용성을 제고하기 위하여 고강도콘크리트의 내화성능 향상에 효과적인 것으로 알려진 유기섬유(NY,PP)의 혼입율을 0%, 0.075%, 0.1%로 달리하여 적용하였다.

고강도콘크리트는 철근콘크리트 구조물의 부착, 정착길이를 산정할 때 사용하는 KCI 2007의 관련 기준이 압축강도 70MPa이하인 것으로 고려하여, 실험체의 압축강도를 80MPa로 하였으며, 비교대상으로 압축강도 27MPa인 보통강도콘크리트를 적용한 실험체를 제작하였다. 표 1은 정착성능평가에 사용된 실험체 계획을 나타내고 있다.

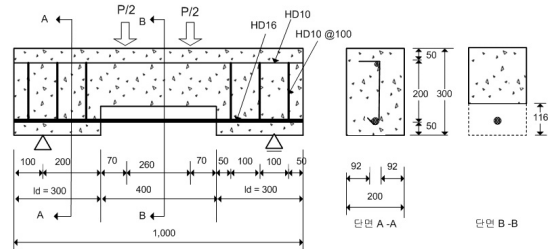
실험체의 길이는 1,000mm이며, 실험체 중앙부의 순수휨거동을 유도하고 양 단부의 정착거동과 하중단계별 철근의 변

표 1. 고강도콘크리트의 정착성능 평가용 실험체 계획

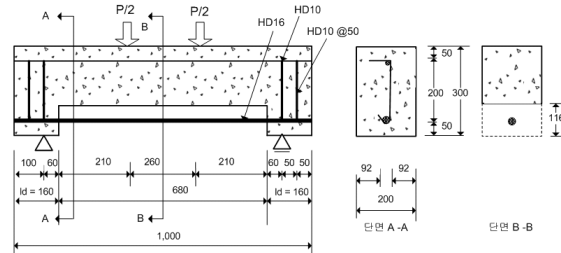
실험체명	콘크리트설계 강도(MPa)	섬유 혼입율(%)	정착길이 ( $l_d$ )(mm)	비고
NSC-K	27	0	300	○콘크리트
NSC-M	27	0	$10d_b$ (159)	- NSC (보통강도콘크리트)
F-HSC-K0	80	0	300	- HSC (고강도콘크리트)
F-HSC-K75	80	0.075	300	○섬유
F-HSC-K10	80	0.1	300	-F:Fiber (NY+PP)
F-HSC-M0	80	0	$10d_b$ (159)	○정착길이
F-HSC-M75	80	0.075	$10d_b$ (159)	- K: KCI2009
F-HSC-M10	80	0.1	$10d_b$ (159)	- M: Magnusson
				○섬유혼입율
				- 0(0%), 75(0.075%), 10(0.1%)



(a) 실험체 형상



(b) 정착길이 300mm인 경우



(c) 정착길이  $10d_b$ (159mm)인 경우

그림 1. 정착성능 평가용 보 실험체 형상과 제원

형률을 평가하기 위하여 보 중앙부의 하부 주근을 노출시켜 제작<sup>2),9),14)</sup>하였다(그림 1, 2). 실험체의 제원은 그림 1에서 볼 수 있듯이 폭 200mm, 높이 300mm, 길이 1,000mm로 보의 상단근과 하부 주근은 각각 HD10과 HD16 철근을 사용하였다. 보의 양 단부의 정착길이를 제외한 중앙부는  $\Gamma$ 형 거푸집을 제작하여 보 주근(HD16)을 관통시켰다. 주근의 정착구간에서 콘크리트의 전단파괴를 방지하기 위하여 스테럽(HD10)을 배근하였다. 본 연구에 사용된 실험체 형상은 그림 1과 같다.

보 주근의 하부의 피복은 현행 KCI2007 1)에 준하고 피복 두께에 의한 쪼갬파괴를 방지하기 위하여 50mm로 계획하였으며, 주근 측면의 피복은 쪼갬파괴를 방지하고 뽑힘파괴를 유도하기 위하여 기 수행된 CEB-FIP10)의 실험결과를 참고하여  $5d_b$ 로 계획하여 보 폭을 200mm로 제작하였다.

### 2.2 가력 및 측정 방법

정착성능 평가용 실험체의 거동은 하중단계에 따른 주근의 변형과 미끌림 및 실험체의 거동 등으로 평가하여야 하므로, 보 양단부의 주근과 맞닿는 면에 수평으로 변위계(LVDT)를 설치하여 하중단계에 따른 주근의 미끌림을 측정하였다. 하중단계에 따른 보 주근의 변형을 측정하기 위하여 철근이 콘크리트에 묻혀있는 경계면에 변형률 게이지를 부착하였으며, 콘크리트의 변형을 평가하기 위하여 실험체 중앙부 상하

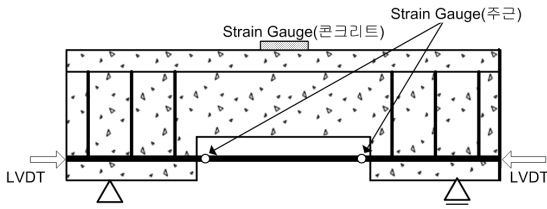


그림 2. 보 주근 및 콘크리트의 응력과 주근의 미끌림 측정



사진 1. 실험체 설치(Seting) 전경

단에 각각 변형률 게이지를 부착하였다. 기타 하중단계에 따른 실험체의 거동과 균열 현황 등을 육안으로 평가하였다. 고강도콘크리트의 정착길이 산정용 실험을 수행할 때 측정방법은 그림 2와 같다.

실험체는 사진 1과 같이 2점 가력용 철재 프레임과 강봉으로 구성된 가력 프레임을 사용하여 1000kN 용량의 만능시험기(UTM)로 가력하였다. 가력속도는 분당 5kN을 기준으로 하고, 최대 하중이 될 때까지 증가율을 유지하였다.

실험체를 가력할 때 하중과 주근과 콘크리트의 변형률, 주근의 미끌림(변위) 등을 데이터 로거를 통해 수집하였으며, 실험이 종료될 때 까지 각 하중 단계별로 균열폭을 측정하고 하중 단계별 균열의 발생 및 진행 현황과 실험체의 거동을 관찰하였다.

### 2.3 사용 재료

실험체 제작에 사용된 유기섬유(NY+PP)는 내화성능 향상에 우수한 것으로 알려진 9mm의 나일론(NY)섬유와 19mm의 폴리프로필렌(PP)섬유를 동일비율로 혼입하여 적용하였으며, 유기섬유(NY+PP)의 혼입율이 0.075%와 0.1%인 고강도콘크리트는 내화인증실험을 통해 내화성능이 검증되었다. 실험에 사용된 콘크리트의 강도는 표 3과 같다.

콘크리트 강도가 부착성능에 큰 영향을 미치므로 정착성능 평가에 앞서 콘크리트 압축강도시험을 먼저 수행하여 실험체의 거동을 예상한 후 실험체를 대상으로 실험을 수행하고 그 결과를 비교하였다.

실험체 제작에 사용된 철근은 항복강도 400MPa인 HD16으로 정착성능 평가에 사용된 주근의 인장강도를 측정하기

표 2. 콘크리트 압축강도 측정 결과 (재령 28일)

콘크리트 종류	콘크리트 설계강도(MPa)	섬유혼입율 (%)	28일 압축강도 (MPa)
보통강도콘크리트	27	0	33.3
고강도콘크리트	80	0	79.2
		0.075	77.9
		0.1	76.8

표 3. 실험체 주근의 인장시험 결과

철근 제원	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)
HD16 SD400	479.64	570.43

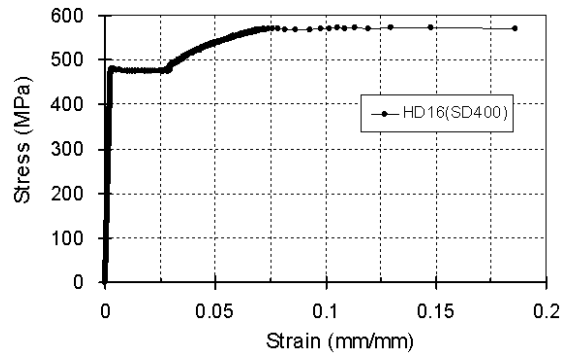


그림 3. HD16(SD400) 응력-변형률 관계

위하여 KS B 0801에 의거 철근의 인장시험을 수행하였다. 철근의 인장시험 결과는 표 3 및 그림 3과 같다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 실험결과

보 실험체를 대상으로 정착성능평가 실험을 수행한 결과는 표 4와 같으며, 최대 가력하중은 보 중앙의 하중지점에 작용한 하중 값이다. 주근과 콘크리트 사이의 최대부착응력은 식 (1)과 같이 재하된 하중으로부터 주근에 작용하는 인장력 ( $T$ )을 부착면적으로 나누어 산정하였다.

$$U_{t,max} = T_{max} / (\pi d_b l_s) \quad (1)$$

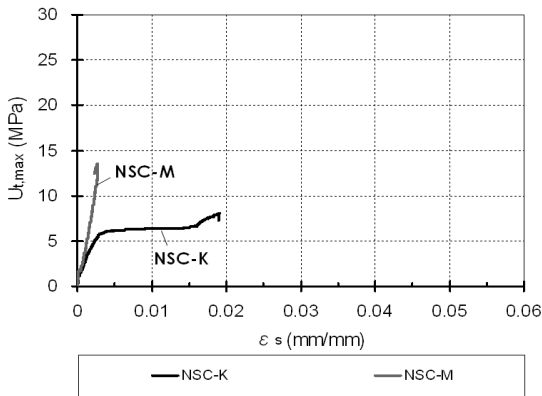
여기서,  $U_{t,max}$  : 최대부착응력(MPa),

$T_{max}$  : 주근에 작용하는 최대인장력(=M/jd)(kN)

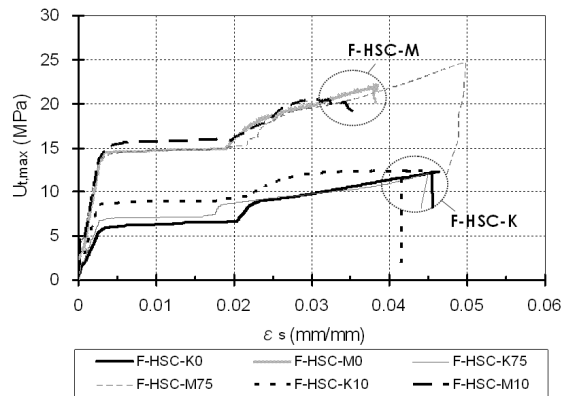
주근의 최대변형률은 최대 가력하중이 작용할 때 주근의 변형률 값이다. 주근의 미끌림은 실험 계획 시 주근의 양단부에서 변위계(LVDT)로 측정하고자 하였으나 정확한 측정이 어려운 것으로 판단되어, 식 (2)와 같이 주근에 부착한 변형률 게이지에 의해 측정된 항복 시의 변형률 값을 적용하여

표 4. 정착성능 평가 결과

실험체명	콘크리트 강도(MPa)	섬유 혼입율(%)	정착길이( $l_d$ ) (mm)	최대하중 (kN)	최대부착 응력(MPa)	주근의 최대변형률	미끌림 (mm)	최종 파괴형상
NSC-K	33.3	0	300	228.7	8.1	0.0191	1.1	조깅파괴
NSC-M	33.3	0	10db(159)	204.0	13.6	0.0027	0.6	조깅파괴
F-HSC-K0	79.2	0	300	353.6	12.3	0.0464	1.0	뿔뿔파괴
F-HSC-K75	77.9	0.075	300	348.1	12.1	0.0450	1.0	조깅파괴
F-HSC-K10	76.8	0.1	300	324.6	12.4	0.0443	1.0	뿔뿔파괴
F-HSC-M0	79.2	0	10db(159)	337.3	22.1	0.0385	0.6	조깅파괴
F-HSC-M75	77.9	0.075	10db(159)	376.7	24.7	0.0499	0.6	조깅파괴
F-HSC-M10	76.8	0.1	10db(159)	312.6	20.5	0.0307	0.6	조깅파괴



(a) 보통강도콘크리트(NSC) 보 실험체



(b) 고강도콘크리트(HSC) 보 실험체

그림 4. 주근의 최대부착응력-변형률 관계

산정하였다. 최종 파괴형상은 실험이 종료되었을 때의 파괴 형상을 나타낸 것이다.

$$s_y = \epsilon_{s,y} \times l_s \quad (2)$$

여기서,  $s_y$  : 주근이 항복할 때 미끌림(mm),  
 $\epsilon_{s,y}$  : 주근 정착단부의 항복변형률(mm/mm),  
 $l_s$  : 주근의 정착길이(mm)

### 3.2 최대부착응력

정착길이 변화에 따른 거동을 평가하기 위하여 콘크리트 강도별 정착길이 변화에 따른 주근의 최대부착응력( $U_{t,max}$ )-변형률( $\epsilon_s$ ) 관계를 검토하였다. 정착길이에 따른 최대부착응력( $U_{t,max}$ )값의 변화는 보통강도콘크리트(NSC)에서 고강도콘크리트(HSC)로 갈수록 더욱 크게 나타났다. 섬유혼입율에 관계없이 모든 고강도콘크리트(HSC) 보 실험체에서 초기 화학적 부착구간과 철근 마디사이의 콘크리트 지압력에 의한 부착력 증가구간이 공통적으로 나타났다. 이때, 고강도콘크리트의 적용으로 인해 항복 이후 콘크리트 지압력에 의한 부착응력의 증가율이 최대 2배까지 증가되는 경향을 보였다.

보통강도콘크리트(NSC) 보 실험체의 경우, “정착길이 K”보다 “정착길이 M”을 적용하였을 때 최대부착응력이 68% 증가되었다. 고강도콘크리트 보 실험체의 경우 역시 “정착길이 M”을 적용하였을 때 최대 부착응력이 65~100% 증가되었다. 보통강도콘크리트(NSC) 실험체와 비교하여 고강도콘크리트(HSC) 실험체에서 최대부착응력에 대한 정착길이 변화의 영향이 다소 크게 나타남을 확인할 수 있다.

섬유혼입율의 변화에 따른 최대부착응력의 크기는 일정한 경향성을 보이지 않아 섬유혼입율 0.1%까지는 최대부착응력에 미치는 영향이 미미한 것으로 판단된다.

그림 4는 주근의 최대부착응력과 변형률과의 관계를 나타내고 있다.

### 3.3 주근의 미끌림

표 5는 부착응력 증가에 따른 정착단부에서 주근의 미끌림량의 변화를 나타낸 것이다.

표 5에서 알 수 있듯이, 부착응력이 증가함에 따라 콘크리트강도 변화가 주근의 미끌림에 미치는 영향은 증가하였다. 부착응력의 증가와 함께 “정착길이 M”을 적용할 경우 “정착길이 K”를 적용할 때 보다 주근의 미끌림량은 70~90% 감소

표 5. 주근의 미끌림

실험체명	콘크리트 강도(MPa)	정착길이 (mm)	미끌림 (mm)		
			$U_f=1\text{MPa}$	$U_f=3\text{MPa}$	$U_f=5\text{MPa}$
NSC-K	33.3	300	0.05	0.33	0.69
NSC-M	33.3	159	0.01	0.12	0.20
F-HSC-K0	79.2	300	0.07	0.41	0.72
F-HSC-K75	77.9	300	0.04	0.33	0.60
F-HSC-K10	76.8	300	0.04	0.25	0.45
F-HSC-M0	79.2	159	0.01	0.03	0.15
F-HSC-M75	77.9	159	0.01	0.02	0.12
F-HSC-M10	76.8	159	0.01	0.03	0.14

\*  $U_f$  : 실험결과 도출된 주근의 부착응력

하는 것으로 나타났다. 섬유혼입율의 변화가 주근의 미끌림 량에 미치는 영향은 “정착길이 K”를 적용한 경우 섬유혼입 율이 0%에서 0.1%로 증가함에 따라 다소 감소하는 경향을 보였다. 그러나 “정착길이 M”을 적용한 경우는 섬유혼입율 변화에 상관없이 각 부착응력 값에서 일정하게 나타났다.

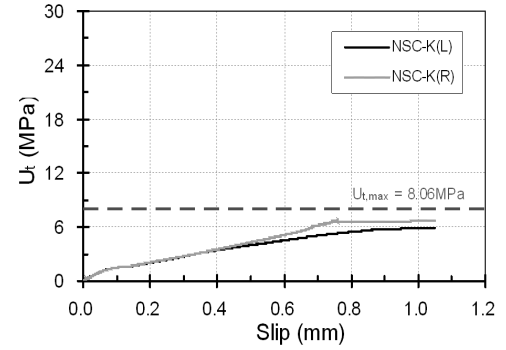
### 3.4 부착응력-미끌림 관계

그림 5는 보 실험체 항복까지 부착응력-미끌림 관계를 최대부착응력과 함께 보여주고 있다. 실험체 NSC-K의 경우 주 근이 항복할 때의 부착응력에 비해 최대 부착응력이 21~36% 증가되었으며 변형률 경화 후 충분한 소성변형을 한 후 파단된 것을 확인할 수 있다. 실험체 NSC-M의 경우 항복할 때의 부착응력과 최대 부착응력이 차이를 보이지 않으며 항 복 후 곧바로 부착파괴 되었다. 그러나 실험체 HSC는 실험체 NSC에 비해 정착길이의 변화에 관계없이 부착응력비가 약 40~70% 증가하여 소성변형 구간에서 고강도콘크리트 적용 에 따른 추가적인 영향이 부착응력의 상승에 작용하였다고 판단된다.

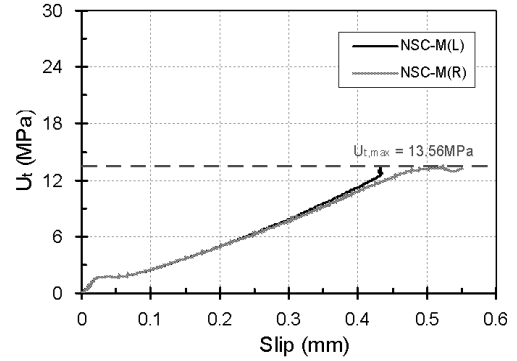
정착길이의 변화로 인한 미끌림량의 증가에 따른 부착응 력의 차이도 크게 나타났다. 실험체 NSC와 실험체 HSC 모 두 “정착길이 M”을 적용한 경우가 “정착길이 K”를 적용한 경우보다 부착응력비가 약 30% 증가하여 정착길이의 영향이 크게 작용하는 것을 알 수 있다. 주근의 최대 미끌림량은 “정 착길이 K”를 적용한 실험체가 1.04~1.05이고, “정착길이 M”을 적용한 실험체가 0.55~0.56으로 나타나 정착길이에 따른 영향이 크게 작용하였음을 확인하였다. 그러나 콘크리 트 압축강도 변화에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다.

### 3.5 균열 및 파괴 형상

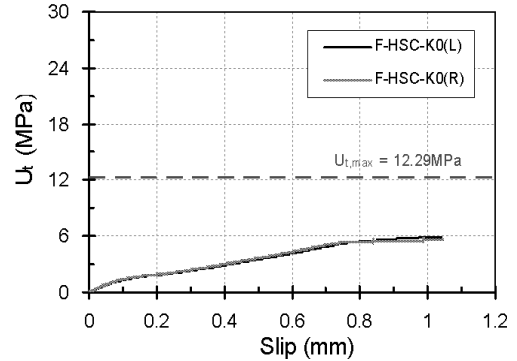
표 4의 정착성능 평가결과에서 알 수 있듯이, 보 주근의 항 복 시 실험체는 뿔뿔현상과 쪼갬현상이 발생하지 않았으며, 실험체의 가력 종료 후 최종 파괴형상은 뿔뿔파괴가 발생한



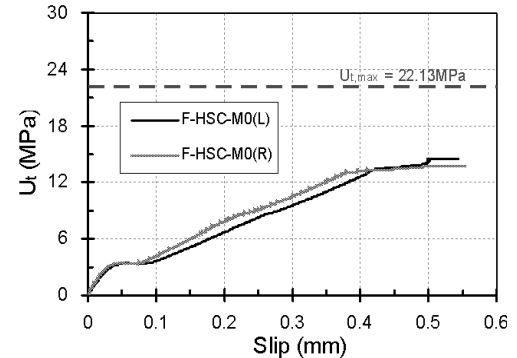
(a) NSC-K



(b) NSC-M



(c) F-HSC-K0, K75, K10



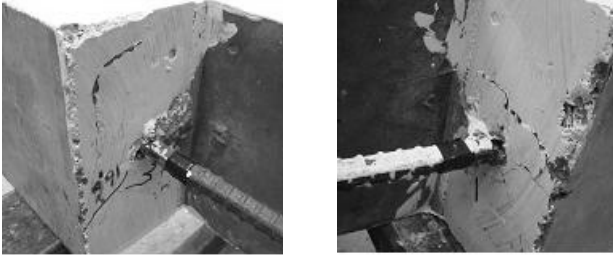
(d) F-HSC-M0, M75, M10

그림 5. 최대부착응력-미끌림 상관관계 비교

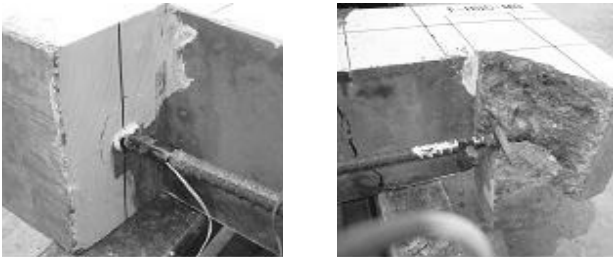
실험체 F-HSC-K0와 실험체F-HSC-K10를 제외한 실험체들 은 모두 쪼갬파괴가 발생하였다. 그러나 모든 실험체들이 주 근의 항복 이후 변형률 경화단계를 지난 후 파괴되어 전체적



(a) 실험 종료 후 시험체의 휨파괴



(b) 주근 정착단부의 뿔힘파괴(F-HSC-K0)



(c) 주근 정착단부의 쪼갬파괴(F-HSC-K10)

사진 2. 시험체 파괴 형상

인 거동은 유사한 것을 알 수 있다. 모든 실험체에서 주근이 변형을 경화단계에 도달하여도 콘크리트의 변형률은 0.003에 도달하지 않았다.

실험체의 파괴는 모든 실험체에서 사진 2와 같이 시험 구간 내 주근의 비부착 구간인 중앙부에서 휨균열이 발생하고 그 이후 전단균열의 증가와 더불어 시험구간 내 주근의 단부를 중심으로 부착균열이 발생하였으며 부착균열이 확산되며 최종 파단되었다. 가력지점 구간 내에서의 균열의 갯수는 1~2개로 실험변수에 따른 변화는 관찰되지 않았다.

실험종료 후 “정착길이 K”를 적용한 실험체의 경우, 뿔힘 균열과 쪼갬균열이 함께 나타났으며, “정착길이 M”을 적용한 실험체에서는 쪼갬균열과 함께 쪼갬파괴가 명확히 나타나는 것을 확인하였다.

실험체 NSC-K는 약 102.4kN에서 주근의 양측 단부를 중심으로 쪼갬균열이 수직으로 발생하였으며, 주근의 좌측단부에서 먼저 항복에 도달하고 변형을 경화단계를 거쳐 주근의 인장파괴에 의해 파단되었다. 실험체 NSC-M는 102.2kN의 최대하중에서 주근의 우측단부 항복 이후 좌측단부에서 갑자기 쪼갬파괴되어 실험이 종료되었다.

실험이 종료될 때 주근의 좌측단부에서 6mm의 미끌림이 발생하였으며, 우측단부는 전혀 균열이 발생되지 않았다. 즉, “정착길이 M”을 적용한 경우, 실험체 NSC-M는 주근의 좌측

단부가 항복 이후 충분히 소성변형되지 못한 상태에서 실험체가 쪼갬파괴에 의해 취성파단된 것으로 판단된다. 이에 반해 F-HSC-M시리즈 실험체들은 주근의 모든 부위에서 항복 후 변형을 경화단계를 거쳐 연성적 거동을 나타낸 이후 최종 단계에서 쪼갬이나 뿔힘파괴가 발생하였다.

실험체의 균열과 파괴형상을 관찰한 결과, “정착길이 K”는 보통강도콘크리트와 고강도콘크리트에서 모두 적용 가능한 것으로 판단되며, “정착길이 M”의 경우 고강도콘크리트에서만 적용 가능한 것으로 판단된다.

#### 4. 실험결과 검증

“정착길이 K”와 “정착길이 M”을 반영하여 도출된 실험결과를 검증하기 위하여 기존 최대부착응력 산정식과(이론식, KCI2007 기준식<sup>1)</sup>, Magnusson 실험식<sup>11)</sup>, CEB-FIP Model Code 90 기준식<sup>10)</sup> 및 기존에 진행된 인발실험 결과(B300, B500, B800)<sup>7)</sup>에 의한 최대 부착응력값을 비교 검토하였다. 실험결과와의 비교분석에 사용된 최대부착응력 산정식은 식 (3)~식 (6)과 같다.

- 부착응력 산정식(이론식)<sup>1)</sup> :

$$U_{max} = A_{st}f_{st}/(\pi d_b l_s) \quad (3)$$

- KCI2007 기준식<sup>1)</sup> :

$$U_{max} = \frac{d_b f_{st}}{4} \times \frac{\sqrt{f_{ck}}}{0.9 d_b f_{st}} \times \frac{(c + K_{tr})/d_b}{\alpha \beta \gamma \lambda} \quad (4)$$

- Magnusson 실험식<sup>11)</sup> :

$$U_{max} = 0.45 (f_{ck}) \quad (5)$$

여기서,  $30\text{MPa} \leq f_{ck} \leq 80\text{MPa}$

- CEB-FIP Model Code 90 기준식<sup>10)</sup> :

$$U_{max} = 2.5 \sqrt{f_{ck}} \quad (6)$$

여기서,  $f_{ck} \leq 50\text{MPa}$

이론적인 최대부착응력 값과 및 실험결과 도출된 응력값은 표 6과 그림 6에 비교하여 나타내고 있다. 검토결과, “정착길이 K”를 적용한 경우, 최대부착응력의 실험값은 KCI 2007 기준식에 의하여 산정된 최대부착응력값과 잘 일치하였다. 기존 인발실험에 의한 최대부착응력 결과 값들은 Magnusson의 실험식과 잘 일치하였으나, 본 연구의 정착실험에 의한 최대부착응력 결과 값들은 다른 경향성을 보이는 것으로 나타났다. “정착길이 M”을 적용한 경우에는 CEB90 기준식에 의한 최대부착응력 계산값이 실험결과와 도출된 최대응력에 가장 근접하는 것으로 나타났다. 또한, 부착응력 선정식(이론식)에

표 6. 최대부착응력의 예측 및 실험결과값 비교

실험체명	콘크리트 강도(MPa)	$U_{t,max}$ (MPa)	$U_{c,max}$ (MPa)				$U_{t,max}/U_{c,max}$			
			이론식	KCI 2007	Magnusson	CEB90	이론식	KCI 2007	Magnusson	CEB90
NSC-K	33.3	8.06	6.4	7.3	15.0	14.4	1.27	1.10	0.54	0.56
NSC-M	33.3	13.56	12.0	7.3	15.0	14.4	1.13	1.86	0.90	0.94
F-HSC-K0	79.2	12.29	6.4	11.3	35.6	22.2	1.93	1.09	0.34	0.55
F-HSC-K75	77.9	12.11	6.4	11.2	35.1	22.1	1.90	1.08	0.35	0.55
F-HSC-K10	76.8	12.41	6.4	11.1	34.6	21.9	1.95	1.12	0.36	0.57
F-HSC-M0	79.2	22.13	12.0	11.3	35.6	22.2	1.84	1.96	0.62	0.99
F-HSC-M75	77.9	24.72	12.0	11.2	35.1	22.1	2.06	2.21	0.71	1.12
F-HSC-M10	76.8	20.51	12.0	11.1	34.6	21.9	1.71	1.85	0.59	0.94

여기서,  $U_{t,max}$  : 주근 최대부착응력 실험값,  $U_{c,max}$  : 최대부착응력 예측값,  $U_{t,max}/U_{c,max}$  : 실험과 예측에 의한 최대부착응력비

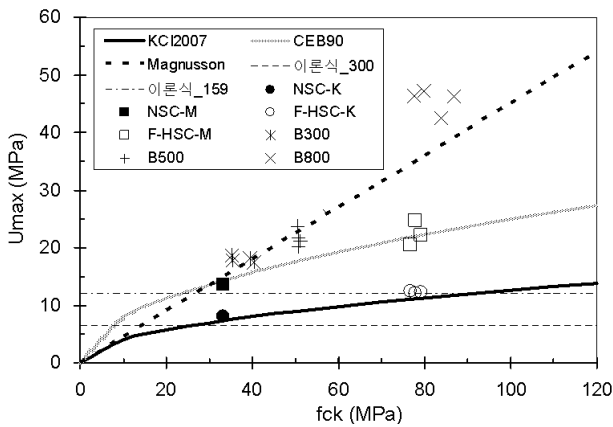


그림 6. 최대부착응력-콘크리트강도 상관관계

의한 최대부착응력 값에는 콘크리트 강도의 영향이 고려되지 않았으며, “정착길이 K”와 “정착길이 M”에 의해 정착길이를 산정한 경우 모두 보통강도콘크리트를 적용할 경우에만 이론식에 의한 최대부착응력값이 실험결과와 잘 일치하는 것으로 판단되었다.

## 5. 결론

압축강도 70MPa 이상의 고강도콘크리트가 적용된 철근콘크리트의 정착특성을 평가하기 위한 실험을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 유기섬유(NY+PP)가 0.1%까지 혼입된 고강도콘크리트의 경우, 섬유가 고강도콘크리트의 정착특성에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.
2. KCI 2007에서 정의하고 있는 인장을 받는 이형철근의 최소 정착길이인 300mm의 경우, 압축강도 80MPa의 고강도콘크리트가 적용된 부재의 정착길이를 산정하는데 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 직경 16 이하의 이형철근을 대상으로 Magnusson이 제시한 정착길이인  $10d_b$ 는 80MPa 고강도콘크리트의 정착길이를 산정할 때 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 05건설핵심기술연구개발사업(과제번호 : 05건설핵심 D11)의 지원 하에 수행된 ‘고강도 콘크리트를 이용한 초고층 공동주택 적용방안’ 연구의 일부로 진행되었으며 관계자분들께 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 한국콘크리트학회(KCI)(2009), 콘크리트구조설계기준.
2. 권오현, 정현수, 김택재(1987), 고강도콘크리트를 사용한 철근콘크리트부재의 부착성능에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집, 3(2): 103~112.
3. 최효석, 류수현, 김진무, 조철호(1999), 초기재령을 고려한 철근콘크리트 보의 부착응력에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 19(2): 326~331.
4. 김우, 이기열, 염환석(2001), 고강도 콘크리트 인장부재의 부착특성과 균열거동에 관한 연구(1), 대한토목학회논문집, 21(5-A): 687~698.
5. 김우, 이기열, 문인(2001), 고강도 콘크리트 인장부재의 부착특성과 균열거동에 관한 연구(2), 대한토목학회논문집, 21(5-A): 699~706, .
6. 이기열, 김우, 정기오(2003), 고강도 콘크리트 휨부재의 정착 및 겹침이음길이에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 봄학술발표회논문집, 865-871.
7. 이진수, 최선미, 이범식, 김상연(2008), 콘크리트의 압축강도와 혼화재 대체율이 부착특성에 미치는 영향, 한국폐기물학회 추계학술발표대회논문집, 406-409.
8. 정재형, 강훈, 안종문, 신성우(2008), 150MPa 초고강도 콘크리트와 철근의 부착응력 평가, 대한건축학회논문집 구조제, 24(12): 43~50.

9. Mete A, Sozenm Jack P. Moehle (1990), A Study of Experimental Data on Development and Lap-Splice Lengths for Deformed Reinforcing Bars in Concrete, PCA, Aug.
10. CEB-FIP, CEB-FIP Model Code 1990 (1991), Comite Euro International Du Beton, Paris.
11. Magnusson, J., Engstrom, B., Huang, Z. (1996), Experimental and Analytical Studies of the Bond Behaviour of Deformed Bars in High Strength Concrete, 4th International Symposium on Utilization of High-strength/High- performance Concrete, Paris, 1115-1124.
12. Magnusson, J., Engstrom, B. and Huang, Z. (1998), Pull-Out Bond Behavior of Ribbed Bars in Normal and High- Strength Concrete with Various Confinements, A Tribute to Dr. Peter Gergely, ACI SP-180, 215-242.
13. CEB-FIP (2000), Bond of Reinforcement in Concrete, State-of-art report prepared by Task Group Bond Models, 2000.
14. Chamberlin, S. J. (1956), Spacing of Reinforcement in Beams, Journal of the American Concrete Institute, Title No.53-6, 113-134.
15. Azizinamini, A., Stark, M., Roller, J. J. and Ghosh, S. K. (1993), Bond Performance of Reinforcing Bars Embedded in High-Strength Concrete, ACI Structural Journal, 90(5): 554-561, .