

## 고유동 자기충전 콘크리트와 이형철근의 부착특성

### The Bond Characteristics of Deformed Bars in High Flowing Self-Compacting Concrete

최연왕\* · 정재권\*\* · 김경환\*\*\* · 안태호\*\*\*\*

Choi, Yun Wang · Jung, Jea Gwone · Kim, Kyung Hwan · An, Tae Ho

#### Abstract

This study was intended to compare and evaluate the adhesion of High flowing Self-compacting Concrete (HSCC), Conventional Concrete (CC) and deformed bar based on concrete strength 3 (30, 50 and 70 MPa), among the factors affecting the bond strength between concrete and rebar, after fabricating the specimen by modifying the rebar position at Horizontal reinforcement at bottom position (HB), horizontal reinforcement at top position (HT) and vertical reinforcement type (V). As a result of measuring bond strength of HB/HT rebar to evaluate the factor of the rebar at top position, the bond strength of HB/HT rebar at 50 and 70 MPa was 1.3 or less and at 30 MPa, HSCC and CC appeared to be 1.2 and 2.1, respectively. Thus, when designing the anchorage length according to the concrete structure design standard (2007) at HSCC 30, 50 and 70 MPa, it would be desirable to reduce the correction factor of anchorage length of the horizontal reinforcement at top position, which is suggested for the reinforcement at top position, to less than 1.3 of CC.

**Keywords :** *high flowing, self-compacting concrete, bond characteristics, compressive strength level, pullout test*

#### 요 지

본 연구에서는 콘크리트와 철근과의 부착강도에 영향을 미치는 요인 중 철근의 위치를 수평하부철근(Horizontal reinforcement at Bottom position, HB), 수평상부철근(Horizontal reinforcement at Top position, HT), 및 수직철근(VERTICAL reinforcement type, V)으로 변화시킨 시험체를 제작하여 3수준의 콘크리트 강도 변화(30, 50 및 70 MPa)에 따른 고유동 자기충전 콘크리트(High flowing Self-compacting Concrete, HSCC) 및 일반콘크리트(Conventional Concrete, CC)와 이형철근의 부착 특성을 비교·분석 하였다. HSCC 및 CC의 상부근 철근계수를 평가하기 위하여 HB/HT 철근의 부착강도비를 측정된 결과 50 및 70 MPa의 경우 HB/HT의 부착강도비는 1.3이하로 나타났으며, 30 MPa의 경우 HSCC 및 CC에서 각각 1.2 및 2.1로 나타났다. 따라서 HSCC 30, 50 및 70 MPa의 경우 콘크리트구조설계기준(2007) 정착길이 설계시 상부근 계수에 제시되는 수평상부철근에 대한 정착길이 보정계수를 CC의 1.3보다는 감소시켜 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

**핵심용어 :** 고유동, 자기충전 콘크리트, 부착특성, 압축강도수준, 인발실험

#### 1. 서 론

최근 국내에서는 콘크리트 타설시 시공 효율을 증대하기 위하여 한국콘크리트학회 콘크리트표준시방서(2008)에 “고유동 콘크리트” 반영 및 기준 정립에 대한 작업이 이루어 졌으며, 대학 및 기업간의 지속적인 연구를 통하여 시공효율을 크게 향상시킨 HSCC에 대한 현장 구조물 적용이 이루어지고 있다. HSCC는 소요의 유동성 및 점성을 통하여 재료분리나 블리딩이 없으며, 거푸집 타설시 진동 작업 없이 콘크리트 자중만으로 타설이 가능한 콘크리트이다. 또한 HSCC

는 제한된 작업환경 및 과밀 배근된 철근콘크리트 구조물에 서도 타설이 가능하다고 보고되고 있다(Bouzoubaa and Lachemi, 2001). HSCC의 기존연구는 주로 배합설계, 굳지 않은 콘크리트의 특성, 타설 방법 및 투수성등(Zhu *et al.* 2003)에 대하여 많은 연구가 수행되고 있을 뿐 경화 후 철근과 콘크리트의 역학적 거동에 관한 연구는 아직까지 미비한 실정이다.

특히 철근콘크리트 구조물에서 가장 중요한 요구 사항 중 에 하나인 철근과 콘크리트 부착거동에 관한 연구는 CC의 경우 많은 연구자들에 의해 폭 넓게 연구되고 있으나,

\*정회원 · 교신저자 · 세명대학교 토목공학과 교수 (E-mail : crete77@semyung.ac.kr)

\*\*정회원 · 세명대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail : jjg4329@nate.com)

\*\*\* (주)H.B.T 대표이사 (E-mail : hskimwi@empal.com)

\*\*\*\*한국도로공사 재료연구팀 연구원 (E-mail : ath810801@nate.com)

Table 1. 시멘트 및 결합재의 화학성분 및 물리적 성질

Type \ Item	CaO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Insol. (%)	L.O.I (%)	Surface area (cm <sup>2</sup> /g)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
OPC	61.40	21.60	6.00	3.40	3.10	2.50	0.21	0.03	3,540	3.15
SG	42.12	33.33	15.34	5.70	0.44	2.08	-	3.00	4,160	2.90
FA	6.51	58.20	26.28	1.10	7.43	0.30	-	3.20	3,550	2.18
LSP	43.80	11.06	4.13	1.42	1.44	0.30	-	35.66	4,600	2.69

HSCC의 경우에는 연구사례가 적은 실정이다(Xiao and Falkner, 2007). 따라서 본 연구에서는 콘크리트와 철근과의 부착강도에 영향을 미치는 요인 중 철근의 위치를 수평하부 철근(Horizontal reinforcement at Bottom position, HB), 수평상부철근(Horizontal reinforcement at Top position, HT) 및 수직철근(Vertical reinforcement type, V)으로 변화시킨 시험체를 제작하여 3수준의 콘크리트 강도 변화(30, 50 및 70 MPa)에 따른 HSCC 및 CC와 이형철근의 부착 특성을 비교·분석하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트 및 혼화제

시멘트는 밀도 3.15 g/cm<sup>3</sup> 및 분말도 3,540 cm<sup>2</sup>/g의 보통포틀랜드시멘트(이하, OPC로 약함)를 사용하였으며, 분체계 HSCC를 제조하기 위하여 고로슬래그 미분말(이하, SG로 약함), 플라이 애시(이하, FA로 약함) 및 석회석 미분말(이하, LSP로 약함)을 사용하였다. Table 1은 배합에 사용된 시멘트 및 혼화제의 화학성분 및 물리적 성질을 정리한 것이다.

2.1.2 골재

잔골재는 낙동강산 강모래(이하, S로 약함)를 사용하였으며, 굵은골재는 최대치수 20 mm인 석회암질 부순골재(이하, G로 약함)를 사용하였다. Table 2는 굵은골재 및 잔골재의 물리적 성질을 정리한 것이다.

2.1.3 혼화제

HSCC의 유동성 확보를 위하여 혼화제는 국내 H사의 폴리카르본산계 고성능 감수제(이하, SP로 약함) 및 공기량 조절을 위해 공기 연행제(이하, AE로 약함)를 사용하였다.

2.1.4 철근

Table 2. 골재의 물리적 성질

Type \ Item	Gmax (mm)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption (%)	F.M.	Unit volume mass (kg/m <sup>3</sup> )
G	20	2.68	1.01	6.94	1,626
S	-	2.57	2.07	2.76	1,659

Table 3. 이형철근의 물리적 성질

Type \ Item	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
D13	542	628	16

콘크리트의 부착특성을 알아보기 위하여 사용된 철근은 D13 이형철근을 사용하였으며, Table 3은 철근의 물리적 성질을 정리한 것이다.

2.2 배합설계

HSCC 성능평가(분체계) 기준은 국내에서 아직 정립되어 있지 않기 때문에 Table 4와 같은 일본토목학회(JSCE) “자기충전형 콘크리트의 시험 방법” 분체계 2등급 성능기준을 선정하였다(日本土木學會, 2000). Table 4 기준에 만족시키는 기준배합을 선정 한 후 HSCC는 Nan-Su의 배합설계법(Su et al., 2003; Su et al., 2001)을 수정·보완하여 골재의 느슨한 상태에 대한 밀실한 상태의 단위용적질량의 비에 잔골재율에 따라 가중치를 통하여 얻어지는 골재채움률(Packing Factor, PF)값을 적용한 강도별 HSCC의 배합을 실시하였다(Choi et al., 2006; 최연왕 등, 2009).

CC 배합은 현장에서 주로 사용되는 콘크리트 배합을 고려하여 슬럼프 150±20 mm로 배합을 실시하였다. 콘크리트에 사용된 배합표는 Table 5와 같다.

2.3 자기충전성 시험

2.3.1 유동성 시험

HSCC의 유동성 평가 시험방법은 KS F 2594에 준하여

Table 4. JSCE에 제시된 HSCC의 성능평가 기준안

Item	Rank	1	2	3
	Construction condition	Minimum gap between reinforcement (mm)	35-60	60-200
Amount of reinforcement (kg/m <sup>3</sup> )		≥350	100-350	≤100
Flowability	Slump flow (mm)	600-700	600-700	500-650
Segregation resistance ability	Time required to flow through V-funnel (sec)	9-20	7-13	4-11
	Time required to reach 500 mm of slump flow (sec)	5-20	3-15	3-15
Filling height of U-box test (mm)		≥300	≥300	≥300
Absolute volume of coarse aggregate per unit volume of HSCC (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )		0.28-0.30	0.30-0.33	0.32-0.35

Table 5. 콘크리트 배합표

Type	PF	S/a (%)	SG/P (Vol. %)	FA/P (Vol. %)	LSP/P (Vol. %)	W/C	W/P	Unit Mass (kg/m <sup>3</sup> )						SP (P×%)	
								W	P				S		G
									OPC	SG	FA	LSP			
HSCC 30	1.12	49	-	20	20	55	38	178	326	-	56	87	768	848	0.7
HSCC 50	1.12	55	20	10	-	50	37	177	354	93	35	-	866	752	1
HSCC 70	1.07	44	20	10	-	31	23	151	481	126	48	-	656	887	1.5
CC 30	-	45	-	-	-	50	50	178	356	-	-	-	768	979	0.1
CC 50	-	45	-	-	-	35	35	172	492	-	-	-	717	931	0.5
CC 70	-	39	20	-	-	31	25	175	561	129	-	-	551	917	0.8

Slump flow 값을 측정하였으며, CC의 유동성 평가 시험방법은 KS F 2402에 준하여 Slump 값을 측정하였다.

### 2.3.2 재료분리 저항성 시험

HSCC의 재료분리 저항성 시험은 KSCE 2003-03에 준하여 재료분리 저항성능을 측정하였다. V-funnel 유하시간의 경우 시료를 시험장치에 채운 후 하부의 입구를 개방하여 시료가 완전히 흘러내렸을 때까지의 유하시간을 측정하였다.

### 2.3.3 충전성 시험

HSCC의 충전성 평가 시험은 KSCE 2003-01에 준하여 충전성능을 측정하였다. U형 박스에 시료를 채운 후 가운데 칸막이를 들어올려 콘크리트가 철근 사이를 통과하여 상승된 높이와 단차를 측정하였다.

## 2.4 압축강도 및 쪼갬인장강도 시험

콘크리트의 압축강도 시험 방법은 KS F 2405에 준하여 실시하여, 시험용 공시체는 Ø100×200 mm 원주형 몰드에 CC는 2층 8회 다짐을 하고 HSCC는 다짐을 하지 않은 상태에서 제작하였으며, 24시간 후 몰드를 탈형하여 소정의 재령까지 20±3°C의 수조에 침지하여 양생하였다. CC 및 HSCC의 쪼갬인장강도 시험은 압축강도용 공시체와 동일한 방법으로 제조한 콘크리트용 공시체를 이용하여 KS F 2423에 준하여 실시하였다.

## 2.5 시험체 제원, 타설 방법 및 부착시험 방법

본 연구에서는 배합 강도 30, 50 및 70 MPa 범위의 HSCC 및 CC의 부착특성을 비교 검토하기 위하여 수직(V type) 및 수평(H type) 시험체를 제작하였다. 부착시험에 사용된 시편은 KS F 2441에 준하여 Fig. 1처럼 V type 시험체는 150×150×150 mm의 몰드에 수직으로 철근을 배치하였으며, Fig. 2처럼 H type 시험체는 150×150×300 mm의 몰드에 하부로부터 75 mm와 225 mm 위치에 수평으로 철근을 배치하였다. H type의 경우 KS F 2441에 준하여 150×150×300 mm 시험체를 타설 후 14일에 150×150×150 mm인 2개의 입방체가 되도록 쪼개어 상·하부 철근에 대한 위치의 영향을 평가하였다. 또한 CC는 다짐봉을 사용하여 다짐하였으며, HSCC의 경우는 무진동 무다짐으로 타설하였다. 철근은 D13 이형철근을 사용하였고 시험체의 물함 길이는 철근 공칭지름의 4배(50.8 mm)로(원종필 등, 2007) 하

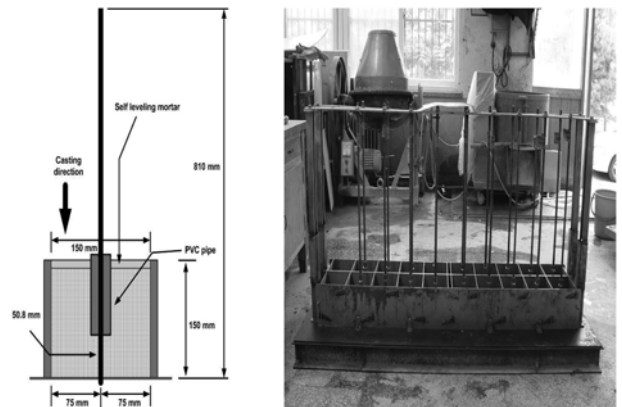


Fig. 1 V 시험체 형상

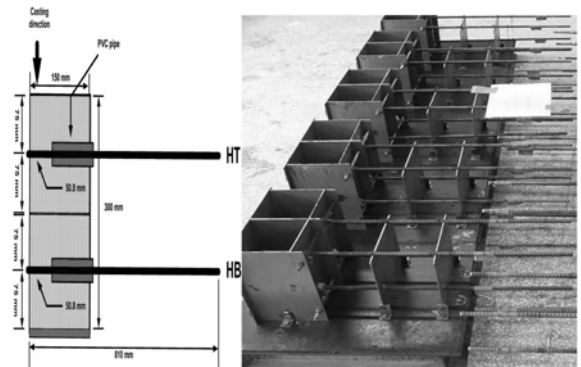


Fig. 2 H 시험체 형상

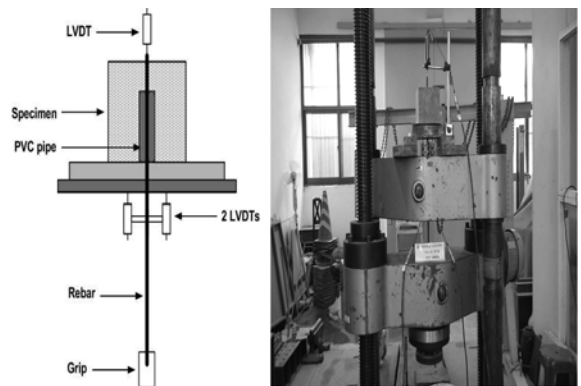


Fig. 3 실험 전경

여 콘크리트가 부착되도록 하였으며, 부착되지 않은 철근은 PVC pipe를 이용하여 비부착 구간이 되도록 하였다. 부착시험은 CSA S806-02 기준(CSA standard, 2002)에 준하여

Fig. 3과 같은 방법으로 실시하였으며, 하중은 1000 kN 용량의 민능재료시험기(UTM)를 이용하여 22,000 N/min의 속도로 가력하였다. 각 하중단계에 따른 Slip량은 시험체 상부에 돌출되어 있는 철근에 LVDT를 설치하여 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 콘크리트의 유동특성

##### 3.1.1 유동성

Fig. 4는 강도수준별 HSCC 및 CC의 유동성능을 평가하기 위하여 Slump flow 및 Slump값을 정리한 것이다. Fig. 4의 결과 HSCC는 HSCC 30 및 50 MPa 경우 JSCE 2등급 규정에서 제시한 Slump flow 600~700 mm 만족하였으며, 가장 높은 배합 강도 값인 HSCC 70 MPa는 700 mm 이상의 Slump flow값이 나타났다. CC 30, 50 및 70 MPa의 경우에는 각각 Slump 170, 150 및 170 mm로 목표 범위인 150±20 mm를 만족하였다.

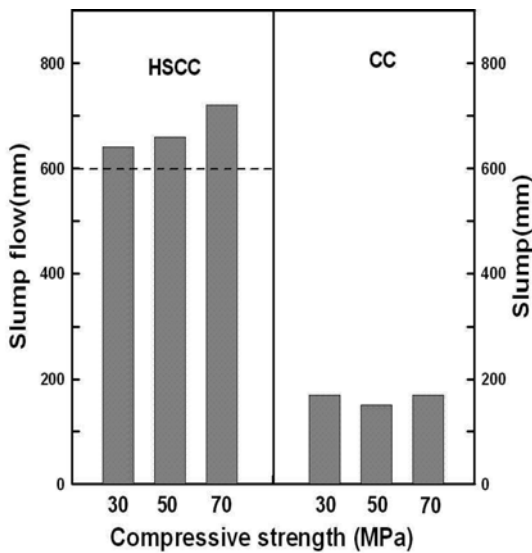


Fig. 4 HSCC의 Slump flow와 CC의 Slump

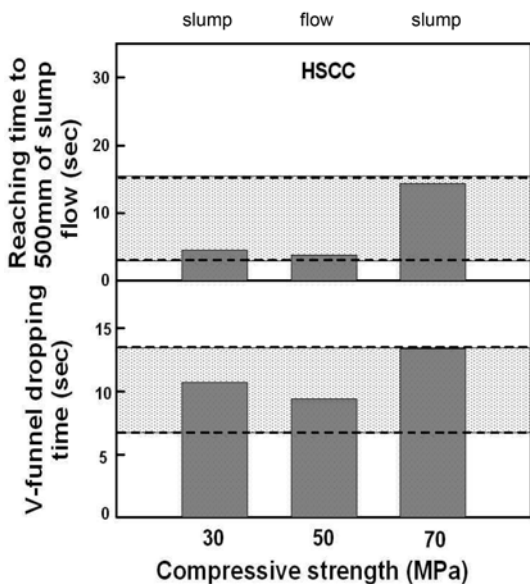


Fig. 5 HSCC의 Slump flow 500 mm 도달시간과 V-funnel 유하시간

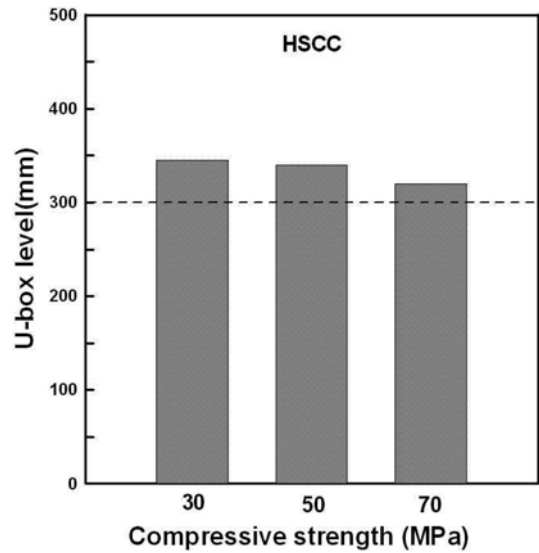


Fig. 6 HSCC의 U-Box 충전높이

##### 3.1.2 재료분리 저항성

Fig. 5는 강도수준별 HSCC의 재료분리저항성을 평가하기 위하여 V-funnel 유하시간과 Slump flow 500 mm 도달시간을 정리한 것이다. Fig. 5의 결과 30, 50 및 70 MPa의 경우 JSCE 2등급 규정을 만족하였다.

##### 3.1.3 충전성

Fig. 6은 강도수준별 HSCC의 충전성을 평가하기 위하여 U-box 충전 높이를 정리한 것이다. Fig. 6의 결과 모든 강도수준별 HSCC는 JSCE 2 등급 규정에서 제시한 300 mm 이상을 만족하였다.

### 3.2 부착강도 특성

#### 3.2.1 부착응력 슬립거동

철근과 콘크리트의 부착응력에 따른 거동을 알아보기 위하여 인발실험을 실시한 결과가 Fig. 7, Fig. 8 및 Fig. 9 이다.

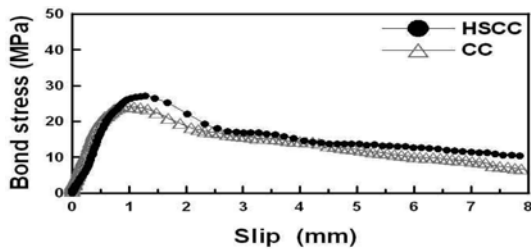
Fig. 7은 철근의 위치를 변화시킨 30 MPa HSCC 및 CC의 부착응력-슬립곡선을 나타낸 것이다. Fig. 7의 결과 수직철근인 V type 및 수평상부철근인 HB type의 HSCC 및 CC의 경우 부착응력-슬립곡선은 유사한 경향을 나타내고 있으며, 최대부착응력 이전의 거동에서 HSCC는 CC보다 선형 구간 및 비선형 구간이 동시에 증가하였다. 이러한 결과는 HSCC가 CC보다 화학적 점착력 및 기계적 부착력이 다소 증가한 것으로 판단된다. 수평상부철근인 HT type의 CC의 경우 초기 선형변형 이후 비선형 구간이 나타나지 않고 바로 최대부착응력에 도달하여 HSCC와 다른 거동이 나타남에 따라 HT type의 CC의 경우 철근리브에 의한 기계적인 부착력이 작용하지 않아 부착강도가 HSCC에 비해 크게 감소한 것으로 판단된다.

Fig. 8은 철근의 위치를 변화시켜 50 MPa HSCC 및 CC의 부착응력-슬립곡선을 나타낸 것이다. Fig. 8의 결과 V type의 경우 HSCC가 CC보다 최대슬립량이 약 2배 증가하였다. 또한 HT type의 경우 HSCC가 CC보다 선형구간 및 비선형 구간이 동시에 증가함에 따라 화학적 점착력 및 기계적 부착력이 다소 증가한 것으로 판단된다.

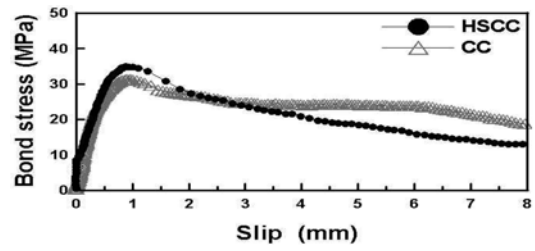
Table 6. 실험결과 요약

Type	Age (days)	$f_c$ (MPa)	$f_t$ (MPa)	Position type	Ultimate bond stress				Mode of failure
					$\tau_u$ (MPa)	HB/V(%) or HT/V(%)	HB/HT	$\tau_u/\sqrt{f_c}$	
HSCC 30	28	36	3.4	V	27	-	1.2	4.5	Pull-out
				HB	23	85		3.8	Pull-out
				HT	19	70		3.2	Pull-out
HSCC 50	28	51	4.1	V	35	-	1.02	4.9	Pull-out
				HB	32	91		4.5	Pull-out
				HT	31	89		4.3	Pull-out
HSCC 70	28	69	5.8	V	36	-	1.03	4.3	Splitting
				HB	35	97		4.2	Pull-out
				HT	34	94		4.1	Pull-out
CC 30	28	33	3	V	25	-	2.1	4.4	Pull-out
				HB	19	76		3.3	Pull-out
				HT	9	36		1.6	Pull-out
CC 50	28	48	3.7	V	31	-	1.1	4.5	Pull-out
				HB	29	94		4.2	Pull-out
				HT	26	84		3.8	Pull-out
CC 70	28	65	5.1	V	35	-	1.25	4.3	Splitting
				HB	35	100		4.3	Pull-out
				HT	28	80		3.5	Pull-out

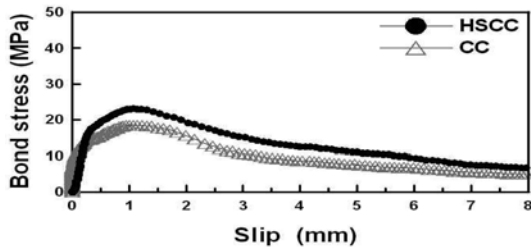
여기서,  $f_c$ : Compressive strength;  $f_t$ : tensile strength;  $t_u$ : ultimate bond strength; V: Vertical reinforcement Type; HB: Horizontal reinforcement at Bottom position; HT: Horizontal reinforcement at Top position



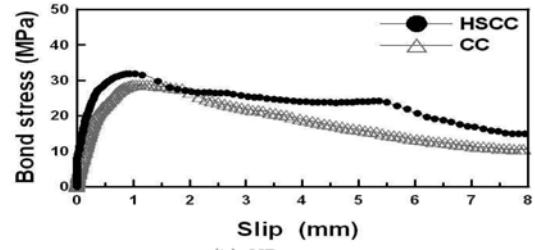
(a) V type



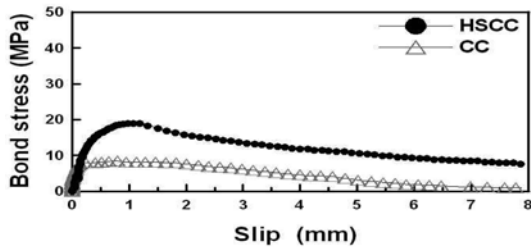
(b) V type



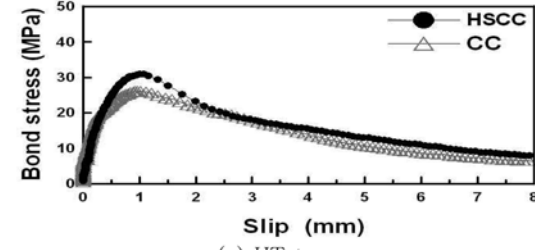
(b) HB type



(b) HB type



(c) HT type



(c) HT type

Fig. 7 부착 응력-슬립 관계 - 30 MPa

Fig. 8 부착 응력-슬립 관계 - 50 MPa

Fig. 9는 철근의 위치를 변화시켜 70 MPa HSCC 및 CC의 부착응력-슬립곡선을 나타낸 것이다. Fig. 9의 결과 V type의 경우 쪼갬균열이 발생하는 취성파괴가 발생하였으며,

이때 균열은 주로 철근의 종방향으로 발생하였다. 횡방향으로는 미세균열만 발생하였으며, HB type의 경우 HSCC 및 CC의 부착응력-슬립곡선의 거동은 유사한 경향이 나타났다.

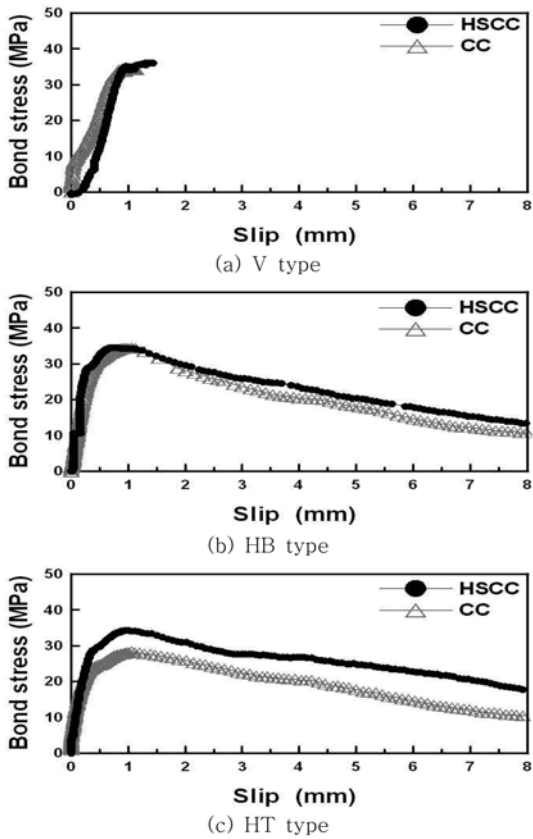


Fig. 9 부착 응력-슬립 관계 - 70 MPa

이러한 결과는 HT type의 경우 HSCC가 CC보다 선형구간 및 비선형 구간이 동시에 증가함에 따라 화학적 점착력 및 기계적 부착력이 다소 증가한 것으로 판단된다.

### 3.2.2 최대 부착강도

콘크리트와 철근의 부착강도를 평가하기 위하여 부착강도는 다음의 계산식(1)으로 실시하였다.

$$\tau_u = \frac{P_{\max}}{\pi d l_a} \quad (1)$$

여기서,

$\tau_u$  = 극한부착강도

$P_{\max}$  = 최대인발하중

$d$  = 철근의 직경

$l_a$  = 철근의 정착길이

Table 6은 HSCC 및 CC의 부착강도 실험 결과이다. Table 6의 결과 수직철근에 대한 수평철근 HSCC 30 HB/V 및 HT/V의 부착강도비는 85 및 70%이며, CC 30 경우는 76 및 36%로 HSCC의 경우 CC보다 수직철근에 대한 수평철근의 부착강도비가 증가하는 경향이 나타났다. 또한 HSCC 50 HB/V 및 HT/V의 부착강도비는 91 및 89%, CC 50 경우 94 및 84%로 HSCC는 CC보다 수직철근에 대한 수평하부철근의 부착강도비보다 다소 감소하였으며, 수직철근에 대한 수평상부철근에서는 증가하는 경향이 나타났다. 또한 HSCC 70 HB/V 및 HT/V의 부착강도비는 97 및 94%이며, CC 70의 경우 100 및 82%로 HSCC는 CC보다 수직철근에 대한 수평하부철근의 부착강도비가 다소 감소하였으며, 수직철근에 대한 수평상부철근에서는 증가하는 경향이 나타났다.

### 3.2.3 상부근 계수

콘크리트 구조체의 경우 상/하부 콘크리트의 강도가 골재의 재료분리 및 블리딩 등의 영향으로 차이가 발생됨에 따라 콘크리트 구조설계기준에서는 이러한 영향을 반영하여 정착길이 설계시 상부근 계수 1.3의 보정계수를 적용하고 있다 (콘크리트구조설계기준, 2007).

본 연구에서는 HSCC 및 CC의 상부근 철근계수를 평가하기 위하여 HB/HT 철근의 부착강도비를 측정하여 정리한 것이 Table 6이다. Table 6의 결과 50, 70의 경우에는 HB/HT의 부착강도비는 1.3 이하가 나타났으며, 보통강도 30MPa의 경우 CC 및 HSCC는 각각 2.1 및 1.2로 나타났다. 특히, 30 MPa의 HB/HT에 대한 부착강도비가 HSCC의 경우 CC보다 낮은 값을 나타낸 이유는 많은 분체량 및 높은 점성과 유동성에 의하여 콘크리트와 철근부착 계면이 보다 밀실하게 채워진 것으로 판단된다. 따라서 높은 보정계수 값이 나타난 30 MPa CC를 구조물에 티설할 경우 골재분리 현상과 블리딩에 의한 상/하부 콘크리트의 부착강도 차이를 유발하게 되어 구조적으로 불리함에 따라 새로운 검토가 필요할 것으로 판단된다.

Table 7. 부착계면 사진

Type	V	HB	HT
HSCC 30			
CC 30			

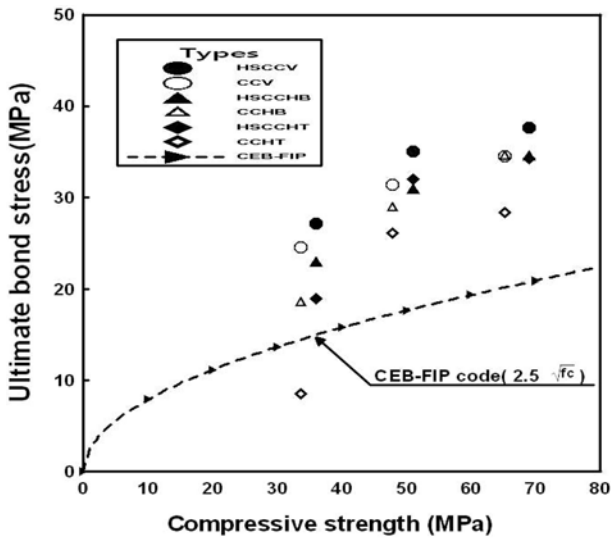


Fig. 10 압축 강도-극한 부착 강도 관계

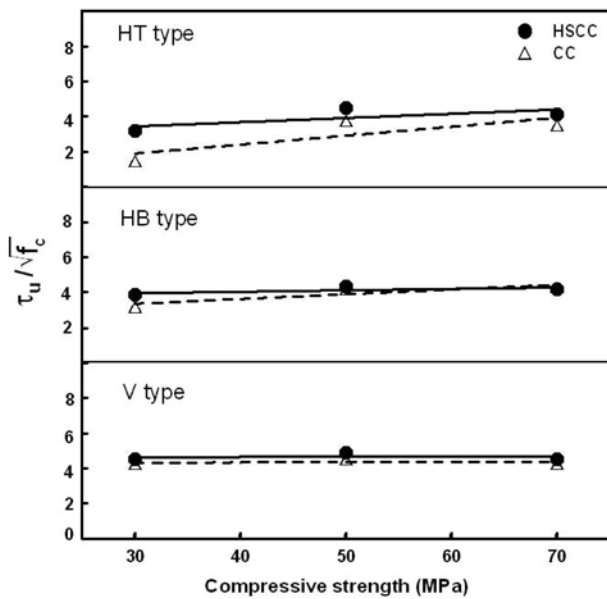


Fig. 11 극한부착응력

### 3.2.4 콘크리트 압축강도와 부착강도의 관계

국내의 연구자 및 연구단체는 철근과 콘크리트의 부착강도에 영향을 미치는 다양한 요소(factor)를 통하여 부착강도에 대한 예측식을 제시하였다. 이러한 예측식은 연구지들에 따라 다양한 식으로 제한되고 있으며 이중 CEB-FIP code가 가장 범용적으로 사용되고 있다(Fernando *et al.*, 2008; 전수만 등, 2008).

Fig. 10은 예측식과 실험결과를 비교하여 나타낸 것이다. Fig. 10의 결과 CC 30 HT경우는 Kemp가 제시한 예측식과 유사하였으며, CC 30 HT를 제외한 모든 배합에서는 기존에 제시된 예측식을 상회하는 결과가 나타났다. 상대부착강도비는 극한부착강도에 콘크리트 압축강도의 제곱근을 나눈 값( $\tau_u / \sqrt{f_c}$ )에 의해 나타낸다(Valcuende and Parra 2009; Xiao, 2007). 압축강도 변화에 따른 부착강도의 관계는 30 MPa의 경우 CC가 HSCC 보다 V type, HB type 및 HT type은 7, 17 및 53% 감소하는 경향을 보였으며, 50 MPa의 경우에는 11, 9 및 16% 감소하였다. 또한 70 MPa의

경우에는 V type 및 HT type은 3 및 18% 감소하였으며, HB type의 경우에는 HSCC와 CC가 동일한 값이 나타났다.

Fig. 11은 압축강도 30, 50 및 70 MPa 수준을 상대 부착강도비( $\tau_u / \sqrt{f_c}$ )로 회귀분석하여 나타낸 것이다. Fig. 11의 결과 V type의 HSCC가 CC와 유사한 경향을 나타냈으며, 보통강도 및 고강도 영역에서 거의 같은 수준을 유지했다. HB type의 경우 보통강도에서는 HSCC가 CC보다 큰값을 나타냈으며, 고강도 영역으로 갈수록 그 차이는 감소하였다. 또한 HT type의 경우 보통강도에서는 HSCC와 CC의 차이가 많이 났으며 고강도 영역에서는 약 14% 차이가 발생하였다. Table 7은 30 MPa의 경화한 콘크리트의 철근을 제거한 후 부착면을 나타낸 사진이다.

Table 7의 결과 HSCC 30 시험체의 경우 철근과 콘크리트 부착면에서 철근의 묻힌 마디를 선명하게 확인할 수 있었다. 그러나 CC 30의 수평상부철근인 HT 경우 철근의 묻힌 마디가 선명하게 나타나지 않고 있으며, 또한 철근과의 부착면에 다량의 기포를 확인할 수 있었다. 이러한 원인은 HSCC 경우 높은 점성에 의해 골재의 재료분리나 블리딩 현상이 적은 반면 CC 경우 시험체 제작시 다짐에 의한 골재의 침강, 타설 후 블리딩 수 및 내부 기포가 표면으로 상승하면서 상부 철근표면에 부착되어 부착력이 떨어지는 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

- 30 MPa의 V type 및 HB type의 경우 최대부착응력 이전의 거동에서 HSCC는 CC보다 선형구간 및 비선형 구간이 동시에 증가하였으며, 또한 HT type의 CC의 경우 초기 선형변형 이후 비선형 구간이 나타나지 않고 바로 최대부착응력에 도달하여 HSCC와 다른 거동을 나타내었다. 50 MPa 및 70 MPa의 HSCC는 CC보다 최대슬립량이 약 2배 증가하였으며, 부착응력-슬립곡선의 거동은 유사한 경향을 나타내었다.
- 30 MPa의 HSCC는 CC보다 수직철근에 대한 수평철근의 부착강도비가 증가하는 경향을 나타내었다. 50MPa의 HSCC는 CC보다 수직철근에 대한 수평상부철근의 부착강도비보다 다소 감소하였으며, 수직철근에 대한 수평상부철근에서는 증가하는 경향을 나타내었다. 70 MPa의 경우 HSCC 70 HB/V 및 HT/V의 부착강도비는 수직철근에 대한 수평상부철근의 부착강도비가 다소 감소하였으며, 수직철근에 대한 수평상부철근에서는 증가하는 경향을 나타내었다.
- 콘크리트 압축강도와 부착강도의 관계는 CC 30 HT의 경우 Kemp가 제시한 예측식과 유사하였으며, CC 30 HT를 제외한 모든 배합에서는 기존에 제시된 예측식을 상회하는 결과가 나타났다.

이상의 실험결과를 통하여 HSCC 30, 50 및 70 MPa의 경우 콘크리트 구조설계기준(2007) 정착길이 설계시 상부근 계수에 제시되는 수평상부철근에 대한 정착길이 보정계수를 CC의 1.3보다는 감소시켜 적용 하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발 사업의 고성능·다가능 콘크리트의 개발 및 활용기술(05 건설핵심 D11-1)의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 원종필, 박찬기, 장창일, 이상우, 김원영(2007) 강섬유 보강 고강도콘크리트와 고장력 철근의 부착 특성, **한국콘크리트학회논문집**, 한국콘크리트학회, Vol. 19, No. 5, pp. 631-637.
- 전수만, 윤현도, 최기선, 유영찬, 김공환(2008) 순환골재 콘크리트와 이형철근의 부착 특성, **한국콘크리트학회논문집**, 한국콘크리트학회, Vol. 20, No. 2, pp. 165-173.
- 최연왕, 정재권, 정우용(2009) 고유동 자기충전 콘크리트의 압축강도수준별 배합특성, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제 29권 제2A호, pp. 163-169.
- 최연왕, 정지승, 문대중, 신화철(2003) 중탄산칼슘 사용 보통강도 자기충전 콘크리트의 배합에 대한 연구, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제23권 제4A호, pp. 627-637.
- 한국콘크리트학회(2007) **콘크리트 구조설계기준**, pp. 139-140.
- 日本土木學會 (JSCE)(2000), 高流動 ヌソクリト施工指針, pp. 40-45.
- Bouzou, N. and Lachemi, M. (2001) Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash Preliminary results, *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, Issue 3, pp. 413-420.

- CSA standard (2002) S806-02 Design and Construction of Building Components with Fiber-Reinforced Polymers. *Canadian Standard Association*.
- Choi, Y.W., Kim, Y.J., Shin, H.C., and Moon, H.Y. (2006) An experimental research on the fluidity and mechanical properties of high-strength lightweight self-compacting concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 36, Issue 9, pp. 1595-1602.
- Fernando, M.A.F., Mounir K. El Debs., and Ana L.H.C. El Debs (2008) Bond-slip behavior of self-compacting concrete and vibrated concrete using pull-out and beam tests, *Materials and Structures*, Vol. 41, No. 6, pp. 1073-1089.
- Su, N., Hsu, K.C., and Chai, H.W. (2001) A simple mix design method for self-compacting concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, Issue 12, pp. 1799-1807.
- Su, N. and Miao, B. (2003) A new method for the mix design of medium strength flowing concrete with low cement content, *Cement and Concrete Composite*, Vol. 25, Issue 2, pp. 215-222.
- Valcuende, M. and Parra, C. (2009) Bond behaviour of reinforcement in self-compacting concrete, *Construction and Building Material*, Vol. 23, Issue 1, pp. 162-170.
- Xiao, J. and Falkner, H. (2007) Bond behaviour between recycled aggregate concrete and steel rebars, *Construction and Building Materials*, Vol. 21, Issue 2, pp. 395-401.
- Zhu, W., Peter, J.M., and Bartos. (2003) Permeation properties of self-compacting concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, Issue 6, pp. 921-926.

(접수일: 2009.1.13/심사일: 2009.2.12/심사완료일: 2009.7.9)