

## 고강도 경량 콘크리트의 부착특성

### Bond Characteristics of High-Strength Light-Weight Concrete



신성우\*

Shin, Sung-Woo



이광수\*\*

Lee, Kwang-Soo



최명신\*\*\*

Choi, Myung-Shin



김현식\*\*\*\*

Kim, Hyun-Sik

#### ABSTRACT

Recently, it is increased the use of High-Strength Light-Weight Concrete(HLC) in the high-rise buildings and mega-structures. But there are a few research on the bond behavior of HLC, so it need to study about that.

The present study was performed to investigate the bond characteristics of HLC. Major test variables include concrete compressive strength( $f'_c$ ), concrete cover(C), bond length ( $l_{db}$ ), and bar diameter( $d_b$ ).

Test results indicate that the bond stress of HLC is increased with the increment of  $\sqrt{f'_c}$  and concrete cover, bond stress is decreased with increment of bond length and bar diameter. And the final failure mode such as splitting or pullout failure is significantly affected by the concrete cover to bar diameter ratios( $C/d_b$ ).

Test results were compared with ACI code and other proposed equations. The bond stress of HLC is higher than that of normal-strength normal-weight concrete, but lower than that of high-strength normal-weight concrete. Considering the present test results, modification factor( $\lambda = 1.3$ ) of bond length in ACI 318-95 code for light-weight concrete is may have to be reviewed to apply to HLC.

Keywords : bond stress, High-strength Light-weight Concrete(HLC), concrete compressive strength, concrete cover, bond length, splitting failure, pull-out failure

\* 정회원, 한양대학교 건축공학부 교수

\*\* 정회원, 여주대학 조교수

\*\*\* 한양대학교 대학원 박사과정

\*\*\*\* 한양대학교 대학원 석사과정

• 본 논문에 대한 토의를 1999년 8월 30일까지 학회로 보내  
주시면 1999년 10월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

# 1. 서 론

철근콘크리트 구조는 작용하중에 대하여 철근과 콘크리트가 일체로 거동한다는 가정하에 성립되며, 두 재료 사이의 부착파괴가 방지되어야 한다. 또한 철근콘크리트 부재는 작용하중하에서도 인장부에 균열이 발생하기 쉬우며, 균열발생시 응력재분배현상이 발생하므로 철근에서 콘크리트로의 힘의 전달은 매우 중요하게 다루어지고 있다.<sup>(1)</sup>

철근의 부착특성은 Orangun<sup>(2)</sup>, Zsutty 및 David Darwin<sup>(3)</sup> 등에 의해서 많은 연구가 이루어졌으며, 1990년 M. A. Sozen & J. P. Moehle의 보고서는 1955년 Ferguson & Breen의 실험으로부터 1989년 Treece & Jirsa의 실험에 이르는 수많은 실험데이터들을 정리 분석한 것으로 ACI 318-95 Code 개정애 매우 큰 영향을 미쳤다.<sup>(4)</sup>

최근들어 그 필요성이 증대되고 있는 경량 콘크리트의 경우, 부착강도의 저하를 고려하여 ACI 규준에서는 부착길이 보정계수( $\lambda=1.3$ )를 도입하여 안전율을 높이고 있다. 그러나 이는 보통강도 콘크리트를 기준으로 한 값이므로 경량 콘크리트의 고강도화에 따른 부착강도의 상승을 고려하여 경량 콘크리트 부착길이 보정계수에 대한 검토가 필요하다고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 경량 콘크리트의 고강도화에 따른 부착성능 향상 및 피복두께, 부착길이, 철근직경 변화에 따른 부착특성을 규명하고 이를 보통중량 콘크리트와 비교하여, ACI 규준에서 정하고 있는 경량콘크리트에 대한 부착길이 보정계수와 피복두께에 대한 보정계수의 적정성 여부를 판단하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 사용재료

본 연구에서 사용한 콘크리트는 굵은 골재로 인공경량 골재를 사용한 sand light-weight concrete로써 콘크리트와 철근의 재료실험 결과는 Table 1~2와 같다.

Table 1 Results of Concrete Strength Test

Design Strength $f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Compressive Strength (kg/cm <sup>2</sup> )			Splitting Tensile Strength (kg/cm <sup>2</sup> )			Modulus of Elasticity $E_c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) $\times 10^5$
	7일	28일	56일	7일	28일	56일	
270 (340)	249	331	340	17.8	23	23.8	2.17
350 (439)	337	388	439	23	28	28.6	2.36
450 (478)	374	443	478	27.3	31.8	35	3.52

Table 2 Results of Steel Strength Test

Bar Diameter	$E_s$ ( $\times 10^6$ )	$\sigma_y$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon_y$ ( $\times 10^{-6}$ )	$\sigma_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	연신률 (%)
D13	2.42	4769	1972	7237	19.38
D22	2.03	4650	2012	6613	21.02

### 2.2 실험변수

본 연구에서는 콘크리트의 압축강도( $f'_c$ ), 피복두께(C), 부착길이( $l_{ab}$ ) 및 철근직경( $d_b$ )을 변수로 하여 총 36개의 실험체를 제작하였다. 콘크리트 압축강도는 설계강도가 270, 350, 450 kg/cm<sup>2</sup>이고, 실험체 강도는 56일에 측정된 340, 439, 478 kg/cm<sup>2</sup>이다. 철근은 D13과 D22를 사용하였으며, 피복두께는 3, 4, 5cm로써 D22는 각각 1.36 $d_b$ , 1.82 $d_b$ , 2.27 $d_b$ , D13은 각각 2.36 $d_b$ , 3.08 $d_b$ , 3.94 $d_b$ 로 하여 철근직경 및 피복두께비(C/ $d_b$ )의 영향을 검토하였다. 부착길이는 uniform stress가 작용하는 것으로 가정하기 위해서 4 $d_b$ , 5 $d_b$ 로 짧게 선정하였다. 실험체명 LLA-1-4의 의미는 다음과 같다.

L:Light-weight Concrete

L:Low Strength(M: Middle, H:High)

A:Cover 3cm (B:4cm, C:5cm)

1:Bar Diameter D13 (2:D22)

4:Bond Length 4 $d_b$  (5:5 $d_b$ )

Table 3 Test Variables

Concrete Strength $f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Concrete Cover C(cm)	Bond Length $l_{ab}$	Bar Diameter $d_b$
340	3	4 $d_b$	D13
439	4	5 $d_b$	D22
478	5		



Fig. 1 Test Apparatus

### 2.3 실험체 제작 및 실험방법

실험체 제작시 부착길이를 조절하기 위하여 P.V.C. Pipe를 이용하였다.

실험방법은 가력장치에 실험체를 설치한 후 Oil Jack을 이용하여 철근에 직접 인발력을 가하였다. 철근의 실제슬립을 측정하기 위하여 재하단 및 자유단에 LVDT를 설치하였고, 콘크리트 상부에도 LVDT를 설치하여 콘크리트의 회전변형(tipping)을 측정하였다.

실험체 설치상황은 Fig.1에, 실험체 상세는 Fig.2에 나타내었다.

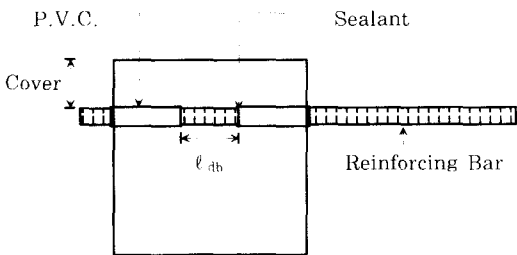


Fig. 2 Specimen Details

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 파괴양상

철근의 인장력이 콘크리트로 전달됨에 따라 철근 주위의 콘크리트에는 원주방향의 인장응력이 발생하게 되며, 철근 주위의 콘크리트의 체적이 충분하지 않을 경우에는 이 응력으로 인하여 쪼개짐 파괴가 발생하고, 철근주위 콘크리트의 체적이 충분하거나 횡방향 철근에 의해서 구속되어 있는 경우에는 철근 마디 사이의 콘크리트에 작

용하는 전단력에 의해서 뿔힘파괴가 발생하게 된다. 그리고 콘크리트의 인장력과 철근과 콘크리트의 부착력이 철근의 항복강도보다 큰 경우에는 철근의 인장파괴가 발생한다.<sup>(1)</sup>

실험결과 파괴양상은 Fig. 3과 같이 콘크리트 피복두께에 따라 쪼개짐 파괴와 뿔힘 파괴로 나타났다. D22의 경우 피복두께비( $C/d_b$ ) 1.36 $d_b$ , 1.82  $d_b$ , 2.27 $d_b$ 에서 모두 쪼개짐 파괴를 일으켰으며, D13의 경우 2.36 $d_b$ 에서 모두 쪼개짐 파괴를, 3.94 $d_b$ 에서는 모두 뿔힘 파괴를 일으켰다. 피복두께비 3.15 $d_b$ 의 경우 초기에는 콘크리트의 전단파괴(뿔힘파괴)와 쪼개짐 파괴가 동시에 진행되다가 최종파괴시에는 쪼개짐 파괴를 나타내어 쪼개짐 균열이 매우 작고, 부착력 또한 크게 나타났다.



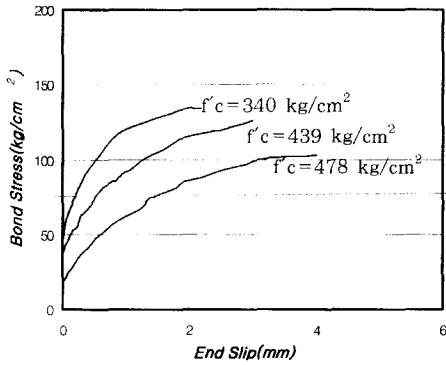
(a) $C=2.36d_b$  (b) $C=3.15d_b$  (c) $C=3.94d_b$

Fig. 3 Final Failure Mode(D13)

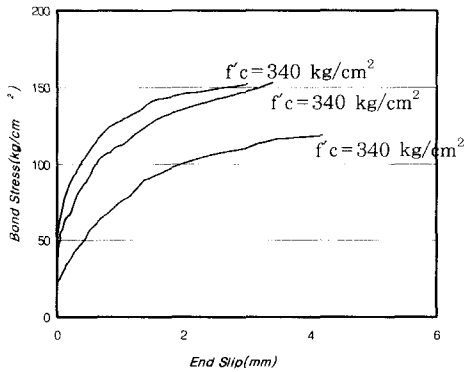
### 3.2 부착응력-슬립 관계

슬립은 콘크리트와 철근의 화학적 접촉력이 더 이상 부착에 저항을 하지 못하고 마찰의 단계로 전이되면서 크게 증가하며, 0.25mm를 임계 슬립으로 하고 있다.<sup>(5)</sup> 본 연구결과 임계부착응력은 최대부착응력의 약 55.6 %로 실험체 전체에 비슷하게 나타났다.

부착응력-슬립 곡선은 콘크리트 압축강도에 따라 다음 Fig.4와 같이 나타난다.



(a) Cover=2.36d



(b) Cover=3.94db

Fig. 4 Bond Stress-Slip Relation

비교하면 D13은 1.18배, 1.23배, D22는 1.11배, 1.14배로 증가하는 것으로 나타났다.

부착응력을 콘크리트 압축강도 제곱근으로 나타낸 값( $\mu/\sqrt{f'_c}$ )과 콘크리트 압축강도를 비교하면 Fig.5와 같다. 일반적으로 콘크리트 압축강도가 부착응력에 미치는 영향은 압축강도가 증가할수록 감소한다고 알려져 있으나<sup>(7)</sup>, Fig. 5와 같이 압축강도가 증가하여도  $\mu/\sqrt{f'_c}$ 는 일정한 값을 나타내고 있어 콘크리트 압축강도 478 kg/cm<sup>2</sup>의 제한된 범위내에서 부착응력은 압축강도의 제곱근에 비례하여 증가하는 것으로 나타났다.

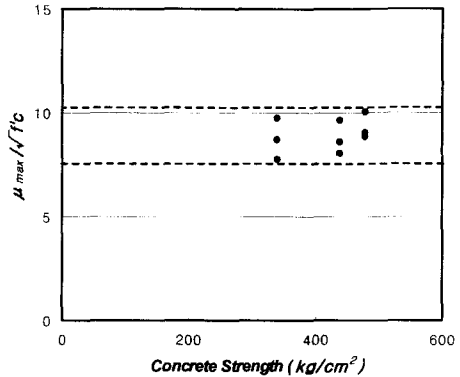


Fig. 5 Bond Stress by Concrete Strength

### 3.3 변수에 따른 부착응력 비교

철근이 인장력을 받을 때 철근에서 콘크리트로 전달되는 응력은 각 위치마다 다르므로, 부착응력은 철근 길이에 따라 다르게 분포하게 된다. 그러나 기존연구결과에 의하면 철근에 작용하는 부착응력은 대체로 선형분포<sup>(6)</sup>를 나타내어 uniform stress를 가정할 수 있다. 따라서 다음 식에 따라 평균 부착응력을 계산하였으며, 실험결과를 Table 4에 나타내었다.

$$\mu = P/\Sigma_0 \quad P : \text{최대부착강도} \\ \Sigma_0 : \text{철근의 부착면적}$$

#### 3.3.1 압축강도에 따른 부착응력

실험결과 콘크리트 압축강도가 증가함에 따라 부착응력은 그 제곱근에 비례하여 증가하는 것으로 나타났다. 콘크리트 압축강도 340 kg/cm<sup>2</sup>을 기준으로 하여 439, 478kg/cm<sup>2</sup>의 부착응력을

#### 3.3.2 피복두께에 따른 부착응력

피복두께가 증가함에 따라 부착응력은 증가하는 것으로 나타났으며, 실험결과는 Fig.6과 같다. D13의 부착응력은 피복두께 2.36db를 기준으로 3.15db는 1.05배, 3.94db는 1.15배, D22의 경우 1.36db를 기준으로 1.82db는 1.07배, 2.27db는 1.22배로 증가하였다.

피복두께 증가에 따라 부착응력이 증가하는 것은 철근 주위의 콘크리트의 체적이 충분할 경우 철근에서 콘크리트로의 응력 전달이 충분히 이루어지기 때문이며, 콘크리트 압축강도가 증가하여도 이러한 증가영향은 대체로 일정하게 나타났다.

#### 3.3.3 철근직경에 따른 부착응력

철근직경이 증가함에 따라 부착응력은 감소하였으며, 실험결과는 Fig.7과 같다. 철근직경이 D13에서 D22로 증가할 경우 부착응력은 0.62배로 감소하였다.

철근직경 증가에 따라 부착응력이 감소하는 것은 직경이 큰 철근을 사용하게 되면 콘크리트와의 부착면적이 커지고, 직경이 작은 철근에 비해 상대적으로 피복두께가 작아지기 때문이며, 콘크리트 압축강도가 증가하여도 이러한 감소영향은 대체로 일정하게 나타났다.

### 3.3.4 부착길이에 따른 부착응력

부착길이가 증가함에 따라 부착응력은 감소하는 것으로 나타났으며, 실험결과는 Fig.8과 같다. 부착길이가 4db에서 5db로 증가할 경우 부착응력은 D13은 0.82배, D22는 0.87배로 감소하였다.

부착길이 증가에 따라 부착응력이 감소하는 것은 철근 직경의 증가와 마찬가지로 콘크리트와의 부착면적이 커지게 되므로 부착응력의 감소를 가져오게 되기 때문이며, 이러한 증가영향은 콘크리트 압축강도가 증가할수록 큰 것으로 나타났다.

## 4 기존식과의 비교분석

### 4.1 압축강도의 영향 비교

부착응력은 콘크리트 압축강도의 제곱근(할렐 인장강도)에 비례하는 것으로 알려져 있으며, 기존의 연구결과와 ACI 기준식에서 부착응력은 콘크리트 압축강도 제곱근의 항으로 표현되어 있고, 경량 콘크리트를 사용할 경우 이 식을 그대로 사용하되 부착응력의 저하를 고려하여 보정계수를 적용하게 되어 있다. 그러나 경량 콘크리트를 고

강도화함에 따라 어느 정도 부착 응력의 증진이 있을 것이므로, 이를 조사하기 위하여 부착응력에 미치는 압축강도의 영향을 보통중량 콘크리트와 비교하여 Fig.9에 나타내었다.

기존의 실험결과와 본 실험결과를 비슷한 조건에서 비교하기 위하여 D22, 피복두께 1.5~5.5db, 부착길이 4~5db의 범위에서 비교하였다.

실험결과는 동일한 콘크리트 강도에서 보통중량 콘크리트(Choi-Shin)<sup>(5)</sup>보다 작은 값을 나타내게 된다.

그러나 압축강도 340~478kg/cm<sup>2</sup> 사이의 고강도 경량 콘크리트(this test)<sup>(1)</sup>의 부착응력은  $7.85\sqrt{f'_c}$ 로 278~470kg/cm<sup>2</sup>의 보통강도 콘크리트(Oh)<sup>(1)</sup>의  $7.8\sqrt{f'_c}$ 보다는 크게 나타났다. 기존의 고강도 경량 콘크리트 실험결과(Jung)<sup>(8)</sup>인  $6.2\sqrt{f'_c}$ 는 247~362 kg/cm<sup>2</sup> 범위위에서 lower bound로 분석한 것이므로 이를 부착응력의 평균값으로 나타내면 본 실험결과와 유사한 결과를 보이게 된다.

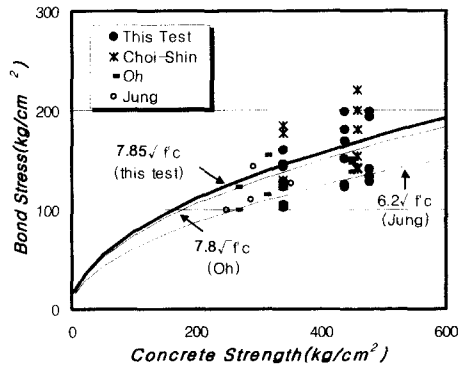


Fig. 9 Comparison of Correlation of Bond Stress and  $\sqrt{f'_c}$

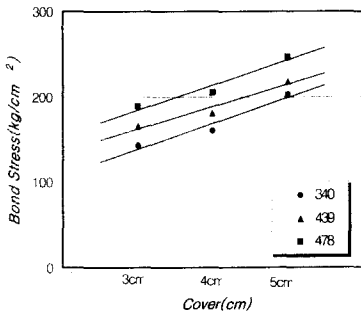


Fig. 6 Bond Stress by Concrete Cover

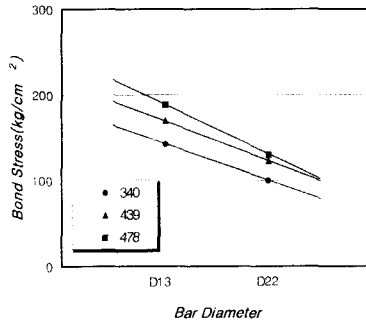


Fig. 7 Bond Stress by Bar Diameter

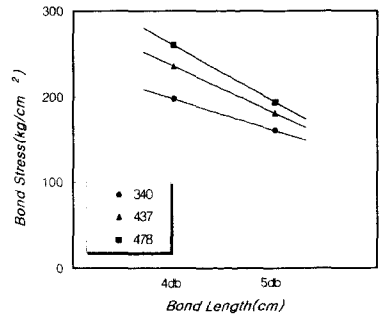


Fig. 8 Bond Stress by Bond Length

#### 4.2 ACI 및 기존 제안식과의 비교

ACI 318-95 규준에서는 피복두께비( $C/d_b$ )가 2.5 이하일 경우 부착응력을  $\mu = 1.58\sqrt{f'_c}$ 로 하여 부착길이를 다음과 같이 산정하고 있다.<sup>(9),(10)</sup>

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{3}{10.6} \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{(-c + K_{tr})}$$

여기서  $\alpha$ (철근위치),  $\beta$ (철근피복),  $\gamma$ (철근직경),  $\lambda$ (경량콘크리트) 그리고  $(c + K_{tr})/d_b$ (횡보강지수, 피복두께)의 보정계수를 위의 기본식에 적용한다.<sup>(9)</sup>

Zsutty 등에 의해 제안된 식은 보통중량 보통강도 콘크리트에 대한 것으로 다음과 같다.<sup>(5)</sup>

$$\mu = 23.79(f'_c)^{1/3}(d_b/\ell_d)^{1/2}(C/d_b)^{1/2}$$

Choi-Shin 제안식은 보통중량 고강도 콘크리트를 대상으로 하며 다음과 같다.<sup>(8)</sup>

$$\mu = 6.31(f'_c)^{1/2}(C/d_b)^{1/3}$$

본 연구결과와 각 식에 대한 계산결과를 Table 4에, 실험결과와 각 제안식을 비교하여 Fig.10에 나타내었다. 실험결과는 ACI 규준식의 1.63배, Zsutty 제안식의 1.47배, Choi-Shin 제안식의 평균 0.97배로 고강도 경량 콘크리트의 부착응력

Table 4 Comparison of Test Results and Proposed Eq.

Specimen	$f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	(1) $\mu_{test}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	(2) $\mu_{ACI}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	(3) $\mu_{Zsutty}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	(4) $\mu_{Choi-Shin}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	(1)/ $\sqrt{f'_c}$	(1)/(2)	(1)/(3)	(1)/(4)	
LLA-1-4	340	114.48	91.08	109.71	153.75	6.2	1.25	1.04	0.74	
LLA-2-4		105.23	45.99	92.06	129.62	5.7	2.28	1.14	0.81	
LLA-1-5		143.15	85.94	98.13	153.75	7.76	1.66	1.45	0.93	
LLA-2-5		100.36	45.99	82.34	129.62	5.44	2.18	1.21	0.77	
LLB-1-4		197.77	91.45	120.75	169.23	10.8	2.16	1.63	1.17	
LLB-2-4		122.82	53.02	101.33	152.98	6.7	2.3	1.21	0.80	
LLB-1-5		160.47	91.45	108.00	169.23	8.7	1.75	1.48	0.95	
LLB-2-5		102.99	53.02	90.63	142.01	5.6	1.94	1.13	0.73	
LLC-1-4		202.48	91.45	130.08	182.29	11.0	2.21	1.55	1.11	
LLC-2-4		145.84	53.02	109.15	152.97	7.9	2.75	1.33	0.95	
LLC-1-5		202.29	91.45	116.34	182.29	11.0	2.21	1.73	1.11	
LLC-2-5		127.59	53.02	97.63	152.97	6.9	2.41	1.3	0.83	
LMA-1-4		439	199.18	97.66	119.47	174.71	9.5	2.04	1.66	1.14
LMA-2-4			124.46	52.25	100.25	146.61	5.9	2.38	1.24	0.85
LMA-1-5	169.50		97.66	106.85	174.71	7.7	1.73	1.58	0.97	
LMA-2-5	123.25		52.25	89.67	146.61	5.9	2.36	1.37	0.84	
LMB-1-4	260.39		103.45	131.49	200.65	12.4	2.52	1.98	1.13	
LMB-2-4	134.78		60.24	110.34	161.36	6.43	2.23	1.22	0.83	
LMB-1-5	180.34		103.45	117.61	192.29	8.6	1.74	1.03	0.94	
LMB-2-5	126.27		60.24	98.69	161.36	6.0	2.01	1.27	0.78	
LMC-1-4	252.85		103.45	141.64	207.64	12.1	2.44	1.83	1.25	
LMC-2-4	180.85		60.24	118.86	173.82	8.6	3.00	1.52	1.04	
LMC-1-5	202.18		103.45	126.69	207.64	9.6	1.95	1.59	0.97	
LMC-2-5	109.17		60.24	106.31	173.82	5.21	1.82	1.03	0.63	
LHA-1-4	478		265.01	101.90	122.90	182.31	12.1	2.6	2.15	1.45
LHA-2-4			128.74	54.53	103.13	152.98	5.9	2.36	1.24	0.84
LHA-1-5		198.52	101.90	109.93	182.31	9.1	3.6	1.83	1.09	
LHA-2-5		121.01	54.53	92.25	152.98	5.5	2.22	1.52	0.79	
LHB-1-4		235.44	107.95	135.27	200.65	10.8	2.18	1.59	1.17	
LHB-2-4		143.04	62.86	113.51	168.38	6.5	2.27	1.02	0.85	
LHB-1-5		193.51	107.95	120.99	200.65	8.8	1.79	2.15	0.96	
LHB-2-5		133.77	62.86	101.53	168.38	6.1	2.13	1.24	0.79	
LHC-1-4		172.09	107.95	145.52	216.15	7.87	1.59	1.18	0.80	
LHC-2-4		169.78	62.86	122.28	181.38	7.76	2.70	1.39	0.94	
LHC-1-5		246.36	107.95	130.33	216.15	11.3	2.28	1.89	1.14	
LHC-2-5		141.66	62.86	109.37	181.38	6.5	2.25	1.29	0.78	

은 보통강도 콘크리트 보다 큰 값을 나타내며, 오히려 고강도 콘크리트와 비슷한 값을 나타내었다.

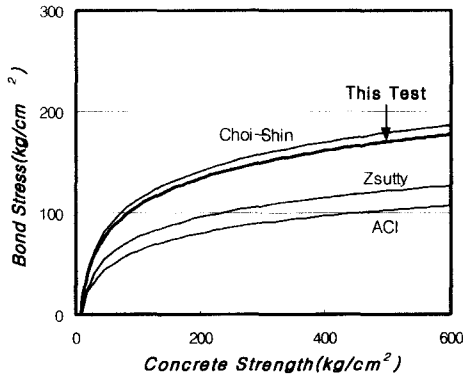


Fig. 10 Comparison of Test Results and Proposed Eq.

### 4.3 ACI 규준식의 보정계수

#### 4.3.1 피복두께에 대한 보정계수

ACI 규준에서는 피복두께에 대한 보정계수로  $(C+K_{tr})/d_b$ 가 2.5 이상인 경우  $\alpha=0.8$ 을 사용한다.<sup>(10)</sup> 보통 안전을 고려하여 스테럽이나 후프 등에 의한 횡보강지수  $K_{tr}=0$ 으로 하므로  $C/d_b$ 가 2.5이하일 경우에  $\alpha=0.8$ 을 적용하게 된다. 그러나 경량 콘크리트에서도 이것을 그대로 사용할 수 있는지 검토하기 위해서 콘크리트 압축강도에 대한 부착응력( $\mu/\sqrt{f'_c}$ )과 피복두께비( $C/d_b$ )와의 관계를 Fig.11에 나타내었다. 피복두께 2.5 $d_b$  이하에서는  $\mu/\sqrt{f'_c}=5.53$ , 2.5 $d_b$  이상에서는  $\mu/\sqrt{f'_c}=6.99$ 로 피복두께 2.5 $d_b$ 를 기준으로 부착응력은 0.79배 차이가 난다. 그러므로 고강도 경량 콘크리트에서도 피복두께 2.5 $d_b$ 를 이상일 때 보정계수 0.8을 그대로 적용할 수 있음을 알 수 있다.

#### 4.3.2 경량 콘크리트에 대한 보정계수

ACI 규준에서는 경량 콘크리트를 사용할 경우  $\lambda=1.3$ , 또는  $1.8\sqrt{f'_c} / f_{ct}$ 의 보정계수를 사용하고 있다.<sup>(10)</sup> 본 연구에서는  $f_{ct}$ 가 규정되어 있지 않을 경우에도 사용할 수 있는  $\lambda=1.3$ 에 대해서 검토하였다.

부착응력은 피복두께 2.5 $d_b$  이하일 경우  $\mu/\sqrt{f'_c}=5.53$ 로 규준식 4.95 보다 1.12배 크고,

2.5 $d_b$  이상에서도  $\mu/\sqrt{f'_c}=6.99$ 로 규준식 6.19 보다 1.13배 큰 값을 갖는다. 그리고 규준식에 경량 콘크리트에 대한 부착길이 보정계수  $\lambda=1.3$ 을 적용하여 비교하면, 2.5 $d_b$  이하에서  $\mu/\sqrt{f'_c}=3.82$ , 2.5 $d_b$  이상에서는 4.95로 실험결과는 규준식의 1.45배, 1.42배가 된다.

따라서 경량 콘크리트에 대한 길이 보정계수  $\lambda=1.3$ 을 고강도 경량 콘크리트에 적용할 경우 경량 콘크리트의 고강도화를 고려하여 하향조정하여야 할 것으로 판단된다.

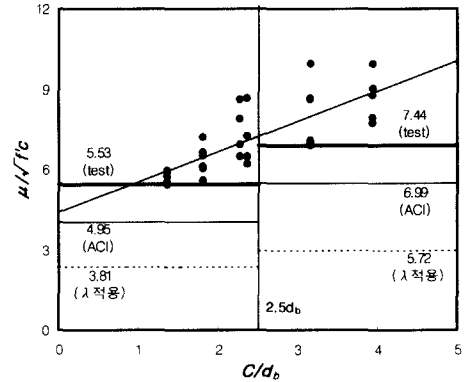


Fig. 11 Comparison of Test Result and ACI Code

## 5. 결론

고강도 경량 콘크리트의 부착특성에 대한 본 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 고강도 경량 콘크리트의 부착응력은 콘크리트 압축강도 478 kg/cm<sup>2</sup>의 범위내에서는 대체로 압축강도 제곱근( $\sqrt{f'_c}$ )에 비례하여 증가하는 것으로 나타났다.
- 2) 고강도 경량 콘크리트의 부착응력은 피복두께가 증가함에 따라 증가하였고, 철근직경과 부착길이 증가함에 따라 감소하였으며, 부착길이 증가에 따른 부착응력의 감소영향은 콘크리트 압축강도가 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다.
- 3) 고강도 경량 콘크리트의 부착응력은 보통중량 보통강도 콘크리트(Zsutty 제안식)의 1.46배, 고강도 콘크리트(Choi-Shin 제안식)의 0.97배로 동일한 강도의 보통중량 콘크리트에 비해서 부착응력이 크게 떨어지지 않으며, 보통강도 콘크

리트보다 큰 것으로 나타났다.

- 4) 고강도 경량 콘크리트의 부착응력은 피복두께  $2.5d_b$ 를 기준으로 0.79배 정도 차이가 나므로 ACI 규준식의 피복두께에 대한 보정계수 0.8을 고강도 경량 콘크리트에도 적용할 수 있을 것으로 판단된다.
- 5) 경량 콘크리트의 보정계수  $\lambda = 1.3$ 을 고강도 경량 콘크리트에 적용할 경우, 경량 콘크리트의 고강도화에 따른 부착강도의 상승효과를 고려하여 하향조정 되어야 할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 '96년도 건설교통기술 연구개발 사업의 일환으로 실시되었으며, 연구 진행과정에서 많은 도움을 주신 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터와 고려산업개발(주)에 감사드립니다.

### 참고문헌

- (1) 오병환, "철근콘크리트 부재의 뽑힘 부착특성 연구", 콘크리트 학회, 제 4권 3호, 1992년 2월, pp 113-121
- (2) Orangun, C. O. et al., "Reevaluation of Test Data on Development Length and Splice", ACI Journal, Proceedings, V. 74, No. 3, Mar., 1977, pp. 114-122

- (3) David Darwin, et al, "Development Length Criteria: Bars Not Confined by Transverse Reinforcement", ACI, Structural Journal, November-December 1992, pp. 709-720
- (4) Mete A. Sozen and Jack P. Moehle "Development and Lap-Splice Lengths for Deformed Reinforcing Bars in Concrete", University, IL and Berkely, CA, August 1990
- (5) 최중수, "고강도 콘크리트에 매립된 철근의 부착특성", 한양대학교 석사학위논문, 1994 12월
- (6) Atorod Azizinamini, Mark Stark, John J. Roller and S. K. Ghosh "Bond Performance of Reinforcing Bars Embedded in High-Strength Concrete, ACI Structural Journal, Sep.-Oct. 1993, pp 554~561
- (7) 홍건호 신영수 정일영, "고강도콘크리트의 부착특성에 관한 연구" 콘크리트학회, 제8권 5호, 1996년 10월, pp 155-162
- (8) 배지운 유영기 정현수, "고강도 경량 콘크리트를 사용한 철근콘크리트 부재의 부착특성에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 제16권 제1호, 1996년 4월, pp 277-282
- (9) 이리형 외 7인 "ACI 318코드 개정에 따른 이음, 정착 길이의 변화에 관한 비교연구", 대한건축학회 제17권 제1호, 1997년 4월, pp 559-564
- (10) ACI committee 318 "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (318-95)", ACI, Detroit, 1995

### 요 약

최근들어 그 필요성이 증대되고 있는 경량 콘크리트의 경우, 부착강도의 저하를 고려하여 ACI 규준에서는 부착길이 보정계수를 도입하여 안전율을 높이고 있으나, 경량 콘크리트가 고강도화됨에 따라 어느 정도 부착강도의 증진이 있을 것으로 판단된다. 따라서 ACI 규준에서 정하고 있는 경량 콘크리트에 대한 부착길이 보정계수  $\lambda = 1.3$ 을 고강도 경량 콘크리트에 적용할 경우 그 적정성 여부에 대한 검토가 필요하다.

본 연구에서는 고강도 경량 콘크리트의 부착특성을 알아보기 위하여 콘크리트 압축강도, 피복두께, 철근직경, 부착길이 등을 변수로 하여 Pull-out 실험을 실시하였다.

실험결과 부착응력은 콘크리트 압축강도 제곱근과 피복두께가 증가함에 따라 증가하였고, 철근직경과 부착길이가 증가함에 따라 감소하였으며, 파괴양상은 피복두께에 따라 쪼개짐 파괴와 뽑힘 파괴를 나타내었다. 고강도 경량 콘크리트의 부착응력을 보통중량 콘크리트에 대한 기존의 제안식 및 ACI 규준식과 비교하면 고강도 콘크리트보다는 작고, 보통강도 콘크리트보다는 큰 값을 나타낸다.

따라서 ACI 규준에서 정하고 있는 경량 콘크리트 부착길이 보정계수를 고강도 경량 콘크리트에 적용할 경우 경량 콘크리트의 고강도화에 따른 부착응력 상승효과를 고려하여 하향조정하여야 할 것으로 판단된다. 또한 피복두께  $2.5d_b$  이상일 경우 적용하는 피복두께 보정계수 0.8은 고강도 경량 콘크리트에도 그대로 적용할 수 있음을 알 수 있다.

(접수일자 : 1998. 2. 14)