

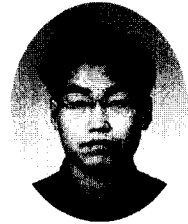
---

# 횡구속 영향을 고려한 부착 및 정착길이 설계 개선 안

Proposed Design Provisions for Bond and Development Length  
Considering Effects of Confinement



최완철\*  
Choi, Oan-Chul



김상준\*\*  
Kim, Sang-Jun

---

## ABSTRACT

Confinement is one of the major concepts for bond of reinforcing steel to concrete. Cover distance, and lateral reinforcement are the key factors for current provisions for development and splices of reinforcement. However, the current provisions still being complicated to calculate major variables need to be developed in the process of design.

In this study, an experimental work was performed to examine the behavior of bond using beam end specimens. The test results and previous available data are analyzed to isolate the effects of confinement on bond strength. From this reevaluation, new provisions for development and splice of reinforcement are proposed. The provisions also propose some limits for confinement index. The new provisions will help engineers to decide easily the simple but conservative way for manual calculations or the exact approach for computerized design.

Keywords : bond, development length, confinement, concrete cover, transverse reinforcement

---

\* 정회원, 숭실대학교 건축학부 교수  
\*\* 정회원, 숭실대학교 생산기술연구소

• 본 논문에 대한 토의를 2000년 2월 29일까지 학회로 보내주시면 2000년 4월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

# 1. 서 론

콘크리트 구조물에 하중이 재하되어 내력이 증가됨에 따라 부착응력이 증가한다. 하중이 더욱 증가하고 부착이 충분히 확보되지 못하여 부착력이 철근을 감싸 구속하는 저항력을 초과하면 콘크리트 피복이 급격히 쪼개지며 부착파괴가 발생한다. 철근 마디 돌기의 경사각으로부터 쪼개작용은 부착력을 수평 성분과 함께 수직 성분으로 발생시키며, 철근 둘레와 부착 길이 만큼의 합력에 의해 철근을 감싸고 있는 피복두께를 밀어내어 부착쪼갨파괴(splitting bond failure)를 발생시킨다.

이러한 부착전달기구에 미치는 영향은 1)횡구속, 즉 피복두께와 보강근에 의한 구조적 특성 2)철근과 콘크리트의 계면상태에 의한 재료적 특성으로 대별될 수 있다.<sup>(1),(2)</sup> 철근을 감싸 구속하는 저항력, 즉 횡구속은 콘크리트의 피복두께와 보강근에 의해 발휘된다. 이러한 횡구속 효과로부터 피복두께와 보강근의 역할이 부착강도 발휘에 중요하여 현재 철근콘크리트 구조물의 설계시 정착길이 산정에 중요한 변수로 되어 있다.

본 연구에서는 부착강도에 대한 실험을 수행하고 또한 기존의 정적실험자료를 이용하여 횡구속 거동을 분석하여 횡구속의 영향을 밝히고자 한다. 이들 결과를 이용하여 현 부착 및 정착설계기준과 비교하여 개선된 설계방법을 제안하고자 한다

## 2. 정착 및 이음길이 설계기준

우리 나라에서 정착 및 이음길이의 설계기준(대한건축학회, 한국콘크리트학회)은 대체로 ACI 318 기준을 근거로 한다.

ACI 318-95<sup>(3)</sup>에서는 인장을 받는 이형철근 및 이형철선의 정착길이  $l_d$ 는 철근의 직경  $d_b$  항의 비로 나타내고 있으며 ACI 318-95의 12.2.2항을 따르는 단순한 방법과 12.2.3항을 따르는 정산식 설계법에 의해 결정될 수 있도록 하고 있다.

12.2.2의 규정은 경우를 판단하여 철근크기와 횡구속(간격 또는 피복두께, 스티럽) 정도에 따라 간편하게 선택하여 정착길이  $l_d/d_b$ 를 설계하도록 규정

하고 있다. 이 단순한 설계방법에서는 피복두께 치수  $c$  나 다음의 (1)식에서의 횡방향 철근지수  $K_{tr}$ 을 계산할 필요가 없다. 그러나 이 설계법은 각 경우에 해당되는지를 자세하게 따져 보아야하는 불편함이 있고 또 경우에 따라서 정착길이가 과다하게 계산되는 문제가 있다.

12.2.3 설계법은 최소 피복두께와 스티럽에 의한 횡방향 철근지수를 세밀하게 계산하는 정산법이다. 정착길이에 대해서 재료의 강도, 철근위치, 표면처리, 철근크기, 경량골재콘크리트, 피복두께에 대해서 규정하고 있으며 그 규정식은 다음과 같다.

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{3}{40} \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \frac{a\beta\gamma\lambda}{\left(\frac{c+K_{tr}}{d_b}\right)} \quad (1)$$

(단,  $(c+K_{tr})/d_b$ 는 2.5이하로 한다.)

여기서,

$c$  = 철근의 중심에서 측정한 최소 피복두께 또는 정착된 철근의 중심간 거리의 1/2 중 작은 값을 사용

피복이나 간격이 작은 경우 쪼갨파괴가 발생할 수 있다. 쪼갨면 면을 가로지르는 횡방향 철근을 첨가하여 횡구속을 높이고 쪼갨면 균열을 억제함으로써 부착강도를 증가시킬 수 있다. 이 기준에서  $K_{tr}$ 은 횡방향 철근지수로 다음 식으로 정의된다.

$$K_{tr} = \frac{A_{tr}f_{yt}}{1500sn} \quad (2)$$

여기서,

$A_{tr}$  = 간격  $s$  이내에 있고 정착된 철근을 통해 예상되는 쪼갨면 평면을 가로지르는 횡방향 철근의 총 단면적

$f_{yt}$  = 횡방향철근의 기준항복강도

$s$  =  $l_d$  이내의 횡방향철근의 최대 중심간 간격

$n$  = 쪼개지는 평면을 따라 정착되어 있는 철근 또는 철선의 개수

횡방향철근이 있다 할지라도 설계를 간략하게 하

기 위해서는  $K_b = 0$ 로 사용할 수 있다라고 규정하고 있다. 이 설계법에서  $K_b = 0$ 의 적용은 과다 설계로 정착길이가 길어질 수 있다. 그렇다고  $K_b$ 의 값을 항상 계산하여야 함은 현실적으로 시간과 경비가 소요된다.

이상에서 피복두께  $c$ 와 횡방향 철근지수  $K_b$ 에 대한 적절한 평가와 이 결과에 근거한 현실적인 정착 및 이음길이 산정 설계식이 제시되어야 할 것이다.

### 3. 부착실험

본 연구에서는 콘크리트와 철근 사이의 부착성능을 평가하기 위하여 부착강도에 횡구속의 영향을 주는 요인 중에서 콘크리트 피복두께 변화를 주요 변수로 시험한다. 콘크리트의 쪼갬파괴에 직접적인 변수가 되는 순피복두께를 각각 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 $d_b$ 로 계획하여 그 영향을 시험하고자 한다. 부착강도시험은 보단부 시험체 및 이음길이 보시험체를 통해서 수행한다.

본 연구는 크게 4가지 그룹으로 나누어 1, 2그룹에 대해서는 보단부 시험체 및 3, 4그룹은 이음길이 보시험체의 2종류의 시험체를 만들어 실험하였다.<sup>(4),(5)</sup>(Fig. 1, 2)

- 1그룹: 설계강도 350kg/cm<sup>2</sup>의 보단부 시험체
- 2그룹: 설계강도 600kg/cm<sup>2</sup>의 보단부 시험체
- 3그룹: 설계강도 350kg/cm<sup>2</sup>의 이음길이 보시험체
- 4그룹: 설계강도 600kg/cm<sup>2</sup>의 이음길이 보시험체

Table 1은 실험값, 부착강도의 추정식의 의한 값 그리고 ACI기준식에 의한 값을 보여주고 있다.

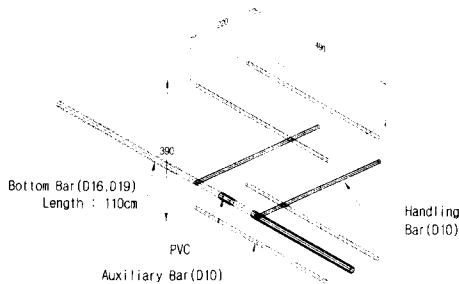


Fig. 1 Beam end specimen

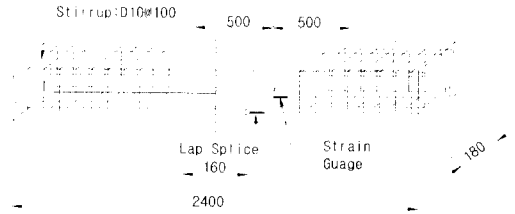


Fig. 2 Splice specimen

Table 1 Bond strength by test results, OJB eq. and ACI

Specimens	$d_b$ (cm)	$A_b$ (cm <sup>2</sup> )	$c/d_b$	$l_d$ (cm)	test1 (cm)	test2 (cm)	OJB Eq. (cm)	ACI 12.2.3 (cm)	ACI 12.2.2 (cm)
Beam end	1.6	1.99	1	12	213.8	203.6	148.6	66.1	66.1
			1.5	12	243.2	227.9	172.6	99.2	99.2
			2.5	12	309.3	239.3	220.6	165.4	99.2
			3.5	12	347.0	285.2	268.5	231.5	99.2
Splice			1	16	260.4	247.6	163.0	88.2	88.21
			1.5	16	293.6	295.7	195.0	132.3	132.3
			1.9	16	334.1	329.3	220.6	167.6	132.3

\* test1: Beam end specimen,  $f'_c = 375$ kg/cm<sup>2</sup>.

Splice specimen,  $f'_c = 360$ kg/cm<sup>2</sup>

\*\* test2: Beam end specimen,  $f'_c = 650$ kg/cm<sup>2</sup>

Splice specimen,  $f'_c = 603$ kg/cm<sup>2</sup>

### 4. 콘크리트 피복두께의 영향

보단부 시험체와 이음길이 보시험체의 피복두께별 시험결과를 Orangun식<sup>(6)</sup>(이하OJB식)과 ACI식으로 비교하고자 한다. OJB식 외에 ACI 기준에서 12.2.3의 정산식과 12.2.2의 약산식을 적용하였다.

OJB식과 ACI식을 하중(kg단위)으로 변환하면 다음과 같다.<sup>(7)</sup>

$$\frac{A_b f_s}{\sqrt{f'_c}} = 0.795 \pi l_d (C + 0.4 d_b + K_b) + 53 A_b \quad (3)$$

$$\frac{A_b f_s}{\sqrt{f'_c}} = 0.877 \frac{\pi (c + K_b)}{a \beta \gamma \lambda} l_d \quad (4)$$

여기서,

$C$  = 최소 순피복 두께

Fig. 3. 4는 피복두께와 부착하중의 관계의 그림으로 피복두께가 증가함에 따라 부착하중의 증가를

보여주고 있으며 실험값은 정산식과 약산식에 비해 OBJ식의 값들은 안전측에 있다. 실험치에서 피복두께가  $1.0d_b$ 와  $1.5d_b$  사이에서  $2.0d_b$ 의 부착강도에 비해 크게 감소하지 않았으며 ACI식에서는  $1.0d_b$ 에서 부착하중은  $2.0d_b$ 에서보다 과소 평가되고 있으며 정산식에서  $2.0d_b$ 이상에서는 약산식에 비해 과대평가 되고 있어 정착길이가 과소하게 짧아질 수 있다. 이러한 현상을 알아보기 위하여 시험치를 각 기준식에 따른 부착강도로 나눈 값, 즉 상대안전율의 의미를 갖는 부착강도비를 나타낸 것이 Fig. 5와 6이다. 약산식의 경우(Fig. 5)에서 부착강도비는 약 3.0 전후의 값을 갖는다. Fig. 6에서 보듯이 정산식의 경우, 피복두께가  $2.0d_b$  이상에서 부착강도비는 2.0 이하로 안전율이 낮으며 과대 평가되고 있다. 또한 피복두께가  $1.0d_b$  이하에서 부착강도비가 3.0 이상으로 안전율이 높아 기준이 과소평가 되고 있다. 따라서 피복두께의 비  $c/d_b$  하한치로서 1, 상한치로서 2가 적절하다고 판단된다.

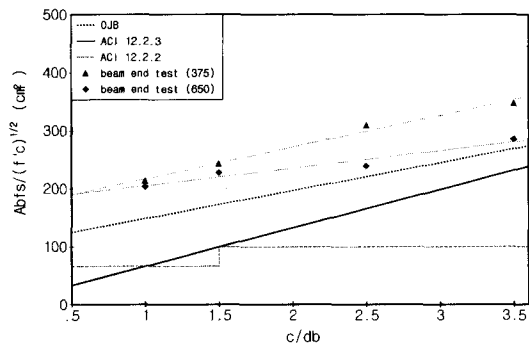


Fig. 3 Bond forces of beam end specimens versus cover thickness

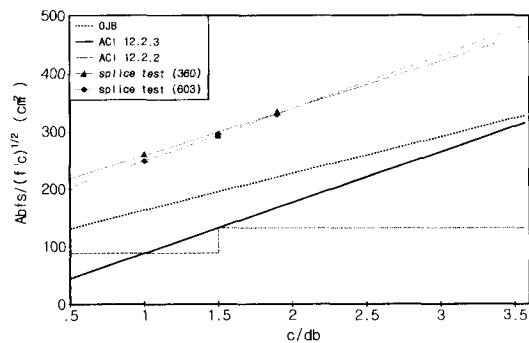


Fig. 4 Bond forces of splice specimens versus cover thickness

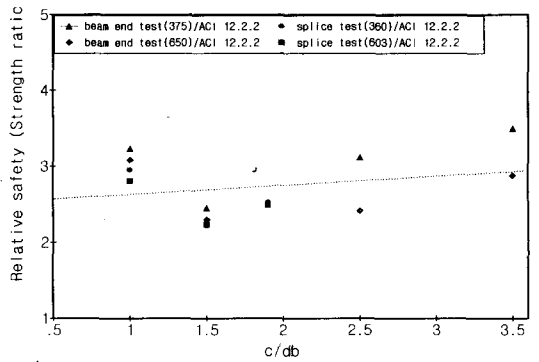


Fig. 5 Bond strength ratio of test results and ACI 12.2.2 eq. versus cover thickness

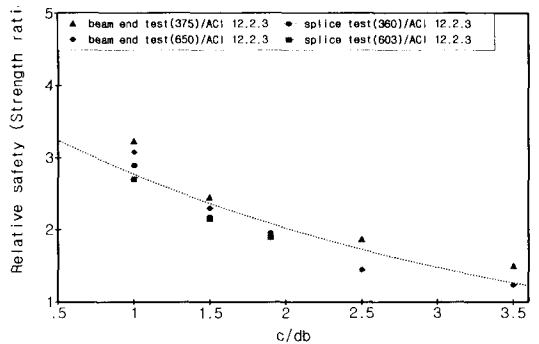


Fig. 6 Bond strength ratio of test results and ACI 12.2.3 eq. versus cover thickness

## 5. 횡방향 철근의 영향

횡방향 철근의 영향을 연구하기 위하여 기존에 연구되었던 실험 결과 자료로부터 OBJ식과 ACI 318-95 기준의 정산식을 비교하였다. Rezansoff et al.(1993)<sup>(8)</sup>의 철근 이음에 대한 ACI 318 기준의 재분석을 위한 실험자료 중 횡방향 철근이 있는 자료와 Darwin et al.(1996)<sup>(9)</sup>의 철근의 상대마디면적에 따른 이음강도의 관계를 평가하기 위한 논문에서 횡방향 철근이 있는 일반 철근에 대한 실험자료를 이용하였다.

횡방향 철근의 효과를 알아보기 위해 실험 결과치에서 부착강도식에서의 피복두께에 대한 부분을 빼줌으로서 횡방향 철근에 의한 부착강도를 얻어 분석하였다. 실험결과치에서 OBJ식에서의 피복두께에 대한 부분을 빼주면 횡방향 철근에 의한 부착강도는 다음 식과 같다.

$$\frac{A_b f'_s}{\sqrt{f'_c}} = \frac{A_b f'_s}{\sqrt{f'_c}} - (0.795 \pi l_d (C + 0.4 d_b) + 53 A_b) \quad (5)$$

그리고 ACI식에서도 피복두께에 대한 부분을 빼 주면 횡방향 철근에 의한 부착강도는 다음의 식과 같다.

$$\frac{A_b f'_s}{\sqrt{f'_c}} = \frac{A_b f'_s}{\sqrt{f'_c}} - 0.877 \frac{\pi c l_d}{\alpha \beta \gamma \lambda} \quad (6)$$

Table 2는 기존 실험자료를 분석한 것이다. Fig. 7, 8은 철근직경에 대한 횡방향 철근지수와 부착하중에 관계를 나타내었으며 그림에서 보듯이 횡방향 철근 증가에 따라 부착강도가 증가되고 있다. 실험값(피복두께와 횡방향 철근에 의한 부착강도)에서 다시 실험 값으로부터 유도한 추정식(피복두께에 의한 부착강도)을 뺀 결과 값을 그림에 사용하였으므로 인해 분산도가 크며 일부  $K_b$ 이 높은 값에도 불구하고 부착강도 증가가 미소함을 보여주고 있다.

Table 2 Bond strength of transverse reinforcement from previous test data

Label	n	$l_d$ (cm)	$d_b$ (cm)	$A_n$ (cm)	C (cm)	$f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$A_{tr}$ (cm <sup>2</sup> )	$f_{tr}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	s (cm)	fs (kg/cm <sup>2</sup> )	$K_{tr}$ (cm)	test $A_b f'_s / \sqrt{f'_c}$	OJB <sup>*</sup> $A_b f'_s / \sqrt{f'_c}$	ACI <sup>**</sup> $A_b f'_s / \sqrt{f'_c}$	ACI $K_b$ <sup>***</sup> $A_b f'_s / \sqrt{f'_c}$	$K_{tr}$ <sup>****</sup> Ratio
8C0	3	71.1	2.5	5.07	2.45	267.88	0.71	4916.07	8.89	3657.52	2.446	1132.98	259.81	407.60	479.44	0.850
8C0	2	61.0	2.5	5.07	3.57	294.59	0.71	4916.07	15.24	3263.79	2.140	964.08	7.94	154.15	359.58	0.428
8C0	2	40.6	2.5	5.07	3.41	296.70	0.71	4538.51	20.32	2578.97	1.482	759.08	50.91	236.76	165.98	1.426
8N0	3	61.0	2.5	5.07	1.15	269.28	1.27	5955.25	7.62	4898.49	6.184	1513.43	925.83	1110.14	1038.87	1.068
8N0	2	61.0	2.5	5.07	4.62	297.41	0.71	4538.51	30.48	3884.62	0.988	1142.03	26.56	156.29	165.98	0.941
8N0	2	66.0	2.5	5.07	4.57	298.81	0.71	4538.51	33.02	4137.74	0.912	1213.58	35.21	154.94	165.98	0.933
8N0	2	50.8	2.5	5.07	4.76	298.81	1.27	5955.25	10.16	4357.81	6.957	1278.12	286.83	436.41	973.94	0.448
8N0	2	45.7	2.5	5.07	4.68	307.95	1.27	5955.25	11.43	4355.00	6.184	1258.20	349.01	510.58	779.15	0.655
5N0	4	25.4	1.6	1.99	1.32	289.67	1.27	5955.25	12.7	3193.48	2.782	373.39	142.27	187.60	243.48	0.770
5N0	3	25.4	1.6	1.99	2.64	289.67	0.71	4538.51	25.4	3411.44	0.790	398.87	84.29	97.96	69.15	1.416
5N0	3	30.5	1.6	1.99	3.22	288.97	0.71	4538.51	30.48	3944.39	0.658	461.75	61.66	40.12	69.15	0.580
5N0	2	30.5	1.6	1.99	3.07	295.30	0.71	4538.51	15.24	4229.14	1.976	489.75	100.49	83.05	207.47	0.400
11N0	2	68.6	3.5	9.57	3.73	369.12	1.27	5955.25	7.62	4421.79	9.276	2202.53	813.71	1166.62	1753.10	0.665
11N0	2	101.6	3.5	9.57	3.85	369.12	0.71	4538.51	10.16	4364.14	2.964	2173.81	331.53	605.70	829.91	0.729
11B0	2	101.6	3.5	9.57	4.68	364.20	0.71	4538.51	25.4	4302.26	1.185	2157.42	102.44	354.63	331.96	1.068
11B0	2	96.5	3.5	9.57	4.73	331.16	0.71	4538.51	12.06	4639.05	2.496	2439.62	449.64	713.45	663.93	1.074
11B0	2	76.2	3.5	9.57	4.84	331.16	1.27	5955.25	10.89	4128.60	6.486	2171.18	472.97	786.54	1362.16	0.577
11B0	2	101.6	3.5	9.57	4.75	330.45	0.71	4538.51	16.94	4663.66	1.777	2455.16	384.07	634.59	497.69	1.275
1a	2	74.9	2.5	5.07	2.58	278.32	0.32	4485.77	12.49	4975.13	1.082	1511.95	581.82	721.10	223.45	3.227
3a	3	74.9	2.5	5.07	2.54	278.32	0.32	4585.77	12.49	4628.50	0.721	1406.61	483.96	624.01	148.97	4.188
4a	3	88.9	3.0	6.93	2.95	283.41	0.32	4485.77	22.50	4170.08	0.400	1718.14	421.08	618.98	99.269	6.235
1b	2	74.9	2.5	5.07	2.58	267.10	0.32	4485.77	12.49	4710.77	1.082	1461.35	531.22	670.50	223.45	3.000
3b	3	74.9	2.5	5.07	2.54	267.10	0.32	4485.77	12.49	4190.47	0.721	1299.95	377.30	517.35	148.97	3.472
4b	3	112.5	3.0	6.93	2.95	283.41	0.32	4485.77	22.50	4608.11	0.400	1898.61	367.88	523.11	124.22	4.210
6	3	56.0	2.5	5.07	2.54	254.87	0.49	5913.07	7.01	3599.16	2.610	1143.00	387.88	558.30	402.75	1.386
7	3	37.5	2.5	5.07	2.54	254.87	1.99	4791.62	9.37	3303.16	6.338	1049.00	457.36	657.43	654.88	1.003
8	3	30.0	2.5	5.07	3.79	254.87	1.99	4791.62	10.00	2436.94	5.936	773.91	154.88	357.27	490.74	0.728
9	3	85.0	3.0	6.93	2.95	273.22	1.03	4842.60	8.50	4975.13	3.660	2087.72	841.60	1048.80	857.26	1.223
10	3	56.0	3.0	6.93	2.95	287.28	1.99	4791.62	8.00	4730.45	7.425	1935.86	989.31	1251.21	1146.05	1.092

C : Clear cover thickness

n : Number of spliced bars

\* Bond strength of transverse reinforcement, eq. (5)

\*\* Bond strength of transverse reinforcement, eq. (6)

\*\*\* Bond strength of  $K_b$  by ACI provision,  $0.877 \frac{\pi l_d K_b}{\alpha \beta \gamma \lambda}$

\*\*\*\* Ratio of bond strength of  $K_b$  by test results to bond strength of  $K_b$  by ACI provision (relative safety)

Fig. 7, 8에서 보듯이 OJB식에 비해 ACI식은 안전치를 고려하여 상수항 (53A<sub>b</sub>)을 포함하지 않았기 때문에  $K_{tr}$ 에 의한 부착강도 부분이 높게 나타나고 있다.

Fig. 9는 앞에서 구한 실험결과에 의한  $K_{tr}$ 의 부착강도  $\frac{A_b f_s'}{\sqrt{f_c'}}$ 을 현 ACI 기준에서의  $K_{tr}$ 에 의한 부착강도 즉,  $0.877 \frac{\pi l_d K_{tr}}{\alpha \beta \gamma \lambda}$  값으로 나눈 부착강도비, 즉 상대 안전율을  $K_{tr}/d_b$ 에 대해 나타내었다.

그림에서 보듯이  $K_{tr}/d_b$ 가 낮은 값 0.5 내외에서는 2.0의 범위에 있다. 즉 실험값은 ACI에 비해 2배의 안전치를 확보하는 것으로 나타나고 있다. 그러나  $K_{tr}/d_b$ 가 1.0을 초과하는 경우 강도비가

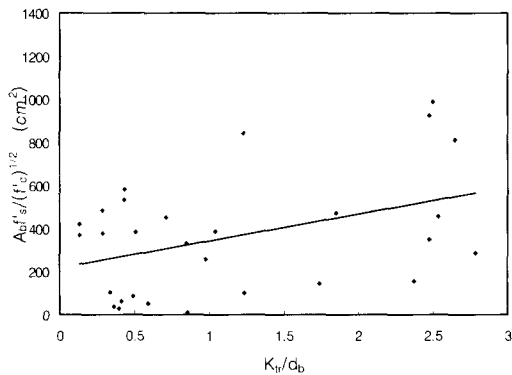


Fig. 7 Bond strength of transverse reinforcement versus  $K_{tr}/d_b$  by Orangun equation

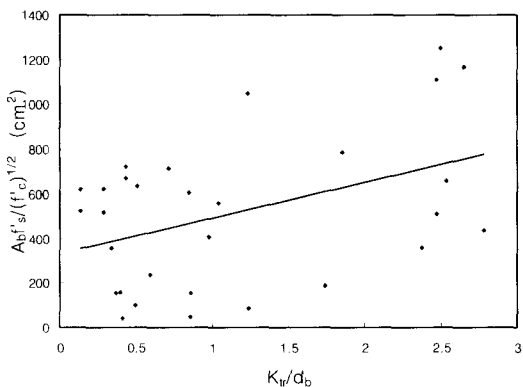


Fig. 8 Bond strength of transverse reinforcement versus  $K_{tr}/d_b$  by ACI 12.2.3

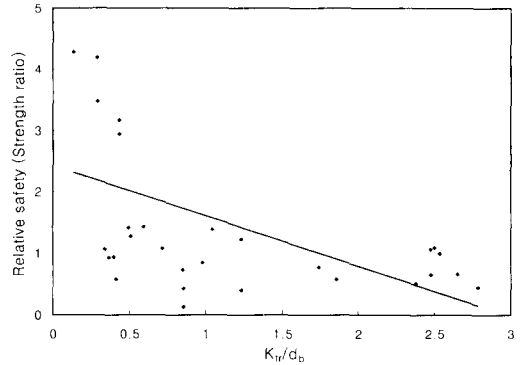


Fig. 9 Bond strength ratio of test results to ACI 12.2.3 eq. versus  $K_{tr}/d_b$

1.75이하로 급격히 떨어지고 있다. 따라서  $K_{tr}/d_b$ 의 값이 적은 경우는 다소 과소평가 되고 있으며  $K_{tr}/d_b$  값이 큰 경우 과대평가 되고 있다.  $K_{tr}/d_b$ 은 최소규정을 만족시키는 경우 0.5로 하한치를 제시할 수 있겠으며 이는 현 ACI기준에서 약산식에 의한 설계법에서 첫째 조항과 일치한다. 또한 상한치로서 1.0이 제안될 수 있겠다.

현 기준에서는  $(c + K_{tr})/d_b$ 의 상한치를 2.5로 두고 있으며 하한치는 없다. 4장에서  $c/d_b$ 의 하한치와 상한치는 각각 1.0과 2.0으로 제시되었다. 이들을 함께 고려하여  $c/d_b$ ,  $K_{tr}/d_b$ ,  $(c + K_{tr})/d_b$ 의 하한치, 상한치를 각각 다음과 같이 제시할 수 있겠다.

$$1.0 \leq \frac{c}{d_b} \leq 2.0 \quad (7)$$

$$0.5 \leq \frac{K_{tr}}{d_b} \leq 1.0 \quad (8)$$

$$1.0 \leq \frac{(c + K_{tr})}{d_b} \leq 2.5 \quad (9)$$

## 6. 정착 및 부착길이 설계기준에 대한 제안

ACI 318-95 기준에서의 정착길이 산정에 있어서 2가지 방법을 규정하고 있다.

첫 번째 방법은 약산식 방법으로 일반적인 경우에 대해 먼저  $(c + K_{tr})/d_b$ 의 범위를 선택하여 정착길

이를 산정한다. 스티럽과 같은 횡방향 철근이 있고 주철근의 간격과 피복두께가 확보되는 경우와 기타의 경우  $(c+K_{tr})/d_b$ 의 값을 1.5, 1.0으로 보고 계산한다. 즉, 이음 또는 정착철근의 최소 순간격 2.0 $d_b$ 와 최소 순피복두께 1 $d_b$ 를 확보한 경우 또는 최소 순간격이 1.0 $d_b$ 이나 최소 띠철근 또는 스티럽과 함께 최소 순피복두께 1.0 $d_b$ 를 확보할 때 1.5 계수를 사용하며 그 외 경우 1.0을 사용한다.

두 번째 방법은 실제의  $(c+K_{tr})/d_b$ 을 산정하여 정착길이를 결정하는 방법이다. 피복두께, 간격, 횡방향철근 등 각각의 변수에 대해  $(c+K_{tr})/d_b$ 을 산정하고 이것을 사용하여 위험단면 또는 특별한 검토가 필요한 곳의 정착길이를 보다 엄밀하게 계산할 수 있다. 다만  $K_{tr}$ 의 효과를 무시하고 계산할 수 있다.

두 번째 방법은 첫 번째 방법보다 정착길이는 짧게 설계할 수 있으며  $(c+K_{tr})/d_b$ 이 2.5 이하라고 하는 제한은 뿔힘파괴가 일어날 수 있는 경우의 상한선을 제시한 것이다.

이상에서 두 가지 방법 중 어느 것을 사용하여도 되나 첫째 방법에서 경우를 판단하기가 복잡한 반면 두 번째 방법에서  $K_{tr}$ 을 계산하지 않을 수도 있으나  $c$  값과  $K_{tr}$ 을 계산하는 경우 간단하지 않다. 또한 횡방향 철근이 없어  $K_{tr}=0$ 인 경우  $c/d_b$ 의 상한치 2.5는 다소 안전하지 못하다.

본 연구에서는 위의 복잡한 두 가지 방법을 지양하고 하나의 식으로 통합하여 다음의 설계법을 제안한다.

인장 이형 철근 및 이형 철선의 정착길이  $l_d$ 는 다음 (10)식으로 구한다.

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{3}{40} \frac{f_y}{\sqrt{f_c}} \frac{a\beta r \lambda}{\left(\frac{c+K_{tr}}{d_b}\right)} \quad (10)$$

여기서  $1.0 \leq \frac{(c+K_{tr})}{d_b} \leq 2.5$

또한  $K_{tr}=0$ 일때  $\frac{c}{d_b} \leq 2.0$

횡방향 철근인 스티럽 또는 대근이 최소규정을 만족시킬 때는  $K_{tr}=0.5d_b$  그렇지 않을 때는  $K_{tr}=0$ 으로 사용할 수 있다.

이상에서 설계자는 임의로 다음의 3가지 단계로 정착길이를 산정할 수 있도록 하게 한다.

첫 번째 단계는  $(c+K_{tr})/d_b$ 을 1.0으로 보고 설계하는 단계이다. 일반적으로 철근의 최소 간격 규정 등이 만족되나 횡방향 철근 규정이 만족되지 않는 최하 수준의 산정 단계이다. 정착길이가 가장 길어질 수 있으나 계산이 간편하다.

두 번째 단계는  $K_{tr}=0.5d_b$ 로 보고  $(c+K_{tr})/d_b$ 을 간단하게 설계하는 단계이다. 횡방향 철근 규정이 만족되어 이것을 고려하여 정착길이를 적절히 짧게 설계할 수 있으며  $c$  값만 찾아 계산하는 다소 간략하게 계산할 수 있는 중간 수준의 산정 단계이다.  $K_{tr}=0$  경우 즉 횡방향 철근이 없는 경우에는  $c/d_b$ 는 2.0을 초과할 수 없다는 조항이 지켜져야 한다.

세 번째 단계로  $K_{tr}$ 을 직접 계산하여 설계하는 단계로 특별한 경우에 적용한다. 계산이 복잡하나 정착길이를 가장 짧게 설계될 수 있는 최고 수준의 산정 단계이다.

## 7. 결 론

철근과 콘크리트의 부착강도에 대한 회구속에 관한 기존 실험자료를 분석 연구하였으며 결론은 다음과 같다.

- (1) 실험결과, 작은 피복두께에서 상대적으로 부착강도가 컸으며 이는 파괴역학의 크기효과로 볼 수 있겠다.
- (2) ACI 기준식은 피복두께 관련치수와 횡방향 철근의 효과에 대해 경우에 따라 과대, 과소하게 평가하여 이들의 상한치와 하한치를 제안하였다.
- (3) 현 정착 및 이음길이 산정식에 대한 새로운 설계안을 제시하였다. 현 설계기준에 의한 두 가지 방법을 지양하고 하나의 식으로 통합한

개선된 설계법을 제안하였다.

4. 정착 및 이음길이에 대해 경우에 따라 쉽게 그러나 안전하게 또는 시간이 소요되나 정확하게 산정할 수 있는 설계법을 용이하게 판단할 수 있는 방안을 제시하였다.

## 감사의 글

본 연구는 서울대학교 지진공학 연구센터의 1998년도 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 대해 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Oan C. Choi, David Darwin, Steven L. McCabe, "Interface Characteristics for Bond of Reinforcing Steel to Concrete," The Fourth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction, Seoul, Korea, Sep., 1993, pp. 751-756.
2. Choi et al., "Bond Strength of Epoxy-Coated Reinforcing Steel: Cover, Casting, Position, Slump and Consolidation," ACI Structural Journal, Jan.-Feb. 1994, pp. 59-68
3. ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-95) and Commentary (ACI 318R-95), American Concrete Institute, Farmington Hill, MI, 1995, 369 pp.
4. 최완철 외 "고강도, 고유동 belite콘크리트 부착성능 평가시험", 숭실대학교 생산기술연구소, 1998, 2, 14, page 62.
5. 김상준, 조필규, 허준, 최완철, "고성능 Belite 시멘트 콘크리트의 철근 부착성능," 콘크리트학회지, 제 10권 6호, 1998.
6. Orangun, C. O., Jirsa, J. O., and Breen, J. E., "A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices," ACI Journal, Vol.74, No.3, Mar., 1977, pp. 114-122.
7. 김상준, "콘크리트와 철근의 부착에 대한 횡구속의 영향," 숭실대학교 건축공학과 석사학위논문, 1998.12.
8. Tel Rezansoff, Adeniyi Akanni, and Bruce Sparling, "Tensile Lap Splices under Static Loading: A Review of the Proposed ACI 318 Code Provisions," ACI Structural Journal, July-Aug., 1993, pp. 374-384.
9. David Darwin, Michael L. Tholen, Emmanuel K. Idun, and Jun Zuo, " Splice Strength of High Relative Rib Area Reinforcing Bars," ACI Structural Journal, Jan.-Feb., 1996, pp. 95-107.

## 요 약

본 연구에서는 부착강도에 대한 실험을 수행하고 또한 기존의 실험자료를 이용하여 횡구속 거동을 분석하여 피복두께와 횡방향 철근의 영향을 밝히고자 하였다. 또한 이들 결과를 이용하여 현재의 부착 및 정착설계기준과 비교하여 개선된 설계방법을 제안하고자 하였다.

실험결과, 피복두께 증가에 따라 부착강도가 증가되었고 적은 피복두께에서 상대적으로 부착강도가 컸으며 이는 파괴역학의 크기효과로 볼 수 있겠다. ACI 기준식은 피복두께 관련치수와 횡방향 철근의 효과에 대해 경우에 따라 과대, 과소하게 평가되고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 고려하여 횡방향 철근 관련 치수의 상한치와 하한치를 제안하였다. 정착 및 이음길이에 대해 경우에 따라 쉽게 그러나 안전하게 또는 시간이 소요되나 정확하게 산정할 수 있는 설계법을 용이하게 판단할 수 있는 방안을 제시하였다.

(접수일자: 1999. 7. 13)