Journal of the Korea Concrete Institute
Vol.15, No.4, pp. 615~622, August 2003

구속효과를 고려한 모르타르 충전식 철근이음의 부착강도

김형기[1)*] · 안병익[2)]

[1)] 삼척대학교 건축학과 [2)] 건양대학교 건축공학과

(2003년 5월 16일 원고접수, 2003년 7월 15일 심사완료)

Bond Strength of Grout-Filled Splice Sleeve Considering Effects of Confinement

Hyong-Kee Kim[1)*] and Byung-Ik Ahn[2)]

[1)] Dept. of Architecture, Samcheok National University, Kangwon, 245-711, Korea
[2)] Dept. of Architectural Engineering, Konyang University, Chungnam, 320-711, Korea

(Received May 16, 2003, Accepted July 15, 2003)

ABSTRACT

The purpose of this study is to propose the more reasonable equation of bond strength of grout-filled splice sleeve. To accomplish this objective, total 60 full-sized specimens were tested under monotonic loading. The experimental variables are compressive strength of mortar, embedment length and size of reinforcing bars.

Following conclusions are obtained; 1) If the adequacy of existing equations which estimate the bond strength of grout-filled splice sleeve are investigated, they underestimate the bond strength of grout-filled splice sleeve by 8-18%. Also the existing equations have a tendency to underestimate with decrease in the embedment length of reinforcing bars. 2) From the test result of bond failure, the equation which estimates the confining pressure of grout-filled splice sleeve was proposed by making multiple regression analyses of which independent variables are embedment length of reinforcing bars and compressive strength of mortar. This equation predicted the measured bond capacity of this test more accurately than existing equations and eliminated the deviation according to the embedment length of reinforcing bars.

Keywords : grout-filled splice sleeve, effects of confinement, embedment length, bond strength

1. 서 론

프리캐스트 공법에서 기둥과 내력벽과 같은 부재의 철근이음 방법중 하나로서 그라우트 충전식 철근이음을 적용하는 경우가 증가하는 추세이지만, 이에 대한 연구는 아직도 충분하지 못하다. 이에 본 논문에서는 그라우트 충전식 철근이음에 대한 그동안의 연구[1,6~13]에 있어서 부족한 부분을 보완하여 보다 합리적이고 타당한 설계방법의 확립을 위한 자료를 제공하고자 한다.

철근 콘크리트 구조에서 콘크리트에 대한 구속력은 철근과 주변 콘크리트 사이의 부착강도를 증가시키는 것으로 알려져 있다. 이런 구조적 특성에 관한 연구는 축력이나 휨을 받는 부재를 대상으로 실험과 해석적 방법으로 진행되었다[2~4]. 그러나 충전 모르타르와 철근 사이의 부착성능이 매우 중요한 모르타르 충전식 철근이음에서 슬리브의 구속효과가 철근이음의 부착강도에 미치는 영향에 대한 연구[1]는 거의 없는 실정이다. 최근에 저자는 실험적인 연구를 통하여 모르타르 충전식 철근이음의 구속효과를 정량적으로 파악하여 발표하였다[14]. 본 논문에서는 이러한 구속효과를 모르타르 충전식 철근이음의 부착강도 평가방법에 반영시켜서 최근의 연구내용을 진전시키고자 한다. 이를 위하여 슬리브와 철근의 표면에 변형률 게이지를 부착한 6개의 실험체를 포함하여 60개 실물크기의 스플라이스 슬리브 이음 실험체를 제작한 후에 가력실험을 실시하였다. 이 실험결과 중에서 부착파괴가 발생한 34개의 실험체와 97년도 저자가 실시한 실험 중에서 부착파괴가 발생한 6개의 실험결과를 이용하여 먼저 모르타르 충전식 철근이음의 기존 부착강도 제안식에 대한 적합성을 평가한 후에 슬리브의 구속효과가 정량적으로 고려된 모르타르 충전식 철근이음의 부착강도를 제시하고자 한다.

* Corresponding author
Tel : 033-570-6596 Fax : 033-570-6599
E-mail : hyongkee@samcheok.ac.kr

2. 실 험

2.1 실험체 계획

본 실험의 실험변수는 다음과 같다.

1) 충전 모르타르의 압축강도

(모르타르 제조업체에서 제시하는 28일 압축강도가 각각 58.9, 63.8, 73.6 N/mm^{2}인 3종류)

2) 철근의 정착길이

(4.2d, 4.7d, 5.2d, 5.7d, 6.2d, 여기서 d는 철근 공칭 직경)

3) 철근규격(D25, D19)

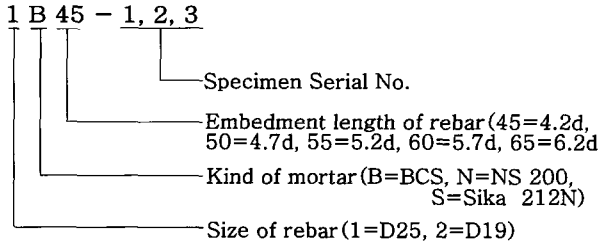
이상과 같은 실험변수로 Table 1과 같이 총 60개의 실험체를 실물크기로 제작하였다. 이 중에서 6개의 실험체는 슬리브 및 철근 표면의 12개소에 변형률 게이지를 각각 부착하였다.

대표적인 실험체 형상을 Fig. 1에 나타내었다. 이 그림에 나타난 D25 철근용 슬리브는 내부에 요철을 두었고 길이 370 mm, 외경 65 mm, 중앙부의 두께 5.5 mm, 단부쪽의 두께 4 mm로 설계되었다. 한편 Fig. 2에 D25 철근용 슬리브 및 철근 표면에 부착한 변형률 게이지 위치를 각각 나타내었다. 특히 슬리브 표면에서는 슬리브 길이방향의 변형률과 슬리브 원주방향의 변형률을 측정하였다.

Table 1 Specimen lists[14,15]

Specimen	Test parameter		
	Size of rebar	Mortar	Embedment length of rebar
1B45-1, 2, 3	D25	BCS (f_m=73.6 N/mm^2)	4.2d
1B50-1, 2, 3			4.7d
1B55-1, 2, 3			5.2d
1B60-1, 2, 3			5.7d
1B65-1, 2, 3			6.2d
1N45-1, 2, 3*	D25	NS 200 (f_m=63.8 N/mm^2)	4.2d
1N50-1, 2, 3			4.7d
1N55-1, 2, 3*			5.2d
1N60-1, 2, 3			5.7d
1N65-1, 2, 3*			6.2d
1S45-1, 2, 3	D25	Sika Grout 212N (f_m=58.9 N/mm^2)	4.2d
1S50-1, 2, 3			4.7d
1S55-1, 2, 3			5.2d
1S60-1, 2, 3			5.7d
1S65-1, 2, 3			6.2d
2N45-1, 2, 3*	D19	NS 200 (f_m=63.8 N/mm^2)	4.2d
2N50-1, 2, 3			4.7d
2N55-1, 2, 3*			5.2d
2N60-1, 2, 3			5.7d
2N65-1, 2, 3*			6.2d

(Note)



* : Specimen equipped with strain gauge

2.2 실험체 제작

실험체의 모르타르는 슬리브에서의 모르타르 충전상황이 현장과 동일한 조건이 되도록 실험체 고정용 장치를 제작하여 실험체를 수직으로 고정시킨 상태에서 슬리브의 하부 주입구를 통하여 충전하는 포스트 그라우트 방식을 사용하였다. 실험체의 충전용 고강도 무수축 모르타르의 물/모르타르 배합비는 BCS 모르타르 15.5 %, NS 200 모르타르 17 %, Sika Grout 212 N 모르타르 20 %로 하여 타설하였다. 그리고 물과 모르타르의 반죽은 소정의 혼합속도를 갖는 기계식 믹서를 사용하였고, 반죽은 1회에 25 kg 모르타르와 소정량의 물을 반죽용기에 투입한 후에 믹서

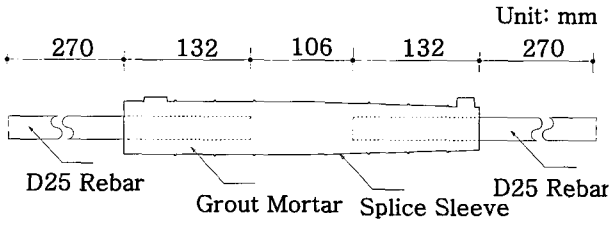


Fig. 1 Typical test specimen (D25, Embedment length of rebar=5.2d)

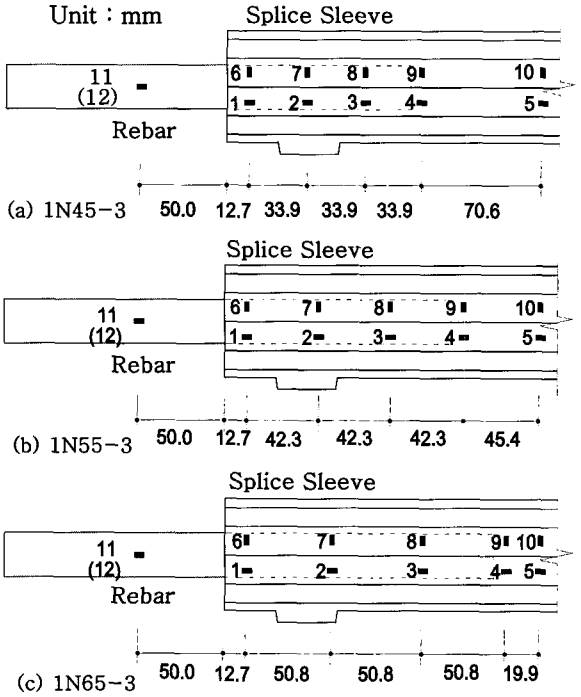


Fig. 2 Strain gauge location of sleeve and rebar[14]

를 회전시켜 모르타르 덩어리가 없이 충분히 반죽되도록 하였다.

2.3 재료의 역학적 특성

본 실험에서 사용한 철근과 슬리브 재료에 대한 인장강도 시험결과를 Table 2와 3에 나타내었다.

또한 본 실험에서 사용한 고강도 무수축 충전 모르타르의 압축강도 시험결과는 Table 4와 같다.

2.4 가력 및 측정방법

2.4.1 가력방법

본 실험은 2,000 kN 만능시험기를 이용하여 실시하였다. 가력스케쥴[5]은 실험체 접합철근기준으로 철근 설계기준 항복강도의 95% 인장응력이 작용할 때까지 점증적으로 하중을 가하였다가 하중을 제거한 후에 다시 인장력을 가하여 실험체가 파괴될 때까지 실시하였다.

2.4.2 측정방법

본 실험에서는 각 단계별로 다음과 같은 항목을 측정하여 기록하였다.

1)실험체에 가한 하중

2)실험체의 변위 측정거리간 상대변위

3)슬리브 및 철근 표면의 변형률

Table 2 Mechanical properties of reinforcing bars[14,15]

Size of reinforcing bar	Yield strength (N/mm^2)	Tensile strength (N/mm^2)	Elongation ratio (%)
D25(SD40)	404.2	593.5	22.3
D19(SD40)	407.1	593.5	20.5

Table 3 Mechanical properties of splice sleeve[14,15]

Material of sleeve	Yield strength (N/mm^2)	Tensile strength (N/mm^2)	Elongation ratio (%)	Modulus of elasticity (kN/mm^2)
GCD 50	414.0	562.1	16.0	166.8

Table 4 Compressive strengths of grout mortar[14,15]

Mortar	3 days (N/mm^2)	8 days (N/mm^2)	28 days (N/mm^2)	50 days* (N/mm^2)
BCS	49.6	66.3	78.5	78.8
NS 200	37.3	51.9	60.9	64.7
Sika 212N	38.5	56.1	71.8	73.4

* : the day of testing

3. 구속효과를 고려한 모르타르 충전식 철근이음의 부착강도

3.1 슬리브 구속효과를 고려한 부착성능

저자가 최근에 발표한 연구[14]에서는 슬리브에 작용하는 구속응력 f_n을 본 실험에서 측정한 슬리브 표면의 길이방향과 원주방향 변형률과 슬리브의 재료 시험결과를 이용하여 다음의 식과 같이 구할 수 있었다.

$$f_n = \frac{2E_s}{1-\nu_s^2}(\varepsilon_{sx} + \nu_s \cdot \varepsilon_{sy})\frac{t}{d_i} \quad (1)$$

여기서,

E_s : 슬리브의 탄성계수,

ν_s : 슬리브의 프아송 비,

ε_{sx} : 슬리브에 작용하는 원주방향의 변형률,

ε_{sy} : 슬리브에 작용하는 길이방향의 변형률,

t : 슬리브의 두께,

d_i : 슬리브의 내경

또한 저자의 최근 연구[14]에서는 Untrauer와 Henry[4]가 제안한 횡방향 구속효과를 고려한 부착강도식을 원주방향 구속응력이 작용하는 모르타르 충전식 철근이음에 적용하여 모르타르 충전식 철근이음의 부착응력을 다음의 식 (2)와 같이 나타내었다.

$$\tau = (1.49 + 0.45\sqrt{f_n})\sqrt{f_m} \quad (2)$$

여기서,

τ : 모르타르 충전식 철근이음 부착강도(N/mm^2),

f_n : 원주방향 구속응력((N/mm^2),

f_m : 충전 모르타르 압축강도((N/mm^2)

슬리브 표면에서 슬리브의 길이방향 변형률과 원주방향 변형률을 성공적으로 측정한 4개 실험체에 대해서 상기의 식 (1)을 이용하여 구한 최대하중 작용시 원주방향 구속응력의 결과를 식 (2)에 적용하여 부착응력을 철근 정착

Table 5 Comparison of measured and calculated bond strength[14]

Specimen	Measured strength P_{test} (kN)	Calculated strength $P_{cal.}$ (kN)	$P_{test}/P_{cal.}$
1N45-3	248.8	243.5	1.022
1N65-3	300.2	301.7	0.995
2N65-3	161.7	170.2	0.950

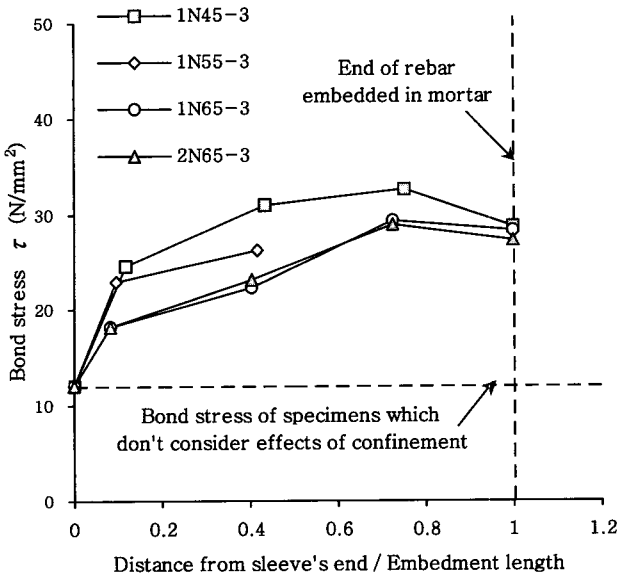


Fig. 3 Bond stress considering tangential confining effect in sleeve[14]

길이의 범위에서 산정한 것이 Fig. 3이다. 여기서 실험에서 변형률 게이지를 부착하지 않은 슬리브 단부에서의 원주방향 구속력은 없는 것으로 가정하였고, 철근 정착길이의 끝부분은 이곳을 사이에 둔 가장 가까운 2개 위치의 결과를 직선보간하여 산정하였다. 그리고 Table 5는 최대하중 작용시 상기의 식에 적용하여 구한 부착강도의 계산값과 실험값을 직접 비교한 것이다. 여기서 각 실험체의 부착강도 계산값은 Fig. 3의 부착응력을 철근의 정착길이에 걸쳐서 적분하여 산정한 것이다. 이 결과로부터 Untrauer와 Henry가 횡방향 구속효과를 고려하여 제안한 부착강도 산정방법은 본 실험값을 5% 이내의 편차범위에서 예측하고 있다는 것을 알 수 있다.

3.2 기존 그라우트 충전식 철근이음의 부착강도 평가방법

부착파괴가 발생한 본 실험의 34개 실험체와 Table 6에 나타낸 기존 실험의 6개 실험체[13]를 대상으로 기존 그라우트 충전식 철근이음의 부착강도 평가방법인 일본의 鈴木식[8]과 국내의 김형기식[13]의 적합성을 검토하였다.

일본의 鈴木 등은 철근이 항복한 후에 모르타르에서 빠지는 부착파괴가 발생한 철근이음의 부착응력 분포를 Fig. 4와 같이 가정하여 최대내력을 다음의 식 (3)~(5)와 같이 제안하였다. 여기서는 철근의 정착길이는 철근 항복내력(P_y)을 지지할 수 있는 정착길이(L_y) 이상이어야 한다.

$$P_{sy} = \tau_{by} \cdot \pi \cdot D \cdot (L - L_y - l) + \tau_{bm} \cdot \pi \cdot D \cdot L_y \quad (3)$$

Table 6 Previous test results of bond failure[13]

Specimen	Embedment length	Mortar strength (N/mm²)	Rebar size	Maximum strength* (N/mm²)
1TMLM-1	6.8d	59.5	D19	596.4
1RMLC-1	6.8d	59.5	D19	608.2
1TMLC-1	6.8d	59.5	D19	584.7
2RMLC-1	6.7d	59.5	D38	521.9
2TMLC-1	6.7d	59.5	D38	666.1
2RSSC-1	6.0d	86.3	D38	632.7

* : P_{max}/A_s in which P_{max}= maximum load of specimen, A_s= sectional area of rebar

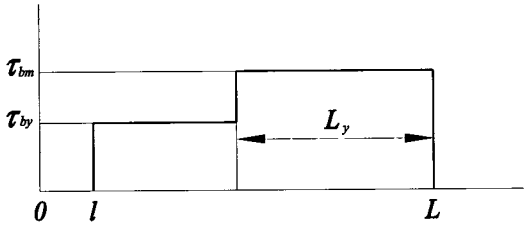


Fig. 4 Assumption of bond stress distribution between grout mortar and rebar[8]

$$\tau_{by} = 0.3\, F_g \quad (4)$$

$$\tau_{bm} = 0.5\, F_g \quad (5)$$

여기서,

D : 철근의 직경(cm),

L : 철근의 정착길이(cm),

$L_y = P_y/(\tau_{bm} \cdot \pi \cdot D)$: 철근항복이 발생하지 않는 구간,

l : 강관 단부에서 철근 첫번째 마디까지 거리를 0.7D로 가정,

F_g : 그라우트의 압축강도(kgf/cm²)

한편, 국내에서도 김형기는 부착파괴된 주물형 슬리브 철근이음 실험체를 이용하여 최대하중시 철근과 모르타르 사이의 부착강도를 다음의 식 (6)과 같이 제안하였다.

$$P_{max} = 9\sqrt{f_c} \cdot \pi \cdot D \cdot l \quad (6)$$

여기서,

f_c : 고강도 모르타르의 압축강도(kgf/cm²),

D : 철근의 공칭직경(cm),

l : 철근의 슬리브내 매입길이(cm)

여기서는 부착파괴된 실험체의 최대하중시 철근 항복영역이 슬리브 단부에서 약 5d(d는 철근의 공칭직경)부근까지 진행되었고 철근의 인장파괴에 의하여 최대내력이 결정된 실험체의 철근 항복영역은 슬리브 단부에서 약 4d부근까지 진행되었다. 그러나 편의상 철근과 충전 모르타르 사이에서 부착파괴가 발생한 실험체의 부착응력 분포를

슬리브내에 매입된 전 철근길이에 대해서 일정하다고 가정하였다.

상기의 2가지 기존 평가방법을 이용하여 본 실험에서 부착파괴가 발생한 40개 실험체의 부착강도를 구하여 실험치와 비교한 것을 Table 7과 Fig. 5, 6에 나타내었다.

Table 7 Comparison of measured and calculated bond strength (existing equations)

Specimen	σ_{test}^{*} (N/mm^2)	σ_{suz}^{**} (N/mm^2)	$\sigma_{test}/\sigma_{suz}$	σ_{kim}^{***} (N/mm^2)	$\sigma_{test}/\sigma_{kim}$
1B45-1	559.2	487.6	1.15	419.9	1.33
1B45-2	540.5	487.6	1.11	419.9	1.29
1B45-3	512.1	487.6	1.05	419.9	1.22
1B50-2	568.0	534.6	1.06	469.9	1.21
1B50-3	583.7	534.6	1.09	469.9	1.24
1B55-1	586.6	581.7	1.01	519.9	1.13
1B55-2	565.1	581.7	0.97	519.9	1.09
1N45-1	512.1	428.7	1.19	380.6	1.35
1N45-3	490.5	428.7	1.14	380.6	1.29
1N50-1	535.6	467.9	1.14	426.7	1.26
1N50-2	508.2	467.9	1.09	426.7	1.19
1N50-3	491.5	467.9	1.05	426.7	1.15
1N55-1	568.0	506.2	1.12	471.9	1.20
1N55-2	577.8	506.2	1.14	471.9	1.22
1N60-2	585.7	545.4	1.07	517.0	1.13
1S45-1	511.1	465.0	1.10	406.1	1.26
1S45-2	501.3	465.0	1.08	406.1	1.23
1S45-3	500.3	465.0	1.08	406.1	1.23
1S50-1	560.2	509.1	1.10	454.2	1.23
1S50-2	557.2	509.1	1.09	454.2	1.23
1S50-3	568.0	509.1	1.12	454.2	1.25
1S55-1	581.7	553.3	1.05	502.3	1.16
1S55-3	584.7	553.3	1.06	502.3	1.16
2N45-1	483.6	428.7	1.13	380.6	1.27
2N45-2	457.1	428.7	1.07	380.6	1.20
2N45-3	492.5	428.7	1.15	380.6	1.29
2N50-1	528.8	467.0	1.13	426.7	1.24
2N50-2	528.8	467.0	1.13	426.7	1.24
2N50-3	594.5	467.0	1.27	426.7	1.39
2N55-1	580.8	506.2	1.15	471.9	1.23
2N55-3	533.7	506.2	1.05	471.9	1.13
2N60-1	570.0	544.5	1.05	517.0	1.10
2N65-2	612.1	583.7	1.05	562.1	1.09
2N65-3	563.1	583.7	0.96	562.1	1.00
1TMLM-1	596.4	592.5	1.01	591.5	1.01
1RMLC-1	608.2	592.5	1.03	591.5	1.03
1TMLC-1	584.7	592.5	0.99	591.5	0.99
2RMLC-1	521.9	585.7	0.89	582.7	0.90
2TMLC-1	666.1	585.7	1.14	582.7	1.14
2RSSC-1	632.7	706.3	0.90	628.8	1.01

(Note)
* : measured bond strength(P_{max}/A_s in which P_{max} = maximum load of specimen which failed in bond, A_s=sectional area of rebar)
** : calculated bond strength(Suzuki's equation)
*** : calculated bond strength(Kim's equation)

여기서 부착강도는 철근의 공칭단면적으로 나누어서 응력단위로 표시하였다. Table 8에서 2가지 기존의 부착강도 평가방법에 의한 실험치/계산치의 평균값과 변동계수를 철근의 정착길이별로 분류하여 나타내었다. 상기의 鈴木식과 김형기식은 각각 본 실험의 철근이음 부착강도를 약 8%, 18% 정도 과소평가하고 있고 철근의 정착길이가 감소함에 따라서 이러한 경향은 증가하였다.

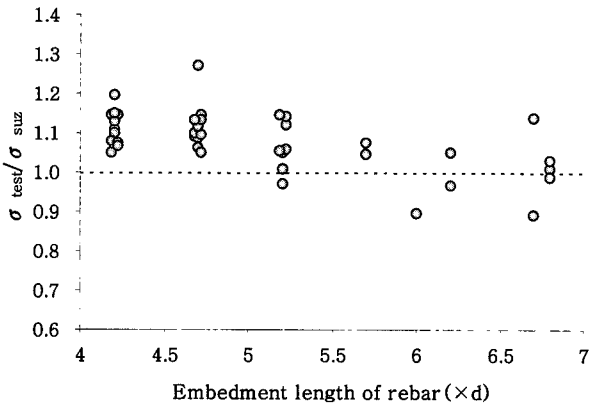


Fig. 5 Comparison of measured and calculated bond strength (Suzuki's equation)

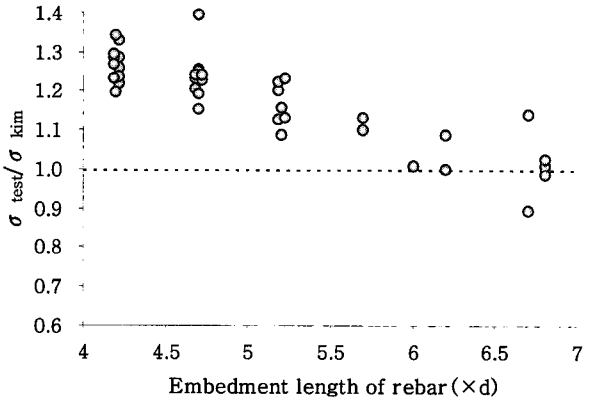


Fig. 6 Comparison of measured and calculated bond strength (Kim's equation)

Table 8 Comparison of σ test/σ cal according to embedment length (Existing equations)

Statistics \ Embedment length	4.2d	4.7d	5.2d	5.7d	6~6.8d	Total
Number of Specimen	11	11	8	2	8	40
Mean <Suzuki>	1.114	1.115	1.069	1.060	0.996	1.079
Coefficient of variation(%) <Suzuki>	3.79	5.27	5.95	1.33	8.21	6.83
Mean <Kim>	1.269	1.239	1.165	1.115	1.021	1.183
Coefficient of variation(%) <Kim>	3.69	4.75	4.18	1.90	6.95	9.04

3.3 구속효과를 고려한 모르타르 충전식 철근이음의 부착강도

앞에서 원주방향 구속응력이 구해진 3개의 실험체는 슬리브 표면에 변형률 게이지를 부착한 것으로 이것을 통하여 직접적으로 슬리브가 구속하는 힘을 산정할 수 있지만 변형률 게이지를 부착하지 않은 나머지 부착파괴가 발생한 실험체는 실제적으로 발생한 구속응력을 알 수는 없다. 그러나 앞에서 기술한 식 (2)는 Table 5에 나타난 것처럼 비교적 정확하게 원주방향 구속력이 있는 부착강도를 예측하였다. 이런 면에서 식 (2)를 모르타르 충전식 철근이음의 부착강도 평가식으로 사용할 수 있다고 판단된다. 그리고 실험체의 실제적인 부착강도와 모르타르 압축강도를 안다면 식 (2)를 이용하여 각 실험체의 구속응력을 구할 수 있다. 즉 원주방향 구속응력 f_n은 식 (2)로부터 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$f_n = 4.94\left(\frac{\tau}{\sqrt{f_m}}\right)^2 - 14.72\frac{\tau}{\sqrt{f_m}} + 10.96 \qquad (7)$$

여기서,

τ : 실험체의 최대 부착응력(N/mm^2),

f_m : 충전 모르타르의 압축강도(N/mm^2)

상기의 식 (7)을 최종적으로 부착파괴된 40개의 본 실험결과에 적용하면 각 실험체의 원주방향 구속응력을 구할 수 있다. 여기서 각 실험체의 원주방향 구속응력 f_n은 다음과 같이 철근직경에 대한 정착길이의 비, 충전 모르타르 압축강도를 종속변수로 다중회귀분석을 실시하였다.

$$f_n = A\left(\frac{l}{d}\right) + B \cdot f_m + C \qquad (8)$$

여기서,

A, B, C : 종속변수의 상수항,

l : 철근의 정착길이,

d : 철근의 공칭직경,

f_m : 충전 모르타르의 압축강도(N/mm^2)

그런데 원주방향 구속응력 f_n의 종속변수 하나로 철근직경에 대한 정착길이의 비를 채택한 것은 앞에서 기술한 본 실험결과에서 나타난 것처럼 철근직경에 대한 정착길이의 비가 원주방향 구속력에 밀접한 영향을 미치는 것으로 나타났기 때문이다. 또한 다른 하나의 변수로 충전 모르타르 압축강도를 채택한 것은 본 실험에서 실험체의 원주방향 구속력을 직접 구하기 위하여 채택된 변수는 아니었기 때문에 직접적인 영향을 파악하기는 어렵지만 이 변수가 실험체의 파괴형식과 부착응력의 분포 등과 같은 실험체의 부착거동에 영향을 미치기 때문에 이것이 모르타르 충전식 철근이음의 원주방향 구속효과에도 영향을 미칠 것으로 판단했기 때문이다.

그래서 상기의 다중회귀분석 결과, 종속변수의 상수항은

Table 9 Comparison of measured and calculated bond strength (Proposed equation)

Specimen	σ_{test}^{*} (N/mm^2)	σ_{cal}^{**} (N/mm^2)	$\sigma_{test}/\sigma_{cal}$
1B45-1	559.2	524.1	1.07
1B45-2	540.5	524.1	1.03
1B45-3	512.1	524.1	0.98
1B50-2	568.0	561.8	1.01
1B50-3	583.7	561.8	1.04
1B55-1	586.6	591.9	0.99
1B55-2	565.1	591.9	0.95
1N45-1	512.1	489.0	1.05
1N45-3	490.5	489.0	1.00
1N50-1	535.6	526.0	1.02
1N50-2	508.2	526.0	0.97
1N50-3	491.5	526.0	0.93
1N55-1	568.0	556.7	1.02
1N55-2	577.8	556.7	1.04
1N60-2	585.7	580.0	1.01
1S45-1	511.1	511.6	1.00
1S45-2	501.3	511.6	0.98
1S45-3	500.3	511.6	0.98
1S50-1	560.2	549.1	1.02
1S50-2	557.2	549.1	1.01
1S50-3	568.0	549.1	1.03
1S55-1	581.7	579.6	1.00
1S55-3	584.7	579.6	1.01
2N45-1	483.6	489.0	0.99
2N45-2	457.1	489.0	0.93
2N45-3	492.5	489.0	1.01
2N50-1	528.8	526.0	1.01
2N50-2	528.8	526.0	1.01
2N50-3	594.5	526.0	1.13
2N55-1	580.8	556.7	1.04
2N55-3	533.7	556.7	0.96
2N60-1	570.0	580.0	0.98
2N65-2	612.1	594.5	1.03
2N65-3	563.1	594.5	0.95
1TMLM-1	596.4	585.0	1.02
1RMLC-1	608.2	585.0	1.04
1TMLC-1	584.7	585.0	1.00
2RMLC-1	521.9	585.4	0.89
2TMLC-1	666.1	585.4	1.14
2RSSC-1	632.7	630.8	1.00

(Note)

* : measured bond strength(P_{max}/A_s in which P_{max} = maximum load of specimen which failed in bond, A_s=sectional area of rebar)

** : calculated bond strength(Proposed equation)

A=-5.689, B=-0.148, C=56.34로 나타났다. 여기서 식을 다소 간단하게 하기 위해서 종속변수의 상수항을 A=-5.7, B=-0.15, C=56으로 하면 다음과 같다.

$$f_n = 56 - 5.7(\frac{l}{d}) - 0.15\ f_m \qquad (9)$$

이 식을 적용할 수 있는 범위는 철근 정착길이는 4.2 d~6.8d, 충전 모르타르 압축강도는 59~78 N/mm^2, 슬리브 재료의 항복강도는 324 N/mm^2 이상으로 제한한다.

여기서는 철근과 충전 모르타르 사이의 부착응력 분포를 슬리브내에 매입된 전 철근길이에 대해서 일정하다고 가정하면 철근이음의 최대 부착강도는 다음과 같다.

$$P_{max} = \tau \cdot \pi \cdot d \cdot l \qquad (10)$$

여기서,

τ : 식 (2)에 의하여 구한 부착응력(N/mm^2),

d : 철근의 공칭직경(mm),

l : 철근의 정착길이(mm)

여기서 최종적으로 부착파괴된 40개 실험체를 대상으로 하여 상기의 식 (9)를 이용하여 원주방향 구속응력을 산정한 후에 이 값을 식 (2)와 식 (10)에 대입하여 각 실험체의 부착강도를 산정하였다. 그 결과, Table 9, 10과 Fig. 7에 나타내고 있는 것처럼 본 제안식은 다른 기존의 부착강도 평가방법과 비교하여 정확하게 실험값을 예측하고 있는 반면에, 鈴木 제안식은 전체 40개 실험체에 대하여 8 % 정도, 김형기 제안식은 18 % 정도 실험값을 과소평가하고 있다. 또한 본 제안식을 적용하면 철근의 정착길이에 대한 편차가 없어지는 반면에 鈴木 제안식은 철근 정착길이가 6d 이상인 경우는 실험값을 0.4 % 정도 과대평가하고 있지만 5.2d인 경우는 7 % 정도, 4.2d인 경우는 11 % 정도로 철근의 정착길이가 감소함에 따라서 실험값을 과소평가하고 있는 경향이 있고, 김형기 제안식도 철근 정착길이가 6d 이상인 경우는 2 % 정도, 5.2d인 경우는 17 % 정도, 4.2d인 경우는 27 % 정도까지 철근의 정착길이가 감소함에 따라서 실험값을 과소평가하고 있는 경향이 있었다. 그리고 각 제안식에 의해 구한 실험치/계산치의 변동계수도 전 실험체에 대하여 鈴木 제안식은 6.8 %, 김형기 제안식은 9.0 %인데 비하여 본 제안식은 4.6 %로 낮게 나타났다.

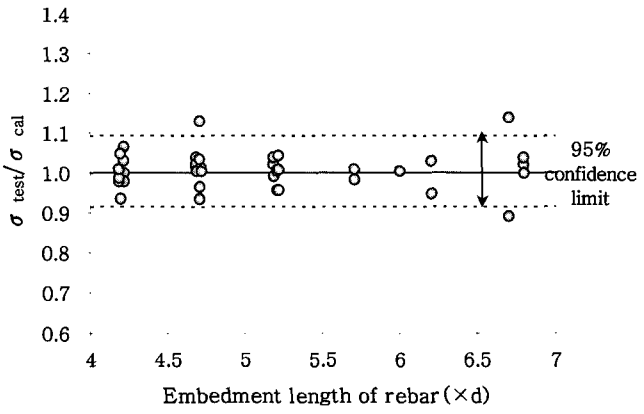


Fig. 7 Comparison of measured and calculated bond strength (Proposed equation)

Table 10 Comparison of σ test/σ cal according to embedment length (Proposed equation)

Statistics \ Embedment length	4.2d	4.7d	5.2d	5.7d	6~6.8d	Total
Number of Specimen	11	11	8	2	8	40
Mean	1.002	1.016	1.001	0.995	1.009	1.007
Coefficient of variation (%)	3.81	4.77	3.35	2.13	7.16	4.63

4. 결 론

실물크기의 모르타르 충전식 철근이음에 대한 가력실험 결과로부터 슬리브의 구속효과가 모르타르 충전식 철근이음의 부착성능에 미치는 영향을 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 본 연구의 실험에서 부착파괴가 발생한 실험체를 대상으로 기존의 모르타르 충전식 철근이음의 부착강도 평가방법의 적합성을 검토한 결과, 기존의 방법은 본 실험의 철근이음 부착강도를 약 8~18% 정도 과소평가하고 있고 철근의 정착길이가 감소함에 따라서 이러한 경향은 커졌다.
2) 최종적으로 부착파괴된 실험결과로부터 철근의 정착길이와 충전 모르타르 압축강도를 종속변수로 다중회귀분석을 실시하여 철근이음의 구속응력을 제안하였다. 횡방향 구속효과를 고려한 Untrauer와 Henry의 부착강도식에 구속응력 산정 제안식을 적용하면 다른 기존의 부착강도 평가방법과 비교하여 정확하게 실험값을 예측할 수 있음은 물론 철근의 정착길이에 따른 편차도 제거할 수 있었다.

참고문헌

1. Amin Einea, Takashi Yamane, and Mather K. Tadros, "Grout-Filled Pipe Splices for Precast Concrete Construction," *PCI Journal, January -February*, 1995, pp.82~93.
2. Parviz Soroushian and Ki-Bong Choi, "Local

Bond of Deformed Bars with Different Diameters in Confined Concrete," *ACI Structural Journal*, March-April 1989, pp.217~222.
3. Parviz Soroushian, Ki-Bong Choi, Gill-Hyun Park, and Farhang Aslani, "Bond of Deformed Bars to Concrete: Effects of Confinement and Strength of Concrete," *ACI Materials Journal*, May-June 1991, pp.227~232.
4. Raymond E. Untrauer and Robert L. Henry, "Influence of Normal Pressure on Bond Strength," *ACI Journal, May*, 1965, pp.577~585.
5. 日本建築學會, "鐵筋コンクリート造配筋指針同解說", 1986年, pp.271~279.
6. 鈴木計夫 外 4人, "鋼管スリーブを用いたグラウト充塡式繼手に關する硏究(その5: 破壞タイプ別の繼手內部のひび割れおよび變形狀況, その6: 載荷段階ごとの繼手內部狀況および應力傳達機構)", 日本建築學會大會學術講演梗槪集(北海道), 1995. 8, pp.21~24.
7. 鈴木計夫 外 2人, "グラウト充塡式鐵筋繼手に關する硏究の動向", 日本コンクリート工學, Vol.34, No.4, 1996年4月, pp.15~23.
8. 鈴木計夫 外 3人, "鋼管スリーブを用いたグラウト充塡式繼手における鐵筋の付着應力度すべり特性", 日本建築學會構造系論文集 第462號, 1994. 8, pp.131~139.
9. 中野克彦 外 3人, "モルタル充塡式鐵筋繼手を用いたプレキャスト部材の構造性能評價に關する硏究(その3: 應力傳達機構に關する基礎硏究 Part 1)," 日本建築學會大會學術講演梗槪集(北海道), 1995. 8, pp.33~34.
10. 林芳尙 外 3人, "鋼管スリーブを用いたグラウト充塡式鐵筋繼手の繰返し荷重下における基礎的性能," 日本建築學會構造系論文集 第496號, 1997. 6, pp.91~98.
11. 松崎育弘 外 3人, "モルタル充塡式鐵筋繼手を用いたプレキャスト部材の構造性能評價に關する硏究(その3: 應力傳達機構に關する基礎硏究 Part 1)", 日本建築學會大會學術講演梗槪集(北海道), 1995. 8, pp.29~34.
12. 松崎育弘 外 3人, "モルタル充塡式鐵筋繼手を用いたプレキャスト部材の構造性能評價に關する硏究(その4: 應力傳達機構に關する基礎硏究 Part 2)", 日本建築學會大會學術講演梗槪集(近畿), 1996. 9, pp.755~756.
13. 김형기, "그라우트 充塡式 鐵筋이음의 應力傳達機構와 付着性能에 관한 硏究", 大韓建築學會論文集 構造系 15권 11호, 1999. 11, pp.11~17.
14. 안병익, 김형기, 박복만, "모르타르 충전식 철근이음의 구속효과", 한국콘크리트학회논문집 15권 1호, 2003. 2, pp.102~109.
15. 김형기, "고강도 모르타르 충전식 스플라이스 슬리브의 인장강도와 연성에 관한 실험적 연구", 大韓建築學會論文集 構造系 18권 12호, 2002. 12, pp.35~42.

요 약

본 논문에서는 그라우트 충전식 철근이음의 보다 합리적이고 타당한 부착강도를 평가하는 방법을 제시하고자 한다. 이 목적을 위하여 실물크기의 60개 모르타르 충전식 철근이음 실험체를 제작한 후에 단조가력을 실시하였다. 본 연구의 실험변수는 충전 모르타르 압축강도, 철근의 정착길이, 철근의 규격 등으로 정하였다.

본 연구의 결과, 본 실험에서 부착파괴가 발생한 실험체를 대상으로 기존의 모르타르 충전식 철근이음의 부착강도 평가방법의 적합성을 검토하면 기존의 방법은 본 실험의 철근이음 부착강도를 약 8~18% 정도 과소평가하고 있고 철근의 정착길이가 감소함에 따라서 이러한 경향은 커졌다. 또한 최종적으로 부착파괴된 실험결과로부터 철근의 정착길이와 충전 모르타르 압축강도를 종속변수로 다중회귀분석을 실시하여 철근이음의 구속력을 제안하였다. 횡방향 구속효과를 고려한 Untrauer와 Henry의 부착강도식에 구속력 산정 제안식을 적용하면 다른 기존의 부착강도 평가방법과 비교하여 정확하게 실험값을 예측할 수 있음은 물론 철근의 정착길이에 따른 편차도 제거할 수 있었다.

핵심용어 : 모르타르 충전식 철근이음, 구속효과, 철근의 정착길이, 부착강도