

## 각종 그라우트 충전식 철근이음의 내력에 대한 비교평가

김형기<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup> 삼척대학교 건축공학과

(2004년 4월 30일 원고접수, 2004년 6월 20일 심사완료)

## Comparative Evaluation on Strength of Several Grout-filled Splice Sleeve

Hyong-kee Kim<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Architectural Engineering, Samcheok National University, Kangwon, 245-711, Korea

(Received April 30, 2004, Accepted June 20, 2004)

### ABSTRACT

In this study, the tensile strength of 321 full-sized grout-filled splice sleeve specimens were compared and analyzed in order to afford the data for a reasonable and economical design of this system. The experimental variables analyzed in this study were embedment length of reinforcing bars, compressive strength of grout, sleeve geometry, loading pattern and final failure mode of specimen.

Following main conclusions are obtained : 1) The strength of grout-filled splice sleeve tends to be improved with increasing compressive strength of grout and embedment length of reinforcing bars. Specially this tendency appears apparent in specimens of bond failure rather than rebar failure. 2) The results of this study show that the sleeve geometry have influence on the bond strength of grout-filled splice sleeve. 3) The grout-filled splice sleeve of bond failure don't show the difference of tensile strength according to size of rebar. 4) It is verified that the tensile strength required in ACI and domestic code is retained either when the compressive strength of grout over 70 MPa is used with embedment length of reinforcing bars over 4.5d or when the compressive strength of grout over 80 MPa is used with embedment length of rebars over 3.9d. 5) It is verified that the tensile strength required in AIJ code is retained in case when the embedment length of reinforcing bars is 0.8 times the rebar diameter longer than in ACI code.

**Keywords :** grout-filled splice sleeve, strength, compressive strength of grout, embedment length, sleeve geometry

### 1. 서 론

철근콘크리트 구조의 프리캐스트(이하, PC) 공법에서는 철근의 이음이 구조뿐만 아니라 시공상으로도 가장 중요하기 때문에 종래의 겹침이음, 압접이음 이외에도 기계식 이음이나 용접식 이음과 같은 다양한 철근이음 방법이 개발되었다<sup>1)</sup>. 그 중에서도 그라우트 충전식 철근이음은 겹침이음이나 압접이음에서는 허용되지 않는 철근규격 D38 이상의 대구경 철근에도 적용할 수 있고 철근위치의 오차와 경사에 대한 대응도 가능할 뿐 아니라 후타설 콘크리트가 불필요하기 때문에 최근에 기둥, 벽과 같은 연직 철근 콘크리트 부재의 PC 공법에서 철근이음 방법으로 매우 유효하게 사용하고 있다<sup>1)</sup>.

이러한 그라우트 충전식 철근이음은 주로 일본에서 활

발하게 연구되었는데 그 중에서 주물로 제작한 NMB 스플라이스 슬리브는 본격적으로 적용된 최초의 철근이음용 슬리브라고 할 수 있다. 그러나 1990년대에 들어와서 PC 공법이 더욱 활성화됨에 따라 비용절감과 적용범위를 확대하기 위하여 나사형 슬리브, 강관형 슬리브 등이 개발되어 다양한 실험적 연구의 결과가 보고되었다<sup>2-6)</sup>. 그리고 국내에서도 그라우트 충전식 철근이음의 필요성을 절감하고 1990년대 중반 이후에 주물형 슬리브<sup>7-11)</sup>를 비롯하여 강관형 슬리브<sup>12-14)</sup> 등이 개발되어서 구조성능을 확인한 이후에 현장에 적용하고 있는 실정이다.

그동안 그라우트 충전식 철근이음은 슬리브의 재료, 형상, 제작방법 등에서 다양한 종류가 개발되어, 개발된 슬리브를 중심으로 한 실험연구가 각각 진행되었지만 각종 그라우트 충전식 철근이음에 대한 체계적이고 종합적인 구조성능에 대한 평가는 부족한 상황이라고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 그동안 개발되어 사용되고 있는 각종 그라우트 충전식 철근이음의 구조성능을 비교 평가하고자

\* Corresponding author

Tel : 033-570-6521 Fax : 033-574-6520

E-mail : hyongkee@samcheok.ac.kr

국내뿐만 아니라 외국에서 실시했던 각종 그라우트 충전식 철근이음의 320여개 실험결과를 수집하여 철근이음의 내력을 중심으로 비교분석함으로써 보다 합리적이고 경제적인 그라우트 충전식 철근이음의 설계를 위한 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 분석 대상 실험

Table 1에서 본 연구의 분석대상이 되는 실험체의 데이터를 개괄적으로 나타내었다. 실험체는 총 321개로 슬리브 형식이 주물형과 강관형 2종류, 철근의 정착길이가 2~10.2d(철근의 공칭직경), 충전 그라우트 압축강도가 45~132 MPa, 철근의 종류는 SD40을 비롯하여 6종류, 철근의 규격은 D19, D25, D35, D38 등 9종류, 가력방법은 단조와 반복 2종류, 최종 파괴형식은 철근파단, 부착파괴 등 4종류, 연구그룹은 6개로 광범위하게 구성되어 있다.

### 2.1 김형기<sup>7-11)</sup>의 실험

국내에서 김형기는 1998년에 인장강도 500 MPa 이상, 연신율 7% 이상의 기계적인 성질을 가지고 있는 구상 흑연 주철 GCD50을 재료로 사용한 스플라이스 슬리브를 개발한 이후에 철근이음의 인장강도를 비롯한 구조성능과

구속효과를 고려한 부착특성을 파악하기 위하여 4차에 걸쳐서 철근이음 실험을 실시하였다. 실험의 주요한 변수는 철근의 정착길이, 충전 그라우트 압축강도, 철근의 규격, 가력방법, 최종 파괴형식 등이었다. Fig. 1에 실험에서 사용된 대표적인 스플라이스 슬리브의 형상을 나타내었다.

### 2.2 Asse<sup>15)</sup>의 실험

Asse는 1996년에 일본에서 개발된 주물형 스플라이스 슬리브를 이용한 철근이음 실험을 실시한 이후에 연구결과를 발표하였다. 이 실험의 주요한 변수는 충전 그라우트 압축강도와 철근의 규격 등이었고 철근은 기존에 사용하던 것보다 강도가 높은 SD50을 사용하여 고강도 철근의 적용여부를 검토하였다.

### 2.3 Splice Sleeve<sup>16-18)</sup>사의 실험

일본 Splice Sleeve사는 1992년부터 인장강도 600 MPa 이상, 연신율 6% 이상의 기계적인 성질을 가지고 있는 주철재료를 사용하여 개발한 NMB 스플라이스 슬리브의 구조성능을 증명하기 위한 다양한 변수의 실험을 실시하여 결과를 보고하였다. 이 실험의 주요한 변수는 철근의 정착길이, 충전 그라우트 압축강도, 철근의 규격, 가력방법

Table 1 Test data of several grout-filled splice sleeve

Researcher	Number of specimen	Type of sleeve*	Embedment length of rebar(×d)	Compressive strength of grout (MPa)	Kind of rebar*	Size of rebar*	Method of loading**	Final failure mode***
H.Kim <sup>7-11)</sup>	134	Cast	4.2~6.8	61~88	SD40 (134)	D16 (2), D19 (45) D25 (50), D32 (5) D38 (32)	Mono. (94) Cyclic (40)	R (88) B (43) S (3)
Asse <sup>15)</sup>	17	Cast	6.5~7	81~132	SD50 (17)	D16 (2), D19 (3) D22 (2), D25 (2) D29 (2), D32 (2) D35 (1), D38 (2) D41 (1)	Cyclic (17)	R (17)
NMB Splice Sleeve <sup>16-18)</sup>	77	Cast	4.92~7.14	77~102	SD35 (20) SD40 (57)	D16 (3), D19 (4) D22 (9), D25 (6) D29 (4), D32 (2) D35 (17), D38 (2) D41 (30)	Mono. (50) Cyclic (27)	R (65) B (7) W (5)
L.Lee <sup>12-14)</sup>	49	Pipe	5.7~10.2	74	SD30 (11) SD35 (16) SD40 (22)	D19 (11) D22 (22) D25 (16)	Mono. (49)	R (9) B (13) S (27)
A.Einea <sup>19)</sup>	8	Pipe	6.65~9.3	45~70	SD40 (8)	D16 (1) D19 (7)	Mono. (8)	R (1) B (7)
Suzuki <sup>2-6)</sup>	36	Pipe	2~10	58~112	SD40 (32) SD80 (2) SD100 (2)	D35 (36)	Mono. (25) Cyclic (11)	R (22) B (12) S (2)
Total	321	Cast (228) Pipe (93)	2~10.2	45~132	SD30 (11) SD35 (36) SD40 (253) SD50 (17) SD80 (2) SD100 (2)	D16 (8), D19 (70) D22 (33), D25 (74) D29 (6), D32 (9) D35 (54), D38 (36) D41 (31)	Mono. (226) Cyclic (95)	R (202) B (82) S (32) W (5)

(Note) \* : inner number of ( ) is number of specimen

\*\* : Mono.=monotonic loading, Cyclic=cyclic loading

\*\*\* : R=fracture of rebar, B=bond failure, S=fracture of sleeve, W=fracture of welding part

등이었다. 여기서의 NMB 스플라이스 슬리브는 김형기 실험에서 사용된 슬리브와 같이 협구쪽은 슬리브 중앙에서 바깥쪽으로 갈수록 단면이 줄어드는 형상을 하고 광구쪽은 일정한 크기로 되어 있지만 슬리브 내부 돌기가 원둘레 방향과 평행하게 제작되어 있다

### 2.4 이리형<sup>12-14)</sup>의 실험

국내에서 이리형 교수연구팀은 1994년부터 시중에서 용이하게 구할 수 있는 압력 배관용 강관을 이용하여 3가지 형상의 강관형 슬리브를 개발한 이후에 수차에 걸쳐서 철근이음 실험을 실시하였다. 실험의 주요한 변수는 강관 슬리브의 형상, 철근의 정착길이, 철근의 규격 등이었다. Fig. 2에 실험에서 사용된 대표적인 원형 강관 슬리브의 형상을 나타내었다.

### 2.5 A.Einea<sup>19)</sup>의 실험

미국에서 A.Einea는 1995년에 강관형 슬리브를 이용하여 2차에 걸쳐서 실험을 실시하여 강관 슬리브 철근이음의 인장강도와 슬리브의 구속효과를 파악한 연구결과를 발표하였다. 실험의 주요한 변수는 슬리브의 형상, 철근의 정착길이, 충전 그라우트 압축강도, 철근의 규격 등이었다. Fig. 3에 실험에서 사용된 대표적인 강관 슬리브의 형상을 나타내었다.

### 2.6 Suzuki<sup>2-6)</sup>의 실험

일본의 Suzuki 연구팀은 1992년부터 내부에 돌기가 있는 강관을 사용하여 제작된 전봉(電縫) 강관 슬리브를 이용하여 2차에 걸쳐서 일본건축학회(이하, AIJ) 철근이음에 대한 규준에서 요구하고 있는 구조성능은 물론 철근과 충전 그라우트 사이의 부착특성을 파악하기 위한 실험을 실시하여 연구결과를 보고하였다. 실험의 주요한 변수는 철근의 정착길이, 충전 그라우트 압축강도, 철근의 종류와 규격, 가력방법, 최종 파괴형식 등이었다. Fig. 4에 실험에서 사용된 대표적인 강관 슬리브의 형상을 나타내었다.

## 3. 실험결과와 검토

본 연구에서는 분석대상의 기존 실험결과<sup>2-19)</sup>를 이용하여 ACI 규준<sup>20)</sup>과 AIJ 규준<sup>21,22)</sup>을 중심으로 철근이음에 대한 내력을 비교, 평가하였다.

철근콘크리트 구조의 기계식 접합이음에 대한 구조성능에 대하여 ACI 규준에서는 철근설계기준항복강도( $f_y$ )의 1.25배 이상의 인장력과 압축력을 전달할 수 있어야 한다고 규정하고 있고 국내 규준<sup>23)</sup>에서도 ACI 규준과 동일한

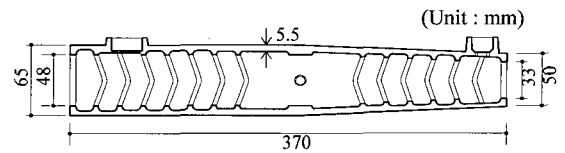


Fig. 1 Section of cast splice sleeve used in test of H.Kim (D25 rebar)

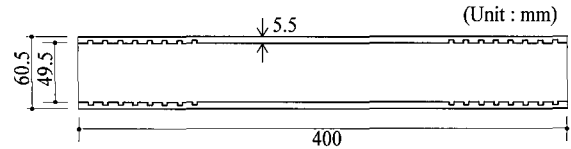


Fig. 2 Section of pipe splice sleeve used in test of L.Lee (D25 rebar)

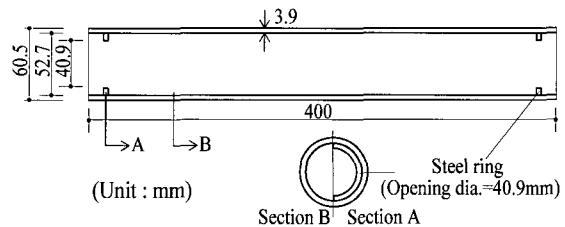


Fig. 3 Section of pipe splice sleeve used in test of A.Einea (D25 rebar)

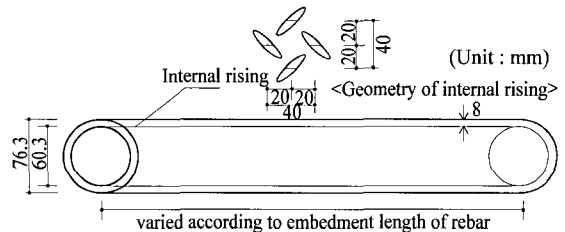


Fig. 4 Section of pipe splice sleeve used in test of Suzuki (D35 rebar)

방법을 사용하고 있다. 한편 AIJ 규준에서는 접합이음의 성능을 4단계로 분류하여 구조설계방법이나 이음의 위치에 따라 구분하여 사용하고 있고 상위 3단계에서는 철근 설계기준항복강도의 1.35배 이상이거나 철근의 인장강도( $f_u$ ) 이상의 힘을 전달할 수 있어야 한다고 규정하고 있다.

Fig. 5에서 분석 대상인 실험체의 내력을 철근의 정착길이에 따라서 비교하였다. 이 그림에서는 실험 데이터를 충전 그라우트 압축강도, 슬리브의 형식, 최종 파괴형식과 같은 주요한 변수에 따라 분류하였다. 실험체의 충전 그라우트 압축강도는 10 MPa 간격으로 정리하였다.

여기서 실험체의 내력은 철근의 정착길이가 증가함에 따라서 상대적으로 철근의 정착길이가 짧거나 충전 그라우트 압축강도가 낮아서 부착파괴가 발생한 실험체에서 뚜렷하게 증가하는 경향을 보였고 철근 파단에 의해서 내

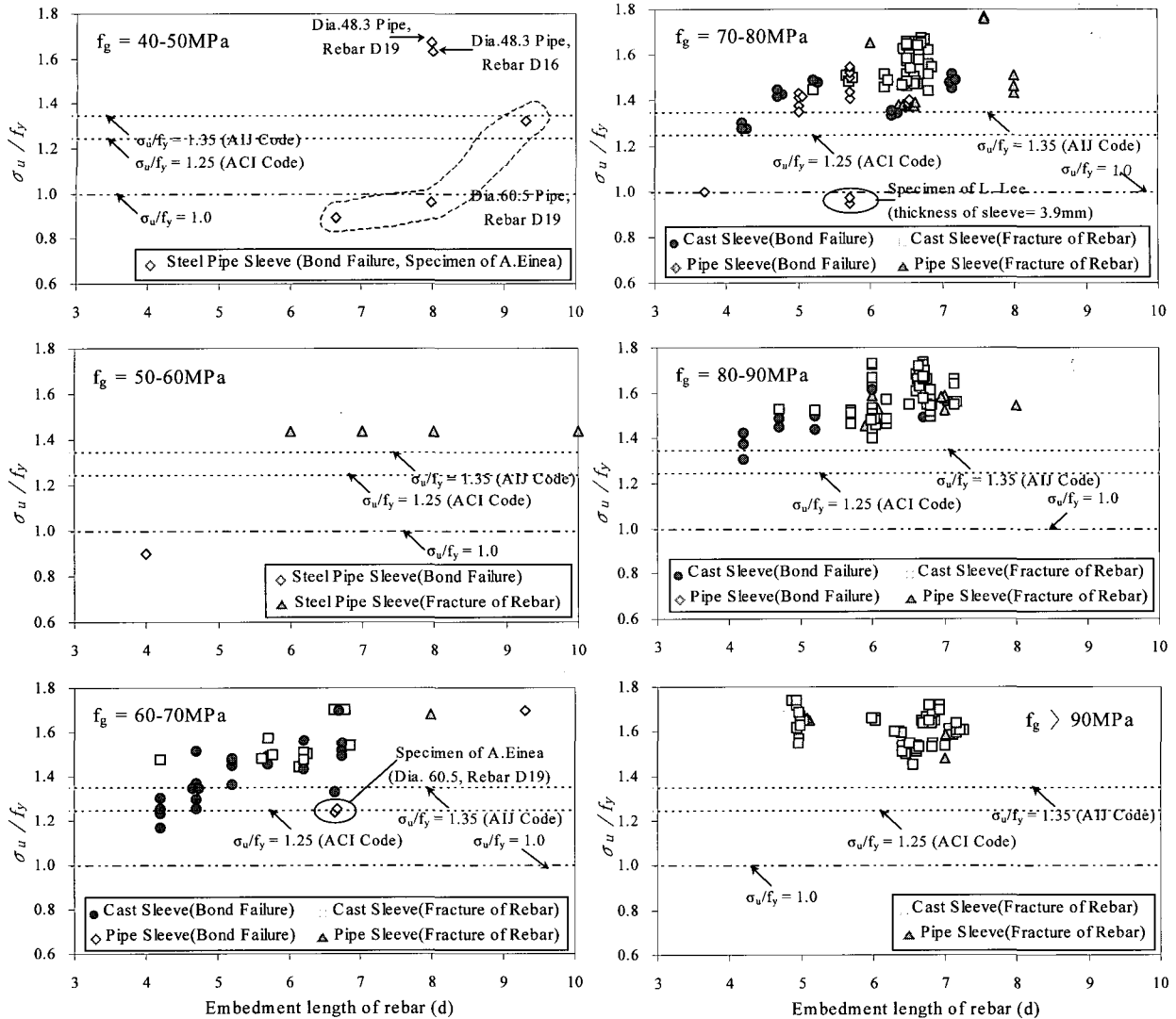


Fig. 5 Relationship between strength and embedment length of rebar for grout-filled splice sleeve specimen

력이 결정된 실험체에서는 그런 경향이 분명하게 나타나지 않았다.

Fig. 6에서는 분석 대상인 실험체의 내력을 충전 그라우트 압축강도에 따라서 비교하였다. 이 그림에서는 실험 데이터를 철근의 정착길이, 슬리브의 형식, 최종 파괴형식과 같은 주요한 변수에 따라 분류하였다. 여기서 실험체의 내력은 그라우트 압축강도가 증가함에 따라서 Fig. 5와 마찬가지로 부착파괴가 발생한 실험체에서 뚜렷하게 증가하는 경향이 나타났다. 특히 이와 같은 경향은 철근의 정착길이 가 짧은 실험체에서 더욱 분명하게 나타났다.

한편, Table 2에서는 대표적인 실험체의 슬리브 형상에 관한 자료를 나타내었다. 이 자료를 Figs. 5, 6과 비교해보면 철근의 정착길이, 충전 그라우트 압축강도와 같은 실험 변수가 거의 동일한 조건의 실험체에서 슬리브 두께/슬리브 내경( $t/d$ )이 작고 슬리브 단부의 내경/매입철근의 공칭 직경( $d/d$ )이 큰 경우가 철근이음의 내력이 낮게 나타나는

경향을 보여서 슬리브 형상이 철근이음의 내력에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Fig. 7에서는 그라우트 충전식 철근이음의 내력에 대한 슬리브 형상의 영향을 보다 구체적으로 파악하기 위하여 실험체의 내력을 슬리브 두께/슬리브 내경( $t/d$ )과 슬리브 단부의 내경/매입철근의 공칭직경( $d/d$ )에 따라서 비교하였다. 이 그림에서 비교대상이 되는 실험체는 슬리브의 형상을 제외한 모든 조건이 동일한 것으로 하였다. 즉, 충전 그라우트 압축강도와 철근의 정착길이가 같고 가력방법은 단조가력이고, 최종 파괴형식은 부착파괴된 실험체이다. Fig. 7의 모든 경우에서  $t/d$ 가 증가함에 따라서 실험체의 내력이 증가한다는 것을 나타내고 있으며, 특히  $t/d$ 가 0.07 정도로 작은 경우의 실험체 내력은 철근의 설계기준 항복강도( $f_y$ )에도 못 미치는 것으로 낮게 나타났다. 그리고 그라우트 압축강도가 45 MPa이고 철근의 정착길이가 8.0d 인 경우에는  $t/d$ 의 증가폭이 그라우트 압축강도가 66 MPa

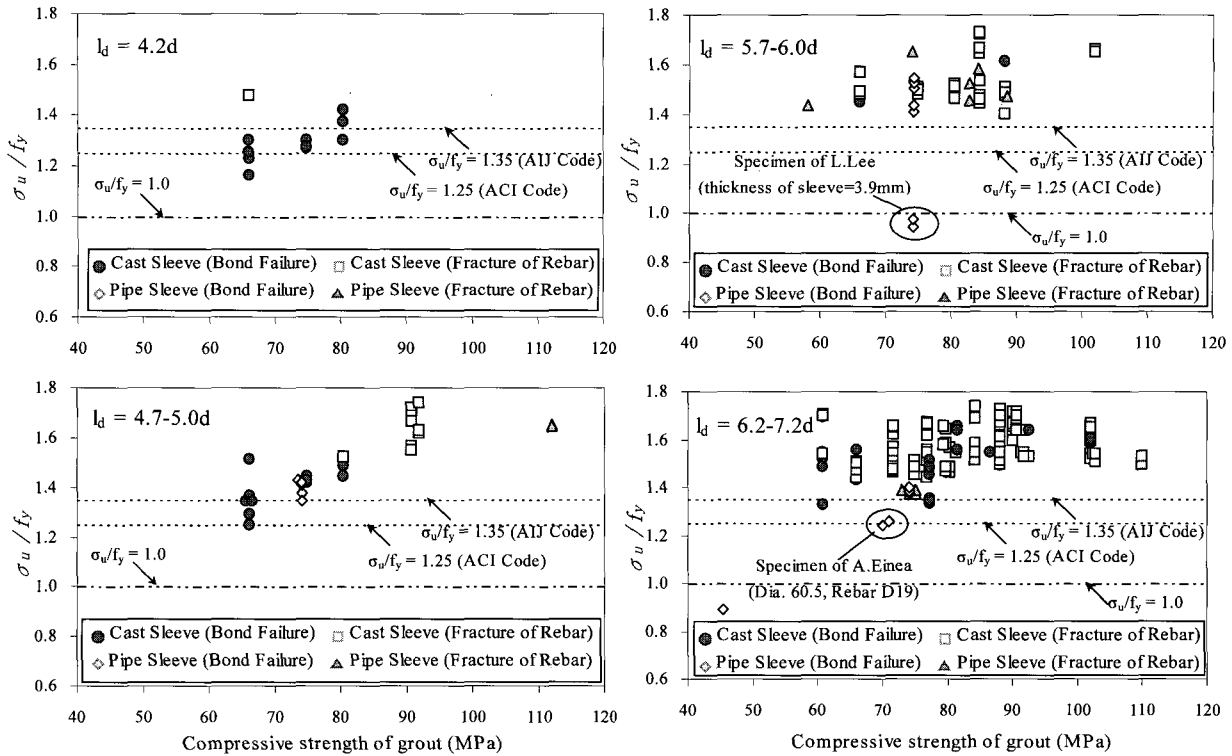


Fig. 6 Relationship between strength and compressive strength of grout for grout-filled splice sleeve specimen

과 74 MPa인 경우와 비교하여 작지만 실험체 내력의 증가비율은 오히려 높게 나타났다. 이와 같이 그라우트 압축강도가 45 MPa이면서 내력이 높게 나타난 실험체는 다른 실험체보다도  $d_i/d$  값이 작은 것으로 슬리브 단부의 작은 내경이 충전 그라우트의 슬리브 길이방향에 대한 구속효과를 크게 증가시켜서 철근이음의 부착강도를 증가시켰을 가능성을 보여주는 것이다. 이상과 같이 슬리브 형상에 의하여 결정되는  $t/d_i$ 와  $d_i/d$ 에 따라서 철근이음 내력의 차이가 나타나는 이유를 다음과 같이 설명할 수 있다. 먼저 기존 연구<sup>19,24)</sup>에 의하면 그라우트 충전식 철근이음의 슬리브에 작용하는 구속력은 다음의 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$f_n = \frac{2 \epsilon_s \cdot t \cdot E_s}{d_i} \quad (1)$$

여기서,  $f_n$  : 슬리브에 작용하는 구속력,  
 $\epsilon_s$  : 슬리브에 작용하는 원주방향의 변형률,  
 $t$  : 슬리브 두께,  $E_s$  : 슬리브의 탄성계수,  
 $d_i$  : 슬리브의 내경

상기의 식에서 슬리브에 작용하는 원주방향의 변형률과 슬리브 재료의 탄성계수가 큰 차이가 없다면 슬리브의 형상에 따라서 정해지는  $t/d_i$ 가 클수록 슬리브에 작용하는

Table 2 Comparison of geometry data of grout-filled splice sleeve

Researcher	Type of specimen	Type of sleeve	Size of rebar	Splice sleeve					$d_i/d$
				Thickness (t)	External diameter ( $d_e$ )	Internal diameter ( $d_i$ )	Internal diameter in end part( $d_{di}$ )	$t/d_i$	
H.Kim <sup>7-11)</sup>	1	Cast	D19	5.0	50.0	40.0	36.0	0.125	1.88
	2	Cast	D25	5.5	65.0	54.0	48.0	0.102	1.89
	3	Cast	D32	7.5	75.0	60.0	55.0	0.125	1.73
	4	Cast	D38	9.5	85.0	66.0	60.0	0.144	1.57
L.Lee <sup>12-14)</sup>	1	Pipe	D22	5.5	60.5	49.5	49.5	0.111	2.23
	2	Pipe	D25	3.9	60.5	52.7	52.7	0.074	2.07
	3	Pipe	D25	5.5	60.5	49.5	49.5	0.111	1.95
A.Einea <sup>19)</sup>	1	Pipe	D19	3.9	60.5	52.7	40.9	0.074	2.14
	2	Pipe	D16	3.7	48.3	40.9	25.4	0.090	1.60
	3	Pipe	D19	3.7	48.3	40.9	25.4	0.090	1.33
Suzuki <sup>2-6)</sup>	1	Pipe	D35	8.0	76.3	60.3	60.3	0.133	1.73

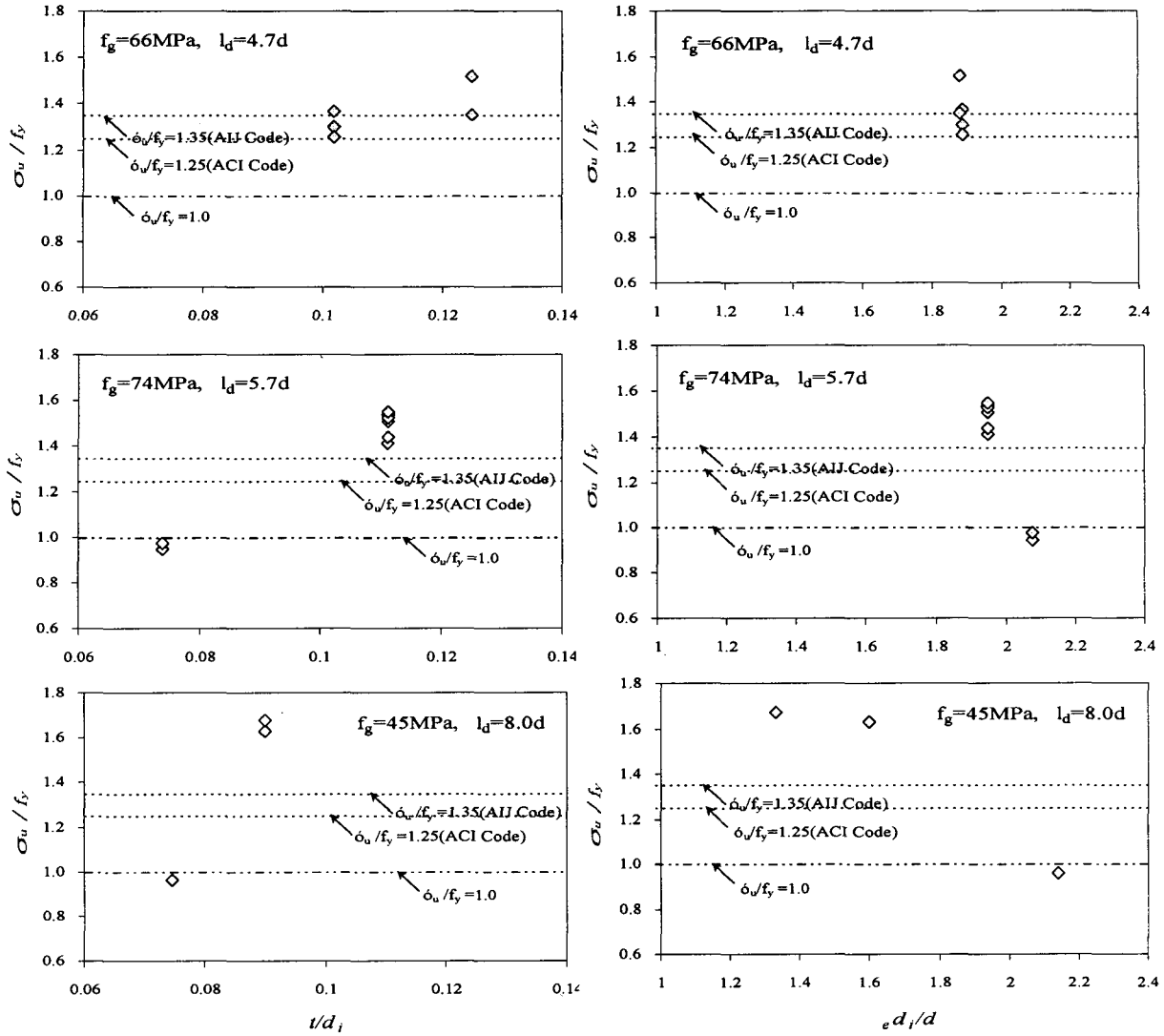


Fig. 7 Strength-sleeve geometry relationship of grout-filled splice sleeve specimen



Fig. 8 Grout-filled sleeve specimen of bond failure

구속력이 증가한다는 것을 알 수 있다. 기존 연구<sup>19,24)</sup> 결과를 보면 구속력이 클수록 철근이음의 부착강도도 증가하는 것으로 나타났다.

또한 동일한 조건에서 슬리브 단부의 내경이 작게 만들어진 실험체일수록 철근이음의 부착강도가 증가되는 이유

를 다음과 같이 추정해 볼 수 있다. 먼저 그라우트 충전식 철근이음에 관한 기존 연구<sup>1,3,46)</sup>에 의하면 슬리브 단부에 가까운 위치에서는 하중이 증가함에 따라 Fig. 8의 최종 파괴된 실험체에서 나타내고 있는 것과 같이 슬리브 단부로부터 안쪽으로 향하는 약 45° 방향의 원추모양 균열이 발생함에 따라 이 부분에서 충분한 응력전달이 어려운 것으로 보고하고 있다. 이와 같이 그라우트 충전식 철근이음에서 슬리브 단부의 내경이 작을수록 원추모양의 균열로 생기는 철근 정착구간의 감소로 인한 철근이음의 부착강도 저하를 완화시키고, 특히 슬리브 단부의 작은 내경이 충전 그라우트의 슬리브 길이방향에 대한 구속효과를 보다 증가시켜서 철근이음의 부착강도가 높게 나타나는 결과가 되었다고 추정된다.

Fig. 9에서는 철근이음의 내력에 미치는 가력방법과 매입 철근의 규격에 의한 영향을 파악하기 위하여 부착파괴가 발생한 실험체만을 분류하여 정리하였다. 여기서 부착

파괴된 실험체만을 선택한 것은 최종적으로 철근이 파단되거나 슬리브가 파괴된 실험체에서 가력방법이나 매입철근의 규격은 철근이음의 내력에 미치는 영향이 거의 없을 것으로 판단되기 때문이다. 먼저 철근규격의 영향을 살펴보면 그라우트 압축강도가 60~70MPa 범위에서 주물형 슬리브를 사용하고 단조가력을 실시한 철근 D19와 D25인 경우는 철근의 직경에 따른 특별한 내력의 차이가 나타나지 않았다. 그리고 그라우트 압축강도가 70~80MPa 범위에서도 주물형 슬리브를 사용하고 단조가력을 실시한 철근 D25와 D41인 경우는 다소 철근 D41인 경우가 철근이

음의 내력이 다소 낮게 나타난 경향을 보이고 있지만 D41 실험체의 경우도 철근의 인장강도( $f_t$ ) 이상의 내력을 전달했다는 점에서 철근 직경에 따라 내력의 차이가 있다고 단정하기는 어렵다. 또한 강관형 슬리브를 사용하고 단조가력을 실시한 철근 D25와 D35인 경우도 철근의 설계 기준항복강도에도 못 미치는 내력을 보여주고 있는 강관의 두께가 3.9mm로 얇은 실험체를 제외하고는 철근 직경에 따른 차이점이 나타나지 않았다. 이렇게 부착파괴된 철근이음 실험체가 철근의 직경에 따른 내력의 차이가 특별하게 나타나지 않는 것은 그라우트에 매입된 철근의 외곽을 둘러싸고 있는 슬리브 부분의 구속작용으로 인하여 철근이음의 부착파괴형태가 철근의 직경이 증가함에 따라 내력이 저하하는 할열부착파괴(Splitting failure)가 발생하지 않고 그림 8에서 나타내고 있는 것과 같은 뽑임부착파괴(Pullout failure)가 발생했기 때문이라고 판단된다. 한편 가력방법에 따른 영향을 살펴보기 위하여 그라우트 압축강도가 70~80MPa 범위에서 강관형 슬리브를 사용하고 철근 D35인 경우를 보면 단조가력과 반복가력에 따른 특별한 차이점은 나타나지 않았다.

Fig. 10에서는 슬리브 형상과 최종 파괴형식 등에 따른 철근이음 전체 실험체의 내력을 비교하였다. 단, 여기서 최종 파괴형식이 슬리브가 파괴된 실험체와 철근의 용접부가 파괴된 실험체는 제외하였다. 이 그림에서 가로축은 충전 그라우트 압축강도( $f_g$ )와 철근의 정착길이 비( $l_d/d$ )의 곱으로 나타내고 있는데 이것은 앞선 결과에서도 알 수 있는 것과 같이 이 두 변수가 철근이음의 내력에 가장 영향력이 있는 것으로 나타나서 이것을 하나의 식으로 표현하기 위한 것이다. 한편, 전체 실험체의 슬리브 형상인 슬리브 두께/슬리브 내경( $t/d_s$ )은 0.074~0.144, 슬리브 단부의 내경/매입철근의 공칭직경( $e_d/d$ )은 1.33~2.76의 범위에 있었다. Fig. 10 (a)에서 슬리브 두께/슬리브 내경( $t/d_s$ )은 0.1, 슬리브 단부의 내경/매입철근의 공칭직경( $e_d/d$ )은 2.0을 경계로 하여 전체 실험체를 분류하여 정리하였다.

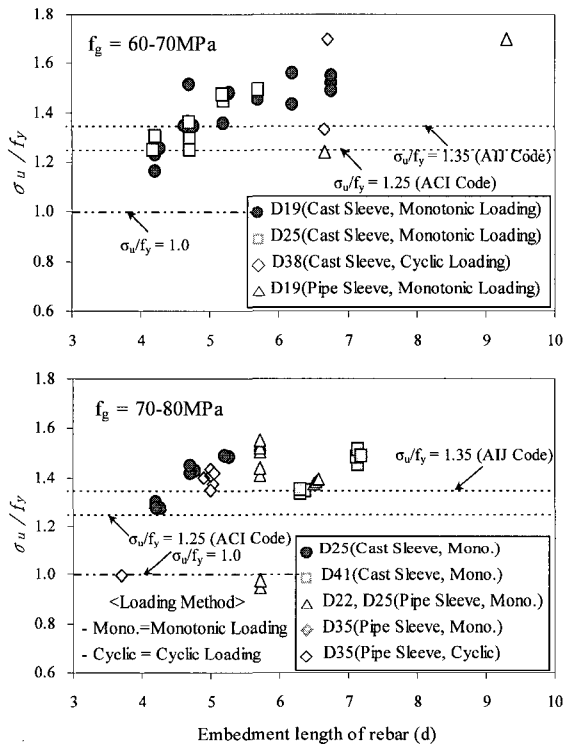


Fig. 9 Evaluation on strength of grout-filled splice sleeve of bond failure

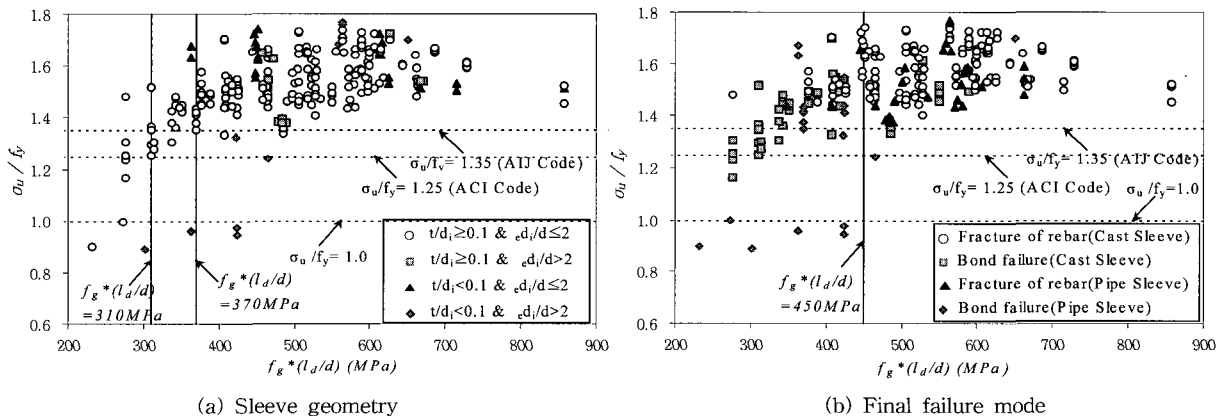


Fig. 10 Strength- $f_g \cdot (l_d/d)$  relationship of grout-filled splice sleeve specimen

여기서는  $t/d$ 값이 0.1에도 못 미치고  $a/d$ 값이 2.0을 초과하는 슬리브 구속조건이 가장 불리한 몇 개의 실험체를 제외하고  $f_g \cdot (l_g/d)$ 값이 310 MPa 이상이면 철근 항복강도의 125% 이상 인장력을 전달하여 ACI 및 국내 규준을 만족하였다. 여기서  $f_g \cdot (l_g/d)$ 값이 310 MPa 이상이 되기 위해서는 충전 그라우트 강도가 70 MPa이라면 철근의 정착길이를 4.5d 이상, 충전 그라우트 강도가 80 MPa이라면 철근의 정착길이를 3.9d 이상 확보하여야 한다. 그리고  $f_g \cdot (l_g/d)$ 값이 370 MPa 이상인 철근이음은 철근 인장강도 이상의 인장력을 전달하여 AIJ 규준을 만족하였다. 여기서  $f_g \cdot (l_g/d)$ 값이 370 MPa 이상이 되기 위해서는 충전 그라우트 강도가 70 MPa이라면 철근의 정착길이를 5.3d 이상, 충전 그라우트 강도가 80 MPa이라면 철근의 정착길이를 4.7d 이상 확보해야 함에 따라 ACI 규준보다 0.8d 이상 긴 철근의 정착길이가 요구된다.

Fig. 10의 (b)에서 대부분의 철근이음 실험체가 최종적으로 철근이 파단되면서 철근 인장강도 이상의 인장력을 전달하여 AIJ 규준을 만족하는 조건은  $f_g \cdot (l_g/d)$ 값이 450 MPa 이상이 되는 경우인 것으로 나타났다. 또한 Fig. 10 (a), (b)에서 철근이음의 내력이 정해지는 하나의 중요한 요인으로 앞서서도 나타난 것처럼 슬리브 형상의 영향이 크다는 것을 알 수 있다. 그리고 철근이음의 내력 면에서 강관으로 만들어진 슬리브라도 어느 정도 구속효과를 발휘할 수 있는 형상으로 제작되었다면 설계자가 상대적으로 자유롭게 만든 주물 슬리브와 비교해도 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 그라우트 충전식 철근이음의 보다 합리적인 설계를 위한 자료를 제공하기 위하여 그동안 개발되어 사용되고 있는 각종 그라우트 충전식 철근이음의 구조 성능을 비교평가하고자 국내뿐만 아니라 외국의 각종 그라우트 충전식 철근이음의 320여개 실험결과를 수집한 후에 철근이음의 내력을 중심으로 비교분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 그라우트 충전식 철근이음의 내력은 철근의 정착길기와 충전 그라우트 압축강도가 증가함에 따라서 커지는 경향을 보여주었다. 특히 이러한 경향은 상대적으로 철근의 정착길이가 짧거나 충전 그라우트 압축강도가 낮아서 부차효과가 발생한 실험체에서 뚜렷하게 나타났다.
- 2) 슬리브의 형상이 그라우트 충전식 철근이음의 부차강도에 영향을 미치는 것으로 나타났다.
- 3) 부차효과된 실험체에서 철근 직경에 따른 철근이음 내력의 차이가 특별하게 나타나지 않았다.

- 4) 충전 그라우트 충전식 철근이음에서 철근 항복강도의 125% 이상의 인장력을 전달하여 ACI 및 국내 규준을 만족하기 위해서는 그라우트 압축강도가 70 MPa이면 철근의 정착길이를 4.5d 이상, 그라우트 압축강도가 80 MPa이면 철근의 정착길이를 3.9d 이상 확보해야 한다. 또한, 철근 인장강도 이상의 인장력을 전달하여 AIJ 규준을 만족하기 위해서는 충전 그라우트 압축강도가 70 MPa이면 철근의 정착길이를 5.3d 이상, 그라우트 압축강도가 80 MPa이면 철근의 정착길이를 4.7d 이상 확보해야 한다.

#### 참고문헌

- 1.鈴木計夫 外 2人, “그라우트 충전식 철근이음에 관한 연구의 동향”, 日本コンクリート工学, Vol.34, No.4, 1996, pp.15~23.
- 2.鈴木計夫 外 7人, “내면에突起를有する鋼管を用いた 그라우트 충전식 철근이음의 성능에 관한 연구(その1: 継手性能に及ぼす諸要因の影響)”, 日本建築學會大會學術講演梗概集(北陸), 1992, pp.893~894.
- 3.鈴木計夫 外 7人, “鋼管スリーブを用いた 그라우트 충전식 철근이음에 관한 연구(その1: 研究目的および實驗概要, その2: 鐵筋の附着應力度すべり特性, その3: 性能改善手法とその效果)”, 日本建築學會大會學術講演梗概集(關東), 1993, pp.133~138.
- 4.鈴木計夫 外 3人, “鋼管スリーブを用いた 그라우트 충전식 철근이음에 관한 鐵筋の附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, pp.131~139.
- 5.鈴木計夫 外 6人, “スリーブ鋼管を用いた 그라우트 충전식 철근이음의 구조 특성(その1: 實驗結果と解析モデル, その2: 改良力學モデル)”, 日本建築學會大會學術講演梗概集(東海), 1994, pp.201~204.
- 6.鈴木計夫 外 3人, “鋼管スリーブを用いた 그라우트 충전식 철근이음의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, pp.91~98.
- 7.김형기, “鐵筋이음용 스플라이스 슬리브 開發 및 單調加力에 의한 構造性能에 관한 研究”, 大韓建築學會論文集 構造系, Vol.14, No.8, 1998, pp.63~73.
- 8.김형기, “反復荷重을 받는 鐵筋이음용 스플라이스 슬리브의 構造性能에 관한 研究”, 大韓建築學會論文集 構造系, Vol.14, No.9, 1998, pp.73~81.
- 9.삼성물산(주)건설부문, (주)대동엠에스, “국산 스플라이스 슬리브 이음 개발 및 구조성능에 관한 연구 (2차년도: D19, D25, D32, D38 철근용)”, 삼성물산(주)건설부문 기술연구소/주택사업본부, (주)대동엠에스, 1998.
- 10.김형기 외 3명, “고강도 모르타르 충전식 철근이음의 구조성능에 관한 실험연구”, 콘크리트학회논문집, 13권 5호, 2001, pp.516~524.



11. 김형기, “고강도 모르타르 충전식 스플라이스 슬리브의 인장강도와 연성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집 구조계, 18권, 12호, 2002, pp.35~42.
12. STRESS, (주)청구기술연구소, “청구 스플라이스 슬리브 이음에 관한 연구”, 한양대 초대형구조시스템연구소센터/(주)청구기술연구소, 1994.
13. 이리형 외 4인, “鋼管슬리브를 이용한 철근이음에 관한 실험적 연구”, 大韓建築學會論文集, Vol.13, No.3, 1997, pp.241~250.
14. 이리형 외 2인, “鋼管内 高强度 모르타르 充填 鐵筋이음에 관한 研究”, 大韓建築學會論文集, Vol.13, No.8, 1997, pp.147~154.
15. 阿瀬正明 외 2인, “高强度鐵筋に用いるモルタル充填式 繼手の實用化に關する研究(その1: SD490鐵筋を用いた 繼手單體性能について)”, 日本建築學會大會學術講演梗概集(近畿), 1996, pp.743~744.
16. 日本スプライススリーブ株式會社, “RPC構法における NMBスプライススリーブ繼手の施工性に關する實驗結果報告(その1施工誤差を吸収したNMBスプライススリーブ13U-X(D41)繼手の性能判定試驗結果報告書)”, 日本スプライススリーブ株式會社, 1992.
17. 日本スプライススリーブ株式會社, “RPC構法における NMBスプライススリーブ繼手の施工性に關する實驗結果報告(その1施工誤差を吸収したNMBスプライススリーブ13U-X(D41)・11U-X(D35)繼手の性能判定試驗結果報告書)”, 日本スプライススリーブ株式會社, 1993.
18. 日本スプライススリーブ株式會社, “各種NMBスプライススリーブXタイプを用いて接合した鐵筋繼手の性能試驗結果(鐵筋徑別性能試驗)”, 日本スプライススリーブ株式會社, 1993.
19. Amin Einea, Takashi Yamane, and Mather K. Tadros, Grout-Filled Pipe Splices for Precast Concrete Construction,” *PCI Journal*, 1995, pp.82~93.
20. ACI, “ACI Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-99) and Commentary (ACI 318R-99),” American Concrete Institute, 1999, 201pp.
21. 日本建築學會, “鐵筋コンクリート造配筋指針同解説”, 日本建築學會, 1986, pp.271~279.
22. 日本建築センター, “鐵筋繼手性能判定基準(1982)”, ビルディングレター, 1983, pp.1~5.
23. 한국콘크리트학회, “건설교통부제정 콘크리트구조설계 기준”, 한국콘크리트학회, 1999, pp.174~177.
24. 안병익, 김형기, 박복만, “모르타르 충전식 철근이음의 구속효과”, 콘크리트학회논문집, 15권 1호, 2003, pp.102~109.
25. 日本建築學會, “鐵筋コンクリート終局強度設計に關する資料”, 日本建築學會, 1987, pp.43~51.

## 요 약

본 연구에서는 그라우트 충전식 철근이음의 보다 합리적인 설계를 위한 자료를 제공하기 위하여 그동안 개발되어 사용되고 있는 각종 그라우트 충전식 철근이음의 구조성능을 비교분석하고자 국내뿐만 아니라 외국에서 실시했던 각종 그라우트 충전식 철근이음의 320여개 실험결과를 수집한 후에 철근이음의 내력을 중심으로 비교분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 첫째, 그라우트 충전식 철근이음의 내력은 철근의 정착길이와 충전 그라우트 압축강도가 증가함에 따라서 커지는 경향을 보여주었다. 특히 이러한 경향은 상대적으로 철근의 정착길이가 짧거나 충전 그라우트 압축강도가 낮아서 부착파괴가 발생한 실험체에서 뚜렷하게 나타났다. 둘째, 슬리브의 형상이 그라우트 충전식 철근이음의 부착강도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 셋째, 부착파괴된 철근이음 실험체에서 철근의 직경에 따른 철근이음 내력의 차이가 특별하게 나타나지 않았다. 넷째, 충전 그라우트 충전식 철근이음에서 철근 항복강도의 125% 이상의 인장력을 전달하여 ACI 및 국내 규준을 만족하기 위해서는 그라우트 압축강도가 70 MPa이면 철근의 정착길이를 4.5d 이상, 그라우트 압축강도가 80 MPa이면 철근의 정착길이를 3.9d 이상 확보해야 한다. 또한, 철근 인장강도 이상의 인장력을 전달하여 AIJ 규준을 만족하기 위해서는 충전 그라우트 압축강도가 70 MPa이면 철근의 정착길이를 5.3d 이상, 그라우트 압축강도가 80 MPa이면 철근의 정착길이를 4.7d 이상 확보해야 한다.

**핵심용어 :** 그라우트 충전식 철근이음, 내력, 그라우트 압축강도, 철근의 정착길이, 슬리브 형상