

SD500 고강도 철근용 강관 스플라이스 슬리브 철근이음 개발 및 구조성능 평가

Development of Steel Pipe Splice Sleeve for High Strength Reinforcing Bar(SD500)
and Estimation of its Structural Performance under Monotonic Loading

이 상 호*
Lee Sang-Ho

김 형 기**
Kim Hyong-Kee

Abstract

Among several splicing system of reinforcing bar, the grout-filled splice sleeve system has been applied widely. However, as the splice sleeve for high strength rebar as SD500 is not yet made in Korea, the development of splice sleeve for high strength reinforcing bar are required as soon as possible. It is the purpose of this study to develop the steel pipe sleeve for high strength rebar as SD500 and estimate its structural performance by monotonic loading test. The experimental variables adopted in this study are the development length of rebars, types of sleeve etc. The results of this study showed that the developed steel pipe splice sleeve system for high strength reinforcing bar as SD500 retained the structural performance required in domestic, ACI and AIJ criteria. And it is considered that the study result presented in this paper can be helpful in developing reasonable design method of steel pipe splice sleeve system for high strength reinforcing bar as SD500.

요 지

본 연구에서는 SD500 고강도 철근에 적합한 강관 스플라이스 슬리브를 개발한 후에 실험크기의 20개 실험체를 제작하여 가력실험을 실시하였다. 그리고 강도를 비롯한 구조성능을 철근의 정착길이, 슬리브의 타입, 철근의 규격과 같은 실험변수에 따른 영향을 분석하고, 국내기준을 비롯한 주요기준에 따라서 비교, 평가하였다. 실험 결과는 SD500 고강도 철근용으로 개발된 강관 스플라이스 슬리브 철근이음은 주요기준에서 요구하는 구조성능을 가지고 있는 것으로 확인되었고 SD500 고강도 철근용 슬리브 철근이음에 대한 구조설계 기준 확립을 위한 기술적 자료를 제시하였다.

Keywords : High strength rebar(SD500), Steel pipe splice sleeve, Structural performance

핵심 용어 : SD500 고강도 철근, 강관 스플라이스 슬리브, 구조성능

* 정희원, 한중대학교 건축공학과 조교수

** 정희원, 강원대학교 건축공학전공 조교수, 교신저자

E-mail : hyongkee@kangwon.ac.kr 033-570-6521

•본 논문에 대한 토의를 2007년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2008년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

다양하게 개발된 철근 이음범 중에서 그라우트 충전식 철근이음은 시공적인 면뿐만 아니라 압접이 불가한 D35 이상의 대구경 철근에 대하여도 접합성이 양호하기 때문에 사용하는 경우가 증가하고 있는 실정이다.⁽¹²⁾ 또한 최근에 건축물의 대형화와 고층화에 따라서 철근콘크리트 부재의 설계에서도 콘크리트는 물론 철근도 보다 높은 강도를 요구하고 있는 추세에 있다. 그러나 현재 국내에서 개발된 스플라이스 슬리브⁽²⁾⁻⁽⁶⁾는 SD400 철근용으로 SD500 고강도 철근용 스플라이스 슬리브의 개발이 시급히 요구되고 있다. 한편 국내에서 그동안에 개발된 대구경 모르타르 충전식 스플라이스 슬리브는 구상 흑연 주철로 만든 것⁽²⁾⁻⁽⁴⁾⁽⁶⁾으로 다른 철근이음 방법에 비교하여 가격이 비교적 높은 단점이 있다.

이러한 시대적인 요구와 건축 환경에 부응하고자 본 연구에서는 비교적 가격이 저렴한 강관을 사용하여 SD500 고강도 철근에 적합한 강관 스플라이스 슬리브를 개발한 후에 본 강관 스플라이스 슬리브의 구조 성능을 평가하여 실용화하고자 한다.

본 연구에서는 강관 스플라이스 슬리브의 이음 성능에 영향을 미치는 각종 실험변수를 채택하여 실물크기의 실험체를 제작한 후에 가력실험을 실시하여 강도를 비롯한 구조성능에 대하여 국내기준⁽¹⁾을 비롯한 주요 기준⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹³⁾에 따라서 비교, 평가하고, 본 실험변수에 따른 영향을 파악함으로써 SD500 고강도 철근용 강관 스플라이스 슬리브 철근이음에 대한 구조설계 기준 확립을 위한 정량적인 기술 자료를 제시하고자 한다.

2. 고강도 철근용 강관 스플라이스 슬리브 개발

SD500 고강도 철근용 강관 스플라이스 슬리브를 설계함에 있어서 다음사항을 고려하였다.

- 1) 스플라이스 슬리브 내경과 철근과의 크라이언스는 8~16mm 정도가 되도록 하여 부재의 제조 오차, 시공오차를 용이하게 흡수할 수 있도록 하였다.

- 2) 슬리브의 길이는 기존의 연구결과⁽²⁾⁻⁽⁷⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾와 고강도 철근을 사용한다는 점을 고려하여 슬리브에 매입되는 철근길이가 철근직경의 7.5배 정도가 되도록 설계하였다.
- 3) 본 연구에서는 우선적으로 건축공사에서 가장 많이 사용되는 D25와 D35 철근에 대한 2가지 규격의 스플라이스 슬리브를 개발하는 것으로 하고, D25 철근용 슬리브를 D19 철근용으로, D35 철근용 슬리브는 D32 철근용으로 사용하도록 하였다.
- 4) 이상과 같은 고강도 철근용 스플라이스 슬리브를 만들기 위하여 비교적 가격이 저렴하고 용이하게 구할 수 있는 강관을 사용하였다.
- 5) 충전 모르타르와의 부착력을 향상시키기 위하여 슬리브에 요철을 두어 제작한 슬리브(A 타입)와 제작상의 편리함을 고려하여 슬리브에 요철을 두지 않은 슬리브(B 타입) 2종류가 각각 설계되었다.

본 연구에서 개발한 강관 스플라이스 슬리브 중에서 D32 및 D35 철근용 A타입과 B타입 스플라이스 슬리브상세도를 Fig. 1과 2에 나타내었다.

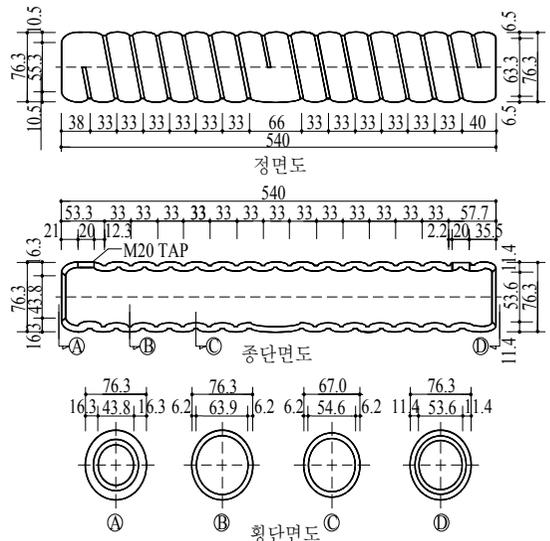


Fig. 1 강관 스플라이스 슬리브 상세도 (A타입, D32/35철근용)

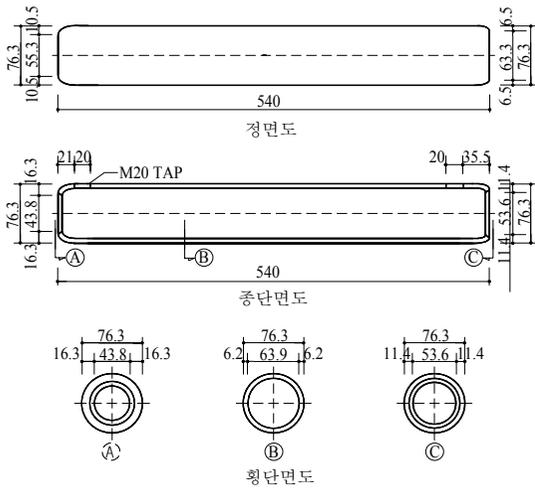


Fig. 2 강관 스플라이스 슬리브 상세도 (B타입, D32/35철근용)

3. 실험

3.1 실험체의 계획 및 제작

본 연구에서 주요한 실험변수로 다음과 같이 슬리브의 타입, 슬리브내의 철근 정착길이, 충전 모르타르 압축강도, 철근규격 등을 실험변수로 채택하여 20개의 실험체를 제작하였다. Table 1에 실험체의 일람표를 나타내었다.

- 1) 슬리브의 타입(슬리브 표면의 요철 유무, 슬리브 재료의 열처리 유무)
- 2) 슬리브내의 철근 정착길이($l_d=7.5d$, $l_d=5d$)
- 3) 충전 모르타르 압축강도(28일 설계기준 압축강도가 75MPa, 95MPa)
- 4) 철근규격(D19, D25, D32, D35)

Fig. 3에 대표적인 실험체의 형상을 나타내었다. 한편, 실험체의 모르타르 충전은 현장과 동일한 충전 조건이 되기 위해서 슬리브 고정용 장치를 만들어서 슬리브를 수직으로 세운 상태에서 슬리브의 하부 주입구를 통하여 주입하였다. 물과 모르타르의 배합비는 15%로 하였다.

3.2 재료의 역학적 특성

본 실험에서 사용한 철근은 SD500으로 인장강도 시험결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 1 실험체의 일람표

No.	실험체명*1	철근 규격	철근 정착길이 (d)	슬리브 타입	모르타르 설계강도 (MPa)
1	17A1NM-1	D19	7.5	A1	75
2	17A1HM-1				95
3	27A'1NM-1	D25		A'1	75
4	27A'1HM-1				95
5	27B'1NM-1			B'1	75
6	27B'1HM-1				95
7	37A2NM-1	D32		A2	75
8	37A2HM-1				95
9	37B2NM-1				B2
10	37B2NM-3			75	
11	37B2HM-1		95		
12	35B2NM-1		5.0	B2	75
13	35B2NM-3	75			
14	35B2HM-1	95			
15	35B2HM-3	D35	7.5	A2	75
16	47A2NM-1				95
17	47A2HM-1			A'2	75
18	47A'2NM-1				75
19	47B2NM-1				B2
20	47B2HM-1	95			

(비고)

*1: 실험체 명

3 7 A 2 N M-1

- 표준 또는 여분 실험체 여부(1: 표준, 3: 여분)
- 가격방법(M: 단조가력)
- 모르타르 종류(N: N 모르타르, H: H 모르타르)
- 슬리브 타입
(A1: 요철有<D19/D25 철근용>, 슬리브 열처리>,
A'1: 요철有<D19/D25 철근용>, 슬리브 열처리>,
A2: 요철有<D32/D35 철근용>,
A'2: 요철有<D32/D35 철근용>, 슬리브 열처리>,
B'1: 요철無<D19/D25 철근용>, 슬리브 열처리>,
B2: 요철無<D32/D35 철근용>)
- 철근 정착길이(7: 7.5d, 5: 5d)
- 철근 규격(1: D19, 2: D25, 3: D32, 4: D35)

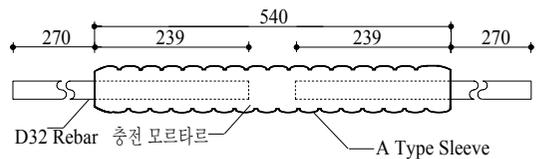


Fig. 3 대표적인 실험체의 형상(D32용, 정착길이=7.5d)

Table 2 철근의 인장강도 시험결과

철근 종류	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)
D19	590	727	13.9
D25	575	689	19.6
D32	556	696	21.2
D35	579	753	22.8

Table 3. 슬리브 재료의 인장강도 시험결과

강관 종류		항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)
두께 (mm)	열처리 유무			
5.2	무	361	421	39.0
5.2	유	306	525	27.5
6.2	무	478	567	30.0
6.2	유	464	658	24.0

Table 4. 고강도 무수축 모르타르 압축강도 시험결과

재령	3일 (MPa)	7일 (MPa)	시험시 (MPa)
종류			
N 모르타르 ¹	61.1	76.5	82.3
H 모르타르 ²	69.7	77.2	83.0

(비고)

- ¹ : 기존에 슬리브 충전 전용으로 만든 무수축 모르타르로 설계기준 압축강도는 75MPa이다.
- ² : 기존의 모르타르보다 압축강도를 보다 증대시키기 위하여 개발한 무수축 모르타르로 설계기준 압축강도는 95MPa이다.

본 실험에서 사용한 슬리브 재료는 4종류로 D19, D25 철근용 슬리브는 STPG 370 압력배관용으로 외경 60.5mm, 두께 5.2mm인 강관을 사용하였고, D32, D35 철근용 슬리브는 STK 490의 화학적인 성분을 부분적으로 조정하여 역학적 성질을 개선한 외경 76.3mm, 두께 6.2mm인 강관을 사용하였다. 또한 상기의 2가지 재료에 대한 역학적 성질을 향상시키기 위하여 열처리한 슬리브도 각각 제작하였다. 이상의 4종류 재료에 대한 인장강도 시험결과를 Table 3에 나타내었다.

또한 본 실험에서 사용한 고강도 무수축 충전 모르타르는 2종류이다. 하나는 SD400 철근용으로 슬리브에 모르타르 충전을 위하여 개발된 기존의 제품이고 다른 하나는 SD500 고강도 철근을 사용함에 따라 기존에 개발된 모르타르보다 압축강도를 증대시키기 위하여 새로 개발한 제품이다. 두 모르타르의 압축강도 시험결과는 Table 4와 같이 기존의 모르타르와 새로 개발한 모르타르 간의 압축강도가 당초에 예상했던 것 과 상이하게 큰 차이가 나타나지 않았다.

3.3 가력방법 및 측정방법

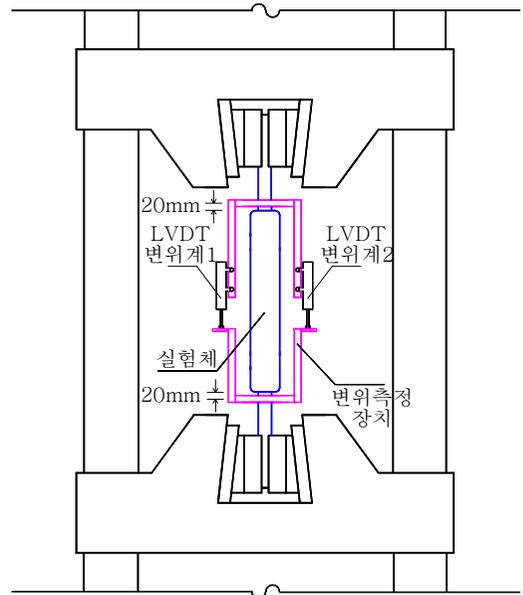


Fig. 4 실험체 설치 및 가력상황

본 실험은 2,000kN 만능시험기를 이용하여 실시하였으며, 실험체를 Fig. 4와 같이 설치하여 가력하였다. 슬리브 이음부분의 변형량은 슬리브 상하의 단부에서 20mm 떨어진 철근위치에 설치한 측정장치 사이에서 변위계를 이용하여 측정하였다.

가력⁽⁸⁾⁽⁹⁾은 실험체의 접합철근 기준으로 철근의 설계기준 항복강도(f_y)의 95% 인장응력이 작용할 때까지 점증적으로 하중을 가하였다가 철근의 설계기준 항복강도의 2% 인장응력이 작용할 때까지 하중을 저하시킨 후에 다시 인장력을 점증적으로 가하여 실험체를 파괴시켰다.

그리고 본 실험에서는 각 단계별로 실험체에 가한 하중과 실험체의 변위 측정거리간 상대변위를 측정하여 기록하였다.

3.4 실험결과

Table 5에 본 연구의 20개 실험체에 대한 최대응력과 최종 파괴형식을 각각 나타내었고 Fig. 5에 대표적인 실험체의 응력과 변위 측정거리간의 변형도 관계를 나타내었다. 이 그림에서 실험체의 응력(σ)과 변형

도(ϵ)는 다음의 식(1), (2)와 같이 구하였고, 비교 대상이 되는 각 실험체들의 응력-변형도 관계가 겹쳐지지 않도록 하기 위하여 그래프의 시작점을 각 실험체의 변형도가 1%씩 차이가 나도록 작성하였다.

$$\sigma = \frac{P}{A_{st}} \quad (1)$$

여기서,

- σ : 실험체의 응력(MPa)
- P : 실험체에 가한 하중(N)
- A_{st} : 철근의 공칭단면적(mm²)

$$\epsilon = \frac{\Delta}{L} \times 100 \quad (2)$$

여기서,

- ϵ : 변형도(%)
- Δ : 실험체 변위 측정거리간에서 늘어난 거리(mm)
- L : 실험체 변위 측정거리간의 거리(mm)

Table 5 실험결과

실험체명	최대 응력 (MPa)	최종 파괴 형식 ^{*1}	실험체명	최대 응력 (MPa)	최종 파괴 형식 ^{*1}
17A1NM-1	736	R	37A2NM-1	668	R
17A1HM-1	715	R	37A2HM-1	671	R
27A'1NM-1	624	S	37B2NM-1	680	B
27A'1HM-1	641	S	37B2NM-3	681	R
27B'1NM-1	658	R	37B2HM-1	667	B
27B'1HM-1	688	R			
47A2NM-1	760	R	35B2NM-1	556	B
47A2HM-1	761	R	35B2NM-3	561	B
47A'2HM-1	722	S	35B2HM-1	558	B
47B2NM-1	751	B	35B2HM-3	554	B
47B2HM-1	716	B			

(비교)

^{*1}: 최종파괴형식

→ R=철근파단, S=슬리브파단, B=부착파괴

철근의 정착길이가 7.5d이고 표면에 요철을 두었지만 열처리하지 않은 A타입 슬리브를 사용한 D19 철근용 2개의 실험체는 모르타르의 종류에 관계없이 철

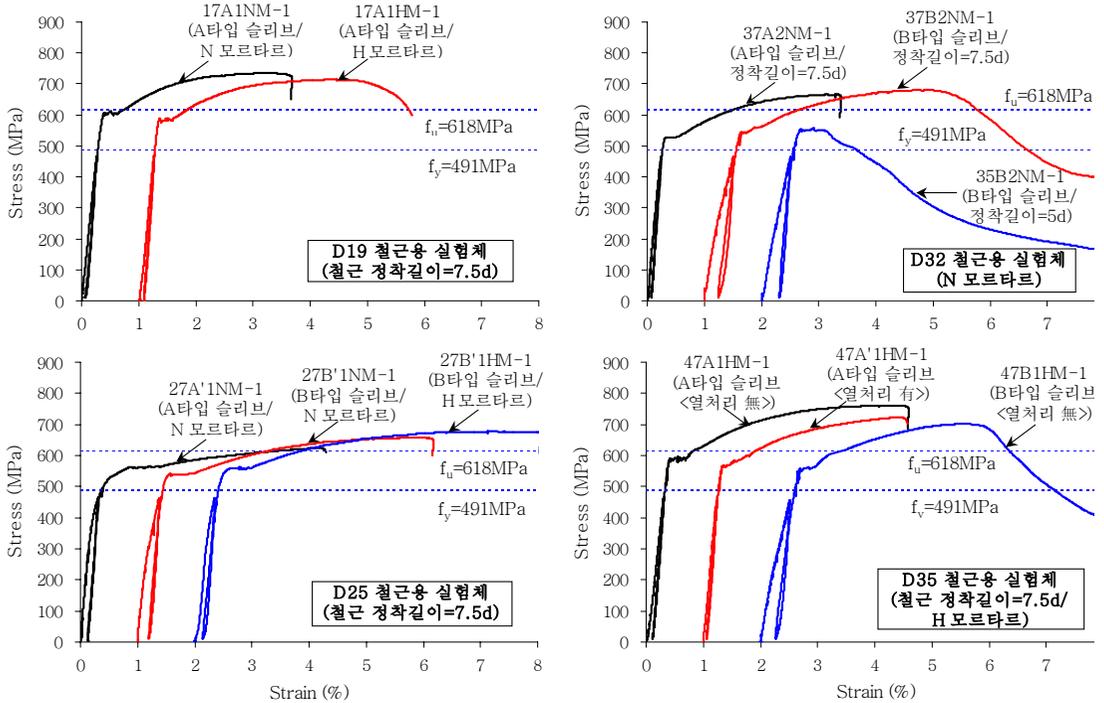


Fig. 5 대표적인 실험체의 응력-변형도 관계

근과단에 의하여 최종파괴가 발생하였고 최대강도는 철근의 규격인장강도(f_{tu})를 초과하였다. 또한 상기의 2개 실험체는 하중의 증가와 함께 강성이 점차 저하하는 경향을 보였고 철근의 설계기준 항복강도(f_y)를 초과한 이후에 철근이 실제적으로 항복하기 시작되는 시점부터 급격한 강성저하가 나타났다. 이 실험체들은 탄성범위를 벗어나면서 충분한 변형능력을 발휘하였고 변형도 3.2~3.3% 범위에서 최대강도에 도달한 이후에 파괴에 이르렀다.

철근의 정착길이가 7.5d이고 슬리브를 열처리한 D25 철근용 4개 실험체 중에서 요철이 있는 A타입 슬리브를 사용한 2개 실험체는 슬리브가 파단되었고, 요철이 없는 B타입 슬리브를 사용한 2개 실험체는 철근과단에 의하여 최종파괴가 발생하였으며 모든 실험체의 최대강도는 철근의 규격인장강도(f_{tu})를 초과하였다. 또한 각 실험체는 하중의 증가와 함께 강성이 점차 저하하는 경향을 보였고 철근의 설계기준 항복강도(f_y)를 초과한 이후에 철근이 항복하기 시작되는 시점부터 급격한 강성저하를 보였다. 한편 요철이 없는 B타입 슬리브를 사용한 실험체의 경우가 가력 초기상태부터 요철이 있는 A타입 슬리브를 사용한 실험체에 비하여 강성저하 현상이 더욱 현저하게 나타났다. 한편, 슬리브에 요철을 둔 2개의 실험체는 탄성범위를 벗어나면서 충분한 변형능력을 발휘하였고 변형도 4.2~5.0% 범위에서 최대강도에 도달한 이후에 슬리브 요철부분이 파단되면서 갑작스러운 파괴가 발생하였고, 슬리브에 요철이 없는 2개의 실험체도 탄성범위를 벗어나면서 충분한 변형능력을 발휘하였고 변형도 4.9~5.1% 범위에서 최대강도에 도달한 이후에 파괴에 도달하였다.

철근의 정착길이가 7.5d이고 슬리브를 열처리하지 않은 D32 철근용 5개 실험체 중에서 요철이 있는 A타입 슬리브를 사용한 2개의 실험체는 철근과단에 의하여 최종파괴가 발생하였지만, 요철이 없는 3개의 실험체 중에서 1개는 철근과단에 의하여 최종파괴가 발생하였지만 나머지 2개는 철근이 충전 모르타르에서 빠지는 부착파괴가 최종적으로 발생하였고, 5개 모든 실험체의 최대강도는 최종파괴형식에 관계없이 철근의 규격인장강도(f_{tu})를 초과하였다. 한편 철근의 정착길이

가 5d이면서 슬리브를 열처리하지 않고 요철이 없는 D32 철근용 4개의 모든 실험체는 충전 모르타르의 종류에 관계없이 철근이 충전 모르타르에서 빠지는 부착파괴가 최종적으로 발생하면서 철근의 규격인장강도(f_{tu})에 못 미치는 내력을 나타내었다. 또한 상기의 D32 철근용 9개 실험체는 하중의 증가와 함께 강성이 점차 저하하는 경향을 보였고 철근의 설계기준 항복강도(f_y)를 초과한 이후에 철근의 항복시점부터 급격한 강성저하가 나타났다. D25 철근용 실험체와 마찬가지로 B타입 슬리브를 사용한 실험체의 경우가 가력 초기상태부터 요철이 있는 A타입 슬리브를 사용한 실험체에 비하여 강성저하 현상이 크게 나타났고 철근 정착길이가 5d로 짧은 경우가 긴 경우에 비하여 더욱 현저한 강성저하를 보였다. 한편, 철근의 정착길이가 7.5d인 경우, 슬리브에 요철을 둔 2개의 실험체는 탄성범위를 벗어나면서 충분한 변형능력을 발휘하였고 변형도 3.3~3.6% 범위에서 최대강도에 도달한 이후에 파괴가 발생하였고, 슬리브에 요철이 없는 3개의 실험체도 탄성범위를 벗어나면서 충분한 변형능력을 발휘하였고 변형도 3.3~3.7% 범위에서 최대강도에 도달한 이후에 파괴에 도달하였다. 한편 철근의 정착길이가 5d이고 슬리브에 요철이 없는 4개 실험체는 탄성범위를 벗어나면서 급격한 강도저하를 보이면서 변형도 0.8~1.1% 범위에서 최대강도에 도달한 이후에 급격한 부착파괴가 진행되었다.

철근의 정착길이가 7.5d이고 슬리브에 요철이 있는 A타입 슬리브를 사용한 D35 철근용 3개 실험체 중에서 슬리브를 열처리한 1개의 실험체는 슬리브 요철부분에서 슬리브가 파단되었지만, 열처리하지 않은 실험체 2개는 철근과단에 의하여 최종파괴가 발생하였다. 한편, 철근 정착길이가 7.5d이고 슬리브에 요철이 없는 B타입 슬리브를 사용한 2개의 실험체는 철근이 충전 모르타르에서 빠지는 부착파괴가 최종적으로 발생하였다. 5개 모든 실험체의 최대강도는 슬리브 타입, 최종파괴형식에 관계없이 철근의 규격인장강도(f_{tu})를 초과하였다. 또한 각 실험체는 하중의 증가와 함께 강성이 점차 저하하는 경향을 보였고 철근의 설계기준 항복강도(f_y)를 초과한 이후에 철근이 실제적으로 항복하기 시작되는 시점부터 강성저하가 크게 나타났다.

D25, D32 철근용 실험체와 마찬가지로 B타입 슬리브를 사용한 실험체의 경우가 가력 초기상태부터 요철이 있는 A타입 슬리브를 사용한 실험체에 비하여 강성저하 현상이 크게 나타났다. 한편, 슬리브에 요철을 두고 슬리브 재료를 열처리한 실험체는 탄성범위를 벗어나면서 변형도 3.4%에서 최대강도에 도달한 직후에 슬리브가 갑자기 파단되었고, 슬리브에 요철을 두고 슬리브 재료를 열처리하지 않은 2개의 실험체는 탄성범위를 벗어나면서 충분한 변형능력을 발휘하였고 변형도 4.1~4.5% 범위에서 최대강도에 도달한 이후에 철근파단에 의하여 파괴에 이르렀다. 한편 요철을 두지 않고 슬리브 재료를 열처리하지 않은 2개의 실험체도 탄성범위를 벗어나면서 충분한 변형능력을 발휘하였고 변형도 3.2~3.6% 범위에서 최대강도에 도달한 이후에 철근이 충전 모르타르에서 빠지는 부착파괴가 일어났다.

4. 실험 결과의 분석

본 실험의 결과를 인장강도와 연성에 대하여 실험의 변수인 철근의 정착길이, 슬리브의 타입, 충전 모르타르 압축강도, 철근의 규격 등에 따른 영향을 분석하고 국내 기준⁽¹⁾ 및 ACI 기준⁽¹³⁾과 AIJ 기준⁽⁸⁾⁽⁹⁾에 대한 구조성능의 만족 여부도 검토하였다.

4.1 인장강도

본 철근콘크리트 부재의 기계식 접합이음은 ACI 기준에서는 철근 설계기준 항복강도(f_y)의 1.25배 이상의 인장력과 압축력을 전달할 수 있어야 한다고 규정하고 있다. 국내에서도 ACI 기준과 동일한 방법을 사용하고 있다. 한편 AIJ 기준에서는 이음의 성능을 4단계(SA급, A급, B급, C급)로 분류하여 구조설계방법이나 이음의 위치에 따라서 구분하여 사용하고 있고, 상위의 3단계(SA급, A급, B급)에서는 철근의 설계기준 항복강도의 1.35배 이상이거나 철근의 인장강도(f_u) 이상의 힘을 전달해야 한다고 규정하고 있다. Fig. 6~10에서 실험의 주요한 변수에 따라 인장강도를 비교하였다.

Fig. 6에서는 철근 규격의 영향을 파악하기 위하여 철근 규격별로 분류하여 인장강도를 비교하였다. 여기서는 상호간의 비교를 용이하게 하기 위하여 슬리브 타입에 따라서 실험 자료를 분류하였다. 철근의 정착 길이가 7.5d이고 A 타입 슬리브를 사용한 실험결과를 보면 D25, D32, D19, D35 철근 순서로 인장강도가 높게 나타나고 있고 B 타입 슬리브를 사용한 경우도 거의 동일한 결과를 보였다. 이것은 철근 직경에 따른 강관 슬리브 철근이음의 인장강도 차이라기보다는 앞의 Table 2에 나타난 것과 같이 철근 생산과정에서의 철근 직경에 따른 인장강도 차이에 기인한다고 판단된다. 한편, 철근 정착길이 7.5d와 5d를 실험변수로 채택하고 B 타입 슬리브에 D32 철근을 매입한 실험결과를 보면 철근 정착길이가 증가함에 따라서 인장강도가 증가하는 결과를 보였다.

Fig. 7에서는 슬리브 종류의 영향을 파악하고자 슬리브 종류별로 분류하여 인장강도를 비교하였다. 열처리하지 않은 경우에는 다른 직경의 철근에 비하여 상대적으로 인장강도가 낮은 D32 철근을 매입한 실험체

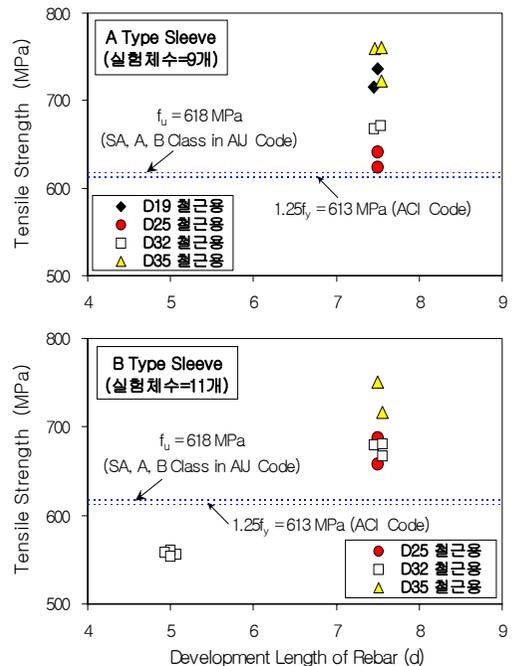


Fig. 6 인장강도의 비교(철근 규격)

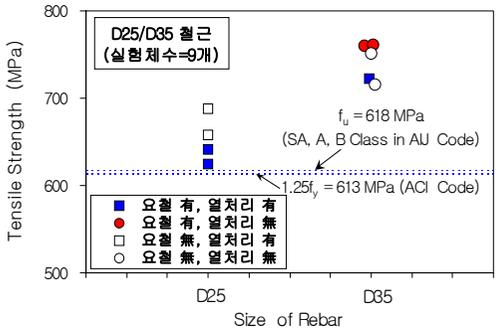
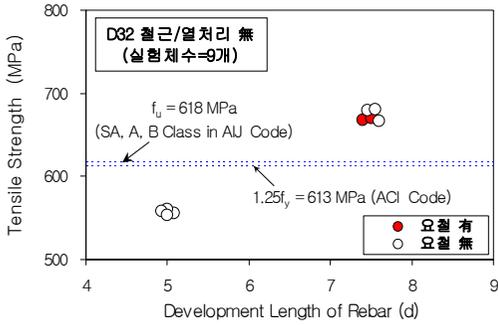


Fig. 7 인장강도의 비교(슬리브 종류)

는 슬리브 표면의 요철 유무에 관계없이 각 실험체의 인장강도가 거의 비슷하게 나타났지만, 상대적으로 인장강도가 높은 D35 철근을 매입한 실험체는 슬리브 표면의 요철 유무에 따라서 인장강도가 상이하게 나타났다. 즉, 요철이 없는 슬리브를 사용한 실험체에서는 철근이 파단되기 전에 철근과 모르타르 사이의 부착과 파괴가 발생함으로써 철근이 파단된 요철이 있는 실험체에 비하여 인장강도가 낮게 나타났다. 한편, D25 철근용 실험체에서는 요철 있는 슬리브를 열처리한 실험체가 요철 없는 슬리브를 열처리한 경우에 비하여 인장강도가 낮게 나타났고, D35 철근용 실험체에서는 요철이 있는 슬리브를 열처리를 한 경우가 슬리브에 요철이 있지만 열처리하지 않은 실험체나 요철도 없고 열처리하지 않은 슬리브의 실험체에 비하여 인장강도가 낮게 나타났다. 이와 같이 요철이 있는 슬리브를 열처리한 경우가 인장강도가 낮게 나타나는 것은 슬리브의 요철을 제작하는 과정에서 소성변형과 응력집중이 나타난 요철이 있는 슬리브를 열처리함으로써 슬리브 요철부분의 연신율이 저하됨으로 철근파단에

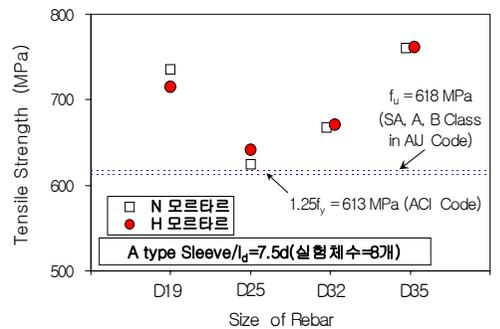
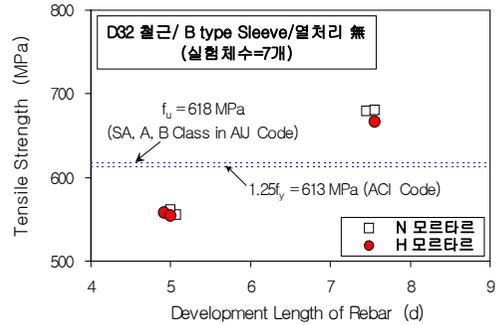


Fig. 8 인장강도의 비교(모르타르 종류)

앞서 특히 취약해진 요철부분에서 슬리브 파단이 발생했기 때문에 판단된다.

Fig. 8에서는 충전 모르타르 종류에 대한 영향을 파악하기 위하여 모르타르 종류별로 분류하여 인장강도를 비교하였다. 그림에 나타나 있는 것처럼 모르타르의 영향은 실험체의 인장강도에 거의 나타나지 않았다. 이것은 Table 4에 나타난 것과 같이 실험 당초의 의도와는 다르게 두 모르타르의 압축강도 차이가 거의 나타나지 않았기 때문이다.

Fig. 9에서는 실험체의 최종 파괴형식의 영향을 파악하고자 최종 파괴형식으로 분류하여 인장강도를 비교하였다. D32 철근을 매입하고 열처리하지 않은 A와 B 타입 슬리브를 사용한 실험체는 슬리브의 요철 유무에 관계없이 최종 파괴형식에 따른 실험체의 인장강도 차이가 거의 나타나지 않았다. 이것은 앞서서도 설명한 것과 같이 다른 직경의 철근에 비하여 상대적으로 인장강도가 낮은 D32 철근을 매입한 실험체중에서 슬리브에 요철이 없는 B 타입 슬리브를 사용한 실험체가 부착과 파괴가 발생했지만 이 실험체의 인장강도가 거의 접합 철근의

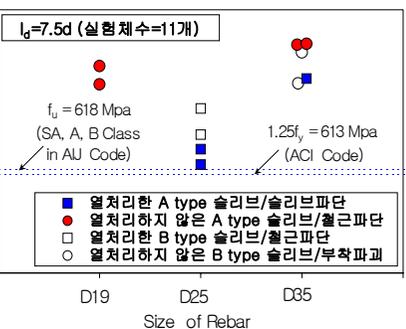
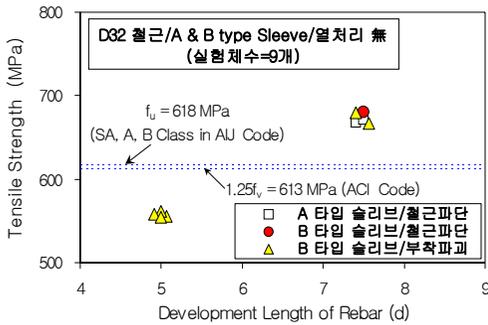


Fig. 9 인장강도의 비교(최종 파괴형식)

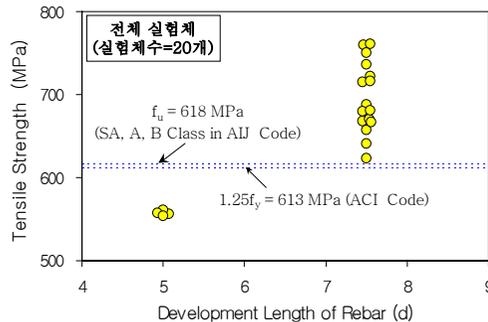


Fig. 10 인장강도 비교 (전체 실험체)

파단강도에 접근했기 때문이다. 그리고 D25, D35 철근을 매입한 슬리브를 사용한 실험체에서 요철이 있는 슬리브를 열처리한 경우는 철근파단에 앞서서 슬리브가 파단됨으로 열처리하였지만 요철이 없는 실험체나 열처리하지 않은 실험체보다 인장강도가 낮게 나타났다.

Fig. 10에서는 전체 실험체의 인장강도를 철근의 정착길이에 따라서 비교하였다. 그리고 철근의 정착길이가 5d인 4개의 모든 실험체는 ACI 기준과 AIJ 기

준의 상위 3단계(SA급, A급, B급)에 못 미치는 인장강도를 나타냈지만, 철근의 정착길이가 7.5d인 16개의 모든 실험체는 철근의 설계기준 항복강도(f_y)의 1.25배 이상의 인장력을 전달하여 ACI 기준을 만족하는 결과를 보였을 뿐만 아니라 철근의 규격인장강도(f_u) 이상의 인장력을 전달하여 AIJ 기준의 상위 3단계도 만족하였다.

4.2 연성

철근콘크리트 부재의 기계식 접합이음의 연성에 대해서 ACI 기준에서는 정해진 규정이 없다. 반면에 AIJ 기준에서는 연성에 대하여 3단계로 분류하여 구조설계방법이나 이음의 위치에 따라서 상이하게 정하고 있다. 본 논문에서는 연성을 AIJ 기준에 따라서 실험체의 접합철근 단위 단면적당 작용하는 응력이 최대강도에 도달한 이후에 철근의 설계기준 항복강도(f_y)에 도달할 때 실험체에 발생하는 변형률로 정의하였다.

Fig. 11~15에서 실험의 주요한 변수에 따라 연성을 비교하였다.

Fig. 11에서는 철근 규격의 영향을 파악하기 위하여 철근 규격별로 분류하여 연성을 비교하였다. 여기서도 상호간의 비교를 용이하게 하기 위하여 슬리브 타입에 따라서 실험 자료를 2종류로 분류하였다. 철근의 정착길이가 7.5d이고 요철이 있는 A 타입 슬리브를 사용한 실험결과를 보면 철근 규격에 따른 명확한 차이가 없는 가운데 D32 철근의 경우가 상대적으로 연성이 낮게 나타나고 있다. 상기의 결과는 B 타입 슬리브를 사용한 경우도 비슷한 경향을 보였다. 한편, 철근 정착길이가 7.5d와 5d를 실험변수로 채택하고 D32 철근을 매입한 B 타입 슬리브를 사용한 실험체에서는 철근 정착길이가 증가함에 따라서 인장강도의 경우와 마찬가지로 연성이 증가하였다.

Fig. 12에서는 슬리브 종류의 영향을 파악하고자 슬리브 종류별로 분류하여 연성을 비교하였다. 슬리브의 열처리 유무에 관계없이 슬리브의 요철이 없는 실험체가 요철이 있는 경우에 비하여 연성이 높게 나타났다. 이것은 슬리브의 요철이 없는 실험체가 있는 경우에 비하여 철근의 빠짐량이 상대적으로 크게 발생하

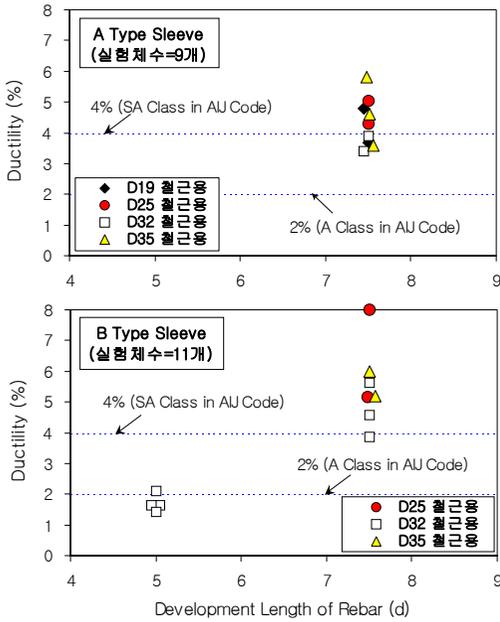


Fig. 11 연성의 비교(철근 규격)

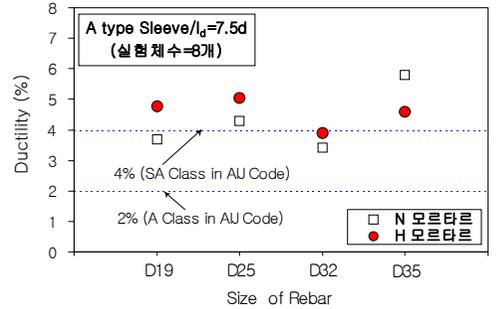
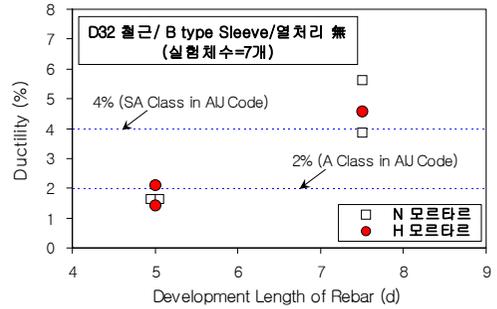


Fig. 13. 연성의 비교(모르타르 종류)

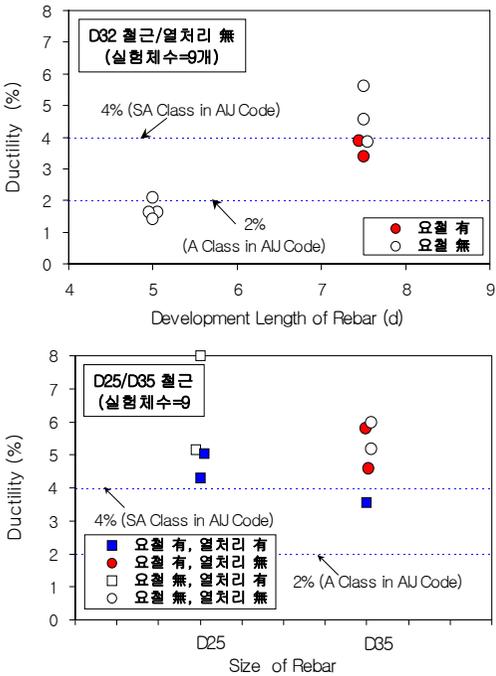


Fig. 12 연성의 비교(슬리브 종류)

므로 전체적인 실험체의 변위 측정거리간 상대변위가 증가하였기 때문에 판단된다. 그리고 요철이 있는 슬리브를 열처리한 실험체는 가장 연성이 낮게 나타났다. 이것은 앞의 인장강도에서도 언급한 것과 같이 슬리브의 요철을 제작하는 과정에서 소성변형과 응력집중이 나타난 요철이 있는 슬리브를 열처리함으로 인하여 슬리브 요철부분의 연신율이 저하됨으로 철근파단에 선행하여 특히 취약해진 요철부분에서 슬리브 파단이 먼저 발생했기 때문에 판단된다.

Fig. 13에서는 충전 모르타르 종류의 영향을 파악하기 위하여 모르타르 종류별로 분류하여 연성을 비교하였다. 그림에 나타나 있는 것처럼 모르타르의 영향은 인장강도의 경우와 마찬가지로 실험체의 연성에 거의 나타나지 않았다.

Fig. 14에서는 실험체의 최종 파괴형식의 영향을 파악하고자 최종 파괴형식별로 분류하여 연성을 비교하였다. D32 철근을 매입하고 열처리하지 않은 A 및 B 타입 슬리브를 사용한 실험체에서는 최종적으로 부착파괴된 실험체의 연성이 철근이 최종적으로 파단된 실험체보다 높게 나타났다. 또한 열처리하지 않은 슬

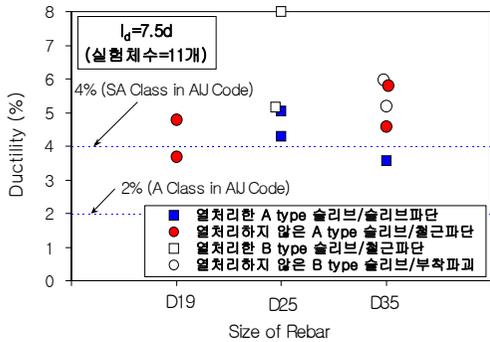
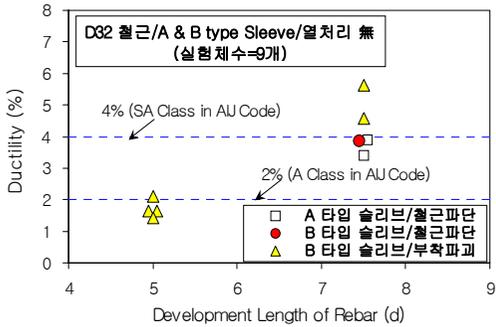


Fig. 14 연성의 비교(최종 파괴형식)

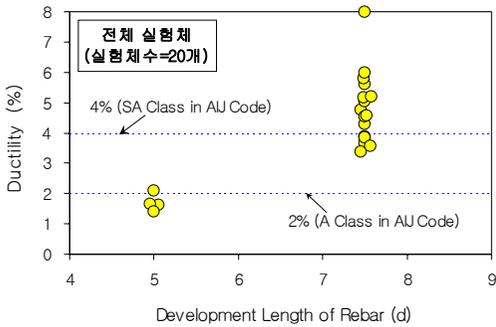


Fig. 15. 연성의 비교 (전체 실험체)

리브를 사용한 실험체 중에서 요철이 없는 실험체는 부착파괴가 발생하면서 상대적으로 연성이 높게 나타났다. 이와 같이 부착파괴한 실험체가 철근이 최종적으로 파단된 실험체보다 연성이 높게 나타나는 것은 앞서서도 설명한 것과 같이 부착파괴가 발생한 실험체가 철근의 빠짐량이 상대적으로 크게 발생하므로 전체적인 실험체의 변위 측정거리간 상대변위가 증가하였기 때문에 판단된다. 그리고 열처리한 슬리브를 사

용한 실험체에서는 요철이 있는 경우는 슬리브의 요철 부분이 철근파단에 선행하여 파단됨에 따라서 철근이 최종적으로 파단되는 요철이 없는 경우에 비하여 연성이 낮게 나타났다.

Fig. 15에서는 전체 실험체의 연성을 철근의 정착길이에 따라서 비교하였다. 여기서 철근의 정착길이가 5d인 실험체는 AIJ 기준의 A급인 2%에 다소 못 미치는 연성을 나타냈지만, 철근의 정착길이가 7.5d인 16개의 모든 실험체는 AIJ 기준의 A급을 훨씬 상회하였고 이 중에서 11개의 실험체는 AIJ 기준의 SA급인 4%도 만족하는 연성을 보였다

5. 결론

본 연구에서는 SD500 고강도 철근에 적합한 강관 스플라이스 슬리브를 개발한 후에 실험크기의 20개 실험체를 제작하여 단조강력실험을 실시하여 강도를 비롯한 구조성능을 실험변수에 따른 영향을 분석하고, 국내기준을 비롯한 주요기준에 따라서 비교, 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) SD500 고강도 철근용으로 개발된 강관 스플라이스 슬리브 철근이음은 철근의 정착길이를 7.5d 이상으로 하고, 28일 설계기준 압축강도가 75MPa 이상인 충전 무수축 모르타르를 사용한다면 국내 기준 및 ACI 기준의 구조성능 규정을 만족하였고, AIJ 기준의 A급 이상 구조성능을 보유하고 있는 것으로 확인되었다.
- 2) 개발된 강관 스플라이스 슬리브 철근이음에서 28일 설계기준 압축강도가 75MPa 이상인 충전 무수축 모르타르를 사용하고 철근의 정착길이를 5d로 줄이면 실험체의 최대강도가 철근의 설계기준 항복강도를 초과하지만 국내기준 및 ACI 기준, AIJ 기준의 상위 3단계(SA급, A급, B급)를 만족하지 못하는 구조성능을 보유하고 있는 것으로 나타났다.
- 3) 스플라이스 슬리브의 형상과 제작방법은 강관 슬리브 철근이음의 구조성능에 영향을 미쳤다. 스플라이스 슬리브 표면의 요철은 슬리브와 충전 모르타르 간의 부착력을 증가시켜서 슬리브 철근이음의

구조성능을 향상시켰지만, 요철이 있는 강관 스플라이스 슬리브 중에서 슬리브 자체의 인장강도를 향상시키기 위하여 열처리한 경우는 요철부분에서 슬리브 파단이 발생하면서 구조성능이 저하되었다

참고 문헌

1. 한국콘크리트학회, 대한건축학회, “건설교통부 제정 콘크리트구조설계기준”, 1999년.
2. 김형기 외 3명, “고강도 모르타르 충전식 철근이음의 구조성능에 관한 실험연구”, 한국콘크리트학회 논문집 13권 5호, 2001. 10, pp. 516-524.
3. 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소/주택사업본부, (주) 대동엠에스, “국산 스플라이스 슬리브 이음 개발 및 구조성능에 관한 연구 (1차년도:D19, D38철근용)”, 1998. 3.
4. 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소/주택사업본부, (주) 대동엠에스, “국산 스플라이스 슬리브 이음 개발 및 구조성능에 관한 연구 (2차년도:D19, D25, D32, D38 철근용)”, 1998. 12.
5. 이리형 외 2인, “鋼管內 高强度 모르타르 充填 鐵筋이음에 관한 研究”, 大韓建築學會論文集 13권 8호, 1997년 8월, pp. 147-154.
6. 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 14권 8호, 1998. 8, pp. 63-73.
7. 阿瀬正明 外 2人, “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), 1996년 9월, pp. 743-744.
8. 日本建築學會, “鐵筋コンクリート造配筋指針同解説”, 1986년, pp. 271~279.
9. 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. 8, pp. 1-5.
10. 鈴木計夫 外 7人, “内面に突起を有する鋼管を用いたグラウト充填式鐵筋繼手の性能に關する研究(その1: 繼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), 1992년 8월, pp. 893-894.
11. 鈴木計夫 外 3人, “鋼管スリーブを用いたグラウト充填式繼手における鐵筋の附着應力度-すべり特性”, 日本建築學會構造系論文集 第462號, 1994년 8월, pp. 131-139.
12. 鈴木計夫 外 2人, “グラウト充填式鐵筋繼手に關する研究の動向”, 日本コンクリート工學, Vol. 34, No. 4, 1996년 4월, pp. 15-23.
13. ACI Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-95) and Commentary(ACI 318R-95)

금행 (접수일자 : 2007년 2월 17일)