



## 철근 최소 연신율 규격에 대한 평가

이재훈<sup>1)\*</sup> · 김동현<sup>2)</sup> · 최진호<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>영남대학교 건설시스템공학과 <sup>2)</sup>코비코리아(주)

## Evaluation of Minimum Extensibility Standard Requirements for Steel Reinforcement

Jae-Hoon Lee,<sup>1)\*</sup> Dong-Hyun Kim,<sup>2)</sup> and Jin-Ho Choi<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Civil Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Korea

<sup>2)</sup>Cowi-Korea Co., Ltd., Seongnam 463-828, Korea

**ABSTRACT** Recently, many researches on high strength reinforcing steel have been conducted to construct optimum reinforced concrete structures. However, the studies have shown that high strength steel shows less elongation capacity than normal strength steel. Therefore, high strength reinforcing steel may not satisfy the minimum elongation requirement of current standards. Moreover, elongation measurements may be not standardized ones since each standard has its own requirements for minimum elongation and gage length. Therefore, the standards for reinforcing steel testing must be investigated to verify the validity of Korean Standard D 3504. This research aimed to compare the requirements for minimum elongation and gage length of the Korean, American, Japanese, European, and ISO Standards. Then, the study further investigated accuracy of the standards by tensile test of reinforcing steel. The study results showed that the Korean Standard has the strictest requirement. Based on the study results, the authors proposed modified minimum elongation requirements for general reinforcing steel and new requirements for seismic reinforcing steel.

**Keywords :** high-strength reinforcing steel, standard for reinforcing steel, extensibility, gage length, tensile test

### 1. 서 론

콘크리트 재료 분야의 기술개발은 그간 콘크리트의 고성능화에 초점을 두어 왔으나, 최근 들어 구조물의 경제성 향상을 목적으로 고강도 철근의 적용에 관심이 높아지고 있다. 이에 따라 항복강도가 500 MPa을 초과하는 고강도 철근을 대상으로 다수의 연구<sup>1,2)</sup>가 수행되었다. 고강도 철근의 개발과 적용에서 고려해야할 철근의 요구 성능은 항복강도와 인장강도뿐만 아니라 연성 능력, 즉 연신율이 매우 중요하다. 이것은 철근콘크리트 부재의 연성 능력이 철근의 연성 능력에 좌우되는 경우가 있기 때문이다.

철근의 연성 능력이 부재의 연성 능력에 영향을 주는 예는 반복 하중을 받는 철근콘크리트 기둥이 휨 작용에 의해 파괴될 때의 파괴 형태를 들 수 있다. 이 파괴 형태는 세 가지로 구분할 수 있는데, 첫째는 심부 콘크리트의 파쇄에 의한 파괴, 둘째는 Fig. 1과 같은 축방향 철근의 파단에 의한 파괴, 셋째는 Fig. 2와 같은 횡방향 철

근의 파단에 의한 파괴이다. 이는 Jaradat 등,<sup>3)</sup> 이재훈 등,<sup>4)</sup> 정영수 등<sup>5)</sup>의 실험 결과에서도 입증된 것으로서, 세 가지 파괴 형태 중 두 가지가 철근의 파단에 의한 것이다. 철근콘크리트 기둥에서 철근 파단에 의한 파괴에 대하여는, Mander 등<sup>6)</sup>과 이재훈 등<sup>7)</sup>의 연구 결과, 축방향 철근의 파단은 축방향 철근의 저주파 피로 거동에 따르며, 횡방향 철근의 파단은 기둥의 축력과 횡방향 철근량에 따른 횡방향 철근의 변형률에 영향을 받는다고 알려졌다. 여기서 횡방향 철근의 파단은 물론이고 축방향 철근의 저주파 피로에 의한 파단도 철근의 기본적인 역학적 성질인 연신율에 따라 성능이 좌우된다. 또 일반적인 단조 증가 하중을 받는 휨 부재에서도 철근이 충분한 연신율 성능을 가지고 있지 않다면 콘크리트 압축연단이 파쇄되기 전에 인장철근이 파단 되는 취성파괴를 유발하게 된다. 따라서 국내외 철근 규격에는 철근콘크리트 부재의 연성 능력을 확보하기 위하여 철근이 보유해야 할 최소 연신율이 규정되어 있다.

연신율은 철근에 대한 단조 증가 인장시험을 통하여 얻을 수 있으며, 식 (1)로 계산된다.

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100(\%) \quad (1)$$

\*Corresponding author E-mail: jhl79@ynu.ac.kr

Received January 31, 2011, Revised June 16, 2011,

Accepted June 30, 2011

©2011 by Korea Concrete Institute



Fig. 1 Failure by fracture of longitudinal steel<sup>9)</sup>



Fig. 2 Failure by fracture of transverse steel<sup>9)</sup>

여기서,  $\delta$ 는 연신율,  $l_0$ 는 표점 거리,  $l$ 은 파단 후에 측정된 표점 사이의 길이이다. 최소 연신율의 규정은 KS D 3504<sup>8)</sup>, ISO 6935-2<sup>9)</sup>, ASTM A 615/A 615M<sup>10)</sup>, ASTM A 706/A 706M<sup>11)</sup>, JIS G 3112<sup>12)</sup>, BS 4449<sup>13)</sup>와 같은 철근 규격과 유로코드(EC2)<sup>14)</sup>에 명시되어 있으며, 각 국가의 콘크리트구조설계기준은 관련 철근 규격에 적합한 철근을 사용하도록 규정하고 있다. 그러나 최소 연신율 규정은 규격마다 상이하여 어떤 규격이 더 엄격한지 알 수 없다. 이는 각 규격마다의 연신율을 산출하는 기준인 표점 거리가 다르기 때문인데, 이에 대한 연구는 이제까지 수행된 바가 없다. 한편 미국과 유럽의 규격에서는 내진용 철근의 최소 연신율을 따로 규정하고 있으나, 우리나라는 아직 이에 대한 규격이 없는 상태이다.

이 연구에서는 국내외 철근 규격의 연신율과 표점 거리 규정을 분석하고, 단조 증가 인장시험을 통해 표점 거리에 따른 시험 성공률과 연신율 규정의 엄격성을 평가하여, 철근 규격의 개정 및 내진용 철근 규격의 제정에 참고자료를 제공하고자 한다.

## 2. 국내의 철근 규격

### 2.1 표점 거리 규격

우리나라 규격 KS B 0801<sup>15)</sup>은 철근 시험편을 2호(호칭 지름 25 mm 이하)와 3호(호칭 지름 25 mm 초과)로 구분하고 있으며, 2호 시험편은 철근 지름의 8배, 3호 시험

편은 철근 지름의 4배로 표점 거리를 규정하고 있다. 국제 규격 ISO 6935-2와 영국 규격 BS 4449의 표점 거리는 모든 철근에 대하여 철근 지름의 5배로 규정하고 있다. 미국 규격 ASTM A 370<sup>16)</sup>의 부록 A9. Methods for testing steel reinforcing bars의 표점 거리는 8 in.(203.2 mm)로 모든 철근에 대해 일정한 값으로 규정하고 있다. 일본 규격 JIS Z 2201<sup>17)</sup>은 KS B 0801과 유사하게 시험편을 2호와 14A호로 나누어 구분하고 있으며, 2호 시험편은 철근 지름의 8배, 14A호 시험편은 철근 지름의 5배로 규정하고 있다.

따라서 JIS의 표점 거리는, 호칭 지름 25 mm 이하까지 KS의 표점 거리와 같고 호칭 지름 25 mm를 초과하는 철근부터는 ISO의 표점 거리와 같기 때문에 각 규격의 표점 거리는 KS, ISO, ASTM의 세 가지 규격으로 구분할 수 있다. 철근 지름에 따른 세 가지 표점 거리 규격의 차이는 Table 1과 Fig. 3에 나타나 있다.

### 2.2 일반 철근의 최소 연신율 규격

KS D 3504는 항복강도와 철근의 지름에 따라 최소 연신율을 규정하고 있다. 항복강도가 400 MPa인 철근의 최

Table 1 Gauge length in standards

Standard	KS	ISO & BS	ASTM	JIS
	Gauge length (mm) ( $l_0$ )			
Bar diameter				
10 mm	76.2	47.7	203.2	76.2
13 mm	101.6	63.5	203.2	101.6
16 mm	127.2	79.5	203.2	127.2
19 mm	152.8	95.5	203.2	152.8
22 mm	177.6	111.0	203.2	177.6
25 mm	203.2	127.0	203.2	203.2
29 mm	114.4	143.0	203.2	143.0
32 mm	127.2	159.0	203.2	159.0
35 mm	139.6	174.5	203.2	174.5
38 mm	152.4	190.5	203.2	190.5
41 mm	165.2	206.5	203.2	206.5
51 mm	203.2	254.0	203.2	254.0

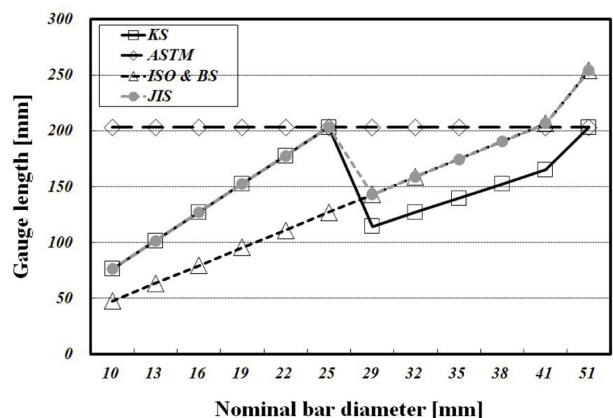


Fig. 3 Gauge length by bar diameters

**Table 2** Minimum extensibility of each standards

Standard Bar diameter	Minimum extensibility requirement ( $\delta_{min}$ )										
	KS D 3504	ASTM A 615	ASTM A 706	ISO 6935-2		JIS G 3112	EC2 & BS 4449				
				Class A, B, C	Class D		Class A	Class B	Class C		
10 mm	16 %	9 %	14 %	14 %	17 %	16 %	2.5 %	5.0 %	7.5 %		
13 mm											
16 mm											
19 mm											
22 mm											
25 mm	18%	7 %	12 %	-	-	17 %	2.5 %	5.0 %	7.5 %		
29 mm											
32 mm											
35 mm	16%	-	-	-	-	15 %	-	-	-		
38 mm	14 %	-	-	10 %	13 %	13 %	2.5 %	5.0 %	7.5 %		
41 mm		7 %	10 %							-	-
51 mm		7 %	10 %							-	-

Notes) Applicable value of  $f_y$ : 400 MPa(KS D 3504), 420 MPa(ASTM A 615A 706), 390 MPa(JIS G 3112), 400 & 500 MPa(ISO 6935-2), 500 MPa(EC2 & BS 4449)

소 연신율은 지름이 25 mm 이하인 2호 시험편에 대하여 16%, 지름이 25 mm를 초과하는 3호 시험편에 대하여 18%이며, 철근 지름이 32 mm를 초과하는 철근은 지름이 3 mm를 초과할 때 마다 최소 연신율을 각각 2% 포인트를 감하고, 감하는 연신율을 최대 4% 포인트로 규정하고 있다.

ASTM A 615M도 철근의 지름 및 항복강도에 따라 최소 연신율을 규정하고 있다. 항복강도가 420 MPa인 철근(grade 60)의 최소 연신율은 지름이 19 mm까지는 9%, 25 mm까지는 8%, 25 mm를 초과하는 철근에 대해서는 7%로 규정하고 있다.

ISO 6935-2는 연성 등급(ductility class) 및 항복강도, 철근의 지름에 따라 최소 연신율을 규정하고 있다. 연성등급이 A, B, C 중 하나이고, 항복강도가 400 MPa 또는 500 MPa인 철근의 최소 연신율은 14%로 규정되어 있으며, KS D 3504와 동일하게 지름이 32 mm를 초과하는 철근은 지름이 3 mm를 초과할 때 마다 최소 연신율을 각각 2% 포인트를 감하고, 감하는 연신율 한도를 4% 포인트로 규정하고 있다.

JIS G 3112도 철근의 지름 및 항복강도에 따라 최소 연신율을 규정하고 있다. 항복강도가 390 MPa인 철근의 최소 연신율은 호칭 지름 25 mm 이하인 2호 시험편에 대하여 16%, 호칭 지름 25 mm를 초과하는 14A호 시험편에 대하여 17%이고, KS D 3504와 마찬가지로 철근 지름이 32 mm를 초과하는 철근은 지름이 3 mm를 초과할 때 마다 최소 연신율을 각각 2% 포인트를 감하고, 감하는 연신율을 최대 4% 포인트로 규정하고 있다.

EC2와 BS 4449는 최소 연신율 규정이 동일하며, 연성 등급에 따라 규정되어 있다. 항복강도가 500 MPa인 철근의 최소 연신율은 연성 등급이 A일 때 2.5%, 연성 등급이 B일 때 5%, 내진용 철근으로 고연성 철근인 연성 등

급 C의 경우 7.5%이다. 단, KS D 3504, ASTM A 615M, ISO 6935-2, JIS G 3112 규격은 철근이 파단 될 때의 연신율을 기준으로 최소 연신율을 적용하지만, EC2와 BS 4449는 철근의 최대 응력에서의 변형률을 기준으로 최소 연신율을 적용한다는 차이점이 있다. 따라서 EC2와 BS 4449는 다른 규격에 비하여 최소 연신율 값이 작지만, 다른 규격이 더 엄격하다고는 말할 수 없음을 유의하여야 한다.

### 2.3 내진용 철근의 최소 연신율 규격

내진용 철근의 최소 연신율을 규정하고 있는 철근 규격은 ISO 6935-2, ASTM A 706M, EC2, BS 4449 등 네 가지가 있다.

ISO 6935-2는 연성 등급이 D이고 항복강도가 400 MPa인 내진용 철근의 최소 연신율을 17%로 규정하고 있으며, 철근 지름이 32 mm를 초과하는 경우 지름이 3 mm를 초과할 때 마다 최소 연신율을 각각 2% 포인트를 감하고, 감하는 연신율 한도는 4% 포인트로 규정하고 있다.

ASTM A 706M은 항복강도가 420 MPa인 철근(grade 60)에 대하여, 지름이 19 mm까지는 14%, 35 mm까지는 12%, 35 mm를 초과하는 철근에 대해서는 10%로 최소 연신율을 규정하고 있다.

EC2와 BS 4449는 연성등급이 C인 철근에 대한 최대 응력까지의 연신율을 7.5% 이상으로 규정하고 있다.

KS D 3504와 JIS G 3112에서는 내진용 철근에 대한 최소 연신율을 따로 규정하지 않고 있다.

### 2.4 연신율 규격의 평가

각 규격의 표점 거리와 최소 연신율을 곱하면 인장시

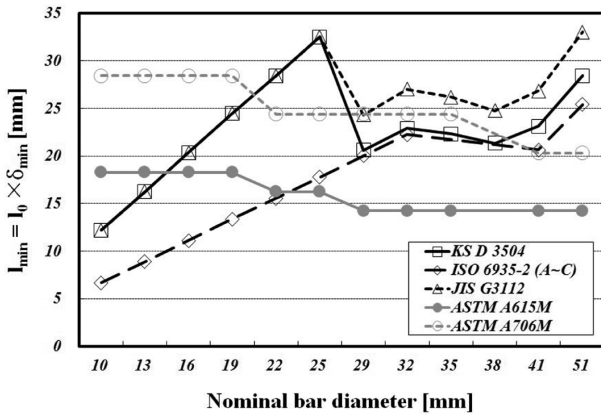


Fig. 4 Minimum extensibility length requirements

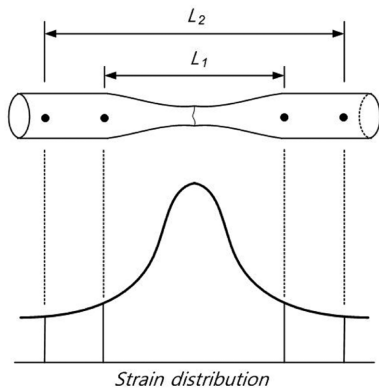


Fig. 5 Gauge length and strain distribution

험에서 늘어나야 하는 최소 연신 길이( $l_{min}$ )를 구할 수 있으므로, 철근의 지름에 따라 Fig. 4와 같이 각 규격의 최소 연신 길이를 나타낼 수 있다. 그러나 최소 연신 길이는 규격의 엄격성을 평가할 수 없다. 단순히 생각하면 최소 연신 길이가 길면 최소 연신율 규정이 엄격한 것으로 판단할 수 있지만, 실제로는 철근이 파단 될 때 철근 길이에 따른 변형률의 차이 때문에 단순히 판단할 수는 없는 것이다. Fig. 5는 철근의 인장시험에서 철근이 파단 되기 전에 넥킹(necking) 현상이 발생한 철근의 변형률 분포를 개념적으로 나타낸다. Fig. 5에서 표점 거리가  $L_1$ 로 상대적으로 짧은 경우와 표점 거리가  $L_2$ 로 상대적으로 긴 경우를 생각해 볼 수 있는데, 넥킹 현상이 발생한 구간은 변형률이 매우 급격히 증가하므로 표점 거리 내에서 변형률을 적분한 후 각각의 표점 거리로 나눈 연신율은 어느 경우에 더 큰 값이 될지 알 수 없다. 왜냐하면 실제의 변형률 분포는 실험을 통하지 않고는 알 수 없기 때문이다.

### 3. 연구 방법 및 시험 방법

#### 3.1 연구 방법

이 연구에서는 어떠한 규격의 연신율 규정이 더 엄격한

지, 또 어떠한 규격의 표점 거리가 더 성공률이 높은지 판단하기 위하여, 단조 증가 인장시험을 수행한 후 시험 결과에 대한 각 규격의 적용 결과를 분석하는 방법을 채택하였다. 즉, 단조 증가 인장시험에서 한 개의 시험편에 KS 규격, ISO 규격, ASTM 규격의 세 가지 표점 거리를 모두 표시하고 각각의 표점 거리를 기준으로 연신율을 산출하는 방법을 사용하였다. 산출된 각각의 연신율과 각 규격의 연신율 규정의 비를 엄격성 지수(strictness index)라고 정의하면, 그 비율이 1에 가까울수록 그 규격의 연신율 규정이 엄격하다고 판단할 수 있다.

### 3.2 시험 방법

Fig. 6과 같이 한 개의 시험편에 각 규격의 표점 거리를 모두 표시한 후에 600 kN 용량의 만능시험기(universal testing machine)를 이용하여 단조 증가 인장시험을 수행하였다. 철근이 파단 된 후 시험편의 파단면을 맞물린 다음 버니어 캘리퍼스로 각 표점 간의 길이를 측정하여 연신율을 계산하였으며, KS 규격의 표점 거리에는 연신율 측정기(extensometer)도 함께 사용하였다. 시험에 사용한 시험편은 항복강도가 400 MPa인 10, 13, 16, 22, 29 mm 지름의 철근 총 46개로 D사의 동일한 공장과 라인에서 생산한 철근을 대상으로 시험을 수행하였다.

### 4. 시험 결과

Table 3은 46개 철근 시험편의 단조 증가 인장시험 결과를 나타낸다. Table 3의 'extensibility'는 각 규격의 표점 거리로 산출된 연신율을 나타내며, 'ratio of extensibility to requirement'는 산출된 연신율과 각 규격의 최소 연신율의 비로 엄격성 지수를 나타낸다. 'fracture location with respect to gauge length'는 철근의 파단 위치가 표점 거리 내부인지 외부인지 나타내는 것으로서, 'in'은 표점 거리 내부, 'out'은 표점 거리 외부에서 파단된 것을 뜻한다.

인장시험 후 모든 시험편의 파단 위치가 표점 거리 내

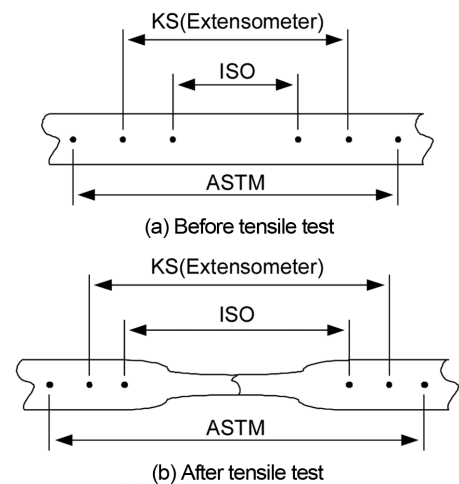


Fig. 6 Gauge length for extensibility measurement

**Table 3** Test result of tensile test

Bar diameter (mm)	Serial number of specimen	Extensibility (%) ( $\delta_{est}$ )				Ratio of extensibility to requirement ( $\delta_{est}/\delta_{min}$ )						Fracture location with respect to gauge length		
		KS	ISO	JIS	ASTM	KS D 3504	ISO 6935-2		JIS G 3112	ASTM A 615	ASTM A 706	KS	ASTM	ISO
							A, B, C	D						
10	1	19.6	25.9	19.6	14.2	1.23	1.85	1.62	1.23	1.57	1.01	in	in	in
	2	20.2	34.3	20.2	14.2	1.26	2.45	2.14	1.26	1.57	1.01	in	in	in
	3	21.1	29.1	21.1	14.4	1.32	2.08	1.82	1.32	1.60	1.03	in	in	in
	-	19.9	16.5	19.9	14.2	1.24	1.18	1.03	1.24	1.57	1.01	out	in	out
	-	15.1	17.5	15.1	14.2	0.94	1.25	1.10	0.94	1.57	1.01	out	in	out
	-	18.5	18.6	18.5	15.9	1.16	1.33	1.16	1.16	1.77	1.14	out	in	out
	-	13.4	17.5	13.4	14.2	0.84	1.25	1.10	0.84	1.57	1.01	out	out	out
	-	18.1	17.5	18.1	14.2	1.13	1.25	1.10	1.13	1.57	1.01	out	out	out
	-	10.7	13.3	10.7	13.7	0.67	0.95	0.83	0.67	1.52	0.98	out	out	out
13	4	19.2	25.8	19.2	15.6	1.20	1.84	1.61	1.20	1.73	1.11	in	in	in
	5	21.1	26.0	21.1	18.2	1.32	1.86	1.62	1.32	2.02	1.30	in	in	in
	6	21.6	25.2	21.6	18.6	1.35	1.80	1.57	1.35	2.07	1.33	in	in	in
	7	19.9	24.6	19.9	18.1	1.24	1.75	1.54	1.24	2.01	1.29	in	in	in
	8	15.1	15.7	15.1	17.4	0.94	1.12	0.98	0.94	1.93	1.24	in	in	in
	9	20.3	25.4	20.3	17.5	1.27	1.81	1.58	1.27	1.95	1.25	in	in	in
	-	19.1	16.4	19.1	16.7	1.19	1.17	1.02	1.19	1.85	1.19	out	in	out
	-	13.0	11.0	13.0	15.1	0.81	0.79	0.69	0.81	1.68	1.08	out	in	out
16	10	18.6	23.0	18.6	16.1	1.16	1.64	1.44	1.16	1.79	1.15	in	in	in
	11	17.3	22.0	17.3	15.2	1.08	1.57	1.38	1.08	1.68	1.08	in	in	in
	-	16.2	12.6	16.2	13.2	1.01	0.90	0.79	1.01	1.47	0.94	in	in	out
	-	17.2	13.5	17.2	15.3	1.08	0.96	0.84	1.08	1.70	1.09	in	in	out
	-	17.1	13.2	17.1	15.2	1.07	0.94	0.83	1.07	1.68	1.08	in	in	out
	-	13.1	11.7	13.1	15.2	0.82	0.84	0.73	0.82	1.68	1.08	out	in	out
	-	14.1	13.8	14.1	15.9	0.88	0.99	0.86	0.88	1.77	1.14	out	in	out
	-	12.3	11.7	12.3	15.6	0.77	0.84	0.73	0.77	1.73	1.11	out	in	out
22	-	11.5	11.7	11.5	14.2	0.72	0.84	0.73	0.72	1.57	1.01	out	in	out
	12	20.4	56.8	20.4	19.6	1.27	4.05	3.55	1.27	2.45	1.63	in	in	in
	13	20.1	56.8	20.1	19.6	1.26	4.05	3.55	1.26	2.45	1.63	in	in	in
	14	19.3	55.7	19.3	19.0	1.21	3.98	3.48	1.21	2.37	1.58	in	in	in
	15	21.4	58.6	21.4	21.1	1.33	4.18	3.66	1.33	2.63	1.76	in	in	in
	16	18.0	52.3	18.0	17.6	1.12	3.73	3.27	1.12	2.20	1.46	in	in	in
	17	11.6	18.8	11.6	19.1	0.72	1.34	1.18	0.72	2.39	1.60	in	in	in
	18	19.0	22.5	19.0	17.6	1.19	1.61	1.41	1.19	2.20	1.47	in	in	in
	19	17.1	22.5	17.1	20.3	1.07	1.61	1.41	1.07	2.54	1.69	in	in	in
	20	21.3	25.0	21.3	20.3	1.33	1.79	1.57	1.33	2.54	1.69	in	in	in
	21	16.0	29.9	16.0	19.6	1.00	2.14	1.87	1.00	2.45	1.63	in	in	in
	22	19.7	25.6	19.7	18.4	1.23	1.83	1.60	1.23	2.29	1.53	in	in	in
	-	19.9	14.4	19.9	18.7	1.24	1.03	0.90	1.24	2.34	1.56	in	in	out
	-	15.9	19.6	15.9	17.6	1.00	1.40	1.23	1.00	2.20	1.47	in	in	out
-	16.1	18.2	16.1	18.4	1.01	1.30	1.14	1.01	2.29	1.53	in	in	out	
29	-	13.5	45.0	13.5	13.4	0.84	3.22	2.82	0.84	1.68	1.12	out	out	out
	-	18.2	15.5	18.2	16.1	1.14	1.11	0.97	1.14	2.02	1.35	out	out	out
	23	23.7	19.2	19.2	22.0	1.32	1.37	1.20	1.13	3.14	1.83	in	in	in
	-	13.6	23.6	23.6	20.3	0.76	1.69	1.48	1.39	2.90	1.69	out	in	in
	-	17.4	2.2	2.2	21.1	0.97	0.16	0.14	0.13	3.02	1.76	out	in	in
	-	14.6	22.4	22.4	18.4	0.81	1.60	1.40	1.32	2.62	1.53	out	in	out

의 정 가운데이면 가장 이상적이지만, 동일한 철근을 절단하여 시험을 하더라도 Fig. 7과 같이 파단 위치는 각 철근마다 다르게 발생 한다. 따라서 파단 위치가 표점 거리 내부에 위치하는지, 외부에 위치하는지에 따라 연신

율도 다르게 산출될 것이며, 표점 거리 외부에 파단 위치가 발생한 시험편의 경우 연신율이 정확히 산출하였고 판단하기도 어렵다. 따라서 세 가지 표점 거리 모두에 대하여 표점 거리 내에서 파단 된 시험편에 일련번

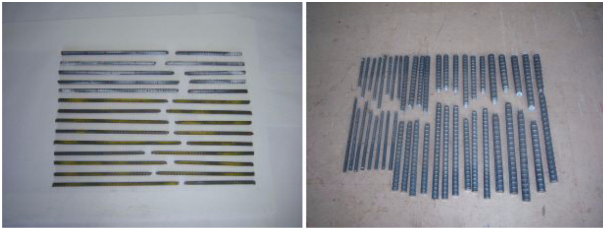


Fig. 7 Test specimens after tensile test

호(serial number)를 부여하였고, 이를 대상으로 최소 연신율 규정의 엄격성을 평가하였다.

#### 4.1 파단 위치에 따른 표점 거리의 시험 성공률 분석

총 46개의 시험편 중, 철근 지름에 관계없이 표점 거리가 203.2 mm로 일정한 ASTM의 경우 41개(89%)의 철근이 표점 거리 내부에서 파단 되었으며, 표점 거리가 철근의 지름에 따라 달라지는 KS와 ISO의 경우 각각 29개(63%), 25개(54%)의 철근이 표점 거리 내부에서 파단 되었다. 즉, 표점 거리의 크기가 클수록 파단 위치가 표점 거리 내부에 발생할 가능성이 높은 것으로 판단할 수 있다. 따라서 표점 거리가 모든 철근에 대하여 203.2 mm로 일정한 ASTM의 표점 거리가 단조 증가 인장시험에서의 시험 성공률은 가장 높다고 할 수 있다.

파단 위치에 따른 연신율을 비교하기 위하여, Fig. 8과 같이 KS 규격의 표점 거리 내부에서 파단 된 철근과 외부에서 파단 된 철근의 평균 연신율을 철근 지름별로 비교하였다. 당연한 결과이지만, 표점 거리 내부에서 파단 된 철근의 평균 연신율이 표점 거리 외부에서 파단 된 철근의 평균 연신율 보다 커서, D10은 1.27배, D13은 1.22배,

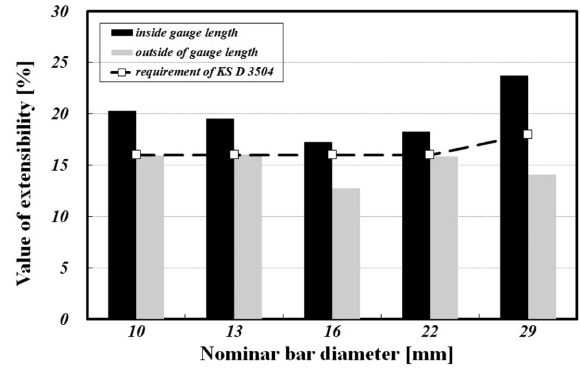


Fig. 8 Relation of gauge length and extensibility

D16은 1.35배, D22는 1.15배, D29는 1.56배로 크게 산출되었다. 또한 표점 거리 내부에서 파단 된 시험편은 86%가 KS D 3504의 최소 연신율 규정을 만족하였으나 표점 거리 외부에서 파단 된 시험편은 29%이 최소 연신율 규정을 만족하였다.

#### 4.2 각 규격의 최소 연신율 규정의 엄격성 평가

각 규격의 최소 연신율 규정의 엄격성을 비교하기 위해, 총 46개의 시험 자료 중 세 가지 규격의 표점 거리를 모두 만족하는 23개의 시험 자료를 대상으로 엄격성을 분석하였다. 단, 단조 증가 인장시험에서 최대 응력에서의 연신율을 따로 도출하기가 어렵기 때문에 EC2와 BS 4449의 규격은 엄격성 분석에서 제외하였다. 분석 결과는 Figs. 9, 10, Table 4와 같다.

##### 4.2.1 일반용 철근 규격의 엄격성 평가

Fig. 9는 KS D 3504, ISO 6935-2(Class A~C), JIS G

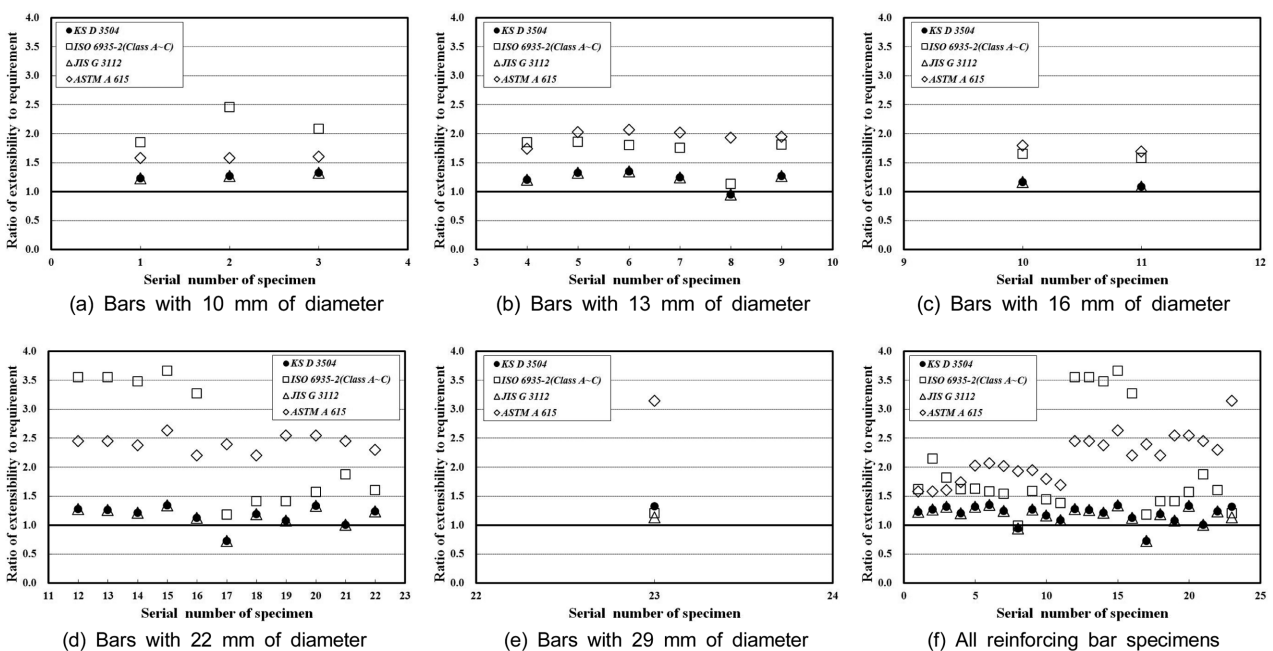


Fig. 9 Ratio of extensibility to general steel reinforcement requirement

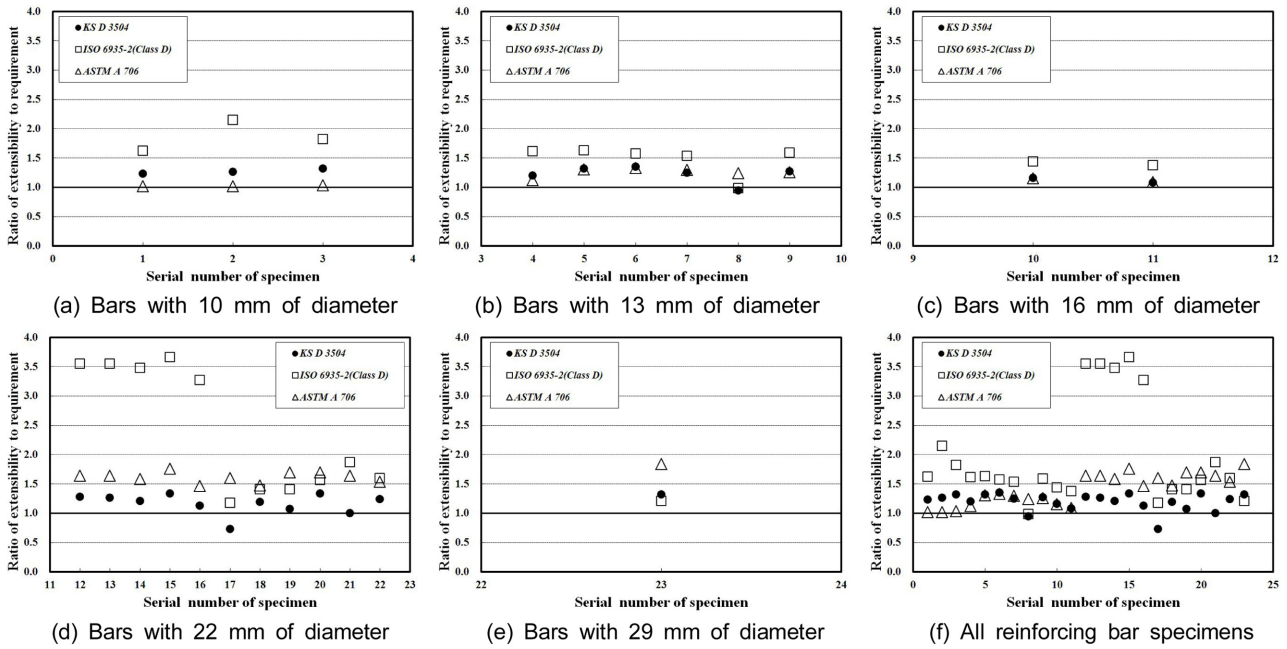


Fig. 10 Ratio of extensibility to seismic steel reinforcement requirement

Table 4 Statistics on ratio of extensibility to requirement

Standard Statistics	Ratio of extensibility to requirement ( $\delta_{est} / \delta_{min}$ )					
	KS D 3504	ISO 6935-2		JIS G 3112	ASTM A 615	ASTM A 706
		A, B, C	D			
Minimum	0.72	1.12	0.98	0.72	1.57	1.01
Maximum	1.35	4.18	3.66	1.35	3.14	1.83
Average	1.19	2.24	1.96	1.18	2.16	1.41
Standard deviation	0.147	0.976	0.854	0.144	0.402	0.262

3112, ASTM A 615M의 일반용 철근 규격을 대상으로 엄격성 지수를 비교한 것이다. Fig. 9(a)~(d)에 나타난 바와 같이 지름이 10, 13, 16, 22 mm인 철근에는 표점 거리와 최소 연신율 규정이 동일한 KS D 3504와 JIS G 3112 규격이 가장 엄격한 것으로 나타났다. 다만 Fig. 9(e)와 같이 KS D 3504와 JIS G 3112의 표점 거리가 달라지는 29 mm 철근에는 JIS G 3112의 엄격성 지수가 1.13으로, 엄격성 지수가 1.32인 KS D 3504보다 더 엄격하였다. Table 4와 같이 모든 철근 시험편에 대한 엄격성 지수의 평균값을 비교했을 때, KS D 3504가 1.18, JIS G 3112가 1.19, ISO 6935-2(Class A~C)가 2.44, ASTM A 615M가 2.16을 나타내었다. 따라서 KS D 3504 규격이 가장 엄격한 것으로 판단된다.

#### 4.2.2 내진용 철근 규격의 엄격성 평가

Fig. 10은 ISO 6935-2(Class D)와 ASTM A 706M의 내진용 철근 규격과 국내의 일반용 철근 규격(KS D 3504)의 엄격성 지수를 비교한 것이다. Fig. 10(a)에 나타난 바와 같이 지름이 10 mm인 철근에는 ASTM A 706M이 가장 엄격하고, Fig. 10(e)에 나타난 바와 같이 지름이 29 mm인 철근에는 ISO 6935-2(Class D)가 가장 엄격한 것으로 나타났다. 그러나 Fig. 10(b)~(d)에 나타난 바와 같이 지

름이 13, 16, 22 mm인 철근에서는 0.72~1.35 범위의 엄격성 지수로서 KS D 3504가 가장 엄격한 것으로 나타났다. 따라서 Table 4와 같이 모든 지름의 철근 시험편에 대해 엄격성을 비교했을 때, 국내의 일반용 철근 규격인 KS D 3504의 엄격성 지수 평균값은 1.19, 내진용 철근 규격인 ISO 6935-2(Class D)와 ASTM A 706M의 엄격성 지수 평균값은 각각 1.96과 1.41을 나타내었다. 따라서 철근 지름에 따라 차이가 있기는 하지만, KS D 3504의 최소 연신율 규정은 국외의 내진용 철근 규격과 유사하거나 오히려 더 엄격한 것으로 판단된다.

### 5. KS D 3504의 최소 연신율 규정 제안

ISO 규격은 최소 연신율 규정이 철근 지름에 관계없이 일정하지만, 표점 거리가 철근 지름의 5배로서 철근 지름에 따라 같은 비율로 증가한다. ASTM 규격은 표점 거리가 일정하지만, 철근 지름의 증가에 따라 최소 연신율 규정이 낮아진다. 한편 KS D 3504 규격은 최소 연신율과 표점 거리가 일정한 규칙을 나타내기보다는 철근 지름을 두 개의 집단으로 구분하여 각기 다른 값을 규정하고 있다. 따라서 ISO와 ASTM 규격은 최소 연신율과 표점 거리 중 하나를 일정하게 하고 나머지 하나를 변

화시킴으로서, 규격의 일관성에 있어서 더 합리적이라고 할 수 있다. 그러나 현재 국내에 생산되는 모든 철근은 KS 규격에 맞추어 생산되기 때문에 ISO나 ASTM 규격으로 바꾸기에는 현실적인 어려움이 있다. 따라서 이 연구에서는 KS D 3504 규격의 형식을 따르면서, 일반용 철근의 최소 연신을 규정의 수정안과 내진용 철근 최소 연신을 제정안을 제안하고자 한다.

### 5.1 일반용 철근의 최소 연신율 규정 제안

4.2.1에 기술한 바와 같이, 철근 규격 KS D 3504의 최소 연신율 규정은 국내의 일반용 철근 규격 중 가장 엄격한 것으로 판단되었다. 따라서 일반용 철근 규격의 최소 연신율 규정은 국외의 최소 연신율 규정을 만족하는 범위 안이라면 완화되어도 큰 문제가 없을 것이라고 판단된다.

Fig. 11은 KS D 3504의 최소 연신율 규정을 완화하여 국외의 일반용 철근 규격과 비교한 것이다. Fig. 11(b)에 나타낸 바와 같이, KS D 3504의 최소 연신율 규정을 2% 포인트 완화하더라도 JIS G 3112를 제외하고는 국외의 모든 일반용 철근 규격보다 엄격하다는 결과를 보인다. KS D 3504의 최소 연신율 규정을 4% 포인트 완화한다면, Fig. 10(c)에 나타낸 바와 같이 ASTM A 615M보다는 엄격하나, ISO 6935-2(Class A~C)와는 비슷한 엄격성을 나타내었다. KS D 3504의 최소 연신율 규정을 6% 포인트 완화한다면, Fig. 10(d)에 나타낸 바와 같이 ASTM A 615M과 비슷하거나 조금 더 엄격하지만 ISO 6935-2(Class A~C)보다는 완화된 결과를 보인다.

따라서 SD300에서 SD400까지의 철근에 대해서는 KS D 3504의 최소 연신율 규정을 2% 포인트 완화하여도 ASTM과 ISO의 일반용 철근 규격을 충분히 만족하는 수준이 될 것으로 판단되므로, Table 5와 같이 제안한다. 단 SD500, SD600, SD700, SD400W, 500W에 대하여는 검토된 바 없으므로, 기존 규정을 그대로 수록하였다.

### 5.2 내진용 철근의 최소 연신율 규정 제안

4.2.2에 기술한 바와 같이, 철근 규격 KS D 3504의 최소 연신율 규정은 국외의 내진용 철근 규격과 유사하게

**Table 5** Proposed extensibility requirement for KS D 3504

Symbol & grade	Bar size	Minimum extensibility (%)	
		For seismic steel	For general steel
SD300	D22 and smaller	16	14
	D25 and larger	18	16
SD350	D22 and smaller	18	16
	D25 and larger	20	18
SD400	D22 and smaller	16	14
	D25 and larger	18	16
SD500	D22 and smaller	12	12
	D25 and larger	14	14
SD600	D22 and smaller	10	10
	D25 and larger		
SD700	D22 and smaller	10	10
	D25 and larger		
SD400W	D22 and smaller	16	16
	D25 and larger	18	18
SD500W	D22 and smaller	12	12
	D25 and larger	14	14

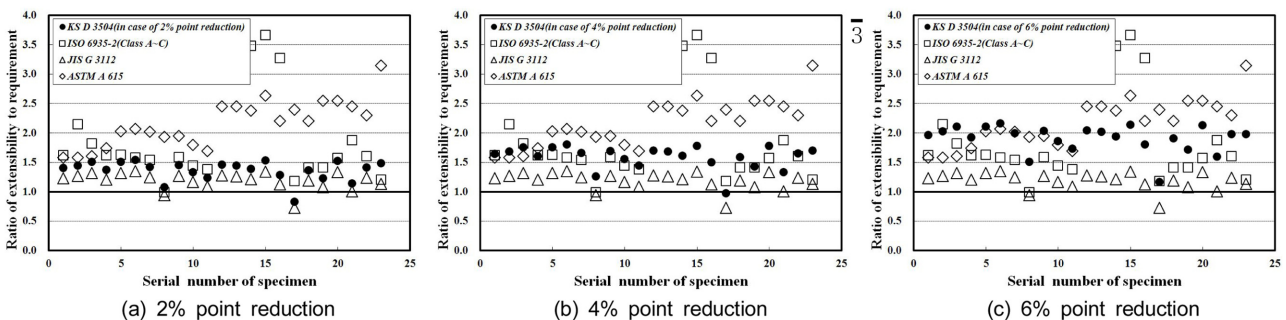
Notes) In case of the bar with diameter 32 mm, the minimum extensibility decreased by 2% point each 3 mm increase in diameter. However the limit of reduction shall be 4% point.

Notes) Modified minimum extensibility are proposed only for SD300, SD350, and SD400 steel bars.

나 오히려 더 엄격한 것으로 분석되었다. 따라서 내진용 철근 규격을 제정한다면 현 KS D 3504의 최소 연신율 규정을 그대로 사용하여도 큰 무리가 없을 것으로 판단된다. 따라서 내진용 철근의 최소 연신율 규정을 Table 5와 같이 제안한다.

## 6. 결 론

이 연구에서는 단조증가 인장시험을 통하여 파단 위치에 따른 국내의 철근 규격 표점 거리의 시험 성공률에 대하여 평가하고, 최소 연신율 규정의 엄격성에 대해 분석하였다. 또한 분석한 내용을 바탕으로 KS D 3504의



**Fig. 11** Comparison of ratio of extensibility to general steel reinforcement requirement



일반용 및 내진용 철근의 최소 연신율을 제안하였다. 이 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 단조 증가 인장시험 결과 총 46개의 시험편 중 41개(89%)의 철근이 ASTM의 표점 거리 내부에서 파단되었고, KS와 ISO의 경우 각각 29개(63%), 25개(54%)의 철근이 표점 거리 내부에서 파단되었다. 따라서 모든 지름의 철근에 대하여 표점 거리가 203.2 mm로 일정한 ASTM 규격이 인장시험에서의 시험 성공률이 가장 높았다.
- 2) 인장시험에서 세 가지 규격의 표점 거리 내에서 모두 파단된 23개 시험편을 대상으로 최소 연신율 규격의 엄격성을 비교한 결과, 일반용 철근 규격에서는 KS D 3504와 JIS G 3112가 가장 엄격한 것으로 판단된다.
- 3) 현행 KS D 3504의 최소 연신율 규정을 2% 포인트 완화하더라도 JIS G 3112를 제외하고는 국외의 모든 일반용 철근 규격보다 엄격하다는 결과를 보이므로, SD300, SD350, SD400의 일반용 철근에 대하여는 최소 연신율 규정을 2% 포인트 완화하여도 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.
- 4) 분석 대상인 23개 시험편에 대하여 최소 연신율 규격의 엄격성을 분석한 결과, KS D 3504의 최소 연신율 규정이 국외의 내진용 철근 규격과 유사하거나 오히려 더 엄격한 것으로 분석되었다. 따라서 내진용 철근 규격을 제정한다면 현 KS D 3504의 최소 연신율 규정을 그대로 사용하여도 큰 무리가 없을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 연구는 지식경제부 산하 한국산업기술평가원의 '초고장력 형강 및 철근 기술개발' 과제의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 이재훈 외, "콘크리트 구조물에 대한 고장력 철근의 적용성 연구," KCI-R10-001, 한국콘크리트학회, 2010, 388 pp.

2. 정란 외, "휨-압축철근을 위한 Ultra-Bar(SD 600) 및 스티럽과 타이 철근을 위한 Ultra-Bar(SD 500 및 600)의 적용성 연구," 한국콘크리트학회, 2010, 375 pp.
3. Jaradat, O. A., McLean, D. I., and Marsh, M. L., "Performance of Existing Bridge Columns under Cyclic Loading-Part 1 : Experimental Results and Observed Behavior," *ACI Structural Journal*, Vol. 95, No. 6, 1998, pp. 695~704.
4. 이재훈, 배성용, 윤석구, "나선철근교각의 내진성능실험," 대한토목학회 논문집, 21권, 1-A호, 2001, pp. 109~121.
5. 정영수, 이재훈, 김재관 외 "고속도로 기존교량의 유형별 내진성능 평가를 위한 실험적 연구," 한국도로공사 연구보고서, 2001, 397 pp.
6. Mander, J. B., Panthaki, F. D., and Kasalanati, A., "Low-cycle Fatigue Behavior of Reinforcing Steel," *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 6, No. 4, 1994, pp. 453~468.
7. 이재훈, 고성현, "축방향 철근의 저주파 피로 거동," 콘크리트학회 논문집, 22권, 2호, 2010, pp. 263~271.
8. KS D 3504, 철근콘크리트용 봉강, 한국표준협회, 2010, 20 pp.
9. ISO 6935-2, "Steel for the Reinforcement of Concrete-Part 2 : Ribbed Bars," *International Standard*, 2002, 20 pp.
10. ASTM A 615/A 615M-08b, "Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement," *ASTM*, USA, 2008, 6 pp.
11. ASTM A 706/A 706M-08a, "Standard Specification for Low-Alloy Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement," *ASTM*, USA, 2008, 5 pp.
12. JIS G 3112, "Steel Bar for Concrete Reinforcement," *Japanese Standards Association*, 2004, 15 pp.
13. BS 4449, "Steel for the Reinforcement of Concrete-Weldable Reinforcing Steel-Bar," *Coil and Decoiled Product-Specification*, *British Standards*, 2005, 27 pp.
14. CEN, EN 1992 *Eurocode 2 : Design of Concrete Structures*, European Committee for Standardization, 2004, 255 pp.
15. KS B 0801, 금속재료 인장 시험편, 한국표준협회, 1981, 10 pp.
16. ASTM A370-07, "Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products," *ASTM International*, 2007, 44 pp.
17. JIS Z 2201, *Test Pieces for Tensile for Metallic Materials*, Japanese Standards Association, 1998, pp. 227~235.

**요약** 효율적인 철근콘크리트 구조물을 설계 시공하기 위하여, 최근 들어 고강도 철근에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 고강도 철근은 일반강도 철근에 비하여 연신 능력이 낮은 것이 일반적이므로, 기존의 최소 연신율 규격을 만족하지 못할 가능성이 있다. 또한 국내의 철근 규격의 최소 연신율 규정과 표점 거리 규정은 각 규격마다 상이하여, 동일한 철근이라도 적용하는 규격에 따라 적합 여부가 다르게 평가된다. 따라서 각 철근 규격을 비교 검토하고, 국내의 철근 규격 KS D 3504의 규정이 합리적인지 검토할 필요가 있다. 이 연구에서는 한국, 미국, 일본, 유럽, ISO 등 국내외 철근 규격의 최소 연신율 규정과 표점 거리 규정을 비교 분석하고, 철근 인장시험을 통하여 규격의 엄격성을 평가하였다. 그 결과, 국내 철근 규격인 KS D 3504가 가장 엄격한 것으로 평가되었다. 이 엄격성 비교 결과를 바탕으로 KS D 3504의 일반용 철근 규격의 최소 연신율 규정을 수정할 것을 제안하였으며, 내진용 철근 규격을 제안하였다.

**핵심용어** : 고강도 철근, 철근 규격, 연신율, 표점 거리, 인장시험