

고강도 및 내진용 철근의 굽힘성능 평가

김희동
인하공업전문대학 건축과

Bending performance evaluation of high strength and seismic purpose reinforcing bars

Hee-Dong Kim

Department of Architecture, Inha Technical College

요약 본 연구는 다양한 구조적 변수에 따른 고강도 및 내진용 이형철근의 굽힘가공 성능을 실험적으로 평가하는데 그 목적이 있다. 굽힘성능에 대한 실험적 연구수행을 위해 이형철근의 강종 및 강도, 직경, 굽힘가공 각도 및 내면 반지름 등을 변수로 하여 시험체를 제작하였다. 시험은 각 변수별 원 소재 철근에 대한 1차 인장강도시험, 원 소재 철근에 대한 1차 굽힘 시험과 1차 굽힘시험 철근을 대상으로 한 2차 굽힘시험 그리고 2차 굽힘시험 이후 가력이 가능한 시험체를 대상으로 한 2차 인장강도시험을 수행하였다. 금번 고강도 및 내진용 철근에 대한 실험적 연구결과 항복강도 500 MPa 및 직경 D13 이하 이형 철근은 굽힘각도 135°, 내면 반지름 2db의 경우에도 1차 굽힘가공 후 인장축 표면결함은 나타나지 않았으며, 이형철근의 강도와 직경이 증가할수록 굽힘가공 성능이 저하 하는 것으로 나타났다. 그리고 본 연구에서 수행된 시험에서는 일반용 철근과 특수 내진용 철근의 시험결과 비교에서 두 이형철근 간에 유의미한 구조적 성능 차이는 확인하지 못하였다.

Abstract This study examined the bending performance of high strength and seismic purpose reinforcing bars experimentally with various parameters. For the experimental approach on the bending performance, the specimens were prepared with parameters, such as steel grades, diameters of reinforcing bars, and bending angles of reinforcing bars. Tensile strength tests on the reinforcing bars, the bending tests and re-bending tests, and the second tensile strength tests on the re-bended reinforcing bars were conducted. According to the test results on high strength and seismic purpose reinforcing bars, defects did not appear when the yield strength of the reinforcing bar was 500 MPa or less and the diameter was D13 or less, even when the first bending process was performed with a 135° bending angle and a 2db inner radius. The bending performance decreased as the strength and diameter of the reinforcing bars was increased. In addition, there was no significant difference between the general reinforcing bars and seismic purpose-reinforcing bars.

Keywords : Reinforcing bar, high strength, bending performance, seismic purpose, mechanical properties

1. 서론

철근콘크리트구조에서 사용되는 이형철근의 한국산업표준(KS D 3504, 이하 KS)[1]에서는 철근의 변형성

능과 관련한 기계적 물성치로 연신율과 굽힘성을 규정하고 있으며(Table 1 참조), 이들 중 굽힘성은 철근의 구부림 가공과 밀접한 관련을 가지고 있다. 현재 건축물에 주로 사용되는 이형철근의 KS 규정

이 논문은 2016년 인하공업전문대학의 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음

*Corresponding Author : Hee-Dong Kim(Inha Technical College)

Tel: +82-32-870-2251 email: drkimhd@inhate.ac.kr

Received June 19, 2017

Revised (1st August 25, 2017, 2nd September 6, 2017)

Accepted September 15, 2017

Published September 30, 2017

Table 1. Regulations of KS D 3504 on deformation

Steel grade	Elongation (%)	Bending angle (Degree)	Inner radius
SD400	≥ 16	180	2.5d _b
SD500	≥ 12	90	2.5d _b
SD600	≥ 10	90	2.5d _b
SD500S	≥ 12	180	2.5d _b

굽힘각도와 굽힘 내면 반지름을 살펴보면, 굽힘각도의 경우 고강도 철근에 해당하는 SD500 및 SD600 강종은 굽힘시험 각도가 90°로 콘크리트구조기준[2]에 규정된 135° 이상 표준갈고리를 적용할 경우 그 적합성에 대한 의문이 지속적으로 제기되고 있다.

그리고 굽힘 내면 반지름의 경우 콘크리트 구조기준에서는 스테럽 및 띠철근으로 사용되는 D16 이하의 철근의 경우 최소 내면 반지름 2d_b를 허용하고 있으나, KS에서는 철근의 직경이 25D 이하 일 경우 2.5d_b를 굽힘시험의 내면 반지름으로 제시하고 있어 D16이하인 경우 KS와 콘크리트구조기준간 내면 반지름에 다소간의 차이가 발생하고 있다.

이러한 굽힘성능 규정과 관련된 사항은 비록 일부 전문시방서에서 급하고 있으나 현장에서 여러 가지 이유로 지속되고 있는 철근의 현장 재굽힘 (re-bending)에 따른 철근의 기계적 물성치 변화와도 밀접한 관련을 가지고 있다.

철근콘크리트용 이형철근의 굽힘성능과 관련하여 천성철 등[3, 4]은 철근의 재굽힘 성능에 대한 일련의 연구를 수행하였다. 하지만 연구대상 강종이 SD300, SD400 강종으로 국한되어 있어 고강도 및 특수 내진용 강종에 대한 추가적인 확인이 필요한 상황이다. 또한, 기 수행된 연구[5]에서도 제한적인 변수로 연구가 수행되어 추가 변수에 대한 검토가 필요한 상황이다.

따라서 최근까지 지속적인 개정이 이루어져온 콘크리트 보강용 이형철근 관련 KS의 현 상황과 상기의 선행 연구조건들을 고려 할 때 최근 개발된 철근의 사용에 따른 성능적인 변화 가능성에 대한 검토가 요구된다.

이에 본 연구에서는 특수 내진용 철근을 포함한 고강도 철근을 대상으로 굽힘성능에 대한 시험을 수행하여 굽힘가공 후 표면 건전성, 재굽힘에 따른 기계적 물성치 변화 등을 평가하여 상기의 문제들에 대한 기본적인 데이터를 제공하고자 한다.

2. 굽힘성능 시험

2.1 주요 변수 및 시험체

이형철근의 굽힘성능을 실험적으로 평가하기 위해 강도, 직경, 강종, 굽힘각도, 내면 반지름을 주요 변수로 시험을 계획하였다.

강도는 건축구조물에 주로 사용되는 항복강도(f_y) 400, 500 및 600 MPa급을 대상으로 하였다.

직경은 90° 이상의 굽힘가공을 자주 경험하게 되는 스테럽이나 띠철근 등으로 주로 사용되는 D10, D13과 일반적으로 90° 이하의 가공을 주로 경험하게 되는 D19를 선정하였다.

강종은 일반구조용 철근과 최근 특수 내진용으로 개발, 사용되고 있는 S 강종을 선택하였다. 시험체 제작에 사용된 철근의 생산업체 현황을 파악한 결과 일반구조용 철근은 400급 강도 이상의 경우 수냉설비(Tempcore)를 이용하여 생산을 하나 S 강종의 경우 합금처리를 통하여 생산을 하므로 강종을 변수로 하여 생산방식 차이에 따른 영향까지 간접적으로 고려할 수 있도록 하였다. 다만, 강도, 직경, 강종의 경우 KS에는 규정되어 있으나 상업 생산이 현실적으로 거의 이루어지지 않는 규격들이 발생하여 시험을 수행하는 시점에서 수급이 가능한 규격을 대상으로 시험체를 계획하였다.

굽힘각도는 소재 특성 파악을 위한 소재 시험체와 굽힘각도 90°와 135°를 적용한 시험체를 선택하여 고강도 철근의 KS 규정 굽힘각도(90°)을 초과하는 경우에 대한 평가를 가능하도록 하였으며, 내면 반지름의 경우 스테럽 및 띠철근으로 사용이 가능한 D10 및 D13의 경우 콘크리트구조기준에서 허용하는 2.0d_b를 적용하였고, D19의 경우 KS에 규정된 2.5d_b를 적용하였다. 굽힘가공 시험체는 각 2개씩 제작하였다.

시험체의 길이는 소재 시험체의 경우는 인장시험체 제작규정에 맞추어 시험체를 제작하였으며, 굽힘가공 시험체의 경우 굽힘가공 및 추후 인장시험 물립부의 영향을 고려하여 450 mm로 제작하였다. 이상의 시험변수를 Table 2에 정리하였다.

2.2 소재 인장시험

1) 시험방법

시험체에 사용된 철근의 기계적 물성을 파악하기 위해 KS B 0802에 따라 인장강도 시험을 수행하였다. 가력은 15 N/mm²·s의 속도로 진행하였다.

Table 2. List of specimens

Steel grade	Bar size	Bending angle & Inner radius	Specimen
SD400	D10	0	SD400 D10 B
		90 (2.0d _b)	SD400 D10 90_1, 2
		135 (2.0d _b)	SD400 D10 135_1, 2
	D13	0	SD400 D13 B
		90 (2.0d _b)	SD400 D13 90_1, 2
		135 (2.0d _b)	SD400 D13 135_1, 2
	D19	0	SD400 D19 B
		90 (2.5d _b)	SD400 D19 90_1, 2
		135 (2.5d _b)	SD400 D19 135_1, 2
SD500	D10	0	SD500 D10 B
		90 (2.0d _b)	SD500 D10 90_1, 2
		135 (2.0d _b)	SD500 D10 135_1, 2
	D13	0	SD500 D13 B
		90 (2.0d _b)	SD500 D13 90_1, 2
		135 (2.0d _b)	SD500 D13 135_1, 2
	D19	0	SD500 D19 B
		90 (2.5d _b)	SD500 D19 90_1, 2
		135 (2.5d _b)	SD500 D19 135_1, 2
SD600	D19	0	SD600 D19 B
		90 (2.5d _b)	SD600 D19 90_1, 2
		135 (2.5d _b)	SD600 D19 135_1, 2
SD500S	D13	0	SD500S D13 B
		90 (2.0d _b)	SD500S D13 90_1, 2
		135 (2.0d _b)	SD500S D13 135_1, 2
	D19	0	SD500S D19 B
		90 (2.5d _b)	SD500S D19 90_1, 2
		135 (2.5d _b)	SD500S D19 135_1, 2

Table 3. Tensile strength test results

Specimen	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
SD400 D10 B	478	602	17.6
SD400 D13 B	452	588	17.0
SD400 D19 B	494	603	17.8
SD500 D10 B	514	628	14.0
SD500 D13 B	574	695	15.4
SD500 D19 B	538	669	15.1
SD600 D19 B	677	792	12.0
SD500S D13 B	539	747	15.6
SD500S D19 B	557	724	16.0

2) 시험 결과

인장시험 결과 모든 경우에서 KS에 규정된 기계적 물성치를 만족하는 것으로 나타났으며, 변수별 항복강도와 인장강도 및 연신율을 Table 3에 나타내었다.

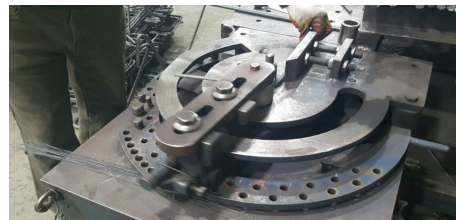


Fig. 1. Bending process of reinforcing bar

2.3 굽힘가공 시험

1) 시험방법

각 변수별 철근의 굽힘가공성을 평가하기 위해 철근 굽힘가공 시험을 시행하였다. 굽힘가공 시험은 KS B 0804에 준하여 각 변수별로 규정된 내면 반지름 및 굽힘 각도로 굽힘가공을 수행한 이후 인장면에 육안으로 균열 등의 이상 유무를 확인 하는 방식으로 진행하였다.

가공 전 대상 철근의 굽힘가공 예정 부위 이상 유무를 전수 육안조사를 시행하였으며, 가공에 영향을 줄 수 있는 균열 또는 기타 이상이 없음을 확인하였다. 현재 대부분의 건축공사에서 철근가공은 가공공장에서 수행되는 것을 고려하여 상온에서 굽힘가공 장비를 이용하여 공장 기계가공을 진행하였으며, 굽힘가공 속도 및 기타 모든 조건은 현재 철근가공 업체에서 수행되는 조건과 동일하게 진행하였다(Fig. 1 참조).

철근의 굽힘가공 직후 가공표면에 대한 이상 유무를 육안으로 확인하였으며, 가공 이후 7일이 지난 이후에 다시 가공표면을 육안으로 검사하여 가공 이후 변형시효에 따른 변화 여부를 확인하였다.

2) 시험결과

굽힘가공 시험 결과 SD600 D19 시험체 중 90° 가공 시험체와 135° 시험체 일부에서 Fig. 2와 같이 인장축에 육안으로 판별이 가능한 결함이 발견되었다. 비록 결함의 크기 및 깊이는 크지 않으나 KS에서는 육안으로 확인 가능한 이상이 발견되지 않는 것을 합격의 기준으로 제시하고 있으므로 결함의 대소에 관계없이 이상 있음으로 판단하였다.

상기의 경우를 제외한 모든 시험체에서는 Fig. 3과 같이 굽힘가공 후 표면에 육안으로 확인 가능한 결함이 발견되지 않았다.

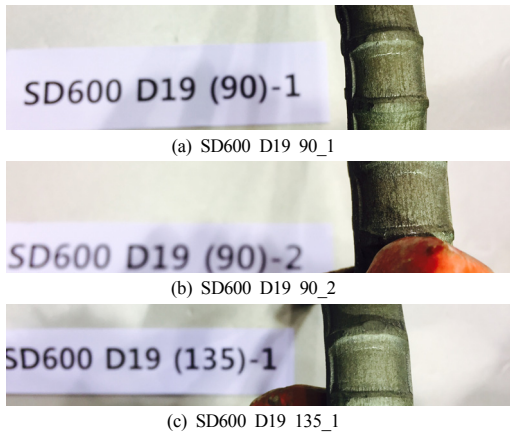


Fig. 2. Defect of specimen after bending test



Fig. 3. Surface condition after bending test

2.4 재굽힘 가공시험

1) 시험방법

건설 현장의 상황에 따라 철근의 재굽힘이 시행되는 경우가 발생하게 된다. 현재 콘크리트구조기준에서는 설계도면에 도시되어 있거나 책임구조기술자가 승인한 경우 콘크리트 속에 일부가 묻혀있는 SD600 까지의 철근에 90° 굽힘을 허용하고 있으며, 이 과정에서 펴기에 대한 언급을 하고 있다.

이에 본 연구에서는 90°로 가공된 철근(모두 SD600 이하)을 재굽힘(펴기)하여 철근의 표면상태를 육안으로 확인하였다. 재굽힘은 1차 굽힘가공 이후 변형 시효에 의한 영향을 고려하여 2주 이상의 시간이 지난 이후에 1차 굽힘가공과 가공속도를 제외하고 동일한 조건으로 기계가공을 이용하여 재굽힘을 시행하였다. 재굽힘 속도는 콘크리트구조기준의 권고사항을 고려 1차 굽힘속도의 절반으로 하였다.

2) 시험결과

재굽힘 이후 표면 확인 결과를 Table 4에 나타내었으며, 표면결함(minor defect), 심각한 결함(serious defect) 및 완전파단(fracture)이 발생한 시험체의 대표 사례를 Fig. 4에 나타내었다. 각 결함의 판정 기준은 다음과 같다.

Table 4. Re-bending test results

Specimen	Surface condition	Fig. 4
SD400 D10 90_1	OK	
SD400 D10 90_2	OK	
SD400 D13 90_1	Minor defect	
SD400 D13 90_2	Minor defect	
SD400 D19 90_1	Minor defect	
SD400 D19 90_2	Minor defect	
SD500 D10 90_1	OK	
SD500 D10 90_2	OK	
SD500 D13 90_1	Minor defect	
SD500 D13 90_2	Minor defect	
SD500 D19 90_1	Serious defect	(b)
SD500 D19 90_2	Minor defect	(a)
SD600 D19 90_1	Minor defect	
SD600 D19 90_2	Fracture	
SD500S D13 90_1	Minor defect	
SD500S D13 90_2	Minor defect	
SD500S D19 90_1	Serious defect	
SD500S D19 90_2	Fracture	(c)



(a) Minor defect (SD500 D19 90_2)



(b) Serious defect (SD500 D19 90_1)



(c) Fracture (SD500S D19 90_2)

Fig. 4. Defect of specimen after re-bending test

- 표면결함 : 육안으로 균열확인 가능하나 균열깊이 0.025D 미만으로 균열에 따른 단면적의 감소가 미미한 경우.
- 심각한 결함 : 육안으로 균열 확인 가능하고, 균열의 깊이가 표면결함을 초과하는 경우
- 완전파단 : 철근이 완전히 분리되도록 파단이 진행된 경우

시험결과를 보면 강종에 관계없이 D10 철근을 제외한 모든 경우에서 표면결함 이상의 문제점이 발견되었다.

Table 5. Tensile strength test results after re-bending

Specimen	Yield strength (MPa)	Tensile strength or Max strength (MPa)	Elongation (%)	Fracture mode
SD400 D10 90_1	387	494	17.5	N
SD400 D10 90_2	384	492	17.4	N
SD400 D13 90_1	414	556	15.2	N
SD400 D13 90_2	413	546	16.6	N
SD400 D19 90_1	495	574	11.2	F
SD400 D19 90_2	542	577	10.5	F
SD500 D10 90_1	466	600	12.0	F
SD500 D10 90_2	593	698	8.5	F
SD500 D13 90_1	534	618	6.4	F
SD500 D13 90_2	474	605	14.8	N
SD500 D19 90_2	527	641	10.1	F
SD600 D19 90_1	659	697	6.8	F
SD500S D13 90_1	523	632	7.0	F
SD500S D13 90_2	-	345	2.5	E

Note : N = Ductile fracture, F = fracture on strain hardening range, E = fracture on elastic range

2.5 재굽힘 시험체 인장시험

1) 시험방법

재굽힘 이후 심각한 결함 및 파단이 발생하여 인장시험이 불가능한 시험체와 재굽힘 과정에서 철근의 소성변형이 크게 남아 만능재료시험기에서 인장시험이 불가능한 경우를 제외한 시험체에 대하여 인장시험을 실시하였다 (Fig. 5 참조). 인장시험은 원 소재 인장시험과 동일한 조건으로 실시하였으며, 시험을 통하여 항복강도, 인장도, 연신율 등의 기계적 물성치를 측정하였다.

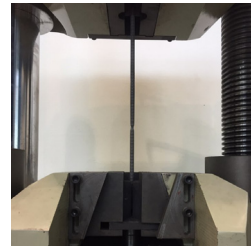


Fig. 5. Fracture condition of SD400_D10 90_2

2) 시험결과

시험에 의해 파악된 항복 및 인장강도와 연신율을 Table 5에 나타내었으며, 원 소재 시험결과와의 비율을 Fig. 6에 나타내었다.

3. 시험결과 고찰

3.1 굽힘각도 및 내면 반지름

1차 굽힘시험에서 항복강도 500 MPa 이하 철근에 경우 굽힘각도에 관계없이 굽힘 후 결함이 발생하지 않았으며, 직경이 D16 이하인 철근의 경우 내면 반지름을 2.0db로 하여 가공을 진행하였으나 특별한 결함은 발견되지 않았다. 따라서 SD500 이하의 철근의 경우 KS 또는 콘크리트구조기준의 규정에 따른 문제는 없는 것으로 확인되었다. 다만 SD600 철근의 경우 KS 규정된 90° 가공 시에도 표면결함이 확인되었다.

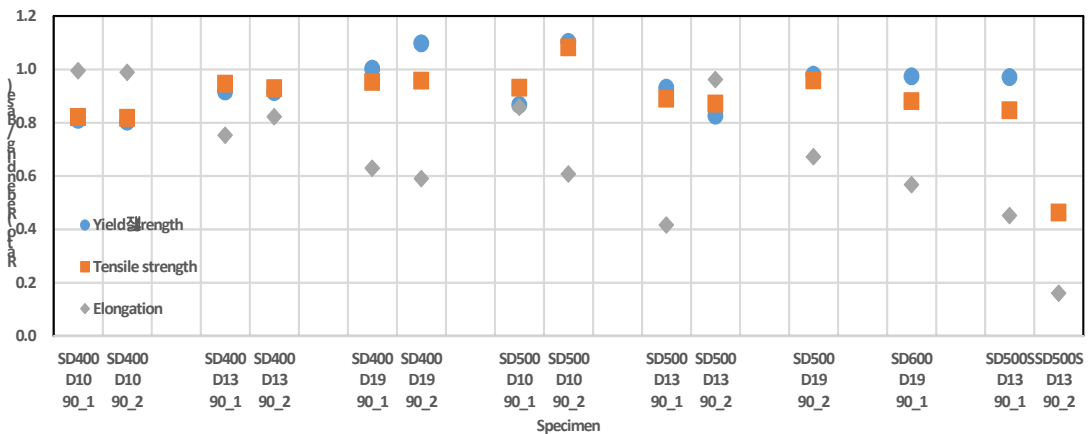


Fig. 6. Tensile strength tests results ratio between re-bended reinforcing bar and base reinforcing bar

3.2 강도에 따른 영향

Table 3의 원 소재 철근 인장강도 시험결과를 살펴보면 소재의 강도가 증가할수록 연신율이 줄어드는 것으로 나타났다. 이러한 원 소재의 변형능력 감소는 철근의 굽힘성능에도 영향을 미치는 것으로 판단된다.

1차 굽힘시험 결과에서는 시험 대상 철근 중 강도가 가장 높은 SD600 철근에서만 표면결함이 발견되었으나, 2차 굽힘시험 결과에서는 강도가 낮은 SD400 철근의 경우 일부 표면결함만 발견이 되었으나 항복강도 500 MPa를 넘는 경우에는 인장축 균열 또는 파단 등과 같은 매우 심각한 문제가 발생하였다.

또한 2차 굽힘 이후 인장시험 결과 (Fig. 6 참조)에서도 강도가 증가할수록 연신율의 감소가 크게 나타나고 있다. 따라서 철근의 굽힘성능은 강도가 증가할수록 저하하는 것으로 나타났다.

3.3 직경에 따른 영향

원 소재 시험에서는 철근직경 변화에 따른 연신율 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 하지만 2차 굽힘시험 결과를 보면 철근의 각 강종별로 철근의 직경이 증가할수록 2차 굽힘에 따른 손상이 더욱 심각하게 발생하는 것으로 나타났다. 특히 심각한 손상 또는 완전파단이 발생한 모든 시험체는 D19 철근으로 직경별 관련 철근의 비율이 30 %로 확인되었다.

또한 2차 굽힘시험 이후 인장시험 결과에서도 D10 평균 연신율 감소율 86 % 대비 D19의 경우 66 %의 감소율을 나타내어 철근의 직경이 증가할수록 연신율의 저하가 크게 나타나고 있다. 따라서 철근의 직경이 증가할수록 굽힘성능의 저하는 크게 나타나며, D19 이상의 경우 재굽힘시 심각한 결함이 발생할 위험이 증가하는 것으로 파악되었다.

그리고 직경이 증가할수록 강재의 항복 및 인장강도 상승 현상이 크게 나타나는 것으로 확인되었으며 이는 강재의 냉간 소성가공에 따른 가공경화의 영향으로 판단된다. 이는 비교적 재굽힘 후 철근의 손상이 덜하였던 SD400 강종의 결과에서 확인할 수 있으며, D19의 경우 원 소재 강도보다 항복강도가 다소 상승한 결과를 나타내었다.

3.4 강종에 따른 영향

본 연구에서는 동일 강도의 일반 철근콘크리트 보강

용 철근 (SD500)과 내진성능이 강화된 특수 내진용 철근(SD500S)을 각각 시험 변수로 선정하여 굽힘성능을 실험적으로 평가해보았다. 이 두 철근은 강종의 차이 뿐 아니라 생산방식에 따른 차이도 가지고 있다. 일반용 철근 (SD500)은 수냉방식으로 생산된 철근이며, 특수 내진용 철근(SD500S)은 합금처리를 통하여 생산된 철근이다.

본 연구에 적용된 철근의 원 소재 시험결과에서는 특수 내진용 철근(SD500S)의 연신율이 일반용 철근 (SD500)에 비하여 다소 향상된 결과를 나타내었으며, 소재의 소성변형능력과 관련된 항복비(yield ratio)는 일반 철근이 0.83, 0.80인 반면, 특수 내진용 철근은 0.72, 0.77로 비교적 우수한 결과를 나타내었다. 1차 굽힘 시험에서는 일반용 및 특수 내진용 철근에서 모두 별도의 표면 결함은 발견되지 않았다.

하지만 2차 굽힘가공 시험시에는 두 철근 모두 표면에 결함이 발생하였으며, D19 철근의 경우 심각한 손상 또는 완전 파단이 발생하였다. 이 중 완전파단은 내진용 철근에서 발생하였다.

그리고 D13에 대한 2차 인장시험 결과를 비교해보면 일반용과 특수 내진용 철근의 성능상 차이가 거의 없으며, 일부에서는 내진용 철근의 결과가 낮게 나타났다.

제한된 시험결과로 일반화된 결론의 도출이 어려울 수 있으나 금번 시험결과에서는 원 소재시험에서 좋은 소성변형 능력을 보여주었던 내진용 철근이 1, 2차 굽힘가공이 진행되면서 일반 철근과 비교하여 우수성을 확인하기는 어려운 결과를 나타내었다. 이에 내진용 철근의 소성가공성에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

금번 연구를 통하여 파악된 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 항복강도 500 MPa, 직경 D13 이하의 시험체에서는 굽힘각도 135°, 내면 반지름 2d_b의 경우에도 1차 굽힘가공 후 결함은 나타나지 않았다.
- 2) 철근의 강도와 직경이 증가할수록 굽힘성능은 저하하는 것으로 나타났다.
- 3) D19 이상 철근의 경우 재굽힘시 심각한 결함의 발

생 위험이 증가하였다.

- 4) 본 연구에서 수행된 일반용 철근과 특수 내진용 철근의 결과 비교에서 굽힘성능에 대한 두 철근 간에 유의미한 차이는 나타나지 않았다.

References

- [1] KATS, *KS D 3504 : Steel bars for concrete reinforcement*, KATS, 2016.
- [2] KCI, *Concrete structure design code*, KCI, 2012.
- [3] S. C. Chun et al, "Mechanical properties and stress-strain model of re-bars coldly bent and straightened" *Journal of the Korea Concrete Institute*, vol. 24, no. 2, pp. 195-204, Apr. 2012.
DOI: <https://doi.org/10.4334/JKCI.2012.24.2.195>
- [4] S. C. Chun et al, "Cyclic behavior of wall-slab joints with lap splices of coldly straightened re-bars and with mechanical splices" *Journal of the Korea Concrete Institute*, vol. 24, no. 3, pp. 275-283, June 2012.
DOI: <https://doi.org/10.4334/JKCI.2012.24.3.275>
- [5] H. D. Kim, "Evaluation of bending performance for high strength rebar", *Proceedings of the 28th annual conference, KSSC*, pp. 145-146, June 2017.

김 희 동(Hee-Dong Kim)

[정회원]



- 1997년 2월 : 중앙대학교 건축공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 중앙대학교 건축공학과 (공학박사)
- 2006년 8월 ~ 2012년 2월 : 현대제철주식회사 차장
- 2012년 3월 ~ 현재 : 인하공업전문대학 건축과 부교수

<관심분야>

건설구조용 강재, 건축 합성구조, 건축 강구조