

# 재굽힘이 철근의 인장성능에 미치는 영향

김희동<sup>1\*</sup> · 최종열<sup>2</sup>

<sup>1</sup>교수, 인하공업전문대학, 건축학과, <sup>2</sup>박사과정, 인하대학교, 건축공학과

## The Influence of Rebending on the Tensile Performance of Reinforcing Bars

Kim, Hee Dong<sup>1\*</sup>, Choi, Jong Youl<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Professor, Dept. of Architecture, Inha Technical College, Incheon, 22212, Korea

<sup>2</sup>Graduate Student (Ph.D. Course), Dept. of Architectural Engineering, Inha University, Incheon, 22212, Korea

**Abstract** - General, reinforcing bar is a reinforcing materials that do not allow for rebending in the construction site. However, there are cases where rebending may be necessary for convenience. Additionally, preheating is recommended when rebending of reinforcing bar. However, when carrying out rebending after preheating, it is important to verify changes in tensile strength. Therefore, in this study, we investigate the effects of tensile strength and preheating on the strength of rebending reinforcing bars. For the research, seven types of reinforcing bars are used, and to confirm metal aging due to work hardening, they are unfolded seven days after bending. According to the test results, the tensile strength decreases when rebending after preheating compared to rebending at room temperature, and room temperature, the tensile strength after rebending meets the KS requirement. Furthermore, although there is a high possibility of increased tensile strength due to metal aging, the test results indicate a decrease compared to the material strength. Therefore, in this study, FEA and hardness of surface hardened tissue were examined to analyze the causes, and reinforcing processed with rebending at room temperature are expected to be usable at construction sites.

**Keywords** - Reinforcing bars, Rebending, Heating, Tensile performance, Works hardening

### 1. 서론

철근은 철근콘크리트 건축 구조물에서 사용되는 중요한 보강재이며, 주로 인장력을 저항하는 용도로 사용된다. 일반적으로 철근은 콘크리트 타설 후 가공이 제한되거나 공법의 특성 및 현장의 사정으로 인하여 굽힘 후 펴기(재굽힘, Rebending)를 진행하는 경우가 발생한다. 미국 콘크리트 기준(American Concrete Institute, ACI)과 국내 콘크리트 구조 기준 해설집에서는 철근의 재굽힘을 원칙적으로 허용하지 않으며, 필요시 제안된 조건

에서 예열 후(800 °C) 진행을 허용하고 있다<sup>[1],[2]</sup>. 하지만 국내 철근의 경우 대부분 열처리 제작 공정(Tempcore 공법)을 통해 생산이 되며, 열처리 강재에 일정 온도 이상의 예열을 진행할 경우 열처리 효과가 감소되는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 국내에서 생산되는 철근의 상온에서 재굽힘 인장성능을 확인하고, 예열 후 재굽힘을 통한 인장성능의 확인도 필요하다. 국내에서는 재굽힘 철근의 성능에 대한 선행 연구가 진행된 바 있으나, 이때 대부분의 재굽힘 철근이 소재 강도에 비해 감소하는 경향이 나타났<sup>[3],[4]</sup>. 다만 최근에는 연성이 높은 내진용 철근이 생산되므로 다양한 강종에서 재굽힘 성능을 확인할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 강종, 직경, 굽힘 각도, 예열여부 등을 통해 재굽힘이 철근의 인장성능에 미치는 영향을 확인할 예정이다.

본 연구에서 사용할 철근의 경우 건축 구조물에서 벽체 및 슬래브에 자주 사용되는 SD400 D13 철근을 대상으로 성능 비교 대상을 선정하였으며, 기둥의 주근으로

Note.-Discussion open until August 31, 2024. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on January 26, 2024; revised on February 06, 2024; approved on February 06, 2024.

Copyright © 2024 by Korean Society of Steel Construction

\*Corresponding author.

Tel. +82-32-870-2251 Fax. +82-32-870-2512

E-mail. drkimhd@inhac.ac.kr

많이 사용되는 SD500 D22 철근과 이에 대한 비교 대상을 연구 범위에 포함시켰다. Table 1의 경우 연구 범위에 포함된 철근과 시험체 표기명을 나타낸다.

## 2. 소재 성능

### 2.1 철근의 기계적 성질

철근의 재급힘 인장성능을 분석하기 위해서는 소재의 인장강도의 확인이 필요하다<sup>[5],[6]</sup>. 따라서 KS B 0802에 의해 인장시험을 진행하며, 소재의 기준강도는 KS D 3504에 명시된 공칭강도의 만족 여부를 확인하였다<sup>[7],[8]</sup>. 이에 대한 소재의 인장시험 결과는 Table 2와 같이 나타난다.

Table 3의 경우 KS D 3504에서 명시된 철근의 기계적 성질 기준을 나타내며, Table 2와 비교할 경우 7종의 철근 모두 만족하는 결과로 확인된다. 또한 시험 후 파단 형상은 Fig. 1과 같다.

### 2.2 철근의 매크로 조직

철근의 가열 전, 후 단면 조직의 상태를 확인하기 위해 가열 유무를 변수로 시험편의 단면 매크로 시험을 진행한다. 매크로 시험은 KS D 0210에서 명시된 방법으로

진행하며, 표면은 에칭(Etching) 처리를 하여 매크로 시험편을 촬영한다<sup>[9]</sup>. 이에 따른 결과는 Fig. 2와 같으며, 가열 유무(800 °C 예열)에 따라 철근의 열처리에 의한 경화조직이 변화된 것을 확인할 수 있다. 단, SD600S의 경우 매크로상으론 가열 이후 조직 변화가 크게 나타나지 않았다.

Table 3. KS for reinforcing bars

Grade	Yield stress (MPa)	Tensile stress (MPa)	Elongation (%)
SD400	400 ~ 520	Exceeds 1.15 times the yield strength	16 or more
SD400S	400 ~ 520	Exceeds 1.25 times the yield strength	16 or more
SD500	500 ~ 650	Exceeds 1.08 times the yield strength	12 or more
SD500S	500 ~ 620	Exceeds 1.25 times the yield strength	12 or more
SD600S	600 ~ 720	Exceeds 1.25 times the yield strength	10 or more

Table 1. Organizing reinforcing bar variables

Grade	Diameter	Specimens
SD400	D13	410
	D22	420
SD400S	D13	41S
SD500	D13	510
	D22	520
SD500S	D22	52S
SD600S	D22	62S

Table 2. Material tensile test results

Specimens	Yield stress (MPa)	Tensile stress (MPa)	Yield ratio (%)	Elongation (%)
410	441.7	550.3	80.3	18.67
420	430.7	533.0	82.3	22.67
41S	429.0	564.0	76.1	25.33
510	559.7	679.7	80.8	17.33
520	593.3	731.3	81.1	12.67
52S	594.7	751.7	79.1	15.00
62S	665.7	862.7	77.2	15.33

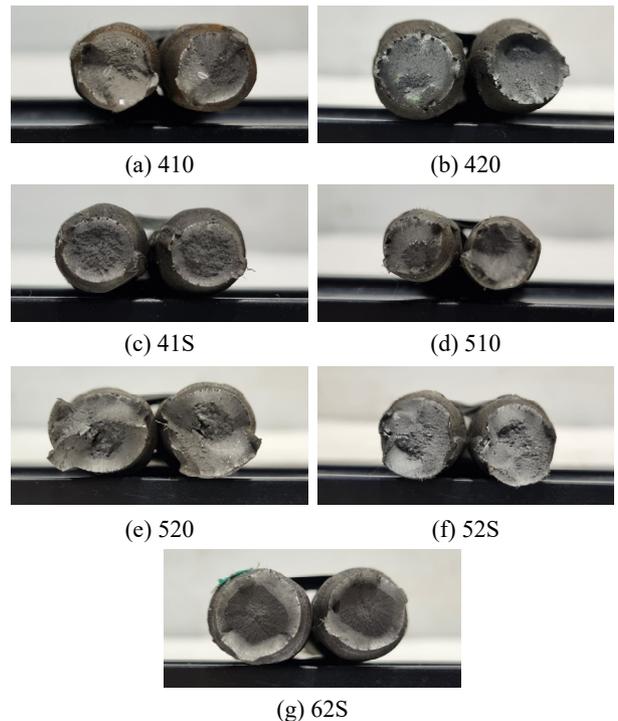


Fig. 1. Failure section of reinforcing bar

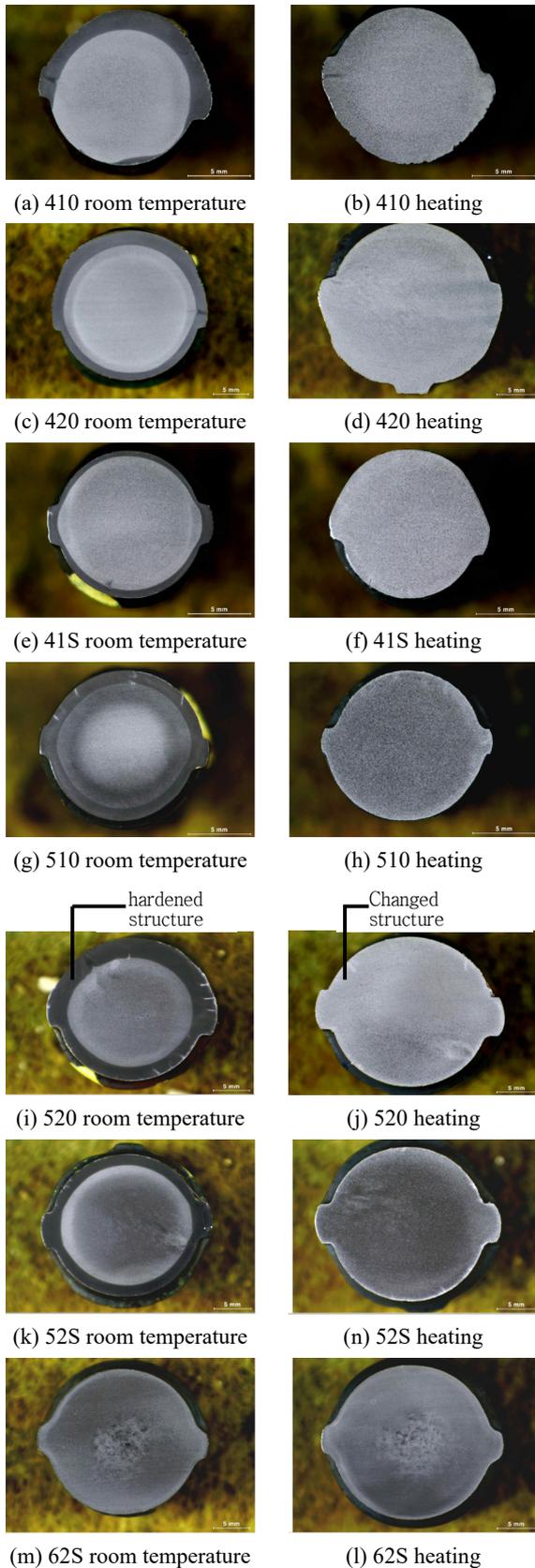


Fig. 2. Macroscopic test results of reinforcing bar

### 3. 재굽힘 성능

#### 3.1 굽힘 시험

재굽힘 성능 확인을 위해 가장 먼저 굽힘 시험을 KS B 0804에 의해 진행하며, 철근의 소성변형 시 건전성을 확인한다<sup>[10]</sup>. 시험편은 90°, 180°의 굽힘 각도를 변수로 진행하며, 굽힘 반경은 KS D 3504에 명시된 안쪽 반경으로 굽힘 면을 확인한다. 각 시험편에 따른 굽힘 반경은 Table 4와 같다.

Table 4. Standard bending radius for reinforcing bar

Specimens	Bend radius (mm)
410	20
420	66
41S	20
510	20
520	66
52S	66
62S	66

Fig. 3는 철근의 굽힘 시험 결과 일부를 나타내며, 모든 시험편에서 육안으로 확인되는 결함이 없는 것으로 확인된다. 따라서 모든 시험편에서 기준에 규정된 조건을 만족한 소성 변형 시 굽힘 각도에 의해 결함이 발생하지 않는 것으로 확인된다.

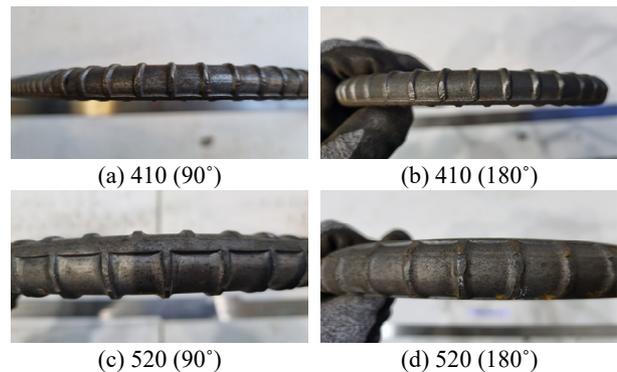


Fig. 3. Bending test results of reinforcing bar

#### 3.2 재굽힘 인장 시험

철근을 구부린 후 다시 펴기를 진행하여 재굽힘 인장 성능 평가를 위해 인장강도 시험을 실시하며, 소재의

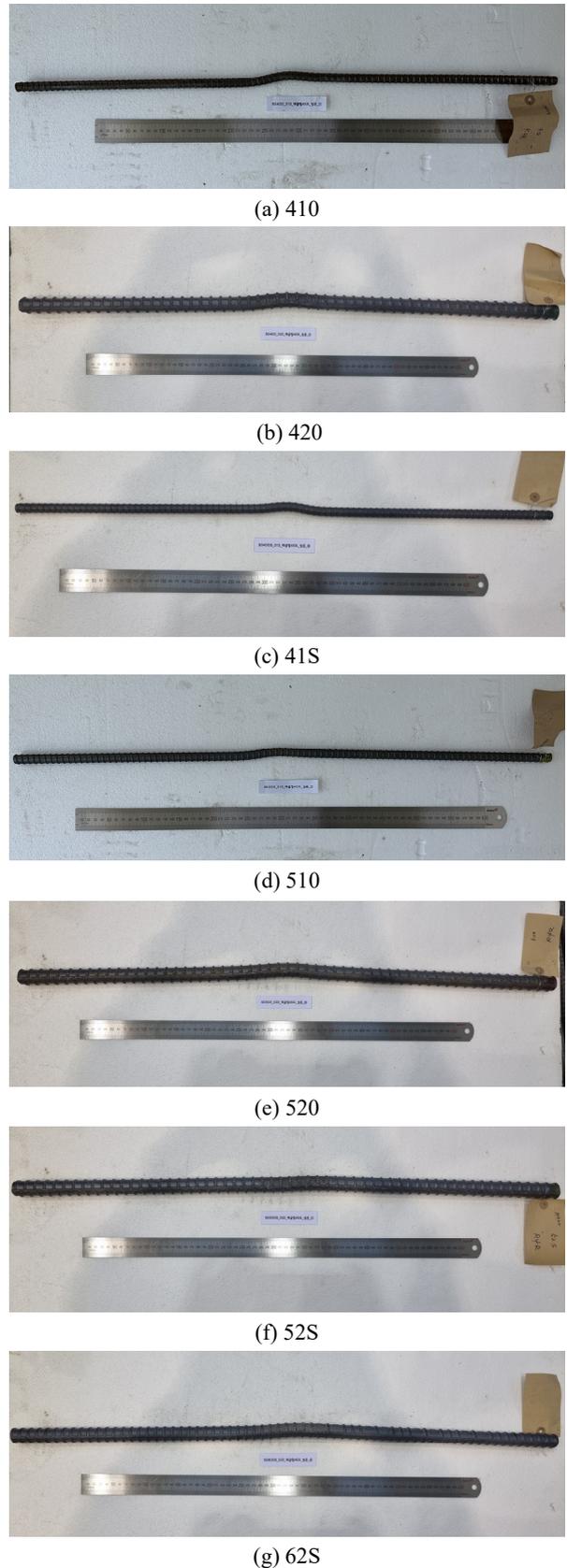
인장강도와 비교하기 위해 인장시험은 동일한 방법으로 진행한다. 또한 재급힘 후 육안으로 보이는 균열은 발견되지 않았다.

일반적으로 굽힘 시 소성 변형이 발생하기 때문에 Work Hardening에 의한 Metal Aging으로 소재에 변화가 생긴다. Metal Aging은 소성 변형 후 일정 시간이 경과되어야 하며, Metal Aging이 발생하게 되면 질소의 배치가 변화되어 경도 및 강도가 상승할 수도 있다. 따라서 본 연구에서는 Metal Aging을 고려하기 위해 7일 뒤 퍼기를 진행한다. 이때 시험편의 굽힘 각도는 공사 현장에서 자주 사용되는 45°와 90° 각도로 진행하며, 예열에 따라 매크로 조직이 변화되는 것을 확인하였으므로 예열 유무를 변수로 시험편을 제작한다. Fig. 4는 재급힘 인장성능 확인을 위해 가공된 시험편의 형상이며, 소재 인장시험과 비교를 위해 KS B 0802에 준수하여 시험을 진행한다.

Table 5는 상온 및 예열에서 가공한 재급힘 철근의 인장시험 결과를 나타내며, 모든 상온 시험편은 소재의 KS 공칭인장강도( $F_u$ ) 기준 값 이상의 결과가 확인된다. 하지만 예열 시험편에서는 SD400 및 SD400S 철근을 제외하면 소재의 KS 공칭 인장강도 기준 값에 만족하지 못하는 것으로 확인된다. 따라서 예열을 진행하여 재급힘 시 인장강도가 오히려 감소하는 것으로 확인되며, 철근콘크리트 구조에서 일반적으로 굽힘 후 퍼기를 진행할 때 권장되는 예열(800 °C)은 강도 감소의 요인이 될 수도 있다. 또한 상온 시험편에서의 45° 재급힘과 90° 재급힘 인장강도의 차이는 +1.7 % ~ -2.3 %이며, 공학적으로 유의미한 차이는 아닌 것으로 확인된다. 다만 예열 시험편의 경우 52S 시험편과 62S 시험편에서 각각 +27.9 %와 -19.5 %의 차이가 발생하며, 내진용 철근의 예열 후 재급힘이 각도에 영향을 받는 것을 알 수 있다.

**Table 5.** Tensile stress of rebending reinforcing bars

Specimens	Room temperature tensile stress (MPa)		Heating tensile stress (MPa)	
	45°	90°	45°	90°
410	536.3	536.3	483.7	486.0
420	537.7	543.3	477.7	465.7
41S	579.0	566.3	531.0	524.3
510	666.3	678.0	518.3	518.7
520	689.7	690.3	528.3	500.0
52S	749.7	744.3	634.7	531.3
62S	886.7	866.7	821.0	722.7



**Fig. 4.** Configuration of the rebending reinforcing bar

Fig. 5는 재압힘 인장시험의 결과와 소재 인장시험의 결과를 하중-변위 곡선으로 나타내며, 이에 따르면 410과 520 시험편의 경우 소재 인장강도에 비해 재압힘 인장강도가 각각 2.5%, 5.6% 감소된 것으로 확인된다.

예열 후 진행된 재압힘 인장강도와 소재 인장강도의 차이를 비교할 경우 420 시험편은 10% 감소되는 것으로 확인되며, 520과 52S 시험편은 각각 31%, 29%의 인장강도 감소를 보인다. 또한 예열을 진행하게 되면 Fig. 5에서 육안으로 확인되는 결과와 같이 변형능성이 감소

하는 것을 알 수 있다. 따라서 예열 시 소재 인장강도에 비해 강도 감소가 크게 나타나므로 SD400 SD400S 철근 역시 KS 공칭인장강도를 만족하더라도 예열을 진행하지 않는 것이 강도 측면에서 좋을 것이라 생각된다.

또한 Fig. 5에 의하면 재압힘 후 인장시험을 진행하면 초기강성이 감소하는 것으로 확인된다. 이는 굽힘 가공이 초기강성에 영향을 주는 것으로 생각되며, 초기 강성 감소 원인을 파악하기 위해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

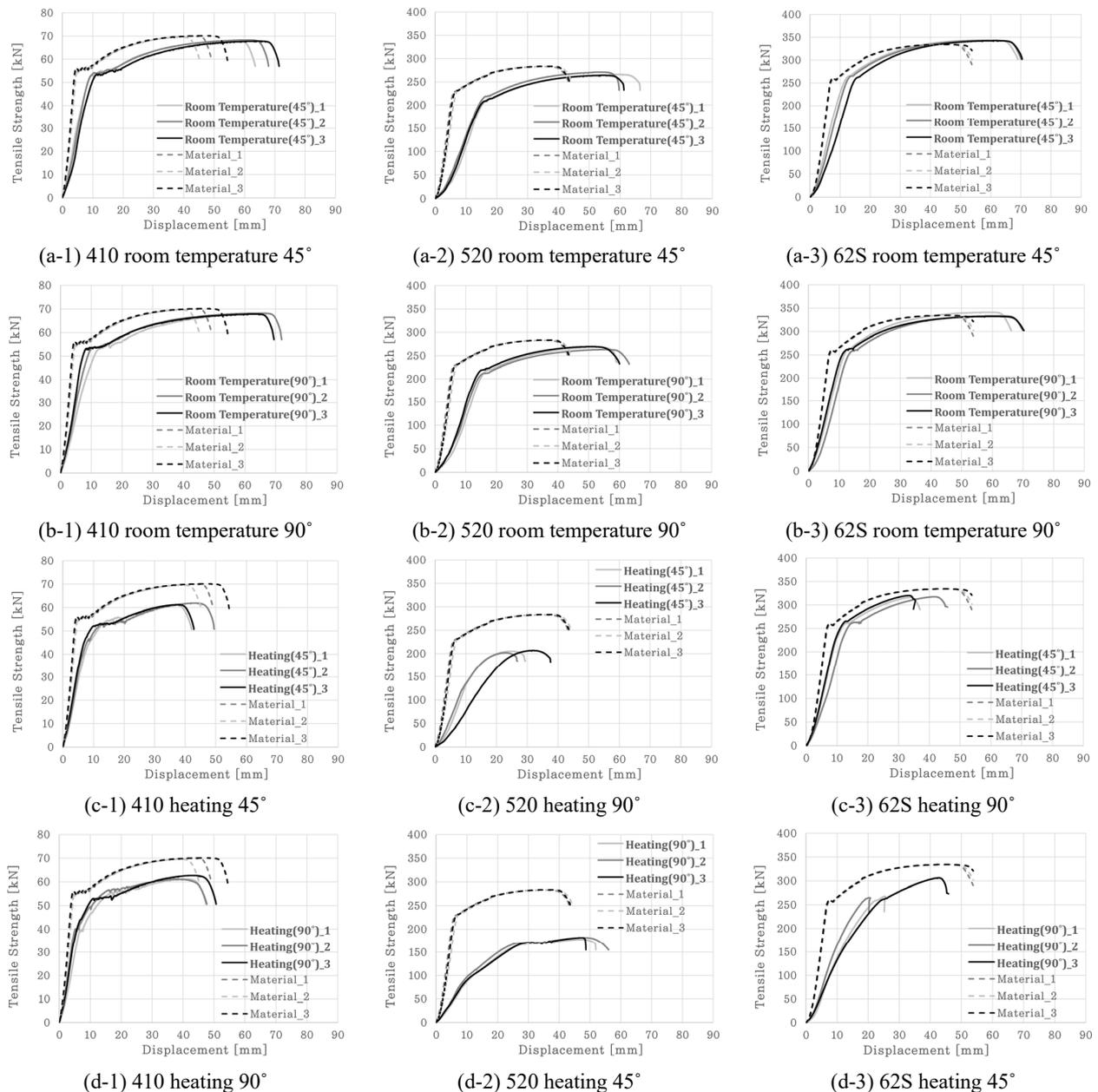


Fig. 5. Tensile test results of bending reinforcing bar

### 3.3 표면 경화 조직에 따른 재급힘 성능 분석

표면 경도가 높은 재료의 경우 굽힘 시 균열 등의 발생으로 인해 굽힘 성능이 저하될 수도 있으며, 열처리를 통해 생산된 철근의 경우 표면 경화 조직의 경도 값이 높을 수도 있다. 따라서 표면 경화 조직의 경도 값이 재급힘 성능과 연관될 수 있기 때문에 KS B 0811에 의한 비커스 경도 시험을 통해 철근 표면 경화 조직의 경도 값을 측정하며, 이에 대한 결과를 Table 6와 같이 정리된다<sup>[11],[12]</sup>.

**Table 6.** Hardness value of surface hardened tissue

Specimens	Vickers hardness (10Hv)	
	Room temperature	Heating
410	173.0	151.0
420	223.0	154.5
41S	167.0	161.5
510	214.0	166.5
520	300.0	177.5
52S	301.0	204.0
62S	277.0	231.5

420 시험편의 경우 소재의 인장강도 보다 재급힘 인장강도가 더 높으며, 이는 Work Hardening에 의한 Metal Aging에 이상적인 결과이다. 또한 510 시험편 역시 0.25 %의 차이로 재급힘 인장강도가 감소되었고 이는 소재 인장강도와 차이가 크지 않은 것으로 확인된다. 이 두 시험편의 공통점은 경도 값이 220에 가까운 결과를 나타내며, 220보다 큰 420 시험편의 경우 재급힘 인장강도가 오히려 증가하는 것으로 확인되고 220보다 작은 510 시험편은 소재의 인장강도와 비슷한 결과를 나타낸다. 하지만 경도 값이 300으로 다른 일반용 철근에 비해 큰 520 시험편의 경우 재급힘 인장강도가 5.6 % 감소한 것으로 나타나고 경도 값이 220보다 크게 감소한 410 시험편의 경우에도 재급힘 인장강도가 2.5 % 감소한 것으로 확인된다.

이는 표면 경도가 커짐에 따라 인장강도 감소 효과를 일으킬 수도 있으며, 경도 값이 증가함에 따라 경화조직의 손상에 의해서 인장성능이 감소하는 것으로 생각된다. 다만 410 시험편의 경우 경도 값이 일정 값 이하로 작아지기 때문에 인장강도가 저하된 것을 확인할 수

있다. 이는 인장강도 감소 원인이 경도 외에 다른 요인과 복합적으로 작용하고 있을 가능성이 있으며, 추가적인 연구를 통해 분석할 필요가 있다.

내진용 철근의 경우 경도 값이 300이 넘는 52S 시험편의 경우만 재급힘 인장강도가 소재의 인장강도에 비해 0.98 % 감소된 것으로 확인되며, 41S 시험편의 경우 경도 값이 167이므로 410 시험편보다 작은 값을 나타낸다. 하지만 41S 시험편의 경우 오히려 재급힘 인장강도가 증가되었으며, 내진용 철근의 경우 경도 값이 낮아져도 인장강도 감소가 일어나지 않은 것으로 확인된다. 다만 본 연구에서는 내진용 철근의 비교 군이 적기 때문에 추후에는 많은 내진용 철근을 사용하여 Metal Aging에 대한 연관성을 확인할 필요가 있다.

### 3.4 유한요소해석을 통한 굽힘 시 응력분포

재급힘 인장시험 결과를 확인해 보면 경도 값이 커짐에 따라 인장강도가 감소되지만 410 시험편의 경우 경도 값이 비교적 작음에도 인장강도가 감소하였다. 이는 재급힘 시 인장강도를 저하 요인이 추가적으로 발생한 것이라 생각되며, 굽힘 시 발생하는 잔류응력의 영향일 수도 있으므로 유한요소해석을 통해 하중 제거 시 응력분포를 확인한다.

유한요소해석은 상용 프로그램 ABAQUS (ver. 2023)을 통해 진행하며, 해석에 필요한 재료 물성치는 소재 인장시험 결과를 기반으로 입력한다. 이때, Engineering Stress와 Engineering Strain을 바로 사용하는 것이 아닌 식 (1), 식 (2)를 통해 True Stress와 True Strain으로 변경하여 진행한다<sup>[13]</sup>.

$$\sigma_t = \sigma_e (1 + \epsilon_e) \tag{1}$$

$$\epsilon_t = \ln(1 + \epsilon_e) \tag{2}$$

Fig. 6는 유한요소해석과 인장시험의 하중-변위 곡선을 나타내며, 물성치가 거의 근사한 것을 확인할 수 있다. 이때 진행한 재료 물성치를 기반으로 굽힘 후 하중제거를 통해 응력분포를 확인한다.

Fig. 7은 유한요소해석을 통해 410 시험편의 굽힘 후 하중제거를 확인한 결과이며, 하중이 제거되었을 때 최대 응력은 220 MPa로 나타난다. 또한 Fig. 8은 410 시험편의 재급힘 인장 시험편의 파단 위치를 나타내며

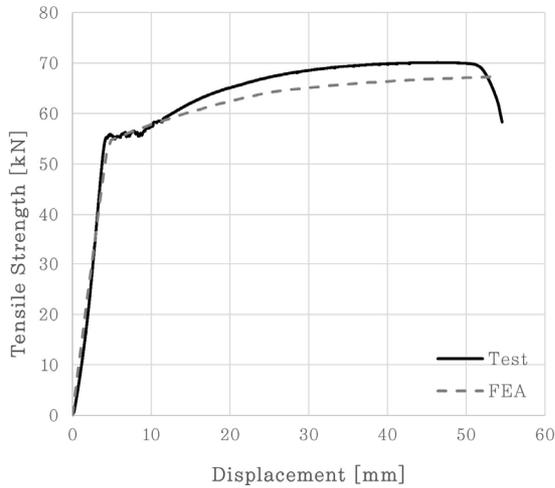


Fig. 6. Strength – displacement curve for FEA models

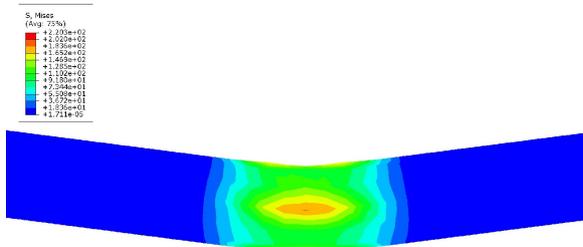
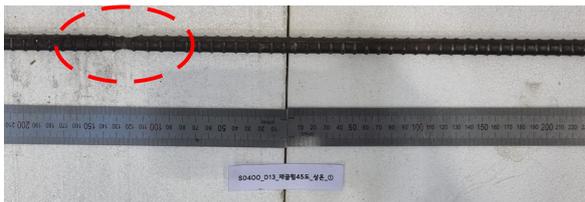
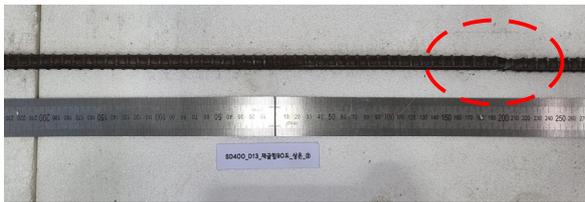


Fig. 7. Stress distribution during bending of 410



(a) 410 room temperature 45°



(b) 410 room temperature 90°

Fig. 8. Failure location of rebending reinforcing bars

이를 통해 중앙부 잔류응력의 영향으로 인한 파단 여부를 확인할 수 있다. 이에 따르면 410 시험편의 경우 중앙부에서 파단이 일어나지 않은 것으로 보아 잔류응력이 재굽힘 인장성능에 영향을 주지 않는 것으로 확인된다. 따라서 경도 값이 일정 이하 낮아질 경우 재굽힘 인

장강도 감소 요인에 대해 추가적인 연구를 진행해야 될 것으로 판단된다.

### 3.5 재굽힘 철근 사용 가능여부 검토

앞서 언급한 모든 사항을 종합하여, 공사현장에서 재굽힘 철근 사용 가능 여부에 대해 확인한다. Table 7은 재굽힘 시 인장강도를 소재의 인장강도와 KS 공칭 인장강도의 만족 여부를 나타내며, 예열과 굽힘 각도 모두 만족 여부를 나타내고 있다.

Table 7. Rebending tensile satisfaction status

Specimens	Material tensile	Normal tensile	Comp. (%)
410 (45°) RT	D	S	116.59
410 (45°) Heating	D	S	105.15
410 (90°) RT	D	S	116.59
410 (90°) Heating	D	S	105.65
420 (45°) RT	S	S	116.89
420 (45°) Heating	D	S	103.85
420 (90°) RT	S	S	118.11
420 (90°) Heating	D	S	101.24
41S (45°) RT	S	S	115.80
41S (45°) Heating	D	S	106.20
41S (90°) RT	S	S	113.26
41S (90°) Heating	D	S	104.86
510 (45°) RT	D	S	123.39
510 (45°) Heating	D	D	95.98
510 (90°) RT	D	S	125.56
510 (90°) Heating	D	D	96.06
520 (45°) RT	D	S	127.72
520 (45°) Heating	D	D	97.83
520 (90°) RT	D	S	127.83
520 (90°) Heating	D	D	92.59
52S (45°) RT	D	S	119.95
52S (45°) Heating	D	S	101.55
52S (90°) RT	D	S	119.09
52S (90°) Heating	D	D	85.01
62S (45°) RT	S	S	118.23
62S (45°) Heating	D	D	69.47
62S (90°) RT	S	S	115.56
62S (90°) Heating	D	D	96.36

RT : Room Temperature

S : Satisfaction

D : Dissatisfaction

Comp. = Material Tensile / Normal Tensile

재급힘 철근의 인장성능 만족 여부를 확인한 결과 상온에서는 KS 공칭 인장강도를 전부 만족하는 것으로 나타난다. 단, 소재 인장강도와 비교할 경우 510, 520 시험편 등 불만족으로 나타나지만 최대 5.6 % 정도의 차이를 보인다. 따라서 상온 재급힘 철근의 경우 설계 시 판단 강도로 사용하는 공칭 인장강도 이상인 것을 고려하면 공사현장에서 사용할 수 있을 것이라 기대된다.

예열을 진행한 재급힘 인장성능의 경우 SD400, SD400S 강종을 제외하면 공칭 인장강도에 불만족인 것으로 확인되며, SD400, SD400S 강종의 재급힘 인장 시험과 소재 인장시험 결과를 비교하여도 최대 12.6 %의 차이를 보이는 것을 감안하면 국내에서 생산되는 철근은 예열을 진행하여 재급힘을 하는 조건에는 적합하지 않는 것으로 확인된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 철근의 재급힘이 인장성능에 미치는 영향과 예열 여부에 따른 재급힘 인장강도를 확인하였다. 또한 재급힘 시 강도 감소 요인을 분석하기 위해 표면 경도 시험과 유한요소해석을 진행하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 철근의 예열 시 열처리 철근의 경우 미세조직의 변화가 발생하는 것을 확인할 수 있으며, 예열 후 재급힘을 진행하면 인장성능이 감소되는 것을 알 수 있다. 따라서 콘크리트 기준에서 권장하는 예열 후 재급힘은 인장성능 감소 요인으로 작용될 수 있다.
- (2) 표면 경화 조직의 영향으로 재급힘 시 인장강도가 증가 혹은 감소될 수 있다.
- (3) 유한요소해석을 통해 급힘 후 하중 제거를 진행할 경우 응력분포와 파단 위치를 확인하였을 때 잔류응력의 영향은 없는 것으로 보인다.
- (4) 공사현장에서 재급힘을 사용할 경우 예열을 진행하지 않는 것을 권장하며, 본 연구에서 진행된 범위 안에서 SD400 D13 ~ D32, SD500 D13 ~ D22 까진 사용할 수 있을 것이라 기대된다. 다만 내진용 철근의 경우 추가 연구를 통해 사용 가능 범위

를 확인할 필요가 있다.

#### 감사의 글

이 연구는 한국연구재단 연구비지원에 의하여 수행된 연구결과의 일부이다(NRF-2021R1F1A1062650). 이에 논문의 저자들은 감사의 말씀을 전한다.

#### 참고문헌(References)

- [1] ACI (2019) *Building Code Requirements for Structural Concrete*, ACI 318-19, American Concrete Institute, US.
- [2] Korea Concrete Institute (2021) *KDS 14 20 00 : 2021 - Explanation of Concrete Structural Design Standards: Strength Design Method*, Kimoon dang (in Korean).
- [3] Chun, S.-C., Tak, S.-Y., and Ha, T.-H. (2012) Mechanical Properties and Stress-Strain Model of Re-Bars Coldly Bent and Straightened, *Journal of the Korea Concrete Institute*, KCI, Vol.24, No.2, pp.195-204 (in Korean).
- [4] Choi, H.-B., Kim, H.-S., Seo, D.-S., and Kang, K.-I. (2003) The Study on the Capability Transform and Alternative Plan of Reinforcing Bar with Straightening after Bending, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, AIK, Vol.19, No.9, pp.181-188 (in Korean).
- [5] Kim, H.D., Choi, B.J., Kim, S.S., Kim, C.H., and Oh, Y.S. (2011) Material Properties of 400MPa Grade Hot Rolled H-beam(SHN400) for Building Structure, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.23, No.4, pp.515-522 (in Korean).
- [6] Choi, J.Y., Yeo, D.J., Kim, H.D., Chung, J.H., and Yang, J.G. (2023) Study on the Material and Welding of 420 MPa Class Seismic and Fire Resistance H-Shape Steel Beam Section, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.35, No.5, pp.261-271 (in Korean).
- [7] Korean Agency for Technology and Standards (2003) *Method of Tensile Test for Metallic Materials*, KS B 0802:2003, Korean Standards Association (in Korean).
- [8] Korean Agency for Technology and Standards (2021) *Steel Bars for Concrete Reinforcement*, KS D 3504:2021, Korean Standards Association (in Korean).
- [9] Korean Agency for Technology and Standards (1992) *Macro Structure Detecting Method for Steel*, KS D

- 0210:1992, Korean Standards Association (in Korean).
- [10] Korean Agency for Technology and Standards (2021) *Metallic Materials - Bend Test*, KS B 0804:2021, Korean Standards Association (in Korean).
- [11] Korean Agency for Technology and Standards (2003) *Metallic Materials - Vickers Hardness Test - Part 1: Test Method*, KS B 0811:2003, Korean Standards Association (in Korean).
- [12] Kim, J.R., Lee, E.T., Choi, Y.H., and Kim, S.S. (2016). A Study on the Material Characteristics of the HSA800 Steel and Homogeneity of Strength, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.28, No.3, pp.173-183 (in Korean).
- [13] Roylance, D. (2001) *Stress-Strain Curves*, MIT Department of Materials Science and Engineering, US.

## 기 호(Notation)

$\sigma_t$	: True Stress
$\sigma_e$	: Engineering Stress
$\epsilon_t$	: True Strain
$\epsilon_e$	: Engineering Strain

---

**요 약:** 일반적으로 철근은 현장 작업 중에는 재급힘을 허용하지 않는 보강재이지만 편의상 재급힘이 필요한 경우가 존재한다. 또한 철근을 재급힘 할 때는 예열이 권장되지만 예열 후 재급힘 시 인장강도의 변화를 확인할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 철근의 재급힘 시 인장성능과 예열 여부가 강도에 미치는 영향을 확인한다. 7종류의 철근을 연구 대상으로 포함하며, Work Hardening에 의한 Metal Aging을 확인하기 위해 재급힘 기간을 7일로 하여 시험을 진행한다. 시험 결과에 따르면 예열을 진행할 경우 재급힘 인장강도가 감소하는 경향이 나타나며, 상온에서의 재급힘 인장강도는 소재 KS 기준을 만족하는 것으로 확인된다. 또한 Metal Aging에 의하면 인장강도가 증가될 수도 있지만 재급힘 시험 결과 오히려 감소하는 결과가 일부 발생한다. 이에 대한 인장강도 감소 원인을 분석하기 위해 유한요소해석과 표면 경화 조직을 통해 확인한다. 또한 상온에서 재급힘을 진행한 철근의 경우 공사현장에서 사용할 수 있을 것이라 기대된다.

**핵심용어:** 철근, 재급힘, 예열, 인장성능, 가공경화

---