

# 철근의 Bending and Straightening에 대한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Cold Bending of Reinforcing Bar

조현우\*      최희복\*\*      강경인\*\*\*  
 Joh, Hyoun-Woo      Choi, Hee-Bok      Kang, Kyung-In

### Abstract

In this experiment, we distribute the bending angle to 60°, 90°, 120°, and we separate it in to two groups. One is straightening right after bending and the other is straightening after one week. The bars we will use are HD13 and HD16. The number of tests will be 60 times.

In the case of HD16, the increase of bending angle decreased yield strength and maximum strength. And compared with thinner bars, HD16 showed bigger differences in yield strength and maximum strength when the 'being bent' duration got longer.

So it shows that when we bend and after straighten a bar, stress change takes place on the surface of the bar. At the beginning it shows it's ductility after that it deforms while transforming it's character to destroying. And also, if we straighten a bar after bending, it doesn't get straighten like the original form. So it makes torsion and this torsion makes moments in different areas.

키워드 : 철근, 굽힘, 인장,

Keywords : reinforcement, bending, tension

## 1. 서론

### 1.1 연구의 목적 및 필요성

Tilt-up 공사에서 콘크리트 Wall을 바닥 슬래브에 연결하기 위해서 보통 직경이 D10 또는 D13의 작은 철근을 사용한다. 그리고 그 철근들은 Walls의 줄치기 작업을 할 수 있도록 bent 되어진 후 다시 Straightening 되어지고, tilt-up의 요소들로부터 철근이 빠져나오는 현상들이 발생하게 된다. 또한 pre-cast concrete slabs에서 콘크리트를 타설하기 전에 cold bent된 철근은 다시 펴서 사용하게 된다. 게다가 기초보에 묻혀지는 철근은 가끔씩 임의에 의해 bent 되어지기도 한다.<sup>1)</sup> 그리고 Top-Down 공법에서, 초고층 공사에서 수직부재와 수평부재를 연결하기 위해서 수직부재에 철근을 우선 배근하고, 나중에 수평부재를 연결하면서 철근의 Bending and Straightening이 발생한다.

이렇게 콘크리트에 묻혀지는 철근을 Bending and Straightening의 반복에 의해 철근에 두 번씩이나 비틀림이 발생하게 되는 문제점들이 야기된다. 이것은 Bending and Straightening 되는 그 영역에서 광범위한 Harding이 발생되기 때문에 처음에 bent한 영역을 완벽하게 이전의 상태로 펼 수 없기 때문이다. 또한 Bending and Straightening이 된 영역에서 철근

의 인장응력이 감소 할 수가 있고, 철근이 부스러지는 현상이 발생함으로 인해 철근의 외피 조직에 더 큰 변형의 문제가 발생하게 된다.

따라서 외국에서는 여기에 대한 문제점들을 일찍이 간파하고 많은 실험적 연구가 이루어져 왔고, bending and straightening할 때 전문가의 지침에 의해 작업이 이루어져 왔지만, 우리나라에서는 아직까지 여기에 대한 여타의 실험이 이루어지지 않았고, 임의로 작업이 이루어져 왔기 때문에 본 실험을 통해 현장의 임의적인 작업에 대해 개선해 보고자 한다.

### 1.2 기존 연구 고찰

Erasmus, L.A., Pussegoda, L.N.의 "Strain Age Embrittlement of Reinforcing Steel"<sup>2)</sup> 실험은 철근이 연성을 가지고 부서지기까지 분쇄변화에 있어서 온도의 변화는 철근의 인장에 의해서 야기 된다고 주장하였으며, 철근의 기계적 특성의 변화는 철근이 탄성변형을 일으킨 후 응력변화에 의해서 영향을 받는다고 하였다.

Babbei, K., and Hawkins, N.M.의 "Field Bending and Straightening of Reinforcing Bars"<sup>3)</sup> 관한 실험은 철근의 Cold and hot bending and straightening의 가능한 유해한 영향력에 대해 실험하였다. 여기서 어떤 화학적 성분을 가진 철근에는 사용이 제한되고, hot bending 철근에 대한 자료를 제공

\* 고려대학교 건축공학과 석사 과정

\*\* 고려대학교 건축공학과 석사 과정

\*\*\* 고려대학교 건축공학과 교수, 공학 박사

1) Jose I. Restrepo, Francisco J. Crisafulli, Robert Park., How Harmful is Cold Bending/Straightening of Reinforcing Bars?, Concrete International, pp. 45-48, April 1999.

2) Erasmus, L. A., and Pussegoda, L. N., Strain age embrittlement of Reinforcing Steels, New Zealand engineering, V.32 No.8, pp.178-183, 1977

3) Babbei, K., and Hawkin, N. M., Field Bending and Straightening of Reinforcing Bar, Concrete International, V.14, No.1, pp. 67-72, January 1992.

했으며, 직경이 작은 철근은 cold bent and straight가 가능하다고 주장했다.

Jose I. Restrepo, Francisco J.의 "How harmful is Cold Bending/Straightening of Reinforcing Bars"<sup>4)</sup> 연구는 이전의 연구를 종합해서 온도는 0℃ 와 60℃에서 Bending 각도는 45° 와 90° 로 실험을 하였고, 그 결과 낮은 온도 하에서 변형이 심한 bending은 철근에 유해한 영향력이 발생한다고 결론을 내렸다.

그러나 지금까지의 연구과정은 현장의 환경과 다소 동떨어진 독립변인인자를 적용하여 실험이 행해졌다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 현장의 현실을 가만해서 직접 손으로 bending을 하고, 실험도 상온에서 행하며, HD13과 HD16을 이용한다.

### 1.3 연구의 방법 및 범위

외국의 연구사례를 조사 연구하고, bending에 관한 우리나라의 기준과 ACI의 기준을 조사한 후 본 연구에 적용한다.

철근은 SD40짜리 HD13과 HD16을 사용하고, 각 철근의 bending 각도를 틀리게 한다. 그리고 철근을 bent한 후 시간적 여유를 주어 Straightening을 하는 방법과 bent한 후 바로 Straightening을 하는 두 방법을 실행한다. 철근의 bent는 현장에서와 동일하게 bending machine을 이용하지 않고 직접 손으로 구부린다.

그리고 철근은 200톤짜리 UTM을 이용해서 인장실험만을 행한다.

## 2. 철근의 Bending and Straightening 실험 계획

### 2.1 실험체 계획

철근은 한국공업규격(KS D 3504)에 맞는 고장력 이형철근을 사용한다.

시험체는 HD13과 HD16 두 종류의 철근을 사용하고 철근의 bending 각도는 60°, 90°, 120° 로 하고, 철근을 bent한 후 다시 straightening을 할 때 1주일의 시간적 여유를 두고 straightening하는 방법과 바로 straightening하는 2가지 방법으로 나누어 실시한다. 실험 온도는 현장의 환경과 가능한 동일 시하기 위해 상온(25℃)에서 실험 한다.

시험체 편수는 각각의 경우 5개씩 총 60편을 제작한다.

표 1. 시험체 분류표

	HD13		HD16	
	no term	a week	no term	a week
60°	5	5	5	5
90°	5	5	5	5
120°	5	5	5	5
계	60			

4) Jose I. Restrepo, Francisco J. Crisafulli, Robert Park., How Harmful is Cold Bending/Straightening of Reinforcing Bars?, Concrete International, pp. 45-48, April 1999.

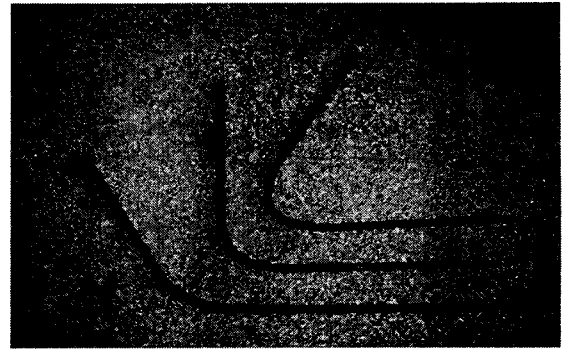


그림 1. HD13 bending

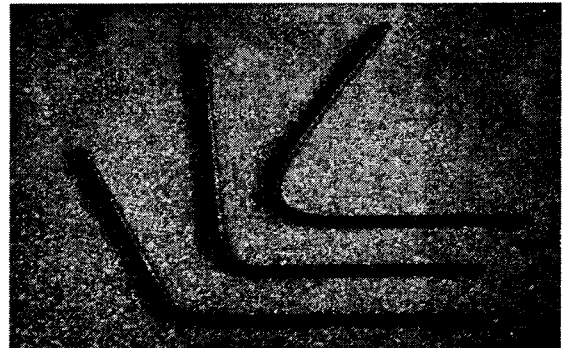


그림 2. HD16 bending

### 2.2 가력 계획

- 1) 정적 인장강도 시험은 KS B 0801(금속재료 인장시험편) 및 KS B 0802(금속재료 인장시험방법) 및 KS D 0804(금속재료 굴곡시험 방법)에 준하여 실시한다.
- 2) 시험기는 200톤 UTM을 이용한다.
- 3) 재하 하중은 항복 이전과 이후의 구간에서 일정하게 단순인장력만 가력 한다.

### 2.3 기계적 성질

철근은 KS D 3504(철근콘크리트용 봉강)의 규정에 근거한 고장력 철근 SD40을 사용하고, 실험에 사용하는 철근의 기계적 특성이 규격에 적합한지 확인하기 위해 HD13과 HD16 철근 한 개씩을 직접 인장실험 한다.[표2]

[표2]에서 보듯이 실험에 사용하는 철근은 SD40 철근기준의 항복강도(4~5.2tf/cm<sup>2</sup>), 최대하중(5.7tf/cm<sup>2</sup>이상)을 만족하고 있다.

표 2. 실험용 철근의 역학적 성질

	항복강도(tf/cm <sup>2</sup> )	최대인장(tf/cm <sup>2</sup> )	연신율(%)
HD13	4.44	5.91	23.6
HD16	4.83	6.97	20.9

표 3. 철근의 성질(KS D 3504)

종 류	항복강도(tf/cm <sup>2</sup> )	최대인장(tf/cm <sup>2</sup> )	연신율(%)
			D25 미만
SD40	4 ~ 5.2	5.7 이상	16 이상

### 3. 실험

#### 3.1 철근 HD13 실험 결과

##### 1) no term 일 경우

표 4. bent 후 바로 straightening 결과

시 험 체	항복강도(tf/cm <sup>2</sup> )	최대인장(tf/cm <sup>2</sup> )	연신율(%)	
60°	Test 1	4.41	5.68	27.2
	Test 2	4.35	5.89	24.8
	Test 3	4.38	5.95	25.3
	Test 4	4.44	5.73	25.8
	Test 5	4.47	5.68	25.1
90°	Test 1	4.46	5.23	25.4
	Test 2	4.31	5.39	26.8
	Test 3	4.03	4.96	27.3
	Test 4	4.39	4.89	28.6
	Test 5	4.36	5.07	27.9
120°	Test 1	3.84	4.94	33.9
	Test 2	4.02	4.87	31.6
	Test 3	3.96	4.92	31.3
	Test 4	3.85	4.61	30.4
	Test 5	4.01	4.99	33.8

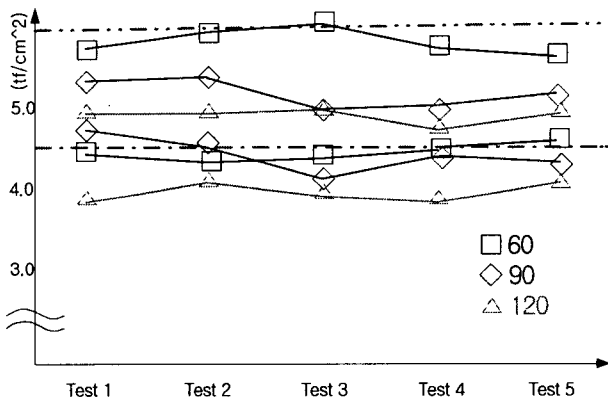


그림 3. bent 후 바로 straightening 결과 그래프

##### 2) a week 일 경우

표 5. bent 1주일 후 straightening 결과

시 험 체	항복강도(tf/cm <sup>2</sup> )	최대인장(tf/cm <sup>2</sup> )	연신율(%)	
60°	Test 1	3.22	4.91	31.1
	Test 2	3.47	4.69	32.5
	Test 3	3.28	4.61	31.8
	Test 4	3.36	4.84	33.4
	Test 5	3.64	4.97	32.7
90°	Test 1	3.27	4.99	34.1
	Test 2	3.29	4.75	35.6
	Test 3	3.15	4.92	34.1
	Test 4	3.25	4.86	34.8
	Test 5	3.08	4.83	34.3
120°	Test 1	3.28	4.31	34.6
	Test 2	3.20	4.45	36.8
	Test 3	3.14	4.38	35.1
	Test 4	3.05	4.51	37.4
	Test 5	3.08	4.27	35.9

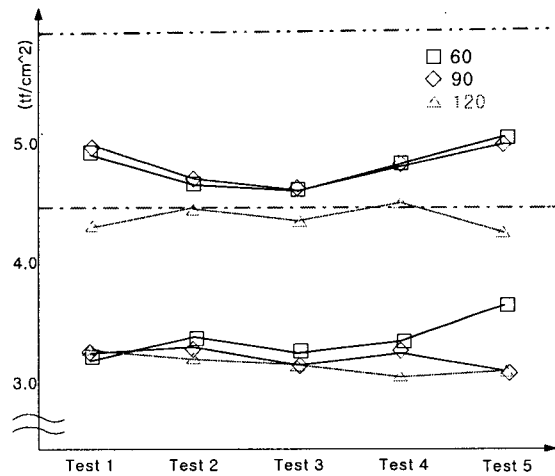


그림 4. bent 1주일 후 straightening 결과 그래프

[표4]는 HD13 철근을 bending한 후 바로 straightening을 해서 인장실험 한 결과이고, 이것을 그래프로 표현한 것이 [그림3]이다. 상부 2점 채선은 실험체와 동일한 철근을 bending하지 않았을 때 철근의 최대 강도를 나타내고, 하부 1점 채선은 실험체와 동일한 철근을 bending하지 않았을 때 철근의 항복강도를 나타낸다.

[표5]는 철근을 bending한 후 1주일의 기간이 지난 후에 다시 straightening을 해서 인장실험을 한 결과이고 [그림4]는 그래프화 한 것이고 상부 2점 채선은 실험체와 동일한 철근의 bending하지 않았을 때 최대강도이고, 하부 1점 채선은 실험체와 동일한 철근의 bending하지 않았을 때 항복강도를 나타낸다.

#### 3.2 철근 HD16 실험 결과

##### 1) no term 일 경우

표 6. bent 후 바로 straightening 결과

시 험 체	항복강도(tf/cm <sup>2</sup> )	최대인장(tf/cm <sup>2</sup> )	연신율(%)	
60°	Test 1	4.19	5.54	22.2
	Test 2	4.38	5.48	24.8
	Test 3	4.22	5.41	32.9
	Test 4	4.13	5.57	22.4
	Test 5	4.16	5.49	25.7
90°	Test 1	4.25	5.52	27.6
	Test 2	4.16	5.41	26.9
	Test 3	4.28	5.48	28.5
	Test 4	4.35	5.56	25.1
	Test 5	4.21	5.43	25.7
120°	Test 1	4.28	5.03	12.9
	Test 2	4.25	5.43	27.8
	Test 3	4.17	5.36	28.4
	Test 4	4.14	5.37	27.1
	Test 5	4.10	5.31	26.7

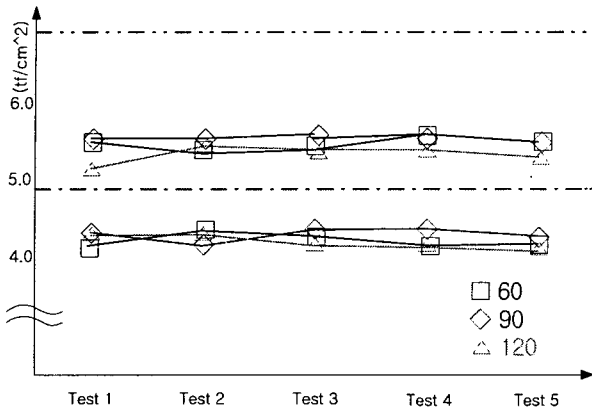


그림 5. bent 후 바로 straightening 결과 그래프

2) a week 일 경우

표 7. bent 1주일 후 straightening 결과

시 험 체	항복강도(tf/cm <sup>2</sup> )	최대인장(tf/cm <sup>2</sup> )	연신율(%)	
60°	Test 1	4.07	5.01	24.9
	Test 2	4.13	4.96	25.6
	Test 3	4.14	4.82	25.3
	Test 4	4.06	5.12	23.8
	Test 5	3.94	4.91	24.1
90°	Test 1	4.16	4.91	23.1
	Test 2	4.08	4.83	25.8
	Test 3	4.23	4.96	24.3
	Test 4	4.21	4.85	25.7
	Test 5	4.17	4.69	26.8
120°	Test 1	3.95	4.97	25.6
	Test 2	3.81	4.82	26.8
	Test 3	3.99	4.94	27.4
	Test 4	3.85	4.83	26.9
	Test 5	4.08	4.88	27.1

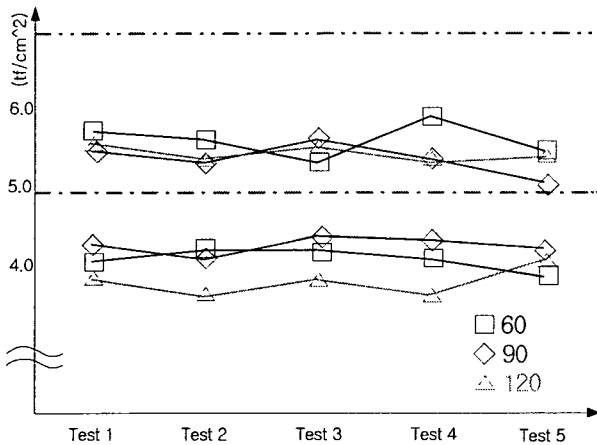


그림 6. bent 1주일 후 straightening 결과 그래프

[표6]은 HD16 철근을 bending한 후 바로 straightening을 해서 인장실험 한 결과이고, [그림5]는 [표6]을 나타낸 그래프이다. 상부 2점 섹션은 HD16의 최대 강도이고, 하부 1점 섹션은 항복강도를 나타낸다.

[표7]은 HD16을 bending한 후 1주일 이 경과한 후에 철근을 다시 straightening을 해서 인장실험을 한 결과이며, [그림 6]을 [표7]을 그래프화 한 것이다.

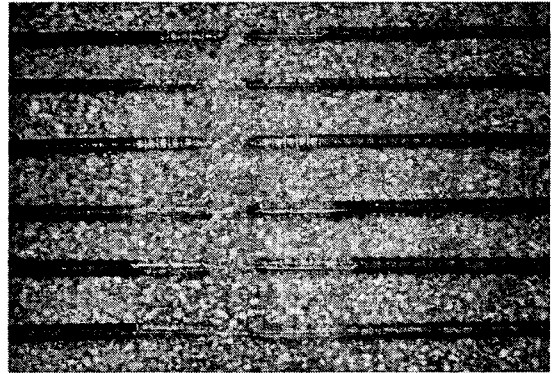


그림 7. HD13, HD16 파단  
(색칠해진부분이 bending된 부분)

[그림7]에서처럼 실험 철근 모두가 bending된 부분에서 파단이 발생했다.

4. 실험결과 분석 및 고찰

4.1 철근 HD13

1) no term 일 경우

[표4]는 철근을 bending한 후 바로 straightening한 결과로써 bending하지 않고 실험에 사용한 철근의 역학적 성질[표2]와 비교해서 항복강도와 최대강도에서 다소 떨어지는 것으로 나타났다. 특히 철근 항복강도에서는 bending한 철근과 하지 않은 철근의 강도의 차이는 60° 와 90° 에서는 크게 차이 나지 않았으며, 120° 에서 많이 떨어지는 것으로 나타났다. 철근 최대강도에서 bending60° 에서는 크게 차이 나지 않았지만, 90° 에서는 SD400의 항복강도는 만족하지만, 최대강도에는 다소 떨어지는 평균적으로 bending하지 않은 철근의 최대강도의 10%정도 감소한 것으로 나타났다. 또한 120° 에서는 SD400철근의 항복강도와 인장강도 모든 측면에서 대략 20% 정도 많이 떨어지는 것으로 나타났다.

2) a week 일 경우

이 실험에서는 [그림3]과 비교해서 [그림4]에서 보듯이 1주일 이 경과하게 되면 철근의 항복강도와 최대강도에서 약 20%(대략 1tf/cm<sup>2</sup>)정도의 큰 강도의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 실험한 철근 중에서 60° , 90° , 120° 에서는 항복강도가 대체적으로 비슷하게 나타났지만, 최대강도에서는 120° 로 bending했을 때 60° , 90° 보다 훨씬 강도가 떨어지는 것으로 나타났다.

또한 1주일 이 경과한 후에 straightening을 하게 되면 [표 5],[그림4]에서 보듯이, 바로 straightening을 한 [표 4],[그림3]과 비교해서 항복강도와 최대강도가 뚜렷이 큰 차이가 남을 알 수 있다.

Bending한 후 바로 straightening을 했을 때는 bending각도가 증가할수록 항복강도와 최대강도가 점점 감소하는 현상이 발생했지만, 1주일 후 straightening을 했을 때는 bending 각도에는 크게 영향을 받지 않고, bending하고 방치한 기간에 영향을 받는 것으로 나타났다.

변형률도 bending 각도보다는 bending 시간에 다소 영향이 있는 것으로 간주된다.

## 4.2 철근 HD16

### 1) no term 일 경우

HD16 철근을 bending한 후에 바로 straightening을 해서 인장실험 한 결과가 [표6],[그림5]에 나타나 있다.

HD13 철근의 bending한 후에 바로 straightening을 해서 인장실험 한 결과와 비교해 볼 때, HD13은 표준 항복강도와 최대인장강도에 근사한 값을 얻었지만, HD16 철근 [표6],[그림5]에서처럼 bending 60°, 90°, 120° 모두 bending하지 않은 철근의 항복강도와 최대인장강도에 많이 미치지 못하는 것으로 나타났다. 단 KS D 3504의 SD40 철근의 항복강도에는 대체적으로 포함되는 것으로 나타났다.

120° Test 1 실험의 최대강도와 변형이 다른 실험체에 비해 다소 떨어지는 것으로 나타났다. 이것은 HD16 철근을 bending/straightening 하는 과정에서 철근에 균열이 간 것을 발견할 수가 있었는데, 이것이 원인으로 사료된다.

### 2) a week 일 경우

HD16의 no term 일 경우와 비교하면 항복강도와 최대인장강도 모두에서 떨어지는 것으로 나타났으며, [표2]의 항복강도와 인장강도에도 훨씬 떨어지는 것으로 나타났다.

No term 일 경우에는 bending 각도가 증가함에 따라 철근의 강도가 감소하고 있지만, a week의 경우에는 bending 각도에 의해 no term 일 경우보다 다소 적게 영향을 받는 것으로 나타났다.

또한 HD13 인장실험에서는 bending의 존속기간(no term과 a week)에 따라 항복강도와 최대강도가 큰 차이를 보였지만, 철근의 단면이 굵은 HD16에서는 bending의 존속기간(no term과 a week)에 따른 강도의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

## 5. 결 론

HD13의 경우에는 bending각도가 증가할수록 항복강도와 최대강도가 떨어지는 것으로 나타났으며, 특히 60° 와 90° 에서는 큰 차이를 보이지 않았지만, 120° 를 넘어가면 강도가 많이 떨어지는 결과를 얻었다. 그리고 bending기간이 증가할수록 강도가 크게 감소하는 것으로 나타났다. 또한 연신율에서는 bending각도가 증가할수록 증가하는 것으로 나타났으며, 이것은 철근을 bending하였을 때 철근 표면에 ductile link가 형성되기 때문으로 사료된다.

HD16의 경우에서도 bending각도가 증가할수록 항복강도와 최대강도가 감소하는 것으로 나타났으며, bending기간이 길수

록 상대적으로 가는 철근에 비하여 항복강도와 최대강도 면에서 훨씬 더 큰 변화를 보였다. 또한 연신율에서 bending각도와, bending기간에 따라 연신율의 증가가 있었지만, HD13에 비하여 증가 폭은 큰 변화를 보이지 않았다. 이것은 철근의 지름이 클수록 철근 중심부에서 bending되는 면적의 증가에 의해 에너지가 흩어지면서 brittle link가 형성<sup>5)</sup>되기 때문으로 간주된다.

즉, 철근을 bending한 다음 straightening을 했을 때 철근 표면에 응력변화가 발생하고, 초기에는 연성의 성질을 가지다가 점차 부스러지는 형태로 변해가면서 변형이 발생하게 된다. 또한 bending한 후에 다시 straightening을 하더라도 처음과 같게 퍼지지 않기 때문에 그 부분에서 비틀림이 발생하고, 비틀림에 의해 여러 부분에서 모멘트가 발생하게 된다. 그리고 콘크리트와의 부착측면에서 그 성능에 영향을 미치는 요인이 많지만, 철근의 표면 상태도 영향을 미칠 수 있는 만큼 bending에 의해 철근의 표면에 ductile link가 발생하면 부착능이 떨어질 것이다.

따라서 본 실험을 통해 다음을 고려해야 할 것이다.

1. 철근을 bending 하지 않는 것이 좋겠지만, 부득이한 경우 bending 각도를 90° 이내로 한다.
2. 철근을 bending and straightening할 때 가능하면 한번만 한다.
3. 굵은 철근일수록 가능하면 bending and straightening을 하지 않는 것이 좋다.

결론적으로 위의 결과를 얻었지만, 철근을 bending할 때 공사현장의 임부들의 입의에 의한 것이 아니라, 항상 책임 있는 구조기술사나, 설계자의 인증 내에서 이루어져야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. ACI Committee 318, Building Code Requirements for Reinforced Concrete(ACI 318-95), American Concrete Institution, Farmington Hills, 1995.
  2. Erasmus, L. A., and Pussegoda, L. N., Strain Age Embrittlement of Reinforcing Steels, New Zealand Engineering, V. 32, No. 8, 1977, pp. 178-183.
  3. Erasmus, L. A., and Pussegoda, L. N., Safe Bend Raii for Deformed Reinforcing Bar to Avoid Failure by Strain Age Engineering, V. 33, No. 8, 1978, pp. 170-177.
  4. Yap, K. K., Strain Aged Steel in Beam-Column Joints, Report 5-86/5, Central Laboratories, Ministry of Works and Development, Lower Hutt, New Zealand, 1986,
  5. Restrepo-Posada, J. I.; Dodd, L. L.; Park, R.; and Cooke, N., Variables Affecting the Cyclic Behavior of Reinforcing Steel, ASCE Structural Journal, V. 120, No. 11, November 1994, pp. 3178-3195.
  6. Jose I. Restrepo, Francisco J. Crisafulli, Robert Park, How Harmful is Cold Bending/Straightening of Reinforcing Bars? Concrete International, v.3, No.6, April 1999, pp. 45-48.
- 
- 5) Jose I. Restrepo; Francisco J. Crisafulli, Robert Park, How Harmful is Cold Bending/Straightening of Reinforcing Bars?, Concrete International, v.3, No.6, April 1999, pp. 45-48.