

# 시뮬레이션과 실험에 의한 산소절단기 절단시 철근의 수열온도 분포

## Heated Temperature and Range of the Oxy-acetylene Cutting Reinforcing Bar by Simulation and Experiment

김봉주\* · 김재훈\*\* · 조병후\*\*\*

Kim, Bong Joo · Kim, Jae Hun · Cho, Byoung Hoo

### Abstract

The object of this experimental and simulation study is to find out heated temperature and range from the Oxy-acetylene cutting point of reinforcing bars (D10, D13, D16, D19, D22, D25 for each cases of SD30 and SD40) in room temperature (20~22°C). This cutting is under the condition that a skilled worker cut one bar per a time. The results are these. 1. The temperature of the point 1 of reinforcing bars cut with Oxy-acetylene cutter is over 700°C under 1000°C, but the temperature of the point 2 of reinforcing bars cut with Oxy-acetylene cutter is under 200°C 2. The temperature of the point that is apart 2 cm from Oxy-acetylene cutting point is not over 200°C, so reinforcing bars has not transform to be brittle. The results of simulation for temperatures of the each point apart from Oxy-acetylene cutting point is similar to upper experimental results

**Key words** : Reinforcing bars, Cutting method, Heated temperature, Range

### 요 지

본 연구는 상온에서 산소절단기로 철근의 절단시 절단부위로 부터의 고온수열범위와 수열온도를 측정 하고 시뮬레이션 결과와 비교함으로써 현장에서 산소절단기를 사용한 철근절단의 가능성을 파악하는 것을 목적으로 하며 그 결과는 다음과 같다. 1. 산소절단기로 철근을 절단하는 경우 절단 부위로부터 1 cm떨어진 위치의 수열온도는 700°C~1,000°C의 범위에 있으나, 절단 부위로부터 2 cm떨어진 위치의 수열온도는 200°C를 넘지 않는 것으로 나타났다. 2. 각 직경, 종류별로 철근의 수열온도 분포를 시뮬레이션한 결과 산소 절단시험과 유사한 절단 거리에 따른 온도 분포를 보임으로서 철근 절단 거리에서 2 cm 정도의 여유를 갖고 절단할 경우에는 고온 수열에 따른 취성변화가 발생되지 않는다.

**핵심용어** : 철근, 절단법, 수열온도, 범위

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 목적

콘크리트 보강재료로 사용되는 철근은 가공시 많은 절단과 굽힘 등의 작업이 필요하다. 철근의 절단법에는 기존에 많이 사용되었던 산소절단법과 기계식 절단법(커터기를 사용하는 법, 쇠어절단기) 등이 있다. 그러나, 산소절단법은 철근을 가열하여 취성변화를 시킨다는 기존 연구결과 등의 이유로 사용이 금지되어 있다. 그러나 기계식 철근 절단법이 물성변화 범위는 감소시킬 수 있으나 작업 시공성이 현저히 떨어지고, 산소절단법은 물성변화 범위는 증대하나 작업 시공성이 우수한 특징이 있다고 기존연구는 밝히고 있다. 현재 지방서에서는 기존 연구결과에 의해 강제적으로 가스절단법의 사용을 금지함으로써 현장에서 가스에 의한 철근 절단을 볼 수 없

나 현장여건이나 상황에 따라 산소절단법이 필요한 경우가 종종 있다.

그러나, 기존 연구<sup>[1]</sup>의 실험방법과 측정법에 오류가 있고, 기존 철강류의 수열에 따른 물성에 대한 인식차이가 있다. 산소절단법이 철근에 미치는 영향에 대한 일련의 연구결과<sup>[3]</sup> 기존이론<sup>[1,2,4]</sup>과 같이 고온수열된 철근이라도 일정온도이하인 경우는 사용에 전혀 지장이 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 산소 절단시 철근의 수열분포를 정확하게 파악하면 산소 절단의 사용이 가능하다는 것을 의미한다.

따라서 본 연구는 현장여건에서 산소절단법을 사용할 경우 고온수열에 의한 철근의 온도범위를 분석하여 취성을 발생하지 않는 철근 수열범위를 제공함으로써 지방서상의 금지되어 있는 산소절단의 적용 가능성을 제시하는 것을 목적으로 한다.

\*정회원 · 공주대학교 공과대학 건축학부 교수 공학박사 (E-mail:bingma@kongju.ac.kr)

\*\*경민대학 실용건축과 부교수 공학박사

\*\*\*정회원 · 공주대학교 공과대학 건축학부 교수 공학박사

## 1.2 연구의 범위 및 내용

본 연구는 전동절단기와 산소-아세틸렌절단기에 의해 철근에 수열되는 온도의 정도와 분포를 파악하기 위한 연구이다. 이를 위해 철근의 종류(굵기 및 강도)별로 철근에 직접 접촉식 열전대를 설치하고 각각의 방법으로 절단시부터 다시 상온에 도달할 때까지의 온도변화를 측정하였다. 또한 철근의 각 굵기와 강도별로 수열온도의 정도와 절단위치로 부터의 거리에 따른 수열온도를 구하였으며 실험결과를 바탕으로 각 철근에 대하여 온도분포 시뮬레이션을 실시하여 실제 철근내부의 온도분포를 비교·분석하였다.

## 2. 실험 계획 및 방법

### 2.1 실험계획

아세틸렌 또는 LPG가스를 이용한 산소절단법을 적용할 때 철근에 수열되는 온도분포를 파악하기 위하여 실험 인자 및 수준을 표 1에 나타내었다.

본 실험에 사용된 철근(KS D 3504)은 D제강에서 생산 판매하는 철근을 각 강도 및 굵기 별로 구입하여 사용하였다. 시험편은 1m의 길이로 제작하였으며, 기계식 절단톱을 사용하여 온도에 의한 영향을 받지않도록 하였다.

### 2.2 실험방법 및 기기

본 실험은 실험실에서 원형숫돌 절단기와 산소아세틸렌 절단기를 사용할 때의 철근에 미치는 온도분포를 측정하기 위하여 철근의 종류(굵기 및 강도)별로 철근측면에 열전대(PT type)를 절단면에서 1cm간격으로 10군데 설치하였다. 철근 수열 온도는 절단시부터 상온으로 도달할 때까지 연속 측정하였다.

철근의 온도측정은 TVS(Thermal visual system)대신 기계의 측정오차를 제거하기 위하여 PT-type의 직접 접촉식 열전

표 1. 실험 인자 및 수준

인자	수준	수준수
철근의 강도	SD30, SD40	2
철근의 굵기	D10, D13, D16, D19, D22, D25	6
절단법	전동절단기, 산소아세틸렌 절단기	2

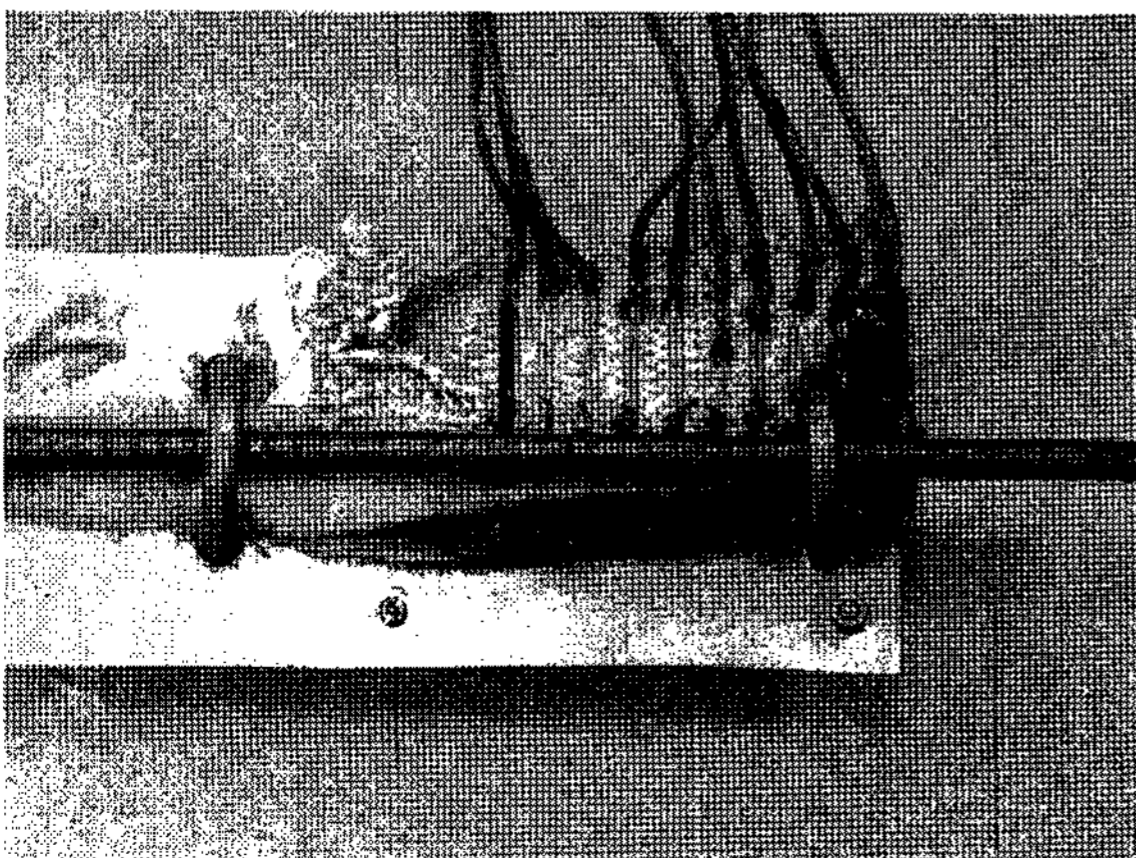


사진 1. 열전대 위치 및 철근설치 상태

대를 사용하였으며 측정 온도는 Data logger(TDS 601A Tokyo sokki)와 연결하여 기록하였다.

열전대 위치 및 길이는 기초실험을 통해서 얻은 결과로 단부에서 10cm까지만 설치하였으며 산소절단기의 불꽃이 열전대에 직접 닿는 것을 방지하기 위하여 열전대 설치패널에 ceramic wool을 설치하였다(사진 1).

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 철근절단방법에 따른 절단시간

각 철근별로 3개씩 전동커터기와 산소아세틸렌(이후 산소절단기로 칭함)절단기로 절단한 절단시간은 표 2와 같다. 철근의 절단시간은 전동커터기를 사용한 경우 굵기에 따라 3~10초가 걸렸다. 또한, 산소절단법은 예열시간과 절단시간(단, 표의 절단시간은 예열시간을 포함한 시간임)으로 분리되며, 전동커터기를 사용한 경우와 같이 굵기가 굵어질수록 예열시간 및 절단시간의 증가현상이 나타났다. 철근절단시간은 전동커터가 25~50% 더 걸리는 것으로 나타났다. 또한 절단부위에 열전대를 설치한 경우에는 절단에 영향을 줄 수 있으므로 절단면의 수열온도는 측정하지 않았다.

### 3.2 철근절단면거리에 따른 수열온도 분포

철근 절단방법에 따른 절단면으로 부터의 수열온도분포의 예를 그림 1~4에 나타냈다. 전동커터기에 의한 절단 경우의 절단면에서부터의 거리에 따른 수열온도 분포는 비교적 낮은 온도로 완만한 온도상승 및 하강곡선을 그리고 있다. 특히, 지점 1(절단면으로부터 1cm)에서의 절단시간 20초에서 약 40°C(SD30, D13) 27초에서 약 45°C(SD40, D13)를 나타냈으며 지점2부터 수열온도 급격히 저하되는 것으로 나타났다. 또한, 각 지점에서의 최고온도에 도달하는 시간은 거리에 따라 증가되었다. 산소절단기에 의한 철근의 거리에 따른 수열

표 2. 철근절단 시간

단위 : sec

절단법	철근굵기	D10	D13	D16	D19	D22	D25
		전동커터	3~4	3~4	4~5	4~6	4~6
산소절단기	예열시간	1~2	1~2	1~2	2~3	2~3	3~4
	절단시간	2~3	2~3	3~4	3~4	3~4	4~6

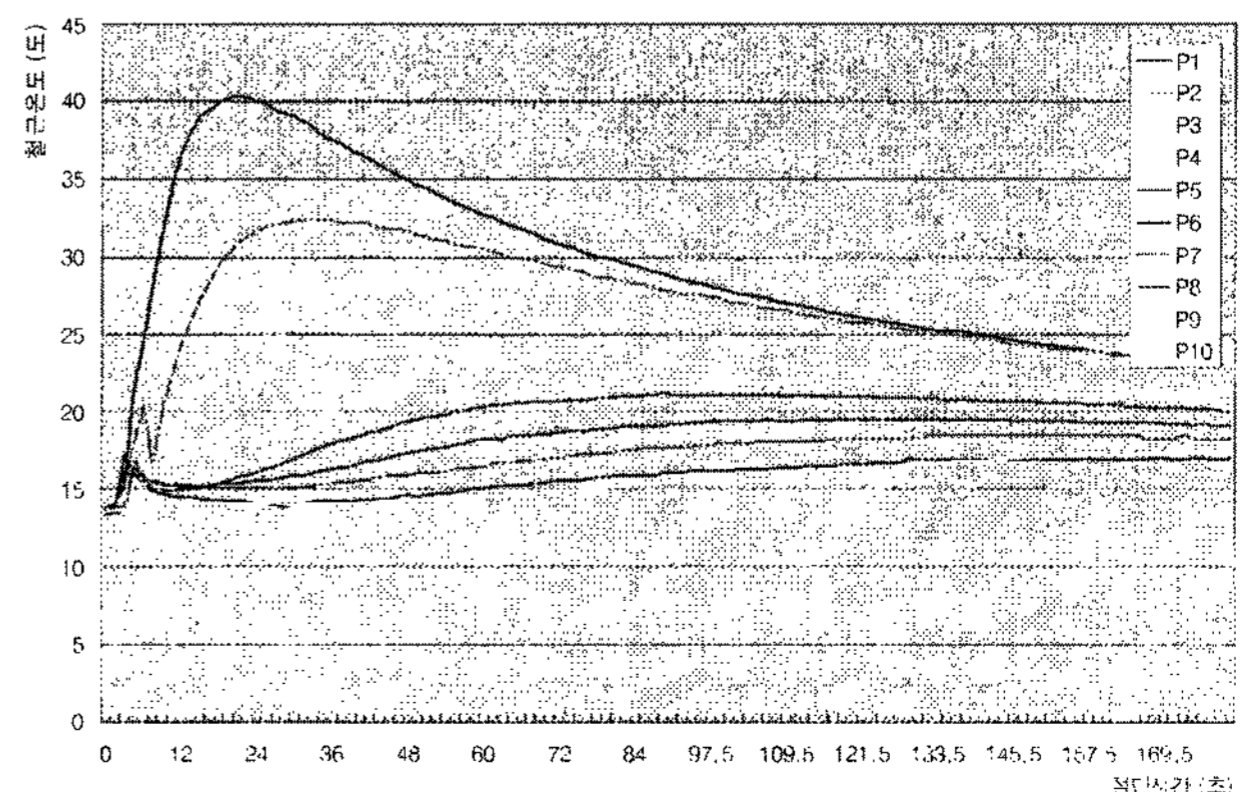


그림 1. 전동절단기에 의한 수열온도 분포(SD30, D13)

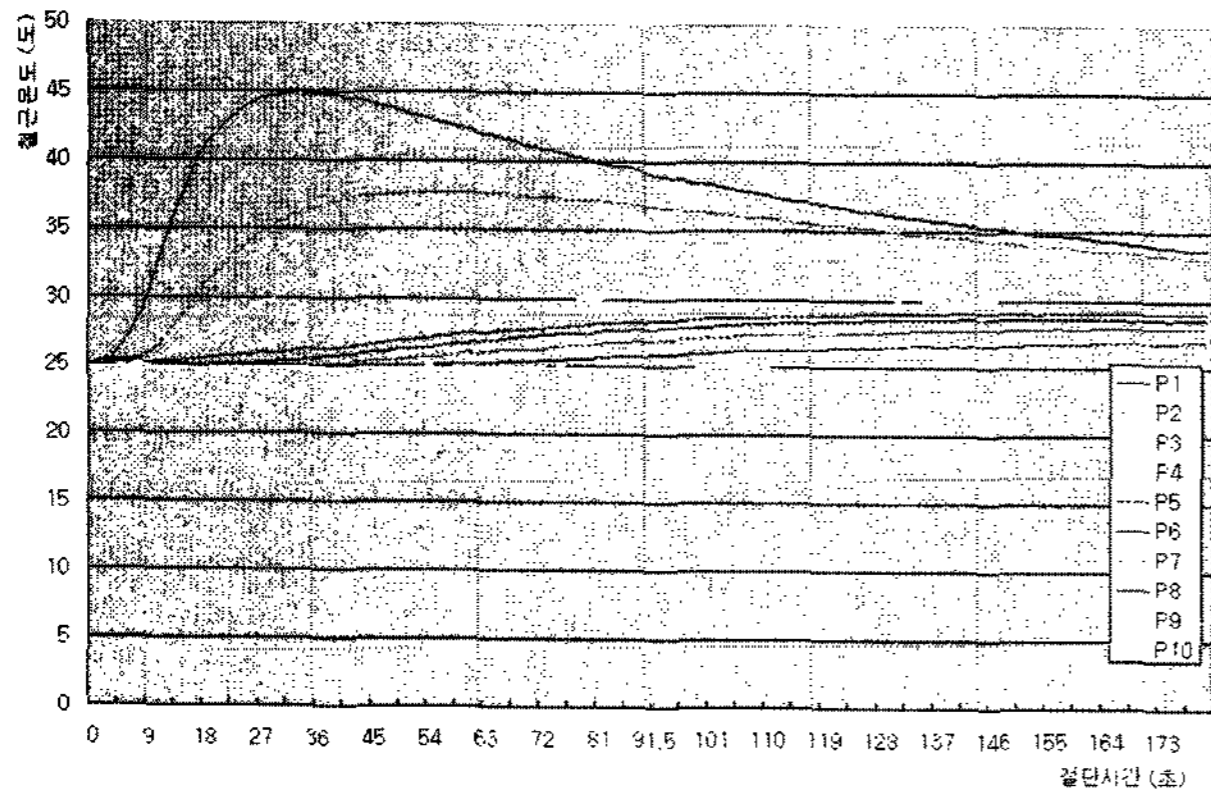


그림 2. 전동절단기에 의한 수열온도 분포(SD40, D13)

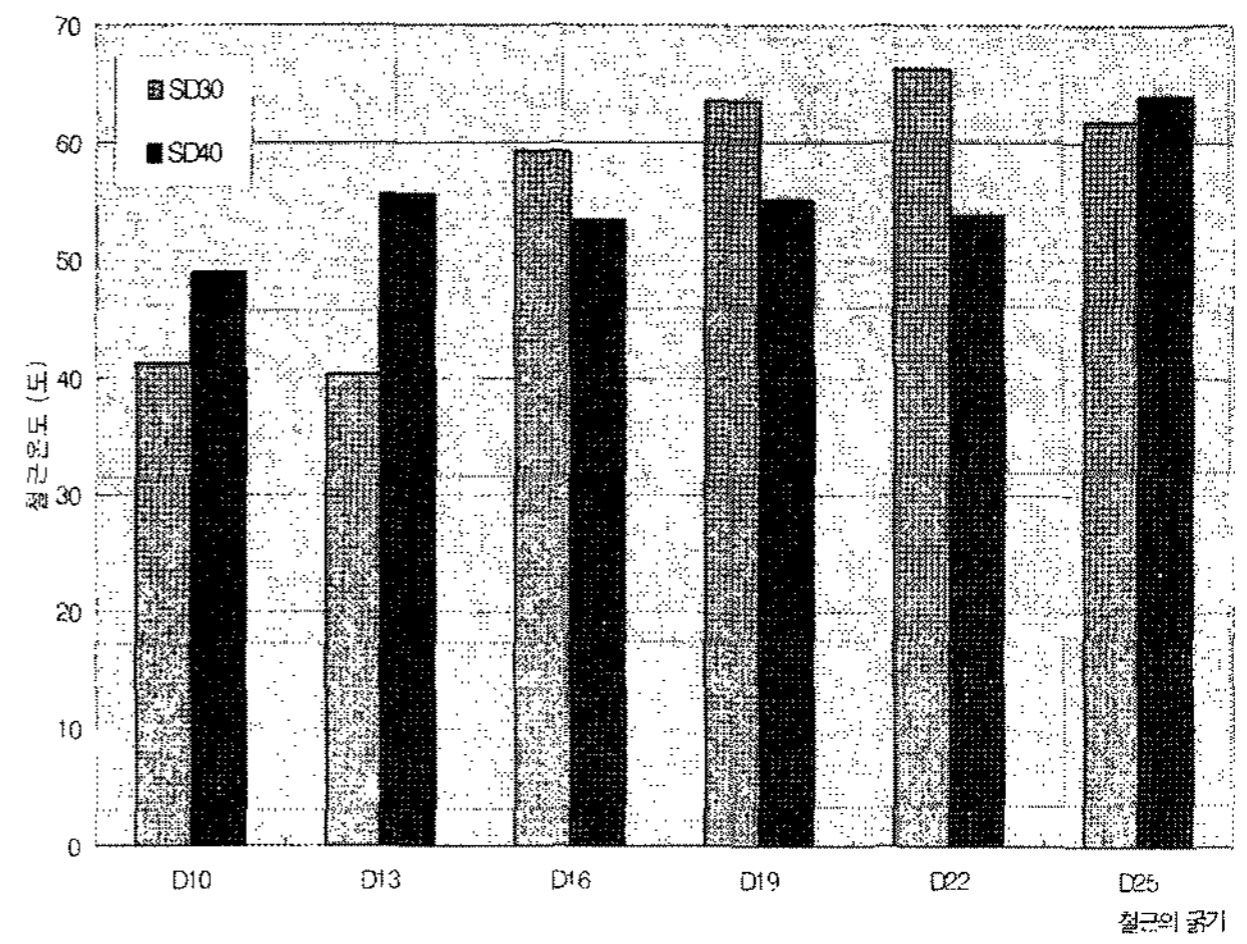


그림 5. 전동절단기에 의한 1지점에서의 최고수열온도

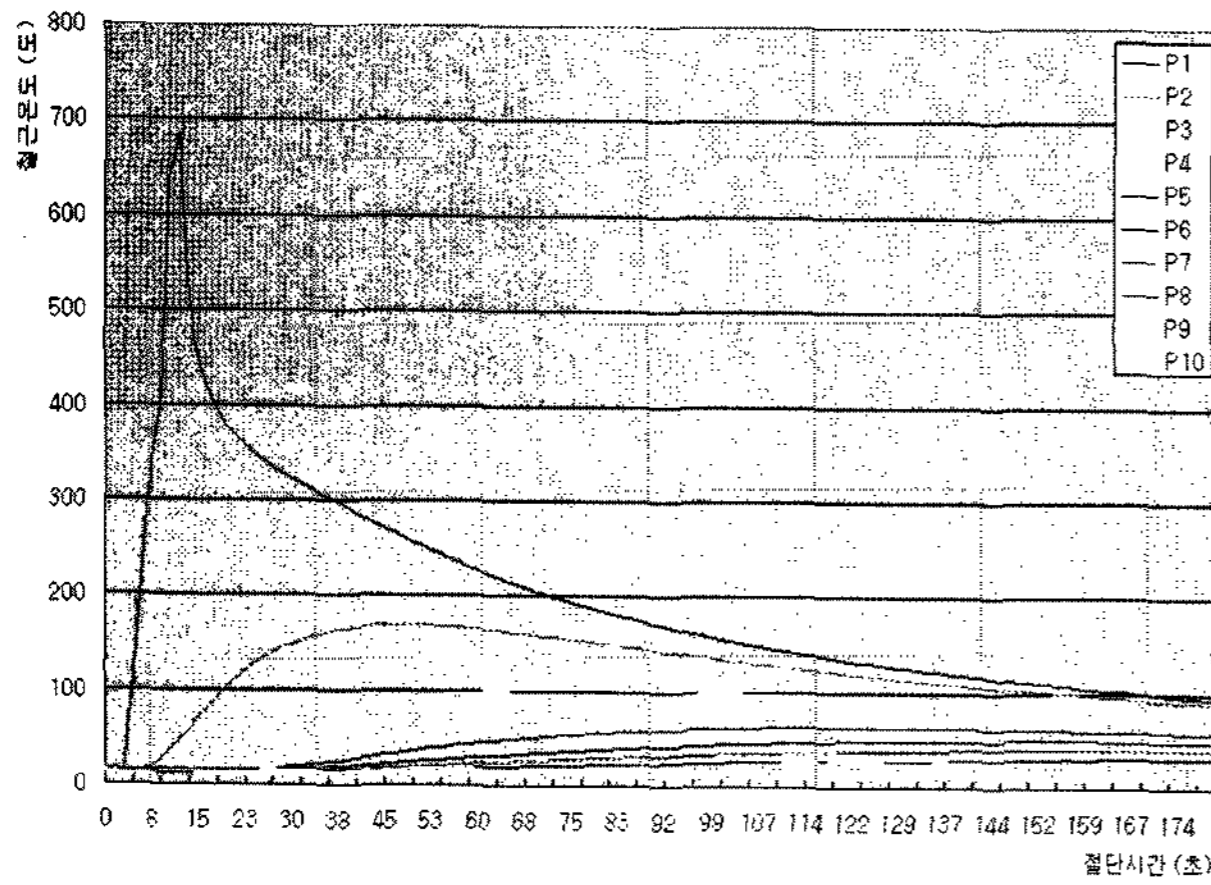


그림 3. 산소절단기에 의한 수열온도 분포(SD30, D10)

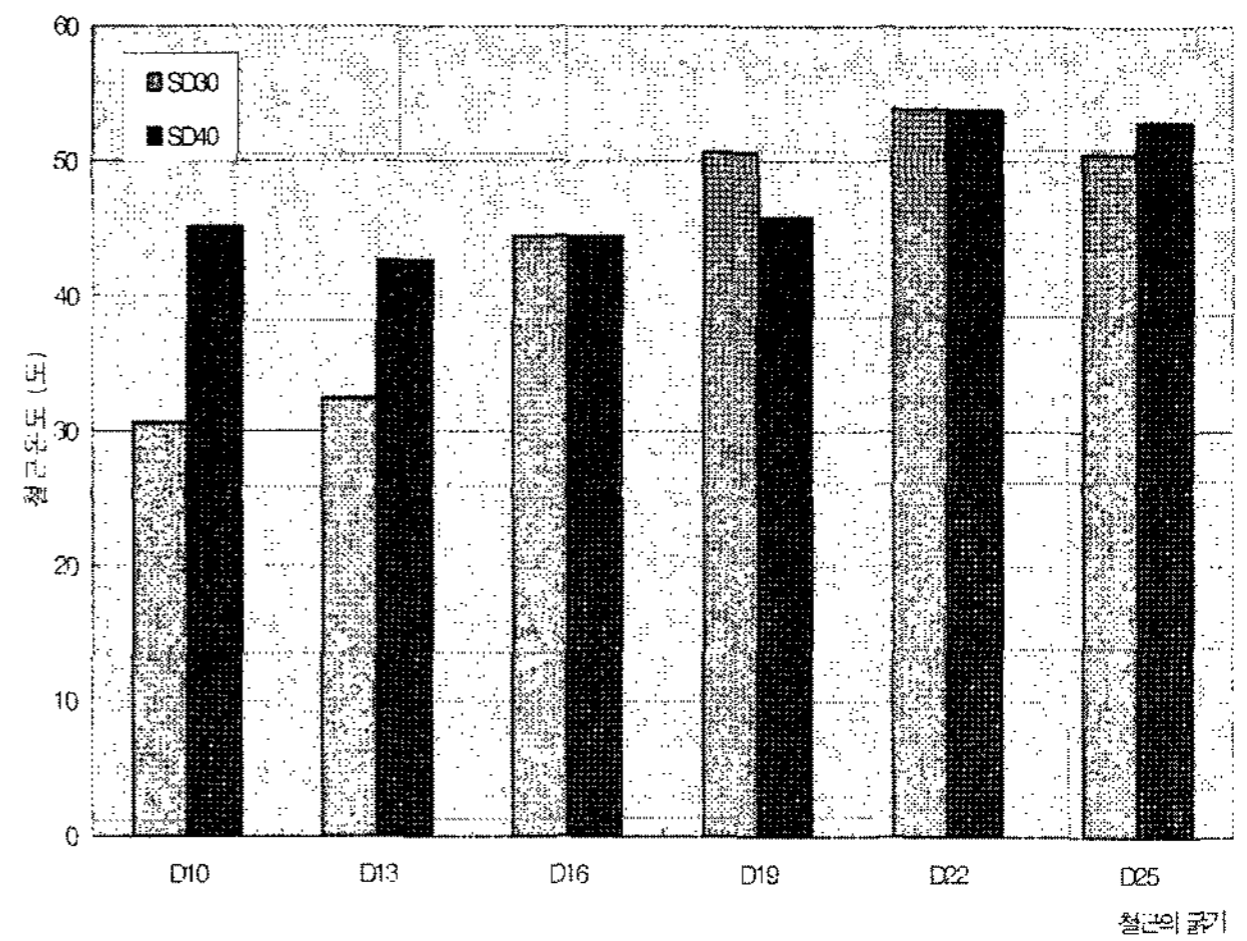


그림 6. 전동절단기에 의한 2지점에서의 최고수열온도

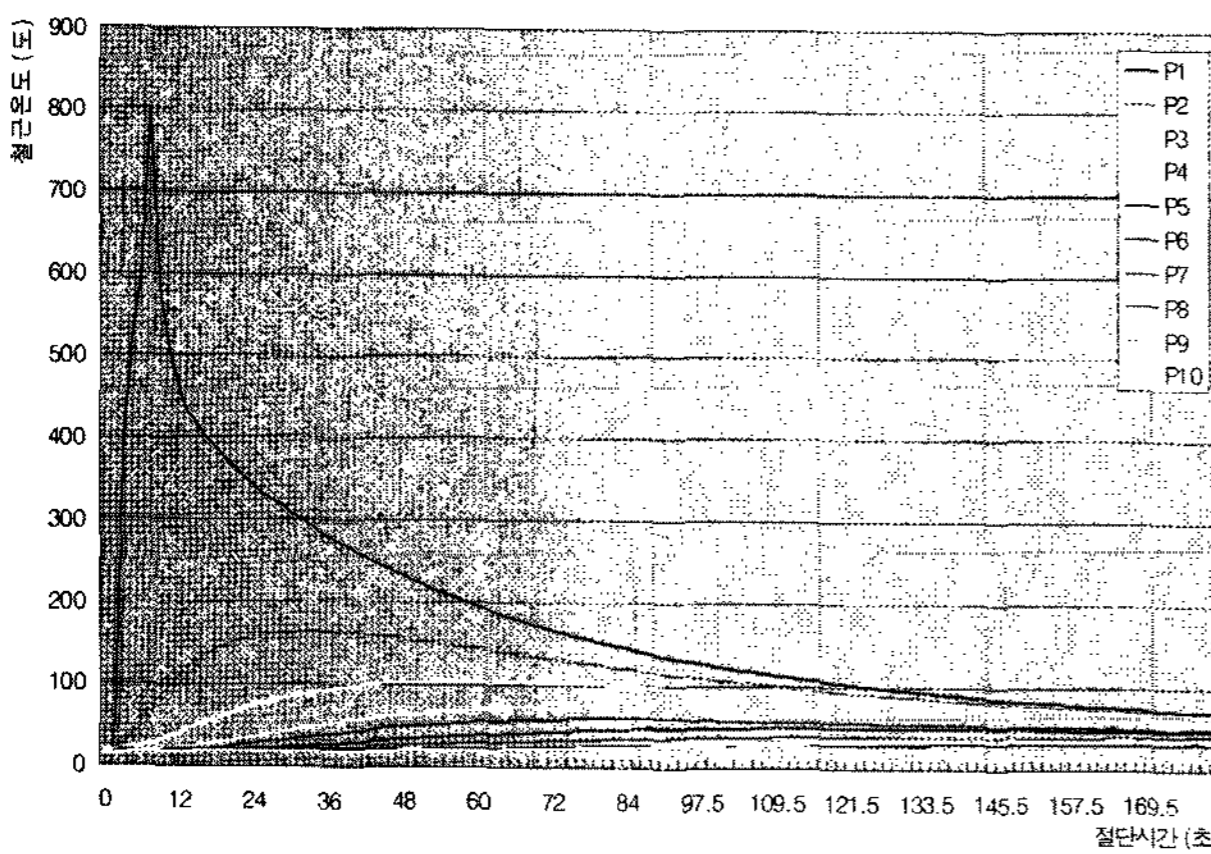


그림 4. 산소절단기에 의한 수열온도 분포(SD40, D10)

온도는 1지점(산형곡선)은 급격한 상승 및 하강곡선을 그리며, 최고수열온도가 684°C 및 798°C에 달하고있다. 그러나 2지점(두번째 곡선)부터는 수열온도는 높으나 그 경향은 전동커터기에 의한 절단시의 상황과 유사한 온도분포를 나타내고 있다. 또한 산소절단기를 사용할 경우 절단면에서 2cm이상의 부위부터는 200°C 미만으로 철근의 물성변화에 영향을 줄 수 있는 온도까지 상승하지 않는 것으로 나타났다.

### 3.3 철근굵기에 따른 최고수열온도

그림 5~6은 전동 절단기에 의한 지점 1,2에서의 최고 수

열온도를 철근 직경 및 항복강도별로 나타낸 것이다.

철근 절단면에서 1cm 이격된 지점1 에서의 수열온도는 SD 30인 경우 직경 D22까지는 직경이 굵을수록 수열온도가 높아지지만 그 이상의 직경에서는 낮아지는 경향을 보이고 있다. SD 30과 달리 SD 40의 경우는 철근직경 증가에 따른 수열온도의 상승현상이 나타나지 않았다. 이것은 SD 30과 달리 SD 40이 고장력강으로 인해 철근 절단할 때 작업자의 지압력이 증가되어 발생된 것으로 판단된다. 한편, 지점 1에서의 최고 수열온도는 철근직경에 따라 40°C~68°C로 나타났다.

2cm이격된 지점 2에서의 최고 수열온도는 지점 1과 같이 SD 30인 경우 D22까지 철근직경이 증가할수록 온도가 높아지지만 그 이상의 직경에서는 감소되는 현상이 나타났으며 SD 40에서는 D19까지 직경에 따른 최고수열온도가 거의 유사했으나 D22이상에서는 약간 증가되는 현상을 나타냈다. 지점 2에서의 직경에 따른 최고 수열온도는 약 30~55°C정도로 지점 1보다 약 23~33%정도 감소되었다.

그림 7~8은 산소 절단기에 의한 지점 1,2에서의 최고 수열온도를 철근 직경 및 항복강도별로 나타낸 것이다.

산소절단기로 절단시 지점 1에서의 최고수열온도는 전동절단기와 유사한 온도상승 곡선을 나타냈지만 수열온도는 매우 높아 SD 30인 경우 약 862°C(D19), SD 40인 경우 약 880°C

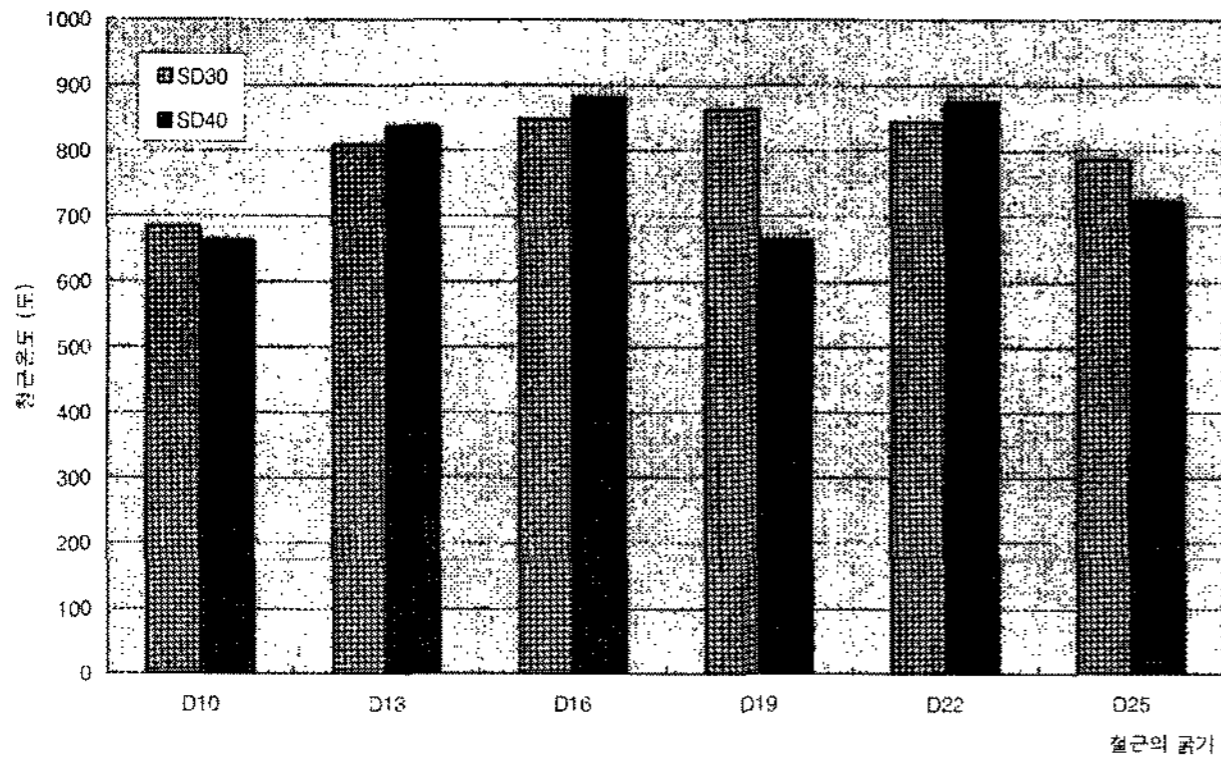


그림 7. 산소절단기에 의한 1지점의 최고수열온도

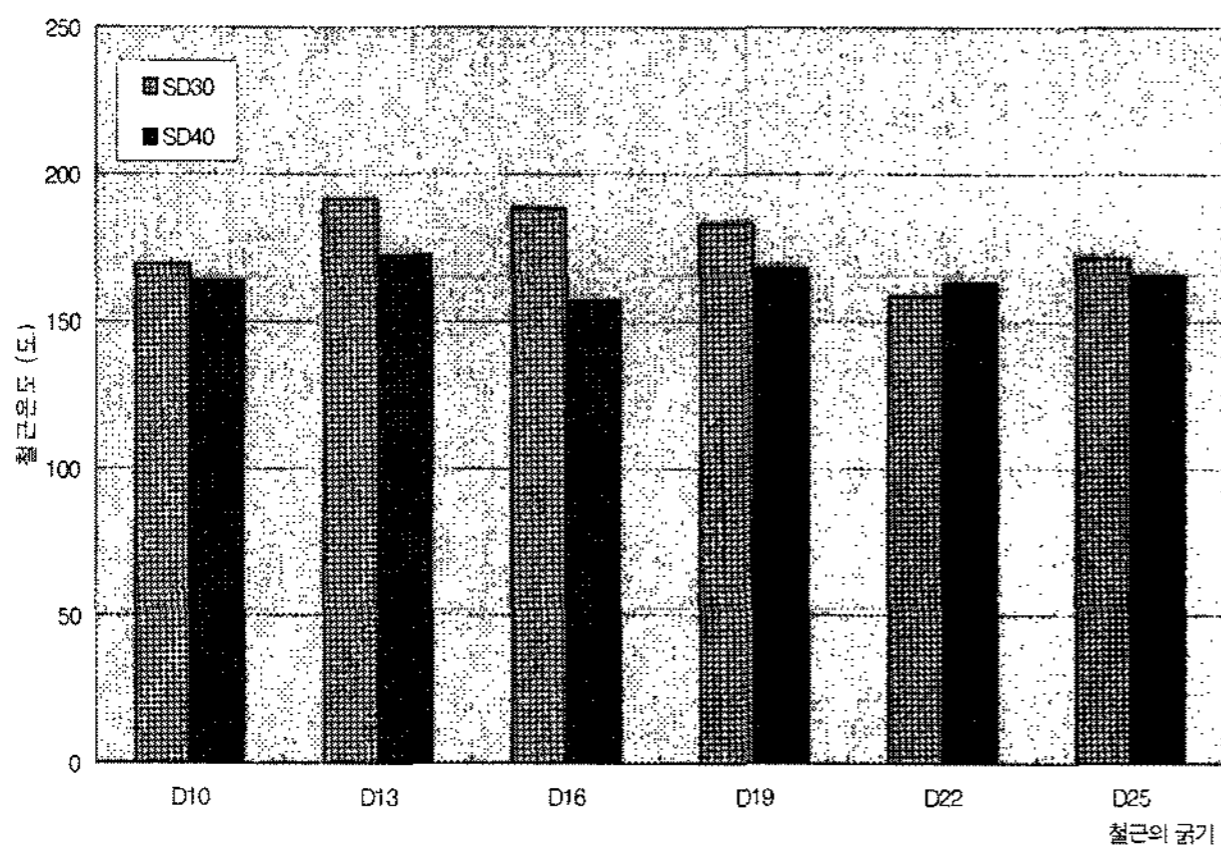


그림 8. 산소절단기에 의한 2지점의 최고수열온도

(D16)의 고온을 받는 것으로 나타났다. 특히 모든 직경에서 600°C이상의 고온을 받는 것을 나타냈다. 따라서 지점 1(철근 절단면에서 1cm이격)은 철근의 물성변화에 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다.<sup>4,5,6</sup>

그러나, 절단 지점 2에서의 수열온도(그림 6)는 모든 직경 및 항복강도와 상관없이 200°C이하로 나타났다. 이는 전동커터에 의한 열은 지속적인 장시간 마찰에 의해 지속적으로 전달되지만 산소절단기인 경우, 예열된 고온부는 용융되면서 철근에 가해지는 부위가 매우 적어지며, 가열시간도 감소되기 때문으로 판단된다.<sup>3</sup> 따라서 철근 절단면으로부터 2cm를 넘는 부위는 고온에 의한 철근의 물리적성질 변화가 없는 것으로 판단할 수 있다. 그러므로 이 범위를 안전지대로 삼아 절단부를 필요 철근길이보다 2cm이상 길게 하여 절단하면 산소절단기를 이용한 절단시에도 고온수열에 의한 철근의 물성변화로 역학적 불리함은 발생하지 않는 것으로 사료된다.<sup>4,5</sup> 이 결과는 산소절단기를 사용한 경우 “절단면에서 5cm 정도 떨어진 곳에서 약 850°C, 10cm떨어진 곳에서 약 650°C, 15cm정도에서 약 450°C로 나타났다”는 기존결과<sup>7</sup>와 매우 상이하다. 이러한 결과는 기존 결과의 철근 수열온도를 적외선 측정기로 측정함으로써 철근의 직접적인 온도측정보다는 절단용 가스불꽃의 온도가 측정된 것으로 판단된다.

그러나 본 논문은 개별 절단한 철근에 대한 연구결과 이므로 다발 절단 등에 의한 수열부위와 범위 등에 대한 지속적인 연구 검토가 필요한 것으로 판단된다.

## 4. 수열온도 시뮬레이션

### 4.1 시뮬레이션

#### 4.1.1 모사기 : FLUENT 5.6

#### 4.1.2 모사조건 :

- ① 철근 표면부의 경계면 자연대류에 의한 열전달 발생으로 가정
- ② 외기온도 : 300K(27°C)로 가정
- ③ 절단기불꽃온도 : 1,373(1,100°C)
- ④ 열전달율 : 0.1 W/m<sup>2</sup>C
- ⑤ 철근 내부 열전도 가정
- ⑥ 철근종류(SD 30, SD 40) 같은 것으로 가정

### 4.2 모사 방법

대상이 입체의 3차원 형상의 열역학적 동적모사인 관계로 그 모사를 위한 모델링과 프로그램의 수정 등이 불가하여 다음과 같이 단순화하여 모사하였다. 즉, 측정된 각 철근별 절단시간을 각각 3초에서 10초로 하여 정적모사로서 각 단계별 수열온도의 분포를 모사하였다.

### 4.3 모사 결과

산소절단기의 불꽃온도인 1,100°C로 가열한 상태의 온도 분포로 특징적인 예를 두 경우만 들어 나타낸 것으로 그림 9는 가열 1초 후의 수열온도분포를 나타낸 것이고, 그림 10은 철근의 중앙부위에서 절단완료시점인 3~5초인 것을 감안하여 5초 후의 온도 분포를 나타낸 것이다. 각 철근의 측정점 1과 2의 실험 및 모사결과로 얻어진 최고 수열온도를 표 3에 나타내었다.

## 5. 결 론

본 실험은 현장에서 산소-아세틸렌 절단기를 이용한 철근의 절단시 철근의 물리적 성질의 변화로 인한 구조적 불리함의 발생에 관한 것이다. 본 연구로 얻어진 결론은 다음과 같다.

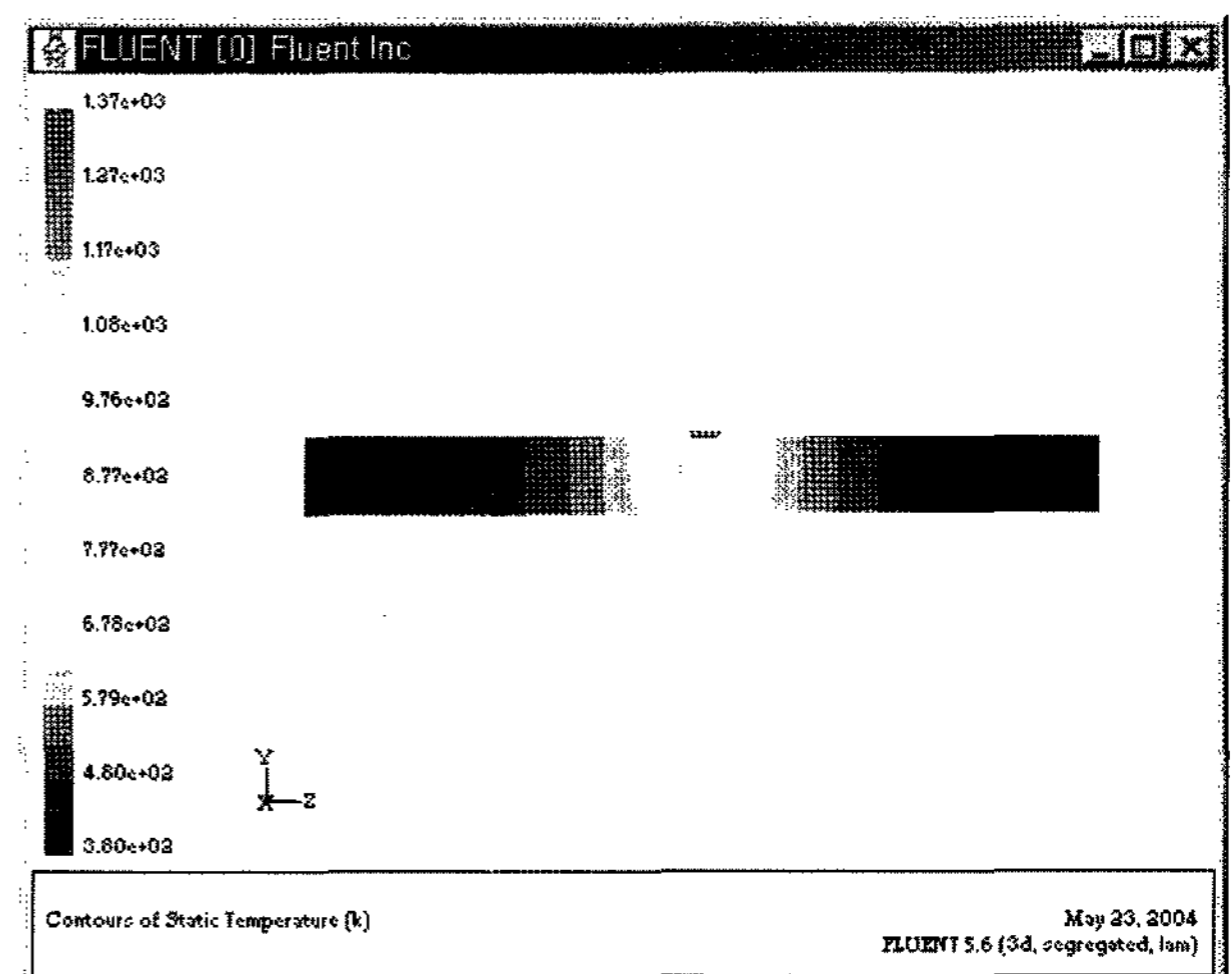


그림 9. D10철근의 수열온도분포

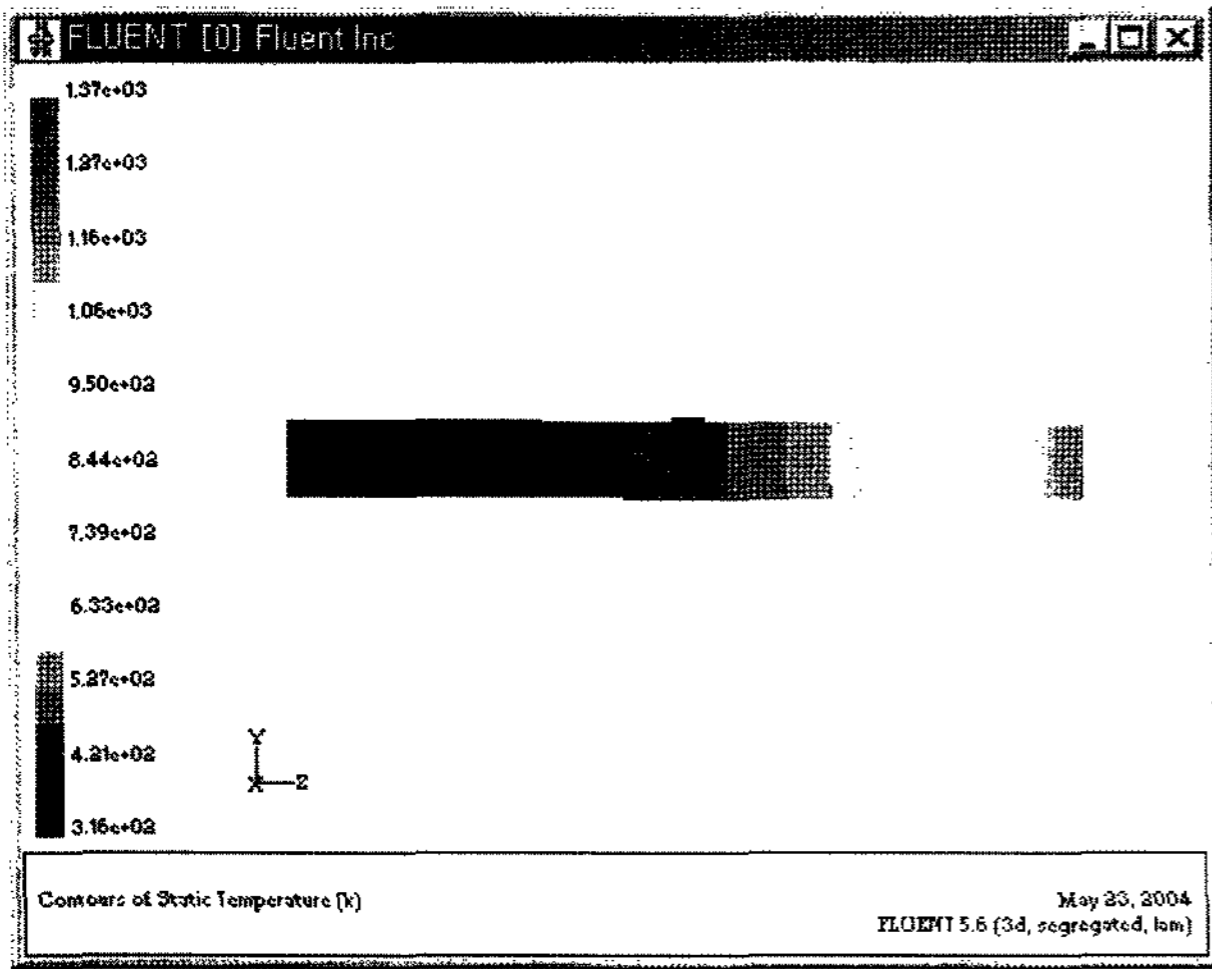


그림 10. D10철근의 절단완료시 수열온도 분포

표 3. 철근의 최고 수열온도

철근의 굵기	종류	측정점1 (절단면 1 cm)		측정점2 (절단면 2 cm)	
		실험결과	모사결과	실험결과	모사결과
D10	SD30	684	751	169	215
	SD40	799		163	
D13	SD30	808	818	191	222
	SD40	835		172	
D16	SD30	848	832	188	231
	SD40	880		157	
D19	SD30	862	843	183	240
	SD40	665		168	
D22	SD30	843	855	158	243
	SD40	875		163	
D25	SD30	786	845	171	232
	SD40	723		166	

(1) 전동커터기에 의한 절단시간보다 산소절단기에 의한 절단 시간이 짧으며, 산소절단기는 개별절단과 동시에 연속절단이 가능하므로 효율이 좋을 것으로 판단된다.

- (2) 전동커터에 의한 수열온도는 70°C를 넘지 않는 것으로 나타났으며, 2지점의 온도는 5~10°C정도가 하강된 65~60°C정도를 보이고 있다.
- (3) 산소절단기에 의한 철근의 수열온도는 절단면에서 1 cm 떨어진 곳에서 700°C~900°C에 이르고 있으나, 2지점(2 cm 떨어진 지점)에서는 급격히 온도가 떨어져 200°C(모사결과에서는 250°C)이하로 측정되었다.
- (4) 산소절단기에 의한 철근 절단시 철근의 수열온도 측정은 적외선측정기와 접촉식과는 큰 차이를 나타내고 있는 것으로 나타났다. 이는 적외선 측정기는 산소절단기의 퍼지는 불꽃의 온도를 측정한 것으로 실제 철근의 수열온도와는 다른 값을 나타낸 것으로 판단된다.
- (5) 산소절단기를 이용한 철근절단시에는 절단면에서 2~3 cm 정도의 부위에서는 700°C를 넘는 경우가 있어 청열취성이 있을 수 있다. 따라서, 절단부위의 청열취성의 우려를 고려할 경우에는 2~3 cm를 끝남기를 하면 산소절단기에 의한 절단법을 사용하여도 철근의 취성과 같은 물성변화의 위험은 없다고 사료된다.

### 참고문헌

강낙원, 김동조, 김형자, 김홍우, 이길우, 이병엽, 정해면 (1999) **금속재료**. 형설출판사.  
 김문일 (1998) **금속조직학**. 보문당.  
 김봉주, 조병후 (2000) 최적의 현장 철근절단 공법개발에 관한 연구 - 고온수열된 철근의 성질변화. 대한건축학회논문집, 대한건축학회, 제16권, 제10호, pp. 105-110.  
 박희선 (1985) **금속재료학**. 동명사.  
 양지수 외 2인 (1993) '93 건축구조분야 수시과제 연구보고서 1 편: 산소절단 및 가열된 철근의 열영향부에 대한 기계적 특성. 연구보고서, 양주택공사 주택연구소.  
 양훈영 외 1인 (1983) **금속재료학**. 문운당.  
 홍영환 (1996) **강의 열처리 실무**. 기전연구소.  
 日本土木學會 (平成3年, 1986) **コンクリト標準示方書-施工編**. 10章2節 鐵筋の加工の解説, pp. 95-96.

◎ 논문접수일 : 2007년 03월 09일  
 ◎ 심사의뢰일 : 2007년 05월 03일  
 ◎ 심사완료일 : 2008년 01월 22일