

# 가정용 촛불의 시간경과에 따른 온도 상승 측정

Measurement of temperature rise over time for commercially available night lights(tea lights)

방재설비부 연구원 곽지현

## 요약

나이트 라이트 촛불의 사용이 최근 수년간 증가되어 왔으며, 현재 많은 가정집에서 유행중이다. 그 인기의 이유 중 하나는, 침실과 거실이 잘 장식되어 나오는 텔레비전 제작 프로그램의 인기 상승을 포함하여 상대적으로 저렴하고 이용이 쉽기 때문이다. 본 연구는 주위 공기가 무풍일 때와 유속이 있을 때의 나이트 라이트 알루미늄 케이스의 온도 상승을 단일 촛불 심지와 이중 심지에 대해 조사한다. 보통 이중 심지의 경우 온도상승이 빨랐으며, 쉽게 200℃ 이상에 도달하였다.

## 1. 서론

촛불은 잉글랜드와 웨일즈에서 1997년 발생한 1748건의 화재의 발화원으로 이러한 사고의 87%는 가정집에서 발생한다. 이것은 촛불이 가정집과 대지의 중대한 화재 위험성을 제기한다는 사실을 시사한다. 나이트 라이트, 또는 티 라이트(그림1)는 일반적인 가정용 촛불이며 영국 내에서 널리 사용되고 있다. 그러한 촛불은 두께 0.2 mm의 금속 케이스 안에 원형의 파라핀 왁스 플러그(직경 37mm, 평균 15mm 높이)로 구성되어 있다. 어떤 경우에는 왁스가 색깔과 향을 내기 위한 부가물을 가지기도 한다. 이러한 초는 도움 없이 약 4시간 가량 연소하며 가정용으로

매우 인기가 있고, 종종 텔레비전 세트나 하이파이 오디오, 나무와 플라스틱 탁자, 욕조 또는 비슷한 플라스틱 재료 위에 직접 놓는다.

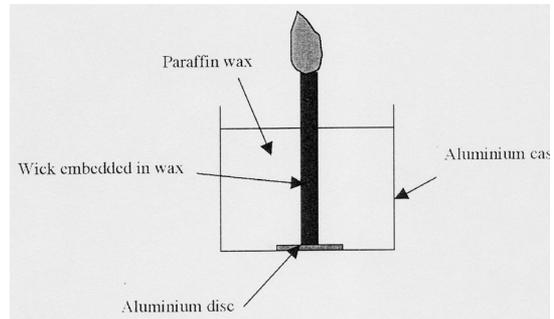


그림 1. 가정용 촛불세트의 일반적인 구성요소

이 촛불이 그러한 재료들을 녹이고 이에 따른 화재의 발생을 제공할 수 있는 잠재력을 가지고 있다고 오랫동안 의심되어져 왔지만 이 분야에 관련된 출간된 연구물은 거의 없다. 특정한 조건 하에서 나이트 라이트의 베이스(base)는 고온에 도달할 수 있고, 어떤 경우에는 왁스의 발화가 일어날 수 있다. 그러한 조건들은 다음을 포함한다.

- 가. 용기의 받침에 적절하게 붙어 있지 않는 심지나, 연소속도를 촉진시킬 수 있는 왁스에 있는 부가물들
- 다. 충분치 못한 통기를 가진 향기치료 단지 안에 사용하는 초

라. 이중 심지 삽입 효과, 여기서 사용된 도화선은 발화 후에도 초 안에 남겨진다  
이 이중심지 효과가 본 연구의 주제이다.

## 2. 실험

여섯 세트의 실험이 수행되었는데 나이트 라이트의 베이스에서 AD595 증폭기에 연결된 표준 K형 열전대를 이용하여 온도를 측정하였다. 이 열전대는 디지털 볼트미터에 차례대로 연결되어 LCD에 온도를 나타내었다. 공기의 유동은 연기 벽장 안의 흡입팬으로 발생되고, Solomat 열선 유속계(175MSS)를 사용하여 기록되었다.

실험 1 : 무풍 조건에서 초의 심지 점화

실험 2 : 공기유속 0.4 m/s에서 초의 심지 점화

실험 3 : 나무 도화선(44mm×2mm×2mm)을 사용하여 무풍 조건에서 초의 심지 점화. 소화된 도화선은 점화된 심지 옆의 왁스 위에 위치함

실험 4 : 공기유속 0.4 m/s에서 나무 도화선(44 mm×2mm×2 mm) 사용하여 초의 심지 점화. 소화된 도화선은 점화된 심지 옆의 왁스 위에 위치함

실험 5 : 종이 도화선(35mm×3mm×1mm)을 사용하여 무풍 조건에서 초의 심지 점화. 소화된 도화선은 점화된 심지 옆의 왁스 위에 위치함

실험 6 : 공기유속 0.4 m/s에서 종이 도화선(35 mm×3mm×1mm) 사용하여 초의 심지 점화. 소화된 도화선은 점화된 심지 옆의 왁스 위에 위치함

각 실험 세트에 대해 25회의 반복 시험이 수행되었다. 이 실험 세트의 각각의 데이터는  $\chi^2$  시험 방법을 이용해 평가되었는데, 시간에 대해 측정

된 온도 범위 전체를 나타내는 시험들 간의 통계적 차이를 결정하게 해주었다.

별도의 실험에서, 나무 도화선을 불타는 나이트 라이트에 도입하여 텔레비전 케이스의 위에 둔 상태로 그 효과를 관찰하였다.

## 3. 결과와 논의

각각의 실험 조건에 대한 25회의 반복된 결과에서 대단한 차이는 발생하지 않았다. 따라서 각 세트의 결과의 평균값을 사용하였다. 전체 경우의 76 %에서 일단 왁스가 점화되면 조작자에 의해 소화되거나 또는 왁스가 더 이상 연소할 수 없을 만큼 소모될 때까지 화염은 꾸준히 연소하였다. 남은 24 %의 경우는 모든 왁스가 소모되기 전에 화염이 저절로 꺼졌다. 무풍 조건에서 화염은 수직으로 일어나지만, 반면에 공기가 유동이 있을 때에 화염은 수직방향으로부터 구부러졌다.

### 3.1 무풍 조건 - 초 심지만 있는 경우

나이트 라이트의 베이스에서의 온도는 심지의 점화 후 처음 110분 간 꾸준히 증가하였고 그 후 52~63℃ 사이로 떨어졌다. 최고 온도는 67.7℃에 이르렀다. 모든 경우에서 왁스는 베이스의 온도가 50℃에 도달할 때까지 완전히 녹았다. (심지 점화 후 약 87분 후)

### 3.2 공기 유동 - 초 심지만 있는 경우

공기 유동이 있을 시 베이스 온도는 처음 40분 간 급격히 증가하였고, 연소가 멈추어 불이 저절로 꺼질 때까지 서서히 감소하였다. 최고 온도는 89℃에 이르렀고, 무풍 조건에서의 유사한 실험과 비교해볼 때 23℃ 증가했다. 초 베이스의 온도는 모든 경우에서 29분 안에 52℃에 도달하였으며 왁스는 완전히 녹았다.

### 3.3 무풍 조건 - 초 심지와 나무 도화선

이 경우에는 온도 증가가 훨씬 급격하여 왁스가 평균온도 59°C에서 25분 안에 녹았다. 57분 후 녹은 왁스의 표면에서 화염과 함께 점화가 일어났다. 이것은 25회의 반복 실험을 통해 평균 157°C에서 발생하였다. 이 조건에서 초 베이스가 도달한 최고 온도는 318°C였고, 시험의 63 %가 최종온도 200°C 이상을 나타내었다. 여섯 번의 경우(24 %)는 나무 도화선이 왁스가 점화하기 전에 꺼졌다.

### 3.4 공기 유동 - 초 심지와 나무 도화선

이 경우에는 처음 20분 간 온도 증가가 무풍 조건 시의 유사한 실험보다 컸다. 왁스는 평균온도 56°C에서 14분 안에 녹았고, 녹은 왁스는 평균온도 182°C에서 24분 안에 점화하였다. 이 조건에서 초 베이스가 도달한 최고온도는 324°C이며, 83 %의 경우가 60분 안에 최종온도 200°C 이상에 도달하였다.

### 3.5 무풍 조건 - 초 심지와 종이 도화선

왁스는 평균온도 60°C에서 25분 안에 녹았으며 녹은 왁스는 62분 후 점화하였다. 이것은 25회의 반복 실험을 통해 평균 157°C에서 발생하였다. 초 베이스의 최고온도는 287°C였으며, 25회 실험 중 80 %가 최종 온도 200°C 이상을 나타내었다. 한 경우에서 왁스가 점화하기 전에 종이 도화선이 꺼졌다.

### 3.6 공기 유동 - 이중 종이 심지

처음 50분간 온도의 증가는 무풍 조건에서의 유사한 실험보다 컸다. 왁스는 평균온도 57°C에서 14분 안에 녹았다. 녹은 왁스의 점화가 37분 후에 평균온도 126°C에서 일어났다. 이 조건에서 초 베이스에 의해 도달한 최고온도는 302°C이며, 실험의 22 %가 100분 안에 최종온도 200

°C 이상을 나타내었다. 이 결과들을 표1에 요약해 나타낸다.

표 1. 실험결과 요약 - 각 실험결과는 25회 반복실험 평균치

Experiment	Temperature of casing (°C) and time of wax melting (min)	Temperature of casing (°C) and time of ignition of wax (min)	Maximum temperature reached (°C)	Duration of burning (min)
Still air, candle wick only	50 (87)	N/A	67.7	150
Air flow, candle wick only	52 (29)	N/A	89	150
Still air, candle wick plus wooden match	59 (25)	157 (57)	318	100
Air flow, candle wick plus wooden match	56 (14)	182 (24)	324	65
Still air, candle wick plus paper match	60 (25)	157 (62)	287	95
Air flow, candle wick plus paper match	57 (14)	126 (37)	302	100

### 3.7 베이스 온도 상승에 대한 공기 조건의 비교

명백히 나타났듯이 공기 유속에 관해 각 경우에서 최고온도에 도달하는 속도 간에는 차이가 있다. 단일 화염 초에 대해서 온도 분포는 다소 같은 경향을 따른다. 이중 종이 심지 초는 공기 유동이 있을 때가 무풍 조건에 비해 더 불규칙적으로 거동하며 온도에 있어 전체적인 감소를 보였다.

이중 나무 심지 초의 경우 상당한 차이를 보이는데( $p > 0.01$ ), 공기 유동이 있을 때 한 시간 안에 300°C 이상의 온도에 착실히 도달하며, 어떤 경우에는 점화 후 35분 안에 200°C 이상에 도달한다. 공기 유동이 있을 시 이중 종이 심지 초와 이중 나무 심지 초 사이의 거동에 있어 또한 상당한 차이( $p > 0.001$ )가 있는데 무풍 조건에서는 그

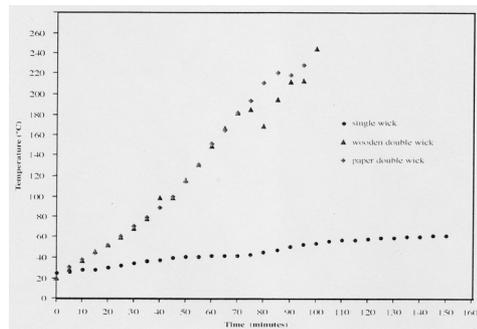


그림2. 무풍 조건에서의 온도변화

렇지 않다. 이 결과들은 그림2와 3에 나타나 있다.

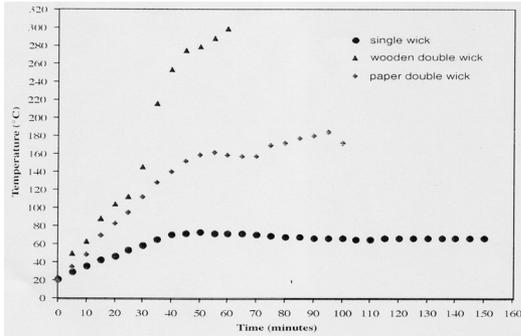


그림3. 공기 유동이 있을 때의 온도변화

### 3.8 나이트 라이트가 표면에 미치는 영향

단일 그리고 이중 심지 나이트 라이트가 여러 가지 텔레비전 세트의 강체 플라스틱 케이스의 위에 놓여져 점화되었다. 처음 케이스가 녹아 초가 떨어지는 온도와 시간이 표2에 나타나 있다. 그림 4와 5는 실험 결과를 나타낸다.

표 2. 촛불을 TV 장식장 위에 놓았을 때의 실험결과

	Time and temperature at which casing began to melt	Time and temperature at base of candle when candle fell through casing
Television set 1		
Existing wick	N/A	N/A
Wooden double wick	214 C (35 min)	226 C (37 min)
Paper double wick	112 C (43 min)	155 C (47 min)
Television set 2		
Existing wick	N/A	N/A
Wooden double wick	248 C (40 min)	160 C (51 min)
Paper double wick	153 C (46 min)	160 C (51 min)

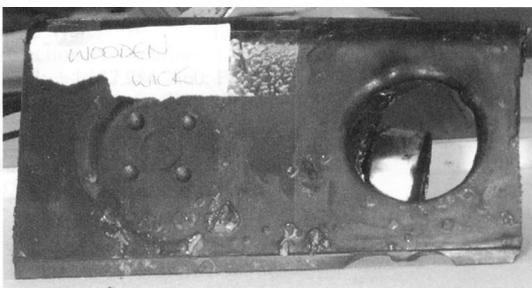


그림4. TV 장식장 1 (37분 경과)

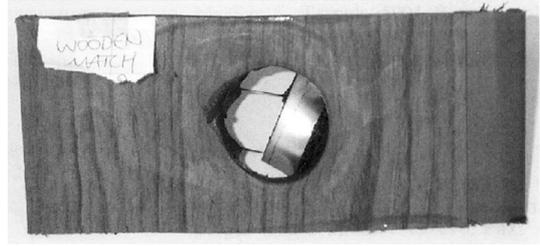


그림5. TV 장식장 2 (44분 경과)

## 4. 결론

통상의 조건에서 나이트 라이트의 금속 베이스는 60°C의 온도에 쉽게 도달하고 이러한 온도는 30분 이상 유지될 수 있다. 두 번째 심지가 이 초에 삽입될 때(점화된 초 속으로 도화선을 던져서) 왁스의 점화가 겨우 30분만에 일어나고 초 베이스의 온도는 1시간 안에 300°C 이상에 이른다. 이 온도는 초가 놓여질 수 있는 여러 플라스틱 같은 재료의 발화를 쉽게 일으킬 것이다. 실제로 초 심지와 나무 도화선의 경우, 최신 텔레비전 세트의 케이스는 겨우 35분만에 깨질 수 있다. 이 효과는 공기 유동이 있을 때 촉진된다.

대부분(전부는 아님)의 나이트 라이트 꾸러미는 소비자에게 사용 시 주의사항을 경고하고 있지만, 일단 불을 켜었을 때 다른 물체에 초를 두는 것에 관해서는 아무런 경고가 없다. 그러한 행위는 중대한 화재 안전 위험성의 일례이다. **FILK**

- 출처 : 『Fire Safety Journal 37』(2002)