

파스콘 및 콘크리트 트로프의 열방출 특성에 관한 연구 A Study on the Characteristics of Heat Release for Pascon and Concrete Trough

김현우[†] · 이창우* · 윤명오** · 이인섭*** · 박인근****

Hyun-Woo Kim[†] · Chang-Woo Lee* · Myung-O Yoon** · In-Sup Lee*** ·
In-Keun Park****

경민대학 소방학과, *서울시립대학교 도시방재안전연구소
서울시립대학교 건축도시조경학부, * (주)코디텍 엔지니어링, ****아이비에스(주)
(2003. 2. 26. 접수/2003. 5. 27. 채택)

요 약

본 논문은 파스콘 또는 콘크리트 재질의 트로프에 설치되는 전선에 대한 열의 영향과 이들 트로프에 대한 열 방출 정도에 대한 차이점을 이론상으로 접근하고 평가하고자 하였으며, 실제 상황과 근접한 조건으로 컴퓨터 시뮬레이션을 실시함으로써 두 트로프 내의 전선에 대한 열의 영향과 두 트로프의 열 발산 정도를 추정하고 그에 대한 타당성을 입증하고자 하였다. 이에 대한 연구 결과 파스콘의 고유 열전도 값과 콘크리트의 고유 열전도 값을 단순 비교하면 콘크리트 제품의 열 방출량이 우수한 것으로 판단할 수 있으나, 실제 설치되는 두 트로프의 실제 두께와 면적 및 세부 구조를 고려하여 연산 및 시뮬레이션을 실시해 본 결과 파스콘 트로프가 콘크리트 트로프 보다 다소 우위에 있는 것으로 평가되었다.

ABSTRACT

Thermal effects and characteristics of heat release for electrical wire installed in pascon and concrete trough have been theoretically approached and studied in consideration of the structure of products. The points of difference between two troughs have been evaluated by theoretical approach and estimated by computer simulation in similar condition of institution environment. As a result, the average of the intrinsic thermal conductivity of concrete trough is superiority to pascon trough considering only for characteristic of materials. But when considering for institution environment(thickness, area and trough structure etc) as the results of the calculation and computer simulation using FLUENT, the degree of heat release for pascon trough is of advantage to concrete trough.

Keywords : Pascon trough, Concrete trough, Intrinsic thermal conductivity, Heat release, Simulation, FLUENT

1. 서 론

오늘날 급속한 산업사회의 발전과 생활수준의 향상으로 전기 에너지의 증가 및 차량용 전기 에너지의 사용 범위가 증가 추세에 있다. 발전소에서 생산된 전기 에너지는 도심까지 송전되어 각 부하로 배전된다. 전기 에너지를 소비하는 대형 전기 부하는 에너지를 받기 위하여 전선을 통하여 연결되고 이 전선을 따라 대전

력의 전기에너지가 이동된다. 이때 실질적인 전기에너지인 전류의 양은 전선의 단면적을 결정하는데 중요한 요소가 된다. 도선에 흐르는 전류는 시간당 이동하는 전하의 양에 의해 정해진다. 이때 도선을 이동하는 전하는 저항체와 마찰을 일으키게 되고 이에 따라 도선에는 저항 열이 발생되게 된다.¹⁾ 일반적으로 열의 발생원이 되는 것은 화학열, 전기열, 기계열 및 원자력열 등으로 구분되며 이중 전하가 이동할 때 발생하는 열은 전기적인 열로서 저항열 또는 주열열이라고 한다. 전선에서 발생하는 열은 전선이 가지고 있는 고유의

[†] E-mail: pfhwkim@hanmail.net

저항을 증가시킬 뿐 아니라 장시간 열에 노출될 경우 전선 피복의 절연상태를 감소시키는 등 여러 가지 문제점을 야기시키게 된다.²⁾ 반도체 및 일부의 금속 등은 저항이 감소하는 경우도 있으나 일반적으로 전선에 사용되는 동선의 경우는 고유의 저항을 및 온도계수에 따라 그 저항 값이 온도 상승에 따라 증가하게 된다.³⁾ 도선의 저항이 증가하면 도체에 흐르는 전류의 양이 감소하게 되고 이때 전류를 일정하게 유지하기 위해서는 전압의 크기를 올려주거나 전선의 길이를 줄이는 방법이 있으나, 거리가 일정하고 정전압원을 이용하는 현재 상태에서는 이 두 가지가 모두 불가능하므로 결국 도체의 단면적을 향상시키는 방법으로 전류를 일정하게 할 수 있다. 그러나 도체 단면적의 증가는 전선의 가격 상승을 의미하며 경제적인 문제점을 야기시키게 된다. 따라서 전선을 포함하고 있는 트로프 등의 관로는 전선에서 발생하는 열을 외부로 양호하게 발산할 수 있는 구조가 바람직하다 하겠다.

현재 국철, 지하철 및 고속철도에 설치 운영하고 있는 트로프는 일반 콘크리트와 파스콘 재질의 레진콘크리트가 있다. 레진콘크리트는 일반 콘크리트에 비해 압축강도 및 난연성에서 다소 떨어지나, 인장강도 및 휨강도가 크고 산업폐기물 활용이 가능하여 환경성이 좋으며 설치공간이 작고 중량이 가벼워 시공이 용이하며 경제적인 이점이 있어 최근 그 사용이 증가하고 있다. 각 트로프의 고유열전도도는 밝혀져 있으나, 실제 트로프의 설치상황에서의 열 방출 정도는 연구되어진 바 없다.

따라서, 본 연구에서는 파스콘(Pascon)재질과 콘크리트(Concrete) 재질의 트로프에 설치되는 전선의 열에 대한 영향과 두 가지의 트로프에 대한 열 발산도를 실제 트로프의 구조를 고려하여 이들에 대한 차이점을 이론상으로 접근하고 평가하고자 하며 실제 트로프 설치상황과 근접한 조건으로 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하여 두 트로프 간의 열 발산 정도를 추정하여 연산 결과에 대한 타당성을 입증하고자 한다.

2. 연구방법 및 대상

지하철의 전력선으로 사용되는 전선을 대상으로 통전시 발생할 수 있는 열량 및 트로프 내의 전선에서 발생하는 열의 방출량을 수식을 이용하여 계산함으로써 파스콘 및 콘크리트의 트로프 재질의 영향을 살펴 보았다. 또한 실제 파스콘 및 콘크리트 트로프 설치상황과 근접한 조건으로 각 트로프 내의 열 발산 정도를 분석하기 위하여 “FLUENT 5.0” 시뮬레이션 Tool을 이

용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다. 이로부터 두 트로프 간의 열 발산 정도를 추정하여 연산 결과에 대한 타당성을 확인하였고, 각 트로프가 전선에서 발생하는 열을 효과적으로 방출할 수 있는지를 평가하였다.

2.1 시뮬레이션 툴(Simulation Tool)

FLUENT 5.0은 비 압축성 영역에서 극 초음속 영역 전반에 걸친 모든 영역에 적용할 수 있는 범용 CFD solver로서 향상된 수렴성을 갖는 multigrid method를 이용한 다양한 solver option들을 이용함으로써 광범위한 속도영역의 유동장 해석에 있어 최적의 효율과 정확성을 갖는 solver를 제공한다.

FLUENT 5.0에 들어있는 풍부한 물리적 모델은 난류유동, 비 정상상태 해석, 다양한 열 전달 해석, 화학 반응 유동, 다상 유동 등등 매우 다양한 물리적 현상의 해석을 가능케 하고 있다. 따라서, 건물 내/주위 유동해석(대공간, 기류해석 등), 공간내 환기/연소/화재시뮬레이션, Plume and effluent dispersion 분야에서 높은 신뢰도를 가지고 있으며, 범용적으로 사용되는 Tool이다.

일반적으로 field 모델에서 나타나는 미분 방정식은 elliptic 형태이다. 그리고 비정상상태 및 2차원 혹은 3차원 흐름이 된다. 이의 수치적 해법은 유한차분법(Finite Difference)을 사용하며, 이는 기본적으로 Taylor series를 사용하여 미분방정식들을 차분형태(Difference form)로 전환하여 해를 구하는 방식이다.

표 1. 시뮬레이션 조건

| Software | | FLUENT 5.0 | |
|-----------|------|--|-------------------------|
| Grid 수 | | 20,000개 | |
| Time Step | | 0.15 sec | |
| 기상조건 | | -바람에 의한 효과는 무시 -온도차에 따라 열전달 속도가 달라지므로 이를 외부온도 조건으로서 고려 | |
| 물리적 특성 | 콘크리트 | 밀도 | 2,270 kg/m ³ |
| | | 비열 | 0.21 kcal/kg · °C |
| | 파스콘 | 밀도 | 1,920 kg/m ³ |
| | | 비열 | 0.24 kcal/kg · °C |
| 기타 | | 공간에 양단은 단열로 처리(횡방향은 무한히 긴 트로프로 연결되어 있으므로 횡 방향으로의 열 전달은 무시하였다.) | |
| 도출결과 | | 공간구조 및 재질에 따른 열 전달계수에 따른 대류, 복사, 전도 차이를 이용한 열 방출 분포 | |

그러나 격자점 간의 단순한 Taylor series의 사용보다는 격자점 사이의 제어체적(Control volume)을 구성하여 사용하는 방식이 많이 쓰이고 있다. 이는 물리적으로 제어체적 내에서의 보존법칙을 만족시킬 수 있기 때문이다. 따라서, 본 시뮬레이션에서는 유한제어체적을 이용한 방식을 적용하였다. 각 트로프의 시뮬레이션 조건은 다음의 표 1과 같다.

2.2 시뮬레이션 대상의 제원

시뮬레이션에 사용된 파스콘 및 콘크리트 트로프의 제원은 그림 1에 나타내었으며, 치수 및 사양은 표 2와 3에 나타내었다.

시뮬레이션을 위한 파스콘 케이블 트로프의 밑면에는 Ø10×50mm의 구멍이 2개소 있으며 구조체의 양단을 일반적으로 연속적인 구조로 되어있으며, 본 시뮬레이션 양단의 간격을 1m로 제한하여 단열로 보았다. 파스콘 재질에 사용된 고유 열전도도는 $K=0.36 \text{ W/m} \cdot \text{k}$ 이며,⁴⁾ 열원의 위치는 전력케이블이 위치한 공간 중심부 바닥에 위치하였다. 발생열원에 온도는 현장에 설치되는 22.9 kV 전력케이블의 도체 온도는 통전시 발생할 수 있는 최대온도로 95°C를 산정하였다. 한편, 콘크리트 케이블 트로프는 지면과 2~3 cm 정도 떨어져 시공되어 있으며, 콘크리트 재질에 사용된 고유 열전도

도는 $K=0.8\sim 1.4 \text{ W/m} \cdot \text{k}$ 범위를 고려^{5,6)}하였으며 다른 조건은 파스콘 트로프의 조건과 동일하게 설정하였다.

3. 이론적 배경

3.1 주위온도, 저항 및 열량과의 관계

도체는 일반적으로 주위 온도가 증가하고 열의 발산이 없이 도체에 다시 축적될 경우 도체의 고유 저항이 증가하게 된다. 구리 등으로 이루어진 전선의 경우 T°C에서의 고유 저항 값(R_T)은 다음 식 (1)과 같이 계산된다.⁷⁾

$$R_T = R_{20} [1 + \alpha_{20}(t_T - t_{20})] [\Omega] \tag{1}$$

여기서, R_{20} : 0.0568[Ω/km] (20°C에서의 저항 값)

α_{20} : 0.00393을 적용

주위온도 변화에 따른 저항 값 변화로 인해 전선에서 발생하는 전력(P_T)과 열량(Q_T) 또한 변화하게 되는데, 이들 값은 각각 다음 식으로 표현할 수 있다.⁷⁾

$$P_T = 3I^2 R_T [W] \tag{2}$$

$$Q_T = 0.24 P_T \cdot t [\text{cal}] \tag{3}$$

위의 세 식을 이용하여 온도와 전력 그리고 열량에 대한 관계를 알아볼 수 있으며, 주변의 온도 변화에 따라 전선에서의 전류 변화 및 전력의 변화를 알아볼 수 있다. 또한 이때 발생하는 열량을 산출할 수 있는 근거가 될 수 있다.

3.2 주위온도, 저항 및 전류변화량과의 관계

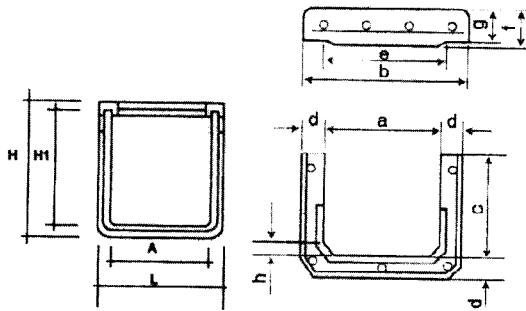
전선이 설치된 장소의 주변 온도가 변화할 경우 그 변화에 따른 전선 자체 저항 값은 다시 변화하게 된다. 이러한 연속된 변화로 인해 전선 내의 전류량 또한 변화하게 된다. 3상 22.9[kV]급 선로에 부하용량이 12,000[kVA]라 하면, 이때 선로에 흐르는 전류는 약 302.5[A]가 되며, 한 상의 부하임피던스(Z)는 43.71[Ω]이 된다. 결국 온도 증가에 따른 전류변화량(ΔI_T)은 전체 임피던스에 전선 자체 저항변화율을 감안하여 계산하면 다음의 식으로 표현될 수 있다.⁷⁾

$$\Delta I_T = (V_P / (Z + (R_T - R_{20}))) - (V_P / Z) \tag{4}$$

여기서, V_P : 상전압

Z : 한 상의 부하임피던스[Ω]

따라서 식 (4)를 이용하여 온도변화에 따른 저항 변화량과 전류변화량을 연산할 수 있으며 전류를 일정하게 유지하기 위해서는 전선이 설치된 주변의 온도를



(a) 파스콘 트로프 (TU250S) (b) 콘크리트 트로프 (KSF4011)

그림 1. 파스콘 및 콘크리트 트로프의 제원.

표 2. 파스콘 트로프 치수 및 사양

| 호칭 | A | H | H1 | L |
|--------|-----|-----|-----|-----|
| TU250S | 250 | 259 | 178 | 294 |

표 3. 콘크리트 케이블 트로프 치수 및 사양

| 호칭 | a | b | c | d | e | f | g | h |
|---------|-----|-----|-----|----|-----|----|----|----|
| KSF4011 | 250 | 330 | 170 | 40 | 240 | 60 | 50 | 25 |

변화시키며 전류량의 변화를 파악하고 주변 열의 방출 등 그에 대한 적절한 대책을 수립하여야 할 것이다.

3.3 주위온도, 전류변화량 및 전선 굵기와의 관계

일반적으로 전력계통에서 전력을 송전할 경우 전력의 손실을 최소화하며 전력을 송전하는 것이 전력 송전을 위한 기본 원칙이라 할 수 있을 것이다. 이때 전선은 이러한 전력의 송전과정에 있어서 가장 중요한 요소 중 하나이며, 여러 가지 측면에서 손실을 최소화할 수 있는 최적의 전선 굵기 산정은 매우 중요한 일이라 할 수 있다. 전선 주위의 온도가 변화하게 되면, 전선의 저항 값 변화로 인해 전력전송에 영향을 미치게 된다. 이러한 관계를 IEC 949-1988에 따른 케이블의 단시간 허용전류 식을 이용하면 아래 식과 같이 주위온도 변화에 따른 케이블의 최소 굵기를 산정할 수 있다.⁸⁾

$$I = \frac{K \cdot S \sqrt{\ln \left[\frac{\beta + T_{s2}}{\beta + T_{s1}} \right]}}{\sqrt{t}} \tag{5}$$

여기서, I : 단시간 허용전류[A]
 S : 도체단면적[m²]
 β : 도체의 저항온도계수의 역수[°C]
 T_{s1} : 단락전의 도체온도[°C]
 T_{s2} : 단락시의 최고허용온도[°C]
 t : 단락전류지속시간[sec]
 K : 도체에 따른 상수

도체에 따른 상수, K는 다음 식으로 계산한다.

$$K = \sqrt{\frac{\sigma_c(\beta + 20) \cdot 10^{-12}}{\rho_{20}}} \tag{6}$$

여기서, σ_c : 20°C에서 도체의 체적열용량[J/K · m³]
 ρ₂₀ : 20°C에서 도체의 저항률[Ω · m]

식 (6)을 이용하여 전선 주변의 온도변화에 따른 저항의 변화에 대처할 수 있는 전선의 굵기를 구할 수 있게 되며 이에 대한 온도와 전선 굵기 간의 상호 관계를 유추해 볼 수 있다.

3.4 트로프의 열 방출량

트로프의 재질은 도체에서 발생하는 열이 외부로 발산되는 정도에 직접적인 영향을 미치게 된다. 각 트로프의 열전도량은 다음 식 (7)에 의해 산출할 수 있다.⁷⁾

$$Q_p = \lambda \frac{t_2 - t_1}{d} A \cdot T \tag{7}$$

여기서, λ : 재질의 고유 열전도도[kcal/m · h · °C]
 d : 매질의 두께[m]
 A : 열이 발산되는 면적[m²]
 T : 시간[h]
 t₂ - t₁ : 온도 변화[°C]

4. 결과 및 고찰

4.1 수식에 의한 이론적인 각 트로프 내에서의 열 방출 특성

4.1.1 전선의 열 발생량

전선에서 발생하는 열량을 계산하기 위하여 표 4의 조건을 이용하였다.

피상전력에 의해 전선에 흐르는 전류는 다음과 같으며, 이는 3상에 흐르는 전류의 크기이다.

$$I = \frac{12,000[KVA]}{22.9[KV]} = 524[A]$$

위의 조건에 따라 도선에 흐르는 평균 전류는 아래 식 (8)에 의해 구해질 수 있으며, 1상에 흐르는 전류의 크기는 다음과 같다.

$$I_p = \frac{524}{\sqrt{3}} = 302.5[A] \tag{8}$$

따라서 트로프 내 22.9 kV, 352 mm² 전선의 3상 3선에서 순수한 도체의 고유저항에 의해 소비되는 총 전력[kW]과 1시간당 1 km에서 발생하는 열량 Q[kcal]를 식 (2),(3)에 의해 구하면 표 5와 같다.

전선에 흐르는 평균 전류의 통전시 단위 시간당 전선의 길이 1m에 대한 전선 발열량을 환산하여 계산하면 발생 열량은 약 13.4 kcal가 된다. 이 열량은 밀폐된 단위 체적 공간에서의 온도를 1시간에 20°C에서 약 0.043°C 상승시킬 수 있는 열량이다. 본 연구에서 고려하고 있는 트로프의 내부공간(약 0.045 m³)에 대해

표 4. 전선의 종류 및 전류량

| 트로프 | 전 선 | 피상전력 | 최대전력 |
|-------------------|--|-----------------|-----------------|
| T250B/ KSF4011 | 22.9[kV] FR-CNCO-W 1C/ 325[mm ²]×3 | 12,000 [kVA] | 20,000 [kVA] |

표 5. 고유저항에 의한 총소비전력 및 발생열량

| 전 선 | 총소비전력, P[kW] | 발생열량, Q[kcal] |
|---|-----------------|------------------|
| 22.9 kV, 352 mm ² 전선의 3상 3선 | 15.6 | 13,478.4 |

서는 약 0.95°C가 상승되는 것이다.

그러나 위의 결과는 일반적인 상온(약 20°C)에 대하여 밀폐된 공간이라고 가정했을 경우를 연산한 것으로 주위 온도 변화 및 트로프의 구조에 따라 결과가 변하게 된다. 따라서 이러한 변수를 고려한 트로프의 열 발산도 및 열저항 등에 대한 계산 결과를 이용하여 트로프 내부 공간에 대한 온도 분포의 정확한 예측이 필요하다.

4.1.2 도체의 온도변화에 따른 전선의 발열량 변화

트로프 내의 전선 저항의 영향 및 온도상승 정도에 대하여 20°C를 기준으로 하여 30°C와 60°C로 증가되었을 경우를 가상하여 전선 자체의 고유저항은 식 (1)에 의해 계산하였으며, 온도 상승분에 해당하는 전력 소비의 증가 및 발생열량은 식 (2),(3)으로 계산하여 표 5에 나타내었다. 표 6에서 알 수 있는 바와 같이 도체의 온도가 상온에서 30°C로 10°C 상승했을 경우 도체의 고유 저항은 1km 당 약 0.0022Ω이 상승하며, 22.9 kV의 전선에 302.5A의 전류가 흐를 때 1m의 전선에서 발생하는 전선의 발열량은 약 0.52 kcal가 된다. 또한, 온도가 20°C에서 60°C로 증가했을 경우 전선 도체의 고유 저항 변화는 약 0.0092Ω/km이며 전선의 발열량은 약 2.2 kcal가 된다. 위의 결과로 볼 때 전선에서 발생하는 발열량은 온도의 증가에 비례하여 증가하는 것을 확인하였으나, 발생된 열량이 외부의 공간으로 발산되었을 경우는 발생 열량이 모두 도체에 축적되지 않으므로 발열량 모두 도체의 온도 상승에 영향을 주지는 않는다.

한편, 식 (1),(2) 및 (3)에 의해 온도, 저항 및 열량에 대한 관계를 온도변화 20°C에서 120°C까지 변화할 경우의 조건하에서 그림 2와 같은 관계곡선을 얻을 수 있다. 그림에서와 같이 전선의 주위 온도가 서서히 증가함에 따라 도체의 고유 저항 값이 비례적으로 증가하며, 이로 인해 전선자체의 열량 또한 증가함을 볼 수 있다. 이때의 열량은 부하 저항을 무시하고 순수하게 도체 고유의 저항에 의해서 발생된 열에 대하여 고려한 것이다.

4.1.3 온도변화에 대한 전선의 전류 변화

도체의 전류 변화를 확인하기 위하여 주변 온도가

표 6. 온도상승에 따른 전선의 저항, 소비전력 및 발생열량의 변화

| 온도변화 | 저항, R[Ω/km] | 소비전력, P[W] | 발생열량, Q[kcal] |
|---------|-------------|------------|---------------|
| 10°C 상승 | 0.059 | 604 | 522 |
| 40°C 상승 | 0.066 | 2,526 | 2,186 |

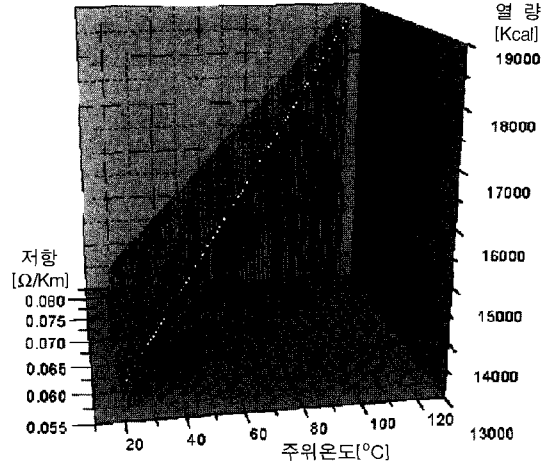


그림 2. 주위온도, 저항 및 열량과의 관계곡선.

표 7. 온도변화에 따른 전류감소분

| 온도변화 | 전류감소분, I _Δ [A] | 감소율[%] |
|---------|---------------------------|--------|
| 10°C 상승 | -0.015 | 3.7 |
| 40°C 상승 | -0.063 | 15.5 |

상승했을 경우 전류의 감소분은 식 (4)로 계산하여 표 7에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 전선의 주변 온도 20°C일 때와 30°C일 때의 전류 변화율은 온도 상승에 따라 약 3.7% 정도가 감소하였다. 또한 주변 온도가 60°C로 증가하였을 때의 전류 변화율은 -0.063A이며, 감소율은 약 15.5%이다. 이렇게 계산된 전류 감소량은 도체 1km에 대한 양으로서 본 연구에서 적용할 시뮬레이션을 위한 단위 길이에 대하여는 그에 맞게 환산하여 적용하여야 할 것이다. 온도 증가에 따른 이러한 전류 감소는 각 전선에 적용되는 전류 감소계수를 적용하여 전선의 단면적을 적용시킴으로서 그 감소분을 보상하여 전선의 규격을 정한다. 다만 전선이 매입된 트로프의 재질 및 구조에 따라 전선 주변의 온도가 달라질 수 있으므로 정확한 전류의 감소를 추정하기 위하여는 트로프의 재질 및 구조에 따라 주열 열의 발산 정도와 트로프 내의 온도 상승 정도를 고려한 실제품에 대한 평가로써 열저항 및 열발산도를 고려하여 시뮬레이션 하여야 할 것이다.

주위온도가 20°C에서 120°C까지 변화할 경우 전선의 저항 변화 및 전선에 흐르는 전류 변화량에 대한 관계를 그림 3에서 확인할 수 있다. 이 그림은 앞에서 설명한 수식 (4)에 의해서 구해지며 그림 2에서도 알 수 있듯이 전선의 주위온도가 상승함에 따라 저항은 증가하지만 전류는 서서히 감소하고 있음을 볼 수 있

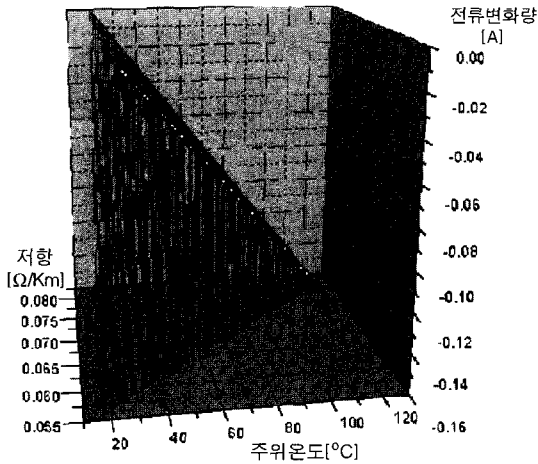


그림 3. 주위온도, 저항 및 전류변화량의 관계곡선.

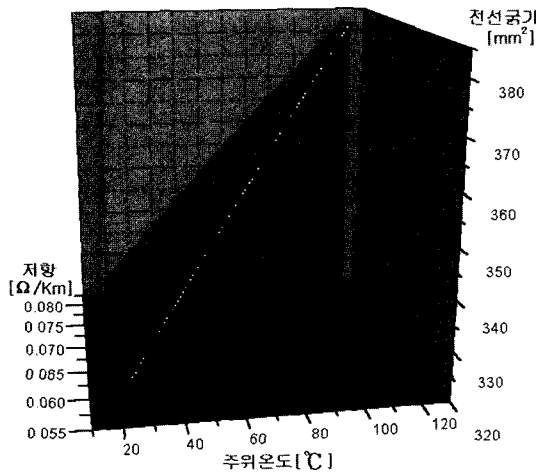


그림 4. 주위온도, 저항 및 전선 굵기와의 관계곡선.

으며, 선로의 길이가 길어질수록 전류의 감소 정도는 더욱 커질 것이다.

그림 4는 온도변화에 따른 전선의 굵기와의 상관관계를 나타낸 것이다. 온도가 증가할수록 앞에서 서술한 것과 같이 전선의 저항이 증가하며, 이에 따라 전선에 흐르는 전류는 감소하게 된다. 이때, 전선의 굵기를 상대적으로 굵게 산정해 줌으로써 전선의 발열 상태에 대한 안정성을 확보하게 되고, 전류를 일정하게 유지할 수 있도록 할 수 있을 것이다. 그러나 이는 경제적인 면에 영향을 미칠 수 있는 요인이 될 수 있을 것이다. 이상과 같은 결과로 볼 때 도체의 온도가 증가함에 따라 저항 및 전류, 도체의 단면적 등 여러 가지의 전기적 요소가 변화함을 알 수 있었으며, 특히

온도의 변화에 따라 안정적인 전류를 확보하기 위해서는 전선 단면적의 증가가 필요하다. 따라서 트로프 내의 전선에 대한 열 영향을 최소화하기 위해서는 도체에서 발생하는 열량을 트로프의 외부로 발산시키는 것이 가장 바람직하다 할 수 있을 것이다.

4.1.4 파스콘 및 콘크리트 트로프의 열 방출량

트로프의 재질 즉 고유 열전도도나, 트로프의 두께 및 온도와 같은 설치조건 및 환경은 도체에서 발생하는 열이 외부로 발산되는 정도에 직접적인 영향을 미치게 된다. 도체의 온도 상승은 도체의 저항을 증가시키므로 도체에서 발열된 열의 발산정도를 연구하기 위하여 전선이 매입되는 트로프의 재질 및 제품의 구조에 대한 연구가 필요하다. 각 트로프의 열전도량을 계산하기 위하여 주변 온도가 20°C이고 트로프의 내부 온도가 60°C이며, 열 발산 면적은 단위 면적에 대하여 연산하였다. 또한 각 트로프의 고유열전도도 및 두께는 표 8에 나타낸 값을 사용하였으며, 이때의 각 트로프의 열전도량은 식 (7)에 의해 계산하였다. 콘크리트 트로프의 경우 문헌상 고유 열전도도의 평균값인 1.1 W/m·K(=0.946 kcal/m·h·°C)를 적용하였다.

표 8의 결과를 비교해 볼 때 동일 조건하에서 제품의 두께와 단위 면적, 그리고 단위시간에 대한 열 방출량은 거의 유사하다. 한편, 위의 결과는 파스콘 트로프의 내부구멍 및 각 트로프의 연결 부위 등 열 방출에 영향을 미칠 수 있는 주변의 여러 가지 변수를 고려하지 않은 것으로서 공간에 대한 열 방출 특성에 대해 시뮬레이션을 통하여 살펴보았다.

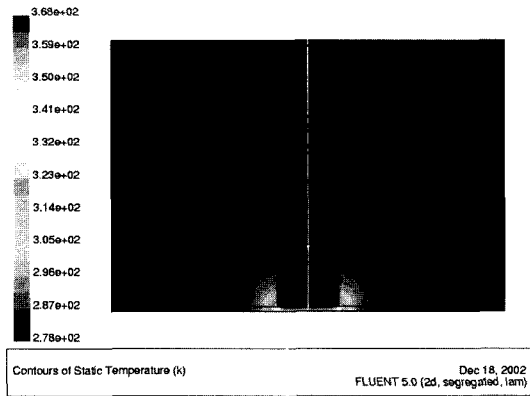
표 8. 각 트로프의 열전도량

| 트로프 | 고유 열전도도 [W/m·K] | 두께, d[mm] | 열전도량, Q[kcal] |
|----------|-----------------|-----------|---------------|
| 파스콘 트로프 | 0.36 | 13 | 953.8 |
| 콘크리트 트로프 | 1.1 | 40 | 946 |

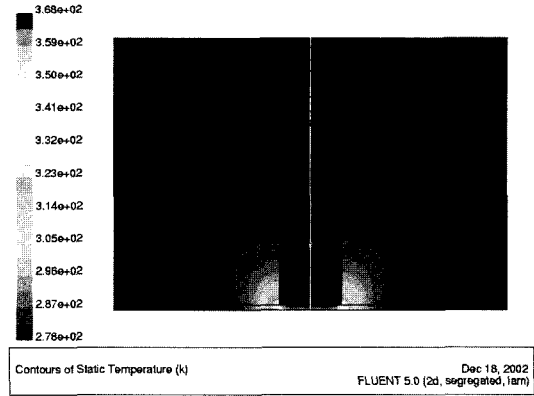
4.2 Fluent 5.0에 의한 각 트로프 내에서의 열 방출 특성

그림 5(a), (b)는 외부온도를 각각 5°C, 25°C로 설정하였을 때 파스콘 트로프의 종방향 단면에서의 열 확산 분포를 나타낸 등온분포로 중심부 열원에 의한 열 확산 간격이 외부온도가 5°C일 때 트로프 내부에 열의 체류가 다소 적은 것을 알 수 있다. 이는 열전달이 온도차에 영향을 받고 있기 때문이며, 온도차가 많이 날수록 열전달이 잘 이루어지는 것은 매우 당연한 결과이다.

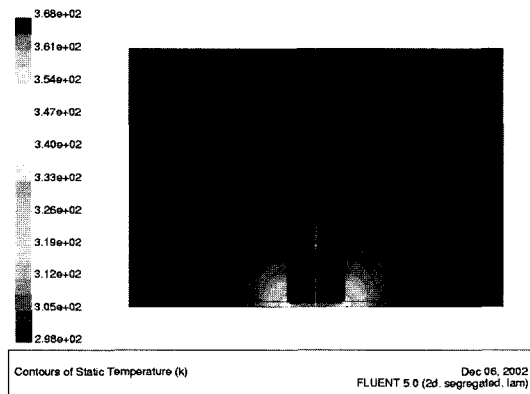
그림 6은 외부온도를 25°C로 설정하고 콘크리트의



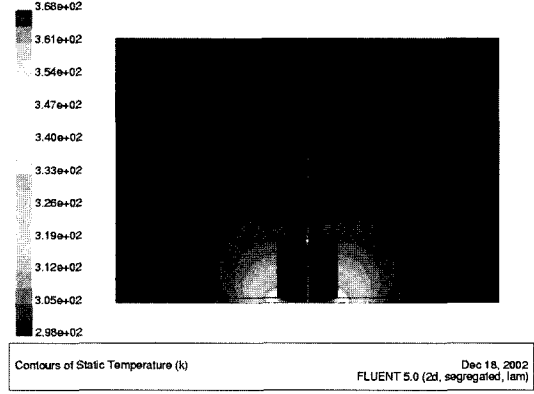
(a) $T_{out} = 5^{\circ}C$



(a) $T_{out} = 5^{\circ}C$



(b) $T_{out} = 25^{\circ}C$



(b) $T_{out} = 25^{\circ}C$

그림 5. 파스콘 트로프 내의 열 확산 분포 [$k_{pascon} = 0.36W/m \cdot K$].

그림 7. 콘크리트 트로프의 열 확산 분포 [$k_{conc.} = 1.25W/m \cdot K$].

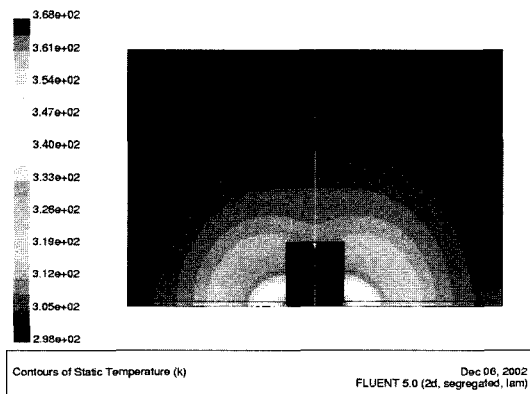


그림 6. 콘크리트 트로프 내의 열 확산 분포 [$k_{conc.} = 0.8W/m \cdot K$].

분포를 나타낸 것으로 전선에서 발생하는 열은 외부로의 방출이 용이하지 않아 넓은 공간에서 열이 체류하고 있음을 보여주고 있다. 그림 5(b)와는 달리 발생된 열을 효과적으로 방출시키지 못하고 트로프 내에 열축적이 되는 것을 볼 수 있다. 콘크리트 트로프의 고유 열전도도가 파스콘 트로프의 고유 열전도도보다 큰 값임에도 불구하고 열 방출 효과가 작음을 볼 수 있다. 고유 열전도도 값이 큰 콘크리트 트로프가 열방출에 우세할 것으로 생각되었으나 정반대의 결과가 나왔으며, 시뮬레이션 결과에서 보는바와 같이 실제 현장에 설치된 상태의 환경조건, 즉 트로프의 크기, 두께 및 밀폐여부 등의 설치환경인자들을 고려한 열 방출 특성이 매우 다르다는 것을 알 수 있다. 이는 단위두께, 단위길이로 측정된 고유 열전도도 값만으로는 열 방출 효과를 예측하는 것은 오류를 범할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

고유 열전도도 값을 최소값인 $0.8 W/m \cdot K$ 을 가질 때 콘크리트 트로프 종방향 단면에서의 정상상태 열 확산

그림 7은 콘크리트의 평균 고유 열전도도보다 큰

1.25 W/m · k으로 설정하고 트로프 설치환경 변수인 외부온도를 5°C 및 25°C로 하여 시뮬레이션 하였을 때, 콘크리트 트로프 종방향 단면에서의 열 확산 분포를 나타낸 것으로 그림 6과는 달리 전력 케이블에서 발생하는 열이 외부로 용이하게 방출되어 트로프 내 열의 체류가 현저하게 줄어든 것을 볼 수 있다. 이는 그림 6의 조건과 비교할 때 콘크리트의 열전도도가 0.8 W/m · k에서 1.25 W/m · k으로 증가되었을 때의 결과로 콘크리트의 열전도도가 증가함으로써 케이블에서 발생된 열이 트로프 내에 축적되지 않고 효과적으로 방출되는 것이다. 동일한 설치환경 즉, 동일한 구조체에서는 열전도도의 값에 의해 열 확산 정도가 달라지게 된다. 한편, 그림 5와 비교해 볼 때 열이 체류하는 공간에서 파스콘 트로프보다 넓은 면적을 차지하고 있음을 볼 수 있다. 이는 파스콘 트로프가 전선에서 발생하는 열이 외부 방출이 용이하다는 것을 의미하며, 파스콘 트로프의 고유 열전도도가 작다 하더라도 설치조건을 고려한 상태에서는 콘크리트 트로프에 비해 월등히 우수한 것을 알 수 있다. 따라서 트로프 내에서의 열 확산은 트로프의 재질, 두께, 크기 및 설치조건에 큰 영향을 받고 있는 것으로 나타났다.

5. 결 론

트로프 내에 설치된 전선 주변의 온도 상승 및 도체의 온도 상승에 의한 전선의 저항 증가는 전선에 흐르는 전류를 감소시키고 연속되는 발열의 원인이 된다. 따라서 전선이 매입된 트로프의 열 방출 정도는 전선에 대한 여러 가지 전기적 문제와 관련이 된다.

본 연구에서는 파스콘 트로프와 콘크리트 트로프 내에서 발생하는 전선(22.9[kV] · 325[mm²])의 열 발생 정도를 수치적으로 계산하고 이에 대한 시뮬레이션을 실시하였고, 두 재질에 대한 열 방출 정도를 시뮬레이션을 통하여 비교하였다. 재질의 고유 열전도도와 제품의 두께 및 구조를 제외한 나머지 조건을 동일하

게 한 상태에서 연산한 결과 저항 열에 의한 트로프 내의 온도 변화에 대한 전선의 저항 및 발생 열량을 추정할 수 있었다. 연산에 의한 추정결과와 시뮬레이션 결과를 볼 때 두 트로프에 대한 열 방출량은 거의 유사하거나 파스콘 트로프의 열 방출량이 다소 비교 우위에 있음을 확인 할 수 있었다.

즉, 재질의 특성만을 고려하여 파스콘의 고유 열전도도와 콘크리트의 고유 열전도도 평균치를 단순 비교하면 콘크리트 제품의 열 방출량이 우수한 것으로 판단 할 수 있으나, 두 가지 완제품의 실두께와 면적 그리고 구조를 고려하여 연산 및 시뮬레이션을 실시해 본 결과 위에서 언급한 바와 마찬가지로 파스콘과 콘크리트 제품의 열 방출량에 따른 상대적 비교는 파스콘 트로프의 열 방출량이 다소 우위에 있는 것으로 판단되었다.

따라서 본 논문은 실제의 두가지 재질로 된 트로프에 대한 특성 및 구조를 고려하여 열 방출량을 추정·연산하고 시뮬레이션 하였고, 그 결과 파스콘 제품이 동등 이상의 열 방출 성능을 보였음을 확인하였다. 이러한 열 방출 능력의 결과로 볼 때 동일한 단면적을 가진 동일 케이블에 흐르는 전류세기에 대한 두 트로프의 상대적 비교에서도 파스콘 제품이 동등하거나 그 이상의 값을 가질 수 있음이 입증되었다.

참고문헌

1. 尹勝謹司 외1명, 電子機器의 熱對策 設計, 日刊工業新聞社(1996).
2. 서영수, 전기에너지 변환공학, 도서출판 선진(1995).
3. 김동희 외1명, 전기공학, 동명사(1994).
4. 한국화학시험연구원, 시험성적서(2002).
5. 대한건축학회, 건축재료, p432, 기문당(2002).
6. 김무한 외2명, 건축재료학, p243, 문운당(2002).
7. 최충석 외5명, 전기화재공학, 동화기술(2000).
8. 기다리 편찬부 역, 전기설비기술계산 핸드북, 기다리(1983).