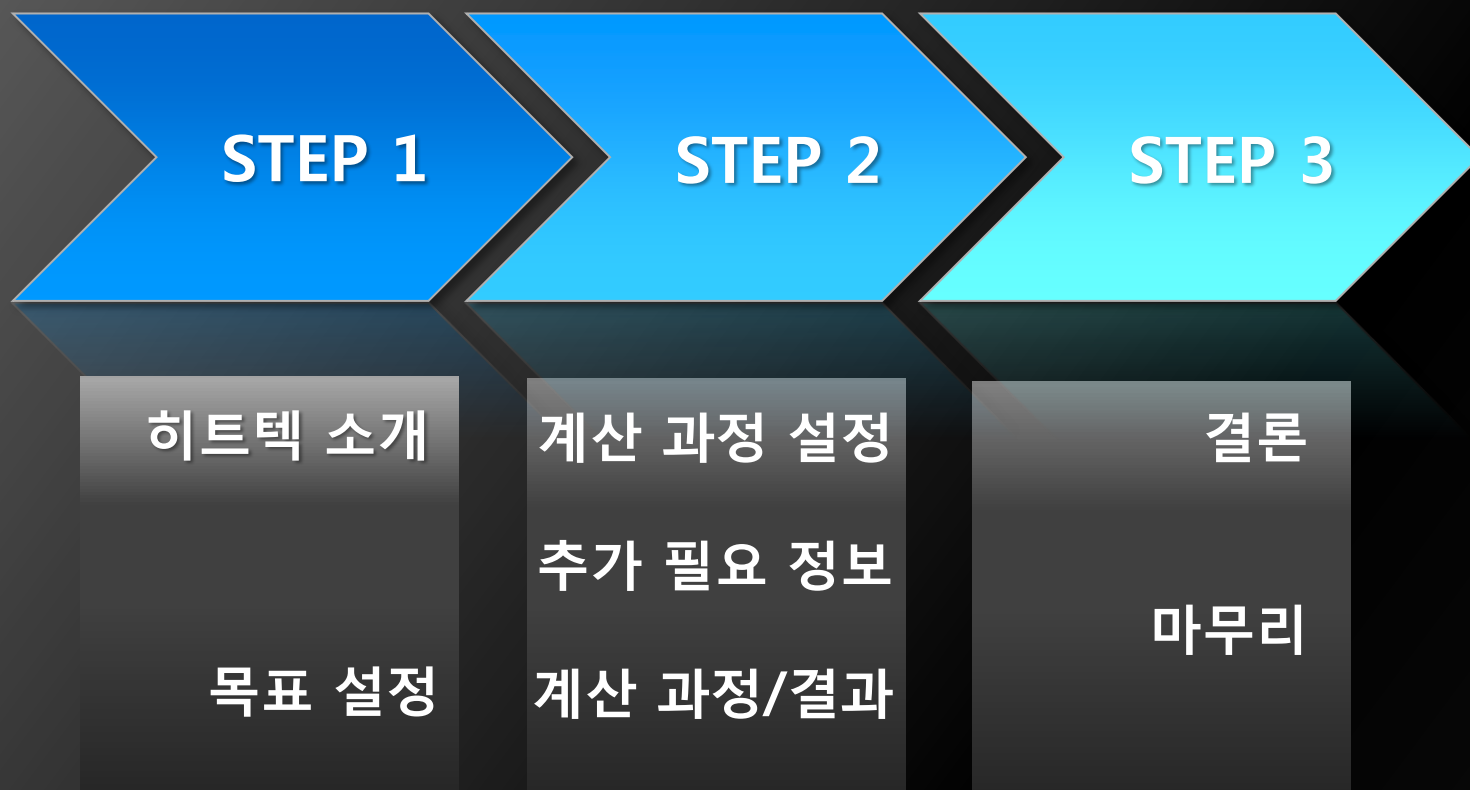


발열 내복의 원리에 대한 열역학적 검증

당신은 히트텍을 입고 있습니까

김종원
김준하
이지현
정희철

발표 진행 사항



히트텍(Heat Tech)

- ◎ 발열 내의 중 대표 상품으로 유니클로 판매 중.
- ◎ 히트텍의 주요 특징(유니클로 홈페이지 제공)

<p>발열</p>	<p>몸에서 나오는 수증기를 섬유가 흡수해서 열 에너지로 변환합니다.</p> <div data-bbox="343 872 896 1039"> </div>	<p>보온</p> <p>섬유와 섬유 사이의 공기층이 발생한 열을 밖으로 놓치지 않게 합니다.</p> <div data-bbox="1188 872 1792 1039"> </div>
<p>항균</p>	<p>신경이 쓰이는 냄새를 억제하여 실내에서 말릴 때에도 신경을 쓰지 않아도 됩니다.</p>	<p>소취</p> <p>의복에 부착된 냄새의 근원을 소취합니다.</p>
<p>흡한속건</p>	<p>땀을 재빠르게 흡수하여 건조시키는 기능이 내장되어 있습니다.</p>	

목표 설정

- ◎ 수증기의 응결 잠열을 이용해 히트텍의 발열이 가능하지 확인
 - ◎ 평균적인 대기 상태에 대해 히트텍으로 얻을 수 있는 최대 온도 증가 계산
 - ◎ 히트텍 착용시 에너지 전달 과정의 이해
-

계산 과정 설정

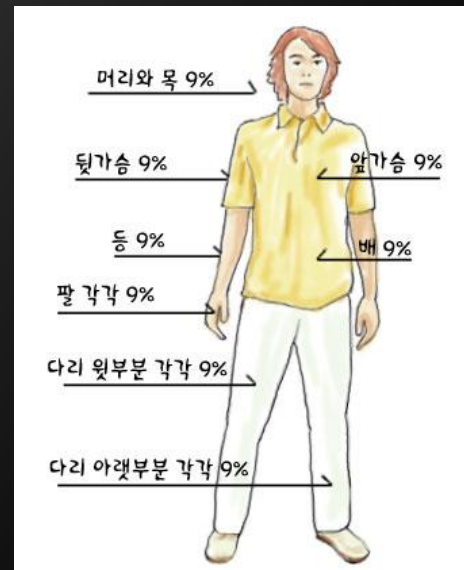
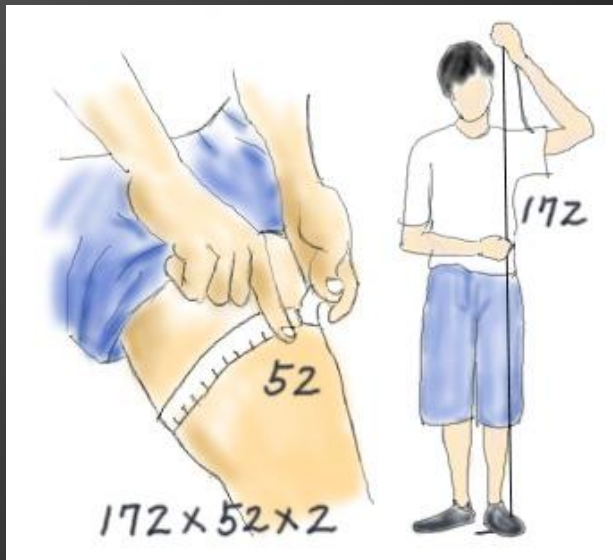
- ◎ C1 : 히트텍과 피부 사이의 공간의 공기층(이하 공기층)을 체온 이상으로 가열시키기 위해 필요한 수증기량 계산.
 - ◎ C2 : 공기층과 히트텍 자체 모두 체온 이상으로 가열시키기 위해 필요한 수증기량 계산, 평균 대기 상태에서의 최대 가열 가능 온도 계산.
 - ◎ C3 : 땀의 배출과 증발에 의한 수증기 공급을 고려한 상황을 설정.
-

추가 필요 정보

1. 신체 표면의 면적
 2. 히트텍 착용시 피부와 히트텍 사이
공간의 두께와 부피
 3. 따뜻함을 느끼기 위한 외부온도와
피부온도의 차이
 4. 히트텍의 무게와 비열
 5. 평균적인 겨울 대기의 습도
-

신체 표면 면적

- ◎ 총 신체 표면적 = $2 \times \text{키} \times \text{허벅지 둘레}$
- ◎ 상체와 양팔의 표면적 비율 = 54 %



- ◎ 키 175cm, 허벅지 둘레 50cm 경우 히트텍 상의를 착용할 표면적은 $A = 0.945m^2$

공기 층 두께와 부피

- ◎ 별다른 참고 자료가 없어 착용 후 직접 측정 결과 1mm로 가정 ($d = 0.001m$)
- ◎ 공기층 부피($V = Ad$)



따뜻함을 느끼는 온도 차

- ◎ 신체의 온각(溫覺)의 역치는 0.001C/sec 이며 3초가 지나면 순응(신경생리학,현문사,1997)
 - ◎ 그러나 이는 실험실에서 정밀한 측정에 의해 얻어지는 값으로 추정되므로 0.1C를 온도차이를 인식하는 기준값으로 설정.
($\Delta T = 0.1^{\circ}\text{C}$)
-

히트텍의 비열과 무게

- ◎ 히트텍 소재
: 폴리에스터34%· 레이온33%· 아크릴27%· 폴리우레탄6%
 - ◎ 히트텍 상의의 무게 : $M_{ht} = 20g$
 - ◎ 탄소섬유의 비열 : $C_{ht} = 1000 Jkg^{-1}K^{-1}$
(한국과학기술정보연구원 보고서 참조)
-

겨울철(12월) 평균 기후

- ◎ 서울 12월의 월평균 기후 기상청 자료
 - ◎ 평균 기온 : $T_0 = 0.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 - ◎ 평균 습도 : $r_0 = 60.6 \%$
 - ◎ 평균 증기압 : $e_0 = 4.1 \text{ hPa}$
 - ◎ 평균 혼합비 : $w_0 = 2.55 \text{ g kg}^{-1}$
-

계산을 위한 가정

- ◎ 히트텍에 의해서 공기층은 완벽히 단열이 되며 외부와의 질량 교환이 없는 닫힌계로 간주.
 - ◎ 초기 공기층의 기온을 체온과 같은 36.5°C 로 가정.
 - ◎ 히트텍의 섬유 속에서 수증기가 어떤 방식으로 응결하는지는 고려하지 않으며 섬유 내부 가능한 응결량 또한 고려치 않는다. 단지, 잠열의 방출로 따뜻함을 느낄 수 있는지를 확인.
-

C1 계산 과정

- ◎ 수증기의 응결 잠열에 의한 공기층 가열.
열역학 1법칙 : 건조공기의 등압 가열시 요구되는 열량은 수증기의 응결로 얻어진다.

$$C_{pd} \rho_d V \Delta T = l_v \Delta m$$

(C_{pd} : 건조공기의 정압 비열, l_v : 응결잠열
 ρ_d : 건조공기 밀도, V : 공기층 부피, Δm : 수증기질량)

C1의 계산 결과

- ◎ 공기층을 0.1°C 가열 시키기 위해 필요한 수증기 질량 Δm

$$\Delta m = 5.11 \times 10^{-8} \text{ kg}$$

- ◎ 사실 이 계산은 습윤공기의 상당온도(equivalent temperature)를 구한 것에 지나지 않는다. 평균 혼합비(2.55 g kg^{-1})에 대해서 가능한 온도 변화

$$\Delta T = T_e - T \approx 6 \text{ K}$$

C2의 계산

- ◎ 히트텍의 온도 변화를 포함
- ◎ 열역학 제 1법칙

$$C_{pd} \rho_d V \Delta T + C_{ht} m_{ht} \Delta T' = l_v \Delta m$$

(C_{pd} : 건조공기의 정압 비열, l_v : 응결잠열, C_{ht} : 히트텍비열, m_{ht} 히트텍 질량
 ρ_d : 건조공기 밀도, V : 공기층 부피, Δm : 수증기질량)

- ◎ $\Delta T'$: 히트텍의 완벽한 단열을 고려하여도 외부 접촉하고 있는 히트텍의 경우에는 공기층에 비해 낮은 온도를 가질 수 있음을 고려

C2의 결과

◎ $\Delta T = \Delta T'$ 의 경우

0.01°C 가열에 대해 응결에 필요한 수증기의 질량

$$\Delta m = 8.85 \times 10^{-7} kg$$

이를 포함한 공기층의 혼합비

$$w = 0.45 g kg^{-1} (w_0 = 2.55 g kg^{-1})$$

◎ $\Delta T \neq \Delta T'$ 의 경우

평균 혼합비를 $w_0 = 2.55 g kg^{-1}$ 로 두는 경우 최대 $\Delta T' = 0.6^\circ C$ 를 계산할 수 있었다. 히트텍의 초기온도와 체온의 차이가 $\Delta T'$ 보다 크다면 공기층의 수증기로는 따뜻함을 느끼기에 부족하다.

C3의 계산

- ◉ 외부와의 닫힌 계를 고려하고 있으므로, 지속적인 가열이 있기 위해선 공기층으로 수증기의 추가 공급을 고려 해야 한다.
- ◉ 땀은 피부 표면에서 증발하며 히트텍에서 응결.
- ◉ 공기층과 히트텍을 가열시키는데 드는 에너지

$$\Delta Q = C_{pd} \rho_d V \Delta T + C_{ht} m_{ht} \Delta T'$$

C3의 결과

- ◎ 에너지 흐름의 이해

땀이 증발하기 위해 흡수하는 증발 잠열은 응결시 방출하는 응결 잠열과 동일. 결과적으로 공기 층을 데우는데 드는 열량은 체내에서 공급되는 것으로 볼 수 있다.

- ◎ 0.01°C 가열 시 필요한 열량은 약 2.1J .

추가 고려 사항

- ◎ 히트텍의 완전한 단열과 닫힌계 가정
 - ◎ 전도에 의한 열전달을 고려
 - ◎ 히트텍의 응결 가능량을 고려
 - ◎ 히트텍에서의 응결된 수분의 재증발
-

결론

- ◎ 상당온도를 고려한 결과(C1) 잠열을 이용해 공기층만을 가열한다면 발열내의는 충분히 가능
 - ◎ 대기의 평균적 혼합비를 고려하면 공기층과 히트텍의 동시가열도 합리적 범위에서 가능.
 - ◎ 장시간 착용시 발열은 신체 내부 열량 생성의 전달의 결과. 그러나 증발된 땀을 그냥 외부로 보내는 것보단 에너지 손실이 적을 것이라 판단.
-

마무리

- ◎ 검색을 통해 히트텍에 대한 평가를 확인해 보면 발열보단 보온효과에 의해서 유용.
 - ◎ 잠열을 실제 이용하여 열효율을 높인 콘덴싱 보일러가 있다. 잠열을 잘 활용한다면 충분히 이득을 볼 수 있음.
-

내의를 착용해 겨울철 전력난 해소에 기여해 봅시다.

감사합니다



참고 자료

- ◎ 기상청 홈페이지
 - ◎ 신경생리학, 현문사, 1997
 - ◎ 탄소섬유, 한국과학기술정보연구원
 - ◎ 유니클로 홈페이지
 - ◎ 생활속의 수학, ksw7123.com.ne.kr
-