

# 통기성 안전화의 통풍 효과 검증을 위한 착용쾌적성 평가

Wearing Comfort Evaluation of Safety Shoes with a Ventilation System

전은진<sup>3</sup>, 박장운<sup>1</sup>, 이승훈<sup>1</sup>, 정대한<sup>2</sup>, 박세권<sup>2</sup>,  
하지현<sup>3</sup>, 김희은<sup>3</sup>, 박승범<sup>4</sup>, 유희천<sup>1</sup>

2013. 10. 10



KYOUNGDO Co., Ltd.

- 1 포항공과대학교 산업경영공학과
- 2 공군사관학교 시스템공학과
- 3 경북대학교 의류학과
- 4 신발산업진흥센터

---

# Agenda

---

- 서론
  - ✓ 연구배경 및 필요성
  - ✓ 연구 목적
- 통기성 평가
- 충격 흡수 평가
- 공기 유동 가시화
- 토의

# 인간공학적 안전화 설계 필요성

- 안전화: 충격, 위험으로부터 발과 발등을 보호하는 신발(산업안전보건법 시행규칙 제 60조)
- 근로현장, 사무현장에서 1일 6시간 이상 착용 → 착용시의 신발내 쾌적성 제공 필요

근로 현장



사무 현장



≥ 6시간/일 착용

근로자의 발 보호, 충격흡수 기능

착용쾌적성 제공

# 기존 안전화의 문제점

- 통풍이 되지 않는 구조: 온·습도 ↑, 악취 ↑, 피부병유발 ↑
- 충격 흡수 기능이 미흡하여 착용자의 발 피로도 ↑

통풍이 되지 않는 구조



충격흡수 기능 미비

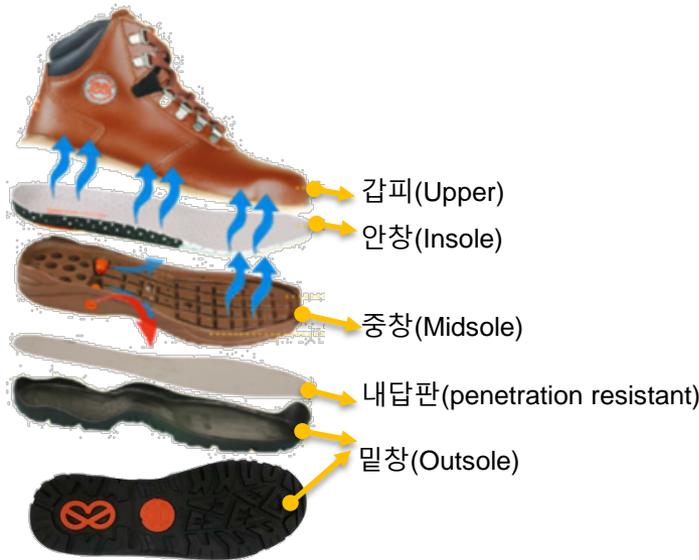


피부병      **작업능률 및 착용쾌적성 저하**

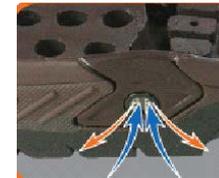
**증가**

# 통기성 안전화의 특징

- **Air ventilation system:** 중창(midsole) 내측, 외측 2개 부위에 적용
- **중창 구조:** 독립된 셀구조로 신발내 공기이동 경로 제공



통기구



open



close

독립된 셀구조



중창(Midsole) 구조

	부위	물성
1	갑피(Upper)	퍼메어 가죽/두께: 1.8mm~2.0mm
2	안창(Insole)	PU/ 경도 C type 30~40
3	중창(Midsole)	PU/ 경도65° C type
4	내답판(penetration resistant)	방탄섬유/두께: 3T
5	밑창(Outsole)	경도: A71/S

# 연구 목적

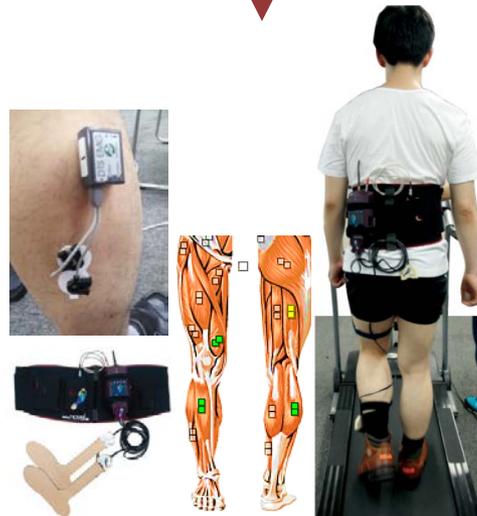
## 통기성 안전화의 착용쾌적성 평가를 통한 통풍효과 검증

1. 통기성 평가를 통한 착용쾌적성 검증
2. 충격흡수 평가를 통한 인체역학적 효과 검증
3. 공기유량 분석을 통한 공기 순환 기능 검증

### 통기성 평가



### 충격 흡수 평가



### 공기 유량



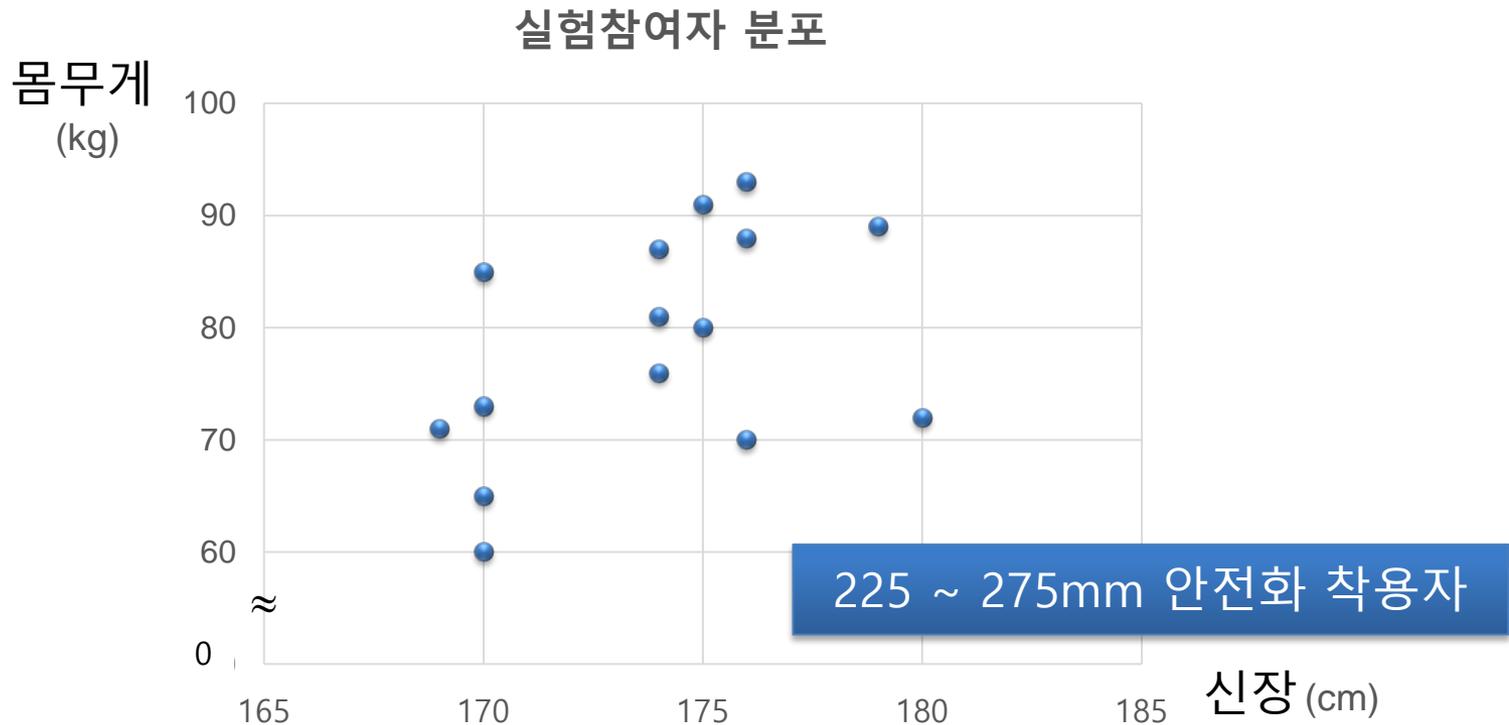
# 평가용 안전화

□ 평가용 안전화: 일반안전화(통기구 無), 통기성 안전화(통기구 有)

	일반 안전화	통기성 안전화
옆면(외측)		
옆면(내측)		
안창, 중창, 밑창		
차이점	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 옆면(내측)에 통기구 형태의 구조물 삽입</li> <li>- 중창: 원형의 구멍이 있는 구조</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 옆면(외측, 내측)에 통기구 삽입</li> <li>- 중창: 공기 이동을 위한 독립된 셀구조</li> </ul>

# 실험 참여자

- 실험참여자: 건설현장 근로자 15명
- 연령:  $M = 44.6$  세, 32~51 세 (SD = 5.9)
- 신장:  $M = 173.8$  cm, 169~180 cm (SD = 3.4)
- 몸무게:  $M = 78.7$  kg, 60~93 kg (SD = 10.0)



# 평가 항목 및 측정 장비

## □ 평가 항목 및 조건

평가방법	항목	정의	평가 장비	
객관적 평가	1	SkinTemperature	실험참가자의 피부 온도	LT-8B (Gram Corporation, Japan) 
	2	In-side Temperature	안전화와 발사이 공간의 온도	Thermal Recorder (TR-72S, T&D Co., Japan) 
	3	In-side Humidity	안전화와 발사이 공간의 습도	Thermal Recorder (TR-72S, T&D Co., Japan) 
	4	Amount of Sweating	여과지 계측부위의 발한량	SKD-2000 Perspiration Meter (Skinos Co. Ltd Japan) 
	5	Thermography	신발의 평균 표면 온도	T-200 (FLIR system, Sweden) 
주관적 평가	1	Thermal Comfort	실험참가자가 느끼는 온열감의 정도	ASHRAE 수정(0~4)
	2	Humidity Comfort	실험참가자가 느끼는 습윤감의 정도	공조위생공학회 온냉감 소위원회 시안(1~7)
	3	Pleasant Feeling	실험참가자가 느끼는 쾌적감의 정도	공조위생공학회 온냉감 소위원회 시안(1~4)

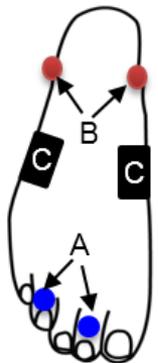
# 착용쾌적성 평가 Protocol

실제 근무환경에서 신발조건 control

- 국소발한량 계속지 중량계측
- 센서부착
- 탈화

평가전 5일 사전 착용		휴식기	운동기 (walking speed = 5km/h)	회복기				
평가 항목	(min)	0	10	20	30	40	50	60
1	Skin Temperature	Every one min						
2	In-side Temperature							
3	In-side Humidity							
4	Thermography							
5	Amount of Sweating							
6	Subjective Comfort	●		●		●		●

□ 신발 조건: 일반 안전화 vs 통기성 안전화 - 1회 평가(2종 안전화 동시 착용)



A: 신발내 기후  
B: 피부온  
C: 국소발한량



센서 부착 위치



일반안전화

신발 조건

통기성안전화

# 착용쾌적성 평가 과정

1. 센서부착



2. 휴식기



3. Thermography (맨발-양말-신발)



4. 주관적감각(휴식기)

4. 주관적 감각



5. 운



착용쾌적성 평가 동영상

# 충격흡수 평가 Protocol

신발 탈화, 족저압(insole)센서 삽입



	실험소개 신발착화	EMG센서 부착 및 보행	운동 (walking speed = 5km/h)	압력측정	설문조사		
평가 항목 (min)	0	5	10	15	20	25	30
1	EMG			Every one min			
2	Insole force				●		
3	Outsole force					●	
4	Subjective Comfort						●

□ 신발 조건: 일반 안전화 vs 통기성 안전화 - 2회 평가(동일한 안전화 양발 착용)

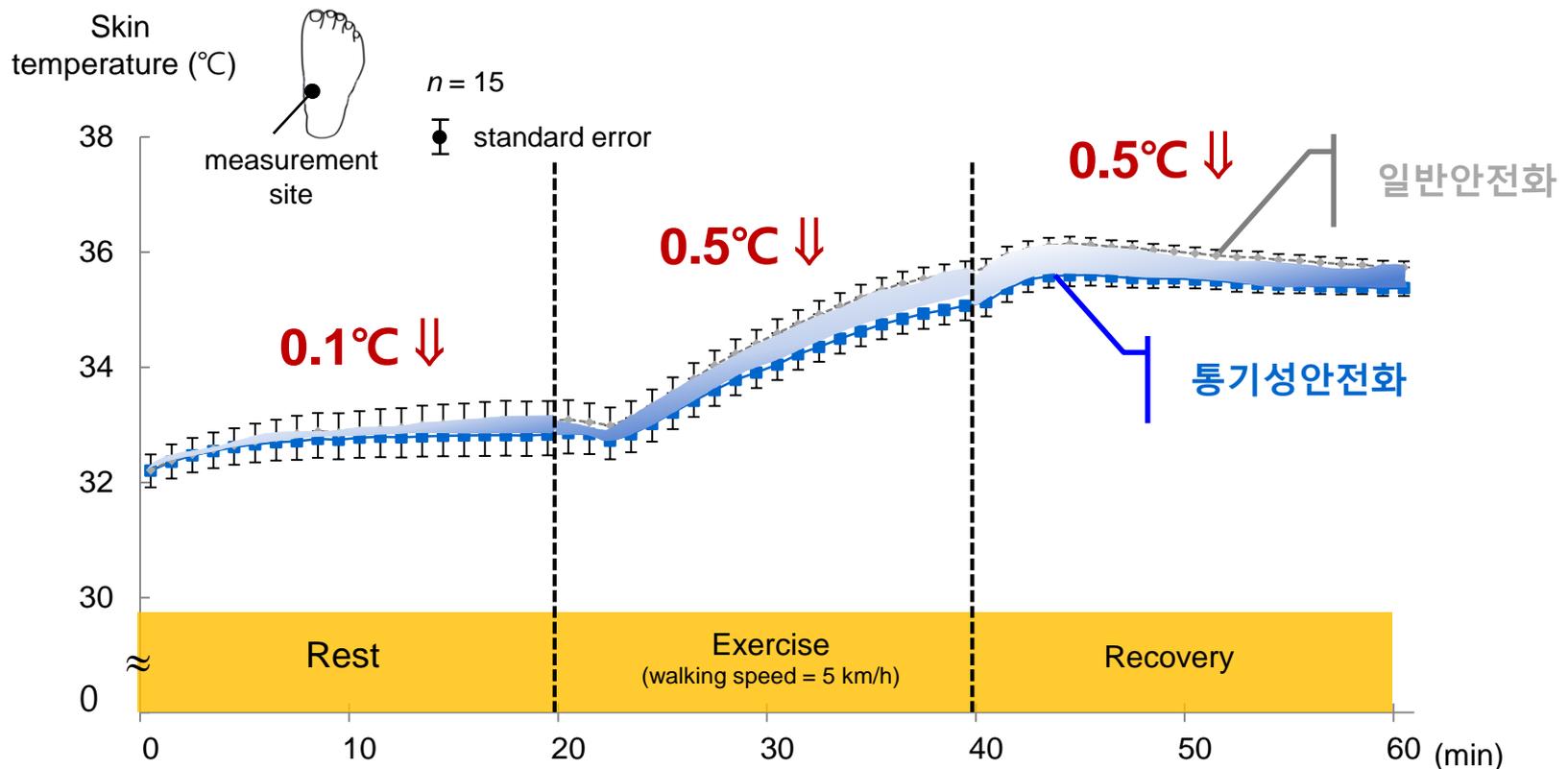


EMG 측정

족저압력 측정

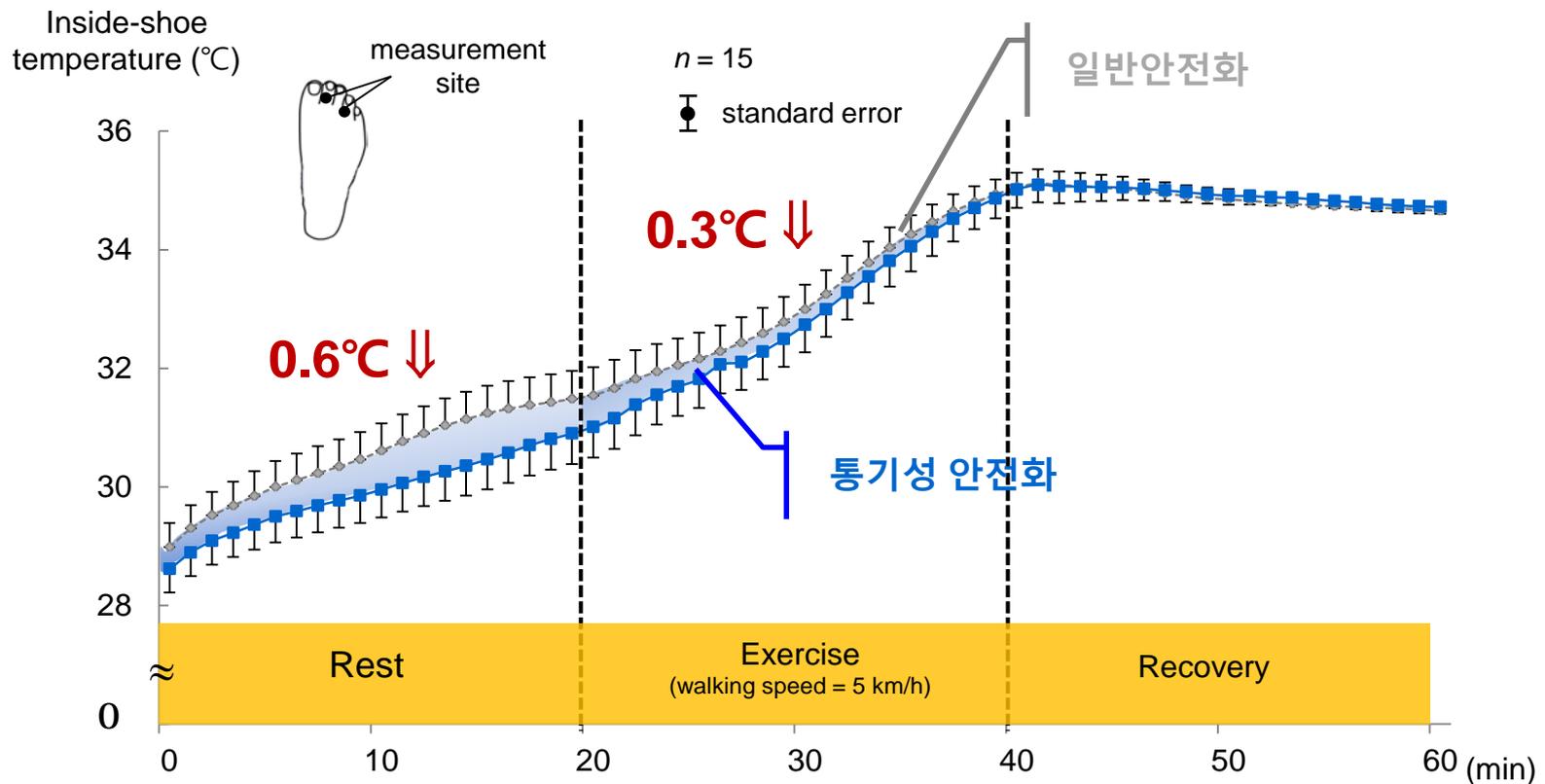
# Skin Temperature

- 통기성 안전화는 일반 안전화에 비해 평균 skin temperature가 rest period에서  $0.1^{\circ}\text{C}$ , exercise period에서  $0.5^{\circ}\text{C}$ , recovery period에서  $0.5^{\circ}\text{C}$  낮음



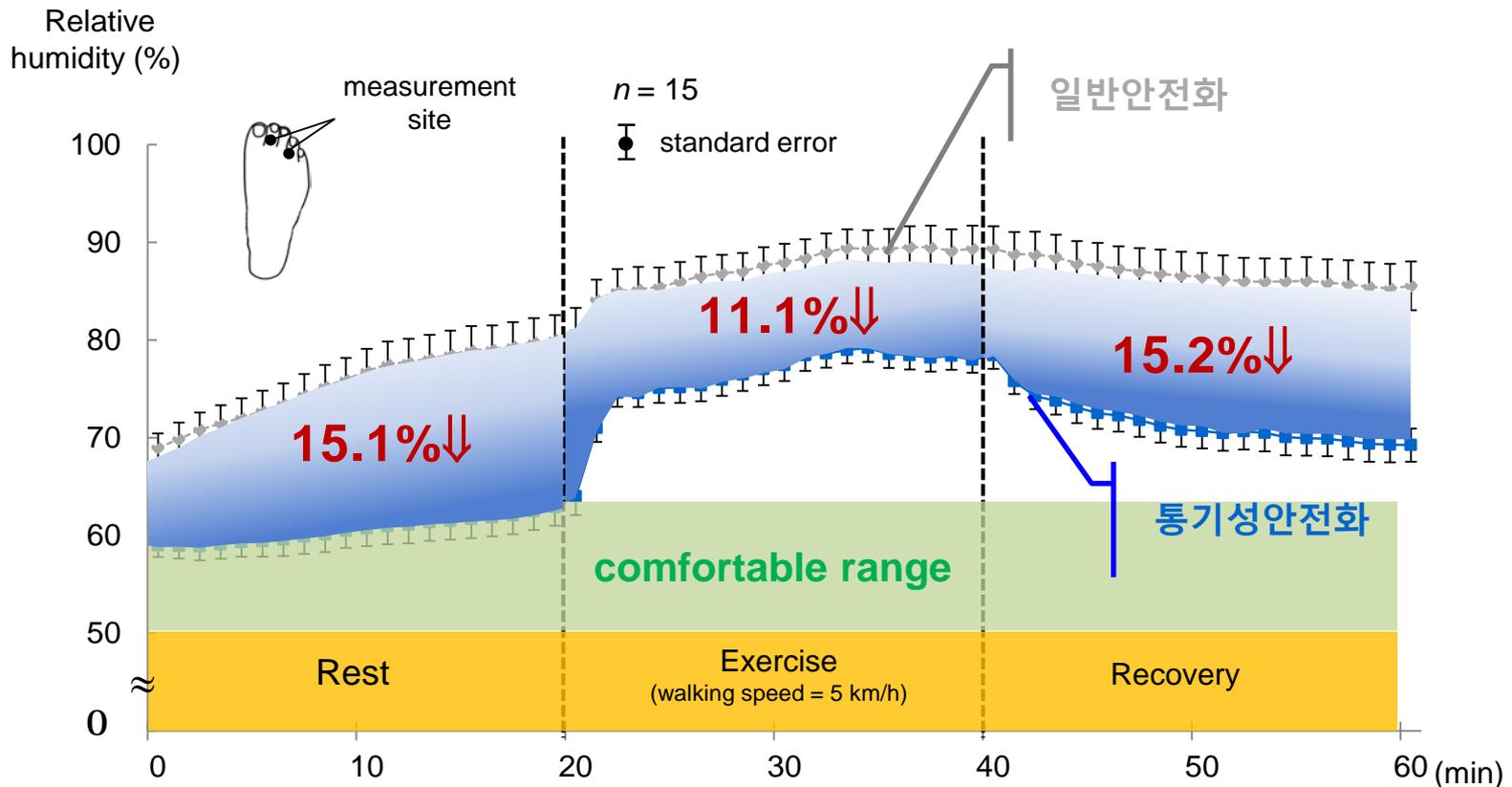
# Inside-Shoe Temperature

- 통기성 안전화는 일반 안전화에 비해 평균 신발 내 온도가 rest period에서  $0.6^{\circ}\text{C}$ , exercise period에서  $0.3^{\circ}\text{C}$  낮음



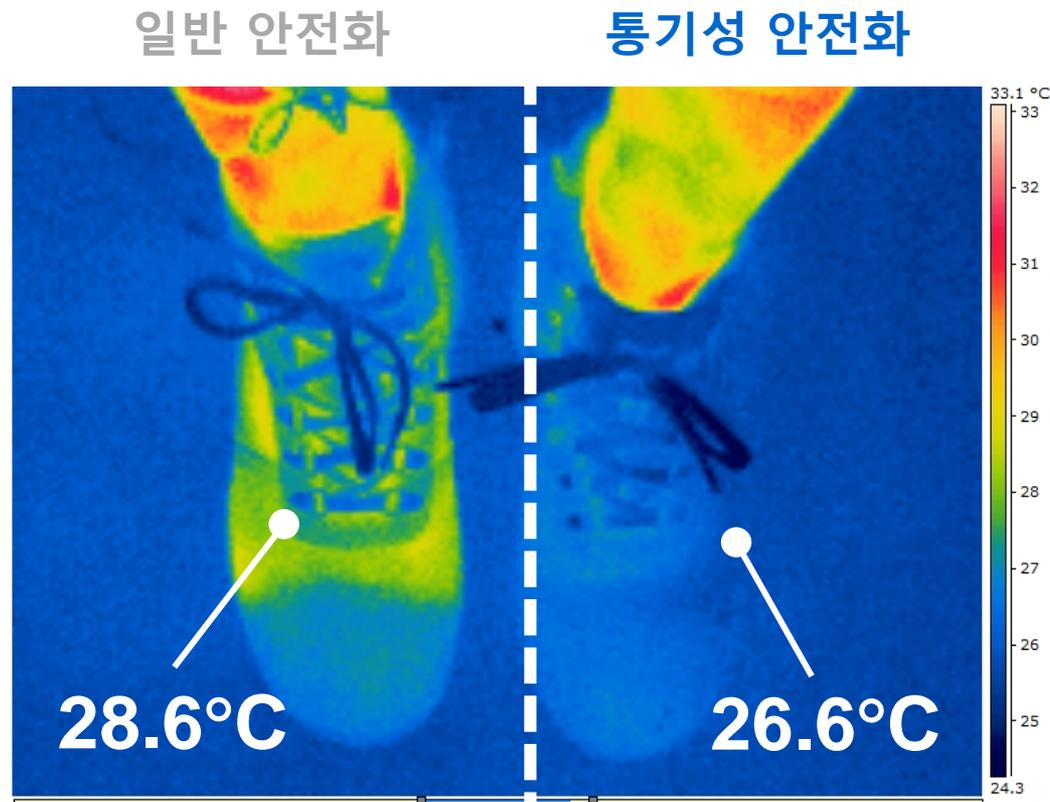
# Inside-Shoe Humidity

- 통기성 안전화는 일반 안전화에 비해 신발내 humidity가 rest period에서 15.1%, exercise period에서 11.1%, recovery period에서 15.2% 낮음



# Thermography

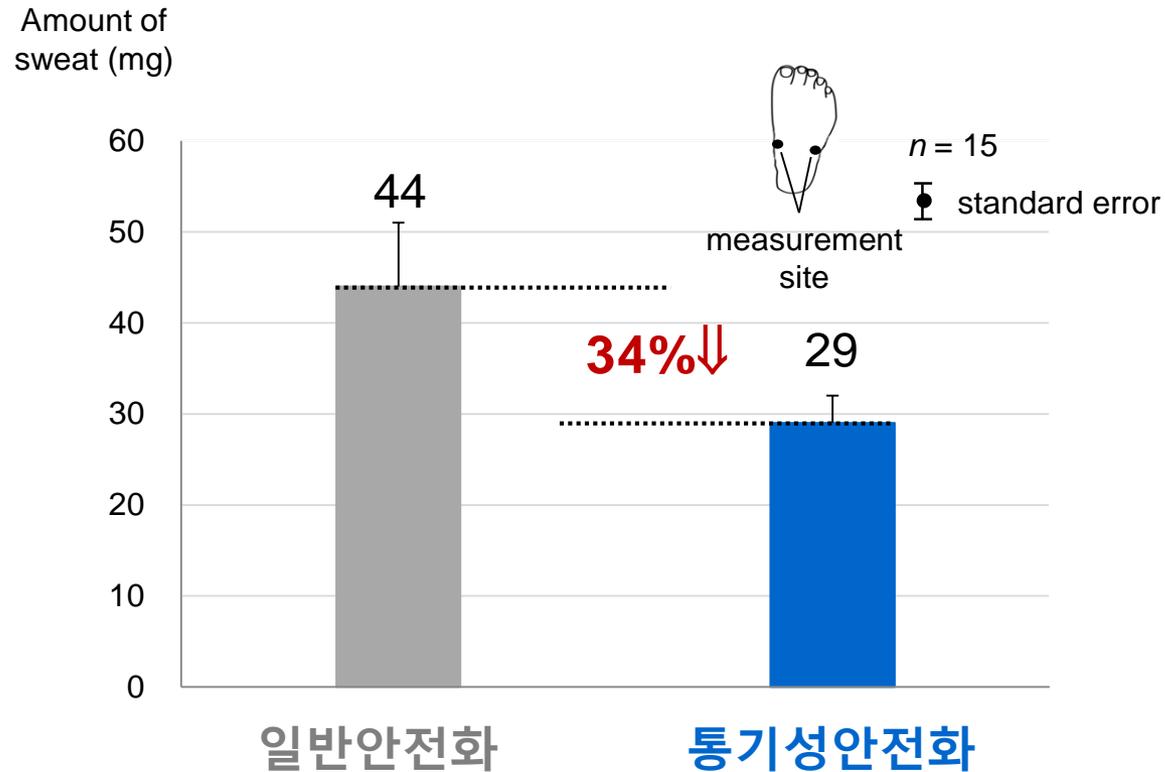
- 통기성 안전화는 일반 안전화에 비해 신발 표면 온도가 exercise period에서 평균 0.2°C, 최대 2°C 낮음



A infrared photo taken from a 43 year-old male participant after a 10-min exercise period

# Amount of Sweating

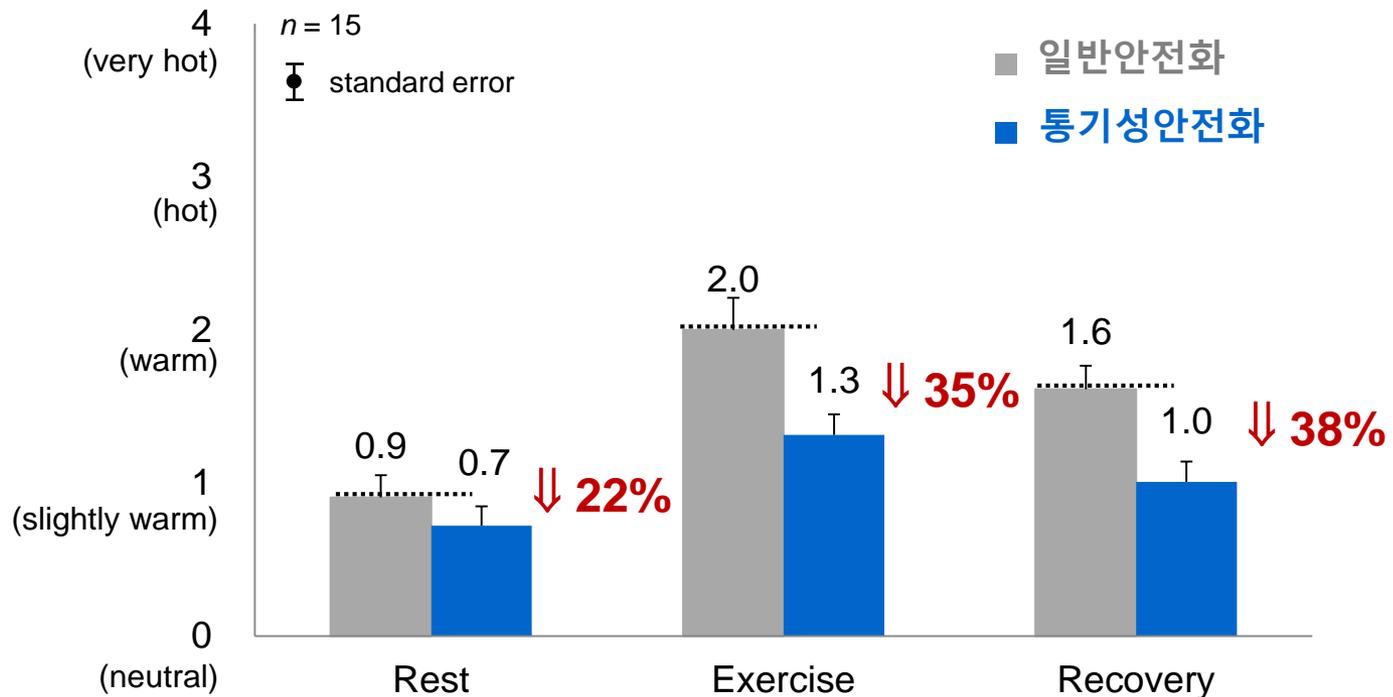
- 통기성 안전화는 일반 안전화에 비해 평균 sweat 발생량이 15 mg(34%) 낮음



# Thermal Comfort

- 통기성 안전화는 일반 안전화에 비해 온열감이 rest period에서 22%, exercise period에서 35%, recovery period에서 38% 낮음

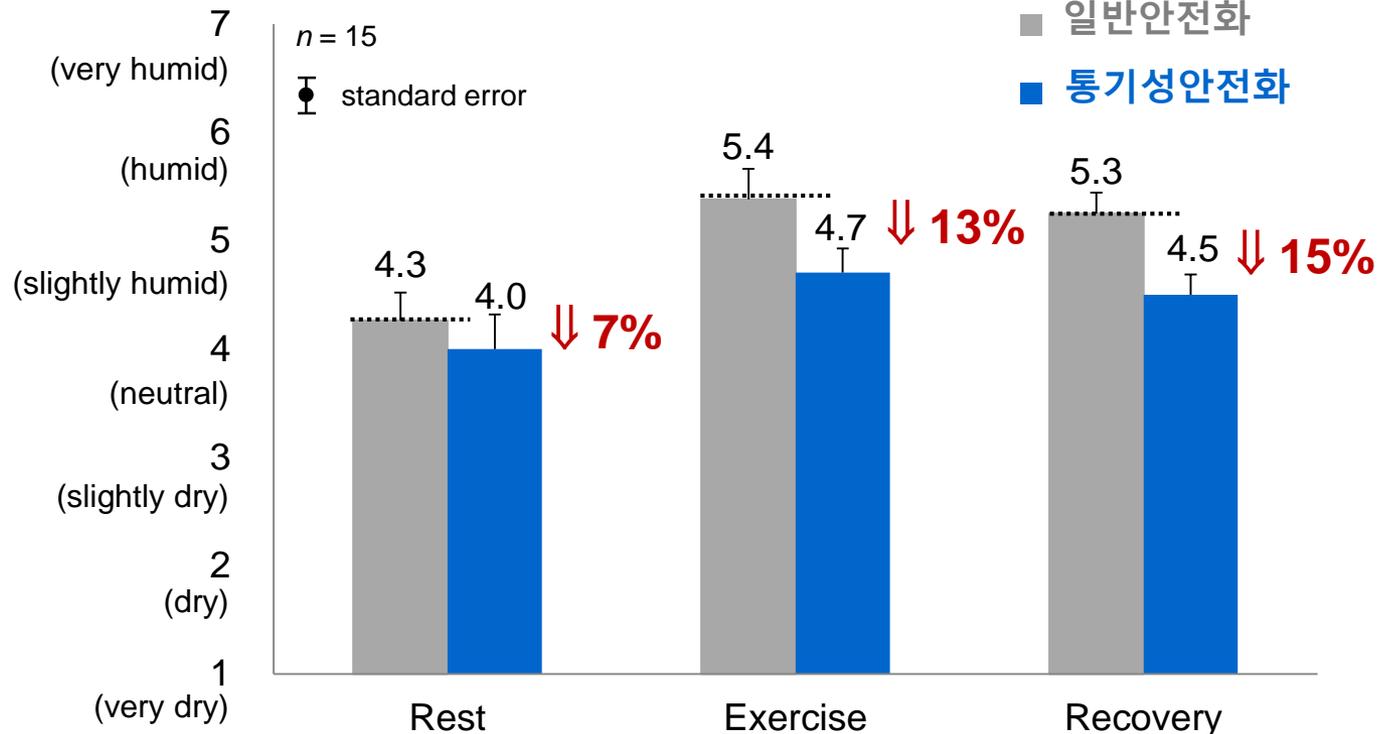
## Thermal comfort



# Humidity Comfort

- 통기성 안전화는 일반 안전화에 비해 습윤감이 rest period에서 7%, exercise period에서 13%, recovery period에서 15% 낮음

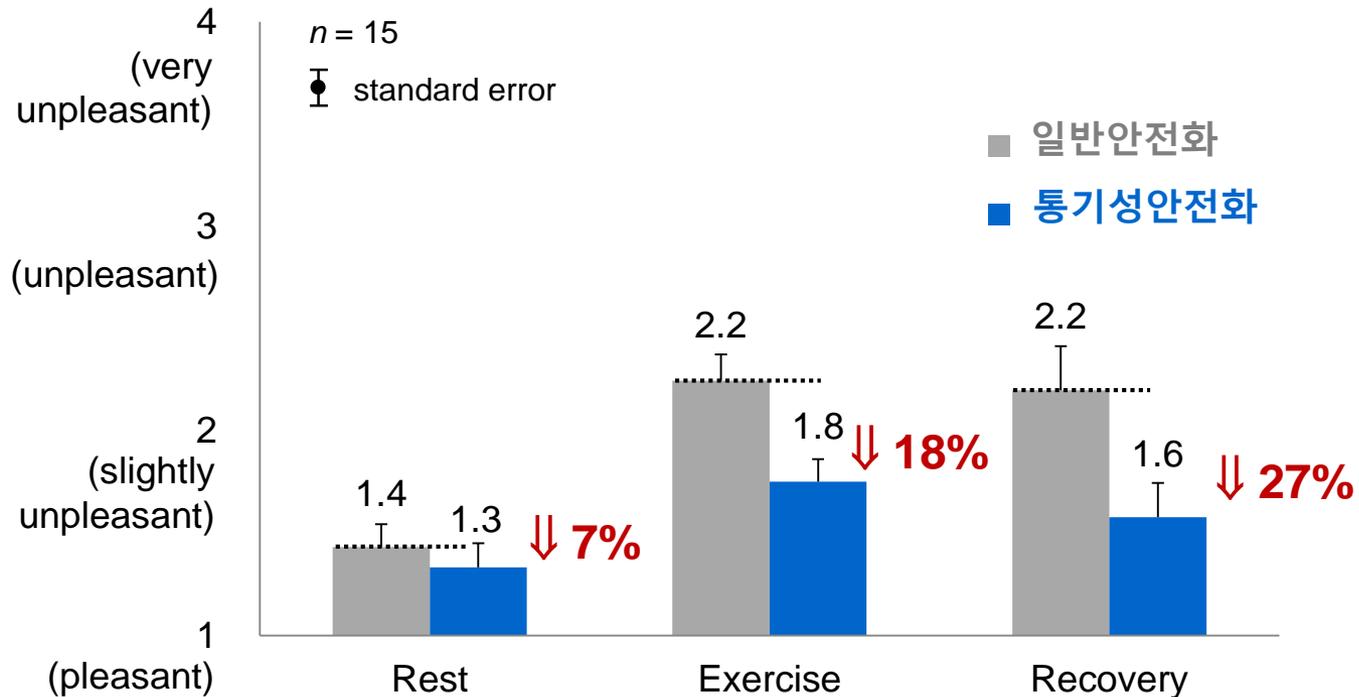
## Humidity comfort



# Pleasant Feeling

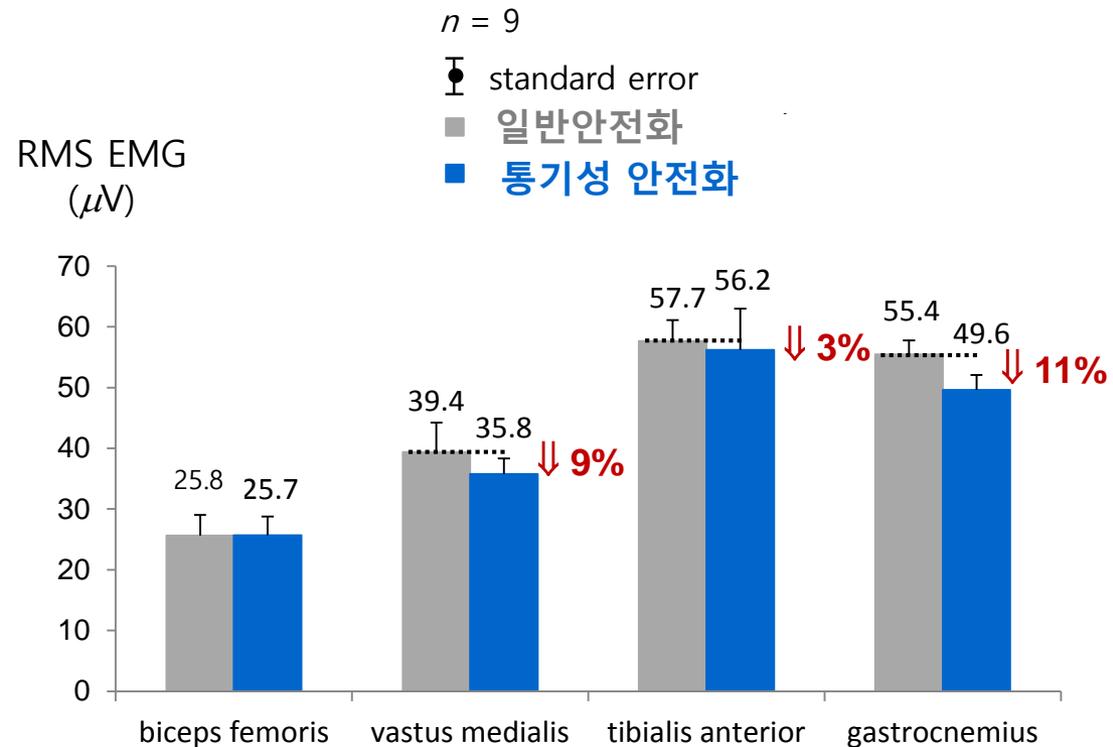
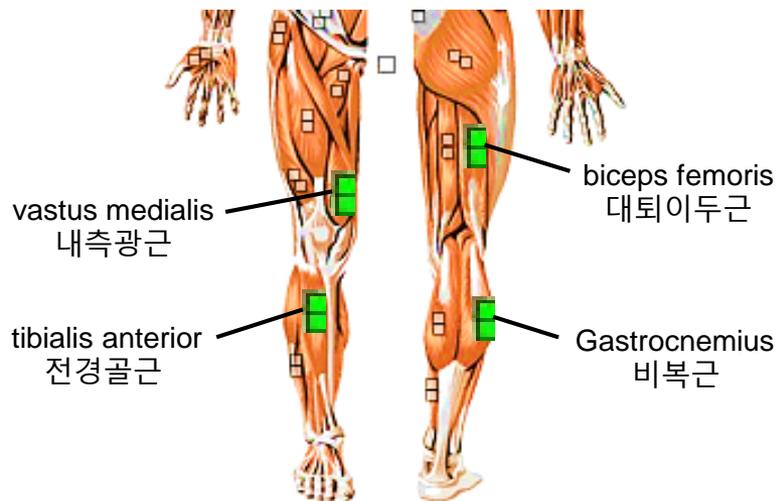
- 통기성 안전화는 일반 안전화에 비해 쾌적감이 rest period에서 7%, exercise period에서 18%, recovery period에서 27% 높음

Pleasant feeling



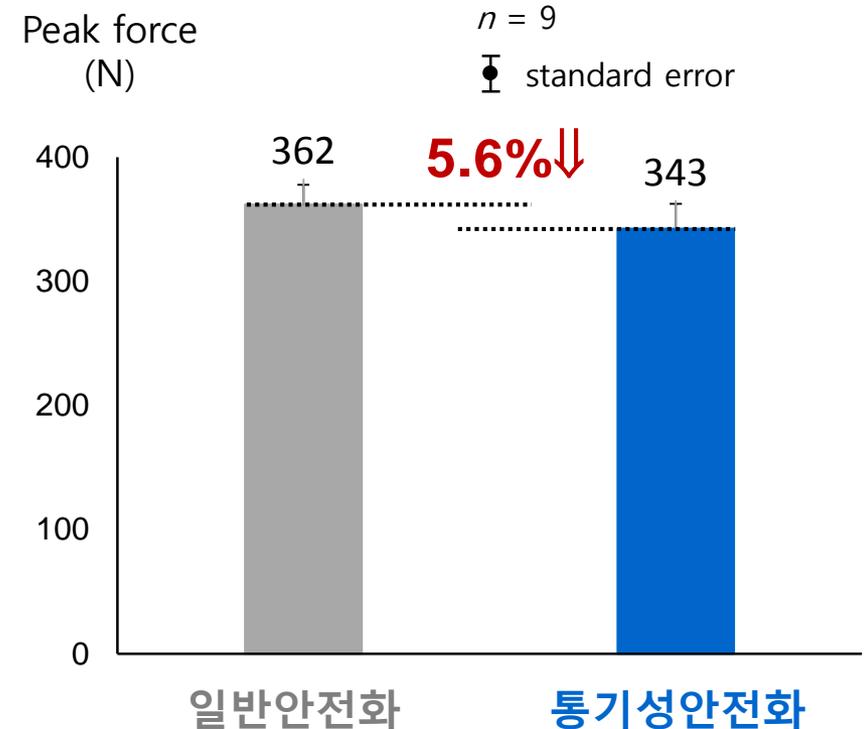
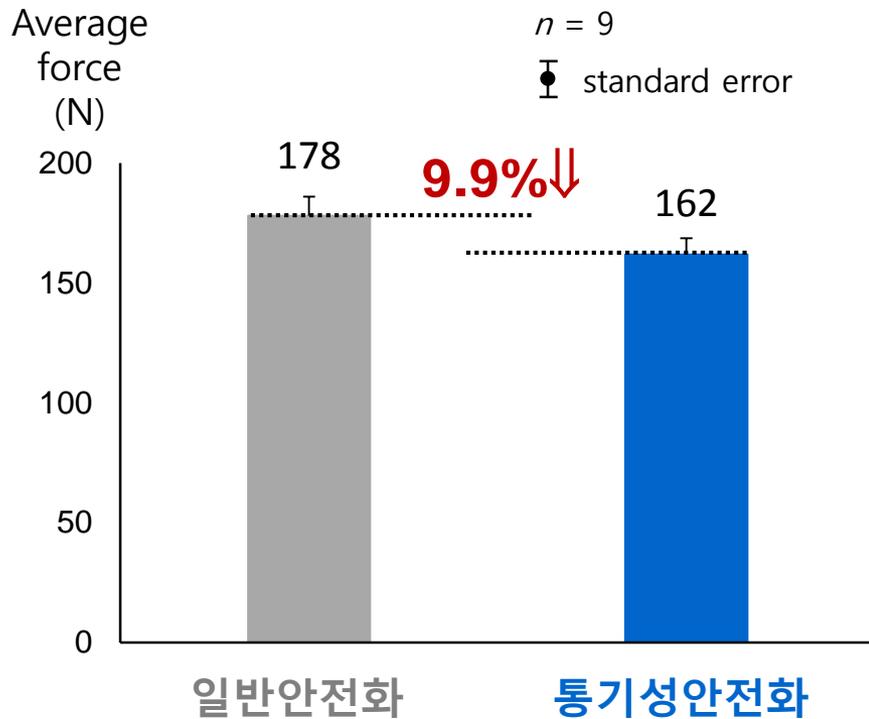
# Muscular Load: EMG

- 통기성 안전화는 일반 안전화에 비해 하지 muscular load가 vastus medialis에서 9%, tibialis anterior에서 3%, gastrocnemius에서 11% 낮음



# Outsole Force

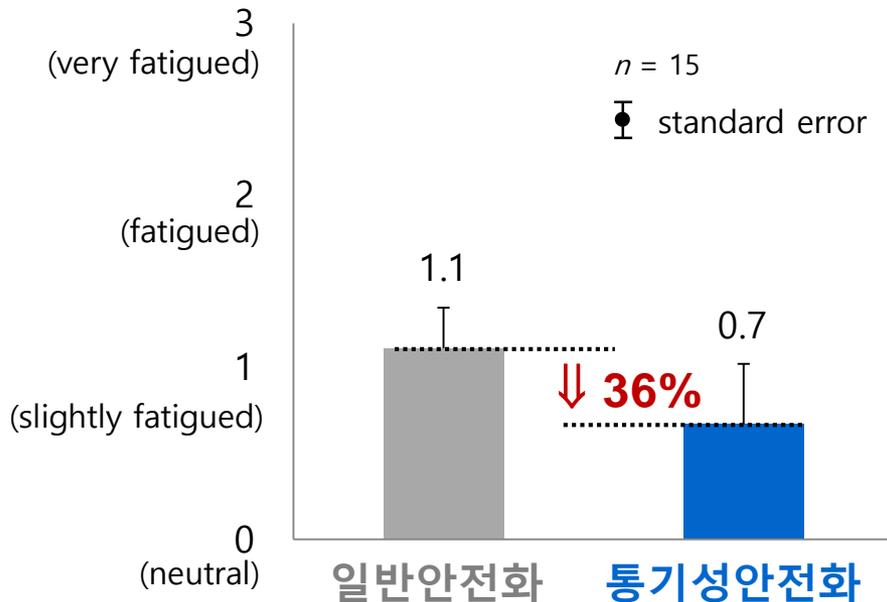
- 통기성 안전화는 일반 안전화에 비해 outsole에서 측정된 mean force가 9.9%, peak force가 5.6% 낮음



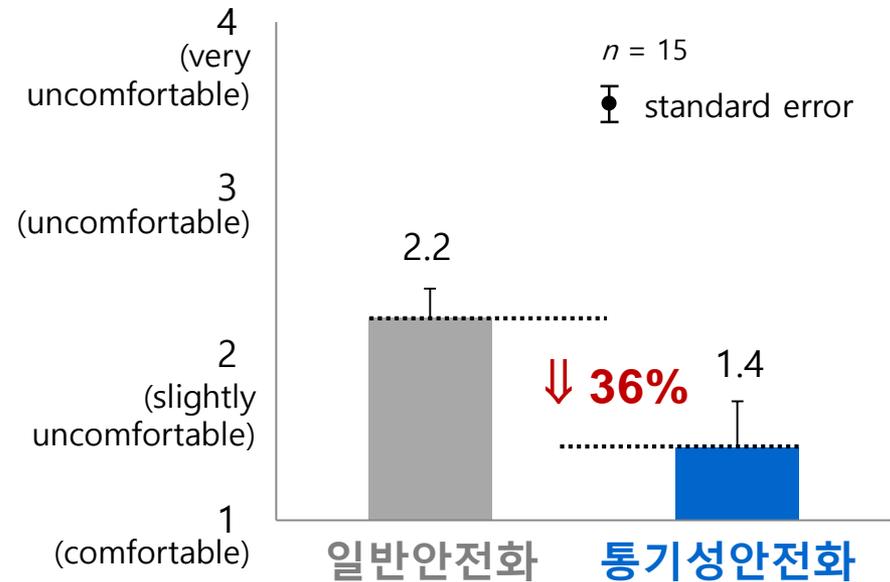
# Fatigue Sensation; Fit

- 통기성 안전화는 일반 안전화에 비해 피로감이 36% 낮고, 착화감이 36% 높음

## Fatigue sensation



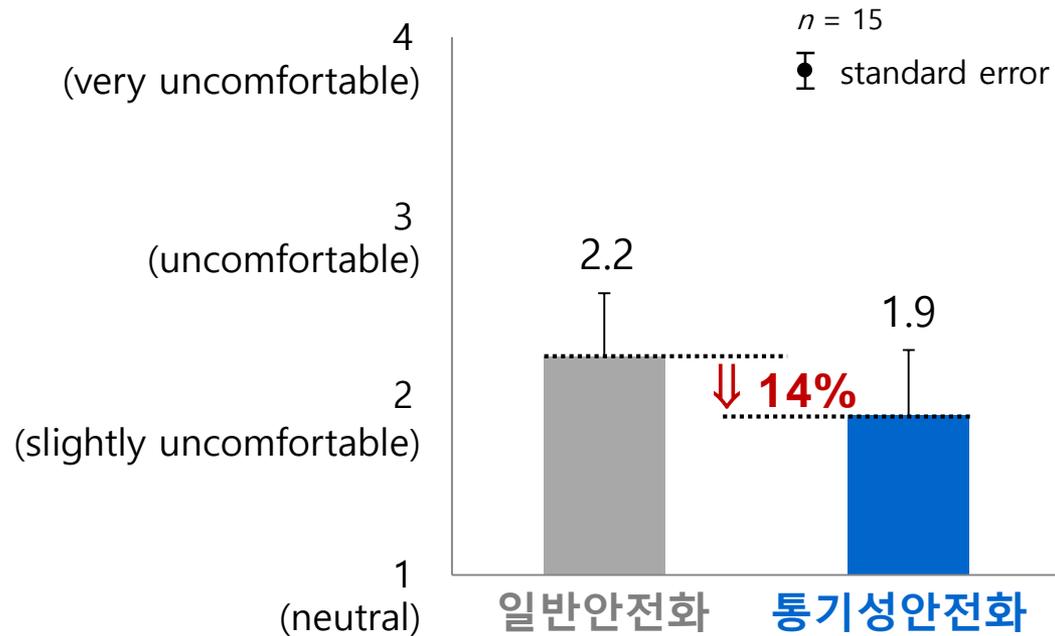
## Wearing comfort



# Cushion Comfort

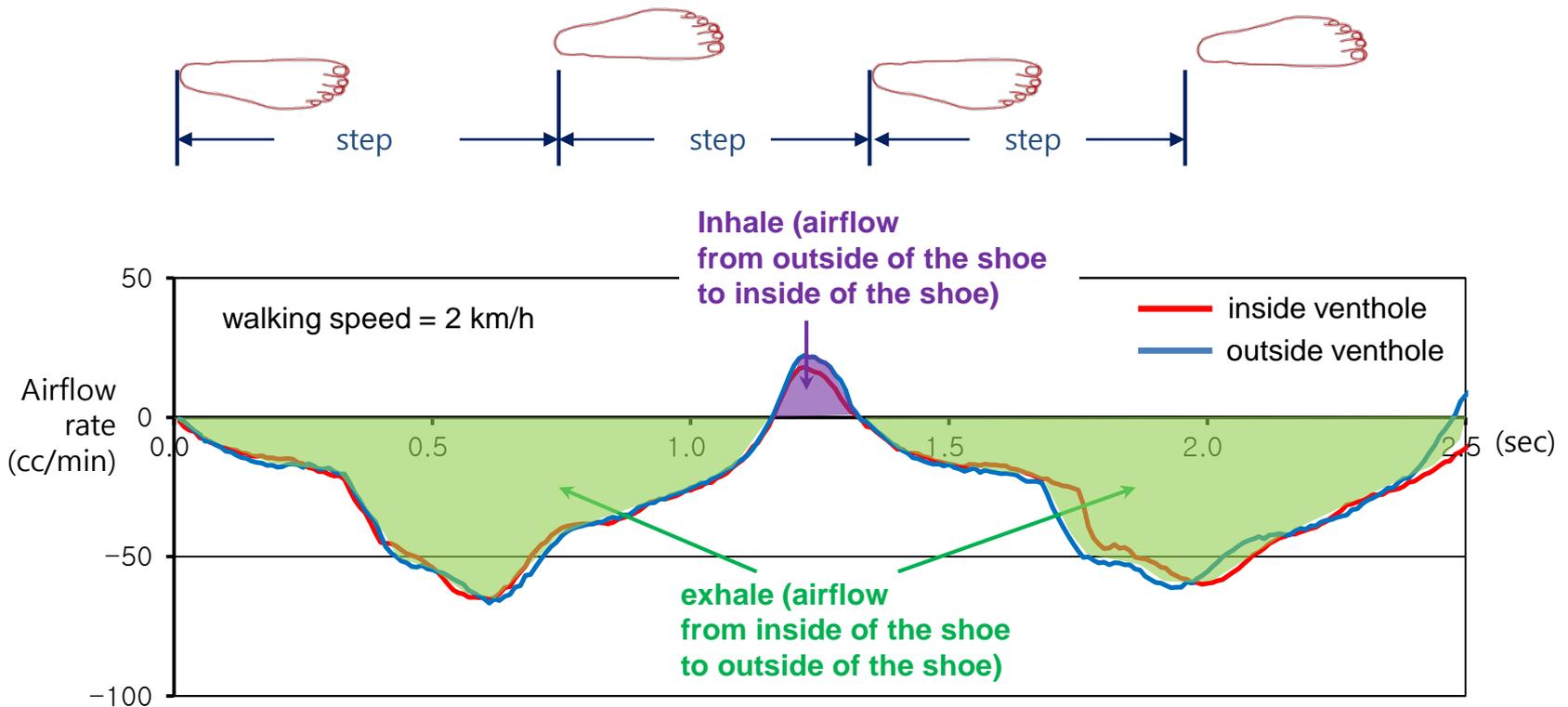
- 통기성 안전화는 일반 안전화에 비해 쿠션감이 14% 높음

## Cushion comfort



# Airflow Rate

- 통기성 안전화의 air ventilation system을 통한 공기 유량은 분당 최대 80 ~ 124 cc 의 공기가 유출입 됨



# Airflow Visualization

- 통기구의 공기 유출입의 가시화는 Nebelfluid(파라핀 오일)을 사용하여 평가
- 중창부위의 air ventilation system 통해 공기의 유출입 여부 확인



# 통기성 안전화의 효과

- 통기성 안전화의 air ventilation system 효과가 검증됨
- 착용쾌적성 및 충격흡수 평가 모든 항목에서 통기성 안전화가 우수한 것으로 파악됨

평가 항목	일반안전화	통기성 안전화	Air ventilation system 효과	
착용쾌적성	Skin Temperature	34.0°C	33.7°C	0.3°C (최대: 0.5°C) ↓
	In-side Temperature	32.9°C	32.7°C	0.2°C (최대: 0.8°C) ↓
	In-side Humidity	82.6%	68.4%	13.1% (최대: 17.8%) ↓
	Amount of Sweating	44 mg	29 mg	15 mg (34%) ↓
	Thermography	맨발: 32.4°C 양말: 30.6°C 신발: 28.3°C	맨발: 32.1°C 양말: 30.3°C 신발: 28.1°C	0.2 ~0.3°C(최대 2°C) ↓
	Subjective sensation	온열감: 1.5점 습윤감: 5.0점 쾌적감: 2.0점	온열감: 1.0점 습윤감: 4.5점 쾌적감: 1.6점	온열감: 0.5점 (33%) ↓ 습윤감: 0.5점 (10%) ↓ 쾌적감: 0.4점 (20%) ↓
충격흡수	EMG(μV)	대퇴이두근: 25.8 내측광근: 39.4 전경골근: 57.7 비복근: 55.4	대퇴이두근: 25.7 내측광근: 35.8 전경골근: 56.2 외측비복근: 49.6	대퇴이두근: 0.1 ↓ 내측광근: 3.6 (9%) ↓ 전경골근: 1.5(3%) ↓ 외측비복근: 5.8 (11%) ↓
	Outsole force(N)	평균힘: 178 최대힘: 362	평균힘: 162 최대힘: 343	평균힘: 16 (9.9%) ↓ 최대힘: 19 (5.6%) ↓
	Subjective sensation	피로감: 1.1점 착화감: 2.2점 쿠션감: 2.2점	피로감: 0.7점 착화감: 1.4점 쿠션감: 1.9점	피로감: 0.4점 (36%) ↓ 착화감: 1.4점 (36%) ↓ 쿠션감: 1.9점 (14%) ↓

# 토 의

## □ 통기성 안전화의 착용쾌적성 검증

- **Air ventilation system 통풍 효과:** 정량적, 정성적 측면에서 종합적으로 검증
- **충격흡수 평가:** 중창의 독립 셀 구조로 인한 충격 분산 효과 검증
- **공기 유량 및 가시화 평가:** 통기구의 공기 유량 및 공기 흐름 검증

## □ Air ventilation system 효과

- Air ventilation system: **착용쾌적성 향상**
- 신발내 온, 습도 감소: **피부병(무좀) 완화 효과**
- 충격 분산 효과: **근 피로도 및 근육 부하 감소**

## □ 추후 연구

- **실제 건설 현장에서의 평가:** 장기간 착용시 발질환 완화 효과의 임상적 검증
- **착용쾌적성 평가 protocol:** 기능성 신발의 쾌적성 평가에 적용
- **Air ventilation system 적용**(예: 군화, 작업화, 캐디화): 쾌적성 향상 기대

**통기성 안전화 착용시 → 작업능률 및 안전성 향상 효과**



# Thank You

