

실리콘 태양전지를 활용한 공기순환 의복의 태양광 입사각에 따른 효율성 및 쾌적성평가

이지연 · 조아라 · 정예리 · 김은애[†]

연세대학교 의류환경학과

Efficiency and Comfort Properties of Silicon Solar Cell Applied Air Circulation Jacket according to the Incident Angle of Sunlight

Jiyeon Lee · Ara Cho · Yelee Jung · Eunae Kim[†]

Dept. of Clothing & Textiles, Yonsei University

접수일(2009년 7월 29일), 수정일(1차 : 2009년 8월 27일, 완료일 : 2009년 8월 31일), 게재확정일(2009년 9월 8일)

Abstract

This study analyzes the efficiency of a solar cell attached to an air circulation jacket. A commercially available silicon solar panel was selected and attached at four spots where the body angle was 40-60° and voltage (V_{oc} , V), current (I_{sc} , A), and output power (P , W) were measured to determine the efficiency. The solar panel was applied to the outer jacket that operates with two fans to increase the convection that lowers the body temperature. The heavy work of standing, walking, and sweeping of a street sweeper was simulated in the field test. The microclimate within the jacket (with or without a fan) was measured and the subjective thermal, humidity, and comfort sensations were surveyed. SPSS 12.0 statistical package was used for a t-test and Wilcoxon signed-rank test. The results show that the highest efficiency of the solar cell was at the incident angle of 60° in terms of voltage, current and output power distribution. The microclimate temperature of the air circulation jacket decreased significantly with the high power of the fan and subjects felt cooler than the jacket with a fan at the incident angle of 60°. Air circulation jackets operated by a silicon solar panel showed a significant cooling effect on the wearers.

Key words: Silicon solar cell, Incident angle, Air circulation jacket, Comfort sensation; 태양전지, 입사각, 공기순환 의복, 쾌적감

I. 서 론

오늘날 과학기술의 발전은 첨단기술과의 융합을 통해 제 2의 피부인 의복의 기능을 좀 더 효과적으로 수행하면서 스스로 주변 환경과 상호작용하여 반응함으로써 스스로 조절이 가능한 스마트 웨어를 탄생시켰다. 이러한 스마트 웨어는 초기에는 군사용으로 개발되었으나 최근에는 MP3, 인체 모니터링 센서, 전

열 보온 기구 등 일상생활의 편리성과 안전성 및 체온 조절용으로까지 사용 범위가 확대되고 있다. Burr and Krans(2006)에 따르면 스마트 직물은 2003년 3억 3천 달러에서 연평균 19%씩 높은 성장을 하고 있으며 스마트 섬유가 의류산업과 전자기기산업에서 주요한 위치를 차지하기 위해서는 센서, 작동기, 전력 공급 장치, 플라스틱 전기기기와 광기전성 등에서 많은 점들이 개선되어야 한다고 보고하였다.

현재 전력 공급이 필요한 스마트 의류는 대부분이 소형화, 경량화 된 배터리를 적용, 시판하고 있으나

[†]Corresponding author

E-mail: eakim@yonsei.ac.kr

이러한 배터리는 일정시간 사용 후 소모되어 재충전이 불가피하고 충전시간도 오래 걸린다. 특히 야외에서 장시간 사용 시 추가적 전력 공급이 불가능하여 연속성의 제한이 따르며 수명이 짧아 폐기 시 환경오염 문제가 뒤따르게 된다. 최근 다양한 분야에서 적용 가능성을 인정받고 있는 태양전지는 스마트 의류의 배터리 소모 문제를 근본적으로 해결할 수 있다는 점에서 주목 받을 만하다. 과거 10년간 빠르게 성장한 태양전지는 기존의 발전 시스템과 달리 에너지 변환과정에서 기계적, 화학적 변환장치를 거치지 않고 빛 에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 단순한 시스템 장치로 유지·보수가 거의 필요 없고 20~30년의 긴 수명을 갖고 있는 안전하고 환경 친화적인 차세대 대체에너지이다.

이러한 태양전지가 의복에 적용되기 위해서는 경량, 소형, 눈에 잘 띄지 않고 관리가 용이한 특성을 지녀야 하며 특히 사용자가 입는데 불편함을 느끼지 않도록 유연한 섬유와 같은 성질을 지니고 있어야 한다. 의복에 적용하기 가장 좋은 태양전지로는 얇고 유연하며 염색이 가능한 염료감응형 태양전지를 들 수 있다. Peumans(2008)과 Kennedy(2008)는 섬유형태의 태양전지를 적용한 텍스타일이 개발되어 있으나 아직 그 효율 면에서는 낮다고 보고하였다. 그러나 염료감응형 태양전지가 실리콘 태양전지와 같은 높은 효율만 확보한다면 태양전지를 적용한 의복 개발가능성은 무한하다고 할 수 있다. 현재 가장 높은 효율을 보이는 태양전지는 실리콘 태양전지이며 최대 25%의 효율을 보이고 있다. 태양전지는 지역별 방위각, 입사각, 계절, 일사량 변화, 온도 변화 등 환경변화조건에 따라 개방전압, 단락전류, 전력량이 달라져 그 효율에 영향을 미치는데(김기범, 2003) 의류에 적용하기 위해서는 입사각을 고려해서 부착방법을 모색해야한다.

그러나 지금까지 인체의 각도를 고려한 태양전지 부착 위치와 입사각에 따른 효율에 관한 연구는 찾아보기 어렵고 직접 의복에 적용한 연구 또한 미비한 실정이다. Mohiuddin(2005)과 박찬구(1982)는 태양전지의 입사각이 40~70°일 때 가장 높은 전력을 낼 수 있다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 인체의 각도를

고려하여 입사각이 이 범위에 드는 위치를 선정한 후 태양의 입사각에 따른 솔라 패널의 효율을 객관적으로 분석함으로써 의복에 태양전지를 효율적으로 부착하는 위치와 각도를 제안하고자 한다. 솔라 패널을 부착하는 의복으로는 팬을 장착하여 의복 내 기류를 증가시킨 공기순환 의복을 선정하였으며, 환경미화원이 하루 평균 8시간 이상 태양광에 노출되는 것을 감안하여 이들 작업복에의 적용가능성을 검토하였다.

II. 연구방법

1. 실험방법

1) 실리콘 솔라 패널의 특성

사용된 솔라 패널은 시중에 유통되고 있는 실리콘 태양전지(Model: HS 1W, 해성솔라)로 구체적인 특성은 <Table 1>과 같다.

2) 실리콘 솔라 패널의 효율성 평가

(1) 솔라 패널의 효율성 평가

태양의 입사각에 따른 개방전압, 단락전류, 전력이 가장 높은 입사각을 도출하기 위해 솔라 패널의 각도를 0~90°까지 10° 단위로 조절해가면서 멀티미터(Model: 3804-50 by HIOKI)를 사용하여 측정하였다, 실제 의복에 적용하였을 때 가장 높은 효율을 얻기 위한 솔라 패널의 위치와 입사각 선정을 위해 평균 인체 치수와 유사한 남자 마네킨을 사용하여 경추부터 천추까지의 인체의 각도를 측정하였다. 인체의 각도는 쇄골과 쇄골 사이의 정중심라인, 앞 어깨의 1/4라인, 경추라인, 뒷 어깨의 1/4라인에서 각도가 급변하는 부분만 선정하여 측정하였다(Fig. 1)(Table 2). 인체각도 측정 결과와 선행연구(박찬구, 1982; Mohiuddin, 2005)를 바탕으로 입사각 40~60°에 해당되는 임의의 네 지점을 선정하여 각각 개방전압, 단락전류, 전력을 측정, 가장 높은 효율을 나타낸 지점을 도출하였다. 모든 실험은 신촌에 위치한 대학 캠퍼스에서 2009년 5월 화창한 날에 실시하였다.

(2) 솔라 패널 부착 의복 제작

솔라 패널 부착을 위해 실험에 사용된 공기순환 의

Table 1. Physical characteristics of silicon solar cell

Dimension	Weight (g)	Voc (V)	Isc (A)	Vop (V)	Iop (A)
170x122x2mm	90.7	6.9	0.25	5.7	0.24

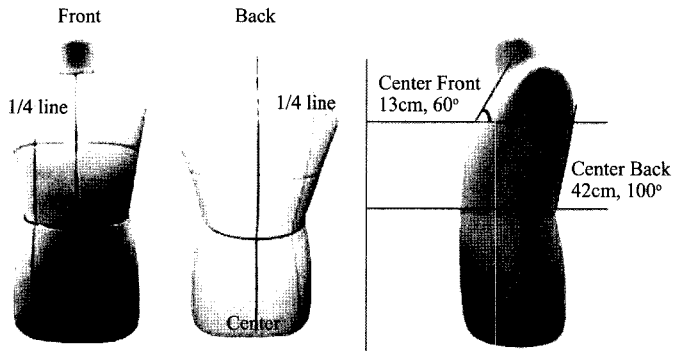


Fig. 1. Body angle measurement of male manikin.

Table 2. Human body angle of male body manikin

Center Front		Front 1/4 line		Center Back		Back 1/4 line	
Length (cm)	Angle (°)	Length (cm)	Angle (°)	Length (cm)	Angle (°)	Length (cm)	Angle (°)
13	60	4	20	4	60	3	7
18	70	8	33	8	81	6	30
22	75	17	60	14	78	9	40
31	87	25	77	22	92	11	70
39	90	30	85	42	100	15	83
45	92	41	95	54	85	20	93

복은 일본 Kuchofuku사의 자켓(P-500)<Fig. 2>으로 과도한 작업 시 인체의 온도를 낮추기 위해 두 개의 팬을 사용하며 그 구체적인 특성은 <Table 3>과 같다.

팬의 성능은 전압이 높아질수록 회전수가 많아지고 전류가 높아질수록 토크(힘)가 세지는 원리에 기인하여 태양전지의 전력이 증가할수록 팬의 성능이

좋아져 기류에 영향을 미치게 된다. 솔라 패널의 부착 위치는 실제 팬을 작동시켰을 때 의복 내 레이어의 공기팽창에 따라 각도가 변화하고 환경미화작업에 따라 인체 각도가 달라지는 작업 특성을 고려하여 선정하였다. 솔라 패널의 효율성 평가에서 가장 높은 효율을 보인 정중앙 등 부분 중에서도 팬 작동여부에 영

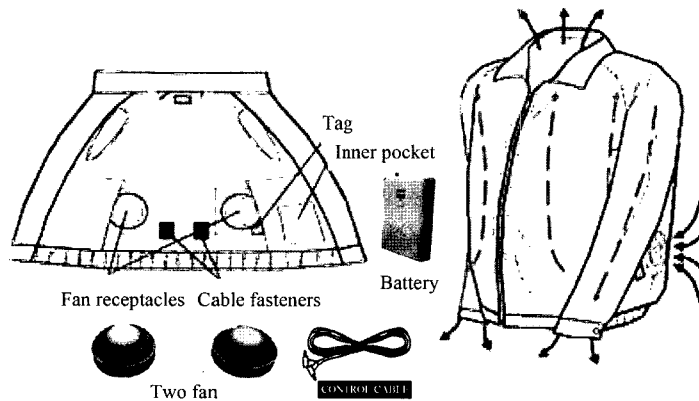


Fig. 2. Commercial air circulation jacket.

Table 3. Characteristics of commercial air circulation jacket

Fiber contents		cotton-polyester
Maximum air conditioning capacity		500kcal/hr
Air flowing		12ℓ/sec
Power consumption	Voltage	4.8V
	Current	0.52A
	Power	2.5W
Weight		550g

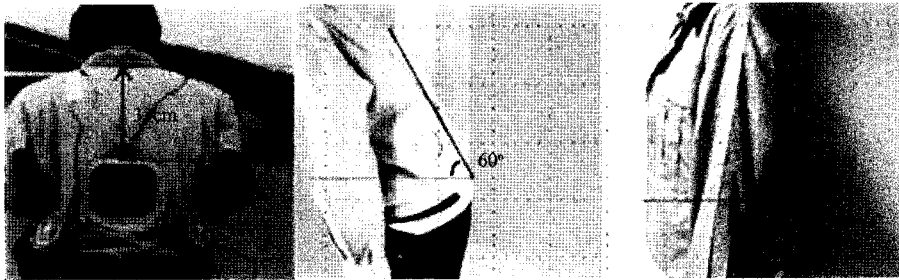


Fig. 3. Location of solar panel and incident angles.

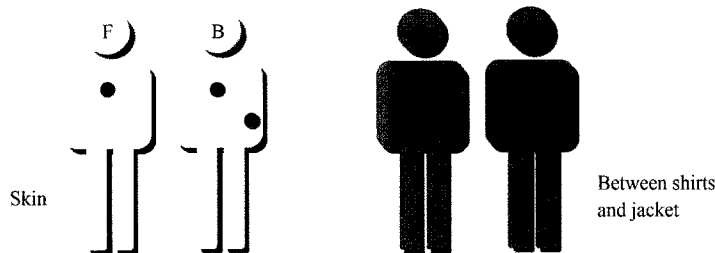


Fig. 4. Location of temperature sensors attached at five points.

향을 받지 않으면서 직립 시 태양의 입사각이 90°가 되고, 인체를 숙여 60°로 동작 시 태양의 입사각이 60°로 구현될 수 있는 경추 33cm 내려온 지점으로 하였다(Fig. 3).

3) 실리콘 솔라 패널 적용 의복의 착용 성능 평가

피험자 착용 성능 실험은 환경온도 33.2±1.5°C, 습도 18.7±5.0%R.H.(Model: TRH-CA, SHINYEI) 상태를 유지하는 화창한 날을 선정하여 5월 한 달간 실시하였다. 참여한 피험자는 20세에서 25세의 건강한 성인남자 6명으로 흡한 속건 소재의 긴팔 상의와 하의를 착용하였으며 긴팔 상의 위에 솔라 패널을 부착한 공기순환 의복을 착용하고 팬의 가동, 비가동에 따라 1분 간격으로 피험자의 의복 내 미세기후 온도를 측

정하였다. 의복 내 미세기후 온도를 측정하기 위해 피험자의 가슴과 등 견갑골 사이, 팬이 달려있는 위치와 부합하는 오른쪽 옆구리와 가슴과 등 동일 지점 첫 번째 레이어 총 5곳에 걸쳐 센서(Model: MSR modular signal recorder, Switzerland)를 <Fig. 4>와 같이 부착하였다.

피험자 착용 성능 평가는 하루 8시간 담당 지역에서 빗자루와 쓰레받기, 쓰레기 자루를 사용하여 쓰레기를 청소하는 거리환경미화원의 작업을 기준으로 실시하였다. 선행연구(명준표 외, 2008; 이향기 외, 2007)를 바탕으로 걷기, 쓸기, 담기에 해당하는 동작과 유사한 동작으로 진행되었고 피험자는 의복 착용 후 상온에서 약 10분간 안정 후 90°로 5분간 서있기, 90°로 5분간 빗자루와 쓰레받기를 들고 걷기, 60°로 5분간 인

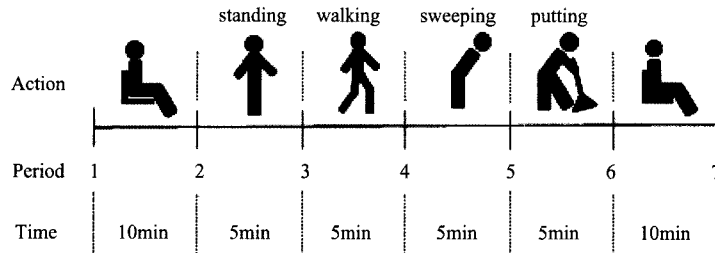


Fig. 5. Subjective test protocol.

체를 구부려 담기, 60°로 5분간 쓸기, 10분간 회복 단계를 거쳐 총 40분에 걸쳐 실험을 실시하였다(Fig. 5). 각도는 선행연구에서 높은 비율을 차지하는 작업자세로 몸을 20~60° 구부리는 것(47.9%)과 90°로 세우는 것(25.4%)으로 분석한 것 뿐 아니라 가장 높은 효율을 나타내는 지점의 태양의 입사각 결과까지 고려하여 선정된 것이다.

의복 내 열 수분 변화의 심리적 인지를 평가하기 위해서 솔라 패널로 팬이 동작하는 공기순환 의복의 온열감, 습윤감, 쾌적감을 ASHRAE 9점, 7점, 7점 척도로 평가하였으며, 센서로 측정된 피부온도와외의 관계를 규명하기 위해 객관적 데이터와 주관적 데이터 간 상관관계를 살펴봄으로써 솔라 패널로 가동되는 공기순환 의복의 쾌적성을 평가하였다.

2. 분석방법

자료분석을 위해 SPSS 12.0 통계 패키지를 사용하였고, 의복 내 미세기후 온도를 평균 및 표준편차를 통해 대응표본 t-test(two-tailed)로 분석하였다. 온열감, 습윤감 및 쾌적감은 Wilcoxon signed-rank test로 검정하였으며 모든 그래프는 평균값으로 표기하였다. 착용 성능 평가의 미세기후 온도 그래프의 경우 총 8명의 피험자 중 분산분석을 통해 유의한 차이를 보이는 2명을 제외하고 6명의 평균값으로 표기하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 실리콘 솔라 패널의 효율성 평가

태양의 입사각에 따른 실리콘 솔라 패널의 개방전압, 단락전류, 전력은 <Fig. 6>과 같다. 개방전압과 단락전류, 전력을 모두 고려하였을 때 높은 수치를 나타낸 입

사각은 선행연구(박찬구, 1982; Mohiuddin, 2005)와 유사한 40~60°로 나타났으며, 남자 바디 마네킨을 이용한 인체각도 측정 결과 입사각 40~60°에 해당되는 임의의 네 지점 중 2.72W로 가장 높은 전력량을 나타낸 정중앙 등 부분은 60°의 입사각을 가지는 것으로 나타났다(Table 4).

2. 실리콘 솔라 패널 적용 의복의 착용 성능 평가

실리콘 솔라 패널을 적용한 공기순환 의복의 미세기후 온도 변화는 다음과 같다. <Fig. 7>과 같이 팬을 작동시킨 경우가 팬을 작동시키지 않은 경우보다 전반적으로 낮은 가슴 피부온도를 보이는 것으로 나타났다, 특히 태양의 입사각이 90°가 되도록 동작하는 것보다 60°가 되도록 동작하는 경우에 팬을 작동시킴으로써 최대 1.5°C 피부온이 떨어지는 것으로 나타났다. 통계적으로도 60°로 서서 동작하는 24분~28분까지 유의미한 것으로 나타났으며($p < .05$) 동작 종료 후 안정기까지 지속적으로 더 낮은 온도가 유지되는 경향을 보였다.

등 피부온도 또한 유사한 경향을 나타냈으나, 가슴 피부온도보다는 다소 높은 온도를 보이는 것으로 나타났다. 온도 변화 폭 또한 적은 것을 알 수 있다(Fig. 8). 따라서 태양의 입사각이 60°가 되도록 동작하는 경우 솔라 패널로 작동하는 팬을 가동시켰을 때 최대 0.95°C 피부온이 떨어져 34.5°C를 유지하였으며, 동작이 끝난 후에도 그 경향은 지속되는 것으로 나타났다. 통계적으로도 60°로 서서 바닥을 쓰는 동작에 해당되는 24분~29분, 동작 종료 후 안정기에 해당되는 37분~40분 모두 유의미한 것으로 나타났고($p < .05$), 특히 동작 종료 후 안정기에 돌입하는 29분~37분까지는 매우 유의미한 것으로 나타나($p < .01$) 솔라 패널을 적용한 공기순환 의복의 의복으로서의 가

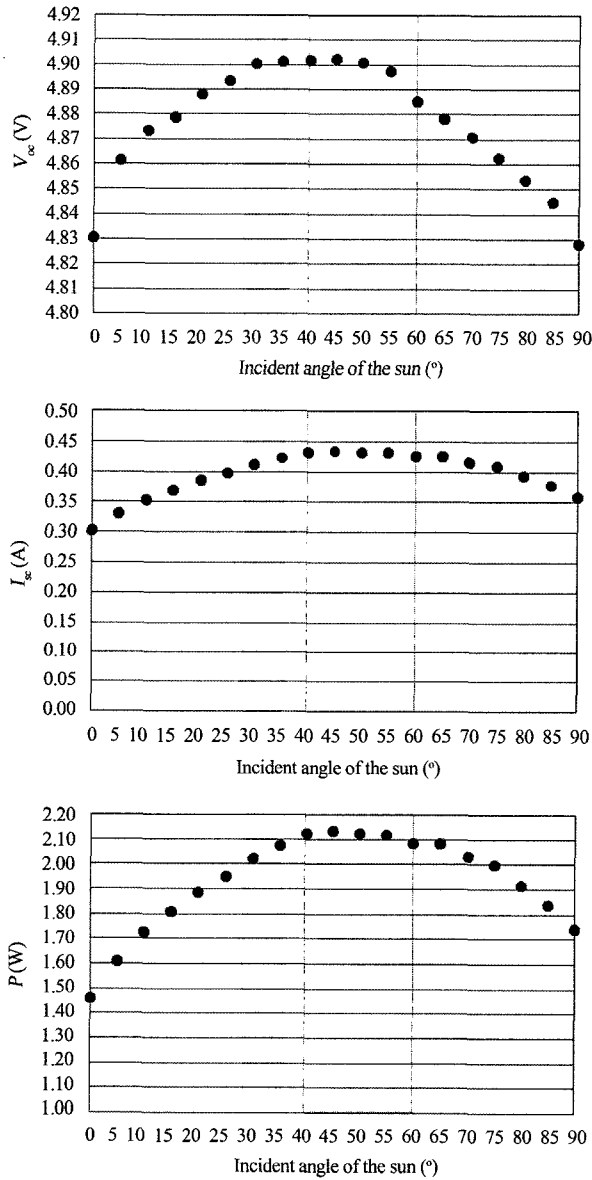


Fig. 6. V_{oc} (V), I_{sc} (A) and P (W) according to the incident angle of the sun.

Table 4. V_{oc} (V), I_{sc} (A) and P (W) according to the four spots

	Length (cm)	Angle (°)	P (W)	V _{oc} (V)	I _{sc} (A)
Center front	13	60	2.68	4.0	0.67
Front princess line	17	60	2.32	4.0	0.58
Center back	4	60	2.72	4.1	0.67
Back princess line	9	40	2.42	4.1	0.59

$P (W) = V_{oc} (V) \times I_{sc} (A)$

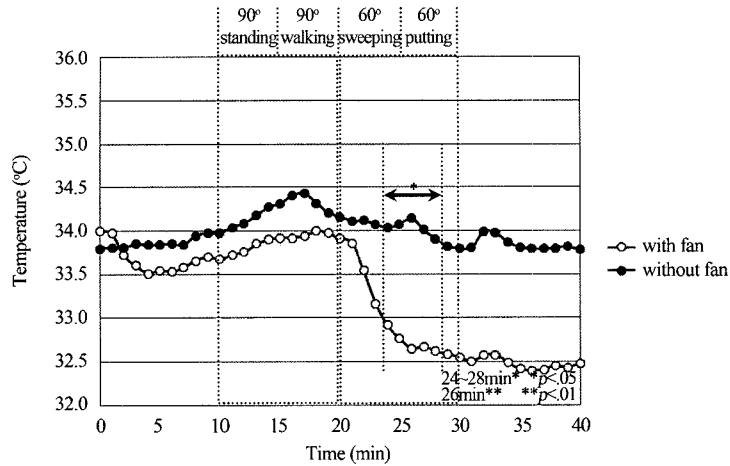


Fig. 7. Microclimate temperature at chest in the skin layer of the clothing with fan and without fan.

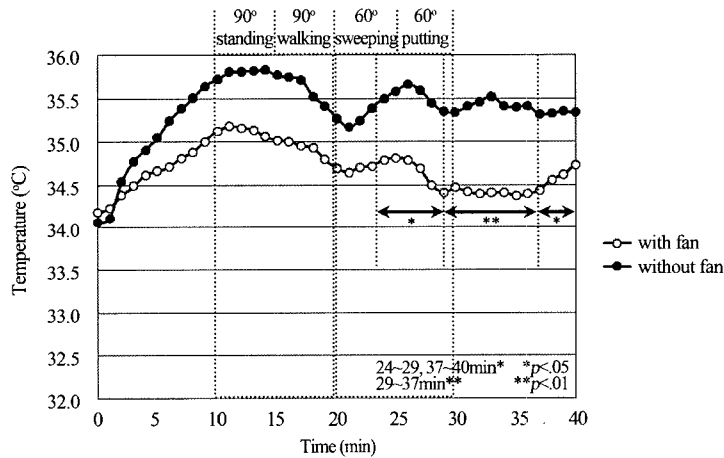


Fig. 8. Microclimate temperature at back in the skin layer of the clothing with fan and without fan.

능성을 확인할 수 있었다.

<Fig. 9>을 보면 팬의 영향을 가장 직접적으로 받는 옆구리가 가슴 피부온과 유사한 경향을 나타냈으며, 통계적으로 유의한 동작 후 안정기에 해당되는 31분~33분의 경우 팬을 작동시켰을 때 최대 2.18°C까지 피부온이 떨어지는 것으로 나타났다. 그러나 60°로 숙여 동작하는 경우 팬을 작동시키므로써 옆구리 온도가 1.98°C 떨어졌음에도 통계적으로 유의미하지는 않았으며, 가슴과 등, 옆구리 모두 전반적으로 90°로 동작하는 것보다 60°로 숙여 동작하는 경우 팬을 틀었을 때 틀지 않은 경우보다 온도 차이가 큰 것으로 나타났는데, 이는 인체를 숙임으로써 등에는 대류가

일어날 수 있는 공간을 만들어주고 가슴에는 움직임에 따른 강제대류가 발생할 수 있도록 만들어 주었기 때문으로 판단된다.

<Fig. 10>은 가슴 부분 첫 번째 레이어에서의 두 시스템 간의 미세기후 온도 차이를 나타낸 것으로 가슴 피부온과 유사한 경향을 나타내지만 그 폭은 훨씬 큰 것으로 나타났는데, 이는 팬이 직접 작동하는 레이어이기 때문으로 판단된다. 또한, 60° 동작 시 팬을 가동시키므로써 최대 3.65°C 온도 차이가 발생하는 것으로 나타났고, 특히 60°로 숙여 바닥을 쓰는 동작을 반복하는 25분~27분의 경우 통계적으로 매우 유의미한 것으로 나타났다(p<.01).

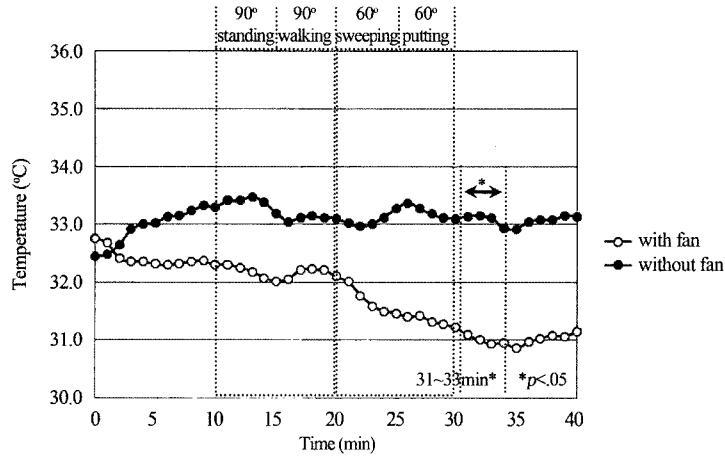


Fig. 9. Microclimate temperature at side in the skin layer of the clothing with fan and without fan.

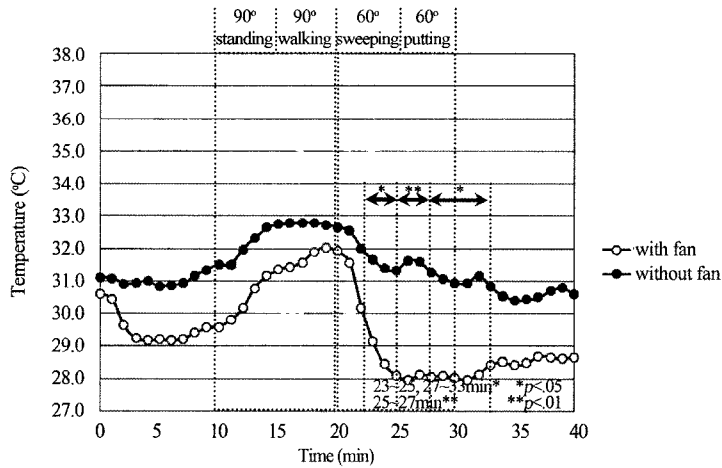


Fig. 10. Microclimate temperature at chest in the first layer of the clothing with fan and without fan.

반면 <Fig. 11>은 등부분 첫 번째 레이어에서의 두 시스템 간의 미세기후 온도 차이를 나타낸 것으로 60° 동작 시 팬을 작동시키지 않았을 때 37.61°C, 팬을 작동시켰을 때에도 35.83°C까지 오른 등 부분 첫 번째 레이어의 미세기후 온도는 팬이 직접 작동되는 레이어임에도 솔라 패널이 최외층에 직접 부착됨으로써 태양광을 받아 온도 상승에 영향을 미친 것으로 해석된다. 실제로 솔라 패널의 위치를 가슴으로 변경하여 실험을 진행한 결과 가슴 부분 첫 번째 레이어의 온도가 상승하는 것으로 나타났다. 따라서 인체쾌적성에 크게 영향을 미치지 않는 솔라 패널 위치 선정이 필요한 것을 알 수 있다.

<Table 5>는 팬을 가동하였을 때 90°로 동작한 경우와 60°로 동작한 경우의 평균 미세기후 온도를 나타낸 것이다.

팬을 작동시켰을 때와 작동시키지 않았을 때의 솔라 패널을 적용한 공기순환 의복의 온열감, 습윤감 및 쾌적함에 대한 평가 결과는 다음과 같다. <Fig. 12>에서 보는 것처럼 피험자들은 전반적으로 팬을 가동시켰을 때 열적으로 쾌적함을 느끼는 것으로 나타났고 90°와 60° 동작 시 팬을 작동시키지 않았을 때 덥다고 느낀 피험자들은 솔라 패널을 이용하여 팬을 작동시켰을 때 덥지도 춥지도 않다(neutral, 6점)와 약간 덥다(slightly warm, 7점)의 중간 상태를 보이는 것으로

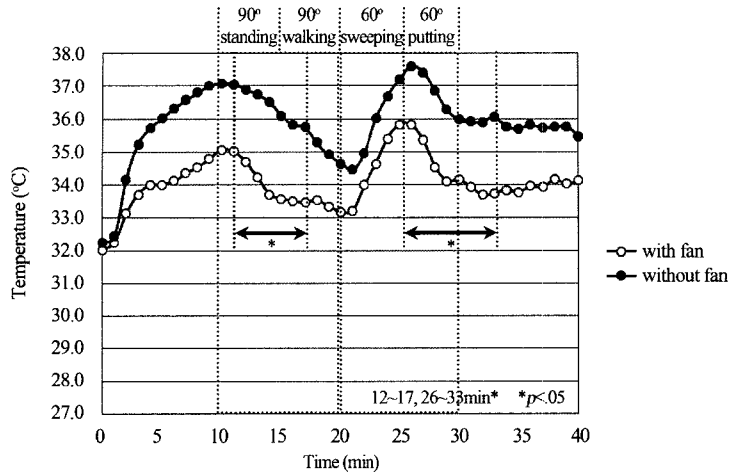


Fig. 11. Microclimate temperature at back in the first layer of the clothing with fan and without fan.

Table 5. Effect of different angle on the average microclimate temperature of the clothing

	Chest	Back	Side	1 st Chest	1 st Back
Worked at 90°	33.89	34.99	32.17	31.22	33.83
Worked at 60°	32.94	34.66	31.50	28.78	34.71
ΔT	0.95	0.33	0.67	2.44	-0.88

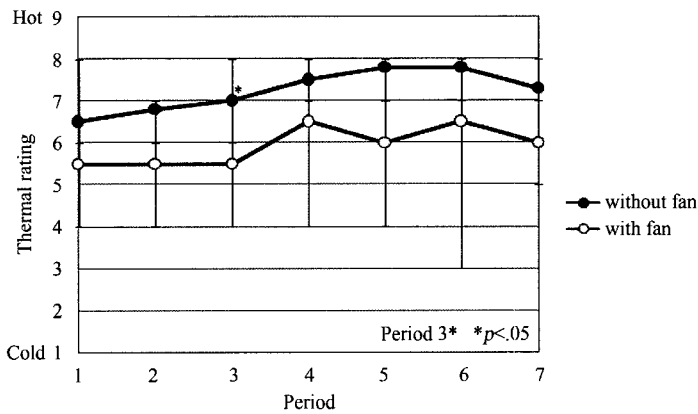


Fig. 12. Thermal sensation of the clothing with fan and without fan.

나타났다. 하지만 태양의 입사각이 90°와 60°일 때 느끼는 온열감의 차이는 없는 것으로 나타났다.

습윤감의 경우는 <Fig. 13>에서와 같이 팬을 작동시키는 것이 팬을 작동시키지 않는 것보다 전반적으로 건조한 경향을 나타냈으나, 통계적으로 유의한 차이를 나타내지는 않았다. 특히 동작 시의 경우 미세 기후 온도에서 유의한 차이를 보여 팬 가동 시 피부온

이 떨어지는 경향을 나타냈음에도 실제 피험자들은 발한으로 인한 습윤감으로 인해 그 차이를 크게 인지하지 못 하는 것으로 해석되었다.

<Fig. 14>는 쾌적감을 나타낸 것으로, 가슴, 등, 옆구리 피부온도에서 나타난 온도 차이가 실제 느끼는 온열감에 유의한 영향을 미치지 않았지만, 피험자들의 쾌적감에는 영향을 미쳐 통계적으로 유의미한

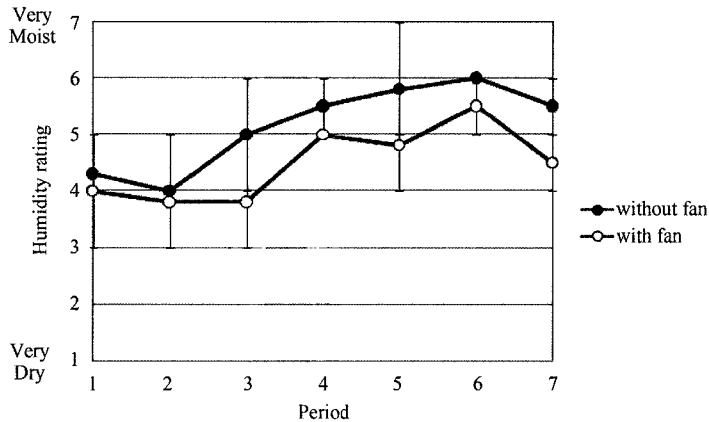


Fig. 13. Humidity sensation of the clothing with fan and without fan.

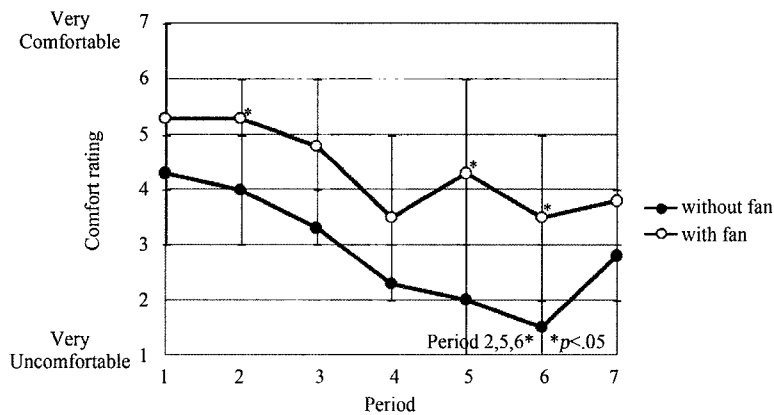


Fig. 14. Comfort sensation of the clothing with fan and without fan.

결과를 보이는 것으로 판단되었다($p < .05$). 또한, 동작 시작 전 안정기에 팬 작동 시 약간 쾌적하다(slightly comfort, 5점)고 느낀 것은 실험 진행 시기가 태양열의 영향을 많이 받는 5월이었기 때문으로 사료된다. 태양의 입사각이 90°일 때 팬을 작동한 것과 작동하지 않은 것 사이의 쾌적감이 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않은 반면, 60°인 경우는 팬을 작동한 것과 작동하지 않은 시스템 사이에서 쾌적감에 있어 통계적으로 유의미한 결과가 나타났다($p < .05$).

IV. 결 론

실리콘 솔라 패널을 적용한 공기순환 의복은 태양의 입사각에 따라 착용자에게 각기 다른 쿨링효과를 발현시키는 것으로 드러났으며, 다른 배터리 없이도

충분히 냉각장치를 작동시켜 쿨링효과를 부여할 수 있는 것으로 확인되었다. 전압과 전류, 전력량을 모두 고려하여 가장 높은 효율을 나타내는 태양의 입사각은 60°였다.

피험자를 통한 착용 성능 평가는 가슴과 등, 옆구리 모두 전반적으로 90°로 동작하는 것보다 60°로 숙여 동작할 때 팬의 가동, 비가동에 따라 각기 그 피부온에서 0.95°C, 0.33°C, 0.67°C 온도 차이가 나타나는 것으로 분석되었고, 가슴, 등, 옆구리에서 나타난 온도 차이가 피험자들이 느끼는 온열감 및 습윤감에 유의한 영향을 미치지 않았지만, 피험자들의 쾌적감에 영향을 미치는 것으로 해석되었다. 마찬가지로, 태양의 입사각이 90°일 때 팬의 가동여부에 따른 쾌적감이 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않은 반면, 60°의 경우 팬의 작동여부에 따라 그 쾌적감에 있어

통계적으로 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 또한, 솔라 패널이 부착된 위치에서는 열과 땀의 배출이 원활히 이루어지지 않아 착용자의 쾌적성에 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있었다.

이상의 결과로부터 솔라 패널의 부착 위치는 입사각이 60°가 되는 지점이 가장 효율적이며, 부착 부위에 있어서의 쾌적감 저하 요소를 최소화할 수 있는 방안이 마련되어야 할 것으로 판단되었다.

참고문헌

- 김기범. (2003). 태양전지 어레이의 입사각에 따른 발전 효율에 관한 연구. 조선대학교 대학원 석사학위 논문.
- 명준표, 이향기, 김형렬, 정혜선, 정은희, 남웅, 구정완. (2008). 환경미화원의 작업별 근골격계질환 자각증상 특성과 상지의 인간공학적 평가. *대한산업학회지*, 20(2), 93-103.
- 박찬구. (1982). 실리콘 태양전지의 설치각도에 따르는 특성 변화에 관한 연구. 인하대학교 대학원 석사학위 논문.
- 이향기, 명준표, 정은희, 정혜선, 구정완. (2007). 거리환경미화원의 근골격계 증상의 특징 및 인간공학적 평가. *대한인간공학회지*, 26(4), 146-152.
- Burr, S., & Krans, M. (2006). Developing the technology, applications and markets for interactive textiles: Smart Fabrics. *Environmental expert*. Retrieved November 23, 2009, from <http://www.environmentalexpert.com/events/smart2006/Smart%20Fabrics%202006.pdf>
- Kennedy, S. (2008). *MIT lecturer develops solar textiles, redefines curtain function*. Berlin: Vitra Design Museum green-living exhibition.
- Mohiuddin, Z. A. (2005). *Effect of direction and tilt angle of solar cells on power generated*. Los Angeles, CA: California State Science Fair.
- Peumans, P. (2008). Solar textile. *Plone*. Retrieved May 20, 2009, from http://peumans-pc.stanford.edu/research/solar-textile/index_html