

통기성 향상을 위한 하계비행복 설계 및 착용쾌적성 평가

전은진¹⁾ · 박세권²⁾ · 유희천³⁾ · 김희은^{1)†}

¹⁾경북대학교 의류학과

²⁾공군사관학교 시스템공학과

³⁾포항공과대학교 산업경영공학과

Wearing Comfort Evaluation of a Summer Flight Suit to Improve Ventilation

Eun-Jin Jeon¹⁾, Sei-Kwon Park²⁾, Hee-Cheon You³⁾, and Hee-Eun Kim^{1)†}

¹⁾Dept. of Clothing & Textiles, Kyungpook National University; Daegu, Korea

²⁾Dept. of Systems Engineering, Korea Air Force Academy; Choongbuk, Korea

³⁾Dept. of Industrial & Management Engineering, POSTECH; Pohang, Korea

Abstract : This study verified the effect of summer flight ventilation developed in a previous study based on wearing comfort evaluation. Seven healthy males in their twenties volunteered for this experiment conducted in acclimatic chamber. The experiment consisted of three consecutive periods of rest (20 minutes), running on a treadmill (10 minutes) and recovery (20 minutes). A comparative evaluation was conducted on the general flight suit which had no ventilation holes and summer flight suit that uses subjective satisfaction measures and objective measures. The subjective satisfaction was evaluated according to the criteria of temperature sensation, wet sensation, thermal comfort and fatigue sensation. The objective satisfaction was measured by skin temperature, microclimate (temperature and humidity), sweat rate and thermography. The comparative wearing evaluation identified the summer flight suit decreased the temperature between skin and suit by 0.42°C (upper arm), 0.9°C (calf) and the skin temperature by 0.3°C (shoulder), 0.4°C (upper arm), 0.5°C (calf) as compared to the general flight suit. The humidity inside the summer flight suit decreased at head (7.73%), shoulder (5.86%), upper arm (5.26%), and calf (8.73%) compared to the one inside the general flight suit. Thermography showed that the air flowed through ventilation holes (neck and armpit). The design of ventilation holes applied to the summer flight suit can be applicable to overall clothing that requires thermal comfort such as dust-free garments, mechanical clothing and combat uniforms.

Key words : ventilation(통기성), summer flight-suit(하계비행복), wearing comfort(착용쾌적성), skin temperature(피부온도), humidity(습도)

1. 서 론

비행복은 조종사들이 전투 비행 환경 및 일상 근무 환경에서 착용하는 의복으로 착용쾌적성 향상을 위해 인체생리학적 측면을 고려하여 설계되어야 한다. 비행복은 사고 시 발생할 수 있는 cockpit 내의 화염으로부터 조종사의 신체를 보호하기 위해 방염섬유로 제작되고 있다(Korea Defense specification: KDC 8415-1022-9, 2009). 일반적으로 의복 소재를 방염처리할 경우 촉감 및 공기 투과도가 낮아져 의복의 통기성을 저해하는 원인이 된다(Lee & Jee, 2006). 따라서, 방염소재로 제작된 비행복은 장시간 착용 시 발생하는 의복 내 고온, 다습, 그리고 발한 등에 조종사가 영향을 받지 않도록 착용쾌적성을 고려하여 설계되어야 한다. 착용자의 인체생리학적 측면과 신체

적 특성을 고려해 설계된 의복은 착용쾌적성 및 동작성을 향상 시킴으로써 업무 효율을 향상시킬 수 있다(Cho et al., 2008).

현재 사용중인 비행복은 착용시에 조종사들이 느끼는 인체생리학적 특성을 고려하지 않고 설계되어 장시간 착용할 경우 생리적 불쾌감이 발생하는 것으로 파악되었다. Jeon(2011)은 기존 비행복의 착용쾌적성에 대해 공군 전투기 조종사 563명을 대상으로 보온성, 흡수성, 통기성, 내구성, 촉감에 대해 5점 척도로 설문한 결과, 통기성에서 2점 이하로 응답한 비율이 77%로 기존 비행복은 통기성이 좋지 않아 착용시 조종사의 인체생리적인 부담이 크다는 점을 파악하였다. 땀의 증발은 열의 발산과 체온 조절에 중요한 방법(Amorim et al., 2006)으로 습도가 높으면 열 발산 능력은 감소하고 발한량이 증가하면서 피부 젖음(Skin Wittedness)으로 인해 불쾌감을 느끼게 된다(Atmaca & Yigit, 2006). 고온 다습한 의복 내 환경에서 체표면의 냉각과 땀의 증발을 극대화하기 위해서는 동작에 의한 공기 순환 이루어져야 한다. 의복내 공기 순환은 상향개구의 굴뚝효과

†Corresponding author; Hee-Eun Kim
Tel. +82-53-950-6224, Fax. +82-53-950-6219
E-mail: hekim@knu.ac.kr

(chimney effect)와 하향개구의 풀무효과(bellow effect)로 인해 발생하고 열과 수분의 이동은 주로 통기구를 통해 이루어지며, 상향개구와 하향개구가 동시에 개방되어 있는 경우에 방열이 최대가 된다(Choi et al., 2001; Cho & Choi, 2013).

비행복의 착용쾌적성 향상을 위해서는 의복 내부의 땀이나 습기를 외부로 방출할 수 있는 통기구(ventilation system)의 적용과 함께 통기구 적용으로 인한 쾌적성 향상 효과에 대한 검증이 필요하다. Ducharme(2006)는 헬리콥터 조종사가 비행복 착용시 느끼는 불쾌감과 열 스트레스를 조사하기 위하여 인체 생리반응과 열적쾌적감을 연구하였다. Turpin Legendre and Meyer(2007)는 보호복의 통기성 유무에 따른 작업수행시의 인체생리반응과 주관적 반응을 연구하였으며, Kim et al.(2006)은 방염복의 형태 개선이 인체생리반응 및 주관적 감각에 미치는 효과를 연구하였다. Lim et al.(2009)은 의복 소재의 특성만으로는 의복내 쾌적성 향상이 제한적이라고 하였으며, 열 및 수분 배출을 위해서는 동작에 따라 의복내부의 땀이나 습기를 외부로 방출할 수 있는 통기구의 적용이 필요하다고 하였다. 그러나 비행복을 착용하는 조종사의 인체생리학적 쾌적성에 대한 연구는 미비한 실정으로 비행능률 향상을 위해서는 비행복의 설계 개선을 통한 착용쾌적성 향상에 대한 연구가 필요하다.

따라서, 본 연구는 통기구를 적용한 하계비행복을 설계하고 설계된 하계비행복에 대한 착용쾌적성을 객관적(피부온, 의복 내기후, 발한량, 표면온도), 주관적(온열감, 습윤감, 쾌적감, 피로감)으로 평가하여 비행복 착용시의 인체생리적 쾌적성 향상 효과를 종합적으로 검증하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1. 하계비행복 설계

본 연구는 조종사 인터뷰 및 비행환경 분석과 통기성 관련 선행 연구를 조사하여 상하일체형 비행복에서 통기구의 적용이 적합한 부위를 선정하였다. 조종사들은 비행시 밀폐된 cockpit 내에서 G-suit, oxygen mask, helmet 등의 비행 장비를 착용

한 상태에서 비행 임무를 수행하고, 직사광선으로 인한 열적 스트레스 및 땀으로 인한 불쾌감을 경험하게 된다. 따라서 비행복내의 열과 수분을 효율적으로 배출하여 착용시 불쾌감을 최소화할 수 있는 하계비행복의 설계가 필요하다. 본 연구는 비행환경 분석, 선행연구 조사, 조종사 인터뷰, 의류학 전문가의 조언 등을 토대로 통기구 적용 위치를 선정하였다. 하계비행복은 선정된 4개 부위(어깨, 겨드랑이, 무릎, 등)에 통기구가 적용되었으며, 통기구 내측은 공기 순환을 위해 망사형태의 메쉬(mesh) 소재를 적용하고 외측에는 통기구가 보이지 않도록 덮개 형태로 처리하였다. 평가용 하계비행복은 공군본부에 의뢰하여 소재, 치수, 패턴의 국방규격을 기준으로 제작 완료한 후 평가에 사용되었다(Fig. 1).

2.2. 착용쾌적성 평가

2.2.1. 피험자 및 실험복

피험자는 기존비행복의 치수체계 중 인구수용율이 높은 것으로 파악된(Jeon, 2011) 사이즈(M90중: 7.65%, M95대: 12.8%, M100대: 10.9%)에 속하는 20대 남성 7명이며, 사이즈별 피험자의 신장과 가슴둘레 범위는 M90중(신장: 168 cm~172 cm, 가슴둘레: 88 cm~92 cm), M95대(신장: 173 cm~178 cm, 가슴둘레: 93 cm~97 cm), M100대(신장: 173 cm~177 cm, 가슴둘레: 98 cm~102 cm)와 같다. 평가에 사용된 비행복은 동일한 소재의 일반비행복과 하계비행복 2종으로 총 14벌의 비행복을 공군본부로부터 제공받아 사용하였으며, 실제 비행시에 착용하는 헬멧과 라이너(liner)도 함께 착용되었다.

2.2.2. 평가 방법 및 항목

착용쾌적성 평가는 인공기후실(climatic chamber; 26±1°C, 50±5%)에서 실시되었으며, 피험자는 실험시작 30분전 입실하여 실험복(면티셔츠, 반바지, 비행복, liner, helmet)을 착용한 후 센서를 부착하고 휴식기(Rest, 20분), 운동기(Exercise, 5 km/h, 경사도 12%; Bruce treadmill test, 20분), 회복기(Recovery, 20분)의 각 구간별 평가를 수행한 후 비행복 표면온도를 10분

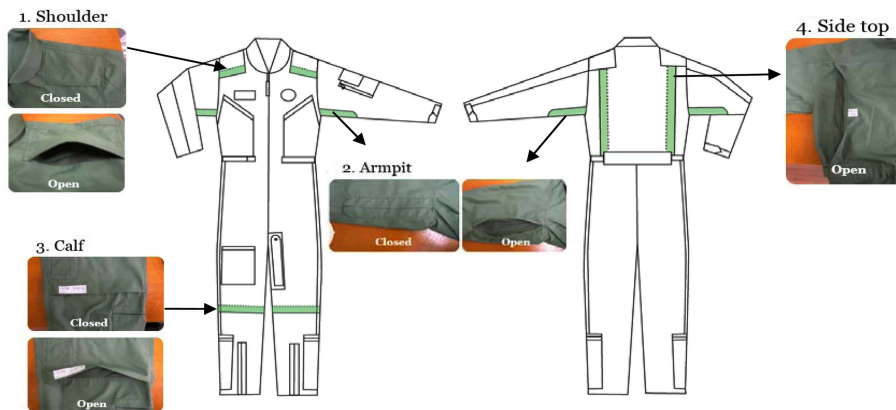


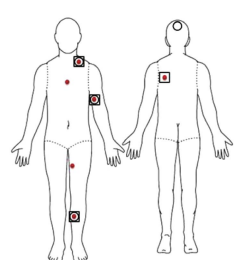
Fig. 1. Air ventilation system of summer flight suit.

Table 1. Wearing comfort evaluation

Method	Item
Objective evaluation	Skin temperature
	Microclimate(temperature, humidity)
	Sweat rate(total sweat rate, local sweat rate)
Subjective evaluation	Thermography
	Temperature sensation(scale: 1~9)
	Wet sensation(scale: 1~7)
	Thermal comfort(scale: 1~4)
	Fatigue sensation(scale: 1~4)

씩 3회 촬영하여 총 90분간의 실험을 수행하였다(Fig. 2). 착용쾌적성 평가 항목은 객관적 평가(피부온, 의복내기후, 발한량, 표면온도)와 주관적 평가(온열감, 습윤감, 쾌적감, 피로감)로 구성되었다(Table 1). 착용쾌적성 평가 항목별 센서의 부착은 피부온(6개 부위), 의복내 기후(4개 부위), 국소발한량(4개 부위)이며, 전체발한량은 실험전후의 체중 차이를 이용하여 파악하였다(Table 2). 피부온은 Hardy & Dubois의 7점법과 pilot test 결과를 참고로 하여 머리부위를 제외한 6개 부위(어깨, 가슴, 등, 상완, 대퇴, 하퇴)에 센서를 부착시켜 LT-8A(Gram Corporation, Japan)을 이용하였으며 1분 간격으로 연속 측정하였다. 머리부위는 두정점에 센서를 부착하여 평가할 경우 피험자의 머리카락으로 인해 피부온 측정에 어려움이 있어 피부온 센서 부착 부위에서 제외하고 라이너와 헬멧내에 온·습도 센서를 부착하였다. 온·습도는 Thermal Recorder(TR-72S, T&D Co., Japan)를 사용하여 4개 부위(머리, 어깨, 상완, 하퇴) 최내층을 1분 간격으로 연속 측정하였다. 전체발한량은 인체 천칭(Meter Toledo ID3, Germany)을 이용하여 실험 전후의 체중변화량으로 파악하였으며, 국소발한량은 4개 부위(어깨, 상완, 하퇴, 등)에 환기캡슐법(SKD-2000 Perspiration Meter, Skinos Co. Ltd Japan)을 이용하여 3회 측정 후 평균값을 사용하였다. 비행복 표면온도는 열화상 카메라(T-200, FLIR system, Sweden)를 사용하여 휴식기, 운동기, 회복기 후 3회 촬영하였으며, 표면온도의 결과 분석은 온도 스케일을 고정한 후 동일한 부위를 계속하

Table 2. Evaluation item & sensor location

	sensor location	ST	MC	LSR
	Head top		○	
	Shoulder	●	○	□
	Side top	●		□
	Upper arm	●	○	□
	Thigh	●		
	Calf	●	○	□
	Center mid	●		

SK: Skin temperature, MC: Microclimate, LSR: local sweat rate

여 데이터를 획득하였다. 주관적 감각의 평가 척도는 Nakahashi and Yoshida(1998)의 내용을 참고로 수정한 것을 사용하여 실험 전, 휴식기 후, 운동기 후, 회복기 후 4회 평가하였다.

3. 결과 및 논의

3.1. 피부온

하계비행복 착용시 피부온은 상완(1분~70분), 하퇴(1분~60분) 부위에서 일반비행복 대비 유의한 차이($p<.001$)가 있는 것으로 나타났으며, 상완 부위에서 운동기 최대 0.7, 하퇴부위에서 최대 1.1°C 낮아진 것으로 파악되었다(Fig. 3). 전구간 평균 피부온 차이는 상완(일반: 34.5°C, 하계: 34.1°C) 부위에서 0.4°C, 하퇴(일반: 32.8°C, 하계: 32.3°C) 부위에서 0.5°C, 어깨(일반: 35.1°C, 하계: 34.8°C) 부위에서 0.3°C 낮아진 것으로 파악되었다. 피부온의 차이가 크게 나타난 상완 부위의 구간별 평균 피부온은 휴식기와 운동기에 평균 0.4°C 감소하였으며, 하퇴부위에서는 운동기에 평균 0.6°C 피부온이 낮아진 것으로 파악되었다. 특히, 하계비행복 착용시 운동기에서 피부온 감소가 최대로 나타났으며, 상완과 하퇴의 피부온이 감소한 이유는 보행 동작시 통기구를 통해 의복내 공기와 외부 공기가 순환된 결과로 사료된다. 상향개구에 속하는 거드랑이(상완) 위치와 하향개구에 속하는 무릎(하퇴) 위치에 통기구가 적용됨으로써 최대 방열조건이 형성되어 나타난 결과로 사료된다.

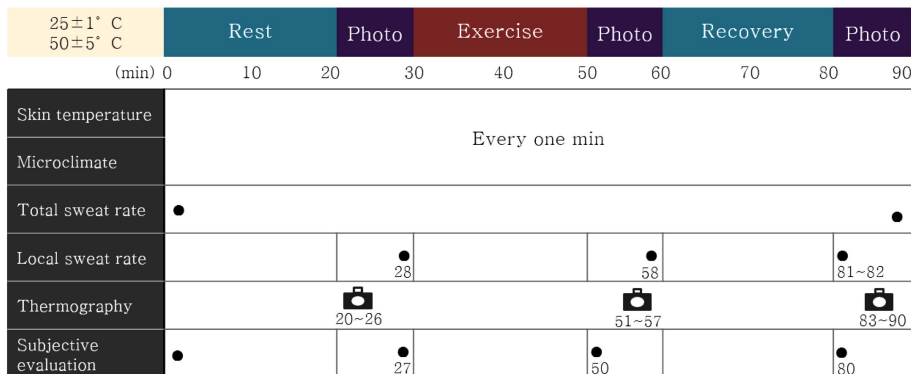


Fig. 2. Experiment protocol.

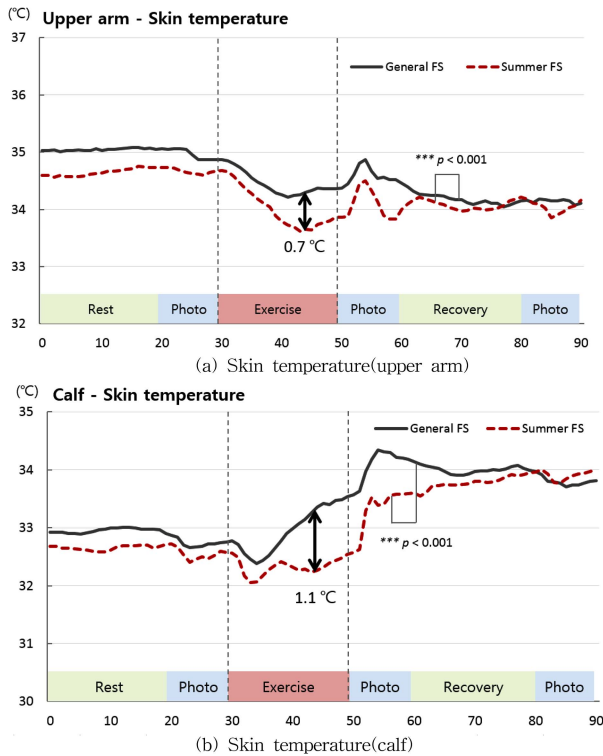


Fig. 3. Skin temperature.

3.2. 의복내 기후

하계비행복 착용시 의복내 온도는 상완, 하퇴 부위에서 일반 비행복 대비 전구간 유의한 차이($p < 0.001$)가 나타났으며, 하퇴 부위에서는 하계비행복 착용시 운동기에 최대 1°C, 상완 부위에서는 최대 0.7°C 의복내 온도가 낮아진 것으로 파악되었다 (Fig. 4). 구간별 의복내 온도 차이는 운동기에 상완(일반: 33.1°C, 하계: 32.6°C), 하퇴(일반: 31.3°C, 하계: 30.3°C) 부위에서 일반비행복 대비 하계비행복이 각각 평균 0.4°C, 0.9°C 감소한 것으로 파악되었다. 특히, 하계비행복 착용시 하퇴부위에서 전구간 의복내 온도가 0.75°C 낮아졌으며, 운동기에 온도의 감소가 큰 것으로 확인되었다. 이는 보행 동작시 하향개구에 속하는 하퇴부위의 무릎 통기구로 풀무효과가 발생함으로써 의복내 온도를 낮춰준 것으로 사료된다.

하계비행복 착용시 의복내 습도는 머리, 하퇴, 어깨 부위에서 일반비행복 대비 전구간 유의한 차이($p < 0.001$)가 있는 것으로 나타났으며, 머리부위에서는 하계비행복 착용시 회복기 최대 7.9%, 하퇴부위에서는 최대 15.7% 습도가 낮아진 것으로 파악되었다(Fig. 5, Fig. 6). 구간별 습도 차이는 회복기에 어깨(일반: 88.8%, 하계: 82.9%), 하퇴(일반: 52.6%, 하계: 43.8%), 상완(일반: 57.3%, 하계: 52.0%) 부위에서 일반비행복 대비 하계비행복이 각각 5.86%, 8.73%, 5.26% 감소하였으며, 머리부위의 습도는 회복기에 7.73%(일반: 92.9%, 하계: 85.2%) 감소한 것으로 파악되었다. 머리부위의 습도는 휴식기에는 유사한 경향을 보이다가 운동기에 평균 3.9%, 회복기에 7.9% 감소하

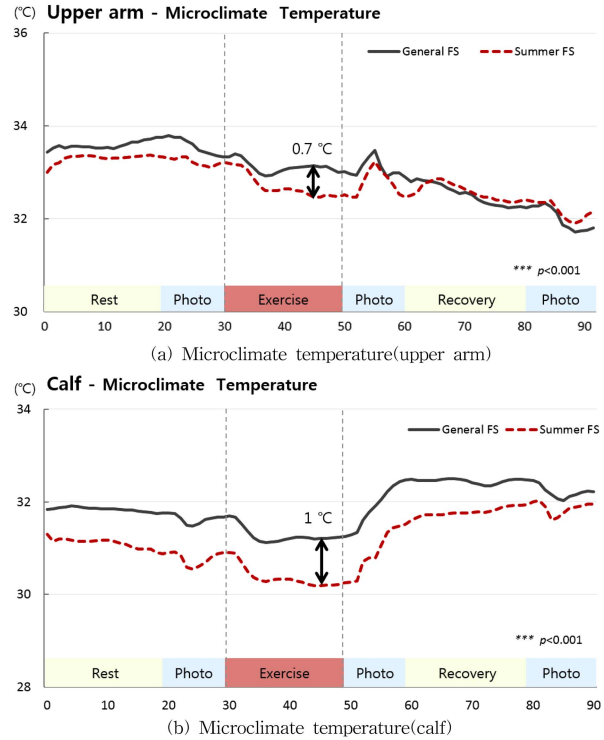


Fig. 4. Microclimate temperature.

였으며(Fig. 5-a), 하퇴부위의 습도는 휴식기에는 유의한 감소가 없었으나 운동기에 평균 3.1%, 회복기는 평균 8.7% 큰 폭의 감소가 확인되었다(Fig. 5-b). 통기구가 삽입된 4개 부위 중 3개 부위(어깨, 하퇴, 상완)에서 하계비행복을 착용할 경우 의복내 습도가 낮아진 것으로 파악되었다. 이러한 현상은 상향 방향으로 자연대류가 촉진되고 하향 방향으로 보행 동작으로 인한 강제환기가 촉진된 결과이다. 한편 통기구가 삽입되지 않은 머리 부위(helmet, liner 착용)에서도 습도가 7.73% 낮아진 것으로 나타났으며, 이는 통기구를 통한 비행복 내부와 외부의 공기 순환효과로 인해 피부온 및 의복내 온·습도가 감소한 결과에 기인한 것으로 사료된다.

3.3. 발한량

실험 전, 후의 체중변화량으로 분석한 전체 발한량은 일반비행복 대비 하계비행복이 실험 전구간에 걸쳐 45.8 g(10.9%) 감소하였으며, 환기캡술법(output sensitivity: 0.01 mg/cm²·min)을 사용하여 평가한 국소발한량은 어깨(일반: 0.69 mg, 하계: 0.18 mg), 상완(일반: 0.75 mg, 하계: 0.4 mg), 하퇴(일반: 0.53 mg, 하계: 0.48 mg)에서 각각 71%, 50%, 9.4% 감소하였으나 등부위에서는 유의한 발한량의 감소가 파악되지 않았다(Fig. 7). 환기캡술법은 평가 환경의 공기를 기준으로 발한량을 측정하는 방법으로 환기캡술을 경유하기 전과 후의 수분을 두 개의 습도 센서로 검출하고 전, 후의 습도차로부터 발한량을 측정하는 방법이다. 통기구가 적용된 어깨, 상완, 하퇴 부위의 국소발한량

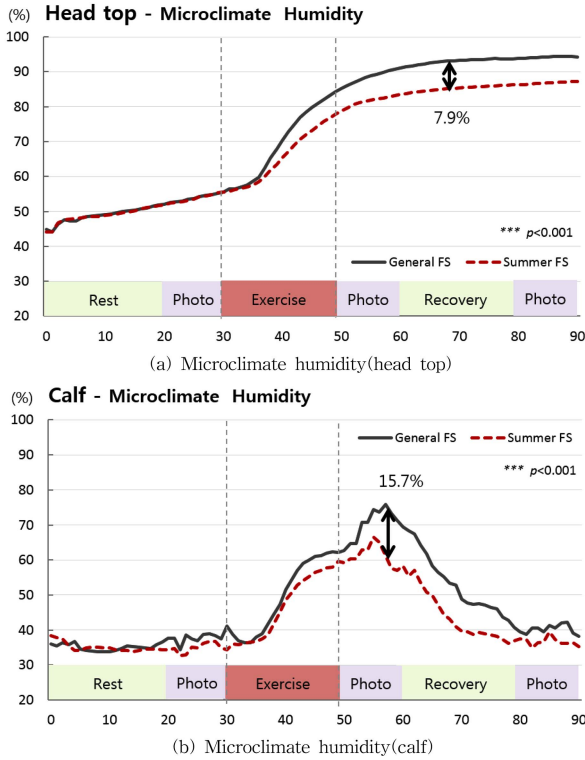


Fig. 5. Microclimate humidity.

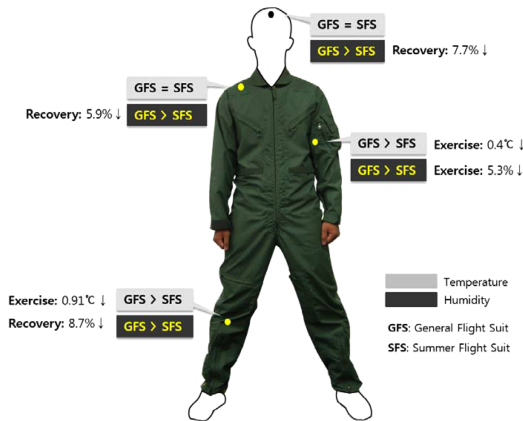


Fig. 6. Microclimate(temperature, humidity).

감소는 인체 동작시 발생하는 풀무효과로 인해 체표면의 냉각과 땀의 증발력이 향상된 결과라고 사료된다.

3.4. 표면온도 분석

본 연구에서는 표면 온도 계측시에 분석 온도 스케일을 고정한 후 2종의 평가 의복에 대해 동일한 부위를 선정하여 5회 연속 표면온도를 계측한 후 평균 온도를 결과로 제시하였다. 열화상 카메라를 이용한 비행복의 표면온도 분석 결과, 일반비행복 대비 하계비행복 착용시 운동기 후 정면 상체에서 0.2°C,

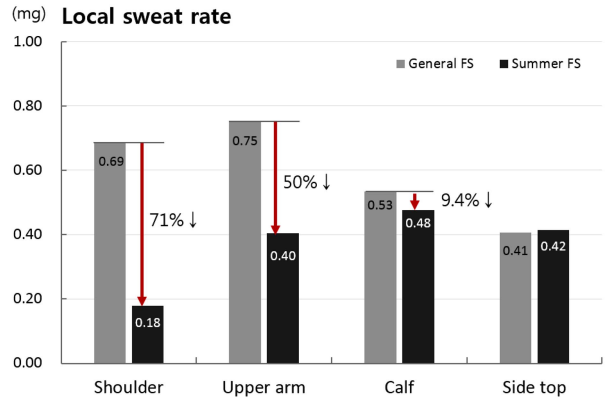


Fig. 7. Local sweat rate.

하체에서 0.5°C, 전체 표면온도에서 0.5°C가 낮은 것으로 파악되었다(Table 3). 비행복 후면의 표면온도 분석 결과, 하계비행복 착용시 상체에서 0.6°C, 하체에서 0.4°C, 전체 표면온도에서 0.5°C가 낮게 나타났다. 비행복 측면의 표면온도 분석 결과에서도 하계비행복 착용시 상체에서 0.2°C, 하체에서 0.1°C 낮은 것으로 파악되었다. 이러한 결과는 의복내 공기가 하계비행복에 적용된 통기구 방향(목, 겨드랑이)으로 분산 및 이동한 것에 기인한 것으로 사료된다. 특히, 전면의 상부(A)와 하부(B)에서 통기구가 적용된 겨드랑이와 무릎부위에서 표면온도가 낮아진 것이 확인되었으며, 후면 상부(C)에서도 통기구가 삽입된 등부위의 표면온도가 낮아진 것으로 파악되었다. 또한, 측면부위에서는 하계비행복 착용시 일반비행복 착용시에 비해 목부위(E)의 체열이 통기구가 적용된 겨드랑이 부위(G)로 이동하는 것을 시각적으로 확인할 수 있었다(Table 3). 그러나 서모그래피(Thermography)는 인체표면이나 의복 표면온 분포를 시각적으로 보여주어 상대적 평가에 유용하나 측정데이터를 정확하게 제시하는 데는 한계가 있다는 단점이 있다(Cho & Choi, 2013).

3.5. 주관적 감각

주관적 감각은 온열감, 습윤감, 쾌적감, 피로감에 대한 정의를 설명하고 피험자가 느끼는 주관적인 느낌의 정도를 설문하여 평가하였다. 9점 스케일을 사용한 온열감은 일반비행복 대비 하계비행복이 휴식기에 5.2점, 운동기에 7.3점으로 온열의 정도가 각각 6%, 2.6% 감소하였다(Fig. 8). 7점 스케일을 사용한 습윤감은 하계비행복 착용시 평가시작 시점에서 3.3점, 운동기에 5.8점으로 피험자가 느끼는 습윤의 정도가 각각 14%, 5.4% 감소하였다. 반면, 휴식기와 회복기에는 습윤감을 4.2점, 4.9점으로 유사하게 인식하는 것으로 파악되었다. 하계비행복 착용시 운동기(5 km/h, 경사도 12%, 20분)에서 온열감과 습윤감이 개선된 이유는 착용자의 동작에 따라 의복 내부의 고온 다습한 공기가 통기구를 통해 배출된 결과로 파악된다. 하계비행복 착용시 평가 시작 시점에서부터 피험자는 습윤감을 적게 느끼는 것으로 파악되어 의자에 앉아 있는 휴식 상태에서도 통기구를

Table 3. Thermography(after exercise period)

	Front		Back		Side	
	General flight suit	Summer flight suit	General flight suit	Summer flight suit	General flight suit	Summer flight suit
Upper	29.0°C	> 28.8°C	28.7°C	> 28.1°C	28.5°C	> 28.7°C
Lower	27.6°C	> 27.1°C	27.9°C	> 27.5°C	27.5°C	> 27.4°C
Total	28.0°C	> 27.5°C	28.2°C	> 27.7°C	27.8°C	= 27.8°C

* Upper: neck ~ waist line, Lower: waist line ~ ankle part, Total: upper body and lower body part

통한 공기순환이 이루어짐을 유추할 수 있다. 4점 스케일을 사용한 쾌적감은 일반비행복 대비 하계비행복 착용시 휴식기에 1.0점, 운동기에 2.5점으로 쾌적하게 느껴 각각 25%, 6.3% 감소하였다. 4점 스케일을 사용한 피로감은 하계비행복 착용시의 변화가 파악되지 않았으며, 이는 운동기 20분간의 과격한 운동으로 인해 피로감이 누적된 결과에 기인한 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 통기성 향상을 위해 개발된 하계비행복의 착용쾌적성 향상효과를 객관적, 주관적 측면으로 평가하여 종합적으로 검증하였다. 비행복은 고공 전투 비행시의 기압, 온도변화 등의 위험 요인으로부터 조종사의 신체를 보호하기 위해 방염 소재로 제작되어 통기성에 문제가 있는 것으로 파악되었다. 특

히, 비행복은 상하일체형(overall) 형태로 개구부를 통한 의복내 공기 순환이 미흡하고 통풍능력이 낮아 장시간 착용할 경우 온·습도를 상승으로 인한 불쾌감 발생과 같은 문제가 있다. 따라서, 본 연구는 비행복에 통기구를 적용한 하계비행복을 설계한 후 인체생리학적(피부온, 의복내기후, 발한량, 표면온도) 착용쾌적성을 평가하여 통기구를 통한 공기 순환 효과를 객관적으로 검증하였다.

하계비행복의 어깨, 겨드랑이, 무릎, 등 4개 부위에 적용된 통기구는 비행복 내 온·습도를 조절하여 착용쾌적성을 향상시키는 역할을 하는 것으로 파악되었다. 일반비행복은 통기성능을 고려하지 않고 설계되어 장시간 착용할 경우 생리적 불쾌감 발생과 같은 문제가 있었다. 반면, 하계비행복은 동작 시 비행복 내·외부에 공기 순환을 발생시켜 일반 비행복 대비 의복내 온도를 상완, 하퇴 부위에서 각각 0.42°C, 0.91°C 낮춰주는 것으

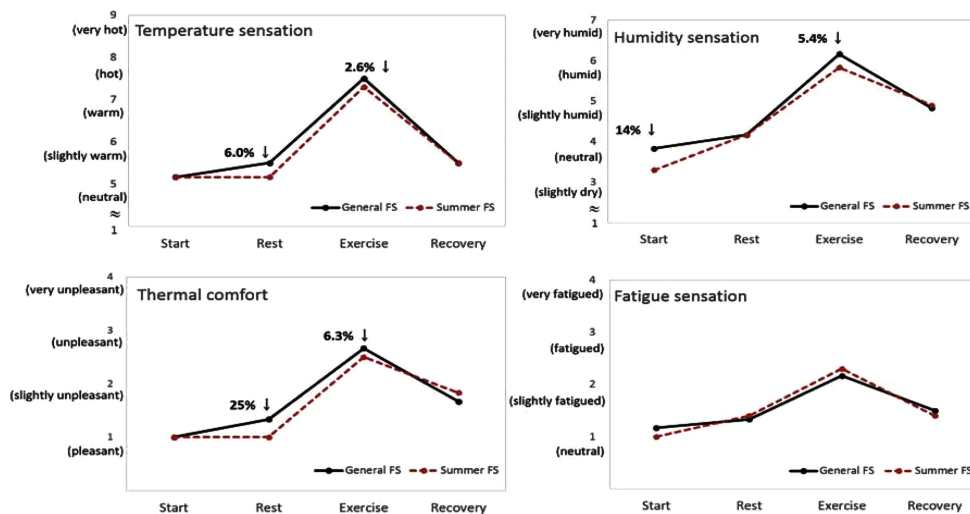


Fig. 8. Subjective evaluation.

로 파악되었다. 또한, 의복내 습도를 머리부위에서 7.73%, 어깨 5.86%, 하퇴 8.73%, 상완 5.26% 낮추주고 전체 발한량을 10.9%, 국소발한량은 통기구가 삽입된 어깨부위에서 71%, 상완 부위에서 50%를 감소시키는 것으로 나타났다. 이러한 결과와 더불어 주관적 감각에서도 휴식기에 온열감과 운동기에 습윤감을 낮추주고 쾌적감을 향상시키는 것으로 확인되었다.

열화상 카메라를 이용한 비행복 표면온도 분석을 통하여 하계비행복의 통기성 향상 효과를 시각적으로 검증하였으며, 통기구로 유, 출입되는 체열이동 경로 및 표면온도가 정량적으로 파악되었다. 본 연구는 비행복 표면온도 분석을 통해 통기구 방향으로 이동하는 체열 경로를 시각화하였으며, 일반비행복 대비 하계비행복의 표면온도의 감소효과를 객관적으로 검증하였다. 하계비행복 착용시에 체열은 착용자의 동작에 따라 통기구를 통해 외부로 배출(예: 팔 동작시 겨드랑이 부위로 체열이동, 보행 동작시 무릎부위로 체열 이동)되는 것으로 확인되었다. 비행복 표면온도 분석 결과, 일반비행복 대비 하계비행복 착용시 운동기 후 정면 상체(일반비행복: 29.0°C, 하계비행복: 28.8°C)에서 0.2°C, 하체(일반비행복: 27.6°C, 하계비행복: 27.1°C)에서 0.5°C, 전체 표면온도에서 0.5°C가 낮은 것으로 확인되었다.

본 연구에서 수립한 하계비행복의 착용쾌적성 평가 항목 및 평가 protocol은 다양한 의복의 쾌적성 평가에 적용이 가능하다. 본 연구의 온열생리학적 평가항목 및 평가방법은 의복의 착용쾌적성에 대한 객관적, 주관적인 결과를 종합적으로 획득할 수 있다. 또한, 인공기후실 환경에서의 실험 protocol은 외부로부터의 환경적 요인들을 control할 수 있어 정확한 결과를 획득할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구의 통기구 적용 방법과 착용쾌적성 평가 방법 및 실험 protocol은 착용쾌적성이 중요한 요소인 방진복, 방염복, 전투복, 정비복 등의 의복 쾌적성 평가에 유용하게 활용될 수 있다.

본 연구는 통기성 향상을 위해 통기구를 적용한 하계비행복을 설계하고 착용쾌적성 향상 효과를 객관적으로 검증하였으나 실제 근무 환경에서의 평가는 이루어지지 않았다는 한계가 있다. 따라서 추후 실제 cockpit 환경 및 근무환경에서 장시간(3~6개월간) 착용할 경우의 통기성능 개선 효과에 대한 검증이 필요하다. 따라서 본 연구자는 이후 수행할 연구에서 하계비행복을 착용하고 있는 조종사를 대상으로 설문조사를 실시하여 하계비행복의 통기성능을 재검증하고자 한다. 또한, 방염처리로 인해 통기성능이 낮은 것으로 파악된 현 비행복의 소재 개발 및 개선에 관한 연구가 필요하다.

감사의 글

이 논문은 2012학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

References

- Amorim, F. T., Vimieiro-Gomes, A. C., Machado-Moreira, C. A., Magalhaes, F. C., Rosa, M. S., Prodo, L. S., & Rodrigues, L. O. C. (2006). Is sweat rate during steady state exercise related to maximum oxygen uptake. *Journal of Thermal Biology*, 31(6), 521-525.
- Atmaca, I., & Yigit, A. (2006). Predicting the effect of relative humidity on skin temperature and skin wettedness. *Journal of Thermal Biology*, 31(5), 442-452.
- Choi, H. S., Park, J. H., Lee, K. M., Do, W. H., & Kim, E. K. (2001). *Active sportwear design*. Seoul: Suhaksa.
- Cho, J. Y., Jeong, J. R., Yeon, S. M., Chang, J. H., You, H. C., & Kim, H. E. (2008). Cost-effectiveness analysis for clothing design improvement using ergonomic methods: evaluation of flame-proof clothing and design optimization. *Ergonomics Society of Korea*, 27(4), 45-58.
- Cho, S. K., & Choi, J. W. (2013). *Clothing & health*. Seoul: Korea National Open University Press.
- Ducharme, M. B. (2006). Heat stress of helicopter aircrew wearing immersion suit. *Industrial Health*, 44, 433-440.
- Kim, H. E., Jeong, J. R., & Yeon, S. M. (2006). Effect of wearing reformed flame-proof clothing on physiological responses and subjective sensation. *Journal of the Korean Society for Clothing Industry*, 8(6), 727-732.
- Jeon, E. J. (2011). *Designing of ergonomic flight suit through developing pattern and size systematization*. Unpublished doctoral dissertation, Kyungpook National University, Daegu.
- Lee, H. J., & Jee, J. W. (2006). Changes of comfortable properties of cotton knitted fabrics after flame resistant treatment. *Textile Science and Engineering*, 43(2), 60-69.
- Lim, J. H., Roh, E. K., Yoo, H. S., & Kim, E. A. (2009). Ventilation and comfort sensation by slit position of running wear jackets. *Journal of the Society of Clothing Textiles*, 33(11), 1794-1805.
- Nakahashi, M., & Yoshida, K. (1998). *Physiology of Clothing*. Tokyo: Nakodo.
- Turpin-Legendre, E., & Meyer, J. P. (2007). Comparison of physiological and subjective strains of two protective coveralls in two short physically simulated demanding tasks. *Applied Ergonomics*, 38, 249-252.

(Received 22 April 2014; 1st Revised 3 May 2014; 2nd Revised 12 May 2014; Accepted 20 May 2014)