

새롭게 개발된 겨울용 공기주입형 배플 패딩 재킷과 기존 방한 패딩 재킷들의 보온력 비교 평가

권주연¹⁾ · 김시연²⁾ · 백윤정³⁾ · 이주영^{1,4)†}

¹⁾서울대학교 생활과학연구소

²⁾한국생산기술연구원 휴면융합연구부

³⁾서울대학교 의류패션 혁신 융합 인재양성팀

⁴⁾서울대학교 의류학과

Comparison and Evaluation of Clothing Insulation of Newly-Developed Air-Filled Baffle Jackets and Down Padded Jackets

JuYoun Kwon¹⁾, Siyeon Kim²⁾, Yoon Jeong Baek³⁾, and Joo-Young Lee^{1,4)†}

¹⁾Research Institute of Human Ecology, Seoul National University; Seoul, Korea

²⁾Human Convergence Technology R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology; Ansan, Korea

³⁾Talent Cultivation Team for interdisciplinary Fashion Innovation, Seoul National University; Seoul, Korea

⁴⁾Dept. of Textiles, Merchandising, and Fashion Design, Seoul National University; Seoul, Korea

Abstract: The purpose of the present study was to evaluate the thermal insulation of air-filled winter jackets according to the amount of air-filler using a thermal manikin. The insulation of these jackets' was compared to a down padded jacket with an identical design and size. The amounts of air-filler were 100% (26,219 cm³), 70% (18,645 cm³), 50% (13,110 cm³), and 0% (0 cm³). The results showed that a clothing insulation (I_{cl}) of 0%, 50%, 70%, and 100% air, and 100% down jackets was 0.208, 0.243, 0.207, 0.176, and 0.315 clo, respectively. In addition, the down jacket with waist-taped had a clothing insulation of 0.369 clo. However, the highest value of clothing insulation per clothing weight was the 50% air-filled jacket in all conditions. In terms of regional power consumption of the thermal manikin, the down jacket consumed less power for the shoulder and chest than the air-filled jackets. In conclusion, in order to maximize the thermal insulation of air-filled jackets, an optimal amount of air-filler, that is, an amount which does not compromise (break) the layer of inner air between the surface of manikin and the lining of the jacket, should be explored. Further studies on lining materials, end-closed design, and changes in thermal insulation under the conditions of strong wind or heavy snow are recommended.

Key words: winter jacket (겨울 재킷), air baffle construction (공기 배플 구성), thermal insulation of clothing (의복의 보온력), thermal insulation of air layer (공기층의 보온력), body temperature (체온)

1. 서 론

의류의 신체보호 기능 관점에서, 방한의류(cold protective clothing)는 겨울철 야외에서, 또는 실내 저온의 작업환경에서 착용자에게 적정수준의 보온력을 제공함으로써 착용자가 체온을 유지하고, 신체 활동능력 또는 작업수행능력을 유지하며 쾌적성을 확보할 수 있도록 한다. '얼마나 따뜻인가'를 나타내는

보온력(thermal insulation)은 의복의 열차단 능력을 뜻하며 clo라는 단위를 이용하여 정량적으로 나타낼 수 있다. 의복의 보온력은 다양한 의복요인(섬유소재, 의복 두께와 밀도, 의복의 겹침, 개구부의 위치와 크기, 맞음새 등)과 환경요인(기온, 대기압, 기류 등)의 영향을 받는다(Choi & Lee, 2009; ISO 9920, 2007; Son & Choi, 1999a).

방한의류 가운데 일상복과 작업복, 패션의복의 경계를 넘나들며 주류 트렌드로 자리 잡은 패딩 재킷(padding jacket)은 두 장의 원단 사이에 보온력을 강화하는 충전재를 삽입하고 이를 킴팅(quilting)하거나 열접착방식으로 충전재를 고정하여 제작한 형태적 특징을 지닌다. 가죽 또는 모피 제품과 비교했을 때 가볍고 우수한 보온력을 지니며, 길이와 충전재의 양에 따라 몸의 대부분을 덮어 보온력을 강화한 롱패딩부터 허리까지 내려오는 숏패딩, 그리고 의복의 부피감을 줄이고 활동성을 보완한

†Corresponding author; Joo-Young Lee

Tel. +82-2-880-8746

E-mail: leex3140@snu.ac.kr

© 2021 (by) the authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

경량패딩과 보온력을 강화한 중량패딩 등, 그 소재와 충전제, 길이에 따라 다양한 제품이 제작되고 있다. 비단 청소년들뿐만 아니라, 고령층(고령 남성의 85%, 고령 여성의 88%)도 겨울철 가장 선호하는 외투로 패딩 재킷을 착용하고 있다(Park et al., 2020).

일반적으로 패딩 재킷의 충전제로는 구스/덕 다운(goose/duck down feather)이 널리 사용된다. 다운은 오리, 기러기 등 수금류(waterfowl)의 가슴과 배 등에서 솜털처럼 발생하는 속깃털을 의미하며, 우수한 보온력과 형태 복원력이 있어 뛰어난 보온제로 평가된다(Gao et al., 2007). 다운의 우수한 보온성은 독특한 구조에 기인하는데, 유연한 깃대(barb)를 중심으로 섬유(barbule)가 방사상으로 뻗어 다운 볼(down ball)을 형성하고 있으면서 각 섬유에는 매듭 역할을 하는 노드(node)가 중간 중간 있어(Pap et al., 2020), 질량 대비 큰 부피와, 낮은 열전도도, 그리고 압축에 대한 뛰어난 형태복원성을 가진다(Gao et al., 2007). 하지만 이처럼 우수한 충전제로서의 특성에도 불구하고, 다운의 과도한 사용에 대한 우려의 목소리는 지속적으로 제기되고 있다. 살아 있는 오리와 거위로부터 다운을 채취하는 과정에서 발생할 수 있는 비윤리적 문제(EFSA, 2010), 세탁의 어려움에 대한 문제(Kim et al., 2019), 세탁 후 부피의 수축과 보온력 저하(Kim et al., 2018) 등의 문제에 대한 인식을 바탕으로, 동물에 위해를 주지 않는 지속가능한 방식으로 생산할 수 있으면서도, 다운과 같이 우수한 보온력을 가지는 다운 대체 소재의 필요성이 제기되고 있다.

다운을 대체하는 물질로서 전통적으로 사용되던 폴리에스터 솜은 다운에 비해 보온력이 낮고 형태복원성이 낮아 방한외투의 충전제로서 다운을 능가하는 소재로 평가되지는 않는다. 반면, 최근 개발되는 Thinsulate™(3M™), PrimaLoft®(PrimaLoft, Inc.), Thermolite®(Dupont) 등의 다운 대체 소재들은 기존 합성 소재의 형태복원성을 보완하였으며, 다운보다 세탁이 용이한 것이 장점이다(Kim et al., 2018). 또한 다운의 부피감을 보완하면서도 충분한 보온력을 제공하기 위해 Thinsulate™와 PrimaLoft®는 합성 부직포 형태로 제작되어 킬팅 패딩 및 경량 패딩재킷의 충전제로 사용되고 있다. 다운이 미세한 섬유가닥들 속에 형성된 공간 내부에 공기를 가둬둠으로써 보온력을 확보하는 것과 같이, 섬유 내부에 정지 공기층(still air)을 얼마나 가둬둘 수 있는가, 그리고 압축 이후에 이러한 공기층을 어떻게 복원시킬 수 있는가는 다운 대체섬유에서도 보온력을 결정하는 핵심성능이다. 공기는 그 자체로 열전도도가 낮으므로 훌륭한 보온재이지만, 바람이 불거나 몸이 움직이는 상태에서는 대류로 인한 열손실이 발생하므로, 이러한 단점을 보완하면서 보온력을 확보하는 방법이 다운 대체 소재 개발에 요구된다.

이러한 맥락에서 공기주입방식이 또 다른 다운 대체방법으로 제안될 수 있다. 공기가 통과되지 않는 소재 안에 공기를 가두고 그것을 충전제로 사용하여 의복을 구성하는 방식인데, 이를 통해 가볍고, 친환경적이면서, 세탁 관리가 용이하며, 생산 원가가 낮은 패딩 재킷 제작이 가능할 수 있다. Kim et al.

(2003)은 에어셀을 이용한 비닐하우스용 외부 덮개와 일반 부직포 덮개의 단열력을 비교한 결과 에어셀 덮개의 단열력이 높음을 보고하였으나 이는 의복이 아닌 온실의 보온 효과를 평가하기 위한 연구였으며, 공기주입형 재킷의 보온력을 평가한 최초 국내 연구는 Kim et al.(2015)의 연구이다. 이는 공기주입형 재킷을 제작한 후 이의 보온력을 평가하고 실제 제품화에 필요한 아이디어를 제시한 연구로서, 서멀마네킹을 이용하여 공기주입형 재킷의 보온력을 실측하고 다운 삽입량이 다른 두 종의 다운 재킷과 그 값을 비교하였다. 결과에서, 공기주입형 재킷의 보온력이 다운 재킷보다 낮았는데, 동일한 3 cm 두께의 에어팩을 재킷 내부에 일괄적으로 삽입하여, 재킷의 내측 둘레가 줄어들어 오히려 의복내 공기층이 감소한 것이 원인이었을 것이라 추정되었다. 이러한 단점을 보완할 수 있는 한 가지 방안으로, 공기압이 높은 에어팩을 의복 내부에 나란히 배열하는 방식이 아니라, 의복의 활동성을 고려하여 공기를 주입할 공간을 구획화한 뒤에 구획별로 공기를 주입하는 배플(baffle) 방식을 고려해 볼 수 있다. 공기주입형 재킷은 의복의 단위중량당 보온력이 우수하고 다운 또는 다른 합성섬유와 비교했을 때 뛰어난 관리 편의성을 가지며, 지속가능성 측면에서도 뛰어난 상품 가치를 가진다고 볼 수 있다. 공기주입방식은 의복에 독특한 실루엣을 부여하기 때문에 이미 해외 디자이너 브랜드에서 공기주입식 패딩을 활용하기도 하였다(Yang & Yang, 2006). 심미성과 기능성을 두루 갖추면서 다운을 대체할 수 있는 공기주입형 재킷의 제작이 가능한지, 추가 연구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 새로운 디자인의 공기주입형 재킷을 제작한 후 공기충전량의 단계별 조절을 통해 다운 대체 소재로서 공기주입방식의 가능성을 알아보려 하였다. 본 연구에서는 다음 두 가지 연구가설을 설정하였다. 첫째, 배플 구조로 제작된 공기 주입형 재킷의 보온력이 동일 디자인 및 동일 내외피 소재로 제작된 다운 재킷의 보온력보다 높을 것이다. 둘째, 동일 사이즈이면서 다른 공기 주입량을 갖는 공기 주입형 재킷들의 보온력을 비교할 경우, 공기 주입량과 재킷의 보온력은 양의 선형 관계를 보일 것이다.

2. 연구방법

2.1. 실험의복 디자인 및 제작

본 연구의 공기 재킷은 인체 부위별 공기량 조절이 가능하도록 공기 주입구가 별도로 달린 10개의 구획으로 구분되었다(Table 1, Fig. 1). 각 구획의 내부에 주입된 공기가 새지 않도록 재킷의 겉감과 안감 소재로 모두 폴리우레탄(thermoplastic polyurethane, TPU) 필름을 사용했으며, 소형 공기주입기를 이용하여 각 부위의 공기 입구를 통해 공기를 주입한 후 주입구 뚜껑을 닫아 공기가 유지될 수 있도록 디자인하였다. 공기를 넣지 않은 상태에서 측정한 재킷의 총질량은 848 g이었으며, 공기를 100% 채운 경우의 질량도 848 g으로 동일했다. 즉, 본 연구에서 개발한 재킷의 무게는 중량(using a balance)이 아니라 1

Table 1. Ten compartments of an air-filled jacket and air-volume of each compartment

#.	Compartment	Air volume		
		100% air-filled	70% air-filled	50% air-filled
1	Neck	1,554	1,068	777
2	Upper back_left	777	583	388
3	Upper back_right	777	583	388
4	Upper back_middle	7,574	5,341	3,787
5	Chest_left	1,748	1,262	874
6	Chest_right	1,748	1,262	874
7	Abdomen_left	3,302	2,331	1,651
8	Abdomen_right	3,302	2,331	1,651
9	Arm_left	2,719	1,942	1,360
10	Arm_right	2,719	1,942	1,360
Total air volume (cm ³)		26,219	18,645	13,110
Total clothing weight (g)		848	848	848

기압 상온에서 측정된 질량(using a scale)을 의미한다. 공기 불투과성 소재인 폴리우레탄을 겔감과 안감으로 사용하였기 때문에 이로 인해 유발될 수 있는 불쾌감을 최소화하기 위해 각

겨드랑 부위에 원형 환기구(지름 약 3 mm)를 두 개씩 만들었다. 각 구획에 공기를 다 채운 경우 상체 움직임이 불편할 수도 있기 때문에 동작성 저하를 최소화하기 위해 재킷의 전체 길이는 엉덩이를 덮지 않는 허리 길이로 디자인하였다. 공기주입형 재킷과 동일한 디자인과 동일한 소재의 재킷을 별도로 제작한 후 내부에 공기 대신 일정량의 구스 다운을 채운 다운 재킷을 추가 제작하였다. 실제 국내 시판되는 다운 재킷의 경우 겔감과 안감은 주로 나일론이나 폴리에스테르인 반면, 본 연구에서는 공기주입형 재킷과의 비교를 위해 겔감과 안감 모두 나일론이나 폴리에스테르보다 무거운 폴리우레탄 소재를 사용한 다운 재킷이 사용되었다.

2.2. 실험의복 조건 및 보온력 측정

서멀 마네킹 보온력 측정에 사용한 실험의복 조건은 총 여섯 가지였다(Table 2). Table 2의 여섯 가지 의복 조건 중, 6번 조건은 5번 조건과 동일한 100% 다운 재킷이나 마네킹 착장 방식이 다른 경우로, 재킷의 허릿단 부위를 공기 불투과성 테이프를 이용하여 서멀 마네킹의 허리 부분 표면에 붙인 조건이다. 이는 허리 부위로부터 다운 재킷 안쪽으로 들어가는 공기의 흐름을 막아 보온력 증가 여부를 확인하고자 하였다. 즉,



Fig. 1. Construction of air-filled jacket(upper illustrations) and sample jackets(lower photos).

Table 2. Experimental clothing conditions (#1 to #6)

	#1	#2	#3	#4	#5	#6
	0% air-filled(Control)	50% air-filled	70% air-filled	100% air-filled	Goose down-padded	Goose down, padded_bottom closed
Clothing weight(g)	848	848	848	848	1,632	1,632
The weight of goose down inside a jacket(g)	0	0	0	0	784	784

1~5번 조건의 경우 재킷 디자인 특성상 허리 부위로부터 재킷 내부로의 공기 흐름이 자유로운 반면, 6번 조건의 경우 허리 부위를 통한 공기의 흐름이 최소화되었다. 공기 주입형 재킷이 아닌 다운 재킷에 대해 6번 조건을 추가한 이유는, 일상적으로 착용되는 다운 재킷의 경우 허리단 부분이 외기에 오픈되지 않고 어느 정도 조여지도록 디자인되어 있기 때문이며, 본 연구에서는 허리단 조임 여부에 따른 보온력 차이도 확인하고자 하였다.

서멀 마네킹을 이용한 의복의 보온력은 ISO 9920(2007)에 따라 인공기후실의 환경 온도 20°C, 습도 50%RH, 기류 0.25 m/s 이하에서 서멀 마네킹(Newton, 20 zones, Thermetrics, USA, 체표면적 1.6998 m²) 표면온도를 33°C로 유지하는데 소요되는 전력 소비량으로부터 산출되었다(식 1, 2, 3). 각 의복의 보온력 측정 시 서멀 마네킹의 다른 부위는 비 착의상태(nude)로 유지되었다. 즉, 머리, 손, 다리, 발은 나상으로 유지되었다. 재킷 한 개 당 총 3회씩 측정하여 이를 평균한 값을 각 실험 재킷의 대표 보온력으로 사용하였다. 식 (1)에서 얻어진 열저항값(R)을 보온력 단위(clo)로 환산하기 위해 다음 식 (2)를 사용하였다. 각 의복의 개별 보온력(I_{cl}) 계산을 위해 총보온력(I_T)과 나상시 보온력을 측정하였으며 식 (3), 나상 시 보온력(I_a)은 0.626 clo로 모두 동일하였다. 보온력 계산은 Serial 법이 아닌, Parallel 법을 사용하였다. Parallel 법(혹은 Global 법)을 사용하여 단일의복(garment)의 보온력을 계산할 때 재킷에 의해 덮이지 않는 모든 부위들(나상으로 공기에 노출된 부위들)의 소비전력량을 함께 고려하여 온전한 인체가 단일 의복을 착용하였을 경우에 해당하는 보온력을 추정하였다(Lee et al., 2011). 즉, ISO 9920(2007)이나 기타 보온력 표준들에서 제시하는 것처럼 의복에 의해 덮이지 않고 외기에 노출된 신체 부위들의 소비전력량도 함께 고려하여 보온력을 계산하였다.

$$R_{ct} = \frac{(T_s - T_a)}{Q/A} \tag{1}$$

$$I_T = 6.45 \times R_{ct} \tag{2}$$

$$I_{cl} = I_T - I_a \tag{3}$$

위 식들에서,
 R_{ct}는 열 저항(m²·°C·W⁻¹),
 T_s는 마네킹의 표면온도(°C),
 T_a는 마네킹을 둘러싼 공기의 온도(°C),
 Q/A는 Area weighted heat flux(W/m²),
 I_T는 의복의 총보온력(clo),
 I_{cl}는 의복의 보온력(clo),
 I_a는 공기층의 보온력(clo).

2.3. 결과 분석

본 연구에서 보온력은 재킷 당 3회 측정된 값의 평균을 사용하였고, 3회 측정된 값들의 평균 차이를 측정 오차로 제시하였다. 본 실험에 사용한 서멀 마네킹(이름 “Newton”)은 전술한 바와 같이 20 부위로 나뉘어 조정되는데, 20 부위의 소비전력량을 비교하여 실험 조건에 따른 각 부위별 보온력의 차이를 비교하였다. 본 연구팀은 2005년부터 2020년까지 본 실험에서 사용한 서멀 마네킹(“Newton”)을 이용하여 다양한 겨울철 상의의 보온력을 측정했으며, 이중 다운 재킷 혹은 공기주입형 재킷의 결과 40개를 추출하여 본 실험 결과와 함께 비교하였다. 40개의 보온력 중 공기주입형 재킷의 보온력은 Kim et al. (2015)에 발표되었으며, Kim et al.(2015)에 보고된 5종을 제외한 나머지 35개의 보온력은 한국학술진흥재단 연구보고서(Choi, 2006)에 발표된 바 있다. 추가로, ISO 9920(2007)에서 제공되는 겨울철 상의들 중 다운 재킷의 특성을 갖는 16종의 방한 재킷을 추가하여 총 56종의 보온력을 본 연구결과와 비교 분석하였다. 의복 질량(g)과 개별 의복의 보온력(I_{cl}, 단위 clo) 간 상관관은 Pearson의 상관계수(r)로 분석하였다(p < 0.05).

3. 연구결과

3.1. 재킷의 보온력과 재킷의 질량당 보온력

공기를 50%를 채운 경우 재킷의 보온력(I_{cl})은 0.243 clo, 70%를 채운 경우 0.207 clo, 100%를 채운 경우 0.176 clo로, 공기를 전혀 넣지 않은 재킷(Air 0%)의 보온력(0.208 clo)과

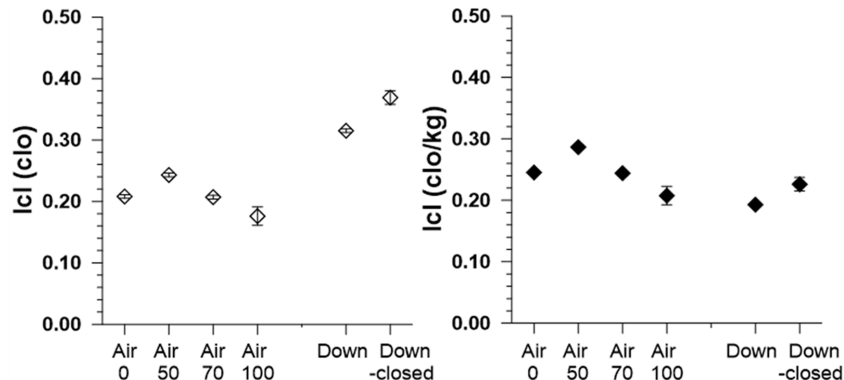


Fig. 2. Clothing insulation (clo)(Left) and clothing insulation per clothing weight (clo/kg)(Right).

비교할 때 각각 16.8%, -0.5%, -15.4%의 변화를 보였다(Fig. 2 Left). 동일 디자인의 재킷에 공기 대신 구스 다운을 채운 경우 보온력은 0.315 clo로 공기를 채운 재킷들에 비해 높았으며, 특히 허리 길이 다운 재킷의 아랫단을 테이프로 밀봉한 경우 보온력은 0.369 clo로 본 연구의 여섯 가지 의복 조건 중 가장 높은 보온력 값을 보였다(Fig. 2 Left). 각 재킷의 보온력을 재킷의 질량당으로 환산하여 비교해 보면, 공기를 전혀 넣지 않은 재킷의 경우 0.245 clo/kg, 공기를 50%를 채운 경우 0.287 clo/kg, 70%를 채운 경우 0.244 clo/kg, 100%를 채운 경우 0.208 clo/kg, 구스 다운을 100% 채운 경우 0.193 clo/kg으로, 다운 재킷보다 공기주입형 재킷의 중량당 보온력은 높게 나타났으며, 이 중 공기를 50% 주입한 경우 가장 높은 보온 효율을 보였다(Fig. 2 Right).

3.2. 서멀 마네킹의 부위별 열손실

서멀마네킹의 부위별 열손실은 부위별 소비전력량으로 추정하였는데, 해당 부위의 소비전력량이 클수록 그 부위의 열손실이 크다고 판정하였다. 재킷으로 덮인 부위들 중 실험의복 조건들 간 가장 큰 차이를 보여준 부위는 아래팔과 전면 어깨, 가슴 부위였는데, 이 세 부위들의 경우 여섯 가지 실험의복 조건들 중 다운 재킷 조건에서 가장 낮은 소비전력량을 보여주어 열손실이 가장 적었음을 알 수 있다. 손등의 경우 재킷으로 덮여 있지 않았음에도 다운 재킷을 착용한 경우 가장 낮은 소비전력량을 보여 주어, 다운 재킷 착용에 의해 손 부위의 열손실도 가장 적은 것으로 평가되었다. 배와 등 부위는 실험 의복 조건들 간 차이가 상대적으로 적었는데, 이는 허리 길이라는 재킷 디자인 특성상 공기주입형 및 다운 재킷 모두 외기에 열려 있었기 때문이다. 재킷으로 덮이지 않은 머리 부위, 넓적다리, 종아리, 발등의 경우 실험의복 조건들 간 차이가 거의 없었던 반면, 얼굴과 손의 경우 실험의복들 간 차이를 보여 다운 재킷 착용 시 가장 낮은 소비전력량을 보여 주었다(Fig. 3). 추가로, 좌우 유사한 값이 도출되어야 하는 서멀 마네킹의 특성에도 불구하고 엉덩이와 다리 부위의 경우 왼쪽에 비해 오른쪽에서 높

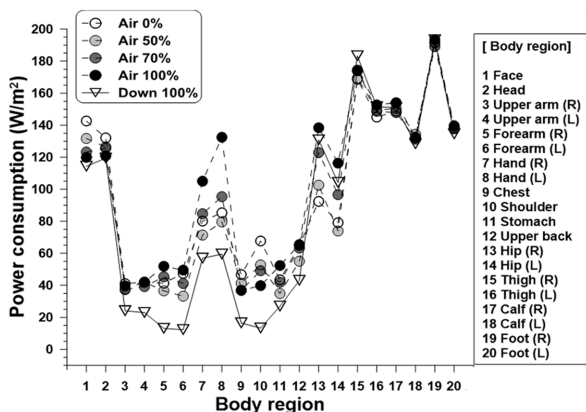


Fig. 3. Regional power consumption of the thermal manikin.

은 열손실 값이 관측되었다(Fig. 3). 0.25 m/s 이하의 불감기류로 유지되는 인공기후실의 정중앙에서 측정된 실험 환경 조건을 고려해 볼 때 실험오차라기 보다 서멀 마네킹 기기 자체의 오차일 가능성이 높으나, 본 연구에서는 20부위를 모두 고려한 총보온력을 계산하였으며, 하체 좌우 부위를 비교한 것이 아니라 상체를 커버한 재킷 조건 간 비교를 수행하였기 때문에, 결과 해석에 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 간주하였다.

3.3. 기존 다운 재킷 보온력과 비교

전술한 바와 같이 ISO 9920(2007) 자료들과 본 연구팀에서 지난 15년 동안 측정된 겨울철 상의 보온력 값(총 56종)에 대해 의복 질량과의 관련을 살펴본 결과, 의복 질량이 증가할수록 보온력이 증가하는 경향이 발견되었으며, 상관계수(r)는 0.476으로 중등 정도의 상관성이 관찰되었다(Fig. 4). 본 연구에서 측정된 공기 주입형 재킷들의 경우 기존 상관관계 산점도의 제일 아래쪽에 위치하였고 상관 정도도 매우 약하였는데 이는 본 공기주입형 재킷에 사용된 소재가 경량 직물이 아니라 폴리우레탄 계

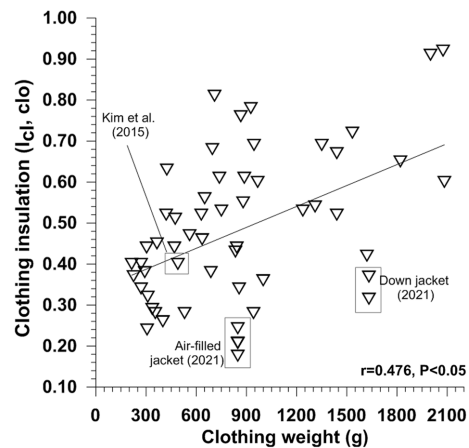


Fig. 4. Relationship between clothing weight and thermal insulation of winter upper garments. Data are from Choi and Lee(2009), ISO 9920(2007), Kim et al.(2015), and Table 3 of the present study.

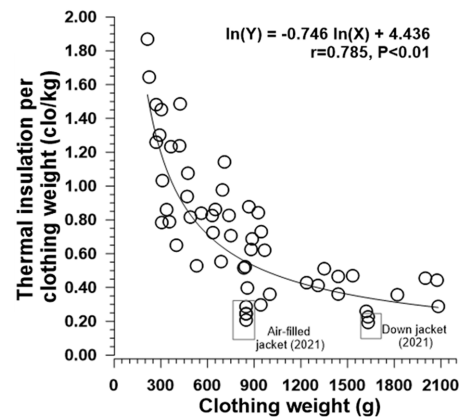


Fig. 5. Relationship between clothing weight and thermal insulation of winter upper garments per clothing weight.

열의 증량 소재였기 때문이다. 의복의 보온력을 단위질량당으로 환산할 경우, 의복 질량과 의복의 보온력은 매우 강한 음의 상관을 보이는데 이는 옷이 무거워질수록 보온력의 효율이 감소함을 의미한다(Fig. 5). 본 연구에서 개발된 공기 주입형 패딩의 증량은 중등 정도의 무게에 해당하나, 유사한 질량의 겨울용 상의에 비해 보온력은 낮은 편이며, 본 연구에서 사용된 다운 재킷도 공기주입형 재킷의 내외피 소재(동일한 폴리우레탄 소재)로 제작되었기 때문에, 시판되는 다운 재킷들(나일론이나 폴리에스테르 내외피)에 비해 상대적으로 무거운 것으로 평가되었다(Fig. 5).

4. 고찰

4.1. 공기를 주입한 재킷이 다운 재킷보다 더 따뜻한가?

본 연구의 첫 번째 가설인 ‘공기 주입형 재킷의 보온력이 다운 재킷의 보온력보다 높을 것이다’는 기각되었다. 방한의류의 보온력을 결정하는 요인은 옷을 구성하는 소재 자체의 열전도도, 소재 및 옷이 함유하고 있는 공기량, 함유된 공기의 움직임, 소재 및 옷에 함유된 수분량, 옷의 겹침 등으로 이러한 요인들의 상호작용 속에서 인체로부터 전도, 대류, 증발에 의해 열손실이 결정된다. 소재 자체의 열전도도를 살펴보면, 다운의 열전도도는 면이나 폴리에스테르, 울 섬유에 비해 월등히 낮다. 단위 부피당 다운 증량이 증가할수록 열전도도는 2.5 W/m²·°C(밀도 약 0.5 kg/m³)에서 0.5 W/m²·°C(밀도 약 1.3 kg/m³) 수준으로 낮아지는데(Gao et al., 2007), 그럼에도 공기 자체의 열전도도(0.025 W/m²·°C) 만큼 낮아지지는 않는다. 즉, 본 실험 결과 다운 재킷의 보온력이 공기 주입형 재킷의 보온력보다 더

높았던 이유는 다운 소재 자체의 열전도도보다는 다운 및 옷이 함유한 공기량 및 공기의 움직임에서 논의되어야 한다. 특히 의복의 보온력은 최내층 의복의 정지 공기층에 의해 가장 크게 결정된다고 보기 때문에, 동일 디자인, 동일 내외피 소재(폴리우레탄), 동일 사이즈의 재킷 내에 다운을 충전시킨 경우와 공기를 주입시킨 경우 최내층 의복기후 공기층은 공기주입형 재킷보다 다운 재킷에서 더 잘 유지되었다고 해석할 수 있다. 다운 소재의 압축과 복원력은 다른 의류 소재들에 비해 매우 우수하기 때문에 서멀 마네킹에 다운 재킷을 입힌 경우 공기주입형 재킷에 비해 내부 공기층이 상대적으로 덜 파괴되었을 것이라 추측할 수 있으며, 측정을 위해 실험자가 서멀 마네킹에 실제 착용을 하는 과정에서도 이러한 점은 쉽게 확인할 수 있었다. 그러나 본 연구에서 측정된 공기주입형 재킷(50% 공기 주입)과 다운 재킷의 보온력은 0.07 clo 차이로, 슬리브리스 런닝 셔츠(0.06 clo)나 숏팬츠(0.08 clo), 두꺼운 장갑(0.08 clo), 두꺼운 긴 양말(0.06 clo) 등의 보온력(I_{cl})을 고려했을 때 아주 큰 차이는 아니었다. 재킷 안에 착용하는 일반 상의, 내의 상의, 목도리 등으로 충분히 보완 가능한 보온력 차이이다.

한편, 본 연구에서 개발된 공기주입형 재킷의 보온력을 기존 연구들에서 수집된 겨울철 외투 56종의 보온력(평균±SD, 0.52 ± 0.17 clo)(Table 3)과 비교해 보면 본 연구에서 사용된 방한 재킷들의 보온력이 상대적으로 낮은 수준임을 알 수 있다. Baek et al.(2018)이 분석한 겨울철 의의류(패딩 재킷)의 보온력(I_{cl}) 0.49 ± 0.03 clo와 비교해도 낮은 수준이었다. 본 연구에서 개발된 공기주입형 재킷은 허리까지만 오는 길이로 기존 56종의 겨울 의류들에 비해 짧았다. 재킷의 길이가 짧다는 것은 피복면적 또한 상대적으로 적음을 의미한다(단일의복의 보온력은 피복면

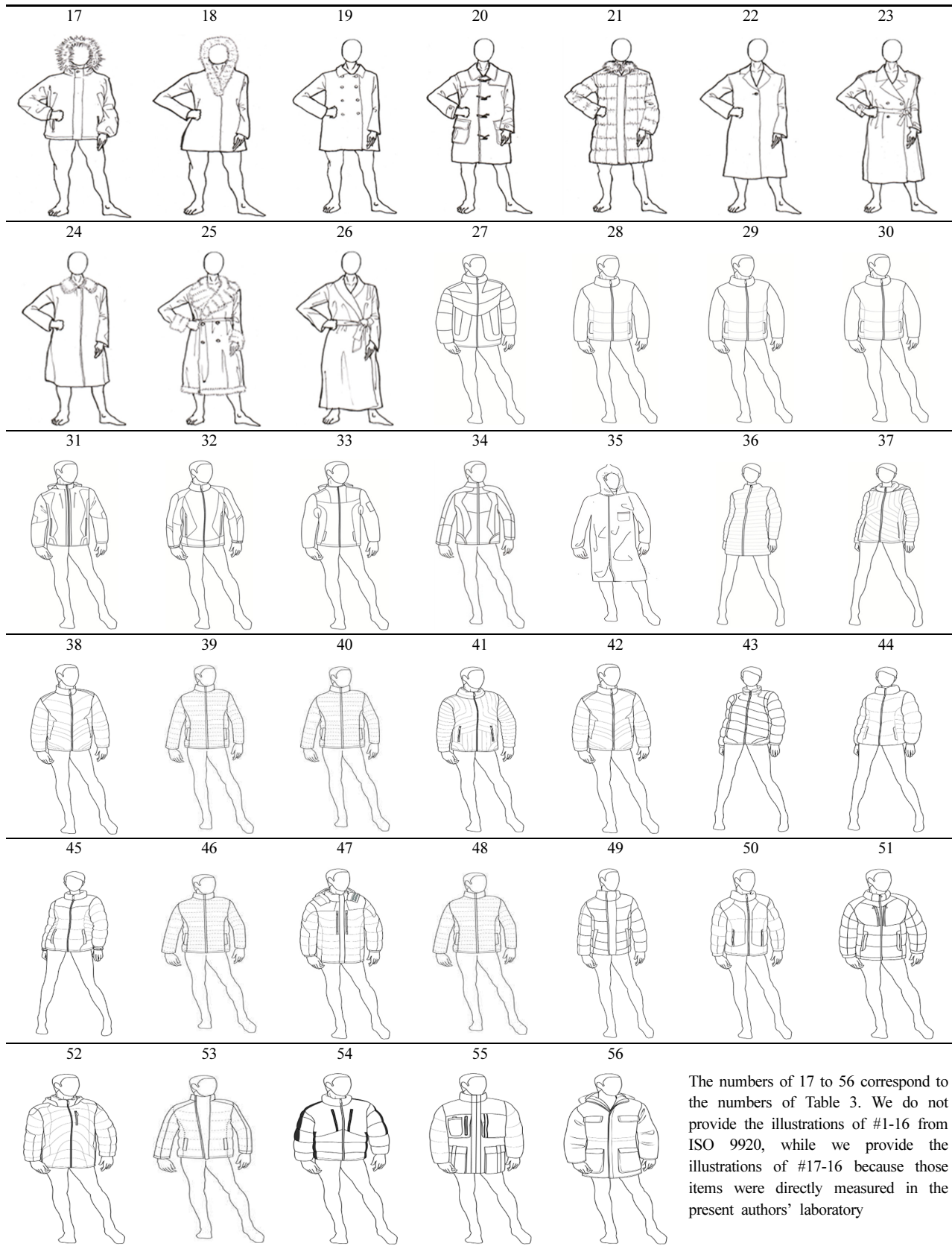
Table 3. Thermal insulation of winter jackets and coats that were cited from previous studies

#	Description	Fabric (outer)	Filling material	Garment mass (g)	I _{cl} (clo)	Source
1	Jacket	Polyester/polyamide	-	292	0.38	ISO 9920(2007)
2	Jacket	Multicomponent	-	310	0.32	ISO 9920(2007)
3	Jacket	Polyester/polyamide	-	225	0.37	ISO 9920(2007)
4	Jacket	Multicomponent	-	270	0.34	ISO 9920(2007)
5	Jacket	Multicomponent	-	365	0.45	ISO 9920(2007)
6	Jacket	Multicomponent	-	270	0.40	ISO 9920(2007)
7	Jacket	Multicomponent	-	1,350	0.69	ISO 9920(2007)
8	Jacket	Multicomponent	-	1,000	0.36	ISO 9920(2007)
9	Jacket, above knee length	35% Cotton/65% Polyester	-	942	0.28	ISO 9920(2007)
10	Jacket, above knee length	Polyester/polyamide	-	945	0.69	ISO 9920(2007)
11	Down jacket	-	Goose or duck	880	0.55	ISO 9920(2007)
12	Coat, below knee length	-	-	1,820	0.65	ISO 9920(2007)
13	Coat, below knee length	-	-	650	0.56	ISO 9920(2007)
14	Parka-coat	Multicomponent	-	1,440	0.67	ISO 9920(2007)
15	Parka-coat with hat	Multicomponent	-	1,440	0.52	ISO 9920(2007)
16	Heat-protective felt jacket	-	-	1,620	0.42	ISO 9920(2007)

Table 3. Continued.

#	Description	Fabric (outer)	Filling material	Garment mass (g)	Icl (clo)	Source
17	Down-jacket with hat, hip length	100% polyester	Duck	834	0.43	COMFORT Lab. (Choi and Lee, 2009)
18	Padded coat, knee length	63% Nylon/37% polyurethane	Goose or duck	687	0.38	COMFORT Lab. (Choi and Lee, 2009)
19	Coat, half thigh length	100% wool	-	856	0.34	COMFORT Lab. (Choi and Lee, 2009)
20	Coat, duffle coat, knee length	90% wool/10% nylon	-	1,237	0.53	COMFORT Lab. (Choi and Lee, 2009)
21	Padded coat	Polyester	Goose or duck	738	0.61	COMFORT Lab. (Choi and Lee, 2009)
22	Coat, calf length	100% wool	-	1,310	0.54	COMFORT Lab. (Choi and Ko, 2007; Choi and Lee, 2009)
23	Coat, calf length	Wool/polyester	-	842	0.44	COMFORT Lab. (Choi and Lee, 2009)
24	Coat, calf length	Wool/angora	-	967	0.60	COMFORT Lab. (Choi and Lee, 2009)
25	Coat, calf length	Polyester, fur (trimmed)	-	2,083	0.60	COMFORT Lab. (Choi and Lee, 2009)
26	Coat, ankle length	100% wool	-	1,533	0.72	COMFORT Lab. (Choi and Lee, 2009)
27	Down jacket	100% polyester	Goose	750	0.53	Kim et al. (2015)
28	Down jacket	100% polyester	Goose	560	0.47	Kim et al. (2015)
29	Air-cell jacket	100% polyester	Air	490	0.40	Kim et al. (2015)
30	Air-cell-film jacket (no air but film only)	100% polyester	-	469	0.44	Kim et al. (2015)
31	Jacket, waist length	Nylon	-	306	0.24	COMFORT Lab.
32	Jacket, waist length	Nylon or polyester	-	400	0.26	COMFORT Lab.
33	Jacket, waist length	Nylon or polyester	-	530	0.28	COMFORT Lab.
34	Jacket, waist length	Nylon or polyester	-	355	0.28	COMFORT Lab.
35	Rain coat with hood	Nylon or polyester	-	337	0.29	COMFORT Lab.
36	Padded jacket	Nylon	Goose	303	0.44	COMFORT Lab.
37	Padded jacket	Nylon	Goose	420	0.52	COMFORT Lab.
38	Padded jacket	Nylon	Goose	635	0.46	COMFORT Lab.
39	Padded jacket	Nylon	Goose	590	0.48	COMFORT Lab.
40	Padded jacket	Polyester	Goose	214	0.40	COMFORT Lab.
41	Padded jacket	Polyester	Goose	474	0.51	COMFORT Lab.
42	Padded jacket	Polyester	Goose	630	0.52	COMFORT Lab.
43	Padded jacket	Polyester	Goose	688	0.65	COMFORT Lab.
44	Padded jacket	Polyester	Duck	696	0.68	COMFORT Lab.
45	Padded jacket	Polyester	Duck	709	0.70	COMFORT Lab.
46	Padded jacket	Polyester	Goose	-	0.58	COMFORT Lab.
47	Padded jacket	Polyester	Duck	887	0.61	COMFORT Lab.
48	Padded jacket	Nylon	Goose	424	0.63	COMFORT Lab.
49	Padded jacket	Polyester	Duck	871	0.72	COMFORT Lab.
50	Padded jacket	Polyester	Duck	866	0.76	COMFORT Lab.
51	Padded jacket	Polyester	Goose	926	0.78	COMFORT Lab.
52	Padded jacket	Polyester	Goose	-	0.79	COMFORT Lab.
53	Padded jacket	Polyester	Synthetic	-	0.82	COMFORT Lab.
54	Padded jacket	Nylon	Goose	-	0.85	COMFORT Lab.
55	Padded jacket	Polyester	Goose	2000	0.91	COMFORT Lab.
56	Padded jacket	Polyester	Goose	2075	0.92	COMFORT Lab.

Table 4. Illustration of winter jackets and coats which were mentioned in Table 3



The numbers of 17 to 56 correspond to the numbers of Table 3. We do not provide the illustrations of #1-16 from ISO 9920, while we provide the illustrations of #17-16 because those items were directly measured in the present authors' laboratory

적에 비례한다(ISO 9920, 2007; Son & Baek, 1999)). 공기 주입형 재킷의 허리 밑단 디자인 또한 A자 형태의 디자인으로 재킷 내부의 공기층이 외기로부터 보호되는 구조가 아니었다는 점을 고려하면 공기주입형 재킷에서 얻어진 상대적으로 낮은 보온력에 대한 설명이 가능하다. 그러나 일정 수준 이상의 바람이 있을 경우 다운 재킷의 보온력은 약 40% 이상 낮아지며 (Song & Kwon, 2008b; Song et al., 2012), 몸이 땀으로 젖었을 때 다운 재킷의 보온력은 약 31~67% 감소되고(Shim, 2014), 다운 재킷을 여러 번 세탁할 경우 두께나 중량 손실이 합성 소재에 비해 유의하게 높다는 보고(Kim et al., 2018) 등을 고려해 볼 때, 풍속과 젖음 수준, 세탁 관리 기간 등에 따라 공기주입형 재킷의 보온력이 어떻게 변하는지에 대해서도 후속연구를 통해 평가해볼 필요가 있다.

4.2. 공기를 많이 주입할수록 따뜻한가?

본 연구의 두 번째 가설인 ‘공기주입량과 재킷의 보온력은 선형관계를 보일 것이다’는 기각되었다. 본 연구에서는 공기를 50% 수준만 주입한 경우 가장 큰 보온력을 보였으며, 100%를 주입한 경우 오히려 0%를 주입한 경우보다 더 적은 보온력이 관찰되었다. 이와 유사한 결과는 Kim et al.(2015)의 연구에서도 발견되는데, 공기를 꽉 채운 경우 오히려 재킷과 마네킹 피부 간 유지되던 정지 공기층이 부풀어 오른 재킷으로 인해 무너지기 때문인 것으로 해석되었다. 본 연구에서도 측정된 보온력 값으로 유추해 볼 때, 공기량을 70% 주입한 경우 재킷 내 피부와 마네킹 피부 간 유지되던 정지 공기층이 점점 파괴되기 시작하여, 100%를 주입한 경우 최대 공기층은 거의 모두 파괴된 것으로 해석할 수 있다(실험자가 마네킹 착탈의 시 마네킹의 팔을 넣을 수도 없을 정도로, 또한 재킷의 앞 지퍼를 쉽게 여밀 수 없을 정도로 재킷이 뽕뽕해짐). 즉, 공기량을 50% 수준으로 채운 경우 재킷 내 확보된 공기량(13,110 cm³)과 함께, 최대 공기층도 효과적으로 유지되어 최고의 보온력을 유지할 수 있었을 것이라 사료되나, 이는 본 실험 조건에 한정되며 추후 공기량 30% 혹은 60%등 보다 세분화된 수준에서의 비교 평가가 필요하다. 공기를 100% 채운 경우 재킷 내 확보된 공기량은 26,219 cm³로 최대였으나 공기량 50% 재킷보다도 보온력이 낮았기 때문에, 50% 수준 재킷 착용 시 확보된 최대층 공기량은 최소 13,109 cm³(= 26,219-13,110 cm³) 이상이었을 것이라 예상해 볼 수 있다. 즉, 공기량 50% 수준의 재킷 착용 시에도 이 부피 이상의 공기가 의복 최대층에 유지되고 있음을 알 수 있다. 요약하면, 공기주입형 재킷의 보온력은 재킷 내부에 확보된 공기 절대량의 함수라기보다, 착용 시 재킷이 피부에 직접 닿지 않을 정도로 재킷의 형상을 유지해줄 수 있는 적정 공기량과 이때 재킷 내피와 마네킹 피부 간 형성되는 최대층 공기량의 함수로 보는 것이 타당하다. 본 연구에서는 0%, 50%, 70%, 100% 수준에서의 비교가 이루어졌으나, 추후 구간을 보다 세분화하여 보온력을 분석해 볼 필요가 있다(예: 30% 공기량에서 50% 공기량에서보다 더 높은 보온력이 측정될 수 있다).

4.3. 공기주입형 재킷 디자인 시 고려할 점은 무엇인가?

4.3.1. 적정 사이즈

방한의류의 보온력을 결정하는 가장 큰 요인은 의복 내 최대층 정지공기량이다. 공기를 주입한 재킷을 착용할 경우 다운 재킷에 비해 의복내 공기층이 점점 파괴되기 때문에 기존 다운 재킷의 사이즈보다 약간 큰 사이즈를 착용하는 것이 유리할 것이다. 그렇다면 어느 정도 큰 사이즈를 입는 것이 적당할까? Gemperle et al.(1998)에서 인용된 한 연구(Hall, 1982)에 따르면 인간의 뇌는 피부 표면으로부터의 최대 5 inch(약 13 cm)까지의 거리를 웨어러블 폼을 적용할 수 있는 거리로 인식하고 이를 proxemics라고 부른다. 즉, 피부표면에서 최대 5 inch까지로 둘러싸인 공간을 내 몸과 친근한 공간으로 여기고 웨어러블 형태의 옷 등을 착용할 수 있는 거리로 받아들인다는 의미이다. 보온력 측면에서는 의복내 공기층이 정지한 상태로 유지될 수 있는 거리가 권장될 것이며, 피부 면에서 일정 거리 이상의 의복내 공기층이 유지되면 자연대류가 보다 쉽게 발생하여 보온력이 오히려 저하될 것이다. Lee and Lee(1989)는 다양한 두께(7 mm, 14 mm, 21 mm, 35 mm)를 가진 다운 재킷의 보온력을 비교하였는데 그 결과 다운 솜의 두께가 증가함에 따라 보온력도 증가하였기 때문에 적어도 35 mm 두께까지는 보온력 증가에 효율적이라고 판단하였다. 전술한 바와 같이, Shi et al.(2015)은 중국 전통 남성복 19종을 수집한 후 의복내 공기층과 보온력 간의 관련성을 조사하였는데, 의복내 공기층이 증가할수록 보온력은 증가하나 공기층이 70 dm³을 증가하면서 보온력은 다시 감소하기 시작하였다고 보고하였다. 의복내 공기량을 의복내 공기층 두께로 단순화할 수는 없겠으나 수집된 19종 의복의 의복내 공기량과 의복내 공기층 두께가 각각 20~93 dm³, 13~51 mm였기 때문에, 이상의 선행연구들을 종합해 보면 최적의 보온력을 유지하는 의복내 공기층 두께는 약 35~50 mm 사이일 것이라 예측된다. 따라서 공기주입형 재킷을 착용할 경우 평소 본인이 착용하는 다운 재킷의 사이즈보다 약간 큰 사이즈를 입되 의복내 공기층 두께가 35~50 mm가 유지되도록 내의를 선정하여 레이어링 하는 것이 중요하다 볼 수 있다.

4.3.2. 상체 전면 부위 보온력 보강

본 연구 결과 공기주입형 재킷의 전면 어깨 부위와 가슴 부위 보온력이 다운 재킷의 동일 부위 보온력에 비해 낮았기 때문에 해당 부위들에 함기량이 충분한 소재의 안감이나 전기적 발열체 등을 활용하여 보온력을 높이는 방안을 생각해 볼 수 있다. Park et al.(2016)은 다운 재킷 내부에 발열 히터를 부착한 후 보온력을 비교하였는데, 영하 5°C 환경에서 다운재킷 착용 조건의 의복 최대층에 발열 히터를 부착하고 이를 작동시킨 경우 상체 부위의 전력 소비량이 36% 감소했을 뿐만 아니라, 발열 히터가 부착되지 않은 하체 부위의 전력 소비량도 19% 감소하였다. 이 결과는 상체 부위 추가 가온에 의해 하체의 보온력도 증가될 수 있음을 시사한다.

4.3.3. 적절한 소재 선택 및 디자인 개선

의복을 구성하는 소재의 보온성이 의복의 보온력과 비례한다고 생각될 수 있으나 엄밀히 말해 일상복에 사용되는 전통적인 소재들에 대해 이러한 원리는 잘 적용되지 않는다. 일반적으로 의복 제작에 사용되는 원단은 섬유 사이 또는 직물 구조상 공기를 다량 함유하고 있는데, 원단 간의 열전도율의 차이보다 공기의 열전도도 값 자체가 월등히 낮기 때문에, 원단 간 열전도도의 차이는 미미해진다(Das & Alagirusamy, 2010). 일찍이, Son and Choi(1999a)는 면, 폴리에스터, 울, 실크, 레이온 소재로 동일 디자인, 동일 사이즈의 의복을 제작한 후 서멀 마네킹을 이용하여 이 의복들의 보온력을 측정하였고 그 결과 직물 상태에서 측정한 보온력과 의복 상태에서 측정한 보온력이 일치하지 않는다고 보고한 바 있다. 즉, 직물 상태에서 측정한 보온력은 면 직물이 가장 높았고, 모, 아세테이트, 견, 레이온, 폴리에스테르 순서로 낮았으나, 블라우스로 제작한 상태에서 측정된 의복의 보온력은 면과 폴리에스터 소재로 제작된 블라우스의 보온력이 가장 높고, 이어 견, 모, 레이온, 아세테이트 순서였다. 특히, 의복 상태의 보온력은 의복 내부에 대한 안감과 내의 종류, 겹쳐 입는 방법에 따라 또 다른 순서가 관찰되었다. 위 연구에서 흥미로운 점 중 하나는 드레스(‘원피스’) 형태일 경우 면, 폴리에스테르, 견, 레이온 소재 간 차이 없이 동일한 보온력이 관찰되었다는 점으로 이는 소재 특성보다 디자인(공기가 아래 위로 순환되는 디자인)의 영향이 더 유의할 수도 있음을 의미한다. Baek et al.(2018)도 직물의 보온력과 의복의 보온력 간 상관관계수(r)는 $0.49(p < 0.01)$ 로 그리 강력하지는 않았다고 보고하였다. 또한, 직물 상태의 보온력인 경우에도 직물의 겹침이 증가함에 따라 보온력에 미치는 소재 자체의 보온력 영향은 감소하였으며(Son & Char, 1999), 실제 인체 착용평가를 수행한 결과에서도 면, 폴리에스터, 모, 견, 레이온 의복 착용 조건 간 직장온과 평균피부온도에서 유의한 차이는 발견되지 않았다(Son & Choi, 1999b).

이처럼 소재들 간 차이가 기대만큼 유의미하지 않다면, 공기 주입형 재킷의 소재 개선을 어떻게 정당화할 수 있는가. 전술한 바와 같이, 일상적으로 사용되는 원단들 내에서 소재 개선을 통해 보온력 상승을 크게 기대할 수는 없으나, 본 연구에서 사용된 소재는 일상적으로 사용되는 방한 재킷의 원단이 아닌, 특수 폴리우레탄 소재이기 때문에 다양한 가공 및 코팅 등을 통해 어느 정도의 보온력 향상은 가능하다. 본 연구에서는 공기를 재킷 내에 잡아두기 위해 내외피 모두 공기투과도 0인 폴리우레탄 소재를 사용하였는데, 이는 기존 다운 재킷의 내외피 소재인 폴리에스테르나 나일론 소재에 비해 무거우면서 열전도도가 높다. 원단의 열전도율은 기공이 증가함에 따라 감소하고 밀도에 따라서는 선형적으로 증가하는 경향을 보여주며(Wazna et al., 2017), 열저항과 열전도율 사이에는 역의 관계가 있고(Das & Alagirusamy, 2010), 양모 및 폴리에스터 소재의 경우 열전도도가 클수록 열저항은 작다(Kistamah et al. 2017). 이러한 선행연구들을 참고로, 재킷 내피 폴리우레탄 소재 표면에 열

전도도가 낮은 직물(함기량이 높은 직물)을 코팅하거나 별도의 안감으로 사용한다면, 공기 불투과성 외피 소재로 만들어진 공기주입형 재킷의 보온력을 향상시키는데 도움이 될 것이다. Son and Char(1998)에서는 면이나 모직으로 제작한 홉겹 드레스에 아세테이트 소재의 안감을 부착한 후 보온력이 약 0.15 clo 정도 상승(평균 45% 증가)했기 때문에 공기주입형 재킷의 경우에도 안감 부착(혹은 코팅)에 의해 일정 정도 이상의 보온력 상승이 예상된다. 내피의 소재 개선과 함께 공기 주입형 재킷 내에 입는 내의들에 대한 전략도 필요하다. 함기량이 높은 소재의 상의를 착용하고, 허리 길이 재킷에서 오는 단점을 보완하기 위해 배를 덮는 형태의 상의류 착용을 권장하며, 차가운 외기가 재킷의 허릿단을 통해 내부로 유입되지 않도록 효과적인 밀폐 전략도 필요하다. 추가로, 효과적으로 허릿단을 밀폐하여 보온력을 상승시키는 경우, 땀이 났을 때 외기와의 열교환이 방해되어 불쾌감이 초래될 수도 있으므로 겨드랑 부분에만 만든 환기구 크기(혹은 수)를 증가시키거나 별도의 개구부를 추가한 디자인을 평가해 볼 필요가 있다.

4.4. 단일 의복의 보온력 계산 시 주의할 점

한벌의복 혹은 의복조합(clothing ensemble)은 동시에 함께 입혀지는 여러 개의 의복군을 의미하며, 단일의복 혹은 개별의복(clothing item or garment)은 한벌의복의 구성요소로 입혀지는 한 개의 의복을 의미한다(ASTM F1291-16, 2016; ASTM F3426-20, 2020; ISO 9920, 2007). 한벌의복은 사람이 일상적으로 착용하는 의복군을 의미하기 때문에 전신 마네킹을 사용하여 보온력을 측정하는 것이 자연스럽다. 그러나, 본 연구의 공기주입형 재킷과 같이 단일의복을 전신 서멀 마네킹에 착용시켜 보온력을 측정하는 경우 착용된 부위를 제외한 나머지 부위는 공기에 노출되며 이 부위들로부터 열손실이 과도하게 발생할 수 있기 때문에 몇몇 연구자들은 이러한 착용법에 의한 측정이 옳은 방법인가 고민할 수 있다. 이에 서멀마네킹의 20 부위(혹은 그 이상의 부위)에서 독립적으로 측정된 소비전력량 중 의복에 의해 덮인 부위만 선별하여 계산하는 경향이 국내 연구나 보고서에서 간혹 발견되기도 하는데, 이러한 방법으로 계산하는 경우 기존 보고되는 보온력보다 높은 값이 계산되며 이러한 보온력 증가는 특히 겨울철 방한류의 보온력 값에서 두드러진다.

일례로, 의복의 보온력을 발표한 몇몇 국내 연구들(Song & Kwon, 2008a; Song & Kwon, 2008b; Song et al., 2012)을 보면 유사한 디자인 및 중량의 의복임에도 ISO 9920(2007)에서 제시하는 의복들에 비해 과도한 보온력을 가지고 있는 것으로 보고되었다. 이러한 값들이 추출된 이유에 대한 고찰은 차치하더라도, 이러한 값들은 독자들에게 큰 혼란을 불러일으킬 수 있다. 서로 다른 종류의 서멀 마네킹을 다른 환경 조건에서 다른 방식으로 측정하는 경우 유발될 수 있는 혼란을 최소화하기 위해 서멀 마네킹을 이용하는 의복의 보온력 측정 방법은 ISO와 ASTM과 같은 표준 기구에서 규정해 왔다. 이는 전 세

게 다양한 연구기관에서 서로 다른 서멀 마네킹을 사용하여 보고되는 의복의 보온력 값들의 타당성을 확보하기 위함이다. 이러한 표준화된 방법들에 의하면 단일의복의 보온력을 측정하는 경우에도 한벌의복의 보온력을 측정하는 경우와 동일한 방법으로, 즉, 서멀 마네킹의 모든 부위를 함께 고려하여 계산한다. 다만, 두 가지 예외 사항이 존재한다. 첫 번째 예외는 모자류, 장갑류, 양말/신발류의 보온력을 전신 서멀 마네킹이 아니라 머리나 손, 발의 형태만을 가진 소형 서멀 마네킹을 이용하여 측정하는 경우이다. 인체 특정 부위만을 가진 부위별 마네킹을 사용하면서 전신을 고려할 수는 없다(ASTM F3426-20, 2020). 이때 주의할 점은, 전신 서멀 마네킹을 이용하여 보고된 장갑의 보온력을 손 형태를 갖는 서멀 마네킹을 이용하여 측정된 장갑의 보온력과 비교해서는 안 된다. 그 이유는 전자의 경우 나상(nude)인 전신에 장갑 만을 착용한 경우 인체가 느끼는 따뜻한 정도의 의미를 의미하는 반면, 후자의 경우, 양 손을 전신이라 가정한 상태에서의 장갑 보온력을 의미하기 때문이다(전자 보온력 < 후자 보온력). 두 번째 예외는, 개별보온력(I_{cl})이 아니라 총보온력(I_T)에 한정해서, 다양한 디자인 및 형태를 갖는 의복들의 보온력을 정량화한다기 보다, 동일 디자인을 갖는 단일의복에서 소재나 충전재 등의 차이로 인한 보온력 차이를 비교하고자 하는 경우 서멀 마네킹 전신이 아닌 부위별 보온력 계산이 더 정확할 수 있다(ASTM F1291-16, 2016). 그러나 이 경우에도 전신을 고려해서 측정된 값과 비교해서는 안 된다. 특정 의복에 의해 덮인 부위들만의 값으로 해당 단일 의복의 총보온력을 계산하고자 할 경우, 특정 의복에 의해 덮인 마네킹 부위만 선정하여 계산된 부위별 총보온력($I_{T_partial}$)을 보고하되, 전신을 고려하여 계산된 총보온력($I_{T_whole\ body}$)과 함께 보고하도록 권장되며(ASTM F1291-16, 2016), 의복의 표면적 계산 등의 어려움으로 단일의복의 개별보온력($I_{cl_partial}$)은 계산하지 않는다.

5. 결 론

본 연구에서는 방한의류의 충전재로서 다운 대신 상체 구획별로 공기를 주입하는 재킷을 새롭게 개발하였고, 주입한 공기량에 따른 재킷의 보온력을 동일 내외피 소재의 다운 재킷 보온력과 비교분석하였다. 첫째, 공기 주입형 재킷의 보온력이 다운 재킷의 보온력보다 높을 것이라는 첫 번째 가설은 기각되었다. 다운을 100% 충전한 재킷의 보온력이 공기주입형 재킷의 보온력보다 높았다. 보온력을 의복의 중량당으로 환산해 보면 공기주입형 재킷들의 보온력이 다운 재킷의 보온력보다 높았기 때문에 보온력의 효율은 공기주입형 재킷이 더 높다고 결론지을 수도 있으나, 실제 판매되는 대부분의 다운 재킷은 본 실험에서 사용한 무거운 폴리우레탄 소재가 아니라 가벼운 나일론이나 폴리에스테르이기 때문에 의복 질량당 보온력 비교에는 신중할 필요가 있다. 두 번째, 공기주입량과 보온력이 선형적으로 비례하는 관계를 보일 것이라는 가설은 기각되었다. 공기주

입량이 0%인 경우보다 50%인 경우 보온력은 더 컸으나, 70%와 100%인 경우 보온력은 50%인 재킷의 보온력보다 오히려 적었는데, 이는 재킷 내 충전된 공기량의 증가로 재킷 내피와 마네킹 피부 간에 형성된 의복 최내층 공기층이 파괴되었기 때문인 것으로 해석할 수 있다. 또한 다운 재킷의 허릿단을 밀폐시킨 경우 보온력이 0.05 clo 증가한 점으로 보아, 충전재의 보온력도 중요하지만 디자인과 착장 방식도 보온력 증감에 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다. 본 연구에서와 같이 허리 길이의 공기주입형 재킷을 착용할 경우 내부에 입는 옷의 레이어링 방식에 따라 보온력을 극대화할 수 있을 것이다. 추후, 공기주입형 재킷 디자인 개선 시 최적의 보온력을 제공하기 위해서는, 찬 외기가 재킷 내부로 들어오지 않도록 밀단을 밀폐할 수 있는 디자인 도입이 필요하며, 동시에 의복내 공기층이 충분히 유지될 수 있도록 재킷에 주입하는 공기량과 재킷 사이즈 조합에 대해 탐구할 필요가 있다. 추가로, 본 연구에서는 공기가 통과하지 않는 폴리우레탄 필름 소재로 외피와 내피를 제작하였으나, 내피에 다양한 코팅을 하거나 소재 조합, 발열체 부착 등을 시도하여 촉감과 보온력 향상이 얼마나 가능한 지 평가해 볼 필요가 있다. 나아가, 다운 재킷의 보온력은 강한 풍속 환경에 노출되거나 땀으로 인해 재킷이 젖을 경우, 반복 세탁이 이루어질 경우 현저한 감소를 보이기 때문에 이러한 극한 환경에 노출될 경우 공기주입형 재킷의 장단점을 확인해볼 필요가 있다.

감사의 글

본 논문은 2020년도 파라코즈 및 이노션의 지원을 받아 수행되었습니다. 샘플 의복 제작을 진행해 준 파라코즈 및 이노션 직원들, 행정적 지원을 제공한 허윤정, 일러스트 작업에 참여해주신 김정민, 영문 교정을 도와 준 Andrew Gorski에게 감사의 말씀을 전합니다.

References

- ASTM F1291-16. (2016). *Standard test method for measuring the thermal insulation of clothing using a heated manikin*. American Society for Testing and Materials.
- ASTM F3426-20. (2020). *Standard test method for measuring the thermal insulation of clothing items using heated manikin body forms*. American Society for Testing and Materials.
- Baek, Y. J., Hwang, S. K., Lee, H. H., Park, J., Kim, D. H., & Lee, J. Y. (2018). Quantification of thermal insulation by clothing items and an analysis of influencing factors. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 42(1), 172-182. doi:10.5850/JKSCT.2018.42.1.172
- Choi, J. W. (2006). *의복착용상태에서의 의복의 보온력 예측을 위한 보온력 지표 개발 연구 [Study on the development of clothing insulation index to predict clothing insulation in human wear trials and manikin tests]*. Final Report, National Research Foundation.
- Choi, J. W., & Ko, E. S. (2007). Relationship between thermal

- Insulation and the combinations of Korean women's clothing by season-using a thermal manikin. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 31(6), 966-973. doi:10.5850/JKSCT.2007.31.6.966
- Choi, J. W., & Lee, H. H. (2009). The relationship between weight of single garments and thermal insulation with a thermal manikin. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 33(2), 173-186. doi:10.5850/JKSCT.2009.33.2.173
- Das, A., & Alagirusamy, R. (2010). *Science in clothing comfort*. New Delhi: Woodhead Publishing India.
- EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW). (2010). Scientific opinion on the practice of harvesting (collecting) feathers from live geese for down production. *EFSA Journal*, 8(11), 1886. doi:10.2903/j.efsa.2010.1886
- Gao, J., Yu, W., & Pan, N. (2007). Structures and properties of the goose down as a material for thermal insulation. *Textile Research Journal*, 77(8), 617-626. doi:10.1177/0040517507079408
- Gemperle, F., Kasabach, C., Stivoric, J., Bauer, M., & Martin, R. (1998). Design for wearability, *Second International Symposium on Wearable Computers*, USA. doi:10.1109/ISWC.1998.729537
- Hall, E. T. (1982). *The Hidden Dimension*. New York: Anchor Books.
- ISO 9920. (2007). *Ergonomics of the thermal environment - Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*. International Organization for Standardization.
- Kim, H. J., Lee, S. Y., Yum, S. H., Nam, Y. I., Chun, H., & Yun, N. K. (2003). Effect of heat insulation by plastic curtain with air cell in greenhouse. *Proceedings of the Korean Society For Bio-Environment Control, Spring Conference, Korea*, 12(1), 203-206.
- Kim, Y. B., Jang, W., Kim, K., Kim, S., Baek, Y. J., & Lee, J. Y. (2015). Comparisons of thermal insulations between on air-cell pack embedded jacket and down jackets. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 39(1), 55-62. doi:10.5850/JKSCT.2015.39.1.55
- Kim, S., Kim, E., & Park, Y. (2018). Thermal insulation and morphology of natural and synthetic filled outdoor sportswear by repeated water washing and dry cleaning. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 30(3), 428-443. doi:10.1108/IJCST-09-2017-0149
- Kim, J. H., Lee, S. Y., & Lee, J. S. (2019). Case analysis on consumer disputes due to laundry deliberation of clothing products. *Korean Journal of Human Ecology*, 28(6), 643-655. doi:10.5934/kjhe.2019.28.6.643
- Kistamah, N., Hes, L., & Rajmun, K. (2017). Physical properties of nonwoven and woven felted fabrics. *Research Journal of Textiles and Apparel*, 21(3), 178-187. doi:10.1108/RJTA-02-2017-0005
- Lee, J. Y., Ko, E. S., Lee, H. H., Kim, J. Y., Choi, J. W. (2011). Validation of clothing insulation estimated by global and serial methods. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 23(2/3), 184-198. doi: 10.1108/09556221111107360
- Lee, Y. J. & Lee, S. W. (1989). The effects of parka on subject wear sensation as to thermal resistance. *Journal of Korean Society of Clothing and Textiles*, 13(3), 295-303.
- Pap, P. L., Osváth, G., Daubner, T., Nord, A., & Vincze, O. (2020). Down feather morphology reflects adaptation to habitat and thermal conditions across the avian phylogeny. *Evolution*, 74(10), 2365-2376. doi:10.1111/evo.14075
- Park H., Hwang, S. K., Lee, J. Y., Fan, J., & Jeong, Y. (2016). Impact of electrical heating on effective thermal insulation of a multi-layered winter clothing system for optimal heating efficiency. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 28(2), 254-264. doi:10.1108/IJCST-05-2015-0066
- Park, J., Hwang, S., & Lee, J. Y. (2020). Elderly male' and female's actual wearing condition by clothing item and clothing ensemble insulation in winter. *Journal of the Korean Society of Living Environmental System*, 27(2), 161-173. doi:10.21086/ksles.2020.04.27.2.161
- Shi, W., Lu, Y.H., & Wang, F. (2015). Clothing air layer, clothing area factor and total thermal insulation of Chinese male minority ethnic costumes. *The 8th Textile Bioengineering and Informatics Symposium. Zadar, Croatia*, pp. 325-332.
- Shim, H. S. (2014). An evaluation of factors influencing the thermal insulation and evaporative resistance of a waterproof and breathable garment system. *The Korean Journal of Community Living Science*, 25(4), 549-556. doi:10.7856/kjcls.2014.25.4.549
- Son, W. K., & Baek, Y. J. (1999). Effects of garment types on thermal insulation using a thermal manikin. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 23(8), 1110-1118.
- Son, W. K., & Choi, J. W. (1999a). The effects of textiles for thermal insulation value using a thermal manikin. *Journal of the Korean Home Economics Association*, 37(12), 141-151.
- Son, W. K., & Choi, J. W. (1999b). The effects of textiles materials and wearing type on the thermal insulation value. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 23(8), 1098-1109.
- Son, W. K., & Char, O. S. (1998). Effects of the clothing for lining of thermal resistance. *Journal of the Korean Society of Living Environmental System*, 5(1), 31-40.
- Son, W. K., & Char, O. S. (1999). The effects of clothing materials and multi-layered textiles on thermal resistance value. *Journal of the Korean Home Economics Association*, 37(11), 157-165.
- Song, J., & Kwon, M. (2008a). A study on the thermal characteristics of comfortable heat-retaining winter clothing. *Journal of the Korean Society of Costume*, 58(6), 24-34.
- Song, J., & Kwon, M. (2008b). A study on the insulation of thermal clothing under dynamic air condition. *Journal of the Korean Society of Costume*, 58(9), 29-37.
- Song, J., Kwon, S. Y., & Jung, H. M. (2012). A study on changes in thermal performances in ensembles made up of single garments marketed for Korean men - In still and dynamic air conditions. *Fashion & Textile Research Journal*, 14(4), 660-668. doi:10.5805/KSCI.2012.14.4.660
- Yang, H. Y., & Yang, S. H. (2006). A study on the architectural paradigms expressed in fashion since 1990s - Focusing on the similarity of spatial construction systems. *Journal of the Korean Society of Costume*, 56(7), 85-100.
- Wazna, M. E., Fatihi, M. E., Bouari, A. E., & Cherkaoui, O. (2017). Thermo physical characterization of sustainable insulation materials made from textile waste. *Journal of Building Engineering*, 12, 196-201. doi:10.1016/j.job.2017.06.008

(Received 1 February, 2021; 1st Revised 16 February, 2021; 2nd Revised 19 March, 2021; Accepted 19 March, 2021)