

Title

Development and Ergonomic Evaluation of Spring and Autumn Work Clothes for Stock Farming Worker

Subtitle

Agricultural Safety and Health for Stock Farming Worker

ABSTRACT

Objective: In this study, we designed work clothes for livestock farmers to wear in spring and autumn to improve their work efficiency, conducted a physiological test on their performance, and evaluated their comfort.

Background: In recent years, livestock farming in Korea has expanded, yet farmers' safety and sanitation levels remain low in hazardous environments that include organic dust, toxic gas, and heat stress, as well as the risk of accidents. Furthermore, most livestock farmers wear ordinary or dust-resistant clothes that are unsuitable for rearing livestock and compromise their safety and health. Thus, it is important to design specialized work clothes for livestock farmers that are comfortable and minimize their health and safety risks.

Method: To this end, we examined the literature on livestock (poultry, swine, and hanwoo) farmers' safety and sanitation issues, designed appropriate work clothes, and tested them in terms of sensory feel, physiological response, and subjective comfort.

Results: The respondents expressed satisfaction with the new work clothes. The results of a physiological test showed a decline in temperature and humidity inside the clothes, a lower pulse rate, and a lower oxygen intake compared to the measurements taken when farmers wore their previous work clothes. This indicates a fall in heat stress and fatigue, which was mostly consistent with the results of the assessment of subjective comfort.

Conclusion: The results of the analysis show an improvement in the comfort of the new work clothes compared to the dust-resistant clothes that are widely worn. Based on this study, the new work clothes need to be further tested and evaluated to improve the design.

Application: This study is expected to contribute to designing better work clothes for livestock farmers.

Keywords: Livestock working clothes, Protective clothing, Thermal comfort, Ergonomic evaluation, Farming worker

1. Introduction

농림업 생산액 및 GDP 대비 축산업 비중은 2002년 24.8%에서 2012년 34.6%로 10년 만에 9.8% 상승하였다(MAFRA, 2013). 이와 같이 축산업과 축산 연관산업은 국민경제에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있으며, 지금까지 꾸준하게 양적으로 성장해왔다. 그러나 축산 농작업은 일반 농작업과 달리 가축의 사육주기에 따른 일정한 작업이 이루어지고, 전염병 발생, 가축 사육 특성상 돌발적인 상황, 다양한 유해물질 등이 발생하는 특징을 가지고 있다. 축산업 종사인원은 56만 명에 달하는 것으로 추정되고 있고(ME, 2013), 가축 사육 현장에서 발생하는 유기분진, 유해가스, 높은 온·습도 등의 열악한 작업환경은 안전사고 및 건강장애 발생 확률이 높아 작업 효율을 저하시킬 수 있다(Hwang et al., 2009). 이에 따라 축산 작업자를 위한 개인 위생뿐만 아니라 안전을 위한 작업환경 개선, 개인보호구 개발 등의 노력은 무엇보다 중요한 요소이다.

최근 국내 축산업의 대표적 축종인 양돈, 양계, 육우 및 낙농 농업인의 안전보건 실태 및 개인보호장비 착용 현황 조사에 따르면 축사 내외부에서 유해·위험 환경에 노출되어 있으나 개인의 안전보건을 위한 보호장비 착용 실태는 매우 열악한 것으로 나타났다. 특히 축산 작업복 착용의 경우에 작업하기 편리한 옷을 일반 시장에서 구매한 의류, 일상복을 작업복 대용으로 착용하는 경우가 대부분이었다(Kim et al., 2014a; Kim et al., 2014b; Kim et al., 2016). 축산 작업의 특성상 많은 작업이 축사 내에서 이루어짐에 따라 개인위생과 서열 스트레스 등의 농부증과 관련된 안전보건에 대한 주의가 요구된다. 작업환경에 적합하지 않은 작업복 착용은 유해물질에 쉽게 노출될 수 있을 뿐만 아니라 더위 관련 질환을 유발시켜 작업효율 저감 및 작업자의 안전과 건강에 부정적 영향을 미쳐 안전사고 발생률을 높일 수 있다(Havenith, 1999). 따라서 농작업 환경으로부터 농업인의 신체를 보호하고 작업능률을 높일 수 있는 적절한 농작업복의 착용은 농업인의 건강 유지를 위해 반드시 이루어져야 할 과제이다.

농작업복과 관련한 대부분의 연구는 인체에 치명적인 농약중독을 막기 위한 농약 방제복 관련연구가 선행되었다(You, 2004; Hwang et al., 2006; Hwang et al., 2007). 최근 들어, 축산 농업인의 안전과 보호 측면에서 안전보건에 대한 관심이 증가하고 있는데, 축산 농업인의 안전보건 실태조사 관련연구(Kim et al., 2014a; Kim et al., 2014b), 축산 농업인의 안전보건 관리(Korea Dairy & Beef Farmers Association, 2009; RDA, 2013; RDA, 2015), 축산 개인보호구(Personal Protective Equipment; PPE) 및 축산 작업복 개발 관련 연구 등의 연구가 진행되었다(Hwang et al., 2008; Hwang et al., 2009; Lee et al., 2011; RDA, 2014). 농약 방제복의 경우 농약 흡착 및 서열 스트레스로 인한 피해를 예방하기 위해 개발되었다. 그 밖에 하우스 시설 내의 서열 스트레스를 최소화 하기 위한 서열 작업복이 개발되었는데 냉감효과를 가진 쿨링 소재(아스킨원단)를 사용하고 수분을 빠르게 말려주는 흡한 속건재 소재를 사용하여 고온 다습한 환경에서 작업하는 농업인의 쾌적함을 증진시켰다. 축산 작업복 개발과 관련된 연구를 살펴보면, Hwang et al. (2009)은 보온성, 방오성, 세탁성, 신축성 등을 고려한 겨울용 농작업복을 개발하였다. 겨울용 작업복은 실외 작업시 보온성 및 기능성을 제공하는데 의미는 있으나 서열 환경에는 적합하지 않다. 그리고 축산 작업복 관련 소재 개발과 관련한 연구가 진행되었다. 이 연구는 100% 생분해성 폴리젗산(Polylactic acid; PLA) 소재를 적용한 1 회용 작업복 개발에 관한 것으로 서열 스트레스 경감에 효과가 있는 것으로 나타났다(Lee et al., 2011; Hwang and Lee, 2012). 그러나 소재 개발에 초점이 맞추어져 현실적으로 실용화에 한계가 있었다. 축산 현장

이외의 작업장에서도 착용하는 일회용 부직포에 대한 인체 쾌적성 평가(Choi et al., 2004), 구제역 방역 보호복 및 방역 착용실태 조사 등의 선행 연구들이 있었다(Moon et al., 2012). 그 밖에 축산 종사자의 작업복에 대한 호감도 및 수용도에 관한 조사를 통해 축산 작업복과 보호구에 대한 소비자들의 인식 조사 및 실용화 가능성을 제시하였다(Hwang et al., 2013).

기존의 선행 연구에서의 결과로 볼 때, 농작업복 개발은 작목의 농작업 환경에 따라 다양한 연구 개발이 진행되고 있다. 축산업의 경우는 겨울철 농작업복 개발, 서열 스트레스 저감을 위한 소재 개발 등의 연구가 진행되었으나 실생활에 응용되지 못한 한계가 있었다. 이러한 이유는 작업 환경과 작업 내용에서 실제적 차이를 보이고, 축산 현장에 실제 적용하기 위한 개발 보다는 연구 중심으로 인한 것으로 판단된다. 또한 축산 작업복 개발에 있어 상용화를 위한 연구개발, 안전사고 예방을 위한 축산 작업복 개발을 다룬 연구는 거의 없었다. 따라서 본 연구에서는 봄, 가을 시기의 서열 스트레스를 경감시키면서 장애물 및 동물과의 접촉 사고 등으로부터 안전하고, 쾌적한 농작업 활동을 할 수 있는 축산 작업복을 개발하여 이러한 문제를 해결하고자 한다.

이를 위해 본 연구에서는 축산 농업인의 농작업 환경 및 안전보건 실태조사 결과를 바탕으로 작업복 설계의 필요성능을 파악하여 춘추용 축산 작업복을 개발하였다. 개발된 축산 작업복의 객관적·주관적 평가를 위해 기존에 축산 농가에서 주로 착용되는 방진복과의 비교 착용실험을 수행하였고, 실제 축산 농장을 방문하여 개발된 축산 작업복에 대한 반응 평가를 실시하여 현장 농업인의 반응을 평가하였다.

2. Development of Work Clothes

2.1 Pre-research

본 연구에서는 축산 작업환경에 적합한 작업복 설계를 위하여 국내 대표 축종인 양돈(RDA, 2013; Kim et al., 2014a), 양계(Kim et al., 2014b; RDA, 2015), 육우 및 낙농(Korea Dairy & Beef Farmers Association, 2009; Kim et al., 2006) 관련 농작업 환경, 안전보건 실태, 개인보호구 착용현황 등의 문헌을 검토하였다. 축종별 작업환경을 살펴보면, 양돈 작업의 경우 이동통로 장애물과의 충돌, 돼지와 의 접촉에 의한 정강이 및 발 등의 신체 손상, 축사내 고온에 대한 노출, 미끄러운 바닥에서의 낙상 사고, 축사 청소 시에 오염물질 신체 접촉, 전기감전 등이 주요 위험요인으로 조사되었다(Kim et al., 2014b). 양계의 경우에는 소독작업 및 계분작업, 급이 및 계사관리 등 많은 부분이 수작업으로 이루어 지고 있었고, 축사내부에 가축을 밀집시켜 사육하는 방식으로 높은 온도와 생물활성이 높은 유기먼지(Shin et al., 2004), 계사청소 작업 시에 유해물질이 피부와 호흡기를 통해 접촉 하는 것으로 보고되었다(RDA, 2003). 소 사육환경은 특히 동물 및 장애물과의 충돌·접촉 사고, 중량물 취급에 의한 신체적 손상(Kim et al., 2006), 사료 및 목초 급이 시의 분진 및 미생물 등에 의한 심각한 피부 알레르기성 반응 등이 유발되는 것으로 나타났다. 문헌 조사결과를 바탕으로 축산 작업환경에 적합한 작업복 개발을 위한 필요성능을 요약하면, 안전사고 측면에서 신체 주요부위 보호, 유해환경 측면에서는 오염물질 침투 방호 및 흡착에 대한 투습 저항, 서열 작업환경에서 신체 활동의 쾌적성 등이 고려 된다. Table 1 에

축산 작업장의 유해·위험 요인과 축산 작업복 개발 시에 적용할 필요성을 보여준다(Kim et al., 2016; RDA, 2015; RDA, 2013; RDA, 2012).

Table 1. Hazard factor and clothing required performance in the livestock working environment

Hazard factor		Main task	Clothing required performance
Physical	Organic dust, fine dust, noise, vibration, etc.	Barn cleaning, feeding, carrying dead animals	<ul style="list-style-type: none"> • Main body portion protection (Protective materials such as knees, elbows) • Moisture permeable, breathable considering • Minimize contact with the bacterial virus (wrist, ankle function provides fasteners) • Minimize physical absorption of the contaminants • High temperature and humidity stress reducing material • Excellence in laundry drying • Apply at night reflective material part
Chemical	Harmful gas, odor, endotoxin, disinfectant, etc.	Manure treatment, preventative measure, carrying dead animals	
Biological	Manure, pathogenic bacteria, virus, etc.	Barn cleaning, Manure treatment	
Human error	Contact with animal, Obstacle collision, slide, fall, MMH, needlestick injuries, electric shock, etc.	Shipping work, barn management, feeding, vaccination, etc.	
Environmental	Low-light, high temperature, cold, etc.	All work in barn	

2.2 Designing of work clothes

본 연구에서 개발된 작업복은 2종으로 상·하분리(투피스) 형태와 일체형(Overall) 형태로 제작하였다. 디자인 도안과 개발된 작업복은 Figure 1에 나타내었다. 2가지 작업복의 모두 공통적으로 주원단과 보호소재 원단을 사용하였다. 보호소재 원단은 장애물 및 동물과의 신체접촉에 의한 사고예방을 위해 무릎, 정강이, 팔꿈치, 엉덩이 부위에 적용하였다. 특히, 무릎 부위에는 가축과의 접촉 및 장애물 충돌에 의한 충격을 최소화하기 위해 보호패드 탈착이 가능하도록 하였다. 또한 작업복 후면에는 야간 교통사고 예방을 위해 재귀반사 소재를 부분 적용하였다. 그리고 오염물질 및 악취 등이 신체에 흡착되는 것을 최소화 하기 위해 손목과 발목의 끝단은 조여질 수 있는 기능을 추가하였다.



Figure 1. Sample of working wear

본 연구에서 작업복에 적용된 주원단은 내구성을 위한 인장강도와 인열강도, 유해물질 및 서열 스트레스 저감을 위한 투습저항, 내수·발수성, 흡한속건성, 잦은 세탁에 따른 견뢰도 등을 고려하였다. 주원단의 특성은 폴리 100%이며, 방수·투습 TPU (Thermoplastic Poly Urethane) Film 을 합포하고, 그 위에 스리쿼터를 추가하여 3-layer 로 구성하였다. 또한 가볍고 질기며 고어텍스 기능 또한 추가하여 방수, 투습 기능 및 내구성을 향상시켰다. 그리고 신체 주요부위 보호할 수 있는 보호소재 원단은 Super Fabric (사)에서 개발된 원단으로 마모성, 찢림방지, 유연성, 세척성, 방수성이 높은 소재를 사용하였다. Table 2 는 선택된 소재에 대하여 KATRI (Korea Apparel Testing & Research Institute)에 의뢰하여 원단의 물성 성능시험 결과를 보여준다.

Table 2. Fabric characteristics of the development of working clothes

Item		Testing result		Indication standard
		Main fabric	Protective fabric material	
Fastness to washing KS K ISO-C06 2012 A2S (40±2°C, ECE)	Change in color	4-5	4-5	Level 4 or above
	Contamination (polyester)	4-5	-	Level 3 or above
	Contamination (polyamide)	4-5	4-5	
	Contamination (wool)	-	4-5	
Fastness to perspiration KS K ISO 105-E04 2010 (37±2°C, 4 hours)	Acidic	4-5	4-5	Level 4 or above
	Alkalic	4-5	4-5	
Light fastness KS K ISO 105-B02: 2010 Xenon arc	Water cooling, light fastness standard	Level 4 or above	Level 4 or above	Level 3-4 or above
Mixed (perspiration + light) KS K 0701: 2008 Xenon arc	Acidic	4-5	4-5	Level 3-4 or above
	Alkalic	4-5	4-5	
Dimensional change percentage (%) KS K ISO 5077: 2014	Warp (Wp)	-2.0	-0.5	±Less than 3%
	Weft (Wt)	-0.5	-0.5	
스넥성(Level): KS K 0561: 2011 D-2	Wale (long)	4	4	Level 3 or above
	Course (width)	4	4	
Abrasion Resistance (n) KS K ISO 12947-2:2014 (Martintail method)		Over 20000	Over 20000	Over 20000
Tensile strength (N) KS K 0520:2015 (Grab method)	Warp (Wp)	940	2800	More than 180N
	Weft (Wt)	600	2300	
Internal tearing strength (N) KS K ISO 1337-2:2009 (Tongue method)	Warp (Wp)	19	250	More than 13N
	Weft (Wt)	13	220	
Disruptive strength (kPa): KS K 0351:2006 (Oil pressure method)		1512	More than 4000	More than 216N
Water penetration (cmH ₂ O) KS K ISO 811: 2009 Hydraulic method		More than 1000	20.2	-
Water repellency KS K 0590: 2008 Spray method		3, 3, 3	2, 3, 2	Level 2 or above
Deodorization rate (%): Colorimetric gas detector tubes (HN ₃)	30 min.	56	60	-
	60 min.	58	64	
	90 min.	60	68	
	120 min.	60	70	

3. Evaluation of Work Clothes

3.1 Subjects

피실험자는 임의로 선정된 건강한 성인 남성 5 명을 대상으로 하였으며, 평균 나이 32 ± 1.8 세, 키 173.8 ± 3.1 cm, 몸무게 69.4 ± 6.2 kg 이었다. 특정 질환을 앓고 있거나 장기간 약물 복용, 장기간 운동 훈련 등을 해온 자는 피실험자 선정 시에 제외하였다.

3.2 Experimental environment and clothing

실험실 환경은 온도와 습도가 일정하게 유지되는 항온·항습실 내에서 진행되었다. 봄과 가을 작업장 환경을 고려하여 20°C , 50%RH 를 유지하도록 하였다. 실험은 트레드밀에서 걷기와 휴식을 반복하게 되고, 노출 시간은 총 80 분으로 의복내 온·습도, 산소섭취량, 심박수를 측정하게 된다. 그리고 실험은 계절에 따른 생리적 반응 변이에 의한 혼란을 줄이고, 외부온도와의 차이가 적은 9 중순-10 월초 사이에 수행하였다. 실험 시에 사용된 실험의복은 개발된 작업복 1 종(상·하분리형)과 축산 작업자가 일반적으로 착용하고 있는 방진복 1 종(상·하분리형) 2 가지를 실험의복으로 선정하였다. 기존 작업복인 방진복은 스펀본드(Spunbond) 부직포가 주소재로 일반분진 방어 기능, 발수기능, 통기성을 지니고 있다. 실험 시에는 평가용 의복 안에 동일한 러닝셔츠, 사각팬티, 양말을 입도록 하였고, 축산 작업 시에 주로 착용하는 일반 고무장화와 캡 형태의 작업모를 착용하였다. Figure 2 는 실험장면을 보여주고 있다.



















Figure 2. Experiment of working tasks

3.3 Experimental design

독립변수는 개발된 축산 작업복(New)과 기존의 방진복(Old)을 대상으로 하였다. 종속변수는 동작 기능성으로 착의 관능검사 측정치, 생리적 반응 변수, 주관적 착용 감각 수준으로 하였다. 착의 관능검사는 신체 부위별 동작에 대한 불편함 정도를 측정하게 된다. 착의 관능검사는 기존의 Kim et al. (2002)의 연구를 참고하여 각 자세를 측정하였고, 각 자세에 대한 불편한 정도를 1 점(매우 불편하다)~5 점(매우 편안하다) 까지 5-Liker Scale 로 평가 하였다(Table 3). 생리적 반응 평가는 실험이 진행되는 전시간 동안 의복 내 온습도 변화량, 산소섭취량, 심박수를 측정하였다. 피부 내 온습도 측정은 온습도 측정기(Thermo Recorder RS-10, Tabai Espec Corp., Japan)를 사용하였으며 2 부위(가슴, 대퇴 부위)를 측정하였고, 심박수는 심박 측정기(Polar Sports Tester, Polar Electro INC, Finland)를 이용한 심박수 변화량을 측정, 그리고 산소섭취량은

호흡 대사량 측정기(Metabolic Gas Analyzer Test Set: Quark CPET. COSMO Co., Germany)를 이용하여 측정하였다.

Table 3. The posture of sensory test

Movement	Posture				Movement	Posture			
Arm's vertical movement	AV-1	AV-2	AV-3	AV-4	Arm's horizontal movement	AH-1	AH-2	AH-3	AH-4
									
Waist movement	W-1	W-2	W-3	W-4	Leg movement	L-1	L-2	L-3	L-4
									

그리고 실험이 진행되는 동안 주관적 착용 감각을 평가하기 위해 온열감(Thermal), 습윤감(Humidity)(ASHRAE, 2001), 압박감(Pressure), 쾌적감(Comfort)(Kim et al., 2006) 등에 대하여 평가를 수행하였다. Table 4 는 주관적 착용 감각에 대한 척도를 보여준다. 모든 생리적 측정치에 대해서는 80 분 동안의 평균값과 표준편차를 제시하였다. 작업복 유형에 따른 측정 항목 간 차이는 SPSS 14.0 통계 프로그램을 이용하여 Paired t-test 로 검증하였다.

Table 4. Scales of Subjective sensations

Item	Thermal	Humidity	Pressure	Comfort
Sensation rate	1. Indifferent 2. Warm 3. Hot 4. Very hot	1. Very moist 2. Moist 3. Slightly moist 4. Indifferent 5. Slightly dry 6. Dry 7. Very Dry	1. Very loose 2. Loose 3. Slightly loose 4. Indifferent 5. Slightly tight 6. Tight 7. Very tight	1. Very comfortable 2. Comfortable 3. Slightly comfortable 4. Uncomfortable

3.4 Experimental procedure

실험에 앞서 실험의 방법과 실험의 목적, 주의사항을 정확하게 고지하여 자발적 동의 하에 실험에 참여하도록 하였다. 피실험자는 실험 의복을 입고, 피실험자의 인체 제원(i.e., 연령, 신장, 체중)을 측정, 개발 작업복에 대한 동작과 의복 부위별 신체 활동 척도의 관능검사를 하였다. 그리고 센서를 부착하고 충분한 안정을 취한 후에 본 실험에 임하도록 하였다. 실험은 휴식(안정)단계 15분, 운동과 회복 3세트로 65분을 포함하여 총 80분간 진행되었다. 피실험자는 운동 시에 트레드밀에서 4km/h 속도로 걷기를 수행하고, 휴식

시에는 편안하게 앉은 자세를 취하도록 하였다. 실험이 진행되는 80분 동안 의복 내 온도와 습도, 산소섭취량, 심박수(HR)를 연속적으로 측정 하였다. 또한 실험이 진행되는 동안 주관적 착용 감각을 측정하였다. 모든 생리적 측정 항목들은 0.5분 간격으로 자동 기록되고, 주관적 감각은 Rest 시작 시점과 Rest 끝나는 시점, Exercise 1, 2, 3이 끝나는 시점, 그리고 Recovery 3을 마치는 시점으로 모두 6개 시점에서 설문지에 스스로 응답하였다. Table 5는 실험 진행의 전체적인 프로토콜을 보여준다.

Table 5. Experimental procedure and protocol

Total: 80min	-	15	10	10	10	10	10	15
Step	Preparation	Rest	Exercise	Recovery	Exercise	Recovery	Exercise	Recovery
Wearability test	○							
Microclimates inside clothing		○	○	○	○	○	○	○
Heart rate (HR)		○	○	○	○	○	○	○
Oxygen uptake		○	○	○	○	○	○	○
Subjective sensations		○	○	○	○	○	○	○

그리고 본 연구에서는 개발된 축산 작업복 대하여 작업자의 반응을 평가하기 위하여 직접 농장을 방문하였다. 현장 평가는 개발된 작업복을 착용하도록 하고, 기존의 Kim et al. (2002)의 착의 관능검사 동작을 수행하게 한 이후에 주관적 감각과 착용 만족도를 평가하였다. 주관적 감각 5 개 항목(소재 성능성, 기능성, 안전성, 심미성, 소속감)(Oh et al., 2014; Hwang et al., 2013)과 착용 만족도 5 개 항목(착의성, 동작용이성, 여유성, 착의 용이성, 탈의 용이성)에 대하여 평가하였다(Kim et al., 2006). 그리고 평가 후에 개발된 작업복에 대한 의견 및 Needs 를 수렴하였다.

4. Results and Discussion

4.1 Laboratory environment evaluation

4.1.1 Wearability test

작업복을 착용한 후 주요 동작에 대한 착의 관능 평가 결과 2 가지 작업복 모두 신체 부위별만족도가 4.0 이상으로 나타났다(Figure 3). 신체 부위별로 보면 팔의 수직동작에서 개발복: 4.19±0.13, 기존복: 4.63±0.32, 팔의 수평동작에서 개발복: 4.19±0.24, 기존복: 4.56±0.13, 허리동작에서 개발복: 4.69±0.38, 기존복 4.88±0.25, 다리동작에서 개발복: 4.25±0.61, 기존복 4.69±0.38 을 보였다. 전반적으로 기존의 방진복이 개발된 작업복 보다 높은 점수를 보이고 있으나 통계적으로 유의미한 차이는 보이지 않았다. 이와 같은 결과는 신체 활동 범위를 충분히 고려하여 제작된 기존의 방진복과 차이가 없는 것으로, 개발된 작업복은 만족스러운 수준이라 판단할 수 있다. 다만 개발된 작업복의 다리동작 중 L-3 자세에 대하여 4.0 미만의 점수를 보이고 있어 쪼그려 앉은 자세를 고려한 보정이 필요할 것으로 보인다.

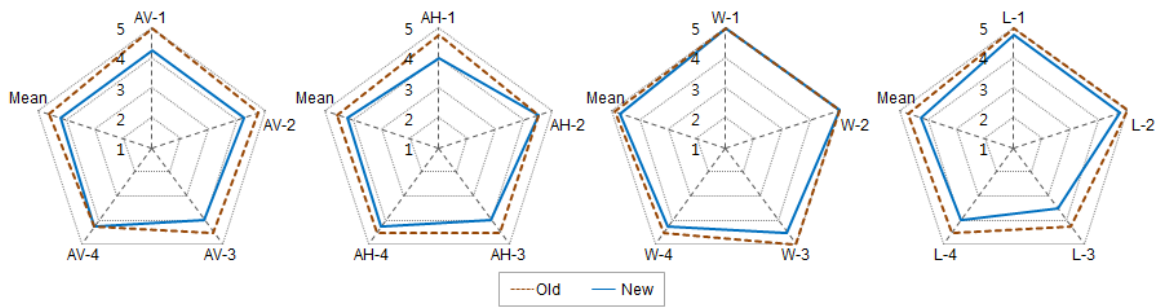


Figure 3. Sensory test about movement of body

4.1.2 Physiological responses

Microclimates inside clothing

가슴과 대퇴부에 대한 의복내 기후 측정된 결과, 가슴부위는 기존의 방진복의 경우 평균 $30.76 \pm 0.48^\circ\text{C}$, $60.85 \pm 13.92\%RH$, 개발복은 평균 $30.52 \pm 0.52^\circ\text{C}$, $55.53 \pm 10.16\%RH$ 이었다. 대퇴부는 기존의 방진복의 경우 평균 $30.73 \pm 0.80^\circ\text{C}$, $59.86 \pm 13.06\%RH$, 개발복은 평균 $29.68 \pm 0.66^\circ\text{C}$, $54.34 \pm 10.05\%RH$ 로 나타났다(Figure 4). 전반적인 가슴 부위의 온·습도 변화량 비교결과 온도는 작업복간에 통계적으로 유의미한 차이가 나지 않았으나, 습도는 통계적으로 유의미한 결과를 보였다($p < .0001$). 대퇴부 부위 온·습도 변화에 대한 분석결과에서는 온도와 습도 모두 유의미한 차이를 보였다($p < .0001$). 추가적으로 80 분간의 과업을 수행하는 동안 의복내 습도 변화량 분석결과 가슴과 대퇴부위 모두 Rec. 1 구간부터 종료시점까지 개발복과 기존의 방진복 간에 유의한 차이를 보였고($p < .05$), 의복내 온도의 변화에는 구간별로는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이와 같은 결과는 개발된 작업복 소재가 기존의 방진복에 비해 공기 투과도가 높아서 인체에서 발생하는 열과 땀을 밖으로 빠르게 배출한 것으로 보인다. 즉, 개발된 축산작업복이 서열 스트레스를 경감시키는데 더욱 효과적인 것으로 판단된다. 본 실험은 동일한 환경을 임의로 재현한 것이므로 열악한 축산 작업환경에서는 의복내의 기후가 더 높을 것으로 예상된다.

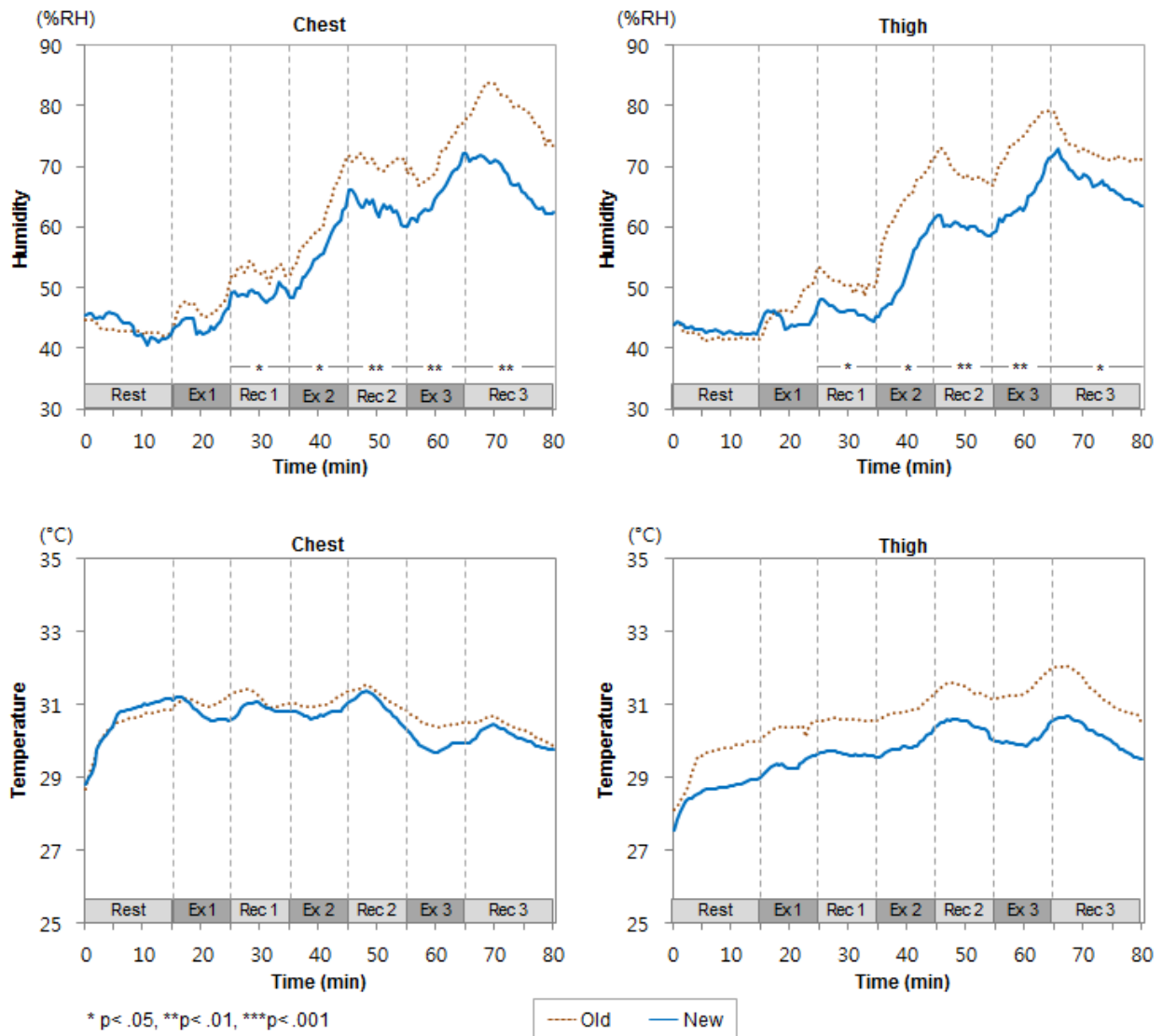


Figure 4. Clothing microclimate temperature and humidity during 80 min

Heart rate

Figure 5 는 심박수의 변화량을 보여주고 있다. 심박수 측정결과 기존의 방진복의 경우에는 평균 96.14 ± 6.49 bpm, 개발된 축산 작업복을 입었을 경우 평균 92.96 ± 6.39 bpm 를 보였고, 전반적으로 작업복 간의 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < .001$). 회복기와 운동기에 대한 차이는 과업을 수행하는 동안 받게 되는 서열 스트레스를 체내에서 방열을 크게 하기 위해 심장 박동수와 박출량이 늘어나게 된 것으로 판단된다. 심박수는 에너지 소비량과 정적인 상관관계(ISO 8996, 1986)를 보이고, 심박수는 가장 쉽게 측정이 가능하며 에너지 소비를 추정하는데 활용된다(Song et al., 2005). 본 결과를 심박수를 이용하여 에너지 소비량으로 계산하면 기존의 방진복은 3.71 kcal/min, 개발된 작업복은 3.32 kcal/min 로 나타나

개발된 작업복이 에너지 소비량이 적음을 확인하였다. 심박수는 서열 스트레스가 비교적 크지 않은 상태에서는 민감하게 반응하지 않으나, 인체의 생리적 스트레스 정도를 알아보는 주요한 요소이다(Newburgh, 1968). 본 실험을 통해 개발된 작업복 착용 시에 인체 스트레스를 줄이는데 효과적이었음을 확인할 수 있었다. 또한 과업 구간별 작업복 간의 차이 분석결과 Recovery 3 에서 유의미한 차이를 보여 개발된 작업복의 회복 시간이 단축되고 있음을 볼 수 있었다($p < .05$). 그러나 심박수의 경우 작업량 및 작업 강도가 미치는 영향이 크므로(Choi and Park, 2007), 본 결과를 의복의 영향이라고 단언할 수는 없다. 또한 Recovery 3 의 구간이 다른 Recovery 1, 2 보다 많은 시간을 측정된 결과이므로 이 부분에 대해서는 충분한 Recovery 시간을 가만한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

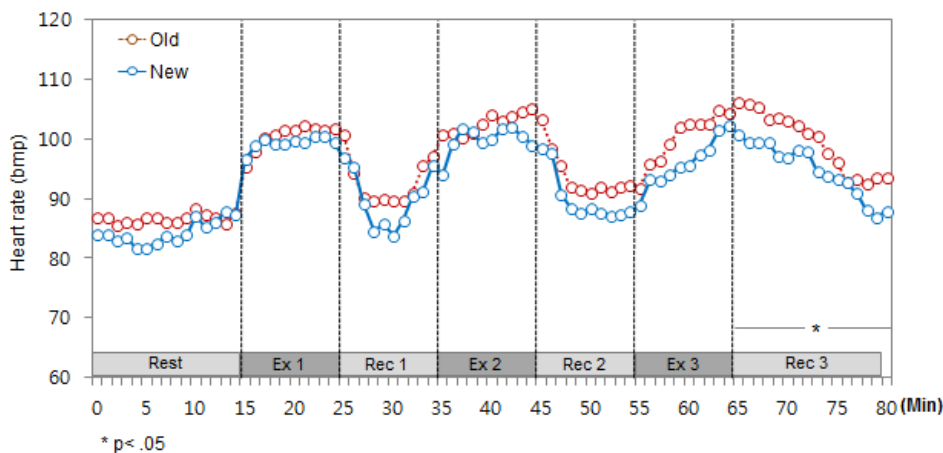


Figure 5. Heart rate during wear test

Oxygen uptake

피실험자가 기존의 방진복과 개발된 작업복을 착용한 후, 운동에 따른 평균 산소섭취량의 결과는 Figure 6 와 같다. 기존의 방진복은 평균 $562.70 \pm 256.02 \text{ ml/min}$, 개발된 작업복은 평균 $529.48 \pm 239.37 \text{ ml/min}$ 로 통계적으로 유의미한 결과를 보였다($p < .001$). 과업 구간별 분석결과, Exercise 1, Exercise 2, Recovery 3 에서 작업복간 유의한 차가 나타났다($p < .05$). 기존의 방진복의 경우 평균은 8.11 ml/kg/min , 운동시 평균은 12.47 ml/kg/min , 개발된 작업복은 평균 7.63 ml/kg/min , 운동 시 평균은 11.69 ml/kg/min 으로 계산될 수 있다. 안정 시의 에너지 대사량 3.5 ml/kg/min 을 1METs (Metabolic Equivalent)라고 할 때, 기존복의 경우 평균은 2.32METs, 운동 시에는 3.56METs, 개발된 작업복은 평균 2.18METs, 운동 시에는 3.36METs 를 보였다. 또한 간접적 열량 측정법(Bahr and Sejersted, 1991)으로 산소 1L 당의 열량소비를 기준으로 신체활동의 에너지(열량)를 계산하게 되면 기존의 방진복은 전체 평균은 2.81 kcal/min , 운동 시에 평균은 4.32 kcal/min , 개발된 작업복은 전체평균 2.65 kcal/min , 운동 시에 평균 4.057 kcal/min 을 소비하게 된다. 이와 같이 산소 섭취량을 측정함으로써 유산소 에너지 생산을 비교적 정확하게 추정할 수 있다(Wilmore and Costill, 1995). 즉 기존 작업복을 입고 동일한 작업을 할 경우 에너지 소비가 더 많이 된다는 것을 의미하며 작업복인 경우 작업효율이 떨어지거나 피로감이 생기게 되는 원인이 될 수도 있음을 나타내어 준다(Kim and Kim,

2008). 또한 운동기에서는 산소섭취량이 다소 차이가 있다 하더라도 회복기 구간인 Recovery 1, 2 에서 산소섭취량은 두 작업복 모두 비슷하게 나타났으나, Recovery 3 에서는 두 작업복 간에 차이를 보이고 있다.

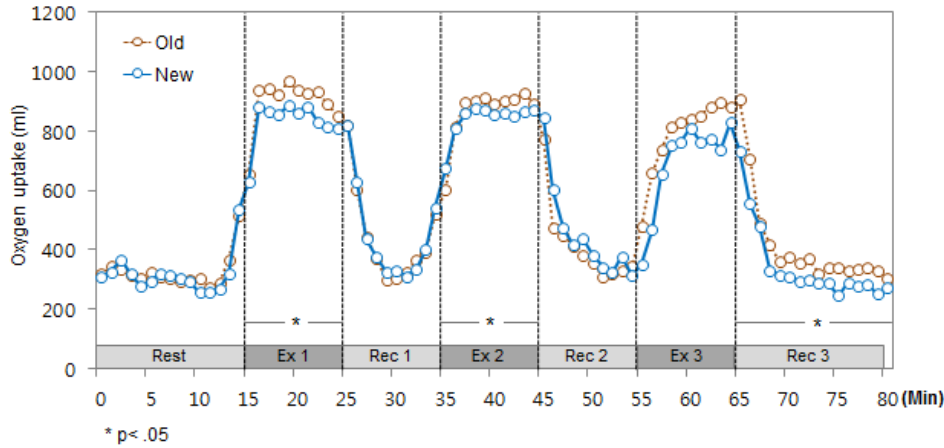


Figure 6. Oxygen uptake about two experiment clothing

4.1.3 Subjective sensations

본 실험에서는 실험이 진행되는 동안 4 가지 주관적 착용 감각을 측정하였다. Figure 7 은 시간의 경과에 따른 반응을 보여준다. 온열감, 습윤감, 쾌적감에서는 작업복간의 유의한 차이를 보였으나, 압박감은 유의한 차이를 보이지 않았다. 온열감은 기존의 방진복을 착용했을 경우 2.00 ± 1.15 , 개발된 작업복은 1.37 ± 0.93 이었으며($p < .05$), 습윤감은 기존의 방진복이 3.17 ± 0.74 , 개발된 작업복이 3.70 ± 0.72 ($p < .05$), 쾌적감은 기존의 방진복이 1.53 ± 0.52 , 개발된 작업복이 1.23 ± 0.46 으로 개발한 작업복을 착용했을 때 좀더 시원하고 쾌적하게 느끼고 있었다($p < .001$). 온열감과 습윤감의 경우 착용 시간이 지날수록 작업복 간 수치 차이가 나는 것은 의복 내 온·습도 측정결과와 거의 일치되는 결과라 볼 수 있다. 압박감의 경우 작업복 간 차이가 없는 것은 착용 시에 부위별 움직임에 대한 불편함이 없는 것으로 착의 관능 검사 결과와 일치된다. 이상의 결과로 볼 때 개발된 작업복이, 의복 내의 열을 배출하는 측면에서는 보다 효율적인 것으로 고온 다습한 축사 내부 환경에서 작업 시에 발생하는 서열 스트레스를 줄일 수 있음을 시사하고 있다.

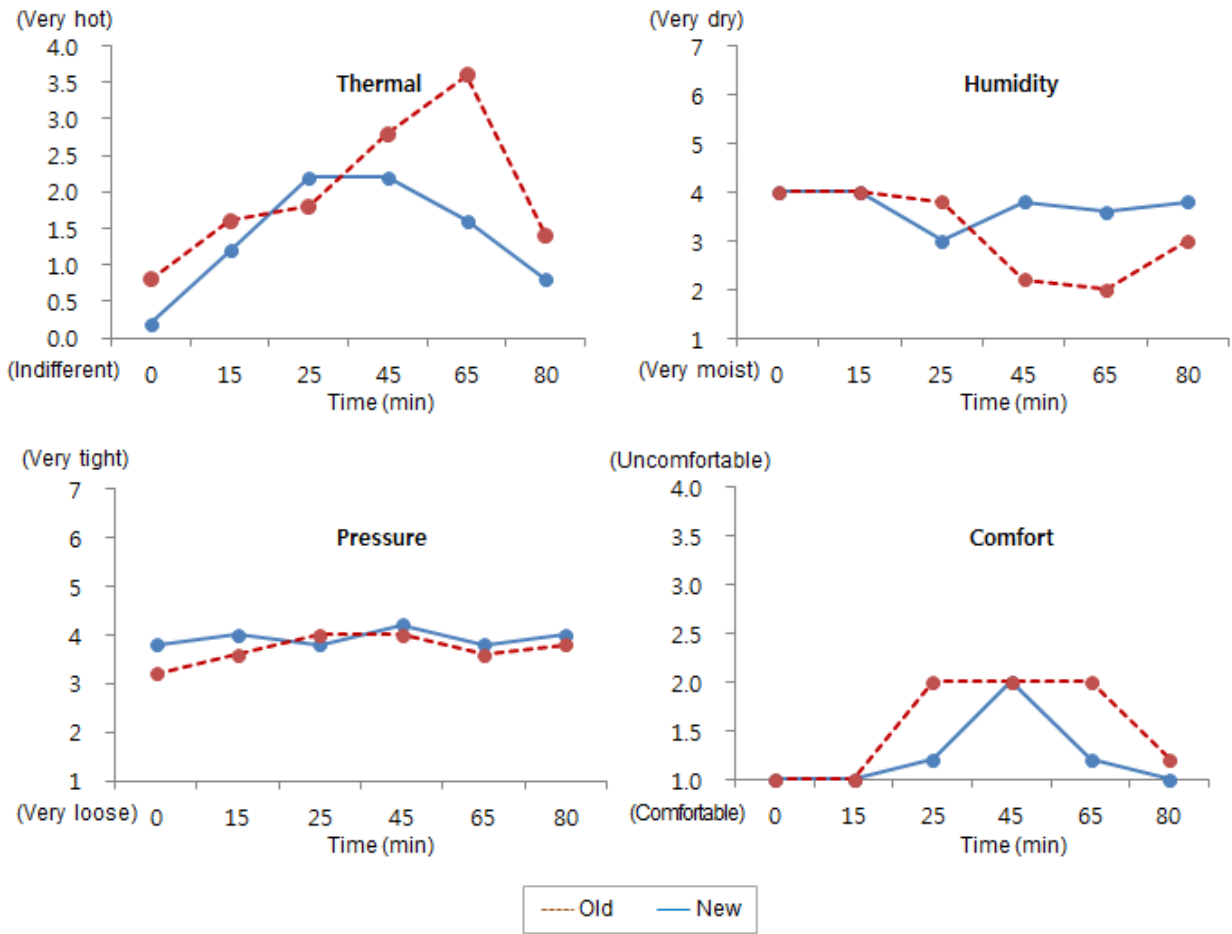


Figure 7. Subjective sensation (heat, humidity, pressure, and comfort) during 80 min

4.2 Evaluation of field wearability

개발된 작업복에 대하여 현지 농업인이 느끼는 착용 편의성 및 만족도를 파악하기 위해 현장 축산 농업인을 대상으로 평가를 수행하였다. 축산업에 종사하는 작업자 6 명(나이 54 ± 5 세, 키 170 ± 0.5 , 몸무게 68 ± 2.4 kg)을 대상으로, 개발된 작업복을 착용하도록 하고, 이에 대한 착용성과 만족도 평가를 실시하였다. 이들의 평균 축산업 근무 년수는 평균 18 ± 3.4 년이다. 아래의 Figure 8 는 농장을 방문하여 작업복을 평가하는 장면을 보여준다.



Figure 8. Field wearability test

주관적 착용 감각 평가결과 모든 항목에 대하여 4.0 점 이상으로 나타났고, 안전성(보호) 측면은 4.5 점으로 상당히 만족스러운 결과를 보였다. 이와 같은 이유는 축사 내부에서 이동 시 장애물 등에 의한 접촉사고 예방을 위해 무릎 보호 소재를 사용하였기 때문인 것으로 나타났다. 그리고 착용 만족도 평가 결과에서도 5 가지 항목 모두 4.0 점 이상으로 만족스러운 수준의 결과를 보였다. 다른 항목 대비 동작 용이성이 상대적으로 낮게 평가 되었는데 이와 같은 이유는 신체를 보호하기 위해 주요부위(무릎, 팔꿈치, 엉덩이)에 부착된 보호 소재원단에 익숙하지 않았기 때문이었다. 이러한 결과는 착의 관능 평가에서 쪼그려 앉는 자세(L-3)에 영향을 미치고 있을 것으로 판단된다. 향후 보호소재 원단 및 크기 등에 대한 보정을 통해 편안한 움직임을 제공해야 할 것이다. 주관적 착용 감각 평가 결과는 Figure 9 와 같다.

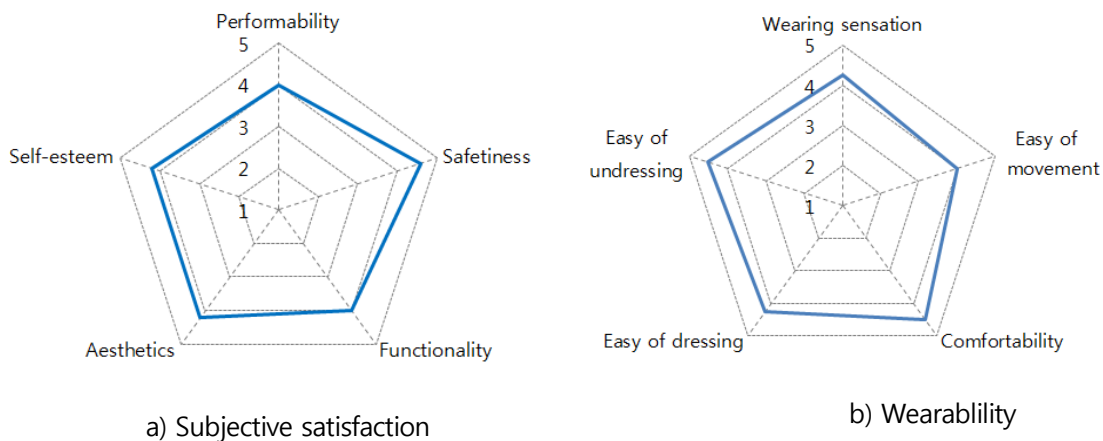


Figure 9. Subjective satisfaction and wearability

5. Conclusion

본 연구는 축산 농업인의 농작업 환경에 적합한 춘추용 작업복을 개발하기 위한 목적으로 수행하였다. 이를 위해 우선 기존의 축산 작업장의 유해위험 요인 및 안전보건 실태, 작업복과 관련한 문헌 등을 검토하여 작업복 설계를 위한 필요성능을 정의하였다. 그리고 축산 작업복 개발에 요구되는

필요성능 기반으로 춘추용 작업복을 제작하였다. 개발된 작업복에 대한 착용 적합성을 분석하기 위하여 인체 착의 관능검사 및 생리적 반응 실험, 그리고 실제 현장 농업인을 대상으로 만족도를 평가하였다.

연구결과를 종합하여 살펴 보면, 기존의 방진복과 비교평가 결과 착의 관능 측면에서 개발된 작업복은 신체 활동 범위를 충분히 고려하여 제작된 기존의 방진복과 차이가 없는 것으로 평가되어 만족스러운 수준이라 판단할 수 있었다. 생리적 반응 실험에서 개발된 작업복이 의복 내 기후(온·습도)가 기존의 방진복 대비 낮게 평가되어 서열 스트레스 경감에 보다 효과가 있음을 확인할 수 있었고, 심박수 및 산소섭취량 측정치에서도 기존 방진복 대비 에너지 소비량이 낮아 작업 효율이 높음을 확인할 수 있었다. 그리고 주관적 감각에서도 온열감, 습윤감, 쾌적감 등이 만족스러운 수준을 보였다. 또한 개발된 작업복에 대한 현장 축산 농업인의 착용성과 만족도에 대하여 긍정적인 결과를 얻을 수 있었다. 특히 농작업 안전을 위해 신체를 보호하기 위해 주요부위 부착된 보호 소재에 대하여 매우 긍정적인 반응 보여 안전재해 예방에 효과적으로 적용될 것으로 기대된다.

이상의 결과로부터 본 연구에서 개발한 춘추용 축산 작업복은 기존에 방진복 보다 생리적 및 주관적 감각 평가에서 우수하게 나타나 농업인의 쾌적한 농작업 활동에 활용될 수 있을 것이다. 또한 장애물 및 동물과의 신체접촉에 의한 사고예방을 위해 적용된 보호소재 원단 및 기능은 농업인의 안전한 농작업에 기여할 것으로 보인다. 그러나 착의관능 평가 및 현장 축산 농업인의 만족도 조사에서 보호소재 및 기능 적용에 따른 동작 용이성에 대한 개선은 필요할 것으로 보인다. 그리고 본 연구는 작업자의 착용성 및 서열 스트레스에 대한 평가를 중심으로 진행하여 안전성 평가 측면이 다소 간과된 측면이 있었고, 본 실험이 향온·향습실 내에서 수행되어 실제 농작업 환경이 충분히 고려되지 못한 한계가 있을 것이다. 이에 향후 춘추용 축산 작업복이 실생활에 응용되기 위해서는 축산 현장에서 보다 실제적인 효과검증이 진행되어야 될 것이다. 끝으로 본 연구가 축산 농업인의 서열 스트레스 및 안전사고 예방을 위한 작업복 개발의 기초 자료가 되기를 기대한다.

Acknowledgements

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ00867807)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

ASHRAE, ASHRAE Standard 55-1992-Thermal environment conditions for human occupancy, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, INC. 2001.

Bahr, R., and Sejersted, O. M., Effect of Intensity of Exercise on Excess Post-Exercise Oxygen Consumption, *Metabolism*, 40(8), 836-841, 1991.

Choi, J. W., Lee, J. Y., and Kim, S.Y., Evaluation of the Thermal Properties of Disposable Coveralls for Railroad Carriage Maintenance Workers, *Journal of the Korea Society of Clothing and Textiles*, 28(8), 1175-1185, 2004.

Choi, J. W., and Park, J. H., Development and Evaluation of Work Clothes for Alleviating Heat Stress of Construction Workers in Summer, *J. Korean. Soc. Living. Environ. Sys.*, 14(2), 99-109, 2007.

Havenith, G., Heat balance when wearing protective clothing, *Annals Occupational Hygiene*, 43, 289-296, 1999.

Hwang, K. S., Kim, H. C., Chae, H. S., and Lee, K. S., The development of winter working clothes for stock farming worker, *Korean J. Community Living Science*, 20(4), 515-522, 2009.

Hwang, Y. M., Kim, K. R., Lee, K. S., and Chae, H. S., An investigation of actual conditions for the development of hog raising farmers' personal protective equipment, *Proceeding of the Korean Journal of Community Living Science*, 101-101, 2013.

Hwang, K. S., Kim, K. R., Lee, K. S., Kim, H. C. and Baek, Y. J., The Development of Working Clothes for Stock Farming Worker, *Proceeding of the Korean Society of Occupational and Environment*, 193-194, 2008.

Hwang, K. S., Kim, K. R., Lee, K. S., Kim, H. C., Kim, K. S. and Baek, Y. J., The Textiles and the Performance Level in Developing the Pesticide Proof Clothing, *Journal of Korean Society of Clothing and Textiles*, 31(11), 1611-1620, 2007.

Hwang, K. S., Kim, K. R., Lee, K. S. and Kim, K. S., The Effects of the Material of Pesticide-Proof Clothing on Human Comfort, *Koreana J. Community Living Science*, 17(4), 49-56, 2006.

Hwang, K. S., and Lee, K. S., A Study on Development of disposable pesticide protective clothing using biodegradable PLA, *J Korean Soc Living Environ Sys*, 19(3), 430-438, 2012.

ISO 8996, Ergonomics thermal environment: Determination of metabolic heat production, *ISO Geneva*, 1986.

Kim, H. E., Yeon, S. M., Jeong, J. R., and Lee, M. J., Ergonomic Evaluation of Functional Working-Clothes-focused on Flame-Proof Clothing, *J. Kor. Soc. Cloth. Ind.*, 8(5), 597-603, 2006.

Kim, I., Kim, K. R., Lee, K. S., Chae, H. S. and Kim, S., A Survey on the Workplace Environment and Personal Protective Equipment of Poultry Farmers, *J Environ Health Sci*, 40(6), 454-468, 2014a.

Kim, I., Lee, K. S., Chae, H. S., Kim, K. S., Choi, D. P., and Lee, H., A Study on the Current Situation of Safety and Health Management Levels in Hanwoo Farms, *Proceeding of the Korean Society of Community Living Science*, 115, 2016.

Kim, K. R., Kim, I., Kim, H. C., Lee, K. S. and Chae, H. S., A Survey on the Present State of Occurrence of Safety Accidents and Safety and Health Management Levels Among Swine Farmers, *J Environ Health Sci*, 40(5), 413-424, 2014b.

Kim, S. S., and Kim, H. E., The Evaluation on Functionality with Material-improved Working Uniform of Construction Field, *J. Kor. Soc. Cloth. Ind.*, 10(2), 288-235, 2008.

Kim, Y., A Functional Design of Fire Fighter Coveralls, *Journal of Korean Society of Clothing and Textiles*, 26(12), 1739-1748, 2002.

Korea Dairy & Beef Farmers Association, Safety work of 365 days for dairy farmers I, *Monthly Dairy & Beef Farmers*, 29(4), 114-130. 2009.

Lee, H. H., Hwang, K. S., Kim, D. H., Kwon, J., Lee, K. S., Chae, H. S. and Kim, H. C., Evaluation on the Thermal Properties of Bio-degradable PLA Disposable for Livestock Industry Workers, *J. Korean Soc. Living Environ. Sys*, 18(5), 562-569, 2011.

Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), Agricultural and forestry production value and value added proportion of GDP, 2013, http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2744 (retrieved May 10, 2016).

Ministry of Environment (ME), Statistics of Livestock Manure Treatment, 2013, http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1475 (retrieved May 10, 2016).

Moon, J., and Jean, E., Wearing conditions of protective clothing and protective gear for FMD prevention. *J, Korean Soc. Cloth. Text.*, 36(1), 46-55, 2012.

Newburgh, L. H., Physiology of heat regulation and the sciences of clothing, *Harmer Publishing Co., New York*, 193-276, 1968.

Oh, Y. S., Lee, K. S., Chae, H. S., Kim, K. R. and Kim, S.W., A Study on the Wearing Condition and Satisfaction of Pesticide Protective Clothing, *Journal of the Korea Fashion & Costume Design Association*, 16(4), 217-228, 2014

Rural Development Administration (RDA), Farm work safety officers develop training materials, 2012, http://www.nongsaro.go.kr/cms_contents/832/79103_MF_ATTACH_01.pdf (retrieved May 10, 2016).

Rural Development Administration (RDA). Institute of Ani-mal Science. Safety and Health Management of Poultry. Farmers, 2015, http://lib.rda.go.kr/newlib/search/lib_result_commondetail.asp?history=&query0=&range=&max_srch=&area0=&material=mm&graph=&control_no=230006&backdepth=&mctp=km&page=&recno=&artlist=&r_title= (retrieved May 10, 2016).

Rural Development Administration (RDA). Institute of Ani-mal Science. Safety and Health Management of Swine Farmers, 2013, http://lib.rda.go.kr/newlib/search/lib_result_commondetail.asp?history=&query0=&range=&max_srch=&area0=&material=mm&graph=&control_no=221774&backdepth=&mctp=km&page=&recno=&artlist=&r_title= (retrieved May 10, 2016).

Rural Development Administration (RDA), Personal Protective Equipment and Ergonomics Tools for Farmers, 2014, http://lib.rda.go.kr/newlib/search/lib_result_commondetail.asp?history=&query0=&range=&max_srch=&area0=&material=mm&graph=&control_no=223724&backdepth=&mctp=km&page=&recno=&artlist=&r_title= (retrieved May 10, 2016).

Shin, C. L., Lee, K. S., Kim, K. R., Kang, T. S., and Park, N. W., A Study on Exposure to Organic and Ammonia in Poultry Confinement Buildings, *Korean Society for Agricultural Medicine and Community Health*, 29(2), 303-314, 2004.

Song, Y. M., Ku, H. J., Lee, M. C., and Lee, S. B., Methods of Estimation of Physical Activity and Energy Expenditure, *Journal of Coaching Development*, 7(3), 159-168, 2005.

You, K. S., A Survey on the reason for low acceptability and proposal for its improvement for protective clothing in pesticide applicators, *Korean Journal of Human Ecology*, 13(5), 777-785, 2004.

Wilmore, J. H., and Costill, D. L., Physiology of Sport and Exercise. Champaign, IL: *Human Kinetics*, 1994.