

방염복의 인간공학적 평가 및 비용 대비 효과 분석

정정림¹ · 조자영² · 연수민³ · 장준호¹ · 김희은³ · 유희천¹ ·

¹포항공과대학교 산업경영공학과 / ²한국패션산업연구원 기업지원본부 / ³경북대학교 의류학과
limi2101@lycos.co.kr, c jy5104@empal.com, fdyeon@yahoo.co.kr, junozard@postech.ac.kr,
hekim@knu.ac.kr, hcyou@postech.ac.kr

Ergonomic Evaluation and Cost-effectiveness Analysis for Flame-proof Clothing

Jeong Rim Jeong¹, Ja Young Cho², Soo Min Yeon³, Joon Ho Chang¹, Hee Eun Kim³, Hee Cheon You¹

¹Department of Industrial Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Kyungbuk, 790-784

²Korea Sewing Technology Institute, Daegu, 702-813

³Department of Clothing & Textiles, Kyungpook National University, Daegu, 702-701

ABSTRACT

The present study was to (1) develop an ergonomic evaluation system for the systematic analysis of flame-proof clothing (2) comprehensively examine the effectiveness of clothing improvement by using the relationship analysis between clothing design components (D) and ergonomic evaluation measures (E) and (3) prove the usefulness of cost-effectiveness analysis for clothing design optimization. An ergonomic evaluation system for flame-proof clothing was established which consists of four analysis categories (clothing construction, user demographics, work and environment, and usability metrics). By applying the proposed system, the field survey to workers found a comprehensive set of problems on the flame-proof clothing design. The laboratory experiment identified additional design problems using a questionnaire that was developed based on a relationship analysis between D and E. The cost effectiveness analysis is comprised of the preliminary evaluation based on expertise and the in-depth evaluation where the D-E relationship analysis is applied. As a result of the cost effectiveness analysis applied to flame-proof clothing, an optimal design was identified by analyzing costs and qualitative/quantitative effects. It was concluded that the D-E relationship analysis and the cost-effectiveness analysis are useful for comprehensive evaluation and optimization of flame-proof clothing design.

Keywords: Ergonomic evaluation, flame-proof clothing, relationship analysis, design improvement, effectiveness analysis

1. 서 론

철강 제조 현장과 같은 고온 환경 작업장에서 착용하는 방염복은 안전성, 작업성, 기능성, 경제성 등을 구비하여야 하며, 외부 환경으로부터 작업자의 신체를 보호

하여 작업능률을 향상시킬 수 있어야 한다. 방염복에 대한 체계적인 인간공학적 평가와 의복 설계를 위해서는 의복과 사용자, 작업 환경 등의 특성을 종합적으로 고려하여야 한다. 또한 평가시 고려되는 사항을 종합한 평가 체계의 정립 및 의복 설계 요소와 인간공학적 평가 요소 간의 연관성 분석이 필요하다. 이러한 학문적 평가 요소

와 더불어, 철강 제조 현장과 같은 고온 환경 작업장에서 방염복의 활용도가 높은 점을 감안하여, 현장에서 착용하는 사용자 측면에서 불편한 부위나 개선 요구 사항 등을 결합하여 분석한다면 방염복의 인간공학적 효과를 종합적으로 고찰할 수 있다. 인간공학적 평가의 유용성을 보여주는 연구가 많이 이루어졌으나(Huck et al., 1997; Coca et al., 2008; 2010; McLellan and Selkirk, 2004; Ilmarinen et al., 1990), 의복 착용 성능에 연관된 많은 설계 변인이 배제되어 있어 설계 요소가 제한적이다. 또한 비용 대비 효과 분석은 실질적 측면에서 설계 개선안 선정 시 유용한 판단 근거가 될 수 있으므로 의복 개선 효과를 비용과 연계함으로써 설계안의 유효성을 분석한 연구가 필요하다.

본 연구는 방염복의 특성을 인간공학적 측면에서 종합적으로 분석할 수 있는 체계를 수립하여 적용함으로써 적합한 방염복 설계 개선안을 제안하고 평가 체계의 유용성을 고찰하고자 한다. 또한 기존 방염복과 개선 방염복의 실험실 평가를 통해 비용 대비 효과 측면에서 사용자의 반응 특성을 최대화 할 수 있는 방염복의 최적 개선안을 도출하고자 한다.

2. 인간공학적 평가 체계

2.1 평가 체계 수립 방법

문헌 조사와, 의류학 전문가 3인과 인간공학 전문가 3인의 의견을 기반으로 평가 항목 선정, 분류, 보완의 3단계의 과정을 거쳐 의복 설계 특성, 사용자 특성, 작업 및 환경 특성, 사용자 반응 특성의 4가지 범주로 구성된 인간공학적 평가체계가 수립되었다.

2.2 인간공학적 평가 체계의 구성 요소

본 연구에서 수립된 방염복의 인간공학적 평가 체계는 의복 설계 특성, 사용자 특성, 작업 및 환경 특성, 사용자 반응 특성의 4가지 범주로 구성된다. 첫째, 의복 설계 특성은 패턴, 소재, 색상으로 파악할 수 있다. 둘째, 사용자 특성은 사용자의 성별, 연령, 인체 측정치, 건강 상태, 근무 경력, 전문 훈련 경력 등으로 파악된다. 셋째, 작업 및 환경 특성은 방염복을 착용한 상태에서 수행하는 작업의 특성과 작업장 환경의 특성으로 파악된다. 작업 특성은 작업장, 1일 작업시간, 작업내용, 신체 부위별 동작의 최대 수준, 주 사용 신체 부위, 부자연스러운 자세 발생 부

위 등으로 구성된다. 환경 특성은 작업장의 온도, 습도 등이 평가된다. 넷째, 사용자 반응 특성은 생리학적 특성, 운동역학적 특성, 심물리학적 특성으로 구성된다.

3. 기존 방염복의 인간공학적 평가 체계 적용

3.1 설계 특성 분석

본 연구에서는 의류학 전문가가 한국 산업규격 성인 남성복 치수 KS-K0050 2004(안)에 의거 L 사이즈에 대한 패턴 분석을 실시하였다. 방염복 소재는 방염 가공 처리된 100% cotton으로, 잔염 시간과 잔진 시간은 관련 법적 기준(소방법 시행령 12조, 2002)보다 훨씬 짧은 우수한 방염 특성을 갖는 것으로 나타났다.

3.2 사용자 특성과 작업·환경 특성 분석

3.2.1 조사 내용

P 제철소의 고열 작업장에 근무하는 방염복 사용자를 대상으로 설문을 실시하였다. 1일 작업 시간, 고열 환경 노출 시간, 작업장 온도 및 습도에 대해 조사하였고, 작업시 방염복의 사용성을 파악하기 위하여 신체 부위별 동작의 최대 수준, 자주 사용하는 사용신체 부위, 부자연스러운 자세 발생 부위, 착용 시 불편한 신체 부위를 표시하게 하였다.

3.2.2 사용자 특성과 작업·환경 특성의 분석 결과

방염복 착용자는 30~50대 남성으로 파악되었으며, 하루 평균 8시간 동안 방염복을 착용하며 40℃ 이상의 고열 환경 노출 시간은 약 45분으로 나타났다. 작업장 온습도는 계절에 따라 변동되는데, 작업자의 열적 스트레스가 최고에 도달하는 7~8월에는 온도 40℃, 상대습도 30% 정도로 조사되었다.

신체 부위별 최대 동작 수준에 대한 응답 결과, 응답자의 약 50%가 신체의 전반적인 부위에 걸쳐 최대 동작 수준이 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 최대 동작 수준 설문 결과는 방염복 착용시 모든 신체 부위가 최대 동작 수준으로 용이하게 움직일 수 있도록 방염복이 설계되어야 함을 보여준다. 자주 사용하는 신체 부위, 부자연스러운 자세 발생 부위, 불편함 발생 부위에 대한 설문 응답 분석 결과는 그림 1과 같다.

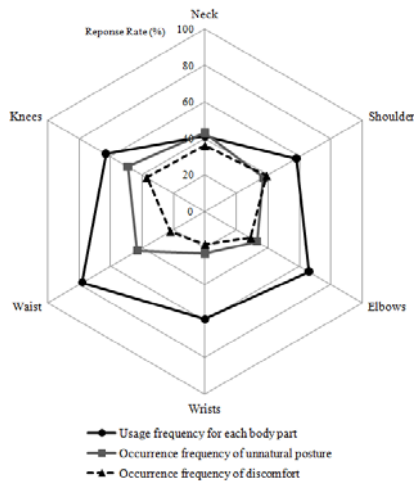


그림 1. 신체부위별 사용빈도, 부자연스러운 자세 발생빈도, 불편한 자세 발생 빈도 (n=95)

3.3 사용자 반응 특성 분석

3.3.1 사용자 반응 특성 분석을 위한 실험실 평가 방법

방염복 L 사이즈 규격에 해당되는 신체 건강한 20 대 남자 대학생 7 명이 피험자로 참여하였다(신장 178.0 ± 3.9 cm, 체중 70.0 ± 2.9 kg (Mean \pm SD)). 사용자 반응 특성 분석은 착용편이성과 착용감 평가, 의복내 기후 평가로 나누어 이루어졌다.

착용편이성 평가는 피험자가 방염복을 착용하고 주어진 동작을 취한 후 의복 부위별 연관된 세부 착용편이성 평가 항목에 대해 5점 Likert 척도를 적용한 설문지에 응답하도록 하였다. 착용감 평가는 7~8월의 작업장 환경 조건(35°C, RH 45%)에서 운동을 부하한 후 착용감에 대한 주관적 평가를 실시하였다. 피험자는 방염복을 착용하고 30분간 휴식을 취한 후, 목, 어깨, 팔꿈치, 허리, 골반, 무릎 관절을 사용하는 총 14개의 동작으로 구성된 운동과 도보를 45분간 반복 수행하고, 다시 전실에서 15분간 회복기를 거치며 주관적 착용감을 평가하였다. 방염복 착용자의 생리적 특성을 파악하기 위해 가슴과 등부위의 의복내기후가 착용감 평가와 병행하여 측정되었다.

3.3.3 사용자 반응 특성의 실험실 평가 결과

착용편이성 평가 결과, 목둘레, 뒷품, 겨드랑둘레, 소매길이, 허리둘레, 밑위길이, 서스펜더 부위에서 평가치가 낮게 나타났고, 특히 서스펜더 부위가 가장

많은 동작에서 낮은 결과를 보였다. 착용감 평가 결과, 현 방염복은 전반적으로 덥고 습하며, 약간 헐거우며, 볼레감을 주고, 약간 뻣뻣하고, 조금 무거운 반면, 촉감은 좋은 것으로 파악되었다. 방염복 착용시 신체 부위별 온열감으로 등 부위가 가장 덥다고 평가되었다. 의복내 기후 변화를 분석한 결과, 방염복 착용 상태에서 운동 전 휴식기에 비해 운동기와 회복기에서 의복내 온습도가 현저하게 상승됨이 파악되었다.

4. 개선 방염복의 평가 및 비용 대비 효과 분석

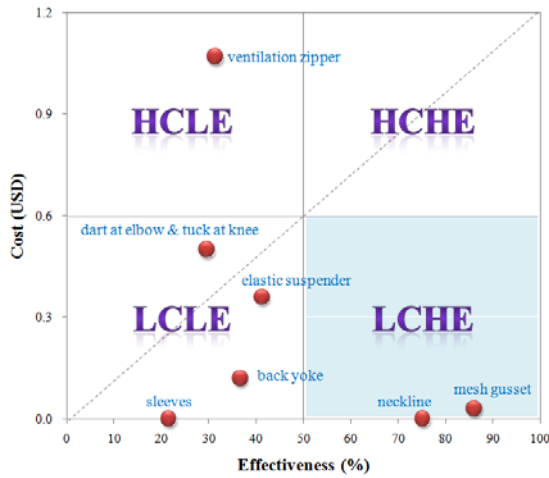
4.1 개선 방염복 평가

사용자 특성과 작업 및 환경 특성, 사용자 반응 특성의 분석 결과를 바탕으로 방염복에 대한 16가지 개선안도출되었다. 도출된 개선안들에 대한 비용 대비 효과를 근거로 11개를 최종 선정하고, 기존 방염복과의 비교 실험을 위해 L 사이즈 규격으로 개선 방염복을 제작하였다. 개선 방염복의 평가는 기존 방염복과의 비교를 위하여 기존 방염복의 사용자 반응 특성 분석을 위한 실험실 평가와 동일한 피험자 및 평가 항목, 평가 환경, 평가 방법으로 진행되었다.

4.2 개선 방염복의 평가 결과

착의성과 여유성은 목둘레 부위에서 유의하게 개선(18.3%, 26.6%)된 반면, 착의용이성과 탈의용이성에서는 개선을 10% 미만으로 두드러진 개선 부위가 없었다. 동작용이성에서는 서스펜더(22.1%), 목둘레(18.1%), 소매길이(17.0%)의 순으로 개선율이 높게 나타났다. 착용감 평가 결과, 개선 방염복 착용시 온열감과 습윤감은 팔과 다리 부위에서, 압박감은 어깨 부위에서 유의하게 향상되었다. 착용감 평가 결과를 살펴보면, 개선 방염복 착용시 온열감, 습윤감, 압박감, 쾌적감 등 모든 항목에서 향상된 평가 결과를 보였으며, 특히 온열감(11.5%)과 습윤감(7.9%)에서 유의하게 높은 개선율을 나타내었다.

의복내기후 측정 결과, 개선 방염복 착용시 운동기와 회복기를 거치면서 의복내 온습도 모두 기존 방염복에 비해 낮게 유지되었다. 특히, 운동기의 의복내 온습도 상승폭이 개선 방염복 착용시 더 낮게 나타났다.



* H: high; L: low; C: cost; E: effectiveness
 ex) 'HCLE'는 "high cost and low effectiveness" 의미

그림 2. 비용 대비 개선 효과의 포트폴리오

4.3. 비용대비 개선 효과 분석

개선안별 비용대비 통합된 개선 효과를 분석한 결과, 목둘레나 소매, 밑위 길이 부위의 패턴 개선과 관련된 항목이 방염복의 최적 개선안으로 추천되었다. 개선 효과와 비용을 양 축으로 하여 개선안을 네 개의 영역으로 구분한 portfolio 분석(그림 2)은 영역별 개선안에 대한 특성 파악에 용이하였다. LCHE 영역(겨드랑이 메쉬 소재 무 삽입, 목둘레 패턴 수정 포함)은 저비용의 높은 효과를 추구할 수 있어 채택 가능성이 가장 높았다. HCLE 영역은 고비용의 낮은 효과를 나타낸 영역으로, 비용 대비 개선 효과가 가장 낮아 제외될 가능성이 높으므로 저렴한 비용의 대안 모색이 요구된다. HCHE 영역과 LCLE 영역에서는 소요 비용에 따라 개선 효과가 증가하므로, 가용 자원의 수준에 따라 개선안 선택의 범위가 결정된다.

5. 토의

본 연구에서 제안된 인간공학적 평가 체계는 보호복의 평가에 활용되어 온 다양한 항목들의 종합적 분석 및 분류를 통하여 4개 부문(의복 설계 특성, 사용자 특성, 작업 및 환경 특성, 사용자 반응 특성)으로 체계화하였다. 본 평가 체계는 다양한 기능성 보호복의 평가 시 적합한 항목 선정에 유용한 참고 자료가 되며, 종합적이고 세부적인 의복 평가를 통해 의복의 문제점을 체계적으로

분석하는 장점이 있다.

본 연구에서 방염복에 대한 사용자 설문 조사와 실험실 평가를 병행하여 수행된 인간공학적 평가는 의복의 개선 대상 도출에 있어 상호보완 효과가 있었다. 사용자 반응 특성 평가를 위해 의복 설계 요소와 인간공학적 평가 요소 간의 연관성 분석을 근거로 개발된 설문지는 각 요소들 간의 인과 관계 추론을 가능하게 하여 의복의 설계 문제점을 구체적이고 종합적으로 파악하는데 유효하였다.

본 연구에서는 사용자 설문 조사와 실험실 평가를 병행하여 얻은 인간공학적 평가 결과와 전문가의 의견을 바탕으로 한 정성적 분석의 결과를 종합적으로 분석하여 개선 방염복을 개발하였다. 각 개선안 별로 개선 비용을 파악하고 개선 성능, 개선 부위, 개선율을 도출하고 이를 바탕으로 비용 대비 개선 효과를 종합적이고 심층적으로 제시하였다. 이는 효율적인 개선안 평가 및 선정을 위한 최적 의복 설계를 위해 유용한 것으로 파악되었다.

추후 연구로는 방염복이 실제 사용되는 작업 환경에서 개선 전후 방염복에 대한 평가를 실시함으로써 실험실 평가에 한정된 본 연구 결과를 검증할 필요가 있다. 본 연구는 실험실 평가를 통해 의복 개선 효과가 파악되었으나, 작업자에 의한 현장 평가를 통해 연구자가 예상하지 못한 문제점을 보완하고 실제 사용자의 의견이 설계 과정에 반영되도록 함으로써 개선안 도출 과정이 보완될 수 있을 것이다.

참고 문헌

Coca, A., Roberge, R., Shepherd, J., Powell, J. B., Stull, J. O. and Williams, W. J., Ergonomic comparison of a chem/bio prototype firefighter ensemble and a standard ensemble, *European Journal of Applied Physiology*, 104, 351-359, 2008.

Coca, A., Williams, W. J., Roberge, R. and Powell, J. B., Effects of fire fighter protective ensembles on mobility and performance, *Applied Ergonomics*, 41, 636-641, 2010.

Huck, J., Maganga, O. and Kim, Y., Protective overalls: evaluation of garment design and fit, *International Journal of Clothing Science and Technology*, 9(1), 45-61, 1997.

Ilmarinen, R., Tammela, E. and Korhonen, E., Design of functional work clothing for meat-cutters, *Applied Ergonomics*, 21(1), 2-6, 1990.

McLellan, T. M. and Selkirk, G. A., Heat stress while wearing long pants or shorts under firefighting protective clothing, *Ergonomics*, 47(1), 75-90, 2004.