

고령자 대상의 고관절 골절 예방 제품 설계 프로세스 개발

Wonsup Lee¹, Seikwon Park², Daehan Jung², Eunjin Jeon³, Hee-Eun Kim³, Jangwoon Park¹,
Seunghoon Lee¹ and Heecheon You¹

¹Dept. of Industrial & Management Engineering, POSTECH, Pohang, Korea

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

³Dept. of Clothing & Textiles, Kyungpook National University, Daegu, Korea

ABSTRACT

Objective: 본 연구의 목적은 고령자를 대상으로 한 고관절 골절 예방 제품의 설계 프로세스를 개발하는 것이다. **Background:** 고령자들은 골격, 근육 감소 및 체형 변화로 인해 관절 가동역이 감소하게 되어 낙상으로 인한 골절이 쉽게 발생한다. 특히, 고관절 골절은 고령자의 삶의 질을 저하시키고 사망에까지 이르게 되는 치명적인 질병으로 고관절 골절 예방을 위한 제품 개발이 필요하다. 그러나 한국 고령자들의 인체치수 분석을 통한 고령친화 제품의 체계적인 개발 방법에 대한 연구는 미흡한 실정이다. **Method:** 본 연구에서는 사용성이 향상된 고관절 골절 예방 제품(Hip protector)의 인간공학적 설계 프로세스 개발을 위해 3단계의 과정으로 연구를 수행하고자 한다. 첫째, 고관절 골절 예방 제품의 기반지식 구축한다. 둘째, 고관절 골절 예방 제품 설계 프로세스 개발한다. 마지막으로, 고관절 보호 제품의 인간공학적 평가를 통해 최종 설계안을 도출한다. **Conclusion:** 본 연구에서 개발된 고관절 골절 예방 제품의 설계 프로세스는 낙상으로 인한 고관절 예방 제품의 설계에 유용한 적용이 가능하다. 본 연구의 프로세스를 적용하여 개발된 고관절 골절 예방 제품은 낙상으로 인한 골절을 예방하고 의료비로 인한 개인적, 경제적 부담을 감소시킬 수 있다. **Application:** 본 연구의 고관절 골절 예방 제품 설계 프로세스를 향후 다양한 고령 친화제품 설계에 반영할 경우, 골절로 인한 개인 및 사회의 막대한 의료비 부담을 감소시키고 고령자의 일상 활동력을 향상시킬 것이다.

Keywords: Hip protector, 3D scan data, User-centered design, Optimal design

1. Introduction

고령자들은 골격, 근육 감소 및 체형 변화로 인해 내전, 외전, 신장 등의 관절 가동역이 감소하게 되어 낙상으로 인한 고관절 골절이 발생하기 쉽다. 미국은 연간 35만 명의 고령자 고관절 골절 환자가 발생하고 치료와 재활에 연간 180억 달러가 소요되고 있다(정필현 외, 2007). 한국은 65세 이상 고령자의 20%가 낙상을 경험하였으며 이 중 63%가 보행 중에 낙상한 것으로 나타났다(권오윤, 1997). 우리나라 고령자 고관절 골절 발생률은 매년 증가하는 추세인데, 고관절 수술 실태는 2005년 15,008건에서 2009년 23,615건으로 1.6배 증가했고, 이 중 2009년 60세 이상의 수술 건수는 17,479건(74%)으로 보고되었다(통계청, 2009). 국제 골다공증 재단은 2050년이 되면 고관절 골절 발생 고령자가 현재보다 5배 이상 증가할 것으로 예측하고 있다(Compston,

2008). 고관절 골절 환자의 상당수는 1년 이내 사망하고 생존하더라도 운동성을 회복하지 못하여 장기간 치료를 받아야 하므로 개인적 및 국가적 의료비 부담이 가중될 수 있다. 따라서 고령자의 인체 형상 특성 및 생체역학적 특성을 고려한 고관절 골절 예방 및 보호 제품 개발 연구가 필요하다.

기존 고관절 골절 예방 제품(hip protector)들은 foam pad 형태와 plastic shield 형태가 있는데, 대부분 고가의 수입 제품이기 때문에 고령자들이 용이하게 구입하여 사용하기 어려운 실정이다. Hip protector 제품은 낙상으로 인한 엉덩이 고관절 부위 충격을 감소시킴으로써 고관절 골절을 예방하는 기능성 제품이다. Hip protector의 종류는 Figure 1과 같이 특수 제작된 내의(underwear) 주머니에 보호 장치를 끼워 충격을 흡수하는 foam pad 형태와 외의(outdoor-wear) 위에 충격을 상쇄시키는 plastic shield를 구비한 형태가 있다(Kannus et al., 2000). 충격 시험에서 foam pad 형태가 plastic

shield 형태 보다 효율적으로 충격을 감소시키는 것으로 나타났다(Derler et al., 2005). 기존 hip protector 제품들은 대부분 해외 제품으로서, 국내에서는 생산지 가격(예: foam pad형 = \$80 ~ \$100, plastic shield형 = \$135 ~ \$145)에 비해 2배 정도 비싸게 판매되고 있어 고령자들이 쉽게 구입하여 사용하지 못하는 것으로 알려져 있다.



(a) Foam pad type (b) Plastic shield type
Figure 1. Types of hip protector products: Safehip (Tytex, Slovakia)

Hip protector가 고관절 골절 예방에 효과가 있지만 불편한 착용감 및 착탈의 어려움 등으로 인해 고령자들이 상시 착용하는 것에는 한계가 있으며, 외국인 체형으로 개발된 hip protector는 한국인 고령자에게 적합하지 않을 수 있다. Kannus et al. (2000)와 Lauritzen et al. (1993)은 고령자들이 hip protector를 착용할 경우 고관절 골절의 위험을 50% 이상 감소시킬 수 있다는 연구 결과들을 보고하였다. 하지만, 착용이 불편하고 착탈의가 용이하지 않으며 심미성이 부족하여 고령자들의 hip protector 착용은 미비한 것으로 조사되었다(O'Halloran et al., 2005). 고관절 골절 예방을 위해서는 hip protector의 지속적인 사용이 중요하기 때문에 hip protector의 사용성을 개선하는 연구가 필요하다. 한편, 국내의 hip protector는 대부분 서양인의 체형 및 고관절의 위치 등을 고려하여 제작된 해외 제품으로서, 한국 고령자의 체형에는 적합하지 않을 수 있으며 한국 고령자가 착용할 경우 낙상 시 고관절을 제대로 보호하지 못하는 경우가 발생할 가능성도 존재한다. Joo et al. (2013)은 일반인 500명을 대상으로 자기공명 영상(MRI)를 통해 고관절 부위를 촬영하고 분석한 결과 동양인의 고관절 알파 각(alpha angle)이 서양인 보다 작고 형상이 다르다는 것으로 보고하였다. 한국인을 위한 hip protector 연구는 미비한 실정이므로 한국인 고령자 체형에 적합한 형태와 크기의 hip protector 개발 연구가 필요하다.

본 연구는 고령자 친화적인 고관절 골절 예방 제품(hip protector)의 설계 프로세스를 개발하고자 한다. 본 연구는 고관절 골절 예방 제품의 기반지식을 구축하고, 고관절 골절 예방 제품을 위한 설계 프로세스에 따라 제품의 형상을 설계한 후, 평가를 통해 및 최종 설계안을 도출하는 방법 수립하고자 한다.

2. Method

사용성이 향상된 고령자 친화적 고관절 골절 예방 제품의 인간공학적 설계 프로세스 개발을 위해 먼저, hip protector 관련 기반지식(예: 3D scan data 기반 고령자 인체 형상 및 치수 분석, 고관절 골절의 생체역학적 분석, hip protector 제품 및 시장 조사, hip protector 설계 및 착용특성 분석, 사용자 needs 조사) 구축한다. 둘째, hip protector을 위한 4단계 설계 프로세스(S1: hip protector 개념 설계; S2: hip protector pattern 설계; S3: 가상 착의를 통한 착용감 및 피트니스 검증; S4: hip protector 평가 simulator 제작)를 개발한다. 마지막으로, hip protector의 평가(예: simulation 평가, physical 평가, 충격량 가시화 평가, 착용 쾌적성 평가, 인간공학적 사용성 평가) 및 최종 설계안 도출 방법 수립한다(Figure 2).

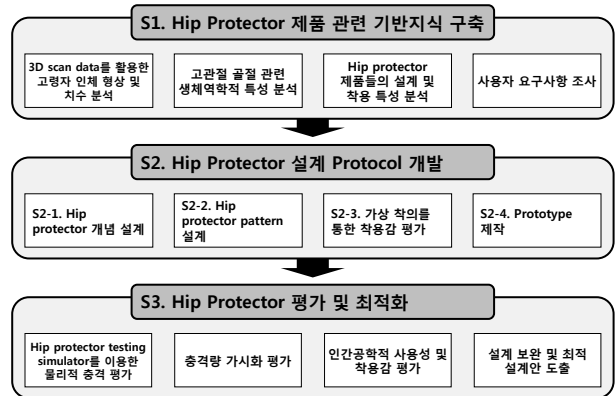


Figure 2. Research process for hip protector development

2.1 Hip Protector 제품 관련 기반지식 구축

3D scan data를 활용한 고령자 인체 형상 및 치수 분석

Hip protector 제품 관련 기반지식 구축 단계에서는 먼저, 3D scanning 기술을 이용하여 고령자의 hip 부위 형상 특성을 분석한다. 3D scan data는 Figure 3의 예시와 같이 기 측정된 2010 Size Korea data를 이용할 수 있다. 3D scan data를 이용해서는 hip 부위의 크기(예: 엉덩이너비, 허리너비, 엉덩이두께, 배꼽수준허리두께, 엉덩이둘레, 허리둘레, 엉덩이수직길이, 엉덩이옆길이 등)와 형상(예: 엉덩이부위, 허리부위,



Figure 3. 2004 Size Korea 3D scan data 예

배부위, 오금부위 등) 정보를 파악할 수 있다. 또한, 고령자들의 hip 부위 체형을 분류하여 hip protector의 치수체계 개발에 반영한다.

고관절 골절 관련 생체역학적 특성 분석

고관절 골절 관련 생체역학적 특성은 동작분석 장비 및 3D scanner 사용한 data 수집 및 이를 기반으로 한 수리적 modeling을 통해 파악된다(Figure 4, Figure 5). 먼저 동작분석 장비를 이용하여 낙상 시의 자세 변화를 촬영한 후, 낙상 시 고관절이 받게 되는 충격량을 체중에 따라 추정할 수 있는 model을 개발하여 hip protector가 흡수해야 할 충격량을 산출한다. 또한, 낙상 시의 자세 및 hip 부위 형상을 3D scanner를 사용하여 측정한 후, 선 자세와 비교함으로써 충격으로부터 보호해야 할 부위의 형상이 hip protector 설계에 반영될 수 있도록 한다.

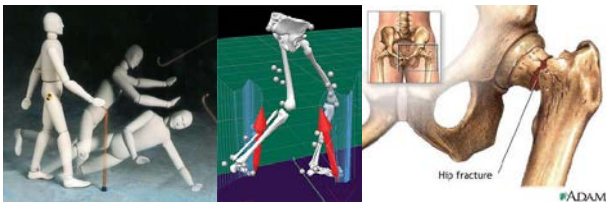


Figure 4. 낙상에 관한 생체역학적 분석 예



(a) Artec Eva 3D scanner (Artec 3D, Luxemburg)



(b) Hawk motion capture system (Motion Analysis, USA)

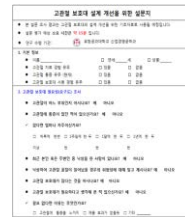
Figure 5. 3D scanner and motion capture system

Hip protector 제품들의 설계 및 착용특성 분석

기존 제품에 대한 benchmarking 및 특허 조사 등을 통해 hip protector의 설계 및 착용 특성들이 분석된다. Hip protector는 제품 구성요소에 따라 foam pad type과 plastic shield type으로 분류될 수 있다. 또한, 착용 방법에 따라 hip protector는 내의와 결합된 girdle형 제품과 의외 위에 착용하는 belt형 제품으로 분류될 수 있다. 각 제품의 특성은 착용 대상(예: 남성, 여성, 공용), 착용 편의성, 착용의 편의성, 착용감, 활동성, 내구성, 보호 부위 등 측면에서 파악된다.

사용자 요구사항 조사

사용자의 요구사항은 hip protector 사용자 및 잠재 사용자를 대상으로 설문지를 기반으로 한 interview를 통해 파악된다. 설문은 착용 편의성, 착용의 편의성, 착용감, 활동성, 내구성, 주관적 선호도 및 만족도, 개선요구사항 등을 파악할 수 있도록 개발될 수 있다. 설문과 interview를 통해 파악된 사용자의 선호도 및 개선요구사항은 한국인 고령자를 위한 hip protector의 개념 설계에 적용될 수 있다. 또한, 고령자 행동 관찰을 통해 잠재된 사용자의 요구사항을 파악한다.



(a) 설문지



(b) interview



(c) 행동 관찰

Figure 6. 사용자 요구사항 조사 방법 예

2.2 Hip Protector 설계 Protocol 개발

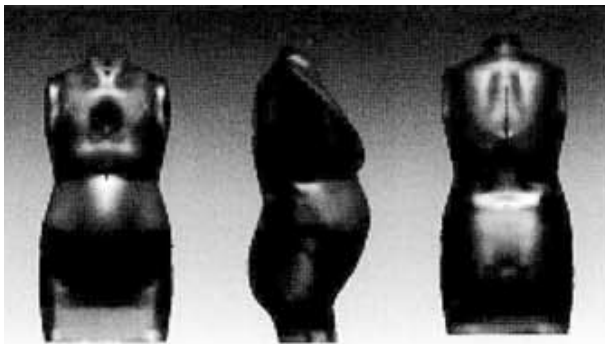
S2-1. Hip protector 개념 설계

개념 설계 단계에서는 고령자의 인체 형상 및 치수, 고관절 부위의 생체역학적 특성, hip protector 제품 설계 및 착용 특성, 그리고 사용자 요구사항들을 종합적으로 고려하여 기존 제품들과 차별화된 개념을 가진 제품의 concept들을 도출한다. 개념 설계에는 개발될 제품에 대한 형상, 체형에 따른 치수체계, 보호 부위, 착용의 방법, 보호 방법, 주요 mechanism, 소재, 활용방안 등이 포함된다. 개념 설계에 대한 전문가(예: 인간공학 분야, 의류학 분야, 재료학 분야) 자문을 통해 concept들의 적합성을 평가할 수 있다.

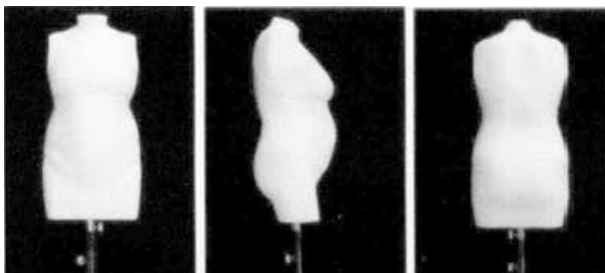
S2-2. Hip protector pattern 설계

Pattern 설계 단계에서는 고령자의 3D 형상 및 치수를 기반으로 hip protector의 치수별 평면 및 입체 pattern을 제작한다. 먼저, 한국인 고령자의 인체 특성에 적합한 hip

protector 제품 형태를 구현하기 위한 pattern을 설계한 후, 보호구 및 관련 mechanism이 부착될 수 있도록 pattern을 수정한다. 평면 pattern은 제품 부위별 치수와 여백에 관한 설계공식에 의거하여 제작된다. 입체 pattern은 대표인체모델의 인대(mannequin) 상에 한지를 부착한 후, 절개면을 따라 한지를 떼어내고 이를 평면화함으로써 제작된다. 대표인체모델의 인대는 Figure 7과 같이 대표인체모델의 3D scan data를 기반으로 제작될 수 있다(김수아와 최혜선, 2010). 제작된 평면 pattern과 입체 pattern의 치수 비교를 통해 설계된 pattern의 적정성을 검증하고 pattern을 수정한다.



(a) 대표인체모델 3D scan data



(b) 대표인체모델의 인대

Figure 7. 대표인체모델 3D scan data를 이용한 인대 제작 예 (김수아와 최혜선, 2010)

S2-3. 가상 착의를 통한 착용감 평가

3D 가상 착의 system(예: CLO 3D)을 이용하여 설계된 pattern을 대표인체모델의 3D scan data 상에 착의한다. 의복 가상 착의 system은 설계된 pattern의 소재 특성을 고려하여 인체에 최적으로 가상 착의한다(Figure 8). 가상 착의를 통해



(a) 의복 pattern의 가상 착의 (b) 의복압 분석

Figure 8. 3D 가상 착의 system CLO 3D (CLO Virtual Fashion Inc., South Korea)

설계된 pattern의 인체 부위별 밀착감, 여유량, 의복압 등을 검토한 후, 필요에 따라 pattern을 수정한다.

S2-4. Prototype 제작

마지막으로, 제품의 prototype을 개발한다. 인체에 착용되는 부위는 3D 가상 착의 system을 통해 평가 및 보완된 pattern을 이용하여 제작될 수 있다. 제작된 착용부위 상에 개념 설계 단계에서 제안된 고관절 보호 부위(예: 보호 pad, 압박대 등) concept들을 실물로 구현한다. 제안된 concept들 중 편리성, 기능성, 구현가능성 등의 측면에서 적절한 2~3개 정도의 안을 선택할 수 있다.

2.3 Hip Protector 평가 및 최적화

Hip protector testing simulator를 이용한 물리적 충격 평가

개발된 prototype들의 설계 적합성은 hip protector testing simulator를 이용하여 평가될 수 있다. 개발된 prototype을 실제 고령자를 대상으로 실험하기에는 위험성이 따르므로, hip protector testing simulator를 사용할 수 있다. 본 simulator는 Figure 9와 같이 낙상 시 고관절에 작용하는 외부적인 충격을 재현하기 위한 장치로, 충격의 정도, 범위, 방향 등을 조절할 수 있도록 되어 있다. 예를 들어, Kannus et al. (1999)는 impact pendulum을 이용하여 고관절에 가해지는 충격을 재현하는 장치를 개발하였다. 본 simulator가 구현할 수 있는 충격량은 충격을 주는 대상(예: 지면)의 물리적 특성, 고령자 인체역학적 특성(예: 고관절 골밀도 등), 그리고 충돌 속도 등에 의해 결정된다. Hip protector의 충격 흡수 효과는 simulator에 의해 구현되는 다양한 충격 조건(예: 충격 강도 = 강/중/약, 충격 방향 = 45°, 90°; 충격 면적 = 좁은 면적,

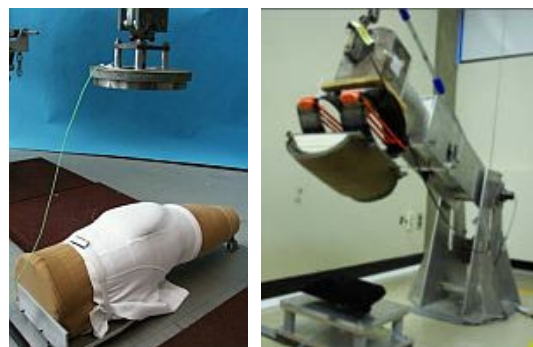


Figure 9. Hip protector testing simulator 예

넓은 면적)에서 hip protector 미착용 시의 충격량과 hip protector 착용 시의 충격량을 비교함으로써 파악될 수 있다. 한편, hip protector가 흡수하지 못하고 인체에 전달될 일부 충격량이 실제 고령자에게 미칠 수 있는 영향에 대해서는 고관절 골절 전문의 및 생체역학 전문가들의 자문을 받아 고찰될 수 있다.

충격량 가시화 평가

충격량에 대한 가시적 평가는 유한요소(finite element) 해석 system(예: ANSYS®, ABAQUS, UDEC, ADINA)을 사용하여 평가될 수 있다. 유한요소 해석 system은 hip protector의 보호 pad의 물성치를 고려하여 다양한 종류의 충격 발생 시 보호 pad의 형상 변형 정도, 충격 흡수 정도, 인체에 전달되는 충격량 등을 simulation할 수 있다. Hip protector testing simulator와 유한요소 해석 system을 이용하여 hip protector prototype들의 일부 설계조건이 수정 및 보완될 수 있다.

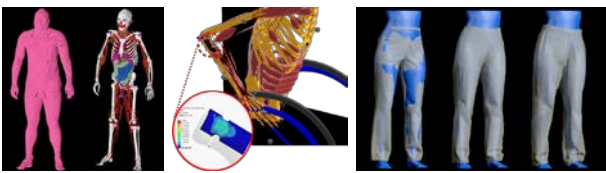


Figure 10. 유한요소 해석 system ANSYS® (ANSYS Inc., USA)을 이용한 충격량 가시화 예

인간공학적 사용성 및 착용감 평가

Simulator 및 system을 이용한 평가 및 설계 보완이 완료된 prototype들은 실 착용자를 대상으로 평가된다. 실 낙상 충격 평가는 20 ~ 30대 남녀 및 업선된 고령자를 대상으로 수행될 수 있는데, 평가 중의 안전사고를 방지할 수 있는 장치가 필요하다. 주관적 선호도는 기존 hip protector 제품을 사용하고 있는 고령자 및 잠재 사용 대상 고령자들을 대상으로 기존 제품과 비교 평가될 수 있다. 인간공학적 평가 시에는 조자영 외(2007)가 제시한 것과 유사한 의복의 인간공학적 평가 체계(Table 1)가 사용될 수 있다. 의복의 인간공학적 평가 체계는 사용자의 인체생리학적 특성, 운동역학적 특성, 그리고 심물리학적 특성에 따른 다양한 평가 방법들로 구성되어 있는데, 이들 중에서 본 연구의 hip protector 제품에 적합한 평가 방법들을 선정하여 사용할 수 있다. 예를 들어, hip protector 사용자의 운동역학적 특성으로는 고관절의 운동범위와 관련된 평가 항목들이 사용될 수 있으며, 심물리학적 특성으로는 피부온, 발한량, 온도, 근전도 등이 사용될 수 있다. 주관적 만족도는 착용감, 동작성, 착탈의 용이성, 소재 적합성 등 측면에서 5점 또는 7점 척도를 사용하여 평가될 수 있다.

설계 보완 및 최종 설계안 도출

Hip protector의 최종 설계안은 simulator 및 유한요소 해석 system을 이용한 충격 평가, 사용성 및 주관적 만족도 평가 결과를 바탕으로 한 설계 개선을 통해 도출될 수 있다. 최종 설계안은 hip protector의 치수, 치수체계, 재질, 인체 밀착성, 보호 방법 및 mechanism, 심미성, 기능성 등 측면에서

보완되어 도출될 것이다.

Table 1. 의복의 인간공학적 평가 체계 (조자영 외, 2007)

평가 항목	내용
의복 설계 특성	- 패턴: 사이즈, 형태 - 소재: 물성, 문양 - 색상
사용자 특성	- 성별 - 연령 - 인체 측정치: 키, 몸무게, 체표면적 등 - 건강 상태 - 근무 경력 - 전문 훈련 경력
인체생리학적 특성	- 온도: 심부온(직장온, 고막온, 식도온), 피부온 - 심박수 - 호흡성 가스 교환: 산소소비량, 이산화탄소 배출량, 폐환기량 - 발한량 - 지속 시간 - 혈압 - 근전도(EMG) - 심전도(ECG) - 의복내 온도
사용자 반응특성	운동역학적 특성 - 목 동작 범위: 굽힘, 폼, 좌·우측 굽힘, 비틀 - 허리 동작 범위: 굽힘, 폼, 좌·우측 구부림, 비틀 - 어깨 동작 범위: 폼, 굽힘, 모음, 벌림, 안쪽 돌림, 바깥쪽 돌림 - 팔꿈치 동작 범위: 굽힘, 옆침, 뒤침 - 손목 동작 범위: 폼, 굽힘, 요골편향, 척골편향 - 엉덩이 동작 범위: 굽힘, 모음, 벌림, 안쪽 돌림, 바깥쪽 돌림 - 무릎 동작 범위: 굽힘, 안쪽 돌림, 바깥쪽 돌림 - 발목 동작 범위: 발등 굽힘, 발바닥 굽힘, 모음, 벌림
심물리학적 특성	- 사용편의성: 착의성, 동작용이성, 착탈의용이성, 여유성 - 사용자 만족도: 선호도, 안락도, 만족감 - 착용감: 온열 감각, 습윤 감각, 쾌적성, 촉감, 중량감 - 부하 정도: 지각 신체 부하, 피로감

4. Discussion

본 연구는 인간공학, 의류학, 기계공학, 외과학 등과 같은 다분야의 학술 연계를 통해 한국인 고령자에게 특화된 hip protector를 개발하고자 한다. 기존 해외 제품은 외국인의 체형을 기반으로 설계되었기 때문에 한국인 고령자의 인체에 적합하지 않으며, 착탈의 및 사용이 불편하였다. 따라서 한국인 고령자를 위한 hip protector의 인간공학적 및 의류학적 설계가 필요하였다. 또한, hip protector는 낙상 시에 고령자의 고관절이 받게 되는 물리적 충격을 효과적으로 흡수하여 고관절 골절을 방지할 수 있어야 하므로 외과

학 및 기계공학적인 고려가 필요하였다. 본 연구를 통해 제안될 hip protector 설계 방법은 의류학적, 의학적, 그리고 공학적인 측면에서의 종합적인 고려가 필요한 고령자 및 장애인용 보호의복 및 보호구 설계에 유용하게 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 제시된 제품 개발 방법은 제품 사용자의 인체 특성 및 요구사항을 체계적인 반영하고자 한다. 사용자의 인체 특성 측면에서, 3D body scan data를 통해 파악된 인체 크기 및 형상 정보는 제품의 치수체계 및 제품 형상 설계에 활용된다. 또한, 고령자의 고관절 특성과 낙상 동작 및 자세 특성이 사용자의 인체 특성으로서 파악될 수 있다. 사용자의 요구사항은 설문조사, interview, 행동관찰, 그리고 제품 prototype에 대한 사용성 및 만족도 평가를 통해 수립될 수 있다.

Hip protector와 같이 안전에 대한 고려가 중요한 제품은 가상 착의 평가, 충격 실험 평가, 유한요소 해석 평가, 그리고 사용성 평가 등과 같은 다양한 측면에서의 시험 평가가 수반될 필요가 있다. CLO 3D와 같은 가상 착의 system을 이용한 가상 착의 평가는 크기와 형상이 다양한 사용자들의 3D 인체 scan data에 대한 제품의 착의성(예: 밀착성, 압박감, 여유성 등)을 사전에 확인해볼 수 있다. 본 system을 사용하면 prototype 제작 전에 제품의 소재 특성들(예: 인장강도, 신장강도, 수축율, 마찰강도)을 변경해가며 가장 적합한 소재를 파악할 수 있다. Hip protector는 고령자의 안전을 중요하므로 hip protector의 물리적 효능에 대한 검증 과정이 수반될 필요가 있는데, 유한요소(finite element) 해석 system을 이용한 가상 평가 및 실제 물리적 충격을 구현할 수 있는 simulator 장비를 사용한 평가를 통해 hip protector가 흡수할 수 있는 충격량을 파악하여 hip protector가 고령자의 고관절을 낙상 시의 충격으로부터 보호하는 정도를 예측해볼 수 있다. 마지막으로, 사용성 평가를 통해 착용 및 착탈의 편의성, 만족도, 실제 충격 흡수 정도를 주관적으로 평가할 수 있다.

Acknowledgements

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (2013-014195).

References

- 권오윤 (1997). 지역사회 노인의 전도발생 특성과 운동훈련이 전도노인의 근력과 균형에 미치는 영향. 박사학위논문.
- 김수아, 최혜선 (2009). 인체형상 데이터를 이용한 실버 여성 3차원 체형 연구. *복식문화연구*, 17(6), 1099-1111.
- 정필현, 황정수, 강석, 김종필, 김영성, 이상호, 박종석 (2007). 80세 이상의 노인에서 발생한 고관절 골절의 치료. *대한고관절학회지*, 19(1), 45-50.
- 조자영, 정정림, 연수민, 장준호, 유희천, 김희은 (2007). 기능성 의복이 인간공학적 평가 체계 개발 및 적용:방염복의 평가 및 개선 대상 파악, *대한인간공학회*, 26(2), 1-13.
- 통계청(2009). 주요수술통계 자료.
- Compston, J. (2008). The National Osteoporosis Guideline: comprehensive and up to date. *Prescriber*, 19, 7-9.
- Derler, S., Spriering, A.B., and Schmitt, K.-U. (2005). Anatomical hip model for the mechanical testing of hip protectors. *Medical Engineering & Physics*, 27, 475-485.
- Joo, J., Lee, S., Ahn, H., Park, J., Lee, W., and Jung, K. (in press). Evaluation of the alpha angle in asymptomatic adult hip joints: analysis of 994 hips. *Hip International*.
- Kannus, P., Parkkari, J., Niemi, S., Pasanen, M., Palvanen, M., Jaervinen, M., and Vuori, I. (2000). Prevention of hip fracture in elderly people with use of a hip protector. *New England Journal of Medicine*, 343(21), 1506-1513.
- Lauritzen, J., Petersen, M., Lund, B. (1993). Effect of external hip protectors on hip fractures, *Lancet*, 341, 11-13.
- O'Halloran, P.D., Murray, L.J., Cran, G.W., Dunlop, L., Kemohan, G., and Beringer, T.R. (2005). The effect of type hip protector and resident characteristics on adherence to use of hip protectors in nursing and residential homes-an exploratory study. *International Journal of Nursing Studies*, 42, 387-397.

Author listings

Wonsup Lee: mcurry@postech.edu

Highest degree: PhD, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Position title: Post-doc researcher, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Ergonomic product design, Product shape design based on 3D scanning, 3D human modeling, Engineering design

Seikwon Park: parksk@afa.ac.kr

Highest degree: PhD, Industrial Engineering, Pennsylvania State University

Position title: Professor, Department of Systems Engineering, Korea Air Force Academy

Areas of interest: Human factors in aviation and aerospace, Fatigue/Stress modeling & assessment, Human performance & workload assessment,

Bio-signal measurement and analysis techniques, Biofeedback training

Daehan Jung: daehanj@afa.ac.kr

Highest degree: PhD, Mechanical Engineering, State University of New York at Buffalo

Position title: Associate Professor, Department of Aerospace and Mechanical Engineering, Korea Air Force Academy

Areas of interest: Fluid dynamics, Turbulence, Computer fluid dynamics

Eunjin Jeon: slowjeon@hanmail.net

Highest degree: PhD, Clothing and Textile, Kyungpook National University

Position title: Post Doc, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Ergonomic pattern design, Pattern grading, User interface design & evaluation

Hee-Eun Kim: hekim@knu.ac.kr

Highest degree: PhD, Clothing physiology, Nara Women's University, Japan

Position title: Professor, Department of Clothing and Science, Kyungpook National University

Areas of interest: Clothing environment, Clothing pattern & construction, Clothing comfort

Jangwoon Park: parkjw@postech.ac.kr

Highest degree: PhD, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Position title: Post-doctoral research associate, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: User-centered product design & development, anthropometric and biomechanical methods for product design, digital human modeling & simulation, usability testing, automobile ergonomics, affective engineering

Seunghoon Lee: shoonlee@postech.ac.kr

Highest degree: M.S, Mechanical Engineering, Sogang University, 2013

Position title: Ph.D. candidate, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Digital human modeling & simulation, User-centered product design & development, Anthropometric and biomechanical methods for product development

Heecheon You: hcyou@postech.ac.kr

Highest degree: PhD, Industrial Engineering, Pennsylvania State University

Position title: Associate Professor, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Ergonomic product design & development, User interface design & evaluation, Digital human modeling & simulation, Human performance & workload assessment, Work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) prevention, Usability testing