〔연구논문〕

EISSN 2234-0793
PISSN 1225-1151
Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles
Vol. 40, No. 3 (2016) p.495~505
http://dx.doi.org/10.5850/JKSCT.2016.40.3.495

낙상 보호 팬츠개발을 위한 충격흡수 소재특성 평가

박정현 · 이진숙 · 이정란*†

부산대학교 노인생활환경연구소, *부산대학교 의류학과/부산대학교 노인생활환경연구소

Characteristic Evaluation of Impact Absorption Materials for the Development of Fall Impact Protective Pants

Jung Hyun Park · Jin Suk Lee · Jeong Ran Lee*†

Research Institute of Ecology for the Elderly, Pusan National University
*Dept. of Clothing & Textiles, Pusan National University/
Research Institute of Ecology for the Elderly, Pusan National University
Received July 30, 2015; Accepted December 29, 2015

Abstract

This study explores and selects an appropriate material that considers light and soft physical properties as well as activity for impact absorption pads that can be used to develop practical impact protective clothes worn during daily life by the elderly to reduce the impact of falls. Physical properties, impact absorption performance, and compression characteristics were evaluated on 5 types of foam, 2 types of 3D spacer fabric, and 3 types of polymer gel to select a material appropriate for the pad to be inserted into impact protective clothes. The evaluation of the physical properties showed that 3D spacer fabrics had lower density compared to other materials and polymer gels had the highest density. The elongation percentage was higher in foams than 3D spacer fabrics and EPDM foam had the highest elongation percentage. The impact absorption performance of honeycomb polymer gel was better than foams and 3D spacer fabrics. As a result of looking into compression energy and compression characteristics of materials, 'CR foam A' was found to absorb the largest amount of compression energy, 24.1%, among foams and polymer gels. A high energy absorption rate of 50.0% (or above) was indicated by 3D spacer fabrics; however, foams and polymer gels showed a progressive deformation of energy compression / recovery curve with 3D spacer fabrics that showed drastic deformation. Based on characteristics of materials, 'CR foam C' and EPDM with relatively high absorption performance can be used as protective pad materials among foams. Among polymer gels, 2 open-type polymer gels that have relatively low impact protective performance but a relatively lighter weight on human body (compared to closed-type) are considered appropriate protective pad materials.

***Key words*:** Impact protective materials, Characteristic evaluation, Physical properties, Impact absorption performance, Compression characteristics; 충격보호 소재, 특성 평가, 물성, 충격흡수 성능, 압축특성

†Corresponding author
E-mail: ljrj@pusan.ac.kr
본 논문은 박사학위 논문의 일부임.
본 논문은 2013년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2013R1A1A2 057684).

I. 서 론

국내외적으로 볼 때 낙상 사고는 65세 이상의 노인에게서 적게는 20% 이상, 많게는 50% 정도 발생하는 것으로 나타났으며(Hur, 2007; Lee & Kim, 2003), 75세 이

ⓒ 2016, The Korean Society of Clothing and Textiles. All rights reserved.

상 노인의 사고로 인한 사망원인 중 낙상이 가장 많은 것으로 보고되었다(Dellinger & Stevens, 2006). 노인은 낮은 골밀도로 인해 약한 충격에도 골절이 쉽게 야기되는데(Kim et al., 2007), 골절이 발생하게 되면 회복하는데 오랜 시간이 소요되며, 합병증이 발생할 가능성이 높고, 삶의 질이 급격히 나빠지면서 사망률을 증가시키는 요인이 된다. 따라서 노인이 안전하게 삶을 영위하고 가능하면 장기간 독립적인 생활을 하기 위해 골절 예방이 무엇보다도 중요하다.

낙상으로 인한 골절 가운데서도 고관절 골절은 수술을 하지 않으면 회복이 되지 않을 정도로 위험하다. 기존의 몇 가지 실험 연구에서는 힙프로텍터가 낙상 시 대퇴골에 발생하는 충격을 줄여주는 효과가 있음을 보여주었다(Laing & Robinovitch, 2008; Minns et al., 2007; van Schoor et al., 2006). 하지만 힙프로텍터가 충격을 감소시켜주는데 효과적인 반면 착용 시 뻣뻣한 느낌, 불편함, 일상복과 다른 외형과 같은 문제점들이 지적되었다. 또한 힙프로텍터는 대부분 수입된 제품에 의존하고 있는 실정이므로 원천기술의 확보가 시급하고 새로운 제품개발을 통하여 보호복 분야의 경쟁력을 가질 수 있도록 연구개발되어야 한다.

현재 국내외 의류시장에서 판매되고 있는 충격보호 기능을 가진 의류제품은 주로 스포츠웨어를 중심으로 운동 시 안전을 확보하기 위해 개발되어 있지만 일상생활에서 낙상과 같은 위험에 대처하기 위한 충격보호 의류는 찾아보기 힘든 실정이다. 또한 충격보호 의류에 대한 국내의 연구로는 스포츠 종목별 충격보호복의 개발현황과 분석에 관한 연구(Park & Lee, 2003), 에어백 장착 모터사이클 의복에 관한 연구(Choi & Do, 2005), 스노우보드 보호용 속바지 개발에 관한 연구(Lee, 2009), 에어백을 활용한 낙상 골절 방지 시스템에 관한 연구(Kim, 2009) 등이 있으나 대부분이 스포츠 관련 충격보호복에 관한 연구이며 낙상 골절 방지를 위한 에어백 장치는 무게와 부피에 대한 부담이 커서 의복으로 활용하기에는 한계가 있다.

노인의 기대수명이 높아지면서 노후를 보다 젊고 건강하게 보내고자 하는 노인 인구는 증가하고 있으며, 적극적으로 사회활동이나 야외활동에 참여하는 것으로 나타나고 있다. 따라서 노인의 신체활동을 제약하지 않고 요구에 부응할 수 있는 다양한 노인복 개발에 관심을 가져야 할 시점이며, 노인을 대상으로 일상생활에서 착용하면서 낙상 시 충격을 최소화할 수 있는 실용적인 충격보호복 개발이 필요하다.

신체에 가해지는 충격의 압력을 감소시키려면 충격력을 최대한 넓은 부위로 확산시키는 것이 중요하며 충돌 시 점진적으로 속도가 감소되도록 하고 운동량이 서서히 변화할 수 있도록 해주어야 하는데, 매끈한 표면, 둥근 형태, 함몰되는 소재는 충돌 시 운동량이 서서히 변화할 수 있도록 하여 신체의 상해는 줄이는 역할을 한다(Watkins, 1995/1998). 충격흡수 소재의 종류로는 플라스틱 폼, 금속, 세라믹, 강화수지, 3D 스페이서 패브릭, STF(Shear Thickening Fluid) 등을 들 수 있다. 플라스틱 폼 소재는 내부에 작은 사이즈의 기공을 많이 가지고 있어 완충성이 뛰어나며, 폴리우레탄, 폴리스틸렌, 폴리프로필렌, 폴리에틸렌 등의 고분자 재료가 발포제품에 주로 사용된다(Lee, 1994). 금속, 세라믹 및 섬유강화수지와 같은 단단한 충격보호 소재는 충격이 신체에 전달되지 못하도록 차단시켜주는 판으로, 충격을 넓게 확산시키고, 날카롭거나 운동력이 큰 물체가 판을 통과할 수 없도록 막아주며, 조금이나마 충격에너지를 흡수하는 역할을 한다(Choi & Kim, 2011; Watkins, 1995/1998). 3D 스페이서 패브릭은 두 층의 직물 사이에 이들을 연결하는 스페이서 얀(Spacer yarn)이 엮어진 3차원의 입체적인 구조의 첨단 소재(Yip & Ng, 2008)로 복원력, 내구성, 충격흡수 및 완충기능이 뛰어나고, 열과 수분 배출이 뛰어나 세균번식을 방지하는 특징을 가진다. STF는 평상시에는 부드러운 상태를 유지하다가 충격을 받으면 그 에너지를 흡수하도록 분자들이 결합하여 순식간에 단단해지는 소재이다.

충격보호 성능과 인체적합성이 좋은 보호복 개발을 위해서는 소재의 특성을 파악하고 적합한 소재를 사용하는 것이 중요하다. 이에 본 연구는 낙상 경험 노인의 실태조사 결과(Lee et al., 2014)를 바탕으로 충격보호 팬츠개발에 필요한 충격흡수 소재선정을 연구목적으로 한다.

II. 연구방법

1. 소재선정 및 소재의 특성

충격에너지 흡수용으로 널리 사용되며 비교적 가볍고 유연성을 지닌 고분자 폼과 경량성과 완충기능을 가진 3D 스페이서 패브릭, 유동성 탄성고분자체인 폴리머젤을 대상으로 충격보호용 패드 소재로서의 적합성을 검토하였다.

5종류의 고분자 재료(NBR, PU, CR(Chloroprene Rub-

ber), EVA, EPDM(Ethylene Propylene Diene Monomer))로 만들어진 폼 16종을 수집하여 살펴보니, NBR 폼은 쉽게 찢어지며, PU 폼은 가수분해되고 내구성이 약한 특성이 있었다. 일부 EVA 폼은 딱딱하고 유연성이 떨어져서 의복의 소재로 사용하기에는 부적합한 것으로 판단하여 제외하고, 탄력이 있으면서도 유연하고 촉감이 좋은 CR 폼 3종과 고발포 EVA 폼 1종, EPDM 폼 1종을 보호패드 소재로 선정하였다.

3D 스페이서 패브릭은 폴리에스터사로 편직된 소재 5종을 수집하였고 두께, 유연성, 탄성, 촉감, 내구성 등을 고려하여 2종을 선정하였다.

폴리머젤은 TPS-SBS(스티렌과 부타디엔의 블록 공중합체, Styrene-Butadiene-Styrene Block Copolymer)를 사용하여 패드 형태에 관한 선행연구(Park et al., 2014)를 바탕으로 조각형 패드에 적합하도록 하기 위해 두께가 5mm이고 한 변의 길이가 15mm인 정육각형 조각으로 디자인하였으며, 패드의 무게를 줄이고 유연하며 통기성을 좋게 하기 위해 <Fig. 1>과 같이 벌집구조로 설계하였다. 벌집구조를 이루는 내부 막의 두께를 3종류로 다르게 정하고, 위아래로 뚫려있는 개방형과 바닥면이 막혀있는 폐쇄형으로 나누어 설계하였으며, 경도도 두 가지(경도 15, 30)로 다르게 정하여 <Fig. 2>와 같이 3가지 종류의 폴리머젤을 제작하였다.

선정된 10종류의 소재특성은 <Table 1>과 같다. 밀도는 폼과 스페이서 패브릭에 비해 폴리머젤이 높았으며, 폴리머젤 중에서는 한 쪽면이 막혀있고 막두께가 가장 두꺼운 '폴리머젤 B'가 가장 높은 것으로 나왔으며, 양쪽으로 뚫려있고 막두께가 가장 얇은 '폴리머젤 A'가 가장 낮았다. 폼 가운데서는 고발포 EVA 폼이 CR 폼에 비해 밀도가 낮았다.

2. 물성평가 방법

충격보호 팬츠의 기능성, 착용감, 활동성 등에 영향을 미치는 보호패드의 특성을 살펴보기 위해 물성평가를 실시하였으며 세부항목은 다음과 같다.

1) 인장강도(Tensile strength)

ASTM D 1056에 준하여 Universal Testing Machine을 사용하여 폼의 인장강도를 측정하였다. 아령형 시험편을 사용하여 인장속도 500mm/min로 측정하였다.

2) 신장률(Elongation)

ASTM D 1056에 준하여 Universal Testing Machine을

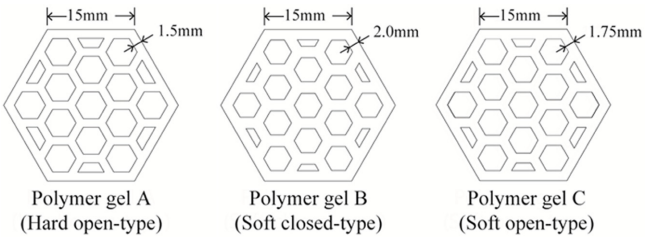


Fig. 1. Polymer gel design to test physical properties.

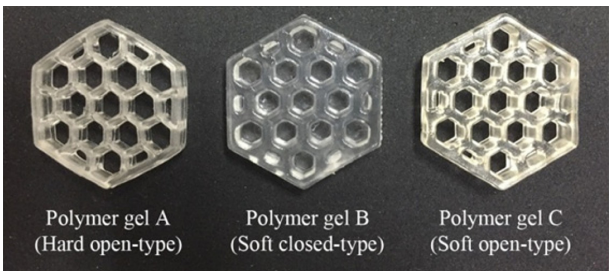


Fig. 2. Polymer gel developed to test physical properties.

Table 1. Properties of materials

No.	Type	Material	Thickness (mm)	Density (kg/m^3)
1	Foam	CR	4.74	112.1
2	Foam	CR	5.30	147.8
3	Foam	CR	5.30	160.0
4	Foam	EVA	5.30	40.0
5	Foam	EPEM	5.09	149.5
6	3D spacer fabric	Polyester	5.89	78.9
7	3D spacer fabric	Polyester	6.66	72.8
8	Polymer gel	TPS-SBS	4.91	379.7
9	Polymer gel	TPS-SBS	4.80	668.4
10	Polymer gel	TPS-SBS	4.64	533.9

사용하여 폼의 인장신도를 측정하였다. 아령형 시험편을 사용하여 인장속도 500mm/min로 측정하였으며, 신율계는 Video-Extensometer를 이용하여 사용하여, 초기거리와 파단 시 거리를 측정하여 신율을 측정하였다.

KS K 0352에 준하여 Universal Testing Machine을 사용하여 3D 스페이서 패브릭의 신장률을 측정하였다. 초하중 0.22N을 적용한 거리를 초기파지간격으로 하고, 1분당 파지간격의 100%의 인장속도로 하중 신장곡선을 구하여 하중 15N일 때의 신장률을 측정하였다.

3) 경도(Hardness)

ASTM D 2240에 준하여 시험편을 시험편 지지대에 올리고, 경도계에 1kg의 하중으로 가하여, 즉시 그 값을 기록하였다. 폼은 Type E 경도계를 사용하였고, 폴리머젤은 Type C 경도계를 사용하였다.

4) 흡수성(Absorptivity)

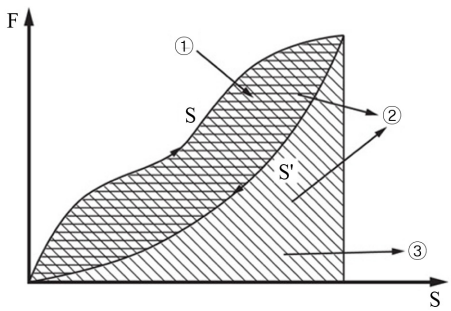
폼, 3D 스페이서 패브릭, 폴리머젤의 흡수성은 S M ISO 62에 준하여 70°C, 90% R.H.의 조건에서 24시간 방치 후 무게변화를 측정하여, 방치 전의 무게와 비교하여 백분율로 그 값을 표시하였다.

5) 충격흡수 성능

폼, 3D 스페이서 패브릭, 폴리머젤의 충격흡수 성능을 살펴보기 위해 자율안전 확인 안전기준의 롤러스포츠 보호장구에 대한 충격흡수 성능 시험방법(Korean Agency for Technology Standard [KATS], 2009)을 준용하였다. 5±0.05kg의 충격스트라이커가 10cm의 높이에서 3겹의 시편을 향해 낙하하여 약 25,000N의 하중이 가해질 때 시편을 통과한 충격량을 측정하여 최대 충격값을 구하였으며, 그 값이 작을수록 시편의 충격흡수력이 높은 것을 의미한다.

6) 압축에너지 특성

본 연구에서는 폼과 3D 스페이서 패브릭의 압축에너지 특성을 살펴보기 위해 KS M ISO 20865:2008(신발-겉창에 대한 시험방법-압축에너지) 표준을 준용하였다. Universal Testing Machine을 사용하여 시험을 진행하였으며, 직경 20cm의 원형 가압판이 시험편에 닿도록 하고, 10mm/min±2mm/min의 속도로 힘을 가해 9000N이 될 때까지 시험편을 압축하였다. 압축 후 하중을 해제하여 0N이 될 때까지의 시험편의 변형을 측정하여 하중/압축 곡선<Fig. 3>을 작성하였고 그에 따른 압축에너지 변화는



① Absorption energy (S-S'): Hysteresis, difference between S and S'
② Energy that corresponds to compression cycle of the material, expressed in Joules
③ Energy that corresponds to recovery cycle of the material, expressed in Joules

Fig. 3. Compression/load curve.

다음과 같은 <Eq. 1>로 계산되었다.

$$E = \int F \cdot ds \quad \text{..... Eq. 1.}$$

E : Compression energy
F : Load (N)
s : Deformation (mm)

III. 결과 및 고찰

1. 인장강도(Tensile strength)

인장강도는 '고발포 EVA 폼'이 가장 약하고, 'CR 폼 C'가 가장 강한 것으로 나타났다(Fig. 4).

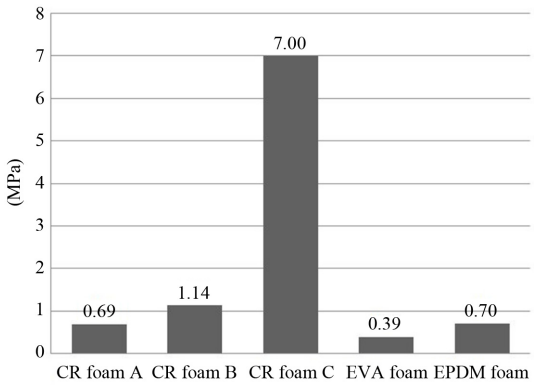


Fig. 4. Tensile strength of foam.

2. 신장률(Elongation)

유연성 측면을 살펴보기 위해 신장률을 살펴보았더니 폼 중에서는 'EPDM 폼'이 가장 높게 나타났고, 'CR 폼 A'가 가장 낮게 나타났다(Fig. 5). 3D 스페이서 패브릭의 신장률은 웨일방향은 'B'가 더 높았으며, 코스방향은 'A'가 더 높았다(Fig. 6)–(Fig. 7).

3. 경도(Hardness)

부드러운 정도를 살펴보기 위해 경도를 측정한 결과 폼 중에서는 'CR 폼 B'와 'EPDM 폼'이 경도 15로 가장 부드러운 것으로 확인되었고, '폴리머젤 A'에 비해 '폴리머젤 B'와 '폴리머젤 C'가 부드러운 것으로 나타

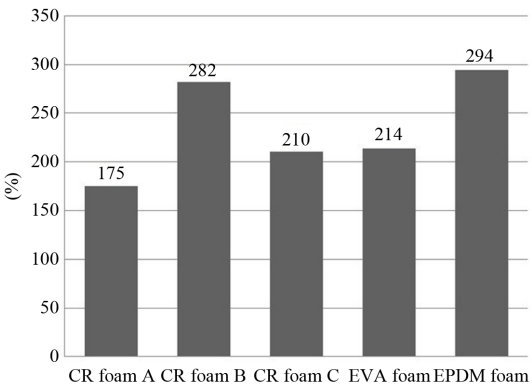


Fig. 5. Elongation of foam.

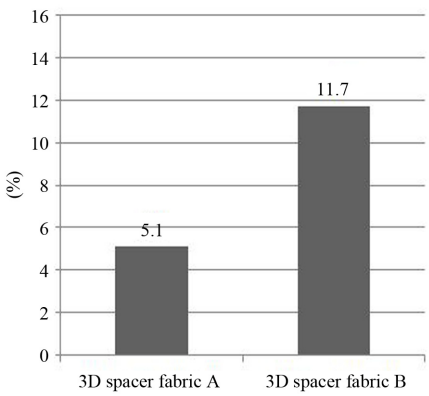


Fig. 6. Elongation of 3D spacer fabric (wale).

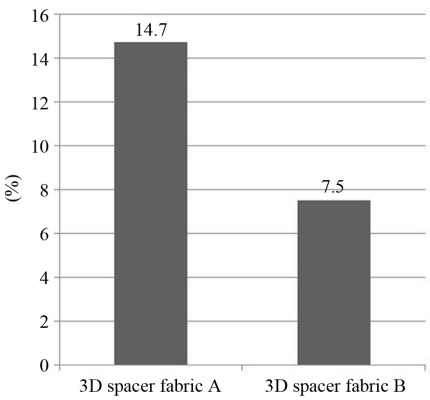


Fig. 7. Elongation of 3D spacer fabric (course).

났다(Fig. 8)–(Fig. 9).

4. 흡수성(Absorptivity)

의복의 쾌적성에 영향을 미칠 수 있는 흡수성 항목은 소재들 간에 거의 차이가 없었다. 흡수성은 'CR 폼 C'가 가장 높게 나왔으며, 'EPDM 폼'은 수분에 의해 휘발되는 특성이 있어서 음수값이 나왔다(Fig. 10).

5. 충격흡수 성능

폼의 종류에 따른 충격흡수 성능을 3회 반복 실험을 통해 살펴본 결과, 폼을 구성하는 폴리머의 종류나 폼의 가공에 따라 결과값이 크게 차이가 나타났다. 'CR 폼 C'를 통과한 최대 충격값이 6458N으로 충격흡수 성능이 가장 좋았으며, '고발포 EVA 폼'을 통과한 최대 충격값이 11090N으로 가장 성능이 좋지 않은 것으로 나타났다.

3D 스페이서 패브릭은 'A'를 통과한 최대 충격값이 6694N으로 'B'보다 충격흡수 성능이 좋은 것으로 나타났으나 폼 중에서 충격흡수 성능이 낮은 것들과 비슷한 성능을 보였다.

벌집 폴리머젤이 폼 종류나 3D 스페이서 패브릭에 비하여 충격흡수 성능이 우수한 것으로 나타났으며, 벌집 폴리머젤 가운데서도 한 쪽 면이 막힌 폐쇄형의 '폴리머젤 B'가 1830N의 최대값을 보여 우수한 충격흡수 성능을 보였고, 개방형 중에서는 막두께가 더 얇지만 하드한 재질의 '폴리머젤 A'가 부드러운 재질의 '폴리머젤 C'보다 충격흡수 성능이 우수한 것으로 나타났다(Table 2), (Fig. 11)–(Fig. 13).

6. 압축에너지 특성

소재의 압축에너지 특성을 살펴보기 위해 시험편을 압축 및 회복하여 그래프를 작성하고<Fig. 14>–<Fig. 16>, 압축 및 회복 시 그래프의 면적을 구하여 다음의 <Eq. 2>와 같이 에너지 흡수율(%) 값을 계산하였으며 결과는 <Table 3>과 같다. 에너지 흡수율 계산 시 하중 구간은 100~9000N으로 하였다.

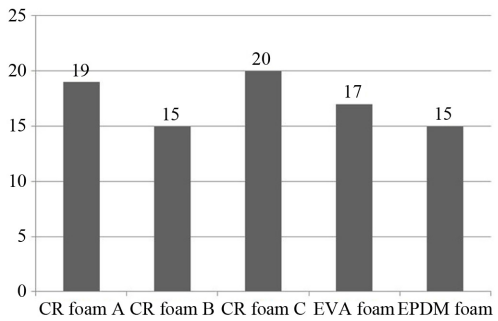


Fig. 8. Hardness of foam.

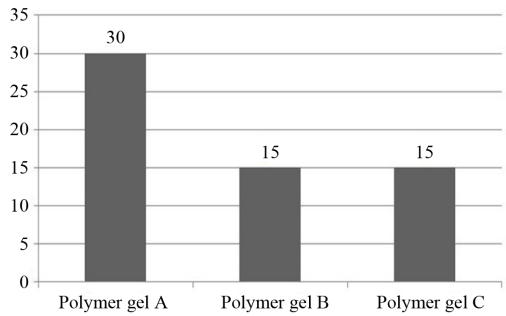


Fig. 9. Hardness of polymer gel.

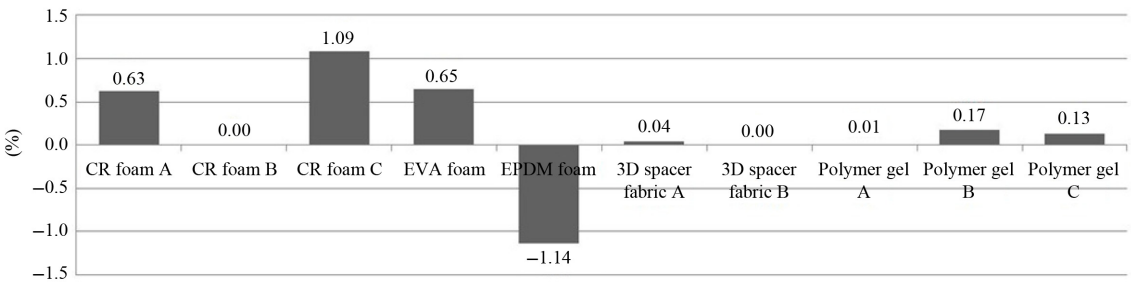


Fig. 10. Absorptivity of foam, 3D spacer fabric, and polymer gel.

Table 2. Impact absorption performance test

Category		Maximum impact value passing through specimen (N)			
		1st	2nd	3rd	Average
Foam	CR foam A	9,510	9,434	9,172	9,372
	CR foam B	7,883	8,097	7,887	7,956
	CR foam C	6,426	6,436	6,511	6,458
	High expansion EVA foam	11,205	10,938	11,127	11,090
	EPDM foam	6,441	6,599	7,042	6,694
3D spacer fabric	3D spacer fabric A	8,381	8,973	8,965	8,773
	3D spacer fabric B	10,177	10,682	10,395	10,418
Polymer gel	Polymer gel A (Hard open-type)	2,902	2,805	2,889	2,866
	Polymer gel B (Soft closed-type)	1,995	1,820	1,715	1,830
	Polymer gel C (Soft open-type)	4,574	4,501	4,468	4,514

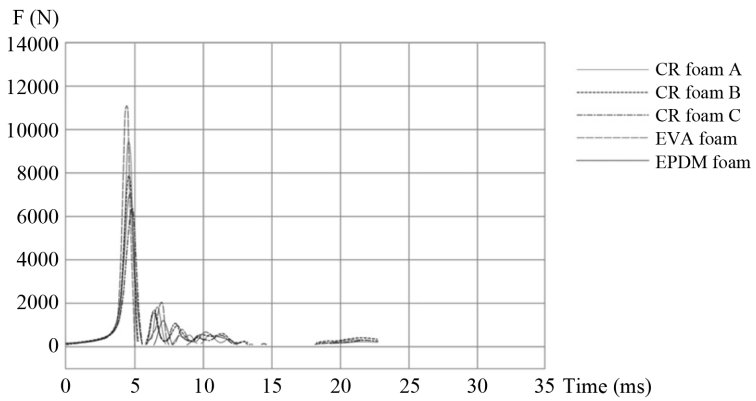


Fig. 11. Evaluation of impact absorption performance of foam.

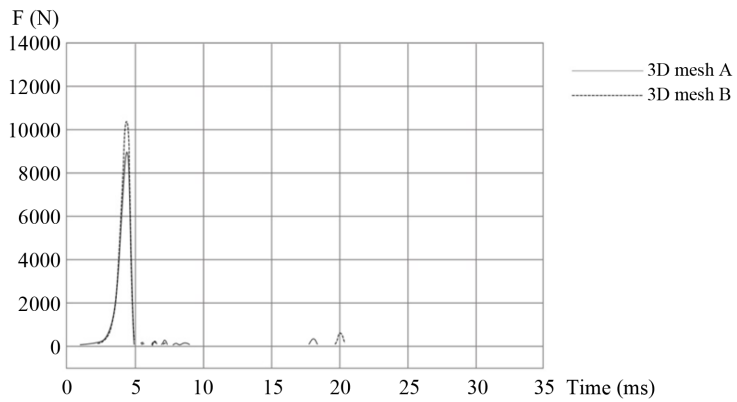


Fig. 12. Evaluation of impact absorption performance of 3D spacer fabric.

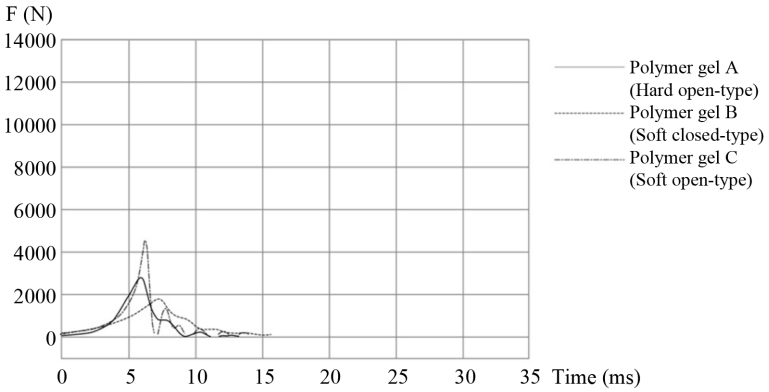


Fig. 13. Evaluation of impact absorption performance of polymer gel.

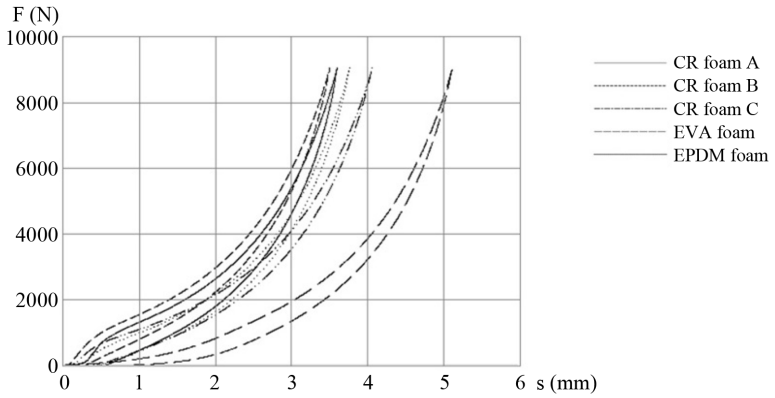


Fig. 14. Energy compression/recovery curve of foam.

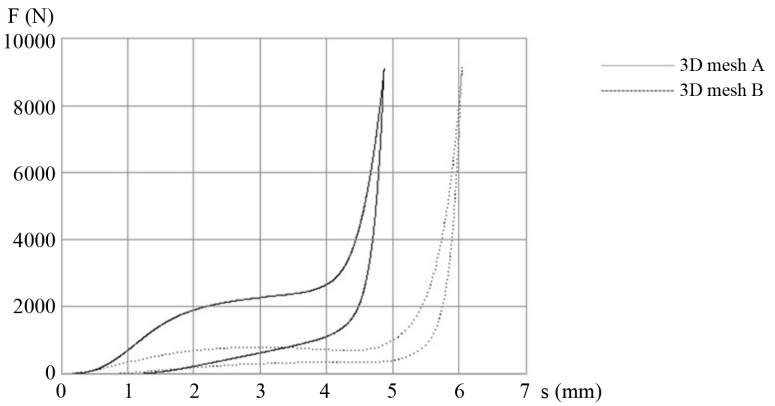


Fig. 15. Energy compression/recovery curve of 3D spacer fabric.

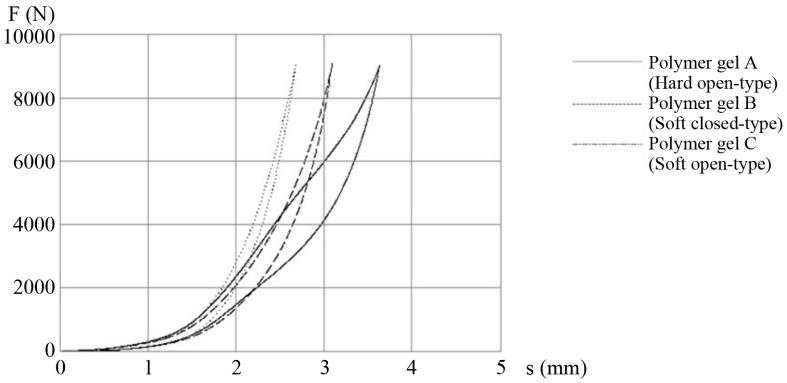


Fig. 16. Energy compression/recovery curve of polymer gel.

Table 3. Compression energy absorption rate

Category		Energy absorption rate (%)
Foam	CR foam A	24.1
	CR foam B	17.0
	CR foam C	20.7
	High expansion EVA foam	18.1
	EPDM foam	19.1
3D spacer fabric	3D spacer fabric A	63.5
	3D spacer fabric B	52.3
Polymer gel	Polymer gel A (Hard open-type)	28.3
	Polymer gel B (Soft closed-type)	18.6
	Polymer gel C (Soft open-type)	21.7

Energy absorption rate (%) = ····· Eq. 2.

$$\frac{\left(\begin{array}{c}\text{Area of compression graph}\\ -\text{Area of recovery graph}\end{array}\right)}{\text{Area of compression graph}} \times 100$$

압축에너지의 흡수율 측정결과, 폼 가운데서는 ‘CR 폼 A’가 24.1%로 가장 높은 에너지 흡수 능력을 가졌으며, EPDM이 가장 변형이 쉽게 일어나는 것으로 나타났다. 3D 스페이서 패브릭 소재의 압축에너지 흡수율은 50.0% 이상으로 높게 나왔지만, 에너지 압축/회복 곡선을 살펴볼 때 폼과 폴리머젤에서 점진적인 변형이 일어난 것과 다르게 메쉬는 2000N 정도의 힘에서 혹은 그 이하에서 급격한 변형이 일어나는 것으로 나타났다. 폴리머젤 가운데서는 개방형 하드 재질의 ‘폴리머젤 A’가 에너지 흡수율이 높았으며, 폐쇄형 소프트 재질의 ‘폴리머젤 B’가 낮은 것으로 나타났다. 또한 개방형의 하드한 재질인 ‘폴리머젤 A’는 다른 젤들에 비해 변형이 크고 복원이 잘 되지 않는 것으로 나타났다.

IV. 결론 및 요약

본 연구는 노인을 대상으로 한 낙상 충격보호복 개발을 위해 충격흡수 패드로 사용되기에 적합한 소재를 탐색, 선정하고자 폼 5종, 3D 스페이서 패브릭 2종, 폴리머젤 3종에 대하여 물성과 충격흡수 성능, 압축특성 평가를 실시하였다.

물성평가 결과, 3D 스페이서 패브릭이 다른 소재들에 비해 밀도가 낮았으며, 폴리머젤이 밀도가 가장 높은 것으로 나타났다. 신장률은 폼이 3D 스페이서 패브릭보다 높은 것으로 나타났으며, ‘EPDM 폼’이 가장 높은 신장

률을 보였다. 흡수성은 소재에 따른 차이가 거의 없는 것으로 확인되었다.

충격흡수 성능은 벌집 폴리머젤이 폼 종류나 3D 스페이서 패브릭에 비하여 우수한 것으로 나타났으며, 벌집 폴리머젤 가운데서도 한 쪽 면이 막힌 '폐쇄형'이 더 우수한 충격흡수 성능을 보였다. 폼의 종류에 따른 충격흡수 성능을 살펴본 결과, 폼을 구성하는 폴리머의 종류나 폼의 가공에 따라 측정치의 차이가 있었으며, 폼 종류 중에서는 'CR 폼 C'의 충격흡수 성능이 가장 좋게 나타났다. 3D 스페이서 패브릭 중에서는 '3D 스페이서 패브릭 A'가 충격흡수 성능이 좋은 것으로 나타났다.

소재의 압축에너지와 압축특성을 살펴보기 위해 시험편을 압축 및 회복시켜 하중/변형 곡선 그래프를 작성하여 에너지 흡수율을 구한 결과, 폼과 폴리머젤 중에서는 'CR 폼 A'가 24.1%로 가장 압축에너지를 많이 흡수하는 것으로 나타났으며, 3D 스페이서 패브릭 2종에 대한 실험결과, 2종 모두 에너지 흡수율은 50.0% 이상으로 높게 나왔지만 에너지 압축/회복 곡선을 살펴볼 때 폼과 폴리머젤에서 점진적인 변형이 일어난 것과 다르게 3D 스페이서 패브릭은 급격한 변형이 일어나는 것으로 확인되었다.

소재의 특성을 살펴본 결과, 폼 가운데서는 가장 충격흡수 성능이 좋은 'CR 폼 C'가 보호패드의 소재로 사용가능할 것으로 생각되며, 폴리머젤 가운데서는 폐쇄형에 비하여 상대적으로 충격보호 성능은 좋지 않지만 인체에 느껴지는 무게감과 착용감을 고려할 때 비교적 가볍고 부드러운 개방형 '폴리머젤 C'가 보호패드의 소재로 적합할 것으로 여겨진다. 하지만 본 연구에서는 소재 자체의 특성만 평가하였으므로, 패드로 가공되었을 때 변화된 조건에서의 소재특성에 대하여 연구된다면 더욱 유용할 것으로 생각된다.

References

Choi, H. S., & Do, W. H. (2005). Development and wearing comfort analysis of motorcycle wear with built-in airbag. *Journal of the Korean Home Economics Association, 43*(6), 27–35.

Choi, J. W., & Kim, M. J. (2011). *Clothing and health*. Paju: Kyomunsa.

Dellinger, A. M., & Stevens, J. A. (2006). The injury problem among older adults: Mortality, morbidity and costs. *Journal of Safety Research, 37*(5), 519–522. doi:10.1016/j.jsr.2006.10.001

Hur, J. Y. (2007). *Knowledge and attitude toward falls among elderly inpatients.* Unpublished master's thesis, Yonsei University, Seoul.

Kim, S. H. (2009). *Study on fall detection and fracture prevention system.* Unpublished doctoral dissetation, Chonbuk National University, Jeonju.

Kim, S. H., Kim, Y. Y., Kwon, T. K., Kim, D. W., & Kim, N. G. (2007). Dynamic characterization of fall for development of fracture prevention system. *Journal of Biomedical Engineering Research, 28*(6), 811–816.

Korean Agency for Technology Standards. (2009). Protector For Roller Sports Users (2009-978). *KSTS*. Retrieved September 9, 2013, from http://www.kats.go.kr/content.do?cmsid=50

Laing, A. C., & Robinovitch, S. N. (2008). Effect of soft shell hip protectors on pressure distribution to the hip during sideways falls. *Osteoporosis International, 19*(7), 1067–1075. doi:10.1007/s00198-008-0571-9

Lee, E. J., & Kim, C. G. (2003). A survey of fractures and factors associated with falls in elderly patients. *Journal of Korean Gerontological Nursing, 5*(2), 182–192.

Lee, J. S., Park, J. H., & Lee, J. R. (2014). Basic study on the development of impact protective pants and falls of elderly women. *Fashion & Textile Research Journal, 16*(6), 945–953. doi:10.5805/SFTI.2014.16.6.945

Lee, Y. D. (1994). Plastic foam의 가공 및 응용 [Finishing and applicaton of plastic foam]. *플라스틱 실용화기술 FORUM, 1*(0), 129–152.

Lee, Y. S. (2009). *A study on the development of the protective inner-pants for snow boarders.* Unpublished mater's thesis, Ewha Womans University, Seoul.

Minns, R. J., Marsh, A. M., Chuck, A., & Todd, J. (2007). Are hip protectors correctly positioned in use? *Age and Ageing, 36*(2), 140–144. doi:10.1093/ageing/afl186

Park, J. H., Lee, J. S., & Lee, J. R. (2014). 낙상충격 프로텍트 패드 설계 [Design of fall impact protect pad]. *Proceedings of the Korean Society of Costume, Fall Conference, Korea*, 251–252.

Park, M. J., & Lee, M. S. (2003). 운동선수의 상해방지와 경기력 향상을 위한 충격보호기능 스포츠웨어 개발 [Impact protective functioned sports-wear development for athlete's protection and improvement in performance]. *Fiber Technology and Industry, 7*(4), 471–480.

van Schoor, N. M., van der Veen, A. J., Schaap, L. A., Smit, T. H., & Lips, P. (2006). Biomechanical comparison of hard and soft hip protectors, and the influence of soft tissue. *Bone, 39*(2), 401–407. doi:10.1016/j.bone.2006.01.156

Watkins, S. M. (1998). *의복과 환경* (개정판) [Clothing: The portable environment (1st ed.)] (H. S. Choi, Trans.). Seoul:

Ewha Womans Unuversity Press. (Original work published 1995)

Yip, J., & Ng, S. P. (2008). Study of three-dimensional spacer fabrics: Physical and mechanical properties. *Journal of Materials Processing Technology, 206*(1–3), 359–364. doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.12.073