

## 반복압축이 스포츠화용 발포체의 피로특성에 미치는 영향

박 차 철

동서대학교 응용생명공학부

(2005년 9월 8일 접수, 2005년 10월 31일 수정 및 채택)

### The Effect of Repetitive Compression on the Fatigue Properties of Foam for Footwear Mid-sole

Chacheol Park

Department of Footwear Engineering, Donesoo University,  
san69-1, churey-dong, sasang-gu, Pusan, 617-716, Korea

(Received September 8, 2005, Revised & Accepted October 31, 2005)

**요 약 :** 스포츠화 중창용으로 사용되는 세가지 종류의 발포체인 PU, IP 및 PH의 경도가 피로특성에 미치는 영향을 검토하였다. 세 가지 종류의 발포체를 50 rpm으로 50,000번 반복 압축하였으며, 발포체의 셀은 반복압축에 따라 형태가 변형되었다. 셀 변형의 정도는 IP의 경우가 PH나 PU 보다 큰 것으로 나타났다. 반복압축에 의해 발포체에서 영구변형이 나타났으며, IP가 PH나 PU 보다 크게 나타났다. 반복압축에 따라 세 가지 종류의 발포체의 최대압축력은 감소하는 경향을 나타내었으며, IP의 경우 가장 현저한 감소를 나타내었다. 세 가지 종류의 발포체는 경도가 증가함에 따라 최대압축력의 저하가 더욱 큰 것으로 나타났다.

**ABSTRACT :** To study the fatigue properties of three type of foams for footwear midsole, polyurethane(PU), phylon(PH) and injection phylon(IP) foams were prepared with different hardnesses. Three types of foams were repetitively compressed for 50,000 cycles at 50 rpm. Cell shapes of foams were deformed with repetitive compression. The extent of cell deformation of IP was larger than those of PH and PU. Permanent strain of foam was made by repetitively compressing the foam, and the extent of IP was larger than those of PU and PH. Maximum compression forces of three types of the foams were decreased with the repetitive compression, and IP had the largest decrease in compression load of foam with compression. Decreases in maximum compression force of three types of foams were increased with increase of the hardness of foam.

*Keywords :* foam, compression, strain, midsole, footwear.

### I. 서 론

달리기 등의 일정한 동작을 반복하는 경우, 동작에 필요한 전체에너지는 인체에너지와 스포츠화의 반발력 및 지면 반력의 합으로 나타나며, 일정한 값을 갖게 된다. 그리고 동작에 필요한 인체에너지

는 스포츠화의 반발력 및 지면 반력에 의존하게 된다. 동일한 동작을 반복하는 경우 동작 피로도 감소, 즉 인체가 소모해야하는 에너지를 최소로 하기 위하여서는 지면반력을 크게 하던지 스포츠화의 반발력을 크게 하는 것이 요구된다.<sup>1,2</sup> 체육관과 같이 지면이 일정한 조건인 경우 동작에 따른 인체소모에너지를 최소화하기 위하여서는 스포츠화의 반발력을 최대한으로 높이는 것이 유리하지만, 일반

† 대표저자(e-mail : ccpark@dongseo.ac.kr)

적인 경우 스포츠화의 반발력이 높으면 인체에 미치는 충격력이 크게 되어 운동자의 신체 상해의 염려가 있다.<sup>3,5</sup>

스포츠화에 있어서 반발력과 충격력에 크게 영향을 미치는 스포츠화의 부품은 중창이다. 스포츠화의 중창은 고분자 재료를 발포 및 성형하여 제조하며, 중창의 반발력이나 충격력은 중창용 고분자 발포체의 압축 및 반발특성 등에 의존하게 된다. 스포츠화 중창으로는 phylon(PH), injection phylon(IP) 및 polyurethane(PU) 발포체가 많이 사용되어지고 있다. PH와 IP의 경우 poly(ethylene-co-vinylacetate)(EVA)수지를 가교 발포시켜 성형하며, PU는 지방족 폴리올과 이소시아네이트의 중부가 반응으로 발포 및 성형하여 중창을 제조한다.<sup>6,7</sup>

고분자 발포체의 점탄성적 거동은 재료의 특성, 재료에 가해지는 응력의 속도 및 온도의 함수로 나타난다. 측정 온도가 증가하면 고분자재료를 구성하고 있는 분자쇄의 운동성이 증가하게 되고 따라서 탄성적 거동보다는 점성적 특성을 많이 나타내게 된다. 통상적으로 스포츠화에 사용되는 재료는 사용온도 범위에서 고무특성을 나타내어야 소정의 기능을 발휘할 수 있다. 고분자 재료의 유리전이 온도가 사용 환경에 해당하는 온도보다 높은 경우, 분자쇄의 운동성이 제한되어 고분자 발포체로서의 높은 충격흡수나 반발탄성 등과 같은 고유한 특성을 지닐 수 없게 된다.<sup>8,11</sup>

일반적으로 발포체는 반복압축횟수가 증가함에 따라 압축력, 충격흡수력, 반발탄성 등의 특성이 저하되며, 이들 특성이 저하되는 정도는 재료의 종류, 화학구조 등에 의존하게 된다. 특히 스포츠화는 사용 중 다수의 반복 압축을 수반하며 따라서 신발재료로 사용되는 발포체의 반복압축에 대한 내피로 특성이 매우 중요하다.

그러나 반복 압축에 따른 스포츠화 중창용 발포체의 피로특성에 미치는 영향에 대한 연구는 거의 보고 되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 스포츠화용 중창으로 사용되는 발포체의 종류 및 경도에 따른 내압축피로 특성을 고찰하기 위하여 발포체에 반복압축을 가하여 압축력, 회복력, 충격력 및 반발탄성 등을 측정하였다.

**Table 1. Compression Set and Specific Gravity of Foams**

| Hardness (Shore C) | 45               |                  | 52 |      | 59 |      | 66 |      |
|--------------------|------------------|------------------|----|------|----|------|----|------|
|                    | Cs <sup>1)</sup> | Sp <sup>2)</sup> | Cs | Sp   | Cs | Sp   | Cs | Sp   |
| PU                 | 15               | 0.36             | 15 | 0.37 | 16 | 0.38 | 17 | 0.38 |
| IP                 | 72               | 0.21             | 72 | 0.21 | 73 | 0.22 | 68 | 0.22 |
| PH                 | 70               | 0.16             | 68 | 0.17 | 68 | 0.19 | 67 | 0.20 |

1) Cs : compression set (%) at 50°C for 6 hrs.

2) Sp : specific gravity at 25°C.

## II. 실험

### 1. 발포체 제조

폴리우레탄(PU) 발포체는 성형을 위한 몰드 내에 첨가제를 부가한 폴리올(국내 동성화학 MR-8320)과 이소시아네이트(국내 동성화학 MP-3200)를 혼합하여 몰드에 투입하고 성형하여 발포체를 제조하였다. 발포체의 경도는 이소시아네이트의 함량을 조절하여 발포체의 경도(Asker C type)를 조정하였다.

파이론(PH) 발포체는 비닐아세테이트의 함량이 22 mol%, 용융지수가 2.0인 EVA를 사용하여 충전제, 발포조제 그리고 기타 첨가제를 사용하여 1차 발포체를 제조하였다. 표면층을 제거한 1차 발포체를 일정 크기로 재단 한 후 145°C의 가열 프레스에서 8분간 성형하고 냉각프레스로 냉각한 후 파이론 시편을 제조하였다.

사출파이론(IP) 발포체는 비닐아세테이트의 함량이 28 mol%, 용융지수가 3.0인 EVA수지를 사용하여 충전제 및 발포조제 및 기타 첨가제를 첨가하여 100°C에서 30 rpm으로 10분간 혼련하고, 표면온도가 80°C인 롤 밀에서 가교제와 발포제를 혼합 분산시킨 후 급형 내에 사출하여 시편으로 제조하였다. 가교제의 함량으로 발포체의 경도를 조절하였다. PU, IP 및 PH 발포체는 경도 45±2, 52±2, 59±2 및 66±2로 제조하였으며, 제조된 각 발포체의 영구압축 줄음을 및 비중은 Table 1과 같다.

### 2. 반복압축

반복압축은 표준상태(온도 23±2°C, 상대습도 65±

2%)에서 자체 제작한 반복압축기를 사용하여 일정 압축률을 유지하면서 5만회 반복 압축하였다. 반복 압축기를 시편 두께의 30% 혹은 50% 가 압축되도록 플레이트 간격을 조절하고 반복 압축속도 50 rpm으로 5만회 까지 반복 압축하였다. 일정횟수 반복압축 후 10분간 상온에서 방치하여 회복시킨 후 만능인장시험기로 압축특성을 측정하였다. 스포츠화의 경우 일반적으로 20-30% 압축이 되며 최대 50% 정도 압축 때문에 본 연구에서는 압축률을 50%로 하였다.<sup>7</sup>

3. 특성 측정

발포체를 온도 23±2℃, 상대습도 50%로 유지되는 항온항습기에 12시간 이상 보관하여 시편을 안정화시킨 후 특성을 측정하였다. 연구압축줄음률은 시편을 50℃에서 6시간 방치 후 실온 중에서 방치하여 측정하였다. 발포체의 압축-회복 특성은 만능인장시험기(Instron사 4466)로 지름 28.8 mm, 높이 20 mm 원기둥형 시편에 대해 5 mm/min 속도로 50%

압축률 범위에서 시편의 압축 및 회복 응력-변형을 곡선을 구하였다. 발포체의 최대압축력은 압축률 50%에서의 압축력을 측정하였다. 반복압축에 따른 영구변형은 일정 횟수 반복압축 후 실온에서 1시간 방치한 후 시편의 높이와 처음 시편의 높이차이로부터 구하였다. 발포체의 점탄성적 특성은 DMTA(TA사, DMA2980)를 사용하여 -50℃~120℃ 온도영역에서 주파수 1 Hz, 승온속도 2℃/min로 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 발포체의 형태적 특성

경도 52로 제조된 PU, IP 및 PH 발포체의 전자현미경 사진을 Figure 1에 나타내었다. 전반적으로 안정되고 균일한 셀을 지니고 있으며, PU 발포체의 경우 PH 및 IP에 비하여 원형의 셀 형태를 지니고 있다. 그리고 PH 발포체가 IP 발포체보다 미세하고 균일한 셀로 형성된 것으로 나타났다. Figure

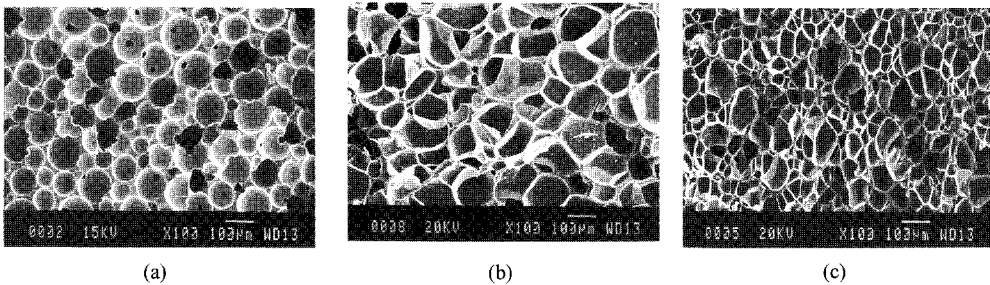


Figure 1. Scanning electron micrographs of PU(a), IP(b) and PH(c) foams with 52 hardness.

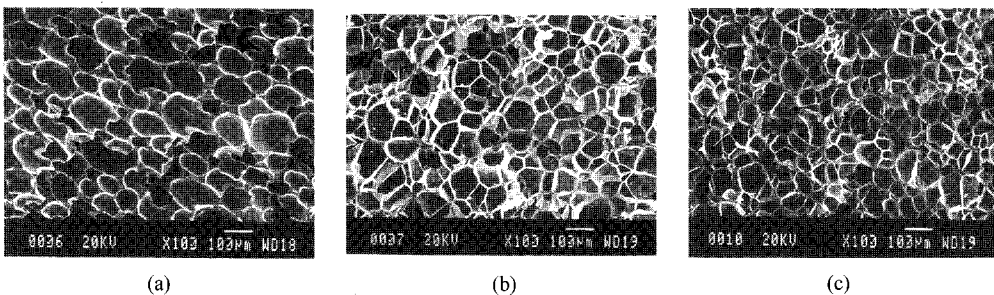


Figure 2. Scanning electron micrographs of PU(a), IP(b) and PH(c) foam(hardness 52) repetitively compressed for 50,000 cycles.

2에 5만회 반복 압축한 PU, IP 및 PH 발포체의 전자현미경 사진을 나타내었다. 반복 압축 후에는 전체적으로 셀의 형태가 찌그러져 있는 것으로 나타났다. PU 발포체의 경우 셀의 형태가 타원 형태로 변형되어 있는 것을 관찰할 수 있었으며, IP 및 PH의 경우 셀이 압축되어 크기가 감소한 것을 관찰할 수 있었다. 발포체의 반복압축에 따른 셀 크기는 IP가 PH의 경우보다 더 현저히 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 반복압축에 따른 물성의 저하 정도가 IP의 경우가 가장 클 것으로 예상된다.

2. 압축률이 발포체의 반복압축 특성에 미치는 영향

일반적으로 스포츠화에 사용되는 발포체의 경우 20~30% 미만의 압축률로 압축되는 것으로 알려져 있다. 경도 52인 IP 및 PU 발포체를 30% 및 50% 압축률로 일정횟수 반복 압축한 경우 반복 압축이 발포체의 최대압축력에 미치는 영향을 Figure 3에 나타내었다. 전반적으로 반복압축에 따라 발포체의 최대 압축력이 감소하는 경향을 나타내었으나, PU의 경우가 IP에 비하여 보다 감소하는 정도가 낮은 것으로 나타났다. 이러한 현상은 PU가 IP

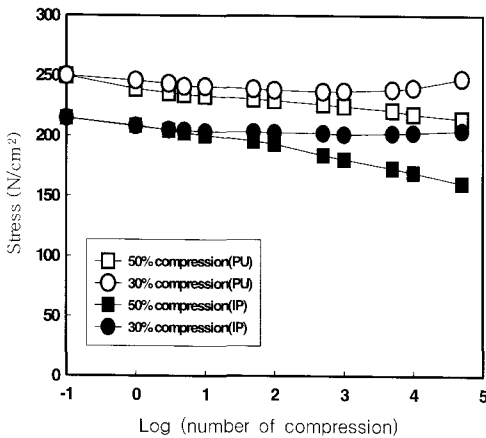


Figure 3. The Effect of repetitive compression on the maximum compressive stress of PU and IP foams (hardness 52) repetitively compressed with 30% and 50%, respectively.

에 비하여 탄성회복특성이 우수하기 때문으로 이해된다. 그리고 정압축률 반복압축에 따른 발포체의 최대압축력의 감소는 압축률 30% 경우에 비하여 50%인 경우가 더욱 현저한 것으로 나타났다. PU의 경우 반복압축을 행하기 전의 최대압축력은 약 216 N 정도였으나 반복압축률 30%로 5만회 반복 압축한 경우 최대 압축력은 약 206 N으로 반복

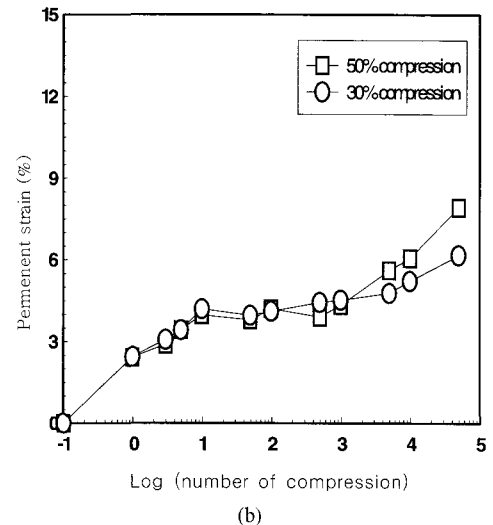
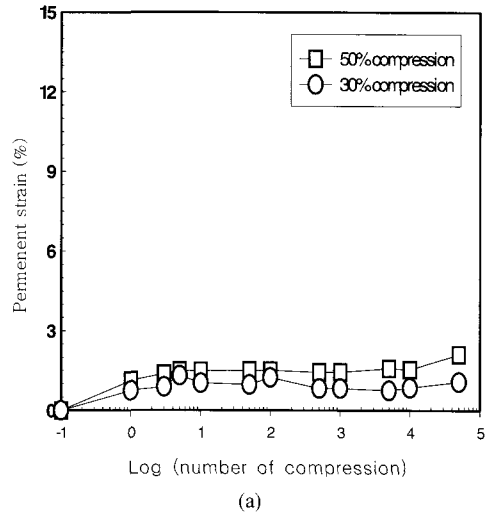


Figure 4. The Effect of repetitive compression on the permanent strain of PU(a) and IP(b) foams (hardness 52) repetitively compressed with 30% and 50%, respectively.

압축에 따른 최대 압축력의 저하는 미소한 것으로 나타났다. 그러나 반복압축률 50%로 5만회 반복 압축한 경우 최대압축력이 약 167 N으로 반복압축에 따른 최대 압축력이 현저하게 저하되었다. 이러한 현상은 스포츠화에 사용되는 PU 및 IP 발포체의 경우 압축률 30%에서는 반복압축에 따른 발포체 내피로성이 우수하지만, 압축률 50%에서는 내피로성이 낮은 것을 알 수 있다. 따라서 실험에 사용된 발포체의 경우 반복압축에 내피로성을 유지하기 위하여서는 사용 중 압축률이 30%를 초과하지 않도록 제품을 설계하는 것이 권장된다.

Figure 4에 30% 및 50%의 일정 압축률로 반복 압축한 PU 및 IP 발포체의 반복압축에 따른 발포체의 영구변형을 나타내었다. 전반적으로 PU 발포체의 경우 반복 압축에 따른 영구변형은 크게 증가하지 않았으나 IP의 경우 10회 반복 압축시 영구변형이 약 5%정도로 나타났으며, 약 1000회 반복압축까지는 압축률에 무관하게 거의 유사한 경향을 나타내었다. 그러나 반복 압축 횟수 5000회 이상에서는 50%압축률로 반복 압축한 경우는 영구변형이 약 8%로 30% 압축률의 경우의 약 6%보다 높게 나타났다. 반복압축에 따른 PU의 영구변형이 IP 보다 낮은 현상은 PU가 IP에 비하여 탄성 회복특성이 우수하기 때문으로 이해된다.

4. 경도가 발포체의 반복압축특성에 미치는 영향

신발미드솔로 사용되는 PH, PU, IP 발포체의 반복압축에 대한 경도의 영향을 확인하기 위하여 각 조건의 발포체를 50%의 정압축률로 5만회까지 반복압축한 후 발포체의 압축특성을 측정하였다. PU 및 IP 발포체의 경도 및 반복압축이 발포체의 압축력의 변화에 미치는 영향을 Figure 5에 나타내었다. 경도 45인 발포체의 압축력은 PU 및 IP의 경우 유사한 약 196 N 정도를 나타내었으나, 경도 66인 발포체의 압축력은 PU의 경우 약 353 N으로 IP의 297 N 보다 높은 압축력을 나타내었다. 전반적으로 발포체를 반복압축함에 따라 발포체의 압축력이 감소하는 경향을 나타내었으나 PU 발포체의 경우 그 감소의 정도는 IP 발포체 보다 크지 않은 것으로 나타났다. 이러한 현상은 앞절에서 언

급한 바와 같이 PU가 IP에 비하여 변형에 대한 탄성회복이 우수하기 때문으로 이해된다. 그리고 발포체의 경도가 증가함에 따라 반복압축에 따른 발포체의 압축력의 감소 정도가 증가하는 현상을 나타내었다. 이러한 현상은 재료의 경도 증가에 따라 재료의 강성이 증가하여 일정변형률로 압축한 후 하중을 제거하여도 완전히 회복되지 않는 영구 변형이 증가에 기인하는 것으로 이해할 수 있다.

경도 52로 제조된 PU, IP 및 PH 발포체의 종류 및 반복압축이 발포체의 압축력의 변화에 미치는

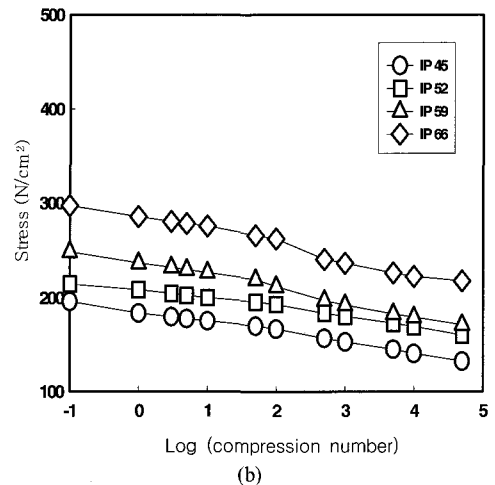
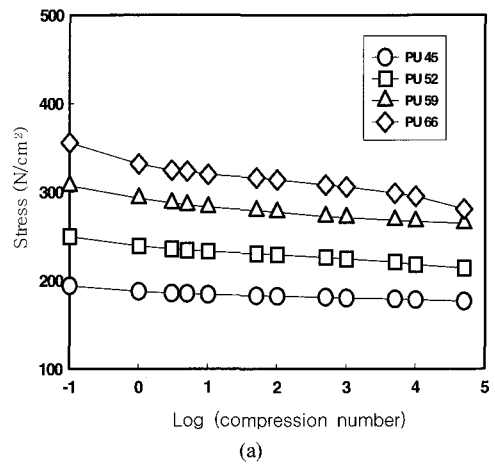


Figure 5. The Effect of hardness on the maximum compressive stress of PU(a) and IP(b) foams repetitively compressed with 50% strain.

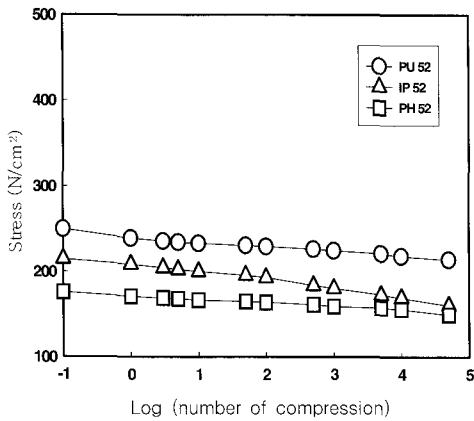


Figure 6. The Effect of types of foams on the maximum compressive stress of foams repetitively compressed with 50% strain.

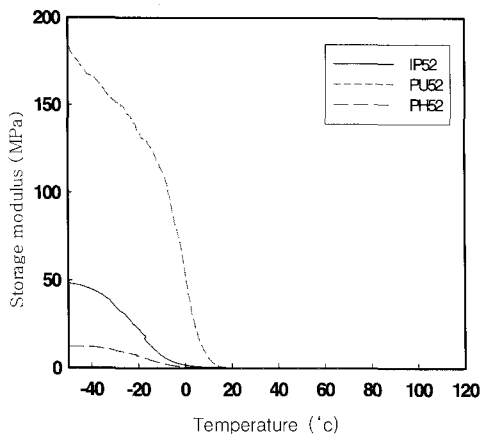


Figure 7. The storage modulus versus temperature of three types of foams(hardness 52).

영향을 Figure 6에 나타내었다. 경도가 52로 동일한 발포체의 경우 PU가 가장 높은 압축력을 나타내었으며, 압축력은 PH < IP < PU의 순서로 나타났다. 이러한 순서는 Figure 7에 나타난 발포체를 1Hz의 주파수로 압축모드에서 측정된 저장탄성률(G')의 값도 PH < IP < PU의 순서로 나타났다. 이러한 현상으로 부터 발포체의 저장탄성율이 클수록 발포체의 최대압축력도 큰 것으로 나타났다. 그리고 발포체의 저장탄성율이나 최대압축력이 큰 순서는 발포체의 밀도가 큰 순서와 일치하며, 따라

서 발포체 셀 벽면의 두께가 발포체의 최대압축력에 일정부분 기여를 하는 것으로 이해된다. PU와 PH의 경우 발포체의 반복압축에 따른 압축력의 감소가 적은 것으로 나타났으나 IP의 경우 PU나 PH보다 현저한 감소를 나타내었다. IP 발포체의 경우 반복압축 하기전의 압축력은 PH보다 높은 값을 나타내었으나, 5만회 반복압축 후에는 PH와 유사한 압축력을 나타내었다. 화학적으로 PH와 유사한 구조를 지니는 IP가 반복압축에 따라 PH보다 현저하게 압축력이 감소하는 현상은 두 가지 발포체의 가공공정의 차이에 기인하는 것으로 이해할 수 있다. IP의 경우 발포체를 사출공정으로 1단계로 발포체를 성형하지만, PH의 경우 시트상태로 먼저 발포한 후 일정한 형태로 가열압착하여 2단계로 성형하기 때문에 발포체 셀의 안정성이 보다 우수한 것으로 이해할 수 있다. 그리고 PU의 경우 Figure 4에서 나타난 바와 같이 반복압축에 따른 변형이 적기 때문에 압축력의 감소가 적은 현상은 발포체의 셀을 형성하고 있는 고분자물질이 우레탄결합을 이루고 있어 변형에 대한 회복능력이 우수하기 때문으로 이해할 수 있다.

#### IV. 결 론

스포츠화에 사용되는 PU, IP 및 PH 발포체를 경도 45에서 66으로 제조하여 각 발포체의 조건이 반복압축에 미치는 영향을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 발포체가 반복 압축됨에 따라 발포체의 셀 형태가 일부 변형되는 것으로 나타났으며, IP의 경우가 변형이 가장 현저한 것으로 나타났다. 반복압축회수가 증가함에 따라 발포체의 압축력은 감소하는 경향을 나타내었으며, IP의 경우가 가장 현저한 감소를 나타내었다. 발포체의 경도가 증가함에 따라 반복압축에 따른 압축특성의 저하속도가 더욱 큰 것으로 나타났다. 세 가지 종류의 발포체 중 IP 발포체가 반복압축에 따른 압축 특성저하 속도가 가장 큰 것으로 나타났다.

## 감사의 말씀

본 연구는 신발기초기술개발사업과 동서대 연구비지원결과의 일부입니다.

## 참고문헌

1. G. Andreason and L. Peterson, "Effect of shoe and surface characteristics on lower limb injuries in sports", *Journal of Sports Biomechanics*, **2**(3), 202 (1986).
2. E.M. Hennig, and T.L. Milani, "In-shoes pressure distribution for running in various types of footwear", *Journal of Applied Biomechanics*, **11**, 299 (1995).
3. 곽창수, "운동화 중저의 경도가 주행시 발바닥의 압력분포와 충격흡수에 미치는 영향", 서울대학교 대학원 박사학위논문, pp.25-42 (1993).
4. 김태형, "에어로빅스 하이키시 운동화 중저의 경도에 따른 지면반력의 변화 및 발의 안정성에 관한 연구", 서울대학교 대학원 석사학위논문, pp.7-17 (1996).
5. 오준석, "운동화의 기능학적 특성에 관한 연구", 연세대학교대학원 석사학위논문, pp.9-16 (1984).
6. C. C. Park, "Impact and Rebounding Properties of Shoes Midsole with Temperature", *Elastomer*, **39**, 274 (2004).
7. C. C. Park, "The Effects of Hardness on the Compression-Rebounding Properties of Shoes Midsole", *Elastomer*, **39**, 186 (2004).
8. N. C. Hilyard, "Mechanics of Cellular Plastics", Macmillan Publishing Co., Chap. 1, New York (1982).
9. N. C. Hilyard and A. Cunningham, "Low Density Cellular Plastics", Chapman & Hall Co., Chap 1, New York (1994).
10. N. C. Hilyard. "Mechanics of Cellular Plastics", Macmillan Publishing Co., Chap. 2, New York (1982).
11. L. J. Gibson and M. F. Ashby, "Cellular Solids", Oxford, New York (1988).