

## 온도변화에 따른 신발 중창용 발포체의 충격 및 반발특성

박 차 철

동서대학교 응용생명공학부 신발공학과

(2004년 6월 29일 접수, 2004년 8월 24일 수정, 2004년 8월 31일 채택)

### Impact and Rebounding Properties of Shoe Midsole with Temperature

Chacheol Park

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

(Received June 29, 2004, Revised August 24, 2004, Accepted August 31, 2004)

**요약** : 신발중창용으로 사용되는 IP, PH 그리고 PU 발포체의 경도가 온도변화에 따른 발포체의 저장탄성율( $G'$ ), 충격력, 반발탄성율 등에 미치는 영향을 고찰하였다. 측정 온도가 감소함에 따라 PU 발포체의 저장탄성율은 현저히 증가하였으나, PH 및 IP 발포체의 경우 측정 온도에 따른 영향을 크게 받지 않는 것으로 나타났다. 20℃ 이하의 온도에서는 측정 온도가 감소함에 따라 PU 발포체의 충격력은 증가하는 현상을 나타내었으나 PH와 IP 발포체의 충격력은 온도에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 20℃ 이상의 온도에서 PH와 IP 발포체의 충격력은 현저하게 증가하였으나, PU 발포체의 경우는 큰 변화가 없었다. -20℃에서 40℃까지의 온도 영역에서는 PU 발포체의 반발탄성율이 PH와 IP의 경우 보다 낮게 나타났다.

**ABSTRACT** : Storage modulus( $G'$ ), Impact and rebounding properties of polyurethane(PU), phylon(PH) and injection phylon(IP) foams were studied. The storage modulus of PU foam was dramatically increased with decreasing temperature. But the storage modulus( $G'$ ) of IP and PH foams were not affected by temperature. The Impact force of PU foams was increased with decreasing temperature. But in the cases of IP and PH foams, the impact forces were not changed with temperature below 20℃. Impact forces of IP and PH foams were increased with the temperature above 20℃, but that of PU foam was not changed. Rebounding resilience of PU foam was lower than those of IP and PH foams from -20℃ to 40℃.

**Keywords** : foam, impact, rebounding, midsole, shoes.

### I. 서론

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

동작에 필요한 인체에너지는 신발의 반발력 및 지면 반력에 의존하게 된다. 동일한 동작을 반복하는 경우 동작 피로도 감소 즉, 인체가 소모해야하는 에너지를 최소로 하기 위하여서는 지면반력을 크게 하던지 신발의 반발력을 크게 하는 것이 요구된다.<sup>1~3</sup> 체육관과 같이 지면이 일정한 조건인 경우 동작에 따른 인체소모에너지를 최소화하기 위하여서는 신발의 반발력을 최대한으로 높이는 것이 유

<sup>†</sup> 대표저자(e-mail : ccpark@dongseo.ac.kr)

리하지만, 일반적인 경우 신발의 반발력이 높으면 인체에 미치는 충격력이 크게 되어 운동자의 신체 상해의 염려가 있다.

신발에 있어서 반발력과 충격력에 크게 영향을 미치는 신발의 부품은 중창이며, 신발의 중창은 고분자 발포를 성형하여 제조한다. 중창의 반발력이나 충격력은 중창용 고분자 발포체의 특성에 의존하게 된다. 고분자 재료의 점탄성적 거동에서 탄성적 거동은 재료의 반발탄성력에 점성적 거동은 재료의 충격흡수에 관여하게 된다. 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 신발에 사용되는 재료는 사용온도 범위에서 고무특성을 나타내어야 소정의 기능을 발휘할 수 있다. 고분자 재료의 유리전이 온도가 사용 환경에 해당하는 온도 보다 높은 경우, 분자쇄의 운동성이 제한되어 고분자 발포체로서의 높은 충격흡수나 반발탄성 등과 같은 고유한 특성을 지닐 수 없게 된다.<sup>4-7</sup>

신발 중창용 재료로서는 phylon(PH), injection phylon(IP) 및 polyurethane(PU) 발포체가 많이 사용되어지고 있다. PH와 IP의 경우 poly(ethynene-co-vinylactate)(EVA)수지를 가교 발포시켜 성형한다. PU는 지방족 에스테르계열의 폴리올과 디이소시아네이트의 중부가 반응과 동시에 발포하여 중창용 발포체를 제조한다. 이들 발포체는 독립셀 구조를 가지는 발포체로서 충격흡수 능력과 반발탄성이 우수한 특성을 지니고 있다.

신발 중창이 제품의 반발탄성력이나 충격흡수력에 결정적으로 영향을 미치고 있으나, 사용온도가 신발 중창용 발포체의 충격특성과 반발력에 미치

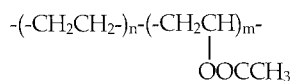
는 영향에 대한 연구는 거의 보고 되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 신발용 중창으로 사용되는 PH와 IP 및 PU 발포체의 온도에 따른 충격 및 반발특성을 이해하기 위하여, 경도가 다른 발포체를 제조하여 온도 및 경도가 각 발포체의 충격력, 반발력 및 점탄성적 특성 등에 미치는 영향을 고찰하였다.

## II. 실험

### 1. 발포체 제조

폴리우레탄(PU) 발포체는 성형을 위한 몰드 내에 첨가제를 부가한 폴리올(국내 동성화학 MR-83320)과 이소시아네이트(국내 동성화학 MP-3200)를 1700 rpm으로 혼합하고, 60 g/sec의 토출 속도로 몰드에 투입하여 성형한 후 탈형하여 발포체를 제조하였다. 실험에 사용된 발포체의 경도는 이소시아네이트의 함량을 조절하여 발포체의 경도를 45, 52, 59, 66으로 조정하였다.

파이론(PH) 발포체는 비닐아세테이트의 함량이 22 mol%, 용융지수가 2.0인 에틸렌비닐아세테이트 수지(EVA)를 사용하여 충진제, 발포조제 그리고 기타첨가제를 혼합하여 100℃에서 30 rpm으로 10분간 혼련하고 숙성시킨 후 표면온도가 80℃인 롤 밀에서 가교제, 발포제를 혼합 분산시킨 후 시트상태로 만들고 24시간 상온방치 하였다. 상온 방치하여 안정화된 시트를 150℃로 예열된 몰드내에서 140-150 kg/cm<sup>2</sup>의 압력으로 50분간 가압한 후 순간적으로 압력을 제거하여 1차 발포체를 제조하였다. 제조된 1차 발포체의 표면을 잘라낸 후 파이론으로 성형하기 위한 크기로 재단 한 후 온도 145℃, 압력 75-800 kg/cm<sup>2</sup>의 프레스 내에서 8분간 성형하고 냉각프레스로 이동시켜 12분간 냉각 한 후 파이론 시편을 제조하였다. 실험에 사용된 발포체의



Formula of EVA



Formula of PU

경도는 가교제의 양을 조절하여 발포체를 경도를 45, 52, 59, 66으로 조정하였다.

사출파이론(IP) 발포체는 비닐아세테이트의 함량이 28 mol%, 용융지수가 3.0인 EVA수지를 사용하여 충전제 및 발포조제 및 기타첨가제를 첨가하여 100℃에서 30 rpm으로 10분간 혼련하고, 표면온도가 80℃인 물 밑에서 가교제와 발포제를 혼합 분산시킨 후 금형 내에 사출하여 시편으로 제조하였다. 가교제의 함량으로 발포체의 경도를 조절하였다.

## 2. 특성 측정

경도 45, 52, 59, 66으로 제조한 PU, PH 및 IP 발포체를 23±2℃, 상대습도 50%로 유지되는 항온항습기에 12시간 이상 보관하여 시편을 안정화시킨 후 특성을 측정하였다.

발포체의 압축-회복 특성은 만능인장시험기(Instron사 4466)로 지름 28.8 mm, 높이 20 mm 원기둥형 시편에 대해 압축-회복을 5 mm/min 속도로 50% 압축률 범위에서 반복하여 시편의 압축 응력-변형을 곡선을 구하였다.

발포체의 점탄성적 특성은 DMTA(TA사, DMA 2980)를 사용하여 -50℃~120℃ 온도영역에서 주파수 1Hz, 승온속도 2℃/min로 측정하였다.

탄성체의 충격력 및 반발 탄성은 지면반력기(AMTI사 force plate)를 사용하여 측정하였으며, 온도 변화에 따른 발포체의 충격력 및 반발탄성율은 측정온도가 -20℃~55℃로 조절된 인공기후실 내에서 지면반력기로 측정하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 측정 조건이 압축 특성에 미치는 영향

고분자 재료는 점탄성적 거동을 하기 때문에 고분자 재료의 물성은 측정 속도의 함수로 나타난다. 본 연구에서의 압축-회복 실험에서도 측정속도가 소재의 압축력에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 압축-회복 속도를 5 mm/min, 50 mm/min 및 200 mm/min으로 변화시키면서 측정한 PU 및 IP 발포체의 압축 응력-변형 곡선을 Figure 1 및 2에 나타내었다. PH 발포체의 경우 IP와 유사한 경향을 나

타내었다. Figure 1에 나타낸 PU 발포체의 경우 측정 속도가 증가함에 따라 압축력과 회복력간에 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 Figure 2에 나타낸 IP 발포체의 경우 압축-회복 속도에 따른 압축력과 회복력이 현저히 증가하는 현상을 나타내었다. 따라서 PU 발포체 보다 IP 발포체의 경우가 압축-회복 속도에 더욱 민감하게 반응하는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 PU 발포체의 경우 분자 주쇄의 대부분이 유연한 에스테르기로 이루어져 있는 반면 IP의 경우 발포체를 형성하는 고분자 주쇄의 대부분이 에틸렌기로 이루어져 있기 때문에 PU 발포체가 외력에 대한 응답속도가 빠른 것에 기인하는 것으로 이해할 수 있다. 압축속도가 증가함에 따라 압축-회복력이 증가하는 현상은 전형적인 고분자재료의 변형 특성으로 이해할 수 있다.

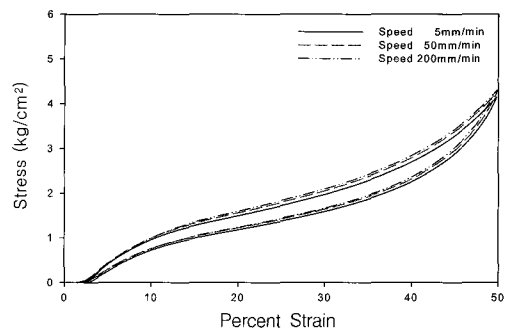


Figure 1. Compression stress-strain curves for PU foams (HD:52) with different head speed.

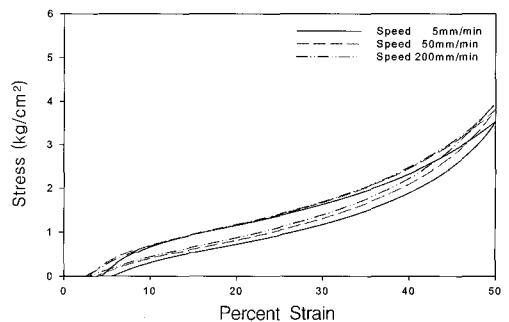


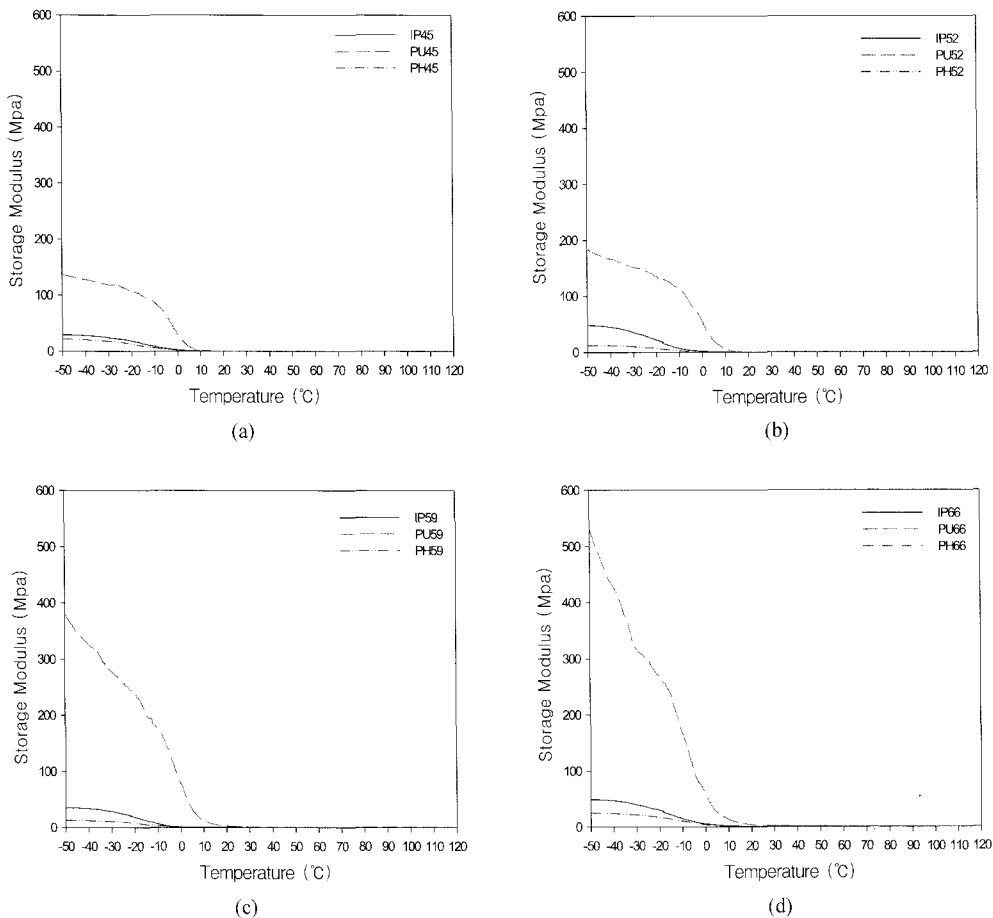
Figure 2. Compression stress-strain curves for IP foams (HD:52) with different head speed.

## 2. 발포체의 경도가 점탄성적 특성에 미치는 영향

일반적으로 발포체의 탄성율이 높으면 외력에 대하여 낮은 변형을 나타내기 때문에, 충격흡수력 및 반발력 등과 같은 발포체 고유의 특성이 감소하게 된다. Figure 3에 경도 45, 52, 59, 66으로 제조된 PU, IP 및 PH 발포체(직경 12 mm, 높이 8 mm)를 측정온도  $-50^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$ 에서 승온속도  $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , 측정 주파수 1Hz로 측정한 저장탄성율(G')을 나타내었다. 저온 영역에서의 저장탄성율은 PH와 IP 발포체의 경우 유사한 값을 나타내었으나 PU 발포체의 경우 현저히 높은 값을 나타내었다.

발포체가 IP나 PH 발포체의 경우 보다 저온에서의 저장탄성율이 현저히 높은 것으로부터 PU 발포체의 충격흡수력 및 반발탄성이 낮을 것으로 예측할 수 있다. PU 발포체의 경우 경도가 증가함에 따라 저장탄성율이 현저히 증가하였다. 그러나 IP와 PH 발포체의 경우 경도가 증가하여도 저장탄성율의 변화가 크지 않았으나, IP의 경우가 PH의 경우 보다 조금 높은 탄성율을 나타내었다.

고분자재료의 유리전이온도( $T_g$ )는 재료의 사용온도에 따른 물리적 특성을 예측하는데 매우 중요한 역할을 한다. Figure 4에 경도 45, 52, 59, 66으로 제조된 PU, IP 및 PH 발포체를 승온속도  $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$



**Figure 3.** Storage modulus at 1Hz of three types of foams with different hardness; (a) hardness 45, (b) hardness 52, (c) hardness 59, (d) hardness 66

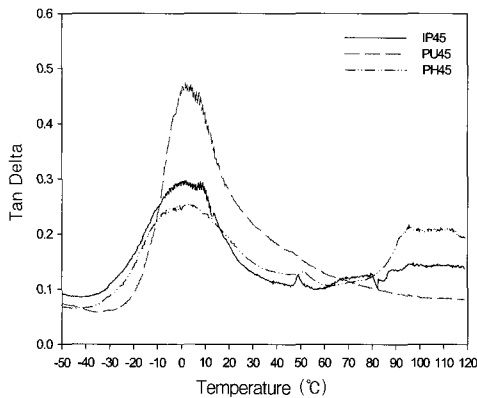
으로 1Hz주파수로 측정한  $\tan\delta$ 를 나타내었다. 전반적으로 IP 및 PH의  $\tan\delta$  최대피크가 PU 보다 저온에서 나타났으며, PU 발포체의  $\tan\delta$  최대피크는 IP 나 PH 발포체 보다 고온 영역까지 나타나고 있다. 따라서 저온에서는 PU 발포체의 경우가 먼저 발포체의 특성을 상실할 것으로 예측되며, 고온에서는 IP 및 PH 발포체의 경우가 먼저 기계적 특성의 감소가 현저할 것으로 예측된다. 그리고 재료의 경도가 증가함에 따라  $T_g$ 가 높게 나타나는 경향을 보였다. 이러한 현상은 높은 경도의 발포체를 제조하기 위하여 많은 양의 가교제를 사용하기 때문에 재료의 가교도가 증가하여, 경도가 높은 발포체의

경우 고분자주쇄의 유연성이 감소하여  $T_g$ 가 증가하는 것으로 이해된다.

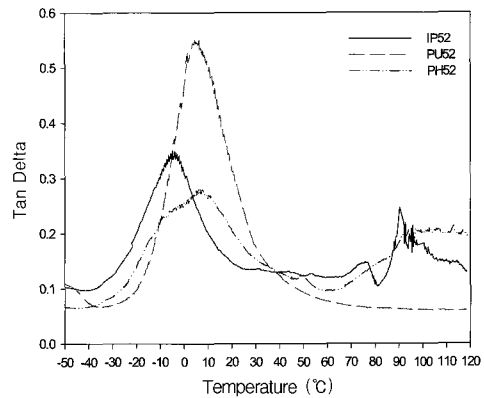
### 3. 발포체의 경도가 충격 특성에 미치는 영향

운동화는 주로 실내에서보다는 실외에서 착용하며, 여름의 경우 외부 기온이 40℃에 육박하며, 겨울의 경우 -20℃ 이하의 저온 상태에서 착용하기도 한다. 운동화 사용온도 범위에서 기능은 운동화 부품들의 온도에 따른 특성에 크게 영향을 받는다. 따라서 온도가 신발용 미드솔 용 소재의 특성에 미치는 영향을 이해하는 것이 중요하다.

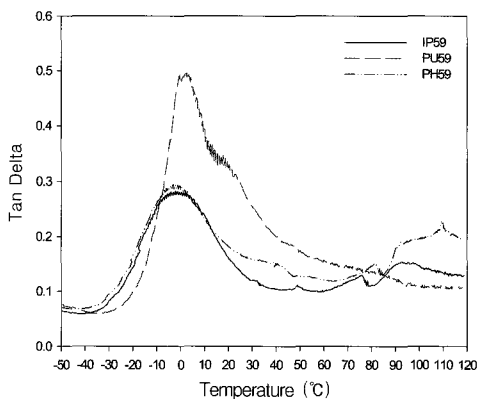
일반적인 신발 사용온도로 볼 수 있는 -20℃~



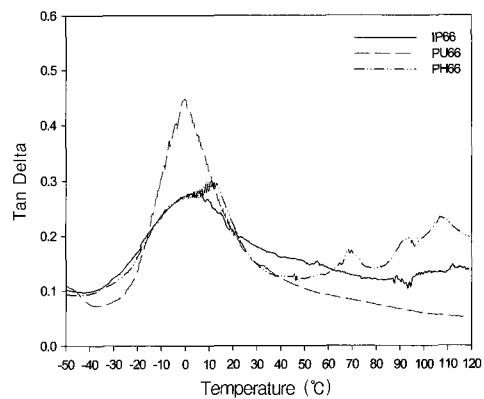
(a)



(b)



(c)



(d)

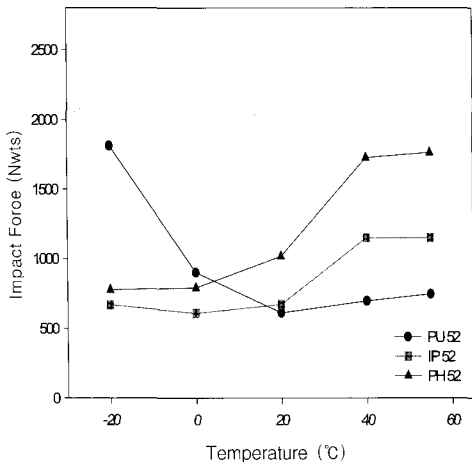
**Figure 4.**  $\tan\delta$ s at 1Hz of three types of foams with different hardness; (a) hardness 45, (b) hardness 52, (c) hardness 59, (d) hardness 66

55℃ 범위에서 측정된 신발 미드솔용 발포체의 충격특성을 Figure 5에 나타내었다. 전반적으로 상온이상의 온도에서는 온도가 증가함에 따라 충격력이 증가하는 현상을 나타내었다. PU 발포체의 경우 IP와 PH 발포체에 비하여 상온 이상의 온도에서 낮은 충격력을 나타내었으며, 온도 증가에 따른 충격력의 증가도 낮게 나타났다. 즉 상온 이상의 고온에서는 PU 발포체로 제조된 신발중창이 IP와 PH의 경우에 비하여 물성유지 특성이 우수한

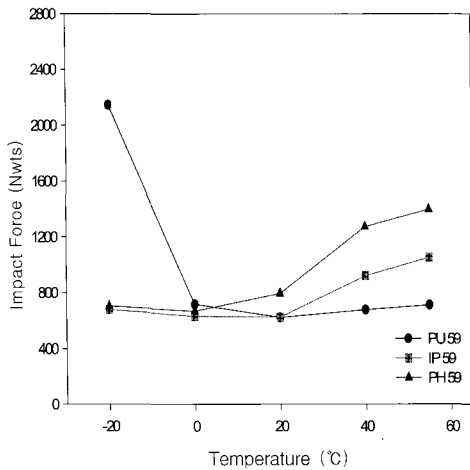
것으로 이해할 수 있다. 그리고 PU 발포체의 경우 0℃부터 저온으로 내려감에 따라 상온에서 보다 현저히 높은 충격량을 나타내었다. 그러나 PH나 IP의 경우 PU 발포체와 대조적으로 상온에서 저온으로 온도가 저하되어도 충격력은 크게 변화하지 않았다. 이러한 현상은 Figure 5에 나타난 저장탄성율의 결과로서 이해할 수 있다. 즉 PU 발포체의 경우  $T_g$ 이하의 온도인 -20℃에서 재료의 저장탄성율이 현저히 증가함에 따라 재료가 강직하여 외부의 충격을 흡수하기에 충분한 변형을 나타내기 어려워 충격흡수력이 저하되는 것으로 이해할 수 있다. IP 및 PH의 경우 사용온도가 0℃ 이하의 저온인 환경에서도 발포체의 충격흡수력을 그대로 유지하고 있어 겨울철의 신발중창의 충격흡수능력 유지는 IP 및 PH가 PU 발포체의 경우보다 우수하며, 상대적으로 고온인 40℃에서는 PU의 경우가 충격흡수능력 유지가 양호한 것으로 나타났다.

#### 4. 발포체의 경도가 반발 특성에 미치는 영향

발포체의 반발탄성은 높이 20 mm이며 직경 28.8 mm인 발포체를 2 Kg의 추로 30 cm 높이에서 자유낙하시켜 측정하였으며, Figure 6에 세가지 발포체의 반발탄성을 나타내었다. 전반적으로 온도가 높아짐에 따라 발포체의 반발탄성율이 증가하는 현상을 나타내었다. 이러한 현상은 발포체의 독립셀 내에 함유된 기체가 온도가 증가함에 따라 압력이 증가하게 되어 발포체의 반발탄성율을 증가시키는 것으로 이해할 수 있다. 경도 52인 발포체의 경우 상온(20℃)에서의 반발탄성율은 PU 발포체가 가장 낮은 값을 나타내었으며, IP와 PH의 경우는 유사한 값을 나타내었다. 상온 이상의 온도에서는 온도가 증가함에 따라 세가지 발포체의 반발탄성율이 증가하는 현상을 나타내었다. 경도 59인 발포체의 경우에서도 경도 52의 경우와 유사한 경향을 나타내었다. 40℃에서부터 온도가 저하됨에 따라 세가지 발포체의 반발탄성율이 낮아졌으며, PU 발포체가 IP나 PH 경우 보다 더욱 현저히 감소하였다. -20℃에서 측정된 IP 및 PH 발포체의 경우 PU 발포체에 비하여 높은 반발탄성율을 나타내었다. 저온에서 IP나 PH 보다 PU의 반발탄성율

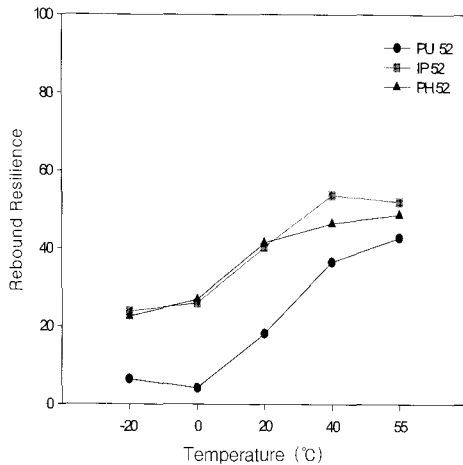


(a)

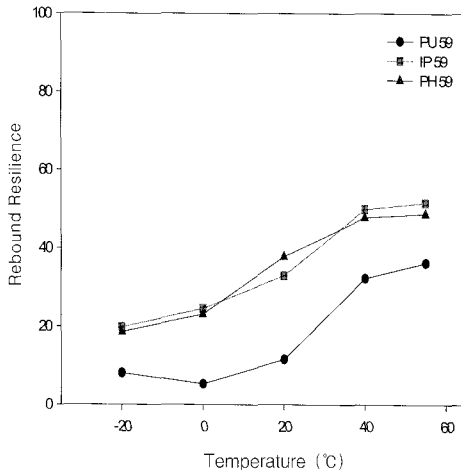


(b)

Figure 5. Impact force of three types of foams; (a) hardness 52, (b) hardness 59.



(a)



(b)

**Figure 6.** Rebounding resilience of three types of foams; (a) hardness 52, (b) hardness 59.

이 현저히 감소하는 이유는 Figure 3에 나타난 바와 같이 저온에서 PU의 저장탄성율이 IP나 PH보다 현저히 증가함으로서 반발탄성율의 감소폭이 더욱 현저한 것으로 이해할 수 있다. 0°C 이하의 저온에서 IP나 PH 발포체의 경우가 PU 발포체보다 현저히 높은 반발탄성율을 유지하는 것으로부터, 저온에서 사용하는 신발의 경우 신발중창용 발포체의 소재로서 PU발포체를 사용하는 것보다 PH나 IP 발포체를 사용하는 것이 유리한 것을 알 수 있다.

## IV. 결 론

IP와 PH 발포체의 경우 측정 온도가 -40°C로 저하되어도 발포체의 저장탄성율은 크게 증가하지 않았으나 PU 발포체는 측정온도가 상온에서 저온으로 내려감에 따라 저장탄성율이 현저히 증가하는 현상을 나타내었다. 저온 영역에서는 PU 발포체의 충격흡수능력 및 반발탄성율이 현저히 떨어지는 현상을 나타내었다. 고온영역에서는 IP 및 PH의 충격흡수능력은 현저히 저하되었으나 반발탄성율은 다소 증가하였다. 이러한 결과로 겨울용 신발중창재료로는 IP나 PH가 PU 보다 유리한 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

1. 곽창수, "운동화 중저의 경도가 주행시 발바닥의 압력분포와 충격흡수에 미치는 영향", 서울대학교 대학원 박사학위논문, p.25-42, (1993).
2. 김태형, "에어로빅스 하이킥시 운동화 중저의 경도에 따른 지면반력의 변화 및 발의 안정성에 관한 연구", 서울대학교 대학원 석사학위논문, p.7-17, (1996).
3. 오준석, "운동화의 기능학적 특성에 관한 연구", 연세대학교대학원 석사학위논문, p.9-16, (1984).
4. Y. S. Hur, C. S. Ha, and W. J. Cho, "The Research Trend of the Copolymer-Based Compatibilizers for the Recycling of Waste Plastics." *Polymer(Korea)*, **10**(4), 293 (1986).
5. J. H. Park, W. M. Sung, J. C. Hyun, W. N. Kim, B. K. Hong, J. H. Hong, and Y. S. Lim, "The Effects of Blend Composition and Compatibilizer on the Mechanical Properties of the PP/SAN and the PP/ABS Blends." *Polymer(Korea)*, **26**(1), 53 (2002).
6. S. Ahn, H. Y. Lee, and H. M. Jung, "Miscibility and Mechanical Properties of Polycaprolactone/polyimide Block Copolymer/poly(vinyl chloride) Blend." *Polymer(Korea)*, **24**(1), pp.128-132 (2000).
7. J. M. Oh and I. S. Noh, "Studies on the Compatibility of PC/Styrenic Copolymer Blends Systems Using Reactive Compatibilizer." *Polymer(Korea)*, **20**(2), 328 (1996).