

Ethylene Vinyl Acetate Copolymer 발포체의 발포특성 및 물리적 특성

김진태·손우정·김원호[†]·안병현*
부산대학교 화학공학과, *부경대학교 재료공학부
(2001년 2월 21일 접수)

Foaming Characteristics and Physical Properties of Ethylene Vinyl Acetate Copolymer Foams

Jin-tae Kim, Woo-jung, Wonho Kim[†], Byung Hyun Ahn*

Department of Chemical Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

*Division of Materials Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-739, Korea

(Received February 21, 2001)

요약 : 발포체의 물성은 발포체의 밀도, 사용된 폴리머의 기계적 물성과 열린 셀(open cell) 함량, 셀 크기, 셀 크기 분포, 셀 형태, 격벽의 두께 등을 포함하는 셀 구조에 의존하며, 이러한 발포체의 밀도는 사용된 폴리머의 종류와 가교제의 농도, 발포제의 농도 그리고 가공 기술 및 가공 조건 같은 다양한 원료물질과 가공조건에 영향을 받는다. Ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) 발포체는 가교 발포체로서 가교속도와 발포제의 분해속도에 의해 발포특성에 영향을 받으며 이에 따라 발포체 물성에도 영향을 미친다. 본 연구에서는 가공 온도인 155°C에서의 시간에 따른 발포제의 분해 속도 차이와 이에 따른 발포특성과 발포체의 물성에 대한 영향을 평가하였다. 발포제 분해 속도가 보다 느린 경우, 발포제 분해속도가 빠른 경우와 비교하여 낮은 밀도를 보여주었으며, 우수한 충격흡수성을 나타내었고 발포체의 셀 크기는 보다 균일하였다.

ABSTRACT : Physical properties of foams depend on the density of foams, physical properties of base polymers, open cell contents, and cell structures including the size, size distribution, shape of cell, and the thickness of membrane and strut. The density of foam is affected by raw materials, concentration of crosslinking agent and blowing agent and process parameters such as processing technique and condition. Ethylene vinyl acetate copolymer(EVA) foam is a crosslinked cellular material. The foaming characteristics and physical properties of EVA foam are affected by decomposition rate of blowing agent. In this study, the decomposition rate of blowing agent and crosslinking rate, foaming characteristics and physical properties of foams were evaluated. The slow decomposition rate of blowing agent results in low density foam, good shock absorption property and uniform cell size distribution compared to the high decomposition rate of blowing agent.

Keywords : EVA, foam, crosslink, foaming agent, density.

[†]대표저자(e-mail : whkim@hyowon.pusan.ac.kr)

I. 서 론

예로부터 널리 사용해온 목재, 가죽, 섬유 등은 대부분 고분자 물질임과 동시에 다공질 물질이었다. 인공적으로 만들어진 최초의 발포체는 독일의 Hans Pfleumer에 의한 천연고무 라텍스 발포체였으며, 이후 합성고무 라텍스 등이 발포체의 원료로 응용되었다. 제 2차 세계대전을 거치면서 PE, PP, PVC 등 탄성이 있는 각종 플라스틱 발포체가 등장하여 최근에는 급격한 양적 성장과 함께 발포 기술도 크게 발전되어 왔다.¹

폴리올레핀(polyolefin) 발포체의 경량성, 내화학적성, 불활성, 부양성, 우수한 노화 특성, 충격 흡수성, 방열 및 방음 특성 같은 다양한 물성은 자동차, 포장, 건축, 해양, 의약, 스포츠, 레저 산업에 적용되는데 큰 역할을 해 왔다.³ 다양한 폴리올레핀 발포체의 원료 중 ethylene vinyl acetate copolymer (EVA)는 유연성, 충격강도, 투명성, 가공성, 내오존성이 우수하여 자동차 산업 및 전기 전자 제품 등으로 광범위하게 사용되고 있으며, 특히 EVA 발포체는 낮은 비중과 부드러운 느낌, 적절한 강도와 충격특성으로 인해 신발산업에서 쿠션 소재인 인창(insole) 및 중창(midsole)에 폭 넓게 적용되고 있다.^{4,5}

발포체의 물성은 발포체의 밀도, 기본 수지의 기계적 물성과 열린 셀(open cell) 함량, 셀의 크기, 셀의 크기 분포, 셀의 형태, 격벽의 두께 등을 포함하는 셀 구조에 의존하며 이러한 발포체의 밀도는 기본 수지의 종류와 가교제의 농도, 발포제의 농도 그리고 가공 기술 및 가공 조건 같은 다양한 원료물질(raw material)과 공정변수(process parameter)에 영향을 받고 있으며, 이에 대한 많은 연구가 수행되어오고 있다.^{6,9}

EVA와 같은 반결정성 고분자(semi-crystalline polymer)는 용융온도 부근에서 급격한 점탄성 변화를 가져오기 때문에 고배율의 발포체를 얻는 것이 곤란하다. 따라서 dicumyl peroxide (DCP) 같은 유기 과산화물이나 황으로 가교하면 고분자 점탄성 영역의 온도 범위가 확대되어 고배율의 발포체를 얻을 수 있다. 이 경우 가교제의 첨가는 가교밀도를

를 높이는 것이 목적이 아니라 발포에 적합한 점탄성을 주기 위한 것이며, 이러한 이유로 반결정성 고분자의 가교 발포를 위해서는 먼저 가교제의 분해에 의해 가교를 진행시키고 적당한 점탄성을 얻은 후, 발포제가 분해해서 기포를 형성하게 하는 것이다.¹⁰

따라서, 본 연구에서는 발포제 함량, 발포 온도 등 여러 공정 및 실험 변수를 고정시키고 수지에서의 발포제의 분해 속도를 실험 변수로 적용하여 다른 발포 속도를 가지는 발포체를 얻고, 이들의 발포 배율 등의 발포 특성과 셀 크기 등의 셀 모폴로그래프(morpholograph)를 서로 비교하고 인장강도, 압축 강도 및 충격 흡수 특성 등의 물리적 특성을 비교 평가하였다.

II. 실험

1. 실험 재료

본 연구에 사용한 기본 수지인 ethylene vinyl acetate(EVA)는 vinyl acetate 함량이 15%이고 용융 흐름 지수(melt flow index)가 2.5이며, 비중이 0.93인 Elvax 560 grade(Dupont Co. U.S.A)를 사용하였으며, 화학발포제(chemical blowing agent, CBA)로는 (주) 금양에서 제조된 azodicarbonamide(ADCA) 유도체인 발포 개시온도가 $145 \pm 3^\circ\text{C}$ 인 Cellcom-JTR/M과 $155 \pm 3^\circ\text{C}$ 인 Cellcom-JTR의 두 종류를 사용하였다. 활성제는 평화(주)에서 제조된 stearic acid(St/A)를 사용하였으며 가교반응을 위한 열전달과 가교 반응속도를 안정화시키기 위하여 길친(주)에서 제조된 고무용 1호 ZnO를 사용하였다. 가교제로는 유기과산화물인 dicumyl peroxide(DCP; 순도99%)를 사용하였다. 가교도를 증가시키기 위해서 가교조제로 triallyl cyanurate(TAC)를 사용하였다.

2. 시편제조

발포체 제조과정은 혼합(mixing)과 성형(molding)의 두 단계로 나누어서 진행되었다. 혼련은 6 inch two roll open mill을 사용하였으며, roll간의 간격은

2.5-3mm로 조정하였고, roll 온도를 EVA 수지의 용점보다는 높고 조기 발포나 가교가 일어나지 않는 온도인 80-100°C로 하여 EVA 수지와 ZnO, 스테아릭산, 가교제, 발포제 순으로 배합하였다. 이 배합물을 혼합이 끝난 후 3-5mm 정도 두께의 쉬트(sheet)로 제조한 후 상온에서 24시간 방치하여 혼합물을 안정화시켰다. 안정화된 혼합물을 5cm × 10cm의 크기로 절단하고, 혼합된 수지 120g 정도를 155°C로 예열된 금형(mold)에서 20분간, 150 kgf/cm²의 압력으로 가압한 후 순간적으로 압력을 제거하고 이때 형성된 발포체를 상온에서 서서히 냉각시켜 발포체를 제조하였다. EVA 발포체를 얻기 위한 배합은 Table 1에 나타내었다.

3. 가교속도, 발포속도 측정

EVA 발포 컴파운드의 가교 속도를 측정하기 위해서 Table 2의 배합으로 혼합된 배합물들을 oscillating disk rheometer(ODR ; model GT0707, Tiwan)을

Table 1. Basic Formulation for Preparation of EVA Foams(Amount ; phr)

Material	JTR/M				JTR			
	A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2
Elvax 560	100	100	100	100	100	100	100	100
ZnO	5	5	5	5	5	5	5	5
St/A	1	1	1	1	1	1	1	1
DCP	0.5	0.7	0.5	0.5	0.5	0.7	0.5	0.5
TAC	0	0	0.3	0.5	0	0	0.3	0.5
JTR/M	5	5	5	5	0	0	0	0
JTR	0	0	0	0	5	5	5	5

Table 2. Formulation of EVA Compounds

Material	A	B	C	D
	Amount (phr)			
Elvax 560	100	100	100	100
ZnO	5	5	5	5
St/A	1	1	1	1
DCP	0.5	0.7	0.5	0.5
TAC	0	0	0.3	0.5

사용하여 발포 가공 온도인 155°C에서 토크 값을 측정하였으며, 발포속도는 thermal gravimetry analyzer (TGA ; Perkin Elmer TA-7, U.S.A)를 이용하여 발포 가공온도인 155°C의 등온(isothermal) 상태에서의 시간에 따른 발포제의 감량율(dm/dt)을 구하여 발포제의 분해 속도로써 시간에 따른 발포 속도를 나타내었다.

4. 발포체의 발포특성

발포체의 정성적 이미지 분석으로 셀의 크기, 셀의 구조 및 셀의 분포상태를 확인하기 위하여 발포체를 액체 질소로 냉각하여 칼(razor)로 절단한 후, 절단면을 금으로 코팅하여 scanning electron microscopy(SEM ; HITACHI S4300, Japan)로 관찰하였다. 셀의 평균 크기는 적절한 기준선을 긋고, 그 선에 있는 셀의 수를 구하여, 기준선의 길이를 나누어서 구하였으며, 발포배율(expansion ratio)은 미발포 컴파운드의 단위 무게당 부피에 대한 발포 시편의 단위 무게당 부피로 나타내었다. 그 계산식은 식(1)에 나타내었다. 여기서 V는 발포시편의 단위 무게당 부피 (cm³/g)이며, V*는 미발포 컴파운드의 단위 무게당 부피 (cm³/g)이다.

$$\text{Expansion ratio(\%)} = V / V^* \times 100 \quad (1)$$

5. 발포체의 물리적 특성

발포체의 비중(specific gravity)은 발포 시편을 상대 습도 50%, 24°C의 상태에서 24 시간 동안 유지시킨 후 ASTM D 1622에 의거하여 밀도를 측정하였다.

인장 강도(tensile strength)는 KS M-6518에 준하여 만능시험기(Universal Testing Machine ; Instron 4485, U.S.A.)를 이용하여 500mm/min의 속도로 시험하였으며, 압축 강도 (compressive strength)는 발포체를 두께 10mm, 지름 30±0.05mm인 원기둥 형태의 시험편으로 제조한 후 만능시험기를 이용하여 10mm/min의 속도로 압축하여 측정하였다. EVA 발포체의 충격 에너지 흡수율(energy absorption ratio)을 측정하기 위하여 하중낙하 충격시험기

(Instron Dynatup 8250, U.S.A)를 이용하여 발포체에 충격을 가하였을 경우에 발포체가 흡수하는 에너지를 측정하였다. Tup을 포함한 추(weight)의 전체 무게는 3.16kg이고 tup의 높이는 시편에서 50cm 높이에 고정시켜서 실시하였다. Data의 noise를 줄이기 위해 EVA 발포체 아래에 폴리카보네이트 판(두께: 3mm)을 대고 실험하여 EVA 발포체에서의 상대적인 에너지 흡수율을 구하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 가교속도 및 발포 속도의 결정

Fig. 1 (a)에 155°C에서 가공 시간에 대한 EVA

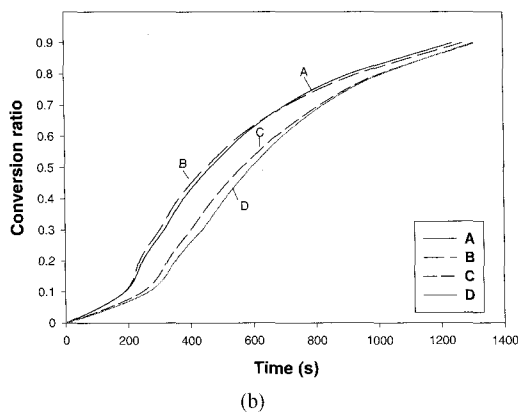
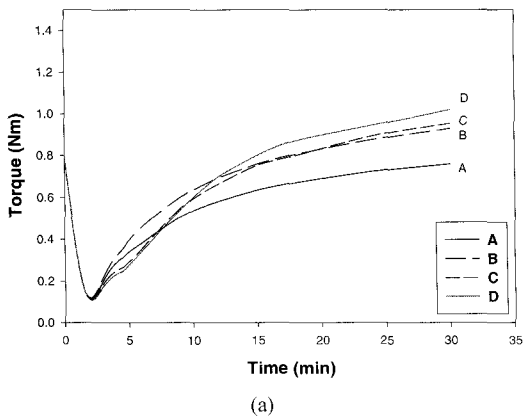


Figure 1. Degree of crosslink density by oscillating disk rheometer(ODR); (a) Torque in ODR as a function of time at 155°C, (b) Conversion ratio as a function of time at 155°C.

컴파운드의 ODR 토크 값을 나타내었다. 상온에서 투입된 재료는 ODR cavity의 온도 155°C에 의해, 온도 상승에 따라 점도 저하가 일어나 1.9분정도에서 최소 토크 값을 나타내었다. 이 시간 이후는 열에 의한 가교제의 가교반응에 의해 토크 값이 시간에 따라 증가하였다. 가교 속도는 과산화물의 분해속도에 의해 결정되며 가교 속도는 일반적으로 ODR을 이용하여 비교된다.¹¹⁻¹² Fig. 1 (a)에서 가교제로 DCP와 가교 조제로 TAC를 사용한 컴파운드(C,D)가 DCP만을 사용한 컴파운드(A, B)와 비교할 경우 더 높은 토크 값, 즉 높은 가교도를 나타내었다.

가교밀도에 따라 ODR의 토크 값은 비례하여 증

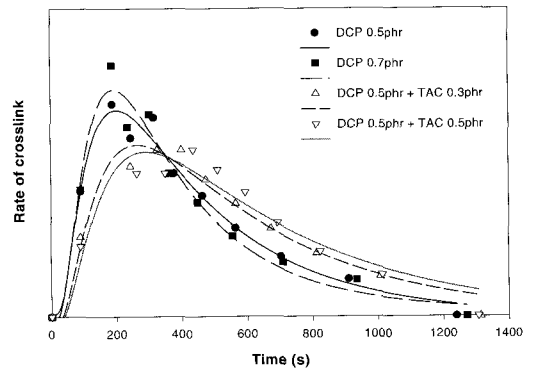


Figure 2. Rate of crosslink for various contents of crosslink agent and co-agent at 155°C.

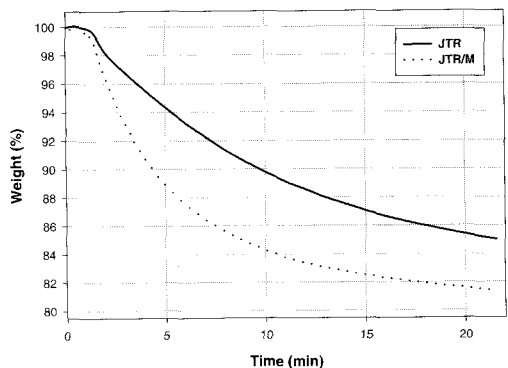


Figure 3. Weight reduction of blowing agents at an isothermal state of 155°C; JTR(Ti= 155°C) and JTR/M (Ti=145°C)

가한다고 가정하고, 가교 밀도는 가교제의 반응 전 화율과 비례한다고 하면 Fig. 1의 (b)와 같이 가교 반응 시간에 대한 가교제의 반응 전화율을 나타낼 수 있다. 그 결과 가교제의 반응 전화율이 90% 즉 t_{90} 까지 도달하는 시간은 컴파운드 A와 B가 컴파운드 C와 D보다 더 빠른 것으로 나타났다. 결과적으로 가교 속도는 가교 조제를 첨가하지 않은 경우가 더 빠른 것으로 나타났다. Fig. 1의 (b)에서 각 그래프의 시간에 따른 기울기를 각 시간에 따른 가교 속도로 나타낼 수 있으며 그것을 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 2에 나타난 바와 같이 가교 속도는 가교제 DCP의 함량이 증가할수록 빨라졌으며, 가교조제인 TAC의 투입량이 증가하면 가교 속도는 조금 지연 되는 것으로 나타났다.

Fig. 3은 TGA 결과로 시료를 투입한 후 60°C/min의 승온속도로 1.23분만에 155°C까지 승온시킨 후, 발포 가공온도인 155°C의 등온(isothermal) 상태에서 발포제의 초기 분해온도가 145°C인 JTR/M과 155°C인 JTR의 무게 감소를 시간에 따라 나타내었다.

발포개시 온도가 낮은 JTR/M의 경우, 초기에 급격한 무게 감소를 나타내었다. 예를 들면 155°C에서 4.4분이 경과하였을 때 JTR/M은 12%의 무게 감소를 나타낸 반면 JTR은 6.5%의 무게 감소만을 나타내었다. 20분이 경과하였을 때 JTR/M은 18.5%의 무게 감소를 나타내었으며, JTR은 15%의 무게 감소를 나타내었다. 따라서 용융강도가 충분하지 못한 가공 초기에 다량의 가스를 발생시키는 JTR/M의 경우 발생된 가스가 closed cell을 형성하는데 유용하게 사용되지 못한 것으로 판단된다.

2. 발포특성

Fig. 4에 발포속도에 따른 EVA 발포체의 발포배율을 나타내었다. 발포 속도가 빠른 경우, 즉 JTR/M을 발포제로 사용한 경우 JTR을 발포제로 사용한 경우보다 전체적으로 낮은 발포배율을 보였는데 이는 발포속도가 빠른 경우 기핵 생성 후, 셀의 성장과정에서 EVA 발포체의 셀 벽이 발포제 분해로 생성되는 발포 가스 압력을 견딜 만큼 충

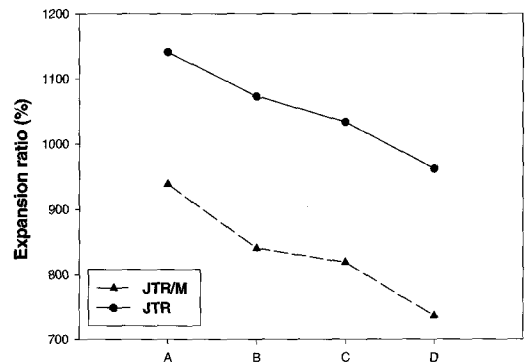


Figure 4. Expansion ratio of EVA compounds according to the formulation.

분한 용융 강도(melt strength)를 가지지 못하여, 셀 벽이 얇아지면서 셀 벽이 파괴되고 이로 인해 더 이상의 셀 성장이 이루어지지 않고, 그 상태로 가교되기 때문에 발포배율이 낮은 것으로 생각되어진다. JTR의 경우에는 발포가 서서히 일어나므로 충분한 셀 성장이 일어나서 발포배율이 큰 것으로 생각되어진다. 그리고 가교조제를 투입한 경우가 더 낮은 발포배율을 보이는데 이는 가교도의 증가로 인한 겔 함량의 증가로 발포시 팽창이 억제되기 때문인 것으로 판단되어진다.

Fig. 5는 가공 초기에 많은 가스를 발생시키는 JTR/M을 발포제로 사용한 EVA 발포체의 SEM 사진이며, 셀 크기는 가교도의 영향을 크게 받지 않는 것으로 생각되어진다.

Fig. 6에서는 가공 초기의 가스 발생량이 작은 JTR을 발포제로 사용한 EVA 발포체의 SEM 사진이다. JTR/M을 발포제로 사용한 경우 보다 셀 크기가 커졌음을 알 수 있으며 가교도가 높아질수록, 셀 크기는 감소하는 경향을 보여주고 있다.

Table 3. EVA Foam Density and Average Cell Size

	JTR/M				JTR			
	A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2
Density (g/cm ³)	0.122	0.137	0.140	0.156	0.100	0.107	0.111	0.119
Average Cell Size (μm)	58	60	61	51	130	83	76	66

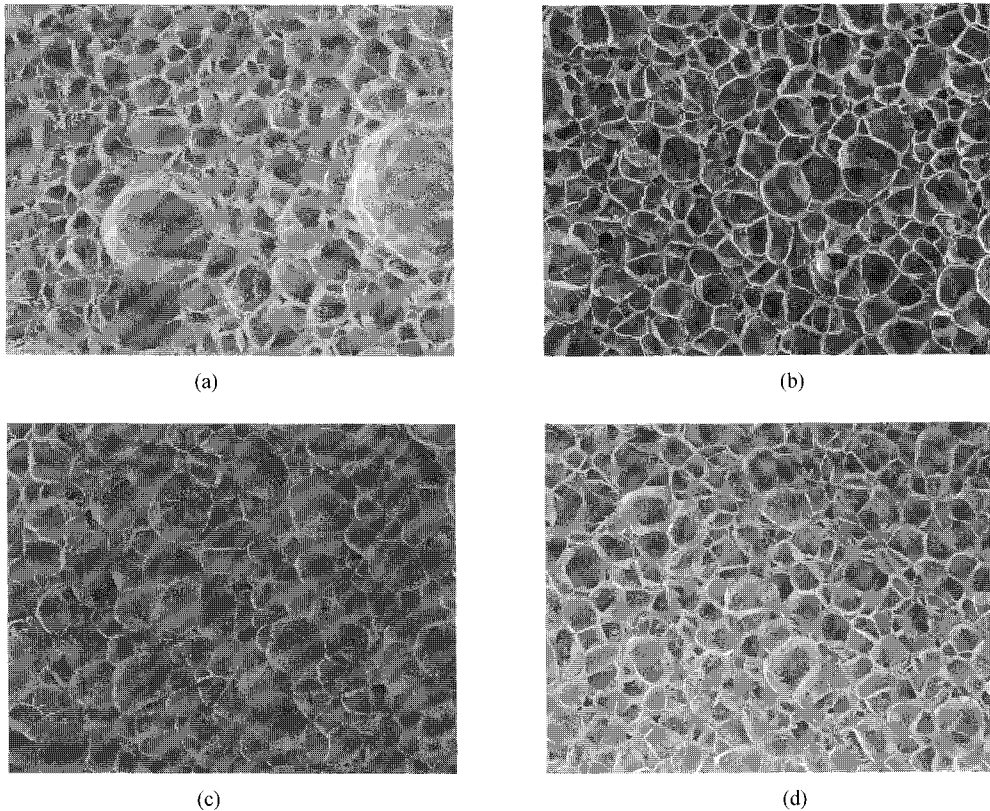


Figure 5. SEM photographs($\times 100$) of EVA foams which were foamed by the blowing agent (JTR/M: $T_f=145^\circ\text{C}$): (a) DCP 0.5phr, (b) DCP 0.7phr, (c) DCP 0.5phr, TAC 0.3phr, (d) DCP 0.5phr, TAC 0.5phr.

발포제로 JTR을 이용한 경우는 전체적으로 균일한 셀 크기를 보여 주고 있으며, JTR/M을 이용한 경우는 전체적으로 작은 크기의 셀을 가지는 것으로 생각되어지며, 셀의 부분적인 파괴로 인해서 셀 크기도 JTR을 발포제로 이용한 경우보다 불균일한 것으로 판단된다. Table 3에는 발포체의 종류에 따른 EVA 발포체의 밀도와 셀의 평균 크기를 나타내었다.

3. 발포체의 물리적 특성

Fig. 7에서는 가교 속도와 발포 속도에 따른 EVA 발포체의 100% 연신율에서의 모듈러스값을 나타내었다. 전체적으로 가교도가 증가할수록 높은 모듈러스를 나타내며, 가공 초기에 많은 가스를 발생시킨 JTR/M을 발포제로 사용한 발포체가 높은

모듈러스를 나타낸다. 이러한 이유는 가교도가 증가할수록 셀 벽 및 strut의 구조가 치밀해지고, JTR/M의 경우 발생시킨 가스 대비 closed cell 형성에 대한 기여도가 낮아 발포체는 높은 밀도를 가지기 때문이다. 일반적으로 발포체의 물성은 발포체의 밀도와 상관관계를 가지고 있으며, 발포체의 밀도 증가에 따라 발포체의 물성도 우수하다고 알려져 있는데 이러한 일반적인 이론을 따를 때, 본 실험에서의 JTR/M을 발포제로 이용한 발포체가 JTR을 이용한 발포체보다 월등히 우수한 모듈러스 값을 나타내어야 하는 것으로 생각되어지지만 실제로 그렇지 못함을 보이는 것은 JTR/M을 이용한 발포체가 JTR을 이용한 경우보다 전체적으로 불균일한 셀 구조를 나타내기 때문인 것으로 판단된다.

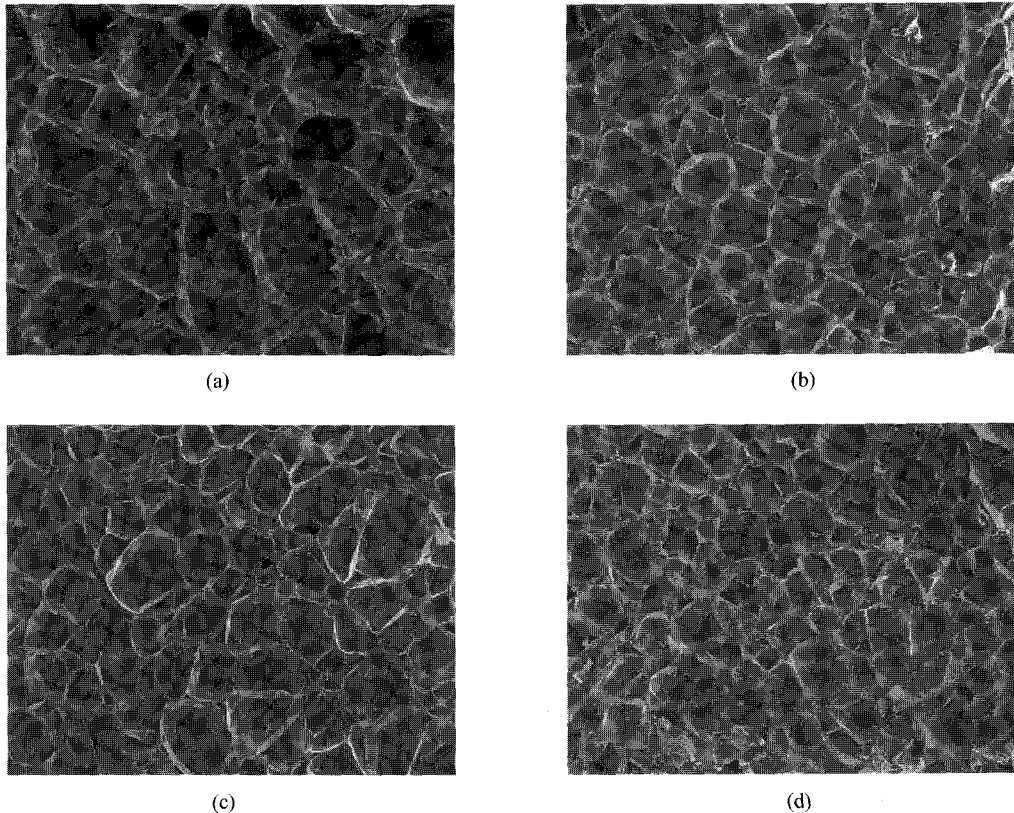


Figure 6. SEM photographs($\times 100$) of EVA foams which were foamed by the blowing agent (JTR: $T_i=155^\circ\text{C}$) : (a) DCP 0.5phr, (b) DCP 0.7phr, (c) DCP 0.5phr, TAC 0.3phr, (d) DCP 0.5phr, TAC 0.5phr.

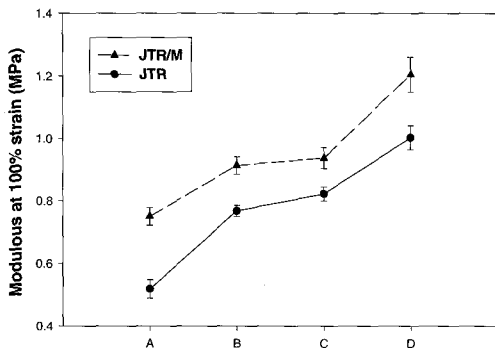
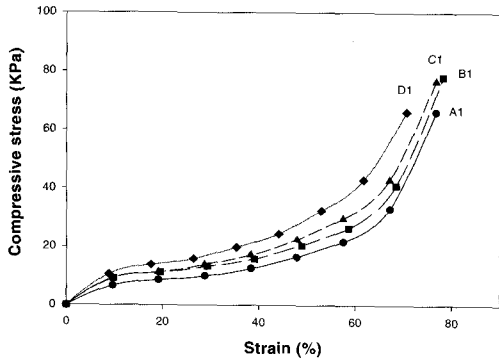


Figure 7. Modulus at 100% strain of EVA foams according to the formulation.

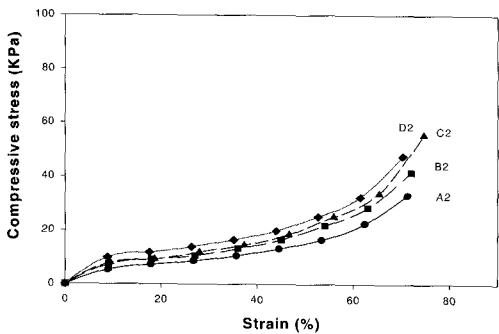
Fig. 8에서는 압축 강도를 응력-변형 곡선으로 나타내었다. Fig. 8 (a)의 응력-변형 곡선은 JTR/M을 발포제로 사용한 경우이며, Fig. 8 (b)의 응력-

변형 곡선은 JTR을 발포제로 사용한 발포체의 응력-변형 곡선이다. 발포체의 압축 강도는 사용된 폴리머의 강성도(stiffness)와 발포체의 밀도의 영향을 받는데, (a), (b)의 두 경우 모두 가교도가 높을수록 (즉, 사용된 폴리머의 강성도가 높을수록) 초기 Hookian 영역과 평탄 영역에서 높은 압축 강도를 나타내었으며, JTR을 발포제로 사용한 Fig. 8 (b)의 경우가 JTR/M을 발포제로 사용한 발포체보다 전체적으로 낮은 압축강도를 보여 주는데 이는 발포체의 밀도가 낮기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 9에서는 가교 속도와 발포 속도에 따른 EVA 발포체의 에너지 흡수율을 나타내었는데 에너지 곡선에서 최고 값과 평탄영역의 에너지 값의 차이가 발포체에 충격이 가해졌을 때 발포체가 흡수한 에너지 값으로 정의된다. 이 에너지 값을 비



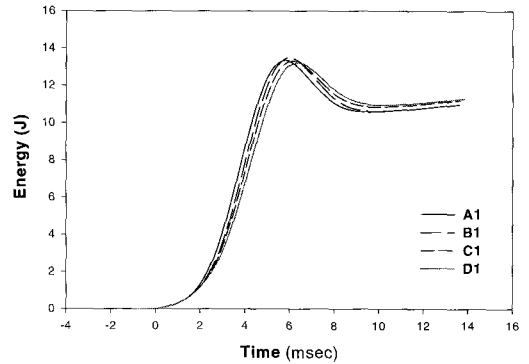
(a)



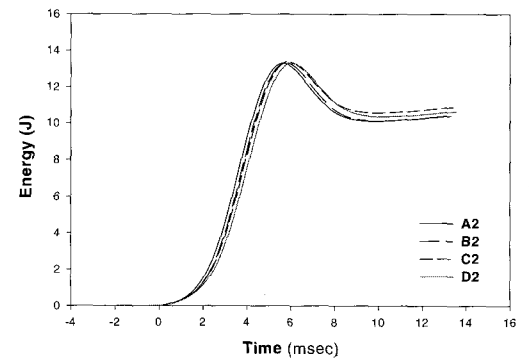
(b)

Figure 8. Compressive stress-strain curves for EVA foams ; (a) blowing agent : JTR/M, (b) blowing agent : JTR.

교함으로써 EVA 발포체의 상대적인 충격 흡수 특성을 관찰하였다. 본 실험에서는 EVA 발포체 matrix의 강성도 즉, 가교도에 따른 충격 흡수 특성은 큰 차이를 나타내고 있지 않지만, JTR을 발포제로 사용한 발포체가 우수한 충격흡수 특성을 나타내었다. 이는 발포체의 낮은 밀도에 기인하는 것으로



(a)



(b)

Figure 9. Energy curves of EVA foams in rebound test ; (a) blowing agent : JTR/M, (b) blowing agent : JTR.

판단된다. 가교도가 낮을수록 높은 에너지 흡수율을 나타내는데 이는 Table 4에 나타낸 압축 강도의 초기 Hookian 영역에서의 모듈러스 값과 역비례하는 경향을 보여주고 있다.

IV. 결 론

JTR을 발포제로 사용한 발포체는 가공 초기의 발생가스 양이 작기 때문에 충분한 셀의 성장이 일어나서 발포 배율이 높고 셀 크기는 균일하며 셀 크기의 평균 값은 큰 것으로 나타났다. 가공 초기에 발생가스 양이 많은 JTR/M을 발포제로 사용하였을 경우 JTR을 발포제로 사용한 경우보다 발포배율은 낮고 불균일한 작은 셀 들이 많이 생성되었다. 가교 조절을 투입한 경우가 발포배율이 더

Table 4. Compressive Modulus and Energy Absorption Ratio of EVA foams

	JTR/M				JTR			
	A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2
Initial modulus (MPa)	6.75	9.26	9.44	11.72	5.82	7.91	8.33	11.06
Energy absorption ratio (%)	20.64	18.56	18.56	17.18	23.90	23.92	20.94	22.40

낮고 셀 크기의 평균 값이 작아지는데 이는 가교도의 증가로 인한 용융 강도의 증가로 셀의 성장이 억제되기 때문이다.

인장 강도 및 압축 강도의 평가에서는 가공 초기의 발생가스량이 작은 JTR을 발포제로 사용한 경우가 JTR/M을 발포제로 사용한 발포체보다 전체적으로 낮은 인장 강도 및 압축강도를 나타내는데 이는 발포체의 밀도가 JTR/M을 발포제로 사용한 경우의 발포체가 더 높기 때문이다. 가공 초기에 가스 발생량이 많아 closed cell 형성에 대한 기여도가 낮은 JTR/M을 발포제로 이용한 발포체는 밀도가 높아 물성이 우수한 것으로 나타났지만, 상대적으로 높은 밀도에도 불구하고 불균일한 셀 구조 때문에 월등한 물성향상을 나타내지는 못하였다. 충격 흡수 특성을 비교하였을 경우에는 JTR을 발포제로 이용한 발포체가 우수하였는데 이는 발포체의 낮은 밀도에 기인하였다.

감사의 글

본 논문은 한국과학재단 지정 환경기술·산업개발연구센터(RRC-IETI)의 지원(과제번호: 99-10-10-99-B-1)에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. K. M. Jung, *Lucky Polym. Technol.*, **23**, 10 (1992).
2. D. Klemmner and K. C. Frisch, "Handbook of Polymeric Foams and Foam", p.253, New York, 1991.
3. M. A. Rodriguez-Perez, O. Alonso, A. Duijsens and J. A. De Saja, *J. Polym. Sci. Part B*, **36**, 2587 (1998).
4. B. M. Walker, "Handbook of Thermoplastic Elastomers", Marcel Dekker Inc., New York, 1982.
5. S. Youn, "신발용 midsole의 제조에 관한 신기술의 개발", *Poly. Technology Industry*, **4**, No. 1, 23 (1996).
6. L. J. Gibson and M. F. Ashby, "Cellular Solids", Pergamon Press., Oxford, 1988.
7. G. L. A. Sims and W. Khunniteekool, *Cell. Polym.*, **15**, 1 (1996).
8. G. L. A. Sims and W. Khunniteekool, *Cell. Polym.*, **15**, 14 (1996).
9. G. L. A. Sims and W. Sirithongtaworn, "Cellular Polymer III", RAPRA Coventry, Paper 23, April (1995).
10. "한화 고분자 기술대학 EVA 발포", 한화 종합화학 (주) 중앙 연구소, 제 74회 (1998).
11. D. Raymond and B. Seymour, "Handbook of Polyolefins", p.25, Marcel Dekker, Inc., New York, 1993.
12. C. E. Carranher and B. Seymour, "Polymer Chemistry", p.18, Marcel Dekker, Inc., New York, 1992.