

## 가교제의 종류가 천연고무 발포체의 팽윤거동에 미치는 효과

이환광<sup>1\*</sup>, 정태경<sup>2</sup>, 김성찬<sup>3</sup>, 김현기<sup>3</sup>, 최경만<sup>4</sup>, 김영민<sup>4</sup>, 한동훈<sup>4</sup>

### Influence of the Type of Curing Agent on Swelling Behavior of Natural Rubber Foam

Hwan-Kwang Lee<sup>1\*</sup>, Tea-Kyung Chung<sup>2</sup>, Sung-Chan Kim<sup>3</sup>, Hyun-Gi Kim<sup>3</sup>,  
Kyung-Man Choi<sup>4</sup>, Young-Min Kim<sup>4</sup> and Dong-Hun Han<sup>4</sup>

**요 약** 가교제의 종류가 헬리콥터 연료탱크의 자기밀폐층 소재로 적용시키기 위한 천연고무 스폰지의 팽윤에 미치는 효과를 조사하였다. 과산화물과 황을 섞은 가교방식과 과산화물에 의한 가교방식을 채택하였다. 천연고무 콤팩트를 Kneader와 Roll-Mill을 활용하여 제조하고, 고압조건의 프레스에서 부분 가교시킨 후 대기압의 금형에서 발포와 완전가교를 실시하였다. 얻어진 스폰지의 겉보기밀도를 측정하고 스폰지의 셀구조를 주사전자현미경을 통하여 관찰하였다. 톨루엔, 이소옥탄과 항공유를 사용하여 실온에서 팽윤실험을 실시하였다. 용매에 2분 동안 침적 후 얻어지는 부피팽윤비 값은 과산화물 가교에 의한 천연고무 스폰지가 비슷한 양의 황과 과산화물의 혼합가교에 의한 경우보다 높았다. 스폰지의 겉보기밀도와 셀구조는 과산화물 함량에 매우 민감하였으며 이는 또한 천연고무 스폰지의 팽윤거동에 영향을 미쳤다. 천연고무 스폰지가 연료와 접촉하여 신속한 팽윤이 얻어지기 위하여 금형에서 동시에 발생하는 두 가지 반응인 발포체의 분해반응과 천연고무의 가교반응을 적절히 조절하는 것이 중요하다.

**Abstract** The effects of the type of curing agent on the swelling of the natural rubber(NR) sponge applicable to the self-sealing layer of a helicopter fuel tank were investigated. The curing systems employed were peroxide and mixed ones of sulfur and peroxide. The NR compounds were prepared in a kneader and a roll-mill. The compounds were partially cured in a press at high pressure and subsequently cured fully with expansion in another press at atmospheric pressure. The apparent density of the NR sponge was measured and the cell structure was observed with scanning electron microscopy. The swelling experiments were performed at room temperature using toluene, iso-octane, and an aircraft fuel as a solvent. More rapid volume swelling of the NR sponge cured by peroxide was achieved than cured by sulfur and peroxide with similar amount of curing agent added in rubber compounds. The apparent density and cell structure of the sponge were extremely sensitive to the amount of peroxide, which influences again the swelling behavior of the NR sponge. It is important to control properly two reactions of decomposition of foaming agent and crosslinking of NR in the mold to obtain rapid swelling of the NR sponge on contact of the fuel.

**Key Words** : Natural Rubber Foam, Swelling, Polymer Solution Thermodynamics, Diffusion of solvent

## 1. 서 론

군사용 및 민간용 헬리콥터는 저공비행에 따른 총기의 공격 및 충돌과 전복사고에 대처하기 위하여 연료계통의

구성품인 연료탱크는 자기밀폐(Self-Sealing) 기능과 충격에 의한 폭발을 방지하는(Crashworthy) 기능이 요구된다. 자기밀폐 기능은 총기 공격에 대한 보호(발포저항성)가 필요한 곳에 적용하며 연료탱크는 Bladder Cell의 적층구

이 연구는 지식경제부 한국형헬기 민군겸용구성품개발사업(KARI주관) 위탁연구결과 중 일부임.

<sup>1</sup>청운대학교 화장품과학과

<sup>2</sup>(주)한화

<sup>3</sup>한국항공우주연구원

<sup>4</sup>한국신발피혁연구소

\*교신저자: 이환광(hwanklee@chungwoon.ac.kr)

조이며 중간에 밀폐제 층이 위치하고 있다. 밀폐제의 안쪽 층은 연료와의 접촉을 막는 기능을 가지고 있으며, 또한 충알에 의하여 구멍이 생기면 연료가 새어 나올 때 밀폐제 층이 연료에 의하여 팽윤되어 구멍을 막는 작용을 하여 연료 손실을 감소시켜서 조종사가 안전하게 기지에 돌아올 수 있게 도와준다.

자기밀폐제는 보통 연료와 친화력이 좋은 천연고무로 만들어지며 연료탱크가 파괴될 경우 연료의 침투와 확산이 용이하도록 스폰지 구조로 되어 있다. 연료의 확산에 의한 급속한 부피팽창을 유도하기 위하여 셀의 구조, 크기 및 분포가 중요하며 보강제를 포함한 각종 첨가제와 고무의 가교도를 조절할 필요가 있다[1,2].

그러나 발포고무의 기존 연구는 밀도가 대부분 큰 단현셀 형태의 것이고 주로 용매에 장시간 노출시켰을 때 내유성에 관한 사항을 다루기 때문에 본 연구에서 추구하는 용매의 신속한 침투조건을 탐색하는데 한계가 있다[3,4]. 발포고무를 제조하기 위하여 금형에서 동시에 발생하는 발포제의 분해반응과 고무의 가교반응을 적절히 조절하여야 한다[5,6].

본 논문에서는 헬리콥터의 연료탱크에 적용가능한 적층구조의 복합재료에 적합한 고무재료를 개발하기 위하여 천연고무를 사용하여 발포고무를 제조하고 시료가 연료와 접촉할 때 발생하는 팽윤거동을 연구하였다. 급변 연구는 동일한 금형조건에서 가교제의 종류와 함량을 변화시켜서 천연고무의 가교방식과 가교도를 조절하였고 얻어진 스폰지의 셀구조와 연료에 의한 팽윤거동을 조사하였다.

## 2. 실험

### 2.1 원료물질

천연고무는 SVR-3L(베트남산)을 사용하였으며 가교는 황과 과산화물 혼합에 의한 방식과 과산화물 단독을 사용하는 방식을 채택하였다. 황과 촉진제를 사용하는 가교방식은 연료의 접촉에 의한 발포고무의 팽윤비 값이 그다지 높지 않아서 더 이상 시도하지 않았다[1]. 과산화물은 3M40%(Akzo)와 F40%(Sekiarkema), 황은 SAMU-2(삼우화학), 촉진제는 DM(금호석유화학), 카본블랙은 N774(Korea Carbon Black), 기타첨가제는 산화아연(유승산업)과 스테아린산(LG화학), 스테아린산아연(송원산업), 가공오일(미창석유화학)을 사용하였다. 발포제는 중탄산나트륨(금양화학 KY91)을 사용하였다.

### 2.2 발포고무의 제조

발포고무를 제조하기 위하여 먼저 소형 Kneader와

Roll-Mill을 사용하여 고무컴파운드를 제조하고 온도와 압력이 조절되는 프레스에서 시편을 성형하였다. 천연고무 덩어리를 Kneader에 넣고 어느 정도 균일한 상태가 되면 화학반응을 일으키지 않는 보강제와 첨가제를 넣고 약 10분 정도 혼련을 실시하였다. 다음에 고무의 스폰지 구조를 얻기 위하여 사용하는 발포제와 고무의 가교반응을 일으키는 황과 촉진제 혹은 과산화물은 Roll-Mill 작업에서 투입하였다. Roll-Mill을 통하여 얻은 시트를 적절한 두께로 몇 장 겹쳐서 금형에 넣고 고무의 가교반응과 발포제의 분해반응을 진행시켜 발포고무 시편을 제조하였다.

가압조건에서 발포시키면 셀의 크기와 분포가 비교적 균일하게 형성되지만, 발포배율이 낮고 단현셀 구조가 형성되어 본 연구에서 추구하는 천연고무 스폰지를 연료에 담갔을 때 신속한 연료의 침투를 확보할 수 없다[1]. 따라서 발포시킬 때 금형의 압력이 낮은 상압발포를 검토하였다. 그러나 가교되지 않은 상태에서 발포제가 분해되면 발생한 기체는 셀구조를 형성하지 못하고 고분자컴파운드 밖으로 새어 나오게 되므로 가압상태(150kgf/cm<sup>2</sup>)의 1차금형에서 발포제가 분해되지 않는 다소 낮은 온도에서 천연고무를 부분적으로 가교시킨 이후 신속하게 대기압 조건의 2차금형으로 옮겨서 발포와 완전가교반응을 실시하였다. 1차금형과 2차금형의 온도와 체류시간은 Oscillating Disk Rheometer를 활용하여 고무컴파운드의 가황특성을 평가하여 결정하였으며 본 연구의 모든 경우에 동일한 조건을 적용시켰다.

### 2.3 팽윤실험

금형에서 제거한 발포고무는 시간이 흐르면서 부피가 수축하므로 실온에서 1개월 이상 방치하여 안정화 시킨 후 밀도를 측정하고 팽윤실험을 실시하였다. 팽윤실험에 필요한 시편은 금형과 접촉한 스킨층을 배제시키고 셀의 분포가 비교적 균일한 중간 부위를 사용하였다. 시료를 2 cm x 1.5 cm x 0.5 cm의 직육면체 크기로 잘라서 20 ~ 23°C 온도에서 충분한 양의 용매에 담가 2분 후 꺼내어 시료의 표면에 묻은 용매를 티슈로 가볍게 제거하고 신속하게 시편의 질량과 부피를 측정하여 질량팽윤비와 부피팽윤비 값을 결정하였다. 팽윤실험은 항공기 연료탱크의 발포저항성에 관한 규격을 충족시키기 위하여 제시되어 있는 조건을 따랐다[7]. 부피팽윤비  $\alpha_V$ 와 질량팽윤비  $\alpha_M$ 은 용매에 담그기 전 시료의 부피와 질량을 기준으로 용매에 의하여 증가된 부피와 질량을 백분율로 다음 식에 의하여 구하였다.

$$\alpha_V = \frac{V - V_0}{V_0} \times 100 \quad (1)$$

$$\alpha_M = \frac{M - M_0}{M_0} \times 100 \quad (2)$$

여기서  $V$ 와  $M$ 은 용매에 2분 동안 담근 후 측정된 시료의 부피와 질량 값이고,  $V_0$ 와  $M_0$ 는 용매에 담그기 전 값이다. 용매는 항공유, 이소옥탄과 톨루엔을 사용하였다. 밀도와 팽윤비는 모든 경우 3회 이상 측정하여 얻어진 값들의 평균치를 Data로 취하였다.

### 2.4 셀구조의 관찰

발포고무의 셀구조는 주사전자현미경을 통하여 관찰하였다. 시료를 액체질소에 담가 급냉시킨 후 충격을 가하여 파단면을 형성하고 진공에서 표면에 금을 코팅하여 전자현미경 관찰에 필요한 시편을 제조하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 황과 과산화물을 사용한 공가교 결과

황과 과산화물을 동시에 사용하는 공가교 결과를 표1에 나타내었다. 천연고무 100중량부를 기준으로 모든 경우 산화아연, 스테아린산, 카본블랙, 파라핀계 가공오일, 스테아린산아연, 중탄산나트륨은 동일수준을 유지하였으며 가교제의 조성을 변화시켰다. 또한 천연고무의 가교반응과 발포제의 분해반응이 진행되는 1차금형과 2차금형 조건을 일정하게 적용시켰다.

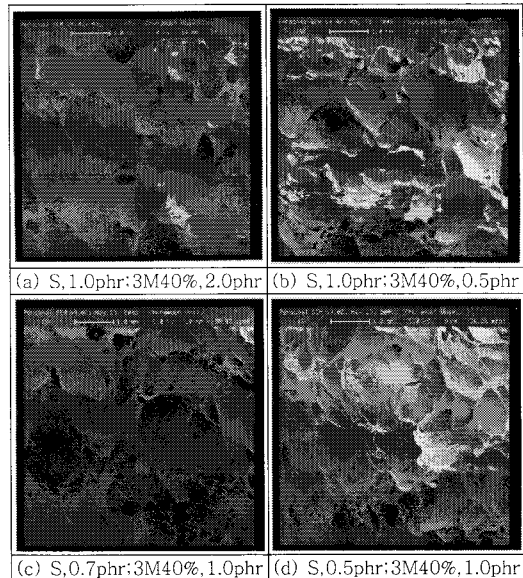
표1에서 황 함량이 일정한 조건에서 과산화물 투입량을 감소시키면 발포고무의 겉보기밀도가 0.24 g/cm<sup>3</sup>에서 0.45 g/cm<sup>3</sup> 수준으로 높아지고, 일정한 과산화물 농도에서 황 사용량을 낮추면 발포고무의 겉보기밀도는 큰 변화를 보여주지 않음을 알 수 있다. 연료에 침적시킨 후 측정된 부피팽윤비 값은 주어진 연료에서 과산화물 함량이 낮아지면 약간 증가하고 황 투입량에 따른 효과는 크지 않다. 연료 종류별 팽윤비는 항공유, 이소옥탄, 톨루엔 순서로 증가하며 이와 같은 현상은 연료와 천연고무의 친화력의 차이에 따른 것으로 해석된다[8,9]. 질량팽윤비는 부피팽윤비 보다 큰 값을 보여주며 발포고무의 겉보기밀도와 직접적인 관계가 있음을 표1에서 알 수 있다. 즉 겉보기 밀도가 작을수록 질량팽윤비는 증가한다. 이는 기공을 통하여 용매가 우선적으로 침투하기 때문이다. 황과 과산화물을 동시에 사용하는 공가교에 의하여 발포시킨 천연고무 스폰지의 셀구조를 그림1에 나타내었다. 가교제의 종

류와 함량에 따른 셀구조는 큰 차이를 보여주지 않는다. 천연고무 스폰지를 헬리콥터 연료탱크를 구성하는 자기 밀폐층의 발포고무로 활용하기 위하여 연료의 급속한 침투에 의한 부피팽창이 필요하다. 황과 과산화물의 공가교에 의한 발포고무의 부피팽윤비 값은 항공유 조건에서 50~65% 수준으로 황가교에 의한 결과[1]보다 약간 증가하였지만 다음에 서술하는 과산화물 단독에 의한 가교의 경우보다 낮다.

[표 1] 황과 과산화물을 사용한 공가교에 의한 천연고무 스폰지의 겉보기밀도와 연료별 팽윤실험 결과

가교제 조성 (phr)	S	1.0	1.0	1.0	0.7	0.5
	DM	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3M40%	2.0	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0
F40%	-	0.5	-	-	-	-
스폰지 밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	0.24	0.17	0.45	0.27	0.28	
부피팽윤비 (%)	항공유	47	64	67	50	59
	이소옥탄	60	94	74	72	74
	톨루엔	64	86	90	79	86
질량팽윤비 (%)	항공유	84	191	79	111	122
	이소옥탄	128	297	122	168	167
	톨루엔	176	336	168	211	232

팽윤실험 방법: 시편크기(2cm\*1.5cm\*0.5cm), 실온(20~23℃)에서 연료에 2분간 침적시킨 후 시편의 질량 및 부피변화를 관찰함

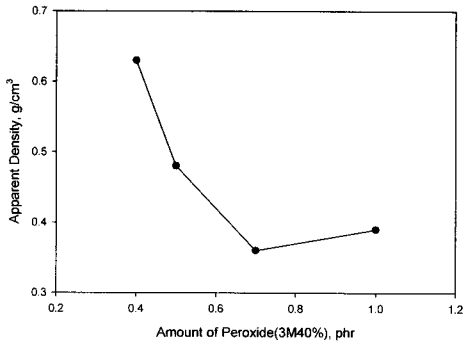


[그림 1] 황과 과산화물을 사용한 공가교에 의한 천연고무 스폰지의 셀구조를 보여주는 주사전자현미경 사진(Scale Bar 크기, 1mm)

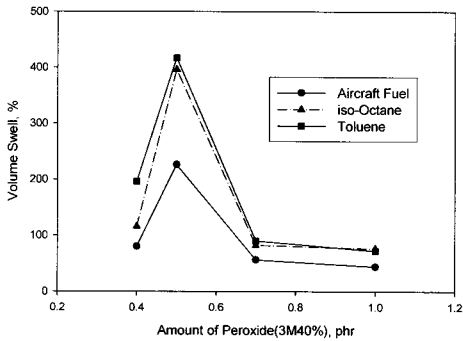
### 3.2 과산화물에 의한 가교 결과

천연고무 발포체를 연료에 침적시켰을 때 일정한 황 함량에서 과산화물 투입량의 감소가 부피팽윤비 값을 증

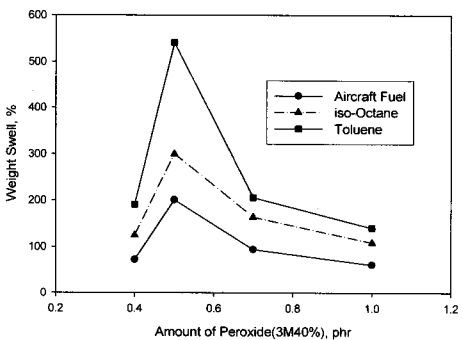
가시키는 현상을 보다 상세히 조사하기 위하여 과산화물 단독에 의한 가교를 검토하였다. 천연고무 100중량부를 기준으로 산화아연, 스테아린산, 카본블랙, 파라핀계 가공오일, 스테아린산아연, 중탄산나트륨은 동일수준을 유지하고 과산화물의 함량을 조절하여 만든 발포고무의 겉보기밀도를 그림2에, 연료 종류별 부피팽윤비와 질량팽윤비를 그림3과 그림4에 각각 나타내었다.



[그림 2] 가교제(과산화물) 함량에 따른 천연고무 스폰지의 겉보기밀도

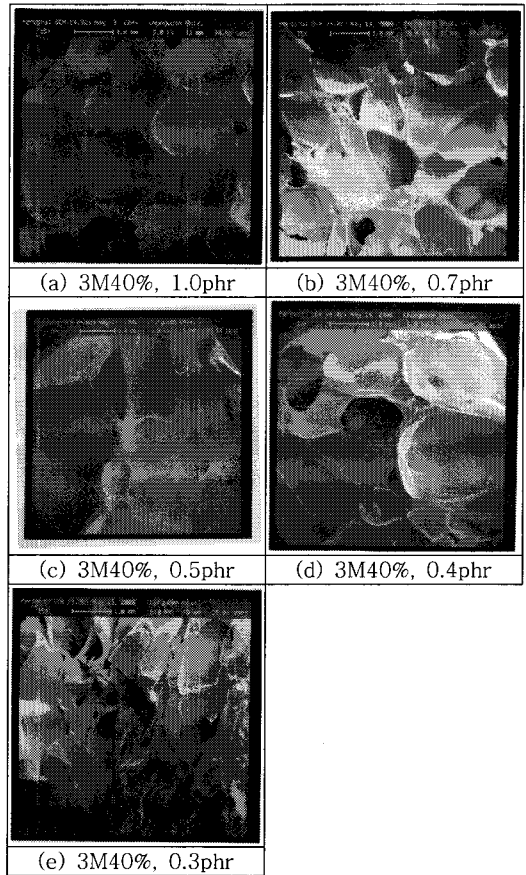


[그림 3] 가교제(과산화물) 함량에 따른 천연고무 스폰지의 부피팽윤비



[그림 4] 가교제(과산화물) 함량에 따른 천연고무 스폰지의 질량팽윤비

과산화물 가교제 3M40% 투입량이 1.0 phr인 경우 겉보기밀도가 0.4 g/cm<sup>3</sup> 수준이며, 가교제 사용량을 줄임에 따라 천연고무 스폰지의 밀도는 약간 감소하다가 증가하는 경향을 보여준다. 이는 가교제 농도가 약간 감소하면 가교된 천연고무 분자사슬의 간격이 넓어져서(가교밀도가 낮아져서) 발포제의 분해에 의한 셀형성이 쉬워지지만, 가교제 농도를 많이 낮추면 발포고무를 성형할 때 가교밀도가 너무 낮아 발포제의 분해로 발생하는 기체가 셀을 형성하는 데 기여하지 못하고 금형 바깥으로 새어나가기 때문이다. 이와 같은 현상은 천연고무 스폰지의 셀 구조를 보여주는 전자현미경 사진 그림5에서 확인된다. 실제로 3M40% 을 0.3 phr 사용한 경우, 발포고무는 마치 진흙과 같은 상태로 그림5(e)에서 형성된 셀이 무너진 모습을 보여주며 정확한 치수 측정이 곤란하여 밀도 측정과 팽윤실험을 실시하지 않았다.



[그림 5] 과산화물(3M40%) 가교에 의한 천연고무 스폰지의 셀구조를 보여주는 주사전자현미경 사진(Scale Bar 크기, 1mm)

그림3과 그림4에서 과산화물 가교제의 사용량을 낮춤에 따라 팽윤비는 처음에 서서히 증가하며 0.5 phr 근처에서 급격히 증가하다가 다시 감소하는 경향을 보여준다. 3M40%를 0.5phr 투입하여 제조한 스폰지 시료를 실온의 용매에 2분 동안 담근 후 측정된 부피팽윤비는 226%(항공유), 396%(이소옥탄), 417%(톨루엔)이었다. 실제로 피탄실험에 의하여 자기밀폐성이 입증된 상용 헬리콥터 연료탱크의 스폰지 층을 잘라서 본 연구에서와 동일한 방법으로 항공유에 2분 동안 담근 후 측정된 부피팽윤비가 89%임을 감안하면 본 연구에서 얻어진 부피팽윤비 226%는 매우 높은 값이다. 과산화물 함량에 따라 천연고무 스폰지의 팽윤비 값이 극적으로 변화하는 현상은 다음과 같이 해석된다. 가교제 투입량을 1.0phr에서 0.7phr로 약간 낮추면 천연고무 고분자 사슬의 가교도가 낮아짐에 따라 부피팽윤비가 증가되고, 발포고무의 겉보기밀도가 낮아짐에 따라 기공을 통한 연료의 침투가 용이하여 질량팽윤비가 증가하는 것으로 사료된다. 가교제 농도 0.5 phr에서 팽윤비가 급격히 증가하는 현상은 고분자사슬의 가교밀도가 적당히 낮아 발포가 용이하고 발포과정에서 열린 셀이 형성된 결과로 추정된다. 그러나 가교제의 투입량을 너무 낮추면 고분자사슬의 간격이 넓어져서 발포체의 분해로 생긴 기체가 셀 형성에 활용되지 못하고 금형 밖으로 새어나감에 따라 발포고무의 겉보기밀도가 증가하고 연료가 침투할 수 있는 통로가 부족하여 팽윤비는 감소한다. 일반적으로 기공구조를 가지지 않는 벌크고무의 경우, 과산화물에 의한 가교는 황가교에 비하여 가교구조가 치밀해져 용매에 의한 팽윤의 정도가 낮은 것으로 알려져 있다[3,10,11]. 그러나 스폰지 구조를 가지는 고무 발포체의 경우 셀의 크기와 형태는 용매가 시료에 침투하여 팽윤을 일으키는 데 결정적 역할을 하게 된다. 이는 본 연구에서와 같이 고무스폰지 시료를 연료에 접촉시켜 신속한 부피팽창을 얻기 위하여 짧은 시간 동안 발생하는 팽윤을 관찰할 때 두드러진다.

과산화물 3M40% 농도를 0.5phr 투입한 시료가 용매에 의하여 높은 팽윤비를 보이는 것은 성형된 스폰지 시료를 높은 온도의 금형에서 꺼낸 후 실온조건에서 냉각될 때 시료가 수축하지만 용매에 적시어 팽윤실험을 실시할 때 스폰지의 원래 모습이 일부 복원되는 현상과 관련성이 있어 보인다. 과산화물 농도 0.7phr과 0.5phr의 경우를 비교하면 실험에서 제조된 스폰지 시료를 금형에서 꺼낼 때 시료의 겉보기밀도가 둘 다  $0.10 \text{ g/cm}^3$  수준으로 비슷한 값이었으나 실내에 장시간 방치한 후 측정된 겉보기밀도는 그림2에서 보는 바와 같이 차이를 보였다. 과산화물 농도 0.7phr의 경우 천연고무 스폰지의 겉보기밀도는  $0.36 \text{ g/cm}^3$  이며 0.5phr의 경우  $0.48 \text{ g/cm}^3$  이다. 즉 과

산화물 농도 0.5phr에서 수축이 많이 발생하였다. 그러나 스폰지 시편을 잘라서 용매에 담그면 그림3과 그림4에서 알 수 있듯이 과산화물 농도 0.5phr의 시료가 훨씬 큰 팽윤비를 보인다. 팽윤실험에서 천연고무 스폰지 시편을 용매에 2분 동안 담근 후 시료의 상태를 관찰하였을 때, 과산화물 농도 0.5phr의 경우 수축되었던 셀 구조가 확장되어 회복되는 정도가 더 큼을 확인할 수 있었다. 이와 같이 용매의 도움으로 수축되었던 셀구조가 회복되는 현상은 천연고무의 탄성특성이 우수하기 때문이다. 천연고무 스폰지를 제조할 때 적용된 원료와 성형공정 조건이 스폰지의 셀 구조와 용매에 의한 부피팽창에 미치는 효과를 규명하기 위하여 보다 많은 연구가 필요하다.

#### 4. 결론

헬리콥터의 연료탱크에 적용가능한 자기밀폐성을 갖는 고무소재를 개발하기 위하여 천연고무를 사용하여 발포고무를 제조하고 연료의 접촉에 따른 팽윤거동을 연구하였다. 동일한 금형조건에서 가교제의 종류와 함량을 변화시켜 천연고무의 가교방식과 가교도를 조절하여 얻어진 스폰지의 셀구조와 연료에 의한 팽윤거동을 조사하였다. 과산화물과 황을 섞어 가교시킨 경우 연료에 의한 팽윤비가 황가교에 비하여 크게 높지 않았으며, 황 함량보다 과산화물의 함량이 팽윤비에 미치는 효과가 컸다. 과산화물을 사용한 가교에서 과산화물 투입량을 낮춤에 따라 팽윤비는 서서히 높아지다 급격히 증가하며 다시 감소하는 결과를 얻었다. 과산화물 3M40%를 0.5phr 사용한 경우 팽윤비가 가장 큰 값을 보였다. 과산화물 농도에 따른 팽윤비의 변화는 수축되었던 스폰지의 셀구조가 용매에 의하여 회복되는 현상과 관련이 있으며, 금형 내부에서 동시에 진행되는 발포체의 분해반응과 고무의 가교반응이 발포고무의 셀구조 형성과 가교밀도에 영향을 미치기 때문이다. 가교반응이 많이 진행되어 고분자사슬 구조가 치밀하게 되면 발포가 불가능하며 고무가 가교되지 않은 상태에서 발포체가 분해되면 발생한 기체는 금형 바깥으로 새어나가 발포구조를 얻을 수 없다. 본 연구를 통하여 헬리콥터의 연료탱크에 적용시킬 수 있는 우수한 성능의 자기밀폐성을 갖는 고무소재를 개발하기 위한 기초자료를 확보하였다.

#### 참고문헌

- [1] Lee, H. K., et al., "Swelling Behavior of Natural

Rubber Foam", 1st KHP Rotarcraft Technology Symposium, Seoul, Aug. 2007

[2] Rodgers, B. and Waddell, W., "The Science of Rubber Compounding" in The Science and Technology of Rubber, James, E. M., Burak, E., and Frederick, R. E.(Eds.), 3rd Ed., pp. 401-454, Elsevier Academic Press, 2005

[3] Sombatsompop, N., "Effects of Crosslink Characteristics on Density and Swelling Behaviour of Expanded Natural Rubber Vulcanisates", Cell. Polym., Vol.17, No.2, pp. 63-74 (1998)

[4] Unnikrishnan, G., Thomas, S., "Sorption and Diffusion of Aliphatic Hydrocarbons into Crosslinked Natural Rubber" J. Polym. Sci. B: Polym. Phys. Vol.35, No.5, pp. 725-734 (1997)

[5] Rowland, D. G., "Practical Chemical Blowing Agents for Expanding Rubber", Rubber Chem. Tech., Vol.66, No.2, pp. 463-475 (1993)

[6] Sims, G. L. A. and Sirithongtaworn, W., "Azodicarbonamide and Sodium Bicarbonate Blends as Blowing Agents for Crosslinked Polyethylene Foam", Cell. Polym., Vol.16, No.3, pp. 271-283 (1997)

[7] MIL-DTL-27422C, "Detail Specification for the Tank, Fuel, Crash-Resistant, Ballistic- Tolerant, Aircraft", Jan. 2002

[8] Zhang, R., "cis-1,4-Polyisoprene" in Polymer Data Handbook, Mark, J. E. (Ed.), pp. 607-619, Oxford University Press, New York, 1999

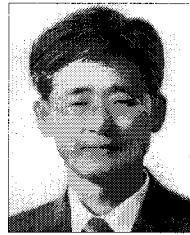
[9] Grulke, E. A., "Solubility Parameter Values" in Polymer Handbook, Brandrup, J. and Immergut, E. H. (Eds.), 3rd Ed., pp. VII/519-559, John Wiley & Sons, New York, 1989

[10] Chan, B. L., Elliott, D. J., Holley, M. and Smith, J. F., "The Influence of Curing Systems on the Properties of Natural Rubber", J. Polym. Sci.: Symposium No. 48, pp. 61-86 (1974)

[11] Hagen, R., Salmen, L. and Stenberg, B., "Effects of the Type of Crosslink on Viscoelastic Properties of Natural Rubber" J. Polym. Sci. B: Polym. Phys. Vol.34, No.12, pp. 1997-2006 (1996)

**이 환 광(Hwan-Kwang Lee)**

[정회원]



- 1981년 2월: 연세대학교 화학공학(학사)
- 1984년 2월: KAIST 화학공학과 (석사)
- 1992년 5월: Polytechnic Univ. (New York) 고분자공학(박사)
- 1984년 1월 ~ 1988년 7월: (주)SKC 수원공장 과장
- 1992년 4월 ~ 1993년 6월: Polytechnic Univ. (New York) 고분자연구소 연구원
- 1993년 7월 ~ 1995년 2월: (주)새한 기술연구소 수석 연구원
- 1995년 3월 ~ 현재: 청운대학교 화장품과학과 부교수

<관심분야>  
고분자공학, 고분자재활용

**정 태 경(Tae-Kyong Chung)**

[정회원]



- 2001년 2월: 인하대학교 자동차공학과(학사)
- 2000년 12월 ~ 현재 (주)한화 항공우주기술연구소 개발 2팀 선임연구원

<관심분야>  
항공기연료시스템

**김 성 찬(Sung-Chan Kim)**

[정회원]

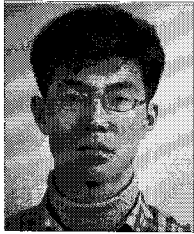


- 1988년 2월: 한국항공대학교 항공기계공학과(학사)
- 1998년 8월: 한국항공대학교 항공기계공학과(석사)
- 1988년 ~ 1991년 : SUN HYDRAULICS KOREA CORP.
- 1991년 ~ 1994년: (주)광림 과장
- 1994년 ~ 1999년: 대우중공업 선임연구원
- 1999년 ~ 2000년 : 한국항공우주산업 선임연구원
- 2000년 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 항공사업단 KHP 개발실 세부계통팀장
- 2003년 항공기체기술사

<관심분야>  
항공기 구조설계 및 세부계통

김 현 기(Hyun-Gi Kim)

[정회원]



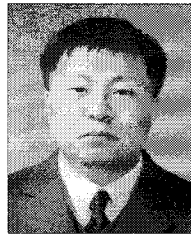
- 2000년 2월: 서울대학교 기계항공공학부(학사)
- 2002년 2월: 서울대학교 기계항공공학부(석사)
- 2006년 2월: 서울대학교 기계항공공학부(박사)
- 2006년 2월 ~ 2007년 12월: 현대중공업 구조연구실 선임연구원

• 2007년 12월 ~ 현재: 한국항공우주연구원 항공사업단 KHP 개발실 선임연구원

<관심분야> : 구조최적화, 축소모델

김 영 민(Young-Min Kim)

[정회원]



- 2000년 8월: 전남대학교 고분자공학과(학사)
- 2002년 8월: 전남대학교 고분자공학과(석사)
- 2008년 8월: 부산대학교 고분자공학과(박사과정)
- 2002년 8월 ~ 현재: 한국신발피혁연구소 고무재료연구부 선임연구원

<관심분야> : 고분자가공, 고무컴파운드

최 경 만(Kyung-Man Choi)

[정회원]



- 1992년 2월: 경희대학교 화학공학(학사)
- 1994년 2월: 경희대학교 유기합성전공 (석사)
- 2002년 2월 : 부산대학교 고분자물성 및 특성 (박사 수료)
- 1994년 ~ 2002년: 한국신발피혁연구소 선임연구원

• 2002년 ~ 현재 : 한국신발피혁연구소 고무재료 연구부 발포체 연구팀 팀장

<관심분야> : 고분자가공, Hybrid첨가제, 표면활성화기술

한 동 훈(Dong-Hun Han)

[정회원]



- 2005년 2월: 세종대학교 화학과(학사)
- 2007년 2월: 세종대학교 화학과(석사)
- 2007년 2월 ~ 현재: 한국신발피혁연구소 고무재료연구부 연구원

<관심분야> : 고분자가공, 발포체가공, 분석화학