

# Synthetic Hydrotalcite가 클로로프렌 고무 발포체의 내염수성에 미치는 영향 연구

## Effect of Synthetic Hydrotalcite on Salt Water Resistance of Chloroprene rubber Foam

### \*Corresponding author

Eun Young Park  
(pey8054@kifit.re.kr)

박은영\*, 서은호, 임성욱  
한국신발피혁연구원

Eun Young Park\*, Eun Ho Seo and Lim Sung Wook

Korea Institute of Footwear and Leather Technology, Busan, Korea

Received\_June 24, 2019  
Revised\_August 14, 2019  
Accepted\_September 16, 2019

**Abstract** In this study, we investigated for synthetic hydrotalcite in chloroprene rubber foam. Experiments were carried out to find the optimum content ratio by controlling the contents of MgO and Hydrotalcite. Swelling test in toluene immersion was made to measure the crosslinking density of CR foams, and the cure properties were investigated with flat die rheometer and Mooney viscosity. The difference of hardness, tensile strength and elongation at break were observed after immersing in 7% NaCl or 21% NaCl solutions for a day and four days. In addition, the volume change and water content remaining in CR foam were measured after immersing NaCl solution. As content of MgO increased, the value of the cure torque tended to increase, but it was almost constant above 2phr of MgO. However, the Mooney viscosity decreased with increasing MgO content. The crosslinking density, determined by the swelling ratio, showed that the CR compound without MgO showed a higher degree of swelling. When the content of hydrotalcite/MgO was 3:2, it was the lowest volume change of CR form. Also, As the content of hydrotalcite decreased, the difference of mechanical properties before and after immersion NaCl solution increased.

### Textile Coloration and Finishing

TCF 31-3/2019-09/177-186

©2019 The Korean Society of Dyers and Finishers

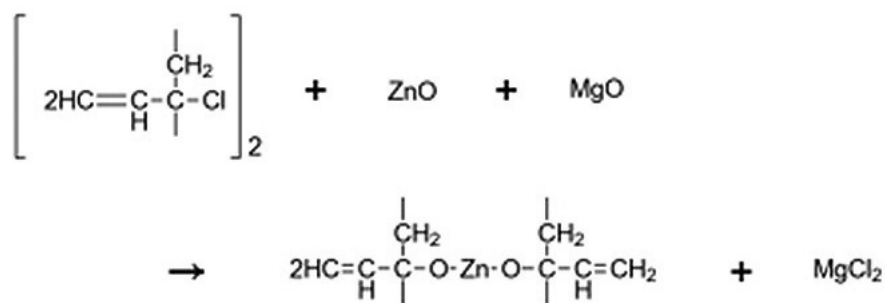
**Keywords** synthetic hydrotalcite, chloroprene rubber foam, salt water resistance, crosslinking density, flat die rheometer

## 1. 서 론

최근 해양스포츠산업의 시장규모가 커지면서 잠수복용 웨트슈트의 수요가 증가하고 있다. 웨트슈트에 적용되는 고무는 주로 클로로프렌 고무(Polychloroprene rubber, CR)이며 경량화를 위해 발포를 시켜 제품에 사용된다.

CR고무는 전자를 끄는 극성인 염소(Cl)원자가 오존이나 산소로부터 이중결합을 비활성화 시키고 고무에 극성을 부여하여 탄화수소에 대한 팽윤 저항성이 뛰어

나서 내유성이 우수하다<sup>1,2)</sup>. 또한 내후성, 내오존성 및 내약품성이 우수한 특징이 있다<sup>3)</sup>. 그 중 내수성에 뛰어난 재료에 속하지만 장기간 바닷물과의 접촉 시 체적변화가 발생하고 이로 인하여 시간에 따른 제품의 장기 내구성이 현저히 떨어지는 문제점이 있다. CR계 발포체의 체적변화가 발생하는 원인 중 하나는 고무의 가공이나 노화 시 발생하는 HCl이 CR계 발포 컴파운드 내 가교제, 활성화제 및 산수용체(acid acceptor)역할인 산화마그네슘(MgO)과 같은 금속산화물과 반응하여 MgCl<sub>2</sub>가 생성된다<sup>4)</sup>.



Scheme 1. Mechanism of MgO as an acid acceptor

Scheme 1과 같이 생성된 MgCl<sub>2</sub>는 흡습성(Hygroscopicity)(solubility in water: 54.3 g/100mL (20°C))이 강해서 수분과 결합하여 수화물 인 MgCl<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>x</sub>와 같은 형태를 가지게 된다<sup>5)</sup>. 이는 CR계 발포체 제품에 체적변화를 일으키게 되어 장기적으로 제품의 물성을 저하시킨다.

기존의 CR 계 발포체의 내수성을 향상시키기 위해서 금속산화물인 MgO대신 산화납(PbO)을 산수용체로 사용하였다. 산 수용체로서의 PbO는 가공 시 PbCl<sub>2</sub>가 형성되며 납(Pb)과 Cl<sub>2</sub><sup>-</sup>(염소이온)사이의 정전기적 인력이 강해서 물과의 용해도가 낮다<sup>6)</sup>. 물과의 용해도 (Solubility in water)는 10.8g/L(20°C)이며 수화물 형태로 존재하지 않고 CR 계 발포체의 체적변화에 영향을 주지 않는다. 하지만 PbO는 유해하며 체내에 축적될 시 만성적인 독성을 야기하기 때문에 인체와 맞닿는 웨트에는 적용될 수 없으며, 또한 밀도 (5.85g/cm<sup>3</sup>)가 높으며 발포체에는 적당하지 않다.

따라서 CR 컴파운드에 첨가되는 산수용체로서 산화마그네슘이나 산화납을 대체하기 위해서 새로운 첨가제인 Hydrotalcite를 도입하였다. Hydrotalcite는 이중 층 수산화물 구조체(Layered Double Hydroxide, LDH)의 결정 구조를 가지며, 평면 구조의 음이온성 점토의 한 종류로서 양이온 층과 이온 교환이 가능한 음이온의 이중 층으로 구성되어 있다<sup>7)</sup>. Hydrotalcite가 고분자 컴파운드내에 첨가될 시 열 안정제나 산 수용체로서의 역할을 하며, Scheme 2와 같이 Hydrotalcite

와 HCl이 만나면 crystal 구조가 형성되며 이러한 구조는 열에 안정적이며 Cl<sup>-</sup>를 이탈시키려면 450°C 이상의 열을 가해야 하며 또한, 물이나 오일에 낮은 용해도를 가진다<sup>8)</sup>.

따라서 CR 발포체의 내수성을 개선시키기 위해서는 Hydrotalcite의 첨가가 도움 될 것으로 예상된다.

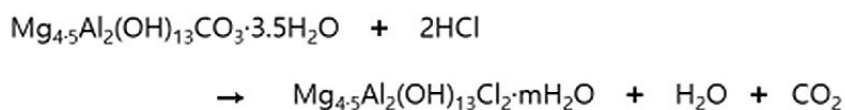
본 연구는 CR 계 발포체에서 금속산화물인 MgO를 대체하여 MgO와 Hydrotalcite의 함량비를 조절하면서 물성이 저하되지 않는 하에 내수성 개선에 영향을 줄 수 있는 최적의 함량비를 찾고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 원료 및 배합

#### 2.1.1 원료

Chloroprene rubber는 Denka사의 황변성 타입인 PM-40NS(Mooney viscosity: 50±10)를 사용하였고 산수용체인 Synthetic Hydrotalcite는 Kyowa Chemical의 DHT-4A를 사용하고 Konoshima Chemical의 Magnesium oxide(MgO)를 사용하였다. CR 고무의 발포제는 (주)금양의 4,4'-Oxydibenzenesulfonyl Hydrazide(OBSH, decomposition temperature: 158~163°C)를 사용하였고, 첨가제인 Calcium Carbonate(CaCO<sub>3</sub>)는 (주)유진실업, 가교제는 Miwon의 Sulfur를 사용하였고 Processing oil은 미창석유공업의 N-2 오일을 사용하였다.



Scheme 2. Mechanism of Hydrotalcite as an acid acceptor

### 2.1.2 배합

CR 발포체를 제조하기 위하여, 밀폐식혼합기(Kneader, Moriyama)를 사용하였다. Rotor 속도 30 rpm, 챔버 초기 온도 25℃에서 최종온도 90℃로 적용하였다. 가교제와 발포제는 two-roll mill를 통해 투입하여 5분 동안 가교제와 발포제를 분산시켰다. CR 발포체의 동일비중인 0.2g/cm<sup>3</sup>을 맞추기 위하여 MgO의 함량이 증가할수록 OBSH의 함량을 0.5phr 씩 더 첨가하여 CR 발포체를 제조하였다. MgO와 Hydrotalcite의 함량비를 조절하여 Table1 과 같이 배합 조성을 설정하였다.

## 2.2 물성측정

### 2.2.1 가교 및 가교밀도

CR 컴파운드의 가교 및 발포 특성은 FDR(Flat Die Rheometer, VR 3110, Japan)를 사용하여 155℃에서 10분간 가교토크를 측정하였다. 또한, 가교고무의 가교밀도와 내염수성과의 상관관계를 규명하기 위하여 가교고무의 가교밀도를 측정하였다. 가교밀도는 Swelling test(ASTM D471)를 진행하였으며 아래와 같은 식을 사용하여 측정하였다. 팽윤비(Swelling ratio)의 역수는 겔보기 가교밀도를 의미하며 가교된 고무의 팽윤비가 클수록 가교밀도는 낮음을 의미한다. 이는 가교된 고무가 용매에 의해 더 많이 팽윤된 것을 의미하기 때문이다. 시료는 30×5×2mm 크기의 가교 고무 시료를 제작하였다. CR 고무의 용해도 지수(Solubility parameter)는 18.5MPa<sup>1/2</sup>이며 CR 고무와 용해도 지수가 비슷한 용매인 톨루엔(18.5MPa<sup>1/2</sup>)을 사용하여 팽윤도 실험을 하였다. 가교고무 시료를

제작하여 톨루엔에 상온에서 1, 2, 3, 6, 12, 24, 48, 72시간 침지 시킨 후 꺼내어 시료의 무게를 측정하였다. 측정된 시료의 시험 전 후 무게를 이용하여 다음의 식(1)으로 팽윤도(%)를 측정하였다.

$$\text{Swelling ratio}(\%) = 100 \times (W_1 - W_0) / W_0 \dots(1)$$

where,

W<sub>0</sub> : Weight of rubber specimen before immersion in toluene

W<sub>1</sub> : Weight of rubber specimen after immersion in toluene

### 2.2.2 Mooney viscosity 측정

CR 배합물의 점도 특성을 확인하기 위해 유변학적 특성을 확인하기 위하여 무니점도계(Mooney viscometer, Daekyoung engineering, DMC-200C, Korea)를 사용하여 KS M ISO 289-1 규격에 준하여 측정하였다. 측정 조건은 100±0.5℃에서 1분간 예열 후 4분간 ML(1+4)를 측정하였다.

### 2.2.3 발포체 제조 및 물리적 특성

CR 배합물을 평판식 유압프레스를 이용하여 동일한 온도 및 시간 조건하에서 155℃에서 10분간 가교 및 발포를 시켰다. CR 발포체의 경도는 스프링식 경도계(Asker C)로 측정하였으며, 인장강도 및 파단신율은 KS M6518의 시험편 규격에 준하여 아령형 인장시험편을 제작하여 인장시험기를 사용하여 상온에서 500mm/min의 속도로 측정하였다. 5개의 시험편을 이

**Table 1.** Formulation of CR foams for Hydrotalcite/MgO content

	CR5/0	CR4/1	CR3/2	CR2/3	CR1/4	CR0/5
Chloroprene rubber	100	100	100	100	100	100
Processing oil	50	50	50	50	50	50
Black M/B(70%)	20	20	20	20	20	20
ZnO	5	5	5	5	5	5
CaCO <sub>3</sub>	20	20	20	20	20	20
Sulfur	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
OBSH	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0
Hydrotalcite	5.0	4.0	3.0	2.0	1.0	0
MgO	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0

용하여 측정하였으며, 최대치와 최소치를 제외한 3개의 평균값을 표시하였다.

2.2.4 내염수성 시험

CR 발포체의 내염수 특성을 알아보기 위하여 고무시편을 바닷속 온도와 비슷한 10℃에서 1일, 4일 동안 7% NaCl 또는 21%농도의 NaCl 수용액에 각각 침지시킨 후 다음과 같은 식(2)으로 고무시편의 체적변화를 측정하였다. 또한, 내염수시험 전 후의 시험편의 기계적 물성인 경도, 인장강도 및 파단신율을 측정하였다.

$$\text{Degree of volume change (\%)} = 100 \times (G_1 - G_0) / G_0 \dots(2)$$

where,

G<sub>0</sub> : Specific gravity before immersion in NaCl solution

G<sub>1</sub> : Specific gravity after immersion in NaCl solution

2.2.5 수분함량 분석

내염수 시험 후 시편의 수분함량(moisture content)을 확인하기 위하여 다음 식(3)으로 시편 표면의 NaCl 수용액을 제거한 후 무게(W<sub>0</sub>)를 측정한 후 100℃ 오븐에서 1일간 건조하여 시편내에 남아있는 수분을 제거한 후 무게(W<sub>1</sub>)를 측정하여 무게변화를 확인하였다. 소수점 넷째 자리까지 측정하였고 3개의 평균값을 나타내었다.

$$\text{Moisture content(\%)} = 100 \times (W_0 - W_1) / W_1 \dots(3)$$

2.2.6 내염수 전후 SEM/EDS 분석

내염수 침지 전 CR3/2과 NaCl 21% 수용액에 4일

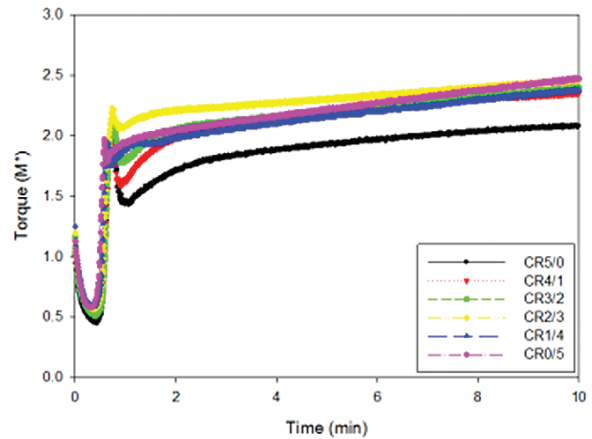


Figure 1. Cure behavior of chloroprene rubbers.

간 침지 후 CR5/0~CR0/5의 표면사진을 300배로 확대하여 SEM image로 촬영하였고 EDS를 통해 CR 폼의 표면 원소 분석을 진행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 가교특성

Hydrotalcite와 MgO 함량비에 따른 가교특성을 Figure 1와 Table 2에 나타내었다. CR 배합에서 MgO의 일반적인 역할은 가공온도에서는 안정제로 작용하여 저장 안정성을 향상시켜 스코치 방지제로써의 역할을 하며, 고무를 소련 할 시 가소화를 촉진시킨다. 또한 가교가 되는 온도에서 가교제 및 활성화제 역할을 하며 가공 시 발생하는 염소원자(Cl)의 수용체로서 역할을 한다. MgO의 함량이 증가할수록 토크값이 증가하는 경향을 보였으며 MgO가 첨가되지 않은 CR 5/0의 경우 가장 낮은 가교토크값을 보였다. 이는 MgO는 산수용체 역할뿐만 아니라 CR 컴파운드내에서 금속산

Table 2. Properties for Hydrotalcite/MgO content in Chloroprene rubber

	Mooney viscosity [ML1+4(100℃), cP]	Maximum torque (dN · m)	Minimum torque (dN · m)	ΔM M <sub>H</sub> -M <sub>L</sub>
CR5/0	12.1	2.07	0.31	1.76
CR4/1	7.0	2.45	0.41	1.96
CR3/2	6.8	2.35	0.37	1.98
CR2/3	6.2	2.39	0.36	2.03
CR1/4	6.1	2.40	0.40	2.05
CR0/5	5.4	2.47	0.42	2.06

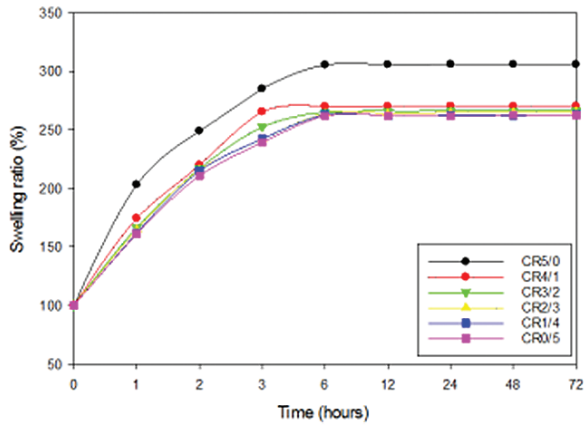


Figure 2. Swelling ratio of CR foams.

화물로 가교에 영향을 끼치는 가교제 및 활성화제 역할을 하기 때문이다. 무니점도 측정 결과 Hydrotalcite 함량이 증가하고 MgO 함량이 감소할수록 무니점도가 높아지는 것을 확인하였다.

Hydrotalcite의 inter layered 구조에 있는 산소와 수소이온이 CR 주사슬의 Cl기와 수소결합을 하여 컴파운드의 점도를 높이는데 기인하는 것으로 예상된다.

### 3.2 가교밀도

CR의 상대적인 가교밀도를 확인하기 위하여 팽윤도를 측정하여 Figure 2에 나타내었다. 팽윤도는 MgO 함량이 증가하고 Hydrotalcite의 함량이 감소할수록 팽윤이 감소하였고 MgO가 첨가되지 않은 CR은 팽윤이 가장 많이 되었으며 CR 3/2부터 팽윤도가 일정한 값을 보였다. 또한 화학적 가교밀도를 의미하는  $\Delta$

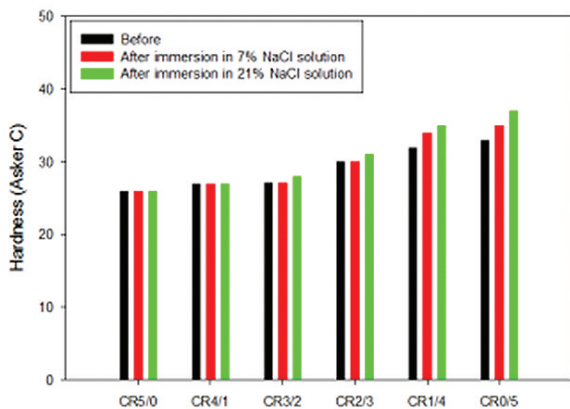


Figure 3. Hardness before and after immersion in NaCl solution for a day.

M( $M_H - M_L$ )도 팽윤도 시험결과와 유사하게 측정되었다. MgO가 첨가되지 않은 CR 5/0 배합은 낮은 화학적 가교밀도와 팽윤도가 가장 높았으며 이는 CR 컴파운드 배합에서 MgO는 필수적으로 첨가되어야 한다.

### 3.3 내염수 침지 전후의 기계적 특성

내염수 침지 전후 경도, 인장강도, 파단신율을 Figure 3~Figure 8에 나타내었다. MgO의 함량이 증가할수록 내염수 침지 전후의 경도, 인장강도 및 신율변화가 증가하였다. 내염수 시험 후 생성된  $MgCl_2$ 가 수화물 형태인  $MgCl_2(H_2O)_x$ 로 존재하여 물성변화가 큰 것으로 예상된다. 인장강도는 내염수 침지 후 감소하였고 파단신율은 증가하는 경향을 보였다. 내염수 침지 후 생성된  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ (Magnesium chloride hexahydrate)와 같은 수화물은 CR과 같은 hydrophilic의 성질을 가지며  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 는 수분을

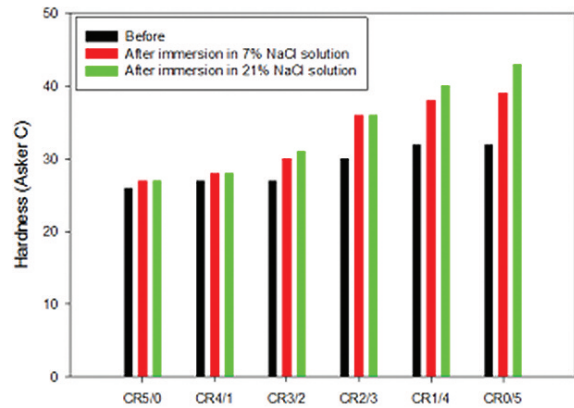


Figure 4. Hardness before and after immersion in NaCl solution for four days.

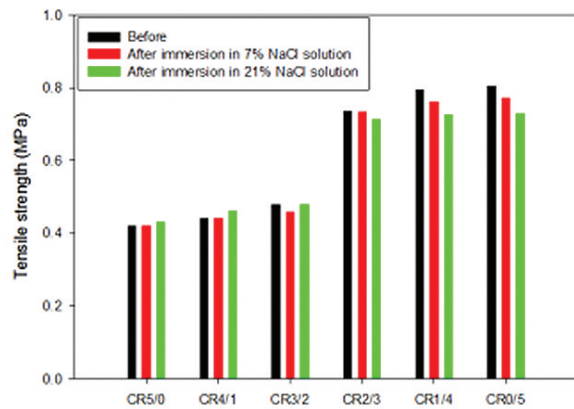


Figure 5. Tensile strength before and after immersion in NaCl solution for a day.

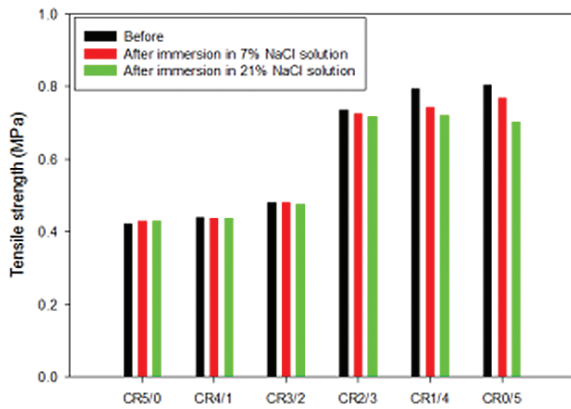


Figure 6. Tensile strength before and after immersion in NaCl solution for four days.

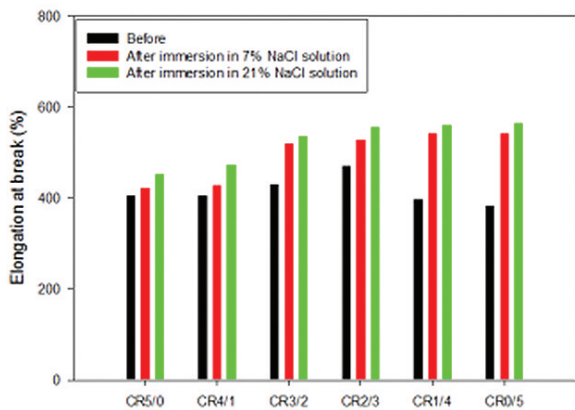


Figure 7. Elongation at break before and after immersion in NaCl solution for a day.

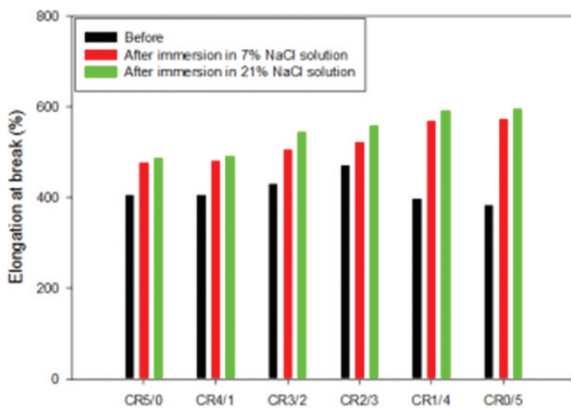


Figure 8. Elongation at break before and after immersion in NaCl solution for four days.

함유하여 CR 고무에 plasticizing effect 효과를 보인다<sup>9)</sup>. 즉, MgCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O는 CR 컴파운드 내에서 CR 고분자사슬끼리의 물리적 결합을 저해하며 CR 사슬의 유동성을 증가시켜 신장률은 증가하지만 인장강도는 감

소하는 것으로 보인다<sup>10)</sup>. 또한, 파단신율의 경우 MgO의 함량이 4phr 이상에서 감소하는 경향을 보였는데, 일정 가교도 이상이 되면 분자사슬의 운동이 제약되는 경직된 3차원 망상구조를 가지게 되며 이러한 망상구조는 외부의 힘에 의한 변형이 발생했을 때 받은 에너지를 발산하지 못하게 됨으로써 파단 신율이 낮은 결과를 보인다<sup>11)</sup>. 내염수 침지 후 경도는 증가하였고 이는 내염수 침지 직후 CR 발포체가 수분의 함유로 인하여 경도가 상승한 것으로 예상된다.

### 3.4 내염수 시험 후 체적변화율

내염수 후 시편의 체적변화율을 Figure 9와 Figure 10에 나타냈다. CR 발포체에 Hydrotalcite 단독으로 첨가했을 시 오히려 체적변화율의 값이 증가하였다. CR 5/0, CR 4/1의 경우 MgO의 함량이 작아서 충분한 가교를 못해서 오히려 체적변화율이 증가한 것으로

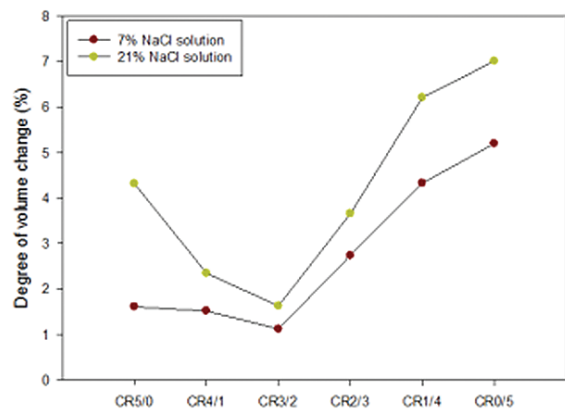


Figure 9. Degree of volume change after immersion in NaCl solution for a day.

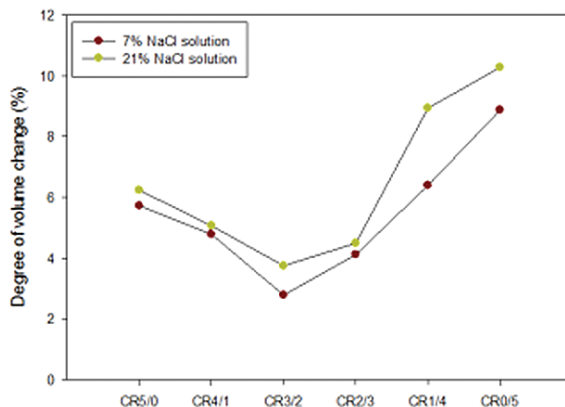


Figure 10. Degree of volume change after immersion in NaCl solution for four days.

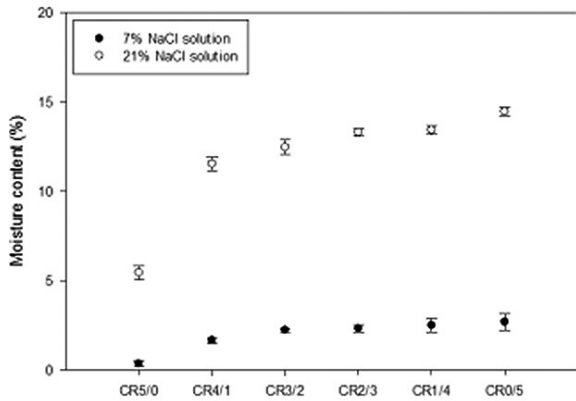


Figure 11. Moisture content after immersion in NaCl solution for a day.

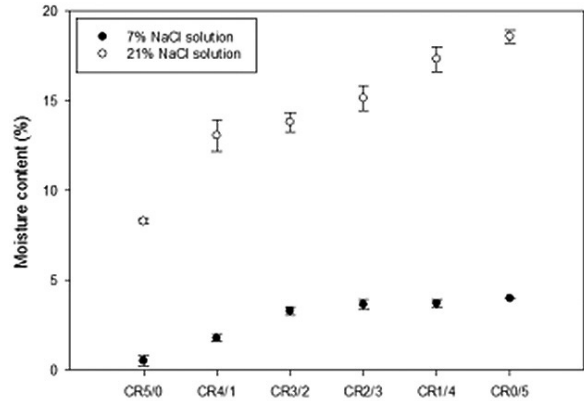


Figure 12. Moisture content after immersion in NaCl solution for four days.

보인다. 반면 MgO의 함량이 증가하고 Hydrotalcite의 함량이 감소하면 체적변화율이 증가하였는데 CR 컴파운드내 산화마그네슘이 CR 가공 시 발생하는 HCl과 반응하여 흡습성이 강한 MgCl<sub>2</sub>를 형성하여 수분흡수가 더 많아진 것으로 예상된다. CR 3/2의 경우 가장 낮은 체적변화율을 보였다. MgO의 함량이 증가할수록 가교밀도는 증가하지만 MgO의 함량이 증가하는 만큼 Hydrotalcite는 감소하기 때문에 MgO의 함량이 3phr, Hydrotalcite의 함량이 2phr일 때 적정 가교도를 가지면서 동시에 Hydrotalcite의 Acid acceptor로서의 역할을 할 수 있는 최적의 함량이라고 판단된다. Hydrotalcite는 음이온 교환 특성(anion-exchange property)을 가진다. Hydrotalcite의 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>는 HCl의 Cl<sup>-</sup>이온과 교환되어 Cl을 흡수하여 안정한 crystal 구조를 가지며 이러한 crystal structure는 물이나 오일

에 대한 용해성이 없으며 crystal structure에서 Cl<sup>-</sup>이온을 떼어내려면 450℃되어야 하므로 내염수 후 체적변화율에 영향을 끼치는 것으로 보인다<sup>12-14</sup>.

### 3.5 내염수 시험 후 수분함량측정

내염수 시험 후 컴파운드내에 남아있는 수분을 제거한 뒤 CR 발포체의 무게를 측정하여 Figure 11와 Figure 12에 나타내었다.

MgCl<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O는 컴파운드 내에서 Magnesium Chloride, hexahydrate(MgCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O)와 같은 수화물 형태로 존재하게 되며 MgO의 함량이 많아질수록 Magnesium Chloride hexahydrate의 결정 형성이 증가하는 것으로 보인다. Hydrotalcite의 함량이 줄어들고 MgO의 함량이 많아질수록 무게변화가 증가하는 것을 확인할 수 있었는데, 이는 Magnesium Chloride

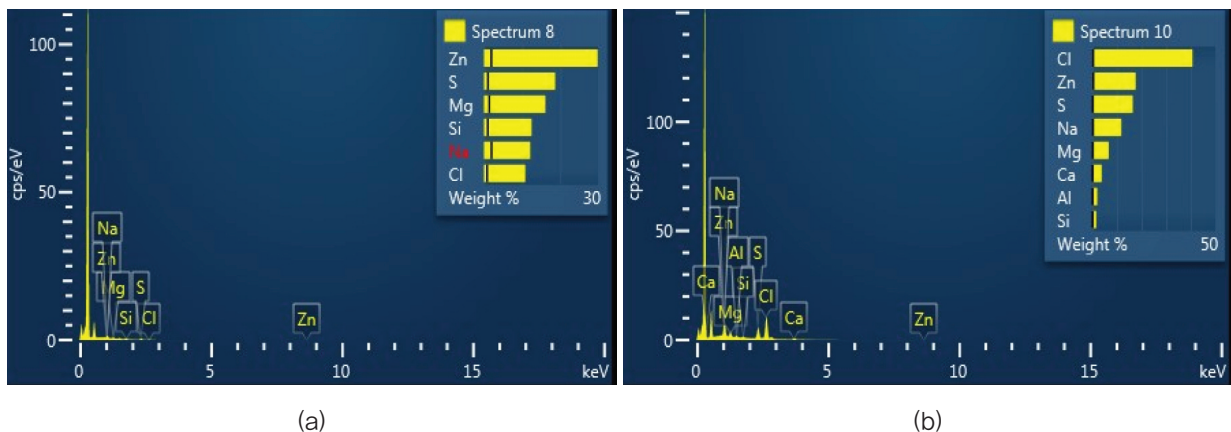
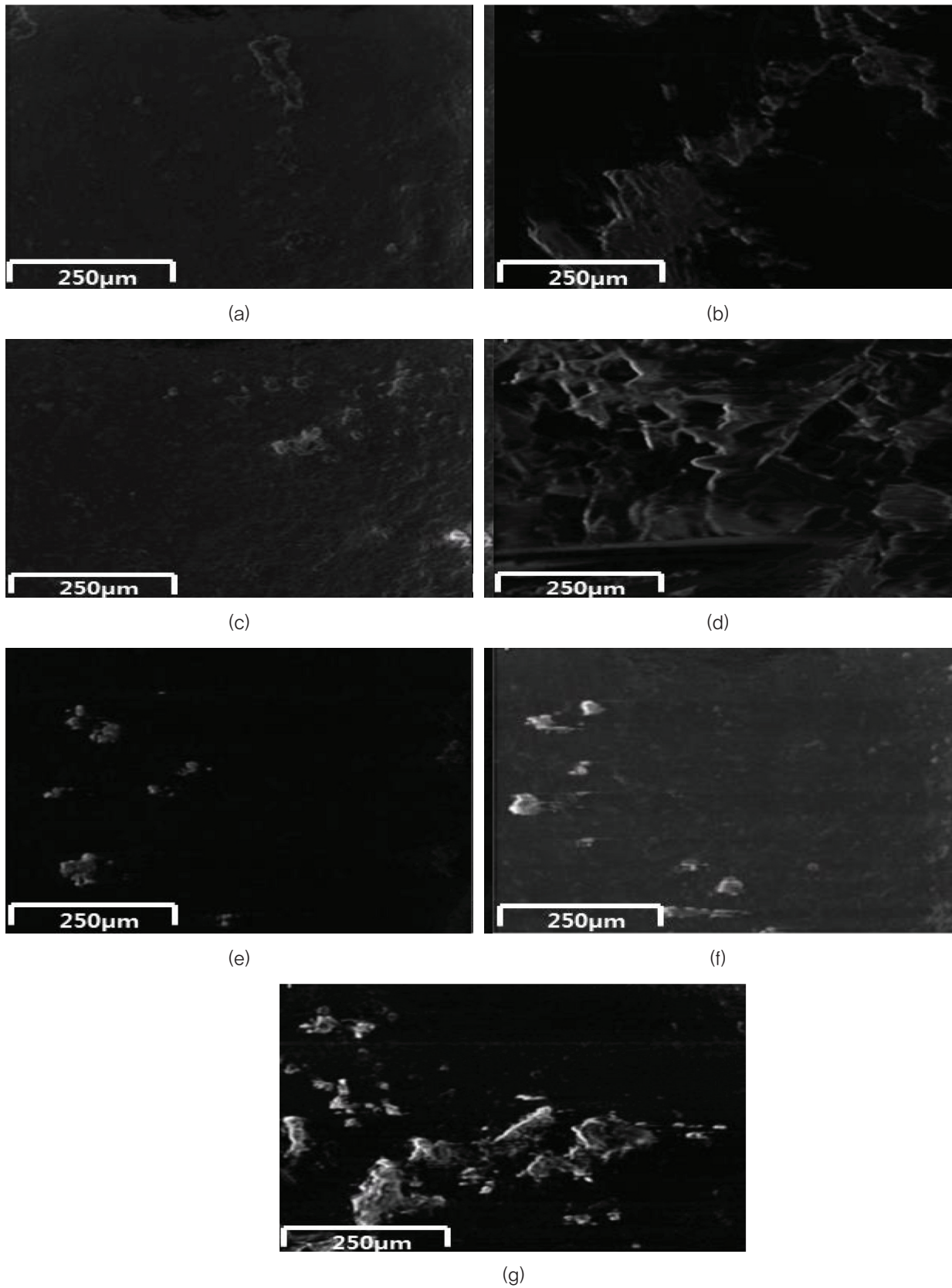


Figure 13. EDS analysis of CR3/2 (a) CR 3/2 before immersion NaCl solution (b) CR 3/2 after immersion NaCl solution.



**Figure 14.** SEM image of CR foam (a) CR 3/2 before immersion NaCl solution, (b) CR5/0, (c) CR4/1, (d) CR3/2, (e) CR2/3, (f) CR1/4, (g) CR0/5.

ride, hexahydrate의 함량이 많아지고 반면에 Hydrotalcite와 HCl과의 반응을 통하여 생성된  $H_2O$ 가  $100^\circ C$  오븐에서 건조되면서 제거되었기 때문으로 보인다.

### 3.6 내염수 시험 전 후 SEM image 및 EDS 분석

내염수 시험 전 후 SEM image 및 EDS 분석을 Figure 13와 Figure 14에 나타내었다.

내염수 시험 전 후의 CR 3/2의 EDS 분석 결과 내염수 시험 후 Cl peak가 크게 증가하는 것을 확인하였고, 이는 내염수 시험 후 CR 폼 표면에 NaCl,  $MgCl_2$  및  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 같은 염이 생성된 것으로 보인다. 앞선 수분함량 측정결과와 유사하게 생성된  $MgCl_2$ 와 같은 염이 내염수 시험 후의 CR 발포체의 무게를 증가시키는 것으로 예상된다. 또한 SEM image를 통해 흰색의 결정체가 보이는 것을 확인하였다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 CR 발포체의 내염수성을 개선하기 위하여 산수용체인 MgO를 LDH 구조를 가진 Synthetic hydrotalcite라는 산수용체를 도입하여 Hydrotalcite와 MgO함량을 조절하여 CR 발포체를 제조하였고 Hydrotalcite와 MgO의 최적의 함량비를 찾는 실험을 진행하였다. CR 배합물의 특성인 가교토크와 무니점도 및 Swelling test를 통한 가교밀도를 확인하였고 내염수 특성을 살펴보기 위하여 내염수 전·후의 기계적 물성 변화, 체적변화율, 수분함량 및 표면사진을 확인하였다. MgO의 함량이 증가할수록 가교토크값이 증가하였지만 내염수 특성이 저하되었다. 반면 Hydrotalcite의 함량이 증가할수록 토크값 저하되었지만 내염수 전·후 기계적 물성변화가 작게 나타났다. 그 중에서 Hydrotalcite와 MgO의 함량비가 3:2일 때 내염수 후 체적변화율이 가장 작았는데, 이는 MgO가 적정함량이 첨가되어야지 CR 고무가 적정가교가 이루어져 이러한 결과가 나타난 것으로 생각된다.

Swelling test를 통한 가교밀도를 봤을 때 MgO의 첨가가 없는 배합에서는 Swelling이 많이 진행되었고 이는 MgO가 첨가되지 않은 것은 적정가교가 이루어지지 않는 것으로 예상된다. 그래서 Hydrotalcite와 MgO의 최적의 함량비는 3:2인 것으로 보인다.

## 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부가 지원하는 글로벌전문기술개발사업 섬유생활스트림간 협력기술개발사업(과제번호:10076658)으로 수행된 연구결과입니다.

## References

1. R. F. Ohm, "The Vanderbilt Rubber Handbook 3rd Ed.", R. T. Vanderbilt Company Inc., Norwalk, pp.387-389, 1990.
2. B. Adhikari and D. D. Maiti, Reclamation and Recycling of Waste Rubber, *Progress in Polymer Science*, **25**(7), 909(2000).
3. S. R. Scagliusi, S. G. Arajo, L. Landini, and A. B. Lugao, Study of Properties of Chloroprene Rubber Devulcanizate by Radiation in Microwave, 2009 International Nuclear Atlantic Conference-INAC, Rio de Janeiro, Vol.41, p.8, 2009.
4. A. N. Gent, "Engineering with Rubber : How to Design Rubber Components", Hanser Gardner Publications, Cincinnati, pp.53-87, 2001.
5. R. B. Bagwell and G. L. Messing, Effect of Seeding and Water Vapor on the Nucleation and Growth of  $\alpha$ - $Al_2O_3$  from  $\gamma$ - $Al_2O_3$ , *Journal of the American Ceramic Society*, **82**(4), 824(1999).
6. H. W. Starkweather and H. W. Walker, Water Resistance of Neoprene, *Industrial and Engineering Chemistry*, **29**(12), 1380(1937).
7. C. Misra and A. J. Perrotta, Composition and Properties of Synthetic Hydrotalcites, *Clays and Clay Minerals*, **40**(2), 145(1992).
8. K. Chibwe and W. Jones, Intercalation of Organic and Inorganic Anions into Layered Double Hydroxides, *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, **5**(3), 926(1989).
9. D. Lopez, I. Cendoya, F. Torres, J. Tejada, and C. Mi-jangos, Preparation and Characterization of Poly(vinyl alcohol)-based Magnetic Nanocomposites. 1. Thermal and Mechanical Properties, *Journal of Applied Polymer Science*, **82**(13), 3215(2001).
10. X. Jiang, Modification of Poly(vinyl alcohol) Films by

- the Addition of Magnesium Chloride Hexahydrate, *Polymer Engineering and Science*, **52**(7), 1565(2012).
11. I. Franta, "Elastomers and Rubber Compounding Materials : Manufacture, Properties and Applications", Elsevier Science Publishers, New York, pp.375-407, 1989.
  12. M. Meyn, K. Beneke, and G. Lagaly, Anion-exchange Reactions of Layered Double Hydroxides, *Materials Sciences and Application*, **2**(6), 5201(1990).
  13. K. A. Carrado, A. Kostapapas, and S. L. Suib, Layered Double Hydroxides, *Solid State Ionics*, **26**, 77(1988).
  14. W. T. Reichle, Synthesis of Anionic Clay Minerals (Mixed Metal Hydroxides, Hydrotalcite), *Solid State Ionics*, **22**, 135(1986).

## Authors

---

박은영 한국신발피혁연구원 선임 연구원  
 서은호 한국신발피혁연구원 연구원  
 임성욱 한국신발피혁연구원 책임 연구원