

## 염소의 표면처리에 따른 IR 및 CR Blend의 특성 연구

박지혜<sup>†</sup> · 이창섭<sup>†</sup> · 박현호<sup>\*</sup>

경남 양산시 교동 147-1 화승소재 기술연구소  
<sup>†</sup>대구시 달서구 신당동 1000 계명대학교 자연대 화학과  
(접수 2010. 10. 4; 수정 2010. 10. 25; 게재확정 2010. 10. 25)

### A Study on the Characteristics of IR/CR Rubber Blends by Surface Treatment with Chlorine

Ji-Hye Park<sup>†</sup>, Chang-Seop Lee<sup>†</sup>, and Hyun-Ho Park<sup>\*</sup>

Hwaseung Material, Ltd., 147-1 Gyo-Dong Yangsan-Gun, Kyungnam, 626-210 Korea

<sup>†</sup>Department of Chemistry, Keimyung University, 1000 Shindang-Dong Dalseo-Gu, Daegu, 704-701 Korea

(Received October 4, 2010; Revised October 25, 2010; Accepted October 25, 2010)

**요약.** 본 연구에서는 IR과 CR의 블렌딩을 통하여 물성 개선 및 내구 성능 개선을 목적으로 IR/CR의 비율을 다양하게 블렌딩하여 제조한 고무시료의 가교 특성, 물성 변화, Morphology의 변화 및 화학적 특성을 조사하였다. 한편으로 블렌딩 된 고무에 다양한 조건으로 염소 표면처리를 하였을 때 고무시료의 Morphology를 관찰하고 마찰 시험을 통해 염소의 표면처리가 마찰 계수에 미치는 영향을 조사하였다. 고무의 가교특성에서는 CR의 함량이 증가할수록 가교 속도가 감소하였으나 가교밀도는 일정하였고, 경도, 모듈러스가 증가하였는데 이것은 가교특성의 변화와 밀접한 관계가 있으며, 가교 반응의 활성화에 의한 결정화 영향으로 기계적 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 노화 후 물성 변화는 IR/CR Blend가 상호 기계적 물성의 단점을 보완하여 노화에 의한 물성 변화를 감소시키는 역할을 하는 것으로 나타났다. 염소 표면처리 한 시료의 노화 전, 후 상태물성의 변화는 감소하였다. 현미경 사진 관찰 결과 CR 함량 증가에 따라 표면 분산도가 증가함을 알 수 있었다. 염소 표면처리된 고무의 표면은 일정한 방향으로 균일하게 표면처리되었고 매끄러움과 광택이 증가하였다. 고무 표면의 개질 정도는 표면염소잔류량으로 확인할 수 있었으며, 마찰계수는 고무와 결합된 염소함량에 의존하는 것으로 나타났다. CR 함량이 10 - 40 phr까지는 표면처리 초기단계에서 마찰계수가 급격히 감소하였으나, 처리용액의 염소농도가 증가할수록 마찰계수의 감소는 둔화되었고, CR 함량이 50 phr에서는 처리용액의 염소농도 변화에 따라 마찰계수의 감소가 둔화되었다.

**주제어:** 굽힘, 사출물딩, 지보, 폴리카보네이드, 아크릴로 부타디엔 스타이렌

**ABSTRACT.** In this study, rubber vulcanization property, change in physical property, morphology and chemical characteristics of blended rubber depending on various IR/CR ratio were investigated for the purpose of the improvement of material property and durability. The effect of surface treatment by chlorine on the friction coefficient was also studied with various conditions of surface treatment. In terms of vulcanization property, as the amount of CR content increased, the speed of cure was decreased, while the density of crosslinking stayed constant. It means hardness and modulus were increased as the CR content increased. It is related to change in cure property and mechanical strength was improved by the effect of crystallization reaction. In the aging property, as the CR content increases, the changed amount of basic properties were decreased, which acts as a reducing factor in change of aged property by complementing weak point in mechanical property. It was found that the degree of property change for surface treated samples were reduced. According to the microscopic result, the degree of surface dispersion on rubber blends was increased by increasing CR content. Rubber surface showed uniform direction in pattern with increased smoothness and luster by treatment with chlorine. The degree of rubber reforming was measured by the remaining amount of chlorine and the friction coefficient was dependent on the amount of chlorine combined with rubber. In the initial stage of surface treatment, from 10 to 40 phr, the friction coefficient of specimen was rapidly reduced. However, as the concentration of chlorine solution increased, the change in friction coefficient was decreased.

**Keywords:** Warpage, Injection Molding, Rib, PC, ABS

## 서론

2차 세계대전의 발발로 천연고무의 공급 부족으로 인해 미

국에서 정부와 산업체 간의 거대한 연구개발 사업이 시작되면서 스티렌 부타디엔 고무가 개발되어 대규모로 제조되었다.<sup>1</sup> 그 중 IR(Isoprene Rubber)은 단독중합체에 해당되며 화

학구조상 천연고무와 동일하게 합성고무를 만들고자 하는 과학자들의 목적에 의해 합성되었다. CR(Chloroprene Rubber)은 클로로프렌의 단독중합체이며 제조 역사는 합성고무 중에서도 가장 오랜 역사를 가졌고 내후성, 내오존성, 내열노화성, 내유성, 내약품성 등이 좋으며 가스 투과율이 적고 접착력이 강력하다.<sup>2</sup>

흔히 한 가지 종류의 고무는 재료의 특성으로 요구되는 물리적, 화학적 기계적 특성을 모두 만족시키지 못하는 경우가 많기 때문에 두 가지 이상의 고무를 블렌드(Blend)하여 각각의 단점을 상호 보완하고 사용가치를 높이고 있다. IR의 낮은 cis-1,4 content 때문에 신장에 의한 결정화가 낮아 인장과 인열 강도가 낮게 나타나므로 이러한 특성을 보완하기 위해 CR과 블렌드 시킴으로써 저온 특성과 내마모성 및 열노화 특성을 향상시켜주는 역할을 기대할 수 있다. 특히 낮은 마찰계수를 가지기 위한 방법 중의 하나로 고무의 표면을 염소화 처리하는 기술이 연구되었으며, 현재는 가장 대표적으로 사용되고 있는 방법이다.<sup>3</sup>

본 논문에서는 자동차용 와이퍼 블레이드용 고무재료의 요구 성능인 내열, 내한 및 내후성을 향상시키기 위하여 적합한 고무 재료인 IR 및 CR을 여러 가지 비율로 블렌딩하여 블렌드물의 물리적 특성을 조사하였고, 와이퍼블레이드의 중요 성능인 마찰성능을 향상시키기 위하여 IR/CR 블렌드물에 염소표면처리를 하여 물리적 특성과 마찰 특성을 조사하였다.

## 이론적 배경

### IR (이소프렌 고무)

IR과 NR의 화학구조상의 차이는 IR에 비해 cis-1,4 함유량이 다소 적으나 3,4-결합이 보완되어 있다. 그러나 가황물의 물성에는 큰 차이가 없다. IR과 NR의 큰 차이는 IR이 합성품이므로 균일한 겔분을 함유하여 잡티분도 없으며 또한 무늬 점도를 조성하여 사용하기 쉽다. IR의 대표적 특징은 가공성 즉 내림 공정을 매우 간단히 행할 수 있으며, 어떤 때에는 전혀 내림작업을 하지 않아도 가능하나 일반적으로 3-5분 정도의 내림작업을 한 것이 분산면에서 양호한 결과를 가져온다. 물성면에서 볼때 IR과 NR은 거의 동등하다고 생각되나, 보다 상세히 검토하면 동일배합에서 IR의 경우 모듈러스가 다소 낮아졌으나 신장률이 크고 경도가 조금 낮다. 또한 탄성이 좋고 발열이 적다는 등의 차이가 있으나, 이러한 차이는 실용상 문제가 되지 않는다.

IR은 NR에 비해 가황전 강도 및 접착성이 낮다. IR 혼합물은 유사한 조성의 NR 혼합물보다 높은 파단신장율과 낮은 모듈러스를 나타내는 특성 때문에 높은 변형속도에서 신장 유도결정화 현상이 NR에 비해 덜 현저하다. 그 외 품질이 균일하고 겔분이 적으며 먼지 등의 이물질이 없고 내림 작업(mastication)이 용이하고 흐름이 좋으며 흡수성이나 전기 특

성이 우수하고 착색성이 좋고 냄새도 적다.

### CR (클로로프렌 고무)

합성고무 네오프렌(Neoprene)을 일명 클로로프렌(Chloroprene, CR)이라 한다. 보통 산업계에서 네오프렌 고무라고 하며 약자로 CR이라 한다. 미국 Dupont사에서 네오프렌에 대하여 고도의 연구와 생산시설로 세계 각국에 네오프렌을 공급하고 있다. 네오프렌 고무는 주로 전선, 케이블, 호스나 일부 기계제품에 사용된다. CR 고무는 내열성을 주 기능으로 하여 생산된 제품이고 알칼리성 고무로 생산된다. 내약품성이 뛰어나며 내후성이 아주 좋은 고무 원료이다. CR 고무는 전자를 끄는 염소원자가 오존이나 산소의 공격에 대해 2중 결합을 비활성화 시키고 고무에 극성을 부여함으로써 탄화수소에 대한 팽윤저항성을 증가시킨다. 범용고무와 비교하면 CR은 내연소성이 우수하며 금속같은 극성재료에 대한 접착성이 우수하다.

### IR 및 CR 블렌드

IR의 낮은 cs-1,4 content는 신장에 의한 결정화가 낮아 인장과 인열강도가 낮게 나타난다. 이러한 데이터는 블렌드에서 IR 사용을 고려할 때 유용한 기술적 배경을 제공하며 특히 CR과의 블렌드의 필요성을 입증해 준다. IR은 블렌드를 함으로써 파괴강도가 향상되며 내한성 특성이 향상된다. CR과 IR 블렌드의 이용은 저온특성과 내마모성 및 열노화 특성을 향상시킨다. 이들 블렌드는 mill roll에 들어볼거나 부드러워지는 경향이 작고 칼렌더링 공정문제가 작으며 압출 성형 속도가 빠르고 성형성이 좋다.

### 염소화 표면 처리

낮은 마찰 계수를 위한 방법으로 고무표면을 염소화 처리하는 기술은 1950년대부터 연구되어 왔다.<sup>4,5</sup> Rho 등은 와이퍼 블레이드용 고무를 여러 가지 농도의 염소화 용액으로 처리하여 접촉각을 측정하였고, 왕복형 마찰 시험기를 이용하여 마찰특성을 조사하였는데, 약 10 min 이내의 염소화 처리 시간에서 급격한 접촉각의 감소 경향을 보인 반면, 마찰계수의 경우 2 min 이내의 염소화 처리 시간에서 대부분 마찰계수의 감소를 보이는 결과를 얻었다.<sup>6</sup> 따라서 염소화 초기단계에서 급격한 마찰계수의 하락을 위해서는 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다.

일반적 염소과 차아염소산 소다를 사용하여 고무 표면을 염소화하는 단계는 치환, 첨가, 순환 공정을 수반하여 일어난다. Troussier에 의해 두개의 C5 그룹으로 이루어진 polyisoprene chain의 일부분에서 시작한 고무의 염소화 메카니즘은 다음과 같다. 염소화 초기에 고무 표면에 고정된 염소는 allylic 형태를 가지며 매우 강하게 치환된 탄소 원자 다음에 위치한다.

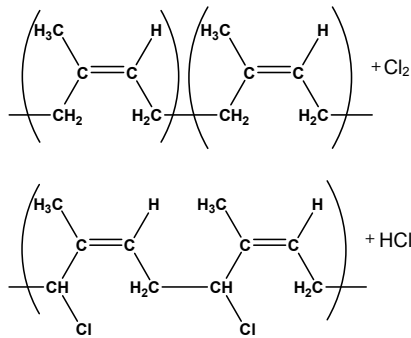


Fig. 1. Initial allylic shape of chlorination.

-CHCl-C(CH<sub>3</sub>)=CH- 그룹은 강한 반응성과 친화성을 가지며, cyclic 구조를 가진다. 이 cyclic 구조에서 CHCl의 H원자가 이동하면서 C=C 이중결합 중 하나를 소멸시킨다. 이로부터 염소의 첨가에 의해 다음의 반응이 일어난다.

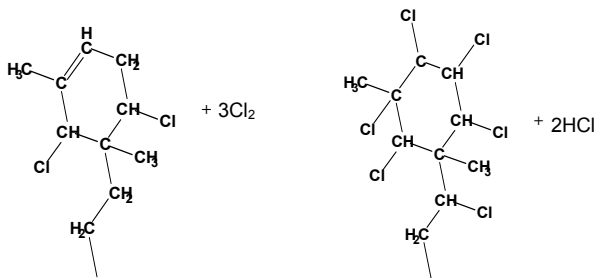


Fig. 2. Chlorine addition reaction.

57%의 염소를 포함하는 이 반응에 의해 C=C 이중 결합은 완전히 소멸된다. 염소화의 마지막 단계는 65%의 염소 치환 반응으로 다음과 같다.

본 연구에서는 마찰성능을 향상시키기 위해서 IR/CR 블렌드물에 염소화 반응으로 처리한 후 처리 시간에 따른 표면

의 모폴로지, 상태물성 및 노화 물성을 조사하고 고무 시편의 표면 염소 잔류량과 마찰계수를 측정함으로써 자동차용 와이퍼 블레이드에 적합한 표면처리 조건을 연구하였다.

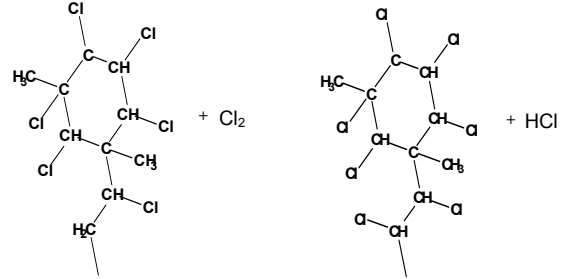


Fig. 3. Chlorine substitution reaction.

### 실험

#### 재료

본 실험에 사용된 IR(cis-Polyisoprene Rubber) 원재료는 Nippon Zeol사(일본)의 IR 2200을 사용하였고, CR(Chloroprene Rubber) 원재료는 Dupont Dow사(독일)의 Neoprene WRT를 구입한 그대로 상온 보관하여 사용하였다. 충전재로는 HANKUK Carbon사의 Carbon Black N-770 Grade를 사용하였으며, 노화 방지제는 Uniroyal사의 Octimine, Rhein Chemical 사의 Antilux, 대일 폴리켐사의 ST-S를 사용하였다. 가황촉진제로는 Rhein Chemical사의 Sulfenamides계인 CBS-80과 TMTD-80을 사용하였다. 가교제로는 Rhein Chemical 사의 S-80, Hanil Chemical 사의 ZnO를 사용하였다. 표면처리 약품으로는 덕산 화학사의 EP급인 HCl, NaOCl을 사용하였다.

#### 시편제작

본 실험에서 IR/CR 블렌드물의 제조에 사용한 배합비율

Table 1. The recipe for IR/CR rubber blends

Recipe No	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6
IR/CR [IR2200/WRT]	(100/0)	(90/10)	(80/20)	(70/30)	(60/40)	(50/50)
Carbon Black [N-770]	70	70	70	70	70	70
Anti-Oxidants [Octimine, Antilux, ST-S]	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
Accelerators [TMTD, CBS]	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
Curatives [S/ZnO]	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15
TOTAL	188.55	188.55	188.55	188.55	188.55	188.55

은 각각의 블렌드 비율에 따라 CMB(Carbon Master Batch) 단계에서 원, 부자재를 혼합한 후, FMB(Final Master Batch) 단계에서는 가황촉진제와 가교제를 혼합하는 순으로 기계적 블렌드를 진행하였다. 본 시험에 사용한 IR/CR 블렌드 배합 표는 아래의 Table 1과 같다. 본 연구에 이용된 시편은 기계적 블렌딩 방법을 사용하였으며, 사용 혼합기는 봉신사에서 제작한  $\Phi 12 \times 36$ " L Mixing Mill을 사용하였고 이를 Figure 3에 나타내었다. IR 원재료와 CR 원재료를 동시에  $35^\circ\text{C}$ 에서 3분 동안 소련(masterbation)하였다. 소련 완료된 IR 원재료와 CR 원재료를  $40^\circ\text{C}$ 에서 3분 동안 블렌드 한 다음, 각 첨가제를 첨가하여  $50^\circ\text{C}$ 에서 10분 동안 혼련을 실시한 후 sheet를 분출하였다. 블렌드가 완료된 FMB(final master batch)를 각종 물성을 측정하기 위한 평판 시편(아령형 3호)과 압축 시편으로 제작하기 위하여 pressure molding(auto vacuum molding machine, 120 ton, 우성, Korea)을 이용하여 Figure 4에 나타낸 바와 같이  $160^\circ\text{C}$ 에서  $140\text{ Kg/cm}^2$ 의 압력을 가하여 제작하였다.<sup>7</sup>

### 표면처리

본 실험에서 사용한 표면처리 방법은 화학적 처리 방법으로 KCW(주)에서 제작한 염소처리장치로 탈지, 수세, 염소처리, 수세, 건조 공정 순으로 운영하였으며 이를 Figure 5에 나타내었다. 제작된 염소화 처리 교반조에서 물 40에 대하여 35.0% 염산(HCl)과 5.25% 차아염소산소다(NaOCl)를 각각 40 mL, 80 mL(A), 120 mL, 160 mL(B), 200 mL, 240 mL(C)를 첨가하여 3가지 염소 처리 용액을 만들었다. 염소화 처리는 3분, 6분, 9분, 12분, 15분, 18분을 각각 A, B, C 용액에 대하여 수행하였다. 이 때 차아염소산 소다는 물에 용해하는데 시간이 많이 소요되나, 단시간 내에 염소 처리 효율을 증가시키기 때문에 본 실험에서도 염산과 차아염소산 소다를 혼합하여 염소 용액을 만들었다.

Table 2에 IR/CR 블렌드 컴파운드의 염소화 처리에 사용

**Table 2.** The treatment conditions for chlorination of IR/CR rubber blends

Treatment solution of chlorination	Concentration			Treatment temperature ( $^\circ\text{C}$ )
	H <sub>2</sub> O	35.0% HCl	5.25% NaOCl	
A	1 L	1 mL	2 mL	Room temp.
B	1 L	3 mL	4 mL	Room temp.
C	1 L	5 mL	6 mL	Room temp.

**Table 3.** The process conditions for chlorination of IR/CR rubber blends

	Remove fat	Wash	Chlorine	Wash	Dry
Time (min.)	5	2	3, 6, 9, 12, 15, 18	3	10
Temp. ( $^\circ\text{C}$ )	80	35	30	25	60

된 염산과 차아염소산소다의 첨가조건을 각각 나타내었다.

IR/CR rubber blends의 염소화 처리 공정은 탈지 5분, 수세 2분, 3분, 건조는 열풍 건조로 10분을 수행하였으며, 염소화 공정 조건은  $30^\circ\text{C}$ 에서 일정 시간 간격을 두어 염소화 처리를 수행하였고, 이를 Table 3에 정리하였다.

## 결과 및 고찰

### 가황특성

블렌딩 시료의 가황 특성을 조사하기 위하여 레오미터(ODR : oscillating disk rheometer)를 이용하였다. 본 연구에서는 IR에 대하여 CR의 블렌드 비율을 0 - 50 phr 범위까지 변화시킨 시료의 가황특성을 측정하였으며, CR의 블렌드 비율이 증가할수록 가황속도 및 스크치 시간이 느려지는 것으로 나타났으며, 가교속도가 늦어지는 경향을 보였다. 또한 CR blend 비율이 증가될수록 Scorch time이 지연되었으며, 이는 열반응성이 높은 CR 원재료가 IR과 블렌드 함으로써 IR이 CR의 반응 안정성에 영향을 미치기 때문인 것으로 사료된다.

### 기본물성

미표면처리 시편이나 표면처리 시편 모두 IR/CR의 블렌드 비율이 증가할수록 경도, 인장강도, 모듈러스가 조금씩 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 신율은 미표면처리 시편이나 표면처리 시편 모두가 CR 함량이 10 phr까지는 증가하다 20 phr에서부터는 조금씩 감소하는 추이를 보였다. 이는 CR 함량이 IR/CR 블렌드 물성에 영향을 주기 때문이며 CR의 적정 블렌드 비를 판단 할 수 있는 기준이 된다. 신율은 IR/CR 블렌드의 CR 함량비가 30%를 넘지 않는 것이 신율 조절의 기준점으로 판단된다. 표면처리된 시편은 경도, 모듈러스가 증가하는 반면에 인장강도, 신율은 감소하는 경향을 보였으며, 이는 염소의 표면처리가 IR/CR 블렌드의 기본 물성에 영향을 줄을 의미한다. 또한 염소처리를 함으로써 고무 표면의 경도를 상승시켜서 고무표면이 딱딱해짐을 알 수 있었으며, 이는 염소가 고무의 표면에 침투되어 경도에 영향을 미쳤기 때문이라 생각된다.

### 내열성

CR 함량이 증가할수록 노화 물성 변화율이 감소함을 알 수 있다. 표면처리 전, 후의 노화 물성 변화율을 비교해 보면 표면처리 된 시편에서의 물성 변화가 적게 나타났으며, 이는 염소처리가 물성변화를 어느 정도 둔화시키는 것으로 판단할 수 있다.

### Morphology

IR/CR 블렌드의 함량 변화에 따른 시편의 단면을 EPMA를 통하여 표면에 존재하는 염소의 양을 관찰한 이미지를

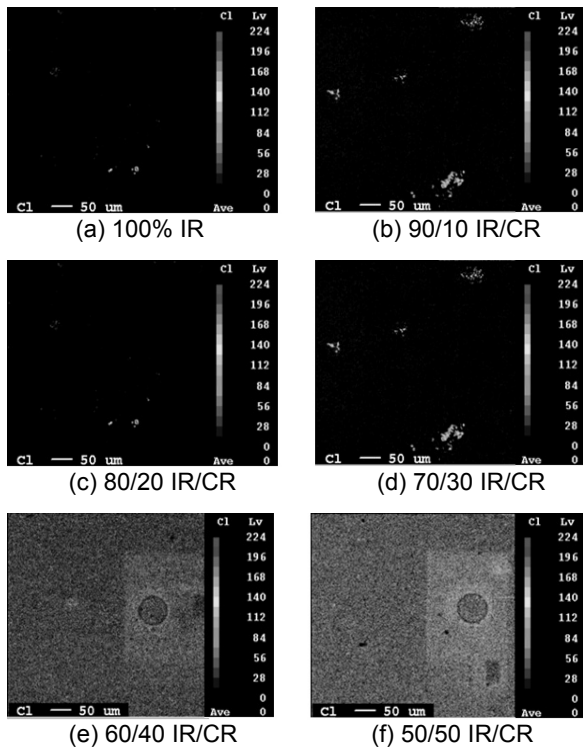


Fig. 4. EPMA images of IR/CR rubber blends with various composition.

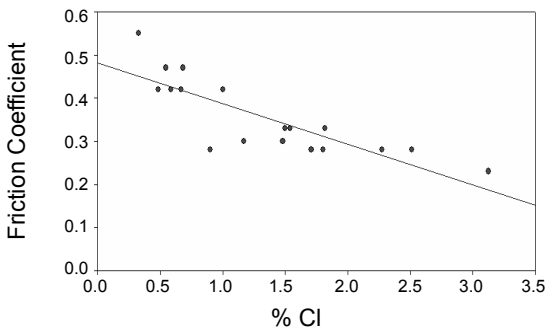


Fig. 5. The change of friction coefficients for IR/CR rubber blends by the remaining amount of chlorine on rubber surface.

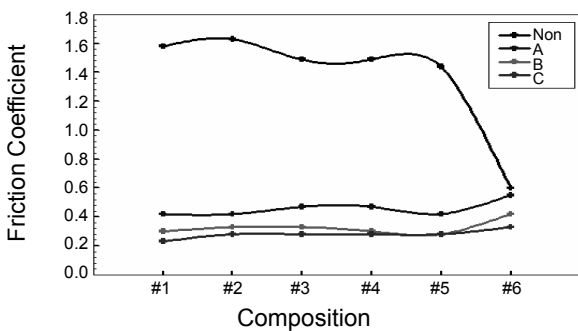


Fig. 6. The change of friction coefficients for IR/CR rubber blends by the various conditions of surface chlorination.

Figure 4에 나타내었다. CR의 함량이 증가함에 따라 염소의 Intensity level이 상승하는 것으로 나타났다.<sup>8</sup>

표면처리 전, 후 시편의 표면 상태를 확인하기 위하여 시편의 단면을 광학현미경으로 1200배 확대하여 표면의 상태를 관찰하였다. 표면처리 전 시편의 표면 상태는 CR의 블렌드 함량이 증가 할수록 표면의 분산도가 증가하여 조도가 균일해짐을 알 수 있으며, 표면처리 전에 나타나지 않았던 고무의 Grain이 표면처리를 함으로써 명확하게 나타났고 표면처리 후 시편의 표면상태가 더 매끄러우며 표면 광택이 향상되었음을 확인하였다.

### 염소 농도 및 마찰계수

IR/CR blend 고무의 마찰거동에 미치는 염소화의 영향을 살펴보기 위하여 염소 처리 조건 및 시간에 따른 마찰계수를 조사하여 Figure 5에 나타내었다. Figure에서 알 수 있듯이 블렌드 고무의 잔류 염소량이 증가할수록 마찰계수는 감소하는 반비례 관계를 나타내고 있다.

또한 IR/CR blend 고무의 미표면처리시료와 다양한 조건으로 염소 처리한 시료의 마찰계수를 조사한 결과를 Figure 6에 나타내었다. C type의 염소 처리조건으로 표면처리를 한 시료들은 전반적으로 마찰계수가 감소하였으며 블렌드 물의 조성에 따른 마찰계수의 변화는 미세하였다. 단 미표면처리 시료의 경우 CR의 함량이 50 phr인 시료의 마찰계수가 현저하게 감소하였는데, 이러한 마찰계수의 감소는 고무의 마찰 특성 중 하나인 점착마찰과 히스테리시스 마찰이 동시에 영향을 미친 것으로 생각할 수 있다.

### 결론

본 연구에서는 기계적 블렌딩 방법으로 IR과 CR의 블렌드 비율에 따라 시편을 제조하였으며, 블렌드 된 고무의 염소 표면처리 전, 후의 물리적 특성(인장강도, 신율, 경도, 모듈러스 등) 및 화학적 특성(EPMA, XRF 등)을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 가황 특성 시험 결과, CR 함량이 증가할수록 가교 속도는 늦어졌으나 가교 밀도는 일정하였다. 또한 CR 함량이 증가할수록 Sorch time이 증가하는데, 이는 가공 안정성이 향상됨을 의미한다.

물리적 특성 시험 결과, 상태 물성에서 미표면처리된 시편들은 CR 함량 증가에 따라 경도, 모듈러스가 증가하였는데, 이것은 가교 특성의 변화와 밀접한 관계가 있으며 가교 반응의 활성화에 의한 결정화 영향으로 기계적 강도가 증가하는 것으로 판단할 수 있다.

노화시험 후 시편의 물성 변화도 CR 함량이 증가함으로써 물성의 변화량이 감소함을 보였다. 이는 IR/CR blend가 상호 기계적 물성의 단점을 보완하여 노화에 의한 물성 변화를 감소시키는 역할을 하는 것으로 볼 수 있으며, 염소 표면처리 시료

들의 노화 전, 후 상태물성의 변화가 감소한 결과로 나타났다.

EPMA 및 비디오 현미경으로 표면 상태를 관찰한 결과, CR 함량의 증가에 따라 표면 분산도가 증가하였음을 알 수 있었으며, 염소화처리 전의 경우 고무 표면의 불균일한 상태로 표면의 광택이 어둡지만, 염소화처리 후의 경우 컴파운드 Grain이 명확히 나타나며 표면의 광택이 향상됨을 관찰할 수 있었다.

XRF 측정 결과를 통하여 고무 표면의 개질 정도는 표면 염소 잔류량으로 확인 할 수 있었으며, 마찰계수는 표면층의 고무와 결합된 염소량에 의존함을 확인할 수 있었다. CR 함량이 10 - 40 phr까지는 표면처리 초기 단계에서 마찰계수가 급격히 감소하였으나, 처리 용액의 염소농도가 증가할수록 마찰계수의 감소는 둔화되는 경향을 보였으며, 이는 염소농도와 마찰계수간의 비례관계가 성립함을 나타낸다.

## REFERENCES

1. Cieielski, A. *An Introduction to Rubber Technology*; Rapra Tech. Ltd.: Shropshire. U. K., **2000**.
2. Nah, C. W.; Kim, D. H.; Kim, D. J.; Kim, W. D.; Chang, Y. W. *J. Korean Ind. Eng. Chem.* **2002**, *13*(4), 321.
3. Joseph, R.; George, K. E. *Die Angewandte Makromolekulare Chem.* **1988**, *163*, 37.
4. Amerongen, G. J. V.; Koningsberger, C.; G. Salmon, *J. Polym. Sci.* **1951**, *6*(6), 639.
5. Amerongen, G. J. V.; Koningsberger, C. *J. Polym. Sci.* **1951**, *6*(6), 653.
6. Rho, S. B.; Lim, M. A.; Park, J. K.; Son, J. I. *Elastomer (Korea)* **1998**, *33*(1), 27.
7. KS M 6518. Physical test methods for vulcanized rubber, **1976**.
8. Kim, Y. W. *Journal of the Korean Foundrymen's Society* **2003**, *23*(1), 7.