

EPDM/POSS(Polyhedral oligomeric silsesquioxane) 복합재료의 물성 연구

박현호[†]

계명대학교 자연과학대학 화학전공
(2021년 6월 11일 접수, 2021년 7월 1일 수정, 2021년 7월 19일 채택)

A Study on Physical Properties of EPDM/Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane (POSS) Composites

Hyun-Ho Park[†]

Department of Chemistry, Keimyung University, Daegu 42601, Republic of Korea
(Received June 11, 2021; Revised July 1, 2021; Accepted July 19, 2021)

초 록

다면체 올리고머 실세스퀴옥산 (POSS) 중 케이지 형태 8개의 아크릴레이트 그룹을 포함하는 POSS가 에틸렌-프로필렌-디엔고무 (EPDM) 과산화물 가교에서의 가교 거동, 기계적 특성에 미치는 영향 및 열 안정성 등을 조사하였다. 고무 100 phr당 0~12 phr의 POSS를 함량 별로 혼합하고 과산화물 가교제를 첨가하여 EPDM/POSS 복합재료를 만들었다. 가교 특성 결과 POSS의 아크릴레이트 그룹이 과산화물에 의해 활성화 되었고, 과산화물 가교 효율을 향상시키는 것으로 나타났다. EPDM/POSS 복합재료에서 POSS의 분산안정성은 떨어졌지만, 복합재료의 파단 강도, 신장률 및 열 안정성은 향상되었다.

Abstract

The crosslinking behavior of polyhedral oligomeric silsesquioxane (POSS) containing eight acrylate groups in a cage form in ethylene-propylene-diene rubber (EPDM) peroxide crosslinking, the effect on mechanical properties, and the thermal stability were investigated. An EPDM/POSS composite material was prepared by mixing 0 to 12 parts per hundreds of rubber (phr) of POSS per 100 phr of rubber by content and adding a peroxide crosslinking agent. As a result of crosslinking properties, it was found that the acrylate group of POSS was activated by peroxide and improved the peroxide crosslinking efficiency. Although the dispersion stability of POSS in EPDM/POSS composites was poor, the fracture strength, elongation and thermal stability were improved.

Keywords: Polyhedral oligomeric silsesquioxane, Ethylene propylene diene rubber, Composites, Physical properties, Thermal stability

1. 서 론

고무는 기계적 특성을 개선하기 위해 일반적으로 카본 블랙 또는 실리카와 같은 강화 필러와 혼합된다. 최근에는 층상 점토[1-4], 할로이사이트(halloysite) 나노 튜브[5,6], 탄소 나노 튜브[7,8]와 같은 무기 나노 입자는 기존의 필러와 비교해서 낮은 충진을 필요로 하는 고무의 물리적 성능을 향상시킬 수 있기 때문에 보강제로 주목받고 있다.

Polyhedral oligomeric silsesquioxanes (POSS)는 새로운 복합 시스템의 설계에 성공적으로 사용될 수 있는 중요한 종류의 나노 구조 재료이다[9]. POSS 분자의 전형적인 구조는 중앙 무기 코어가 유기체로

기능화 되어 있는 큐빅케이지로 구성되어 있다[10]. 나노 탄성복합재료 설계를 위한 POSS 응용 분야에 대한 관심은 특히 고분자 매트릭스에 POSS 분자를 쉽게 통합할 수 있도록 유기 치환체를 조정할 수 있다는 사실 때문이다. POSS 분자의 적용은 사용 분야 및 분해 온도, 표면 경화, 인성, 기계적 특성, 가공 중 소수성 및 점도 감소 등과 같은 고분자 재료의 많은 특성을 크게 향상시킨다[11-13]. 이러한 POSS 나노 구조는 생물 의학 응용 분야에서도 적용할 수 있는 중요한 가능성을 보여주고 있다[14]. POSS 분자와 폴리머 매트릭스 간의 상호 작용에 대한 근본적인 이해와 열적, 기계적 및 형태학적 특성에 미치는 영향은 매우 중요하다.

Ethylene-propylene-diene (EPDM) 고무는 주로 자동차, 건설 및 건물, 전선 및 케이블에 실질적으로 중요한 응용 분야를 가지고 있다. EPDM은 황 또는 과산화물에 의해 가교 될 수 있다. 과산화물 가교 EPDM은 유황 가교 고무에 비해 우수한 고온 저항성과 감소된 압축 변형 값을 가지고 있다. 과산화물 가교는 사슬 절단 및 불균형과 같은

[†] Corresponding Author: Keimyung University,
Department of Chemistry, Daegu 42601, Republic of Korea
Tel: +82-53-580-5185 e-mail: rubchem@kmu.ac.kr

부 반응을 수반하여 라디칼 형성 없이 과산화물의 빠른 소비를 유도하므로 가교 효율이 저하된다[15]. 알릴 및 아크릴레이트 그룹을 갖는 다작용성 분자 인 보조제는 일반적으로 과산화물 가교 시스템에 첨가되어 가교 효율을 향상시켜 과산화물 개시 라디칼 반응을 촉진한다 [16,17]. 그러나 이러한 보조제는 극성으로 인해 EPDM과의 호환성이 제한적이다.

이 관찰을 바탕으로, 우리는 복합재료의 주요 특성에 영향을 미치는 탄성체 매트릭스를 물리적으로 혼합하였고, 여기에 POSS의 혼합 비율에 따른 유용성을 조사하였다. 메타아크릴레이트가 있는 POSS 반응 그룹은 복합재료의 강도를 높이고, 복합재료의 열 안정화에 효과적인 반응을 하여 나노 탄성복합재료의 물리화학적 특성을 높이는 역할을 할 것으로 기대되어 과산화물로 부 반응을 수반하는 복합재료의 가교 효율 증대에 필요할 것으로 예상된다.

2. 실험

2-1. 실험재료

EPDM (KEP-570F, ML₁₊₄125 °C, 59)은 한국 금호폴리켄에서 공급받았다. POSS는 Figure 1과 같은 케이지 타입이며, 각 Si에 메타아크릴레이트 8개가 있는 것으로 Hybrid Plastics사의 MA0735 재료를 구입하였다. 여기에 사용된 POSS 화학구조는 Figure 1과 같다. 과산화물 가교제인 Luperox F40KEP [1,3-1,4-bis(tert-butyl peroxyisopropyl) benzenen]은 Arkema사의 제품을 구입했다.

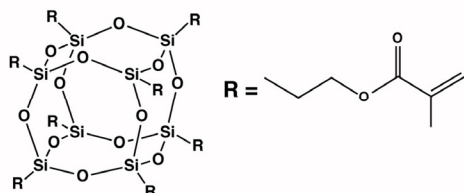


Figure 1. Molecular structure of POSS.

2-2. 컴파운드 제조

EPDM 고무에 POSS인 MA0735 첨가량에 따른 특성 변화를 연구하기 위해 과산화물은 동일하게 유지하되, MA0735 첨가량을 Table 1과 같이 0, 3, 6, 9, 12 phr로 변화시키면서 첨가량 별로 복합재료를 제조하였다.

배합 방법은 Banbury Mixer (KOBÉ, Japan)를 사용하였고, Table 2의 A 단계에서 EPDM과 POSS 재료를 투입하여 혼합기에서 혼합한 다음, 24시간 상온에서 숙성 후 혼합된 배합물을 B 단계에서 과산화물을 혼합하여 각각의 복합재료를 완성하였다.

2-3. 물성평가

2.3.1. 가교 특성(Cure Characteristics) 측정

Moving die rheometer (RLR-3; rotorless rheometer, Toyoseiki, Japan)을 이용하여 온도 190 °C, 진동 각 ±1° 조건에서 30분간 토크 값을 측정하였다.

2.3.2. 무니 점도(Mooney Viscosity) 측정

회전식 점도계의 일종인 Mooney viscometer (Mooney viscometer, Vulchem IND Co., Korea)를 이용하여 metal disk를 회전시키는 데 필

Table 1. Formulations of Various EPDM/POSS/F40KEP Compounds

Mix. no	MA0	MA3	MA6	MA9	MA12	Remark
EPDM	100	100	100	100	100	unit:phr*
MA0735	-	3	6	9	12	POSS
F40KEP	8	8	8	8	8	peroxide

Table 2. Mixing Procedure for Compounding

A. Masterbatch preparation Banbury operating conditions:

Speed, 77 rpm Ram pressure, 3.0 kgf/cm²
Temperature, 60 °C Cooling water,
18 °C Fill factor, 0.7

Mixing procedure Time (min)

1. Add EPDM 0.0
2. Add MA0735(POSS) 0.5
3. Sweep, add remaining additives 1.5
4. Dump 3.0
5. Cool sample overnight after sheeting off on mill

B. Curative addition on mill (at 60~70 °C)

Time (min)

1. Set the mill opening at 4 mm 0.0
add EPDM/POSS masterbatches
2. Add curatives(DCP) 0.5
3. Set the mill opening at 2 mm 1.5
make 3/4 cuts from each side repeatedly
4. Set the mill opening at 5 mm 4.5
sheet off and cool compound

요한 토크 값을 측정하였다. ASTM D 1646 조건에 따라 1분간 예열한 뒤 4분 동안 121 °C에서 large disk (38.1±0.05 mm, 두께 5.5±0.05 mm)를 2 rpm으로 작동시켜 측정하였다.

2.3.3. 기계적 특성(Mechanical Properties) 측정

ASTM D412 조건에 따라 100 mm(길이) × 25 mm(너비) × 25 mm(두께) 규격의 아령형 시편을 제조하였다. 제조된 시편을 인장 시험기(UTM; KSU-05M-C, KSU Co. Korea)을 이용하여 인장강도와 신장률을 측정하였다. 복합재료의 경도는 ASTM D 2240에 따라 shore A type 경도계로 시편을 약 2 kgf의 힘으로 눌러 5번을 측정하여 평균값을 취하였다.

2.3.4. 노화 후 특성 측정

제조된 가교시트에서 기계적 물성 측정할 때와 동일한 시편을 제조한 후 180 °C로 열풍 가열하는 노화 시험기에 70시간 두어 노화시킨 후 ASTM D 412에 준하여 기계적 물성 측정할 때와 동일한 장비 및 방법으로 노화 후 기계적 물성을 측정하였다. 상온상태에서 측정된 값과 노화 후 측정된 값을 비교해서 경도는 변화량을 인장강도와 신장률은 상온 상태 값에 대한 변화 값을 %로 계산하였다.

2.3.5. 분석

POSS인 MA0735의 분자구조를 확인하기 위해서 적외선 분광기(Jasco FTIR-620; FT-IR), X선 회절 분석기(x-ray diffraction meter; XRD) 및 핵자기 공명분광계(Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer; ²⁹Si-NMR, AVANCE III 500, Bruker)를 측정하였다. 가교된 시편은 FT-IR을 측정하여 MA0735가 복합재료에서 반응하여 나타나는 변화를

Table 3. Cure Characteristics of Various EPDM/POSS/F40KEP Compounds

Mix. no.	MA0	MA3	MA6	MA9	MA12	Remark
MDR 190 °C *30 min	T _{max}	70.0	73.1	73.1	74.0	74.0 lb-in
	T _{min}	8.9	7.9	7.6	7.7	7.9 lb-in
	T _{max} -T _{min}	61.1	65.2	65.5	66.3	66.1 -
	Tc90	7.35	7.30	7.22	6.85	6.8 min
	ts2	0.51	0.56	0.53	0.52	0.53 min

첨가하기 전 MA0735와 비교하였고, 열 중량 분석기(PerkinElmer; TGA)로 열에 의한 감량 변화를 측정하여 복합재료 별 감량 비율 별 온도를 측정하기 위해서 실온에서 600 °C까지 공기 대기 하에서 10 °C/min의 가열 속도로 수행하였다. 전계방출형 주사전자현미경은 15 kV의 가속 전압에서 에너지 분산형 X-선(EDX)이 장착된 전계방출 주사 전자 현미경(JEOL JSM-630F; FE-SEM)을 사용하여 파괴 표면을 스캔하여 매트릭스 EPDM에서 POSS의 분산을 관찰하였다. 파단 중 연성 변형을 방지하기 위해, 부서지기 전에 샘플을 액체 질소로 냉각시켜 부서지기 쉬운 파단면을 측정하였다. 파단면은 얇은 백금 층으로 코팅되었다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 복합재료 가교 및 무니 점도 특성

POSS의 첨가량에 따른 각 복합재료의 가교 특성 시험결과는 Table 3, 무니 점도는 Table 4에 나타내었다. 무니 점도는 POSS의 첨가량에 따라 동일한 데이터로 보아 POSS가 복합재료의 점도(Mooney viscosity; ML₁₊₄) 및 반응되는 최초 시간인 스코치 시간(Scorch time; T₅)에 영향을 주지 않는 것으로 판단된다. 그리고 스코치 시간 및 적정가교시간인 최적의 물성을 구현할 수 있는 90% 가교시간(90% Cure time; Tc90)은 POSS 첨가함에 따라 빨라지는 경향을 보이고 있다. 이는 최대 토크 값 상승과 비례하여 빨라지는 경향을 보이고 있다. Table 3의 최대, 최소 토크 값(T_{max}, T_{min})은 복합재료의 가교 특성을 평가하는 값이며, 이 두 값의 편차는 복합재료의 가교 밀도와 연관이 있다. POSS 함량이 많을수록 이러한 가교 밀도가 높아지며, 그에 따라서 적정가교시간도 빨라지는 것으로 보인다. 이는 POSS가 원료고무인 EPDM과의 가교 결합에 참여하여 가교 밀도를 높이는 것으로 예측된다.

3-2. 물리적 특성

POSS 첨가량에 따른 복합재료의 경도 값을 Figure 2, 파단 시 인장강도와 100% 신장에서 나타나는 인장 응력(100% 모듈러스)을 Figure 3에 나타내었으며, 파단 시 신장률을 값은 Figure 4에 나타내었다. POSS의 함량에 따라 가교 밀도의 상승으로 인해서 점차 올라가는 경향을 보이며, POSS 3 phr 이상일 때 완만한 상승 속도를 보이는 것은 Figure 3의 인장강도 값 변화와 비슷하다. 100% 인장응력 또한 3 phr에서 급격하게 올랐다가 급격하게 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이는 3 phr 이상일 때 분산적인 문제가 있을 수 있다고 예측 가능하다. Figure 4 또한 POSS 3 phr일 때 향상된 파단 신장률 값을 보이지만 이후 함량에서는 완만한 상승 값을 보이고 있다. 전체적인 물리적 특성 값으로 보아 EPDM/POSS복합재료에 POSS가 가교반응에 참여하여 물성향상 효과가 있으나 적정량 이상이면 분산적인 문제로 인해서 물성향상 효과가 미비한 것으로 판단된다.

Table 4. Mooney Viscosity Characteristics of Various EPDM/POSS/F40KEP Compounds

Mix. no.	MA0	MA3	MA6	MA9	MA12	Remark
Mooney viscosity	ML ₁₊₄	54	55	53	52	55 121 °C
	T ₅	9	11	13	14	15 min

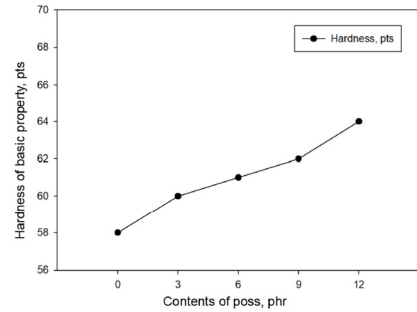


Figure 2. The Hardness of various EPDM/POSS/F40KEP compounds.

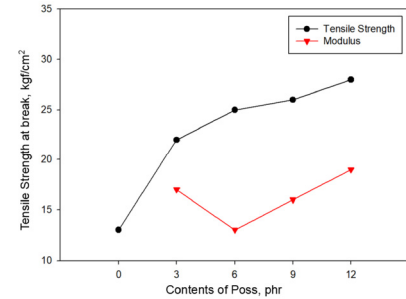


Figure 3. Tensile stress and 100% modulus of various EPDM/POSS/F40KEP compounds.

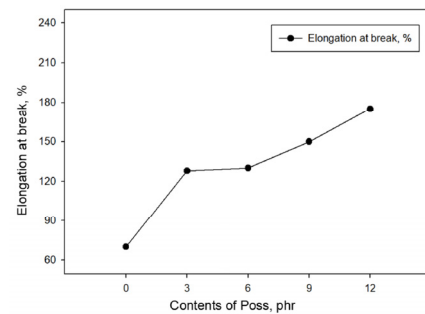


Figure 4. Elongation of various EPDM/POSS/F40KEP compounds.

3-3. 고온 노화 특성

POSS블렌드 비율에 따른 각 온도 별 노화시험 결과를 Table 5에 나타내었다. 노화 시험은 가교된 복합재료 시편을 180 °C 항온기에서 70시간 노화를 시킨 후 노화 전후의 인장강도 변화 값으로 평가하였다. 180 °C라는 조건은 복합재료의 매트릭스인 EPDM 원료고무의 한계 온도이므로 경도 및 신장률 변화 값을 산출하기가 힘들었다. 또한 POSS가 첨가되지 않은 복합재료는 노화시험 도중 3개 중 2개 시편이 과도한 경화가 일어나 시편 파단되었다. POSS가 첨가되지 않은 MA0 한 개 시편 값은 거의 100% 가까운 인장강도 변화 값을 보였지만,

Table 5. Physical Properties Change of Various EPDM/POSS/F40KEP Compounds (180 °C X 70 h)

Mix. no.	MA0	MA3	MA6	MA9	MA12	Remark
Changes of tensile strength	92	31	28	25	25	%

POSS가 첨가된 모든 시편들 EPDM 한계온도에서 경화정도가 낮은 약 30%의 노화 전후 인장강도 변화 값을 보였다. 과산화물은 분자 간 가교 역할을 하는 C-C 결합의 결합에너지가 343 KJ/mole이지만 추가로 첨가된 POSS로 인해서 가교된 Si-O 결합에너지는 373 KJ/mole 이므로 열에 대한 저항성이 강화되어 EPDM/POSS/DCP 복합재료의 내열성이 향상되는 것으로 판단된다.

3-4. 분석결과

3.4.1. POSS (MA0735) 분석

EPDM/POSS/DCP 복합재료에 첨가할 POSS를 Figure 5에서는 FT-IR, Figure 6에서는 XRD, Figure 7에서는 ²⁹Si-NMR를 측정하여 분자구조를 확인하였다. Figure 5의 FT-IR에서는 1735 cm⁻¹의 C=O결합, 1636 cm⁻¹의 C=C 및 1198 cm⁻¹, 1113 cm⁻¹의 Si-O-Si결합에서의 신축운동 피크인 Si-O결합을 확인할 수 있었다. Figure 6의 XRD 분석을 통하여 2 theta 값이 약 8과 20 부근에서 넓은 피크 2개를 확인하였다. 이는 각 siloxane cage 간의 격자와 cage 내부 siloxane backbone의 격자에서 관측된 피크로 판단된다. 또한 Figure 7의 ²⁹Si-NMR 분석을 통하여 POSS cage 구조의 특이 peak인 T2와 T3 peak를 확인하였다. -67 ppm 부근에서 T2 peak와 -69 ppm 부근의 T3 peak를 확인하였고, T2 peak는 일부 partial cage의 구조에서 관측된 것으로 판단된다. 상기 분석결과를 토대로 MA0735는 Figure 1의 분자구조임을 확인할 수 있었다.

3.4.2. EPDM/POSS 복합재료 분석

MA9 복합재료부터는 POSS의 미 분산이라고 판단되어 POSS 첨가량 0, 3, 6 phr 복합재료 FT-IR 측정하여 Figure 8에 나타냈었다. Figure 5의 POSS FT-IR 측정에서는 1735 cm⁻¹의 C=O결합, 1636 cm⁻¹의 C=C 및 1198 cm⁻¹, 1113 cm⁻¹의 Si-O-Si결합에서의 신축운동 피크인 Si-O결합이 확인되었으나, POSS첨가된 복합재료에서는 C=C의 이중결합 피크가 나타나지 않았다. 이것으로 보아 POSS가 가교결합에 참여한 것으로 예측된다. MA0에서 Si-O결합이 보이는 것은 과산화물 F-40KEP에 함유한 필러의 영향이라고 판단된다. POSS 첨가량에 따른 무게감소 비율별 열분해 온도를 측정하여 Table 6에 나타내었다. 모든 샘플이 유사한 분해 프로필을 보였으며, POSS의 존재가 매트릭스 재료인 EPDM고무의 분해 메커니즘을 크게 변경하지 않는다는 것을 알 수 있었다. 그러나 POSS가 증가함에 따라 초기 분해 온도가 미세하게 증가하여 POSS가 EPDM고무의 열 안정성을 높일 수 있음을 알 수 있었다. 상이한 POSS 함량을 갖는 EPDM/POSS 복합재료의 극저온 파단 표면을 FE-SEM 현미경 사진으로 Figure 9에 나타내었다. MA6 복합재료부터는 미분산화 된 입자가 SEM이미지에서 발견되었다. 이를 EDX 스펙트럼을 통해 확인해 보면 Si임을 확인할 수 있었다. 그러므로 POSS 함량이 많을수록 분산적인 문제가 발생됨을 알 수 있었다.

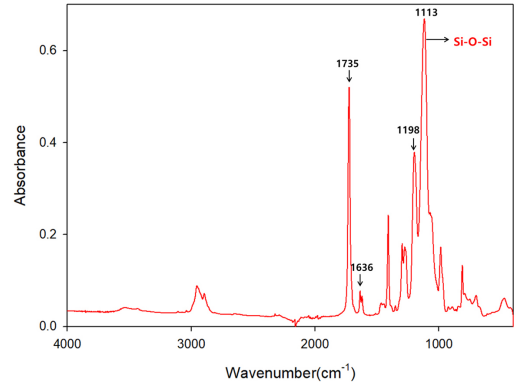


Figure 5. FT-IR absorption spectra of POSS (MA0735).

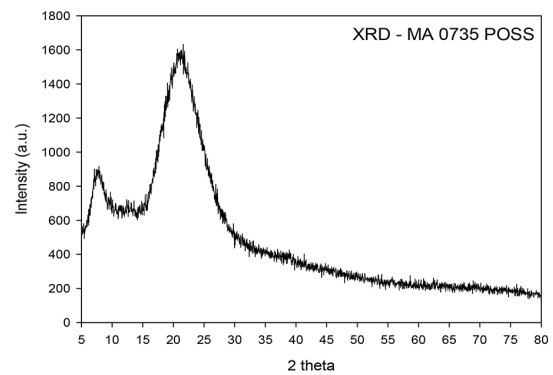


Figure 6. XRD data of POSS (MA0735).

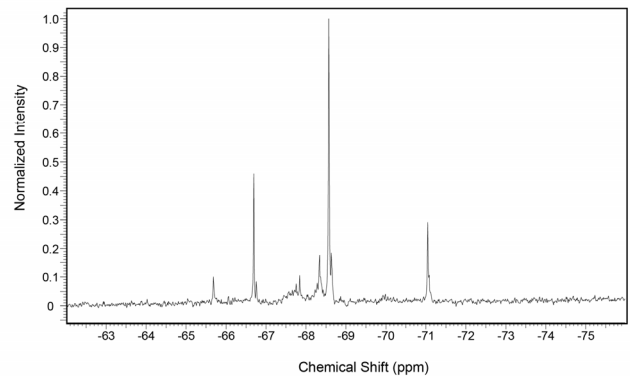


Figure 7. ²⁹Si-NMR data of POSS (MA0735).

Table 6. Thermal Properties Change of Various EPDM/POSS/F40KEP Vulcanizates

Mix.no	5 wt% loss temp (°C)	10 wt% loss temp (°C)	50 wt% loss temp (°C)	residue (%)
MA0	432.23	438.76	467.54	4.48
MA3	439.14	444.34	472.76	5.74
MA6	438.49	446.15	475.79	6.47
MA9	441.18	444.55	473.60	5.90
MA12	443.09	444.41	473.42	6.65

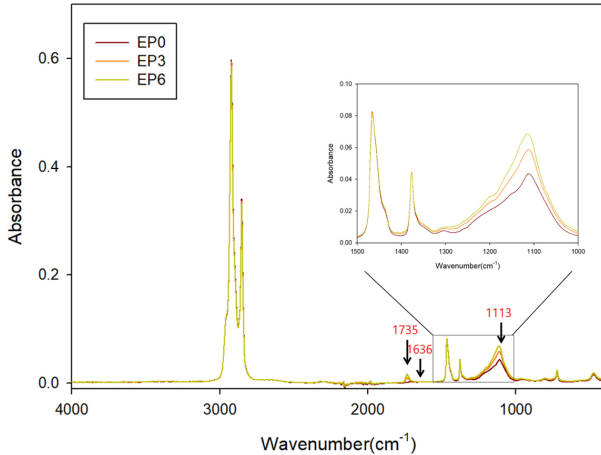


Figure 8. FTIR absorption spectra of EPDM/POSS/F40KEP vulcanizates with POSS content of (a) 0 phr, (b) 3 phr, (c) 6 phr blend.

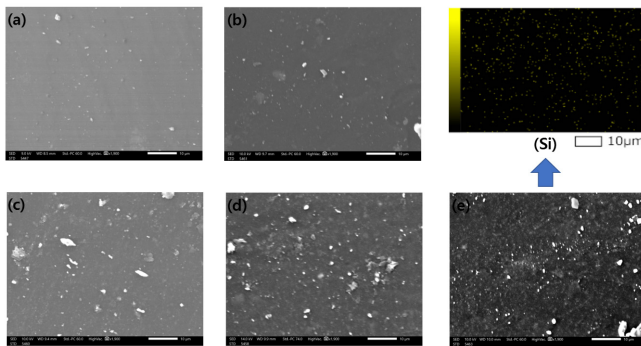


Figure 9. SEM images of EPDM/POSS/F40KEP vulcanizates with POSS content of (a) 0 phr, (b) 3 phr, (c) 6 phr, (d) 9 phr, and (e) 12 phr blend [scale bar: 10 μm, Mag: 1,900 ×].

4. 결 론

POSS를 첨가하여 EPDM의 물리적 성질 및 한계 내열성을 향상시킬 목적으로 EPDM/POSS 복합재료를 제조하였고, 이러한 복합재료의 가교 특성, 물리적 특성, 내열 전후 물성 변화 및 POSS의 반응 등을 분석하여 시험한 결론은 다음과 같다. POSS 첨가에 따른 가교 밀도의 증가로 미루어 보아 POSS는 EPDM의 가교결합에 참여하는 것으로 예측되며, 또한 물리적 특성 값은 EPDM/POSS 복합재료에 POSS가 가교반응에 참여하므로 물성향상 효과가 있었으나, 적정량 이상 첨가되면 분산적 안정성이 떨어져 물성향상효과가 미비하였다. FT-IR 측정 데이터로 POSS가 가교결합에 참여할 것으로 간접적으로 예측되었고, 전자현미경 측정결과 일정함량 이상에서 POSS의 응집체가 분석되었다. POSS는 EPDM과의 복합재료에서 파단 신장률을 증가시키면서 인장 강도 등을 향상시킬 수 있었다. 열 중량 분석 및 노화 시험 결과로 보아 POSS가 EPDM과의 복합재료에서 열 안정성을 향상시킬 수 있음을 보여주었다. 그러므로 POSS의 아크릴레이트 그룹은 과산화물 가교 효율 향상과 기계적 특성 및 열 안정성 향상에 중요한 역할을 할 것으로 예상된다. 모든 결과로 보아 아크릴레이트 그룹을 포함하는 POSS는 과산화물 가교 고무의 효과적인 보조제 및 강화 필러로 사용될 수 있음을 알 수 있었다.

감 사

본 연구는 계명대학교 신입교원 정착연구비에 의하여 연구된 논문이므로 이에 감사드립니다.

References

1. A. Das, D. Y. Wang, K. W. Stockelhuber, R. Jurk, J. Fritzsche, M. Kluppel, and G. Heinrich, Rubber-Clay Nanocomposites: Some Recent Results, *Adv. Polym. Sci.*, **239**, 85-166 (2011).
2. A. Usuki, A. Tukigase, and M. Kato, Preparation and properties of EPDM-clay hybrids, *Polymer*, **43**, 2185-2189 (2002).
3. H. Acharya, M. Pramanik, S. K. Srivastava, and A. K. Bhowmick, Synthesis of partially exfoliated EPDM/LDH nanocomposites by solution intercalation: Structural characterization and properties, *J. Appl. Polym. Sci.*, **93**, 2429-2436 (2004).
4. K. G. Gatos, R. Thomann, and J. Karger-Kocsis, Characteristics of ethylene propylene diene monomer rubber/organoclay nanocomposites resulting from different processing conditions and formulations, *Polym. Int.*, **53**, 1191-1197 (2004).
5. P. Pasbakhsh, H. Ismail, M. N. A. Fauzi, and A. A. Bakar. EPDM/modified halloysite nanocomposites, *Appl. Clay Sci.*, **48**, 405-413 (2010).
6. H. Ismail, P. Pasbakhsh, M. N. A. Fauzi, and A. A. Bakar, Morphological, thermal and tensile properties of halloysite nanotubes filled ethylene propylene diene monomer(EPDM) nanocomposites, *Polym. Test.*, **27**, 841-850 (2008).
7. F. B. Bujans, R. Verdejo, M. P. Cabero, S. Agouram, I. R. Ramos, A. G. Ruiz, and M. A. L. Machado, Effects of functionalized carbon nanotubes in peroxide crosslinking of diene elastomers, *Eur. Polym. J.*, **45**, 1017-1023 (2009).
8. A. D. Falco, S. Goyanes, G. H. Rubiolo, I. Mondragon, and A. Marzocca., Carbon nanotubes as reinforcement of styrene-butadiene rubber, *Appl. Surf. Sci.*, **254**, 262-265 (2007).
9. J. Zhao, Y. Fu and S. Liu, Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane (POSS)-Modified Thermoplastic and Thermosetting Nanocomposites: A Review, *Polym. Polym. Compos.*, **16**, 483-500 (2008).
10. G. Pan, J. E. Mark and D. W. Schaefer, Synthesis and characterization of fillers of controlled structure based on polyhedral oligomeric silsesquioxane cages and their use in reinforcing siloxane elastomers, *J. Polym. Sci. B Polym. Phys.*, **41**, 3314-3323 (2003).
11. D. Chen, S. Yi, W. Wu, Y. Zhong, J. Liao, C. Huang and W. Shi, Synthesis and characterization of novel room temperature vulcanized (RTV) silicone rubbers using Vinyl-POSS derivatives as cross linking agents, *Polymer*, **51**, 3867-3878 (2010).
12. T. F. Baumann, T. V. Jones, T. Wilson, A. P. Saab and R.S. Maxwell, Synthesis and characterization of novel PDMS nanocomposites using POSS derivatives as cross-linking filler, *J. Polym. Sci. A Polym. Chem.*, **47**, 2589-2596 (2009).
13. Y. R. Liu, Y. D. Huang and L. Liu, Influences of Mono-Silanol-isobutyl-POSS in thermal stability of polymethylsiloxane, *J. Mater. Sci.*, **42**, 5544-5550 (2007).
14. R. Y. Kannana, H. J. Salacinski, M. Odlyha, P. E. Butler and A. M. Seifalian, The degradative resistance of polyhedral oligomeric silsesquioxane nanocore integrated polyurethanes: An in vitro study, *Biomaterials*, **27**, 1971-1979 (2006).
15. P. J. Flory and W. R. Krigbaum, Statistical Mechanics of Dilute

- Polymer Solutions. II, *J. Chem. Phys.*, **18**, 1086-1094 (1950).
16. J. A. Cornell, A. J. Winters, and L. Halterman, Mechanism of Rubber Coagent Peroxide Cure System, *Rubber Chem. Technol.*, **43**, 613-623 (1970).
 17. Y. Lu, L. Liu, M. Tian, H. Geng, and L. Zang, Study on mechanical properties of elastomers reinforced by zinc dimethacrylate, *Eur. Polym. J.*, **41**, 589-598 (2005).

Authors

Hyun-Ho Park; Ph. D., Professor, Department of Chemistry, Keimyung University, Daegu 42601, Republic of Korea; rubchem@kmu.ac.kr