

실란이 처리된 멜라민 시아누레이트의 합성과 난연특성

박태훈 · 강국현 · 이진화 · 이동규[†]

충북대학교 공과대학 공업화학과
(2010년 6월 17일 접수 ; 2010년 9월 13일 채택)

Synthesis and Flame Retardant Characteristics of Melamine Cyanurate Treated with Silane Agent

Tae-Hun Park · Kuk-Hyoun Kang · Jin-Hwa Lee · Dong-Kyu Lee[†]

Department of Industrial Engineering Chemistry, Chungbuk National University
Cheongju 361-763, Korea

(Received June 17, 2010 ; Accepted September 13, 2010)

Abstract : Melamincyanurate(MC), as a non halogen flame retardant are used as the polymer and plastic materials. In this study, melamine and cyanuric acid were used for the synthesis of MC. The optimum condition of synthetic MC were controlled by different molar ratio of melamine to cyanuric acid. MC was modified by coupling reaction with four different agents. The influences of modified MC were based on the coupling agent types. Preparation methods are available to offer the prospect of improved morphology control deposit stability in polyol. The results reveal that glycidoxypropyltrimethoxysilane(GDS) has the best storage stability. The best properties were obtained with melamine and cyanuric acid from 1:1 molar ratio. Modification of MC through coupling agent can efficiently enhanced the deposit stability in polyol up to 30 %.

Keywords : Melamine cyanurate, flame retardant, coupling agent, silane

1. 서론

플라스틱은 전자·전기, 건축 및 자동차 등 다양한 소재분야에서 사용되며 그 응용분야 또한 매우 다양하다. 소재의 개발이 증가함에 따라 이들의 사용량 또한 증가하고, 용도에 맞는 물성을 요구하고 있다. 다양한 물성 및 특성을 갖는 유기 및 고분자 재료들은 탄소, 수소, 산소 등의 연소되기 쉬운 물질로 구성되어 있다. 이

러한 유기 및 고분자 재료의 단점을 물리·화학적으로 개선해 잘 타지 못하도록 첨가하는 물질을 난연제라 한다. 고분자의 연소하기 쉬운 성질을 개선하기 위해 사용되는 가장 보편적이며 성능이 우수한 물질은 브롬과 염소를 기본 물질로 생성한 할로겐계 난연제가 있다. 4-브로모비스페놀에이, 염화파라핀 등이 대표적인 난연제이다. 난연제별로는 브롬계가 39%로 가장 많이 사용되었고, 인계 23%, 무기계 22%, 염소계 10% 순이며, 멜라민계는 총 생산량의 6% 정도를 차지하고 있다[1].

[†]주저자 : (E-mail: dklee@chungbuk.ac.kr)

할로겐계 난연제를 함유한 고분자 재료는 화재 발생 시 할로겐가스 및 할로겐화수소 등의 유해가스를 발생시켜 직접적으로 인명피해를 유발할 수 있다. 이들의 폐기 및 소각 처리 시 폴리할로푸란과, 폴리할로다이옥신 등의 유독가스를 발생시켜 환경을 오염시킨다는 연구 결과가 많이 발표되고 있다[2]. 이에 환경단체들은 할로겐계 난연제의 사용금지를 촉구하고 있고, 특히 유럽에서는 난연제의 탈할로겐화를 주도하고 있다[3,4].

국내에서는 현재 할로겐계 난연제에 대한 직접적인 법적 제재는 없으나, 주요 수출시장 가운데 하나인 유럽이 사용을 적극 규제함에 따라, 비할로겐계 난연제의 사용 및 개발이 불가피한 실정이다. 국내 난연제 사용량의 대부분을 수입에 의존하는 현실을 감안하면 비할로겐계 난연제의 수입의존도를 탈피하여 우수한 친환경적 난연성을 지닌 물질의 국산화가 시급하다.

본 연구는 기존의 난연제 보다 연기의 발생이 적고, 멜라민을 함유한 연질 폴리우레탄 발포폼의 열분해 시 유독가스의 발생이 없다고 보고된[5,6] 유기계 난연제인 멜라민시아누레이트 합성을 기본으로 하였고, 합성의 최적 조건을 찾기 위해 멜라민과 시아누레이트의 몰비를 조절하여 실험을 진행하였다. 멜라민시아누레이트 합성의 최적 조건 실험 후 저장안정성을 개선시키기 위해 생성된 난연제를 여러 종류의 실란커플링제를 사용하여 커플링 시키는 반응을 진행하였다. 변수로는 멜라민시아누레이트와 커플링제의 중량비를 변화하였고, 조건에 따른 화합물의 결정성, 입자의 분포, 크기, 모양 및 저장 안정성의 개선 여부를 측정하였다. 최종 생성물의 난연성은 UL94V(Vertical Burning Test) 방법[7]을 이용하여 폴리우레탄에 발포 후 측정하였다.

2. 실험

2.1. 실험 재료

본 연구에서 사용한 시약은 다음과 같다. Melamine ($C_3H_6N_6$, 99.8%, Nissan Chemical Industries, LTD.)과 cyanuric acid ($C_3H_3N_3O_3$, 98.7%, DC Chemical Co.)를 사용하여 melamin cyanurate (MC)를 합성하였다. 저장 안정성의

향상을 위하여 선택한 표면 처리제는 다음과 같다. Aminopropyltriethoxysilane (APS, $H_2N(CH_2)_3Si(OCH_2CO_3)_3$, 99% OSi Specialties), 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane (MCS, $H_2C=C(CH_3)CO_2(CH_2)_3Si(OCH_3)_3$, 98% OSi Specialties), 3-glydoxypropyltrimethoxysilane (GDS, $H_2COCHCH_2O(CH_2)_3Si(OCH_3)_3$, 98% Dow Corning Co.) 및 aminoethylpropyltrimethoxysilane (AES, $NH_2(CH_2)_2NH(CH_2)_3Si(OCH_3)_3$, 80% Dow Corning Co.)을 사용하였다. 우레탄 폼을 발포한 후 난연성 실험은 작용성도가 2.7인 이소시아네이트 polymeric MDI를, 폴리올은 한국 폴리올사의 polyether계 HR-450P를 사용하였다.

2.2. 실험 방법

2.2.1. MC 합성

MC를 합성할 경우 반응에 의한 크기 조절이 어려워 MC의 합성에서 개질제를 통해 저장 안정성을 높이고자 개질실험을 시행하였다. MC의 최적의 합성조건을 알아보기 위해 고순도의 멜라민을 증류수 1 L에 1몰을 녹인 후, 시아누릭산을 0.95몰에서 1.05몰까지 변화시켜 멜라민 수용액에 혼합하였다. 실험 시 반응온도는 $85^\circ C$ 를 유지하고 시아누릭산을 약 10분에 걸쳐 혼합하였다. 합성시간은 1시간으로 하며 교반속도를 400 rpm으로 하여 실험을 진행하였다. 반응 후 생성물은 증류수를 이용하여 3회 이상 수세하였고, 여과 후 $105^\circ C$ 에서 24시간 건조하여 흰색의 고체 물질을 얻었다.

2.2.2. MC 개질

합성된 MC를 커플링제를 사용하여 개질하기 위해 MC의 양을 1몰로 고정시킨 후 실란 커플링제의 종류에 따른 농도를 1.5, 3.0, 5.0 wt%로 변화하여 약 30분간 400 rpm의 속도로 교반하고, $85^\circ C$ 의 반응 온도에서 실험을 진행하였다. 반응 후 증류수를 이용하여 3회 이상 수세 후 여과하고, $105^\circ C$ 에서 24시간 건조하여 흰색의 커플링 처리된 MC를 얻었다. Table 1은 MC 합성의 최적 조건을 확인하기 위한 변수와 커플링제 처리를 위한 실험변수를 나타내었고, Fig. 1은 MC의 합성과 커플링제 처리 과정의 개략적인 공정도를 나타낸 것이다.

Table 1. Formulation of Sample for MC and Coupling Agent

Sample Name	Melamine (mol)	Cyanuric acid (mol)	Coupling Agent (wt%)			
			APS	MCS	AES	GDS
MC-1	1.0	0.95				
MC-2	1.0	1.00				
MC-3	1.0	1.05				
APS-1	1.0	1.00	1.5			
APS-2			3.0			
APS-3			5.0			
MCS-1				1.5		
MCS-2				3.0		
MCS-3				5.0		
AES-1					1.5	
AES-2					3.0	
AES-3					5.0	
GDS-1						1.5
GDS-2						3.0
GDS-3						5.0

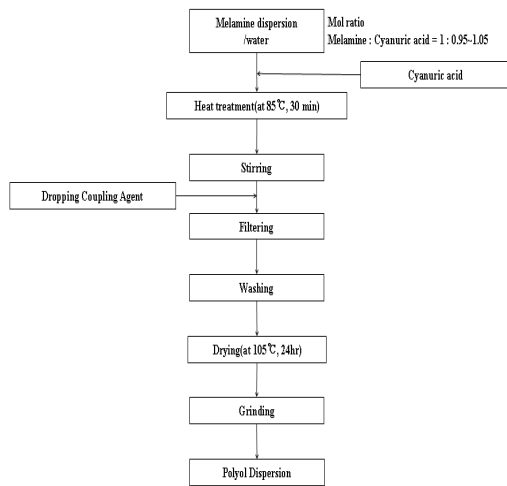


Fig. 1. Synthetic procedures for melamine cyanurate.

2.2.3. 개질된 MC의 저장 안정성 및 난연성

우레탄 폼 제조 시 사용하는 주 물질은 폴리

올과 경화제가 사용되며, 그 외에 여러 종류의 첨가제가 사용된다. 첨가물은 폴리올과 함께 배합 후 다시 경화제를 첨가하여 발포하게 되는데 이때 경화제를 첨가하기 전에 폴리올과 기타 첨가물들과의 혼합 시 폴리올에서의 저장 안정성이 문제가 된다. 특히 폴리우레탄용 난연제인 MC의 저장 안정성이 문제되며 경화제와 배합 후 저장할 경우 침전이 쉽게 되어 고르게 분산되어 있지 않는 현상과 폴리올을 펌프로 이송할 경우 이송이 원활하지 못하게 되는 현상이 발생한다. 이를 개선 하고자 MC에 여러 종류의 커플링제로 처리 후 폴리올에서의 저장 안정성을 측정하였다. 표면 처리되지 않은 MC, 커플링 처리한 생성물 중 각 5 wt%를 첨가하여 생성한 샘플인 APS-3, MCS-3, AES-3 및 GDS-3을 폴리올에 첨가한 후 30분간 homogenizer(IKA basic)를 사용하여 혼합한 후 각각의 침강속도를 측정하였다.

난연성 평가를 위해 생성물을 폴리올과 발포제를 혼합하여 성형한 뒤 UL94V 난연 측정법을 사용하여 테스트를 진행하였다. UL94V 방

법은 발포 성형한 시편을 공기 분위기에서 토치를 이용하여 측정하는 방법으로 샘플의 타는 면적, 균열 및 연기 등을 관찰하여 난연값을 부여하는 방법이다.

2.3. 분석

2.3.1 MC의 분석

MC 분말시료의 결정성과 결정구조를 확인하기 위해 XRD(X-Ray Diffractometer, Model XDS DMS2000, SCINTAG Co.)를 이용하여 분석하였으며 그 결과는 JCPDS card(Joint Committee on Power Diffraction Standards)를 참조하여 확인하였다. 분석 조건은 Cu-K α radiation을 사용하여 5 ~ 70°의 회절각 (2 θ) 범위, 스캔속도는 5°/min으로 하여 회절 스펙트럼을 얻었다. 제조한 MC의 표면 특성과 입자 크기는 FE-SEM(Field Emission Scanning Electron Microscope, Model LEO-1530FE, Hitachi Co.)을 이용하여 측정하였다. PSA(Particle Size Analyzer, Model Mastersizer 2000S, Malvern Co.)를 이용하여 입자의 크기 및 분포도를 확인하였다. EDS(Energy Dispersive X-ray Spectrometer, Model Tescan Co.) 분석을 수행하여 첨가된 물질의 종류와 함량비를 확인하였다. Thermal Analyzer(Model SDT2960, TA Instruments Co.)를 이용하여 상온에서 700°C까지 10°C/min의 가열속도로 열분해 및 DTA 패턴 분석을 수행하였다. FT-IR Spectrometer(Model IFS 66/S Bruker Optik GmbH Co.)를 이용하여 유기물들의 결합 및 관능기를 확인하였다.

2.3.2 저장 안정성 및 난연성 평가

개질된 MC의 저장 안정성 평가는 아크릴 폴리에틸렌 90 g에 MC 10 g을 혼합한 후 homogenizer를 사용하여 1000 rpm으로 90초 동안 교반한 뒤, 생성물을 실린더에 90 mL 정량하여 시간에 따른 입자의 침강 속도를 30일 동안 측정하여 조건에 따른 침강속도의 비교를 통해 커플링제 처리한 MC의 저장 안정성을 평가하였다.

난연성 평가는 폴리에틸렌과 경화제로서 이소시아네이트 및 첨가제를 혼합한 후 상온 20 ~ 25°C에서 homogenizer를 이용하여 1500 rpm으로 7초 동안 교반 후 90°C 오븐에서 발포하였

으며 난연성을 비교하기 위하여 UL94V 측정 방법에 의거하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. MC 생성의 최적 조건

MC 합성의 최적 조건을 알아보기 위해 멜라민의 양을 1몰로 고정하고 시아누릭산의 양을 조절하여 실험을 진행하였다. Fig. 2의 XRD 분석 결과 합성된 생성물은 MC이며, JCPDS NO : 05-0127과 비교하여 확인하였다. 멜라민에 시아누릭산의 양적 비율을 조절하여 합성된 MC는 몰비율 1 : 1인 경우 결정성이 가장 크게 나타났음을 확인하였다. Fig. 3의 SEM 이미지를 통해 입자의 형상을 확인한 결과 합성된 MC의 입자 크기는 약 200 ~ 600 nm 정도임을 확인하였으며, 멜라민과 시아누릭산의 비율이 1 : 1 조건인 샘플 MC-2 에서 합성된 입자는 비교적 큰 주상형태와 입자성장이 덜된 작은 주상형태가 함께 나타남을 확인할 수 있었다. 시아누릭산의 몰비가 0.95인 경우는 입자의 형태가 다양하며 입자간의 뭉침 현상을 확인할 수 있고, 1.05몰의 경우 주상형태의 입자가 적고, 판상형 및 작은 입자들로 이루어져 있음을 확인하였다. 위의 두 분석 결과를 통해 결정성이 좋고 입자의 형상이 주상을 유지하면서 고르게 분산되어 있는 MC-2의 조건을 최적 조건으로 결정하였다. 생성된 MC의 수율은 합성을 위해 사용된 전구체의 총량과 반응 후 생성물의 양을 비교하여 97 %의 수득률을 얻을 수 있었다.

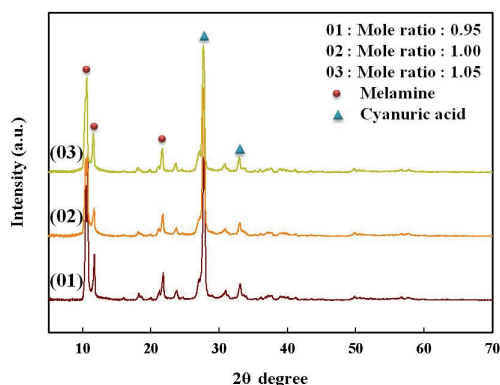


Fig. 2. XRD patterns of MC at different precursor molar ratio.

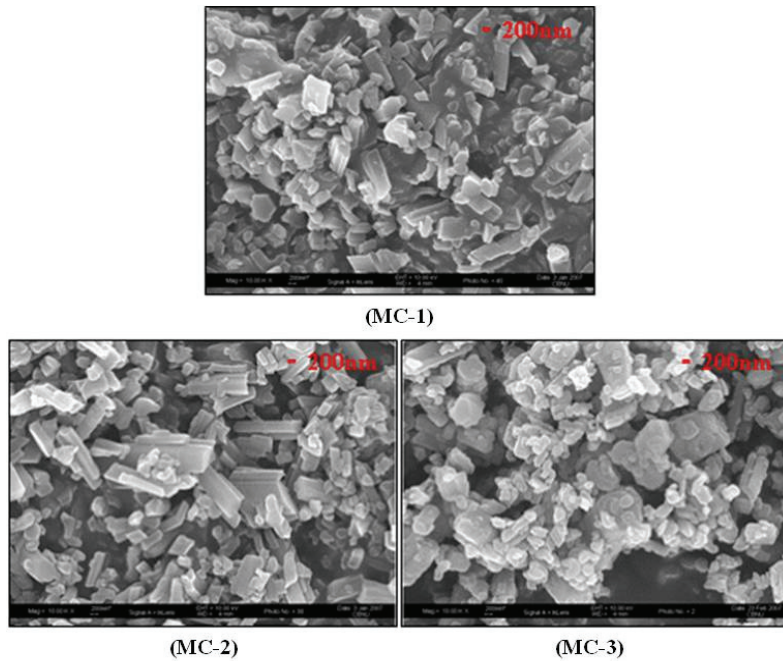


Fig. 3. SEM images of MC at different precursor molar ratio MC-1, MC-2, MC-3.

3.2. 커플링제로 처리된 MC의 특성 분석

3.2.1. XRD 분석

합성된 MC를 다양한 커플링제를 사용하여 표면 처리했을 때의 XRD 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 각 샘플은 커플링제를 종류별 5 wt%

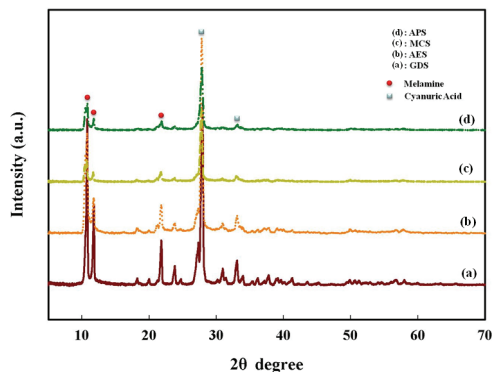


Fig. 4. XRD patterns of MC by different coupling agents.

씩 사용하여 표면 처리한 결과이다. 각 XRD 분석결과 생성물은 MC와 피크가 일치함을 확인할 수 있으며[8,9], 커플링제로 처리했을 경우 결정성의 변화는 없는 것으로 확인할 수 있었다. 각각의 생성 물질은 개질제의 양이 증가할수록 결정성이 낮아짐을 확인하였다.

개질한 MC의 SEM 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 샘플 APS-3, MCS-3번의 결과 입자의 모양이 육각기둥 모양과 라멜라형태가 섞여 있는 것을 관찰할 수 있었다. 샘플 AES-3 시료와 GDS-3 시료의 경우 육각기둥 모양의 물질의 크기가 줄어들고 라멜라 형태의 입자들이 고루 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 커플링제 중 GDS를 사용하면 입자의 크기가 줄고 APS를 사용할 경우 입자의 크기가 가장 큰 것을 확인할 수 있었다. 각 커플링제 사용 시 1.5, 3.0 wt%의 생성물의 SEM 결과는 5.0 wt% 생성물에 비해 입자의 크기가 크며, 불균일한 형태를 확인할 수 있었다.

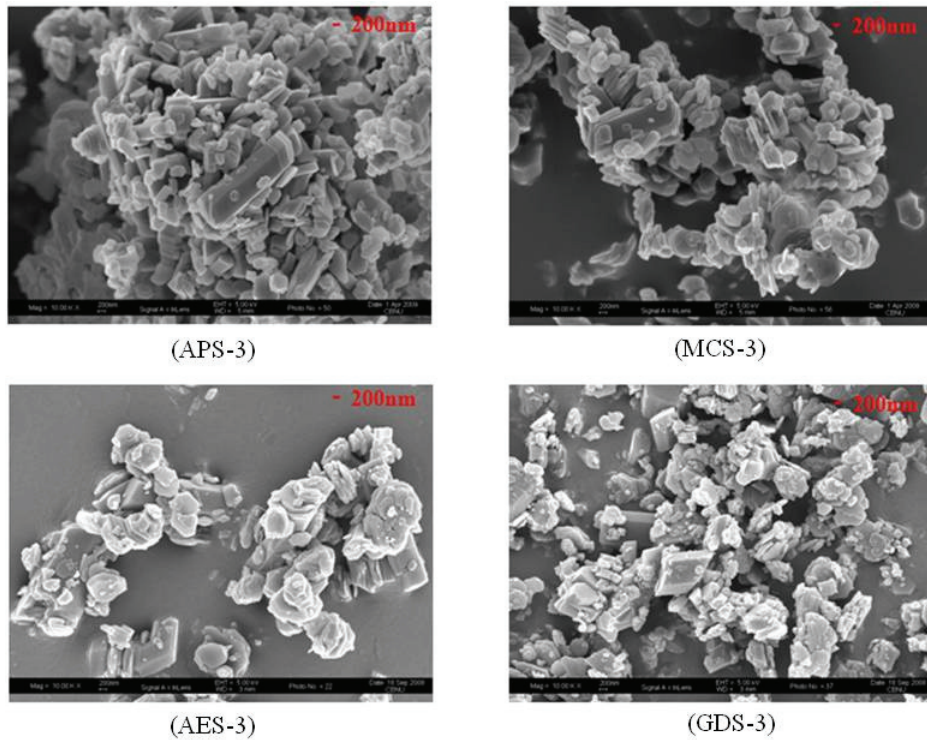


Fig. 5. SEM images of MC synthesized with 5 wt% coupling agents.

3.2.2. EDS 분석

커플링 처리된 MC 생성물을 EDS 분석을 통해 원소의 종류 및 함량을 확인 하였다. 각각의 결과는 Fig. 6에 나타내었으며 5 wt%의 커플링제를 사용하였을 경우를 나타내었다. 분석 결과 탄소, 질소 및 규소로 이루어짐을 확인할 수 있었으며 커플링제의 종류나 처리에 따른 구성 원소의 차이는 없는 것으로 확인 할 수 있었다. 합성된 AES-3 생성물의 원소 분석 결과 탄소와 질소 규소로 이루어져 있으며 그 함량은 탄소 43.7 %, 질소 55.9 % 규소 0.4 %로 확인되었다. GDS-3 생성물의 원소들 또한 탄소와 질소 그리고 규소로 이루어져 있으며, 함량은 탄소 53.2 %, 질소 46.4 % 및 규소 0.4 %로 탄소와 질소 그리고 규소가 분포되어 있음을 확인 하였다. APS-3 및 MCS-3 생성물 또한 AES-3, GDS-3 생성물의 분석결과와 같이 0.4 % 정도의 규소를 포함하는 것이 확인 되었다. 이를 통해 커플링제의 종류에 따라 탄소와 질

소의 함량비가 변화하는 것을 확인할 수 있었다.

3.2.3. FT-IR 분석

표면 처리한 MC 샘플 중 GDS-3 생성물의 FT-IR 분석을 Fig. 7에 나타내었다. 그래프의 신축진동수의 확인 결과는 $3400 \sim 3100 \text{ cm}^{-1}$ 부근에서의 피크는 표면수에 의한 수산(-OH)기의 진동수임이 확인되었고, $1800 \sim 1650 \text{ cm}^{-1}$ 부근에서의 진동수는 시아누릭산의 카르보닐(-C=O)기로 확인하였으며, $1600 \sim 1500 \text{ cm}^{-1}$ 부근에서 니트로화합물(-N=O)이 존재함을 확인되었다. 이것으로 멜라민과 시아누릭산이 반응하여 염을 생성하였음을 알 수 있었다[10]. 또한 커플링제 처리에 의해 생성물에 $1100 \sim 1040 \text{ cm}^{-1}$ 부근에서는 실란과 옥사이드의 결합으로 인한 신축진동이 나타났으며 835 cm^{-1} 부근의 진동수는 실란올기(Si-OH)의 결합에 의한 MC가 확인되었다[11,12].

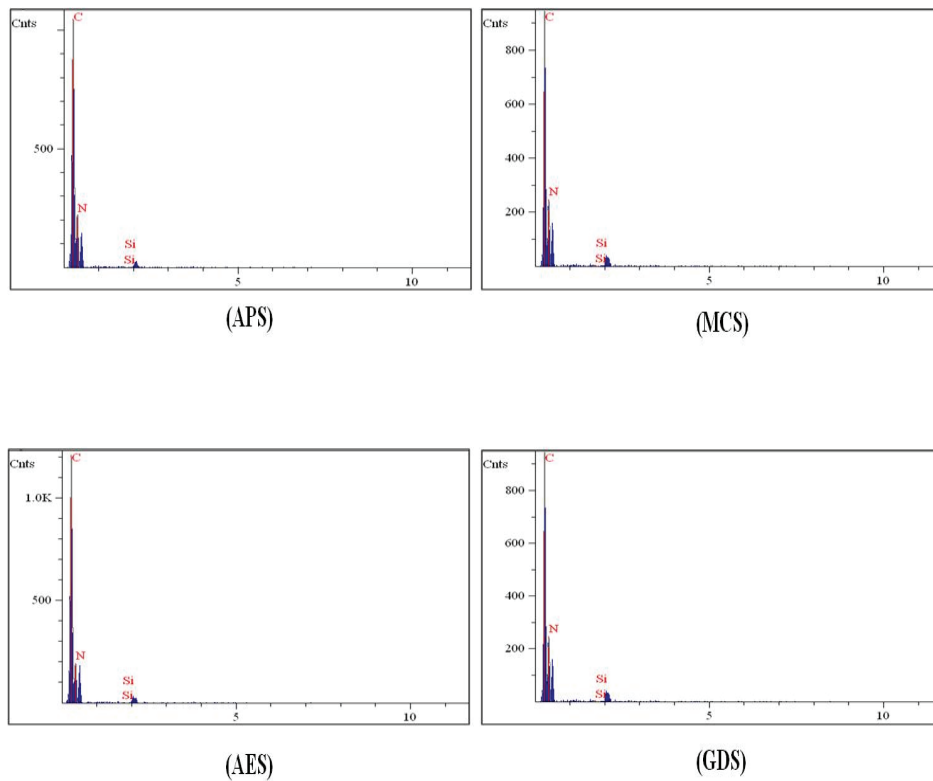


Fig. 6. EDS results of MC synthesized with different coupling agents.

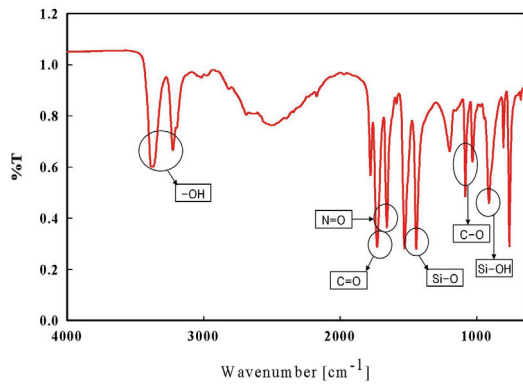


Fig. 7. FT-IR spectrum of MC.

3.2.4. 입도분석

커플링제의 종류에 따른 PSA를 이용한 입도 분석 결과는 Fig. 8에 나타내었다. 커플링제의

처리 농도를 5%로 하였을 경우의 샘플의 분석 결과를 나타내었다. 상업적으로 판매되고 있는 MC의 크기는 약 25 μm 의 값을 갖는다. 이에 비해 커플링 처리된 APS의 경우 약 4.15 μm 의 크기를 갖는 것으로 확인되었고, MCS의 경우 약 3.97 μm , AES는 3.02 μm , 마지막 GDS의 경우는 3.64 μm 의 평균 크기를 갖는 것으로 확인할 수 있었다. 이를 통해 커플링제의 종류를 달리하여 분석 시 APS가 가장 큰 입자 크기를 형성시켰고, AES가 SEM 이미지에서 나타난 결과와 달리 총 입자의 평균 크기를 가장 작게 형성시킴을 확인하였다. 이를 통해 MC의 커플링 처리제의 종류에 따라 입자의 크기를 조절할 수 있음이 확인되었으며 AES가 가장 작은 입자 크기를 형성함이 확인되었다.

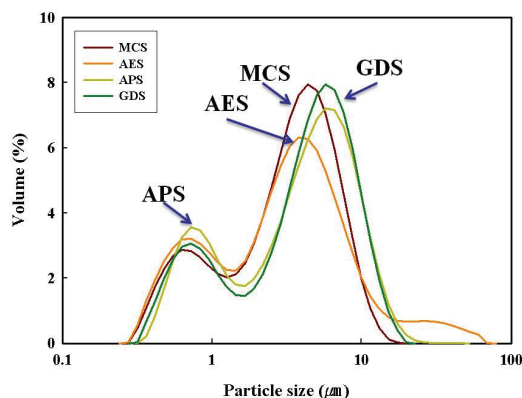


Fig. 8. Particle size distribution curves of MC prepared at different coupling agents.

3.3. 실란으로 처리된 MC의 저장 안정성 및 난연성

3.3.1. 폴리올에서의 저장 안정성

폴리우레탄용 난연제인 MC의 폴리올에서의 저장 안정성을 측정하기 위해 커플링제로 처리된 샘플 중 MC-02, APS-3, MCS-3, AES-3 및 GDS-3의 생성물을 이용하여 저장안정성을 측정하였다. MC에 우레탄 폼 발포를 위해 경화제 및 첨가제를 혼합할 경우 폴리올 용액에서 시간이 지남에 따라 침강현상이 발생하게 된다. 이는 혼합물을 저장할 경우와 펌프로의 이송이 어려운 단점으로 작용한다. 따라서 폴리올에 경화제 및 첨가제를 혼합한 후 침강되는데 걸리는 시간을 측정하여 개질된 MC의 저장안정성을 확인하였다. Fig. 9는 폴리올에서의 저장 안정성을 측정한 결과로 GDS를 이용한 GDS-3 생성물의 저장안정성이 가장 우수하였으며, AES를 사용한 AES-3 생성물, APS를 처리한 APS-3 생성물, MES를 사용한 MCS-3 생성물 그리고 커플링제를 사용하지 않은 MC의 순으로 저장 안정성이 감소됨을 확인하였다. 커플링제로 GDS를 사용한 GDS-3 생성물은 기존에 비해 약 30% 이상 저장 안정성이 상승됨을 확인하였다. 이는 개질 후 MC의 입자 크기가 조절 되었으며 개질에 의해 MC의 폴리올 내에서의 혼합성이 좋아졌음을 확인할 수 있었다.

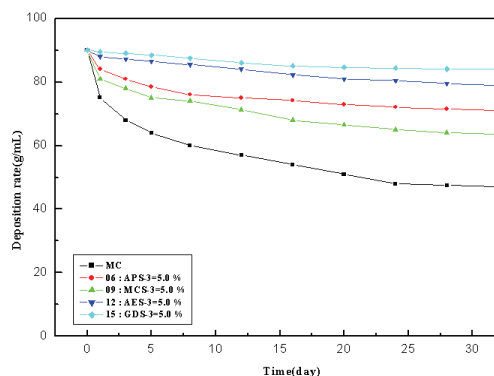


Fig. 9. Dispersion curves of MC in polyol.

3.3.2. 열 특성 분석

GDS-3 생성물의 MC를 사용한 열분석 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 측정조건은 상온에서 700 °C까지 10 °C/min의 온도 상승 속도로 질소 분위기에서 측정하였다. GDS 커플링제를 처리한 MC의 원소 함량은 탄소(53.2%), 질소(46.4%) 및 규소(0.4%)로 이루어져 있으며, 열분석 결과 300 °C까지 무게 감량 일어나지 않았으나, 300 °C 이후 중량이 감소하기 시작하여 429 °C 부근에서는 MC가 완전히 연소되어 잔유량이 없음을 확인되었다. 비할로젠 난연제인 MC는 질소계 난연제로서 분해 온도가 높은 것을 확인할 수 있었으며, 이 결과 열적 안정성이 높은 특성을 가지는 것을 확인하였고, 연소 후 잔유량이 없는 것으로 보아 MC 자체를 연소 시 char를 형성하지 않는 우수한 특성을 가짐을 확인하였다.

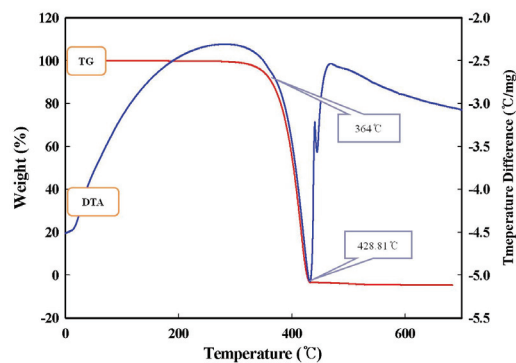


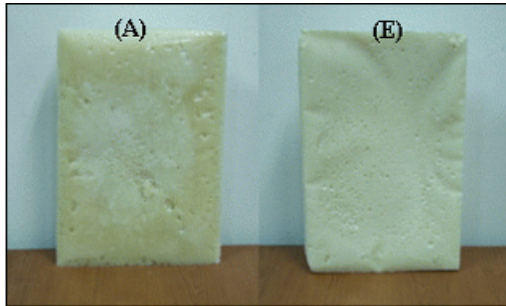
Fig. 10. TG/DTA curves of MC.

3.3.3. MC의 난연성

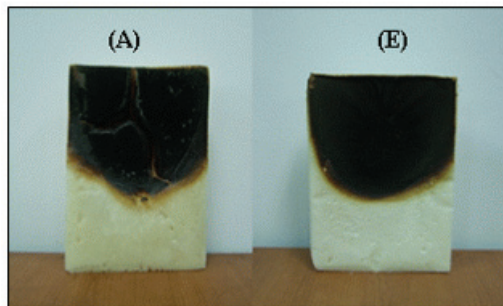
표면 처리된 MC의 난연 특성을 알아보기 위해 UL94V의 난연 테스트 방법을 진행하였다. 실험에 사용된 시편은 가로 200 세로 150 높이

30 mm으로 제작하여 각 3개씩 준비하였고, 120초 동안 공기 중에서 연소 하였다.

Table 2의 각 함량별로 제조한 우레탄폼의 난연성 시험을 실시한 결과 난연제를 처리하지 않은 시료 Sample A는 연소 후 약 30여초의 잔염과 잔사 그리고 크랙이 발생하였고, Sample E의 경우 잔염과 크랙이 거의 관찰되지 않음을 확인하였다. Sample B, C 그리고 D의 경우는 각각 약 15초와 8초의 잔염이 생성되었으며, 크랙이 생성되어 난연특성이 떨어짐을 확인하였다. 이들의 평가 중 가장 우수한 우레탄 폼 Sample E와 우수하지 못한 우레탄 폼 Sample A의 난연성 실험 결과의 이미지를 Fig. 11에 나타내었다.



(a)



(b)

Fig. 11. Ignition results of MC (a) before, (b) after.

4. 결론

고분자에 첨가되는 난연제로서 멜라민시아누레이트(MC)를 합성하였으며, 폴리올에서 저장 안정성을 개선하기 위해 계면활성제를 커플링제로 사용하여 MC를 합성하였고, 합성 특성과 난연성을 확인한 결과는 다음과 같다.

1. MC의 합성의 최적 조건은 멜라민과 시아누릭산의 몰비를 1 : 1로 하였을 경우 결정성이 가장 우수한 생성물을 얻었으며, 97 %의 우수한 수득률을 얻을 수 있었다.

Table 2. Formulation of Polyurethane Foam

Additive agent of Polyol	Weight(g)				
	SampleA	SampleB	SampleC	SampleD	SampleE
Polyol	100	100	100	100	100
Water	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Surfactant	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Catalyst	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Crosslinker	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Blowing Agent	25	25	25	25	25
Diisocyanate	120	120	120	120	120
Flame Retardants	0	1	3	5	10
Total	250	251	253	255	260

2. 폴리올에서 MC의 저장 특성을 평가한 결과 기존의 MC에 비해 뛰어난 저장 안정성을 나타냄을 확인할 수 있었으며, 기존의 MC에 비해 GDS-3의 생성물은 약 30 % 이상의 저장안정성이 상승됨을 확인할 수 있었다.
3. 커플링제를 처리한 MC를 폴리우레탄에 첨가 후 발포하여 난연성 실험을 시행한 결과, UL94V 범의 난연성 테스트 적용 시 5 wt%의 커플링제를 처리한 합성물이 연소 시 크랙이 발생하지 않고 난연성이 우수함을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 충북대학교 학술 연구 지원 사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. D.K. Lee, J.H. Jin, K. Kang, Synthesis and Characteristics of Magnesium Hydroxide Group Flame Retardant for Polymer Additives, *J. of the Korean Oil Chemists' Soc.*, **26**, No. 4, 385 (2009)
2. U. Braun, B. Schartel, M.A. Fichera, Flame retardancy mechanisms of aluminium phosphinate in combination with melamine polyphosphate and zinc borate in glass-fibre reinforced polyamide 6.6, *Polym. Degrad. Stab.*, **92**, 1528 (2007)
3. SRI, Plastics additives and Compounding (Flame retardants), *Chemical Economics Handbook*, (2001).
4. J.F. Garard, Use of melamine with other minerals as flame retardants, *Addit. Polym.*, **11**, 8 (1999).
5. A. Casua, G. Caminob, M. De Giorgic, D. Flathc, V. Moronea, and R. Zenonia, Fire-retardant mechanistic aspects of melamine cyanurate in polyamide copolymer, *Polym. Degrad. Stab.*, **58**, 297 (1997).
6. G. E. Zaikov, S. M. Lomakim, Ecological issue of polymer flame retardancy, *J. Appl. Polym. Sci.*, **86**, 2449 (2002).
7. F. Laoutid, L. Bonnaud, M. Alexandre, J.-M. Lopez-Cuesta and Ph. Dubois, New prospects in flame retardant polymer materials: From fundamentals to a nocomposites, *Mater. Sci. Eng.*, **6**, 100 (2009).
8. H. Horacek and R. Grabner, Advantages of flame retardants based on nitrogen compounds, *Polym. Degrad. Stab.*, **54**, 205 (1996).
9. L. Costa and G. Camino, Mechanism of thermal degradation of fire retardant melamine salt, *J. Thermal Anal.*, **34**, 423 (1983).
10. B. Alexander, Morgan, A. Charles, Wilkie, Flame retardant polymer nanocomposites, *Wiley-Interscience*, (2007).
11. Z. Wenjun and Y. Hui, Flame retarding mechanism of polycarbonate containing methylphenyl-silicone, *Thermochim. Acta*, **452**, 43 (2007).
12. Y. Nagasawa, M. Hotta and K. Ozawa, Fast thermolysis/FT-IR studies of fire-retardant melamine cyanurate and melaminecyanurate containing polymer, *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, **33**, 253 (1995).