

# 아스팔트와 이오노머 (ionomer)의 상용성에 관한 연구

손영곤<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>공주대학교 신소재공학과

## Study on Compatibilities between Asphalt and Various Ionomers

Younggon Son<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Advanced Material Engineering, Kongju National University

**요 약** 아스팔트와 PE 혼합물에 사용될 상용화제를 선정하기 위하여 poly(ethylene-co-acrylic acid)와 poly(ethylene-co-methacrylic acid)의 금속염인 이오노머들의 아스팔트에 대한 상용성을 광학 현미경, 열분석 및 유변학 연구를 통하여 관찰하였다. 수분 흡수를 통한 극성 분석, 광학 현미경 관찰 결과와 열분석을 통하여 후보 고분자들의 아스팔트와의 상용성을 관찰한 결과 대체적으로 극성이 높을수록 아스팔트와의 상용성이 높아짐을 알 수 있었다. 또한 유변학 관찰을 통하여 몇몇 고분자들은 아스팔트와 균일 상을 이룬다는 것을 알 수 있었다.

**Abstract** In order to select the best compatibilizer for PE/asphalts mixtures, compatibilities of poly(ethylene-co-acrylic acid) and poly(ethylene-co-methacrylic acid) based ionomers with asphalts were investigated via optical microscopy, thermal analysis and rheology. By comparing the polarities of ionomers through an ultimate adsorption of moisture, it was observed that the compatibilities of ionomers increase with the increases of the polarities. By rheological investigations, some of ionomer were observed to be not only compatible but also miscible with asphalts.

**Key Words** : Asphalt, Ionomer, Compatibilization

### 1. 서론

아스팔트란 원유를 증류하고 남은 매우 끈적끈적한 물질로 수천 종 이상의 다양한 탄화수소(CH) 화합물로 구성된 흑색 또는 흑갈색 고체 또는 반고체의 열가소성 물질이다. 아스팔트의 구성성분은 원유의 채굴 장소, 증류 방법에 따라 다양한 화합물이 포함될 수 있는데, 대략적으로 구성성분의 분자량 및 용해도 상수에 따라 구성 성분을 나누면 표 1에 나타낸 바와 같이 4 가지로 나눌 수 있다. 또한 이 표에는 몇몇 고분자의 용해도 상수도 같이 나타냈다.

아스팔트는 고대로부터 선박 및 가옥 지붕의 방수제로 사용되어 왔으며, 19 세기 말에 이르러서는 도로 포장용 바인더로 그 이용이 급격히 증가해왔다. 포장도로는 장기

간에 걸쳐 사용되면서 여러 가지 결함들이 발생하는데, 크게 다음의 3가지 심각한 결함들이 있다. 첫 번째는 영구변형 (rutting)이라 불리는 결함으로 여름철 한 낮과 같은 고온의 환경에서 대형 차량들이 도로를 지날 때 주는 고 하중에 의한 포장도로의 영구 변형을 지칭한다. 포장 도로에서 골재의 바인더를 이루는 아스팔트는 고온에서는 끈적끈적하고 유동이 가능하며 저온에서는 딱딱하고 깨지기 쉬운 성질을 지닌다. 고온의 고 하중에서는 아스팔트가 흐를 수 있는 성질을 지니게 되어 영구변형이 일어난다. 또한, 반복된 차량의 하중이나, 밤과 낮의 기온차에서 오는 반복적인 열응력에 의해서 균열이 발생하기도 하는데, 전자를 피로균열 (fatigue crack) 후자를 열 균열 (thermal cracking) 이라 칭한다.

이 논문은 2011년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임 (지역거점연구단 육성사업/에너지자립형 그린빌리지 핵심기술사업단)

\*교신저자 : 손영곤(sonyg@kongju.ac.kr)

접수일 11년 05월 17일

수정일 (1차 11년 08월 29일, 2차 11년 09월 02일)

계재확정일 11년 09월 08일

[표 1] 아스팔트의 구성 성분 및 용해도 상수.

[Table 1] Constituents and solubility parameters of asphalts.

성분	용해도 상수 $d$ ( $\text{cal}^{1/2}/\text{cm}^{3/2}$ )	고분자	용해도 상수 $d$ ( $\text{cal}^{1/2}/\text{cm}^{3/2}$ )
saturates	8.5-9.8	PE	7.5-8.0
naphtene aromatic	9.3-11.0	P(EB)	7.8-8.1
polar aromatic	10.7-13.0	PB	8.1-8.6
asphaltene	12.2-16.1	PS	9.1-9.7
		PA66	13.5

이와 같은 심각한 결함들은 도로의 유지 보수비를 증가시켜 도로 포장의 비용을 증가시키는 큰 원인이 되고 있다. 따라서 지난 수십 년간 아스팔트의 성능을 개선시키려는 많은 연구가 진행되어 왔는데, 아스팔트에 고분자를 혼합시켜 고온에서 유동성을 감소시키고 (영구 변형 감소), 저온 및 반복 하중에 대한 균열 저항성을 증가시키는 연구가 주류를 이루었다. 대부분의 고분자의 경우, 아스팔트에 고분자를 혼합시키면 앞에서 언급한 아스팔트의 결함은 줄어든다. 그러나 사용된 고분자의 종류에 따라 성능의 증가 정도는 크게 다르다. 고분자 블렌드와 같이 서로 다른 종류의 물질을 혼합할 때, 혼합물의 물성이 효율적으로 발현되기 위해서는 두 성분 간의 친화력이 좋아야 한다. 궁극적으로는 두 성분이 균일 상(one phase, homeogenous phase)을 이루는 것이 일반적으로는 좋은 물성을 나타내게 한다. 그러나 고분자/아스팔트 혼합물의 경우는 혼합물의 점도가 높을수록 고온에서의 영구 변형의 정도가 적어지므로, 균일 상을 나타내는 것보다는 고분자와 아스팔트가 상 분리는 이루면서 상호 친화력이 좋은 상태인 network 구조를 이루는 것이 최상임이 여러 연구 결과에 의해서 밝혀졌다[1, 2]. 이때, 고분자와 아스팔트 간에 친화력이 좋기 위해서는 표 1에 나타난 용해도 상수가 서로 비슷해야 하고 균열 저항성을 증가시키기 위해서는 고분자가 엘라스토머와 같이 고무탄성(고무와 같은 성질)을 가져야 한다.

아스팔트의 발화점이 220 °C 정도 되므로 가공이 가능한 온도 범위는 140 ~ 190 °C 정도이다. 따라서 용융점이 높은 결정성 고분자들은 아스팔트 개질제로 사용이 불가능하다. 또한 아스팔트의 저온(-30 ~ 0 °C) 균열성을 개선시키기 위해서는 이 온도 범위에서 고분자에 고무탄성이 있어야하므로 유리전이 온도가 -30°C 로 낮아야한다.

이런 요구를 충족시키는 여러 가지 고분자에 대해서 아스팔트 개질제로서의 성능을 시험한 여러 연구가 있어왔다. 그 중 가장 성공적인 물성의 증진을 보이는 고분자

는 열가소성 블록공중합체로 SBS, SIS (styrene-isoprene-styrene), SEBS 등이 있다. 지난 30년 동안 이 범주에 드는 블록공중합체에 관한 수많은 연구가 있어왔다 [3, 4]. 아스팔트와 혼합 시 상의 형태변화, 성능개선, 유변학적 거동에 관한 연구 등 생각할 수 있는 범위에서는 거의 연구가 다 되어있는 상태이다.

현재까지 연구된 고분자 중에서는 열가소성 블록공중합체가 가장 우수한 아스팔트 개질제이다. 그러나 이 고분자는 고가이고, 고온에서 산화와 열분해가 일어나는 단점을 가지고 있다. 이 때문에 PE를 이용한 아스팔트의 개질에 관한 연구가 많이 진행되었다[5, 6]. 그러나 PE는 극성이 낮은 고분자로 아스팔트와의 친화성(compatibility)이 매우 낮아서 원하는 정도의 아스팔트 성능개선이 이루어지지 못한다는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해서 극성이 낮은 ethylene과 극성이 높은 butyl acrylate, vinyl acetate와 같은 모노머를 공중합시켜 아스팔트와의 compatibility를 높이고자 하는 연구가 있었다[3-6]. 이러한 방식으로 극성 모노머의 양을 제어하여 아스팔트와 친화성이 좋은 공중합체를 만들 수 있고, 궁극적으로 우수한 고분자 개질제를 합성할 수 있었다. PE에 비해 아스팔트 개질제로서 우수한 물성을 가진 공중합체를 합성할 수는 있으나 가격 면에서 상업화 되지는 못했다.

PE 자체만으로는 아스팔트와의 상용성 문제를 해결할 수 없기 때문에 이 연구에서는 PE와 아스팔트사이의 친화력을 높여줄 수 있는 상용화제(compatibilizer)로서 poly(ethylene-co-methacrylic acid)(EMAA) 와 poly(ethylene-co-acrylic acid)(EAA)의 이오노머(ionomer)를 선택하여 연구하였다. 이러한 계통의 이오노머는 공중합체의 조성이 다른 여러 그레이드가 생산되고 있고 산(acid)을 금속 이온으로 쉽게 치환하여 극성과 물성이 다른 여러 종류를 쉽게 만들 수 있기 때문에 우선 다양한 조성 및 금속 치환체를 가지는 이오노머를 준비하여 아스팔트와 친화력을 DSC, 광학현미경 유변학 물성을 사용하여 관찰하였다.

## 2. 실험

### 2.1 재료

실험에 사용된 고분자는 고밀도 폴리에틸렌 (HDPE), poly (ethylene-co-acrylic acid)(EAA) 및 7가지 종류의 이오노머였다. 이오노머는 Poly (ethylene-co-methacrylic acid)(EMAA) 또는 EAA를 부분적으로 금속염으로 중화시켜 제조한 것으로 모두 상업화된 그레이드를 사용하였

다. 표 2에 나타낸 바와 같이 이오노머들을 EMAA19Mg50, EMAA19Na50 및 EAA15Zn35 등으로 표기하였다. 이때 EAA 및 EAA는 이오노머의 기본 고분자가 폴리에틸렌-메타크릴산 공중합체 및 폴리에틸렌-아크릴산 임을 나타낸다. 그 뒤의 숫자는 전체에서 차지하는 산(acid)의 비율 그 뒤의 금속의 종류 마지막 숫자는 산에 금속이 치환된 비율(neutralization level)을 의미한다. 즉 EMAA19Mg50는 ethylene 81% MAA 19%로 이루어진 공중합체에 MAA의 50%(전체에서는 9.5%)가 마그네슘(Mg)으로 중화되었음을 의미한다. 이오노머 중 EMAA계열은 Dupont사에서 EAA 계열은 ExxonMobile사에서 구입하였다. HDPE는 Phillips사의 제품을 사용하였다. 사용된 아스팔트는 CAP(CT advanced pavement) Lab.에서 입수한 고온 그레이드로 사용 가능 온도는 -28 °C to 64 °C 이다.

### 2.2 아스팔트 혼합물 제조

아스팔트와 고분자의 혼련은 재 순환형 이축압출기(recirculation twin screw extruder, HAAKE MiniLab™)에서 수행하였다. 온도는 180 °C, 스크류 회전 속도는 100 rpm로 10 분간 혼련하였다.

### 2.3 형태학 관찰

아스팔트와 고분자의 혼합물의 형태학을 광학현미경을 이용하여 관찰하였다. 소량의 시료를 hot-stage(Linkam™ TMS 94)의 유리사이에 놓은 후 180 °C의 온도에서 용융시킨 후 최대한 얇게 퍼서 투과 모드로 관찰하였다.

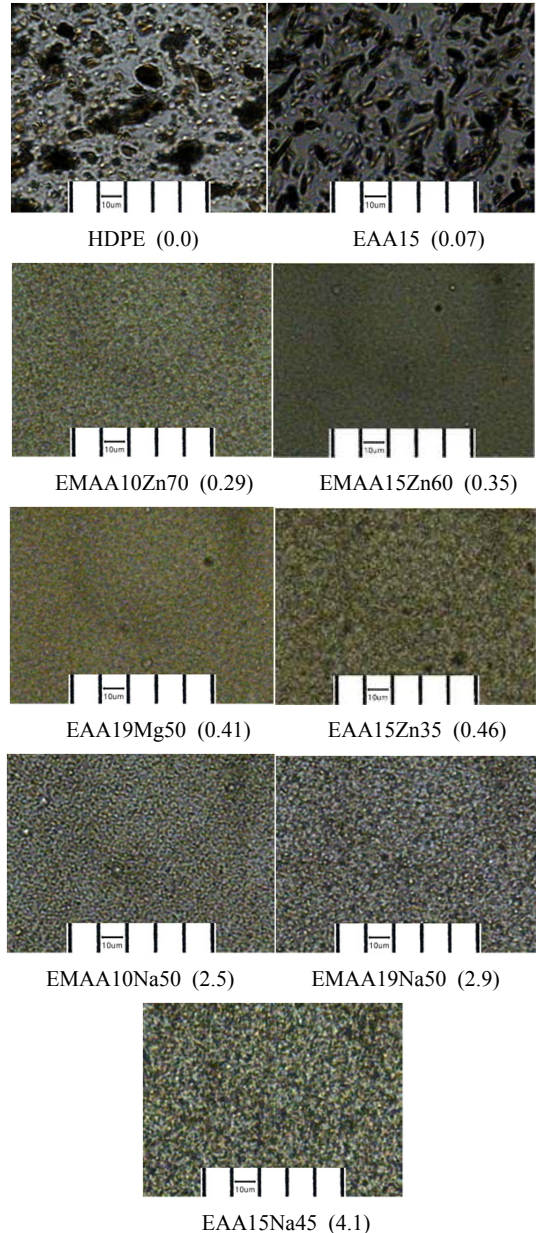
### 2.4 시차주사 열량계(DSC) 측정

먼저 시료의 온도를 180°C 까지 최대 속도로 승온시킨 후 3 분 동안 등온 유지시켰다. 그리고 상온까지 분당 -20 °C의 속도로 냉각시켜 cooling thermogram을 얻었다. 사용된 DSC 장비는 TA사의 모델명 DSC Q1000이었다.

### 2.5 유변 물성 측정

고분자 및 아스팔트 혼합물의 복소 점도(complex viscosity, h\*)를 angular velocity( $\omega$ )의 함수로 측정하였다. 사용된 유변 측정기는 Rheometric사에서 제조된 ARES(Advanced Rheometric Expansion System) 이었다. 측정은 150, 180 및 210 °C에서 plate-plate fixture를 사용하여 진행되었고, strain은 30%로 고정하였다.

## 3. 결과 및 토론



[그림 1] HDPE, EAA, 이오노머 및 아스팔트 혼합물들의 광학 현미경 사진.

[Fig. 1] Optical micrograph of HDPE, EAA, ionomer and asphalt mixtures.

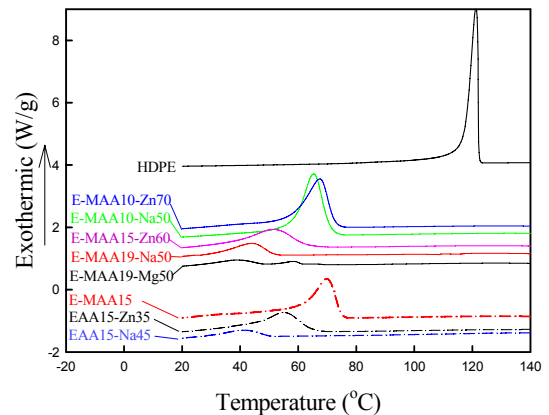
그림 1에 HDPE, poly(ethylene-co-acrylic acid) 및 이오노머 등 9가지의 고분자를 각각 90 wt.% 아스팔트를 10 wt.% 포함한 혼합물들의 광학 현미경 사진을 나타냈다.

샘플은 hot stage에서 용융이 된 채로 투과(transmission) 모드에서 관찰하였다. 사진에서 검은색으로 나타난 부분이 아스팔트이며 회색으로 나타난 부분이 고분자이다. 사진에서 눈금 한 칸은 10 mm의 크기를 나타낸다. 각 사진 아래 괄호 안의 숫자는 고분자를 물에 5일 정도 잠기게 하였을 때 총 흡수한 수분의 양을 %로 나타낸 것이다. 일반적으로 흡수된 물의 양이 많으면 물과 친화력이 높고 그 고분자의 극성은 높다고 말할 수 있다. 극성이 낮은 HDPE와 EAA15는 아스팔트와의 혼화성(compatibility)이 낮은 것을 볼 수 있다. 아스팔트 도메인의 크기가 10 mm 가 넘는 것들이 아주 많은 것을 볼 수 있다. 그러나 이오노머의 경우에는 아스팔트가 매우 작게 분산이 되어 있는 것을 볼 수 있는데, 이는 EAA 또는 EMAA에서 산(acid) 대신 염(salt)으로 치환됨에 따라 극성이 높아졌고 극성이 높은 아스팔트와의 혼화성이 높아진 것으로 해석할 수 있다.

이오노머의 경우 PE 및 금속이 치환되지 않은 EAA15와 비교했을 경우 전반적으로 아스팔트와 혼화성이 높은 것을 광학현미경 관찰 결과에서 볼 수 있다. 그러나 재미있게도 이오노머들만 비교할 때 극성이 높은 경우 보다 극성이 낮은 경우가 아스팔트와의 혼화성이 더 좋은 것을 볼 수 있다. 수분 흡수율이 0.29 ~ 0.46 % 인 ionomer들이 수분 흡수율이 2.5 ~ 4.1 % 나 되는 이오노머들 보다 훨씬 균일한 상구조를 보임을 관찰할 수 있는데 이는 아스팔트의 극성이 수분 흡수율이 0.29 ~ 0.46 % 인 이오노머들의 극성과 비슷하기 때문인 것으로 생각된다. 아스팔트는 용해도 상수가  $9.0 \sim 10.0 \text{ cal}^{1/2}/\text{cm}^{3/2}$  인 아스팔텐이 약 20%, 용해도 상수가  $9.0 \text{ cal}^{1/2}/\text{cm}^{3/2}$  이하인 말텐이 약 80%로 이루어져 있는데 수분 흡수율이 2.5 ~ 4.1 % 인 이오노머들의 용해도 상수는  $10.0 \text{ cal}^{1/2}/\text{cm}^{3/2}$  보다 훨씬 커서 아스팔트와의 혼화성이 낮은 것으로 추정된다. 수분 흡수율이 0.29 ~ 0.46 % 인 이오노머들의 용해도 상수는  $9.0 \sim 10.0 \text{ cal}^{1/2}/\text{cm}^{3/2}$  인 것으로 추정되며 그 중에서도 수분 흡수율이 0.35 ~ 0.41 인 EMAA15Zn60 및 EAA19Mg50가 아스팔트와의 혼화성이 가장 좋은 것으로 관찰되었다.

이 연구에 사용된 이오노머들은 비교적 흡수율이 높은 고분자로 이를 상용화제로 아스팔트에 혼입하게 되면 빗물 흡수에 의해 아스팔트 팽창률 및 포장도로의 파손을 염려하지 않을 수 없다. 아스팔트 바인더에 사용되는 고분자는 고무와 같은 성질을 가지고 있기 때문에 수분이 흡수되어 팽창되더라도 골재에 미치는 응력은 높지 않을 것으로 추측되고 또한 그림 2에 나타낸 바와 같이 아스팔트와 친화력이 좋은 이오노머는 수분 흡수율이 0.5 % 이하로 낮기 때문에 아스팔트의 내구성에는 큰 영향이 없

을 것으로 판단된다.



[그림 2] DSC 냉각 곡선. 냉각 속도 = 20°C/min.  
[Fig. 2] DSC cooling curves. cooling rate = 20°C/min.

그림 2에 HDPE, poly(ethylene-co-acrylic acid) 및 이오노머 등 9가지의 고분자의 DSC 냉각 커브를 나타냈다. 또한 표 2에는 언급한 9 종류의 고분자에 아스팔트를 5% 및 10% 함유한 혼합물의 결정화 피크 온도 ( $T_c$ ) 및 순수한 고분자의  $T_c$ 와의 온도 차이를 나타냈다.

EMAA19Mg50의 경우엔 결정화 피크가 두 개 나타나서 결정화 피크 온도를 두 온도로 표기하였다.

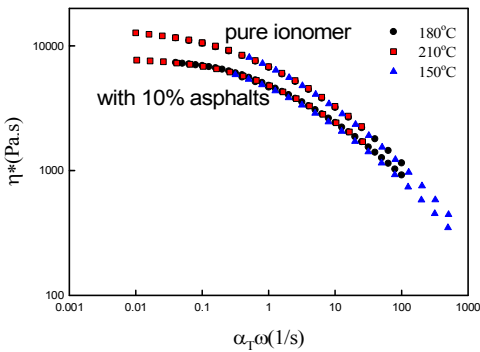
이 연구에서 사용된 고분자와 아스팔트 혼합물의 경우 결정화 피크 온도( $T_c$ )가 아스팔트의 혼합에 의해서 변화되는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 서로 다른 물질을 혼합하는 경우 상용성 또는 친화성이 좋을수록 결정화가 가능한 성분의  $T_c$ 가 감소하는 것을 관찰할 수 있다. 이는 두 성분이 서로 영향을 미쳐서 결정화를 방해하기 때문이다. 즉 친화력이 있는 성분에 의해 결정화 속도가 느려져서  $T_c$ 가 감소하는 결과를 얻은 것이라 할 수 있다. HDPE의 경우는 아스팔트를 섞었을 때  $T_c$ 가 전혀 변화하지 않은 것을 볼 수 있는데 이는 HDPE와 아스팔트의 상용성이 전혀 없기 때문에 아스팔트가 HDPE의 결정화에 전혀 영향을 미치지 않는 것임을 알 수 있다. 따라서 표 2의 마지막 열에 나타낸  $\Delta T_c$ (순수한 고분자의  $T_c$ 와 아스팔트를 10% 혼합한 혼합물의  $T_c$  차이)는 두 성분 간의 친화도를 나타내는 척도라고 할 수 있다. 광학현미경 및 DSC 결과에서 유추한 두 성분 간의 친화도는 어느 정도 상관관계가 있음을 보여주고 있다.

[표 2] HDPE, EAA, 이오노머 및 아스팔트 혼합물들의 결정화 피크 온도

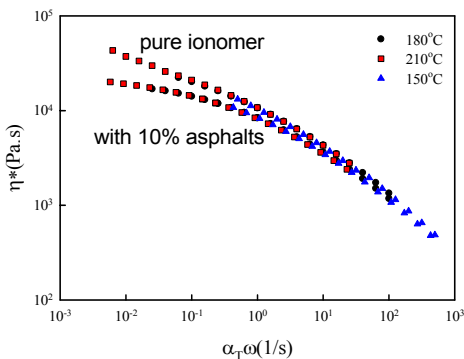
[Table 2] Crystallization peak temperature of HDPE, EAA, ionomer and asphalts mixtures.

Designation	T <sub>c</sub> (°C) as a function of asphalt concentration			DT <sub>c</sub> =T <sub>c</sub> (0%) -T <sub>c</sub> (10%)
	Pure 0%	5%	10%	
EMAA19Mg50	38.0/ 57.4	37/ 56.3	37.8/ 55.3	0.2/ 2.1
EMAA19Na50	43.9	45.6	42.5	0.6
EMAA10Na50	65.4	62.9	60.9	4.9
EMAA10Zn70	67.5	65.8	65.3	2.2
EMAA15Zn60	51.3	49.2	47.1	4.2
EAA15Zn35	54.9	-	49.8	5.1
EAA15Na45	40.2	-	39.2	1.0
EAA15	70.0	-	68.4	1.6
HDPE	121.1		121.1	0.0

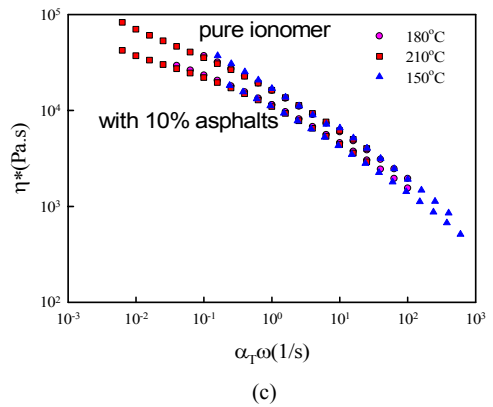
이 연구에서 쓰인 9종류의 고분자 중 광학현미경과 DSC 실험에서 아스팔트와 친화성이 가장 좋은 4종류의 고분자를 선정하여 아스팔트와 혼합물 및 고분자의 유변 물성을 측정하였고 그 결과를 그림 3에 나타냈다.



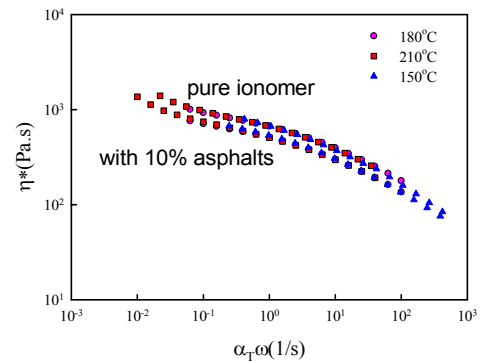
(a)



(b)



(c)



(d)

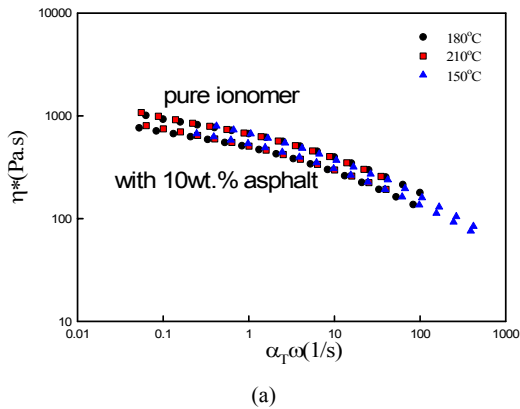
[그림 3] 각속도( $\omega$ ) 변화에 따른 이오노머들의 복소 점도 ( $h^*$ ). 여러 온도에서 측정된 복소 점도를 온도-시간 중첩원리에 의하여 재 구성한 그림임. (a)EMAA15Zn60 (b)EMAA19Mg50 (c)EMAA10Zn70 (d)EAA15Zn35

[Fig. 3] Complex viscosity( $h^*$ ) of ionomers as a fuction of angular velocity( $\omega$ ). Master curve was achieved by time-temperature superposition principle.

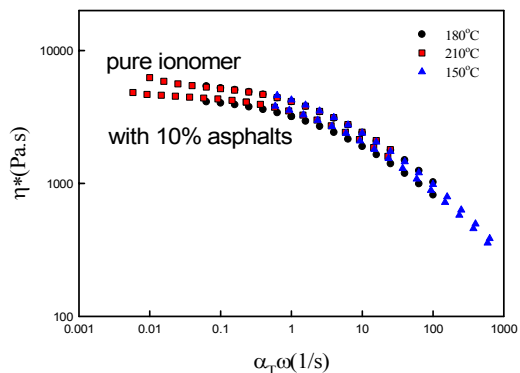
고분자에 아스팔트를 10% 혼합한 경우 아스팔트가 이오노머에 비해 저 점도이기에 혼합물의 점도는 순수한 이오노머에 비하여 현저히 감소하는 것을 볼 수 있다. 혼합물의 유변 물성은 각 성분의 유변 물성, 조성, 두 성분 간의 계면장력 및 상 구조/형태에 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 혼합물의 점도는 각 성분의 점도와 그 조성 으로부터 어느 정도 예상이 가능한데, 일반적으로 두성분의 평균으로 나타난다. 혼합물이 상분리가 되지 않고 균일 상(one phase)을 보이는 경우에는 혼합물의 점도가 모든 전단속도(shear rate) 범위에서 두 성분의 평균으로 나타내어지나, 상 분리된 구조를 가지는 경우에는 낮은 전단속도에서는 두 상간의 계면장력 및 상 구조에 큰 영향을 받는다. 상 분리된 액체 혼합물의 점도를 예측하는 예

멀전 모델에 따르면 고점도 물질에 저점도 물질을 소량 혼합한 경우 전단속도가 아주 낮은 구간에서의 혼합물의 점도는 고점도 물질의 점도 보다 약간 높아진다. 두 상이 균일 상을 이루는 경우에는 저점도 물질의 첨가로 혼합물의 점도는 약간 저하되나 상 분리되는 경우에는 일반 상식에 따른 결과를 보이지 않는다. 고분자에 소량의 기체가 거품 형태로 존재하는 경우 혼합물의 점도는 고분자 자체의 점도보다 약간 높아지는 결과를 보이는 것과 같은 이치이다. 이 연구에서 아스팔트와 최상의 친화성을 보인 EMMA15Zn60과 EMMA19Mg50의 경우 10% 아스팔트와 혼합물은 전체의 전단속도 구간에 걸쳐서 혼합물의 점도가 순수한 이오노머의 점도 보다 낮은 결과를 보인다. 이는 이 두 고분자가 아스팔트와 단일상을 이루거나 최소한 부분적으로 miscible함을 의미한다. 반면 나머지 고분자들은 전단속도가 낮아짐에 따라 아스팔트와 혼합물의 점도가 순수한 이오노머의 점도보다 커지는 경향을 보인다.

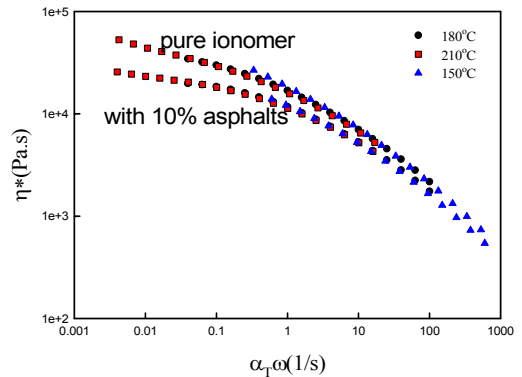
그림 4에는 수분 흡수율 (극성)이 가장 높은 그룹에 속하는 3종류의 이오노머 및 아스팔트와의 혼합물들의 유변물성을 나타냈다.



(a)



(b)



(c)

[그림 4] 각속도( $\omega$ ) 변화에 따른 이오노머들의 복소 점도 ( $h^*$ ). 여러 온도에서 측정된 복소 점도를 온도-시간 중첩원리에 의하여 재 구성한 그림임. (a)EAA15Na45 (b) EMMA19Na50 (c) EMMA10Na50

[Fig. 4] Complex viscosity ( $h^*$ ) of ionomers as a function of angular velocity ( $\omega$ ). Master curve was achieved by time-temperature superposition principle.

그림 4에 나타낸 3종류의 이오노머들은 극성은 관찰 대상이 된 고분자들 중에서 가장 높은 것으로 관찰 되었으나, 복소 점도 결과를 보면 아스팔트와의 혼합성은 그림 3에 나타낸 4 종류의 이오노머들에 비해 낮은 것을 볼 수 있다. 일반적으로 두 성분으로 이루어진 유체의 유변 성질은 상 분리 된 경우와 균일 상을 이루는 경우 확연히 구별되는 유변 성질을 보이는데 상 분리 된 경우 시간-온도 중첩성을 보이지 않는다. 즉 서로 다른 온도에서 구한 유변성질을 온도-시간 중첩원리에 의하여 재구성한 경우 균일 상을 보이는 물질은 하나의 마스터 곡선으로 나타내어지나 상 분리된 경우는 그렇지 않다고 알려져 있다. 그림 4에 나타낸 3종류의 이오노머들과 아스팔트 혼합물은 시간온도 중첩원리를 보이지 않음을 볼 수 있는데 이는 고분자와 아스팔트간의 상분리가 일어났기 때문이다. 이는 광학현미경 결과와 일치하는 결과이다.

그러나 그림 3에 나타낸 고분자들은 대체적으로 시간-온도 중첩 원리를 잘 나타냄을 볼 수 있는데 이는 아스팔트와 균일한 상을 이루기 때문이다. 수분 흡수율에 의한 유변 물성 및 광학 현미경 측정 결과에 의한 아스팔트와 이오노머들의 친화도는 대체적으로 일치함을 보였으나, 수분 흡수율로 측정한 이오노머의 극성과 아스팔트와의 친화도는 반드시 일치하는 결과를 보이지는 않았다.

이 연구에서 관찰된 극성이 제일 높은 3 종류의 이오노머들은 그 보다 극성이 조금 낮은 그룹에 속하는 이오노머들에 비해 아스팔트와 친화도가 오히려 낮은 것을

보였는데 이는 아스팔트의 극성이 EAA15Na45, EMAA19Na50 및 EMAA10Na50보다는 다소 낮고 EMAA15Zn60, EMAA19Mg50 및 EMAA10Zn70 등과 비슷한 수준임을 유추할 수 있다.

이상의 실험결과로부터 이 연구에 쓰인 이오노머들은 아스팔트와 전반적으로 친화성이 높으며, 그 중 EMMA15Zn60과 EMMA19Mg50가 아스팔트의 농도가 낮은 경우 균일 상을 이룬다는 것을 알 수 있었고, PE/아스팔트 혼합물의 상용화제로 사용되기에 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

에틸렌-아크릴산 공중합체와 에틸렌-메타아크릴산 공중합체 계열 이오노머들의 아스팔트에 대한 상용성을 광학 현미경, 열분석 및 유변학 연구를 통하여 관찰한 결과 연구에서 사용된 이오노머들 중 극성이 중간 정도 되는 그룹에 속하는 이오노머들이 아스팔트와의 상용성이 높음을 알 수 있었다. 그 중 EMAA15Zn60과 EMAA19Mg50가 아스팔트의 농도가 낮은 경우 균일 상을 이룬다는 것을 알 수 있었고, PE/아스팔트 혼합물의 상용화제로 사용되기에 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

#### References

- [1] G. D. Airey, "Styrene butadiene styrene polymer medication of road bitumens", J Mater Sci, 99, 951-999, 2004.
- [2] X. Lu, U. Isacson, "Rheological characterization of styrene-butadienestyrene copolymer modified bitumens", J Constr Build Mater 11 (1), 23-32, 1997.
- [3] Y. Yildirim, "Polymer modified asphalt binders", Constr Bul Mater, 21(1), 66-72, 2007.
- [4] C. D. Whiteoak, "The Shell Bitumen Handbook", Surrey, UK: Shell Bitumen; 1990.
- [5] C. Giavarini, P. DeFilippis, M. L. Santarelli, M. Scarsella, "Production of stable polypropylene-modified bitumens", Fuel, 75(6), 681-686, 1996.
- [6] O. Gonza'lez, et al., "Rheological techniques as a tool to analyze polymer-bitumen interactions: bitumen modified with polyethylene and polyethylene-based blends", Energy Fuels 16(5), 1256-1253, 2002.

손 영 곤(Younggon Son)

[정회원]



- 1988년 2월 : 서울대학교 화학공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 한국과학기술원 화학공학과 (공학석사)
- 1998년 2월 : 서울대학교 화학공학과 (공학박사)
- 2002년 9월 ~ 현재 : 공주대학교 신소재공학부 부교수

<관심분야>

고분자가공, 고분자 유변학