

Oilsands Bitumen의 용매 불용분 및 용해분의 물리·화학적 특성 연구

김경훈 · 전상구^{*} · 노남선 · 김광호 · 신대현 · 이기봉 · 박효남 · 한명완^{*}

한국에너지기술연구원 대체연료연구센터, *충남대학교 바이오응용화학과

(2007년 12월 24일 접수, 2008년 3월 28일 채택)

Physical and Chemical Characteristics of Solvent-Insolubles and Solvent-Solubles in Oilsands Bitumen

Kyoung-Hoon Kim, Sang-Goo Jeon[†], Nam-Sun Nho, Kwang-Ho Kim,
Dae-Hyun Shin, Ki-Bong Lee, Hyo-Nam Park and Myung-Wan Han^{*}

Alternative Fuel Research Center, Korea Institute of Energy Research

^{*}Division of Bio-Applied Chemistry, Chungnam National University

(Received 24 December 2007, Accepted 28 March 2008)

요 약

본 연구는 캐나다산 아사바스카 오일샌드 역청(Athabasca Oilsands Bitumen)의 용매 불용분 실험(Solvent-Insolubles Experiment)을 통하여 아스팔텐(Asphaltenes : Solvent-Insolubles) 및 말텐(Maltenes : Solvent-Solubles)에 대한 다양한 물리·화학적 특성변화를 살펴보기 위하여 수행되었다. 용매는 n-Heptane, n-Hexane, n-Pentane의 3가지 용매를 사용하였고, 아스팔텐의 분리는 ASTM D 3279 방법을 응용하여 실시하였다. 역청, 아스팔텐, 말텐에 대한 분석항목은 원소분석, 분자량 분포, 비점 분포, 중금속 함량, API 비중, 점도, SARA 분포 등이다. 분석 결과 모든 말텐의 황 함량, 중금속 함량 및 분자량은 역청에 비하여 낮은 경향을 보였다. 그리고 n-Pentane 용매를 사용한 경우가 다른 용매에 비하여 말텐의 점도가 감소하였고, 황, 중금속 함량 및 분자량도 상대적으로 낮게 측정되었다. 따라서, 본 실험결과는 합성원유(SCO) 생산을 위한 역청의 경질화 공정에 필요한 기초자료로 활용할 수 있다고 판단된다.

주요어 : 오일샌드, 역청, 용매 불용분, 용매 용해분, 아스팔텐, 말텐

Abstract — In this work, we investigated the variation of physical and chemical characteristics of solvent-insolubles and solvent-solubles in Canada's Athabasca oil sands by solvent-insolubles experiments. N-Heptane, n-Hexane, and n-Pentane were tested for solvents and asphaltenes were separated from maltenes by using a modified ASTM D 3279 method. Elemental analysis, boiling point distribution (SIMDIS), molecular weight distribution, heavy metal contents, API gravity, viscosity and SARA fractions were measured for thorough samples. The asphaltenes-removed maltenes contained less sulfur and heavy metal amounts and had lower molecular weight than the original bitumen. N-Pentane solvent could lower sulfur and heavy metal amounts, molecular weight, and viscosity of maltenes compared to the other solvents. Eventually, we confirmed that the obtained experimental data could be used as basic informations of bitumen upgrading processes for the production of SCO (synthetic crude oil).

Key words : Oil sands, Bitumen, Solvent-insolubles, Solvent-solubles, Asphaltenes, Maltenes

[†]To whom correspondence should be addressed.

Alternative Fuel Research Center, Korea Institute of Energy Research

Tel: 042-860-3387

E-mail: sgjeon@kier.re.kr

1. 서 론

전 세계 석유매장량의 약 3배를 차지하는 비재래형 대체연료인 오일샌드(Oilsands)는 10~12 wt%의 역청을 함유하고 있으며, 오일샌드에 포함된 역청은 비중이 높은 초중질유(Extra Heavy Oil)의 특성을 지니고 있다.^[1,2] 이러한 특성으로 인하여 역청에 용매 또는 유화제 등과 같은 매제를 섞어 점성을 낮춤으로써 자연 상태에서 저류층이나 시추공 또는 파이프 등에 흐르지 않는 단점을 극복하고 정제연료로서의 품질을 더욱 향상시켜 보다 편리한 수송 및 생산이 가능하게 한다.

역청을 정제연료로 사용하기 위해 일반적으로 코킹(Coking) 및 촉매 수소화분해(Catalytic Hydroconversion) 공정 등의 경질화 공정을 통하여 품질을 더욱 향상시키는 절차를 거치게 되는데, 공정 투입 전단계로 역청의 물리·화학적 성상의 파악이 중요하고, 공정에 적합한 요구조건을 충족시키는 것이 중요하다.^[2]

최근 오일샌드 역청의 경질화를 위한 여러 공정이 개발되고 있으며, 추출에서부터 이송, 공정 투입에 이르기까지 다방면으로 역청류의 품질 향상을 위한 연구뿐만 아니라 역청에서 분리한 아스팔텐(Asphaltene)의 물리·화학적 특성에 관한 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다^[1]. 또한 오일샌드 역청에 상당량이 함유되어 있는 아스팔텐을 제거하는 용매 아스팔텐 제거(Solvent Deasphalting) 기술은 오일샌드 역청에 대한 부분 경질화(Partial Upgrading) 기술의 하나로서 최근에 주목받고 있다. 부분 경질화 기술에는 이외에도 역청에 용매를 첨가하여 희석 역청(DilBit : Diluent Bitumen)을 제조하거나 합성원유를 첨가하여 합성 역청(SynBit : Synthetic Bitumen)을 생산하는 기술도 포함된다.

Kim *et al.*^[3]은 아스팔텐 함량 증가요인을 여과시간, 여과온도 및 여과종이 크기에 중점을 두고 실험하였다. n-Pentane을 사용하여 아스팔텐을 분리하였고, 교반시간

을 길게 할수록, 여과종이 크기가 증가할수록 아스팔텐 함량이 높게 측정되었음을 보고하였다. 백일현 등^[4]은 상압잔사유로부터 탈아스팔트 오일(Deasphalted Oil)을 분리한 실험에서 63~76 wt%의 중금속 감소율, 19~24 wt%의 황분 감소율을 관찰하였다. 홍원표 등^[5]은 아스팔텐의 수율을 구하기 위한 실험에서 Bunger^[6]의 논문을 참고하여 Benzene과 n-Pentane을 1:40의 비율로 시료와 혼합하여 용해되지 않는 성분을 아스팔텐이라고 소개하였고, Gray *et al.*^[7]은 다양한 지방족 화합물과 방향족 화합물을 포함하는 아스팔텐의 침전에 미치는 영향으로 방향족 탄화수소의 성질, 분자량 등의 요인을 지적하고, 다양한 특성을 가지는 아스팔텐의 화학적 구조에 초점을 둘 것도 언급하고 있다. Sheremata *et al.*^[8]은 아사바스카(Athabasca) 아스팔텐의 분석을 통해 아스팔텐은 지방족 탄화수소의 사슬구조 및 방향족 고리형태의 복잡한 작용기를 가진다고 주장하였다.

본 연구에서는 캐나다의 아사바스카 오일샌드 역청을 시료로 하여 불용분 실험을 거쳐서 생성된 아스팔텐 및 말텐의 용매별 영향에 대해 알아보고, 다양한 분석을 통하여 물리·화학적 특성을 연구하여 합성원유 생산을 위한 경질화 공정에 중요한 기초데이터를 확보하는 것에 초점을 두고 실험을 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2-1. 실험 시료

본 연구에 사용된 시료는 캐나다 아사바스카 지역의 오일샌드로부터 추출한 역청으로서 Table 1에 시료의 기본적인 물성에 관한 분석결과를 나타내었다.

2-2. 실험 조건 및 방법

본 연구에서는 ASTM D 3279^[9] 규격을 기준으로 제작된 장치를 이용하여 용매 불용분 실험을 실시하였다.

Table 1. Properties of Athabasca oil sands bitumen.

Item	Results	Remarks
1 Elemental analysis	C : 81.86 wt%, H : 10.32 wt%, N : 1.53 wt%, S : 4.87 wt%, O : 1.41 wt%	
2 Calorific value	9,690 kcal/kg	
3 Boiling point distribution	114~612°C	ASTM D 2887
4 Viscosity	10~58,000 cP	Temp. Range 30~200°C
5 API specific gravity	8.31	ASTM D 287, KS M 2002
6 Asphaltene fraction	16.33 wt% (n-Heptane Insolubles)	ASTM D 3279, KS M 2415

Fig. 1은 규격을 토대로 실험에 관한 절차를 나타낸 순서도이다. 역청시료 약 3 g을 준비하여, 해당 유기용매 약 300 ml와 함께 삼각플라스크에 넣은 다음, 교반기 위에서 가열과 교반을 하였다. 가열온도는 각각 해당 유기용매의 끓는점을 넘지 않도록 설정하였고, 교반은 가열 후 그 온도를 유지하면서 30분간 교반하였다. 교반이 끝난 후 1시간 가량 그대로 유지하여 아스팔텐의 침전을 유도하였으며, 30분간 재교반 후 여과를 실시하였다. 여과를 통해 걸러진 아스팔텐 성분은 건조하여 무게를 달아 함량을 계산하였고, 용매와 혼합되어 있는 말텐 성분은 증발기를 통하여 최소 2시간 30분 이상 용매를 증발시킨 후 칭량하였다.

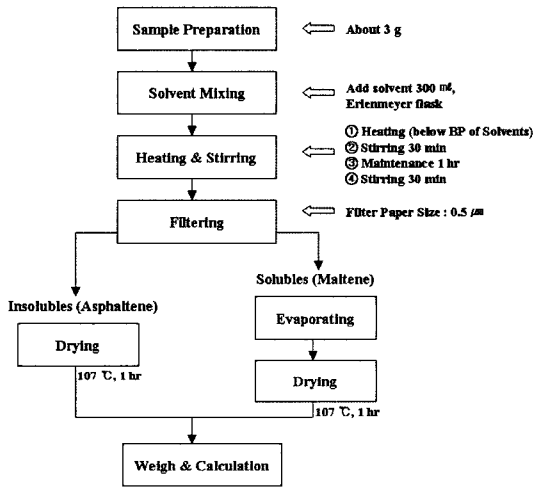


Fig. 1. Procedure of solvents-insolubles experiment.

2-3. 분석 방법

본 연구에서는 석유제품의 대표적인 분석방법으로 주로 쓰이는 원소분석, 분자량 분포, 중금속 분석, API 지수, 비점분포, 점도 분석 등 6가지의 분석을 실시하여 말텐 및 아스팔텐의 물리·화학적 특성을 비교, 분석하였다. 분석에 사용된 기기 및 모델에 관한 내용은 Table 2에 정리하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 말텐 및 아스팔텐의 분석 결과

본 실험에서 분리한 아스팔텐의 함량을 용매별로 비교한 결과 Fig. 2와 같이 n-Pentane을 사용하여 얻은 아스팔텐이 가장 높은 함량을 보였으며, n-Heptane을 사

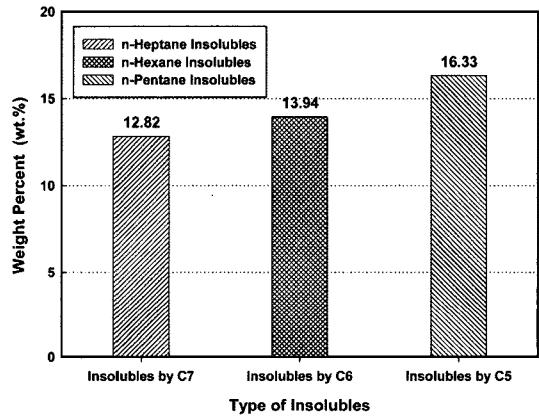


Fig. 2. Solvent-insolubles contents in bitumen.

Table 2. List of analyzer about Athabasca oil sands bitumen.

Items	Units	Unit Models	Comments
Elemental analysis	Elemental analyzer	Model : Truspec CHN (LECO Co., USA)	C, H, N, O
	Sulfur analyzer	Model : SC-432 DR (LECO. Co., USA)	S
Molecular weight distribution	GPC	Model : Waters GPC System, (Waters, USA)	Relative Molecular Mass
Heavy metal content	ICP-AES	Model : Optima 4300 DV (Perkin Elmer Ltd., Co.)	Ca, Fe, Mg, Na, Mo, Mn, Ni, V, Cu, Cr, Co, Zn, As, Pb, Hg, B
API gravity	Density meter	Model : DMA 4500 (Anton Paar., Austria)	$^{\circ}\text{API} = (141.5/\text{SG at } 60^{\circ}\text{F}) - 131.5$
Boiling point distribution	SIMDIS	Model : ACG 2123A (Agilent Technologies, USA)	ASTM D 2887
Viscosity	Rheometer	Model : DV-Ultra (Brookfield Eng. Lab. Inc., USA)	30~200°C

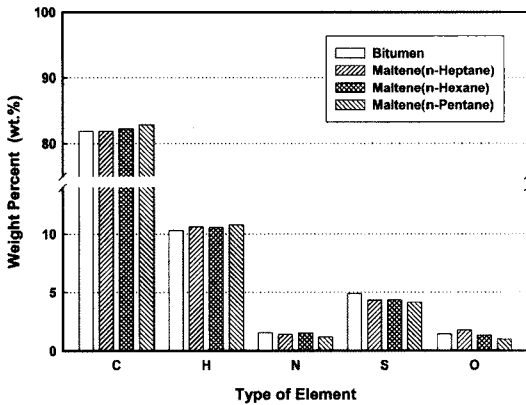


Fig. 3. Elemental analysis of maltenes.

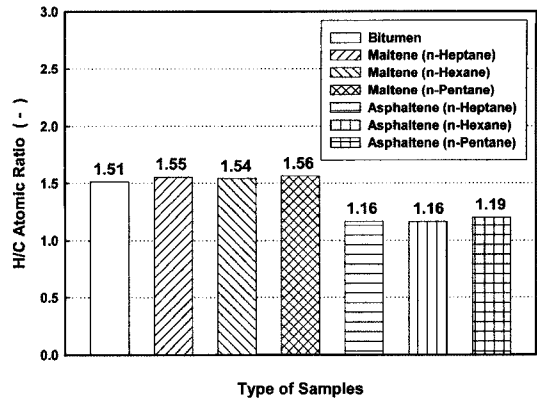


Fig. 5. H/C atomic ratio of maltenes and asphaltenes.

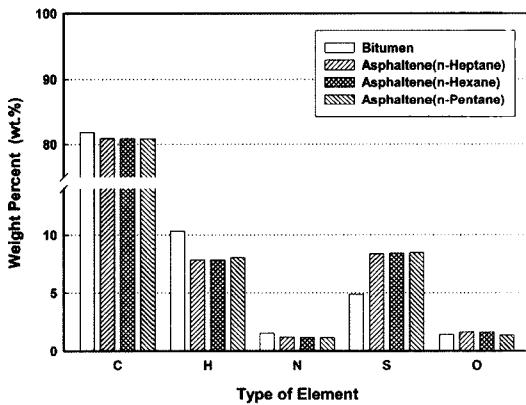


Fig. 4. Elemental analysis of asphaltenes.

용한 경우와 비교하여 약 4 wt%의 차이를 보였다. 이로써, n-Heptane보다 탄소수가 적은 n-Pentane의 경우가 보다 더 광범위한 아스팔텐 영역을 나타낸다고 할 수 있다.

Fig. 3을 보면 역청에 비해 3가지 용매를 사용한 말텐은 모두 탄소, 수소함량이 증가하였으며, 황 함량은 감소하고 질소 함량은 거의 변화가 없는 것을 볼 수 있다. 용매별로 비교해보면, 4.86 wt%의 황을 함유하는 역청에 비해 n-Pentane을 사용한 말텐의 황 함량은 4.17 wt%로 다른 용매와 비교하여 가장 감소폭이 넓었다. Fig. 3과 같이 아스팔텐을 제거한 말텐의 분석 결과 황 함량이 역청을 경질화하여 생성되는 합성원유(SCO)보다는 높지만 역청에 비하여 상대적으로 감소하며, 수소의 함량이 점차적으로 증가하는 경향을 보이므로 본 실험과 같이 아스팔텐을 제거해줌으로써 어느 정도 경질화되어 가는 과정을 살펴볼 수 있었다.

Fig. 3의 경우와는 반대로 아스팔텐의 원소분석 결과를 나타낸 Fig. 4를 살펴보면 역청에 비하여 탄소, 수소

함량은 다소 줄어들었으며, 황 함량은 약 2배 정도 증가하였음을 알 수 있다. 이 결과를 통하여 아스팔텐은 말텐에 비해 황분을 많이 함유하고 있으며, Fig. 5에 나타난 바와 같이 상대적으로 말텐에 비하여 H/C 비가 적다는 것을 확인할 수 있었다. 용매별로 비교하여 보면 말텐의 분석결과와 유사하게 아스팔텐의 경우에도 n-Pentane의 경우가 다른 용매와 비교하여 증감 폭이 가장 넓은 것을 확인할 수 있다. 일반적으로 오일의 경질화 판단기준으로 H/C 비를 비교하는데, 일반 합성원유의 H/C비는^[2] 대략 1.69 정도이다. Fig. 5를 보면 원소 분석 결과와 마찬가지로 아스팔텐을 제거한 말텐의 H/C 비가 역청보다 높게 측정되었으므로 어느 정도 경질화가 진행되었음을 확인할 수 있다. 그리고 Fig. 5에 소개한 H/C 비는 아스팔텐의 분리를 위한 추출용매로 n-Pentane을 사용한 Subramanian^[10] 등의 역청의 원소분석 결과와도 일치하고 있다.

3가지 용매를 사용하여 얻어진 말텐에 대한 분자량 분포를 GPC를 이용하여 측정한 결과를 나타낸 Fig. 6을 살펴보면, 말텐의 분자량은 500 g/mol에 주로 분포하고 있다. 또한 n-Pentane을 사용한 말텐이 3가지 말텐 중에서 가장 낮은 분자량 분포를 보였는데, 이는 n-Pentane을 사용한 말텐이 상대적으로 경질화가 가장 많이 진행된 것을 의미하는 것이다. 3가지 용매별로 비교한 말텐과 마찬가지로 아스팔텐의 분자량 분포를 측정한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 말텐에 비하여 아스팔텐들은 주로 분자량이 11,000 g/mol 부근에 분포하고 있으며, 분자량이 20,000 g/mol 이상의 범위에서 말텐의 분자량 분포에는 발견되지 않은 작은 피크를 보이는 특징이 발견되었다. 용매별로 비교해 보면 말텐의 경우와 같이 마찬가지로 n-Pentane을 사용하여 얻은 아스팔텐이 3가지 아스팔텐 중에서 가장 낮은 분자량을 보였다.

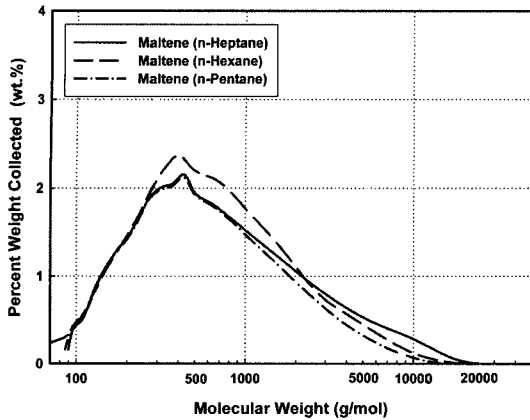


Fig. 6. Molecular weight distribution of maltenes.

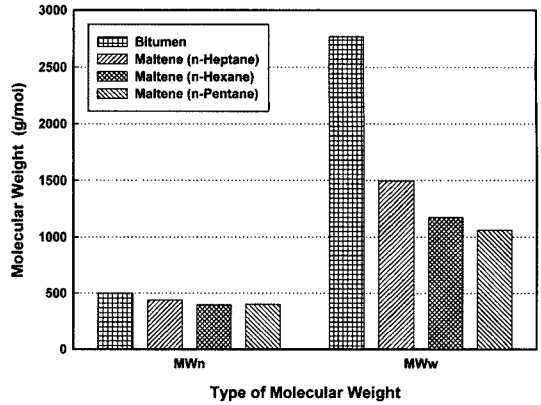


Fig. 8. Average molecular weight of maltenes.

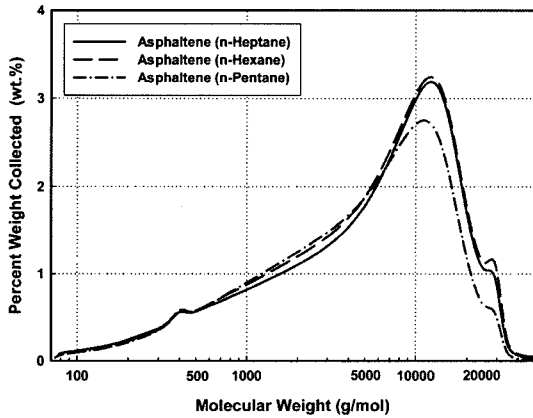


Fig. 7. Molecular weight distribution of asphaltenes.

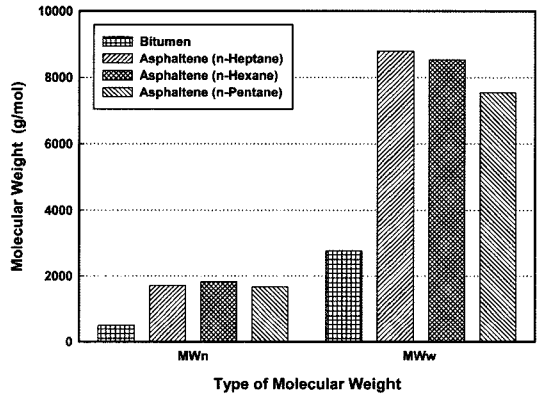


Fig. 9. Average molecular weight of asphaltenes.

Fig. 6과 Fig. 7에 나타난 말텐과 아스팔텐의 분자량 분포를 평균하여 계산된 평균분자량(MWn : 수평균분자량, MWw : 중량평균분자량)을 각각 Fig. 8과 Fig. 9에 역청과 비교하여 표시하였다. 역청과 비교하여 말텐의 평균분자량은 전체적으로 감소하고, 아스팔텐은 전체적으로 증가하는 경향을 보였으며, 용매로 n-Pentane을 사용한 경우가 말텐과 아스팔텐 모두 가장 낮은 평균분자량을 보였다. 말텐의 경우 전체적으로 역청의 평균 분자량인 2,780 g/mol보다 약 2배 정도 감소한 1,500 g/mol 이하의 평균분자량을 가졌으며, 아스팔텐의 경우는 전체적으로 역청에 비하여 3배 정도 매우 높은 7,500~9,000 g/mol 범위의 평균분자량을 나타냈다. Buenrostro-Gonzalez^[11] 등은 nC₅-nC₁₂ 범위의 n-Alkane계 용매를 이용하여 원유로부터 아스팔텐 분리 실험을 실시한 결과 용매의 탄소수가 증가할수록 분자량 및 밀도가 증가한다고 발표한 바 있는데 이러한 경향은 Fig. 8과 Fig. 9의 결과를

통해서도 확인되었다. 또한 Selucky^[12] 등의 연구논문에서 소개된 아스팔텐 분리실험 후의 역청, 아스팔텐, 말텐에 대한 황 함량 변화, 분자량 변화, H/C 비 변화 특성 등이 본 실험결과와 상당히 일치함을 알 수 있었다. 합성원유 생산을 위한 경질화 공정에 매우 중요한 중금속 함량 특성을 살펴보기 위하여 역청, 말텐, 아스팔텐에 대한 중금속 함량 분석을 실시하여 Table 3에 나타내었다. 기존 원유 및 경질화된 일반 합성원유 내 중금속 함량은 수 ppm 이하로 본 실험에서 사용한 Athabasca 역청을 포함한 가공되지 않은 역청류의 중금속 함량에 비해 매우 낮다. Table 3의 역청의 중금속 분석 결과를 살펴보면 경질화 공정에 악영향을 미치는 니켈 및 바나듐의 함량이 상대적으로 상당히 높음을 알 수 있다. 용매불용분 실험을 통하여 아스팔텐을 제거한 말텐의 중금속 함유량은 전체적으로 검출되지 않았거나 대폭 감소하는 경향을 보였지만 아스팔텐의 중금속 함량은 반대로 역청에 비하여 증가하는 경향을 보여 니켈의

Table 3. Heavy metal contents in maltenes and asphaltenes.

(Unit : ppm)

Items	Bitumen	Maltenes			Asphaltenes		
		n-Heptane Solubles	n-Hexane Solubles	n-Pentane Solubles	n-Heptane Insolubles	n-Hexane Insolubles	n-Pentane Insolubles
Ca	4.9	1.7	1.6	1.5	35.7	49.3	21.9
Co	0.2	n.d	n.d	n.d	1.5	1.5	1.4
Cr	0.3	n.d	n.d	n.d	1.1	2.7	1.0
Cu	0.2	n.d	n.d	n.d	2.4	3.2	1.2
Mg	0.6	n.d	n.d	n.d	5.2	6.4	3.5
Mn	0.1	n.d	n.d	n.d	1.2	1.2	1.0
Zn	0.4	n.d	n.d	n.d	5.4	5.0	3.3
Hg	0.020	0.001	0.001	0.001	0.02	0.03	0.02
B	<20	145.0	72.7	64.5	183.0	71.5	12.4
Fe	13.8	n.d	n.d	n.d	170.0	157.0	121.0
Mo	4.2	n.d	n.d	n.d	69.4	61.6	52.0
Na	44.7	4.8	2.30	4.80	111.0	85.5	64.1
Ni	64.0	37.0	32.70	25.80	317.0	312.0	297.0
V	137.0	110.0	94.40	69.10	1046.0	1034.0	996.0

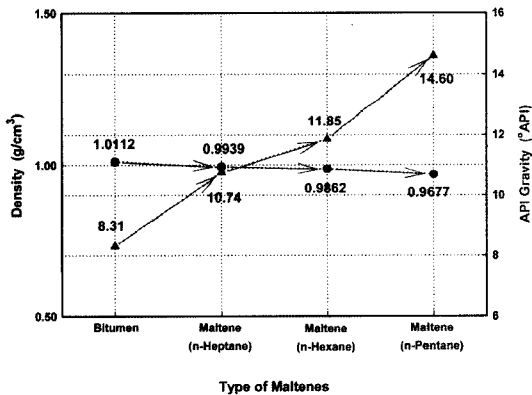


Fig. 10. API gravity of maltenes.

경우는 약 5배, 바나듐의 경우는 약 10배 정도 함유율이 증가하였다. 이와 같은 연구 결과로 보아 아스팔텐의 분리는 역청에 함유된 중금속 함량을 대폭 줄임으로써 경질화를 위한 조건이 어느 정도 충족되었음을 확인하였다. 또한 3가지 용매별로 비교해 보면 말텐 및 아스팔텐의 경우 모두 탄소수가 상대적으로 적은 n-Pentane을 사용한 경우가 3가지 용매 중 중금속 함량이 가장 낮게 측정되었다.

3가지 종류의 말텐에 대한 품질을 판단하기 위한 한 가지 방법으로 미국석유협회 가 원유의 비중을 나타내는 지표로 많이 사용하는 API 비중을 측정하여 Fig. 10에 소개하였다. API 비중은 일반적으로 경질화될수록 상승하며, 보통 경질유(輕質油)는 API 34 이상, 중질유(中質油)는 30~34, 중질유(重質油)는 30 이하로 구분하며, 통

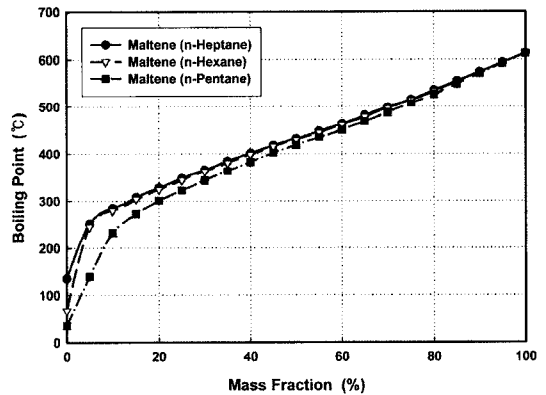


Fig. 11. Boiling point distribution of maltenes.

상 API 10~22를 중질유, 10 이하를 초중질유로 구분한다. 본 연구에서 사용한 역청의 경우는 API 비중이 8.31로서 초중질유에 해당한다. Fig. 10에서처럼 n-Pentane을 용매로 사용한 말텐의 경우가 가장 높은 API 비중을 나타내었으며, 밀도가 1 g/cm³보다 높은 역청의 API 비중과 비교하여 약 1.7배 상승하였다. 또한 n-Pentane을 사용한 말텐의 API 비중이 3 종류의 말텐 중에서 가장 높은 값을 보였으며, n-Heptane보다 약 1.4배 상승하였다.

Fig. 11은 SIMDIS를 이용하여 측정된 용매별 말텐의 비점 분포를 나타낸 그래프이다. 일반적으로 경유의 비점분포는 200~350°C, 중동산 원유는 0~600°C에 해당한다. Fig. 11을 살펴보면 말텐의 비점분포는 40~600°C로서 전체 비점 범위는 역청의 비점분포와 비슷한 분포를

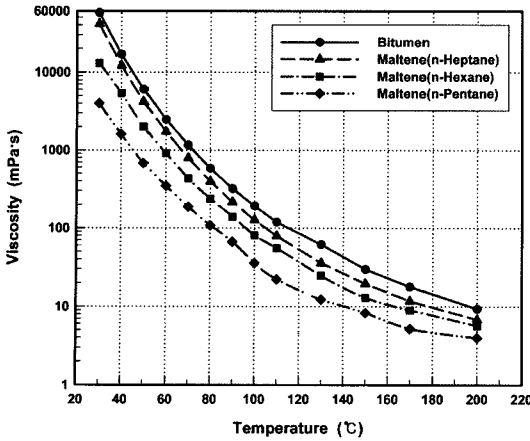


Fig. 12. Viscosity of maltenes with temperature.

보였으며, n-Heptane을 사용한 말텐이 3가지 말텐 중에서 비점 분포가 가장 높았고, 그 다음 n-Hexane, n-Pentane 순으로 비점이 낮아짐을 확인할 수 있었다.

Fig. 12는 회전식 점도계를 이용하여 말텐 및 역청의 점도분포를 30~200°C의 온도구간으로 나누어 비교한 그래프로서, 역청에 비하여 말텐의 점도가 점차적으로 감소하는 경향성을 확인하였다. 30°C를 기준으로 살펴보면, 역청의 경우 약 60,000 mPa·s 정도로 매우 높은 점도를 갖지만 n-Pentane을 사용한 말텐의 점도는 고점도의 역청에 비해 40배 정도 감소함을 알 수 있었다. 일반적으로 역청의 수송 및 생산의 단점을 극복하기 위해 다양한 회

석제를 혼합하는 방법들이 연구되고 있는데, Fig. 12의 점도 특성은 유기용매 등의 회석제를 혼합하여 역청의 점도를 낮추기 위한 경질화의 중요한 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다.

3-2. 합성원유와의 비교

지금까지의 분리한 말텐의 여러 분석결과를 역청 및 합성원유의 물성과 비교하여 Table 4에 정리하였다. 합성원유에 대한 물질분석 자료는 노남선 등^[11]의 자료를 참고로 하였다. 중류 공정, 촉매분해 공정, 코킹 공정, 제 공정등의 경질화 공정을 통하여 생산되는 합성원유는 일반적으로 API 비중이 약 30 정도이며, 황 함량은 0.13 wt%, 니켈 및 바나듐 함량은 1 ppm 이하이며, 미량의 아스팔텐 및 레진(Resin)을 함유한다. 합성원유는 기존의 일반원유에 비해서도 황 및 중금속 함량이 상당히 낮은 특성을 가지며, 이에 비하여 오일샌드에서 추출한 역청은 밀도가 높은 초중질유에 속하며, 아스팔텐, 황, 중금속 함량 등이 일반원유에 비하여 매우 높다. 역청의 용매 불용분 실험을 통하여 아스팔텐을 제거한 후에 얻어지는 말텐의 물성을 살펴보면 Table 4에서와 같이 역청에 비하여 황 함량 및 중금속함량이 상당히 감소하였고, API 비중도 약 2배 정도 상승하고, 점도도 대폭 감소하지만 합성원유에 비해서는 경질화가 상당히 부족한 상태인 것을 알 수 있다. Table 4를 살펴보면 황, 중금속, 아스팔텐 및 레진 함량, API 비중, 원소분석 등의 항목으로 산정되는 경질화 특성이 n-Pentane의 경우가 다른 두 종류의용매에 비하여 상대적으로 높게 나타남을

Table 4. Comparison of maltenes with synthetic crude oil (SCO).

Items	SCO	Maltenes			Bitumen
		n-Pentane Solubles	n-Hexane Solubles	n-Heptane Solubles	
Density (g/cm ³ @ 15)	0.8732	0.9677	0.9862	0.9939	1.0112
API Gravity (°API)	29.8	14.60	11.85	10.74	8.31
Kinematic Viscosity (mm ² /s @ 40°C)	4.66	4.54 (@ 30°C)	11.76	50.43	294.89
Asphaltenes (wt%)	0.06	2.34	3.96	4.74	17.04
Resins (wt%)	0.96	23.78	26.79	27.58	22.21
Elemental Analysis (wt%)	C : 87.53	C : 82.89	C : 82.30	C : 81.92	C : 81.86
	H : 12.32	H : 10.80	H : 10.57	H : 10.61	H : 10.32
	S : 0.14	S : 4.17	S : 4.33	S : 4.32	S : 4.86
	N : 0.08	N : 1.16	N : 1.51	N : 1.40	N : 1.53
Heavy Metals (ppm)	Ni : < 0.1	Ni : 32.7	Ni : 37	Ni : 37	Ni : 63.99
	V : < 0.1	V : 69.1	V : 94.4	V : 110	V : 137.01

알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 캐나다의 아사비스카에서 생산된 오일 샌드 역청에 대하여 n-Heptane, n-Hexane, n-Pentane의 3가지 용매를 사용하여 용매 불용분 실험(ASTM D 3279)을 실시하여 생성된 말텐 및 아스팔텐의 물리·화학적 특성을 분석하여 역청 및 합성원유의 물성과 비교하였다.

생성된 아스팔텐의 함량은 n-Pentane을 용매로 사용한 경우가 가장 높은 값을 보였고, n-Pentane을 사용하여 얻어진 말텐이 n-Heptane과 n-Hexane에 비하여 점도가 가장 낮게 측정되었다. 또한 원소분석 결과 말텐은 역청에 비하여 탄소와 수소 함량은 조금 증가하고 황 함량은 감소하였으며, 아스팔텐의 경우는 말텐과 상반된 원소분석 결과를 보였다. 말텐 및 아스팔텐의 분자량 분포를 측정된 결과 역청에 비하여 말텐의 평균분자량은 감소하고 아스팔텐은 3배 이상 증가하였으며, n-Pentane을 사용하여 생성된 말텐과 아스팔텐의 평균분자량이 가장 낮게 나타났다. 역청에 다량 포함되어 있는 중금속은 니켈과 바나듐으로서 용매 불용분 실험을 거친 후에 아스팔텐을 제거한 말텐은 중금속 함량이 역청에 비하여 감소하고, 아스팔텐은 중금속 함량이 상대적으로 증가하였다. 그리고 n-Pentane을 사용한 말텐의 경우가 API 비중은 가장 높고, 비점 분포는 가장 낮았다.

따라서 용매 불용분 실험을 종합해 보면 아스팔텐이 분리된 말텐은 합성석유에는 미치지 못하지만 역청에 비하여 상당히 경질화된 특성을 보임을 확인할 수 있었으며, 본 연구에서 도출된 실험결과는 부분 경질화(Partial Upgrading) 방법의 하나로서 오일샌드 역청에 상당량이 함유되어 있는 아스팔텐을 제거하는 용매 아스팔텐 제거(Solvent Deasphalting) 공정의 기초자료로 활용이 가능하다고 판단된다.

참고문헌

- 김경훈 외. “감압증류장치를 이용한 Oil Sand Bitumen의 물리·화학적 특성연구”, 에너지공학, 게재예정, 2008.
- 노남선 외. “오일샌드로부터 합성원유(SCO) 생산 원천기술 개발기획”, 한국에너지기술연구원 기획보고서, 2007.
- Kim, H.H. *et al.* “Measurement of the Asphaltene and Resin Content of Crude Oils”, *Journal of Ind. & Eng. Chemistry*, 1996, 2(1), 72.
- 백일현 외. “ContinuouS Feeding System을 이용한 상압 잔사유로부터 탈아스팔트오일 분리”, *공업화학*, 1993, 4(3), 515.
- 홍원표; 김희락. “Asphaltene 증가에 따른 Asphalt의 물성변화”, *충남대학교 산업기술연구소 논문집*, 1986, 1(2), 8.
- James W. Bunker; Norman C. Li. “Chemistry of Asphaltenes”, *Am. Chem. Soc., Div. Petrol. Chem.*, 1981, 219.
- Murray R. Gray. “Consistency of Asphaltene Chemical Structures with Pyrolysis and Coking Behavior”, *Energy & Fuels*, 2003, 17, 1566.
- Jeff, M. Sheremata *et al.* “Quantitative Molecular Representation and Sequential Optimization of Athabasca Asphaltenes”, *Energy & Fuels*, 2004, 18, 1377.
- Annual books of ASTM standards, “D 3279-97 : Standard Test Method for n-Heptane Insolubles”, 2001.
- Subramanian, M.; Hanson, F.V. “Supercritical Fluid Extraction of Bitumens From Utah Oil Sands”, *Fuel Processing Technology*, 1998, 55, 35.
- Buenrostro-Gonzalez, E. *et al.* “Asphaltene Precipitation in Crude Oils: Theory and Experiments”, *AIChE Journal*, 2004, 50(10), 2552.
- Milan, L. Selucky *et al.* “Chemical Composition of Athabasca Bitumen”, *Fuel*, 1977, 56, 369.