

## 감압증류장치를 이용한 Oilsands Bitumen의 물리화학적 특성 연구

김경훈 · 전상구<sup>†</sup> · 노남선 · 김광호 · 신대현 · 박효남 · 한명완\*  
한국에너지기술연구원 대체연료연구센터, \*충남대학교 바이오응용화학과  
(2007년 11월 15일 접수, 2008년 1월 31일 채택)

### Physical and Chemical Characteristics of Oilsands Bitumen Using Vacuum Distillation

Kyoung-Hoon Kim, Sang-Goo Jeon<sup>†</sup>, Nam-Sun Roh, Kwang-Ho Kim,  
Dae-Hyun Shin, 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 15 November 2007, Accepted 31 January 2008)

#### 요 약

본 연구는 감압증류장치(Vacuum Distillation Unit)를 이용하여 캐나다산 아사바스카 오일샌드 역청(Athabasca Oilsands Bitumen)의 증류액(Distillates) 및 잔사유(Residue)에 대한 물리화학적 특성변화를 살펴보기 위하여 수행되었다. 감압증류장치를 이용하여 생성된 증류액 및 잔사유의 원소분석, SARA 분석, 비점분포 분석, 분자량 측정, API 비중 등을 측정하였으며, 감압증류실험장치는 6l 용량의 Vessel, 충전컬럼, 응축기, 리플렉스, 증류액 포집플라스크, 온도제어장치 등으로 구성되었다. 증류액의 구분 조건은 최대 감압 및 최대 320°C의 승온조건 하에 총 4단계로 수행되었다. 분석 결과 오일샌드 역청에 비해 증류액의 황 분 및 평균분자량은 현저히 감소하였다. 증류액의 온도가 고온으로 갈수록 증류액의 수소함량은 감소하고, 황 함량 및 평균분자량은 증가하는 경향을 보였다.

**주요어** : 오일샌드, 역청, 감압증류, 증류액, 잔사유

**Abstract** — This study was carried out to investigate physical and chemical characteristics of the distillates and residue of Athabasca oilsand bitumen obtained from Canada, using a vacuum distillation unit. The distillates and residue produced from the vacuum distillation were characterized through atomic analysis, SARA analysis, and measurement of boiling point distribution, molecular weight, and API gravity. The vacuum distillation equipment consisted of a 6-liter volume vessel, a glass-packed column, a condenser, a reflux device, a flask for collecting distillates, and a temperature controller. The cutting of distillates was performed with four steps under the condition of full vacuum and maximum temperature of 320°C. The results showed that the sulfur amount and average molecular weight of the distillates were significantly reduced compared to those of oilsand bitumen. As the cutting temperature increased, the hydrogen amount decreased but the sulfur amount and average molecular weight increased in the distillates.

**Key words** : Oilsands, Bitumen, Vacuum distillate, Distillate, Residue

<sup>†</sup>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

비재래형 석유계 연료(Unconventional Oil)인 오일샌드의 매장량은 전 세계 석유 매장량의 약 3배에 해당하며, 자원 개발과 더불어 양질의 합성원유로의 생산 기술 개발을 통해서 고갈되어 가는 석유를 대체할 에너지 원으로써 각광받고 있다.

오일샌드(Oilsands)는 사암이나 셰일, 석회암 등이 혼합된 퇴적암에 고점도 및 고유황 탄화수소인 역청이 보통 10~12% 정도 함유되어 있는 것으로, 이러한 역청은 경질원유에 비해 일반적으로 밀도가 높은 초중질유(Extra-heavy Oil)원유로 분류될 수 있다. 역청은 초중질 원유의 특성을 가지고 있기 때문에 자연상태에서는 저류층이나 시추공 또는 파이프에서 흐르지를 않는다. 따라서, 역청에 열을 가하거나 용매(Solvent) 또는 유화제 등과 같은 매체를 섞어서 점성을 낮추어야만 수송 및 생산이 가능하다. 그러나, 오일샌드로부터 역청을 분리하기 위해서는 많은 에너지가 필요하고 추출된 역청 역시 수송이 까다로운 단점을 가지고 있기 때문에 이러한 역청을 석유대체연료로 활용하기 위한 경질화기술의 개발이 추진되고 있다. 경질화기술에는 일반적으로 코킹(Coking)과 용매추출(Solvent Extraction) 그리고, 수소화 분해(Hydrocracking) 등이 있으며, 최근에 다양한 경질화방법들이 연구되고 있다<sup>1)</sup>.

오일샌드 역청의 합성원유(Syncrude) 생산 공정은 크게 나누어 증류 공정과 경질화공정 그리고 정제 공정으로 분류 되어 진다. 증류공정에서는 수송을 위하여 첨가된 회석제와 경질유분을 분리하고 중질유분과 잔사유를 적절한 경질화공정으로 투입한다. 이러한 증류공정은 경질화공정을 수행하기 위한 가장 기초적인 선행 공정으로써 증류를 통하여 분리된 생성유의 특성은 기본적인 오일샌드 역청의 물성과 더불어 경질화공정에 필요한 기초 자료로 활용되어 질 수 있다.

아사바스카(Athabasca) 아스팔텐(Asphaltene)의 다양하고 복잡한 분자구조를 연구한 Sheremata *et al.*<sup>2)</sup>에 따르면 아스팔텐은 지방족탄화수소의 사슬구조 및 방향족 고리형태로 구성된 복잡한 작용기를 가지고 있으며, 아스

팔텐 내 방향족탄소의 함량은 약 50%를 차지한다고 하였다. 또한, 7.95 wt%의 황 함량과 약 4190 g/정도의 분자량 분포를 나타내는 것으로 보고하였다. Gray *et al.*<sup>3)</sup>은 ASTM D 1160 규격에 따라 역청의 감압증류실험과 큐리포인트 합금을 이용한 열분해 실험을 수행하였으며, 실험 결과에서 감압잔사유의 황 함량을 5.7 wt%로 발표하였다. 아사바스카 역청의 감압잔사유를 사용하여 코킹 실험을 수행한 McCaffrey *et al.*<sup>4)</sup>은 감압잔사유에 포함된 아스팔텐과 황의 함량을 각각 31.4 wt%와 5.72 wt%로 나타내었다. 또한, 백일현 등<sup>5)</sup>은 상압잔사유로부터 탈아스팔트오일(Deasphalted Oil)을 분리한 실험에서 63~76 wt%의 중금속 감소율과 19~24 wt%의 황분 감소율을 관찰하였다.

따라서, 본 연구에서는 오일샌드 역청의 증류실험을 통해 온도별로 분리한 증류액과 잔사유의 함량 분석 및 물성 분석을 수행하였으며, 오일샌드 역청의 분석 결과와 비교하여 여러 가지 특성 경향들을 고찰하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2-1. 실험 시료

오일샌드는 매장량의 대부분이 캐나다와 베네수엘라에 매장되어 있으며, 캐나다에서는 알버타주의 아사바스카(Athabasca)와 콜드레이크(Cold Lake) 그리고 피스리버(Peace River)지역 등에 주로 분포되어 있다. 본 연구에 사용된 시료는 캐나다 아사바스카지역의 오일샌드로부터 추출한 역청으로써, Table 1에 시료의 기본적인 물성에 관한 분석결과를 나타내었다.

### 2-2. 실험 장치

Fig. 1에서처럼 본 연구에 사용한 감압증류장치는 ASTM D 1160 규격을 응용하여 설계하였으며, Vessel의 총 용량은 6 l로 제작하였다. 700 mm 높이의 충전컬럼과 2개의 리플렉스관으로 구성되었으며, 충전컬럼 및 리플렉스관은 각각 Band Heater로 감싸서 증류 시 외부로의 온도손실을 최소화하였다. 시료의 교환을 위해 Vessel의 내부에 임펠러를 설치하였고, 온

Table 1. Properties of athabasca oilsand bitumen.

Item	Contents
1 Elemental analysis	C : 84.45 wt%, H : 9.77 wt%, N : 0.35 wt%, S : 5.41 wt%, O : 2.40 wt%
2 Caloric value	9,690 kcal/kg
3 B.P. Distribution	114~612°C (ASTM D 2887)
4 Viscosity	10 cP (at 30°C)~58,000 cP (at 200°C)
5 API specific gravity	8.32 (ASTM D 287, KS M 2002)
6 Asphaltene	10.86 wt% (ASTM D 3279, KS M 2415)

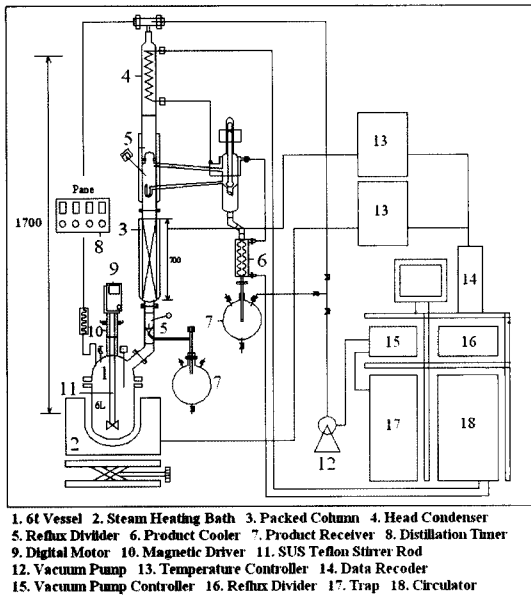


Fig. 1. Experiment equipment for vacuum distillation of bitumen.

도 및 압력은 컴퓨터로 실시간 측정이 가능하도록 설계하였다.

2-3. 실험 조건 및 방법

실험 초기에 감압증류장치의 Vessel 온도를 상온에서부터 100°C까지 승온시켜 역청에 포함되어 있는 수분을 우선 제거하였다. 수분이 완전히 제거된 후에 진공펌프로 서서히 감압함과 동시에 1~2°C/min의 속도로 Vessel의 온도가 최대 320°C가 될 때까지 승온시켰고, 5분마다 체류시간을 최소 5분 이상 주어 각각의 증류단계 온도에서 충분한 증류가 이루어지도록 하였다. 시료의 교반은 Vessel의 온도 100°C에 도달하여 역청시료의 점성이 거의 사라질 무렵 임펠러를 작동하여, 최대 520 rpm까지 서서히 rpm을 올려 교반하였다. 진공펌프 컨트롤러(ILMVAC GmbH, VCB 424cv)를 이용한 감압은 20 mbar/min의 속도로 서서히 감압하기 시작하여 증류가 시작되기 전에 약 3~5 mbar의 진공상태로 유지하였다. 증류가 원활히 진행되도록 하기 위하여 충전컬럼 및 L-Duct를 보온재로 감싸서 실험 중 외부로의 온도손실을 최소화하였고, 상부 및 좌측의 응축기는 초기에 약 10~15°C로 유지하였다가 증류되기 시작한 시점부터 서서히 승온시켜 실험이 완료될 때까지 각각 70±5°C와 40±5°C로 승온 및 유지시켰다. 열전세라믹 열전대를 Vessel과 하단 리플렉스, 상단 리플렉스에 각각 설치하여 실험 중 실시간 온도 제어 및 기록을 하였다. 감압증류를 통해

생성된 증류액은 온도별로 총 4단계로 구분하고 각각 분석을 실시하였다.

2-4. 분석 방법

석유제품의 일반적인 분석방법으로 주로 행하는 분석은 원소분석, 발열량, 비점분포분석, SARA 분석, 잔류탄소함량, 중금속 분석 등을 포함한다. 본 연구에서는 석유제품의 대표적인 분석방법으로 주로 쓰이는 원소분석, SARA 분석, SIMDIS, 분자량 분포, API 비중, 중금속 분석 등 6가지의 분석을 통하여 오일샌드 역청의 경질화에 필요한 기초데이터 확보를 위해 물리·화학적 특성을 파악하는데 주력하였다.

원소분석항목은 C, H, N, S, O의 5가지 항목이며, 분석기기는 Elemental Analyzer(LECO, Truspec CHN)와 Sulfur Analyzer(LECO, SC-423DR)를 사용하였다. 역청 시료 및 잔사유의 용매불용분 실험을 거쳐서 생성된 Maltene 성분은 TLC-FID(IATROSCAN, MK-6s)를 사용하여 SARA(Saturates, Aromatics, Resins, Asphaltenes) 분석을 실시하였다. 그리고 생성된 증류액과 잔사유의 비점분포 특성 변화를 파악하기 위해 SIMDIS(AC SIMDIS) 분석을 하였고, 역청과 기존의 연료유 등의 비점분포 차이를 파악하였다. 또한 분자량 분포를 파악하여, 각 시료의 평균 분자량 및 누적분포를 관찰하기 위해 GPC(Waters)기기를 이용하여 총 100단계의 분자량범위로 나누어 분포를 살펴보았으며, 중금속 함량변화 측정은 ICP-AES(VG Elemental, Optima 4300DU)와 ICP-OES(Perkin-Elmer, Optima 5300 DV) 기기를 이용하여 측정하였다. API 비중은 Density Meter(Anton Parr, DMA4500)를 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

본 실험에서 증류액은 Table 2와 같이 150°C, 180°C, 210°C, 240°C의 4구간으로 나누어 분리하였으며, 이들 증류액과 증류실험 후 Vessel에 남아있는 잔사유의 분석을 통하여 역청의 물리화학적 특성을 알아보았다.

150°C, 180°C와 210°C 증류액은 증류장치의 상부에서, 그리고 240°C 증류액의 경우는 하단 리플렉스를 통해 분리하였다. 역청 시료는 첨가제 없이 약 3 kg을 투입하였고, 압력은 절대압 기준으로 최대 3~6 mbar까지 감압하여 실험을 수행하였다. 표에서 보는 바와 같이 증류액들의 총량과 잔사유의 함량은 각각 투입한 역청 시료의 약 32 wt%와 66 wt%였으며, 경질 성분의 배출을 막기 위해 설치한 트랩장치에서 60 g의 수분을 회수하였다. 이로 미루어 오일샌드 역청에서 증류액과 잔사유의 비율은 약 1:2의 비율에 해당하는 것을 알 수

**Table 2. Vacuum distillation experiment result of oil sand bitumen.**

Item		Contents				Remarks
1	Sample (g)	Oil sand bitumen				About 3 l
		3000.8 g				
2	Cutting (g)	150°C	180°C	210°C	240°C	4 Phase
		192 g	295.7 g	163.1 g	246.6 g	
3	Distillates (g)	Total 897.4 g				
4	Trap (g)	60.8 g				Water, mainly
5	Residue (g)	1983.3 g				About 2 kg
6	Distillates (wt%)	31.93%				In total
7	Residue (wt%)	66.10%				

있다.

**3-1. 원소분석 및 발열량 측정 결과**

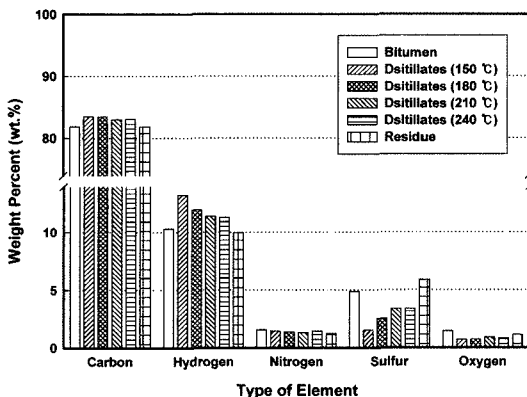
Fig. 2는 증류액들과 잔사유에 대한 원소분석 결과를 역청과 비교하여 나타낸 것이다. 잔사유의 수소함량은 역청에 비해 다소 감소하였으며, 증류액의 수소함량은 역청에 비해 증가하였으나 증류 온도가 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 또한, 황 함량은 150°C 증류액으로부터 240°C 증류액까지 증가하는 경향을 보이고 있으며, 잔사유에서는 역청보다 높은 황 함량을 보였다. 그러나, 질소함량은 역청과 비교하여 생성유들과 잔사유 모두 비슷한 함량을 나타내고 있다.

증류실험 후 나온 증류액 및 잔사유의 원소분석 결과를 토대로 H/C의 비율(Atomic Ratio)을 계산하여 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3을 살펴보면 잔사유의 H/C 비율은 1.46으로 다른 물질에 비해 가장 낮고, 증류액들은 역청보다 H/C 비율이 모두 높은 것을 알 수 있다. 또한, 증

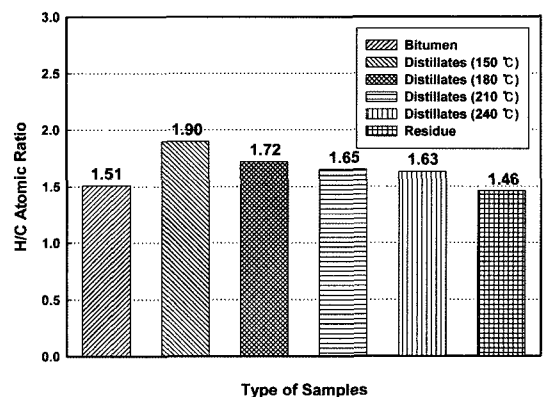
류액들의 경우에는 경질인 150°C 증류액으로부터 중질인 240°C 증류액으로 갈수록 수소의 함량이 줄어들어 H/C 비율이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

**3-2. SARA 함량 분석**

TLC 기기로 측정된 역청과 증류액, 그리고 잔사유에 대한 SARA 함량 분석 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 역청의 SARA 함량은 Saturate가 6.8 wt%, Aromatic이 53.4 wt%, Resin이 25.4 wt%, 아스팔텐이 14.4 wt%를 차지한 반면에 잔사유의 SARA 함량은 각각 2.3 wt%, 51.5 wt%, 26.7 wt%, 19.5 wt%를 차지하고 있다. 역청에 비해 잔사유의 Saturate와 Aromatic 함량은 약 4.5 wt% 감소하였고, 이와 반대로 Resin과 아스팔텐함량은 약 5 wt% 증가하는 경향을 보이고 있다. 그리고 증류액의 경우 Resin과 아스팔텐성분이 매우 많은 감소율을 보이고 있다. 이는 증류실험을 통하여 경질 성분인 Saturate가 증류액으로 추출됨에 따라 SARA 함량의 분포가 위와 같이 변화되는 것으로 판단된다.



**Fig. 2. Elementary analysis of distillates and residue.**



**Fig. 3. H/C atomic ratio of distillates and residue.**

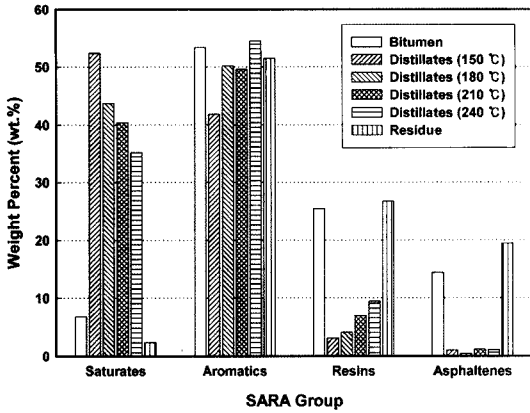


Fig. 3. SARA contents of distillates and residue.

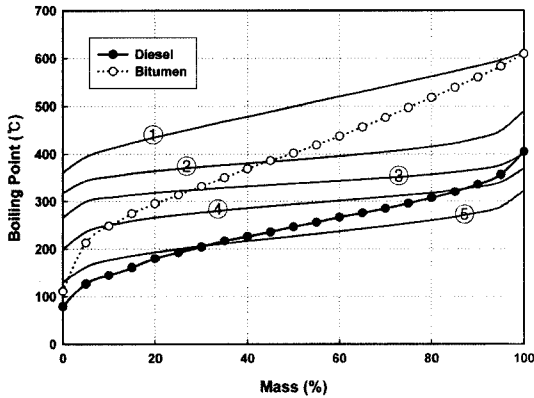


Fig. 5. Simulation distribution of distillates vs. others [① Residue, ② Distillate (240°C), ③ Distillate (210°C), ④ Distillate (180°C), ⑤ Distillates (150°C)].

3-3. 비점 분포 측정 결과

Fig. 5에서는 증류액들과 잔사유의 비점을 역청 및 경유와 비교하여 나타내었다. 잔사유의 비점 분포는 약 400~600°C로 가장 높았으며, 증류액들의 비점 분포는 증류 온도의 감소에 따라 점점 낮아져 150°C 증류액의 경우에는 경유보다도 좀 더 낮은 비점 경향을 보이고 있다. Gray<sup>[6]</sup> 등은 역청을 나프타와 가스오일 그리고 잔사유로 분리하여, 177°C 이하의 비점 분포를 가진 물질을 나프타로, 343~524°C의 비점 분포를 가진 물질을 가스오일로 정의하였다. 본 실험의 결과와 비교하여 보면, 150°C와 180°C 증류액은 나프타를 포함하는 경질유로, 그리고 210°C와 240°C 증류액은 가스오일 같은 중질유로 분리할 수 있다.

따라서, 감압증류를 통해 얻은 증류액들 중에서 180°C 이하의 증류액은 합성원유 생산을 위한 경질화공정의 정

제공단계로 직접 투입이 가능하며, 210°C와 240°C 증류액은 촉매분해공정과 같은 경질화공정에 투입할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 비점분포가 가장 높은 잔사유는 가스화공정을 통해 경질화공정에 필요한 수소 및 연료가스의 공급원으로 사용할 수 있을 것이다.

3-4. 분자량 분포 특성

감압증류실험을 통하여 얻은 증류액과 잔사유를 포집하여 GPC로 평균분자량 값을 측정된 결과를 Fig. 6에서부터 Fig. 9까지 나타내었다. 증류액들의 평균 분자량을 살펴보면 증류 온도가 높아짐에 따라 평균 수평균분자량과 중량평균분자량이 모두 증가하는 경향을 보이고 있다. Differential MW와 Cumulative MW로 나누어 표현한 Fig. 7과 Fig. 8에서는 각각의 증류액과 잔사유에 대한 분자량 분포를 나타낸 것으로 증류액의 온도가 높

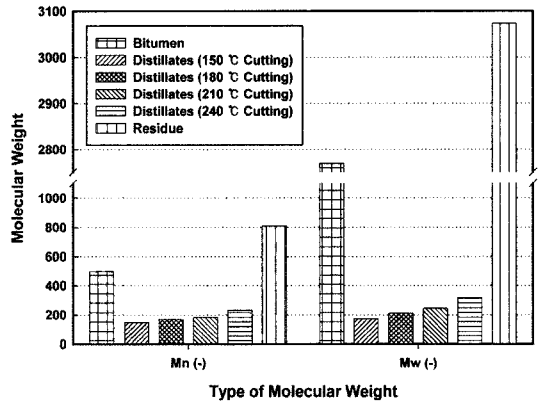


Fig. 6. Average molecular weight of distillates and residue.

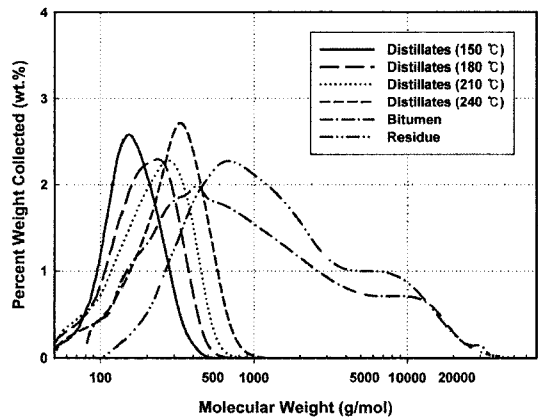


Fig. 7. Differential MW distribution of distillates and residue.

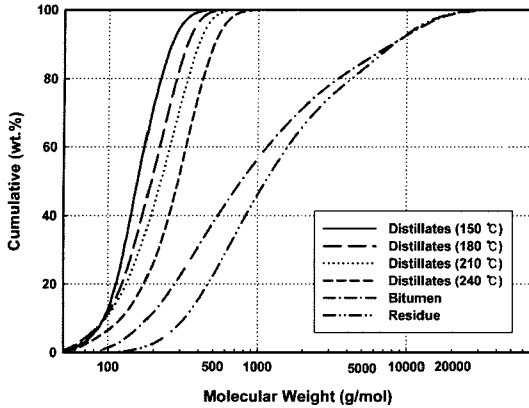


Fig. 8. Cumulative MW distribution of distillates and residue.

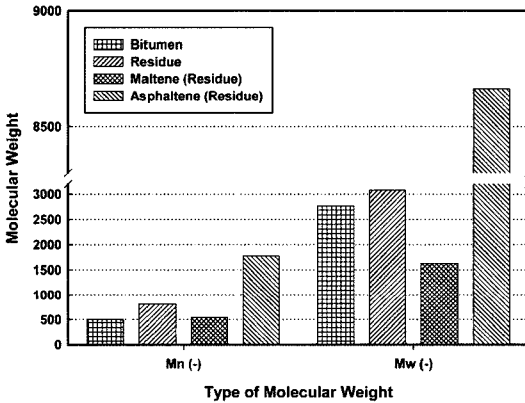


Fig. 9. Average molecular weight of maltene and asphaltene of vacuum residue.

을수록 고분자범위에 위치함을 알 수 있었다.

Fig. 9에서 증류액들로부터 분리한 아스팔텐과 말텐 성분은 ASTM D 3279 방법을 토대로 n-Heptane 용매를 이용하여 불용분 측정을 하였다. 원유 내 아스팔텐 및 Resins의 용매 추출 조건 변화에 따른 함량 변화 및 물성 등을 관찰하여 최적의 반응 조건을 실험한 Hak-Hee Kim *et al.*<sup>17)</sup>은 논문에서 아스팔텐성분에 대한 n-Heptane 과 n-Pentane 용매의 효율을 비교하였는데, 본 실험에서는 용매의 통일성을 위하여 n-Heptane 용매를 채택하였고, 실험방법에서 명시한 여과종이 크기, 혹은 여과온도 조건을 참조하여 실험을 실시하였다.

아스팔텐의 안정적인 확보를 위해 교반시간을 충분히 주었고, 말텐 성분 내 n-Heptane 용매의 확실한 추출을 위해 Evaporator 내 증발시간을 2시간 이상으로 하였다. 이러한 불용분 측정 결과로 잔사유의 아스팔텐성분은 역

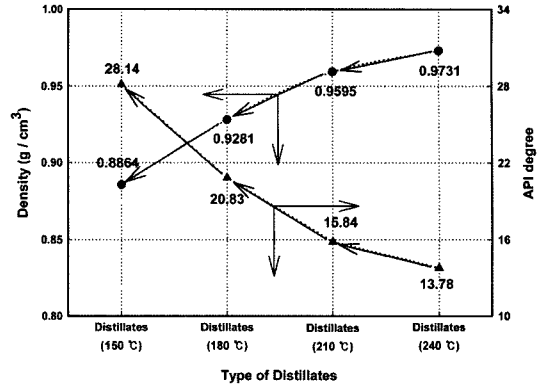


Fig. 10. Density and API degree of distillates.

청의 아스팔텐성분보다 약 3~5 wt% 높은 수치를 보이는 것을 확인할 수 있었다.

결과적으로 증류액의 온도가 높아질수록 더 고분자량 범위에 위치하고, 그 다음 역청, 잔사유 순으로 고분자량 범위를 차지한다는 것을 알 수 있었다.

### 3-5. API 비중 측정 결과

증류액들의 비중범위를 판단하기 위하여 API 비중을 측정하였으며, 측정 방법은 원유를 기준으로 하였다. API는 미국석유협회에서 제정한 원유의 비중을 나타내는 지표로서, 구하는 공식은 식 (1)과 같다.

$$API = \frac{141.5}{\text{Density (60/60}^\circ\text{F)}} - 131.5 \quad (1)$$

Fig. 10은 증류액들의 밀도 및 API 비중을 측정한 결과로써, 증류액들의 밀도는 낮은 온도에서 높은 온도로 갈수록 점차 증가하는 추세를 보였다. 또한, API 비중은 150°C 증류액이 28.14로 가장 높은 수치를 나타낸 반면, 240°C 증류액의 API 비중은 13.78로 150°C 증류액에 비하여 약 절반에 해당하는 수치를 나타내었다. 이로 미루어 오일샌드 역청의 API 비중이 8.32인 것을 감안한다면 증류액들의 품질은 매우 경질인것을 확인할 수 있었다.

### 3-6. 중금속 측정 결과

증류액들과 잔사유에 대한 중금속 분석 결과를 Fig. 11에 나타내었으며, 나열한 중금속 항목을 제외한 기타 중금속은 증류액에서 대부분 검출되지 않았다. Fig. 11에서 주요 중금속의 함량 변화를 살펴보면, 역청에 비하여 경질유분인 증류액의 경우에는 모두 2 mg/kg 이하로 절반 이상 감소하는 경향을 보였으나, 너무 낮은 농도로 인해 증류액별 경향성은 확인하기 어려웠고, 잔사

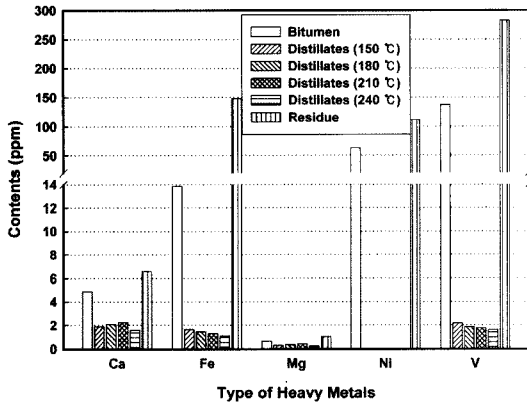


Fig. 11. Heavy metal contents of distillates and residue.

유의 경우에는 역청보다 매우 많은 양이 검출됨을 알 수 있었다. 이러한 중금속들은 합성원유 생산 공정 중의 하나인 촉매분해 공정에서 촉매독으로 작용하지만 본 실험에서 증류된 경질유분에는 중금속들이 거의 포함되지 않았음을 확인할 수 있었다.

3-7. 감압증류액과 합성원유의 물성 비교

감압증류실험으로 생성된 감압증류액의 물성과 기존의 합성원유의 물성을 정리하여 Table 3에 나타내었다. 합성원유의 API 비중은 약 29.8로 중질유분의 기준에 해당하며 밀도는 역청(1.0 g/cm<sup>3</sup> 이상)보다 매우 낮은 편이다. 아스팔텐 및 중금속의 함량 역시 매우 낮은 편이며, 원소분석 결과 황 함량이 0.14 wt%로 기존의 원유보다도 낮은 품질특성을 가진다. 이에 비해 본 실험에서 구분한 4가지 증류액의 물성 결과 합성원유와 가장 유사한 물성을 가진 150°C 증류액은 다른 증류액에 비

해 매우 경질화되어 경질화공정 중 직접 합성원유생산 혹은 정제공정을 거쳐서 경질화하는 단계로 갈 수 있는 가능성을 확인하였고, 비교적 중질인 증류액 3가지는 수소촉매반응공정 및 수소첨가공정 등의 경질화공정을 거쳐서 합성원유를 생산해낼 수 있는 중질유분에 해당함을 알 수 있다. 잔사유의 경우에는 분석결과 황분 및 중금속 함량이 역청에 비해 다소 증가하는 경향을 보여, 중질유분의 경질화공정에 직접 투입하기에는 무리가 따르므로 가스화 공정 및 코킹 공정을 통해 다른 공정의 연료가스 및 수소가스 생산을 위해 사용될 수 있을 것으로 보인다.

4. 결 론

본 연구에서는 오일샌드 역청의 감압증류실험을 통해 얻은 증류액 및 잔사유의 물리·화학적 특성을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

증류액의 원소분석을 통해 황분 함량은 역청에 비해 현저히 감소함을 확인하였고, 고온의 증류액으로 갈수록 다소 증가하는 경향을 보였다. 그리고 H/C 비율 변화와 SARA 분석을 통해 경질의 증류액일수록 수소를 많이 포함하며 Resin과 아스팔텐성분이 눈에 띄게 감소하는 경향을 확인할 수 있었으며, 디젤과 비교하여 유사한 비중분포를 보였다. 증류액의 온도가 낮을수록 API 비중이 점차적으로 증가하는 경향은 역청에 비해 매우 경질화되었다는 것을 의미한다. 증류액의 평균분자량은 300 g/mol 이하로 역청 및 잔사유에 비해 매우 낮은 분포를 보였으며 경질화공정에 촉매독으로 작용하는 중금속함량 역시 현저히 감소하였다. 또한 비중이 높은 잔사유의 경우 평균분자량의 증가는 아스팔텐함량의 증가 및 중금속함량의 증가에 기인한 것으로 판단된다. 이와 같은 분

Table 3. Comparison of vacuum distillates and SCO.

Item	SCO	Distillates (150°C)	Distillates (180°C)	Distillates (210°C)	Distillates (240°C)
Density (g/cm <sup>3</sup> )	0.8732	0.8864	0.9281	0.9595	0.9731
API degree	29.8	28.14	20.83	15.84	13.78
Kinetic viscosity (@ 40°C)	4.66	4.54 (@ 30°C)	11.76	50.43	294.89
Asphaltenes (wt%)	0.06	1.04	0.04	1.18	1.07
Resins (wt%)	0.96	3.09	4.09	6.99	9.41
Elements analysis (wt%)	C : 87.53	C : 83.47	C : 83.45	C : 83.03	C : 83.07
	H : 12.32	H : 13.25	H : 11.96	H : 11.40	H : 11.31
	S : 0.14	S : 1.50	S : 2.53	S : 3.38	S : 3.39
	N : 0.08	N : 1.43	N : 1.35	N : 1.30	N : 1.42
Heavy metals (ppm)	Nickel : <0.1	Nickel : N.D	Nickel : N.D	Nickel : N.D	Nickel : N.D
	Vanadium : <0.1	Vanadium : 2.16	Vanadium : 1.81	Vanadium : 1.72	Vanadium : 1.57

석 결과를 바탕으로 경질의 증류액(150°C)의 경우에는 합성원유 및 정제공정으로 직접 투입이 가능하고, 중질의 증류액은(180~240°C) 경질화공정을 거쳐 합성원유로 활용이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 잔사유는 코킹 공정 또는 가스화 공정에 적합한 것을 알 수 있었다.

따라서, 이와 같은 증류액 및 잔사유의 특성은 합성원유 생산을 위해 보다 효율적이고 경제적으로 역청을 경질화시킬 수 있는 공정조건의 자료로써 충분히 활용이 가능할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. 노남선 외. “오일샌드로부터 합성원유(SCO) 생산 원천기술 개발기획”, 한국에너지기술연구원, 2007.
2. Sheremata, J.M. *et al.* “Quantitative Molecular Representation and Sequential Optimization of Athabasca Asphaltenes”, *Energy & Fuels*, 2004, 18, 1377.
3. Gray, M.R. *et al.* “Kinetics of Cracking and Devolatilization During Coking of Athabasca Residues”, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2004, 43, 5438.
4. McCaffrey, W.C. *et al.* “Physical Behavior of Bitumen under Rapid Heating”, *Ame. Chem. Soc. Div. Pet. Chem.*, 1998.
5. 백일현 외. “Continuous feeding system을 이용한 상압 잔사유로부터 탈아스팔트오일 분리”, *J. of Korean Ind. & Eng. Chemistry*, 1993, 4(3), 515.
6. Gray, M.R. “Consistency of Asphaltene Chemical Structures with Pyrolysis and Coking Behavior”, *Energy & Fuels*, 2003, 17, 1566.
7. Kim, H.-H. *et al.* “Measurement of the Asphaltene and Resin Content of Crude Oils”, *Journal of Ind. & Eng. Chemistry*, 1996, 2(1), 72.