

캐나다와 몽골 오일샌드로부터 추출된 비튜멘의 특성 비교

황상연*, 정석우, 류문하, 전동환¹
 고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터, ¹(주)세진환경*
 (syhwang@iae.re.kr*)

Characteristics Comparison of Bitumen Extracted from Oil-sand in Canada and Mogolia

Hwang Sang Yeon*, Chung Seok Woo, Yu Mun Ha, Jeon Dong Hwan
 Plant Engineering Center, Institute for Advanced Engineering, ¹Sejin Environment. CO. Ltd
 (syhwang@iae.re.kr*)

서론

최근 세계 각국의 주요 석유소비국인 선진공업국들을 중심으로 석유소비를 줄이거나 대체에너지원을 개발하기 위한 기술개발에 많은 노력을 경주해오고 있다. 또한, 에너지 자원의 확보 및 매장량이 풍부한 비 재래형 석유의 도입 필요성으로 인해 초 중질유에 대한 선진국의 활발한 투자 및 기술개발이 이루어지고 있는 현실이다. 오일샌드(oil sand)는 원유에 해당하는 비튜멘(bitumen), 모래, 물 및 점토의 혼합물로 이루어져 있으며, 매장 위치에 따라 다소 성분이 다를 수 있으나 75~85%의 무기물질(모래, 점토, 미네랄 등), 3~5%의 수분과 1~18%의 비튜멘으로 이루어져 있고 전 세계에 확인 매장량이 2,264조 배럴이며 경제적인 회수방법이 개발되면 이로부터 얻는 원유의 양이 막대할 것으로 예상되어 지고 있다. 특히, 비튜멘은 검은색의 무겁고 끈적한 형태의 점성질로서 일반 광유계 원유에 비해 초중질의 원유로서 밀도가 높고, 탄소의 함량이 매우 많은 것이 특징으로서 업그레이드 과정을 통해 합성원유(SCO)와 여타 석유화학 유도체를 제조할 수 있는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 유기용매(solvent)를 이용한 추출 실험을 통해 캐나다와 몽골 오일샌드로부터 비튜멘 성분을 추출하였으며, 각 시료의 성분 및 물성 분석을 통해 물리적, 화학적 특성을 파악하고 분석함으로써 에너지원으로써의 활용 가능성에 대한 비교 평가를 진행하였다.

실험 장치 및 방법

본 연구에서는 캐나다와 몽골 오일샌드로부터 비튜멘 성분을 추출하기 위하여 설계/제작된 lab-scale 증류 장치를 이용하였으며, 오일샌드로부터 비튜멘 성분을 추출하기 위한 방법으로는 증류를 통해 오일샌드와 유기용매를 지속적으로 접촉시킴으로써 오일샌드 내부에 포함된 비튜멘 성분의 점도를 낮추어 추출하는 방식을 사용하였다.

비튜멘 추출을 위해 용매로서 98%의 비튜멘 추출 효과 및 84.1%의 용매 회수율을 나타내는 것으로 알려진 톨루엔(toluene)을 사용하였으며, 추출 장치의 구성을 살펴보면 시료를 담기위한 필터, 오일샌드로부터 비튜멘을 추출하기 위한 추출용 컬럼, 증발된 용매를 응축시키기 위한 콘덴서, 용매를 담기 위한 플라스크와 플라스크를 가열시키기 위한 맨틀 등으로 구성되어 있다. 비튜멘 추출 방법은 시료를 필터에 담고 추출용 컬럼에 오일샌드가 담긴 필터를 삽입시킨 후 용매를 하부 플라스크에 담아 맨틀을 이용하여 일정 온도로 가열시켰으며, 온도 승온 방법은 초기 상온에서부터 5°C/min 간격으로 120°C까지 승온시켰다. 콘덴서로 유입되는 냉각수는 chiller를 이용해 온도를 낮춘 후 공급함으로써 용매를 추출기 안에서 reflex 될 수 있도록 하였고 증류 과정에서 사용된 용매는 가열을 통해 분리하여 재활용 할 수 있도록 하였다. 설계/제작된 비튜멘 추출 장치의 구성도를 [그림 1]에 나타내었다.



[그림 1] Lab-scale 비투멘 추출 실험 장치 구성도

실험 종료 후 추출된 비투멘 시료의 성분 및 물성 분석을 통해 물리적, 화학적 특성을 파악하기 위하여 기초 분석으로 원소, 공업, 발열량 분석을 실시하였고, 온도변화에 따른 시료의 중량 변화를 관찰하여 분해 온도와 조성에 대한 자료를 살펴보기 위하여 TGA 분석을, 비투멘 혼합물의 정성 및 정량분석을 위하여 GC-MASS 분석을 실시하였다.

결과 및 고찰

비투멘 추출 실험 결과 증발된 유기용매가 오일샌드가 담긴 필터를 통과하면서 검은색의 비투멘 성분이 추출되는 것으로 나타났으며, 이는 오일샌드 내부에 존재하는 비투멘이 유기 용매와 접촉함으로써 오일샌드의 점도를 급격히 낮추는 것으로 판단되었다. 추출된 비투멘의 경우 끓는점에 의해 증발되는 용매와 혼합되어 중력에 의해 플라스크 내부로 추출되었으며, 오일샌드로부터 비투멘을 추출한 후 필터 내부에 잔류된 오일샌드를 꺼내어 전기로 내에서 110°C에서 2시간 건조 후 약 30분간 자연냉각 시킨 후 잔류물의 형태를 관찰하였다. 관찰 결과 캐나다 오일샌드는 추출 후 고운 모래 형태를 나타내었으나 몽골 오일샌드의 경우에는 크고 작은 자갈 형태를 주로 나타내었다. 그러나 캐나다와 몽골 오일샌드의 경우 형태의 차이는 있으나 톨루엔을 이용한 용매추출방법을 통해 비투멘의 추출이 모두 가능함을 확인할 수 있었다. [그림 2]와 [그림 3]에 캐나다와 몽골 오일샌드의 추출 전/후의 시료 형태를 나타내었다.



[그림 2] 캐나다 오일샌드 비투멘의 추출 전/후 시료 형태



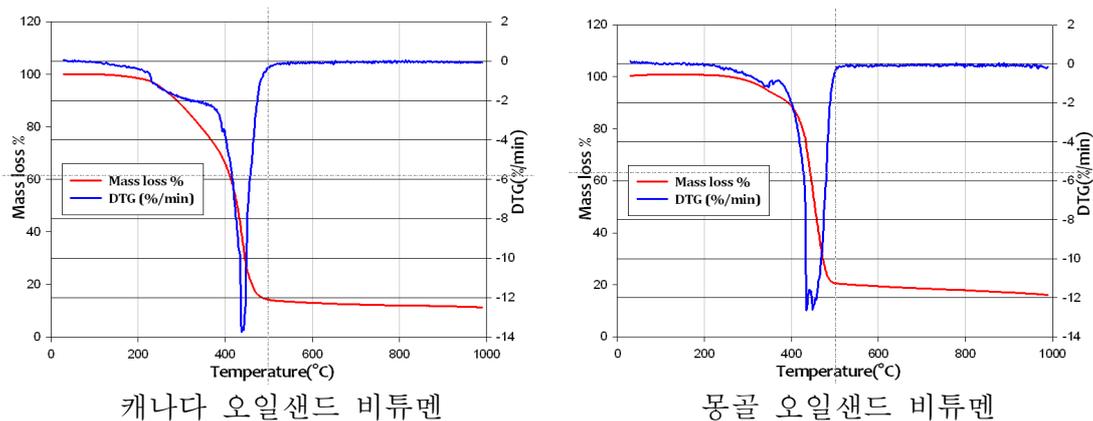
[그림 3] 몽골 오일샌드 비투멘의 추출 전/후 시료 형태

원소/공업/발열량 분석 결과 몽골 비튜멘의 경우 캐나다 비튜멘과 비교 시 공업 분석 결과는 유사한 값을 나타냈지만, 원소 분석 결과 탄소 함량이 많고 발열량이 높은 특징을 갖는 것으로 나타났다. 또한, 기존 소각 처리에서 문제가 되었던 황 성분과 질소 성분이 매우 적은 것으로 나타나 시료 내의 상당 부분이 에너지원으로써의 활용 가능성이 높을 것으로 판단되었다. <표 1>에 캐나다와 몽골 오일샌드 비튜멘의 물성 분석 결과를 나타내었다.

<표 1> 캐나다와 몽골 오일샌드 비튜멘의 물성 분석 결과

구분 \ 항목	원소분석 (wt.%)					공업분석 (%)				발열량 (cal/g)
	C	H	N	S	O	수분	휘발분	회분	고정탄소	
캐나다 비튜멘	78.04	10.28	0.72	2.91	5.28	3.15	85.37	0.09	11.12	10,096
몽골 비튜멘	84.27	12.58	0.15	0.37	2.63	0.49	86.56	0.23	12.72	10,362

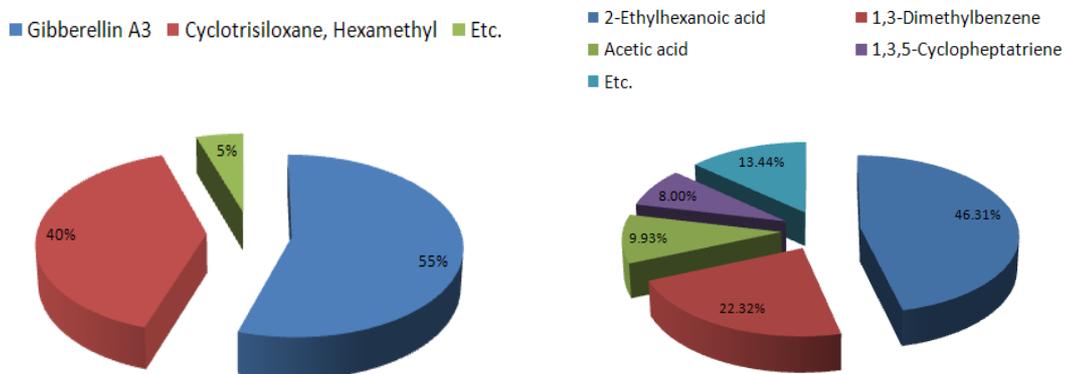
열중량 분석 결과 캐나다 오일샌드 비튜멘은 200~480°C 구간에서 mass loss%가 15%까지 떨어지는 것으로 나타났으나, 몽골 오일샌드 비튜멘의 경우에는 300°C부터 mass loss%가 발생하기 시작하여 30%까지 떨어지는 것으로 나타났다. DTG 분석결과도 캐나다 오일샌드 비튜멘은 390~450°C 구간에서 DTG 값이 -2에서 -14로 질량의 감소 속도가 최대로 나타났으나, 몽골 오일샌드 비튜멘은 420~450°C 온도가 더 높은 구간에서 DTG 값이 -3에서 -12로 질량의 감소 속도가 최대로 나타났다. 또한 2종류의 시료 모두 480°C 이후부터는 잔류물이 존재하는 구간으로서 온도상승에 따른 질량의 감소가 서서히 진행되는 것으로 나타났다. [그림 3]에 캐나다와 몽골 오일샌드 비튜멘의 열중량 분석 결과를 나타내었다.



[그림 4] 캐나다와 몽골 오일샌드의 비튜멘의 열중량 분석(TGA) 결과

[그림 4]는 캐나다와 몽골 오일샌드 비튜멘의 GC mass 분석 결과를 나타낸 것으로 비튜멘 시료의 TGA 결과로 나타난 열분해 구간 이후 피크를 중심으로 시간에 따른 온도상승에 검출되는 성분을 해석하여 원형 차트로 표현한 것이다. 분석 결과 캐나다 오일샌드 비튜멘의 주성분은 Gibberellin A3가 55%, Cyclotrisiloxane, Hexamethyl 40%, 다량의 미량 성분이 5%를 이루는 것으로 나타났다. 그러나, 몽골 오일샌드 비튜멘의 주성분은

2-Ethylhexanoic acid 46.31%, 1,3-Dimethylbenzene 22.32%, Acetic acid 9.93%, 다량의 미량 성분이 13.44%로 나타났다.



캐나다 오일샌드 비튜멘

몽골 오일샌드 비튜멘

[그림 5] 캐나다와 몽골 오일샌드의 비튜멘의 GC-MASS 분석 결과

결론

본 연구에서는 Lab-scale 증류 장치를 이용하여 캐나다와 몽골 오일샌드로부터 비튜멘 성분 추출실험을 진행하였으며, 각 시료의 성분 및 물성 분석을 통해 물리적, 화학적 특성을 파악하고 분석함으로써 에너지원으로써의 활용 가능성에 대한 비교 평가를 진행하였다. 비튜멘 추출 실험 결과 2종류의 오일샌드 시료에 대해 형태의 차이는 있으나 톨루엔을 이용한 용매추출방법을 통해 유기용매가 오일샌드와 접촉함으로써 점도를 급격히 낮추고 내부에 존재하는 비튜멘 성분의 추출이 모두 가능함을 확인할 수 있었다.

물성분석 결과에서는 몽골 비튜멘이 캐나다 비튜멘과 비교 시 탄소 함량이 많고 발열량이 높은 특징을 갖는 것으로 나타났으며, 기존 소각 처리에서 문제가 되었던 황 성분과 질소 성분이 매우 적은 것으로 나타나 시료 내의 상당 부분이 에너지원으로써의 활용 가능성이 높을 것으로 판단되었다. 또한, 열중량 분석 결과에서도 몽골 오일샌드 비튜멘의 열분해 온도가 높으며, 중량 감소가 적은 것으로 나타났다.

이와 같이 upgrading 과정을 통해 오일샌드 시료로부터 원유에 해당하는 비튜멘 성분을 추출할 수 있음을 확인하였으며, 에너지원으로써의 활용 가능성도 매우 높을 것으로 기대되었다. 또한, 전처리 공정을 거친 후 남은 잔류물의 경우에는 가스화 공정 등을 통해 합성가스를 제조하여 대체 석유를 만드는 공정 등에 사용하는 것이 바람직할 것으로 사료되었다.

참고문헌

1. Rammler, R.W, "The Production of Synthetic Crude Oil from Oil Sand by Application of the Lurgi-Ruhrgas Process", The can. J. of Chem. Eng. 1970, 48, 552.
2. Subramanian, M, Hanson, F.V, "Supercritical Fluid Extraction of Bitumens from Utah Oil Sands", Fuel Processing Technology, 1998, 55, 35

감사

본 연구는 지식경제부 산하 에너지관리공단에서 지원하는 “저급 연료원을 이용한 저 CO₂ 배출 일체형 연료전환공정 기술 개발” 과제의 일환으로 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.