

인도네시아산 자원 내에 포함된 역청성 오일의 경질화를 위한 열분해 특성에 관한 연구

장정희¹, 한기보^{1,*}, 박천규², 전철환², 김재곤², 곽현³

¹고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터
17180 경기 용인시 처인구 백암면 고안로 51번길 175-28

²한국석유관리원 석유기술연구소
28115 충북 청주시 청원군 오창읍 양청3길 33

³(주)한울엔지니어링 기술연구소
15809 경기 군포시 고산로148번길 17

(2016년 8월 16일 접수; 2016년 9월 26일 수정본 접수; 2016년 10월 1일 채택)

Study on Pyrolysis Characteristics for Upgrading of Bitumen-Like Heavy Oil Contained in Indonesian Resources

Jung Hee Jang¹, Gi Bo Han^{1,*}, Cheon-kyu Park², Cheol-Hwan Jeon², Jae-Kon Kim², and Hyun Kwak³

¹Plant Engineering Center, Institute for Advanced Engineering
175-28 Goan-ro 51beon-gil, Baegam-myon, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi 449-863, Korea

²Petroleum Technology R&D Center, Korea Institute of Petroleum Management
33 Yangcheng 3-gil, Ochang-eup, Cheongwon-gun, Chungbuk 363-883, Korea

³R&D Center, Hanwoul Engineering Co., Ltd.
17 Gosan-ro 148beon-gil, Gunpo-si, Gyeonggi, 15850, Korea

(Received for review August 16, 2016; Revision received September 26, 2016; Accepted October 1, 2016)

요 약

본 연구에서는 인도네시아 현지로부터 수급된 지층 자원에 포함된 역청성 오일의 경질화를 위하여 열분해 공정이 적용되었다. 이러한 자원 내에 포함된 역청성 오일에 대한 조성 및 기초성상을 조사하기 위하여 공업분석, 원소분석 등이 수행되었으며, 열중량분석을 통해 역청성 오일의 전환에 대한 열분해반응 기초특성이 조사되었다. 이러한 결과를 바탕으로 원료 내에 포함된 역청성 오일을 경질화하기 위하여 필요한 열분해 온도 등의 운전조건 범위가 선정되었으며, 실험실 규모의 고정층 반응기를 이용하여 반응온도에 따른 역청성 오일의 전환율 및 열분해 오일의 회수율을 확인하였다. 550 °C에서 수행된 열분해 공정에서 원료 내 포함된 역청성 오일의 전환율은 약 21%였으며, 경질화된 열분해 오일의 회수율은 약 80%였다.

주제어 : 역청성 오일 포함 원료, 열분해 특성, 경질화, 열분해 오일

Abstract : In this study, the pyrolysis process was carried out in order to upgrade of heavy oil contained in the resources from Indonesia. In order to investigate the composition and basic properties of the heavy oil contained in the resources, the various analytical methods was used and then the TGA (thermogravimetric) method was especially used for the thermal degradation characteristics of heavy oil in the pyrolysis. From the results obtained from the various analytical methods, the reaction conditions such as the reaction temperature was collected for the pyrolysis process and the pyrolysis using the resources containing the heavy oil was conducted using the fixed-bed reactor under the various reaction conditions. Consequently, We found that the content of heavy oil contained in the resources was about 35% and the conversion of heavy oil and the recovery efficiency of thermal degradation oil were about 21 and 80%, respectively.

Keywords : Heavy oil contained in the resources, Upgrading, Pyrolysis characteristics, Thermal degradation oil

* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: gbhan@iae.re.kr; Tel: +82-31-330-7408; Fax: +82-31-330-7111

doi: 10.7464/kset.2016.22.4.292 pISSN 1598-9712 eISSN 2288-0690

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

석유공학회(Society of Petroleum Engineers, SPE)의 정의에 의하면, 비전통 에너지는 ‘대규모로 분포하며, 유체역학적(hydrodynamic)인 영향을 적게 받는 에너지자원’으로서, 특별한 회수기법을 사용해야만 생산이 가능하고, 생산 이후에도 특별한 처리공정을 거쳐야만 판매가 가능한 자원이다[1]. 최근 석유를 대체하기 위하여 이러한 비전통에너지 등의 자원 확보 및 확보된 자원의 유용한 활용을 위한 자원화 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 비전통에너지중 하나인 비전통석유의 종류는 오일샌드(oil sand), 초중질원유(extra heavy oil), 오일셰일(oil shale) 등과 같은 비전통원유, 메탄하이드레이트, CBM (coal bed methane), 셰일가스 등과 같은 비전통 가스, 그리고 GTP (gas to liquid), CTL (coal to liquid) 등 가스액화를 포함하여 매우 다양하다.

원유가 굳어져 반쯤 고체 상태로 땅 표면 가까이 부존하는 경우 이를 역청(瀝靑)이라 부른다[2]. 역청이 모래진흙 등과 섞여 있는 것이 바로 석유모래다. 석유모래에서 역청을 분리한 뒤 이를 가공하면 기름샘에서 뽑아 올린 원유와 성분이 같아진다[3-5]. 이렇게 생산한 원유를 보통 원유(conventional crude)와 구분해 합성원유(synthetic crude)라 부른다. 오일샌드는 비전통석유의 하나로서, 점토나 모래 물 등에 중질 원유가 10% 이상 함유된 것을 말한다. 보통 오일샌드 2 톤에서 원유 1 배럴을 생산할 수 있다[6]. 오일샌드가 가장 많이 매장된 국가는 베네수엘라이며, 그 다음이 캐나다이다.

최근 인도네시아 현지로부터 수급된 자원 내에 포함된 탄화수소류 화합물로 추정되는 역청성 오일을 경질화하여 에너지 및 자원으로 활용할 수 있는 방안을 확보하고자 하는 연구가 진행되고 있으며, 경질화 방법은 용매를 이용한 추출법, 열에너지를 이용한 열분해가 대표적이다[7-15]. 본 연구에서는 자원 내 포함된 역청성 오일을 경질화하여 회수하기 위한 기초성상분석 및 열분해 공정조건을 확보하기 위한 열분해 반응특성이 조사되었다.

2. 실험

2.1. 원료

Figure 1은 본 연구에서 사용된 역청성 오일이 포함된 원료의 사진을 나타낸 것이다. 원료는 인도네시아 현지에서 수급되었으며, Figure 1에서 보듯이 무기성분 내에 유기성분이 포함되어 검은 색을 띠는 딱딱한 고체형태이다. 원료를 적절한 입도로 분쇄하여 건조한 후 포함된 역청성 오일을 경질화하는 열분해 공정에 적용하였다.

2.2. 열중량 분석 시험(thermo gravimetric analysis, TGA)

원료의 열분해 특성을 확인하기 위해 열중량 분석을 수행하였으며, 사용된 기기는 SCINCO의 STA-N-1500이다. 시료는 원료에서 1~21 mg을 채취하여 분석하였으며, 승온 속도는 $1\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ 으로 조절하였다. 질소로 불활성 분위기를 유지

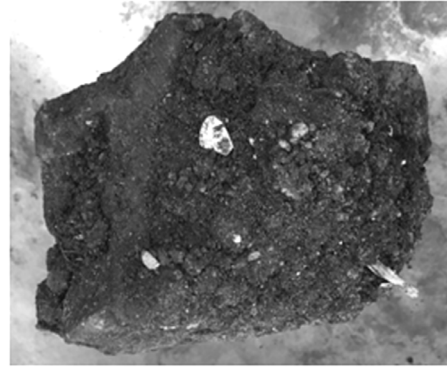


Figure 1. Indonesian resources containing bitumen-like heavy oil.

하였으며, 온도변화에 따른 무게변화를 측정하였다. 온도변화에 따른 무게변화로부터 무게 변화를 변화를 확인하였다.

2.3. 공업분석 (Proximate analysis)

원료 내에 포함된 수분(moisture), 회분(ash), 휘발분(volatil matter)을 정량화하고 이들로부터 고정탄소(fixed carbon)를 산출하기 위해 공업분석을 수행하였다. 분석은 표준방법(ASTM D3172-13)에 따라 수행되었다. 수분은 $107\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 건조하여 측정하였으며, 회분은 $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 회화시켜 회의 함량을 측정하였다. 휘발분은 $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 7 min간 건류시켜 측정하였다. 분석 결과는 무게 백분율(%)로 표시된다.

2.4. 원소분석(Ultimate analysis)

고체 상 원료 및 생성물 상에 포함된 유기화합물의 구성성분인 탄소(carbon), 수소(hydrogen), 산소(oxygen), 질소(nitrogen), 황(sulfur) 등의 원소성분 조성을 원소분석에 의해 조사하였다. Dynamic Flash Combustion method에 의해 화합물내의 원소들을 각각 산화시켜 오븐 내에 장착된 컬럼(column)을 통과하면서 분리하여 TCD (thermal conductivity detector)로 정량화하였다. 본 연구에서는 LECO CHN-1000, CE Instrument 사의 EA1110 장치를 이용하여 분석하였다.

2.5. 열분해 시스템

원료 내 역청성 오일을 경질화하기 위한 실험실 규모 열분해 장치의 개략도를 Figure 2에 나타내었다. 본 시스템은 수평형 고정층 열분해 반응기, 열분해 분위기를 조성하기 위한 기체 공급용 MFC (mass flow controller), 반응기 내부 온도 제어 위한 가열로, 반응 후 생성된 열분해 오일의 회수를 위한 응축기, 냉각기 및 회수탱크 등으로 구성되었다. 열분해를 위한 반응기의 직경과 길이가 각각 70, 900 mm인 석영 재질 관형으로 제작되었으며, 열분해 온도는 반응기 내부 중심에 설치된 열전대(thermo-couple, K type)에 의해 온도를 측정하여 반응기 외부에 설치된 히터로 제어하였다. 반응 전 비활성인 N_2 기체의 공급을 위해서 MFC가 사용되었으며, 반응 후 증기 또는 가스 상 생성물을 응축 및 회수하기 위하여 금속재질의 이중 자켓 응축기가 설치되었다. 응축기 내부에는 -10

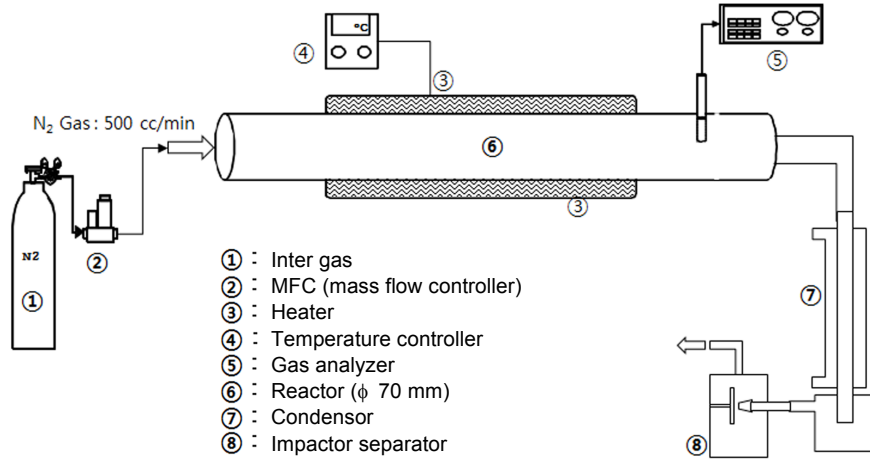


Figure 2. Diagram of the pyrolysis reactor system.

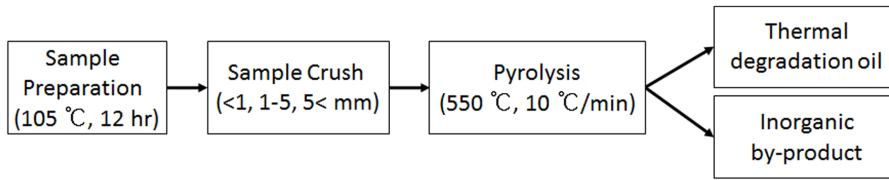


Figure 3. Diagram of the pyrolysis process.

°C의 온도조절을 위하여 부동액이 통과하였으며, 에어로졸입자를 회수하기 위해 콘덴서 이후에 충격분리기를 설치하였다. 노즐을 통하는 동안 가속된 에어로졸은 급속도로 분무되며, 분무된 에어로졸은 판에 물리적인 충격에 의해 회수되게 하였다.

2.6. 실험 방법

Figure 3은 원료 내 역청성 오일의 경질화를 위한 열분해 실험의 과정을 나타낸 것이며, Table 1은 열분해 실험의 운전 및 반응조건을 나타낸 것이다. 실험에 사용된 원료는 분쇄 후 원하는 입도로 선별하여 105 °C에서 12 h 동안 건조되었다. 원료를 분쇄한 후 표준체를 이용하여 1 mm 이하, 1-5 mm, 5-10 mm에 해당하는 3 종류의 입도로 분리하였다. 열분해 반응에 사용된 원료의 양은 약 500 g이며, 열전달이 효과적으로 될 수 있도록 관형 반응기 내부에 고르게 충전한 후 세라믹을 이용하여 고정하였다. 열분해 반응특성 상 반응기 내부의

비활성 분위기를 조성하기 위하여 500 cc min⁻¹의 유량으로 질소를 주입하였다. 본 연구에서 수행된 열분해 반응은 비등온 방식이 채택되었으며, 원하는 반응온도까지 10 °C min⁻¹의 속도로 승온하였다.

2.7. 열분해 공정효율 계산

원료 내 역청성 오일을 제조하는 열분해 공정의 효율을 평가하기 위하여 열분해 반응 전과 후 원료, 고체 생성물 및 회수된 오일의 무게를 측정하였다. 원료 내 역청성 오일의 전환율은 Equation (1)에 의해 계산되었으며, 열분해 오일의 회수율 및 수율은 Equation (2)와 (3)이 사용되었다.

$$C(Conversion(\%)) = \frac{W_{in} - W_{out}}{W_{in}} \times 100 \quad (1)$$

$$R(Recovery(\%)) = \frac{W_R}{W_C} \times 100 \quad (2)$$

$$Y(Yield(\%)) = Conversion \times Recovery \quad (3)$$

- W : 역청성 유기화합물이 포함된 원료의 양
- W_C : 역청성 유기화합물 중 오일로 전환된 양
- W_R : 오일로 전환된 유기화합물 중 응축기에 포집된 오일의 양
- C : 역청성 오일의 전환율
- R : 열분해 오일의 회수율
- Y : 회수된 역청성 오일의 수율

Table 1. Reaction conditions for the thermal degradation oil production

	Reaction conditions
Amount of sample (g)	500
Size of sample (mm)	< 1, 1-5, 5 <
Ramping rate (°C min ⁻¹)	10
N ₂ flow rate (cc min ⁻¹)	500
Condenser temperature (°C)	-10

Table 2. Results of proximate analysis

Component	Moisture	Volatile matter	Fixed carbon	Ash
Content (%)	1	41	0	58

Table 3. Results of ultimate analysis

Element	C	H	O	N	S
Content (%)	26.7	23	2.3	0.1	0.8

3. 결과

3.1. 원료에 대한 기초성상 분석

원료에 포함된 역청성 오일에 대한 기초성상을 조사하기 위하여 원소분석 및 공업분석이 수행되었다. Table 2는 원료의 공업분석 결과를 나타낸 것이다. 공업분석을 수행한 결과 고정탄소는 측정되지 않았으며, 수분, 회분은 각 1, 58%이다. 또한 역청성 오일로 추정되는 휘발성물질의 함량은 약 41%로 측정되었다. Table 3은 원료의 원소분석 결과를 나타낸 것이다. 원료 내 유기화합물을 구성하는 원소들의 분석 결과로 탄소, 수소, 산소, 질소, 황 성분들이 각 26.7, 23, 2.3, 0.1, 0.8%의 함량으로 포함되어 있는 것이 확인되었으며, 나머지 성분은 무기물성분이다.

3.2. 승온속도에 따른 열중량 분석

Figure 4는 승온속도에 따른 열분해 특성을 조사하기 위하여 수행된 TGA/DTG 결과를 나타낸 결과이다. 승온속도가 5, 10, 20 °C min⁻¹으로 변화된 가운데 열분해 온도가 상승함에 따라 원료의 무게가 감소되었으며, 무게가 감소되는 온도영역은 200~380 °C의 A 영역, 350~550 °C의 B 영역, 700~900 °C의 C 영역으로 구분되었다. 각 온도영역에서 감소되는 무게변화율은 D, E, F에 해당하는 결과치로 얻었다. 승온속도가 5 °C min⁻¹인 경우, 원료의 무게감소율이 A 영역에서 6.5%, B 영역에서 6.6%, C 영역에서 37.4%이었다. 승온속도가 10 °C min⁻¹일 때 원료의 무게는 A 영역에서 6.5%, B 영역에서 6.9%, C 영역에서 32.7% 감소하였다. 승온속도가 20 °C min⁻¹일 때 원료의 무게는 A 영역에서 5.9%, B 영역에서 7.6%, C 영역에서 23.3% 감소하였다. 승온속도 변화에 따른 원료의 무게변화율을 세분화하기 위하여 단위 시간에 따른 무게변화율로 나타내었다. 승온속도가 5 °C min⁻¹일 때 온도 영역별 무게변화속도가 가장 높은 지점으로 A 영역에서는 a₅ (286 °C), B 영역에서는 b₅ (440 °C)이었으며, C 영역에서는 측정된 c₅ (900 °C) 등이었다. 승온속도가 10 °C min⁻¹일 때 온도 영역별 무게변화속도가 가장 높은 지점으로는 A 영역에서는 a₁₀ (310 °C), B 영역에서는 b₁₀ (455 °C), C 영역에서는 c₁₀ (872 °C) 등이었다. 승온속도가 20 °C min⁻¹일 때는 A 영역에서는 a₂₀ (333 °C), B 영역에서는 b₂₀ (472 °C), C 영역에서는 c₂₀ (900 °C) 지점에서 온도 영역별로 가장 높은 무게변화속도를 나타내었다. A 영역에서 승온속도가 5, 10, 20 °C min⁻¹으로 증가함에 따라

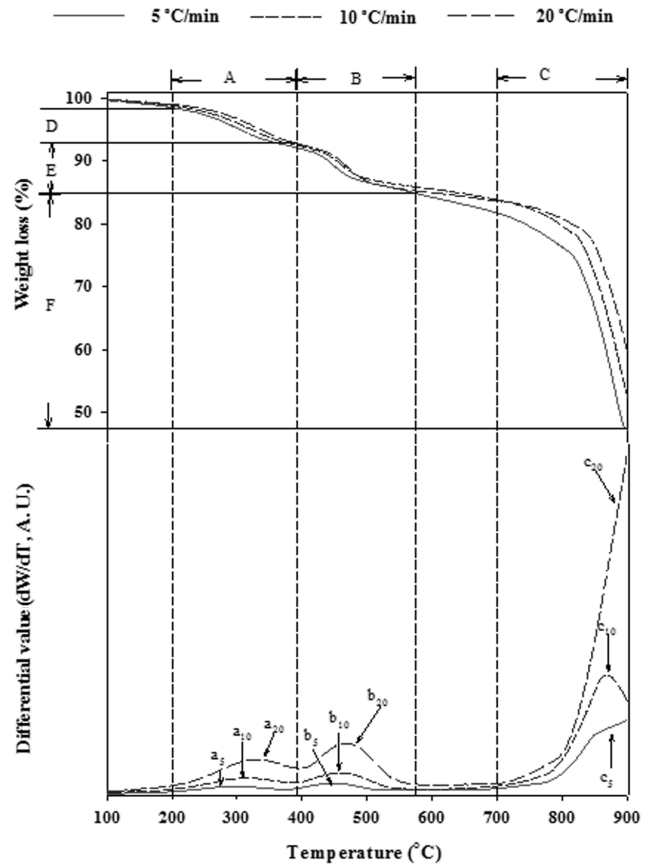


Figure 4. TGA results with temperature ramping rate in the pyrolysis (Amount of sample : 8 mg, temperature : 100 ~ 900 °C, ramping rate : 5, 10, 20 °C min⁻¹).

무게변화속도가 최고인 지점은 a₅ (286 °C), a₁₀ (310 °C), a₂₀ (333 °C)으로 변화되었다. B 영역에서 승온속도가 5, 10, 20 °C min⁻¹으로 증가함에 따라 무게변화속도가 최고인 지점은 b₅ (440 °C), b₁₀ (455 °C), b₂₀ (472 °C)이었다. C 영역에서 승온속도가 5, 10, 20 °C min⁻¹으로 증가함에 따라 무게변화속도가 최고인 지점은 c₅ (896 °C), c₁₀ (872 °C), c₂₀ (900 °C)였다. 이러한 결과는 승온속도가 낮을 때(동일한 온도영역기준)는 휘발성 유기 화합물의 내부로 열에너지가 효과적으로 전달되게 되며, 휘발성 유기화합물이 원료로부터 충분히 휘발되었기 때문이다[16,17].

3.3. 열분해량에 따른 열무게 분석 결과

Figure 5는 원료 투입량 변화에 따른 열분해 특성을 조사하기 위하여 원료의 무게를 1, 8, 21 mg으로 변화시키면서 측정하였을 때 얻어진 TGA/DTG 분석 결과를 나타낸 것이다. 온도 상승에 따라 원료 내 유기화합물의 분해로 인해 무게가 감소되었으며, 무게가 감소되는 온도영역은 200~380 °C의 A 영역, 350~550 °C의 B 영역, 700~900 °C의 C 영역으로 구분되었다. 각 온도영역에서 감소되는 무게변화율은 D, E, F에 해당하는 값으로 각각 얻었다. 원료의 양이 1 mg일 때 무게는 A 영역에서 7%, B 영역에서 16%, C 영역에서 26% 정도로

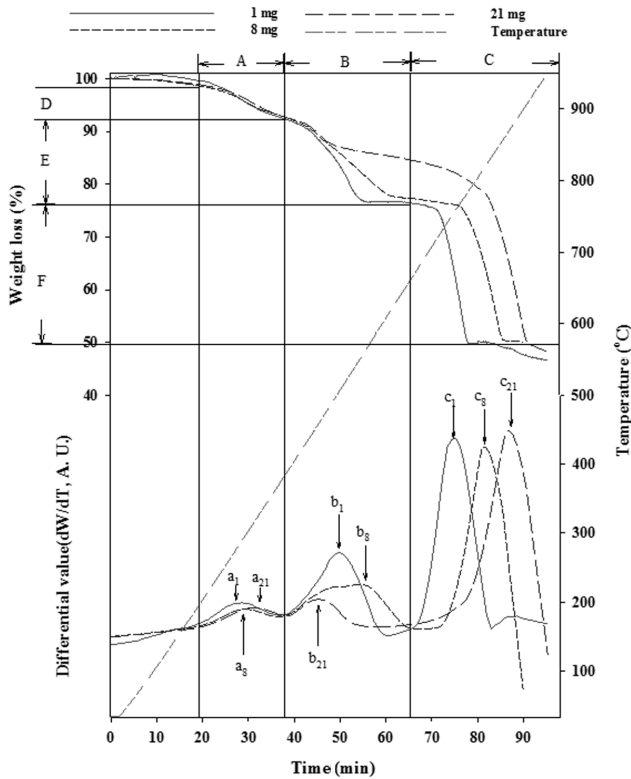


Figure 5. TGA results with the various sample-charged amount in the pyrolysis (Amount of sample : 1, 8, 21 mg, temperature : 100 ~ 900°C, ramping rate : 10 °C min⁻¹).

각각 감소하였다. 원료의 양이 8 mg일 때 무게가 A 영역에서 6.2%, B 영역에서 15%, C 영역에서 27.4%의 변화율로 감소하였다. 원료의 양이 21 mg일 때 A 영역에서 6.2%, B 영역에서 8.2%, C 영역에서 34.1%의 변화율로 각각 무게가 감소하였다. 원료의 투입량 변화에 따른 원료의 무게변화율을 세분화하기 위하여 단위 시간에 따른 무게변화율로 나타내었다. 원료의 양이 1 mg일 때 온도 영역별 무게변화속도가 가장 높은 지점으로 A 영역에서는 a₁ (265 °C), B 영역에서는 b₁ (485 °C), C 영역에서는 c₁ (738 °C) 등이었다. 원료의 양이 8 mg일 때 온도 영역별 무게변화속도가 가장 높은 지점은 A 영역에서는 a₈ (284 °C), B 영역에서는 b₈ (544 °C), C 영역에서는 c₈ (807 °C) 등이었다. 원료의 양이 21 mg일 때 온도 영역별 무게변화속도가 가장 높은 지점은 A 영역에서는 a₂₁ (309 °C), B 영역에서는 b₂₁ (462 °C), C 영역에서는 c₂₁ (869 °C) 등이었다. A 영역에서 원료의 양이 1, 8, 21 mg으로 증가함에 따라 무게변화속도가 최고인 지점은 a₁(265 °C), a₈ (284 °C), a₂₁ (309 °C)로 변화하였다. B 영역에서 원료의 양이 1, 8, 21 mg으로 증가함에 따라 무게변화속도가 최고인 지점은 b₁ (485 °C), b₈ (544 °C), b₂₁ (462 °C)로 변화하였다. C 영역에서 원료의 양이 1, 8, 21 mg으로 증가함에 따라 무게변화속도가 최고인 지점은 c₁ (738 °C), c₈ (807 °C), c₂₁ (869 °C)로 변화하였다. 시료의 양이 작을 때(동일한 온도영역기준)는 휘발성 유기 화합물의 단위중량당 받는 에너지량이 증가하기 때문에 더 빠르게 무게 감소가 일어나는 것으로 판단된다.

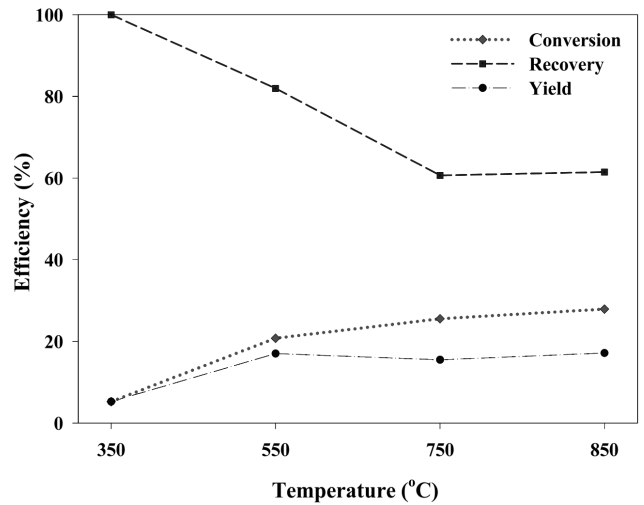


Figure 6. Oil conversion, recovery efficiency and oil yield with various ramping rate of the temperature in the pyrolysis (Amount of sample : 500 g, temperature : 350 ~ 850 °C, ramping rate : 10 °C min⁻¹).

3.4. 반응온도에 따른 오일 전환 특성

Figure 6은 열분해 반응온도에 따른 오일 전환 효율을 나타낸 그래프이다. 열분해 온도를 350, 550, 750 및 850 °C로 조절하면서 열분해 효율에 대하여 조사하였다. 열분해 온도가 350 °C일 때 원료 내 역청성 오일의 전환율은 5.2%, 열분해 오일 회수율은 100%로 열분해 오일 수율이 5.2%였다. 열분해 온도가 550 °C일 때 원료 내 역청성 오일 전환율은 20.7%, 열분해 오일 회수율은 81.9%로 수율이 17%였다. 열분해 온도가 750 °C일 때 원료 내 역청성 오일의 전환율은 25.5%, 열분해 오일 회수율은 60.6%로 열분해 오일의 수율이 15.5%였다. 열분해 온도가 850 °C일 때 원료 내 역청성 오일의 전환율은 27.9%, 열분해 오일 회수율은 61.46%로 수율이 17.15%였다. 원료 내 역청성 오일의 전환율은 열분해 온도가 350, 550, 750 및 850 °C로 증가함에 따라 5.2, 20.7, 25.5 및 27.9%로 증가하였다. 350에서 550°C로 열분해 온도가 증가할 때 5.2에서 20.7%로 전환율이 증가하였으며, 변화량은 15.5%이다. 550에서 750 °C로 열분해 온도가 증가할 때 20.7에서 25.5%로 전환율이 증가하였으며, 그 변화량은 4.8%이다. 750에서 850 °C로 열분해 온도가 증가할 때 25.5에서 27.9%로 전환율이 증가하였으며, 변화량은 2.4%이다. 열분해 온도인 850 에서 750 °C로 열분해 온도가 증가할 때 20.7에서 25.5%로 전환율이 4.8% 증가하였다. 오일 회수율은 열분해 온도가 350, 550, 750 및 850 °C로 증가함에 따라 100, 81.9, 60.6 및 61.4%로 감소하였으며, 750와 850 °C의 열분해 온도에서는 오일 회수율이 동일하다. 오일 수율은 열분해 온도가 350, 550, 750 및 850 °C로 증가함에 따라 5.2, 17, 15.47 및 17.1%로 증가하였으며, 열분해 온도가 550 °C일 때 최대수율에 도달하였다고 사료된다. 열분해온도가 증가함에 따라 전환율이 증가하는 이유는 앞서 열중량분석에서 확인한 결과와 같이 열분해 온도영역에 따라 휘발되는 유기성분이 달라지게 되

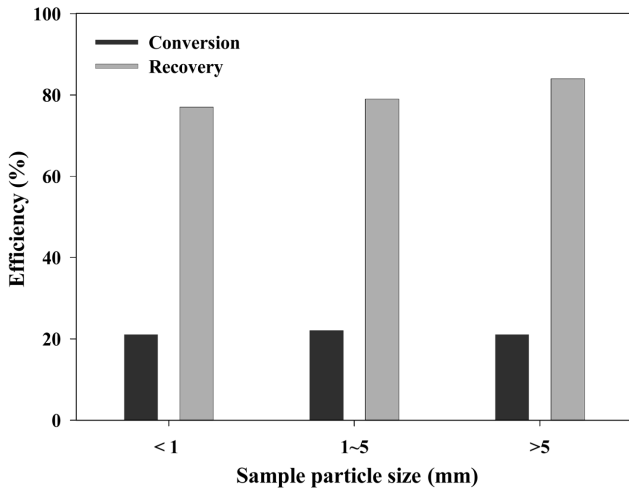


Figure 7. Oil conversion and recovery efficiency with the particle size in the pyrolysis (Amount of sample : 500 g, temperature : 550 °C, ramping rate : 10 °C min⁻¹).

며, 온도가 증가할수록 그 양이 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 열분해온도가 증가함에 따라 휘발되는 유기성분이 증가하기 때문이다. 열분해온도가 증가함에 따라 회수율이 감소하는 이유는 열분해온도가 증가함에 따라 휘발된 유기성분이 고온의 온도로 인하여 저분자량의 가스상 물질로 분해되며, 이렇게 분해된 유기성분이 냉각기에서 포집되지 않기 때문으로 판단된다.

3.5. 원료 크기에 따른 열분해 특성

Figure 7은 열분해 반응 온도가 550 °C 일 때 시료 크기에 따른 열분해 특성을 나타낸 그래프이다. 1 mm 이하의 크기를 가진 원료 내 역청성 오일의 전환율은 20%이며, 열분해 오일의 회수율은 79%였다. 1-5 mm의 크기를 가진 원료 내 역청성 오일의 전환율은 21%이며, 열분해 오일의 회수율은 80%였다. 5 mm 이상의 크기를 가진 원료 내 역청성 오일의 전환율은 21%이며, 열분해 오일의 회수율은 81%였다. 시료의 크기에 따른 역청성 오일의 전환율과 열분해 오일의 회수율의 차이는 각 1과 3%였다. 시료의 크기에 따라 전환율이 변화되지 않고 동일한 온도에서는 전환율이 일정한 것으로 판단된다. 또한 회수율의 차이는 시료의 크기가 작을수록 단위시간 동안 열분해되는 오일의 양이 크며, 대량의 오일이 휘발되어 냉각기에서 충분히 회수되지 못한 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 인도네시아 현지로부터 수급된 원료에 포함된 역청성 오일을 경질화 하여 열분해 오일로 회수하기 위하여 열분해 공정을 적용하였다. 이를 위하여 원료의 성상이 조사되었으며, 원료의 크기 및 반응조건에 따른 열분해 반응특성이 조사되었다. 역청성 유기화합물이 함유된 원료의 공업 분석 결과 열적으로 분해 및 오일로 회수 가능한 탄화수소류

화합물의 비율은 약 40%인 것으로 확인되었다. 열분해 공정 분위기에서 수행된 열중량분석 결과, 역청성 탄화수소류 유기화합물이 약 550 °C에서 약 21%가 전환되었다. 다양한 열분해 온도조건에서 원료 내 역청성 오일의 전환율 및 열분해 오일의 회수율을 확인한 결과, 온도가 상승할수록 역청성 오일의 전환율은 증가하였으며, 열분해 오일의 회수율은 감소하였다. 또한 시료의 크기를 최적화할 경우 회수율도 증가시킬 수 있음을 확인하였다. 실험실 규모 열분해반응시스템을 이용하여 원료 내 역청성 오일로부터 열분해 오일로 전환하는 데 있어 최적 반응조건인 550 °C에서 역청성 오일의 전환율은 약 21%이며, 열분해 오일의 회수율은 약 81%였다.

감사

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(NO. 2015-2520100710).

References

- Chengzao, J., Min, Z., and Yongfeng, Z., "Unconventional Hydrocarbon Resources in China and the Prospect of Exploration and Development," *Petrol. Explor. Develop.*, **39**, 139-146 (2012).
- Masliyah, J., Zhou, Z. J., Xu, Z., Czarnecki, J., and Hamza, H., "Understanding Water-Based Bitumen Extraction from Athabasca Oil Sands," *Can. J. Chem. Eng.*, **82**, 628-654 (2004).
- Meng, M., "Extraction of Organic Substance from Tumuji Oil Sand," Ph. D. Dissertation Dalian University of Technology, Dalian (2007).
- Dai, Q., and Chung, K. H., "Hot Water Extraction Process Mechanism using Model Oil Sands," *Fuel*, **75**, 220-226 (1996).
- Liu, Q., Cui, Z., and Etsell, T. H., "Characterization of Athabasca Oil Sands Froth Treatment Tailings for Heavy Mineral Recovery," *Fuel*, **85**, 807-814 (2006).
- Allen, E. W., "Process Water Treatment in Canada's Oil Sands Industry: I. Target Pollutants and Treatment Objectives," *J. Environ. Eng. Sci.*, **7**, 123-138 (2008).
- Cha, S., Hanson, F. V., Longstaff, D. C., and Oblad, A. G., "Pyrolysis of Bitumen-Impregnated Sandstones: a Comparison Of Fluidized Bed and Rotary Kiln Reactors," *Fuel*, **70**, 1357-1361 (1991).
- Meng, M., Hu, H., Zhang, Q., Li, X., and Wu, B., "Pyrolysis Behaviors of Tumuji Oil Sand by Thermogravimetry (TG) and in a Fixed Bed Reactor," *Energy Fuels*, **21**, 2245-2249 (2007).
- Hanson, F. V., Cha, S. M., Deo, M. D., and Oblad, A. G., "Pyrolysis of Oil Sand from the Whiterocks Deposit in a Rotary Kiln," *Fuel*, **71**, 1455-1463 (1992).
- Fletcher, J. V., Deo, M. D., and Hanson, F. V., "Fluidized Bed Pyrolysis of a Uinta Basin Oil Sand," *Fuel*, **74**, 311-316 (1995).

11. Perezlepe, A., "Influence of the Processing Conditions on the Rheological Behaviour of Polymer-Modified Bitumen," *Fuel*, **82**, 1339-1348 (2003).
12. Masliyeh, J., Zhou, Z. J., Xu, Z., Czarnecki, J., and Hamza, H., "Understanding Water-Based Bitumen Extraction from Athabasca Oil Sands." *The Canadian J. Chem. Eng.*, **82**, 628-654 (2004).
13. Dai, Q., and Chung, K. H., "Hot Water Extraction Process Mechanism using Model Oil Sands," *Fuel*, **75**, 220-226 (1996).
14. Liu, Q., Cui, Z., and Etsell, T. H., "Characterization of Athabasca Oil Sands Froth Treatment Tailings for Heavy Mineral Recovery," *Fuel*, **85**, 807-814 (2006).
15. Jia, C., Wang, Q., Ge, J., and Xu, X., "Pyrolysis and Combustion Model of Oil Sands from Non-Isothermal Thermogravimetric Analysis Data," *J. Therm. Anal. Calorim.*, **116**, 1073 (2014).
16. Al-Otoom, A., Al-Harashseh, M., Allawzi, M., Kingman, S., Robinson, J., Al-Harashseh, A., and Saeid, A., "Physical and thermal properties of Jordanian tar sand," *Fuel Proc. Technol.*, **106**, 174 (2013).