

SDA 방법으로 제조한 오일샌드 역청의 말텐에 대한 유변학적 거동 및 비뉴턴 특성

권은희 · 이은민 · 김민용 · 장현성 · 광영태 · 김광호 · 노남선[†]

한국에너지기술연구원 기후변화본부
(2014년 2월 18일 접수, 2014년 3월 12일 심사, 2014년 3월 25일 채택)

The Rheological Behaviors and Non-Newtonian Characteristics of Maltenes Made by SDA Method from Oil Sands Bitumen

Eun Hee Kwon, Eun Min Lee, Min Yong Kim, Heyn Sung Chang, Young Tae Guahk,
Kwang Ho Kim, and Nam Sun Nho[†]

Climate Change Research Division, Korea Institute of Energy Research, 152 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea
(Received February 18, 2014; Revised March 12, 2014; Accepted March 25, 2014)

SDA (Solvent deasphalting)를 이용한 오일샌드 역청의 부분경질화 공정을 개발하기 위해 수행된 본 연구에서는 말텐에 대하여 포화탄화수소 용매의 종류, 용매 투입 비율, 온도, 전단속도 등에 따른 유변학적 거동과 비뉴턴 특성을 살펴본다. 오일샌드 역청은 전단속도가 50 sec^{-1} 이고, 온도가 $25 \sim 85 \text{ }^\circ\text{C}$ 인 조건에서 $800 \sim 150000 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 의 겔보기 점도를 보이며, $35 \text{ }^\circ\text{C}$ 이하에서는 $0.1 \sim 0.3 \text{ Pa}$ 의 항복응력을 나타냈다. 오일샌드와 말텐은 모두 Pseudoplastic의 특성을 보이고 포화탄화수소 용매의 탄소 수가 낮아질수록 말텐의 겔보기 점도는 감소하였다. 겔보기 점도와 온도와의 상관관계는 Guzman-Andrade식으로 나타낼 수 있었으며, n-Pentane의 투입 비율이 커짐에 따라 말텐의 점도가 감소하였다. 또한 온도가 높아질수록 말텐은 뉴턴 유체에 접근하였고, 용매로 사용된 포화탄화수소의 탄소 수가 작아질수록 비뉴턴 성질은 증가하였다.

In this paper, the rheological behaviors and non-Newtonian characteristics of maltenes which is effected by hydrocarbon solvent type, solvent mixing ratio, temperature and shear rate was measured and compared with oil sands bitumen. Maltenes was made by SDA (solvent deasphalting) method from oil sands bitumen. Oil sands bitumen had apparent viscosities of $800 \sim 150000 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ measured at a shear rate of 50 sec^{-1} in the range of $25 \sim 85 \text{ }^\circ\text{C}$ and showed yield stress of $0.1 \sim 0.3 \text{ Pa}$ at the temperatures below $35 \text{ }^\circ\text{C}$. All the oil sands bitumen and maltenes exhibited a shear-thinning, i.e. pseudoplastic behavior and apparent viscosity of maltenes decreased with decreasing carbon numbers of hydrocarbon solvent. The change in apparent viscosity with temperature could be described by the simple Guzman-Andrade equation, and maltene viscosities were decreased as the mixing ratio of n-pentane was raised. Also, all maltenes approached to Newtonian fluid as temperature were increased. the degree of pseudoplasticity was enhanced with decreasing carbon number of solvent.

Keywords: oil sands bitumen, SDA, maltenes, viscosity, rheological behavior

1. 서 론

오일샌드(Oil Sands)는 원유에 해당하는 역청(15~20%)을 비롯하여 모래, 점토, 미네랄 등의 무기물질(70~75%)과 물(3~5%) 등으로 구성되어 있으며, 원시 매장량이 일반 경질원유 매장량과 비슷한 2.3조 배럴로 추정되고 있다[1,2].

오일샌드 역청과 초중질유로 대표되는 초중질유분은 일반적인 경

질원유에 비하여 성상이 매우 열악하기 때문에 직접 정유 공정으로 투입되지 못하고 크게 완전 경질화(full upgrading)와 부분 경질화(partial upgrading)로 구분되는 경질화 공정을 거쳐서 생산되는 합성 원유(SCO: Synthetic Crude Oil) 형태로 정유 공정에 공급된다[3].

수소를 첨가하여 탄소 사슬을 끊는 수소화 분해(Hydrocracking) 공정으로 대표되는 완전 경질화 공정은 대부분 초기 투자비가 높고, 운전조건이 고온, 고압이기 때문에 운전비용이 많이 소요되는 단점을 가지고 있다[4]. 이러한 단점을 해결하기 위해서 최근에는 열분해 방법으로 탄소를 제거하는 coking, 점성이 높은 잔사유를 일부 열분해하여 낮은 점성의 물질로 만드는 visbreaking, 그리고 추출공정인 SDA 등의 방식을 이용하는 부분경질화 공정이 주목받고 있다[6]. 부분경질화 공정은 초중질유분의 원거리 수송 문제를 해결하기 위하여 새롭게 제시

[†] Corresponding Author: Korea Institute of Energy Research, Climate Change Research Division, 152 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea
Tel: +82-42-860-3631 e-mail: nsroh@kier.re.kr

Table 1. Properties of Athabasca Oil Sands Bitumen

Analysis Item	Results	Remarks
Elemental analysis [wt.%]	C: 82.5 H: 11.7 N: 0.3 S:5.5	
Calorific value [kcal/kg]	9950	High heating value
Boiling point distribution [°C]	206~745	ASTM D 2887
MCR content [wt.%]	14.48	ASTM D 4530
Heavy metal content [ppm]	Ni: 105 V: 195	
Viscosity [mPa · s]	240~46400	Temp. range [35~100 °C]
API specific gravity	8.18	ASTM D 287, KS M 2002
SARA analysis [wt.%]	Saturates / Aromatics / Resins / Asphaltenes : 9.0 / 52.3 / 25.8 / 12.9	

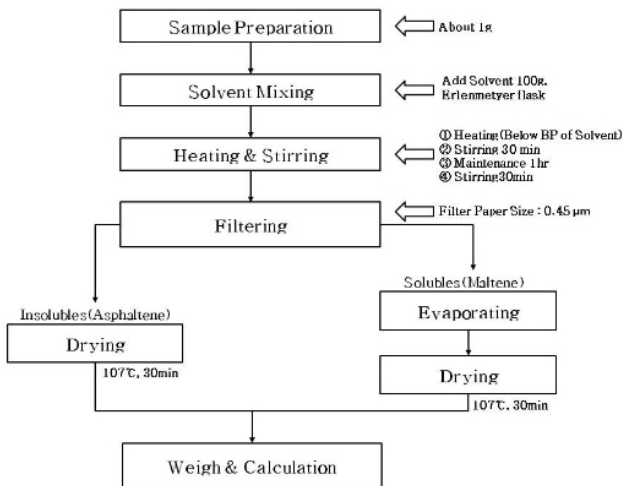


Figure 1. Flow chart about preparation of maltenes from oil sands bitumen.

되는 경질화 방식으로서 고가의 희석제를 사용하지 않고 파이프 라인을 통하여 수송이 가능한 정도의 물성을 보유한 부분경질 합성원유를 생산하기 때문에 완전 경질화에 비하여 상대적으로 경제성이 높은 기술이다[7].

특히 SDA 공정은 프로판, 부탄, 펜탄과 같은 파라핀 계열의 경질탄화수소를 사용하여 20 °API 정도의 부분경질 합성원유를 생산하는 기술로서 중·소 규모의 초중질유분 광구에 적용이 가능하고, 원료성분에 대한 별도의 반응 및 전환과정이 필요없고, 상대적으로 낮은 온도 및 압력에서 운전이 가능하며, 원유 내의 가스오일 성분과 유사한 DAO (deasphalted oil)와 피치(Pitch)를 생산물로 얻을 수 있는 부분 경질화 공정의 일종이다[8].

SDA 방식을 포함한 부분경질 방식으로 생산한 합성원유를 정유설비까지 장거리 수송하기 위해서는 유변학적 특성이 중요하기 때문에 1990년대 후반부터 다양한 연구가 수행되어 왔으며, 이와 관련된 대표적인 몇 가지를 살펴보면 우선 Alberta 대학교에서는 n-pentane을 이용하여 Athabasca 역청과 Maya 원유로부터 추출한 말텐 및 아스팔텐으로 제조한 개질 시료에 대한 유변학적 성질을 살펴보았다[9]. A. B. Bazyleva 등

은 200~410 K의 온도 범위에서 Athabasca 역청과 Maya 중질원유에 대한 유변학적 특성과 비뉴턴 성질을 설명하였고[10], S. W. Hasan 등은 회전식 점도계(RheoStress RS 100)를 사용하여 캐나다의 Husky Energy로부터 제공받은 중질원유의 유변학적 거동을 살펴보고, 경질원유, 알코올, 물 등을 이용하여 점도를 감소시키는 방안을 제시하였다[11]. 또한 M. R. Khan은 전단속도, 온도, 압력, 전처리 등이 중질원유 및 중질원유에멀전의 유변학적 성질에 미치는 영향을 분석하였으며[12], 국내에서는 고려대학교에서 감압잔사유(VR)를 원료로 하여 SDA 공정을 이용하여 제조한 DAO에 대한 점도 특성을 살펴보았다[13].

본 연구에서는 향후에 초중질유분의 경질화 방식으로 주목받고 있는 SDA 공정으로 생성된 합성원유의 유변학적 특성을 이해하는데 필요한 기초자료를 확보하기 위하여 SDA 방식으로 제조한 말텐(Maltene)의 유변학적 거동을 살펴보았다. 말텐은 캐나다에서 생산된 오일샌드 역청을 사용하여 제조하였으며, 회전식 점도계를 사용하여 용매 종류, 용매 비율, 온도, 전단속도 등에 따른 말텐 및 오일샌드 역청의 점도 특성과 비뉴턴 성질(non-newtonian properties)을 분석하였다.

2. 실험

2.1. 시료 및 말텐 제조방법

말텐 제조에 사용된 역청은 캐나다 알버타주의 Athabasca 지역에서 채굴한 오일샌드로부터 추출한 것으로 물질 분석 결과를 Table 1에 정리하였다. 주요 물성을 살펴보면 우선 역청의 유황분 함량은 5.5%이고, 고위발열량은 9,950 kcal/kg, 비점 분포는 206~745 °C, MCR 함량은 14.5 wt.%, API 비중은 8.2 °API이며, 니켈과 바나듐의 함량은 각각 105 ppm 및 195 ppm으로 측정되었다.

말텐은 ASTM D-3279[14] 규격에서 제시한 용매 추출 장치와 n-pentane, n-hexane, n-heptane을 용매로 이용하여 제조하였다. 말텐 제조 절차를 보면 먼저 역청 시료 약 1 g을 준비하고, C5~C7 유기용매 100 g과 함께 가지가 달린 삼각플라스크에 넣고 각 유기용매에 해당하는 온도를 설정한 교반기 위에서 30 min 교반하여 역청이 유기 용매에 용해되도록 한다. 교반 후에는 1 h 정도 상온에 방치하여 아스팔텐 성분의 침전을 유도하며, 30 min 동안 다시 교반한 후에 0.45 μm크기의 여과지를 이용하여 필터링한다. 여과지에 걸리진 아스팔텐을 제거하고

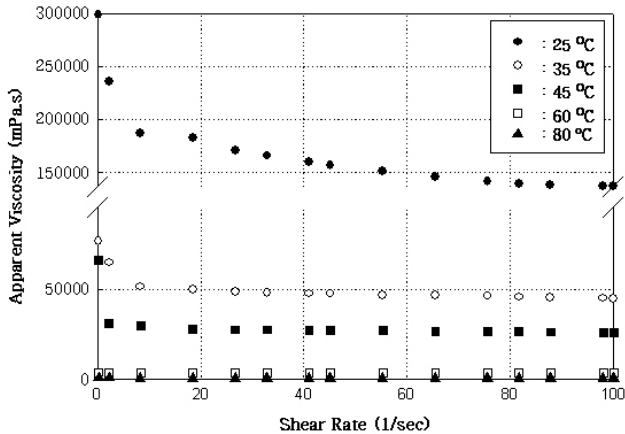


Figure 2. Viscosity behavior of oil sands bitumen with temperatures.

용매와 혼합된 말텐을 증발기를 통하여 용매를 증발시킨 후에 도가니에 옮겨서 107 °C 온도의 건조기에서 2 h 건조하면 말텐이 제조된다. Figure 1에 말텐 제조에 대한 flow chart를 소개하였다.

2.2. 점도 측정 방법 및 비뉴턴 특성

오일샌드 역청과 말텐의 유변학적 거동은 실린더 형태의 rotor가 stator의 안쪽에서 회전하는 Searle Type의 회전식 점도계인 Haake 점도계(모델명: RheoStress 6000)를 사용하여 전단 속도(shear rate)에 따른 전단응력(shear stress)의 변화를 측정하여 살펴보았다.

오일샌드 역청과 말텐의 점도 측정에 사용된 cup은 시료 부피가 각각 4 mL와 1 mL인 CCB 16 DIN과 CCB 10 DIN이며, 측정 온도는 25~90 °C이다. 또한 전단속도는 100 sec 동안 0에서 100 sec⁻¹까지 증가시켰으며, 시료의 점도는 전단 속도가 50 sec⁻¹인 조건에서 전단속도에 대한 전단응력의 비율로 계산되는 겔보기 점도(apparent viscosity)를 기준으로 비교하였다.

그리고 Haake 점도계로부터 얻어진 오일샌드 역청과 말텐의 흐름 곡선(flow curve)에 표시되는 전단응력과 전단속도의 상호관계로부터 비뉴턴 특성을 해석하기 위해서 현재까지 제시된 여러 가지 모델 중에서 가장 많이 적용되고 있는 다음의 지수 모델(Power Law Model)을 이용하였다.

$$\tau = \tau_0 + kD^n \quad (1)$$

여기서 τ_0 는 항복응력(yield stress)이고, k 와 n 은 각각 flow consistency index와 flow behavior index로 호칭되는 상수들이다. 식 (1)로부터 전단속도에 대한 전단응력의 비로 정의되는 겔보기 점도, η 는 다음 식으로 표시된다[15].

$$\eta = \tau/D = \frac{\tau_0}{D} + kD^{n-1} \quad (2)$$

3. 결과 및 고찰

3.1. 오일샌드 역청의 점도 특성

Figure 2는 25~80 °C의 온도 범위에서 오일샌드 역청에 대한 전단속도와 점도의 관계를 나타낸 것으로서 25~45 °C에서는 전단속도에 따

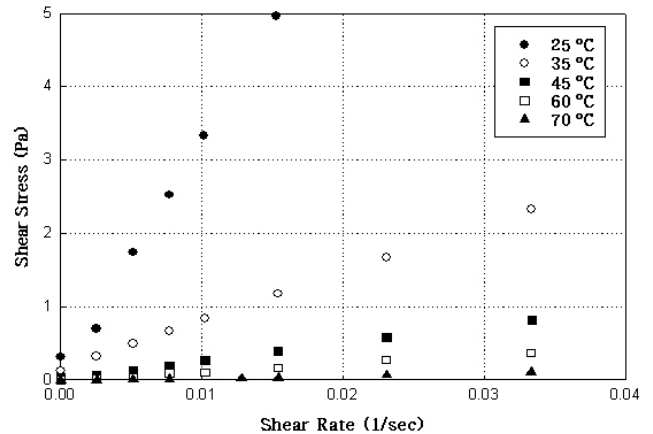


Figure 3. Yield stress measurements of Athabasca oil sands bitumen at different temperatures.

라 점도가 감소하는 비뉴턴 유체인 pseudoplastic의 거동을 보인다. 그러나 60 °C 이상의 온도에서는 전단속도에 영향을 거의 받지 않고 점도가 일정하게 유지가 됨으로써 뉴턴 유체의 거동을 보인다.

M. T. Ghannam과 N. Esmail.[15]의 연구에서는 전단속도의 범위를 0.6~740 sec⁻¹, 측정 온도를 25~70 °C로 증가시킬 때 점도는 1/2로 감소하고 높은 전단속도보다 낮은 전단속도에서 점도 차이가 크다고 보고하였다. 본 실험의 결과에서도 측정 온도가 25 °C인 조건에서 전단속도에 따른 점도 차이가 0~20 sec⁻¹일 때 90,000 mPa·s이고, 80~100 sec⁻¹일 때 10,000 mPa·s로서 점도 차이가 9배 정도 감소한 것을 확인할 수 있었다.

또한 Figure 2를 통하여 점도가 측정되기 시작하는 낮은 전단속도 부분에서 항복응력이 존재하는 것을 알 수 있었으며, 500 sec의 시간 동안에 전단속도를 0~0.3 Pa까지 변화시켜서 25~70 °C의 온도 범위에서 측정된 오일샌드 역청의 항복 응력을 Figure 3에 온도별로 자세히 소개하였다.

오일샌드 역청은 25 °C와 35 °C의 온도에서 각각 0.3 Pa 및 0.1 Pa의 항복응력을 가지고 있으며, 45 °C 이상의 온도에서는 항복응력이 거의 나타나지 않았다. 이러한 경향은 캐나다산 중질원유를 대상으로 150 sec 동안 0.09~4.0 Pa의 전단응력을 적용하여 25~65 °C의 온도 조건에서 0.4~0.7 Pa 범위의 항복응력을 확인한 S. W. Hasan 등[11]의 실험과 비슷한 결과이다. 단지 온도와 전단속도가 동일한 조건에서 오일샌드 역청의 겔보기 점도가 중질원유에 비하여 4배 이상 높은 점을 감안하면 동일한 온도 조건에서 오일샌드 역청의 경우가 상대적으로 낮은 수치의 항복응력을 나타낸 것은 특이하다.

3.2. 용매 종류 및 온도에 따른 말텐의 점도 비교

점도와 전단속도를 비교하였을 때 35 °C의 온도에서 오일샌드 역청과 3가지 종류의 용매로 제조한 말텐에 대한 전단속도와 점도의 거동을 비교한 것이다. 말텐들은 모두 오일샌드 역청과 마찬가지로 전단속도에 따라 점도가 감소하는 pseudoplastic의 비뉴턴 특성을 보이고 있으며[10], 말텐 제조에 사용된 포화탄화수소의 탄소 수가 낮아질수록 말텐의 겔보기 점도는 감소하였다.

또한 100 sec⁻¹의 전단 속도 범위에서 점도의 감소폭을 살펴보면 오일샌드 역청의 경우가 약 30,000 mPa·s로 가장 크고, 말텐 제조에 사용된 포화탄화수소의 탄소 수가 낮아질수록 전단속도에 따른 점도의

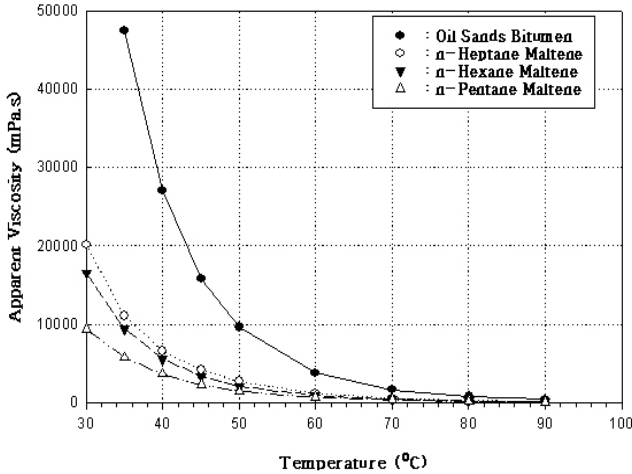


Figure 4. Dependence of apparent viscosity of oil sands bitumen and maltenes on temperature.

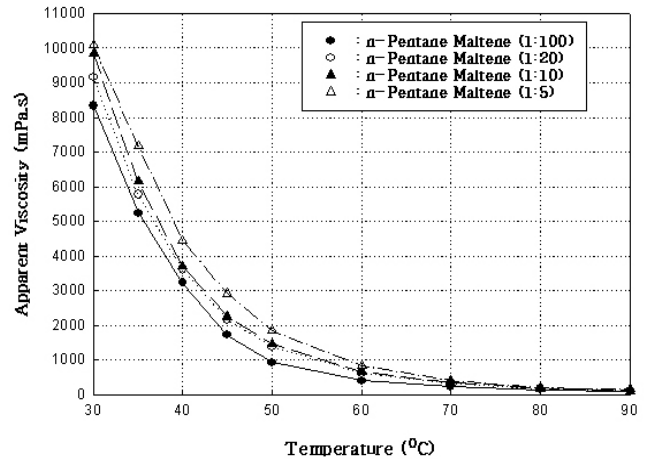


Figure 6. Effect of solvent mixing ratio on the apparent viscosity of n-Pentane maltenes with temperatures.

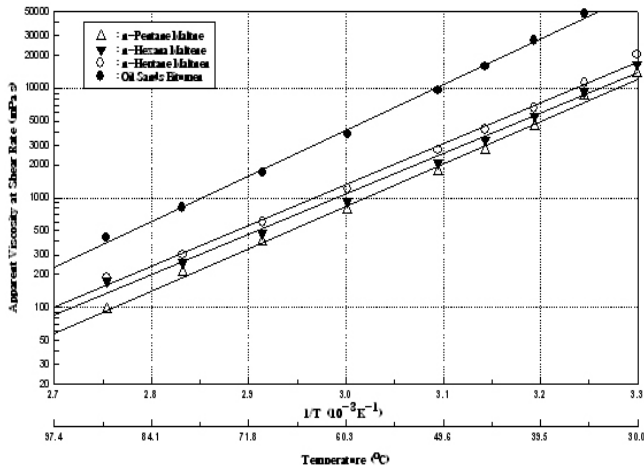


Figure 5. Effect of temperature on the apparent viscosity of oil sands bitumen and maltenes.

감소 폭이 감소하여 n-pentane으로 제조한 말텐의 경우가 약 4,000 mPa · s로 가장 작게 나타났다.

Figure 4는 35~90 °C의 온도 범위에서 오일샌드 역청과 말텐에 대하여 50 sec⁻¹의 전단속도에서 측정된 겔보기 점도를 온도 변화에 따라 나타낸 것으로서 50 °C까지는 온도 상승에 따라 겔보기 점도가 급격히 감소하지만 60 °C 이상에서는 겔보기 점도의 감소폭이 상당히 작아졌으며, 측정 온도 범위에서는 말텐의 겔보기 점도가 오일샌드 역청에 비하여 최소한 1/4 이하로 감소하였음을 확인할 수 있었다.

Figure 5는 온도에 대한 오일샌드 역청과 말텐의 겔보기 점도 변화를 semi-log 그래프에 절대온도의 역수에 따라 나타낸 것으로서 온도가 높아짐에 따라 말텐의 겔보기 점도는 감소하여 90 °C에서는 30 °C 일 경우에 비해 겔보기 점도가 약 90% 이상 감소하고 온도 상승에 따른 말텐의 겔보기 점도 감소 경향이 역청 겔보기 점도의 감소 형태와 거의 일치함을 볼 수 있다.

한편 Figure 5를 살펴보면 일정한 전단속도에서 오일샌드 역청과 말텐의 겔보기 점도와 절대온도의 역수와의 관계는 직선으로 표시되

므로 오일샌드 역청 및 말텐의 겔보기 점도와 온도와의 관계는 액체의 점도와 온도에 대한 상관식 중에서 널리 사용되는 다음의 Guzman-Andrade equation으로 표시할 수 있음을 알 수 있다[16].

$$\log \eta = \log A + \frac{B}{T} \quad (3)$$

여기서 T는 절대온도이고 A와 B는 상수이다.

3.3. 용매 비율에 따른 말텐의 점도 비교

말텐의 제조에 사용되는 포화탄화수소 계열 용매의 투입 비율에 따른 말텐의 점도 특성을 살펴보기 위하여 대표적으로 오일샌드 역청과 n-pentane의 비율을 1:100, 1:20, 1:10 그리고 1:5의 4가지 조건으로 변화시키면서 제조한 말텐에 대한 겔보기 점도 측정 결과를 30~90 °C 범위의 온도에서 Figure 6에 표시하였다.

Figure 6을 살펴보면 n-pentane의 비율이 커질수록 동일한 온도 조건에서 말텐의 겔보기 점도는 감소하였으며, 1:100과 1:5의 비율로 제조한 말텐의 점도 차이는 30 °C에서는 약 1700 mPa · s 정도로 측정되었지만 90 °C에서는 약 60 mPa · s 정도로서 온도 증가에 따라 용매 비율에 따른 점도 차이가 급격히 감소하였다.

용매의 투입 비율이 증가함에 따라 말텐의 점도가 감소하는 경향은 오일샌드 역청의 구성 성분 중에서 흐름성(fluid properties)에 가장 큰 영향을 미치는 아스팔텐(asphaltene) 성분의 함량과 직접적인 관계가 있다고 판단된다[9,17]. 즉 n-pentane의 비율이 1:5에서 1:100으로 높아질수록 말텐의 제조 과정에서 아스팔텐 성분의 제거 비율이 15 wt.%에서 20 wt.%까지 증가하여 말텐의 흐름성이 향상되었기 때문에 겔보기 점도가 감소한다.

이와 같이 아스팔텐 함량이 말텐의 유연학적 성질에 미치는 영향은 n-pentane를 이용하여 athabasca 오일샌드 역청과 Maya 중질원유로부터 추출한 아스팔텐을 말텐에 첨가하여 298~373 K의 온도 범위에서 아스팔텐의 혼합 비율 증가에 따른 말텐 점도의 상승 경향을 실험한 Hasan과 Shaw[9]의 연구에서도 확인할 수 있다.

35 °C에서 n-pentane을 사용하여 제조한 말텐을 대상으로 하여 전단속도와 점도와의 관계를 비교한 결과 n-pentane의 사용 비율에 따라 나

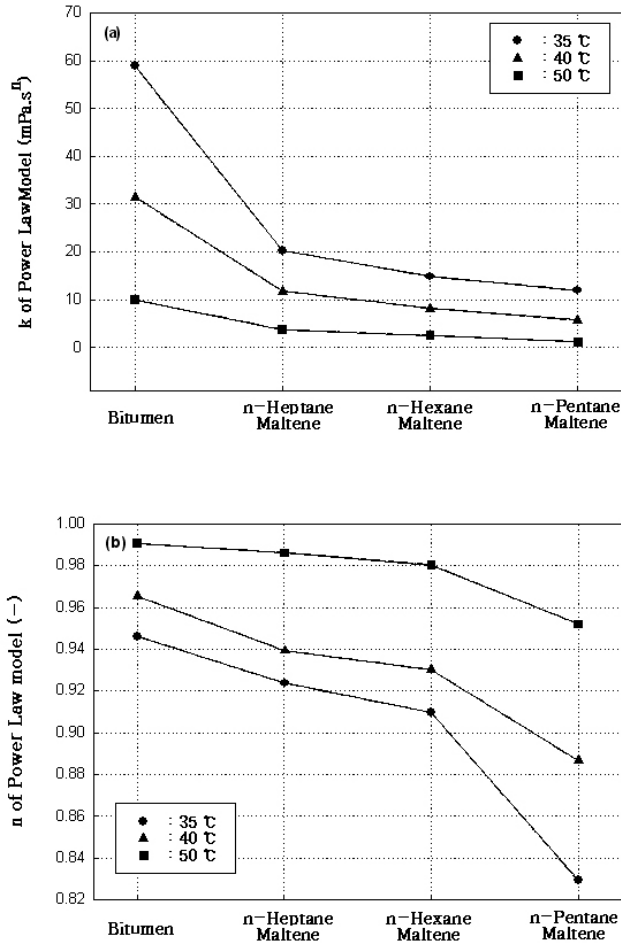


Figure 7. Variation of power law model constant, k and n with temperatures.

타낸 것으로서 용매 사용 비율과 관계없이 말텐은 모두 전단속도에 따라 점도가 감소하는 pseudoplastic의 특성을 나타낸다. 또한 전단속도가 100 sec^{-1} 까지 증가함에 따른 말텐의 겔보기 점도 감소는 $1200\text{--}2000 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 범위로 나타났으며, 용매 사용량이 많을수록 말텐의 겔보기 점도 감소폭이 증가하는 것을 확인하였다.

3.4. 말텐의 비뉴턴 특성

오일샌드 역청과 말텐의 비뉴턴 특성을 살펴보기 위하여 흐름곡선에 나타난 전단속도와 전단응력의 관계를 Power Law Model에 대입하여 계산한 두 상수인 k 와 n 값을 측정 온도와 시료 종류에 따라 Figure 7에 정리하였다.

오일샌드 역청과 말텐에 대한 겔보기 점도의 변화를 온도에 따라 표시한 Figure 4와 마찬가지로 k 는 온도가 상승할수록 모두 감소하고, 온도가 일정한 조건에서는 말텐 제조에 사용된 포화탄화수소의 탄소 수가 작아질수록 말텐에 대한 k 값이 줄어드는 경향을 보인다.

한편 오일샌드 역청과 말텐에 대한 비뉴턴 성질의 정도를 나타내는 n 값의 경우는 모두 1 이하로서 앞에서 언급한 바와 같이 pseudoplastic의 특성을 보이고 있으며, 온도가 높아질수록 n 값이 증가하여 모두 1에 근접하므로 온도가 상승하면 오일샌드 역청과 말텐의 점도가 감소하는 동시에 비뉴턴 성질도 동시에 감소하는 것을 확인할 수 있었다[11,18].

또한 온도가 일정한 조건에서는 Figure 5에서 확인할 수 있듯이 말텐 제조에 사용된 포화탄화수소의 탄소 수가 작아질수록 말텐의 점도는 감소하지만 Power Law Model의 n 값이 줄어드는, 즉 비뉴턴 성질은 증가하는 양상을 보이고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 SDA 공정으로 생성되는 합성원유의 유변학적 특성을 이해하는데 필요한 기초자료를 확보하기 위하여 SDA 방식으로 제조한 말텐에 대하여 회전식 점도계를 사용하여 포화탄화수소 용매의 종류, 용매 투입 비율, 온도, 전단속도 등에 따른 유변학적 거동과 비뉴턴 특성을 분석하여 말텐의 제조 원료인 오일샌드 역청과 비교하였다.

오일샌드 역청은 전단속도가 50 sec^{-1} 이고, 온도가 $25\text{--}85 \text{ }^\circ\text{C}$ 인 조건에서 $800\text{--}150,000 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 의 겔보기 점도를 보이며, $35 \text{ }^\circ\text{C}$ 이하에서는 $0.1\text{--}0.3 \text{ Pa}$ 의 항복응력을 나타냈다. 오일샌드 역청에 비하여 $1/8\text{--}1/3$ 범위의 겔보기 점도를 보이는 말텐은 모두 오일샌드와 마찬가지로 전단속도에 따라 점도가 감소하는 pseudoplastic의 특성을 나타냈으며, 말텐 제조에 사용된 포화탄화수소 용매의 탄소 수가 낮아질수록 말텐의 겔보기 점도는 감소하였다.

모든 종류의 말텐과 오일샌드 역청에 대한 겔보기 점도와 온도와의 상관관계는 Guzman-Andrade Equation을 통해 표시할 수 있었으며, 오일샌드 역청의 구성 성분 중에서 흐름성에 가장 큰 영향을 미치는 아스팔텐 성분의 함량 차이 때문에 말텐 제조용 용매로 사용한 n-pentane의 투입 비율이 1:5에서 1:100으로 커짐에 따라 말텐의 점도가 감소하는 경향을 보였다.

Power Law Model을 적용하여 오일샌드 역청과 말텐의 비뉴턴 특성을 살펴본 결과 비뉴턴 성질의 정도를 나타내는 n 값은 모두 1 이하이고, 온도가 높아질수록 점도가 감소하는 동시에 n 값이 증가하여 모두 n 값이 1인 뉴턴 유체에 접근한다. 또한 온도가 일정한 조건에서는 말텐 제조에 사용된 포화탄화수소의 탄소 수가 작아질수록 말텐의 점도는 감소하지만 비뉴턴 성질은 증가하였다.

감 사

본 연구는 미래창조과학부/산업기술연구회 융합연구사업의 지원으로 수행되었음(과제번호 B551179-12-07-00).

참 고 문 헌

- H. S. Yeon, C. S. Woo, and K. H. Kang, Extraction and Vacuum Distillation Characteristics of Oil Sand Bitumen Using Solvent, *Appl. Chem.*, **12**, 361 (2008).
- K. H. Kim et al., Physical and Chemical Characteristics of Solvent-Insolubles and Solvent-Solubles in Oilsands Bitumen, *J. Energy Eng.*, **17**, 38 (2008).
- N. S. Nho et al., Development of next-generation integrated upgrading process for extra-heavy oil fractions., Korea Institute of Energy Research (2009).
- P. R. Robinson and G. E. Dolbear, Practical Advances in Petroleum Processing., Springer New York, **1**, 178 (2006).
- F. A. N. Fernandes, and U. M. Teles, Modeling and optimization of Fischer-Tropsch products hydrocracking, *Fuel Process. Technol.*, **88**, 207 (2007).

6. M. S. Rana, V. Sámano, J. Ancheyta, and J. A. I. Diaz, A review of recent advances on process technologies for upgrading of heavy oils and residua, *Fuel*, **86**, 1216 (2007).
7. N. S. Nho et al., Feasibility Study about Upgrading Package Process for the Production of Synthetic Crude Oil & Petrochemical Feedstocks from Low-Cost Heavy Oils., Korea Institute of Energy Research (2012).
8. V. Sa'mano, F. Guerrero, J. Ancheyta, F. Trejo and J. A. I. Di'az, A batch reactor study of the effect of deasphalting on hydro-treating of heavy oil, *Catal. Today*, **150**, 264 (2010).
9. M. A. Hasan and J. M. Shaw, Rheology of Reconstituted Crude Oils : Artifacts and Asphaltenes, *Energy Fuels*, **24**, 6417 (2010).
10. A. B. Bazyleva, M. A. A. Hasan, M. Fulem, M. Becerra, and J. M. Shaw, Bitumen and Heavy Oil Rheological Properties: Reconciliation with Viscosity Measurement, *Appl. Chem. Eng.*, **55**, 1389 (2010).
11. S. W. Hasan, M. T. Ghannam and N. Esmail, Heavy crude oil viscosity reduction and rheology for pipeline transportation, *Fuel*, **89**, 1095 (2010).
12. M. R. Khan, Rheological Properties of Heavy Oil and Heavy Oil Emulsions, *Energy Sources*, **18**, 385 (1996).
13. J. M. Lee, Study on the properties of deasphalted oil (DAO) and DAO/solvent separation, MS Thesis Korea University (2012).
14. Annual Books of ASTM Standards, D 3279-97 : Standard Test Method for n-Heptane Insolubles (2001).