

해저 석유 생산시스템 내 유동안정성 확보를 위한 불투명 오일의 왁스생성온도 측정법

임종세[†] · 백승영¹ · 강판상¹ · 유승렬¹ · 김효상¹ · 박지홍¹

(원고접수일 : 2011년 11월 16일, 원고수정일 : 2011년 12월 12일, 심사완료일 : 2011년 12월 15일)

Wax Appearance Temperature Measurement of Opaque Oil for Flow Assurance in Subsea Petroleum Production System

Jong-Se Lim[†] · Seung-Young Back¹ · Pan-Sang Kang¹ · Seung-Ryul Yu¹ · Hyo-Sang Kim¹ · Ji-Hong Park¹

요 약 : 비교적 접근이 용이한 육상 및 천해에서 석유의 생산은 이미 완료되었거나 대부분이 진행 중이기에 석유 생산 지역이 점차 심해로 확장되고 있다. 심해와 같은 저온환경에서 석유생산이 이루어지면 석유의 부존환경과 다른 온도와 압력에 노출되어 생산시스템에 다양한 고형물이 집적되어 석유가 안정적으로 생산되지 못하게 하는 유동안정성 확보 문제가 발생할 수 있다. 고형물 중 왁스는 온도에 민감하기 때문에 왁스의 집적을 예측하고 제어하기 위해서는 오일 내 왁스가 석출되기 시작하는 온도인 왁스생성온도의 정확한 측정이 요구되나 표준화된 측정법이 존재하지 않아 다양한 방법이 제안되고 있는 실정이다. 이 연구에서는 점도측정법, 시차주사열량법, 필터막힘점측정법, 압력필터측정법을 적용하여 불투명 오일의 왁스생성온도를 측정하고, 이를 검증하기 위해 고형물생성유도장치와 가스크로마토그래피를 이용하였다. 이 연구결과를 통해 오일특성에 따른 왁스생성온도 실험법을 체계화한다면 불투명 오일의 왁스생성온도 측정법 표준화하는데 주요자료로 이용할 수 있어 왁스에 의한 유동안정성 확보 문제를 예측하고 해결하는데 활용될 수 있을 것이다.

주제어 : 왁스생성온도, 유동안정성 확보, 석유생산시스템, 불투명 오일

Abstract: Deepwater oil is becoming more attractive because most onshore and shallow water oil is developing or developed. With the on-going trend to deepwater oil developments, flow assurance problems which prevent oil flow from reservoir to processing facilities are becoming an issue because deposited material can be occurred in case oil is exposed to very different environment from reservoir. Wax deposition which is one of flow assurance problems can be a major technical and economic issue because it is very sensitive to temperature. In order to predict and mitigate wax problems, the precise measurement of wax appearance temperature (WAT) which is the starting temperature of wax precipitation is very important. Various methods have been suggested for WAT measurement of opaque oil because there is no standard method for opaque oil. In this study, the WAT of opaque oil samples was measured using viscosity measurement method, differential scanning calorimetry, filter plugging method, and pressurized filter plugging method. Wax deposition test and high temperature gas chromatography analysis were applied to verify measured WAT. As a result of study, the WAT of opaque oils was successfully measured and verified. If WAT measurement methods of opaque oil related to oil characteristics is systematized using the results of this study, it can be a valuable tool for WAT measurement of opaque oil and flow assurance related to wax deposition.

Key words: Wax appearance temperature (WAT), Flow assurance, Petroleum production system, Opaque oil

[†] 교신저자(한국해양대학교 에너지자원공학과, E-mail:jslim@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4682)

¹ 한국해양대학교 에너지자원공학과

1. 서 론

중국, 인도와 같은 개발도상국의 경제성장에 따른 석유 수요 증가로 인해 생산이 용이한 지역에서의 석유 생산은 이미 완료되었거나 대부분 진행 중이기 때문에 상대적으로 석유 개발이 적게 이루어진 심해로 석유생산지역이 확장되고 있다[1].

석유는 지상으로 생산된 액상의 탄화수소인 오일과는 달리 자연적으로 발생한 기체, 액체, 고체상의 탄화수소로 구성된 혼합물이며 이산화탄소, 질소, 황화수소, 황과 같은 비탄화수소도 포함한다. 석유 함유 지층인 저류층(Reservoir)에 존재하는 다양한 구성성과 혼합한 상태로 유동하다가 저류층 환경과 다른 온도와 압력에 노출되면 생산 시 다양한 문제를 초래할 수 있다. 심해와 같은 저온 환경에 석유가 노출되면 생산시스템 내에서 고형물이 생성 및 집적되어 안정적인 석유생산을 방해하여 심각한 문제가 발생할 수 있다. 일반적으로 수심 400m에서 배관이 막히면 이를 해결하기 위한 비용으로 생산시스템 1,600m당 약 백만 달러의 비용이 소요되고 유지보수로 인해 생산하지 못한 기간 동안의 손실까지 합하면 손실액은 수백만 달러로 증가한다[2]. 1992년부터 2002년까지 멕시코 만에서만 배관 내 생성된 고형물과 관련하여 총 51번의 배관 막힘 현상이 발생한 사례가 있으며 이를 해결하기 위해 많은 비용이 소요되었다[3].

고형물 중 왁스(Wax)는 탄소수가 18~65인 n-alkane, iso-alkane, cycloalkanes로 구성된 복합체로, 저류층에서는 왁스가 액체 상태로 존재하다가 해저 석유생산시스템을 따라 유동하면서 석유 온도가 왁스생성온도(Wax appearance temperature, WAT) 이하로 낮아지면 석유의 왁스 용해도가 감소하여 결정 형태로 석출되어 집적하기 시작한다[4]. 왁스가 생산시스템 내 집적되면 석유가 유동하는 배관을 막아 석유 생산을 방해하므로 원활한 석유생산을 위해서는 왁스가 석출되기 시작하는 온도인 왁스생성온도를 정확히 측정해야한다[5].

투명한 오일의 경우 온도를 감소시키면서 석출되는 왁스를 육안으로 확인하여 왁스생성온도를 측정할 수 있는 American Society for Testing Materials (ASTM) D2500 기법이 표준기법으로 적용되나[6-7]

불투명한 오일(Opaque oil)의 경우 육안으로 확인이 어렵기 때문에 왁스생성온도를 측정할 수 있는 표준 기법이 없어 다양한 방법들이 제시되고 있다[8-12]. 이 연구에서는 점도측정법(Viscosity measurement method), 시차주사열량법(Differential scanning calorimetry, DSC), 필터막힘점측정법(Filter plugging method), 압력필터측정법(Pressurized filter plugging method)을 적용하여 불투명 오일의 왁스생성온도를 측정하고, 고형물생성유도장치와 가스크로마토그래피(High temperature gas chromatography, HTGC)를 이용하여 측정된 왁스생성온도를 검증하고자 한다.

2. 시료의 물성 및 전처리

왁스 집적 문제는 너무 무거운 성분이나 가벼운 성분의 오일일 경우 심각한 문제가 되지 않으므로 왁스가 집적되는 대표 오일 시료를 선정하기 위해 시료의 API 비중을 밀도측정법으로 측정하였고 점도측정법 및 고형물생성유도장치의 실험설계를 위해 영향을 미치는 오일의 점도를 Cone & Plate 점도계(DV II+pro, Brookfield)로 측정하였다. 실험 온도 조건을 시료가 더 이상 유동하지 않는 온도인 유동점(Pour point) 이하로 유지할 경우 왁스가 석출되었는지 확인하기 어렵고 실제 생산 현장에서 석유의 온도가 유동점 이하로 낮아지는 경우는 드물기 때문에 각 시료의 유동점을 ASTM D97기법으로 측정하였다[13]. 분석에 사용한 오일시료 2개의 물성값은 Table 1과 같다.

Table 1: Properties of oil samples.

	Sample A	Sample B
API gravity(°)	33.5	22.0
Kinetic viscosity(mm ² /sec)	11.23	424
Pour point(°C)	-10	20

오일에 이미 왁스가 석출되어 왁스생성온도 측정시 영향을 미칠 수 있으므로 왁스생성온도 측정을 하기 전에 시료의 왁스를 모두 용해시키기 위해 오일 가열장치(Oil heating chamber)를 이용해 80°C까지 가열하였고 충분한 시간동안 교반하여 시료가 균질한 상태가 되도록 유지하였다.

3. 연구 방법 및 결과

3.1 점도측정법

3.1.1 실험 원리

점도(Viscosity)는 유체가 유동할 때 발생하는 내부 저항으로 정의하는데 오일에서 왁스가 석출될 경우 점도가 크게 높아진다. 이러한 성질을 이용하여 왁스생성온도를 측정하기 위해 80℃까지 가열한 오일의 온도를 서서히 낮추면서 점도의 변화를 측정하였고 점도가 상대적으로 급격히 증가하는 온도를 왁스생성온도로 판단하였다.

3.1.2 실험장비 및 실험방법

오일의 점도를 측정하기 위해 Cone & Plate 점도계를 사용하였다(Figure 1). 오일의 온도를 조절하기 위해 정밀하게 온도조절이 가능한 항온수조를 이용하여 왁스가 완전히 용해되는 온도인 80℃에서 시료 A의 경우 유동점인 -10℃까지 낮추면서 점도를 측정하였고 시료 B의 경우 25℃이하에서는 시료의 점도가 너무 높아서 보유 점도계로 정확한 점도측정이 어렵기 때문에 온도를 25℃까지 낮추면서 점도를 측정하였다. 점도는 온도에 영향을 받기 때문에 점도 측정 중 온도를 정밀히 제어하고자 밀폐 단열용기를 사용하였고 실험 시간에 따라 점도가 변할 수도 있으므로 점도측정시간을 10분으로 동일하게 하였다. 또한, 측정 점도의 정확도를 높이기 위해 토크(Torque)값이 70% 이상일 경우에만 점도를 측정하였다.

3.1.3 실험결과

시료 A의 경우 초기온도 80℃에서 5℃ 간격으로 낮추면서 15℃까지 점도를 측정 후 점도변화가 상대적으로 크게 나타나는 온도범위인 10~25℃ 구간을 1℃간격으로 점도를 측정 한 결과는 Figure 2와 같다. 하지만 점도가 크게 증가하는 구간을 파악하지 못했고 왁스생성온도가 10℃ 이하에서 존재할 가능성을 고려해 유동점인 -10℃ 부터 10℃까지 온도범위를 수정한 후 1℃간격으로 점도를 측정 한 결과는 Figure 3과 같다. 실험결과의 정확도를 높이기 위해 같은 조건에서 각각 세 번의 실험을 수행하였으나 수정한 온도조건에서도 점도가 크게 상승하는 경향



Figure 1: Experimental apparatus for viscosity measurement.

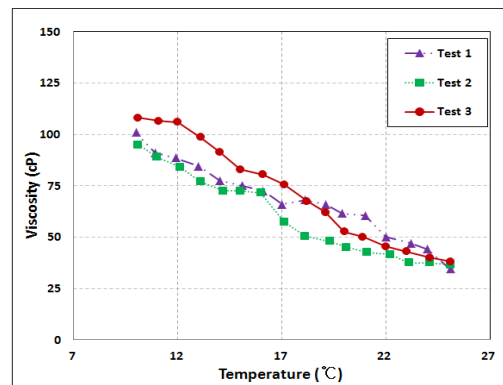


Figure 2: Viscosity variation of sample A depending on temperature from 25℃ to 10℃.

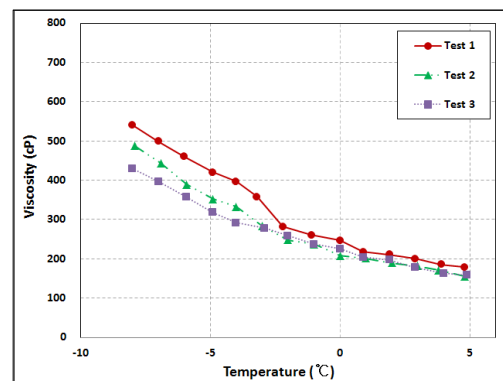


Figure 3: Viscosity variation of sample A depending on temperature from 10℃ to -10℃.

을 파악할 수 없어 점도측정법을 이용한 시료 A의 왁스생성온도를 측정할 수 없는 것으로 판단하였다.

시료 B의 경우 초기온도 80°C에서 5°C 간격으로 낮추면서 25°C까지의 점도측정 결과는 Figure 4에 나타내었으며, 점도변화가 상대적으로 크게 나타나는 온도범위인 35 ~ 25°C 구간을 1°C간격으로 낮추어 점도를 측정한 결과는 Figure 5와 같다. 30°C에서 점도가 급격히 상승하는 경향을 파악하여 점도측정법에 의한 시료 B의 왁스생성온도는 30°C로 판단하였다.

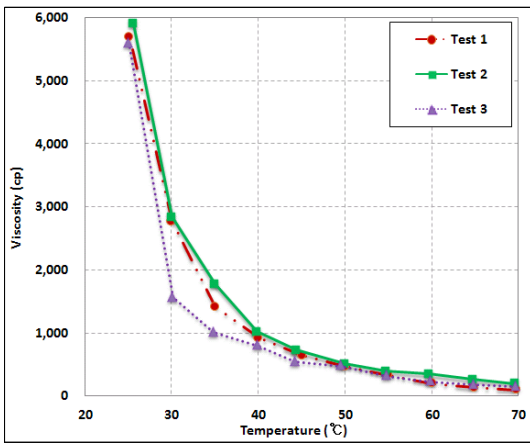


Figure 4: Viscosity variation of sample B depending on temperature from 80°C to 20°C.

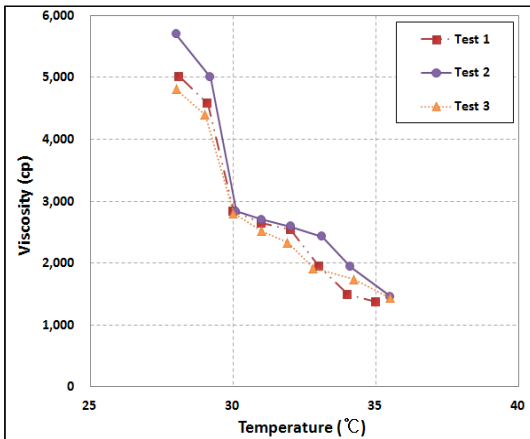


Figure 5: Viscosity variation of sample B depending on temperature from 35°C to 25°C.

3.2 시차주사열량법

3.2.1 실험 원리

Figure 6의 시차주사열량기(Pyris 1 DSC Differential Scanning Calorimeter, Perkin-Elmer)는 오일과 알루미늄 열관을 동시에 가열·냉각하여 오일 내의 왁스성분이 집적 될 때의 발생하는 열 흐름의 미세한 변화를 측정할 수 있다. 따라서 이 원리를 이용하여 오일 내에서 왁스가 집적될 때 발생하는 발열반응을 측정하고 이때의 온도를 왁스생성온도로 판단하였다.



Figure 6: Differential scanning calorimetry for WAT measurement.

3.2.2 실험장비 및 실험방법

오일의 냉각·가열 속도가 왁스 석출 속도에 높은 영향을 미칠 수 있으므로 [9]에서 수행한 기존 연구 방법을 참조한 결과 냉각·가열 속도는 15°C/min로 설정하였다. 이와 같은 조건에서 온도를 변화시키면서 발생하는 열 흐름 변화를 감지기를 통해 정밀 측정하였다.

3.2.3 실험결과

시료 A의 경우 하나의 발열반응이 확인되었으며 발열반응이 나타나기 시작하는 지점을 왁스생성온도로 하여 측정한 결과 시료 A의 왁스생성온도는 -1.714°C이다(Figure 7).

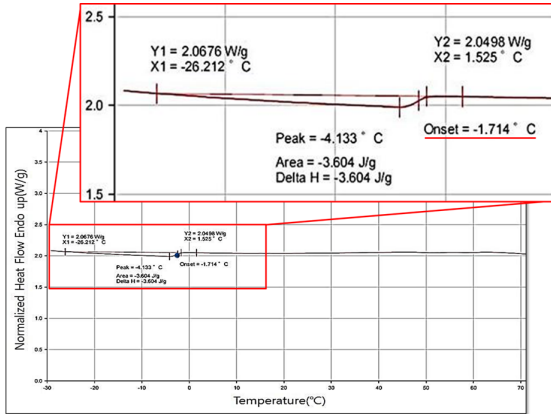


Figure 7: Heat flow variation of sample A by DSC.

시료 B의 경우, 시료 A와 달리 두 개의 열 흐름 변화가 확인되었다(Figure 8).

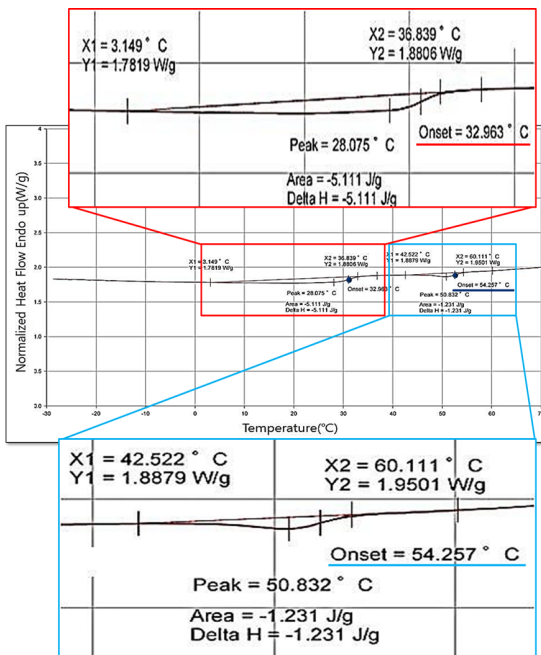


Figure 8: Heat flow variation of sample B by DSC.

이 경우 어떤 열출입 변화가 왁스석출에 의한 결과라 판단하기 어려워 시차주사열량법으로 시료 B의 왁스생성온도를 측정하기 어렵다고 판단하였다. 두 개의 열출입 변화 중 하나는 왁스 석출, 나머지 하나는 실험 중 고온 조건에서 시료 B에서 가스가

발생하는 것을 통해 가스의 기화와 관계있는 것으로 사료된다.

3.3 필터막힘점측정법

3.3.1 실험 원리

Figure 9와 같이 배관 중 일부분에 필터페이퍼를 장착하고 시료의 온도를 낮추면서 시료를 필터에 통과시키면 왁스생성온도 이하에서는 석출된 왁스결정이 필터를 막아 오일이 필터를 통과하지 못한다. 이러한 원리를 이용하여 왁스결정이 필터를 막아 통과하지 못하는 온도를 왁스생성온도로 판단하였다.



Figure 9: Experimental apparatus for WAT measurement by filter-plugging method.

3.3.2 실험장비 및 실험방법

각 오일에 따라 석출된 왁스결정의 크기를 알 수 없으므로 필터 공극의 크기가 실험 결과에 큰 영향을 미칠 수 있다. 그러므로 필터 공극의 크기를 선정하기 위해 80°C로 가열하여 왁스를 모두 용해시킨 시료에 150kg/cm²이하의 진공압력을 가하여 공극 크기가 다른 필터로 통과시키는 투과도 시험을 수행하였다. 시료 A는 필터 공극 크기가 0.45µm, 시료 B는 10µm일 경우까지만 오일이 통과하였기 때문에 왁스가 석출되면 각각의 해당 필터를 막아 오일이 통과하지 못할 것이라 판단하고 필터막힘점측정법을 이용한 왁스생성온도측정 시 장착할 필터는 시료 A의 경우 0.45µm, 시료 B의 경우 10µm로 각각 선정하였다. 이렇게 선정한 필터에 온도에 따라 통과한 시료

의 무게를 측정하였다.

3.3.3 실험결과

시료 A의 경우 0.45 μ m인 필터를 사용하여 초기 온도 80 $^{\circ}$ C에서 -10 $^{\circ}$ C까지 필터를 통과한 오일의 총량을 해당 온도에서 통과한 오일의 양에 나누어 계산한 값을 Figure 10에 나타내었다. 온도감소에 따라 필터를 통과하는 시료의 양이 감소하는 경향을 보였으나 필터가 막히는 현상을 확인할 수 없었다. 따라서 필터막힘점측정법으로는 시료 A의 왁스생성온도를 측정할 수 없는 것으로 판단하였다. 온도감소에 따라 필터를 통과하는 시료의 양이 감소하는 것은

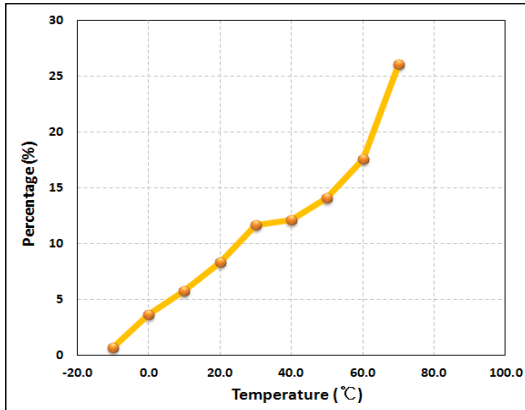


Figure 10: The percentage of sample A passed through the 0.45 μ m filter.

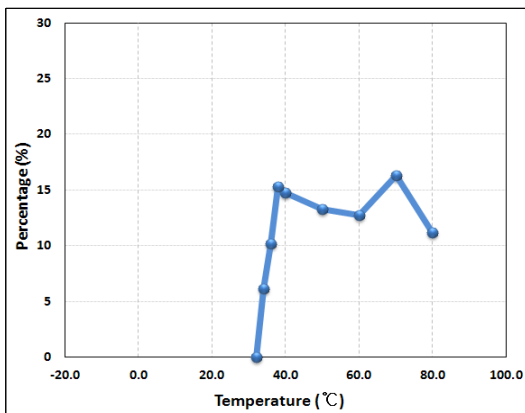


Figure 11: The percentage of sample B passed through the 10 μ m filter.

온도감소에 따라 시료 A의 점도가 증가하고 석출된 왁스가 필터 공극을 부분적으로 막았기 때문이라 판단한다.

시료 B의 경우 10 μ m인 필터를 사용하여 온도 80 $^{\circ}$ C에서 낮추면서 32.6 $^{\circ}$ C까지 필터를 통과하는 오일의 양을 Figure 11과 같이 나타낸 결과 32.6 $^{\circ}$ C에서 오일이 필터를 통과하지 못하는 것을 파악할 수 있어서 필터막힘점측정법을 이용한 시료 B의 왁스생성온도는 32.6 $^{\circ}$ C로 판단하였다.

3.4 압력필터측정법

3.4.1 실험 원리

필터를 설치한 배관에 오일을 유동시키며 실험시스템의 온도를 서서히 감소시키면 오일의 점도가 증가하여 두 지점 사이의 압력차가 발생하나 왁스생성 온도 이하에서는 석출된 왁스가 필터를 부분적으로 막아 필터 양단에 상대적으로 크게 압력차가 발생한다. 이렇게 압력차가 상대적으로 크게 발생하는 시점의 온도를 측정하고 이를 왁스생성온도로 판단하였다.

3.4.2 실험장비 및 실험방법

Figure 12와 같이 직경이 6.35mm인 스테인리스 배관을 이용하여 석유 생산 배관을 모사하였고 펌핑에 따른 압력영향을 최소화하기 위해 무맥동 펌프인 정밀주사기형 펌프(Model 260D, Teledyne ISCO)를 이용하였다. 오일에 의한 펌프 오염을 막기 위해 오일을 accumulator에 저장하고 이를 정밀주사기형 펌프로 배관에 주입하였다. 유동점과 이미 석출된 왁스의 영향을 고려해 시료 A의 측정온도범위는 -10 ~ 80 $^{\circ}$ C까지이며 시료 B는 25 ~ 80 $^{\circ}$ C로 설정하였고 1 $^{\circ}$ C단위로 낮추면서 발생하는 압력을 측정하였다. 사용한 필터 공극의 크기는 시료 A의 경우 10 μ m, 시료 B의 경우 60 μ m이며 배관에 설치된 필터 양단에 디지털온도계(DST500, Wahl[®])와 정밀디지털압력센서(DXD, Heise)를 설치하고 배관 내부로 시료를 통과시킨 후 온도를 감소시키면서 압력변화를 측정하였다.

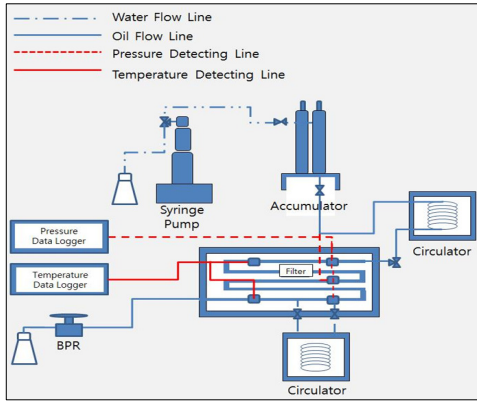


Figure 12: The schematic diagram for WAT measurement by pressurized filter plugging method.

3.4.3 실험결과

시료 A의 경우 온도에 따른 압력변화는 Figure 13에 나타내었으며, -1°C에서 필터 전단에 압력이 측정되는 것을 통해 압력필터측정법을 통한 시료 A의 왁스생성온도는 -1°C로 판단하였다.

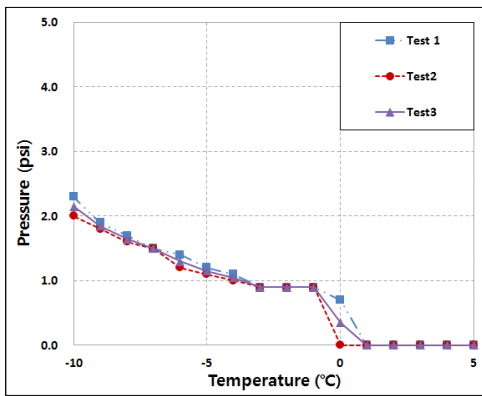


Figure 13: Pressure variation of sample A depending on temperature from 5°C to -10°C.

시료 B의 경우 Figure 14과 같이 측정된 압력은 계속적으로 완만하게 증가하는 추세를 보였을 뿐, 뚜렷하게 압력이 변하는 경향을 파악할 수 없어 압력필터측정법으로는 시료 B의 정확한 왁스생성온도의 측정이 불가능하였다. 이는 고온조건에서 시료 B로부터 발생한 가스가 압력측정을 방해하였기 때문으로 판단된다.

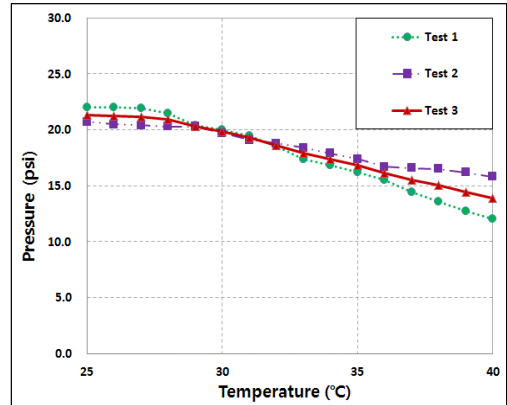


Figure 14: Pressure variation of sample B depending on temperature from 40°C to 20°C.

3.5 왁스생성온도 측정결과 및 검증 실험

3.5.1 왁스생성온도 측정 결과

점도측정법, 시차주사열량법, 필터막힘점측정법, 압력필터측정법으로 시료 A와 B의 왁스생성온도 측정결과는 Table 2와 같다.

Table 2: Wax appearance temperature of sample A and B by four methods.

	Sample A	Sample B
Viscosity measurement	N/A	30.0°C
Differential Scanning Calorimetry	-1.7°C	N/A
Filter plugging method	N/A	32.6°C
Pressurized filter plugging method	-1.0°C	N/A

N/A : Not Available

시료 A의 경우 시차주사열량법과 압력필터측정법으로 시료 B는 점도측정법과 필터막힘점측정법으로 왁스생성온도를 측정할 수 있었다.

각 방법에 의해 측정된 왁스생성온도가 차이는 나는 이유는 측정방식이 다르기 때문이라 판단된다.

왁스생성온도 측정이 불가능한 경우도 있었는데 시료 A의 경우 점도가 낮아 점도변화를 감지하기 어려워 점도측정법으로 왁스생성온도를 측정이 어려웠고 석출된 왁스 결정의 크기가 작아 필터공극을 막지 못해 필터막힘점측정법으로 측정이 불가능하다고 판단된다. 시료 B의 경우 고온에서 가스가 발생하여 이에 시차주사열량법과 압력필터측정법으로 왁스생성온도 측정 시 영향을 주었기 때문에 이 방법들로 왁스생성온도의 측정이 불가능하다고 판단된다.

3.5.2 왁스생성온도 검증 실험 원리 및 방법

고형물생성유도장치(Apparatus for formation of solid matter from crude oil)는 해저 석유 생산 시 파이프 벽면에서부터 파이프 유동 단면적 중앙으로 온도가 낮아지는 온도구배를 모사할 수 있도록 시료를 넣은 용기 중앙에 저온의 나사봉을 삽입하고 용기 외부엔 고온의 유체를 순환시켜 저온의 나사봉에 왁스결정과 왁스가 되지 못한 오일이 응집된 왁스고형물(Wax deposits)이 집적되도록 유도하는 장치이다 (Figure 15).

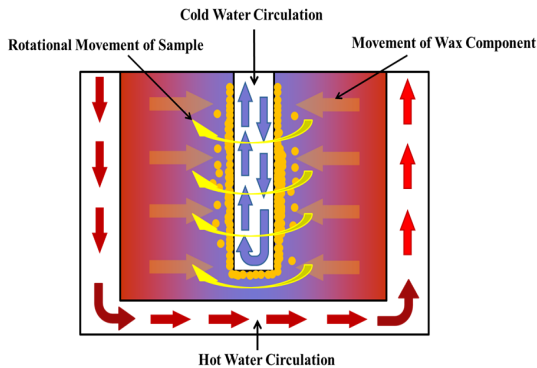


Figure 15: The schematic diagram for wax deposition test.

나사봉의 온도를 각 방법으로 측정한 왁스생성온도로, 용기 외부를 80℃로 유지하여 나사봉 표면에 왁스고형물을 집적시켰다. 하지만 불투명 오일이 왁스고형물 표면에 묻어 있기 때문에 육안으로 확인하기가 쉽지 않으므로 왁스결정을 제외한 오일만을 선택적으로 용해시킬 수 있는 MEK (Methyl Ethyl

Ketone)으로 왁스고형물을 세척하였다. 이렇게 집적된 고형물이 왁스고형물이 아닐 수도 있으므로 집적된 고형물을 채취하여 가스크로마토그래피를 통해 왁스 주성분인 n-alkane의 농도를 탄소번호에 따라 측정하였다.

3.5.3 왁스생성온도 검증 실험 결과

고형물생성유도장치를 이용한 실험을 통해 Figure 16, Figure 17와 같이 시료 A와 B에서 집적된 고형물을 육안으로 확인할 수 있었다.



Figure 16: Deposited wax of sample A.



Figure 17: Deposited wax of sample B.

고형물을 집적시키지 않은 시료와 집적된 고형물을 채취하여 가스크로마토그래피(Model 7890A, Agilent)를 이용해 비교한 성분분석 결과는 Figure 18, Figure 19과 같다. 전반적으로 왁스고형물의 성분이 왁스를 집적시키지 않은 시료에 비해 높은 탄소번호 성분이 많이 분포하는 것을 확인할 수 있다. 실험 전 오일을 고온상태에서 충분한 시간동안 교반하

여 균질한 상태로 만들어 주었기 때문에 이와 같은 성분변화가 나타나는 것은 고형물에 왁스가 포함되어 있는 것을 의미하고 이는 앞서 측정한 왁스생성 온도 이하에서는 왁스가 석출됨을 의미한다.

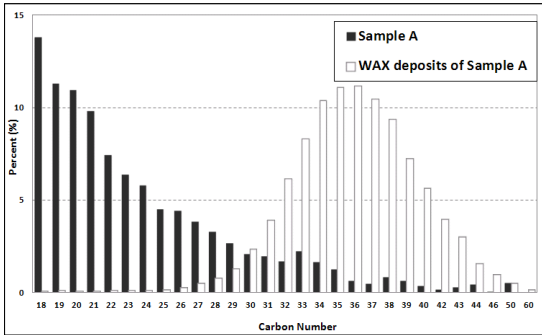


Figure 18: The results of HTGC analysis using sample A.

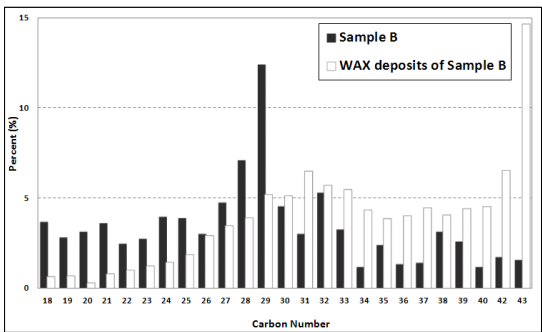


Figure 19: The results of HTGC analysis using sample B.

4. 결 론

이 연구에서는 점도측정법, 시차주사열량법, 필터막힘점측정법, 압력필터측정법을 이용하여 불투명 오일의 왁스생성온도를 측정하여 각 측정법의 특성을 비교 분석하고자 하였다. 측정한 왁스생성온도를 검증하기 위해 고형물생성유도장치로 고형물 집적을 유도하고 시료를 채취하여 가스크로마토그래피로 성분분석을 수행하였다. 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 시료 A의 왁스생성온도는 시차주사열량법으로 -1.714°C , 압력필터측정법으로 -1.0°C 로 측정되었고, 시료 B는 점도측정법으로 30.0°C , 필터막힘점측정법

으로 32.6°C 로 각각 측정할 수 있었다. 각 방법마다 측정방식이 다르기 때문에 측정된 왁스생성온도가 차이가 나는 것이라 사료된다.

2. 시료의 특성에 따라 왁스생성온도의 측정이 불가능한 경우가 있었는데 점도가 낮은 오일의 경우 점도변화가 작아 점도측정법으로 왁스생성온도의 측정이 어려웠다. 왁스 결정의 크기가 작은 오일의 경우 필터를 완전히 막기 어렵기 때문에 필터막힘점 측정법보다는 필터 양단의 압력차를 측정하는 압력필터측정법이 왁스생성온도 측정에 더 적합할 것으로 판단하였다.

3. 고온에서 가스가 발생하는 오일의 경우 열 출입량의 변화가 여러 온도조건에서 나타날 수 있고 가스가 압력측정에 영향을 미칠 수 있으므로 시차주사열량법과 압력필터측정법에 의한 왁스생성온도 측정 결과가 다소 부정확할 수 있다.

4. 향후 여러 종류 오일을 이용하여 추가적인 분석을 수행한다면 오일의 특성별로 적합한 왁스생성 온도 측정법의 제시와 체계화가 가능할 것으로 판단되며 이를 통해 왁스에 의한 유동안정성 확보 문제의 예측과 해결에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

사 사

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 2010201030001A).

참고문헌

[1] T.M. Williams and M.M. Santamaria, "DEEPSTAR 902 cloud point round robin," paper 7774 presented at the Offshore Technology Conference, 1995.

[2] R. Bagatin, C. Busto, S. Corraera, M. Margarone and C. Carniani, "Wax modeling: There is need for alternatives," paper 115184 presented at the SPE Russian Oil and Gas Technical Conference and Exhibition, 2008.

[3] S. Mokhatab and D. Wood, "Deepwater risks-1: Challenges, risks can be managed in deepwater oil and gas projects", Journal of Oil & Gas, vol.

- 104, pp. 37-42, 2008.
- [4] L.X. Nghiem, B.F. Kohse, J.R. Fanchi and L.W. Lake, *Petroleum Engineering Handbook vol. 1 : General Engineering*, pp. 397-453, 2006.
- [5] 임중세, “생산 유·가스전 유동안정성 확보 기술,” 석유, 제26권 86호, pp. 68-85, 2010.
- [6] The American Society of Testing and Materials, *Standard Test Method for Cloud Point of Petroleum Products*, ASTM Standard Designation: D2500-09, 2009.
- [7] João A.P. Coutinho and J.L. Daridon, “The limitations of the cloud point measurement techniques and the influence of the oil composition on its detection”, *Petroleum Science and Technology*, vol. 23, pp. 1113-1128, 2005.
- [8] J. Svetgoff, “Paraffin problem can be resolved with chemicals”, *Journal of Oil & Gas*, vol. 82, pp. 79-82, 1984.
- [9] T.G. Monger-McClure, J.E. Tackett and L.S. Merrill, “Comparisons of cloud point measurement and paraffin prediction methods,” *SPE Production & Facilities*, vol. 14, pp.4-16, 1999.
- [10] K.J. Leontaritis and J.D., Leontaritis, “Cloud point and wax deposition measurement techniques”, paper 80267 presented at the SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, 2003.
- [11] E. Uba, K. Ikeji and M., Onyekonwu, “Measurement of wax appearance temperature of an offshore live crude oil using laboratory light transmission method”, paper 88963 presented at the 28th Annual SPE International Technical Conference and Exhibition, 2004.
- [12] E. Ghanaei, F., Esmailzadeh and J.F., Kaljahi, “Evaluation of activity coefficient models in prediction of wax appearance temperature”, paper 101371 presented at the 2006 Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, 2006.

- [13] The American Society of Testing and Materials, *Standard Test Method for Pour Point of Petroleum Products*, ASTM Standard Designation: D97-09, 2009.

저 자 소 개



임중세(林鍾世)

1991년 서울대학교 자원공학과 졸업, 1993년 동 대학원 석사과정 졸업(공학석사), 1998년 동 대학원 박사과정 졸업(공학박사), 현, 한국해양대학교 에너지자원공학과 교수



백승영(白承永)

2010년 한국해양대학교 에너지자원공학과 졸업. 현, 한국해양대학교 해양에너지자원공학과 석사과정



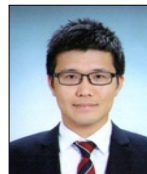
강판상(姜判尙)

2009년 한국해양대학교 해양개발공학부 졸업, 2011년 동 대학원 석사과정 졸업(공학석사). 현, 한국해양대학교 해양에너지자원공학과 박사과정



유승렬(劉勝烈)

현, 한국해양대학교 에너지자원공학과 학사과정



김효상(金孝相)

현, 한국해양대학교 에너지자원공학과 학사과정



박지홍(朴志弘)

현, 한국해양대학교 에너지자원공학과 학사과정