The Society of Convergence Knowledge Transactions Vol.9, No.3, pp.37-47, 2021

Research Article

pISSN : 2287-8920
https://doi.org/10.22716/sckt.2021.9.3.027

오일샌드용 Watercut Meter 기술 개발을 위한 물과 오일의 비율 변화에 따른 초음파 특성 실험에 관한 연구

김종근[1], 이상엽[2], 정진홍[3], 임공섭[4], 이상준[5]
[1]앤츠이엔씨(주) 대리, [2]앤츠이엔씨(주) 과장, [3]한국오일가스기자재기술 협동조합 본부장, [4](주)위드유 대표, [5]앤츠이엔씨(주) 대표

A Study on Ultrasonic Characteristics Experiments by Changing the Ratio of Water-Oil for the Development of Watercut Meter Technology for Oil Sands

Chonggun Kim[1], Sangyeub Lee[2], Jinhong Jung[3], Kongseop Lim[4], and Sangjun Lee[5]
[1]Assistant Manager, ANTS E&C Inc., [2]Section Manager, ANTS E&C Inc.
[3]Director, Korea Oil & Gas Equipment Technology Association, [4]President, WIDU Corp., [5]President, ANTS E&C Inc.

[5]**Corresponding author:** sang-jun@antsenc.com

Received June 4, 2021; **Revised** September 10, 2021; **Accepted** September 13, 2021

ABSTRACT

최근 비전통 석유자원의 추출을 위해 고온의 Steam을 이용하여 비투멘의 점도를 감소시켜 추출하는 SAGD(Steam-Assisted Gravity Drainage)공법이 많이 이용되고 있다. 산유국 별 오일 시추를 위한 유전지역의 유정의 개수는 지역마다 다르며, 각 유정마다 Watercut Meter를 이용하여 물의 비율을 측정하고 생산 예측 확인 시스템을 구축하였지만, 비투멘의 수분 함량에 대한 기존의 실험실 측정은 정확한 것에 비해 실시간 정보를 제공할 수 없었다. 특히 오일샌드의 채굴방식은 일반적인 유정의 오일 추출보다 추가적이고 복잡한 공정 때문에 Watercut Meter 모니터링 시스템의 중요성이 높아지고 있다. 본 연구에서는 중유에 대한 초음파 기반 SOR(steam to oil ratio) 비율 변화 전산수치해석 및 실험을 수행하였다. 해석 결과 SOR비율을 변수로 최대 음압 지점과 초음파 도달시간을 분석하였고, 물과 오일의 비율 중 물의 비율이 높을수록 초음파 도달시간이 짧으며 최대음압은 높고, 오일의 비율이 높을수록 초음파 도달시간이 길며 최대음압은 작게 해석이 되었다. 실험 또한 비슷한 경향성을 보인다. 이와 같은 실험 및 수치해석결과를 활용하여 석유화학플랜트의 유정에서 생산되는 석유의 Watercut Meter 개발 및 Watercut수치를 모니터링하여 플랜트 후단 공정을 위한 기초 데이터 자료로 활용이 가능할 것으로 사료된다.

Recently, SAGD method, which is extracted by reducing viscosity of bitumen by using high-temperature steam for extraction of non-traditional petroleum resources, has been used a lot. The number of oil wells for oil drilling for each oil producing country differs from region to region, and the water ratio of each oil well is measured using a watercut meter and a production prediction confirmation system has been established. However, conventional laboratory measurements of the moisture content of bitumen have not been able to provide real-time information compared to accurate information. In particular, since the oil sand mining method is an additional and more complex process than the general oil extraction method, the importance of the Watercut meter monitoring system is increasing. In this work, we conduct computational numerical analysis and experiments on ultrasonic-based SOR (steam to oil ratio)variations on heavy oil. According to the analysis, the maximum sound pressure point and ultrasonic reach time were analyzed as variables, and the higher the rate of water between water and oil, the shorter the ultrasonic reach time, the higher the rate of oil, and the smaller the maximum sound pressure. Using these experimental and numerical results, the development of watercut meters and watercut figures of petroleum produced in petrochemical plants' wells can be monitored and used as basic data for the plant's rear end process.

Keywords: Watercut meter, CFD fluent, Ultrasonic, SOR (steam to oil ratio), Acoustic

© 2021 by The Society of Convergence Knowledge. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

산업화 이후 화석에너지 사용이 급증하면서 중동을 기반으로 한 기본 전통 에너지 자원은 점차 고갈되어 가고 있는 실정이다. 오일샌드, 셰일가스로 대표되는 비전통 에너지자원은 기존의 전통 석유자원을 대체할 새로운 자원으로 주목받고 있으며 지속적인 기술개발을 통해 초기 생산비용이 높은 문제점을 극복해가고 있다[1]. 오일샌드의 경우 지하회수법인 SAGD(Steam Assisted Gravity Drainage) 공법과 같은 in-situ 드릴링 공정을 통해 생산성을 크게 향상시켰으며, 최근에는 유기 용매를 스팀과 동시에 주입하는 기술인 ES-SAGD(Expanding Solvent SAGD) 등을 통해 기존 SAGD 대비 60% 이상의 회수율을 갖는 개선된 기술이 개발되고 있다[1]. 최근 이와 같은 비전통 석유자원의 추출을 위해 고온의 Steam을 이용하여 비투멘(bitumen)의 점도를 감소시켜 추출하는 SAGD공법이 많이 이용되고 있다. SAGD 공법에서 발생하는 많은 양의 생산수(Produced Water)의 처리가 문제점으로 대두되고 있으며, 생산수에 포함된 기름 및 이온성분들 또한 생산수 처리에 어려움을 더하고 있다[2]. 또한, 산유국 별 오일 시추를 위한 유반지역의 유정의 개수는 지역마다 다르며, 각 유정마다 Watercut Meter를 이용하여 물의 비율을 측정하고 생산 예측 확인 시스템을 구축하였다. 하지만, 비투멘의 수분 함량에 대한 기존의 실험실 측정은 정확한 것에 비해 실시간 정보를 제공할 수 없었다[3]. 그리고 오일샌드의 채굴방식은 일반적인 유정의 오일 추출보다 추가적이고 복잡한 공정 때문에 Watercut Meter 모니터링 시스템의 중요성이 높아지고 있다[4,5]. Watercut Meter는 유전지역의 유정에서 추출되는 원유에 함유되어 있는 물의 비율을 측정하는 기술을 말한다. Watercut Meter를 구축하기 위해서는 물의 비율을 측정하는 방식을 반대로 유체의 비율을 변화시켜 도출되는 수치를 이용하여 함수량을 찾아내야한다.

본 연구에서는 Watercut Meter를 구축하기 위해 SOR(Steam to Oil)에 따른 초음파의 특성 변화를 연구하였다. 국내 Watercut을 측정하는 기기를 제작하고 있지 않기 때문에 해외 관련 자료를 기반으로 수치해석과 실험을 시행하였다. 기존 유량계는 배관 안에서 측정하여 직접적으로 유체와 맞닿는 접촉식 유량계이기 때문에 수명이 짧고 점착에 의한 오차가 발생하지만 초음파 유량계는 초음파를 통해 유체의 비중차에 의한 음압의 변화와 음속의 변화를 측정할 수 있고, 비접촉식이기 때문에 유지보수에 유리하고 모듈화를 통한 사업화 가능성이 높기 때문에 초음파 유량계를 선정하였다. 오일 내 수분 유화는 초음파 전파의 매개체 역할을 한다. 물/오일 비율의 변화가 유체를 가로지르는 파동의 주파수에 영향을 미친다[6]. 이러한 초음파의 특성을 이용하여 특정 주파수의 초음파를 발생시켜 물과 오일의 비율이 변화함에 따라 달라지는 도달시간을 측정한다. Fig. 1과 같이 물과 오일의 비율에 따른 음압의 변화를 분석하기 위해 범용 해석 프로그램 Comsol 5.5 을 사용하였으며, Fluent와 Acoustic Module을 활용하여 전산수치해석을 진행하였으며, 해석과 실험을 통해 물과 오일의 비율과 초음파의 상관관계를 정리하였다.

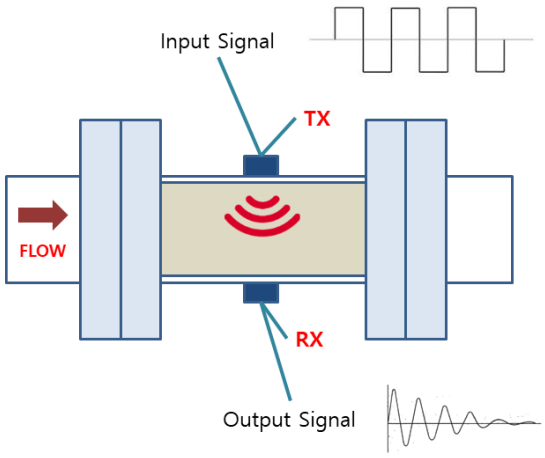


Fig. 1. Ultrasound-based watercut meter diagram

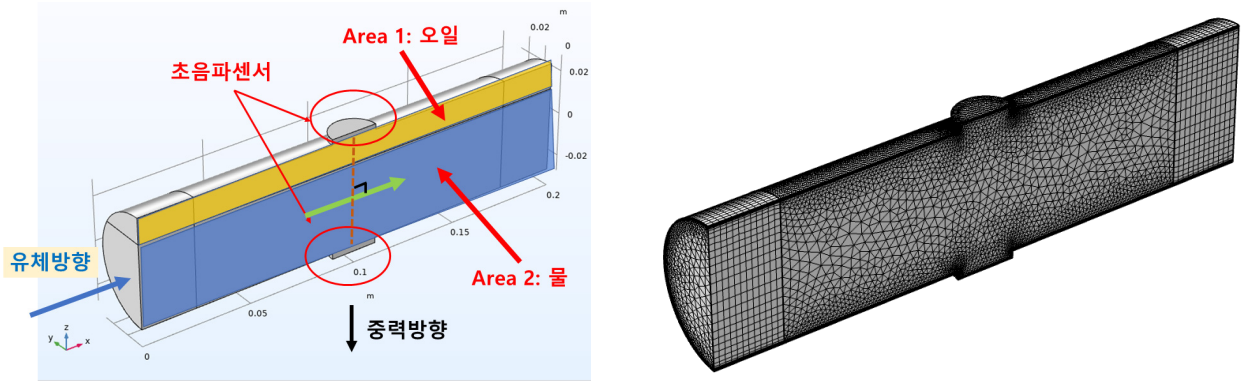
2. 전산수치해석 및 방법

2.1 해석 모델 및 경계 조건

본 연구에서는 해외 실제 실험 사례를 기반으로 시뮬레이션을 진행하였다[7]. 시뮬레이션은 Watercut Meter의 물과 오일의 비율에 따른 특정주파수의 초음파 상태량 변화를 측정하기 위해 초음파 센서가 부착되는 원유 유송 배관을 모델로 사용하였다. 배관 내 유체를 CFD 해석을 통해 일정 속도로 흐르게 한 뒤 초음파 수신을 분석하였다. Fig. 1은 원유배관의 개략도이며 초음파 안테나의 위치는 유체가 흐르는 방향의 법선 방향, 중력방향으로 상부와 하부에 하나씩 위치해있다.

2.1.1 해석모델

물과 오일의 비율을 Fig. 2(a)와 같이 반영하여 배관 내 구간을 나누어 모델의 하단부분을 물로 지정하였으며 상단부분은 오일샌드로 지정하여 모델링을 하였다. 유체를 두 구간으로 나누었기 때문에 측정의 정확도를 높이기 위해 배관 중간부의 유체 흐름의 법선방향, 중력방향으로 초음파 송수신 센서를 부착하였다. Mesh는 Fig. 2(b)와 같이 Hypermesh를 이용하였으며 Mesh의 크기는 유체 비율에 따라 도달시간 및 음압 크기를 분석하기 위해 설정된 특정 주파수의 파장 크기보다 작게 Mesh를 구성해야 하므로 최대요소크기를 파장의 2/3배, 최소요소크기를 1/2배로 설정하였다.



(a) Water cut meter modeling (b) Watercut meter model hypermesh

Fig. 2. Watercut meter analysis model

2.1.2 유체조건

본 연구는 현지 오일샌드 플랜트에 사용할 수 있는 Watercut Meter를 개발하기 위해 유체조건을 현지조건에 기반으로 하여 연구하였다. 배관 내 흐르는 유체의 속도는 실제 산업에서 활용하는 초음파 유체 측정기[8]의 범위인 0.5에서 10m/s 조건 중 가장 극한의 조건인 10m/s을 선택하였으며 유체의 온도와 압력은 오일샌드 플랜트에서 활용한 조건[9]에 의거하여 150°C, 650kPa 조건을 기준으로 설정하였다. 오일샌드는 보통 10~12%의 비투멘과 75~80%의 모래 및 점토 등의 퇴적물과 3~5%의 물로 구성되어 있으며, 미세구조를 살펴보면 점토입자와 미량의 광물을 포함한 얇은 수층이 모래 입자들을 덮고 있고 입자사이의 공극에 고점도 탄화수소인 역청이 포집되어 있다[10].이를 바탕으로 오일샌드 조건은 범용 해석 프로그램 Comsol 5.5 내의 비투멘 비율이 12.1% 오일샌드 조건을 선택하여 해석하였다. 실제 캐나다 오일샌드 현장에서의 실측한 SOR의 범위는 약 SOR 2.0~4.0이다[11]. 이를 활용하여 해석 변수를 Water 100%, SOR 3.0, SOR 2.0으로 Case를 설정하여 해석하였다. 위 조건들을 고려하여 Table 1과 같이 유체조건을 정립하여 나타내었다.

Table 1. Boundary conditions

	Bitumen		Water
Velocity of sound (m/s)	1200		1500
Viscosity (mPa · s)	105		1.144
Operating temperature (°C)	150		
Fluid pressure (kPa)	650		
Inlet velocity (m/s)	10		
Operating frequency (MHz)	1		
SOR (steam-oil ratio)	Water 100%	3.0	2.0

2.1.3 시뮬레이션 조건

중유(Heavy Oil)의 동점성도는 102-105Pa-s이다[12]. 비투멘의 동점성은 중유에 해당하므로 105Pa-s으로 설정하였다. 또한 비투멘의 음속은 비투멘의 온도가 150°C일 경우 약 1200m/s의 음속임을 활용하여 분석하였다[13].

2.1.4 지배방정식

배관 내 유동의 해석을 위해 경계층이 있는 유동에서 벽면 열전달 예측에 효과적인 난류 k-ω SST Turbulent Model로 사용하였다[14]. SST k-ω 모델은 경계층 내부 부분에서 점성 하위층을 통해 벽까지 모델을 직접 사용할 수 있으며 입구에서의 난류 속성에 민감하게 반응하기 때문에 본 연구에 적용하였다.

$$\rho(u \cdot \nabla)u = \nabla \cdot [-pI + K] + F + \rho g \qquad (1)$$
$$\rho\nabla \cdot u = 0$$

식 (1)은 SST 모형으로 다른 여러 난류 모형보다 자유 스트림 조건(경계 도면층 외부 흐름)의 영향을 덜 받는다. 위 식에서 u는 유속이며, p는 압력, ρ는 밀도, K는 난류 운동에너지이다. 위 식에서는 주어진 Inlet 조건에서 유체의 특성에 따라 변하는 유속을 분석하여,

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} + (u_0 \cdot \nabla)\rho + (u \cdot \nabla)\rho_0 + \rho\nabla \cdot u_0 + \rho_0\nabla \cdot u = f_p$$
$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u_0 \cdot \nabla)u + (u \cdot \nabla)u_0 + \frac{1}{\rho_0}\nabla p - \frac{\rho}{\rho_0^2}\nabla p_0 = f_v \qquad (2)$$
$$f_p = q_{source} + \frac{1}{c_0^2}\frac{\partial p_{source}}{\partial t},\ f_v = \rho_0\frac{\partial u_{source}}{\partial t} + f_{source}$$

식 (2)를 통해 유체가 흐르고 있는 상태에서의 초음파 변화를 계산한다. 식 (2)는 초음파 해석 시 유체의 흐름에 의한 대류에서 초음파가 어떤 상태로 진행되는가에 대한 유동해석인 대류파동방정식을 나타낸다[15]. 시간에 따라 유체 내의 초음파가 도달했을 때의 음압 분석값을 활용하여 최대 음압 시의 Watercut 수치를 역으로 계산할 수 있다. 위 식에서 u는 음속, ρ는 밀도, f는 도메인 소스로 정의한다.

$$a(Velocity\,of\,Sound) = \sqrt{dp/d\rho} = \sqrt{K/\rho}\ [m/s] \tag{3}$$

식 (3)은 배관에 흘러가는 유체의 특성별로 초음파의 음속을 계산할 수 있는 식이다[16]. 이 식을 기반으로 물의 음속과 오일샌드의 음속의 차이를 통해 배관 내 유체에서의 주파수 도달시간을 분석할 수 있다. 위 식에서는 K는 체적탄성계수(부피탄성률), ρ는 밀도를 나타낸다.

2.2 해석방법

본 연구에서는 SOR비율의 변화에 따른 초음파의 음압변화에 초점을 맞추어서 분석하였고 Fluent, Acoustic 시뮬레이션 조건을 적용하여 범용 해석 프로그램 Comsol 5.5 CFD 및 Acoustic Module로 해석하였다.

시뮬레이션 변수는 Table 2와 같이 3가지 Case를 설정하였다. Case 1은 물의 비율이 100%일 때, Case 2는 SOR값이 3.0(오일의 비율이 1일 때 물의 비율이 3)일 때, Case 3은 SOR 값이 2.0(오일의 비율이 1일 때 물의 비율이 2)일 때 1MHz의 초음파를 송신하여 시간에 따라 변화되는 음압을 해석하고 최대 음압 도달 시점의 시간을 분석하여 각 Case별 도출되는 수치를 나타내었다.

Table 2. Watercut meter simulation cases

CASE	SOR 조건	초음파 송신 주파수
Case 1	Water 100%	1MHz
Case 2	SOR 3.0	
Case 3	SOR 2.0	

3. 실험조건 및 방법

3.1 실험장치 및 조건

3.1.1 실험장치

실험장치는 유체가 흘러가는 파이프와 초음파 송수신센서, 데이터 수집부의 세 부분으로 구성되어 있으며, Fig. 3과 같이 개략적인 구성도를 도식화하였다. 본 실험의 변수는 해석과 동일하게 SOR 비율을 조정하여 실험하였으며, 초음파 측정은 실시간 측정을 통해 분석하였다. 실험장치 구성 시 초음파 송수신 센서는 Vurch사의 V1000PW21B를 사용하였으며 센서에 1MHz를 지속적으로 가하며, Data를 수집할 수 있는 DAQ Board는 TEXAS사의 EVM430-FR6047을 사용하여 SOR에 따른 초음파 도달시간을 측정하였다.

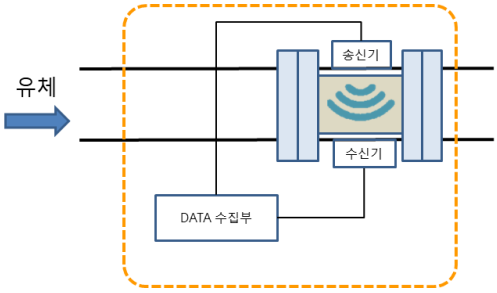


Fig. 3. Watercut meter experiment schematic

3.1.2 실험 유체조건

오일샌드에서 추출되는 비투멘은 구입이 어렵기 때문에 비투멘의 성질과 점도가 유사한 물질을 대체하여 사용하였다. 먼저 비투멘의 화학조성은 Table 3과 같으며 동점성도와 밀도, API를 비교했을 때 중질유와 유사함을 보인다[12]. 본 실험에서는 비투멘의 operation temperature인 150°C일 때의 특성과 비슷한 35°C의 벙커C유(중질유)를 선정하여 실험을 진행하였다[12].

Table 3. Elemental composition of bitumen & UNITAR definitions of heavy oil and bitumen

(a) Elemental composition of bitumen

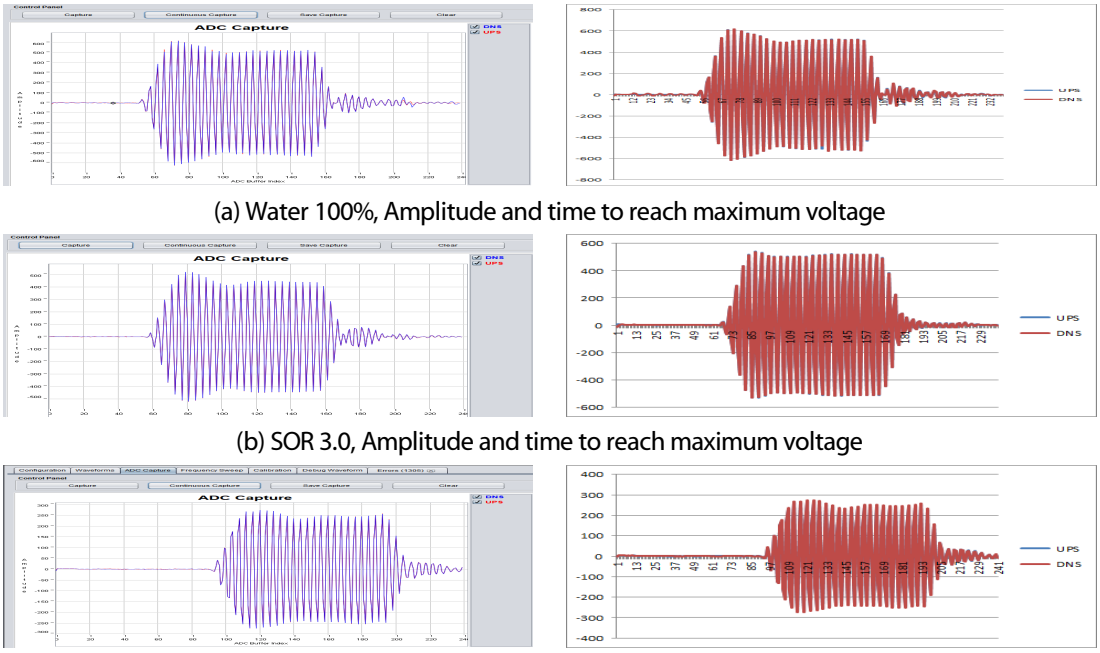
Element	Bitumen composition
C	83.1%
H	10.1%
O	1.17%
N	0.56%
S	5.14%
Ni	150rpm
V	290rpm

(b) UNITAR definitions of heavy oil and bitumen

	Bitumen (150°C)	Heavy oil - Bunker C (35°C)
Viscosity (mPa · s)	>105	102 - 105
Density (g/cc)	>1.00	0.934 - 1.0
API gravity	<10	10 - 20

3.2 실험방법

본 실험은 Table 2와 동일한 조건으로 SOR을 세 가지 케이스로 실험하였다. Fig. 4는 실험 결과 값으로 해석과 동일한 조건으로 Case 1은 물의 비율이 100%일 때, Case 2는 SOR값이 3.0일 때, Case 3은 SOR 값이 2.0일 때 1MHz의 초음파를 송신하여 시간에 따라 변화되는 전압을 측정하고 최대 전압 도달 시점의 시간을 분석하여 각 Case별 도출되는 값을 그래프로 나타내었다. 각 Case별로 3번의 실험을 진행하였으며 측정되는 값의 평균값을 이용하여 경향성을 분석하였다.



(a) Water 100%, Amplitude and time to reach maximum voltage

(b) SOR 3.0, Amplitude and time to reach maximum voltage

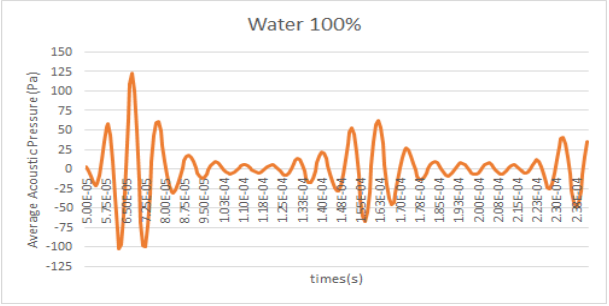
(c) SOR 2.0, Amplitude and time to reach maximum voltage

Fig. 4. Case.1,2,3 Amplitude and time to reach maximum voltage

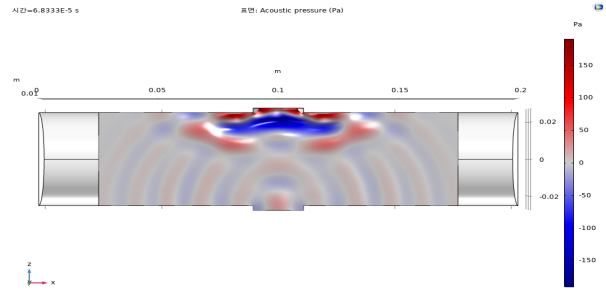
4. 결과 및 고찰

4.1 전산수치해석 결과

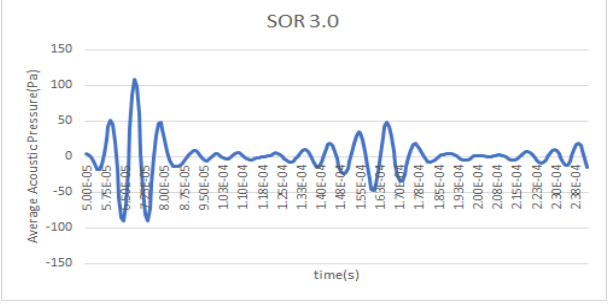
시뮬레이션 결과를 분석하기에 앞서 전산수치해석에 활용한 지배방정식 (1)은 배관 내 난류와 관련된 부분으로 유체의 밀도가 달라짐에 따라 유속이 변하고 식 (2)를 통해 밀도와 유속의 변화를 통해 초음파의 주파수를 변화시킨다. 식(3)은 오일의 음속을 계산하여 대입하기 위한 식으로 유체의 음속을 계산하였다. Fig. 5는 수치해석을 통해 SOR에 따라 변화하는 주파수를 그래프로 나타내었다.



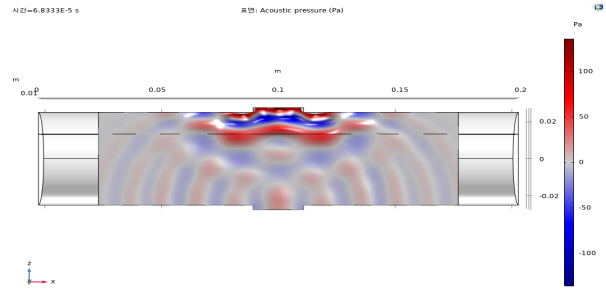
(a) Water 100%, Acoustic pressure over time



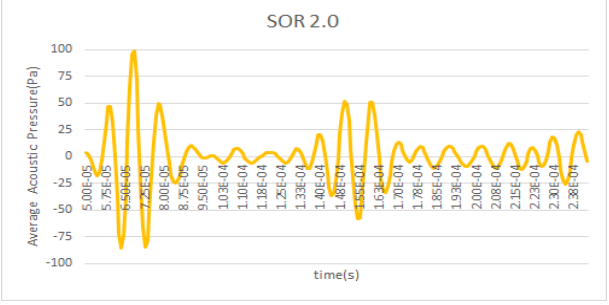
(b) Water 100%, Sound pressure level at 6.8333E-5 seconds



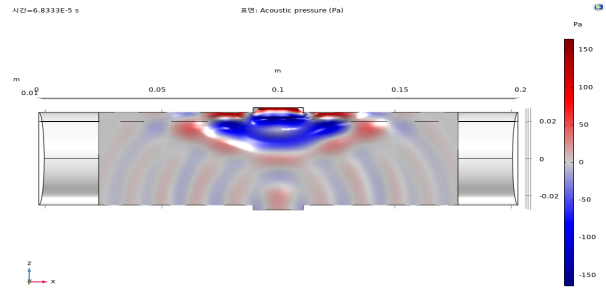
(c) SOR 3.0, Acoustic pressure over time



(d) SOR 3.0, Sound pressure level at 6.8333E-5 seconds



(e) SOR 2.0, Acoustic pressure over time



(f) SOR 2.0, Sound pressure level at 6.8333E-5 seconds

Fig. 5. Case.1,2,3 Acoustic pressure graphs and waves

시뮬레이션 결과, 1MHz의 초음파를 송신하였을 때 발생하는 Acoustic Pressure 수치를 Fig. 5(a, c, e)와 같이 그래프로 나타내었다. 시뮬레이션 결과인 Fig. 5(a)에서 보이는 것과 같이 Case 1에서는 최대 음압이 123.5387Pa 발생되었다. 최대 음압이 발생된 시간을 초음파 도달시간으로 간주하였으며 최대 음압 123.5Pa이 발생한 시간은 6.8333E-5초임을 알 수 있다. 똑같은 방법으로 Case 2 인 Fig. 5(c)에서는 SOR 3.0으로 오일의 비율이 1이고 물의 비율이 3일 때 최대음압은 109.1178Pa로 Case 1보다 상

대적으로 낮은 음압 값이 나타났으며 도달시간은 6.8333E-5초로 동등한 수치가 나타났다. Case 3은 SOR 2.0는 물과 오일의 비율이 2:1로 오일의 비율이 가장 높기 때문에 Fig. 5(e)에서 나타나는 것과 같이 최대 음압의 값이 99.2792Pa으로 다른 케이스들에 비해 가장 낮은 수치를 보여준다. 또한 최대 음압 도달시간도 가장 늦은 시간인 6.9166E-5초로 오일의 비율이 높을수록 최대 음압이 낮고 도달시간 또한 늦은 경향을 보여준다.

4.2 실험 결과

실험의 결과, 1MHz의 초음파를 송신하였을 때 각 Case별로 Fig. 4와 같이 그래프로 측정되었다. 송신된 1 Pulse 중 SOR에 따라 변화되는 Maximum Amplitude를 측정하였으며 각 Case별로 3번의 실험에 대한 평균값을 추출하였다. Case 1에서의 최대평균 전압은 618.67mV이며 최대평균 초음파 도달시간은 6.88E-5초임을 알 수 있다. 마찬가지 방법으로 실험 결과 Case 2에서는 최대평균전압이 567.67mV이며 최대평균 초음파 도달시간은 6.93E-5초이며 Case 3의 최대평균전압은 539.33mV, 최대평균 초음파 도달시간은 7.18E-5초이다.

4.3 해석 및 실험에 대한 고찰

본 연구는 석유화학플랜트에서 효과적인 물과 오일 분리기술을 보조하기 위한 기술로써 separator 전단에 설치하여 배관에 흐르는 유체의 수분함량을 측정하기 위한 기술이다. 전산수치해석과 실험 결과로 알 수 있는 것은 초음파의 특성인 각 유체의 체적탄성률과 비중, 밀도에 따라 음압과 음속의 변화에 의한 현상으로, 체적탄성률이 높은 유체일수록, 밀도가 낮은 유체일수록 음속이 빨라지고 음압이 커지면서 발생하는 차이이다.

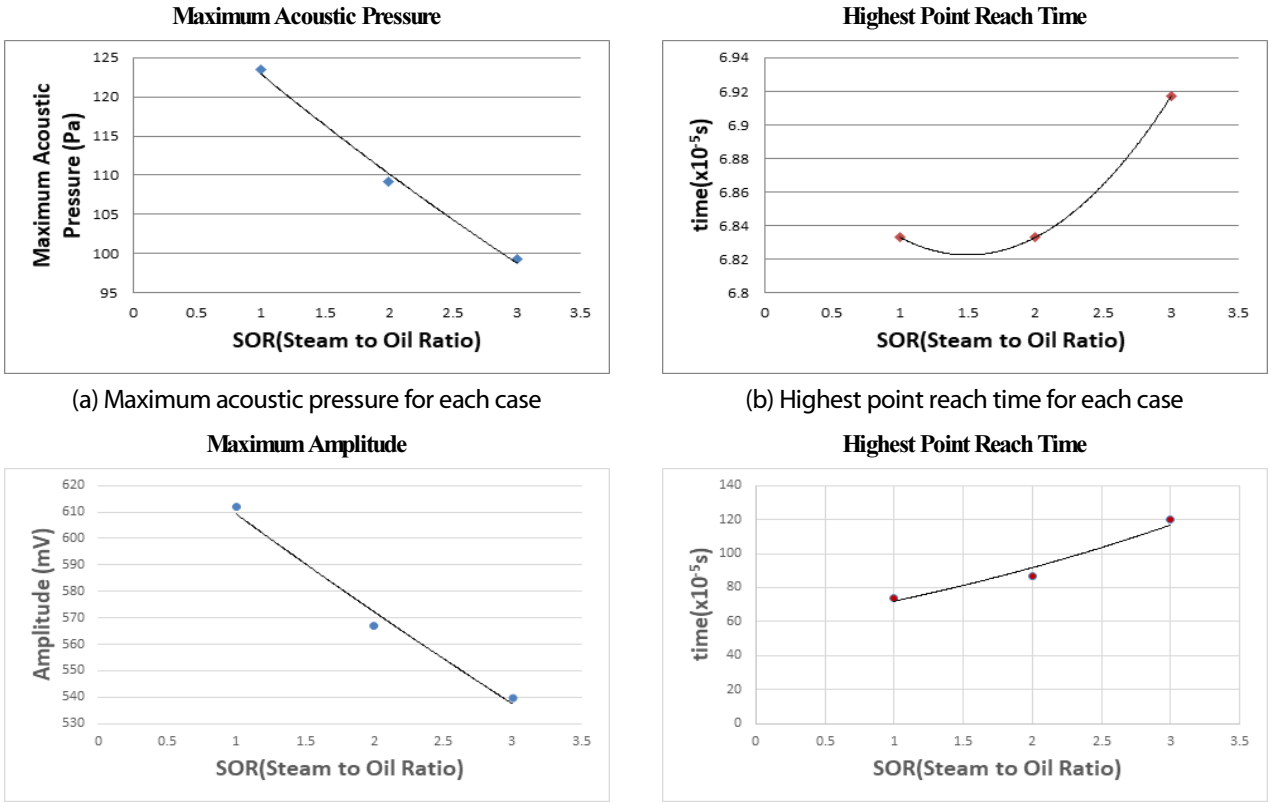
운동량 방정식에서 압력과 밀도의 변화량에 따라 음속이 변하지만 압력이 고정인 상태를 구현하였기 때문에 밀도 차이에 의해 음압과 전압, 음속 등이 변화함을 알 수 있다.

아래의 Table 4는 Case 별로 전산수치해석의 최대 음압 수치와 최대 음압 발생 시의 시간과 실험의 최대전압과 최대전압 발생 시의 시간을 분석하였으며 Fig. 6은 도출된 값을 그래프로 나타내어 SOR 변화에 따른 초음파의 경향성을 나타내었다.

Table 4. Maximum acoustic pressure/amplitude and reach time for each case

Case	SOR	Numerical analysis		Experiment		
		Maximum acoustic pressure (Pa)	Highest point reach time (s)	Maximum amplitude (mV)		Highest point reach time (s)
Case 1	Water 100%	123.5387	6.8333E-5	1	617	6.9E-5
				2	621	6.82E-5
				3	618	6.92E-5
				A	**618.6667**	**6.88E-5**
Case 2	SOR 3.0	109.1178	6.8333E-5	1	568	7.0E-5
				2	567	6.9E-5
				3	568	6.95E-5
				A	**567.6667**	**6.95E-5**
Case 3	SOR 2.0	99.2792	6.9166E-5	1	539	7.2E-5
				2	541	7.1E-5
				3	538	7.25E-5
				A	**539.3333**	**7.18E-5**

시뮬레이션 결과와 실험의 결과를 살펴볼 때에 확인할 수 있는 부분은 SOR에 따라 초음파 특성의 경향성을 볼 수 있다. Fig. 6(a, c)을 비교해본다면 물과 오일의 비율에 따라 최대 음압과 최대 전압의 그래프 경향이 비슷하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 또한 해석의 최대 음압일 때의 도달시간과 실험의 최대 전압일 때의 도달시간의 그래프 또한 유사한 경향성을 보인다. 시뮬레이션 결과 중 Fig. 6(b)과 같이 SOR에 따라 최대음압 도달 시 시간적변화가 보이지 않는 이유는 SOR이 클수록 비투멘의 함량이 비례적으로 작아지기 때문에 도달시간에 눈에 띄는 차이가 발생하지 않았다.



(a) Maximum acoustic pressure for each case

(b) Highest point reach time for each case

(c) Maximum amplitude for each case

(d) Highest point reach time for each case

Fig. 6. Maximum acoustic pressure/amplitude and reach time graph for each case

Table 5. Numerical analysis and formulation of experiments

	Numerical analysis		Experiment	
	Maximum acoustic pressure (Pa)	Highest point reach time (s)	Maximum amplitude (mV)	Highest point reach time (s)
Formulation	$y = 137.13e^{-0.109x}$	$y = 0.042x^2 - 0.126x + 6.917$	$y = 648.54e^{-0.063x}$	$y = 56.584e^{0.2417x}$
R^2	0.9941	1	0.9844	0.9691

5. 결 론

본 연구에서는 k-ω SST 난류 해석 기법을 이용하여 초음파를 활용한 Watercut Meter가 유체에 따라 변화하는 특성을 파악하기 위한 전산수치해석과 실험적 연구를 진행하였다. 본 연구는 해외 실험 연구[7]와 비슷한 조건의 주파수 입력인 5MHz를 구현

하려 하였으나 실험을 위해 제작이 가능한 1MHz의 주파수 센서를 기준으로 해석 및 실험을 진행하였으며, 추후 주파수 입력의 변화에 따라 발생하는 음압과 음속을 실험할 예정이다. 본 연구에서 초음파를 선정한 이유는 기존 유량계는 달리 배관 밖에서 측정하여 유체와 직접적으로 맞닿지 않는 비접촉식 유량계이기 때문에 수명이 길고 점착에 의한 오차가 발생하지 않기 때문에 유지보수에 유리하고 모듈화를 통한 사업화 가능성이 높기 때문이다. 초음파를 통해 유체의 비중차에 의한 음압의 변화와 음속의 변화를 측정할 수 있다. 본 연구에서는 배관에 흐르는 유체의 SOR에 따라 변화하는 초음파의 특성을 확인하였으며 경향성을 파악하였다.

본 연구의 결과를 분석하면 배관 내 흐르는 유체의 물의 비율이 높을수록 최대 음압 및 최대 전압이 높으며 해석의 경우 기울기가 -24.4, 실험의 경우 기울기가 -51으로 급격한 감소 추세를 보이다 오일의 비율이 높아질수록 최대 음압과 최대 전압의 기울기가 -9.9, -28.33으로 완만하게 감소하는 경향을 보인다. 또한 최대 음압 도달 시 시간은 물의 비율이 높을수록 기울기가 0 및 0.07정도로 빠르고 완만하게 증가하다가 오일의 비율이 높아질수록 기울기가 0.09, 0.23으로 급격한 증가를 보인다. Table 5와 같이 결과값을 Curve fitting하여 물과 오일의 비율에 따른 상관관계를 나타내었으며 이를 통해 물과 오일의 비율에 대한 초음파의 음압, 전압, 도달시간의 경향성을 파악하였다. 차후에는 실험 횟수를 늘려 실험식을 구성하여 환경에 따른 수치분석을 진행할 예정이다.

본 연구는 기존 석유화학 플랜트에서 원유를 추출하고 바로 Separator 공정으로 이어져, 원유의 상태와 별개로 분리 공정에 동일한 시간을 비효율적으로 활용하던 방식에서 효율적으로 분리 공정을 활용할 수 있는 기술이다. 플랜트에서 추출한 원유를 Separator 공정 전단에서 실시간으로 수분과 오일함량을 측정함을 통해, 추출된 원유에 적합한 Separator 공정을 활용하여 효율적인 플랜트 운영이 가능하다. 또한 원유 추출 및 Separator 공정 연구의 기초데이터로 활용이 가능할 것으로 사료된다. 추후 Watercut Meter 주파수 변화에 따른 실험 및 해석을 통한 비교·분석 연구를 추진하고자 한다.

Acknowledgement

※ 본 연구는 국토교통부 국토교통과학기술진흥원 '국토교통기술촉진연구사업'의 "수치해석 기법확립 및 Watercut meter/모니터링 시스템 시작품 개발(과제번호21CTAP-C157141-02)" 과제에 의해 수행 되었으며 이에 감사드립니다.

References

1. 김윤제, "유입장치 형상이 FWKO 압력용기의 분리효율에 미치는 영향", 설비저널, 제46권 제11호, pp.16-24, 2017.
2. M. Hayatbakhsh, M. Sadrzadeh, D. Pernitsky, S. Bhattacharjee, and J. Hajinasiri, "Treatment of an In Situ Oil Sands Produced Water by Polymeric Membranes", Desalination and Water Treatment, Vol. 57, No. 32, pp. 14869-14887, 2016.
3. M. A. Karimi, M. Arsalan, A. Shamim, "A Low Cost and Pipe Conformable Microwave-Based Water-Cut Sensor, pp. 1-4, 2016.
4. National Energy Board, 2004: Canada's Oil Sands: Opportunities and Challenges to 2015.
5. M. Meribout, "On Us ing Ultrasonic-Assisted Enhanced Oil Recovery (EOR): Recent Practical Achievements and Future Prospects", Vol. 6, pp. 51110-51118, 2018.
6. V. C. M. N. Leite, G. F. C. Veloso, L. E. B. da Silva, G. Lambert-Torres, J. G. B. da Silva, and J. O. P. Pinto, "Moisture Estimation in Power Transformer Oil Using Acoustic Signals and Spectral Kurtosis", p.8, 10. 2016.
7. M. Meribout, F. Shehzad, N. Kharoua, and L. Khezzar, An Ultrasonic-Based Multiphase Flow Composition Meter, 2020.
8. Endress+Hauser, Proline Prosonic Flow 92F Ultrasonic Flowmeter, 2020.
9. 정문, 이상준, 신흥식, 조은비, 황인주, 강춘형, 비투멘 유체 분리를 위한 오일처리공정의 설계와 평가, 2016.

10. 한국과학기술정보연구원, 비전통 에너지자원의 개발 기술 동향, 2013.
11. ERCB. 2011-06. “ST98-2011 Alberta’s Energy Reserves 2010 and Supply/Demand Outlook 2011-2020”.
12. 전남대학교, 2018년 11월, “오일샌드 플랜트 모듈화 공정 운전을 위한 비투멘과 중질잔사유 물성 분석”, 오일샌드 플랜트 모듈화 연구단.
13. G. J. Patel, “Acoustic Properties of Oil Sands”, University of Calgary, Calgary, 2017.
14. COMSOL CFD Module User’s Guide version 5.3, pp. 61-64, 2017.
15. S. W. Rienstra, and W. Eversman, “A Numerical Comparison between the Multiple-Scales and Finite-Element Solution for Sound Propagation in Lined Flow Ducts”, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 437, pp. 367-384, 2001.
16. J. B. Kim, E. Kim, K. H. Nam, and S. S. Kwon, “Does Sound Wave Go Faster in More Dense Matter?”, pp. 54-56, 2007.