가스하이드레이트 퇴적층 물성 추정 소프트웨어를 이용한 울릉분지 시추공 자료 해석

서광원* · 임종세**†

*한국석유공사 석유개발연구원, **한국해양대학교 에너지자원공학과
(2011년 8월 12일 접수, 2012년 3월 9일 수정, 2012년 3월 12일 채택)

Well Data Interpretation using Software Developed for Estimation of Petrophysical Properties in Gas Hydrate Bearing Sediments in Ulleung Basin, Offshore Korea

Kwangwon Seo* and Jong-Se Lim**†

**E&P Technology Institute, Korea National Oil Corporation*

***Department of Energy & Resources Engineering, Korea Maritime University*

(Received 12 August 2011, Revised 9 March 2012, Accepted 12 March 2012)

요 약

미래의 청정 에너지자원인 가스하이드레이트 개발을 위해 국내 부존이 유망한 울릉분지 5개의 지역에 대하여 2007년 시추작업을 수행하여 모든 시추공으로부터 물리검층 자료를 취득하였으며 이중 UBGH1-04, UBGH1-09, UBGH1-10 시추공에서 코어 자료를 취득하였다. 이 연구에서는 기확립한 가스하이드레이트 퇴적층 물성 추정 기법 및 UBGH1-04, UBGH1-09, UBGH1-10 시추공에서의 물성 추정 결과를 바탕으로 사용자 친화적 소프트웨어인 「KMU GH Logs 2010」을 개발하였다. 또한 코어 미회수 시추공인 UBGH1-01 및 UBGH1-14 시추공의 물리검층 자료를 이용하여 가스하이드레이트 퇴적층의 물성을 추정하였다. 밀도 검층 자료를 사용하여 공극률을 추정하였으며, 전기비저항 검층 및 음파 검층을 이용하여 가스하이드레이트포화율을 추정하였다. 물리검층 자료와 코어의 퇴적상 분석 자료를 이용하여 선형 판별 분석 기법을 통해 퇴적상을 추정함으로써 가스하이드레이트 해리의 징후가 나타나는 DITM 및 MSS 퇴적상에 대한 판별이 가능함을 확인하였다.

주요어 : 울릉분지, 공극률, 가스하이드레이트포화율, 퇴적상, KMU GH Logs 2010

Abstract — For the development of gas hydrate as new future energy resources, the drilling was carried out at the five locations where have high potential as gas hydrate bearing sediments in Ulleung basin, offshore Korea in 2007. Well log data were obtained from all wells and core data were procured from 3 wells, UBGH1-04, UBGH1-09 and UBGH1-10. In this study, user-friendly software, 「KMU GH Logs 2010」, is developed and this software is based on the estimation methods developed in previous study for gas hydrate bearing sediments and the properties estimated from UBGH1-04, UBGH1-09 and UBGH1-10. Petrophysical properties in un-cored wells, UBGH1-01 and UBGH1-14, are also estimated by using well log data. Porosity is estimated by density log and gas hydrate saturation is calculated by sonic log and resistivity log. Sedimentary facies are estimated by applying the linear discriminant analysis using both well log and sedimentary facies data from core analysis. It is confirmed that DITM facies and MSS facies appeared signs of gas hydrate disassociation are able to be distinguished by the method.

Key words : Ulleung basin, Porosity, Gas hydrate saturation, Sedimentary facies, KMU GH Logs 2010

†To whom corresponding should be addressed.
Korea Maritime University, Dongsam-Dong, Yeongdo-Gu
Busan, 606-791, Korea
Tel : 051-410-4682; E-mail : jslim@hhu.ac.kr

1. 서 론

미래의 청정 에너지자원으로 관심이 높아지고 있는 가스하이드레이트는 천연가스가 저온, 고압 하에서 물분자와 물리적으로 결합하여 형성된 고체상태의 결정으로, 주 구성성분인 메탄은 연소시 이산화탄소를 적게 배출하는 친환경적 특성을 가지고 있다. 국외의 경우 캐나다의 Mackenzie Delta 지역, 미국의 Alaska North Slope 지역, 러시아의 서시베리아 지역 등의 영구동토지역과 일본의 난카이(Nankai) 해구, 미국의 멕시코만 등의 심해퇴적층에서 가스하이드레이트 퇴적층이 주요하게 나타나고 있다.

Jose와 Davide [1], Lee와 Collett [2]는 캐나다의 Mackenzie Delta의 Mallik 2L-38 지역과 Mallik 5L-38 지역의 물리검층 자료를 통해 가스하이드레이트 함유 지층의 포화율을 추정하였으며, Lee와 Collett [3]는 미국 Alaska North Slope 지역의 Mount Elbert 시추공에서 얻어진 NMR 검층, 음파 검층, 전기비저항 검층을 이용하여 가스하이드레이트 함유지층의 포화율을 추정하였다. Akihisa 등 [4]은 일본의 “1999~2000 난카이 시추 프로그램”을 통해 얻어진 6개의 시추공에서의 NMR 검층, 음파 검층, 전기비저항 검층 등을 이용하여 가스하이드레이트포화율을 추정하였다. 그 밖에 “IODP Expedition 311”을 통해 캐나다 Cascadia 지역의 5개의 시추공으로부터 LWD (Logging While Drilling) 자료, 코어 자료 등을 취득하였으며, 공극수의 염소이온농도를 이용하여 계산한 가스하이드레이트포화율과 검층 자료간의 상관성을 분석하였다.

국내에서는 1995년부터 가스하이드레이트에 대한 기초 연구를 시작하여 국내에 분포하는 가스하이드레이트 부존가능 지층의 지질 특성 및 부존구조에 관한 연구와 동해 울릉분지에서의 가스하이드레이트 부존 확인 및 물성 분석에 대한 연구를 수행하였으며, 가스하이드레이트 생산을 위한 기초연구가 수행되었다. 2007년에는 동해 울릉분지의 가스하이드레이트 부존 유망 5개 지점을 선정하고 1차 시추를 수행하여 가스하이드레이트 실물을 채취하였으며 [5], 코어분석 자료를 포함하는 시추공에 대한 가스하이드레이트 퇴적층 물성 추정 연구를 수행하였다 [6]. 2010년 7월에 매장량 평가 및 시험생산위치 도출을 위한 2차 시추를 통한 울릉분지 11개 지역에 대해 LWD 13공, 코어링 18공, Wireline 검층 2공이 수행되었으며 [7], 이에 대한 분석이 진행 중이다.

이 연구에서는 가스하이드레이트 퇴적층 물성 추정 기법 및 코어분석 자료를 포함하는 UBGH1-04, UBGH1-09, UBGH1-10 시추공의 물성 추정 결과 [6]를 바탕으로 사용자 친화적 소프트웨어인 「KMU GH Logs 2010」을 개발하고, 코어 미회수 시추공인 UBGH1-01 및 UBGH1-14의 공극률, 가스하이드레이트포화율, 퇴적상을 추정하고자 하였다.

2. 연구대상 시추공 분석자료

울릉분지 가스하이드레이트 부존 유망 지역에서 2007년 시추가 이루어진 곳은 총 다섯 개로 UBGH1-01, UBGH1-04, UBGH1-09, UBGH1-10, UBGH1-14이며, 각각에 대해 LWD를 수행하였고, 이 중 UBGH1-04, UBGH1-09, UBGH1-10 시추공으로부터 코어를 취득하여 선상분석과 육상분석을 수행하였다. 각 시추공의 위치와 조사항목은 Fig. 1과 같다. Fig. 2~6에 LWD 항목 중 이 연구에서 주요하게 사용한 감마선 검층, 전기비저항 검층, 밀도 검층, 음파 검층을 시추공별로 나타내었으며, UBGH1-04, UBGH1-09, UBGH1-10 시추공은 코어분석 자료를 함께 도시하였다.

UBGH1-04 시추공에서는 8개의 비압력 코어와 3개의 압력 코어를 취득하였고, UBGH1-09 시추공에서는 14개의 비압력 코어와 6개의 압력 코어, UBGH1-10 시추공에서는 13개의 비압력 코어와 7개의 압력 코어를 각각 취득하였다. 코어를 취득한 직후, 비압력 코어와 압력 코어에 대한 선상분석을 수행하였으며 세부항목으로는 공극수 분석, MSCL-P (Multi Sensor Core Logger Pressure) 분석, MSCL-S (Standard Multi Sensor Core Logger) 분석이 등이 있다. 육상분석으로 비압력 코어에서 공극률, 전기비저항, 전단응력, 대자율, P

Fig. 1. Location of Ulleung basin and information of field investigation.

Fig. 2. Well log data in UBGH1-01.

Fig. 3. Well log and core analysis data in UBGH1-04.

Fig. 4. Well log and core analysis data in UBGH1-09.

Fig. 5. Well log and core analysis data in UBGH1-10.

Fig. 6. Well log data in UBGH1-14.

과 속도 등의 물성 측정과 퇴적상 분석, 가스 성분 분석을 수행하였으며 압력 코어에 대하여 IPTC(Instrumented Pressure Test Chamber)와 감압 실험을 수행하였다 [8].

코어의 공극률(ϕ)은 채취 코어로부터 측정한 체적 밀도(bulk density)와 동결건조 후의 입자밀도(matrix density)를 이용하였으며, 가스하이드레이트포화율은 공극수 분석과 압력코어 분석을 통해 얻었다. 공극수 분석에 의한 가스하이드레이트포화율은 시추퇴적물 회수 시 가스하이드레이트로부터 해리된 순수한 물에 의해 공극수의 염분도가 낮아지는 정도를 통해 역산하였다 [8].

3. 가스하이드레이트 퇴적층 물성 추정 기법

물리검층 자료 및 코어분석 자료를 이용하여 가스하이드레이트 퇴적층의 주요 물성인 공극률, 가스하이드레이트포화율, 퇴적상을 추정할 수 있다 [6]. 공극률은 지층의 입자밀도, 공극률, 공극수밀도, 체적밀도 사이의 관계를 이용하여 밀도 검층 자료를 통해 추정할 수 있다. 가스하이드레이트포화율은 전기비저항 검층 및 음파 검층 자료를 통해 추정할 수 있다. 전기

비저항 검층 자료를 이용할 경우 Simandoux 모델 [9]에 점토 입자의 유효 전기전도도(Q_c)를 적용한 Lee와 Collett의 식 [10]을 통해 가스하이드레이트포화율을 추정할 수 있으며, 음파 검층 자료를 이용할 경우 시간평균식 [11], Wood의 식 [12], Lee 등의 식 [13]을 이용하여 추정할 수 있다.

퇴적상의 경우 코어의 퇴적상 분석 자료 및 밀도 검층, 전기비저항 검층, 음파 검층 등의 물리검층 자료를 이용하여 선형 판별 분석 기법에 적용함으로써 추정 가능하며, 이를 통해 가스하이드레이트 해리의 징후가 나타나는 퇴적상을 분류할 수 있다 [6].

4. 사용자 친화적 소프트웨어 개발

가스하이드레이트 퇴적층 물성 추정 기법을 바탕으로 검층 및 코어분석 자료의 특성 파악, 가스하이드레이트 퇴적층의 공극률, 가스하이드레이트포화율, 퇴적상 추정을 위한 사용자 친화적 소프트웨어 「KMU GH Logs 2010」을 개발하였다. 이 소프트웨어는 Mathworks사의 MATLAB[®]을 기반으로 제작하였으며, 개발된 소프트웨어와 함께 배포할 수 있는 런타임(run time) 엔

Fig. 7. Schematic diagram of 'KMU GH Logs 2010'.

Fig. 8. Software logo and initial screen of 'KMU GH Logs 2010'.

진을 설치함으로써 MATLAB[®]이 설치되어 있지 않은 PC에서도 실행이 가능하다.

4-1. 소프트웨어의 구조

'KMU GH Logs 2010'은 Excel 또는 ASCII 파일 형식으로 구성된 자료의 입력이 가능하며, 다중 시추공 자료를 분석할 수 있도록 제작하였다. 기술통계분석 및 그래프 도시를 위한 화면과 가스하이드레이트 퇴적층의 물성 추정을 위한 분석 화면을 [Data Analysis] 패널과 [GH Property Estimation] 패널로 구분함으로써 간단한 마우스 조작만으로 각 입력 자료의 특성을 파악하고 분석에 활용할 수 있도록 설계하였다. Fig. 7은 'KMU GH Logs 2010'에 대한 개요도이며, Fig. 8은 'KMU GH Logs 2010'의 초기 화면과 로고이다.

4-2. 자료의 입력 및 특성 분석

자료의 입력 및 특성 분석을 위한 [Data Analysis] 패널은 Fig. 9에 나타난 것과 같이 자료 입력 부분,

Fig. 9. [Data Analysis] panel in 'KMU GH Logs 2010'.

기술통계분석 출력 부분, 시추공 자료 도시 부분, 가스하이드레이트 물성 추정을 위한 구획 설정 부분으로 구분할 수 있다.

자료 입력 부분은 자료를 불러오고 입력된 자료의 목록 및 세부목록을 나타내는 부분으로서 자료 입력 시에 기준 심도 및 Null 자료의 값을 사전에 설정하여 그래프의 도시 및 자료 분석에 이를 적용하도록 하였으며, 여러 시추공의 자료를 동시에 입력하여 분석을 수행할 수 있도록 하였다. 기술통계분석 출력 부분은 시추공 자료에 대한 기술통계분석을 수행할 수 있는 부분으로 각 시추공의 검층 및 코어분석 자료의 히스토그램, 상자-수염 그림, 평균, 표준편차, 사분위값, 첨도, 왜도 등을 출력하여 자료의 특성을 파악할 수 있다. 시추공 자료 도시 부분을 이용하여 검층 자료 간의 비교가 가능하며, 사용자의 필요에 따라 그래프를 로그 스케일로 변환할 수 있다. 구획 설정 부분을 통해 사용자의 의도에 따라 시추공 자료를 분할하여 가스하이드레이트 퇴적층 물성 추정을 위한 분석 자료로 활용할 수 있도록 하였다.

4-3. 입력 자료를 통한 가스하이드레이트 퇴적층 물성 추정

가스하이드레이트 퇴적층 물성 추정을 위한 [GH Property Estimation] 패널은 Fig. 10에 나타난 것과 같이 공극률 추정 부분, 가스하이드레이트포화율 추정 부분, 퇴적상 추정 부분, 추정 결과 출력 부분, 실행 정보 출력 부분으로 구분된다.

물성 추정 부분은 분석하고자 하는 시추공 및 구획

Fig. 10. [GH Property Estimation] panel in 「KMU GH Logs 2010」.

(A) Descriptive statistics analysis

(B) Estimation of petrophysical properties

Fig. 11. Save options for analysis results.

Fig. 12. Sample of saved file as Excel format.

을 선택하고 필요한 물성을 입력함으로써 간단하게 분석을 수행할 수 있도록 제작하였다. 공극률 추정 및 음파 검층을 이용한 가스하이드레이트포화율 추정에 필요한 입자밀도는 특정 시추공의 코어분석 자료가 있는 경우 이를 평균하여 사용하거나 분석자가 직접 입력할 수 있도록 하였다. 음파 검층을 이용한 가스하이드레이트포화율 추정 기법 중 Lee 등의 식 [13]을 적용하기 위해 필요한 가중치 및 전기비저항 검층을 이용한 가스하이드레이트포화율 추정에 필요한 Archie 상수, 고결지수, 포화율 지수, 공극수의 전기비저항을 시각적으로 결정할 수 있도록 하였다. 퇴적상 추정 부분은 학습 자료 선정 과정과 추정 자료 선정 과정으로 나누어지며, 코어 퇴적상 분석 자료를 학습 자료의 목표값으로 선정하고 해당 시추공의 검층 자료로 학습 자료를 구성한다. 물성 추정 결과는 사용자

가 지정한 변수명에 따라 저장되며 추정 결과 출력 부분을 통해 시각적으로 확인할 수 있다.

4.4. 분석 결과의 저장

「KMU GH Logs 2010」은 [Data Analysis] 패널에 의해 수행한 기술통계분석 결과와 [GH Property Estimation] 패널에 의해 추정된 가스하이드레이트 퇴적층의 물성 추정 결과를 Fig. 11과 같은 화면을 통해 각 시추공에 따라 선택적으로 저장할 수 있으며, ASCII 파일 또는 Excel 형식으로 저장할 수 있다. ASCII 형식의 경우 결과 그래프를 이미지 파일로 함께 저장하도록 하였으며, Excel 형식의 경우에는 사용자가 지정한 엑셀 시트에 대해 이미지 파일을 함께 저장할 수 있도록 구현함으로써 사용자의 편의를 극대화하고자 하였다. Excel 형식으로 저장한 결과의 예는 Fig. 12와 같다.

Table 1. Range of Units in cored wells and un-cored wells.

	Cored Wells			Un-cored Wells	
	UBGH1-04	UBGH1-09	UBGH1-10	UBGH1-01	UBGH1-14
	Depth(mbsf)	Depth(mbsf)	Depth(mbsf)	Depth(mbsf)	Depth(mbsf)
Unit 1	0~71	0~97	0~142	0~194	0~56
Unit 2	71~124	97~127	> 142		56~188
Unit 3	> 124	> 127			

Table 2. Properties for calculating the porosity.

		Cored Wells			Un-cored Wells	
		UBGH1-04	UBGH1-09	UBGH1-10	UBGH1-01	UBGH1-14
		Density(g/cm ³)	Density(g/cm ³)	Density(g/cm ³)	Density(g/cm ³)	Density(g/cm ³)
ρ_{ma}	Unit 1	2.53	2.56	2.56	2.55	2.53
	Unit 2	2.65	2.69	2.43		2.65
	Unit 3	2.54	2.43			
ρ_f		1.024				
ρ_b		Density Log

Fig. 13. Porosity estimated from density log.

5. 가스하이드레이트 퇴적층 물성 추정 결과

가스하이드레이트 함유 지층의 물성을 추정하기 위해 검층 자료 및 코어분석 자료의 특성에 따라 UBGH1-04 시추공과 UBGH1-09 시추공은 3개의 부분으로 나누었으며 UBGH1-10은 2개의 부분으로 나누어 분석을

수행하였다. 또한 코어분석 자료가 없는 UBGH1-01 및 UBGH1-14 시추공은 물리검층 자료의 특성에 따라 각각 1개 및 2개의 부분으로 나누었으며, 이를 Table 1에 나타내었다. 코어 회수 시추공의 히스토그램 및 통계량 등의 기술통계분석 결과를 바탕으로 코어 미회수 시추공의 물성 해석을 위한 기초 물성자료

로서 UBGH1-04 시추공의 코어분석 자료를 활용하였다.

5-1. 공극률 추정 결과

밀도 검층으로부터 공극률을 계산하였다. 코어 취득 시추공의 경우 각 시추공 Unit의 범위 내에서 코어 분석을 통해 얻어진 입자밀도(ρ_{ma}), 공극수밀도(ρ_n), 체적밀도(ρ_b)를 평균하여 사용하였다. 코어 미취득 시추공의 경우 UBGH1-01 시추공은 UBGH1-04 시추공의 코어 입자밀도를 평균하여 사용하였으며, UBGH1-14 시추공의 Unit 1과 Unit 2는 각각 UBGH1-04 시추공의 Unit 1 및 Unit 2의 코어 입자밀도 평균값을 사용하였다(Table 2). 각 시추공에 대한 공극률 추정 결과를 Fig. 13에 나타내었다.

5-2. 가스하이드레이트포화율 추정 결과

전기비저항 검층으로부터 가스하이드레이트의 포화율을 추정하기 위해 점토 입자의 유효 전기전도도를 계산하였다 [10]. Pickett 대비도표 [14] 및 Hingle 대비도표 [15]를 이용하여 셰일성 사암의 Archie 상수(a^*), 고결지수(m^*), 공극수의 전기비저항(R_w)을 계산하였으며 이를 Table 3에 정리하였다. 사암의 Archie 상수(a) 및 고결지수(m)는 각각 1과 2로 설정하였으며, 포화율 지수(n)는 2로 설정하였다.

공극률은 밀도 검층을 통해 추정된 값을 적용하였으며, 지층의 전기비저항은 전기비저항 검층 자료를 사용하였다. Table 3의 값을 Lee와 Collett의 식 [10]에 적용하여 수포화율을 계산하였으며, 이를 통해 가스하이드레이트포화율을 추정하였다. 추정 결과를 공

극수 분석에 의한 가스하이드레이트포화율 자료 및 압력코어 분석에 의한 가스하이드레이트포화율 자료와 함께 Fig. 14에 도시하였다.

음파 검층으로부터 가스하이드레이트포화율을 계산하기 위해 각 시추공의 Unit에 따라 매질의 속도(V_{ma})를 설정하였고, 공극수의 P파 속도(V_w) 및 가스하이드레이트의 P파 속도(V_h)는 각각 1,500 m/s 및 3,350 m/s로 설정하였다. 가스하이드레이트의 밀도(ρ_h)는 0.90 g/cm³이며, 입자밀도, 체적밀도, 공극수밀도는 Table 2의 값을 사용하였다. Lee 등의 식 [13]을 적용하기 위하여 공극률에 따른 음파 검층 자료를 도시하여 가중치를 결정하였다. 사용한 물성값을 Table 4에 나타내었다. 시간평균식 [11], Wood의 식 [12], Lee 등의 식 [13]을 이용하여 가스하이드레이트포화율을 추정한 결과를 Fig. 15에 나타내었다. 코어 취득 시추공의 경우 Lee 등의 식 [13]과 Wood의 식 [12]은 코어 자료와 유사한 경향을 나타낸 반면 시간평균식 [11]의 경우는 적절한 값을 나타내지 못하였는데 이것은 이 연구 대상 지역이 미고결 퇴적층이고 많은 양의 점토를 함유하고 있기 때문인 것으로 사료된다 [16-18].

공극수 분석에 의해 역산한 가스하이드레이트포화율의 경우 자료의 수는 많지만 다소 신뢰성이 떨어지며, 압력코어 분석에 의한 가스하이드레이트포화율의 경우 정확한 값을 나타내지만 자료의 수가 매우 적다. 코어 회수 시추공의 경우 공극수 분석 및 압력코어 분석에 의한 가스하이드레이트의 포화율과 비교하였을 때 공극수 분석에 의해 역산한 가스하이드레이트포화율과는 일부 구간에서 불일치하고 있으나, 비교적 정확한 값을 나타내는 코어의 가스하이드레이트포화

Table 3. Parameters for calculating the hydrate saturation using resistivity log.

	Cored Wells						Un-cored Wells			
	UBGH1-04		UBGH1-09		UBGH1-10		UBGH1-01		UBGH1-14	
	Parameters		Parameters		Parameters		Parameters		Parameters	
Unit 1	a^*	1.40	a^*	1.55	a^*	1.60	a^*	1.60	a^*	1.15
	m^*	1.30	m^*	2.40	m^*	2.50	m^*	1.05	m^*	1.90
	R_w	0.35	R_w	0.30	R_w	0.25	R_w	0.30	R_w	0.36
Unit 2	a^*	1.15	a^*	1.40	a^*	1.40			a^*	1.15
	m^*	1.15	m^*	1.60	m^*	1.20			m^*	1.90
	R_w	0.50	R_w	0.50	R_w	0.30			R_w	0.31
Unit 3	a^*	1.35	a^*	1.30						
	m^*	1.40	m^*	2.00						
	R_w	0.30	R_w	0.45						

※ $a = 1$, $m = 2$, $n = 2$

Fig. 14. Gas hydrate saturation estimated from resistivity log.

Table 4. Parameters for calculating the gas hydrate saturation using sonic log.

	Cored Wells						Un-cored Wells			
	UBGH1-04		UBGH1-09		UBGH1-10		UBGH1-01		UBGH1-14	
	Parameters		Parameters		Parameters		Coefficients		Coefficients	
Unit 1	V_{ma} (m/s)	5,490	V_{ma} (m/s)	5,450	V_{ma} (m/s)	5,450	V_{ma} (m/s)	5,500	V_{ma} (m/s)	5,490
	W	1.60	W	1.40	W	0.40	W	1.45	W	1.45
Unit 2	V_{ma} (m/s)	5,530	V_{ma} (m/s)	5,550	V_{ma} (m/s)	5,550			V_{ma} (m/s)	5,530
	W	1.60	W	1.40	W	1.30			W	1.45
Unit 3	V_{ma} (m/s)	5,450	V_{ma} (m/s)	5,600						
	W	1.40	W	1.30						
V_p (m/s)					Sonic Log					
V_w (m/s)					1,500					
V_h (m/s)					3,350					
ρ_h (g/cm ³)					0.90					

올과는 유사한 경향을 나타내고 있음을 확인하였다.

5-3. 퇴적상 추정 결과

코어 분석으로부터 얻어진 퇴적상을 바탕으로 코어 미회수 구간에 대해 가스하이드레이트의 포화율과 관계가 있는 밀도 검층, 전기비저항 검층, 음파 검층

자료를 선형 판별 분석 기법에 적용하여 퇴적상을 추정하였다.

한국지질자원연구원에 의해 시추시료에 대한 퇴적상 분석이 수행되었으며, 시추시료의 입도분포와 절개면 영상 및 X선 영상에서 관찰되는 퇴적구조 등을 기준으로 11개의 퇴적상을 구분하였다 [8]. 가스하이

Fig. 15. Gas hydrate saturation estimated from sonic log.

Fig. 16. Sedimentary facies estimated by linear discriminant analysis.

드레이트 해리의 징후가 발견되는 MSS(Massive Silty Sand) 퇴적상과 DITM(Disintegrated Mud) 퇴적상을 가스하이드레이트 함유 구간으로 가정하고, 이를 추정하기 위해 11개의 퇴적상을 상이한 특성을 나타내

는 Mud, MSS 퇴적상, DITM 퇴적상으로 축소하였다. Mud는 MSS 퇴적상과 DITM 퇴적상을 제외한 나머지 퇴적상을 의미한다.

코어 취득 시추공의 경우 코어의 퇴적상 분석 자료

와 검층 자료를 학습 자료로 사용하였고, 학습 자료를 제외한 검층 자료를 추정 자료로 사용하였다. 코어 미취득 시추공은 가스하이드레이트포화율의 범위가 유사한 UBGH1-04 시추공의 코어 퇴적상 분석 자료를 학습 자료로 활용하여 퇴적상을 추정하였으며, UBGH1-09 및 UBGH1-10 시추공과 비교하여 MSS 퇴적상과 DITM 퇴적상이 매우 적게 나타남을 확인하였다. 각 시추공의 퇴적상의 추정 결과를 Fig. 16에 나타내었다.

6. 결 론

동해 울릉분지의 1차 시추공 중 코어 회수 시추공의 공극률, 가스하이드레이트포화율, 퇴적상 추정 결과 및 기법을 바탕으로 「KMU GH Logs 2010」을 제작하였으며, 이를 통해 코어 미회수 시추공의 물리검층 자료를 이용하여 가스하이드레이트 함유 지층의 물성을 추정하였다.

사용자 친화적 소프트웨어 「KMU GH Logs 2010」은 자료의 입력 및 특성 분석을 위한 [Data Analysis] 패널과 가스하이드레이트 퇴적층 물성 추정을 위한 [GH Property Estimation] 패널로 구분하여 간단한 마우스 조작 및 물성 입력을 통해 공극률, 가스하이드레이트포화율, 퇴적상을 추정할 수 있도록 제작하였다. 「KMU GH Logs 2010」은 ASCII 및 Excel 형태로 구성된 다중 시추공 자료를 입력할 수 있으며, 분석 결과를 시각적으로 출력하도록 제작하였다.

코어 미회수 시추공에서의 가스하이드레이트 퇴적층 물성 추정을 위해 필요한 기초 물성자료로서 UBGH1-01 및 UBGH1-14 시추공의 물리검층 자료 및 기술통계 분석 특성이 유사한 UBGH1-04 시추공의 코어분석 자료를 이용하였다. UBGH1-01 및 UBGH1-14 시추공의 가스하이드레이트포화율의 경우 UBGH1-09 및 UBGH1-10 시추공에 비해 매우 낮게 나타났으며, 퇴적상 추정의 경우에도 MSS 퇴적상 및 DITM 퇴적상이 적게 나타남을 확인하였다.

이 연구를 통해 개발한 사용자 친화적 소프트웨어 및 울릉분지 1차 시추지역에 대한 물성 추정 결과는 가스하이드레이트 부존 가능성이 높은 구간에 대한 정량적인 정보를 제공하고, 울릉분지의 가스하이드레이트 부존 유망 지층에 대한 신뢰성 있는 물성 분포를 추정하는 데에 활용할 수 있을 것이다. 또한 2010년에 수행한 울릉분지 2차 시추지역의 시추공 자료를

이용하여 물성 추정 범위를 확대하고 이를 가스하이드레이트 퇴적층 모델 구성의 입력 자료로 이용함으로써 가스하이드레이트 시험 생산 지역 선정 시 기초 자료로 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구원 “가스하이드레이트 개발생산연구”의 위탁연구의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Jose, M.C. and Davide, G.: “Gas-hydrate concentration estimated from P- and S-wave velocities at the Mallik 2L-38 research well, Mackenzie Delta, Canada”, *Journal of Applied Geophysics*, Vol. 56, No. 1, 73-78, (2004).
2. Lee, M.W. and Collett, T.S.: “Assessments of gas hydrate concentrations estimated from sonic logs in the JAPEX/JNOC/GSC et al. Mallik 5L-38 gas hydrate research production well”, *Geological Survey of Canada Bulletin*, Vol. 585, 10, (2005).
3. Lee, M.W. and Collett, T.S.: “In-situ gas hydrate saturations estimated from various well logs at the Mount Elbert well, Alaska North Slope”, *Journal of Marine and Petroleum Geology*, Vol. 30, No. 7, 1-11, (2009).
4. Akihisa, K., Tezuka, K., Senoh, O., and Uchida, T.: “Well log evaluation of gas hydrate saturation in the MITI Nankai-trough well, offshore south east Japan”, *SPWLA 43rd Annual Logging Symposium*, Paper BB, (2002).
5. 박근필: “가스하이드레이트 개발”, *한국지구시스템공학회지*, 제45권 5호, 590-600, (2008).
6. 서광원, 임종세, 이재형: “울릉분지 1차 시추공 자료를 이용한 가스하이드레이트 퇴적층 물성 추정”, *한국지구시스템공학회지*, 제 47권 1호, 70-80, (2010).
7. 이준석, 황철욱, 김재웅, 장광훈: “국내 동해 가스하이드레이트 시추작업의 기술적 고찰”, *한국지구시스템공학회지*, 제47권 6호, 948-955, (2010).
8. 한국지질자원연구원: “가스하이드레이트 심부시추시료 분석 및 안정성·지질재해 연구”, 지식경제부, (2008).
9. Simandoux, P.: “Dielectric measurements in porous media and application to shaly formation”, *Revue de L'Institut Francais du Petrole*, Vol. 18, Supplementary Issue, 193-215, (1963).
10. Lee, M.W. and Collett, T.S.: “A method of shaly sand correction for estimating gas hydrate saturations using downhole electrical resistivity log data”, *U.S. Geological Survey, Scientific Investigations Report 2006-5121*, (2006).

11. Timur, A.: "Velocity of compressional waves in porous media at permafrost temperature", *Journal of Geophysics*, Vol. 33, No. 4, 584-595, (1968).
12. Wood, A.B.: "A Textbook of Sound", 2nd Ed., MacMillan, 578, (1941).
13. Lee, M.W., Hutchinson, D.R., Collett, T.S., and Dillon, W.P.: "Seismic velocities for hydrate-bearing sediments using weighted equation", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 101, No. B9, 20347-20358, (1996).
14. Pickett, G.R.: "A Review of Current Techniques for Determination of Water Saturation from Logs", *Journal of Petroleum Technology*, Vol. 18, No. 1, 1425-1433, (1966).
15. Hingle, A.T.: "The use of logs in exploration problems", 29th SEG Annual International Meeting, (1959).
16. Wyllie, M.R.J., Gregory, A.R., and Gardner, G.H.F.: "An experimental investigation of factors affecting elastic wave velocities in porous media", *Journal of Geophysics*, Vol. 23, No. 3, 459-493, (1958).
17. Castagna, J.P., Batzle, M.L., and Eastwood, R.L.: "Relationship between compressional-wave and shear-wave velocities in clastic silicate rocks", *Journal of Geophysics*, Vol. 50, No. 4, 571-581, (1985).
18. Eberhart-Phillips, D., Han, D.H., and Zoback, M.D.: "Empirical relationships among seismic velocity, effective pressure, porosity, and clay content in sandstone", *Journal of Geophysics*, Vol. 54, No. 1, 82-89, (1989).