

삼축압력하에서의 미고결 시료의 물성측정을 위한 측정 장치와 물성 연구

배위섭^{1,*} · 정태문¹ · 권영인² · 김현태²

¹세종대학교 지구환경과학과, 143-747 서울시 광진구 군자동 98

²한국지질자원연구원, 305-350 대전광역시 유성구 가정동 30

The Measurement System and Physical Property of Unconsolidated Sample under Triaxial Pressure

Wisup Bae^{1,*}, Taemoon Chung¹, Young-Ihn Kwon², and Hyuntae Kim²

¹Department of Earth Environmental Sciences, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

²Petroleum and Marine Resources Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

Abstract: A measurement system of tri-axial pressure was designed and constructed to measure permeability and resistivity under changing confining pressure. The system was designed to measure the permeability and resistivity of a core simultaneously, consisting of tri-axial supporting device and sets of dual-flow measurement. In this measurement system, the permeability and resistivity of a sample can be directly measured and porosity can be obtained using Archie's laws. As for physical properties, artificial core samples are made from mixtures of standard commercial sand and mud of illite. In-situ sediment cores were sampled at the water-depth of 1,800m in the Ulleung Basin, East Sea. In order to investigate the effects of confining pressure changes on physical properties, permeability and resistivity changes were monitored with increasing confining pressure. In this study, it was found that with the increase of confining pressure, permeability and porosity tend to decrease and resistivity tend to increase exponentially.

Keywords: unconsolidated sediments, tri-axial measurement system, confining pressure, physical properties, Ulleung Basin

요약: 미고결, 난투수층 퇴적층 시료의 투수계수와 전기비저항의 측정이 가능한 삼축압력 측정장치를 설계하고 제작하였다. 이 측정장치는 측정셀 전후에 입출력 유량측정시스템이 설치되어 시료의 봉압을 증가시키면서 투수계수와 전기비저항을 동시에 측정할 수 있다. 아치의 법칙과 실험전후의 시료 질량 변화와 부피를 이용하여 공극률을 측정할 수 있다. 실험을 위한 시료는 표준모래와 일라이트 진흙을 성분비율을 다양하게 혼합한 인공시료와 동해 울릉분지에서 채취한 현장시료를 사용하였다. 이들 시료들에 대한 투수계수, 전기비저항을 봉압이 증가함에 따라 측정하고 분석하였다. 봉압이 증가함에 따라서 투수계수와 공극률은 지수적으로 감소하고 전기비저항은 지수적으로 증가한다.

주요어: 미고결 퇴적물, 삼축압력 측정장치, 봉압, 물성, 울릉분지

서론

삼축압축하에서의 물성 연구는 해양공학, 해양학, 지구물리학, 수증음향학 등의 많은 분야에서 중요하

게 다루어지는 주제이다. 그러나 우리나라 주변 해역의 현장 퇴적물시료의 측정자료 값은 매우 드물며, 이러한 관점에서 삼축압축시스템 제작과 측정의 중요성은 크다. 본 연구에서는 연구자가 직접 설계·제작하여 측정시스템을 개선시킨 삼축압축시스템을 이용하여 미고결퇴적물의 투수계수와 전기비저항, 공극률을 동시에 측정하였다. 미고결퇴적물은 동해의 울릉분지의 현장 퇴적물 시료와 진흙/모래 혼합비율을 점

*Corresponding author: wsbae@sejong.ac.kr

Tel: 82-2-464-7875

Fax: 82-2-499-2354

차 증가시킨 인공퇴적물을 이용하였다.

미고결 시료의 공극률, 투수계수 등의 물성은 해저면에 설치하는 다양한 형태의 구조물에 대한 안정성 분석은 물론 퇴적물에 존재하는 메탄하이드레이트 매장량 산정에 중요한 요소이지만 시료의 특성상 실험에 많은 어려움이 있다. 특히, 투수율이 10-5 Darcy 이하의 난투수층은 측정에 많은 시간이 소요된다. 따라서 본 연구에서는 이를 개선하고자 공극률과 투수계수 뿐만 아니라 전기비저항까지도 동시측정이 가능하며 봉압의 증가에 따라 물성측정이 가능한 시스템을 설계, 제작하였다. 투수계수 측정시 정상상태법(steady-state)법을 이용하였고 전기비저항을 동시에 측정함으로써 실험시간이 절반으로 단축되었으며 아치(Archie)법칙을 이용한 공극률 산정으로 봉압이 증가함에 따른 투수계수, 전기비저항, 공극률의 변화율을 측정하고 분석하였다.

실험장치 시스템 구축

실험장치 및 실험절차

투수계수 측정은 시료를 측정장치 내부에 장착시킨 이후 시료 양단의 압력차에 따른 유량의 변화를 측정함으로써 구할 수 있다. 비저항값은 시료 내부에 4개의 측정지점이 있어서 4-전극측정법을 이용하여 측정하며 봉압증가에 따른 공극률은 아치(Archie)의 법칙을 이용하여 간접적으로 구할 수 있다(Archie, 1942; Rust, 1952). 구체적인 실험장치를 보면 물성측정을 위하여 시료를 장착시키는 셀, 시료에 압력을 제공하는 압력제공시스템, 그리고 유량을 측정하는 부피변화 측정장치(volume change gauge)등으로 구성된다(Figs. 1, 2). 실험순서는 미고결 시료를 실험장치에 장착할 수 있도록 성형하고 이 시료를 측정장치 셀(pressure/resistivity measuring cell) 안에 장착한 후, 압력유지장치(pressure supporting unit)로 시료의 측면에 셀 압력(봉압), 시료의 하단에 진입압력(공극압력), 그리고 유체가 시료를 통과한 시료의 중단지점에 후압(back pressure)을 가하여 준다. 셀압력은 시료의 내부압력보다 5~10 psi 높게 하여 공극내 유체의 흐름이 일차 유동(one-dimensional displacement)이 되도록 하였다.

유량의 정확한 측정을 위하여 유량측정장치의 전후방에 부피변화 측정장치를 장착하여 시료를 통과하기 이전(inflow measurement)과 통과한 이후(outflow

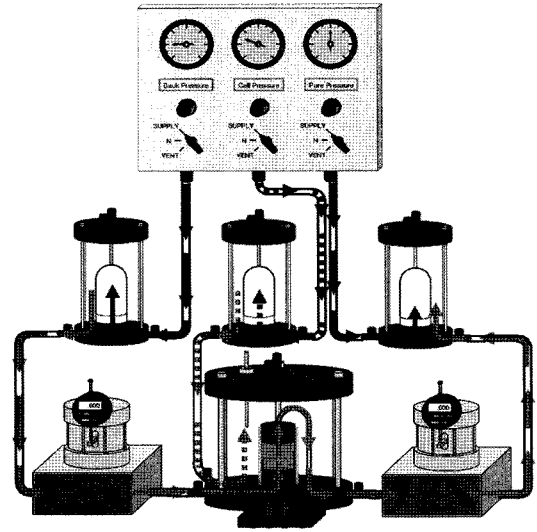


Fig. 1. Schematic view of the experimental set-up.

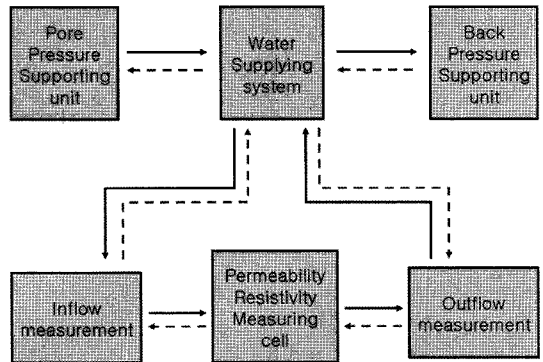


Fig. 2. Schematic view of fluid flow in measuring system (Solid arrow indicates when the pore pressure is larger than back pressure and dotted arrow indicates the opposite case).

measurement)의 유량을 양방향에서 측정하였다(Fig. 1).

이 시스템에는 고무풍선형 압력조절 시스템을 채택하였는데 이는 제작이 간단하면서 압력 조절이 쉽고 고가의 압력조절 펌프를 대신할 수 있다는 장점이 있다. Fig. 2는 실험시스템 내부를 유체가 흐르는 과정을 설명한 도식도이다. 입력부분의 유체가 튜브를 통과하여 시료하단의 다공판을 통과하여 셀 내부에 있는 시료를 통해 흐르며 시료상단의 다공판을 통과하여 출력부분으로 흐르는 과정을 보여준다.

Fig. 3은 시료가 셀 내부에 장착되었을 때 시료를 둘러싸고 있는 고무막(rubber membrane), 절연그리스(insulating Grease), O-ring 등을 나타낸 것으로 시료

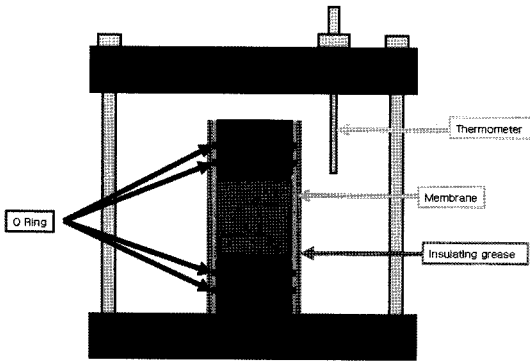


Fig. 3. Insulated core sitting in the cell.

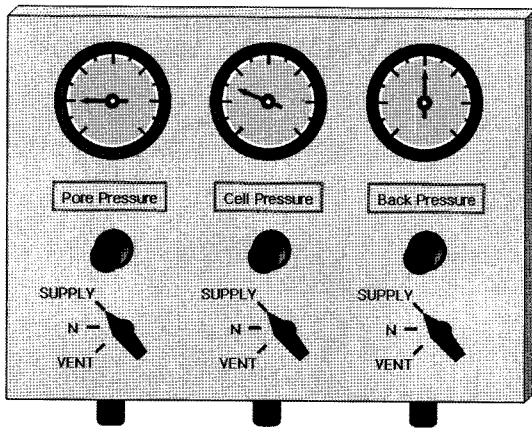


Fig. 4. Three pressure (input, output, confining) and its measuring gauge.

와 외부가 멤브레인으로 차단되며, 온도측정기 (thermometer)를 통해 내부의 온도측정이 가능하고 내부와 외부의 전류흐름이 차단되었는지 확인할 수 있다. 압력공급장치는 봉압, 입력압력, 및 출력압력 등 세 부분이 있으며 풍선 안에 압력이 가해진 공기가 주입되면 부풀어 올라서 물을 밀어내게 되고 그 압력이 실험측정 셀 내부에서 각각 봉압, 입력압력, 출력압력으로 작용하게 된다. 투수계수 측정 시에는 온도센서의 역할이 중요하지 않지만 전기비저항 측정 시 온도측정기는 시료에 가해지는 정확한 온도를 측정하여 비저항산출에 사용된다. 또한 멤브레인이 시료를 완전히 절연하였는지 검사하여 볼 수 있는 기능도 있다. 절연이 되지 않았을 경우에는 전기비저항 측정이 불가능하며 투수계수만 측정이 가능하다.

Fig. 4는 압력을 가하는 봉압, 입력압력, 출력압력의 크기를 나타내어 주는 압력게이지가 놓여지는 패널이다. 입력압력은 시료에 공급되는 입력부분의 압

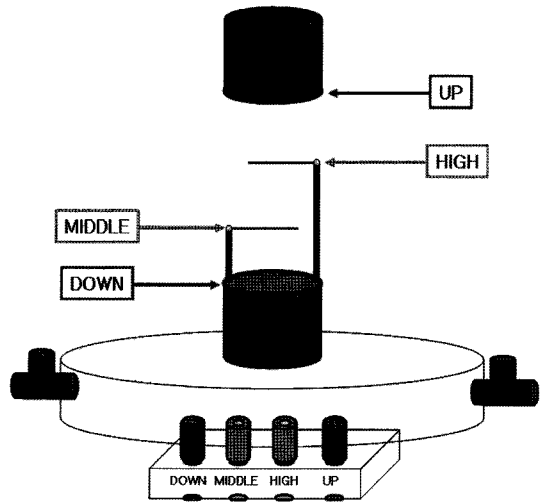


Fig. 5. Resistivity measurement system.

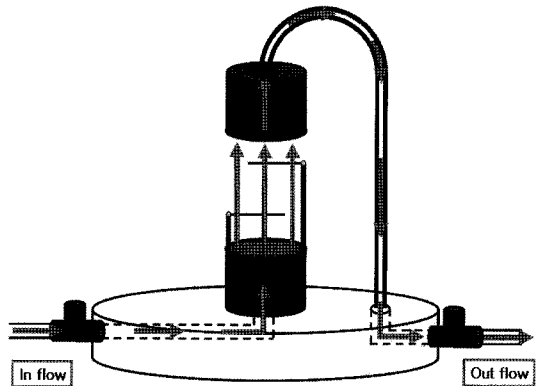


Fig. 6. Permeability measurement system.

력이고 출력부분은 끝단부분에 가해지는 압력으로서 입력압력과 출력압력의 차이가 존재하면 시료내부에 유체가 흐르게 된다. 봉압은 멤브레인과 시료 사이의 접합을 가하는 압력으로서 유체가 시료/멤브레인 사이에서 누수되지 않도록 방지해 준다.

Fig. 5는 비저항을 측정하는 장치이며 4개의 전극으로 사용하여 4-전극법과 2-전극측정방법을 통해 시료의 비저항 값을 측정할 수 있는 시스템이다. 시료의 양단에 가해지는 전압을 측정하는 UP과 DOWN은 voltage electrode이며 시료의 중간에서 전압을 측정하는 HIGH와 MIDDLE은 current electrode이다. 일반적으로 4-전극법은 시료양단의 접촉점에서 발생하는 극단효과(end-effect)를 최소화하는 방법으로 2-전극법에 비하여 정확한 전기비저항을 측정하는 방법이다.

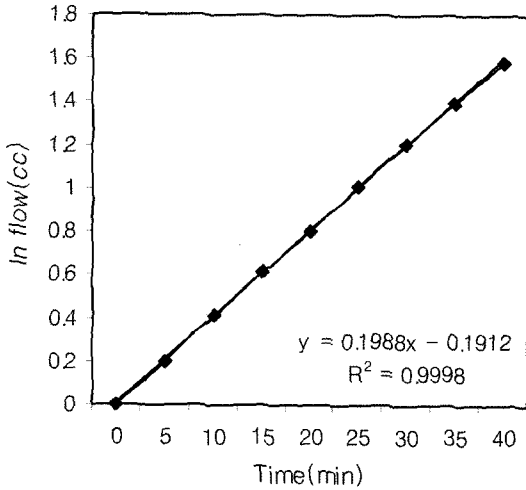


Fig. 7. Calculation of flow rate using water volume and time.

Fig. 6은 시료의 내부를 흐르는 유체의 흐름을 도식하고 있으며 투수계수 측정 시 유체의 흐름 방향을 표시하고 있다. 시료를 통과하는 유체는 시료 양면에서 봉압을 받게 됨으로서 하부에서 상부로 일차 유동을 할 수 있으며 멤브레인과 시료와의 밀착을 위하여 봉압은 중요한 역할을 하게 된다.

투수계수와 전기비저항의 측정

투수계수 측정은 시료의 상하단에 압력을 가하여 입력부분인 공극압력과 출력부분인 후압의 압력차 (Δp)를 이용하는데, 이때 유체는 달시(Darcy)의 법칙에 따라 시료의 내부를 흐르게 된다. 일정시간이 지난 후 x축에 시간의 변화, y축에 시료를 통과한 유체 부피의 변화를 표시하면 직선의 기울기($V/\Delta t$)가 유량 Q가 된다(Fig 7).

시료의 전기비저항은 4-전극 방법을 사용하여 구하였으며, Fig. 8과 같은 직렬회로를 구성하고 회로를 흐르는 전류를 측정하기 위하여 1000 Ω 의 저항 사이의 전위차 V_1 과 시료사이의 전위차 V_2 를 측정하여 시료의 비저항을 측정하였다.

시료의 저항(r)은 직렬회로에서 구한 전류와 V_2 를 이용하여

$$r = \frac{V_2}{I} \times 1000\Omega$$

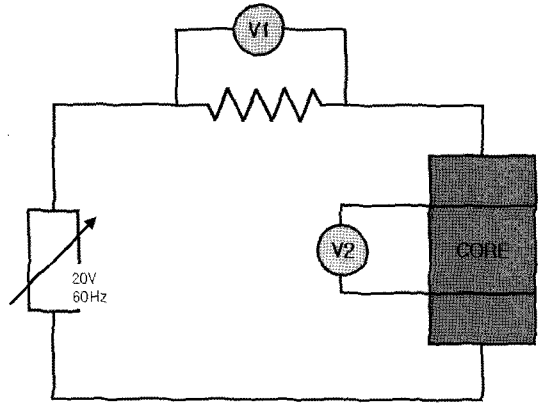


Fig. 8. Schematic view of the four electrode circuit.

이며, 시료의 비저항(ρ)은

$$\rho = r \times \frac{A}{L} \text{이다.}$$

여기에서 ρ 은 시료의 전기비저항($\Omega\cdot m$), A는 시료의 단면적(m^2), L은 시료의 길이(m)를 나타낸다.

비저항 측정시스템의 적정성(validity) 테스트

비저항 측정시스템의 적정성을 시험하기 위하여 상업용 비저항 측정기구인 AGI Super Sting R8/IP 시험기와 시료측정결과를 비교하였다. 시료는 모래와 점토가 혼합된 토양에 담수가 포화된 시료를 사용하였다. Table 1에서 보는 바와 같이 측정결과는 5% 오차의 범위 내에서 일치함을 볼 수 있었다. 일반적으로 염도가 아주 낮은 해수로 포화된 시료의 경우, 일부 상업용 측정기에서는 염도의 범위가 측정에 적합하지 않은 경우, 측정이 어렵지만 본 연구의 비저항시스템은 염도의 고저에 상관없이 측정이 용이하며 좋은 결과를 나타내었다. 시료 #1, #3의 경우는 값이 소수점 둘째 자리까지 거의 일치한 좋은 결과를 보여주었다.

Table 1. The comparison of this 4-electrode system and commercial test gauge

	AGI Super Sting R8/IP(Ωm)	Four electrode (Ωm) - the new system -
sample # 1 (soil, fresh water)	91.03	88.00
sample # 2 (soil, saline water)	0.94	0.95

Table 2. Petrophysical data for sand sample (Hama #5, 6, 7, 8)

	Permeability (Darcy)	Porosity (%)	Density (g/cm ³)	Average particle size (μm)
HAMA #5	104.37	38.98	2.68	884.70
HAMA #6	22.80	37.92	2.68	403.80
HAMA #7	9.00	39.10	2.69	189.20
HAMA #8	0.25	32.22	2.70	104.00

표준모래를 활용한 인공시료의 제작 및 물성 측정

인공시료를 만들어 모래/진흙의 비율을 변화시키면서 시료조성의 변화에 따른 물성변화를 살펴보기 위하여 진흙으로는 우리나라 해안에서 가장 많이 분포하는 일라이트(Chough et al., 2000)를 사용하였다. 모래시료는 규격상품인 Hama(제조사: 하마산업)를 사용하였으며 표준모래시료의 기초 물성은 실험실에서 투수계수와 공극률, 밀도, 그리고 평균입자를 실험실에서 측정된 결과 Table 2와 같이 나타남을 확인하였다.

결과분석 및 고찰

인공시료를 이용하여 실험한 결과 염수의 농도가 증가함에 따라 전기비저항의 값은 지수적(exponentially)으로 감소하는 것을 Figs. 9, 10에서와 같이 확인할 수 있었다. 이는 전기전도도가 큰 NaCl을 포함한 염

수의 특성으로 NaCl의 농도가 증가할수록 전기전도도가 증가하는 성질과 관련이 있으며, 감소하는 비율은 sand/clay의 조성비인 9대 1에서부터 5대 5까지 모두 비슷한 양상으로 감소함을 확인하였다. 박삼규(2004)의 논문에서도 다양한 사이즈의 모래입자와 유리구슬(glass beads)를 사용하여 유사한 실험을 실행하였으며 점토성분이 없는 경우에는 시료의 비저항이 공극수의 비저항에 비례하여 증가하는 경향을 보였다. 여기에서 R_w 는 시료의 공극을 채운 유체의 비저항을 말하며 R_o 는 유체로 포화된 시료의 비저항을 측정한 값이다.

봉압의 증가에 따른 인공시료의 투수계수 변화양상을 살펴본 바(Fig. 11), 투수계수는 모두 지수적(exponentially)으로 감소하는 것으로 나타났다. 이는 봉압이 증가함에 따라 시료 내부의 모래와 진흙입자가 재배열하게 되며, 그에 따라 입자와 입자 사이의 공극의 연결통로의 폭이 감소하여 결과적으로 투수계수의 감소를 야기하게 된다. 또한 모래와 점토의 조성비에 따라 이들이 위치하고 있는 곡선의 높낮이도

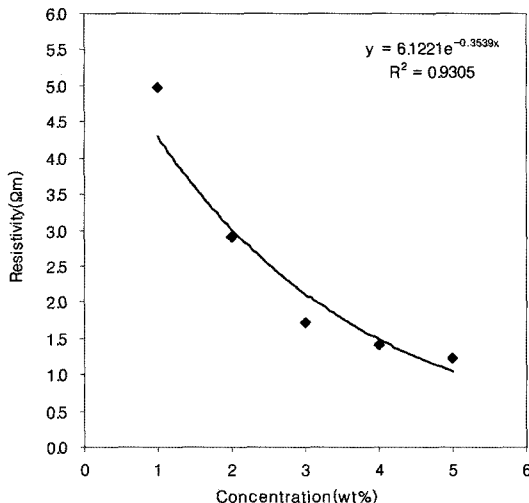


Fig. 9. Changes of core resistivity with concentration change (1 wt% to 5 wt%).

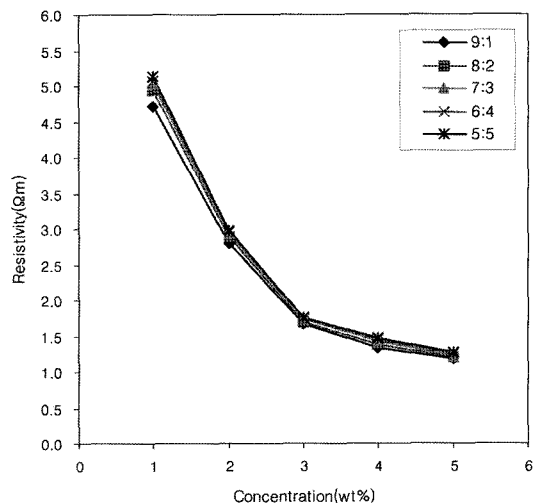


Fig. 10. Changes of core resistivity with concentration change in various samples.

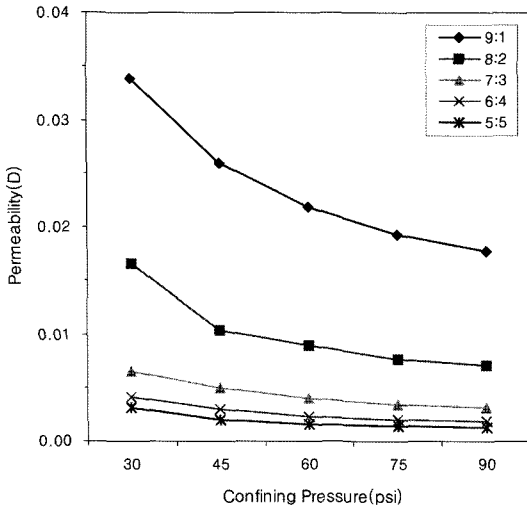


Fig. 11. Changes of permeability to the increasing confining pressure.

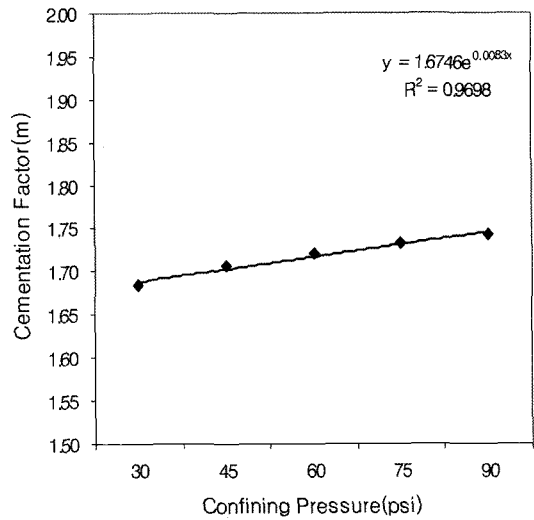


Fig. 12. Changes of cementation factor to the increasing confining pressure.

9대1에서 5대5까지 일정한 순서에 따라 형성되어 있는 것이 관찰 되어 지는데, 이는 점토의 함유량이 증가할수록 모래에 비해 상대적으로 입자의 사이즈가 작은 점토가 모래입자 사이의 공극을 점점 더 채우게 되어 결과적으로 투수계수가 감소하게 되며, 그래프상의 곡선의 상대적인 낮은 부분을 점유하는 것으로 사료된다. 모래의 함유량이 많을 경우와 점토가 많을 경우 압력 증가에 따른 기울기의 차이는 모래입자가 점토입자에 비하여 사이즈가 크고 공극의 사이즈도 점토입자 사이의 공극보다 큰 경우가 대부분이다. 점토입자 함유량이 많은 경우에는 공극의 크기도 작고 봉압이 가해졌을 때 감소될 만한 공극의 부피가 모래함량이 많은 경우보다 훨씬 적게 된다. 따라서 점토성분이 많은 경우 투수계수 감소율이 현저하게 작은 것으로 판단된다. 점토질 시료의 비저항은 점토성분의 표면전도도에 의하여 점토의 성분이 많아질수록 비저항은 감소하는 경향을 보여주고 있다

(Patnode et al., 1950).

또한 실험에 의해 측정된 R_w 와 R_0 를 Archie's law를 이용하여 지층계수(Formation factor)를 도출해 낼 수 있었으며, 이를 이용하여 석유물성의 중요 인자인 접합계수(cementation factor)에 대해서도 분석해 볼 수 있었다. 일반적으로 고결사암의 경우 접합계수는 1.8에서 2.0 사이의 값을 가지며 비고결 사암은 대략 1.3의 값을 가진다고 Archie는 제시한 바 있다. Table 3은 대기압 상태와 in-situ에 있어서의 고결정도에 따른 접합계수의 변화를 표시한 차트이다.

실험 결과 봉압이 증가함에 따라 접합계수는 대체적으로 증가하는 양상을 보여 준다(Fig. 12). 이는 봉압이 증가함에 따라 시료내의 모래와 진흙입자가 재배열하게 되며 그에 따라 공극사이를 조밀하게 채우는 입자간의 압축현상이 발생하기 때문이다. 그 결과 시료의 전체적인 밀도가 높아지게 되며 이는 접합계수의 증가의 원인이 된다. 그 범위는 대략 1.6에서

Table 3. Changes of cementation factor to the degree of consolidation

Consolidation	Cementation factor (In atmospheric)	Cementation factor (In-situ)
Shallow, very unconsolidated sands	1.2	1.2
Unconsolidated sands	1.4	1.6
Unconsolidated to friable sands	1.5	1.7
Friable sands	1.6	1.8
Hard to friable sands	1.7	1.9
Hard sandstone	1.8	2.0
Very hard sandstone	2.0	2.2

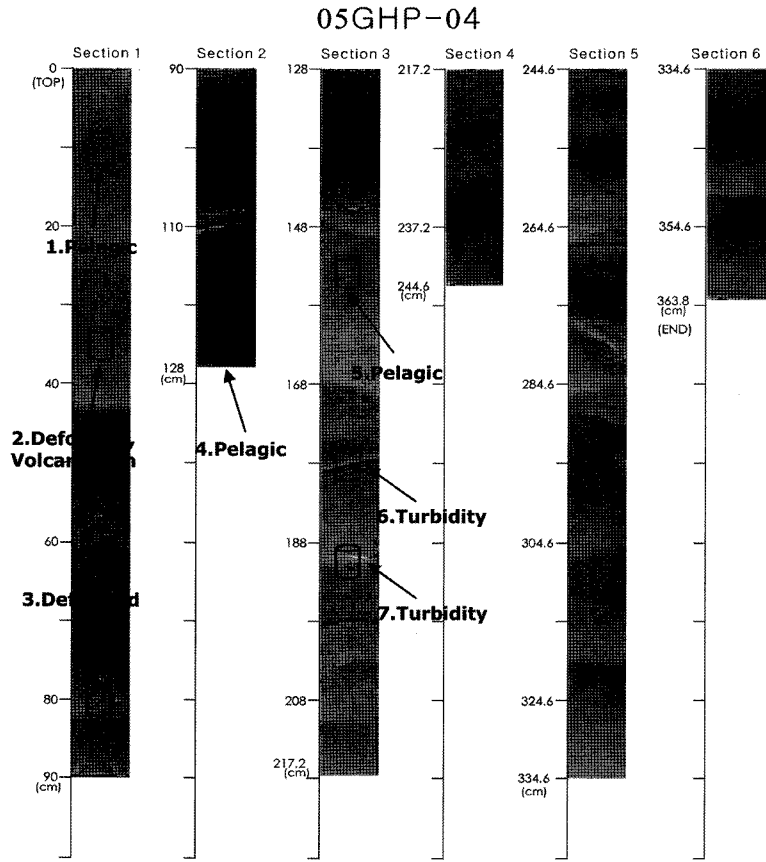


Fig. 13. Photographs of core 05GHP-04.

1.7사이의 값으로 나타났으며, 이는 고결정도에 대한 지층계수와와의 관계에 있어서 미고결과 약고결 사이에 해당되는 수치이다.

국내 퇴적층 시료를 이용한 물성측정

시추코아는 울릉분지 남서부 허부 대륙사면의 북위 36도 21.07', 동경 130도 43.06' 수심 1,800m에서 채취하였다. 시추지점 해저면 약 363 cm에서 채취한 코어의 사진을 보면(Fig. 13), 대부분이 니질 퇴적물과 모래 퇴적물 그리고 부석 등으로 구성되어 있으며 Fig. 13에서는 채취된 각 시료의 위치가 나타나 있다. 시추코아의 주요 퇴적층은 희미한 층리가 발달된 니질 퇴적층, 생물에 의해 교란된 니질 퇴적층, 그리고 점이층리가 발달된 니질 퇴적층, 균질한 니질 퇴적층, 그 외 테프라층과 균질한 모래 퇴적층도 존재한다. Table 4에서는 채취된 시료의 해저면 심도와 지질학적인 퇴적환경을 나타내어준다.

시추코아의 최상부에서 심도 120.0 cm 구간은 생물교란된 빨 퇴적층으로 구성되어 있으며, 심도 107.0~120.0 cm 구간에서는 입자 직경 5 mm 이내의 부석들이 산재되어 있다. 이 부석들은 심도 107.0~111.0 cm 구간에서 집중되어 있으며 입자 형태와 층서적 위치에 의해서 약 10,600년 전에 울릉도 나리 칼데라의 폭발적인 분출에 의해서 이동되어 쌓인 울릉-II 테프라로 해석되며, 퇴적 당시에 생물교란 작용에 의해서 산재된 것이다. 채취된 코어의 심도 120.0~139.5 cm 구간은 희미한 층리가 발달된 니질 퇴적층으로 구성되어 있다. 원양성 시료는 육성퇴적물의 공급이 제한된 심해환경에서 퇴적된 세립질 퇴적물을 의미하며 저탁류 시료는 해저 경사면을 따라서 움직이는 밀도류에 의해 형성되어 넓게 수평으로 발달한 퇴적물이다. 변형대 시료는 퇴적물이 쌓인 후에 이차적인 외부압력이나 하중에 의해 퇴적층 내에 균열이 발달한 부분의 퇴적물을 지시한다.

Table 4. Core sample description

Sample Number	Sampled depth from seafloor (cm)	Sedimentary environment
# 1	10	Pelagic
# 2	35	Deformed, Volcanic ash
# 3	80	Deformed
# 4	124.2	Pelagic
# 5	154.2	Pelagic
# 6	179.2	Turbidity
# 7	191.2	Turbidity

결과분석 및 고찰

본 연구의 결과, 봉압이 증가함에 따라서 투수계수는 급격한 감소를 보였는데 가장 급격한 감소는 저탁류 시료에서 나타났다(Fig. 14). 이는 저탁류시료가 퇴적된 상황이 교란된 상태에서 형성되는 퇴적층으로서 봉압이 증가하면 시료의 안정성이 가장 큰 영향을 받게 되어 투수계수의 변화도 가장 큰 것으로 사료된다. 봉압이 증가하면 공극의 부피도 감소하게 되어 유체가 흐르는데 저항을 받게 되어 봉압증가에 따라 투수계수는 모든 시료에서 관찰된다. 변형대와 원양성 시료는 저탁류시료에 비하여 투수계수 감소가 적었다. 이러한 경향은 다른 연구(Abu-Hassanein et al., 1996)의 결과와 유사하다.

일반적으로 점토질 시료의 경우 0.001 Darcy 이하의 낮은 투수계수를 보이고 있는데, 국내 퇴적층시료의 투수계수는 이보다 훨씬 작은 0.0001 Darcy의 범주값을 나타내었다. 전류의 흐름은 유체의 흐름보다 필요한 공간이 적게 소요되므로 투수계수보다 변화의 폭이 덜 민감하기 때문이다(박삼규, 2004). 본 연구의 결과 시료의 비저항은 원양성 시료와 일부 저탁류 시료가 같은 봉압에서 변형대의 시료에 비하여 높은 값을 보여주고 있다 (Fig. 15). 이는 퇴적환경의 변화가 비교적 적은 상태에서 입자들이 퇴적될 때는 보다 더 치밀하게 접합되므로 인해 공극의 부피가 적게 형성되기 때문으로 사료된다. 변형대의 시료는 퇴적물이 쌓인 후에 이차적인 외부압력이나 하중에 의해 퇴적층 내에 균열이 발달하여 이에 의하여 비저항이 감소한 것으로 나타난다.

공극률은 Archie의 법칙을 사용하여 구하였다. Archie's law에 의하면 Formation Factor(F)는

$$F = \frac{R_o}{R_w}$$

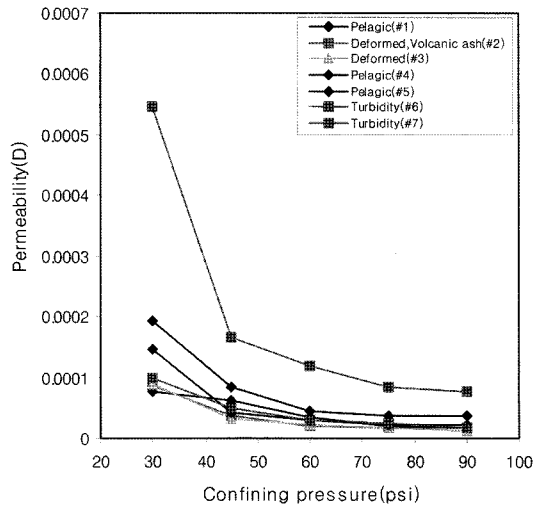


Fig. 14. Permeability change with respect to confining pressure.

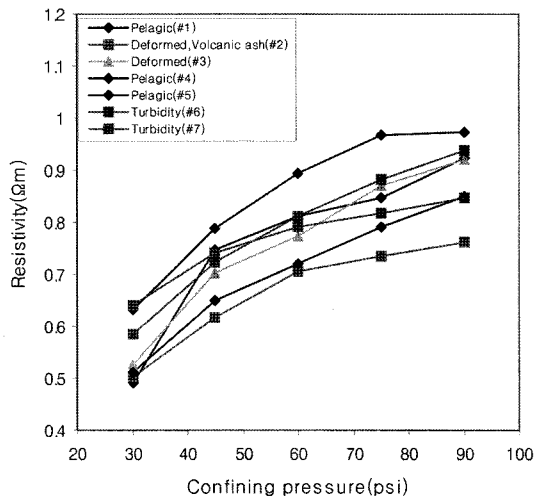


Fig. 15. Resistivity change with respect to confining pressure.

로 정의되며, 공극률과 지층계수에 관련한 수많은 시료를 대상으로 한 실험을 통해서 다음과 같은 경험식으로 도출되었다.

$$F = \frac{a}{\phi^m}$$

여기에서 상수 a는 비틀림(tortuosity)의 함수이며, a값은 1보다 크거나 같게 된다. 공극률과 지층계수와 관련한 그래프로 그려 보면 지층계수와 공극률을 로그-로그 그래프로 그렸을 때 접합계수가 기울기로 나

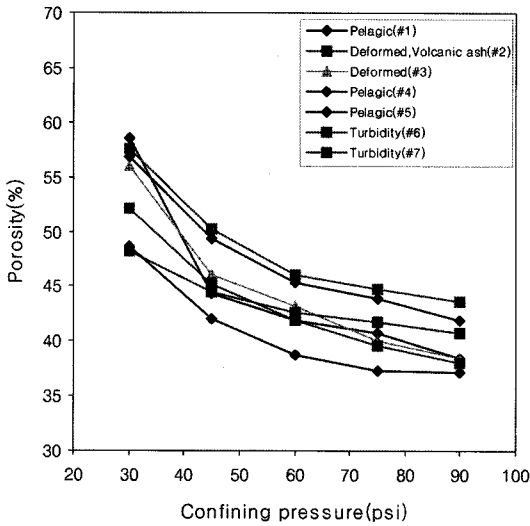


Fig. 16. Porosity change with respect to confining pressure.

타남을 볼수 있다. 여기에서는 공극률의 변화양상을 살펴보기 위하여 접합계수를 2, 상수를 1을 대입하여 계산하였다.

Fig. 19는 봉압의 증가에 따른 공극의 변화를 나타낸 것으로 아치의 법칙을 이용하여 시료, 염수의 비저항을 이용하여 지층 계수를 구하고 이를 이용하여 공극률을 계산하였다. 봉압이 증가함에 따라 모든 시료에서 비저항이 증가하는 경향을 보여주고 있으며 시료의 비저항은 원양성 시료와 일부 저탁류 시료가 같은 봉압에서 변형대의 시료에 비하여 높은 값을 보여주고 있음에 따라 공극률은 반대로 작은 값을 나타내고 있다(Fig. 16). 변형대의 시료는 이차압력이나 하중, 그리고 균열 등으로 인하여 나타난 작은 비저항 값을 보여주어 이를 이용하여 계산한 공극률은 저탁류나 원양성 시료에 비하여 큰 값을 보여주고 있다.

결론

1. 미고결 퇴적층 시료의 전기비저항, 투수계수를 봉압의 증가에 따라 측정할 수 있는 장치를 설계하고 제작, 조립하였다. 시료의 투수계수와 전기비저항을 동시에 측정함으로써 측정시간을 단축시키는 장점이 있다.

2. 점토성분과 모래성분의 비율변화에 따라 투수계수와 전기비저항, 공극률이 변화하는 양상을 살펴 보았다. 봉압이 증가하면 입자들이 압축배열하여 공극의 크기가 줄어들어서 투수계수가 지속적으로 감소하는 추이를 보여주었다. 접합계수는 봉압이 증가함에 따라 증가하는 현상을 보여준다.

3. 동해 울릉분지의 현장시료를 채취하여 봉압의 변화에 따른 투수계수, 전기비저항, 공극률의 변화를 살펴보았다. 공극률은 Archie의 법칙을 사용하여 봉압의 증가에 따른 변화를 살펴보았다.

사사

본 연구는 2006년도 세종대학교 교내 연구비 지원에 의한 논문임.

참고문헌

- 박삼규, 2004, 지반의 전기비저항을 좌우하는 물성요인. 한국물리탐사학회지, 7(2), 130-135.
- Archie, G.E., 1942, The electrical resistivity log as an aid in determining some Reservoir characteristics. American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, 146, 54-67.
- Archie, G.E., 1947, Electrical resistivity and aid in core analysis interpretation. American Association of Petroleum Geologists, 31 (2), 350-366.
- Abu-Hassanein, Z., Benson, C.H., and Blotz, L.R., 1996, Electrical resistivity of compacted clays. Journal of Geotechnical Engineering, 122 (5), 397-406.
- Chough, S.K., Lee, H.J., and Yoon, S.H., 2000, Marine Geology of Korean Seas. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 313 p.
- Patnode, H.W. and Wyllie, M.R., 1950, The presence of conductive solids in reservoir rocks as a factor in electric log interpretation. American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, 189, 47-52.
- Rust, C.F., 1952, Electrical resistivity measurements on reservoir rock samples by the two-electrode and four-electrode methods. American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Pet. Branch, 195, 217-224.
- Sigal, R.F., 2002, The pressure dependence of permeability. Petrophysics, 43 (2), 92-102.