

전기물성 측정의 국내외 기술 동향

박삼규¹⁾, 조성준¹⁾, 이태종²⁾, 이성곤²⁾, 이상규³⁾

¹⁾한국지질자원연구원 지반안전연구부, samgyu@kigam.re.kr

²⁾한국지질자원연구원 지하수지열연구부

³⁾한국지질자원연구원 선임연구부

Technical Trends of Domestic and Overseas on Electro-physical Properties Measurement

Samgyu Park¹⁾, Seong Jun Cho²⁾, Tae Jong Lee²⁾, Seong Kon Lee²⁾, Sang Kyu Lee²⁾

¹⁾Geotechnical Engineering Div., KIGAM

²⁾Groundwater & Geothermal Resources Div., KIGAM

³⁾Senior Research Div., KIGAM

Abstract: Electrical and electromagnetic methods were widely applied to survey of civil engineering, environment site assessments and maintenance of underground structures in Korea. Electro-physical properties measurements of soil and rock are necessary in order to quantitatively estimate the ground from these survey results. A few geotechnical researcher groups have been simplified measurement system of the electro-physical properties, which was intermittently operating by the necessity. Recent strong concern about CO₂ underground storage and development of gas hydrate projects have urged many advanced countries. The electro-physical properties estimation of the deep object stratum is very importance for basic information of these research. So, advanced countries have a high-end measurement system with high temperature(200 degrees) and pressure(300 MPa), also they have been a lot of experience and know-how on the electro-physical properties measurement.

Keywords: high-end technology, resistivity, permittivity, IP, SP

1. 서론

국내의 전기 및 전자탐사가 도입되었던 초기에는 주로 금속광산 및 지하수 등의 자원탐사에 이용되었으나, 최근에는 토목 및 건설 분야, 환경오염부지, 수리시설물 등 다양한 분야의 지반조사에 전기 및 전자탐사가 널리 이용되고 있다(정승환 등, 1999; 손정술 등, 2005; 김희준, 2006; 조인기 등, 2006). 특히 탐사결과로부터 토목 설계 시 요구되는 지반정수를 산출하기 위하여 조사 대상지의 암석과 흙의 전기물성 측정 자료가 필요하게 되지만, 대부분 외국의 문헌에서 전기물성 자료를 인용하고 있는 실정이다. 최근 국내에서도 세계적으로 관심을 가지고 있는 CO₂ 지중 처분과 신생 에너지의 가스 하이드레이트 개발, 환경오염 부지평가 등의 연구과제가 수행되면서 전기 및 전자탐사 결과를 정량적으로 해석하기 위하여 암석과 흙의

전기물성 측정에 높은 관심을 가지고 있다(김희준 등, 2005). 그러나 국내에서는 전기물성 측정에 있어서 일부 대학 및 연구소에서 필요에 따라 간이로 측정할 수 있는 시스템만 갖추고 있는 실정이다.

따라서 이 논문은 국내외 발표논문 및 현장견학으로 수집한 자료를 토대로 전기물성 측정에 관한 국내외 기술 동향을 살펴보고 선진국과의 기술격차를 극복할 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

2. 국내 기술 동향

전기비저항, 유전율, IP(Induced Polarization), SP(Spontaneous Potential) 등의 전기물성 측정은 주로 지하자원 개발과 관련하여 연구가 수행되었다(현병구, 1966; 신희순 등, 1978a; 신희순 등, 1978b; 서정희 등, 1985; 유한진 등, 1986; 함영달 등, 1990). 그러나 사회 기반시설이 확충되면서 토목/건설 분야의 지반조사에 전기 및 전자탐사가 널리 적용되었고 탐사결과로부터 암반분류 및 지반정수를 도출하기 위하여 암석의 전기물성 측정이 시도되었다(최재화 등, 2001; 김만일 등, 2004). 1980년 이후 비위생 쓰레기 매립지, 폐광산의 침출수 등 환경오염 문제가 사회적으로 대두되면서 환경, 지질재해 및 수리시설물 유지관리 등에 전기 및 전자탐사가 유용하게 적용되면서부터 탐사결과로부터 오염정도 및 수리특성을 정량적으로 평가하기 위하여 암석과 흙의 전기물성 측정에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다(Yoon and Park, 2001; 송성호 등, 2003; 박삼규, 2004; 오명학, 2005; 박미경, 2005; 김만일 등, 2005; 신민재 등, 2005; 배위섭 등, 2006).

Fig. 1은 1960년도부터 2005년까지 전기물성 측정에 관한 국내 학회지에 발표된 논문 수를 나타내고 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이 국내에서의 전기물성 측정은 물리탐사와 관련된 일부 대학교와 연구원에서 측정하고 있는 실정이며, 관심 있는 분야는 환경오염 물

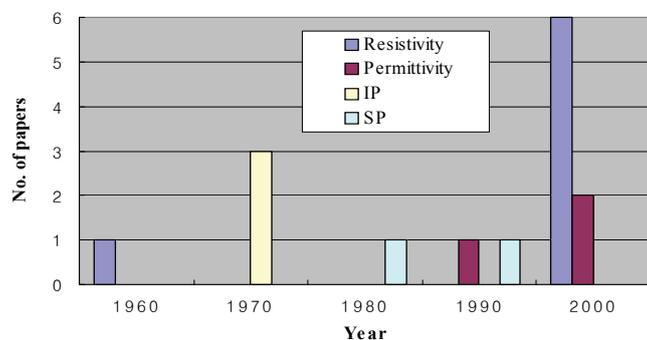


Fig. 1. Number of papers on electro-physical properties measurement published in Korea from 1960 to 2005.

3. 국외 기술 동향

Wenner(1916)와 Schlumberger(1920)에 의해서 4극법의 전기비저항탐사가 처음 개발되었으며, 전기 및 전자탐사는 금속광산이나 유전, 지하수 등 자원탐사법으로 널리 이용되어 왔다. 석유탐사와 관련하여 전기물성 측정은 주로 저류암인 다공질 사암의 석유 매장량을 평가하기 위하여 많은 연구가 이루어졌다. 가장 대표적인 것이 Archie(1942)의 경험식으로 공극수의 전기비저항을 알면 지층의 공극률을 평가할 수 있기 때문에 저류량 산출에 많이 사용되어 왔다. 그러나 점토를 함유하고 있는 지층에 대해서는 공극수 자체의 이온전도 외에 지층에 함유되어 있는 미립의 점토분이 전기전도성 물질의 역할을 하기 때문에 Archie의 경험식을 적용하기

에는 적합하지 않음이 밝혀지면서, Patnode and Wyllie (1950)에 의해 병렬 저항 모델(parallel resistances model)이 제안되었다. 그 이후에 암석 및 흙에 대한 전기물성 측정은 많은 연구자들(Klein and Sill, 1982; Bussian, 1983)에 의해서 밝혀졌다.

최근 국제적으로 자원탐사와 지반환경조사를 위한 전기 및 전자탐사의 수요가 증가하고 있다. 특히 미국, 일본을 비롯한 선진국에서는 Heavy oil, 가스 하이드레이트, CO₂ 지중처분 등의 신생 에너지개발 및 지구환경 변화에 대처하기 위한 새로운 연구가 진행되면서 고온 고압 조건하에서의 전기물성 측정 시스템을 구축하고 있으며, 많은 연구결과들이 축적되어 있다.

3.1. 미국의 기술 동향

미국의 경우 지하 에너지개발과 관련하여 가스나 석유를 함유한 암석의 전기물성 측정에 많은 연구가 수행되어왔다. Fig. 2는 미국에서 1970년도부터 2004년까지 암석물성 측정에 관한 특허 등록 건수의 연도별 추이를 나타내고 있다. 1970년대부터 특허출원이 시작되어 1980년대 중후반을 기점으로 특허건수가 감소하고 있는데, 이는 1990년대부터 저유가에 의해 연구 활동이 미진한 것에 기인

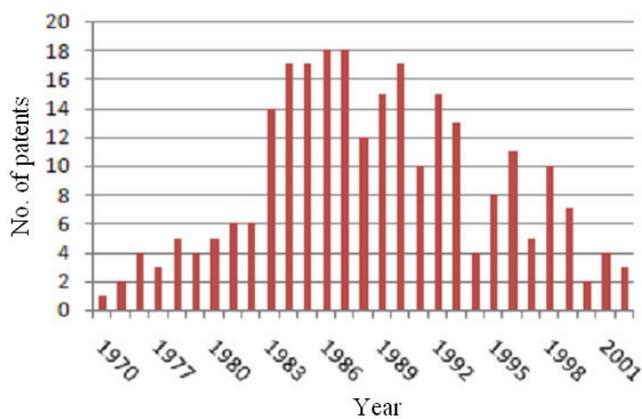


Fig. 2. Number of patents on rock physical properties measurement registered in U.S.A. from 1970 to 2004.

한 것으로 생각된다. 특허 출원은 대부분 석유회사들이며, 유가와 특허 건수는 밀접한 관계가 있음을 시사하고 있다.

최근 미국에서 수행하고 있는 주요 연구과제는 Heavy oil의 물성측정으로, Mobil oil corporation을 비롯한 석유회사들뿐만 아니라 고정밀 전기물성 측정 시스템을 제작 판매하는 New England Research, Inc.(NER), Core Laboratories Inc., Geotechnical Consulting and Test System(GCTS)과 Colorado School of Mines(CSM)의 The Center for Rock

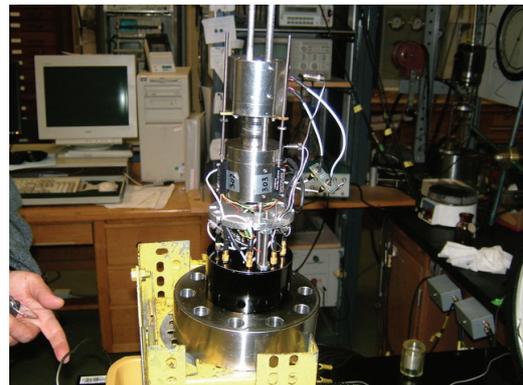


Fig. 3. Vessel of measurement with high temperature and pressure.

Abuse, 스탠포드 대학의 Stanford Rock Physics & Borehole Geophysics Project(SRB) 등의 연구그룹에서 활발하게 물성 측정에 관한 연구를 수행하고 있다. 이들 연구 기관은 암석 시료를 대상으로 온도 250℃까지, 압력 200MPa까지의 환경에서 측정할 수 있는 high-end technology에 도전하고 있다(Fig. 3).

3.2. 일본의 기술 동향

일본의 경우 암석과 흙의 전기물성 측정은 1960년대부터 연구가 이루어져왔다. 초기에는 주로 암석과 광석의 전기 및 전기화학적 과도현상의 기초적 연구가 수행되었으며, 그 이후에 측정 장비가 개발되면서 암석과 흙의 물성요인이 전기적 성질에 미치는 영향에 대해서 많은 연구가 진행되어 왔다(Katsube, et al., 1965; Chiba, 1994; Park and Matsui, 1998; Park et al., 1999).

일본은 최근 들어 CO₂의 지중처분과 관련하여 고온 고압 조건하에서의 전기비저항 측정 시스템을 개발하고 있으면, CO₂ 주입량에 따른 전기비저항의 변화를 측정하여 주입량 평가기법을 연구하고 있다. 일본에서 암석과 흙의 전기물성 측정 시스템을 갖추고 있는 곳은 전력 중앙연구소, AIST(Advance Industrial Science and Technology), 교토대학, JAPEX Research Center 등이 있다.

전력중앙연구소는 최근 세계정세에 발맞추어 지구 온난화 영향의 과학적 평가 및 적용, 자원개발을 위한 저류층 평가 등 미래의 에너지 자원에 관한 연구과제가 활발하게 진행되고 있다. 전기적 물성 측정 시험실은 지구공학 연구소에서 주로 수행하고 있으며, 지층에 저장한 CO₂ 모니터링 수법 개발과 다공질 암의 저류성 평가를 위한 기초적 연구의 일환으로 고온 고압 조건하에서 전기적 물성을 측정하고 있다 (Fig. 4).

AIST에서는 최근에 수행하고 있는 연구과제의 일환으로 고온 고압 조건에서 전기물성을 측정하기 위하여 주변장치 및 측정 홀더를 제작해 사용하고 있다. Fig. 5는 고온 고압 조건에서 사용하는 암석 시료 홀더(a)와 모식도(b)를 나타내고 있다. 고온 고압 조건하에서 전기적 물성을 측정할 때 가장 중요한 것은 시료 홀더로 AIST에서도 많은 시행착오를 겪고 있었다. 그 이유는 고온 고압 조건에서 요구되는 센스의 내구성과 온도 상승 및 하강에 따른 전극설치 등 많은 어려운 문제점을 해결하고 있다. 전기비저항을 비롯한 SIP 등 상온에서 전기물성을 측정할 수 있는 시스템을 갖추고 있으며, 고온 고압 조건하에서도 전기물성을 측정할 수 있는 시스템을 가동하고 있다.

4. 결론

미국과 일본에서는 Heavy oil, CO₂ 지중처분, 가스 하이드레이트 등의 연구 과제를 수행하면서 상온에서 뿐만 아니라 고온 고압 조건에서의 측정 시스템을 구축하여 많은 자료 축적 및 기술 노하우를 가지고 있다. 온도의 경우는 200℃까지, 압력은 300MPa까지 측정 시스템 구축이 가능한 것으로 알려져 있다. 이러한 관점에서 볼 때 국내의 전기물성 측정은 대학과 연구기관에서 필요에 따라 간이로 측정할



Fig. 4. Rock specimen measurement system for high temperature and pressure.

수 있는 정도이며, 고온 고압 조건하에서는 측정할 수 있는 장비 및 설계 능력은 부족한 것으로 조사되었다. 특히 최근에 국제적으로 관심을 보이고 있는 Heavy oil, CO₂ 지중처분, 가스 하이드레이트 등의 연구 과제를 수행할 때 요구되는 고온 고압 조건하에서의 암석 물성 측정 시스템은 국내에서 전무하다. 국내의 물리탐사 기술은 선진국 수준에 달해 있지만, 이를 뒷받침할 수 있는 암석과 흙의 기초적 물성 측정 실험실 구축은 후진국 수준에 머물러 있다.

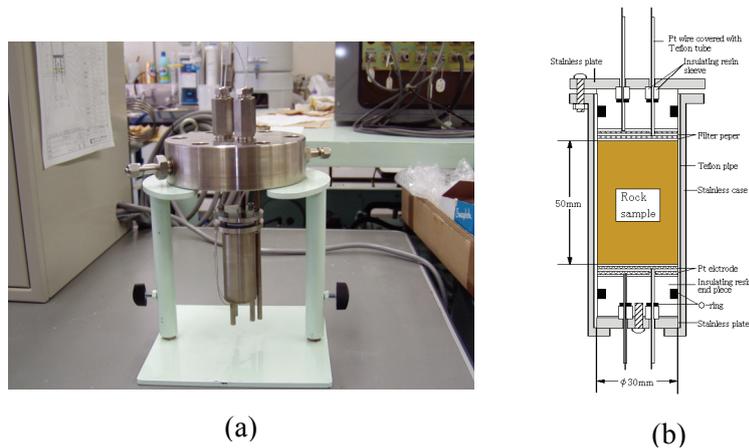


Fig. 5. Rock specimen holder(a) and schematic view(b) used under the condition of high temperature and pressure .

감사의 글

이 연구는 한국지질자원연구원 자체사업인 “상시가동 전기물성 시험실 구축을 위한 기획” 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

김만일, 정교철, 박창근, 2004, 지하담 지반 물성치 측정을 위한 유전율 측정 시스템 개발, 지질공학회지, **14**, 361-369.

김만일, 정교철, 2005, 유전율에 의한 지반 매질내 유류침투거동 분석, 지질공학회지, **15**, 29-39.

김정호, 정승환, 조인기, 1996, 암반내 레이더 탐사를 위한 암석의 유전율 측정, 한국자원공학회지, **33**, 383-390

김희준, 2006, 한국의 전기탐사, 자원환경지질, **39**, 473-483.

김희준, 최지향, 한누리, 남명진, 송운호, 이태중, 서정희, 2005, 시간경과에 따른 반복적 물리탐사 기법을 이용한 이산화탄소의 지중처리 모니터링, 물리탐사, **8**, 280-286.

박미경, 2005, 점토광물의 함유량에 따른 전기비저항 특성에 관한 실험적 연구, 물리탐사, **8**, 218-223.

박삼규, 2004, 지반의 전기비저항을 좌우하는 물성요인, 물리탐사, **7**, 130-135.

배위섭, 정태문, 권영인, 김현태, 박삼규, 박승철, 2006, 미고결 시료의 전기비저항과 투수계수와의 관계연구, 한국지구시스템공학회 추계학술발표회 논문집, 강원랜드, 231-137.

신민재, 배위섭, 박삼규, 2005, 인공시료를 활용한 봉합 증가에 따른 전기비저항의 변화연구, 한국지구시스템공학회 추계학술발표회 논문집, 서울aT센터, 326.

송성호, 김기주, 박삼규, 용환호, 조인기, 2003, 토양 수리특성에 따른 전기비저항 관계 규명

- 을 위한 실내시험 결과, 한국지하수토양환경학회 추계학술발표회, 제주대학교, 116-119
- 손정술, 김정호, 이명중, 고경석, 2005, 쓰레기 매립장 주변의 침출수 오염조사 사례: 전자탐사 및 자력탐사의 적용, 물리탐사, **8**, 137-144.
- 정승환, 이명중, 김정호, 조성준, 송윤호, 1999, 지반조사를 위한 3차원 전기비저항 탐사, 한국물리탐사학회 특별심포지엄, 서울 교육문화회관, 21-36.
- 오명학, 2005, 흙의 전기적 특성 평가를 통한 지반오염 감지시스템 개발, 공학박사학위논문, 서울대학교.
- 현병구, 1966, 암석의 전기비저항 측정 -수포화상태 암석의 전기적 성질-, 한국자원공학회지, **3**.
- 조인기, 강형재, 이병호, 김병호, 이상선, 박영규, 이보현, 2006, 전기비저항 상시관측에 의한 제체 안전도 지수 산출, 물리탐사, **9**, 155-162.
- 최재화, 조철현, 류동우, 서백수, 권병두, 2001, 전기비저항과 터널막장 암반분류의 상관성 검토, 대한지구물리학회 제4차 정기총회 및 학술발표회, 19-20.
- 신희순, 서정희, 현병구, 1978a, 충북 괴산지방의 함우라늄 저질탄 및 주변암석의 IP 특성에 관한 연구 (I), 대한광산학회지, **15**, 1-12.
- 신희순, 서정희, 현병구, 1978b, 충북 괴산지방의 함우라늄 저질탄 및 주변암석의 IP 특성에 관한 연구 (II), 대한광산학회지, **15**, 96-104.
- 서정희, 정현기, 유한진, 조인기, 1985, 인공모형광석의 Spectral IP 반응, 대한광산학회지, **22**, 326-334.
- 유한진, 서정희, 1986, 국내산 벤토나이트 시료에 대한 SP 반응, 대한광산학회지, **23**, 371-381.
- 함영달, 송윤호, 서정희, 1990, 국내산 벤토나이트 시료에 대한 SP 반응, 대한광산학회지, **27**, 246-255.
- Chiba A. and Kumata M., 1994, Resistivity measurement for granite and tuff samples -Influence of pore fluid resistivity on rock resistivity-, *Butsuri-Tansa*, **47**, 161-172. (In Japanese)
- Archie, G.E., 1942, The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristic, *Trans, A.I.H.E.*, **146**, 54-67.
- Bussian, A.E., 1983, Electrical conductance in a porous medium. *Geophysics*, **48**, 1258-1268.
- Yoon G.L. and Park J.B., 2001, Sensitivity of leachate and fine contents on electrical resistivity variations of sandy soils, *Journal of Hazardous Materials*, **B84**, 147-161.
- Klein, D.J. and Sill, W.R., 1982, Electrical properties of artificial clay-bearing sandstones. *Geophysics*, **47**, 593-1601.
- Park S.G. and Matsui T., 1998, Basic study on resistivity of rocks, *Butsuri-Tansa*, **51**, 201-209. (In Japanese)
- Park S.G., Fujiwara, H., Park M.K. and Matsui T., 1999, Fundamental study on resistivity of soils, *Butsuri-Tansa*, **52**, 299-306. (In Japanese)
- Patnode, G.E. and Wyllie, M.R.J., 1950, The presence of conductive solids in reservoir rocks as a factor in electric log interpretation, *Trans, A.I.M.E.*, **189**, 47-52.
- Schlumberger, C., 1920, *Etudes sur la prospection erectrique du sours sol*, Gauthiers-Villars, Paris.
- Katsube, T., 1965, A basic study on the electric and electrochemical transient phenomena in rock and mineral ore sample, *Butsuri-Tansa*, **18**, 25-34. (In Japanese)
- Wenner, F., 1916, *A method of measuring earth resistivity*, Bulletin of the Bureau of Standards, **12**, 469-478.