

점토광물의 함유량에 따른 전기비저항 특성에 관한 실험적 연구

박미경^{1*}

¹부경대학교 지질환경연구소

Laboratory Study on the Electrical Resistivity Characteristics with Contents of Clay Minerals

Mi-Kyung Park^{1*}

¹The Institute of Engineering Geosciences, Pukyong University

요약 : 본 연구는 단층 파쇄대에 발달되어 있는 점토광물의 종류 및 함유량과 전기비저항의 관계를 밝히기 위해서 실제 암석대신 특별히 제작한 한천 공시체를 이용하여 점토광물의 함유량을 변화시키면서 전기비저항을 측정하고, 그 결과로부터 한천 공시체의 점토광물의 종류 및 함유량과 전기비저항과의 관계에 대해서 고찰하였다. 실험에 있어서 한천 공시체에 함유시킨 점토광물은 Kaolinite와 Montmorillonite의 두 종류이며, 동일 공시체를 이용하여 점토 함유량을 0~40 % 까지 조금씩 증가시키면서 전기비저항을 측정했다. 그 결과 공시체에 두 종류의 점토함유량이 증가할수록 전기비저항은 낮아지고 있으나, 같은 점토함유량에 있어서는 Kaolinite보다 Montmorillonite가 공시체의 전기비저항을 훨씬 저하시키고 있음을 알았다. 또한 공시체의 전기비저항과 점토함유량과의 상관성을 구한 결과 0.89로 높게 나타났으며, 측정결과를 이용하여 점토광물의 함유량과 전기비저항과의 관계식을 제안할 수 있었다.

주요어 : 전기비저항, 한천 공시체, 점토함유량, Kaolinite, Montmorillonite

Abstract : This study considers to electrical resistivity characteristics for clay minerals types and contents in fractured and fault zone. The electrical resistivity is measured for an artificial agar specimen with clay minerals instead of a natural rock. The artificial agar specimen with clay minerals was special worked in study. The clay minerals used are Kaolinite and Montmorillonite in test, the clay mineral contents increases until 0~40 % to the same specimen. As results, the electrical resistivity of the specimen decreased gradually as the clay mineral contents increases for all types of clay minerals. Montmorillonite shows remarkably lower resistivity than Kaolinite, although its clay content is fewer than that of Kaolinite. Also, a proposed experimental expression shows a good correlation coefficient as high as 0.89 or more in all clay minerals.

Keywords : Electrical resistivity, agar specimen, clay mineral contents, Kaolinite, Montmorillonite

서 론

최근의 전기비저항 탐사는 2차원 또는 3차원의 영상화 기술을 적용한 지반탐사 기술로서 정착되어, 토목 및 건축분야의 지반조사에 널리 사용되고 있다. 탐사결과로부터 얻어지는 지반의 전기비저항 분포는 기존의 조사방법으로 얻은 자료와 함께 종합적으로 해석함으로써 터널의 암반분류, 지질구조 및 지하수 분포상태 등을 파악하는데 유용한 방법으로 이용되고 있

다(Matsui, 1995; Matsui *et al.*, 1999; 2000).

그러나 탐사결과를 정량적으로 평가하여 지반공학적 특성을 판단하기에는 어려움이 있어 주로 탐사에서 얻어진 전기비저항 분포 패턴으로부터 지반상태를 정성적으로 판단하고 있는 실정이다. 그 이유로서는 지반 전기비저항에 영향을 미치는 요인이 많고, 그 요인들이 복합적으로 나타나기 때문에 어떤 요인이 어느 정도의 영향을 미치고 있는지 판단하기가 어렵기 때문이다. 지반의 전기비저항은 지반의 전기적 성질에 관계하는 물리량으로 암종, 파쇄대 및 균열에 의한 공극률, 포화도, 지하수의 전기비저항, 온도, 풍화 및 변질에 따른 점토광물 함유량에 의해 변화한다. 따라서 전기비저항과 이러한 물성요인과의 관계를 밝히는 것은 전기비저항 분포로부터 지반상태를 해석함에 있어 매우 중요하다(Archie, 1942; Bussian, 1983; Matsui *et al.*, 1999; Park *et al.*, 1999a; 1999b).

2004년 5월 11일 접수; 2005년 5월 10일 채택

*Corresponding author

E-mail: mikyung@mail1.pknu.ac.kr

Address: The Institute of Engineering Geoscience,
Pukyong University, 559-1 Daeyon-dong, Nam-gu,
Busan, 608-737 Korea

일반적으로 지하수로 포화된 단층 파쇄대나 풍화대에서는 전기비저항이 낮게 나타나는 것으로 알려져 있다. 그 이유는 풍화 및 변질작용에 의해 점토광물의 함유량이 높아지고, 암반의 파쇄 및 균열에 의해 공극률이 증가함으로써 체적 함수율이 높아지기 때문이다. 특히, 이러한 단층파쇄대의 탐지는 토목공사를 시공함에 있어서 매우 중요하기 때문에 저비저항대가 되는 요인인 점토광물과 전기비저항의 관계를 밝히는 것은 매우 중요하다(Klein and Sill, 1982; Matsui *et al.*, 1999; Nishikawa, 1992; Takakura, 2000; Takakura *et al.*, 2000; Uchida *et al.*, 2001).

암반은 물리적 및 화학적 풍화작용을 받아 구성광물의 일부가 점토화 되면 지반의 전기비저항을 저하시킨다. 따라서 풍화된 암석에서 점토광물의 함유량에 따른 전기비저항 변화의 관계를 밝히는 것은 지반의 전기비저항으로부터 지반의 연약대를 해석하는데 있어서 매우 중요하다. 그러나, 동일한 종류의 많은 암석에 대해서 풍화 정도에 따른 점토광물 함유량의 변화와 이것이 전기비저항에 미치는 영향을 밝히는 것은 결코 쉽지 않다.

따라서 본 연구는 단층 파쇄대에 발달되어 있는 점토광물의 종류 및 함유량과 전기비저항의 관계를 밝히기 위해서 실제 암석대신 특별히 제작한 한천 공시체를 이용하여 점토광물의 함유량을 변화시키면서 전기비저항을 측정하고, 그 결과로부터 한천 공시체의 점토광물의 종류 및 함유량과 전기비저항과의 관계에 대해서 고찰하였다.

실험 재료

한천과 증류수

일반적으로 한천(agar)은 양갱과 같은 과자의 재료나 식용으로 이용 될 뿐만 아니라, 세균의 재배지, 조직 배양, 의약품 등 여러 분야에 걸쳐 널리 이용되고 있지만, 본 연구에서는 화학 시약으로서 시판되고 있는 분말상태의 한천을 이용하여 증류수와 함께 혼합해서 실험 공시체를 만들었다.

실험에 사용한 한천은 홍조류를 열수로 추출해서 얻어지는 점질성 복합다당류의 물질로서 아가로스(agarose)가 주성분인 공업용 한천이다. 이 한천은 가열에 의해 용해되고 냉각에 의해 응고되어 겔로 되는 특성을 가지고 있다. 또 한천의 응고점은 40 °C 전후이고 응고한 겔의 용점은 80 °C 이상으로 열가소성의 성질을 띠고 있다. 이러한 성질을 이용하여 공시체 내의 점토광물이 균일하게 분산되어 있는 상태의 풍화 인공암을 만들 수 있다. 굳어진 한천은 쇠상고분자의 그물구조로 형성되어 수분을 많이 함유하게 된다. 그래서 보수성이 뛰어나고 온도변화에 대해서 형상이 변화하지 않는 성질을 가지고 있다.

한편, 본 연구에서는 분말상태의 한천을 여과 및 용해시키기 위한 용액으로써 전기비저항이 약 6,000 ohm-m인 공업용 제

Table 1. Physical properties of Kaolinite and Montmorillonite (Uchida *et al.*, 2001).

Properties	Clays	
	Kaolinite	Montmorillonite
Sandy (%)	0.0	2.3
Silty (%)	2.7	13.6
Clay (%)	89.3	84.1
Particle density ρ_s (g/cm ³)	2.64	2.49
Liquid limit W_L (%)	82.6	530
Plastic limit W_p (%)	28.6	40.5
Plasticity index I_p	57.6	490
Cation Exchange Capacity (CEC)	0.72	6.0

품의 증류수를 사용하였다.

점토광물

본 연구에 이용된 점토광물은 Kaolinite와 Montmorillonite이다. Kaolinite는 일반적으로 고령토라고 하는 점토광물로 도자기를 만들 때 이용된다. Kaolinite의 물성은 팽창성과 수축성은 비교적 낮고 입자의 직경은 비교적 크고 입자의 형태는 판막상으로 구성되어 있다. 한편, Montmorillonite는 시추나 물리검층시 니수로 이용되는 점토광물로서, 그 물성은 팽창성과 수축성이 매우 뛰어나고 입자의 직경이 대단히 작고 입자의 형태는 얇은 막상을 띠고 있다. 또한, Montmorillonite의 양이온교환용량(Cation Exchange Capacity, CEC)은 Kaolinite보다 약 10배 정도 크다. Kaolinite와 Montmorillonite의 물성치를 Table 1에서 나타내었다(Uchida *et al.*, 2001).

실험 방법

전기비저항 측정시스템 및 한천공시체 제작

본 연구에서 사용한 전기비저항 측정시스템을 Fig. 1에 나타낸다. 이 시스템은 공시체 몰드부(Specimen), 송신부(Function

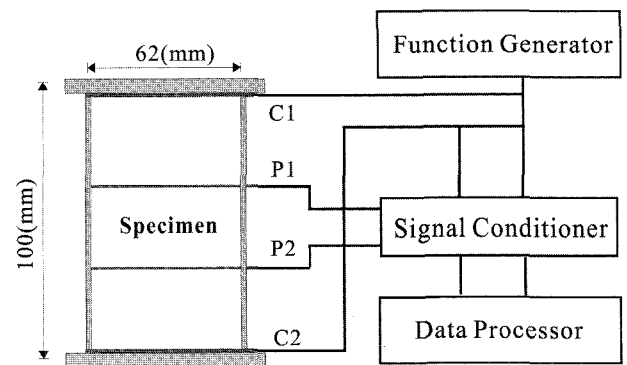


Fig. 1. Resistivity measurement of a specimen (length: 100 mm, diameter: 62 mm) using two current (C1 and C2) and potential electrode (P1 and P2) electrodes.

generator), 신호처리부(Signal conditioner) 그리고 데이터 처리부(Data processor)로 구성되어 있다. 몰드는 아크릴로 제작한 것으로, 단면의 지름과 길이는 각각 60 mm와 100 mm이다. 이 크기는 실내실험으로 이용하고 있는 암석 코어의 크기를 고려한 것이다. 공시체 몰드부에서의 전극배열은 원통으로 된 몰드의 양 단면에 배치된 동판(두께 3 mm)을 전류전극(C1과 C2)으로 설정하고, 몰드 길이를 삼등분한 지점에 구멍을 내어 동선(직경 0.55 mm)을 삽입하여 전위전극(P1과 P2)으로 사용하였다. 한천공시체의 전기비저항 측정은 원통으로 된 양 단면에 축 방향으로 평행하게 전류가 흐를 때의 각 측정구간에 대한 전위차를 측정하여, 아래의 식 (1)에 의해 전기비저항을 산출한다.

$$\rho_{sp} = \frac{S \Delta V}{L I} \quad (1)$$

여기서, ρ_{sp} 은 공시체의 전기비저항(ohm-m), S는 공시체의 단면적(m²), L은 전위차 측정구간의 길이(m), I는 공시체의 축 방향에 평행한 전류(A), ΔV 는 측정구간에서의 축방향의 전위(V)이다.

한천공시체의 제작방법은 식용 한천제리의 제작방법과 유사하지만, 다른 점으로는 맛을 내지 않는 점, 점토를 첨가하는 점 그리고 분말한천을 여과하는 점 등을 들 수 있다. 한천공시체의 제작순서를 나열하면 다음과 같다.

- (1) 분말의 한천을 여과시킨다.
- (2) 여과시킨 한천과 점토 그리고 증류수를 비이커에 넣고 잘 섞어서 약 80 °C가 될 때까지 중탕시킨다. 이때 용해된 한천과 점토가 균질한 상태가 되도록 잘 저어준다.
- (3) 이렇게 만들어진 실험재료를 몰드에 부어 넣고 건조를 방지하기 위해 비닐랩으로 밀봉하여 약 3 °C 상태의 냉장고에서 12시간 정도 냉각시킨다.
- (4) 완전히 냉각 되면 몰드에 맞는 공시체 모양으로 성형하여 전기비저항을 측정한다.

이 과정에서 몰드의 양 단면에서는 액상의 한천과 점토광물의 투입에 의해 표면장력이 생기게 되어 중심부에서 가장자리로 오목하게 들어가는 현상이 발생하게 된다. 따라서 공시체의 양 단면이 축 방향에 수직면이 되어야 하기 때문에 공시체의 재료를 몰드 바깥까지 넘치게 제작하여 냉각시킨 뒤 단면에 평행하게 잘라 동판을 밀착 시킬 수 있도록 하였다.

한천과 증류수 중량의 혼합비율과 한천의 여과에 따른 전기비저항의 관계

Fig. 2는 본 실험에 앞서 실시한 예비실험의 결과로서, 한천과 증류수의 중량 혼합비율에 따른 전기비저항과 한천의 여과에 따른 전기비저항과의 관계를 나타낸 것이다. 먼저 한천 공시체에 대해서 한천과 증류수의 중량 혼합비율에 따른 전기비저항과의 관계는 한천과 증류수의 중량 혼합비율이 1.6%에서

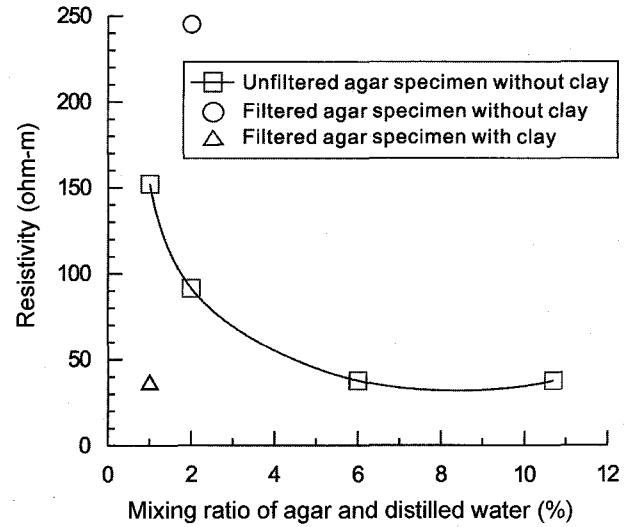


Fig. 2. Resistivity of the agar specimens as a function of the percentage of distilled water; □: unfiltered agar specimen without clay, ○: filtered agar specimen without clay and △: filtered agar specimen with clay which.

전기비저항이 약 160 ohm-m였다. 여기서 한천과 증류수의 중량 혼합비율이 6% 이상 높아지면 전기비저항이 약 40 ohm-m 정도로 일정하게 유지되는 경향을 보인다. 이와 같이 한천과 증류수의 중량 혼합비율이 6% 이상 높아지면 전기비저항이 일반 풍화암석보다 낮아지고, 혼합비율이 너무 낮으면 공시체가 너무 물러져 실험하기가 곤란한 상태가 된다. 따라서 예비실험 결과로부터 한천과 증류수의 중량 혼합비율이 약 2% 정도가 실험하기에 가장 적절한 상태임을 알 수 있었다.

한편, 한천용액을 여과지를 이용하여 여과시킴으로써 한천 속에 들어있는 각종 전해질 물질을 제거시켜 한천과 증류수의

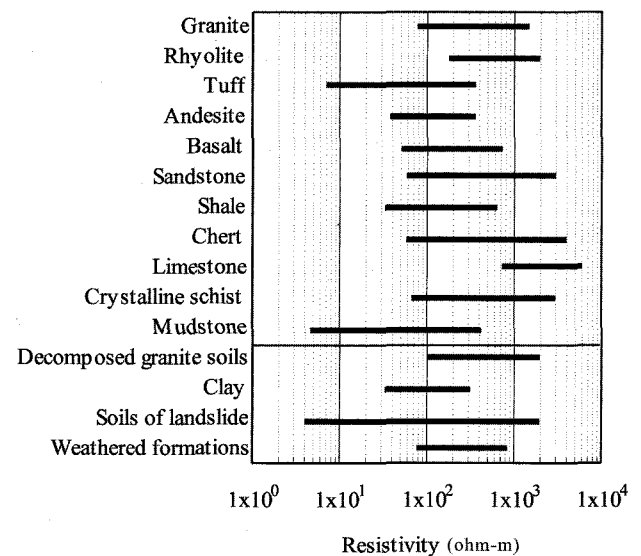


Fig. 3. Resistivities of rocks and soils (Matsui et al., 1999).

중량 혼합비율이 2%인 공시체의 경우 전기비저항이 약 245 ohm-m으로 높아졌다. 이렇게 여과한 한천을 사용하여 만든 공시체의 전기비저항을 Fig. 3에서 나타내고 있는 일반 암석의 전기비저항과 비교한 결과, 석회암과 유문암을 제외한 대부분 암석의 전기비저항 분포범위에 속하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 한천과 증류수의 중량 혼합비율을 1.6%로 조절하고 두 종류의 점토광물인 Kaolinite와 Montmorillonite의 함유량을 조절하여 공시체를 제작하였다. Kaolinite와 Montmorillonite에 대한 실험 가능한 함유량의 범위는 각각 0~40%와 0~16%였다. 또한 예비실험의 결과에 따르면 점토광물이 어느 쪽도 함유하지 않은 상태에서의 한천 공시체만의 전기비저항은 285 ohm-m였다.

한천공시체 제작의 재현성과 점토광물의 분산

한천공시체 제작에 있어서 동일한 조건에서 제작한 공시체에 점토광물의 함유량을 달리하여 전기비저항을 측정하기 때문에 공시체 제작에 있어서 재현성을 검증할 필요가 있다. 이를 위해서 한천공시체 제작에 필요한 실험조건을 일정하게 유지하여 한천과 증류수의 중량 혼합비율 2%로 설정하여 공시체를 제작하고, 전기비저항을 측정함으로써 재현성을 검토하였다. 실험에 이용한 네 개의 공시체는 ±2% 범위 내의 전기비저항 값을 얻었으며, 한천공시체 제작에 있어서 재현성을 검증하였다.

또한, 한천공시체내의 점토광물이 균일하게 분산되어 있는가를 확인하기 위해, Fig. 1에서 보여준 한천공시체의 길이보다 두 배 긴 공시체를 만들어 그 길이를 4등분하여, 각 각의 공시체에 대한 전기비저항을 측정하였다. 그 결과, 각 공시체의 전기비저항은 ±3% 정도의 범위 내에 분포하고 있으므로 한천 공시체에서의 점토광물의 분포상태는 거의 균질상태임을 확인할 수 있었다.

실험 결과 및 고찰

Fig. 4는 한천공시체를 이용한 실험 결과로서, 점토광물인 Kaolinite와 Montmorillonite의 함유량과 전기비저항과의 관계를 나타내고 있다. Kaolinite를 함유한 한천공시체는 Kaolinite의 함유량이 0에서 약 40%까지 증가함에 따라 285 ohm-m에서 33.1 ohm-m까지 감소하였다. Montmorillonite를 함유한 한천공시체의 전기비저항은 함유량이 0에서 약 16%까지 증가함에 따라, 285 ohm-m에서 9.8 ohm-m까지 전기비저항이 현저히 감소함을 보여주고 있다.

각 점토광물의 함유량이 증가함에 따라 한천공시체의 전기비저항은 낮아지고, 그 감소 폭은 서서히 작아지므로, 점토광물의 함유량과 전기비저항과의 관계는 거의 반비례임을 확인하였다. 즉, 점토광물과 같이 전기전도도가 큰 전해질 물질은 그 함유량이 증가함에 따라 전기 전도도와는 비례하는 관계이

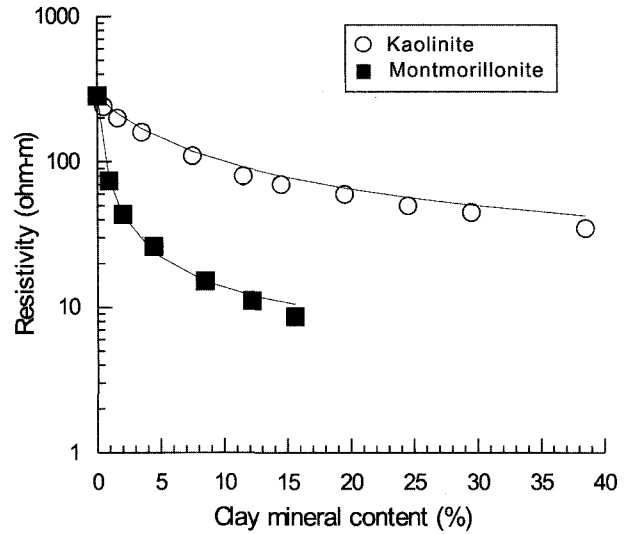


Fig. 4. Resistivity of the agar specimens of Kaolinite (○) and Montmorillonite (■) as a function of their contents. Solid curves are obtained from equation (2).

지만, 전기비저항과는 반비례 관계임을 나타낸 것이다. 특히, Montmorillonite는 Kaolinite에 비해 함유량이 적음에도 불구하고 전기비저항을 현저히 낮추는 경향이 있음을 발견하였다. 이것은 Table 1에서 보여주고 있듯이, Montmorillonite는 판상구조를 가지고 있으며 양이온교환용량(Cation exchange capacity, CEC)이 Kaolinite보다 약 10배정도 높기 때문으로 판단된다.

또한, 한천을 여과함에 있어서 여과 정도를 달리하면 동일한 한천과 증류수의 중량의 혼합비율에서도 90 ohm-m에서 245 ohm-m, 285 ohm-m 및 355 ohm-m까지 점토광물을 함유하지 않는 한천공시체 자체의 비저항을 변화시킬 수 있었다. 따라서 한천 공시체는 여과에 의해 전해질 물질의 제거 및 한천과 증류수 중량의 혼합비의 변화에 따라, 한천 공시체가 인공암으로서 이용 가능하도록 전기비저항을 조절할 수 있었고, 점토광물의 함유량도 간단히 조절할 수 있음을 확인하였다.

관계식 제안과 고찰

본 연구의 실험결과로부터 한천 공시체를 이용한 점토광물의 함유량과 전기비저항의 관계식으로서 식 (2)를 제안한다.

$$\rho_{claySP} = \rho_0 - \frac{aC}{C+b} \tag{2}$$

여기서, ρ_{claySP} 은 점토광물을 함유한 한천공시체의 전기비저항(ohm-m)이고, ρ_0 은 점토광물을 함유하지 않은 한천공시체의 전기비저항(ohm-m)이다. C 는 점토광물의 함유량(%)이고, a 와 b 는 점토광물의 종류에 따른 상수이다.

Table 2는 측정치와 식 (2)를 이용하여 얻은 상수 a 와 b 이다. 여기서 Fig. 4에서 얻어진 실험결과와 위의 관계식 (2)에 의한

Table 2. Parameters defining the clay mineral dependence estimated from the sample measurements of agar specimens.

Clay minerals	<i>a</i>	<i>b</i>
Kaolinite	272	4.72
Montmorillonite	280	0.315

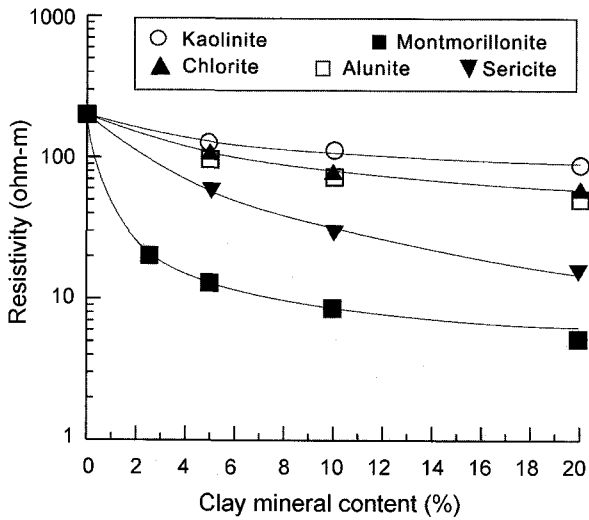


Fig. 5. Applicability of equation (2) to the results obtained by Nishikawa (1992).

결과를 비교하면, 본 실험에서 사용한 두 점토광물 모두 추정 데이터와의 상관관계가 0.89 이상으로 높았으며, 한천공시체에서의 점토광물의 함유량과 전기비저항과의 관계를 잘 나타내어 주고 있다.

본 연구에서 제안하는 점토광물의 함유량과 전기비저항과의 근사식의 유용성을 검증하기 위해, Fig. 5와 Fig. 6과 같이 기존의 연구자료와 비교 및 분석 해 보았다. 기존의 연구는 한천공시체가 아닌 유리구슬을 이용한 공시체에 각 점토광물을 함유시켜 그 함유량과 전기비저항과의 관계를 실험한 결과이다.

Fig. 5는 Nishikawa (1992)에 의한 실험결과를 식 (2)에 적용시킨 결과로서, 그 상관관계를 실선으로 나타내고 있다. 실험에 이용된 점토광물은 본 실험에서 이용하였던 Kaolinite와 Montmorillonite 뿐만 아니라 Chlorite, Alunite 그리고 Sericite 이다.

Fig. 6에서는 Takakura *et al.* (2000)에 의한 실험결과로서, 유리구슬과 0.001 N의 KCL 용액을 혼합하여 만든 공시체에 Semectite류의 각 점토광물을 함유시켜, 그 함유량과 전기비저항과의 관계를 실험했던 결과와 본 연구에서 제안한 식 (2)와의 상관성을 보여주고 있다.

Table 3에는 기존의 실험결과를 유추하여 각 점토광물에 대한 상수 *a*와 *b*를 나타내었다. 특히, Fig. 4와 Fig. 5에서 같은 점토광물종인 Kaolinite와 Montmorillonite를 비교해 보면, 본 실험에서의 Kaolinite의 상수 *a*는 272이고, Nishikawa (1992)

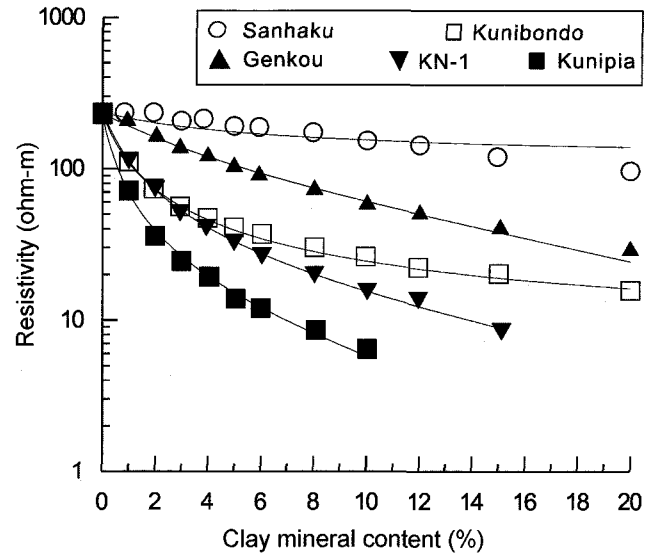


Fig. 6. Applicability of equation (2) to the results in Takakura *et al.* (1992). The specimen was made by mixing glass beads and smectite clays in 0.001 N potassium chloride solutions.

Table 3. Parameters of equation (2) estimated with the experiment results in Nishikawa (1992) and Takakura *et al.* (2000).

Nishikawa (1992)	<i>a</i>	<i>b</i>	Takakura <i>et al.</i> (2000)	<i>a</i>	<i>b</i>
Kaolinite	134	4.52	Sanhaku	120	4.9
Chlorite	172	4.41	Genkou	263	5.41
Alunite	175	3.57	Kunibondo	224	0.83
Sericite	206	2.24	KN-1	244	0.93
Montmorillonite	196	0.24	Kunipia	232	0.46

의 실험에서는 134로 약간 차이를 보여주고 있지만, *b*는 전자에서는 4.72이고, 후자의 실험에서는 4.52로 거의 같은 정도의 값을 나타내고 있다. 또한, Montmorillonite의 경우는, 본 실험에서는 *a*가 280, *b*가 0.315이고, Nishikawa (1992)에 의한 실험에서는 각각 196과 0.24를 보여줌으로써, 상수 *a*는 양쪽 실험에 의한 결과가 약간 차이가 나고 있지만, 상수 *b*에서는 거의 동일한 값을 보여주고 있다. 이러한 결과를 보면, Kaolinite 및 Montmorillonite의 변화양상은 유사하고, 상수 *a*가 서로 약간 차이를 나타내고 있는 점은 실험에 이용한 모의암석의 소재가 한천과 유리구슬이라는 차이점에 의해 발생한 것이라 생각되고, 상수 *b*는 점토특유의 상수로 판단된다.

이상과 같이 Nishikawa (1992)와 Takakura *et al.* (2000)의 기존의 실험 결과를 식 (2)에 적용시켜 본 결과, 모든 점토광물에서는 상관관계가 0.85 이상의 높은 상관성을 나타내고 있었다.

따라서, 본 연구에서 제안하는 식 (2)는 점토광물의 함유량과 전기비저항과의 관계를 유추할 수 있는 근사식으로서 유용하리라 판단된다.

결 론

일반적으로 단층 파쇄대나 풍화대, 대수층에서는 전기비저항이 낮게 나타나는 것으로 알려져 있다. 단층 파쇄대가 저비저항대로 나타나는 이유는 풍화 및 변질작용에 의한 점토광물의 함유량이 증가하는 것과 균열 등에 의해 공극률이 증가함으로써 체적 함수율이 증가하는 것을 들 수 있다. 특히, 이러한 단층파쇄대의 탐지는 토목공사를 시공함에 있어서 매우 중요하기 때문에 저비저항대가 되는 요인인 점토광물의 종류 및 함유량과 전기비저항의 관계를 밝히는 것은 매우 중요한 일이다. 본 연구에서는 지반의 전기비저항에 영향을 준 여러 요인 중에서도 풍화 및 변질에 의해 동반되는 점토광물의 함유량과의 전기비저항과의 관계를 실내실험을 통해 검토하였다.

본 실험에서는 실제 암석대신 특별히 고안한 점토광물을 함유한 한천공시체를 이용하여 전기비저항을 측정함으로써, 풍화 인공암으로서 점토광물의 함유량과 전기비저항과의 관계를 고찰하고, 그 관계식을 제안하였다. 그 결과를 아래와 같이 정리하였다.

(1) 본 실험에 이용한 두 종류의 점토광물인 Kaolinite와 Montmorillonite는 양쪽 모두 점토광물의 함유량이 증가함으로써 수백 ohm-m 정도의 공시체의 전기비저항을 수 ohm-m 정도 까지 상당히 감소시키는 것으로 나타났다.

(2) Kaolinite와 Montmorillonite는 양쪽 모두 점토광물의 함유량이 증가함에 따라 전기비저항은 감소하고, 전기비저항의 감소량 폭은 서서히 작아진다.

(3) Montmorillonite는 Kaolinite에 비해 점토광물의 함유량이 적음에도 불구하고 전기비저항을 현저히 저하시키는 것으로 나타났다. 그 이유는 전기 전도도에 영향을 미치는 양이온 교환용량(CEC)이 Kaolinite보다 약 10배정도 높기 때문으로 판단된다.

(4) 한천공시체를 이용하여 점토광물의 함유량과 전기비저항과의 관계식을 제안하였고, 그 관계식은 본 연구에서 얻어진 결과뿐만 아니라 기존의 실험자료에서도 높은 상관관계가 있음을 밝혔다.

사 사

본 연구를 수행하게끔 지도해주신 Tamotsu Matsui 교수

(전, 일본 오사카 대학)와 박삼규 박사(한국지질자원연구원), 그리고 수 차례의 반복된 실험을 함께 한 Yoshinori Uchida씨(일본 도로공사)에게 감사사를 드립니다.

참고문헌

Archie, G. E., 1942, The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics, *Trans. A.I.H.E.*, **146**, 54-67.

Bussian, A. E., 1983, Electrical conductance in a porous medium, *Geophysics*, **48**, 1258-1268.

Klein, D. J., and Sill, W. R., 1982, Electrical properties of artificial clay-bearing sandstones, *Geophysics*, **47**, 1593-1601.

Matsui, T., 1995, Needs and application of resistivity-based high-density prospecting to geotechnical engineering, *Butsuri-Tansa*, **48**, 530-538. (in Japanese)

Matsui, T., Park, S. G., and Park, M. K., 2000, Relationship between electrical resistivity and physical properties of rocks, *Proc. GeoEng2000 (International Congress sponsored jointly by ISSMGE, IAGE and ISRM)*, G0987.

Matsui, T., Park, S. G., Park, M. K., and Matsuura S., 1999, Applicability of resistivity-based high-density prospecting to rock mass survey, *Proc. 99 Japan-Korea Joint Symposium on Rock Engineering*, 141-146.

Nishikawa, N., 1992, Relation of alteration zone and physical properties in Hishikari mine, *Report of Regional geological survey of Technology Research Center, METI*, 157-187. (in Japanese)

Park, S. G., Fujiwara, H., Park, M. K., and Matsui, T., 1999a, Fundamental study on resistivity of soils, *Butsuri-Tansa*, **52**, 299-306. (in Japanese)

Park, S. G., Park, M. K., and Matsui, T., 1999b, Temperature dependency of resistivity in groundwater and water saturated soil, *Butsuri-Tansa*, **52**, 247-253. (in Japanese)

Takakura, S., 2000, Relationships of resistivity to physical, chemical and mechanical properties of clay-bearing samples, *Butsuri-Tansa*, **53**, 415-426. (in Japanese)

Takakura, S., Kozake, K., Nishizawa, O., and Aoki, M., 2000, Resistivity measurement of clay-bearing samples, *Butsuri-Tansa*, **53**, 119-128. (in Japanese)

Uchida, Y., Matsui, T., Tanimoto, T., and Park, M. K., 2001, Effect of clay content on resistivity characteristics of Substitutional rock, *The 36th Japan National Conference on Geotechnical Engineering*, F-00, 161-162. (in Japanese)