

전기영동기법에 의한 점토케이크의 형성과 투수특성

The characteristics of permeability and formation of clay cake by electrophoresis technique

김종윤¹⁾, Jong-Yun Kim, 김태호²⁾, Tae-Ho Kim, 김대라²⁾, Dae-Ra Kim, 한상재³⁾, Sang-Jae Han, 김수삼⁴⁾, Soo-Sam Kim

¹⁾ 한양대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University

²⁾ 한양대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University

³⁾ (주)지구환경전문가그룹 연구소장, Research Director, Expert Group for Earth & Environment Co. LTD

⁴⁾ 한양대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University

SYNOPSIS : This study is on sealing leakage holes where are in landfills to make clay cakes with clay particles, which have a negative surface charge using the method of electrophoresis. Generally, electrophoresis is the motion of charged particles in a colloid under the influence of an electric field; particles with a positive charge go to the cathode and negative to the anode.

In this study in order to develop the prevention system of leakages of the leachate in landfills, one-dimensional electrophoresis tests were conducted for determining the properties of the motion of the electrophoresis and cutoff using the method of electrophoresis depending on various the effect factors such as types of clays, concentrations of the clays, and applied electric field.

In case of the experiments of determining the optimum clays, Na and Ca-Bentonite, Na and Ca-Montmorillonite, which have greater zeta-potential, cation, exchange capacity as well as ability of cutoff, and Micro-cement inducing cementation were chosen and then the effect of those clays was investigated. Moreover, the properties of the motion and settling of the clays were investigated following electric field varied from 0 to 1V/cm at different concentration of the clays in order to determine both the properties of the motion of the clays and the efficiency of electric field when applying different direct current. Ultimately, the ability of cutoff was examined through measuring the permeability of the clay cakes derived from the one-dimensional electrophoresis tests.

Key words : Leakages, Electrophoresis, Colloid, Leachate, Electric field, Clay cake

1. 서 론

매립장의 라이너는 시공중 또는 시공후의 물리적 손상, 부적절한 시공, 화학적 부적합성 및 열화, 지반의 침하 등의 원인에 의해 파손이 발생하며, 이로 인해 매립지내에 저장된 오염물질이 파손 라이너를 통해 주변지반으로 누수·확산되어 심각한 환경오염을 초래 할 수 있다. 하지만 파손된 라이너에 대해 전통적인 굴착식 복구 방법을 이용할 경우 누출구의 정확한 위치를 파악하기 어렵고, 또한 폐기물 굴착에 따른 노동자들의 위생과 안전에 대한 문제를 유발한다.

이에 따라 본 연구에서는 전기영동기법을 이용한 신개념 비굴착 차수막 누수방지 기법을 개발하고자 1차원 전기영동 특성실험을 수행하였다. 본 연구에서는 침출수 내에서 최적 차수재료로 이용되는 누출

복원용 최적 점토의 종류와 점토 슬러리의 최적농도 및 적용 가능 전압경사 등 다양한 영향인자에 따른 전기영동 이동특성을 파악하였으며, 최종적으로 전기영동에 의해 형성된 점토 케이크의 투수계수를 측정함으로써 차수성을 검증하고자 하였다.

2. 전기영동기법과 전기영동을 이용한 비굴착식 차수재 복원기법의 기본원리

그림 1과 같이 직류 전기장이 흙 입자의 콜로이드 현탁액에 적용될 경우, 대전된 토립자가 전기적으로 반대 부호를 갖는 전극으로 이동한다. 따라서 음으로 대전된 점토입자는 양극(anode)으로 이동하고 반대(전하)이온(counter-ions)은 음극(cathode)게 되는데, 이러한 대전된 입자의 이동 현상을 전기영동(electrophoresis)이라 한다. 또한 입자에 작용하는 전체 힘이 평형상태에 도달하였을 때 입자는 주어진 전기장 크기에 비례하는 일정한 속도로 이동하게 되는데, 이때의 입자 이동 속도를 **전기영동 속도**(electrophoretic velocity)라 한다. 일반적으로 전기장의 전압경사에 대하여 정규화한 전기영동 이동성(electrophoretic mobility), $\mu(\text{m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1})$ 이 좀 더 보편적으로 사용되며 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\mu = \frac{v}{\Delta E / \Delta L} = \frac{\epsilon \zeta}{\eta} \quad (1)$$

이러한 전기영동의 기본원리를 이용한 비굴착식 차수막 복원기법은 누출지점을 메우기 위해 차수막 내 외부에 반대극성의 전극을 설치한 후 일정한 직류전기장을 적용시키게 되는데, 이때, 매립지 내에 투입된 점토성 콜로이드 입자는 적용된 직류전기장에 의해 부유된 상태로 음극에서 양극으로 이동하게 되고, 그림 2에 제시된 바와 같이 점토 케이크가 형성시키면서 오염물의 누출을 방지하게 된다(Darilek 1991; Darilek et al. 1995; Darilek et al. 1996). 특히 차수막은 비전도성 물질이므로 두 전극만이 누출구를 통해 전기적으로 연결되고 누출구 주위의 매우 강한 전기장이 존재한다. 대부분의 점토 입자는 음으로 대전되어 있기 때문에 누출구를 향해 이동하여 점토 케이크를 형성한 후 구멍을 메우게 된다.

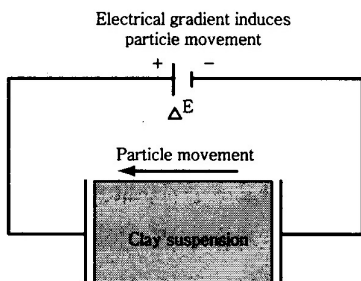


그림 1. 전기영동의 개념도

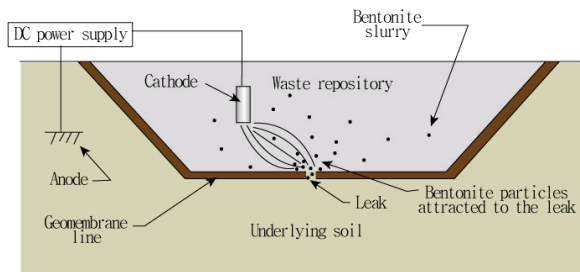


그림 2. 전기영동(Electrophoresis)에 의한 누출보수

3. 실내 실험

3.1 대상 시료 및 1차원 전기영동 실내실험 장치

본 실험에서는 문헌검토를 통해 비표면적이 크고 양이온교환능(C.E.C)가 커서 점토표면에 침출수의 양이온을 흡착시키기가 용이한 점토 재료를 우선적으로 고려하였으며, 현재 토목공사용 차수벽 재료로서 주로 이용되는 나트륨(Na)계와 칼슘(Ca)계 벤토나이트로 고려하여 Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 99.99%), Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 95~98%), Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 85%), 중국산 Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 80~85%), 국내산 Ca-Bentonite(Montmorillonite 함량 75%) 외에 제올라이트(Zeolite), 버미큘라이트(Vermiculite), 일라이트 그리고 카올리나이트를 선

정하였다. 또한 대전된 입자의 전기영동력에 의한 이동과 누출부위에서의 고결화를 유도하기 위한 재료로서 마이크로시멘트(Micro cement)를 선정하여 그 효과를 검증하고자 하였다.

본 실험에서 사용된 EK-Cell 실험 장치는 기본적으로 1차원 전기영동 실험기와 전원공급장치 및 수두 조절용 마리오 바틀(Marriottte Bottle) 3가지 구성되어 있다. 1차원 전기영동 실험기는 절연성 유지 및 침강거동 특성을 파악하기 위해 실험기 전체가 아크릴로 제작되었으며, 상부 덮개는 음(-)극 전극으로서 비부식성 스테인레스 스틸 재질의 원형 금속전극판을 설치하였고, 하부 받침에는 양(+)극 전극으로는 수소이온에 의한 전극 부식의 위험성을 방지하기 위해 원형 흑연판을 설치하였다. 또한 원형 흑연판의 경우 변수위 투수시험이 가능하도록 내부에 다량의 원형홀(Hole)이 뚫려져있다. 또한 전기영동 실험 후 원위치 상태에서 변수위 투수시험을 수행하기 위해 상부와 하부에 각각 급수구와 배수구를 별도로 설치하였다. 전원공급장치는 일정한 전압의 직류전기장을 적용하기 위해 사용되었으며, 양극에서 발생하는 산소의 배출로 인한 유체의 흐름을 방지하기 위해 동일 수두를 유지시켜 주는 수두 조절용 마리오 바틀(Marriottte Bottle)을 설치하였다.

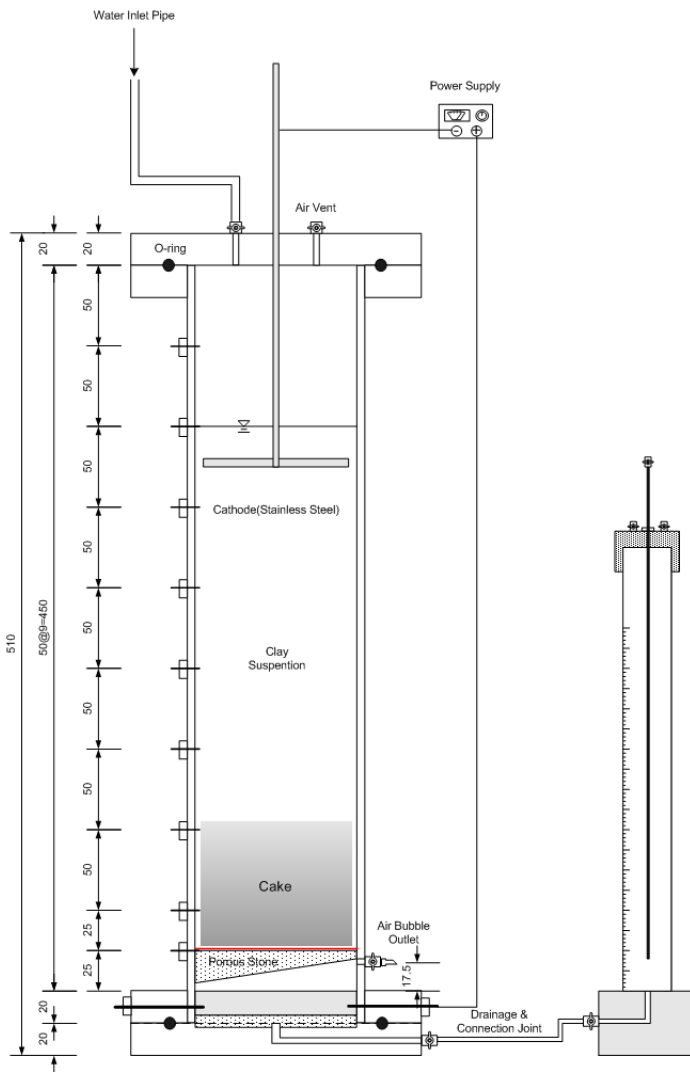


그림 3. 1차원 전기영동 실험장치



그림 4. 전원공급장치



그림 5. 수두 조절용 마리오 바틀 (Mariotte Bottle)

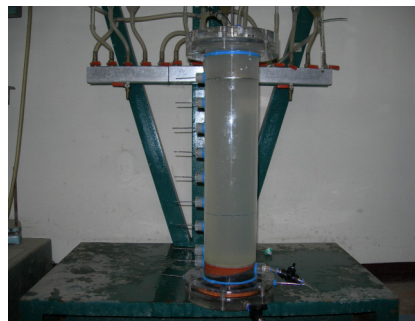


그림 6. 변수위 투수시험장치

3.2 실험조건 및 방법

3.2.1 최적 전기영동 재료의 선정 실험

1차원 전기영동실험에 적용시킬 시료의 선정을 위해 본 예비실험에서는 일정한 농도의 침출수와 교반하여 1차원 침강실험을 실시하고 그에 따른 입자의 중력 침강 속도를 측정하였다. 그리고 유사한 실험을 수행한 연구문헌의 추적을 통해 특정 재료의 효용성을 검토하였고, 각 점토재료의 제타포텐셜(Zeta-Potential)과 전기영동 이동성(Electrophoretic Mobility)을 측정하였으며, 변수위 투수 실험을 통한 결과값을 이용하여 최적 재료 3종을 선택하였다.

3.2.2 전기영동 적용성 평가 실험

본 연구에서는 매립지 현장의 적용성 평가를 위하여 침출수 내에서의 점토 재료 선정 실험에서 선정된 시료(Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 99.99%), Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 95~98%), Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 85%))를 이용하여 1차원 전기영동 실험을 실시하였다. 표 1과 2, 3은 각 시료에 대한 전기영동의 적용성 평가 실험 조건을 나타낸 것이다.

표 1. Na-Bentonite(Montmorillonite:함량 99.99%)에 대한 침출수에서의 전기영동 적용성 평가 실험조건

Case No.	Material	Fluid	Initial Clay Concentration C(kg/m ³)	Electric Gradient E(V/cm)
Case 1	Na-Bent. (Mont. 99.99%)	Leachate	5	0
Case 2				0.5
Case 3				1.0
Case 4			10	0
Case 5				0.25
Case 6				0.5
Case 7				1.0
Case 8			15	0
Case 9				0.25
Case 10				0.5
Case 11				1.0

표 2. Na-Bentonite(Montmorillonite:함량 95~98%)에 대한 침출수에서의 전기영동 적용성 평가 실험조건

Case No.	Material	Fluid	Initial Clay Concentration C(kg/m ³)	Electric Gradient E(V/cm)
Case 12	Na-Bent. (Mont. 95~98%)	Leachate	5	0
Case 13				0.5
Case 14				1.0
Case 15			10	0
Case 16				0.25
Case 17				0.5
Case 18				1.0
Case 19			15	0
Case 20				0.25
Case 21				0.5
Case 22				1.0

표 3. Na-Bentonite(Montmorillonite:함량 85%)에 대한 침출수에서의 전기영동 적용성 평가 실험조건

Case No.	Material	Fluid	Initial Clay Concentration C(kg/m ³)	Electric Gradient E(V/cm)
Case 23	Na-Bent. (Mont. 85%)	Leachate	5	0
Case 24				0.5
Case 25				1.0
Case 26			10	0
Case 27				0.25
Case 28				0.5
Case 29			15	1.0
Case 30				0
Case 31				0.25
Case 32				0.5
Case 33				1.0

4. 실험결과 및 분석

4.1 점토 재료 실험

1차적인 재료선정 과정을 위하여 각 재료에 대하여 수도권 매립지에서 채취한 침출수에 일정한 농도의 각 시료를 교반하여 전압경사를 적용시키지 않은 상태에서 1차원 침강 실험을 실시하였다. 실험 중, 버미큘라이트(Vermiculite)와, 제올라이트(Zeolite) 그리고 일라이트(illite)의 경우 다른 시료들에 비해 대략 3배 이상 빠르게 침강하는 등 중력에 의한 영향을 크게 받는 것으로 간주하여 본 실험에서는 제외시켰고, 마이셈 8000의 경우 다른 시료들 보다 상대적으로 낮은 제타포텐셜(Zeta-Potential)로 낮은 전기영동적 이동성(Electrophoretic Mobility)을 가지고 있음에 따라 1차원 전기영동 실험에 적합하지 않다고 판단하였다. 또한 Chung(1995)에 의하면 카올리나이트를 전기영동재료로 이용하였을 경우 적용된 전기장이 입자의 이동에 미치는 영향이 중력보다 상대적으로 적고, 형성된 점토 케이크의 투수계수가 매우 높게 나타남을 제시한 바 있어, 본 실험에서는 차수성이 크게 떨어지는 카올리나이트를 최적 전기영동 재료에서 제외시켰다(그림 7). 중력 침강에 의해 형성되는 점토 케이크의 투수계수 실험에서 중국산 Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 80~85%)와 국내산 Ca-Bentonite(Montmorillonite 함량 75%)의 경우 형성된 점토 케이크의 투수계수가 다른 재료들에 비해 상대적으로 높아 차수제로서 적합하지 않는 재료로 판단하였다. 따라서 Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 99.99%), Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 95~98%), Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 85%)에 대하여 최적의 농도와 전압경사를 결정하는 1차원 전기영동 실험 재료로 선택하였다.

4.2 1차원 전기영동 적용성 실험

4.2.1 일정농도에서의 전압경사의 변화에 따른 침강 특성

그림 8~10은 침출수와 일정한 농도로 교반된 Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 99.99%)에 대한 전압경사의 변화에 따른 침강의 형태를 나타낸다. 그림 8의 경우 슬러리의 농도가 5kg/m³에서의 침강 거동 특성을 나타내는데, 비록 전기장을 적용시키지 않은 Case 1의 경우 침강이 Case 2와 Case 3)의 경우 보다 점토 케이크가 늦게 형성되었지만 그 속도차이가 크지 않으므로 슬러리 농도 5kg/m³ 경우 점토 입자의 침강은 전기영동에 의한 움직임 보다는 중력에 의해 지배된 것으로 판단할 수 있다. 또한 형성된 점토 케이크 두께가 최대치에 도달한 후 점차 감소하는 것은 적용된 직류전기장에 의해 점토 케이크에서 전기삼투압밀이 발생하였기 때문으로 판단할 수 있다.

점토 슬러리의 농도가 10kg/m^3 과 15kg/m^3 에 관한 결과는 각각 그림 9와 그림 10에 각각 나타나 있다. 특히 다공질판 위에 형성된 점토 케이크의 두께는 높은 점토입자들의 농도 때문에 관찰되지 않았는데, 이는 점토 슬러리 농도의 증가로 인해 침강시 점토 입자간 간섭의 영향으로 인해 입자의 초기 침강 현상이 나타나지 않았기 때문으로 판단된다. 침강하는 속도는 전압경사 1V/cm 와 0.5V/cm 가 적용되었을 경우가 중력만으로 침강하는 경우보다 다소 크게 나타났지만, 그 차이는 매우 작기 때문에 입자들의 침강속도에 적용된 전기장의 크기에 대한 영향은 미소한 것으로 판단된다. 이는 비록 Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 99.99%)가 높은 제타포텐셜(Zeta-Potential)과 전기영동 이동성(Electrophoretic Mobility)을 가지고 있지만 침출수에 다량 함유되어있는 양이온을 점토가 흡착함에 따라 입자의 확산이중층이 줄어들게 되었고, 입자들의 응집을 촉진시켜 전기영동력보다는 중력의 영향을 크게 받았기 때문일 것으로 사료된다. 침출수와 일정한 농도로 교반된 Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 95~98%)와 Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 85%)의 전압경사 변화에 대한 점토입자들의 침강결과는 Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 99.99%)와 비슷한 침강결과를 나타냈다.

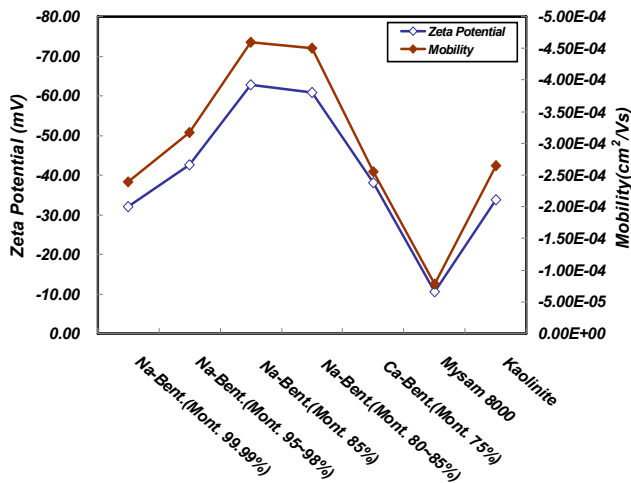


그림 7. 각각의 시료에 대한 제타포텐셜 (Zeta-Potential)과 전기영동 이동성 (Electrophoretic Mobility)과의 상관관계

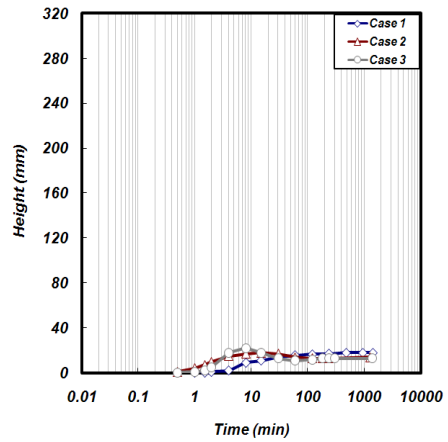


그림 8. Na-Bent.(Mont.99.99%) 농도가 5kg/m^3 일 때 전압경사의 변화 따른 침강거동;

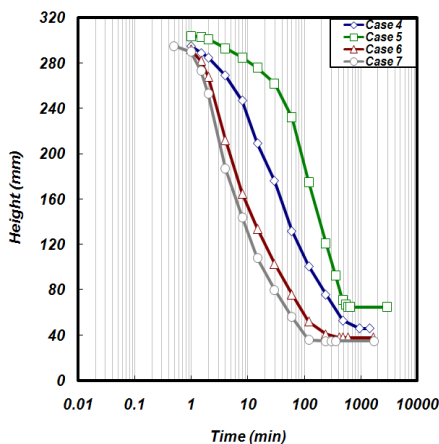


그림 9. Na-Bent.(Mont.99.99%)의 농도가 10kg/m^3 일 때 전압경사의 변화 따른 침강거동;

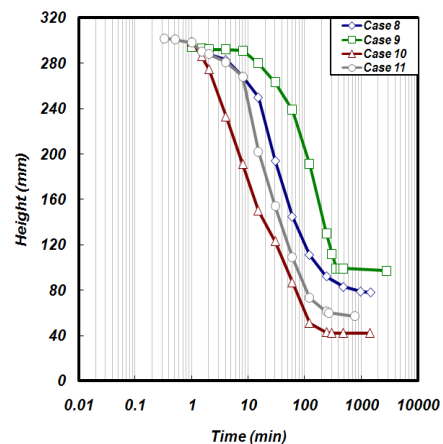


그림 10. Na-Bent.(Mont.99.99%)의 농도가 15kg/m^3 일 때 전압경사의 변화 따른 침강거동;

4.2.2 시료별 일정한 전압경사에서의 농도 변화에 따른 침강거동 특성

표 4는 침출수와 교반된 Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 99.99%), Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 95~98%)와 Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 85%)에 대한 일정한 전압경사에서의 농도 변화에 따른 형성된 케이크의 최종 두께를 나타낸다. 슬러리의 농도가 조건중 제일 작은 5kg/m³ 일 경우, 전기장의 강도가 클수록 형성된 점토 케이크의 두께는 더욱 얇게 나타났다. 특히 슬러리의 농도가 10kg/m³ 또는 15kg/m³로 일정하고 전압경사를 0.5V/cm 적용한 경우에는 다른 전압경사(0.25, 1.0V/cm)를 적용한 경우보다 형성된 점토 케이크의 두께가 더 얇게 측정되었다. 또한 슬러리의 농도가 작을수록 빠른 침강속도를 나타내었는데, 이것은 점토 슬러리의 농도가 낮을수록 입자 상호간 간섭의 의한 영향이 감소하였기 때문이라 사료된다.

표 4. 각 시료의 전압경사가 일정할 때 농도변화에 따른 형성된 점토 케이크의 두께

Sample	Na-Bent.(Mont. 99.99%)											
Case	1	4	8	5	9	2	6	10	3	7	11	
E (V/cm)	0			0.25			0.5			1		
C (kg/m ³)	5	10	15	10	15	5	10	15	5	10	15	
케이크 두께	18	46	78	65	97	14	38	42	13	35	57	
Sample	Na-Bent.(Mont. 95~98%)											
Case	12	15	19	16	20	13	17	21	14	18	22	
E (V/cm)	0			0.25			0.5			1		
C (kg/m ³)	5	10	15	10	15	5	10	15	5	10	15	
케이크 두께	14	25	45	25	36	12	15	29	7	19	40	
Sample	Na-Bent.(Mont. 85%)											
Case	23	26	30	27	31	24	28	32	25	29	33	
E(V/cm)	0			0.25			0.5			1		
C (kg/m ³)	5	10	15	10	15	5	10	15	5	10	15	
케이크 두께	20	41	62	33	68	20	34	44	18	36	53	

4.2.3 각 시료의 전압경사가 일정할 때 농도변화에 따른 퇴적고 및 투수계수 비교

그림 11은 Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 99.99%) 현탁액의 전압경사 및 농도변화에 따른 퇴적고와 투수계수를 나타낸 것이다. 전압경사가 0, 0.5, 1V/cm로 일정할 때 퇴적고는 점토 슬러리의 농도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이고 있으며, 같은 농도일 경우 전압경사가 클수록 퇴적고는 감소하는 경향을 보인다. 하지만 슬러리 농도가 15kg/m³로 동일한 상황에서 최종 퇴적고는 0.5V/cm의 전압경사보다 1V/cm의 전압경사였을 때 오히려 증가하였다. 이는 슬러리의 농도가 15kg/m³일 때는 더 많은 벤토나이트 입자들의 상호 작용력에 의한 영향이 전기장의 영향보다 더 큰 것으로 판단된다. 슬러리 농도가 5kg/m³ 일 때 투수계수가 측정되지 않은 것은 점토 케이크의 퇴적고가 너무 낮았기 때문이며, 이로 미루어 판단할 때 5kg/m³의 점토 슬러리 농도에서는 형성된 점토 케이크의 차수효과는 거의 나타나지 않을 것으로 판단된다. 전압경사가 0.5V/cm와 1V/cm를 비교할 때, 두 경우 모두 유사한 투수계수가 측정되었으므로 경제적 측면을 고려할 때, Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 99.99%)의 점토 슬러리를 전기영동 재료로서 이용할 경우 0.5V/cm의 전압경사가 최적이라고 판단할 수 있다.

Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 95~98%) 현탁액의 경우 앞서 실시했던 Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 99.99%) 현탁액을 이용한 실험과 거의 비슷한 거동을 보이지만 투수계수의 값이 목표치에 약간 못 미치는 결과를 나타내고 있다.

그림 12는 Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 85%) 현탁액의 전압경사 및 농도변화에 따른 퇴적고와 투수계수를 나타낸 것이다. Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 85%) 현탁액 역시 농도의 증가에 따라서 최종 퇴적고는 증가하고 같은 농도에서 전압경사가 증가할수록 퇴적고는 감소하게 된다.

Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 85%) 시료는 앞에 나열했던 시료와는 다르게 농도가 5kg/m³에서도 투수계수가 측정되었다. 하지만 그 값은 너무 커서 목표투수계수와는 큰 차이를 갖는다. 점토 슬러리 현탁액의 농도가 동일할 경우, 전압경사가 증가함에 따라 투수계수는 더욱 낮은 값을 나타냈으나, 전압경사가 0.5V/cm와 1V/cm 일 경우에는 앞서 제시된 바와 같이 투수계수의 값은 거의 유사하게 나타나는 것으로 확인되었다. 전체적인 투수계수의 값을 살펴보면 앞선 두 가지 시료에 비해 비교적 낮은 투수계수 값이 나오는 것을 파악할 수 있었다.

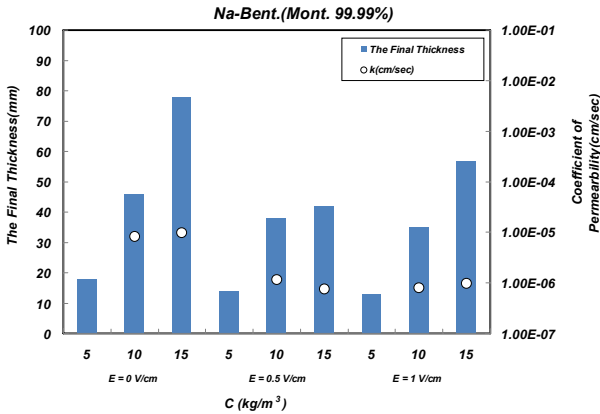


그림 11. Na-Bent.(Mont. 99.99%) 현탁액의 전압경사 및 농도변화에 따른 퇴적고와 투수계수의 비교

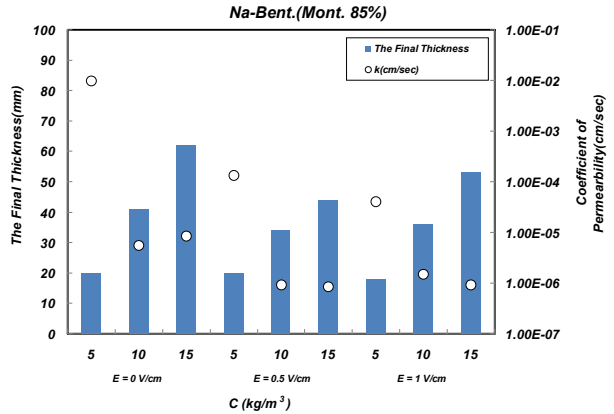


그림 12. Na-Bent.(Mont. 85%) 현탁액의 전압경사 및 농도변화에 따른 퇴적고와 투수계수의 비교

5. 결론

본 연구는 매립지 차수층 누출복원 적용을 위하여, 전기영동기법을 이용 침출수 내에서의 점토입자들에 대해 적용된 전압경사와 점토 슬러리의 농도에 따른 전기영동 거동 특성 등을 파악하기 위해 진행되었고, 이를 위해 점토 재료 선정 실험을 실시하였고, 1차원 전기영동 실험을 통해 형성된 점토 케이크의 투수계수를 측정하여 각 점토 재료의 차수제로서의 적용성을 검토하였다.

본 연구에 대한 최종 결론은 다음과 같다.

1. 점토 재료 실험의 경우 일차적으로 선정된 점토 재료에 대해 침출수 내에서의 각 입자의 중력 침강 속도를 비교하고, 유사한 실험을 수행한 연구문헌의 추적을 통해 특정 재료의 효용성을 검토 및 각 점토재료의 제타포텐셜(Zeta-Potential)과 전기영동적 이동성(Electrophoretic Mobility)을 측정하였으며, 변수위 투수 실험을 통한 결과값을 이용하여 Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 99.99%), Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 95~98%), Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 85%)를 최적 전기영동 실험 재료로 선택하였다.
2. 선정된 Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 99.99%), Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 95~98%), Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 85%)에 대해 침출수와 혼합, 일정한 농도(5kg/m³, 10kg/m³과 15kg/m³) 대하여 적용된 전압경사(0, 0.25, 0.5, 1V/cm)의 변화에 따른 침강 거동을 관찰한 결과, 침출수 내에서의 전기영동에 의한 침강 거동은 중력에 의한 침강 거동과 유사하게 관찰되었다. 따라서 직류전기장에 의한 전기영동효과는 미비한 것으로 나타났다.
3. 각 재료에 대해 일정한 전압경사에서의 농도 변화에 따른 침강의 형태를 비교 하였을 경우, 현탁액의 농도가 작을수록 빠른 침강속도를 나타내었는데, 이것은 점토 슬러리의 농도가 낮을수록 침강 시 고체 농도의 증가에 따른 입자 상호간 간섭의 영향이 줄어들기 때문이라 판단하였다.

4. 전압경사가 일정할 때 농도에 따른 최종 퇴적고와 투수계수를 비교한 결과, 슬러리 농도가 5kg/m³ 일 때 투수계수가 측정되지 않은 것은 점토 케이크의 퇴적고가 너무 낮았기 때문이며, 이로 미루어 판단할 때 5kg/m³의 점토 슬러리 농도에서는 형성된 점토 케이크의 차수효과는 거의 나타나지 않을 것으로 판단된다. 또한 전압경사가 0에서 1V/cm로 증가할 경우 투수계수가 더 낮아지는 경향을 나타냈는데, 전압경사가 0V/cm일 경우 목표로 하는 투수계수인 1×10⁻⁷cm/sec에 미치지 못하였지만 0.5V/cm와 1V/cm로 전압경사를 적용시킬 경우 목표 투수계수에 근접한 것을 알 수 있었다.
5. 전압경사가 0.5V/cm와 1V/cm를 비교할 때, 두 경우 모두 유사한 투수계수가 측정되었으므로 경제적 측면을 고려할 때, Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 99.99%), Na-Bentonite(Montmorillonite 함량 95~98%) 점토 슬러리를 전기영동 재료로서 이용할 경우, 0.5V/cm의 전압경사가 최적이라고 판단할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 환경부에서 시행하는 ‘2007 차세대핵심환경기술개발사업’의 연구비에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Chung, M.(1995), “Sealing impoundment leaks by electrophoresis” PhD dissertation, Dept. of Civil Eng., Texas A&M Univ.
2. Dairlek, G. T. (1991), “Electricity seals impoundment leaks” *Envir. Protection*, Vol. 2, No. 3, pp. 44-47
3. Dairlek, G. T., Corapcioglu, M. Y., and yeung, A. T. (1995), “Use of electrophoresis of clay to seal leaks in geomembrane liners” *Proc., Geosynthetics '95*, pp. 539-549
4. Dairlek, G. T., Corapcioglu, M. Y., and yeung, A. T. (1996), “Sealing leaks in geomembrane liners using electrophoresis.” *Journal of Environmental Engineering.*, ASCE, Vol. 122, No. 6, 540-544.