

확장형 이중패커를 이용한 지하수 공벽과 내부케이싱의 구간차폐 그라우팅 기술에 대한 연구

조희남¹ · 최성욱¹ · 박종오² · 배세달¹ · 이병용¹ · 최상일^{1*}

¹광운대학교 환경공학과

²영인산업(주)

A Study on Grouting Technology Using Expansion Double Packers for Sectional Blocking between Groundwater Borehole and Inner Casing

Heuy Nam Cho¹ · Sung Ouk Choi¹ · Jong Oh Park² · Sei Dal Bae¹
Byung Yong Lee¹ · Sang Il Choi^{1*}

¹Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University

²Young In Industry Co., Ltd

ABSTRACT

In installation of groundwater wells, grouting materials are injected between the groundwater borehole and the inner casing in order to prevent infiltration of contaminated groundwater from the top soil layers into wells. The injection device of grouting materials is commonly composed of an inlet head device with an expansion packer, a cylinder capable of storing the grouting materials, and an air cylinder. In this work, two types of common grouting materials, silicon and cement materials, were tested for their performances as grouting media. For silicon, silicon was mixed with clay or calcite, and tested for their tensile strength and underwater reactivity. Both silicon-clay and silicon-calcite mixtures had adequate flow and adhesiveness. For cement material, general cement, ultra-rapid harding cement, and natural cement were respectively mixed with three different soil types including coarse-grained granite, fine-grained granite, and gneiss, and direct shearing tests were conducted after hardening. Under grouting depth condition of 30 m, the minimum adhesive strength was greater for weathered gneiss than non-weathered gneiss with its maximum values obtained from the mixtures of ultra rapid-hardening cement.

Key words : Grouting, Expansion double packers, Sectional blocking, Silicon, Ultra rapid-hardening cement

1. 서 론

지하수의 오염은 산업화의 진척, 구제역, AI, 유류저장소 및 쓰레기 매립장 등과 같은 토양의 점오염원으로 인해 지하수가 오염되어 중요한 사회적 문제로 대두된다. 대도시 지역은 용수 수요의 증가, 다양한 잠재오염원의 증가, 인위적인 유출과 유입 등의 요인들에 의해 다른 지역의 지하수 자원에 비해 중요성이 크면서도 양적 고갈과 오염 취약성에 노출되어 있다는 문제점이 있으며, 우리나라 자원은 지질학적 특성으로 인해 외국의 국가들에 비해

여 양적으로 빈약하며, 지하수 수질 또한 무절제한 지하수 개발과 관리 소홀로 점점 악화되어가고 있는 실정이다 (Lee et al., 2007). 이에 따른 사회적 반향의 심각성과 지하수 오염 비율의 상승은 지하수 오염방지기술의 개발에 대한 그 필요성을 더욱 강하게 갖게 되는 요인이 되고 있다. 지표로부터 유입되는 각종 오염물질들은 토사층과 풍화암층을 통해 일부 여과 기능이 보이겠지만 투수층에 자연 정화의 시간이 짧고 토사층이나 풍화암층이 오염되어 있을 경우 이 공간을 흐르는 지하수 역시 함께 오염될 수밖에 없는 상황이다. 그러므로 지표의 토사 및

*Corresponding author : sichoi@kw.ac.kr

Received : 2018. 12. 24 Reviewed : 2019. 1. 2 Accepted : 2019. 1. 9

Discussion until : 2019. 4. 30

풍화암층은 매립된 점 오염원으로부터 취약하므로 지하수가 아무런 저항이나 여과수단 없이 자연스럽게 오염되어 암반대수층의 지하수까지 오염시키는 주요 요인이 되어왔다(Cho and Choi, 2009).

따라서, 지하수를 개발 이용하는 과정에서 오염된 토사 및 풍화암층에 부존하고 있는 지하수와 암반층 이상 깊이에 부존하는 지하수를 구분하여 오염된 토사 및 풍화암층으로부터 유입되는 상층 지하수가 암반 지하수로 유입되지 못하도록 하기 위한 지하수 오염방지시설은 지하수 오염을 방지하기 위한 중요한 요소라 할 수 있다(Cho and Cho, 2009). 이러한 지하수 오염방지시설은 지하수 법 및 지하수의 수질보전 등에 관한 규칙에 따라 암반(연암층) 선 1 m 이상 깊이로 두께 5 cm 이상으로 시설하도록 규정하고 있으나 시공현장에서 적법하게 시공되고 있지 않다. 오염방지시설이 부실하거나 노후화로 인한 기능상실 등으로 인해 상층 오염지하수가 유입되는 경우 지하수 수질은 급격히 악화되고 사용 용도의 수질에 부적합한 사태가 발생하게 된다(Cho et al., 2003). 이러한 상황에서 해당 지하수 관정에 대해서는 불용공처리 후 폐공 원상복구 처리를 하거나 시설개량을 통해 오염방지시설을 재시공할 수 있도록 하여 수질을 복구시키는 방법을 적용하게 된다. 본 연구의 목적은 내부케이스가 설치된 지하수 관정의 시설개량 과정에서 내부케이스가 그라우팅작업 등으로 인해 외부로 인발할 수 없는 상태에 있을 때, 효과적으로 차수벽을 구성시킬 수 있는 방법을 개발하는 것이다.

따라서 본 연구에서는 내부케이스가 설치된 지하수 관

정에서 상부 지층 및 특정 지층에서 유입되는 질산성질소, 총대장균군 및 탁도 등과 같은 종류로 오염된 지하수를 내부케이스의 인발이나 제거없이 일부구간에 나공벽을 확보할 수 있도록 천공하고 천공된 내부케이스와 공벽사이에 새롭게 개발된 본 그라우트 재료를 이용하여 차수벽을 형성하게 함으로써 오염원 차단방법을 개발하는 것이다. 연구 방법으로는 첫째로 천공된 내부케이스에 그라우트액을 주입할 수 있는 파이롯트 플랜트장치 개발 연구, 둘째로 지하수 관정의 나공벽과 천공된 내부케이스 사이에 차수벽을 빠르게 형성시킬 수 있는 그라우트 재료 등을 연구하는 것으로 이렇게 함으로써 상부 지층 및 특정 지층에서 유입되는 오염원을 근본적으로 차단할 수 있다.

2. 연구 방법

2.1. 배경 및 원리

국내에서는 지하수 관정 중에 양수시설물을 보호하기 위하여 관정 내부에 pvc 파이프를 이용한 내부케이스를 설치하여 운영하고 있다. 국가지하수정보센터(GIMS)의 데이터베이스에 따르면 내부케이스가 삽입된 지하수 관정은 2010년도 말 기준으로 사용용도에 따라 농어촌 생활용수, 민방위 비상급수, 소규모 수도시설의 간이상수도, 학교 시설 관정 등으로 분류하여 전체 198,777개소에 이르고 있다. 2005년부터 2010까지의 자료를 보면 분류된 공공시설 관정들은 년도에 상관없이 일정한 반면에 간이상수도 관정은 년도에 따라 증가하는 것으로 나타났다(Fig. 1).

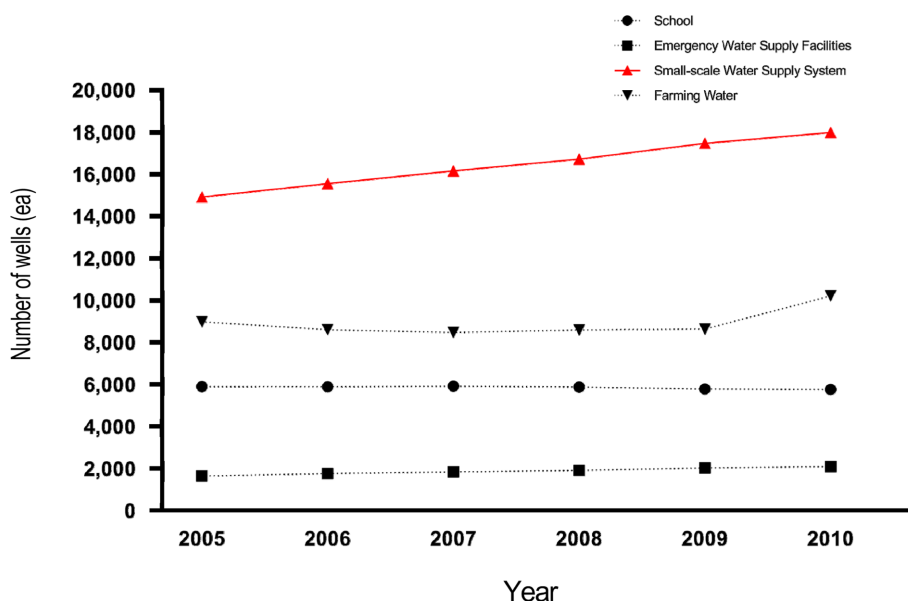


Fig. 1. The number of groundwater wells for the various uses.

내부케이싱이 삽입된 공공시설 지하수 관정은 조사 결과에 의하면 노후화, 부실화 및 점오염원에 의한 토양오염의 가속화 등으로 약 40%의 관정이 먹는 물 수질 기준에 부적합하다고 판명되어 2009년 말 기준 케이싱제거 및 시멘트 슬러리 몰탈 되메움공법(56.6%)을 비롯하여 케이싱 미제거 및 시멘트슬러리 몰탈 되메움공법(24.7%), 일반토사 되메움법(5.9%) 등으로 처리되고 있는 실정이다 (Choo et al., 2013).

2.2. 천층 지하수와 암반 지하수의 수질비교 분석

본 연구에서 내부케이싱이 설치된 지하수관정을 대상으로 천층 지하수와 암반 지하수의 수질비교 분석을 위해 시설개량을 필요로 하는 지하수 관정을 대상으로 하여 천층지하수와 암반지하수가 혼합된 수질과 팩커를 이용하여 상부 천층 지하수를 차단하고 암반 지하수만을 취수하여 조사한 수질을 비교 분석하였다.

연기군 놀왕리, 부여군 가증리, 나주시 노안면 안산리, 제주시 한림읍 금능리 그리고 영월군 남면 조전리 총 5개 관정에 대하여 천층 지하수가 포함되어 양수되는 지하수의 수질을 조사한 결과 질산성질소가 먹는 물 수질기준 10 mg/L를 초과하였으며, 시설개량을 위해 내부케이싱을 모두 외부로 인발하고 오염수 유입구간은 팩카그라우팅 공법을 이용하여 차단 후 암반지하수만을 취수하여 수질 분석한 결과 질산성질소는 먹는 물 수질기준에 적합한 평균 2.3 mg/L로 매우 개선효과가 높은 것으로 나타났다 (Table 1).

내부케이싱이 설치된 지하수 관정들의 경우, 상부 및 특정 지층의 공벽 틈새를 따라 오염된 지하수가 유입되기 때문에 내부케이싱을 외부로 인발하여 제거하지 않고서는 오염된 지하수가 유입되는 위치를 정확히 확인할 수 없다. 내부케이싱 인발시 관정의 노후화로 인발도중 파손되어 함몰되거나, 모래나 시멘트 등으로 그라우팅된 관정은 내부케이싱 인발이 불가능하여 시설개량을 포기하는 등 기술적인 문제점이 많다. 오염된 관정들은 이러한 문제점 등으로 인하여 고가의 비용을 들여 설치된 시설물일지라도

지하수 환경 오염문제로 인하여 폐공으로 취해질 수밖에 없다. 그러므로 내부케이싱이 설치된 상태에서 케이싱 내부를 천공하여 부분적으로 상부 및 특정 지층의 공벽 틈새를 따라 유입되는 오염원의 나공벽을 확보함으로써 케이싱의 인발 없이 문제점을 해결하고자 한 것이다.

Fig. 2은 천공된 내부케이싱을 통해 그라우트 재료를 주입하여 상부 지층에서 유입되는 오염원을 차단하는 방법을 도식화한 것이다. 즉, 그라우팅 방법은 상부의 표토 및 풍화대 지층에서 오염된 지하수가 관정의 공벽과 내부케이싱 사이 공간을 통해 하부로 유입되는 것을 차단하는 것이다. 1차 그라우트는 수중에서 내부케이싱과 공벽사이를 우선 차단하는 방법으로 그라우트 재료가 하부로 흘러 내림을 방지하는 것이다(Fig. 2(a)). 그러므로 그라우트 재료의 특성은 급속 응결 및 내구성이 필요하며 주입 시에

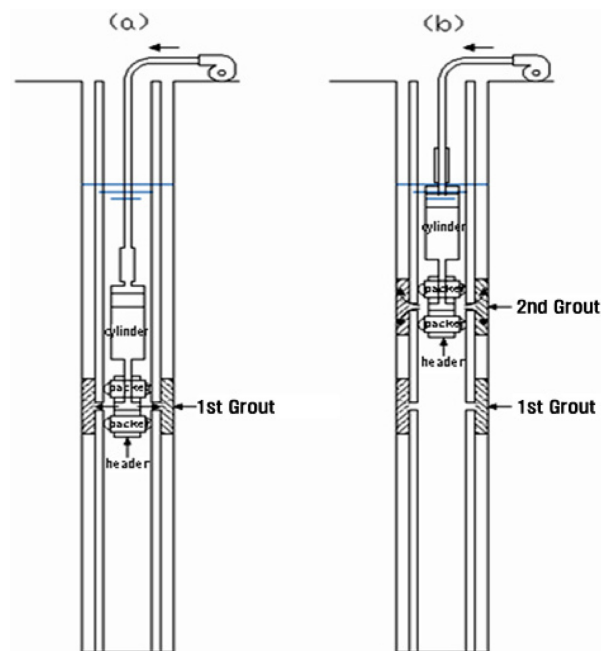


Fig. 2. Schematic diagrams of grout through drilled small size holes into the incasing. (a) The method of first grout, (b) The method of second grout.

Table 1. The effects for improvement of water quality ($\text{NO}_3\text{-N}$)

Area	Before water quality improvement (mg/L)	Packer grouting depth (m)	After water quality improvement (mg/L)
Nuwang-ri, Yeongi-gun, South Chungcheongnam-do	13.4	38.71	5.4
Gaejeonri, Buyeo-gun, South Chungcheongnam-do	10.9	60	1.8
Ansan-ri, Noan-myeon, Naju, Jeollanam-do	12.6	45	1.5
Geumneung-ri, Hanrim-myeon, Jeju	11.9	110	1.2
Chojon-ri, Nam-myeon, Yeongwol-gun, Gangwon-do	21	25	1.8

공벽 및 내부케이싱 사이에 순간 접착으로 천공된 주입구를 통해 골고루 퍼져나가야 하며 수중에서는 물에 불용성인 재료로 용해되지 않으며 시간에 따라 강도가 증대되어야 한다. 2차 그라우트는 하부에 1차 그라우트를 적용한 후 그 상부에 강도가 증대되는 재료로 채워서 완전 차단하는 것이다(Fig. 2(b)). 이러한 재료의 특성은 공벽과의 접촉면에서 전단 및 접착강도가 좋아지며 수중에서 응결이 높은 재료이어야 한다.

2.3. 그라우트 재료

그라우트는 일반적으로 기초지반에 발달되어 있는 균열, 절리, 공동, 공극 등의 틈새를 주입재료를 채워 수밀성과 지반강도를 증진시키기 위함이다(Kim et al., 2010). 주입 재료로는 토립자의 공극이나 암반에 있는 절리와 같은 틈새에 침투성이 높아야 하며 고강도가 발현되고 수밀성과 내구성이 좋아야 한다. 그라우트 입자는 균등하게 분산하고 유동성이 좋으면서 입자가 작아야 한다. 입자의 크기는 작을수록 침투성이 좋아지므로 시멘트의 입자가 더 미립화될수록 응결도 및 압축강도가 증대되어야 한다(Chun et al., 2003). 본 연구의 재료는 지하수를 오염시키는 물질이 포함되지 않은 무공해이며 물에 용해되지 않아야 한다.

1차 그라우트 재료는 일반시멘트, 벤토나이트, 황토 및 실리콘으로 선택하여 간단한 실험을 하였다(Fig. 3). 재료는 전자저울을 통해 모두 100 g의 중량을 물과 반죽하여 비커의 벽에 부착하여 떨어지지 않을 정도의 점도를 유지하였다. 물과의 혼합비는 일반시멘트에서 0.8:1.0, 벤토나이트에서 1.0:0.5, 황토에서 1.5:1.0으로 하였다. 점도는 내부케이싱에 천공된 소형 원형 투입구를 통해 관정속의 수중에서 분사되는 것으로 물속을 고려하여 비교적 점도를 굳게 하였다. 재료들은 물과 반죽한 후 물의 증발을 막기 위해 랩으로 봉한 다음 약 30분이 지난 후에 재료

들이 비커를 거꾸로 한 상태에서 흘러내리지 않을 정도의 점도를 유지하였다. 30분이 지난 후에 재료들을 물속에 넣고 막대기로 저어 재료들이 풀어지는 상태를 관찰하였다. 선정된 재료인 일반시멘트, 벤토나이트 및 황토는 물속에서 저었을 때 모두 풀어지는 것으로 관찰되었다(Fig. 3).

1차 그라우트 재료는 수중에서 순간적으로 공벽과 내부케이싱 사이의 공간을 채울 수 있어야 하며 물에 불용성이어야 하고 벽면에 점착력이 좋아 쉽게 부착할 수 있는 재료로서 실리콘이 적합하다. 실리콘은 Fig. 3과 같이 비커에 쉽게 부착되어 떨어지지 않으며 물과 불용성으로 물속에서 저어도 용해되지 않는다. 이러한 재료는 내부케이싱 내의 천공된 소형 원형 투입구를 통해 일정한 압력으로 주입하였을 때 공벽에 부착되어 흘러내리지 않고 주위에 골고루 퍼져 나가면서 공벽과 내부케이싱 사이의 공간을 막는 원리이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 그라우트 재료 검증

본 연구에서는 물에 불용성이며 공벽과 내부케이싱에 점착력이 좋아 쉽게 부착될 수 있는 실리콘 재료를 선택하였다. 실리콘 재료는 수중에서 점도에 따라 강도 및 점착력이 달라질 수 있으므로 실리콘 + 황토(SCL)와 실리콘 + 탄산칼슘(SAO)으로 구분하여 실험하였다. 황토와 실리콘의 배합은 수분의 함유로 인하여 쉽게 고화되는 특성을 보여 실리콘 1에 황토 2% 이하로 배합하였으며, 실리콘과 탄산칼슘의 배합은 점도 및 인장강도를 고려하여 45~50%로 배합하였다. 시험 종류로는 유동성 및 접착성 시험, 인장시험 및 수중 반응시험 등으로 구분하여 실시하였다.

유동성 및 접착성 시험은 SCL과 SAO의 그라우트재를

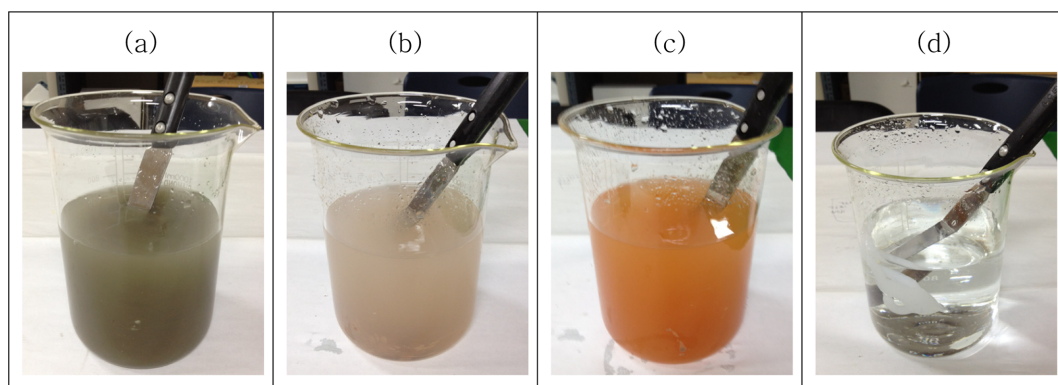


Fig. 3. Grouting materials used for experiments. (a) general cement, (b) bentonite, (c) clay, (d) silicon.

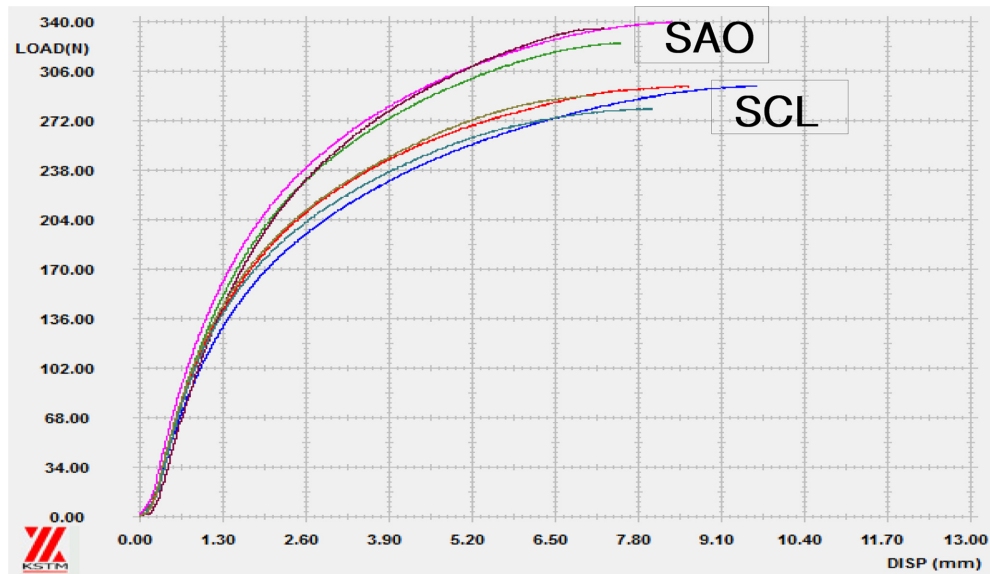


Fig. 4. The results of the experiments on tensile strengths in grout materials.

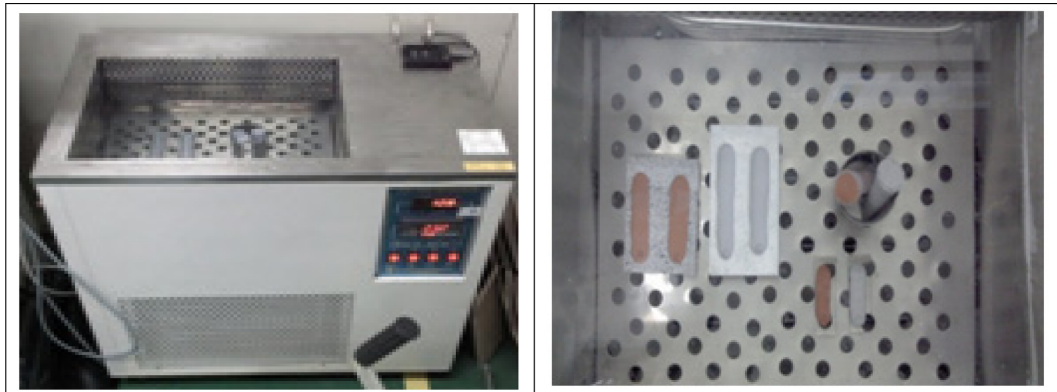


Fig. 5. The experimental equipment used for underwater reaction tests.

각각 50 g씩 비드형성한 후 수직 비치하여 슬럼프시험을 진행하였으며, 시험방법은 KS F 2402 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법을 참조하여 시험하였다. 실험 방법은 SCL과 SAO의 그라우트재를 일정량으로 비드를 형성하여 벽면에 걸어둔 후 실리콘의 흐름성을 측정하는 방법이며, SCL과 SAO를 2~3 mm 두께로 실리콘을 코킹하고 헤라로 실리콘을 밀어낸 후 실리콘의 표면에 대한 경화정도를 시간으로 측정한다.

인장시험은 SCL과 SAO에 대한 인장 강도 및 접착성을 확인하기 위해 석재 안에 H자형 시험편을 SAO 3개, SCL 4개 제작하여 시험하였다. 각 시험편은 시험오류를 방지하고 평균값을 산출하기 위하여 7개 샘플링 제작하였으며, 시험 기준으로는 SCL과 SAO의 그라우트 재료를

약 4주의 양생기간을 통해 하중에 대한 변위를 측정한다. Fig. 4는 인장시험 결과로서 SCL과 SAO의 그라우트 재료의 하중에 대한 변위를 나타낸 것이다. 전반적으로 인장시험에서 석재와 SCL의 시험편에 대한 접착력은 평균 280 N이며, 석재와 SAO의 시험편에 대한 접착력은 평균 335 N으로 나타났다. 즉, 인장강도는 SAO가 SCL보다 더 큰 탄성계수 값을 보였다.

수중 반응시험은 석재 및 플라스틱에 SCL과 SAO의 실리콘 재제를 코킹 한 후 23°C의 물(pH 7.2)에서 부착 상태, 고형화 확인 및 수중 심부 경화를 측정한다(Fig. 5). 시험은 수중 상태에서 SCL 및 SAO의 실리콘 재료에 대한 고형화 시간 및 부착 상태 적합성을 확인한다.

실험 결과를 보면 석재에서 SCL 재료는 저장성 저하

특성으로 3시간 이후 완전 고형화되며, SAO 재료는 9시간 이후 완전 고형화가 되었다. 플라스틱에서 SCL 재료는 5시간 이후 고형화가 되며, SAO 재료는 9시간 이후 고형화가 되었다. Jeong et al.(2012)은 응결시간은 온도에 영향을 받는다고 제시하고 있어 현장 적용시 내부온도를 확인할 필요가 있다. 부착상태 결과는 SCL 재료보다 SAO 재료가 더 양호한 결과를 나타냈다. 또한 심부경화 측정은 측정 용기에 실리콘을 채우고 24시간 경과한 후 수중 심부 경화 측정한다. 측정결과 SCL 재료는 4.10 mm이며, SAO 재료는 3.15 mm이다.

2차 그라우트는 지하수 관정의 공벽과의 전단강도 특성을 규명하는 것으로 1차 그라우트를 적용한 후 그 상부에 강도가 증대되는 재료로 채워서 완전 차단하는 방법이다. 재료의 특성은 공벽과의 접촉면에서 전단 및 접착강도가 좋아야 하며 수중에서 응결이 높은 재료이어야 한다.

본 연구에서는 2차 그라우트 재료에 대하여 직접전단시험을 실시하였으며 직접전단 시험(direct shear test, ASTM D 5607-95)에 사용된 시험기기는 영국 ELE사 (ELE International Ltd)에서 제작한 최대하중용량 50 KN의 유압식 전단시험기(Model Number EI77-1030)를

사용하였다(Fig. 6).

직접전단시험에 사용된 암석의 종류는 조립질화강암, 세립질화강암 및 편마암 등을 사용하였으며, 그라우트 재료로는 일반시멘트, 초속경시멘트 및 프롬시멘트 등을 사용하였다(Table 2). 본 재료의 선정이유로는 일반시멘트는 그라우트 재료로 많이 사용되고 있는 자재로써 특히 수중 그라우트 재료로 흔히 사용중에 있으며, 초속경시멘트는 조강 포틀랜드 시멘트로 긴급공사용으로 사용 중에 있다. 초속경시멘트의 재령 1일 강도는 일반시멘트의 재령 3일 강도와 거의 비슷하다. 프롬시멘트는 친환경시멘트로 조강 포틀랜드 시멘트의 특징을 가지고 있다. 공시체 모형은 암석은 일반 NX코어를 사용하였으며, 그라우트 재료로서의 공시체는 $5 \times 5 \times 5$ cm 크기의 육면체로 제작하였다. 전단강도 계산을 위한 접촉면의 면적은 암석코어시료와 그라우트재 블록의 접촉면인 19.63 cm^2 로 계산하였다.

그라우트 재료와 관정 내 암반의 종류에 따른 접촉면에서 그라우팅 심도 30 m를 가정하였을 경우 필요한 최소 접착강도는 풍화받은 편마암이 신선한 암반보다 크게 나타났다. 또한 암종별로 필요한 최소접착강도가 다르게 나타남을 의미한다(Table 3).

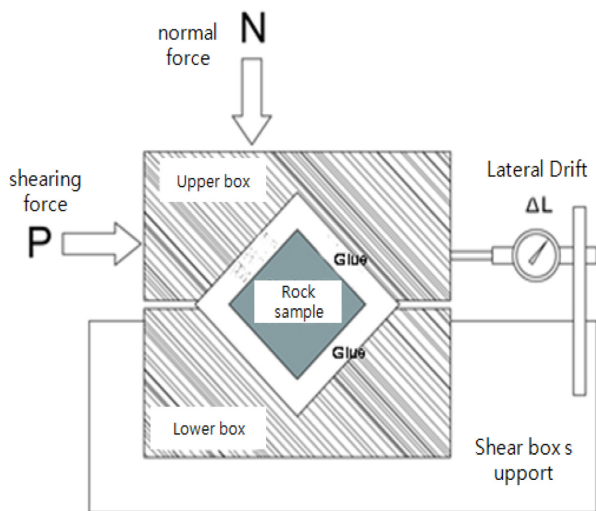


Fig. 6. The experimental equipment used for the direct shear test on rock samples.

Table 3. The results of the minimum adhesive strength between grout and rock samples, in grouting at depth of 30m

Test conditions	Minimum σ_n , kg/cm^2
A - C·Gr	13.44
A - F·Gr	14.83
A - Gn	15.06
B - C·Gr	15.86
B - F·Gr	13.37
B - Gn	11.79
C - C·Gr	13.06
C - F·Gr	13.34
C - Gn	16.15

Table 2. Materials in the simple shear test

Rock Sample	Cement		
	A (general cement)	B (ultra-rapid harding cement)	C (natural cement)
C·Gr (Coarse Grained Granite)	A - C·Gr	B - C·Gr	C - C·Gr
F·Gr (Fine Grained Granite)	A - F·Gr	B - F·Gr	C - F·Gr
Gn (Gneiss)	A - Gn	B - Gn	C - Gn

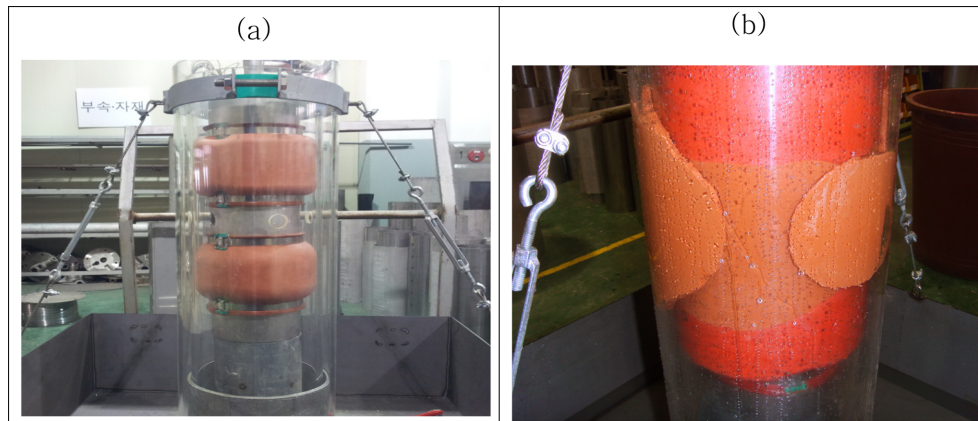


Fig. 7. The grouting photography images. (a) the simulated experimental equipment, (b) grouting result tested from this study.

3.2. 그라우팅 주입 모의시험 결과 분석

그라우팅 주입 모의시험 장치는 직경 300 mm 크기의 관정과 직경 250 mm 크기의 내부케이싱을 아크릴재질로 높이 1,000 mm의 규격에 그라우트 재료를 주입하기 위한 자동유압 발생장치, 내부케이싱에 팽창팩커의 부착 및 내부케이싱의 원형투입구 등으로 구성된다(Fig. 7(a)). 시험 방법은 소형의 원형 투입구를 기준으로 상부와 하부에 팽창팩커를 이용하여 내부케이싱에 부착한 후 헤드장치에 있는 그라우트 주입구를 내부케이싱에 있는 원형 투입구와 일치시킨다. 내부케이싱에는 그라우트 액을 주입할 수 있도록 천공된 소형의 원형 투입구가 4개로 구성된다. 그라우트재는 에어 실린더를 통한 압력으로 소형 투입구를 거쳐 관정의 공벽과 내부케이싱 사이의 공간으로 골고루 주입되어지게 하였다.

시험 결과를 보면, 실리콘과 진흙을 혼합한 1차 그라우트재는 내부케이싱에 4개의 천공된 소형 투입구를 통하여 아크릴 관과 내부케이싱 사이의 공간에 부착되면서 하부로 흘러내려가지 않으며 공간사이로 유입이 원활하게 이루어졌다(Fig. 7(b)). 1차 그라우트 재료 공벽 역할을 하는 외부 아크릴 관과 내부케이싱 사이를 작은 원형 형태로 채워지면서 그라우트재의 유입량이 증대해 감에 따라 원형의 주입형태가 각 주입용 천공 소형 투입구를 중심으로 골고루 퍼져나가면서 원통형 공간을 채워 상부와 하부를 차단하는 형상으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 내부케이싱이 설치된 지하수 관정에서 상부 및 특정 지층에서 유입되는 오염된 지하수를 내부케

이싱과 공벽사이에 연구개발 된 그라우트재를 주입하여 내부케이싱과 굴착공벽 사이를 효과적으로 차폐할 수 있는지의 여부를 파악하는데 있으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 내부케이싱 내에 천공된 주입구를 통해 그라우트 재료를 주입할 수 있도록 팽창팩커가 부착된 주입구 헤드장치 및 그라우트 재료를 저장할 수 있는 원통과 에어 실린더로 구성된 그라우팅 주입 장치를 개발하여 그라우트재의 주입을 통해 내부케이싱과 굴착공벽 사이의 차폐가능성을 실험실 내 모의시험을 통해 확인할 수 있었다.

2. 1차 그라우트는 수중에서 내부케이싱과 공벽사이의 공간을 차단하는 방법으로 실리콘재료를 선택하였다. 실리콘과 황토배합(SCL) 및 실리콘과 탄산칼슘 배합재료(SAO)에 대한 유동성 및 접착성 시험, 인장시험 및 수중 반응시험을 실시한 결과, 유동성 및 접착성 시험은 두 화합물 모두 적합으로 나타났다. 인장시험은 SCL의 시험편에 대한 접착력은 280 N이며, 석재와 SAO의 시험편에 대한 접착력은 335 N이다. 탄성계수는 SAO가 SCL보다 더 큰 값을 보였다.

3. 2차 그라우트 재료에 대한 실험에서 최소접착강도는 그라우트 재료의 종류와 관정 내 암반의 종류에 따른 접촉면에서 그라우팅 심도 30 m를 가정하였을 경우 신선한 암반 보다 풍화 받은 편마암에서 크게 나타났다. 그라우트 재료의 경우 최소접착강도는 일반시멘트보다 초속경시멘트에서 증가하는 경향을 보였다. 이는 초속경시멘트의 경우가 일반시멘트보다 접착강도가 우수하다는 것을 나타낸다.

4. 모의시험 결과에서는 실리콘과 황토를 혼합한 재료를 1차 그라우트 재료로 선택하여 시험하였다. 시험 결과

는 내부케이싱 내에 있는 4개의 천공된 소형 투입구를 통하여 아크릴 관과 내부케이싱 공간 사이로 부착되면서 원 활히 차폐되는 영상을 획득하였다.

사 사

본 논문의 일부는 2016년도 광운대학교 교내연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- Choo, C.O., Ryu, J.H., Cho, H.N., and Jeong, G.C., 2013, A Study on Improving Installation Guideline of Facilities to Protect Groundwater Contamination: Applications of Packer Grouting to Contaminated Wells, *The Journal Engineering Geology*, **23**(3), 293-304.
- Cho, H.N., Seong, I.H., Lee, B.D., and Cho, B.U., 2003, A study on installation and application of facility to prevent contamination using a packer technique, *Proceedings of KSSGE 2003 Spring Conference*, Gyeonggi, **8**(1), 77-81.
- Cho, H.N. and Choi, S.I., 2009, Development of the Compressed Packer Grouting Device for Preventing the Inflow of Polluted Groundwater, *The Journal Engineering Geology*, **19**(4), 433-439.
- Cho, H.N., Cho, Y.C., Kim, J.Y., and Cho, S.I., 2009, Groundwater Quality Evaluation for Upper and Lower Aquifers of Contaminated Groundwater Well Using Preliminary Packer, *J. Soil & Groundwater Env.*, **14**(6), 73-77.
- Chun, B.S., Lee, J.Y., and Seo, D.D., 2003, The Injection Characteristics and Environmental Effects for Grouting Materials Based on Cement, *KGS.*, **19**(2), 159-170.
- GIMS (National Groundwater Information Management and Service Center), http://www.gims.go.kr/igis_statistics.do?s_value=statistics_005&sel_year=2010&sel_sido=00&sel_y=PIECE_NUM [accessed 18.12.01]
- Hoi, J.H., Shin, S.C., Jeong, J.Y., Lee, D.H., Jun, M.H., and Kim, J.M., 2012, Properties of Setting Time and Early Age Compressive Strength of Concrete according to Type of Cement, *Proceedings of KCK 2012 Fall Conference*, Muju, **24**(2), 707-708.
- Kim, H.M., Jang, K.J., Hur, W., and Hur, H.S., 2010, A Study Of Practical For Eco-Grouting Materials, *Proceedings of KGS Fall National Conference September*, Gyeonggi, **26**(9), 1253-1257.
- Lee, B.D., Uk, Y.K., and Ig, H.S., 2007, Groundwater Quality and Contamination Characteristics Associated with Land Use in Ulsan Area, *J. Soil & Groundwater Env.*, **12**(6), 78-91.