

지반보강용 수용성파우치(PVP)의 활용을 위한 기초적 연구

A Fundamental Study on the Application of Water Soluble Pouch for Ground Reinforcement

정동호¹, 김기호², 김주현³, 한중근^{4*}

Dongho Jung¹, Kiho Kim², Joo-Hyun Kim³, Jung-Geun Han^{4*}

¹Member, Candidate Ph.D, Department of Civil Engineering, Chung-ang Univ., 84, Heukseok-Ro, Dongjak-gu, Seoul, 06974, Republic of Korea

²Non Member, Candidate Ph.D, School of Chemical Engineering & Materials Science, Chung-ang Univ., 84, Heukseok-Ro, Dongjak-gu, Seoul, 06974, Republic of Korea

³Non Member, Professor, School of Chemical Engineering & Materials Science, Chung-ang Univ., 84, Heukseok-Ro, Dongjak-gu, Seoul, 06974, Republic of Korea

⁴Member, Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Urban Design and Study, Chung-Ang Univ., 84, Heukseok-Ro, Dongjak-gu, Seoul, 06974, Republic of Korea

ABSTRACT

There have been a number of water and sewer pipe breakdown reports followed by ground subsidence. Also, the excavating works for construction due to overcrowding of city have been common. Particularly, in urban areas ground becomes unstable because of the lowered lifeline sinkage followed excavation and backfilling. In order to solve the problem, some reinforcement works for ground by rod tamping or grouting have been applied. However, it is hard to predict when the buried utilities in underground will be damaged. Also, there is a limit for the underground exploration and investigation methods. Therefore, in this study, the estimated about the water soluble polymer pouch including poor mixed admixture which is designed to eliminate the dangerous factors. The reinforcement strength of this method was confirmed by verifying three points: meltiness in a certain period, water solubility in the ground water level, and characteristics of the pouch, which can be stored in daily conditions. It is also proved that this method allows to keep the ground from getting weakened in the installation of water and sewer pipe along with back filling materials.

요 지

도시의 노후화에 따른 상하수도관의 파손사례가 점차 증가하면서 지반함몰의 발생도 크게 증가하고 있고 도시과밀화에 따른 건설과 굴착공사들이 빈번해지고 있다. 특히, 도심에서는 lifeline이 지하화 되면서 지중에서 굴착과 되메움에 따라 원지반의 안정상태가 불안정한 상태를 갖게 된다. 이를 해결하기 위한 방법으로 양호한 토사다짐이나 그라우팅에 의한 지반보강법이 적용되고 있지만 지하매설물의 파손에 따른 시기를 예측하기 어렵고, 지반내 구조물의 탐사방법도 한계가 있어 지반함몰과 같은 위험요소를 해결하기는 어려움이 있다. 따라서, 본 연구에서는 사전에 위험요소를 제거하기 위한 방법의 일환으로 개발된 빈배합상태의 혼화재를 포함한 수용성폴리머파우치에 대해 지반보강 적용성을 평가하였다. 대기속에 보관가능한 파우치의 특성과 지하수위내부에서의 수용성 및 일정시간내 용해됨에 따른 보강강도의 발현을 확인할 수 있었다. 이를 통해 상하수도관 매설시 뒤채움재에 혼합매설하는 경우, 지반내 물의상태에 따라 지반의 연약화를 방지가능할 수 있게 되었다.

Keywords : Pouch, Filled material, Lifeline, PVP, Ground reinforcement

Received 2 Jun. 2017, Revised 19 Jun. 2017, Accepted 21 Jun. 2017

*Corresponding author

Tel: +82-2-813-5345; Fax: +82-2-816-4160

E-mail address: jghan@cau.ac.kr (J.-G. Han)

1. 서론

최근 국내의 도심지내에서의 지반함몰 발생빈도가 높아지고 있다. 빠른 속도로 산업화와 도시화를 거치면서 도심 과밀현상이 심화되고 있다. 이를 해결하기 위해 지하공간 개발이 확대되고 지반내에 많은 lifeline 매설되므로써 매설구조물에 따른 잠재적 영향은 더욱 크게 되었다. 근대화과정에서 이미 건설된 도시들은 이미 고령화 되어 미국의 경우 1920년대 건설된 시설, 일본의 경우 1950년대 시설, 한국의 경우 1980년대 이후 건설된 시설들에 대해 각종시설물들의 안전성에 문제화가 제기되는 등 도시재생활 관리의 수준이 되었다고 볼 수 있다. 특히, lifeline중 상하수도파손에 의한 지반함몰 사례는 최근 급증하고 있으며, 매설관의 노후화에 기인하는 것으로 보고되고 있다(KIGMR, 2014).

도심지에서 최근 발생하고 있는 지반함몰이나 도로함몰등의 주 원인을 구분하며 서울시(Seoul Metropolitan Government, 2015)에서 관거유입형, 매설관하부 공간유입형, 매립재의 공간유입형 및 굴착공사장 배면유입형으로 크게 4가지로 구분하여 제시하고 있다. 그러나 도로함몰의 경우 지표면에서부터 지하1.5m 내외에서 소규모범주로 발생하는게 대부분이지만 상수도관 파손이나 장기간 관의 파손에 노출되어 지하공동이 대규모로 발생하는 경우도 종종 보고되고 있다. 또한, 굴착공사장에서 발생하는 지반함몰의 경우는 지중에서부터 지하수의 유출에 따른 지속적인 공동의 확장에 의해 발생하므로 안정상에 큰 문제를 포함한다고 할 수 있다(Kim et al., 2013). 따라서, 최근 국가에서는 지반함몰과 관련하여 지반안전특별법이 마련되고 지반안전을 위한 연구사업이 다양하게 진행되고 있다.

이러한 연구는 지반함몰이 발생하였을 경우와 지중에 지하공동이 발생하여 차후 지반함몰로 확대되는 경우를 가정하여 논의가 가능하다. 먼저, 전자의 경우는 이미 발생된 지반함몰지역에 대한 긴급복구대책으로 흙메우기가 적용되는 것이 대부분이다. 즉, 원상태의 지반상태를 회복시킨후 안정대책을 마련하는 방법이 최선이기 때문이다. 후자의 경우는 지하공동이 발생하였는지 여부를 판단하는 것이 우선 시행되어야 한다. 그러나, 현재 수행되고 있는 가장 일반적인 지반탐사방법의 하나인 GPR법은 지표로부터 1.5m이내만 확인이 가능하며 이 또한 쉽지 않는 상태로 알려져 있으며 대부분 도로함몰로 취급되게 된다. 따

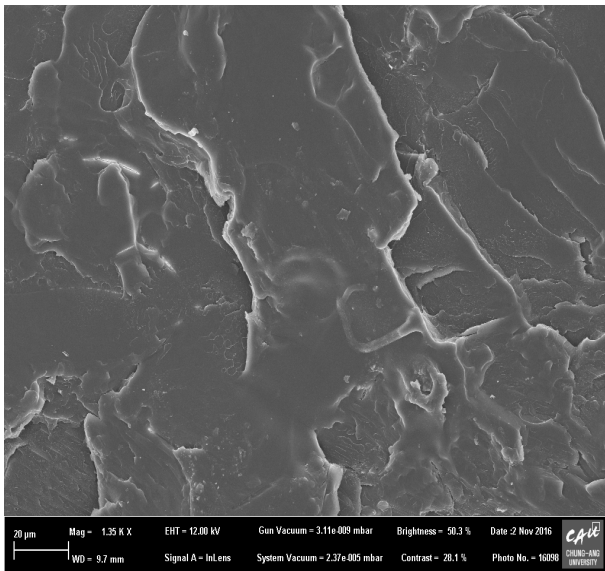
라서, 지중 2m이상의 깊은 심도에서 발생한 지하공동을 조사하는 방법의 마련도 중요하지만 조사된 결과를 바탕으로 한 긴급보강방법도 현재로는 흙메우기 및 그라우팅 이외의 방법은 제시되어 있지 못한 실정이다. 즉, 지하수가 있는 지반공동 발생지역에서는 그라우팅시 재료 분리 등에 의해 원지반 상태로의 보강이 어려운 실정이다. 이러한 방법을 해결하기 위해 수용성폴리머를 이용한 혼화재를 포함한 파우치의 개발에 대한 연구가 수행되고 있다(참고문헌 추가).

본 연구에서는 상기와 같은 목적으로 개발되고 있는 수용성폴리머파우치의 시공방법, 시공조건, 보관 조건 등을 고려하는 재료적측면의 기초적 연구를 수행하였다. 즉, 빈배합 상태의 혼화재를 포함하고 있는 파우치의 대기상에서의 존재상태, 지하수 흐름이 있는 경우 파우치의 시간의존적 수용성 및 경화, 경화 후 일정강도의 유지등의 문제점에 대해 사전연구가 필요하므로 이에 대한 방법들에 대해 조사 분석 하였다. 또한, 개발된 재료의 경우 수용성에 있어서 시간의존성을 가지므로 당초 지하매설물의 뒤채움재에 혼합하여 다짐 매설되는 경우 지하수, 우수 및 관로 파손에 의한 유출수 등에 선제적으로 반응하여 지반의 연약화를 방지할 수 있는 기능도 확인해보고자 한다.

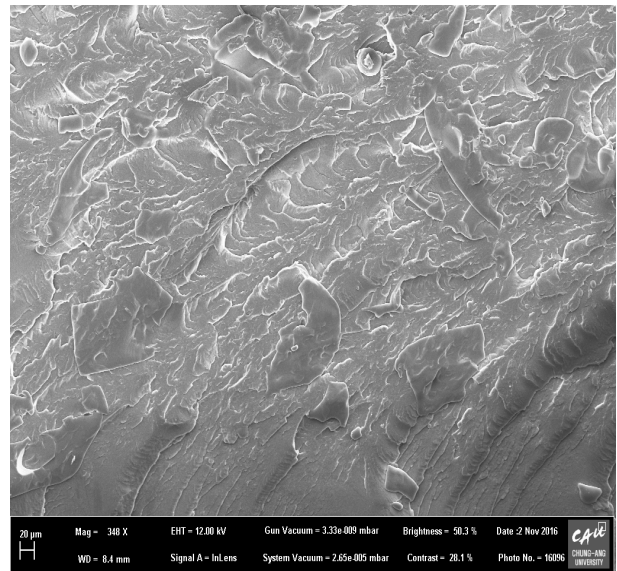
2. PVP 수용성 폴리머 제작

2.1 수용성 폴리머 재료

본 연구에 사용된 폴리머는 Low Density Polyethylene (이하 LDPE, Sigma Aldrich, Korea, Mw=35000)와 Polyvinylpyrrolidone (이하 PVP, Daejung Chemical, Korea, Mw=20000, 40000, 120000) 을 사용하였다. PVP는 상온의 물속에서 쉽게 용해되는 고분자 일뿐만 아니라 가격이 매우 저렴한 열경화성 고분자로 대량생산에 용이한 특성을 가지고 있다(Ahlneck and Zograf, 1990). 하지만 지반보강용 파우치로 사용하기 위해서는 주입기의 압력을 견딜수 있는 강도가 필요하며, 지하 공동안에서 깨지지 않고 파우치 형태를 유지할 수 있는 형태가 필요하다. 따라서 높은 강도를 갖는 LDPE를 블렌드 재료로 선정하였다. LDPE는 녹는점이 130°C로 PVP의 녹는점(120°C)과 유사하며 용융상 점도가 낮아 블렌딩 및 파우치 성형하기 유리한 이점을 가지고 있다(Forster et al., 2001). 또한 매우 높은 충격강도를 가지고 있어 지반보강용 폴리머 파우치를



(a) PVP



(b) LDPE

Fig. 1. PVP / LDPE SEM Image

Table 1. Characteristics of Tensile Strength by Polymer Blending

Specimen	Tensile Strength (Mpa)	Coefficient of Expansion (%)
Raw LDPE	21,1	365
7:3	15,3	240
5:5	13,4	31
3:7	11,6	6
Raw PVP	8,1	4

원하는 강도로 제작하기 용이하다. Fig. 1은 PVP와 LDPE의 SEM 이미지를 나타낸 것이다. 비슷한 구조를 가진 PVP와 LDPE는 향후 강도발현을 위한 블렌딩 시 수용성 특성을 고려한 파우치의 제작 및 활용이 가능케 된다.

2.2 PVP 와 LDPE 블렌딩

순수 PVP는 외부 충격에 매우 낮은 강도를 가지고 있기 때문에 수용성 파우치로 적용하기 위해서는 고분자 재료와의 블렌딩을 통한 물성 강화가 필요하다. 일반적으로 폴리머 블렌딩시 두 폴리머의 혼합비에 따른 기계적 물성이 변하는 경향을 확인할 수 있다(Geng et al., 1999). 이에 PVP의 수용해성을 유지하면서 기계적 강도를 높이기 위해 PVP 및 LDPE의 다양한 혼합비에 따른 블렌딩 및 특성 평가를 진행하였다.

Table 1은 폴리머 블렌딩에 따른 인장강도와 신장율을 나타낸 것이다. 표에서 알 수 있듯이 LDPE의 함유량이 높아질수록 인장강도와 신장률이 증가함을 확인할 수 있다.

PVP의 낮은 인장강도에 비해 높은 강도 및 연성을 띠는 LDPE의 복합화로 인하여 LDPE의 특성을 갖게 되기 때문이다. 특히, 인장강도의 경우 낮은 함량의 LDPE를 블렌딩 시에도 높은 강도증가를 확인할 수 있다. 이에 본 연구에서 적합한 블렌딩 비율은 3:7(LDPE:PVP) 비율로 설정하였다.

3. 폴리머 파우치(PVP)의 내습성시험

도심지 지반함몰 부위의 신속한 복구를 위해서는 사전에 제조된 파우치의 장기간 보관 가능성에 대해 검토하는 것이 필수적이며, 재료 특성상 보관장소의 환경적 영향을 많이 받을 것으로 예상된다. 폴리머 파우치는 내부에 채워진 빈배합 상태의 고화제가 지반 공동내에 투입되어 지하수와 반응, 용해됨과 동시에 경화되기 위해서는 상온 중에서도 초기 상태의 재료상태로 존재해야 한다. 그러나 보관 시 공기중에 존재하는 습도와 파우치가 자체적으로 반응하게 되며, 일정수준 이상의 수분과 반응하게 되면 파우치

내부의 혼화재에도 영향을 줄 수 있기 때문에 폴리머의 내습성 확인이 필요하다(Drabik, 2001, Teresa et al., 2002).

따라서 본장에서는 최종 상용 제품 개발에 앞서 폴리머 파우치의 내습성 평가를 통해 파우치의 보관 가능시간 및 보관 가능한 최대습도를 알아보하고자 한다.

3.1 폴리머 파우치 제조 및 수용성

본 장에서는 파우치의 현장 적용성 및 실험의 편의성을 위해 앞서 언급된 PVP와 LDPE가 7:3의 비율로 혼합된 수용성 폴리머를 이용하여 20×20×20mm의 정육면체형태로 제작하였다. 이는 PVP/LDPE의 경우 Hot-Press 방법을 통해 필름형태로 제작(Fig. 2)이 가능하며, 재단 및 실내실험에 필요한 형태로 만드는데 용이하기 때문이다.

수용성 폴리머 파우치 내부 재료인 무기질계 혼화재는 파우치가 모두 용해된 후 최종적으로 공동에 채워지는 충전재로 공동부의 지중응력과 비슷한 압축강도를 확보하기 위해 압축강도 0.7Mpa ~ 1.0Mpa로 목표강도를 설정하였으며, 이에 따른 배합비를 설정하였다. 또한 긴급복구용으로 개발되는 제품이기에 시간 의존성 강도발현을 위해 초속경 시멘트를 사용하였다.

Table 2는 무기질계 혼화재의 배합표를 나타낸 것이다. 잔골재는 주문진 표준사를 사용하였으며, 초속경 시멘트의 물성치값은 Table 3에 나타내었다. Fig. 3는 제작된 PVP 필름과 무기질계 혼화재를 이용하여 제작된 폴리머 파우치 사례이다. 파우치 내부에 무기질계 혼화재를 3단 다짐으로 채워 밀봉한 것으로 추후 최종 파우치의 형태는 구형으로 제작될 예정이다. 이는 향후 지하 공동에 적용할 경우 파우치의 형태가 직각인 사각형태보다 구형의 형태가 공극발생을 최소화 하여 충전율이 더 좋기 때문이다.

Fig. 4는 시험 제작된 혼화재가 투입된 수용성 폴리머 파우치로 수용해성 성능을 시간에 따라 관찰한 것이다.

필름 형태의 PVP와 동일하게 폴리머파우치는 약 20분 안에 모두 물에 용해되었으며(Fig. 4(c) 참조) 적은 양의 물로도 충분히 용해되는 것을 확인할 수 있었다.

반면 Fig. 4(d) ~ Fig. 5(f)에서 보는바와 같이 무기질계 혼화재를 채운 파우치의 경우 폴리머 부분이 젤 형태로 변화하였다가 3일(72 hour)이 지난 후에야 젤 형태에서 물에 용해되는 것을 확인할 수 있었다. 3일 경과 후 경화된 혼화재의 강도는 0.65Mpa로 목표 강도인 0.7Mpa ~ 1.0Mpa에 도달하지 못하였지만 정확하지 않은 조건에서도 거의 목표한 값과 유사한 강도를 발현함을 확인하였다. 이는 수용

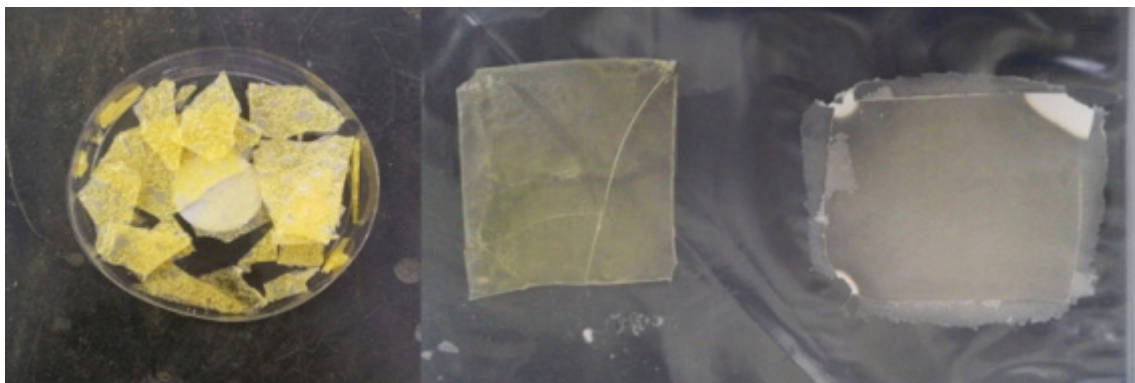


Fig. 2. PVP/LDPE Film Made by Hot-pressed Method

Table 2. Mixing Table of Admixture

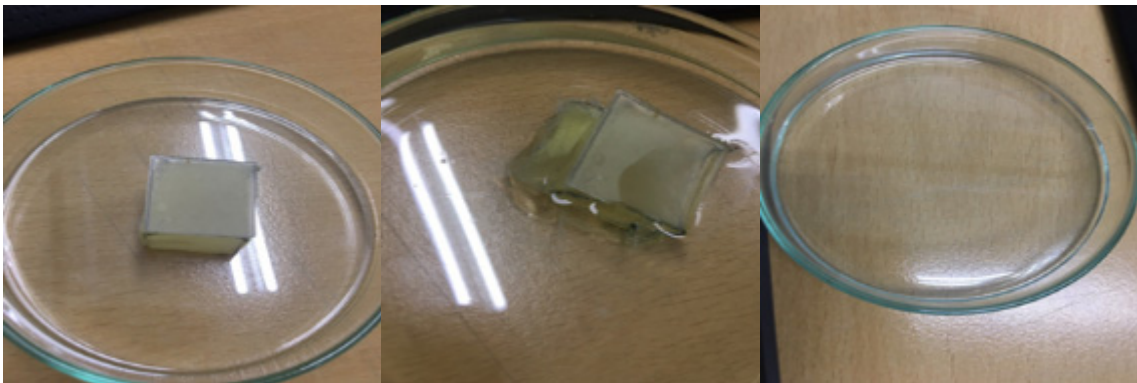
	Ultra Rapid Cement (g)	Joomunjin Sand (g)	Expansive Additive (g)	Admixture (g)	Al Powder (g)
Admixture (Minerals)	300	1800	9	0.3	30

Table 3. Characteristics of Ultra Rapid Cement

	SO ₃ (%)	Loss of Ignition (%)	Density	Setting Time (min)		Stability (%)	Fineness (cm ² /g)
				Initial	End		
Ultra Rapid Cement	11.4	2.8	2.90	28	32	0.05	5989



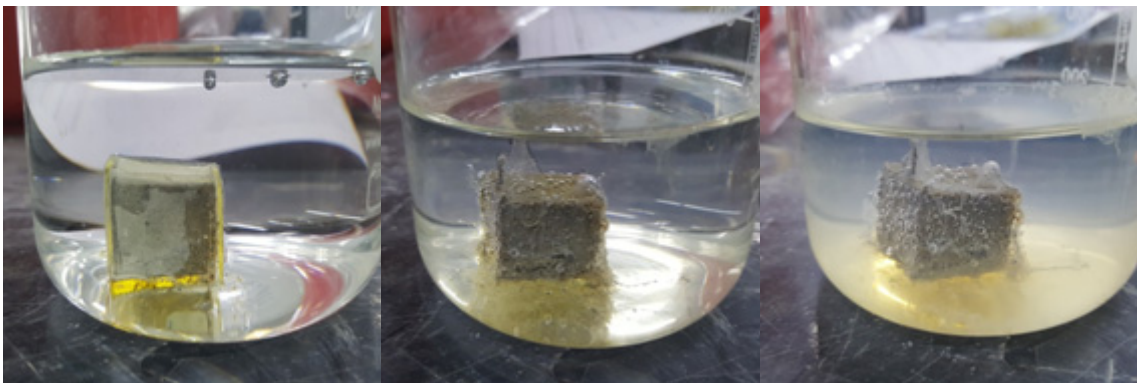
Fig. 3. A Rectangular Polymer Pouch and Prototype of Globular Polymer Pouch



(a) Film Polymer Initial

(b) Film Polymer 3 min later

(c) Film Polymer 20 min later



(d) Admixture Polymer Pouch Initial

(e) Admixture Polymer Pouch 3 hour later

(f) Admixture Polymer Pouch 72 hour later

Fig. 4. Water-Solubility about Polymer Pouch

성폴리머의 수용성 한계와 시간의존적 특성을 고려한 지속적인 연구를 통해 가능성을 알 수 있었다.

3.2 파우치의 내습성시험

지하 공동내부나 매설관 뒤채움과 같은 지중의 밀폐된 공간과 습도에 대응하는 현장상태 및 대기속에 보관하여야 하는 상황을 모사하기 위해 상온 상태에서 제작된 폴리머 파우치에 대해 내습성 실험을 하였으며 Fig. 5(a)와 같

은 소형 디지털 향습장치를 사용하였다. 또한 50%, 70%, 90%로 습도조건을 설정하였다(Fig. 5(b)-(d)). 이는 국내의 경우 여름 장마철 상대습도는 평균 80%의 높은 습도를 유지하고 있으며, 지하 공동내에서도 한정된 공간에서의 지하수의 영향으로 공간내부의 습도가 상당히 높게 올라갈 것으로 예상되기 때문이다.

이러한 고습도 공간에서의 수용성 폴리머는 연구결과 유리상태에서 젤 상태로 변하게 되며, 습도여부에 따라 젤과 유리의 형태로 변화되어진다는 연구결과가 있다(Shaun



(a) Mini Digital Humidity System



(b) Relative Humidity 50%



(c) Relative Humidity 70%



(d) Relative Humidity 90%

Fig. 5. Humidity System and Humidity Condition

et al., 2002).

내습성 실험은 각 습도 조건 별 72시간, 144시간, 216시간 동안 관찰하였으며, 항습장치를 통하여 습도는 일정하게 유지하였다. 각 시간대별로 폴리머의 외부 상태와 내부 혼화재의 상태를 육안으로 관찰하였다.

Table 4은 내습성 실험 결과를 나타낸 것으로, 50%와 70%의 상대습도에서는 파우치 내부의 혼화재의 상태변화가 없거나 미비하여 장기간 보관이 가능하나, 90%에서의 상대습도에서는 외부 상태와 내부 상태 모두 빠르게 변화하는 것을 확인할 수 있었다.

특히 외부 폴리머의 경우 3일부터는 젤 형태로 변하여 실험 종료시까지 지속적으로 젤 형태를 유지하고 있었으며, 실험 6일부터는 내부 혼화재도 경화되기 시작하는 것

을 확인할 수 있었다.

따라서 습도가 높은 여름철, 파우치의 장기보관을 위해서는 실리카겔과 같은 제습제를 이용하거나 제작과 동시에 사용가능한 방법을 이용하면 보다 실용적일 수 있다. 단, 제한적 상태의 시험이므로 좀 더 짧은 시간과 제습상태를 고려한 추가적 연구가 필요하다.

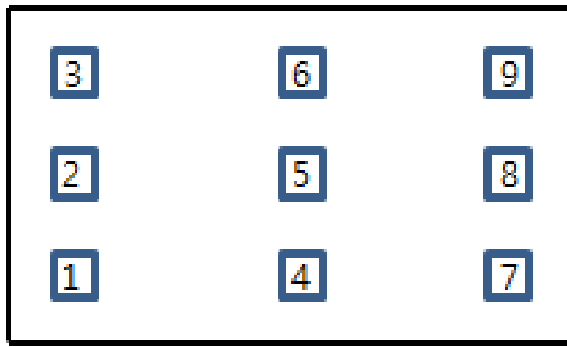
4. 시간의존성 현장모사시험

앞장에서는 개발된 파우치를 이용하여 실내시험을 실시한 결과 폴리머 파우치의 수용해성을 확인할 수 있었다.

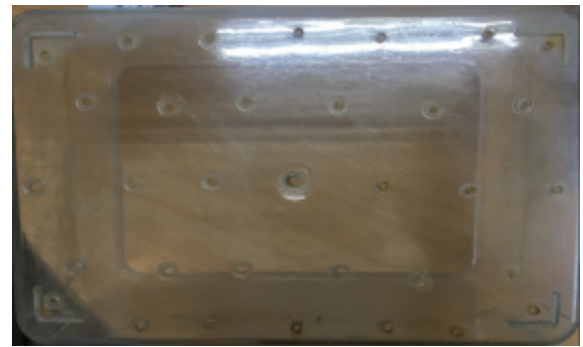
그러나, 수용해성 시험의 경우 완전하게 포화된 상태에서 제한된 조건을 적용하여 실시하였기 때문에 실제 현장

Table 4. Change of condition followed by time

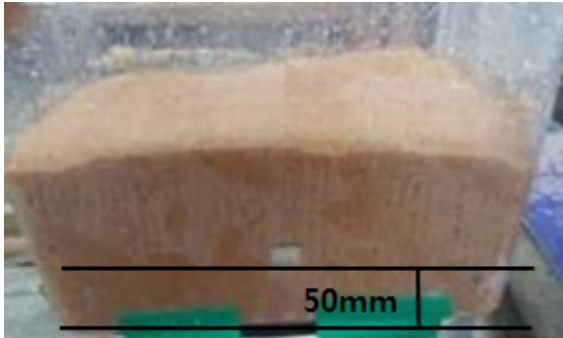
	Relative Humidity 50%	Relative Humidity 70%	Relative Humidity 90%
72h (3 days)	Outside : No Change Inside : No Change	Outside : No Change Inside : No Change	Outside : Gel Condition Inside : Rarely changed
144h (6 days)	Outside : No Change Inside : No Change	Outside : Gel Condition Inside : No Change	Outside : Gel Condition Inside : Hardening
216h (9 days)	Outside : Gel Condition Inside : No Change	Outside : Gel Condition Inside : No Change	Outside : Gel Condition Inside : Almost Hardening



(a) Polymer Pouch Installation Place



(b) Soil Box Bottom



(c) Soil Box Front View



(d) Soil Box Side View

Fig. 6. Soil Box Experiment

에서 적용시 폴리머 파우치의 시간의존성 특성이 어떤 형태로 발현되는지 확인이 필요하다. 그리하여 본 장에서는 실제 현장과 비슷한 조건으로 실내모형 토조실험을 실시하였다. 또한 본 시험을 통해 지하수 흐름에 따른 파우치의 변화특성과 강도특성을 분석해 보았다.

4.1 현장모사조건

현장조건 모사를 위해 모형토조에 사용되는 시료는 상수도공사 표준시방서(환경부, 2014)와 하수관거공사 표준시방서(환경부, 2010)를 참고하여 선정하였다. 실험에 사용한 시료는 시방서 조건에 충족하며 원활한 실험진행이 가능하도록 주문진 표준사를 사용하였으며, 세립분(입경 $75\mu\text{m}$ 이하)의 경우 하수관거 굴착토사 되메움 조건(입경 $75\mu\text{m}$ 15%이하)을 참고하여 선정하였다. 단 모형 토조 내 물과 수용성 폴리머 파우치가 반응할 수 있는 최소한의 포화를 위해 세립분의 양은 20%로 설정하였다.

이때 사용된 폴리머 파우치 내부의 혼화재 특성과 초속경 시멘트의 특성은 Table 2, Table 3와 같다.

Fig. 6은 모형시험 모식도 및 실험 진행사항을 나타낸 것이다. 수용성 폴리머 파우치는 단위시간에 따른 폴리머

의 변화를 살펴보기 위해 총 9개를 매설하였다. 플라스틱 수조의 규격은 $200 \times 300 \times 200\text{mm}$ 로 지하수의 흐름을 모사하기 위해 토조 바닥 부분은 일정 간격으로 배수구멍을 만들었다.

여름철 평균 시간당 강수량을 고려하여 토조 면적에 따른 최대 강수량을 $3\text{L}/\text{hour}$ 로 책정하였다. 이에 토조에는 시간당 3L의 물을 투과시켰으며, 30분 단위로 폴리머 파우치를 순차적으로 꺼내어 파우치의 외관과 내부 혼화재의 상태를 살펴보았다.

4.2 지하수 흐름을 고려한 파우치의 변화특성

Fig. 7는 시간에 따른 매설된 폴리머 파우치의 상태 변화이다. 시험 시작후 30분 단위로 확인하였으며, 혼화재의 초속경 시멘트의 영향으로 시험 시작 150분부터(5번파우치 이후)는 더 이상 인력에 의해 분쇄되기 어려운 상태까지 굳은 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 24시간 후 6번부터 9번까지 파우치를 강도 측정용 시료로 채취하였다.

24시간 경과 후 수용성 폴리머 파우치의 경우 거의 용해된 상태였으며 파우치 내부의 혼화재의 상태는 완전하게 굳은 상태였으며, 혼화재 자체의 강도를 측정하기 위해

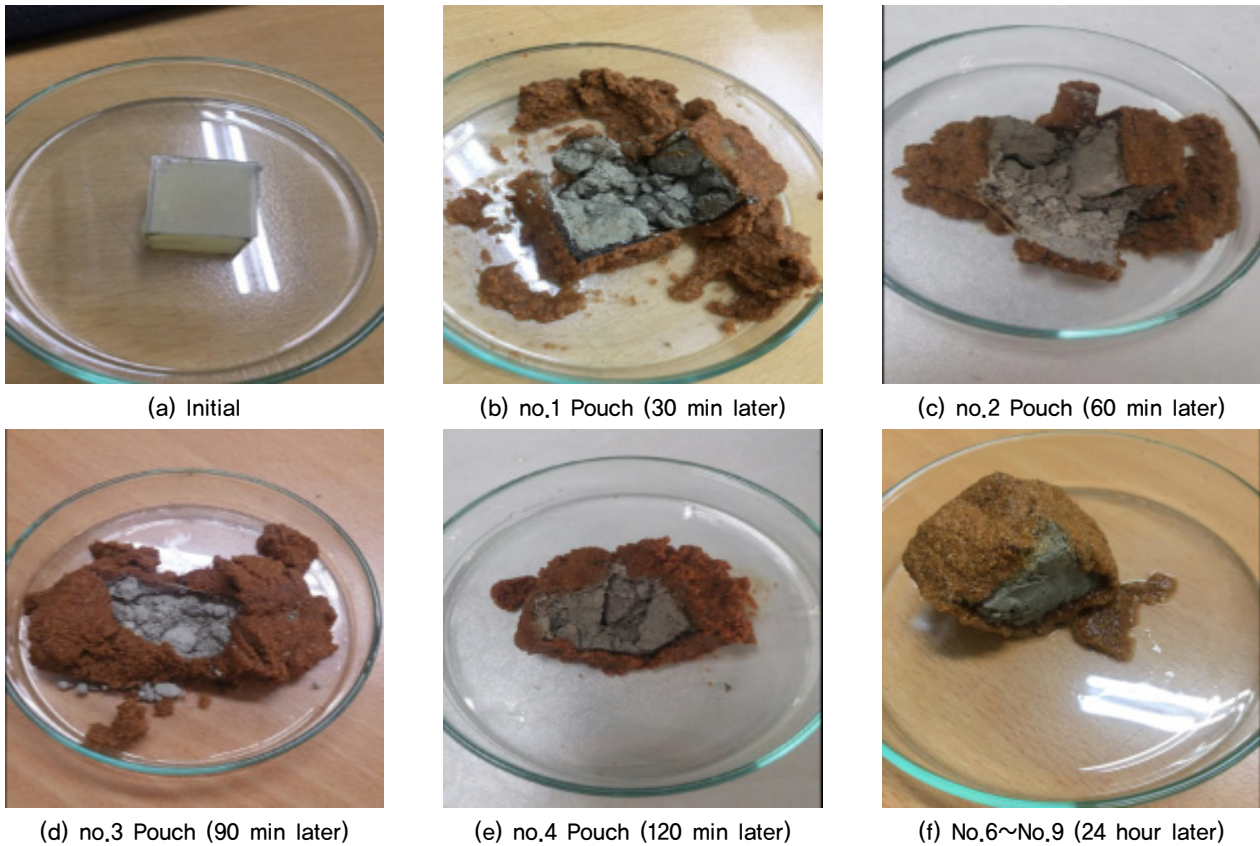


Fig. 7. Change of Inside condition followed by time

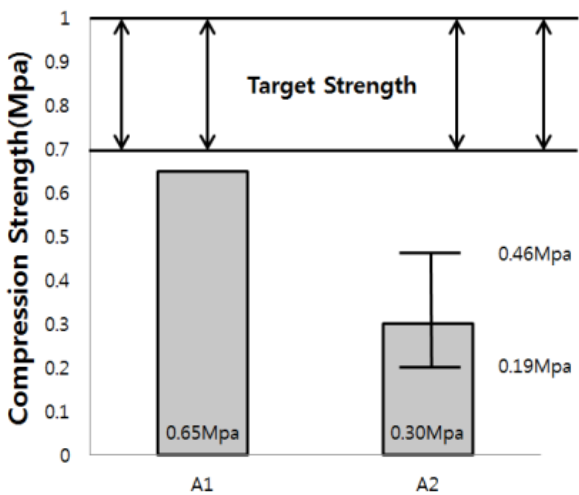


Fig. 8. Compression Intensity from Water Solubility and Soil Box Experiment

결부분의 흡시료와 수용성 폴리머 부분 제거가 가능한 파우치 3개(7, 8, 9번 파우치)의 압축강도만을 측정해 보았다.

Fig. 8은 본 연구에서 필요한 목표강도값과 실험 종료 후 강도값을 나타낸 도표이다. A1는 Fig. 4의 경우 수용해성 여부를 시험하기 위해 비커에 물을 포화시킨 후 무기질계 혼화재로 채운 수용성 폴리머 파우치를 실험 종료 후

측정한 값이며, A2는 시간의존성 반응 여부를 확인하고자 실시한 Fig. 8와 같은 모형토조의 실험 종료 후 강도값을 나타낸 것이다. 최대값은 0.46Mpa, 최소값 0.19Mpa이 나왔으며, 평균값은 0.3Mpa이 측정되었다. A1, A2 두가지 경우 모두 목표강도값에 미치지지는 못하였으나 시간의존성 토조실험의 경우(A2) 항상 포화된 상태를 유지하지 못해 A1과 같은 반응을 보이지 못한 것으로 판단된다. 그러나, A1과 같은 경우 목표값에 근사한 강도를 보이고 있으므로 추가적인 실험을 하는 경우 목표한 값을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 지하수 흐름이 있는 지반공동에 긴급된 채움을 하거나 지반함몰이 발생하기 전의 현장에서 사전 위험요소를 제거하기 위한 방법의 일환으로 수용성 폴리머 파우치의 활용성에 대해 모형시험을 실시하였다. 개발된 빈배합상태의 혼화재를 포함한 수용성 폴리머 파우치에 대해 지반보강 적용성을 평가하였으며, 대기중에 보관 가능한 파우치의 특성과 지하수위 내부에서의 수용성 및

일정시간내 용해됨에 따른 보강강도의 발현을 확인하기 위해 실내시험을 실시하였다. 그 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 지반공동이나 지반함몰지역에 긴급보강할 수 있는 재료로 빈배합된 혼화재를 포함한 시간의존성이 있는 수용성 폴리머 파우치를 개발하였다. 개발된 파우치의 주 재료는 PVP를 선정하였으며, raw PVP 강도와 신장을 향상을 위해 LDPE를 블렌딩하였으며 지반에 보강되는 경우 소요되는 값들을 만족한 폴리머임을 확인하였다. 또한, 본 연구에 적합한 블렌딩 비율은 3:7 (LDPE:PVP) 비율인 경우 가장 적합한 재료로 확인되었다.
- (2) 개발된 수용성폴리머의 내습성 시험 결과 70%이하의 상대습도에서는 파우치 내부 혼화재의 상태변화가 없거나 미비하여 장기간 보관이 가능할 것으로 판단된다. 상대습도 90%에서의 폴리머와 내부 혼화재 모두 빠르게 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 우리나라에서와 같이 우기철 습도가 높은 경우에는 제습제 등을 활용하는 경우 장기적 보관이 가능할 것으로 판단된다.
- (3) 지중에 수용성폴리머 파우치를 뒤채움시 동시에 매립하는 경우, 지중에 우수나 지하수와 반응하여 지반내 보강재로서 역할을 할 수 있음도 확인하였다.

따라서 본 연구에서는 내습성 시험과 강도발현 실내시험을 통해 수용성파우치가 지반함몰 및 지하 공동 복구 등에 긴급보강재로 활용 가능한 것을 확인할 수 있었으며, 다양한 조건의 추가적인 실험을 통해 개발 재료의 개선에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 추후 수용해성 능력이 개선된 파우치와 혼화재의 개선을 통해 긴급복구용 지반보강재 뿐만 아니라 지하매설물의 뒤채움재로 사용시 시간의존성 특성으로 인해 지반의 연약화를 방지하는 목적으로도 활용될 것을 기대하는 바이다.

Acknowledgement

This research was supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement under the Ministry of Land, Infrastructure and Transport of the Korean government. (Project Number: 16SCIP-B108153-02)

References

1. Ahlneck, C. and Zografí, G. (1990). The molecular basis of moisture effects on the physical and chemical stability of drugs in the solid state. *International Journal of Pharmaceutics*, 62(2-3), 87-95.
2. Drabik, M., Mojumdar, S. C., and Galikova, L. (2001). Changes of thermal events of macrodefect-free (MDF) cements due to the deterioration in the moist atmosphere. *Cement and concrete research*, 31(5), 743-747.
3. Forster, A., Hempenstall, J., and Rades, T. (2001). Characterization of glass solutions of poorly water-soluble drugs produced by melt extrusion with hydrophilic amorphous polymers. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 53(3), 303-315.
4. Geng, Y. H., Sun, Z. C., Li, J., Jing, X. B., Wang, X. H., and Wang, F. S. (1999). Water soluble polyaniline and its blend films prepared by aqueous solution casting. *Polymer*, 40(20), 5723-5727.
5. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (2014), Research on Causes and Policy Suggestions by Sinkhole Type, Research report.
6. Young-Nam Kim, Young-Su Chae, and Kang-II Lee (2013), Experimental Study of Down-Scaled Model Slope on the Variation of the Ground Water Level of Drainable Soil Nailing, *J. Korean Geosynthetic Society*, Vol. 12, No. 1, pp.39-50.
7. M. Teresa Mari'n, M. Victoria Margarit, Gloria E. Salcedo (2002), Characterization and solubility study of solid dispersions of flunarizine and polyvinylpyrrolidone, *Il Farmaco*, Vol.57, pp.723-727.
8. Ministry of Environment (2010), Sewer Pipe Construction Standard Specification.
9. Ministry of Environment (2014), Waterworks Construction Standard Specification.
10. Shaun Fitzpatrick, James F. McCabe, Catherine R. Petts, and Steven W. Booth (2002), Effect of moisture on polyvinylpyrrolidone in accelerated stability testing, *International Journal of Pharmaceutics*, Vol.246, pp.143-151.
11. Seoul Metropolitan Government (2015), Seoul road sinking management policy and action manual, Seoul Road Management.