

# 유구 이전용 에폭시 폴리머의 토양 침투도와 관련된 물성에 관한 고찰

위광철<sup>1</sup> | 서정호\*

<sup>1</sup>한서대학교 문화재보존학과, \*공주대학교 문화재보존과학과

## Study on the Physical Property of Epoxy Polymer Related with Degree of Permeation to Soil for Moving Historical Site

Koang Chul Wi<sup>1</sup> | Jeong Ho Seo\*

<sup>1</sup>Department of Cultural Asset Conservation, Hanseo University, Seosan, 356-706, Korea

\*Department of Cultural Heritage Conservation Sciences, Kongju National University, Gongju, 314-701, Korea

<sup>1</sup>Corresponding Author: kcwi@hanseo.ac.kr, +82-41-660-1043

**초 록** 유구의 지속성과 안정성을 높이기 위하여, 저점도 Epoxy인 SE-101의 토양의 입자 크기와 수분 함량에 따른 침투성과 전단 강도를 측정하였으며, 이 결과들을 이용하여 SE-101의 사용법을 최적화하고자 하였다. 점도 데이터로부터 충분히 예상되었듯이, 입자의 크기가 증가할수록 침투도는 증가하였으나, 전단 강도는 감소하였으며 특히, 고분자의 불균일한 경화 속도와 내부 무기 첨가제에 따라서 침투도의 편차가 심하여 질 수 있음을 알 수 있었다. 토양 내의 수분 함량이 증가할수록, 침투도와 전단 강도의 편차가 매우 심하여져서 동일 시편 내에서도 매우 취약한 부분이 생성되고, 유구 이전 중의 파손 현상 발생도 예측할 수 있어 이전재의 침투 깊이의 50% 이상은 건조된 상태에서 사용하는 것이 필요한 것으로 보인다.

**중심어:** 에폭시, 침투도, 전단강도, 유구이전, 수분 함유

**ABSTRACT** This study is designed to optimize the method of using SE-101 for strengthening the durability and the stabilization of moving historical site. The permeability and the shear strength of The epoxy SE-101 with low viscosity were measured on different particle sizes and moisture content of soil. Like it can be expected from the data of viscosity, as the soil particle size was increased, the permeability was also increased, while the shear strength was decreased. And especially, it is noted that the deviation of permeability can be more extreme according to the different hardening speed of macromolecule and mineral additives. As the rate of moisture content in soil sample is increased, the deviation between permeability and shear strength is also increased. Even though among the same soil sample, some parts of it can be weaker than others, which cause the breakages of epoxy products. Thus, it is necessary that the soil should be dried over 50% of permeation depth of SE-101 before use.

**Key Words:** Epoxy, Permeability, Shear strength, Moving historical site, Moisture content

## 1. 서론

유구 이전과 토층 전사를 위하여 1980년대 이후에 다양한 폴리머들이 사용되어지고 변형되어지며 현재에까지 이르르게 되었다.<sup>1)</sup> 유구 이전과 토층 전사를 위하여 그간 다양한 폴리머들이 수입되어 사용되어지고, 또 이를 비슷하게 복제하여 사용되어졌다. 이에 따라 다양한 문제점과 보완되어야 할 요구점들도 파악되어졌다.<sup>2)</sup> 이와 같이 우리나라의 유구 이전과 토층 전사는 다양한 수지의 시행 연습장이라고 해도 과언이 아닐 정도의 시행착오가 거듭되어진 것이 사실이었지만, 이 과정들을 통하여 더 우수한 재료를 개발할 수 있는 큰 잠재력을 갖게 되는 큰 장점도 얻게 되었다. 이러한 큰 밑거름을 통하여 이전제와 전사제의 질은 지속적인 발전이 거듭 되어 갈 수 있을 것으로 보인다.

이렇게 수년간의 축적된 문제점의 파악과 작업성, 최종 생성물의 유지성들을 기반으로 개발된 유구 이전 및 토층 전사용 수지가 SE-101과 HE-101이었으며<sup>3)</sup> 이에 대한 꾸준한 적용이 현재에도 이루어지고 있어, 2006년 이후에 4차례의 제품의 수정 또한 이루어진 상태에 있다.<sup>4)</sup> 현재 세계의 여러 곳에서 합성수지들에 대한 다양한 연구들이 진행되고 있고, 이에 대한 다양한 물성을 가진 개발품들이 출시되고는 있지만, 이들을 문화재의 적용할 수 있는가는 큰 의문 사항이 아닐 수 없다. 이는 개발의 목적이 문화재가 아니라 합성 수지 자체의 개발인 경우가 대부분인 이유이고, 개발의 목표가 문화재 전용이더라도 지속적인 적용과 문제점 파악, 변형은 수년간에 걸쳐 이루어져야 할 것으로 보이며, 만일, 지속적인 보완이 시행되지 않는다면 문화재의 적용이 거의 불가능할 것으로 보인다.<sup>5)</sup> 이런 관점에서 볼 때, 개발되어진 제품들의 꾸준한 관리와 변경, 물성들의 변화에 대한 지속적인 보완은 문화재에서 필수 불가결한 사항으로 보이며, 또, 작업자에 따라서 변할 수 있는 수지들의 물성을 규격화하는 것 또한 문화재 보존 처리자의 작업 편의성뿐만이 아니라 유구 이전 최종생성물이나 토층 전사물의 영속성에 큰 역할을 하게 될 것으로 사료되어 이에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

본 논문은 현재까지 다양한 유구 이전 및 전사 재료가 사용되어 유구의 이전이 이루어졌음에도, 재료의 성분, 특성, 변형성들을 모르는 경우가 대부분이었고, 작업 물질까지도 처리자의 손에 익숙한 정도로 적당히 이루진 것이 사실이기에 작업성에 대하여 중점을 두고, 환경 변화에 따른 유구의 안정성에 관하여 연구하고자 하였다.<sup>6,7)</sup> 특히 일정

온도에서 현재 가장 일반적으로 유구 이전 재료로 사용되고 있는 저점도 에폭시인 SE-101의 침투성과 토양의 수분 함량에 따른 규격화, 강도 변화를 통하여, 이 재료들이 나타내는 특성이 최적화된 적용량과 작업성, 작업시의 물성을 규명을 높이는데 목적을 두고 있다.

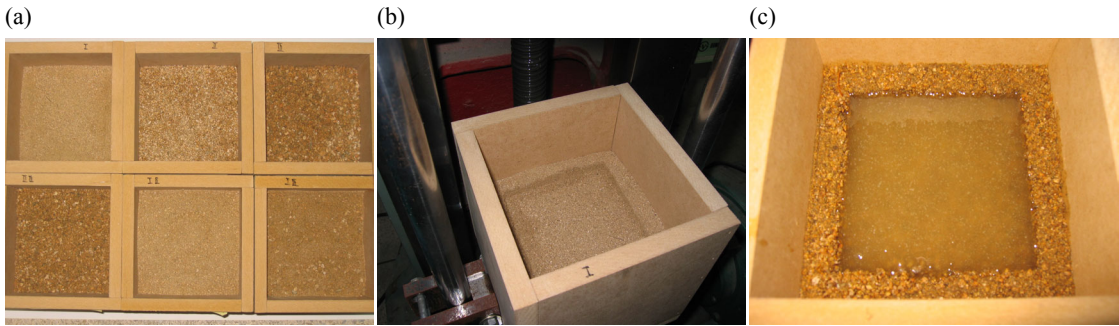
## 2. 실험

### 2.1. 토양 시료의 분류

토양 시료는 일반 유구 이전이 발생할 수 있는 분지의 토양을 임의로 선택하여 실행하였다. 선택된 토양은 건조기에서 24 시간 동안 건조한 후, 체를 이용하여 직경 1.0 mm 이하 (Group I), 1.0 ~ 3.3 mm (Group II), 3.3 ~ 5.0 mm (Group III)로 분리하여 3 가지 군으로 나누어 제조하였다. 사전 실험을 통하여, 1 mm 이하의 시료는 0.47 mm 이하나 0.30 mm 이하의 토양의 경우, 0.47 ~ 1.0 mm의 토양 시료와 거의 같은 결과를 나타내고 있거나 침투에 문제를 보이고 있어서, 1.0 mm 이하로 혼합 통일하였고, 5.0 mm 이상의 시료는 본 연구에서 원하지 않는 돌발 오차를 발생시킬 수 있어 오차 극소화의 차원에서 이를 배제하였다. 이 토양들은 Group I, II, III을 단독으로 사용하거나 I, II를 각각 동량 혼합하여 사용하거나, II와 III을 동량 혼합, I과 III을 동량 혼합, I과 II와 III을 각각 동량 혼합한 7 종류의 시료를 종류별로 각각 10 가지씩을 제조하여 최소 최대 평균치를 구하였다.

### 2.2. 시편의 제작

시편의 mould는 두께 20 mm의 짐송목을 이용하여 압착되는 내부 면적이 가로 135 mm × 세로 135 mm × 높이가 150 mm가 되도록 하여 육면체의 1면만을 개방한 상태로 제작하였다. 개방면을 크기에 맞추어서 압착판을 제작하였으며,凸 형태로 제작하여 압착 후 중심부 120 mm × 120 mm의 정사각형 주위에 각 15 mm씩의 토양 틀이 생기도록 하여 압착 제조하였다. 비율별로 조절된 토양은 완전 건조 상태에서 mould에 채워지고 이를 전체면적에 500 kg의 힘이 가해지도록 1 시간 동안 압착하여 제작하였다. Figure 1에 볼 수 있듯이, 각각의 크기별로 나누어진 토양들을 나무 틀에 넣어 (a) 이의 표면을 평평하게 유지시켰으며, 이를 압착한 후 (b), 압착되어 사방 15 mm의 틀이 생긴 토양 압착



**Figure 1.** Manufactured wood frame and SE-101 sample.

체에 에폭시를 채운 후 (c) 이를 건조시켜 제조하였다.

### 2.3. 침투 토양 시편의 제작

압착된 토양 위에 바로 25℃로 5 시간 동안 유지시킨 SE-101의 수지와 경화제를 80.00 g : 33.60 g으로 혼합기 상에서 3 분 동안 혼합하여 이미 압착 제조되어진 토양 위에 부어서 제조하였다. 전단 강도 측정<sup>8)</sup>과 압착에 사용된 universal machine은 heungin-2T이었으며 incubator는 동서과학의 DS-BIP model을 이용하였다.

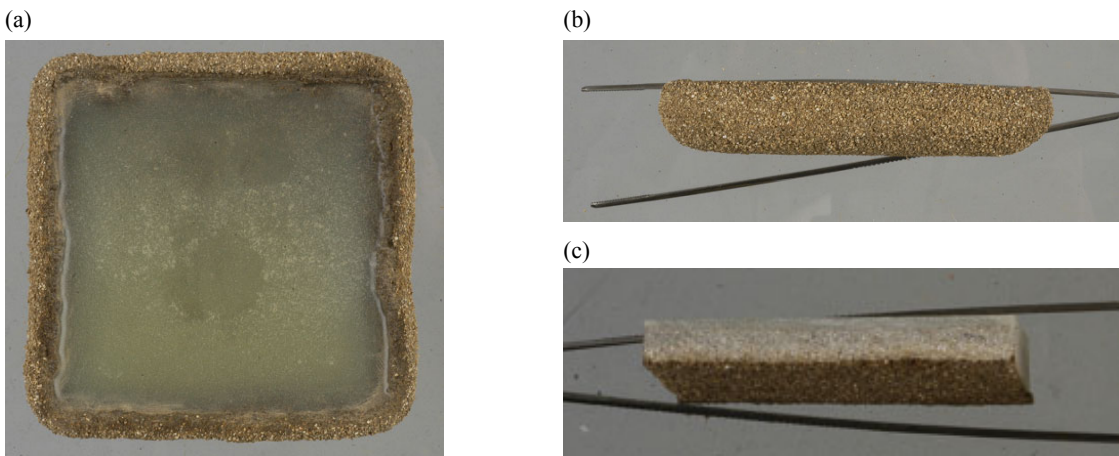
### 2.4. 수분에 대한 수지의 침투성

수분에 대한 수지의 침투성은 토양 시편을 제작 시부터 수분을 첨가하여 최고 수분 함량 50% 이상이 되도록 조절하였다. 이 토양에 40℃의 건조기에서 48 시간 이상 유지

되어 건조된 토양을 비울별로 혼합한 후, 수분 함량을 측정하였으며, 바로 이를 압착하였다. 압착 후 다시 수분 함량을 측정하였으며, 두 측정치의 오차 범위가 2% 내인 토양 시편 만을 사용하여 SE-101을 도포하여 침투시켜 토양에 함유된 수분별, 침투도를 측정하였다. 침투도는 나무틀로부터 제조되어 나온 수지 시편을 사방을 정리한 후 두 대각선 (X)으로 절단하였으며, 이의 수직 침투된 수지의 깊이를 버니어캘리퍼스를 이용하여 측정하였다(Figure 2).

### 2.5. 수지의 점도 및 수분 측정

수지의 점도는 구입된 NR-51과 M-40, 그리고 본 연구팀이 개발하여 지속적인 보완작업을 거치고 있는 SE-101을 이용하여 측정하였다. 1 차로 Fungilab 사의 Visco Star plus를 이용하여 25℃에서 측정하였으며, 이를 개량 오스트발트 점도계 [KSA 0531]를 이용하여 점도를 확인하였



**Figure 2.** Final sample of SE101 and soil ( $\leq 1\text{ mm}$ ) (a), a side view of final sample (b), cut down four side of final sample.

다. 시편 내의 수분 측정에는 각 군별로 구분된 토양을 증류수를 비율별로 혼합하여 항온 항습기 내에서 매시간 이를 다시 섞어주면서, 12 시간 이상 유지시켰으며, 이의 상층부 하층부, 가운데 부분의 수분을 측정하고, 원하는 습도 범위 내로 조정된 토양을 선택하여 압착한 후, 틀 내부의 15 mm 경계부의 수분을 측정하여 오차 범위 2% 내의 데이터를 이용하여 토양내의 수분 함량으로 결정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

세 종류의 에폭시 수지와 경화제가 나타내는 25°C에서의 점도를 Table 1에 나타내었다. 이들과 비교하여 보면, 일반적인 예상대로 토양으로의 수지의 침투도는 수지의 점도에 밀접한 관계가 있는 것으로 보인다.

토양을 세가지 군으로 분리하기 전 (5.0 mm 이상 제외) 측정된 토양에서의 SE-101에 대한 평균 침투도는 12.5 mm (±1.3 mm)의 평균 침투도를 나타내고 있었다. 이 토양을 다시 토양 입자가 1.0 mm 이하 (Group I), 1.0 ~ 3.3 mm (Group II), 3.3 ~ 5.0 mm (Group III)가 되도록 분리하여 3 가지 군이 나타내는 건조 토양 (수분 함량 15% 이하)에서의 침투도를 측정하였다. 침투도는 Group 1의 경

우 6.3 mm (± 1.3 mm) 였으며, Group II의 경우, 13.2 mm (± 1.8 mm), Group III의 경우 26.2 mm (± 1.9 mm)였다. Group I 과 II를 동량으로 혼합한 후 측정된 경우에는 평균 침투도가 10.7 mm (± 1.2 mm)로 나타났으며, Group II와 III을 혼합한 경우에는 20.9 mm (± 1.6 mm)로 나타나서 완전한 선형은 아니지만 일반적인 토양 크기별로 흡수도가 증가 결과를 나타내었다. 하지만, Group I 과 III을 혼합한 시편의 경우 7.2 mm (± 1.2 mm)로 침투도가 급격히 떨어지는 것을 알 수 있어, 세가지 군의 토양이 혼합되어 있는 일반 토양 시편보다 더 침투도가 떨어지는 결과를 나타내고 있었는데, 이는 크기 구조상 Group III의 입자 사이에 작은 입자들이 매우 안정하게 위치하게 되어 SE-101의 침투를 막는 결과들로 보인다. 이는 그간 유구 이전 및 토층 전사제로 많이 사용되었던 M-40과 NR-51의 결과와 비교하여 보면, M-40 보다 침투도가 우수하지만 NR-51보다는 침투도가 떨어지는 결과들을 나타내고 있다.

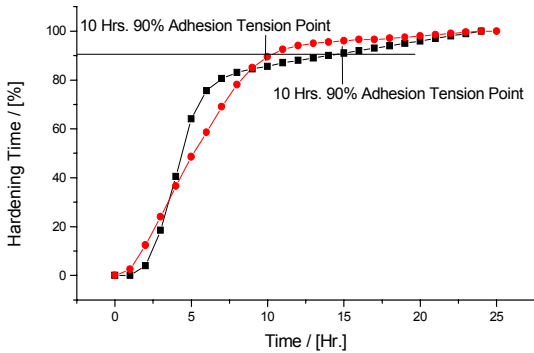
이들 결과들에서 특이한 사항은 M-40의 경우, Table 2에 나타내었듯이, 고점도, 속건성의 Epoxy의 재질 특성상, 침투가 거의 없는 결과를 나타내는 반면에 NR-51의 경우에는 우수한 침투도를 보이지만 큰 입자 군에서는 침투도의 오차가 매우 큰 결과들을 보이고 있다. 이는 Figure 3에서 볼 수 있듯이, 재질의 특성상, NR-51이 초기 경화가 빠른 반면, 후기 경화가 매우 느려서 큰 입자들의 침투에서는 오차 범위가 크게 나타나는 것으로 보이며, NR-51 주체에 포함된 미립의 filler 역시도 침투도의 일관성에 문제를 발생시키는 결과로 보인다. 이에 비해 SE-101의 경화 속도는 초기와 후기의 경화 속도가 비교적 일정하고 내부의 filler

**Table 1.** The measured viscosities value of epoxy and hardener. (unit: cPs/25°C)

	NR-51	M-40	SE-101
Epoxy	5,200	20,000	9,600
Hardener	8,600	18,500	5,200

**Table 2.** The permeation of three type epoxy to soil sample cake form.

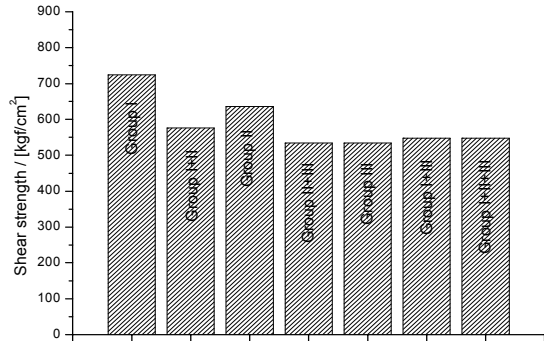
	M-40 discrepancy range	NR-51 discrepancy range	SE-101 discrepancy range
Group I	2.1 mm	6.5 mm	6.3 mm
	± 0.1 mm	± 1.7 mm	± 1.3 mm
Group II	2.4 mm	16.3 mm	13.2 mm
	± 0.2 mm	± 3.1 mm	± 1.8 mm
Group III	2.8 mm	31.1 mm	26.2 mm
	± 0.2 mm	± 4.2 mm	± 1.9 mm
Group I + II	2.3 mm	12.9 mm	10.7 mm
	± 0.2 mm	± 2.7 mm	± 1.2 mm
Group II + III	2.5 mm	25.2 mm	20.9 mm
	± 0.3 mm	± 3.7 mm	± 1.6 mm
Group I + III	2.3 mm	10.1 mm	7.2 mm
	± 0.2 mm	± 2.7 mm	± 1.2 mm



**Figure 3.** Hardening time of NR-51 epoxy; ■-, SE101; ●-, at 25 °C.

가 첨가되지 않은 형태여서 NR-51 보다 비교적 균일한 침투를 보이는 것을 알 수 있었다. 이는 오랜 기간 방치되어진 NR-51의 주제의 경우, 고 비중의 filler가 침강되는데 이를 제거한 후, 사용했을 때, 침투 편차가 많이 줄어들게 되는 결과들도도 확인할 수 있었다. 이 결과들은 침투도가 점도와 비중에 비례하는 결과를 낼 수 있다는 예상과 일치하고 있지만, 침투 정도의 큰 편차를 나타내는 이유를 설명할 수 없었는데, 이를 통하여 점도, 비중 외에 균일한 건조 속도와 내부 필러의 영향도 큰 인자로 작용할 수 있음을 알 수 있었다. 중력에 의한 수직 침투도와는 다르게 동량의 SE-101 도포 시의 수평 침투도는 Group I 과 Group II, Group I +II에서 매우 비슷한 결과를 나타내고 있지만 ( $11.0 \pm 2.7$  mm), Group III이 단독으로 사용되거나 동량 포함되어진 경우에는 15 mm 이상의 침투를 나타내고 있는데, 이는 중력에 의한 하강이 일어나기 전의 예측시가, 큰 입자들 사이를 침투하게 되는 침투력과 작은 입자들과 큰 입자들이 섞여져서 내부 공극이 작아진 부분에서 발생하는 모세관 현상에 의한 침투가 비슷한 침투력의 결과로 나타나는 결과로 보이나, 이에 대한 더 구체적인 연구는 앞으로 더 진행되어야 할 것으로 보인다.

토양을 세균으로 분리하기 전에 (5.0 mm 이상 제외) 측정된 토양에 흡수된 SE-101에 대한 최고 전단 강도는  $540 \pm 5$  kg/cm<sup>2</sup>를 나타내고 있었다. Figure 4에 나타내었듯이, Group I의 경우,  $725 \pm 7$  kg/cm<sup>2</sup>이었으며 Group II의 경우,  $640 \pm 10$  kg/cm<sup>2</sup>, Group III의 경우  $530 \pm 12$  kg/cm<sup>2</sup>였다. Group I 과 II를 동량으로 혼합한 경우에는  $575 \pm 6$  kg/cm<sup>2</sup>로 나타났으며, Group II와 III을 혼합한 경우에는  $530 \pm 9$  kg/cm<sup>2</sup>로 나타내서 Group III과 비슷한 결과를 나타내는 것으로 보인다. 하지만, 침투도의 문제가

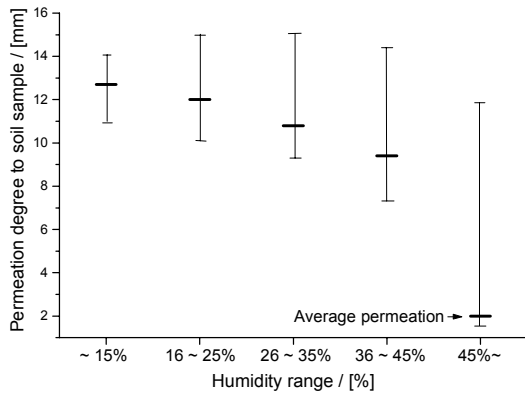


**Figure 4.** Shear strength of epoxy permeated separated soil group sample.

있었던 Group I 과 III을 혼합한 시편의 경우에는 오히려 전단 인장이 조금 증가하여  $540 \pm 6$  kg/cm<sup>2</sup>를 나타내고 있어 초기 토양의 전단과 비슷한 결과를 보이고 있어 전단 강도의 경우 입자 작고, 균일할수록 증가하게 됨을 알 수 있었다.

수분 존재 시, 침투도에 대한 실험은 수분이 공급되어진 토양의 보습도가 15% 이하, 16~25%, 26~35%, 36~45%, 45% 이상으로 나누어진 5 가지 군에서 실험되었다. 침투도는 수분의 양이 증가할수록 매우 빠른 속도로 감소하여서, 2.0 mm이하의 침투도를 나타내는 결과도 보이고 있다. 하지만 이 결과들은 한 시편 내에서도 매우 큰 편차를 나타내어서 10 mm 이상의 차이를 나타내는 경우도 존재하였으며 다량 수분의 존재 시의 사용은 매우 불균질한 도막을 가진 1차 전사체를 얻는 결과를 초래할 수 있을 것으로 보인다(Figure 5).

수분 존재 시, 수분이 침투된 Epoxy 시편의 전단 강도에 대하여 Figure 6에 나타내었다. 수분이 공급되어진 토양의 보습도는 침투도와 같이 15% 이하, 16~25%, 26~35%, 36~45%, 45% 이상으로 나누어진 5 가지 군이었다. 전단 인장은 그림에 나타난바와 같이 수분의 함량이 높을수록 감소하게 되어 거의 60% 정도의 전단 강도 밖에 나타내지 못하고 있었으며 침투도의 결과와 같이 수분의 함량이 증가할수록 최고 강도가 감소하는 것이 문제가 아니라 강도의 편차가 매우 심해져서 45% 이상의 수분 함량의 토양에 전사된 Epoxy의 강도가 최저 50 kgf/cm<sup>2</sup>까지 떨어지는 현상을 나타내고 있어서, 유구나 전사체의 크기가 커질수록 최저 강도를 나타내는 부분에서부터 crack이 시작되고 이를 시점으로 큰 유구 전체가 분리되거나 파괴될 수 있는 원인으로 나타낼 수 있을 것으로 보인다. 이는 그간

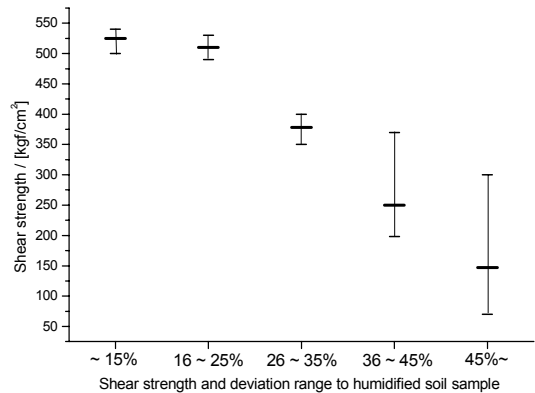


**Figure 5.** Permeation degree of SE-101 epoxy to humidified soil sample.

본 연구팀의 전사 과정에서도 경험했던 과정들로 수분의 역할이 SE-101이 흡수되는 과정에서 이상 경화 현상을 일으키거나 수분이 침투를 방해해서 나타나는 현상으로 판단되며, 이러한 현상의 방지를 위해서는 전사나 이전이 행하여지기전에 최소 침투 깊이의 50% 이상까지는 건조를 행하여야만 이전 중에 안전성이 담보될 수 있을 것으로 보인다.

#### 4. 결론

일정 온도에서 저점도 Epoxy인 SE-101의 침투성과 토양의 수분 함량에 따른 규격화, 강도 변화를 통하여 이 재료들이 나타내는 특성을 최적화된 적용량과 작업성, 작업시의 물성을 규명하여, 이를 토대로 유구의 지속성과 안정성을 높이고자 토양을 크기별, 수분 함량별로 조정, 실험하였다. SE-101은 일반적으로 사용되어지는 유구 이전재들에 비해 그 침투력이 우수하고 편차가 매우 작은 결과를 나타내고 있다. 이는 SE-101이 다른 제품들에 비해 초기와 후기 경화 속도가 일정하고 내부에 filler가 첨가되어 있지 않은 결과로 보인다. 건조된 일반 토양에서 (입자 크기 5 mm 이상 제외 군) SE-101에 대한 평균 침투도는 12.5 mm ( $\pm 1.3$  mm)로 나타났으며 (평균 수평 침투도 12.8 mm  $\pm 1.4$  mm), 이들이 나타내는 전단 강도는 최고 540 kgf/cm<sup>2</sup> 까지 나타내고 있다. 수분 함량별 실험에서는 수분의 함량이 증가할수록 침투도와 전단 강도의 편차가 매우 심하



**Figure 6.** Shear strength and deviation range of SE-101 epoxy to humidified soil sample.

여져서, 동일 시편 내에서도 50 kgf/cm<sup>2</sup>까지 감소하는 결과를 보여 이를 통한 유구 이전 중의 파손 현상 발생도 예측할 수 있어 침투 깊이의 50% 이상은 건조된 상태에서 사용하는 것이 필요한 것으로 보인다.

#### 참고문헌

1. 김병호, “합성수지의 문화재 적용(III)-Epoxy 수지의 물리적 상태실험”. *보존과학연구*, 4, 국립문화재연구소, p127, (1983)
2. 김병호, “합성수지를 이용한 유구의 보존처리”. *문화재*, 23, 국립문화재연구소, p164 (1990)
3. 한원식, 홍태기, 임성진, 위광철, “유구 이전 복원을 위한 표면 박리형 에폭시 폴리머의 개발”. *보존과학회지*, 22, p77-86, (2008)
4. 한원식, 홍태기, 박기정, 임성진, 위광철, “유구 이전 전용 저점도형 에폭시와 박리제에 관한 연구”. *보존과학회지*, 24, p37-42, (2008)
5. 이오희, “*문화재보존과학*”. 주류성출판사, p84 (2008)
6. 이양래, “*고탄성에폭시수지 가공방법*”. 출원번호 10-1978-0003119
7. 황대익, “*변성에폭시수지의 제조방법*”. 국도화학, 10-1986-0004990
8. KSM3722