

## 기초침하복원을 위한 급속 팽창재료의 공학적 특성에 관한 연구

### Engineering Characteristic of High Density Expansion Materials for Structure Restoration Technology

신 은 철<sup>1\*</sup>      Shin, Eun-Chul  
차 용 인<sup>2</sup>      Cha, Yong-In

#### ABSTRACT

The differential settlement on ordinary concrete buildings and paved roads are often occurred and which caused the failure of structure. The grouting method can be used for correcting the settlement of the structure. However, the grouting method has a disadvantage like that it takes a long time period to get a desired strength, and it is not a continuous in the phase of reinforced effect. In this paper, as an injecting material called GPCON to complement disadvantage, it is estimated about the characteristic that has a high-density expansion. With the changing of ground conditions and amount of injection, the change of physical strength on compression, the stability against chemical material are studied through the filming of SEM. The physical strength with compression is developed to high strength due to mixing with other material. It is not react with most of the material on chemical conditions except the component of alcohol. Through the SEM test. it is confirmed that the strength of material was increased as formation is being densified.

#### 요 지

일반적인 콘크리트 건축물이나 도로포장에서 발생하는 부등침하는 건물의 붕괴나 도로의 수명저하로 인한 비용을 증가시킨다. 이에 대하여 침하된 구조물 하부지반에 그라우팅 공법을 이용하여 지반침하복원을 실시한다. 그러나 기존 그라우트 공법의 경우, 강도발현기간이 길고, 보강효과가 지속적이지 못한 단점을 지니고 있다. 이를 보완하기 위한 주입재료로써, 고밀도 팽창재료의 특성을 평가하였다. 지반상태와 팽창재료의 주입량의 변화에 따른 압축강도의 변화와 화학물질에 대한 안정성 시험 및 SEM 촬영을 통하여 특성을 연구하였다. 압축강도는 다른 물질과의 혼합으로 높은 강도가 발현되었으며, 화학적 저항성은 대부분의 조건에서 반응하지 않았으나 알코올계열에 변화가 발생하였다. SEM 촬영을 통하여 강도발현에 있어서 조직구성이 촘촘할수록 치밀하게 구성된다고 판단하였다.

**Keywords :** High density expansion material, Unconfined compression strength, Chemical resistance test, SEM scan, Structure restoration

#### 1. 서 론

최근까지는 구조물의 증축, 용도변경 등에 의해 기초지반의 지내력이 부족한 경우나 침하가 발생한 구조물에 대하여 단순히 추가 침하방지라는 소극적인 방법과 지반에 대한 단순 추축 시공으로, 시공 결과에 대한 품질확보나 시공 DATA를 확보할 수 없는 상태로 공사를 진행할 수밖에

에 없는 상황이었다. 또한 구조물 내부로 대형장비를 반입해야 함으로써 시공이 불가능해지거나 구조물에 2차 파괴를 일으키는 경우가 많았다(고효석, 2005).

또한 일반적으로 도로 및 공항분야에서 콘크리트 포장에 국부적으로 발생하는 부등침하에 의해 발생하는 문제는 자동차의 주행과 안전에 영향을 미치고 있으며, 도로의 수명저하로 인한 비용이 크게 발생하고 있다. 이를 해결하

1\* 정회원, 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수 (Member, Professor, Civil & Environmental System Eng., University of Incheon, E-mail: ecshin@incheon.ac.kr)

2 학생회원, 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정 (Student Member, Master course, Civil & Environmental System Eng., University of Incheon)

고차 침하된 도로를 아스팔트로 덧씌우거나 전부 또는 부분 보수 공사를 실시하며, 포장체 하부지반에 그라우팅 공법을 이용하여 지반의 보수 보강을 실시하게 된다.

도심지 또는 교통량이 많은 제한된 공간에서 긴급 보수·보강작업과 연약지반에서 발생하는 구조물의 부등침하에 대한 보강작업과 같은 구조물에 대한 신속보강 작업이나 어려운 시공조건과 열악한 지반과 같은 특수조건에서 사용할 수 있는 적절한 지반보강공법이 필요한 실정이다.

기존 지반보강 공법은 콘크리트 포장 하부지반에 공극을 채우거나 포장체 하부의 연약화된 지반을 보수·보강하는 방법으로 주로 그라우팅(Grouting) 공법을 사용한다. 그라우팅은 그라우트 혼합재료의 배합비율과 응결속도 그리고 주입압력 등을 조절하여 지반 내에 주입하는 방법으로 그라우트 혼합재료 등의 특성에 따라 그라우팅 공법에 차이가 있다.

기존의 그라우팅 방법은 최대 설계 강도 발현까지의 소요시간이 길고, 지반하부 보강·복원 후 보강 효과가 처음 상태로 지속되지 못하는 점과 정밀하게 주입압력을 조절하지 못하여 주변지반 및 콘크리트 판 구조물의 파손, 지반개량의 확실성(주입액의 정확한 주입범위, 주입고결토의 강도증대 효과), 주입효과 판정법, 주입재의 내구성 및 환경공해문제 등의 문제점을 지니고 있다.

본 연구에서는 위와 같은 공법에 대하여 보다 효과적인 공법개발에 있어서 주입재인 고밀도 팽창재료의 지반상태와 주입량의 변화에 따른 압축강도의 변화와 화학물질에 대한 안정성 시험 및 SEM 촬영을 통하여 특성을 확인하였다.

## 2. 팽창재료를 이용한 침하복원 공법

고밀도 팽창재료를 이용한 침하복원공법은 도로 및 공항의 콘크리트 포장의 특수한 조건에서 콘크리트 구조물에 대한 긴급·보강 및 침하된 구조물 바닥의 원상 복구를 목적으로 한다. 주요내용은 팽창성 수지를 이용하여 보강재료 개발과 이 보강 재료를 이용하여 굴착공사 없이 시공상 접근이 곤란한 조건의 환경에서 지반 보강 공사를 신속히 수행할 수 있는 보강장비를 이용하여 구조물 원상 복구를 위한 긴급 복원기술이다.

팽창재료를 이용한 공법은 지반의 특성을 사용목적에 부합되게 보강하기 위해 고밀도 팽창성 폴리머 재질의 주입재를 지반의 간극 속으로 침투시키는 것이다. 팽창재인 폴리우레탄은 여타 주입재들과는 달리 그의 기본물성

및 주입특성, 기타 공학적 특성과 관련하여 비교적 넓은 범위에서 자유로이 조절이 가능하다(천병식, 1997). 이 주입공법은 경량의 팽창재료가 느슨한 지반의 간극을 채우면서 지반의 지지력을 강화시키고자 한다. 팽창재료는 시간이 경과하면서 서서히 팽창이 일어나면서 주변 지반에 팽창력을 작용하여 구조물을 밀어 올릴 수 있도록 한다. 구조물을 밀어 올린다는 의미는 상부구조물에 의한 정하중뿐만 아니라 구조물 상승 시에 발생한 동하중까지 대응할 수 있는 압축력과 밀도가 물질이 주입된 기초지반에 이미 형성되었다는 것을 의미한다. 다시 말해 물질이 주입된 지반의 지내력이 상부 구조물의 정하중을 감당할 수 있는 것보다 훨씬 큰 수치에 도달하여 단차를 복원하는 공법이다. 그림 1은 구조물 침하 발생에 따른 팽창재료의 주입을 통한 복원 과정을 나타내고 있다.

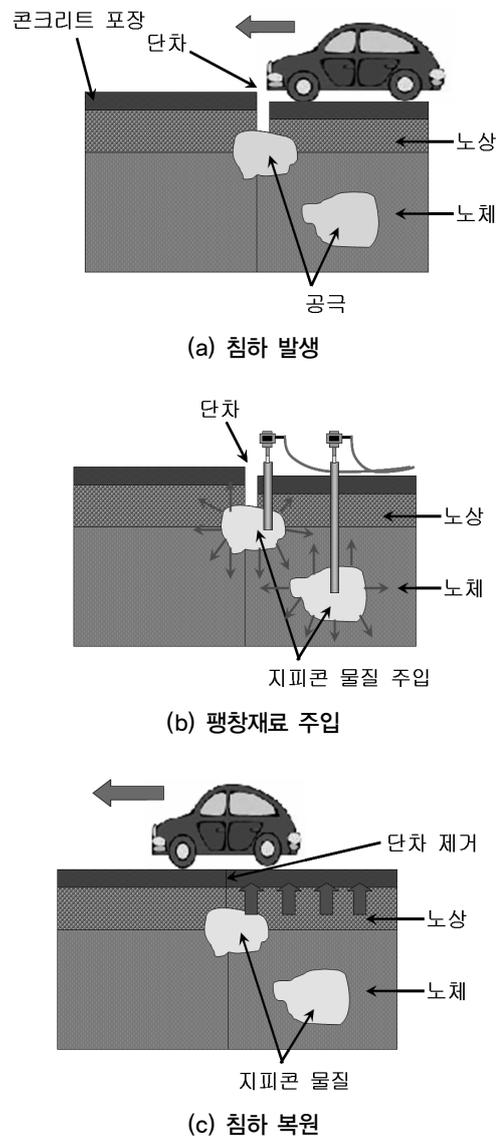


그림 1. 기초침하 복원 단계

### 3. 압축강도 시험

압축강도시험을 위한 공시체의 크기는 KS M ISO 844:2002(발포플라스틱-경질재료의 압축시험) 규정에 의하여 5cm × 5cm × 2.5cm의 크기로 제작하였다. 공시체 제작에 앞서서 공시체를 제작하였다. 공시체 제작은 각각 30cm × 30cm × 15cm 과 30cm × 30cm × 30cm의 크기의 성형틀을 이용하여 시행하였다. 성형틀은 팽창재료 주입



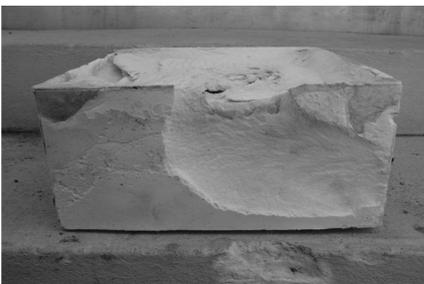
(a) 성형틀 제작



(b) 주입건과 성형틀 연결



(c) 성형틀 분해



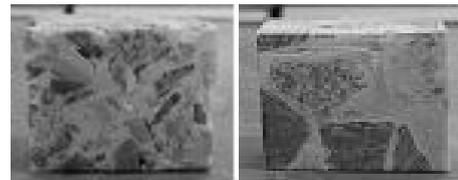
(d) 공시체 성형

그림 2. 공시체 성형 과정

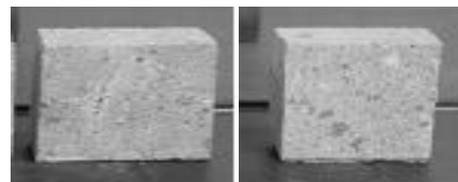
구와 가스배출구로 이루어져 있어 팽창재료 주입에 대하여 가스배출구로 성형틀 내의 가스가 배출됨으로 모든 공극을 균일하게 채워지도록 제작하였다. 물질 주입전과 성형틀을 연결한 후에 팽창재료를 계획된 양에 맞추어 주입 후 일정시간 경과 후 성형틀을 분해하였다. 완성된 공시체를 압축강도 시험을 위하여 공시체 크기로 재성형하였다. 그림 2는 공시체 성형 과정을 나타내고 있다.

압축강도시험은 팽창재료와 지반상태를 고려하여서 총 7종류로 나누어 실시하였다. 자갈 + 팽창재료(1.0kg), 자갈 + 팽창재료(1.5kg), 규사 + 팽창재료(6.0kg), 규사 + 팽창재료(9.0kg), 자갈 + 팽창재료(6.6kg), 팽창재료(1.0kg), 팽창재료(1.5kg)로 각각 공시체를 제작하였다. 자갈 + 팽창재료(1.0kg, 1.5kg)과 팽창재료(1.0kg, 1.5kg)공시체는 30cm × 30cm × 15cm 성형틀에서 제작하였고, 규사 + 팽창재료(6.0kg, 9.0kg)과 자갈 + 팽창재료(6.6kg) 공시체는 30cm × 30cm × 30cm 성형틀에 공시체를 각각 제작하였다. 그림 3은 압축강도시험에 사용된 공시체의 형상이다.

압축강도 시험기는 50000kgf의 최대하중을 지닌 강도



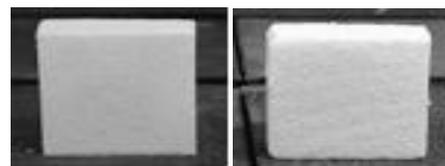
(a) 자갈 + 팽창재료 : 1.0kg, 1.5kg



(b) 규사 + 팽창재료 : 6.0kg, 9.0kg



(c) 자갈 + 팽창재료 : 6.6kg



(d) 팽창재료 : 1.0kg 1.5kg

그림 3. 압축강도용 공시체

시험기를 사용하였다. 성형 공시체는 단면적 25cm<sup>2</sup>에 높이가 2.5cm이며, 공시체 높이의 10%인 2.5mm/min의 속도로 압축시험하였다.

압축강도  $\sigma_m$ 는 다음 식에 의해서 산출하였다.

$$\sigma_m = 10^3 \times \frac{F_m}{A_0} \quad (1)$$

여기서,  $F_m$  : 최대 하중

$A_0$  : 시험편의 초기단면적

압축시험결과 자갈 + 팽창재료(1.0kg)은 최대하중 3061kgf에 압축강도 122.44kgf/cm<sup>2</sup>이 측정되었고, 자갈 + 팽창재료(1.5kg)은 최대하중 3102kgf에 압축강도 124.08kgf/cm<sup>2</sup>이 측정되었다. 팽창재료 (0.5kg)의 차이로 최대하중은 41kgf의 차이가 나고, 압축강도는 1.64kgf/cm<sup>2</sup>의 차이가 발생되었다.

규사+팽창재료(6.0kg)은 최대하중 5306kgf에 압축강도 212.24kgf/cm<sup>2</sup>이 측정되었고, 규사 + 팽창재료(9.0kg)은 최대하중 5877kgf에 압축강도 235.08kgf/cm<sup>2</sup>이 측정되었다. 팽창재료(3.0kg)의 차이로 최대하중은 571kgf의 차이가 나고, 압축강도는 22.84kgf/cm<sup>2</sup>의 차이가 났다.

자갈 + 팽창재료(6.6kg)은 최대하중 6591kgf에 압축강도 263.64kgf/cm<sup>2</sup>으로 나타났다.

팽창재료 자체 물질로만 압축강도 시험한 팽창재료(1.0kg)과 팽창재료(1.5kg)은 최대하중 102kgf에 압축강도 4.08kgf/cm<sup>2</sup>으로 같은 값이 나왔다. 그림 4는 압축강도결과를 그래프로 나타낸 것이다.

#### 4. 화학물질 반응시험

화학물질 저항성 시험은 팽창재료 1.0kg과 1.5kg을 5cm × 5cm × 2.5cm의 공시체로 재성형하여 7일간 증류수(H<sub>2</sub>O), 가솔린, 모터오일, 아세톤(CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>), 메탄올(CH<sub>3</sub>OH),

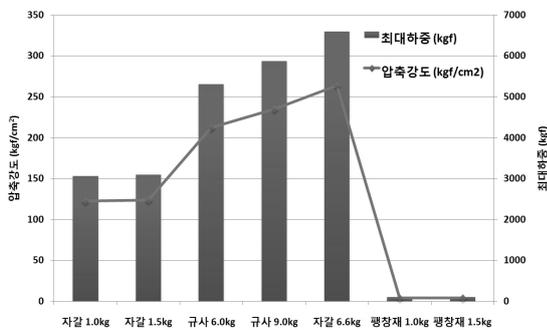


그림 4. 압축강도 시험 비교 그래프

10% 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)의 화학물질이 담긴 비커에 침수시켰을 때의 공시체 변화 모습을 관찰하였다.

침수시키는 과정에서 팽창재료가 화학물질들에 침수가 되지 않아 쇄석으로 하중을 가하여 침수시켜 성형공시체의 상태변화를 확인하였다. 관찰 기간 중 다른 이물질이 유입되는 것을 방지하기 위하여 비커입구를 호일로 봉하여 실험하였다.

화학물질 저항성 시험 결과는 화학물질로 증류수, 가솔린, 모터 오일, 아세톤, 메탄올, 10% 황산에 7일간 수침시킨 결과 팽창재료는 증류수, 가솔린, 모터오일, 가솔린, 10% 황산에는 반응을 보이지 않았지만, 아세톤과 메탄올에는 변형이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

이는 팽창재료의 내화학성은 그리스유와 오일에 대하여 안정성이 양호하며, 수용성세척제, 염, 산, 알카리 등의 수용액에 대해서도 안정하다고 판단되었다. 그러나, 알코올계열이나 2차알코올 등 지방이나 수지를 녹이는 물질에 대해서는 불안정하였다.

팽창재료는 외부에 장시간 노출이 되어도 태양 빛이나 자외선에 의해 변색되거나 표면이 부식되지 않았다.

#### 5. SEM 촬영 분석

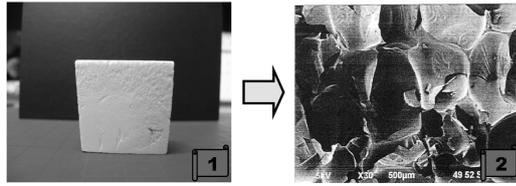
SEM(Scanning Electron Microscopy, 전자주사현미경)은 고체상태에서 미세조직과 형상을 관찰하는 데에 가장 다양하게 쓰이는 분석기기로서 SEM의 초점심도가 크기 때문에 3차원적인 영상의 관찰이 용이해서 곡면 혹은 울퉁불퉁한 표면의 영상을 육안으로 관찰하는 것처럼 보여준다. 본 팽창재료에 SEM을 이용하여 표면 상태를 확인하였다. SEM 촬영은 한국화학 시험연구원에서 JSM-6490LV방법으로 수행하였다.

시편-1은 팽창재료 자체 물질로 성형한 공시체를 사용하여 30배 확대하였다(그림 5(a)). 이 공시체는 압축강도 결과치가 9.28kg/cm<sup>2</sup>인 공시체이다.

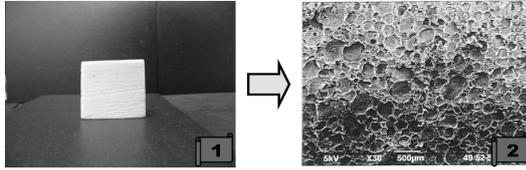
시편-2는 팽창재료 자체 물질로 성형한 공시체를 사용하여 30배 확대하였다(그림 5(b)). 이 공시체는 압축강도 결과치가 6.12kg/cm<sup>2</sup>인 공시체이다.

시편-3은 팽창재료 자체 물질에 자갈을 혼합한 토양혼합물 공시체를 사용하여 30배 확대하였다(그림 5(c)). 이 공시체는 압축강도 결과치가 264.11kg/cm<sup>2</sup>인 공시체이다.

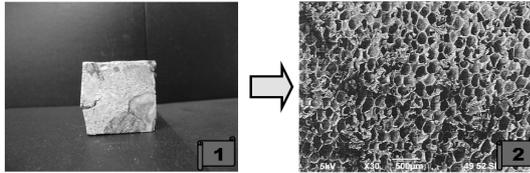
시편-4는 팽창재료 자체 물질에 규사를 혼합한 토양혼합물 공시체를 사용하여 30배 확대하였다(그림 5(d)). 이 공시체는 압축강도 결과치가 220.36kg/cm<sup>2</sup>인 공시체이다.



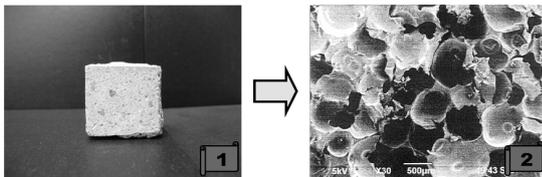
(a) 팽창재료 자체물질-1



(b) 팽창재료 자체물질-2



(c) 팽창재료 + 자갈



(d) 팽창재료 + 규사

그림 5. SEM 촬영 사진

## 6. 결론

본 연구는 고밀도 팽창 우레탄 계열 재료인 팽창재료의 압축강도 시험과 화학물질 반응시험, SEM촬영으로 팽창재료의 성질을 파악하였다. 이에 따른 검토 결과는 다음과 같이 도출되었다.

1. 팽창재료는 자체 주입량에 따라서는 강도의 변화가 없으나, 다른 물질과 혼합하였을 때 자체강도에 비하여 강도가 높게 나타났으며, 팽창재료의 주입량이 증가할수록 높은 강도를 나타냈다. 혼합물질 중에 입자강도가 강할수록 더 강도가 높게 나타났다.
2. 화학물질 저항성 시험에서 팽창재료는 오일이나 석유류 및 일반적인 산에 대해서는 안정하나, 알코올 계열 화학물질에는 변형이 발생되어 불안정하였다.
3. 압축강도 시험을 한 폴리우레탄 시편-1, 2, 3, 4를 SEM 촬영한 결과 팽창재료 자체 물질에 자갈을 혼합한 토양 혼합물 시편-3이 조직들이 가장 촘촘하게 나타났으며, 팽창재료 자체물질로 성형한 시편-2가 시편-3 다음으로 촘촘한 입자구조를 보여주었다. 팽창재료 자체 물질에 규사를 혼합한 토양혼합물 시편-4는 앞의 시편-2, 3보다 확연히 차이가 나게 입자 조직들이 크게 나왔다. 팽창재료 자체물질로 성형한 시편-1은 SEM 촬영에서 가장 느슨한 구조의 입자 구조를 보여 주었다.

## 감사의 글

이 논문은 인천대학교 2007년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었으며 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 고효석 (2005), “다점주입 제어방식을 이용하여 지반보강 후 침하된 구조물을 복원하는 공법”, *지반환경*, 제6권, 제4호.
2. 천병식 (1997), “지반주입용 폴리우레탄의 공학적 특성 및 보강효과”, *대한토목학회 논문집*, Vol.17, No.1, pp.475-483.

(논문접수일 2008. 4. 29, 심사완료일 2008. 5. 22)