

## NDS공법의 현장시험시공을 통한 지반개량 효과에 관한 연구

### A Study on the Improvement Effects of Soft Ground through In-Situ Construction of NDS

안준희<sup>1)</sup>, Joon-Hee Ahn, 박춘식<sup>2)</sup>, Choon-Sik Park, 장정욱<sup>3)</sup>, Jeong-Wook Jang, 강형남<sup>4)</sup>, Hyoung-Nam Kang, 김용식<sup>5)</sup>, Yong-Sik Kim

<sup>1)</sup> 국립 창원대학교 공과대학 토목공학과 석사과정, Graduate Student of Civil Engineering, of Changwon National Univ.

<sup>2)</sup> 국립 창원대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, of Changwon National Univ.

<sup>3)</sup> 국립 창원대학교 공과대학 토목공학과 부교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, of Changwon National Univ.

<sup>4)</sup> CMC Korea (주) 대표이사, President of CMC Korea.

<sup>5)</sup> KSC Engineering 대표이사, President of KSC Engineering.

**SYNOPSIS** : This study applied the NDS method to the creek levee and the foundation of a building, for the purpose of ground improvement and cut-off. The conclusions are shown in the following.

(1) The results of the field tests in the creek levee are as follows; the N value of the standard penetration test is 2~3 before NDS grout and 9~21 after NDS grout; in the alluvial layer, 7~11 before NDS grout and 14~23 after NDS grout. This confirms increasing ground strength with consistency ranging from stiff to very stiff.

(2) The result of the permeability test in the creek levee shows that the ground had a great hydraulic conductivity with complete leakage before ground improvement but that the hydraulic conductivity has significantly increased to  $3.17 \times 10^{-5} \sim 4.65 \times 10^{-5}$  cm/sec after ground improvement by the NDS method.

(3) The result from the field test of the foundation of the building confirms great reinforcing effects, showing that the allowable bearing capacity has increased from  $P_a = 5.0 \text{ t/m}^2$  before reinforcement to  $P_a = 25.0 \text{ t/m}^2$  after reinforcement.

**Key words** : NDS Grouting Method, Creek Leave, N value, Standard Penetration Test

## 1. 서론

국토가 좁은 우리나라의 경우, 각종 건설구조물들이 지지력이 약한 지반에 설치되는 경우가 빈번하여 이러한 지반의 보강을 위해 약액주입 공법을 비롯한 여러 종류의 지반보강공사가 실시되고 있으며 댐, 하천제방, 토류구조물, 지하철 및 터널 공사의 차수를 목적으로 각종 그라우팅 공법이 실시되고 있다.

이러한 약액주입 공법은 주재료의 하나로 물유리를 사용하며 이 공사의 결과물은 그 내구성, 강도, 주입재 용탈 등의 문제로 인하여 가시설 차수의 목적에는 사용이 가능하나 영구적인 지반 보강 및 차수를 위한 공법으로는 본질적인 문제점을 가지고 있는 형편이다.

NDS 공법(Natural and Durable Stabilizer)은 지반개량 재료로 시멘트계 급결재와 무기질계 초미립자를 주원료로 하는 순수 무기질 재료를 사용하여, 기존의 물유리계 재료를 사용할 경우 발생하는 용탈현상 및 강도저하를 해결하여, 시공 후 내구성능 및 강도가 우수하고 주입성이 탁월한 동시에 주입재의 용탈 현상이 발

생하지 않아 환경오염 문제를 해결한 영구적인 차수 및 보강에 적합한 환경 친화적 공법이다.

이에 본 연구는 지반보강의 목적으로 NDS 공법을 적용할 경우에 사용되는 무기질계 고성능 지반안정재를 하천제방 및 건물기초에 대하여 현장시험시공 및 성능확인시험을 실시하여 지반개량 전과 개량 후의 강도 및 투수계수의 변화를 살펴보았다.

## 2. 하천제방에 대한 시험시공

### 2.1 그라우팅에 의한 표준관입시험치의 확인

주입에 의한 지반개량에 있어서 계획한 대로 효과가 얻어졌는가 조사 확인하는 것은 이후의 본 건설공사 진행에 지극히 중요한 사항이다. 따라서 반드시 효과 확인 시험을 실시하여, 만일 만족할만한 효과를 얻지 못했다면 추가로 보충주입을 실시해야 한다.

건설도중 예기치 못한 용수가 발생하여 긴급히 조치해야만 할 경우 주입 시험공사 등을 실시하지 않고 응급 주입을 하는 경우가 많다. 이런 경우는 그쳤다는 사실로 주입효과가 확실해지므로 효과 확인시험을 생략하는 경우가 있으나 이는 어디까지나 가설적인 의미의 일시적 효과가 필요한 경우이고 계속 공사를 진행할 경우 약간의 변동에 의해 다시 용수가 발생하거나 붕괴에 이르는 등 더욱 악화되는 경우도 있다.

따라서 철저한 효과확인에 의한 철저한 조치를 하는 것이 결과적으로 공기를 줄이고 공비를 절감하는 것이 되는 경우가 많다. 그러나 주입효과를 정량적으로 파악할 수 있는 방법은 아직 확립되어 있지 않다고 할 수 있을 정도지만 주입목적에 따라서 될 수 있는 한 유효 적절한 항목과 수단을 선택해서 실시하는 것이 중요하다.

따라서 원위치에 있어서의 조사시험과 샘플링 시료에 의한 실내시험과 더불어 시공중의 주입압과 주입량들의 시공관리 데이터를 망라한 정확한 판단이 필요하고 그 결과에 따라서는 체크주입을 함으로써 효과에 대해 철저한 확인을 하는 것이 주입공사 자체 효율성을 물론 전반적인 건설공사의 측면에서 볼 때에도 궁극적으로 경제적인 시공이 되게 하는 필요 불가결의 공정임을 인식해야 한다.

주입공사에 있어서 당초 계획에 따라 시공을 종료함에 있어서 종료가 적절하고 주입량이 충분하다는 것을 확인할 필요가 있다.

이 확인방법으로는 다음과 같은 순서를 생각할 수 있다.

①시공관리 데이터의 분석 ②현장에서의 체크 (체크주입, 용수량조사 등) ③특별한 조사 방법 실시. 주입공법의 문제점의 하나로 전술한 "확고한 효과 확인 방법이 없다"는 것은 상기 ③항에 대한 지적이라 할 수 있다. 실제로는 ①, ②항이 기본적으로 중요하고 ③은 오히려 보조적인 것이라 할 수 있다.

다시 말하면 시공관리가 완전히 행해져서 작업일보나 주입주상도, P-Q 관리도 등의 관리 데이터가 각 단계에 대해 충실히 기록되고 이것이 충분히 납득이 가는 것이라면 예상과 결과가 전혀 다른 경우는 있을 수가 없다. 오히려 관리 데이터 검토는 소홀히 하고 몇 개의 조사시험에 의해 그 결과만으로 주입효과를 판단하는 것은 매우 위험한 일이다. 특별한 목적에 따른 확인조사 시험방법으로는 다음과 같은 것이 있지만 전술한 바와 같이 기초가 되는 시공 데이터와 충분히 조합하여 적용해야 하며, 다음 방법에 너무 많은 비중을 두면 판정에 오류를 범하게 될 가능성이 크다.

①주입범위와 주입상태 확인 : 주입재가 토립자 간극에 균일하게 침투하고 있는가 혹은 맥상으로 주입되고 있는가를 확인하는 것이 가장 중요하다.

맥상주입일 경우는 주입범위를 확실히 측정하는 것이 곤란하지만 침투주입일 경우는 측정방법으로서 지반내 연속 Core Boring, 표준관입시험, 사운드, 기타 특수조사(RI 시험, 전기탐사, 탄성과 탐사 등)가 있다.

② 지반강화의 확인 : 샘플링에 의한 압축 및 전단시험, 표준관입시험, 연직재하시험, 수평재하시험 (특히, 맥상 주입지반에 대해)

③ 지수효과 확인 : 용수량 조사, 현장투수시험 (양수 및 주수시험), 샘플링에 의한 실내투수시험

NDS 지반개량 전과 개량 후의 지반지지력을 비교하기 위해 표준관입시험을 실시하고 그 결과를 종합하여 다음 표 1에 나타내었다.

표 1. NDS공법 시공 전후의 표준관입시험 결과

심도(m)	주입 전(N)		주입 후(N)		비고
	BH-1	a(BH-2)	b(BH-3)	c(BH-4)	
3.0	2	13	10	10	매립층
4.5	3	10	21	16	매립층
6.0	2	9	14	12	매립층
7.5	7	14	17	16	충적층
9.0	9	17	16	16	충적층
10.5	11	23	19	14	충적층

## 2.2 그라우팅에 의한 현장투수계수 확인

매립층에서는 표준관입시험에 의한 N치가 주입전 사전지질조사(BH-1)시 2/30~3/30로 연약한 연경도를 가지는 것으로 조사되었으나, 주입후 사후지질조사시(BH-2,3,4) 9/30~21/30로 견고(STIFF)에서 대단히 견고(VERY STIFF) 정도의 연경도를 가지는 것으로 확인되었고, 충적층에서는 사전지질조사시(BH-1) 7/30~11/30로 중간에서 견고 정도의 연경도를 가지는 것으로 조사되었으나, 주입후 사후지질조사시(BH-2,3,4) 14/30~23/30로 견고(STIFF)에서 대단히 견고(VERY STIFF) 정도의 연경도를 가지는 것으로 확인되었다. 따라서 NDS 그라우팅공법의 시험주입에 의한 지반개량효과는 매우 우수 것으로 판명되었다. 한편, 본 조사지역에서 실시한 현장투수시험에 의한 투수계수는 다음 표 2와 같다.

표 2. 현장시험 투수계수

HOLE No.		심도(m)	K(cm/sec)	비고
사전조사	BH-1	2.5~3.5	완전누수	매립층
		7.0~8.0	완전누수	매립층
사후조사	BH-2	2.5~3.5	4.65E-05	매립층
		7.0~8.0	3.17E-05	충적층

표 2에서 보는 바와 같이 본 층에서의 투수시험 결과 개량 전 완전누수에서 개량 후 4.65E-05~ 3.17E-05로 지반이 개량되어 투수계수가 매우 감소하였음을 확인하였다.

## 3. 건물기초에 대한 시험시공

### 3.1 NDS공법의 특수 선단 주입장치

본 논문의 연구에 사용된 특수 선단 주입장치는 체크밸브방식으로 주입압력에 의해 자동으로 개폐되어, 주입완료한 후에는 주입재의 역류를 방지하도록 되어있다. 그리고 측면의 3개 주입구에서는 분사각 130°의 분사로 인해 효율적인 주입이 되도록 하였으며 천공시 주입구가 단힘으로 인해 주입관으로 직접 천공이 가능하도록 만들었다.

### 3.2 시공 현장

본 시공 현장은 대전시 유성구 한국전력공사 전력연구원에 기계장치(250ton급 UTM기)가 설치될 곳으로 기초지반의 침하와 지내력 부족으로 NDS공법을 시공하여 기초지반의 요구 강도 발현을 목적으로

이에 NDS공법의 시공위치로는 기계장치(250ton급 UTM기)가 설치될 지점에 6곳의 위치로 고르게 분포하여 NDS주입재를 주입, 시공하였다.

### 3.3 NDS 약재 사용량

NDS공법의 약재 사용량은 20.0m<sup>3</sup>이며, 기준 배합비는 다음 표 3과 같다.

표 3. NDS공법의 기준 재료 배합비

A액(200ℓ기준)		B액(200ℓ기준)	
NDS-E	40kg	NDS-UF	120kg
Accelerator Agent-A	2.11kg		
Water	잔량	Water	잔량

### 3.4 공 정

NDS공법 공정 내용은 다음 표 4와 같다.

표 4. NDS공법 공정표

※ A액의 조작	※ B액의 조작
물 190ℓ를 mixer에 넣고 [NDS-E]를 40kg넣는다.	물 160ℓ를 mixer에 넣고 [NDS-E]를 120kg넣는다.
A,B 양액을 각각 5분간 혼합한다.	
Gel time의 확인	
※ Gel time의 측정방법	
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 종이컵 등으로 A액 100cc 같은 양을 취한다.</li> <li>· A액과 B액을 혼합한다.(2~3회혼합)</li> <li>· 유동성을 잃은 시점을 gel time으로 채택한다.</li> </ul>	
목표치 보다 gel time이 짧은 경우	목표치 보다 gel time이 긴 경우
<ul style="list-style-type: none"> <li>· A액에 [NDS Setter]을 다시 첨가 보충한다.</li> <li>· 차기 batch에서 [NDS Setter]을 추가로 첨가하여 사용해야한다.</li> <li>· (주) [NDS Setter]양은 [NDS-E] 대비 4%이상이면 A액 자신의 gel화 가능성이 있기 때문에 필히 필요이상 [NDS Setter]을 넣지않도록 주의해야한다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· A액에 [CNS Setter]을 첨가하지 않고 [Accelerator Agent-A]만을 첨가하여 A액 농도를 올린다.</li> <li>· B액에 시멘트를 첨가하고, B액의 농도를 올린다.</li> <li>· B액을 혼합 후 정치한다.</li> <li>· A,B 양액의 혼합 온도를 높게 한 후 적절하게 결정되면 차기 batch부터 Setter양을 적게하여 gel time을 맞춘다.</li> </ul>
Gel time이 일정	
<b>주 입</b> : A,B액을 압력 주입한다.	
물로 세척한다.	
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 주입이 일시 중단된 경우 반드시 물로 세척하고 gel화에 의한 hose막힘을 방지한다.</li> <li>· [NDS-E]와 [NDS-UF]는 단독으로 수경성이 있으므로 혼합한 것은 가능하면 빨리 주입하고, 혼합 후 1시간 이내에 처리하는 것이 바람직하다.</li> <li>· 주입이 종료되며 반드시 mixer, hose, rod를 물로 세척해야만 한다.</li> </ul>	

### 3.5 시공 전후 지반 특성

시공 전 지반 특성은 포화도(S)가 70%이며, 기초 Pile 깊이는 15m이고, 지반이 5~10cm정도 침하가 발생하여 Bed Slab가 떠 있는 상태이었다. 한편, 시공 전 평판재하시험 결과 지내력이 5ton/m<sup>2</sup> 정도로 매우 연약하였다. NDS 시공 3일 후에 평판재하시험을 실시한 결과 허용지내력이  $P_y = 25\text{ton/m}^2$  으로 지반의 지내력이 매우 증가하였음을 확인하였다. 이것을 다음 표 5에 나타내었다.

표 5. NDS공법 시공 전후의 지반강도

구분	최대 재하하중 ( $P_u : \text{ton/m}^2$ )	허용지내력 ( $P_a : \text{ton/m}^2$ )
시공 전	10	$P_a=5$ ( $P_u=10$ )
시공 후	50	$P_a=25$ ( $P_u=50$ )

## 4. 결론

1. 하천제방에서의 현장시험시공 결과 표준관입시험에 의한 N치는 NDS 주입 전 매립층에서는 2/30~3/30로 연약한 연경도를 가지는 것으로 조사되었으나, NDS 주입후 9/30~21/30로 견고에서 대단히 견고 정도의 연경도를 가지는 것으로 확인되었고, 충적층에서는 NDS 주입전 7/30~11/30로 중간에서 견고 정도의 연경도를 가지는 것으로 조사되었으나, NDS 주입후 14/30~23/30로 견고에서 대단히 견고 정도의 연경도를 가지는 것으로 확인되어 지반의 강도 증가를 확인 할 수 있었다.

2. 하천제방에서의 현장투수시험 결과 지반개량 전은 완전 누수되어 투수계수가 대단히 큰 지반이었으나 NDS 공법으로 지반개량을 실시한 후는 투수계수가  $3.17 \times 10^{-5} \sim 4.65 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 로 투수계수가 매우 증가되었음을 확인하였다.

3. 건물기초에 대한 현장시험 시공 결과 보강 전 지반의 허용지지력은  $P_a = 5.0 \text{ t/m}^2$  이었으나, NDS 보강 후 지반의 허용지지력은  $P_a = 25.0 \text{ t/m}^2$ 으로 지반의 허용지지력이 5배로 증가되어 보강효과가 우수하였다.

4. 순수 무기질계 재료를 사용한 NDS 공법은 종래의 물유리(Sodium Silicate; Water Glass)계 지반 그라우팅제의 한계성인 물리적 성능 문제(내구성능 저하 및 강도 저하)와 환경적 문제(물유리의 용탈)를 해결한 진일보된 약액주입공법으로 판단된다. 특히 지반강도 보강을 위한 공사에서 주입압력에 의한 주변 지반의 교란이 발생하지 않아 주요 구조물의 지하부나 도심지 공사에서 안정성이 높은 공법으로 판단된다.

### 참고문헌

1. “그라우팅 편람”, 창우출판
2. “건설기술자를 위한 지반주입공법”, 원기술
3. “약액주입공법”, 창우출판
4. “연약지반 대책 공법 -조사·설계·시공-”, 창우출판
5. “연약지반”, 구미서관
6. “지반개량 공법 -조사·설계·시공-”, 창우출판
7. “지반개량을 위한 그라우팅 공법에 관한 연구”, 株式會社 大宇 엔지니어링
8. “최신 지반주입 -이론과 실제-”, 원기술
9. “Grouting Technoloy Geotechnical Investigations”, US Army Corps of Engineers
10. Christian Kutzner, “Grouting of Rock And Soil”
11. “Grouting Soil Improvement And Geosynthetics. VOLUME 1”, ASCE
12. Edited by M.P.Moseley, “Ground Improvement”
13. “Soft Ground Improvement In Lowland And Other Invironments”, ASCE PRESS