

## 친환경 비알칼리성 실리카졸 지반주입재의 개발과 특성에 관한 연구

## A Study on the Development and Characteristics of Eco-friendly None Alkaline Silica Sol Grouting Material

강현상<sup>1</sup> · 정대석<sup>2\*</sup>Hyunsang Kang<sup>1</sup>, Daeseouk Chung<sup>2\*</sup><sup>1</sup>President, Korea Fisheries Infrastructure Public Agency, Seoul, Republic of Korea<sup>2</sup>Professor, Civil Engineering, Joongbu University, Goyang, Republic of Korea

\*Corresponding author: Daeseouk Chung, dsjung@gmail.com

## ABSTRACT

**Purpose:** In this study, a grout material mixed using non-alkaline silica-based materials, which is an eco-friendly injection material to stabilize ground, is investigated to improve conventional problems. **Method:** The homogel specimens of Eco-Friendly Non-Alkaline Silica Sol (ENASS) and L.W. and S.G.R., representative silicate grouting are manufactured. Physicochemical and engineering properties of the specimens are evaluated in laboratory with uniaxial compression strength, hydraulic conductivity, shrinkage, chemical resistance, elution, fish poison, waste leaching. **Result:** Laboratory test results show that the ENASS was superior in all aspects compared to the existing injection material. The suitability of the grout material with ENASS is investigated with filed tests. **Conclusion:** The results of laboratory and field tests demonstrates that the grout material with ENASS is eco-friendly material that increases the strength, decreases the permeability, and discharges pollutants without leaching.

**Keywords:** Injection Material, Grouting, Fish Toxicity, Eco-friendly Injection Material, Non-alkaline Silica, Homogel Specimens

## 요약

**연구목적:** 본 연구에서는 기존 주입공법의 문제점을 개선하기 위한 친환경적인 주입재를 개발하고 시험을 통해 현장 적용성을 확인하기 위한 연구를 수행하였다. **연구방법:** 친환경 주입재와 기존 주입재(L.W, S.G.R)의 호모젤 공시체를 각각 제작하고, 실내시험(일축압축강도, 투수계수, 수축성, 내화학적, 용출성, 어독성, 폐기물공정)을 실시하여 물리화학적 및 공학적 특성을 비교·검토하였다. **연구결과:** 실내시험 결과 친환경 주입재가 기존 주입재에 비해 모든면에서 우수하였으며 주입재료로서 실제 현장에서 시공적합성을 실험하고 지반개량 효과를 확인할 수 있었다. **결론:** 본 연구에서 사용된 주입재는 강도증가 및 투수성 감소 등의 기본적인 물성을 만족하면서 친환경적인 특성을 가지고 있어 지반의 조건과 적용에 관계없이 범용적으로 사용이 가능한 재료로 판단되었다.

**핵심용어:** 주입재, 그라우팅, 어독성시험, 친환경 주입재, 비알칼리성 실리카재, 호모젤 공시체

Received | 30 November, 2022

Revised | 30 November, 2023

Accepted | 30 November, 2023

OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서론

지반주입공법은 지반의 특성을 목적에 따라 개선 또는 향상시키기 위해 연약지반에 주입재를 주입, 침투 또는 혼합 등의 방법을 통하여 연약지반의 강도 및 차수성을 증대함을 그 목적으로 하고 있다. 이를 통하여 시공 중 본 구조물의 안정성 확보는 물론 지반침하를 억제하여 인접 구조물의 안정에도 기여할 뿐만 아니라 구조물 내로의 지하수 유입을 차단 또는 감소시킬 수 있다.

1970년대부터 지반주입공법에 사용된 약액에 의한 지하수의 오염이 사회적으로 문제화되면서 환경적으로 안전한 약액의 필요성이 제기되었고, 1980년대부터 전세계적으로 대형댐, 지하철, 고속철도 등의 건설 붐에 따라 약액의 내구성과 고침투성이 요구됨에 따라 그동안 범용적으로 사용되던 보통시멘트와 물유리계 약액의 한계성을 극복하기 위한 새로운 주입재와 공법이 개발되어 실용화되고 있다(Cheon, 1998).

본 연구에서는 비알칼리성 실리카졸을 사용하여 주입재의 용탈이 없으면서 내구성이 반영구적이며, 해수 중에서도 고결시간의 지연없는 환경 친화적인 경화재 및 혼화재에 대한 실내시험과 현장 적용성 시험을 통해 주입약액의 성능 연구를 수행하였다.

## 친환경 그라우팅재의 개발

### 친환경 그라우팅재 ENASS약액

ENASS은 Eco-Friendly Non-Alkaline Silica Sol의 약자로 친환경인 경화재와 혼화재를 사용하여 지반에 주입하는 약액으로 기존의 물유리계 약액에 비하여 용탈 및 열화현상이 낮은 고내구성, 장단기의 차수성능 및 고강도의 특징을 가지며, 유속이 있는 대수층에서도 차수 및 보강효과를 극대화할 수 있는 약액이다.

사용된 경화재는 점성이 작아 침투성이 좋으며, 겔타임의 길고 짧음에 관계없이, 지반중에 주입되면 거의 완전히 고결되기 때문에 고결특성이 우수하며, 지하수의 흐름이 있는 경우에도 겔타임의 지연현상이 거의 없이 확실히 고결되고, 고결물이 거의 중성범위에서 고결되기 때문에 주입지반의 pH변화를 거의 일으키지 않는다.

또한 혼화재는 경화재와 안정적으로 반응하여, 고내구성, 고강도를 발현하는 물질로 친환경적인 주입재료이다.

### 그라우팅재 조성 및 배합

본 공법의 주입재료의 배합비를 결정하기 위하여 배합비를 다양하게 조정하면서 최적의 배합을 결정하기 위한 강도시험, 겔타임시험, 실내투수시험을 실시하였다. 본 연구에 사용된 배합비를 선정하기 위한 약액배합은 Table 1, Table 2와 같다. A액은 경화재이고, B액은 혼화재이다.

본 연구에서 재료의 적정 배합비를 결정하기 위하여 Table 1, Table 2의 배합비별 겔타임시험, 강도시험, 실내배합투수시험을 실시하여 적절한 겔타임과 일축압축강도, 투수계수를 가지는 배합을 선정하여 ENASS약액의 표준배합으로 결정하고 본 연구를 진행하였다.

**Table 1.** Stage mixing ratio for mixing ratio determination test

구분	성분	단위	1-1배합	1-2배합	1-3배합	1-4배합	1-5배합	1-6배합	1-7배합	1-8배합	1-9배합	1-10배합	1-11배합	1-12배합
A액	규산소다	mL	10	10	10	10	15	15	15	15	15	20	20	20
	묽은황산	mL	10	15	20	25	10	15	20	20	25	10	15	20
	올레산	mL	1	1.5	2	2.5	1	1.5	1.5	2	2.5	1	1.5	2
	물	mL	79	73.5	68	62.5	74	68.5	63.5	63	57.5	69	63.5	58
	계	mL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
B액	시멘트	g	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	NaHCO <sub>3</sub>	g	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	첨가제	g	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	물	mL	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87
	계	mL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

**Table 2.** Stage mixing ratio for mixing ratio determination test

구분	성분	단위	2-1배합	2-2배합	2-3배합	2-4배합	2-5배합	2-6배합	2-7배합	2-8배합	2-9배합	2-10배합
A액	규산소다	mL	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	묽은황산	mL	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	올레산	mL	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	물	mL	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5
	계	mL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
B액	시멘트	g	40	40	40	30	30	30	30	50	50	50
	NaHCO <sub>3</sub>	g	1.5	2	2	1.5	1.5	2	2	1.5	1.5	2
	첨가제	g	0	1	1.5	1	0	1	1.5	1	0	1
	물	mL	87	87	87	90	90	90	90	83	83	83
	계	mL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

**실내실험 재료와 제작**

주입재료의 배합별 내구성, 강도특성, 차수성능, 환경성 등을 확인하기 위하여 실내 비교시험을 실시하였다. 주입공법별 표준배합비는 Table 3과 같다.

**Table 3.** Standard mixing ratio by injection method(1,000 ℓ standard)

	A액(500 ℓ)		B액(500 ℓ)	
	ENASS경화재	시멘트	ENASS혼화재	물
ENASS	500 ℓ	200 kg	12.5 kg	430 ℓ
L.W	규산소다 3호	물	벤토나이트	물
	250 ℓ	250 ℓ	20 kg	430 ℓ
S.G.R	규산소다 3호	물	S.G.R약재	물
	250 ℓ	250 ℓ	60 kg	420 ℓ

본 연구에서는 시멘트와 혼합하는 현탁액형 주입재로서의 특성을 검토하였다. 또한 Table 3과 같이 ENASS의 대표 배합과 대표적 물유리계 공법인 L.W 및 S.G,R의 젤타임이 빠른 급결형으로 표준배합비를 선정하고 호모젤 공시체를 제작하였다.

## 친환경 그라우팅재로서의 안정성 고찰

### 실내시험 고찰

#### 압축강도

호모젤 공시체 일축압축강도시험은 KS E 3033(2001)에 의거하여 일축압축강도를 측정하였다. 일축압축강도는 28일 강도를 측정하였으며, 그 결과는 Table 4와 같다.

강도시험결과 ENASS 약액과 S.G.R 약액은 약12.6배정도의 강도 차이가 났고, L.W 약액과는 약2.5배 정도의 차이가 났다. ENASS 약액의 강도는 차수 목적 그라우팅뿐만 아니라 지반보강 목적의 그라우팅에도 적용이 가능할 것으로 보인다.

**Table 4.** Comparison of uniaxial compressive strength between the ENASS method and silicate grouting method

구분	ENASS				L.W	S.G.R
	#1	#2	#3	평균		
일축압축강도(28일 강도)	3.46	4.08	3.77	3.77	1.5	0.3

단위 : Mpa

#### 차수성

투수계수시험은 ASTM D 5084(2003)에 의거하여 투수계수를 측정하였다. 시편을 담수중에서 28일간 양생 후 투수시험의 결과는 Table 5와 같다.

투수시험결과 ENASS 약액은 투수계수가 S.G.R 약액 보다 차수효과가 큰 것으로 나타났다. 반면 L.W 약액의 경우는 알카리 용탈에 의한 수축현상으로 인하여 변형 및 수축량이 많아 투수시험이 불가능하였다.

**Table 5.** Comparison of homogel permeability tests between the ENASS method and silicate grouting method

구분	ENASS	L.W	S.G.R
투수계수(28일 양생)	2.6×10 <sup>-9</sup> 3.8×10 <sup>-10</sup>	측정불가	약 8.0×10 <sup>-7</sup>

단위 : cm/sec

#### 내구성

주입재의 내구성 및 수축정도를 평가하기 위해 길이변화율시험을 실시하였다. 시편은 대기건조상황과 담수중, 해수중에 대하여 110일 동안의 양생기간 동안의 길이변화로 내구성을 확인하였다. 시험결과는 Table 6과 같다. ENASS 주입시편은 대기건조상황과 담수 및 해수에서도 0.1% 이내로 수축현상이 거의 발생하지 않았다. 그러나 L.W와 S.G.R 주입시편은 양생 조건과 관계없이 고결에 따라 지속적으로 주입재의 용탈 및 열화현상 등으로 수축현상이 발생함을 확인할 수 있었다. 이를

통하여 ENASS 약액은 담수 및 해수의 조건에서도 용탈현상이 없어 수축이 없었다는 것을 의미하며, 비알칼리성 실리카졸의 조직구조, 강도특성 및 투수성이 우수함을 잘 반영해주고 있는 것임을 알 수 있다.

**Table 6.** Comparison of homoge Length change tests between the ENASS method and silicate grouting method

구분	ENASS	L.W	S.G.R
대기건조	0.0	5.5	5.9
담수중	0.1	4.9	5.2
해수중	0.1	4.7	4.7

단위: %

**환경영향성**

주입재의 환경영향성을 확인하기 위하여 폐기물 공정시험을 폐기물공정시험기준(국립환경과학원고시 제2017-54호 : 2017.12.12.)에 의거하여 실시하였다. 시험결과는 Table 7과 같다.

환경영향성시험(폐기물공정시험) 결과 ENASS 약액의 주입재는 모든 항목에서 중금속이 검출되지 않아 환경오염의 우려가 없을 것으로 확인되었다.

**Table 7.** Enviromental impact of the ENASS method(waste leaching)

구분	Pb	Cd	Cu	As	Cr <sup>6+</sup>	Hg
기준치	3이상	0.3이상	3이상	1.5이상	1.5이상	0.005이상
ENASS	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
L.W	0.024	불검출	0.009	0.185	0.662	불검출
S.G.R	불검출	불검출	불검출	0.014	0.140	불검출

단위: mg/ℓ

담수어류 중 잉어에 대한 약액의 급성독영향을 평가하였다. 시험방법은 국립환경과학원 고시 제2020-46호(2020년 11월 03일) ‘화학물질의 시험방법에 관한 규정’ 제3장 제3항 ‘어류 급독성시험’ 에 제시된 시험방법에 따라 실시하였다. 시험의 농도는 시료의 36배에 해당하는 희석수에서 96시간 동안 실시하였으며, 그 결과는 Table 8과 같다.

어독성시험 결과 ENASS 약액은 pH농도가 시간의 경과에 따라 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 96시간 동안 공시어가 한 마리도 치사되지 않았다. L.W공법약액은 48시간 후 공시어의 치사율이 100%로 환경에 안 좋은 영향을 미치는 것으로 나타났다. ENASS 약액은 비알칼리성이며 경화가 이루어지고 난 이후 pH가 낮아진 후에도 pH 변화가 거의 없어 공시어의 치사율도 0%로 나타났다. 반면에 기존의 대표적인 물유리계 공법인 L.W 및 S.G.R약액의 경우 초기에 급격한 pH의 증가 있었으며 경화 이후에는 변화가 없었다. 높은 pH 및 독성으로 48시간 후 공시어의 치사율이 100%로 환경성이 대단히 좋지 않은 것으로 나타났다.

**Table 8.** Comparison of fish toxicity test results of the ENASS and L.W. and S.G.R.method according to time

구분	pH, 치사어수, 치사율	24시간	48시간	72시간	96시간
ENASS	pH	9.78	8.50	8.03	8.11
	치사어수	0	0	0	0
	치사율	0%	0%	0%	0%
L.W	pH	10.9	10.9	10.9	10.9
	치사어수	17	20	20	20
	치사율	85%	100%	100%	100%
S.G.R	pH	10.99	10.90	10.95	10.99
	치사어수	18	20	20	20
	치사율	90%	100%	100%	100%

### 현장시험 고찰

실제현장에서 시험시공을 통해 ENASS 약액의 현장적용성과 치수 및 지반보강효과를 확인하였다. 효과확인 시험은 대상 지반에 시공 전·후의 현장투수시험, 표준관입시험, 전기비저항탐사(쌍극자배열법)를 실시하여 그 결과 값을 비교하였다.

### 현장투수시험

해안가에 인접한 건축공사 현장에서 실시하였으며, 가시설 배면치수 및 보강목적으로 ENASS 약액 주입시험 시공을 2개소 실시하였다. 시험방법은 KS F 2322에 의거하여 주입대상지반에 주입전·후로 수위강하식 변수위투수시험(Falling Head Test)을 실시하였으며, 그 결과는 Table 9와 같다.

시공효과 확인을 위한 현장투수시험에서 2개소 모두 시공 전·후의 투수계수에 비교하여 볼 때 해수의 영향이 있는 해안가 지반에서도 지반개량의 치수효과가 확인되었다. 특히 풍화암층의 주입 전 투수계수가  $2.533 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 이었음에 반해, 주입 후  $6.620 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 으로 감소하여 암반층에서의 밀실주입이 가능하였음을 확인할 수 있었다. 이를 통하여 ENASS는 현장시험 시공 시 주입재에 의한 투수계수의 시방기준인  $1 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$  이하의 투수계수를 확보할 수 있음을 확인할 수 있다.

**Table 9.** On-site permeability test results before and after construction of the ENASS method

시험심도	지층구분	단위	1구간		2구간	
			주입 전	주입 후	주입 전	주입 후
G.L-6.0m	퇴적층(실트질모래)	cm/sec	$6.472 \times 10^{-3}$	$4.764 \times 10^{-6}$	$9.605 \times 10^{-3}$	$9.226 \times 10^{-6}$
G.L-12.0m	퇴적층(실트질모래)	cm/sec	$1.237 \times 10^{-2}$	$6.270 \times 10^{-6}$	$1.280 \times 10^{-2}$	$2.127 \times 10^{-5}$
G.L-18.0m	퇴적층(실트질모래)	cm/sec	$2.916 \times 10^{-3}$	$1.152 \times 10^{-5}$	$5.774 \times 10^{-3}$	$5.807 \times 10^{-6}$
G.L-24.0m	퇴적층(실트질모래)	cm/sec	$2.818 \times 10^{-3}$	$9.663 \times 10^{-6}$	$6.544 \times 10^{-3}$	$5.323 \times 10^{-6}$
G.L-32.0m	풍화암	cm/sec	$2.339 \times 10^{-3}$	$4.161 \times 10^{-5}$	$2.533 \times 10^{-3}$	$6.620 \times 10^{-6}$

### 현장강도시험

지반보강의 효과를 확인하기 위하여 현장에서 시공전·후로 각 2개소에서 표준관입시험을 실시하였으며, 시험방법은 KS F 2307에 의거하여 실시하였다. 그 결과는 다음과 Table 10과 같다.

시공효과 확인을 위한 주입전·후 표준관입시험 결과, 보강 전 N치 2/30~50/11에서 보강 후 N치 7/30~50/8 로 시공 후 지반의 강도가 증대된 것을 확인하였다. 보강전의 N치가 3/30~7/30 인 느슨한 매립층 또는 연약 퇴적층은 보강후 N치가 8/30~13/30으로 약 2배 정도로 상향 강도가 증가되었음을 알 수 있다. 다만 기반암에서의 강도증가는 매우 미약했음을 확인할 수 있었다. 또한, 전기비저항탐사의 결과에서도 보강 전보다 보강 후의 전기비저항치가 높아진 것으로 나타났으며 지반의 밀도의 증가 등 보강효과를 확인할 수 있었다.

**Table 10.** Standard penetration test results before and after construction of the ENASS method

심도	기존 N치(지반조사)(회/cm)		보강전 N치(회/cm)		보강후 N치(회/cm)	
	BH-2	BH-4	보강전-1	보강전-2	보강후-1	보강후-2
GL-1.0m	4/30	11/30	7/30	5/30	13/30	12/30
GL-2.0m	3/30	5/30	4/30	6/30	8/30	10/30
GL-3.0m	2/30	3/30	3/30	4/30	7/30	8/30
GL-4.0m	14/30	2/30	8/30	7/30	9/30	12/30
GL-5.0m	35/30	5/30	32/30	28/30	35/30	33/30
GL-6.0m	50/18	3/30	50/20	50/23	50/15	50/17
GL-7.0m	50/11	23/30	50/12	50/15	50/8	50/9

### 전기비저항탐사(쌍극자배열)

지반보강의 효과를 확인하기 위하여 현장에서 시공전·후로 전기비저항탐사를 실시하였다. 시험방법은 쌍극자배열법을 이용하였고, 3개의 측선을 배열하여 시험을 진행하였다. 그 결과는 다음 Fig. 1과 같다. ENASS을 현장에 주입하기 전에 비하여 주입에 의한 복합그라우팅으로 전기비저항 측정치가 높아져 매립층 하부에 주입재가 충전된 것으로 확인할 수 있었다. 전기비저항탐사 결과, 상부 0~3m 내외의 구간은 불포화된 느슨한 구간으로 이루어져 있으며 일부는 공간이나 아주 느슨한 상태, 불포화된 느슨한 매립층 하부가 매립재나 세립점토가 유실된 저비저항상태 였으나 보강 후 고비저항으로 나타나 전 공동이 보강된 것으로 확인할 수 있었다.

마찬가지로 3~7m내외 구간의 지하수로 포화된 매립재 및 점토가 많이 함유된 구간의 저비저항대 지층이 보강 전에 비해 상부층과 마찬가지로 보강 후가 고비저항대 지층으로 바뀌었음을 확인할 수 있어 공동 및 느슨한 지반의 보강이 양호한 것으로 판단할 수 있었다. 한편, 하부 풍화대 및 연경암 구간은 대체로 비저항치가 보강전·보강후가 비슷한 경향을 나타냄을 보였다.

### 결론

기존의 주입공법은 물유리계의 주입재를 사용함으로써 약액의 용탈로 인하여 내구성저하 및 환경오염 등의 문제가 있어 주입효과가 결여되어 차수 및 보강이 불확실하다.

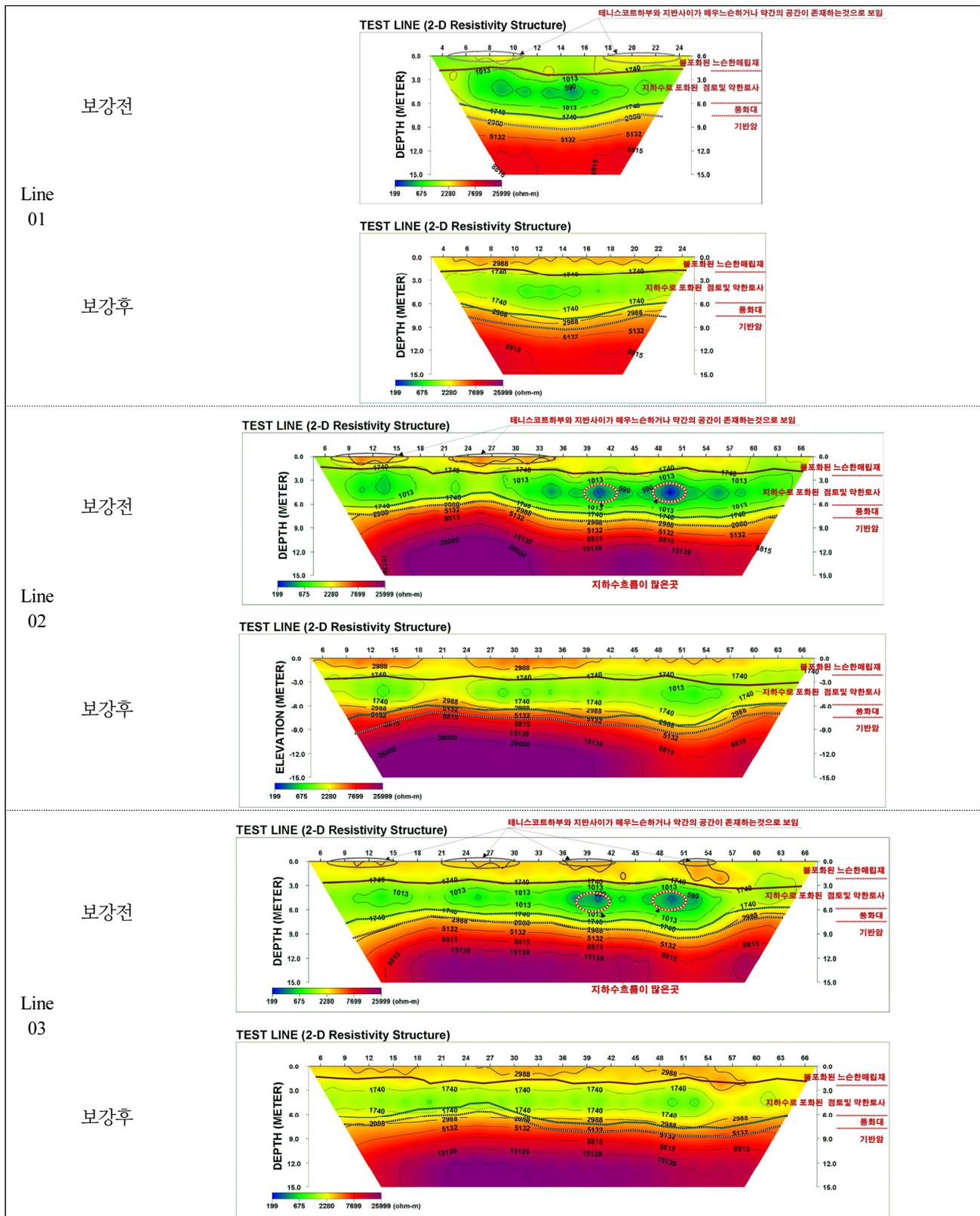


Fig. 1. Comparison of electrical resistivity method results before and after construction

본 연구에서는 주입재의 용탈이 없어서 내구성이 반영구적이며, 해수 중에서도 고결시간의 지연이 없는 환경 친화적인 비알칼리성 실리카졸계 경화재 및 혼화재(ENASS)에 대한 실내시험 및 현장시험을 실시하여 비교 검토하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, ENASS 주입재료의 배합비에 따른 겔타입, 강도 및 투수계수로부터 적정 배합비를 선정하였고 이를 물유리계인 L.W 및 S.G.R 약액과 물리·화학적 및 공학적 특성을 비교하였다.

둘째, 강도특성을 파악하기 위하여 호모겔 일축압축강도시험을 실시한 결과, ENASS 약액이 L.W 약액과 S.G.R 약액에 비해 강도가 큰 것으로 나타났다. 이에 ENASS 약액이 차수 목적 그라우팅뿐만 아니라 지반보강 목적의 그라우팅에도 적용이 가능할 것으로 판단된다.

셋째, 투수특성을 파악하기 위하여 실내투수시험을 실시한 결과, ENASS 약액이 S.G.R 약액보다 투수성이 낮은 것으로 나타나 ENASS 약액의 차수효과가 기존공법에 비해 매우 우수할 것으로 판단된다.

넷째, 내구성 및 수축정도를 확인하기 위하여 시편의 길이변화를 대기건조조건, 담수조건, 해수조건에 대하여 측정한 결과, ENASS주입재는 양생조건과 관계없이 L.W 약액과 S.G.R 약액에 비해 수축현상이 거의 발생하지 않아 내구성이 큰 것으로 판단된다.

다섯째, ENASS공법 주입재의 환경영향성을 확인하기 위하여 어독성시험과 폐기물공정시험을 실시한 결과 어독성시험에서는 96시간동안 공시어의 치사가 없었으며, pH농도도 중성에 가깝게 나타났다. 폐기물공정시험에서도 모든 항목에서 중금속이 검출되지 않아 환경오염의 우려가 없을 것으로 확인되어 친환경적인 주입재임을 알 수 있었다.

여섯째, 현장적용성과 차수 및 지반보강효과를 확인하기 위한 해안가 현장 시험시공 결과 주입 전·후의 투수계수에 비교하여 볼 때 ENASS 약액이 해수의 영향이 있는 해안가 지반에서도 지반개량의 차수효과가 확인되었다.

일곱째, ENASS 약액의 보강효과를 확인하기 위하여 표준관입시험과 전기비저항탐사에서 주입 전·후 표준관입시험 결과에서 지반의 강도가 증대된 것을 확인하였으며, 전기비저항탐사에서 보강 전보다 보강 후의 전기비저항치가 높아진 것으로 나타나 지반강도 보강효과를 확인할 수 있었다.

여덟째, 위의 연구결과를 종합하여 볼 때 ENASS공법은 기존 물유리계공법에 비하여 주입재의 강도 및 내구성, 차수성이 우수하고, 환경오염의 우려가 없는 친환경 주입재료로서 그 적용성이 우수할 것으로 판단된다.

## References

- [1] Agricultural Infrastructure Corporation (2001). Guidelines for Dam Grouting Design and Construction Practice. Agricultural Infrastructure Corporation Farming and Fishing Village Researcher, EKR, Jeonnam.
- [2] Cheon, B.S. (1998). Latest Ground Injection - Theory and Practice-. Original Technology, Seoul.
- [3] Cheon, B.S. (2011). The Principle and Practice of Drug Injection. (CC) Construction Industry Research Institute, Goomibook, Seoul.
- [4] Jang, Y.K, Kim, S.K. Kang, Y.J. (2016). "Application of eco-friendly non alkaline water proofing." Korean Geotechnical Society a Collection of Learned Papers, Vol. 17, No. 9, pp. 37-45.
- [5] Kim, H.Y. (2011). Silica Sol for Ground Reinforcement-cement A Study on the Properties of Grouting Material. Doctoral Dissertation, Hanyang University.
- [6] Ministry of Construction and Transportation (1997). A Study on the Practical Use of Micro Cement and Silicasol for

Ground Reinforcement. Ssangyong Cement Industry Co., Ltd, Hanyang University, Seoul.

- [7] Seoul City University Industry - Academic Cooperation Group (2008). Lee, song et al., A Study on the Application of ENG Method. Seoul, p. 91.