

점성개질제를 이용한 수중 불분리성 그라우트재의 수중 속채움 보강 특성 분석

Strength Characteristics of the Anti-washout Grout Mixed with Coarse Fill Materials

김욱기¹, 조삼덕², 박봉근³, 김주형^{4*}

Uk-Gie Kim¹, Sam-Deok Cho², Bong-Geun Park³, Juhyong Kim^{4*}

¹Nonmember, Post-Doc., Geotechnical Engineering Research Division, KICT, 283, Gyoyangdae-Ro, Ilsan-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Republic of Korea

²Member, Senior Research Fellow, Geotechnical Engineering Research Division, KICT, 283, Gyoyangdae-Ro, Ilsan-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Republic of Korea

³Nonmember, President Backyoung co., ltd., 160, Sadang-Ro, Dongjak-Gu, Seoul, 156-095, Republic of Korea

⁴Member, Research Fellow, Geotechnical Engineering Research Division, KICT, 283, Gyoyangdae-Ro, Ilsan-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Republic of Korea

ABSTRACT

This study introduces strength characteristics of the anti-washout grouting material using viscous modifiers and its characteristics mixed with coarse materials. Especially, this study focused on the strength characteristics of the grouts mixed with sea water. It is found that the anti-washout grout mixed with sea water has enough strength and good resistance to segregation just like that with fresh water. Also, a small scale test was performed to evaluate the solidification characteristic of the anti-washout grout mixed with coarse fill materials. It is also found that the strength of anti-washout grout mixed with coarse fill materials is greater and better segregation resistance than those of conventional grout with fill materials.

요 지

본 연구에서는 계면활성제계 개질제를 이용하여 수중에서 재료분리가 발생하지 않으면서도 유동성을 충분히 갖는 수중 불분리성 점탄성 그라우트재와 일반 그라우팅 재료의 강도 특성과 속채움 보강 재료로서의 특성을 분석하였다. 특히, 해수를 활용하여 점탄성 그라우팅 재료를 제작하는 경우에 대해 중점적으로 시험을 수행한 결과, 담수를 사용하여 그라우트 재료를 제작하는 경우와 마찬가지로 수중 불분리성 특성을 잘 나타내었으며, 이에 따른 균질한 점탄성 그라우트재의 강도를 확보할 수 있을 것으로 평가되었다. 또한, 모형시험을 통해 그라우트재의 침투성을 이용하여 속채움 골재의 보강특성을 평가한 결과, 수중 불분리성 그라우팅 재료는 일반 그라우트재와 비교하여 충분한 강도가 발휘되었으며, 점성에 의한 수중 불분리 특성으로 속채움 보강재로서 좋은 시공 품질을 확보할 수 있을 것으로 평가되었다.

Keywords : Anti-washout grout, Sea water, Strength, Fill material

1. 서 론

수중 구조물의 건설공사 수요 증가에 따라 구조물을 지

반에 고정시키고 지지하기 위한 수중 그라우트재의 관심과 개발이 활발히 진행되고 있다(EWEA, 2009; Kim et al., 2011; Sagong et al., 2010; Lim et al., 2010). 현재 일반적으로 사용되고 있는 각종 혼화제들은 점성, 유동성 및 조기 경화성 등의 수중 그라우트재로 요구되는 특성을 동시에 만족시키지 못하고, 분말 형태로 시판되기 때문에 해

Received 28 Mar. 2013, Revised 22 Apr. 2013, Accepted 24 Apr. 2013

*Corresponding author

Tel: +82-31-910-0236; Fax: +82-31-910-0211

E-mail address: haitink@kict.re.kr (J. Kim)

상공사의 시공성 또한 현저히 떨어지는 문제점을 가지고 있다(Park et al., 2010). Kim et al.(2012)은 기존 그라우트재의 문제점을 대폭 보완한 용해성과 유동성이 탁월한 계면활성제계 혼화제를 활용한 수중 불분리성 그라우트재에 대한 실내시험을 통해 개질제 혼합에 따른 수용액 및 그라우트재의 점도 특성, 자기 수평성, 체적변화, pH, 탁도 등에 대한 물리적 특성을 파악하였다. 또한, 수중 그라우트 재료로서의 적용성과 더불어 수중 불분리성 그라우트 재료와 일반 그라우트 재료를 담수로 배합하는 경우에 해수 및 담수조건에서 타설, 양생시켜 각 그라우트재의 공학적 특성을 비교 분석한 바 있다. 그 결과, 수중 불분리성 그라우트재로서 필요한 무수축성, 고유동성, 초기강도 및 최종강도, 재료분리 저항성 등에 대한 성능을 만족했으며 특히, 강도적 측면에서 일반 그라우트재와 비교하여 해수와 담수 속에서 양생하여도 충분한 강도가 발휘되었으며, 수중에서 재료분리 저항성으로 인해 좋은 시공 품질을 확보할 수 있을 것으로 확인한 바 있다(Kim et al., 2012).

본 연구에서는 육상과 해상시공 조건을 모사하기 위해 그라우트 배합시 배합수로 담수와 해수를 각각 사용하여 담수와 해수에서 양생하는 조건에서 계면활성제계 혼화제를 사용한 수중 불분리성 그라우트재의 강도 변화를 평가하였으며, 이와 더불어 소규모 모형토조시험을 수행하여 말뚝 중량을 증가시키기 위해 내부를 골재로 속채움하는 경우, 수중 불분리성 그라우트재와 일반 그라우트재의 속채움재 내 침투, 주입성능 및 고화성능을 비교 평가하였다.

2. 배합수 종류에 따른 그라우트재의 압축강도 특성

수중에 시공되는 그라우트재는 물의 흐름에 의해 유실·교란되기 쉬우며, 하부에 무거운 재료가 먼저 침강되고 그 위에 가벼운 재료가 침강되어 층상으로 재료분리가 일어난다. 이러한 재료분리 현상은 그라우트재의 균일한 시공 품질 확보를 저해하여 설계 강도에 큰 영향을 미친다

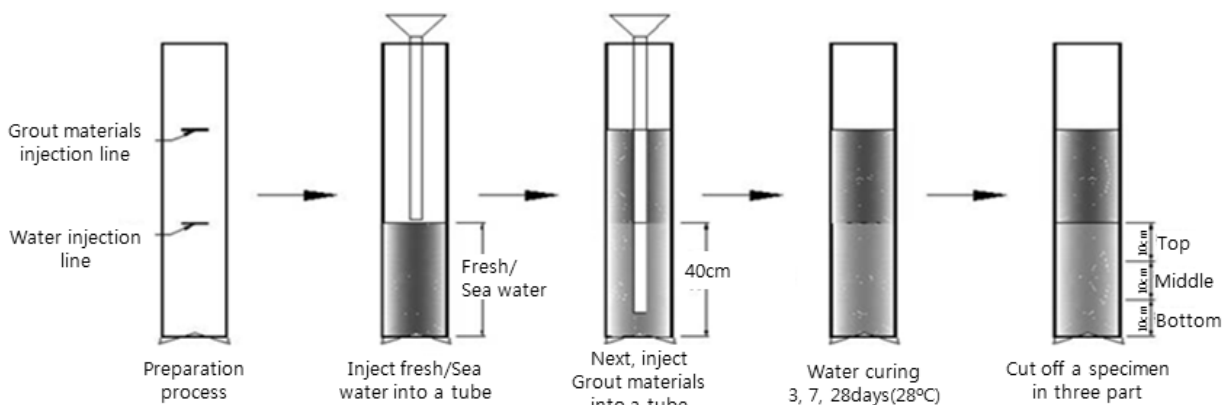


Fig. 1. Schematic diagram of cylindrical sampling mould (Kim, et al., 2012)

Table 1. Compressive strength with sampling depth for conventional grout (MPa)

W/C	Curing time (Seawater), days	Conventional grout							
		Mixed fresh water (Kim, U. G, et al, 2012)				Mixed sea water			
		Top (10cm)	Middle (20cm)	Bottom (30cm)	Avg.	Top (10cm)	Middle (20cm)	Bottom (30cm)	Avg.
50	7	10.4	16.0	21.6	16.0	9.9	17.1	18.4	15.1
	28	15.0	22.6	25.4	21.0	18.1	21.4	23.5	21.0
	avg.	12.7	19.3	23.5	18.5	14.0	19.3	21.0	18.1
75	7	4.5	6.3	12.6	7.8	4.5	8.4	9.1	7.3
	28	7.9	10.0	16.5	11.5	6.4	11.6	12.8	10.3
	avg.	6.2	8.2	14.5	9.6	5.5	10.0	11.0	8.8
100	7	1.6	7.5	13.1	7.4	2.5	6.7	7.8	5.7
	28	6.2	12.8	15.3	11.5	6.4	10.4	12.7	9.8
	avg.	3.9	10.2	14.2	9.4	4.5	8.6	10.3	7.8

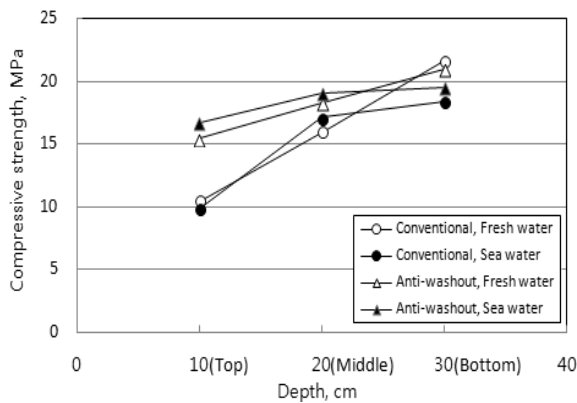
(Kitazume et al., 2008). 본 연구에서는 해상 시공을 고려하기 위해 해수로 물/시멘트비를 배합하여 Fig. 1에 나타난 것과 같이 Kim et al.(2012)이 제안한 동일한 시험방법으로 튜브를 이용한 실린더형의 공시체를 제작하고 담수와 해수 양생조건에 따른 그라우트재의 심도별 압축강도를 평가하였다. Table 1, 2는 해수/시멘트비 50, 75, 100% 배합조건의 일반 그라우트재와 수중 불분리성 그라우트재를

해수에서 양생시킨 심도별 상·중·하부(10cm 단위) 공시체의 압축강도 측정결과와 Kim et al.(2012)이 발표한 동일한 조건에서 담수를 배합수로 사용하는 경우의 압축강도 결과를 비교하여 보여준다.

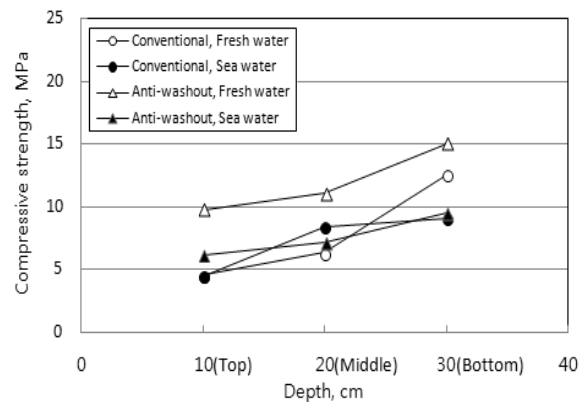
Table 1과 Table 2에 나타난 압축강도 결과 중 물(담수, 해수)/시멘트비 50, 70, 100%변화에 따른 재령일 7일에 대한 심도별 압축강도 관계를 Fig. 2에 나타내었는데, 해

Table 2. Compressive strength with sampling depth for anti-washout grout (MPa)

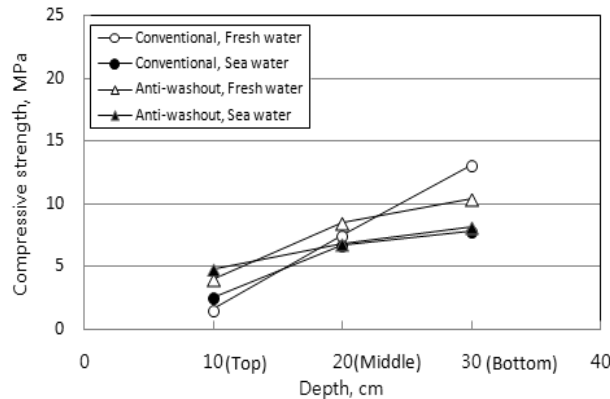
W/C	Curing time (Seawater), days	Anti-washout grout							
		Mixed fresh water (Kim, U. G. et al, 2012)				Mixed sea water			
		Top (10cm)	Middle (20cm)	Bottom (30cm)	Avg.	Top (10cm)	Middle (20cm)	Bottom (30cm)	Avg.
50	7	15.4	18.3	20.9	18.2	16.7	19.1	19.5	18.4
	28	17.8	23.8	29.6	23.7	22.4	24.5	23.9	23.6
	avg.	16.6	21.0	25.3	21.0	19.6	21.8	21.7	21.0
75	7	9.8	11.1	15.0	12.0	6.2	7.2	9.5	7.6
	28	11.5	14.9	15.3	13.9	10.2	13.8	14.1	12.7
	avg.	10.7	13.0	15.2	12.9	8.2	10.5	11.8	10.2
100	7	4.0	8.5	10.3	7.6	4.8	6.8	8.1	6.6
	28	6.8	10.8	14.7	10.7	7.8	11.5	13.7	11.0
	avg.	5.4	9.6	12.5	9.2	6.3	9.2	10.9	8.8



(a) W/C = 50%



(b) W/C = 75%



(c) W/C = 100%

Fig. 2. Compressive strength with sampling depth in 7 days

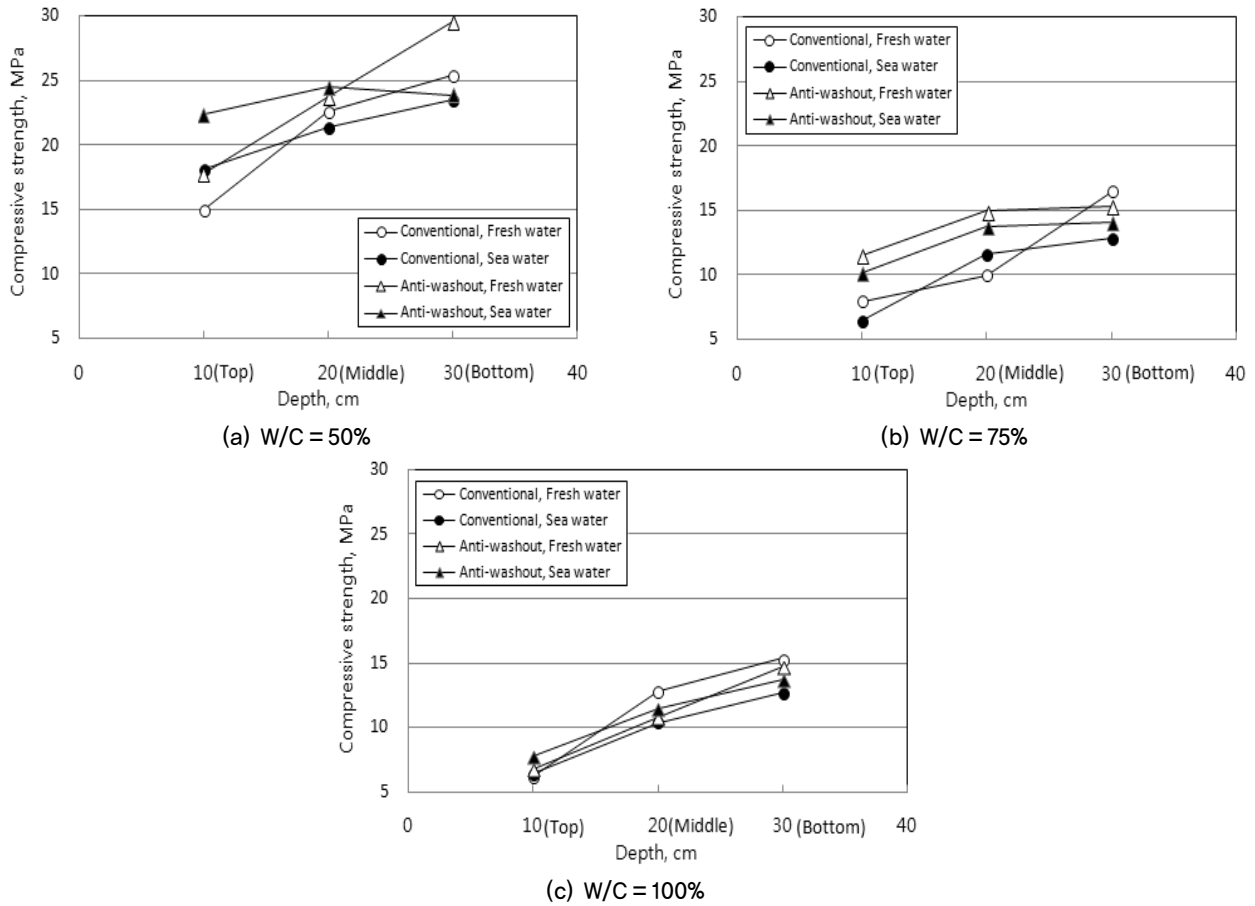


Fig. 3. Compressive strength with sampling depth in 28 days

수로 배합한 공시체의 압축강도는 담수로 배합한 경우와 동일하게 심도가 깊을수록, 물/시멘트비가 낮을수록 높은 강도가 나타났다. 또한, 해수를 배합수로 사용한 경우, 물/시멘트비=50~100%에서 일반 그라우트재 공시체의 상·하부 강도차이는 186~312% 정도로 크게 나타나는 반면에 수중 불분리 그라우트재 공시체의 상·하부 강도차이는 117~169% 정도로 작아 해수를 배합수로 사용하여도 담수의 경우와 마찬가지로 수중 불분리 그라우트재의 재료 분리 억제효과가 크게 발현됨을 확인하였다.

Fig. 3은 물(담수, 해수)/시멘트비에 대한 재령일 28일에 대한 심도별 압축강도 관계를 나타낸 것으로 Fig. 2에 나타낸 7일 압축강도에 비해 양생일수 증가와 물/시멘트비 감소에 따라 전반적으로 높은 압축강도를 나타낸다. 7일 압축강도의 경향과 유사하게 일반 그라우트재의 물/시멘트비=50~100에서의 공시체 상·하부 강도차이는 130~200% 정도로 큰 반면, 수중 불분리 그라우트재 공시체의 상·하부 강도차이는 107~176% 정도로 일반 그라우트재와 비교하여 강도 차이가 작아 시공 품질을 확보할 수 있음을 알 수 있다. 한편, 담수 배합수의 경우가 해수 배합수

에 비해 전체적으로 약간 높은 강도를 나타내나 그 차이는 크지 않으며 특히, 상대적으로 공시체 상부에서는 낮은 강도, 하부에서는 높은 강도를 나타내고 있다.

3. 모형토조시험을 통한 그라우트재의 수중 속채움 특성

3.1 모형토조시험 개요

수중 불분리성 그라우트재를 사용하여 말뚝 내부를 골재로 속채움 하는 경우에 속채움재에 대한 고화재로서의 사용성을 평가하기 위해 모형 토조를 제작하여 침투에 의한 그라우팅 확산범위와 강도 및 지지력을 평가하였다. 이를 위해 모형 토조 내 그라우트재 주입 후 시추, 공내재하 시험, 건전도시험, 동평판재하시험 등을 수행하였다. 모형 토조는 침투 영역을 고려하여 Fig. 4에 나타낸 것과 같이 2,000×2,000×1,200mm의 크기로 거푸집을 이용하여 제작하였으며, 하단부에는 그라우트재 유실을 재현하기 위해 거푸집에 작은 배수구를 두고 상단부에는 그라우트 주

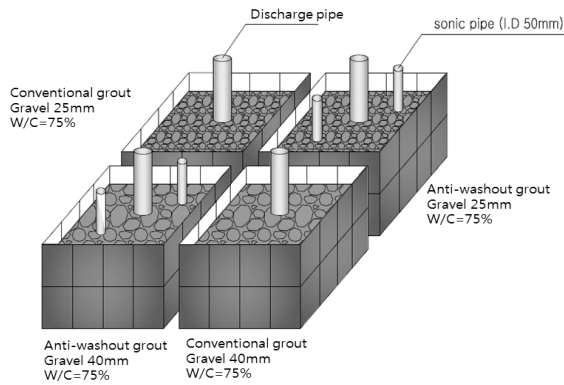


Fig. 4. Schematic diagram and panoramic view of soil container

입에 의한 채움재의 부풀림 현상을 막고자 상재 하중으로 3ton의 철재판을 설치했다. 거푸집 안쪽에는 비닐을 넣어 그라우트재의 측면 유실을 억제할 수 있도록 하였다. 시험 과정은 말뚝 내부의 속채움 재료로 암반을 굴착할 때 발생하는 슬라임의 크기를 평가하여 입경 25, 40mm골재를 사용하여 속채움 한 다음, 일반 그라우트재와 수중 불분리 그라우트재를 각각 현장에서 사용하는 배합기와 주입기를 이용하여 주입시켰다. 주입구는 모형 토조의 중앙에 설치하고 공대공 초음파 탐상시험을 위한 측정구를 주입구에서 1m이상 이격시킨 곳에 각각 2공씩 설치했다. 그라우트재의 물/시멘트비는 주입성을 고려하여 75%로 시험을 수행하였으며, 수중 불분리성 그라우트재의 수용액 농도는 3%를 혼합하여 시험을 수행하였다.

3.2 시추를 통한 시료 채취

그라우트재의 가장 중요한 특성 중 하나인 침투에 따른 주입성을 확인하기 위해 그라우트 주입이 완료된 7일 후, 시추장비를 이용하여 주입구에 인접시켜 시추를 수행하였다. 주입은 일정량의 그라우트재를 주입기를 이용하여 하부에서부터 주입하고 그라우트재가 모형 토조 상부로 올라와 넘칠 때 까지 주입 과정을 수행하였다. 7일의 양생기간을 거친 후에는 시추기를 이용하여 NX 규격인 3inch (7.62cm) 크기의 시료를 채취하였으며, 모형지반 시추전경과 채취한 코아 길이를 Fig. 5, Table 3에 각각 나타내었다.

Table 3에 나타낸 것과 같이 수중 불분리성 그라우트재의 경우, 채취된 코아의 길이는 일반 그라우트재와 비교하여 길어 상대적으로 상부까지 균일하게 그라우트재가 충전 되었음을 확인할 수 있었다. 특히, 간극이 상대적으로 큰 40mm골재에 대해 일반 그라우트재를 고화재로 사용



Fig. 5. Boring core sampling

Table 3. Coring length

	Anti-washout 25mm	Anti-washout 40mm	Conventional 25mm	Conventional 40mm
Length(cm)	92	103	83	31

한 경우, 간극 사이로 그라우트재가 침투된 후 하부의 배수구로 유실되어 그라우트의 효과가 발현되지 않는 반면에, 수중 불분리 그라우트재는 점성에 의해 그라우트재가 유실되지 않고 주입구 주변에 균질하여 주입되어 있는 것을 시추를 통해 확인할 수 있었다.

3.3 모형지반 특성 분석

3.3.1 공내재하시험

모형 토조에서 골재와 섞여 있는 일반그라우트재와 수중 불분리성 그라우트재 공시체를 시추한 후, 지반강도와 변형특성을 조사하기 위해 Fig. 6과 같이 시추공을 이용하여 공내재하시험을 수행했다. 공내재하시험에 이용한 장치는 NX규격에 맞는 OYO사의 Elastometer200, PBPMT, 1셀식 프로브를 사용하여 시험을 수행하였다.

그라우트재 유실로 시추가 불가능했던 일반 그라우트

를 주입한 40mm골재 토조를 제외하고 수중 불분리성 그라우트재를 주입한 25, 40mm골재 모형지반과 일반 그라우트재 주입 25mm골재 모형지반을 대상으로 공내재하시험을 수행했다. 프로브에 가해진 압력에 의해 셀이 횡방향으로 팽창하여 공벽을 가압하여 발생하는 변형량과 압력을 측정된 값에 보정하여 도출한 압력-변형량 곡선 시험결과를 Fig. 7, Table 4에 각각 나타냈다. Fig. 7은 공내재하시험 곡선을 나타낸 것으로 변형계수는 미소압력 ΔP 와 공경의 변화량 $\Delta \gamma$ 로 나타낼 수 있으며, 탄성계수 EPM은 식 (1)을 이용하여 결정하였다.



Fig. 6. Panoramic view of pressuremeter test

$$E_{PM} = (1 + \nu) \times R_m \times \frac{\Delta P}{\Delta \gamma} \quad (1)$$

여기서, ν : 포아송비

R_m : 평균반경(mm)

ΔP : 하중강도변화량(MPa)

$\Delta \gamma$: 공경변화량(mm)

Table 4에 나타낸 결과와 같이 수중 불분리성 그라우트재를 주입한 토조의 시추공에서 측정된 변형계수와 탄성

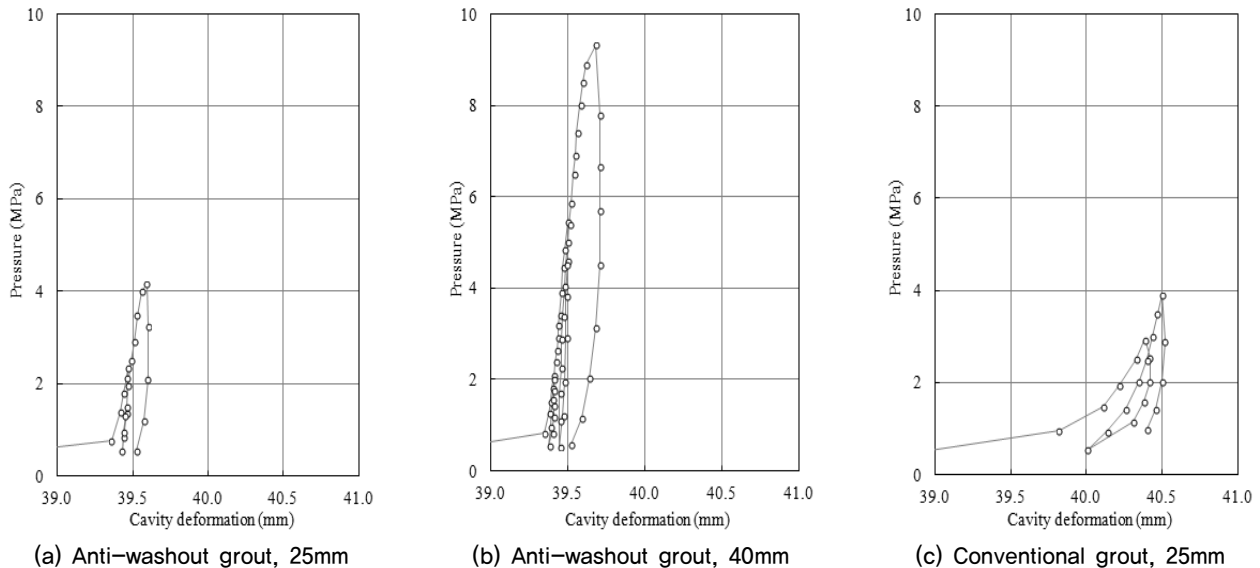


Fig. 7. Relationship between displacement and pressure (Pressuremeter test)

Table 4. Deformation modulus and Elasticity modulus (Pressuremeter test)

	Depth (m)	Deformation modulus (MPa)	Elasticity modulus (MPa)
Anti-washout, 25mm	1.0	8,34E + 02	1,30E + 03
Anti-washout, 40mm	1.0	1,53E + 03	2,10E + 03
Conventional, 25mm	1.0	3,25E + 02	5,40E + 02

계수가 일반 그라우트재를 주입한 토조의 시공에서 측정 한 변형계수와 탄성계수보다 큰 값을 나타내었다. 특히, 수중 불분리성 그라우트재를 사용한 경우 40mm골재를 사용한 시추공에서 측정한 변형계수와 탄성계수가 25mm 골재를 사용한 시추공에서 측정한 변형계수와 탄성계수보다 약 180%이상 높은 값을 나타내고 있음을 확인하였다. 반면에, 일반 그라우트를 주입한 40mm 골재 토조에서는 그라우트재가 모두 빠져나가는 등 시추공이 확보되지 않아 공내재하시험이 불가능하였으며, 수중 불분리 그라우트재를 주입한 25mm 골재 토조에서 측정한 변형계수와 탄성계수는 일반 그라우트 주입 토조에서 측정한 변형계수와 탄성계수에 비해 약 2배 이상 높은 값을 나타내어 개발된 수중 불분리성 그라우트재가 일반 그라우트재와는 달리 일정한 점성을 가지고 골재 내에 적당히 침투하는 성능 가지고 있음을 확인할 수 있었다.

3.3.2 공대공 초음파 탐상시험

수중 불분리성 그라우트재를 주입한 모형 토조를 대상

으로 그라우팅 시공 상태를 알아보기 위해 Fig. 8에 나타난 것과 같이 PCI사의 초음파 기기를 사용해서 공대공 초음파 탐상시험(Cross Hole Ultra-Sonic Monitoring)을 수행하였다. 시험은 Fig. 4의 개요도와 같이 최초 모형토조 제작 시, 주입공을 기준으로 탐사가 가능한 위치(0.3~1.6m 이내)에 2공의 케이싱을 설치한 뒤 그라우트재를 주입했다. 시험은 미리 설치된 케이싱 상단까지 깨끗한 물을 가득 채운 후, 케이싱 상단에서 송신기와 수신기 동시에 내리면서 실시간으로 수신된 신호를 컴퓨터로 확인 후 저장한다.

Fig. 9는 공대공 초음파 탐상시험을 이용하여 모형토조 내의 초음파 전달속도 측정 결과를 나타낸 것이다. Fig. 9에서 나타난 것과 같이 그라우팅을 주입하지 않은 초기상태(In-situ)의 초기 초음파 도달속도에 비해 그라우팅 양생일이 경과함에 따라 초음파 도달속도가 빨라지는 것으로 나타났다. 이는 그라우트 주입으로 인해 골재의 간극이 채워져 초음파의 도달속도가 빨라진 것이며, 양생시간이 길어질수록 그라우트재의 경화에 의해 초음파 도달속도가

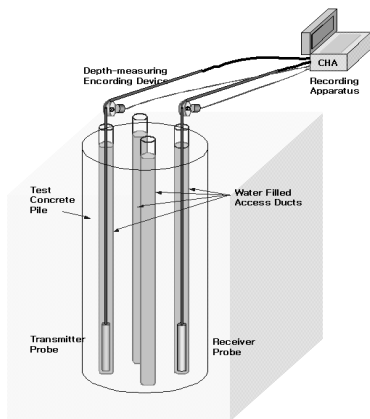


Fig. 8. Schematic diagram and panoramic view of Cross hole ultra-sonic monitoring

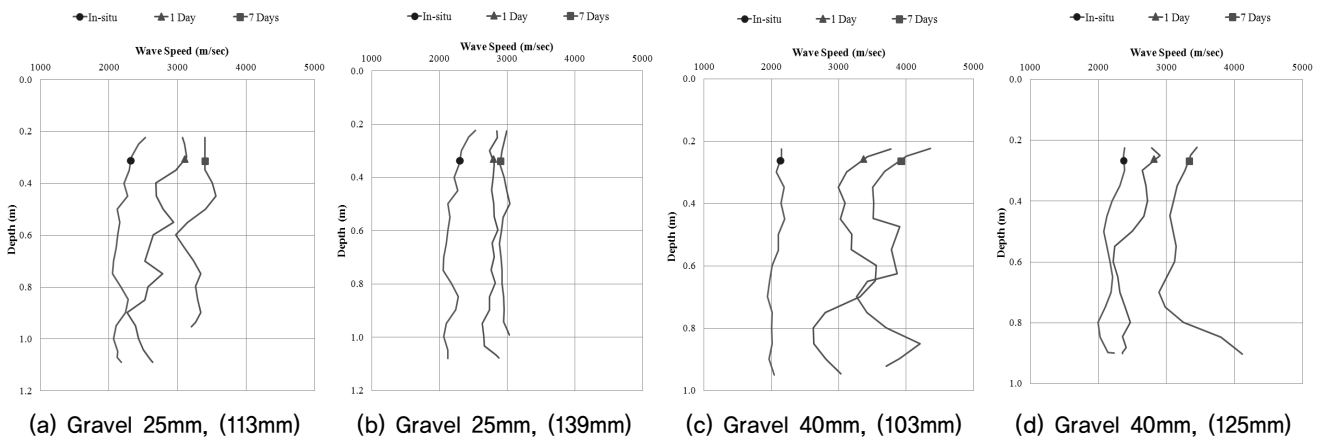


Fig. 9. Test result of cross hole ultra-sonic monitoring

증가한 것이다. Fig. 9의 (a), (c)의 결과에서 양생 후 7일의 초음파 도달 속도는 Neville(1995)이 제안한 기준 중 3,500 ~ 4,500m/sec에 해당하는 Good(양호)로 분류됨에 따라 그라우트 주입성이 매우 양호한 것으로 판단되었다. 그러나, 주입구에서 측정구의 이격 거리가 가까운 곳에서 측정된 Fig. 9. (a), (c)에 나타난 초음파 도달속도 보다 이격 거리가 상대적으로 먼 Fig. 9. (b), (d)에서 측정된 초음파 도달속도가 감소하는 것은 주입된 그라우트재가 먼 곳까지 침투하지 못한 것으로 판단되며 공대공 초음파 탐상시험 결과 수중 불분리성 그라우트재의 침투범위는 약 1m정도로 판단된다.

3.3.3 동평판재하시험

공내재하시험과 공대공 초음파 탐상시험과 더불어 지반의 상태를 간접적으로 평가할 수 있는 Fig. 10에 나타난 것과 같은 동평판재하시험을 수행하였다. 이 시험장치는 지표에서 시험을 수행하지만 지표에서 약 60cm정도 하부



Fig. 10. Panoramic view of dynamic plate load test

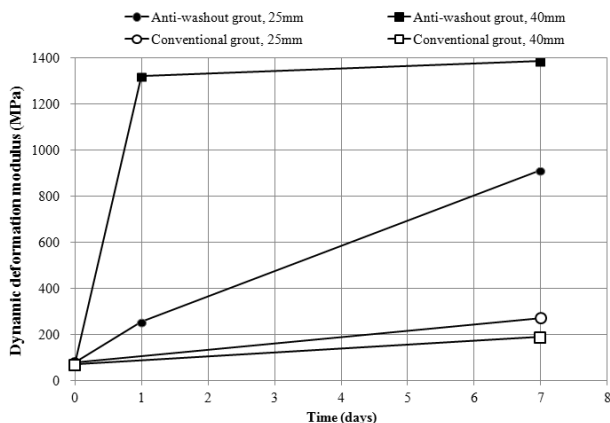


Fig. 11. Relationship between curing time and dynamic deformation modulus

까지의 지반 강성을 측정할 수 있으며, 시험법이 매우 간편하고 정확도가 높은 것으로 알려져 최근 지반의 다짐도 평가 등 지반의 강성 평가를 위해 최근 주목을 받는 시험장치이다.

Fig. 11은 동평판재하시험을 이용하여 구한 양생 경과일에 대한 동탄성계수(E_{LFD})를 평가한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 양생 경과일이 증가함에 수중 불분리성 그라우트재를 주입한 토조에서 얻은 동탄성계수는 증가하는 경향을 나타내지만 일반 그라우트재를 주입한 토조에서 얻은 동탄성계수는 수중 불분리성 그라우트재를 주입한 토조에 비해 상대적으로 증가량이 작은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 앞서 나타난 시추 결과, 공내재하시험 결과 그리고 공대공 초음파 탐상시험 결과와 동일하게 수중 불분리성 그라우트는 골재 내부에 잘 침투하여 시간 경과에 따라 고화하지만, 일반 그라우트재의 경우에는 상당수가 유실되어 골재와 잘 결합이 되지 않음을 다시 한번 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 계면활성제계 개질제를 혼합한 수중 불분리성 그라우트재의 해수 혼합 특성을 분석하기 위해 다양한 실내시험을 수행하였으며, 말뚝 내부 채움시 골재와의 혼합 고화 효과를 평가하기 위해 모형토조를 제작하여 그라우트재 주입 후 공내재하시험, 공대공 초음파 탐상시험, 동평판시험 등을 통해 그 특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 배합수(담수, 해수)가 강도에 미치는 영향을 알아보기 위해 해수 양생조건으로 실린더형 그라우트 공시체를 제작하여 심도별 압축강도 시험을 수행한 결과, 수중 불분리성 그라우트재 공시체의 상·하부 압축강도 차이는 점성과 수중 불분리성효과로 인해 일반 그라우트재보다 1.5~3배정도 작게 나타났으며 특히, 물/시멘트 비가 낮을수록, 심도가 얇은 공시체에서 그 영향이 두드러졌다. 또한, 담수로 그라우트를 배합한 경우가 해수로 배합한 경우 보다 공시체 하부에서 다소 높은 강도를 나타냈지만 그 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.
- (2) 말뚝 내부에 골재 채움을 하는 경우 그라우트재의 골재 혼합 고화 효과를 평가하기 위해 모형 토조를 제작하여 수중 불분리성 그라우트재와 일반 그라우트재를

주입한 결과, 일반 그라우트재는 40mm골재 사용 시 침강·유실되어 시추가 불가능한 경우가 발생한 반면, 수중 불분리 그라우트재는 주입형상을 그대로 유지하고 있음을 확인할 수 있었다.

- (3) 공내재하시험, 공대공 초음파 탐상시험, 동평판재하시험 그리고 시추를 통한 시료 채취 결과 수중 불분리성 그라우트재를 25mm 골재에 시공한 경우 일반 그라우트재 사용 시 보다 2배 이상의 탄성계수와 변형계수를 나타내는 등 속채움 보강재로서 좋은 시공 품질을 확인할 수 있었다. 또한, 공대공 초음파 탐상을 수행한 결과 수중 불분리성 그라우트재의 골재 내 주입 반경은 약 1m정도가 적합할 것으로 판단되었다.

이상의 결과로 점성 개질제를 이용한 수중 불분리성 그라우트재와 일반 그라우트재에서 배합수가 강도에 미치는 영향은 그리 크지 않으며, 심도별 압축강도면에서 수중 불분리 그라우트재가 품질관리가 용이한 것을 확인할 수 있었다. 또한, 수중불분리 그라우트는 말뚝 내부속채움 등 골재의 간극이 커서 그라우트재의 유실이 큰 조건에서도 주입형상이 유지되어 강도가 발현되므로 수중 그라우트재료로서 유용하게 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 차후에는 유속이 존재하는 실제 현장에서 강도, 유실량 및 경제성 등에 대한 검토가 필요하다고 판단된다.

Acknowledgement

This research was supported by a grant (2010 Construction Technology Innovation Program, 10-CTIP-E04) from “Offshore Wind-energy Foundation System (OWFS)

program” funded by Korea Ministry of Land, Infrastructure and Transport.

References

1. EWEA (2009), Oceans of Opportunity, <http://www.ewea.org/>
2. Kim, J. H., Choi, C. H. and Cho, S. D. (2011), “Offshore Wind Energy Development and R&D Efforts in Korea”, *KGS Fall National Conference 2011*, pp.61-73 (in korean).
3. Kim, U. G., Cho, S. D., Park, B. G. and Kim, J. H. (2012), “Characteristics of the Visco-elastic Grout Material in Fresh and Sea Water”, *Journal of the Korean Geoenvironmental Society*, Vol.13, No.6, pp.41-50 (in korean).
4. Kitazume, M. and Hayano, K. (2008), “Development of High Durable Grouting Materials for Injection beneath Airport PC Pavement”, *Technical Note of the Port and Airport Research Institute*, No.1183 pp.4-23 (in japanese).
5. Lim, H. S., Park, Y. H., Paik, K. H., Lee, Y. J. and Park, S. Y. (2010), “Reinforcement of Underground Cavities by Hi-FA (High Performance and Multi Functional Agent)”, *KGS Fall National Conference 2010*, pp.664-675 (in korean).
6. Park, B. G., Lim, H. S., Paik, K. H., Lee, Y. J. and Park, S. J. (2010), “A Basic Study on the New Fill Method & Material Treated with Hi-FA for Controlling Unit Weight, Liquidity, Viscosity”, *Symposium of the 36th Korea Society of Civil engineering*, pp.1664-1667 (in korean).
7. Neville, A. M. (1995), *Properties of concrete*, 4th and final edition.
8. Sagong, M., Paik, K. H., Lim, H. S., Cho, K. H. and Na, K. (2010), “Basic Study on New Environment-Friendly Pile Foundations with Improved Earthquake and Lateral-Resistance Performances on Rapid Transit Railway Bridge”, *The Korean Society for Railway, Spring National Conference 2010*, pp.880 (in korean).