

중력식 안벽 구조물의 중심 시공을 위한 가소성 그라우트의 충전성능 평가

장경필¹, 유용선², 권승희³, 한운우⁴, 오명학^{5*}

Estimation on Filling Performance of Thixotropic Grout for Increasing Front-Water Depth of Gravity-Type Quay Wall

Kyong-Pil Jang¹, Yong-Sun Ryu², Seung-Hee Kwon³, Woon-Woo Han⁴, Myong-Hak Oh^{5*}

Abstract: Recently, as the size of transportation vessels has increased, there is a growing need for securing the front-water depths of existing port facilities. The method of deepening front-water depth is securing the depth of the port facility, and it is reinforced by grouting after excavating the rubble-mound to the required depth. The purpose of this study is to investigate the reinforcing performance and filling performance of thixotropic grout as a grouting material for reinforcing rubble-mound. Compressive strength tests were carried out for two types of thixotropic grout, and 5 specimens with a diameter of 400 mm and a height of 530 mm were manufactured and evaluated for filling performance. The required strength of reinforced rubble-mound required to ensure the safety of the structure is 6 MPa. All the thixotropic grouts used in this study were found to satisfy the required strength over 9 MPa at 7 days of age. As a result of visual observation of filling state of the filling performance test specimens, it was confirmed that the thixotropic grout was well filled up to the desired fillet height.

Keywords: Thixotropic grout, Deepening front-water depth, Filling performance, Rubble mound, Gravity-Type Quay Wall

1. 서 론

최근 선박건조기술의 발달, 항만물동량의 증가에 따라 국내외 정기 선사들은 비용절감을 위한 운송 시간 단축, 그리고 선박 기술에서의 국제 경쟁력 확보를 위해 수송선박의 대형화에 많은 관심을 기울이고 있다. 수송선박의 대형화에 따라 이에 만족하는 시설을 갖춘 항만시설의 필요성도 함께 증가하고 있으며, 기존 항만시설의 유지관리 및 개선 등 고기능화가 중요한 과제로 부각되고 있다(Ko et al., 2007).

새로 건설되는 항만시설들은 대형 선박의 접안이 용이하도록 충분한 수심을 확보할 수 있게 설계하여 시공되고 있지만, 기존의 항만시설에 대형 선박을 접안하기 위해서는 필요수심 확보를 위한 중심 시공 및 구조물의 안전성 검토가 필수적으로 이루어

져야 한다.

선박 접안을 위한 안벽 구조물은 형식별로 잔교식, 중력식, 돌핀식 등으로 분류할 수 있으며, 이에 따라 적용되는 중심공법도 여러 가지가 있다. 이 중 중력식 안벽 구조물의 중심공법으로 Fig. 1과 같이 사석마운드 일부를 굴착한 후 그라우팅을 통해 보강하는 새로운 방법이 최근 개발되어 실현가능성에 대한 연구가 진행된 바 있다(Mizutani et al., 2013; Tetsuya et al., 2014). 또한 국내에서도 중력식 안벽 구조물의 중심 시공 시 안전성과 시공효율성 확보를 위한 순차적 분할식 마운드 굴착공법을 제안하여 현재 연구가 진행 중이다(Han et al., 2017).

그라우팅 보강을 통한 중력식 안벽 구조물의 중심 시공 시 사전에 검토해야 될 중요한 요인들은 다음과 같다. 첫 번째는 그라우팅을 통해 보강된 개량체가 구조물의 안전성 확보를 위한 소요 강도를 만족하는 지, 그리고 두 번째는 그라우팅 재료가 계획된 위치에 얼마나 정확하게 균을 형성하여 충전이 잘 되는 지이다.

사석마운드 보강을 위한 그라우팅은 수중에서 이루어지기 때문에 수중불분리성과 그라우팅 후 형상유지를 위한 가소성을 모두 갖춘 재료를 사용하는 것이 바람직하다(Kim et al., 2014; Kim et al., 2013; Kim et al., 2012).

이 연구에서는, 중력식 안벽 구조물의 중심 시공에서 사석마운드 보강을 위한 그라우팅 재료로 가소성 그라우트를 사용할

¹정회원, 명지대학교 토목환경공학과 박사과정

²정회원, ㈜케미우스코리아 대표이사

³정회원, 명지대학교 토목환경공학과 교수

⁴정회원, 대전대학교 토목공학과 교수

⁵정회원, 한국해양과학기술원 연안방재연구센터 책임연구원, 교신저자

*Corresponding author: ohmyhak@kiost.ac.kr

Coastal Disaster Prevention Research Center, Korean Institute of Ocean Science and Technology, Gyeonggi-do, 15627, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2017년 12월 1일까지 학회로 보내주시면 2018년 1월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

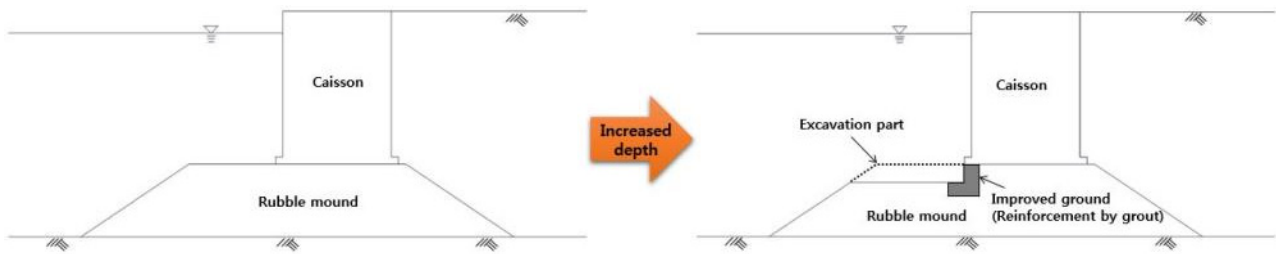


Fig. 1 Concept on Increasing front-water depth of gravity-type quay wall

Table 1 Mixture proportions of thixotropic grout

Mixture	W/B(%)	Unit weight(kg/m ³)					
		Cement mixture(900 L)				Thixotropic liquid mixture(100 L)	
		Water	OPC*	HSC**	AD***	Plasticizer	Water
Mix-1	55.3	570	950	-	80	6	94
Mix-2	55.9	570	-	960	60	6	94

* Ordinary portland cement

** High early strength cement

*** CSA(Calcium sulfoaluminate) expansive admixture

경우 보강성과 충전성능에 대해 검토하고자 하였다. 2가지 가소성 그라우트 배합에 대해 압축강도 실험을 수행하여 지반보강 효과를 검토하였고, 예비 주입실험을 통해 최종적으로 1가지 배합을 선정하여 충전 실험을 수행하였다. 충전 실험에는 직경 400 mm, 높이 530 mm 크기의 드럼통을 사용하였고, 주입 속도와 사석 크기를 변수로 총 5개의 실험체에 대해 실험을 수행하였다.

2. 가소성 그라우트의 지반보강성능 검토를 위한 압축강도 실험

2.1 개요

가소성 그라우트의 충전성능 평가에 앞서 2가지 가소성 그라우트 배합에 대한 지반보강성능을 검토하였다. 가소성 그라우트 충전 사석마운드 모형을 제작하여 압축강도 실험을 통해 보강성능을 확인하였다. 사석마운드 모형은 직경 100 mm, 높이 200 mm 크기의 실린더형 몰드에 제작하였다. 또한 가소성 그라우트 자체의 강도를 확인하기 위해 50 mm x 50 mm x 50 mm 크기의 큐브형 공시체에 대한 압축강도 실험도 수행하였다. 기존 연구(Mizutani et al., 2013)에 따르면, 구조물의 안전성 확보를 위한 개량체의 소요강도는 6 MPa 정도이다. 실험에는 총 2종의 가소성 그라우트 배합을 사용하였으며, 개량체의 소요강도를 고려하여 사석마운드 모형의 목표강도는 7일 기준으로 8 MPa로 하였다. 압축강도 실험은 재령 3일, 7일, 15일, 28일에 수행하였으며, 재령별 압축강도 실험 시 사석마운드 모형과 큐브형 공시체 수

는 각각 3개씩이다.

2.2 사석마운드 모형 공시체 제작

2.2.1 가소성 그라우트 배합

지반보강성능 검토를 위한 압축강도 실험에는 1종 보통시멘트를 사용한 배합(Mix-1)과 조강시멘트를 사용한 배합(Mix-2), 총 2가지 가소성 그라우트 배합을 사용하였다. 실험에 사용한 가소성 그라우트의 배합표를 Table 1에 나타내었다. 가소성 그라우트는 시멘트 혼합물과 혼합액을 9:1 비율(부피비)로 각각 준비하여 타설 전에 혼합하는 방식으로 제작하였다.

2.2.2 공시체 제작

사석마운드 모형 공시체(Ø100 mm x H200 mm) 제작 과정을 Fig. 2에 나타내었다. 공시체 제작 전 예비실험을 통해 1개의 공시체를 만들기 위해 필요한 골재량과 가소성 그라우트의 양을 미리 확인하였으며, 골재와 가소성 그라우트 각각 2.25 kg, 890 mL로 모두 동일하게 사용하였다. 공시체 제작 순서는 다음과 같다. 먼저 가소성 그라우트와 계량해 놓은 골재를 손비빔으로 섞은 후, 다짐봉을 이용해 다지면서 실린더형 몰드에 타설하였다. 사석마운드 제작에 사용된 골재의 크기는 13 mm~15 mm이다. 2가지 배합 모두 동일한 방법으로 사석마운드 모형 공시체를 제작하였으며, 골재 없이 가소성 그라우트만으로 타설된 큐브형 공시체도 동시에 제작하였다. 제작된 공시체는 수온 20°C의 항온수조에서 수중양생하였다.



(a) Material preparation

(b) Mixing



(c) Compaction

(d) Manufacture completion

Fig. 2 Manufacture process of rubble mound specimen

2.3 압축강도 실험 및 결과

압축강도 실험은 변위제어 방법으로 3 mm/min.의 속도로 수행하였다. 사석마운드 모형과 큐브형 공시체 모두 재령 3, 7, 15, 28일에 실험을 진행하였다. 사석마운드 모형 공시체는 압축강도 실험 전 석고캐핑으로 윗면처리를 하였다. 석고캐핑과 압축강도 실험 사진을 Fig. 3에 나타내었다. 큐브형 공시체와 사석마운드 모형 공시체의 각 재령별 압축강도 실험 결과를 Tables 2와 3에 정리하였다.

Table 2의 큐브형 공시체의 실험 결과를 살펴보면, 가소성 그라우트만의 강도는 재령 15일까지 1종 보통시멘트를 사용한 Mix-1이 더 높은 양상을 보였으며, 재령 28일에서는 조강시멘트를 사용한 Mix-2가 26.9 MPa로 Mix-1보다 약 7 MPa 정도 높은 것으로 확인되었다.

Table 3의 사석마운드 모형 공시체 실험 결과를 살펴보면, 조강시멘트를 사용한 Mix-2가 모든 재령에서 강도가 높은 것으로



(a) Gypsum capping

(b) Test

Fig. 3 The top surface capping and compressive strength test

Table 2 Results of compressive strength test-cube specimen

Age	Specimen	Compressive strength (MPa)		Average (MPa)	
		Mix-1	Mix-2	Mix-1	Mix-2
3	#1	5.6	8.9		
	#2	6.6	5.4	6.3	7.7
	#3	6.7	8.8		
7	#1	12.5	12.1		
	#2	12.9	10.9	13.2	12.0
	#3	14.2	12.9		
15	#1	18.5	16.4		
	#2	18.8	16.6	19.0	15.7
	#3	19.5	14.2		
28	#1	20.3	26.7		
	#2	20.6	25.4	20.4	26.9
	#3	20.5	28.8		

Table 3 Results of compressive strength test-rubble mound specimen

Age	Specimen	Compressive strength (MPa)		Average (MPa)	
		Mix-1	Mix-2	Mix-1	Mix-2
3	#1	5.8	7.2		
	#2	4.5	-	5.2	7.2
	#3	5.3	-		
7	#1	9.5	10.3		
	#2	8.8	9.6	9.1	9.8
	#3	9.0	9.6		
15	#1	11.7	13.4		
	#2	9.1	14.4	10.3	13.7
	#3	10.2	13.4		
28	#1	16.1	14.6		
	#2	16.6	16.9	16.0	16.7
	#3	15.4	18.6		

측정되었다. 28일 재령에서의 압축강도는 두 배합 모두 약 16 MPa로 비슷한 수준으로 측정되었다. Mix-2로 제작한 사석마운드 드모형 공시체는 재령 3일에 약 7 MPa로 안전성 확보를 위한 소요강도를 만족하였고, Mix-1은 재령 7일에 소요강도를 만족하였다. 또한 재령 7일에서의 압축강도는 두 배합모두 목표로 정한 8 MPa을 웃도는 것으로 확인되었다.

지반보강성능 검토를 위한 압축강도 실험 결과, 실험에 사용한 2가지 가소성 그라우트 배합 모두 구조물의 안전성 확보를 위한 소요강도를 만족하였으며, 강도 측면에서는 사석마운드 보강용 그라우팅 재료로 사용하기에 충분하다고 판단된다.

3. 충전성능 평가 실험 배합선정을 위한 예비 주입실험

3.1 개요

압축강도 실험을 통해 지반보강성능 검토를 수행한 2가지 가소성 그라우트 배합 중 충전성능 평가 실험에 사용될 배합을 선정하기 위하여 예비 주입실험을 수행하였다. 예비 주입실험에는 직경 150 mm, 높이 300 mm의 실린더형 몰드를 사용하였다. 가소성 그라우트는 보강성능 평가 실험과 동일한 배합을 사용하였으며, 공극율과 주입압력이 동일한 상태에서 주입시간을 측정하여 상대적으로 주입성능이 좋은 배합을 충전성능 평가 실험 배합으로 선정하였다.

3.2 예비 주입실험 방법

예비 주입실험에 사용한 가소성 그라우트 배합은 보강성능 평가 실험 배합과 동일하다(Table 1). 예비 주입실험에 사용한 골재의 크기는 27 mm~32 mm 이다. 공극율을 최대한 동일하게 맞추기 위해 골재를 6.5 kg씩 미리 계량해 놓고 다짐 없이 몰드에 채워 넣었다. 공극율은 몰드에 골재를 채운 후 물을 부어 채워지는 양으로 부피를 계산하여 산출하였다.

예비 주입실험에 사용한 주입장비는 최대 압력 1.2 MPa 용량의 에어 컴프레셔와 10 L 용량의 소형 주입 장치를 사용하였다(Fig. 4). 소형 주입 장치의 주입관 직경은 10 mm이며, 골재 투입시 몰드 상면에서부터 200 mm 깊이에 미리 설치해 놓고 주입실험을 진행하였다. 동일 압력에서의 주입성능을 비교하기 위해 실험 전 에어 컴프레셔의 압력을 200 kPa 정도로 설정하였다. 주입실험은 각 배합당 6개씩 총 12개의 실험체에 대해 수행하였다. 주입실험 전 모든 실험체에 대해 공극율을 측정하였다. 주입실험 중에는 압력과 주입시간을 측정하였다. 주입실험 전 골재가 채워진 실험체와 주입실험 중 모습을 Fig. 5에 나타내었다. 제작된 주입실험체는 수온 20°C에서 수중양생 하였으며, 7일과 28



(a) Air compressor (b) Injection equipment

Fig. 4 Grouting apparatus for preliminary injection test



(a) Fill with aggregate (b) Grouting

Fig. 5 Fill a mold with aggregate and grouting

일 재령에서 압축강도 실험을 수행하였다.

3.3 예비 주입실험 결과 및 충전성능 평가 배합 선정

2종의 가소성 그라우트 배합에 대한 예비 주입실험 결과를 Table 4에 나타내었다. 공극율은 Mix-2의 4, 5번째 실험체를 제외하고 모두 52.8%로 동일하게 측정되었다. 실험 전 공극율을 최대한 동일하게 맞추기 위해 모든 실험체에 채워진 골재량을 같게 하였다. 압력 측정 결과를 살펴보면, Mix-1과 Mix-2의 평균압력은 각각 192 kPa, 202 kPa로 미리 설정한 에어 컴프레셔의 압력과 거의 비슷한 수준으로 측정된 것을 확인할 수 있다. 공극율과 주입압력이 동일한 상태에서의 주입시간을 비교해보면, Mix-1은 평균 22.1초, Mix-2는 평균 77.8초로 Mix-1이 약 3.5배 정도 빠른 것으로 확인되었다. 주입속도 평균도 마찬가지로 Mix-1이 7.7 L/min, Mix-2가 2.17 L/min으로 Mix-1이 약 3.5배 빠른 것으로 확인되었다. 조강시멘트의 분말도가 1종 보통시멘트보다 약 1.5배 정도 크기 때문에 W/B가 비슷한 수준에서는 상

대적으로 조강시멘트를 사용한 배합이 반죽질기가 된다. 이는 점도가 높다는 것을 의미하며, 같은 양을 주입하기 위해 필요한 압력도 커지게 된다(Choi et al., 2014). 따라서 된 배합인 Mix-2가 Mix-1보다 동일 압력에서 상대적으로 주입속도가 낮은 것으로 판단된다.

주입시험체의 재령 7일과 28일에서의 압축강도 실험 결과를 Table 5에 나타내었다. 재령 7일에서의 압축강도 평균은 두 배합 모두 약 9 MPa 정도로 소요강도 6 MPa를 웃도는 것으로 확인되었다. 28일에서의 압축강도 평균은 Mix-1이 16.2 MPa, Mix-2는 17.4 MPa로 Mix-2가 약간 높은 것으로 측정되었다.

예비 주입시험 결과, 압축강도 측면에서는 Mix-1과 Mix-2가 비슷한 수준이나, 주입속도는 1종 보통시멘트를 사용한 Mix-1이 조강시멘트를 사용한 Mix-2보다 3 배 이상 높은 것을 확인할 수 있었다. 따라서 상대적으로 시공성능이 뛰어난 Mix-1 배합을 충전성능 평가 실험에 사용하기로 선정하였다.

Table 4 Results of preliminary injection test

Mixture	Specimen	Porosity (%)	Pressure (kPa)	Filling time (sec)	Filling velocity (L/min)
Mix-1	#1	52.8	240	22.7	7.4
	#2	52.8	180	25.2	6.7
	#3	52.8	180	23.1	7.3
	#4	52.8	180	22.7	7.4
	#5	52.8	180	19.2	8.8
	#6	52.8	190	19.5	8.6
Mix-2	#1	52.8	200	88.8	1.9
	#2	52.8	210	81.9	2.1
	#3	52.8	200	82.3	2.0
	#4	50.9	200	80.6	2.0
	#5	50.9	200	63.0	2.6
	#6	52.8	200	70.2	2.4

Table 5 Results of compressive strength test

Age	Specimen	Compressive strength (MPa)		Average (MPa)	
		Mix-1	Mix-2	Mix-1	Mix-2
7	#1	10.2	8.7	9.3	9.1
	#2	9.6	9.5		
	#3	8.9	9.0		
28	#1	15.0	18.7	16.2	17.4
	#2	16.4	16.0		
	#3	17.2	17.6		

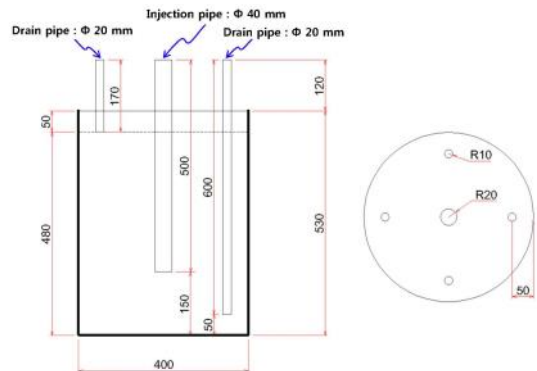
4. 가소성 그라우트의 충전성능 평가 실험

4.1 개요

충진성능 평가 실험의 목적은 사석마운드에 가소성 그라우트를 주입했을 때 원하는 범위만큼 충진이 잘 되는지와 시공 시 적절한 주입속도를 파악하는 것이다. 충전성능 평가 실험에 사용할 가소성 그라우트 배합은 예비 주입시험을 통해 선정하였으며, 배합표는 Table 1의 Mix-1과 같다. 충전성능 평가 실험에는 직경 400 mm, 높이 530 mm 크기의 드럼통을 사용하였고, 펌프 속도와 사석의 종류를 변수로 총 5개의 실험체에 대해 충전 실험을 수행하였다. 각 변수별로 공극율, 압력, 주입시간을 측정하였으며, 드럼통 해체 후 충전 상태를 육안으로 관찰하였다.

4.2 충전성능 평가 실험체 제작

충진성능 평가 실험체의 치수와 실험체 형상을 Fig. 6에 나타내었다. 드럼통의 치수는 앞에서 언급했듯이 직경 400 mm, 높이 530 mm이며, 부피는 약 66.6 L 이다. 가소성 그라우트가 주입되는 주입관의 내경은 40 mm이며, Fig. 6(a)에 나타낸 바와 같이 실험체 바닥에서부터 150 mm 높이에 설치하였다. 그라우팅 시 실험체 내부에 채워진 물을 배출하기 위한 배수관도 설치하였다. 배수관은 실험체 하부 2개, 상부 2개를 설치하였으며, 위치는 Fig. 6(a)에 나타낸 바와 같이 각각 실험체 바닥에서부터 50 mm, 480 mm 높이에 설치하였다. 배수관의 내경은 20 mm이다. 주입관



(a) Dimension of specimen



(b) Shape of specimen

Fig. 6 Dimension and shape of filling performance specimens

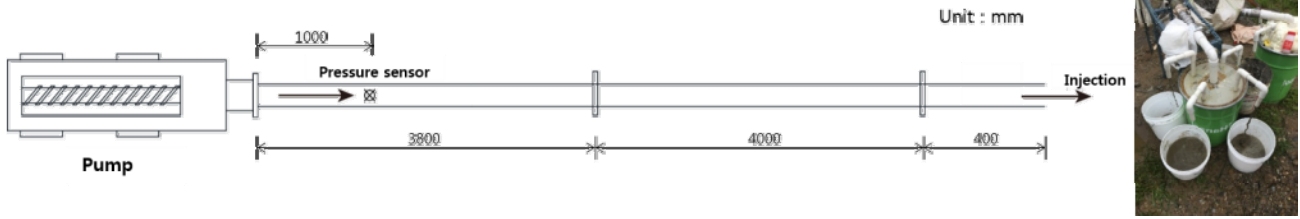


Fig. 7 Pipeline for filling performance test

과 배수관의 재질은 모두 폴리염화비닐(PVC, Polyvinyl chloride)이다.

실험체는 총 5개를 제작하였으며, Fig. 6(b)와 같이 드럼통 내에 사석을 채우면서 주입관과 배수관도 같이 설치하였다. 실험체 제작 완료 후 뚜껑을 닫아 밀폐시킨 모습도 Fig. 6(b)에 나타내었다. 충전 실험 중 누수방지를 위해 주입관 및 배수관과 뚜껑 사이를 에폭시로 처리하였다. 충전 실험 시 그라우트재가 드럼통을 가득 채우면 뚜껑이 부풀어 배관 파손이나 그라우트가 누출될 수 있기 때문에 드럼통 상부에서부터 50 mm 위치까지만 사석을 채웠다. 상부 배수관도 같은 위치(상부에서부터 50 mm)에 배치하였으며, 충전 실험 시 상부 배수관에서 그라우트가 배출되면 실험을 종료하였다.

4.3 실험 변수 및 방법

4.3.1 실험 변수

충진성능 평가 실험체는 총 5개이며, 실험 변수는 펌프 속도와 채움 사석의 종류이다. 펌프 속도 변수는 상중하로 구분하였다. 실험체 제작 시 사용한 사석의 크기는 27 mm 미만, 27 mm 이상 32 mm 이하, 32 mm 초과, 총 3가지이며, 실험 변수는 사석의 크기별로 1 가지만 사용한 실험체, 2가지를 50%씩 혼합해서 사용한 실험체, 3 가지를 모두 혼합하여 사용한 실험체로 구분하였다. Table 6에 실험 변수를 정리하여 나타내었다. 펌프 속도를 변수로 한 실험체에는 27 mm에서 32 mm 크기의 사석만을 사용하였다. 사석의 종류를 변수로 한 실험체에서는 펌프 속도를 모

두 상으로 하였다. Table 6에서 사석 크기 부분의 혼합비율 “%”는 무게비를 의미한다.

실험체명의 VL, VM, VH는 각각 속도 하, 중, 상을 의미하며, 사용한 사석의 종류가 1가지이면 A1, 2가지 혼합이면 A2, 3가지 혼합이면 A3로 명명하였다.

4.3.2 실험 방법

충진성능 평가 실험을 위한 배관 설치 단면도를 Fig. 7에 나타내었다. 펌프는 최대압력 4 MPa 용량의 모르타르 펌프를 사용하였다. 전체 배관 길이는 8,200 mm이며, 배관 입구에서부터 1,000 mm 위치에 압력센서를 설치하여 압력을 측정하였다. 압력센서 설치 모습과 충전 실험체 세팅완료 모습을 Fig. 8에 나타내었다. 충전 실험을 진행하면서 배출되는 물을 받기 위해 Fig. 8(b)와 같이 배수관 아래에 통을 배치하였으며, 상부 배수관에서 그라우트가 배출되면 실험을 종료하였다. 충전 실험 시 주입속도 계산을 위하여 타이머로 주입시간을 측정하였다. 공극율은 실험체를 제작할 때 사석을 채운 후 실험체 내부에 물을 부어 채워지는 부피로 계산하였다.

그라우팅 시 시간지연으로 인한 충전성능 감소 효과도 살펴보기 위해 VM-A1 실험체는 가소성 그라우트 혼합 후 1시간 경과 후 실험을 진행하였다.

Table 6 Experiment variable

Specimen	Variable	
	Pump speed	Aggregate size
VL-A1	170 rpm	
VM-A1	190 rpm	27 mm ~ 32 mm : 100%
VH-A1		
VH-A2		less than 27 mm : 50%
	220 rpm	27 mm ~ 32 mm : 50%
VH-A3		less than 27 mm : 30%
		27 mm ~ 32 mm : 40%
		greater than 32 mm : 30%



(a) Pressure sensor

(b) Pipe installation

Fig. 8 Installation of pressure sensor and pipe

충진 실험에서의 목표 충진 범위는, 수평방향으로는 실험체 옆면 전체, 그리고 연직방향으로는 실험체 바닥에서부터 상부 배수관 설치위치인 480 mm까지 이다.

4.4 실험 결과

5개의 실험체에 대한 충진성능 평가 실험 결과를 Table 7에 나타내었다. 공극율 측정 결과를 살펴보면, 사석크기 27 mm 이상 32 mm 이하로만 채운 VL-A1, VM-A1, VH-A1 실험체는 공극율이 약 43% 정도로 비슷한 수준으로 측정되었다. 사석크기 2 가지를 혼합한 실험체 VH-A2와 3가지를 혼합한 실험체 VH-A3 실험체의 공극율은 각각 41.7%, 41.4%로 비슷한 수준으로 측정되었으며, 1종류의 사석을 사용한 실험체보다는 약간 작은 것으로 확인되었다. 크기 27 mm 미만의 사석을 채움으로써 공극율이 감소될 것으로 예상했지만 크게 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.

압력측정 결과를 살펴보면, 시간지연으로 인한 충진성능 감소 효과를 살펴보기 위한 VM-A1 실험체가 104.8 kPa로 가장 높게 측정되었다. VH-A1에 비해 주입속도는 느린데도 불구하고 압력은 약 26% 정도 높은 것으로 나타났다. 가소성 그라우트 혼합 후 1시간 경과 후 실험을 진행하였기 때문에 일반적인 시멘트계 재료와 마찬가지로 유동성 저하 및 응결에 의해 주입압력이

높아진 것으로 판단된다.

주입압력과 주입속도 관계를 Fig. 9에 나타내었다. 주입속도는 채운 물의 양과 충진 시간으로 계산하였다. 펌프 속도가 증가할수록 주입속도는 증가하는 것으로 확인되었다. 속도 중(VM) 실험체의 압력은 경시변화에 의한 유동성 저하로 인해 속도 상(VH) 실험체의 압력보다 높게 측정되었다. 하지만 속도 하(VL) 실험체와 속도 상 실험체의 주입압력-주입속도 관계를 살펴봤을 때, 시간지연 없이 속도 중 실험체의 실험을 진행했을 경우 주입압력과 주입속도는 선형적인 관계를 보였을 것으로 사료된다.

충진 실험 후 28일 경과 시점에서 실험체의 충진 상태를 육안으로 관찰하였다. 실험체의 옆면을 벗겨내어 표면을 확인한 모습을 Fig. 10에 나타내었다. 실험체의 표면 상태는 충진 속도가 약 20 L/min으로 가장 낮은 VL-A1 실험체가 상대적으로 공극이 적고 매끄러운 것을 확인할 수 있었다. VM-A1 실험체를 제외한 모든 실험체에서 연직방향과 수평방향으로 목표한 범위만큼 충진이 잘 된 것을 확인하였다. VM-A1 실험체는 수평방향으로는 충진범위를 만족하였지만, 주입관 아래쪽으로는 충진이 되지 않은 것으로 확인되었다. 따라서 현장에서의 그라우팅 공정 시 시공효율이나 충진성능 측면에서 그라우트재를 정지 없이 가능한 연속으로 주입하는 것이 효과적이라고 판단된다.

Table 7 Results of filling performance test

Specimen	Volume of filled water (L)	Porosity (%)	Pressure (kPa)	Filling time (sec.)	Filling velocity (L/min)
VL-A1	28.8	43.2	47.0	83.7	20.6
VM-A1	28.3	42.5	104.8	55.6	30.5
VH-A1	28.8	43.2	83.5	35.0	49.4
VH-A2	27.8	41.7	82.3	34.8	47.9
VH-A3	27.6	41.4	95.3	35.9	46.1

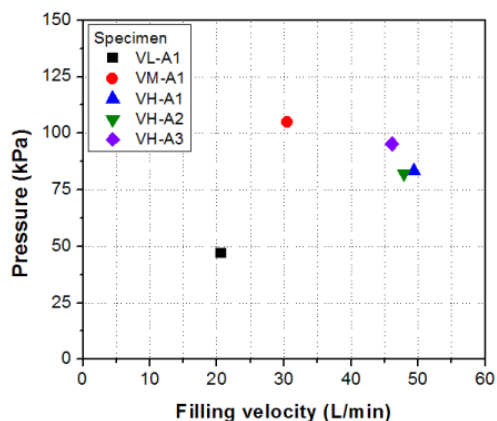


Fig. 9 Relationship between the pressure and the filling velocity



(a) VL-A1 (b) VM-A1 (c) VH-A1



(d) VH-A2 (e) VH-A3

Fig. 10 Results of filling state of the specimens

5. 결 론

중력식 안벽 구조물의 증심 시공에서 사석마운드 보강을 위한 그라우팅 재료로 가소성 그라우트를 사용할 경우 보강성능과 충전성능에 대해 조사하였다. 1종 보통시멘트와 조강시멘트를 사용한 2가지 가소성 그라우트 배합에 대한 압축강도 실험을 통해 보강성능을 검토하였고, 직경 400 mm, 높이 530 mm 크기의 실험체 5개를 제작해 충전성능을 평가하였다. 실험을 통하여 얻은 주요 결론은 다음과 같다.

- 1) 지반보강성능 검토를 위한 압축강도 실험 결과, 실험에 사용한 2가지 가소성 그라우트 배합 모두 재령 7일에서 압축강도 9 MPa 이상으로 구조물의 안전성 확보를 위한 소요강도 6 MPa를 만족하였다. 이 연구에서 사용한 2가지 가소성 그라우트 배합 모두 사석마운드 보강용 그라우팅 재료로 사용하기에 충분하다고 판단된다.
- 2) 1종 보통시멘트와 조강시멘트를 사용한 2가지 가소성 그라우트 배합에 대해 직경 150 mm, 높이 300 mm의 소규모 주입 실험을 수행하였으며, 공극율과 압력이 동일한 상태에서 주입속도를 비교한 결과 1종 보통시멘트를 사용한 배합이 조강시멘트를 사용한 배합보다 약 3.5 배 정도 빠른 것으로 확인되었다. 속도비교를 통해 주입성능을 확인한 결과 1종 보통시멘트를 사용한 배합이 동일압력 대비 주입성능이 더 좋은 것으로 확인되었다.
- 3) 1종 보통시멘트를 사용한 충전 실험 결과, 펌프속도가 증가할 수록 주입속도와 압력이 증가하는 것으로 확인되었다. 충전 실험 후 28일 경과 시점에서 실험체의 충전 상태를 확인하였으며, 연직방향과 수평방향으로 모두 목표로 설정한 범위까지 충진이 잘 된 것을 확인하였다. 실험체의 표면 상태는 충전 속도가 약 20 L/min로 가장 낮은 실험체가 다른 실험체에 비해 상대적으로 공극이 가장 적고 마감이 잘 된 것으로 확인되었다.
- 4) 가소성 그라우트재의 시간지연에 의한 충전성능 감소 효과를 검토한 결과, 혼합 후 1시간경과 후 충전 실험을 진행한 실험체가 다른 실험체에 비해 속도는 낮은 데도 불구하고 압력이 약 26 % 정도 높게 측정되었다. 또한 충전 상태를 육안으로 관찰한 결과, 수평방향으로는 목표범위만큼 잘 채워졌지만 연직방향으로는 주입관 아래로 충진이 잘 되지 않는 것으로 확인되었다. 따라서 그라우팅 공정 시 그라우트재를 정지 없이 연속으로 주입하는 것이 시공효율이나 충전성능 측면에서 효과적이라고 판단된다.

이 연구에서 사용한 2가지 가소성 그라우트 배합의 보강성능 검토 결과 모든 배합에서 구조물의 안전성 확보를 위한 소요강도를 만족하였다. 1종 보통시멘트를 사용한 가소성 그라우트 배합의 충전성능 평가 결과, 목표한 범위만큼 충진이 잘 되는 것을 확인하였다. 따라서 이 연구에서 사용한 가소성 그라우트 배합

이 보강성능과 충전성능 면에서 중력식 안벽 구조물의 증심 시공에서 사석마운드 보강을 위한 그라우팅 재료로 사용하기에 충분하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국해양과학기술원의 주요사업 “자원순환형 항만을 위한 안벽 성능 향상 기술 개발” (PE99522)과제로 수행되었습니다.

References

- Choi, M. S., Kim, Y. J., Jang, K. P., and Kwon, S. H. (2014), Effect of the coarse aggregate size on pipe flow of pumped concrete, *Construction and Building Materials*, 66, 723-730.
- Han, I. S., Oh, M. H., Kwon, O. S., and Jang, I. S. (2017), Numerical Analysis on the Stability of Gravity-Type Quay Wall Applied Deepening Front-Water Depth, *2017 Conference of the Korean Association of Ocean Science and Technology Societies*, KAOSTS, 45-48.
- Kim, U. G., Cho, S. D., Park, B. B., and Kim, J. H. (2013), Strength characteristics of the anti-washout grout mixed with coarse fill materials, *Journal of the Korean Geosynthetic Society*, 12(2), 25-33.
- Kim, U. G., Cho, S. D., Park, B. B., Song, B. D., and Kim, J. H. (2012), Characteristics of the Visco-elastic Grout Material in Fresh and Sea Water, *Journal of the Korean Geoenvironmental Society*, 13(6), 41-50.
- Kim, U. G., Choi, C. H., Park, B. B., Li, Z., and Cho, S. D. (2014), Effect of Anti-washout Admixture Implementation on Backfill Aggregates on Underwater Structures, *Journal of the Korean Geoenvironmental Society*, 15(9), 59-67.
- Ko, J. H., Kwon, O. G., Seo, S. J., and Chun, I. S. (2007), A Basic Study on Wharf Deepening for Improvement of Harbour Facilities, *2017 Conference of the Korean Association of Ocean Science and Technology Societies*, KAOSTS, 2142-2145.
- Mizutani, T., Morikawa, Y., Watabe, Y., Kikuchi, Y., Gouda, K., Kato, S., and Ogasawara, T. (2013), Study on New Construction Method for Deepening Caisson-Type Quay Wall, Port and Airport Research Institute, Japan.
- Tetsuya, O., Kazuya, G., Shigeyuki, K., Takaaki, M., Yoshiaki, K., and Kiyoshi, T. (2014), Study on Foundation Structure for Deepening Casson-Type Quay Walls, *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, Ser. B3(Ocean Engineering), 70(2), I_882-I_887.

Received : 09/26/2017

Revised : 10/03/2017

Accepted : 10/07/2017

요 지 : 최근 수송선박의 대형화에 따라 기존 항만 시설의 접안 깊이 확보에 대한 필요성이 증가하고 있다. 증심공법은 기존 항만시설의 접안 깊이를 확보하는 방법으로, 필요 깊이만큼 사석마운드를 굴착한 후 그라우팅을 통해 보강한다. 이 연구에서는 사석마운드 보강을 위한 그라우팅 재료로 가소성 그라우트를 사용할 경우 보강성능과 충전성능에 대해 검토하고자 하였다. 2가지 가소성 그라우트 배합에 대해 압축강도 실험을 수행하여 지반보강효과를 검토하였고, 직경 400 mm, 높이 530 mm 크기의 실린더형 실험체 5개를 제작해 충전성능을 평가하였다. 구조물의 안전성 확보를 위해 요구되는 개량체의 소요강도는 6 MPa이며, 이 연구에서 사용한 가소성 그라우트 배합 모두 재령 7일에 9 MPa 이상으로 소요강도를 만족하는 것으로 확인되었다. 충전성능 평가 실험체의 충전상태를 육안으로 관찰한 결과, 이 연구에서 목표로 설정한 사석 채움 높이까지 가소성 그라우트가 잘 채워지는 것을 확인하였다.

핵심용어 : 가소성 그라우트, 증심공법, 충전성능, 사석마운드, 중력식 안벽 구조물
