

수중 구조물 골재 속채움 시 수중 불분리성 혼화제의 적용 효과

Effect of Anti-washout Admixture Implementation on Backfill Aggregates on Underwater Structures

김 옥 기¹⁾ · 최 창 호¹⁾ · 박 봉 근²⁾ · Zhuang Li¹⁾ · 조 삼 덕[†]

Ukgie Kim · Changho Choi · Bonggeun Park · Li Zhuang · Samdeok Cho

Received: June 16th, 2014; Revised: July 7th, 2014; Accepted: August 5th, 2014

ABSTRACT : With increasing underwater structure construction, there is high interest in offshore foundation and underwater grout and various study has been done in this area. For grout materials constructed underwater, it may be washed away by water or easily disturbed and material separation phenomenon during curing period always happens. As a result, it is difficult to ensure construction quality and this has a significant influence on the design strength of structure. In this study, to understand application effects of anti-washout admixture for the preplaced construction method, where grout is injected in monopile after filled with aggregates, laboratory tests on bleeding and compressive strength of anti-washout admixture were performed under various test conditions varying size of aggregate, water and cement ratio and admixture, and test results were compared and evaluated.

Keywords : Monopile filling, Anti-washout, Admixture, Bleeding, Grout compressive strength

요 지 : 수중 구조물의 건설공사 수요 증가에 따라 구조물을 지반에 고정시키고 지지하기 위한 해양 기초 및 수중 그라우트재에 대한 관심이 높아지고 있고, 이에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 수중에 시공되는 그라우트재는 물의 흐름에 의해 유실·교란되기 쉽고 양생 중에 재료분리 현상 등으로 인해 시공품질을 확보하기 어려운 설계 강도에 큰 영향을 미친다. 본 연구에서는 해상 모노파일 속채움과 같이 골재를 채운 후 그라우트재를 주입하는 프리플레이스트 공법에 대한 수중 불분리성 혼화제의 적용 효과를 파악하기 위해 골재 크기, 그라우트재의 종류, 물·시멘트비 및 혼화제 등 다양한 시험조건을 상정하여 블리딩 및 압축강도 등의 실내시험을 수행하였으며, 이에 따른 특성을 비교·평가하였다.

주요어 : 모노파일 속채움, 수중 불분리성, 혼화제, 블리딩, 그라우트 압축강도

1. 서 론

최근 해양산업의 GDP 규모는 세계 총생산량의 5~10%를 차지할 만큼 점차 지속적으로 성장하고 있으며 이중 해양건설의 동향으로는 신재생에너지 분야의 급속한 성장이 두드러짐에 따라 수중 구조물의 건설공사 또한 증가하고 있다(이슈 퀘스트, 2013; EWEA, 2014; Kim et al., 2011). 이러한 수중 구조물 건설공사의 수요 증가에 따라 구조물을 지반에 고정시키고 지지하기 위한 해양 기초 및 수중 그라우트재에 대한 관심이 높아지면서 다양한 연구가 진행되고 있다. 일반적으로 수중에 시공되는 그라우트재는 물의 흐름에 의해 유실·교란되기 쉽고 양생 중에 재료분리 현상 등으로 인해 시공품질을 확보하기 어려운 경우가 많으며, 이는 설계 강도에 큰 영향을 미친다. 이러한 기존 그라우트재의 문제점을 보완하기 위해 Park et al.(2010), Kim

et al.(2012)은 계면활성제계 혼화제를 활용한 수중 불분리성 그라우트재에 대한 실내시험을 수행하여 개질제 혼합에 따른 수용액 및 그라우트재의 점도 특성, 자기 수평성, 체적 변화(블리딩), pH, 탁도 등에 대한 전반적인 물리적 특성을 파악하였다. 또한 육상과 해상시공 조건을 모사하기 위해 담수와 해수를 사용하여 배합수 및 양생조건에 대한 강도 변화를 평가하고 모형토조시험을 수행하여 수중 불분리성 그라우트재와 일반 그라우트재의 속채움재에 대한 침투, 주입성능 및 고화 성능을 비교·평가한 바 있다(Kim et al., 2013).

본 연구에서는 개발된 수중 불분리성 혼화제의 현장 적용성을 평가하기 위해 해상 강관 모노파일의 골재 속채움이나 유속이 큰 수중 공사에서 주로 사용되는 프리플레이스트(preplaced-aggregate) 콘크리트 타설 공법을 대상으로 일반 그라우트재와 고로 슬래그 시멘트 그라우트재를 사용하여

1) Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and building Technology

2) Backyoung G&C Co., Ltd.

† Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and building Technology (Corresponding Author : sdcho@kict.re.kr)

골재 크기, 물/시멘트 비(W/C), 혼화재 첨가 등에 따른 강도 변화를 평가하였다. 또한 수중 콘크리트의 재료분리와 품질 확인을 위한 블리딩 시험 및 육안조사 시험을 수행하여 그 특성을 비교·분석 하였다.

2. 그라우트재의 블리딩 시험 및 육안조사

2.1 시험 재료

그라우트재의 시험재료는 일반적으로 널리 사용되고 있는 보통 포틀랜드 시멘트와 고로 슬래그 시멘트를 사용하였다. 여기서 고로 슬래그 시멘트(이하 슬래그 시멘트)는 선철을 제조할 때 발생하는 부산물인 고로 수쇄 슬래그를 건조 분쇄한 슬래그 미분말과 포틀랜드 시멘트 및 석고를 혼합하여 만든 혼합 시멘트이다. 슬래그 시멘트는 우리나라에서 1980년대만 하더라도 한국산업규격(KS F 2563, 2009)에만 규정되어 있었을 뿐 콘크리트 구조물에 사용한 실적이 미미하고 연구 성과도 찾아보기 어려웠으나, 최근에는 구조물의 사용목적에 따라 널리 사용되고 있는 추세이며 분말도를 조정하여 저발열 콘크리트, 고강도 콘크리트 등에 적용하는 연구가 활발하게 진행되고 있다(Choi et al., 2011; Kim et al., 2005; Yi et al., 2013). 슬래그 시멘트는 보통의 포틀랜드 시멘트와 비교하여 시멘트의 경화과정에서 발생하는 열인 수화열에 의한 온도상승이 낮아 댐과 같은 대규모 메스콘크리트 공사에 유리하고 내열성을 가지고 있으며, 특히 황산염(SO₄²⁻)의 농도가 약 2,650 mg/L 정도인 해수에 대한 화학저항성과 내구성이 강하여 해안 방파제나 항만설비공사 등의 해양공사에 적합하므로 본 연구 대상인 해상풍력 모노파일 기초 콘크리트로 적합하다고 판단하여 선정하였으며, 시험에 사용된 시멘트는 포틀랜드 시멘트 규정(KS L 5201, 2013)에 만족하는 국내 S사의 1종 포틀랜드 시멘트(비표면적 3,200 cm²/g)와 시판 중인 슬래그 시멘트(3,800 cm²/g)이다.

2.2 블리딩 시험

수중 그라우트 시공 시에 그라우트재가 해류에 의한 유실 또는 희석이 없다고 가정하고 일반 그라우트재와 슬래그 시멘트 그라우트재의 재료분리 및 교란에 대한 수중 불분리성 혼화제의 효과를 파악하기 위한 블리딩 시험을 수행했다. 블리딩 시험에는 일반 시멘트 및 슬래그 시멘트 그라우트재에 계면활성제계 개질제를 3 %의 농도로 혼합한 그라우트재를 사용하였다. 시험방법으로는 각각의 그라우트재를 먼저 혼합 용기에 넣고 교반한 후, 직경 5 cm, 길이 50 cm 크기의 폴리에틸렌 실린더 안에 그라우트재를 약

200 mm 높이까지 공기가 들어가지 않도록 깔때기 등을 사용하여 바닥에서부터 그라우트재를 흘려 넣어 채우고 블리딩수의 증발을 막기 위해 폴리에틸렌 실린더 윗부분을 막는다. 1,000 mL의 메스실린더에 400 mL의 물을 넣고, 공기가 들어가지 않도록 폴리에틸렌 실린더를 넣어서 메스실린더 안의 수면과 그라우트재면이 일치되도록 폴리에틸렌 실린더를 내려 수면의 눈금에서 400 mL를 제외한 그라우트재의 체적을 구한다. 측정 개시 후 3시간이 경과하면 그라우트재면의 블리딩으로 인하여 발생한 물을 뽑아서 20 mL의 메스실린더에 채취한 물을 넣고 측정하여 블리딩량을 구한다(KS F 2433, 2014; JSCE F 503, 1990).

시험조건은 Table 1에 나타낸 것과 같이 일반 시멘트 그라우트재와 슬래그 시멘트 그라우트재를 대상으로 수중 불분리성 혼화제 사용 여부 및 강도증진 혼화제 사용비율을 변화

Table 1. Bleeding ratios of portland cement and slag cement grout

Grout material	W/C (%)	Anti washout admixture contents (%)	Silica fume contents (%)	Bleeding ratios (%)
Portland cement	45	3	0	3.8
			0	3.7
			3	3.2
			6	3.3
			9	3.2
			12	3.1
	55	3	0	8.6
			0	7.8
			3	7.0
			6	6.7
			9	6.5
			12	7.1
	65	3	0	14.8
			0	9.7
			3	9.9
			6	8.5
			9	9.0
			12	8.2
Slag cement	45	3	0	2.9
			0	2.5
			3	2.2
	45	3	6	1.5
			0	3.2
			0	2.5
	55	3	0	2.2
			3	2.2
			6	2.5
	65	3	0	5.6
			0	2.9
			3	3.1
65	3	6	3.3	

시켰으며, 그라우트재의 물/시멘트비는 45 %, 55 %, 65 %의 3종류로 하였다. 특히 수중 불분리성 혼화제 사용 시 강도 증진 혼화제(실리카 흙)의 영향을 조사하기 위해 물/시멘트비를 달리한 그라우트재에 강도증진 혼화제를 시멘트량의 3 %, 6 %, 9 %, 12 %를 각각 혼합하여 그라우트재의 블리딩률을 측정하였다. 여기서 강도 증진을 위한 혼화제 실리카 흙은 실리카 미립자의 한 종류로 초고강도 콘크리트 제조에 사용되는 혼화제로 시멘트 입자의 약 1/25의 분말도(0.1 μm 이상의 초미립자)로 형성되어 시멘트 입자사이의 공극을 채워 고강도 고내구성을 목적으로 사용되는 강도증진 혼화제 중 하나이다.

Fig. 1에는 일반 시멘트와 슬래그 시멘트에 수중 불분리성 혼화제를 3 % 혼합하여 수중 불분리성 혼화제와 그라우트재의 종류가 블리딩에 미치는 영향을 나타냈다. Fig. 1에서 물/시멘트비가 증가할수록 블리딩률은 그라우트재의 종류와 관계없이 모두 증가하였으며, 구체적으로 일반 그라우트재의 경우 수중 불분리재를 혼합하여 3~35 % (W/C=45~65), 슬래그 시멘트 그라우트는 14~48 % 블리딩률이 감소하여 수중 불분리재의 효과를 확인하였다.

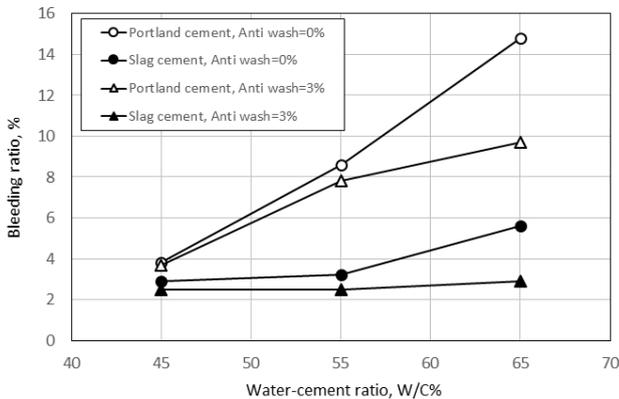
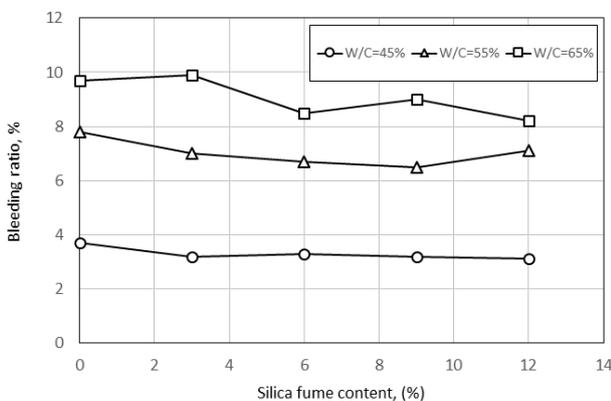


Fig. 1. Variation of bleeding ratio with water-cement ratio



(a) Bleeding ratio of portland cement grouting material

그라우트재의 종류에 의한 블리딩의 영향은 수중 불분리성 혼화제를 혼합하지 않은 그라우트재에서의 슬래그 시멘트가 일반 시멘트보다 24~63 % (W/C=45~65 %) 적게 발생하였고 수중 불분리성 혼화제를 혼합한 경우에는 슬래그 시멘트가 일반 시멘트보다 48~70 % 블리딩이 적게 발생함을 알 수 있다.

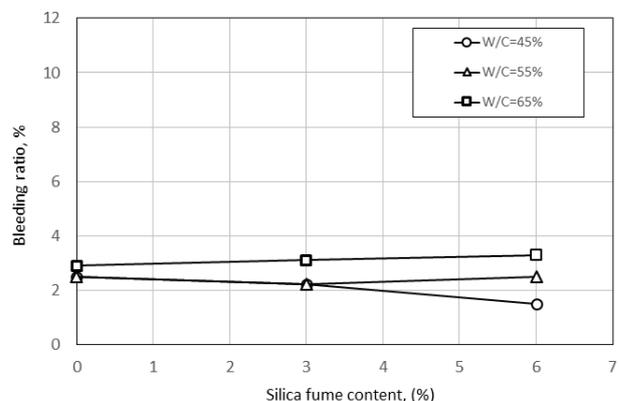
실리카 흙 혼합량에 따른 블리딩률 변화 결과를 Fig. 2에 나타냈다. Fig. 2에서 (a)는 일반 시멘트 그라우트재, (b)는 슬래그 시멘트 그라우트재의 결과를 각각 나타낸다. Fig. 2(a), (b)에서 알 수 있듯이 실리카 흙의 함유율 증가에 따라 그라우트재의 블리딩률은 크게 변하지 않았으며 일정한 경향을 파악하기에는 무리가 있는 것으로 판단된다.

2.3 프리 플레이스트(preplaced-aggregate) 콘크리트의 그라우트 주입 육안조사

프리 플레이스트 콘크리트 공법은 거푸집 형틀을 제작한 후 특정한 입도를 가지는 굵은 골재를 채워넣고 그 간극에 모르타르를 주입하여 콘크리트를 제조하는 공법이다 (Minister of Land, Infrastructure and Transport, 2009). 이 공법은 굵은 골재를 미리 넣고 그라우트를 주입하는 특징으로 인하여 재료분리가 발생하기 쉽고 이에 대한 품질확인이 곤란한 문제점으로 주입 및 이음에 대해 각별한 주의가 요구되는 공법이다.

본 연구에서는 골재 속채움과 같은 프리 플레이스트 콘크리트에 대한 품질을 육안으로 확인하기 위하여 Fig. 3과 같이 1,000 mL의 비커에 20~25 mm 골재를 1.5 kg 정도 넣어 단위중량이 1.5 t/m³가 되도록 조정된 후, 기건 상태에서 깔때기를 공시체 중앙에 관입시켜 골재의 부상이 없도록 비커의 저면에서부터 그라우트재를 주입시켰다.

시험은 일반 포틀랜드 시멘트 W/C=65 %에 수중 불분리성 혼화제를 3 % 혼합한 그라우트재를 사용하였으며 팽창



(b) Bleeding ratio of slag cement grouting material

Fig. 2. Variations of bleeding ratio with silica fume content (3% of Anti-washout admixture content)



Fig. 3. Quality confirmation of grout materials by visual inspection

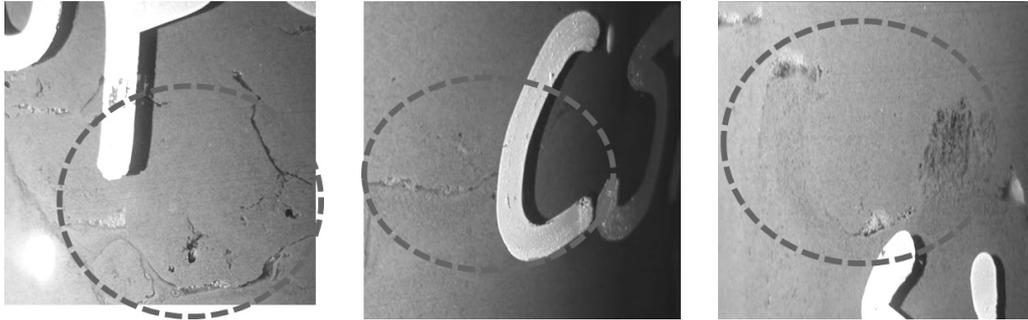


Fig. 4. Segregation of grout materials by bleeding



Fig. 5. Segregation of aggregate after curing (Portland cement with 0% of anti-washout admixture content)

재(Calcium sulfoaluminate, CSA)와 강도증진 혼화재(실리카 흙)가 콘크리트의 접합과 재료분리에 미치는 영향을 알아보기 위해 팽창재를 시멘트 함유량의 15%, 강도증진 혼화재는 시멘트 함유량의 6%로 각각 혼합하여 비커의 상부까지 그라우트재를 주입하였다.

주입 직후에는 그라우트재가 비커 상부에 가득 채워져 있으나 시간이 경과함에 따라 블리딩 발생으로 인하여 상부의 골재가 노출되었으며, 비커 중간부에서 Fig. 4와 같이 골재와 그라우트재 간의 재료 분리현상을 육안으로 관찰할 수 있었다. 이러한 육안 관찰을 통하여, 팽창재를 혼합한 그라우트재의 블리딩이 가장 적었으며, 강도 증진 혼화재, 일반 그라우트재 순으로 재료 분리현상이 크게 나타남을 알 수 있었다. 그라우트재를 양생시키는 과정에서 팽창재를 혼합한 그라우트재는 비커가 깨질 정도로 팽창이 일어났으며 골재와 그라우트재 사이의 부착도 비교적 양호하였으나 일반 그라우트재의 경우 Fig. 5에 나타난 바와 같이 골재의 아랫부분이 그라우트재의 침강으로 인해 재료분리가 일어난 상태에서 양생 되어 골재 간에 접합이 되지 않아 시공 품질이 확보되지 않음을 확인하였다.

3. 그라우트재의 수중 속채움 시험 및 압축강도 특성

3.1 수중 속채움 시험

프리 플레이스트(preplaced-aggregate) 콘크리트의 그라우트 주입을 재현하기 위해 Fig. 6과 같이 직경 15 cm, 높이 30 cm의 철제몰드를 이용하였다. 시험방법은 주입관을 몰드 중앙에 설치한 후 소정 크기의 골재를 다짐기로 다짐하여 1.75 t/m³의 건조단위중량으로 공시체를 제작하였고 주입관을 통한 그라우트의 주입과 타설, 양생 모든 과정을 수중에서 수행하였다. 골재의 간극사이로 주입되는 그라우트

재가 점성이 높거나 물/시멘트비가 낮을 경우, 또는 주입 속도가 침투속도보다 빠른 경우 충전 골재가 위로 부상하여 콘크리트 품질에 영향을 미치므로 본 시험에서는 시행착오를 통해 골재가 부상되지 않는 주입속도를 3~4 L/min으로 결정하여 시험을 수행하였다.

기존 연구(Kim et al., 2012; 2013)에서 개발된 수중 불분리성 혼화제를 사용할 경우, 수중 타설 시 우수한 시공 품질을 확보할 수 있었으므로 본 시험에서는 모든 그라우트재에 수중 불분리성 혼화제를 3~4 % 첨가하여 시험을 수행하였다. 여기서 수중 불분리성 혼화제의 함유율이 3~4 %로 일정하지 않은 이유는 외부 온도에 따라 수중 불분리성 그라우트재는 점도가 바뀌는 특성을 가지고 있으므로 동일한 점도를 갖도록 혼화제의 함유량을 조절한 것이다.

시험 조건은 일반 시멘트 그라우트재와 슬래그 시멘트

그라우트재를 대상으로 수중 불분리성 혼화제를 3~4 % 혼합한 후, 골재의 크기(10~25, 25~40, 25~50, 100 mm 이상), 물/시멘트비(45 %, 60 %, 75 %), 강도 증진 혼화제 함유율(0 %, 3 %, 6 %), 팽창재 함유율(3 %, 8 %, 15 %)을 달리하여 시험을 수행하였다. 그라우트 주입을 완료한 후 공시체는 Fig. 7에 나타난 바와 같이 블리딩 현상으로 인하여 상부면에 골재가 노출되어 있으며, 2장의 블리딩 결과와 동일하게 물/시멘트비가 높을수록 블리딩률이 높았고 슬래그의 시멘트 몰드의 경우, 일반 시멘트 그라우트보다 블리딩에 의한 체적변화가 적게 일어나는 것을 확인하였다. 공시체의 압축시험을 수행하기 위해서는 하중 전달부인 공시체의 윗면이 평탄한 수평 상태를 유지해야 하므로 블리딩이 일어난 후 동일한 그라우트재로 마감하였다.



Fig. 6. Preparation process of specimens for compressive strength test



(a) Portland cement grout, W/C=45 %



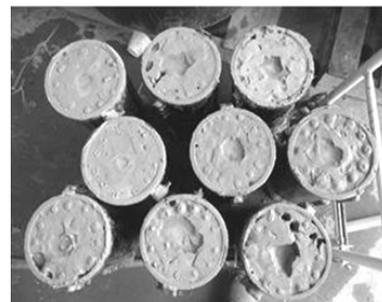
(b) Portland cement grout, W/C=60 %



(c) Portland cement grout, W/C=75 %



(d) Slag cement grout, W/C=45 %, Silica fume=3 %



(e) Slag cement grout, W/C=45 %, Silica fume=0 %

Fig. 7. Specimens after injection of grout materials

3.2 압축강도시험 및 결과 분석

압축강도시험은 시멘트의 강도시험 방법(KS L ISO 679, 2011)에 준하여 실시하였으며 모든 공시체에 대하여 7, 14, 28일 양생하여 압축 강도를 각각 3회씩 측정하여 평균 강도를 구하였다. 그리고 일부 공시체에 대해서는 초기 및 장기 강도를 파악하기 위해 3, 60일에 대한 압축강도도 추가 측정하였다.

골재의 크기가 압축 강도에 미치는 영향을 알아보기 위한 조건으로 일반 시멘트 및 슬래그 시멘트 그라우트재는 물/시멘트비 45%, 수중 불분리성 혼화제 4%로 동일하게 혼합하였으며, Table 2의 시험 조건과 같이 일반 시멘트의 경우 몰드에 10~25, 25~40, 25~50, 100 mm의 골재를 분류하여 충전 제작하였고 슬래그 시멘트 그라우트재는 골재 크기 25~40, 25~50 mm에 대하여 시험을 수행하였다.

시험 결과로는 Fig. 8과 같이 골재 크기별 양생 일수에 따른 압축강도 결과를 나타냈으며, 일반 시멘트 그라우트재의 경우 골재 크기 10~25, 25~40 mm의 공시체는 양생일 28일까지 20 MPa 이상의 강도를 나타내며 비슷한 강도증가 경향을 보이나 양생일 60일의 압축강도는 10~25 mm가 약간 높은 강도를 나타낸다. 이와 비교하여 골재 크기 25~50 mm는 초기 강도는 10~25, 25~40보다 낮았으나 양생일 14, 28일 강도에서 가장 높은 강도를 나타내고 100 mm 이상의 골재는 강도가 가장 낮게 나타났다. 이와 같은 결과는 공시체의 압축 강도에 골재의 입도분포가 영향을 미친다고 생각되며 큰 골재보다는 작은 골재가 높은 강도를 나타내고 빈입도 보다는 입도 분포가 좋은 골재가 높은 강도를 나타낸다고 생각된다.

Fig. 9에는 슬래그 시멘트와 일반 시멘트에 대한 골재 크기 25~40, 25~50 mm에 대한 시험 결과로 초기 강도는 뚜렷한 경향을 파악할 수 없으나, 28일 이후의 강도에서 슬래그 시멘트 그라우트가 일반 시멘트 그라우트보다 약간 높은 압축강도를 나타내어 슬래그 시멘트의 장기 강도 특징이 반영되었다고 판단된다.

Table 3 및 Fig. 10에는 일반 시멘트와 슬래그 시멘트를

대상으로 물/시멘트비 45%, 60%, 75% 변화에 따른 재령 일 7, 14, 28일에 대한 압축강도 관계를 나타낸다. Fig. 10에서 보는 바와 같이 물/시멘트비가 높을수록 모든 공시체에서 압축강도는 저하하였으며, 동일 조건인 W/C=45%인 일반 시멘트와 슬래그 시멘트는 28일 강도에서 슬래그 시멘트가 약간 높은 강도를 나타낸다. 이는 블리딩 시험의 결과와 같이 슬래그 시멘트는 일반 시멘트보다 블리딩률이 작음에 따라 재료분리가 적게 발생되고 슬래그 시멘트의 낮은 수화열로 인해 균열 발생이 적게 발생하여 장기적으로 조금 높은 강도가 발현되었다 할 수 있다.

일반 시멘트 콘크리트의 압축 강도에 대해 팽창재가 미치

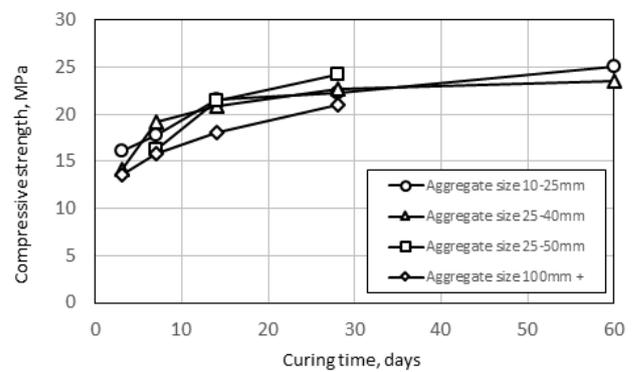


Fig. 8. Compressive strength variations for different aggregate sizes of portland cement grout

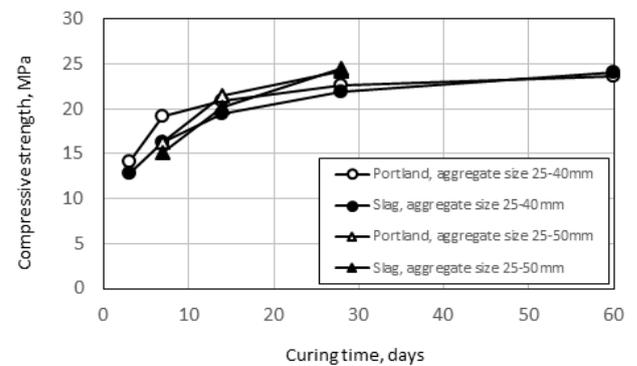


Fig. 9. Compressive strength variations for different aggregate sizes of slag cement grout

Table 2. Compressive strength for different aggregate sizes of grout materials

Grout material	Aggregate size (mm)	Compressive strength (MPa)				
		3 days	7 days	14 days	28 days	60 days
Portland cement	10-25	16.15	17.78	21.54	22.29	25.07
	25-40	14.10	19.14	20.87	22.69	23.58
	25-50	-	16.27	21.50	24.26	-
	100 <	13.62	15.90	18.04	20.97	-
Slag cement	25-40	12.89	16.31	19.48	21.88	24.14
	25-50	-	15.19	20.24	24.58	-

Table 3. Compressive strength for different water/cement ratios

Grout material	W/C (%)	Anti-washout contents (%)	Compressive strength (MPa)		
			7 days	14 days	28 days
Portland cement	45	4	16.27	21.50	24.26
	60	3	12.82	15.67	17.58
	75	3	8.25	9.46	12.14
Slag cement	45	4	15.19	20.24	24.58
	55	3	12.88	18.43	19.50

Table 4. Compressive strength for different expansion agent contents

Expansion agent content (%)	Compressive strength (MPa)		
	7 days	14 days	28 days
0	11.48	15.42	18.30
3	12.88	18.43	19.05
8	11.57	17.95	20.10
15	11.19	16.97	21.19

Table 5. Compressive strength for different silica fume contents

Silica fume contents (%)	Compressive strength (MPa)		
	7 days	14 days	28 days
0	12.88	18.43	19.50
3	12.05	18.90	20.77
6	12.27	19.36	20.42

는 영향은 일반적인 사항이므로 본 시험에서는 슬래그 시멘트를 대상으로 골재 크기 25~50 mm, W/C=55 %, 수중 불분리성 혼화제 함유율=3 %의 조건으로 팽창재를 0 %, 3 %, 8 %, 15 % 함유시켜 압축 강도에 미치는 영향을 조사하였으며 그 조건과 결과는 Table 4와 같다. 시험 결과, Fig. 11과 같이 슬래그 시멘트에 대하여 팽창재를 혼합한 공시체의 경우, 양생 초기에서는 강도 차이가 발생하지 않았으나 양생 일수가 경과할수록 팽창제 함유율이 높은 공시체에서 7~16 % 정도 강도 증진 효과를 확인할 수 있었다. 모노파일 속채움 공법(프리 플레이스트 콘크리트)과 같이 골재를 채우고 그라우트재를 주입하는 경우, 골재의 공극에 균일한 그라우트재 주입이 어렵고 재료분리 현상이 발생하여 압축 강도 확보에 어려움이 있으나 팽창재를 사용할 경우, 그라우트재의 팽창으로 인하여 골재와 그라우트재 사이의 접합이 개선되어 강도가 증가한 것으로 판단된다.

슬래그 시멘트에 대한 장기 강도 증진 혼화제(실리카 흙)의 영향을 알아보기 위해 골재 크기 25~50 mm의 공시체에 물/시멘트비 55 %, 수중 불분리성 혼화제 3 %를 혼합한 슬래그 시멘트에 실리카 흙을 0 %, 3 %, 6 % 혼합하여 압축 강도 변화를 조사하였다. Table 5와 Fig. 12의 결과에서 초

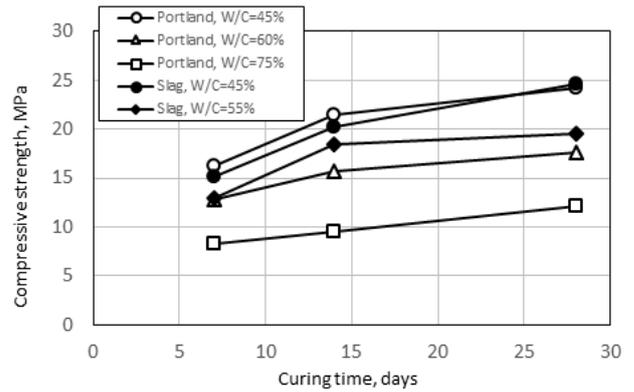


Fig. 10. Compressive strength variations for different water/cement ratios

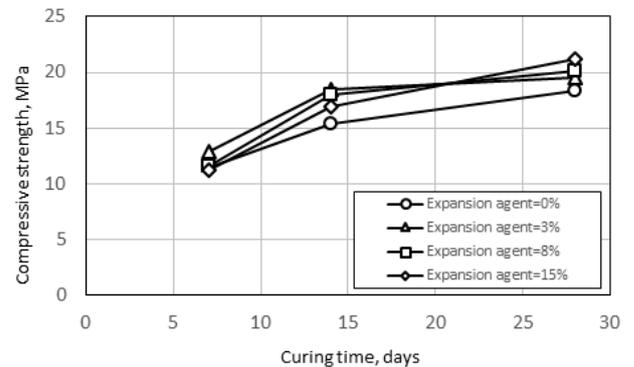


Fig. 11. Compressive strength variations for different expansion agent contents

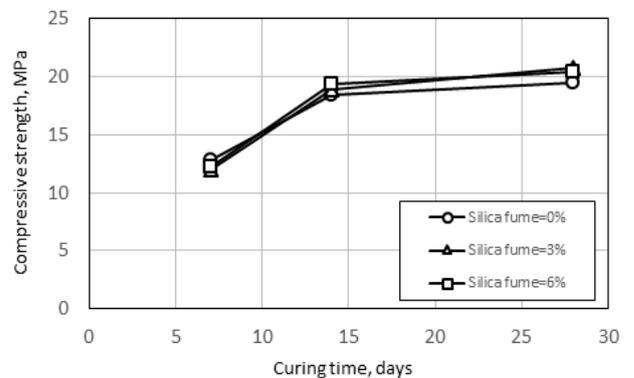


Fig. 12. Compressive strength variations for different silica fume contents

기 강도는 실리카 흙의 함유에 따른 뚜렷한 강도 증가는 나타나지 않았으나 양생 일수가 경과됨에 따라 압축 강도는 조금 증가하나 28일 강도에도 5~7 % 정도 미비한 증가를 나타냈다.

4. 결 론

본 연구에서는 골재 채움 그라우트 작업에 대한 수중 불분리성 혼화제의 주입 적용 효과를 파악하기 위해 블리딩 및 압축강도에 대하여 다양한 조건으로 실내시험을 수행하였으며 시험에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 블리딩 시험 결과, 블리딩물은 주입재의 W/C가 증가할 수록 크게 나타났으며, 수중 불분리 혼화제를 혼합하지 않은 경우 W/C=45~65 % 범위에서 슬래그 시멘트는 일반 시멘트보다 블리딩물이 24~65 % 정도 적게 발생하였고 수중 불분리성 혼화제 혼합 시에는 W/C=65 % 에서 블리딩물이 최고 50 % 정도 더 감소시키는 효과를 나타냈다.
- (2) 블리딩에 의한 재료분리를 육안으로 확인하기 위한 시험을 수행하였고 일반 시멘트 그라우트재는 블리딩 발생으로 인해 양생 후 콘크리트의 재료 분리가 발생하였으며 상대적으로 골재 아래 면의 부착력이 약한 것을 확인하였다. 반면 수중 불분리성 혼화제를 혼합한 그라우트재는 이와 같은 재료분리 현상은 발생하지 않았다.
- (3) 수중 불분리성 혼화제를 사용하는 경우, 프리 플레이스트 콘크리트의 압축강도는 굵은 골재보다는 작은 골재에서, 빈입도 보다는 양입도에서 높은 강도를 나타내어 충전 골재의 크기에 영향을 받는 것으로 확인되었다. 또한 동일한 골재 크기 및 동일한 물·시멘트비 조건의 공시체에 대하여 슬래그 시멘트 그라우트재가 일반 그라우트재와 비교하여 초기강도는 낮았으나 장기강도에서 강도가 높아지는 것으로 확인되었다.
- (4) 수중 불분리성 혼화제를 사용하는 경우, 슬래그 시멘트에 대해 팽창재와 강도 증진 혼화재가 압축강도에 미치는 영향을 분석한 결과, 팽창재는 3~15 %의 함유량에 따라 7~16 % 정도의 강도증가 효과가 있었으며, 강도 증진 혼화재는 최대 7 % 정도의 미비한 강도 증가 경향을 나타냈다.

이상의 시험결과로 수중 불분리성 혼화제는 블리딩이나 강도면에서 유리하다고 판단되며, 슬래그 시멘트는 블리딩

및 재료분리에 관해서는 일반 시멘트보다 우수하여 수중공사에 유리하다고 판단되지만 본 연구 결과 팽창 및 강도 증진 혼화재의 효과는 그다지 크지 않은 것으로 확인되었다. 이와 같은 시험결과를 토대로 모형시험이나 실험형 시험을 수행한다면 좀 더 명확한 적용 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업 10 기술혁신E04 “대구경(직경 5 m급) 및 대수심(수심 60 m 이하) 해상풍력기초시스템 기술 개발” 과제의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

1. 이슈 퀘스트 (2013), 해상풍력·해양플랜트시장 최근 동향과 기술개발 전략, pp. 27~34.
2. Choi, S. W., Ryu, D. H., Kim, W. J., You, J. H., Yang, W. H. and Ryu, D. W. (2011), An experiment study on the basic properties of concrete using blast-furnace-slag-cement with high volume blast-furnace-slag, Proceedings of the Korea Concrete Institute, Vol. 23, No. 2, pp. 703~704 (in Korean).
3. EWEA (2014), Oceans of opportunity, <http://www.ewea.org/>.
4. Japan Society of Civil Engineers (1990), Standard specification, guidelines on the design and construction of anti-washout underwater concrete, F 503 (in Japanese).
5. 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, pp. 61~73 (in Korean).
6. Kim, M. H., Kim, J. H., Cho, B. S., Na, C. S. and Kim, Y. D. (2005), An experimental study on the engineering properties and durability of concrete according to the fineness and replacement ratio of blast-furnace slag, Journal of the Korea Institute of Building Construction, Vol. 5, No. 1, pp. 81~88 (in Korean).
7. 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 Geo-environmental Society, Vol. 13, No. 6, pp. 41~50 (in Korean).
8. Kim, U. G., Cho, S. D., Park, B. G. and Kim, J. H. (2013), Strength characteristics of the anti-washout grout mixed with coarse fill materials, Journal of the Korean Geosynthetics Society, Vol. 12, No. 2, pp. 25~33 (in Korean).
9. KS F 2563 (2009), Ground granulated blast-furnace slag for use in concrete, <http://www.standard.go.kr>, Korean Industrial Standards (in Korean).
10. KS L ISO 679 (2011), Method of testing cements-determination of strength, <http://www.standard.go.kr>, Korean Industrial Standards (in Korean).
11. KS L 5201 (2013), Portland cement, <http://www.standard.go.kr>,

- Korean Industrial Standards (in Korean).
12. KS F 2433 (2014), Standard test method for bleeding and expansion ratios of grouting mortar, <http://www.standard.go.kr>, Korean Industrial Standards (in Korean).
 13. Minister of Land, Infrastructure and Transport (2009), Korean standard specification of concrete, pp. 202~218 (in Korean).
 14. Park, B. G., Cho, K. H., Na, K., Yoon, T. G. and Lee, Y. J. (2010), Research & development of high performance & multi-functional new grouting materials for ground improvement & reinforcement, KGS Spring National Conference, pp. 338~350 (in Korean).
 15. Yi, S. T., Noh, J. H., Kim, J. H. and Lee, K. J. (2013), A study on the improvement of early-age compressive strength of smart BFS powder dded cement mortar, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol. 17, No. 2, pp. 135~141 (in Korean).