

시멘트 종류 및 잔골재 시멘트 비율이 PSC 구조물용 그라우트의 기본 물성에 미치는 영향

박기준¹, 문도영^{2*}

¹세종대학교 건설환경공학과, ²경성대학교 토목공학과

Effects of cement type and sand to cement ratio on the properties of PSC grout

Gi-Joon Park¹, Do-Young Moon^{2*}

¹Department of civil & environmental engineering, Sejong University

²Department of civil engineering, Kyungsoong University

요약 본 연구는 시멘트 종류와 잔골재 시멘트 비율(S/C)이 PSC 구조물용 그라우트의 기본 물성에 미치는 영향을 조사하였다. 시멘트는 1종 (보통) 시멘트와 3종 (조강) 시멘트를 사용하였고, S/C를 0.5, 1.0 그리고 1.5로 변화하여 그 영향을 평가하였다. 1종 시멘트의 사용 시 모든 S/C에서 3시간과 20시간이 지났을 때 다수의 블리딩이 발생하였다. 반면에 3종 시멘트의 사용 시, 블리딩이 현저히 줄어들었지만 유동성이 낮아지는 문제점이 발생하였다. 또한, 고성능감수제의 종류를 나프탈렌계와 폴리칼본산계 두 종류를 비교한 결과 3종 시멘트를 사용한 경우의 저하된 유동성 문제를 폴리칼본산계 고성능감수제의 사용으로 해결할 수 있었다.

Abstract This study examined the effects of the cement type and sand to cement ratio on the properties of grout for offshore PSC structures. Types I and III cement were used and the sand to cement ratio was varied from 0.5 to 1.5. When type I cement was used, considerable bleeding occurred on the all S/C after 3 hours and 20 hours. When type III cement was used, bleeding was reduced but the flowability decreased. A comparison of a superplasticizer containing naphthalene with that containing polycarboxylate showed that the problem of flowability could be solved using polycarboxylate.

Key Words : PSC grout, cement type, sand to cement ratio.

1. 서론

세계 풍력시장은 육상풍력에서 해상풍력으로 변화하고 있으며 발전기당 발전 용량 역시 증가하고 있는 추세이다. 이에 해저시공 및 PSC 내부의 긴장재 충진을 위한 고유동, 고성능 그라우트가 필요하게 됨에 따라 해양 PSC 콘크리트 구조물용 그라우트에 대한 연구를 진행하고 있다. 먼저 해양 PSC 구조물의 문제점으로 내부 강연선의 부식을 들 수 있는데, Fig. 1에 나타난 것과 같이 취

성적 재료인 그라우트에 균열이 발생하게 되면 이는 내부 강연선의 부식으로 이어지게 된다. 또한 지상과 다른 해양환경을 고려하였을 때, 바닷물에 포함되어 있는 많은 염화물들은 부식을 가속화 시킬 것으로 우려된다. 따라서 그라우트의 균열저항능력을 증대시키기 위하여 섬유보강 그라우트 개발 연구가 추진되고 있으며, 이에 앞서 기본 배합 선정의 일환으로 시멘트 종류 및 잔골재 시멘트 비율이 그라우트의 기본 물성에 어떠한 영향을 미치는지 평가하였다. PSC 그라우트에 대한 배합의 영향

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 20133030020820)

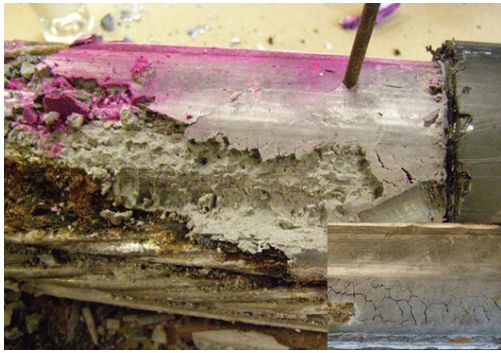
*Corresponding Author : Do Young Moon(Kyungsoong Univ.)

Tel: +82-51-663-4756 email: dymoon@ks.ac.kr

Received June 2, 2014

Revised (1st July 3, 2014, 2nd July 9, 2014)

Accepted July 10, 2014



[Fig. 1] Corrosion of PSC tendon [1]

은 여러 연구자에 의해 연구되었으며, 그라우트 연구의 대부분이 1종(보통) 시멘트에 집중하고 있는 반면 본 연구에서는 3종(조강) 시멘트를 사용하여 그 영향을 분석하였다는 측면에서 의미가 있다[2-4]. 일반적으로 PSC 그라우트의 경우 1종 보통 시멘트와 급결제가 사용되지만, 3종 시멘트를 사용할 경우 넓은 비표면적으로 인하여 블리딩 저감 및 빠른 응결시간 등 PSC 그라우트의 품질 향상에 큰 도움이 될 것으로 기대된다. 국내에서도 3종 시멘트를 사용한 물성 평가가 진행된 바 있지만 콘크리트 또는 모르타르에 초점이 맞추어 있기 때문에 PSC 그라우트에 대한 연구와 다소 차이가 존재한다고 판단된다.

2. 실험방법 및 사용재료

2.1 재료 및 시험체 제작

본 실험에서는 S사의 1종(보통) 시멘트와 3종(조강) 시멘트를 사용하였고, 물리·화학적 성질은 다음 Table 1 과 같다.

잔골재는 평균입경 0.21mm의 국내산 자연규사를 사용하였다. 고성능감수제는 주성분에 따라 나프탈렌계와 멜라민계, 폴리칼본산계, 아미노술폰산계로 구분되는데, 본 실험에서는 일반적으로 많이 사용되어지고 있는 K사의 분말형 나프탈렌계(N)와 D사의 액체형 폴리칼본산계(P)를 사용하였으며, Table 2에 성분을 나타내었다. 혼합에 사용되는 물의 경우 KS F 4009에 적합한 보통의 상수돗물을 사용하였다. 그라우트의 배합은 Table 3에 나타낸 바와 같이 1종 시멘트와 3종 시멘트를 구분하였고, 잔골재 시멘트 비율을 0.5, 1.0, 1.5로 조절하여 설계하였다. 고성능감수제는 나프탈렌계와 폴리칼본산계로 구분하여,

시멘트 중량을 1로 하였을 때 고성능감수제의 고형물비가 0.001이 되도록 조절하여 사용하였으며, 물시멘트비는 0.45로 고정하였다.

[Table 1] Physical and chemical of cement

Physical and chemical properties	Type I	Type III
SiO ₂ (%)	21.0	20.6
Al ₂ O ₃ (%)	4.9	5.1
Fe ₂ O ₃ (%)	3.3	3.2
CaO (%)	62.1	62.6
MgO (%)	2.9	3.0
SO ₃ (%)	2.4	3.6
Na ₂ O	0.1	0.1
K ₂ O	1.3	1.3
Loss on ignition (%)	2.1	0.3
Surface area (cm ² /g)	3480	4730
Density (g/cm ³)	3.15	3.15

[Table 2] Properties of superplasticizer due to componet

Properties due to componet	Naphthalene	Polycarboxylate
Type	Powder	Liquid
Color	Light brown	Dark brown
Specific gravity	0.85	1.04
Solid content (%)	92	22

[Table 3] Matrix composition by weight ratio

Notation	Cement		Silica sand	Superplasticizer		W/C
	Type I	Type III		Naphthalene	Polycarboxylate	
C1SC0.5N	1.0		0.5	0.001		0.45
C1SC1.0N	1.0		1.0	0.001		0.45
C1SC1.5N	1.0		1.5	0.001		0.45
C3SC0.5N		1.0	0.5	0.001		0.45
C3SC1.0N		1.0	1.0	0.001		0.45
C3SC1.5N		1.0	1.5	0.001		0.45
C3SC0.5P		1.0	0.5		0.001	0.45
C3SC1.0P		1.0	1.0		0.001	0.45
C3SC1.5P		1.0	1.5		0.001	0.45

2.2 실험방법 및 목표

PSC 그라우트의 기본 물성을 평가하기 위하여 총 4가지 (플로우, 유하시간, 블리딩률, 응결시간) 실험을 수행하였으며, 적용된 규격과 함께 목표성능을 Table 4에 나타내었다. 시공을 위한 유동성 기준을 만족하고, 기존 제품의 성능 이상을 만족하기 위한 최소 요구조건으로써 일반적인 PSC그라우트의 목표성능을 제시하였다.

[Table 4] Test program

Properties of grout	Standard test method	Requirement
Flow	KS F 2476	> 225 mm
Flow time	KS F 4044	< 30 sec
Bleeding	KS F 2433	0 % (at 20 hour)
Setting time	KS L ISO 9597	> 1 hour (Initial)

2.2.1 플로우 시험

PSC 그라우트의 유동성을 평가하기 위한 목적으로 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 플로우 시험을 3회 실시하였고, 규격은 KS F 2476을 적용하였다. 그라우트를 채운 플로우콘을 들었을 때 아래에 펼쳐진 그라우트의 가장 긴 장변과 그에 직각이 되는 단변을 측정하여 그 평균값을 mm 단위로 나타내며, 이때의 값을 플로우 값으로 하였다.



[Fig. 2] Flow test

2.2.2 유하시간 시험

Fig. 3에 나타낸 유하시간 시험은 플로우와 마찬가지로 유동성을 평가하기 위한 목적으로 3회 실시하였으며, 규격으로 KS F 4044를 적용하였다. 깔때기 내에 그라우

트를 부피 1725±5mL만큼 채운 뒤 아래의 구멍을 개방한 시간부터 그라우트가 떨어지며 처음 끊기는 지점까지의 시간을 유하시간 값으로 하였다.



[Fig. 3] Flow time test

2.2.3 블리딩률 시험

PSC 구조물의 내부 강연선 부식을 막기 위해 삽입되는 그라우트에서 블리딩수의 발생은 아주 치명적이다. 추후 증발에 따라 덕트내 그라우트의 공극을 형성하며, 이는 내부 강연선의 부식에 큰 영향을 끼친다. 따라서 블리딩의 발생 여부를 확인하기 위하여 Fig. 4와 같이 블리딩률 시험을 KS F 2433에 따라서 각각의 배합에 대하여 3회 실시하였다. 길이 500mm 이상, 지름 약 50mm를 가지는 폴리에틸렌 실린더 안에 그라우트를 약 200mm 높이까지 채웠을 때 3시간 및 20시간 경과에 따른 블리딩수를 측정하여 아래와 같은 식으로 블리딩률을 계산하였다.

$$3\text{시간 경과한 때의 블리딩률 } (\%) = \frac{B}{V} \times 100$$

$$\text{최종 블리딩률 } (\%) = \frac{B'}{V} \times 100$$

여기에서, V : 그라우트의 용량 (mL)

B : 3시간 경과 후의 블리딩량 (mL)

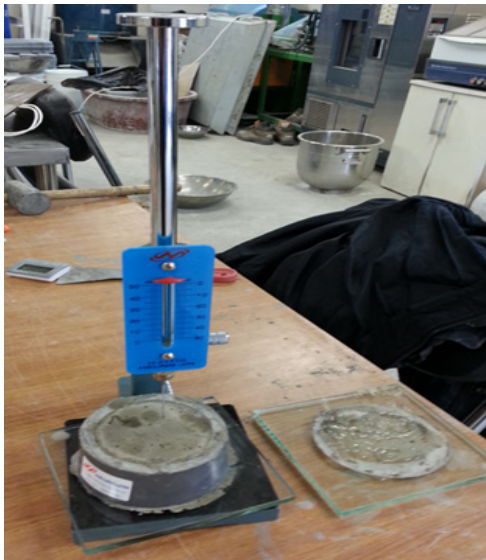
B' : 20시간 경과 후의 블리딩량 (mL)



[Fig. 4] Bleeding test

2.2.4 응결 시험

응결 시험은 그라우트 및 콘크리트 재료의 현장 시공 성능을 나타내는 지표로서 많이 사용되며, 초결과 종결로 나누어진다. 초결은 현장에서 타설이 가능한 시간을 의미하며, 종결은 강도가 발현되는 시간을 의미한다. 따라서 PSC 그라우트의 시공성을 평가하기 위하여 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 응결 시험을 3회 실시하였다. 또한 국제 표준에 부합하기 위하여 KS L ISO 9597을 적용하였으며, 비카트 침(Vicat needle)을 이용하여 초결 및 종결을 측정하였다. 응결시험중에 그라우트에 미치는 외부 환경의 영향을 최소화하기 위하여 항온항습기를 사용하였으며 내부 온도 20℃, 내부 습도 70%를 유지하였다.



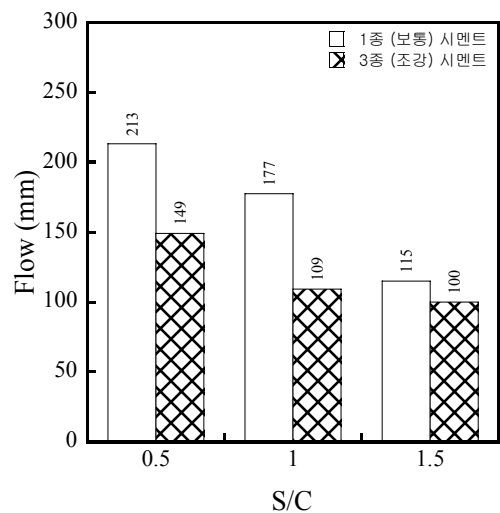
[Fig. 5] Setting time test

3. 실험결과 및 분석

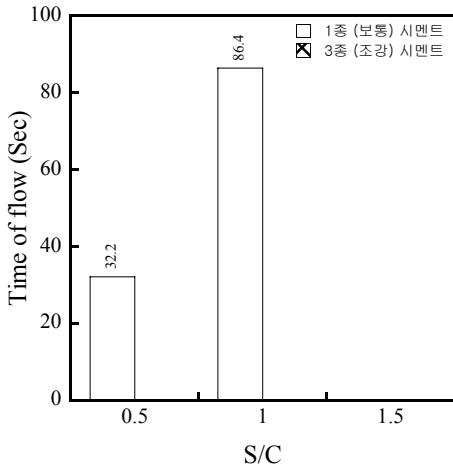
시멘트 종류 및 잔골재 시멘트 비율이 해양 PSC 구조물용 그라우트에 어떤 영향을 미치는지 기본물성 시험을 통하여 확인하였으며, 유동성 문제가 발생하는 3종 시멘트에 나프탈렌계 고성능감수제에서 폴리칼보산계 고성능감수제로 변경하였을 때 생기는 변화를 관찰하였다.

3.1 시멘트 종류 및 잔골재 시멘트 비율이 PSC 그라우트에 미치는 영향

시멘트 종류 및 잔골재 시멘트 비율에 따른 플로우 시험 결과를 Fig. 6에 나타내었다. S/C가 0.5에서 1.5로 증가함에 따라 1종 시멘트의 경우 플로우가 213mm에서 115mm로 46% 감소하였으며, 3종 시멘트의 경우 플로우가 149mm에서 100mm로 33% 감소하였다. 이는 S/C가 증가할수록 유동성이 감소하는 것을 나타내며, 1종에서 S/C이 플로우에 미치는 영향이 3종 시멘트보다 약간 더 큰 것으로 판단된다. 또한 S/C가 0.5인 경우 1종 시멘트와 3종 시멘트의 플로우 차이는 64mm이며, 1.0인 경우 68mm, 1.5인 경우 15mm를 나타내고 있다. 1종 시멘트와 비교하여 높은 비표면적을 가지는 3종 시멘트를 사용하였을 때 점성이 증가하여 유동성이 감소한 것으로 판단되며, S/C가 증가할수록 1종 시멘트와 3종시멘트의 플로우 차이는 줄어드는 것으로 보인다.



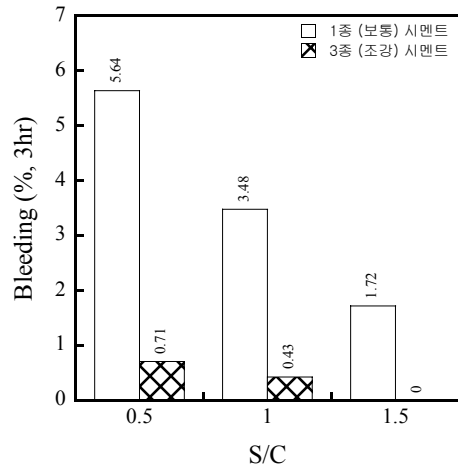
[Fig. 6] Effect of cement type and sand to cement ratio on the flow of PSC grout



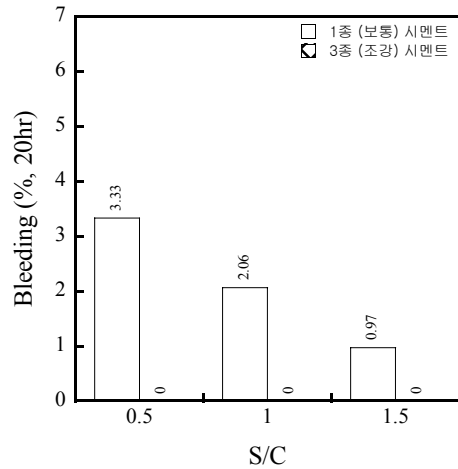
[Fig. 7] Effect of cement type and sand to cement ratio on the flow time of PSC grout

시멘트 종류 및 잔골재 시멘트 비율에 따른 유하시간 시험 결과를 Fig. 7에 나타내었다. S/C가 0.5에서 1.0으로 증가함에 따라 1종 시멘트의 경우 유하시간이 32.2초에서 86.4초로 약 2.6배 증가하였으며, S/C가 1.5인 경우 매우 높은 점성으로 인하여 유하시간을 측정할 수 없었다. S/C가 증가하며 유동성이 감소하는 것으로 판단된다. 또한 3종 시멘트의 모든 구간에서 유하시간을 측정할 수 없었다. 1종 경우 S/C가 0.5에서 1.5까지 모두 높은 점성을 보여 시멘트와 비교하였을 때 3종 시멘트가 모든 S/C에서 더욱 높은 점성을 가지고 있는 것으로 판단된다.

시멘트 종류 및 잔골재 시멘트 비율에 따른 블리딩률 시험 결과를 Fig. 8에 나타내었다. S/C가 0.5에서 1.5로 증가함에 따라 1종 시멘트의 경우 3시간 블리딩률은 5.64%에서 1.72%까지 3.92% 감소하였으며, 최종 블리딩률은 3.33%에서 0.97%까지 2.36% 감소하였다. 3종 시멘트의 경우 3시간 블리딩률은 0.71%에서 0%까지 0.71% 감소하였으며, 최종 블리딩률의 경우 모든 S/C에서 측정되지 않았다. 따라서 S/C가 증가할수록 블리딩률이 감소하는 것으로 판단되며, 1종 시멘트를 사용하였을 때 더욱 민감한 영향을 받는 것으로 보인다. 또한 1종 시멘트의 경우 모든 S/C에서 3시간과 20시간에 높은 블리딩률이 측정된 반면 3종 시멘트의 경우 높은 비표면적과 빠른 수화작용에 의하여 상대적으로 3시간 블리딩률이 감소하였으며, 최종 블리딩률은 측정되지 않은 것으로 보인다.



(a)

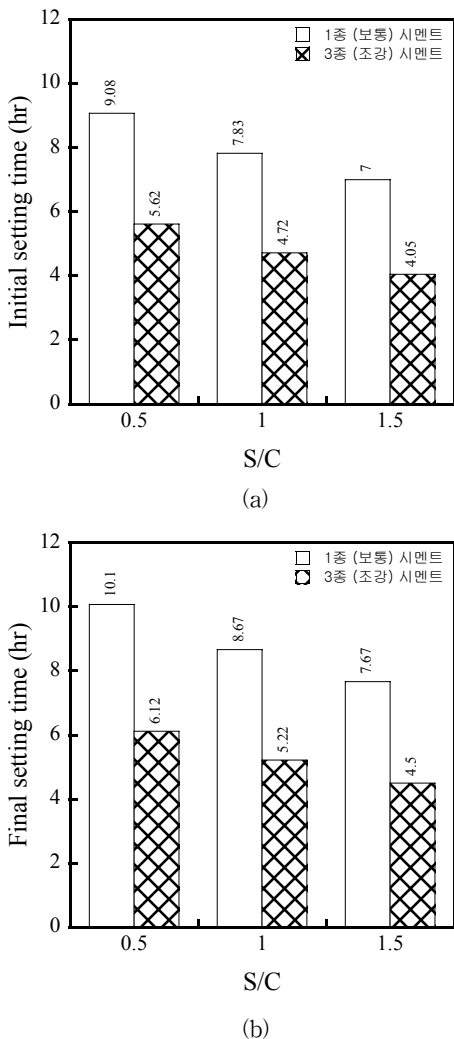


(b)

[Fig. 8] Effect of cement type and sand to cement ratio on the bleeding of PSC grout
(a) Bleeding at 3 hour (b) Bleeding at 20 hour

시멘트 종류 및 잔골재 시멘트 비율에 따른 응결시험 결과를 Fig. 9에 나타내었다. S/C가 0.5에서 1.5로 증가함에 따라 1종 시멘트의 경우 초결이 9시간 5분에서 7시간으로 2시간 5분 단축되었으며, 종결은 10시간 5분에서 7시간 40분으로 2시간 25분 단축되었다. 3종 시멘트의 경우 초결이 5시간 37분에서 4시간 3분으로 1시간 34분 단축되었으며, 종결은 6시간 7분에서 4시간 30분으로 1시간 37분 단축되었다. 1종 및 3종 시멘트 모두 S/C가 증가함에 따라 초결 및 종결시간 모두 단축되었으며, S/C가 응결시간에 미치는 영향이 1종 시멘트에서 더욱 큰 것으로 판단된다. 또한 1종 시멘트의 S/C가 0.5일 때 초결과

종결의 차이는 1시간이며, S/C가 1.5일 때는 40분이다. 3종 시멘트의 S/C가 0.5일 때 초결과 종결의 차이는 30분이며 S/C가 1.5일 때는 27분으로 나타났다. S/C가 증가할수록 초결과 종결시간의 차이가 점점 줄어드는 것으로 판단되며, 1종 시멘트와 같이 초결시간이 길었을 때 초결과 종결시간의 차이가 크고 3종 시멘트와 같이 초결 시간이 짧아졌을 때 그 차이가 줄어드는 것을 알 수 있다. 그리고 모든 S/C에서 3종 시멘트가 1종 시멘트보다 초결과 종결이 약 3시간에서 3시간 30분 더 빠르게 나타났는데 이는 3종 시멘트가 가지는 높은 비표면적과 화학적 성분 또는 광물조성의 차이 때문으로 판단된다[5].

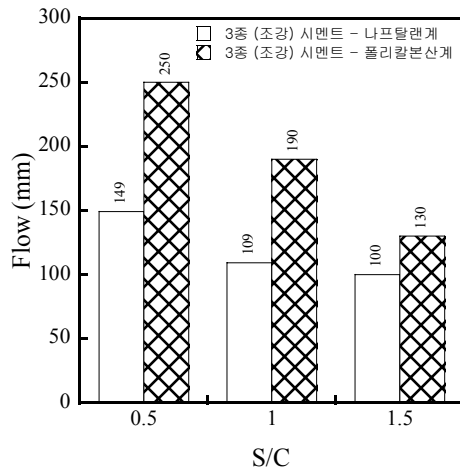


[Fig. 9] Effect of cement type and sand to cement ratio on the setting time of PSC grout
(a) Initial setting time (b) Final setting time

3.2 고성능감수제 종류가 PSC 그라우트에 미치는 영향

3종 시멘트의 유동성을 개선시키기 위한 목적과 고성능감수제 종류가 미치는 영향을 알아보기 위하여 고성능감수제를 나프탈렌계에서 동일한 고흥물비의 폴리칼본산계로 변경하여 실험을 수행하였다.

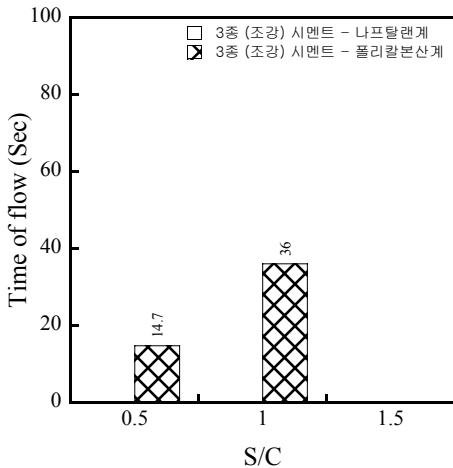
먼저 고성능감수제 종류가 3종 시멘트를 사용한 PSC 그라우트의 플로우에 미치는 영향을 Fig. 10에 나타내었다. 폴리칼본산계 고성능감수제를 사용하였을 때 S/C가 0.5인 경우 149mm에서 250mm로 68% 증가하였으며, S/C가 1.0일 때 109mm에서 190mm로 74% 증가하였고, S/C가 1.5일 때는 100mm에서 130mm로 30% 증가하였다. 따라서 모든 S/C에서 폴리칼본산계를 사용하였을 때 유동성이 증가한 것을 알 수 있으며, S/C가 1.0일 때 고성능감수제 종류의 차이가 플로우에 미치는 영향이 가장 크고 S/C가 1.5일 때 가장 작은 것으로 보인다.



[Fig. 10] Effect of superplasticizer on the flow of PSC grout using type III cement

고성능감수제 종류가 3종 시멘트를 사용한 PSC 그라우트의 유하시간에 미치는 영향을 Fig. 11에 나타내었다. 나프탈렌계 고성능감수제를 사용한 경우 점성이 높기 때문에 모든 S/C에서 유하시간을 측정할 수 없었다. 그러나 폴리칼본산계 고성능감수제를 사용한 경우 유동성이 증가하여 S/C가 0.5일 때 14.7초, S/C가 1.0일 때 36초를 나타내었다. S/C가 1.5일 때는 마찬가지로 측정을 할 수 없었다. 따라서 고성능감수제가 동일한 고흥물비를 가졌을 때 폴리칼본산계 고성능감수제의 성능이 더욱 우수

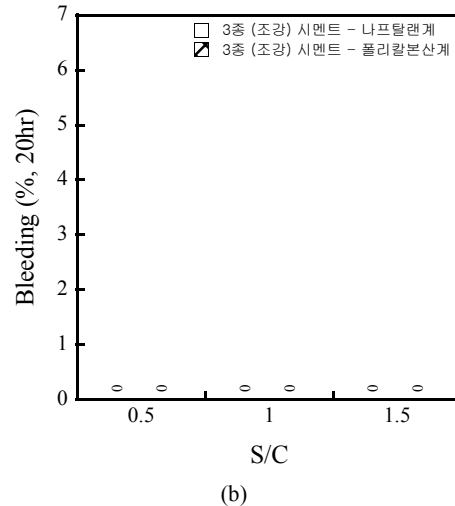
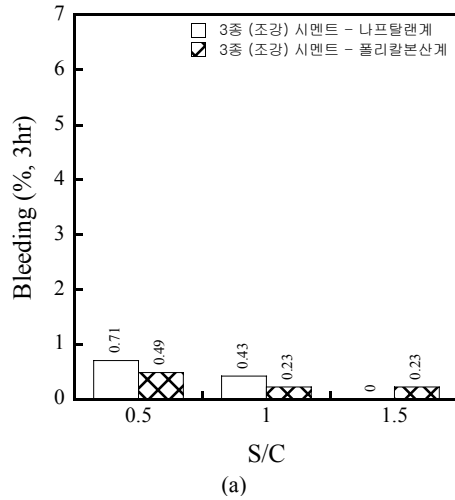
한 것으로 판단되며, 높은 비표면적을 가지는 3종 시멘트의 유동성을 고성능감수제 종류 변경을 통하여 제어할 수 있음을 의미한다. 또한 Fig. 7에 나타난 결과와 비교하였을 때 폴리칼본산계 고성능감수제를 사용한 3종 시멘트의 유하시간이 나프탈렌계 고성능감수제를 사용한 1종 시멘트의 유하시간보다 더욱 빠른 것을 알 수 있다. 이는 3종 시멘트의 높은 비표면적이 유동성에 미치는 영향보다 고성능감수제가 미치는 영향이 더욱 큰 것을 의미한다.



[Fig. 11] Effect of superplasticizer on the flow time of PSC grout using type III cement

고성능감수제 종류가 3종 시멘트를 사용한 PSC 그라우트의 블리딩률에 미치는 영향을 Fig. 12에 나타내었다. 폴리칼본산계 고성능감수제를 사용하였을 때 3시간 블리딩률은 S/C가 0.5인 경우 0.71%에서 0.49%로 0.22% 감소하였고, S/C가 1.0인 경우 0.43%에서 0.23%로 0.2% 감소하였다. 반면에 S/C가 1.5인 경우 0%에서 0.23%로 오히려 0.23% 증가하였다. 최종 블리딩률은 두 고성능감수제 모두 발견되지 않았다. 고성능감수제 종류에 따른 블리딩 특성에 관하여 폴리칼본산계가 나프탈렌계 고성능감수제보다 블리딩률 저감효능이 우수하다고 보고된 바 있다[6]. 이와 같이 폴리칼본산계 고성능감수제를 사용하였을 때 S/C가 0.5와 1.0인 경우 블리딩률이 낮게 측정되었으며, 따라서 일반적으로 폴리칼본산계 고성능감수제가 나프탈렌계 고성능감수제보다 블리딩률 저감에 우수한 것으로 판단된다. 그러나 S/C가 1.5로 유동성이 낮은 경우에 폴리칼본산계 고성능감수제를 사용하였을 때 오히려 약간의 블리딩률이 측정되었다. 이는 유동성이 높

은 경우에 폴리칼본산계 고성능감수제에 의한 블리딩률 저감 효과가 우수하지만 유동성이 낮고 점성이 높은 경우 오히려 높은 분산성으로 인하여 블리딩률이 증가한 것으로 판단되며 이에 대한 추가적인 연구 및 검토가 필요할 것으로 사료된다.



[Fig. 12] Effect of superplasticizer on the bleeding of PSC grout using type III cement
(a) Bleeding at 3 hour (b) Bleeding at 20 hour

고성능감수제 종류가 3종 시멘트를 사용한 PSC 그라우트의 응결시간에 미치는 영향을 Fig. 13에 나타내었다. 폴리칼본산계를 사용하였을 때 초결에서 S/C가 0.5인 경우 5시간 37분에서 7시간 30분으로 1시간 53분 지연되었으며, S/C가 1.0인 경우 4시간 43분에서 6시간 20분으로 1시간 37분 지연되었고, S/C가 1.5인 경우에는 4시간 3분

에서 5시간 40분으로 1시간 37분 지연되었다. 또한 종결도 마찬가지로 S/C가 0.5인 경우 6시간 7분에서 8시간으로 1시간 53분 지연되었으며, S/C가 1.0인 경우 5시간 13분에서 6시간 50분으로 1시간 37분 지연되었고, S/C가 1.5인 경우 4시간 30분에서 6시간 10분으로 1시간 40분 지연되었다. 폴리칼본산계 고성능감수제를 사용한 경우 초결 및 종결시간이 나프탈렌계 고성능감수제 결과와 비교하여 상대적으로 모두 지연된 것을 알 수 있다. 일반적으로 고성능감수제의 사용량이 증가하였을 때와 더욱 우수한 고성능 고성능감수제를 사용하였을 때 지연시간이 증가된다고 보고된 바 있으며[6], 이와 같은 이유로 응결시간이 지연된 것으로 판단된다.

시멘트 종류 및 잔골재 시멘트 비율과 감수제 종류에 따른 실험 결과를 비교하였을 때, 3종 시멘트와 폴리칼본산계 고성능감수제를 사용하고 S/C가 0.5일 때 PSC 그라우트의 목표성능을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 이 때 플로우는 250mm로 플로우 목표성능보다 11% 증가되었고, 유하시간은 14.7초로 유하시간의 목표성능인 30초보다 약 16초가 감소되었으며, 20시간 블리딩률은 목표성능과 동일하게 0%로 나타났다. 또한 시공성을 위한 초결시간은 7시간 30분으로 목표성능인 1시간 이상을 만족하였다.

4. 결론

시멘트 종류와 잔골재 시멘트 비율 및 고성능감수제 등이 PSC 구조물용 그라우트에 미치는 영향을 알아보기 위하여 4가지의 기본 물성평가를 실시하였다. 결과는 다음과 같다.

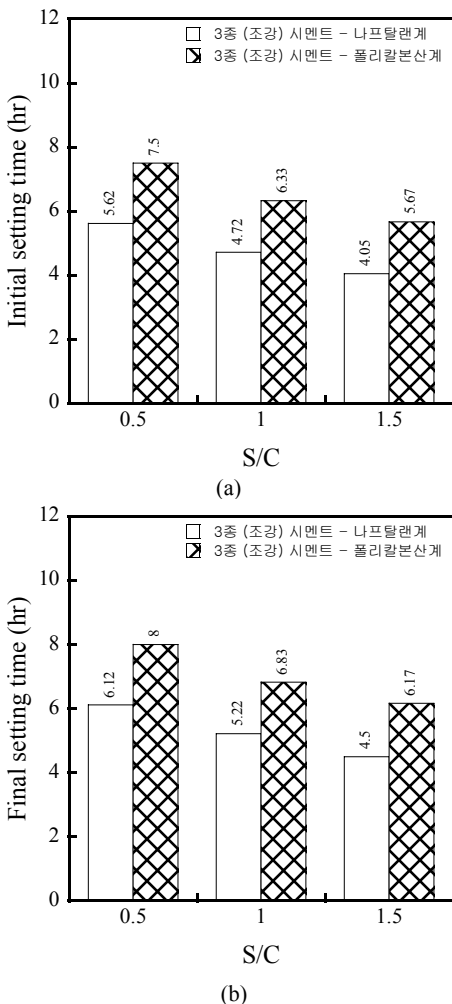
시멘트 종류에 따른 기본 물성 평가 결과,

- 1) 3종 시멘트를 사용하였을 때 1종 시멘트에 비해 플로우가 감소하였고, 유하시간이 증가하는 등 전체적으로 유동성이 감소하는 경향을 나타내었다.
- 2) 그러나 1종과 비교하여 블리딩률이 감소하였고 응결시간이 단축되었는데, 이는 상대적으로 넓은 비표면적을 가지는 3종 시멘트를 사용하였을 경우 수화작용이 더욱 빨리 이루어지기 때문으로 생각되며 3종 시멘트를 사용한 PSC 그라우트의 품질이 더욱 우수할 것으로 판단된다.

잔골재 시멘트 비율에 따른 기본 물성 평가 결과,

- 1) S/C가 증가할수록 플로우 감소 및 유하시간 증가 등 전체적으로 유동성이 감소하였다.
- 2) 반면에 S/C가 증가함에 따라 블리딩률이 감소하였고, 응결시간이 단축되었는데 이는 S/C가 증가할수록 배합의 점성이 증가하였기 때문으로 판단된다. 따라서 S/C는 품질에 영향을 미칠 뿐만 아니라 시멘트 사용량을 줄이게 되어 경제적으로도 우수한 그라우트가 생산 가능할 것으로 판단된다.

고성능감수제 종류에 따른 3종 시멘트의 기본 물성 평가 결과,



[Fig. 13] Effect of superplasticizer on the setting time of PSC grout using type III cement
(a) Initial setting time (b) Final setting time

- 1) 유동성이 다소 낮은 3종 시멘트에 폴리칼본산계 고성능감수제를 사용하였을 때 플로우가 증가하였고, 유하시간이 감소하는 등 전체적으로 유동성이 증가하는 경향을 나타내었다. 따라서 폴리칼본산계 고성능감수제를 사용함으로써 3종 시멘트의 유동성 저하문제가 해결 가능할 것으로 판단된다.
- 2) 또한 폴리칼본산계 고성능감수제를 사용하였을 때 상대적으로 블리딩률이 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나 S/C가 1.5 일 때와 같이 점성이 높은 경우 나프탈렌계 고성능감수제보다 오히려 약간의 블리딩률이 측정되었는데 이는 폴리칼본산계 고성능감수제의 분산성과 연관이 있다고 판단된다. 따라서 S/C가 1.0 이하인 경우 폴리칼본산계 고성능감수제를 사용하였을 때 블리딩률 저감에 우수할 것으로 사료되며, S/C가 1.5 일 때 다른 변수에 비하여 큰 영향은 미치지 않지만 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.
- 3) 폴리칼본산계 고성능감수제를 사용한 경우 나프탈렌계 고성능감수제와 비교하여 응결시간이 1~2시간 지연되었으며, 이는 시공성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 따라서 유동성이 다소 떨어지는 3종 시멘트에 폴리칼본산계 고성능감수제를 사용하였을 경우 PSC 그라우트의 성능이 더욱 우수해질 것으로 판단된다.

1997.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(97\)00032-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(97)00032-X)

[5] S. Miyazawa, T. Yokomuro, E. Sakai, A. Yatagai, N. Nito, K. Koibuchi, "Properties of concrete using high C3S cement with ground granulated blast-furnace slag", Construction and Building Materials, Vol. 61, pp. 90-96, June, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.008>

[6] K. S. Kim, J. D. Ha, D. S. Kim, G. Y. Shin, K. H. Ryu, "A Study on the Bleeding Property of Flowed Concrete Due to Different Types of High Range Water Reducing Admixtures", Journal of the Korea Concrete Institute, pp. 321-326, 1997

References

[1] K. Lau, I. Lasar, M. Paredes, "Corrosion Failure of Post-Tensioned Tendons in Presence of Deficient Grout", NACE International, March, 2013.

[2] A. A. Al-Manaseer, L. D. Keil, "Physical Properties of Cement Grout Containing Silica Fume and Superplasticizer", ACI Materials Journal, Vol. 89, No. 2, pp. 154-160, March-April, 1992.

[3] J. Bastien, J. Dugat, E. Prat, "Cement Grout Containing Precipitated Silica and Superplasticizers for Post-Tensioning", ACI Materials Journal, Vol. 94, No. 4, pp. 291-295, July-August, 1997.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14359/311>

[4] W. H. Huang, "Properties of cement-fly ash grout admixed with bentonite, silica fume, or organic fiber", Cement and Concrete Research, Vol. 27, No. 3, pp. 395-406, March,

박기준(Gi-Joon Park)

[준회원]



- 2013년 2월 : 세종대학교 공과대학 건설환경공학과 (학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 세종대학교 일반대학원 건설환경공학과 (석사 과정)

<관심분야>
토목/건축, 콘크리트

문도영(Do Young Moon)

[정회원]



- 1998년 8월 : 한양대학교 일반대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2005년 8월 : 한양대학교 일반대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2010년 2월 ~ 현재 : 경성대학교 토목공학과 교수

<관심분야>
콘크리트 재료 및 구조