

광물질 혼화재가 PSC 교량용 그라우트의 특성에 미치는 영향

Effects of Mineral Admixture on the Characteristics of Grout for PSC Bridge

고경택^{1*} · 류금성¹ · 안기홍¹ · 강수태²

Kyung-Taek Koh^{1*} · Gum-Sung Ryu¹ · Ki-Hong Ahn¹ · Su-Tae Kang²

(Received February 25, 2014 / Revised March 21, 2014 / Accepted March 25, 2014)

The study investigates the effects of the type, replacement ratio and method of use of mineral admixtures on the fluidity, bleeding ratio, volumetric change and compressive strength of the grout in order to provide basic data for the development of high-quality grout for PSC bridges. In view of the results relative to the type and replacement ratio of the mineral admixtures, it appears that fly ash has practically no effect on the improvement of the fluidity nor on the reduction of bleeding and shrinkage of the grout. On the contrary, blast furnace slag and silica fume appear to have significant effect on the improvement of the fluidity or on the reduction of bleeding and shrinkage of the grout. With regard to the combined use of mineral admixtures, the combination of fly ash and blast furnace slag provides satisfactory fluidity but with significant increase of bleeding and shrinkage, whereas the combination of blast furnace slag and silica fume reduces bleeding and shrinkage but with large loss of the fluidity. On the other hand, the combination of fly ash and silica fume results in satisfactory fluidity accompanied with fair reduction of bleeding and shrinkage of the grout. In view of these results, the type, replacement ratio and method of use of the mineral admixtures are seen to influence the fluidity, bleeding and volumetric change of the grout. Accordingly, it is necessary to select the mineral admixtures considering these effects for their exploitation in the grout of PSC bridges.

키워드 : 그라우트, PSC 교량, 광물질 혼화재, 블리딩, 유동성

Keywords : Grout, PSC bridge, Mineral admixture, Bleeding, Fluidity

1. 서론

PSC (prestressed concrete) 구조물은 사용기간 중에 예상되는 단면력 또는 응력상태에 효과적으로 대처할 수 있도록 시공 중 긴장재를 이용하여 콘크리트에 미리 응력을 가하는 공법이다. PSC 교량에서 긴장재에 부식이 발생하면 전면적인 붕괴 위험에 노출될 우려가 있으므로 이를 방지하기 위해 그라우트로 덕트 속을 완전히 매워 긴장재의 부식을 방지하고 있다. 그라우트의 충전이 불량하거나 경화된 그라우트의 균열 및 공극이 발생할 경우에는 긴장재의 부식으로 내구성 문제가 야기될 수 있기 때문에 그 중요성이 크게 인식되고 있다. 외국에서 강연선 부식에 의한 PSC 교량의 붕괴 사례를 통해 그라

우트의 품질과 충전 상황이 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었다 (TRRL 1987, FDOT 2001). 이후 북미, 유럽, 일본 등에서 그라우트 재료, 시험방법, 주입방법·장치 및 시공품질 확보에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있으며, 그라우트의 품질 규정, 시공절차 및 시방규정이 개정되고 있다 (PTI 2013, AASHTO 2010, FIB 2002, BS EN 445 2007).

한편 국내에서 현 시점까지 그라우트의 충전 불량에 의한 PSC 교량의 내구성 저하는 보고되지 않고 있다. 그러나 1990년대부터 PSC 교량 건설이 급격히 증가하였기 때문에 긴장재의 부식 등으로 PSC 교량의 열화될 가능성은 배제할 수 없다. 국내에서 사용되는 그라우트는 대부분 물-결합재비가 약 40% 대로 비교적 높고, 가스를 발생시키는 금속성 팽창재의 사용으

* Corresponding author E-mail: ktgo@kict.re.kr

¹한국건설기술연구원 (Korea Institute of Construction Technology, Kyonggi-do, 411-712, Korea)

²대구대학교 토목공학과 (Department of Civil Engineering, Daegu University, Gyeongsangbuk-do, 712-714, Korea)

Table 1. Physical properties and chemical compositions of cementious materials for grout

Type	Item	Surface Area (cm ² /g)	Density (g/cm ³)	Ig. Loss (%)	Chemical composition (%)					
					SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
	OPC	3413	3.15	1.40	21.01	6.40	3.12	61.33	3.02	2.14
	FA	3850	2.13	3.82	65.3	16.6	5.58	-	0.82	0.51
	BFS	4463	2.91	0.05	34.56	15.78	0.09	43.32	5.90	2.78
	SF	240000	2.10	1.50	96.00	0.25	0.12	0.38	0.1	-

OPC : Ordinary Portland Cement, FA : Fly Ash, BS : Blast Furnace Slag, SF : Silica Fume

로 블리딩 발생 가능성이 높고 품질 관리가 어려운 것으로 알려져 있다(Lee et al, 2010), 때문에 외국에서 PSC 교량용 그라우트에 금속성 팽창재의 사용을 금지하고 있다(AASHTO 2010).

최근 외국에서 사용되는 그라우트는 시멘트와 함께 고로슬래그, 플라이애시, 실리카퓌를 혼합하여 사용하거나, 팽창재 및 수축저감재료를 사용하여 수축을 저감시키고 있다. 그리고 증점제를 사용하여 그라우트에 점성을 부여함으로써 블리딩을 저감시키고, 고성능 감수제를 사용하여 그라우트에 유동성을 부여함으로써 작업성을 확보하고 있다. 그러나 국내에서 이런 재료를 사용한 그라우트에 대한 연구가 부족한 실정이다.

따라서 이 연구에서 PSC 교량용 고품질 그라우트를 개발하기 위한 기초 자료로 활용하기 위해 그라우트의 결합재로 산업 부산물의 종류, 치환율 및 사용방법이 유동성, 블리딩률, 체적 변화 및 압축강도에 미치는 영향에 대해 검토하였다.

2. 시험개요

2.1 사용재료 및 배합비

그라우트의 결합재로 사용하는 고로슬래그, 플라이애시, 실리카퓌는 콘크리트의 작업성 확보, 포졸란 반응 또는 잠재수경성에 의한 장기강도 증진, 수밀성 및 내구성 향상을 목적으로 많이 사용되는 재료이다(Lee et al, 2013, Ryu et al, 2013). 이런 혼화재는 오랜 전부터 시멘트와 혼합하여 그라우트에 사용되어 왔다(Sonebi 2010, Mirza et al, 1997, Aitchin et al, 1984, Diederichs & Schutter, 1996).

최근 일본에서 보통 포틀랜드 시멘트에 함유된 염화물 이온의 허용량이 0.02%에서 0.035%로 완화된에 따라 그라우트의 염화물 이온 총량을 낮추기 위해 고로슬래그와 혼합하여 사용하고 있다(Yamaguchi et al, 2009). 고로슬래그를 사용하면 염화물 이온을 낮추는 효과 이외에도 유동성 향상, 블리딩 수 발생 억제 등의 효과가 있는 것으로 보고되고 있다(Aoki et al, 2006, Fujimoto et al, 2004).

Table 2. Replacing ratio and combination of mineral admixture

No.	Replacing ratio for cement (%)		
	FA	BFS	SF
1	0	0	0
2	10	0	0
3	20	0	0
4	30	0	0
5	0	15	0
6	0	30	0
7	0	45	0
8	0	0	5
9	0	0	10
10	0	0	15
11	10	15	0
12	10	30	0
13	20	15	0
14	10	0	5
15	10	0	10
16	20	0	10
17	0	15	5
18	0	15	10
19	0	30	10
20	10	15	5
21	10	15	10
22	10	30	10
23	20	15	10

실리카퓌는 압축강도 증가, 블리딩 감소, 수밀성 향상 등의 효과가 있으나, 단위수량이 증가하기 때문에 고성능 감수제와 함께 사용하여 그라우트를 제조하고 있다(Ranish et al, 1996). 플라이애시를 혼입한 그라우트는 블리딩 감소, 수밀성 향상, 장기강도 증진의 효과가 있으나, 초기강도가 저하되는 문제점이 있다(Schokker, 1999).

Table 1에 그라우트에 사용된 결합재의 화학 조성 및 물리적 특성을 나타내었다. Table 2는 이 연구의 시험에서 고려한 광물질 혼화재 종류에 따른 시멘트와의 조합이다. 플라이애시는 시멘트 질량의 0, 10, 20, 30%, 고로슬래그는 0, 15, 30, 45%, 실리카퓌는 0, 5, 10, 15%로 하였다. 그리고 플라이애시와 고로슬래그를 10%와 15%, 10%와 30%, 20%와 15%, 플라이애시와 실리카퓌를 10%와 5%, 10%와 10%, 20%와 10%, 고로

슬래그와 실리카퓌를 15%와 5%, 15%와 10%, 30%와 10%, 플라이애시, 고로슬래그 그리고 실리카퓌를 10%+15%+5%, 10%+15%+10%, 10%+30%+10%, 20%+15%+10%의 조합으로 구성하여 시험을 수행하였다. 이들 조합은 모두 23종류이고, 조합 당 3개의 시료에 대해 시험을 수행하여 평균값을 구하였다. 물-결합재비는 0.42로 하였으며, 이것은 국내에서 일반적으로 사용되는 그라우트의 물-결합재비를 반영한 것이다.

2.2 시험방법

그라우트의 유동성을 평가하기 위해 KS L 5111에 규정되어 있는 플로우 콘을 사용하여 다짐 및 낙하운동 없이 플로우와

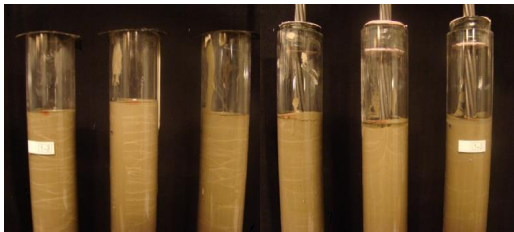


Fig. 1. Test of bleeding and expansion for grout

KS F 4044에 규정되어 있는 깔때기를 사용하여 유하시간을 측정하였다.

그라우트의 블리딩률과 체적변화는 ASTM C 940에 의거하여 강연선 유무에 따라 평가하였다. KS F 2433에도 그라우트의 블리딩률과 체적변화를 평가하는 시험방법이 있으나, PSC 교량에서 강연선 배치의 영향인 심지효과(wick effect)를 고려하지 못하는 것으로 지적되고 있다(Lee et al. 2010, KICT 2013). 따라서 PSC 교량용 그라우트의 심지효과를 고려하기 위해 ASTM C 940에 준하여 직경 50 mm의 실린더를 400 mm 높이 까지 채운 뒤 타설 후 3시간 블리딩 양을 각각의 변수마다 3개의 시편을 제작하여 측정하였으며, Fig. 10에 블리딩률과 체적변화를 평가하는 시험을 나타내었다.

그라우트의 압축강도 시험은 KS F 2426에 준하여 공시체를 제작하여 KS F 2405에 준하여 재령 7일, 28일에서 압축강도를 측정하였다.

3. 시험결과 및 고찰

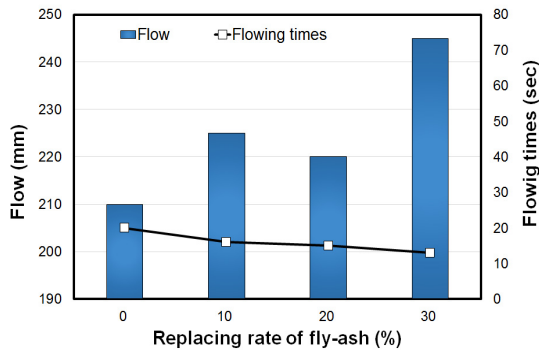
Table 3은 플라이애시, 고로슬래그, 실리카퓌의 혼입률 및 조합에 따른 시험결과를 정리한 것이다.

Table 3. Test results

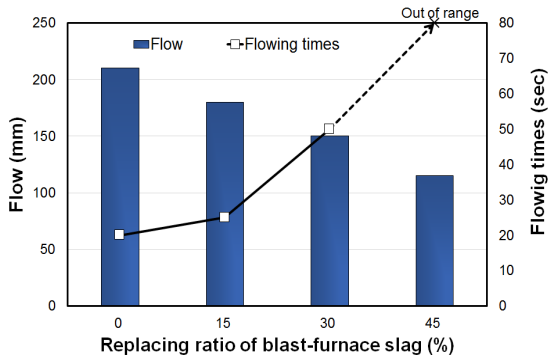
Parameters			Fluidity		Bleeding ratio (3h, %)		Volume change (3h,%)		Compressive strength (MPa)	
FA (%)	BFS (%)	SF (%)	Flowing time (sec)	Flow (mm)	Normal	Strand	Normal	Strand	7days	28days
0	0	0	20	210	0.7	6.1	-1.3	-6.6	34.7	56.1
10	0	0	16	225	0.5	4.6	-1.0	-5.0	37.5	49.8
20	0	0	15	220	0.7	5.9	-1.2	-6.3	38.4	42.4
30	0	0	13	245	1.2	6.5	-1.4	-6.8	28.5	41.2
0	15	0	25	180	0.9	6.4	-0.9	-6.5	28.5	59.7
0	30	0	50	150	0.7	4.1	-1.0	-4.3	38.4	47.5
0	45	0	∞	115	0.4	1.9	-0.6	-2.3	36.4	55.0
0	0	5	27	175	0.2	4.4	-0.5	-5.0	45.8	45.2
0	0	10	33	135	0.1	1.4	-0.4	-1.7	40.1	43.8
0	0	15	∞	120	0.0	0.5	-0.2	-0.7	37.1	47.1
10	15	0	26	185	0.8	4.5	-1.0	-4.6	28.3	50.1
10	30	0	55	150	0.5	5.6	-1.3	-5.7	35.8	59.7
20	15	0	17	200	0.8	7.1	-1.2	-7.0	38.2	52.5
10	0	5	24	190	0.4	4.1	-0.8	-4.4	44.5	60.8
10	0	10	36	160	0.3	2.3	-0.7	-2.6	49.6	41.3
20	0	10	32	155	0.1	2.5	-0.7	-2.8	33.4	32.9
0	15	5	50	155	0.5	5.0	-0.8	-4.9	31.2	48.0
0	15	10	∞	120	0.1	2.1	-0.3	-2.4	41.5	31.5
0	30	10	∞	110	0.2	0.7	-0.4	-0.9	30.7	36.5
10	15	5	43	155	0.4	3.4	-0.6	-3.6	32.5	42.3
10	15	10	20	130	0.1	2.4	-0.1	-2.6	31.3	39.6
10	30	10	∞	110	0.0	0.8	-0.3	-1.1	32.7	52.2
20	15	10	44	140	0.1	1.6	-0.4	-1.7	37.2	46.5

3.1 유동성

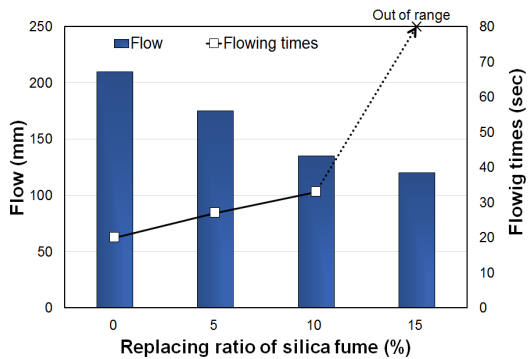
Fig. 2는 각각 플라이애시, 고로슬래그, 실리카퐁의 혼입률이 유하시간과 플로우에 미치는 영향이다. 플라이애시의 혼입률이 증가할수록 플로우는 증가하고, 유하시간은 빨라지고 있음을 알 수 있다. 이것은 플라이애시 입자의 볼베어링 효과로 인한 것이고, 기존 연구(Schokker et al, 2001)에서도 플라이애시를 사용할 경우 그라우트의 유동성을 향상되는 것으로 알려져 있다. 또한 고로슬래그와 실리카퐁을 사용한 그라우트의



(a) Fly ash



(b) Blast-furnace slag

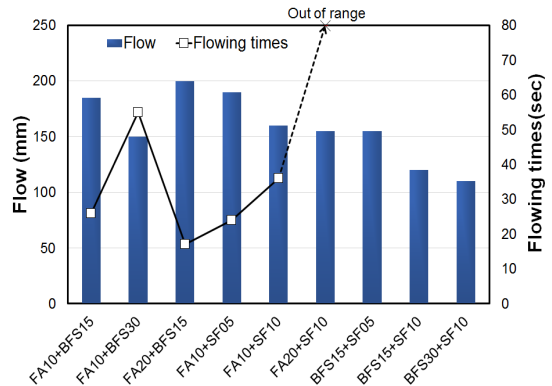


(c) Silica fume

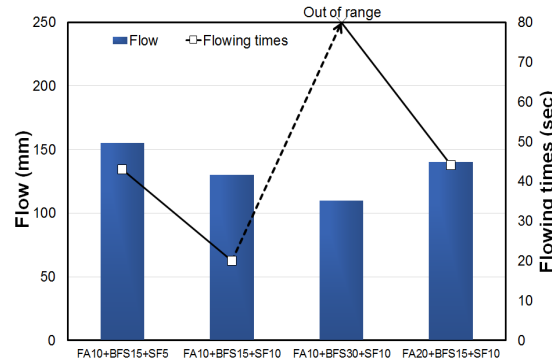
Fig. 2. Fluidity according to the type and replacing ratio of mineral admixture

경우, 혼입률이 증가함에 따라 플로우는 비례적으로 감소하고 유하시간은 길어지는 것으로 나타났다. 실리카퐁은 높은 분말도의 미세한 입자로 구성되어 있기 때문에 사용량이 많아질수록 유동성이 저하되기 때문에 고성능 감수제와 함께 사용할 필요가 있다고 보고되고 있다(Ranish et al, 1996, Schokker et al, 2001). 고로슬래그는 분말도가 시멘트보다 크기 때문에 유동성이 저하된다는 보고(Yamaguchi et al, 2009)와 시멘트와 큰 차이가 없다는 상반된 보고(Aoki et al, 2006)가 있다. 이런 결과는 배합비나 고성능 감수제의 사용 유무에 따른 차이 때문으로 사료된다.

Fig. 3은 혼화재의 조합사용이 유동성에 미치는 영향이다. Fig. 3(a)에 나타난 바와 같이 플라이애시와 고로슬래그의 2종류 혼화재를 조합사용한 경우에는 고로슬래그의 양이 많을수록 플로우는 감소하고 유하시간은 길어지는 결과를 나타내며, 플라이애시의 양이 많을수록 플로우는 증가하고 유하시간은 빨라지는 결과를 보이고 있다. 그리고 플라이애시와 실리카퐁의 2종류 혼화재를 조합사용한 경우에는 마찬가지로 플라이애



(a) Mineral admixture with 2 type



(b) Mineral admixture with 3 type

Fig. 3. Fluidity of grout with combined mineral admixture

시의 양을 많이 사용할수록 유동성을 향상시키고 반대로 실리카폼의 양을 많이 사용할수록 유동성이 저하되는 것으로 나타났다. 그리고 고로슬래그와 실리카폼을 조합한 사용의 경우에는 다른 조합에 비해 전반적으로 유동성이 저하되는 것으로 나타났다. Fig. 3(b)에 나타난 바와 같이 3종류의 혼화재를 조합사용한 경우에도 실리카폼, 고로슬래그 및 플라이애시의 양이 많을수록 유동성이 저하되는 것으로 나타났다. 이런 결과로부터 광물질 혼화재를 사용할 경우에는 고성능 감수제를 사용하여 일정한 유동성을 확보할 필요가 있는 것으로 분석된다.

이상과 같이 플라이애시, 고로슬래그, 실리카폼의 혼입률 및 조합사용이 플로우와 유하시간에 미치는 영향에 대해 검토한 결과, 플라이애시는 전반적으로 유동성을 향상시키나, 고로슬래그와 실리카폼은 유동성을 저하시키는 것으로 나타났다. 그리고 고로슬래그 또는 실리카폼과 플라이애시의 조합사용은 전반적으로 유동성이 양호하나, 고로슬래그와 실리카폼의 조합사용은 플로우와 유하시간 모두 저하되는 것으로 나타났으며, 조합 사용한 경우 중에서 플라이애시 20%와 고로슬래그 15%의 조합사용이 가장 양호한 유동성을 나타내고 있다.

3.2 블리딩 및 체적변화

PSC 교량용 강연선은 일곱 개의 와이어가 나선형으로 꼬여져 구성되어 있다. 이 와이어 사이의 틈을 통해 그라우트 내의 수분이 통과할 수 있는 경로(path of water travel)가 만들어져 그라우트 주입 시 결합재와 물의 재료분리가 촉진되는 심지효과(wick effect)가 나타난다(Lee et al, 2010, Shockker et al, 2001). Table 3에 나타난 강연선 유무에 따라 블리딩률과 체적변화의 결과를 보면, 강연선을 배치한 경우에는 강연선을 배치하지 않은 경우에 비해 블리딩률은 5.2배~24.8배, 수축은 2.4~20.7배 정도 증가하는 것으로 나타났으며, 이런 결과는 심지효과에 의한 것으로 분석된다. 따라서 PSC 교량용 그라우트의 품질을 평가할 때에는 AASHTO 및 BS에서 규정한 바와 같이 강연선을 배치한 심지효과를 고려할 필요가 있는 것으로 판단된다.

강연선 유무에 따라 광물질 혼화재 종류 및 치환율이 블리딩률과 체적변화에 미치는 영향은 크지만, 유사한 경향을 보이고 있으므로 이하에서 강연선을 배치한 결과를 위주로 하여 시험결과를 분석하였다.

Fig. 4는 각각 플라이애시, 고로슬래그, 실리카폼의 치환율이 블리딩률과 체적변화에 미치는 영향이다. 플라이애시는 치

환율 10%에서 블리딩과 수축 모두 감소하고, 그 이상의 치환율부터 블리딩률과 수축이 증가하는 것으로 나타났다. 고로슬래그와 실리카폼은 치환율이 증가할수록 블리딩과 수축 모두 감소하고 있으며, 특히 실리카폼의 혼입률 15% 배합은 블리딩률 0.5%, 수축 변형률 0.7% 정도로 양호한 결과를 보이고 있다. 이상의 블리딩률과 체적 변화 결과로부터 광물질 혼화재를 그라우트에 사용할 경우, 플라이애시는 10%, 고로슬래그는

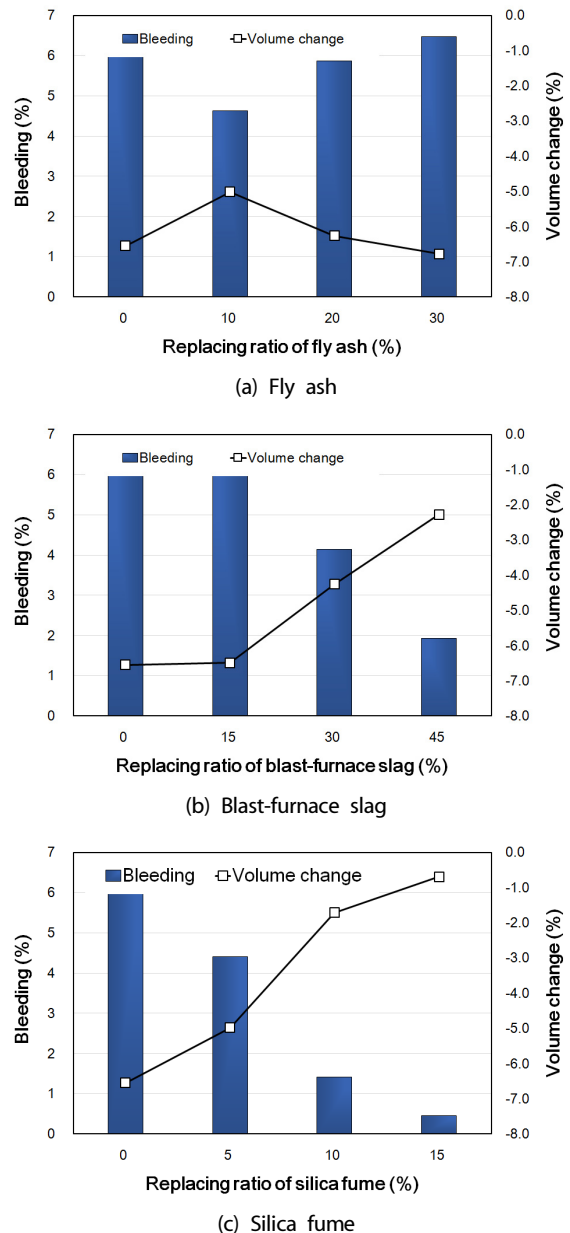
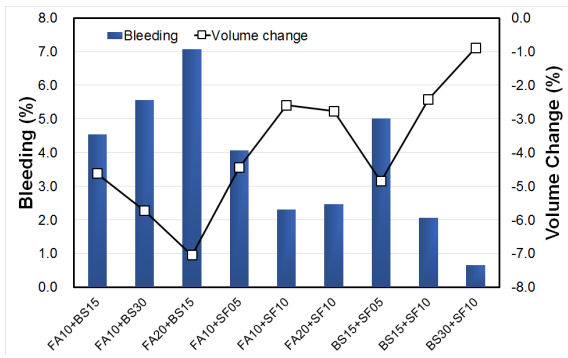
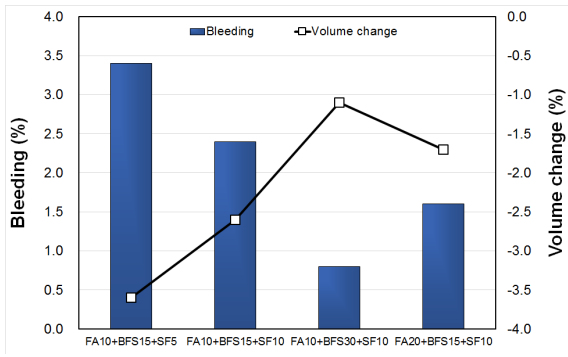


Fig. 4. Bleeding and volume change according to the type and replacing ratio of mineral admixture



(a) Mineral admixture with 2 type



(b) Mineral admixture with 3 type

Fig. 5. Bleeding and volume change of grout with combined mineral admixture

45%, 실리카폼은 15%가 적정 치환율로 분석되었다.

Fig. 5는 혼화재의 조합사용이 블리딩과 체적변화에 미치는 영향이다. Fig. 5(a)에 나타난 바와 같이 플라이애시와 고로슬래그의 2종류 혼화재를 조합사용한 경우에는 고로슬래그 또는 플라이애시의 양이 많을수록 블리딩과 수축이 동시에 증가하는 것으로 나타났다. 플라이애시와 실리카폼의 2종류 혼화재를 조합사용한 경우에는 실리카폼의 양이 많을수록 블리딩과 수축이 감소하고, 플라이애시의 양은 거의 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 그리고 고로슬래그와 실리카폼의 2종류 혼화재를 조합사용한 경우에는 실리카폼과 고로슬래그의 양이 증가할수록 블리딩과 수축이 크게 감소하는 것으로 나타났다. 이처럼 2종류의 혼화재를 조합사용한 그라우트에서 실리카폼을 함께 조합사용하는 것이 블리딩과 수축 저감에 유리한 것으로 나타났다. 2종류의 혼화재를 조합사용한 배합 중에서 고로슬래그 30%와 실리카폼을 10% 조합사용한 경우가 블리딩과 수축 저감 측면에서 가장 유리하고, 플라이애시 10%와 실리카폼 10%, 플라이애시 20%와 실리카폼 10%를 조합사용한 그라

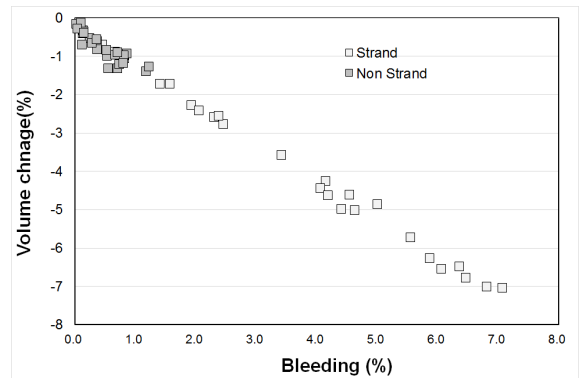


Fig. 6. Relationship between bleeding and volume change of grout with mineral admixture

우트도 양호한 것으로 나타났다.

Fig. 5(b)에 나타난 바와 같이 3종류의 혼화재를 조합사용한 경우, 실리카폼, 고로슬래그, 플라이애시의 양이 많을수록 블리딩과 수축저감에 유효하며, 특히 플라이애시 10, 고로슬래그 30%, 실리카폼 10%를 조합사용한 그라우트의 성능이 가장 양호한 것으로 나타났다.

Fig. 6은 광물질 혼화재를 사용한 그라우트의 블리딩과 체적변화의 관계이다. 광물질 혼화재를 사용한 그라우트에서 강연선 배치에 관계없이 블리딩과 체적변화의 관계가 양호한 상관성이 있는 것으로 나타났다. 즉 그라우트의 블리딩이 많이 발생할수록 수축도 증가하고 있음을 알 수 있다. PSC 교량에서 쉬스 관에 주입한 그라우트는 시간이 지나감에 따라 블리딩이 발생할 경우, 윗부분에는 잉여의 물이 남아 있고 시멘트 입자는 아래로 가라앉는 현상이 발생하게 된다(Trejo et al. 2009). 이 블리딩 수가 증발하게 되면 그라우트 내의 공극 형성 및 균열이 발생하게 되어 긴장재의 부식의 원인이 된다. 따라서 덕트 내부의 공극 형성 및 균열 발생의 주요 요인은 블리딩으로서 그라우트 품질을 평가하는데 매우 중요한 항목이다.

3.3 압축강도

압축강도는 부재 콘크리트와 긴장재를 일체화시키는 부착강도와 관련되어 있으며, KS 규격 및 콘크리트 표준시방서 등에서 규정하고 있다. Table 2에 나타난 광물질 혼화재를 사용한 그라우트의 압축강도 결과에 의하면, KS F 4044에서 규정한 재령 7일과 재령 28일의 기준값인 각각 24MPa과 35MPa 이상, 콘크리트 표준시방서에서 규정한 재령 28일에서 기준값 30MPa 이상을 모두 만족하고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 PSC 교량용 고품질 그라우트를 개발하기 위한 기초 자료로 활용하기 위해 그라우트의 결합재로 광물질 혼화재의 종류, 치환율 및 사용방법이 유동성, 블리딩률, 체적 변화 및 압축강도에 미치는 영향에 대해 검토하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 광물질 혼화재 종류와 치환율에 대해 검토한 결과, 플라이 애시는 유동성을 향상시키나, 블리딩과 수축 저감에 효과가 거의 없는 것으로 나타났다. 이와 반대로 고로슬래그와 실리카폼은 유동성을 저하시키나 블리딩과 수축 저감에 효과가 큰 것으로 나타났다. 블리딩률과 체적 변화 결과로부터 광물질 혼화재의 적정 치환율을 플라이애시는 10%, 고로슬래그는 45%, 실리카폼은 15%로 분석되었다.
2. 광물질 혼화재를 조합사용한 경우에 대해 검토한 결과, 플라이애시와 고로슬래그를 조합사용한 경우 유동성은 양호하나, 블리딩과 수축이 크게 증가하고, 고로슬래그와 실리카폼을 조합사용한 경우에는 블리딩과 수축이 감소하나, 유동성이 크게 저하되는 것으로 나타났다. 이에 비해 플라이애시와 실리카폼을 조합사용한 그라우트는 유동성이 양호하고, 블리딩과 수축 저감에도 효과적으로 나타났다. 구체적으로 유동성 측면에서 플라이애시 20%와 고로슬래그 15%의 조합사용, 블리딩과 수축 저감 측면에서 고로슬래그 30%와 실리카폼을 10% 조합사용한 경우가 가장 유리한 것으로 나타났다.
3. 이상과 같이 광물질 혼화재가 그라우트의 특성에 미치는 영향을 검토한 결과, 유하시간과 플로우, 블리딩과 체적변화에 미치는 영향이 다른 것으로 분석되었다. 따라서 그라우트에 광물질 혼화재를 사용하기 위해서는 이런 영향을 고려하여 설정할 필요가 있는 것으로 분석되었다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업 “PSC 교량의 공극제로 그라우팅 기술 개발” 지원에 의해 수행되었습니다.

References

AASHTO (2010). LRFD Bridge Construction Specifications,

3rd Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials.

Aitcin, P., Ballivy, G., and Parizeau, R. (1984). The use of condensed silica fume in grouts, Innovative Cement Grouting, SP-83, J. P. Welsh, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1-18.

Aoki, C., Taniguchi T., Tsuji, Y., and Ikeda, M. (2006). Fresh behaviors and strength of PC grout with variable replacement ratios of slag powder, Proceedings of the Japan Concrete Institute, **28(1)**, 179-184 [in Japanese].

BS EN 445 (2007). Grout for Prestressing Tendons-Test Method, British Standards Institution, BSI, London.

Diederichs, U., and Schutt, K. (1996). Silica fume modified grouts for corrosion protection of post-tensioning tendons,” Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete, Proceedings of the Third International Conference, Trondheim, Norway, SP-114, V. M. Malhotra, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1173-1195.

FDOT (2001). Mid-Bay bridge post-tensioning evaluation. Final Report, Corven Engineering, Inc., Florida Department of Transportation, Tallahassee, FL, USA.

FIB (2002). Grouting of tendons in prestressed concrete, International Federation for Structural Concrete, FIB bulletin 20.

Fujimoto, K., Tsuji, Y., Ikeda M., and Taniguti, T. (2004). Fresh and strength behaviors for PC using blast furnace slag powder, Proceedings of the Japan Concrete Institute, **26(1)**, 129-134 [in Japanese].

Korea Institute of Construction Technology(KICT) (2013). Development of void zero grouting technologies for prestressed concrete bridges, KICT 2013-219.

Lee, H.H., and Kwon, S.J. (2013). Evaluation of Chloride Penetration in Concrete with Ground Granulated Blast Furnace Slag considering Fineness and Replacement Ratio, Journal of the Korean Recycled Construction Resource Institute, **1(1)**, 26-34.

Lee, J.K., Choi, J.H., Yoon, J.S., and Cho, I.S. (2010). Study on material segregation of grout and filling characteristics of grouting for post-tensioned concrete beam, Journal

- of the Korea Concrete Institute, **22(3)**, 419–426.
- Mirza V., Saleh K., Roy V., and Mirza M.S. (1997). Use of high volume fly ash in grouting applications. In: Proceedings of 3rd CANMET/ACI international conference on high-performance concrete: design and materials and recent advances in concrete technology, SP-172, 281–298.
- Post-Tensioning Institute(PTI) (2013). Specification for grouting of post-tensioned structures, 3rd edition, PTI M55.1–12.
- Ranish, E. H., Rostasy, F. S., and Herschelmann, F. (1996). Properties of cement grouts with silica fume addition for the injection of post-tensioning ducts, Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete, Proceedings of the Third International Conference, Trondheim, Norway, SP-114, V. M. Malhotra, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich. 1159–1171.
- Ryu, G.S., Koh, K.T., and Lee, J.H. (2013). Strength Development and Durability of Geopolymer Mortar Using the Combined Fly ash and Blast-Furnace Slag, Journal of the Korean Recycled Construction Resource Institute, **1(1)**, 35–41.
- Schokker, A.J., Breen, J.E., and Kreger, M.H. (2001). Grouts for bonded post-tensioning in corrosive environments, ACI Materials Journal, **98(4)**, 296–305.
- Schokker, A.J. (1999). Improving Corrosion Resistance of Post-Tensioned Substructures Emphasizing High Performance Grouts, Doctor of Philosophy, The University of Texas at Austin.
- Sonebi, M. (2010). Optimization of cement grouts containing silica Fume and viscosity modifying admixture, ASCE Materials Journal in Civil Engineering, **22(4)**, 332–342.
- Trejo, D., Hueste, M. B. D., Gardoni, P., and Pillai, R. G. (2009). Effect of voids in grouted, post-tensioned concrete bridge construction, FHWA/TX-09/0-4588-1.
- TRRL (1987). Seventh Report of the Committee for the two years ending July 1987. EA/88/4, Standing Committee on Structural Safety, Transport and Road Research Laboratory, UK.
- Yamaguchi, H., Lee, H., and Tsuji, Y. (2009). Manufacture of PC grout reduced chloride ion by the combination of blast furnace slag, Proceedings of the Japan Concrete Institute, **31(1)**, 769–774.

광물질 혼화재가 PSC 교량용 그라우트의 특성에 미치는 영향

본 연구에서는 PSC 교량용 고품질 그라우트를 개발하기 위한 기초 자료로 활용하기 위해 그라우트의 결합재로 광물질 혼화재의 종류, 치환율 및 사용방법이 유동성, 블리딩률, 체적변화 및 압축강도에 미치는 영향에 대해 검토하였다. 광물질 혼화재 종류와 치환율에 대해 검토한 결과, 플라이애시는 유동성을 향상시키나, 블리딩과 수축 저감에 효과가 거의 없는 것으로 나타났다. 이와 반대로 고로슬래그와 실리카퓌름은 유동성을 저하시키나 블리딩과 수축 저감에 효과가 큰 것으로 나타났다. 광물질 혼화재를 조합사용한 경우에 대해 검토한 결과, 플라이애시와 고로슬래그를 조합사용한 경우 유동성은 양호하나, 블리딩과 수축이 크게 증가하고, 고로슬래그와 실리카퓌름을 조합사용한 경우에는 블리딩과 수축이 감소하나, 유동성이 크게 저하되는 것으로 나타났다. 이에 비해 플라이애시와 실리카퓌름을 조합사용한 그라우트는 유동성이 양호하고, 블리딩과 수축 저감에도 효과적으로 나타났다. 이상의 결과로부터 광물질 혼화재의 종류, 치환율 및 사용방법에 따라 그라우트의 유동성, 블리딩과 체적변화에 미치는 영향이 다른 것으로 분석되었다. 따라서 PSC용 그라우트에 광물질 혼화재를 사용하기 위해서는 이런 영향을 고려하여 선정할 필요가 있는 것으로 판단된다.