

혼화재료에 따른 지오폴리머의 강도 및 건조수축

양주경^{1*}, 김효정²

Strength and Shrinkage of Geopolymer Mortar with Mineral Admixtures

Joo-Kyoung Yang^{1*}, Hyo-Jung Kim²

Abstract: Slump flow, compressive strength, flexural strength and drying shrinkage were measured to evaluate workability and mechanical performance of geopolymer. Experimental parameters include the addition of gypsum, blending ratio of blast furnace slag and fly ash and addition of shrinkage reducing agent. Geopolymer using blast furnace slag mixed with gypsum showed larger slump flow than blast furnace slag without gypsum. The slump flow when blending ratio of blast furnace slag and fly ash is 5:5 tended to be larger than the slump flow when blending ratio is 8:2. Geopolymer using blast furnace slag without gypsum showed higher compressive strength and flexural strength than blast furnace slag mixed with gypsum. Compressive strength and flexural strength tended to be higher when blending ratio of blast furnace slag and fly ash was 8:2 than when blending ratio was 5:5. Drying shrinkage decreased with increasing fly ash and blast furnace slag without gypsum, and it was found that shrinkage reducing agent is effective to reduce drying shrinkage of geopolymer.

Keywords: Geopolymer, Compressive strength, Flexural strength, Shrinkage

1. 서론

경제적인 성장과 더불어 많은 토목 및 건축 구조물의 건설이 진행되고 있다. 건설의 주재료인 시멘트의 사용으로 인하여 이산화탄소가 다량 방출되어 지구온난화와 같은 심각한 환경문제를 일으키고 있다. 또한, 천연자원이 고갈되고 있으며 에너지를 과소비하는 경향이 증가하고 있다. 따라서 시멘트를 이용하는 건설 분야에서는 지구온난화를 감소시키고, 천연자원을 보전하며 에너지를 절약하기 위하여 산업부산물의 재활용 기술에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며 일부 실용화가 이루어진 상태이다. 건설에 이용되는 산업부산물 재료로서 고로슬래그와 플라이애시 등이 있으며, 이들을 사용하면 작업성 개선, 단위수량 감소, 수화열 저감 및 장기강도가 증진되지만 대부분의 연구에서는 보통포틀랜드시멘트의 일부를 치환하여 사용하고 있다.

고로슬래그는 선철을 제조하는 제철소 내의 고로 공정에서 발생하는 부산물이다. 잠재수경성을 지니므로 자체적으로 수화반응을 일으켜 포틀랜드시멘트와 혼합하여 사용할 때 수산

화칼슘(Ca(OH)₂)이나 황산염의 작용에 의해 경화가 촉진되고, 장기강도의 증진, 수화열 발열 속도의 저감 등의 효과를 얻을 수 있어 우수한 품질의 제품을 얻을 수 있다(Kwon 2013). 고로슬래그는 화학성분 및 분말도에 따라 종류를 나눌 수 있으며, 석고류가 첨가된 고로슬래그 분말은 석고류가 첨가되지 않은 고로슬래그보다 CaO 함유량이 많고, 겔보기상 고로슬래그 염기도가 커진다. 일반적으로 염기도가 높을수록 콘크리트의 강도는 향상되는 것으로 알려져 있다(Lim 2018). 석고는 보통포틀랜드시멘트를 분쇄할 때 응결조절 용도로 혼합하여 사용하며, 고로슬래그를 건조하여 분쇄할 때 석고를 첨가하게 된다. 고로슬래그계 시멘트의 낮은 초기강도를 보완하기 위한 수단으로, 분말도를 상향 조정하거나 용해속도가 낮은 무수석고를 첨가하여 사용하기도 한다. 동일한 배합이라 하더라도 고로슬래그와 석고의 생산지별 차이 등에 따라 각기 다른 물성의 차이를 보이기도 한다(Yong et al. 2010).

플라이애시는 화력발전소에서 석탄 연소에 의해 발생하는 부산물로, 미분화된 물질이며 형상이 구형이고 표면이 매끄러운 입자이나 일부 불규칙적으로 존재한다. 형상이 구형이기 때문에 시멘트페이스트의 유동성을 증가시키고, 단위수량을 저감시킬 수 있다. 포졸란 활성반응은 시멘트 수화반응에 비해 발생하는 열이 매우 적어 수화열 저감에 매우 효과적이다(Park 2008).

최근 결합재로 시멘트를 전혀 사용하지 않고, 산업부산물인 고로슬래그와 플라이애시를 결합재로 사용하는 지오폴리

¹정회원, 청운대학교 토목환경공학과 교수, 교신저자

²정회원, 제이엔티아이엔씨

*Corresponding author: jkyang@chungwoon.ac.kr

Department of Civil & Environmental Engineering, Chungwoon University, Incheon, 22100, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2019년 2월 1일까지 학회로 보내주시면 2019년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

머(Geopolymer)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 지오폴리머는 무시멘트 결합재로 불리며, 알루미늄과 실리카 성분이 풍부한 고로슬래그와 플라이애시가 액상상태의 금속알칼리에 의해 활성화 반응을 일으켜 경화한다(Kim and Yang 2017). 고로슬래그와 플라이애시는 자체적인 수경성이 없고 시멘트의 수화생성물인 수산화칼슘과 같은 알칼리 물질의 자극에 의해 서서히 반응을 하는 잠재수경성이 있는 것으로 알려져 있다. 지오폴리머를 자극할 수 있는 알칼리활성화제 종류로는 그 화학적 구성요소에 따라 나뉠 수 있으며, 콘크리트의 강도 발현 및 경제성을 고려하여 일반적으로 수산화나트륨(NaOH), 탄산나트륨(Na_2CO_3), 규산나트륨($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$) 및 황산나트륨(Na_2SO_4)을 사용한다(Song et al. 2017). 지오폴리머는 시멘트보다 저렴하므로 경제적인 건설재료이며, 고로슬래그와 플라이애시의 화학적 상호의존 효과로 화학저항성과 내구성에 유리한 특성을 지닌다.

지오폴리머와 같이 알칼리활성 결합재를 이용한 모르타르 및 콘크리트의 건조수축은 원재료의 화학적 조성, 활성화제의 종류 및 첨가량, 물-결합제비, 양생온도 및 습도 등에 의해 영향을 받는다. 이에 따라 알칼리활성 결합재를 이용한 모르타르 및 콘크리트의 건조수축 특성에 대해서는 아직까지 논란이 많다(Lee et al. 2001). 본 연구에서는 고로슬래그 분쇄시 석고의 혼입여부, 고로슬래그와 플라이애시의 혼합비율과 건조수축을 줄이기 위해 사용한 수축저감제의 첨가 여부에 따른 지오폴리머의 건조수축 변화를 평가하고자 하였다. 또한, 굳지 않은 상태의 슬럼프플로우를 측정하여 작업성을 파악하고, 굳은 상태의 압축강도와 휨강도를 측정하여 강도특성을 비교·분석하였다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구에서는 지오폴리머의 결합재인 고로슬래그를 분쇄할 때 석고의 혼입 여부, 고로슬래그와 플라이애시의 혼합비율과 수축저감제 첨가 여부를 변수로 하여 실험을 계획하였다. 굳지 않은 상태에서는 슬럼프플로우를 측정하여 작업성을 파악하고자 하였으며, 굳은 상태에서는 압축강도 및 휨강도를 측정하여 역학적 성능을 파악하고자 하였다. 또한 건조수축에 의한 길이변화량을 측정하여 실험변수에 따른 건조수축의 변화를 파악하고자 하였다.

2.2 사용재료

2.2.1 고로슬래그

본 연구에 사용된 고로슬래그는 분쇄시 석고를 혼입한

A-type과 석고를 혼입하지 않고 분쇄한 B-type의 고로슬래그이다. 단위중량은 2.9 g/cm^3 , 분말도는 $4200 \text{ cm}^2/\text{g}$ 의 값을 가지며 3종 고로슬래그이다.

2.2.2 플라이애시

플라이애시로는 단위중량 2.2 g/cm^3 , 분말도 $3300 \text{ cm}^2/\text{g}$ 인 국내 Y사의 2종 플라이애시를 사용하였다.

2.2.3 규사

사용한 규사는 파쇄 가공을 하지 않았으며, SiO_2 함량이 70% 이상이고 점토분이 2% 미만인 18~30 매쉬(0.7~1.2 mm)의 천연규사로 흔히 쓰이는 샌딩사를 사용하였다.

2.2.4 알칼리활성화제

지오폴리머 결합재의 잠재수경성 활성화를 위해 사용한 알칼리활성화제는 수산화나트륨(NaOH, 순도 98%) 12 M 농도로 하여, 공업용 규산나트륨 ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 37.8%)과 중량비로 희석하여 사용하였다.

2.2.5 혼화제

지오폴리머의 건조수축을 저감시키기 위하여 글로클즈계 액상 수축저감제를 사용하였다.

2.3 실험 방법

2.3.1 실험 방법

굳지 않은 상태의 슬럼프플로우 측정은 KS L 5111을 준용하였으며, Fig. 1은 슬럼프플로우를 측정하는 모습을 보여준다. 모르타르 압축강도는 KS L 5105(시멘트모르타르의 압축강도시험)에 따라 한 변이 50.8 mm인 입방체를 제작하여 측정하였다. 휨강도 측정을 위해 KS F 2477에 준하여 $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ 공시체를 제작하였으며 KS F 2408에 따라 측정하였다(Fig. 2 참조). 시험체는 20°C 에서 양생하였으며, 제령 3, 14, 28일에 강도를 측정하였다.

건조수축은 Fig. 3과 같이 버니어캘리퍼스를 이용하여 KS F 2424에 준하여 14일간 측정하여 구하였다.



Fig. 1 Slump flow measurement

Table 1 Mix proportions

Mix No.	W/B (%)	Unit weight (kg/m ³)			Sand	Alkali	SR
		Binder					
		B-A	B-B	FA			
A1	25	294	-	74	616	30	-
A2	25	184	-	184	616	30	-
A3	25	294	-	74	616	30	1.5
A4	25	184	-	184	616	30	1.5
B5	25	-	294	74	616	30	-
B6	25	-	184	184	616	30	-
B7	25	-	294	74	616	30	1.5
B8	25	-	184	184	616	30	1.5

Note) B-A : Blast furnace slag with Gypsum type
 B-B : Blast furnace slag with Non-Gypsum type
 FA : Fly ash
 Alkali : Alkali activation agent
 SR : Shrinkage reducing agent



Fig. 2 Flexural strength measurement



Fig. 3 Shrinkage measurement

2.3.2 실험 배합

실험 배합표는 Table 1과 같다. 물-결합재비는 모든 배합에 동일하게 25 %를 적용하였다. 분쇄시 석고를 혼입한 고로슬래그의 배합을 A1~A4로 표현하였으며, 석고를 혼입하지 않은 고로슬래그 배합은 B5~B8로 표현하였다. A1, A3, B5, B7 배합은 고로슬래그와 플라이애시의 혼합비율이 8:2이고, A2, A4, B6, B8 배합은 고로슬래그와 플라이애시의 혼합비율이 5:5인 경우이다. 또한 A3, A4 배합과 B7, B8 배합에서는 수축저감제를 결합재 대비 1.5 %를 첨가하였다. 지오폴리머 결합재의 잠재수경성 활성화를 위해 사용한 알칼리활성화제는 결합재 대비 30 %를 사용하였다.

배합의 비빔은 KSL 5109에 따라 약 5 리터 전동식 혼합기를 사용하였다. 먼저 혼합수와 액상 혼화제를 용기 안에 넣고 결합재를 혼입하여 저속으로 15초간 혼합한 후 모래를 넣고 15초간 비빔하였다. 그리고 혼합기를 정지하여 15초간 용기에 묻은 페이스트를 전부 긁어모아 중속으로 60초간 다시 혼합하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 분쇄시 석고를 혼입한 고로슬래그

분쇄할 때 석고를 혼입한 고로슬래그를 사용한 배합 A1~A4의 슬럼프플로우는 Fig. 4와 같다. 수축저감제 혼입 여부에 관계 없이 고로슬래그와 플라이애시의 혼합비율이 8:2인 경우(A1, A3)보다 5:5인 경우(A2, A4)의 슬럼프플로우가 큰 것을 알 수 있다. 이는 플라이애시의 형상이 구형의 미립자로 이루어져 있어 구형의 미립자가 결합재 간의 엉킴을 방지하는 볼베어링과 같은 역할을 하여 작업성(workability)을 개선하기 때문인 것으로 여겨진다(Hwang 2011). 따라서 고로슬래그와 플라이애시 혼합시, 플라이애시 치환양이 많아질수록 슬럼프플로우가 증가하는 것을 알 수 있다.

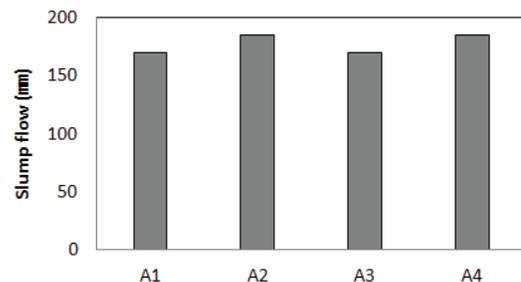


Fig. 4 Slump flow with gypsum

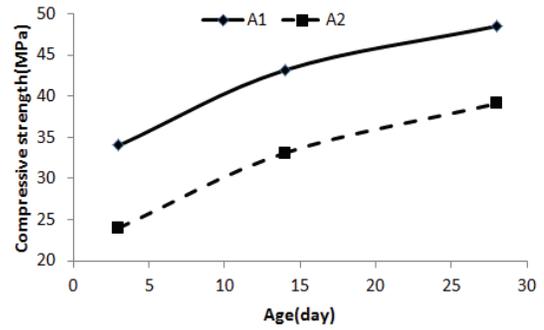
Fig. 5에 고로슬래그와 플라이애시의 혼합비율에 따른 지오폴리머의 압축강도 변화를 나타내었다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 수축저감제의 첨가 여부에 관계 없이 고로슬래그와 플라이애시의 혼합비율이 8:2인 경우의 압축강도가 혼합비율

이 5:5인 경우보다 큰 것을 알 수 있다. 일반적으로 플라이애시는 콘크리트의 유동성을 확보하기 위해 많이 사용하는데, 알칼리성을 낮추는 효과가 있기 때문에 초기강도발현을 저하시키는 원인이 된다. 하지만 플라이애시의 포졸란 활성반응으로 인하여 장기강도는 증가하게 된다. 따라서 플라이애시의 치환양이 많을수록 초기강도는 저하되지만 장기강도는 증가하게 된다. 고온양생을 하면 내부의 수분이 감소하고 pH 상승으로 플라이애시가 활성화하여 강도가 커지는 것으로 알려져 있다(Koh et al. 2012). 하지만 본 연구에서는 20°C에서 양생하였기 때문에 플라이애시 치환양이 커질수록 압축강도가 작아지는 경향을 보였다.

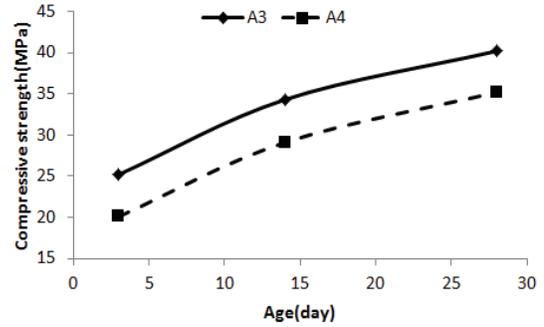
Fig. 6에 수축저감제 첨가 여부에 따른 압축강도의 변화를 나타내었다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 고로슬래그와 플라이애시의 혼합비율에 관계 없이 수축저감제를 첨가하면 압축강도가 저하되는 것을 알 수 있다. 수축저감제를 혼합하면 압축강도가 저하되는 것으로 보아, 수축저감제가 지오폴리머 압축강도 발현에 부정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Fig. 7과 Fig. 8은 각각 고로슬래그와 플라이애시의 혼합비율과 수축저감제 첨가 여부에 따른 지오폴리머의 휨강도의 변화를 나타낸다. Fig. 7과 Fig. 8에서 보는 바와 같이 압축강도에서 나타나는 경향이 휨강도에서도 비슷하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

Fig. 9는 지오폴리머의 건조수축 변화를 보여준다. 결합비율이 8:2인 A1, A3 배합보다 5:5인 A2, A4 배합의 건조수축이 작았다. 지오폴리머의 반응 메커니즘은 재령 초기에 고로슬래그의 미분말의 수화반응이 강도발현을 주도하고, 재령이 증가하면 중합반응을 구성함으로써 플라이애시가 강도발현을 좌우하는 것으로 알려져 있다. 플라이애시를 단독으로 사용하고 상온에서 양생하면 초기에 강도 발현이 작아 플라이애시 사용량이 많을수록 초기강도는 작다(Koh et al. 2013). 따라서, 고로슬래그와 플라이애시의 혼합비율이 5:5인 경우가 8:2인 경우보다 강도는 작으며 건조수축도 작게 나타난다. 이는 8:2 비율의 경우가 상온에서 고로슬래그 사용량이 많아 응결이 촉진되어 강도 발현에 효과적이지만 건조수축은 증가되는 것으로 판단된다. 일반적으로 지오폴리머는 알칼리활성화제로 인한 표면 활성효과로 보통 시멘트 배합에 비해 낮은 물-결합재비를 이용하기 때문에, 알칼리활성화제의 종류와 양에 큰 영향을 받을 뿐만 아니라 급결현상이 나타나는 단점이 있다. 이로 인해 고로슬래그는 알칼리활성화제에 의해 상온에서도 양생이 가능하고 초기 수화반응이 빠르게 나타나므로 고로슬래그 치환양이 많을수록 건조수축은 커질 것으로 판단된다.

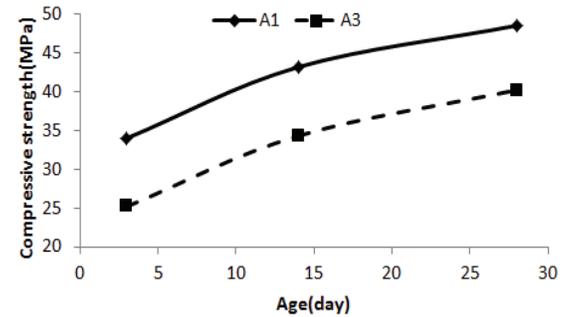


(a) without shrinkage reducing agent

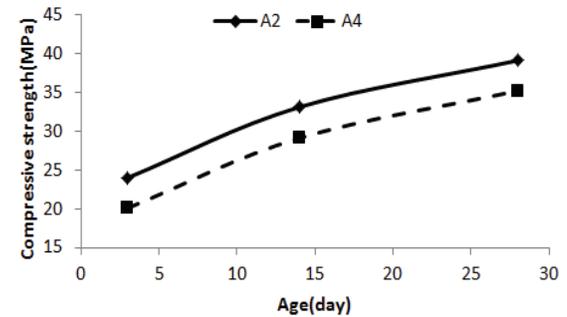


(b) with shrinkage reducing agent

Fig. 5 Compressive strength with binder ratio

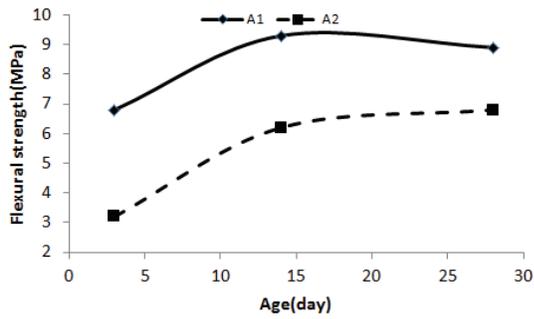


(a) Binder ratio 8:2

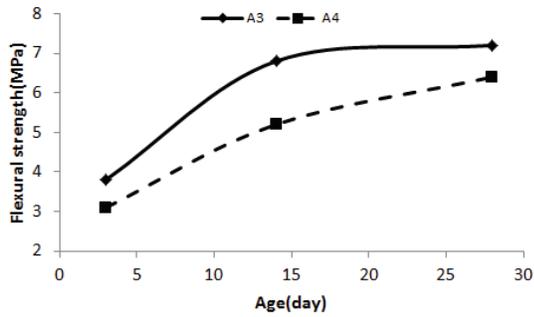


(b) Binder ratio 5:5

Fig. 6 Compressive strength with shrinkage reducing agent

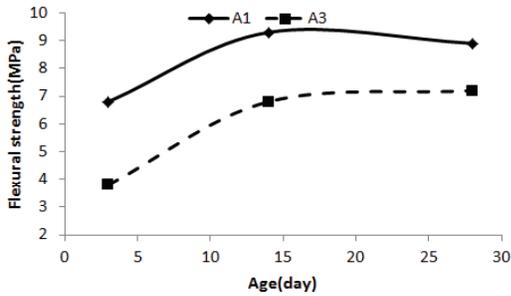


(a) without shrinkage reducing agent

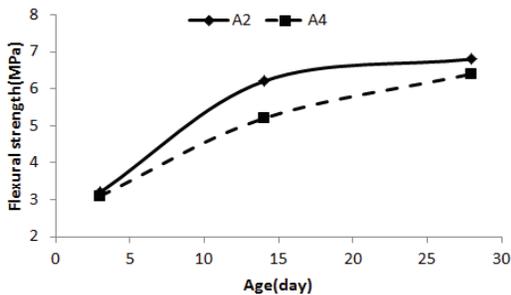


(b) with shrinkage reducing agent

Fig. 7 Flexural strength with binder ratio



(a) Binder ratio 8:2



(b) Binder ratio 5:5

Fig. 8 Flexural strength with shrinkage reducing agent

Fig. 9에서 보는 바와 같이 수축저감제를 혼입한 A3, A4의 경우가 수축저감제를 혼입하지 않은 A1, A2보다 건조수축이 적어, 수축저감제 혼입이 건조수축의 감소에 효과적임을 알

수 있었다. 수축저감제는 보통 시멘트페이스트에서 작용하는 간극수의 표면장력을 저감시켜 수축을 저감시키는데 효과적인 혼화제로 알려져 있다.

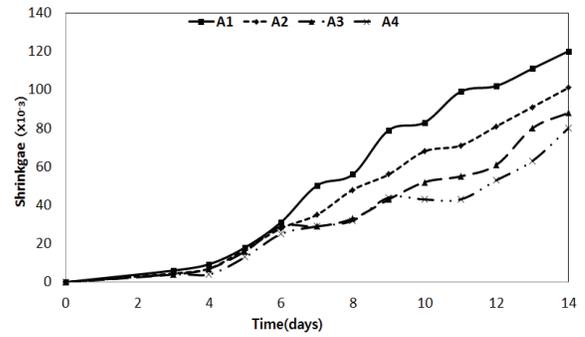


Fig. 9 Shrinkage with gypsum

3.2 석고를 혼입하지 않은 고로슬래그

석고를 혼입하지 않은 고로슬래그를 사용한 지오폐리머 (B5~B8)의 슬럼프플로우는 Fig. 10과 같다. 석고를 혼입한 고로슬래그를 사용한 지오폐리머(A1~A8) 결과와 같이 수축저감제 혼입 여부에 관계 없이 고로슬래그와 플라이애시의 혼합비율이 5:5인 경우(B6, B8)가 8:2(B5, B7)인 경우보다 슬럼프플로우가 커지는 경향을 보였다.

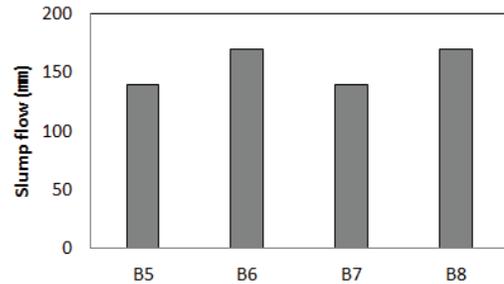


Fig. 10 Slump flow without gypsum

Fig. 11에 석고를 혼입하지 않은 경우의 압축강도의 변화를 나타내었다. 석고를 혼입한 경우에서와 마찬가지로 수축저감제의 첨가 여부에 관계 없이 고로슬래그와 플라이애시의 혼합비율이 8:2인 경우의 압축강도가 혼합비율이 5:5인 경우보다 큰 것을 알 수 있다. 그리고 석고를 혼입한 경우에서와 마찬가지로 수축저감제를 첨가하면 압축강도가 저하되는 것을 알 수 있다.

Fig. 12는 석고를 혼입하지 않은 경우의 휨강도의 변화를 보여주는데, 휨강도도 압축강도에서 나타나는 경향과 비슷한 양상을 나타내고 있음을 알 수 있다.

Fig. 13은 석고를 혼입하지 않은 경우의 건조수축을 나타낸다. 석고를 혼입한 경우에서 마찬가지로 혼합비율이 8:2인

B5, B7 배합보다 5:5인 B6, B8 배합의 건조수축이 작다. 또한 수축저감제를 혼입한 B7, B8의 경우가 수축저감제를 혼입하지 않은 B5, B6보다 건조수축이 적어, 수축저감제 혼입이 건조수축의 감소에 효과적임을 알 수 있다.

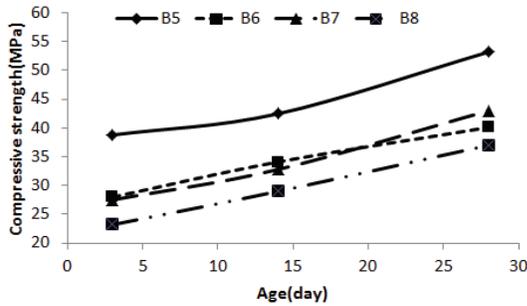


Fig. 11 Compressive strength without gypsum

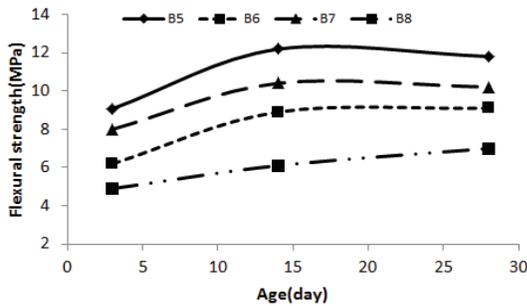


Fig. 12 Flexural strength without gypsum

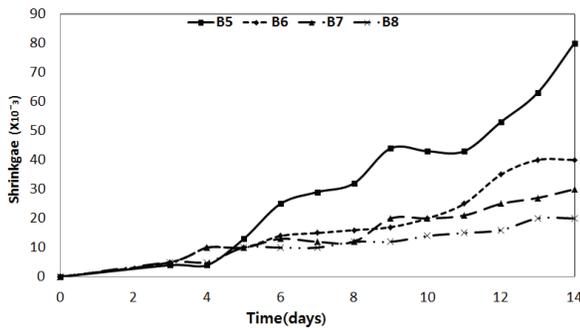


Fig. 13 Shrinkage without gypsum

3.3 석고 혼입 여부에 따른 비교

석고를 혼입한 경우와 혼입하지 않은 경우의 슬럼프플로우 비교는 Fig. 14와 같다. 석고를 혼입한 경우의 슬럼프플로우가 석고를 혼입하지 않은 경우에 비해 큰 값을 보였다. Hahm and Kim (2012)의 연구에 따르면, 알칼리활성화제 농도와 관계없이 석고 혼합물이 증가할수록 유동성이 증가하는 경향이 있다. 하지만 이러한 경향은 석고의 혼합비율, 고로슬래그의 성분, 알칼리활성화제의 종류 및 농도 등에 따라 다양하게 영향을 받기도 한다.

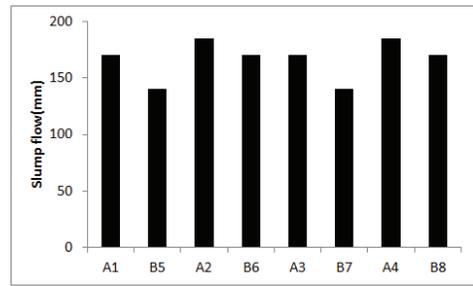
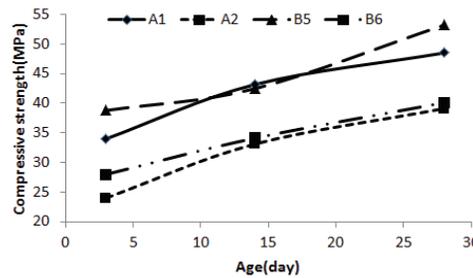
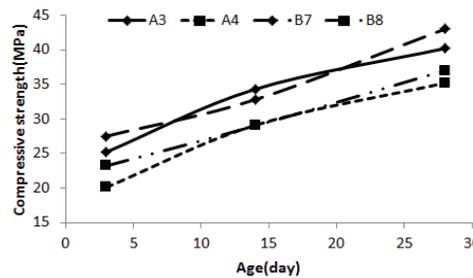


Fig. 14 Comparison of Slump flow



(a) without shrinkage reducing agent



(b) with shrinkage reducing agent

Fig. 15 Comparison of compressive strength with binder ratio

압축강도와 휨강도의 비교는 각각 Fig. 15 ~ Fig. 16과 Fig. 17 ~ Fig. 18과 같다. 알칼리활성화제인 수산화나트륨(NaOH)이 고로슬래그 미분말과 석고 혼합물의 수화반응을 촉진시켜 에트링가이트($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 32H_2O$)를 생성시키고(Hahm and Kim 2012), 고로슬래그와 플라이애시는 잠재수경성으로 물과 직접적으로 반응하지 않고 알칼리활성화제와 수화반응을 하며, Si-O-Al-O 결합체의 폴리머화 과정을 연속적으로 가지게 되며 강도발현을 한다. 따라서 석고를 혼입하면 지오폴리머의 압축강도와 휨강도가 증가하는 것으로 알려져 있다. 그러나 본 연구에서의 실험결과, 석고를 혼입한 경우보다 석고를 혼입하지 경우의 압축강도와 휨강도가 모두 크게 나타났다. Hahm and Kim(2012)의 연구에서는 석고를 혼입할 경우, 초기 고로슬래그의 활성화 반응에 영향을 주어 응결축진과 강도발현에 효과적이지만, 일정 석고 혼입률 이상이 되면 압축강도가 저하될 수 있으며, 알칼리활성화제의 농도 등에 따라 그 강도발현의 정도는 달라질 수 있음을 언급하

였다. 본 연구에서는 알칼리활성화제인 수산화나트륨의 농도가 12 M로 높으며, 높은 농도에 인하여 고로슬래그 미분말과 석고 혼합물의 수화반응이 증가되어 과도한 응결축진의 의해 압축강도와 휨강도가 저하된 것으로 판단된다.

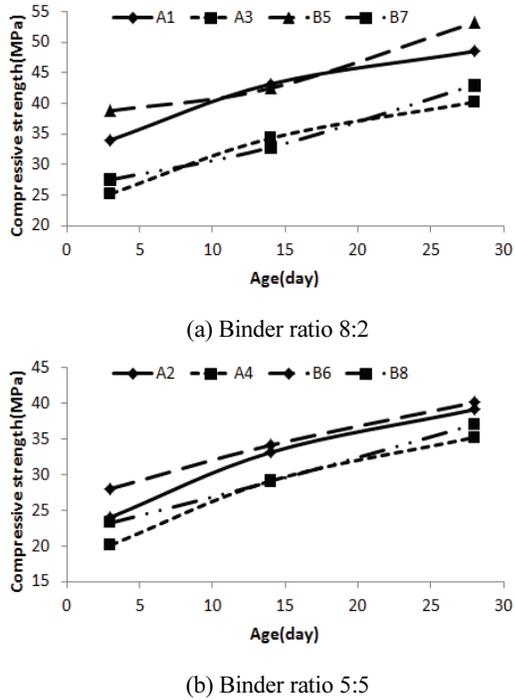


Fig. 16 Comparison of compressive strength with shrinkage reducing agent

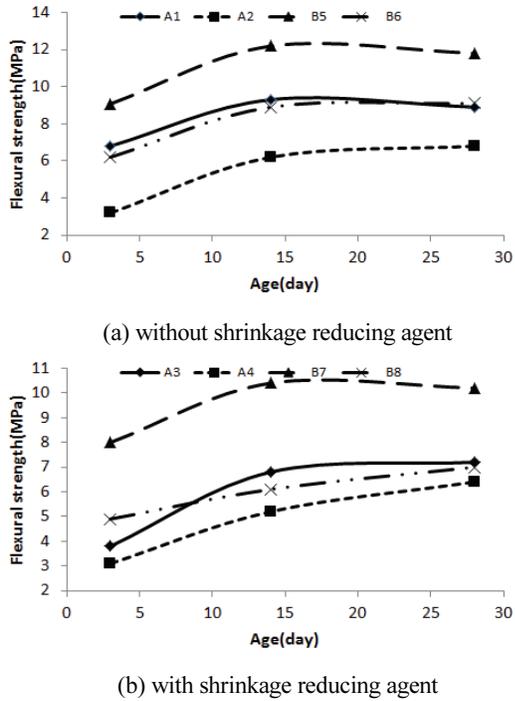


Fig. 17 Comparison of flexural strength with binder ratio

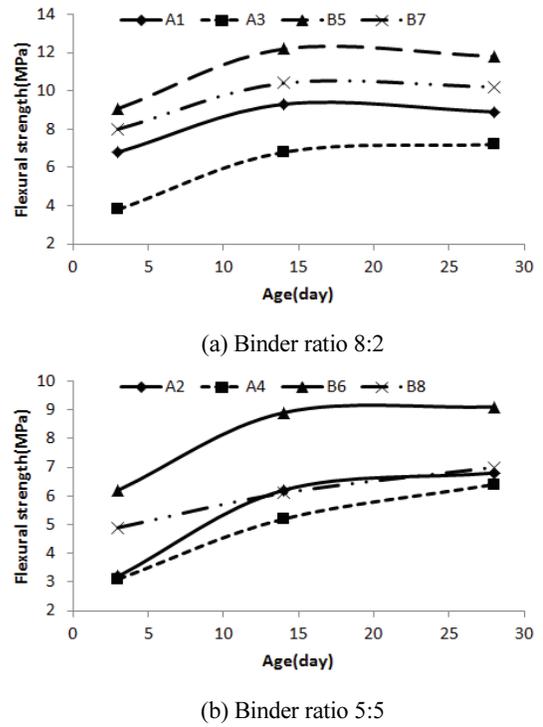


Fig. 18 Comparison of flexural strength with shrinkage reducing agent

Fig. 19와 Fig. 20은 석고의 혼입여부에 따른 건조수축의 변화를 보여준다. 석고를 혼입하지 않은 경우가 혼입한 경우보다 건조수축이 작게 발생함을 알 수 있다.

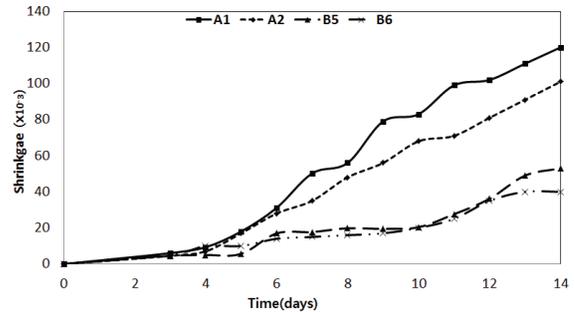


Fig. 19 Comparison of shrinkage without shrinkage reducing agent

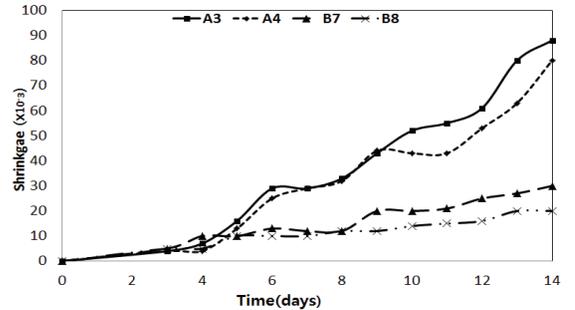


Fig. 20 Comparison of shrinkage with shrinkage reducing agent

4. 결 론

- 1) 석고를 혼입한 고로슬래그는 혼입하지 않은 고로슬래그에 비해 슬럼프플로우가 커지는 경향을 보여 석고가 지오폴리머의 작업성을 높여주는 것으로 나타났다. 또한, 석고 혼입과 수축저감제 사용 여부에 관계 없이 고로슬래그와 플라이애시의 혼합비율이 5:5인 경우가 혼합비율이 8:2인 경우보다 슬럼프플로우가 커지는 경향을 보여 플라이애시가 지오폴리머의 작업성을 높여주는 것으로 나타났다.
- 2) 석고를 혼입하지 않은 고로슬래그를 사용한 경우는 석고를 혼입한 고로슬래그를 사용한 경우보다 압축강도와 휨강도가 모두 크게 나타났다. 또한, 석고 혼입과 수축저감제 사용 여부에 관계 없이 고로슬래그와 플라이애시의 혼합비율이 8:2인 경우가 혼합비율이 5:5인 경우보다 압축강도와 휨강도가 커지는 경향을 보였다.
- 3) 석고를 혼입하지 않은 고로슬래그를 사용하면 석고를 혼입한 고로슬래그를 사용한 경우보다 건조수축이 감소되었다. 고로슬래그와 플라이애시의 혼합비율이 5:5인 경우가 8:2인 경우보다 건조수축이 작았다. 또한, 수축저감제를 사용하면, 석고의 혼입 여부와 고로슬래그와 플라이애시의 혼합비율에 관계 없이 건조수축이 줄어들어 건조수축 저감에 효과적임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 청운대학교 2017학년도 학술연구조성비 지원에 의해 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

References

1. Kwon, Y. H. (2013), A Study on Fundamental Properties of Alkali-activated Cement free Concrete using Industrial by-product, A master's thesis in Dong Yang University of Korea 41-48.
2. Lim, M. K. (2018), A Study on the Strength and Durability Properties of Concrete According to the Fineness of Blast Furnace Slag and Substitutional Rate of Recycled Aggregate, A master's thesis in Dankook University of Korea 12-14.

3. Yong, J., Shin, J. K., and Yoo, J. H. (2010), Investigation on the Ratio and Type of Gypsum for Early Strength Improvement of Blast Furnace Slag Powder, Magazine of RCR 5(4) 106-113.
4. Park, H. S. (2008), Rheological Properties of Portland Cement -Blast Furnace Slag - Fly Ash Blends, A master's thesis in Dankook University of Korea 5-7.
5. Kim, H. J., and Yang, J. K. (2017) Shrinkage Behavior of Geopolymer Mortar with Expansive Additive. Journal of an academic conference of Concrete society 29(2) 597-598.
6. Song, J. K., Song, K. I., and Yang, K. H. (2017), Importance and Characteristics of Geopolymer Concrete Technology, Magazine of RCR 12(1) 8-15.
7. Lee, D. W., Na, S. C., Seo, S. S., and Yoon, Y. S. (2001), Effect of Plaster on the Properties of Blast-Furnace Slag Cement, Korea Cement Association Cement Symposium 39-46.
8. Hwang, J. N. (2011), Engineering properties of fly ash based-geopolymer mortars, A master's thesis in Kunsan national University of Korea 11-19.
9. Koh, K. T., Lee, J. H., and Ryu, G. S. (2012), Development of Geopolymer Mortar Based on Fly Ash, Magazine of RCR 16(4) 119-126.
10. Koh, K. T., Lee, J. H., and Ryu, G. S. (2013), Strength Development and Durability of Geopolymer Mortar Using the Combined Fly ash and Blast-Furnace Slag, Magazine of RCR 1(1) 35-41.
11. Hahm, H. G., and Kim, T. W. (2012), Mechanical Properties of the Alkali-Activated Slag Mortar with Gypsum, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection 16(3) 109-116.
12. Koh, K. T., Lee, J. H., and Ryu, G. S. (2010), Properties of the Flowability and Strength of Cementless Alkali-Activated Mortar Using the Mixed Fly Ash and Ground Granulated Blast-Furnace Slag, Magazine of RCR 5(4) 114-121.
13. Do, Y. S., Lee, K. P., Lee, S. S., and Song, H. Y. (2009), A study on optimum mixing derivation of the environment-friendly high performance geopolymer paste, Journal of the Korea Institute of Building Construction 9(2) 107-110.
14. Kim, S. H., and Kim, Y. S. (2016), A Study on the Alkali-Silica Reaction of Binary Blended Geopolymer Mortar, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction 32(6) 43-50.
15. Koh, K. T., Ryu, G. S., Lee, J. H., Kang, H. J., and Jeon, Y. S. (2011), Flowability and Compressive Strength of Cementless Alkali-Activated Mortar Using Blast Furnace Slag, Magazine of RCR 6(1) 63-71.

Received : 07/24/2018

Revised : 12/10/2018

Accepted : 12/31/2018

요 지 : 본 연구에서는 지오폐리머 결합제인 고로슬래그를 분쇄할 때 석고의 혼입 여부, 고로슬래그와 플라이애시의 혼합비율과 수축저감제 첨가 여부를 변수로 하여 실험하였다. 실험에서는 슬럼프플로우를 측정하여 작업성을 파악하였으며, 압축강도와 휨강도 및 건조수축을 측정하여 역학적 성능을 파악하였다. 석고를 혼입한 고로슬래그는 혼입하지 않은 고로슬래그에 비해 슬럼프플로우가 커지는 경향을 보였으며, 고로슬래그와 플라이애시의 혼합비율이 5:5인 경우가 혼합비율이 8:2인 경우보다 슬럼프플로우가 커지는 경향을 보여 석고와 플라이애시가 지오폐리머의 작업성을 높여주는 것으로 나타났다. 석고를 혼입하지 않은 고로슬래그를 사용한 지오폐리머는 석고를 혼입한 고로슬래그를 사용한 경우보다 압축강도와 휨강도가 모두 크게 나타났으며, 고로슬래그와 플라이애시의 혼합비율이 8:2인 경우가 혼합비율이 5:5인 경우보다 압축강도와 휨강도가 커지는 경향을 보였다. 석고를 혼입하지 않은 고로슬래그를 사용하고 플라이애시의 혼합비율을 높일수록 건조수축은 감소되었으며 수축저감제도 지오폐리머의 건조수축 저감에 효과적임을 알 수 있었다.

핵심용어 : 지오폐리머, 압축강도, 휨강도, 건조수축
