



알칼리활성화제 치환율에 따른 무시멘트 다공성 콘크리트의 물리·역학적 특성

Physical and Mechanical Properties of Non-Cement Porous Concrete with Alkali-Activator Contents

김동현* · 김춘수** · 박찬기***†

Kim, Dong-Hyun · Kim, Chun-Soo · Park, Chan Gi

ABSTRACT

The present study is to evaluate physical and mechanical properties of porous concrete having non cement that mainly causes carbon emission. This study aims to explore eco-friendly concrete technology capable of reducing the amount of carbon emission due to the use of normal cement by substituting it with non cement porous concrete to which alkali-activator and blast-furnace slag powder are impregnated. As experimental variables, 5 %, 6 %, 7 %, 8 %, 9 % and 10 % of alkali-activator were substituted as binders and applied. Testing evaluated in this study were pH value, void ratio, compressive strength and residual compressive strength shown after being immersed in H₂SO₄ solution and Na₂SO₄ solution. The test results were compared with those tested with the use of porous concrete to which 400 kg/m³ of unit cement amount was applied as binder. In consequence, it was concluded that; as for pH value, it was decreased than was the case in which cement was used, but increased with the more the use of alkali activator; as for void ratio and compressive strength, the mix proportion in which 9 % and 10 % of alkali activator were applied in terms of substitution ratio showed the result similar to the mixture in which 400 kg/m³ of unit cement ratio was applied; and, as for residual compressive strength in the case of being immersed in H₂SO₄ solution and Na₂SO₄ solution, the compressive strength was increased, thus leading to improved chemical resistance.

Keywords: Alkali-activator; blast furnace slag; blast furnace slag; eco-friendly concrete; mechanical properties; non cement porous concrete

1. 서 론

급격한 경제 규모의 성장과 산업화의 무분별한 진행으로 환경 파괴, 지구 온난화, 자원고갈 등 다양한 문제점이 심각하게 대두되고 있다 (Cho et al., 2012a, 2012b; Chor et al., 2001). 특히 온실가스의 82 %를 차지하는 이산화탄소의 배출량 중 8%는 콘크리트 제조 분야에서 배출되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 콘크리트 제조공정에서 이산화탄소의 배출량을 줄이고 폐자원의 활용을 통한 친환경 (eco-friendly) 콘크리트를 개발할 필요가 있다 (Han, et al., 2009). 현재 국내의 시멘트 업계에서는 2015년까지 2005년 대비 이산화탄소 발생량을 5 % 감축하는 것으로 목표로 하고 있다 (Cho et al., 2012a, 2012b). 기존 연구결과에 의하면 일반적으로 1톤의 시멘트를 생산하는데

0.8톤의 이산화탄소가 발생된다 (Yang, et al., 2011). 따라서 주요 건설재료인 콘크리트의 친환경성을 향상시키기 위하여 다양한 연구가 진행되고 있으며 이와 같은 연구에서는 산업부산물인 고로슬래그 및 플라이애시를 이용하여 시멘트를 대체하여 적용하는 연구가 진행되고 있다 (Cho et al., 2012a, 2012b; Kim et al., 2009; Mun et al., 1997). 최근에는 보다 적극적인 방법으로 시멘트를 전혀 사용하지 않고, 고로슬래그 기반 알칼리 활성 콘크리트에 대한 연구가 진행되고 있다 (Cho et al., 2012a, 2012b; Yang et al., 2011). 이와 같은 연구에는 황토와 알칼리 활성화제를 적용한 무시멘트 콘크리트의 강도, 내구성 및 균열 저항성에 대한 연구가 실시되어 무시멘트 알칼리활성 콘크리트의 기존 시멘트 대체 재료로서 가능성을 평가하였다 (Cho et al., 2012a, 2012b; Yang et al., 2011; Park et al., 2001).

알칼리활성 고로슬래그 시멘트를 이용하여 친환경성을 확보하는 방법 이외에 환경복원 측면에서 생태복원에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다 (Park et al., 2000; Choi et al., 1998). 이와 같은 연구 중에 다공성 식생 콘크리트는 많은 연구결과와 생태복원재료로 많은 실용화 실적을 가지고 있다 (Kim et al., 2010; Choi et al., 1998). 콘크리트에서 식물을 재배할 경우, 식물이 자라지 못하는 이유는 콘크리트 중의 수분은 높은 알칼

* 공주대학교 일반대학원 농공학과
 ** (주)자연과환경 생태환경공학연구소
 *** 공주대학교 지역건설공학전공
 † Corresponding author Tel.: +82-41-330-1266
 Fax: +82-41-330-1269
 E-mail: cgpark@kongju.ac.kr

2013년 2월 20일 투고
 2013년 3월 5일 심사완료
 2013년 3월 19일 게재확정

리성을 나타내며, 뿌리 공간과 발아 공간이 없고 투수성 및 보수성이 낮으며, 식물에 필요한 영양분이 없기 때문이다 (Park et al., 2000; Park et al., 2002; Youn et al., 2009). 다공성 식생 콘크리트는 다공성 내부에 보수성과 영양분의 충전 기술을 도입하여 식물의 성장을 원활하게 유도한 콘크리트이다 (Sung et al., 2002, 2003). 다공성 콘크리트는 콘크리트의 강알칼리 성분을 낮추기 위하여 시멘트의 일정량을 고로슬래그로 치환하고, 잔골재를 사용하지 않고 굵은 골재를 사용하여 콘크리트의 공극을 형성시킨다 (Park et al., 2000). 지금까지의 다공성 식생콘크리트에 대한 연구결과를 살펴보면 산업부산물 사용, 폴리머 재료의 첨가 등을 통하여 식생 능력과 함께 물리·역학적 특성 및 내구성능을 극대화 할 수 있는 방향으로 진행되고 있다 (Kim et al., 2010). 그러나 다공성 식생콘크리트 역시 시멘트를 사용함으로써 강도를 확보하기 때문에 친환경 측면에서는 이산화탄소를 배출하여야 하는 문제점을 가지고 있다. 따라서 다공성 식생콘크리트의 친환경성을 보다 적극적으로 확보하기 위한 연구가 진행되어야 할 필요성이 있다. 따라서 본 연구에서는 시멘트를 사용하지 않고 알칼리활성화제와 고로슬래그 미분말을 이용한 다공성 식생콘크리트의 역학적 특성 및 내약품성을 평가하였다.

II. 사용재료 및 방법

1. 사용재료

무시멘트 결합재 생산을 위해 모재와 알칼리활성화제로서 각각 고로슬래그와 규산나트륨을 이용하였다. 사용된 고로슬래그의 주요 성분은 칼슘산, 실리콘산 및 알루미늄산으로서 실리콘산과 알루미늄산의 질량비는 2.29이다. 규산나트륨은 50.2 %의 나트륨산과 45 %의 실리콘 산으로서 몰비는 약 0.9이다. 고로슬래그의 밀도와 비표면적은 각각 2.2와 4200 cm²/g이다. 규산나트륨의 밀도는 1.2이며 최대 입경은 425 μm이다. 고로슬래그 및 규산나트륨의 화학적 조성은 Table 1과 같다. 또한 본 연구는 다공성 식생콘크리트의 공극률을 증가시키기 위하여 잔골재는 사용하지 않고 굵은골재 최대 크기 25 mm의 부순돌을 적용하였다. 굵은골재의 물리적 특성은 Table 2와 같다.

Table 1 Chemical composition of the selected source materials and alkali activator (% by mass)

Materials	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	TiO ₂	SO ₃	LOI
BFS*	31.5	13.8	0.53	44.4	5.2	0.18	1.0	2.8	0.59
Alkali activator	45	-	-	-	-	50.2	-	-	4.8

*: Blast furnace slag

Table 2 Physical properties of coarse aggregate

Maximum size (mm)	Density (g/mm ³)	Absorption (%)	F.M
25	2.65	0.35	6.92

Table 3 Mix proportion of non cement porous concrete

No. of mix	W/C (%)	Unit weight (kg/m ³)					
		C	W	BFS*	Coarseagg.**	Alkali-activator	Superplasticizer
No. 1	26	400	104	0	1794.4	0	24
No. 2		0		380		20	
No. 3		0		376		24	
No. 4		0		372		28	
No. 5		0		368		32	
No. 6		0		364		36	
No. 7		0		360		40	

*: Blast furnace slag

** : Coarse aggregate

2. 배합설계

본 연구에서는 시멘트를 사용하지 않고 알칼리 활성화제와 고로슬래그 미분말을 이용한 다공성 식생콘크리트의 역학적 특성 및 내약품성을 평가하기 위하여 알칼리활성화제를 시멘트 중량에 5, 6, 7, 8, 9 및 10 % 대체하였다. 사용된 배합비는 Table 3과 같다.

3. 실험방법

가. pH

무시멘트 알칼리활성 다공성 콘크리트의 pH를 측정하기 위하여 KSM 0011에 방법을 적용하였다. 시험은 직경 100 mm, 높이 200 mm 원주형 공시체를 제작하여 재령 28일 동안 양생한 다음 상부에서 60 ml의 증류수를 산포하여 하부에 흘러나온 증류수의 pH를 측정하였다.

나. 공극률

무시멘트 알칼리활성 다공성 콘크리트의 공극률을 측정하기 위하여 직경 100 mm, 높이 200 mm인 원주형 시험체를 일본콘크리트 공업협회 에코콘크리트 연구위원회의 포러스콘크리트의 공극률 시험방법(안)중 용적법에 준하여 실시하였으며 재령 28일 에 식 (1)을 이용하여 산출하였다.

$$P_o = 1 - \frac{W_2 - W_1}{V} \times 100 \quad (1)$$

여기서, P_0 : 콘크리트의 공극률 (%)
 W_1 : 습윤 공시체의 중량 (g)
 W_2 : 공기중 건조공시체의 중량 (g)
 V : 공시체의 체적 (m^3)

다. 압축강도

무시멘트 알칼리활성 다공성 콘크리트의 강도특성을 평가하기 위하여 KSF 2405에 따른 압축강도 시험을 실시하였다. 실험은 직경 100 mm, 높이 200 mm의 공시체를 제작한 후 24 시간 동안 20 ± 2 °C, 상대습도 약 58 %에서 초기 양생을 실시한 후에 탈형하여 20 ± 2 °C의 양생실에서 28일 수중양생을 실시한 후 측정하였다.

라. 내약품성

다공성 식생콘크리트의 내구성에 미치는 환경 중에 식물의 뿌리에서 용출되는 산과 보수성 충전물 및 오래된 뿌리의 부패에 의해 생성되는 유기산 환경에서 내구성 저하가 발생할 우려가 있다. 즉, 식물의 뿌리에서 용출되는 소량의 산환경, 보수성 충전물 및 오래된 뿌리의 부패에 의해 생성되는 유기산에 의하여 내구성이 저하될 가능성이 있다는 것이다. 그러나 현재까지 이와 같은 상황을 고려하여 내구성을 검토한 사례는 미미하다 (Park, et al., 2000). 따라서 본 연구에서는 이와 같은 특성을 평가하기 위하여 5 % H_2SO_4 용액과 4 % Na_2SO_4 용액에 침지후 무시멘트 알칼리활성 다공성 콘크리트에 미치는 영향을 평가하였다. 이를 위하여 28일간 수중양생 후 용액의 온도를 20 ± 3 °C로 50일간 유지한 후 잔류압축강도 시험을 실시하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. pH

무시멘트 알칼리활성 다공성 콘크리트의 알칼리활성화제 치환

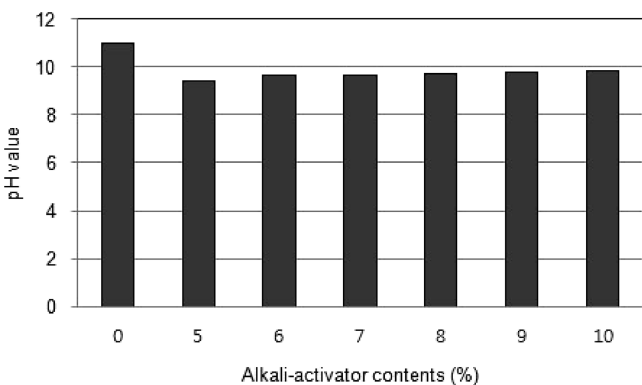


Fig. 1 pH value of alkali-activator BFS porous concrete

율에 따른 pH 시험결과는 Fig. 1과 같다. pH 시험결과는 시멘트를 $400 \text{ kg}/m^3$ 을 적용한 배합의 경우 pH가 약 11 정도의 값을 보여주었으며 시멘트를 고로슬래그 미분말과 알칼리활성화제를 대체하여 적용한 배합은 pH가 9~10 정도를 나타냈다. 또한 알칼리활성화제가 치환율이 증가하면서 pH는 약간씩 증가하는 경향을 보여주었다. 이와 같은 결과는 시멘트를 고로슬래그 미분말로 치환하면서 pH 값은 감소하였고, 알칼리활성화제의 치환율이 높아지면서 알칼리활성화제의 pH 값이 약 12~13 정도로 크기 때문에 치환율이 증가하면서 pH 값이 약간 증가하였다.

2. 공극률

알칼리활성 고로슬래그 다공성 콘크리트의 공극률시험결과는 Fig. 2와 같다. 시험결과 시멘트를 100 % 적용한 다공성 콘크리트와 비교하여 알칼리활성 고로슬래그 다공성 콘크리트는 공극률이 감소하는 결과를 보였다. 시멘트를 사용한 배합의 공극률은 약 17.9 % 이고 알칼리활성화제의 치환율이 5, 6, 7, 8, 9 및 10 %로 증가함에 따라 공극률은 각각 15.9, 15.6, 15.7, 17.4 및 18.4 %를 나타냈다. 이와 같은 결과는 고로슬래그의 첨가는 시멘트를 사용했을 때와 비교하여 볼베어링 현상 등으로 인하여 유동성이 증가하는 효과가 있다. 유동성이 증가한다는 것은 다공성 콘크리트의 제작 시 결합제의 흘러내림으로 인하여 공극을 채움으로서 공극률이 감소하는 결과를 나타낸다. 특히 진동다짐의 경우 페이스트가 흘러내려 공극을 채우는 현상이 증가하기 때문에 공극률이 감소하였다. 그러나 알칼리활성화제의 치환율이 증가할수록, 고로슬래그 양이 감소할수록 공극률은 증가하는 결과를 나타냈다. 이와 같은 결과는 고로슬래그 양이 감소하면 페이스트의 흘러내림이 감소하기 때문이다. 또한 알칼리활성화제 치환율 10 %에서 시멘트를 $400 \text{ kg}/m^3$ 을 사용하고 알칼리활성화제를 첨가하지 않은 배합과 유사하거나 약간 증가한 공극률 값을 보여주었다.

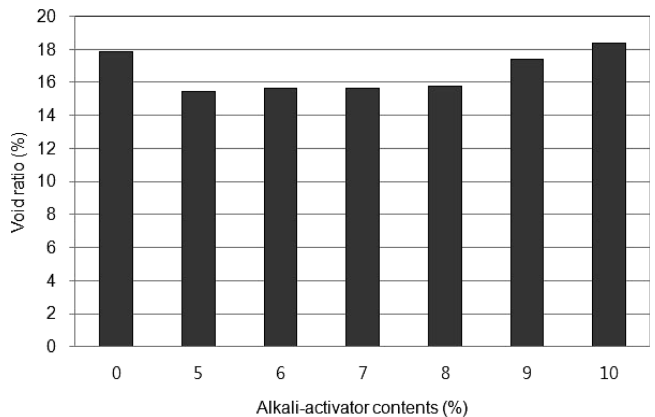


Fig. 2 Void ratio test results with alkali-activator contents

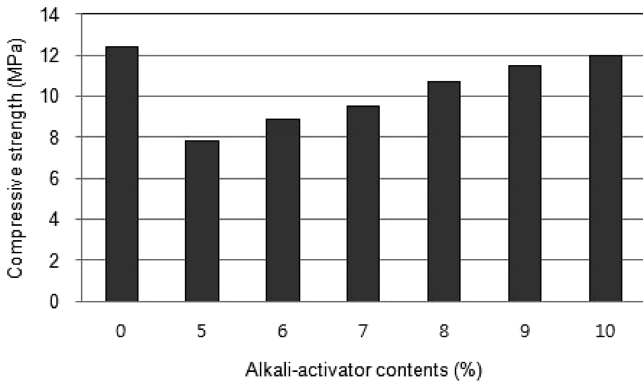


Fig. 3 Compressive strength with alkali-activator contents

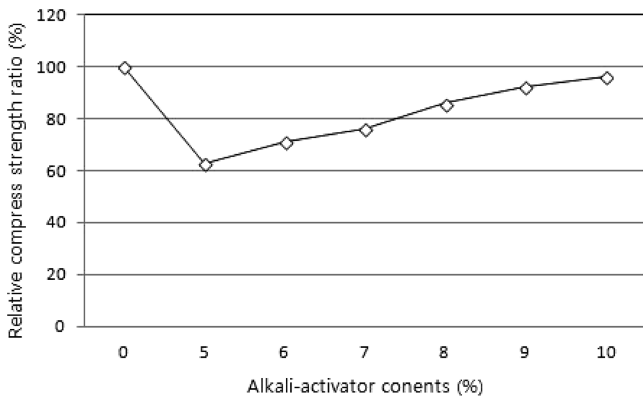


Fig. 4 Relative compressive strength ratio with alkali-activator contents

3. 압축강도

알칼리활성 고로슬래그 다공성 콘크리트의 압축강도시험을 실시하였다. 재령 28일 압축강도시험결과는 Fig. 3과 같다. 시멘트를 400 kg/m³을 적용한 다공성 콘크리트의 압축강도는 약 12.4 MPa이었다. 알칼리활성화제의 치환율이 5, 6, 7, 8, 9 및 10 %로 증가함에 따라 각각 7.80, 8.8, 9.5, 10.7, 11.5 및 11.9 MPa를 나타냈다. 즉, 알칼리활성 다공성 콘크리트의 압축강도 시험결과는 알칼리활성화제의 치환율이 증가 할수록 압축강도가 증가하는 결과를 나타냈다. 시멘트를 400 kg/m³을 적용한 배합과 비교하여 보면 알칼리활성화제 치환율이 5, 6, 7, 8, 9 및 10 %로 증가함에 따라 상대압축강도비(알칼리활성화제 치환율에 따른 압축강도/시멘트 400 kg/m³ 함량 압축강도)는 각각 62.8, 71.1, 76.3, 85.9, 92.4, 96.3 %를 나타내어 알칼리활성화제 치환율이 10 %에서 시멘트를 400 kg/m³을 사용한 배합과 거의 유사한 압축강도를 나타내었다.

4. 내약품성

알칼리활성 고로슬래그 다공성 콘크리트의 내약품성 특성을 평

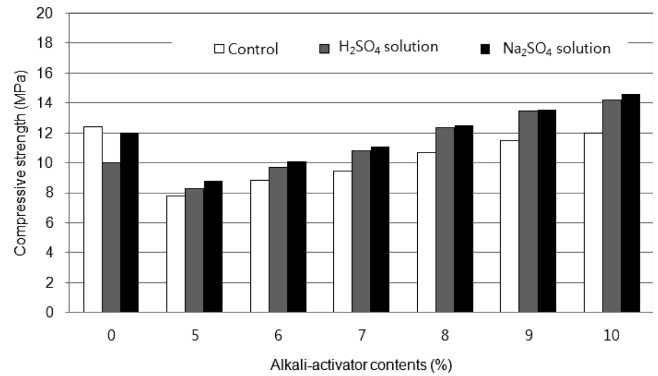


Fig. 5 Compressive strength with alkali-activator contents after chemical solution exposure

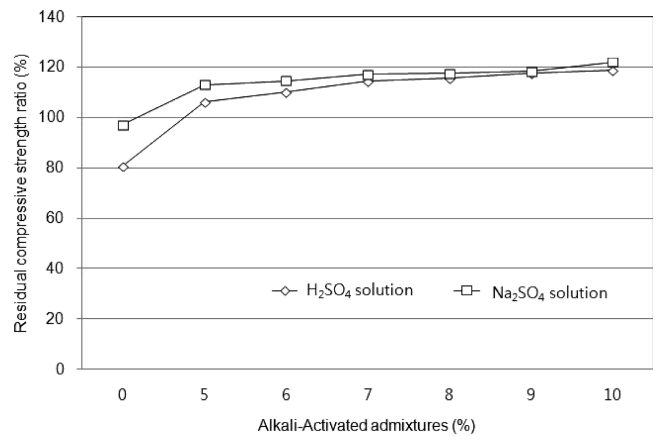


Fig. 6 Residual compressive strength with alkali-activator contents after chemical solution exposure

가하기 위하여 28일간 수중 양생 후 5 %의 H₂SO₄ 용액과 4 %의 Na₂SO₄ 용액에 50 일간 침지 후 압축강도를 측정하였다. 시험결과는 Fig. 5~6과 같다. 시멘트를 400 kg/m³을 적용한 배합은 용액에 침지 후 압축강도가 감소하는 결과를 나타냈다. 이에 반해 알칼리활성화 고로슬래그 다공성 콘크리트는 5 %의 H₂SO₄ 용액과 4 %의 Na₂SO₄ 용액에 침지 후 압축강도가 증가하는 결과를 보였다. 이와 같은 결과는 용액에 침지 후에도 고로슬래그 미분말은 장기 강도발현에 대한 효과가 있으며, 산성용액에 대한 저항성이 우수하기 때문이다. 또한 알칼리활성화제 치환율 8 %에서는 시멘트 400 kg/m³을 적용한 배합과 거의 유사한 강도를 발현할 정도로 압축강도의 증가가 나타났다. 이와 같은 결과로 볼 때 알칼리활성 고로슬래그 다공성 콘크리트는 산에 대한 저항성이 우수하고, 장기 강도 발현으로 인하여 재령이 증가할수록 강도가 증가하여 시멘트를 사용한 콘크리트와 비교하여 초기에는 작지만 장기강도는 우수하다는 것을 알 수 있다. 또한 H₂SO₄ 용액에 침지한 것 보다는 Na₂SO₄ 용액에 침지한 경우가 압축강도의 발현이 크게 나타난 것으로 보아 알칼리활성 고로슬래그

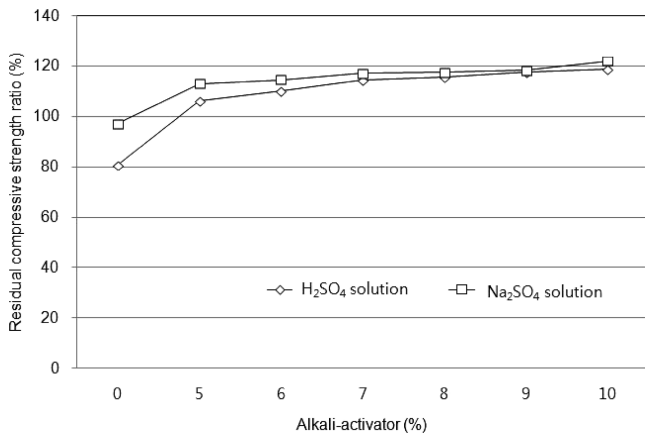


Fig. 7 Relationship between compressive strength and void ratio with alkali-activator contents

다공성 콘크리트는 H₂SO₄ 용액에 보다 내구성이 떨어진다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 시멘트를 400 kg/m³을 첨가한 배합의 압축강도 감소의 경향과 동일하다.

5. 압축강도와 공극률과의 관계

압축강도와 공극률사이의 관계는 Fig. 7과 같다. 일반적으로 공극률이 증가하면 압축강도는 감소하는 결과를 나타낸다. 본 연구에서는 공극률은 시멘트를 400 kg/m³을 적용하고 알칼리활성화제를 적용하지 않은 배합이 가장 큰 압축강도와 공극률도 큰 결과를 보여주었다. 이와 같은 결과는 콘크리트의 수화반응의 발현으로 압축강도를 획득하게 되는데 알칼리활성화제를 적용한 배합은 시멘트를 사용하지 않고 고로슬래그를 적용한 무시멘트 배합이기 때문에 알칼리활성화제 9 %까지는 충분한 경화현상이 발생하지 않아 강도확보와 함께 공극률도 확보하지 못하였다. 그러나 알칼리활성화제의 치환율이 증가하면서 충분한 강도와 함께 공극률도 증가하는 현상을 보여주었으며, 알칼리활성화제 10 % 첨가한 배합에서는 공극률과 압축강도 모두 시멘트를 400 kg/m³을 사용한 배합과 거의 유사한 값을 보여주었다. 따라서 알칼리활성화제 10 %를 첨가하면 시멘트를 사용한 다공성 콘크리트와 유사한 강도와 공극률을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

6. 공극률과 내약품성과의 관계

H₂SO₄ 용액과 Na₂SO₄ 용액에 노출시킨 후 압축강도와 공극률 사이의 관계는 Fig. 8과 같다. 용액에 노출 후 알칼리활성화제를 적용한 다공성 콘크리트의 압축강도는 증가하고, 시멘트를 400 kg/m³을 사용한 콘크리트의 압축강도는 감소하는 현상이 발생하기 때문에 알칼리활성화제 9 %, 10 %를 적용한 배합은 유사한 공극률을 가지면서 압축강도는 상대적으로 크게 나타나는 현상이

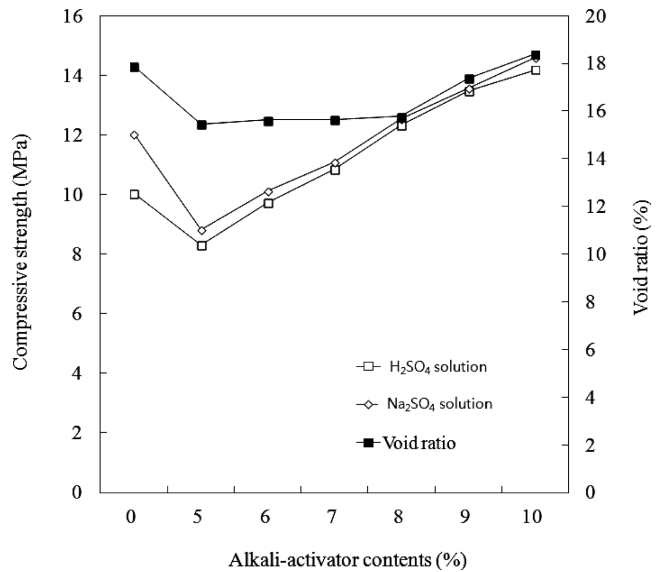


Fig. 8 Relationship between compressive strength and void ratio with alkali-activator contents after chemical solution immersions

발생하고 있다. 따라서 장기적인 강도발현현상이 있으면서, 내약품성이 우수한 알칼리활성 고로슬래그 다공성 콘크리트는 시멘트를 적용한 다공성 콘크리트와 비교하여 우수한 내약품성과 공극률을 가지고 있다고 판단된다. 그러므로 해안가 등에 식생을 고려한 콘크리트 구조물에 적용되어 우수한 산에 대한 저항성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 시멘트를 대체하여 알칼리활성화제와 고로슬래그 미분말을 적용한 무시멘트 알칼리활성 고로슬래그 다공성 콘크리트의 물리·역학적 특성 및 내약품성을 평가하였다. 시험결과를 이용한 결론은 다음과 같다.

1. 알칼리활성 고로슬래그 다공성 콘크리트의 pH 시험결과 약 9~10 정도의 값을 보여주어 시멘트를 400 kg/m³을 적용한 배합의 약 11보다 낮은 pH 값을 보여주었다. 또한 알칼리활성화제의 치환율이 증가할수록 pH 값이 증가하는 결과를 나타냈다.
2. 알칼리활성 고로슬래그 다공성 콘크리트의 공극률은 알칼리활성화제의 치환율이 증가할수록 증가하였으며, 알칼리활성화제 치환율 9 %에서 유사한 값을 나타내었고, 10 %에서는 약간 큰 값을 나타내었다.
3. 알칼리활성 고로슬래그 다공성 콘크리트의 압축강도는 알칼리활성화제의 치환율이 증가할수록 증가하였으며, 알칼리활성화제 치환율 10 %에서 시멘트를 400 kg/m³을 적용한 배합과 유사한 압축강도를 보여주었다.

4. 알칼리활성 고로슬래그 다공성 콘크리트의 공극률과 압축강도와의 관계를 살펴보면 알칼리활성화제 10 % 적용한 배합에서 시멘트를 400 kg/m³을 적용한 배합과 동등한 강도 및 공극률을 나타내었다.

5. 알칼리활성 고로슬래그 다공성 콘크리트의 내약품성 시험결과 시멘트를 사용한 다공성 콘크리트와 비교하여 내약품성이 매우 우수하였으며, 약품 노출 후에도 강도발현이 지속적으로 일어나는 강도의 증가효과 발생하였다. 따라서 유기산 등에 식생콘크리트 구조물로 적용할 때 큰 문제가 없을 것이다.

이 논문은 2011년도 정부 (중소기업청)의 미래선도과제의 지원을 받아 수행된 것임 (과제번호: SA113320).

REFERENCES

1. Cho, C. G., H. J. Lim, K. H. Yang, J. K. Song, and B. Y. Lee, 2012. Basic Mixing and Mechanical Tests on High Ductile Fiber Reinforced Cementless Composites. *Journal of the Korea Concrete Institute* 24(2): 121-127 (in Korean).
2. Cho, C. G., B. J. Kim, K. H. Yang, and J. K. Song, 2012. Strength Development of Blended Sodium Alkali-Activated Ground Granulated Blast-Furnace Slag (GGBS) Mortar. *Journal of the Korea Concrete Institute* 24(2): 137-145 (in Korean).
3. Choi, H. Y., M. H. Kim, H. Z. Hwang, and S. W. Choi, 2001. Experimental Study on the Properties of Concrete by the Kinds of Admixture and the Replacement Ratios of Activated Hwangtoh. *Journal of the Korea Concrete Institute* 13(2): 123-129 (in Korean).
4. Choi, L., J. C. Kim, 1998. Eco-Concrete. *Magazine of the Korea Concrete Institute* 10(6): 11-21.
5. Han, S. H., and M. J. Yong, 2009. The Future of Concrete Admixture Industry for Low Carbon, Green Growth. *Magazine of Concrete Research* 21(4): 41-43.
6. Kim, H. H., S. M. Kang, J. S. Park, S. W. Park, J. H. Jeon, J. H. Lee, S. S. Cha, C. G. Park, 2010. Performance Evaluation of Porous Hwang-Toh Concrete Using Blast Furnace Slag Cement. *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 52(3): 9-17 (in Korean).
7. Mun, H. Y., S. J. Jung, and N. K. Lim, 1997. Blast Furnace Slag Aggregate. *Magazine of the Korea Concrete Institute* 9(6): 18-22.
8. Park, S. B., B. C. Lee, J. H. Kim, and D. Y. Yun, 2002. Planting-Ability Valuation of Porous Concrete Using Industrial By-Products. *Journal of the Korea Concrete Institute* 14(4): 623-629 (in Korean).
9. Park, S. B., C. D. Lim, 2000. Concrete for Planting. *Magazine of the Korea Concrete Institute*, 12(5): 38-42.
10. Park, J. W., S. M. Kim, K. K. Kim, N. K. Lim, and S. J. Jung, 2001. The Experimental Study on The Property of Concrete Which Used Blast Furnace Slag Aggregate, 2001th Proceedings of the Korea Concrete Institute Conference. *Korea Concrete Institute* 13(1): 489-494.
11. Sung, C. Y., and Y. I. Kim, 2002. Experimental Study on pH Reduction By Neutralization Treatment and Curing Methods of Porous Concrete for Planting. *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 44(2): 99-106 (in Korean).
12. Sung, C. Y., and Y. I. Kim, 2003. Experimental Study on Development of Plantable Concrete Block Using Rice Straw Ash and Application for Inclined Plane. *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 45(3): 107-114 (in Korean).
13. Youn, J. N., C. Y. Sung, and Y. I. Kim, 2009. Physical and Mechanical Properties of Porous Concrete Using Waste Activated Carbon, *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 51(2): 21-27 (in Korean).
14. Yang, K. H., J. K. Song, and K. H. Lee, 2011. A Stress-Strain Relationship of Alkali-Activated Slag Concrete. *Journal of the Korea Concrete Institute* 23(6): 765-772 (in Korean).