



알칼리 활성화 방법에 따른 고로슬래그 경화체 제조 연구

Research for the production of blast furnace cement mortar using an alkaline activation method

신재란^{1*}·이주열^{1,2}·박병현¹
Shin Jae-Ran^{1*}·Lee Ju-Yeol^{1,2}·Park Byung-Hyun¹

¹(주)애니텍 기술연구소, ²경희대학교 환경응용과학과

¹Technology Institute, Anytech Co., Ltd, 101-1301, Digital Empire II, 88, Sinwon-ro, Yeongtong-gu, Suwon, Gyeonggi-do, 443-734, Korea

²Dept. of Applied Environmental Science, Kyung Hee University, 1732 Deokyoung daero, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, 446-407, Korea

ABSTRACT

This study was performed in order to obtain the effect of the compressive strength of the cured product with manufacturing conditions (amounts of fine aggregate and different types of alkali activator). Material which is the basis of the cured product was used for the blast furnace slag, which has a latent hydraulic activity. Consequently, when using sodium hydroxide as the alkali activator, it is possible to obtain a higher compressive strength than using the calcium hydroxide. And also, it can be added a 10% of fine aggregate with blast furnace slag to improve the compressive strength.

Key words: Blast Furnace Slag, Aqueous Alkali solution, Mortar, Compressive strength, Fine aggregate.

주제어: 고로슬래그, 알칼리 수용액, 모르타르, 압축강도, 잔골재

1. 서 론

전 세계적으로 이상 기온 및 기상 이변 현상이 발생하면서 이러한 원인인 지구 온난화 문제 해결 정책을 펼치고 있다(Park, Kwon. 2013). 온실가스 감축은 더 이상 환경적 문제뿐만 아니라 경제적 문제와도 직결되고 있다(Kim, et al. 2012). 그래서 온난화 문제가 심각해지면서 이산화탄소(CO₂) 배출량이 주목을 받기 시작했다(Oh, et al. 2014).

현재 시멘트 1,000kg 생산 시 약 1,000kg의 이산화탄소가스가 발생되는데, 그 양은 전세계 온실가스 배

출량의 5%를 차지하여 시멘트 산업이 지구온난화의 주원인으로 지적되고 있다(We. 2010). 최근 친환경 콘크리트에 대한 관심이 증가하면서 콘크리트 산업체들은 보통 포틀랜드 시멘트(OPC) 제조 시 발생하는 이산화탄소 감축을 위한 기술개발에 힘쓰고 있다(Yang, Song. 2007). 그로 인하여 친환경적인 알칼리 활성화 슬래그에 관심이 증가되고 있는데 이는 선철을 제조할 때 발생하는 산업부산물인 고로슬래그 미분말(이하 고로슬래그)을 이용하는 것이다. 고로슬래그는 물과 접촉하면 슬래그 입자표면에 불투수성 산성피막이 형성되어 수화반응이 없지만, 강알칼리 혹은 황산염 계열의 첨가제를 넣으면 Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ 등의 수식이 온들이 용출되어 고로슬래그의 수화반응이 일어난다. 고로슬래그의 주성분은 SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO로 시

Received 19 April 2016, revised 30 May 2016, accepted 31 May 2016

*Corresponding author: Shin Jae Ran (E-mail: jaeran17@hanmail.net)

멘트 성분과 비슷하여 시멘트의 수화반응과 유사한 반응을 보인다(Moon, 2005). 이러한 특성을 이용한 알칼리 활성화 슬래그의 대한 관심이 증가하고 있다 (Park, Choi, 2013, An, et al. 2006). 알칼리 활성화 슬래그는 생산 공정에서 클링커의 소성이 필요하지 않아 에너지 소비가 적고 이산화탄소 배출량도 적어 친환경적으로 알려져 있다(Kim, et al. 2003). 그리고 시멘트 혼화제로 사용할 수 있으며 콘크리트 구조물의 수화열 저감, 장기강도 증진 등 내구성 향상에 우수한 효과를 가지고 있어 경화체를 제조하는데 최적의 물질이다(Han, 2009). 그러나 초기강도 발현이 지연되어 거푸집의 탈형 시기가 늦어짐으로 공사기간이 지연되는 등의 문제점이 있어 현장에서 적용하고자 할 때 제한을 받고 있는 실정이다.

본 연구에서는 해수담수화 부산물인 농축수를 전기분해하여 나온 알칼리 수용액을 고로슬래그의 활성화제로 적용가능성을 검토하고자 모의로 수용액을 제조하여 경화체를 제작하기 위한 기초실험을 진행하였으며, 추가적으로 알칼리 활성화제를 투입하였을 때와 비용절감을 위하여 잔골재를 투입하였을 때 고로슬래그 경화체의 압축강도를 비교하였다.

2. 실험

2.1 실험재료

본 실험에서는 주재료로 사용되는 고로슬래그는 한양대학교의 지원을 받아 사용하였으며, Table.1에서 보는 바와 같이 CaO함량은 46.22%이며, 감열감량(LOI)는 0.2%인 고로슬래그 미분말 2급을 사용하였다. 해수담수화 농축수의 전기분해 하였을 때 얻을 수 있는 알칼리 수용액은 모의로 제작하여 사용하였다. 모의 알칼리 수용액으로 제조하기 위하여 사용된 알칼리 활성화제는 수산화나트륨(NaOH)과 수산화칼슘(Ca(OH)₂)이며, 해수담수화 농축수를 전기분해 하였을 때 미분해 된 농축수 안에 잔존할수 있는 염화나트륨(NaCl)과 차아염소산나트륨(NaOCl)은 대정화금에서 구입하여 사용하였다. 잔골재는 I사로부터 현장에서 사용하는 잔골재를 제공받아 사용하였다.

Table 1. The component of blast furnace slag

성분	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	TiO ₂	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	LOI	비표면적
Slag	46.22	32.33	13.5	3.15	1.96	1.0	0.56	0.36	0.3	0.2	4,150

2.2 실험방법

본 실험의 알칼리수용액과 고로슬래그(잔골재 포함)의 배합비는 W/B=0.3으로 정하였다. 그리고 알칼리 수용액을 제조는 알칼리 활성화제 및 첨가제를 수용액에 용해하였다. 그렇게 고로슬래그에 알칼리수용액을 배합비에 따라 투입하여 빔몰드(40mm×160mm×40mm) 경화체를 제작하였으며 제작된 경화체는 상온에서 48시간 후 물 이탈을 진행하였다. 그 후 상온에서 재령까지 3일 7일 그리고 28일간의 양생기간을 거치며, 재령기간마다 Fig. 1과 같이 강도측정기를 이용하여 압축강도를 측정하였다.



Fig. 1. Strength measuring device.

3. 결과 및 고찰



3.1 알칼리 활성화제 종류에 비율에 따른 압축강도 비교

해수담수화 농축수를 전기분해하여 얻었을 경우 알칼리 활성화제로 NaOH성분이 얻어지지만, NaOH의 성분이 최대 3.5%로 매우 낮아 추가적으로 알칼리 활성화제를 투입할 경우를 고려하여 실험을 진행하였다. 고로슬래그는 활성화제의 종류에 따라 다양한 물리적 특성을 가지게 되는데, 이번 실험에서는 일반적으로 강알칼리계인 NaOH와 그에 비해 비교적 약알칼리계인 Ca(OH)₂를 선택하였다. 이 때 알칼리수용액을 NaOH는 2, 2.5, 3, 3.5%의 비율로 제조하고, Ca(OH)₂는 1, 2, 3%로 제조하였다. 각각의 알칼리수용액을 고로슬래그와 배합비=0.3에 맞춰 압축강도를 측정하기 위하여 경화체를 40×40×160mm의 빔 몰드로 제작하여 재령 2일차에 몰 이탈을 하였다. 그 후 재령 3, 7, 28일마다 압축강도를 측정하여 알칼리 활성화제의 종류에 따른 실험을 진행하였다.

Fig. 2와 같이 NaOH와 Ca(OH)₂의 농도가 증가함에 따라 압축강도가 증가하는 것을 확인하였으나, NaOH를 알칼리 활성화제로 사용하였을 경우 재령 28일차에 농도가 2.5% 이상부터 3.5%까지는 큰 차이 없이 비슷한 압축강도를 확인할 수 있었다. 그러나 Ca(OH)₂로 시험한 결과 NaOH보단 낮은 강도를 가지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 약알칼리계보다 강알칼리계가 동일한 농도에서 고로슬래그 경화체의 압축강도를 증가시키는 것을 확인할 수 있었다.

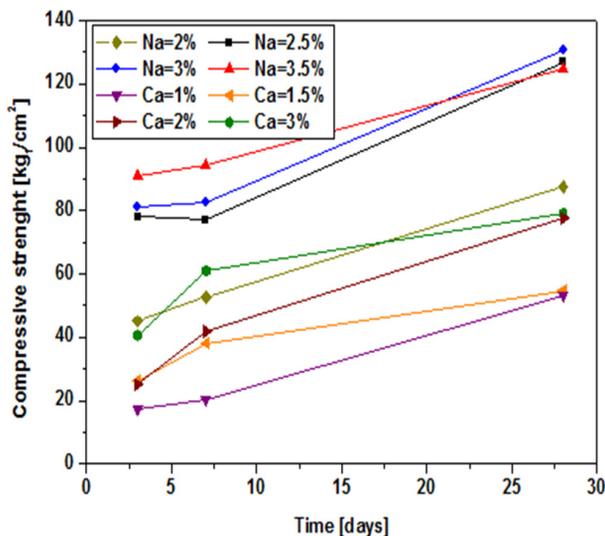


Fig. 2. The result of compressive strength test of mortar according to NaOH and Ca(OH)₂ concentration.

3.2 알칼리 활성화제를 추가하였을 경우 압축강도 비교

해수담수화 농축수를 전기분해하여 얻은 알칼리 수용액 속에는 최대 3.5%의 NaOH 함량이 들어있다. 이번 실험은 압축강도 개선을 위한 방법 중 알칼리 활성화제를 추가 투입하였을 때의 영향을 알아보기 위하여 알칼리 수용액(NaOH 3%, NaOCl 1.5%, NaCl 1.5%)을 고정하고 NaOH 0, 1, 3%와 Ca(OH)₂ 0.5, 1, 1.5, 2%를 투입한 뒤 경화체를 빔몰드로 제작하여 압축강도를 재령 3, 7, 28일 측정하였다. NaOH와 Ca(OH)₂를 각각 추가 투입하였을 때 Fig. 2와 Fig. 3을 비교하였을 때 압축강도가 상당히 증가한 것을 확인할 수 있다. 기본적으로 NaOH가 3%가 고정되고 추가적으로 투입해준 NaOH가 압축강도를 증가시킨 것을 확인하였다. 그러나 Ca(OH)₂를 추가적으로 투입하면 NaOH와는 다르게 오히려 압축강도가 감소하는 것을 Fig. 3으로 확인할 수 있다.

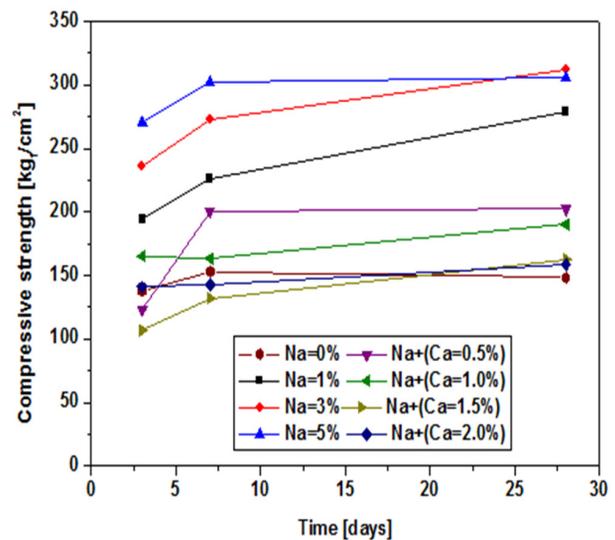


Fig. 3. The result of compressive strength test of Mortar produced by injecting additional activated alkaline in an aqueous alkaline solution.

3.3 고로슬래그와 잔골재의 비율에 따른 영향

해수담수화 농축수를 전기분해하여 알칼리수용액을 공급받았을 때와 비슷한 조건으로 알칼리 수용액(NaOH 3%, NaOCl 1.5%, NaCl 1.5%)을 고정하고 잔골재를 투입함으로써 압축강도 개선의 도움이 되는지 확인하였다. 잔골재는 고로슬래그와 비율별로 0(FA=0%), 5(FA=5%), 10(FA=10%), 15(FA=15%), 20(FA=20%)%로

pp. 225-231
pp. 233-240
pp. 241-251
pp. 253-261
pp. 263-270
pp. 271-278
pp. 279-284
pp. 285-291
pp. 293-297
pp. 299-312
pp. 313-319
pp. 321-325
pp. 327-334
pp. 335-341
pp. 343-350

투입하였으며, 배합비에 따라 알칼리 활성화제를 투입하여 경화체를 빔몰드로 제작하여 압축강도를 재령 3, 7, 28일 측정하였다. 잔골재의 양이 10%일 때 재령 28일차 가장 높은 236 kgf/cm²의 압축강도를 가진다. 그러나 잔골재의 양이 증가할수록 압축강도가 감소하는 것을 Fig. 4에서 확인할 수 있다. 이는 Park, et al (2013)에서와 같이 고로슬래그의 양이 증가할수록 모래 입자 사이에 고로슬래그경화로 생성된 수화물이 점점 증가하면서 모래 입자를 둘러싸는 경향을 보이고 있는 것으로 보여진다. 해수담수화 농축수를 전기분해하여 얻은 수용액을 사용할 경우 최대 얻을 수 있는 NaOH가 3%수용액을 알칼리 활성화제로 사용하여 고로슬래그 경화체를 제조할 경우 고로슬래그의 잔골재를 10%투입할 경우 압축강도를 약 90 kgf/cm² 증가시킬 수 있는 것으로 나타났다.

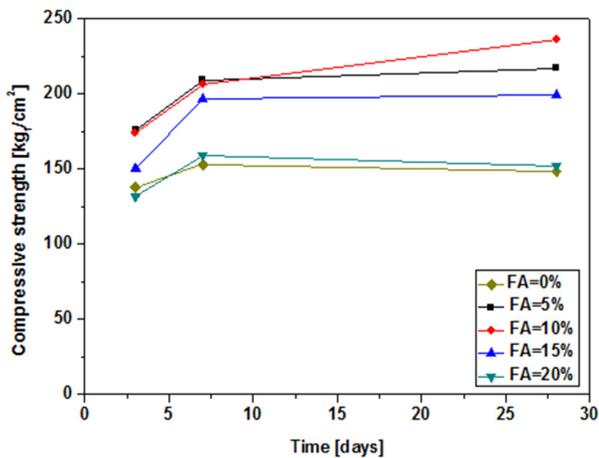


Fig. 4. The compressive strength test of Mortar produced by injecting additional fine aggregate in an aqueous alkaline solution.

4. 결 론

본 실험에서는 해수담수화 과정에서 발생하는 부산물인 농축수를 전기분해를 통하여 알칼리 수용액을 공급받아 산업부산물인 고로슬래그의 활성화제로 사용하여 빔몰드 40×40×160mm의 경화체를 제작하기 위한 기초실험을 진행하였다. 이 때 얻어지는 알칼리 수용액에는 주로 NaOH 3%, 부산물로 NaOCl 1%, 그리고 전기분해시 미분해되어 잔존하는 NaCl 1.5%의 함량에 추가적으로 알칼리 활성화제를 투입하였을 경우와 잔골재를 투입하여 압축강도의 영향을 미치는지

확인하였다.

(1) 고로슬래그는 알칼리 활성화제의 도움을 받아 경화를 할 수 있는 잠재수경성 물질이다. 경화를 위하여 알칼리 활성화제를 NaOH와 Ca(OH)₂를 투입하였을 때 압축강도를 비교한 결과 강알칼리계인 NaOH를 사용하였을 때 약알칼리계인 Ca(OH)₂보다 높은 강도를 발현하였다.

(2) 해수담수화 농축수를 전기분해하여 얻을 수 있는 수용액에 NaOH와 Ca(OH)₂를 각각 추가 투입하였을 때 압축강도를 비교하기 위하여 알칼리 수용액 (NaOH 3%, NaOCl 1%, NaCl 1.5%)을 모의로 만들어 추가적으로 NaOH를 1, 3, 5% 투입하였을 경우 초기 강도 발현이 쉽고 추가적으로 알칼리제를 투입하지 않았을 경우와 비교하면 약 2배 이상의 강도발현을 보이고 있다. 그러나 Ca(OH)₂는 0.5, 1, 1.5, 2%로 투입하였지만, 초기 강도는 추가 투입하지 않았을 때와 비교하였을 때 큰 영향을 주지 않으나 오히려 Ca(OH)₂의 양이 증가할수록 압축강도가 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

(3) 잔골재를 투입하였을 경우 압축강도를 비교한 결과 고로슬래그의 잔골재 10%가 투입되었을 경우 잔골재가 들어가지 않았을 경우보다 약 90 kgf/cm² 증가되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 잔골재가 10% 이상 투입되면 모래입자 주위에 공극을 채워주지 못하여 압축강도가 감소하는 것으로 판단되어진다.

본 연구에 의하여 압축강도를 증가시키기 위한 방법으로 NaOH를 추가 투입하여 압축강도를 증가시키는 방법이 있으며, 그 외에는 잔골재 10%를 추가 투입하여 압축강도를 증가시킬 수 있다.

References

An, Y.J., Mun, K.J., Soh, S.Y., Soh, Y.S., (2006) Fundamental Properties of alkali Activated Slag Mortar with Different Activator Type, Magazine of the Korea Concrete Institute, November.

Han, C.G., Son, S.H., Park, K.T. (2009) Effect of Recycled Aggregates Power on the Properties of Zero Cement Mortar Using the Blast Furnace Slag Powder and Recycled Fine Aggregates, JKCI 27(6), 99-106.

Kim, G.W., Kim, B.J., Yang, G.H., Song, J.K (2012) Strength Development of Blended Sodium Alkaly-Activated Ground Granulated Blast-Furnace Slag (GGBS) Mortar, JKCI



24(2), 137-145.

Kim, W.K., Soh, J.S., Bae, D.I., Kim, H.S., Kim, H.J., (2003), HYPERLINK "http://www.cement.or.kr/tech_2011/readboard.asp?tech_iden=72&ppage=4&tech_gubun=13"http://www.cement.or.kr/tech_2011/readboard.asp?tech_iden=72&ppage=4&tech_gubun=13, Magazine of the Korea Concrete Institute.

Oh, S.H., Hong, S.H., Lee, K.M. (2014) Autogenous Shrinkage Properties of High Strength Alkali Activated Slag Mortar, J. Rec. Const Resources 2(1), 60-65.

Moon, H.Y. and Shin, H.C. (2005) Effect of Alkali Activators on Early Compressive Strength of Blast-Furnace Slag Mortar, J. Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, 9(3), 120-128.

Park, S.K., Kwon, S.J., Kim, Y.M., Lee, S.S. (2013) Reaction Properties on Non-Cement Mortar Using Ground Granulated Blast Furnace Slag, JKCI. 13(9), 392-399.

Park, S.S., Choi, S.G. (2013) A Study on Sannd Cementation and its Early-Strength Using Blast Furnace Slag and Alkaline Activators, J. Korean Geotechnical Soc. 29(4) 45-56.

We, J.W. (2010) An Experimental Study on Light-weight Aggregate Concrete by Alkali-Activated Reaction., Master's Thesis, Konkuk University.

Yang, G.H., Song, J.G. (2007) The Properties and Applications of Alkali-Activated Concrete with No Cement, Magazine of the Korea Concrete Institute, March 2007.

- pp. 225-231
- pp. 233-240
- pp. 241-251
- pp. 253-261
- pp. 265-270
- pp. 271-278
- pp. 279-284
- pp. 285-291
- pp. 293-297**
- pp. 299-312
- pp. 313-319
- pp. 321-325
- pp. 327-334
- pp. 335-341
- pp. 343-350