

# 고로슬래그 기반 알카리 활성화 결합재의 콘크리트 2차 제품 적용성 평가

## Practical Application of GGBS-Based Alkali-Activated Binder to Secondary Products of Concrete

심재일\* 양근혁

Sim, Jae-II\* Yang, Keun-Hyeok

Department of Architectural Engineering, Kyounggi University, Youngtong-Gu, Suwan, 443-760, Korea

### Abstract

This study examined the practical application of ground granulated blast-furnace slag (GGBS) based alkali-activated (AA) binders for the development of cementless environmental-friendly secondary products of concrete, such as brick, shore protection blocks and interlocking blocks. The addition amount and type of alkaline ion to activate GGBS varied according to the diverse qualities of the secondary products of concrete required in Korean industrial standards (KS) and other specifications. Test results showed that the secondary products of concrete using GGBS-based AA binders surpassed the demanded capacities of KS and other specifications. In addition, shore protection block had a pH value close to neutral, enabling an advantageous environment for marine life. Therefore, the GGBS-based AA binders can be effectively applied to develop eco-friendly secondary products of concrete with reduced CO<sub>2</sub>.

Keywords : alkali-activated GGBS, secondary products of concrete, environment-friendly

### 1. 서론

최근 환경보전 및 에너지 절약을 목표로 하는 '환경적으로 건전하고 지속가능한 개발'의 패러다임이 전 세계적으로 확산되면서 건설산업 전반에서도 이에 대한 인식과 요구가 증대되고 있다[1]. 그러나 건설산업의 주요사용 재료인 보통 포틀랜드 시멘트(ordinary portland cement, 이하 OPC)는 자원 및 에너지를 소비하는 주체일 뿐만 아니라 생산과정에서 발생하는 먼지 및 분진, 그리고 각종 피부병의 원인 제공 등의 심각한 환경적 문제를 갖고 있다. 특히 시멘트 산업의 매출액 당 에너지사용량은 212 TOE/억원으로 에너지 산업 다음으로 높으며, 매출액당 탄소발생량은 498 탄소톤/억원으로 전체 산업

중 최고이다[2]. 이를 탄소집약도로 평가할 경우 시멘트 산업의 탄소집약도는 2.35로서 에너지 산업의 5.6배 높으며, 산업 평균보다도 2.76배 높다. 따라서 시멘트를 사용하는 건설산업 전 분야에서도 지구온난화 문제에 대한 공동책임을 인식하고 시멘트 사용량 절감을 위한 기술 및 제품개발에 대한 노력을 경주할 때이다.

알카리활성(alkali-activated, 이하 AA) 콘크리트는 고로슬래그 및 플리아에쉬와 같은 산업부산물에 알카리성 무기질 재료를 혼합하여 알카리 성분에 의한 용해, 가수분해 및 중축합반응을 통하여 경화성능을 갖는 콘크리트를 말한다[3]. 알카리활성 콘크리트는 산업폐기물의 재활용에 따른 경제적 이익뿐만 아니라 낮은 수화열과 친환경성 및 장수명의 특징[4]을 갖고 있어 유지관리 측면에서도 유리하다. 특히 알카리활성 콘크리트의 재령 10년의 압축강도는 재령 28일 압축강도보다 100~200% 증가하여 장기재령 강도 발현이 우수하다[5]. 그러나 알카리활성 콘크리트의 현장적용을 위해서는 빠른 유동성 손실과 알카리골재 반응에 의한 콘크리트의 열화 및 백화 등의 아직도 해결해야할 문제점이 많다[6].

Received : June 28, 2010

Revision received : July 24, 2010

Accepted : July 31, 2010

\* Corresponding author : Sim, Jae-II

[Tel: 82-2-249-9843, E-mail: jisim@kgu.ac.kr]

©2010 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

다양한 장점[7,8,9]을 갖는 알카리활성 콘크리트를 구조 부재에 적용하기 위해서는 많은 역학적 성능 및 구조부재의 거동에 대한 실험연구와 분석이 뒷받침 되어야만 한다. 반면 알카리활성 결합재의 콘크리트 2차 제품으로의 직접적인 적용성은 비교적 그 절차가 복잡하지 않고 효과도 매우 높다. 일반적으로 콘크리트 2차 제품은 건식화되어 있어 유동성에 영향을 받지 않으며 제품의 요구성능이 구조용 콘크리트에 비해 까다롭지 않은 편이다. 특히 콘크리트 2차 제품에 알카리활성 콘크리트를 이용한다면 원재료의 경제성, CO<sub>2</sub> 발생 저감에 따른 친환경성 및 산업부산물 이용에 따른 자원 보존 등의 다양한 장점[10]이 있으며, 영세한 콘크리트 2차 제품 업계의 새로운 부가가치 제품이 될 수 있을 것이다.

일반적으로 콘크리트 2차 제품은 시멘트와 물 및 골재의 배합설계를 통해 일정한 압력으로 성형하여 약 500도시(양생온도×양생시간)의 양생을 통해 생산된다[11]. 건식생산의 콘크리트 2차 제품은 대부분이 물/결합재비(W/B)가 35%이하로 작업성을 필요로 하지 않는다. 이는 알카리활성 콘크리트의 문제점인 빠른 유동성 손실과 백화 발생을 방지할 수 있다.

알카리활성 콘크리트 2차 제품은 아파트의 칸막이 벽으로 처음 사용되었다[12]. 이후 지속적인 연구를 통해 잔골재/결합재비(S/B)가 3.0이며 압축강도가 7.5~10 MPa 범위의 제품을 생산되고 있지만 경제성면에서 사용이 제한되고 있다. 국내에서는 Gweok et al.[10]이 실험실에서 알카리활성 슬래그 경화체를 이용한 모르타 실험을 통해 콘크리트 2차 제품의 적용가능성을 확인하였다. 그러나 Gweok et al.[10]의 실험은 현장에서 이루어지지 않아 현장실험을 통해 알카리활성 콘크리트 2차 제품의 적용성 및 구조적, 환경적 성능이 평가될 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 한국산업규격[11]과 지방서[13]의 요구성을 만족하는 고로슬래그에 기반한 알카리활성 콘크리트 2차 제품의 적용성을 평가하였다. 실험된 알카리활성 콘크리트 2차 제품은 콘크리트 벽돌, 호안용 블록 및 인터록킹 블록이며 각 제품에서 요구하는 성능들을 평가하였다. 또한 기존 제품과의 비교를 위해 보통 포틀랜드 시멘트 제품과의 성능비교도 이루어졌다. 특히 물과 접하는 호안용 블록은 pH와 어독성 실험을 통해 알카리활성 콘크리트 2차 제품의 환경적 성능이 평가되었다.

## 2. 콘크리트 2차 제품

### 2.1 콘크리트 벽돌[11]

콘크리트 벽돌의 품질기준을 Table 1에 나타내었다. 콘크리트 벽돌의 품질은 기건비중, 압축강도 및 흡수율에 대해 규정하고 있다. 콘크리트 벽돌은 A, B 및 C종으로 구분되며, A와 B종은 경량골재를 사용한 경량벽돌이고, C종은 보통중량골재만을 사용한 보통중량의 벽돌이다. 경량벽돌은 기건비중과 압축강도에 의해 구분되며, C종 벽돌은 압축강도와 흡수율에 따라 1급과 2급으로 구분된다.

콘크리트 벽돌의 생산시 물/결합재비(W/B)는 35%이하로 하여야 하며, 모든 재료는 중량 계량을 원칙으로 한다. 콘크리트 벽돌의 양생은 제품 출하시의 소요강도를 얻을 수 있도록 하여야 하며, 다만 1차 실내 양생은 500도시를 표준으로 한다.

Table 1. Quality standards of concrete brick

Type of brick	$\rho_A$ (kg/m <sup>3</sup> )	$f_{ck}$ (MPa)	$a_w$ (%)
A-type brick	less than 1.7	more than 8	-
B-type brick	less than 1.9	more than 12	-
C-type brick	class 1	more than 16	less than 7
	class 2	more than 8	less than 10

$\rho_A$  = Specific gravity in dry air,  $f_{ck}$  = Compressive strength,  $a_w$  = Absorption of water

### 2.2 호안용 블록[13]

호안용 블록의 성능기준을 Table 2에 나타내었다. 호안용 블록의 성능은 압축강도 18 및 21 MPa 이상이고 흡수율은 12%이하이어야 한다. 또한 콘크리트 배합은 단위시멘트량 270 kg/m<sup>3</sup>으로 한다.

Table 2. Performance of shore protection block

Type	$f_{ck}$ (MPa)	$a_w$ (%)
shore protection block	more than 18 to 21	less than 12

### 2.3 보차도용 콘크리트 인터로킹 블록[11]

보차도용 콘크리트 인터로킹 블록의 성능기준을 Table 3에 나타내었다. 보차도용 콘크리트 인터로킹 블록은 겹모양에 균열 및 결점이 없어야 하며, 휨강도가 5 MPa 이상이어야 한다. 또한 유색층이 있는 경우 유색층의 두께는 8 mm 이상이어야 하며, 휨 강도 시험 후에도 유색층의 분리가 일어나서는 안 된다.

Table 3. Performance of interlocking block

Type	$f_r$ (MPa)	$a_w$ (%)	
		Each	Average
Interlocking block	more than 5	less than 10	less than 7

$f_r$  = Flexural strength

보차도용 콘크리트 인터록킹 블록의 생산시 물/결합제비( $W/B$ )는 25%이하로 하여야 하며, 계량 및 양생은 콘크리트 벽돌과 동일하게 실시한다.

### 3. 실험

#### 3.1 주요변수

알카리활성 콘크리트 2차 제품개발을 위한 주요변수를 Table 4에 나타내었다. 알카리활성 콘크리트 2차 제품개발을 위한 원재료는 고로슬래그 3종 미분말이 사용되었다.

Table 4. Variable for develop a product

Product	Main variable	Fixed variable
AA bricks	- Type of AA (NS-type <sup>*</sup> -power, liquid)	$S/B = 8$
	- $W/B = 25 \sim 45\%$	
AA shore protection blocks	- Type of AA (NSO-type <sup>*</sup> , MC-type <sup>*</sup> )	$W/B = 20\%$
	- $S/B = 3.0 \sim 4.4$	
AA Interlocking blocks	- Type of AA (NS-type <sup>*</sup> , NC-type <sup>*</sup> , MC-type <sup>*</sup> and NM-type <sup>*</sup> )	$W/B = 25\%$ $S/B = 4.5$

\* This table doesn't include specific kinds and addition rate of AA related to patent.

알카리활성 벽돌은 NS계열 분말형과 액상형의 활성화제가 사용되었다. 일반적으로 콘크리트 벽돌의 제조시  $W/B$ 는 35% 이하로 규정하고 있지만 본 실험에서는 제품의 성형을 고려하여  $W/B$ 를 25~45%까지 변화하였다.  $S/B$ 는 예비실험을 통해 8로 고정하였으며, 잔골재로는 석분이 이용되었다. 알카리활성 호안용 블록은 NSO계열과 MC계열 및 NSO계열의 첨가량을 2배로 높은 2NSO계열의 알카리활성화제가 이용되었으며,  $S/B$ 를 3.0~4.4까지 변화시켜 제품의 성능을 평가하였다. 호안용 블록은 물과 접하는 곳에 설치되기 때문에 유용미생물(effective micro-organisms, 이하 EM)을 첨가하였다. 알카리활성 인터록킹 블록은 KS F 4419[11] 기준에 만족하기 위해 NS계열, NC계열, MC계열 및 NM계열의 알카리활성화제가 이용되었다. 알카리활성 인터록킹 블록의  $W/B$ 와  $S/B$ 는 각각 25%와 4.5로 고정되었다.

#### 3.2 재료특성

고로슬래그의 화학적 조성을 Table 5에 나타내었다. 원재료로 이용된 고로슬래그는  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , CaO 및 MgO를 93.7% 함유하고 있다. 또한 고로슬래그의  $SiO_2/CaO$ 의 비는

0.65이며,  $Al_2O_3/CaO$ 의 비는 0.27이다. 고로슬래그의 입형은 다각형으로 다양한 크기의 입자가 공존한다. 고로슬래그의 평균입경은 25~30  $\mu m$ 범위에 있으며, 분말도는 4,204  $cm^2/g$ 였다. 고로슬래그의 비중은 2.91이다.

알카리활성 콘크리트 2차 제품에 사용된 잔골재로는 석분 및 모래가 있으며, 석분은 8 mm 이하로 다량의 미분을 포함하고 있었다. 모래는 최대직경이 5 mm이며, 비중 2.54, 조립률 2.51 그리고 흡수율 1.6%인 세척사가 이용되었다. 본 연구에 사용된 알카리활성화제는 특허 및 기술이전의 지적재산권에 관련되는 사항임으로 정확한 표현은 자제하였다.

알카리활성 호안용 블록에 배합 시 이용된 유용미생물의 주사전자현미경(Scanning electron microscope, 이하 SEM) 사진을 Figure 1에 나타내었다. 미생물은 일반적으로 수분이 없는 곳에서는 증식을 하지 않지만 수분이 존재하는 곳에서는 기하급수적으로 증식하게 된다. 증식된 미생물은 생태계의 자정 및 복원 능력이 있어 오염된 환경을 회복하는데 효과적이다[14].

#### 3.3 배합 및 측정요소

알카리활성 콘크리트 2차 제품의 배합 및 제품 생산과정을 Figure 2에 나타내었다. 모든 제품은 시멘트와 동일한 공장에서 동일한 공정을 통해 배합 및 생산되었다. 생산된 알카리활성 콘크리트 2차 제품들은 각각의 생산현장에서 시멘트 제품과 동일한 온도와 습도에서 양생하였다. 또한 알카리활성 콘크리트 2차 제품들은 시멘트와 동일한 재령에 Table 4에 나타낸 바와 같이 압축강도, 휨강도, 흡수율이 측정되었다. 특히 알카리활성 호안용 블록은 수중생태계에 사용되기 때문에 급성 어류의 독성과 pH가 함께 측정되었다. 급성 어독성 실험은 KS M 0111[11]의 기준에 의거해 실시하였으며, 침지법[15]에 의해 pH를 측정하였다.

Table 5. Chemical composition of GGBS (%)

$SiO_2$	$Al_2O_3$	$FeO_3$	CaO	MgO	$K_2O$	$TiO_2$	$SO_3$	LOI <sup>*</sup>
30.38	12.41	0.52	46.72	4.19	0.62	0.62	3.55	0.99

\* Loss on ignition

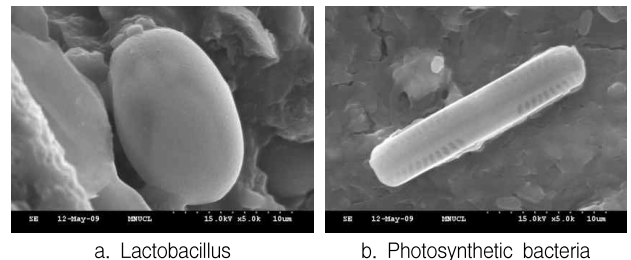


Figure 1. SEM image of EM



Figure 2. Production process of secondary products of AA concrete

#### 4. 실험결과 및 분석

##### 4.1 알칼리활성 벽돌

알칼리활성 벽돌의  $W/B$ 와 압축강도의 관계를 Figure 3에 나타내었다.

알칼리활성 벽돌은  $W/B$ 가 낮을수록 압축강도가 증가하였다.  $W/B$ 가 25%이하에서는 C종 1급의 압축강도 기준보다 높았으며, 모든 배합에서 C종 2급 이상의 압축강도를 보였다. 특히 알칼리활성화제로 분말형의 NS계열을 사용한 벽돌의 압축강도가 동일한  $W/B$ 에서 액상형의 NS계열을 사용한 벽돌의 압축강도보다 높았다. 또한 동일한  $W/B$ 에서 분말형의 NS계열의 압축강도는 21.5 MPa로 시멘트 벽돌보다 약 26% 높았다.

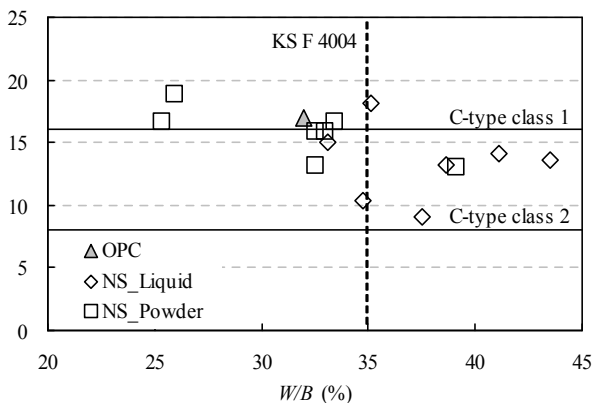


Figure 3.  $W/B$  and compressive strength relationship of AA bricks

알칼리활성 벽돌의  $W/B$ 와 흡수율의 관계를 Figure 4에 나타내었다.

알칼리활성 벽돌의  $W/B$ 가 낮을수록 흡수율도 낮았다.  $W/B$ 가 35%이하인 알칼리활성 벽돌의 흡수율은 KS F 4004[11]의 기준 흡수율보다 낮았지만  $W/B$ 가 35%이상인 알칼리활성 벽돌의 흡수율은 9.4~10.2% 범위로 KS F 4004[11]의 기준 흡수율을 초과하였다. 이는  $W/B$ 가 높을 경우 벽돌 내부의 치밀도가 낮아지기 때문으로 사료되며 알칼리활성 벽돌에서도  $W/B$ 는 35%이하가 바람직하다고 사료된다.

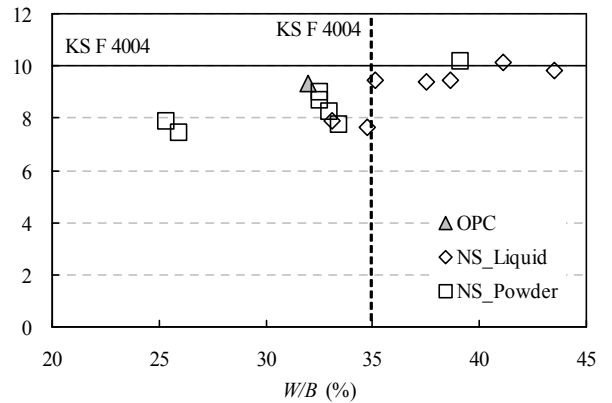


Figure 4.  $W/B$  and  $\alpha_w$  relation of AA bricks

본 연구를 통해 제작된 알칼리활성 벽돌을 Figure 5에 나타내었다. 알칼리활성 벽돌의 치수는 190×90×57 mm로서 KS F 4004[11]의 기준을 만족하였으며, 외관 및 취급의 용이성도 시멘트 벽돌과 동일하였다.

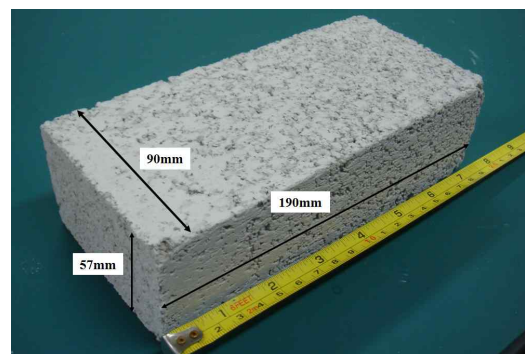


Figure 5. Shape and size of AA bricks

##### 4.2 알칼리활성 호안용 블록

호안용 블록의  $S/B$ 와 압축강도의 관계를 Figure 6에 나타내었다. NSO계열의 알칼리활성 호안용 블록의 압축강도는  $S/B$ 가 증가함에 따라 선형적으로 감소하였다. NSO계열의 알

카리 활성화제의 첨가량이 증가하면 호안용 블록의 압축강도도 증가하였다. MC계열의 알카리활성 호안용 블록의 압축강도는 동일한 첨가량의 NSO계열보다 약 90% 높았다. 또한 2NSO계열과 MC계열의 알카리활성 호안용 블록의 압축강도는 비슷한 S/B에서 시멘트 호안용 블록보다 각각 21과 14% 높았다.

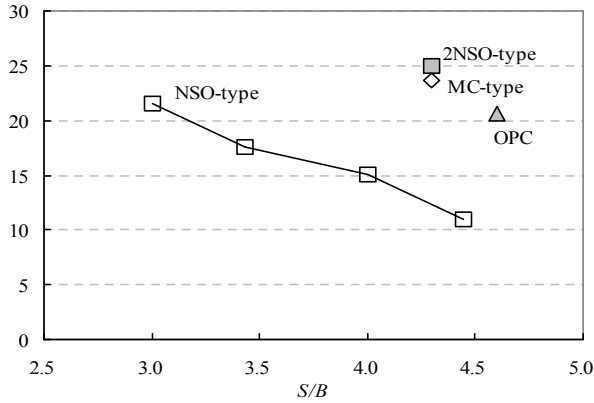


Figure 6. S/B and compressive strength relation of AA shore protection blocks

호안용 블록의 흡수율을 Figure 8에 나타내었다. Figure 7에 나타난 호안용 블록의 S/B는 4.3~4.6으로 비슷한 범위를 있었다. 모든 알카리활성 호안용 블록의 흡수율은 하천공사 전문시방서[13]의 기준에 만족하였다. 특히 MC계열 알카리활성 호안용 블록의 흡수율은 5.6%로 가장 낮았다. 알카리활성 호안용 블록의 낮은 흡수율은 동결융해 저항성을 높일 수 있어 호안용 블록의 장수명화에 특히 유리할 것으로 판단된다.

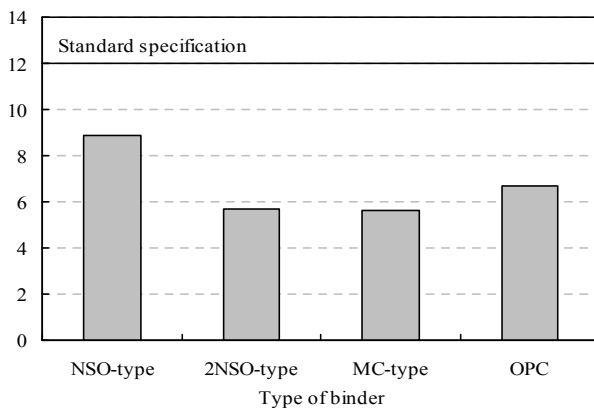


Figure 7. Absorption of water of AA shore protection blocks

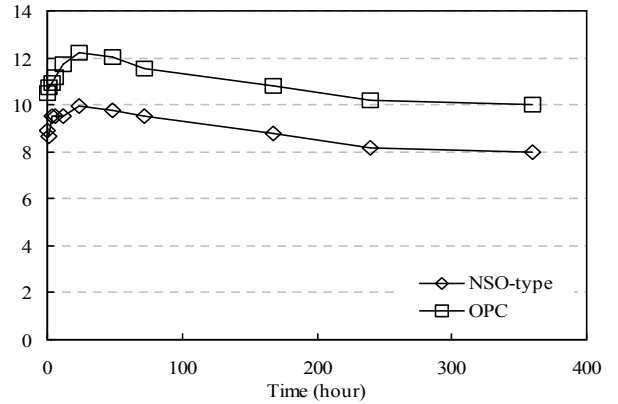


Figure 8. Alteration of pH against the elapsed time

호안용 블록의 시간경과에 따른 pH의 변화를 Figure 8에 나타내었다. NSO계열의 알카리활성 호안용 블록의 pH는 실험시작 후 1일 까지 증가하다가 1일 이후에 감소하여 14일 후 약 8정도에서 수렴하였다. 시멘트 호안용 블록의 pH도 실험시작 후 1일까지 증가하였으며, 14일 후 약 10정도에서 수렴하였다. 알카리활성 호안용 블록의 pH는 시간경과에 관계없이 시멘트 호안용 블록의 80% 수준을 보였다.

시간에 따른 어류 생존개체 수를 Figure 9에 나타내었다. 어독성 실험용 어류는 송사리과를 이용하였으며, 약 14일간 순화하여 실험하였다. 사육온도는 약  $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 를 유지하였으며, 송사리용 고정사료를 1일 1회 급여하였다. 시험용수는 1주일 이상 정체시킨 지하수를 이용하였다. 어독성 실험은 Figure 10에 나타낸바와 같이 10L 유리수조에  $\phi 100 \times 50$ 의 원주형 공시체 4개를 넣고 송사리과의 어류 15마리를 15일 동안 사육하였다.

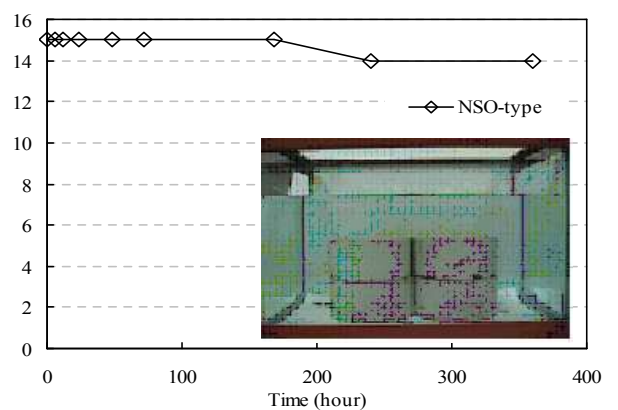


Figure 9. The number of survival fishes against the elapsed time

실험 종료 시 NSO계열 알카리활성 호안용 블록의 어류생존율은 약 93%였다. 특히 실험기간동안 알카리활성 호안용 블록의 어류는 공시체 주변을 맴돌며 생활하였다. 알카리활성 호안용 블록의 어류는 시험 시작 후 10일까지 폐사된 어류가 나타나지 않았다. 이는 알카리활성 호안용 블록의 pH가 중성에 가까워 어류의 생존환경에 친화적이기 때문으로 판단된다.

### 4.3 알카리활성 인터록킹 블록

알카리활성 인터록킹 블록의 압축강도를 Figure 10에 나타내었다. NS계열의 알카리활성 인터록킹 블록의 압축강도는 28.4 MPa로 다른 알카리활성화제보다 높았다. 그러나 NC계열과 MC계열의 알카리활성 인터록킹 블록의 압축강도는 8 MPa 수준으로 매우 낮은 강도를 보였다. 특히 호안용 블록에서 23.6 MPa의 압축강도를 보이던 MC계열의 알카리활성화제는 W/B가 25%로 증가하면서 호안용 블록 압축강도의 33% 수준을 보였다. 이는 알카리활성 콘크리트가 OPC 콘크리트보다 W/B에 민감하기 때문으로 판단되며, 특히 건식공법에서는 형상과 성형성이 고려된 적정 W/B를 유지할 필요가 있다.

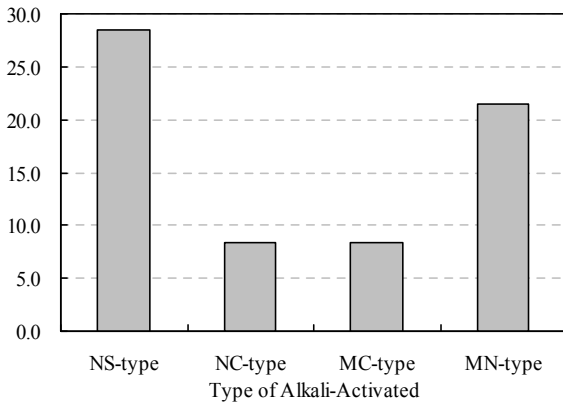


Figure 10. Compressive strength of AA interlocking blocks

알카리활성 인터록킹 블록의 휨강도를 Figure 11에 나타내었다. NS계열의 알카리활성 인터록킹 블록을 제외한 모든 알카리활성화제는 KS F 4419[11]기준 이하의 휨강도를 보였다. 일반적으로 휨강도는 압축강도의 제곱근에 비례한다. 콘크리트 구조설계기준[16]에서는 휨강도의 계수값으로 0.63을 규정하고 있다. 실험결과 모든 알카리활성화제의 휨강도 계수는 콘크리트구조설계 기준의 안전측에 있었다. 특히 NS계열 알카리활성제의 휨강도 계수값은 시멘트 기준보다 약 60% 높았다.

본 연구를 통해 제작된 알카리활성 인터록킹 블록을 Figure 12에 나타내었다. 제작된 알카리활성 인터록킹 블록은 보도용

의 “S”형이며 두께는 60 mm로서 KS F 4419[11]기준을 만족하였다. 모양, 치수 및 사용성은 콘크리트 인터록킹 블록과 동일한 특성을 갖고 있다.

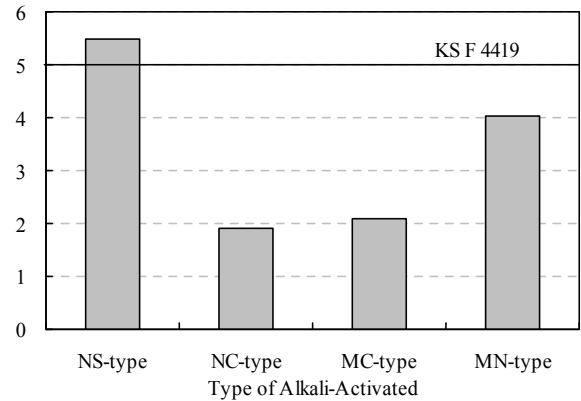


Figure 11. Flexural strength of AA interlocking blocks

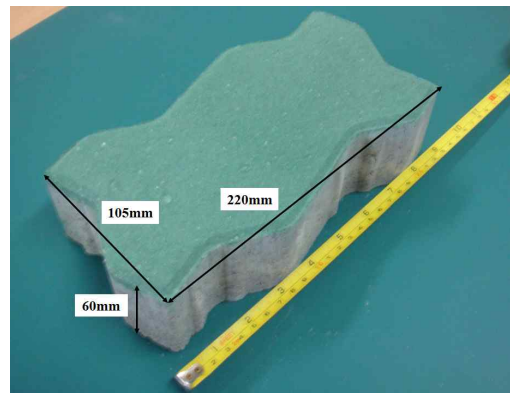


Figure 12. Shape and size of AA interlocking blocks

## 5. 결론

알카리활성 콘크리트를 이용한 벽돌, 호안용 블록 및 인터록킹 블록 등의 콘크리트 2차 제품을 개발하기 위해 알카리활성 콘크리트의 현장적용성과 성능이 실험되었다. 제품에 적합한 알카리활성화제를 선택하기 위해 7개의 알카리활성화제를 주요변수로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) NS계열의 알카리활성화제를 이용한 알카리활성 벽돌은 KS기준을 만족하였으며, 액상형보다는 분말형의 알카리활성화제를 사용한 알카리활성 벽돌의 압축강도가 더 높았다.
- 2) NSO계열의 알카리활성화제를 이용한 알카리활성 호안용 블록은 S/B가 3이하에서 시방서의 기준을 만족하였다.

- 3) NSO계열 알카리활성 호안용 블록의 pH는 시멘트 호안용 블록의 80%수준에 있었으며, 침지 14일 후에는 8.01로써 중성에 가까웠다. 또한 NSO계열 알카리활성 호안용 블록의 어독성실험결과 15일 경과 후 어류생존율은 약 93%였다.
- 4) NS계열의 알카리활성 인터록킹 블록의 휨강도는 5.47 MPa로써 KS 기준에 만족하였다. 특히 NS계열의 알카리활성 인터록킹 블록의 휨강도를 압축강도의 제곱근으로 나눈 값은 1.01로써 콘크리트 구조설계기준보다 약 60% 높았다.
- 5) 알카리활성 콘크리트 2차 제품은 KS 기준 및 시방서 기준을 만족하며 특히 환경적 성능에서는 시멘트 제품보다 우수한 성능을 보였다. 향후 다양한 콘크리트 2차 제품에 알카리활성 콘크리트가 사용될 것으로 판단된다.

## 요 약

본 연구에서는 고로슬래그에 기반한 알카리활성 결합재를 이용한 벽돌, 호안용 블록 및 인터록킹 블록을 실험하여 친환경 무시멘트 콘크리트 2차 제품의 적용성을 평가하였다. 알카리활성화제의 종류와 양은 한국산업규격과 시방서의 콘크리트 2차 제품에 대한 요구성능에 따라 결정되었다. 실험결과 고로슬래그에 기반한 알카리활성 콘크리트 2차 제품은 한국산업규격과 시방서의 요구성능을 만족하였다. 특히, 고로슬래그에 기반한 알카리활성 결합재를 사용한 호안용 블록의 pH는 중성에 가까운 수준으로 어류의 식생에도 유리한 환경을 조성하였다. 고로슬래그 기반 알카리활성 결합재는 CO<sub>2</sub>를 감소하는 친환경 콘크리트 2차 제품에 효과적으로 적용될 수 있다.

**키워드** : 알카리활성 고로슬래그, 콘크리트 2차 제품, 친환경

## Acknowledgments

This work (Grants No.08-01-104) was supported by Business for Cooperative R&D between Industry and Academy Cooperation Laboratory funded Korea Small and Medium Business Administration in 2008. And this research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (2009-0083928).

## References

1. Hong GH, Kim SS. Review of the research trends and certification systems for the environmental concrete. Magazine of the Korea Concrete Institute 2007;19(2):16-21.
2. Han HS, Jin YM. The future of concrete admixture industry for low carbon green growth. Magazine of the Korea Concrete Institute 2009;21(4):41-43.
3. Yang KH, Song JK. The properties and applications of alkali-activated concrete with no cement. Magazine of the Korea Concrete Institute 2007;19(2):42-48.
4. Kukko H, Mannonen R. Chemical and mechanical properties of alkali-activated blast furnace slag. Concrete Research 1982;16.1-16.16.
5. Glukhovskiy VD, Pakhomov VA. Slag-alkali cements and concrete. Budivelnik: 1978.
6. Wang SD, Pu XC, Scrivener KL, Pratt PL. Alkali-activated slag cement and concrete : a review of properties and problems. Advances in Cement Research 1995;27:93-102.
7. Yang KH, Song JK, Ashour AF, Lee ET. Properties of cementless mortars activated by sodium silicate. Construction and Building Materials 2008;22(9):1981-89.
8. Yang KH, Song JK. Workability loss and compressive strength development of cementless mortars activated by combination of sodium silicate and sodium hydroxide. Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE 2009;21(3):119-27.
9. Yang KH, Sim JI, Nam SH. Enhancement of reactivity of calcium hydroxide-activated slag mortars by the addition of barium hydroxide. Construction and Building Materials 2010;24(3):241-51
10. Gweok GH, Jee NY, Yoon SC. Experimental study on the practical use of secondary product of concrete contained alkali-activated slag. Journal of The Architectural Institute of Korea Structure & Construction 2007;23(1):121-28.
11. Korea Industrial Standards. KS. Korean Standards

- Association; 2006.
12. Shi C, Krivenko PV, Roy D. Alkali-activated cements and concretes. Taylor & Francis; 2006.
  13. Ministry of Construction & Transportation. The standard specification of river conservation work approval of ministry of construction & transportation, Korea Water Resources Association; 2007.
  14. Seo DS, Jeon JY, Kim JH, Kwon HJ, Park SB. An experimental study on water-purification properties of concrete using effective micro-organisms. Proceedings of the Korea Concrete Institute 2008;757-60.
  15. Jo YK. A study on the pH reduction of cement concrete with various mixing conditions. Journal of The Korea Institute of Building Construction 2008;8(4):79-85.
  16. Korea Concrete Institute. Building code requirements for structural concrete and commentary. Kimoondang; 2008.