

# 플라이 애시 지오폴리머와 활성 슬래그 시멘트 생성물의 방사광 X선 회절 실험 연구

## Synchrotron X-ray diffraction study on alkali-activated slag cement and fly ash-based geopolymers

오 재 은\*      전 쌍 순\*\*      최 세 진\*\*\*      Paulo J.M. Monteiro\*\*\*\*  
Oh, Jae Eun      Jun, SsangSun      Choi, Sejin      Paulo J.M. Monteiro

### ABSTRACT

The alkali activation products of slag, fly ash C and fly ash F were investigated using compressive strength test and synchrotron x-ray diffraction. We propose that the predominantly amorphous geopolymer formed under ambient conditions is a disordered form of one of the ABC-6 group of zeolites, which includes poly-types such as hydroxycancrinite, hydroxysodalite, chabazite, levyne or fransinite.

### 요약

알칼리 활성 반응에 의한 고로 슬래그와 플라이 애시의 반응생성물에 대하여 강도실험 및 방사광 X선 회절 연구가 실시되었다. 본 연구는 지금까지 제올라이트 계열로 추정되어 왔던 지오폴리머의 실제 결정 구조가 무결정질형태의 ABC-6 family 제올라이트에 속해 있음을 제안한다.

### 1. 서론

지오폴리머는 포틀랜드 시멘트에 비해 낮은 에너지 사용 및 CO<sub>2</sub> 방출, 그리고 산업폐기물의 재활용만으로 시멘트제품에 해당되는 성능을 발휘한다는 장점을 통해 높은 경제성을 지닌 친환경 대안시멘트로 급부상하고 있으나, 아직까지도 지오폴리머의 실체에 대해서는 알려진 바가 거의 없다 [1-4]. 본 연구에서는 방사광(synchrotron radiation) X선 회절연구를 통해 현재까지 제올라이트와 유사한 물질이라고만 알려져 왔던 지오폴리머에 대한 실체를 알아보기로 한다.

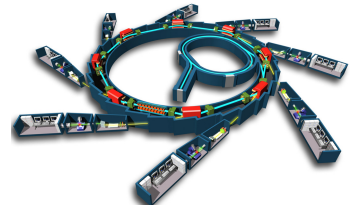


그림 1 Synchrotron Radiation 시설의 개략도 (전자가속기시설)

### 2. 실험 방법 및 재료

본 실험에 사용된 고로슬래그는 호주의 Independent Cement & Lime사 그리고 플라이 애시는 미국 캘리포니아의 Bridger plant사에서 구입되었다. 표1과 표2에서 실험에 사용된 시편들의 재료구성표가 정리되어 있으며, 압축강도 실험에 사용된 시편은 2.54cm×2.54cm 실린더 몰드로 제작되었다. 모든 시료는 reagent grade가 사용되었고, 방사광 X선 회절 실험은 미국 캘리포니아 주의 Lawrence Berkeley National Laboratory의 Advanced Light Source의 beamline 12.2.2.에서 실시되었다.

\* 정희원, University of California, Berkeley, 토목학과, 박사과정  
\*\* 정희원, Texas A&M University, 토목학과, 공학박사, 박사 후 과정  
\*\*\* 정희원, (주)삼표기술연구소, 책임연구원, 공학박사  
\*\*\*\* 정희원, University of California, Berkeley, 토목학과, 공학박사, 정교수

표 1 실험재료의 화학성분표 (X-ray fluorescence data)

Oxide	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Total
Fly ash F	62.00	18.89	4.90	5.98	1.99	2.41	1.14	1.09	0.26	0.04	98.70
Fly ash C	45.65	17.28	5.15	19.91	4.42	1.75	0.59	1.36	0.74	0.04	98.70
Slag	33.04	13.35	0.18	41.78	6.02	0.20	0.37	1.15	0.02	0.35	96.89

표 2 Mixture proportions

Label	Binding Raw Materials			Activators		s/b (wt/wt)	Curing Temp. (°C)
	SLAG	FAF	FAC	NaOH Solution (10M)	Waterglass (Ms=3.22)		
FAC_N	0.0	0.0	125.0	50.0	0.0	0.40	80.0
FAF_N	0.0	125.0	0.0	50.0	0.0	0.40	80.0
SLAG_N	125.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.40	80.0
FAC_NW	0.0	0.0	125.0	40.0	10.0	0.40	80.0

\*\* Labels indicate that FAC: Fly Ash Class C, FAF: Fly Ash Class F, N: NaOH solution, W: waterglass (=sodium silicate solution), s/b: solution to binder weight ratio.

### 3. 실험결과 및 결론

그림 2에서 다음의 사실들을 확인할 수 있다: (1) Slag > Fly ash F > fly ash C 순서의 지오폐리머 반응성, (2) Waterglass (Na<sub>2</sub>O·SiO<sub>2</sub>)의 첨가로 인한 압축강도와 초기강도증가속도의 큰 증가.

방사광 X선 회절실험에서는 활성슬래그의 주반응물이 대부분 C-S-H(I) (d=12.5, 3.07, 2.80, 1.83Å)로 나타났으며, Fly ash에서는 공통적으로 Hydroxycancrinite가 발견됐다. 또한 활성슬래그 및 모든 플라야에서 지오폐리머에서도 처음으로 Hydrotalcite가 발견되었다.

Hydroxycancrinite는 ABC 6 family[3]로 분류된 제올라이트이다. 전체 176종의 제올라이트 중 오직 19종의 제올라이트만이 이 ABC 6 family 그룹에 속한다. 본 연구에서는 지오폐리머가 ABC 6 family에 속한 미네랄들과 동일한 기본결정구조를 가졌을 것이라고 제안 한다.

같은 제올라이트 그룹의 물질들로서 hydroxysodalite, chabazite, sodalite, herschelite, zeolite Na(P1), analcime등이 있으며, 앞선 지오폐리머 연구들에서 지속적으로 이들 물질이 발견되어 왔으나[2-4], 아직까지 그들 모두가 ABC-6 family에 속해 있음을 밝힌 논문은 없었으며, 이들 모두가 ABC 6 family에 속해 있음이 본 연구에서 추가로 밝혀졌다.

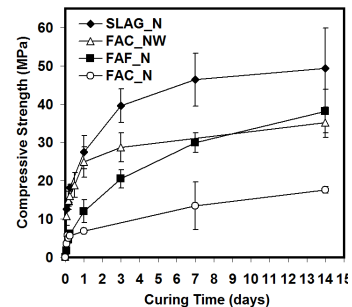


그림 2 압축강도변화

### 참고문헌

1. J. Davidovits, "Geopolymers – inorganic polymeric new materials," Journal of Thermal Analysis 37(8), 1991 pp.1633-1656.
2. Palomo, M.W. Grutzeck, M.T. Blanco Varela, Alkali activated fly ashes: a cement for the future, Cem. Concr. Res. 29 (1999) 1323 - 1329.
3. H.V. Bekkum, E.M. Flanigen, P.A. Jacobs, J.C. Jansen, Introduction to zeolite science and practice, Studies in Surface Science and Catalysis, Ed. Elsevier Science BV 137 Amsterdam (Holland) 2001.
4. T. Bakharev, Geopolymeric materials prepared using class F fly ash and elevated temperature curing, Cem. Concr. Res. 35 (2005) 1224 1232