

알칼리 활성화제 종류에 따른 플라이애시 기반 지오폐리머의 중합반응성에 관한 연구

A Study on the Polymerization Reactivity of Fly Ash based Geopolymer with Alkaline Activator Type

이 보 경* 김 규 용** 윤 민 호* 이 상 규* 황 의 철* 김 경 태***
 Lee, Bo-Kyeong Kim, Gyu-Yong Yoon, Min-Ho Lee, Sang-Kyu Hwang, Eui-Chul Kim, Gyeong-Tae

Abstract

This paper presented polymerization reactivity of fly ash based geopolymer with alkaline activator type. As a result, the compressive strength development properties of the geopolymer can be confirmed from the combination of the amorphous Si and Al contents in the fly ash and the alkaline activators. Although the direct correlation between the polymerization reactivity of the geopolymer and the development of compressive strength could not be confirmed through an X-ray diffraction analysis, it could be confirmed through scanning electron microscopy.

키 워 드 : 알칼리 활성화제, 플라이애시, 지오폐리머, 중합반응성
 Keywords : alkaline activator, fly ash, geopolymer, polymerization reactivity

1. 서 론

플라이애시 기반 지오폐리머는 플라이애시의 연소조건, 함유된 광물의 종류와 함량, 입자의 크기와 형태, 보관상태 등에 따라 알칼리 활성화제에 대한 중합반응성이 달라지게 되며, 과도하게 알칼리 활성화제와 반응시킬 경우 지오폐리머 표면에 백화현상이 발생하게 된다. 본 연구에서는 알칼리 활성화제를 과도하게 사용하지 않고 지오폐리머를 제조하기 위해, X-선 형광분광 분석과 정량 X-선 회절 분석을 통해 도출한 플라이애시의 반응가능한 비정질 화학조성을 고려하여, 알칼리 활성화제 종류에 따른 플라이애시 기반 지오폐리머의 중합반응성에 대해 검토하였다.

2. 실험계획 및 방법

본 연구에서는 지오폐리머를 제조하기 위해 밀도 2.2g/cm³, 분말도 3,000cm²/g의 플라이애시를 사용하였다. 표 1은 알칼리 활성화제 종류 및 물리적 성질을 나타낸 것으로, 알루미늄산소다(NaAlO₂), 물유리(Na₂SiO₃·H₂O), 가성소다(NaOH)를 사용하여 지오폐리머를 제조하였다. 표 2는 실험계획을 나타낸 것으로, 본 연구에서 사용한 플라이애시의 비정질 Si/Al 비가 2.88임을 고려해 알루미늄산소다와 가성소다를 첨가하여 Si/Al 비 1.5의 지오폐리머를 제조하고, 물유리와 가성소다를 첨가하여 Si/Al 비 3.5, 4.0의 지오폐리머를 제조하였다. 시험체는 재령 1일에 70℃로 양생한 후 재령 2일부터 재령 28일까지 20℃로 밀봉 양생하였으며, 40×40×160mm의 크기의 시험체를 활용하여 재령 1, 3, 7, 28일에 압축강도를 측정하고 재령 28일에 X-선 회절 분석(X-ray diffraction, XRD)과 주사전자현미경(Scanning electron microscopy, SEM)에 의한 미세구조의 관찰을 수행하였다.

표 1. 알칼리 활성화제 종류 및 물리적 특성

알칼리 활성화제 종류	물리적 특성
알루미늄산소다 (NaAlO ₂)	Sodium aluminate, 밀도 : 1.52g/cm ³
물유리 (Na ₂ SiO ₃ ·H ₂ O)	Sodium silicate solution, 밀도 : 1.55-1.57g/cm ³
가성소다 (NaOH)	Sodium hydroxide, 밀도 : 2.13g/cm ³

표 2. 실험계획

실험변수	실험수준	평가항목
Si/Al 비 (알칼리 활성화제)	1.5 (NaAlO ₂ , NaOH)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 압축강도 ▪ XRD ▪ SEM
	3.5 (Na ₂ SiO ₃ ·H ₂ O, NaOH)	
	4.0 (Na ₂ SiO ₃ ·H ₂ O, NaOH)	

* 충남대학교 건축공학과 박사과정

** 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 교신저자(gyuyongkim@cnu.ac.kr)

*** 충남대학교 건축공학과 석사과정

표 3. 플라이애시 기반 지오폴리머의 압축강도

시험체	압축강도 (MPa)			
	재령 1일	재령 3일	재령 7일	재령 28일
Si/Al 1.5	15.0	27.4	29.7	34.2
Si/Al 3.5	23.0	29.2	34.0	42.7
Si/Al 4.0	9.5	14.3	15.3	19.9

3. 실험결과 및 고찰

표 1에 지오폴리머의 압축강도 측정결과를 나타냈다. 재령 1일에 70℃로 양생한 후 재령 2일부터 재령 28일까지 20℃로 밀봉 양생한 Si/Al 1.5, Si/Al 3.5, Si/Al 4.0의 압축강도는 각각 15.0, 23.0, 9.5 MPa로 측정되었다. 또한, 알칼리 활성화제로 물유리와 가성소다를 사용한 Si/Al 3.5의 재령 28일 압축강도는 42.7 MPa로 본 실험의 범위에서 가장 큰 압축강도를 나타내었다. 한편, Si/Al 4.0의 경우 Si/Al 3.5에 비해 알칼리 활성화제 혼입량을 증가시켰음에도 불구하고 본 실험의 범위에서 압축강도가 가장 작은 것으로 나타났다.

그림 1은 지오폴리머의 X-선 회절 분석 결과를 나타낸 것이다. 플라이애시와 알칼리 활성화제의 중합반응에 의해 주로 생성되는 것은 알루미늄노실리케이트나 지오폴리머 겔 등의 비정질 형태이기 때문에 X-선 회절 분석에 의해 반응생성물의 회절패턴을 확인하는 것은 쉽지 않았다. 그러나 결정구조해석 프로그램용 프로그램을 이용해서 피팅한 지오폴리머의 비정질 험프(amorphous hump) 피크의 경우 지오폴리머 제조 이전의 플라이애시는 23.14° 로 확인되었으며, 플라이애시와 알칼리 활성화제가 반응해 생성된 Si/Al 1.5, Si/Al 3.5, Si/Al 4.0은 각각 28.54°, 26.85°, 26.27° 로 확인되어 중합반응을 통해 비정질 험프 피크의 이동을 확인할 수 있었다. 기존의 연구¹⁾에 의하면, 이러한 비정질 험프의 피크는 플라이애시와 알칼리 활성화제의 반응에 의해 이동하며, 이를 통해 지오폴리머의 반응성을 예측할 수 있다고 보고되고 있다. 그러나 압축강도가 가장 큰 Si/Al 3.5 보다 Si/Al 1.5에서 비정질 험프의 피크가 더 많이 이동한 것에서 확인할 수 있듯이, 비정질 험프의 피크 위치 또는 이동 정도는 압축강도 값과 직접적인 연관이 없는 것으로 판단된다.

그림 2는 지오폴리머의 주사전자현미경 관찰 결과를 나타낸 것이다. Si/Al 3.5의 경우 플라이애시 입자의 표면에 반응생성물이 부착되어 있는 것을 확인할 수 있었으나, Si/Al 4.0의 경우 Si/Al 3.5와 다르게 반응에 관여하지 않은 침상 형태의 나트륨 성분이 관찰되었으며, 미세한 균열이 다수 발생한 것을 확인하였다.

4. 결 론

지오폴리머 제조 시 알칼리 활성화제로 물유리를 과다 사용할 경우 압축강도가 저하하는 현상을 확인할 수 있었다. 또한, X-선 회절분석 결과로부터 비정질 험프의 피크 이동을 통해 지오폴리머의 반응을 예측할 수 있지만, 피크 이동 정도가 압축강도 값과의 직접적인 연관성은 없는 것으로 나타났다. 한편, 지오폴리머의 주사전자현미경 관찰 결과 압축강도가 낮은 시험체에서 반응에 관여하지 않은 알칼리 활성화제 성분이 관찰되었으며, 미세한 균열이 다수 확인되는 결과를 보였다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2015R1A5A1037548)

참 고 문 헌

1. S. Hanjitsuwan, S. Hunpratub, P. Thongbai, S. Maensiri, V. Sata, P. Chindaprasirt, Effects of NaOH concentrations on physical and electrical properties of high calcium fly ash geopolymers paste, Cement and Concrete Composites, 45, pp.9~14, 2014

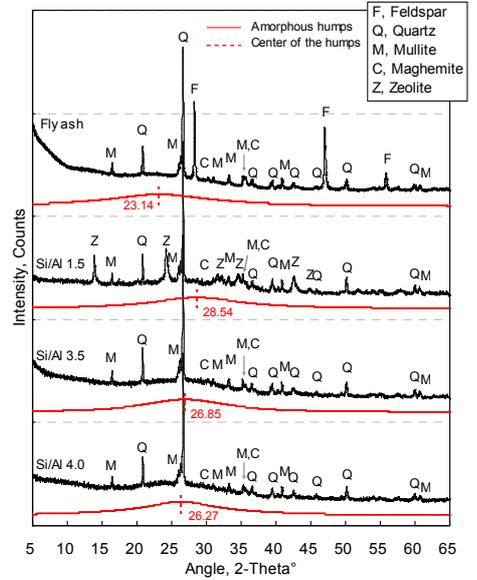


그림 1. X-선 회절 분석 결과 (재령 28일)

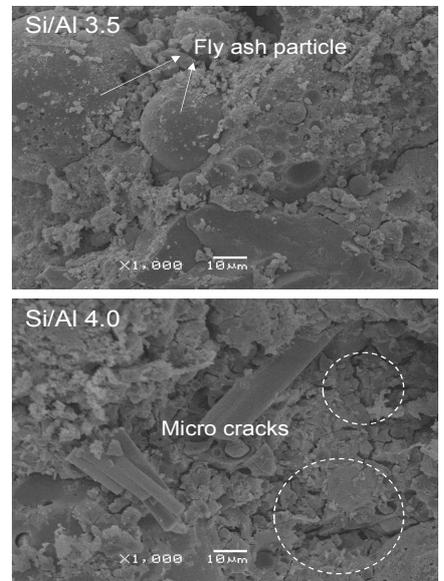


그림 2. 주사전자현미경 관찰 결과 (재령 28일)