

플라이애쉬와 메타카올린을 사용한 무기결합제의 개발

Development of the inorganic which uses the Fly-ash and Meta-kaolin

정 석 조* 추 용 식** 이 종 규***
Jung, Suk Jo Chu, Yong Sik Lee, Jong Kyu

ABSTRACT

The Fly-ash makes an Alumino-silicate gel when it mixes an alkali or a silicate solution. This Alumino-silicate gel is produced to the activation of an alkali silicate. And this act to the binder and makes a combine of particles. This study involved mechanical strengths of an Alumino-silicate Gel based the Fly-ash with an alkali solution. NaOH, KOH were utilized to an alkali solution. The alkali solution concentration was varied from 6 to 12M and the some added also the Meta-kaolin, Waterglass so that it made high the mechanical performance. Based on the experimental result, the compressive strengths increased as the quantity of the Meta-kaolin increased. And a mechanical strengths appeared according to the concentration of an alkali solution so that it was different. XRD, FT-IR have been used to characterize mechanical performance.

1. 서론

플라이애쉬는 alkali 및 silicate 혹은 이들의 혼합 용액으로 혼련할 경우, 알루미늄노실리케이트 겔이라는 새로운 생성물을 만든다. 이 생성물은 알카리 실리케이트 등의 활성화로 생성되며, 생성된 알루미늄노실리케이트 겔은 바인더로 작용하여 압자들을 결합시키거나 혹은 화학적으로 결합한 하나의 세라믹 덩어리(chemically bonded ceramics)로 만든다.

최근 실온에서 합성된 알루미늄노실리케이트는 우수한 물리적·화학적 특성으로 연구동향의 주요 관심사로 대두되고 있다. 합성 알루미늄노실리케이트는 천연원료를 사용하는 시멘트와 달리 산업 폐기물을 사용하고, 고온 소성반응을 거치지 않으므로 경제적 측면에서도 대단한 장점을 가지고 있다.

특히 제조방법에 따라 시멘트보다 우수한 물리적 특성을 나타내기도 하여 상업적 관심이 고조되고 있으며, 이러한 알루미늄노실리케이트를 무기계 결합재(Inorganic binder) 혹은 지오폴리머(Geopolymer)

*정회원, 요업(세라믹)기술원 세라믹·건재본부 연구원

**정회원, 요업(세라믹)기술원 세라믹·건재본부 선임연구원

***정회원, 요업(세라믹)기술원 세라믹·건재본부 책임연구원

라고 명명하고 있다. 현재 국내에서는 다량의 플라이애쉬가 발생되고 있어 천연자원의 대체 및 고부가가치화를 위한 제품 개발에도 적극 대응하여야 할 시기이다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 발생·폐기되는 다량의 플라이애쉬를 재활용하기 위한 방법을 도출하기 위해 플라이애쉬와 자극제, 메타카올린(Meta-kaolin)을 사용하여 시멘트 및 시멘트 2차 제품을 대체할 수 있는 비소성 무기결합재 개발을 목적으로 하고 있으며, 연구개발 완료시 시멘트 대체재로 사용하여 시멘트 제조과정 중 소요되는 천연자원 및 에너지 소모량을 최소화 할 수 있으며 또한 세계적 추세인 환경보존 및 시멘트 규격 변화에도 충분히 대응할 수 있는 체계를 갖출 수 있을 것이다.

2. 실험재료 및 계획

2.1 출발원료 및 조성

본 연구의 실험에서 사용된 플라이애쉬는 KS L 5405 규정을 만족하는 B화력발전소에서 배출되는 것을 사용하였으며, 이에 대한 화학적 성분은 표 1.과 같다.

표 1 Chemical compositions of Fly-ash

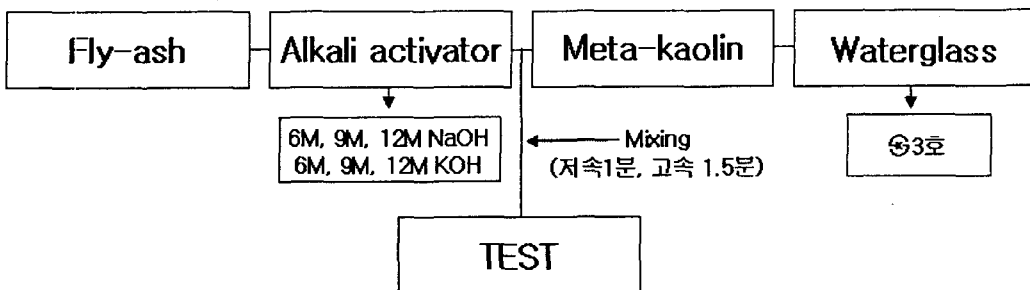
SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO(%)	MgO(%)	SO ₃ (%)	Loss on Ignition(%)
57.09	24.66	6.57	2.58	1.37	0.94	3.5

자극제로는 NaOH, KOH Alkali-solution을 각각 6M, 9M, 12M로 하여 활성화 용액을 제조하였으며, 제조된 Alkali-solution의 pH는 12이상의 값을 나타내었다. 이 밖에 이번 연구에서는 물리적 특성을 향상시키기 위해 메타카올린 및 물유리(Waterglass)를 사용하였다. 국내에서 생산되는 메타카올린의 경우에는 해외에서 생산되는 것에 비해 비표면적이 다소 작으며 주성분은 SiO₂와 Al₂O₃이었으며 미량 성분으로는 CaO와 Fe₂O₃등이 존재하였다.

2.2 실험 방법

비소성 무기결합재 제조기술 개발을 위해 출발원료인 플라이애쉬에 메타카올린의 첨가량(wt%)을 25%, 50%, 75%로 하였으며 각각의 NaOH, KOH 6M, 9M, 12M Alkali-activator 및 물유리를 플라이애쉬와 메타카올린 대비 48.5%로 하여 실험하였다. 표 2.는 이번 실험의 공정도를 나타내었다.

표 2 실험 공정도



3. 실험결과 및 분석

3.1 압축강도의 특성

표 3은 메타카올린 첨가량별, Alkali activator의 종류에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. F(75%)+M(25%)의 경우 Alkali activator의 종류에 따른 압축강도는 몰농도가 증가함에 따라 초기재령은 비슷한 값을 나타내나 재령이 증가함에 따라 압축강도가 증가하였다. 12M NaOH 용액의 경우 28일 22.7Mpa, 12M KOH 용액 28일 18.1Mpa의 값을 나타냈으며, F(50%)+M(50%)의 경우 메타카올린의 첨가량 증가로 인해 압축강도가 28일 43.1Mpa의 결과가 얻었다. 그러나 메타카올린 50%이상의 첨가량은 결과에서와 같이 압축강도에 크게 영향을 미치지 않았다.

표 3 메타카올린, Alkali activator 에 따른 압축강도

Specimen	NaOH	Compressive Strength(Mpa)		
		3day	7day	28day
F(75%)+ M(25%)	6M	5.1	5.2	7.6
	9M	5.1	5.8	12.1
	12M	4.8	5.8	22.7
Specimen	KOH	3day	7day	28day
F(75%)+ M(25%)	6M	3.1	5.2	9.5
	9M	4.3	5.6	8.9
	12M	4.4	7.3	18.1
Specimen	NaOH	3day	7day	28day
F(50%)+ M(50%)	12M	12.1	26.8	43.1
Specimen	NaOH	3day	7day	28day
F(25%)+ M(75%)	12M	13.7	27.0	42.9

(F:Fly-ash, M:Meta-kaolin)

3.2 XRD 분석

지오폴리머의 XRD pattern은 2θ 20°~40° 범위에서 큰 비정질 특성이 나타남을 알 수 있으며, 이는 표 4, 표 5, 표 6에서와 같이 2θ 20°~40° 범위에서 상대적으로 broad한 피크로부터 확인할 수 있었다. 또한, 플라이애쉬의 quartz와 mullite의 phase의 결정질이 나타남을 확인할 수 있다.

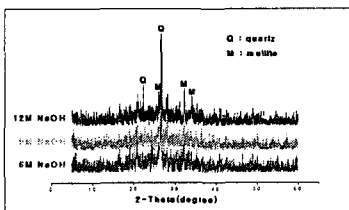


표 4 NaOH 용액 XRD

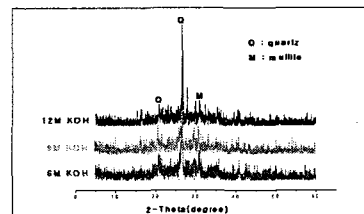


표 5 KOH 용액 XRD

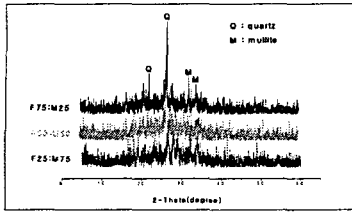


표 6 메타카올린 첨가량별 XRD

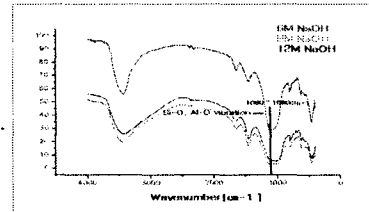


표 7 NaOH 용액 FT-IR

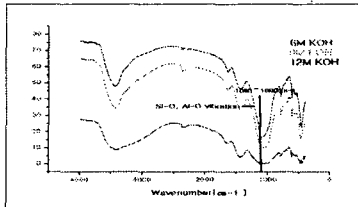


표 8 KOH 용액 FT-IR

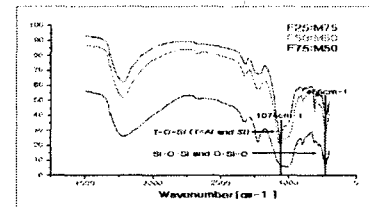


표 9 메타카올린 첨가량별 FT-IR

3.3 FT-IR 분석

FT-IR 측정 결과를 표 7, 표 8에 나타냈다. Alkaline activator의 종류에 따라 각기 다른 spectra가 나타남을 확인할 수 있었으며, 1080~1090cm⁻¹의 wavenumber에서 관찰할 수 있는 플라이애쉬의 Si-O, Al-O 진동은 alkaline activator로 인해 낮은 spectra로 전환됨을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 제오라이트(Si-Al)와 유사한 결과로, 제오라이트에서는 Si-O-Si 격자 구조에 알루미늄이 혼합되는 경우와 동일한 결과를 나타내는 것이다. 표 9의 FT-IR 950~1200cm⁻¹ 매우 넓은 밴드는 플라이애쉬의 다중 상(multi-phase)으로 인한 T-O-Si(T=Al and Si) 진동이며 1070~1080cm⁻¹의 진동은 비정질 알루미늄 실리케이트 상으로 인한 것이다. 따라서 1074cm⁻¹의 진동은 알루미늄 실리케이트 상임을 알 수 있으며 466cm⁻¹의 진동은 Si-O-Si, O-Si-O의 강한 Bending임을 나타낸다.

4. 결론

본 연구에서는 플라이애쉬를 주원료로 사용하고 Alkali-activator, 메타카올린, 물유리를 사용하여 비소성 무기결합재를 제조하였다. 제조된 무기결합재의 압축강도, XRD, FT-IR등을 실험하였으며, 상기 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) Alkali-activator로 사용된 NaOH, KOH 용액 중 NaOH 용액이 우수한 물리적 특성을 나타냈으며 물농도가 증가함에 따라 압축강도 값이 우수하였다.
- (2) 메타카올린의 첨가량이 높아짐에 따라 압축강도 값은 우수하였으나, 50%이상 첨가시 workability가 급격히 떨어지며 압축강도의 값도 더 이상 증가하지 않았다. 따라서 적정첨가량은 50%이하이다.
- (3) 제조된 무기결합재의 XRD, FT-IR을 통해 알루미늄 실리케이트 겔의 생성을 확인하였다.
- (4) 상기의 결과로부터 본 연구의 목표에 가장 적합한 배합기술은 플라이애쉬와 메타카올린의 50:50 비율에 12M NaOH Alkali-activator로 제조한 무기결합재이다.