

고칼슘 Fly Ash를 활용한 친환경 무기결합재 활용

윤형선[†] · 문경주 · 안양진 · 윤성진 · 박원춘* · 서성규**

(주)씨엠디기술단

* (주)대웅 기술연구소

** 전남대학교 환경시스템공학과

Applications of Eco-Friendly Inorganic Binding Material using High-Calcium Fly Ash

Hyung-Sun Yoon[†] · Kyoung-Ju Mun · Yang-Jin An
Seong-Jin Yoon · Won-Chun Park* · Seong-Gyu Seo**

Construction Materials Doctors Group Co., Ltd.

**Dae Woong Technical R&D Center*

***Department of Environmental System Engineering, Chonnam National University*

Abstract

A purpose of this study is to estimate the utilizing of CS(inorganic binder) to replace in-site soil with pile backfill used to replace the existing cement paste. The result shows the similar fluidity with OPC paste and the no segregation phenomena. It also shows high reactivity in-site soil to be confirmed as the possible use of pile backfill.

Keywords : Inorganic binder, Pile backfill, Cement, Fluidity, High reactivity

1. 서론

열병합발전소에서는 SOx를 제어하기 위해 고체연료 투입시 석회석과 함께 연소시키는 노내탈황 방식을 적용하여 SOx를 제어하고 있으며, NOx는 연소실 온도를 저온(850℃ 이하)으로 NOx 생성을 억제하고 있다. 이러한 과정에서 발생하는 분진은 대부분 집진기에서 포집되며, 이때의 플라이애시는 일반폐기물임에도 불구하고 대부분 매립 처분되어 재활용 되지 못하고 있는 실정이다. 일반 화력

발전소의 경우는 고체연료만을 투입하고 있으며, 이 과정에서 발생하는 연소재는 대부분 시멘트공장의 원료로 공급되고 있다¹⁾. 열병합발전소의 플라이애시는 경제적이고 친환경적인 처리를 위해 많은 재활용 방안이 모색되고 있는데, 전체 플라이애시 생산량의 약 10~20% 정도는 시멘트와 콘크리트의 첨가제²⁻³⁾, 고속도로 노반재⁴⁾, 그라우팅 혼화제⁵⁾, 연약지반 안정화제⁶⁾로 사용되고 있다. 영국에서는 연간 천만톤의 플라이애시가 화력발전소에서 발생이 되지만, 이 과정에 백만톤이

[†]Corresponding author E-mail: yhsecl@hanmail.net

콘크리트 제조에 사용되고 있다. 1990년대의 미국에서는 연간 약 5천만톤의 플라이애시가 발생하는데, 이중 20%가 건설 산업에서 재활용 되고 있다. 플라이애시의 재활용은 계속하여 증가하고 있으나 발생량이 수요 증가량을 커버 할 수 없기 때문에 플라이애시의 저장을 위한저장시설이 필요하다. 따라서 플라이애시의 재활용 및 다양한 분야로의 자원화 가능성에 관한 연구가 지속적으로 이루어질 필요성이 있다⁷⁾. 한편, 산업화의 가속 및 경제 성장과 더불어 건축 및 토목구조물이 대형화, 중량화 되어 가는 경향으로 인해 구조물의 하중을 지반에 전달하여 지지하는 깊은 기초 중 파일기초가 많이 이용되고 있다. 국내의 경우 풍화대가 비교적 발달되어 있고, 기반암의 깊이가 그다지 깊지 않은 지반 특성상 파일 선단의 지지력으로 구조물을 지탱하는 선단지지말뚝이 주를 이루고 있다⁸⁾. 그러나 최근에는 파일기초공사시의 소음과 진동 규제 강화 추세에 따라 매입공법의 파일공사가 증가하고 있다. 매입공법은 필연적으로 굴착토가 발생되어 폐토사 반출을 위한 공사비가 발생하며, 파일 주면에는 시멘트 페이스트 주입에 따른 비용이 추가된다⁹⁾. 현재 국내에서 시공되고 있는 파일 주입재의 결합재는 보통 포틀랜드 시멘트 중량의 80~200% 혼합한 시멘트 밀크액을 주입하여 시공하고 있는데, 그 배합은 현장의 지질 조건 및 배합토 품질 그리고 사용 목적에 부합되는 요구 성능에 상관없이 각 사업체의 특수 및 전문 시방서에 제시된 배합비율을 일률적용 하고 있어, 시멘트의 과다 투입으로 인한 환경 부

하를 유발하고 있다. 따라서 본 연구에서는 기존의 파일 채움재로 사용되고 있는 시멘트를 대체할 수 있는 지반용 친환경 무기결합재를 제조하기 위한 연구의 일환으로, 고칼슘 플라이애시 등의 순환 재료를 활용한 무기결합재의 기초 물성 평가 및 파일 천공시 발생하는 발생토를 재활용하기 위해 개발 무기결합재와의 반응성을 검토하였다.

2. 재료 및 방법

본 실험에서 사용한 무기결합재(이하 CS)는 당사에서 CaO 성분이 다량 함유된 소각재와 황산염계 산성 물질 및 고칼슘 플라이애시 등을 복합적으로 활용하여 개발한 무기결합재로, 한국토지주택공사의 전문시방서 중 주택건설공사 전문시방서 30535¹⁰⁾에 준하여 물시멘트비 83%의 밀크액(표준배합비 : 1 m³ 당 시멘트 880 kg, 물 730 L의 비율)을 제조하여, 보통 포틀랜드 시멘트(이하 OPC: ordinary portland cement) 밀크액 대비 동등 이상의 압축강도와 유동성을 나타내며, 재료 분리가 일어나지 않는 범위의 배합을 선정하여 사용하였다. 사용재료의 화학조성은 Table 1과 같으며, 이 때 각 시험체의 플로우는 56.5~58.5 cm 수준이었다.

CS의 파일 채움재로서의 기초 성능 및 현장토사와의 반응성을 검토하기 위해 현장토사를 결합재 중량대비 각 10%, 50%, 60%, 70%, 100% 혼합한 시료의 각 재령별 일축압축강도를 측정하였다. 또한 ASTM D6103에 준하여 80 mm×80 mm 원형 실린더로 유동

Table 1. Chemical and physical properties of materials

Item	Oxide composition(%)							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
CS1	26.32	10.34	0.59	51.74	3.04	5.64	0.82	0.22
CS2	25.08	9.25	0.88	45.40	2.71	14.68	0.46	0.21

성을 평가하였으며, 재료분리 저항성은 ASTM C940에 준하여 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 재료분리 저항성

OPC와 CS1 두 결합재에 대해 물시멘트비 83% 표준 배합 시험체 제작 한 시간 후 그리고 6시간 후의 재료분리저항성을 측정한 결과, Fig. 1과 같이 OPC의 경우 제작 한 시간 후 155 mL의 블리딩이 발생하였으며, 6시간 후에는 160 mL의 블리딩이 발생하였다. OPC의 경우 다량의 물 사용으로 인한 블리딩 발생으로 재료분리 현상이 현저하여, 현장 시공 시 지반으로 다량의 수분이 흡수되어 지반의 강도를 저하시키는 원인⁹⁾이 될 것으로 판단되었다. 이에 비하여 CS1에서는 15 mL의 정도의 블리딩이 발생하여 OPC 대비 재료분리 현상이 적은 것을 확인할 수 있었으며, 잉여수 발생을 저감하기 위해 물 사용량을 저감한 배합의 선정이 필요할 것으로 판단되었다.

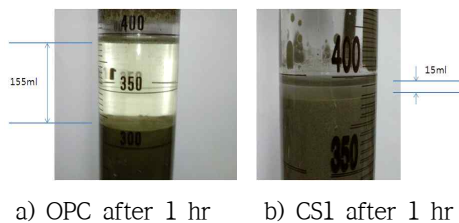


Fig. 1. Result of segregation resistance test.

3.2. 압축강도

파일 채움재의 적정 물결합재비를 구하기 위하여 물결합재비가 각각 68%, 83%인 시험체를 제작하여 3, 7, 28일 재령의 일축압축강도를 측정하였으며, 현장토사와의 반응성을 살펴보기 위해 결합재 중량 대비 현장토사를 10% 주입한 시험체를 제작하여 Fig. 2에 나타내었다. 물결합재비가 작을수록 압축강도는

높게 나타났으며, 현장토사를 혼입하지 않은 OPC의 경우 물결합재비 68%의 28일 재령 압축강도가 33.17 MPa로 개발 결합재에 비해 10~40% 정도 높은 압축강도를 나타냈으나, 현장토사를 10% 혼입한 경우 개발 결합재 두 가지 모두 보통 포틀랜드 시멘트에 비해 전 재령에서 높은 압축강도를 나타냈다. 또한 물결합재비 68%의 경우에 개발 결합재 CS1, CS2 모두 보통포틀랜드 시멘트에 물시멘트비 83%, 즉 시방규정의 경우 동등이상의 압축강도를 발현하였으며, 플로우 측정결과 50~60 mm의 유동성이 확보되어 파일 채움재의 경우 물결합재비는 68%까지 저감이 가능할 것으로 판단되었다.

3.3. 현장토사와의 반응성

파일주입재의 현장토사와의 반응성 및 토사의 적정 혼입량을 평가하기 위해 물결합재비를 68%로 고정하고, 결합재 대비 현장토사량을 1:0.5, 1:0.6, 1:0.7, 1:1로 하여 결합재 종류 및 토사 혼입량에 대한 플로우 및 압축강도를 살펴보았다.

Fig. 3은 토사 혼입량에 따른 유동성으로 토사의 혼입량이 증가할수록 낮아졌으며, CS1의 경우 OPC와 동등한 유동성을 나타내었으나, CS1에 비하여 고칼슘 플라이애시의 투입량이 큰 CS2는 OPC에 비해 유동성이 저하되는 경향을 보였다. 이는 고칼슘 플라이애시 중의 CaO 성분이 물과 접촉시 흡수, 발열 및 팽창작용에 의해 유동성이 저하된 것으로 판단된다. 그러나 밀크액의 경우 주입관의 이송 저항 및 막힘 현상이 없는 상태에서 오히려 플로우 20 cm 정도의 유동성은 재료분리 저항성 측면과 사질토 등의 공극이 큰 지반에서는 유리하게 작용할 수 있을 것으로 판단되었다.

Fig. 4는 토사 혼입량에 따른 압축강도로서 3일 재령에서는 보통 포틀랜드 시멘트의 압축강도가 개발 결합재에 비해 높게 나타났으나, 재령이 증가할수록 압축강도 증가 폭이

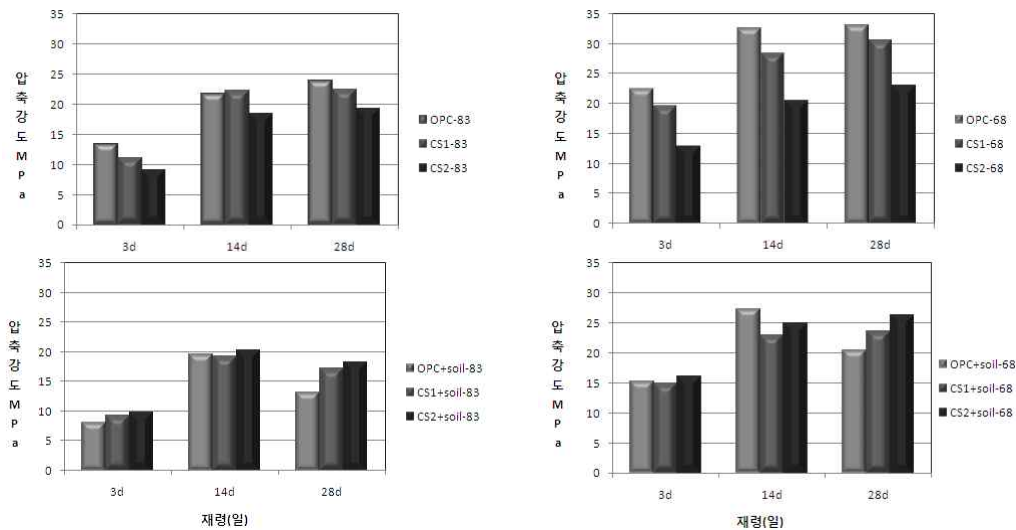


Fig. 2. Mixed with water to binder ratio and the compressive strength of on-site soil.

낮아져 장기재령에서는 압축강도의 증진이 거의 없었으며, 오히려 7일 재령에 비해 28일의 압축강도가 작아지는 경향을 나타내었다. 그에 반해 CS1의 경우 3일 재령의 압축강도는 OPC에 비해 적었으나 7일 재령의 압축강도 증진율은 3일 재령에 비해 125~185%, 28일 재령의 압축강도는 7일 재령의 압축강도에 비해 10~20%증진하여 현장토사에 대한 높은 반응성을 나타내었으며, 토사의 혼입량이 늘수록 압축강도는 감소하였으나, 그 감소폭이 작아 결합재 : 현장토의 비율이 1:1일 경우에도 28일 압축강도는 20 MPa 이상을 발현

하였다. 그에 반해 CS2의 경우 모든 경우에서 OPC에 비해 낮은 압축강도를 발현하였으나, 토사 혼입량이 증가할수록 압축강도가 증가하여 현장토사와의 높은 반응성을 나타내었다.

4. 결론

고로슬래그 및 고칼슘 플라이애시 등 무기계 순환자원을 활용한 무기 결합재를 제조하여 파일 주입재로서의 기초 물성과 현장토사와의 반응성을 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

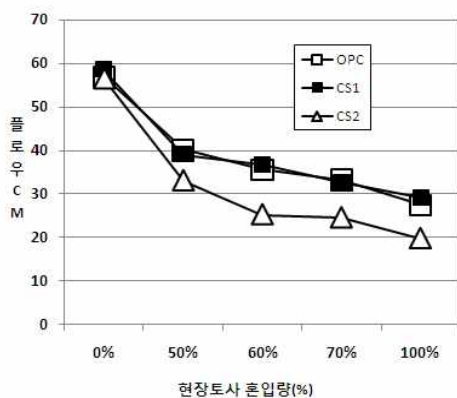


Fig. 3. Liquidity of the mixing amount of soil.

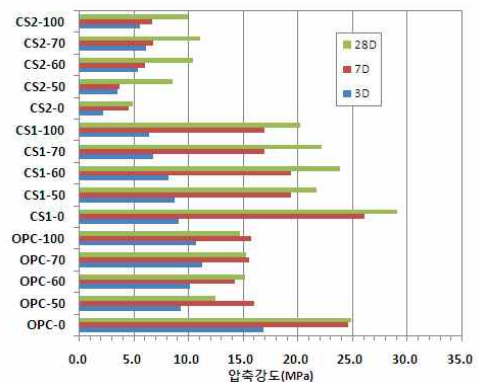


Fig. 4. Compressive strength of the mixing amount of soil.

- 1) 재료분리 저항성은 OPC 대비 분리현상이 적은 것으로 나타났다
- 2) 물결합재비가 작을수록 압축강도는 높게 나타났으며, 현장토사를 혼입하지 않은 OPC의 압축강도는 개발 결합재에 비해 높은 압축강도를 나타냈으나, 현장토사를 10% 혼입한 경우 개발 결합재는 모두 보통 포틀랜드 시멘트에 비해 전재령에서 높은 압축강도를 나타내었다. 또한 물결합재비의 경우 개발 결합재 CS1, CS2 모두 시방규정의 경우 동등이상의 압축강도를 발현하였으며, 플로우 측정결과도 유동성이 확보되어 파일 채움재의 경우 물결합재비는 68%까지 저감이 가능할 것으로 판단되었다.
- 3) 토사 혼입량에 따른 유동성은 토사의 혼입량이 증가할수록 낮아졌으며, CS1의 경우 OPC와 동등한 유동성을 나타내었으나, CS2는 OPC에 비해 유동성이 저하되는 경향을 보였다. 또한 토사 혼입량에 따른 압축강도는 CS1의 경우 재령이 증가할수록 현장토사에 대한 높은 반응성을 나타내었으며, 토사 혼입량이 늘수록 압축강도는 감소하였으나 그 감소폭은 작았다. CS2의 경우는 모든 경우에서 OPC에 비해 낮은 압축강도를 발현하였으나, 토사 혼입량이 증가할수록 압축강도가 증가하여 현장토사와의 높은 반응성을 나타내었다.

사 사

본 연구는 환경부 “글로벌탑 환경기술개발사업”으로 지원받은 과제입니다. (과제번호 GT-11-B-01-009-0).

References

1. Han, K.H., Song, Y.S., Ryu, J.I., Son, J.E. and Jin, G.T.(2003), The characteristics of SO₂ emission with korean anthracite in a pressurized fluidized bed combustor, HWAHAK KONGHAK, 41(1), pp. 86-92.
2. Al-Almoudi, A. and Maslehuddin, M. (1996), Performance and correlation of the properties of fly ash, cement and concrete, Cement Concrete Research, 18, pp. 253-260.
3. McCarthy, M.J. and Dhir, P.K.(1999), Towards maximizing the use of fly ash as a binder in concrete, Cement Concrete Research, 78, pp. 121-132.
4. Takada, T., Hashimoto, I., Tsutsumi, K., Shibata, Y., Yammer, S., Kamada, T., Inoue, K., Tsuzura, K. and Yoshida, K.(1995), Utilization of coal ash from fluidized bed incineration boiler as road base material, Resources, Conservation and Recycling, 14, pp. 69-77.
5. Akram, M.H., Gabr, M.A. and Head, W.J.(1994), Low cement content stabilization of fly ash/scrubber sludge grouts, Hazardous and Industrial Wastes, Proceedings, pp. 567-575.
6. Temimi, M., Camps, J.P. and Lacquerbe, M.(1995), Valorisation of fly ash in the cold stabilization of clay materials, Resources, Conservation and Recycling, 15, pp. 219-234.
7. 김낙주, 조호영, 김석구, 강성원, 민수홍, 이태운(2006), 플라이애쉬를 이용하여 제조된 인공경량골재를 이용한 황화수소의 제거 연구, 대한환경공학회지, 28(4), pp. 407-413.
8. 한국건축구조기술사회 편집부(2005), 선단확장형 파일(Ext-Pile, 이엑스티 파일), 건축구조(건축구조기술사회지), 12(5).
9. 최희복, 노창석, 한병권, 이흥규, 현장 발생토를 재활용한 PHC파일 채움재의 현장 적용성 평가, 한국건축시공학회 학술논문

발표대회 논문집, 11(1), pp. 63-66.

10. 한국토지주택공사 주택건설공사 전문시
방서(2010), 30535 말뚝 선굴착 공법