

산업부산물을 다량활용한 저시멘트 모르타르의 역학적·전기적 특성

Mechanical and Electrical Properties of Low-Cement Mortar Using a Large Amount of Industrial By-Products

김영민¹ · 임건우² · 임창민² · 이건철^{3*}

Kim, Young-Min¹ · Im, Geon-Woo² · Lim, Chang-Min² · Lee, Gun-Cheol^{3*}

Abstract : This study evaluated the mechanical and electrical properties of low-cement mortar using a large amount of industrial by-products to reduce carbon emissions from the cement industry. As types of industrial by-products, blast furnace slag and fly ash, which are representative materials, were used, and ultra-high fly ash was mixed and evaluated to solve the problem of initial strength loss. In addition, in order to evaluate the electrical properties, 1% of MWCNT was incorporated relative to the powder mass. As experimental items, the compressive strength was measured on the 1st, 3rd, 7th and 28th days of age, and the rate of change in electrical resistance was measured on the 28th day of age. As a result of the experiment, the initial strength of the test specimen mixed with blast furnace slag and fly ash was significantly lower than that of 100% cement, and the specimen mixed with blast furnace slag showed strength equal to that of cement at 28 days of age. As an electrical characteristic, the electrical resistance was reduced when the load was loaded, and this reason is judged to be the effect of improving the conductivity as the connection between CNTs is narrowed by the compressive load.

키워드 : 저시멘트, 고로슬래그, 초고분말 플라이애시, 플라이애시, 탄소나노튜브

Keywords : low cement, blast furnace slag, ultra fine fly ash, fly ash, carbon nano tube

1. 서론

최근 지구온난화로 인한 기후변화문제가 전세계적으로 대두되고 있다, 이에 기후협약에 의거하여 각국은 탄소배출량 목표를 설정하여 산업전반에 걸쳐 감축 노력을 하고 있다. 건설공사에 필수적으로 사용되는 시멘트는 1톤 제조를 하는 과정에서 약 0.9ton의 이산화탄소를 배출함에 따라 시멘트 제조회사는 소성공정에서 발생하는 이산화탄소 배출을 저감하고자 노력하고 있다. 시멘트 산업에서 배출되는 이산화탄소를 저감시키는 방안은 소성온도저감을 설비개선 측면과 시멘트사용량 감소 측면이 있다. 시멘트사용량 감축은 대체재로서 고로슬래그와, 플라이애시로 대표되는 산업부산물을 적극 활용하는 방법이다. 하지만 고로슬래그와, 플라이애시는 잠재수경성과 포졸란 반응으로 증장기강도 증진에 효과적이지만, 시멘트량 부족으로 인하여 초기강도가 저하되는 문제점이 있다. 이런 문제점을 해결하기 위해 실리카흙을 사용하고 있지만 가격이 타 재료에 비해 높음에 따라 활용성이 높지 않다.

따라서 본 연구에서는 시멘트산업에서 배출되는 탄소저감을 위하여 시멘트 대체재로서 기존 산업부산물의 사용성을 검토하고 초기강도저하의 문제점을 보완하기 위하여 분말도가 높은 플라이애시를 사용하여 역학적 특성을 평가하고자 하였으며, 또한 하중가력시 시험체의 전기적 특성을 평가해 자기감지형 부재로서 활용가능성을 평가하고자 한다.

2. 실험계획

본 연구는 산업부산물의 다량활용성을 위하여 압축강도와 전기적 특성을 평가하기 위하여 배합사항은 표 1과 같다. W/B는 40%, 분체와 잔골재는 질량비로 1:3으로 하였다. 산업부산물은 고로슬래그와, 일반 플라이애시, 초고분말 플라이애시 3 종류로 하였다. 또한 시멘트 질량대비 40%로 치환하였다. 압축강도와 전기저항 측정용 시험체는 (50×50×50)mm의 규격으로 제작하였다. 양생은 최고 온도 60°C, 습도 100%의 조건에서 6시간동안 증기양생을 실시하였다. 실험사항으로 압축강도는 1일,3일,7일,28일 재령에 측정하였고, 전기저항은 재령 28일 시험체를 이용하여 측정하였고, 하중재하부터 파괴시까지 전기저항변화율과 변형을 측정하였다. 전기저항 측정방법은 그림 1과 같다.

1) 한국교통대학교 건축공학과, 박사과정
2) 한국교통대학교 건축공학과, 석사과정
3) 한국교통대학교 건축공학전공, 교수, 교신저자(gclee@ut.ac.kr)

표 1. 배합사항

Specimen	Water (g)	Binder (g)				Sand (g)	MWCNT (g)
		Cement	Slag	UFFA	FA		
Plain	540	1350	0	0	0	4050	14
BFS 40	540	810	540	0	0	4050	14
UFFA 40	540	810	0	540	0	4050	14
FA 40	540	810	0	0	540	4050	14

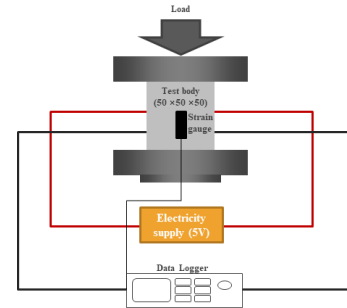


그림 1. 전기저항 측정방법

3. 결론

산업부산물을 다량활용한 저시멘트 모르타르의 압축강도는 그림 1과 같고, 전기저항변화는 그림 3과 같다. 먼저 압축강도에서 시멘트 100%가 사용된 시험체가 재령 1일에서 가장 높게 나타났지만 이후 재령에서 UFFA 40 시험체가 가장 높은 강도를 나타냈다. 본 연구에 사용된 UFFA의 분말도가 14,000 cm²/g 정도로 초기재령에서 시멘트부족현상으로 나타나는 초기강도 저하를 필러효과와 포졸란 반응이 활발히 나타났을 것으로 판단되며, 이에 대한 후속연구가 필요하다. 대표적으로 사용되는 슬래그와 플라이애시가 혼입된 시험체는 시멘트 100%보다 전체 재령에서 낮게 나타났으며, 특히 플라이애시가 혼입된 시험체는 시멘트 100%에 비하여 70%수준 밖에 발현되지 못한 것으로 나타났다. 이러한 원인은 단위시멘트량 부족에 의해 나타난 영향으로 판단된다. 슬래그가 혼입된 시험체도 플라이애시와 유사한 경향을 나타냈지만, 재령 28일에서 시멘트와 동등한 강도가 나타났다.

또한 하중가력후 파괴시 까지 전기저항 변화의 특성은 감소하는 경향을 나타냈다. 이러한 경향은 시험체에 하중이 가력이 될 때 내부의 CNT간 간격이 좁아짐에 따라 전도성이 개선된 효과로 판단되며, 추후 부재의 하중부담에 대한 추정센서로 활용가능성을 확인하였다.

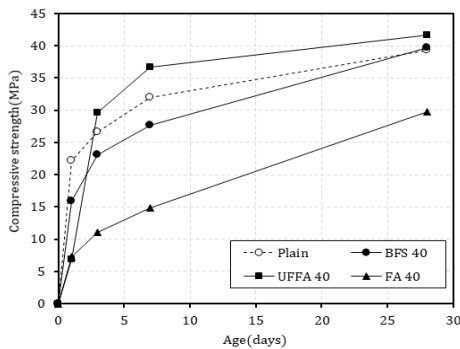


그림 2. 산업부산물 혼입에 따른 압축강도

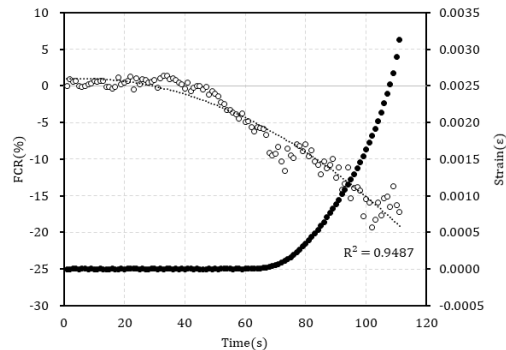


그림 3. 하중가력에 따른 전기저항변화(UFFA 40)

감사의 글

본 논문은 2023년 한국연구재단의 중견연구지원사업의(NRF-2023R1A2C2006400) 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 이상훈, 한선진, 장범수, 김강수, 서수연. 탄소나노튜브가 혼입된 UHPC센서의 자기감지 성능평가. 한국콘크리트학회 논문집. 2020. pp. 505-512.
- 차수원, 최영철. 하이볼륨 플라이애시 시멘트의 수화도 및 역학적 특성. 한국구조물진단유지관리 공학회 논문집. 2022. pp. 95-102.