

Bottom ash를 재활용한 친환경 유동성 보수보강재 적용을 위한 설계입력용 물성시험

Evaluation of Design Parameters for Applying to Eco-friendly Flowable Backfill for Bottom ash Recycling

이관호* · 이경중** · 함상민*** · 황철비****

Lee, Kwan-Ho · Lee, Kyung-Joong · Ham, Sang-Min · Hwang, Chul-Bee

1. 서 론

전력 사용량의 지속적인 증가로 국내 화력발전소 10곳에서 전력생산에 따른 부산물인 석탄회 발생량이 2015년에는 800만톤을 넘어설 것으로 예상되고 있으며, 또한 각종 공공사업과 관련하여 해마다 많은 양의 현장발생토가 발생하고 있으며, 앞으로도 지속적인 도시건설 및 항만 유지 관리로 인하여 현장발생토의 발생량은 꾸준히 증가할 것으로 전망되고 있다. 국내에서 발생하는 석탄회와 현장 발생토는 대부분 육상 매립과 외해 투기등으로 처리되고 있는 실정으로 인하여 매립부지 확보 및 주변환경오염, 경관피해, 처리비용 상승과 연안환경의 심각한 오염문제등과 같은 많은 문제점을 야기하고 있다.

관매설공사에서 전통적으로 사용되어 오던 되메우기 방법은 흙을 굴착한 후 저면에 모래를 깔고 관을 설치한 후 현장발생토 또는 모래로 다짐하는 방법을 사용하였는데, 이러한 전통적인 방법은 흙을 다짐하는데 많은 시간과 비용이 소요되며 관하부의 공동이나 작은 틈새는 되메우기 힘들다. 개·보수 공사의 필요가 발생 시 재굴착의 어려움과 재다짐등에 의한 시간과 비용의 소요는 낭비로 볼 수 있다. 유동성 보수보강재는 초기의 유동성으로 기존의 다짐의 문제를 충분히 해결할 수 있으며 시멘트 성분의 양생으로 원하는 강도까지의 강도 증진을 시킬 수 있는 재료이다. 또한, 재굴착이 용이하므로 긴급상황 발생시 신속한 대응이 가능한 이점도 있다.

본 연구는 위와 같이 문제점이 대두되고 있는 석탄회 중 Bottom ash와 현장발생토의 재활용에 있어 효율적인 방안이며 관매설공사의 되메우기 방법의 대체공법인 친환경복합지반재료 유동성 보수보강재 개발을 위한 기초 자료로써 서천 화력발전소에서 채취한 Bottom ash와 천안시 북부대로와 천안IC 도로 연결 확장 공사장에서 발생하는 현장 발생토를 사용한 유동성 보수보강재의 물리·역학적 특성을 분석하였다.

2. 시험 방법

2.1 시험재료의 특성

시험에 사용된 각 재료의 물성을 파악하기 위해 실내물성시험을 실시하였다. 유동성 보수보강재의 구성은 미소량의 일반 포클랜드 시멘트와 Fly ash 및 현장발생토와 현장발생토를 대체한 Bottom ash로 구성되며 이를 일정량의 물과 배합하여 사용한다. 사용된 토사는 천안시 북부대로와 천안 IC를 연결하는 도로공사에서 발생한 굴착잔토를 사용하였으며, 흙의 분류결과는 SP로 판정되었고 #4번 Sieve에 거른 흙의 사용하여 너무 큰 입경의 입자들은 배제하여 시험하였다. 이의 물성시험 결과는 표 1과 같다. Bottom ash는 서천 화력발전소에서 발생하는 석탄회를 세척, 분류하는 I사의 Bottom ash로 입경은 0.9~1.5mm의 Bottom ash만을 선별

* 정희원·공주대학교 건설환경공학부 정교수(E-mail:kholee@kongju.ac.kr)

** 공주대학교 건설환경공학부 토목공학과 석사과정(E-mail:joong139@kongju.ac.kr)

*** 공주대학교 건설환경공학부·토목공학과 석사과정

**** 쌍용건설 토목기술영업부 부장



하여 사용하였으며 물성시험 결과값은 표 2와 같다. 시멘트는 밀도 3.14g/cm³, 분말도 3,198cm²/g의 국내 A사의 보통포클랜드 시멘트를 사용하였다. Fly ash는 충남 당진군에 위치한 I사의 정제된 정제 플라이애시2종을 사용하였으며 규격은 KS L 5405에 만족한다. 고무칩은 국내 C사의 페타이어 분말로 규격은 0.5~1mm에 해당하는 제품으로 순 고무 비중은 0.93~0.94이고 인장강도는 50~230kg/cm²이다. 고무칩의 함유는 추후 연구 목적으로 배합 분류에 포함하였다.

표 1. 본 시험에 사용된 흙의 물성표

최대입경	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀	균등계수 Cu	곡률계수 Cc	#200번 Sieve 통과율	비중	통일 분류
12.35mm	1.25mm	0.57mm	0.22mm	5.681	1.181	1.51%	2.70	SP

표 2. 본 시험에 사용된 Bottom ash 물성표

D ₁₀	균등계수 Cu	곡률계수 Cc	액성한계 LL	소성한계 PI	통일분류	ASSHTO 분류	비중
0.13mm (0.008~0.030)	24.0 (6.5~25.0)	0.4 (0.3~1.1)	-	NP	ML (ML~SM)	A-4 (A-4~A-s-4)	2.24 (2.02,30)

2.2 배합 설계 기준 및 시험 조건, 방법

2.2.1 배합 설계 기준

배합설계의 기준은 국외의 유동화 처리토의 기준을 바탕으로 본연구의 배합설계의 기준을 설정하였다. 유동성 시험의 설계 기준 값은 일본의 기준을 일축압축강도 시험의 설계 기준 값은 미국 기준의 값에 치우쳐 설계기준을 설정하였다. 그 값은 표 3, 표 4와 같다.

표 3. 국외의 유동화 처리토 기준

분류	일본	미국
특성	현장 잔토 사용	현장 잔토 사용하지 않음
대상시료	모래 + 점토	Fly Ash + 모래 폐주물사 + 모래
유동성 (실린더 법)	180~300mm (Ø80mm ×80mm 몰드)	31.5mm 이상 (Ø11.8mm ×23.6mm 몰드)
일축압축강도 (qu)	- 1시간: 0.3kg/cm ² 이상 - 4시간: 1.3kg/cm ² 이상 - 28일: 5.6kg/cm ² 이하	- 4시간: 규정없음 - 3일 강도: 1.3kg/cm ² 이상 - 28일 강도: 2.1~10.6kg/cm ² *미국Ready Mixed 콘크리트 협회
블리딩율(%) 침하	1% 이하 3mm	- 3~6mm

표 4. 본 시험의 목표 배합 기준

목 록	목표 배합 기준
유동성 (흐름값)	180~300mm
일축압축강도 (qu)	- 3일 강도: 1.3kg/cm ² 이상 - 28일 강도: 2.1~10.0kg/cm ²
블리딩율 (%)	1% 이하

2.2.2 최적 배합 설계

현장발생토중에서 바텡에서의 치환율과 Fly ash의 양을 변화하는 등의 여러 배합 조건 중 목표 배합기준을 충족시키는 값으로 표 5와 같은 최적 배합 설계를 결정하였다.

표 5. 최적배합비 (중량비)

배합 분류	현장발생토	플라이애시	시멘트	고무칩	물
	* Bottom ash 대체율				
BA 20	65%	10%	3%	-	22%
	20%				
BA 30	65%	10%	3%	-	22%
	30%				
FA 20	55%	20%	3%	-	22%
	30%				
BA 30 + 고무칩	62%	10%	3%	3%	22%
	30%				

2.2.3 시편의 제작 및 양생

각각의 배합을 $\varnothing 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ 의 원주형 몰드로 공시체를 제작하였으며, 현장 조건과 같은 수는 없지만 시편의 수분 증발을 적게 하기 위하여 상온 조건에서 몰드 내에 그대로 둔 상태로 공기 중 양생을 하여 1일, 3일, 7일, 14일, 28일 양생을 실시하였다.

2.2.4 시험 방법

유동성 보수보강제는 채움 공간을 공극 없이 채울 수 있는 능력과 다짐 장비 없이 자기 다짐의 성질을 갖기 위해 충분한 유동성을 확보해야 한다. 본 연구에서는 미국콘크리트학회(ACI Commitee 229, 1994)에서 제안한 $\varnothing 3\text{in} \times 6\text{in}$ 실린더를 이용하여 유동성 시험을 실시하였고, 매끄러운 표면을 보이는 아크릴판을 밑면으로 하여 퍼진 시료의 중심을 지나가는 최소값과 최대값의 평균으로 결과값을 도출하였다. 퍼진 결과값의 평균이 180mm~300mm가 나오면 충분한 유동성을 갖는다고 판단하여 양생을 실시하였다.

장래의 재굴착 여부에 따라 28일 강도를 기준으로 인력굴착강도 $7\text{kg}/\text{cm}^2$ 이하, 장비굴착강도 $7 \sim 21\text{kg}/\text{cm}^2$, 비굴착강도 $21\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상 등(ACI Commitee 229R-94, 1994)으로 규명되어 있어 인력굴착이 가능한 정도의 강도보다 조금 더 강한 강도를 배합설계 기준으로 채택하였으며 최소의 강도 발현 값은 미국의 유동화 처리도 기준을 사용하여 배합설계 기준을 채택하여 본 시험의 시료들이 양생 후 본 기준의 부합여부를 파악하였다.

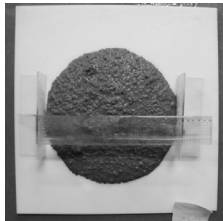


그림 1. 유동성 시험 후 측정 사진

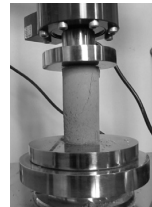


그림 2. 일축강도시험 후 사진

3. 시험 결과 및 고찰

3.1 유동성

유동성 시험의 결과값은 모든 배합 분류에서 20.25cm~23.35cm의 값을 보이며 설계 기준에 만족하는 값을 얻을 수 있었다. 더 큰 유동성을 확보하기 위해서는 전체 배합비율에서 물의 비율을 소량 증가시키면 유동성을 확보할 수 있으며 초기 강도는 조금 낮은 값을 보이나 최종강도에서 큰 변화가 없다는 결과를 얻을 수 있었다.

표 6. 배합 분류별 유동성시험 결과값

배합 분류	가로	세로	평균
BA 20	20.10cm	20.40cm	20.25cm
BA 30	23.10cm	23.60cm	23.35cm
FA 20	22.80cm	22.30cm	22.55cm
BA 30 + 고무칩	21.30cm	20.00cm	20.65cm

3.2 일축압축강도

일축압축강도는 각 재령별 3개의 시편을 제작하여 시험을 실시하여 얻은 결과값의 평균을 사용하였다. 그림 3에서 보는 것과 같이 배합설계 기준의 재령 3일 값인 1.3kg/m²의 값을 모두 만족하였으며, 재령 28일의 값인 2.1~10.0kg/m²의 값을 모두 만족하였으며, FA 20과 BA 30+고무칩의 배합에서는 14일 강도가 최대값을 보였다. 이는 미립분이 많이 함유된 FA 20과 다른 배합들보다 수분을 함유할 수 없는 고무칩을 배합한 BA30+고무칩의 배합에서 시편내 수분이 증발함에 따라 일축압축강도의 저하를 보이는 것으로 사료 되었다.

표 7. 배합 분류별 일축압축강도 시험 결과값

배합 분류	1일 (kg/m ²)	3일 (kg/m ²)	7일 (kg/m ²)	14일 (kg/m ²)	28일 (kg/m ²)
BA 20	1.9964	3.2612	4.4478	7.4051	7.6970
BA 30	1.7316	3.0319	4.2100	7.3422	7.4848
FA 20	1.7596	3.5243	4.2424	6.9289	5.9688
BA30 + 고무칩	1.4718	2.5227	4.0625	7.1080	6.7667

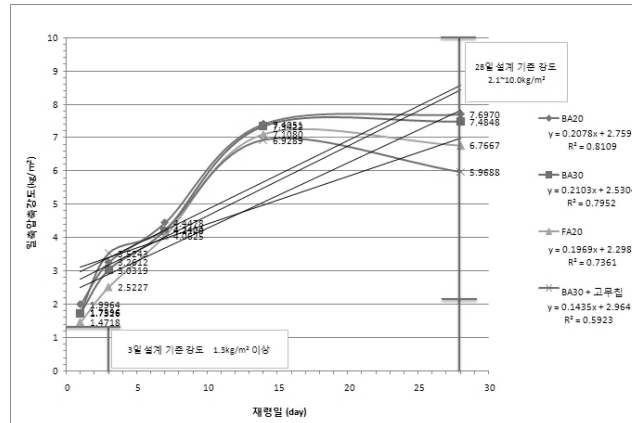


그림 3. 재령일별 일축압축강도 그래프

4. 결론

본 연구에서는 Bottom ash를 현장발생토로 대체하여 친환경 유동성 보수보강재의 개발에 있어 적정 배합비를 도출하기 위한 시험을 실시하였다. 유동성시험(180mm~300mm)과 일축압축강도(3일 : 1.3kg/cm²이상, 28일 : 2.1~10.0kg/cm²)의 배합 설계 기준을 바탕으로 시험을 실시한 결과는 모두 만족하는 결과값을 보였으며, 대체적으로 14일 이후이면 최대 강도에 대응하는 강도를 발현하는 것으로 확인 되었다. 관매설공사의 되매우기 방법을 대체할 수 있게 개발중인 친환경 유동성 보수보강재의 물리적 및 공학적 특성을 실내시험을 통하여 비교 검토 하였으며 추후 지속적인 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2009년 한국연구재단의 연구비 지원을 받아 연구되었으며, 이에 깊은 감사드립니다.

참고 문헌

1. 김윤태 외 (2007) "준설토와 Bottom Ash 재활용을 위한 복합지반재료 개발", 한국지반공학학회논문집, 제 23권, 11호, 77- 85
2. 임유진 외 (2008) "도로하부 성토재료로서의 유동성 뒷채움토 적용을 위한 기초시험", 한국도로학회논문집, 제10권, 10호, 243-250
3. 조대호 외 (2007) "현장발생토를 활용한 토류구조물 뒷채움용 유동화처리토의 최적배합비 산정과 재료거동에 관한 실험적 연구", 대한토목학회논문집, 제27권, 3C호, 175-184