

비산재와 열가소성수지 폐기물의 재활용방안

권영택* · 윤지훈** · 이상희* · 이정아*

*경남대학교 토목환경공학부, **경남대학교 환경문제연구소

I. 연구목적

현재 우리 나라에서 사용되는 합성수지 중 열가소성수지인 청량음료 등의 용기로 사용되는 PET와 농업용 비닐로 사용되는 LDPE를 이용하여 산업폐기물 처리시설에서 발생되는 중금속이 다량 함유한 비산재의 고형화처리를 위한 가능성을 검토하고, 고화체의 활용성 및 폐기물처리 비용절감 효과를 검토하였다.

II. 실험재료 및 방법

산업폐기물 소각 업체인 H소각시설에서 발생된 Fly ash(Cyclone 및 Bag filter), 폐 PET 병 및 비닐하우스용 LDPE를 사용하였다. 공시체는 비산재를 열가소성수지와 질량비로 10 ~ 70 wt% 로 혼합하여 300 ℃ (PET)와 350 ℃(LDPE)에서 30~40분 동안 용융시켜 KSF-2419 근거한 공시체 Molder (□ 40^W×40^H×160^L mm)에 넣고 20 kg/cm²의 압력을 가하여 냉각사출성형 하였다. 다량의 중금속과 미연분이 함유된 비산재의 열가소성수지에 의한 고형화 특성을 판단하기 위하여 강열감량(KSL 5405)실시하였으며, 단위용적 중량시험은 겉보기 부피와 질량을 측정하여 g/cm³으로 나타내었다. 각 공시체에 대한 압축강도(KSF 2483)를 측정하였고, 내약품성시험은 5 %의 H₂SO₄, HCl 및 NaOH 용액을 사용하여 상온에서 1~7일 동안 침지 시킨 후 흐르는 물 속에 5초 동안 씻어 마른 형경으로 표면의 수분을 닦아내고 즉시 무게를 측정하여 폴리머 콘크리트의 저항도를 비교 분석하였다. 중금속 용출시험은 KS 용출시험법 과 미국의 TCLP시험¹⁾을 병행하여 수행하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 물리적 특성

Fig. 1에 비산재의 강열감량을 나타내었다. 모르타르 또는 콘크리트에 혼화재로 사용하는 비산재 품질 기준치(KSL 5405) 중 강열감량은 5 % 이하이다. Cyclone ash의 경우 강열감량 3.4~3.5 %로 만족하였으나 Bag filter ash의 경우에는 16.1~18.2 %로 상당한 미연분 유기물이 있는 것으로 나타났다. 그러므로 유기물을 다량 함유한 Fly ash는 시멘트 고형화보다 유·무기물을 고형화할 수 있는 열가소성수지에 의한 고형화가 바람직한 것으로 판단되었다. 공시체의 단위용적 중량을 Fig. 2에 나타내었다. Fly ash의 밀도가 열가소성수지보다 높아 전반적으로 Fly ash 혼입량이 높을수록 단위용적 중량이 증가하는 경향을 나타내었다. Fly ash의 밀도가 시멘트의 밀도보다 작기 때문에 콘크리트 부재로 사용시 자중감소의 효과에 기여할 것으로 판단된다.²⁾ 건축자재 또는 기타 방안으로서 재활용을 하기 위해서 고화체는 일정 압력 하에서 적절한 강도를 가져야 하며, 비산재와 폐 열가소성수지의 혼합비율에 따른 공시체의 압축강도 시험결과를 Fig. 3과 4에 나타내었다. PET에 Cyclone ash의 혼입율이 증가함에 따라 압축강도는 증가하다가 50 % 이상 혼입되었을 때 압축강도는 감소하는 경향을 보였다. PET에 50 % 이하로 Cyclone ash를 혼입한 공시체는 Fly ash 시멘트(KSL 5211)의 압축강도 C종 200 kgf/cm²를 상회하는 것으로 나타났지만, PET에 Bag filter ash를 혼입한 공시체는 강도가 25~41 kgf/cm²으로 상당히 낮아 압축강도가 기준치 미만을 나타내었다.

(연락처) 우: 631-701 마산시 월영동 449번지 경남대학교 토목환경공학부

권영택 전화 : 0551-249-2248, FAX : 0551-249-2248, E-mail : kwonyt@kyungnam.ac.kr

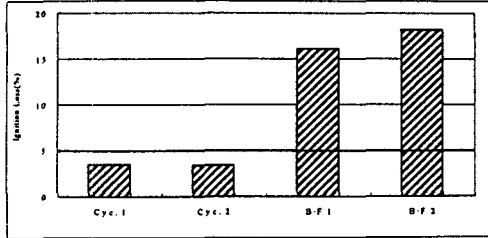


Fig. 1. Ignition Loss of Fly ash

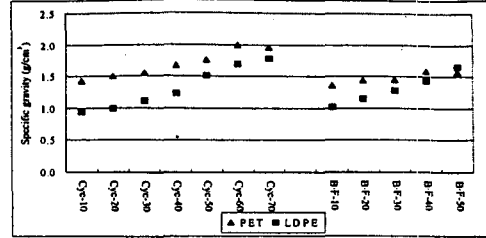


Fig. 2. Specific gravity from each specimens made Fly ash and Thermoplastics

LDPE를 합성한 공시체 중 압축강도는 PET로 제작된 공시체와는 다른 경향을 띄었으며, 비산재의 혼입율이 증가할수록 압축강도는 증가하였다. Cyclone ash 30 %, Bag filter 20 % 이상으로 혼입된 공시체는 Fly ash 시멘트(KSL 5211)의 압축강도 C종 200 kgf/cm²를 모두 상회하는 것으로 나타났다.

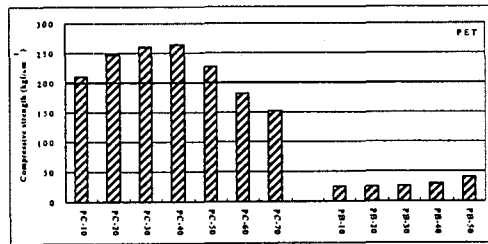


Fig. 3. Compressive strength of specimens made from Fly ash and PET

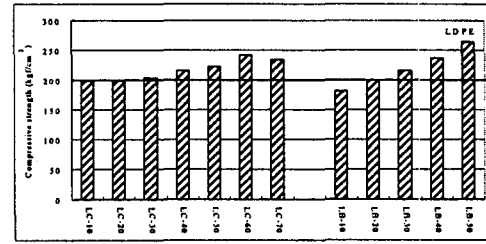


Fig. 4. Compressive strength of specimens made from Fly ash and LDPE

2. 화학약품저항성

산업 발달에 따라 점차 심각해지고 있는 환경오염 문제(산성비 및 염류 등)는 건축·토목 구조물들의 조기열화 및 내구성에 심각한 저해요인으로 등장하게 되었다²⁾. 따라서 공시체에 대한 내산성 시험 및 내알카리성 시험을 실시하고 평가하였다. 내산성시험결과를 Fig. 5와 6에 나타내었다. 5%의 HCl 용액으로 침지 시험한 결과에서 PET로 합성한 공시체는 침지시간 7일 동안 최소 76.0%의 중량비를 보이고 있으며, 침지 시간이 경과함에 따라 중량감소가 높았다. LDPE로 합성한 공시체는 최소 98.6%의 중량비를 보였다. 5%의 H₂SO₄ 용액으로 침지 시험한 결과에서 PET로 합성한 공시체는 94.5~104.7% 중량비를 보이고 있어 HCl 용액으로 침지한 것보다 중량감소가 낮았으며, Bag filter ash 50% 함유한 PB-50에서 104.7% 중량비로 다소 증가하였다. 이는 침지 실험에서 침식된 부분의 반응생성물에 의하여 기인된 것이다³⁾. LDPE로 합성한 공시체는 최소 중량비가 98.8%로 반응생성물 및 중량감소가 거의 없었고, HCl 용액과 H₂SO₄ 용액에서 내산성이 높음을 알 수 있었다. 내알카리성에서 5% NaOH 용액으로 침지 실험결과를 Fig. 7과 8에 나타내었다. PET로 합성한 공시체 중 Cyclone ash를 혼입한 공시체는 7일 침지 후 중량비가 88.7~99.8%로 다소 감소하였다. Bag filter ash를 혼입한 공시체는 7일 침지 후 중량비가 71.2~97.5%로 중량감소율이 높게 나타났다. LDPE로 합성한 공시체의 최소 중량비는 99.4%로 PET로 합성한 공시체의 최소 중량비인 71.2%보다 낮은 중량감소율을 보이고 있다. 열가소성수지의 종류에 따른 내약품성은 물리적 특성이 다르므로 고화체의 활용도에 따라 선택을 달리 하여야 할 것이다.

3. 공시체 용출시험

비산재는 투입폐기물 또는 원료에 포함하고 있는 유해물질을 농축하여 고농도로 포함되어 있다. 따라서 처분

또는 재활용시 안전성을 높이기 위해 고형화가 필요하며, 용출시험을 통하여 유해성 여부를 평가한다. 다음은 비산재를 고형화한 공시체의 유해성 평가를 위하여 KS 용출시험법과 TCLP법의 시험결과이며, Table 1은 각국의 비산재의 용출허용기준이다.

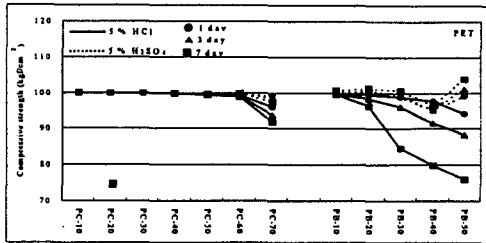


Fig. 5. Weight change of specimens(Fly ash and PET) immersed in acid

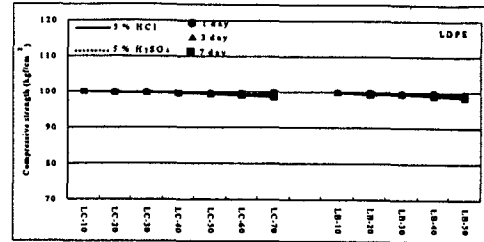


Fig. 6. Weight change of specimens(Fly ash and LDPE) immersed in acid

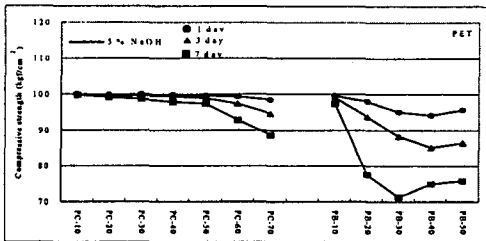


Fig. 7. Weight change of specimens(Fly ash and PET) immersed in sodium hydroxide solution

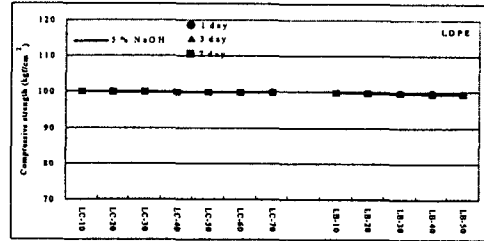


Fig. 8. Weight change of specimens(Fly ash and LDPE) immersed in sodium hydroxide solution

Table 1. List of allowable leaching concentration of heavy metals

Methods	Elements	(unit : mg/L)			
		Pb	Cd	Cr	Cu
KS		3	0.3	1.5	3
TCLP		5	1	5	-

Fig. 9와 10은 폐 합성수지(PET, LDPE)를 이용하여 Fly ash (Cyclone, Bag filter)를 고형화 하였을 때 KS 용출시험법에 의한 용출량을 나타낸 것이다. KS 용출시험법에 대한 용출은 시료 혼합비율, 열가소성수지의 종류에 관계없이 중금속 검출이 되지 않았거나 매우 미량이 검출되어 용출 기준보다 현저히 낮았으며, 다만 LDPE에 Bag filter ash가 50%를 함유한 LB-50만이 Pb 3.97 mg/L로 기준치를 초과하였다. 그러므로 우리나라의 용출시험법 기준으로 할 때 열가소성 수지를 이용한 고형화는 충분히 타당성이 있다고 판단된다. 열가소성수지의 종류에 따른 용출특성은 뚜렷한 차이는 없었으나 각 수지의 물리적 특성이 다르므로 고화체의 활용도에 따라 선택을 달리 하여야 할 것이다. Fig. 11과 12는 열가소성수지(PET, LDPE)로 비산재(Cyclone ash, Bag filter ash)를 고형화하였을 경우 TCLP 용출시험법에 의한 용출량을 나타내었다. Cyclone ash는 Pb, Cd, Cr에서 용출허용기준 이하로 나타났다. Bag filter ash를 혼합하였을 경우 Cr은 허용기준치 이하로 용출되었으나, Cd는 Bag filter ash 함유율이 20% 이상일 때, Pb는 Bag filter ash 혼합율이 10% 이상일 때 허용기준치를 초과하였다. 중금속 용출농도는 열가소성수지 대체로 폐기물 시료의 혼합비율이 증가할수록 높게 검출되는 경향을 보였다. 이는 고화체 시료의 혼합비율이 증가함에 따라 시료의 절대량도 증가하며, 또한 상대적으로 열가소성수지의 비율이 감소하여 폐기물 입자의 캡슐화 정도가 낮아져 시료 용매에 의한 접촉이 증가하였기 때문으로 판단된다.⁴⁾

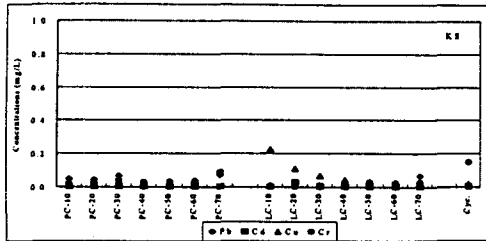


Fig. 9. Extracted heavy metal concentrations of specimens made from Fly ash and PET by KS method

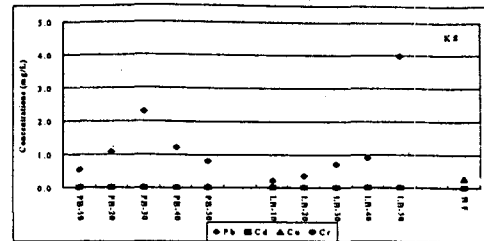


Fig. 10. Extracted heavy metal concentrations of specimens made from Fly ash and LDPE by KS method

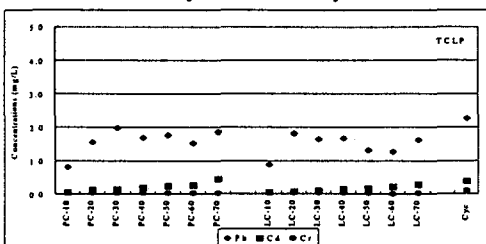


Fig. 11. Extracted heavy metal concentrations of specimens made from Fly ash and PET by TCLP

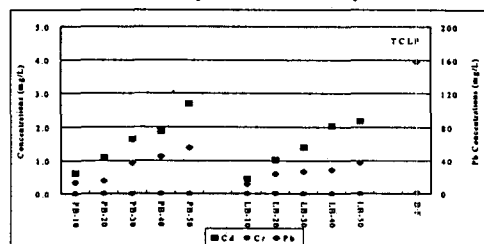


Fig. 12. Extracted heavy metal concentrations of specimens made from Fly ash and LDPE by TCLP

IV. 결론

산업폐기물 소각시설 비산재의 강열감량은 Cyclone ash 3.4~3.5 %, Bag filter ash 16.1~18.2 %로 유기물을 상당량 함유하고 있으므로 유·무기물을 고형화 할 수 있는 열가스소성수지에 의한 고형화가 바람직한 것으로 판단되었다. 공시체의 압축강도 시험결과 PET에 Cyclone ash 10~50 %, LDPE에 Cyclone ash 30~70%와 Bag filter ash 20~50 %를 혼합한 공시체에서 Fly ash 시멘트 압축강도 200 kgf/cm²를 상회하는 것으로 나타났다. Cyclone ash 10~60 %, Bag filter ash 10~40 %를 함유한 고분자 화합물 공시체는 KS 용출시험 결과 고형화에 의하여 중금속 용출량을 상당히 감소시켰으며 지정폐기물 허용기준치를 만족하여 재활용이 가능하였다. 그러나 TCLP법을 적용한 결과 Bag filter ash를 함유한 공시체는 기준치를 초과한 것으로 나타났다. 공시체의 용출시험, 강도시험, 내약품성시험 결과를 고려하였을 때 PET에 Cyclone ash 10~50 %, LDPE에 Cyclone ash 30~60%와 Bag filter ash 20~40 %를 혼합할 경우 경제블럭, 보도블럭, 타일, 침목, 고속도로 중앙분리대 등과 같은 단순구조 제품 제작시에 이용 가능할 것으로 판단되었다.

References

1. Code of Federal Regulation 40, "Toxicity Characteristics Leaching Procedure(TCLP), 7-1-1991 Ed., Chapter I, Part 261, Appendix II(1991)
2. 왕일국, 진영길, 김광서, 플라이애쉬를 첨가한 고강도 콘크리트의 성질에 관한 실험적 연구, 대한건축학회학술발표논문집, Vol. 17, No. 2 pp. 1233~1238 (1997)
3. 엄명현, 최재진, 이진식, 이철태, 석탄비산재가 모르타르의 물성에 미치는 영향, 한국공업화학회, Vol. 6, No. 3, pp. 435~445 (1995)
4. 정준오, 정진, "열가스소성 수지를 이용한 전기로 제강분진의 고형화에 관한 연구", 대한환경공학회지, Vol. 21 No. 4, pp. 796~803 (1999)