

폐플라스틱/제강 Dust 성형체의 용출안전성에 대한 연구

강영구[†] · 송종혁^{*}

호서대학교 안전시스템공학과 · ^{*}호서대학교 벤처전문대학원
(2003. 8. 11. 접수 / 2003. 11. 5. 채택)

Elution Safety of Recycled Plastic/EAF Dust Composites by Using Leaching Test

Young-Goo Kang[†] · Jong-Hyeok Song^{*}

Department of Safety System Engineering, Hoseo University
^{*}Graduate School of Venture, Hoseo University
(Received August 11, 2003 / Accepted November 5, 2003)

Abstract : In this study, We have investigated leaching characteristics of heavy metals for recycled plastic composites containing EAF(Electric Arc Furnace) dust & EAF slag. EAF dust & EAF slag used that is generated in the 3 steel-making companies in domestic. The physical and chemical properties of EAF dust & slag was examined by measuring specific surface area, porosity, oil absorption test and chemical wetting analysis etc.

Results of total analysis indicated that EAF dust, slag contained significant amount of hazardous metals such as Cu, Pb, Cd and Cr. But, In the leaching test of the recycled plastic composites containing EAF dust, slag by Korean Standard Leaching Procedure, composites shows much lower leaching concentration of heavy metals.

It was concluded that the recycled plastic composites containing EAF dust, slag showed good physical and chemical characteristics. This means that the EAF dust, slag can be effectively used as a functional filler.

Key Words : electric arc furnace dust, electric arc furnace slag, heavy metal, extraction, leaching test, recycled plastics, composites

1. 서 론

최근 소재 산업의 발전과 함께 금속물질을 대체하여 많은 플라스틱 제품이 산업 전분야에 적용되고 있으며 이중에서도 전자파차폐 특성이나 난연성을 갖는 안전소재에 대한 사회적 요구가 급증하고 있다. 이에 많은 연구진들이 안전보건 관련 플라스틱 소재의 개발로 경량 고강도 성형체, 전자파 차폐 성형체, 내약품성 및 내식성 성형체, 난연성 성형체 개발에 연구가 활발히 진행중이다^{1,3)}. 또한, 산업폐기물의 처리와 관련한 환경적인 문제가 대두되어 이들 성형체 제조에 필요한 원료를 폐플라스틱 및 기타 산업폐기물로 대체하여 경제성과 환경안전성을 동시에 만족시킬 수 있는 연구가 진행되고 폐플라스틱의 활용연구는 많은 성과가 있었으나 중금속을 함유

하고 있는 유해폐기물의 자원화 연구는 미진한 실정이다. 이들 산업폐기물 중 제철공장의 제련공정에서 발생하는 집진분진(EAF dust)과 제강공정에서 발생하는 부산물인 제강슬래그는 각종 유해한 중금속을 함유하고 있어 지정폐기물로 분류되고 있으나 이를 처리할 수 있는 시설과 재활용 기술의 부족으로 시멘트의 충전제나 노반골재로 일부 사용하고 있으나 대부분 단순매립에 의해 처리되고 있다^{4,5)}.

특히 전기로 분진(EAF dust, Electro Arc Furnace Dust)은 Pb, Cd, Cr, Cu, As 등의 중금속을 다량 함유하고 있어 단순매립에 의해 처리할 경우 유해 중금속 성분이 주변 토양이나 지하수에 용출됨으로써 2차 환경오염을 유발할 수 있다⁶⁾.

제강슬래그는 연간 발생량이 약 230만톤에 이르고 시멘트 첨가제 및 노반골재로의 재활용율이 95% 이상으로 고로슬래그와 달리 석회분과 철분이 많아 비중이 크고, 20wt(%) 이상을 차지하고 있는 유리석

[†]To whom correspondence should be addressed.
ygang@office.hoseo.ac.kr

회(Free CaO)에 의한 팽창붕괴성을 이유로 저급용도의 골재로 용도가 제한되고 있다^{7,8)}.

따라서, 이들 폐기물의 재활용 용도개발에 많은 연구가 진행되고 있는데 EAF dust의 경우 제강로에 장입되는 고철의 종류에 따라 다소 차이는 있으나 20~40wt(%)의 Zn을 함유하고 있어 EAF dust로부터 Zn 및 유가금속을 회수하려는 연구가 활발히 진행되어 Waelz법, St. Joe법과 같은 건식법이 개발되었으며 최근에는 소규모 제철소에 적합한 습식법에 의한 처리기술 등⁹⁾이 연구되고 있으나 EAF dust와 같은 폐기물은 특성상 조성변화가 심해 재활용이나 재처리가 어려운 실정이다. EAF slag는 화학적 활성체의 작용 하에서 시멘트와의 접착성이 우수하고 전기로 slag를 충전한 시멘트의 경우 일반 포틀랜드 시멘트에 비교하여 내부식성이 우수하여 시멘트 충전체로서 재활용되고¹⁰⁻¹²⁾ 있으나 다량 함유되어 있는 유리석회의 문제성 때문에 첨가량이 5wt(%)로 제한되고 있는 실정이다.

이러한 문제점 때문에 아직도 제강부산물의 재활용 용도는 극히 제한적이나 제강부산물은 특성상 적절한 처리과정을 거칠 경우 대체자원으로서의 잠재활용 가치가 커 용도개발이 필요한 시점이다.

다른 용도에 대한 연구로는 본 연구진이 EAF slag의 경우 함철성분이 50wt(%) 이상인 특성을 이용하여 페플라ستيك에 전도성 filler와 hybrid filler로 충전하여 전자파차폐용 복합소재를 제조한 경우와 함철성분의 역연특성을 이용하여 EAF slag powder를 충전한 난연소재에 대한 연구 등이 있으며 기능성 filler로서의 가능성을 확인할 수 있었다^{13,14)}.

그러나 중금속 용출 위험성이 큰 제강부산물을 기능성 filler로 사용하기 위해서는 고분자와 혼합될 경우의 용출위험성에 대한 연구가 수반되어야 하지만 아직은 연구사례가 없기 때문에 본 연구에서는 페플라ستيك에 EAF dust와 slag를 혼합하여 시편을 가공하고 폐기물공정시험법에 의거한 중금속 용출시험을 수행하여 복합소재의 용출안전성을 평가함으로써 EAF dust와 slag를 전자파 차폐 및 난연기능성을 갖는 안전소재와 폐기물을 이용한 고강도 성형체, 내마모성 성형체의 원료로서 적용하기 위한 가능성을 평가하였다.

2. 실험

2.1. 실험 재료

본 연구에 사용된 EAF dust는 국내 A사, B사, C

사 5개 공장의 제련공정 bag filter에서 포집된 것으로서 3개 공장에서 수거된 것은 초미분상이었으나 2개 공장에서 수거된 것은 유해분진의 비산을 막기 위해 물과 혼합하여 granule상으로 가공 되어 있어 진동볼밀을 이용하여 분쇄가공하여 사용하였으며, HD1~HD5로 명명하였다. EAF slag는 3개사 4개 공장에서 수거된 것으로 30 ϕ 이하의 size를 갖는 것을 1차 선별하고 성형체 제조를 위한 충전체로 가공하기 위해 진동볼밀에서 분쇄하여 Sieve shaker를 이용해 200~325 mesh size로 분류하여 사용하였다.

용출특성 평가를 위한 EAF dust 및 EAF slag 충전 성형체 가공을 위해 페폴리에틸렌, 페폴리프로필렌을 매트릭스수지로 사용하였으며 두가지 수지를 복합으로 사용한 경우 상용화제로 Ethylene-propylene copolymer : EPM(Vistalon 606, Kumho Petrochemical Co. LTD.)과 Ethylene-propylene diene copolymer : EPDM(KEP 570P, Exxon Mobil Chemical)을 첨가하였다. 또한 전기로 dust 및 slag가 충전된 난연성형체의 제조에는 무기계 난연제로서 Aluminium trihydroxide(ATH), Mg(OH)₂를 20wt(%) 첨가하였다.

2.2. 시험시편 제조

매트릭스 수지인 페HDPE와 페PP pellet, 상용화제로는 EPM, EPDM을 진공건조기에서 60 $^{\circ}$ C, 12hr 동안 건조하여 90 $^{\circ}$ C에서 24hr이상 건조된 EAF slag powder, EAF dust, ATH, Mg(OH)₂를 formulation에 따라 double cone mixer에서 30rpm으로 10분간 혼합한 후 twin screw extruder를 이용해 60rpm으로 압출하여 용출시험을 위해 5mm 이하로 pelletizing 하였다.

2.3. EAF dust 및 slag의 물리·화학적 특성 평가

EAF dust 및 slag의 페플라ستيك 충전체로서의 적합성을 평가하기 위해 SEM(PSEM-75, RJ Lee Instruments Ltd.)을 이용하여 Morphology 특성을 분석하였으며 비표면적 시험, Porosity 측정, pH시험, 흡유량 시험, 밀도 측정 등을 통해 EAF dust 및 slag의 물리적 특성을 평가하였다. EAF dust 및 slag의 화학적 조성이 성형체 가공 후 용출특성에 영향을 미치기 때문에 KS(E 3021)에 의한 화학적 습식 분석법을 이용해 각 시료의 화학성분별 특성을 조사하였다.

2.4. 중금속 용출시험

페플라ستيك에 EAF dust 및 EAF slag를 40~

60wt(%) 첨가하여 압출 가공한 5mm size의 pellet을 폐기물공정시험법의 용출시험방법(KLP, Korean Leaching Procedure)으로 중금속 용출시험을 수행하였다. 가공된 pellet을 50g 정량 후 증류수에 HCl을 가하여 pH 5.8~6.3으로 한 용매와 1:10(무게:부피)의 비율로 혼합한 후 항온진탕기를 이용하여 4~5cm의 진폭으로 25℃에서 200rpm으로 6시간 동안 연속 진탕 후 용출액을 거름종이(5종 A)로 여과하였으며 이 여과액을 질산을 이용하여 전처리 후 ICP(SPS-7000, SEIKO)를 이용하여 Cu, Pb, Cd, Cr, Hg, As 등의 농도를 측정하였다.

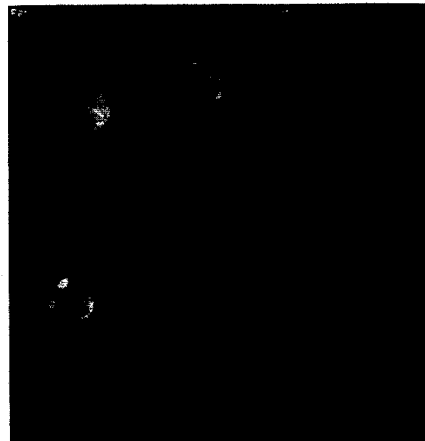
3. 실험결과 및 고찰

3.1. EAF Dust 및 Slag의 물리·화학적 특성

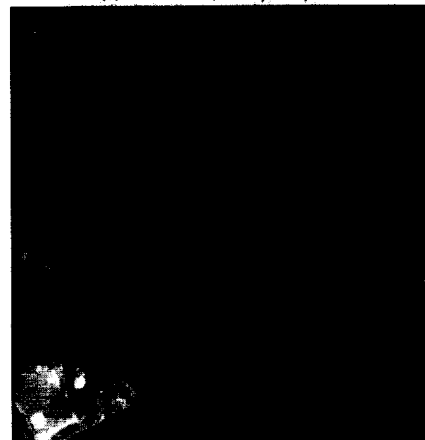
SEM을 이용하여 EAF dust 및 slag의 morphology를 분석한 결과 Fig. 1.에 나타낸바와 같이 EAF dust는 구형으로서 약 0.5 μm size를 나타내었으며 EAF slag의 경우 size가 불규칙한 bulk 상태임을 알 수 있었다.

비표면적 시험 결과 EAF dust의 경우 3~12m²/g, EAF slag의 경우 5~14m²/g의 분포로 talc류와 유사한 특성을 나타내었으며 porosity 특성은 시료에 따라 약간의 차이는 있으나 pore volume의 경우 dust와 slag가 비슷한 특성을 나타내었으며 pore diameter의 경우는 slag가 dust에 비해 낮은 수치를 나타내었다. 흡유량시험 결과 EAF dust는 19~24wt(%), EAF slag의 경우 14~16wt(%)로 dust가 높은 수치를 나타내었으며 모두 talc류와 비교해 다소 낮은 특성을 나타내었다.

EAF dust와 slag의 pH값은 8.8~10.4로 알카리 특성을 나타내었으며 bulk density는 EAF dust가 0.68~1.10, EAF slag가 1.81~2.33으로 slag의 비중이 컸으며 국내 Slag의 경우 독일의 제철회사에서 배출



(a) EAF dust(HD-5, ×1,000)



(b) EAF slag(HD-9, ×1,000)

Fig. 1. SEM photographs of EAF dust & slag

되고 있는 EAF slag의 평균 겉보기 비중 3.5g/cm³에 비해서는 낮은 값을 나타내었다.¹⁵⁾

EAF dust 및 slag의 화학성분 분석 결과 EAF dust(HD1~HD5)는 시료별로 성분의 차이는 있었으나 Table 2.와 같이 Fe₂O₃와 ZnO가 구성성분의 약 60wt(%) 이상을 차지하고 있었으며 이중 Fe₂O₃가

Table 1. Physical properties of EAF dust & slag

Test	Sample	EAF Dust					EAF Slag			
		HD-1	HD-2	HD-3	HD-4	HD-5	HD-6	HD-7	HD-8	HD-9
Specific Surface Area (m ² /g)		12	7	5	3	6	14	5	6	9
Porosity	Pore Volume (cm ³ /g)	0.042	0.023	0.015	0.010	0.018	0.032	0.018	0.015	0.020
	Pore Diameter (nm)	14.4	13.8	12.9	12.6	13.4	9.1	14.2	10.2	9.2
Oil Absorption (wt%)		22	23	24	23	19	14	16	15	16
pH		9.0	10.0	9.2	9.4	8.8	10.4	10.0	9.4	9.0
Bulk Density (g/cm ³)		1.10	0.76	0.68	0.80	1.18	2.33	2.29	2.19	1.81

Table 2. Chemical compositions of EAF dust & slag

Compositions	HD-1	HD-2	HD-3	HD-4	HD-5	HD-6	HD-7	HD-8	HD-9	Remarks
SiO ₂	5.58	4.5	4.76	4.67	4.84	19.48	19.97	20.68	15.15	
Al ₂ O ₃	11.08	8.92	13.32	8.04	11.42	9.53	7.42	9.88	9.35	
Fe ₂ O ₃	44.86	43.35	36.60	47.08	45.22	23.75	22.03	21.83	35.03	
CaO	4.48	4.55	2.03	2.84	3.58	21.34	18.84	20.3	14.31	
MgO	2.56	2.42	1.85	1.16	3.72	8.44	8.2	8.24	6.45	
MnO	1.48	2.07	1.11	1.30	2.60	3.56	3.26	3.36	3.76	
P ₂ O ₅	0.322	0.310	0.370	0.241	0.427	0.270	0.175	0.302	0.306	
Na ₂ O	0.72	3.46	2.87	2.84	2.10	0.24	0.31	0.27	0.22	
K ₂ O	0.86	5.47	3.85	3.84	2.78	0.10	0.17	0.12	0.08	
ZnO	24.57	16.87	24.17	12.26	16.83	0.15	0.10	0.10	0.01	
Cu	0.112	0.102	0.114	0.124	0.234	0.018	0.016	0.025	0.017	
Cd	0.029	0.036	0.033	0.040	0.029	0.001	0.001	0.001	0.001	
Pb	2.921	1.982	2.951	1.626	1.923	ND	ND	ND	ND	
Ni	0.023	0.013	0.019	0.030	0.030	ND	ND	0.006	ND	
Cr ₂ O ₃	0.241	0.164	0.152	0.213	0.484	0.827	0.400	0.880	0.802	
TiO ₂	0.168	0.095	0.177	0.062	0.093	1.433	1.348	1.455	1.313	
C	2.06	1.69	1.63	1.87	0.71	0.52	0.30	0.51	0.23	
S	0.856	0.509	0.630	0.492	0.441	0.255	0.101	0.089	0.077	
As	13.57	11.4	10.93	10.67	18.13	ND	ND	ND	ND	Unit : ppm

Unit : wt(%), ND : Not Detectable

36.6~47.08wt(%)로 함량비가 가장 높게 나타났다. 이외에 Al₂O₃, SiO₂, CaO, MgO, C, S 기타 중금속 성분으로 구성되어 있음을 알 수 있었고 EAF dust가 slag에 비해 탄소성분의 함량이 높게 나타났다.

EAF slag는 Fe₂O₃, SiO₂, CaO가 주성분으로 나타났다. Cu, Cd는 EAF dust와 비교하여 매우 낮은 함량을 나타내었으며 EAF dust에서 약 20wt(%)에 가까운 함량을 나타내었던 ZnO는 미량 검출되었다.

EAF dust에서 검출된 중금속인 Pb와 As는 EAF slag에서는 검출되지 않았으며 Ni도 HD-8을 제외하고는 검출되지 않았다.

EAF dust가 발생하는 공정의 특성상 합철성분 함량이 EAF slag에 비해 높았으며 Fig. 2에 나타난 바와 같이 중금속의 함량이 Cr화합물을 제외하고는 EAF slag에 비해 높게 나타났다.

3.2. 페플라스틱-EAF Dust & Slag의 혼합특성

Pellet상의 페폴리에틸렌, 페폴리프로필렌과 200 mesh 이하 size의 EAF dust 및 slag를 혼합하여 압출 가공하고 가공된 pellet을 열압착 성형하여 성형체의 강도 및 morphology를 관찰함으로써 혼합특성을 평가하였다. 페폴리에틸렌 및 페폴리프로필렌에 EAF dust 및 EAF slag를 10wt(%)씩 증가시켜 혼합하고 최대충진율을 평가한 결과 EAF slag의 경우는 최대충진율이 60wt(%), EAF dust는 40wt(%)를 나타내었다. 최대충진율의 차이는 EAF dust의 평균 겉보기 비중이 약 0.9이고 EAF slag의 평균 겉보기 비중이 약 2.2 정도로 EAF dust의 체적충진율이 높기 때문이며 EAF dust의 경우 최대충진율인 40wt(%) 이상의 함량에서는 Fig. 3에서와 같이 과도한 filler 함량으로 이축압출기의 강한 혼련에도 불구하고 filler인 EAF dust가 matrix 수지에 고르게 분산되지 못하여 압착 성형 후에도 성형체의 기계적 강도가 현저히 감소하는 현상을 나타내었다.

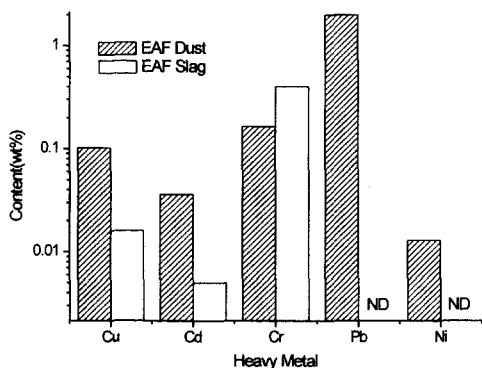


Fig. 2. Comparison of heavy metal content

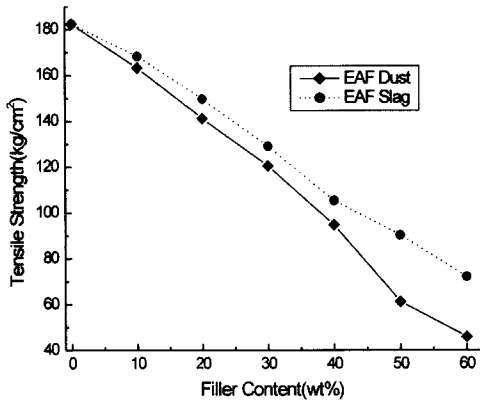


Fig. 3. Mechanical properties of composites as addition of filler content

3.3. 페플라스틱/EAF Dust & Slag 복합성형체의 중금속 용출 특성

본 연구에서는 지정폐기물인 EAF dust와 EAF slag가 충전된 페플라스틱 성형체의 중금속 용출에 따른 안전 보건상 문제, 성형체의 강도 저하문제를 평가하기 위해 복합성형체의 중금속 용출 시험을 수행하였다. 성형체의 제조에 사용되는 EAF dust와 EAF slag는 200mesh 이하 size(<75 μ m)로 분쇄된 것이 사용되기 때문에 EAF dust 및 slag 자체의 용출시험에서도 폐기물 공정시험법에 의거한 5mm 이하 크기가 아닌 분쇄된 75 μ m 이하의 시료를 시험하였다.

EAF dust 및 EAF slag 자체의 용출특성과 성형체의 중금속 용출 특성을 시험하기 위한 성형체 제조에는 모두 EAF dust는 HD-2, EAF slag는 HD-6이 사용되었다. 폐기물 공정시험법에 의거 EAF dust 및 EAF slag의 중금속 용출특성을 시험한 결과 EAF

dust의 경우 Pb, Cd는 Table 3에 나타내었듯이 낮은 용출율을 나타내었으나 Cr은 1.29mg/L로써 기준치 1.5mg/L에 근사한 값을 나타내었다. Cu, Hg, As는 모두 기준치를 상회하였으며 특히 Cu, As의 농도가 높은 것으로 분석되었고 Hg의 경우 기준치의 20배가 넘는 용출특성을 나타내었다. EAF slag의 경우 EAF dust와 달리 대부분의 항목에서 낮은 용출율을 나타내었으나 Hg의 경우는 기준치인 0.005mg/L 보다 높은 0.006mg/L을 나타내었다.

EAF dust 및 slag를 페플라스틱과 혼합한 복합성형체의 용출특성을 시험에 있어 EAF dust 및 slag의 함량은 40wt(%)로 고정시켜 수행하였다. 이는 EAF dust의 최대충진율이 40wt(%)이고 EAF slag의 경우 최대충진율이 60wt(%)이지만 난연성 및 전자파 차폐특성을 갖는 안전소재로의 적용을 위해서는 기능성 filler의 함량이 20wt(%) 이상 추가로 적용되어야 하기 때문이다. 본 연구에서는 페폴리에틸렌과 페프로필렌에 EAF dust 및 EAF slag를 40wt(%) 충전한 성형체와 본 연구진을 통해 연구되었던 페폴리에틸렌/페폴리프로필렌 블렌드에 상용화제인 EPM, EPDM과 난연기능성 filler인 ATH, Mg(OH)₂가 EAF slag와 복합으로 충전된 난연성형체의 중금속 용출 특성을 시험하였다. 시험 결과 페플라스틱과 EAF dust 및 slag를 단독으로 혼합한 성형체의 경우 모든 중금속 성분이 용출기준 규제값 이하로 나타났으며 EAF dust와 EAF slag 모두에서 높은 용출율을 보였던 Cu의 경우 모든 성형체에서 검출되지 않았다. 특히 EAF dust 및 EAF slag에서 모두 용출 기준치 이상의 용출특성을 나타내었던 Hg의 경우 페플라스틱과 혼합함으로써 기준치 이하의 특성을 나

Table 3. Results of leaching tests by korean standard method

Sample	Cu	Pb	Cd	Cr	Hg	As	TCE	PCE
Regulation limit	3	3	0.3	1.5	0.005	1.5	0.3	0.1
EAF Dust	4.34	0.82	0.11	1.29	0.132	2.95	ND	ND
EAF Slag	0.71	0.12	0.002	0.008	0.006	ND	ND	ND
PE(60)+Dust(40)	ND	0.036	0.007	0.001	0.002	0.02	ND	ND
PE(60)+Slag(40)	ND	0.001	ND	0.001	0.001	ND	ND	ND
PP(60)+Dust(40)	ND	0.042	0.011	0.001	0.002	0.04	ND	ND
PP(60)+Slag(40)	ND	0.002	0.001	0.001	0.001	ND	ND	ND
PE(16)+PP(20)+EPM(4)+ATH(20)+Slag(40)	ND	ND	ND	ND	0.001	ND	ND	ND
PE(16)+PP(20)+EPDM(4)+ATH(20)+Slag(40)	ND	ND	ND	ND	0.001	ND	ND	ND
PE(16)+PP(20)+EPM(4)+Mg(OH) ₂ +Slag(40)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PE(16)+PP(20)+EPDM(4)+Mg(OH) ₂ +Slag(40)	ND	ND	0.001	ND	ND	ND	ND	ND

Unit : mg/L, ND : Not Detectable

타내었으며 Pb와 Cr의 경우도 극미량의 용출값을 나타내었다.

이러한 중금속 용출율의 감소는 matrix 수지인 페플라스틱이 filler로 충전된 EAF dust 및 slag 입자를 binding 하고 있기 때문이며 본 실험에 사용된 페플리올레핀계 수지는 수지 자체의 내화학 특성이 우수하여 성형체가 산성비와 같은 산성환경에 노출되어도 수지의 노화로 인한 중금속 용출 현상은 없을 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 EAF dust 및 slag가 함유하고 있는 중금속성분, 산화금속성분, 실리카성분 등이 난연 및 전자파 차폐 특성을 갖는 안전소재의 filler로서 잠재활용가치를 평가하기 위해 원료 물성시험 및 페플라스틱과의 혼합시험, 가공된 성형체의 중금속 용출시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) EAF dust 및 slag의 비표면적시험, 흡유량 시험 등 물리적 특성은 난연성 플라스틱 제조시 사용되는 저가 filler인 Talc류와 비슷한 특성을 나타내었으며 화학성분 분석 결과 EAF dust는 Fe_2O_3 와 ZnO가 구성성분의 약 60wt(%) 이상을 차지하고 있었으며 EAF slag의 경우 Fe_2O_3 , SiO_2 , CaO가 비슷한 함량으로 존재하였으며 이들 세 성분이 전체 조성의 약 60wt(%)를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 고함량의 합철성분은 전자파 차폐용 성형체 제조시 유해전자파의 차폐 성능을 나타낼 수 있다.

2) EAF dust 및 slag의 중금속 용출시험 결과 EAF slag의 경우 Hg를 제외하고는 규제치 이하의 결과를 나타내었으나 EAF dust의 경우 대부분의 항목에서 용출기준 규제치를 크게 상회하였다. 그러나 EAF dust 및 slag가 페플라스틱과 혼합될 경우 모든 중금속 성분이 용출기준 규제치 이하로 검출됨으로써 안전보건 및 환경적인 측면에서의 안전성을 확보할 수 있다.

결론적으로 EAF dust 및 EAF slag는 물리·화학적 특성에서 난연성 및 전자파 차폐 특성을 갖는 안전소재의 기능성 filler로서 가능성을 확인할 수 있었으며 페플라스틱과의 복합화로 중금속 용출 문제를 해결함으로써 기능성 저가소재 원료로서의 적용 가능성을 확인할 수 있다.

참고문헌

- 1) J. E. O'Connor, A. Y. Lou, and W. H. Beever, "Polyphenylene sulfide: a Thermoplastic Polymer for High Performance of Semi-crystalline Thermoplastic Composites", Proc. 5th International Conference on Composite Materials, San Diego, pp. 963~970, 1985.
- 2) Shaojin Jia, Zhicheng Zhang, Zhiwen Du, Renrui Teng, Zhengzhou Wang, "A Study of the Dynamic Flammability of Radiation Cross-linked Flame-retardant HDPE/EPDM/Silicon-Elastomer Compound", Radiation Physics and Chemistry, 66, pp. 349~355, 2003.
- 3) Chi-Yuan Huang, Chang-Cheng Wu, "The EMI Shielding Effectiveness of PC/ABS/Nickel-coated Carbon Fibre Composites", European Polymer Journal, 36, pp. 2729~2737, 2000.
- 4) Crutzeck, M., "Hazardous waste (Organic, heavy metal)", 9th International Congress on the Chemistry of Cement, pp. 189~201, 1988.
- 5) 이경아, 임남웅, "전기 집진 분진의 건설재료로서 재활용에 관한 타당성 연구", 대한환경공학회지, 제20권, 제3호, pp. 411~420, 1998.
- 6) Bishop, P., "Leaching of Inorganic Hazardous Constituents from Stabilized/Solified", Hazardous Waste & Hazardous Material, 5(2), pp. 129~133, 1988.
- 7) Peters C. J. and Perry R., "Mechanism of Metal Stabilization by Cement-based Fixation Processes", The Science of the Total Environment, 41, pp. 55~71, 1985.
- 8) Nomura Yoji, "EAF Dust Treatment in Japan", SEASIS Quarterly, April, 1994.
- 9) D. B. Dreisinger, E. Peter, G. Morgan, "The Hydrometallurgical Treatment of Carbon Steel Electric Arc Furnace Dust by the UBC-Chaparral Process", 1991.
- 10) M. Tang, "An Investigation on Mineral Composition of Steel Slag for Cement Production", Research Report, Nanjing Institute of Chemical Technology, 1973.
- 11) C. Shi, J. Quin, "High Performance Cementing Materials from Industrial Slag - A Review", Resour., Conser. Recycl. 29(2), pp. 195~207, 2000.

- 12) C. Shi., "Corrosion Resistant Cement Made with Steel Mill By-products", Proceedings of International Symposium on the Utilization of Metallurgical Slag, Chinese Society for Metals, Beijing, pp. 171~178, 1999.
- 13) 강영구, 유동욱, "폐전선을 이용한 전자파 차폐용 고분자 소재", 한국산업안전학회 춘계학술발표회 논문집, pp. 202~206, 2003.
- 14) 강영구, 서상기, 유재근, 조명호, "폐PE/EAF Slag 분말 복합성형체의 난연특성", 춘계 폐기물 관련학회 공동학술대회 논문집, pp. 339~344, 2001.
- 15) H. Motz, J. Geiseler, "Products of Steel Slags an Opportunity to Save Natural Resources", Waste Management, 21, pp. 285~293, 2001.