

폐 Magnesia-Carbon Powder를 이용한 연약지반 고형화 및 강도 증진에 대한연구

Study on Solidification and Strength of Soft Soils by Using Waste Magnesia-Carbon Powder

최 훈¹⁾ · 송 명 신[†] · 강 현 주²⁾ · 정 의 담³⁾ · 김 주 성⁴⁾

Choi, Hun · Song, Myong Shin · Kang, Hyung Ju · Jung, Eui Dam · Kim, Ju Seng

ABSTRACT : Magnesia-carbon brick is used to refractory material in Converter and/or Ladle furnace for molten steel manufacturing. The rapid growth of steel making industry, molten steel industry is increased. Therefore, growth of molten steel industry lead to make waste magnesia-carbon brick by repair of Converter and/or Ladle furnace. These waste magnesia-carbon brick is abandoned all. Besides, as it is loosely composed of silt and clay including sand falling according to the type of gangue, rainwater inflows and outflows relatively easily, but silt or clay particles absorb water for a long period, weakening ground. This study tried to show that when colluvial soil is solidified using waste magnesia-carbon brick powder as a way to solidify strengthen the rigidity of colluvial soil.

Keywords : Waste magnesia-carbon brick, Colluvial soil, Solidify strengthen, Heavy metals

요 지 : 제철소에서 용강을 제조할 때 사용되는 전로(Converter)나 레이들(Ladle) 등의 노체용 내장 내화물로 마그네시아-카본 벽돌이 많이 사용되고 있다. 그러나 이렇게 사용되고 있는 마그네시아-카본 벽돌의 경우 교체 이후 전량폐기되고 있다. 이렇게 폐기 되는 폐 마그네시아-카본 벽돌을 분쇄하여 활성화제를 이용한 연약지반 및 오염지반의 고화재로 사용함으로써 연약지반 및 오염지반의 고형화를 통하여 연약지반의 강성증가와 함께 오염지반에서 발생하는 중금속 및 기타 유해물질의 용출에 대한 안정화에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 본 논문에서는 폐 마그네시아-카본을 이용한 연약지반의 강도 증가에 대한 내용에 대하여 나타내었다.

주요어 : 폐 마그-카본, 봉적토, 고화재, 중금속

1. 서 론

마그네시아-카본 벽돌은 제철소에서 용강을 제조할 때 사용되는 전로(Converter)나 레이들(Ladle) 등의 노체용 내장 내화물로 사용되며 특히 산소 함유량이 높은 강종에 대한 내산화성이 우수하여 노체의 수명을 향상시키기 위하여 사용된다. 국내 제철산업의 발전과 더불어 용강의 수요가 증가하면서, 제철소의 전로나 레이들로의 사용이 증가하게 되었고, 따라서 이들 로의 수리도 빈번하게 이루어지고 있다. 전로나 레이들로의 수리 시에 많은 량의 마그네시아-카본 벽돌이 폐기되고 교체된다. 이때 발생하는 폐 마그네시아-카본 벽돌은 현재까지는 전량폐기되고 있는 실정이다(홍기곤 등, 2000).

한편, 우리나라의 대표적인 석탄광산이 위치하고 있는 태백, 도계지역 지층의 표토부분은 봉적토 층으로 구성되어

있으며 그 층후가 매우 두껍고 절리가 불규칙한 풍화토 및 풍화암을 기반으로 하고 있으며 모암의 종류에 따라 사락을 포함하는 실트 및 점토로 느슨하게 구성되어 있어 우수한 유출입이 비교적 용이하나 점토 및 실트질 입자들은 장기간에 걸쳐 수분을 함수함에 따라 증발산량이 작아 지반이 약화되는 특징을 나타내는데 이러한 지반의 약화로 사면 유실, 도로 침하 등의 위험성이 있다. 특히 폐광지역에서의 연약 지반은 폐광 오염물 등이 혼입된 토양으로써 사면 유실, 침하 등에 의해 주변의 환경을 오염시키는 원인이 되고 있다(박용하 등, 2006).

따라서 이러한 연약지반을 고화하여 안정화 시키는 방안이 필요한데, 연약지반의 고정화에 사용되는 고화재로는 시멘트가 주로 사용되며, 사용된 시멘트는 흙과 결합하여 지반의 강성을 증대시키나 강알칼리성을 띄며 사용 이후에 재사용이 불가하다는 단점이 있다.

1) 정회원, 강원대학교 화학공학연구소 연구원

† 비회원, 강원대학교 화학공학연구소 연구교수(E-mail : msong0422@kangwon.ac.kr)

2) 비회원, 강원대학교 화학공학연구소 연구교수

3) 비회원, 충북대학교 도시공학과 박사과정

4) 비회원, 강원대학교 방재기술대학원 박사과정

일반적으로 금속산화물을 산-인산염용액과 교반하면 용해되어 양이온을 형성해서 인산염 음이온과 인산염 겔을 형성한다. 이어서 이 겔은 결정화되어 고화체로 결합된다. 산화물의 용해는 pH를 높여 중성부근에서 고화체로 형성된다. 금속 산화물인 MgO와 산-인산염 용액이 결합하면 시멘트의 특성과 소결 세라믹 특성의 중간 정도의 특성을 보이는 화학결합 인산염 세라믹 또는 화학결합 인산염 시멘트라고도 불리는 화합물이 형성된다. 이들은 인산염과 금속 산화물 사이의 산-염기 반응으로 생성된다.

주성분이 마그네시아로 구성되어 있는 폐 마그네시아-카본 벽돌을 이용하여 폐 마그네시아-카본 파우더와 제1인산암모늄의 산-인산염 반응을 통하여 증금속 및 기타 유해 물질에 오염된 토양의 고형화를 통하여 안정화시킴으로써 유해물질의 유출을 방지하는 효과와 함께 고함수비 토양이나 유기질 토를 많이 포함하고 붕적토에 적용하였을 경우 초기 경화 및 강도 발현을 통하여 농로나 산책로와 같은 작은 하중을 필요로 하는 곳에 사용이 가능할 것으로 판단되나 이에 대한 연구내용이 부족하여 본 연구에서는 위와 같은 특성을 나타내는 폐 마그네시아-카본과 제1인산암모늄과의 반응에 대한 기초 실험으로 폐 마그네시아-카본과 제1인산암모늄과의 최적 배합비를 찾고자 하였으며, 산-인산염 반응을 통한 대표적인 연약지반인 붕적토의 고형화 및 강도증진향상에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 사용 재료

제철소에서 용강을 제조할 때에 사용되는 전로(Converter)

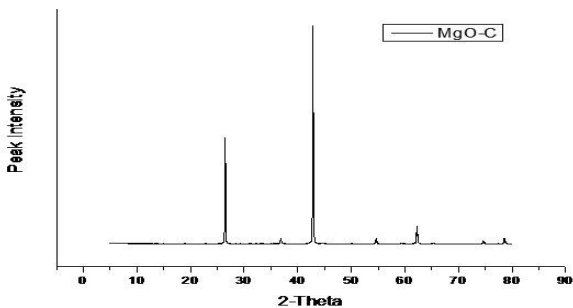


그림 1. 폐 마그네시아 카본의 XRD 분석결과

나 레이들(Ladle) 등의 노체용 내장 내화물로 사용되는 마그네시아-카본 벽돌과 활성화 재료로 사용되는 $NH_4H_2PO_4$ 의 화학식을 가지는 제1인산암모늄의 특성은 공기 중에 안정하고 비중은 1.803이며, 수용액의 pH는 4.3~5.0로 합성 팽창제의 주원료로 사용되고 있다(안무영, 2007).

폐 마그네시아-카본 벽돌과 제1인산암모늄의 X-선 회절 분석(XRD) 및 X-Ray 형광분석기(XRF) 분석을 통한 원재료 분석의 결과를 그림 1, 2와 표 1에 나타내었으며, X-선 회절분석(XRD) 결과 폐 마그네시아-카본의 경우 2-Theta의 피크값이 MgO의 X-선 회절분석(XRD)결과 값과 동일하게 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, X-Ray 형광분석기(XRF) 분석 결과 역시 MgO의 함량이 82%로 높게 나타남을 확인하였다.

본 연구에서 사용된 붕적토의 경우 토석류가 붕괴, 풍화되어 형성된 지반으로써 그 형성에 기인된 바에 의하여 공학적으로 매우 취약한 흙의 일종이다. 즉 모암의 성분에 따라 사락을 포함하는 점토분 또는 실트질을 많이 함유하고 있으며 붕적토 층에 포함되어 있는 사락은 장마철의 우기에 우수를 용이하게 흡수하여 지반을 포화시키게 되며 점토 및 실트 등의 미립질 흙은 포화되나 그 배수가 원활하지 못한 까닭으로 지반 전체적으로 과잉간극수압의 증가와 더불어 지반의 강도정수를 약화시키게 된다.

또한 겨울철 동절기에는 지반이 동결하면서 동결에 필요한 수분을 더욱 필요로 하게 되며 이는 해빙 시 붕적토가 포함하고 있는 흙의 액성한계에 가까운 상태로 진행되면 지반의 활동을 가져오게 하는 대표적인 지반침하의 원인이 되는 토질 종류이다(강인규 등, 2005).

본 시험에서 사용한 시료는 강원도 삼척시 도계 일원에 소재한 붕적토를 사용하였으며, 액성한계(LL) 30%, 소성지

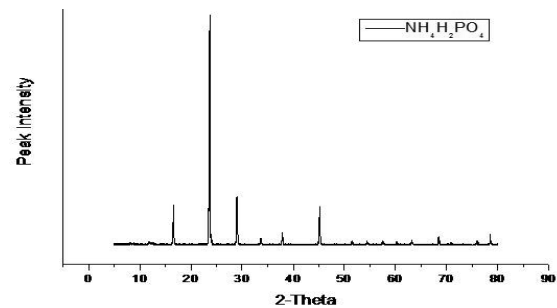


그림 2. 제1인산암모늄의 XRD 분석결과

표 1. 폐 마그네시아-카본의 XRF분석 결과

폐 마그네시아 카본	성분	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	SrO
	함량(wt%)		0.0395	82.486	10.963	3.424	0.0932	0.0983	0.0034
폐 마그네시아 카본	성분	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	Cr ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃
	함량(wt%)		0.0362	2.0421	0.0141	0.0593	0.6554	0.0068	0.0661

표 2. 실험에 사용된 붕적토의 물리적 특성

분류		SD-1	SD-2	SD-3
체분석(%)	#4	88.80	89.50	91.08
	#40	71.10	71.10	77.16
	#200	56.85	52.00	54.05
	0.01mm	41.31	29.96	43.86
연경도	액성한계 LL(%)	35.40	31.80	33.10
	소성한계 PL(%)	17.10	11.70	16.40
	소성지수 PI(%)	18.30	20.10	16.70
통일분류법(U.S.C.S)		C.L	C.L	C.L
비중		2.49	2.53	2.51
자연함수비(w _n)(%)		23.85	20.49	22.65

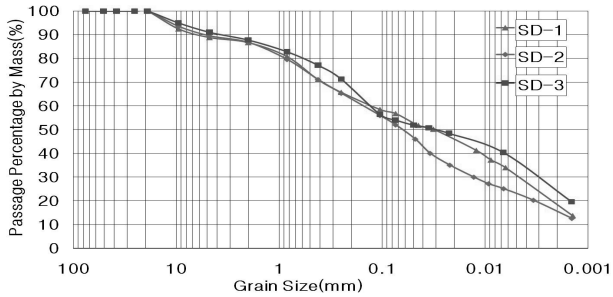


그림 3. 붕적토의 입도분포 곡선

표 3. 실험에 사용된 붕적토의 직접전단 시험결과

	깊이 (G.L-m)	분류	직접 전단시험	
			점착력 c(KPa)	마찰각 Φ (°)
SD-1	5m	CL	2.75	29.2
SD-2	5m	CL	2.45	30.0
SD-3	5m	CL	2.35	29.5
평균			2.51	29.6

표 4. 실험에 사용된 붕적토의 일축압축강도

구 분	일축압축강도(MPa)
SD-1	0.0596
SD-2	0.0434
SD-3	0.0515

표 5. 페 마그네시아-카본과 제1인산암모늄의 배합비

배 합	구 분	배합설계			W/MC(wt%)
		MC(wt%)	MAP(wt%)	주문진 표준사(S/MC)	
		1		2.45	
A	50	50	2.45	30	
				40	
				50	
				60	
B	60	40	2.45	30	
				40	
				50	
				60	
C	70	30	2.45	30	
				40	
				50	
				60	

수(PI)가 16~20%의 점토분을 함유하는 낮은 압축성의 점토로 분류되며, 사용한 붕적토의 물리적인 특성은 비중계 입도분석(KS F 2302), 비중(KS F 2309), 함수비(KS F 2306), 연경도(KS F 2303), 일축압축강도(KS F 2328), 직접전단시험(KS F 2343)을 통하여 수행하였으며, 붕적토의 물리적 특성을 표 2에 입도분포는 그림 3에 나타내었다.

흙의 강도정수(c, ϕ)를 파악하기 위한 직접전단시험의 결과를 표 3에 나타내었으며 직접전단시험에 의한 점착력 c는 약 2.51KPa 내부 마찰각 ϕ 는 약 30°의 크기를 나타내었다. 또한 표 4에 나타낸 흙의 일축압축강도는 0.04~0.06MPa 로써 본 연구에 사용한 붕적토는 연약한 점토의 일축강도 특성을 나타내었다.

2.2 실험 방법

2.2.1 페 마그네시아-카본의 기본 배합비

다음은 예비 실험을 통하여 결정된 페 마그네시아-카본(이하 "MC"라 표기함)과 제1인산암모늄의 배합비로 제1인산암모늄의 첨가량이 페 마그네시아-카본과의 중량비 20% 미만일 경우엔 시편성형 이후 손으로 부스러질 정도의 매우 낮은 강도를 나타내지만 30% 이후에서부터 높은 반응성을 보이는 것을 확인하였다. 이를 통하여 페 마그네시아-카본(이하 "MC"라 표기함)과 제1인산암모늄의 최적 배합비를 찾기 위한 기초 실험은 페 마그네시아-카본(MC)과 제1인산암모늄(MAP) = 5 : 5, 6 : 4, 7 : 3으로 하였으며, 물의 첨가량은 페 마그네시아-카본의 첨가량에 대하여 각각 30, 40, 50, 60wt%로 가수한 후 KS L 5109에 준하여 교반을 실시하였다. 이후 KS L 5105에 준하여 시편 제작 및 재령 3일, 7일, 28일에 일축압축강도를 측정하였다.

2.2.2 봉적토 첨가에 따른 배합비

농업기반공사에서 제출한 “기계화경작로 포장공법 및 실용화 연구”에서 일반 점토에 고화재를 5%에서 30%까지 사용하였으나 본 연구에서는 폐 마그네시아-카본과 제1인산암모늄의 사용량을 30wt% 이상 첨가하였을 경우에 나타나는 현상과 강도의 증가폭을 확인하고자 다음과 같이 폐 마그네시아-카본과 제1인산암모늄과의 사용량을 30, 40, 50, 60wt%로 변화를 주어 실험을 진행하였다. 가수량은 50wt%로 KS L 5109에 준하여 교반을 실시하였으며, 공시체 제작 및 양생은 KS F 2329에 준하여 실시하였다. 이후 일축압축 강도는 흙시멘트의 일축압축 시험방법(KS F 2328)에 준하여 실시하였으며, 시편을 제작한 후 재령 3일, 7일, 28일에 일축압축강도를 측정하였고 KS F 2436에 준하여 응결시간을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 폐 마그네시아-카본의 압축강도

표 7의 A 배합의 경우 MC와 MAP의 혼합비율 5 : 5로 하였으며, MC에 대한 가수량 50wt% 일때 압축강도가 12.35MPa로 가장 높은 압축강도를 보였으며, B 배합의 경우 MC과 MAP와의 혼합비율 6 : 4, MC에 대한 가수량 50wt%에서 14.02MPa의 가장 높은 압축강도를 나타내었다. C 배합의

경우 MC과 MAP의 혼합비율 7 : 3, MC에 대한 가수량 50wt%에서 압축강도가 11.2MPa를 나타내었다.

A, B, C 배합 모두 MC에 대한 가수량 50wt%에서 가장 높은 압축강도를 나타내었는데, 이는 MC와 MAP의 반응이 초기에 급속한 수화반응과 높은 수화열을 통해서 발생하게 되는데 수화반응 시에 가수량이 적은 경우 수화반응이 재료와 충분히 반응하지 못하게 되어 강도가 저하되게 되며, 가수량이 많은 경우엔 재료분리 및 표면에 발생한 블리딩수가 초기의 높은 수화열에 의해 표면 강도를 저하시키는 요인이 되어 MC에 대한 적정 가수량 50wt%일때 가장 높은 압축강도 값을 나타내는 것으로 판단된다.

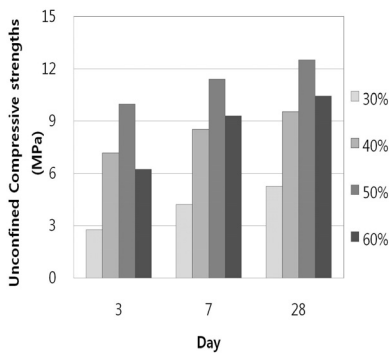
그림 4는 재령별 각 type의 압축강도를 비교한 것으로써, 인산염 마그네시아 시멘트의 강도 발현은 B type이 MC : MAP = 6 : 4, MC : 주문진 표준사 = 1 : 2.45, MC에 대한 가수량 50wt%에서 14.02MPa로 가장 높은 압축 강도를 나타내었다.

표 6. 봉적토의 첨가량에 따른 배합비

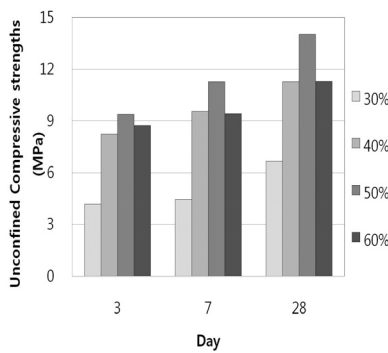
구분 배합	MC(wt%) : MAP(wt%)	봉적토(wt%)	W/MC(wt%)
	6 : 4		
D	60	40	50
E	50	50	
F	40	60	
G	30	70	

표 7. 폐 마그네시아-카본과 제1인산암모늄의 배합비별 일축압축강도

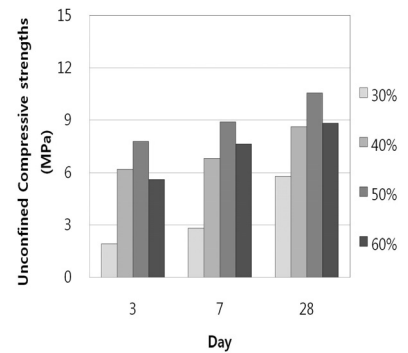
구분 배합	W/MC(%)	일축압축강도(MPa)		
		3일	7일	28일
A	30	2.77	4.22	5.26
	40	7.16	8.51	9.53
	50	9.98	11.40	12.35
	60	6.24	9.30	10.45
B	30	4.19	4.45	6.65
	40	8.25	9.55	11.28
	50	9.38	11.28	14.02
	60	8.72	9.42	11.30
C	30	2.42	3.31	5.29
	40	6.70	7.31	9.12
	50	8.29	9.38	11.20
	60	6.11	8.13	9.32



(a) MC : MAP = 5 : 5



(b) MC : MAP = 6 : 4



(c) MC : MAP = 7 : 3

그림 4. 폐 마그네시아-카본과 MAP의 배합종류별 일축압축강도

표 8. 폐 마그네시아-카본과 붕적토의 경화시간

구 분	MC(wt%) : MAP(wt%)	붕적토 (wt%)	W/MC (wt%)	초결 (min)	종결 (min)
배 합	60 : 40				
D	60	40	50	180	200
E	50	50		180	210
F	40	60		180	228
G	30	70		210	260

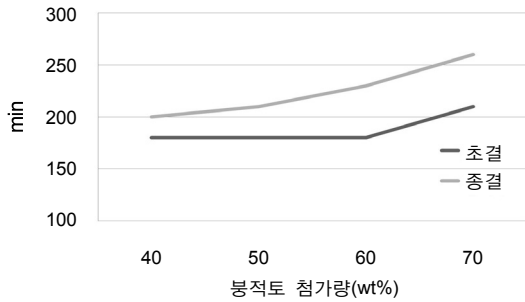


그림 5. 경화시간

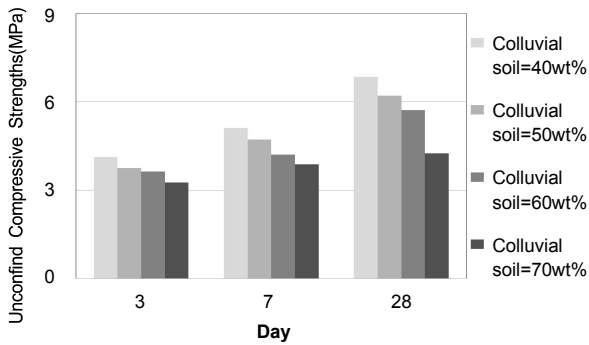


그림 6. 붕적토 첨가량에 따른 폐 마그네시아-카본의 일축압축강도

3.2 붕적토에 폐 마그네시아-카본에 첨가에 따른 경화시간

표 8 및 그림 5에 나타난 것과 같이 폐 마그네시아-카본을 이용한 붕적토의 작업시간은 KS F 2436의 관입저항침에 의한 콘크리트 응결시간 측정방법에 준하여 응결특성을 확인 하였으며, 붕적토의 경우 첨가량에 따라서 조금씩 차이가 발생했으나 대체로 초결(초기경화)이 3시간에서 나타났으며, 붕적토 첨가량이 30wt%인 경우 3시간 30분에서 종결(단단히 굳어서 작업이 불가능한 상태)이 나타났으나 붕적토 첨가량이 70wt%인 경우엔 4시간 30분경에 종결되어 첨가량이 증가할수록 지연현상이 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

3.3 붕적토에 폐 마그네시아-카본첨가에 따른 일축 압축강도

표 8의 값을 통하여 가장 높은 강도를 나타낸 폐 마그네시아-카본과 제1인산암모늄과의 배합비에 붕적토를 전체량에

대하여 40wt%, 50wt%, 60wt%, 70wt%만큼 첨가한 후 재령별 압축강도를 측정한 결과 그림 6에서 나타내는 바와 같이 붕적토의 치환율이 낮은 40wt%에서 가장 높은 강도인 6.86MPa의 강도를 나타내었으며, 붕적토의 치환율이 증가할수록 낮은 압축강도를 나타내었다.

4. 결 론

폐기물로 버려지는 폐 마그네시아-카본을 이용한 붕적토의 고형화 적용 실험 결과는 다음과 같다.

- (1) 인산염 폐 마그네시아-카본 시멘트의 28일 최대 압축강도가 발견되는 배합비 MC : MAP = 6 : 4, W/MC=50wt%일 때 폐 마그네시아-카본을 이용한 붕적토의 고형화에 효과적이라 판단된다.
- (2) 붕적토의 일축압축강도가 0.05MPa인 반면 붕적토에 인산염 폐 마그네시아 시멘트를 사용하는 경우 재령 28일 일축압축강도는 6.86MPa로서 강성이 100배 이상 증가됨이 확인됨에 따라 폐 마그네시아-카본을 Soil 시멘트 로써 사용이 가능하나 오염된 지반 및 폐기물등의 고형화에 사용함에 있어서 중금속 용출 실험과 같은 선행연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.
- (3) 폐 마그네시아-카본을 이용한 붕적토의 경화시간은 붕적토와 경화촉진제의 양에 따라 다르지만 본 실험의 배합비에서는 일반적으로 3시간 이후에 초결이 발생하여 4시간 이후에 종결이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 본 결론은 폐 마그네시아-카본과 제1인산암모늄의 사용에 의한 작업시간으로 추후 현장시공이나 기타 시공에 필요한 작업시간은 지연제등의 사용으로 조절이 가능할 것으로 판단된다

참 고 문 헌

1. 강인규, 류정수(2005), 해빙기 붕적토 지반의 사면안정성 검토 사례, *한국지반환경공학회지*, Vol. 6, No. 1, pp. 22~26.

2. 박용하, 서경원(2006), 휴폐금속광산지역의 토양오염관리정책의 평가, *지하수토양환경*, Vol. 11, No. 3, pp. 1~11.

3. 안무영(2007), 마그네시아 인산염 시멘트를 이용한 초속경 보수 모르타르의 기초물성 및 내구성에 관한 연구, *2007년도 학술발표대회 논문집*, 대한건축학회, Vol. 27, No. 1, pp. 463~

466.

4. 홍기곤, 조문규(2000), 폐 MgO-C질 내화벽돌을 이용한 전로 노저부용 코팅재 개발, *포항산업과학연구원*, Vol. 14, No. 4, pp. 494~498.

(접수일: 2010. 9. 6 심사일: 2010. 9. 15 심사완료일: 2010. 12. 10)