

폐콘크리트 재생골재로부터의 오염물질 용출에 대한 실험적 고찰

Pollutant Release from Crushed Reclaimed Concrete

홍 성 구*

Hong, Seonggu

Abstract

Recycling of reclaimed concrete (RC) is very important in the management of construction and demolition wastes. Most of RC is utilized for land-filling after crushing in this country. In this study, a series of elution experiments were conducted to investigate the type and amount of pollutants released from the crushed RC. Most water quality parameters including heavy metals and some organic compounds were below standards for drinking water. Some of heavy metals such as As, Cd, Pb, Hg were detected in 0.5 N H₂SO₄ solution after 24-hour immersing RC, which was conducted for evaluating a long term release effect. The concentration of the heavy metals were higher than the drinking water standards. The results also showed significant adsorption of heavy metals by crushed RC. Potential risks, based on the result of this study were not high in using crushed RC for land-filling. Appropriate management of RC would reduce the risk, for example the separation of hazardous materials from construction wastes. Long term evaluations for the sites of land filled with RC would be required to assess the environmental impacts.

Keywords : Reclaimed concrete(RC), Potential risk of RC

I. 서 론

건설폐기물은 토목공사나 건축공사 및 건설구조물 해체공사에서 배출되는 불용물을 일컫는 것으로서 잔토, 폐콘크리트, 아스팔트 폐재, 건설오니, 목

편, 종이 및 플라스틱, 금속류나 유리 및 도자기류 등이 포함된다. 국내 건설폐기물 발생량은 1996년 1천만톤에서 2001년에는 약 4천만톤으로 급격하게 증가하였다(환경부, 2003). 건설폐기물을 매립 처리하기 위해서는 50 cm 이하로 파쇄 또는 절단하여야 한다. "건설폐재배출사업자의 재활용지침(고시)"에 의하면 성토 또는 복구를 위해서는 인·허가된 건축·토목공사의 설계·시공지침 등에서 제시한 방법과 순서에 따르도록 규정하고 있다.

건설폐기물 가운데 대부분은 콘크리트와 아스팔

* 환경대학교 지역자원시스템공학과

* Corresponding author. Tel.: +82-31-670-5134

Fax: +82-31-675-0427

E-mail address: bbq@hknu.ac.kr

트로서 73.5%를 차지하고 있으며, 기존 건축물의 건설시기와 내구연한을 고려하면 건설폐기물의 발생량은 더욱 증가할 것으로 전망된다. 정부의 재활용정책 추진으로 건설폐기물의 재활용률은 2001년 현재 85.9%로 과거에 비해 크게 상승하였다. 그러나 재활용 용도는 대부분 성토·매립으로서 콘크리트용 골재와 같이 천연골재를 대체이용하는 실적은 매우 낮다. 건설폐기물의 재활용률을 높이고, 사용여건을 조성하기 위해서는 재생골재의 안전성과 환경성 측면의 검증 또는 인증 제도가 요구된다(환경부, 2003).

국내에서 페콘크리트 재활용과 관련된 연구는 외국에 비해 다소 늦은 1990년대 이후에 본격적으로 이루어져왔다. 재생골재의 활용방안이나 품질개선을 위한 연구 뿐만 아니라, 구조물에 이용되기 위해 필요한 강도를 확보할 수 있는 방안 등에 대한 연구도 이루어졌다(이진용, 1998; 김동환, 1996). 이(1998)는 페콘크리트의 재활용률을 제고하기 위하여 먼저 재생골재의 품질 특성이 규명되어야 함을 인식하고, 재생골재의 흡수성, 밀도, 마모감량, 오염물질, 안정도 등에 대해 조사한 바 있다. 김홍열 등(1996)은 페콘크리트를 파쇄한 후 얻어지는 재생골재를 이용하여 시멘트벽돌을 제조하고 성능시험을 한 바 있다. 이러한 연구들은 대체로 재생골재를 활용하는데 있어서 강도와 같은 구조적 특성의 규명에 집중되어 있다.

한편 외국에서는 재생골재의 재활용방안 뿐만 아니라 건설폐기물을 매립하거나 재활용하는 경우 발생하는 오염문제에 대해서 적지 않은 조사가 이루어져 왔다. 벨기에에서는 도로건설 폐기물에 대해서 33개의 시료를 채취하여 분석한 결과, 페콘크리트와 벽돌재로 구성된 폐기물로 구성된 시료의 경우 폐기물관리법에서 정한 중금속 및 기타 유해성분에 대한 기준을 초과하지는 않는 것으로 나타났다(Vrancken et al., 1999). 반면에 주거용 건물에 대한 건설폐기물을 매립한 후 발생한 침출수를 조사한 결과에서는 칼슘(Ca)과 황산이온(SO₄⁻²)이

주로 검출되며, 알루미늄(Al), 비소(As), 구리(Cu), 마그네슘(Mg), 철(Fe), 총용존고형물질(TDS) 등이 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다(Weber et al., 2002). Weber et al.(2002)의 조사에서는 페콘크리트 뿐만 아니라 목재류와 각종 건축폐기물 등이 포함되었기 때문에 비교적 다양한 오염물질이 기준치 이상으로 검출된 것으로 판단된다.

미국 EPA에서는 건설폐기물을 매립하는 경우 검출되는 오염물질의 종류와 유해성분에 대해서 집중적으로 조사한 바 있다(US EPA, 1995). EPA(1995)의 조사 결과에서는 21개소의 매립지에서 채취한 침출수에 대해서 305개의 분석항목 중 대부분은 큰 문제가 없으나 7개항목이 우려할 만한 것으로 지적하고 있다. 상대적으로 높게 검출된 7개 항목은 1,2-dichloroethane(C₂H₄Cl₂), methylene chloride(CH₂Cl₂), 카드뮴(Cd), 철(Fe), 납(Pb), Mg, TDS 등으로 나타났다.

재건축, 재개발 또는 건물신축 등과 같은 공사에서는 콘크리트, 목재, 폐유리, 폐도기류, 지류 이외에 가옥을 구성하고 있는 자재와 생활폐기물 등이 혼재된 상태에서 배출되므로 그 조성은 매우 복잡해질 수 있다. 따라서 이와 같은 경우에는 재활용이나 매립으로 인한 오염문제는 복잡하게 된다. 건설폐기물은 생활폐기물에 비해서 오염 가능성이 비교적 낮기 때문에 관련 법규가 엄격하게 적용되지는 않고 있으나 일부 유해 물질이 포함되어 있으므로 이에 최소한의 관리가 요망된다(Walsh and O'Leary, 2002). 따라서 매립이나 성토용으로 건설폐기물을 이용할 때에는 침출수 등에 의한 오염 가능성을 평가하는 것이 필요하다.

건설폐기물 중 가장 많은 비중을 차지하고 있는 페콘크리트가 국내에서 대부분 매립·성토용으로 이용되고 있는 점을 고려할 때, 재생골재 활용지역에서 우수의 유입 등으로 발생하는 침출수에 대한 평가가 필요함을 알 수 있다. 본 연구에서는 페콘크리트를 매립·성토용으로 활용하는 경우 페콘크리트에서 용출될 수 있는 오염물질의 종류와 농도

를 일련의 실험을 통해 구명하고, 페콘크리트 재생골재의 안전한 이용에 필요한 기초자료를 제시하고자 한다.

II. 재료 및 방법

본 연구에서 이용된 페콘크리트 재생골재는 경기도 김포(K1, K2)와 화성(H1)에 위치한 골재 처리장 3개소에서 채취하였다. 채취된 시료는 직경이 약 10 cm 내외로서 목재나 기타 폐기물이 없는 상태였다. 채취된 재생골재 처리수의 기본적인 수질특성으로 pH, 전기전도도(EC), 총부유물질(TSS)에 대해서 분석하였다. pH는 미생물의 생장과 같이 생물반응에 직접적인 영향을 미치는 항목이며, EC는 수중에 존재하는 용존성 고형물의 양을 나타내는 지표이므로 분석항목에 포함하였다. 용출시험에서는 토양오염 환경기준 항목인 Cd, Cu, As, Hg, Pb, Cr⁺⁶, Zn, Ni 등의 금속류와 BTEX, TPH, F, 유기인, PCB, CN, 페놀류, TCE, PCE 등에 대해 분석하였다. 용출시험은 자연 호소수와 장기적인 용출평가를 위하여 0.5 N 황산용액에 대해서 실시하였다. 콘크리트는 산에 부식되는 성질이 있으므로, 재생골재 표면에 흡착되어 있을 수 있는 물질을 단기간에 용출하기 위하여 황산용액을 이용하였다. 모든 시험에 대해서 재생골재 시료와 증류수, 호소수, 황산용액은 중량비 1:1로 하여 일정시간 방치한 후 처리수를 분석하였다. 분석은 서울대학교 농업과학공동기기센터(NICEM)에 의뢰하여 수질오염공정시험법 또는 Standard Methods에 준하여 실시하였다.

기본적인 수질특성으로서 EC, pH, TSS는 재생골재 1 kg을 증류수 1L에 처리하여 24시간 방치한 후, 처리수를 분석하였다. 호소수와 황산용액 중 오염물질 용출에 대한 시험에서는 재생골재 5 kg과 호소수 및 0.5 N H₂SO₄를 각각 5L씩 처리하여 24시간 방치한 후 처리수를 분석하였다. 호소수와 0.5 N H₂SO₄의 대조구는 재생골재를 처리하지 않

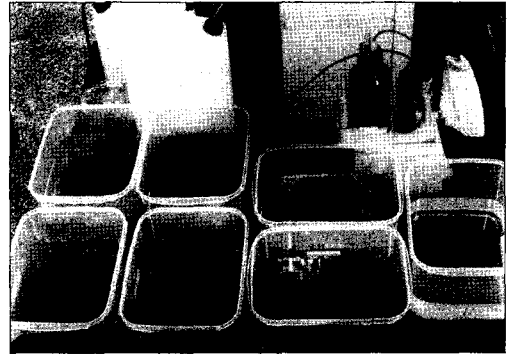


Fig. 1 Water sample preparation for elution experiments

고 처리구와 동일한 조건에서 24시간 방치한 후 분석하였다. 각각의 처리구에 대해서 모두 2반복 시험을 하였다.

용출시험 과정에서 일부 중금속 이온의 농도가 낮아지는 것을 확인하고, 재생골재에 의한 중금속의 흡착성을 파악하기 위하여 추가로 재생골재를 중금속이 포함된 용액에 투입 후 방치하여 농도변화를 조사하였다. Cu⁺²와 Pb²⁺용액은 CuSO₄와 Pb(NO₃)₂를 이용하여 각각 8.5 mg/L, 10 mg/L로 조제하였으며, 재생골재를 투입하고 30분 방치 후, 120분 방치 후의 농도를 분석하였다. 30분 경과 후 분석을 위한 처리수를 취한 후, 계속해서 방치한 후 120분에 시료를 취하는 경우에는, 재생골재 대비 용액의 양이 서로 다르게 되어 흡착 조건이 동일하지 않다. 따라서 30분 시료와 120분 시료는 별개의 용기에서 독립적으로 얻어 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. pH, EC 및 TSS

pH는 모두 약알칼리성을 나타내었고, 8.7~9.9의 범위를 나타냈다. 콘크리트 바닥면을 통과하는 경우는 pH가 최고 12 이상까지 나타나는 것으로 알려져 있다(한 등, 2002). EC는 113~220 μS/cm의 범위를 나타냈다. 그런데 콘크리트를 통과한 우

Table 1 Results of pH, EC, and TSS analysis

Samples	pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TSS (mg/L)
K1	9.93	220	238.5
K2	8.71	113.8	281.5
H1	8.93	115.4	236.5

수의 EC는 대부분 150~250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 알려져 있다(한 등, 2002). 총부유물질의 농도는 250 mg/L 내외로 나타났다. 대부분 파쇄과정에서 골재표면에 부착된 미세한 콘크리트 분말이 물속에 탈리된 것이다.

2. 호소수 중 용출

호소수에 용출되어 검출된 항목은 Zn, Hg, As, Pb, 페놀류의 5개 항목이었다. 검출항목별 평가는 토양오염 기준항목별 농도로 표현하는 경우 시료 단위중량당 오염물질 농도로 나타내므로 비교가 곤란하여, 유해성을 쉽게 알 수 있는 먹는 물 수질기준을 이용하였다. As와 Pb는 먹는물 수질기준인 0.05 mg/L 보다 낮은 0.01~0.03 mg/L 로 나타났다. 페놀류는 직접 비교가 곤란하나, 페놀에 대한 먹는물 수질기준 0.005 mg/L 보다 다소 높은 0.03~0.04 mg/L 로 나타났다. 페놀류는 벤젠고리, 나프탈렌고리, 그 외 방향족성 고리화합물에 결합되어 있는 수소원자를 하드록실기로 치환한 화합물을 총칭하는 것으로서, 약품합성공업, 페놀수지공업, 아스팔트포장 도로 등에서 주변 환경에 노출된다. 자연수 중에는 존재하지 않는 화합물로서 페놀이 0.1 mg/L 정도이면 이취미를 느낄 수 있으며, Cl과 반응하여 클로로페놀이 형성될 경우 300~500배의 불쾌한 냄새를 나타낸다. 페놀류는 피부점막 등의 조직을 부식시키는 작용과 중추신경계에 독성이 있으며, 다량을 먹게 되면 소화기관의 염증, 구토, 경련을 유발하는 물질이다. 먹는물 수질기준에 있어서 Zn은 심미적 기준으로서 1 mg/L 인데 검출되지 않거나 검출된 경우도 0.02 mg/L 이하로 나타났

Table 2 Results of analysis for the samples with reservoir water (mg/L)

Parameter	Base	K1	K2	H1
Cd	ND	ND	ND	ND
Cu	ND	ND	ND	ND
As	0.0000	0.0202	0.0133	0.0152
Hg	0.0022	0.0017	ND	ND
Pb	0.0073	0.0224	0.0291	0.0328
Cr ⁶⁺	ND	ND	ND	ND
Zn	0.0210	ND	0.0166	0.0163
BTEX	ND	ND	ND	ND
TPH	ND	ND	ND	ND
Ni	0.0160	ND	ND	ND
F	ND	ND	ND	ND
Organic Phosphate	ND	ND	ND	ND
PCB	ND	ND	ND	ND
CN	ND	ND	ND	ND
Phenol	ND	0.0405	0.0345	0.0301
TCE	ND	ND	ND	ND
PCE	ND	ND	ND	ND

ND : not detected

다. Hg의 경우 호소수 자체의 농도가 0.0022 mg/L 인 상태에서 재생골재의 투입으로 검출되지 않거나 검출된 경우 약간 낮아진 것을 확인할 수 있었다. 재생골재를 처리한 호소수에 대한 항목별 분석결과는 Table 2에 나타난 바와 같다.

3. 산 처리수 중 용출

0.5 N H_2SO_4 용액을 이용한 장기 용출실험 결과에서는 호소수 용출실험 결과에 비해서 많은 수의 항목이 검출되었다. Cr⁶⁺과 유기화합물은 검출한계 이하로서 검출되지 않았으나, 나머지 중금속류는 모두 검출되었다. 먹는물 수질기준을 초과하는 수준으로 나타난 항목은 Cd, As, Hg, Pb, Zn의 5가지로 나타났다. 먹는물 수질기준에 비해서 Cd는 평균 3배, As는 약 4배, Hg은 약 3배, Pb은

6~10배, Zn은 최고 2.4배 정도 높게 나타났다. 물론 강한 황산을 처리하여 거품이 약간 일어날 정도의 반응이 일어난 상태에서 용출된 것이므로 극단적인 조건이라고 할 수 있으나, 장기간에 걸쳐서 이들 중금속은 서서히 용출될 가능성이 있다고 판단된다.

재생골재 시료간에 용출된 물질의 농도를 비교해 보면, H1 처리수의 농도가 K1이나 K2의 값에 비

해서 약간 높게 나타났다. K1과 K2 처리수간 농도 차이는 거의 없는 반면, H1 처리수에서는 카드뮴, 구리, 납, 아연 등의 농도는 K1과 K2에 비해 약간 높았다. 농도차에 대한 유의성을 평가하기에는 시료의 수가 충분치 않기 때문에 재생골재에서 용출될 수 있는 오염물질의 개략적 범위로 이해할 수 있다. 황산 처리수에 대한 분석결과는 Table 3에 제시된 바와 같다.

Table 3 Results of analysis for the samples with 0.5 N H₂SO₄ solution (mg/L)

Parameter	Base	K1	K2	H1	Drinking water standard
Cd	ND	0.028	0.027	0.044	0.01
Cu	ND	0.398	0.338	0.498	1.00
As	0.000	0.204	0.253	0.235	0.05
Hg	ND	0.0031	0.0027	0.0027	0.001
Pb	0.031	0.302	0.321	0.561	0.05
Cl ⁶⁺	ND	ND	ND	ND	0.05
Zn	0.034	2.218	1.007	2.423	1.00
BTEX	ND	ND	ND	ND	-
TPH	ND	ND	ND	ND	-
Ni	0.012	0.119	0.121	0.123	-
F	ND	0.912	0.617	0.696	1.50
Org. Phosphorus	ND	ND	ND	ND	-
PCB	ND	ND	ND	ND	-
CN	ND	ND	ND	ND	0.01
Phenol	ND	0.013	ND	ND	0.005
TCE	ND	ND	ND	ND	0.03
PCE	ND	ND	ND	ND	0.01

ND : not detected

4. 중금속 흡착

Cu와 Pb 수용액에 재생골재를 투입한 후, 30분 및 120분 후의 농도를 분석한 결과는 Table 4에 나타난 바와 같다. 재생골재 투입을 제외한 나머지 시험조건을 처리구와 동일하게 한 후의 표준액 평균농도 Cu 8.5 mg/L와 Pb 10.0 mg/L은 약간 낮은 8.465와 9.964 mg/L로 각각 나타났다. 30분 경과 후 Cu는 0.041~2.084 mg/L로 나타났으며 Pb는 0.155 mg/L 이하로 나타났다. 120분 후에는 Cu가 0.037~1.883 mg/L, Pb 0.007~0.527 mg/L로 나타났다. Pb가 Cu에 비해서 더 많이 흡착되어, 농도가 낮았다. 일반적으로 점토질 입자에 의한 중금속의 흡착력이 Pb가 가장 높고 Pb에 비해서 Cu가 낮다(Harvey and Chantawong, 2001).

Cu는 시간에 따라서 용액 중의 농도가 다소 낮아지는 것을 확인할 수 있으나, Pb는 Cu에 비해서 감소세가 뚜렷하지 않았다. 재생골재 시료간의 차이도 확인할 수 있었다. K1 시료는 K2 시료에 비해서 직경이 다소 작았기 때문으로 추정된다. 폐콘

Table 4 Changes in Cu and Pb concentration by adsorption of crushed concrete

Parameter	Base	After 30 minutes			After 120 minutes		
		K1	K2	H1	K1	K2	H1
Cu (mg/L)	8.465*	0.041	2.084	1.403	0.037	1.883	0.535
Pb (mg/L)	9.964*	ND	0.155	0.087	0.007	0.527	0.018

* Results of reference samples

크리트를 미세하게 만들어 물속에 혼합하면 수중 중금속 이온을 흡착시켜 제거하는 것이 가능하므로 (Johnson et al., 2000), 이에 대한 판단은 보다 충분한 실험적 고찰이 요구된다.

5. 오염가능성 평가

재생골재의 호소수 중 용출시험의 결과를 살펴보면, 페놀류만이 다소 높게 나타났다. 페놀에 대한 먹는물 수질기준을 직접적으로 비교하기는 곤란하나 페콘크리트를 단순 매립·성토를 위한 목적으로 재활용하는 경우에는 큰 문제가 없다고 판단된다. 반면에 황산희석 용액을 이용한 장기용출시험에서는 호소수 용출 시험에서 검출되지 않았던 항목들이 나타났다. 장기적인 영향을 평가하기 위해서는 이들 항목에 대해서 고려하여야 할 것이다. 지하수를 이용하는 지역에서는 먹는물 수질기준을 초과하는 수준으로 나타난 5가지 항목, Cd, As, Hg, Pb, Zn 등에 대해서 관리가 필요하다고 생각할 수 있다. 특히 페콘크리트 이외의 건설폐기물, 예를 들어 건축용 도로나 외장재 등이 포함되는 경우에는 U.S. EPA(1995)에서 언급한 바와 같이 다양한 오염물질이 포함될 수 있다. 이러한 문제를 사전에 방지하기 위해서는 보다 철저한 선별작업을 통해서 얻어진 재생골재만을 매립·성토에 이용하여야 할 것이다.

반면에 중금속 흡착시험 결과에서 나타난 바와 같이 재생골재 자체는 어느 정도의 중금속 흡착능력을 가지고 있기 때문에 장기적으로 용출될 수 있는 부분을 흡착·제거할 수 있다고 판단된다. 파쇄 과정에서 발생되어 재생골재에 포함되어 있는 페콘크리트 분말은 용출되어 환경에 노출될 수 있는 중금속이온을 부동화하는 역할을 하기 때문이다. 또한 매립·성토지의 주변토양 자체도 중금속과 같은 오염물질을 흡착하여 고정시키므로 지하수 오염 등의 문제는 크지 않을 것으로 판단된다.

IV. 요약 및 결론

건설폐기물의 대부분을 차지하고 있는 페콘크리트의 재활용률을 더욱 높이기 위해서는 다양한 활용방안 뿐만 아니라, 이용에 따른 문제점을 파악하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 페콘크리트를 분쇄하여 만들어진 재생골재를 이용하여 주요 오염물질에 대한 일련의 용출시험을 수행하고, 매립·성토에 따른 오염가능성에 대해서 평가하였다. 또한 재생골재가 가지는 중금속 이온의 흡착능력 또한 실험적으로 파악하였다. 실험적 고찰 및 오염가능성에 대한 평가는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) 경기도 김포와 화성에 위치한 3개 골재처리장에서 채취한 재생골재 시료에 대하여 증류수에 1:1의 중량비로 담그어 24시간 방치한 후 측정된 pH, EC, 총부유물질은 각각 8.7~9.9, 113.8~220.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 236.5~281.5 mg/L로 나타났다.

2) 재생골재를 자연 호소수에 담그어 24시간 방치한 후 토양오염환경 기준항목에 대해서 측정한 결과, 검출된 항목은 Zn, Hg, As, Pb, 페놀류의 5가지 항목이었다. 페놀류는 0.03~0.04 mg/L로 나타났다으며, Zn, Hg, As, Pb 등은 먹는물 수질 기준에 비해 낮게 나타났다.

3) 장기간에 걸쳐 용출될 수 있는 항목을 조사하기 위하여 0.5 N H_2SO_4 용액에 재생골재를 담그어 24시간 후 분석한 결과, 호소수 용출시험 결과에 비해서 많은 수의 항목이 검출되었다. 먹는물 수질기준에 비해서 Cd는 평균 3배, As는 약 4배, Hg는 약 3배, 납은 6~10배, Zn은 최고 2.4배 정도 높았다.

4) Cu와 Pb 표준용액을 제조하여 재생골재를 담근시킨 후, 시간에 따른 용액중 농도 변화를 살펴본 결과, 시료의 종류에 따라 다소 차이가 있었으나 흡착되는 것을 확인할 수 있었다. Cu는 8.47 mg/L에서 120분 경과 후 0.037~1.883 mg/L로 Pb는 9.96 mg/L에서 0.007~0.527 mg/L로 낮아졌다.

5) 페콘크리트를 이용하여 만들어지는 재생골재를 매립·성토하는 경우 중금속 등에 의한 오염가능성은 재생골재와 주변 토양의 흡착에 의해서 높지는 않다고 판단된다. 그러나 장기적인 용출로 인해 토양 및 지하수 오염가능성은 존재할 것으로 추정된다. 재생골재의 이용과 관련된 오염가능성을 줄이기 위해서는 건축용 도료나 외장재 등의 기타 건설폐기물이 혼입되지 않도록 하는 것이 필요하며, 이에 대한 충분한 평가를 위해서는 재생골재 매립·성토지역에 대한 장기적인 조사가 요구된다.

References

1. Johnson D.C., Coleman N.J., Lane J., Hills C.D. and Poole A.B. 2000. A preliminary investigation of the removal of heavy metal species from aqueous media using crushed concrete fines, *Waste Materials in Construction. Waste Management Series*, 1, 1044-1049.
2. Han, M. Y., I. Y. Lee, M. H. Kim, Y. J. Kim. 2002. pH and Electrical Conductivity in Rain Water Utilization System. *Journal of the Korean Society of Water and WasteWater* 16(1): 80-86. (in Korean)
3. Harvey, N. W. and V. Chantawong. 2001. Adsorption of heavy metals by ballcaly : their competition and selectivity. *Thesis collection of Tokyo University of Information Science* 5(1):79-86.
4. Kim, H. Y., C. W. Chae, S. H. Lee, K. S. Yang. 1996. A Study on Performance and Production of Manufactured Cement Brick using Recycled Aggregates. *Journal of the Architectural Institute of Korea* 12(11):189-200. (in Korean)
5. Kim, D. H. 1996. A Study on Development of Durable Cement Mortar for Reclaimed Concrete. Graduate School for Construction, ChungAng University (in Korean)
6. Lee, J. Y. 1998. Recycling technology for reclaimed concrete. *the KSCE Journal of Civil Engineering* 46(12):11-16. (in Korean)
7. Ministry of Environment. 2003. White Book on Environment. (in Korean)
8. US. EPA. 1995. Construction and demolition waste landfills : Draft Report , U.S. EPA.
9. Vrancken, K. C., B. Laethem, L. Debaene, J. V. Dessel, L. De Bock. 1999. Environmental quality and management of construction and demolition waste in Flanders, R'99 Congress (Recovery, Recycling, Re-integration).
10. Walsh, P. and P. O'Leary. 2002. Landfilling demolition and high-volume industrial wastes. *Waste Age* October 2002:68-73.
11. Weber, W. J., Y. C. Jang, T. G. townsend, and S. Laux. 2002. Leachate from land disposed residential construction waste. *Journal of Environmental Engineering* 128 (3): 237-245.