

폐콘크리트의 유효활용을 위한 환경특성 평가

Environmental Quality Assurance for Utilization of Waste Concrete

이 용 수*¹ Lee, Yong-Soo 현 재 혁*² Hyun, Jae-Hyuk
정 하 익*³ Chung, Ha-Ik 정 형 식*⁴ Chung, Hyung-Sik

Abstract

In order to recycle the demolition debris as new construction materials, it is prerequisite to analyze the mechanical and environmental properties of debris. This paper presents environmental quality assurance for the reuse of waste concrete. The test samples from debris crushing plant were studied by performing pH test, leaching test, and adsorption of heavy metals onto waste concrete. The pHs of concrete were near 11-12. Both Korean and American standard leaching procedures showed that the waste concrete did not contain any harmful inorganic or organic contaminants.

요 지

최근 국내에서는 건설재료의 부족으로 건설부산물인 폐콘크리트를 새로운 토목재료로써 재활용 또는 자원화에 노력하고 있다. 이러한 차원에서 폐콘크리트의 재활용 및 자원화는 사용용도에 적합한 공학적 특성뿐만 아니라 환경적 특성을 분석하여 대상재료의 환경 안정성을 파악해야 한다. 따라서, 본 논문은 폐콘크리트에 대하여 pH시험, 용출시험, 중금속 흡착 특성 등 일련의 환경특성 실험을 실시하여 폐콘크리트 사용에 따른 주변 환경에 미치는 영향을 분석하였다.

실험결과, 폐콘크리트의 pH는 11~12정도이고, 폐기물공정시험법과 TCLP법에 의한 용출시험은 법적기준에 모두 만족하는 것으로 나타났다. 또한 중금속 흡착시험은 폐콘크리트가 구리, 납, 카드뮴의 제거능이 큰 것으로 나타났으나 반면, 크롬에 대해서는 제거율이 50%정도로 나타났다.

Keywords : Waste concrete, Leaching test, Adsorption, Recycling

1. 서론

폐기물은 발생하는 시점에서 최종 처리 및 처분 그리고 사후 유지관리에 이르기까지 주변환경에 미치는 영향을 최소화하여 경제적인 방법으로 관리하는 것이 바람직하다. 우리나라의 폐기물은 대부분 단순매립에 의해 처리되고 있으며, 이로 인하여 주변 환경오염을 유발하여 인근 주민에게 혐오감을 심어주고 있는 실정이다. 그러므로, 폐기물의 감량화와 재활용을 통한 자원화를 실시하여 폐기물이 새로운 자원의 가치를 가질 수 있도록 하여야 한다. 이

러한 차원에서 건설폐기물 즉 건설부산물도 재활용하여 새로운 토목재료로 자원화 할 필요성이 있다. 건설부산물의 재활용을 통한 자원화 방안은 사용 용도에 따른 공학적 특성뿐만 아니라 환경적 특성을 분석하여 대상재료의 환경 안정성을 확보하여야 한다.

폐콘크리트의 재활용 연구는 주로 폐콘크리트의 공학적 특성 연구를 주로 실시하였으며, 활용분야는 도로의 노반재 및 보조기층재, 재생골재화, 배수재료 등에 연구가 이루어졌다(이진용 외 1인, 1996; 김무한, 1997; 한국건설기술연구원, 2000). 이들 연구결과에서는 폐콘크리트가

*1 정희원, 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원

*2 정희원, 충남대학교 환경공학과 교수

*3 정희원, 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원

*4 정희원, 한양대학교 토목공학과 교수

건설재료로 적합한 것으로 나타났음에도 불구하고, 폐콘크리트의 재활용 및 자원화에 미흡한 것은 폐콘크리트가 폐기물이라는 인식과 재활용에 따른 환경특성에 대한 기술자들의 불안감 때문이다.

폐콘크리트의 환경적 특성 연구는 Wahlström의 4인(2000)은 파쇄 콘크리트를 도로재료 즉, 보조기층재로 활용하기 위하여 파쇄 콘크리트와 파쇄 벽돌에 대한 컬럼시험(column test), 배치시험(batch leaching test), pH 시험 등을 실시하였다. 이 결과에 의하면, 실험대상 재료에 대하여 도로재료로 사용하여도 환경적 영향이 크지 않은 것으로 나타났다. 또한, 이용수의 4인(2000)은 폐콘크리트의 구리, 납에 대한 흡착능을 분석하였으며 연구결과에서 폐콘크리트가 구리 및 납에 대한 흡착능이 뛰어난 것으로 보고하였다. Conner(1990)는 폐콘크리트를 이용, 유해 중금속을 함유하는 슬러지를 안정화시키는 방법을 연구하였으며, Butler(1988)는 폐콘크리트의 시멘트 수화물 미세구조가 중금속이온의 고정에 중요한 영향을 준다고 보고하고 있으며 이에 따라 폐콘크리트를 이용, 중금속 고정에 많은 노력을 기울이고 있다.

따라서, 본 연구는 각종 건축물 또는 토목구조물 등에서 발생하는 콘크리트 덩어리를 파쇄한 폐콘크리트에 대하여 pH시험, 용출시험, 중금속 흡착시험 등 일련의 실험을 실시하여 폐콘크리트 사용에 따른 주변 환경에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 실험재료

본 실험에 사용한 폐콘크리트는 각종 노후 건축 구조물의 해체과정에 발생한 폐콘크리트로, 일정한 크기로 선별 처리한 폐콘크리트와 OO지구에서 발생한 폐콘크리트를 사용하였다. 표 1은 실험대상 폐콘크리트의 기본물성을

나타내고 있다. 표에 의하면 실험대상재료 폐콘크리트 A의 입경은 9~40mm, 폐콘크리트 B는 19~40mm이며, 200번체 통과량을 살펴보면, 폐콘크리트 A는 0.1%이하고, 폐콘크리트 B는 0.7~5.2%로 나타나고 있다. 또한, 폐콘크리트는 도로의 보조기층재료 및 재생골재로 활용할 수 있으므로 실험대상 폐콘크리트의 마모감량을 살펴 보았다. 그 결과, 폐콘크리트 A는 33~35%이고 폐콘크리트 B는 52.3%로 나타나 도로의 보조기층 및 재생골재로 적합한 것으로 나타났다.

2.2 실험방법

2.2.1 pH 시험

pH는 산(acid) 또는 알카리(alkali) 상태의 세기 정도를 나타내는 것으로, 규정된 수질환경기준, 각종처리시설의 효율을 증가, 생산 공정에서의 품질 등이 일정하게 유지하고 있는지를 판단하는데 활용한다. 본 실험의 pH 측정은 KS F 2103에 의하여 실시하였다.

2.2.2 용출시험

폐기물은 물과 접촉하게 되면, 폐기물 속에 포함된 성분의 일부가 방출되는데, 이때 폐기물내에 함유되어 있는 유해물질이 우수 및 기타 침투수에 의해 폐기물로부터 용출되어 지하수 또는 침출수의 오염을 가중시킬 수 있다. 용출시험은 회분식 시험(batch leaching test)과 연속식 시험(column leaching test)이 있다. 회분식 시험은 폐기물 공정 시험법 및 미국의 TCLP(Toxicity Characteristic Leaching Procedure)방법을 사용하였다. 또한 폐콘크리트의 장기사용에 따른 용출특성을 살펴보기 위하여 연속식 시험도 실시하였다.

2.2.3 흡착시험

흡착(adsorption)은 어떤 상(phase)에 존재하고 있는 이

표 1. 폐콘크리트의 기본물성

실험재료	최대입경 (mm)	D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	균등계수 Cu	곡률계수 Cg	200번체 통과율 (%)	마모감량 (%)
A-1	9	0.27	0.77	2.2	8.15	0.998	0.1	-
A-2	25	7.8	10.2	10.6	1.36	1.26	-	33.53
A-3	40	10	15	19	1.9	1.18	-	35.44
B-1	40	0.17	0.56	0.06	0.35	30.75	2.8	52.3
B-2	25	0.17	0.65	0.16	0.94	15.53	5.2	-
B-3	19	0.34	0.53	2.0	5.88	0.41	0.7	-

온이나 분자가, 다른 상의 표면에 응축되거나 농축되는 현상이다. 농축된 물질을 피흡착질(adsorbate)이라 하고, 흡착을 하는 고체를 흡착제(adsorbent)라고 한다. 페콘크리트의 중금속 흡착능을 살펴보기 위하여 중금속으로는 납(Pb), 구리(Cu), 카드뮴(Cd), 6가 크롬(Cr⁶⁺)에 대하여 실시하였다.

(1) 중금속의 특성

납(Pb)은 자연 상태에서 1~10μg/l로 미량으로 존재하며, 납의 오염은 공장폐수와 광산폐수 등에 의해서 발생된다. 납은 인체내에 농축되고 미량을 섭취하여도 독성을 나타내며, 순환기, 신경계통, 신장장애 등이 일어날 수 있다. 납은 보통 난용성 염으로 제거하는 방법과 공침을 이용하는 방법이 있으며, 수산화물로도 응집, 침전시켜 제거하는 방법이 있다.

구리(Cu)의 주된 오염원은 동제품 제조공정으로서 세척공정 또는 도금공정 세척수에서 다량 배출된다. 지표수 중의 구리는 1.0mg/l 이하 농도에서도 수생생물에 대하여 독성을 나타내며, 음용수에 고농도로 포함될 때 물맛의 변화를 느끼게 한다. 구리는 침전 또는 이온교환, 증발, 전기분해(electro dialysis)방법에 의해 제거할 수 있다.

카드뮴(Cd)은 아연이나 수은과 동족의 금속이며, 무기염으로 존재할 경우 30mg/l에서 중독의 위험이 있다. 카드뮴은 안료, 플라스틱의 안정제, 전지, 합금, 도금 등에 널리 사용되고 있어 납과 함께 자연계 전체의 오염문제가 된다. 카드뮴은 침전 또는 이온교환에 의해서 제거될 수 있으며 알칼리성 pH에서 물에 녹지 않고 안정한 수산화물 형태로 되어 있다.

6가 크롬(Cr⁶⁺)은 인체에 독성이 심한 오염물질이며 3가 크롬보다는 6가 크롬이 약 100배 정도 독성이 강하고 입자 형태보다는 용존상태가 보다 더 강한 독성을 일으키는 것으로 알려져 있다. 크롬의 제거방법은 환원제(Fe, FeSO₄·7H₂O, Fe₂(NH₄)₂SO₄, Na₂SO₃, NaHSO₃, SO₂)를 이용한 환원 침전법, 이온교환법, 증발회수법 등이 있으며, 최근에는 이온교환법, 활성탄을 이용한 흡착법 등과 같은 방법이 이용된다.

(2) 평형실험

금속표준용액은 각각 금속질산염 Cu(NO₃)·3H₂O, Pb(NO₃)₂, Cd(NO₃)·4H₂O의 시약을 사용하였으며, 각 용액 1000mg/l를 표준용액으로 하여 실험전에 희석하여 사용하였다. 환경변화인자로 혐기성 조건으로 실시하였으

며, 실험전에 질소가스로 기포를 일으켜 대상 오염물질 용액속에서 용존 산소를 최대한 방출시키고 밀폐시킨 후 시행하였다. 시간에 따른 중금속 흡착평형 변화를 시험하기 위해 흡착제와 용액의 비율을 흡착제 1g에 대하여 용액 100ml의 비율로 보존용기(media bottle)에 넣고, 중금속 농도 5mg/l, 용액의 pH는 3.0±0.5, 온도는 25℃로 설정한 후 시간에 따른 흡착평형 추이를 분석하였다. 이때 반응시간은 3시간에서 72시간까지 시료를 채취 및 전처리하여 상등액의 중금속 농도를 측정하였다.

(3) 회분식 실험

일반적으로 납, 구리, 카드뮴 등과 같은 중금속들은 pH의 영향으로 산성영역에서는 양이온으로 용해되어 있고 중성, 알칼리성 영역에서는 물에 난용성인 수산화염이나 탄산염 형태로 존재하고 있다.

본 실험에서는 착이온 형성에 따른 용해도 변화와 폐수 중 제거율의 관계를 알아보기 위해 금속이온과 강한 수용성 착이온을 형성하는 EDTA를 몰비 1:1로 반응시킨 것과 반응시키지 않은 것으로 구분하였으며, 중금속 농도를 5mg/l, 20mg/l로 하였다. 이는 침출수의 중금속 농도로 일반적으로 5mg/l이며, 고농도인 20mg/l로 선정한 것이다. 흡착에 의한 제거를 알아보기 위해 pH 4, 침전에 의한 제거를 알아보기 위해 pH 7, pH 12.5로 설정하였다. 보존용기에 중금속 용액을 100ml와 페콘크리트 1g을 넣어 항온조 내에서 반응시키고, 전처리 후 액상에 남아있는 중금속의 농도를 측정하였고, 수중에 남아있는 중금속 이온의 정량은 표준시험방법과 환경오염시험법에 의해 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

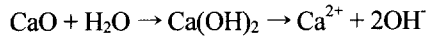
3.1 pH 특성

페콘크리트의 pH는 일반적으로 11~12의 범위를 나타내고 있다. 시험대상 페콘크리트 A와 B의 대표적인 시료에 대한 pH 시험결과를 표 2에 나타내었다. pH 시험 결과를 살펴보면, 화강토 pH는 6.98로 중성이고, 페콘크리트 A

표 2. pH 시험결과

시험재료	pH	비고
화강토	6.98	이번시험결과
페콘크리트 A	12.15	이번시험결과
페콘크리트 B	11.01	이번시험결과
페콘크리트 C	12.5	Wahlström (2000)

의 pH는 12.15, 페콘크리트 B의 pH는 11.01로 나타났고, Wahlström(2000)은 12.5로 나타냈다. 페콘크리트의 pH가 알칼리성분을 나타내는 것은 페콘크리트의 CaO성분이 수화분해작용에 의해 OH가 용출되어 평형을 이루기 때문이다.



3.2 용출특성

3.2.1 회분식 용출시험 결과

표 3은 페콘크리트에 대한 용출시험 결과이다. 표 3에 의하면, 시험대상 페콘크리트는 폐기물공정시험법에 의한 용출시험결과, 폐기물관리법에서 정한 법적기준에 모두 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 미국의 TCLP시험법에 의한 용출시험결과 미국의 기준과 한국의 기준에 만족하는 것으로 나타났다.

표 3의 시험결과는 본 시험대상 이외에도 국내·외 자료를 분석하였는데, 대부분 페콘크리트는 유해성분이 없는 것으로 나타났다. 다만, 몇몇 분석항목이 다른 페콘크리트 항목보다 다소 크게 수치가 나타났는데, 이는 페콘크리트 발생원에 따른 차이로 판단된다. 다시 말하면, 페콘크리트 발생원이 중금속 오염이 된 지역은 중금속에 의한 페콘크리트가 오염되어 시험결과 해당 중금속이 많이 검출될 것이다. 따라서 페콘크리트 재활용을 위해서는 페콘크리트 발생원을 살펴본 후 오염여부를 확인후 사용해야 할 것으로 판단된다.

3.2.2 연속식 용출시험결과

연속식 용출시험은 페콘크리트가 장기적으로 매립되거나 재활용할 경우, 강우 및 지하수 등에 의한 영향을 페콘크리트에 포함된 유해성분과 pH의 변화를 시간경과에 따라 분석할 수 있다. 표 4는 연속식 용출시험결과로 pH, 화학적산소요구량(Chemical Oxygen Demand, COD), 중

표 3. 페콘크리트의 용출시험결과

(단위:mg/l)

분석항목	구리 (Cu)	카드뮴 (Cd)	납 (Pb)	수은 (Hg)	6가 크롬 (Cr ⁶⁺)	테트라클로로 에틸렌	트리클로로 에틸렌	시아나 (CN ⁻)	비소 (As)	유기인	비고
한국기준	3.0 이하	0.3 이하	3.0 이하	0.005 이하	1.5 이하	0.1이하	0.3이하	1.0 이하	1.5 이하	1.0 이하	폐기물관리법 (폐기물공정시험법)
미국기준	-	1.0 이하	5.0 이하	0.2 이하	5.0 이하	-	-	-	-	-	EPA(TCLP방법)
페콘크리트 A	0.24	ND	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	이벤실험결과 (폐기물공정시험법)
페콘크리트 A	0.019	0.006	0.049	ND	0.117	ND	ND	ND	0.437	ND	이벤실험결과 (TCLP)
페콘크리트 B-2	0.09	0.014	0.03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	이벤실험결과 (폐기물공정시험법)
페콘크리트 B-3	0.52	0.094	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.151	ND	이벤실험결과 (폐기물공정시험법)
building concrete	0.14	0.002 이하	0.002 이하	-	0.2	-	-	-	-	-	Wahlström(2000)
crushed concrete	0.0084	0.0002 이하	0.002 이하	-	0.046	-	-	-	-	-	Kälvesten(1996)
concrete grabulate	0.12 이하	0.002	0.04 이하	-	0.11	-	-	-	0.005 이하	-	Crow(1994)

표 4. 페콘크리트의 장기 용출시험 결과

분석항목	1차	2차	3차	4차	5차
pH	11.4	10.7	10.5	8	7.6
COD	39	16.8	7	3.1	3
구리(Cu), mg/l	0.111	0.104	-	-	-
카드뮴(Cd), mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
납(Pb), mg/l	0.11	불검출	불검출	불검출	불검출
수은(Hg), mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
6가크롬(Cr ⁶⁺), mg/l	불검출	0.016	불검출	0.03	0.02
시아나(CN ⁻), mg/l	0.1	불검출	불검출	불검출	불검출
비소(As), mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
테트라클로로에틸렌, mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
트리클로로에틸렌, mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출

금속 등을 측정 분석하였다. 시험결과를 살펴보면, pH의 농도는 11.4에서 7.6으로 시간이 지날수록 염기성에서 중성으로 변화하였으며, 유기물 농도 지표인 COD값은 5차 분석시 약 3.0mg/l로 매우 낮게 나타났다. 한편, 1차 용출수를 실험한 결과 중금속의 농도중 구리, 납, 6가 크롬, 시안 등이 매우 낮게 나타났으며, 다른 중금속 등은 모두 검출되지 않았다. 따라서 연속식 용출시험을 한 결과, 초기에 용출된 중금속류 대부분이 시간이 지남에 따라 검출되지 않았음을 알 수 있었다.

3.3 흡착특성

3.3.1 평형실험결과

평형실험은 페콘크리트에 의한 중금속 제거능 평가에 앞서 흡착평형 도달시간을 알아보기 위한 예비실험이다. 시험대상 중금속의 농도는 5mg/l에 대하여 혼합 중금속 용액에 따른 평형시간을 그림 1에 나타내었다. 그림 1에 의하면, 카드뮴, 납, 구리의 중금속은 9시간에서 24시간 이내에 중금속 제거율이 99~100%에 도달하였으나, 크롬(Cr⁶⁺)은 초기 24시간동안 49.8%의 제거율을 나타내고 있

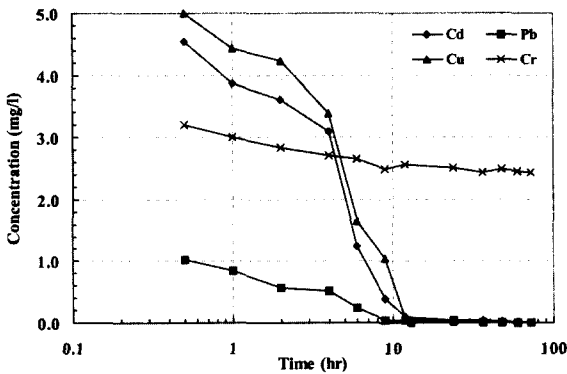


그림 1. 중금속 평형도달시간

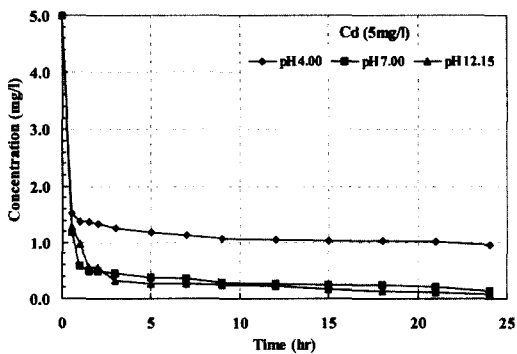


그림 2. pH에 따른 카드뮴 제거능 평가실험(5mg/l)

으며, 72시간 경과후에는 시간에 따른 농도 변화가 거의 없는 평형에 도달하는 것으로 나타났다.

3.3.2 페콘크리트 제거능 평가 시험결과

(1) pH에 따른 카드뮴(Cd) 제거능 평가

카드뮴의 농도 5mg/l와 20mg/l에 대하여 24시간 경과 후 pH에 따른 제거능을 그림 2와 그림 3에 나타내었다. pH 변화에 따른 카드뮴의 제거능은 pH가 증가할수록 제거능이 증가하는 것으로 나타났으며, 농도가 5mg/l일 때보다는 농도 20mg/l일 때가 카드뮴의 제거능이 다소 떨어지는 것으로 나타났다. 카드뮴의 농도 5mg/l에 대한 pH가 4에서 약 80.80%, pH 7은 97.20%, pH 12.15에서 98.60%로 나타났다. 또한 농도 20mg/l인 경우, pH 4에서 58.15%, pH 7에서 93.30%, pH 12.15에서 96.25%로 나타났다. 따라서, 카드뮴은 pH 7, pH 12.15에서 제거율이 높은 것으로 나타났다.

(2) pH에 따른 납(Pb) 제거능 평가실험

납의 농도 5mg/l와 20mg/l에 대하여 24시간 경과 후 pH에 따른 제거능은 그림 4와 그림 5에 도시하였다. 납의 농도 5mg/l일 때 pH 4에서는 5시간 경과후 100% 제거되었으며, pH 7에서는 18시간, pH 12.15에서는 9시간만에 납이 제거되었다. 반면, 납의 농도 20mg/l에서는 pH 4에서는 9시간, pH 7에서는 21시간 그리고 pH 12.15에서는 18시간만에 납의 제거가 100%에 도달하였다. 이는 동일한 pH에서 고농도일 때 납의 제거능은 2배의 시간이 걸리는 것으로 나타났다.

(3) pH에 따른 구리(Cu) 제거능 평가실험

구리의 농도 5mg/l와 농도 20mg/l에 대하여 24시간 경과 후 pH에 따른 제거능을 그림 6과 그림 7에 나타내었다.

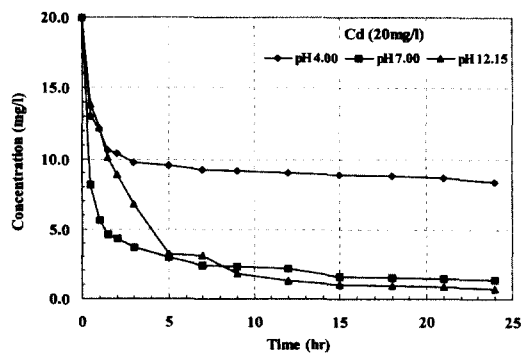


그림 3. pH에 따른 카드뮴 제거능 평가실험(20mg/l)

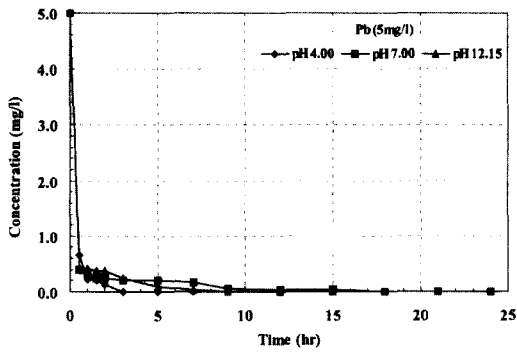


그림 4. pH에 따른 납 제거능 평가실험(5mg/ℓ)

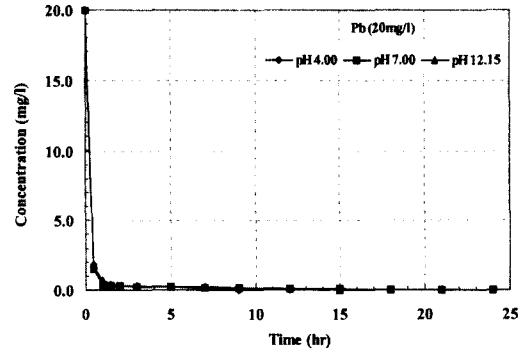


그림 5. pH에 따른 납 제거능 평가실험(20mg/ℓ)

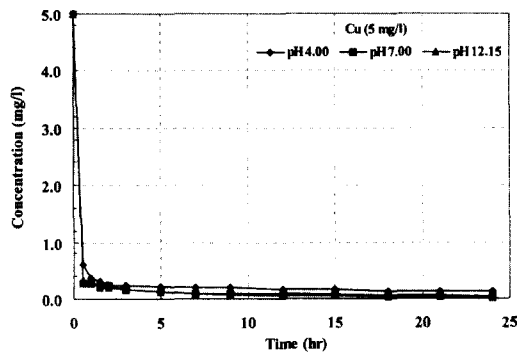


그림 6. pH에 따른 구리 제거능 평가실험(5mg/ℓ)

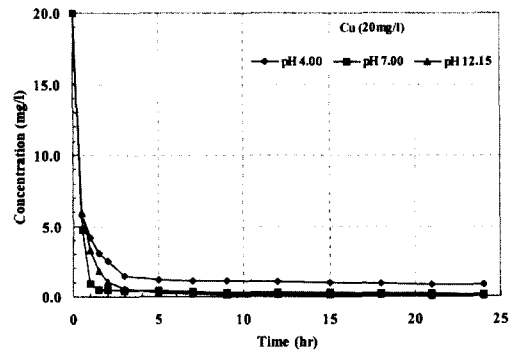


그림 7. pH에 따른 구리 제거능 평가실험(20mg/ℓ)

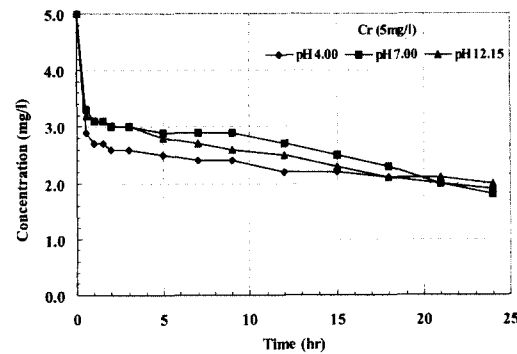


그림 8. pH에 따른 6가크롬 제거능 평가실험(5mg/ℓ)

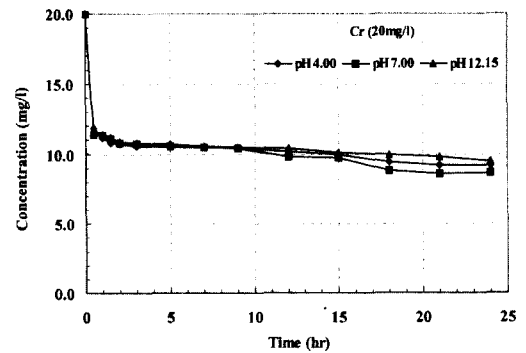


그림 9. pH에 따른 6가크롬 제거능 평가실험(20mg/ℓ)

그림에 의하면, 구리의 농도에 따른 pH 변화에 따라 24시간 후 납의 제거능이 100%가 되지 않았다. 특히, pH 4에서 납의 농도 5mg/ℓ 와 20mg/ℓ 에 대한 납의 제거능이 97.60%와 95.80%로 나타났고, pH 7과 pH 12.15에서는 99%이상의 제거능을 나타내고 있다. pH에 따른 구리의 제거능은 pH가 증가할수록 납의 제거능이 증가하는 것으로 나타났으며, 납의 농도 변화에 따른 제거율은 5mg/ℓ 와 20mg/ℓ 의 농도에서 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

(4) pH에 따른 크롬(Cr⁶⁺) 제거능 평가실험

크롬(Cr⁶⁺)의 농도의 변화와 pH 변화에 따른 크롬의 제거능을 그림 8과 그림 9에 나타내었다. 크롬의 농도 5mg/ℓ 인 경우, 24시간 경과 후 pH에 따른 제거능은 모든 pH에서 60~64%로 나타났고, 크롬의 농도 20mg/ℓ 경우, 모든 pH에서 52.50%에서 56.50%로 나타났었다. 따라서 크롬의 경우는 농도 및 pH에 따라 제거능이 모두 비슷한 경향을 나타내고 있다.

이상의 페콘크리트에 대한 중금속(Cd, Pb, Cu, Cr⁶⁺)의 제거능의 선호도를 살펴보면, 5mg/ℓ 의 저농도와 20mg/ℓ

표 5. pH에 따른 Ca²⁺ 용출농도 (단위 : mg/l)

pH	4.00	7.00	10.00
Ca ²⁺ (mg/l)	1,600	1,140	440

의 고농도에서 중금속 제거능은 Pb>Cu>Cd로 나타났다. 이는 중금속의 선택 제거능 때문인 것으로 중금속이 선택적으로 제거되는 것을 친화성(affinity) 또는 선택성(selectivity)이라고 한다. 그것은 중금속이 흡착제에 제거될 때, 다른 화학종보다도 우선적으로 제거되는 상황을 가리킨다.

중금속의 용해도는 pH에 따라 다르지만 일반적으로 Pb는 pH 9, Cd는 pH 11, Cr은 pH 9에서 용해도가 최소이고, 또한 금속 수산화물은 pH 7.5~11범위에서 최소의 용해도를 갖는다. 그러나 Cr의 경우는 9에서 최소이지만 낮은 pH 또는 높은 pH에서 폭 넓게 용해도가 높은 것으로 나타나고 있다.

pH에 대한 영향은 Cd의 경우 pH 12.15 > pH 7 > pH 4로 나타났고, Pb와 Cu의 경우는 pH 4 ≍ pH 7 ≍ pH 12.15로 나타났다. 여러 중금속이 혼합되어 있을 때 각종 중금속의 침전에 따르는 적정 수소이온농도는 각각 다르나 일괄 침전시킬 경우, pH 조정으로 토양 중에 함유되어 있는 중금속 이온을 동시에 제거할 수 있다. 특히, 일괄침전의 경우에는 중금속 이온간에 공침현상(Co-precipitation)이 작용하여 높은 pH에서 침전되는 Cd²⁺가 낮은 pH 영역에서 완전히 침전하게 된다.

pH에 따라 폐콘크리트에서 용출되는 Ca²⁺성분의 농도를 알아보기 위해 폐콘크리트 5g과 중금속 혼합용액 300 ml를 보존용기에 혼합하여, 25 °C로 유지하며 24시간동안 교반하여 용액상으로 용출되는 Ca²⁺농도를 분석하였다. Ca²⁺의 농도는 표 5에 나타난 바와 같이 수중에 용출되는 농도가 pH가 낮아짐에 따라 증가경향을 나타내었다. pH 4의 경우 1,600mg/l, pH 7의 경우 1,140mg/l, pH 10의 경우 440mg/l로 나타났다. 이것으로 보아 중금속의 제거기작은 산성조건에서는 흡착이고, 알칼리성 조건에서는 흡착과 침전이 모두 일어남을 알 수 있다. Cr⁶⁺의 제거 선호도도 Pb와 Cu와 마찬가지로 pH 2.51 ≍ pH 4 ≍ pH 10으로 나타났다.

4. 결론

본 논문은 건설산업 현장에서 발생하는 건설부산물중 폐콘크리트 재활용율을 높이기 위하여, 현재 발생하는 폐콘크리트 활용에 따른 환경적 특성을 분석하였다. 그 결과

를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 폐콘크리트에 대한 pH시험을 실시하였다. pH 시험결과 시험대상 폐콘크리트는 11~12정도로 염기성을 나타내고 있다.
- (2) 폐콘크리트에 대한 폐기물관리법시험법에 의한 용출시험결과, 폐기물관리법에서 정한 법적기준에 모두 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 미국의 TCLP시험법에 의한 용출시험결과 미국의 기준과 한국의 기준에 모두 만족하는 것으로 나타났다. 다만, 몇몇 분석항목이 다른 폐콘크리트 항목보다 큰 수치가 나타났는데, 이는 폐콘크리트 발생원에 따른 차이로 판단된다. 다시말하면, 폐콘크리트 발생이 오염이 된 지역은 폐콘크리트가 오염되어 시험결과 해당 오염물질이 검출될 것이다. 따라서 폐콘크리트 재활용을 위해서는 폐콘크리트 발생원을 살펴본 후 오염여부를 확인후 사용해야 할 것으로 판단된다.
- (3) 폐콘크리트의 제거능 평가실험 결과, 높은 pH에서의 제거능이 낮은 pH에서의 제거능보다 높게 나타났으며, 낮은 농도에서의 제거능이 높은 농도에서의 제거능보다 다소 높게 나타났다. 이는 폐콘크리트에 함유되어 있는 CaO의 수화·가수분해반응에 의해 OH가 용출되어 pH가 12.15로 증가하였기 때문이다. 유출수의 pH가 높다는 것은 외부 알칼리도 성분의 조달없이 각종 중금속들이 수화물 형태 및 탄산염 형태로 침전 유도할 수 있음을 나타낸다. Cr⁶⁺의 제거능은 낮은 pH에서 높게 나타났으며 제거선호도를 살펴보면 Pb > Cu > Cd > Cr⁶⁺로 나타났다.
- (4) 폐콘크리트에 대한 pH, 용출시험, 중금속 흡착시험 등의 일련의 실험을 실시하였다. 그 결과, 폐콘크리트 활용에 따른 주변 환경에 미치는 영향이 비교적 적은 것으로 나타났으며, 중금속 흡착성도 가지는 것으로 나타났다. 따라서 폐콘크리트를 건설재료로 재활용하면 경제적 산업적으로 큰 이익이 될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이진용, 이인대(1996), "재활용 골재의 도로 성토재료로서의 적합성 연구," 대한토목학술논문집, 제16권, 제III-2호, 대한토목학회, pp.131~138.
2. 김무한(1997), "재생골재의 현황과 재활용 방안", 콘크리트학회지, 제9권 제6호, 콘크리트회, pp.11~17.
3. 이용수, 조재범, 현재혁, 정하익, 정형식(2000), "폐콘크리트에 대한

- 구리(Cu)와 납(Pb)의 중금속 흡착특성”, 한국지하수토양환경학회 2000년 추계학술대회, 한국지하수토양환경학회, pp.277~280.
4. 한국건설기술연구원(2000), 건설부산물 유효활용 기술, 건기연/2000-072, 연구보고서.
 5. Butler, L. G., Cartledge, F. K., Chalasani, D., Eaton, H. C., Frey, F., Tittlebaum and Yang, S. L.(1988), "Zmnobilization Mechanisms in solidification/stabilization using cement/silicate fixing agents, Louisiana State University, pp.76~85.
 6. Conner, J. R.(1990), "Chemical fixation and solidification of Hazardous waste", pp.129~131.
 7. Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J., Määttänen, A., Luotojärvi, T.(2000), "Environmetal quality assurance system for use of crushed mineral demolition wastes in road constructions," Waste Management 20, pp.225~232.

(접수일자 2001. 2. 8)