

순환골재의 오염물질 발생 가능성에 관한 실험적 평가

Experimental Evaluation on Occurrence Possibility of Pollutants from Aggregates

박정호¹ · 성진욱¹ · 박제철^{1*}

Jeong-Ho Park¹ · Jin-Uk Seong¹ · Je-Chul Park^{1*}

(Received May 2, 2013 / Revised June 3, 2013 / Accepted June 20, 2013)

This study was on leaching test(KSLT, TCLP) of the aggregate for the products(RA-1) and for the site(RA-2) to evaluate the characteristics of contaminants and the possibility of contamination arising from the aggregate. On the basis pH, conductivity and heavy metal contents in the aggregate, RA-1 indicated higher than RA-2. As a result of the leaching test, the pollutants were eluted from the aggregate increased as the particle size of the aggregate was smaller. The pH in the aggregate had a strong alkali by a pH value of 9.0 ~ 12.3, the conductivity was higher in less than 10mm RA-1 due to the leaching of dissolved inorganic ions. The heavy metals satisfied the leaching standards of KSLT and less 10% was eluted from the aggregate. As a result of evaluating water pollution possibility of the aggregate, the pH displayed in items with a very high possibility of contamination, conductivity and turbidity did in item with a low possibility of contamination and on the other hand the heavy metals did in item with a very low possibility of contamination.

키워드 : 순환골재, 용출시험, 함량

Keywords : Aggregate, Leaching test, Contamination

1. 서론

국내에서는 1970년대 고도성장으로 인한 콘크리트 구조물이 급증하였으며, 1990년대부터 생활수준의 향상으로 인하여 과거 1970년대 콘크리트 구조물의 재건축 등으로 인한 폐콘크리트 등 건설폐기물(이하 건설 폐자재로 함)의 발생량이 급속히 증가하고 있는 추세에 있다. 또한 1980년대 후반부터 도로 건설재료로 콘크리트를 활용하였는데 도로의 수용증대와 노선개량 사업 등으로 인하여 폐콘크리트 발생이 점차로 증가하고 있는 추세이다(Lee et al. 2005).

현시점에서 새로운 골재 공급원으로써 재건축시 발생하는 건설 폐기물에 대한 관심이 고조되고 있으며 건설폐기물 중 폐콘크리트에서 생산된 골재는 비구조체뿐만 아니라 주요 구조부재 등의 고부가가치 용도로 재활용될 수 있는 잠재력이 있다는 것이 많은 국내외 연구결과에서 보고 되고 있다. 최근 정부에서도 이러한 사회

적 문제를 인식하고 건설폐기물의 활용을 촉진하기 위하여 「건설 폐기물 등의 재활용 촉진에 관한 법률안」을 제정하여 일정규모 이상의 공사에 한하여 순환골재의 사용을 의무화하고 있으며, 또한 건축법의 「건축물의 에너지 이용과 폐자재 재활용」 기준에 따르면 건축물의 골조공사에 사용하는 골재량에 대한 건축폐자재 사용량의 중량비율에 따라 용적률 및 건축물의 높이 제한을 최고 15%까지 완화할 수 있도록 허용하는 등 다양하게 순환골재의 활용을 촉진하는 정책을 마련하고 있다(Lee et al. 2009).

그러나 현재 순환골재의 사용은 적극 권장하고 있으나 다양하게 처리되는 순환골재의 품질평가를 위한 실험방법은 미비하여 순환골재의 품질확인 및 관리 방안에 관한 규정의 필요성은 더욱 증가되고 있다(Jaung and Lee 2008). 또한 상대적으로 재활용 제품의 낮은 품질로 인한 부정적인 인식과 관련기준 등의 기반기술 부족으로 인해 실질적인 재활용의 걸림돌이 되어 왔다(No et al. 2009).

따라서 본 연구는 안동시에 위치한 건설폐기물 중간처리업체의

* Corresponding author E-mail: bjc1963@kumoh.ac.kr

¹금오공과대학교 환경공학과 (Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gu-mi, 730-710, Korea)

생산제품 순환골재와 원주시에 위치한 순환골재 상·복토 현장의 혼합 순환골재를 대상으로 순환골재의 입경별 오염물질 발생 가능성을 분석하기 위해 용출시험을 실시하여 pH, Conductivity, SS, COD_{Mn}, T-N, T-P, 중금속을 분석하였다. 이를 바탕으로 순환골재의 오염물질 용출특성과 오염 가능성을 평가하여 향후 순환골재 재활용 활성화를 위한 기초자료로 활용할 수 있도록 하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 조사대상지 개요

2.1.1 생산제품 순환골재

생산제품 순환골재 조사대상지는 경상북도 안동시 수하동에 위치한 건설폐기물 중간처리업체로 선정하였다. 건설폐기물 중간처리업체에 반입되는 건설폐기물은 대부분이 폐콘크리트이며, 파쇄에 의해 3종의 순환골재를 생산하고 있었다.

2.1.2 현장 혼합 순환골재

현장 혼합 순환골재 조사대상지는 강원도 원주시 호저면 주산리에 위치한 순환골재 성·복토지로 선정하였다. 논 지역 상부에 폐콘크리트를 파쇄한 순환골재를 입경의 구분 없이 성·복토한 지역이다.

2.2 오염물질 함량조사

순환골재에 함유된 오염물질의 자체 함량을 파악하기 위해 생산제품 순환골재(이하 RA-1)와 현장 혼합 순환골재(이하 RA-2)를 2mm 이하의 입경으로 파쇄하여 제조하였다. 분석항목은 pH, Cd,

Cu, Ni, Pb, Zn, As, Hg, Cr⁶⁺을 대상으로 토양오염공정시험기준 (Ministry of Environment 2009a)에 따라 분석하였다.

2.3 오염물질 용출시험

생산제품 순환골재와 현장 혼합 순환골재를 입경 10mm 이하, 25mm, 40mm 로 분류하여 총 6종의 순환골재 시료를 용출시험에 사용하였다. 용출시험 방법으로는 국내 폐기물 용출시험방법 (KSLT : Korea Standard Leaching Test)과 미국의 TCLP(Toxicity Characteristic Leaching Procedure) 방법을 적용하였다. 각 용출 시험에서 순환골재 시료의 양은 KSLT 방법에서 입경 10mm 이하, 25mm는 200g, 40mm는 500g을 사용하였고, TCLP 방법에서는 입경 10mm 이하, 25mm는 100g, 40mm는 250g을 사용하였다. 순환골재를 용출하여 여과한 여액은 수질오염공정시험기준(Ministry of Environment 2011)에 따라 pH, 전기전도도, 탁도, COD_{Mn}, TN, TP, 중금속, CN, TCE, PCE을 분석하였다.

Table 1. Methods of KSLT and TCLP

Items	KSLT	TCLP
Leaching Medium	Distilled Water	Acetic Acid + Distilled Water
pH of Leaching Solution	5.8~6.3	2.83~2.93
Solid(g) : Liquid(mL)	1 : 10	1 : 20
Agitation Apparatus	Horizontal Shake	Horizontal Shake
Leaching Speed(rpm)	200	30 ± 2
Leaching Time(hr)	6	18
Filter Size(μm)	GF/C	GF/F

Table 2. pH and heavy metal contents of recycled aggregates

Items	This study		(Ministry of Environment 2009b)	
	RA-1	RA-2	Recycled Aggregates	Natural Aggregates
pH	12.1	9.8	11.5	9.0
Cd	0.49	ND	0.03	0.02
Cu	73.8	22.7	0.9	ND
Ni	14.4	10.3	5.4	0.2
Pb	90.8	65.8	0.6	0.6
Zn	276.0	98.8	71.7	21
As	10.2	4.1	2.3	0.1
Hg	0.07	0.06	0.01	0.005
Cr ⁶⁺	ND	ND	ND	ND

3. 결과 및 고찰

3.1 pH 및 중금속 함량 분석

생산제품 순환골재 및 현장 혼합 순환골재 자체의 pH 및 중금속 함량 분석 결과를 Table 2에 나타내었다. pH 항목에서 생산제품 순환골재는 12.1, 현장 혼합 순환골재는 9.8로 알칼리성으로 나타났는데, 이는 환경부의(Ministry of Environment 2009b) 연구에서도 순환골재의 pH가 11.5로 알칼리성으로 조사되어 본 연구와 비슷한 수준임을 확인 할 수 있었다. 중금속 함량 분석결과 중금속 함량은 전체적으로 현장 혼합 순환골재의 중금속 함량이 생산제품 순환골재보다 낮은 것으로 나타났다. 본 연구와 환경부(Ministry of Environment 2009b) 연구의 중금속 함량을 비교하며 보면 본 연구에서 다소 높은 중금속 함량을 보이는 것으로 나타났는데, 이는 분석한 순환골재 시료의 종류별로 차이가 있으며 순환골재의 발생성상과 성·복토 환경에 따라 중금속 함량이 차이가 나는 것으로 판단된다.

3.2 KSLT 방법에 따른 순환골재 입경별 용출시험

3.2.1 생산제품 순환골재

KSLT를 적용한 생산제품 순환골재의 용출시험 결과를 Table 3, 5에 나타내었다. 호기·혐기조건에서 pH는 입경 10mm 이하에서 각각 12.3, 11.7, 25mm에서 10.6, 10.8, 40mm에서 9.9, 10.4로 나타났다. 입경이 작을수록 pH가 높아지는 경향을 보였으나, 산소 조건 따른 영향은 뚜렷하게 관찰되지 않았다. 순환골재의 입경이 작을수록 표면적은 증가하게 되고 분쇄된 시멘트 입자와 용매의 접촉이 늘어나면서 pH가 증가하는 것으로 판단된다. 전기전도도는 입경 10mm 이하에서 각각 1,565.0, 431.7 μ s/cm, 25mm에서 125.0, 96.3 μ s/cm, 40mm에서 66.9, 55.7 μ s/cm로 조사되었다. 입

경이 작을수록 전기전도도는 증가하는 경향을 보였고, 혐기조건보다 호기조건에서 전기전도도가 높게 나타났다. 이러한 결과를 비추어 볼 때 10mm 이하의 순환골재를 무분별하게 사용할 경우 공공수역에서 무기 오염물질의 용출로 인한 오염 가능성이 있을 것으로 판단된다. 탁도는 입경 10mm 이하에서 각각 1,121.0, 760.0 NTU, 25mm에서 42.7, 38.6 NTU, 40mm에서 31.2, 28.2 NTU로 조사되었다. 입경이 작을수록 탁도는 증가하는 경향이 나타났으며, 특히 10mm 이하의 입경에서 탁도가 매우 높게 나타났다. 순환골재는 입경이 작을수록 표면적이 증가하여 다량의 미세입자가 표면에 부착되어 있으므로 입경에 의해 탁도는 영향을 받는 것으로 판단된다. COD_{Mn} 농도는 입경 10mm 이하에서 각각 6.4, 3.1 mgO₂/L, 25mm에서 2.8, 1.5 mgO₂/L, 40mm에서 1.1, 1.3 mgO₂/L로 조사되었다. 순환골재의 입경이 작을수록 COD_{Mn}농도가 높은 경향을 보였고, 혐기조건보다 호기조건에서 농도가 높았으나, 40mm 이상에서는 농도의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. COD_{Mn}농도가 증가하는 것은 입경이 작을수록 표면적이 증가하는 것에 영향을 받는 것으로 판단된다. TN농도는 입경 10mm 이하에서 각각 2.513, 1.765mg/L, 25mm에서 0.663, 1.724mg/L, 40mm에서 0.430, 0.435mg/L로 조사되었다. 10mm 이하에서 농도가 가장 높았지만 다른 항목의 용출결과에 비해 농도의 변화는 다소 불규칙적인 경향을 나타내었다. TP농도는 입경 10mm 이하에서 각각 0.011, 0.010mg/L, 25mm에서 0.009, 0.008mg/L, 40mm에서 0.010, 0.006mg/L로 조사되었다. 입경이 작을수록 TP농도가 높은 경향을 보였고, 산소조건에 의한 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 중금속의 경우Hg, Cr⁶⁺, CN, PCE, TCE는 검출되지 않았고, As, Cd, Cu, Pb가 일부 검출되었으나 KSLT 용출시험 기준은 모두 만족하는 수준을 보여 순환골재의 중금속에 대한 오염가능성은 낮은 것으로 판단된다.

Table 3. Results of the leaching test of RA-1(KSLT)

Items	Aerobic			Anaerobic		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
pH	12.3	10.6	9.9	11.7	10.8	10.4
Cond.(μ s/cm)	1565.0	125.0	66.9	431.0	96.3	55.7
Turb.(NTU)	1121.0	42.7	31.2	760.0	38.6	28.2
TN(mg/L)	2.513	0.663	0.430	1.765	1.724	0.435
TP(mg/L)	0.011	0.009	0.010	0.010	0.008	0.006
CODMn(mgO ₂ /L)	6.4	2.8	1.1	3.1	1.5	1.3

(P1 : Particle size \leq 10mm, P2 : Particle size 25mm, P3 : Particle size 40mm)

3.2.2 현장 혼합 순환골재

KSLT를 적용한 현장 혼합 순환골재의 용출시험 결과를 Table 4, 5에 나타내었다. 호기·혐기조건에서 pH는 입경 10mm 이하에서 각각 9.9, 10.0, 25mm에서 9.7, 9.7, 40mm에서 9.0, 9.8로 나타났다. 입경이 작을수록 pH가 높아지는 경향을 보였으나, 산소조건 따른 영향은 뚜렷하게 관찰되지 않았다. 이는 입경이 작을수록 표면적은 증가하게 되고 분쇄된 시멘트 입자와 용매의 접촉이 늘어나면서 pH가 증가하는 것으로 판단된다. 전기전도도는 입경 10mm 이하에서 각각 185.0, 144.0 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 25mm에서 71.8, 52.2 $\mu\text{s}/\text{cm}$,

40mm에서 72.1, 42.4 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 로 조사되었다. 입경이 작을수록 증가하는 경향을 보였고, 혐기조건보다 호기조건에서 전기전도도가 높게 나타났다. 이러한 결과를 비추어 볼 때 10mm 이하의 순환골재를 무분별하게 사용할 경우 공공수역에서 무기 오염물질의 용출로 인한 오염 가능성이 있을 것으로 판단된다. 탁도는 입경 10mm 이하에서 각각 821.0, 583.0 NTU, 25mm에서 31.1, 33.3 NTU, 40mm에서 21.2, 16.8 NTU로 조사되었다. 입경이 작을수록 탁도가 증가하는 경향을 보였고, 특히 10mm 이하에서 매우 높게 나타났다. 이 또한 입경이 작을수록 표면적이 증가하여 다량의 미세입자가

Table 4. Results of the leaching test at RA-2(KSLT)

Items	Aerobic			Anaerobic		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
pH	9.9	9.7	9.0	10.0	9.7	9.8
Cond.($\mu\text{s}/\text{cm}$)	185.0	71.8	72.1	144.0	52.2	42.4
Turb.(NTU)	821.0	31.1	21.2	583.0	33.3	16.8
TN(mg/L)	0.848	0.418	0.388	1.118	0.871	0.418
TP(mg/L)	0.019	0.014	0.009	0.018	0.009	0.010
CODMn(mgO ₂ /L)	4.4	1.2	1.1	3.3	1.6	1.4

Table 5. Results of the heavy metal and pollutants(KSLT)

(Unit : mg/L)

Condition	Items	Standard	RA-1			RA-2		
			P1	P2	P3	P1	P2	P3
Aerobic	As	1.5	0.057	0.020	0.043	0.042	0.039	0.038
	Cd	0.3	ND	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	Cu	3.0	0.070	0.065	0.064	0.069	0.069	0.063
	Pb	3.0	0.006	0.003	0.007	0.006	0.005	0.006
	Cr	-	0.045	0.020	0.018	0.026	0.019	0.018
	Cr ⁶⁺	1.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Hg	0.005	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	CN	1.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	TCE	0.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	PCE	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Anaerobic	As	1.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Cd	0.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Cu	3.0	0.069	0.070	0.069	0.070	0.068	0.067
	Pb	3.0	0.004	ND	ND	ND	ND	ND
	Cr	-	0.026	0.019	0.018	0.023	0.021	0.017
	Cr ⁶⁺	1.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Hg	0.005	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	CN	1.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	TCE	0.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	PCE	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND

표면에 부착되어 있기 때문에 탁도에 영향을 주는 것으로 판단된다. COD_{Mn}농도는 입경 10mm 이하에서 각각 4.4, 3.3mgO₂/L, 25mm에서 1.2, 1.6mgO₂/L, 40mm에서 1.1, 1.4mgO₂/L로 조사되었다. 입경이 작을수록 COD_{Mn} 농도가 높은 경향을 보이며, 입경 10mm 이하, 25mm에서는 혐기조건보다 호기조건에서 농도가 높았으나, 40mm 이상에서는 호기조건보다 혐기조건에서 농도가 높은 것으로 나타났다. TN농도는 입경 10mm 이하에서 각각 0.848, 1.118 mg/L, 25mm에서 0.418, 0.871 mg/L, 40mm에서 0.388, 0.418 mg/L로 조사되었다. 입경이 작을수록 TN농도가 높은 경향을 보였으며, 호기조건보다 혐기조건에서 농도가 높은 것으로 나타났다. TP농도는 입경 10mm 이하에서 각각 0.019, 0.018 mg/L, 25mm에서 0.014, 0.009 mg/L, 40mm에서 0.009, 0.010 mg/L로

조사되었다. 입경이 작을수록 TP농도가 높은 경향을 보였으나, 산소조건에 따른 차이는 확인할 수 없었다. 중금속은 Hg, Cr⁶⁺, CN, PCE, TCE는 검출되지 않았고, As, Cd, Cu, Pb가 일부 검출되었으나 KSLT 용출시험 기준은 모두 만족하는 수준을 보여 순환골재의 중금속에 대한 오염가능성은 낮은 것으로 판단된다.

3.3 TCLP 방법에 따른 순환골재 입경별 오염물질 용출시험

3.3.1 생산제품 순환골재

TCLP를 적용한 생산제품 순환골재의 용출시험 결과를 Table 6, 7에 나타내었다. 호기·혐기조건에서 pH는 입경 10mm 이하에

Table 6. Result analysis leaching test by TCLP

Items	RA-1						RA-2					
	Aerobic			Anaerobic			Aerobic			Anaerobic		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
pH	4.6	4.2	3.9	4.0	3.9	3.9	4.9	4.7	4.0	4.3	4.0	4.1
Cond.(μ S/cm)	3,855	2,057	1,405	1,149	862	1,143	2,547	1,755	1,358	1,606	912	1,251

Table 7. Analysis of heavy metal and pollutants(TCLP)

Condition	Items	Standard	RA-1			RA-2		
			P1	P2	P3	P1	P2	P3
Aerobic	As	5.0	ND	ND	ND	0.122	0.024	ND
	Cd	1.0	0.005	0.005	0.002	0.002	0.002	0.002
	Cu	-	0.112	0.157	0.208	0.137	0.353	0.125
	Pb	5.0	0.030	0.042	0.031	0.027	0.020	0.028
	Cr	5.0	0.044	0.034	0.025	0.032	0.030	0.030
	Cr ⁶⁺	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Hg	0.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	CN	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	TCE	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	PCE	0.7	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Anaerobic	As	5.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Cd	1.0	0.001	ND	0.001	ND	ND	ND
	Cu	-	0.121	0.104	0.119	0.103	0.101	0.115
	Pb	5.0	0.034	0.004	0.016	0.023	0.009	0.007
	Cr	5.0	0.033	0.023	0.029	0.030	0.020	0.025
	Cr ⁶⁺	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Hg	0.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	CN	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	TCE	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	PCE	0.7	ND	ND	ND	ND	ND	ND

서 각각 4.6, 4.0, 25mm에서 4.2, 3.9, 40mm에서 3.9, 3.9로 조사되었다. 입경이 작을수록 pH가 높아지는 경향을 보였고, 혐기조건보다 호기조건에서 pH가 높게 나타났다. TCLP 용출시험의 경우 KSLT에서의 pH 증가폭보다는 적은 증가폭을 보였는데 이는 용매의 차이에 의한 것으로 판단된다. 전기전도도는 입경 10mm 이하에서 각각 3,855, 1,149 μ s/cm, 25mm에서 2,057, 862 μ s/cm, 40mm에서 1,405, 1,143 μ s/cm로 조사되었다. 입경에 따른 규칙적인 경향은 확인 하기 어려웠으며, 혐기조건보다 호기조건에서 전기전도도가 높게 나타났다. 중금속의 경우 KSLT와 마찬가지로 Hg, Cr⁶⁺, CN, PCE, TCE가 검출되지 않았고, 일부 중금속 항목이 검출되었으나 TCLP 용출시험 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 입경에 따라서는 일정한 변화를 보이지 않고 다소 불규칙적인 형태를 보였으며, 혐기조건보다 호기조건이 비교적 높은 농도로 용출되는 것으로 나타났다. 검출된 중금속의 농도는 KSLT보다 TCLP가 비교적 높았는데, 이는 추출용매의 pH 차이에 의한 것으로 판단된다.

3.3.2 현장 혼합 순환골재

TCLP를 적용한 현장 혼합 순환골재의 용출시험 결과를 Table 6, 7에 나타내었다. 호기·혐기조건에서 pH는 입경 10mm 이하에서 각각 4.9, 4.3, 25mm에서 4.7, 4.0, 40mm에서 4.0, 4.1로 조사되었다. 입경이 작을수록 pH가 높아지는 경향을 보였으며, 혐기조건보다 호기조건에서 pH가 높게 나타났다. 전기전도도는 입경 10mm 이하에서 각각 2,547, 1,606 μ s/cm, 25mm에서 1,755, 912 μ s/cm, 40mm에서 1,358, 1,251 μ s/cm로 조사되었다. 입경에 따른 전기전도도는 RA-1과 유사한 경향을 보였고, 혐기조건보다 호기

조건에서 전기전도도가 높게 나타났다. 중금속의 경우 KSLT와 마찬가지로 Hg, Cr⁶⁺, CN, PCE, TCE가 검출되지 않았고, 일부 중금속 항목이 검출되었으나 TCLP 용출시험 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 입경에 따라서는 다소 불규칙적인 패턴을 보였고, 혐기조건보다 호기조건이 비교적 높은 농도로 용출되는 것으로 나타났다. 생산제품 순환골재 결과와 마찬가지로 중금속의 농도는 KSLT보다 TCLP가 비교적 높았는데, 이는 추출용매의 pH 차이에 의한 것으로 판단된다.

3.4 용출시험 결과비교

본 연구와 기타문헌에서의 용출시험 비교 결과를 Table 8에 나타내었다. 순환골재를 이용한 연구⁸⁾, 콘크리트를 이용한 연구⁹⁾와 본 연구의 결과를 보면 pH는 염기성 범위로 유사하게 나타났고, Pb, Cr⁶⁺는 기존의 연구에서 높은 농도를 보였고, As, Cd, Cu는 본 연구에서 높은 농도로 나타났다. CN, Hg, TCE, PCE는 대체로 불검출로 서로 유사한 경향을 보였다. 이처럼 용출시험 시 오염물질의 농도는 실험에 사용되는 시료의 종류와 성상, 발생원에 따라 매우 다양하게 나타날 수 있기 때문에 향후 다양한 시료에 대한 데이터 수집이 필요할 것으로 보인다.

4. 결론

재활용 순환골재의 용출시험을 통한 오염물질 발생 가능성 평가를 위하여, 생산제품 순환골재와 현장 혼합 순환골재를 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

Table 8. Leaching test of waste concrete and recycled aggregates

(Unit : mg/L)

Item	This study(Aerobic, ≤ 10mm)				(Hwang, 2005)				(Lee, 2004)
	KSLT		TCLP		KSLT		TCLP		
	RA-1	RA-2	RA-1	RA-2	5mm	0.08mm	5mm	0.08mm	
pH	12.3	9.9	-		10.88	10.68	-	-	9.98~12.15
As	0.057	0.042	ND	0.122	0.013	0.030	0.028	0.042	0.004
Cd	ND	0.001	0.005	0.002	0.001	0.002	0.002	0.003	0.003
Cu	0.070	0.069	0.112	0.137	0.003	0.011	0.027	0.038	0.003
Pb	0.006	0.006	0.030	0.027	0.038	0.061	0.048	0.086	0.318
Cr ⁶⁺	0.045	0.026	0.044	0.032	0.011	0.035	0.052	0.056	0.011
CN	ND	ND	ND	ND	ND	0.012	ND	0.018	ND
Hg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.001
TCE	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.002
PCE	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.001

1. 순환골재의 자체 중금속 함량은 토양오염 우려기준(1지역)을 만족하고 있어 순환골재의 사용이 주변 토양 중금속 오염에 미칠 가능성은 낮은 것으로 보인다.
2. 용출시험 결과 입경이 작을수록 대체로 용출농도가 높게 나타났고, 산소조건에서는 대체로 호기조건에서 용출농도가 높은 것으로 조사되었다.
3. 용출시험 결과 pH와 부유물질의 증가가 가장 크게 나타났으며, 전기전도도는 환경기준이 별도로 존재하지 않지만 용출농도의 변화를 고려하였을 때 순환골재에 의한 오염이 일어날 가능성이 있는 것으로 조사되었다.
4. 유기물(COM_{Mn}) 항목과 영양염류 항목(TN, TP)은 용출이 되었지만 일반하천의 농도보다 낮기 때문에 수환경 오염에 미칠 가능성은 낮은 것으로 보인다.
5. KSLT와 TCLP 용출시험에서 일부 중금속 항목에서 용출이 되었지만 용출시험 기준을 모두 만족하는 수준을 보여 주변 환경 오염에 미칠 가능성은 낮은 것으로 보인다.
6. 현장 혼합 순환골재보다는 생산제품 순환골재의 오염물질이 더 높은 것으로 나타났는데, 이는 현장에서 장기간 노출되어 강우, 강설 등의 자연요인에 의해 오염물질이 감소하였기 때문인 것으로 판단된다.

본 연구의 결과를 종합해 보면 유기물 및 영양염류, 중금속 항목의 경우 오염가능성이 낮은 것으로 나타났지만 pH(강알칼리성)와 용존성 무기 이온에 의한 수질 오염 가능성이 있기 때문에 pH와 전기전도도에 대한 관리지표를 마련해야 할 것으로 판단된다. pH는 가장 오염 우려가 높으므로 환경관리 대상물질 중 우려물질로 구분하고, 전기전도도와 부유물질은 일반적인 환경관리 대상물질로 설정하여 관리한다면 순환골재의 재활용적 측면에서 긍정적인 효과가 있을 것으로 판단된다.

References

- Hwang, Y.S. (2005). "Utilization of recycled aggregate for the leachate collection and drainage system," Master thesis of Chungnam national university.
- Jaung, J.D., and Lee, D.H. (2008). "A study for improvement of the testing methods for quality control of recycled aggregate," The Korea Institute of Building Construction, **8(4)**, 105-114 [in Korean].
- Lee, S.J. (2004). "Application of recycled concrete materials for road embankment construction," Master thesis of Yonsei university.
- Lee, Y.O., Yun, H.D., Kim, S.W., Jeon, E., and Lim, S.C. (2009). "Experimental study on the flexural and lap splice performances estimation of reinforced recycled aggregate concrete beams," Architectural Institute of Korea, **23(5)**, 29-36 [in Korean].
- Lee, Y.S., Kwan, Y.W., and Hyun, J.H. (2005). "The engineering and environmental properties of reclaimed concrete materials as road materials," Korean Geo-Environmental Society, **6(3)**, 17-23 [in Korean].
- Ministry of Environment, (2009a). Standard method for soil quality.
- Ministry of Environment, (2009b). A research on the detailed application use of recycled aggregate and protection standard for environmental damage.
- Ministry of Environment, (2011). Standard method for water quality.
- No, S.R., Shin, Y.S., Kim, D.S., Yoo, M.H., and Kim, J.S. (2009). "A Study on the mechanical properties of reinforced recycled aggregate concrete mixed fiber," Architectural Institute of Korea, **29(1)**, 439-442 [in Korean].

순환골재의 오염물질 발생 가능성에 관한 실험적 평가

본 연구는 순환골재에서 발생하는 오염물질의 특성과 오염 가능성을 평가하기 위해 생산제품 순환골재(RA-1)와 현장 순환골재(RA-2)의 용출시험을 실시하였다. 순환골재의 pH, Conductivity, 중금속 함량은 RA-2 보다 RA-1이 높게 나타났다. 용출시험 결과, 순환골재로부터 용출되는 오염물질은 입경이 작을수록 높게 나타났다. 순환골재의 pH는 9.0~12.3으로 강알칼리성으로 나타났고, Conductivity는 10mm 이하에서 높게 나타났다. 중금속은 KSLT의 용출기준을 만족하였고, 순환골재로부터 약 10% 이하로 용출되었다. 순환골재의 수질 오염 가능성을 평가한 결과, 오염 가능성이 매우 높은 항목에는 pH, 오염 가능성이 낮은 항목에는 Conductivity, Turbidity, 오염 가능성이 매우 낮은 항목에는 중금속으로 나타났다.