

순환골재의 pH에 관한 실험적 연구

Experimental Study on the pH of Recycled Aggregate

김대봉¹ · 김종환¹ · 박제철^{*}

Dae-Bong Kim¹ · Jong-Hwan Kim¹ · Je-Chul Park^{1*}

(Received March 14, 2016 / Revised March 24, 2016 / Accepted March 25, 2016)

This study provides basic materials about setting pH standard of recycle aggregate by analysing pH change from elution time, type of solvent and ratio of solvent with existing experiment methods about recycle aggregate. Also it has purpose of evaluating impact of recycle aggregate outflow's pH on actual environment by building a model that is similar to condition of recycling recycle aggregates. pH of recycle aggregates seemed to not change a lot by time with each experimental method. To evaluate degree of generation by recycle aggregates in natural state, natural water with distilled water seemed be useful to use as solvent. Also it was possible to confirm that there is a difference between actual pollution in natural state by only pH of recycle aggregates.

키워드 : 순환골재, pH 기준, 현장실험

Keywords : Aggregates, pH standard test, Pollutants

1. 서론

「순환골재」라 함은 「건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률」 제 2조 제7호의 규정에 따라 물리적 또는 화학적 처리과정 등을 거쳐 제35조에 의한 품질기준에 적합하게 한 것을 말한다. 순환골재는 건설폐기물 중 폐콘크리트 및 폐아스팔트콘크리트를 파분쇄하고 이물질질을 분리선별하여 순환골재 품질기준에 맞는 품질을 확보한 골재이다(Song et al. 2011). 건설폐기물을 재활용한 순환골재는 폐기물 매립지 부족, 환경보전 필요성 및 자원 순환형 건설 산업 체제 구축을 위해 순환골재 및 순환골재 재활용 제품의 활용비용이 점차 증가하고 있다. 건설교통부(2005)에 따르면, 국내 골재 부존량은 개발 가능량을 기준으로 할 때 55억³ 수준에 달하고 있는데, 이는 현재의 골재 수요량이 유지된다고 가정할 때, 약 30년 정도 공급이 가능한 물량이다. 따라서 특별한 골재수급 대책이 수립되지 않는 한, 향후 20년 이후로는 골재 자원의 고갈현상이 심화될 것으로 전망하고 있다.

매년 여의도 면적(580m³)의 103배에 달하는 산림과 자연환경이 파괴되고 있어 천연자원의 대체자원으로써 순환골재 활용의 확대가 시급하다(Ministry of Land Infrastructure and Transport 2005). 환경부(2009)에 따르면 천연골재를 순환골재로 활용할 경우 국가이익과 사회경제적 효과는 40배 이상의 이익 발생이 예상되며, 천연골재의 15%를 순환골재로 대체한다면 골재공급비용은 약 20%가 절감될 것으로 예상된다(Ministry of Environment 2009). 순환골재는 표면에 시멘트페이스트 또는 모르타르가 부착되어 있거나 분말로 다량 함유되어 있고, 이 시멘트는 칼슘-실리케이트-알루미늄에이트의 화합물의 시리즈로 구성되며, 수화반응에 의하여 고알칼리성을 띠는 수산화칼륨을 생성하므로 순환골재에서 용출된 용액의 pH는 11~12의 강알칼리성을 나타내는 것으로 알려져 있다(Lee et al. 2011). 순환골재의 높은 pH로 인해 환경유해성에 대한 우려가 가시화됨에 따라 “용출특성 규명을 통한 재생골재 환경성평가”(Kang et al. 2005), “순환골재의 오염 물질 용출 가능성 평가에 관한연구”(Park et al. 2012), “자원순환을 위한 폐콘크리트 순환골재의 알칼리 및 중금속 용출특성평가”(Shin et al. 2013) 등

* Corresponding author E-mail: pjc1963@kumoh.ac.kr

¹금오공과대학교 환경공학과 (Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Korea)

과 같이 순환골재의 용출특성 및 오염물질 용출가능성에 대한 연구는 진행이 되었으나, 현재 정부에서 오염유발인자로 인식하고 있는 pH에 초점을 맞춰 순환골재 용출수의 pH가 실제 환경에 미치는 객관적인 연구는 부족한 상황이다.

환경부에서는 「건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률 시행령」 제4조2항 “순환골재를 배수층 설치용으로 사용할 때에는 pH가 9.8 이하인 순환골재를 사용하는 경우로 한정한다.”, pH 9.8 기준은 2009년 「순환골재 사용용도 세분화·구체화 및 환경피해 예방 기준(안)마련 연구(환경부)」에 의해 처음 제시되었으며, 이 보고서에 따르면 외국의 수질기준인 pH 6.5~10(영국), pH 5.5~9.5(프랑스)와 어류의 생존범위인 pH 10이하를 문헌적 근거로 하였으며, 실험적으로 일반적인 순환골재의 pH 범위인 11~12를 pH 9.5~9.8 수준으로 낮출 경우 순환골재 용출수가 토양깊이 1m를 통과한 후 용출수의 pH가 8.6 수준으로 저감됨을 확인하여 순환골재의 pH를 9.8 이하로 설정하였다. 하지만 현재까지 국내에서는 순환골재의 pH를 측정하기 위한 구체적인 측정방법이 명확하게 제시되어 있지 않은 상태여서 측정방법에 따라 순환골재의 pH농도가 다르게 측정되고 있다. 또한 순환골재와 관련된 연구는 품질기준, 수질오염 가능성, pH 기준 및 재활용 용도기준 등 대부분이 실험실 연구로서 현장에 순환골재를 재활용 한 후 현장에서 직접 환경영향평가를 실시한 연구결과는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 기존 실험방법에 대한 비교분석을 실시하고, 현장에서 발생하는 순환골재 유출수의 pH의 영향을 조사하여 환경오염 유발인자로 보고 있는 pH의 기준에 대한 문제점을 검토하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험개요

본 연구에서는 순환골재에 의한 pH의 순수 오염정도와 자연계에서의 실제오염 영향을 평가하기 위해 증류수(DW; Distilled Water)와 자연수(하천수)를 용매로 사용하여 비교실험을 진행하였으며, 순환골재가 현장에 재활용 되었을 때 토양에 의한 pH 완충능을 분석하기 위해 순환골재와 토양층의 비율에 따른 pH변화 분석을 실시하였다. 또한 환경에 미치는 영향을 알아보기 위하여 현장재현 모형시험을 통해 pH 영향을 평가하였다.

2.2 사용재료

2.2.1 증류수와 자연수의 비교

순환골재 용출수의 실험방법으로는 실험 결과값의 타당성을 비교하기 위하여 국내에서 통용되고 있는 토양 및 폐기물 공정시험 기준에 의한 방법, 국립환경과학원(안), 본 연구(안)의 4개방법으로 분석을 실시하였다(Table 1). 또한, 같은 실험방법을 적용하되 용매에 따른 차이를 알아보기 위하여 용매의 종류를 증류수와 자연수로 나누어 실험을 진행하였다. 자연수는(하천수)는 경북 구미시에 위치한 한천 상류 지점에서 채수하여 GF/C(유리섬유여과지)로 여과 한 후 용매로 사용하였으며(pH 6.5~7.5), 증류수는 pH 5.8~6.3 범위의 용매를 사용하였다.

2.2.2 순환골재와 토양층의 비율에 따른 pH변화 분석

유입수가 <순환골재+토양>층을 통과하도록 모형을 설치하여, 순환골재에서 발생하는 pH 11 이상의 침출수가 토양층을 통과하면서 pH가 어느 정도 자연감소 되는지 확인해 보았다. <순환골재+토양>층의 모형은 가로 25cm, 세로 50cm, 높이 43cm의 총 용적 53,750cm³로 제작하여 골재는 M사의 도로보조기층용으로 사용되고 있는 25mm이하의 골재를 사용하였으며, 토양은 투수계수 1.01×10⁻²cm/s인 마사토를 사용하였다(Ministry of Environment 2009). 토양층을 하부에 위치시키고 골재를 상부에 위치시켜 골재를 통과한 유출수가 토양층을 통과하도록 하였고, 유출횟수는 1회에 1리터 씩 20회를 적용하였다. <토양:골재>층의 비율은 각각 1:1(골재 21cm, 토양 21cm), 1:2(토양 14cm, 골재 28cm), 1:3(토양 10cm, 골재 30cm), 1:4(토양 8cm, 골재 32cm), 1:7(토양 5cm, 골재 35cm) 비율로 조정하여 순환골재 유출수의 pH를 분석하였다(Fig. 1).

Table 1. Comparison of pH experiment method about recycle aggregates

Items	Solid(g):DW(ml)	Size(mm)	Leaching time (min)
Soil test method by KME	1:5	2<	60
Waste test method by KME	1:2.5	0.5~5	30
Soil test method by NIER	1:2.5	20<	30
This study	1:10	10~35	60

* KME: Korean Ministry of Environment Standard

* NIER: National Institute of Environmental Research

2.2.3 현장재현 모형시험을 통한 순환골재의 환경영향 분석

환경영향 분석은 경북 구미시 장천면 한천 상류지점을 대상으로 소하천의 상류를 site 1로 하였고, 중류를 site 2, 하류를 site 3으로 하였으며, 합류되는 분류의 상류를 site 4, 합류부 하류를 site 5로 선정하였다. 수질조사는 site 1~5까지 총 5개 지점에서 실시하였다 (Fig. 2). 실험은 총 1, 2차로 나누어 진행하였으며, 1차 실험은 현장에 가로 50cm, 세로 50cm, 높이 50cm 모형 2기를 설치하여 골재량 총 250kg으로 하여 증류수와 하천수로 나누어 각각 오염된 침출수를 발생시켜 하천에 직접 흘려보내는 방법으로 실험을 진행하였



Fig. 1. Experiment model due to ratio of recycle aggregates and ground layer



Fig. 2. Stream of in-site experiment location and Investigation location

다(Fig. 3). 2차 실험은 유출수의 유량이 차지하는 비율이 작아 하천에 미치는 영향이 작을 것이라는 가정하에 골재를 직접 하천에 침지시켜 골재를 통과한 유출수의 유량을 늘리도록 조작하여 실험을 진행하였다. 총 유량 794m³/day의 소하천에 골재 400kg을 넣어 유출수를 합류지점 유량의 약 40%를 차지하도록 하였다(Fig. 3). 하천의 조사지점 별로 채수한 수질시료는 현장에서 휴대용 수질측정기를 이용하여 pH, 전기전도도를 측정하였다.

3. 실험결과 분석 및 고찰

3.1 증류수와 자연수의 비교

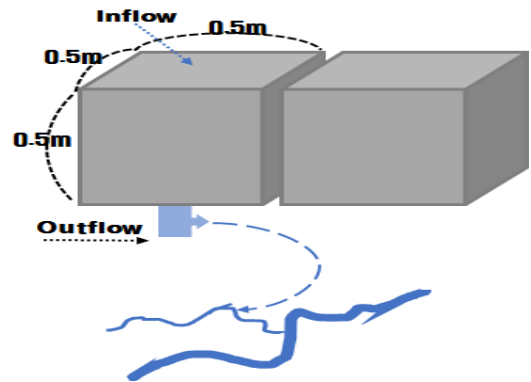


Fig. 3. Reconstructed in-site experiment

입경이 작을수록 pH농도가 높게 나타났으며 용매의 종류에 따라 측정된 결과를 비교해 보면, 시료를 파쇄하여 사용하는 토양 및 폐기물 공정시험기준의 경우 증류수는 pH 11.45~12.10의 범위를 나타냈고, 자연수(하천수)는 pH 9.85~11.69의 범위를 나타냈다. 시료를 파쇄하지 않고 사용하는 본 연구(안)과 국립환경과학원(안)의 시험방법으로 측정된 결과를 비교해 보면, 증류수는 pH 10.11~11.57의 범위를 나타냈고, 자연수(하천수)는 pH 9.08~10.89의 범위를 나타냈다. 평균적으로 용매를 자연수(하천수)로 했을 때 증류수보다 pH 0.47~1.63정도 낮게 측정되었다(Table 2). 증류수와 달리 자연수 중에는 이산화탄소의 용해에 의해 HCO₃⁻, CO₃²⁻이온이 존재하는데 이는 외부에서 염기성 물질이 들어와도 비교적 안정한 pH를 유지하도록 하는 완충능력이 있다. 따라서 자연수(하천수)는 완충능력(buffer capacity)에 의해 알칼리성 물질이 용출되더라도 pH 변화 폭이 작게 나타난 것으로 분석되었다.

3.2 순환골재와 토양층의 비율에 따른 pH변화 분석

〈토양:골재〉층의 비율에 따른 pH 감소 농도를 확인한 결과, 토양층과 골재층의 비율에 상관없이 유출수의 초기농도는 pH 6.4~7.5정도로 비슷한 양상을 보였으나 〈토양:골재〉층 비율이 1:4 이상부터는 pH가 점점 증가하여 유출량 10L 이상부터는 pH가 골재 용출수 pH 11.75와 비슷하거나 pH 12.0 이상의 값을 나타내었다. 〈토양:골재〉층 비율이 1:7 모형에서의 침출수 pH는 7.14~12.60(평균 11.85) 범위였고, 1:4 모형에서의 침출수 pH는 6.39~11.95(평균 10.77) 범위를 나타냈다. 그러나 〈토양:골재〉층 비율이 1:3 모형에서의 침출수 pH는 6.60~8.30(평균 7.80) 범위였고, 1:2 모형에서의 침출수 pH는 6.31~6.80(평균 6.58) 범위였으며, 1:1 모형에서의 침출수 pH는 6.09~7.59(평균 6.40) 범위를 나타냈다(Fig. 4~5). 건설자원협회(2013)의 기존연구에 의하면, 지름 40cm, 높이 100cm의 원형관을 시험원통으로 제작하여 하부에 마사토를 15cm로 깔고 그 위에 순환골재를 30cm 높이로 복토하여 실험한 결과 순환골재의 입경과 유출량에 관계없이 거의 일정한 pH 농도를 나

타냈으며 〈순환골재+토양〉층 침투결과 pH는 평균 7.5로 마사토의 pH 7.9와 비슷하게 나타났다.

3.3 현장재현 모형시험을 통한 순환골재의 pH 영향 분석

순환골재 모형에서 발생한 유출수의 pH는 증류수가 10.58~10.80, 하천수가 9.03~10.01 범위를 보였으며 전기전도도는 증류수가 290~520 μ s/cm, 하천수가 347~358 μ s/cm 범위를 보였다(Fig. 6). 유출수가 유입되기 전 하천 site 1~3에서의 pH는 7.70~7.73의 범위로 지점별 차이가 거의 없었고 site 4, 5에서는 pH 8.0~8.04의 범위로 합류 후 약간 증가하는 경향을 보였다.

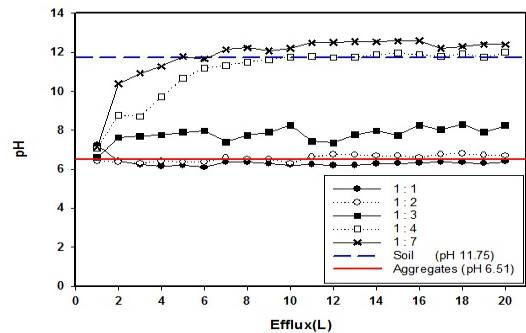


Fig. 4. pH changes by ratio of ground layer and recycle aggregates layer

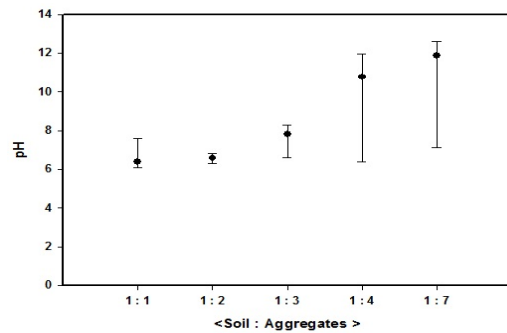


Fig. 5. pH concentration by ratio of ground layer and layer

Table 2. pH due to types of solvent from each experiment method

Item	Soil test method by KME		Waste test method by KME		Soil test method by NIER		This study	
	D.W.	River W.	D.W.	River W.	D.W.	River W.	D.W.	River W.
10mm<	11.99	11.52	11.90	11.09	11.57	10.89	11.19	9.41
11~20mm	12.07	11.69	12.10	11.47	11.35	9.75	11.47	9.24
21~35mm	11.95	11.41	11.85	10.20	10.55	9.13	10.23	9.08
Natural aggregates	11.59	11.12	11.45	9.85	10.24	8.79	10.11	8.75

1차 실험에서 유출수가 유입되기 전 site 1과 유출수의 유입이 있는 site 2를 비교한 결과 site 1과 site 2는 pH 7.4~8.0(평균 pH 7.71), site 3은 pH 7.4~8.1(평균 pH 7.81)로 나타났다. site 3에서 평균적으로 0.1 정도 pH가 상승하는 경향을 보였으나, 시간이 지날수록 pH는 초기상태와 거의 비슷한 수준의 pH 농도를 나타냈다(Fig. 7). site 1~3까지 실험결과로 보아 순환골재를 빠져나온 유출수에 포함된 고농도의 pH는 희석되거나 자연수의 완충능력 등 자정작용에 의해 하천환경에 미치는 영향은 작게 나타났다.

2차 실험 측정결과, site 1~3은 각각 평균 pH가 7.7로 pH의 변화가 거의 없었으며 1차 실험과 유사한 결과 값을 보였다. 소하천과 합류지점인 site 5는 본류인 site 4와 같거나 약간 낮은 pH 값을 나타내어 순환골재를 통과한 유출수보다는 상류수계인 site 4의 영향을 받는 것으로 나타났다(Fig. 7). 또한 site 3의 pH 농도는 순환골재를 통과한 유출수(site 2)의 영향보다는 순환골재 유출수가 합류하기 전인 site 1의 값과 유사한 경향을 보여 순환골재를 통과한 유출수의 영향은 거의 없는 것으로 평가되었다.

4. 결론

현장과 유사한 조건의 모형을 재현하여 순환골재로부터 발생한 높은 pH가 실제 환경에 미치는 영향을 평가함으로써 순환골재의 환경적합성을 분석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 용매의 종류에 따른 pH농도를 비교한 결과, 증류수를 용매로 시험했을 때보다 자연수(하천수)를 용매로 했을 때 pH 0.47~1.63로 낮게 나타났다.
2. 토양층과 골재층의 비율에 상관없이 유출수의 초기농도는 pH 6.4~7.5정도로 비슷한 양상을 보였다. <토양:골재>층 1:4이상부터는 유출수 10L이상부터 고농도의 pH가 발생했지만 <토양:골재>층 1:30이하부터는 침출수 pH 평균 농도가 pH 6.40~7.80의 수준을 유지하는 것으로 나타났다.
3. 고농도의 순환골재 유출수를 발생시켜 하천에 직접 방류시켜 하천의 pH 변화를 분석한 결과, 고농도의 순환골재 유출수가 유입되기 전과 후의 하천 수질 변화가 작아 순환골재 유출수에서 발생한 오염물질들은 하천에 미치는 영향이 거의 없는 것으로 평가되었다.
4. 이상의 실험 결과를 토대로 하면 순환골재에 의한 pH의 순수오염 정도는 자연계에서의 실제 오염농도와는 차이가 있음을 확인하였다. 따라서 순환골재의 고농도 pH를 가지는 용출수는 자연수의 pH 완충능력에 의해 실제 환경에 미치는 영향이 크게 감소

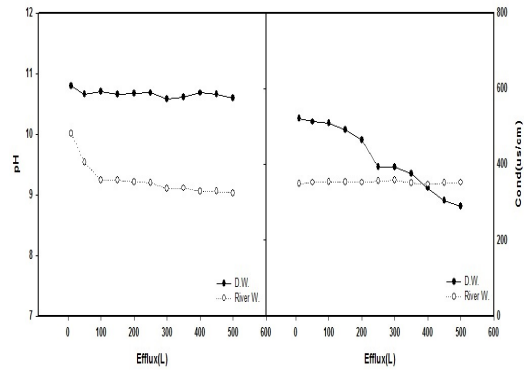


Fig. 6. pH changes by outflow of recycle aggregates

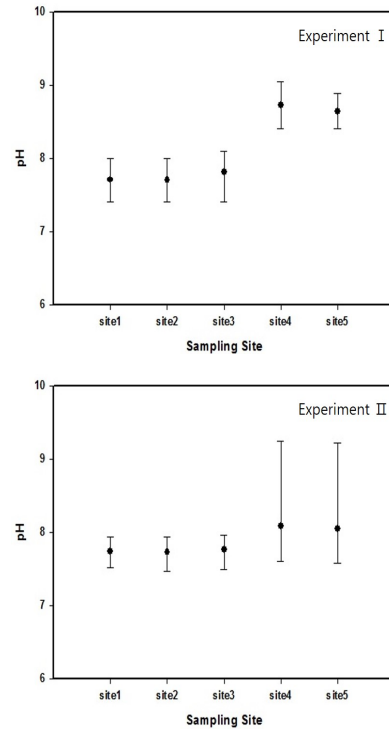


Fig. 7. pH analysis result from reconstructed in-site experiment

할 가능성이 높다고 판단된다. 특히 실제 현장에서 토양층의 확보가 이뤄진다면 토양의 자연정화 능력에 의해 환경에 미치는 영향은 더욱 작을 것으로 판단되었다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 한국건설자원협회에서 지원하는 순환골재 사용에 따른 환경영향 분석 연구의 일환으로 수행되었습니다.

References

- Kang, S.H., Lee, S.H., Kwak, K.S., Lee, J.Y., Chung, M.K. (2005). Characterization of leaching behaviour of recycled concrete for environmental assessment, Journal of the Korean Society of Environmental Engineers, **27(3)**, 293–301 [in Korean].
- Lee, J.C., Song, T.H., Lee, S.H., Kim, J.B. (2011). A study on the optimization of recycled aggregate alkalinity reducing facility in the field, Journal of the Korean Recycled Construction Resource Institute, **6(3)**, 53–60 [in Korean].
- Ministry of Environment, (2009). A Research on the Detailed Application Use of Recycled Aggregate and Protection Standard for Environmental Damage [in Korean].
- Ministry of Land Infrastructure and Transport, (2005). Development of Technology to Improve the Quality of Concrete Using Substitute Aggregates [in Korean].
- Park, J.H., Seong, J.U., Park, J.C. (2013). Experimental evaluation on occurrence possibility of pollutants from aggregates, Journal of the Korean Recycled Construction Resource Institute, **1(1)**, 1–7 [in Korean].
- Shin, T.S., Hong, S.P., Kim, K.Y. (2013). Assessment of leaching characteristics of alkaline and heavy metal ions from recycled concrete aggregate, Journal of Environmental Impact Assessment, **22(5)**, 427–437 [in Korean].
- Song, T.H., Lee, J.C., Lee, S.H. (2011). A study on the pH characteristic of recycle aggregate according to test methods and elapsed time, Journal of the Korean Recycled Construction Resource Institute, **6(3)**, 61–68 [in Korean].

순환골재의 pH에 관한 실험적 연구

본 연구에서는 순환골재 용출수의 pH가 실제 환경에 미치는 영향을 평가하기 위하여 기존 순환골재 pH 측정방법 중 용매의 종류, 용출시간, 순환골재 크기에 따라 다양한 방법으로 평가하였다. 또한 순환골재가 현장에 재활용 되었을 때를 가정하여 토양에 의한 pH 완충능력을 평가하였고, 현장재현 모형시험을 통해 순환골재 pH가 실제 하천환경에 미치는 영향을 조사하였다. 순환골재에 의한 pH의 오염도는 자연계에서의 실제 오염농도와는 차이가 있음을 확인하였으며, 특히 실제 현장에서 토양층의 확보가 이뤄진다면 토양의 자연정화 능력에 의해 환경에 미치는 영향은 작을 것으로 평가되었다. 또한 순환골재로부터 발생하는 알칼리성의 pH 유출수가 유입되더라도 하천의 자정능력에 의해 pH 영향은 거의 없는 것으로 평가되었다.