

성복토용 순환잔골재의 pH 저감방법에 관한 연구

Study on pH Reducing Method of Recycled Fine Aggregate for Embanking or Covering

한민철¹

한동엽^{2*}

Han, Min-Cheol¹

Han, Dongyeop^{2*}

Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Sangdang-Gu, Cheongju, 28503, Korea ¹

Department of Architectural Engineering, Engineering Research Institute, Gyeongsang National University, Jinju, 52828, Korea ²

Abstract

The aim of the research is to suggest an economical and sustainable method of reducing pH of recycled aggregate as an embanking and a covering materials. Because of the unhydrated cement based materials on the surface of the recycled aggregate, it causes a severe problem on environment with leaked high alkali water from embankment and covering by using recycled aggregate. In this research, to reduce the pH of recycled aggregate, regarding the recycled fine aggregate, eight different methods were tested and analyzed with three different categorized: natural treatment, artificial treatment, and chemical treatment. From the results of experiment, it was considered that the most efficient method of reducing pH of recycled aggregate was the chemical treatment using acid such as CO₂ acceleration or monoammonium phosphate (MAP), and diammonium phosphate (DAP). Especially, using MAP and DAP, fertilizers, is the most efficient method of reducing pH with its time duration and performance.

Keywords : recycled fine aggregate, pH, alkali reducing method, unhydrated cement, acid

1. 서론

순환골재는 기존의 건축물을 해체하는 과정에서 발생하는 폐콘크리트 덩어리에서 기사용된 골재들을 분리·세척한 재료를 말한다. 이렇게 생산되는 순환골재는 표면에 미분이나 오염물질을 포함하고 있어 그에 따른 골재 품질과 환경에 미치는 영향이 크다. 순환골재는 생산과정에서부터 이러한 시멘트 페이스트 및 경량기포콘크리트를 효과적으로 제거하는 기술이 매우 중요한 기술로 연구되어져 왔다. 주로 이러한 방법으로는 건식방법으로 충격을 가해서 파쇄하는 방법[1]

이나, 습식방법으로 물로 씻는 방법[2]이 있고, 열을 가하여 골재와 표면의 모르타르를 분리해 내는 방법[3]도 있다.

그러나 이러한 일련의 노력에도 불구하고 순환골재의 표면에 시멘트성분의 재료가 부착되는 것을 완전히 제거하는 것은 기술적, 경제적으로 매우 어려운 상황이다. 결국, 순환골재의 품질은 순환골재 표면에 제거되지 못한 시멘트 페이스트에 기인하여 천연골재 및 부순골재 보다 저품질 골재로 평가받고 있다[4]. 따라서 순환골재는 콘크리트용 골재로 사용되기 보다는 성토 및 복토용 골재 혹은 도로의 보조기층재와 같이 저부가가치의 매립용 재료로서 활용되는 경우가 많았다[1,5].

순환골재의 표면에 남아 있는 시멘트 페이스트는 기생성된 수산화칼슘이 물에 용출되면서 강한 알칼리 환경을 조성한다. 이러한 특성은 고로슬래그와 같이 사용할 때 알칼리 자극제로서 무시멘트 콘크리트 재료로 활용이 가능하다는 연구[6,7]도 보고되었다. 하지만, 순환골재가 성토 및 복토,

Received : August 3, 2016

Revision received : September 28, 2016

Accepted : December 8, 2016

* Corresponding author : Han, Dongyeop

[Tel: 82-55-772-1758, E-mail: donald.dyhan@gnu.ac.kr]

©2017 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

혹은 도로의 보조기층재와 같은 매립용 재료로 활용될 때 우수의 영향으로 강한 알칼리성의 침출수를 유발한다. 따라서 이는 환경적으로 매우 큰 영향을 주는 요소이며 이에 순환골재를 매립용 재료로 활용하는 경우에는 반드시 중화시켜서 사용해야 하는 규정[8]이 마련되어 있다.

한편, 순환골재의 생산 및 야적과 관련하여 높은 pH의 침출수가 환경에 미치는 영향에 대한 연구[9]들이 진행되고 있다. 이는 비록 순환골재가 성토 및 복토용도로 사용되지 않는다고 하더라도 순환골재 생산이후 야적되는 과정에서 우수 및 기타 환경의 영향으로 높은 pH의 침출수가 발생할 수 있다는 것에 그 중요성을 같이 한다고 할 수 있다. 특히, 순환골재의 pH를 저감하기 위해 세척을 통한 생산방식[10], 촉진탄산화 기기를 이용한 pH 저감방식[11]이 소개되었으며 인산나트륨 및 염화암모늄을 이용한 비료 처리를 통한 pH 저감방법[12]도 소개되었다. 이들 과정 모두 순환골재의 알칼리를 제거하는 방법으로서 의미가 있으나 본 연구에서는 특히 복토 및 성토용으로 활용될 수 있는 순환잔골재를 대상으로 연구를 진행하였다.

그러므로 본 연구에서는 순환골재의 알칼리성을 중화시킬 수 있는 일련의 다양한 방법들을 적용하여 실험하고자 하는데, 자연방치, 인위적 처리 및 비료 처리방법으로 구분하여 실험을 진행한 후 가장 효율적인 방안을 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구는 순환잔골재에 대해 여러 가지 처리방법에 따른 pH 저감 정도를 측정하는 것으로 계획하였다. 즉, 순환잔골재에 대해 자연상태로 방치하는 방법과 인위적인 처리 방법, 그리고 산성의 비료를 사용하는 비료 처리방법으로 구분하여 실험을 실시하였는데, 각각의 방법은 Table 1에 보이는 바와 같이 총 8가지를 준비하였다.

자연상태로 처리하는 방법은 실내에서 보관하는 경우와 실외에서 보관하는 경우로 이는 특별한 처리를 하지 않고 자연적으로 순환잔골재를 보관하는 상황에서 어느 정도의 pH 저감효과가 있는지를 알아보기 위한 대조군으로 준비하였다. 이 때 순환잔골재의 야적 두께에 따른 영향을 보기 위해 야적두께는 5, 10, 그리고 15cm로 구분하여 평가하였다. 이는 실제 야적상황을 고려하였을 때 매우 얇은 수준의 야적두께이나 실험 목적상 두께 차이에 따른 효과를 보고자

준비하였다. 여기에 강제적으로 공기를 순환시키는 통기 처리방법을 준비하였는데, 이 경우는 원활한 통기를 확보하기 위해 5cm 높이로 야적한 경우만을 측정하였다.

인위적인 처리를 하는 방법은 순환잔골재에 일정기간동안 물을 뿌리는 살수법과 일정양의 물에 순환잔골재를 담그어 두는 침수법을 준비하였다. 이 경우 순환잔골재는 모두 5cm로 적재하였으며 살수의 경우 물의 양을 순환잔골재의 질량과 비교하여 0.5, 1, 그리고 2배로 변화시키면서 효과를 측정하였다. 침수방법은 순환잔골재를 완전히 물에 채우기 위해 순환잔골재의 질량에 대해 1, 2, 그리고 3배의 물을 사용하여 그 결과를 비교하였다. 또한 특별한 조건으로서 콘크리트 중성화 촉진시험기를 이용하여 이산화탄소를 사용한 방법도 시험하였다. 즉, 5cm로 쌓인 순환잔골재에 대해 중성화 촉진기내에 보관하는 방법으로 pH 저감효과를 측정하였다.

Table 1. Experimental plan depending on various treating methods

Treating method	Variable	
	Pile height (cm)	Treating substance
Natural treatment	Indoor storage	-
	Outdoor storage	
	air circulation	
Artificial treatment	Water spraying	0.5, 1, 2 times* (aggregate weight)
	Water immersing	1, 2, and 3 times* (aggregate weight)
	CO ₂ acceleration	5% CO ₂
Fertilizer treatment	Monoammonium phosphate	1% solution**
	Diammonium phosphate	

*Tap water was used.

**For chemical treatment, each chemical solution was sprayed the maximum amount without leachate.

비료 처리를 하는 방법은 산성물질을 활용하여 순환잔골재의 알칼리성을 중화시키는 원리로 계획되었으며 산성의 비료로서 인산암모늄 및 이인산암모늄을 준비하였다. 즉, 순환잔골재를 10 및 20cm로 적재하고 여기에 인산암모늄 및 이인산암모늄 농도가 1% 및 2%인 용액을 분무기를 이용하여 살수하는 것으로 하였으며 살수량은 각각의 야적량에 대해 사전 실험을 통하여 침출수가 발생하지 않는 한 가장 적은 양으로 실시하였다. 모든 경우에서 pH는 1주일에 1회 측정하였으며 살수방법의 경우 1일 1회 살수를 실시하였다.

측정기간은 각 방법의 효용성을 기준으로 자연상태로 야적하는 방법은 6주, 인위적인 처리를 하는 방법은 13주, 그리고 비료 처리를 하는 경우는 3주의 기간 동안 측정을 실시하였다.

모든 시료에 대해서는 흙의 pH를 측정하는 방법인 KS F 2103 방법에 의거하여 pH 측정기 (pHScan 1)를 사용하여 pH를 측정하였다. 즉, 측정대상 순환잔골재에 대해 실온에서 75g의 증류수에 30g의 시료를 넣고 30분 후에 pH를 측정하였다.

2.2 사용재료 및 처리방법

실험 대상의 순환잔골재는 충북지역에서 얻어진 순환잔골재로서 특히 건식공정을 거쳐 생산됨으로서 습식공정을 통해 얻어지는 순환골재보다는 다소 높은 알칼리성을 갖는 골재를 사용하였다. 본 실험에 사용된 순환잔골재의 물리적 성질은 Table 2에 나타내었다.

순환잔골재의 pH를 저감하기 위한 처리방법으로는 앞서 설명한 3가지 분류의 8가지 방법에 의거하여 진행하였다.

먼저, 첫 번째 분류에서는 Figure 1에서 나타내는 폭 400mm, 높이 300mm, 그리고 길이 1600mm의 코팅 합판의 3칸에 대해 3가지 다른 적재 높이에 대하여 실내 및 실외 방치에 따른 pH 저감효과를 측정하였다. 실내 환경은 표준적인 실험실 환경으로 온도 $23 \pm 3^\circ\text{C}$, 습도 $50 \pm 5\%$ 를 유지하였다. 실외 방치의 경우는 실험기간이 하절기인 관계로 평균기온은 $27 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 환경에서 지붕이 있는 상태로 야외 노출시켜 방치하였다. 공기투과방식의 경우는 Figure 2에서 보는 바와 같이 코팅합판을 이용하여 폭 400mm, 길이 400mm의 환풍기 바닥에 50mm로 적재하여 실내에서 환풍기를 이용해 공기를 투과시켰다.

두 번째로 인위적인 처리에 있어서는 살수와 침수 모두 폭 400mm, 높이 300mm, 그리고 길이 1600mm의 코팅 합판 용기 (Figure 1 참조)에 순환골재를 동일하게 50mm로 야적한 후 3가지의 다른 양의 물을 살수 및 침수하여 실험을 실시하였다. 이 때 사용된 물은 보통의 수도물을 사용하였으며 살수의 경우는 물을 뿌린 후에 자연적으로 증발하게 방치한 반면, 침수의 경우는 지속적으로 정해진 물의 양을 유지시켜 주었다. 즉, 살수의 경우는 실제 순환골재가 매우 많은 양으로 야적된 상황을 가정하여 특별히 침출수를 위한 장치나 구멍을 준비하지 않았다. 중성화 촉진장치에 의한 pH 저감 효과에 대한 시험에서는 폭과 길이가 400mm인

용기에 대하여 50mm 높이로 순환잔골재를 적재한 후에 CO₂ 농도 5%인 중성화 촉진장치 (KS F 2584)를 활용하여 보관하였으며 일정에 따라 순환잔골재의 pH를 측정하였다.

마지막으로 비료 처리에 있어서는 순환잔골재를 실외에 폭과 길이가 400mm 인 용기에 100, 200mm의 높이로 야적하고 유출수가 발생하지 않는 최대양의 인산암모늄 및 이 인산암모늄을 1일 1회 살수하여 정해진 기간까지 pH 저감 효과를 측정하였다. 살수한 비료는 각각의 야적높이에 대해 살수량 대비 1%의 비료를 희석하는 것으로 하여 100mm 야적 높이의 경우 50 g의 비료를 희석한 5kg의 희석수, 200mm 야적 높이의 경우 100g의 비료를 희석한 10kg의 희석수를 살수하였다.

Table 2. Physical properties of recycled fine aggregate

Density (g/cm ³)	Fineness modulus	Absorption rate (%)	0.08mm passing amount (%)
2.2	2.6	6.2	2.4

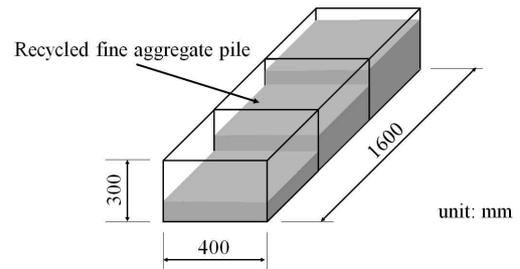


Figure 1. Set up of aggregate piling for both staying indoor and outdoor methods

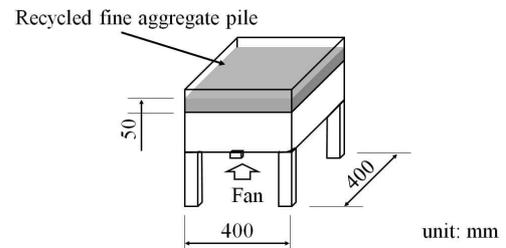


Figure 2. Set up of aggregate piling for air circulation method

3. 실험결과 및 분석

3.1 자연적 처리방법

순환골재의 자연적 처리방법으로 실내 및 실외 방치, 그리

고 공기투과 처리 결과를 Figures 3~5에 나타내었다. 먼저, 순환잔골재는 초기 pH가 11.1의 높은 pH값을 보였다. 시간의 경과에 따라 모든 자연 처리방법에서 pH가 저감되는 경향이 보였는데, 골재 야적 높이가 낮을수록 pH 저감효과는 높은 것으로 나타났다. 이는 공기 중의 CO₂가 순환잔골재 표면의 Ca(OH)₂와 접촉하여 CaCO₃를 생성하는 탄산화 현상의 결과로 생각되며 특히 공기와 접촉할 수 있는 면적이 넓은 낮은 야적 높이의 경우에 보다 유리한 결과를 보이는 것을 알 수 있었다.

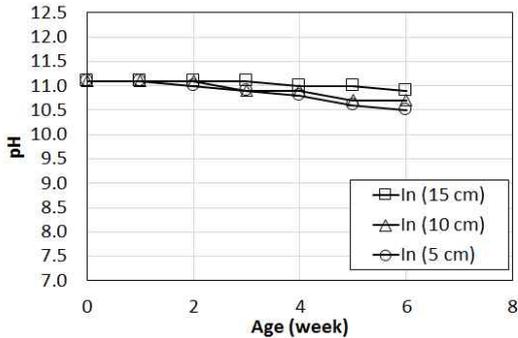


Figure 3. Influence of piling height of recycled fine aggregate on pH reduction (indoor conditions)

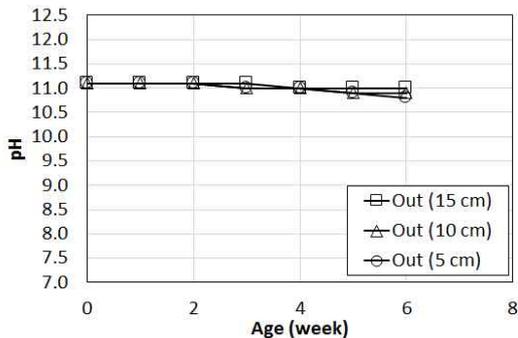


Figure 4. Influence of piling height of recycled fine aggregate on pH reduction (outdoor conditions)

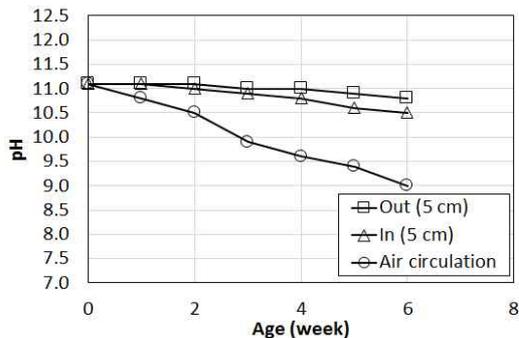


Figure 5. Comparing the natural treating methods of staying outdoor, indoor, and air circulation on recycled fine aggregate pH reduction (5cm piling height)

실내와 실외 방치에 따른 pH 저감효과를 비교하면 대체적으로 실내에 방치한 순환잔골재의 pH가 실외에 방치한 것보다 다소 크게 저감되는 것으로 나타났다. 이는 실내 공기의 경우 폐쇄된 공간 내에서 환기가 불리하여 CO₂ 농도가 다소 높은 것에 기인한 것으로 판단된다.

또한, 공기투과방식에 의한 순환잔골재의 pH 저감효과는 이상의 두 가지 방법과 비교하여 상대적으로 높은 15~20%의 pH 저감효과를 보였다. 이 방법은 실내에 방치하면서 환풍기를 이용하여 공기를 강제로 순환시키는 방법으로서 실내의 CO₂ 농도가 실외에 비해 높은 것과 더불어 공기를 야적된 순환잔골재의 틈새에 까지 강제로 순환시킴으로서 순환잔골재의 표면에 상대적으로 많은 CO₂가 접촉하여 순환잔골재의 알칼리제거에 효과적인 결과를 나타낸 것으로 판단된다.

본 연구의 범위에서 순환골재 알칼리제거를 위해 적용된 자연적 처리방법들을 종합적으로 판단해 보았을 때, 본 연구의 실험조건에서 얻어진 결과를 바탕으로는 저장 높이가 매우 높고 야외에 위치하기 때문에 이러한 경우에는 순환골재의 pH 저감 효과는 거의 기대할 수 없으며 오히려 우천시에는 강한 알칼리성의 침출수가 발생할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 그러므로 순환골재의 알칼리 제거는 인위적인 처리에 의해야 할 것으로 사료된다.

3.2 인위적 처리방법

이전의 공기를 이용한 자연적 처리방법과 달리 물과 CO₂ 촉진방법을 이용한 인위적 처리방법에 따른 순환잔골재의 알칼리 제거 결과를 Figures 6~8에 나타낸다. 먼저, 물을 사용하여 살수하는 경우와 침수하는 경우를 비교하면 공히 물의 양이 많은 경우에 알칼리 제거에 유리하게 작용하는 것을 알 수 있었다. 특히 침수법보다는 살수법이 월등히 순환잔골재의 알칼리 제거에 유리한 것을 알 수 있었다. 특히 살수법의 경우는 살수 개시 2주 후부터 pH가 저감되는 현상이 보였는데, 이는 살수에 의한 씻김과정 뿐 아니라 살수에 따른 수분이 순환잔골재 표면의 미수화 시멘트와 수화반응을 일으키며 동시에 Ca(OH)₂를 용해시키고 살수된 물의 건조과정 중에 공기 중의 CO₂에 의해 CaCO₃가 생성되는 일련의 과정이 반복되는 것으로 판단된다.

침수법의 경우는 pH 저감 정도가 매우 느림과 동시에 약 11주에 이르러서는 순환잔골재의 pH 저감효과가 거의 없는 것으로 나타났는데, 이는 물에 의한 씻김현상에도 불구하고

침수에 사용된 물을 교체하지 않아 순환잔골재에서 용출된 알칼리성분에 의해 물의 pH가 높아져 결국 순환잔골재의 다소 낮은 pH와 동일한 수준이 된 것에 기인하여 추가적인 pH 저감효과가 없어진 것으로 판단된다.

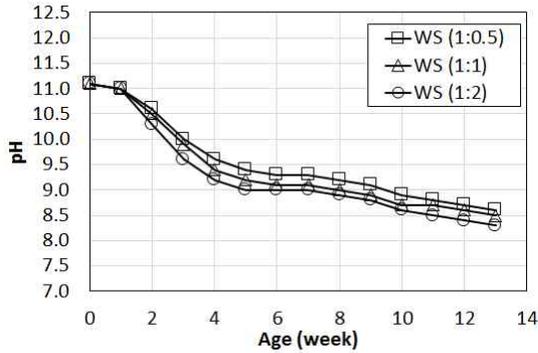


Figure 6. Influence of spraying quantity on pH reduction (water spraying method)

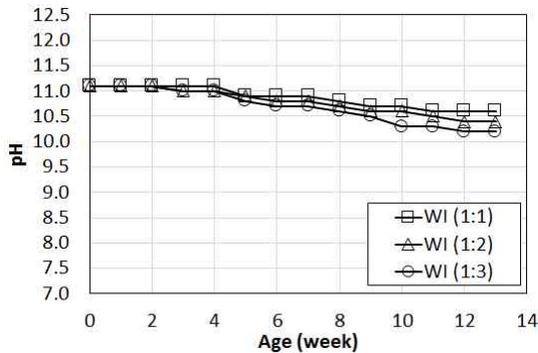


Figure 7. Influence of quantity of water bath on pH reduction (water immersing method)

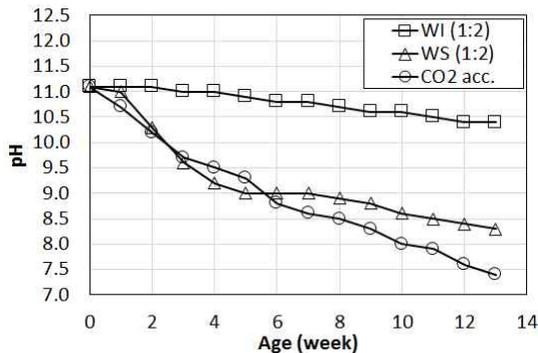


Figure 8. Comparing artificial methods of water immersing (WI), water spraying (WS), and CO₂ acceleration methods on pH reduction (2 times more water for WI, and WS methods)

를 이용한 순환잔골재의 알칼리 제거 효과는 매우 높았다. 중성화 촉진시험기 내의 순환잔골재는 지속적으로 pH가 감소하여 13주에 pH 7.5 수준까지 떨어졌다. 이는 앞선 자연적 처리방법 및 인위적 방법의 다섯 가지 방법에 비교하여 가장 우수한 결과로서 직접적으로 CO₂를 공급하여 순환잔골재 표면의 Ca(OH)₂와 반응을 유도한 결과로 판단된다. 결국 순환잔골재의 pH는 Ca(OH)₂에 기인하며 순환잔골재의 알칼리 제거는 물에 의한 단순한 씻김작용보다는 Ca(OH)₂를 CO₂와 반응시켜 CaCO₃를 생성하는 것이 보다 효과적이라는 것을 알 수 있었다.

결과적으로 인위적인 처리방법은 순환골재의 알칼리 제거에 도움을 주지만 순환골재를 단순히 씻는 방법보다는 화학적으로 알칼리 성분을 중화시키는 방법이 가장 효과적이라는 것을 알 수 있었다. 즉, 순환골재에 대해 물을 이용한 살수 및 침수법은 다소간의 효과가 있으나 침수법은 큰 효과를 기대하기 어려웠다. 결국 살수 및 CO₂처리를 통해 알칼리 제거를 실시해야 효과적이 되는 것으로 생각되었다.

3.3 비료 처리방법

순환잔골재의 강한 알칼리성을 중화시키기 위해서는 산성 물질을 통한 알칼리 제거가 가장 효과적인 것으로 판단되었다. 이러한 목적을 위한 산성물질은 여러 가지 가능성을 생각해 볼 수 있는데, 인위적인 산성물질 중에서 상대적으로 저렴하고 성토 및 복토된 이후의 상태를 고려하였을 때 비료로 사용되는 인산재료를 사용하는 방법에 대해 시험을 실시하였다. 즉, 질소 및 인산질 비료인 인산암모늄 및 이인산암모늄을 이용한 순환잔골재의 알칼리 제거 시험 결과를 Figure 9, Figure 10에 나타내었다.

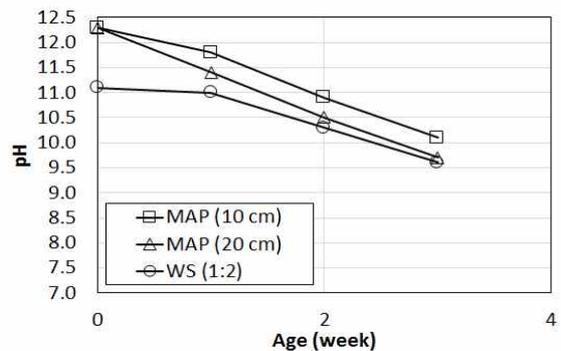


Figure 9. Influence of piling height of recycled fine aggregate on pH reduction (monoammonium phosphate): water spraying method was shown as a reference

반면에 이전의 살수 및 침수법과 달리 중성화 촉진시험기

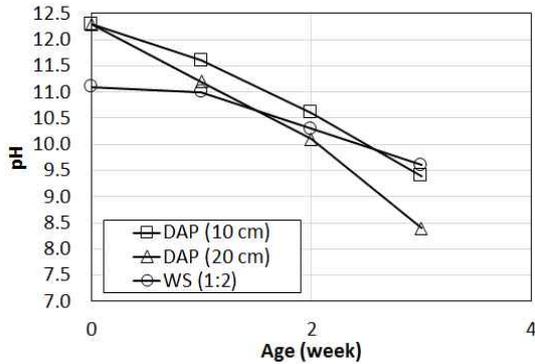
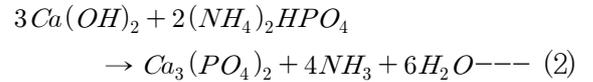
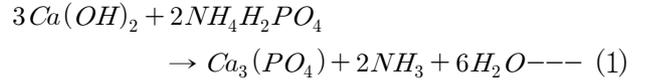


Figure 10. Influence of piling height of recycled fine aggregate on pH reduction (diammonium phosphate): water spraying method was shown as a reference

그림에서 보는 바와 같이 인산암모늄 및 이인산암모늄으로 처리한 경우에 이전 실험결과들보다 측정기간이 짧지만 순환 잔골재에 대한 pH 저감효과는 매우 큰 것으로 나타났다. 특히 두 경우 모두 야적 높이가 높은 경우에 오히려 pH 저감 성능이 우수하게 나타났는데 이는 자연적 처리방법에서 야적 높이가 낮은 경우에 pH 저감에 유리한 결과와 상반되는 결과이다. 하지만 이는 인산암모늄 및 이인산암모늄을 사용한 경우에 화학반응을 유도하기 때문에 야적 높이가 높은 경우 화학성분이 오래 잔존할 수 있어 더 유리한 조건을 형성한 것으로 판단된다.

인산암모늄 및 이인산암모늄 각각의 경우에서 정확히 동일하지는 않지만, 가장 근접한 처리방식인 살수방법과 비교하였을 때, 인산암모늄의 경우는 유사한 것으로 나타났다. 이는 최초 순환잔골재의 pH의 차이에서 기인한 것으로 판단된다. 즉, 동일한 초기 pH로 가정한다면 인산암모늄을 사용한 경우에 살수법을 통한 순환잔골재 중화성능보다 우수한 성능을 나타낼 것으로 예측된다. 이는 이인산암모늄을 사용한 경우에 보다 우수한 성능으로 나타났는데, 초기 pH가 차이가 남에도 불구하고 3주 만에 살수법보다 우수한 pH 저감성능을 나타내어 매우 우수한 방법임을 알 수 있었다.

이는 살수 방식에 의한 씻김방식에 더불어 식 (1)과 (2)에서 나타내는 바와 같이 인산암모늄 ((NH₄)₂PO₄)과 이인산암모늄 ((NH₄)₂HPO₄)이 순환잔골재 표면의 Ca(OH)₂와 반응하여 CaPO₄, H₂O, 및 NH₃를 생성시키면서 알칼리가 제거되는 과정에 의한 결과로 판단된다.



즉, CO₂ 축진기를 사용한 경우와 마찬가지로 직접적인 화학반응을 유도하는 것이 순환잔골재의 알칼리 제거에 가장 효과적이라는 것을 뒷받침하는 결과라 할 수 있다. 인산암모늄 및 이인산암모늄을 비교하면 (Figure 11 참조) 상대적으로 이인산암모늄의 경우에 보다 빨리 순환잔골재의 알칼리를 제거시키는 것을 알 수 있는데, 이는 인산암모늄 (35 - 40kg/100L)과 비교하여 이인산암모늄 (65 - 75 kg/100 L)이 물에 대한 용해도가 높기 때문으로 생각된다.

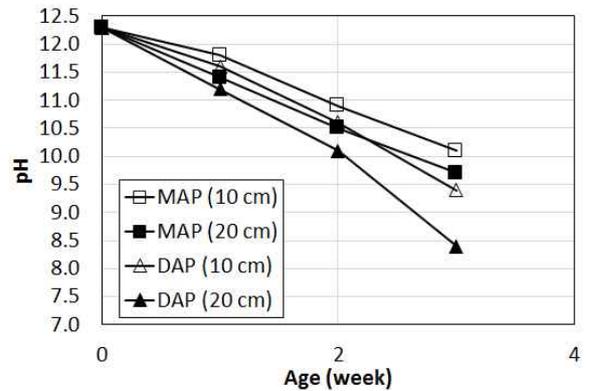


Figure 11. Comparing chemical treating methods of monoammonium phosphate (MAP) and diammonium phosphate (DAP) depending on different piling heights

결국, 인산암모늄 및 이인산암모늄을 이용한 순환골재의 알칼리 제거 시험에서는 이전의 시험결과들을 바탕으로 도출해 낸 바와 같이 비료 처리가 가장 효과적으로 순환골재의 pH를 저감시킬 수 있다는 결과를 얻었다. 특히, 물에 대한 용해도가 높은 이인산암모늄의 경우에 인산암모늄보다 상대적으로 유리한 알칼리 제거 효과를 나타내었다. 다만, 농업용 비료인 인산암모늄 및 이인산암모늄을 이용하여 순환골재의 알칼리를 제거하였지만 이러한 과정을 통해 이렇게 성토 혹은 복토된 토양이 식생에 유리할 것이라는 결론은 이 연구에서는 범위에서 벗어나므로 추후 검토가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 순환골재를 복토 및 성토용으로 활용될 경우 발생할 수 있는 고알칼리성 침출수에 의한 환경파괴에 대한 효과적인 해결방안을 제시하기 위해 순환잔골재를 대상으로 자연적, 인위적 및 비료 처리방법을 이용하여 순환잔골재의 알칼리 제거 효율성을 실험을 통하여 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 자연적 처리방법에 있어서 실내에서 야적된 순환잔골재가 실외에 야적된 순환잔골재보다 실내 공기의 상대적으로 높은 CO₂ 농도로 인해 알칼리 제거 속도가 빨랐다. 결국 자연적 처리방법은 공기 중의 CO₂농도에 의존하며 공기와 많이 접할 수 있는 낮은 야적 높이와 강제적인 공기순환방식이 순환골재 알칼리 제거에 기여함을 알 수 있었다.
- 2) 인위적인 처리방법으로는 물에 의한 씻김효과를 검토하였는데, 물의 양이 많을수록 효과가 높았지만, 물을 교체하지 않는 침수법은 효과적이지 못하였으며 살수법이 순환골재 표면을 세척하면서 공기 중의 CO₂와 순환골재 표면의 Ca(OH)₂가 반응할 수 있는 여건을 마련하여 상대적으로 효과적인 결과를 보였다. 다만, CO₂ 촉진법을 통해 비료 처리방법이 보다 효과적임을 알 수 있었다.
- 3) 기존에 농업용 비료로서 사용되는 인산암모늄 및 이인산암모늄을 이용한 비료 처리방법의 경우는 본 연구범위에서 검토된 모든 방법에 비해 월등히 우수한 순환골재의 알칼리제거 성능을 발휘하였으며 특히 이인산암모늄의 경우 높은 용해도에 기인하여 인산암모늄보다 약 10% 정도 우수한 순환골재 알칼리 제거 성능을 보였다.

결과적으로 순환골재를 복토 및 성토용으로 활용하기 위해서는 적극적으로 비료 처리를 통해 알칼리를 제거시키는 것이 가장 적합한 방법으로 제시될 수 있었다. 또한, 이후 연구에서 비료인 인산암모늄 및 이인산암모늄의 사용이 순환골재의 알칼리제거 효과와 더불어 식생 성능에 미치는 영향에 대해서도 추가적인 연구가 필요한 것으로 생각된다.

순환골재가 복토 및 성토용으로 활용되는 경우 순환골재 표면의 미수화 시멘트로부터 발생하는 높은 pH의 침출수는 환경에 큰 영향을 주는 요소이다. 본 연구에서는 이러한 높은 pH의 침출수를 방지하기 위해 순환골재의 효율적인 알칼리 제거 방안에 대해 실험적으로 비교분석 하였다. 실험결과 순환골재의 높은 알칼리성을 감소시키기 위해서는 단순 야적 및 물을 이용한 씻기 방법보다는 비료를 사용한 처리방법이 가장 유리한 것으로 나타났다. 또한, 본 연구에서는 비료의 종류인 인산암모늄과 이인산암모늄을 활용하여 순환골재를 중화시켰고 그 결과 약 3주 만에 pH 8의 중성에 가까운 순환잔골재를 얻을 수 있었다. 본 연구를 통해 순환골재를 토공사용으로 사용할 때 보다 환경에 안전한 지속가능한 재료로서 활용하는 데에 기여할 것으로 예상된다.

키워드 : 순환잔골재, pH, 알칼리 저감방법, 미수화시멘트, 산성물질

References

1. Lee BH, The production technology of recycled aggregate for road sub-base twin axis vibration rod crusher, Proceedings of Fall 2011 Korean Recycled Construction Resources Institute; 2011 Oct. 28; Daejeon, Korea, Seoul (Korea): Korean Recycled Construction Resources Institute; 2011. p. 198-200.
2. Song HY, Lee SS, Lee JH, Lee YS, Study on the quality properties of recycled sand by produced dry manufacturing system and wet manufacturing system, Journal of Korean Recycled Construction Resources Institute. 2009;4(2):74-81.
3. Nam EY, Hwang SB, Experimental study on heating manufacture of recycled aggregate by design of experiment, Journal of Korean Recycled Construction Resources Institute. 2013;8(1):11-7.
4. Choi HB, Water absorption controlling type surface treatment method for quality enhancement of recycled aggregate, Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2015;15(6):19-25.
5. Choi KR, Kim JH, For example using of recycled aggregate and problems to be improved, Proceedings of Fall 2009 Korean Recycled Construction Resources Institute; 2009 Nov. 27; Seoul, Korea, Seoul (Korea): Korean Recycled Construction Resources Institute; 2009. p. 17-22.

6. Kim JH, Han MC, Han CG, Strength development of the concrete incorporating blast furnace slag and recycled aggregate as alkali activator, *Journal of Korean Recycled Construction Resources Institute*, 2014;2(2):107-14.
7. Han MC, Lee HJ, Han CG, Effect of fine particle cement and recycled aggregates as alkali activator on the engineering properties and micro-structure of high volume blast furnace slag concrete, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2013;13(6):602-8.
8. KS F 2103, Standard test method for pH of soils, Korean Agency for Technology and Standards; 2013.
9. Kim JH, Sung JH, Kim DB, and Park JC. Tests for pH by leaching of recycled aggregates, *Proceedings of Fall 2015 Korean Recycled Construction Resources Institute*; 2015 Nov. 6; Jeju, Korea, Seoul (Korea): Korean Recycled Construction Resources Institute; 2015. p. 139-42.
10. Song TH, Lee SH, A study on the pH variation characteristics of RA production methods, *Proceedings of Fall 2011 Korean Recycled Construction Resources Institute*; 2011 Oct. 28; Daejeon, Korea, Seoul (Korea): Korean Recycled Construction Resources Institute; 2011. p. 125-7.
11. Lee JC, Song TH, Lee SH, A research of recycled aggregate properties by accelerating carbonation, *Proceedings of Fall 2010 Korea Concrete Institute*; 2010 Nov. 26; Cheongju, Korea, Seoul (Korea): Korean Recycled Construction Resources Institute; ; 2010. p. 209-10.
12. Gao S, Lee G, Lee G, Choi J, Ko D. Changing features of pH at the cyclic aggregate according to mixing ratio of sodium phosphate and ammonium chloride, *Proceedings of Fall 2015 the Korea Institute of Building Construction*; 2015 Nov. 14; Seoul, Korea, Seoul (Korea): Korea Institute of Building Construction; 2015. p. 47-8.