

자연 및 인위적 처리방법 변화에 따른 순환잔골재의 pH저감

Reduction of pH of Recycled Fine Aggregate due to Natural and Artificial Treatment Method

(Received March 16, 2011 / Revised March 30, 2011 / Accepted March 31, 2011)

한천구¹⁾, 한민철,¹⁾ 한상윤^{1)*}

¹⁾ 청주대학교 대학원 건축공학과

Cheon-Goo Han¹⁾, Min-Cheol Han¹⁾, Sang-Yoon Han¹⁾

¹⁾Div. of Architecture Engineering Graduate School Cheong-ju University, Cheong-ju, 360-764, Korea

Abstract

This study is to comparatively analyze the characteristics of pH decrease in recycled fine aggregates for embankment and landfill produced from waste concrete by using natural process and artificial process. The result was as follows In case of recycled fine aggregates left outdoor, it was found that pH level was decreased if the thickness of embankment becomes thinner, or the materials left outdoors owing to high concentration of CO₂ in atmosphere caused by respirations of people. When the air was permeated, pH level was decreased more effectively. It was analyzed that this phenomenon was caused by efficient supply of CO₂ in the recycled fine aggregates owing to high-pressure ventilators. In case of water spraying treatment, sprayed water facilitated hydration of unhydrated cement to dissolve calcium hydroxides which neutralized CO₂ in the atmosphere during desiccation process and decrease pH level by a considerable margin. In case of Immersed treatment, decrease of pH was not sufficient. When facilitating the supply of CO₂, pH level of the recycled fine aggregates was decreased by the largest margin. It was analyzed that this phenomenon was caused by efficient supply of CO₂. From the above results, it was analyzed that the most effective method of reducing pH level of the recycled fine aggregates from the aspects of pH reduction performance, economic efficiency and workability was repeated wet-dry cycles of spraying water to the aggregates in the proportion of 1:0.5 by weight and then treating by forcefully blowing CO₂ gas into the aggregates.

키워드 : 순환잔골재, pH저감, 처리방법 변화

Keywords : Recycled Fine Aggregates, Reduction of pH, Variation of Treatment method

1. 서론

국내 건설산업에서는 지속적인 성장과 더불어 1990년대 부터 주거환경개선을 위한 재건축, 재개발 사업의 활성화 등으로 건설폐기물의 발생이 급증하고 있다. 특히 건설폐기물 중 약 70%를 차지하는 폐콘크리트는 재활용 가능성을 인정받고 있는데, 이러한 폐콘크리트로부터 얻어지는 순환골재의 사용은 천연골재의 고갈 문제 해결과 매립지

수명연장 측면에서도 매우 중요하게 된다.

그러나 이 같은 순환골재는 일반적인 천연 골재보다 품질이 저하되는 경향이 있기 때문에 고부가가치의 구조용 재료로는 사용하지 못하고 대부분 저급용의 성토·복토 등 매립용에 사용되고 있는데, 최근에는 순환골재의 알칼리 침출수 문제로 환경파괴 문제가 대두됨에 따라 폭넓은 사용에는 일부 제한을 받고 있다.¹⁾ 이는 순환골재중 석질 표면에 부착되어 있는 시멘트 모르타르에 수산화칼슘(Ca(OH)₂) 이 존재함으로써 강알칼리성을 띄게 되기 때문이다.²⁾

따라서 본 연구는 순환잔골재의 알칼리성 저감을 위한

* Corresponding author
E-mail: ez2line@hanmail.net

기초적 연구로서 실내방치, 실외방치 및 공기투과 방법 등 자연 환경적 처리방법과 살수, 침수 및 CO₂ 촉진장치를 이용한 인위적 처리 방법을 이용하여 순환잔골재의 알칼리저감 효과를 검토함으로써, 차후 실무에서 순환잔골재의 알칼리 저감방안 강구에 기초적 자료로 활용하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험 계획은 Table 1과 같다.

먼저, 자연 환경적 처리방법 조건에서는 순환잔골재를 50 mm, 100 mm, 150 mm 두께로 각각 실내 및 실외에 방치 시키고, 또한 50 mm 두께로 쌓은 순환잔골재에 환풍기로 공기를 투과시키는 것으로 실험계획 하였다.

인위적 처리방법에서는 살수 방법으로 예비실험을 통해 유출수가 발생하지 않는 범위 내에서 50 mm 두께의 순환잔골재에 대해 질량비로 살수량을 각각 1:0.5, 1:1, 1:2 총 3수준으로 하루에 1회씩 살수를 실시하였고, 침수의 경우 순환잔골재에 대한 물의 양을 각각 1:1, 1:2, 1:3, 3수준으로 계획하였다. 단, 1주일에 한 번씩 물을 교체하여 알칼리 침출에 따른 포화상태를 방지하도록 하였다.

CO₂촉진에서는 순환잔골재를 50 mm 두께로 쌓고 CO₂ 농도 5 %인 중성화촉진장치에 넣어두는 것으로 실험계획 하였다. 이때 순환잔골재의 pH 측정은 매주 1회씩 측정하는 것으로 계획하였다.

Table 1. Design of experiment

Factors		Levels		
		Thickness(mm)		
Natural air condition	Indoor	50, 100, 150	- pH Measure of recycled fine aggregate (Once a week)	
	Outside			
	Air permeability	50		
Artificial condition	Spraying*	50		- Exposure period (1,2,3,.., ~ 91 days)
	Immersed**	-		
	CO ₂ acceleration	50		

* Recycled fine aggregate(10 kg) : Spraying = 1 : 0.5, 1 : 1, 1 : 2

** Recycled fine aggregate(10 kg) : Immersed = 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3

2.2 사용재료

본 연구에 사용한 순환잔골재의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2. Physical properties of recycled fine aggregate

Density (g/cm ³)	FM	Water absorption (%)	Passing amount of 0.08 mm sieve (%)
2.2	2.6	6.2	2.4

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 순환잔골재의 pH측정은 KS F 2103에 의거 실시하였다. 즉, pH 6~8인 증류수 75 g에 실온에서 건조시킨 순환잔골재 30 g을 넣어 30분 간 방치한 후 순환잔골재의 pH를 측정하였다. (Fig. 1은 pH 측정장치 및 pH측정 모습)



Fig 1. pH meter equipment and pH measurement

Fig. 2 및 Fig. 3은 실내, 실외방치 및 공기투과장치의 개요도이다. 먼저 실내 및 실외방치는 코팅 합판을 이용하여 400×300×1 600 mm의 구조물을 제작후 각각 실내와 실외에 배치한 다음 순환잔골재의 pH를 측정하였다. 단, 실험의 정확성을 위하여 일정 간격으로 구획을 나눠 매주 1회씩 순환잔골재의 pH를 측정하였다. 또한, 공기 투과인 경우에 코팅 합판을 이용하여 400×400×50 mm의 구조물을 제작한 다음 하부에 환풍기를 설치하여, 4 000 m³/h의 풍량을 가하면서 동일한 방법으로 순환잔골재의 pH를 측정하였다.

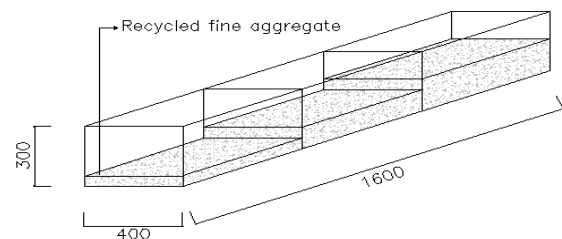


Fig 2. Indoor and outside device overview

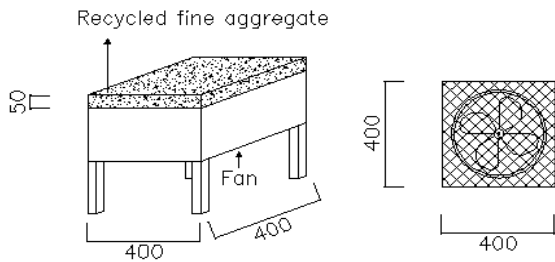


Fig 3. Air permeability device overview

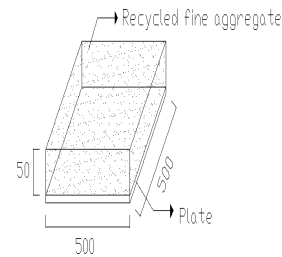


Fig 6. CO₂ acceleration device



Fig. 4 및 Fig. 5는 살수 및 침수 장치의 개요도이다. 먼저, 살수는 400×300×1600 mm의 구조물을 제작하고, 하부는 살수시 발생할 수 있는 유출수를 배출하기 위한 망을 설치하였다.

침수의 경우 밀실한 용기를 이용하여 순환잔골재를 침수 시키는데, 순환잔골재의 pH를 측정하기 하루전 기중 건조를 시켜 여타 방법과 동일한 조건에서 순환잔골재의 pH를 측정하였다.

CO₂ 축진의 경우는 Fig. 6의 CO₂농도 5%인 중성화 촉진장치를 사용하였는데, 순환잔골재를 50 mm 두께로 쌓아 계획된 일정에 맞춰 순환잔골재의 pH를 측정하였다.

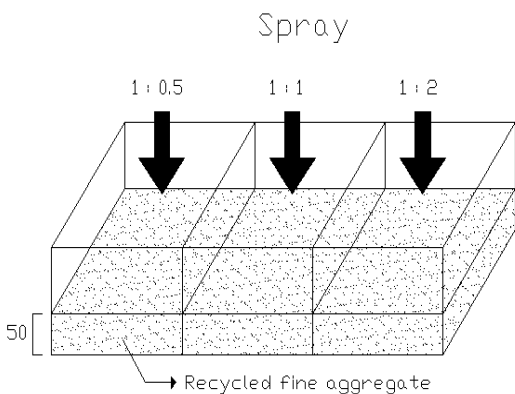


Fig 4. Spray device overview

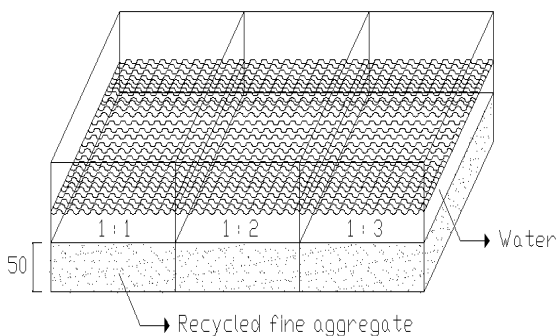


Fig 5. Immersed device overview

3. 실험결과 및 분석

3.1 자연 환경적 처리방법

3.1.1 실내 및 실외방치

Fig. 7은 실내방치에 따른 순환잔골재의 pH 특성을 나타낸 그래프이다. 최초 순환골재의 pH는 11.1로 강알칼리성을 나타냈으며, 방치후 2주까지는 두께에 관계없이 큰 변화를 보이지 않았다.

방치 4주 경과후 전반적으로 순환잔골재의 pH가 저하하는 것으로 나타났는데, 5주 경과시 두께 50 mm에서 순환잔골재의 pH는 약 10.6으로 가장 낮게 나타났다. 이후 순환잔골재의 pH는 시간 경과에 비례하게 감소하였고, 계획된 방치기간인 12주가 경과했을 때 두께 50 mm, 100 mm, 150 mm에서 순환잔골재의 pH는 각각 9.7, 10.1, 10.4로 나타났다. 전반적으로 방치 두께가 두꺼울수록 pH저감 효과는 미흡하였다. 이는 순환잔골재 표면의 미수화 시멘트에 함유된 수산화칼슘(Ca(OH)₂)이 대기중의 이산화탄소(CO₂)와 반응함으로써 중성화 되었는데 순환잔골재의 방치 두께가 두꺼울수록 대기중 CO₂와의 접촉 및 반응이 저해되기 때문으로 분석된다.

Fig. 8은 실외방치에 따른 순환잔골재의 pH 특성을 나타낸 그래프이다. 먼저, 최초 순환잔골재의 pH 11.1에서 전반적으로 시간이 경과할수록 완만하게 저감되는 모습을 보였는데, 단, 방치 13주에서 순환잔골재의 pH는 10.3~10.6으로 최초의 순환잔골재 pH보다는 다소 감소하였으나 실내방치와 비교할 때 그 효과는 미흡한 것으로 나타났다.

Fig. 9는 실내방치와 실외방치에 따른 순환잔골재의 pH를 비교한 것이다. 전반적으로 실외방치에서 순환잔골재의 pH가 높게 나타났는데, 이는 실외에 비해 실내의 경우 사람의 호흡 등으로 대기중 CO₂ 농도가 높아짐에 따라 중성화 반응이 비교적 원활하게 발생된 것으로 사료된다.

한편, 방치 장소에 상관없이 두께 차이에 따라서는 방치 두께 50 mm 의 경우 실내와 실외 방치 사이에 저감효과의 차이가 크게 나타나지만 100 mm, 150 mm 의 경우는 그 차이가 적은 것으로 나타났다. 즉, 실내의 CO₂ 농도로 인해 순환잔골재의 pH가 저감되기는 하나, 방치 두께가 증가할 경우 실내 방치 방법 역시 순환잔골재의 pH 저감 효과는 미흡한 것으로 분석된다.

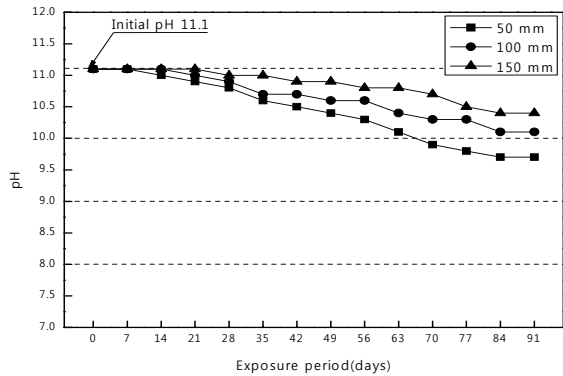


Fig 7. pH of recycled fine aggregate with Exposure period at indoor

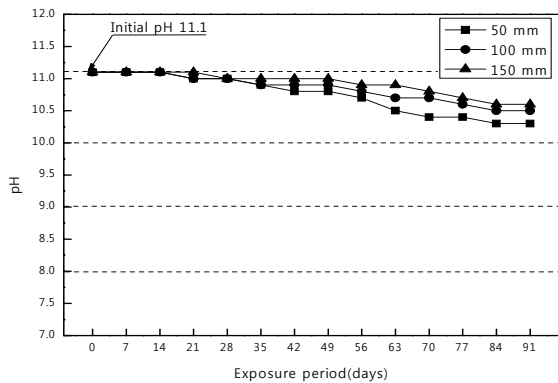


Fig 8. pH of recycled fine aggregate with Exposure period at outside

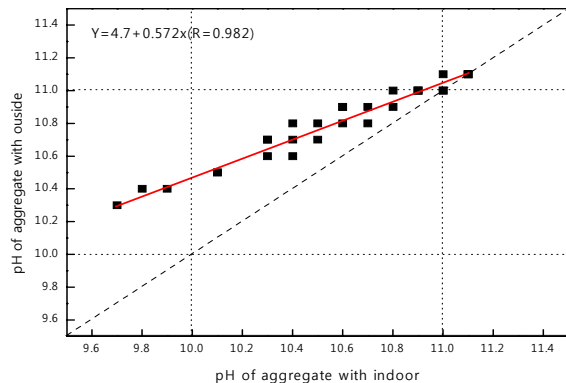


Fig 9. pH relation of recycled fine aggregate with outside and indoor

3.1.2 공기투과

Fig. 10은 실외조건에서 공기투과 방법에 따른 순환잔골재의 pH 특성을 나타낸 그래프이다. 전반적으로 시간이 경과할수록 순환잔골재의 pH는 크게 감소하였는데, 공기투과 후 28일이 경과되었을 때 순환잔골재의 pH는 9.6으로 최초 순환잔골재의 pH에 비해 크게 감소하였다. 이는 91일 경과후 9.7의 값을 나타냈던 실내방치방법과 비교하면 약 60일 정도의 시간이 단축된 것으로 자연 공기환경 방법 중에서는 공기투과 방법이 가장 효과적인 것을 알 수 있었다. 한편, 91일 경과후 순환잔골재의 pH는 8.4로 실내 및 실외방치와 비교했을 때 가장 우수한 알칼리 저감효과를 보였다. 이는 환풍기의 높은 풍압으로 인하여 실내 및 실외방치와 달리 원활한 CO₂ 공급으로 수산화칼슘(Ca(OH)₂)을 CaCO₃로 중성화 시켜 순환잔골재의 pH를 크게 저감시킨 것으로 분석된다.

Fig. 11은 실외방치와 공기투과 방법에 따른 순환잔골재의 pH관계를 나타낸 그래프이다. 동일한 실외조건에서 강제적으로 바람을 가할 때 순환잔골재의 pH저감에 효과적인 것으로 나타났는데, 이는 전술한 바와 같이 CO₂공급이 비교적 원활함에 기인한 것으로 분석된다.

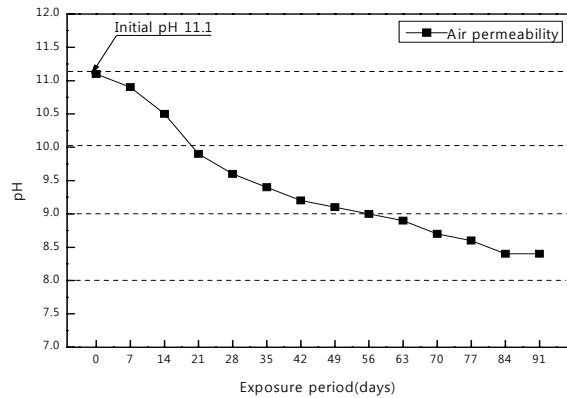


Fig 10. pH of recycled fine aggregate with air permeability device

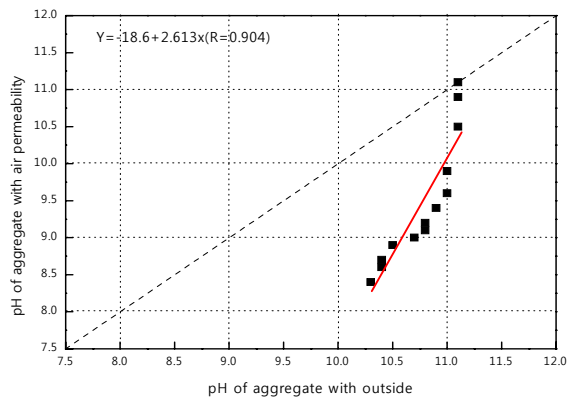


Fig 11. pH relation of recycled fine aggregate with air permeability and outside

3.2 인위적 처리방법

3.2.1 살수 및 침수처리

Fig. 12는 살수처리에 따른 순환잔골재의 pH특성을 나타낸 그래프이다. 여타 방법에 비해 순환잔골재의 pH가 가장 빠르게 감소하였다.

즉, 살수 21일이 경과 했을 때 살수량 1:2에서 순환잔골재의 pH는 9.6으로 나타났고, 또한, 살수량에 관계없이 모든 순환잔골재의 pH가 약 1이상 저감된 10.0이하로 나타났다. 계획된 살수기간인 91일에서의 순환잔골재 pH는 약 8로써 매우 우수한 저감효과를 나타내었다. 이는 순환잔골재 표면의 미수화 시멘트가 살수로 인한 수화반응으로 미수화 시멘트에 함유된 수산화칼슘을 용해 소비시키고, 건조과정에서 공기중 CO₂에 의한 중성화 등, 이와 같은 반응이 반복됨에 따라 순환잔골재의 pH를 크게 저감시킨 것으로 사료된다.

한편, 살수량에 따라 pH저감 효과는 큰 차이를 보이지 않았는데 즉, 살수량 1:0.5에 비해 1:2의 경우 pH저감 성능은 큰 차이를 보이지 않아 경제성 및 작업성을 고려하면 1:0.5의 비율로 살수 하는 방법이 효과적인 것으로 판단된다.

Fig. 13은 침수처리에 따른 순환잔골재의 pH특성을 나타낸 그래프이다. 전반적으로 시간경과에 따라 순환잔골재의 pH는 저감되는 것으로 나타났으나, 실외방치와 비슷하게 여타 방법에 비해 효과는 미흡하였다. 이는 침수 특성상 순환잔골재로부터 발생한 침출수에 강알칼리성분이 포화상태에 이르기 때문인 것으로 판단된다.

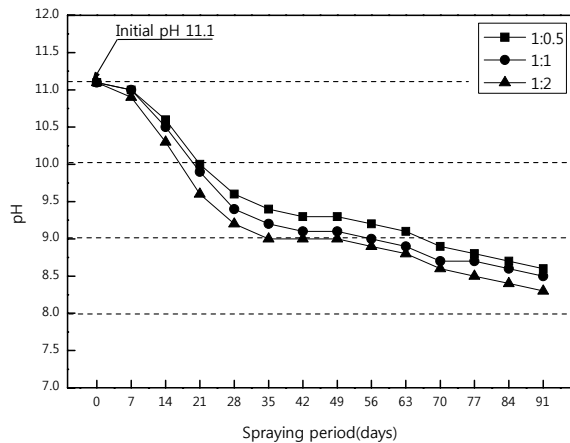


Fig. 12. pH of recycled fine aggregate with Spraying

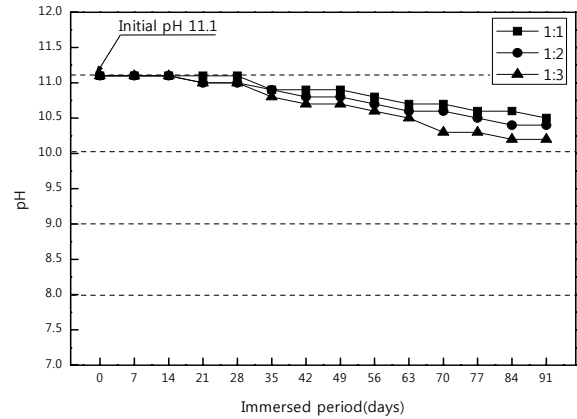


Fig. 13. pH of recycled fine aggregate with Immersed

3.2.2 CO₂촉진 처리

Fig. 14는 5 % CO₂ 농도를 갖는 중성화 시험기에 넣어 CO₂촉진에 따른 순환잔골재의 pH특성을 나타낸 그래프이다. 중성화 촉진장치를 이용할 경우 순환잔골재의 pH 저감효과가 가장 우수한 것으로 나타났는데, 21일이 경과 했을 때 순환잔골재의 pH는 9.7로 여타 방법에 비해 가장 빠른 저감효과를 나타내었다. 한편, 91일 경과후 pH는 7.8로써 시간경과에 따라 지속적으로 저감되는 것으로 나타났다. 이는 순환잔골재 표면의 미수화 시멘트에 함유된 수산화칼슘(Ca(OH)₂)이 중성화촉진 장치 내부의 CO₂와 반응함으로써 중성화 반응이 촉진되는데 기존의 실내 및 실외 방치 및 공기투과 방법에 비해 외부 영향이 최소화된 상태에서 원활한 CO₂공급이 가능했기 때문인 것으로 분석된다. 한편 CO₂ 촉진의 경우 여타 방법에 비해 가장 효과적이나 별도의 특수 장치를 사용함에 따른 경제성, 작업성 및 실무 활용성 측면에서는 고려가 필요한 것으로 사료된다.

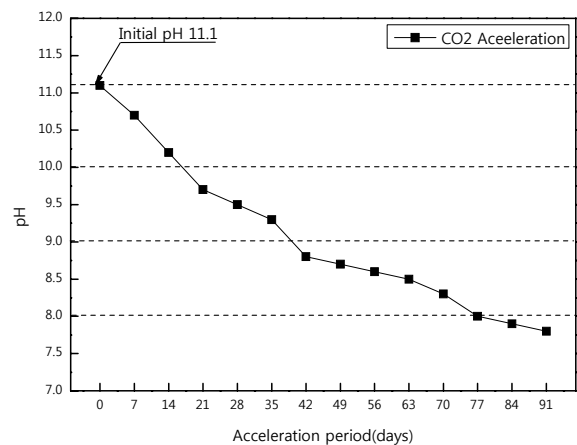


Fig. 14. pH of recycled fine aggregate with CO₂ acceleration

Fig. 15는 CO₂축진 방법과 자연환경의 공기투과 방법에 따른 순환잔골재의 pH관계를 나타낸 그래프로서 두 방법 간의 pH저감효과에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

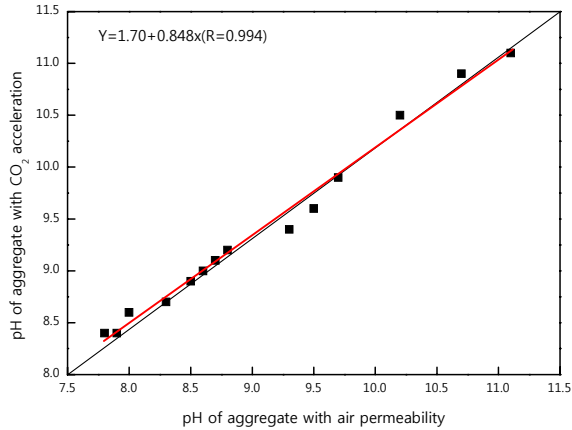


Fig 15. pH relation of recycled fine aggregate with CO₂ acceleration and air permeability

3.2.3 pH 저감방안 종합분석

Fig. 16, Fig. 17 및 Fig. 18은 자연적 처리방법과 인위적 처리방법에 따른 순환잔골재의 pH 저감성능을 상호 비교 분석한 그래프이다. 자연적 처리방법에서 실내방치, 실외 방치 및 공기투과 방법의 경우 상호 동등한 조건에서 비교하기 위하여 방치 두께는 50 mm만을 대상으로 하고, 인위적 처리의 살수처리, 침수처리의 경우 살수 및 침수 비율 1:2에 한하여 분석하였다.

전반적으로 최초 순환잔골재 pH 11.1서 CO₂ 축진, 살수, 공기투과, 실내방치, 침수, 실외 방치의 순으로 pH의 저감효과가 우수한 것으로 나타났다.

종합적으로 순환잔골재의 pH를 효과적으로 저감시키기 위해서는 먼저, CO₂의 원활한 공급과 순환골재중 미수화 시멘트에 함유된 수산화칼슘의 효과적인 용해가 무엇보다 중요한 것으로 나타났다. 즉, 자연적 처리방법의 공기투과 방법과 인위적 처리 방법 중 외부 영향 없이 원활한 CO₂ 공급이 가능했던 CO₂ 축진 방법 및 반복적으로 수화반응을 유도한 살수처리 방법이 순환잔골재의 pH 저감에 가장 효과적인 것으로 분석된다.

단, CO₂ 축진의 경우 순환잔골재의 pH저감 효과는 우수하나 경제성 및 작업성 측면에서는 소각장 배출가스를 활용하는 등 특별한 고려가 필요한 것으로 사료된다.

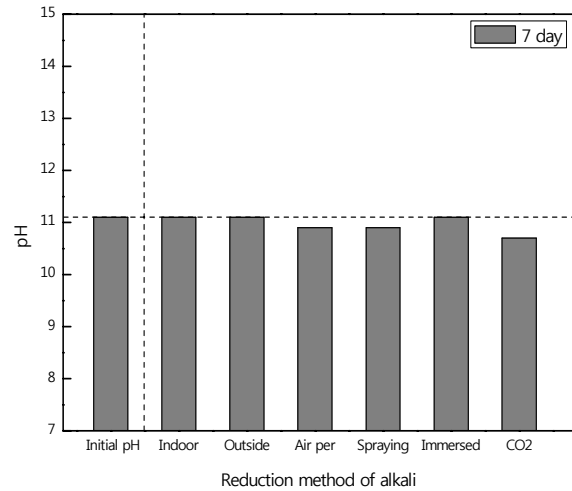


Fig 16. pH of recycled fine aggregate with reduction method of alkali (7 day)

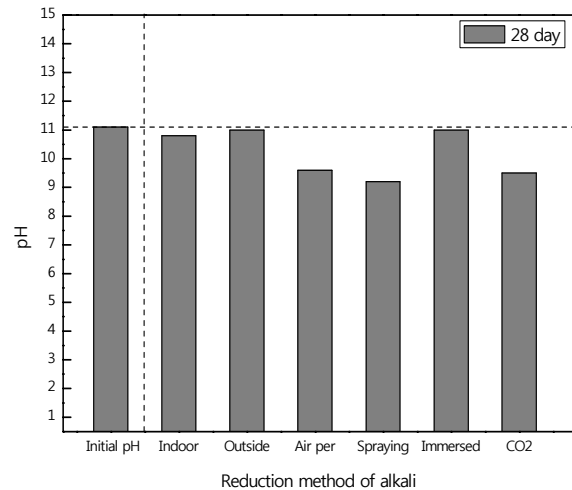


Fig 17. pH of recycled fine aggregate with reduction method of alkali (28 day)

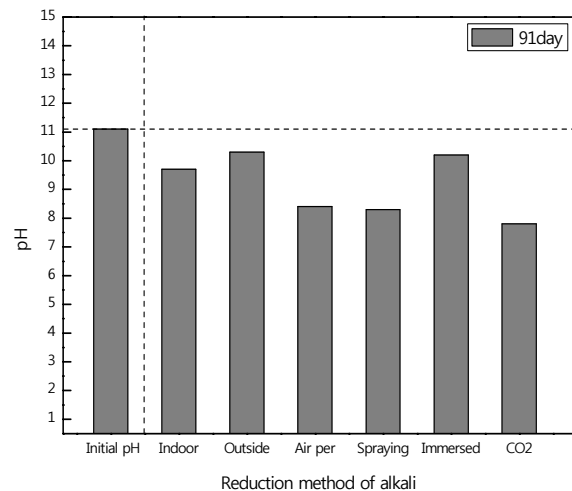


Fig 18. pH of recycled fine aggregate with reduction method of alkali (91 day)

4. 결론

본 연구는 폐콘크리트로부터 발생한 성토, 복토용 순환골재의 pH 저감을 목적으로 자연적 처리 방법 및 인위적 처리 방법을 이용하여 순환골재의 pH 저감특성을 비교·분석 하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 실내방치된 순환골재의 경우는 사람의 호흡 등 대기중 높은 CO₂농도로 인해 실내방치된 순환골재보다, 또한 쌓기 두께가 얇을수록 pH를 저감시킨 것으로 분석된다.

2) 공기투과의 경우는 비교적 순환골재의 pH저감이 효과적이었는데 이는 높은 풍압의 환풍기로 인해 순환골재에 원활한 CO₂ 공급으로 pH를 저감시킨 것으로 판단된다.

3) 살수처리의 경우 미수화 시멘트의 수화반응을 촉진시켜 함유된 수산화칼슘을 용해시키고, 건조과정중 대기중 CO₂에 의한 중성화로 pH를 크게 저감시키는 것으로 나타났다. 단, 침수처리의 경우 순환골재의 pH 저감 효과가 미흡하였다.

4) CO₂축진의 경우 순환골재의 pH저감 효과가 가장 우수한 것으로 나타났는데, 여타 방법에 비해 원활한 CO₂ 공급이 가능하기 때문인 것으로 분석된다.

이상의 실험 결과를 종합하면, pH 저감성능, 경제성 및 작업성 측면을 고려할 경우 순환골재 질량비 1:0.5 비율로 살수한 다음, 강제적인 CO₂가스의 처리로 건습을 반복한다면 순환골재의 pH저감에 가장 효과적인 방법이 될 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 국토해양부, 순환골재 품질기준, 2005
- 2) 이도현, 콘크리트용 재생(순환)골재의 재활용을 위한 문제점 및 대책, 대한주택공사, 주택도시, pp.29~35, 2004
- 3) KS F 2573, 콘크리트용 순환골재 기술표준원, 2006. 12
- 4) KS F 2103, 흙의 pH값 측정 방법 기술표준원, 2003. 12
- 5) 이세현, 순환골재활용과 건설폐기물 재활용 정책, 한국콘크리트학회, pp.14~16, 2004
- 6) 이도현, 김효진, 전명훈, 정종석, 콘크리트용 순환골재의 기술개발 현황, 한국콘크리트학회, 19권 2호, pp.34-41, 2007

- 7) 정재동, 이도현, 순환골재의 품질평가를 위한 시험방법 개선에 관한 실험적 연구, 한국건축시공학회, 8권 4호, pp.105~115, 2008
- 8) 환경부, 환경백서, pp.100~120, 2009
- 9) 이세현, 순환골재 콘크리트, 한국콘크리트학회, 22권 1호, pp.33~35, 2010
- 10) 조명근, 류현기, 점토소성 폐기물을 이용한 콘크리트용 순환골재로써 활용가능성에 관한 기초적 연구, 한국건축시공학회, 7권 2호, pp.93~99, 2007
- 11) 박도경, 이명규, 양극영, 순환골재를 이용한 환경 친화형 호안 블록제품의 개발에 관한 연구, 한국건축시공학회, 6권 2호, pp.73~80, 2006
- 12) 국토해양부, 건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률, 2009
- 13) 김관호, 문명욱, 조희찬, 안지환, 고품질 순환골재 생산을 위한 폐콘크리트의 단체분리 특성연구, 한국자원리사이클링학회, 4권 20호, pp.52~61, 2010
- 14) Frondistou Y.S, Waste concrete as aggregate for new concrete, ACI journal, VOL.41, NO.6, pp.373~376, 1977.
- 15) Oxtoby, David W. ; Nachtrieb, Norman H, Principles of Modern Chemistry, 2nd, Saunders College Publishing, 1990
- 16) Wang S.D. et al., Alkali-activated cement and concrete, A review of properties and problem, Advanced Cement Research, VOL.11, NO.27, pp.93~102, 1995
- 17) Enric Vazquez, Recycling of Aggregates in Spain, International Workshop on Recycled Concrete, JSPS 76 Committee on Construction Materials, VOL.7, NO.9, pp.27~41, 2009

자연 및 인위적 처리방법 변화에 따른 순환잔골재의 pH저감

본 연구는 폐콘크리트로부터 발생한 성토·복토용 순환잔골재의 pH 저감을 목적으로 자연적 처리 방법 및 인위적 처리 방법을 이용하여 순환잔골재의 pH 저감특성을 비교·분석 하고자 하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 실내방치된 순환잔골재의 경우는 사람의 호흡 등 대기중 높은 CO₂농도로 인해 실외방치된 순환잔골재보다, 또한 쌓기 두께가 얇을수록 pH를 저감시킨 것으로 분석된다. 공기투과율의 경우 비교적 순환잔골재의 pH저감이 효과적이었는데 이는 고압의 환풍기로 인해 순환잔골재에 원활한 CO₂ 공급으로 pH를 저감시킨 것으로 판단된다. 살수처리의 경우 미수화 시멘트의 수화반응을 촉진시켜 수산화칼슘을 용해시키고, 건조과정중 대기중 CO₂에 의한 중성화로 pH를 크게 저감시키는 것으로 나타났으며 침수처리에서는 pH 저감 효과가 미흡하였다. CO₂축진의 경우 순환잔골재의 pH저감 효과가 가장 우수한 것으로 나타났는데, 이는 원활한 CO₂공급이 가능하기 때문인 것으로 분석된다. 이상의 실험 결과를 종합하면, pH 저감성능, 경제성 및 작업성 측면을 고려할 경우 순환잔골재 질량비 1:0.5 비율로 살수한 다음, 강제적인 CO₂가스의 처리로 건습을 반복한다면 순환잔골재의 pH저감에 가장 효과적인 방법이 될 것으로 분석된다.