한국지반공학회논문집 제32권 11호 2016년 11월 pp. 21 ~ 29
JOURNAL OF THE KOREAN GEOTECHNICAL SOCIETY
Vol.32, No.11, November 2016 pp. 21 ~ 29

ISSN 1229-2427 (Print)
ISSN 2288-646X (Online)
https://doi.org/10.7843/kgs.2016.32.11.21

커피박을 이용한 순환골재의 pH 저감 및 파쇄성 연구

A Study on pH Reduction of Recycled Aggregates Using Coffee Waste and Its Crushability

이 영 재[1] Lee, Young-Jae
이 동 윤[2] Lee, Dong-Yun
천 커 챵[2] Chen KeQiang
김 문 기[3] Kim, Moon-Gi
박 성 식[4] Park, Sung-Sik

Abstract

In this study, recycled aggregates crushed from waste concrete were sorted into three groups, 10-13 mm, 13-20 mm, and 20-25 mm. They were treated in different ways and then their crushability was evaluated for each treatment. Coffee waste was used for reducing their pH level. The pH of recycled aggregate was almost 11, regardless of aggregate sizes. The pH of coffee waste was nearly 5 and 10, 30, or 50 g of coffee waste was mixed with 1000 ml of distilled water and recycled aggregates. The lowest pH was about 6.2 when 50 g of coffee waste was mixed. Aggregates were treated with microwave or soaked for 1 day in vinegar (pH = 2) for neutralization reaction. Microwave treated and neutralized aggregates showed 3.3% and 6.2% higher crushing values compared to non-treated one, respectively. Neutralized treatment was more effective for crushing. In crushing tests, a sample height of 120 mm was tried, which gave 6.3% higher crushing value. A four stepped loading with each 100 kN gave 7.1% higher crushing value, compared to standard 100 mm height and 400 kN continuous loading.

요 지

본 연구에서는 각종 구조물 철거 시 발생하는 폐콘크리트를 파쇄 처리하여 생산된 순환골재의 크기를 세 종류(10-13mm, 13-20mm, 20-25mm)로 나눈 다음, 순환골재의 pH 저감방법과 순환골재 처리방법에 따른 파쇄값을 실험 분석하였다. 순환골재 침출수의 pH는 골재 크기에 관계없이 약 11 정도로 일정하였으며, 이를 1000ml 증류수에 넣고 pH가 약 5 정도인 커피박을 10, 30, 또는 50g 혼합하여 시간에 따른 pH 변화를 측정하였다. 커피박을 50g 넣은 경우 24시간 후 pH가 최대 6.2까지 떨어지는 결과를 얻었다. 또한 마이크로웨이브(microwave)를 쪼여 가열하는 방법이나, pH가 2인 식초에 순환골재를 1일 침지시켜 중성화시키는 화학적인 방법을 이용하여 순환골재의 파쇄값을 비교 분석하였다. 무처리한 경우보다 마이크로웨이브를 쪼인 경우 평균 3.3% 정도 파쇄값이 증가하였으며, 중성화시키는 방법은 6.2% 정도 파쇄값이 증가하여 상대적으로 파쇄효과가 더 높았다. 순환골재 파쇄시험에서 표준 시료 높이 100mm 보다 높은 120mm로 시험한 경우 파쇄값이 6.3% 증가하였으며, 400kN을 연속으로 재하하는 경우보다 100kN씩 4단계로 재하한 경우 파쇄값이 7.1% 더 증가하였다.

Keywords : Recycled aggregate, Crushing, pH, Microwave, Vinegar, Coffee waste

1 비회원, 경북대학교 공과대학 토목공학과 교수 (Prof., Dept. of Civil Eng., Kyungpook National Univ.)
2 비회원, 경북대학교 공과대학 건축토목공학부 석사과정 (Graduate Student, Dept. of Civil Eng., Kyungpook National Univ.)
3 비회원, 경북대학교 공과대학 건축토목공학부 박사과정 (Graduate Student, Dept. of Civil Eng., Kyungpook National Univ.)
4 정회원, 경북대학교 공과대학 건설환경에너지공학부 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Civil Eng., Kyungpook National Univ., Tel: +82-53-950-7544, Fax: +82-53-950-6564, sungpark@knu.ac.kr, Corresponding author, 교신저자)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2017년 5월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

Copyright © 2016 by the Korean Geotechnical Society
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

최근 각종 재건축이나 재개발, 도로 확포장공사 등으로 폐콘크리트 발생량이 증가하고 있으며, 이를 콘크리트에 사용하는 골재용이나 블록과 같은 콘크리트 2차 제품에 사용하기 위한 다양한 연구가 수행되고 있다(Lee et al., 2015; Kim, 2014; Park, 2014; Shin et al., 2015; Lee et al., 2016). 한편, 순환골재는 건설공사의 도로보조기층용, 기초다짐용, 채움용, 노반용 등으로도 사용가능하며, 최근 경부고속도로 언양-영천 확포장 공사, 청양-홍성 국도 등을 비롯한 각종 도로공사의 노상이나 보조기층에 기존 콘크리트 포장에서 파쇄한 콘크리트를 사용하고 있다. 하지만, 이러한 도로공사를 비롯한 옹벽 뒤채움재나 각종 관로 되메움 토사로 사용하기 위한 연구 사례는 아직 많지 않은 실정이다(Park et al., 2011; Wi et al., 2011; Kwon et al., 2013; Kang et al., 2015).

국내외적으로 처리해야 하는 폐콘크리트 양이 지속적으로 증가하고 있으며, 일본의 경우 2040년경에 콘크리트 생산량이 3억5천만톤이 되며, 이 이후에는 폐콘크리트 양이 생산량보다 더 많아 진다고 보고되었다(Noguchi, 2015). 이러한 폐콘크리트의 일반적인 파쇄방식은 jaw crusher로 부순 다음 용도에 따라 impact crusher 또는 cone crusher로 파쇄한 다음 체 진동으로 분류하며, 최근 일본에서는 300℃의 열을 가하여 수화물 내 순수골재만을 분류하는 방식을 사용하기도 한다(Noguchi, 2015). 일반적으로 폐콘크리트 파쇄 시 crusher를 사용하는 기계적인 방법을 주로 사용하지만, 이러한 방법 이외에 가열이나 기타 방법 등을 사용하여 폐콘리트의 파쇄효율을 높이거나 양질의 골재를 얻기 위한 연구도 필요하다. 특히, 도로공사용 순환골재의 품질기준을 만족하려면 별도의 혼합공정이 필요하므로 생산효율은 더욱 떨어지는 실정이다. 한편, 순환골재를 보조기층이나 뒷채움재로 사용할 경우 순환골재 침출수의 pH가 높아 주변 농경지나 하천으로 유입되어 생태계를 파괴시키는 사례가 보고된 바 있다(Lee et al., 2011). 이와 관련하여 일부 연구자(Kim, 2016; Song et al., 2011; Lee et al., 2011)들은 순환골재의 pH 특성이나 저감방안에 관해 연구하기도 하였으며, Lee et al.(2011)은 탄산화반응을 통하여 pH를 1 정도 저감시킬 수 있다는 결과를 얻었다.

본 연구에서는 폐콘크리트를 파쇄 처리하여 순환골재를 생산할 때 생산효율을 높일 수 있는 골재 처리방법과 순환골재의 pH를 저감시키는 방법에 대해 연구하였다. 즉, 자연 건조된 상태에서 체가름하여 분류된 순환골재의 pH를 분석한 다음 순환골재에 커피박을 혼합하는 방식으로 순환골재 침출수의 pH를 저감시키고자 하였다. 또한, 마이크로웨이브(microwave)를 이용하거나 식초 용액에 침지시켜 순환골재의 수화물을 중성화시켜 파쇄값을 분석함으로써 순환골재 생산효율을 높일 수 있는지에 대해서도 연구하였다.

2. 순환골재의 종류 및 특성

본 연구에서 사용한 순환골재는 경북 및 강원 지역에서 발생한 각종 건설 폐기물(콘크리트)을 파쇄한 후 발생한 순환골재를 사용하였다. 순환골재는 사용 용도에 따라 건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률 규정에 근거 “순환골재 품질기준”(국토교통부, 2013)에서 그 기준을 제시하고 있다. 이러한 골재 품질 평가에는 입도, 소성지수 및 액성한계, 수정 CBR, 마모감량, 모래당량, 이물질함유량 등이 있다. 본 연구에서는 천연골재와의 파쇄성 차이를 비교하기 위해 KS F 2541(2002) 파쇄시험 기준에 적합한 크기인 10-13mm와 그 이상의 크기인 경우에 제시한 2 종류의 골재 크기에 대해서도 파쇄시험을 실시하였다. 골재의 물리적 특성은 Table 1과 같다.

실험에 사용한 순환골재의 비중은 2.5로 일반 천연골재 2.7보다 약간 낮은 값을 보였다. 수집된 순환골재는 다양한 모양과 크기를 가지고 있으나, Fig. 1과 같이 일반적으로 (i) 둥글거나 사각형에 가까운 형상(Type 1), (ii) 삼각형에 가까운 형상(Type 2), (iii) 폭에 비하여 길이가 긴 형상(Type 3)으로 분류할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 순환골재를 입경에 따라 Fig. 2와 같이 RSB 20(20-25mm 사이 입자)(Road subbase), RSB 13(13-20mm 사이 입자), RSB 10(10-13mm 사이 입자)으로 분류하였다. 각각의 크기에 따른 무게는 평균값으로 13, 6, 3g으

Table 1. Material properties of recycled aggregate for road subbase (RSB)

Specific gravity	Water absorption ratio	Passing 0.08 mm sieve	Mod. CBR	Abrasion loss	Sand equivalent	Optimum water content	Max. dry unit weight
2.5	6.16%	7.7%	58%	36.5%	60%	11.3%	17.68 kN/m^3

(i) Rounded or Square (ii) Triangular (iii) Elongated

Fig. 1. Shape of recycled aggregates

(i) RSB 20 (ii) RSB 13 (iii) RSB 10

Fig. 2. Size of recycled aggregates

로 나타났다. 비교적 큰 순환골재(40-75mm)는 일반적으로 수화물과 골재 두 성분으로 구성되어 있으나, 크기가 작아질수록 골재 또는 수화물 한가지로만 구성되는 경향을 보였다. 하지만, 본 연구에서는 육안으로 수화물과 골재가 모두 포함된 골재를 선별하여 실험에 사용하였다.

3. 커피박을 이용한 순환골재 pH 저감 실험

3.1 커피박

커피박은 커피 추출 후 남은 부산물로 매년 커피박의 발생량은 증가하고 있으며, 일부 사료나 비료로 사용되고 있으나 대부분 폐기되고 있다(Kim et al., 2016). 환경부에 따르면 국내 커피박 발생량은 2014년 기준 10.3만 톤 정도이며, 2015년 관세청 통계에 따르면 커피 원두 수입량은 13.8만 톤으로 발표되었다. 한편, Coffee Cube (2005)에 의하면 국내에서 버려지는 커피박은 연간 40만 톤으로 쓰레기 처리 비용만 105억 원이며, 식자재와 인건비를 포함한 경제적 손실은 250억 원에 달한다. 또한, 지구온난화의 주범인 이산화탄소 발생량도 커피박 1톤당 187kg으로 연간 7만 6,670톤이다. 이와 같이 커피박의 처리문제는 환경 및 경제적으로 상당히 중요하므로 본 연구에서는 이를 활용하여 순환골재 침출수의 pH를 낮추는 연구를 수행하였다. 커피박은 대구지역 소형 프랜차이즈 매장에서 커피 추출 후 남은 찌꺼기를 수거 후 자연 건조시켜 사용하였다. 커피박을 증류수에 혼합한 경우 pH는 5 정도로 약산성을 나타내며, 이를 순환골재 알칼리 용출수에 혼합하여 중성화시키고자 하였다. 커피박의 pH는 사용한 원두 종류나 배전(roasting) 강도에 따라 차이날 수 있으며, 일반적으로 산성을 나타내는 것으로 알려져 있다(Lee et al., 2013).

3.2 순환골재 pH 실험 결과

본 실험에서는 순환골재 중 수화물이 대부분을 차지하는 순환골재를 선별하여 사용하였다. 토양이나 폐기물에 대한 pH 측정방법은 환경부에서 고시한 “폐기물오염공정시험방법”(환경부, 2007) 또는 “토양오염공정시험기준”(환경부, 2009)에서 제시하고 있으며, 본 연구에서는 골재를 분쇄하지 않고 그대로 사용하는 영국기준인 BS EN 1744-3(2002)과 이 기준에 따라 순환골재의 pH를 측정한 Song et al.(2011)을 참조하였다. 즉, 1000ml의 증류수에 세 종류의 순환골재 100g을 넣고 24시간

동안 pH 변화를 Fig. 3과 같이 측정하였다. 본 연구에서 사용한 순환골재의 pH는 11 정도이며, 보통포틀랜드시멘트를 0.1% 섞은 경우도 pH가 11 정도였다. 1000ml의 증류수에 커피박만을 10, 30, 또는 50g을 섞은 경우, 하루 경과 시 pH는 각각 5.7, 5.4, 5.4로 나타났다. 세 종류의 순환골재와 시멘트 용액에 커피박의 용량을 증가시키면서 pH를 측정하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다. 세 종류의 순환골재에 대해 각각 세 세트씩 준비하여 pH를 측정하였다.

순환골재의 pH는 크기에 따른 차이보다는 순환골재에 붙어 있는 수화물의 양에 따라 차이를 보였다. 커피박 50g을 혼합한 경우 24시간 경과 후에는 11인 pH가 대부분 6 정도로 크게 감소하였다. 일반적으로 커피박의 함유량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 50g 이상일 경우에는 더 이상 pH가 감소하지 않고 수렴하는 것을 알 수 있었다. 따라서 순환골재 중량의 50%를 사용할 경우 최대 6 정도까지 pH를 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다. 한편, 순수 시멘트의 경우도 11.3에서 6.6 정도로 감소하는 경향을 보여 순환골재의 pH와 유사하게 크게 감소하는 것으로 나타났다.

4. 단입자 파쇄시험 및 결과

4.1 골재 처리방법

순환골재의 처리방법에 따른 파쇄성을 분석하기 위해 먼저 단입자를 대상으로 파쇄시험을 실시하여 파쇄하중을 비교 분석하였으며, 단입자 파쇄시험에는 외관상 수화물과 천연골재가 골고루 포함된 가장 큰 RSB 20 골재만을 사용하였다. 첫 번째 골재 처리방법으로 마이크로웨이브를 이용하여 순환골재를 가열시킨 다음 파쇄효율을 분석하고자 하였다. 몇몇 연구자들(Choi et al., 2014; Akbarnezhad et al., 2011; Figg, 1974, Byeon and Ahn, 2015)은 마이크로웨이브를 이용하여 순환골재의 모르타르를 제거하기 위한 연구를 수행한 바 있다. 전자레인지에는 2.45GHz의 진동수를 가진 전자기파가 사용되며, 골재 내에 있는 물분자를 가열하여 온도를 상승시키게 된다. 본 연구에서는 가정용 마이크로웨이브(Samsung, RE-C21VB, 700W)를 사용하였다.

두 번째 골재 처리방법은 pH가 2 정도인 식초 용액에 골재를 하룻동안 침지시켜 순환골재의 수화물을 pH 7 정도로 중성화시켜 파쇄성을 분석함으로써 순환골재의 생산효율을 높일 수 있는 방법에 대해 연구하였다. 기존

Fig. 3. pH testing for RSB

Table 2. pH of recycled aggregate mixed with different coffee waste

	Coffee waste (g)						
	0	10		30		50	
		1hr	24hrs	1hr	24hrs	1hr	24hrs
RSB 20 solution	10.95	10.77	9.31	7.94	7.48	6.85	6.20
RSB 13 solution	11.13	9.68	9.60	8.30	7.97	7.00	6.26
RSB 10 solution	11.38	10.05	9.49	8.97	8.33	7.24	6.30
Cement 1g solution	11.29	9.97	9.50	8.16	7.82	6.64	6.59

일부 연구자들은 염산과 같은 산성용액에 순환골재를 침지시켜 주변 모르타르를 제거하기도 하였다(Byeon and Ahn, 2015).

4.2 골재 처리방법에 따른 파쇄하중 비교

골재를 전자레인지에 넣고 기기의 과열이나 파손 방지를 위해 마이크로웨이브로 1분씩 5회 총 5분 동안 가열하였으며, 가열 후에 열화상 카메라로 외부 온도를 측정하였으며, Fig. 4와 같이 내부 온도는 최대 255℃까지 도달했다. 무처리한 순환골재를 비롯하여 마이크로웨이브를 쪼인 골재와 식초로 중성화시킨 골재를 각각 10개씩 실시하였으며, 각각의 단입자 파쇄시험에서 최대하중은 Table 3과 같다. 단입자 순환골재의 파쇄 사이클은 '표면파쇄', '수화물파쇄', 그리고 최대하중을 나타내는 '골재파쇄'의 3단계로 이루어지며, 이러한 사이클이 한 번 또는 여러 번 반복된다(Park et al., 2016). 여기서, 최대하중이란 첫번째 파쇄사이클의 골재파쇄에 해당하는 하중이다. 처리방법이 각기 다른 세 종류의 골재 중 최대하중이 최대인 경우에 해당하는 하중 변위 곡선은 Fig. 5와 같으며, 최대하중을 동그라미로 표시하였다. 무처리한 골재의 최대하중은 2.4-7.5kN이고, 마이크로웨이브를 쪼이거나 중성화시킨 순환골재는 각각 2.1-5.9, 1.6-4.5kN 사이 값을 보였다. 이것은 마이크로웨이브로

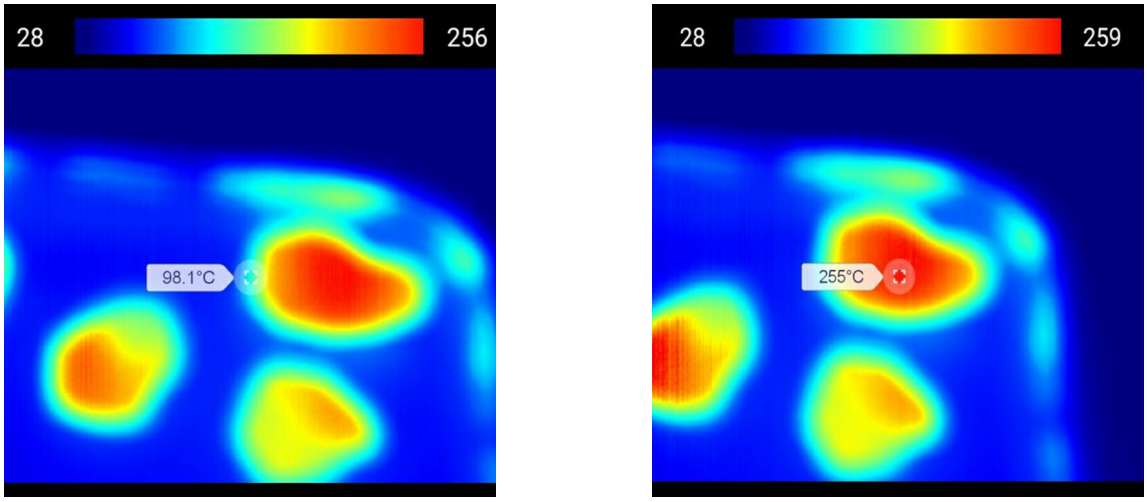


Fig. 4. Measured temperature of microwaved aggregates

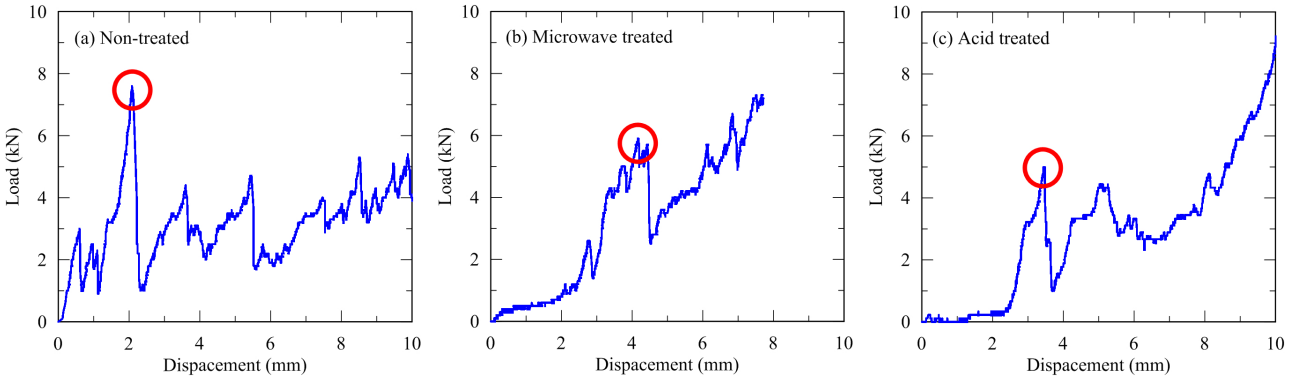


Fig. 5. Load-displacement curves

Table 3. Result of crushing tests

Aggregate type	Cases										Avg.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Non-treated	5.4	2.4	2.5	**7.5**	2.7	4.5	2.9	2.8	4.5	4.9	4.0
Microwave treated	**5.9**	3.2	3.0	4.1	5.7	4.5	2.6	2.1	3.1	2.6	3.7
Acid treated	3.0	1.9	3.5	4.5	**5.0**	2.4	1.9	2.0	1.6	2.3	2.8

인한 골재의 열화현상과 중성화로 인한 강도 저하로 판단된다. 평균값을 기준으로 마이크로웨이브로 가열한 골재의 경우 무처리한 경우보다 8% 정도 낮은 하중을 보였으며, 식초로 중성화시킨 골재는 25% 정도 낮은 값을 보였다.

4.3 골재 모양에 따른 파쇄하중 비교

골재 모양이 사각형이나 둥근 모양(Type 1), 삼각형 모양(Type 2), 긴 모양(Type 3)으로 분류한 다음 각각에 대하여 단입자 파쇄시험을 실시하였으며, 파쇄시험 모습은 Fig. 6과 같다. 하중 작용시, Type 1 골재는 둥글거나 편평한 부분이 가압판에 쉽게 밀착되는 형태를 보였다. Type 2 골재는 삼각형 꼭지점 부분이 가압판에 빨리 닿으면서 하중이 작용하고 꼭지점의 반대면은 가압판과 밀착되지 않고 일부 떠 있는 부분도 있었다. Type 3 골재는 폭에 비하여 길이가 길어 상, 하부면이 불규칙하게 휘어져있거나 구부러져 있어서 가압면에 밀착되지 않고 떠 있는 공간이 많았다. 골재 모양에 따른 파쇄하중은 2-7kN 사이로 골재 모양에 따른 차이보다는 수화물과 천연골재의 함유량에 따라 차이가 나는 것으로 판단된다. 즉, 순환골재 속에 함유된 천연골재의 입경이 클수록 높은 하중을 발휘하였다.

5. 순환골재 파쇄성 실험 및 결과

골재 모양에 관계없이 골재 크기에 따라 분류한 세 종류(RSB 10, RSB 13, RSB 20)의 골재를 대상으로 4장에서 실시한 순환골재 처리방법을 동일하게 적용한 다음 파쇄시험을 실시하였다. 즉, 물리적인 방법이 아닌 마이크로웨이브를 이용하여 가열하는 방법과 수화물을 중성화시키는 방법으로 골재를 처리한 다음 파쇄시험을 실시하여 순환골재 파쇄성을 비교 분석하였다. 단, 파쇄시험에 필요한 많은 양의 골재(공시체 높이가 100mm인 경우 1회에 RSB 13 골재 약 420개 필요)를 모양에 따라 분류하는 것이 어려워 순환골재의 모양에 따른 파쇄특성은 고려하지 않았다. 골재 파쇄시험 과정 및 파쇄값 비교는 다음과 같다. 정적인 압축하중으로 인한 굵은 골재의 저항성을 평가하기 위한 굵은골재의 파쇄시험(KS F 2541)에서는 13mm체를 통과하고 10mm체에 잔류하는 시료를 준비한다. 준비한 시료는 파쇄시험기에 놓고 3층 25회로 봉다짐 한 후 재하시험기에서 10분 동안 400kN에 이를 때까지 재하하여 파쇄한다. 파쇄된 시료는 식 (1)과 같이 2.5mm체 통과 백분율로 표시되는 골재 파쇄값(ACV, Aggregate Crushing Value)을 사용하여 파쇄로 인한 입자 크기 변화를 표시하고 있다.

$$\text{골재 파쇄값}(\%) = \frac{\text{2.5mm체를 통과한 세립의 질량(g)}}{\text{표면 건조 포화 상태의 시료의 질량(g)}} \times 100 \quad (1)$$

5.1 골재 처리방법에 따른 파쇄성 비교

순환골재의 파쇄성 비교를 위해 비중 2.7인 RSB 20

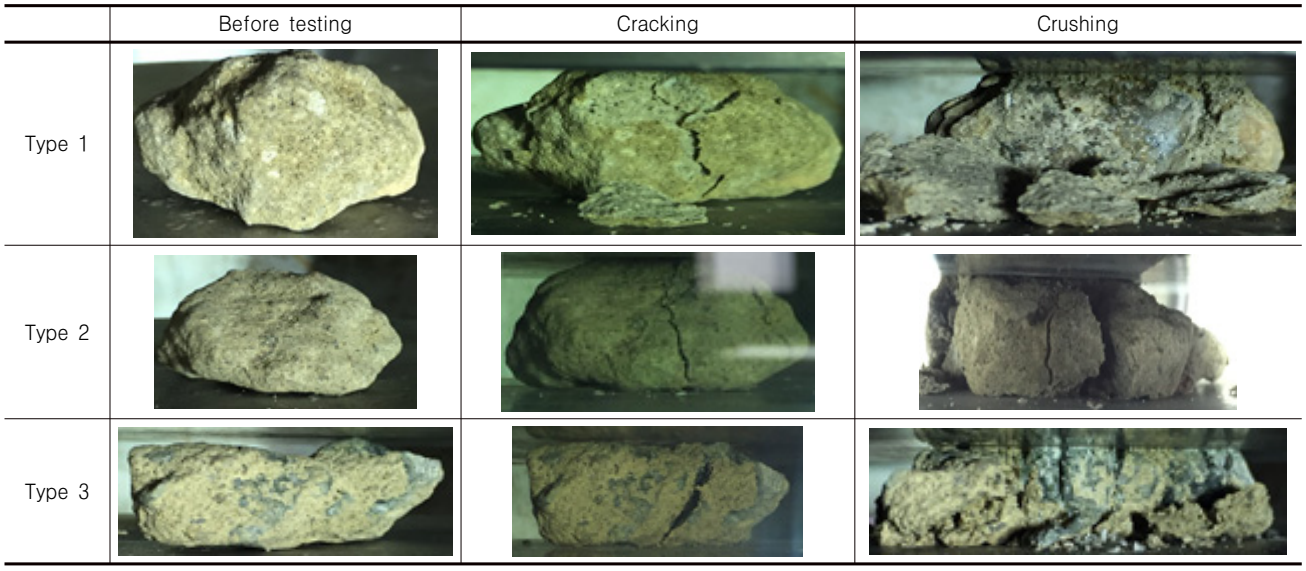
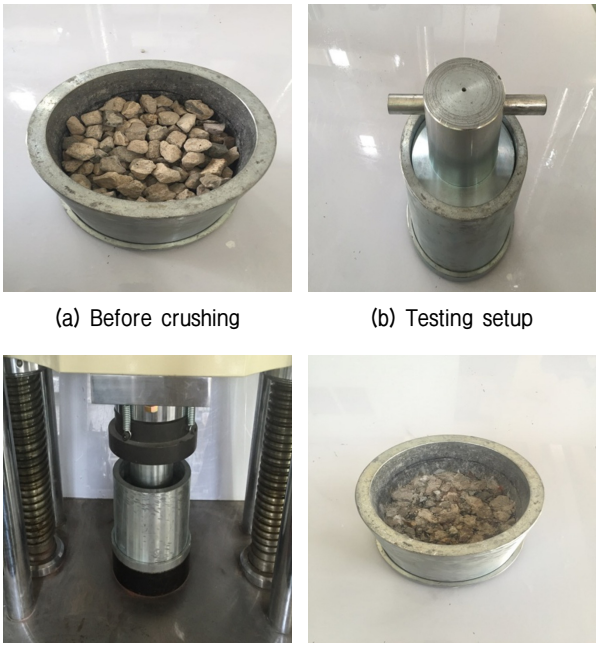


Fig. 6. Photos of particle crushing test

크기에 해당하는 천연골재도 사용하였다. 무처리한 골재, 마이크로웨이브를 쪼인 골재, 식초로 중성화시킨 순환골재로 나누어서 파쇄성을 비교하였다. 파쇄시험 과정은 Fig. 7과 같으며, 그림 (a)는 안지름 15.5cm, 높이 14cm인 몰드에 골재를 10cm 높이까지 채워 넣은 모습, (b)는 상부에 플런저를 올려 놓은 모습, (c)는 1000kN UTM에 재하하는 모습, (d)는 재하 후의 골재가 파쇄된 모습이다. 세 종류로 처리방법이 다른 골재에 대한 하중-변위 곡선은 Fig. 8과 같다. 하중이 증가함에 따라 변형률은 점점 감소하는 경향을 보이며, 400kN에 도달했을 때 파쇄로 인한 변위는 무처리한 경우, 마이크로웨이브를 쪼인 경우, 중성화시킨 경우로 변위가 크게 발생하였다. 단입자실험의 경우와 같이 마이크로웨이브를 쪼이거나 중성화시킬 경우 수화물의 강도가 약해지면서 입자 파쇄가 더 많이 발생하고 이로 인해 변위도 더 증가하는 것으로 판단된다.



(a) Before crushing (b) Testing setup

(c) During testing (d) After crushing

Fig. 7. Photos of aggregate crushing test

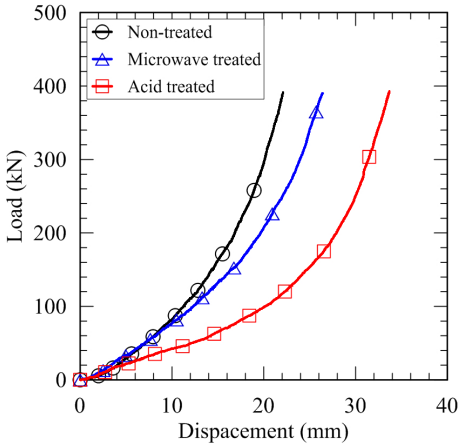


Fig. 8. Load-displacement curves

Table 4는 골재 처리방법에 따른 골재 파쇄값(ACV)의 차이를 세 종류의 순환골재에 대해 비교하고 있다. 순환골재의 처리방법에 따른 차이는 무처리한 경우를 기준으로 마이크로웨이브로 가열한 경우 파쇄값이 평균 3.3% 증가하였으며, 중성화시킨 경우에는 평균 6.2% 증가하였다. 따라서, 중성화시키는 방법이 순환골재의 파쇄효율을 더 높일 수 있을 것으로 판단된다. 순환골재의 처리방법에 관계없이 골재 크기가 작아질수록 Fig. 9와 같이 파쇄성은 감소하는 경향을 보였다. 이는 순환골재 크기가 작아질수록 수화물의 함유량이 감소하여 파쇄성이 낮아진 것으로 판단된다. 천연골재와 순환골재를 비교할 경우, RSB 20과 같은 크기의 천연골재는 파쇄값이 평균 23%로 순환골재보다 7% 정도 낮았으며, 처리방법에 따른 차이는 크게 나타나지 않았다.

5.2 공시체 높이에 따른 파쇄성 비교

도로 현장에서 순환골재를 포설하고 층다짐 시 골재

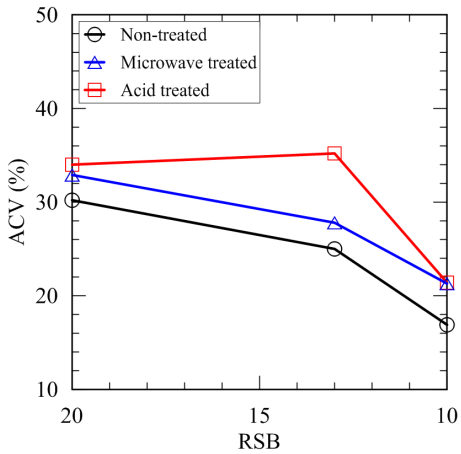


Fig. 9. Comparison of ACV values for different RSB

Table 4. Result of ACV for different treatment methods

	Treatment method		
	Non-treated	Microwave treated	Acid treated
RSB 20	30.2	32.9	34.0
RSB 13	25.0	27.8	35.2
RSB 10	16.9	21.3	21.4
Average	24.0	27.3	30.2

Table 5. Result of ACV for different testing methods

	Specimen height (mm)			
	100		120	
	Continuous loading	Step loading	Continuous loading	Step loading
RSB 20	30.2	33.2	34.6	31.1
RSB 13	25.0	29.9	29.1	27.0
RSB 10	16.9	30.2	27.2	27.8
Average	24.0	31.1	30.3	28.6

포설 높이는 매번 일정하지 않고 변할 수 있다. 이를 고려하여 파쇄시험에서 시료 높이에 따른 파쇄값의 변화나 영향을 분석하고자 하였다. 본 연구에서는 100mm 보다 높게 부설되는 경우에 대해 120mm로 가정하여 파쇄시험을 실시하고 파쇄값을 Table 5에 비교하였다. 또한 현장에서 다짐 시 장비투입의 불연속성을 고려하여 표준시험방법에서 제시한 10분 동안 400kN을 연속적으로 재하하는 방식 이외에 2.5분에 100kN씩 4단계로 걸쳐 재하한 경우 파쇄값의 변화를 Table 5에 비교 분석하였다. 연속재하의 경우 시료 높이가 20mm 높아지면서 몰드 내에 포함되는 순환골재의 양이 증가하고 천연골재에 비해 상대적으로 강도가 낮아 파쇄되는 골재의 양도 증가하면서 파쇄값이 증가한 것으로 판단된다. 시료 높이가 100mm인 경우 단계적으로 재하한 경우 파쇄값이 더 높았으나, 120mm인 경우에는 단계재하의 경우가 오히려 반대로 파쇄값이 낮았다. 시료 높이가 높아지면 플런저 부위에 파쇄된 골재로 인해 하중이 내부의 골재로 전달되는 정도가 떨어지기 때문으로 판단된다.

6. 결 론

본 연구에서는 폐콘크리트를 파쇄 처리하여 생산된 순환골재의 크기를 세 종류(10-13mm, 13-20mm, 20-25mm)로 나눈 다음, 커피박을 이용한 순환골재의 pH 저감 방법과 물리적인 방법(파쇄 및 분쇄)이 아닌 열처리 및 화학적 처리방법을 이용한 순환골재의 파쇄 효과에 대해 연구하였다.

(1) 순환골재 침출수의 pH는 크기에 관계없이 약 11 정도로 일정하였으며, 이를 1000ml 증류수에 넣고 pH가 약 5 정도인 커피박을 10, 30, 50g 혼합하여 시간에 따른 pH 변화를 측정하였다. 24시간 후에 커피박을 50g 넣은 경우 pH가 6 정도까지 떨어지며 pH 저감에 상당한 효과가 있음을 알 수 있었다. 그리고, 순환골재를 각종 토사 뒤채움재로 사용할 경우, 배수구 주변 필터재로 커피박을 활용한다면 침출수의 pH를 상당히 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

(2) 단입자 파쇄시험의 경우 순환골재에 마이크로웨이브를 쪼여 가열하거나, 식초로 중성화시킨 경우 무처리한 경우보다 최대하중이 평균 8% 및 25% 정도 낮았다. 본 연구에서 사용한 마이크로웨이브 조사 및 중성화방법을 폐콘크리트의 파쇄과정에 적용할 경우 순환골재 생산효율을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

(3) 순환골재의 파쇄시험에서 처리방법에 따른 차이는 무처리한 경우를 기준으로 마이크로웨이브로 가열한 경우 파쇄값이 평균 3.3% 증가하였으며, 중성화시킨 경우에는 평균 6.2% 증가하였다. 순환골재의 처리방법에 관계없이 골재 크기가 작아질수록 파쇄성은 감소하는 경향을 보였다.

(4) 순환골재의 파쇄시험에서 공시체 높이가 증가함에 따라 파쇄값은 증가하는 경향을 보이며, 하중을 단계적으로 가할 경우 파쇄값은 더 증가하는 경향을 보였다.

감사의 글

본 연구는 경북대학교에서 시행한 2012년도 학술연구비에 의해 수행되었으며, 일부는 국토교통부가 주관하고 국토교통과학기술진흥원이 시행하는 2012년도 국토교통기술지역특성화사업(15CRTI-B063773-04)의 지원을 받아 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌 (References)

1. Akbarnezhad, A., Ong, K. C. G., Zhang, M. H., Tim C. T., and Foo, T. W. J. (2011), “Microwave-assisted beneficiation of recycled concrete aggregate”, *Construction and Building Materials*, Vol.25, pp.3469-3479.
2. BS EN 1744-3 (2002), Tests for chemical properties of aggregates - Preparation of eluates by leaching of aggregates.
3. Byeon, M. W. and Ahn, J. H. (2015), “Determination of adhered mortar content of recycled aggregate using microwave irradiation and mixed solution of HCL and H_2O_2”, *Journal of Korean Society of Waste Management*, Vol.32, No.6, pp.566-573.
4. Choi, H. S., Kitagaki, R., and Noguchi, T. (2014), “Effective recycling of surface modification aggregate using microwave heating”, *Journal of Advanced Concrete Technology*, Vol.12, pp.34-45.

5. Coffee Cube (2005), www.coffeecube.co.kr.
6. Figg, J. (1974), "Microwave heating in concrete analysis", *Journal of Applied Chemistry and Biotechnology*, Vol.24, pp.143-145.
7. Kang, S. C., Kim, G. H., Wi, J. H., Ahn, T. B., Lee, D. S., and Choi, H. S. (2015), "Effect of particle breakage on compaction and thermal resistivity of concrete-based recycled aggregates", *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol.31, No.10, pp.17-28.
8. Kim, B. G., Park, N. Y., and Lee, S. H. (2016), "Quality characteristics and antioxidative activity of muffins added with coffee ground residue water extract and powder", *Journal of Korean Society of Food Science and Nutrition*, Vol.45, No.1, pp.76-83.
9. Kim, J. H. (2016), "*Study on the pH of Recycle Aggregates*", Master Thesis, Kumoh National Institute of Technology.
10. Kim, Y. J. (2014), "*Quality assessment of recycled aggregate concrete using microscopic studies*", Ph.D thesis, Hanyang Univeristy.
11. KS F 2541 (2002), Testing method for determination of aggregates crushing value.
12. Kwon, J. H., Kim, S. W., and Park, B. S. (2013), "Study on the reinforced retaining wall using the backfill of recycled aggregate", *Journal of Korean Society of Environmental Technology*, Vol.14, No.2, pp.128-134.
13. Lee, W. K., Choi, J. O., and Jung, Y. W. (2015), "Effect of the amount of attached mortar of recycled aggregates on the properties of concrete", *Journal of Korean Recycled Construction Resources Institute*, Vol.3, No.2, pp.132-139.
14. Lee, J., Lee, B. C., Cho, Y. G., and Jung, S. H. (2016), "Chloride diffusivity of concrete using recycled aggregate by strength levels", *Journal of the Korea Institute of Structural Maintenance and Inspection*, Vol.20, No.2, pp.102-109.
15. Lee, J. C., Song, T. H., Lee, S. H., and Kim, J. B. (2011), "A study on the optimization of recycled aggregate alkalinity reducing facility in the field", *Journal of Korean Recycled Construction Resources Institute*, Vol.6, No.3, pp.53-60.
16. Lee, M. J., Kim, S. E., Kim, J. H., Lee, S. W., and Yeum, D. M. (2013), "A study of coffee bean characteristics and coffee flavors in relation to roasting", *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition,* Vol.42, No.2, pp.255-261.
17. Ministry of environment (2007), Testing methods for waste pollution.
18. Ministry of environment (2009), Testing methods for soil pollution.
19. Ministry of Land, Infrastructrue and Transport (2013), Quality Standards for Recycled Aggregates.
20. Noguchi, T. (2015), Life cycle perspective of concrete recylcling.
21. Park, J. W. (2014), "*Physical Characteristics of Concrete using Acid Treatment Recycled Aggregate*", Master Thesis, Hanyang University.
22. Park, S. S., Kim, S. J., and Moon, H. D. (2016), "Crushing Characteristics of Single Particle of Recycled Aggregate produced by Wasted Concrete", *Journal of the Korean Geotechnical Society* (accepted).
23. Park, B. S., Sim, D. S., Lee, H. K., and Jung, G. S. (2011), "Installation resistance test for the rainforecd materials with compaction of recycled aggregate", *Proc. of Korean Society of Hazard Mitigation*.
24. Shin, J. L., Kim, W. S., Baek, S. M., Kang, H. K., and Kwak, Y. K. (2015), "Structural performance evaluation of steel fiber-reinforced concrete beams with recycled coarse aggregates", *Journal of the Korea concrete institute,* Vol.27, No.3, pp.215-227.
25. Song, T. H., Lee, J. C., and Lee, S. H. (2011), "A study on the pH characteristic of recycle aggregate according to test methods and elapsed time", *Journal of Korean Recycled Construction Resources Institute*, Vol.6, No.3, pp.61-68.
26. Wi, J. H., Hong, S. Y., Lee, D. S., Park, S.W., and Choi, H. S. (2011), "Evaluation of compaction and thermal characteristics of recycled aggregates for backfilling power transmission pipelines", *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol.27, No.7, pp. 17-33.

Received : August 1st, 2016
Revised : October 11th, 2016
Accepted : October 13th, 2016