

고속회전형 마쇄기술을 통한 순환골재 품질향상에 관한 연구

A Study on the Quality Improvement of Recycled Coarse Aggregate by High Speed Rotating Grinder

이기원¹ · 여운호^{2*}

Ki-Won Lee¹ · Woon-Ho Yeo^{2*}

(Received October 11, 2019 / Revised December 11, 2019 / Accepted December 11, 2019)

In this study, we analyzed the problems of existing construction waste shredding technology to diagnose the problems of low quality recycled aggregates and to develop a new mortar peeling technique to produce high-quality recycled coarse aggregate for concrete. The purpose of this study is to verify the effectiveness of mortar peeling technique by doing simulation prior to on-site application and to check the quality properties of recycled coarse aggregate produced by applying a mortar peeling technique. We manufactured and installed High speed Rotating Grinder on-site and analyzed the correlation between mortar adhesion amount, dry density and water absorption rate of recycled coarse aggregate.

키워드 : 순환굵은골재, 콘크리트, 모르타르, 마쇄

Keywords : Recycled coarse aggregate, Concrete, Mortar, Grinding

1. 서론

건설폐기물은 도로확장공사, 재건축 및 재개발시 노후된 구조물의 철거로부터 발생되며 이에 따라 폐기물의 처리와 관련된 환경문제와 자원의 고갈 및 재활용 측면에서 국가적 자원낭비가 발생한다. 한국환경공단의 전국폐기물 발생 및 처리현황에 의하면 전체 폐기물 중 건설폐기물이 차지하는 비율은 약 48%이며, 매년 증가하는 추세이다. 또한 건설폐기물 처리방법은 Fig. 1에 따르면 재활용이 약 98%, 매립과 소각은 약 2% 정도이다(Korea Environment Corporation, 2018). 따라서 건설폐기물의 대부분은 순환골재 품질기준의 용도에 맞게 재활용되고 있으며, 이러한 적극적인 재활용은 폐기물로 인한 환경문제와 천연골재 고갈에 따른 자원문제를 해결할 수 있는 선순환적인 해결방안이라 할 수 있다.

순환골재는 건축물의 해체 등 건설공사에서 발생하는 폐콘크리트의 파·분쇄과정과 분리·선별과정 등을 통하여 건설공사에 사용할 수 있는 일정 품질 이상의 골재로 재생산한 것을 의미한다.

* Corresponding author E-mail: whyeo@inu.ac.kr

¹인천대학교 건설환경공학과 박사과정 (Department of Civil and Environmental Engineering, Incheon National University, Doctor's Course, Incheon, 22012, Korea)

²인천대학교 환경에너지공학과 교수 (Department of Energy and Chemical Engineering, Incheon National University, Professor, Incheon, 22012, Korea)

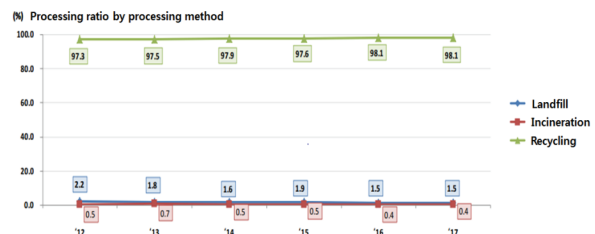


Fig. 1. Processing ratio change by processing method

특히 콘크리트용 순환골재를 생산하기 위해서는 파분쇄되고 이물질이 선별된 골재의 모르타르를 제거하여 흡수율을 낮추고 밀도를 증가시키기 위해 4차 이상의 파·분쇄과정을 통해 골재에 부착된 모르타르를 박리한다. 하지만 순환골재는 충격 및 타격식의 생산 방식 때문에 순환골재 표면으로부터 부착 모르타르를 완전히 제거하기란 매우 어려운 뿐만 아니라 충격으로 인해 골재 표면과 내부에 미세균열이 발생될 수 있다. 이러한 내부균열은 골재의 내구성 저하 및 흡수율 증가라는 결과를 초래할 수 있다. 이러한 순환골재

의 특성이 순환콘크리트에 영향을 미쳐 천연골재를 사용한 콘크리트보다 단기적/장기적 품질 및 내구성능이 저하될 수 있다(Choi et al, 2010).

따라서 본 연구에서는 순환골재에 내부균열과 같은 골재의 손상을 최소화하면서 부착되어 있는 모르타르를 효과적으로 제거할 수 있는 고속회전형 마쇄기술을 개발하여 건설폐기물 중간처리현장에 적용하여, 해당 회전형 마쇄기술의 우수성과 생산된 콘크리트용 순환골재의 품질특성을 시험을 통해 검토하였다.

2. 고속회전형 마쇄기술 개발

골재를 파·분쇄하는 힘의 전달에는 크게 힘의 종류와 힘의 지속시간으로 구분할 수 있는데 힘의 종류는 압축, 충격, 전단력등이 존재하며 힘의 속도는 골재가 힘을 받게 되는 시간으로 결정된다. 건설폐기물을 처리하여 콘크리트용 순환골재를 만들기 위해 사용되는 대표적인 파·분쇄 설비는 조크러셔, 콘크러셔, 임팩트 크러셔, 롤크러셔, 볼밀, 로드밀등이 있으며, 그 작용 메카니즘에 따라 생산되는 골재의 입형 및 품질이 달라지므로 선택에 주의를 기울여야 한다.

본 기술은 상위 처리공정에서 40mm 이하로 파쇄된 순환골재를 드럼 내부로 투입하여 고속회전하는 해머블레이드와 드럼내부 라이너 사이에서의 마쇄작용을 유도하여, 순환골재의 표면에 부착된 모르타르를 효과적으로 제거하도록 고안되었다.

2.1 마쇄기술의 해석 모델링

본 해석 모델링은 회전형 마쇄기의 내부 운동상태를 육안으로 확인할 수가 없으므로, Multibody Dynamics(다물체 동역학) 해석 기법을 적용하여 회전형 마쇄기 내부의 운동상태를 확인하고, 그 성능을 예측하는데 목적이 있다. 본 해석에 사용된 회전형 마쇄기의 3D Model은 다음과 같다.

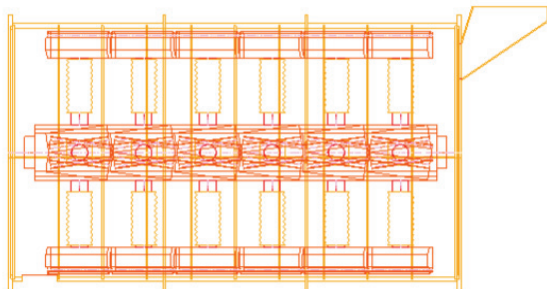


Fig. 2. Perspective plan of model

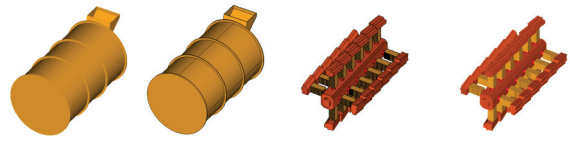


Fig. 3. 3D Modelling

본 연구에서는 다물체 동역학 해석을 위해 순환 기구학적 방정식을 사용하였다. 3차원 공간에 접촉하고 있는 두 강체 사이의 좌표 시스템은 Fig. 4에서 볼 수 있다. 두 강체는 조인트(Joint)에 의해 연결되어 있고 j 강체에 외력 F 가 작용한다. X-Y-Z 는 절대좌표계이고 x'-y'-z'은 절대좌표계에서의 강체 좌표계이다. 절대좌표계에서 강체 좌표계의 원점에 대한 속도와 가상 변위는 각각 다음과 같이 정의된다.

$$[\dot{r} \ w]^T \tag{1}$$

$$[\delta r \ \delta \pi]^T \tag{2}$$

강체 좌표계에서 크기는 각각 다음과 같이 정의된다.

$$Y = \begin{bmatrix} \dot{r} \\ w \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} A^T \dot{r} \\ A^T w \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$\delta Z = \begin{bmatrix} \delta r \\ \delta \pi \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} A^T \delta r \\ A^T \delta \pi \end{bmatrix} \tag{4}$$

여기서 A는 절대좌표계에서 강체에 부착된 좌표 행렬이다.

접해있는 강체 사이의 순환(Recursive) 속도 방정식은 다음과 같이 정의 된다.

$$Y_j = B_{ij}^1 Y_i + B_{ij}^2 \dot{q}_{ij} \tag{5}$$

여기서 Y는 식 (2)에서 정의된 병진과 회전이 결합된 속도이고 B_{ij}¹ 와 B_{ij}² 는 다음과 같다.

$$B_{ij}^1 = \begin{bmatrix} A_{ij}^T & 0 \\ 0 & A_{ij}^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I & -(\tilde{S}_{ij} + \tilde{d}_{ij} - A_{ij} \tilde{S}_{ji}^T A_{ij}^T) \\ 0 & I \end{bmatrix} \tag{6}$$

$$B_{ij}^2 = \begin{bmatrix} A_{ij}^T & 0 \\ 0 & A_{ij}^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I & (\dot{d}_{ij})_{q_{ij}} - A_{ij} \tilde{S}_{ji}^T A_{ij}^T H_{ij}' \\ 0 & I \end{bmatrix} \tag{7}$$

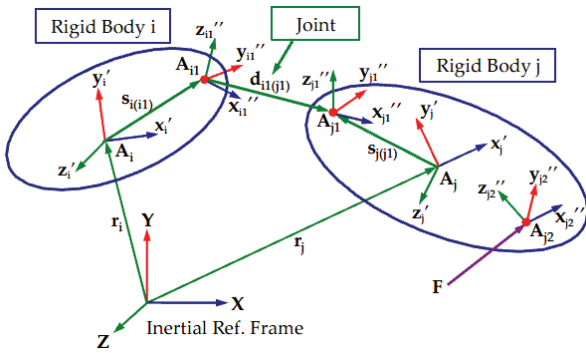


Fig. 4. Two contiguous rigid bodies

행렬 B_{ij}^1 와 B_{ij}^2 는 단지 q_{ij} 의 함수라는 것은 중요한 사실이다. 비슷하게 순환 가상 변위 관계도 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\delta Z_j = B_{ij}^1 \delta Z_i + B_{ij}^2 \delta q_{ij} \quad (8)$$

만약 식 (1)의 순환 기구학적 방정식이 모든 조인트에 적용이 된다면 직교 좌표계와 상대 좌표 사이의 속도 관계는 다음과 같이 정의된다.

$$Y = B \dot{q} \quad (9)$$

여기서 B는 \dot{q}_{ij} 의 계수들의 집합이다.

$$Y = [Y_o^T, Y_1^T, Y_2^T, \dots, Y_n^T]_{nc \times 1}^T \quad (10)$$

$$\dot{q} = [\dot{q}_o^T, \dot{q}_{01}^T, \dot{q}_{12}^T, \dots, \dot{q}_{(n-1)n}^T]_{nr \times 1}^T \quad (11)$$

여기서 nc와 nr은 각각 절대 좌표계와 상대 좌표계에서 정의된 일반 좌표의 개수이다. $\dot{q} \in R^{nr}$ 의 주어진 $Y \in R^{nc}$ 는 식 (3) 또는 식 (6)을 이용해서 구할 수 있다. 또한 R^{nc} 에 속해 있는 G 벡터는 R^{nr} 의 새로운 벡터 $g = B^T G$ 로 변환이 자주 필요하게 되었다.

이런 변환은 직교 좌표계에서 정의된 힘들을 조인트 부위에서 얻을 수 있는 일반화된 힘으로 계산할 수 있게 한다. 직교 좌표계에서 정의된 힘 $Q \in R^{nc}$ 이 행한 가상일은 다음과 같이 정의된다.

$$\delta W = \delta Z^T Q \quad (12)$$

여기서, δZ 는 시스템의 모든 조인트에 대해서 기구학적으로

정의 될 수 있어야 한다. $\delta Z = B \delta q$ 로 변환하여 식 (8)에 대입하면 식 (13)으로 유도된다.

$$\delta W = \delta q^T B^T Q = \delta q^T Q^* \quad (13)$$

여기서, $Q^* \equiv B^T Q$ 이다.

구속조건이 주어진 시스템의 운동방정식은 다음과 같다.

$$F = B^T (M \dot{Y} + \Phi_z^T \lambda - Q) = 0 \quad (14)$$

여기서, λ 는 라그랑지 멀티플라이어(Lagrange Multiplier) 이며, Φ 는 위치 수준 구속 벡터이다. M와 Q는 각각 직교 좌표계에서 접촉력이 포함된 질량 행렬과 힘 벡터이다.

2.2 해석결과

이 시뮬레이션은 각각의 세분화 된 입자들의 기구학적인 힘을 결정한다. 각각의 입자에 작용하는 모든 힘들은 모든 시간간격 (Time Step)에서 계산되고 모델링 된다. 대부분의 다물체 동역학 솔버에서는 음해법(implicit) 적분기를 사용하지만 이산요소법은 양해법(explicit) 적분기를 사용한다. 그 이유는 다물체 동역학에서는 상태 변수가 저주파의 형태로 나타나기 때문에 음해법 적분기의 장점인 큰 시간간격을 사용할 수 있지만 이산요소법 솔버는 상태변수가 고주파 형태로 나타나기 때문에 음해법의 장점을 이용하기 어렵다. 따라서 일반적으로 정밀도(Accuracy) 관점에서 양해법 적분기를 사용한다. 입자들의 운동은 다음의 방정식을 따르는 뉴턴의 운동법칙에 의해 업데이트 된다.

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\sum F}{m} \quad (15)$$

$$\frac{dw}{dt} = \frac{\sum M}{I} \quad (16)$$

여기서 V 는 입자속도, F 는 입자에 작용하는 힘의 합, m 은 입자의 질량, w 는 각속도, M 은 모멘트, I 는 관성모멘트이다.

두 입자들간의 접촉력(Contact Force)을 계산하기 위해서는 먼저 두 입자들간의 접촉 검색(Contact Search)을 하여야 한다. 입자는 구(Sphere)의 형태를 가지고 있기 때문에 두 입자들간의 접촉 유무의 판단은 매우 간단하다. 두 입자간의 접촉 유무는 다음 식 (17)과 같이 정의 된다.

$$\delta = (r_i + r_j) - |d_{ij}| \quad (17)$$

여기서 d_{ij} 는 i 와 j 입자간의 거리이며 r_i 와 r_j 는 i 와 j 입자의 반지름이다. 만약 $\delta \geq 0$ 이면 i 와 j 입자는 서로 접촉하고 있는 것이며 $\delta < 0$ 이면 두 입자는 접촉하고 있지 않는다. $\delta \geq 0$ 이 때의 δ 를 투과 깊이(Penetration Depth) 라 하며 δ 에 따라 접촉력이 달라진다. 식 (17)에서 정의된 δ 의 크기를 기준으로 시스템에 있는 모든 입자들에 대해서 접촉검색을 하고 그에 따른 접촉 쌍을 찾는다. 수 많은 입자가 포함된 다물체 동역학에서는 접촉 검색을 하는 것이 많은 시간이 소요되기 때문에 이를 빨리 하는 것이 전체 해석 시간을 줄이는 데에 많은 도움이 된다. 따라서 입자들간의 접촉검색을 빨리 하기 위해 Cell-Linked List를 적용하였다. Cell-Linked List는 전체 공간에 대해 작은 크기의 셀(cell)로 나눈다. 그리고 모든 입자의 위치에 따라 셀을 할당 한다. 한 입자에 대해 이웃하고 있는 셀(2차원 8개, 3차원 26개)의 내부에 있는 입자들만 접촉 검색을 한다. 요약하면 모든 입자는 임의의 셀에 포함되고 이웃하고 있는 셀에 대해서만 접촉하는 입자를 찾는다. 아래의 Fig. 5는 Cell-Linked List의 알고리즘이 적용되지 않은 것(좌)과 적용된(우) 것을 비교해 놓은 그림이다.

Cell-Linked List 가 적용되지 않으면 Fig. 5의 왼쪽처럼 1개의 입자는 23개의 입자에 대해 접촉 검색을 해야 하지만 Cell-Linked List 가 적용된 오른쪽 그림은 1개의 입자에 대해 12개의 입자만 접촉 검색을 하면 되기 때문에 접촉 검색을 Cell-Linked List 가 적용되지 않은 알고리즘에 비해 검색 시간이 적게 걸린다.

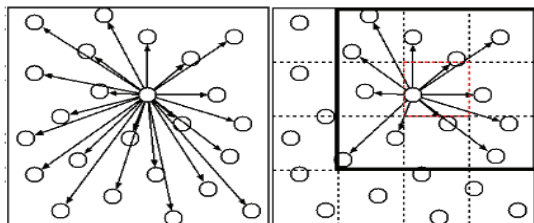


Fig. 5. Cell-linked list

위의 식 (17)과 Cell-Linked List 알고리즘을 이용하여 입자들의 접촉 쌍을 검색하고 각각 접촉하고 있는 입자들의 δ 를 이용해서 접촉력을 계산한다. 두 입자 간의 접촉력을 계산하기 위해서 Hertzian 접촉모델과 Voigt 접촉모델을 적용하였다. Fig. 6과 Fig. 7은 Voigt 모델의 수직 접촉력(Normal Contact Force) 과 전단 접촉력(Tangential Contact Force) 의 개념도 이다.

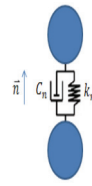


Fig. 6. Normal contact

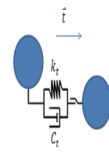


Fig. 7. Tangential contact

그리고 각각의 수직 접촉력 F_n , 전단 접촉력 F_t 는 다음의 방정식 (18)과 (19)를 이용해 계산할 수 있다.

$$F_{n,ij} = k_n |\delta|^{1.5} n_{ij} + c_n u_{n,ij} |\delta|^{0.25} \quad (18)$$

$$F_{t,ij} = \min[k_t |\delta|^{1.5} t_{ij} + c_t u_{t,ij} |\delta|^{0.25}, \mu_f |F_n| t_{ij}] \quad (19)$$

여기서 k 와 c 는 각각 스프링 상수와 감쇠 상수이다. n_{ij} 와 t_{ij} 는 i 번째 입자에서 j 번째의 입자방향과 수직 및 접선 방향의 단위 벡터이다. δ 와 u 는 두 입자간의 접촉과 상대 속도에 의한 변형이다. 강체에 작용하는 힘은 강체와 접촉하고 있는 입자들 간의 힘의 합으로 구할 수 있다.

2.2.1 회전체 모델링 구성

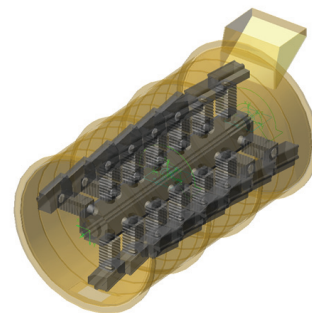


Fig. 8. Modelling a body of revolution

Fig. 8의 모델은 각각 250r/min으로 회전한다. 이를 초단위로 계산해 보면 4.17r/s이다. 이를 joint 로 연결하여 실제 회전이 가능한 모델링을 하였다. 강체동역학적 해석 방법으로 해석하였을 경우, 순환골재와 같은 비중으로 모델링된 구 모델의 이송에 대해 시각적으로 확인해 보았다. 구 끼리는 서로 뭉쳐지기도 하고 흩어질 수도 있으므로 여기서는 서로 contact(접촉) 조건을 부여하지 않았고, 구는 회전체 모델에 contact 조건을 적용하였다. 해석 모델은 상하 Y 축방향을 기준으로 $-1g(9.80665m/s^2)$ 를 적용하였다. 다음 Fig. 9와 같다.

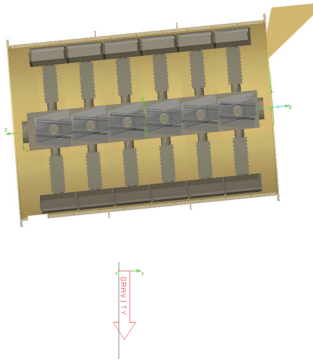


Fig. 9. Simulation model for multibody dynamics

모델링은 하나의 축으로 joint를 설정하여 위에서 계산된 r/min을 적용하였다. 본 해석은 RECURDYN V8R1을 사용하여 해석하였다.

2.2.2 강제동역학적 해석 결과

강제동역학적 해석을 통해 실제 박리기에서 회전에 의한 타격력을 확인해 보았다. 크기 약 25mm 정도의 순환골재가 약 100g 수준으로 가정하였을 경우 실제 박리기의 회전속도를 변환해보면 26.2rad/s로 변환된다. 같은 위치에 같은 비중을 갖는 동일한 개수의 구를 모델링하여 양쪽에 같이 모델링하였다. 하지만 순환골재의 투입량과 투입속도 그리고 타격 되는 부위, 위치에 따라 타격하중은 달라진다.

이송되는 시간(x)에 어떤 하중으로 타격이 되는가를 확인해보았다. Fig. 10에서 보여주는 것처럼 최초 1회 타격시 약 4800N 수준이며 2회 타격시, 2100N 수준으로 확인되었으며 투입구부터 배출구까지 연속적으로 수회에 걸쳐 타격 및 마쇄가 이루어지는 것을 고려한다면 순환골재에 부착되어 있는 모르타르를 제거하는데 적합한 메카니즘을 가지고 있는 기술로 사료된다.

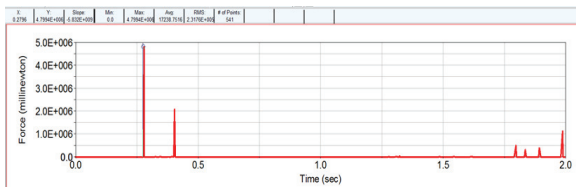


Fig. 10. Result of simulation

2.3 고속회전형 마쇄기의 제작

시뮬레이션을 통한 해석결과를 바탕으로 고속회전형 마쇄기를 제작하였으며 현장에 적용하여 콘크리트용 순환골재용 기술을



Fig. 11. External drum



Fig. 12. Inner driving body

투입 전·후로 샘플링을 실시하였다. Fig. 11, 12는 회전형 마쇄기의 외부 드럼구조체와 내부 회전형 구동체의 모습을 보여주고 있다.

3. 순환골재의 품질실험 및 결과분석

3.1 부착모르타르 및 밀도·흡수율 관계 분석

순환골재에 부착되어 있는 모르타르의 부착량과 골재의 절대건조밀도 및 흡수율의 상관관계를 확인하기 위해서 회전형 마쇄기 투입전/후 순환골재를 무작위로 샘플링하여 모르타르 부착량과 절대건조밀도 및 흡수율을 시험분석하였다. 모르타르 부착량 시험은 KS F 2416(경화된 콘크리트의 시멘트 함유량 시험방법)을 준용하여 진행하였으며, 그 절차는 다음과 같다.



$$\text{모르타르 부착율(\%)} = \frac{A-B}{A} \times 100$$

A : 염산처리전의 시료질량(약 500g)

B : 염산처리후 2.5mm 체에 남은 시료질량(g)

콘크리트 혼합에 사용될 순환골재의 부착 모르타르량을 시험한 결과, 박리기 통과전 순환골재의 모르타르 부착율이 평균 17.4%에서 통과후 평균 4.8%로 감소하였으며, 그에 따른 흡수율 또한 4.93%에서 2.76%로 감소하였다. 효율적인 모르타르 박리로 KS F 2573에서 규정하고 있는 흡수율 3.0% 이하의 물성을 만족시켰으며, 평균 5% 내외의 박리효율을 유지한다면 콘크리트용 순환골재에서 중요한 물성 인자인 흡수율을 기준치 이내로 만족시킬 수 있을 것이다. 그 결과는 다음 Fig. 13, 14와 같다.

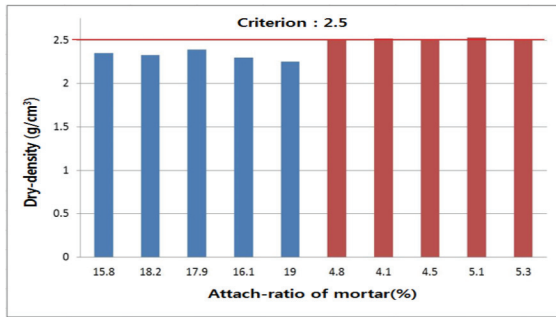


Fig. 13. Relation of density and mortar amount

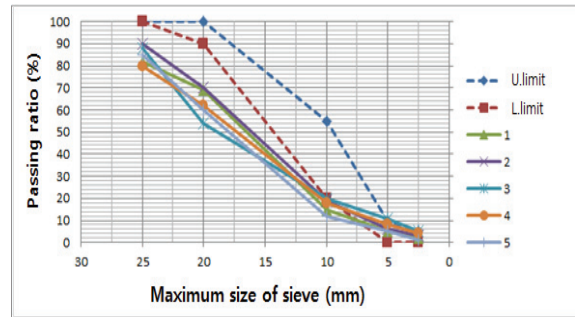


Fig. 15. Grading of input aggregate

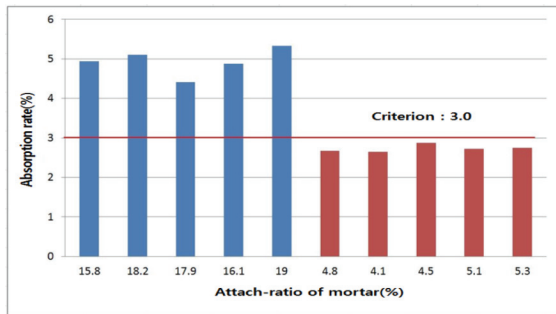


Fig. 14. Relation of absorption and mortar amount

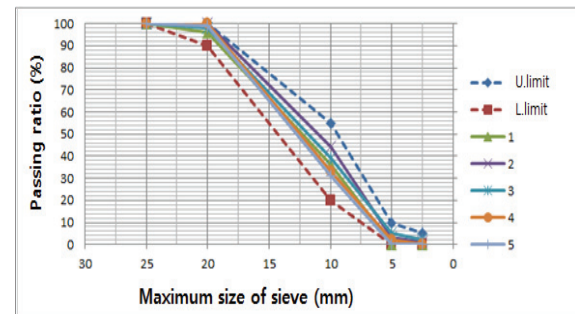


Fig. 16. Grading of output aggregate

3.2 콘크리트용 순환골은골재 품질시험 및 분석

3.2.1 입도

순환골재의 입도시험은 관련 인용규격인 KS F 2502 : 2014(굵은 골재 및 잔골재의 체가름 시험방법)을 적용하여 시험하였다. 시험 진행은 회전형 마쇄기 통과전 시료와 통과후 시료에 대해서 진행하였으며 입도 개선 효과는 다음 Table 1과 Fig. 15, 16에서 보는 것처럼 회전형 마쇄기 투입 전 시료의 입도곡선은 기준치 경계선 밖으로 많이 벗어나 있지만 투입후 시료의 입도곡선은 기준치 경계선 안쪽으로 들어와 콘크리트용 순환골은골재(20mm)의 입도조건을 만족시켰다.

Table 1. Comparison of grading for input and output

Sieve test	Unit	Input					Output				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Pass : 25mm	%	82	90	88	80	85	100	100	100	100	100
Pass : 20mm		69	70	54	62	60	96	100	98	100	99
Pass : 10mm		15	19	20	18	12	36	44	39	33	31
Pass : 5mm		5	6	11	8	5	0	3	5	2	0
Pass : 2.5mm		2	3	5	4	1	0	1	2	0	0

3.2.2 절대건조밀도 및 흡수율

순환골재의 절대건조밀도 및 흡수율 시험은 관련 인용 규격인 KS F 2503 : 2014(굵은골재의 밀도 및 흡수율 시험방법)을 적용하여 시험하였다. 시험결과는 Table 2와 Fig. 17, 18에서 보는 것처럼 절대건조밀도는 투입전 평균 2.29g/cm³에서 2.52g/cm³로 증가되었으며, 흡수율은 5.65%에서 2.73%로 감소되었다. 이는 회전형 마쇄기를 통한 부착모르타르의 제거를 통해 순환골재의 절대건조밀도 및 흡수율이 투입전 대비 개선되어 콘크리트용 순환골은골재의 기준치를 만족한 것으로 판단된다. 다만, 절대건조밀도에 비해 다소 높은 흡수율의 결과는 순환골재 생산시스템의 특성상 여러차례 충격, 파쇄 및 박리의 과정을 거치면서 발생한 골재 내부 균열에 의한 것으로 사료된다.

Table 2. Dry density and absorption rate of input and output

Test contents	Unit	Input					Output				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Dry-density	g/cm ³	2.29	2.22	2.32	2.25	2.34	2.51	2.52	2.50	2.54	2.51
Absorption rate	%	5.73	6.02	5.70	5.80	5.02	2.84	2.66	2.75	2.61	2.80

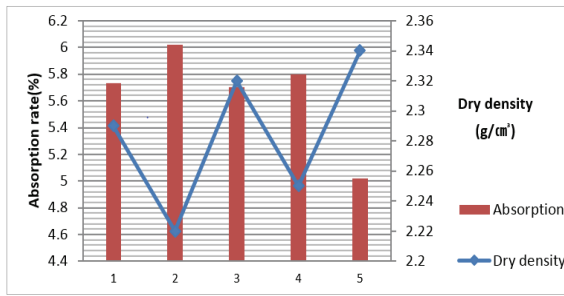


Fig. 17. Dry density and absorption rate of input

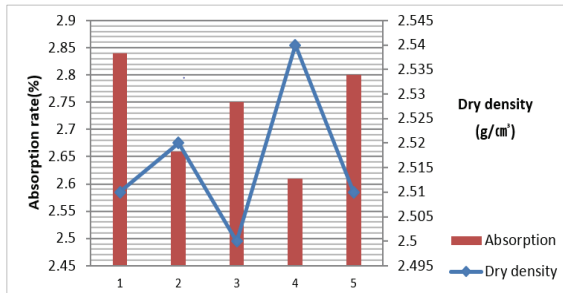


Fig. 18. Dry density and absorption rate of output

4. 결론

본 연구에서는 기존 건설폐기물 파·분쇄 기술의 문제점을 분석하여 저품질 순환골재의 문제점을 진단하고 콘크리트용 순환골재의 고품질화 방안으로 새로운 회전형 마쇄기술을 개발하고자 하였으며, 연구결과를 종합 정리하면 다음과 같다.

1. 일선의 건설폐기물 파쇄 설비로는 1차 조크러셔, 2차 더블조크러셔, 3차 콘크러셔 혹은 임팩트 크러셔를 사용하고 있는 것으로 조사되어, 압축 및 충격 방식에 의한 골재의 단순 파쇄 기술을 사용하고 있는 것으로 확인되었으며 순환골재의 부착 모르타르가 제거되지 않아 콘크리트용 순환골재의 품질기준을 만족시키지 못하고 있다.
2. 고품질의 콘크리트용 순환골재를 생산하기 위하여 왕복 회전각 운동을 하는 드럼과 드럼 내부의 회전형 해머블레이드 사이에서 순환골재에 부착된 모르타르를 제거하는 마쇄기술을 개발하여, 해석 모델링을 실시하였다. 실시 결과 투입된 순환골재에 가해지는 충격량은 최초 4800N으로 확인되었으며, 이는 투입부터 배출까지 연속 마쇄 메커니즘을 고려하면 효과적인 모르타르 박리가 구현될 것으로 판단된다.

3. 순환골재의 부착 모르타르량을 시험한 결과, 박리기 통과 전 순환골재의 모르타르 부착율이 평균 17.4%에서 통과 후 평균 4.8%로 감소하였으며, 그에 따른 흡수율 또한 4.93%에서 2.76%로 감소하였다. 이는 KS F 2573에서 규정하고 있는 흡수율 3.0% 기준치를 만족시켰으며, 평균 5% 내외의 박리 효율을 유지한다면 콘크리트용 순환골재에서 중요한 물성 인자인 흡수율을 기준치 이내로 만족시킬 수 있을 것이다.
4. 회전형 마쇄기 투입 전 시료의 입도곡선은 기준치 경계선 밖으로 많이 벗어나 있지만 투입 후 시료의 입도곡선은 기준치 경계선 안쪽으로 들어와 콘크리트용 순환골재 (20mm)의 입도조건을 만족시켰다. 절대건조밀도는 투입 전 평균 2.29g/cm³에서 2.52g/cm³로 증가되었으며, 흡수율은 5.65%에서 2.73%로 감소되었다. 이는 부착모르타르의 제거를 통해 순환골재의 절대건조밀도 및 흡수율이 투입 전 대비 개선되어 콘크리트용 순환골재의 기준치를 만족시킨 것으로 판단된다.

Conflict of interest

None.

References

- Baek, D.H., Cho, H.T., Lee, B.S., Han, M.C. (2010). Quality of recycled coarse aggregate produced by advanced manufacturing system for recycled coarse aggregate and its application to concrete, Magazine of RCR, **5(2)**, 21–27 [in Korean].
- Cho, H.D., Jaung, J.D., Lee, D.H., Jun, M.H. (2004). The experimental study regarding the affix mortar quantity measurement of the recycled fine aggregate, Journal of the Korea Concrete Institute, **16(2)**, 189–192 [in Korean].
- Jaung, J.D., Lee, D.H. (2008). A study for improvement of the testing method for quality control of recycled aggregate, Journal of the Korea Institute of Building Construction, **8(42)**, 105–114 [in Korean].
- Kim, S.H., Jeon, C.S., Lee, S.H. (2018). An experimental study on the estimation of compressive strength and the physical properties of recycled aggregate concrete of fixed slump, Journal of Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, **22(2)**, 51–58 [in Korean].

KS F 2573 (2014), Recycled Aggregates for Concrete.

Lee, D.H., Jun, M.H., Bae, K.S. (2011). Correlation between density and absorption of domestic recycled aggregate, Proceeding of the Korea Recycled Construction Resource Institute, **11(1)**, 95–96

[in Korean].

Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2017). Recycled aggregate quality standard, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2017–1711.

고속회전형 마쇄기술을 통한 순환골재 품질향상에 관한 연구

본 연구에서는 기존 건설폐기물 파·분쇄 기술의 문제점을 분석하여 저품질 순환골재의 문제점을 진단하고 콘크리트용 순환골재의 고품질화 방안으로 새로운 회전형 마쇄기술을 개발하고자 하였으며, 회전형 마쇄기술의 해석 모델링을 통하여 해당 기술의 현장 적용전 모르타르 박리 유효성을 확인하고, 현장에 적용하여 생산된 순환골재의 품질특성을 확인하여 콘크리트용 순환골재로의 적합성을 확인하는 것을 목적으로 한다.

모르타르 박리기술을 현장에 제작·설치하여 기술 투입전, 투입후 순환골재의 모르타르 부착량, 절대건조밀도 및 흡수율의 상관관계를 분석하였으며, 콘크리트용 순환골재의 핵심 품질특성인 입도, 절대건조밀도 및 흡수율을 시험분석 하였다.