

## 스터테반트 공기분급기의 분리효율에 대한 연구

박 시 우† · 정 인 기\*

(원고접수일 : 2003년 11월 14일, 심사완료일 : 2004년 1월 17일)

### A Study on the Grade Efficiency of Sturtevant Type Air Classifier

Si-Woo Park† · In-Kee Chung\*

**Abstract** : This research was performed to raise grade efficiency of Sturtevant type air classifier, to treat powder less than  $74 \mu\text{m}$  particle produced at the crushing process of the dry aggregates manufacturing system or concrete wastes recycling system. The experimental conditions were in the ranges, 0.85 to  $5.15 \text{ m}^3/\text{s}$  of primary air flow rate, 0.005 to  $0.015 \text{ m}^3/\text{s}$  of secondary air flow rate,  $30^\circ$  to  $70^\circ$  of auxiliary blades angle, respectively, for 1.7~3.3 kg/min of the powder feed rate. It was found that the grade efficiency of the air classifier was increased as the baffle plate was attached at the expansion region, and the optimal operating conditions of the air flow rates and the blade angle were obtained. The fractional recovery curves from the experiments were well agreement with the theoretical one of Molerus model.

**Key words** : Sturtevant type air classifier(스터테반트 공기분급기), Grade efficiency(부분분리 효율), Sharpness index(분리예리지수), Particle size(입도)

#### 1. 서 론

석산 골재로부터 쇄석사의 제조 및 폐콘크리트에서 골재를 분리 재생산하는 기본 시스템은 습식과 건식으로 대별되고, 생산과정은 파쇄, 전처리, 분급, 후처리 등의 공정을 거치게 된다. 이 중 분급과정은 양질의 골재를 생산하는데 있어서 가장 중요한 공정으로 조(粗)골재 속에 포함된 미분(微粉)의 함량을 규정치 이하로 줄여야 한다. 즉,  $74 \mu\text{m}$  이하의 미분을 규정치 이상 함유한 콘크리트는

강도 저하 및 건조수축율이 증가하는 경향이 있으므로, 영국 BS882에서는 10%, 미국 ASTM33-90에서는 7%, KS F 2558에서는 7%로 미분 함유율을 제한하고 있다.

스터테반트 공기분급기(Sturtevant air classifier)는 시멘트 공업에서 폐회로식 분쇄 시스템의 중요한 구성요소로 널리 사용되어 왔다. 이를 개량하여 건식 쇄석사 제조나 건설 폐기물인 폐콘크리트로부터의 골재 재생 시스템에 적용하면 미분 방출에 의한 환경오염을 줄일 수 있을 뿐만

† 책임저자(경일대학교 기계자동차학부), E-mail : siwoo@kiu.ac.kr, T : 053)850-7130

\* 영남대학교 기계공학부

아니라 미분의 분리효율이 비교적 양호하여 골재의 품질을 향상시킬 수 있다. 분리효율에 영향을 미치는 인자로서는 분급기의 기하학적 형상과 내부 유동상태, 입자의 확산·충돌·부착·응집 등이 있고, 이들이 복합적으로 작용한다. 따라서, 분급기의 구조 및 운전조건을 최적화함으로써 성능을 향상시킬 수 있는 개선의 여지가 있다.

공기분급기에 대한 연구로서, Coker<sup>(1)</sup>는 사이클론에서의 분리성능을 입자침강속도로 나타내고, 기하학적 형상과 입자의 유동특성에 의한 부분분리효율(grade efficiency)에 대하여 연구하였다. Hou<sup>(2)</sup>는 입도분포가 넓은 시료를 사용하여 입자의 개수랑비 분포가 분리효율 예측에 효과적임을 밝힌 바 있으며, Molerus 등<sup>(3)</sup>은 건식 분급기에 대해 입자의 확률적 모델을 적용하여 부분분리효율식을 도출하였다. 또, Onuma<sup>(4)</sup>는 스테레반트 공기분급기에서 높은 분체 밀도 조건에서의 입자 상호간 충돌과 간섭에 의한 실험적 특성을 이론식과 비교하였으며, Jimbo 등<sup>(5)</sup>은 같은 분급기에 대하여 부분분리효율곡선을 수식화하기 위한 실험적 연구를 한 바 있다. Roldan-Villasana 등<sup>(6)</sup>은 공기분급기의 부분분리효율곡선에서 미분 영역에 분리효율이 높게 나타나는 fish-hook effect에 대한 연구를 하였고, Leschonski 등<sup>(7)</sup>은 공기분급기의 성능을 정확하게 나타내기 위하여 포집된 시료 분체의 입도 분포로부터 분리효율을 구하여 실험용 사이클론의 입도 분리성능을 검토하였다. Kang 등<sup>(8)</sup>은 사이클론의 성능에 미치는 관련 인자를 조사하였으며, Heiskanen<sup>(9,10)</sup>은 유체 분리과정에 대한 분리이론과 성능해석에 관한 연구를 수행한 바 있다.

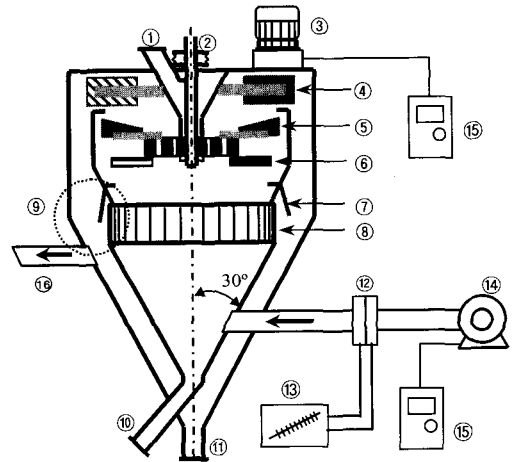
본 연구는 스테레반트 공기분급기를 개량하여 세골재(조분)의 품질에 가장 큰 영향을 주는 미분의 함유량을 감소시킬 목적으로 시도되었다. 외부 사이클론(cyclone)에서 내부 사이클론으로 바이패스(bypass)되는 미분량을 최소화하기 위해서 외부 사이클론의 팽창부에 배플(baffle)을 설치하였고, 분산판의 분산작용과 미분의 부상력을 강화시키기 위해 내부 사이클론의 하부에 2차 공기를 주입하여 분리효율에 미치는 영향을 조사하였다.

또, 측정된 부분분리효율을 Molerus 모델에 의한 이론식과 비교하여 분급기의 분리특성을 검토하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치 및 방법

본 실험에서 사용한 스테레반트 공기분급기의 개략도는 Fig.1과 같다. 외부 사이클론의 직경은 1 m, 내부 사이클론의 직경은 0.75 m이고, 주날개와 보조날개가 동일한 회전축에 부착되어 있다. 내부 사이클론은 안내깃을 기준으로 상·하실로 구분되도록 제작하였다.



- ① Powder inlet
- ② Shaft
- ③ Motor(3.7 kw×6P)
- ④ Main blades
- ⑤ Auxiliary blades
- ⑥ Distribution plates
- ⑦ Baffle
- ⑧ Guide vanes
- ⑨ Expansion area
- ⑩ Coarse powder outlet
- ⑪ Fine powder outlet
- ⑫ Orifice flow-meter
- ⑬ Inclined manometer
- ⑭ Blower (0.75 kw)
- ⑮ Inverter
- ⑯ to Bag filter

Fig. 1 Schematic diagram of Sturtevant type air classifier.

본 분급기의 작동원리는 상부 투입구(①)에서 유입된 분체(시료)가 분산판(⑥)에 의해 충돌·분산되고, 보조날개에 의한 원심력을 받아 조분과 미분으로 분리되어 각각의 유출구(⑩와 ⑪)로 배출된다. 즉, 내부 사이클론에서 무거운 입자들은

중심부에서 아래로 낙하하여 조분제품으로 분리되고, 가벼운 입자들은 상승기류와 함께 외부 사이클론으로 유입된 후 주날개에 의한 순환기류를 따라 벽면쪽으로 선회운동을 하면서 하강하여 미분제품으로 포집된다. 외부 사이클론의 팽창부(㉑)에서 미분입자와 분리된 공기는 다시 안내깃을 통해 내부 사이클론으로 유입되어 순환한다. 이 때 분산판의 분산작용이 약화되면 미분의 부착현상으로 인하여 조분 속에 미분 함유량이 증가하게 된다. 따라서 본 실험에서는 미분의 조분영역으로 바이패스를 방지하고 보조날개에 의한 분리작용을 강화시키기 위하여 외부 사이클론의 팽창부에 폐색비(blockage ratio) 1/3로 배플 설치와 내부 사이클론의 하부에 2차 공기를 접선방향으로 주입하는 등의 조치로 장치를 개량하였다. 이 때 2차 공기의 유량측정에는 오리피스(orifice)와 경사마노미터를 이용하였다.

Table 1에는 본 실험의 실험인자와 실험범위를 나타내었다. 실험에 사용된 분체(시료)인 쇠석사 및 페콘크리트는 공기분급기에 투입하기 전에 미리 4메쉬의 체(sieve)로 분급하여 사용하였으며, 습기에 의한 실험 오차를 줄이기 위하여 함습율 0.7% 이하로 건조시켰다. 또한, 각 분체에 대한 분리효율을 구하기 위하여 공기 분급기를 거쳐 생산된 제품은 4분법에 의해 추출한 후 체 진탕기(ro-tap shaker)와 표준체를 사용하여 KS A 5101 규격<sup>(11)</sup>에 따라 입도별로 분급하였다.

2.2 분리효율에 대한 이론적 고찰

분체 혼합물에 대한 분급기의 입도 분리성능을 나타낼 때, 분리효율곡선을 작성하여 성능을 표시한다.

본 실험에서 사용한 분급장치의 성능을 나타내기 위하여 입도별 분리효율은 다음과 같이 정의하였다.<sup>(7)</sup> 분리전 시료의 입도 분포곡선을  $W[dF(x)/dx]$ , 굵은 입도를 가진 포집 분체의 입도 분포곡선을  $W_c[dF_c(x)/dx]$ , 미세한 입도를 가진 미포집 분체의 입도 분포곡선을  $W_b[dF_b(x)/dx]$ 으로 각각 표시하고, 분급기 내에 투입된 분체의 분쇄나 손실을 무시한다면, 분체입도  $x$ 인 성분의 물질수는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$W \frac{dF(x)}{dx} = W_c \frac{dF_c(x)}{dx} + W_b \frac{dF_b(x)}{dx} \quad (1)$$

여기서  $W$ 는 시료의 무게,  $W_c$ 는 조분의 무게,  $W_b$ 는 미분의 무게,  $F(x)$ 는 사이클론에 공급된 입도가  $x$ 인 시료의 누적분율,  $F_c(x)$ 와  $F_b(x)$ 는 각각 입도가  $x$ 인 조분 및 미분의 누적분율이다.

따라서 공기분급기의 부분분리효율을 입도 기준으로 나타내면 다음 식과 같다.

조분의 부분분리효율 :

$$G_c(x) = \frac{W_c}{W} \frac{dF_c(x)}{dF(x)} \quad (2)$$

Table 1. Experimental parameters and range

Parameter	Experimental range	
	Crushed aggregates	Concrete wastes
Kinds of particle		
Mean particle size ( $\mu\text{m}$ ) (mesh by standard sieve analysis)	25(-270/+325), 63(-200/+270), 112(-100/+200), 223(-50/+100), 744(-16/+50), 1785(-8/+16), 3570(-4/+8)	
Powder feed rate (kg/min)	1.7, 2.5, 3.3	
Primary air flow rate ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	0.8, 1.2, 2.1, 3.1, 4.0, 5.2	
Secondary air flow rate ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	0.005, 0.01, 0.015	—
Auxiliary blade angle (°)	30, 45, 70	

미분의 부분분리효율 :

$$G_b(x) = \frac{W_b}{W} \frac{dF_b(x)}{dF(x)} \quad (3)$$

이상적인 분급장치에서는 미분과 조분이 완전히 분리되나 실제 부분분리효율은 미분과 조분이 서로 바이패스 되는 분할현상(partition effect)이 포함되어 나타난다.

한편, Molerus<sup>(3)</sup>는 확률적 분급모델(stochastic model)에서 부분분리효율의 이론식을 유체와 입자간의 상대운동에 의해 다음과 같이 제시하였다.

$$\psi(x) = \frac{1}{1 + (x_{50}/x)^2 \exp[S\{1 - (x/x_{50})^2\}]} \quad (4)$$

여기서,  $x_{50}$ 은 부분분리효율 50%의 분리입도, S는 부분분리효율에서의 분리예리지수(sharpness index)이다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 시료의 입도분포

시료로 사용하는 혼합분체에는 어느 한 부분의 입도가 편중되는 편석현상(segregation)이 심한 경우가 있다. 이는 분급기의 분리효율에 큰 영향을 미치게 되므로 투입시료의 입도분포를 정확하게 분석하여야 한다. 입도의 분산 정도를 수치적으로 나타내는 데는 다음과 같은 식이 사용된다.

$$\text{분산도(spread)} : \sigma = \frac{x_{84} - x_{16}}{2} \quad (5)$$

$$\text{상대분산도(relative spread)} : \frac{\sigma}{x_m} \quad (6)$$

여기서  $x_m$ 은 누적입도분포에서의 중간입도를 나타낸다.

Fig.2는 본 실험에서 사용한 쇄석사 시료의 입도분포를 분석하기 위하여 분급기의 보조날개 각도( $\theta$ )와 배플 및 2차 공기( $Q_s$ )의 유무에 대하여 실험한 결과로서 시료에 대한 입도분포를 누적 백분율로 나타내어 예시한 것이다.

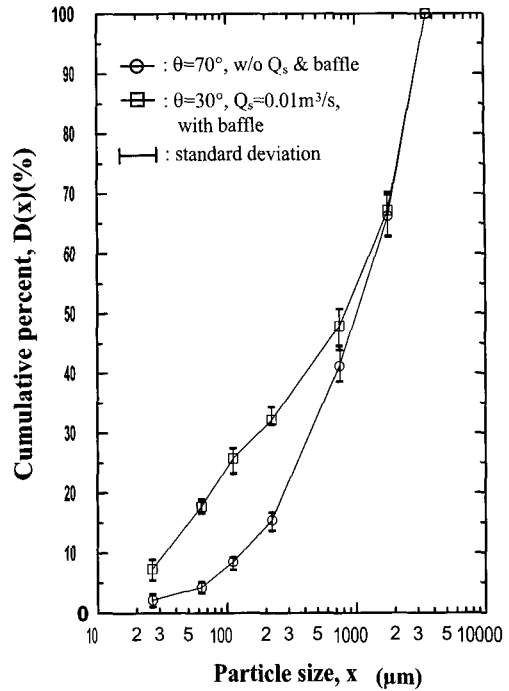


Fig. 2 Effects of secondary air flow rate and baffle on particle size distribution.

$\theta = 30^\circ$  이고 2차 공기와 배플을 설치한 경우에는 분산도 및 상대분산도가 각각  $1123 \mu\text{m} \sim 1177 \mu\text{m}$  및  $1.09 \sim 1.22$ 로 나타났고,  $\theta = 70^\circ$  이고 2차 공기 및 배플이 없는 경우에는 각각  $1210 \mu\text{m} \sim 1285 \mu\text{m}$  및  $1.32 \sim 1.72$ 로 나타났다. 이것은 Geldart<sup>(12)</sup>가 분류한 4가지 그룹 중 그룹 D에 해당되며, 상대분산도가 0.8 이상으로 극히 넓은 입도분포를 나타내고 있다. 그러므로 본 연구에 사용된 시료는 편석현상이 심할 것으로 예상되며, 이것은 분급기의 분리효율을 저하시키는 요인이 될 수 있다. 따라서 분급기의 성능평가 만을 위한 연구의 시료로는 다소 부적합한 것으로 사료되나, 본 연구가 쇄석사 제조 또는 건설 폐기물 재활용 장비 개발에 대한 연구의 일환으로 수행되었기 때문에 쇄석사 제조현장에서 채취된 것이다.

#### 3.2 부분분리효율

분급이란 유체속의 분립체를 입도와 밀도 등의 특성차에 의해 분리하는 조작인데, 분급장치의 성

능해석에서 어려운 점은 입자와 기류의 속도가 불명확하고 완전한 개개 입자로의 분산이 곤란하며, 분급기 내부에 미분이 부착하거나 마모를 일으키는 현상 때문이다. 따라서 공기분급기의 분리성능을 나타낼 때 분리효율식을 정확하게 표현하기란 매우 어려우며, 일반적으로 입도분포를 포함하는 부분분리효율곡선으로부터 분리성능을 분석하고 있다.

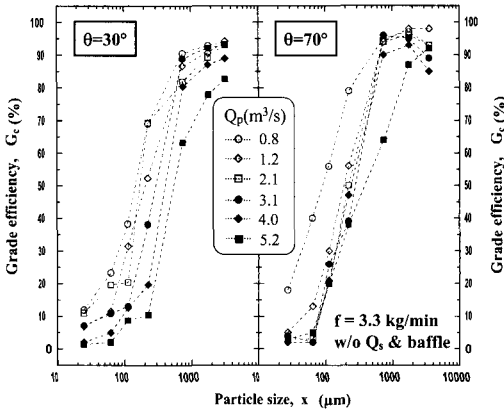


Fig. 3 Grade efficiency for crushed aggregates without secondary air flow rate and baffle.

Fig.3은 쇄석사를 시료로 사용한 경우, 배플과 2차 공기의 주입이 없고, 보조날개의 각도가 각각  $\theta = 30^\circ$  및  $70^\circ$  일 때, 시료 투입율  $f = 3.3$  kg/min에 대한 부분분리효율곡선을 나타낸 것이다. 또, Fig.4는 사이클론내에 배플을 설치하고, 2차 공기를 주입하지 않은 상태에서 주공기( $Q_p$ )의 유량만을 변화시켰을 때의 효율곡선이다. 그리고, Fig.5에는 배플과 2차 공기( $Q_s$ )의 주입이 있을 때의 효율곡선을 나타내었다. Fig.4와 Fig.5에서 각 그래프상의 점선은 Molerus의 이론적인 부분분리효율곡선을 나타낸다. 분리효율곡선은  $x_{50}$ 을 중심으로 S자형으로 나타나며, S자의 형상이 수직에 가까울수록 분리가 예리하고 분급장치의 성능이 우수한 것을 의미한다.

배플과 2차 공기의 주입이 없는 Fig.3의 경우는 조분(coarse powder)측에  $74 \mu\text{m}$  이하 미분의 함량이  $Q_p = 1 \text{ m}^3/\text{s}$  이하의 저풍량에서 15%~40%까지 넓게 분포됨을 볼 수 있는데, 이것은 저풍량에서 분산판에 의한 분산효과가 약하여 미분이 조분역으로 바로 떨어지기 때문이다. 그러나 Fig.4와 Fig.5에서는 조분에 포함된  $74 \mu\text{m}$  이하

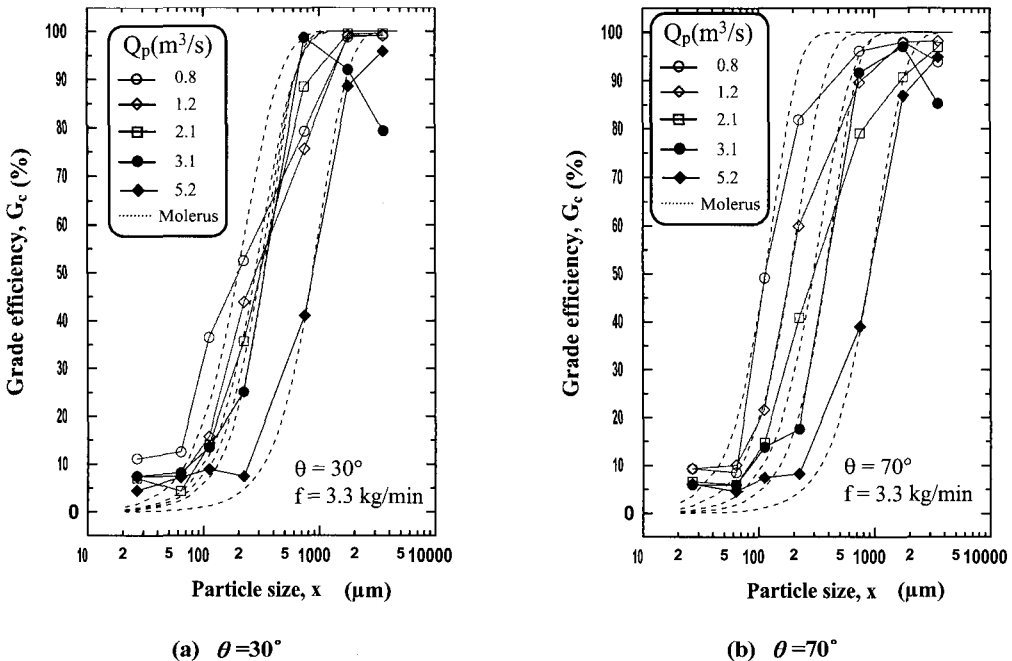


Fig. 4 Grade efficiency on crushed aggregates for various auxiliary blade angle with baffle.

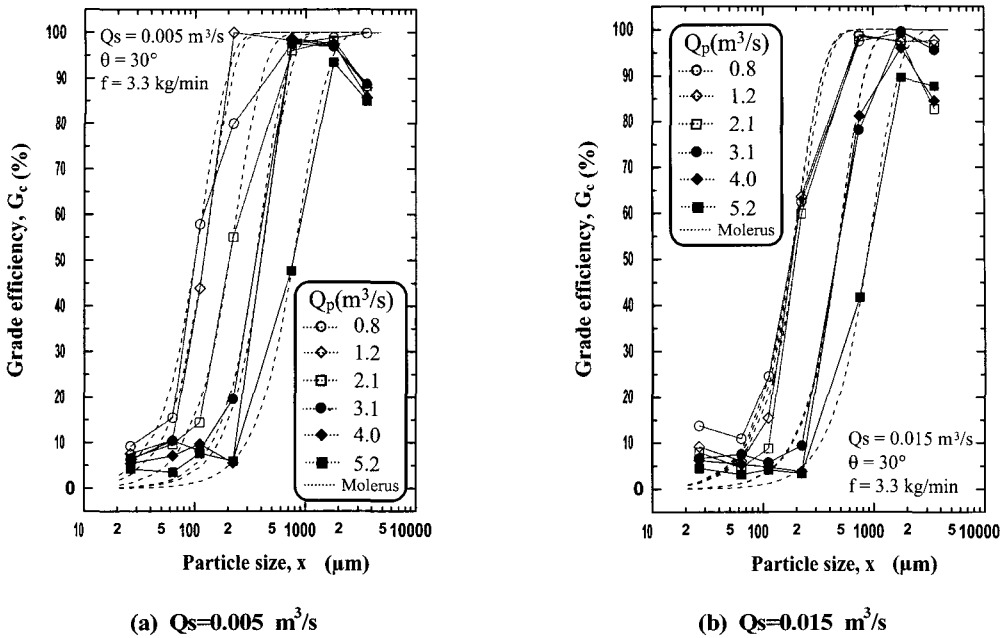


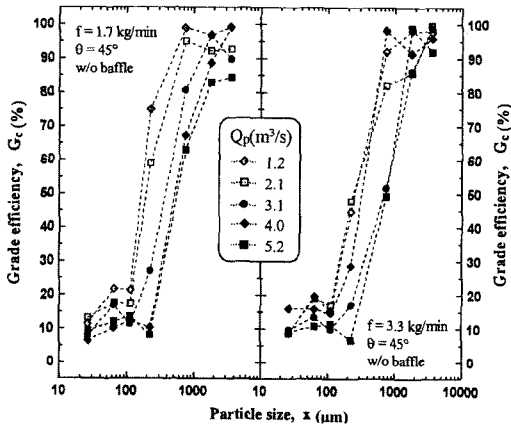
Fig. 5 Grade efficiency on crushed aggregates for various secondary air flow rate with baffle.

미분의 양이 저풍량에서도 15% 이하로 감소함을 볼 수 있다. 이것은 배플의 설치로 말미암아 외부 사이클론으로부터 미분의 재순환이 감소되고, 2차 공기의 주입에 의해 내부 사이클론에서 미분의 부상과 분산판의 분산효과를 강화시켜주어 분리효과가 증진되기 때문으로 사료된다. 또한, 분리효율 곡선의 형상에서 판단할 때 배플과 2차 공기의 주입이 있을 때가 없는 경우보다 분리의 예리성이 향상됨을 알 수 있다. 특히  $x_{50}$  절단입도(cut size)에 대한 분리효율은 배플과 2차 공기 주입이 없는 경우(Fig.3)는 보조날개의 각도가  $70^\circ$  일 때, 배플을 설치한 경우(Fig. 4)는 보조날개 각도가  $30^\circ$  일 때 우수하였다. 그러나  $\theta = 30^\circ$  이고 배플과 2차 공기의 주입이 있는 경우(Fig.5)에는 2차 공기의 유량이  $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ 일 때 분리효율이 상대적으로 우수하였고, 주공기 풍량이 증가하여도  $x_{50}$  절단입도가  $300 \mu\text{m}$  정도로 거의 일정하였다. 그리고, Fig.4와 Fig.5에서 보는 바와 같이 본 실험의 결과는 Molerus의 부분분리효율에 대한 이론식과 비교하여 미분 영역에서는 다소 차이를 보이고 있으나, 분리입도가 큰 조분(골재 제품) 영역에서는 비교적 잘 일치하고 있다.

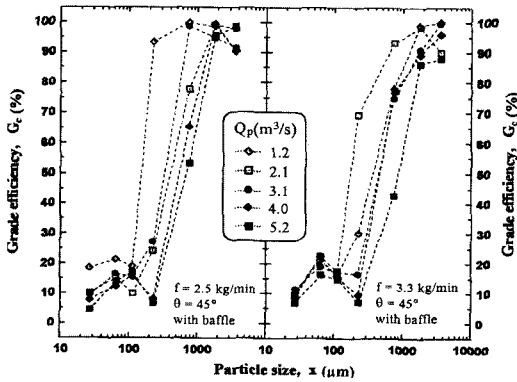
Fig.6(a)와 Fig.6(b)는 폐콘크리트를 시료로 사용하고,  $\theta = 45^\circ$  인 경우, 배플의 부착 유무와 시료 투입을 변화에 따른 부분분리효율을 나타낸 그림이다.

Fig.6(a)에서 주풍량이  $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 인 경우에  $74 \mu\text{m}$  부근의 미분양이 20%까지 증가된 것을 볼 수 있는데, 이것은 폐콘크리트 시료의 특성 때문으로 사료된다. 즉, 폐콘크리트를 파쇄한 분체입자의 성상을 보면 콘크리트 제조시 들어간 원골재 입자, 시멘트 수화물과 원골재가 부착된 입자 및 시멘트 수화물 덩어리만의 입자 등으로 형성되어 있으므로, 이러한 입자들의 공극 속에 있던 미분이 체진 탱기로 진탕을 할 때 200메쉬 이하의 표준체 아랫단으로 떨어져 미분의 양을 증가시킨 결과로 판단된다. 결국 이러한 재생골재는 KS 규격과는 멀어지는 저품질 골재가 될 가능성이 매우 높다. 그러나 본 실험의 결과는 폐콘크리트를 파쇄한 원료 시료를 바로 사용하여 분급기 단독으로 분리성능만을 판별한 결과이며, 만약 파쇄기와 입형개선기 등 전처리과정을 거쳐 원골재에 부착되어 있는 시멘트 수화물의 양을 감소시킨다면 양호한 세골재의 분리가 가능할 것으로 사료된다. 또한, Fig. 6(b)

에서 배플을 설치한 경우 시료 투입율이 적은  $f=2.5$  kg/min에서 콘크리트용 조골재로 사용하기에 적합한  $1000 \mu\text{m}$  이상의 분리입도에 대한 부분분리효율이 배플이 없는 경우나 시료 투입율이 높은 경우보다 5%~10% 정도 우수하였다. 그러나, 원료 투입율은 제품 생산성과 직접적인 관계가 있으므로 최적 운전조건은 풍량 및 배플의 부착 유무에 따른 상관관계 등을 고려하여 선택하여야 할 것으로 사료된다.



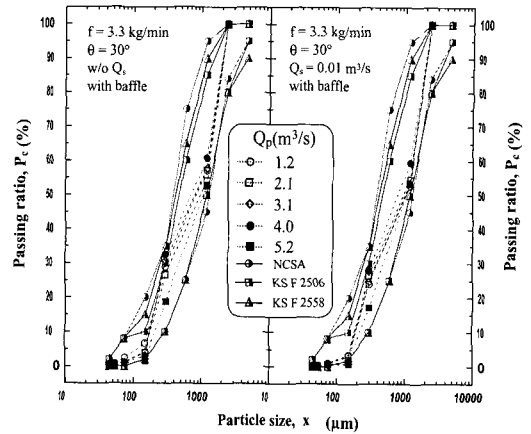
(a) without baffle



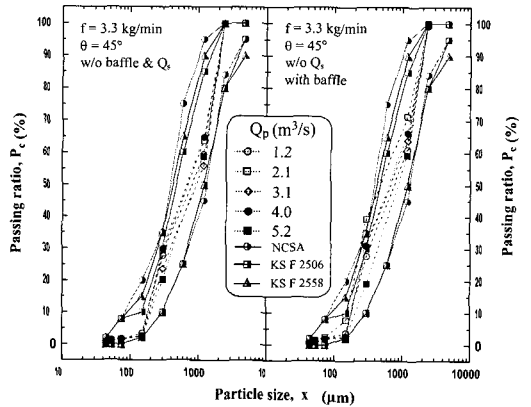
(b) with baffle

Fig. 6 Effect of baffle on grade efficiency for concrete wastes.

Fig.7(a)와 Fig.7(b)는 통과율(passing ratio)로 본 쇄석사와 폐콘크리트에서 재생된 조분제품의 입도분포를 배플 및 2차 공기의 주입 유무에 따른 실험결과로 나타내고 있다.



(a) Crushed aggregates



(b) Concrete wastes

Fig. 7 Passing ratio of coarse powder for  $f=3.3$  kg/min.

그림에 나타낸 NCSA (National Crushed Stone Association)는 미국쇄석협회의 입도 기준이며, KS F 2506은 자연모래의 입도분포 기준이고, KS F 2558은 쇄석사 입도분포를 나타낸 것이다.<sup>(13)</sup> 통과율이란 표준체를 통과한 입자의 증량에 대한 누적백분율(%)로 나타낸다. 골재의 입도분포는 KS F 2002(골재의 체가름 시험방법)의 규정에 따라 균일입자, 연속입자분포 및 불연속 입자분포로 나눌 수 있으며, 입자크기가 연속적으로 분포된 입도분포가 가장 좋다. 콘크리트용 골재로서는 미분의 함량을 제한치 이하로 줄여야 하지만, 입도분포도 양호한 골재가 갖추어야 할

중요한 인자중의 하나이다. 그림에서 보는 바와 같이 본 실험에서 얻어진 쇄석사 및 페콘크리트의 재생골재는 입도기준과 KS F 규격의 입도분포 범위 내에 들고 있어 비교적 양호한 제품을 얻었다고 판단된다.

3.3 공기분급기의 성능평가

공기분급기의 성능평가 방법에는 절단입도인  $X_{50}$ 의 분리입도와 입도분리의 예리함을 나타내는 분리예리지수(S) 및 불완전도(I) 등이 있다. 분리

예리지수는  $X_{75}/X_{25}$  분리입도의 비로 1에 가까울수록 좋은 성능을 의미하며, 불완전도는  $(X_{75}-X_{25})/2$ 의 테라지수(E)를 사용하여  $I=E/X_{50}$ 로 표현된다. I의 값은 영(zero)에 가까울수록 분리성능이 우수한 것을 나타낸다.

Fig.8(a)와 Fig.8(b)에는 배플을 설치하고 쇄석사의 투입율을 3.3 kg/min로 일정하게 했을 때, 2차 공기 주입 없이 보조 블레이드 각도만 변화시킨 경우와 2차 공기를 주입했을 경우에 대한 분급예리지수와 불완전도를 나타낸다.

분급기의 주풍량이 1 m<sup>3</sup>/s인 경우에는 분리성능이 불량한데, 이것은 분산판에서의 분산효과가 약하고, 분체의 유동화(fluidization)가 되지 않은 결과로서 분리작용이 미약한 체로 바이패스되기 때문이다. 또한,  $Q_p=5$  m<sup>3</sup>/s 이상의 고평량에서도 각 지수값이 다소 증가하는 경향이 있다. 그러나, 일반적인 공기분급기의 운전영역인 주풍량  $Q_p=4$  m<sup>3</sup>/s 부근에서는 분리성능이 비교적 우수하며, 특히 Fig.8(b)에서 보는 바와 같이 2차 공기를 주입하였을 경우에는 분리성능이 크게 향상되는 것을 알 수 있었다.

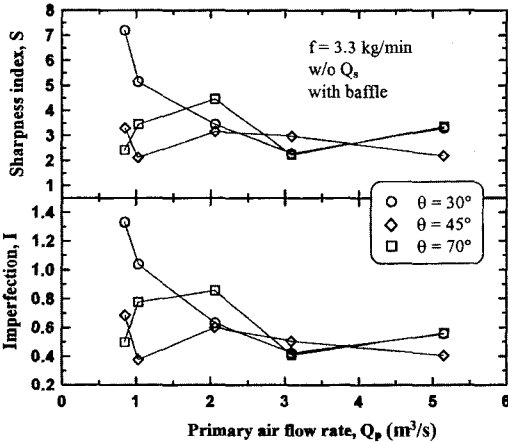
4. 결 론

건식 건설폐기물 재활용 시스템의 주요 장비 중 하나인 스테판트 공기분급기에서 쇄석사 및 페콘크리트 분체에 대한 분리효율을 향상시키기 위하여 미분의 바이패스 순환을 감소시키기 위한 배플 설치와 내부 사이클론에서 미분의 부상효과를 증진시키기 위한 2차 공기 주입 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

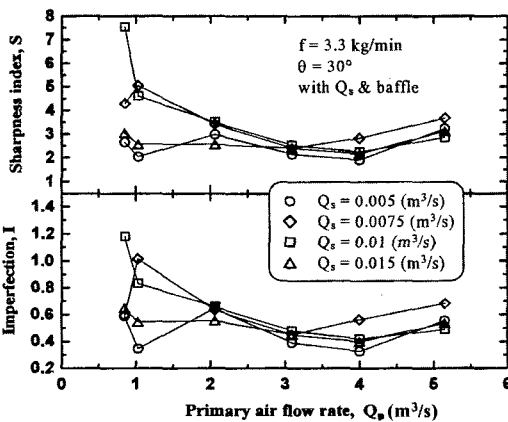
(1) 실험용 분체의 상대분산도가 극히 넓은 입도분포임에도 불구하고 배플설치와 2차 공기를 주입한 결과, 조분제품 중의 74 μm이하 미분이 5%~10% 정도로 감소되었다.

(2) Molerus의 이론식은 부분분리효율의 실험결과와 분리입도가 큰 조분영역에서 잘 일치한다.

(3) 재생된 조분 제품의 입도 분포를 통과율로 나타내었을 경우, 미국쇄석협회(NCSA)와 KS F 규격범위에 들어가는 양호한 결과를 보였다.



(a) without secondary air flow rate



(b) with secondary air flow rate

Fig. 8 Sharpness index and imperfection for effect of blade angle and secondary air flow rate.



(4) 분리에너지수(S)와 불완전도(I)에 의한 분급기의 성능은 2차 공기를 주입하는 경우 크게 향상한다.

참고문헌

[1] Coker, A. K., 1993, Understand Cyclone Design, Chem. Eng. Progress, pp. 51-55.

[2] Hou, T. H., 1985, Powder Technology, pp. 99-104.

[3] Molerus, O., and Hoffmann, H., 1969, Darstellung von Windsichterrennkurven durch ein Stochastisches Modell, Chemie-Ing-Tech., Vol. 41, pp. 340-344.

[4] Onuma, E., 1973, An Analysis of the Fractional Recovery Curves of Sturtevant-type Air Classifiers in High Solid Concentration Conditions, J. Chem. Eng. Japan, Vol. 6, No. 6, pp. 527-531.

[5] Jimbo, G., Yamazaki, M., Tsubaki, J. and Suh, T. S., 1985, Mechanism of Classification in a Sturtevant-Type Air Classifier, Chem. Eng. Commun., Vol. 34, pp. 37-48.

[6] Roldan-Villasana, E. J., Williams, R. A., and Dyakowski, T., 1993, The Origin of the Fish-Hook Effect in Hydrocyclone Separators, Powder Technology., Vol. 77, pp. 243-250.

[7] Leschonski, K. and Rumpf, H., 1968, Principle and Construction of Two New Air Classifiers for Particle Size Analysis, Powder Technology., Vol. 2, pp. 175-185.

[8] Kang, S. H., Park, Y. H., Kim, J. H. and Ju, S. H., 1985, Dust Separation Efficiency in the Air Cyclone, J. Ind. Tech., Vol. 13, No. 1, pp. 213-223.

[9] Heiskanen, K., 1993, Particle Classification, Chapman & Hall, London.

[10] Heiskanen, K., 1995, On the Difficulties of Implementing Particle Size Control in Particulate Process, Powder Technology, Vol. 82 pp. 13-19.

[11] Kang, S. H., 1995, Powder Technology, Hee Joong Dang, pp. 32-33.

[12] Geldart, D., 1986, Gas Fluidization Technology, John Wiley & Sons, pp. 11-52.

[13] Lee, D. N., Mun, J. S. and Lee, H. J., 1997, Research for the Development of Crushed Aggregates, KIGAM Research Report KR-96(C)-16, pp. 39-58.

저 자 소 개



**박시우 (朴時佑)**  
 1970년 4월 4일생, 1994년 경일대학교 기계공학과 졸업(학사), 1996년 영남대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사), 2001년 영남대학교 대학원 기계공학과 졸업(박사), 현재 경일대학교 기계자동차학부 전임강사.



**정인기 (鄭仁基)**  
 1945년 8월 19일생, 1968년 영남대학교 기계공학과 졸업(학사), 1971년 영남대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사), 1995년 일본 시즈오카대학교 대학원 졸업(박사), 현재 영남대학교 기계공학부 교수.