

## 고함수율의 건설폐기물 폐 토속에 포함된 이물질 선별을 위한 분리스크린의 진동해석

문병영<sup>†</sup>, 배효동<sup>\*</sup>, 곽광훈<sup>\*</sup>, 배기선<sup>\*\*</sup>, 송하영<sup>\*\*\*</sup>

부산대학교 기계기술연구소, <sup>†</sup>(주)거산기계, <sup>\*\*</sup>대한주택공사 주택도시연구원, <sup>\*\*\*</sup>한밭대학교 건축공학과

### Vibration Analysis of Separation Screen in a Recycling Plant of Moisturized Construction Wastes

Byung-Young Moon<sup>†</sup>, Hyo-Dong Bae<sup>\*</sup>, Kwang-Hun Kwag<sup>\*</sup>, Kee-Sun Bae<sup>\*\*</sup>,  
Ha-Young Song<sup>\*\*\*</sup>

*RIMT, Pusan National University, Busan 120-700, Korea*

*\*Keosson Machinery Co., LTD, Gimhae 500-700, Korea*

*\*\*Housing&Urban Research Institute in Korea National Housing Co., Seongnam 463-810, Korea*

*\*\*\*Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea*

*(Received March 13, 2008; revision received July 3, 2008)*

**ABSTRACT:** In this study, theoretical super screen vibration analysis has been carried out to predict the dynamic characteristics of interactive waste particles. In order to approach these problems, it is necessary to have a fundamental understanding the screening process and the process of both the remaining and the passed material on a screen with several interacting screen planes based on Soldinger(1999) was discussed. Here, the vibrating screen is composed of three assemblies such as screen, wastes guide, and supported screen as shown in Fig. 1. This model is regarded vibrator as the system of screen fixed tilt plates. Then materials(or particles) of different size is to be separated by using the eccentric vibrator and classifying tilt plates. As well moisturized construction wastes is more efficient to separate than moisture-less it. In processing separate mechanism, the more materials is light, the more staying time is long. Thus much lighter construction wastes(wood, Styrofoam, etc) and heavier materials are separated by staying time delay in a super screen. The design results, separation screen were able to know that small and larger particles are conspicuous difference each motion character according to trajectory particles, and small particles raise the probability in classifying tilt plates.

**Key words:** Vibrating screen(진동스크린), Eccentricity mass(편심질량), Vibration analysis(진동해석), Dynamic modeling(동적모델링), Tilt angle(경사각)

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-51-510-3066; fax: +82-51-516-9835

E-mail address: moonby20@hanmail.net

## 1. 서 론

육상 및 해상에 설치된 기존 건축물의 해체와

신축에 따른 건설 폐기물의 양이 점점 늘어남에 따라 폐기물의 처리가 문제로 대두되고 있다. 최근 환경 문제가 중요한 사회적 문제로 거론되면서 이와 같은 육·해상 건설 폐기물(construction wastes)의 처리에 관심이 더욱 높아지고 있다. 이 문제의 해결방법으로 폐기물 재활용이라는 친환경적이며 재생산적인 방법을 정부와 기업에서 다각도로 시도하고 연구되고 있다. 본 연구에서도 이와 같은 폐기물의 재활용을 위한 한 방법으로 건설폐기물 중 골재로 쓸 수 없는 이물질을 분리하는 장치인 진동 스크린(vibrating screen)에 대한 이론적 배경을 구축하고 실험적 모델을 검증하려고 한다. 건설 폐기물에 고함수율의 폐 토속에 즉 골재와 흙, 스티로폼, 목재등과 같은 가벼운 이물질이 혼합되어 있다. 이러한 이물질을 제거하여 1차 스크린에서 배출된 혼합골재(25 mm이하)를 재사용하기 위한 진동 스크린은 현재 산업 재활용의 필요성 증가에 맞물려 그 중요성이 부각되고 있다. 실제 건설 폐기물 분리 공정에 사용되는 시스템 중에서 Fig. 1과 같은 경사식 진동체가 가장 널리 쓰인다. 진동체의 형식을 구조상으로 분류하면, 2-베어링식, 4-베어링식, 단층 체판, 이중 또는 삼중식 체판 등으로 분류할 수 있다.<sup>(1)</sup>

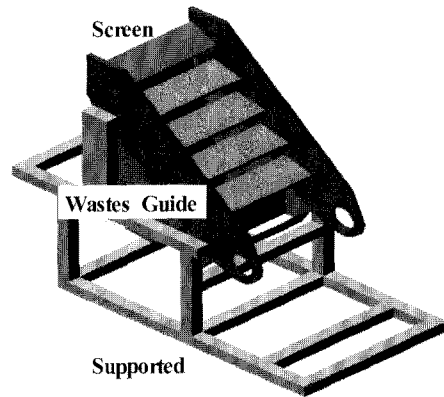


Fig. 1 Schematic diagram of separation screen 3D model.

진동체를 구성하는 요소들이므로 함께 고려될 수 있다.

본 연구에서 스크린 내에서 경사판들은 이물질과 같이 혼합된 골재와 접촉하면서 진동을 직접 전달하는 진동판이 된다. 스티로폼이나 목재와 같은 이물질이 혼합된 골재에서 이물질을 분리하기 위해 경사판을 가진(excitation)한다. 경사판 위의 혼합 골재를 진동시킴으로써 부피가 큰 입자가 골재의 상층부로 밀려올라가는 것과 경사판과 접촉 시 작은 입자는 경사면의 상부로 올라가고 큰 입자는 경사면과 충돌 후 튕겨서 그대로 아래로 떨어지는 경험적 원리를 이용하여 스크린을 구성하였다.<sup>(4)</sup> 본 연구를 통해 경험적이며 실험적인 원리를 시뮬레이션을 통해 규명하고 경사각에 따른 분리 성능을 해석적으로 평가할 것이다.

## 2. 해석방법

### 2.1 수치모델링

스크린의 진동기는 Fig. 2와 같이 주축의 양단에 두 개가 설치되어 있다. 본 모델은 진동기의 가진력  $F(t)$ 에 의해 스크린에 가진되는 모델로 두 개가 모두 같은 위상을 가지는 진동을 발생하므로 가진기 하나로 구성된 모델로 볼 수 있다. 따라서 본 모델은 Fig. 3와 같이 질량  $M$ 과 강성  $k$ 로 구성된 스크린이 가진  $F(t)$ 를 받는 강제 진동 모델로 근사화할 수 있다. 또한 스크린에 떨어지는 크기 250 mm이하의 폐기물 혼합골재에 대한 운동을 규명하는 수학적 모델링을 위해 스

진동 스크린을 구동하여 이물질을 선별하게 하는 주된 원리는 크게 두 가지로 요약된다. 가진체에서 편심을 이용하여 효과적인 진동발생을 유도하는 것과 경사판과 입자 및 입자들 상호간의 마찰에 의한 상호운동발생을 유도하는 것이다. 이러한 원리를 기본으로 하는 기존의 진동스크린에 관련된 연구는 해석적인 문제와 실제자료에 대한 검증방법에 많은 어려운 문제점을 안고 있다.<sup>(2-3)</sup>

한편, 경사식 진동체는 경사각도, 진동속도, 진동폭 회전 방향 등을 조정함으로써 분리 효율을 높일 수 있다. 본 연구에서는 가진기를 통해 높은 주파수의 진동을 일정하게 가하면서 진동체 경사판의 경사각을 구조적 변수로 하여 최적의 성능을 발휘하는 구조를 도출하고 진동체의 동특성을 연구하고자 한다. 이때, 진동체의 성능에 크게 영향을 주는 성능 변수들에는 (1) 분립체의 물성변수, (2) 진동체의 기계적 변수, (3) 경사판의 개수와 경사각 등 크게 3가지로 구분할 수 있다. 이들 3개 영향 변수들은 서로 연관성이 있다. 특히 진동체의 변수는 망체 및 그 체판과 더불어

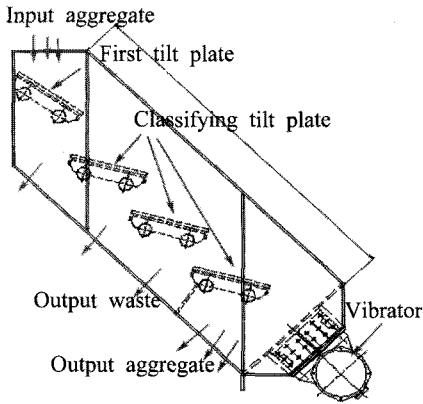


Fig. 2 Structure of vibrating screen.

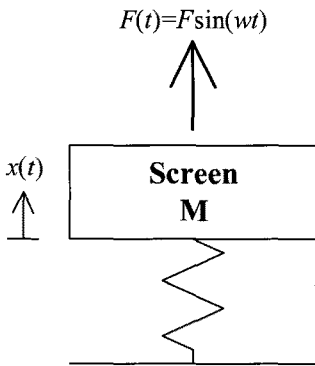


Fig. 3 Dynamic model of vibrating screen.

크린 내의 경사판에서의 상호 운동을 규명할 필요성이 있다. Fig. 4는 경사판위에 있는 폐기물 입자에 대한 운동을 묘사한 자유물체도이다.

공중에서 입자들끼리의 상호작용에 의해 비중이 큰 입자가 아래로 내려오고 비중이 상대적으로 적은 입자는 위로 올라가서 서로 분리되는 현상을 검증하기 위해 입자들 간의 상호운동을 고려해야 한다. 이를 위해 입자들 간의 접촉 특성을 Fig. 5와 같이 운동 모델에 적용하였다. 동일한 부피의 입자의 경우 비중이 클수록 하중이 크므로 아래쪽으로 향하고 비중이 작은 입자는 상대적으로 위로 향한다. 동일한 무게의 경우 비중이 작은 입자가 비중이 큰 입자보다 부피가 크다.

따라서 큰 입자들로 인해 발생하는 높은 공극률이 나타난다. 진동에 의해 부피가 작은 입자들이 큰 입자들 사이의 빈 공간을 침투함으로써 공극률이 줄어들게 된다.

이와 같이 큰 부피의 입자들은 진동이 계속되

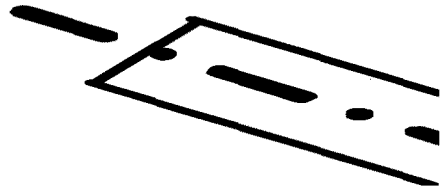


Fig. 4 Kinetic model of a waste particle.

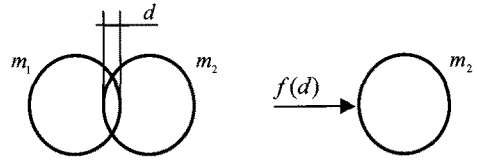


Fig. 5 The schematic diagram of the interaction between waste particles.

면 될수록 작은 부피를 가진 입자들이 빈 공간을 메워나가면서 아래 방향이 아닌 위쪽 방향으로 밀려나게 된다. 본 해석 모델을 통해 이 현상이 시간의 변화에 따라 재현되도록 하였다.

2.2 운동방정식

입자의 운동방정식을 구하면 다음 식과 같다.

$$M\ddot{x}(t) + mgsin\theta - Fsin\omega t_0 \times \cos(45^\circ - \theta) = 0 \quad (1)$$

여기서 힘에 관련된 항목인  $Fsin\omega t_0 \times \cos(45^\circ - \theta)$ 의 값은 입자가 스크린에 닿을 때 받는 힘이다. 초기 조건은  $x(0) = 0, \dot{x}(0) = v_0$ 로 전체해를 구하면 아래의 식(2)와 같다.

$$x(t) = -\frac{mg}{2M}t^2sin\theta + \frac{F}{2}t^2sin\omega t_0\cos\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right) + v_0t \quad (2)$$

여기서 입자의 질량  $m$ 이 스크린의 질량  $M$ 에 비해 무시할 수 있을 만큼 작으므로 입자의 질량은 무시된다. 이에 대한 운동방정식은 다음과 같다.

$$M\ddot{x}(t) + kx(t) - Fsin\omega t \times \cos(45^\circ - \theta) = 0 \quad (3)$$

시간  $t$ 를 포함한 항이 앞의 입자의 경우는 떨어지는 순간 경사판에서 받는 반력이기 때문에 힘

의 향으로 상수지만 여기서는 진동기에 의해 계속  $\omega t$  속도로 가진되기 때문에 변수이다. 또한 스프링이 있기 때문에 강성  $k$ 가 방정식에 포함된다. 이에 대한 응답을 구하면 다음과 같다.

$$x(t) = -\frac{F \cos(45^\circ - \theta)}{k - M\omega^2} \frac{\omega}{\omega_n} \sin \omega_n t + \frac{F \cos(45^\circ - \theta)}{k - M\omega^2} \sin \omega t \quad (4)$$

시스템 전체해는 초기 조건에 의한 항과 강제 진동에 의한 항으로 구성된다. 전체해의 응답을 보면 응답이 처음 시작되는 부분이 계의 고유진동과 강제진동에 의해 증폭되어 나타나게 되는데 초기조건에 의한 응답은 시간이 지남에 따라 소멸하게 된다.

본 연구에서는 계의 고유진동에 의한 응답이 아닌 불 평형 회전에 의해 가진되는 스크린의 응답을 보는 것이 목적이기 때문에 강제 진동에 의한 응답 부분만 고려하는데 이를 정상상태 응답이라 한다. 따라서 불 평형 회전에 의한 정상상태 응답은 다음과 같이 표현된다.

$$x(t) = \frac{F \cos(45^\circ - \theta)}{k - M\omega^2} \sin \omega t \quad (5)$$

## 2.3 해석 조건

앞에서 언급한 수치모델은 이상적인 모델로서, 가진체의 진동운동과 입자들의 낙하 및 접촉운동, 입자들 간의 상호 운동 등을 모두 동시에 고려하여 정확한 엄밀해를 구하는 것은 어렵다. 따라서 이러한 모델을 수치해석이라는 방법을 이용하여 근사해를 구함으로써 엄밀해에 근접할 수 있다. 또한 전체적인 경향과 양상을 보기에는 충분한 방법이기도한 수치해석 모델링 기법을 이용하여 시뮬레이션 해석을 사용한다.

다물체 동역학 해석용 소프트웨어인 ADAMS<sup>(5)</sup>를 이용하여 스크린을 모델링하고 수치해석을 수행하였다. 운동모델은 입자상호간의 접촉운동을 정의하였고, 입자와 경사판 혹은 경사면들을 모두 접촉시킨 후 입자를 자유낙하 시켰다. 또한 경사판과 스크린 전체 모델은 앞 절에서 언급한 것처럼 강제진동을 시켰다. 입자 모델의 경우 작은

Table 1 Simulation conditions

Mass of screen with particles(kg)	10,500
Amplitude(mm)	5
Exciting frequency(rad/s)	125.6
Solution time interval(sec)	0.001
Solution method	4th order Runge-Kutta

입자는 20 mm 큰 입자는 60 mm로 만들었다. 입자가 경사면과 만났을 때 마찰력으로 인해 좌상 방향으로 힘을 받는데 이는 입자의 회전운동과 병진운동으로 표현된다. 실제 입자가 작은 경우는 회전운동보다는 병진운동에 더 큰 영향을 받으므로 입자의 형상을 완전한 구형이 아닌 타원형으로 모델링하였다.

해석조건은 Table 1과 같다. 진폭과 가진 회전수는 실제 진동식 스크린을 운용할 때마다 가변적이다. 그리고 본 해석에서는 진폭과 회전수에 따른 분리 성능이 아니라 입자의 운동에 초점을 맞추었기 때문에 실제 시제품의 중속에 해당하는 값을 기준으로 사용하였다.

본 논문에서는 크게 세 가지를 시뮬레이션하였다. 입자들의 상호작용에 의해 부피가 큰 입자의 경우 입자들의 상부층으로 밀려올라가는 현상 규명하는 것과 둘째로 간단히 경사판과 입자만 모델링하여 진동 시 입자들의 크기에 따른 운동 경향, 마지막으로 스크린 전체를 모델링하여 진동시킬 때 입자가 어떤 운동을 보이는지에 대한 운동 경향에 대해 해석을 수행하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 입자들 간의 상호운동

입자들이 경사면위에 일정 두께로 층을 형성하고 있을 때 스크린을 일정 속도로 진동시키면 입자가 작은 것들은 낮은 층으로 큰 것은 위쪽 표면층으로 이동하게 되는 것을 실험 및 경험적으로 알 수 있다. 이 부분을 물리적으로 정확한 이해가 있어야 진동스크린의 여러 조건들을 적용하는데 유리하며 또한 보다 정확한 결과를 예측할 수 있기에 입자들 간의 상호운동을 규명하기 위하여 Fig. 6와 같이 모델링하여 해석을 수행하였다.

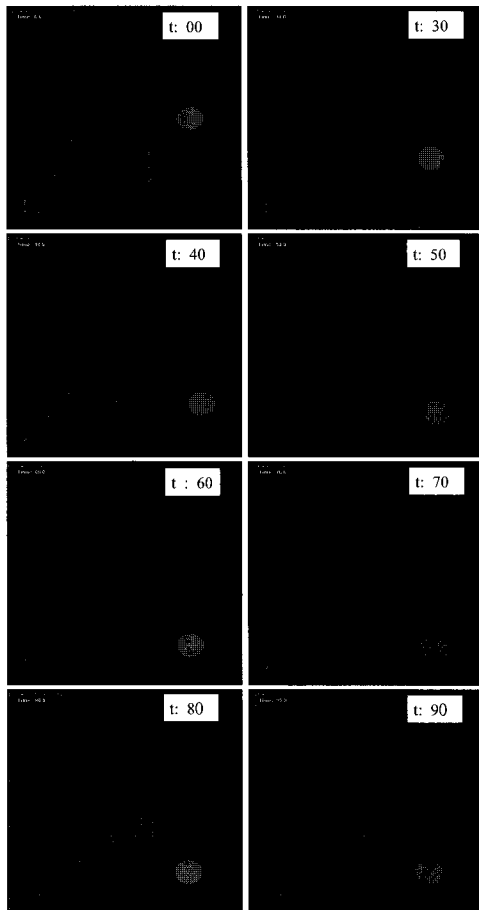


Fig. 6 Interaction between waste particles.

그림에서 보는 바와 같이  $t=0$ 으로부터 시간경과와 더불어 크기가 작은 입자 혹은 부피가 작은 입자는 아래로 향하고 큰 입자가 결국 위로 향하여 결국 분리가 되는 것을 볼 수 있다. 이는 큰 입자의 틈을 작은 입자가 파고들면서 큰 입자를 밑에서 밀어 올린다는 것을 알 수 있다. 즉 입자들 간의 상호작용에서 크기가 큰 입자가 가지는 틈을 작은 입자가 침투한다는 사실을 통해 모든 시스템은 에너지가 최소가 되는 상태 즉 stationary를 찾아 간다는 사실을 확인할 수 있으며 본 입자 상호 운동 모델의 경우 큰 입자가 위로 올라가면서 작은 입자가 밑에 위치하는 구조가 안정적인 구조임을 알 수 있다. 이러한 메카니즘은 Soldinger(1999, 2000)<sup>(3, 6)</sup>의 수치해석결과에 보다 명확히 기술되어 있다.

### 3.2 경사판과 입자의 상호운동

간단히 경사판과 입자만 모델링하여 가진되는 경사판과 자유낙하하는 입자 모델간의 상호 운동을 해석하였다. 입자는 큰 것은 60 mm, 작은 것은 20 mm의 크기이고 구형이 아닌 타원형으로 모델링하였다. 시뮬레이션은 작은 입자(Fig. 7), 큰 입자(Fig. 8), 혼합 입자들(Fig. 9)에 대해 각각 수행하였다.

Fig. 7의 작은 입자만 고려한 경우는 전반적으로 상호작용이 있어도 경사면의 높은 쪽으로 이동하였고, Fig. 8의 큰 입자만 고려한 경우는 경사면 낮은 쪽으로 움직이는 것을 확인할 수 있었다. 두 가지 크기의 입자가 혼합된 모델(Fig. 9)에서는 큰 입자는 아래로 작은 입자는 위로 향하는 경향이 두드러짐을 확인하였다. 입자와 경사면이 접촉점에서 발생하는 마찰력으로 인해 입자에 전달되는 힘은 입자의 무게중심에서는 입자를 밀어 올리는 힘과 회전력의 합으로 표현된다. 입자가 경

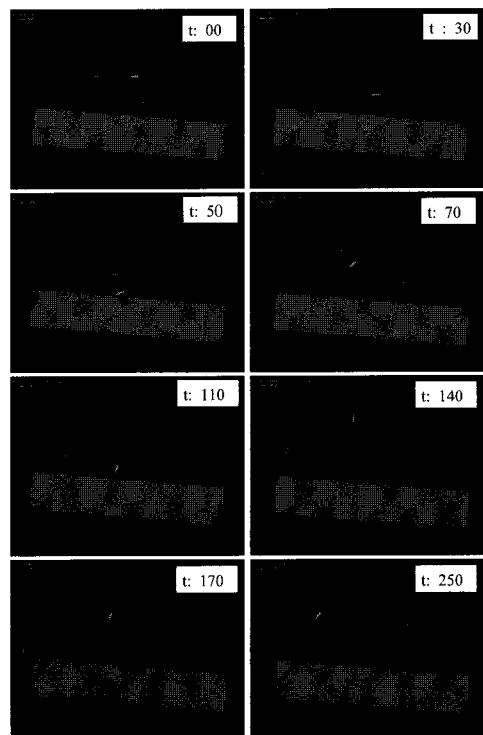


Fig. 7 Motion of small particles on the inclined screen.

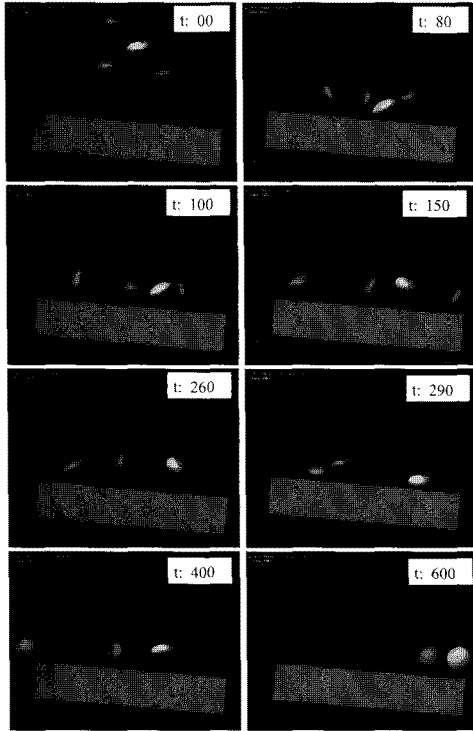


Fig. 8 Motion of large particles on the inclined screen.

사면을 따라 올라가는 데는 미는 힘이 큰 영향을 끼치고, 회전력의 경우 오히려 올라가는데 방해가 되기도 한다.

입자가 작은 경우는 경사면과 중심간의 거리가 짧아 상대적으로 회전력보다 병진력이 더 크게 작용한다. 이로 인해 경사면을 따라 작은 입자가 높은 쪽(진동하는 방향 또는 힘을 받는 방향)으로 이동하게 된다. 반면에 입자가 큰 경우는 마찰에 의해 발생하는 힘 중 1차적으로 회전력으로 많이 흡수되고 떨어지는 관성력이 병진력보다 크기 때문에 아래로 떨어지게 되는 것이다.

Fig. 9에서 보는 바와 같이 작은 입자와 큰 입자가 섞여 있을 경우 작은 입자가 경사면의 위쪽으로 향하고 큰 입자가 아래쪽으로 향하는 것이 두드러지게 드러남을 볼 수 있다. 이러한 현상이 진동의 주파수가 일정할 때 경사면의 경사각 크기에 따라 어떻게 변하는지 알기위해 경사각 0°에서부터 15°까지 각도에 변화를 주면서 양상을 살펴보았다. 입자와 경사면의 상호운동에 대한 결과를 얻기 위해 입자간의 상호작용을 고려하지 않

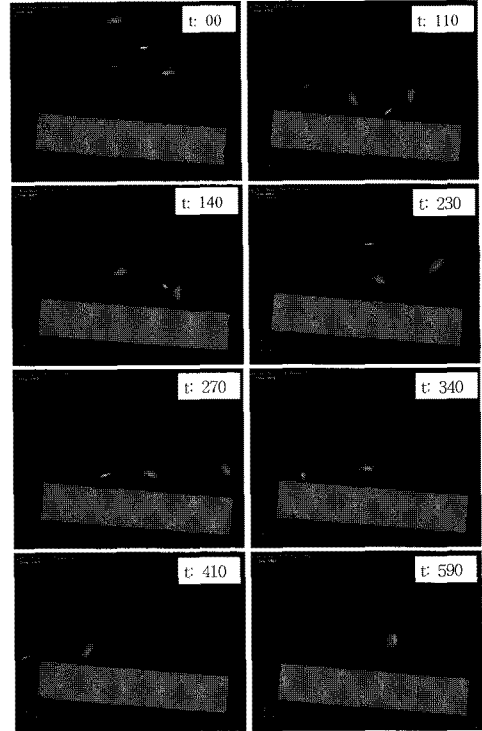


Fig. 9 Motion of mixed particles on the inclined screen.

았다.

Fig. 10는 경사각에 따른 분리성능을 파악하기 위해 경사면에서 머무르는 시간을 경사각에 대해 나타내고 있다. 경사각이 6°인 경우 입자의 크기에 관계없이 가장 많은 시간동안 머물러 있다. 또

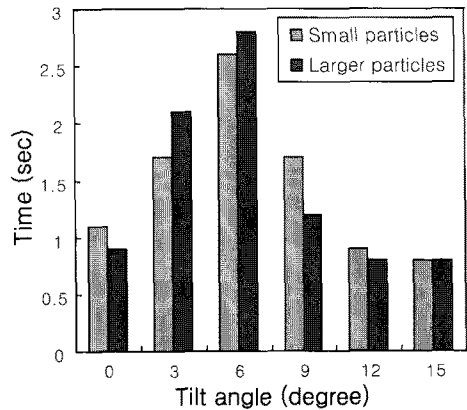


Fig. 10 Staying time for small and larger particles with the tilt angle.

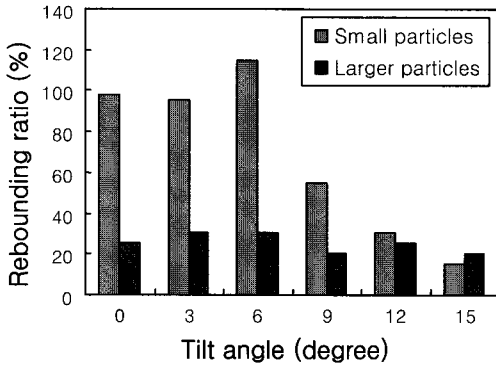


Fig. 11 Rebounding ratio for small and larger particles with the tilt angle.

한 작은 입자의 경우 3~9°의 경사면에서 1.5초 이상 머물러 있는 반면 큰 입자의 경우는 3°와 6°에서만 1.5초 이상 머물러 있다. 전체적인 경향을 보면 6°부근의 기울기를 기준으로 경사각이 커질수록 머무르는 시간이 줄어들을 볼 수 있다. 특히 15°의 경우는 입자의 크기와 관계없이 빨리 떨어지는 것을 보이는데 이는 경사면과의 마찰력에 의한 영향이 현저히 줄어들어 거의 효과가 없음을 의미한다.

Fig. 11은 동일한 위치에서 떨어뜨린 입자가 진동하는 경사면과의 상호운동에 의해 경사면에서 튀어 오른 최대의 높이를 비율로 표시하여 비교한 그래프이다. 이는 실제 풍동이 있을 경우 풍동에서 나오는 바람에 의해 분리되는데 중요한 역할을 하는 것이다. 입자가 경사면에 오래 머무를수록 또한 경사면에서 많이 튀어 오를수록 바람의 영향을 많이 받게 된다. 경사각과 관계없이 상대적으로 중량이 많이 나가는 큰 입자는 많이 튀어 오르지 않으나 작은 입자의 경우 6°까지는 거의 처음 위치까지 튀어 오르며 9°의 경우도 60% 가량 튀어 오르는 것을 볼 수 있다.

이 둘을 비교하여 두 가지 조건 모두에 좋은 성능을 보이는 경사각은 3~6°구간이고 초기속도를 고려한다면 0~10°가 분리성능이 좋은 것을 알 수 있다. 또한 약 6° 전후에서 최적의 분리성능을 보일 것으로 기대된다.

### 3.3 전체 스크린 모델에 대한 입자의 운동

Fig. 12 과 Fig. 13는 각각 스크린의 내부에서 작은 입자와 큰 입자의 운동 궤적을 표시한 것이

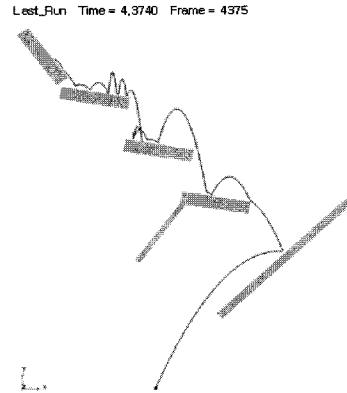


Fig. 12 Trajectory small particles.

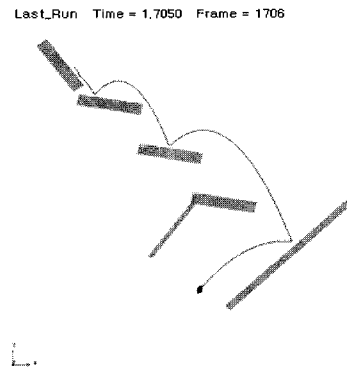


Fig. 13 Trajectory larger particles.

다. 두 모델 모두 동일한 초기위치에서 입자를 자유 낙하하여 해석한 것이다. 입자가 스크린과 상호 운동을 한 후 스크린에서 빠져나가는 시간이 작은 입자의 경우는 약 4.4초이고 큰 입자의 경우 약 1.7초이다. 진동이외의 외부로부터 힘의 전달이 없는 상태에서 스크린과의 접촉운동만 고려한 경우 작은 입자가 큰 입자보다 약 2.5배 가량 더 오래 스크린의 경사면에 머물고 있다. 실제 스크린의 우측에 풍동을 설치하여 일정량의 풍력을 각 경사면에 가하게 되는데 이 경우 입자가 경사면에 오래 머무르거나 높이 튀는 것이 분리되는데 영향을 끼친다. 그림에서 보는 바와 같이 작은 입자의 경우(Fig. 12) 첫 번째 혹은 두 번째 경사면에서 분리될 가능성이 높다는 것을 확인할 수 있다.

운동 궤적을 통해 운동의 특성을 비교해보면 작은 입자의 경우는 경사면과 자주 접촉함은 물론 위쪽방향으로 높이 튀는 경향이 있는 반면에 큰

입자의 경우 경사면을 맞고 그대로 스크린의 외부로 빠져나가는 것을 볼 수 있다. 이러한 경향을 통해서 본 모델의 분리성능에 대한 이론적 근거 뿐 아니라 실험적이고 경험적인 사실을 공학적으로 검증할 수 있게 되었다.

#### 4. 결 론

산업 폐기물 재활용 플랜트의 중요한 제품인 진동 스크린의 진동해석을 해석적 방법으로 현재 사용하는 진동 스크린의 자료를 적용하여 문제를 해결하였다.

(1) 진동스크린에서 입자간의 상호운동을 규명함으로써 부피가 큰 입자 혹은 비중이 낮은 입자가 진동에 의해 분리되는 현상을 재현하여 확인하였다. 이로써 진동스크린의 설계변수로 입자의 크기와 비중을 선정하여 진동스크린의 분리성능 향상을 위한 해석이 가능해졌다.

(2) 가진 시스템에서 입자의 크기에 따라 분리되는 현상을 동역학 모델로 구성하여 재현하였으며 이를 이론적으로 이해하고 검증할 수 있는 기술력을 확보하였다. 이를 이용하여 진동식모델의 설계변수에 따라 변하는 여러 가지 양상들을 예측하여 피로파손이나 과부하같은 구조적 결함을 개선할 수 있다.

(3) Fig. 10 및 Fig. 11에서 알 수 있듯이, 진동스크린의 효율면에서 경사판의 각도는 6°내외에서 최적의 성능을 가짐을 알 수 있다. 0°~10°에서 좋은 성능을 발휘함을 유추할 수 있으며, 경사각이 12°를 넘어서면서 경사면과의 상호 작용이 거의 효과가 없음을 확인할 수 있었다.

(4) 실제 진동 스크린의 내부구조를 동역학 모델로 모델링하고 스크린 내에서 입자의 운동 궤적을 구하였다. 입자의 운동 궤적을 통해 작은 입자와 큰 입자의 운동특성이 명백히 차이가 나는 것을 확인하였다. Fig. 12에서 제 2와 제 3의 경사판을 통해 작은 입자가 분리될 확률을 높일 수 있을 뿐 아니라 나아가 스크린의 분리 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

본 연구에서는 실제 진동 스크린의 모델링과 경사판 기울기에 따른 입자간의 동역학 해석에 초점을 맞추었다. 고함수율 건설 폐기물은 입자간 수분에 의한 집착력이 존재하기 때문에 실제 거동이 달라진다. 이 효과를 고려하기 위해서는 많은 입자의 상호작용을 계산해야 하기 때문에 본 연구에서는 이를 고려하지 않았고 향후 연구에는 이에 대한 효과를 고려해야 할 것으로 판단된다.

#### 후 기

본 연구는 건설교통부 첨단도시개발사업 중 “건설폐기물 재활용 기술 개발” 과제의 연구비 지원(과제번호: 05건설핵심D07)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. Yoon, J. M., Park, Y. P. and Han, Y. H., 1997, Characteristics of Three Dimensional Parts Array System Having Variable Unbalance, Trans. of the KSME(A), pp. 136-141.
2. Kang, S. H. and Sung, D. J., 1998, Vibration Effect of the Inclined Vibrating Screen on the Classification Efficiency, J. of Insti. Indust. Tech., Vol. 26, No. 2, pp. 143-151.
3. Soldinger, M., 1999, Interrelation of Stratification and Passage in the Screening Process, Minerals Engineering, Vol. 12, No. 5, pp. 497-516.
4. Zhao, Y. M., Liu, C. S. and Fan, M. M., 1999, Complicated Motion of Particles on Vibration Screen Surface, Trans. of the Nonferrous Met. Soc. China, Vol. 9, No. 4, pp. 861-864.
5. ADAMS, Mechanical Dynamics Inc., U. S. A.
6. Soldinger, M., 2000, Influence of Particle Size and Bed Thickness on the Screening Process, Minerals Engineering, Vol. 13, No. 3, pp. 297-312.