

유동층 연소로에서 충전물이 압력 요동 특성에 미치는 영향

김 미 영[†] · 조 병 렬* · 박 상 찬* · 이 동 규** · 김 의 식

충북대학교 화학공과, *충주대학교 환경공학과, **충북대학교 공업화학과
(1998년 5월 6일 접수, 1998년 7월 24일 채택)

The Effect of the Packing Materials on the Pressure Fluctuations in Fluidized Bed

Mi Young Kim[†], Byung Yeol Jo*, Sang Chan Park*, Dong Kyu Lee**, and Eui Sik Kim

Department of Chemical Engineering, Chunbuk National University

*Department of Environmental Engineering, Chunju National University

**Department of Industry Chemical Engineering, Chunbuk National University

(Received May 6, 1998; accepted July 24, 1998)

요 약: 유동층 연소로에서 압력 요동의 통계적 처리 방법을 이용하여 충전물질의 유동층 거동에 대한 영향을 분석하였다. 실험은 내경이 6.7 cm인 유동화 장치에서 수행하였고, 실험변수는 입자크기 및 분포, 유동화가스, 유동층의 aspect ratio(L/D), 충전물 등이다. 충전물질은 스크린 충전물질을 사용하였고, 압력 요동 특성은 차압 전달기로 측정하였다. 측정 압력 요동 특성치는 평균값과 표준 편차, power spectral 밀도 함수의 주진동수 등이다. 압력 요동의 표준 편차는 압력 측정 tap의 반경 방향에 거의 영향을 받지 않았으며, 압력 측정 tap의 축방향에서는 충전물이 없는 경우 가스분산관 약 4.5 cm 이상에서는 거의 일정하다. 충전물의 크기가 증가할수록 주진동수는 감소하는 경향이 나타났으며, 충전물의 양이 10% 부근에서 주진동수가 가장 큰 변화값을 나타내었다. 압력 요동의 표준 편차는 유동층 연소로의 거동을 해석하고 유동화 현상을 설명하는데 효과적이며, 압력 요동의 특성들은 충전물질에 많은 영향을 받았다.

Abstract: Effects of packing materials on the pressure fluctuations in a fluidized bed have been analysed using statistical method to interpret fluidized bed behavior. The experiments were carried out in a fluidized bed of 6.7 cm - ID, and the experimental variables were particle size and its distributions, fluidizing velocity, aspect ratio, and packing materials, etc. Screen packings are used as packing material, the properties of the pressure fluctuations in the fluidized bed were measured by a differential pressure transducer. The measured properties for the pressure fluctuations were the mean, the standard deviation, and the major frequency of the power spectral density functions, etc. The standard deviations of the pressure fluctuations have been slightly affected in the radial directions of fluidized bed, and almost constant in axial directions the height above 4.5 cm of the distributor of fluidized bed without packing materials. The major frequency decreased with increasing packing size, whereas it showed maximum at 10% of packing materials. It has been found that the standard deviation of the pressure fluctuations can effectively explain the fluidized phenomena, and the packing materials severely affected the properties of the pressure fluctuations.

Key words: Packing Effect, Fluidized Bed, Pressure Fluctuation

1. 서 론

인류는 과학의 발전에 바탕을 둔 산업의 발달을 통해 급속도로 번영을 하였다. 그러나 산업의 발전은 지구에 존재하는 자원의 이용을 강요하였으며, 인류의 풍요로운 생활의 추구하고 더불어 환경문제와 에너지 문제를 야기시켰다. 환경문제중 폐기물 발생량 증대는 지구 자원의 손실 측면에서 매우 중요한 것이라 볼 수 있다. 우리나라는 인구의 도시 집중화와 산업 구조의 변화를 통해 발생하는 폐기물의 양이 증대되고 있다. 그러나 발생된 폐기물 중 상당량은 아직도 매립지에 단순 매립되고 있는 실정이다[1-4]. 그러므로 발생된 폐기물의 감량화와 자원화를 위한 방법의 모색은 시급한 과제라 할 수 있다. 많은 방법들 중에 가연성 폐기물의 소각 처리는 폐기물의 감량화와 열에너지의 이용이라는 측면에서 경제적으로

고려해 볼 수 있는 유용한 방법중 하나이다. 소각 처리는 연소시 폐기물 성상에 따른 제2차 환경오염이 발생하므로 이에 대한 환경오염 방지 시설이 필수적이며, 폐기물을 소각하는 경우 폐기물의 성상과 연소 특성에 따른 소각 시설의 선정이 중요하다. 또한, 산업 발달로 인한 에너지 소비의 증가는 석유 자원 및 화학 연료의 고갈에 대비한 대체 에너지 자원의 개발을 필요하게 한다. 이에 대한 연구로는 부존자원의 이용 측면에서 저 품위 무연탄의 연소 공정이 개발이 있으며, 석유의 대체 에너지 측면에서 열적으로 안정성이 뛰어난 촉매를 개발하여 메탄올로부터 가솔린을 합성 할 수 있는 공정을 개발하여 새로운 석유 화학 자원의 개발이라는 관점에서 각광을 받았다[5-8]. 한편 폐기물 소각 공정, 저 품위 무연탄 연소공정 및 촉매를 이용한 가솔린 합성에서는 효과적인 물질 전달 및 열전달과 조업의 유연성 때문에 유동층 기술이 많이 이용되고 있다. 그러나 이와 같은 공정은 대부분 고온 상태에서 진행되고, 반응이 일어나는 동안 유동층내부를 관찰하기 어렵기 때문에 유동층내부의 유동상태를 해석하는 것이 매우 어려운 문제이며, 실

[†] 주 저자 (e-mail: scpak@gukwon.chungu.ac.kr)

제 폐기물 소각 공정, 무연탄 연소 공정 및 메탄을 전환에서의 유동층의 크기 및 분포를 갖는 계의 유동화 현상을 증대시킬 수 있는 방법에 대한 유동층 연구 결과는 거의 보고된 바 없으며 유동층의 유동도를 증가시킬 수 있는 방법에 대한 연구 또한 거의 없는 실정이다[9-14].

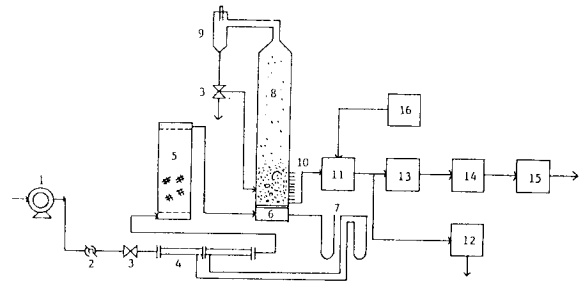
따라서 본 연구에서는 균일 입자계와 더불어 저 품위 무연탄 연소를 위해 무연탄 분쇄시 일반적으로 나타나는 분포인 Rosin-Rammler 분포계와 메탄을 전환 반응 촉매의 합성시 나타나는 분포인 Gaussian 분포계를 선정하여 실험을 수행하였고, 유동층의 유동도를 개선하기 위한 방법으로 유동층에 충전물을 넣고, 이 경우 유동 특성을 유동층의 압력 요동 신호의 통계치를 이용하여 분석하였으며, 충전물이 없는 유동층에서 얻은 결과와 비교 분석하여 유동화 현상을 해석하였다.

2. 실험

2.1. 실험 장치 및 방법

본 연구에 사용한 실험 장치는 Figure 1과 같다. 유동화 공기는 3마력 짜리 공기 압축기 (compressor)를 사용하였으며, 공기의 압력을 일정하게 조절하여 주는 정압계 (regulator)는 범위가 0~10 kg/cm²이다. 유동화 공기의 유속 측정은 hot wire anemometer (풍속계)와 flow meter kit를 이용하여 보정한 오리피스 메타를 사용하였고, 유동화 가스에 습기를 제공하는 증습기는 내경이 10 cm이고 높이가 90 cm인 아크릴 관에 1.5 cm×1 cm 원통형 스텐레스 스틸 망을 충전시키고 물을 넣어 유동화 기체가 통과시 기포를 발생하며 증습될 수 있도록 하였다. 유동 상태를 양호하게 유지시켜 주는 기체 분산판은 유동층내의 고체 입자들의 유동현상을 관찰하여 유동현상이 양호한 sintered glass filter를 사용하였으며, 유동층 본체는 내경 6.7 cm 높이 140 cm인 아크릴 관으로 제작하였다. 유동층 압력특성치를 높이에 따라 측정할 수 있도록 차압전달기 (differential pressure transducer)의 위치를 변경할 수 있게 외경 1 cm, 길이 3 cm인 아크릴 관을 유동층 분산판위로 1.5 cm 간격으로 10군데 설치하였다. 집진기는 유출되는 입자가 거의 다 회수될 수 있도록 아크릴 관으로 제작하여 사용하였다. 한편 차압 전달기는 Validyne engineering corp. model p305D를 사용하였으며, 부착시킨 tap은 내경이 4 mm이고 외경이 6 mm인 동관을 이용하였고 tap 끝 부분은 고체 입자가 들어가지 못하도록 200 mesh 스텐레스 스틸 망을 순간 접착제로 부착 시켰다. DC power 공급기는 Sorensen DGR 20-25B를 사용하였으며 15 볼트를 공급하여 여기 시켰다. 차압 전달기에서 나오는 신호를 A/D 변환기를 사용하여 개인용 컴퓨터에서 읽어 데이터를 처리하였다.

실험 방법은 유동층에 충전물을 넣고 실험하고자 하는 고체 입자를 넣은 다음 공기 압축기를 이용하여 나오는 압축 공기를 정압기로 일정하게 유지시키며, 실험을 하고자 하는 유속으로 유량계를 사용하여 유량을 조절한 다음 증습기를 통하여 증습된 공기를 유동층으로 공급하여 유동층내의 고체 입자를 유동화시켰다. 고체 입자가 분포를 갖고 유출이 있는 경우는 집진기를 사용하여 나오는 입자를 유동층으로 순환시키며 실험을 수행하였다. 실험 조건 각각의 경우 유동층내의 압력 변화를 측정하기 위해 차압 전달기를 실험하고자 하는 위치에 고정시키고 DC power 공급기를 이용하여 차압 전달기를 여기 시켰다. 차압 전달기에서 나오는 데이터를 개인용 컴퓨터를 사용하여 읽어 IMSL 통계 처리 프로그램과 FFT (fast fourier transform) 프로그램을 이용하여 압력 신호를 해석하였다. 실험에 사용한 시료는 진밀도가 2.67 g/cm³인 시멘트 물탈 압축 강도 시험용인 주분진 표준사이다. 무연탄 분쇄시 일반적으로 나타나는 Rosin-Rammler 분포계와 촉매 제조시 나타나는 Gaussian



1. Compressor 2. Pressure regulator 3. Valve 4. Orifice 5. Humidifier 6. Air box 7. Manometer 8. Fluidized bed 9. Cyclone 10. Pressure tap 11. Differential pressure transducer 12. Recorder 13. A/D converter 14. Computer 15. Printer 16. D. C. power supply

Figure 1. Schematic diagram of the experimental apparatus.

분포계는 U.S. standard 16 mesh부터 140 mesh까지의 체위에 표준사를 놓고 진동기를 이용하여 25분간 체를 진동시킨 후 분류한 균일 입자들을 혼합하여 만들었다. 혼합된 시료가 Rosin-Rammler 분포계인 경우 입자의 평균크기 d = 0.61 mm으로 일정하게 고정하고 분포의 표준 편차는 σ = 0.36이 되도록 하였으며, Gaussian 분포계는 입자의 평균크기 d = 0.57 mm으로 일정하게 놓고 표준 편차는 σ = 0.4으로 하여 만들었으며, 체에서 구분한 크기는 산술 평균값을 사용하였다. 이때 사용한 충전물의 크기는 4~8 mesh이다.

2.2. 실험 결과 해석 방법

유동층내에서 일어나는 압력 요동에 대한 자료는 확률과 통계적 방법에 의해 해석할 수 있는 random data이며, 유동현상이 random process의 결과로 나타나므로 유동화 현상이 정상 상태에 도달하면 ergodic random process로 해석할 수 있고, 이 계의 평균값은 다음 식과 같이 계산할 수 있다[15].

$$Pm = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt \tag{1}$$

여기서 Pm : 유동층 평균 압력
T : 관측 시간
P(t) : 시간 t에서 측정 압력

(1) 식에서 구한 유동층의 평균 압력을 이용하여 유동층내의 압력 요동의 표준 편차, Psd를 구하면 다음 식과 같다.

$$Psd = [\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T (P(t) - Pm)^2 dt]^{1/2} \tag{2}$$

임의 시간의 압력 요동 값이 다른 어느 시간의 압력 요동 값의 의존도를 나타내는 auto-correlation 함수를 구하여 시간 영역 함수를 빈도수 영역으로 변환시켜 power spectral density 함수, Gx(f)를 계산하면 다음 식과 같다.

$$G_x(f) = 2 \int_0^{\infty} R_x(\tau) \exp(-i2\pi f\tau) d\tau \tag{3}$$

여기서 R_{x(τ)}는 auto-correlation function, i는 복소수, f는 진동수, τ는 시간을 의미한다.

(3) 식을 이용하여 유동층에서 발생하는 기포에 의한 주진동수와 생성 진동수를 구하였다.

유동층내의 압력 요동은 유동현상에 의해 영향을 받으며, 특히 기포의 거동 특성에 의하여 결정된다고 생각할 수 있다. 압력 요동

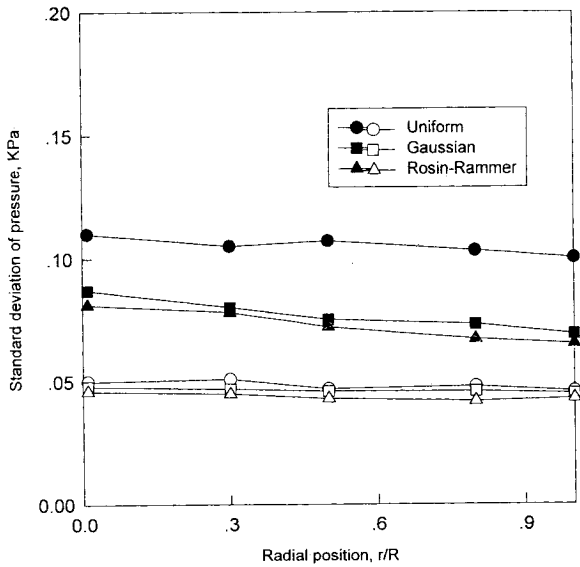


Figure 2. Standard deviations of pressure fluctuations at specific radial positions in the fluidized bed with and without packing materials (black : without, white : with).

의 power spectrum은 압력 요동의 크기와 진동수에 따른 에너지 분포를 나타내는 것으로, power spectrum이 어떤 진동수에서 고유값을 갖는다는 것은 유동층내의 압력 요동에 주기적인 요소가 존재한다는 것을 보여준다. 즉 측정 범위에서 기포의 생성과 거동이 규칙적으로 일어난다는 것을 시사해 주고 있다. 따라서 압력 요동의 power spectrum 분석 결과는 유동층내의 기포 거동에 중요한 자료를 제공할 수 있으며 power spectrum에서 최대 값을 갖는 진동수는 주진동수 (major frequency)를 의미하고, 작은 값을 갖는 진동수는 생성 진동수 (formation frequency)라 볼 수 있다[15].

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 충전물 유동층으로 부터 얻은 압력 요동 데이터를 사용하여 위에서 제시한 방법에 의해 압력 요동의 표준편차와 power spectrum을 구하여 충전물이 없는 유동층의 결과와 비교하여 유동 특성을 해석하였다.

3.1. 압력 요동의 표준 편차 특성

Figure 2는 균일 입자계, Gaussian 분포와 Rosin-Rammer 분포를 갖는 계의 유동층내의 압력 요동의 표준 편차에 대한 압력 측정 tap의 반경 방향 위치에 대한 영향을 충전물이 있는 경우와 없는 경우를 대비하여 보여 주고 있다. Figure 2에서 알 수 있는 바와 같이 고체 입자의 분포 특성에 관계없이 압력 tap의 위치가 유동층 기벽에서나 유동층 중심부에서 압력 요동의 특성치의 경향성은 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. Mori 등에 따르면 유동층내의 반경 방향 기포 분포는 유동층 기벽과 중간 사이에서 최고 값을 갖고 유동층 중심을 대칭으로 하여 좌우가 같은 값을 갖는다고 보고하였다[16]. 이는 유동층내에서 반경 방향에 따라 기포의 거동이 다르며 이로 인해 압력의 변화가 있을 것임을 예시한다. 그러나 본 연구에서는 이와 같은 결과가 일치하지 않았다. 이와 같은 이유는 본 연구에서 사용한 유동층의 직경이 6.7 cm로 작고, 측정 압력이 기포의 주변 압력이 아니라 기포의 거포로 분출되어 생성된 유동층내의 총압력 변동을 나타내기 때문으로 사료된다.

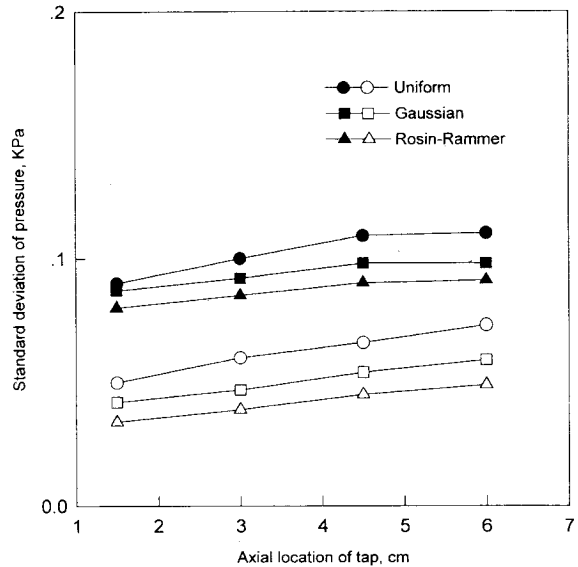


Figure 3. Standard deviations of pressure fluctuations at specific vertical positions in fluidized bed with and without packing materials (black : without, white : with).

그러나 충전물이 있는 경우와 충전물이 없는 경우에는 고체 입자의 분포에 관계없이 확연히 다른 결과가 나타났다. 즉, 충전물이 있는 경우가 충전물이 없는 경우보다 고체 입자의 분포에 관계없이 모두 압력 변동의 표준편차 값이 작다. 이와 같은 현상은 충전물에 의한 고체 입자의 유동도 (mobility)가 감소하고, 충전물이 기포생성시 영향을 주기 때문인 것으로 생각된다.

Figure 3은 균일 입자계, Gaussian 분포와 Rosin-Rammer 분포를 갖는 계의 유동층내의 압력 요동의 표준 편차에 대한 압력 측정 tap의 측방향 위치에 대한 영향을 충전물이 있는 경우와 없는 경우를 대비하여 보여 주고 있다. Figure 3에서 알 수 있는 바와 같이 충전물이 없는 경우에는 압력 변동의 표준편차가 압력 tap의 위치가 기체 분산판에서 높아질수록 고체 입자의 특성에 관계없이 증가하다가 어느 정도 이상(약 4.5 cm)에서는 그 변화가 적어진다. 그러나 충전물이 있는 경우에는 압력 요동의 표준편차가 완만하게 증가한다. 이와 같은 경향은 충전물이 없는 경우의 본연구에서 사용한 실험 장치에서 4.5 cm 이상에서는 기포의 합체와 분출로 인한 압력 변동이 거의 같음을 예시하고 있으며, 충전물이 있는 경우에는 기포의 생성과 합체에 영향을 주기 때문인 것으로 사료된다. 유동층내에서 기포 (bubble)의 거동에 의한 압력 변동은 기포의 생성과 소멸에 의해 영향을 받으며, 이때 기포의 생성은 기체 분산판에서 유동화 기체와 유동화 매체간에 밀도차 등에 의해 고체의 진동으로 공극 (cavity)이 생기고, 이것이 성장하여 발생한다. 유동화 기체 분산판 근처에서의 압력 요동 특성은 초기 기포의 생성에 의해 영향을 받을 것으로 생각되며, 유동화 고체 입자의 밀도가 일정한 한 종류라면 유동화 고체 입자의 크기 및 분포 등에 영향을 받는다. 또한 생성된 기포는 합체와 붕괴를 거듭하며 유동층 상부로 움직이는 데 이 때 기포의 거동에 의해 발생한 에너지는 확산 전달에 의해 유동층 압력 요동 크기에 영향을 주며, 발산 에너지는 유동층의 농후상 (emulsion)을 통해 전달되는 속도가 크므로 유동화 상태가 양호하다면, 압력 변동 또한 적을 것으로 생각할 수 있다. 따라서 Figure 3의 결과 충전물이 있는 경우가 충전물이 없는 경우보다 양호하며, 균일 입자보다 분포를 갖고 있는 계가 유동화 상태가 양호하다고 할 수 있다.

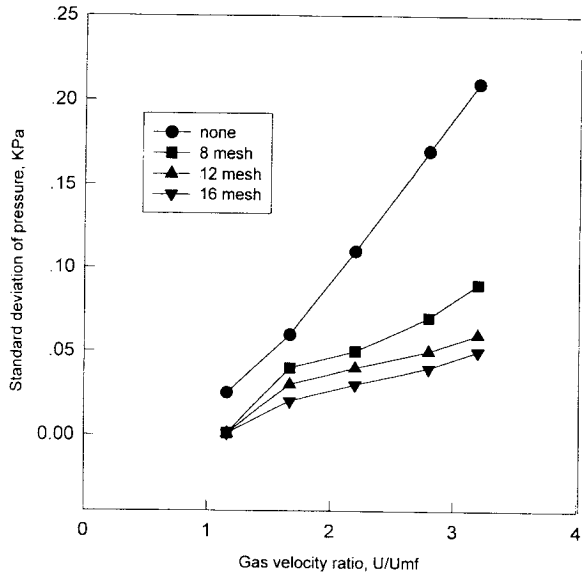


Figure 4. Effect of packing size on the standard deviation of pressure fluctuation in the fluidized bed.

Figure 4는 균일 입자계의 유동층내 압력 요동의 표준 편차에 대한 충전물 크기의 영향을 보여주고 있다. Figure 4에서 알 수 있듯이 충전물의 크기가 감소할수록 압력 변동의 표준편차는 감소한다. 이와 같은 현상은 충전물의 opening 면적이 클수록 생성 기포의 크기가 감소하고, 고체 입자의 거동에 영향을 주기 때문이다. 그러나 8 mesh screen을 넣었을 경우가 충전물이 없는 경우보다 현저히 압력 변동의 표준편차가 감소하였으나 충전물의 크기가 변하여도 그 값에 비례하여 감소하지는 않았다. 한편 유속이 증가할수록 충전물이 있는 경우와 충전물이 없는 경우의 차이는 훨씬 크게 나타났다. 이는 유동층에 충전물을 넣을 경우 유속이 증가하여도 유동화 상태가 양호한 상태를 유지시켜 줌을 의미한다고 볼 수 있다.

3.2. 압력 요동의 주진동수

Figure 5는 충전물이 있는 경우와 없는 경우, 유동층내 압력 요동의 power spectrum 주진동수 변화에 대한 유동화 속도의 영향을 보여주고 있다. Figure 5에서 알 수 있는 바와 같이 균일 입자계, Gaussian 분포와 Rosin-Rammler 분포를 갖는 계 모두 충전물이 없는 경우 보다 충전물이 있을 때, 주진동수가 유동화 가스 속도 증가에 따라 완만한 증가를 하였다. 그러나 균일 입자의 경우가 Gaussian 분포와 Rosin-Rammler 분포를 갖는 계보다 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. Harrison 등의 보고에 의하면 기포의 최대 크기는 기포의 와류 (wake)에 포함되어 있는 고체 입자의 종말 속도와 기포의 상승 속도가 같을 경우라고 하였다[17]. 이는 일정한 크기를 갖는 균일 입자의 경우보다 그와 같은 평균 입자 크기를 갖고 넓은 분포를 갖는 계가 작은 입자의 존재로 인해 기포의 최대 크기가 작을 것이라는 것을 제시해 준다. 따라서 Figure 5의 결과는 입자가 분포를 갖고 있는 계의 기포 최대크기가 작아 균일계에서 생성된 큰 기포 보다 안정성이 있기 때문에 충전물의 충전에 의해 깨어지는 영향을 적게 받는 것으로 사료된다. 유동층내에서 기포 거동에 의한 압력 요동으로 나타나는 주진동수는 유동화의 기포 크기와 관련이 있으며 유동화의 기체 유속이 증가하면 기포의 크기도 증가하며 그 기포의 거동으로 인해 생기는 유동층내의 압력 변동이 크고 주진동수는 감소할 것으로 해석할 수 있다.

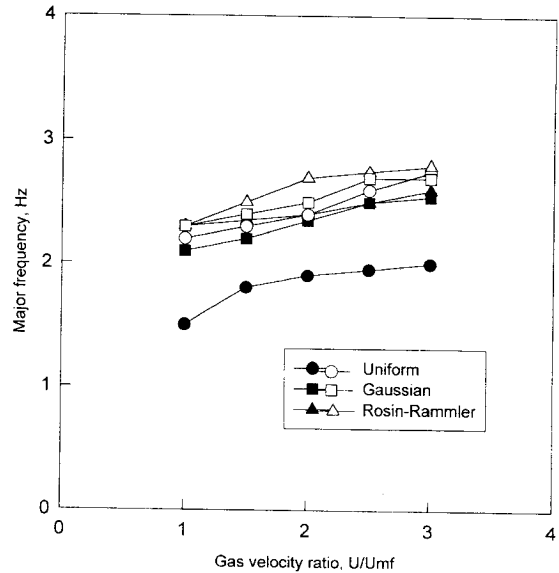


Figure 5. Effect of gas velocity on major frequency with and without packing materials (black : without, white : with).

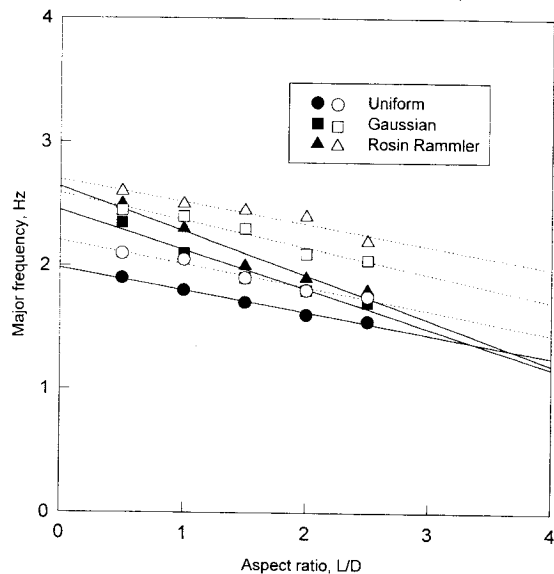


Figure 6. Effect of static bed height on major frequency with and without packing materials (black : with, white : without).

Figure 6은 충전물이 있는 경우와 없는 경우, 유동층내 압력 요동의 power spectrum 주진동수에 대한 유동매체의 양에 의한 영향을 보여주고 있다. Figure 6에서 나타나 있는 바와 같이 유동매체의 양이 증가하면 고체 입자 분포 특성에 관계없이 주진동수는 감소하는 경향을 나타내지만, 충전물이 있는 경우가 충전물이 없는 경우보다 주진동수가 유동화 매체의 양이 증가함에 따라 적게 영향을 받는 것으로 나타났다. 이는 유동 매체의 양이 증가하면 유동내에서 생성된 기포의 최대 크기가 증가하기 때문이며, Lirag 등에 의하면 기포의 크기와 진동수의 관계는 반비례한다고 보고하였으며 이러한 현상이 설명된다[18].

Figure 7은 유동층내 압력 요동의 power spectrum 주진동수에 대한 충전물의 크기 영향을 보여주고 있다. Figure 7에서 나타나

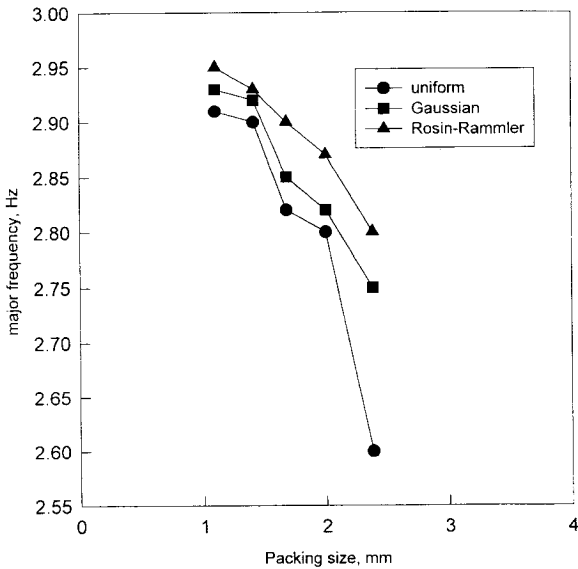


Figure 7. Effect of packing size on major frequency.

있는 바와 같이 고체 입자 분포 특성에 관계없이 충전물의 크기가 증가할수록 주진동수는 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 충전물의 크기에 따라 기포의 크기도 영향을 받는 것으로 해석된다.

Figure 8은 충전물 양의 영향을 보여주고 있다. 충전물의 양이 10% 부근에서 주진동수가 가장 큰 값을 갖는 것으로 나타났다. 이것은 앞에서 설명한 바와 같이, 이 값에서 생성되는 기포의 크기가 가장 작은 것을 의미하며 유동화 상태가 좋은 것을 의미 한다. 따라서 유동층에 충전물을 충전하고 조업을 할 경우에는 이 범위에서 조업을 하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 이와 같은 결과는 다른 연구자들이 충전물이 있는 경우의 고체 혼합의 축방향 연구 결과와 유사한 것이다[19].

4. 결 론

본 연구에서는 유동층 조업시 필수적으로 측정하여야만 하는 압력 변동의 결과를 통계 처리하여 압력요동 특성치를 구하였다. 실험은 균일 입자계와 더불어 저 품위 무연탄 연소를 위해 무연탄 분쇄시 일반적으로 나타나는 분포인 Rosin-Rammler 분포계와 메탄올 전환 반응 촉매의 합성시 나타나는 분포인 Gaussian분포계를 선정하여 수행하였고, 유동층내부에 충전물을 충전시킨 경우와 충전물이 없는 경우를 비교하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 압력 요동의 표준 편차는 고체 입자의 분포 특성에 관계없이 압력 측정 tap의 반경 방향에 거의 영향을 받지 않았으며, 압력 측정 tap의 축방향에서는 충전물이 없는 경우에는 약 4.5 cm 이상에서는 거의 일정해지는 경향이 있으나, 충전물이 있는 경우에는 완만한 증가와 함께 유동화가 훨씬 양호한 것으로 나타났다.

2) 유동 매체의 양이 증가하면 고체 입자 분포 특성에 관계없이 주진동수는 감소하는 경향을 나타내지만, 충전물이 있는 경우가 충전물이 없는 경우보다 주진동수가 유동화 매체의 양이 증가함에 따라 적게 영향을 받는 것으로 나타났다.

3) 충전물의 크기가 증가할수록 주진동수가 감소하는 경향이 나타났으며, 충전물의 양이 10%부근에서 주진동수가 가장 큰 값을 나타내었다.

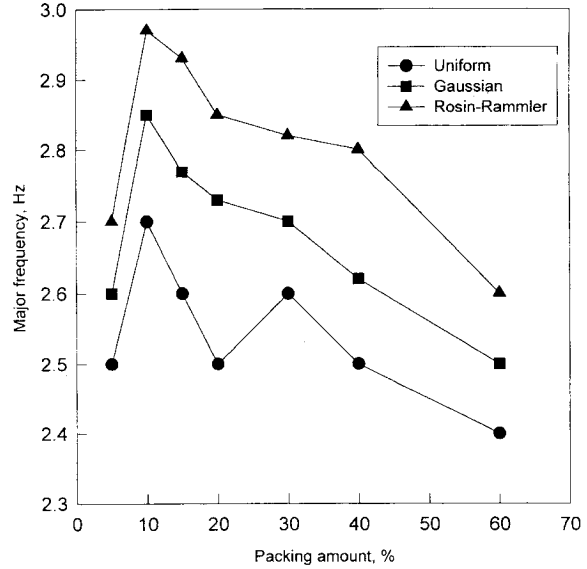


Figure 8. Effect of packing amount on major frequency.

4) 표준편차와 주진동수의 해석 결과 균일 입자계가, Gaussian 분포와 Rosin-Rammler 분포를 갖는 계보다 충전물의 영향을 크게 받았다.

참 고 문 헌

1. 이봉훈, "유동상식 쓰레기소각로 설계 실무", 동화기술, (1995).
2. Calvin R. Brunner, "Hand book of incineration system", McGraw-Hill (1991).
3. M. Radovanovic, "Fluidized bed combustion", Hemisphere publishing corporation (1986).
4. 김진섭 역, "폐기물소각기술", 성안당 (1996).
5. S. Manohar, *Hydrocarbon Processing*, June, 138 (1981).
6. C. D. Chang, *Cat. Rev. Sci. Eng.*, 25, 1(1983).
7. R. J. Argauer and G. R. Landolt, U.S.Pat 3,702,886(1972).
8. J. R. Anderson and K. Folger., *J. of Catal.*, 61, 477(1980).
9. E. Ekinci, H. Atakul and M. Tolay, *Powd. Tech.*, 61, 185 (1990).
10. D. Liederman and G. A. J. Homoka, *In. Eng. Chem. Pro. Des. Dev.*, 17, 340(1978)
11. Straja, *Chem. Eng. Sci.*, 44, 49(1989)
12. N. Sadasivan and D. Barreteau and C. Laguerie., *Pwod. Tech.*, 26, 67(1980)
13. S. C. Park, B. R. Jo and S. S. Hong., *J. of Korean Ind. & Eng. Chem.*, 6, (1995).
14. B. R. Jo, and K. Y. Kim. *Korean J. Sanitation*, 11, (1996).
15. B. R. Jo, "기체-고체 유동층의 압력 요동 특성," 고려대학교 Ph. D. Thesis, (1986).
16. S. Mori, *AIChE. Symp. Ser.*, 80, (1984).
17. D. Harrison and J. F. Davidson, "Fluidized Particles", Cambridge University Press, New York(1973).
18. R. C. Lirag, and H. Littman, *AIChE Symp. Ser.*, 67, 11(1971).
19. J. P. Sutherland, *AIChE. J.*, 9, (1963).