

원환관 형태의 기-고 유동층 광촉매 반응기의 압력변동 특성연구

남우석, 한귀영*
 성균관대학교 화학공학과
 (gyhan@skku.ac.kr*)

Study of characteristic of pressure fluctuations in the annular type gas-solid fluidized bed photo reactor

Wooseok Nam, G. Y. Han*
 Dept. of Chemical Engineering, Sungkyunkwan University
 (gyhan@skku.ac.kr*)

서론

유동층에서 기체 유속을 증가시킴에 따라 층 내의 다른 유동화 영역이 나타나고 각 유동영역에서 다른 흐름 특성을 보인다. 유동층 내 압력 요동은 유동층의 기하학적 형태, 층 내부의 압력, 입자의 물성 및 유체의 흐름 형태와 조건등에 영향을 받는다. TiO₂ 광촉매를 코팅한 입자 직경이 약 100 μm인 SiO₂를 이용한 annular type 기상 유동층에서의 기-고체 흐름 영역에 대한 수력학적 특성을 살펴보고자 하였다. 광촉매 입자를 사용한 유동층 반응기에 있어서 기포는 내부의 광원에서 반응기 내부로 광을 전달하는 통로역할을 하게 되는데, 실제 반응에 있어서 과도한 기포는 오히려 반응물의 by-pass를 유발하게 된다. 따라서 적절한 광반응을 유도하기 위한 유동층 반응기의 운전조건에 대한 수력학적 특성을 연구할 필요가 있다.

유동층 내에서의 압력변동(pressure fluctuations)은 많은 상들의 유기적인 접촉 및 상호작용의 결과로 발생하는 것으로 관찰되어져 왔으며, 유동화 상태의 질을 나타내는 척도로 사용되어져 왔다. 그러나, 압력변동 특성은 매우 복잡한 난류계와 카오스계의 종합적인 정보를 내포하고 있으므로 이들에 대한 해석방법의 한계성 및 복잡성 때문에 아직 완전하게 이해되지 않고 있다[1].

본 연구에서는 매 80초 동안에 취득한 압력변동신호 자료를 각각 Statistical, Spectral, 그리고 Chaos analysis를 이용하여 해석함으로써, 광촉매 반응기 내부의 수력학적 변수를 도출하고자 하였으며, 이러한 기법을 공정조업과 현재 조업상태를 on-line monitoring 할 수 있는 효과적인 방법으로 제시하고자 한다.

본론

본 연구에 사용된 실험 장치의 모식도를 Fig. 1에 나타내었다. 실험 장치는 크게 반응기체 주입부와 광반응부, 사이클론으로 구성되었고, 광반응부는 직경 7 cm, 높이 100 cm이며 내부흐름의 관찰이 가능하도록 아크릴 관으로 제작되었다. r광촉매 반응이 잘 일어나고, 광의 효율적 이용을 위하여 내분에 석영관을 설치하고 그 속에 UV-lamp를 설치 하였으며, 이로 인하여 내부에 internal이 존재하는 유동화 상태가 발생된다. 유동화 기체인 공기는 blower를 사용하여 유동층 내로 공급하였으며, 분산판 밑에 50 micron의 screen을 부착하여 입자의 이탈을 방지하였다. 초기 층 높이는 50 cm 로 전체 유동층의 약 50% 정도 되게 하였다. 층 전체 압력변동은 분산판 바로 위와 분산판으로부터 50 cm위에

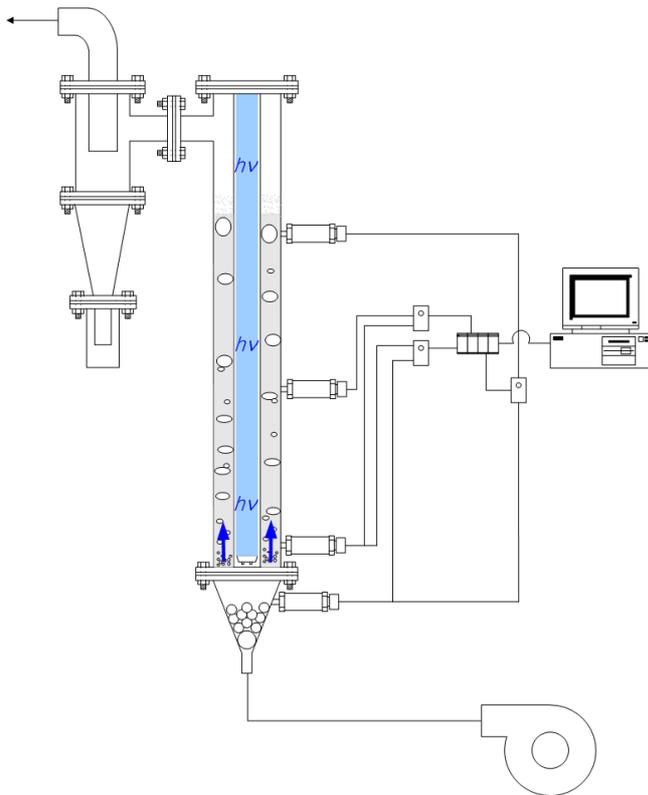


Figure 1. Experimental apparatus.

한 분야에서 그 응용 가능성을 인정받고 있다. 웨이브렛 변환은 특별히 비정상형 (nonstationary) 신호의 분석에 유리한 특징을 가져서 고전적인 단구간 푸리에 변환 (STFT : short time fourier transform)이나 가보 변환(gabor transform)을 대체할 새로운 대안으로 대두되고 있다. 웨이브렛 변환이 고전적인 단구간 푸리에 변환과 구별되는 근본적인 차이점은 안구간 푸리에 변환의 경우 모든 주파수 대역에 대하여 동일한 크기의 필터 윈도우를 사용하는 반면 웨이브렛 변환은 고주파 대역에서는 폭이 좁은 윈도우를, 저주파 대역에서는 폭이 넓은 윈도우를 사용한다는 것이다. 따라서 웨이브렛 해석은 상대 대역폭 불변 해석(constant relative bandwidth analysis)이라고도 일컬어지며, 주파수 대역의 변화 폭은 항상 주파수 값에 비례한다.

웨이브렛 변환은 입력 신호를 특정 기저 함수의 집합으로 분리하는 과정으로도 이해될 수 있다. 웨이브렛 변환에 사용되는 기저 함수의 집합은 하나의 기본 웨이브렛 기저 함수 (mother wavelet basis function)에 대한 시간축 방향으로의 확대 및 축소 그리고 평행 이동을 통해 얻어진다. 기본 웨이브렛 기저 함수는 특별한 형태의 밴드(band-pass) 필터로 생각할 수 있으며, 웨이브렛 변환의 상대 대역폭 불변성은 기본 웨이브렛 기저에 대한 시간축 방향 축소 및 확대에 의해 충족되어진다. 이에 따라 웨이브렛 변환에서는 주파수 대역이라는 용어 대신 스케일(scale)이라는 용어를 주로 사용하며, 입력 신호에 대한 웨이브렛 변환을 다른 말로 원신호의 시간,스케일 공간표현이라 일컫는다[2].

결론

우선 statistical analysis를 통하여 유속이 증가 함에 따른 반응기 내의 유동화 상태를 추론 하여 보았다. Figure 1에 나타난 바와 같이 기체 유속이 증가하면 압력 변동 폭은 점차 증가 하게 되고, 결과적으로 average absolute deviation (AAD) 값이 증가 하게 된다

압력탭을 설치하여 차압형태로 압력신호를 수집하였다. 압력변환기(차압형, Cole-Parmer Co.)로 측정된 압력신호는 A/D 변환기(KEITHLEY Co., Model : DAS 800)를 거쳐 컴퓨터에 저장되었다. 각 실험조건에서 100 Hz의 샘플링 속도로 80초 동안 8000개의 압력신호를 저장하였다. 충물질로 사용된 입자는 각각 평균 직경 130 μm , 350 μm 인 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 이며, 실험은 상온(20 $^\circ\text{C}$), 상압(1 atm)에서 충 부피의 50%를 채운 후 고정층 상태에서부터 최소 유동화 속도의 약 3배에 해당하는 영역까지 층 내의 압력변동을 관찰하였다.

Blower를 작동시키고 공기유속을 밸브 및 유량계로 조절하여 각 실험 조건에 맞춘 후, 컴퓨터에 나타나는 압력의 신호가 안정적인 조건을 만족하고 눈으로 보여 지는 층의 유동화 상태가 일정한 패턴을 가지는 정상상태에 도달하였을 때, 각 압력탭에서 측정된 압력 변동의 값을 컴퓨터에 저장하였다.

본 연구에서는 wavelet transform을 이용하여, 압력변동을 해석하였는데, 웨이브렛 해석은 연속 신호와 이산 신호의 경우에 모두 적용될 수 있으며 다양

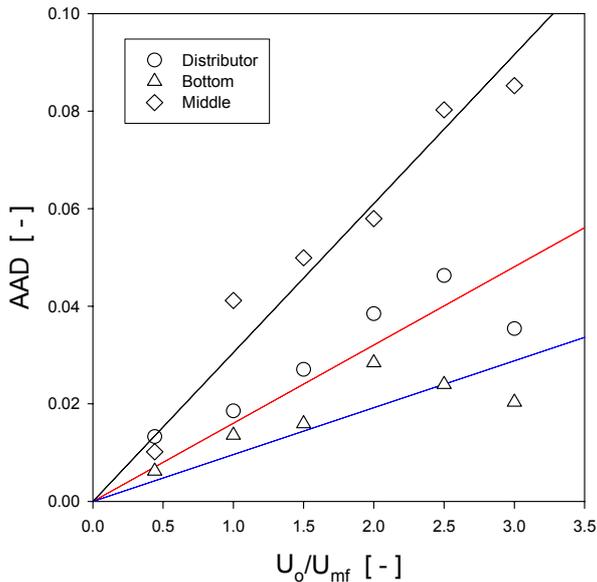


Figure 2. Average absolute deviation for different fluidizing gas velocity with internal.

호의 연속이 나타남을 알 수 있다. 이를 이용하여 sinusoidal analysis를 하여 압력 신호를 분석하였다.

[3]. 이와같은 경향은 bed 내에서 입자의 흐름이 유속의 증가에 따라서 점차로 불규칙해 짐을 의미한다.

이와 같은 경향은 다음의 그림 3에서도 확인할 수 있는데, 같은 주파수에서 주 peak를 갖는 power spectrum에서, 유속이 증가함에 따라 주파수의 변화는 거의 없지만, 주파수의 분포가 확장되어 짐을 쉽게 알 수 있다.

이는 유동화 기체의 속도가 증가함에 따라서 bubble의 발생 빈도가 점차 증가하게 되고, 그로 인하여 불규칙한 압력 변동 값을 갖게 됨을 의미한다. 이와 같이 유속의 증가에 따라서 같은 주파수를 가지면서 압력의 주파수 분포가 확장되어 짐을 wavelet spectrum을 통하여 쉽게 알 수 있다. 다음의 그림 4를 보면 유속이 증가함에 따라서 주파수의 변화 폭이 증가한 것을 알 수 있으며, 시간에 따라 주기적인 신호

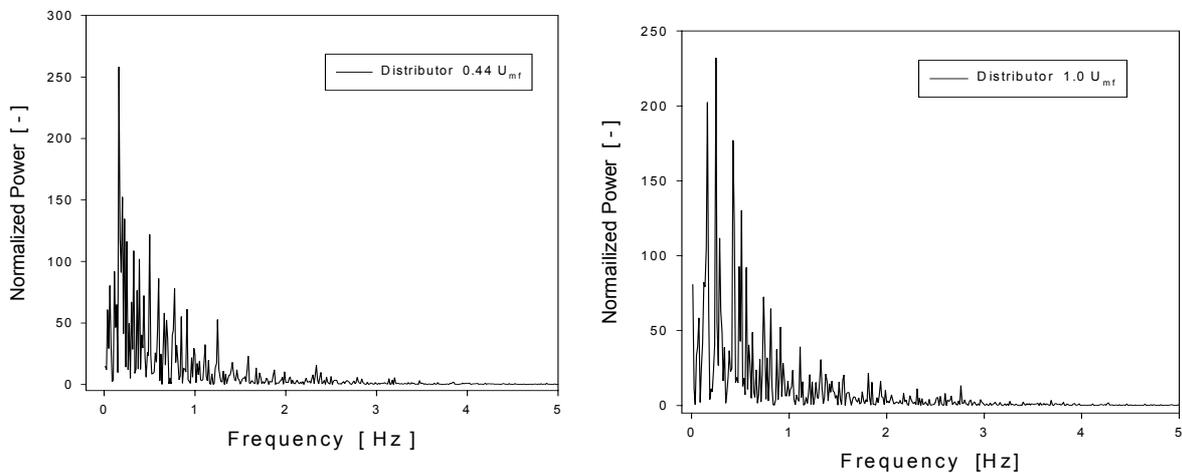


Figure 3. Power spectrum of distributor for different fluidizing gas velocity.

위 와 같은 신호의 해석을 통하여 1.5 U_{mf} 이상의 유속에서 internal이 있는 유동층 반응기의 내부는 매우 불안정한 유동 상태를 나타내며 또한 bubble의 체류시간이 짧아져서 광반응을 효율적으로 일으키기에는 부적절한 상태임을 확인 할 수 있었다.

또한, wavelet spectrum을 통한 해석을 통해서 입력 신호에 주기적인 성질이 있음을 확인할 수 있었다.

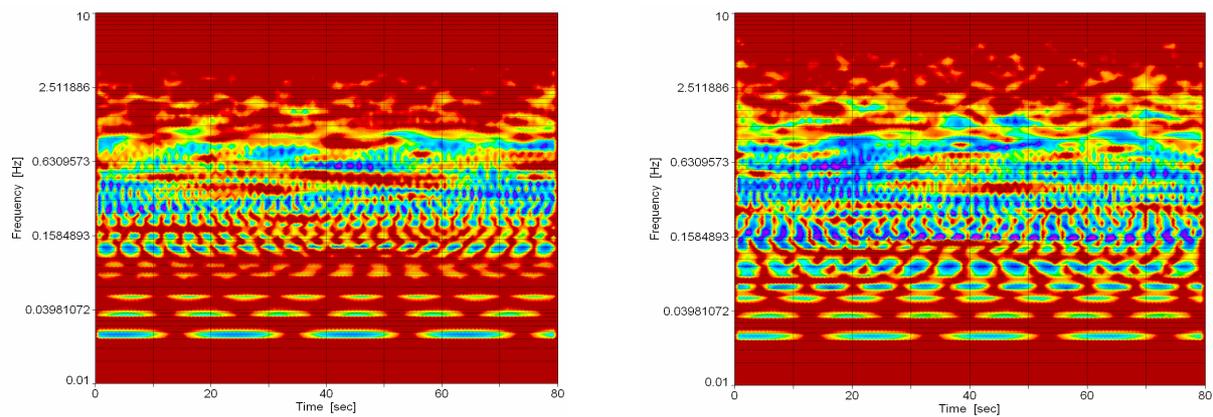


Figure 4. Wavelet spectrum of distributor for different fluidizing gas velocity.

유동층 광반응기에서 측정된 압력변동자료를 여러 해석방법으로 처리한 결과, 광반응기 내부의 수력학적 변수를 도출할 수 있는 매우 유용한 parameter 들임을 알 수 있었고, 이를 통하여 광반응의 경향을 분석 할 수 있었다.

참고문헌

1. Deckwer, W. D., On the mechanism of heat transfer in bubble column reactors, *Chem. Eng. Sci.*, **35**, 1341(1980).
2. Mallat, S., A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation., *IEEE Trans. Pattern Analysis and machine intelligence*, **11**, 674(1989).
3. Winter, O., Density and pressure fluctuations in gas fluidized beds, *AIChE*, **14**, 426(1968)