

기-액 교반조내의 금망임펠러의 물질이동 특성

이영세*, 이욱훈, 권옥균, 옥선희

경북대학교 응용화학공학부
(ysl@knu.ac.kr*)

Characteristic of Mass Transfer of Wire Gauge Impeller in Gas-Liquid Agitated Vessel

Young Sei Lee*, Lee Uk Hun, Kwon Uk Kwun, Ok Sun Hee
School of Applied Chemical Engineering, kyungpook National University
(ysl@knu.ac.kr*)

1. 서론

발효 등의 생물화학반응에서도 미생물을 배양하기 위해서 산소의 공급이 필요하고 바이오리액터로서의 기-액교반조가 이용되고 있다. 또한 대부분 공업적으로 이용되고 있는 화학반응 중에서 약 1/4은 산화반응, 염소반응 등의 기체와 액체 사이에서 일어나는 것이고 이들의 반응은 교반조형 반응기에서 조작된다. 이와 같은 이상계 교반은 균상계에 비해서 교반조내의 상태가 복잡하고 설계에 필요한 인자도 복잡하다.

교반장치의 물질이동특성은 동력특성과 마찬가지로 장치설계의 기초로 매우 중요하며 가스흡수 특성을 규정하는 인자로서도 매우 중요하다. 기-액교반의 물질이동특성에 관한 연구는 거의 난류 영역에서의 연구가 대부분이고 전이영역이나 층류영역에 대한 연구는 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 금망 임펠러를 이용 한 기-액교반조에서 교반액의 점도를 변화시켜 기-액물질이동용량 계수를 측정하고 여러 가지 금망 임펠러에 대한 물질이동특성에 대해 연구 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

실험 장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 가스 분산장치로는 링 스파자르 이용하였으며 교반액중의 산소농도를 측정하기 위해서 용존산소계를 이용하였으며 격막에 기포가 부착하기 어렵도록 경사지게 설치하였다. 교반조는 내경 185mm의 원통조를 이용하였으며 폭 18mm인 방해판을 4매 설치하였다. 교반액은 CMC 수용액 및 이온교환수를 이용하였으며 액의 높이는 190mm로 했다.

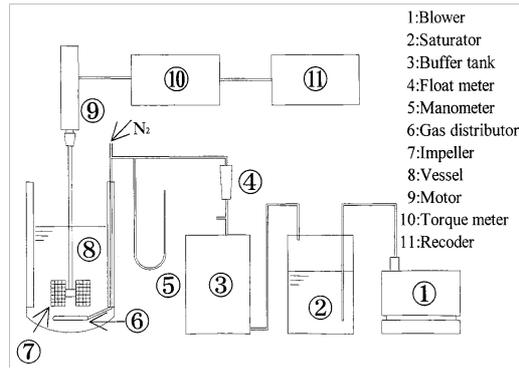


Figure 1. Experimental apparatus for gas-liquid agitation.

가스는 공기를 사용하였으며 교반 임펠러는 임펠러 직경(d), 날폭(b) 및 날매수(n_p)가 같고 금망의 매쉬가 서로 다른 금망 임펠러와 디스크터빈 임펠러 및 패들 임펠러를 이용하였다. 교반임펠러의 위치는 임펠러 하단과 방해판의 하단이 일치하도록 설치하였다.

작은 매쉬 금망 임펠러를 MS, 표준 매쉬 금망 임펠러를 W4, 큰 매쉬 금망 임펠러를 ML, 금망 임펠러와 같은 날폭의 paddle 임펠러를 P4 Disk turbine 임펠러를 DT라 표기하였다. 교반 임펠러의 상세한 사양을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Details of impeller sizes

Impeller	d [mm]	b [mm]	n_p	b/d	d/D	Mesh	ϵ
DT	92.5	17.7	6	0.191	0.500	-	-
P4	96	70	4	0.729	0.519	-	-
MS	96	70	4	0.729	0.519	16	0.489
W4	96	70	4	0.729	0.519	9	0.625
ML	96	70	4	0.729	0.519	4	0.707

2.2 실험방법

먼저 교반조에 190mm의 액높이 까지 교반액을 넣고 질소가스로 산소를 제거시키고 항온조내에서 30℃로 일정하게 유지시킨다. 그리고 송풍기로 소정유량의 공기를 주입하여 포화기에서 포화수증기로 만들어 다시 완충탱크에서 일정압력이 되게 한 후 링 스파차로부터 토출시켜나가면서 교반속도를 순차적으로 변화시키면서 그때마다 축토크를 토크메타로 측정하여 레코더에 기록하여 단위체적당 통기교반동력 P_{gv} 를 측정하였다. 이때 통기량은 로타메타, 마노메타 및 실내온도, 통기가온도로부터 측정한다. 동시에 용존산소계로 통기교반에 의한 산소농도 변화를 측정하여 디지털 멀티메타와 GP-IB 보드를 갖춘 컴퓨터로 해석하여 물질이동용량계수 $k_L a$ 를 구한다. 1회 측정이 끝나면 질소가스를 불어넣어 교반액중의 용존산소를 제거하여 몇 회를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 난류영역에서의 기-액 물질이동 특성

Fig. 2에 이온교환수에 대하여 측정한 DT 임펠러의 결과를 횡축에 단위액 체적당 통기시 교반동력 P_{gv} 와 단위 액 체적당 통기동력 P_{av} 의 합($P_{gv} + P_{av}$)을 종축에 기-액 물질이동용량계수 $k_L a$ 을 취해 나타내었다. 이 그림으로부터 통기량 Q에 따라 $P_{gv} + P_{av}$ 에 대한 $k_L a$ 의 차이가 조금 있지만 $P_{gv} + P_{av}$ 에 대한 $k_L a$ 의 의존성은 Q에 관계없이 거의 같다는 것을 알았다. 이것은 물과 같은 기포의 합일성이 큰 액체에서는 임펠러의 전단 효과가 나타나기 어렵기 때문이라

생각된다.

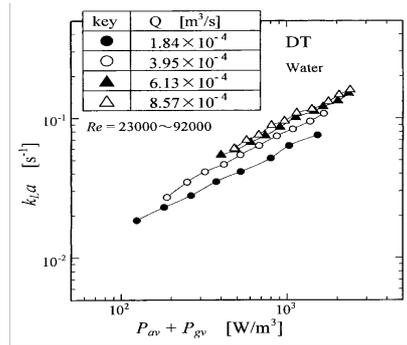


Figure 2. $k_L a$ for DT impeller in water.

또한 $k_L a$ 의 Q에 대한 영향은 통기량이 높으면 거의 없다는 것을 알았다. 이것은 Q가 작을 때는 통기량이 증가함에 따라서 교반액내의 가스 범람도 증가하기 때문에 $k_L a$ 의 값은 증가하지만 Q가 너무 많으면 가스 범람에 한계가 있기 때문에 $k_L a$ 의 값은 변화하지 않는다고 생각된다.

Fig. 3에 일반적인 패들 임펠러 형태인 금망 임펠러(W4)에 대한 결과를 나타내었다. 이 그림으로부터 W4 임펠러는 DT 임펠러와 거의 같은 경향을 나타냄을 알았다. 다른 점은 W4 완만하다는 것이다. 이것은 W4 임펠러는 DT 임펠러와는 다르게 기포를 디스크 부분에서 받아들이는 것이 아니므로 저 동력부분에서는 통기 지배가 되기 때문에 동력에 대한 의존성은 약하게 된다고 사료된다.

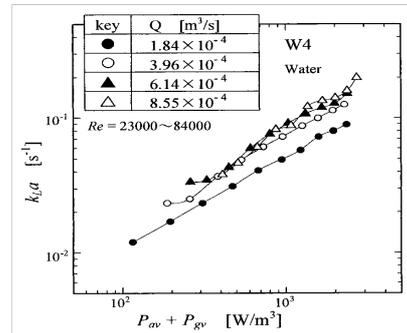


Figure 3. $k_L a$ for W4 impeller in water.

3.2 넓은 레이놀즈수 영역에서의 물질이동용량계수의 상관

교반조내 기-액간 물질이동용량계수 $k_L a$ 의 상관식은 다수 보고 되고 있다. 이들은 전 교반소요 동력($P_{gv} + P_{av}$)을 이용하여 상관하는 방법과 임펠러의 교반소요동력 P_{gv} 와 기포 흡입 시 동력 P_{av} 을 각각 변수로서 이용하는 상관법으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 교반지배에서 통기 지배 까지 넓은 조작조건에서의 $k_L a$ 의 상관을 생각한 Nishikawa 등의 상관법을 이용하였다. 금망 임펠러와 패들 임펠러의 $k_L a$ 를 난류영역에서 천이영역의 넓은 레이놀즈수 범위에서 상관결과를 Fig. 4에 나타내었다.

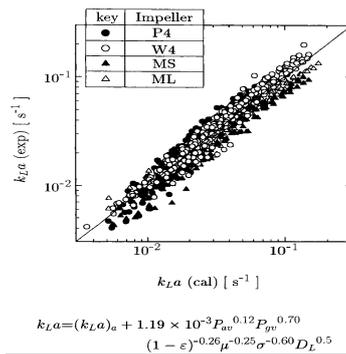


Figure 4. Comparison of correlation of $k_L a$ for various impellers.

4. 결론

디스크 터빈(DT) 임펠러와 망눈의 크기가 서로 다른 금망 패들 임펠러에 대해서 기-액 교반에서의 물질이동용량계수 $k_L a$ 의 측정을 하여 물질이동특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

난류영역에서는 교반 임펠러의 형상이 다를지라도 단위 액체적당 전 동력 $P_v (= P_{gv} + P_{av})$ 이 같다면 거의 같은 $k_L a$ 값을 얻는다. 또한 금망 임펠러의 망눈을 변화시켜도 P_v 가 같다면 거의 같은 $k_L a$ 값을 얻는다. 단 저회전수 영역의 경우 금망 임펠러에서는 범람을 일으키기 때문에 $k_L a$ 은 P_v 에 비례하지 않는다.

천이영역에서는 교반액의 점도에 따라서 금망의 망눈의 크기가 다르다면 금망 패들 임펠러의 종류에 따라서 $k_L a$ 값이 달라진다. 또한 작은 금망에서는 기포의 세분화가 일어나지 않지만 망눈이 큰 금망 임펠러에서는 망눈을 통과하는 액 흐름이 존재하여 기포의 세분화가 일어나기 때문에 높은 $k_L a$ 값을 얻을 수 있다.

참고 문헌

- 1) Calderbank, P. H. : Trans. Instn. Chem. Engrs., 36, 443(1958).
- 2) Hughmark, G. : Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop., 19, 638(1980).
- 3) Loung, H. T. and Volesky, B. : AIChE J., 25, 894(1979).
- 4) Michael, B. J. and Miller, S. A. : AIChE J., 8, 262(1962).
- 5) Nagata, S., Mixing : Principles and Applications, Kodansha Ltd., p60(1975).
- 6) Nishigawa, M., Nakamura, M. and Hashimoto, K. : J. Chem. Eng., Japan, 14, 227(1981).
- 7) Nishigawa, M., Nakamura, M., Yagi, H. and Hashimoto, K. : J. Chem. Eng., Japan, 14, 219(1981).
- 8) Kawase, Y. and Moo-Young, M. : Chem. Eng. Res. Des., 66, 284(1988).
- 9) Yagi, H. and Yoshida, F. : Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop., 14, 4(1975).