

<학술논문>

DOI <https://doi.org/10.3795/KSME-B.2017.41.6.415>

ISSN 1226-4881(Print)
2288-5324(Online)

폭기공정의 물질전달 계수와 기체 포집율 및 소요동력의 상관관계에 대한 비교연구

박상규* · 양희천**

* 전남대학교 기계설계공학부

Comparison Study on Empirical Correlation for Mass Transfer Coefficient with Gas Hold-up and Input Power of Aeration Process

Sang Kyoo Park* and Hei Cheon Yang**†

* School of Mechanical Design Engineering, Chonnam Nat'l Univ.

(Received January 12, 2017 ; Revised March 14, 2017 ; Accepted March 21, 2017)

Key Words: Aeration Process(폭기 공정), Mass Transfer Coefficient(물질전달 계수), Gas Hold-up(기체 포집율), Input Power(소요 동력), Reynolds Number(레이놀드 수)

초록: 환경규제의 강화에 따라 수처리 비용이 증가하는 추세이므로 폭기공정의 에너지 이용효율을 제고할 수 있는 소요동력에 대한 보다 정량적인 연구가 필요하다. 본 논문은 폭기공정의 물질전달 특성을 규명하기 위해 물질전달 계수와 기체 포집율 및 소요동력에 대한 상관관계식을 제시하였다. 소요동력이 커지면 기체 포집율은 감소하고 레이놀드 수는 증가하며, 혼합유동 선단 도달거리와 확산도가 증대되므로 물질전달 계수는 증가하였다. 물질전달 계수와 기체 포집율 및 소요동력의 상관관계 규명을 위해 제시한 실험식은 최대 약 ±10%의 오차 범위에서 실험결과와 일치하였다.

Abstract: As stricter environmental regulation have led to an increase in the water treatment cost, it is necessary to quantitatively study the input power of the aeration process to improve the energy efficiency of the water treatment processes. The objective of this study is to propose the empirical correlations for the mass transfer coefficient with the gas hold-up and input power in order to investigate the mass transfer characteristics of the aeration process. It was found that as the input power increases, the mass transfer coefficient increases because of the decrease of gas hold-up and increase of Reynolds number, the penetration length, and dispersion of mixed flow. The correlations for the volumetric mass transfer coefficients with gas hold-up and input power were consistent with the experimental data, with the maximum deviation less than approximately ±10.0%.

1. 서론

모든 산업의 생산비용 중에서 비중이 가장 큰 소요동력은 관련 산업의 경쟁력 향상에 중요한 영향요소이다. 급속한 경제성장에 수반한 에너지 과소비는 지구의 환경적 자정능력을 초과하여 지구 온난화 및 생태계 교란과 같은 환경 문제를 야기하고, 에너지 가격의 급등으로 경제활동의 둔화를

초래하고 있다. 에너지 과소비와 환경 문제에 대한 일차적인 대처방안은 관련 장치 및 설비의 효율성 제고로 에너지 사용을 절감하는 것이다. 특히 에너지 이용효율 향상은 에너지 공급에 소요되는 추가적인 지출을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 환경 문제를 극복하고 경제성장을 촉진할 수 있는 적절한 방안으로 사료된다.

수처리 공정에서는 주로 호기성 미생물 처리나 유독성의 휘발성유기화합물(VOC) 제거를 위해 산소 공급이 필요하다. 그러나 용해도가 낮은 공기 중 산소는 전달속도가 느려서 기-액 계면의 접촉

† Corresponding Author, hcyang@jnu.ac.kr

만으로는 오염도가 심한 하·폐수 처리에 요구되는 산소를 충분히 공급할 수 없다. 따라서 공기를 처리수에 공급하면서 기-액 계면을 계속적으로 형성시키고, 난류특성의 물질전달 과정을 수반할 수 있는 폭기가 필요하다. 전통적으로 폭기설비는 에너지 집약적인 장치로서 전체 수처리 공정의 에너지 소비량의 상당 부분을 차지한다. 따라서 최근에는 디퓨저 타입의 비효율적인 폭기장치가 에너지 이용효율이 높은 미세기포 방식으로 대체되고 있는 추세이다.⁽¹⁻⁴⁾

폭기공정의 소요동력에 대한 대부분의 연구들은 구동유체의 압송 또는 부유체 압축에 소요되는 동력을 베르누이 원리에 근거한 간접적인 방법으로 산출하고 있다. Gourich 등⁽⁵⁾은 이멸전 벤츄리(emulsion venture) 반응기의 유동 및 물질전달 특성에 미치는 실험 및 설계변수의 영향에 대한 연구를 수행하고, 에어리프트(airlift) 및 기포탑(bubble column) 방식의 반응기 성능과 비교하였다. 또한 Gourich 등⁽⁶⁾은 병류형 상·하향 이멸전 벤츄리 반응기의 물질전달 특성에 미치는 유량과 소요동력의 영향에 대한 연구를 통해 유입 공기량, 기체 포집율(gas hold-up) 그리고 물질전달 계수에 대한 실험식을 제시하였다. Fadavi와 Chisti^(7,8)는 강제순환(forced circulation)형 반응기의 기체 포집율 및 혼합특성과 물질전달 효율에 대해 규명하고, 물질전달 계수에 대한 상관관계식을 제시하였다. Cramers와 Beenackers⁽⁹⁾는 물질전달 특성에 미치는 이젝터 설계형상의 영향에 대한 연구를 통해서 이젝터의 설계 및 스케일업(scale-up) 기준을 제시하였다. 또한 de Billerbeck 등⁽¹⁰⁾은 설계형상이 상이한 이젝터의 물질전달 특성에 대한 연구를 통해서 휘발성 유기화합물의 제거성능을 규명하는 실험결과를 발표하였다.

전세계적인 환경규제 강화로 효율적인 수처리 기술에 대한 관심이 높아지는 추세이므로 에너지 이용효율을 높일 수 있는 소요동력에 대한 보다 정량적인 연구가 필요하다. 특히 폭기공정의 소요동력은 산소전달율뿐만 아니라 전동모터와 구동 및 부유체 공급과정의 제반 손실을 고려해야 한다. 그러나 기존의 연구들⁽⁵⁻¹⁰⁾과 같이 베르누이 원리를 이용한 간접적인 방법으로는 실 소요동력을 정확하게 산출하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 전동 모터-펌프의 구동에 필요한 전압과 전류를 직접 측정하여 구동유체의 압송과 부유체의 유입에 소요되는 동력을 산출하였으며,⁽¹⁾ 물질전달 계수와 기체 포집율 및 소요동력의 상관관계식을 제

시하고, 간접적인 방법을 이용한 연구결과들^(6,8)과 비교하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

전동 모터-펌프, 오리피스 노즐, 폭기수조, 가시화 시스템, 제어 및 측정장치로 구성되는 실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같다. 구동유체인 물과 부유체인 공기의 체적유량은 각각 전자제어 유량계(Kometer, KTM-800)와 오리피스 공기유량계(Kometer, PPE-S)를 이용하여 측정하였다.^(1,11-13)

Fig. 2는 오리피스 노즐의 개략도, Table 1은 2종

Table 1 Geometric specification of orifice nozzles (unit: mm or deg)

	d_p	d_s	d_o	d_d	L_p	L_d	R_o	α
ON-R20	20	3	9	21	95	109	0.20	5.2
ON-R25	28	3	14	29	135	111	0.25	6.5

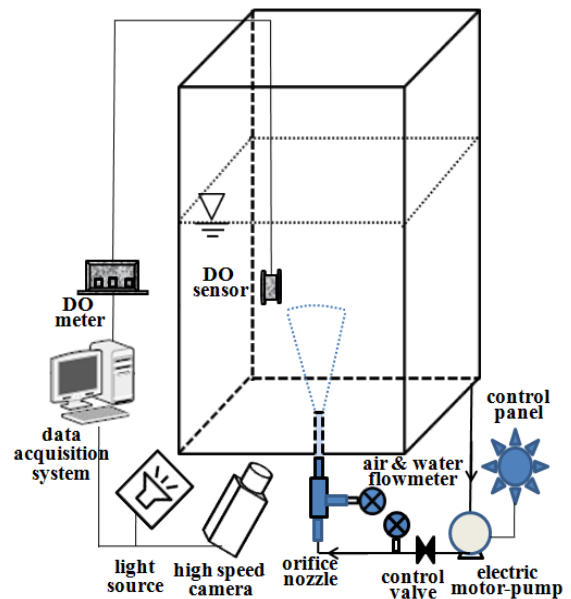


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

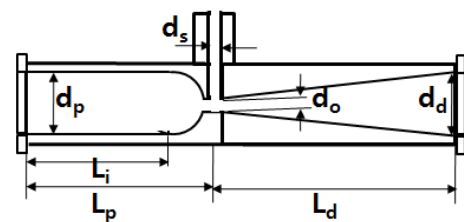


Fig. 2 Schematic diagram of an orifice nozzle

류 오리피스 노즐의 사양을 나타낸다. 여기서 d_p 와 d_s 는 구동 및 부유체 유입부의 직경, d_o 와 d_d 는 오리피스 목과 디퓨저 출구의 직경 그리고 α 는 디퓨저의 확대각을 나타낸다. 또한 오리피스 노즐의 무차원 노즐 목 면적비 R_o 는 중요한 설계변수로 이전의 연구들^(1,11,12)에서 기술하였다.

2.2 실험방법

유동실험은 폭기수조에 수돗물을 채우고 전동 모터-펌프의 회전수(rpm)를 조절하여 정상상태에 도달한 후에 전압 및 전류, 구동 및 부유체의 유량, 용존산소(dissolved oxygen) 농도(mg/L) 등을 측정하는 과정으로 진행하였다.^(1,11~13) 측정된 구동유체의 체적유량(Q_p) 및 물성치와 오리피스 목의 직경을 이용하여 식 (1)로 정의되는 레이놀드 수를 산출하였다.

$$Re = \frac{U_{po} d_o}{\nu_w} \quad (1)$$

여기서 ν_w 는 구동유체의 동점성계수(m^2/s)를 나타내며, $U_{po}(m/s)$ 는 오리피스 목에서 구동유체의 유속으로 식 (2)와 같이 주어진다.

$$U_{po} = \frac{Q_p}{\pi d_o^2 / 4} \quad (2)$$

구동유체의 압송에 소요되는 동력은 전동 모터의 전압과 전류를 측정하여 식 (3)과 같이 계산하였다.^(1,12)

$$E_p [W] = \eta_M \cdot V \cdot I \quad (3)$$

여기서 $\eta_M (=0.885)$ 은 전동 모터(WILO, H5504K1) 제작사에서 제공한 효율, $V(V)$ 는 전압 그리고 $I(A)$ 는 전류를 나타낸다.

물질전달 특성실험은 수조에 약 $12^\circ C$, $0.45m^3$ 의 순수한 수돗물을 채우고, 이론적인 반응식으로 계산된 아황산나트륨과 촉매인 염화코발트를 주입하여 탈산소화시키는 비정상 재폭기 방법을 이용하였다.^(1,11~14) 식 (4)는 산소 전달율을 나타내며, 총괄 물질전달 계수와 산소 부족량의 함수로 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{dC_t}{dt} = K_L a \cdot (C_{st} - C_t) \quad (4)$$

여기서 C_t 와 C_{st} 는 임의 시간의 용존산소 농도와 $12^\circ C$ 인 수돗물의 포화 용존산소 농도를 나타낸다.

총괄 물질전달 계수 $K_L a(1/s)$ 은 식 (5)로 계산되며, C_θ 는 초기 용존산소 농도를 나타낸다.

$$K_L a = \ln\left(\frac{C_{st} - C_\theta}{C_{st} - C_t}\right) / t \quad (5)$$

혼합유동의 가시화 이미지는 후면 조명조건에서 고속 카메라(Phantom Miro eX2)를 이용하여 초당 120프레임 (120fps)의 속도로 촬영하고, 영상이원화 기법을 이용하여 분석하였다.^(1,11~13)

3. 결과 및 고찰

전동 모터-펌프의 회전수를 조절하며 측정된 구동 및 부유체의 체적유량(Q_s) 변화를 단위체적의 구동유체당 소요동력(W/m^3)의 함수로 도시한 결과는 Fig. 3 및 Fig. 4와 같다. 소요동력이 커지면 구동유량이 증가하고, 구동유량 증가로 오리피스 목에서 구동유체의 유속이 빨라지면 베르누이 법칙에 따라 부유체 유입부의 부압이 증가하므로 유입 공기량도 증가한다.^(1,11~13) 설계형상이 다른 2 종류의 노즐에 대해 구동유체인 물의 체적유량은 $Q_p \sim E^{0.44-0.47} (R^2 = 0.99)$ 의 비례관계, 부유체인 공기의 체적유량은 $Q_s \sim E^{0.26-0.27} (R^2 = 0.92)$ 의 관계를 나타내어 압축성 부유체의 증가율이 비압축성 구

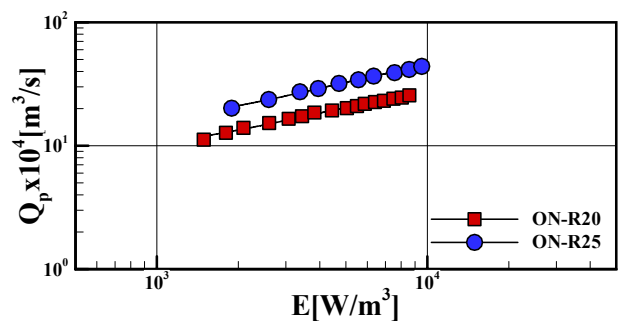


Fig. 3 Primary water flow rate with specific input power

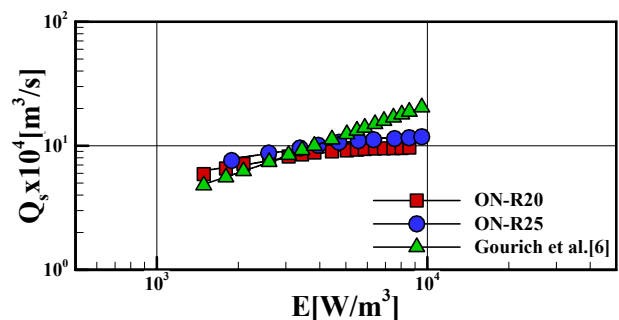


Fig. 4 Comparison of suction air flow rate with specific input power

동유체의 증가율보다 낮다는 것을 알 수 있다. 정량적으로 고찰하면, $1,850\sim 8,550\text{W/m}^3$ 의 범위에서 소요동력 증가에 따라 구동유량은 평균적으로 약 2배, 부유체의 유량은 평균적으로 약 1.5배 정도 증가하였다. 한편 Fig. 4에 비교 도시한 식 (6)으로 제시된 Gourich 등⁽⁶⁾의 부유체에 대한 실험결과는 본 연구의 소요동력 범위에서 약 3.2배 정도 증가하여, 본 연구에 비해서 2배 이상 높게 나타났다. 이는 Gourich 등이 간접적인 방법으로 산출한 $10^2\sim 3\times 10^3\text{W/m}^3$ 인 소요동력 범위에서 제시된 실험식을 본 연구에서 도출된 상대적으로 큰 범위의 값인 구동 모터의 실 소요동력을 적용하였기 때문인 것으로 판단된다.

$$Q_s = 0.161 \times 10^{-5} \cdot E^{0.78} \quad (6)$$

소요동력 증가로 구동유량이 많아지면 오리피스 목에서 유속이 커지기 때문에 레이놀드 수가 증가하는 것을 Fig. 5에서 확인할 수 있다.^(1,11~13) 2종류 노즐에 대해 $1.3\sim 3.2 \times 10^5$ 정도로 도출된 레이놀드 수는 난류 유동이며, 두 노즐의 유속과 직경 차이가 유사하기 때문에 레이놀드 수가 거의 동일하게 나타나는 것으로 판단된다.

Fig. 6은 식 (7)과 같이 정의되는 기체 포집율 변화를 단위체적의 구동유체당 소요동력의 함수로

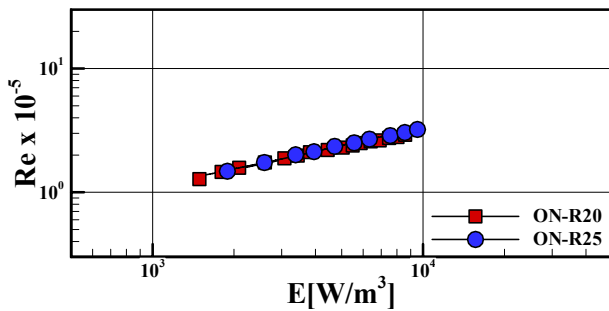


Fig. 5 Reynolds number with specific input power

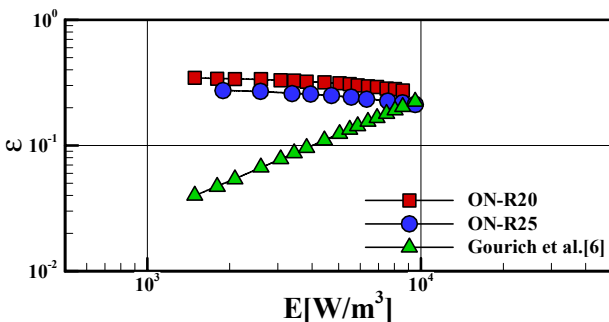


Fig. 6 Comparison of gas hold-up with specific input power

나타낸 결과이며, 식 (8)로 제시된 Gourich 등⁽⁶⁾의 실험결과와 비교·도시하였다. Fig. 3과 Fig. 4에서 기술한 것과 같이 본 연구에서는 소요동력 증가에 따라 압축성 부유체인 공기의 증가율이 비압축 구동유체인 물의 증가율보다 낮기 때문에 기체 포집율이 감소하게 된다.^(1,11~13) 반면에 Gourich 등의 결과는 Fig. 4에 비교 도시한 부유체 유입량과 유사하게 거의 선형적으로 증가하는 경향을 나타낸다. 이는 소요동력에 따른 구동유체 증가율보다 부유체 증가율이 높다는 것을 의미하며, 이러한 결과는 부유체 유입구 수의 차이에 기인하는 것으로 사료된다. 본 연구에서 이용한 오리피스 노즐의 부유체 유입구는 1개인 반면에, Gourich 등의 실험에서는 유입공기의 이멸전화를 위해 다공의 부유체 유입구를 갖는 오리피스 노즐을 사용했기 때문인 것으로 판단된다. 한편 Fig. 4에 비교 도시된 Gourich 등의 부유체 유량은 평균적으로 본 연구결과에 비해서 약간 높은데 비해서 식 (8)의 결과인 Fig. 6의 기체 포집율은 본 연구결과에 비해서 상당히 낮게 나타났다. 이러한 특성을 나타내는 Gourich 등의 부유체 유량 및 기체 포집율과 식 (7)을 이용하여 산출된 구동유량은 $7.1\sim 11.5 \times 10^3\text{m}^3/\text{s}$ 의 범위인데, 이는 Fig. 3에 도시한 본 연구의 결과에 비해서 평균적으로 약 3배 이상 높다는 것을 의미한다. 따라서 전동 모터-펌프 및 관로 유동의 제반 손실을 고려하여 3배 이상 많은 구동유체를 압송하기 위해서는 베르누이 정리에 근거한 간접적인 방법으로 산출된 Gourich 등의 $10^2\sim 3 \times 10^3\text{W/m}^3$ 범위의 동력에 비해서 상당히 높은 실 소요동력이 필요할 것으로 사료된다.

$$\varepsilon = \frac{Q_s}{Q_p + Q_s} \quad (7)$$

$$\varepsilon = 4.51 \times 10^{-5} \cdot E^{0.929} \quad (8)$$

Fig. 7은 2종류의 노즐에 대해 식 (5)를 이용하여

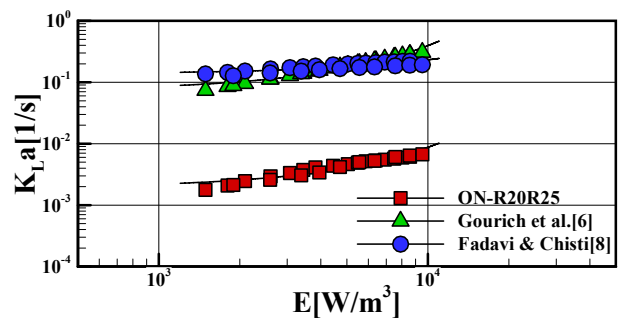


Fig. 7 Comparison of volumetric mass transfer coefficient with specific input power

산출한 본 연구(ON-R20R25)의 총괄 물질전달 계수를 단위체적의 구동유체당 소요동력의 함수로 도시하고, Gourich 등⁽⁶⁾과 Fadavi와 Chisti⁽⁸⁾의 실험식을 이용하여 계산한 결과와 비교하였다. 소요동력이 증가하면 Fig. 5와 6에서 기술한 것과 같이 레이놀드 수는 증가하고, 기체 포집율이 감소하기 때문에 물질전달 계수는 증가한다. 소요동력 증가로 레이놀드 수가 커지면 난류혼합 효과가 증대되어 물질전달 저항이 감소하기 때문에 물질전달율이 증가한다. 또한 기체 포집율이 감소하면 단위유량당의 구동유체가 미세화시킬 공기량 감소로 기포의 미세화가 촉진되어 2상의 접촉면적이 증대되고, 기포의 체류시간이 길어지기 때문에 물질전달율이 증대된다.^(1,11,12) 한편 소요동력에 따라 일정한 시간 간격으로 분출되는 혼합유동의 가시화 이미지를 도시한 Fig. 8과 9의 결과에 나타난 것과 같이 소요동력이 커지면 혼합유동의 선단 도달거리와 확산도가 증대되므로 물질전달 계수가 증가한다. 도달거리가 커지면 새로운 기-액 계면의 형성빈도 증가로 물질전달율이 커지는 것으로 판단된다. 소요동력 증대로 레이놀드 수가 커지면 구동유체와 기포 사이에 작용하는 전단력과 난류혼합효과 증대로 기포의 미세화가 촉진되며, 미세화된 기포들의 운동량이 감소하기 때문에 확산도가 증대되는 것으로 유추할 수 있다. 확산도 증대는

혼합유동 외주에 분포하는 운동량이 작아진 미세기포들의 부력 감소로 와류형성이 촉진되기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 기포의 미세화로 확산도가 커지면 2상의 접촉면적 및 접촉빈도 확대로 물질전달율이 증가하게 된다.^(1,11,12)

$$K_L a = 2.65 \times 10^{-4} \cdot E^{0.77} \quad (9)$$

$$K_L a = 1.99 \times 10^{-2} \cdot E^{0.361} \cdot \epsilon^{0.667} \quad (10)$$

$$K_L a = 1.05 \times 10^{-5} \cdot E^{0.71} \quad (11)$$

$$K_L a = 1.01 \times 10^{-5} \cdot E^{0.75} \cdot \epsilon^{0.259} \quad (12)$$

비교평가를 위해 이용한 Gourich 등⁽⁶⁾의 연구결과인 식 (9)는 물질전달 계수와 소요동력의 상관관계, Fadavi와 Chisti⁽⁸⁾의 결과인 식 (10)은 물질전달 계수와 소요동력 및 기체 포집율의 상관관계를 나타낸다. 또한 2종류의 노즐(ON-R20R25)에 대해 본 연구를 통해서 제시한 식 (11)은 식 (9)와 동일하게 물질전달 계수와 소요동력의 상관관계, 식 (12)는 식 (10)과 같이 물질전달 계수와 소요동력 및 기체 포집율의 상관관계를 나타낸다. 전체적으로 소요동력이나 기체 포집율이 증가하면 물질전달 계수가 증가하는 경향은 동일하지만, 베르누이 정리에 근거한 간접적인 방법으로 소요동력이 산출된 Gourich 등과 Fadavi와 Chisti의 물질전달 계

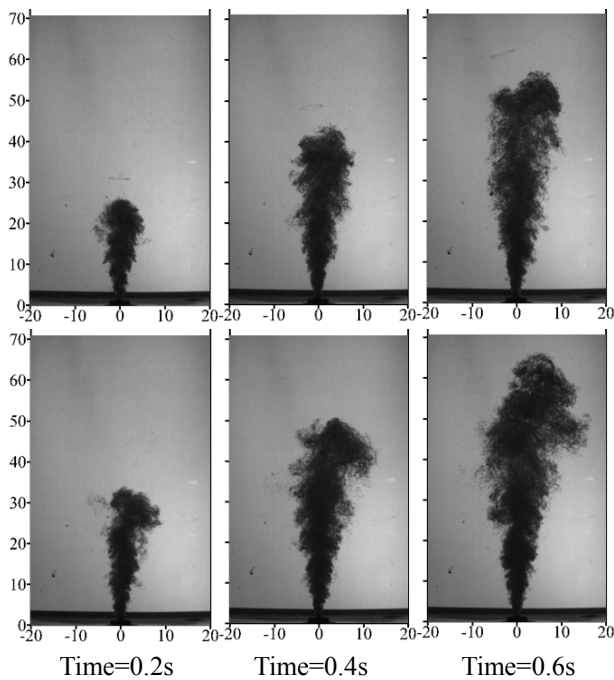


Fig. 8 Typical mixed flow images of ON-R20 nozzle at specific input powers of about 2.1 and 5.0kW/m³ with aeration times of 0.2, 0.4 and 0.6s

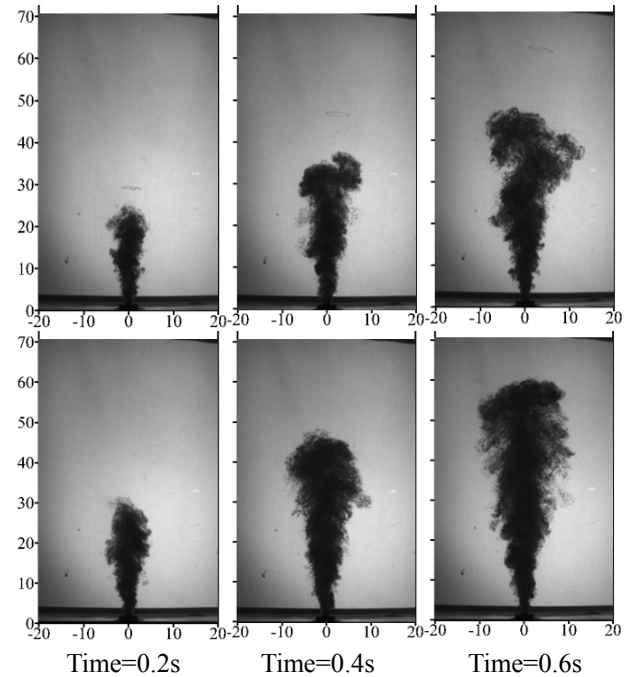


Fig. 9 Typical mixed flow images of ON-R25 nozzle at specific input powers of about 2.6 and 5.6kW/m³ with aeration times of 0.2, 0.4 and 0.6s

수가 본 연구결과에 비해서 과도하게 높다는 것을 알 수 있다. Gourich 등은 유입 공기를 이멸전화하여 산소 전달율을 높이기 위해 다공의 공기 유입구를 갖는 오리피스 노즐을 사용하였고, Fadavi와 Chisti는 수조내에서 혼합유동이 순환하는 기포탑형상의 폭기수조를 사용하였기 때문에 산소 전달율을 높일 수 있다. 그러나 식 (13)⁽⁶⁾과 같이 소요동력에 구동유체 압송이나 공기압축 시에 발생하는 전동 모터나 블로워의 제반 손실과 관로 내에서의 부차적 손실 등이 고려되지 못하기 때문에 구동유체 단위유량당 소요동력이 $10^2 \sim 3 \times 10^3 \text{ W/m}^3$ 의 범위로 본 연구에 비해서 낮게 산출된다. 베르누이 정리에 기반한 식 (13)에서 P_c 는 오리피스 상류와 목 사이의 압력차, U_c 는 오리피스 목에서 구동유체 유속, Δz 는 오리피스 목과 폭기수조 수표면 사이의 높이를 나타낸다. 반면에 본 연구에서는 전동 모터-펌프의 제반 손실과 구동유체를 압송하는 과정에서 발생하는 관로 내의 부차적 손실 등이 식 (3)으로 주어진 소요동력 산출에 직접적으로 고려되기 때문에 소요동력이 높게 나타난다. 따라서 낮은 범위의 소요동력을 근거로 제시된 (9) 및 (10)과 같은 실험식을 이용하여 상대적으로 높은 값을 나타내는 본 연구의 소요동력 범위에서 물질전달 계수를 도출하였기 때문에 높게 나타나는 것으로 사료된다. 또한 본 연구에서는 단공의 부유체 유입구를 갖는 오리피스 노즐을 통해 수조 밑면에서 분출된 혼합유동이 수표면으로 부상하는 과정에서 공기중의 산소가 용존되는 방식이기 때문에 Gourich 등과 Fadavi와 Chisti의 결과에 비해서 물질전달 계수가 낮게 나타나는 것으로 판단된다. 비록 Gourich 등과 Fadavi와 Chisti의 연구에서 제시된 기체 포집율 및 물질전달 계수와 본 연구결과의 차이가 상당히 크게 나타나지만, 전동 모터-펌프의 구동에 필요한 전압과 전류를 직접 측정하여 소요동력을 산출한 연구결과가 전무한 실정에서 그들의 연구결과를 비교평가 대상으로 이용함으로써 소요동력의 산출방법에 따른 연구결과의 정확도 차이를 확인할 수 있었다. 한편 제시된 실험식을 정량적으로 고찰하면, Fadavi와 Chisti가 제시한 식 (10)은 소요동력($E^{0.361}$)에 비해서 기체 포집율($\epsilon^{0.667}$)의 영향이 더 높게 나타나는 반면에, 본 연구결과인 식 (12)에서는 기체 포집율($\epsilon^{0.259}$)에 비해서 소요동력($E^{0.75}$)의 영향이 더 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 베르누이 정리를 기반으로 한 간접적인 방법에 비해서 폭기공정의 제반 손실을 고려한 본 연구의 소요동력이 상대적으로 높게

산출되고, 증가하는 특성을 갖는 다른 유동 변수들과는 달리 Fig. 6에서와 같이 기체 포집율이 감소하는 경향을 나타내는 결과에 기인하는 것으로 사료된다.

$$E = \left(P_c + \frac{1}{2} \rho_L U_c^2 + \rho_L g \Delta z \right) \frac{Q_L}{V_L} \quad (13)$$

Fig. 10은 본 연구를 통해 제시한 실험식인 (11)과 식 (12)의 정확도를 평가하기 위하여 측정결과와 실험식을 비교한 그래프이다. 물질전달 계수와 소요동력의 관계를 비교한 Fig. 10(a)에서 실험식과 측정결과와의 평균오차는 약 $\pm 5.1\%$, 최대오차는 $\pm 10.8\%$ 정도로 나타났다. 또한 물질전달 계수와 소요동력 및 기체 포집율에 대해 제시한 실험식과 측정결과를 비교한 Fig. 10(b)의 평균오차는 약 $\pm 4.7\%$, 최대오차는 $\pm 8.8\%$ 정도로 나타났다.

결론적으로 고찰하면, 수처리 설비에서 동력 소비가 가장 많은 폭기공정의 에너지 이용효율 향상과 소요동력의 정량적 산출을 위해서는 물질전달율을 높일 수 있는 폭기설비의 적용뿐만 아니라 처리수 및 공기 공급과정에 수반되는 제반 손실의 고려가 필수적인 것으로 판단된다. 따라서 향후에는 산소 전달율을 극대시킬 수 있는 폭기수조와 기포의 미세화 및 이멸전화가 가능한 노즐을 적용하고, 베르누이 정리를 이용한 간접적인 방법과

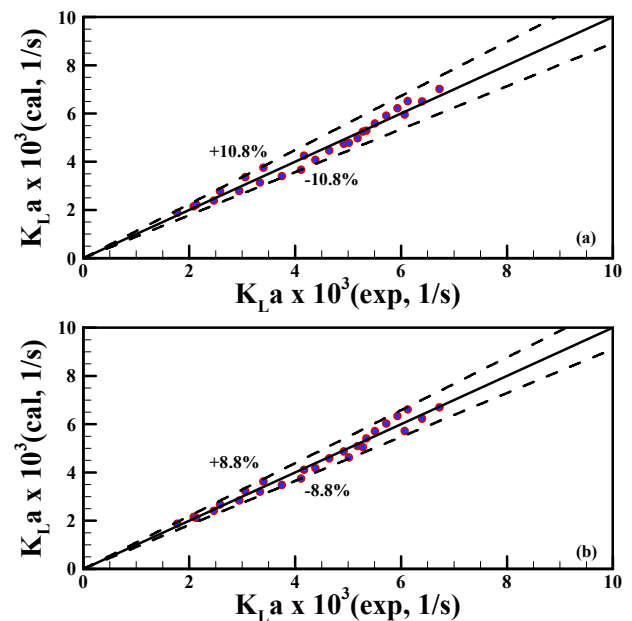


Fig. 10 Comparison of experimental and calculated volumetric mass transfer coefficient by eqs. (11) and (12)

폭기공정의 제반 손실을 고려한 직접적인 방법으로 산출된 소요동력에 따른 물질전달 특성을 비교·평가함으로써 수처리 공정에 소요되는 실 에너지의 산출 및 이용효율을 정량적으로 평가할 수 있는 연구를 수행할 예정이다.

4. 결론

전동 모터-펌프의 구동에 필요한 전압과 전류를 측정하여 구동유체의 압송과 부유체의 유입에 소요되는 동력을 산출하는 직접적인 방법을 이용하여 물질전달 계수와 기체 포집율 및 소요동력의 상관관계를 규명하기 위한 실험적 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

다공의 부유체 유입구를 갖는 오리피스 노즐과는 달리 단공의 유입구를 갖는 오리피스 노즐에서는 유입공기의 압축성에 기인하여 소요동력 증가에도 불구하고 기체 포집율이 감소하였다.

소요동력이 커지면 혼합유동의 선단 도달거리 증대로 기-액 계면의 형성빈도가 증가하고, 구동유체와 기포 사이에 작용하는 전단력과 난류 혼합효과가 커져서 기포의 미세화가 촉진되고 확산도가 증대되기 때문에 물질전달 계수가 증가하였다.

소요동력과 기체 포집율이 커지면 물질전달 계수는 증가하였으며, 물질전달 계수와 소요동력 및 기체 포집율의 상관관계를 평가하기 위해 제시한 실험식은 평균적으로 약 $\pm 5\%$, 최대 약 $\pm 10\%$ 의 오차 범위에서 실험결과와 일치하였다.

후 기

본 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2013R1A1A4A01010854).

참고문헌 (References)

(1) Yang, H. C., 2016, "Effect of Orifice Nozzle Design and Input Power on Two-Phase Flow and Mass Transfer Characteristics," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 40, No. 4, pp. 237~243.
 (2) Yoon, A. H., Bae, J. H., Lim, H. W., Jun, H. B. and Huh, T. Y., 2011, "Effects of Energy Input and Air Flow Rate on Oxygen Transfer Rate at Different MLVSS in a Jet Loop Reactor (JLR)," *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, Vol. 33, No. 12, pp. 868~873.

(3) Thakre, S. B., Bhuyar, L. B. and Deshmukh, S. J., 2008, "Effect of Different Configurations of Mechanical Aerators on Oxygen Transfer and Aeration Efficiency with Respect to Power Consumption," *I. J. Aero. Mech. Eng.*, Vol. 2, No. 2, pp. 100~108.
 (4) Ahn, W. S., Rho, S. B. and Lee, Y. R., 2005, "A Study on Oxygen Transfer Efficiency for Submerged and Surface Aerators Depending on Operating Conditions," *J. Nakdonggang Environ. Res. Institute*, Vol. 12, No. 1, pp. 105~114.
 (5) Gourich, B., El Azher, N., Vial, C., Belhaj Soulami, M., Ziyad, M. and Zoulalian, A., 2008, "Influence of Operating Conditions and Design Parameters on Hydrodynamics and Mass Transfer in an Emulsion Loop-Venturi Reactor," *Chem. Eng. Process*, Vol. 46, No. 2, pp. 139~149.
 (6) Gourich, B., Vial, C., Belhaj Soulami, M., Zoulalian, A. and Ziyad, M., 2008, "Comparison of Hydrodynamic and Mass Transfer Performances of an Emulsion Loop-Venturi Reactor in Cocurrent Downflow and Upflow Configurations," *Chem. Eng. J.*, Vol. 140, pp. 439~447.
 (7) Fadavi, A. and Chisti, Y., 2007, "Gas Holdup and Mixing Characteristics of a Novel Forced Circulation Loop Reactor," *Chem. Eng. J.*, Vol. 131, pp. 105~111.
 (8) Fadavi, A. and Chisti, Y., 2005, "Gas-Liquid Mass Transfer in a Novel Forced Circulation Loop Reactor," *Chem. Eng. J.*, Vol. 112, No. 1, pp. 73~80.
 (9) Cramers, P. H. M. R. and Beenackers, A. A. C. M., 2001, "Influence of the Ejector Configuration, Scale and the Gas Density on the Mass Transfer Characteristics of Gas-Liquid Ejectors," *Chem. Eng. J.*, Vol. 82, No. 1-3, pp. 131~141.
 (10) de Billerbeck, G.M., Condoret, J.S., Fonade, C., 1999, "Study of Mass Transfer in a Novel Gas-Liquid Contactor: the Aero-Ejector," *Chem. Eng. J.*, Vol. 72, pp. 185~193.
 (11) Kim, D. J., Park, S. K. and Yang, H. C., 2015, "Mixed Flow and Oxygen Transfer Characteristics of Vertical Orifice Ejector," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 39, No. 1, pp. 61~69.
 (12) Kim, D. J. and Yang, H. C., 2015, "Mass Transfer Characteristics of Vertical Two-Phase Flows with Orifice Ejector," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 39, No. 10, pp. 817~824.
 (13) Kim, D. J., Peng, L. and Yang, H. C., 2015, "Effect of Input Power on Mass Transfer of Vertical Mixed Flow," *Proceedings of the KSME 2015 Fall Annual Meeting*, pp. 4059~4063.
 (14) Park, S. K. and Yang, H. C., 2013, "Flow and Oxygen Transfer Characteristics in an Aeration System Using an Annular Nozzle Ejectors," *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 52, pp. 1756~1763.