

인공폐에서의 산소전달 속도를 예측하기 위한 아황산용액의 평가

○이삼철, *김기범, *정경락
 한려대학교 석유화학공학과
 *전북대학교 공과대학 화학공학부

Evaluation of Sulfite Solution to Predict Oxygen Transfer Rates in Artificial Lung

○S.C.Lee, *K.B.Kim, and *G.R.Jheong

Department of Petrochemical Engineering, Hanlyo University

*School of Chemical Engineering and Technology, College of Engineering, Chonbuk National University

ABSTRACT

The kinetics of sulfite oxidation must be fast and the concentration of sulfite must be low to emulate oxygen uptake by blood. The kinetics were studied yielding a first order rate constant in sulfite, zero order in oxygen. Limitations of the technique were evaluated using the experimental rate constant and an adaptation of Lightfoot's approximation, while the reaction of hemoglobin is reversible and essentially instantaneous, that for sulfite is irreversible and finite. Thus if the approach to saturations not monotonic or if the mass transfer resistance is significantly lowered, e. g., when blood film thicknesses are thinner than a few hundred microns, deviations may occur.

서론

최근 막형 인공폐의 설계와 개발에 대해 노력을 기울여 왔다[1,2]. 그러나 가스교환 특성은 대개 혈액으로 주로 연구되었다[3]. 혈액은 귀하고 비싸며 혈액을 순환시키기 위하여 탈산화장치가 필요하며 만일 변한 혈액을 사용하게 되면 결과는 틀리게 된다. 비록 이산화탄소의 교환 특성과 혈액의 적합성에 대한 추가 실험이 필요하지만 혈액 조건을 유사하게 나타내는 용액의 이용에 대한 필요성이 대두되었다.

본 연구에서는 아황산용액이 인공폐 시험, 특히 예비평가나 최적화연구에서 산화에 대한 한정된 "sink"로 작용할 수 있다고 생각했다. 아황산은 아

주 싸기 때문에 소모된 용액은 버릴 수 있으며 그 결과는 정량적으로 재현성이 있고 필요 조절 변수가 혈액에서보다는 아주 적을 것이다. 따라서 인공폐 설계에 대한 기초 자료를 얻고자 수행하였다.

실 험

1. 아황산-산소 반응속도의 결정

아황산-산소 반응속도는 전달 연구를 위한 교반 배취셀에서 연구되었다. 촉매는 코발트를 선정하였다. 아황산용액의 초기 농도는 완전히 탈산소된 혈액의 농도(약 20 ml oxygen/100 ml solution)와 같은 0.035 N의 아황산용액의 농도이다. 실험은 아황산이 발견되지 않을 때까지 계속하였다.

2. 혈액과의 직접적인 성능 비교

혈액의 입구 포화도는 60%를 유지했고 같은 산소 용량을 갖기 위해 아황산에 대해서는 그 농도가 0.0125 N이었다. 1.1×10^{-5} M의 촉매 농도를 맞추기 위해 황산 코발트를 더하기 전에 진한 황산으로 용액의 pH를 8.0으로 조정하였다. 인공폐를 통해 들어가는 아황산용액의 유속은 flowmeter에 의해서 조정했다. 아황산용액의 농도는 요오드 적정법에 의해 결정했다. 다음에 인공폐를 물로 씻고 다시 같은 조건에서 소혈액으로 실험하였다. 이용된 혈액은 60%의 입구 포화도와 7.4의 pH로 유지했다. Roller pump로 혈액을 인공폐에 붙여넣었다.

결과 및 고찰

1. 아황산-산소 반응속도의 결정

아황산의 농도, C_{Bd} 를 L_B 의 몇몇 값에 대해 시간

얇은 reaction zone만이 평막형 인공폐에서의 아황산용액과 산소사이의 반응에서 반응속도가 충분히 빠르다는 것을 보여준다.

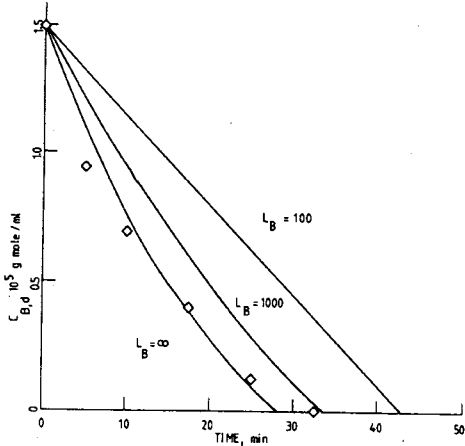


Fig. 1. Variation of bulk sulfite concentration with time in batch kinetic study.

2. 혈액과의 직접적인 성능 비교

Fig. 2는 정확히 같은 절차에 의해 반복실험을 수행한 두 종류의 장치에 대한 실험 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 slope는 0.848, intercept는 2.66이고 correlation coefficient는 0.9918이다. 아황산용액의 농도가 상당히 낮았을 때에는 혈액으로 전달된 산소에 대한 아황산용액으로 전달된 산소의 평균비가 1.09이다.

혈액에 대해서 반응면 모델에 대한 Lightfoot's approximate solution[5]은 정맥중심의 무차원 두께(η)에 대한 차원적인 통로길이(Z)와 관련된다. 넓고 무시 가능한 막저항을 가지는 평행 평판형 막형 폐에 대해서 적용한다.

반응을 위해 층에 들어가는 가로방향 플럭스의 95%를 필요한 것으로 추정할 수 있다.

m 에 대한 n 의 비의 값을 $d=25 \mu\text{m}$, $C_{Bd}=1.5 \times 10^{-5} \text{ gmole/ml}$, $L_B=1000/\text{cm}$ 일 때 0.05로 계산되었다.

만일 통로의 두께가 $400 \mu\text{m}$ 보다 얇게 되면 아황산용액으로 얻은 산소 흡수 값은 혈액으로 얻어진 값보다 적게 될 것이다. 이러한 계산은 아황산용액 이용의 적용 가능범위를 정하는 데는 도움이 되지 만 2차 흐름이 있는 계에서의 이용은 아직도 문제가 남아 있다.

결 론

인공폐에서 낮은 아황산 나트륨 농도에서 아황산 나트륨에 대한 산소의 비가역 반응을 혈액에 대한 산소의 가역 반응으로의 추정이 가능하였다. 실험

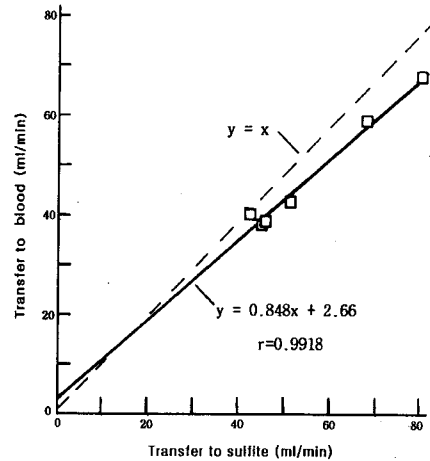


Fig. 2. Oxygen uptake data with sulfite and blood measured under identical conditions with 2 similar, prototype, membrane oxygenators.

으로 충분히 얇은 reaction zone으로 평막형 인공 폐에서의 아황산 용액과 산소사이의 반응속도를 충분히 빠르다는 것을 알 수 있었고, 혈액 요소의 산화가 시간 경과에 따라 단조롭게 증가하지 않는 경우에는 이 방법의 이용은 아황산 반응의 비가역성 때문에 적용될 수 없음을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) Vaslef, S. N. et. al., "Computer-Assisted Design of an Implantable, Intrathoracic Artificial Lung", Artificial Organs, 18(11), 813-817, 1994.
- 2) Vaslef, S. N. et al., "Use of a Mathematical Model to Predict Oxygen Transfer Rate in Hollow Fiber Membrane Oxygenators", ASAIO Journal, 40, 990-996, 1994.
- 3) Katoh, S., and Yoshida, F., "Rate of Absorption of Oxygen into Blood under Turbulent Conditions", Chemical Engineering Journal, 3, 276-285, 1972.
- 4) Stroeve, P., and Srinivasan, R., "An Approximate Solution for the Graetz and Leveque Problems for the Advancing Front Theory", AIChE J., 26, 136-139, 1980.
- 5) Lightfoot, E. N., "Low Order Approximations for Membrane Blood Oxygenators", AIChE J., 14, 669, 1968.