

작동요인에 따른 흐름주입식 바이오센서의 성능검증

Performance Evaluation of Flow Injection Type Biosensor as Operating Variables

송대빈*	정효석*	이승규*
정회원	정회원	정회원
D. B. Song	H. S. Jung	S. K. Lee

1. 서론

흐름주입식 바이오센서에서 효소와 기질을 이송시키는 완충용액은 주사기 펌프, 캠 회전형 펌프, 피스톤 왕복형 펌프 및 막 신축형 펌프에 의해 장치 내로 공급된다. 주사기 펌프는 일정량의 완충용액을 주사기에 투입하고 피스톤을 전진시켜 공급하는 형태로 주사기 내 완충용액의 용량에 따라 공정이 단속되는 배치식 완충용액 공급 장치로 용액 충전 시 공기방울이 장치 내로 흡입되는 문제가 발생된다. 캠 회전형, 피스톤 왕복형, 막 신축형 펌프는 연속적인 흡입·토출에 의해 완충용액을 장치 내로 공급시키는 연속식 완충용액 공급 장치로 흡입·토출에 의한 맥동이 발생되는 문제가 있다.

공기방울과 맥동 현상은 센서의 성능에 직접적으로 영향을 미치는 중요한 작동 요인으로 공기방울의 형성과 발생정도, 맥동의 크기와 주기는 장치의 구성 형태, 작동 시간 및 반복 사용 등의 요인에 따라 다양하게 나타날 것으로 생각된다.

따라서 이 연구에서는 배치식과 연속식 완충용액 공급 장치 성능 검증을 위해 공기방울과 맥동에 의한 영향 정도와 온라인 측정 가능 여부를 판단하기 위해 반복 및 재현성능을 알아보았다.

2. 재료 및 방법

가. 실험 재료

1) 실험 장치

실험에 사용된 배치식 완충용액 공급 장치의 흐름주입식 바이오센서는 그림 1, 연속식 완충용액 공급 장치는 2와 같이 구성되었다. 2번 펌프에 의해 토출된 이송완충용액은 4번 인젝션 밸브와 5번 전류측정 장치를 순차적으로 통과한다. 인젝션 밸브는 유로 선택에 따라 3번 펌프에 의해 기질과 1번 펌프에 의해 효소가 차례로 투입된다. 인젝션 밸브를 통과한 기질과 효소는 인젝션 밸브와 전류측정 장치 사이의 흐름 관로 내에서 혼합과 반응이 이루어지며 전류측정 장치의 전극봉 사이를 통과하여 배출된다. 전류측정 장치는 은과 백금으로 제작된 원형 전극봉과 전류계로 구성되었으며 측정된 전류값은 자료수집 장치(Lab VIEW)를 이용하여 컴퓨터로 저장 하였다.

* 경상대학교 농업생명과학대학 농업시스템공학부 생물산업기계공학전공

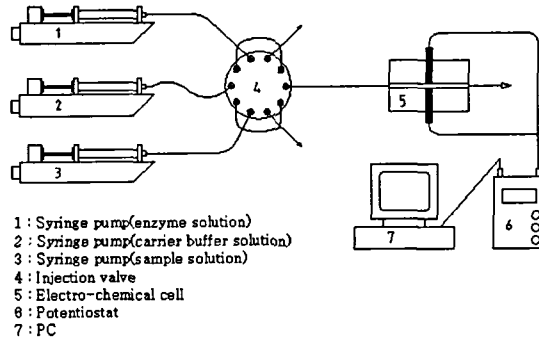


Fig. 1. Schematic diagram of batch type sensor.

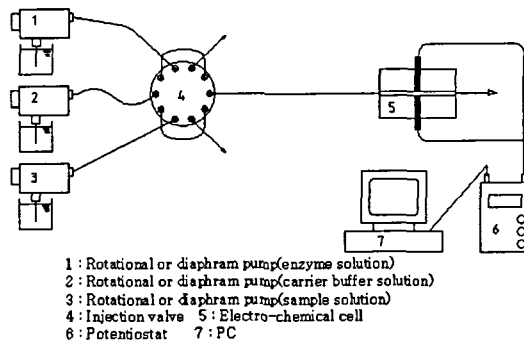


Fig. 2. Schematic diagram of continuous type sensor.

2) 실험 재료

실험에 사용된 재료의 종류 및 상세한 규격은 표 1과 같다. 모든 용액은 증류수를 사용하여 제조하였다. Sodium phosphate(mono/dibasic), sodium chloride, 증류수를 사용하여 0.5M의 Sodium phosphate 완충용액(pH6.86, 10mM NaCl)을 제조하였다.

Table 1 Specification of the experimental materials

Descriptions	Specifications	Remarks
Glucose oxidase	EC 1.1.3.4, X-S, 245.9U/mg	Sigma Chemical Co.
D-glucose		Sigma Chemical Co.
Sodium Phosphate	Monobasic	Sigma Chemical Co.
Sodium Phosphate	Dibasic	Sigma Chemical Co.
Sodium Chloride		Sigma Chemical Co.

나. 실험 방법

1) 배치식 완충용액 공급 장치 성능 검증

- 공기방울에 의한 영향 파악

인젝션 밸브와 전류 측정용 셀 사이 유로와 전류 측정용 셀 내에 공기방울을 형성시키고 동일 작동 조건(기질 농도, 유속)에서 전류값을 측정하여 공기 방울에 의한 영향 정도를 파악하였다.

○ 온라인 측정가능 여부 판단

온라인 측정에 필요한 재현성과 내구성 성능을 파악하기 위해 동일 작동 조건(기질 농도, 유속)에서 장시간 반복 측정(1일 6시간)과 장기간 반복 측정(1일 1시간씩 6일)을 실시하여 반복 및 시간 경과에 따른 전류값의 변화를 측정하였다.

2) 연속식 완충용액 공급 장치 성능 검증

○ 펌프 맥동에 의한 영향 파악

동일 작동 조건(기질 농도, 유속)에서 주사기 펌프와 연속식 펌프의 전류값을 측정하여 맥동에 의한 영향을 파악하였다.

○ 온라인 측정가능 여부 판단

온라인 측정에 필요한 재현성과 내구성 성능을 파악하기 위해 동일 작동 조건(기질 농도, 유속)에서 장시간 반복 측정(1일 6시간)과 장기간 반복 측정(1일 1시간씩 6일)을 실시하여 반복 및 시간 경과에 따른 전류값의 변화를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 배치식 완충용액 공급 장치 성능 검증

1) 공기 방울에 의한 영향 파악

완충 용액 주입펌프 및 센서장치 유로의 중간에서 공기의 흡입 시 공기방울에 의한 센서 성능의 변화를 파악하기 위해 유로 중간, 전류 측정 셀 내에 공기방울을 형성시켜 공기방울이 없었을 때의 전류값과 비교하였다. 표 2는 전극봉 지름 1.0, 1.4 mm에서 공기방울 영향에 의한 전류값을 측정한 결과이다. 표에서 공기방울은 전류값에 직접적인 영향을 끼치는 것을 알 수 있다. 특히 전류 측정 장치 셀 내에 공기방울이 유로 내에 있을 때보다 더 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 공기방울이 유로 단면적을 감소시켜 나타나는 현상으로 단면 감소는 유속의 변화를 초래하여 전류값이 변하는 것으로 판단된다. 따라서 흐름 주입식 센서 장치에서는 외부 공기가 관로 내부로 흡입되지 않도록 주의를 해야 하며 흡입된 공기를 장치 외부로 배출시키는 장치가 반드시 설치되도록 해야 할 것으로 판단된다.

Table 2. Currents of a sensor as air bubble

Electrode dia.(mm)	Bubble	Buffer velocity (cm/s)	Current(nA)					S. D.	Mean
			1	2	3	4	5		
1.0	Tube	0.1061	72.3	68.2	77.4	77.7	74.5	3.9	74.0
	Cell	0.1061	61.1	59.2	56.1	55.6	57.5	2.2	57.9
	None	0.1061	63.3	71.7	70.4	65.4	66.5	3.5	67.5
1.4	Tube	0.1179	131.9	114.6	128.6	122.6	131.7	7.3	125.9
	Cell	0.1179	95.5	95.7	89.5	95.7	98.7	3.3	95.0
	None	0.1179	113.2	112.2	109.8	105.9	116.2	3.8	111.5

2) 온라인 측정가능 여부 판단

그림 3은 센서장치의 반복 측정 성능을 위해 전극봉 지름 1.4 mm, 유속 0.1179 cm/s에서 1시간에 5회씩 5일에 걸쳐 측정된 전류값의 변화를 측정값의 분포와 각 시험구에서의 평균값으로 나타낸 것이다. 그림에서 첫 번째 1시간의 측정값 이외 나머지는 거의 동일한 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 각 시험구 평균값의 표준편차는 2.4, 평균값은 99.0으로 나타났다.

그림 4는 센서장치의 장시간 사용 시 성능의 일관성을 확인하기 위해 1.4 mm, 유속 0.1179 cm/s에서 1일 1시간에 5회씩 6일에 걸쳐 측정된 전류값의 변화를 측정값 분포와 각 시험구에서의 평균값으로 나타낸 것이다. 각 시험구 평균값의 평균은 99.0, 표준편차는 2.7로 나타나 장시간 사용에 따른 측정 성능에 문제가 없음을 확인할 수 있었다. 특히 그림 6의 평균값 99.0과 동일한 평균값을 나타내 센서의 반복 성능과 장기간 사용 시 내구성이 충분히 확보됨을 알 수 있었다.

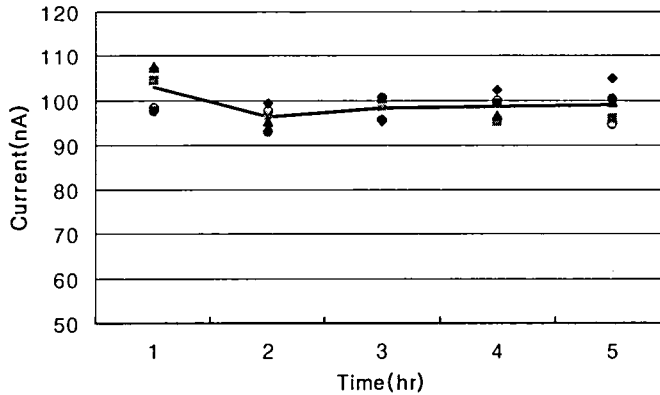


Fig. 4. Reproducible characteristic of batch type sensor.

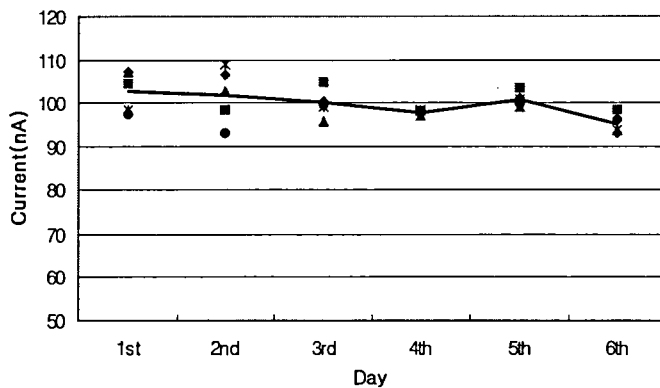


Fig. 5. Consistent characteristic of batch type sensor.

나. 연속식 완충용액 공급 장치 성능 검증

1) 펌프 맥동에 의한 영향 파악

표 3은 연속식 펌프를 사용하는 경우 수반되는 완충 용액의 맥동에 의한 영향을 알아보기 위해 전극봉 지름 2.4, 3.4 mm에서 맥동이 없는 주사기 펌프와 맥동이 있는 연속식 펌프의 전류값을 측정된 것이다. 표에서 맥동 유무에 따라 전류값이 약 20nA 정도로 매우 큰 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다. 맥동이 있는 경우가 없는 경우에 비해 전류값이 크게 나타난 것은 전극봉 부근에서 효소·기질 반응용액이 맥동의 영향으로 전·후진을 함에 따라 체류시간이 길어져서 나타나는 것으로 판단되었다. 따라서 연속식 펌프를 사용하는 센서 장치의 경우 맥동이 발생되지 않도록 펌프 선택에 주의를 기울여야 할 것으로 생각된다. 특히 전극봉 직경이 작은 경우(1.5 mm 이하)에는 적은 유량에서도 맥동이 쉽게 일어나므로 주의해야 할 것으로 생각된다.

Table 3. Currents of a sensor as pulsation of diaphragm pump

Electrode dia.(mm)	Pulse	Buffer velocity (cm/s)	Current(nA)					S. D.	Mean
			1	2	3	4	5		
2.4	no pulse	0.0849	120.1	125.9	123.7	119.5	124.5	2.8	122.7
	with pulse	0.0849	140.6	135.5	143.0	141.5	142.0	2.9	140.5
3.4	no pulse	0.0433	31.5	28.2	30.6	27.4	28.2	1.8	29.2
	with pulse	0.0433	47.9	40.2	48.9	46.9	46.4	3.4	46.1

2) 온라인 측정가능 여부 판단

그림 5는 센서장치의 반복 측정 성능을 위해 전극봉 지름 2.4 mm, 유속 0.0849 cm/s에서 1시간에 5회씩 5번에 걸쳐 측정된 전류값의 변화를 측정값의 분포와 각 시험구에서의 평균값으로 나타낸 것이다. 그림에서 첫 번째 1시간의 측정값 이외 나머지는 거의 동일한 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 각 시험구 평균값의 표준편차는 2.8, 평균값은 140.0으로 나타났다.

그림 6은 센서장치의 장시간 사용 시 성능의 일관성을 확인하기 위해 2.4 mm, 유속 0.0849 cm/s에서 1일 1시간에 5회씩 6일에 걸쳐 측정된 전류값의 변화를 측정값 분포와 각 시험구에서의 평균값으로 나타낸 것이다. 각 시험구 평균값의 평균은 135.4, 표준편차는 1.7로 나타나 장시간 사용에 따른 측정 성능에 문제가 없음을 확인할 수 있었다. 따라서 배치식 주입장치의 경우와 마찬가지로 센서장치의 반복성과 내구성에 아무런 문제가 없음을 다시 확인할 수 있었다.

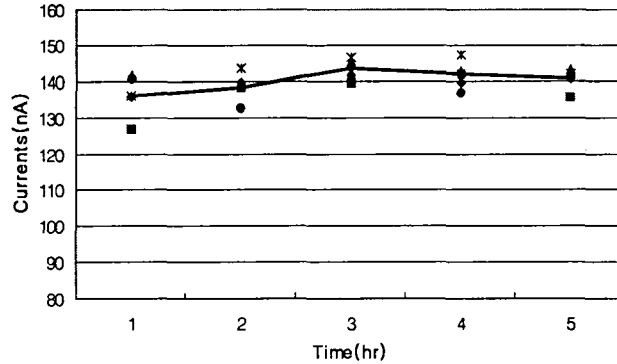


Fig. 6. Reproducible characteristic of continuous type sensor.

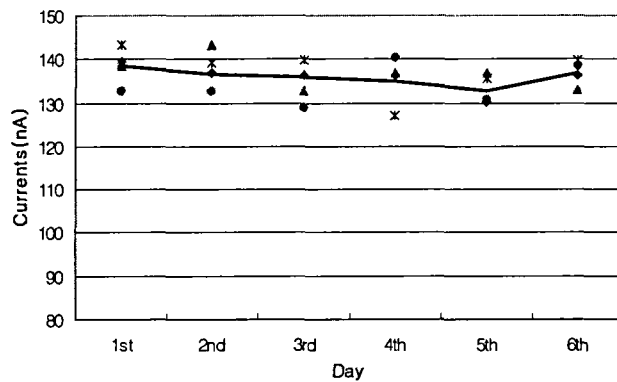


Fig. 7. Consistent characteristic of continuous sensor.

4. 요약 및 결론

호름주입식 바이오센서에서 배치식과 연속식 완충용액 공급 장치 성능 검증을 위해 공기 방울과 맥동에 의한 영향 정도와 온라인 측정 가능 여부를 판단하기 위해 반복 및 재현성을 알아보았다.

배치식 장치에서 발생 가능성이 큰 공기 방울의 경우 발생 위치에 관계없이 센서 성능에 큰 영향을 미치는 것으로 나타나 유로 내 공기 배출 장치가 필요한 것으로 확인되었다. 연속식 장치에서 나타나는 맥동 역시 센서 성능에 큰 영향을 미치는 것으로 나타나 완충용액 유속 선택 시 주의해야 할 것으로 확인되었다. 반복 및 장시간 측정에 따른 실험 결과 반복 간 및 장시간 사용에 따른 전류값의 변화는 배치식과 연속식 모두 큰 차이를 나타내지 않아 온라인 측정 가능성을 확인할 수 있었다.

5. 참고문헌

- Song, D. B. and J. Irudayaraj. 2003. Measurement of glucose concentration using μ FIA biosensor. J. of KSAM. Vol. 28(5):465-468
- Song, D. B. 2004. Measurement of sucrose concentration using μ FIA biosensor. J. of KSAM. Vol. 29(6):553-557