

탄성체 약물주입기 개선을 위한 이론적·실험적 고찰

김동훈^a, 강태원^{a*}

Theoretical and Experimental Considerations for Improving Elastomer Drug Infusers

Dong Hoon Kim^a, Taewon Kang^{a*}^a Division of Advanced Mechanical Engineering Mechanical & Biomedical Engineering, Kangwon Nat'l University,
1, Gangwondaehak-gil, Chuncheon, Gangwon-do, 24341, Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	14	April	2017
Revised	25	May	2017
Accepted	30	May	2017

Keywords:

Elastomer drug infuser
Deformation
FEM
Factorial experiment technique
Flow restrictor

ABSTRACT

The main function of an infuser is to ensure constant dosage of a drug. Elastomer drug infusers have been used widely owing to their economic advantages. The mechanism of the device is primarily based on the pressure created from the elastic material that contains the drugs. However, as the drug is infused and the internal pressure is reduced, the drug is not linearly infused at all times. This study involves investigating factors to improve the design of the infuser. The first factor is the range of proper deformation, which does not affect a significant amount of stress variation during infusion. The second is concerned with the flow restrictor and the associated design variables are recommended by employing finite element analysis and the factorial experiment technique. The last factor is related to the spring device connected to balloon. The results showed that the drug reservoir can compensate for unexpected pressure gradient drops.

1. 서론

의료용 약물 주입기는 약물이 필요한 대상에게 약물 투입 시간 동안 일정한 양이 동맥, 정맥, 피하, 경막 등의 경로를 통해 약물이 주입되도록 하는 의료기기이며, 환자가 스스로 진통제를 투여하는 통증 자가 조절법(patient controlled analgesia)에 유용하다. 이에 따라 약물 주입기는 진통제뿐만 아니라 지속적인 약물 주입이 필요한 만성질환자, 응급실, 수술실 등의 의료분야에서 널리 사용된다.

현재 의료 분야에서 사용되는 약물 주입기는 주입방식에 따라 크게 전기-기계식 약물 주입기와 기구식 약물 주입기로 구분할 수 있다^[1].

전기-기계식 약물 주입기는 전기-기계식 펌프를 사용하여 일정

한 양의 약물 주입 및 주입량 조절이 가능하다는 장점이 있으나, 약물 주입 펌프는 제어 및 기계부의 무게 및 부피가 커서 휴대하기에는 부적합하며 고가라는 단점이 있다.

기구식 약물 주입기는 탄성체, 가스 발생식, 진공식 등으로 종류가 다양하지만, 전기-기계식보다 가격적인 매력을 가지는 상품군으로 개발되는 경우가 많기 때문에 설계상 이점을 가지는 탄성체 방식의 약물주입기가 선호된다.

탄성체 약물 주입기는 일반적으로 압력을 발생시키는 약물 저장고(reservoir)와 약물 주입량을 조절하는 유량 조절부(flow restrictor)로 구성되어 있으며^[2], 탄성체 약물 저장고에 약물을 주입하여 탄성체 내부 압력을 증가시키고 약물저장고의 수축력에 의해 약물을 전달하고 저항체를 이용해 주입량을 조절한다. 이와 같

* Corresponding author. Tel.: +82-33-250-7939

Fax: +82-33-259-5548

E-mail address: jirehk@kangwon.ac.kr (Taewon Kang).

이 탄성체 약물 주입기는 전기-기계식 제품과 달리 별도의 전자제어를 필요로 하지 않기 때문에 제작이 용이하다는 장점을 가진다^[3].

그러나 이러한 단순한 구조가 가지는 단점도 있다. 즉, 전기-기계식과 같은 정밀한 제어가 불가능하다는 단점으로 이는 약물 출입에 대한 제어 수단으로서 탄성체가 가지고 있는 압력(stress)자체가 가지는 태생적인 한계점이 존재하기 때문이다.

따라서 탄성체 약물 주입기의 약물방출이 시작되면서 내부 압력이 점차 감소할 때 일정한 양의 약물 주입이 이루어지도록 조절되지 않는 경우에는 약물이 원하는 만큼 투여되지 않거나 부적절한 양이 투여될 수 있다^[4].

본 연구에서는 탄성체 약물주입기에서 일정하지 않은 약물 전달이 이루어지는 상황을 보완하기 위하여 3 가지 측면에서 설계 변경을 시도하였다.

첫째, 고무를 탄성체로 사용하는 경우, 스트레인의 변화가 심함에도 불구하고, 응력변화를 최소화할 수 있는 변형 영역을 설계에 반영하는 것이다.

둘째, 약물의 방출 속도를 제어하기 위하여 저항체의 형상인자의 비교 연구를 통하여 설계 인자로 반영하는 것이다.

마지막으로, 탄성체가 제공하는 압력이 비선형이기 때문에 약물이 방출되는 압력을 최대한 선형으로 보완할 수 있는 외부 기구를 추가하는 것이다.

본 연구에서는 이와 같은 3가지 아이디어를 설계에 반영하기 위하여 약물주입기 내에 스프링 장치와 연결된 탄성체를 추가하여 약물 주입 시 내부압력의 변화를 확인하였으며, 약물저장고의 높은 압력에서 흐르는 약물의 속도를 제어하는 저항체를 개발하기 위하여 설계 변수의 유의성을 판단하도록 전산해석과 실험계획법을 실시하였고, 적합한 인자 수준을 결정하여 제작 후 약물 주입 실험으로 결과를 확인하였다.

2. 약물 주입기 설계 변수 선정

2.1 탄성체 스트레인 선정

현재 개발 되어진 탄성체 약물 주입기는 주로 라텍스와 실리콘으로 제작 되고 있다. 본 연구에서는 비교적 주문 제작이 용이한 실리콘 재료를 탄성체로 사용 하였고, 실리콘 재료의 특성을 확인하기 위해 단축 인장 시험을 수행하였다. 시험 규격은 KS규격(KS 6518)에 따라 아령형 3-type으로 제작 하였고 표점거리는 10 mm로 설정하였다.

일반적으로, 고무 재료는 변형 이력에 따라 응력-변형률 곡선이 달라지는 특성을 가지기 때문에 변형률 범위를 150 %, 200 %, 250 %, 300 %, 350 %로 설정하였고 반복적인 하중이 가해질 때 고분자 사슬 구조의 재료에 마찰로 인한 에너지 손실, 물린스 효과

(mullins effect)가 발생하기 때문에 한 시편에 대해서 시험을 반복적으로 수행하여 고무재료가 가지는 물린스 효과를 최대한으로 배제하였다^[5].

시험 장비는 만능재료시험기 INSTRON 5882를 사용 하였으며, 크로스헤드 속도는 20 mm/min으로 설정하였고 정확한 변형률 측정을 위해 video extensometer를 사용 하였다. 또한 재료가 미끄러지는 것을 방지하기 위해 공압식 지그의 그립부에 사포를 추가 하였다.

Fig. 1은 변형률 범위에 따른 각각 첫 번째와 마지막 반복시험을 수행 했을 때의 응력-변형률 곡선이다. 물린스 효과에 의해 재료에 연화가 발생한 것을 확인 할 수 있으며, 변형이력에 따라 서로 다른 거동을 가지는 것을 확인 하였다. 앞서서도 언급한 바와 같이 물린스 효과가 영향을 미치는 것을 방지하기 위하여 특정 스트레인에 대한 반복실험을 추가로 하였다.

Fig. 2는 스트레인이 3.5가 될 때까지 반복적으로 수행한 시험 결과이며 시간이 지날수록 안정화되고 있음을 알 수 있다. 또한, Test 3 & 4에서 스트레인이 0.8~2.3인 구간에서 응력변화가 가장 작게 발생한다는 것을 확인하였다.

한편, 스트레인 변화 대비 스트레스가 가장 적게 변화하는 구간

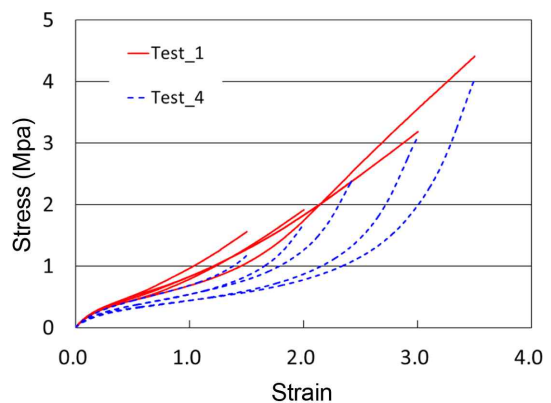


Fig. 1 Stress-strain curve

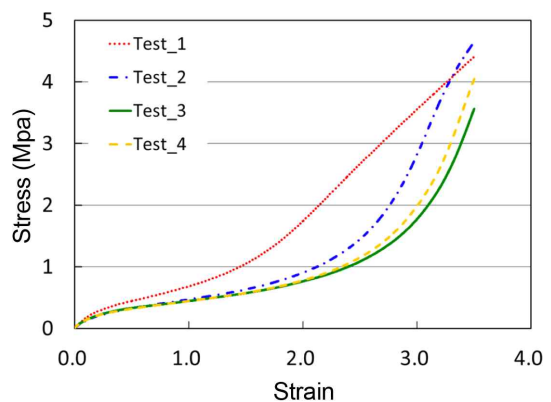


Fig. 2 Stress-strain curves of repeated test

을 유도하기 위하여 약물 주입 튜브의 변형률을 350 %로 결정하였으며, 변형률을 확인하기 위해 Fig. 3과 같이 튜브 중심에 표점거리 10 mm 스티커를 원주방향과 축방향으로 부착하였다.

Fig. 4는 적절한 스트레인이 스트레스 변화를 적게 일으키는 것을 확인한 실험한 결과이다. 즉, 초기 스트레인이 2.5일 때의 압력 값이 초기 스트레인이 1.5에 비해 더 오랜 시간 약물 주입 압력을 일정하게 유지시켜서 유량의 속도 역시 상대적으로 일정한 값을 더 오래 동안 유지 한다는 것을 확인 하였다.

2.2 튜브 내경 및 바늘 크기

탄성체 약물 주입기 구성요소 중에서 탄성체 약물 저장고 크기와 약물의 속도를 제어하는 저항체가 주요한 설계 변수이지만, 주변 장치로 인한 영향도 무시할 수 없다.

대표적인 것으로는 약물의 이동 경로로 사용되는 실리콘 호스 내경과 주사바늘의 크기 등이 있다.

실리콘 호스는 따로 규격이 없고 제작 회사에 따라 내경을 임의로 정하기 때문에 대량구매를 하는 의료기기 제조회사를 제외하고는 실리콘 호스 제조 회사의 특성에 따른 속도저항이 다양하게 존재한다. 따라서 각 제품에 대한 특성을 파악하는 것이 필요하다.

Table 1은 튜브 내경 변화에 따른 영향, 그리고 바늘 크기 변화에 따른 영향을 분석하기 위해서 사용 가능한 제품의 치수 범위를

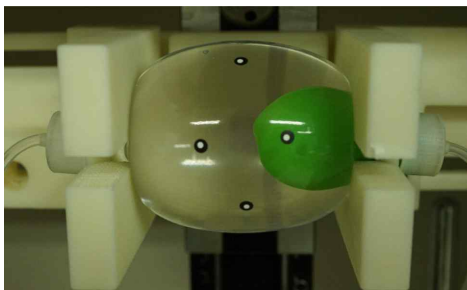


Fig. 3 Marking for measuring deformation

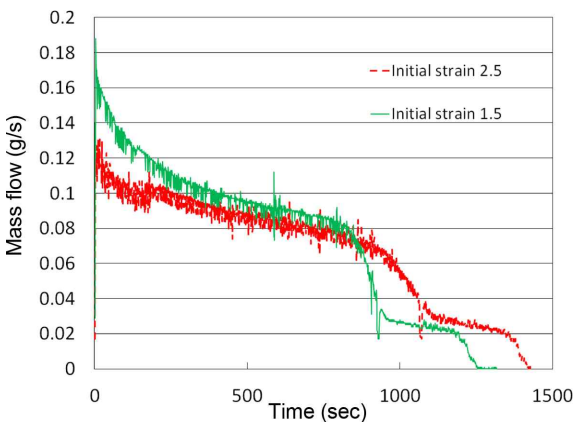


Fig. 4 Mass flow variation over time at different initial strain

표시한 것이다.

Fig. 5는 3 종류의 튜브 내경과 서로 다른 바늘 크기로 실험을 수행한 것이다. 즉, 23 게이지와 25 게이지 바늘이 어떤 튜브 내경과 어떤 조합을 가지질 때 약물 방출 특성이 달라지는 지를 확인하는 실험결과이다.

튜브 내경 $\varnothing 0.5$ mm, $\varnothing 1.0$ mm 및 $\varnothing 1.5$ mm 에 따른 약물 방출 속도에 대한 차이가 있지만 바늘 게이지에 대한 종속이 더욱 강한 것을 확인 할 수 있다. 즉, 23 게이지 그룹과 25게이지 그룹간의 차이가 뚜렷하여 설계인자의 적합성을 확인하기 위한 통계적인 기법이 필요하지 않은 것으로 판단된다.

특히, 튜브 내경과 게이지 조합 중에서 내경 $\varnothing 0.5$ mm와 25 게이지 조합의 경우는 약물 주입기 속도가 3배 정도 더 감소되는 것을 확인 할 수 있다.

Table 1 Variables and levels of experimental conditions

Variables	Levels			
Tube Diameter (mm)	0.5	1.0	1.5	
Needle Gauge	0	18 g	23 g	25 g

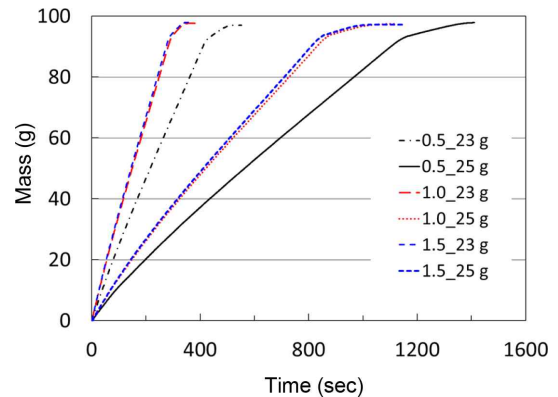


Fig. 5 Comparisons of delivered amount according to the combination of tubes and needles

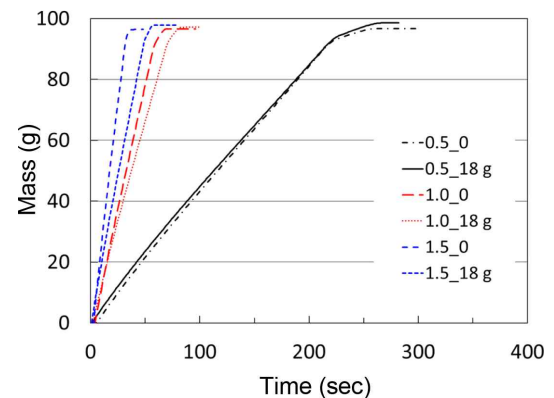


Fig. 6 Comparisons of delivered amount based on different tubes with 18 g needle

한편, Fig. 6은 일반적으로 많이 사용되는 바늘 18 게이지가 튜브 내경에 덜 민감하다는 것을 보여주고 있다. 즉, 18 게이지는 약물 주입기의 유속을 감소시키는 데 영향을 주지 않으며 이는 유속을 제어할 수 있는 설계 값이 아니라는 반증으로 인지된다.

따라서 본 연구에서는 약물 주입기 설계 인자 값으로, 튜브 내경은 $\varnothing 0.5$ mm 바늘 크기는 25 게이지로 결정하였다.

3. 저항체 설계

3.1 유한요소해석

저항체의 다양한 설계 값을 검증하기 위해 유한요소해석으로 ABAQUS를 사용하였고, Fig. 7과 같이 유체가 흐르는 입구와 출구를 설정하고 입구에 유체의 속도 데이터를 입력하여 해석을 진행하였다^[6].

Fig. 8은 약물 주입 속도를 나타낸 것이다. 관의 갈래가 2개 인 경우 각 관에 흐르는 속도는 비슷한 경향을 보이지만 3개인 경우 가운데 관에서 양쪽 관에 비해 높은 속도를 보이고 있는 것을 확인하였다.

유한요소해석을 통해 관수에 따라서 유속에 차이를 주는 것은 확인 할 수 있지만 각각의 조건이 유속에 어떠한 영향을 주는지는 알 수 없다.

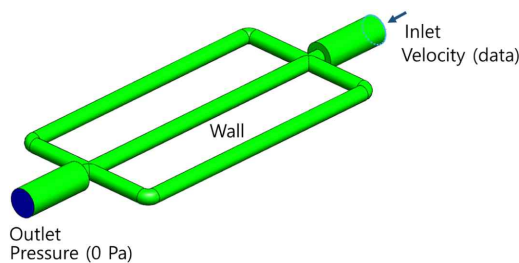


Fig. 7 Boundary condition of flow restrictor

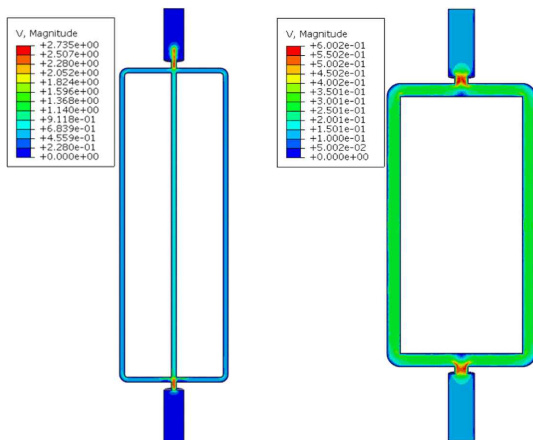


Fig. 8 Flow distribution of parallel-pipe system

따라서 3개의 변수의 인자가 각각 약물 주입 속도에 영향을 주는지 확인하기 위하여 추가적으로 9개의 실험 조건의 결과 값을 통해 실험계획법을 수행 하였다.

3.2 통계 분석 실험계획법

실험계획법이란 실험자가 더 나은 실험을 수행하고, 얻은 데이터를 효율적으로 분석하여 정확한 결론을 도출할 수 있게 하는 통계적 방법이다^[7]. 병렬 배관구조의 유의성을 확인하기 위해 Table 2와 같이 배관의 길이, 내경, 배관의 개수를 변수로 각각 3가지 수준으로 나누고 3차원 모델을 설계하였다.

본 연구에서는 고려하는 세 변수의 수준이 3개이므로 3^3 요인 실험을 실시하였고, 일부 실시법을 통해 실험 횟수를 줄이는 실험계획법을 진행하였으며 직교 배열표를 Table 3과 같이 배치하였다.

3.3 통계 분석 결과

실험계획법을 통해 분석하기 위해 먼저 수행한 유한요소해석 데이터를 정리하였다. 유한요소 해석 데이터 관측 구간은 Fig. 9와 같이 관의 중간 지점을 선택하였고 관측점에서의 속도를 측정하였다.

질량 유량 값은 유한요소 해석을 통해 얻은 속도 값을 통하여 도출하였으며 병렬 배관을 가진 구조에도 동일하게 적용하여 병렬 관 각각의 속도 값을 계산에서 유량의 합을 계산하였다.

실험계획법에 따라 계산 된 9개의 질량 유량 값은 Table 3에 넣

Table 2 Variables and levels of FEA conditions

Variables	Levels		
	Length (mm)	10	20
Diameter (mm)	0.25	0.5	1.0
Number (ea)	1	2	3

Table 3 Three level orthogonal array

Number	Column number			
	Diameter	Length	error	Number
1	0	0	0	0
2	0	1	1	1
3	0	2	2	2
4	1	0	0	0
5	1	1	1	1
6	1	2	2	2
7	2	0	0	0
8	2	1	1	1
9	2	2	2	2

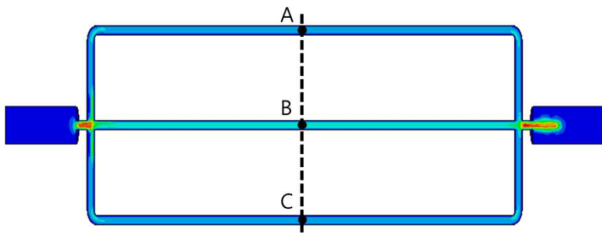


Fig. 9 Velocity observation point

고 직교 배열표를 이용하여 3rd 요인 실험 계획법을 통계 프로그램 SPSS로 수행하였고 결과는 아래와 같다⁸⁾.

Table 4는 개체 간 효과 검정에 대한 결과를 보여주고 있다. 전체 모형(model)에 대한 Type 3 제곱 합은 2075이고, F=3230.102, 자유도 7에서의 유의확률은 0.001보다 작으므로 모형이 유의하다.

따라서 각 요인별로 살펴보면 길이(length)의 경우 Type 3 제곱

합 0.003, F-통계량 14.296, 자유도 2의 유의확률은 0.065로 유의수준 0.05보다 크게 나타났다.

병렬 배관 개수(number)에서는 Type 3 제곱 합 0.008, F-통계량 42.647, 자유도 2일 때의 유의확률이 0.023으로 유의수준 0.05보다 작으므로, 병렬 배관의 개수의 수에 따라 질량 유량의 차이가 있었다.

관의 직경(diameter)의 경우에는 Type 3 제곱 합이 0.017, F-통계량 90.227, 자유도 2에서의 유의확률이 0.011로 유의수준 0.05보다 작으므로 관의 직경이 질량 유량에 영향을 주는 것을 확인하였다.

다음으로 각 요인의 수준이 3개이므로 개별 수준 간의 차이 여부를 확인하기 위하여 다중비교를 실시하였고, 그 결과는 Table 5, Table 6, 그리고 Table 7에 나타내었다.

각 Table에서, level (I)는 기준이 되는 수준, (J)는 기준 수준과

Table 4 Tests of between-subjects effects

Factor	Sum of squares type III	Degree of freedom	Mean of square	F	P-value	Partial eta squared
Model	2.075	7	.296	3230.102	.000	1.000
Length	.003	2	.001	14.296	.065	.935
Number	.008	2	.004	42.647	.023	.977
Diameter	.017	2	.008	90.227	.011	.989
error	.000	2	9.177E-05			
total	2.075	9				

Table 5 Multiple comparisons of length

Variables	Levels (I)	Levels (J)	Difference (I-J)	Std. Error	P-value	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Length	10 mm	20 mm	-.047	.0078	.064	-.087	.006
		30 mm	-.029	.0078	.117	-.075	.017
	20 mm	10 mm	.041	.0078	.064	-.006	.087
		30 mm	.012	.0078	.456	-.035	.058
	30 mm	10 mm	.029	.0078	.117	-.017	.075
		20 mm	-.011	.0078	.456	-.058	.035

Table 6 Multiple comparisons of number

Variables	Levels (I)	Levels (J)	Difference (I-J)	Std. Error	P-value	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Number	1 ea	2 ea	-.037	.0078	.077	-.083	.009
		3 ea	.036	.0078	.081	-.011	.082
	2 ea	1 ea	.037	.0078	.077	-.010	.083
		3 ea	.072	.0078	.021	.026	.118
	3 ea	1 ea	-.036	.0078	.081	-.082	.011
		2 ea	-.072	.0078	.021	-.118	-.026

Table 7 Multiple comparisons of diameter

Variables	Levels (I)	Levels (J)	Difference (I-J)	Std. Error	P-value	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Diameter	0.25 mm	0.5 mm	.030	.0078	.110	-.016	.076
		1.0 mm	-.072	.0078	.021	-.118	-.026
	0.5 mm	0.25 mm	-.030	.0078	.110	-.076	.016
		1.0 mm	-.102	.0078	.011	-.148	-.056
	1.0 mm	0.25 mm	.072	.0078	.021	.026	.118
		0.5 mm	.102	.0078	.011	.056	.148

비교 대상 수준이며, 그 차이인 difference와 95 % 신뢰구간을 나타내었다.

관의 길이(length)에서는 10 mm와 20 mm가 0.041의 차이를 보일 때 유의 확률이 0.064로 가장 낮은 값을 나타냈다. 병렬 배관 개수(number)는 2개와 3개에서 0.072의 차이를 보이며 가장 작은 유의확률이 0.021 값으로 나타났다. 관의 직경(diameter)는 0.5 mm와 0.25 mm 사이의 비교를 제외하고 0.05의 유의수준 내에서 유의하게 나타났다.

다중 비교 결과, 관의 길이(length)는 병렬 배관 개수(number)와 관의 직경(diameter)에 비해 유의 확률이 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 유의 수준 0.05 이내를 기준으로 결정하고 관의 길이(length) 변수를 고려하지 않기로 결정하였다.

4. 압력 보조 장치 제작 및 실험

4.1 입력 보조 장치 제작

스프링을 이용한 압력 보조 장치는 약물 저장고의 약물이 점차 줄어들면서 저장고 내부 압력이 급격하게 하강하는 것을 보완하기 위한 보조 장치이다.

즉, 압력을 보조하기 위해 약물 저장고 내부에 풍선을 추가 하였고, 풍선 내부의 공기가 약물과 접촉 되지 않도록 양쪽에 경로를 다르게 두어 제작하였다.

압력 보조 장치는 스프링이 피스톤을 미는 힘과 약물 저장고의 압력이 풍선에 가하는 힘이 평형을 이루고 있다가 약물 저장고 내부 압력이 하강 될 때 발생하는 차이를 통해 스프링이 이완 되면서 압력을 높여주는 것을 가정으로 제작 하였다. Fig. 10은 압력 보조 장치 와 시험기에 세팅한 모습이다.

내부 압력 변화를 관찰하기 위해 압력계를 약물 주입부와 압력 보조 장치에 각각 설치하여 단위 시간당 압력변화를 기록 하였고, 압력 변화에 따른 유량 변화를 확인하기 위해 전자저울을 동시에 설치하였다.

4.2 압력보조 장치 실험

압력 보조 장치 실험은 앞에서 계획하였던 3가지 설계 변수 중에서 시뮬레이션을 통해서 확인 할 수 없는 설계 변수를 확인하기 위한 목적으로 수행하였다.

Fig. 11은 시간에 따른 압력변화를 나타낸 것으로 2시간이 지난 후, 압력 보조 장치와 풍선 내부 압력이 15 mmHg 차이를 보일 때 스프링이 이완 되면서 압력이 급상승하는 현상을 확인할 수 있으며, 이는 3시간, 4시간 등 지속적으로 관찰된다. Fig. 12은 단위



(a) Spring assist device (b) Drug infuser setup

Fig. 10 Drug infuser tester

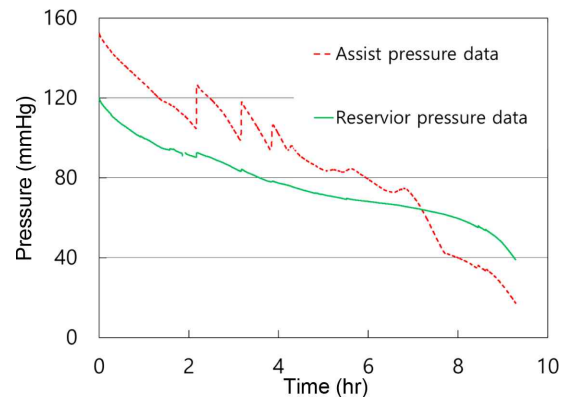


Fig. 11 Pressure variation over time

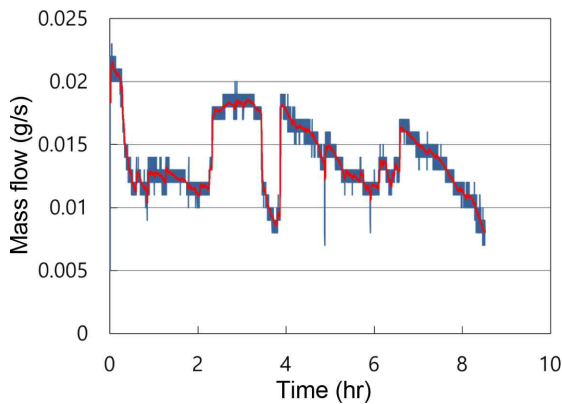


Fig. 12 Mass flow variation over 10 hrs

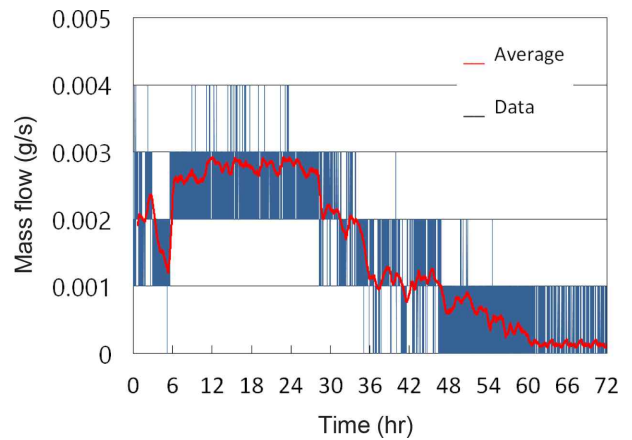


Fig. 14 Mass flow of average vs real data

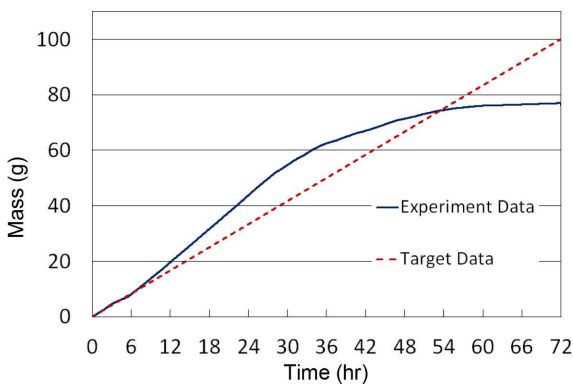


Fig. 13 Comparison between real and target data

시간당 유량을 나타낸 것이며, 2시간 후 압력변화에 따라 낮아졌던 약물 주입기의 유량이 급격히 상승했다가 감소하는 추세를 보이면 유량을 상승하는 것을 볼 수 있다.

따라서 압력보조 장치는 방출되는 유량이 많아짐에 따른 즉, 시간이 지남에 따라 내부 압력의 감소로 인해 약물 방출량이 적절하지 못하는 경우를 부분적으로 해결해주는 효과를 제공하는 것을 확인하였다.

4.3 약물 주입 실험

유한요소해석과 실험계획법을 통해 결정한 관의 길이 10 mm, 관의 내경 0.5 mm, 병렬 배관개수 3개로 제작한 저항체를 제작하여 내부에 풍선과 압력 보조 장치를 연결하여 실험을 진행 하였다.

Fig. 13은 목표 시간 72시간에 대하여 실제 실험 데이터와 100 cc가 일정하게 주입되었을 때의 이상적인 약물 전달량을 그래프로 나타낸 것이다.

처음 6시간동안은 최적의 약물 방출을 시현하다가 시간이 지남에 따라서 설계된 값보다 많은 양의 약물을 방출하기도 하고, 적게 방출하기도 하는 등, 약물 전달 량의 변동이 생겼다. 즉, 일정한 유량으로 약물이 방출되지 못하는 것으로 확인되었다.

그 변동 차이를 확인하기 위하여 단위 시간당 유량 값을 계산한

것이 Fig. 14이다. 72시간 동안 일정한 양의 약물이 방출되기 위해서는 0.001 g/s의 값을 유지하여야 한다. 그러나 계산 결과 시간당 유량은 일정한 값을 유지하지 못하고 30시간까지 0.003 g/s로 지속 되다가 서서히 떨어지는 것을 확인 할 수 있으며, 50시간이 지나면서 추가적인 압력이 필요하다는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 연구는 탄성체 약물 주입기를 사용하는 현장에서 언급되는 제품의 단점을 보완하려는 의도로 시작되었다. 즉, 기존의 제품 형태를 유지하면서 주요 설계 변수의 인자를 변화시키는 것으로 단점 보완이 가능한지를 확인하는 것이다. 이를 위해 일정한 약물 전달 제어와 내부 압력 유지를 할 수 있도록 실험을 설계하고, 전산 해석을 통해 병렬 배관 구조 설계 및 스프링 보조 장치를 추가하는 연구를 수행하였다.

탄성체 약물주입기에 사용되는 재료는 재료 시험을 통해 약물주입기 압력변화가 적은 거동이 나타나도록 낮은 변형률 값을 유도하였고, 또한 유량을 저속으로 방출하는데 적합한 튜브의 내경을 결정하였다.

약물 제어장치를 제작하기 위해 유체역학적 손실을 기준으로 변수를 결정하고 유한요소해석을 수행하였으며, 변수의 유의성을 통계적으로 검증하기 위해 실험계획법을 실시한 결과 변수 값 중 내경 0.5 mm, 병렬배관 3개에서 가장 낮은 유속을 보였다.

결과적으로, 병렬 배관의 내경과 개수의 조건에 의해 유량을 결정 할 수 있는 것을 확인하였다.

스프링을 이용한 압력 보조 장치는 약물저장고 내부의 압력을 부분적으로 증가시켜 약물 주입량이 급격하게 감소하지 않도록 보조하는 것을 확인하였는데, 약 10%의 내부압력을 상승시키면서 탄성에 의한 압력변화가 비선형적으로 낮아지는 것을 완화시키는 것으로 확인되었다. 그러나 스프링의 탄성력 복원은 선형적이지만,

약물 저장고의 내부 압력 복원에 필요한 압력이 시간이 지날수록 비선형으로 발생하기 때문에 이러한 비선형 변화에 대응할 수 있는 설계 보완이 추가적으로 필요하다고 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 강원대학교의 신입교수 일반 연구비지원을 통하여 수행되었으며 이에 깊은 감사를 표합니다.

References

- [1] Skokal, W. A., 1997, Infusion pump update, RN, 60:10 35-39.
- [2] Oh, Y. S., Oh, W. S., 1988, Evaluation on Flow Rate Accuracy of Disposable Drug Infusers Marketed in Korea, Korean Journal of Intravenous Anesthesia, 2:1 91-99.
- [3] Kim, H. Y., Kim, H. J., 2010, Numerical Analysis and Optimum Design of Disposable Drug Infuser Using Fluid-structure Interaction Technique, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A, 34:11 1595-1602.
- [4] Kaye, T., 1994, Prolonged Infusion Times with Disposable Elastomeric Infusion Devices, American Journal of Hospital Pharmacy, 51:4 533-534.
- [5] Moon, H. I., Kim, H. Y., 2012, Prediction of Large Deformation and Fatigue Life for a Rubber Component, The Korean Society Of Automotive Engineers, 1768-1773.
- [6] Abaqus, 2014, Abaqus 6.14 Documentation, Dassault Systemes Simulia Corp.
- [7] Pak, S. H., Choi, B. C., 2005, Understanding the Design of Experiments Through SPSS and SAS Analysis, Minyoungsa, Korea.
- [8] SPSS, 2015, IBM SPSS Statistics 23 Documentation, IBM Corp.