

# 일회용 약물주입기의 성능예측 및 최적 설계

## Performance Prediction and Optimum Design of Disposable Drug Infuser

\*김학진<sup>1</sup>, #김현영<sup>1</sup>  
 \*H. J. Kim<sup>1</sup>, #H. Y. Kim(khy@kangwon.ac.kr)<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> 강원대학교 기계의용공학과

Key words : Disposable drug infuser, Fluid-Structure Interaction

### 1. 서론

약물주입기(drug infuser)는 만성질환, 통증치료 등 지속적으로 약물을 투여 받아야 하는 환자들에게 사용되고 있으며, 이를 위해 약물을 일정하게 배출하는 기능을 갖추고 있다. 약물을 배출하는 방법에 따라 전기기계식과 약물 저장장치의 탄성력을 이용하는 방식이 있으며, 이 두 가지가 주종을 이루고 있다.

전기기계식의 경우 약물의 주입속도가 일정하게 유지되는 장점이 있으나 탄성체 방식에 비해 고가이고 기계의 무게와 크기로 인해 활동이 제한되는 단점을 가지고 있다.<sup>(1)</sup> 탄성체 방식은 가격이 저렴하고 사용이 간편하다는 장점이 있으나 약물 저장장치의 내부 압력에 의해 약물 주입속도가 변하는 단점이 있다. 이러한 문제를 최소화하기 위해 기존 제품은 약물 저장장치의 탄성력을 높여서 압력을 증가시키고, 일정한 유속을 확보할 수 있도록 보조기구를 설치하였다. 이러한 탄성체 방식은 약물 저장장치의 모양에 따라 내부의 압력이 어떻게 달라질 것인지에 대한 예측이 불가능하였기 때문에 대부분 장시간의 시행착오 끝에 제작되었으며, 제품 개발을 위해 상당한 비용과 시간이 소요되었다. 또한 제품의 질이 균일하지 못한 단점을 지니고 있다.<sup>(2)</sup>

개발 비용을 줄이기 위한 방법으로 유체의 힘과 흐름을 해석할 수 있는 기존의 전산 모의실험 기법이 설계에 적용된 바 있으나, 실제 제품은 탄성체와 유체 그리고 기구부가 복합적으로 이루어져 있으므로 모의실험 결과는 실제 제품의 특징을 반영하지 못했다.

본 연구에서는 탄성체 방식을 연구 대상으로 삼고 유체-고체 상호작용 기법을 활용하여 기존 제품을 모사할 수 있는 전산해석 프로세스를 확립하였다. 확립된 프로세스를 활용하여 기존 약물주입기의 문제점을 보완하기 위한 방법으로 약물주입기의 형태, 주입구의 직경 및 모양, 탄성체(약물주머니)의 초기 신장을 변수로 정하고 다구찌법(Taguchi method)에 실시하였고, 각 변수가 탄성체의 내부 압력 및 주입량의 변화에 미치는 영향을 파악하여 일정한 유량을 공급할 있는 제품의 최적 설계안을 도출하였다. 이를 활용하여 시제품을 제작하였으며, 실험을 통해 전산해석결과를 검증하였다.

### 2. 상용 약물주입기의 유동 해석

#### 2.1 유한 요소 모델

국내에 시판되는 제품 중에서 국내 회사에 의해 제작되고 가장 많이 사용되는 제품 2종류를 채택하였다. 역설계 방식을 이용하여 측정된 데이터를 토대로 Fig. 1과 같이 카티아 및 솔리드웍스를 이용하여 3차원 CAD 데이터를 구축하였다. Fig. 2는 3차원 CAD 데이터를 활용하여 해석을 수행하는데 필요한 부분만을 간추려 유한 요소를 생성한 그림이다.

실제실험에서 약물은 물로 대체되기 때문에 유체의 물성은 상온(20°C)의 물을 사용하였고, 밀도, 점성계수는 Table 1에 나타

내었다. 구조물은 시제품 제작 시 사용될 실리콘을 단축 인장시험을 통해 응력을 측정하고, 유한요소해석을 위해 측정된 응력-변형률 데이터를 curve-fitting하여 재료상수를 구하였다. 이는 Table 2에 제시하였다.

#### 2.2 해석 결과

Benchmarking model의 유동 해석 결과, 약물 배출 초기의 유량은 3.658 ml/hr이고 36시간 후 배출이 끝나는 시점의 배출량은 1.91 ml/hr로서 52% 정도 유량의 감소가 발생하였다. 실제제품의 성능 시험<sup>(3)</sup>과 유동 해석의 비교는 Fig. 3에서 확인할 수 있다.

Table 1 Properties of water

Variables	Value
Density	998.2 kg/m <sup>3</sup>
Viscosity	1.002e-003 N · m <sup>2</sup>

Table 2 Fitting parameters of silicone

	1	2	3	4
$\mu_i$ (MPa)	0.367007	0.465108	-0.11703	0.032273
$\alpha_i$	0	1	2	3

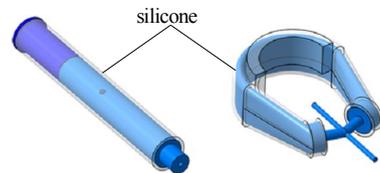


Fig. 1 3D CAD data of benchmarking model

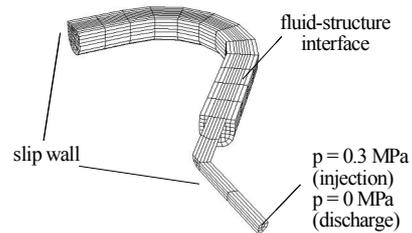


Fig. 2 F.E. model for fluid

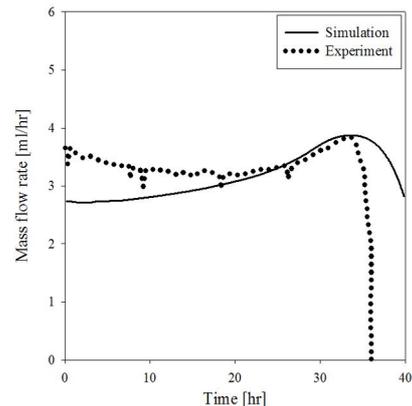


Fig. 3 Comparison of experiment and simulation

### 3. 실험계획법

#### 3.1 변수설계

본 연구에서는 약물주입기의 일정한 유량 배출을 목표로 삼고 처음 배출 시의 유량과 일정 시간이 경과했을 때의 유량의 차이가 최소화 되는 경우를 최적 설계의 기준으로 선정하였다. 제어 인자로는 약물주입기의 형태, 주입구의 직경 및 모양, 탄성체의 초기 신장 여부를 선정하였다. 이는 Fig. 4에 도시하였다. 인자수 준은 유무와 크기 및 형태 등을 고려하여 2수준으로 결정하였다. 2수준계 4인자 실험에 해당하는 L8의 직교 배열표를 사용하여 해석을 진행하였다. 평가 방법은 시간에 따라 일정한 유량의 배출이 목표이므로 초기 배출량과 일정 시간 이후의 배출량의 차이가 적을수록 좋은 특성을 가지는 망소 특성을 사용하였다.

#### 3.2 실험 결과 분석

전산해석의 결과값과 SN비의 값은 Table 3과 같다. 이를 통해 SN비가 가장 높은 실험 6에 해당하는 A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>C<sub>2</sub>D<sub>1</sub>이 유량의 변화를 최소화하는 최적설계 조건임을 알 수 있다. 이를 토대로 기술하면 배출구의 직경이 크고, shell 형태의 탄성체를 사용하며, 탄성체의 초기 신장이 있는 경우가 최적 설계 조건임을 확인할 수 있다.

### 4. 시제품제작 및 성능평가

상용 약물주입기의 유동해석을 통해 전산해석프로세스를 확립하였고, 이를 바탕으로 실험계획법을 실시하고 최적설계안을 도출하였다. 제안된 최적설계안을 토대로 Fig 5와 같이 시제품을 제작하였고, 실험을 통해 전산해석 결과와 비교를 하였다. Fig. 6은 유체의 속도장을 나타낸 것이고, Fig. 7은 유량을 비교한 것이다.

Table 3 SN ratio

L8	Control factor				Response	SN ratio
	A	B	C	D		
1	1	1	1	1	9.73e-01	2.5010
2	1	1	2	2	8.49e-01	-1.1789
3	1	2	1	2	7.63e+00	-13.2003
4	1	2	2	1	1.49e+00	-7.5971
5	2	1	1	2	6.17e-01	0.0728
6	2	1	2	1	8.69e-01	5.6760
7	2	2	1	1	1.54e+00	-6.3455
8	2	2	2	2	4.12e+00	-10.0253

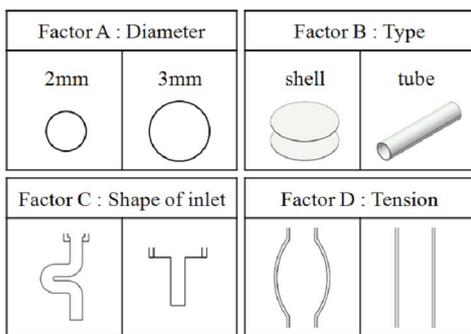


Fig. 4 Control factor



Fig. 5 3D model and prototype

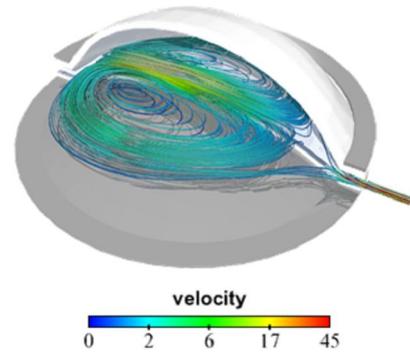


Fig. 6 Velocity of fluid

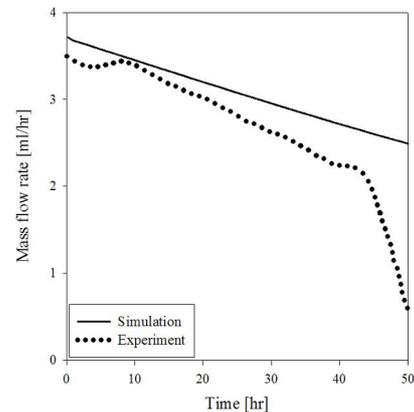


Fig. 7 Comparison of experiment and simulation

### 5. 결론

본 논문에서는 유체-구조 상호 작용 기법을 사용하여 전산해석을 수행한 결과 실제현상을 반영하는 것을 확인하였다. 유체-구조 상호 작용 기법을 활용하여 전산해석을 통한 약물주입기의 성능평가가 가능함을 확인하였다.

탄성체의 형태 및 신장 여부, 약물 배출구의 형상 등을 변경하여 유량의 감소폭을 줄일 수 있음을 확인하였다.

### 참고문헌

- (1) Dorr RT, Trinca CE, Griffith K, Dombrowsky PL, Salmon SE, 1979 "Limitations of a portable infusion pump in ambulatory patients receiving continuous infusions of anticancer drugs", Cancer Treat Rep, No.63, pp.211~213.
- (2) Sang Beom Nam, Chul Ho Chang, Ho Dong Rhee, and Youn-Woo Lee, 2002, "Clinical Application of Gas Forming Infusion Pump for Intravenous Postoperative Pain Control", The Korean Pain Society, pp.190~197.
- (3) Brian M. Ilfeld, M.D., Timothy E. Morey, M.D., and F. Kayser Enneking, M.D., "Portable Infusion Pumps Used for Continuous Regional Analgesia: Delivery Rate Accuracy and Consistency", Regional Anesthesia and Pain Medicine, Vol 28, No 5