

변위 제어형 자동 약물주입기의 구동기구 동역학 해석[§]

신영규[†] · 한남규^{*} · 탁태오^{**}

* 강원대학교 기계의용공학과

Dynamic Analysis of Driving Mechanism for Displacement Controlled Automatic Drug Injector

Young Kyu Shin[†], Nam Gyu Han^{*} and Tae Oh Tak^{**}

* Dept. of Mechanical and Biomedical Engineering, Kangwon Nat'l Univ.

(Received May 2, 2012 ; Revised November 21, 2012 ; Accepted November 30, 2012)

Key Words: Meso Therapy(메조테라피), Drug injector(약물주입기), Volume Control(정량주입장치), Pneumatic system(공압시스템), Medical device(의료기기)

초록: 본 논문은 복잡한 제어장치 없이 비교적 간단한 마찰식 메카니즘을 이용하여 약물 주입량을 정확하게 제어할 수 있는 공압식 약물주입기 구동장치의 해석과 설계를 다룬다. 다물체 해석 기법을 적용하여 약물주입기의 모델을 구성하였고, 이에 대한 동역학 해석을 통해서 구동 메카니즘의 형상, 스프링 강성, 마찰특성 등과 관련된 여러 가지 설계인자들이 약물주입성능에 미치는 영향을 분석하여 이를 시제품 설계에 반영하였다. 약물주입기가 100만회 사용에 대한 내구성을 평가하기 위한 내구시험을 실시하였고, 100만회 구동 후 약물주입기의 변위와 초기상태의 변위를 비교하여 제안한 메카니즘이 충분한 내구성을 가지고 있음을 확인하였다.

Abstract: This research deals with the analysis and design of a driving mechanism for an automatic pneumatic drug injector, which can precisely control the injection volume using a relatively simple friction-driven mechanism, without any complicated control system. Through a dynamic analysis, the effects of the design parameters of the driving mechanism associated with the geometry, spring stiffness, and friction are analyzed, and the results are reflected in a proto-type drug injector design, which is under development for mass production. A test is performed to assess the durability of the mechanism for up to one million operations, and comparison of its displacement after one million operations, verifies the mechanism's durability.

1. 서론

자동 약물 주입기는 전기나 공압 등 동력을 이용하여 자동으로 약물을 피부에 주입하는 의료기기이다. 약물주입기는 사용목적이나 시술부위에 따라 다양한 형태가 있으나, 본 논문에서는 최근 미용 및 성형 목적으로 광범위하게 시술되는 메조 세라피(meso therapy)를 위한 자동약물 주입기의 구동메카니즘을 다루고자 한다. 메조 세라피

는 프랑스인 Michel Pistor에 의해서 1950년대에 개발된 치료법으로서 주름제거, 모발재생, 지방제거 등 목적에 따라서 특정한 약물을 2-3mm 깊이의 피부 진피층에 주입하는 치료법이다. 메조 세라피는 특정 부위의 진피층에 미세한 양의 약물을 수백 회에서 수천 회 주입해야하므로 사람의 손으로 시술하기가 어려워서 메조건(meso gun)이라고 하는 공압식 자동 약물 주입장치를 사용한다.

메조건은 바늘을 피부에 삽입할 때와 삽입 후 정해진 양의 약물을 피부에 주입할 때 공압이나 전기를 사용하는 방식이 있는데 두 가지 모두 장단점이 있다. 우선 솔레노이드를 사용하는 전기

§ 이 논문은 2012년도 대한기계학회 동역학 및 제어부문 춘계학술대회(2012. 4. 11.-13., 제주KAL호텔) 발표논문임

† Corresponding Author, sin0727@nate.com

© 2013 The Korean Society of Mechanical Engineers

식은 공압식과 비교하여 공압 펌프, 축압기, 압력 제어기 등의 장치가 불필요하므로 부피가 작고 구조가 간단한 장점이 있다. 그러나 전기식은 메조 세라피에서 사용하는 구경이 작은 바늘을 이용하여 점성이 큰 약물을 주입하는 경우에 요구되는 큰 힘을 내기가 어렵고, 솔레노이드 구동시 소음이 발생하고, 장시간 사용할 경우 열로 인하여 약물에 영향을 줄 수 있는 문제가 있다.

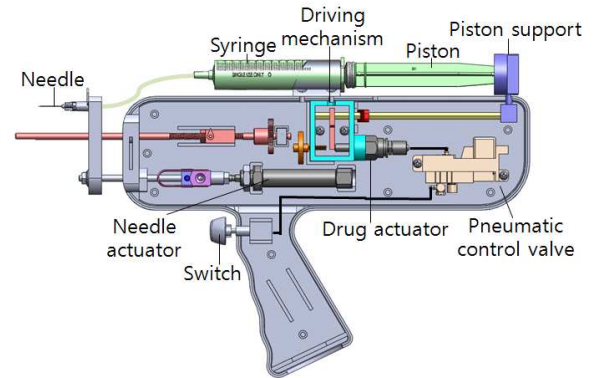
본 논문에서 다루고자 하는 공압식 약물 주입 장치는 전기식에 비하여 부피가 크고 고가이지만, 전기식과 달리 온도 상승이 없으며 충분한 약물 주입압력을 생성할 수 있으므로 시술목적에 따라 점도에서 큰 차이가 나는 다양한 종류의 약물을 주입하는데 널리 사용할 수 있는 장점이 있다.

메조 세라피를 위한 약물주입기에서 가장 중요한 문제는 어떻게 약물주입량을 정확하게 제어하는가 하는 문제이다. Fig. 1(a)의 메조조건에서 약물은 1회용 주사기에 충전되어 있고, 메조조건 구동장치가 주사기 피스톤을 밀어주어야 한다. 즉 왕복운동을 하는 공압식 액추에이터의 운동을 이용하여 약물이 완전히 주입될 때까지 미소량의 변위만큼씩 주사기 피스톤을 계속 밀어주어야 하는 메카니즘이 요구된다.

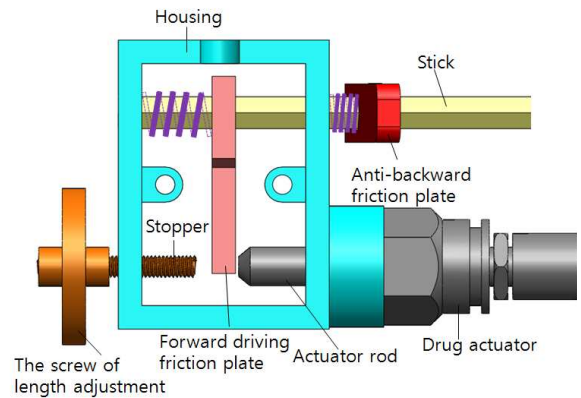
본 논문에서 사용하는 공압식 구동장치는 정현구, 탁태오 등⁽¹⁾이 개발한 약물주입기용 구동장치를 기반으로 하고 있다. 이 장치는 약물 주입을 위한 액추에이터가 정해진 스트로크를 연속적으로 왕복운동을 하더라도 약물을 주입하는 주사기의 피스톤은 미리 설정된 변위만큼씩 이동하며 약물을 주입할 수 있다.

공압식 메조건의 구조와 작동원리는 Fig. 1에 설명되어 있다. 구조는 메조조건을 작동시키기 위한 스위치와 외부로부터 들어오는 공기의 압력을 제어하기 위한 공압제어밸브가 있으며 공압제어밸브는 1차로 바늘을 피부에 삽입하는 니들 액추에이터를 구동시킨 후 주사기 피스톤을 밀어주는 약물주입 액추에이터를 구동시킨다.

약물주입 메카니즘의 작동원리는 Fig. 1(b)와 같이 약물주입 액추에이터가 작동하여 구동마찰판을 밀어주고 구동마찰판과 스틱의 마찰로 인해 스틱 또한 변위가 발생한다. 스틱의 변위는하우징에 결합된 스톱퍼에 의해 결정되고 이 스틱의 변위는 피스톤지지대를 통하여 피스톤을 밀게 된



(a) Meso-gun



(b) Driving mechanism of Meso-gun

Fig. 1 Pneumatic Power Driven Meso-gun

다. 변위제어형 구동장치의 상세한 구동원리는 2장에서 설명한다.

약물주입장치에서 정해진 양의 약물을 주입하기 위한 방식에 대한 여러 가지 연구가 진행되었다. 임수영, 허정일 등⁽²⁾은 스텝모터(steping motor)의 직선 운동을 슬라이드 크랭크를 이용하여 리드 스크류의 회전운동으로 변화시키고 리드 스크류 나사의 피치를 조정하여 스텝 모터가 한번 움직일 때 주사기 피스톤의 이동 거리가 변하도록 디자인하였다. 이러한 방식에 의해서 0.1ml/cc 까지 주입량을 제어할 수 있다고 한다. 그러나 슬라이드 크랭크 기구의 크기와 무게, 그리고 가변형 피치를 구현하는데 있어서 어려움으로 인해서 이러한 방식을 메조조건에 적용하는데 무리가 따른다.

장지성, 이광국 등⁽³⁾은 긴 전달관로를 갖는 공기압 압력 제어계를 대상으로 전달관로의 전달특성 변화에 의한 제어성능 변화를 보상할 수 있는 압력제어기를 설계하였다. 비례 제어기를 이용한 압력제어 결과와 비교하여 목표압력의 진폭이 변

화함으로써 발생하는 압력응답의 진동 및 정상편차가 사라지고 압력제어 성능이 현저하게 향상되었음을 확인하였다.

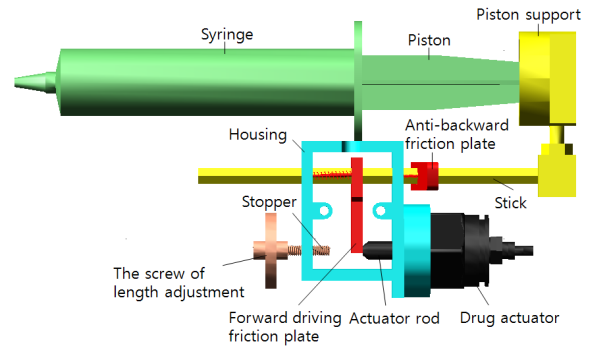
변위 제어를 위해서 제어이론을 적용한 방식도 제안되었다. 이동희, 안진우 등⁽⁴⁾은 주사기에 일정한 변위를 발생시키고 공압 액추에이터의 정확한 변위제어를 위해서 2개의 유량제어 밸브를 이용하여 새로운 제어 알고리즘을 제안하고 실험을 통해 변위의 정밀도를 검증하였다. 손영선, 이동주 등⁽⁵⁾은 미세 변위를 제어하기 위해 공압을 사용하여 마이크로미터 단위의 정밀도를 가지는 공압 액추에이터를 개발하였다. 레귤레이터를 사용하여 공압을 조절하는 시스템은 공압 액추에이터의 변위를 100마이크로미터 정도로 설정이 가능하다. 그러나 약물 주입기에 이러한 제어 방식을 적용하는 데는 고장이나 비용측면에서 제약이 따른다. 정현구, 탁태오 등⁽⁶⁾은 선행으로 연구된 메카니즘의 신뢰성평가를 위하여 내구성 평가 장치와 이동변위 측정 장치를 설계하였다. 약물주입기를 연속적으로 구동할 때 미세 약물주입 성능을 갖는지 평가하고, 약물 주입기를 장시간 구동하여 미세 약물주입이 가능한 작동횟수를 확인하였다.

제안한 메조건은 구현이 어렵고 복잡한 메카니즘이나 제작과 유지에 비용과 기술적 어려움이 따르는 민감한 폐회로 제어장치 없이 비교적 간단한 메카니즘으로 다양한 점도의 약물을 주입할 수 있는 충분한 힘과 빠른 주입속도를 가지면서 원하는 정밀도를 가진다. 본 논문에서는 제안한 메조건의 성능을 검증하기 위해서 다물체 동역학 해석기법을 이용하여 거동의 특성을 분석하고자 한다.

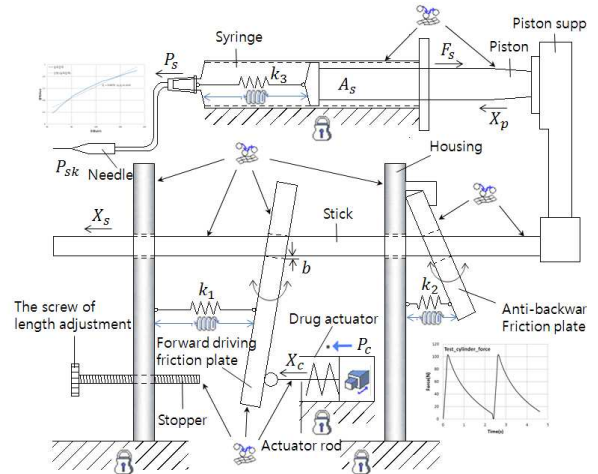
2. 약물주입기 모델링

2.1 구동장치

약물주입기의 동적 거동을 해석하기 위하여 주사기의 주입압력, 마찰판의 마찰력 생성 및 전달, 주입기의 기구학적 링크지 등을 포함한 구동장치에 대한 아담스 모델링을 Fig. 2(a)와 같이 수행하였다. 모델링에서 주사기와 하우징은 지면에 고정되어 있다. 약물주입 액추에이터와 액추에이터 로드는 트랜스레이셔널 조인트를 사용하여 액추에이터 로드를 전, 후진시키고 구동마찰판, 스톱퍼, 스틱, 후진방지마찰판, 주사기, 피스톤은 각



(a) Adams modeling of Meso-gun



(b) The concept of driving mechanism for displacement controlled drug injector

- P_{sk} : Pressure of the skin[MPa]
- P_s : Pressure of the syringe[MPa]
- A_s : Area of the syringe[mm²]
- P_c : Pressure of the actuator[MPa]
- F_s : Friction force of the syringe[N]
- k_1 : Return spring stiffness of friction plate[N/mm]
- k_2 : Spring stiffness of anti-backward stick[N/mm]
- k_3 : Resistance stiffness of drug injection[N/mm]
- X_c : Actuator rod distance[mm]
- X_s : Stick distance[mm]
- X_p : Piston distance[mm]
- b : Tolerance between stick and friction plate[mm]

Fig. 2 Multibody modeling of driving mechanism

각 접촉 요소로 설정하였고 약물이 피부에 주입될 때 발생하는 저항력에 의한 주사기의 압력변화를 주사기와 피스톤에 연결되어 변위와 속도의 함수로 주어지는 스프링 댐퍼요소로 설정하였다.

스프링 댐퍼값은 측정된 데이터를 기반으로 구하였으며 2.2절에서 설명한다.

구동방식은 공압 제어밸브의 작용으로 컴프레서로부터 공급되는 공압에 의해 약물주입 액추에이터가 왼쪽으로 구동마찰판을 밀게 된다. 구동마찰판은 스틱의 직경보다 큰 구멍을 통해서 스틱에 끼워져 있으므로 스틱과 구동마찰판 구멍의 직경은 b 의 공차를 가진다. 따라서 액추에이터가 구동마찰판을 밀더라도 구동마찰판과 스틱이 접촉할 때까지 스틱은 전진하지 않고 회전하게 되고, 접촉이 발생해야만 스틱과 구동마찰판의 마찰력에 의해 스틱과 구동마찰판이 같은 속도로 왼쪽으로 구동된다. 스

Table 1 Definitions for the ADAMS modeling

	definitions	measured value
x_c	Actuator rod distance [mm]	1.4
P_c	Pressure of actuator [MPa]	0.7
A_s	Area of the syringe [mm^2]	30.97
K_1	Return spring stiffness of friction plate [N/mm]	10.56
K_2	Spring stiffness of anti-backward stick [N/mm]	20
K_3	Resistance stiffness of drug injection[N/mm]	12.77
b	Tolerance between stick and friction plate[mm]	0.1
F_s	Friction force of the syringe [N]	0.43

Table 2 Properties for multibody dynamic analysis

	material	mass moment of inertia(kg/mm ²)			mass (kg)
		lxx	lyy	lzz	
syringe upper	plastic	14.12730	13.99022	1.37137	0.004
syringe lower	plastic	10.12977	10.09713	0.22065	0.003
housing	steel	21.43114	16.78377	11.68540	0.0283
friction plate	steel	0.33681	0.29343	0.05137	0.0029
anti backward friction plate	steel	0.51903	0.49587	0.03102	0.0028
stick	steel	35.63050	30.35711	7.53480	0.014
actuator	steel	4.03859	4.03859	2.96653	0.0634
actuator rod	steel	0.15738	0.15738	0.01063	0.0086

틱이 왼쪽으로 구동되면 스틱과 연결된 주사기 피스톤이 약물을 주입하게 된다. 액추에이터 로드가 오른쪽으로 후진하면 구동 마찰판은 압축된 복귀 스프링(k_1)에 의해서 초기위치로 복귀한다.

한편 후진방지마찰판은 압축된 스프링(k_2)과 위쪽의 고리에 의해서 스틱에 대해 비스듬하게 경사져 있으므로 스틱과 접촉이 발생하여 접촉점에서 마찰력이 작용한다. 그러나 스틱이 왼쪽으로 구동되는 동안은 후진방지 마찰판과 스틱의 접촉이 해제되어 스틱의 움직임을 제약하지 않는다. 구동이 끝나면 압축 스프링에 의해서 후진방지마찰판과 스틱사이에 접촉이 발생하게 되어 스틱이 오른쪽으로 밀리는 것을 방지한다.

약물주입량은 스토퍼의 위치와 스틱과 구동마찰판과의 공차(b)를 제어함으로써 조절할 수 있다. 구동마찰판이 액추에이터의 작동으로 회전하여 스틱에 마찰력이 작용하기까지 구동마찰판이 이동하는 거리를 계산한다. Fig. 3의 (a)와 같이 스틱의 두께를 a 라고 하고 구동마찰판과 스틱의 공차를 b 라고 한다. 그리고 구동마찰판의 공차의 밑단에서부터 액추에이터 로드가 구동마찰판에 힘을 가해주는 거리까지 c 라고 한다. 약물주입 액추에이터의 작동에 의해 구동마찰판은 공차(b)를 중심으로 회전하지만 마찰력이 발생하지 않는 거리를 s 라고 하자.

구하고자 하는 값은 스틱과 접촉할 때까지 구동마찰판이 기울어지는 각도(θ_m)와 액추에이터 로드 마찰력이 발생하기 전까지 움직인 거리(s)를 구하고자 한다. 이를 위해서 우선 액추에이터 로드 구동마찰판을 밀기 전 상태를 초기각도(θ_1)라 하고 스틱과 구동마찰판의 공차로부터 액추에이터 로드 구동마찰판을 밀었을 때, 구동마찰판과 스틱사이에서 마찰력이 발생하기까지의 총 각도를 θ_2 라 하면 다음 식 (1), (2)과 같이 θ_1 과 θ_2 를 구할 수 있다.

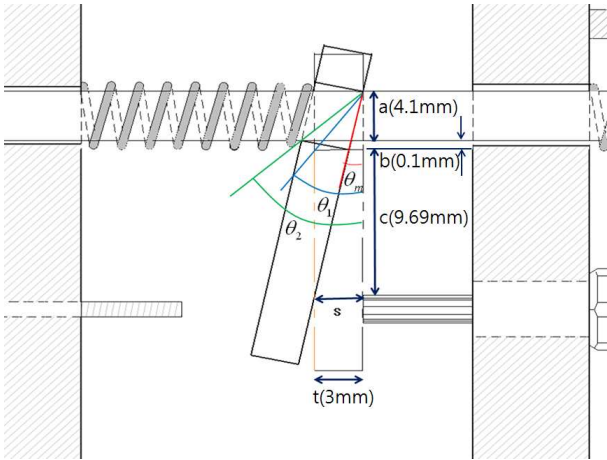
$$\tan\theta_1 = \frac{t}{a+b} \quad (1)$$

$$\cos\theta_2 = \frac{a}{\sqrt{(a+b)^2 + t^2}} \quad (2)$$

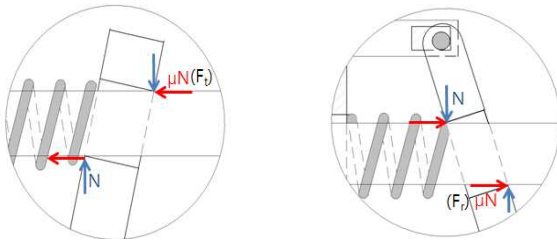
θ_m 은 θ_2 에서 θ_1 을 뺀 값이다. 거리 s 는 식 (3)을 사용하여 구할 수 있다.

$$s = (a+b+c) \cdot \tan\theta_m \quad (3)$$

설계한 $a=4.1\text{mm}$, $b=0.1\text{mm}$, $c=9.69\text{mm}$ 를 대입하



(a) Geometry of the driving friction plate



(b) Friction force at forward driving friction plate

(c) Friction force at anti-backward friction plate

Fig. 3 The concept of Pneumatic displacement controlled drug injectors driving mechanism



Fig. 4 Internal pressure measuring device of drug injector

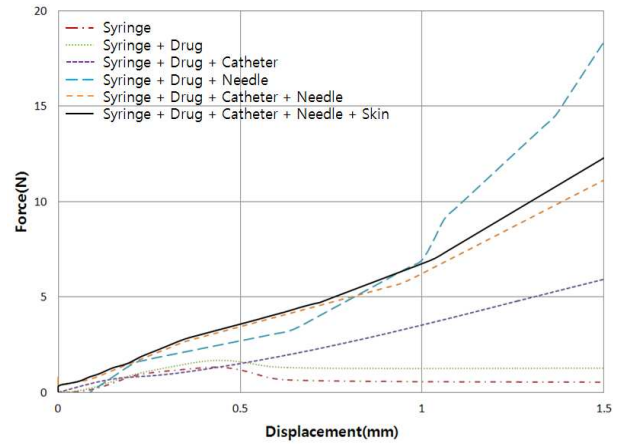


Fig. 5 Comparison of resistance force-displacement

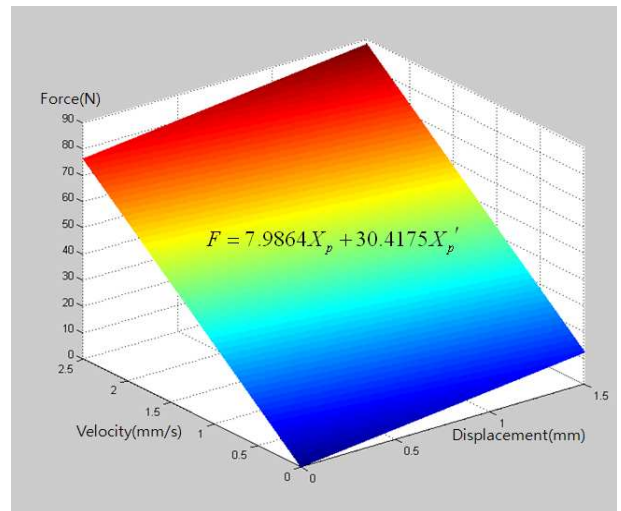


Fig. 6 Resistance force as function of displacement and velocity of syringe

고 계산하였을 때, θ_m 은 1.87° 이고 s 는 0.45mm 가 되었다.

스틱은 구동 마찰판,하우징, 스틱 후진방지 마찰판과, 구동마찰판은 액추에이터로드와, 스틱 후진방지마찰판은 하우징과 스틱간의 정지마찰력 0.7의 접촉요소로 연결되어있다. 스틱간의 정지마찰력은 기존에 연구된 자료를 바탕으로 설정하였다. 액추에이터 로드는 액추에이터와 병진요소로 연결되어 있다. 액추에이터 로드의 구동력은 시간에 따른 액추에이터의 구동력으로 설정하였다. 실험결과는 Fig. 7(a)의 측정결과와 같았으며 해석을 위하여 이산화하여 대입하였다. 각 요소들의 정의와 측정값은 Table 1, 2와 같다.

2.2 약물주입압력 분석

인체의 피부에 약물을 주입할 때 피부의 저항

에 의한 압력보다 약물 주입기 피스톤부의 압력이 커야 한다. 약물주입 시 주사기 피스톤의 압력을 측정하기 위해서 인체를 대상으로 한 실험은 현실적인 제약이 많으므로 인체의 피부와 유사한 생닭의 피부를 이용하였다. 메조건 주입약물로는 점도가 가장 큰 필러(filler)로 가정하였고 필러와 유사한 점도를 가지는 주방용 세제를 사용하였으며 바늘은 27G-1/2in를 사용하였다.

약물주입기 내부의 압력을 측정하기 위하여 Fig. 4와 같이 소형 인장 압축기를 사용하였다. 저항요소로는 실제로 약물주입에 사용되는 인자(주사기, 약물, 카테타, 바늘, 피부)를 묘사하였고 압축장치로 주사기 피스톤에 힘을 가했을 때의 힘과 변위, 속도를 기록하였다.

Fig. 5에는 주사기를 밀 때 요구되는 힘을 실린더 변위의 함수로 보여주고 있다. 우선 주사기와 피스톤 사이의 마찰 저항만 고려하는 경우 일정한 값을 가지는 동마찰력의 특성을 보여준다. 주사기에 약물을 넣고 저항력을 측정하면 변위가 증가함에 저항력이 커지게 되는데 이 이유는 주사기와 액추에이터 실링(sealing) 등에 탄성 변형이 발생하기 때문이다. 추가적으로 카테타, 바늘, 피부를 고려하면 저항력은 더욱 증가한다.

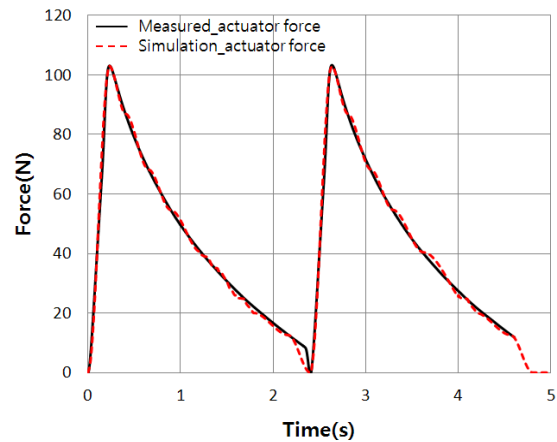
Fig. 5에서 실제로 약물주입에 사용되는 인자(주사기, 약물, 카테타, 바늘, 피부)의 저항력이 적용되었을 때, 피스톤의 거리에 따른 저항력 함수는 1차 최소자승법으로 표현한 함수와 오차의 범위가 크지 않으므로 다물체 동역학 해석에 사용되는 Fig. 6의 선형화 함수로 표시할 수 있으며 이는 식 (4)와 같이 정의된다.

$$F = 7.9864X_p + 30.4175X_p' \quad (4)$$

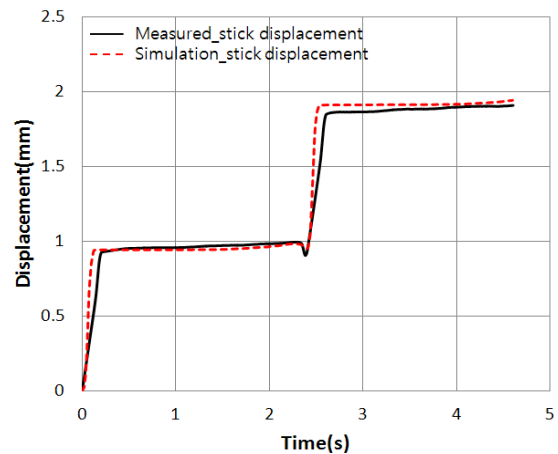
1차 최소자승법으로 표현한 함수는 Fig. 7의 동역학 해석 그래프 결과로써 실제 저항값으로 측정된 결과와 오차의 범위가 작으므로 검증된다. 식 (4)에서 F 는 모든 마찰 및 저항요소를 포함했을 때 약물을 주입하기 위한 주사기의 저항력, X_p 는 주사기 피스톤의 이동거리, X_p' 은 주사기 피스톤의 속도를 나타낸다.

3. 동역학 해석

약물을 주입하기 위한 주사기의 내부 저항력은 미소변위인 경우 주사기의 이동거리에 비례하



(a) Comparison of measured actuator force and simulation actuator force



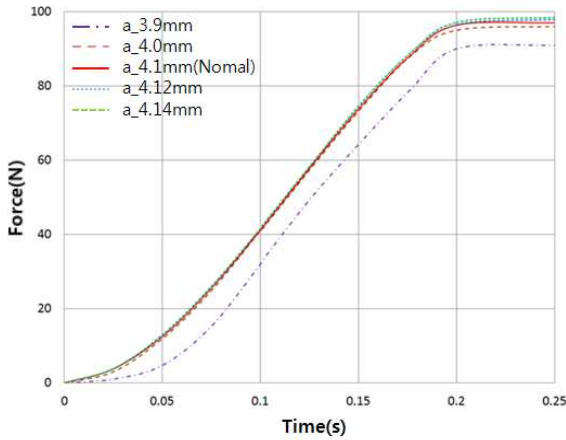
(b) Comparison of measured stick displacement and simulation stick displacement

Fig. 7 Graph of dynamic analysis

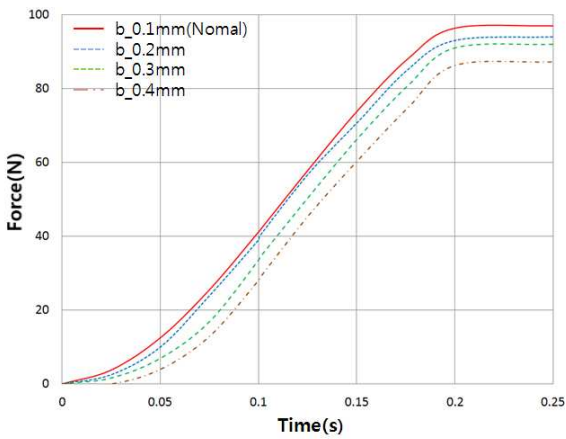
여 증가한다. 약물주입기 내부에 높은 저항력이 발생할 때 주어진 액추에이터의 구동력으로 약물을 주입할 수 있는지 다물체 동역학 모델링을 통하여 검증해 보기로 한다.

액추에이터가 전진할 수 있는 조건은 구동마찰관의 마찰력이 구동마찰관 복귀 스프링과 스틱 후진방지 스프링, 주사기 저항력을 더한 값보다 클 때 전진하게 된다. 액추에이터의 구동력은 실제로 측정된 액추에이터의 입력값을 Fig. 7(a)에서와 같이 정량화하여 시뮬레이션의 입력값으로 사용하였다. 이 값은 액추에이터에 작용하는 힘을 로드셀(Load cell)를 사용하여 측정한 결과값이며 최대 103N의 힘이 0.3초간 구동된 뒤 2.3초 안에 원위치로 복귀됨을 뜻한다.

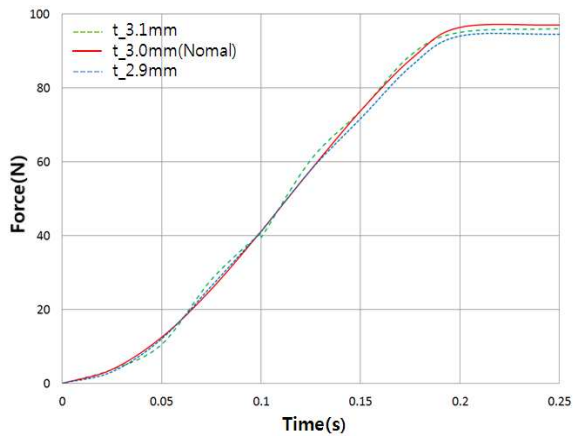
Fig. 7(b)는 스틱의 변위를 보여주고 있다. 액추에이터의 힘을 시뮬레이션값과 같이 인가하였을



(a) Sensitivity with respect to the thickness of the stick



(b) Sensitivity with respect to the tolerance of friction plate



(c) Sensitivity with respect to the thickness of friction plate

Fig. 8 Graph of sensitivity analysis

때, 실제 스틱의 이동거리와 비교한 그래프이다. 측정값과 시뮬레이션값이 상당히 유사한 것을 확인하였다. 시뮬레이션의 그래프에서 스틱의 변위

가 구동 후 약간 후퇴하는 현상은 인체 내에 약물을 주입한 뒤 후진방지마찰판이 마찰력을 발생하도록 마찰방지 스틱의 스프링에 의해서 회전하기 전에 순간적으로 약간 뒤로 밀리기 때문이다. 이러한 후퇴현상은 메조건의 상품화를 위한 허용 오차범위 $\pm 10\%$ 이내이기 때문에 성능에는 큰 영향을 미치지 않는다.

Fig. 8은 스틱의 이동에 영향을 주는 인자에 대한 스틱구동력(마찰력)의 민감도를 나타내고 있다. Fig. 3(a)의 a,b,t에 대한 인자를 각각 $\pm 0.1\text{mm}$ 씩 변경하며 해석하였다. 그 결과 스틱의 두께(a)와 스틱과 구동마찰판의 공차(b)의 인자가 스틱의 이동에 가장 큰 민감도를 나타냈으며, 결론적으로 스틱과 마찰판의 공차가 스틱의 이동에 가장 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다.

4. 내구성 평가

현재 메조건은 분당 평균 100회의 속도로 고속으로 작동하므로 분당 100회씩 100시간 사용한다고 가정할 때 600,000회 이상 구동이 가능하도록 충분한 내구성을 가져야 한다. 액추에이터가 한번 작동할 때마다 구동마찰판과 스틱, 스틱 후진방지마찰판에서 마모가 발생하여 내구성에 영향을 미칠 수 있다. 그러므로 충분한 내구성능을 갖는지 평가하기 위해 Fig. 9과 같이 스틱과 구동마찰판의 마모성을 평가하는 내구성 평가장치를 제작하였다. 내구성 평가장치는 액추에이터가 전진하면 스틱은 마찰판에 의해서 앞으로 전진하였다가, 액추에이터가 원래 위치로 복귀하면 스틱은 스틱 복귀 스프링에 의해서 후진되는데, 이때 뒤쪽의 벽에 의해서 일정한 위치만큼만 후진하게 한다. 결과적으로 스틱은 전진하지 않고 일정한 위치에서 전 후진을 반복하게 된다. 이 때 마찰판과 스틱사이의 마모는 한부분에 집중적으로 발생하므로 마모에 의한 내구수명을 신속하게 평가할 수 있다. 측정은 LABVIEW(National Instruments)프로그램과 rs-232보드, DAQ보드(National Instruments), 선형변위계(LPS)를 사용하여 측정하였다.

내구성 평가는 스톱퍼를 이용하여 액추에이터의 스트로크를 0.96mm로 제한한 뒤 1분에 420회씩 1시간을 연속 구동하여 총 40시간 연속 구동 후 스틱의 이동거리를 확인하였다. 액추에이터의 스트로크에 대한 스틱의 이동거리는 선형 변위계



- ① : Controlled device of the actuator
- ② : Controlled device of the pressure
- ③ : Power supply
- ④ : pressure switch
- ⑤ : DAQ board
- ⑥ : Pump
- ⑦ : Linear position sensor
- ⑧ : Drug injection

Fig. 9 Experimental device of durability evaluation

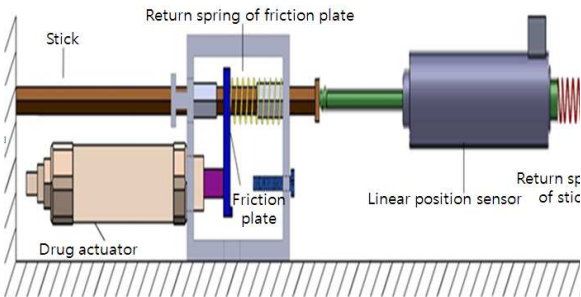


Fig. 10 The concept of durability evaluation device

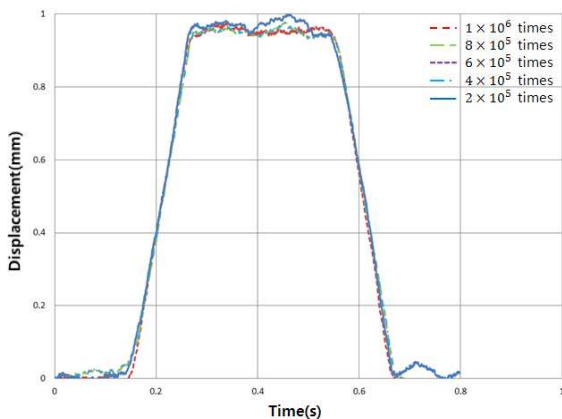


Fig. 11 The result of durability evaluation

를 통해 측정된 결과값을 DAQ보드에 의하여 저장된 데이터 해석을 통해 확인하였다. 100만회까

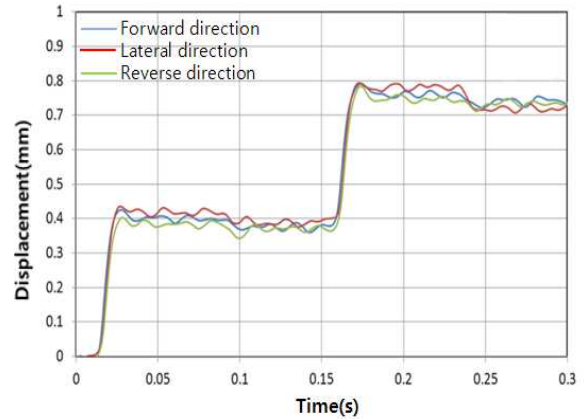


Fig. 12 The result of displacement for direction

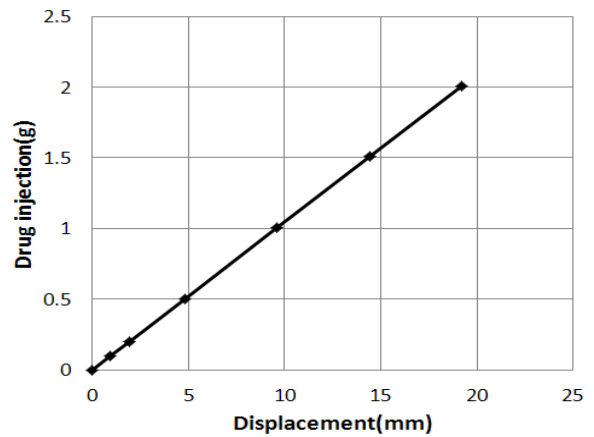


Fig. 13 The result of drug injection for displacement

지의 내구성 시험 후 스틱의 이동거리가 오차범위 내에서 동일하면 제조조건은 충분한 내구성을 갖는다고 결론지을 수 있다.

제조조건에 따른 스틱의 이동거리 정밀도를 측정하기 위하여 내구성 평가장치의 방향을 정방향인 평행한 방향으로, 측방향인 좌측 90도 방향으로, 역방향인 180도 방향으로 변경 후 스틱의 이동거리를 측정하였다. 액추에이터의 구동횟수를 1분에 420회로 설정하고 스틱의 이동거리는 스톱퍼를 이용하여 0.4mm로 제한하였다. 정밀도 실험 후 스틱이 오차범위 $\pm 0.05\text{mm}$ 내에서 0.4mm의 일정한 이동거리를 가졌을 때 제조조건은 정밀도를 갖는다고 평가한다.

Fig. 11는 100만회 내구성 평가 후 스틱의 변위를 측정된 값이다. 측정결과 100만회 내구성 평가 후에도 스틱의 이동변위는 오차범위 $\pm 0.05\text{mm}$ 내에서 0.96mm으로 동일한 것으로 확인되었다. 그러므로 제조조건은 100만회까지 충분한 내구성을

갖는다고 할 수 있다.

Fig. 12은 메조건의 작동방향에 대한 이동거리를 나타내고 있다. 측정결과 메조건은 작동방향에 대해 오차범위 $\pm 1/10\text{mm}$ 이내에서 정밀한 이동거리를 나타내었다. 그래프의 오차가 발생하는 이유는 $1/100\text{mm}$ 의 오차를 측정할 수 있는 선형 변위계를 사용하여 이동거리를 측정할 때 전기적인 잡음현상 때문에 $1/100\text{mm}$ 에서 $\pm 0.05\text{mm}$ 오차가 발생하기 때문이다.

Fig. 13은 메조건의 변위제어에 따른 약물주입량을 나타내고 있다. 액추에이터에서 발생한 힘이 마찰관에 작용하고 마찰관은 스틱에 작용하여 최종적으로 스틱의 변위를 발생시켰을 때, 변위에 따른 약물주입량을 확인할 수 있다. 변위가 0.96mm 로 이동함에 따라 약물주입량은 0.1g 이 주입되며 오차는 $\pm 10\%$ 안으로 한국산업기술시험원(KTL)에서 약물주입량의 정밀도를 검증받았다.

$\pm 10\%$ 오차가 용인되는 이유는 짧은 시간 안에 수백 회에서 수천 회 인체 내에 약물을 주입해야 하므로 내부 저항에 의한 카테타의 팽창 때문에 약물의 누수가 발생한다.

5. 결론

본 논문에서는 공압식 변위제어형 약물주입기의 상품화를 위해 실제로 약물주입에 사용되는 인자(주사기, 약물, 카테타, 바늘, 피부)에 대한 저항력을 구동장치 모델링에 대입하여 실제 약물주입과 같은 시뮬레이션을 제작하고 구동장치의 동역학 해석을 하였다. 또한 100만회 내구성 평가를 하여 스틱의 변위를 측정하였다.

동역학 해석 결과 액추에이터의 힘을 실험값과 동일하게 시뮬레이션에 입력했을 때, 실제 스틱의 이동거리와 시뮬레이션의 스틱 이동거리가 일치하는 결론을 얻었다. 민감도 분석 결과 설계변수에 대한 스틱의 힘을 측정된 값으로 액추에이터가 103N 구동 시 스틱의 두께와 구동마찰관의 공차의 변경으로 인한 힘을 통해 스틱과 마찰관의 공차가 커질수록 주사기 피스톤을 밀어주는

스티크의 힘에 큰 영향을 주는 것을 확인할 수 있다.

상품화를 위한 100만회 내구성 측정결과 스틱의 변위가 방향과 횡수에 상관없이 일정함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 과학재단으로부터 지원받은 일반연구자 지원사업(2009-0075250)의 결과입니다.

참고문헌

- (1) Tak, T. O., Jung, H. G., Woo, J. M., Jun, M. S., Kim, J. M., Kim, N. W., Kim, M. C. and Lee, M. G., 2011, "Injection Device," *Korea Institute of Patent Information*, 10-1007094
- (2) Lim, S. Y., Heo, J. I., Seo, J. H., Ahn, J. S. and Kim, W. S., 2007, "A Study on the Implementation of a Remote Injection System For u-Hospital," *The Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 30, No. 1, pp. 376-380
- (3) Jang, J. S., Lee, K. K. and Choi, M. S., 2003, "Pressure Control of a Pneumatic Control System with a Long Transmission Line," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 27, No. 4, pp. 567-576.
- (4) Lee, D. H., Seok, S. H., Liang, J. and Ahn, J. W., 2007, "Pressure Control of Hydraulic Pump Using SR Drive with Pressure Predict and Direct Torque Control Method," *The Korean Institute of Power Electronics*, Vol. 13, No. 3.
- (5) Son, Y. S., Lee, D. J. and Lee, J. O., 2002, "Development of a Pneumatic Actuator for Micro-Positioning Control," *The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, pp. 429-434
- (6) Tak, T. O., Jung, H. G., Kim, N. W., KWON, S. W., PARK, J. Y., Lee, J. Y., 2010, "Reliability Assessment of Precision Volume Controllable Stick Type Drug Infusion System," *Proc. of KSME Fall Annual Meeting*, pp. 3945-3946.