

관절경 수술을 위한 주입 펌프 시스템 개발

이종선*(한동대 기계제어공학부), 심재원(한동대 기계제어공학부), 최주호(한동대 기계제어공학부), 차인혁(메디스 얼라인), 정영근(메디스 얼라인), 안재용(삼성 제일병원)

Development of Irrigation Pump System Used for Arthroscopy Surgery

C. S. Lee(Mechanical and Control Eng., Handong Global Univ.), J. W. Sim(Mechanical and Control Eng., Handong Global Univ.), J. H. Choi(Mechanical and Control Eng., Handong Global Univ.), I. H. Cha(MedixAlign), Y. K. Jeong(MedixAlign), J. Y. Ahn(Samsung Jeil Medical Center)

ABSTRACT

A new pump used in arthroscopy surgery was developed. The pump is driven by pneumatic air compressor and controlled by a stepper motor connected to an air regulator. Pressure control performance was observed to be similar compared to commercially available arthroscopy pumps. However, pressure pulses observed in the commercial pumps driven by multiple rollers disappeared in the pneumatically driven pump. The new pump required containers to enclose and squeeze saline solution packs. A dramatic saving in manufacture cost is expected considering the simple pneumatic drive used in this pump.

Key Words : Arthroscopy Surgery (관절경 수술), 펌프 (Pump), 압력 (Pressure), 유량 (Flow), 제어 (Control)

1. 서론

관절경 시술이라 함은 무릎, 손목등 환자의 관절 수술시, 관절경과 수술 드릴 등의 기구를 수술 부위에 삽입하고 모니터를 통해 상황을 관찰하면서 시술하는 방법을 말한다. 최근 10년간 그 시술 범위가 무릎관절, 어깨관절, 엉덩이 관절, 손목 팔꿈치 관절 등의 인체의 각 부위로 확산되고 있으며 관절경 시술의 성공적인 수행의 중요한 부분은 수술시야의 확보이다. 즉 관절경 시술은 좁은 관절 공간을 넓힌 상태에서 안전한 시술이 가능한 것이다. 이 경우, 수술시야 확보를 위해 관절 공간을 넓히고 수술 찌꺼기를 수액과 함께 배출시키는데 필요한 기구가 관절경 펌프(Irrigation Pump System; IPS)이다.

관절경 시술 시에 사용되는 재래적인 방법은 물탱크를 높은 위치에 올려놓고 높이에 따른 수압을 이용하여 수술부위로 물을 공급하여 압력을 유지함으로써 수술시야를 확보하고 수술부위를 세척하는 방식이다. 이 방법은 물탱크 장착의 불편 및 위험성, 사용수액의 오염문제, 이를 관리하는 보조 인력의 필요성, 순간적인 압력변화에 대한 제어기능의 부

재, 수술 중 유량 및 압력조절이 불가능하다는 문제점을 갖고 있다. 따라서 선진국에서는 관절경 수술시, IPS를 개발하여 사용하였으며 그 여파로 관절경 시술법이 급속도로 확산되고 있다.

본 연구에서는 기존의 펌프와 다른 방식의 IPS 펌프를 고안하였다 (대한민국 특허출원 2003-82964). 개발된 펌프는 압력의 요동(펄스)없이 수액(식염수)을 일정 압력으로 제어하며 공급할 수 있도록 공압에 의해 작동된다. 이 기구는 소형 공기 압축기에 연결된 공압 레귤레이터를 스텝 모터를 사용하여 정밀하게 회전시켜 공압을 제어함으로써 밀폐 용기 안에 장착된 식염수 팩에 압력을 가하여 유량을 배출하는 방식이다. 기존의 수액 공급용 펌프는 연동펌프 방식으로서 톨러 헤드 4개를 통해 식염수 팩에 연결된 실리콘 튜브를 압착하므로 압력 펄스를 피할 수 없으나 본 연구에서 고안된 펌프는 요동이 없는 정적인 압력곡선을 만들어 내었고 매우 저렴한 가격으로 제작이 가능한 시스템이다.

2. 펌프 시스템의 구성

개발된 펌프가 그림 1에 도시되었다. 식염수 펌이 들어 갈 압력용기 두개가 윗부분에 있으며 펌프 본체가 그 밑에 위치한다. 전체 시스템은 그림 2와 같이 용기 장착부, 펌핑 기구부, 제어 회로부로 나뉘어진다. 본체 내에 장착된 소형 공기압축기에서 발생하는 압력을 공압 레귤레이터로 조정하여 시스템에 공급한다. 공압 레귤레이터는 스텝모타에 의해 회전하는데 프로그램에 의해 제어되는 회전각에 의해 공압의 크기가 결정된다. 공압이 식염수 펌이 장착된 소형 플라스틱 탱크(용기)안으로 들어가서 펌을 짜내게 됨으로 수액이 배출된다.

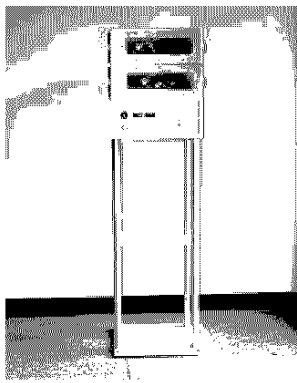


Fig. 1 Irrigation Pump System Developed

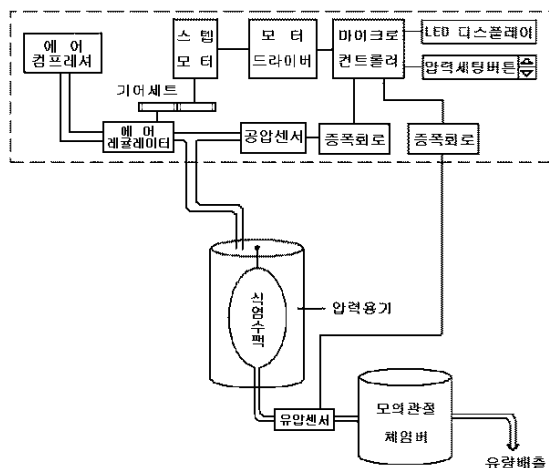


Fig. 2 Diagram of New Irrigation Pump System

2.1 기구부와 제어부

펌프 시스템은 식염수 펌이 장착된 두개의 공압 용기, 공압 레귤레이터, 스텝모타, 감속용 기어, 솔레노이드 밸브, 저소음 소형 압축기, 마이크로 프로세서, 압력센서, SMPS 전원부등으로 구성되었다. 이 밖에 모타 제어회로, 압력을 증폭하기 위한 계측 증폭회로, LED 디스플레이 회로, 솔레노이드

밸브 구동을 위한 릴레이 회로 등이 있다.

공압용기는 뚜껑을 여닫음으로 식염수 펌이 쉽게 교체 될 수 있도록 하였고 뚜껑에 장착된 고무 팩킹이 용기를 밀폐하여 공압의 누출을 막는다. 압력센서는 공기압력을 측정하는 공압센서(Nova NPC-1210)와 배출되는 식염수의 압력을 측정하는 1회용 유압센서(Nova NPC-107)로 구성되었다. 펌프는 유압센서 값을 기반으로 배출 유량의 압력을 제어한다. 공압센서는 펌프를 켜고 끝 때 스텝모타에 의한 공압 레귤레이터의 영점을 제어하기 위해 사용된다. 압력 노이즈를 제거하기 위해 5회의 측정에 의한 이동 평균법이 적용되었다. 사용된 마이크로 컨트롤러는 PIC 16CF877 이다. 사용자에게 설정 압력을 바꿀 수 있는 버튼과 설정 압력과 현재 압력을 디스플레이 하는 LED가 달려 있다.

2.2 제어 프로그램

공압에 의한 식염수 펌내의 유압의 발생 과정이 2차 이상의 비선형 시스템임을 고려하여 설정된 유압에 도달할 때까지 스텝모타의 회전 펄스 사이의 딜레이 크기를 실험하여 최적의 값을 선택하였다(그림 3).

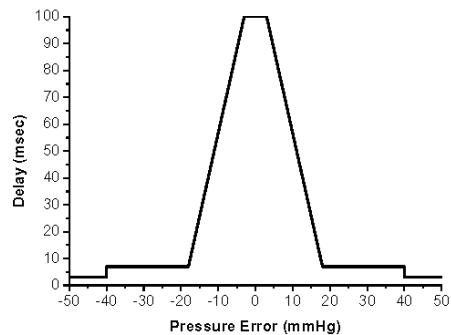


Fig. 3 Delay between Pulses of Stepper Motors

즉, 설정 유압과 현재 유압의 차이(에러)에 따라 스텝모타가 한 스텝씩 정 또는 역방향으로 회전된다. 이 때 에러 크기에 따라 각 회전스텝 사이의 시간 딜레이 값을 조정하여 가장 빠르게 그러나 최소의 오버슈트로 설정 유압에 이르도록 한다. 모타 회전 사이의 딜레이 값은 압력에러가 큰 경우에는 작게 하고 압력 에러가 작을 경우에는 크게 하여 시스템의 오버슈트를 막는다. 압력에러값은 18mmHg를 기준으로 하여 그 이상인 경우는 딜레이 값을 7msec로 하고 그 이하인 경우는 에러값에 따라 7msec에서 100msec까지 선형으로 변화하도록 하였다. 한편 에러가 40mmHg이 넘는 경우는 딜레이를 3msec로 하였다.

2.3 모의 관절

관절경 수술이 시도되는 피부와 유사한 고무판을 이용하여 유연성 있는 체임버를 제작하여 펌프의 제어 성능을 실험하였다. 모의 관절 실험장치를 통하여 압력 제어 성능과 출구 밸브를 여닫을 시에 발생하는 압력 스파이크의 크기를 실험할 수 있었다. 성능평가를 위한 압력은 그림 4의 중앙에 위치한 모의 관절부에 장착된 유압센서에 의해 측정되었다.

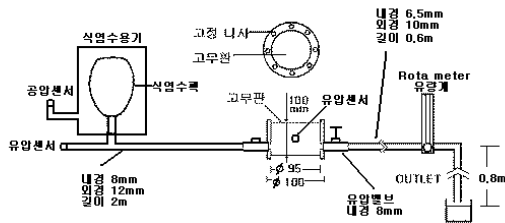


Fig. 4. In Vitro Experimental Setup for IPS

3. 결과

3-1 유량이 없는 상태의 제어

이 경우는 그림 5의 0초에서 80초까지의 시간이 나타나 있으며 모의 관절의 출구를 닫아 유체의 흐름이 없는 상태에서의 압력 제어를 나타낸다. 설정 압력을 80mmHg로 유지하다가 100mmHg로 올리고 다시 80mmHg로 내린 경우이다. 설정 압력값을 20mmHg 올리거나 낮출 경우, 약5-6초 정도에 설정값에 도달함을 볼 수 있다. 한편, 모의 관절부의 압력의 크기는 설정 압력값이 80mmHg인 경우, 이 보다 약 6mmHg 정도 큰 86mmHg로 관찰되는데, 그 이유는 식염수 팩의 압력이 설정 압력보다 6mmHg 크도록 세팅되었기 때문이다. 유체가 흐를 경우에는 식염수 팩에서 모의관절부까지의 튜빙 길이(약 2m)로 인해 약 6mmHg의 압력강하를 보이고, 모의관절부의 압력은 설정 압력과 같은 80mmHg를 나타낸다(3.2절 참조). 그러므로 유체가 흐르지 않을 경우에는 모의관절부의 압력이 식염수 팩과 같은 86mmHg를 나타내는 것이다. 상용화된 기존 펌프에서는 유체의 흐름이 있을 때와 없을 때의 압력값의 차이가 6mmHg 보다 더 크게 관측되었다. 유체 흐름의 유무에 따른 식염수 팩과 모의관절부의 압력차이는 튜빙의 내경으로 유체저항을 조절하여 변경할 수 있다. 한편, 공압값은 유체의 흐름이 없으므로 모의관절부의 유압값과 거의 유사하게 관측된다.

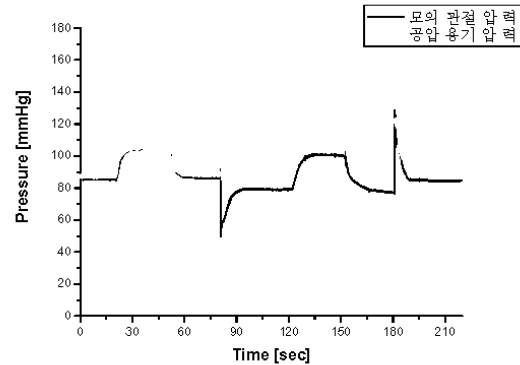


Fig. 5. Experimental Results of New IPS (valve closed state at 80mmHg ⇒100mmHg at 20sec ⇒80mmHg at 50sec⇒valve open at 80sec ⇒100mmHg at 125sec ⇒80mmHg at 155sec ⇒valve closed at 180sec)

3-2 유량이 있는 상태의 제어

그림 5에서 80초에서 180초 사이이며 유체의 흐름이 있는 상태에 해당된다. 모의 관절부의 압력값은 설정값과 같은 80mmHg를 잘 유지한다. 설정 압력값을 20mmHg 올릴 경우, 출구밸브를 닫은 경우와 비교하여 설정값에 도달하는 시간이 3-4초 늦으며, 20mmHg 낮출 경우는 설정값에 도달하는 시간이 1-2초 빠른 것을 볼 수 있다. 그 이유는 유체가 흘러나가고 있으므로 유압의 증가는 더 오래 걸리고 감소는 더 쉽기 때문이다. 공압은 유체의 흐름이 있으므로 모의관절부의 유압보다 약 50~60mmHg 높게 측정된다.

3.3 출구 밸브를 여닫는 순간의 제어

출구 밸브를 갑자기 열 경우(그림 5의 80초)에는 압력이 순간적으로 30~40mmHg 감소하며 약 10초 후에 설정 압력을 회복한다. 출구 밸브를 갑자기 닫을 경우(그림 5의 180초)에는 압력이 순간적으로 50~60mmHg 증가하며 약 8초 후에 설정 압력을 회복한다. 이러한 순간적인 압력변화는 기존의 상용펌프에서도 관측되었으며(3.5절 참조) 본 펌프의 경우에도 문제가 되리라고 보지 않는다.

3.4 유압과 유량의 관계

개발된 펌프는 압력 증감 버튼으로 0~150 mmHg 사이의 압력 조정이 가능하다. 압력 80mmHg에서 0.8 liter/min(1pm)의 유량이 유지되도록 세팅되었다. 그림 6은 설정 압력에 따른 유량의 변화를 나타내는데, 압력의 증감에 따라 유량의 변화가 미약하므로 0.8 lpm 근방에서 필요에 따라 압력을 증감시키며 수술이 가능하다.

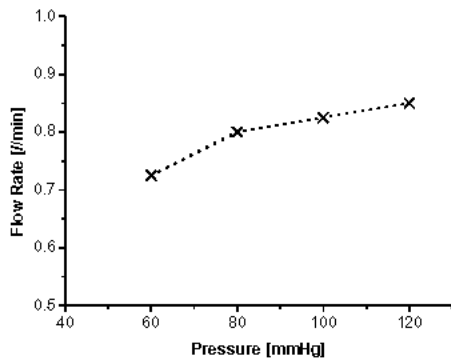


Fig. 6. Relationship between Pressure and Flow Rate

3.5 상용 펌프의 실험 결과

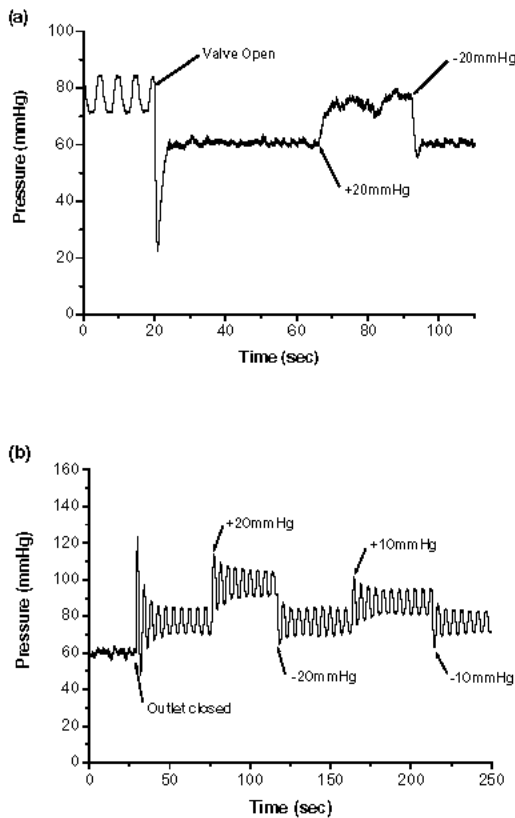


Fig. 7. Pressure Control Performance in Commercial IPS (Linvatech)

- (a) valve closed state at 80mmHg ⇒ valve open at 20sec ⇒ +20mmHg at 65sec ⇒ -20mmHg at 90sec
 (b) valve open state at 80mmHg ⇒ valve closed at 30sec ⇒ +20mmHg at 80sec ⇒ -20mmHg at 115sec ⇒ +10mmHg at 165sec ⇒ -10mmHg at 210sec

그림 7(a)에서 상용펌프(Linvatech)는 출구밸브가 닫혀서 유체흐름이 없는 상태에서 10~15mmHg의 압력펄스가 계속 발생하였다(그림 7(a)). 설정압력 80mmHg에서 출구밸브를 여는 경우(유체의 흐름이 발생)에, 압력이 약 5초간 20mmHg까지 떨어지다가 정상상태에서는 60mmHg로 유지되는 것을 볼 수 있다. 즉, 이 제품의 경우 유체흐름이 없는 경우에는 설정압력으로 제어 되었지만 흐름이 있을 경우는 설정값보다 20mmHg 정도 낮은 압력으로 제어되었다. 설정압력을 20mmHg 만큼 올리고 다시 낮출 때 파형의 찌그러짐이 관찰된다. 그림 7(b)에서 출구밸브를 닫을 경우, 약 70mmHg 정도의 압력 스파이크가 발생된다. 유체흐름이 없는 상태에서의 설정 압력의 증감은 약 30mmHg의 오버슈트를 발생시켰다. 이 현상은 수액이 밀폐된 상태에서 다중롤러가 실리콘 튜브를 계속적으로 압착하며 압력을 제어하기 때문에 발생된다. 실험 여건상 이 실험은 유량 0.6 lpm에서 수행되었으므로 0.8 lpm에서는 더욱 큰 오버슈트와 압력 스파이크가 발생할 것으로 예상된다.

4. 결론

본 연구를 통해 개발된 공압식 관절경 펌프는 상용제품과 비교하여 유사한 압력제어 특성을 가지면서 제작단가를 크게 낮출 수 있다. 식염수 펌프 용기에 장착해야 하는 불편함을 갖고 있으나 장착 시간을 최소화 하도록 설계함으로써 단점을 보완하였다. 기존의 펌프는 4개의 롤러 헤드가 장착되어 식염수 펌프에 연결된 튜브를 압착함으로써 압력펄스를 발생 시키면서 유량을 공급했으나 본 제품은 공압을 공급원으로 사용함으로써 모터의 부하가 거의 걸리지 않고 압력의 펄스 없이 유량을 공급하는 장점을 갖는다. 이 펌프 시스템은 사용자 편의성을 높이고 in vivo 실험을 거쳐 안정성을 확보함으로써 상용화 전망이 밝다고 사료된다.

후기

본 연구는 산업자원부에서 지원한 “관절경 수술을 위한 주입펌프 시스템 개발” 사업으로 수행되었음 (관리번호 00015665)