

캡슐형 구동기구를 위한 자기 충격 액추에이터의 개선

민현진*(한국과학기술원 기계공학과), 곽윤근(한국과학기술원 기계공학과),
김수현(한국과학기술원 기계공학과)

Improvement of Magnetic Impact Actuator for Capsule Type Moving Device

Hyun-Jin Min(Mechanical Eng. Dept. KAIST), Yoon Keun Kwak(Mechanical Eng. Dept. KAIST),
Soo Hyun Kim(Mechanical Eng. Dept. KAIST)

ABSTRACT

This paper is about the recent development of the magnetic impact actuator for endoscope. The developed magnetic impact actuator has many problems to arrange in the system body. Because the magnetic impact actuator need a permanent magnet as an impacter, so the magnetic interference among magnets can not be eliminated. This interference causes the system size bigger. We need a new actuator design to solve these problems. One of the good solutions is to use the closed electro-magnetic circuit. This kind of circuit enhances the actuators to be independent. It is written about the design of the electro-magnetic circuit and simulation using Maxwell(version 9.0)

Key Words : Endoscope (내시경), Magnetic Impact Actuator (자기충격 액추에이터), Magnetic Circuit (자기회로)

1. 서론

최근 바이오 기술의 발전과 정밀 가공 기술 및 제어 기술이 발달함에 따라 그 동안 많은 관심을 가지고 있던 의료기기 분야에 획기적인 발전이 이루어지고 있다. 특히, 환자들의 상태를 직접 파악할 수 있고 필요에 따라서 간단한 수술을 시행할 수 있는 내시경에 대한 관심이 커졌는데, 이는 내시경 시술 시 발생하는 물리적인 고통을 없애며 효과적인 치료를 가능하게 해 줄 수 있기 때문이다.

지금까지 사용되고 있는 내시경은 입이나 항문을 통해 삽입하는 방식인데, 삽입 시 생기는 환자의 고통이나 시술자의 부주의로 생기는 생체 기관의 손상을 일으킬 수 있으며 내시경의 자유로운 조정에 어려움을 가지고 있다. 이를 해결하기 위해 최근 개발, 시술되고 있는 내시경은 무선으로 영상을 얻을 수 있고, 크기가 작은 알약 형태를 가지고 있는 수준에 이르고 있다. 하지만, 이런 형태의 내시경은 단지 몸 안의 상태를 사진을 통해 얻기만 하며, Fig. 1에서처럼 사진 측정 영역이 한정되어 있어 원하는 부분에 대한 사진 및 정보를 얻기가 좀 어렵다는 단점을 가지고 있다. 이를 위해서는 특수

하게 설계된 액추에이터를 이용하여 원하는 방향으로 움직일 수 있게 하는 능동성을 부과하여야 한다.

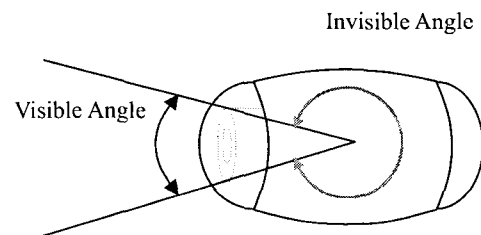


Fig. 1 Visible angle limit of the capsule type endoscope

본 논문은 캡슐형 내시경 구동을 위한 자기 충격 액추에이터의 개발 현황에 대한 내용이다. 내시경용 캡슐형 구동기구를 움직이기 위한 방법을 이끌어 내기 위해 많은 기구의 설계, 제작, 및 실험한 결과 시스템의 안전한 구동을 현실화 하기 위해서는 외부와 마찰을 만들면서 진행되는 방법의 경우 체내 조직이 손상되는 현상을 피할 수 없기 때문에 이러한 구동 방법은 배제되어야 한다는 것을 알게 되었으며, 이를 극복하기 위한 방법으로 내부의 충격을 이용한 방법을 제시하였다¹⁾.

초기 연구 결과로 원통형 액추에이터 유닛의 양 끝에 솔레노이드를 장착하여 중앙 통로에서 충격자 역할을 하는 영구자석과의 전자기력을 이용하여 충격을 발생시키는 메커니즘을 채용하였다. 하지만, 이 경우 여러 개의 유닛을 병렬로 배치하여 구동할 경우 유닛간에 생기는 전자기적인 간섭현상에 대한 근본적인 해결책이 없었다.

본 논문은 이러한 문제점을 해결하기 위한 대책과 이에 대한 현실적인 액추에이터의 개선에 대한 내용을 다루기로 한다. 유닛간의 간섭 현상을 없애기 위해 자료 해석을 수행하여 각 유닛에 장착되어 있는 영구자석간의 간섭현상을 줄이고, 이에 따른 설계 변형을 적용했을 때에도 전과 같은 충격 발생을 통한 구동의 가능성을 가늠해 본다.

또한, 이러한 설계상의 변화로 인해 간섭 현상을 줄임으로 인해 원통형 자기 충격 액추에이터를 사용한 병렬 시스템의 전체적인 크기를 줄일 수 있을 것이다.

2. 자기 충격 액추에이터

2.1 자기 충격 액추에이터의 구조

개발된 자기 충격 액추에이터는 Fig. 1 에서 보는 것과 같이 원통형 몸체 양끝에 솔레노이드를 장착하고, 가운데 있는 가이드 안에 충격자로써 영구자석을 놓는다. 영구자석의 극성을 고려하여 양쪽에 있는 솔레노이드에 인가되는 전류의 방향을 주기적으로 바꾸어 주면 그 주기에 따라 솔레노이드와 영구 자석간에 인력과 척력이 발생하게 된다.

그런데, 영구 자석의 무게가 액추에이터 몸체의 무게보다 작기 때문에 상대적으로 충격자인 영구 자석이 움직이게 된다. 만약, 액추에이터를 왼쪽으로 움직이게 하려면 왼쪽 솔레노이드와 영구 자석간에 인력을 발생시켜 자석이 액추에이터 몸체와 충돌하게 만들고 난 뒤, 척력을 발생시켜 중앙부로 되돌린다. 이후 이런 과정을 반복하게 되면, 왼쪽 방향으로 이동을 유지할 수 있다.

이전에 수행된 연구 결과에서 초기 모델과 소형화된 모델에 대한 동특성을 파악하였으며, 움직임에 대한 가능성을 보여 주었다.

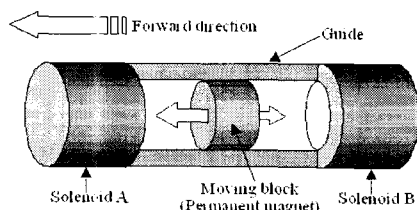


Fig. 1 Structure of magnetic impact actuator

또한, Fig. 2 와 같은 하나 하나의 액추에이터 유닛을 병렬 배치하여 각 부위에서의 충격 발생에 대한 시간차를 두어 시스템 중심부에서 발생하는 회전력 특성에 대한 결과도 얻을 수 있었다.



Fig. 2 Moving system with three actuator units

2.2 자기 충격 액추에이터의 문제점

Fig. 2 와 같은 시스템을 구성할 경우 발생하는 문제점으로는 충격자로써 영구 자석을 사용함으로써 유닛을 시스템의 특정 부위에 병렬 배치를 할 경우, 자석 간의 간섭 현상이 발생되어 충격자가 가이드 부에서 움직이지 않는 현상이 발생한다.

이런 현상을 피하기 위해서는 액추에이터 유닛에 있는 각각의 영구 자석 사이에 일정한 거리 이상을 두어야 한다. 이렇게 유닛간의 간섭 현상을 막기 위한 최소한의 거리를 간섭 거리라 하는데, 이러한 간섭 거리는 구동 시스템의 크기를 크게 하는 좋지 않은 요소로 작용하게 된다.

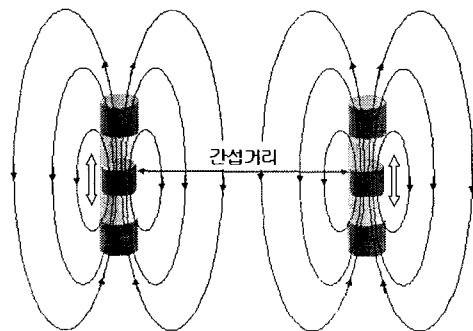


Fig. 3 Interference between two actuator units

3. 자기 회로 해석

3.1 자기 회로 설계

Fig. 3 에 나타나는 자기 간섭에 의한 간섭거리를 최소화하기 위해서는 공간상에 분포하는 자기장을 상자성 물체를 사용하여 특정한 자기 폐회로를 구성하면, 주변 공간에 대한 자기력의 영향을 줄일 수 있다. 각 유닛이 자기회로에 의해 자기장에 대한 영향력이 줄어들면, 유닛의 독립성을 갖게 되므로 기존에 구성하였던 구동 시스템의 크기를 대폭

줄일 수 있다.

자기 회로를 사용한 액추에이터의 구현을 위해 다음과 같은 원리를 적용한다. Fig. 4는 자기장이 존재할 경우, 그 자기장을 통과하는 전선 속 전류의 방향에 따라 전선에 인가되는 힘의 방향을 나타낸다. 이때 전선에 전해지는 힘은 자기장과 전류의 방향에 수직한 방향이 되며, 힘의 크기는 자기장의 세기, 전류와 전선의 길이의 곱에 비례하게 된다.

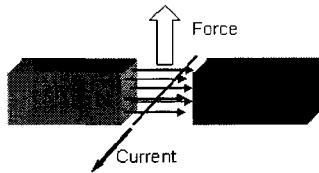


Fig. 4 Relation among magnetic field, current and force

이러한 원리를 적용할 경우 일정한 자기장을 영구 자석에 의해 유지하고, 그 안에 존재하는 전선 속의 전류를 제어하게 되면 전선의 움직이는 방향과 크기를 쉽게 조절할 수 있게 된다. 기존 액추에이터 방식에 비해 전류 구동원을 하나만 쓰게 되고, 전류의 크기에 의존하던 방식과는 달리 영구 자석의 세기에 따라 전류의 크기를 줄일 수 있으므로 사용하는 에너지를 줄일 수 있다. 또한, 사용 에너지의 감소로 코일에서 발생하는 열의 양을 현격히 줄일 수 있다.

Fig. 5는 앞에서 언급한 방법에 따라 구성된 액추에이터의 모델이다. 위 부분의 액추에이터는 원통형 영구자석을 양쪽에 사용하여 폐회로를 구성한 것인데, 시뮬레이션 결과 코일이 존재하는 부분에서의 자기장의 세기가 불안정하며, 넓은 영역에서 자기장이 고르게 생기기 어렵다. 반면, 아래 부분의 액추에이터의 경우 영구 자석의 제작이 어렵지만 넓은 영역에서 일정한 크기의 자기장이 생길 수 있다.

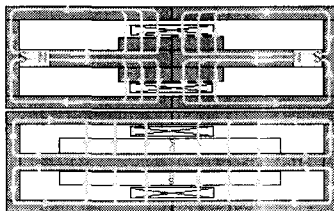


Fig. 5 Two Proposed models with closed magnetic circuit

3.1.1 액추에이터 설계 변수

새롭게 제안된 액추에이터의 설계변수는 Fig. 6과 같이 각 부위의 두께, 코어의 직경, 영구 자석의 길이 및 두께, 충격자로 쓰이는 코일부의 길이와

두께, 액추에이터 전체 길이와 직경을 들 수 있다.

액추에이터의 직경은 시스템의 구성상 10mm로 제한하였으며, 길이는 적당한 충격력 발생을 위해 20mm로 정하였다. 각 부위의 두께는 작을수록 좋지만 가공적인 문제를 고려해 1mm로 정하였다. 액추에이터의 코어는 페라이트를 사용하며, 외부의 경우는 가공성능이 좋은 상자성 물질인 연철을 사용하기로 한다. 또한, 영구 자석이 고른 자기장을 형성하기 위해 고리형태를 갖는다고 가정하였으나, 가공의 문제로 인해 그림과 같은 삼각 배치를 통해 동일한 자기장을 형성하도록 한다.

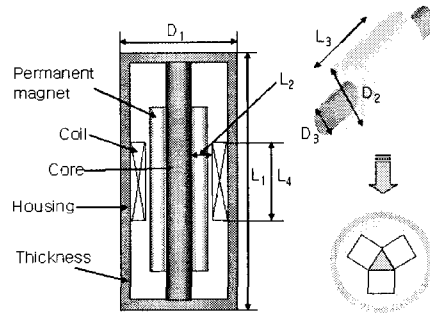


Fig. 6 Design factors for each parts

3.2 자기장 해석

제안된 모델에서 입력 전류밀도에 따른 충격자에 작용하는 각 위치에서의 힘을 해석하기 위해 Maxwell(version9.0)을 사용하였다. 액추에이터 중심을 기준으로 각 위치에 대한 작용력을 해석한 결과 영구자석의 특정 길이에서 위치에 따른 힘이 거의 균일하게 작용하며, 전류에 세기가 커질수록 힘의 크기가 비례적으로 증가하였다.

3.2.1 자석 길이에 따른 자기장 형성

액추에이터 설계에서 가장 중요한 설계변수 중에 하나인 자석 길이에 따른 해석은 Fig. 7과 같다.

액추에이터의 전체 길이가 20mm인 경우 외벽 두께를 제외하고 영구자석의 길이가 16mm인 경우 공간 내에서 안정적인 자기장이 형성되며, 이보다 짧은 경우(8mm)에는 영구자석이 차지하는 공간에서만 자기장이 형성된다. 또한, 영구자석의 길이가 액추에이터의 끝 면과 맞닿은 경우에는 가장자리에서 자력선이 집중되는 현상이 보였다. 이 때문에 충격자가 충돌이 발생하였을 경우, 충격력이 줄어드는 현상이 발생한다.

해석 결과에서도 알 수 있듯이 가장 넓은 영역에서 고른 자기장을 형성하기 위해서는 액추에이터 길이 보다 약간 짧은 영구자석을 사용하는 것이 가장 유리함을 알 수 있다.

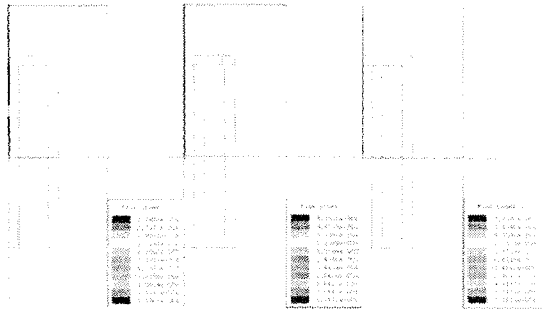


Fig. 7 Magnetic field condition according to the length of magnet (8mm, 16mm, 18mm)

3.2.2 입력 전류에 따른 해석 결과

액추에이터의 작동 변수의 하나인 입력전류는 그 크기에 비례하는 작용력이 발생하는 것을 알 수 있다. Fig. 8 은 입력 전류밀도가 100, 200, 300, 400, 500 일 경우의 작용력에 대한 해석 결과이다. 순방향은 충격자가 액추에이터의 진행방향으로 움직일 경우이며, 역방향은 그 반대 방향으로 진행할 경우이다. Fig. 9 는 액추에이터의 충격을 발생시키기 위한 입력 전류밀도에 대한 파형이다. 충격을 발생시키기 위한 전기 소모를 최소화 시키기 위해 충격시에 최고의 힘이 작용하도록 톱날 파형을 사용한다.

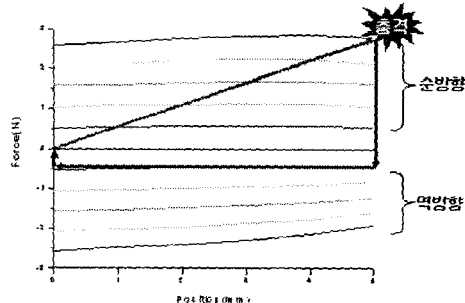


Fig. 8 Reaction forces according to the forward and backward direction

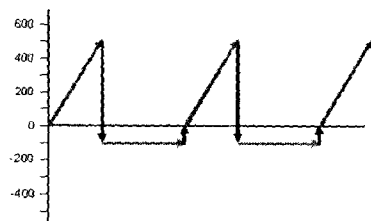


Fig. 9 Input wave form for moving actuator

4. 결론 및 고찰

그 동안 자기 충격 액추에이터가 가지는 결점들을 해결하기 위한 방법을 모색한 결과 양끝의 솔레

노이드에서 발생하는 자기장을 이용하는 이전 방식과는 달리 일정한 크기의 자기장내에서 직교하는 전류의 방향을 나뉘므로써 생기는 힘을 사용하면, 이전 액추에이터의 성능에 비해 전체적인 시스템을 구성할 경우 크기를 줄일 수 있을 뿐 아니라, 발생하는 힘의 크기도 증가함을 알 수 있었다. 기존 시스템은 각 유닛에서 사용되는 충격자가 영구자석이 기 때문에 유닛을 가까이 배열할 경우 충격자간의 간섭현상을 막을 수 없었다. 하지만 영구자석과 솔레노이드에서 발생하는 광역 자기장을 상자성 물질을 사용하여 자기 회로를 구성함으로써 액추에이터의 각 유닛 간의 간섭현상을 줄일 수 있으며, 이러한 간섭현상에 대한 역제는 유닛의 배치에 상당한 융통성을 제공할 수 있어 각각의 유닛이 독립적인 특성을 가지게 해 준다. 또한, 이전 방식에 비해 자기력의 사용 효율을 높일 수 있기 때문에 최소한의 전류를 사용하여 움직임을 유도할 수 있다. 전류의 사용이 줄어들게 되면 기존 시스템에서 발생하였던 열으로 인한 문제를 해결할 수도 있다.

이후에 연구될 동특성 해석을 통해 입력 전압의 파형이나 각 부위의 질량에 대한 최적화를 수행한다면 더 좋은 결과를 예상할 수 있을 것이다.

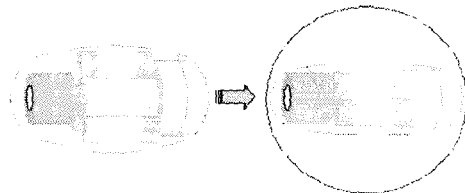


Fig. 10 Interference between two actuator units

참고문헌

1. 민현진, 임형준, 김병규, 김수현, "대장내시경을 위한 자기 충격 액추에이터," 한국정밀공학회 2001 년도 춘계학술대회논문집, pp. 839 - 843, 2001.
2. 임형준, 민현진, 김병규, 김수현, "탄성 루프형 바퀴를 이용한 장 내 이동 메커니즘," 대한기계학회논문집 A, 제 26 권, 제 2 호, pp. 314 - 321, 2002.
3. Hyun-Jin Min, Hyung-Jun Lim, and Soo Hyun Kim, "A New Impact Actuator Using Linear Momentum Exchange of Inertia Mass," Journal of Medical Engineering & Technology, Vol. 26, pp. 265-269, 2002.
4. 민현진, 임형준, 김병규, 김수현, "자기력을 이용한 충격형 액추에이터의 설계 및 성능평가," 대한기계학회논문집 A, 제 26 권, 제 7 호, pp. 1438-1445, 2002.