

강아지풀 및 강아지풀모사로봇의 이동특성에 관한 연구

이민수* · 김영혁* · 임상혁* · 김병규*†

* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

Locomotion Characteristics of a Foxtail and a Foxtail-like Robot

Minsu Lee, Yeonghyeok Kim, Sanghuyck Leem and Byungkyu Kim

* School of Aerospace and Mechanical Engineering, Korea Aerospace Univ.

(Received August 19, 2009 ; Revised October 21, 2010 ; Accepted October 21, 2010)

Key Words : Foxtail(강아지풀), Barb(섬모), Microplate(마이크로 플레이트)

초록: 평평한 바닥 위에서 강아지풀을 수직으로 누르면 강아지풀은 앞으로 이동한다. 이 현상을 통해서 강아지풀의 이동거리는 강아지풀 처짐량에 의존하는 것을 알아내었다. 그러므로 강아지풀을 누르는 힘, 면적, 속도 변화에 따른 강아지풀의 이동거리에 영향을 주는 요인을 실험을 통해 알아보았다. 이 결과를 바탕으로 강아지풀의 섬모를 모사한 나일론 섬모를 제작하여, 나일론 섬모에 작용하는 힘과 처짐량에 따른 이동거리를 이론적, 실험적으로 알아내었다. 또한 로봇과 관의 내벽 사이 간극 차이에 따라 발생하는 로봇 다리의 각도변화에 따른 이동거리에 대해서 연구하였다. 그리고 소화기와 혈관의 치료를 위한 이동로봇의 섬모 제작에 관한 설계 변수를 제공하기 위해, 로봇 다리의 직경과 탄성계수의 관계에 대해서 연구하였다.

Abstract: A foxtail moves forward on a flat surface when pushed by a vertical force. The distance moved by the foxtail depends on the degree of deformation. We experimentally investigated the main parameters that influence the distance moved while varying the pushing force, area, and velocity. We then fabricated a nylon barb that mimics the foxtail barb and performed theoretical and experimental analyses of the displacement according to the acting force and the deflection. In addition, we investigated the relation between the displacement and the angle of a foxtail-like robot's leg by varying the clearance between the robot body and the inner surface of the pipe. To find the design parameters of the barb of the robot for tubular-type digestive organs and blood vessels, we studied the relation between the acting force and the elastic modulus while varying the leg diameter.

- 기호설명 -

- x : 이동거리(displacement)
- y : 처짐(deflection)
- θ : 바닥면과 섬모가 이루는 각도
- l_b : 강아지풀 섬모의 평균길이
- e : 관내벽과 로봇몸체까지의 거리
- d : 로봇다리의 직경
- F : microplate 가 섬모를 누르는 힘
- F_E : 섬모의 자체 탄성력
- P : 섬모의 탄성에 의해 작용하는 반력
- N : microplate 에서 발생하는 수직항력

- F_v : 섬모에 수직으로 작용하는 힘
- F_h : 섬모에 수평으로 작용하는 힘
- F_{cr} : 섬모가 좌굴 되지 않는 임계 힘
- η : 이동거리/다리길이 (x/l)

1. 서론

인체 소화기 또는 혈관 내 이동을 위한 다양한 이동방법을 생각할 수 있다. 소화기 내 이동을 위한 방법으로는 소화기 내 이동 로봇 자체에 이동장치를 통합하는 방법과 외부에서 소화기 내에 투입된 로봇을 조정하는 방법이 일반적으로 연구되고 있다.⁽¹⁻³⁾ 그러나 공간 상, 협소한 혈관 및 소화기 내 이동을 위한 로봇 내부에 이동 장치

† Corresponding Author, bkim@kau.ac.kr
© 2010 The Korean Society of Mechanical Engineers

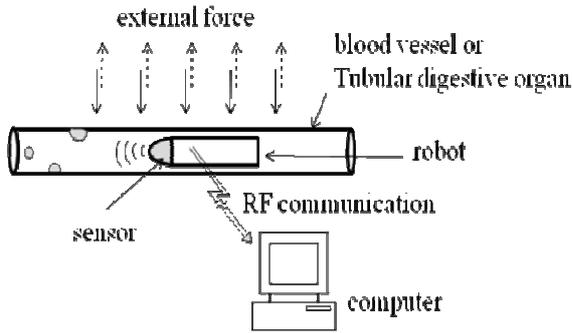


Fig. 1 System configuration

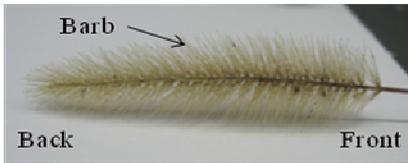


Fig. 2 Configuration of foxtail

를 통합하여 운영하는 것은 로봇의 크기, 무게, 전원공급 등으로 인해 많은 어려움이 있다.

따라서, 관 형상을 갖는 소화기 및 혈관 내 이동 장치로 효율적 사용이 가능한 Fig. 1 과 같은 외부에서 소화기내 로봇을 조정하는 시스템을 생각할 수 있다. 이 시스템에 투입되어 구동될 로봇은 간단한 구조를 가지면서 유선 전원의 공급 없이도 뛰어난 이동성을 가지고 있어야 한다. 따라서 이러한 로봇을 개발하기 위해서는 가장 우선적으로 고려해야 할 부분이 이동메커니즘의 선정이라 할 수 있다. 그러므로 본 연구팀은 동식물의 이동장치를 모방한 생체모방형 로봇에 대한 기존 연구사례를 조사하였으며,⁽³⁻⁶⁾ 이를 바탕으로 로봇의 효과적인 이동메커니즘을 구현하기 위해 동식물의 이동원리에 대한 관찰을 진행하였다. 그 과정 중에 강아지풀을 평면 위에 올려놓고 윗부분을 반복하여 누르면 강아지풀이 앞으로 이동하는 현상을 발견하였다. 앞선 연구에서는 강아지풀의 이동메커니즘을 이용하여 구동장치를 구현한 것은 아니고,^(3,7,8) 일정한 경사각을 가진 섬모의 형상으로 인해 발생하는 이동방향에 따른 마찰력 차이의 원리를 이용하는 것에 국한되었다. 따라서 본 논문에서는 강아지풀의 이동원리에 대해서 설명한 후, 효과적인 이동장치를 구현하기 위해서 강아지풀이 외력을 받을 때 강아지풀을 누른 변위, 힘이 작용하는 면적, 힘의 작용 속도 등이 이동에 미치는 영향을 연구하였다. 또한 강아지풀을 모사한 로봇을 제작하여 실험 결과를 도출함으로써 효과적인 이동장치를 구현하기 위해 고려해야 할 변수에 대하여 논하였다.

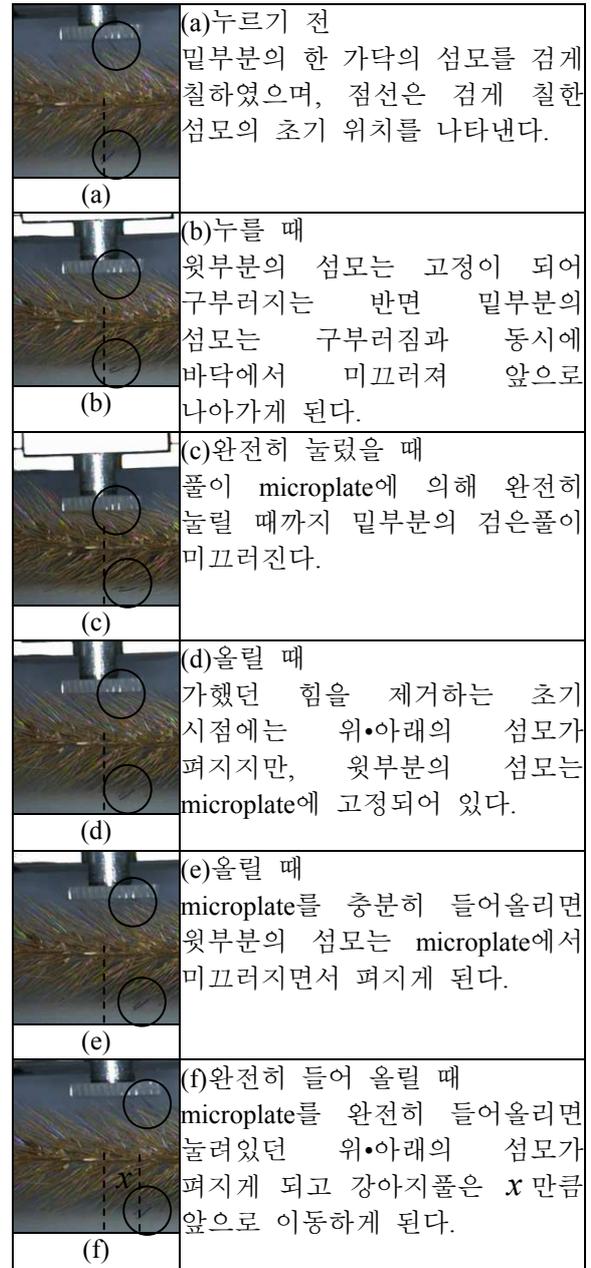


Fig. 3 Moving principle

2. 이동원리

강아지풀을 경사가 없는 평면에 올려놓고 위에서 microplate로 누르면 앞쪽 방향으로 움직인다. 이 논문에서 사용한 강아지풀의 방향은 Fig. 2에 나타난 것과 같다. 강아지풀 섬모의 길이와 방향은 각각 다르기 때문에 이에 따른 간섭이 발생하겠으나, 본 논문에서 제안한 로봇은 강아지풀 이동원리의 대표적인 특성만을 모방하였으므로 이를 서술하는 데에 주력하였다. 이러한 가정을 기초로 하여, 강아지풀이 앞으로

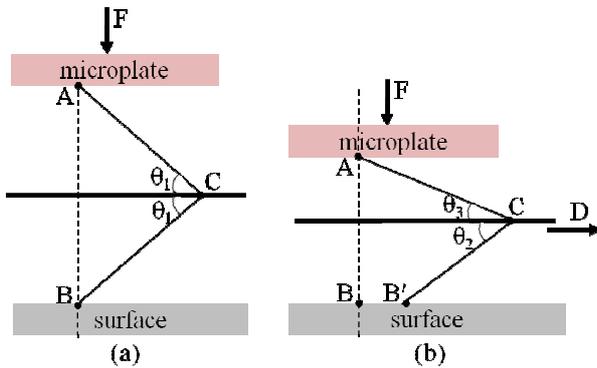


Fig. 4 2-dimensional configuration of a barb (a) before pushing and (b) after pushing

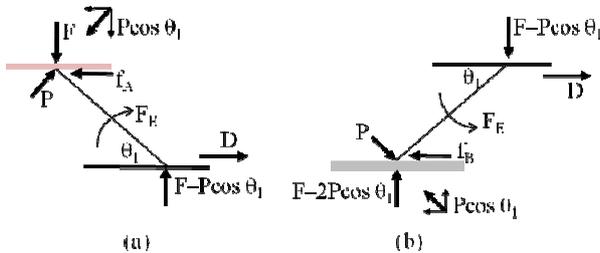


Fig. 5 Free body diagram for (a) a barb of the upper part foxtail (b) a barb of the lower part foxtail under pushing force

나아가는 현상을 Fig. 3에서 단계별로 설명하였다. 또한 정량적인 이동원리 설명을 위해, 이동원리를 2차원으로 단순화하여 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4(a)는 Fig. 3(a)의 모습이며, Fig. 4(b)는 Fig. 3(c)의 모습을 나타낸 것이다. Fig. 5(a)에 나타낸 윗부분 점모의 자유도를 보면, 점모의 자체 탄성력 F_E 로 인해 A지점에서 힘 P가 작용한다. 이때 점모가 중심선과 이루는 각도를 θ , 점모의 비선형 탄성계수를 k 라고 정의하면 $k=f(\theta)$ 이므로

$$P = f(k, \theta) = f(\theta)$$

로 나타낼 수 있다. 이제, A 지점에 발생하는 점모의 수직항력을 N_A , 마찰력을 f_A , 마찰계수를 μ 라 하면,

$$f_A = \mu N_A = \mu(F + P \cos \theta_1)$$

로 정리된다. 그리고 C 지점에 발생하는 F의 반력은 점모를 bending시키는 만큼 작아지므로

$$F - P \cos \theta_1$$

가 된다. 밀부분 점모의 자유도를 보면, 역시 점모의 자체 탄성력 F_E 때문에 B 지점에서 힘 P가

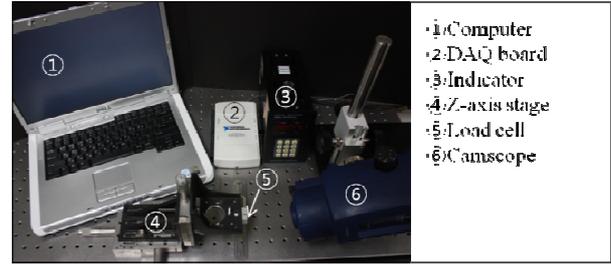


Fig. 6 Configuration of experimental setup.

작용한다. 이제, B 지점에 발생하는 점모의 수직항력을 N_B , 마찰력을 f_B 라 하면

$$f_B = \mu N_B = \mu(F - 2P \cos \theta_1 + P \cos \theta_1) = \mu(F - P \cos \theta_1)$$

로 정리된다. 따라서 $f_A > f_B$ 이므로 Fig. 3(a)-(c)에 설명한 것과 같이, 윗부분의 점모는 고정이 되고 밀부분의 점모는 미끄러지게 된다.

이제 Fig. 5(b)에서 microplate를 들어올려 힘 F를 제거하면

$$f_A = \mu P \cos \theta_3$$

$$f_B = \mu P \cos \theta_2$$

로 정리된다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 로봇의 다리 각도는 $\theta_1 > \theta_2 > \theta_3$ 이므로 마찰력은 $f_A > f_B$ 이 된다. 따라서 논문 fig. 3(d)에 설명한 바와 같이 윗부분의 점모는 여전히 microplate에 고정이 되어있다. Microplate를 계속 들어올려 $\theta_2 = \theta_3$ 이 되면 논문 fig. 3(e)에 설명한 바와 같이 윗부분의 점모도 미끄러지기 시작한다. 그리고 결과적으로 fig. 3(f)와 같이 강아지풀은 x만큼 이동하게 된다.

3. 강아지풀 실험 결과

3.1 실험 구성

기술한 이동 원리를 바탕으로 강아지풀의 이동성능을 평가하기 위한 실험을 수행하였다. 실험을 위해 Fig. 6과 같은 시스템을 구성하였다. Microplate가 부착된 loadcell(Transducer Techniques Inc. GS0-30)을 마이크로 스테이지에 고정시켜 강아지풀에 위쪽에서 힘이 가해질 수 있게 하였다. loadcell 값을 indicator에서 읽어 LABVIEW를 이용하여 측정 데이터를 컴퓨터로 저장하였다. Microplate가 강아지풀을 누르는 모습을 자세히 관찰하기 위하여 camscope(MORITEX Co. Inf-500-DA)를 이용하여 영상을 촬영하였다. 강아지풀이 움직일 때, 한쪽 방향으로 나아가게 하기 위하여 아크릴을 이용하여 가이드를 제작하였다. 강아지풀을 누르는 microplate는 강아지풀이 움직이는 가이드와 같은 재질을 사용하였다.

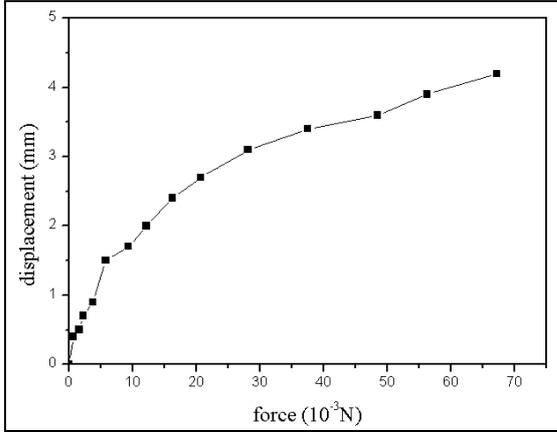


Fig. 7 Displacement of a foxtail according to force ($l_b=9.6\text{mm}$, $\theta_0=55^\circ$, microplate area= 100mm^2)

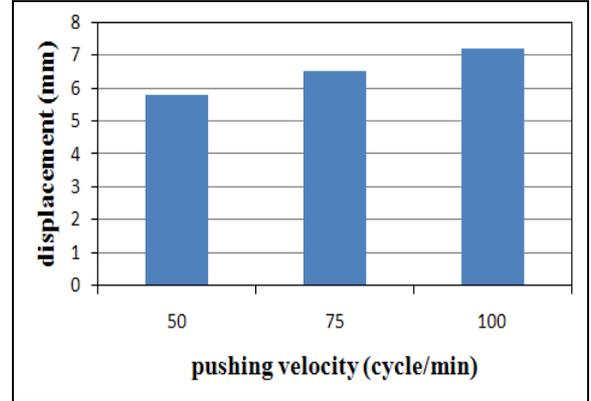


Fig. 9 Displacement of foxtail according to pushing velocity ($l_b=9.6\text{mm}$, $\theta_0=55^\circ$, microplate area= 100mm^2 .)

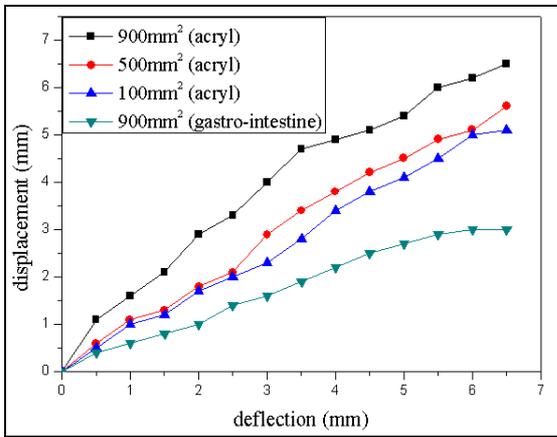


Fig. 8 Relation between deflection and displacement of according to area variation ($l_b=9.6\text{mm}$, $\theta_0=55^\circ$)

3.2 강아지풀 실험 결과

강아지풀의 최적 이동조건을 알아보기 위하여 다양한 실험이 수행이 되었다. 강아지풀이 일정한 힘을 받을 때, 그에 따른 이동거리 측정 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 강아지풀에 가해지는 힘이 증가 할수록 강아지풀이 이동하는 거리의 증가량이 감소하는 것을 실험을 통해 확인하였다. 이 결과를 통하여 섬모에 작용하는 힘이 계속해서 증가하는 것보다는, 섬모의 이동거리를 크게 할 수 있는 일정한 양의 힘을 가하는 것이 중요함을 알 수 있다. 또한 microplate의 면적과 재질, 힘의 속도 변화 시, 섬모의 처짐에 따른 강아지풀의 이동거리에 대하여 조사하였다.

면적 변화에 따른 실험을 아크릴판과 소의 대장 위에서 수행하여, 그 결과를 Fig. 8에 처짐-이동거리 선도로 나타내었다. 모든 microplate의 면적은 가로길이를 10mm로 고정 한 후, 세로길이를 10, 50, 90mm로 변화시키며 실험하였다. 강아지풀은 누르는 면적이 증가할수록 이동 성능이 향상됨을 확인 할 수 있었다. 이는 강아지풀을 모사한

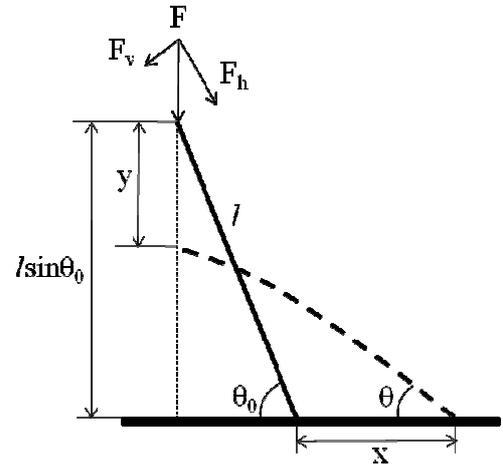


Fig. 10 Configuration of a barb before/after deflection

로봇을 구동 시에, 로봇의 국소면적에 힘이 작용하게 하는 것보다 더 넓은 면적에 힘이 작용할 수 있도록 설계해야 함을 알 수 있다.

추후 로봇을 제작하여 운용 시, 인체 소화기내 이동 가능성을 확인하기 위하여 소의 대장 위에서 실험을 수행하였다. microplate의 면적이 일정한 경우 아크릴 환경에서 보다는 소의 대장 환경에서 이동 성능이 약 50% 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 생체 환경이 미끄럽고 점탄성 특성을 갖기 때문이다. 이 실험을 통해 강아지풀을 효과적으로 모사하면 관 형상의 인체기관 내에서 효과적인 이동이 가능한 이동장치 구현이 가능하다는 것을 예측할 수 있다.

외부에서 작용하는 힘의 입력 주기에 따라 인체 내에 존재하는 로봇의 이동 특성이 변화할 수 있다는 가정하에 강아지풀을 누르는 속도를 다르게 하여 이동거리 변화를 실험하여 Fig. 9에 나타내었다. Microplate가 서보모터에 의해 상하로 움

Table 1 Material property of nylon barb

Material	Nylon
Length	6.67 mm
Diameter	0.13 mm
Initial angle	78°
Elastic modulus	2.7 GPa

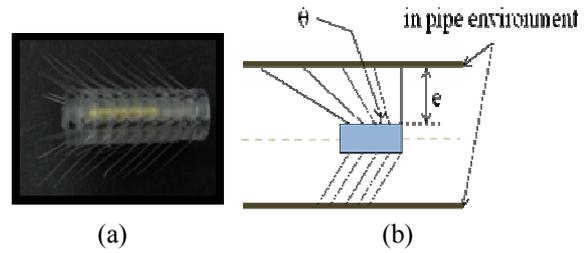


Fig. 13 Robot and configuration of robot in the pipe

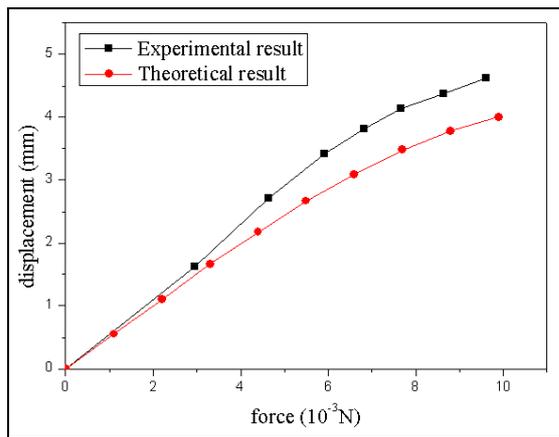


Fig. 11 Displacement comparison between experimental and theoretical result under variation of pushing force

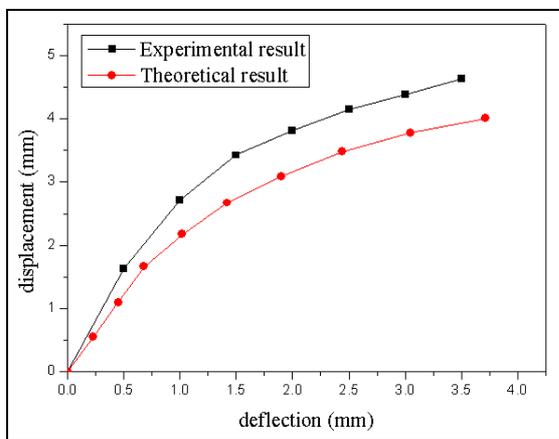


Fig. 12 Displacement comparison between experimental and theoretical result under variation of deflection

직일 수 있도록 하였고, 서보모터를 제어함으로써 강아지풀을 누르는 속도를 다르게 하였다. Microplate 가 강아지풀을 한번 누를 때를 1 cycle 로 정의 하였다. 누르는 속도를 빨리 할수록 강아지풀의 평균이동거리가 증가하였다. 이는 누르는 속도가 증가할수록 강아지풀에 가해지는 모멘텀이 증가하였기 때문이다. 그러나, Microplate 의 이동속도가 2 배 증가하더라도 발생 변위는 20% 이내의 증가량만을 보이므로, 강아지풀의 이동성능해석에 있어 동역학적 해석은 큰 의미가 없음을 알 수 있다.

4. 모사 로봇 제작 및 실험

강아지풀의 섬모를 효과적으로 모방하기 위하여 로봇에 사용될 섬모의 처짐에 대한 이론적인 해석이 필요하다. 본 논문에 제안된 이동메커니즘에서는 다리의 처짐이 로봇의 이동을 유발 하기 때문이다. 따라서 효율적인 이동성능을 얻기 위해서 모사로봇 다리의 처짐 현상과 이에 따른 이동거리를 알아보았다. 또한 로봇이 운용되는 환경에서 로봇의 이동성능이 최적화 되는 조건에 대한 연구를 수행하였다.

4.1 나일론 섬모의 이론 및 실험 결과

첫째로, 처짐에 따른 이동성능을 알아보기 위하여 실린더 형태의 아크릴 위에 나일론 섬모를 강아지풀의 섬모와 같은 형태로 심어서 실험을 수행하고 이론치와 비교하였다. 이 실험을 위하여, 사용된 나일론의 물성치는 Table 1에 나타내었다. 또한 실험 수행 시 오차를 가능한 줄이기 위해, 100개의 나일론 섬모를 강아지풀과 같은 형상으로 심어서 실험을 하였으며, 실험결과는 나일론 섬모 1개의 평균값을 나타내었다.

$$\frac{y'''}{[1+(y')^2]^{3/2}} = \frac{M}{EI}$$

이론 해석을 위해 나일론 섬모를 한쪽 끝에서 집중 하중을 받는 캔틸레버로 가정을 하고 위에 나타낸 보의 비 선형 방정식을 Runge-kutta method 를 이용하여 수치해석을 수행하였다. Fig. 10에 나타낸 것처럼 섬모가 힘 F 에 의해 눌러질 때의 각도를 θ 라 하면, 섬모의 끝단에 작용하는 힘에 대해서 각각 $F_y = F \times \cos\theta$, $F_h = F \times \sin\theta$ 로 나타난다. Microplate 를 서서히 내리면, 섬모와 바닥면이 이

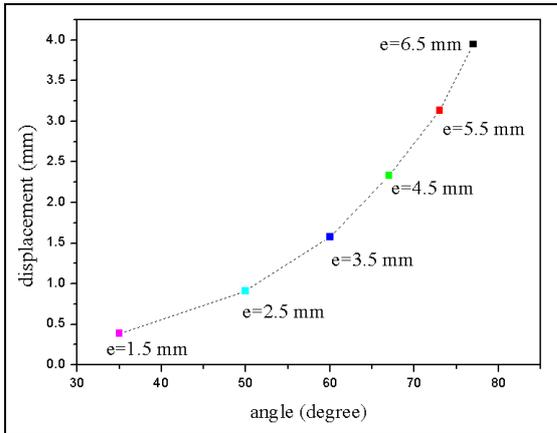


Fig. 14 Relation between displacement and angle of the robot leg under variation of clearance between robot body and pipe inner surface

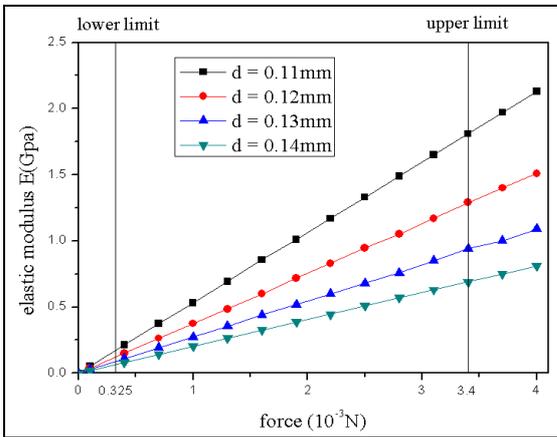


Fig. 15 Relation between force and elastic modulus according to variation of leg diameter

루는 작은 θ 로 작아진다. 이 결과 끝단에 작용하는 F_v 은 점점 커지고 F_h 은 점점 작아지게 된다. 이때 작용하는 F_h 의 힘은 섬모를 좌굴 시키는 F_c 보다 작으므로, 이론해석 시, F_h 의 힘을 무시한다. 따라서 힘 F 의 F_v 성분에서 주목을 하여, 이에 대한 해석을 MATLAB®을 이용하여 수행하였다. 나일론 섬모에 작용하는 힘과 섬모의 처짐에 따른 이동거리를 Fig. 11, 12에 나타내었다.

Fig. 11의 결과는 강아지풀에 대한 실험결과(Fig. 7)와 경향성이 일치함을 보이고 있다. 따라서, 모사로봇이 강아지풀의 이동과 유사한 이동이 가능하다는 것을 예측할 수 있다.

인체 내에서의 로봇 운동을 위해서, 로봇과 힘의 상호작용에 따른 처짐과 이동거리의 관계는 매우 중요하다. 따라서 나일론 섬모의 처짐에 따라 발생하는 이동거리에 대한 실험 및 이론해석을 수행하였고 Fig. 12에 나타내었다. 이 결과를 통하여 로봇의 적절한 이동을 위해서는 다리의 처짐이 어느 정도 되어야 하는지를 알 수 있다. 즉, 로봇의 효과적인 이동을 위

해서, 로봇의 속도를 최적화 하기 위해서 위의 실험 및 이론 결과는 중요하다. Fig. 10에 따르면 다리가 일정량 변형되면 로봇의 이동거리는 포화된다. 또한 앞서 언급했듯이 Fig. 7와 Fig. 11에서 강아지풀과 섬모의 이동거리의 증가량은 힘이 가해질수록 줄어든다. 따라서 이동거리가 포화되기 전까지의 힘과 변위를 로봇에 가하여 로봇을 이동시키면 로봇을 효율적으로 이동시킬 수 있는 시스템 구성이 가능하다.

4.2 로봇 다리 조건의 최적화

Fig. 13(a)의 사진은 관내에 삽입할 수 있는 로봇을 직접 제작한 것이다. 관 환경에 적합하도록 로봇의 몸체를 원형 실린더 모양으로 제작하였으며, 외부에서 가해지는 자력에 의해 다리의 처짐이 일어날 수 있도록 로봇 안에 자성체를 넣었다. 또한 로봇 몸체 바깥 면에 나일론 섬모를 12 개씩 여섯 열로 심어서 다리의 역할을 할 수 있게 하였다.

제작된 로봇이 관내 환경 하에 운용될 때를 가정하여 로봇의 이동성능에 영향을 미치는 요인에 대한 연구를 수행하였다. 로봇을 설계할 때, 관의 직경과 로봇의 직경에 따라 간극 'e'가 달라질 수 있다. 또한 로봇과 다리가 이루는 초기각도 θ 는 Fig. 11(b)처럼 다양하게 변화한다. 따라서 간극 'e'가 변화할 때 어느 정도의 초기 각도가 로봇의 최대 이동거리를 낼 수 있는지에 대하여, 4.1 절에서 사용한 동일한 해석방법으로 수행하여 Fig. 14에 나타내었다.

간극의 범위는 로봇이 작동할 환경과 로봇의 제작 가능한 크기를 고려하여 1.5mm에서 6.5mm까지로 정하였다. 다리의 초기 각도가 변화함에 따라 최대 이동거리가 나타나는 지점을 찾아서 그때의 각도를 Fig. 14에 표시하였으며, 이 과정을 'e'값의 변화에 따라 반복하여 수행하였다. 각각의 경우 다리에 작용하는 힘은 7.2mN으로 동일하다.

해석 결과 간극의 거리가 작아질수록, 다리의 초기 각도 또한 작아져야만 로봇의 최대이동거리가 나타남을 알 수 있다. 그 이유로는 다리의 길이가 짧아짐에 따라 다리를 변형시키기 위한 모멘트 값이 커야 하며, 이를 위해서는 다리에 작용하는 F_v 성분의 힘이 더 커야 하기 때문이다. 이 결과로부터 관과 로봇 사이의 간격 변화에 따라, 로봇의 효과적인 이동성능을 얻기 위해서는 로봇 다리의 초기 각도와 길이가 적절히 선택되어야 함을 알 수 있다.

앞서 언급한 바와 같이, 외부에서 작용하는 힘은 로봇의 이동성능을 결정하는 중요 요소이다. 이러한 힘은 로봇 다리의 탄성계수(E)와, 면적모멘트(I)에 직접적으로 의존되므로, 이러한 변수의 최적화 과정은 필수적으로 수행되어야 한다. 우선 로봇의 다리는 로봇의 자중에 의해 구부러지지 않을 만큼의 강성을 가져야 한다. 또한 로봇에 힘이 작용할 때, 로봇다리에

의해 혈관 및 소화기가 늘어나지 않을 만큼 유연해야 한다. 때문에 이러한 조건에 부합하는 로봇의 설계를 위하여 정량적인 연구를 수행하였다. 로봇의 무게는 앞으로 로봇에 더해질 부품과 시스템의 구성에 따라 달라진다. 로봇다리의 개수 역시, 로봇의 길이와 다리의 직경에 따라 달라지게 된다. 따라서 경향성을 파악하기 위한 한가지 예로 이번 실험에서는 Fig. 13(a)의 시범 제작한 로봇을 사용하였으며, 이 로봇의 무게는 1.2g, 로봇의 길이는 1.6mm, 자중을 받는 로봇의 다리 개수는 24 개이다. 외력이 로봇에 가해질 때, 로봇은 혈관 내벽을 지지하게 된다. 이때 혈관은 로봇의 길이에 대한 외력의 크기만큼 내부압력을 받는다. 본 논문에서는 혈관을 원통형 압력용기로 가정을 하였으며, 허용할 수 있는 혈관의 strain 을 혈관두께의 10%으로 하였다.^(9,10) 이러한 조건하에서, 로봇 다리의 탄성계수와 면적모멘트에 직접적으로 관계를 가지는 다리의 직경변화에 따라 로봇의 이동성능을 조사 하였다. Fig. 11 에서 보인 것처럼 실험 및 이론결과를 고려했을 때, 로봇의 이동거리가 다리길이의 60% 이상 발생함을 알 수 있었다. Fig. 15 의 그래프는 $\eta = 0.6$ 을 얻기 위해 다리에 가해지는 힘의 변화에 따른 탄성계수와 다리직경의 관계를 나타낸 것이다. 여기의 해석 또한 Runge-Kutta method 를 이용하였다. 이 그래프는 다리가 유연할수록 이동성능이 더욱 좋다는 것을 나타낸다. 그래프에 나타낸 힘의 최소한계와 최대한계는 각각 로봇 자중에 따른 다리의 처짐이 일어나지 않는 최대힘 $0.325e-3N$ 과, 로봇에 힘이 가해질 때 혈관이 늘어나지 않을 최소힘 $3.4e-3N$ 을 나타낸다. 따라서 로봇을 설계할 때 $\eta=0.6$ 이상을 기대하기 위해서는 최소한계 오른쪽의 영역과 최대한계 왼쪽의 영역에 해당하는 탄성계수 및 다리의 직경을 선택해야 함을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 강아지풀의 이동원리를 분석하였고 이동성능의 영향을 미치는 요인들을 확인하였다. 강아지풀을 누르는 변형량이 커짐에 따라 이동거리가 증가하였다. 또한 누르는 면적이 넓을 수록, 누르는 속도가 빠를수록 이동거리가 더욱 커짐을 알 수 있었다. 또한 강아지풀을 모사한 나일론 섬모를 이용하여, 힘-이동거리, 변형량-이동거리 실험을 하였고 이것을 이론값과 비교하였다. 나일론 섬모의 결과는 강아지풀의 결과와 경향성이 유사하게 나타났으며, 로봇의 다리로서 적합하다고 판단되었다. 또한, 로봇 제작 시 고려해야 할 요인으로 관 직경에 따른 다리의 길이와 초기 각도가 로봇의 이동성능에 어떠한 영향을 미치는지 알아보았다. 외부의 힘이 일정하게 작용할 경우, 로봇과 관내의 간극이 작을수록 다리의 초기 각도가 작아야 더욱 좋

은 이동성능을 낼 수 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 로봇은 자체 자중에 의해 다리의 변형이 발생하지 않아야 하며, 다리의 변형이 발생 시 혈관이 먼저 늘어나지 않아야 한다. 따라서 이러한 환경 조건을 만족하기 위한 다리의 물성치를 알아 보았다.

해석 결과를 바탕으로 로봇의 제작과 다양한 관형상의 소화기 및 혈관 내 실험결과에 대한 성능평가는 앞으로 주어진 과제라 할 수 있겠다.

후 기

이 연구과제는 지식경제부의 전략기술 개발 사업의 지원을 받아 수행되었습니다 (No. 10030037).

참고문헌

- (1) Park, H., Park, S., Yoon, E., Kim, B., Park, J. and Park, S., 2007, "Paddling Based Microrobot for Capsule Endoscopes," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 3377 ~ 3382
- (2) Kim, B., Park, S. and Yoon, S., 2005, "An Earthworm-Like Locomotive Mechanism for Capsule Endoscopes," *IEEE/RSJ International Conference*, pp. 2997~3002
- (3) Morisitsu, T. and Sakata, H., 1988, "A Study of a Vibrating Bristled Vehicle for Small Pipes," *JSME International Journal Ser. 3, Vibration, control engineering, engineering for industry*, vol. 31, pp. 15~21
- (4) Watts, C., McGookin, E. and Macauley, M., 2006, "Biomimetic Propulsion Systems for Mini-Autonomous Underwater Vehicles," *Oceans 2006*, pp. 1~5
- (5) Chan, H.-Y., Lam, J. H. M. and W Li, J., 2004, "A Biomimetic Flying Silicon Microchip: Feasibility Study," *Robotics and Biomimetics, 2004, ROBIO 2004, IEEE International Conference on*, pp. 447~451
- (6) Zhang, W., Guo, S. and Asaka, K., 2006, "Design and Experimental Results of A Tripodic Biomimetic Microrobot with 5 DOFs," *Intelligent Control and Automation, 2006. The Sixth World Congress on*, vol 1, pp. 8378~8382
- (7) Mita, M., Kakushima, K., Ataka, M., Toshiyoshi, K. and Fujita, K., 2005, "Foxtail Actuators," *The 13th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems*, pp.680~683
- (8) Lim, M., Park, H., Kim, B. and Park, J.-O., 2008, "A Vibrating Foxtail Based Locomotive Mechanism for Hunting for Blood Clots," *39th International Symposium on Robotics 2008*, pp. 301~304
- (9) "Structure, Function and Adaptation of Blood Vessels," BME/ME 456 Biomechanics, www.engin.umich.edu/class/bme456/bolldves/bloodves.htm
- (10) Ilic, D., Moix, T., Lamercy, O., Sache, L., Bleuler, H., Ohta, M. and Augsburger, L., 2006, "Measurement of Elastic Properties of Blood Vessels," *Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference*, pp. 6199~6202