한국군사과학기술학회지 제12권 제5호, pp. 563~570, 2009년 10월

학술논문 지상무기 부문

소형 정찰 로봇의 도약 메커니즘 개발

Development of Jumping Mechanism for Small Reconnaissance Robot

태 원 석* 김 수 현** 곽 윤 근**
Won-Seok Tae Soo-Hyun Kim Yoon-Keun Kwak

Abstract

In the future, most military activities will be replaced by robots. Because of many dangerous factors in battlefield, reconnaissance should be performed by robot. Reconnaissance robot should be small for not being detected, be light and simple structure for personal portability and overcome unexpected rough terrain for mission completion. In case of small and light robot, it can't get enough friction force for movement. Therefore small reconnaissance robot need jumping function for movement.

In this paper we proposed a biologically inspired jumping mechanism. And we adjusted moment and jumping angle by using four bar linkage, especially varying coupler length.

Keywords : Biologically Inspiration, Biomimetics(생체모방), Jumping Mechanism(도약 메커니즘), Take-off Angle Adjustment(도약각 변화)

1. 서 론

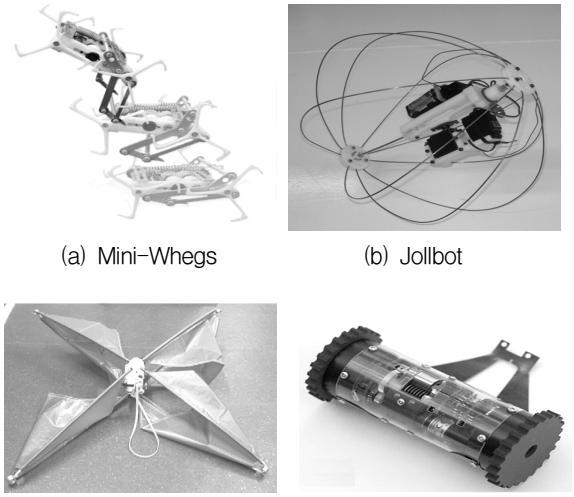
정찰은 전쟁의 승패를 좌우하는 핵심적인 역할로 근대전까지 대부분의 정찰은 인간에 의해서 수행되어 왔다. 하지만 전장에는 많은 위험요소가 산재되어 있어 공학자들은 인간을 대신할 정찰 로봇 개발에 큰 노력을 기울이고 있다.

정찰로봇은 다음의 세 가지 조건을 만족해야 한다. 먼저 적으로부터 발견되지 않기 위해 소형이어야 한다. 다음은 병사 개인의 휴대성을 위해 가벼워야 하고 단순한 구조를 가져야 한다. 마지막으로 임무수행을 위한 다양한 환경을 극복해야 한다. 정찰 로봇의 임무가 정보 획득인 만큼 목표한 지형까지 이동 시 존재하는 다양한 지형을 극복해야 한다. 다양한 지형을 극복하기 위해 바퀴형(wheel type) 주행로봇, 궤도형(track type) 주행로봇, 다리형(leg type) 이동로봇 등 다양한 로봇이 개발되었다. 하지만 소형 로봇의 경우 로봇자체 질량이 작아 마찰력을 이용한 이동이 어려울 수 있으며, 특히 잔디와 같은 유연한 지형의 경우 지면과 충분한 마찰력을 얻지 못해 이동자체가 불가능할 수 있다. 또한 회피가 불가능한 높은 장애물을 만날 경우 일반적인 주행 로봇은 몸체의 크기보다 큰 장애물을 극복할 수 없으며 보조 장비를 써서 극복하더라도 그 높이에는 한계가 있다. 그러므로 소형 정찰 로봇에는 도약 기능(jumping)이 필요하다. 도약 기능을 이용하여

† 2009년 6월 4일 접수~2009년 9월 11일 게재승인
* 육군사관학교
** 한국과학기술원(KAIST)
책임저자 : 태원석(baeksan400@kaist.ac.kr)

로봇 몸체의 크기에 수 배에서 수십 배에 이르는 장애물을 극복할 수 있으며 험지 극복 또한 용이하다.

대표적인 스프링 기반의 도약 로봇으로 Mini-whegs[1], Jollbot[2], Glumper[2], Scout[3]를 들 수 있다. Case Western Reserve 대학의 Mini-Whegs 9J(a)는 길이 7.6 cm, 무게 191g의 10cm를 도약하는 로봇이고 Bath 대학의 Jollbot(b)은 길이 30cm, 무게 465g의 184mm를 도약하는 로봇이다. Glumper(c) 또한 Bath 대학에서 제작한 것으로 길이 50cm, 무게 700g의 1.6m를 도약하는 로봇이며 Minnesota 대학의 Scout(d)는 폭 11cm, 직경 4cm, 무게 200g의 20cm를 도약하는 원통형 로봇이다.



(a) Mini-Whegs (b) Jollbot

(c) Glumper (d) Scout

Fig. 1. 기존 도약 로봇

본 연구는 생물체의 기능 및 형태적인 면을 모방하여 기계적으로 구현하였다. 자연 속에서 모든 생물들은 오랜 시간 동안 퇴화와 진화의 과정을 거치면서 각각의 생물체가 살아가는 환경에 가장 적합한 기능만을 가지게 되었기 때문에, 목표로 하는 지형에 따라 적합한 기능을 시사해 줄 수 있다.

본 연구는 도약을 주요 기능으로 하는 생물체를 모사하여 도약 메커니즘을 개발하였다. 특히 마찰력 감소, 모멘트 감소 등의 방법을 통해 에너지 손실을 줄이고 4절 링크를 사용하여 도약각(take-off angle) 조정할 수 있는 메커니즘 개발에 초점을 두었으며 시뮬레이션과 실험을 통해 제안한 메커니즘의 효과를 입증하였다.

2. 본 론

가. 메커니즘 제안

1) 도약 모델링

도약 메커니즘을 제안하기 앞서 모델링을 실시하였다.

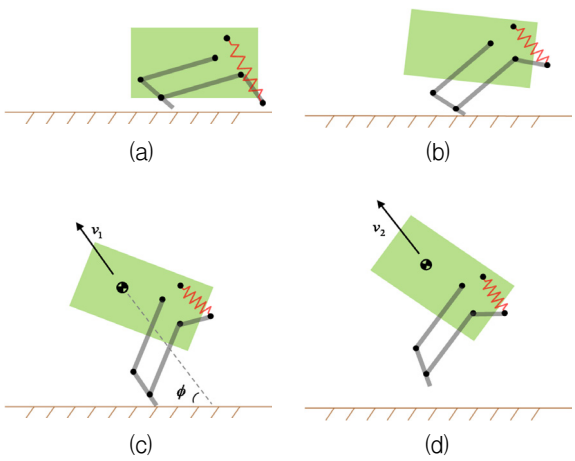


Fig. 2. 도약 모델링

Fig. 2와 같이 도약 로봇은 본체와 다리로 이루어지고, 이 둘은 스프링과 회전 조인트로 연결된다. 본체는 모터, 기어, 스프링 등 다리를 제외한 모든 부분으로 이루어져 있고 다리는 스프링 끝에 연결되어 지면과 접촉하며 지면과 마찰력을 확보하는 부분이다.

도약의 과정을 에너지 손실이 없다고 가정하고 로봇 형상을 단순화하면 Fig. 2와 같이 4단계로 구분할 수 있다. 스프링에 에너지를 저장하여 (a)와 같이 인장시키면 스프링의 인장량은 식 (1)과 같다.

$$x = (2l_1^2 - 2l_1^2 \cos\theta)^{1/2} \quad (1)$$

$$\frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}m_{body}v_1^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \quad (2)$$

에너지가 방출될 때 힘의 작용선과 무게중심이 일치하지 않게 되어 식 (2)와 같이 에너지의 일부는 직선 운동에너지로 전환되고 일부는 회전 운동에너지로 전환된다. 본체의 직선 운동에너지로 인해 v_1의 속도가 되면(c), 본체의 관성에 의해 발을 들어올리며 운동량 보존 법칙에 의해 최종 이륙속도는 v_2가 된다(d).

각각의 속도와 운동량 보존 법칙은 다음과 같다.

$$v_1 = (\frac{kx^2 - I\omega^2}{m_{body}})^{1/2} \quad (3)$$

$$m_{body}\ v_1 = (m_{body} + m_{leg})v_2 \quad (4)$$

$$v_2 = \frac{m_{body}}{m_{body} + m_{leg}}(\frac{kx^2 - I\omega^2}{m_{body}})^{1/2} \quad (5)$$

이후 공기저항을 무시하고 일정한 도약각을 가지고 도약을 했다면 운동에너지는 위치에너지로 전환되며 (e) 다음의 식을 만족한다.

$$\frac{1}{2}(m_{body} + m_{leg})v_2^2 \sin\phi^2 = (m_{body} + m_{leg})gh \quad (6)$$

식 (1), (2), (3), (4), (5), (6)을 종합하면 본체 질량과 스프링의 특성과 도약 높이간의 관계식을 얻을 수 있다.

$$h = \frac{1}{2g}\frac{m_{body}}{(m_{body} + m_{leg})^2}(kx^2 - I\omega^2)\sin^2\phi \quad (7)$$

식 (7)로부터 도약 높이를 높이기 위한 방법으로 전체의 질량을 줄이되 전체 질량 중 다리의 질량 비율을 줄이면 더 높이 도약한다는 것을 알 수 있다. 또한 모멘트에 의한 각속도가 최대한 생기지 않도록 해야 하며, 도약각을 높이는 것도 도약 높이를 높이기 위한 한 방법이라 할 수 있겠다.

2) 설계개념

소형 로봇의 크기와 무게를 고려했을 때 에너지 손실과 에너지 효율은 중요한 고려사항이다. 따라서 설계 시 에너지 손실을 최소화할 수 있도록 설계를 진행하였다.

먼저 마찰력을 감소할 수 있도록 설계를 진행하였다. 마찰에 의한 스프링 효과의 감소폭은 약한 스프링일수록 크기 때문에 마찰을 최소화하기 위해 회전 조인트 이외에 추가적인 가이드가 필요 없는 인장 스프링을 사용하였다.

둘째로 모멘트 감소를 줄이기 위해서 안정된 형태로 설계를 하였다. 제안된 형태는 로봇의 본체와 지면의 반작용력의 크기와 방향이 실시간으로 변하기 때문에 모멘트 발생은 불가피한 현상이라 할 수 있다. 모멘트 감소를 위한 여러 방법 중 시간과 비용 면을 고려하여 안정적인 형상설계를 통해 모멘트를 줄이고자 했다.

셋째로 도약각을 조정할 수 있는 메커니즘을 설계하였다. 도약각을 조정할 수 있다는 것은 에너지 효율과 장애물 극복할 확률 면에서 좋은 역할을 한다고 할 수 있다. 본 연구에서는 4절 링크의 링크 길이에 따른 링크의 궤적 변화를 이용하여 도약각 조정하고자 하였다.

마지막은 에너지 저장 및 방출 메커니즘으로 에너지방출 시 고려해야 할 짧은 방출 시간과 마찰의 최소화를 위해 복잡하지 않고 단순한 구조에 강건한 성능과 특별한 제어가 필요 없는 메커니즘을 설계하였다.

3) 메커니즘 제안

가) 스프링 배치/ 베어링 사용을 통한 마찰력 감소

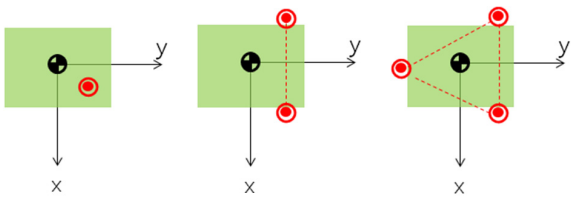
스프링은 회전조인트에 의해 일정한 궤적을 가지고 변형을 한다. 이것은 선형으로 변형되었을 때 보다 더 많은 부피를 차지하기 때문에 로봇의 내부에 스프링을 배치할 경우 로봇의 크기 및 무게가 커지고 부품들과 간섭이 생길 수 있어 스프링의 효과가 많이 감소 할 수 있다. 이러한 점을 해결하기 위해 스프링을 외부에 배치하였다.

또한 저장된 에너지가 방출될 때 에너지 손실은 매우 중요한 요인으로 4절 링크의 각 조인트에서 발생하는 마찰과 지면과 접촉하는 접촉점에서의 미끄러짐(slip)현상을 최소화하기 위해 조인트에는 베어링을 사용하였고 지면과 접촉하는 링크의 끝은 뾰족하게 형상을 만들어 지면과의 마찰력을 높이고자 했다.

나) 접촉점 개수를 통한 모멘트 감소

로봇이 도약 시 지면과의 접촉면적이 좁으면 힘의 작용선과 무게중심이 일치할 확률이 적어 모멘트가 발생할 가능성이 크다. 하지만 회전을 발생시키는 모멘트는 지면과의 접촉면적으로 크게 함으로서 해결할 수 있다. Fig. 4는 로봇을 위에서 본 그림으로 지면과의 접촉부분이 (a)의 경우 한 점이고, (b)의 경우 선, (c)의 경우 면적이다. 일반적으로 로봇의 무게중심을 정확히 알 수 없기 때문에 (a)와 같이 점 접촉을 하는

경우 x(pitch), y(roll)방향 모두 발생할 수 있다. 하지만 (b)의 경우 선 접촉으로 인해 로봇 무게의 좌우 불균형으로 인한 y(roll) 방향 회전을 없앨 수 있다. 마지막으로 (c)의 경우 무게중심이 지면과 접촉면 안에 위치해있기 때문에 로봇은 회전 없이 안정된 도약을 할 수 있다. 하지만 제안된 메커니즘에서 면 접촉의 경우 세 개의 다리가 동시에 지면에 접촉하도록 제어하기가 쉽지 않고 도약각을 조정하는 것이 어려우며 접촉면적이 넓지 않다면 선 접촉과 동일한 효과와 무게만 증가시키는 요인이 된다. 그러므로 (b)와 같이 선 접촉을 하도록 본체 외부에 두 개의 다리를 설계하였다.



(a) 한 점 (b) 선(두 점) (c) 면(세 점 이상)

Fig. 3. 지면과 다리의 접촉면

다) 커플러(coupler) 길이 조정을 통한 도약각 조정

도약 메커니즘에 사용될 다리는 4절 링크를 통해 구현했고 특히 커플러의 길이 조정을 통해 다리 궤적을 변화시키고 도약각을 조정하고자 했다[4].

Fig. 4는 동일한 조건에 커플러의 길이만 조정하여 얻은 결과이다. 커플러의 끝(tip)은 지면과 접촉하는 부분이고 커플러 끝이 그리는 궤적은 로봇이 도약을 하기 전까지 지면에 가하는 힘의 방향(또는 지면이 로봇에 가하는 힘의 방향)이라 할 수 있다. 즉 궤적의 접선방향이 그 순간의 힘의 방향이다. 커플러의 길이가 그라운드의 길이에 비해 짧은 경우 궤적은 상대적으로 지면과 수직에 가까우며 커플러의 길이가 그라운드의 길이에 비해 긴 경우의 궤적은 상대적으로 수평에 가깝다. 그라운드와 커플러의 길이가 같은 경우는 중간 형태로 Fig. 4를 통해 기울기의 차이를 쉽게 알아볼 수 있다.

에너지가 방출될 때 초기에 많은 양의 에너지가 방출되기 때문에 힘의 방향을 고려해 볼 때 커플러의 길이가 길어질수록 도약각이 작아지게 된다. 커플러 길이에 따른 도약각 조정은 무게 중심의 위치가 명확하지 않을 경우에 간단한 길이 조정만으로 원하는 방향의 도약을 할 수 있다는 장점이 있다.

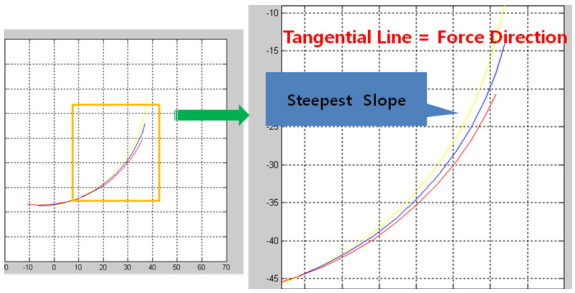


Fig. 4. 다리 끝의 궤적 비교

라) 슬립기어 메커니즘(slip gear mechanism)

메커니즘은 외란에 큰 영향 없이 일정한 성능을 내고, 에너지 손실을 최소화하기위해 단순하고 강건하게 설계가 되어야 한다. 이러한 조건을 만족시키기 위해 슬립기어 메커니즘을 사용하였다. Fig. 5는 슬립 기어 메커니즘을 설명하는 것으로 모터와 연결된 축(에너지를 공급하는 축)의 기어를 일부분 손상시켜 손상되지 않은 부분에서는 다리와 연결된 축(에너지를 저장하는 축)이 회전을 하고 손상된 부분에서는 헛돌게 되어 에너지를 방출하도록 만든 메커니즘이다.

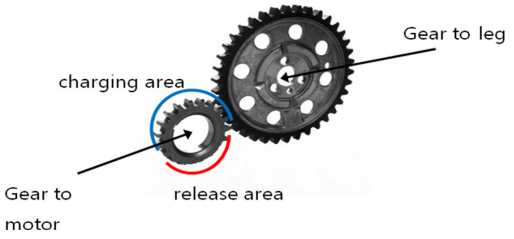


Fig. 5. 슬립기어 메커니즘

나. 메커니즘 설계

1) 기능 요구 사항 및 설계 변수

기능 요구 사항을 정리하고 설계변수를 선택했다.

➢ 기능 요구사항(functional requirements)

1. 목표 도약 높이 : 계단 극복, 30cm(H)
2. 본체에 작용하는 반작용력 최소화(R)
3. 도약 각도 조정(T)

➢ 설계 변수(design parameter)

1. 스프링 상수(S)
2. 링크 길이 및 형상(L)
3. 커플러 길이(C)

도약 높이는 스프링 상수와 스프링의 변형량을 결정하는 링크 길이, 도약각을 결정하는 커플러의 길이에 영향을 받고, 회전 조인트에 작용하는 반력은 링크 길이에 영향을 받으며 로봇의 도약 각도는 링크의 길이와 커플러의 길이에 영향을 받는다. 위와 같은 관계를 행렬형태로 나타낸 것이 Fig. 6으로 “O”는 상관관계가 많음을 나타내고 “X”는 상관관계 적음을 나타낸다. 각각의 변수를 결정함에 있어 변수 간의 영향을 최소화하기 위해서 비연성화(decoupled) 과정을 통해 왼쪽 행렬과 같은 관계를 오른쪽 행렬과 같은 관계로 만들었고, 이것을 바탕으로 설계의 순서를 링크의 길이 및 형상 결정, 커플러의 길이 결정, 스프링 상수 결정 순으로 하였다.

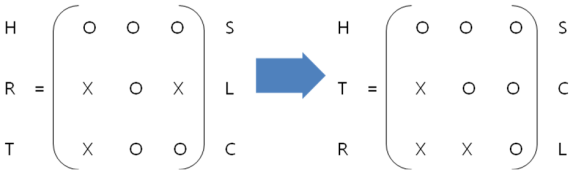


Fig. 6. 기능요구사항과 설계변수 간의 관계

2) 링크 길이 및 형상

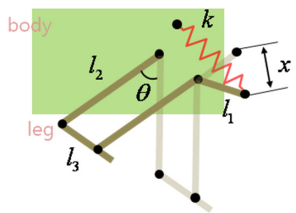


Fig. 7. 설계 변수

Fig. 7은 메커니즘의 설계 변수를 나타낸 그림으로 결정될 변수는 l_1, l_2, l_3, k 이다.

로봇 본체에 작용하는 반작용력의 크기를 줄이고 에너지 손실을 최소화하기 위해 링크길이 l_1, l_2의 길이를 결정했다. l_1 / l_2의 크기가 작아질수록 스프링에 너지가 방출될 때 지면으로부터 받는 힘의 크기가 작아지게 되므로 l_2의 길이가 길어질수록 본체에 가해지는 힘은 작아지게 된다. 하지만 길이가 일정 크기 이상으로 길어질 경우 도약을 위한 충분한 힘이 발생하지 않을 수 있고, 도약을 하더라도 지면과 접촉점이 본체에서 많이 떨어지게 되어 모멘트가 크게 발생할 수 있기 때문에 링크의 길이는 제한된 범위에서 가장 길게 해야 한다. 또한 링크의 길이가 길수록 로봇이 가속되는 동안(에너지가 방출되는 동안) 이동하는 거리가 길어지기 때문에 지면의 굴곡으로 인한 초기 접촉 상실은 다리가 짧을 경우에 비해 긴 경우가 에너지 손실이 적다. 또한 다리가 짧을 경우 초기에 지면으로부터 받는 반력이 커서 에너지가 다 방출되기도 전에 지면과의 접촉을 잃는 경우가 있는데 다리가 긴 경우는 이러한 현상을 방지할 수 있다[2].

로봇의 본체 길이는 사용될 기어와 모터를 고려했을 때 8cm로 예상되며 이에 l_2의 길이는 8cm 이내가 되어야 한다. 또한 로봇의 무게 중심이 극단적인 위치에 있지 않는 이상 본체의 중심에서 길이 방향으로 50%내에 있다고 가정한다면 l_2의 길이는 4cm~6cm 범위에 있다. 하지만 로봇의 다리가 한 개의 링크가 아니고 4절 링크이므로 두께를 고려하여 l_2의 길이는 4.5cm로 했다.

l_1의 길이는 스프링의 인장량에 영향을 준다. 스프링에너지가 스프링 상수에 선형으로 비례하고 인장량에는 제곱에 비례함에 비해 모터의 토크는 모두 스프링 상수와 인장량에 모두 선형으로 비례하기 때문에 인장량을 늘리는 것이 적은 힘으로 더 많은 에너지를 저장하는 방법이다. 또한 인장량이 너무 작으면 초기에 발생할 수 있는 에너지 손실을 줄이기 위해 l_2의 길이를 크게 해야 하는 단점이 있으므로 로봇의 크기를 고려하여 인장량을 3cm 내외로 결정했다. l_1의 움직이는 각도 Θ가 90도 이내이므로 l_1의 길이는 2cm가 된다.

l_1 / l_2의 크기가 0.5 보다 작기 때문에 링크의 비율이 1일 경우와 비교하여 반작용력을 절반이하로 줄였다. 하지만 여전히 링크의 회전 방향의 수직으로 링크에 큰 힘이 작용하기 때문에 다리의 질량을 줄이며 회전방향의 수직방향 힘을 잘 견딜 수 있는 ‘H’ 형 단면으로 링크를 설계하였다. Fig. 8은 링크의 형상이다.

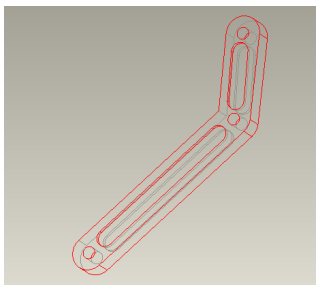


Fig. 8. 링크의 형상

3) 커플러 길이 결정

로봇 다리의 회전 운동으로 인하여 본체가 받는 반작용력은 실시간으로 바뀌게 된다. Fig. 9는 본체가 다리에 의해 가속이 되는 과정에서 지면으로부터 받는 반작용력과 무게 중심 간의 거리를 나타낸 것이다.

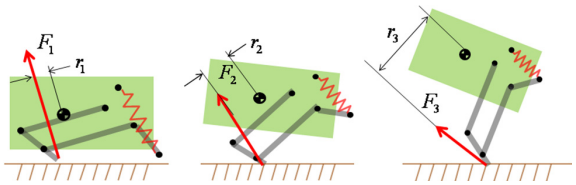


Fig. 9. 가속 시간 동안 반작용력과 모멘트 팔

반작용력은 실시간으로 변하며 힘의 크기는 $F_1 > F_2 > F_3$ 관계를 만족하므로 F_1이 전체 운동에 가장 큰 영향을 준다. 즉 초기 힘(F_1)의 방향이 도약각 결정에 큰 영향을 준다.

커플러의 길이에 따라 링크의 운동에 변화가 생기는 것을 고려하여 90도 이내에서 구동에 제한이 없도록 커플러의 최소길이를 계산하였다. 앞서 정해진 l_2의 길이를 통해 얻어진 커플러의 최소 길이는 14mm이고 이때 가장 높은 도약각을 가지며 길이가 길어질수록 도약각은 작아진다.

4) 스프링 상수 결정

스프링 상수를 결정하기 전 다리의 구동 범위(Θ)를 결정하였다. 전체적인 형상과 다리가 지면으로부터 접촉을 잃는 시점을 고려하여 구동범위를 80°로 결정하였고 이에 해당하는 스프링의 인장량은 25.7mm이다.

그리고 앞서 계산된 값들과 식 2.7에 대입하여 스프링 상수를 구한 결과 0.3m를 도약하기 위한 상수 값은 2119N/m이다. 결정된 설계 변수의 값을 정리한 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. 결정된 설계 변수

Design parameter	Value
l_1 (mm)	20
l_2 (mm)	45
l_3 (mm)	14, 18, 22
K (N/m)	2119
Θ (°)	80
x (mm)	25.7

다. 도약 메커니즘 시뮬레이션

시뮬레이션은 커플러의 길이에 따른 도약 높이와 모멘트, 무게중심의 위치에 따른 도약 높이와 모멘트, 커플러 길이에 따른 도약각 변화를 확인하고자 실시하였다.

1) 커플러 길이와 무게중심 변화에 따른 도약 높이 및 회전 운동 에너지 변화

커플러의 길이는 14mm, 18mm, 22mm로 변경하였고 무게중심의 위치는 본체의 앞, 중간, 뒤쪽으로 변경하며 실시하였다. 시뮬레이션 결과는 Table 2와 같다.

시뮬레이션 결과 커플러의 길이가 길어질수록 회전 운동에너지가 증가함을 알 수 있었고 회전 운동에너지가 작을수록 도약 높이가 커짐을 알 수 있었다. 또한 무게 중심의 위치가 커플러의 길이 조정에 비해 회전 운동에너지 변화에 더 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있었다.

Table 2. 시뮬레이션 결과

Coupler length (mm) /M.C. position	Angular kinetic energy (Nm)	Junping height (cm)	Jumping distance (cm)
14 / center	0.040	28.5	13
18 / center	0.048	27.3	18
22 / center	0.054	26	17
14 / front	0.27	34	33
18 / front	0.034	32	41
22 / front	0.038	30	41
14 / back	0.045	22	6
18 / back	0.053	21	9
22 / back	0.059	19	8

2) 커플러 길이에 따른 도약각 조정

커플러의 길이 변화에 따른 도약각의 변화여부도 시뮬레이션을 통해 알아보았다. 도약 시 지면과 이루는 각도는 지면과 접촉력을 잃는 순간에 도약 거리 - 높이 그래프의 기울기로 14mm의 경우 77°, 18mm의 경우 72°, 22mm의 경우 69°의 도약각도로 도약하였다.

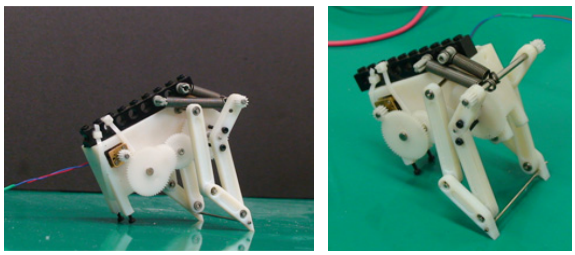
무게중심의 위치는 시스템이 정해지면 변하지 않기

때문에 무게중심의 위치변화는 링크의 길이 변화로 간주할 수 있고 이는 커플러의 길이 변화에 비해 링크길이 변화가 모멘트에 더 큰 영향을 준다는 것을 의미한다. 또한 정해진 링크길이에서 커플러의 길이 변화는 추가적인 모멘트를 발생시키지만 커플러의 길이변화에 의한 모멘트 발생이 링크길이 변화에 비해 상대적으로 작고 지형에 따라 도약각의 조정이 반드시 필요한 경우가 있기 때문에 커플러 길이 조정으로 인해 모멘트가 발생하더라도 도약각의 조정은 큰 의미가 있다고 할 수 있다.

라. 제작 및 실험

1) 제작

제작은 RP(Rapid Prototype)을 이용하여 제작하였다. 사용된 재료는 epoxy resin으로 비중 1.2의 다소 무거운 재질이다. 사용한 스프링은 965N/m 두 개를 병렬로 사용했으며 모터의 토크는 0.3N/m이고 추가로 사용한 기어의 감속비는 281:1이다. 커플러의 길이는 18mm로 하였다. 제작된 모습은 Fig. 10과 같으며 사양은 Table 3과 같다.



(a) 전체적인 모습 (b) 뒷 모습

Fig. 10. Prototype

Table 3. Prototype의 사양

Specification	Description
Body weight (g)	64 (body : leg = 3 : 1)
Leg weight (g)	22
L × H × W (mm) (extended)	70, 55, 60 (100, 70, 60)

2) 실험 결과

실험은 로봇이 극복 가능한 도약 높이를 측정하는 방식으로 진행하였다. 장애물의 높이는 8cm, 13cm 순으로 실시했으며 극복 가능한 장애물의 최대 높이는 13cm이다. 13cm라는 높이는 계산된 저장에너지 고려했을 때 47%에 해당하는 높이로 에너지 손실이 53%에 달한다는 것을 알 수 있다. 이러한 에너지 손실은 에너지가 방출될 때 에너지 손실이 없는 이상적인 상황으로 간주했기 때문이고 또한 로봇 설계 시 잘못 판단된 무게중심의 위치와 견고하지 못한 설계에 의한 것으로 판단된다. 특히 큰 힘이 작용하는 부분을 견고하게 설계하지 못해 여러 개의 회전축이 평행을 이루지 못했고 이로 인해 부품간의 간섭이 생겨 에너지 손실로 이어졌다. Fig. 11은 장애물을 극복하는 모습이다.

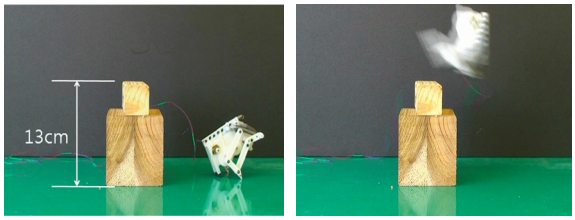


Fig. 11. 장애물 극복(장애물 높이 : 13cm)

3) 분석 및 평가

실험 결과를 바탕으로 선행 연구 실시한 로봇들과 비교하였다. Table 4는 그 결과로서 극복 가능한 장애물 높이는 Whegs보다 높게 뛰지만 전체적으로 볼 때 낮은 수준이다. 하지만 도약 기능의 장점을 설명해주는 도약 높이 대비 로봇의 높이는 2.36으로 양호한 수준이며 도약 높이 대비 로봇의 무게는 상대적으로 높은 수준이라 할 수 있다. 종합적으로 기존의 로봇과 비교해 볼 때 양호한 수준의 도약 성능을 보인다고 할 수 있다.

Table 4. 성능지수 비교

	Prototype	Whegs	Jollbot	Scout	Glumper
h_{clear} (mm)	130	100	184	200	1170
h_{clear} / l_{body}	2.36	2.86	0.61	5	1.95
h_{clear}/ m_{total} (mm/g)	1.51	0.52	0.39	1	1.67

3. 결 론

가. 요 약

본 연구에서는 소형 정찰 로봇에 적합한 이동 메커니즘으로 도약 메커니즘을 제안하였고 개구리 다리의 기능과 형태를 모사하여 모듈화된 소형의 도약 메커니즘을 개발하였다.

특히 로봇의 구조상 발생할 수 있는 모멘트를 줄이기 위한 접촉점 개수 결정, 무게중심의 위치와 도약각도에 따른 링크길이 및 커플러(coupler)의 길이 조정, 그리고 마찰에 의한 에너지 손실을 줄이기 위한 단순한 구조 등을 중점적으로 연구하였다. 설계과정을 통해 개발된 도약 메커니즘은 단순한 구조의 4절 링크를 사용한 무게 86g, 크기 8cm이하의 소형 도약 메커니즘으로 커플러 길이의 변화로 도약각도를 조절이 가능하다. 극복 가능한 최대 장애물 높이는 13cm로 자신의 몸길이의 2.36배 높이의 장애물을 극복할 수 있다. 이는 기존의 로봇과 견주었을 때 양호한 성능의 시스템이라 할 수 있다.

나. 문제점 및 향후 연구

제작된 시제품(prototype)의 문제점은 무게중심의 위치와 견고함이었다. 무게중심이 실제 위치가 예상보다 뒤쪽에 위치해 있어 커플러 길이 조정에 의한 효과가 작았다. 또한 힘이 많이 작용하는 부분을 견고하게 설계하지 못하고 이로 인해 회전축이 평행하지 않게 되어 에너지를 방출하는 시점에서 에너지 손실이 많았다. 그래서 2차 버전 제작을 진행함에 있어 큰 힘이 작용하는 부분을 미리 고려하여 정교하면서도 완성도 높은 설계할 수 있도록 연구를 진행할 계획이다.

후 기

본 연구(논문)는 한국과학기술원 국방무인화기술 특화연구센터를 통한 국방과학연구소 연구비 지원으로 수행되었습니다.

Reference

[1] Bram G. A. Lambrecht, Andrew D. Horchler, and Roger D. Quinn, “A Small, Insect-inspired Robot That Runs and Jumps”, International Conference on Robotics and Automation, pp. 1240～1245, 2005.

[2] Rhodri Armour, Keith Paskins, Adrian Bowyer, Juian Vincent and William Megill, “Jumping Robots : A Biomimetic Solution to Locomotion Across Rough Terrain”, Bioinspiraton and Biomimetics Journal, Vol. 2, pp. 65～82, 2007.

[3] Steoeter S. A., Rybski P. E., Gini M. and Papanikolopoulos N., “Autonomous Stair Hopping with Scout Robots”, International Conference on Intelligent Robots and System, Vol. 1, pp. 721～726, 2002.

[4] Keneth J. Waldron, Gary L. Kinzel, 기구학, (주) 피어슨 에듀케이션 코리아, pp. 179～266, 2000.