

가변길이 엔드팁을 갖는 원추형 스프링을 이용한 도약로봇의 이동성 향상

Mobility Improvement of a Jumping Robot using Conical Spring with Variable Length Endtip

김기석*, 김병상, 송재복, 임충혁

(Ki-Seok Kim, Byeong-Sang Kim, Jae-Bok Song, and Chung Hyuk Yim)

Abstract: Mobility is one of the most important features for a guard robot since it should be operated in rough places. A wheel-based mobile robot capable of jumping is an appropriate structure for a guard robot because it can easily satisfy the requirements for small guard robots. The jumping robot can reach a higher place more rapidly than other locomotion methods. This research proposes a small robot equipped with the jumping mechanism based on the conical spring with the variable length endtip. The variable length endtip enables the independent control of the jump force and jump angle which are related to the jump height and jump distance, respectively. Various experiments demonstrated that the proposed jumping mechanism can provide the independent control of jump force and jump angle, and improve the mobility of a small robot to overcome an obstacle. Furthermore, a combination of the jumping mechanism and the PSD sensor to measure the distance to the step enable the jumping robot to autonomously climb stairs.

Keywords: jumping mechanism, nut-screw mechanism, conical spring, clutch mechanism, jumping robot

I. 서론

순찰 및 감시 기능을 갖는 소형 경비로봇은 사용자가 원하는 정보를 신속하게 제공하기 위하여 빠르고 자유롭게 이동할 수 있어야 한다. 따라서 로봇의 이동성(mobility)은 소형 경비로봇의 성능을 평가하는 중요한 요소 중 하나이다. 평지에서 움직이는 대부분의 로봇은 높은 이동성을 확보하기 위해 이동수단으로 바퀴를 채택하고 있다. 바퀴는 구조가 간단하고, 재질이나 크기에 제약이 적어 제작이 용이할 뿐만 아니라, 트랙 등과 같은 다른 이동수단과 비교하여 평지에서의 이동 효율이 월등히 높다. 하지만 지면이 고르지 못한 험지에서는 이동 효율이 낮으며, 특히 바퀴의 반지름보다 큰 장애물은 넘어갈 수 없다. 이에 비하여, 도약을 이용한 이동은 평지에서는 움직임이 비효율적이지만, 트랙을 이용한 로봇보다 훨씬 작은 크기의 로봇으로 상대적으로 높은 장애물을 만나더라도 이를 쉽게 극복하고 넘어갈 수 있다[1]. 따라서 바퀴와 도약 기능을 함께 사용하여 서로의 단점을 보완하면, 크기가 작고 가벼우며, 동시에 평지 및 험지에서 이동성이 높은 로봇을 구현할 수 있다.

지금까지 평지에서는 바퀴를 이용하여 주행을 하다가, 장애물을 만날 경우 도약으로 장애물을 극복하는 다양한 도약로봇이 개발되었다[1-6]. 이들의 도약 원리는 크게 공압의 압축에너지를 이용하는 방식과 스프링의 탄성에너지를 이용하는 방식으로 나누어진다. 지금까지 개발된 대부분의 도약로봇은 장애물을 만날 경우, 로봇이 도약할 수 있는 최대 도약 높이로 도약하여 장애물을 극복하였다. 이와 같은 방법은 단

순한 장애물을 극복하는데 매우 효과적이지만, 계단과 같이 연속적인 장애물을 극복하는 데는 한계가 있다. 도약을 이용하여 계단을 오르기 위해서는 계단의 형상에 따라 도약 궤적을 적절히 조절할 수 있어야 한다. 잘못된 도약 궤적으로 도약할 경우, 로봇은 다음 계단에 부딪혀 계단을 오르지 못하고, 계단 아래로 굴러 떨어지게 된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는, 원추형 스프링 기반의 도약로봇에 도약력을 조절할 수 있는 클러치 메커니즘과 도약각을 조절할 수 있는 엔드팁 길이조절 메커니즘을 적용하여 장애물의 형상에 따라 도약 궤적을 조절할 수 있도록 하였다.

본 연구에서 개발한 도약로봇은 평지에서 높은 이동성을 제공할 수 있는 바퀴와 험지에서 장애물을 극복할 수 있는 도약 메커니즘으로 구성되어 있다. 도약 메커니즘은 다시 원추형 스프링과 클러치, 길이 조절이 가능한 엔드팁으로 나누어진다. 원추형 스프링은 도약에 필요한 탄성에너지를 제공한다. 클러치는 스프링 압축용 모터에 연결되어, 모터의 회전 방향에 따라 스프링 압축 시에는 동력을 전달하고, 압축해제 시에는 스프링의 탄성에너지를 순간적으로 방출할 수 있도록 하여, 도약 시 도약력을 사용자가 임의로 조절할 수 있다. 그리고 길이 조절이 가능한 엔드팁은 원추형 스프링의 말단에 연결되어 도약력과 도약각을 독립적으로 조절할 수 있도록 하여, 도약을 통한 장애물 극복 시 안정적인 도약을 구현할 수 있도록 도와준다. 본 논문에서는 원추형 스프링 기반의 소형 도약로봇의 도약궤적을 조절하여 계단과 같은 장애물을 안정적으로 오를 수 있는 방법에 대하여 살펴보았다. 그리고 도약궤적을 조절하기 위해 필요한 가변길이 엔드팁의 효용성을 검증하기 위하여 다양한 도약실험을 수행하였으며, 높이와 거리가 다른 계단을 오르는 실험을 통하여 가변길이 엔드팁이 원추형 스프링 기반의 도약로봇의 이동성을 향상시켰음을 확인하였다.

본 논문의 II 장에서는 도약로봇의 모델링을 통해 도약 원

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2009. 4. 8., 수정: 2009. 6. 1., 채택확정: 2009. 9. 23.

김기석, 김병상, 송재복: 고려대학교 기계공학부

(jjangdolx@korea.ac.kr/lovidia@korea.ac.kr/jbsong@korea.ac.kr)

임충혁: 서울산업대학교 기계설계자동화공학부

(chylim@convex2000.com)

※ 본 연구는 지식경제부의 사회안전로봇 개발사업의 지원으로 수행되었음.

리에 대하여 설명하고, III 장에서는 원추형 스프링 기반의 도약로봇에 대해 상세하게 설명한다. 그리고 IV 장에서 길이조절이 가능한 엔드팁에 대해 설명하고, V 장에서는 도약 실험 결과를 보여주며, VI 장에서 결론을 도출한다.

II. 도약 모델

원추형 스프링 기반의 도약로봇은 스프링을 압축하여 탄성에너지를 저장하고, 압축을 순간적으로 해제하여 스프링의 탄성에너지를 운동에너지로 변환시켜 도약한다. 그림 1은 원추형 스프링을 이용한 도약로봇의 간단한 도약 모델을 보여준다. 도약로봇은 크게 본체(body)와 발(foot)로 나누어지며, 그 사이에는 탄성계수가 $k(l_s)$ 인 스프링이 연결되어 있다. 본체는 몸통, 바퀴, 제어부 등 발과 스프링을 제외한 모든 부분이며, 발은 스프링 끝에 연결되어 도약 시 지면과 마찰력을 확보하는 부분이다. 그림 1(b)와 같이 길이가 l_0 인 스프링을 δ ($= l_0 - l_1$) 만큼 압축하면 탄성에너지가 저장된다. 이 때 압축을 해제하여 순간적으로 탄성에너지를 방출하면, 그림 1(c)와 같이 스프링의 탄성에너지는 로봇 본체의 운동에너지 (속도 v_1)로 전환된다. 그리고 그림 1(d)와 같이 로봇이 공중에 도약하는 순간 운동량 보존 법칙에 의해 로봇은 v_2 의 속도로 움직이게 된다.

도약 시, 스프링의 압축력은 작용 및 반작용 법칙에 의하여 로봇의 도약력 F 가 된다. 이 때, 초기 길이가 l_0 이고, 압축된 스프링의 길이가 l_1 인 비선형 스프링의 압축력은 다음과 같다.

$$F = \int_{l_0}^{l_1} k(l_s) dl_s \quad (1)$$

여기서, $k(l_s)$ 는 스프링 길이가 l_s 일 때의 스프링 상수이다.

스프링 본체의 질량을 M_{body} , 발의 질량을 M_{foot} , 로봇의 도약각을 θ 라고 하면 도약높이 h 와 도약거리 s 는 운동량 보존 법칙 및 에너지 보존 법칙에 따라 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$h = \frac{1}{g} \frac{M_{body} \sin^2 \theta}{(M_{body} + M_{foot})^2} \int_{l_0}^{l_1} k(l_s) l_s dl_s \quad (2)$$

$$s = \frac{4}{g} \frac{M_{body} \sin \theta \cos \theta}{(M_{body} + M_{foot})^2} \int_{l_0}^{l_1} k(l_s) l_s dl_s \quad (3)$$

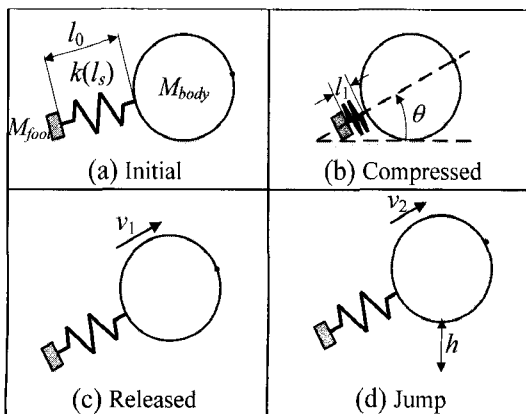


그림 1. 도약 운동의 과정.
Fig. 1. Sequence of jumping motion.

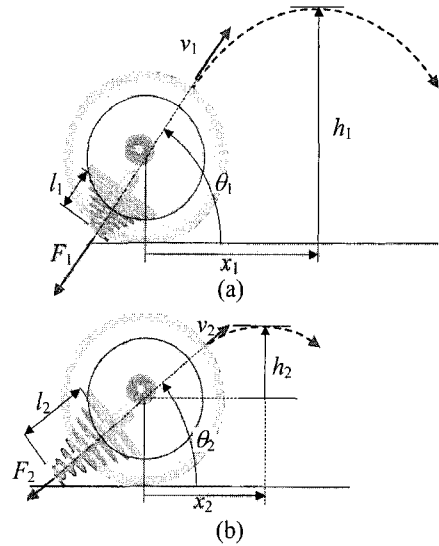


그림 2. 도약 궤적: (a) 높은 스프링 압축력, (b) 낮은 스프링 압축력.
Fig. 2. Trace of jump: (a) high spring force, and (b) low spring force.

여기서 로봇의 도약각은 $60^\circ-90^\circ$ 의 범위에 있으며, 도약 시 엔드팁은 지면을 찍으면서 도약하므로 지면과 발 사이의 미끄러짐이 없다고 가정하였다. 위 식으로부터, 도약 높이와 거리는 로봇의 무게와 스프링의 탄성계수, 그리고 스프링의 압축량과 도약각으로 결정됨을 알 수 있다. 따라서 도약 높이 및 거리를 증가시키기 위해서는 M_{body} 와 M_{foot} 은 가볍고, 스프링의 탄성계수 $k(l_s)$ 는 커야 한다. 그리고 스프링의 압축량 δ 와 도약각도 θ 를 조절하면 도약 높이와 거리를 조절할 수 있다.

지금까지 개발된 스프링의 탄성력을 이용한 도약로봇은 그림 2와 같이 도약력과 도약각이 서로 종속적인 관계를 이루고 있다. 예를 들어, 그림 2(a)와 같이 스프링의 압축량을 클 경우 도약력 F_1 과 도약각 θ_1 이 증가하고, 도약 시 높이 h_1 만큼 뛰어 오를 수 있다. 반면에, 그림 2(b)처럼 스프링의 압축량이 작으면 도약력 F_2 와 도약각 θ_2 는 감소하여 도약높이 h_2 와 도약거리 x_2 가 감소한다. 이와 같이 도약력과 도약각이 종속적인 경우에는 계단처럼 복잡하고 협소한 장애물을 극복하는 것이 어렵다. 따라서 도약을 이용하여 안정적으로 장애물을 극복하기 위해서는 도약력과 도약각을 독립적으로 조절할 수 있어야 한다.

III. 도약 로봇

본 연구에서는 그림 3과 같이 원추형 스프링을 이용한 도약 로봇을 개발하였다. 로봇은 크게 몸체, 바퀴, 그리고 도약 메커니즘으로 나누어진다. 몸체는 도약과 낙하 시 발생하는 충격으로부터 로봇을 보호하기 위하여 충격에 강인한 폴리 카보네이트(polycarbonate)로 제작하였으며, 감시를 위한 무선 랜 방식의 카메라(Axis MW207), 장애물의 높이와 거리를 감지하기 위한 거리측정 센서(PSD 센서), 그리고 로봇 구동에 필요한 제어기(DSP 2808)가 장착되어 있다. 몸체 측면에 장착된 바퀴는 충격흡수 능력이 우수한 폴리우레탄 계열의 셀라스토로 제작하였다. 도약 메커니즘은 몸체의 중앙에 삽입되어 있으며, 몸체의 후면으로 원추형 스프링이 돌출되어 있다.

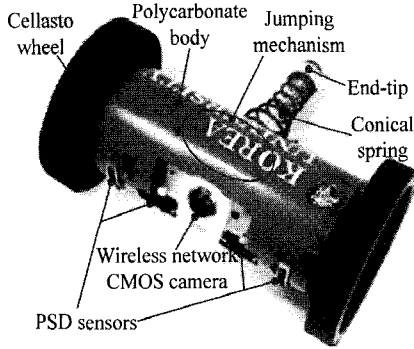


그림 3. 원추형 스프링 기반의 도약로봇.
Fig. 3. Jumping robot based on conical spring.

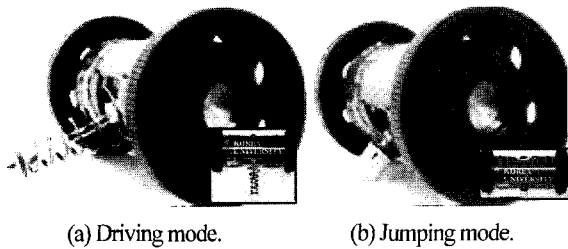


그림 4. 스프링 형상.
Fig. 4. Spring configurations.

로봇 바퀴의 직경은 18cm, 몸통의 직경은 12cm, 길이는 약 35cm이며, 무게는 약 3kg이다.

그림 4는 바퀴/도약 주행 시 원추형 스프링의 작동 모습을 보여준다. 도약로봇이 평지에서 이동할 경우, 그림 4(a)와 같이 스프링과 엔드팁은 캐스터의 역할을 한다. 그러나 로봇이 장애물을 만나면, 이를 극복하기 위하여 그림 4(b)와 같이 스프링을 압축한 뒤, 순간적으로 압축을 해제하여 장애물을 뛰어넘는다.

1. 원추형 스프링

원추형 스프링은 대표적인 비선형 스프링 중 하나로, 그림 5(a)와 같이 스프링 양끝의 직경이 서로 다르다. 따라서 스프링을 압축했을 때 강선이 서로 겹쳐져 일반 코일 스프링과 달리 압축된 스프링의 길이를 최소화 할 수 있다. 그림 5(b)에서 볼 수 있듯이 최대 압축된 스프링의 길이 l_{gnd} 는 강선의 두께 d 와 같으므로, 같은 길이의 일반 스프링에 비하여 압축할 수 있는 길이($l_0 - d$)도 길다. 따라서 원추형 스프링은 탄성력을 이용한 소형 도약메커니즘에 적용하기 적합하다.

그림 6은 도약로봇에 사용된 원추형 스프링의 모습이다.

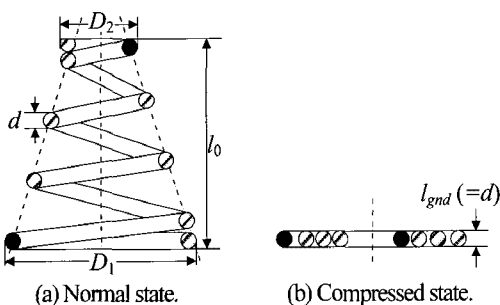


그림 5. 원추형 스프링.
Fig. 5. Conical spring.

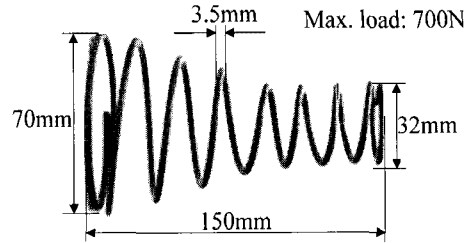


그림 6. 도약로봇을 위한 원추형 스프링.
Fig. 6. Conical spring for jumping robot.

스프링의 직경 D_1 과 D_2 는 각각 70mm, 32mm이며, 길이는 150mm이다. 또한, 강선의 직경 d 는 3.5mm이며, 스프링의 하중은 최대 압축 시 약 700N의 힘을 낼 수 있다.

2. 클러치 메커니즘

로봇이 도약을 하기 위해서는 스프링을 압축하여 탄성 에너지를 저장하고, 저장한 에너지를 순간적으로 방출해야 한다. 스프링 압축용 모터는 큰 출력을 내기 위해 높은 감속비를 필요로 하며, 스프링의 압축을 해제할 때는 모터로부터의 동력 전달을 순간적으로 차단할 수 있어야 한다. 따라서 이와 같은 기능을 제공하기 위해 클러치 메커니즘이 필요하다.

클러치 메커니즘은 도약 메커니즘의 핵심 부품으로, 하나의 모터로 회전방향에 따라 스프링을 압축하거나, 압축된 스프링을 해제하는 기능을 모두 구현할 수 있다. 그리고 스프링의 압축량에 관계없이 언제든지 압축 및 해제가 가능하다. 클러치는 그림 7과 같이 모터의 출력축과 연결되는 기어(sun gear), 와인더 기어(winder gear)에 동력을 전달해 주는 유성 기어(planet gear), 메커니즘의 몸체이면서 동력전달 링크 역할의 캐리어(carrier), 판스프링(leaf spring), 래칫(ratchet), 폴(pawl), 그리고 스토퍼(stopper) 등으로 구성되어 있다.

그림 8은 클러치 메커니즘의 작동 원리와 순서를 보여주는 그림이다. 와인더에는 원추형 스프링의 끝부분에 달린 엔드팁과 연결된 강선(wire)이 연결되어, 이 강선을 축에 감을 경우 원추형 스프링이 압축된다. 그림 8(a)에서 볼 수 있듯이, 모터의 출력축에 연결된 기어가 시계방향으로 회전하면 캐리어가 시계방향으로 회전하면서 그림 8(b)와 (c)같이 유성기어와 와인더 기어가 만나게 된다. 이 때, 계속해서 모터를 시계방향을 돌려줄 경우 래칫이 폴을 밀어내며 회전을 하고, 모터의 토크가 유성기어를 통해 와인더 기어에 전달된다. 따라서 와인더 기어에 연결된 와이어가 축에 감기면서 스프링을 압축하게 된다. 반면에, 그림 8(d)에서 볼 수 있듯이 모터를 반시계방향으로 돌려줄 경우, 래칫이 폴과 스토퍼에 의해

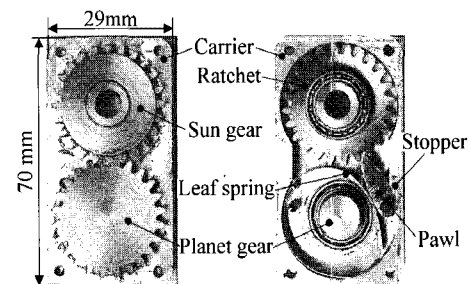


그림 7. 클러치 메커니즘.
Fig. 7. Clutch mechanism.

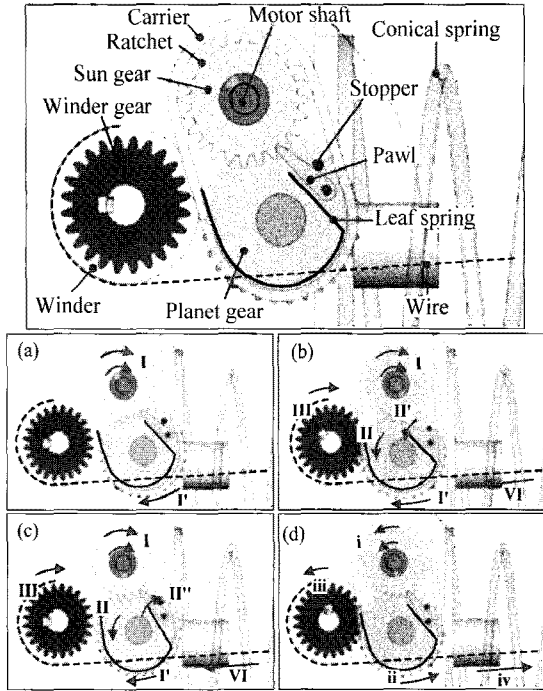


그림 8. 클러치 메커니즘 작동원리.
Fig. 8. Principle of clutch mechanism.

회전운동이 구속된다. 따라서 캐리어는 반시계방향으로 회전하며 유성기어와 와인더 기어와의 연결을 순간적으로 끊어 주게 된다. 따라서 축에 감긴 와이어에 의해 압축된 스프링이 순간적으로 압축이 해제가 되고, 이를 로봇의 도약에 이용할 수 있다.

IV. 도약력-도약각 조절

도약을 통해 다양한 형상의 장애물을 안정적으로 넘어가기 위해서는 도약력과 도약각을 독립적으로 제어할 수 있어야 한다. 본 장에서는 너트-스크류 기반의 길이 조절이 가능한 엔드팁을 이용하여 도약력과 도약각을 독립적으로 이용하여 도약력과 도약각을 독립적으로 제어하는 방법에 대하여 설명한다.

1. 길이 조절이 가능한 엔드팁

로봇의 도약높이와 도약거리를 조절하기 위해서는 도약력(스프링의 압축량)과 도약각(스프링 길이 + 엔드팁 길이)을 독립적으로 조절해야 한다. 하지만 압축된 스프링의 길이는 도약력과 도약각에 모두 영향을 미치기 때문에 엔드팁의 길이를 조절함으로써 스프링의 길이가 도약각에 미치는 영향을 상쇄시켜 줄 수 있다. 엔드팁 길이를 조절할 수 있는 메커니즘은 2.1장에서 살펴본 바와 같이, 엔드팁의 무게가 도약높이 및 거리에 영향을 미치기 때문에 가볍고 구조가 단순하며 스프링 말단에 장착이 용이하도록 만들어져야 한다. 너트-스크류는 회전운동을 직선운동으로 바꾸주는 대표적인 메커니즘으로서, 그 구조가 단순하여 기구를 소형화하는데 용이하다. 따라서 엔드팁에 너트-스크류 메커니즘을 이용하면 위와 같은 조건을 쉽게 만족시킬 수 있다.

가변길이 엔드팁은 그림 9와 같이 직선운동을 하는 엔드팁 너트, 회전운동을 하는 엔드팁 스크류, 엔드팁 너트의 회전운동을 구속하고, 직선으로 움직일 수 있도록 하는 엔드팁

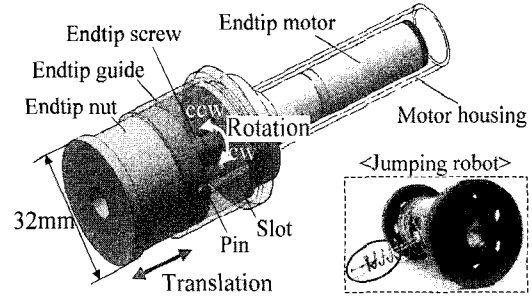


그림 9. 가변길이 엔드팁.
Fig. 9. Variable length endtip.

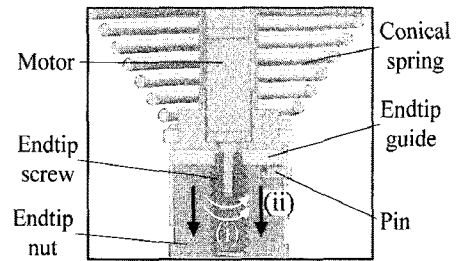


그림 10. 가변길이 엔드팁의 내부 운동.
Fig. 10. Internal motion of variable length endtip.

가이드(endtip guide)와 핀, 그리고 엔드팁 스크류를 구동하는 소형 DC모터로 구성되어 있다.

그림 10은 엔드팁의 길이를 조절할 수 있는 메커니즘의 동작원리를 보여준다. 엔드팁의 길이를 조절하기 위하여 모터가 회전하면, 모터에 연결되어 있는 엔드팁 스크류가 함께 회전한다. 이 때, 엔드팁 너트는 핀과 엔드팁 가이드에 의해 회전운동이 구속되어 엔드팁 가이드의 홈을 따라 직선운동을 한다. 스크류-너트 메커니즘에는 피치거리가 1.25인 M8 나사산을 사용하므로, 엔드팁 스크류가 1회전 하면 엔드팁 너트는 스크류의 축 방향으로 1.25mm 늘어나거나 줄어든다.

2. 도약력 및 도약각 조절

로봇이 전방 장애물의 크기와 형상에 따라 위로 높게 뿔 것인지, 앞으로 멀리 뿔 것인지를 조절하기 위해서는 도약력과 도약각을 조절할 수 있어야 한다. 따라서 원추형 스프링과 엔드팁 길이조절 메커니즘을 이용하면 도약로봇의 도약력과 도약각을 독립적으로 조절할 수 있다. 예를 들어, 그림 11과 같이 도약력을 증가시키기 위하여 스프링을 12mm 만큼 더 압축하면 도약각이 45°보다 커지게 된다. 이 때, 엔드팁 길이조절 메커니즘을 이용하여 엔드팁의 길이를 12mm 증가시키면 로봇의 도약각을 45°로 유지할 수 있다. 즉, 도약각을 일정하게 유지한 상태에서 스프링의 압축량을 임의로

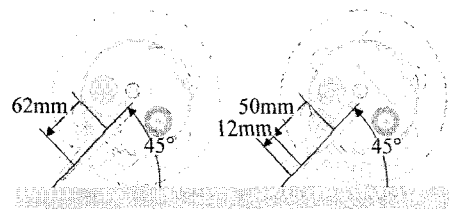


그림 11. 도약력의 독립적인 제어.
Fig. 11. Independent control of jump force.

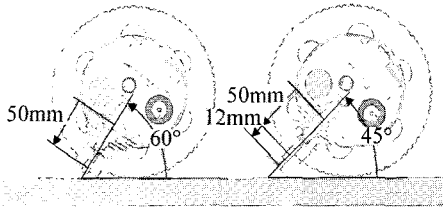


그림 12. 도약각의 독립적인 제어.
Fig. 12. Independent control of jump angle.

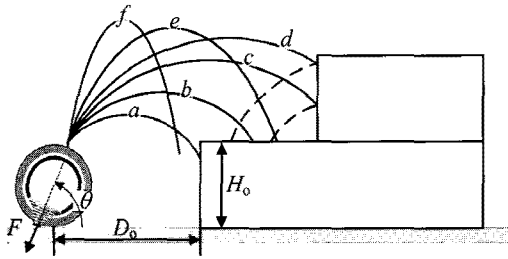


그림 13. 다양한 도약력과 도약각에 따른 도약궤적.
Fig. 13. Traces of jump for different jump forces and angles.

조절할 수 있어, 로봇의 도약력을 독립적으로 조절할 수 있다.

그림 12는 도약각 조절의 예를 보여준다. 그림과 같이 원추형 스프링의 압축길이를 50 mm로 일정하게 유지한 상태에서 엔드팁 길이를 12 mm만큼 증가시키면, 로봇의 도약각이 60°에서 45°로 감소한다. 즉, 도약력은 일정하게 유지한 상태에서 도약각을 독립적으로 조절할 수 있다.

도약 시 도약 궤적은 도약력 및 도약각에 영향을 받는다. 그림 13의 궤적 a, b, c, d 는 도약각을 일정하게 유지한 상태에서 도약력을 증가시킬 때 도약 궤적의 변화를 보여주며, 궤적 e 와 f 는 도약력을 일정하게 유지한 상태에서 도약각을 증가시킬 때 도약 궤적의 변화를 보여준다. 도약력이 충분하지 못하면 궤적 a 와 같이 로봇은 계단을 오를 수 없다. 적절한 도약력을 가진 궤적 b 와 c 는 도약 후 계단 위에 로봇이 안정적으로 위치할 수 있다. 그러나 궤적 d 와 같이 도약력이 필요 이상으로 커지면, 로봇은 계단을 오를 수도 있지만, 다음 계단에 부딪힌 후 계단 아래로 떨어질 가능성이 크다. 반면에, 궤적 e 의 경우 장애물의 높이보다 훨씬 높게 도약하게 되어 계단 위로의 착지가 조금 불안해지지만 계단을 오를 수 있다. 그리고 도약각이 너무 크면 궤적 f 와 같이 수직방향으로는 높이 도약할 수 있지만, 수평 도약거리가 충분하지 않아 계단을 오를 수 없다. 따라서 로봇이 계단과 같은 장애물을 연속적으로 오르기 위해서는 도약력과 도약각을 상황에 따라 적절하게 조절할 필요가 있다. 우선 계단을 오르기 위해서 로봇의 도약 높이는 적어도 계단의 높이 H_0 보다 커야 하며, 도약거리는 로봇 중심으로부터 장애물까지 거리 D_0 보다 커야 한다. 그리고 도약높이와 도약거리가 H_0 와 D_0 의 두 배를 넘지 않을 때, 계단을 안정적으로 오를 수 있는 것을 실험적으로 관찰할 수 있었다. 따라서 계단을 오를 경우, 이를 만족할 수 있도록 식 (1)과 (2), (3)을 이용하여 도약력 F 와 도약각 θ 를 조절해야 한다.

그림 14는 도약로봇이 스프링을 압축했을 때, 압축된 스프링의 길이와 엔드팁 길이에 의한 도약각의 상관 관계를 보여준다. 원추형 스프링은 로봇의 중심으로부터 55mm 떨어진

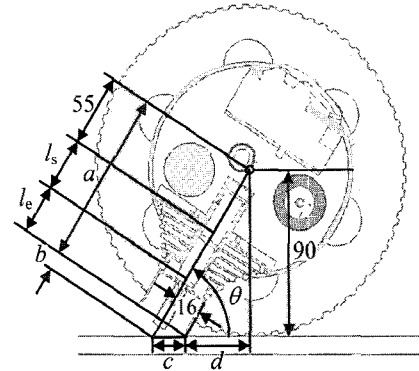


그림 14. 도약력 도약각 해석.
Fig. 14. Jump force and angle analysis.

곳에 장착되어 있다. 바퀴의 반지름은 90mm이며, 가변길이 엔드팁의 반지름은 16mm이다. 압축된 원추형 스프링의 길이를 l_s , 가변길이 엔드팁의 길이를 l_e 라 할 때, 로봇의 도약각도 θ 는 다음과 같이 계산할 수 있다. 우선 도약 메커니즘의 전체 길이를 a 는

$$a = 55 + l_s + l_e \tag{4}$$

이며, 엔드팁과 지면과의 접점으로부터 바퀴와 지면과의 접점까지의 거리 d 는

$$d = \sqrt{a^2 - 7844} \tag{5}$$

이 된다. 이 때, 삼각형의 닳음을 이용하면 b 와 c 의 길이를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$b = \frac{8}{45}(\sqrt{a^2 - 7844} + c) \tag{6}$$

$$c = \frac{8}{45}(a + b) \tag{7}$$

(7)에서 구한 c 를 (6)에 대입하면

$$b = \frac{8}{1961}(45\sqrt{a^2 - 7844} + 8a) \tag{8}$$

와 같은 식을 구할 수 있다. 따라서 도약각 θ 는 다음과 같다.

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{90}{a+b}\right) \tag{9}$$

V. 도약 실험

1. 도약력-도약각 조절 실험

도약력과 도약각을 독립적으로 조절할 수 있는 원추형 스프링 기반 도약로봇의 도약 성능을 검증하기 위하여, 도약력과 도약각을 독립적으로 제어하는 두 가지 실험을 수행하였다. 우선, 도약력 조절은 도약각을 50°로 일정하게 유지한 상태에서 (스프링의 길이+엔드팁 길이=50mm) 스프링의 압축량을 각각 다르게 조절하여 실험을 수행하였다. 그림 15(a)와 같이 스프링을 많이 압축한 경우 (스프링: 15mm, 엔드팁 길이: 35mm)에는 수직방향으로 약 25 cm 도약하였으며, 수평방향으로 약 60cm 이동하였다. 반면에, 그림 15(b)와 같이 스프링을 조금 압축한 경우(스프링: 20mm, 엔드팁 길이: 30mm)에

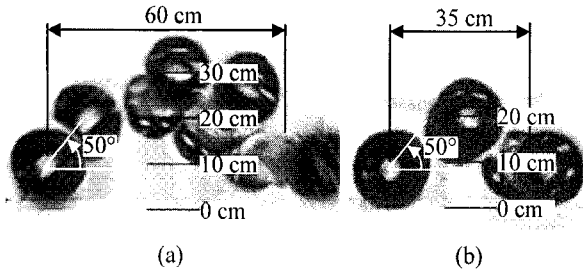


그림 15. 도약력 조절 실험.
Fig. 15. Jumping test for different jump forces.

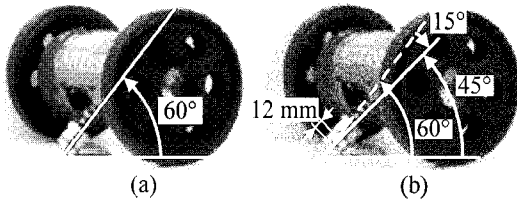


그림 16. 도약각의 조절.
Fig. 16. Adjustment of jump angle.

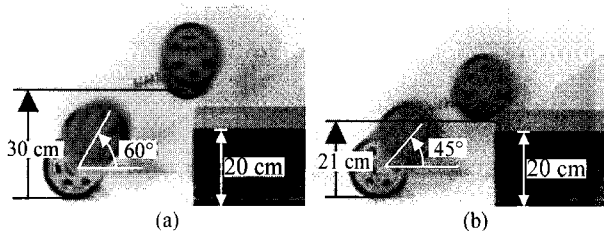


그림 17. 도약각 조절 실험.
Fig. 17. Jumping test for different jump angle.

는 지면으로부터 수직방향으로 약 10cm 도약하였으며, 수평 방향으로 약 35cm 이동하였다. 실험 결과를 통해 가변길이 엔드팁을 활용할 경우, 도약각을 일정하게 유지한 상태에서 도약 높이와 거리를 다르게 조절할 수 있음을 확인할 수 있다.

다음으로는 도약각 조절 실험에 앞서 스프링을 압축한 상태에서 엔드팁의 길이를 조절함에 따라 도약각이 어떻게 변화하는지 살펴보았다. 그림 16과 같이 초기상태 (=150mm)의 스프링을 135mm 압축하여, 압축된 스프링의 길이를 15mm로 조절하였다. 이 때, 그림 16(a)와 같이 엔드팁의 길이가 최소일 때의 도약각은 약 60°이며, 그림 16(b)와 같이 엔드팁의 길이가 최대일 때의 도약각은 약 45°가 된다.

도약력은 일정하게 유지한 상태에서 도약각을 조절할 경우, 로봇의 도약이 어떻게 변하는지를 실험을 통하여 검증하였다. 그림 17(a)에서 볼 수 있듯이 60°로 도약한 경우에는 로봇은 수직 방향으로 약 30cm 도약하였고, 수평방향으로는 약 68cm 이동하였다. 반면에, 그림 17(b)와 같이 45°로 도약한 경우에 로봇은 수직 방향으로 약 21cm 도약하였고, 수평방향으로는 약 76cm 이동하였다. 즉, 도약각에 따라 도약 높이 및 거리가 달라졌음을 확인할 수 있다. 따라서 로봇은 도약각 조절을 통해 전방 장애물의 높이와 장애물과의 거리에 따라 안정적인 도약을 위해 적절하게 도약을 조절할 수 있다.

2. 계단 승월 실험

바퀴 기반의 이동로봇에 있어서 계단은 일상 생활에서 접

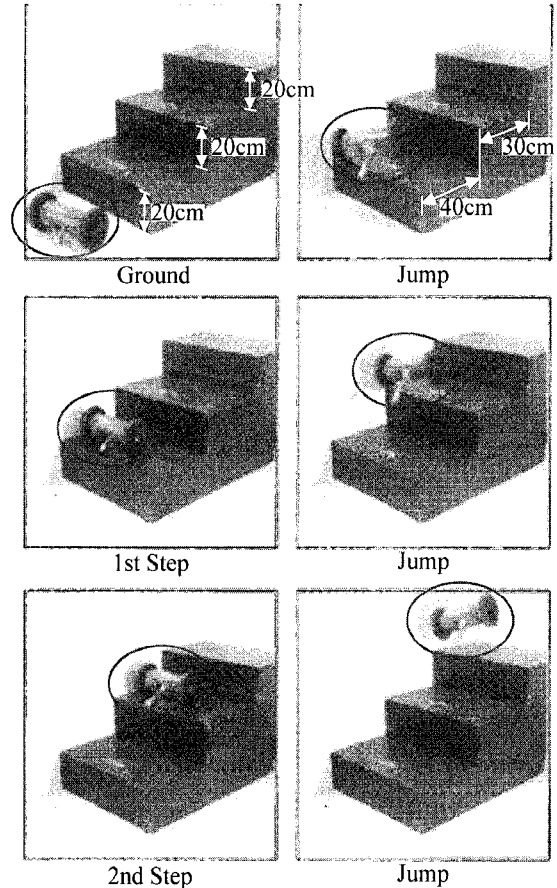


그림 18. 자율 계단 승월 실험.
Fig. 18. Jumping test of stair climbing.

할 수 있는 가장 대표적인 장애물 중 하나이다. 본 연구에서는 도약로봇의 장애물 극복 성능을 검증하기 위하여 그림 18과 같이 높이가 20cm인 계단을 오르는 실험을 수행하였다. 첫 번째 계단의 깊이는 40cm이며, 두 번째 계단은 30cm로 서로 다르게 설정하였다. 계단의 깊이가 작아지면, 도약 시 로봇이 다음 계단에 부딪혀 계단 아래로 굴러 떨어지는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 동일한 높이의 계단을 오르더라도 계단의 깊이에 따라 도약각을 적절히 조절해야 한다.

계단을 오르기 위하여 로봇은 전면에 장착되어 있는 PSD 센서를 이용하여 계단과 로봇 사이의 거리를 측정한다. 그리고 계단의 높이는 로봇이 알고 있다고 가정하였으며, 해당 계단의 깊이 정보를 로봇에 미리 제공하였다. 로봇은 계단 앞까지 이동한 뒤, 계단과 일정한 거리를 유지한 상태에서 스프링을 압축한다. 그리고 도약각을 적절히 조절한 후 첫 번째 계단을 뛰어 오른다. 계단을 뛰어오른 후에는 다음 계단을 향하는 방향으로 몸통의 자세를 잡고, 다음 도약을 위해 계단과의 거리를 적절하게 조절한다. 그리고는 다시 스프링을 압축하고 도약하면 두 번째 계단도 뛰어 오를 수 있다. 이후, 두 번째 계단은 첫 번째 계단보다 깊이가 작기 때문에 다음 도약을 위해서 도약각을 증가시키면 전방으로 향하는 도약력은 감소시키고, 연직 방향의 도약력은 증가시킬 수 있다. 따라서 로봇이 세 번째 계단에 부딪혀 굴러 떨어지는 것을 방지한다. 이와 같은 과정을 반복하면, 도약로봇은 계속해서 계단을 안정적으로 오를 수 있다.

VI. 결론

본 연구에서는 소형로봇의 이동성을 향상시키기 위하여 원추형 스프링을 이용한 도약로봇을 개발하였으며, 길이 조절이 가능한 엔드팁을 이용하여 안정적인 도약 기능을 제공하였다. 다양한 실험을 통하여 도약 메커니즘의 성능을 검증하였으며, 이로부터 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 가변길이 엔드팁은 엔드팁의 길이를 최대 12mm까지 조절할 수 있어 원추형 스프링 기반 도약로봇의 도약력과 도약각을 독립적으로 제어할 수 있다.

2) 너트-스크류 기반의 엔드팁은 기존의 원추형 스프링 기반의 도약로봇에 쉽게 적용이 가능하며, 안정적인 도약 기능을 제공하여 준다.

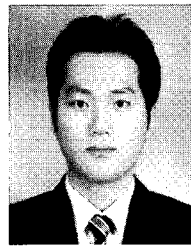
3) 가변길이 엔드팁과 계단까지의 거리측정 센서의 정보를 이용하여 제안된 도약로봇은 깊이가 불규칙적인 계단을 안정적으로 오를 수 있다.

따라서 본 연구에서 개발한 소형, 경량의 도약로봇은 평지 및 험지에서 신속하게 이동할 수 있으므로 경비로봇 또는 정찰로봇으로 활용하기에 적합하다.

참고문헌

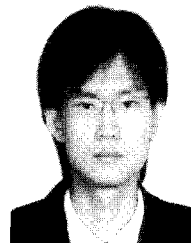
- [1] D. F. Hougen, S. Benaafar, and J. C. Bonney, et al., "A Miniature Robotic System for Reconnaissance and Surveillance," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 501-507, 2000.
- [2] J. M. Morrey, B. Lambrecht, A. D. Horchler, R. E. Ritzmann, and R. D. Quinn, "Highly mobile and robust small quadruped robots," *IEEE International Conference on Intelligent Robots and System*, pp. 82-87, 2003.
- [3] H. Tsukagoshi, M. Sasaki, A. Kitagawa, and T. Tanaka, "Jumping robot for rescue operation with excellent traverse ability," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 841-848, 2005.
- [4] 김병상, 이장운, 김현중, Vu Quy Hung, 송재복, "소형로봇을 위한 원추형 스프링 기반의 도약 메커니즘 개발," 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 2877-2882, 2008.
- [5] 김기석, 김병상, 송재복, "도약로봇을 위한 도약 각도-높이 조절 메커니즘 개발," 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 145-147, 2008.
- [6] B.-S. Kim, K.-S. Kim, D.-I. Min, and J.-B. Song, "Development

of jumping mechanism for a portable guard robot," *39nd International Symposium on Robotics*, pp. 162-166, 2008.



김기석

2008년 고려대학교 기계공학부 졸업. 2008년~현재 고려대학교 대학원 기계공학부 석사과정 재학중. 관심분야는 도약로봇, 소형 이동로봇.



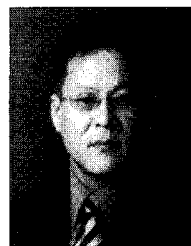
김병상

2004년 고려대학교 기계공학부 졸업. 2004년~현재 고려대학교 대학원 기계공학부 석박사통합과정 재학중. 관심분야는 이동로봇, 힘제어.



송재복

1960년 8월 5일생. 1983년 서울대학교 기계공학과(공학사). 1985년 서울대학교 기계설계학과(공학석사). 1992년 MIT 공과대학 기계공학과(공학박사). 1993년~현재 고려대학교 기계공학부 교수. 관심분야는 안전 머니플레이터, 이동로봇의 주행 및 햅틱스.



임충혁

1965년 10월 20일생. 1987년 서울대학교 제어계측공학과(공학사). 1989년, 1994년 서울대학교 제어계측공학과(공학석사, 박사). 1994년~1997년 삼성전자 책임연구원. 1997년~현재 서울산업대학교 부교수.