

# 공벌레의 보행패턴 분석을 통한 소형로봇의 주행 메커니즘 설계

## Design of the Locomotive Mechanism by Analysis on Behavior of Pill Bugs for a Small Robot

박 종 원, 김 흥 진, 김 영 국, 김 수 현\*  
(Jongwon Park<sup>1</sup>, Hong-Jin Kim<sup>1</sup>, Young Kook Kim<sup>1</sup>, and Soohyun Kim<sup>1</sup>)  
<sup>1</sup>Korea Advanced Institute of Science and Technology

**Abstract:** Reconnaissance robots can reduce the danger of hazardous places by providing information before human personnel take action. For the usage, robot platform should be small and light. However, this fact leads to a scaling issue with terrain that landscape poses a huge obstacle for the vehicle. The problem can be solved by the inspiration of nature. This paper presents design of the locomotive mechanism inspired by Pill bugs. The mechanism was designed by the principles of a pill bug's locomotion and experiments were conducted to validate the mechanism.

**Keywords:** reconnaissance robot, pill bug, locomotion, wheel-leg, biomimetics

### I. 서론

로봇 군비경쟁의 시대가 성큼 다가왔다. 공상과학소설 속에서나 상상했던 로봇들의 전투가 이라크와 아프가니스탄, 이스라엘·팔레스타인 분쟁 등 세계 곳곳에서 벌어지고 있다. 로봇의 임무도 정찰과 전투, 보급, 부상자 후송까지 점점 확대되고 있다. 미 경제 전문지 포브스는 최근 “로봇이 전쟁의 양상과 판도를 바꾸고 있다”면서 “현대전은 로봇전”이라고 보도했다.

가장 많은 전투 로봇을 보유하고 현장에 투입한 나라는 미국이다. 미군이 이라크 전을 시작한 2003년만 해도 리퍼와 프레테터 같은 무인 공격기가 전투 로봇의 주종이었으며 지상에 투입된 로봇은 손에 꼽을 정도였다. 하지만 지금은 지상 로봇이 1만2000대가 넘는다.

미 육·해·공군은 경쟁적으로 차세대 전투로봇 도입을 서두르고 있다. 2020년까지 전력의 30%를 로봇에 의존할 계획으로 알려진 미 육군은 2300억 달러를 투입해 2015년까지 미래전장시스템(FCS)을 도입할 계획이다. 다른 나라도 로봇 군비경쟁에 본격 뛰어들고 있다. 미국 외에도 전투 로봇을 개발하는 국가는 40여 개국에 달한다.

전 세계적인 로봇군비경쟁은 로봇이 사람을 대신하여 위험한 임무에 적극적으로 투입 가능하기 때문이다. 이러한 군사용 로봇의 활용을 기능적인 측면으로 분류하면 감시·

정찰, 위험물 탐지, 사격 및 폭파 등으로 나눌 수 있다.

이중에서 가장 위험하면서 인명 손실을 크게 줄일 수 있는 요소가 ‘정찰’이다. 특히, 지상 정찰임무는 수행도중 적에게 발각되지 않도록 은폐·엄폐 능력이 필요하고, 병사가 숨어지고 다니기에 충분할 만큼 작아야한다. 따라서 ‘소형화’가 우선적으로 고려되어야 한다.

로봇이 소형화 될 경우 직면하는 가장 큰 문제는 주위 환경의 극복이다. 로봇의 크기가 작아질수록 주위 환경은 상대적으로 커지기 때문에 이를 해결하기 위해서는 효과적인 험지 주행능력이 요구된다.

소형 로봇의 험지 주행성에 관한 대표적인 로봇으로는 Shrimp, Packbot, OmniTread, Censation 등이 있다.

Shrimp는 개개의 구동휠이 링크 구조로 맞물려 지형에 수동적으로 적응하면서 험지를 극복할 수 있다[1]. Packbot은 현재 가장 널리 사용되고 있는 정찰 로봇으로 flipper를 이용하여 자세를 제어 한다[2]. OmniTread는 뱀형로봇으로써 공압 실린더 조인트를 활용하여 계단과 같은 험지를 유연하게 극복할 수 있다[3]. KAIST에서 개발된 Censation은 지네의 민첩한 움직임에 착안하여 제작된 로봇이다[4]. 이상의 로봇들은 각기 독특한 방식을 적용하여 효과적으로 지형을 극복하지만 로봇의 길이나 구동기의 크기대비 높은 장애물을 극복하지 못하는 단점이 있다.

본 연구에서는 공벌레의 이동 특성에서 착안한 소형로봇의 주행 메커니즘을 제안한다. 공벌레는 다관절 절지동물로써 효과적으로 장애물을 극복한다. II 장에서는 공벌레의 이동특성에 대해서 살펴보고 이를 바탕으로 III 장에서 로봇의 구동부와 주요 설계변수를 결정할 것이다. 플랫폼에 관한 설명과 실험은 IV 장에서 다루질 것이며 마지막으로 V 장에서는 결론과 향후계획에 대해 논할 것이다.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2011. 11. 15., 수정: 2011. 12. 5., 채택확정: 2011. 12. 20.

박종원, 김수현: KAIST 기계공학과

(jpark21@kaist.ac.kr/soohyun@kaist.ac.kr)

김흥진, 김영국: KAIST 로봇공학학제전공

(zionwards@kaist.ac.kr/y2k1288@kaist.ac.kr)

※ 본 연구는 한국과학기술원 국방무인화기기술 특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소 연구비 지원으로 수행되었음.



그림 1. 몸을 펼쳐 이동할 때의 모습(A), 몸을 둥글게 만 모습(B).

Fig. 1. A pill bug(A), the bug forming into a ball shape(B).

II. 공벌레의 생물학적 특성

공벌레(*Armadillidium vulgare*)는 전 세계적으로 널리 서식하는 소형 절지동물이다. 여타 절지동물과 마찬가지로 공벌레의 몸은 여러 개의 체절로 이루어져 있지만, 위협에 처했을 때 내부 장기를 보호하기 위해 스스로 몸을 둥글게 말 수 있는 유연성이 있다. 이러한 유연성을 바탕으로 공벌레는 이동 중에 신체의 크기에 비해서 비교적 큰 장애물도 쉽게 극복할 수 있다. 따라서 공벌레의 이동특성은 소형 로봇의 험지 주행성능 개선을 위한 좋은 모방 대상이 될 수 있다. 본 장에서는 공벌레의 생물학적 특징에 대해서 살펴보고 이로부터 로봇의 개발에 사용될 수 있는 주요한 핵심 원리에 대해서 논하겠다.

1. 다리의 구조

공벌레는 총 7쌍의 다리를 가지고 있으며 각각의 다리는

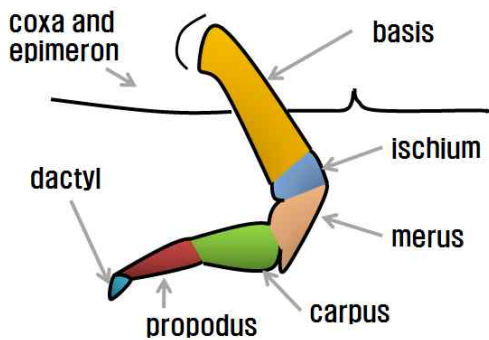


그림 2. 공벌레 다리의 구조 총 7개의 부위로 나뉜다. Basis는 앞·뒤 진동운동을, 나머지 부위는 유연한 발바닥 구조를 형성한다.

Fig. 2. A leg consists of 7 segments. Basis generates back and forth motion. The other parts roll as a flexible foot of the leg.

동일 한 구조를 지닌다. 각 다리의 구조는 그림 2와 같다. 몸에서 가장 가까운 곳에 있는 부위는 coxa인데, 몸과 단단히 결합되어 있어서 외부로 드러나지는 않는다. 따라서 coxa를 제외하고, 겉으로 구분 가능한 총 6개의 부위로 나뉘지는데, 가장 큰 부분이 coxa와 관절로 연결이 되어 있는 basis이다. Basis 다음에는 차례대로 ischium, merus, carpus, propodus, dactyl이 연결되어 있다[5].

공벌레 다리의 각 부위를 연결하는 7개의 조인트는 이론적으로 큰 자유도를 지니지만, 공벌레는 비교적 간단한 동작을 구사하면서 이동한다. 7개의 조인트 중에서, basis는 앞·뒤로 진동만 하고 나머지 ischium, merus, carpus, propodus, dactyl에 이르는 부분과 이를 연결하는 조인트는 유연한 발바닥의 역할을 하면서 회전운동을 한다. 이러한 단순한 움직임은 로봇의 구동부 설계에 활용 가능하다[6].

2. 다리의 상대적 움직임

그림 3은 아래에서 바라본 공벌레의 각 다리 배치이다. 총 7쌍의 다리를 가지고 있으며 각 다리는 개별적으로 움직이지 않고 보행 시 독특한 패턴을 유지 하면서 움직인다. 맨 뒷다리인 7번 다리가 가정 먼저 움직임을 만들어 내면 뒤 따라서 7 → 6 → 5 → 4 → 3 → 2 → 1 순으로 위상 지연을 일으키면서 움직인다. 이러한 리드미컬한 움직임은 7쌍의 다리를 개별적으로 움직일 때 보다 에너지의 소모가 적으며 몸의 pitch, roll 방향으로의 진동을 줄여준다.

또 다른 특징으로는 같은 쌍내의 좌·우 다리의 상대적 움직임이다. 각 쌍내에서 두 다리의 움직임은 서로 180°의 위상차를 가지고 서로 엇갈려 가면서 움직인다. 따라서 동시에 지면에 닿는 다리는 ‘L(1,3,5,7), R(2,4,6)’ → ‘L(2,4,6), R(1,3,5,7)’ 형태로 상호 전환되면서 지그재그 형상으로 보행한다. 이렇게 다리를 이동 할 때, 공벌레의 무게 중심은 항상 다리들 내부에 존재하게 되므로 안정적으로 균형을 잡을 수 있다[7].

3. 장애물 극복 행동

공벌레는 작고 짧음에도 불구하고 불규칙적인 지형을 능동적으로 잘 극복한다. 여기에는 단순하지만 효과적인 지형 극복 방법이 숨어있다. 여러 마디의 체절로 이루어진 이 벌레는 장애물을 효과적으로 극복하기위해서 더듬이로부터 얻은 정보를 바탕으로 머리를 지형의 변화에 맞춰 움직이

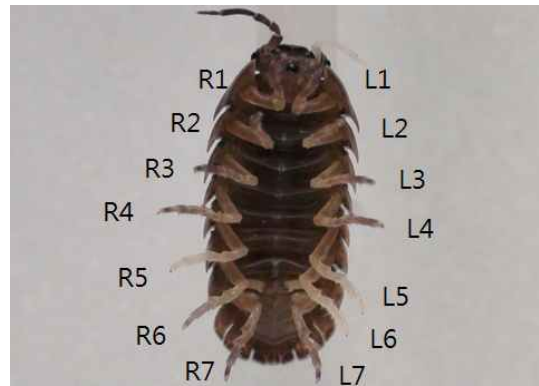


그림 3. 공벌레의 다리 배치.

Fig. 3. Leg arrangement of a pill bug.

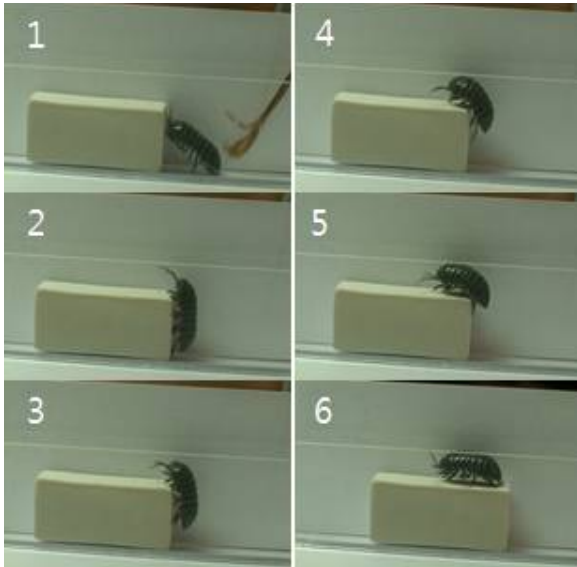


그림 4. 장애물을 만났을 때의 움직임.  
Fig. 4. The movement of a pill bug when facing an obstacle.

면서 험지를 이동한다. 한 쌍의 더듬이는 촉각을 이용하여 몸 앞에 장애물의 유무와 경사도를 파악한다. 만약 앞에 장애물이 있거나 경사도가 심하다면 더듬이로부터 얻은 정보를 바탕으로 머리를 위로 들어 지형의 변화에 맞게 적응시킨다. 반대로 진행경로에 장애물이 없거나 경사도가 낮아지게 되면 머리를 지면에 가깝게 낮춰 앞쪽에 위치한 다리가 지면에 닿을 수 있게 한다. 이러한 능동적인 머리의 움직임을 통해서 공벌레는 지형의 변화를 몸의 이동에 반영한다. 일단 머리가 지면을 지나가게 되면 뒤 따라오는 몸통의 각 체절들은 수동적으로 몸을 지형에 적응시키면서 불규칙한 지형을 효과적으로 극복한다[8].

그림 4는 공벌레가 오르막 장애물을 만났을 때를 가정한 실험 사진이다. 좁은 통로에 놓인 공벌레가 오르막을 만났을 경우 먼저 더듬이로 장애물을 감지한 후에, 몸을 최대한 펼쳐서 장애물을 오를 수 있는 자세로 바꾼다(그림 4-1). 동일한 자세로 계속 지형을 오르다(그림 4-2) 모서리 부위를 만나 더듬이가 더 이상 지형을 감지하지 못할 경우 몸을 구부려 지형을 찾아 머리를 지형에 맞춰 구부린다(그림 4-3-5). 장애물을 극복하고 나면 이러한 일련의 과정을 반복하면서 보행을 진행하게 된다(그림 4-6).

이러한 공벌레의 움직임은 간단하면서도 매우 효과적이므로 소형 로봇 시스템의 험지 주행 성능 향상에 적용하기에 적합하다.

### III. 구동부 설계

#### 1. 구동부 결정

지상 로봇의 이동수단으로는 다리(leg)를 쓰거나 바퀴(wheel)를 이용하는 두 가지 방법이 대표적이다. 다리는 험지를 비롯한 불 균일 지형에 잘 적응할 수 있고 장애물 극복능력도 탁월하여 다양한 상황에서 적용가능하다. 하지만 많은 기계 부속 장치로 인한 효율 저하의 문제, 불필요한 진동의 발생 그리고 제어의 어려움이 따른다.

표 1. Decision matrix.

Table 1. Decision matrix.

| Criterion                 | weight | wheel | leg | wheel-leg |
|---------------------------|--------|-------|-----|-----------|
| Obstacle                  | 5      | 2     | 5   | 4         |
| Range of possible terrain | 5      | 1     | 5   | 4         |
| Range of movement         | 4      | 1     | 5   | 3         |
| Energy-efficiency         | 1      | 5     | 1   | 3         |
| Speed                     | 3      | 5     | 1   | 4         |
| Vibration                 | 2      | 5     | 1   | 3         |
| Complexity                | 3      | 5     | 1   | 5         |
| Total Rating              | None   | 64    | 79  | 91        |

바퀴구동은 가장 많이 쓰이는 형태로써 에너지 효율이 좋고 고속 주행이 가능하며 진동이 작고 구조가 간단하다는 장점을 지닌다. 하지만 바퀴의 크기에 비해 장애물 극복성이 저조하고 구동 가능한 지형도 제한적이다[9].

Wheel-leg(바퀴형 다리)는 바퀴와 다리구동의 중간적 특성을 갖는다[10]. Wheel-leg는 구조가 간단하며 효율이 좋다. 뿐만 아니라 제어가 용이하며 장애물 극복성도 좋다.

소형 정찰로봇의 구동에 가장 적합한 방식을 찾기 위해 바퀴, 다리, wheel-leg에 대한 Decision Matrix를 작성하였다(표 1).

각 항목에 대한 중요도(weight)를 부여하고, Decision Matrix를 작성하여 분석해본 결과, 험지 주행이 가능한 소형 로봇의 요구조건에 가장 부합하는 이동 형태는 wheel-leg임을 확인 하였다.

#### 2. Wheel-leg의 바퀴살 개수

Wheel-leg 구성함에 있어서 바퀴살의 수는 wheel-leg의 특성을 결부 짓는 중요한 요소이다. Wheel-leg에 있는 바퀴살의 수가 많아질수록 원에 가까워지면서 부드러운 주행이 가능하지만, 험지 극복력이 나빠지게 된다. 이와 반대로 바퀴살의 수가 줄어들게 되면 장애물 극복에는 용이하지만, 주행 시 진동이 증가하고 효율이 나빠지게 된다.

그림 5는 wheel-leg구동에서 로봇 바닥과 지면의 거리(ground clearance)의 상관관계를 나타낸다. 이때 바퀴살은 다리의 역할을 하게 되는데, 로봇의 원활한 주행을 위해서 ground clearance는 반드시 0보다 커야 바닥이 지면에 닿아서 구동이 불가능한 상태(high centering)를 피할 수 있게 된다.

그림 5에서 다리가 일정한 각속도로 회전할 때, 바퀴살

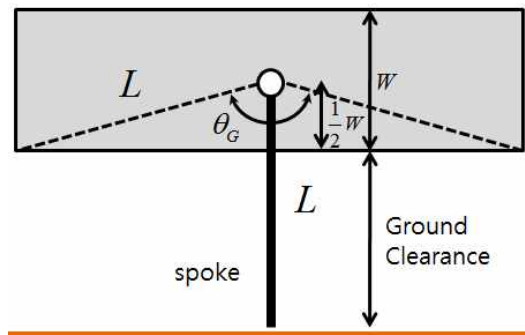


그림 5. Ground clearance와 바퀴살 수의 관계.  
Fig. 5. Relation between ground clearance and no. of spokes.

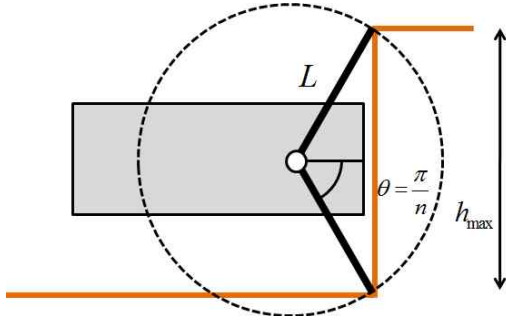


그림 6. 최대 극복 가능한 높이와 바퀴살 수의 관계.  
Fig. 6. Relation between max. obstacle height and no. of spokes.

이 1개일 경우, ground clearance가 0 보다 큰 각도를  $\theta_G$ 라고 정의 하면 식 (1)과 같다.

$$\theta_G = 2\cos^{-1}(W/2L) \quad (1)$$

$$0 < \theta_G < \pi \quad (2)$$

바퀴살이 1개일 경우,  $\theta_G$ 의 범위는 식 (2)와 같다. 즉 1 사이클 동안에,  $\frac{1}{2}$  사이클 이상은 바퀴가 허공에 떠 있기 때문에 ground clearance를 보장 할 수 없게 된다.

따라서 1 사이클 동안 항상 ground clearance를 보장하려면 바퀴살의 수가 늘어나야하고, 바퀴살의 수를 n으로 두면 다음의 식을 만족해야 한다.

$$n\theta_G \geq 2\pi \quad (3)$$

$$n \geq 3 \quad (4)$$

식 (4)는 1개의 wheel-leg가 1 사이클 동안 지속적으로 ground clearance를 보장하기 위해서 최소한 3개 이상의 바퀴살이 있어야 함을 의미한다.

한편, wheel-leg의 극복 가능한 최대 수직 장애물의 높이 역시 바퀴살의 수에 따라 결정된다. 최대 극복가능 장애물의 높이를  $h_{max}$ 로 두면 다음의 식을 만족하게 된다.

$$h_{max} = 2L\sin\left(\frac{\pi}{n}\right) \quad (5)$$

식 (5)에서 보여 지듯이, 바퀴살의 수가 늘어날수록 장애물 극복 성능은 떨어지게 된다. 보편적으로 바퀴가 넘을 수 있는 최대 높이는 바퀴의 반지름에 해당되는데, n=6일 경우, 바퀴살 간의 각도는 직각이 되고  $h_{max}$ 는 전체 wheel-leg 높이의 절반에 해당하게 된다. 이 값은 바퀴의 최대 수직 장애물 극복 높이와 동등한 것으로써, 바퀴살의 수가  $n > 6$ 일 경우 오히려 험지 극복 성능이 나빠지게 됨을 의미한다.

식 (4)와 식 (5)를 고려했을 때, 장애물 극복 성능과 주행시 ground clearance를 보장하기 위한 바퀴살 수는 3~5개가 가능 하지만 단순함을 고려하여 바퀴살의 수를 3개로 결정하였다.

3. Foot-Wheel-leg

II 장에 살펴본 바와 같이 공벌레의 다리에서 basis는 앞·

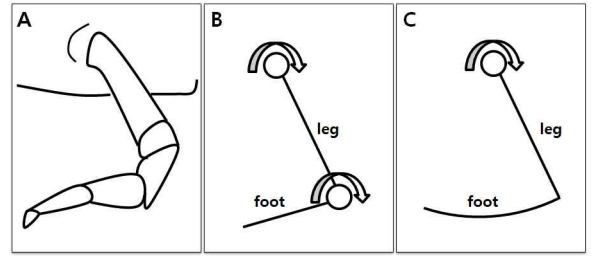


그림 7. Foot-wheel-leg로의 단순화.  
Fig. 7. Simplification of the leg: Foot-wheel-leg.

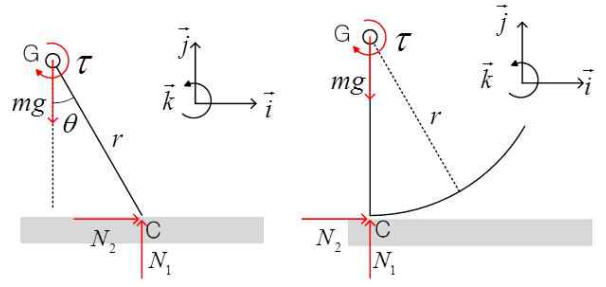


그림 8. Wheel-leg과 foot-wheel-leg의 Free body diagram (FBD).  
Fig. 8. FBDs of wheel-leg and foot-wheel-leg.

뒤로 진동만 하고 ischium에서 dactyl에 이르는 부분은 유연한 발바닥의 역할을 한다. 공벌레의 다리는 그림 7과 같은 과정을 통하여 foot-wheel-leg로 모델링 될 수 있다. 진동을 담당하는 basis는 wheel-leg의 spoke 부분으로, ischium에서 dactyl에 해당 하는 부분은 foot으로 모델링하였다.

디자인된 foot-wheel-leg는 wheel-leg에 발바닥 형상이 덧 붙여진 구조이며 다음과 같은 특징이 있다.

- 수직방향 진동이 작다.
- Pitch 진동이 작다.
- 에너지 효율이 좋다.
- 일정한 토크에서 일정한 각 가속도를 낸다.
- 수직 장애물을 더 잘 오른다.

FBD로부터 wheel-leg의 토크  $\tau_{wheel-leg}$ 에 대해서 정리 하면 다음과 같다.

$$\tau_{wheel-leg} = mgr(\mu + \sin\theta) - I_G\ddot{\theta} \quad (6)$$

식 (6)에서 확인할 수 있듯이 일정한 드라이빙 토크가 액추에이터로부터 전달될 경우 wheel-leg의 각가속도는  $\theta$  따라 변하는 것을 알 수 있다. 즉, wheel-leg는 드라이빙 토크와 각 가속도의 관계가 일정하지 않으므로 이로 인한 동력 손실과 진동이 수반된다.

한편, foot-wheel-leg의 토크  $\tau_{foot-wheel-leg}$ 는 다음과 같이 정리된다.

$$\tau_{foot-wheel-leg} = mgr\mu - I_G\ddot{\theta} \quad (7)$$

즉, foot-wheel-leg는 wheel-leg에 비해서 구동기로부터 토크가 전달될 경우 각가속도가 일정하게 유지 가능해 진다. 이상의 해석에서 foot-wheel-leg는 wheel-leg에 비하여 제어 및 구동에 효과적임을 확인 하였다.

IV. 플랫폼 제작 및 실험

제안된 메커니즘을 검증하기 위하여 로봇(Pillbot)을 제작하였다(그림 9). 구동 메커니즘은 foot-wheel-leg를 채택하였으며 각각 좌·우는 180°의 위상차가 존재하며 앞·뒤로는 60°의 위상차를 두고 설계되었다. 공벌레의 7개의 체절은 3개(head, middle, tail)모듈로 단순화 되었다.

Head 모듈은 한 쌍의 구동모터를 내장하고 있으며, 각 모듈의 움직임은 middle 모듈 내의 서보 모터로 제어 가능하다. 제어·통신 기기는 middle 모듈의 상단에 배치되어 있으며 tail 모듈 내의 배터리는 모터 및 제어·통신부에 전원을 공급한다. 각 모듈은 무선통신을 통하여 조정이 가능하다. 특히, tail 모듈은 Pillbot이 장애물을 극복할 경우 상대적으로 짧은 몸길이를 보완해 주며 바닥으로부터의 지지반력을 생성하여 장애물 극복에 도움을 준다.

Pillbot의 주요 특징은 표 2, 3과 같다.

Pillbot의 주행성능은 수직장애물 극복을 통하여 평가하였다(그림 10). 이상의 평가에서 Pillbot은 최대 80 mm의 수

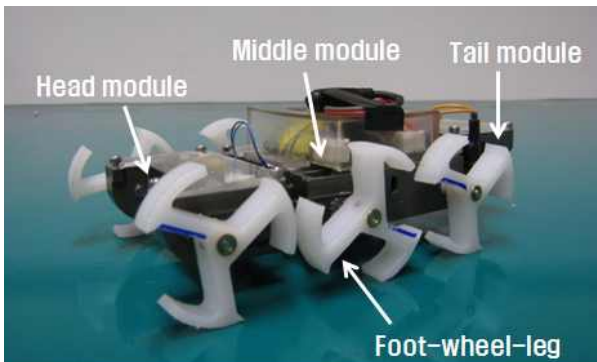


그림 9. Pillbot.  
Fig. 9. Pillbot.

표 2. 공벌레와 Pillbot의 비교.

Table 2. Comparison of a pill bug and the Pillbot.

|            | 공벌레                           | Pillbot     |
|------------|-------------------------------|-------------|
| 보행 형태      | 다리                            | wheel-leg   |
| 다리의 수      | 7쌍                            | 3쌍          |
| 좌우 다리 위상차  | 180°                          | 180°        |
| 앞·뒤 다리 위상차 | 7→6→5→4→3→2→1<br>순서로 위상 지연 발생 | 각각 60°의 위상차 |

표 3. Pillbot의 주요 제원.

Table 3. Specification of the Pillbot.

| 항목                | 제원                               |
|-------------------|----------------------------------|
| 폭                 | 102 mm                           |
| 길이                | 180 mm                           |
| foot-wheel-leg 지름 | 45 mm                            |
| foot-wheel-leg 폭  | 10 mm                            |
| 높이                | 52 mm                            |
| 질량                | 380 g                            |
| 속력                | 0.29 m/s or 1.6 body length/sec. |

직장애물을 극복하였다. 일반적으로 수직장애물 극복에는 구동부의 stroke(구동부와 연결된 말단 조인트로부터 지면과 닿는 가장 먼 지점까지의 거리)가 크고 로봇의 길이(length)가 길수록 유리하므로 식 (8)과 같이 성능지수(Performance Index)를 정의 할 수 있다.

$$PI = \frac{\text{vertical obstacle height}}{\text{stroke} \times \text{length}} \quad (8)$$

표 4는 주요 모바일 로봇과 Pillbot의 PI를 비교한 것이다. 이상에서 확인 할 수 있듯이 Pillbot의 험지구행방식은 여타 로봇에 비해 월등함을 확인 할 수 있다.

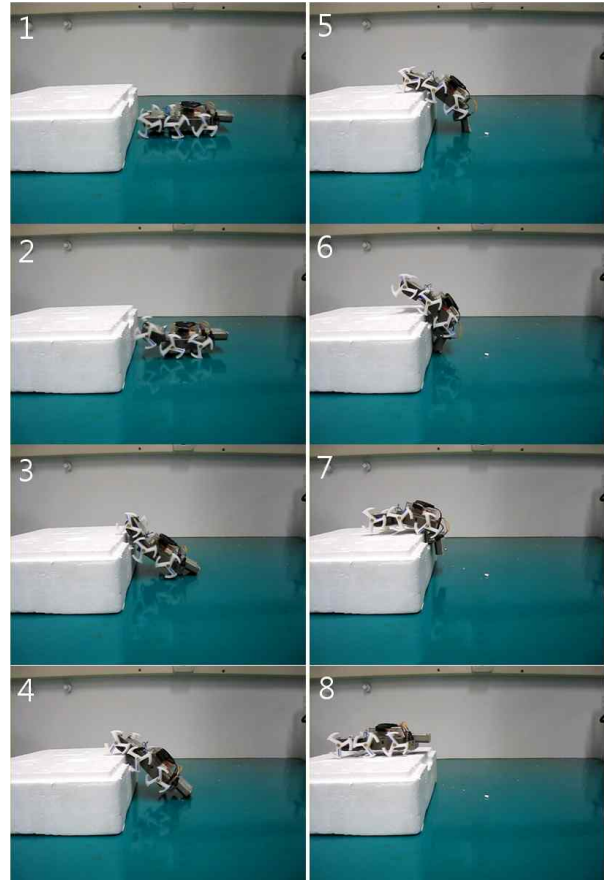


그림 10. 80 mm 수직장애물 극복.

Fig. 10. 80 mm vertical obstacle climbing.

표 4. Performance index 비교.

Table 4. Comparison of performance indexes.

| Robot       | height (max. stroke) (cm) | max. length (cm) | max. vertical obstacle (cm) | PI    |
|-------------|---------------------------|------------------|-----------------------------|-------|
| Shrimp      | 23                        | 60               | 22                          | 0.016 |
| PackBot     | 19                        | 88               | 33                          | 0.020 |
| OmniTread-4 | 8.2                       | 94               | 40                          | 0.052 |
| Censation   | 7.5                       | 77               | 45                          | 0.078 |
| Whegs II    | 10                        | 47               | 13.8                        | 0.029 |
| Rhex        | 16                        | 51               | 20                          | 0.025 |
| Pillbot     | 4.5                       | 18               | 8                           | 0.099 |

### V. 결론 및 향후계획

본 연구에서는 공벌레의 생물학적 특성을 적용한 소형정찰로봇의 주행 메커니즘을 제안하였다. 공벌레의 이동 특성을 관찰하였으며, 이를 바탕으로 험지 극복에 강하면서 안정적인 주행이 가능한 wheel-leg를 주행 메커니즘으로 선택하였다. 이동성과 ground clearance, 수직 장애물 극복성을 고려한 최적의 바퀴살수를 수식을 통하여 결정하였으며, foot을 추가하여 foot-wheel-leg를 구동방식으로 채택하였다.

제안된 메커니즘을 검증하기 위하여 로봇(Pillbot)을 제작하였고 수직장애물 극복 실험을 통하여 성능을 평가하였다.

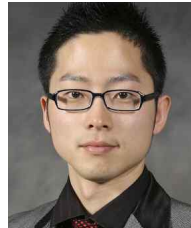
향후과제로, Pillbot의 거리 감지 센서와 제어기를 결합하여 자율주행을 계획하고 있다.

### 참고문헌

- [1] R. Siegwart, P. Lamon, T. Estier, M. Lauria, and R. Piguet, "Innovative design for wheeled locomotion in rough terrain," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 40, pp. 151-162, 2002.
- [2] B. Yamauchi, "PackBot: A versatile platform for military robotics," *iRobot Corporation*.
- [3] J. Borenstein, G. Granosik, and M. Hansen, "The omnitread serpentine robot - design and field performance," *Proc. of the SPIE Defense and Security Conference*, April, 2005.
- [4] Tae-II Jung, "Obstacle Negotiation for Articulated-tracked Mobile Robots," *Master's Thesis (in Korean)*, KAIST, 2009.
- [5] E. E. Ruppert, R. S. Fox, and R. D. Barnes, "Invertebrate Zoology."
- [6] J. W. Park, J. C. Kim, K.-S. Kim, and S. H. Kim, "Locomotion design of a small reconnaissance robot inspired by pill bugs," *The 7th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence*, pp. 614-615, 2010.
- [7] Jongwon Park, Jichul Kim, Kyung-soo Kim, Soo-hyun Kim, "Design of the Locomotive Mechanism Inspired by Biological Principles of Pill Bugs," *Proceeding of KIMST Annual Conference (in Korean)*, pp. 1748-1751, 2010.
- [8] J. W. Park, Y. K. Kim, W. S. Jung, K.-S. Kim, and S. H. Kim, "Ground following locomotion of a robot inspired by pill bugs," *International conference on robotics and biomimetics*, 2011.
- [9] P. Hulbert and Dr. Gorsich, "Mobility analysis of small,

lightweight robotic vehicles," *Brooke Hauelsen*, 6807-9990, April 2003.

- [10] T. J. Allen, R. D. Quinn, R. J. Bachmann, and R. E. Ritzmann, "Abstracted biological principles applied with reduced actuation improve mobility of legged vehicles," *Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2003.
- [11] E. Z. Moore, D. Campbell, F. Grimmering, and M. Buehler, "Reliable stair climbing in the simple hexapod 'RHex'," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, 2002.



**박 종 원**

2009년 성균관대학교 기계공학과 학사. 2011년 KAIST 기계공학과 석사. 2011년~현재 KAIST 기계공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 생체모방로봇.



**김 흥 진**

2007년 육군3사관학교 영어영문학과 졸업. 2010년~현재 한국과학기술대학원(KAIST) 로봇공학학제전공 석사과정. 관심분야는 로봇공학, 충격 분산.



**김 영 국**

2009년 금오공과대학교 기계공학부 학사. 2011년 한국과학기술원 로봇공학학제전공 석사. 2011년~현재 한국과학기술원 로봇학제전공 박사과정 재학중. 관심분야는 생체모방로봇, 무인차량제어.



**김 수 현**

1978년 서울대학교 기계공학과 학사. 1980년 한국과학기술원 기계공학과 석사. 1991년 Imperial College, University of London 공학박사. 1991년~현재 카이스트 기계항공시스템공학부 기계공학전공 교수. 관심분야는 생체모방로봇, 응용광학, 마이크로 액추에이터.