

# 야지 구동과 나무 등반을 위한 모듈형 로봇의 개발

## Modular Type Robot for Field Moving and Tree Climbing

이 민 구, 유 상 준, 박 종 원, 김 수 현\*  
 (Mingu Lee<sup>1</sup>, Sangjun Yoo<sup>2</sup>, Jongwon Park<sup>1</sup>, and Soohyun Kim<sup>1</sup>)

<sup>1</sup>Korea Advanced Institute of Science and Technology

<sup>2</sup>The 3rd armored brigade of Republic of Korea Army

**Abstract:** Based on recent advances in technology, many robots are developed and they are used in a hazardous environment such as military operation, fire, and building collapse and so on. Among them, reconnaissance robot should be able to perform various missions which people can not do. So it needs the capability of moving with hiding its position on rough terrain, overcoming obstacles, and guaranteeing its efficiency of reconnaissance. For this reason there are in progress of researching biomimetic robots. Therefore in this paper we proposed robot mechanism, two modules based on the screw and wheel mechanism which mimic snake, and the spiral climbing method was considered for overcoming the situation when moving on the trees.

**Keywords:** biomimetics, snake robot, screw, spiral climbing, reconnaissance, modular robot

### 1. 서론

#### 1. 연구 배경

최근 기술의 발전 및 로봇 산업의 성장으로 인해 다양한 형태 및 기능의 로봇들이 개발되어 왔다. 이러한 로봇들은 군사 작전, 화재 현장, 붕괴 현장 및 사람의 진입이 제한되는 다양한 임무에 활용되어 그 효과를 입증해 왔다. 그 중에서도 ‘정찰’은 미래 전투 체제에서 가장 핵심이 되는 요소로써, 대상 지점의 정보를 제공하여 아군 희생을 방지하는 효과가 있어 다양한 로봇이 실전에 투입되어 운용되고 있다. 이로 인해 지상 정찰 로봇의 이동 메커니즘부터 제어, 신소재 영역 등에 이르기까지 광범위한 연구가 진행되어 왔지만, 현재까지 실전에 투입되어 운용되는 로봇은 지상에서의 이동성과 장애물 극복에 중점을 두고 설계되었다. 따라서 은폐 및 엄폐가 가장 중요시 되는 정찰에 있어서는 적에게 쉽게 발각되고 공격받기 쉬운 구조를 가지게 되었다. 그러므로 지상 정찰 로봇이 갖추어야 할 다양한 요건 중 정찰시 은폐 및 엄폐 능력을 만족시키는 방법을 찾는 연구가 필요하다.

이와 함께 효과적인 로봇을 제작하기 위해 최적으로 환경에 적응해 온 생물체를 모방하는 하는 연구가 진행되었다. 이런 시도는 생물체를 모방하여 로봇의 성능을 향상시키려는 것으로써 정찰 로봇뿐만 아니라 다양한 분야에서 연구되어 왔다. 특히 등반에 관한 연구에서는 등반이 가능한 생물체 및 기술을 중심으로 연구가 활발히 진행되고 있는데, 이를 지상 정찰 로봇에 응용하면 임무 수행 중 등반

을 통한 은폐 및 엄폐 능력을 갖출 수 있을 것이다.

#### 2. 선행 연구

등반이 가능하며 야지 환경에서도 이동성을 갖는 대표적인 생물체는 뱀이다. 뱀은 기본적인 힘지 극복 능력을 갖고 있으며 동시에 유연한 몸을 이용하여 관로 및 수직 장애물의 등반이 가능하다. 따라서 다양한 특징들을 로봇에 적용

표 1. Omni Tread-4 제원.

Table 1. Omni Tread-4 specification.

	명칭	Omni Tread-4
	무게(kg)	4
	모방 특징	뱀의 형태
	로봇 특징	5개 모듈, 4면 트랙, 힘지 극복
	개발기관	Michigan Univ.

표 2. ACM-R5 제원.

Table 2. ACM-R5 specification.



	명칭	ACM-R5
	무게(kg)	7.5
	모방 특징	뱀의 형태, 움직임
	로봇 특징	9개 모듈, 영상 송수신 및 수직 양봉
	개발기관	Tokyo Tech

표 3. Modular snake robot 제원.

Table 3. Modular snake robot specification.

	명칭	Modular snake robot
	무게(kg)	2.3
	모방 특징	뱀의 형태, 움직임
	로봇 특징	16개 모듈, 영상 송수신 및 수직 등반
	개발기관	CMU

\* 책임저자(Corresponding Author)

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

이민구, 박종원, 김수현: KAIST 기계공학과

(mg10320@kaist.ac.kr/jpark21@kaist.ac.kr/soohyun@kaist.ac.kr)

유상준: KAIST 로봇공학학제전공(sjyoo@kaist.ac.kr)

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

하려는 연구가 진행되어 왔다. 대표적으로 Omni Tread-4와 ACM-R5, 그리고 modular snake robot [1]이 있다.

먼저 Omni Tread-4는 4면이 트랙으로 되어 있으며 유압으로 제어되고 험지에서의 주행성이 좋으며, 안정적이라는 장점을 갖는다. 하지만 3명의 사용자가 로봇의 동작을 보면서 구동하고, 장애물 극복 시간이 많이 걸린다는 단점이 있다[3]. ACM-R5는 평지는 물론 물속에서도 구동이 가능하지만 수직 원기둥의 등반이 불가능한 단점이 있다[4]. 마지막으로 modular snake robot은 순수 뱀의 형태를 모방한 로봇으로 등반이 가능하지만, 수직 및 수평 기둥을 등반할 때 전송되는 카메라의 영상이 불안정해 사용자가 불편함을 느낄 수 있다는 단점을 갖고 있다.

이런 로봇들은 야지 환경에서의 구동 및 등반을 목표로 뱀의 생물적 특징을 모방하여 로봇에 적용한 사례들로서, 정찰이라는 임무 수행 시에 기본적으로 갖추어야 할 로봇의 요소 기술들과 적에게 발각되지 않도록 은폐 및 은폐 능력을 갖는 것이 중요하다는 인식을 잘 보여주는 사례로 판단된다. 하지만 아직까지 실험적인 수준으로 실전에 운용되기에는 부족한 점이 많다.

3. 연구 목표 및 내용

등반이 가능한 지상 정찰 로봇은 인간 시야의 사각지대인 머리 위에 위치함으로써 은폐 및 은폐 효과를 기대할 수 있어 안정성이 보장되며, 지상에서보다 비교적 넓고 깨끗한 영상을 얻을 수 있는 장점을 지닌다. 따라서 본 연구는 야지 환경에서 구동이 가능하며 동시에 등반이 가능한 지상 정찰 로봇에 대해 연구한다.

I 장은 뱀을 모방한 등반 정찰 로봇으로 뱀의 구조 및 움직임을 분석하여 모방 특징을 선정하고, II 장에서 이동 메커니즘을 설계한다. III 장은 등반을 위한 모듈 설계로써 메커니즘을 역학적으로 해석하고, IV 장은 실제 로봇의 제작 및 이를 이용한 실험 결과에 대해 다루도록 한다.

II. 본론

1. 뱀을 모방한 등반 정찰 로봇

뱀은 형태학적으로 머리, 몸, 꼬리로 구성되지만 모래, 물 속, 나무, 땅 위 등 거의 모든 지형에서 이동 가능하다. 따라서 뱀을 모방한 로봇은 정찰 분야에서 많은 이점을 보유하기 때문에 세계적으로 다양한 연구가 진행되어 왔다. 특히 뱀의 이동에 대한 많은 연구가 진행되었고, 뱀의 이동 원리를 이용한 다양한 로봇들이 개발되고 있다. 따라서 먼저 뱀의 구조 및 움직임을 분석하여, 생체모방 특징을 선정하고 분석한 후 설계 개념을 선정하였다.

1.1 뱀의 구조 및 움직임 분석

우선 뱀의 비늘을 살펴보면 세모꼴의 타원 형태로서 표면을 일정한 형태로 감싸고 있다는 것을 알 수 있다. 이 비늘은 머리 쪽에 부착되어 있고 꼬리 쪽 비늘은 떨어져 있는 형태이다. 따라서 뱀의 이동시 비늘로 인해 앞으로는 쉽게 미끄러지지만 뒤쪽으로는 강한 마찰력이 발생한다는 것을 알 수 있다. 동시에 뱀의 피부 근육 움직임만으로 비늘의 각도를 변화시켜 마찰력을 변화시킬 수도 있다. 이러한 구조로 인해 뱀은 옆으로 움직이거나 앞으로 움직이기는 쉽



그림 1. 뱀의 비늘 구조.

Fig. 1. Snake scale structure.

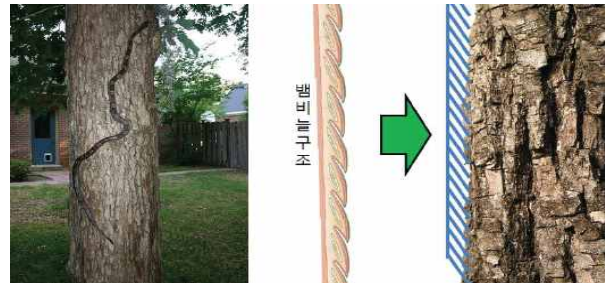


그림 2. 등반시의 뱀 비늘 이점.

Fig. 2. Benefit of snake scale on climbing.



그림 3. 뱀의 수직 등반.

Fig. 3. Vertical climbing of snake.

지만, 뒤로 움직이는 것은 어렵다는 것을 확인할 수 있다.

뱀의 이동 방법은 서식 환경과 환경 조건에 따라 다르다. 이러한 뱀의 운동 방법은 다음과 같이 크게 4가지로 구분되는데 직선형(rectilinear), 콘서티나(concertina), 사행(serpentine), 그리고 사이드 와인딩(sidewinding) 운동이 그것이다[2]. 각각의 특징 및 장단점이 존재하기 때문에 뱀은 환경에 따라 다른 이동 방식을 선택하게 된다.

이러한 뱀의 움직임 중 특징적인 점은 나무를 등반할 때 나무의 지름이나 나무의 표면상태, 습도 등을 고려하여 각기 다른 방법으로 나무를 등반한다는 것이다. 뱀은 앞서 살펴보았던 비늘 구조로 인해 나무나 바위 등을 등반할 때 다른 생물과는 다른 이점을 갖게 된다. 중력 반대 방향으로 마찰력을 작게 하여 작은 힘으로도 등반이 가능하게 하고, 중력 방향으로 마찰력이 크게 작용하여 몸을 지지할 수 있는 것이다.

하지만 뱀의 비늘에 의한 마찰력 차이로 등반하는 방법은 수직이 아닌 예각 경사일 경우에 해당되며, 등반 대상의 표면이 뱀의 비늘보다 거칠지 않다면 등반이 불가능한 방법이다. 이때 뱀은 몸체를 이용하여 등반하는 대상을 나선형으로 돌면서 등반한다. 뱀이 수직 대상을 감싸는 힘만큼 나무로부터 수직항력을 얻을 수 있고, 이 수직항력에 비례

하여 마찰력이 생성되기 때문에 구조적 안정을 취할 수 있기 때문이다. 따라서 뱀은 수직 구조물의 경우에도 안정적으로 등반할 수 있는 능력이 있다.

1.2 모방 특징과 개념 설계

앞서 뱀은 여러 가지 방법으로 다양한 지형에서 이동할 수 있으며, 뱀의 움직임 및 등반 능력은 뱀의 비늘과 운동 방법의 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 즉, 비늘을 이용하여 필요한 마찰력을 생성하고 이를 이용하여 몸 전체를 이동시킨다. 따라서 뱀의 비늘과 움직임을 기계적, 구조적으로 모방 및 구현하면 목표로 하는 나무 등반이 가능한 지상 정찰 로봇 제작이 가능하다.

먼저, 뱀의 비늘을 모방하여 야지 구동 및 나무 등반에 효과적인 이동 메커니즘을 설계하기 위해 바퀴와 스크류 이동 방식을 고려하였다. 바퀴는 이동 효율면에서 스크류 이동 방식에 비해 빠르고, 스크류 이동 메커니즘은 이동 효율은 떨어지지만 스크류 내부에서 생성되는 추진력을 이용하여 움직이므로 야지에서 바퀴형태가 극복하지 못하는 지형은 물론 유체에서도 이동성을 확보할 수 있다. 따라서 야지 환경에서 구동하기 위해 뱀의 비늘을 모방한 두 개의 스크류를 이용한 이동 메커니즘과 바퀴형 이동 메커니즘을 혼합하여 사용하였다.

또한 등반 시의 메커니즘은 수직 대상을 등반할 수 있도록 하기 위해 대상을 감싸 오르는 나선형 등반 방식을 제안한다. 이를 이용하면 로봇의 수직 등반은 물론 수직 방향에서 수평 방향으로의 움직임 전환도 가능하다.

마지막으로 유연한 뱀의 움직임을 구현하기 위해 다모듈형 몸체를 제안하며, 모듈의 자유도는 수평, 수직, 회전 3 자유도를 갖도록 능동형 조인트와 수동형 조인트로 구성하였다. 따라서 바퀴로 이루어진 모듈과 스크류 이동 메커니즘을 사용한 모듈이 능동형 및 수동형 조인트로 연결되어 그림 4와 같은 모습을 갖게 되며, 각 모듈은 3 자유도를 갖고 나선형 등반 방식으로 대상 구조물을 오를 수 있는 등반 정찰 로봇을 제안한다.

2. 이동 메커니즘

제안한 등반 정찰 로봇의 이동 메커니즘은 크게 스크류 이동 메커니즘과 바퀴형 이동 메커니즘으로 구성된다. 이때 스크류의 주목적은 바퀴 형태가 극복하지 못하는 험지 혹은 수중 이동을 위한 것이다.

2.1 스크류 이동 메커니즘

스크류는 일반적인 이동 메커니즘과는 달리 회전 방향과 이동 방향이 다르다. 따라서 모델링에서 스크류를 평면에 풀어서 해석할 필요가 있다. 어떤 리드각( $\lambda$ )을 갖는 한 줄

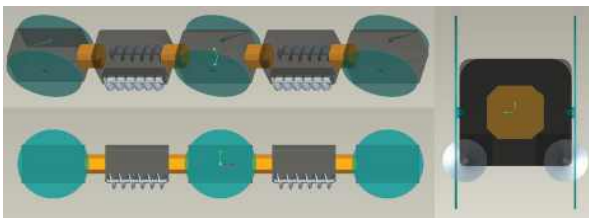


그림 4. 등반 정찰 로봇의 개념도.  
Fig. 4. Climbing reconnaissance robot concept.

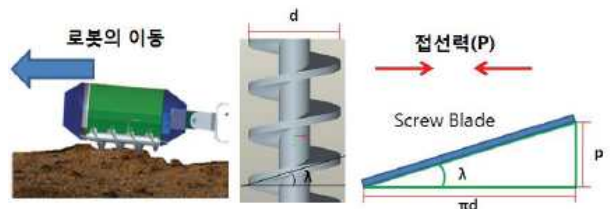


그림 5. 스크류와 경사면의 해석.  
Fig. 5. Analysis of screw and inclined plane.

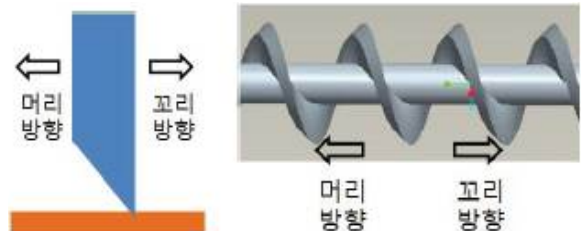


그림 6. 스크류 설계.  
Fig. 6. Screw design.

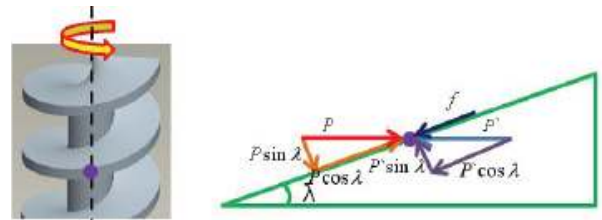


그림 7. 한줄 오른 스크류의 해석.  
Fig. 7. Analysis of right-hand screw.

스크류는 스크류의 피치를 세로 길이로, 바깥 지름( $d$ )의 원주 길이( $\pi d$ )를 가로 길이로 갖는 직각 삼각형으로 모델링된다. 이때 직각 삼각형의 빗변은 스크류 날을 의미하고, 스크류 날에서의 접선력( $P$ )은 직각삼각형의 가로축에 평행하게 작용한다. 따라서 회전축에 걸리는 토크가 지면에 맞는 지점에서 지면을 뒤로 미는 힘인 접선력( $P$ )으로 바뀌어 로봇을 이동시킨다.

그림 7과 같은 한줄 오른 스크류가 지면에 위치하여 시계 반대 방향으로 회전한다고 했을 때, 자주색 원으로 표시된 지점이 지면과 닿는 부분이라 하면 회전 토크에 의해 접점에서 접선력( $P$ )가 작용하게 된다. 또한 지면에서는 크기는 같고 방향이 반대인 반발력( $P'$ )이 작용하게 된다. 여기서 반발력( $P'$ )을 수직방향성분과 수평방향성분으로 나누어 생각하면 스크류 날에 작용하는 마찰력( $f$ )을 구할 수 있다.

$$f = \mu \times P' \sin \lambda \tag{1}$$

따라서 스크류 날에 평행한 힘이 스크류 날의 마찰력( $f$ )보다 커야 정지 상태에서 운동을 할 수 있다. 이 때 정지마찰계수를  $\mu_s$ 라 하면 식 (2)가 성립한다.

$$P \cos \lambda \geq \mu_s P' \sin \lambda \tag{2}$$

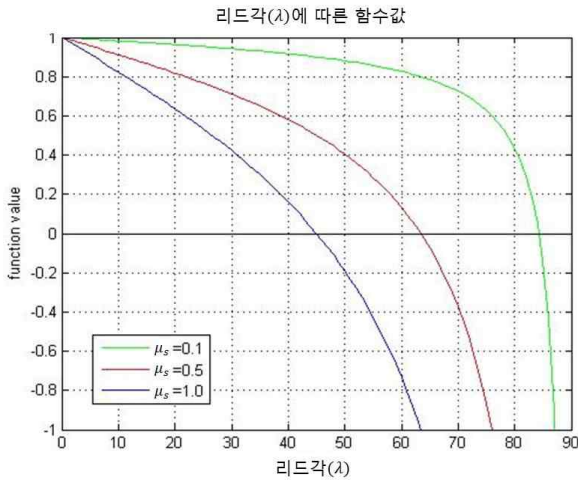


그림 8. 리드각(λ)에 따른 함수값.

Fig. 8. Function values by λ.

또한 접선력( $P$ )과 반발력( $P'$ )은 크기가 같으므로 다음 식 (3)이 성립한다.

$$1 - \mu_s \tan \lambda \geq 0 \quad (3)$$

따라서 식 (3)을 만족하는 경우에만 스크류의 움직임이 가능하다. 그림 8은 리드각( $\lambda$ )에 따른 식 (3)의 값으로 이를 만족하는 최대 스크류의 리드각( $\lambda$ )은 45°라는 것을 알 수 있다.

스크류 날의 끝부분은 뱀의 비늘을 생체 모방하여 삼각형으로 설계하였고, 실제 스크류가 이동 대상에 작용하는 힘을 최대화하기 위하여 한줄 스크류로 설계하였다. 이때 스크류 날의 끝 부분을 예리하게 삼각형으로 설계하면 지면과 접촉할 때 면적을 최소화할 수 있으므로 가하는 힘을 가장 효과적으로 이동 대상에 전달할 수 있게 된다. 또한 꼬리방향으로 이동된 대상에 대해서는 마찰력이 크기 때문에 로봇의 이동방향으로 큰 추진력을 얻을 수 있게 된다.

오른 스크류 회전시, 스크류 날에 수평방향의 힘 ( $P_1$ )과 수직방향의 힘( $P_2$ )은 식 (4), (5)와 같이 표현된다.

$$P_1 = P \cos \lambda - f = P(\cos \lambda - \mu \sin \lambda) \quad (4)$$

$$P_2 = P \sin \lambda \quad (5)$$

이 때, 앞에서 결정된 리드각( $\lambda$ ) 범위에서  $P_1$ 과  $P_2$ 를 더한 벡터는 오른쪽 아래를 향하는 사선을 그리게 된다. 따라서 그림 9와 같은 힘 성분을 갖는다. 그러므로 로봇의 이동방향 성분과 로봇의 이동 방향에 수평한 성분이 식 (6), (7)과 같이 존재하게 되고, 결국 하나의 한줄 오른 스크류만을 이용하는 경우에는 로봇이 목적하는 이동방향으로 움직일 수 없다는 것을 알 수 있다.

$$P_1 \sin \lambda - P_2 \cos \lambda \quad (6)$$

$$P_1 \cos \lambda + P_2 \sin \lambda \quad (7)$$

따라서 수평방향 성분을 상쇄시키기 위해서는 그림 10과 같이 오른 스크류와 왼 스크류를 동시에 사용해야 한다. 이 때 로봇이 갖는 수평방향성분은 서로 반대가 되어 상쇄되

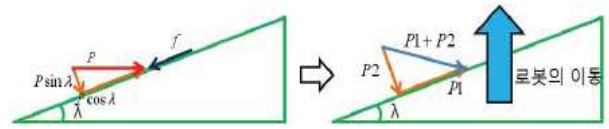


그림 9. 오른 스크류 회전시의 모델.

Fig. 9. Rotation model of right-hand screw.

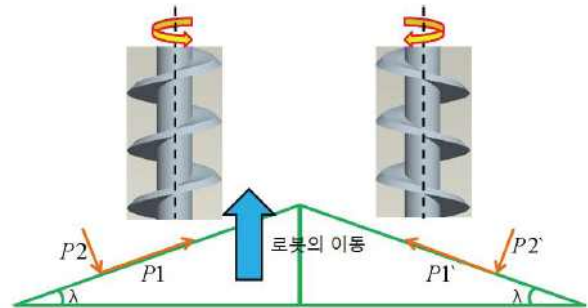


그림 10. 오른 스크류, 왼 스크류 동시 회전시의 모델.

Fig. 10. Rotation model of both right and left hand screw.

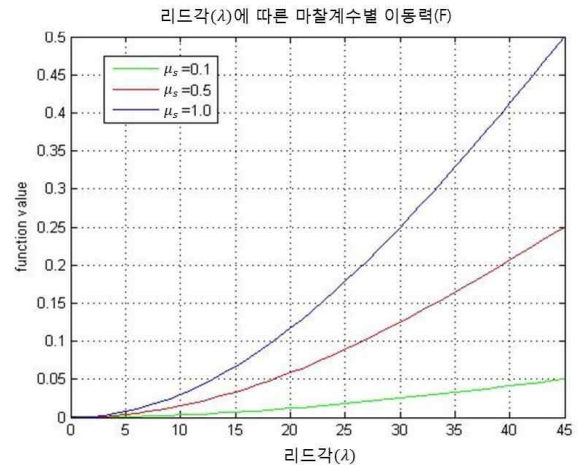


그림 11. 리드각(λ)에 따른 로봇의 이동력.

Fig. 11. Maneuverability by λ.

고, 로봇의 이동방향성분만 남게 되어 로봇이 목표로 하는 이동방향으로 이동하게 된다.

마찰계수를  $\mu_k$ 라고 할 때, 오른 스크류와 왼 스크류를 동시에 사용하게 되면( $P_1 = P_1', P_2 = P_2'$ ) 로봇의 이동방향 힘 성분과 발생하는 마찰로 인한 힘 성분이 상쇄되어 식 (9)와 같은 힘을 갖게 된다.

$$F = (2 \times P_1 \times \sin \lambda) - (2 \times P_2 \times \cos \lambda) \quad (8)$$

$$F = 2 \times P \times (\sin \lambda \times \cos \lambda) - 2 \times P \times (\cos \lambda - \mu_k \sin \lambda) \times \sin \lambda \quad (9)$$

이때 모터 토크와 관련된  $P$  성분을 제외하고 생각하면 식 (10)과 같이 로봇의 스크류 리드각( $\lambda$ )에 따른 이동력을 설정할 수 있다. 이는 스크류 리드각( $\lambda$ )에 따라 접선력을 주었을 때 얻을 수 있는 로봇이 땅을 미는 힘으로써 이를 이용하면 정지마찰계수별 로봇의 이동력( $F$ )을 측정할 수 있다.

$$F = \sin\lambda \times \cos\lambda - (\cos\lambda - \mu_k \sin\lambda) \times \sin\lambda \quad (10)$$

그림 11의 결과를 보면 리드각( $\lambda$ )이 증가할수록 로봇의 이동력( $F$ )이 커짐을 알 수 있고, 마찰계수가 커질수록 이동력( $F$ )이 증가함을 알 수 있다. 따라서 그림 11의 결과와 안전율(safety factor)을 고려하여 설계된 리드각( $\lambda$ )의 범위는 20~25°이다.

2.2 바퀴형 이동 메커니즘

바퀴는 일반적으로 미끄럼마찰을 굴림마찰로 변화시켜서 물체가 이동할 때의 저항을 감소시켜 비교적 적은 힘으로 물체를 이동시킬 수 있다는 장점을 갖고 있다. 하지만 본 연구에서는 뱀의 비늘을 형태적, 기능적으로 모방하여 야지 환경 주행에 적합한 바퀴형상을 설계하도록 한다.

뱀의 비늘은 이동 방향의 반대 방향으로 큰 마찰력을 생성하여 이동하지 못하게 하는 역할을 한다. 따라서 이를 모방하여 그림 12와 같은 바퀴 구조를 설계하고 이를 동역학 해석 프로그램인 리카다인(Recurdyn)을 사용하여 둔탁 극복 시뮬레이션을 통해 비교하였다.

둔탁 높이를 5cm로 하여 시뮬레이션한 결과, 뱀의 비늘을 모방한 바퀴 형태가 둔탁 극복 안정성 및 성능이 뛰어난 것을 알 수 있었다. 또한, 바퀴의 끝 부분이 바퀴간의 간섭을 유발하지 않도록 모듈 사이의 거리를 선정하는 것이 중요함을 시뮬레이션을 통해 알 수 있었다.

따라서 바퀴의 크기가 모듈보다 크면서 서로 간섭을 받

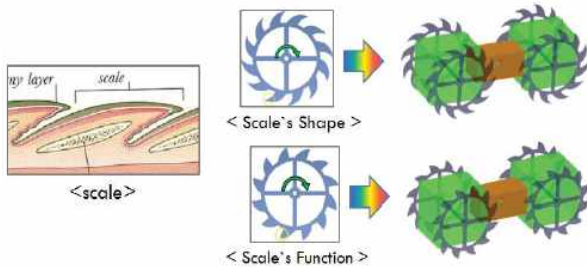


그림 12. 등반 정찰 로봇의 설계 개념도.  
Fig. 12. Climbing reconnaissance robot design concept.

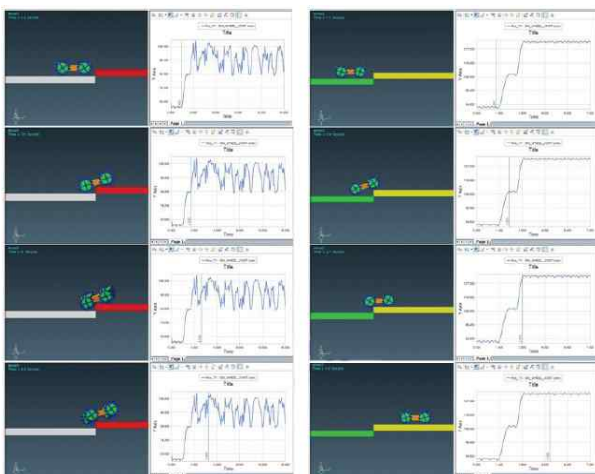


그림 13. 제안된 바퀴의 장애물 극복 시뮬레이션.  
Fig. 13. Obstacle overcoming simulation of suggested wheel.

생시킴이 없는 정도로 설계하고, 뱀의 비늘을 모방한 바퀴를 설계하여 적용하였다.

3. 등반을 위한 모듈 설계

여러 모듈로 구성된 로봇은 모듈의 개수와 특성에 따라 동역학적 특성 및 컨트롤 방법이 변화한다. 따라서 본 장에서는 로봇이 나무를 등반하기 위한 로봇 모듈의 요구 특성을 검출하고, 나선형 등반을 위한 방법에 대해 연구한다.

로봇 전체의 길이가 짧을 경우 로봇이 나무로부터 충분한 수직항력을 얻지 못해 나무로부터 떨어지거나 접지상태를 유지하지 못하는 문제가 발생할 수 있다.

따라서 로봇의 길이가 나무 둘레길이의 반 이상이 되어 충분한 수직항력을 받는 경우를 모델링하였다. 또한 실제 조인트에 사용될 모터는 서보 모터로 HITEC사의 'HS-7955TG'이다. 이 모터의 stall torque는 4.8V에서 사용할 때 18 kg·cm로써 중력 가속도( $g$ )를 10이라 하면 180 N·cm가 된다.

그러므로 Matlab을 이용하여 나무 둘레의 마찰계수( $\mu_k$ )를 0.3, 모듈의 길이( $l$ )를 20cm, 조인트 토크를 180 N·cm으로 하여 각 모델별 수직항력 합을 구해보면 그림 15와 같다. 선정된 모델은 모듈 간에 이루고 있는 모듈각( $\theta$ )에 따른

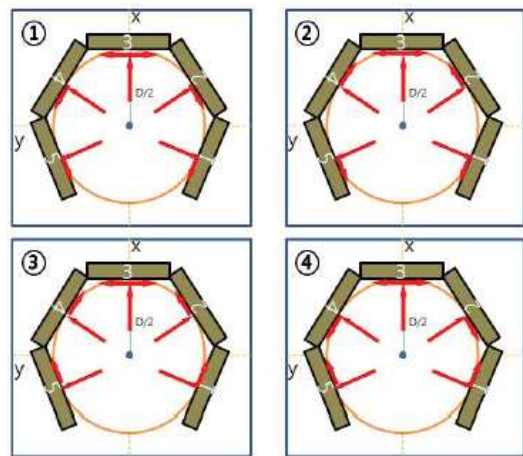


그림 14. 마찰력 방향에 따른 4가지 경우의 모델.  
Fig. 14. 4 types of model followed by different friction direction.

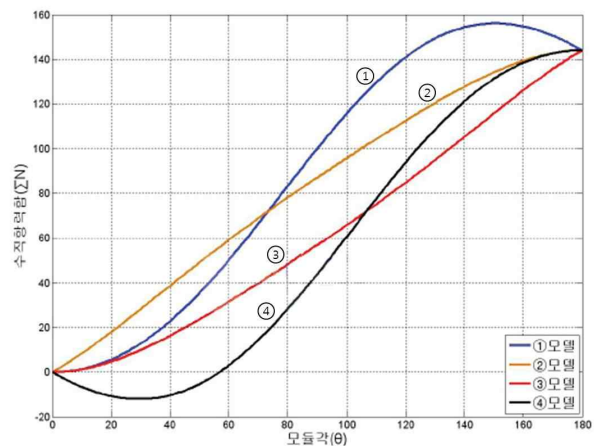


그림 15. 4가지 모델별 모듈각에 따른 수직항력의 합.  
Fig. 15. Total normal force according to 4 types of module angle.

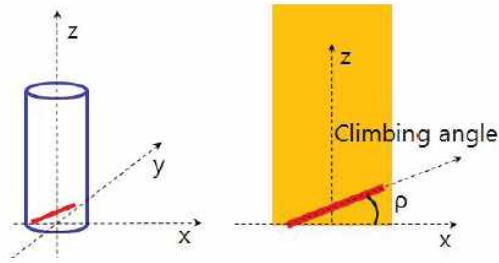


그림 16. 로봇 등반시 지면과 이루는 등반각.

Fig. 16. Climbing angle of robot and ground.

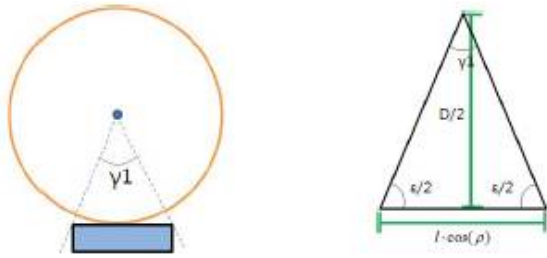


그림 17. 로봇 등반시 하나의 모듈에 대한 분포각.

Fig. 17. Robot climbing distribution angle of single module

수직항력의 합이 작으면서도 선형적으로 해석이 용이한 ③번 모델이다. 또한 로봇의 모듈 무게는 가벼울수록 유리하며, 모듈 길이는 짧을수록, 조인트의 토크는 클수록 등반에 유리하다.

앞서 선정된 ③번 모델에서 하나의 모듈이 차지하는 분포각을  $\gamma_1$ 이라 하고, 그림 16과 같이 로봇이 지면과 이루는 등반각을  $\rho$ 라 할 때, 그림 17을 보면 이등변 삼각형에 의해  $\gamma_1 = 180^\circ - \epsilon$  인 것을 알 수 있다. 따라서 다음의 식 (11)~(13)이 성립한다. 또한, 목표로 하는 분포각( $\gamma$ )을 만족시키는 모듈의 개수( $n$ )는 양 끝 모듈에서 모듈의 길이 절반이 제외되므로 식 (14)와 같은 관계를 갖는다. 그러므로 모듈의 길이( $l$ ), 목표로 하는 나무의 지름( $D$ )와 분포각 ( $\gamma_1$ )을 안다면 식 (15)에 의해 모듈의 개수를 결정할 수 있다.

$$\tan \frac{\epsilon}{2} = \frac{D/2}{(l \times \cos \rho)/2} = \frac{D}{l \times \cos \rho} \quad (11)$$

$$\epsilon = 2 \times \tan^{-1} \left( \frac{D}{l \times \cos \rho} \right) \quad (12)$$

$$\gamma_1 = 180 - 2 \times \tan^{-1} \left( \frac{D}{l \times \cos \rho} \right) \quad (13)$$

$$\gamma \leq (n - 1) \times \gamma_1 \quad (14)$$

$$n \geq \frac{\gamma}{180 - 2 \times \tan^{-1} \left( \frac{D}{l \times \cos \rho} \right)} + 1 \quad (15)$$

#### 4. 제작 및 실험

##### 4.1 S-Bot 제작

앞선 해석 및 설계 개념을 바탕으로 제안한 로봇은 그림 18과 같다. 그리고 실제 제작된 로봇은 바퀴 이동 메커니즘을 갖는 모듈과 스크류 이동 메커니즘을 갖는 모듈, 그리고

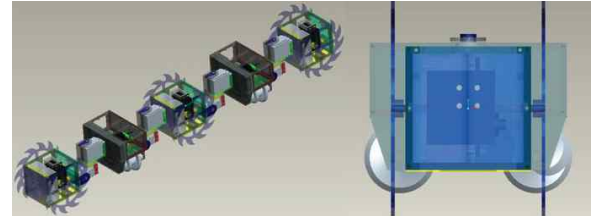


그림 18. 제안한 로봇의 설계도.

Fig. 18. Suggested robot design.

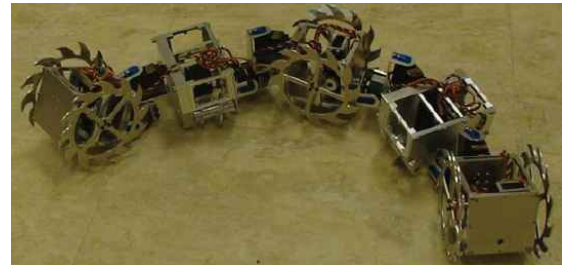


그림 19. 제작된 로봇(S-Bot).

Fig. 19. Produced S-Bot.

표 4. S-Bot 제원.

Table 4. S-Bot specification.

	길이(mm)	폭(mm)	높이(mm)	무게(g)
Joint	86.8	50	71.8	200
바퀴 모듈	120	86	120	220
스크류모듈	69	110	65	410
전체 로봇	750	200	65	2280

3자유도를 갖는 조인트로 구성된다. 또한 제작된 로봇(S-Bot)의 모습은 그림 19와 같으며, 제원은 표 4와 같다.

로봇의 제어는 무선 통신으로 이루어지며 FM 싱글방식의 72.910MHz 대역을 이용하여 통신한다. 메커니즘의 구현이 목적이므로 통신은 단방향 방식으로 HITEC사의 상용 송신기인 Optic-6 sports를 사용하였다. 수신기는 HS-05S로 4개의 채널을 지원하며 각각의 모듈에 달려 있으며 배터리와 연결되어 있다. 따라서 4개의 채널 신호를 받아 신호에 따른 전압과 전류를 서보 모터에 공급하게 된다. 또한 모든 모듈에 쓰이는 조인트 모터는 HITEC사의 서보 HS-7955TG로써 6V의 전압에서 구동시에 최대 24 kg·cm의 토크를 출력할 수 있는 모터이다. 그리고 모든 모듈에서 주행을 위해 사용된 모터는 HITEC사의 HS-7950TH로써 6V의 전압에서 구동할 경우 최대 29 kg·cm의 토크를 출력할 수 있다.

##### 4.2 실험 및 결과

제작된 로봇을 가지고 다양한 험지 극복 실험과 나선형 등반 실험을 수행하였다. 실험 환경은 야지에서 존재하는 환경으로 평준한 험지 및 등반 가능성 실험 세트로 구성되었다. 평준한 험지 지형은 작은 자갈, 큰 자갈, 높이와 크기가 다른 나무 환경으로 그림 20과 같은 구성을 가지고 있으며, 나선형 등반 실험은 그림 21과 같이 지름 15cm, 길이 120cm인 나무를 이용하여 수행하였다.

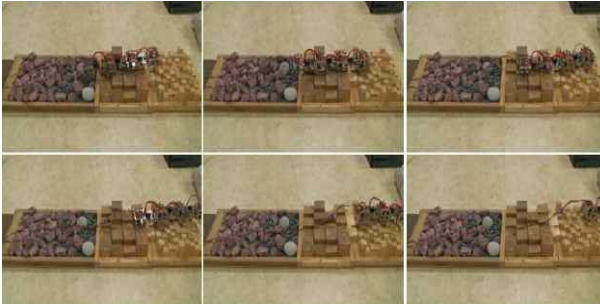


그림 20. 험지 극복 실험.

Fig. 20. Rough terrain overcoming experiment.



그림 21. 나선형 등반 실험.

Fig. 21. Spiral climbing experiment.

실험 결과 험지 극복 실험은 매우 잘 수행됨을 알 수 있었다. 하지만 나선형 등반 실험의 경우, 뱀 비늘 모방 바퀴가 나무의 표면을 변형시켜 예상값보다 큰 마찰력이 생성되었음을 알 수 있었다. 그러나 모듈의 개수가 7개인 경우 (분포각  $\gamma : 420^\circ$  이상)부터 나선형 등반이 나무 표면 변형에 관계없이 이루어짐을 확인할 수 있었다. 나선형 등반 실험에서 등반에 성공한 등반각( $\rho$ )은 최대  $30^\circ$ 로써, 등반각이 증가함에 따라 접지력이 떨어져 지면으로 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

### III. 결론

#### 1. 요약 및 결론

본 연구에서는 지상 정찰 로봇의 정찰 효율을 높이기 위한 생체모방형 정찰 로봇 메커니즘을 연구하였다. 뱀의 이동 원리는 비늘로 최대의 마찰력을 얻고, 이에 몸무게를 배분하여 원하는 곳에서 최대 수직항력을 얻는 것이라는 결론으로부터 상호 보완적인 바퀴와 스크류 이동 메커니즘을

제안하였다. 또한 뱀의 등반 원리 및 구조를 모방하여 나선형 등반 방법을 제안하였다.

이로부터 제작된 S-Bot은 다양한 환경을 극복하기 위해 모듈형 로봇 구조로 제작되었으며, 바퀴와 스크류를 이용하여 최대 이동성을 확보하도록 하였다. 따라서 야지 구동과 나무 등반이 가능한 정찰 로봇으로서 지속적으로 연구되고 발전된다면, 미래 전장 및 사회 안전 로봇으로 활용도가 높을 것으로 기대된다.

#### 2. 향후 과제

S-Bot에는 현재 많은 액추에이터가 포함되어 있으며, 한 모듈에 최대 3개의 액추에이터가 포함되어 있다. 따라서 이를 제어하는 방법에 따라서 로봇의 성능이 달라진다. 또한 자유도가 높지만 제어가 어렵다는 단점이 있으므로 이를 다양하게 제어할 수 있는 제어모듈과 무선으로 제어모듈과 통신할 수 있는 방식을 제안한다면 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다. 그리고 운용 시간을 증가시키기 위해 배터리를 추가할 경우 모듈당 무게가 증가하여 안정적인 나선형 등반이 어려운 문제가 있으므로, '로봇의 소형 경량화를 위해 무게중심을 고려한 액추에이터 및 모터의 최적 배치 및 설계'가 필요할 것이다.

또한 뱀의 비늘을 모방한 스크류 및 바퀴 구조는 대상 구조물에 손상을 주는 문제가 있었다. 따라서 스크류 및 바퀴의 재질 변화 또는 뱀 비늘을 모방한 다른 설계 방법에 대한 연구가 필요하다. 그리고 바퀴 형태와 스크류 형태의 상호 보완적인 두 가지의 이동 메커니즘을 '어떻게 배치하고 어떤 형상일 때 가장 큰 효과를 얻을 수 있는가'에 대한 연구가 동반된다면 실제 야지 환경에서 지상 정찰 로봇으로써 운용될 수 있을 것이다.

### IV. 참고문헌

- [1] C. Wright, A. Johnson, A. Peck, Z. McCord, A. Naaktgeboren, P. Gianfortoni, M. Gonzalez-Rivero, R. Hatton, and H. Choset, "Design of a modular snake robot," *Proc. of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, San Diego, CA, USA*, pp. 2609-2614, Oct. 29 2007-Nov. 2 2007.
- [2] B. C. Jayne, "Muscular mechanisms of snake locomotion : An electromyographic study of the sidewinding and concertina modes of crotalus cerastes, nerodia fasciata and elaphe obsoleta," *Journal of Experimental Biology*, vol. 140, pp. 1-33, Nov. 1988.
- [3] G. Gnosik, J. Borenstein, and M. G. Hansen, *Industrial robotics-Programming, Simulation and Applications*, 1st Ed., Mammendorf Pro-Literatur Verl, Germany, pp. 633-662, 2007.
- [4] S. Sugita, K. Ogami, G. Michele, S. Hirose, and K. Takita, "A study on the mechanism and locomotion strategy for new snake-like robot active cord mechanism-slime model 1 ACM-S1," *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol. 20, no. 2, pp. 302-310, 2008.

[5] J. H. Lee, S. J. Oh, and H. Choi, "Omni-tread type snake robot: mathematical modeling and implementation," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 14, no. 10, pp. 1022-1028, Oct. 2008.

[6] K. S. Seo, S. H. Hyun, and J. Y. Jang, "A comparative

study of evolutionary computation techniques for locomotion control of modular snake-like robots," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 15, no. 6, pp. 604-611, Jun. 2009.



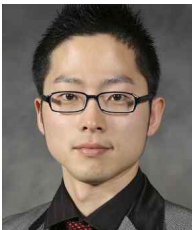
**이 민 구**

2010년 한국과학기술원 기계공학과 학사. 2011년~현재 한국과학기술원 기계공학전공 박사과정. 관심분야는 생체모방 기술 및 로봇 설계, 제어.



**유 상 준**

2005년 육군사관학교 졸업. 2010년 한국과학기술원 로봇공학학제전공 석사. 2010년~현재 제 3 기갑여단 근접정비 지원중대장. 관심분야는 생체모방로봇.



**박 종 원**

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



**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 액츄에이터.