http://dx.doi.org/10.7735/ksmte.2015.24.6.667

J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.
ISSN 2283-4846(Online) / ISSN 2233-6036(Print)

Special Issue : General Design for I-ACE

다양한 험지 정찰을 위한 6족 보행 로봇 개발

임승용[a], 김종형[b*], 김형직[b]

Development of a Hexapod Robot for Multi-terrain Reconnaissance

Seoung-Yong Lim[a], Jong-Hyeong Kim[b*], Hyeong-Gik Kim[b]

[a] *Grauduate School of NID Fusion Technology, Seoul National University of Science and Technology, 232, Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Korea*
[b] *Departement of Mechanical System and Design Engineering, Seoul National University of Science and Technology, 232, Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Korea*

ARTICLE INFO

Article history:
Received 9 September 2015
Revised 2 December 2015
Accepted 14 December 2015

Keywords:
Rough terrain
Intelligent robot
Communication
Rhex
Half circle leg

ABSTRACT

This paper describes the development of a prototype hexapod robot with six circular legs to overcome a variety of challenging terrains. The legs of the robot are very important for stability during walking, which are analyzed for determining the optimal design parameters through CAE tools. Its control system consists of three types of sensors, microprocessors, and communication modules for PC interface. The entire operation of the robot can be controlled and monitored using a PC. The experimental operations for three different roads verified the feasibility of the prototype robot for carrying out reconnaissance on multi terrain. In the near future, the prototype robot can be used for a military purpose of detecting and informing a potential risk in advance.

1. 서 론

최근 과거에 비해 로봇에 관련된 기술이 발전함에 따라, 인간의 어려움을 대체하고 편의를 제공하는 다양한 분야의 서비스형 로봇의 개발 및 연구가 대두되고 있다.

초기의 서비스형 로봇은 인간의 편의를 증진 시키는데 그 목적을 다한 반면, 최근 서비스형 로봇의 형태는 인간의 생명과 직접적으로 관련되어 그 역할을 하는 로봇에 대해 이목이 집중되고 있다. 즉, 분쟁 지역을 포함한 인간이 도달하기 어려운 각종 위험지역 또는 인간이 탐험하기 어려운 극한지역 등을 포함한 인명의 손실이 발생 가능한 분야에 대하여 로봇을 대체 투입하여 인명의 손실을 최소화 하고 획득하는 정보의 양을 최대화시키는 것이다.

위와 같은 목적을 바탕으로 한 다양한 험지 극복형 로봇의 개발 및 연구가 이루어지고 있으나 지형지물 및 환경에 따라 각 로봇이 가지는 움직임이 제한되어 있는 상황이 대다수이다. 이에 따라 제한된 움직임을 탈피하고 다양한 지형에 적용 가능한 로봇 개발에 초점이 맞춰지고 있는 상황이다. 그 방안 중 하나는 다양한 생물의 움직임을 모방하는 '생체 모방형' 개념을 도입하여 환경에 따른 움직임 능력을 확보하는 것이다.

'생체 모방형'이란, 자연의 설계 및 프로세스를 모방하는 것 이며, 원시시대 때부터 시작하여 동물의 발톱을 모방한 화살촉 등 매우 오래된 역사를 가지는 단어이다. 최근에 로봇 분야에 '생체 모방' 기술이 도입되면서, 기존의 로봇에 비해 더욱 안정적이며 뛰어난 형태 및 움직임을 가질 수 있게 되었다[1].

* Corresponding author. Tel.: +82-2-970-6357
Fax: +82-2-971-6357
E-mail address: johnkim@seoultech.ac.kr (Jong-Hyeong Kim).

특히, Rhex 로봇은 바퀴벌레의 'bounce'한 다리 메카니즘을 모방한 '생체 모방형' 로봇이다. 이 로봇은 단순한 움직임에도 불구하고 다양한 환경에 적응 가능한 큰 장점을 보유하고 있는데 이는 바퀴벌레의 다리 메카니즘을 묘사한 half circle형 다리를 가짐으로 인하여 나타난다[2,4].

Rhex 로봇의 큰 장점은 지형지물 및 환경에 제한되지 않는 움직임이다. 아래의 Fig. 1은 Rhex 로봇의 주행이 가능한 다양한 종류의 험지이다. 기존의 차륜형 로봇이나 다리형 로봇의 경우, 사막 또는 자갈 지형에서는 주행이 가능하나, 계단 또는 바위가 많은 산악지대에선 주행이 어렵다[5].

Rhex 로봇의 탁월한 주행 능력은 half circle형 다리이다. half circle형 다리는 다리형과 차륜형의 융합된 형태이며, 판스프링 구조로써 탄성 있는 움직임까지 보유하여 험지 환경의 주행에서 매우 큰 장점을 가지고 있다[6]. 그러나 다리의 탄성이 최적화 되어 있지 못하면, 험지 보행 시 로봇의 흔들림이 발생하여 불안정한 보행을 하게 되어 보행 속도가 느려지고 지속적인 충격으로 인해 다리의 사용 수명이 짧아지는 단점이 있다.

본 논문은 6족 Rhex 로봇의 공학적 문제를 재해석하여 최적화하고 실제 프로토타입을 만들어 정찰용 로봇으로서의 응용 가능성을 검증하고자 한다. 기구부에서는 기존의 개발되었던 탄성 있는 half circle형 다리 소재가 아닌 강인한 소재를 활용하여 다리를 설계하고 CAE해석을 통해 문제점을 분석하며 해석 결과를 바탕으로 한 half circle 다리에 대한 최적 설계를 수행하였다. 제어부에서는 정찰 기능 수행을 위한 센서 및 제어 시스템을 구축하고 실제 로봇을 제어하였다.

2. 6족 보행 로봇 기구부 설계

본 논문에서 구성하고자 하는 강인한 다리 구조를 갖는 Rhex로봇으로 기존의 Rhex 로봇보다 안정적인 움직임을 구현할 수 있는 로봇을 구성하려 한다.

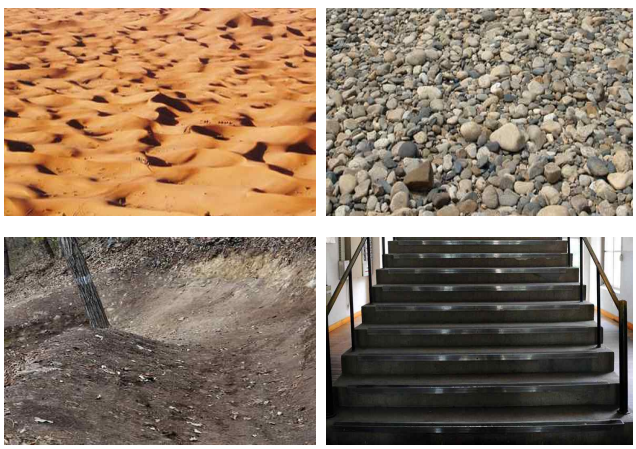


Fig. 1 Variety of rugged terrain

본 논문에서 구성하고자 하는 로봇은 강인한 다리 구조를 갖는 Rhex로봇으로 기존의 Rhex 로봇보다 안정적인 움직임을 구현할 수 있는 로봇을 구현하려 한다. 강인한 다리 구조의 경우 다리 형태의 변형이 적으며, 이동 시 흔들림이 감소한다는 장점이 존재하나 이동 시 발생되는 충격에 약하다는 단점이 존재한다. 때문에 충격으로 인해 발생될 수 있는 몸체와 다리의 체결부, 다리의 변형, 모터와 다리 체결부의 설계적 문제를 CAE를 통해 해석적으로 검토하여 로봇의 기구부의 최적 설계를 진행하였다.

2.1 Half Circle형태의 다리 구동부 설계

다족 로봇의 형태는 많은 로봇을 통해 제시되어 왔으나 속도의 효율성, 무게 및 각 메카니즘의 융합적 형태를 이루기에는 문제점이 존재한다. 따라서 이러한 문제점을 극복하기 위해 half circle형태의 다리 구조를 채택하여 속도 및 다양한 지형에서의 움직임이 가능한 구동부를 설계하였다.

실제 로봇 시제품제작과 관련하여 구동 지역, 속도, 무게, 구동 시간을 제한조건으로 설정하였다. 구동 지역의 경우 야지와 계단지역으로 제한하였으며 계단의 높이는 보행용 계단 높이인 180 mm를 기준으로 하였고, 구동속도 1.5 m/s, 질량 15 kg, 구동 시간 1 h로 설정하였다.

Fig. 2는 앞서 제시된 half circle 다리에 대한 3D 모델링이다. 계단 지역 극복을 위해 half circle 다리의 원호를 175 mm로 설정하였으며, 다리 크기 및 구동 속도를 고려하여 180 rpm을 갖는 모터를 선정하였다.

다리 구조에 사용되는 반원형의 호의 경우 로봇의 움직임에 따라 지면에 지지되는 부분에 대한 분석을 통해 결정된다. 로봇 구동에 있어 다리 형상의 가장 많은 접촉면을 사용하는 움직임은 초기 자세를 갖추는 움직임이며, 때문에 로봇이 움직임을 갖추기 위한 자세를 구성하기 위해 최소한의 호의 각도를 분석하였다.

Fig. 3은 지면에서 로봇의 초기 자세를 이루기 위해 나타나는 호의 접촉면을 나타낸 그림으로 붉은 원은 다리의 엑츄에이터, 푸른 원은 다리의 끝점을 나타내며, 엑츄에이터의 움직임에 따라 다리 호의 접촉면이 변하는 것을 확인할 수 있다. 초기 자세를 이루기

Fig. 2 3D modeling of half circle leg

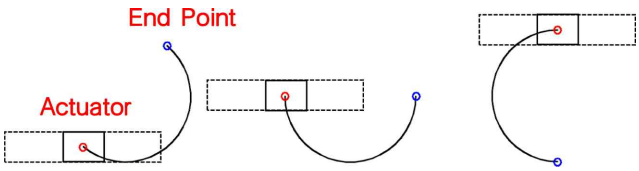
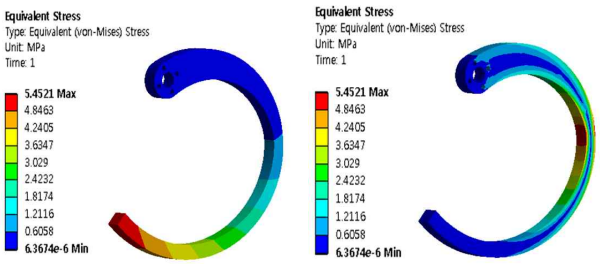


Fig. 3 Analysis of leg motion with supporting points

Table 1 Material properties

	Compressive Strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Density (kg/m^3)
Pom-c	62.1	2.8	1.41



(A) Deformation (B) Stress

Fig. 4 Deformation/stress analysis of half circle leg

Table 2 Comparison analysis of deformation/stress

	Deformation (mm)	Stress (MPa)
Min	0	6.367e-6
Max	46.065	5.4521

위해서는 최소 반경이 160°정도가 되어야 모든 움직임을 포함하여 땅에 접촉이 가능함을 확인할 수 있었다.

2.2 Half Circle형태의 다리 해석

본 논문은 기존의 탄성 있는 half circle형 다리가 아닌 강인한 구조의 다리 구조를 가지는 6족 로봇을 개발하는데 있어 half circle의 크기 및 제한조건을 지정하고, 이를 수치 해석을 통해 분석하였다.

본 해석에 사용되는 다리의 소재로는 Pom-c 소재로 휨과 응력 변화에 영향을 많이 미치는 압축응력, 푸아송 비, 탄성계수는 Table 1과 같다. 해석진행에 있어 요구되는 제한조건 설정은 다리의 연결 부분을 고정면으로 하여 지지하고 다리의 지면과 다리의 접촉면에 힘을 가하는 구속조건으로 이를 확인하였다. 로봇의 무게 및 payload를 고려하여 전체 질량을 20 kg으로 가정하였을 때 정지 시 176.58 N의 하중이 존재하며, 1개의 다리에 부가되는 하중은 약 30 N이다. Fig. 4는 정지 시 하중인 30 N의 힘을 단위시간당 가했을 시 변화량 및 응력분포도를 확인하였으며, 해석 결과는

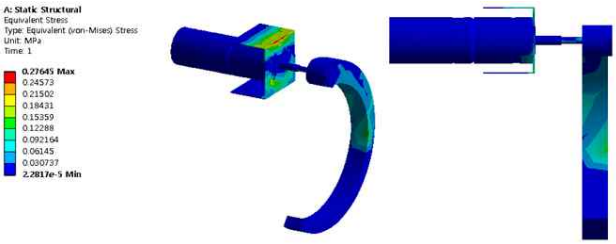
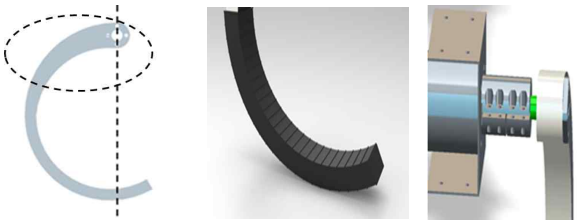


Fig. 5 Deformation/stress analysis of leg joint



(a) Reinforcing leg (b) Rubber packing (c) Support bearing

Fig. 6 Design enhancement of half circle leg

Table 2와 같다.

해석 결과를 확인하여 보았을 때, 정하중이 작용하고 있을 시 다리의 중앙 부분에서 5.4521 MPa의 응력이 발생하여 재료의 물성과 비교해 보았을 때 적합한 설계라 할 수 있다. 하지만 로봇의 구동 시 불규칙적인 동적 하중으로 인해 안전계수를 10배로 가정하였을 시 재료의 압축 응력과 큰 차이를 보이지 않기 때문에 다리 부분의 대한 보강 설계가 필요시 된다.

2.3 Half circle형 다리의 체결부 해석

본 논문에서는 구성되는 로봇의 경우 구동되는 다리 부분이 모터와 직접적으로 연결되는 구조를 갖추고 있기 때문에 다리와 모터가 연결되는 체결부의 대한 해석 또한 로봇설계에 중요한 요소로 판단되어 체결부에 대한 해석을 진행하였다.

Fig. 5는 모터 마운트를 고정점으로 가정하고 실제 모터의 rpm 값인 180 rpm을 가하였을 때 발생되는 응력분포에 대한 해석 결과이다. 해석결과 모터를 고정하는 마운트의 위/아래 부분에서 가장 큰 응력인 0.27645 MPa이 발생하며 다리와 연결되는 샤프트 부분에 0.092 MPa의 응력이 발생되는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 응력을 견딜 수 있는 마운트 설계와 체결부의 응력을 분산시킬 수 있는 베어링의 선정이 중요한 설계 요소로 판단된다.

2.4 해석에 의한 half circle형 다리의 보강 설계

앞서 진행된 2.2절의 해석을 통해서 다리의 중앙 지점에서 큰 응력이 발생하는 것을 확인할 수 있었고 이러한 응력을 분산하기 위하여 Fig. 6의 (A)와 같이 half circle의 절반까지의 두께를 확장하는 보강 설계를 진행하였다. 더불어 끝점에 가장 큰 변화를 볼

수 있었고 적정선에서 half circle을 유지하기 위해 180°의 반원 형태에서 220°의 반원 형태로 half circle의 크기를 키워 이를 보강하였다. 또한 재료의 특성상 미끄러짐의 많이 발생하기 때문에 이를 보완하기 위하여 Fig. 6의 (B)와 같이 고무 패킹을 통해 미끄러짐을 최소화 하였다. 더불어 Fig. 6의 (C)와 같이 모터와 몸체의 연결을 위해 'ㄷ'형태의 프레임을 설계하여 부착하였다. 특히, 기존 모터 마운트로 사용되는 주 재질은 알루미늄 재질이며 본 로봇의 해석 결과 마운트에서 견뎌야 하는 응력이 있다고 판단하여 같은 재질인 Al재질을 사용하였다. 또한, 험지 구동 시 모터의 허용토크 이상의 토크가 발생하게 되므로 강성, 토크, 충격 흡수에 좋은 허용토크 4.9 Nm 이상의 리지드 커플링을 선정하였다.

구름베어링에 대해서는 회전수 180 rpm으로 1,000시간의 수명조건과 레이디얼 하중 Fr=0.216 MPa에 대해서 안전계수 10의 조건을 기준으로 요구되는 동정격하중을 계산하여 베어링을 선정하였다. 특히, 볼 베어링으로는 그 하중의 한계가 있어 롤러 베어링 선정 및 샤프트를 통해 모터와 다리의 체결부를 설계하였다.

3. 제어 시스템 구성

3.1 시스템 구성

Fig. 7은 본 논문에서 개발하고자 하는 6족 로봇의 하드웨어 구성도이다. 작품은 6개의 엔코더 모터를 이용한 3접점 방식의 구동 알고리즘을 통해 움직임을 구현하며, 다양한 센서 및 무선카메라를 통해 환경 정보를 인식 및 분석을 통해 실시간으로 제어가 가능한 시스템을 구축하였다.

로봇과 컨트롤 시스템간의 실시간 통신은 블루투스를 사용하여 구현하였으며, 메인 프로세서와의 PC와의 프로토콜을 구성하고 USART통신을 통해 Master, Slave 간의 전 이중 통신을 통한 실시간 통신 시스템을 구축하였다.

3.2 센서 기반의 환경 정보 인식

정찰 로봇에 있어 환경 인식에 관한 연구는 지속적으로 연구 개발이 이루어지고 있다. 로봇의 주위 환경이나 위치 정보를 획득하기 위해서는 여러 가지 방식을 갖는 외부 센서를 갖추어야 한다. 외부로부터 거리 정보와 위치 정보를 획득 할 수 있는 센서로는 접촉 센서, 적외선 센서, 초음파 센서, 레이저 센서, GPS 센서 등이 많이 활용되고 있다. 본 논문에서는 초음파 센서와 GPS 센서를 활용하여 로봇의 환경 인식 및 위치 추정을 진행하였다. 또한 획득되는 데이터의 분석을 통해 오차를 최소화 하고 정보를 시각적으로 표현 사용자의 편의성을 높였다.

3.2.1 초음파 센서 모델 구성

초음파 센서는 가청주파수 밖의 음파가 물체에 반사되어 돌아오는 시간(TOF: time of fight)을 토대로 거리를 계산하는 센서이다. 본 논문에서 사용되는 초음파 센서는 HC-SR04 모델로 각 1개의 발신기와 수신기를 가지고 있으며 일반적으로 로봇의 장애물 회피용으로 많이 사용되고 있다.

하지만 초음파 센서의 경우 음파의 성질을 가지고 있기 때문에 신호가 직선 형태가 아닌 콘 형태를 갖으며, 주변의 외란에 대한 영향 및 반사각에 대한 영향에 따라 오차가 발생하게 된다.

이러한 오차를 최소화하기 위해 본 논문에서는 Fig. 8에서와 같이 3개의 초음파 센서를 활용한 모듈을 제작 물체 감지와 벽면 인지 및 코너 인지에서의 오차를 최소화 하였다. 현재 사용되는 HC-SR04의 경우 범위 각이 15° 이내이기 때문에 초음파 센서를 15°의 간격으로 배치하여 전방 45°의 각도의 물체를 인식 할 수 있도록 제작하였다.

3.2.2 GPS 센서 모델 구성

실외 환경을 이동하는 정찰로봇의 경우 이동 위치에 대한 추정이 필수적이다. 이러한 실외환경의 로봇 위치추정에 많이 사용되는 GPS 시스템은 3개 이상의 GPS 위성들의 위성 신호를 이용하여 삼각 측량법을 통하여 위치를 측정한다.

본 논문에서 사용되는 GPS 센서는 Ascen GPS의 GPS680 모델을 사용하였으며 TTL/USART, USB, RS232/RS485 등 다양한 인터페이스의 적용이 가능한 모델로 GPS의 응답은 USART

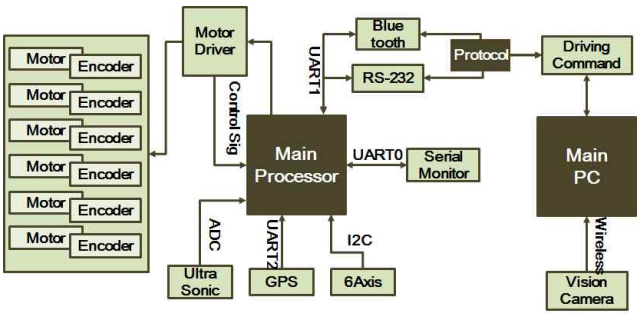


Fig. 7 Configuration of hardware function connection

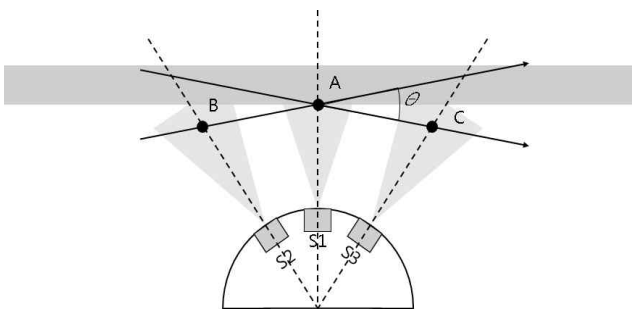


Fig. 8 Three chanel ultra sonic sensor model

통신 방식을 사용하였다. GPS 데이터의 분석은 C#언어와 GMap라이브러리를 활용하여 GPS에서 수신되는 데이터를 변환하는 프로그램을 작성하였다. 로봇으로부터 수신된 NMEA데이터의 파싱을 통해 현재 로봇의 위도 및 고도 값을 계산하며, 계산된 위도 및 경도에 맞는 데이터를 제작된 프로그램의 맵 상에 마킹하였다. 또한 로봇의 이동 경로를 확인하기 위하여 실시간으로 로봇의 이동 위치를 표현할 수 있도록 프로그램을 구현하였다. GPS 수신오차의 경우 전파의 속도에 의해 1.0~3.0 m의 오차 값을 보이며, 실외환경에서 실제로봇의 위치를 확인하였을 때 수신되는 GPS 오차의 경우 1.5~2.5 m 사이의 오차가 발생하여 오차 범위 안에 들어오는 것을 확인하였다.

3.3 영상 기반의 환경 정보 인식

본 논문에서는 영상처리를 통하여 실외환경을 인식하고 이에 따른 로봇의 움직임을 제어하는 알고리즘을 제작하였다. 하지만 영상에서 실외환경이나 특정 객체를 인식하는 것은 여러 잡음으로 인해 제한되기 때문에 본 연구에서는 특정 객체 인식을 범위를 지정색을 갖는 원으로 제한하였으며, 주변 환경정보에 대한 신호를 체스보드 마커로 대체하였다.

로봇으로부터 영상정보를 획득하기 위해 무선웹캠을 사용하였으며, 무선 웹캠의 해상도는 640*480이며 UBS타입의 수신기를 통해 최대 100 m의 거리에서 영상을 수신 받았다. 더불어 무선 웹캠을 통해 수신된 영상은 OpenCV라이브러리를 활용하여 객체의 인식에 따른 추적 알고리즘을 생성, 마커 인식에 따른 지정한 임무를 수행할 수 있도록 프로그램을 작성하였다.

3.3.1 지정색을 갖는 원의 인식 및 추적

본 논문에서는 특정 개체를 확인하고 추적하기 위해 임의의 지정색을 갖는 원 마커를 인식하고 그에 따른 로봇의 추적 시스템을 구성하였다.

원 검출에 있어 영상의 잡음을 제거해 주기위해 smooth함수를 사용 영상을 부드럽게 변환하고, 캐니 감지와 허프변환을 모두 통합하여 영상에서 원을 추출한다.

제작된 인식 및 추적 알고리즘의 경우 빨간색 원을 객체로 인식하며, Fig. 9와 같이 영상내의 빨간색 원이 인식 되었을 때 실시간으로 객체의 중심 좌표점을 저장한다. 이렇게 추출된 객체의 중심좌표가 영상 중앙에서 좌측에 위치할 경우 로봇의 방향을 좌측으로 중앙에서 우측에 위치할 경우 우측으로 로봇을 이동하며, 객체의 좌표가 중심좌표에서 좌우 30픽셀 내에 위치할 때까지 로봇을 이동시켜 객체를 추적할 수 있도록 구성하였다.

3.3.2 마커 인식을 통한 모션 제어

본 논문에서 환경정보 인식에 따른 로봇의 움직임 컨트롤의 구현

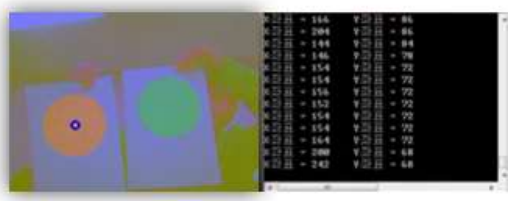


Fig. 9 Circle detect through the hough transform

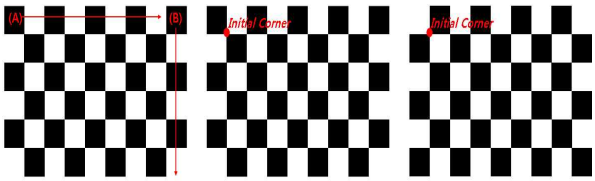


Fig. 10 Corners detection procedure of a 9×6 chessboard

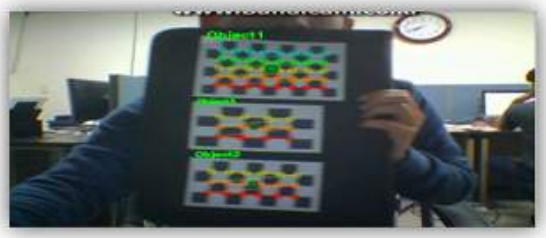


Fig. 11 The recognized chessboard patterns

을 위해 마커 인식 기법을 활용 인식된 환경정보를 통해 로봇의 움직임을 컨트롤하는 알고리즘을 구성하였다.

본 논문에 사용된 마커는 체스보드 형태의 마커로 9×6, 7×4, 5×4로 이루어진 체스보드를 인식하였다. 체스보드 형태의 마커를 인식하기 위해서는 코너점의 대한 검출이 필요하다. Fig. 10은 체크를 인식하기 위한 알고리즘으로 도식화한 내용이며, 9×6 체스판을 기준으로 정의하면 검색 코너 맨 앞에서 교정 결과의 절대 좌표 원점은 이미지의 (A)의 장소가 된다. 또한 비슷한 이미지를 6×9로 정의하면 원점은 (B)가 된다.

위와 같은 방식을 통해 검출된 코너점의 개수를 기준으로 사용된 체스판의 모델들을 구분하여 각 패턴에 맞는 정보를 출력, 이 정보에 의해 로봇의 움직임을 제어하는 알고리즘을 제작하였다. 9×6 마커를 인식할 경우 기존 속도의 50% 출력으로 이동하며, 7×4 마커의 경우 정지, 5×4 마커의 경우 경로 복귀의 임무를 수행한다. Fig. 11은 실제 사용한 마크와 인식된 결과를 겹쳐서 보여주고 있다.

4. 실험 및 결과

4.1 프로토타입 제작

본 논문에서는 앞서 제시된 half circle형 다리의 보강설계를 진행하고 실질적으로 로봇에 적용하였다. 로봇의 크기에 비해서 큰

half circle 형상의 다리를 적용시킴으로 하여, 로봇보다 높은 장애물에 대한 실질적 극복이 가능하고, 평지에서 또한 차륜형태의 이점을 살려 신속한 움직임 및 대응이 가능하다. 또한 다리의 보강설계를 통해 기존의 제시된 다리에 비해 사용 수명 및 충격이 심한 험지 환경에 대해 강성도 및 로봇의 안정성 있는 움직임을 확보하였다.

다리의 길이는 320 mm를 지름으로 가지는 원의 220°의 크기를 사용하였다. 앞서 제시하였던 정확히 절반 형상에서 항상 반원을 사용할 수 있게 크기를 키웠으며, 이에 있어서 제작된 본 로봇의 제원은 Table 3과 같으며 형상은 Fig. 12와 같다.

4.2 PC Monitoring System

본 논문에서는 무선 로봇 컨트롤을 위해 블루투스 통신장치를 활용하여 PC와의 실시간 통신을 구현하고 있다. PC와 로봇사이의 통신은 앞서 설명한 바와 같이 전이중 통신 방식을 통해 구현되며, PC에서는 로봇 움직임에 대한 명령을 전달하고, 로봇의 메인프로세서는 상황에 따라 인지되는 센싱 값을 분석하여 PC로 정보를 송신한다.

통신의 속도는 약 50 ms 단위로 송/수신을 진행하며, 상호 통신 속도는 약 100 ms로 구성하였다. 오류데이터의 경우 checksum (전체 데이터의 합)과 ETX(end of text: 종료 신호)를 통해 수신 데이터의 오류를 판별하여 ACK(acknowledge: 수신 양호)신호와 NAK(negative acknowledge: 수신 오류)신호를 통해 송수신 정보에 대한 재전송 여부를 판별 통신상 발생되는 오류데이터에 대하여 방비하였다. 실제 10분의 시간동안 로봇의 실시간 통신을 통한 제어를 진행하였을 시 output frame의 경우 2,935, input frame의 경우 2,981, error frame의 경우 84가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 13은 실제 c#으로 구성한 로봇 제어를 위한 PC상의 GUI(graphic user interface) 패널이며, 실시간으로 영상을 보여주고 GPS 정보를 시각화 하였다. 더불어 100 ms 단위로 센서 값을 초기화 하였으며, 방향키를 통해 로봇의 움직임을 제어할 수 있도록 구성하였다.

Table 3 Specification of property

Body Weight (g)	7,500
Leg Weight (g)	150
L × H × W (mm)	550 × 330 × 350

Fig. 12 Prototype of half circle rhex

4.3 보행 알고리즘 설계

다리형 로봇은 일정한 패턴을 기반으로 주행을 이루어낸다. 따라서 본 논문의 경우 기존 Rhex의 참고문헌 상에 제안된 보행알고리즘인 3접점 방식을 이용한 보행 알고리즘을 구현하였으며 로봇의 이동방식은 Fig. 14와 같다.

Fig. 15는 3접점 방식의 운동궤적을 나타낸 그림이다. 운동 궤적은 삼각형을 이루는 지지다각형의 일정한 위상차를 통해 움직임이 구현된다. 전진속도는 접점 다리의 회전과 동시에 지지되는 다리의 위상차가 1회전을 순환하는 속도에 대하여 제한되게 되며 3접점의 모터 회전속도에 따라 로봇의 속도가 결정된다.

때문에 기존의 관절 구조를 갖는 6족 로봇에 비해 단순한 이동방식을 통해 속도를 향상시킬 수 있으며, 회전운동의 경우 각 접점의 반대 위상 회전을 통해 구현되는 피봇 턴 형식의 방식을 사용하였다.

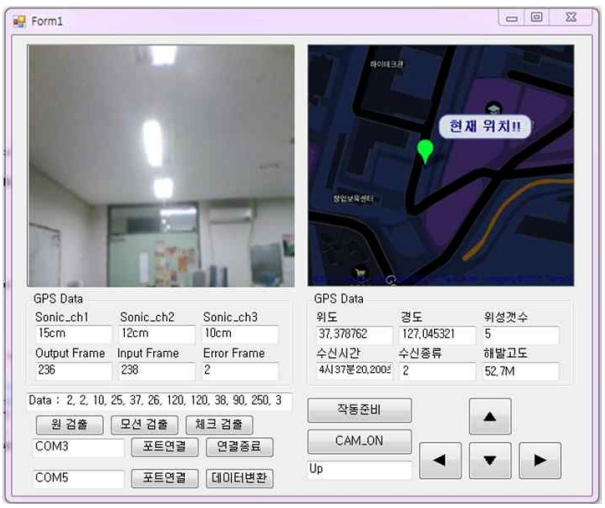


Fig. 13 GUI panel for robot control

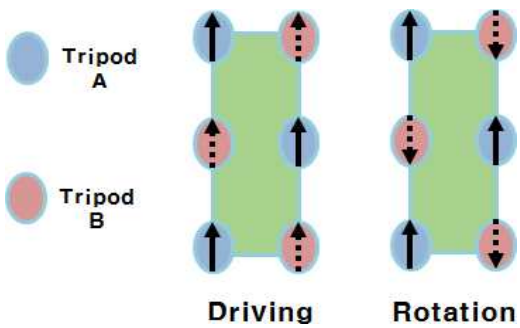


Fig. 14 Driving and rotation patterns for robot moving

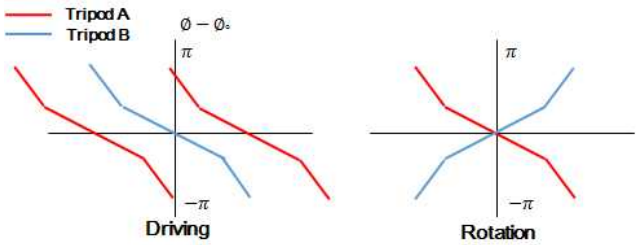


Fig. 15 Moving trajectory of leg joints

Table 4 Robot speed

	No slip	Slip	∠10°	Stair
Speed (m/s)	1.2	0.9	1.0	0.5

(a) Flatland

(b) Rough terrain

(c) Outdoor stairs

Fig. 16 A variety of challenging terrain

4.4 로봇 구동

로봇 구동에 있어서 실험은 Fig. 16에서처럼 미끄러짐 현상이 적은 평탄한 잔디 지대, 미끄러짐이 많이 발생 가능한 흙 지대, 그리고 로봇의 몸체 보다 높은 230 mm의 계단 지대 총 3가지 환경 극복성에 대한 구동 시험을 했으며 특히 계단 지형의 구동 테스트에 있어서 기존 로봇과 비교되는 움직임을 보였다.

Table 4는 각 지형별 주행을 나타내며 미끄러짐이 없는 지형에서 1.2 m/s의 속도로 가장 빠른 주행능력을 나타냈으나, 기준 속도인 1.5 m/s에 미치지 못한 주행 능력을 보였다. 또한 계단 지형에 있어서는 0.5 m/s라는 비교적 느린 속도를 보유하고 있지만 초기 설정 기준인 계단의 높이 180 mm를 초과하는 극복 능력을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서 half circle 형태의 다리 해석을 통해 기존 형태에 대한 단점을 분석을 진행하였다. 기존 half circle 다리의 경우 판스프링 구조를 사용하여 탄성이 있는 움직임을 갖는데 반해 새로 설계가 진행된 다리 구조의 경우 기존의 소재보다 강인한 소재를 활용 움직임에 대한 안정성을 확보하였으며, 해석을 통해 지지점에 대한 하중이 발생 시 중앙 부분에 응력이 집중되는 것을 확인하였고 이에 따라 중앙부분의 보강설계를 진행하였다. 더불어 모터와 다리 연결부에 대한 해석을 통해 마운트 및 베어링, 커플링 구조의 최적설계를 진행하였다. 또한 6족 로봇의 3접점 방식의 구동 알고리즘을 적용하여 로봇의 이동성을 확보하였으며 다양한 지형에서 구동 및 검증을 진행하였다.

정찰임무의 수행을 위해 각종 센서 및 카메라를 통하여 환경정보 수집에 대한 알고리즘을 제작하였고, GPS를 통해 실시간 위치 정보를 확보하였다. 로봇의 실시간 제어를 위해 블루투스를 활용하여 통신을 구현하였으며, PC와 메인 프로세서간의 프로토콜을 제작하여 정보를 송/수신하였다.

현재 로봇은 3접점 방식을 활용 시 로봇의 방향 전환에 대한 능력이 떨어지는 것이 확인되었고, 향후 다양한 보행 알고리즘을 설계하여 이동성 및 조향 능력을 확보한 알고리즘의 개발이 요구된다. 더불어 영상을 통한 환경인식의 경우 단순 물체의 추적이 아닌 물체의 움직임을 감지하고 추적할 수 있는 optical flow와 같은 방식을 활용하여 영상 내의 벡터 정보를 정합하여 활용하는 영상처리 기능에 대한 개선이 필요하며, 단일 로봇뿐만이 아닌 다양한 로봇과의 협업 임무수행을 위해 정보교류를 위한 통신 알고리즘의 개선이 요구된다.

후 기

본 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

[1] Kim, S. B., 2006, iSprawl: Design and Tuning for High-Speed Autonomous Open-Loop Running, The International Journal of Robotics Research, 25:9 903-912.

[2] Galloway, K. C., Haynes, G. C., Ilhan, B. D., Johson, A. M., Knopf. R., 2010, X-RHex: A Highly Mobile Hexapedal Robot for Sensorimotor Tasks, Technical Reports. University of Pennsylvania Sholarly Commons.

[3] McMordie, D., Buehler, M., 2001, Towards Pronking with a Hexapod Robot, McGill Research Center for Intelligent Machines Montreal, Quebec

[4] Moore, E. Z., 2002, Leg Design and Stair Climbing Control for the RHex Robotic Hexapod, A Thesis for a Doctorate, McGill University, Canada.

[5] Campbell, D., Bueher, M., 2003, Stair Descent in the Simple Hexapod 'RHex', IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1:21 1380-1385.

[6] Richard, A., Uluc, S., Haldun, K., Daniel, E. K., Benjamin, H. B., Buehler, M., Moore, N., McMordie, D., Full, R., 2001, Evidence for Spring Loaded Inverted Pendulum Running in a Hexapod Robot, Springer, Berlin Heidelberg, 291-302.

[7] Uluc, S., Alfred, A. R., Daniel, E. K., 2004, Model-based Dynamic Self-righting Maneuvers for a Hexapedal Robot, The International Journal of Robotics Research, 23:9 903-918.

[8] Joel, D. W., Daniel, E. K., Haldun, K., Chris, M., 2007, Robotics as the Delivery Vehicle: A Contextualized, Social, Self Paced, Engineering Education for Life-long Learners Departmental Papers, University of Pennsylvania Scholarly Commons.

[9] Camilo, O., Jacob, S., Aaron, J., Jonathan, C., Emmanuel, C., 2013, Terrain Identification for RHex-type Robots, Proceedings of Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers: Unmanned Systems Technology XV, 8741.

[10] Nuyen, V. Q., Han, S. H., 2012, Robust Real-time Control of Autonomous Mobile Robot Based on Ultrasonic and Infrared sensors, Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, 19:1 145-155.

[11] Myeong, H. J., Kim, D. H., 2013 Robot Driving System and Sensors Implementation for a Mobile Robot Capable of Tracking a Moving Target, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 22:3 607-614.

[12] Kim, N. Y., Kim, K. W., Sin, H. C., 2007, Static Gait Generation of Quadruped Walking Robot Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, 16:6 217-222.

[13] Itseez n.d., viewed 10 Aug. 2015, Open CV API Reference>> imgproc. Image Processing, <http://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/feature_detection.html?highlight=houghcircles#>.