

건물 외벽 장애물 극복을 위한 3단 모듈형 승월로봇

이청화*, 주백석*.#

*금오공과대학교 기계시스템공학과

A Three-unit Modular Climbing Robot for Overcoming Obstacles on the Facade of Buildings

Cheonghwa Lee*, Baeksuk Chu*.#

*Department of Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology

(Received 9 February 2017; received in revised form 2 March 2017; accepted 1 April 2017)

ABSTRACT

This paper introduces a novel obstacle-climbing robot that moves on the facade of buildings and its climbing mechanism. A winch system set on the top of the building makes the vertical motion of the robot while it climbs obstacles that protrude from the wall surface. The obstacle-climbing robot suggested in this research is composed of a main platform and three modular climbing units. Various sensors installed on each climbing unit detect the obstacles, and the robot controller coordinates the three units and the winch to climb the obstacles using the obstacle-climbing mechanism. To evaluate the performance of the developed robot prototype, a test bed, which consists of an artificial wall and an obstacle, was manufactured. The obstacle size and the time required to climb the obstacle were selected as the performance indices, and extensive experiments were carried out. As a result, it was confirmed that the obstacle-climbing robot can climb various-sized obstacles with a reasonable speed while it moves on the wall surface.

Key Words : Mobile Robot(이동로봇), Field Robot(필드로봇), Construction Robot(건설로봇), Wall Climbing(벽면이동), Obstacle Overcoming(장애물승월)

1. 서 론

로봇은 지면, 수중, 공중 등 사용되는 환경에 따라 다양한 이동방식을 갖는다.^[1] 본 논문에서는 로봇이 구동되는 환경을 건물 외벽으로 설정하고, 특히 건물 외벽에 존재하는 장애물을 극복하면서 이동할 수 있게 하는 이동 메커니즘에 대한 연구를 수행하였다. Fig. 1은 건물 외벽을 이동하는 로봇에 대한 연

구 사례를 보여주고 있다^[2,3]. Fig. 1 (a)에 소개된 로봇은 두 개의 공압 흡착 모듈을 이용하여 벽면을 이동하는 구조를 갖는다^[4]. 한 쪽 모듈이 벽면에 부착되면 다른 쪽 모듈을 움직여 진행하고자 하는 벽면에 부착하는 방식이 채택되었다. Fig. 1 (b)에서 보여주는 로봇은 6개의 전자석 다리를 이용해 건물 외벽을 이동한다^[5]. 6개의 다리를 가지고 있기 때문에 몸체가 크고, 이동을 위해 모든 다리에 사용된 모터를 동시에 구동하는 복잡한 제어 알고리즘을 갖는다. 외부에서 공급되는 전력이 중단되면 전자석이 접촉력을 상실하여 로봇이 낙하하는 안전사고 문제를 발

Corresponding Author : bschu@kumoh.ac.kr

Tel : +82-54-478-7398, Fax : +82-54-478-7319

생시킬 수 있다. Fig. 1 (c)에 제안된 로봇은 벽면 부착을 위해서는 자석을 이용하고 이동을 위해서는 바퀴를 사용한다^[6]. Fig. 1 (b)와 Fig. 1 (c)에 소개된 로봇은 각각 전자석과 자석을 이용하여 건물의 외벽에 부착되기 때문에 건물의 외벽이 대리석과 같은 비자성 재료일 때는 사용할 수 없는 단점을 갖는다. Fig. 1 (d)에서 설명하는 로봇은 고층건물 유리창을 청소하는 목적으로 개발된 로봇이다^[7]. 건물 옥상에 위치한 곤돌라를 이용하여 수직방향 이동이 가능하고, 로봇 중심부에 위치한 팬을 구동하여 만들어내는 풍압으로 건물 벽면과의 접촉력을 유지한다. 하지만 그림에서 보는 바와 같이 평평한 외벽에서만 운용할 수 있다는 문제점을 가지고 있다.

본 연구에서는 건물 외벽을 이동하기 위한 기본적인 방법으로 Fig. 1 (d)가 제안하는 곤돌라를 이용한 이동 방식을 따른다. 그러나 이 방식은 건물 외벽에 유리창 프레임이나 돌출형 구조물 같은 장애물이 존재할 경우에는 활용할 수 없는 단점을 가진다. 이를 극복하기 위해 이 연구에서는 건물 외벽의 장애물을 승월하는 메커니즘을 갖는 장애물 승월로봇(obstacle climbing robot)을 제안하고자 한다. 이 로봇의 개발을 위해 외부 플랫폼에 세 개의 독립적 구동이 가능한 승월모듈을 결합한 3단 모듈형 승월 구조를 설계하고 이를 구동하기 위한 메커니즘을 개발하였다. 개발된 로봇 시작품의 승월 기능을 파악하기 위해 실험실 규모의 테스트베드를 조성하고, 다양한 실험을 수행하여 성능을 평가하였다. 이 실험에서 승월 로봇이 넘을 수 있는 장애물의 최대 및 최소 크기를 파악하고, 승월로봇이 장애물을 승월할 때 소요되는 승월 시간을 측정하였다. 그리고 어떤 요인이 승월 시간에 영향을 주는지 확인해보았다.

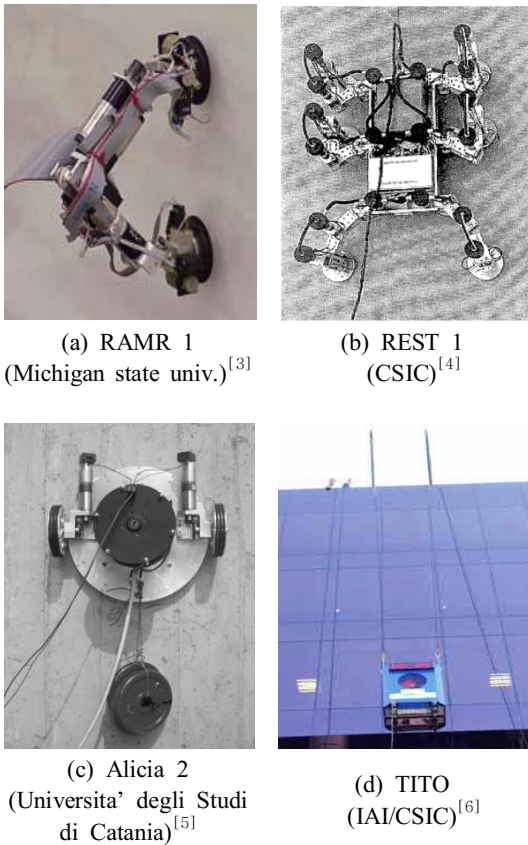


Fig. 1 Wall climbing robot examples

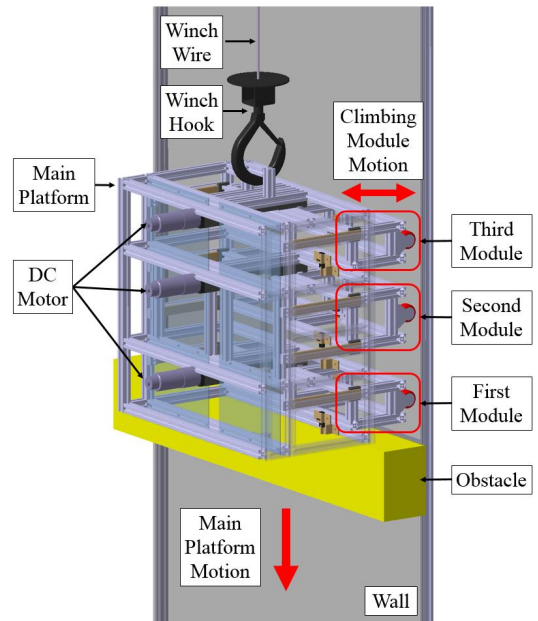


Fig. 2 Three-dimensional design of the obstacle climbing robot

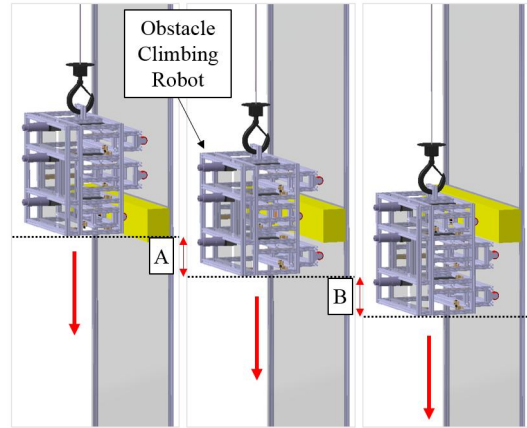
2. 장애물 승월 로봇 메커니즘 설계

2.1 장애물 승월로봇의 구성

Fig. 2는 본 연구에서 개발한 장애물 승월로봇이 건물의 옥상에서 지면 방향으로 이동하며 벽면에 존재하는 장애물을 승월하는 상황을 3D모델을 이용하여 묘사한 것이다. 장애물 승월로봇은 벽면과의 접촉 및 이탈을 반복하는 세 개의 승월모듈(climbing modules; first module, second module, third module)과 승월모듈의 외부 골격 역할을 하는 메인 플랫폼(main platform)으로 구성된다. 세 개의 승월모듈은 LM가이드에 의해 메인 플랫폼에 결합되어 직선 왕복운동이 가능하며, DC 모터(DBGM42-24V, MIKI PULLEY©)에 의해 독립적으로 구동된다. 메인 플랫폼의 연직방향 이동은 상부에 연결된 윈치(winch)에 의해 조작된다. 승월모듈과 메인 플랫폼의 이동방향이 Fig. 2에 묘사되어 있으며, 장애물 승월 메커니즘에 의해 조화롭게 제어되어 장애물을 승월한다.

2.2 장애물 승월 메커니즘

장애물 승월로봇이 벽면을 타고 하강하면서 장애물을 단계적으로 승월하는 과정이 Fig. 3을 통해 설명되고 있다. 장애물 승월은 세 개의 승월모듈이 모두 벽면에 접촉한 상태에서 시작된다. 메인 플랫폼이 지면 방향으로 전진하는 과정에서 첫 번째 승월모듈에 장착된 근접센서가 장애물을 감지하면 승월로봇 제어기는 윈치구동을 중단하여 메인 플랫폼을 정지시킨다. 그리고 첫 번째 승월모듈을 벽면에서 플랫폼 방향으로 후퇴시키고 다시 윈치를 구동하여 승월로봇이 전진한다. Fig. 3 (a)는 첫 번째 승월모듈이 완전히 후퇴한 상태에서 로봇이 장애물을 승월하는 모습을 보여주고 있다. 이후 두 번째 승월모듈이 장애물을 감지하면 두 번째 모듈이 벽면에서 후퇴하고 후퇴가 완료되면 메인 플랫폼은 다시 전진한다. 전진을 진행하는 도중에 첫 번째 승월모듈이 장애물을 지나쳐 벽면 방향으로 장애물이 없다는 것을 판별하면 첫 번째 승월모듈은 벽면으로 이동하여 벽면과 다시 접촉하게 된다. Fig. 3 (b)는 첫 번째 승월모듈이 장애물을 완전히



(a) First state (b) Second state (c) Third state

Fig. 3 Obstacle climbing process of the three-unit modular climbing robot

승월한 후에 다시 벽면과 접촉하고 두 번째 모듈은 장애물을 승월하고 있는 상태를 보여준다. 이때 메인 플랫폼은 Fig. 3 (a)의 위치와 비교했을 때 길이가 A만큼 이동한 것을 확인할 수 있다. 유사한 과정을 거쳐 두 번째 승월로봇이 장애물 승월을 완료하면 Fig. 3 (c)의 B만큼 이동하고, 최종적으로 세 번째 승월모듈이 승월을 완료하면 메인 플랫폼이 장애물을 완전히 벗어나 장애물 승월로봇의 승월 과정이 모두 완료된다.

3. 장애물 승월로봇 제어시스템

Fig. 4는 이 연구에서 개발한 장애물 승월로봇의 제어시스템을 보여준다. 세 개의 승월모듈이 다양한 센서를 통해 수집한 정보를 승월로봇 제어기(MCU, NI myRIO-1900)에 전달하면 승월로봇 제어기는 2.2절에서 기술한 장애물 승월 메커니즘에 기반하여 생성된 제어신호를 이용하여 각 승월모듈의 DC모터와 윈치를 구동한다. Table 1은 장애물 승월로봇의 제어를 위해 사용된 장치를 설명한다. 본 연구에서 장애물 승월 메커니즘을 구현하기 위해 사용된 센서는 총 세 가지로 Fig. 5는 이 센서들의 부착 위치와 감지 방향 그리고 감지 상황을

설명하고 있다^[8,9,10].

각 모듈에 장착된 전방감지 근접센서(forward detecting sensor, HD-SEN0019)는 각 모듈의 진행방향에 위치하여 로봇 이동 시 전방에 존재하는 장애물의 측면을 감지한다. Fig. 5에서는 세 번째 승월모듈의 전방감지 근접센서가 장애물을 감지하고 있다. 벽면감지 근접센서(wall detecting sensor, GP2Y0A02YK0F SHARP©)는 각 승월모듈과 건물 벽면 및 장애물 사이의 거리를 측정하여 승월모듈의 벽면 재접근 시기를 판별한다. Fig. 5에서는 벽면에서 이탈된 두 번째 승월모듈의 벽면감지 근접센서가 장애물의 상단부분과의 거리를 근거리로 감지하고 있기 때문에 하강하지 않고 있는 상황을 보여준다. 이후 이탈된 모듈과 벽면 사이의 거리가 멀어진 것을 감지하면 모듈은 다시 벽면에 접근한다. 리미트센서(EE-SX673)는 각 승월모듈이 접근 및 이탈하는 왕복운동을 할 때 각 승월모듈의 이동 한계를 안내하기 위하여 사용된다. Fig. 5에서는 첫 번째, 세 번째 승월모듈은 하위 한계에 도달한 상태이며 두 번째 모듈은 상위 한계에 도달한 상태이다.

Table 1 Electrical components of the obstacle climbing robot

| Components | Model | Specifications |
|-------------------------------------|------------------------------|--|
| Controller (MCU) | NI myRIO-1900 | 5V DIO 37 Chs 5V AI 10 Chs 5V AO 6 Chs |
| DC Motor | DBGM42-24V (MIKI PULLEY©) | 24V DC 1/49 gear ratio |
| DC Motor Driver | AM-DC1-3D | 5V PWM 1 Ch 5V DO 2 Chs |
| Forward Detecting Sensor (Infrared) | HD-SEN0019 | 5V DO 30-800mm |
| Wall Detecting Sensor (Infrared) | GP2Y0A02YK0F (SHARP©) | 5V AO 0-1500mm |
| Limit Sensor | EE-SX673 | 5V DO |
| Winch | Mini winch DU-230A | 5V DO |

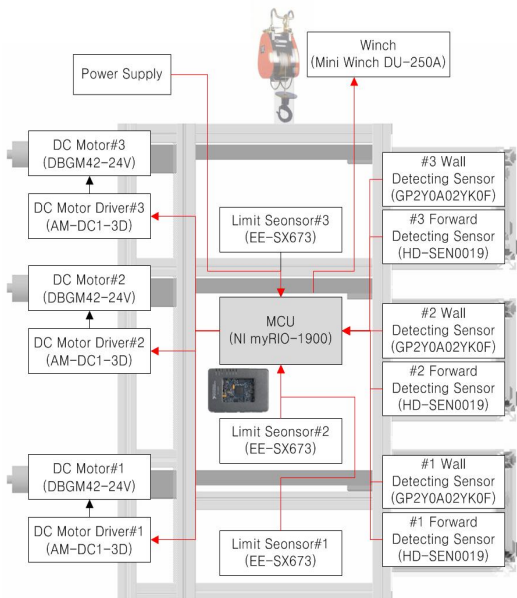


Fig. 4 Control system of the obstacle climbing robot

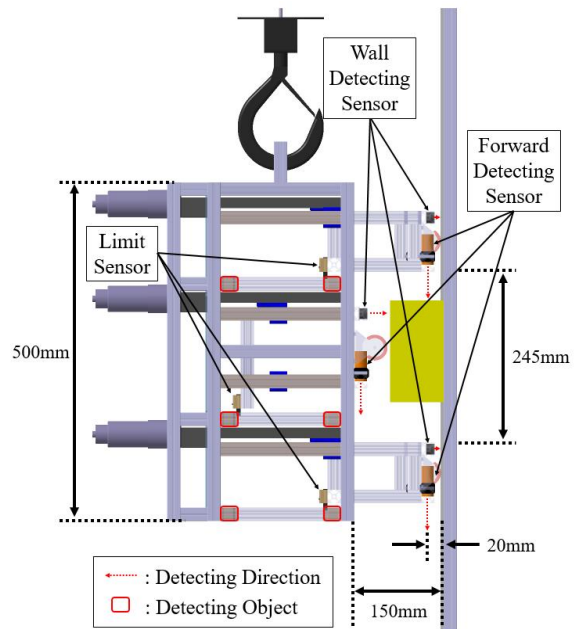


Fig. 5 Sensors and detecting situation

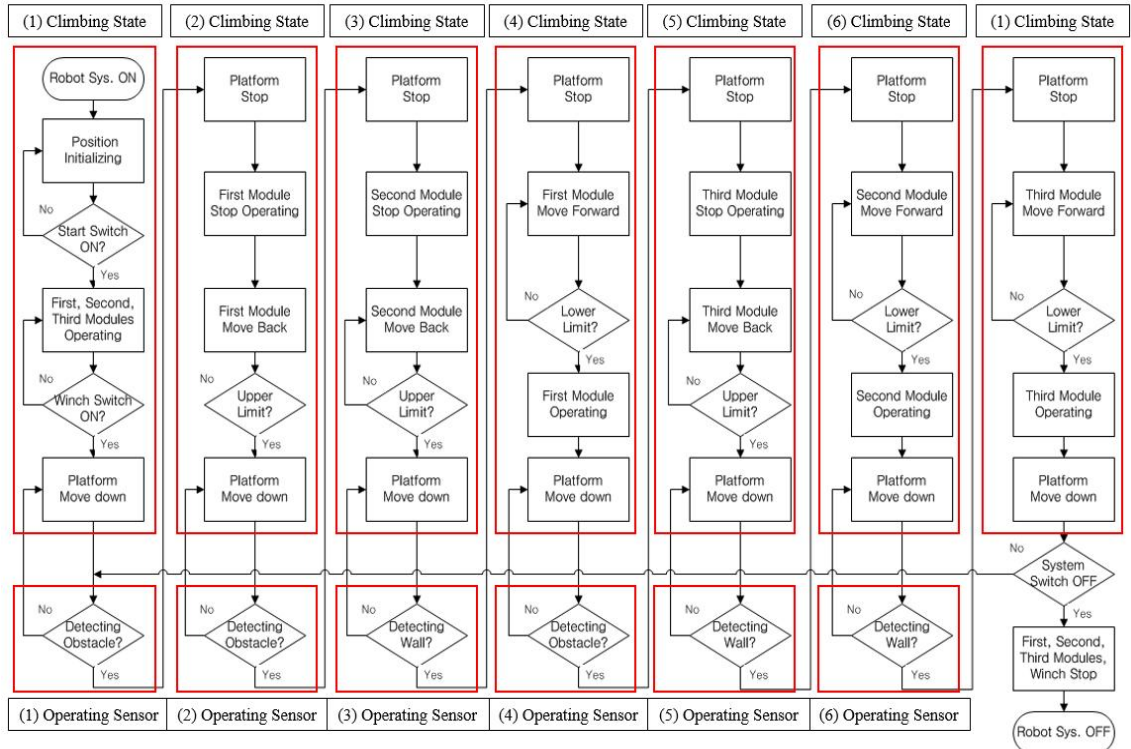


Fig. 6 Flow chart for the obstacle climbing control algorithm

Fig. 6과 Table 2는 승월로봇의 장애물 승월 제어 알고리즘을 순서도와 표로 정리한 것이다. Fig. 6의 상단부는 승월로봇의 승월 메커니즘을 6개의 단계로 나누고 각 단계별 제어 동작을 표현하였다. Fig. 6의 하단 부는 현재 승월 상황에서 다음 승월 상황으로 이동하기 위해 필요한 조건을 보여준다. 승월로봇은 이동 과정에서 세 모듈의 전방감지 센서와 벽면감지 센서에서 수집한 정보를 이용해 현재 로봇의 승월 상황을 판단하고 다음 승월 상황으로 진행한다. 처음 승월로봇이 승월 동작을 시작하면 승월 메커니즘의 1번 승월 상황으로 이동한다. 이때, 하단부의 1번 전방 감지센서가 장애물을 감지하고 로봇은 2번 승월 상황으로 이동한다. 이와 같은 방식으로 6번 승월 상황까지 이동한다. 최종적으로 3번 모듈의 벽면감지 센서가 벽면을 감지하면 다시 1번 승월 상황으로 이동하며 장애물 승월 과정이 완료된다. 로봇은 종료 신호를 감지하기 전까지 승월 메커니즘을 반복적으로 수행한다.

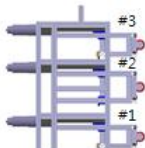
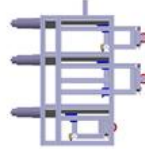

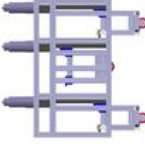


4. 장애물 승월 성능 평가 실험

4.1 장애물 승월 실험용 테스트베드 및 실험 구성

Fig. 7은 본 연구에서 개발한 장애물 승월로봇 시작품의 성능을 평가하기 위한 테스트베드를 보여준다. 가로와 세로 길이가 1m이며, 높이가 2m인 테스트베드는 알루미늄 프로파일을 연결하여 골격이 제작되었다. 테스트베드 우측면이 건물의 벽면에 해당하고 중앙의 돌출부가 승월의 대상이 될 장애물이다. 장애물 승월로봇을 상승 및 하강시킬 원치는 테스트베드 구성의 편의상 좌측 하단에 고정하고 두 개의 도르래(pulley)를 연결하여 윈치의 와이어를 통해 우측 벽면을 타고 승월로봇이 하강하는 상황을 재현하였다. 외부전원을 사용하고, 윈치와 연동하여 메커니즘을 구현하는 승월로봇의 특성상 외부전원선과 윈치 제어용 신호선이 윈치

의 와이어를 따라 승월로봇으로 연결된다.

Table 2 Climbing states and status figures with the conditions for processing to the next state

| Climbing States | Status Figures | Currently Operating Sensor | | | | | |
|-----------------|---|----------------------------|----|----|-----------------------|----|----|
| | | Forward Detecting Sensor | | | Wall Detecting Sensor | | |
| | | #1 | #2 | #3 | #1 | #2 | #3 |
| (1) |  | ○ | - | - | - | - | - |
| (2) |  | - | ○ | - | - | - | - |
| (3) |  | - | - | - | ○ | - | - |
| (4) |  | - | - | ○ | - | - | - |
| (5) |  | - | - | - | - | ○ | - |
| (6) |  | - | - | - | - | - | ○ |

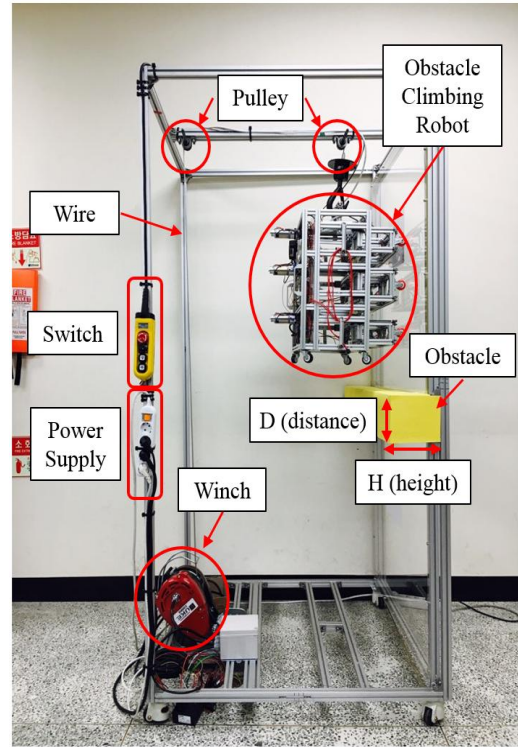


Fig. 7 Test-bed for the obstacle climbing experiments

Table 3 Velocity of climbing module

| Mode | Velocity [mm/sec] |
|------|-------------------|
| 1 | 48.07 |
| 2 | 29.17 |
| 3 | 15.90 |

Table 4 Releasing velocity of winch

| Mode | Velocity [mm/sec] |
|------|-------------------|
| 1 | 105.67 |
| 2 | 115.27 |
| 3 | 135.96 |
| 4 | 180.49 |

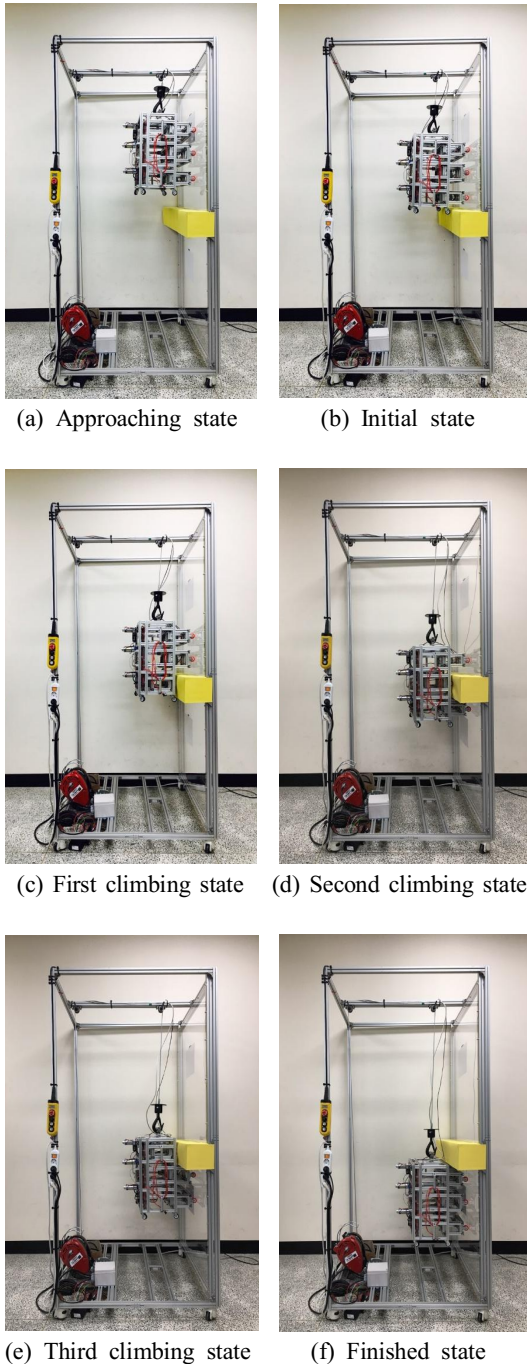


Fig. 8 Experiment of the obstacle climbing robot for overcoming the obstacle

본 연구에서는 두 가지 승월 실험을 수행하였다. 첫 번째 실험은 이 연구에서 설계된 장애물 승월로봇이 넘을 수 있는 장애물의 최대 및 최소 크기를 측정하는 실험이다. 이 실험에서는 Fig. 7의 우측면에 위치한 장애물에 표시된 장애물의 길이(D)와 높이(H)를 측정한다. 두 번째는 승월로봇이 다양한 크기의 장애물을 승월할 때 소요되는 시간을 측정하는 실험이다. 승월로봇의 안정적이면서도 효율적인 승월을 위해 다양한 조건에서 실험을 수행하였다. 승월모듈의 왕복 이동속도와 윈치의 하강속도를 다양하게 구성하여 각각의 영향을 파악하였다. Table 3과 Table 4는 이 실험을 수행하면서 설정한 승월모듈의 왕복 이동속도와 윈치의 하강속도를 보여준다.

4.2 장애물 승월 실험

Fig. 8은 이 연구에서 개발된 장애물 승월로봇의 승월 과정을 보여준다. 장애물 승월은 메인 플랫폼의 하강 및 장애물 감지 그리고 실제 승월까지 승월로봇 제어기에 의해 자동으로 이루어진다. Fig. 8 (a)는 승월로봇이 장애물에 접근하는 모습이다. 장애물을 승월하기 위해 소요되는 시간을 측정하는 실험에서는 Fig. 8 (a)의 위치에서부터 소요되는 시간을 측정하였다. Fig. 8 (b)는 첫 번째 승월모듈의 전방감지 근접센서가 장애물을 감지하고 승월로봇 제어기에 의해 윈치가 정지한 모습이다. Fig. 8 (c), (d), (e)는 Fig. 3의 장애물 승월 메커니즘에서 설명한 내용을 실제로 제작한 로봇과 테스트베드를 이용해 실험한 모습을 보여주고 있다. Fig. 8 (f)는 승월을 완료한 후의 모습이며, 이때까지 장애물을 승월하기 위해 소요된 시간이 측정 되었다. 이때 승월로봇이 장애물을 승월하며 이동한 수직 거리는 95cm이다.

본 연구에서 수행한 첫 번째 실험은 승월로봇이 넘을 수 있는 장애물의 최대 및 최소 크기를 측정하는 것이다. 전술한 바와 같이 Fig. 8의 우측면에 존재하는 장애물의 길이(D)와 높이(H)를 다양하게 변화시켜가며 최대값 및 최소값을 측정하였다. 그 결과 승월로봇이 장애물과의 충돌 없이 안정적으로 승월할 수 있는 장애물의 최대 길이는 약 195mm로 확인되었다. 이 결과는 이 연구에서 설계

된 승월로봇의 크기 및 각 승월모듈 사이의 폭과 직접적으로 연관되어 있다. Fig. 5에서 주어진 바와 같이 첫 번째 승월모듈과 세 번째 승월모듈 사이의 간격이 245mm이므로 Fig. 8 (d)의 상황을 만족하기 위해서는 장애물은 245mm보다 작아야 한다. 그러나 장애물 감지와 원치 정지 사이의 시간 지연 및 이동하던 메인 플랫폼이 정지하며 발생한 진동의 영향으로 생기는 위치오차 등을 고려할 경우 약 195mm가 안정적인 승월을 가능하게 하는 장애물의 최대 길이이다. 반면에 로봇이 승월할 수 있는 장애물의 최소 길이는 수 mm 정도로 벽면감지 근접센서가 측정할 수 있는 한 충분히 얇은 장애물이라도 승월이 가능하다. Table 5에 가능한 최대 및 최소 장애물의 길이를 정리하였다.

장애물 승월 매커니즘이 안정적으로 작동하기 위한 장애물의 높이(H)에 대한 실험 또한 다양한 높이의 장애물을 사용하여 수행하였다. 승월 가능한 장애물의 최대 높이는 설계된 승월로봇의 크기와 센서의 부착 위치에 의존한다. Fig. 5에 나타난 바와 같이 벽면과 메인 플랫폼 사이의 거리는 약 150mm이다. 이 때 승월모듈이 벽면 반대 방향으로 최대한 이탈하는 경우 승월모듈로부터 벽면까지의 거리가 약 115mm이며 장애물의 최대 높이는 이와 동일하게 측정된다. 반면에 로봇이 승월할 수 있는 최저 높이는 20mm로 측정되었다. 이 높이는 전방감지 근접센서의 장애물 감지 여부에 의해 결정된다. Fig. 5에서 첫 번째 전방감지 근접센서의 감지 방향 높이가 벽과 20mm의 거리를 두고 있다. 따라서 승월모듈은 20mm 이하의 장애물에 대해서 전방감지 근접센서가 장애물로 인지하지 못하기 때문에 승월할 수 없게 된다. 따라서 로봇이 승월할 수 있는 최고 높이는 115mm, 최저 높이는 20mm이며 역시 Table 5에 정리되어 있다.

Table 5 Structural limitation of the obstacle size

| Category | Maximum Length [mm] | Minimum Length [mm] |
|--------------|---------------------|---------------------|
| D (distance) | 195 | 2 or less |
| H (height) | 115 | 20 |

실험을 통해 승월로봇이 넘을 수 있는 장애물의 최대 크기는 승월로봇의 크기에 따라 커지며, 최소 크기는 전방감지 근접센서 및 벽면감지 근접센서의 위치에 영향을 받는 것을 확인하였다. 각 승월모듈에 사용되는 두 센서의 최적 위치는 승월로봇의 크기에 무관하며, Fig. 5에 보는 바와 같이 모듈의 가장자리에 최대한 밀착하여 감지 방향을 고려하여 부착한다. 전방감지 근접센서의 경우 승월모듈의 전진방향 가장 앞쪽, 벽면에 가까운 곳에 위치하며, 벽면감지 근접센서는 승월모듈의 전진방향 가장 뒤쪽, 벽면에 가까운 곳이 위치한다.

두 번째로 승월로봇의 승월 시간을 측정하기 위해 장애물의 높이, 장애물의 길이, 승월모듈의 이동속도, 원치의 하강속도로 대표되는 네 가지 조건을 다양하게 설정하여 승월 실험을 수행하였다. Table 3과 Table 4에 승월모듈과 원치의 속도 정보가 주어지고, 다양한 실험 조건에 따른 승월 실험의 결과는 Table 6에 나타내었다. 실험에 사용된 장애물은 68mm, 145mm, 195mm의 세 가지 길이와, 65mm, 115mm의 두 가지 높이를 갖도록 구성하였다. 장애물의 높이(H)에 의한 승월 시간의 영향은 Table 6 (a)와 (b)의 결과로 확인할 수 있다. 두 결과는 장애물의 높이를 제외한 나머지 세 가지 조건을 동일하게 유지하고 실험을 수행한 것이다. 표에서 보는 바와 같이 각각의 소요 시간은 24.27sec 및 24.29sec로 거의 차이가 없다. 이것은 장애물의 높이가 다르더라도 각각의 승월모듈이 벽면에서 이탈하고 접근하는 거리는 모두 최대 한계로 동일하므로 발생하는 결과이다. 장애물의 길이(D)가 장애물 승월 소요 시간에 주는 영향은 Table 6 (a), (c), (d)의 결과를 비교하여 알 수 있다. 이것은 장애물의 길이만을 변화시켜서 실험을 수행한 결과로, 장애물의 길이가 68mm, 145mm, 195mm일 때 장애물 승월 소요 시간은 24.27sec, 25.31sec, 25.76sec로 측정되었다. 장애물의 길이가 길어질수록 소요 시간도 길어지는 양상을 보이지만 전체 승월 시간 중에서 장애물의 길이가 소폭 증가해서 생기는 영향은 미미함을 알 수 있다.

원치의 하강속도가 장애물 승월 소요 시간에 주는 영향은 Table 6 (a), (e), (f), (g) 실험의 결과를 비교하여 파악할 수 있다. 원치의 하강 속도를 증

가시려가며 측정된 장애물 승월 소요 시간은 각각 24.27sec, 23.64sec, 22.89sec, 21.79sec이다. 윈치의 속도가 빨라짐에 따라서 장애물을 승월하기 위해 소요되는 시간은 줄어들고 있다. 윈치의 속도가 가장 느린 105.67mm/sec에서 180.49mm/sec까지 약 70% 상승시켰을 때 승월에 소요된 시간은 약 10% 가량 감소하였다. 하지만 전체 승월 시간 중에서 윈치의 하강속도 증가로 인해 줄어든 비율이 높지는 않으며, 이 경우 승월로봇의 가감속 시 진동을 유발하는 등 안정적인 구동을 방해하는 결과가 야기된다.

승월모듈의 벽면 접근 및 이탈 시 이동속도가 장애물 승월 소요 시간에 어떠한 영향을 주는지 알아보기 위해서 Table 6 (a), (h), (i) 실험의 결과를 비교해보았다. 세 가지 속도로 구동한 실험에서 장애물 승월 소요 시간은 각각 24.27sec, 34.06sec, 53.43sec로 관측되었다. 이 결과를 비교해보면 승월 모듈의 이동속도 차이가 장애물 승월 소요 시간에 가장 많은 영향을 주는 것을 알 수 있다. 이러한 결과가 발생하는 이유는 첫 번째, 네 가지 실험 중에서 승월모듈의 이동속도에 따른 시간 측정 실험에서 mode 1, mode 2, mode 3사이의 속도 차이가 크게 설정되었기 때문이다. Table 3에서 보는 바와 같이 이동속도의 최대값과 최소값의 차이가 48.07mm/sec와 15.90mm/sec로 약 3배에 달하고 있

다. 두 번째, 전체 장애물 승월 과정에서 승월모듈의 벽면 접근 및 이탈 과정에 소요되는 시간의 비중이 가장 크다. 3개의 승월모듈이 각 1회씩 접근과 이탈을 수행하여 총 6회의 이동과정이 진행된다.

5. 토론 및 결론

본 연구에서 건물 외벽을 이동하며 벽면에 존재하는 장애물을 승월하는 장애물 승월로봇과 승월 메커니즘에 대해 소개하였다. 개발된 장애물 승월로봇은 상하 이동을 담당하는 윈치에 매달린 메인 플랫폼에 세 단의 승월모듈이 벽면과의 접촉 및 이탈을 반복하며 벽면 이동과 동시에 장애물을 승월하는 기능을 갖는다. 이 과정에서 승월로봇 제어기는 다양한 센서들을 이용하여 로봇 주변의 환경에 대한 정보를 수집하고 메인 플랫폼과 세 단의 승월모듈 그리고 윈치를 조화롭게 제어하는 역할을 한다. 장애물 승월로봇의 승월 메커니즘을 검증하기 위해 실험실 규모의 테스트베드가 제작되었다. 그리고 승월로봇의 승월 성능을 승월로봇이 넘을 수 있는 장애물의 크기와 승월에 소요되는 시간으로 설정하고 이를 측정하기 위한 실험들이 이루어졌다. 장애물 크기 측정실험을 통해 승월로봇이 넘을 수 있는 장애물의 길이는 수 mm ~ 195mm이며, 높이는 20mm ~ 115mm인 것으로 측정되었다. 승월로봇이 한 개의 장애물을 넘는데 약 25초가량이 소요되며, 전체 장애물 승월 과정에서 승월모듈의 벽면 접근 및 이탈에 소요되는 시간의 비중이 가장 크다는 것을 확인하였다. 실험 결과를 통해 본 연구에서 제시한 3단 모듈형 메커니즘과 세 가지 센서를 활용하여 로봇과 윈치를 유기적으로 제어하는 알고리즘을 통해 개발된 승월로봇이 다양한 크기의 장애물을 승월할 수 있음을 확인하였다. 실험을 통해 로봇이 넘을 수 있는 장애물의 최대 크기는 로봇의 크기에 비례하고, 최소 크기는 센서의 위치에 의해 정해지는 것을 확인하였다. 센서의 최적 위치는 각 모듈의 가장자리이며, 최적 위치는 승월로봇의 크기와 관계없이 항상 동일하다. 본 연구에서 개발된 장애물 승월로봇은 건

Table 6 Obstacle overcoming time

| Climbing module velocity [mm/sec] | Winch releasing velocity [mm/sec] | D [mm] | H [mm] | Time [sec] |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|------------|
| mode 1 | mode 1 | 68 | 65 | (a) 24.27 |
| | | | 115 | (b) 24.29 |
| | | 145 | 65 | (c) 25.31 |
| | | | 65 | (d) 25.76 |
| | mode 2 | 68 | 65 | (e) 23.64 |
| | mode 3 | 68 | 65 | (f) 22.89 |
| | mode 4 | 68 | 65 | (g) 21.79 |
| mode 2 | mode 1 | 68 | 65 | (h) 34.06 |
| mode 3 | mode 1 | 68 | 65 | (i) 53.43 |

물 외벽 이동 시 장애물 승월에 초점이 맞추어져 벽면과의 부착 기능은 없는 상태이다. 추후에는 석션을 이용하여 각 모듈에 부착 기능을 추가하고, 외벽 청소 및 검사 등의 특정 기능을 부여하여 건물 외벽을 이동하며 필요한 작업을 안정적으로 수행하도록 하는 연구를 진행할 예정이다.

후 기

“본 연구는 금오공과대학교학술연구비에 의하여 연구된 논문임.”

REFERENCES

1. Lee, J. Y., Cho, J. S., Lee, S. J., “A Study on the Stability of Dynamic Walking of a Humanoid Robot” The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, pp. 123-130, 2016.
2. Chu, B., Jung, K., Han, C. S., Hong, D., “A Survey of Climbing Robots: Locomotion and Adhesion” International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 11, No. 4, pp. 633-647, 2010.
3. Jang, J., Chu, B., “Load Analysis for Obstacle Climbing Mechanism Design of Building”, Proc. of KSPE 2016 Spring Conference 171, 2016.
4. Minor, M., Dulimarta, H., Danghi, G., Mukherjee, R., Tummala, R. L. and Aslam, D., “Design, Implementation, and Evaluation of an Under-actuated Miniature Biped Climbing Robot,” Proc. Of the 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 1999-2005, 2000.
5. Grieco, J. C., Prieto, M., Armada, M., Gonzalez de Santos, P., “A Six-legged Climbing Robot for High Payloads” Proc. of the 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 1999-2005, 2000.
6. Longo, D. and Muscato, G., “A Modular Approach for the Design of the Alicia3 Climbing Robot for Industrial Inspection,” Industrial Robot: An International Journal, Vlo.31, No.2, pp. 148-158, 2004.
7. Akinfiev, T., Armada, M. and Nabulsi, S., “Climbing Cleaning Robot for Vertical Surfaces,” Industrial Robot: An International Journal, Vol. 36, No. 4, pp. 352-357, 2009.
8. Shin, M. J., Kang, S. H., Seok, W. D., Kim, C. S., “PID Control of Rotating Speed for a Motor using LabVIEW” The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, pp. 99-99, 2012.
9. Shim, B. K., Oh, S. B., Cong, N., Han, S. H., “A Technology of Obstacle Avoidance Based-on Ultrasonic Sensor” The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, pp. 287-291, 2008.
10. Kim, D. H., Kim, J. H., Park, J. W., Lee, I. I., Lee, I. W., Kim J. M., “Basic Design of Outside Cleaning Robot using Ultrasonic Sensor and Arduino” The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, pp. 166-166, 2014.