

# 줄 인형의 2차원 이동 및 회전을 위한 자석기반 전 방향 로봇시스템

## Omni-directional Mobile Robot for 2D Translation and Rotation of a Puppet using Magnet

김 병 열<sup>1</sup>, 한 영 준<sup>2</sup>, 한 헌 수<sup>3</sup>

Kim Byeong-Yeol<sup>1</sup>, Han Young-Jun<sup>2</sup>, Hahn Hun-Soo<sup>3</sup>

**Abstract** Marionette controlling robot has a problem that generates interference in rotation and intersection, therefore, the research on the independent shifter to move freely on the stage is required. Connecting omni-directional mobile robot with marionette controlling robot can solve this problem. Omni-directional mobile robot makes itself rotate and translate in 2D plane freely. Magnetic device is used to connect the moving part with the control part of the robot to minimize the interference generated by the movement of robot. When robot moves, it can move to all directions with the suitable setting of balance power. The moment of inertia is minimized by dividing the robot to the upper and lower parts in the marionette performance stage. Rotation and interference problem of independent omni-wheel Robot can be solved by using the permanent magnet. The efficiency and safety of the marionette controlling robot is proved by the experiment.

**Keywords:** Marionette, Magnet, Mobile robot, Puppet

### 1. 서론

로봇 제어기술은 줄 인형을 이용한 공연이 갖는 한계를 극복하기 위한 목적으로도 활용되고 있다. 기존의 줄 인형은 사람의 손으로 조작하다 보니 제자리에서 회전하거나 두 인형이 위치를 바꾸거나 하는 동작은 거의 불가능했다. 또한 손가락의 수에 비례하여 줄의 수가 결정되므로 관절의 수에도 한계가 있을 수 밖에 없었다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 로봇기술이 응용되기 시작하고 있다.

이러한 노력은 아직 초기단계로 주로 줄 인형 제어의 효율성에 관해 집중되고 있다. 사람이 제어하는 방식을 기반으로 하여 로봇의 효율성을 높이기 위한 연구로 최소한의

구동기로 최대한의 DOF(degree of freedom)를 갖게 하는 것이 목표이다<sup>[1]</sup>. 또한 모션 캡처(Motion Capture)와 결합하여 보다 효과적으로 목표 동작에 다가가기 위한 시도도 이뤄지고 있다<sup>[2]</sup>. 이러한 연구들에서는 인형 자체에 초점을 두고 인형의 이동에 있어서는 고려된 바가 없다.

줄 인형 제어 로봇이 소형화되고 다양한 형태로 구현되고 있지만 실제 줄 인형에 적용하여 공연하기에는 줄 인형 제어기의 이동성이 여전히 문제로 남고 있다. 복수의 인형들이 한 무대에서 공연할 때, 회전이나 교차로 인한 간섭이 문제가 된다. 기존의 인형극 제어기의 경우 줄 인형을 움직이는 수단으로 무대의 프레임에 매달려 있는 암 구조물을 이용하여 2차원 운동을 하고 있다<sup>[3]</sup>. 이러한 경우 구조물이나 배선의 영향으로 인해 회전 운동이나 줄 인형 간의 교차에 어려움이 생긴다. 또한 이동에 있어서 제약사항이 많아지고 인형 사이에 일어나는 동작에 제약이 가해진다. 특히 줄 인형을 유선으로 제어하면서 이동 시켜려 하는 경우 회전이나 자유로운 이동은 거의 불가능하다.

Received : Jul. 21. 2010; Reviewed : Oct. 18. 2010; Accepted : Nov. 11. 2010

※ “본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음”(NIPA-2010-(C1090-1021-0010))

※ “본 논문은 2010년 정부 교육과학기술부(한국학술진흥재단)의 2단계 BK21사업의 재원으로 지원을 받아 수행된 연구임.

<sup>1</sup> 숭실대 대학원 전자공학과 석사과정

<sup>2</sup> 실대 정보통신전자공학부 부교수

<sup>3</sup> 숭실대학교 정보통신전자공학부 학부장

로봇 암을 이용한 이동성 확보의 제약을 극복하기 위해 자석을 이용하여 제어기를 무대 천정에 매달고 자석을 이동시키는 방법을 고려해 볼 수 있다<sup>3)</sup>. 이러한 방법은 다양한 환경에 적응하는 산업용 로봇에서 사용하는 방법으로 자력 선이 중심에서 방사형으로 나아가며 지면과의 상관관계가 로봇의 이동에 상당한 영향을 주게 된다. 그래서 필요 이상의 자기력이 필요하고 로봇 아래쪽으로 하중이 전부 실리게 됨으로 로봇 전체의 하중보다 큰 힘을 필요로 하기에 효율성 면에서 떨어지게 된다. 같은 원리를 구현하는 다른 방법으로 전방향성을 갖는 자석 바퀴를 활용하는 방법도 제안되었다<sup>4)</sup>. 이러한 로봇의 경우 이동환경상의 이유로 설계상의 제약이 따른다. 기존의 설계방식으로는 부착력을 높임으로 인해서 이동에 제약사항이 따르고 이는 자칫 로봇의 주행에 영향을 줄 수 있다.

본 논문에서는 이러한 문제들을 해결하기 위해 줄 인형의 제어기를 전 방향 이동 로봇을 이용하여 자유롭게 이동시키는 방법을 제안한다. 전 방향 이동로봇은 바퀴의 지면과 수직인 축이 각각 독립적으로 회전 함으로서 제자리 회전 및 진행방향을 결정하여 이동성을 높인다. 그러나 이러한 시스템은 지면과의 마찰의 영향을 받아 기존의 자석을 이용한 이동 체에서 문제가 발생한다. 따라서 자석의 배열 및 형태에서 차이를 두는 자석장치를 이용한다. 인형극 로봇이 주로 이동하는 무대의 평면적인 특성과 관계 있으며 모바일 로봇의 회전을 포함한 위치 이동에 유리하게 작용한다. 이러한 특성들을 고려하여 자석 장치를 고안하였다.

## 2. 전 방향 이동 로봇

### 2.1 줄 인형극의 구조

본 논문에서 제안하는 구조는 인형극 로봇에 있어서 효율적인 이동방식을 적용 가능케 할 구조 이다. 아래 그림

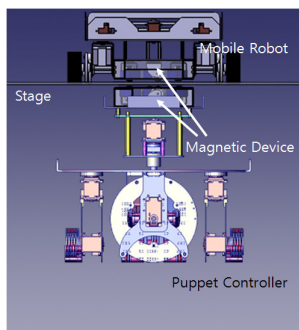


그림 1. 줄 인형 로봇 정면도

1과 같이 인형극 로봇에 있어서 본 논문에서 제안하는 시스템은 크게 두 부분으로 구분할 수 있다. 무대를 기준으로 하여 상부에는 이동의 역할을 담당하는 모바일 로봇이 위치한다. 하부에는 인형극 제어를 담당하는 인형극 제어 로봇이 위치한다. 모바일 로봇과 인형극 제어 로봇이 분리된 환경에서 이들 사이를 연결해 주는 역할을 하는 것이 자석 장치이다. 이는 상하로 대칭된 구조로서 자력을 형성하여 무대를 경계로 하여 인력이 작용한다.

### 2.2 줄 인형 이동제어기

줄 인형 이동제어기의 핵심은 독립적인 방향성을 가진 바퀴이다. 이를 이용하여 그림 3과 같은 운동을 가능하게 한다. 모듈의 특징을 살펴보면 바퀴를 회전시키는 모터와 모듈 전체를 지면과 수직방향으로 방향을 바꾸어 주는 모터 두 가지로 구성되어 있다.

지면과 미끄러지는 것을 방지하고 정확한 제어를 위해 넓은 폭의 바퀴와 스텝모터를 이용하였다. 또한 위 설계 모습과 같이 모터와 바퀴 사이에는 3단의 기어가 물려 있다. 모바일 로봇과 인형극 로봇이 소형화 되었지만 전체의 무게는 상당하여 충분한 토크를 감당할 수 있는 구조를 선택해야 하기 때문이다<sup>5)</sup>.

두 번째로 방향성을 가짐에 따라 정밀한 제어가 가장 필수적인 요소이다. 이 역시 정지된 상태의 로봇에서 바퀴의 방향을 변경할 수 있을 정도의 충분한 토크가 필요하다. 또한 정확한 각의 이동을 위해 서보 계열의 모터를 이용하게 된다.

인형극 로봇의 이동제어기는 방향성이 가장 우선적이다. 위와 같은 전 방향 로봇은 방향성을 만족시키는데 유리하다. 하지만 인형극 로봇의 경우 소형화 하여도 자석장치를 포함한 인형의 상하 로봇과 인형의 무게로 인한 수직항력이 크다. 특히 정지 상태에서 이로 인한 마찰력에 의해 미끄러짐 없이 방향을 바꾸려면 각 회전하는 축이 중심에서 같은 거리상에 대칭되게 있어야 한다. 그래야 회전 시에 같은 경로를 유지한다. 대각 주행 시에도 정밀한 방향 유지가 필요하다. 이와 마찬가지로 자석 또한 대칭구조를 이루며 위와 같이 중심에 위치해야 한다. 무게 중심 역할을 하는 자석장치가 모바일 로봇의 운동에 영향을 주지 않는 구조로 제작 되어야 한다<sup>6)</sup>.

모바일 로봇의 크기 또한 중요한 부분이다. 인형극의 특성상 인형은 상호작용이 중요한 요소이다. 인형제어기도

중요하지만 제어기의 경우는 제어 범위 내에 있게 된다. 문제는 이에 대한 위치 이동을 담당하는 모바일 로봇이 경우 전체를 서로 다가가게 하고 교차시키기도 하며 회전하게 할 수 있다. 이때 모바일 로봇의 회전 반경은 최대 인형극 제어기 보다 작아야 한다. 바퀴가 독립적으로 움직이는 구조라서 제자리 회전 시에는 그림 2의 (a)와 같이 로봇의 반경이 로봇의 크기를 대신하게 된다.

그림 3은 모바일 로봇 설계의 정면 모습으로서 보조바퀴와 자석간의 상태를 볼 수 있다. 자석장치에서 보조바퀴의 높이는 고정되어 있다. 최소한의 일정한 거리만 유지해도 마찰력에는 영향을 주지 않기 때문이다. 그러나 로봇의 무게나 동작으로 인해 자력의 크기를 결정해 줄 필요가 있다. 따라서 자력은 가변성이 필요하다. 현재 사용하는 영구자석은 자극의 세기가 일정하므로 본 구조에서는 자석과 자석 사이의 거리를 변경 함으로서 자력을 변경한다.

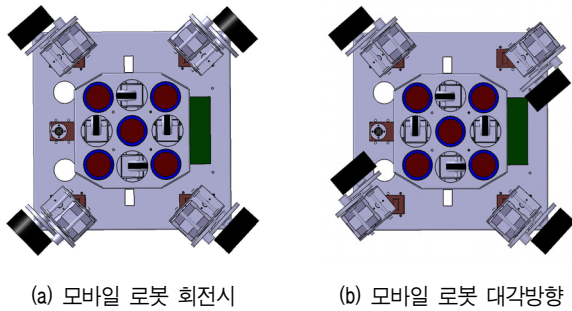


그림 2. 모바일 로봇 바퀴방향

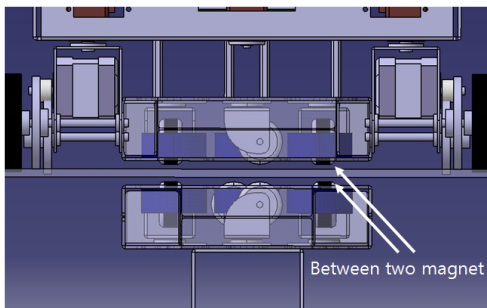


그림 3. 모바일 로봇 정면도

### 3. 줄 인형 이동 기법

#### 3.1 이동 로봇과 인형 제어기의 결합 기법

자석 장치의 구조는 아래와 같다. 위아래 대칭 되는 구조로서 한쪽만 단면도를 본 모습이다. 총 5개의 자석이 자

석 장치에 위치하고 있다. 대칭 구조를 이루며 극을 교차하고 있다. 이로 인해 자석장치끼리 인력을 작용함과 함께 회전 시에 척력을 작용함으로 인해서 뒤틀리는 현상을 막을 수 있다<sup>7)</sup>.

그림 5는 자석장치를 옆에서 본 모습이다. 이렇게 교차된 자석과 함께 사이사이에는 보조바퀴가 위치해 있다. 보조바퀴의 역할은 자석으로 인한 강한 인력을 일정거리만큼 떨어뜨려 직접 접촉으로 인한 마찰을 줄이는 역할을 한다. 또한 바퀴는 전 방향 구조로서 모바일 로봇의 전방향을 유지해 준다. 보조바퀴 4개의 경우 허용하중이 30kg 으로서 자력으로 인한 수직항력과 중력의 합과 평형을 이룰 수 있다.

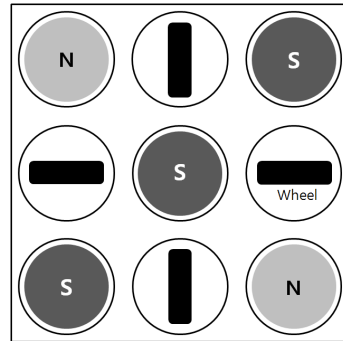


그림 4. 자석 장치의 단면도

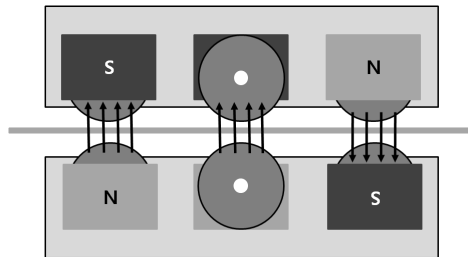


그림 5. 자석 장치의 측면도

#### 3.2 전체 시스템에 작용하는 힘

그림 6에서 볼 수 있듯이 자석 장치는 위아래 같은 형태를 하고 있다. 가운데 비자성체를 기준으로 하여 대칭되는 모습을 보인다. 설계 안에 보이는 두 자석 사이의 틈은 강한 자력에 의한 힘으로 인한 마찰력을 줄이기 위한 장치이다.

그림 7은 인형극 제어 장치와 이동장치 한 쌍이 한쪽 방향으로 이동할 때 발생하는 힘들에 대해 나타내고 있다. 우선 가장 큰 특징으로는 자석장치와 모바일 로봇이 간접

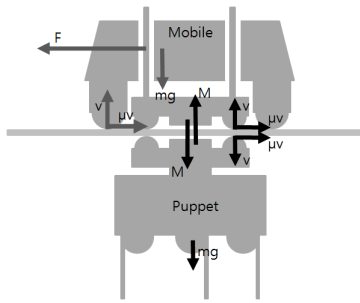


그림 6. 로봇에 작용하는 힘

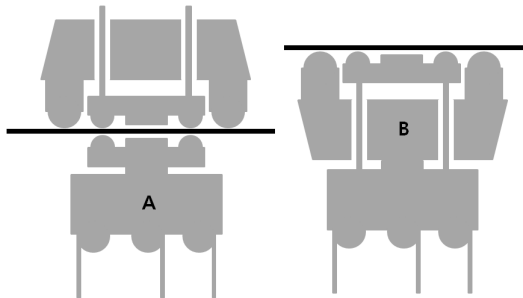


그림 7. 두 가지 형태의 자석장치

적으로 연결되어 있다. 따라서 수직방향으로 생기는 힘이 연결되지 않아 힘의 평행이 항상 이루어진다.

우선 수직방향으로 생기는 힘으로는 중력과 수직항력과 자기력이 있다. 무대를 경계로 위쪽에 있는 자석 장치(D)에는 중력(mg)과 자기력(M)을 더한 힘이 수직항력(v)와 평행을 이루고 있다. 두 번째로 간접적으로 연결되어 있는 위쪽에 있는 모바일 로봇(M)에는 다른 물체와 별개로 로봇에 대한 중력(mg)과 수직항력(v)이 평행을 이루고 있다. 즉 모바일 로봇은 자석 장치와 수평방향으로는 힘의 이동이 있지만 수직방향으로는 독립적인 장치이다.

이 독립된 구조는 영구자석을 이용한 설계에서 매우 용의하다. 특히 인형극 로봇에서는 수직방향으로의 힘이 수시로 변한다. 이로 인해 모바일 로봇 본체에 무리를 줄 수 있다.

$$D_v = D_{ma} + D_M \quad (1)$$

$$M_v = M_{ma} \quad (2)$$

무대를 경계로 아래쪽에는 줄 인형을 제어하는 제어기(P)가 있다. 줄 인형 제어기는 상부에 위치하는 자석 장치와 일체형으로 무대 위쪽의 자석 장치의 자기력(M)과 같

은 크기의 힘이 위로 작용한다, 이에 평행한 힘은 전체 무게인 아래로 작용하는 중력(mg)과 무대에 대한 수직항력의 합이다.

$$P_M = P_v + P_{ma} \quad (3)$$

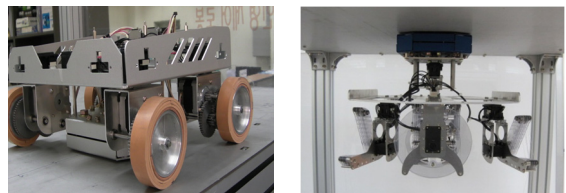
수평방향에 대한 힘을 생각해 볼 때 모바일 로봇의 이동으로 인한 외력 F로 인하여 상단의 자석장치는 같은 힘이 실리게 된다. 이렇게 될 경우 지면에서부터 일정거리 떠 있는 자석을 제외한 모바일 바퀴와 자석 장치의 보조바퀴에 발생했던 수직항력에 대한 마찰력이 작용한다. 이 마찰력들은 상쇄되는 힘에 의해 작아진 수직항력과 바퀴로 인한 마찰계수의 감소로 인하여 작아질 수 있다. 따라서 무거운 중량의 로봇이 공중에 매달린 상태로 원활히 움직일 수 있게 된다.

## 4. 실험 및 고찰

### 4.1 시스템 사양 및 구현 목표

본 논문에서는 인형극 제어 시스템에 있어서 보다 원활한 이동성을 갖는 이동 체를 설계하는 것에 목적을 두고 있다. 구현된 시스템의 성능 평가를 위해서 기존의 자석기반의 이동로봇과 비교 실험을 통해서 성능을 검증하게 된다. 그림 7과 같이 두 가지 형태로 나누어 실험해 본다. 자석 바퀴와의 비교실험을 대신해 같은 구조의 로봇 형태와 비교실험을 하게 된다. B의 경우는 기존에 자석관련 로봇에서 널리 사용되는 형태로서 철 금속 위에서 작업하는 로봇이다. 측정 위치는 모두 자석장치를 기준으로 한다.

그림 8(b)는 인형극제어 로봇으로서 무게는 2.7kg이다. 여기에 목각인형이 800g으로 자석장치(1.5kg)까지 총합 5.0kg이다. 인형극 제어로봇의 특징으로는 인형극 제어 시에 줄 길이 조절과 상하 운동으로 인해 관성 력이 크게 작용한다. 따라서 로봇의 무게에 추가적인 힘이 가해지게 된다.



(a) 모바일 로봇

(b) 줄 인형 로봇

그림 8. 완성된 전체 인형극로봇

### 4.2 전방향성에 유리한 설계

줄 인형극의 특성상 다양한 극의 연출을 위해 모바일 로봇의 전방향성이 필수적이다. 정지 상태에서 로봇이 바퀴의 방향을 바꾸거나 제자리 회전 시 가장 문제가 되는 점이 오차가 쌓이는 점이다. 제어 값과 실제 이동 값이 차이와 그림 7의 자석장치의 차이와의 관계를 알아본다. 구조의 차이에 의해서 무대를 경계로 아래에 걸리는 하중의 차이가 생긴다. 위 부분의 하중은 수직항력과 평형을 이루는데 반해 아래 부분은 중력과 자력과 평형을 이룬다. 그만큼 강한 자력을 필요로 한다. 이와 같은 회전운동에서 작용하는 관성 모멘트를 생각해 볼 때 그 차이를 가능해 볼 수 있다. 전체 물리 량(무게)은 같지만 분포도에 있어서 B의 경우는 불안정한 형태로서 인형극 로봇에서는 더욱 불리한 형태이다.

표 1. 시스템의 차이

성 능 치	제안된 시스템(A-type)	기존의 유사 시스템(B-type)
전체무게	10.1kg	8.6kg
아래하중	5.0kg	8.6kg
구동 가능한 최소 자성치 입력	7kg	11kg
이동가능 최소 힘 크기	약 2kg	약 3kg
90° 회전오차	0°	5°
180° 회전오차	0~5°	10°
270° 회전오차	0~5°	10~15°
360° 회전오차	5°	15°

### 4.3 로봇형태에 따른 마찰력

A와 B의 경우로 나누어 줄 인형극 로봇을 등속도로 움직였을 때 힘의 변화를 살펴 볼 수 있다.

우선 그림 9에서 볼 수 있듯이 큰 특징을 보자면 정지 마찰계수가 다르다는 점과 운동 마찰 계수가 다르다는 점이다. 일정한 무게의 로봇을 움직이는데 드는 힘의 차이가 위와 같다. 기존에 많이 사용하던 방식인 형태는 자석 바

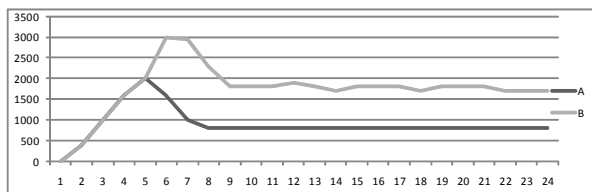


그림 9. 두 가지 형태의 로봇의 마찰력

퀴는 아니지만 그 구조만으로도 무게를 아래방향에서만 지지 함으로서 필요 이상의 여분의 힘을 필요로 한다. A와 B의 경우 로봇의 위치만 바뀌었을 뿐 전체 질량은 1.5kg 차이가 있다. 매달리는데 필요한 자기력 또한 같다. 따라서 인력으로 인한 마찰력은 크게 차이 나지 않는다. 하지만 로봇뿐 아니라 인형과 함께 불규칙적인 움직임으로 인한 힘이 발생함으로 보다 안정적인 A의 구조가 움직임에 필요한 힘에 있어서도 안정성에 있어서도 유리 하다는 것을 알 수 있다.

### 4.4 줄 인형극에 적용

그림 10은 최종적으로 줄 인형극 로봇에 대한 실제 제작된 모습이다. 전 방향 제어를 이용하여 원활한 방향제어가 가능하며 자석장치를 이용하여 별도의 구조물 없이 줄 인형 제어가 독립적으로 구동 가능하였다. 따라서 이와 같은 복수의 줄 인형이 회전 혹은 교차에 의한 간섭에 상관없이 극을 연출 할 수 있다.



그림 10. 줄 인형 시스템 <http://blog.naver.com/84bk/120110245159>  
(줄 인형극 데모)

## 5. 결 론

본 논문에서는 기존의 로봇을 통한 줄 인형 제어에서 회전이나 교차하면서 생기는 간섭의 문제들을 다루었다. 이에 대한 대안으로 전방향성 이동형 로봇, 그리고 이와 인형극 제어로봇을 연결해 줌과 동시에 독립적으로 이동하게 해줄 수 있는 자석장치를 제안하였다. 인형극 제어 로봇은 원활한 인형극 구현을 위해 자유롭게 이동할 필요가 있다. 그러나 기존의 인형극 제어 로봇은 이동에 취약하며 이동 제어가 독립적이지 못해 교차 시에 간섭이 일어난다. 이에 있어서 효과적인 방법으로 전방향성 바퀴를 통한 방향전환과 보조 자석장치를 통해 무대를 기준으로 하나

의 독립된 인형극 제어 로봇이 될 수 있도록 가능하게 하였다. 이 경우 두 로봇의 연결을 가능하게 할 수 있는 자석 장치가 중요하다.

인형극 로봇의 경우는 한정된 공간 (평면상)에서 작은 힘으로 신속하게 원하는 위치로 가는 것이 중요하다. 상부에 전 방향으로 원활한 이동이 필요한 모바일 로봇과 하부에 관성이 많이 작용하는 인형극 제어로봇을 연결하기 위한 자석장치로 항상 힘들을 상쇄할 수 있는 구조를 가지고 있다. 또한 안정된 구조로서 보다 적은 관성모멘트로 움직일 수 있음을 확인할 수 있었다. 이렇게 확보된 안정된 독립성으로 인해 기존의 자석을 통한 이동체 보다 평면상에서 회전하는 상황에 유리하며 하나의 독립된 제어기로 구성되며 제어 시 교차 시에도 아무런 간섭을 받지 않게 된다. 그러나 영구자석의 형태로 인해 자력의 변화를 줄 수 없어 생기는 문제가 다소 있다. 다양한 힘의 변화의 인형극 로봇으로 인한 무게 중심의 변화를 보다 효율적으로 대처할 수 있다면 보다 효율적인 시스템으로 개선될 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] I-Ming Chen, Raymond Tay, Shusong Xing, Song Huat Yeo, "Marionette: From Traditional Manipulation to Robotic Manipulation," International Symposium on History of Machines and Mechanisms, Vol.3, pp.119-133, November 2007.

[2] Katsu Yamane, Jessica K. Hodgins, H.Benjamin Brown, "Controlling a Motorized Marionette with Human Motion Capture Data," International Conference on Robotics & Automation, Vol.3, pp.3834-3841, September 2003.

[3] Hwa-cho Yi, Hae-ho Joo, Seung-chul Han, "Development of Detachable System of permanent Magnet Wheel for Mobile Robot", KSPE, pp.635-638, 20003.

[4] Eun-Toung Kim, Dong-Hoon Lee, Ho-Kyeong Kim, "Development of a hull-plate moving robot with permanent magnets", KSME, pp.990-995, 2008.

[5] Dong-Joo Shin, Byoung-yull Yull Yang, Kyu-yun Hwang, Byung-il Kwon, "Optimal Design of an In-Wheel Permanent Magnet Synchronous Motor for

mobile robot", KIEE, pp.668-689, 2007 .

[6] J.H. Kim, W.J. Chung, H.G. Kim, S.H. Kim, S.H. Lee, "Development of Electromagnet wheel for vertical wall-climbing Mobile Robot", KSPE, pp.746-749, 2005.

[7] Seung Chul Han, Hwa Cho Yi, Eun Chan Kim, "Study on the Design Constraints of the Wall-Climbing Mobile Robot Using Permanent Magnetic Wheels", KSPE, Vol.21, pp.77-84, 2004



**김 병 열**  
 2009 숭실대 정보통신전자공학부 학사.  
 2009~현재 숭실대 대학원 전자공학과 석사과정  
 관심분야: 모션캡처, 로봇제어, 영상처리



**한 영 준**  
 1996 숭실대 전자공학과 학사.  
 1998 숭실대 전자공학과 석사.  
 2003 숭실대 전자공학과 박사.  
 2009~현재 숭실대 정보통신전자공학부 부교수.  
 관심분야: 로봇 비전, 영상처리, 비주얼 서보잉



**한 현 수**  
 1991 University of Southern California (공학박사).  
 1992~현재 숭실대 정보통신전자공학부 교수.  
 1994 일본기계기술 연구소 객원연구원.  
 1998 숭실대학교 어학원장.  
 1999 숭실대학교 정보통신전자공학부 학부장.  
 관심분야: 자동화 시스템, 자료융합, 물체)