



자동기립이 가능한 차륜형 역진자 시스템 개발

A Wheeled Inverted Pendulum System with an Automatic Standing Arm

이세한*

Se-Han Lee

* 경남대학교 기계공학부

Division of Mechanical Engineering, Kyungnam University

요 약

본 연구에서 자동화된 기립 및 복귀 시스템이 적용된 직립주행이 가능한 이동로봇용 구동 플랫폼이 개발되었다. 종래 대부분의 이동로봇은 정역학적으로 안정된 평면형의 4륜 혹은 3륜 구동형으로 구성되어 있는데, 이러한 형태의 이동로봇은 방향 전환을 위해서 독립구동형 혹은 조향형 차륜을 갖추고 있다. 이동로봇이 매우 협소한 지형에서 직각으로 굽은 통로를 주행할 때, 이동로봇은 전후진을 반복하는 등 복잡한 조향동작을 필요로 하거나, 극단적인 경우, 물리적인 조향이 불가능한 경우에 처하게 된다. 직립주행이 가능한 이동로봇은 점유면적이 작은 직립된 상태로 몸체의 형상을 변형시켜 해당 지형을 원활하게 통과할 수 있다. 본 연구에서 기립(복귀)동작, 확인동작, 평형제어 순으로 각 단계가 수동으로 조작되었던 기립제어 단계가 몸체의 기울기 각도 검출로 자동화되어, 단일 자동제어로 조작되는 차륜형 역진자 시스템이 제안되었다.

키워드 : 자동기립 압, 직립주행, 차륜형 역진자

Abstract

In this study a moving platform for a mobile robot that can be traveling with a full automatic standing arm was developed. Conventional mobile robots generally may equip 4 wheels or 3 wheels with a caster wheel or independent driven wheels and have good statistic stability. When a mobile robot travels on a sharply perpendicular and narrow crossroad, it may need a special steering scheme such as going forward and backward repeatedly or it is sometimes physically impossible for the robot to go through the crossroad because of the size limit. The upright running mobile robot changes its posture to the upright posture which has a small planar area and is able to go through the crossroad. The upright control which was manually performed step by step before such as sequences of uprighting (returning), checking, and balancing, is now automated.

Key Words : Automatic standing arm, Upright running, Wheeled inverted pendulum.

Received: Jun, 11, 2015

Revised : Jul, 9, 2015

Accepted: Jul, 22, 2015

† Corresponding author

leesehan@kyungnam.ac.kr

이 연구결과물은 2014년 경남대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 것임.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

본 연구에서 차륜형 역진자가 선택적으로 직립주행이 가능하도록 하는 기립 압의 동작 과정을 자동화시킨 차륜형 역진자 시스템이 개발되었다. 차륜형 역진자는 선천적으로 불안정한 구조를 갖고 있어서 그 자세를 안정화 시키기 위해서 능동적인 제어가 필요하고 그 구조적 비선형특징 때문에 제어 알고리즘 개발의 대상[1,2]으로 많이 사용되어 왔다. 최근에는 이동로봇의 플랫폼으로 많이 적용[3,4]되고 있다.

차륜형 역진자 기구가 불안정성에도 불구하고 이동 플랫폼[5,6]으로 시도되고 있는 이유의 한 가지로 작은 점유면적 특성을 들 수 있다. 차륜형 역진자는 평형제어기에 문제가 발생하거나 혹은 주행면에 예상하지 못한 장애물이 존재하여 몸체가 한 번 전복되게 되면,

자력으로 복귀가 불가능하게 되어서 그 작은 점유면적 장점은 퇴색되게 된다.

이러한 차륜형 역진자의 구조적인 단점을 개선하기 위해서 제안된 직립주행 가능한 차륜형 역진자 연구기에서 기립 암이라는 기구를 이용하여 주행면의 조건에 따라서 운전자가 직립형 혹은 평면형으로 그 몸체상태를 선택할 수 있는 이동 플랫폼이 개발되었다.

이렇게 선택적으로 구동형태가 전환될 수 있는 차륜형 역진자 이동플랫폼은 협소한 지역의 경우 기립된 상태로 주행하고 개방된 지역의 경우 정역학적으로 안정된 평면형 상태로 주행할 수 있어서 그 주행 원형성이 높아 질 수 있을 뿐만 아니라 대기 시에 몸체가 평면형으로 복귀되어 평형제어에 필요한 동력소비가 억제될 수 있는 특징을 갖게 된다.

차륜형 역진자 상태를 기립형 및 평면형으로 전환제어에 관한 연구[8]에서 기립 암 기구와 기성품 서보장치가 이용되어 차륜형 역진자는 직립형 및 평면형으로 전환되고 있다. 이 때, 기립 암 제어장치의 동작과정은 역진자의 기울기 상태를 피드백 받지 않을 뿐만 아니라 역진자 평형장치와 연동되지 않으며 운전자의 시각정보에 의존하여 기립(복귀)동작, 확인, 그리고 평형제어 개시라는 각 단계에 해당되는 수동조작에 의존하게 된다. 운전자가 차륜형 역진자의 상태를 시각적으로 볼 수 없는 조건에서는 기립 및 복귀동작을 정상적으로 조작하는 것이 곤란하게 된다.

본 연구에서는 역진자 몸체의 각도 상태를 적극적으로 검출하여 그 상태를 파악하고 운전자의 기립 혹은 복귀라는 단일 조작으로 기립과정 및 복귀과정에 필요한 일련의 동작이 자동화되어 있다.

본 연구의 내용으로 2장에서는 차륜형 역진자가 주행면 위에서 전복되었을 때, 발생 가능한 경우들이 제시되고 그에 대응 가능한 기립 암의 상태들이 제시되며, 3장에서는 차륜형 역진자를 기립시키기 위한 기립 암 구성과정과 역진자의 전후 기울기 각도를 광범위하게 검출할 수 있는 센서 신호처리 개선안이 고찰된다. 4장에서는 자동화된 일련의 기립 및 복귀과정이 실험을 통하여 구체적으로 서술되며, 마지막으로 5장에는 본 연구의 결론이 제시되었다.

2. 차륜형 역진자 이동로봇의 기립

차륜형 역진자 이동로봇은 제어기 문제 혹은 주행면의 과도한 장애물 때문에 전복되었을 때, 그 몸체는 전방 혹은 후방으로 전복되는 형태가 된다. 본 연구에는 기립 암이 일반 범용모터로 구동되고 있기 때문에 기존 연구의 기성품 서보와는 달리 임의의 방향으로 기립 암의 360도 회전 가능하다. 몸체가 전복된 방향에 대응할 수 있도록 필요에 따라서 2개의 기립 암이 동시에 임의의 전후방향에서 전복된 몸체를 지지할 수 있다. 다음의 그림1은 본 연구에서 제작된 자동 기립 암이 부착된 차륜형 역진자 이동로봇을 나타내고 있다.

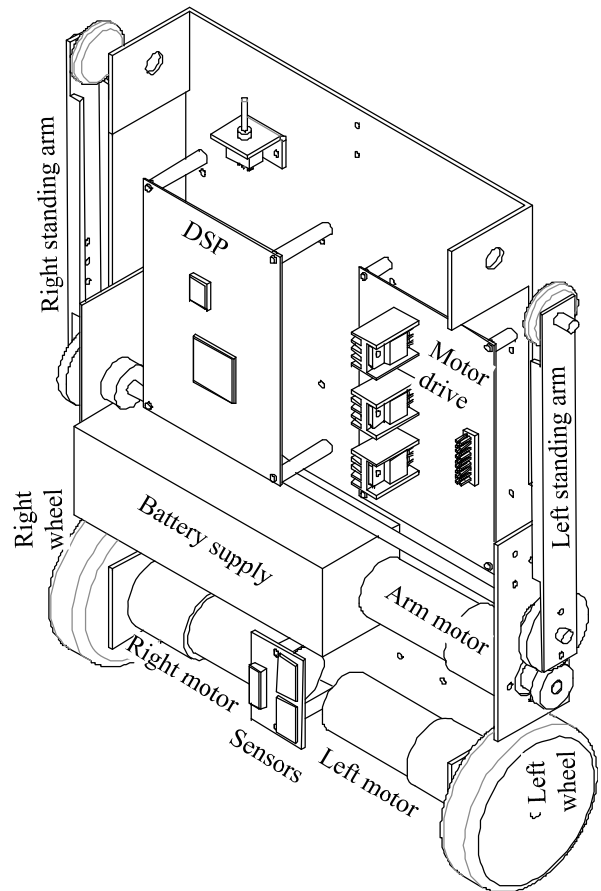


그림 1. 자동 기립 암이 장착된 차륜형 역진자
Fig. 1. A wheeled inverted pendulum mobile robot with automatic standing arms.

기존의 연구[7,8]에서 2개의 기립 암은 각각 서로 반대방향으로 움직이기 때문에 1개의 기립 암만 몸체 한 측면을 불안정하게 지지하며, 몸체의 한 측면만 지지되었기 때문에 기립 동작이 매우 불안할 수 있었다. 본 연구의 2개의 기립 암은 그림3과 같이 동시에 필요한 방향으로 움직일 수 있으므로 2개의 기립 암이 몸체 양쪽에서 안정되게 동시에 기립동작에 기여하게 된다. 기존의 연구는 몸체가 전복된 방향을 검출하는 기능이 없었기 때문에 전복된 방향에 상관없이 몸체를 기립시키기 위해서 일방적으로 2개의 기립 암을 전후방 방향으로 동시에 움직였다.

기존의 연구는 몸체의 평형유지에만 필요한, 즉, 평형상태 부근에서 원활하게 동작하도록 센서신호 처리과정이 설정되어 있었다. 그 센서는 몸체가 넘어지는 극단적인 광범위 기울기, $\pm 90^\circ$ 초과영역에서 각도를 원활하게 검출할 수 없었다. 본 연구에는 광범위한 $\pm 90^\circ$ 초과영역에서도 원활하게 기울기 각도를 검출할 수 있도록 센서신호 처리과정이 개선되었다.

2.1 전방전복 경우의 기립

다음의 그림2의 상단부와 같이 몸체가 전방으로 전복된 경

우 기울기 센서는 그 해당되는 기울기 각도를 검출한다. 이 때, 기립 압은 반시계방향으로 회전하여 몸체를 기립시키게 된다. 기립 압이 반시계방향으로 회전함에 따라서 몸체는 시계방향으로 회전하게 된다. 몸체가 회전하여 수직방향으로 기립된 상태는 몸체에 부착된 기울기 센서 혹은 기립 압의 구동모터 센서를 통해서 파악될 수 있다.

2.2 후방전복 경우의 기립

몸체가 후방으로 전복된 경우, 몸체는 그림2의 하단부와 같은 상태가 된다. 이 때, 기울기 센서는 그 기울기 각도를 통해서 몸체가 후방으로 전복된 것을 판단하게 된다. 기립 압은 시계방향으로 회전하여 몸체를 기립시키게 된다. 기립 압이 시계방향으로 회전함에 따라서 몸체는 반시계방향으로 회전하게 된다. 역시, 몸체가 회전하여 수직방향으로 기립된 상태는 몸체에 부착된 기울기 센서 혹은 기립 압의 구동모터 센서를 통해서 파악될 수 있다.

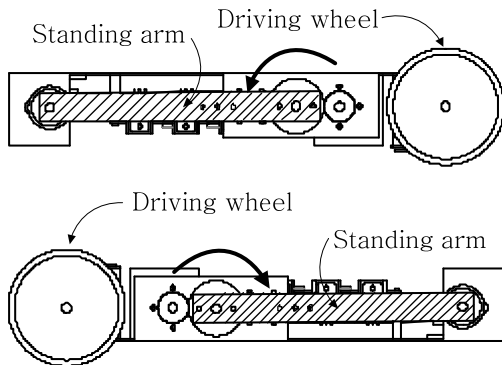


그림 2. 전방 및 후방으로 전복된 몸체상태
Fig. 2. Forward and backward fallen chassis.

2.3 전방 및 후방복귀

먼저, 몸체의 기립과 복귀의 차이를 다음과 같이 정의하도록 한다. 몸체의 기립은 전복된 상태 혹은 평면형으로 주행이 가능한 상태에서부터 평형유지가 필요한 수직상태로 몸체를 전환하는 것을 의미하고 몸체의 복귀는 평형상태를 유지하고 있는 수직상태로부터 전복된 상태 혹은 평면형으로 주행이 가능한 상태로 몸체를 전환하는 것을 의미한다.

복귀의 경우 전방 혹은 후방의 방향으로 전복된 상태 혹은 평면형으로 몸체가 회전하므로 전방 및 후방복귀 경우가 존재하게 된다. 평면형으로의 복귀가 필요한 경우 대부분 안정된 후방복귀가 필수이다. 본 연구에서 제안된 자동기립 시스템은 필요에 따라서 전방 및 후방복귀를 선택적으로 동작시킬 수 있는 기능을 갖는다.

복귀방향이 결정되면 복귀동작이 개시되는데, 차륜형 역진자는 수직으로 평형을 유지한 상태에서 천천히 2개의 기립 압을 복귀방향에 부합되는 방향으로 하강시킨다. 후방복귀 경우 기립 압은 모두 후방으로 회전하고, 전방복귀 경우 기립 압은 모두 전방으로 회전하게 된다.

기립 압이 특정한 각도 부근에 도달하면 즉, 기립 압 말단

이 주행면에 대하여 정해진 높이에 도달하면 평형제어는 해제되고 짧은 시간동안 복귀방향의 반대로 몸체를 급가속 시키는 킥킹 (kicking) 이라는 동작이 실행된다. 그 급가속의 결과로 관성력이 복귀방향으로 몸체에 대하여 발생하게 되고 기립 압은 주행면에 자연스럽게 착지하게 된다. 기립 압이 주행면에 착지된 다음, 기립 압이 천천히 대기위치로 복귀하면 몸체도 천천히 복귀하게 된다. 다음의 그림3은 후방복귀에 해당되는 기립 압의 상태를 나타내고 있다.

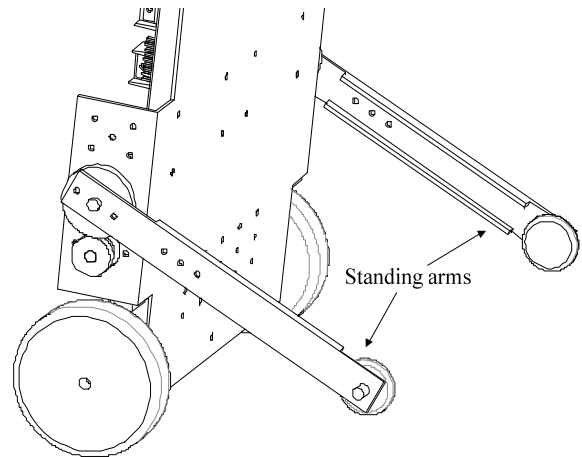


그림 3. 후방복귀에 해당되는 기립 압 자세상태
Fig. 3 Posture of the standing arms with respect to the backward returning.

3. 기립 압 기구와 기울기 센서 확장

이동플랫폼 구조가 4륜 혹은 2륜 구동인지 여부는 역진자가 복귀된 상태인 평면형 혹은 기립된 상태인 직립형인지 여부에 있다. 기립 압 기구는 이 두 가지 형태를 전환하는 역할을 담당하고 있다. 이동플랫폼이 전복된 상태를 자세히 검출하기 위해서 기존 기울기 센서로부터 확장된 광범위 기울기 센서가 사용되었다.

3.1 기립 압 기구

기립 압 기구는 이동로봇 몸체에 지렛대로 작용하여 몸체를 반복적으로 기립시킬 수 있는 기능 및 대기상태에 해당되는 초기상태로 복귀시킬 수 있는 기능을 가져야 한다. 기립 압 기구는 이동로봇이 통상적으로 주행할 때와 주어진 고유의 동작을 수행할 때, 방해가 되지 않도록 구성되어야 한다 [7,8].

기존연구와 다른 점은 기립 압 구동에 일반모터가 사용되어 회전의 방향과 범위에 제한이 없으며, 2개의 기립 압이 동시에 같은 방향으로 움직이므로 몸체를 안정되게 지지할 수 있다는 점을 들 수 있다.

기립 압 구동장치 후보기로 회전형과 직선형을 들 수 있는데, 구현과 제어의 편리성에 의해서 본 연구에서는 그림4와 같은 회전형 구동장치가 채용되었다. 본 연구에서는 통신을

통해서 구동 회전각도만을 제어할 수 있는 기성품 서보가 채용되지 않고 동작 자유도가 높은 일반 엔코더 모터가 사용되어 회전각도뿐만 아니라 각속도까지 제어되었다. 단순히 기립 압의 회전각도만 제어되는 경우 기립 시 몸체에 과도한 관성력이 발생되어 몸체가 넘어질 우려가 발생한다. 다음의 그림4에 기성품 서보가 채용된 종래형과 새롭게 구현된 기립 압 구동장치가 나타나 있다.



(a) Conventional standing arm (b) New type standing arm

그림 4. 종래형(a)과 새롭게 개발된 기립 압(b) 구동장치

Fig. 4. Two Standing arm mechanisms of (a) the conventional and (b) the new one developed.

3.2 기립 기구의 역학

기립 압 구동기구는 몸체의 중량을 지지할 수 있으며, 신속히 몸체를 기립시킬 수 있어야 한다. 기립 압 구동장치가 구성되기 위해서는 구체적으로 기립 압의 길이, 기립 압의 회전축 위치와 회전형 구동장치의 최대토크 등이 고려되어야 한다. 본 연구에서는 기본적인 구조로 기존연구기와 유사한 그림5와 같은 구조를 채용하고 있다.

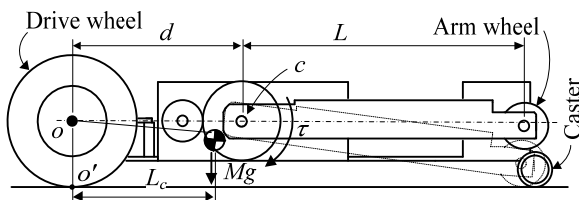


그림 5. 직립 주행형 이동로봇의 초기자세

Fig. 5. Initial posture of the upright-running mobile robot.

표 1. 기립 압 기구 파라미터

Table 1. Standing arm mechanism parameters

Parameter	value	Description
M	2.49 kg	Mass of the chassis
g	9.8 m/s	Gravitational acceleration
d	97 mm	Distance between the centers of wheel and standing arm axis
L_c	85 mm	Distance between the centers of the wheel and chassis
L	160 mm	Length of the standing arm

기립 압의 회전축과 차륜 회전축이 d 만큼 어긋나 있는 경우 기립 압이 발생시켜야 할 토크가 억제되는 장점이 부가적으로 발생하는 반면에 기립 압 구동장치는 90° 이상 회전할 수 있어야 하는 조건이 필요하게 된다. 본 연구에서 채용한 구동장치는 일반모터를 사용하고 있으므로 임의의 각도로 회전하는 것이 가능하므로 이 조건에 부합된다. 본 연구에서는 기립 압의 발생토크를 최대한 억제하기 위해서 동력용 배터리 및 제어기 배치 위치를 변경 개선하여 몸체의 질량중심 길이를 최대한 단축시켰다. 위에 제시한 표1은 구성된 기립 압의 기구 파라미터를 나타내고 있다.

3.3 기울기 센서 측정범위 확장

차륜형 역진자에는 평형제어를 위한 기울기 센서가 사용되고 있다. 평형제어 특성상 역진자 몸체는 평형상태에서 매우 작은 범위로 요동하고 있기 때문에, 그 기울기 센서는 좁은 범위에서 유효한 $\tan^{-1}(z/x)$ 함수를 사용하도록 설정되어 있다. 그러므로 몸체가 전복되는 $\pm 90^\circ$ 초과영역에서는 그 각도센서로부터 광범위한 각도를 얻는 것은 매우 곤란하다. 본 연구에서는 측정 기울기의 범위 확장을 위해서 표 2의 몸체가 존재하는 $\pm 90^\circ$ 초과 범위의 해당하는 가속도계의 부호를 감안하여 기울기 각도가 계산되도록 $\tan^{-2}(x, z)$ 함수가 사용되었다.

표 2. 몸체의 기울기에 따른 가속계의 부호

Table 2. Acceleration sign according to the tilting angle

Tilting angle range	Z-axis	X-axis
normal ($-90^\circ < \theta < +90^\circ$)	+	\pm
Excess over CW 90°	-	+
Excess over CCW 90°	-	-

다음의 그림6은 몸체를 평형상태에서 전방으로 다시 후방으로 회전시켰을 때, 측정된 몸체 기울기 각도를 나타내고 있다. $\pm 90^\circ$ 초과 영역에서도 각도가 정상적으로 검출되는 것을 알 수 있다.

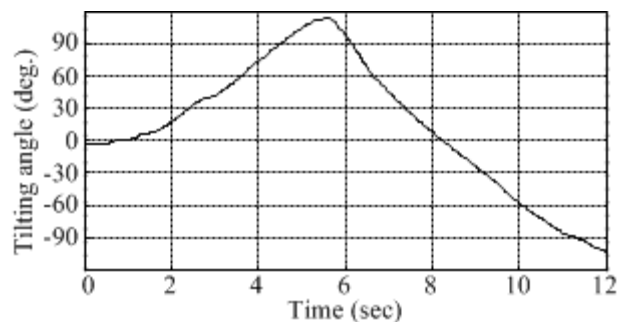


그림 6. 몸체가 $\pm 90^\circ$ 범위를 초과한 경우의 센서출력

Fig. 6. Sensor output for the chassis tilting through the range of the angles out of $\pm 90^\circ$.

4. 자동복귀 및 기립

이동로봇 기립동작의 경우 수직상태라는 최종 형상이 결정되어 있는 반면에 복귀동작의 경우 임의의 방향으로 몸체가 복귀될 가능성이 있다. 기존연구[8]의 기립 암 기구는 그 구조적 특성상 항상 지정된 방향으로 몸체가 복귀되고 있다. 본 연구의 경우 킥킹(kicking) 동작을 통해서 원하는 방향으로 복귀하는 것이 가능하다.

4.1 복귀동작

기존의 연구에서는 평형제어가 해제된 다음 기립 암이 양 방향으로 최대한 신속하게 지면으로 내려와서 몸체를 특정한 방향으로 고정시킨 다음 기립 암을 대기상태로 복귀시킴으로써 몸체가 지면으로 복귀되도록 하고 있다. 이 때, 좌우 기립 암의 최종 회전각도를 달리함으로써 몸체가 최종적으로 기울어지는 각도를 달리하여 그 복귀방향이 결정되도록 되어 있다.

본 연구에서는 평형제어를 유지한 상태에서 기립 암 구동 모터의 회전제어를 통하여 2개의 기립 암을 동시에 원하는 방향의 지면으로 서서히 접근시킨다. 기립 암이 지면에 접촉하지 않고 지면과 이격된 상태에서 평형제어를 해제함과 동시에 킥킹(kicking)이라는 동작이 실행되어서 몸체는 복귀 방향으로 기울어지게 된다. 이 때, 킥킹동작은 몸체를 짧은 일정 시간동안에 복귀방향의 반대방향으로 주행 모터를 급가속 시키는 방법으로 구현된다.

다음의 그림7은 몸체가 복귀동작을 수행하는 과정 동안에 해당되는 몸체의 기울기 각도(a), 기립 암의 각도(b), 그리고 몸체의 이동거리(c)를 나타내고 있다. 그림7(c)에서 중간 6.5 초 부근에서 킥킹동작에 의해서 급격한 전진동작이 발생되었음을 알 수 있다.

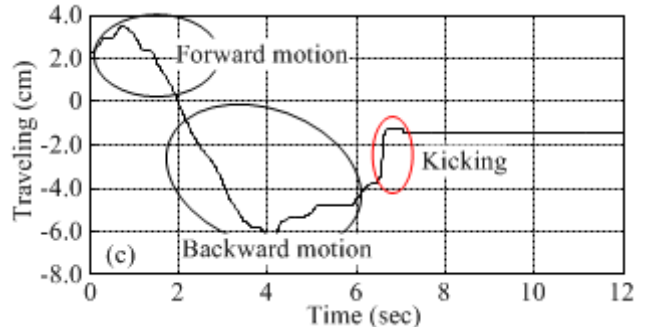


그림 7. 몸체 복귀과정에 해당되는 몸체의 각도(a), 기립 암의 각도(b), 몸체 이동거리(c) 분포

Fig. 7. Profiles of tilting angle of the chassis(a), the standing arms(b), and the chassis' traveling distance(c) during the returning of the chassis.

몸체가 복귀방향으로 기울어진 상태에서 2개의 기립 암은 서서히 대기위치로 되돌아가면서 몸체는 지면으로 복귀하게 된다. 이러한 과정에서 기립 암의 신속한(고속) 동작은 불필요하게 되므로 기립 암 구동모터의 제원결정에 있어서 단순히 몸체를 지지할 수 있는 토크만 고려대상이 된다. 즉, 기립 암 구동모터의 소형화가 가능해진다.

다음의 그림8은 몸체가 복귀하는 과정 동영상의 일부를 시간의 흐름에 따라서 캡처한 그림을 나타낸 것이다. 기존 연구에서는 2개의 기립 암이 몸체의 전후 방향으로 회전하기 때문에 1개의 기립 암이 몸체의 측면을 지지하고 있어서 몸체의 복귀동작이 매우 불안했던 것과는 달리 본 연구에서는 2개의 기립 암이 동시에 동일한 방향으로 몸체의 양측을 지지하고 있으므로 몸체의 복귀동작이 매우 안정함을 기대할 수 있다.

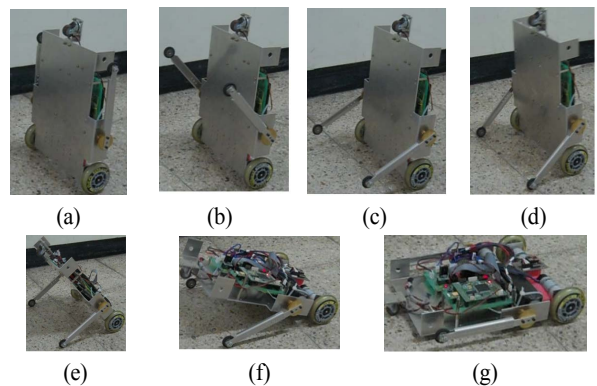
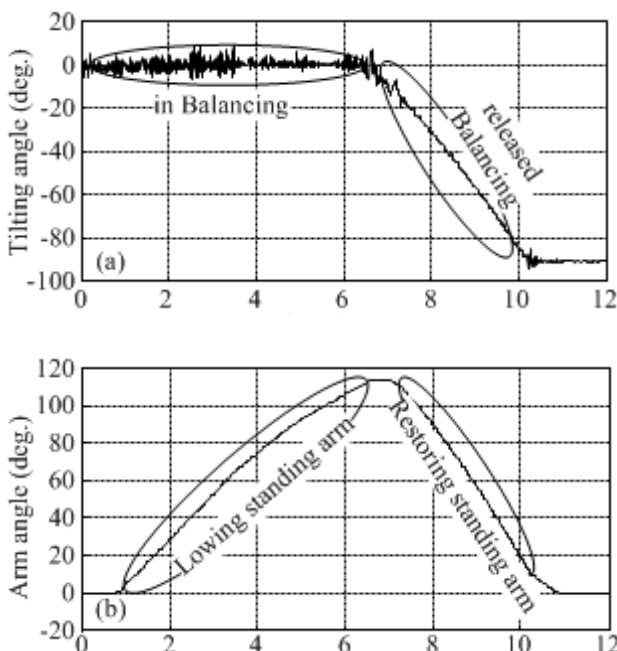


그림 8. 몸체의 복귀과정에 해당되는 실험 동영상 그림

Fig. 8. Frame picture sequences captured during the returning of the chassis.

4.2 기립동작

기립동작의 방향은 복귀동작과는 다르게 선택의 여지없이 단일 방향만 존재하게 된다. 기립동작은 이동로봇의 몸체가

정상적으로 복귀된 상태에서 진행된다고 가정한다.

기존 연구에서는 1개의 기립 암이 몸체의 측면면을 지지하고 있으므로 몸체 내부 구성물들의 중량 배치가 불균일할 경우 기립 도중에 넘어지는 등 정상적인 기립이 불가능해질 우려가 있었다. 본 연구에서는 2개의 기립 암이 몸체 외부 양 측면을 동시에 안정되게 지지하고 있으므로 몸체 내부의 구성물들의 중량 배치 균일도와 무관하게 안정된 기립동작이 가능하다.

기립동작의 경우 몸체가 소정의 기울어진 상태에서 평형제어가 개시되면 기존 연구와 유사하게 기립 암이 자연스럽게 지면과 이격되면서 몸체는 평형을 유지하게 되는데, 이 때, 기립 암은 서서히 대기위치로 되돌아가게 된다. 다음의 그림 9는 기립동작 과정에 해당되는 몸체의 기울기 각도, 기립 암의 각도, 몸체의 이동거리를 제시하고 있다.

그림9(a)의 2.5초 부근에서 기립 암 구동의 속도는 감소되어 몸체에 발생하는 관성력을 저감시키고 있으며, 계속해서 4.5초 부근에서 평형제어가 개시되어 과도현상을 경유하면서 몸체의 각도가 안정화 되는 것을 알 수 있다. 이 때, 그림 9(b)에 표시된 기립 암 각도는 평형제어가 개시되는 4.5초 부근에서 원래 상태로 복귀하고 있다. 그림9(c)는 평형제어가 개시되는 4.5초에서 몸체가 전후방향으로 이동하다가 안정화고 있는 과도현상을 나타내고 있다.

기존 연구의 경우 몸체의 평형제어가 개시되면 몸체가 기울어진 측면의 반대편 기립 암은 지면과 충돌한 우려가 있으므로 가능한 신속하게 대기위치로 되돌아갈 필요가 있었다. 본 연구의 경우 방해가 될 수 있는 그 반대편 기립 암이 존재하지 않으므로 기립 암들의 신속한 회전이 불필요하게 된다.

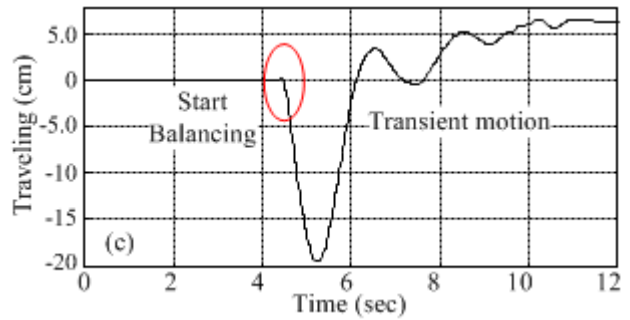
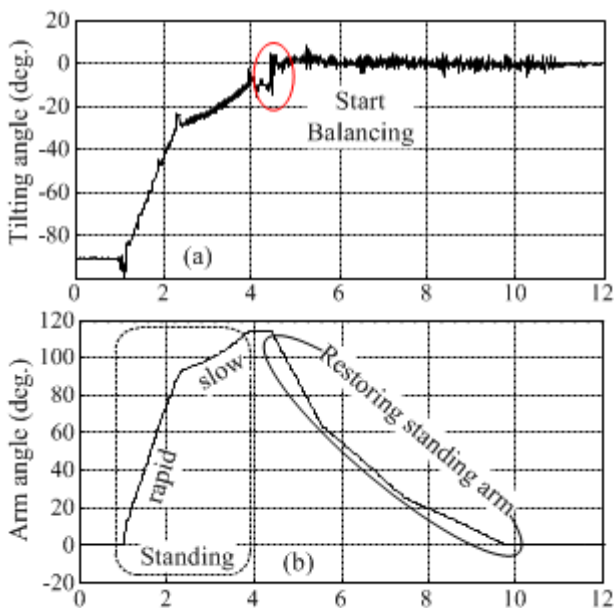


그림 9. 몸체 기립과정에 해당되는 몸체의 각도(a), 기립 암의 각도(b), 몸체의 이동거리(c) 분포

Fig. 9. Profiles of tilting angle of the chassis(a), the standing arms(b), and the chassis' traveling distance(c) during the standing of the chassis.

다음의 그림10은 몸체가 기립하는 과정 동영상의 일부를 시간의 흐름에 따라서 캡처한 그림을 나타낸 것이다. 그림 10(c) ~ (e) 사이에 평형제어기 개시되는데, (d)에 표시된 기립 개시점인 검정색 사선으로부터 몸체가 과도현상으로 후진했다가 다시 (e)에서 몸체는 기립 개시점으로 회복하고 있다. 역시, 2개의 기립 암이 동시에 동일한 방향으로 몸체의 양측을 지지하고 있으므로 몸체의 기립동작이 매우 안정함을 기대할 수 있다.

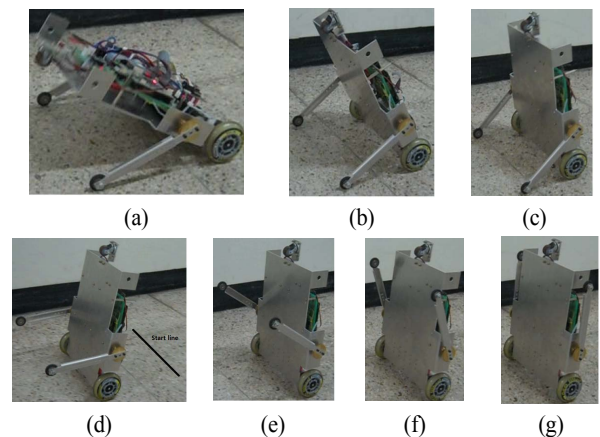


그림 10. 몸체의 기립과정에 해당되는 실험 동영상 그림

Fig. 10. Frame picture sequences captured during the standing of the chassis.

5. 결론

본 연구에서는 이동로봇용 구동플랫폼으로 사용될 수 있는 자동기립과 복귀가 가능한 직립주행 차륜형 역진자 시스템이 개발되었다. 기존의 직립주행 차륜형 역진자는 운전자가 필요에 따라서 기립(복귀)동작 → 상태 확인 → 평형제어에 해당되는 각 단계를 수동으로 동작되었다. 이 때, 운전자가 시각적으로 이동로봇을 파악할 수 있는 경우에는 수동조작이

유효하지만, 반면에서 운전자가 시각적으로 이동로봇의 상태를 파악할 수 없는 경우에는 기립 및 복귀가 곤란해지는 단점이 발생된다. 본 연구에서는 몸체의 기울기 각도에 연동되어 그 해당 동작 과정이 자동으로 실현되었다. 이 자동화 기능은 기립 및 복귀에 소요되는 시간이 일관되게 일정하다는 특징이 있어서 동작소요 시간 예측이 가능하다. 복귀동작의 경우, 기존의 연구에서는 후면 복귀로 고정되어 있는 반면에 본 연구에서는 킥킹이라는 동작을 도입하여 필요에 따라서 전면 혹은 후면으로 선택적으로 복귀할 수 있는 기능이 구현되었다. 이동로봇은 대부분 원격에서 동작되므로 본 연구의 결과는 주행면의 상태와 로봇이 전복된 상태를 고려하여 적절한 위치로 해당 로봇을 기립 혹은 복귀시킬 수 있는 기능 역할 실현에 기여할 것으로 기대된다.

References

- [1] J. Huang, Z-H. Guan, T. Matsuno, T. Fukuda, K. Sekiyama, "Sliding-Mode Velocity Control of Mobile-Wheeled Inverted-Pendulum Systems," *IEEE Transactions on Robotics*, Vol. 26, No. 4, Aug. pp.750-758, 2010.
- [2] S.-H. Lee, S.-Y. Rhee, "A Mixed H_2/H_∞ Stage Feedback Controller Based on LMI Scheme for a Wheeled Inverted Pendulum running on the Inclined Road," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 20, No. 5, pp.617-623, 2010.
- [3] <http://www.segway.com/>
- [4] <http://world.honda.com/news/2009/c090924New-Personal-Mobility-Device/>
- [5] J. Searock, B. Browning, M. Veloso, "Turning Segways into Soccer Robots," Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Sendai, Japan, pp.1029-1034, 2004.
- [6] R. O. Ambrose, R. T. Savely, S. M. Goza, P. Strawser, M. A. Dftler, I. Spain, N. Radford, "Mobile Manipulation using NASA's Robonaut," Proceedings of IEEE International Conference on Robotics & Automation, *New Orleans*, US, pp.2104-2109, 2004.
- [7] S.-H. Lee, S.-Y. Rhee, "Development of a Moving Platform for a Upright Running Mobile Robot Based on an Inverted Pendulum Mechanism," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 22, No. 5, pp.570-576, 2012.
- [8] S.-H. Lee, J.-G. Kang, "A Development of the Self-Standable Mobile Robot Based on a Wheeled Inverted Pendulum Mechanism," *Journal of Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 30, No. 2, pp.171-176, 2013.

저 자 소 개



이세한(Se-Han Lee)

1989년 : 고려대 기계공학과 졸업
1991년 : 고려대 기계공학(공학석사)
2002년 : 고려대 기계공학(공학박사)
2004년~현재 : 경남대학교 기계공학부

관심분야 : 강인제어, 자동화 로봇, 메카트로닉스
Phone : +82-55-249-2149
E-mail : leesehan@kyungnam.ac.kr