

## 굴곡지형 안전주행시스템의 개발 Development of Stable Traveling Systems for Stairs and Off-road

최중섭\*, 전형규\*\*  
Jung-Seob Choe\*, Hyung-Gyu Jun\*\*

### <Abstract>

This paper describes traveling systems consisting of one major-wheel and three minor-wheels attached to each tip of three spokes. A link of inter-axle plays an important role of the system. It connects secondary axle to the major wheel axle. Its length is determined to ascend stably various stairs. The systems was designed to mount a cart for carrying agricultural products. The systems was applied to ascend stairs, travel on sand and cross a obstacle, despite of simple design.

**Keywords :** *Traveling system, Stair, Sand, Cart, Carrying Agricultural products*

### 1. 서 론

무거운 물건을 나를 때 대부분 차륜이 부착된 운반도구를 이용하지만, 도중에 장애물로 인하여 운행이 곤란하거나 자유롭게 이동할 수 없는 경우가 많다. 이러한 장애물에는 돌부리와 같은 불규칙한 형상의 것도 있지만 계단이나 턱(문턱이나 도로턱)과 같이 형상이나 높이가 일정한 경우도 있다. 또한 비포장 지역을 주행할 때는 바퀴가 빠지거나 장애물에 걸려서 아예 이동이 불가능한 경우도 발생하게 된다.

계단을 오르내리거나 불안정한 지형을 원활히 이동하기 위한 주행시스템을 개발하고자 오래전부터 많은 연구가 진행되어왔다. 그 결과, 몇몇 메커니즘이 제안되었으나(Volpe (1996), Matthies (2000) 등) 아직까지 만족스런 결과에는 이르지 못하고 있는 실정이다.

계단은 경사가 상당히 심하고, 따라서 이러한 계단을 안전하게 오르내리기 위해서는 대규모의 기구가 필요하지만, 역으로 이러한 복잡한 구조의 기구는 평탄지에서의 주행성능에는 오히려 악영향을 미친다. 계단을 오르내리는 차륜 기구를 설계하고자 할 경우, 계단높이와 차륜직경의 관계 및 계단의 모서리 부분과 차륜사이의 마찰계수 등을 고려하여 안정된 구동력을 확보할 수 있도록 해야 한다.

습지, 점토, 모래 등과 같은 연약지에서 주행할 때에는 일반토양에 비해 침하가 심하게 발생하거나 슬립이 증가하게 된다. 이에 대한 일반적인 대책으로써, 차륜의 직경을 크게 하여 접지면적을 증가시킴으로써 접지응력의 감소효과를 가져올 수 있지만, 차륜의 직경을 증가시키는 것도 한계가 있고 경반이 거의 존재하지 않는 습지나 모래에서는 주행 자체가 불가능해

\* 교신저자, 정회원, 경북대학교 이공대학 기계공학과 교수, 農博  
E-mail: jschoe@knu.ac.kr

\*\* 경북대학교 상주캠퍼스 산업과학기술연구소 연구원

\* Corresponding Author, Prof., Dept. of Mechanical Engineering, Kyungpook National University, Ph. D.

\*\* Researcher of Institute of Industrial Science and Technology, Kyungpook National University

지는 경우가 종종 발생한다. Forsyth(1968) 등은 이를 어느 정도 극복할 수 있는 새로운 주행시스템을 개발하고 Terrastar라고 명명하였다. 원래 포를 장착하거나 수륜양용으로 이용하기 위한 군용으로 이용할 목적으로 개발된 이 주행시스템의 구조는, 3개의 스포크(spokes) 각각에 차륜을 장착하여 하나의 차륜시스템으로 작동하도록 되어 있다.

본 연구는 많은 관심과 연구가 수행되었으나 아직까지 만족스러운 결과를 도출하지 못한 굴곡지형 및 연약지형을 안정적으로 주행할 수 있는 주행시스템을 개발하는 데 그 최종 목적이 있다. 본 논문에서는 이를 위한 첫 단계로 운반로가 확보되지 않은 일반농지에서 농산물을 운반할 수 있는 손수레의 주행장치에 대한 개념 설계를 바탕으로 그 모형을 제작하고 계단 및 연약지에서의 주행 가능성을 타진하는 것에 목적을 두었다.

다음 단계의 연구에서는 본 논문에서 제안된 주행시스템의 적정설계에 관한 연구를 수행하고, 더 나아가서는 신체적으로 움직임이 불편한 노인 및 장애인들의 휠체어와 같은 이동수단의 성능개선을 위한 연구에 착수하고자 한다. 본 연구의 결과가 적절히 활용될 수 있으리라고 예상된다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 계단을 오르내리는 기구의 종류

계단을 오르내리는 기구의 종류는 대략 다음과 같이 5가지 방식으로 분류할 수 있다.

#### (1) 무한궤도방식

다양한 형태의 무한궤도를 구성하여 승강하는 것

#### (2) 저압타이어를 이용한 방식

공기압이 낮으면서 직경이 큰 타이어를 구동시켜 계단디딤판(tread)의 모서리(nosing)에 파고들 수 있도록 한 것

#### (3) 스포크(spoke)방식

여러 개의 작은 차륜이 부착된 스포크(spokes)를 회전시켜 계단의 디딤판(tread)에 걸치도록 하여 계단을 올라가게 하는 것

#### (4) 다축(多軸)방식

차축의 수를 증가시켜 축간거리를 짧게 하여 계단의 모서리(nosing)를 통과할 때 차체가 바

닥에 걸리는 것을 방지하는 것

### (5) 복합형방식

위의 여러 방식 중에서 작업조건에 맞는 2개 이상의 방식을 조합한 것.

## 2.2 새로운 주행 시스템의 제안 및 그 주행 특성

계단의 형상은 계단의 높이와 너비의 차이에 따라 천차만별로 나타날 수 있다. 이를 단순화시키기 위하여 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 계단의 형상을 단순화하고, 계단의 높이 및 너비의 조합으로 그 형상을 나타내기로 한다.

### (1) 계단 각 요소의 명칭

Fig. 1에 일반적으로 사용되고 있는 계단 구성요소의 명칭을 나타내었다.

계단의 경사도(Pitch)는  $\frac{Rise}{Run}$ 의 비율로 나타낸다.

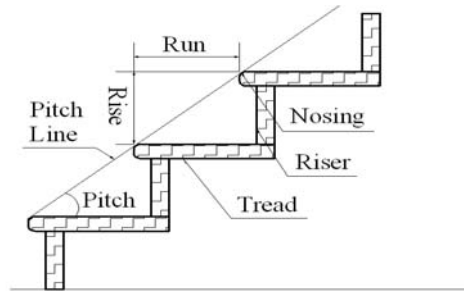


Fig. 1. Dimensions of stairs.

### (2) 굴곡지형 주행 시스템의 개념 설계 및 그 주행 특성

본 연구에서는 계단승강 주행장치의 여러 방식 중에서 주차륜에 3개의 스포크(spokes)를 장착한 복합형 방식을 새롭게 고안해 그 주행성을 실험하기로 하였다. 그 개략적인 구조를 Fig. 2에 나타내었다.

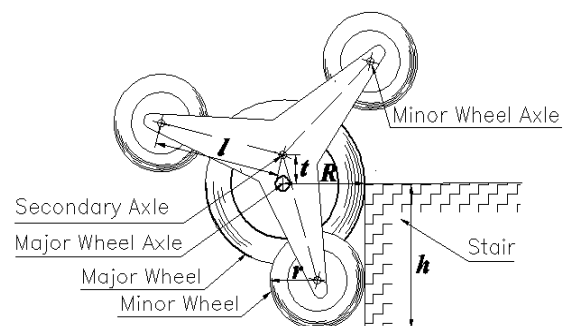


Fig. 2. Schematic diagram of developed traveling systems.

이 주행장치는 기본적으로 평지를 주행할 때에는 주륜이 일반적인 차량의 바퀴역할을 수행하지만 Fig. 2에서처럼 계단을 오르거나 연약지반을 통과하게 될 때에는 주륜과 부륜이 상호 보완적으로 기능을 발휘함으로써 기존의 단일 바퀴형보다 원활한 주행을 가능케 한다.

여기서 3개의 스포크와 부륜(Minor-wheel)으로 구성된 장치를 보조차륜장치라고 부르기로 하자.

계단을 오를 때의 메커니즘을 살펴보면, 먼저 주차륜에 전적으로 하중이 실려서 수평주행운동을 하다가 계단 구석에 부륜이 구속되어 더 이상의 전진이 불가능하게 되는 순간, 모든 하중은 부륜 축으로 이동하게 되고 부륜축을 중심으로 한 원주 운동을 잠시 하게 된다. 이 때 주차륜은 계단에서 이탈되어 주차륜이 계단 측면(Riser) 또는 모서리에 닿을 때까지 공중에 떠있는 상태가 지속된다.

주차륜이 계단 측면이나 모서리에 닿게 되면 다시 차량의 전하중은 주차륜으로 모두 이동하게 되고 잠시 계단모서리를 중심으로 한 원주 운동을 하다가 하나의 부륜이 계단의 구석에 구속될 때까지 수평운동을 하는 과정을 되풀이하게 된다.

결국, 제안된 주행시스템도 경사면의 피치선 방향으로 일직선 운동을 하는 것은 불가능하지만, 구성요소의 적절한 설계를 통하여 상하진동을 최소화할 수 있을 것이다.

이 주행시스템이 원활하게 주행할 수 있게 하는 매우 중요한 요소가 Fig. 2에서 표시한 주륜축과 부축간의 거리를 나타내는  $t$ 인데, 실제 구조물에서는 이 두 축은 링크로 연결되어 있다.

이 링크가 존재함으로써 주행중에 주차륜이 부륜의 간섭을 받지 않고 지면에 닿아서 원활한 주행이 가능하게 되는 것이다.

계단을 오를 때의 이상적인 조건은 주륜축(Major-wheel axle) 중심 궤적이 피치선과 평행하게 되는 것이라 할 수 있다. 그러나 이것은 이상적인 조건이고 실제로는 위에서도 언급한 바와 같이 계단에서의 상승운동은 수평운동, 원주운동의 반복과정이므로 주차축의 중심궤적은 피치선과 평행한 선으로부터 어느 정도 벌어짐과 가까워짐을 반복할 수밖에 없다.

다만, 이 정도를 최소한으로 하는 각 구성요소의 치수가 도출될 수 있을 것이다.

Fig. 2는 계단 구석에 부륜이 구속되어 더 이상의 전진이 불가능하게 되어 모든 하중이 부륜 축으로 이동하여 부륜축을 중심으로 원주운동을 하다가 주축이 계단에 닿게 되는 순간을 나타낸 것으로, 이때를 기준으로 주차축의 높이는 최소한 계단의 높이(Rise)보다 더 높은 위치에 있어야 하므로, 이 조건을 바탕으로 식(1)을 도출할 수 있다.

만일, 이 때 주차축이 계단의 높이보다 더 낮은 위치에 있게 된다면, 한 동안 차량은 수직운동을 해야만 되므로 차량전체를 번쩍 들어서 올려놓지 못한다면, 경사면을 따라 올라가는 운동 자체가 불가능해 질 수 있다.

Fig. 2에서 계단의 높이, 스포크(spoke)의 길이, 주륜축과 보조축사이의 링크길이, 부륜의 반경을 이용하여, Fig. 2와 같은 상황에서 주륜축의 높이와 계단의 높이가 같은 조건에서의 스포크의 길이를 구하면 아래 식 (1)과 같이 나타난다.

$$l = \sqrt{(R - r)^2 + (h + t)^2} \quad (1)$$

여기서,

$l$ : 스포크(spoke)의 길이

$R$ : 주륜의 반지름

$r$ : 부륜의 반지름

$h$ : 계단의 높이

$t$ : 주륜축과 보조축사이의 링크길이이다.

다른 모든 치수가 결정되어 있고 어느 하나의 치수가 미정일 때 식 (1)을 이용하여 그 최소한의 치수를 결정할 수가 있다.

식 (1)을 주륜축과 보조축사이의 링크길이  $t$ 에 대해 나타내면 다음 식 (2)와 같이 된다.

$$t = \sqrt{l^2 - (R - r)^2} - h \quad (2)$$

### 3. 실험 및 결과

#### 3.1 실험장치의 제작

건설교통부령(제348호) 『건축물의 피난방화구조 등의 기준에 관한 규칙』 제15조 (계단 및 복도의 설치기준)의 2항에, 계단을 설치하는 경우 계단의 단 높이 및 단 너비의 치수에 관한 기준이 제시되어 있다. 규정에 의하면 초등학교의 계단인 경우에는 단 높이는 160mm이하, 단

너비는 260mm 이상으로 할 것이며 중·고등학교의 계단인 경우에는 각각 180mm 이하, 260mm 이상으로 할 것을 권고했다. 본 실험에서는 계단의 높이를 초등학교 계단의 기준인 160mm보다 10mm 정도 낮은 150mm의 계단 높이를 기준으로 정했다.

부륵(Minor-wheels)에 사용된 바퀴는 피트니스 인라인 스케이트용((주)동방레포츠)으로서 직경이 72mm이고 투명한 폴리우레탄 재질이었다. 재질의 특성상 충분한 마찰력을 발생시킬 수 있어서 슬립이 거의 발생하지 않았다. 베어링의 외경과 내경은 각각 22mm와 8mm였다. 핸드카트((주)경호)는 적재중량이 30kg이고 파이프와 철사로 구성된 범용을 채택했다. 카트바퀴(주륵)의 직경은 150mm이고 재질은 합성수지이다.

Table 1. Specification of the System

Component	Size(mm)
Major Wheel(Diameter)	150
Minor Wheel(Diameter)	72
Spoke of Minor-wheel (Length)	130
Link(Secondary axle to Major-wheel axle)	25
Height of stair	150

### 3.2 새 주행시스템의 특성

본 연구를 위해 새롭게 고안 제작한 실험장치, 삼각 구조의 세 스포크 끝에 3개의 부륵(Minor-wheel)을 장착한 보조차륵장치의 축(Secondary axle)과 주륵축(Major-wheel axle)을 링크로 연결한 복합형 주행시스템 구조를 하고 있다.

부륵(副輪)이 부착된 보조차륵장치는 평지에서 주륵(主輪)의 운동과는 무관하게 움직이며 주륵의 작용에 거의 영향을 미치지 않는다. 이는 두 개의 차륵축 사이에 별도로 장착된 링크에 의한 운동결과인데, 지면의 요철에 대응하여 보조차륵장치축이 상하로 움직이는 것이 가능하기 때문에 부륵 자체의 구속운동이 나타나지 않는 한 자유전동(free rolling)에 따라 주륵과는 전혀 다른 운동을 유지할 수 있는 것이다.

따라서 평지에서는 주륵이 카트의 하중을 전

부 부담할 수 있도록 되어 있고, 계단을 오를 때는 위에서도 이미 설명한 바 있듯이, 먼저 주차륵에 전적으로 하중이 실려서 수평주행운동을 하다가 계단 구석에 부륵이 구속되어 더 이상의 전진이 불가능하게 되는 순간, 모든 하중은 부륵 축으로 이동하게 되고 부륵축을 중심으로 한 원주 운동을 잠시 하게 된다. 주차륵이 계단 측면이나 모서리에 닿게 되면 다시 차량의 전하중은 주차륵으로 모두 이동하게 되어 잠시 계단모서리를 중심으로 한 원주운동을 하다가 다시 하나의 부륵이 계단의 구석에 구속될 때까지 수평운동을 하는 과정을 되풀이하게 된다.

### 3.3 실험결과

#### (1) 계단상승시의 새 주행시스템의 궤적 분석

Fig. 3에 Table 1의 치수대로 새롭게 고안 제작된 주행시스템이 계단을 오를 때의 주축의 궤적을 분석하여 그림으로 나타내었다.

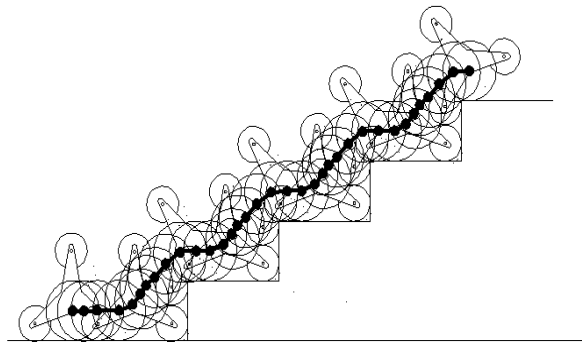


Fig. 3. The trajectory of the new traveling system ascending stairs.

Fig. 4에는 주륵 하나만으로 구성되어 있는 기존의 주행시스템과 새 주행시스템의 주축의 궤적변화를 서로 비교하기 위하여 함께 나타내었다.

이 두 그림에서 명확히 알 수 있듯이, 새롭게 고안 제작된 주행시스템의 궤적은 경사 피치선 방향의 유연한 곡선으로 나타남으로써 그 주행 또한 격렬한 상하 진동 없이 원만하게 이루어질 수 있으리라는 것을 쉽게 짐작할 수 있다.

이에 반해 기존 주행시스템의 궤적은 당연하지만, 계단의 형상과 똑 같은 형상이 되므로 매우 심하게 덜컹거리면서 계단을 오를 수밖에 없다는 것을 알 수 있다.

특히, 새로운 주행시스템의 궤적에서는 수직 방향이 전혀 보이지 않는데 반해서, 기존의 주행시스템은 수평운동과 수직방향의 운동을 반복함으로써, 자주식 주행시스템인 경우에는 주행이 전혀 불가능하게 될 수밖에 없게 된다.

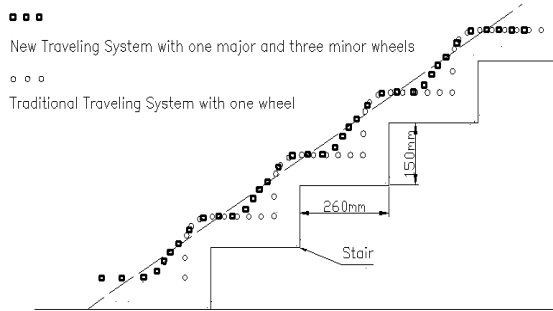


Fig. 4. Comparison of the trajectory of the new and traditional traveling system ascending stairs.

기존 주행시스템의 계단 피치선과 수직인 방향의 진폭은 65 mm인데 반해 새 주행시스템의 진폭은 약 32 mm로 절반정도에 불과했다.

### (2) 계단에서의 실제 상승운동

Fig. 5는 계단을 올라가고 있는 새 주행장치의 실제 모습을 나타내고 있다. 수평면에서 주륜의 트레드면(tread face)이 바닥과 접촉하여 자유전동(自由轉動)을 하다가 부륜 중 하나가 계단의 모서리에 구속되어 주륜축(Major-wheel axle)이 이 구속된 부륜축을 중심으로 한 원주운동을 하다가 계단의 수직 벽면에 주륜 트레드면이 접촉한 후 다시 상승운동을 하고 있는 한 순간을 찍은 장면이다.

이 사진의 계단은 주행장치의 설계기준 계단 높이인 150 mm 보다 훨씬 높아서, 주륜의 계단 접촉점이 계단의 모서리에 이르지 못하고 이보다 훨씬 아래쪽인 계단 수직벽 부분의 한 점이 됨으로써, 이때부터 주륜 트레드면의 접촉점이 계단 모서리에 이르는 동안은 카트가 수직운동을 해야만 되고, 이는 전적으로 들어 올리는 힘에만 의존해야 하므로 이러한 경우 자주식 주행장치는 계단을 오르는 자체가 원천적으로 불가능하게 된다는 것을 예상할 수 있다.

따라서, 앞의 Fig. 2에서도 설명하였듯이, 계단 구석에 부륜이 구속되어 부륜축을 중심으로 원주운동을 하다가 주축이 계단에 닿게 되는 순간을 기준으로 주차축의 높이는 최소한 계단

의 높이(Rise)보다 더 높은 위치에 있어야 한다는 조건을 충족하게 주행장치 각 부분의 치수를 설계해야 할 것이다.

실제에 있어서 계단 상승운동을 원활하게 하기 위해 계단 높이의 변화에 따라 주륜 및 부륜의 크기나 스포크 및 링크의 크기를 변화시키는 것을 생각할 수 있다. 하지만 현실적으로 주행 중에 이러한 부품의 치수를 변화시킨다는 것은 거의 불가능하므로 애초에 상당히 높은 계단을 기준으로 설계를 하거나, 그 중 치수변화를 가장 쉽게 할 수 있는 주륜축과 보조차륜 장치축을 연결하는 링크의 길이  $l$ 를 수시로 변화시키는 방법을 생각할 수 있다.

그러나 식 (1)을 만족시키는 최소한의 치수가 각 부품의 적정 설계치수는 아니므로, 계단에서의 여러 가지 주행성능을 고려한 각 부품치수 결정방법은 추후 연구에서 더욱 면밀히 검토되어야 할 부분이다.

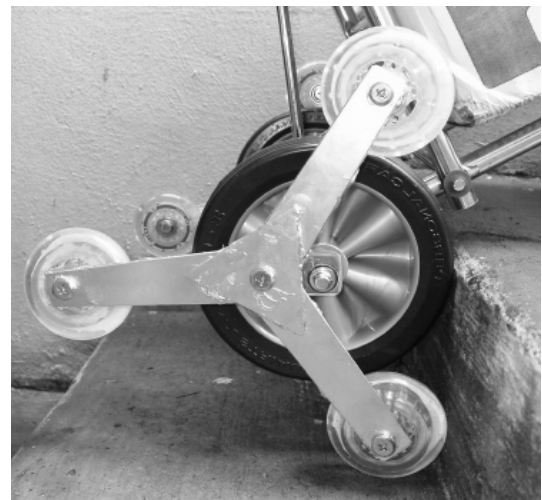


Fig. 5. The new traveling system ascending stairs

### (3) 연약지에서의 주행운동

Fig. 6은 제작한 주행장치를 연약지인 모래위에서 주행시킬 때의 모습이다.

모래는 구조가 느슨하고 불안정하기 때문에 바퀴가 주행하는 동안 침하가 크게 발생하고 그 침하과정도 다른 토양과는 양상이 매우 판이하게 나타난다. 또한 점착력이 거의 없어서 일반적인 토양에서처럼 압축과 전단이라는 역학적인 과정(Burt(1993), Jun(2004))을 통해 침하가 발생하지도 않는다. Liu(1994)는 그의 연

구에서, 모래위에서 침하가 깊어질수록 불도징 영역(bulldozing zone)이 더욱 더 부풀어 올라 바퀴에 작용하는 불도징 저항(bulldozing resistance)이 증가하고 이는 구름저항(rolling resistance)으로 작용하게 되어 다시 침하를 증가시키게 된다고 했다.



Fig. 6. The new traveling system traveling on sand.

실제로 자유전동 상태에서 카트를 끌 때 상당한 구름저항이 발생하였고, 주륜 및 지면에 닿아 있는 부륜의 앞쪽에 두툼한 모래언덕이 형성되었으며 견인력을 증가시킬수록 이 언덕이 점점 커지는 현상이 발생하였다.

침하가 너무 크게 발생하거나 구름저항이 너무 커서 부륜이 구속되면 계단의 상승운동에서 처럼 보조차륜장치축(Secondary axle)을 중심으로 한 회전운동이 일어난다. 이 운동은 2차축을 기준점으로 하고 스포크(spoke)의 길이를 반경으로 한 회전운동이기 때문에 차륜의 반경을 증가시키는 효과가 있다. 만일 구동륜의 경우라면 부륜이 그로우저(grouser)의 역할을 하게 되는 것이다.

침하가 그다지 크지 않아서 부륜이 구속되지 않고 원활하게 주행할 수 있는 경우에는 부륜이 지표면에 접촉하게 되어 카트 전체의 침하를 감소시키고 접지면적이 증가됨으로써 접지력을 감소시키는 효과를 얻을 수 있다.

이와 같이, 새롭게 설계 제작한 굴곡지형 주행장치는 지표면이 단단한 일반 평지에서는 보통차륜과 같은 메커니즘으로 작동하지만, 연약지에서는 케도형 차량과 유사한 메커니즘으로 작동하게 되어 상당한 주행성능의 개선을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

### (3) 장애물의 통과

Fig. 7은 주행 중에 접할 수 있는 돌부리와 같은 장애물을 통과하는 모습을 찍은 사진이다.

주행 중에 흔히 접할 수 있는 장애물은 돌부리뿐만 아니라 지면과 높낮이가 다른 고랑이나 둔덕 등을 들 수 있다. 이러한 것들은 계단과 같은 일정한 형태를 갖고 있지 않기 때문에 여러 가지 변화하는 주행환경에 적절히 대응하면서 주행하기가 그리 간단치만은 않다.

Fig. 7과 같이, 장애물을 타고 넘어가야 하는 경우는 계단을 오를 때의 메커니즘과 유사하기는 하나, 반복적인 상승운동을 지속하지 않아도 되므로 장애물의 높이가 아주 높은 경우를 제외하고는 통과하는데 그다지 어려움이 없었다.



Fig. 7. The system crossing a stone.

## 4. 결론 및 요약

본 연구는 굴곡지형 및 연약지형을 안정적으로 주행할 수 있는 주행시스템을 개발하는 데 그 최종 목적이 있다. 본 논문에서는 그 첫 단계로써, 운반로가 확보되지 않은 일반농지에서 농산물을 운반할 수 있는 카트의 주행장치에 대한 개념 설계를 바탕으로 그 모형을 제작하여 계단을 오를 때의 주행궤적을 분석하고, 계단 및 연약지에서의 실제 주행 가능성을 타진하였다.

본 연구내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 삼각 구조의 세 스포크 끝에 3개의 부륜(Minor-wheel)을 장착한 보조차륜장치축(Secondary axle)과 주륜축(Major-wheel axle)을 링크로 연결한 새로운 복합형 주행장

치를 고안 제작하였다.

- 2) 기존의 주행시스템과 새 주행시스템의 주축의 궤적을 비교분석한 결과, 기존 주행시스템의 계단 피치선과 수직한 방향의 진폭은 65mm인데 반해, 새 주행시스템의 진폭은 그것의 약 절반에 불과한 32mm로 나타나 새 주행시스템은 계단을 오를 때 격렬한 상하 진동 없이 원만한 주행이 가능하다는 것이 판명되었다.
- 3) 실제의 계단상승 시험에서도 새 주행장치는 경사 피치선 방향의 유연한 궤적곡선을 나타내었고, 견인력의 급격한 변화 없이 원만한 주행이 가능하였다.
- 4) 실제의 연약지 시험에서, 새 주행장치는 침하가 크게 발생하여 부류이 구속되는 경우에는 계단상승운동과 유사한 메커니즘으로 작동하고, 침하가 크지 않은 경우에는 카트 전체의 침하를 감소시키고 접지응력을 감소시키는 효과를 발생시킴으로써 어느 경우이나 기존의 주행장치에 비해 주행성능을 크게 개선시켰다.

다음 단계의 연구에서는 본 논문에서 제안된 주행시스템의 적정설계에 관한 연구를 수행하고, 더 나아가서는 신체적으로 움직임이 불편한 노인 및 장애인들의 휠체어와 같은 이동수단의 성능개선을 위한 연구에 착수하고자 한다. 본 연구의 결과가 적절히 활용될 수 있으리라고 예상된다.

### 謝 辭

이 논문은 경북대학교(상주캠퍼스) 학술지원금에 의해 연구되었음.

### 참 고 문 헌

- 1) Volpe, R., J. Balaram, T. Ohm, R. Ivlev: The Rocky 7 Mars Rover Prototype, *Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Osaka, Japan*, (1996)
- 2) Matthies, L. and twelve others: A Portable, Autonomous, Urban Reconnaissance Robot, *The 6th International Conference on Intelligent Autonomous Systems Venice, Italy*, (2000)
- 3) Forsyth, R.W. and J.P. Forsyth: Development Testing of the Terrastar Vehicle. *Proceeding of the Off-road Mobility Research Symposium, Washington, D.C., USA*, June pp.26-27, (1968)
- 4) Burt, E., *J. of Terramechanics* 30, 5, 317, (1993)
- 5) Jun, Hyung-gyu, T.R. Way, B. Löfgren, M. Landström, A.C. Bailey, E.C. Burt and T. P. McDonald, *J. of Terramechanics* 41, 4, 209, (2004)
- 6) Liu Jude, *J. of Terramechanics* 31, 3, 185, (1994)
- 7) Jung-Seob Choe, Lift resistance of a wheel and dynamic characteristics of the farm tractors, *University of Kyushu, Degree of Philosophy*, pp.28-55, (1994)

---

(2008년 12월 4일 접수, 2009년 8월 21일 채택)