

원전시설용 이동로봇의 장애물 승월에 관한 연구 (A Mobile Robot for Going over Obstacles in Nuclear Facilities)

° 김 병수, 김 창희, 김 승호, 이 종민
(B.S. Kim, C.H. Kim, S.H. Kim, J.M. Lee)

한국에너지연구소 핵전자연구실 (KAERI, Nucl. Elec. Dept.)

In the view of the fact that mobile robot in nuclear facilities should be able to turn in narrow space, go over obstacles, and climb stairs for the inspection and maintenance, a robot, named as KAEROT, is developed. It adopts 2DWLS (2-Driving Wheels, 1-Steering) and has three planetary wheels that are composed of two star-like arms and three small wheels.

The experiments were carried out in two locomotion methods; (1) by controlling the rear wheel speed as a function of steering angle, and (2) by using inclination and stair-detection sensor to control the position of planetary and small wheel.

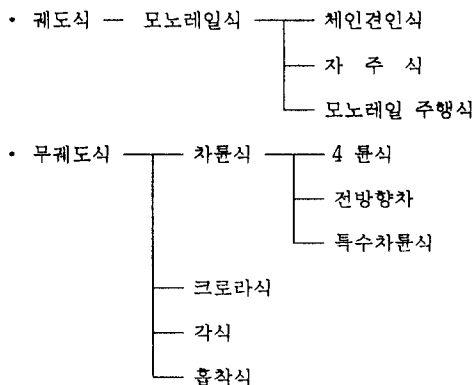
The developed robot moved on the floor with stability. Results from the experiment on the rectangular obstacle as well as the computer simulation showed a feasibility on the stairs.

1. 서론

이동로봇의 계단승하강 및 장애물 승월에 관한 연구는 원자력발전소, 탄광, 화학공장등의 극한 환경조건에서 인간을 대신하여 이동 및 작업을 수행하는 극한 로봇 개발의 일환으로 이루어져 왔다.

특히 최근에는 전자 및 정밀 기계공학의 급속한 발달에 힘입어 원자력시설에 적용시킬 목적으로 다양한 로봇이 개발되고 있는데 [1, 2, 3], 지금까지 개발된 이동로봇을 분류하면 표 1 과 같다.

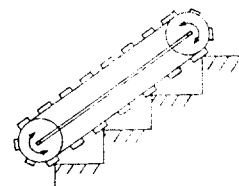
표 1. 원자력시설에서의 이동로봇 분류



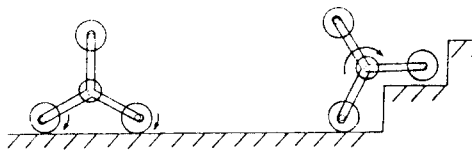
이중에서 계단 및 장애물 승월이 가능한 방식으로 크로라식, 각식, 특수차륜식등을 들 수 있는데, 그림 1 에 이들의 기본형태를 나타내었다.

현재까지 가장 실용화된 크로라식은 2 대의 크로라 주행차와 형상가변 크로라 및 반월형 크로라 주행차등 많은 연구가 이루어져서 계단승월기능과 선회성능이 많이 향상되었으나 아직도 경량화에는 근본적인 문제점이 있고, 마찰에 의해 주행함으로써 효율이 낮은 단점을 가지고 있다. 또한 각식의 경우는 인간과 유사하게 보행하는 방식으로 가장 이상적인 방식이나 아직 기본적인 연구단계에 머무르고 있는 실정이다.

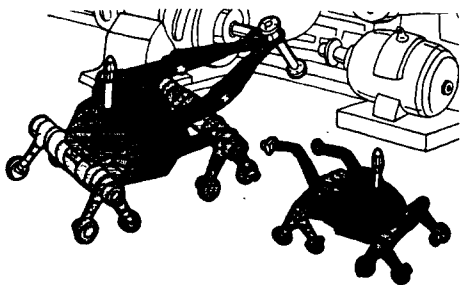
반면 특수차륜식은 차륜을 이용하여 평지를 이동하고 차륜을 지지하는 특수구조를 통하여 계단 및 장애물을 승월하는 방식으로 주행성능이 좋고, 소형 경량화가 우수한 장점을 가지고 있다.



(a) 크로라식



(b) 특수차륜식



(c) 각 식

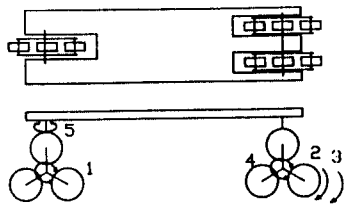
그림 1. 이동방식의 기본형태

이러한 특수차륜식은 초기의 " TO-ROVER " 에서 " AMOOTHY ", " AIMARS " 등이 개발되고 있는데 [4 , 5 , 6], 본 연구에서는 AIMARS 와 유사한 삼륜구조로 총 5 자유도의 이동로봇을 제작하여 평지 및 장애물 (Rectangular Obstacle) 에서 주행 실험을 행하였다.

2. 로봇 이동부의 설계, 제작

(1) 기구부

본 연구에서는 이동부를 계단 및 장애물의 승월이 가능하며 평지에서도 높은 주행속도를 갖는 특수차륜



- 1 , 4 : 유성차륜의 회전
- 2 , 3 : 소차륜의 회전
- 5 : 조향용 회전

그림 2. 이동부의 구조도

방식을 채택하였고, 좁은 통로에서 원활하게 회전할 수 있도록 전면 유성차륜에 조향기구를 부착한 특수 구조로 설계 제작하였다. [7] 그림 2 는 이동부의 구조를, 그림 3은 제작된 유성차륜의 외관을 보여준다.

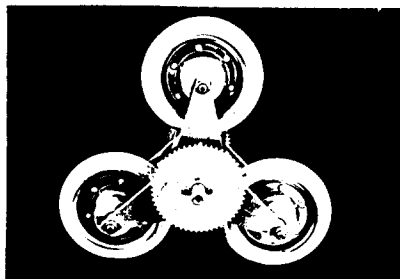
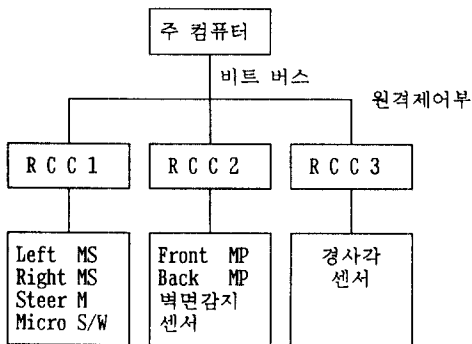


그림 3. 유성차륜의 외관

(2) 구동부

본 이동부의 구동장치는 주 컴퓨터와 비트버스를 통해 분산제어되는 원격제어부로 구성되어 각각의 서보모터와 센서를 제어한다. 그림 4 는 구동부의 구성을 보여준다. 여기서 R C C (Remote Control Computer) 는 8044 based S B C 로서 iDCX51 0/S 를 사용하여 Multitasking 이 가능하게 되어 있다. RCC 1 은 좌우 소차륜과 조향용 모터를 제어하고, 마이크로스위치와 근접스위치를 사용하여 초기위치를 설정하도록 되어 있다. RCC 2는 벽면 감지에 따라 전면 뒷면 유성차륜을 제어한다. 또한 RCC 3 는



- MS : 소차륜 구동용 모터
- MP : 유성차륜 구동용 모터
- Steer M : 조향장치 구동용 모터

그림 4. 구동부의 구성

경사각 센서 및 추후에 적용될 각종 센서 데이터를 처리하도록 되어 있다.

3. 로봇의 주행 알고리즘

(1) 평지 주행

본 이동부는 선회성능을 향상시키고 선회반경을 최대한 줄이기 위하여 뒷면의 좌우 소차륜의 속도차와 앞면 유성차륜의 조향에 의해 회전도록 되어 있다. 주 컴퓨터로부터 평균속도 dL 과 회전각도 $d\theta$ 의 값이 주어지면 원격 제어부에서는 다음의 식 (1), (2) 를 통해 좌우 소차륜의 속도 Vl, Vr 이 구해진다. [8]

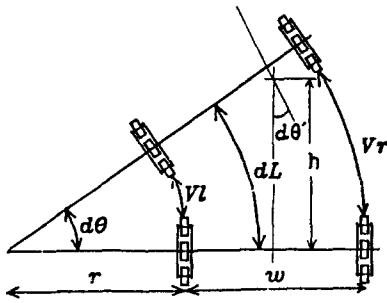


그림 5. 회전시 좌우 소차륜의 속도

$$Vl = (dL - d\theta \times W / 2) / r \quad \text{----- (1)}$$

$$Vr = (dL + d\theta \times W / 2) / r \quad \text{----- (2)}$$

여기서 r 은 샘플링 주기이다.

또한 로봇이 $d\theta$ 만큼 회전하기 위한 전면 유성차륜의 조향각도 θr 은 식 (3) 으로 나타낼 수 있다.

$$\theta r = \tan [h / (r + W / 2)] \quad \text{----- (3)}$$

여기서 $r = (dL + d\theta \times W / 2) / d\theta$ 이고, h 는 전후 유성차륜 사이의 거리이다.

(2) 계단 및 장애물 승월 조건

본 로봇이 승월 가능한 계단의 크기는 제작된 유성차륜에 의존하는데 그림 6에서 계단의 폭과 높이 P_x, P_y 는 유성차륜 암의 길이 R 에 의하여 결정된다. 여기서 계단의 폭과 높이에 대한 유성차륜 암의 길이는 다음과 같은 관계가 있다.

$$P_y / \sqrt{3} < R < \sqrt{3} \times \cos \alpha \quad \text{----- (4)}$$

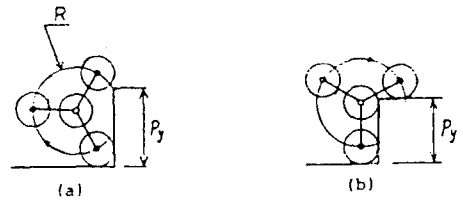


그림 6. 유성차륜과 계단과의 관계

또한 로봇이 장애물을 승월할때 무게중심의 높이 Ly 는 식 (5) 와 같이 로봇의 경사도 $\theta 1$ 과 유성차륜의 자세에 따라 변하는 $\theta 0$ 값에 따라 결정된다.

$$Ly \sin \theta 1 = Lx \cos \theta 1 - R \cos \theta 0 \quad \text{----- (5)}$$

그림 7 에는 차륜의 자세에 대한 경사도 변화를 나타내었다.

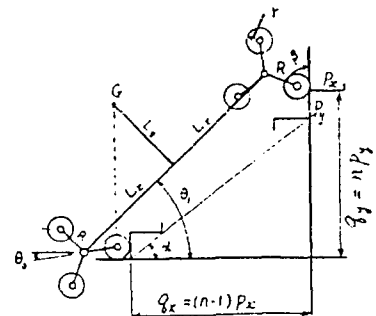


그림 7. 로봇의 무게중심 높이

(3) 계단 및 장애물 승월 알고리즘

로봇이 계단과 장애물을 원활히 승월하기 위해서는 6단계의 제어가 필요하다. (그림 8 참조)

- 1 단계: 벽면감지센서를 사용하여 U-1의 상태를 감지
- 2 단계: U-2 를 거쳐 U-3 까지 이동
- 3 단계: U-4 를 거쳐서 평형상태 유지
- 4 단계: 바닥면감지센서로 바닥의 유무 감지
- 5 단계: 3 단계의 역순
- 6 단계: 2 단계의 역순

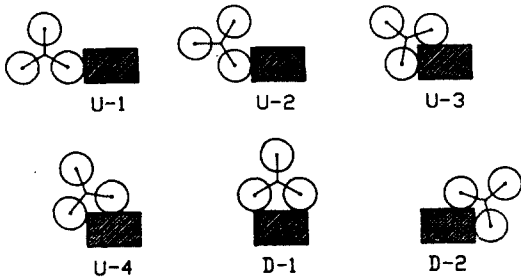


그림 8. 계단의 승하강

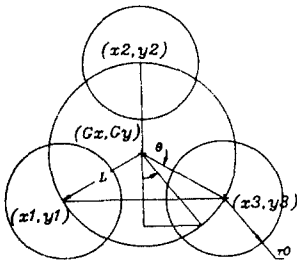


그림 9. 유성차륜의 회전 (1)

여기서 2단계의 제어는 그림 9에서 유성차륜의 중심 (Gx, Gy)을 축으로 θ 만큼 회전할때 (X2, Y2) (X3, Y3) 은 식 (6) 와 같이 천이하므로 두개의 소차륜이 계단에 접촉하는 θ 까지 유성차륜과 소차륜을 이동시킨다. (식 7 참조)

$$X2 = Gx + L \sin \theta \quad \text{----- (6-1)}$$

$$Y2 = Gy + L \cos \theta \quad \text{----- (6-2)}$$

$$X3 = Gx + L \cos (\pi/3 - \theta) \quad \text{----- (6-3)}$$

$$Y3 = r0 \quad \text{----- (6-4)}$$

여기서

$$Gx = Gx0 + Sd$$

$$Gy = r0 + L \cos (\pi/3 - \theta) \quad \text{이며,}$$

Sd 는 소차륜의 이동거리 이다.

$$\theta = \pi/6 + \cos (Sh / r3 L) \quad \text{----- (7-1)}$$

$$Sd = L [r3/2 - \sin (\pi/3 - \theta)] \quad \text{--- (7-2)}$$

여기서 Sh 는 계단의 높이이다.

또한 3 단계의 제어는 그림 10과 같이 2 단계에서의 θ 를 θa 로 놓고 (X2, Y2) 를 중심으로 회전 하게된다. 로봇의 안정된 주행을 위하여 두개의 소차륜이 항상 계단면에 접촉하도록 제어한다. 3 단계시의 θ 에 대한 소차륜의 이동거리 관계는 다음의 식으로 주어진다.

$$Sd = r3 X L [\cos (\theta a + \pi/6 - \theta) - \cos (\theta a + \pi/6)] \quad \text{----- (8)}$$

이후의 4, 5, 6 단계는 위의 역순으로 실시한다.

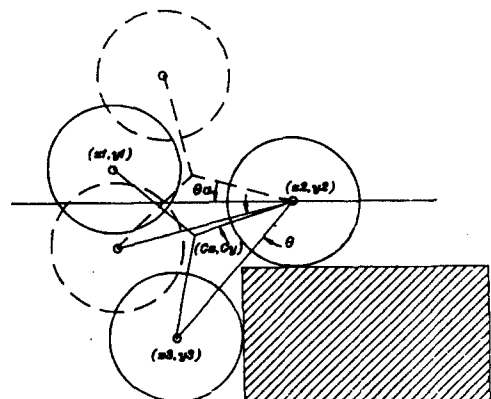


그림 10. 유성차륜의 회전 (2)

4. 실험 및 고찰

(1) 평지 및 장애물 승월 실험

제작된 로봇의 평지주행 실험은 회전시 유성차륜의 구조적으로 발생하는 마찰에 의해 다소 미끄러짐이 발생했으나 조향장치의 회전후에 이에 일치되는 소차륜의 제어를 실시함으로써 해결할 수 있었다. 또한 계단 승하강을 위한 기초실험으로 장애물(가로 23 cm, 세로 100 cm, 높이 18 cm)의 승월실험은 상기 알고리즘의 1 - 3 단계에서 실행하였다. 이때 유성차륜의 백래쉬와 제어의 샘플링 시간등의 오차로 인하여 다소 소차륜이 계단면에서 떨어지는 경우가 발생했으나 장애물을 승월하는데 큰 문제를 발생시키지 않았다. 그림 11은 제안된 알고리즘을 사용하여 장애물을 승월할때 로봇의 경사각과 유성차륜 중심축의 변화를 보여준다.

그림 11에서 최대경사 각도는 약 17° 이고, 1 단계와 2 단계, 2 단계와 3 단계사이의 경계치는 18 cm의 높이의 장애물일 경우 각각 60° , 120° 이다.

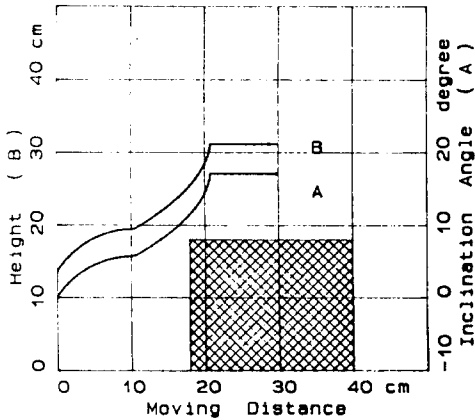


그림 11. 장애물 승월시 로봇의 경사도

(2) 계단 승하강을 위한 고찰

상기 장애물 실험에서 1 개의 직각 장애물을 승월하는 동안 최대경사각도가 17° 임을 고려하여

본 이동 로봇이 α° 의 계단을 승강할때의 최대 경사각도와 허용 무게중심의 높이를 시뮬레이션한 결과는 다음과 같다.

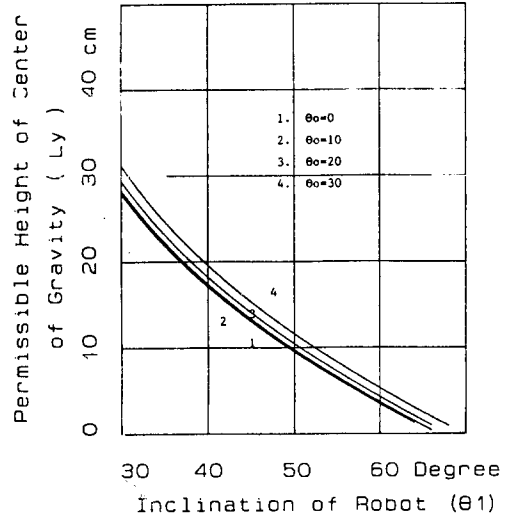


그림 12. 허용 무게중심의 높이

(3) 로봇의 제원

제작된 이동로봇은 소차륜의 주행속도가 1.26 Km/h이고, 유성차륜의 최대 회전속도가 10 rpm으로 상세 제원은 표 2와 같다. 또한 그림 13은 제작된 로봇이 장애물을 승월하고 있는 모습을 보여준다.

표 2. 이동로봇의 제원

분 류	제 원
몸체의 길이, 폭	106 cm, 73 cm
전면유성차륜중량	12.5 Kg
뒷면유성차륜중량	14.5 Kg
유성차륜 반경	12 cm
소차륜 반경	7.5 cm
최대 계단 높이	180 cm

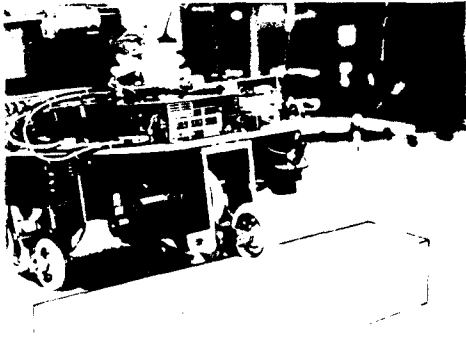


그림 13. 장애물을 승월하는 모습

5. 결론

본 연구에서는 원자력시설내에서 자유로이 이동하며 점검 및 보수작업을 수행할 수 있는 로봇을 개발하기 위하여 원자력용 로봇의 이동부를 설계 제작하고, 경사각도에 대한 안정성, 제한성등을 해석하고 장애물 승월실험을 행하였다.

계단과 동일한 장애물에서의 실험은 제한된 알고리즘을 사용함으로써 안정된 승월을 보여 주었고 향후 계단에의 적용이 가능함을 입증할 수 있었다.

향후 과제로는 실험에서 발생하는 오차를 더욱 줄이기 위해서 계단면의 접촉을 감지할 수 있는 센서부의 개발이나, 기계적인 보완책이 필요하다.

6. 참고문헌

- (1) 竹原, 他, " 原子力에 있어서의 로봇 開發," 原子力工業, vol.30, no.1, pp.51-60, 1984
- (2) 宮尺童雄, 他, " 原子力發電所向로봇技術," Toshiba Review 89(11), pp.953, 1984
- (3) 연구보고서, " 로봇 제어용 멀티프로세서 개발," 한국에너지연구소, KAERI/RR-617/87

- (4) Takano, M. et al, "Development of new type of mobile robot " TO-ROVER ", " 13th ISIR pp.20.81-20.89, 1984
- (5) T.Arai, et al, " A stair-climbing robot for maintenance: AMOOTY, " Conf. on robotics and remote handling in nuclear industry, 1984
- (6) 中山良一, 佐藤彦; " 原子力發電用 自律知能 로봇의 개발," 日本로봇學會誌 5 권 5 호 pp.81-86, 1987
- (7) 연구보고서, " 로봇 제어용 멀티프로세서 개발," 한국에너지연구소, KAERI/RR-728/88
- (8) 김병수, 김창희, 김승호, 이종민, "계단 승하강용 이동로봇 설계," 전자공학회 추계종합학술 대회는문집, pp.136-138, 1988