

청소로봇의 주행오차 저감에 관한 연구

노용준, 정광식, 김명준, 임영철, 유영재*
 전남대학교 전기공학과, 목포대학교 제어시스템공학과*

A Study on the Reduction of Navigation Error for Cleaning Robot

Yong-Jun No, Kwang-Sik Jung, Myoung-Jun Kim,
 Young-Cheol Lim, Young-Jae Ryoo*

RRC & Dept of Electrical Engineering, Chonnam National University

* RRC & Dept of Control System Engineering, Mokpo National University

Abstract - 본 논문에서는 청소로봇의 주행에 관해 연구되어지고 있는 이론적인 제어알고리즘이 갖는 주행오차저감방법에 관해 연구하였다. 청소로봇의 양 바퀴의 속도에 따라 그려지는 이상적인 회전반경과 실제 실험을 통해 그려지는 회전반경은 다르다. 이는 청소로봇이 주행 시 나타나는 오차가 원인이다. 많은 이론적인 제어알고리즘이 청소로봇의 주행에 잘 적용되기 위해 주행 시 나타나는 오차를 수정하거나 보상해야 한다. 본 연구에서는 이상적인 회전반경과 실험을 통해 얻은 회전반경의 비교를 통해 오차와 회전반경을 구하고 이를 주행에 적용하고자 한다.

서 얻은 이상적인 회전반경이다. r 는 이상적인 회전반경을 얻기 위한 청소로봇의 주행 속도 값을 실제 실험에 적용시킨 후 청소로봇의 곡선주행결과 그려진 회전반경이다.

그림 1에서 보여지는 회전반경의 변화, e 는 이론적인 제어알고리즘이 청소로봇에 적용되었을 때 발생하는 오차이다. 현재 연구되어지고 있는 많은 이론적인 제어알고리즘들은 다음의 두 가지 조건을 만족한다는 가정을 한다. 이 조건들은 순수구름조건(pure rolling condition)과 미끄러짐이 없는 조건(non slipping condition)이다. 순수구름조건은 이동로봇의 바퀴와 접촉면사이의 순간적 이동방향으로서 상대속도가 0이라는 조건이다. 미끄러짐 없는 조건은 이동로봇이 바퀴와 지면의 접촉면 사이에서 이동방향의 수직방향 순간적 상대속도가 0이라는 조건이다[1]. 이러한 이론적인 제어알고리즘들이 적용되어 청소로봇이 주행할 실제 환경은 위의 두 가지 조건을 만족하는 이상적인 환경이 아니다. 따라서, 연구되어지고 있는 많은 이론적인 제어알고리즘들이 청소로봇에 적용되기 위해 속도에 따라 청소로봇이 그리는 회전반경에 대한 오차를 보상할 수 있는 연구가 수반되어야 한다.

본 논문에서는 양 바퀴의 속도 변화에 따른 이상적인 회전반경을 수식을 통하여 구하고 실제 실험을 통하여 속도에 따른 이상적인 회전반경과 실제 회전반경 사이의 오차를 비교, 분석 하였다. 이상적인 회전반경과 실험에서의 회전반경을 비교함으로써 이론적인 제어알고리즘이 실제 청소로봇이 주행하는데 적용되었을 때 발생하는 오차를 보상하고 최적의 속도 값을 선택할 수 있는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 청소로봇의 이상적인 곡선주행 제적, 청소로봇의 구조 및 제어시스템, 청소로봇의 속도제어기에 대해 기술하고 3장에서 이상적인 조건을 기반으로 얻어진 회전반경과 실제 실험을 통해 얻어진 회전반경을 비교하고 주행오차를 최소화 할 수 있는 방법을 제안하였다. 마지막으로 4장에서는 결론을 맺는다.

1. 서 론

최근 산업발달로 사람을 대신해서 작업을 수행할 수 있는 로봇에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 로봇에 대한 관심은 청소로봇과 같은 서비스 로봇 등 여러 분야에서 로봇의 필요성을 높이고 있다. 청소로봇은 목적 상 주어진 작업영역에 대한 정확하고 깨끗한 청소작업을 요구한다. 즉 청소작업을 완성하기 위해서는 로봇이 작업 영역의 모든 지역을 청소하고 지나가야 한다. 더불어 작업시간 단축 에너지 절약 등의 효율성을 만족하기 위해서는 청소작업을 위한 이동이외에 불필요한 이동을 최소화해야 한다.

실제, 청소로봇의 청소작업 시에는 여러 가지 원인에 의해 불필요한 이동을 하게 된다. 이러한 원인들에는 청소로봇의 주행속도, 구조적 문제, 구동부인 모터의 특성문제 등이 있는데, 비교적 큰 원인 중의 하나는 청소로봇의 주행 속도이다. 이러한 청소로봇의 주행속도는 직선주행시 보다 곡선주행 시에 많은 오차를 발생시킨다.

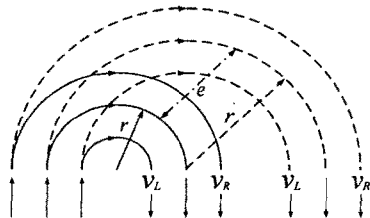


그림 1. 이상적인 회전반경과 실험을 통한 회전반경의 비교

그림 1은 일반적으로 청소로봇의 곡선주행 시 이상적인 회전반경과 실제 실험을 통해 얻은 회전반경의 비교를 보여주고 있다. 그림 1에서 V_L, V_R 은 청소로봇이 갖는 좌,우 양 바퀴의 주행속도이고, r 은 순수구름조건과 미끄러짐이 없는 조건을 만족하는 이상적인 조건 하에

2. 로봇의 설계

2.1 청소로봇의 기구학적 해석

본 논문에서 제안된 청소로봇은 조향성을 갖는 2개의 바퀴 즉 차륜형(differential wheel type)구동방식으로 설계되었다. 차륜형 구동방식은 우측바퀴와 좌측바퀴가 모두 조향성을 가지며, 독립적으로 제어된다.

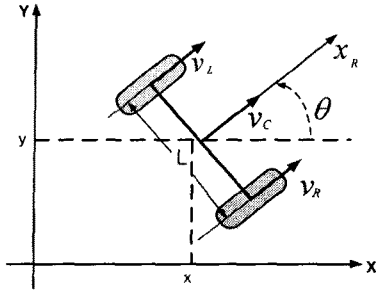


그림 2. 기구학 분석을 위한 이동로봇의 좌표

청소로봇의 차륜형 구동방식으로 로봇의 속도와 각 속도는 식(1), (2)와 같이 두 바퀴의 차동 속도에 의해 제어된다. 청소로봇의 기구학 해석을 위해 그림 2와 같이 2차원 평면상에 구성된 좌표계를 설정하고 청소로봇은 지면과 미끄러짐 없이 이동한다고 가정한다.

그림 2에 나타낸 바와 같이 청소로봇의 좌측바퀴와 우측바퀴의 중심점을 C라 두면 C점에서의 로봇의 선속도 v_C 및 각속도 ω_C 는 식(1), (2)에 의해 구하여진다.

$$v_C = \frac{r}{2}(\omega_R + \omega_L) = \frac{v_R + v_L}{2} \quad (1)$$

$$\omega_C = \frac{r}{L}(\omega_R - \omega_L) = \frac{v_R - v_L}{L} \quad (2)$$

여기서, v_L 과 v_R 은 각각 좌측 바퀴와 우측바퀴의 선속도이며, ω_L 과 ω_R 은 각각 좌측바퀴와 우측바퀴의 각속도를 의미한다. 또한 r 은 바퀴의 반지름, L 은 좌측바퀴와 우측 바퀴 사이의 거리를 나타낸다(2).

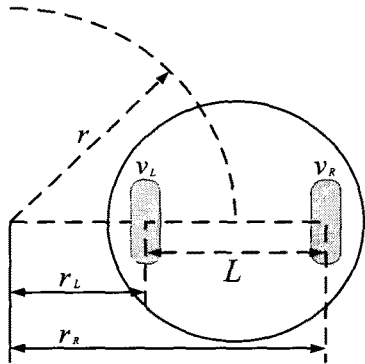


그림 3. 순간 회전중심 계산

양 바퀴의 속도 v_R 과 v_L 은 그림 3에 표시된 순간회전 중심에서의 바퀴까지의 거리 r_R, r_L 과 비례한다.

$$v_R : r_R = v_L : r_L \quad (3)$$

식(3)은 다음과 같이 정리될 수 있다.

$$\frac{v_R}{(r + \frac{L}{2})} = \frac{v_L}{(r - \frac{L}{2})} \quad (4)$$

식(4)를 정리하면 로봇의 회전반경은 다음과 같다.

$$r = \frac{L}{2} \frac{v_R + v_L}{v_R - v_L} \quad (5)$$

위의 식(3), 식(4), 식(5)를 이용하여 청소로봇의 양 바퀴의 속도를 구할 수 있고, 이를 기반으로 청소로봇의 이상적인 회전반경을 얻을 수 있다.

2.2 청소로봇의 구조 및 제어시스템

그림 4는 본 논문에서 사용한 청소로봇의 구조를 보여주고 있다. 청소로봇의 지름은 0.4m, 바퀴간거리 0.225m, 바퀴지름은 0.155m, 바퀴폭은 0.025m이고 무게는 2.7kg이다.

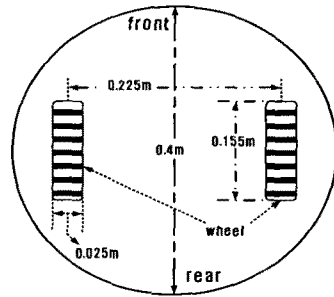


그림 4. 청소로봇의 구조

제어기로는 intel사의 80C196 마이크로컨트롤러를 사용하였다. 80C196은 16bit이며 3개의 PWM 출력핀을 가지고 있다. 본 연구에서는 3개의 PWM신호 중 2개를 선택하여 실험을 하였다. 마이크로 컨트롤러의 출력신호를 받아 모터를 구동시킬 모터드라이브는 모터구동전용칩인 L298를 사용하였다. L298은 두 개의 full bridge를 가지고 있어 2개의 모터를 제어할 수 있다. 마이크로컨트롤러에서 출력된 출력신호는 L298를 통해 청소로봇의 양 바퀴를 구동, 제어한다.

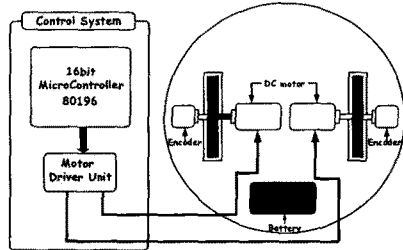


그림 5. 제어시스템 블록도

그림 5는 청소로봇의 제어시스템을 보여주고 있다. 청소로봇을 구동하기 위해 gear DC motor를 사용하였고, gear DC motor는 120:1의 기어비를 가지고 있다. 또한 속도검출을 위해 인크리멘탈형의 인코더를 사용하였고 motor Driver Unit에는 모터구동전용 IC인 L298를 사용하였다.

2.3 청소로봇의 속도제어기

속도제어기는 마이크로 컨트롤러를 통해 0~255중의 임의의 디지트(digit)값으로 신호를 발생시킨다. 제어기의 digit값을 PWM generator는 변환백터를 통해서 digit값에 대응하는 PWM를 만든다. 만들어진 PWM은 증폭 회로를 통해 모터에 입력되는 최대전압에 대응하는 모터 구동전압으로 출력한다. 출력된 모터구동전압은 기어비(120:1)에 비례하는 전압으로 양 바퀴를 구동한다.

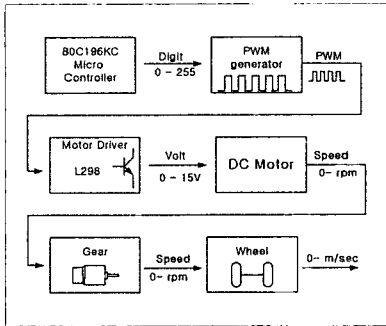


그림 6. 청소로봇의 속도제어기

그림6은 청소로봇의 속도제어기를 보여주고 있다.

3. 실험 및 고찰

3.1 PWM digit - 속도 변환

표1은 제어기에서 발생된 PWM digit의 속도지령에 따른 청소로봇의 주행속도 관계를 나타내고 그림7은 이것을 도식화한 것으로 속도와 PWM digit 관계가 선형적으로 나타나고 있음을 보여주고 있다.

표.1 PWM digit-속도변환

PWM digit	속도(m/s)
60	0.024
70	0.044
80	0.062
90	0.08
100	0.1
110	0.12
120	0.14
130	0.163
140	0.181
150	0.204
160	0.225
170	0.245
180	0.267

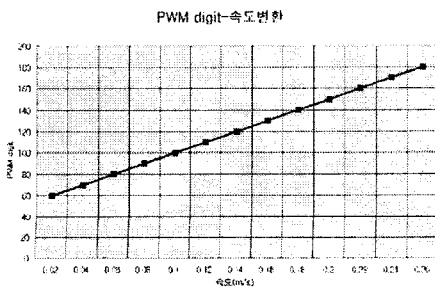


그림 7. PWM digit - 속도변환

3.2 이상적인 청소로봇의 회전반경

이상적인 회전반경과 실제 회전반경의 차를 구하기 위해

식(5) $r = \frac{L}{2} \frac{v_R + v_L}{v_R - v_L}$ 에 의해 이상적인 청소로봇의 회전반경을 구하였다. 표 2 는 좌측바퀴의 속도를 0.024m/s로 고정하였을 때의 회전반경에 따른 우측바퀴속도이다.

표.2 이상적인 청소로봇의 회전반경

회전반경(m)	v_L (m/s)	v_R (m/s)
0.3	0.024	0.0528
0.4	0.024	0.0427
0.5	0.024	0.0379
0.6	0.024	0.0350
0.7	0.024	0.0331
0.8	0.024	0.0318
0.9	0.024	0.0308
1.0	0.024	0.03
1.1	0.024	0.0294
1.2	0.024	0.0289
1.3	0.024	0.0285
1.4	0.024	0.0281
1.5	0.024	0.0278
1.6	0.024	0.0276
1.7	0.024	0.0274

이상적인 회전반경

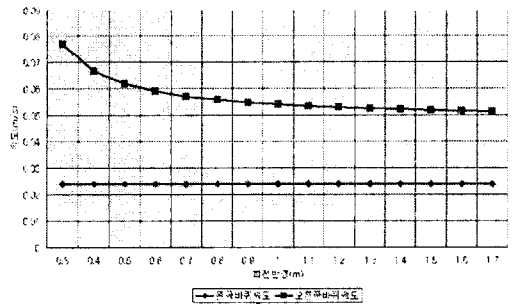


그림 8. 이상적인 회전반경

표 2는 좌측바퀴의 속도를 고정하였을 때 회전반경에 따른 오른쪽바퀴의 속도관계를 나타내고 있다. 그림 8은 이것을 도식화한 것으로 회전반경에 따른 왼쪽바퀴와 오른쪽바퀴의 관계가 회전반경이 작을 때는 속도 차가 크고, 회전 반경이 클 때는 속도 차가 적음을 보이는 비선형적임을 볼 수 있다.

3.3 속도에 따른 주행오차

속도에 따른 주행오차를 구하기 위해 3.2절에서 식(5)

$$r = \frac{L}{2} \frac{v_R + v_L}{v_R - v_L}$$

에 의해 구해진 이상적인 청소로봇의 회전반경을 실제 실험을 통해 얻어진 회전반경과 비교하였다. 청소로봇의 이상적인 회전반경이 0.3m, 0.6m, 0.9m, 1.2m, 1.5m일 때 실험을 실시하였다. 또한, 실험방법은 그림 9 에서 처 럼 바닥에 청소로봇의 회전반경을 알 수 있도록 거리가 도식된 종이 위에서 실험을 실시하였다.



실험 - A 실험 - B

그림 9. 실험을 통한 회전반경 측정

표.3 회전반경이 0.3m 일 때

$v_L(m/s)$	$v_R(m/s)$	$R_{ideal}(m)$	$R_{exp}(m)$	오차률(%)
0.024	0.053	0.3	0.454	51.3
0.044	0.097	0.3	0.464	54.6
0.062	0.136	0.3	0.517	72.3
0.08	0.176	0.3	0.560	86.6
0.1	0.22	0.3	0.610	103.3
0.12	0.264	0.3	0.687	129

표.4 회전반경이 0.6m 일 때

$v_L(m/s)$	$v_R(m/s)$	$R_{ideal}(m)$	$R_{exp}(m)$	오차률(%)
0.024	0.035	0.6	0.688	14.6
0.044	0.064	0.6	0.793	32.1
0.062	0.09	0.6	0.871	45.1
0.08	0.117	0.6	0.955	59.1
0.1	0.147	0.6	1.013	68.8
0.12	0.175	0.6	1.086	81
0.14	0.205	0.6	1.131	88.5
0.163	0.238	0.6	1.171	95.1
0.181	0.265	0.6	1.224	104
0.204	0.297	0.6	1.250	108.3
0.225	0.329	0.6	1.291	115.1

실험을 통하여 얻은 속도에 따른 회전반경과 수식을 통하여 구한 이상적인 회전반경을 비교하여 회전반경의 오차를 산출할 수 있었다.

3.4 고찰

근래 연구되어지고 있는 많은 제어알고리즘들은 앞서 기술한 이상적인 조건을 만족한다는 가정 하에 연구되어지고 있다. 이러한 이론적인 제어알고리즘들을 실제 실험을 통해 회전반경을 구해보면 수식을 통해 얻은 회전반경과는 차이가 있음을 실험을 통해 알 수 있었다 그림 10, 그림11는 3.3절 속도에 따른 주행오차 실험을 통

해 얻은 실제 회전반경을 이상적인 회전반경과 비교하여 얻은 회전반경의 오차를 그래프를 통해 나타내 보았다. 실험을 통해 얻은 회전반경에 대한 오차는 현재 연구되어지고 있는 많은 이론적인 제어알고리즘이 청소로봇의 최적주행의 필요한 오차보상연구에 적용할 수 있다.

4. 결 론

현재 연구되어지고 있는 많은 이론적인 제어알고리즘들이 실제 청소로봇에 적용하기 위해서는 수식을 통해 얻은 회전반경과 실험을 통해 얻은 회전반경과의 차이 값 만 큼을 보상해줄 수 있는 연구가 필요하다.

본 논문에서는 수식을 통해 얻은 회전반경을 실험을 통해 얻은 회전반경과 비교함으로써 회전반경 오차를 구할 수 있었다.

향후 신경망 등의 다른 제어알고리즘에 실험을 통해 얻은 속도에 따른 회전반경의 오차를 적용함으로써 청소로봇이 주행 시 발생할 수 있는 오차의 최소화와 제어알고리즘의 성능향상이 기대된다.

이 논문은 한국과학재단지정 전남대학교 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고문헌

- [1] 김동준, 김갑일 "로봇의 추적오차감소를 위한 궤적계획 방법", 대한전기학회 제50D권, 제3호, pp. 143-148, 2001.3
- [2] 김종환, " 로봇추적 시스템", 대영사, 2000, 1.
- [3] Hunmo Kim, "A Study on Moving Obstacle Avoidance for an Intelligent Vehicle Using Fuzzy Controller", ICASE Control, Automation and Systems Vol.6, No.2, pp. 155-163, 2000, 2.
- [4] Dong Kyu Roh, Il Myung Kim, Byung Hwa Kim, Jang Myung Lee, "Localization of a Mobile Robot Using the Information of a Moving Object", IEEE Control, Automation and Systems Engineering, vol.7, no.11, pp.933-938, 2001, 11.
- [5] MechliH.H, " Trajectory Planning for Mobile Robots in a Dynamic Environment", IEEE Vehicle Navigation and Information Systems pp.452-466, 1993.
- [6] Yonggou Chung, Chongkug Park, Harashima F, "A position control differential drive wheeled mobile robot", IEEE Industrial Electronics, vol.48, no.4, pp.853-863, 2001, 8

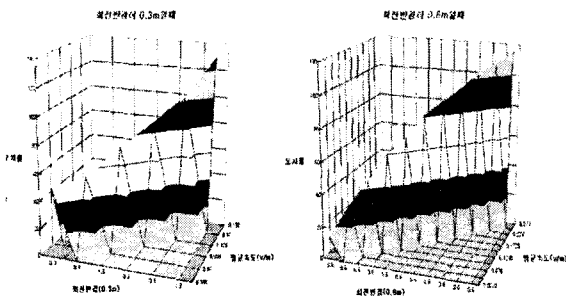


그림 10. 회전반경이 0.3m 일때 그림 11. 회전반경이 0.6m 일때