

가변 동심원 도법을 이용한 축구로봇의 최단시간 경로설정에 관한 연구

이동욱*, 이귀형**

A study on the Minimum-Time Path Decision of a Soccer Robot using the Variable Concentric Circle Method

Dong Wook Lee*, Gui Hyung Lee**

ABSTRACT

This study describes a method of finding an optimal path of a soccer robot by using a concentric circle method with different radii of rotation. Comparing with conventional algorithms which try to find the shortest path length, the variable concentric circle method find the shortest moving time.

The radius for the shortest moving time for a given ball location depends on the relative location between a shooting robot and a ball. Practically it is difficult to find an analytical solution due to many unknowns. Assuming a radius of rotation within a possible range, total path moving time can be calculated by adding the times needed for straight path and circular path. Among these times the shortest time is obtained.

In this paper, a graphical solution is presented such that the game ground is divided into 3 regions with a minimum, medium, and maximum radius of rotation.

Key Words : soccer robot (축구로봇), path decision (경로계획), variable concentric method(가변동심원도법)

1. 서론

인간이 로봇에 대한 연구는 인간의 삶과 질을 높이기 위한 방향으로 연구 되어 왔다. 인간이 하기에 힘든 일, 어려운 일 등을 수행하기 위해 생산현장에서는 산업용 로봇이 생산라인을 채워가고 있고, 가까운 곳에서는 인간의 편의를 도모하는 서비스 로봇이 발전해 나가고 있다.

이러한 분야 외에 로봇축구와 같은 교육용 엔터테인먼트 로보틱스 분야도 새로이 발전해 나가고 있다.

초기의 영상처리 속도나 로봇의 속도를 보면 영상처리는 초당 5 frame/sec 내외이고 로봇의 속도는 0.5 m/sec 정도에 불과 했지만 지금은 대부분의 축구로봇 팀들이 30 frame/sec 에 로봇은 2.0 m/sec 이상의 고성능 시스템을 갖추게 되었을 뿐만 아니라 학습제어, 퍼지제어, 다층신경망, 면역시스템 등을 이용한 행동선택기 등을 이용하여 보다 효과적인 움직임을 가져와 예전의 시스템과는 비교도 할 수 없을 만큼 큰 성장을 이루었다.^{[2][3][4][5][6]}

이처럼 로봇축구가 급성장 할 수 있었던 이유는 비전, 로봇, 통신 등을 이용하고 매우 동적인

Ⓜ 2002 년 2 월 1 일 접수

* 국립서울산업대학교 메카트로닉스공학과 대학원

** 국립서울산업대학교 정밀기계기술연구소(기계설계자동화공학부)

다개체를 제어하기 위한 협동제어 알고리즘 및 학습제어, 퍼지제어 등 많은 제어알고리즘들을 적용해 볼 수 있기 때문이다.

로봇축구는 경기방식이기 때문에 골로서 승패가 결정되고 골을 넣기 위해서는 상대팀보다 빨리 볼에 접근해서 상대의 골문을 향해 슈트를 해야 한다.

볼에 접근하기 위한 방법으로 동심원도법, 백터장법, 리미트 서클 등이 사용되었고 최근에는 볼에 근접하는 시간을 줄이기 위해서 볼 영역까지 직선으로 접근한 후에 슈트하기 좋은 자세와 각도를 갖는 방향으로 경로를 만들어내고 있다^{[7][8][9]}.

축구로봇이 매우 동적인 시스템이기 때문에 어떤 알고리즘이 가장 빠르다고 판단하기 어렵다. 예를 들어, 동심원도법에서는 로봇이 회전해야 할 최소 반경을 정하고 그 반경에서 원심력이 구심력보다 크지 않은 최대속도를 정한다.

동심원도법은 두개의 원과 하나의 직선(두 원의 접선)으로 경로를 만들고 그 경로를 따라 로봇이 이동하게 된다. 반경과 회전속도가 정해져 있기 때문에 이렇게 만들어진 경로는 최단경로가 될 수 있다. 그러나 로봇의 성능에 따른 최단경로라고는 말할 수 없다.

왜냐하면 로봇이 회전하는 속도에 따른 원심력과 구심력에서 생기는 미끄러짐이 있기 때문에 회전할 때 속도를 낮추고 이동거리를 짧게 만드는 것은 볼에 접근하는 시간을 적게 가져올 수도 있고 상황에 따라서는 반대로 속도를 높이고 회전반경을 크게 하는 것이 최소시간이 소요될 수도 있기 때문이다.

볼에 접근하는 시간은 매우 중요하다. 볼에 대한 접근 시간이 상대로봇보다 빠르면 볼 점유율이 높아지고, 볼 점유율이 높아진다는 것은 곧 득점과 실점확률과 직결되기 때문이다.

따라서, 본 논문에서는 원하는 방향으로 볼에 접근하는 시간을 최소화 할 수 있는 가변동심원도법에 대해서 논하고 기존의 경로 계획법과의 비교 실험을 통하여 검증할 것이다.

2. 본론

2.1 로봇축구시스템

일반적인 축구로봇 시스템은 카메라로부터 받은 영상을 호스트 컴퓨터에서 처리하여 무선 송신 모듈을 통해 각 개체에 명령을 전송한다.

2.1.1 시스템의 구성

본 논문에 사용한 시스템은 원격지능형 축구로봇시스템으로 구성은 다음과 같다.

Table 1 Vision system

HOST PC	Intel Pentium2-400MHz
RAM	128MB
Video Card	Metrox Millenium2
Frame Grabber	Metrox Meteor2
Camera	Samsung 410ND
Lens	Spacecom 3.3-8mm CSM
Data format	YUV 4:2:2
OS	Windows2000 server
Program	Visual C++ 6.0 MFC

Table 2 Robot system 1

CPU	Intel 80C296SA-50
RAM	Samsung KM616102
ROM	Atmel AT29C010A
TIMER	82C54
MOTOR DRIVER	SGS Thomson L298
Power Regulator	National LM2575
MOTOR	MiniMotor 2224
RF Module	Radio Metrix BIM418/433

Table 3 Robot system 2

CPU	TI DSP(TMS320F240)
MOTOR DRIVER	National LMD18200
Power Regulator	TLE4270
MOTOR	MiniMotor2224
RF Module	Radio Metrix BIM418/433

Table 4 Transmitter system

CPU	AT89C2051
RF Module	BIM418/433

3. 가변동심원도법

3.1 가변동심원도법

기존의 동심원 도법을 이용한 경로계획에서는 회전반경 R 이 항상 일정하므로 볼까지의 이동경로시간 T 에 대해서는 고려하지 않았지만, 시간 T 가 최소가 되는 회전 반경을 구하기 위해서는 직선경로와 회전경로에서의 이동거리와 이동시간을 계산해야 한다.

경기장 위의 좌표계를 절대 좌표계에서 상대 좌표계로 변환하여 계산한다.

절대좌표에서 상대좌표로 변환된 로봇의 좌표를 (x_R, y_R) 라 한다.

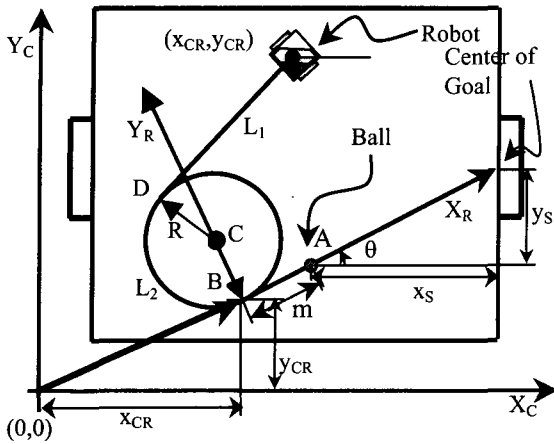


Fig. 1 Path of variable concentric method

상대 좌표계로 변환되면 Fig. 2 와 같이 로봇의 위치에 따라서 4 가지 position 으로 정의 할 수 있다.

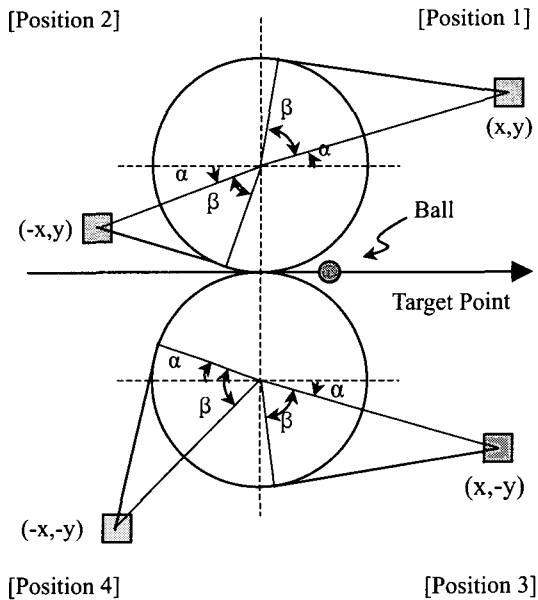


Fig. 2 Robot positions

Fig. 2 와 같이 로봇의 위치에 따른 4 가지 경우와 아래 그림과 같이 로봇의 Velocity profile 에 따른 세가지 경우로 나누어 분류할 수 있다.

- V_{max} : 로봇의 최대 속도
- V_1 : 로봇의 초기 속도
- V_2 : 로봇의 곡선회전 속도
- T_1 : 직선 이동 시간
- T_2 : 곡선 이동 시간
- t_1 : 직선 가속구간 시간
- t_2 : 직선 등속구간 시간
- t_3 : 직선 감속구간 시간
- S_1 : 직선 가속구간 이동거리
- S_2 : 직선 등속구간 이동거리
- S_3 : 직선 감속구간 이동거리

(1) Velocity profile 1-1 (V_{max} 에 도달했을 경우)

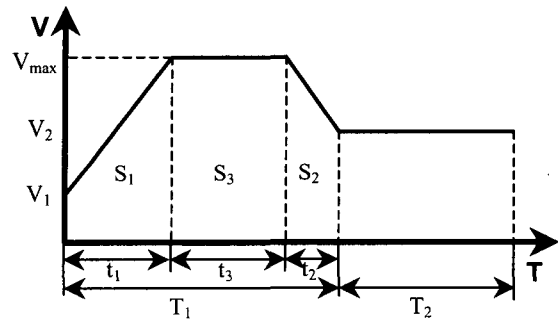


Fig. 3 Velocity profile 1-1

(2) Velocity profile 1-2 (V_{max} 에 도달했을 경우)

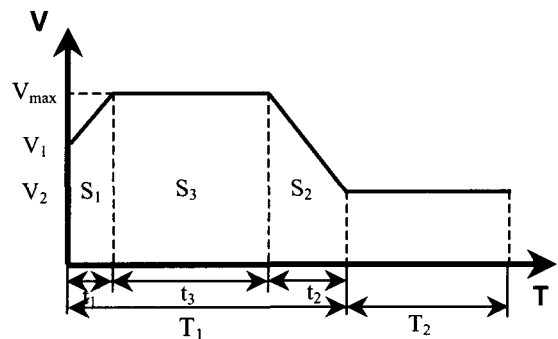


Fig. 4 Velocity profile 1-2

(3) Velocity profile 1-3 (V_{max} 에 도달했을 경우)

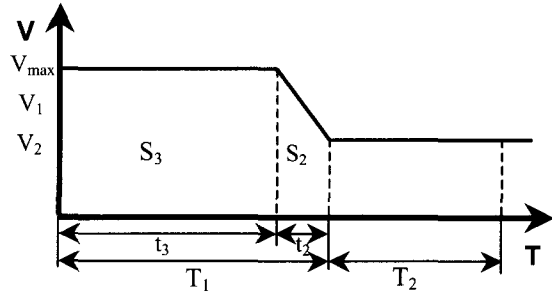


Fig. 5 Velocity profile 1-3

(4) Velocity profile 2 (V_{max} 에 도달하지 못하고 V_1 이 V_2 보다 작을 때)

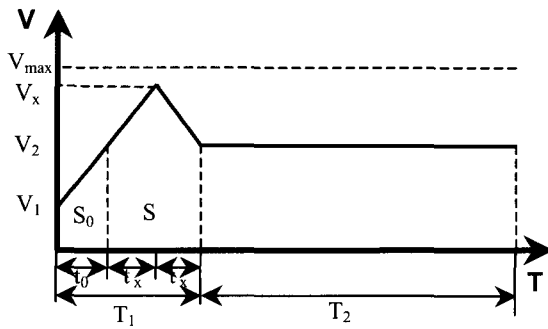


Fig. 6 Velocity profile 2

(5) Velocity profile 3 (V_{max} 에 도달하지 못하고 V_1 이 V_2 보다 클 때)

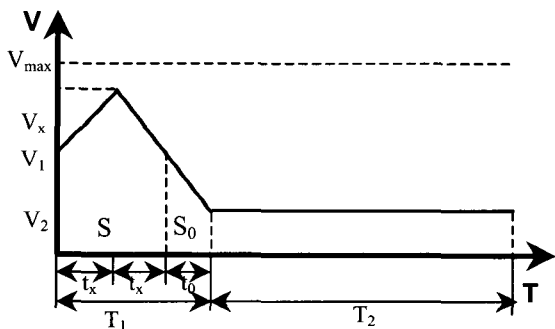


Fig. 7 Velocity profile 3

3.1.1 계산식의 정리

회전반경 R 에 따른 회전속도는 원심력이 구심력보다 크지 않은 범위 내에서 정한다.

R 값에 따른 속도 V 를 실험에 의해 얻어내고 마찰계수 μ 를 결정한다(단, 실험에 의해 구해진 μ 를 일정하다고 가정한다).

로봇이 회전할 때 미끄러짐 없이 회전하기 위한 최대속도는 다음 식에 의해 구할 수 있다.^[11]

$$m \frac{V^2}{R} = mg\mu \quad (1)$$

즉, 원심력과 마찰력이 같아질 때 이다. 위 식(1)에 의해서 다음식을 유도하면

$$V = \sqrt{\mu g R} \quad (2)$$

μ : 횡 미끄러짐 마찰계수
 g : 중력가속도
 R : 회전반경

반경 R 에 대한 최대 회전속도를 구할 수 있다.

예를 들어, 회전반경이 0.1m 일 때, 원심력에 의해 미끄러지지 않는 최대속도가 0.6 m/sec 라면 횡 미끄러짐 마찰계수는 0.36 이 된다.

위에서 계산된 횡 미끄러짐 마찰계수를 통해서 반경에 따른 회전 속도를 계산할 수 있다.

로봇의 position 과 velocity profile 에 따라서 12 가지의 경우로 계산을 하고 Fig. 2로부터 다음 식들을 유도해 낼 수 있고 예로 Position 1 일 경우에 대해서 보면 다음과 같다.

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{y-R}{x}\right) \quad (3)$$

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{l_1}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 - 2yR}}{R}\right) \quad (4)$$

$$l_0 = \sqrt{x^2 + (y-R)^2} \quad (5)$$

$$l_1 = \sqrt{l_0^2 - R^2} = \sqrt{x^2 + y^2 - 2yR} \quad (6)$$

$$l_2 = \frac{3\pi R}{2} - \frac{\pi R}{180}(\alpha + \beta)$$

$$= \pi R \left(\frac{3}{2} - (\tan^{-1}\left(\frac{y-R}{x}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 - 2yR}}{R}\right)) / 180 \right) \quad (7)$$

velocity profile 에 따라 나누기 위한 계산

$$t_1 = \frac{v_{max} - v_1}{a} \quad (8)$$

$$t_3 = \frac{v_{max} - v_2}{a} \quad (9)$$

$$s_1 = \frac{1}{2}(v_{\max} - v_1)t_1 + v_1t_1 = \frac{1}{2a}(v_{\max}^2 - v_1^2) \quad (10)$$

$$s_3 = \frac{1}{2}(v_{\max} - v_2)t_3 + v_2t_3 = \frac{1}{2a}(v_{\max}^2 - v_2^2) \quad (11)$$

- 조건 1. $l_1 \geq (s_1 + s_3)$ 이면 velocity profile 1 에 해당
- 조건 2. $l_1 < (s_1 + s_3)$ 이고, $v_1 \leq v_2$ 이면 velocity profile 2 에 해당
- 조건 3. $l_1 < (s_1 + s_3)$ 이고, $v_1 > v_2$ 이면 velocity profile 3 에 해당

따라서 position 과 velocity profile 에 따라서 다음과 같은 식으로 계산할 수 있다.

(1) position 1 – velocity profile 1

$$T = \frac{\sqrt{x^2 + y^2 - 2yR}}{v_{\max}} + \frac{1}{a} \left(\frac{v_1^2 + \mu g R}{2v_{\max}} - v_1 - \sqrt{\mu g R} \right) + \frac{\pi R}{\sqrt{\mu g R}} \left(\frac{3}{2} - \left(\tan^{-1} \left(\frac{y-R}{x} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 - 2yR}}{R} \right) \right) / 180 \right)$$

(2) position 1 – velocity profile 2

$$T = \frac{\sqrt{\mu g R} - v_1}{a} + 2 \frac{\sqrt{(\sqrt{x^2 + y^2 - 2yR} - (\mu g R - v_1^2)/2a)a + \mu g R} - \sqrt{\mu g R}}{a} + \frac{\pi R}{\sqrt{\mu g R}} \left(\frac{3}{2} - \left(\tan^{-1} \left(\frac{y-R}{x} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 - 2yR}}{R} \right) \right) / 180 \right)$$

(3) position 1 – velocity profile 3

$$T = \frac{v_1 - \sqrt{\mu g R}}{a} + 2 \frac{\sqrt{(\sqrt{x^2 + y^2 - 2yR} - (v_1^2 - \mu g R)/2a)a + v_1^2 - v_1}}{a} + \frac{\pi R}{\sqrt{\mu g R}} \left(\frac{3}{2} - \left(\tan^{-1} \left(\frac{y-R}{x} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 - 2yR}}{R} \right) \right) / 180 \right)$$

(4) position 2 – velocity profile 1

$$T = \frac{\sqrt{x^2 + y^2 - 2yR}}{v_{\max}} + \frac{1}{a} \left(\frac{v_1^2 + \mu g R}{2v_{\max}} - v_1 - \sqrt{\mu g R} \right) + \frac{\pi R}{\sqrt{\mu g R}} \left(\frac{1}{2} - \left(\tan^{-1} \left(\frac{y-R}{x} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 - 2yR}}{R} \right) \right) / 180 \right)$$

(5) position 2 – velocity profile 2

$$T = \frac{\sqrt{\mu g R} - v_1}{a} + 2 \frac{\sqrt{(\sqrt{x^2 + y^2 - 2yR} - (\mu g R - v_1^2)/2a)a + \mu g R} - \sqrt{\mu g R}}{a} + \frac{\pi R}{\sqrt{\mu g R}} \left(\frac{1}{2} - \left(\tan^{-1} \left(\frac{y-R}{x} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 - 2yR}}{R} \right) \right) / 180 \right)$$

(6) position 2 – velocity profile 3

$$T = \frac{v_1 - \sqrt{\mu g R}}{a} + 2 \frac{\sqrt{(\sqrt{x^2 + y^2 - 2yR} - (v_1^2 - \mu g R)/2a)a + v_1^2 - v_1}}{a}$$

$$+ \frac{\pi R}{\sqrt{\mu g R}} \left(\frac{1}{2} - \left(\tan^{-1} \left(\frac{y-R}{x} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 - 2yR}}{R} \right) \right) / 180 \right)$$

(7) position 3 – velocity profile 1

$$T = \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + 2yR}}{v_{\max}} + \frac{1}{a} \left(\frac{v_1^2 + \mu g R}{2v_{\max}} - v_1 - \sqrt{\mu g R} \right) + \frac{\pi R}{\sqrt{\mu g R}} \left(\frac{3}{2} - \left(\tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 + 2yR}}{R} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{y+R}{x} \right) \right) / 180 \right)$$

(8) position 3 – velocity profile 2

$$T = \frac{\sqrt{\mu g R} - v_1}{a} + 2 \frac{\sqrt{(\sqrt{x^2 + y^2 + 2yR} - (\mu g R - v_1^2)/2a)a + \mu g R} - \sqrt{\mu g R}}{a} + \frac{\pi R}{\sqrt{\mu g R}} \left(\frac{3}{2} - \left(\tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 + 2yR}}{R} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{y+R}{x} \right) \right) / 180 \right)$$

(9) position 3 – velocity profile 3

$$T = \frac{v_1 - \sqrt{\mu g R}}{a} + 2 \frac{\sqrt{(\sqrt{x^2 + y^2 + 2yR} - (v_1^2 - \mu g R)/2a)a + v_1^2 - v_1}}{a} + \frac{\pi R}{\sqrt{\mu g R}} \left(\frac{3}{2} - \left(\tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 + 2yR}}{R} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{y+R}{x} \right) \right) / 180 \right)$$

(10) position 4 – velocity profile 1

$$T = \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + 2yR}}{v_{\max}} + \frac{1}{a} \left(\frac{v_1^2 + \mu g R}{2v_{\max}} - v_1 - \sqrt{\mu g R} \right) + \frac{\pi R}{\sqrt{\mu g R}} \left(\frac{1}{2} - \left(\tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 + 2yR}}{R} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{y+R}{x} \right) \right) / 180 \right)$$

(11) position 4 – velocity profile 2

$$T = \frac{\sqrt{\mu g R} - v_1}{a} + 2 \frac{\sqrt{(\sqrt{x^2 + y^2 + 2yR} - (\mu g R - v_1^2)/2a)a + \mu g R} - \sqrt{\mu g R}}{a} + \frac{\pi R}{\sqrt{\mu g R}} \left(\frac{1}{2} - \left(\tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 + 2yR}}{R} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{y+R}{x} \right) \right) / 180 \right)$$

(12) position 4 – velocity profile 3

$$T = \frac{v_1 - \sqrt{\mu g R}}{a} + 2 \frac{\sqrt{(\sqrt{x^2 + y^2 + 2yR} - (v_1^2 - \mu g R)/2a)a + v_1^2 - v_1}}{a} + \frac{\pi R}{\sqrt{\mu g R}} \left(\frac{1}{2} - \left(\tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 + 2yR}}{R} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{y+R}{x} \right) \right) / 180 \right)$$

4. 시뮬레이션

4.1 결과의 도식적 표현

위의 방법을 이용하여 경기장 모든 좌표점에서 어떤 회전반경 값을 갖을 때 최단 시간을 갖는

지 그 결과 해를 표시하였다. 단, 그 반경값을 실제 모두 표시하기가 어려우므로 단순화하기 위해 최소, 중간, 최대 회전반경의 3 가지로만 표시하였다.

아래의 분포도는 볼과 골(목표점)을 고정시킨 상태에서 경기장의 전 영역에 대해서 최대회전반경, 최소회전반경, 중간회전반경에서 최단시간의 경로가 발생하는 것을 R, G, B 로 표시한 것이다.

예를 들어, 로봇의 위치를 (x_R, y_R) , 볼의 위치를 (x_B, y_B) , 골대중앙의 위치를 (x_{cg}, y_{cg}) , 최소회전반경(10cm)에서의 시간을 T_{Rmin} , 중간회전반경(30cm)에서의 시간을 T_{Rmid} , 최대회전반경(63cm)에서의 시간을 T_{Rmax} 라 할 때,

$$(x_R, y_R) = (100, 300)$$

$$(x_B, y_B) = (450, 240)$$

$$(x_{cg}, y_{cg}) = (640, 240)$$

초기속도 $V_1 = 0m/sec$, 가속도 $a = 1m/s^2$ 일 때 최소 회전반경에서의 시간은 다음과 같이 구할 수 있다. 로봇의 좌표는 position 2 이고 (식 6)과 (식 7)에 의해 직선거리 L_1 과 곡선거리 L_2 는

$$L_1 = 1.1066m$$

$$L_2 = 0.0180m \text{ 이다}$$

직선거리 L_1 과 직선에서의 가속거리 s_1 , 감속거리 s_3 를 구해 velocity profile 을 나눌 수 있다.

(식 10)과 (식 11)에 의해 가속, 감속거리를 구하면

$$s_1 = 1.125m$$

$$s_3 = 0.9533m \text{ 이고}$$

$L_1 < (s_1 + s_3)$ 이므로 velocity profile 2 에 해당함을 알 수 있다. 따라서 시간 T 는 위의 식 position 2 - velocity profile 2 에 의해 계산되어지며 $T = 1.7060sec$ 이다. 따라서 최소회전반경(10cm)에서의 시간 T_{Rmin} 은 $T_{Rmin} = 1.7060sec$ 이다.

같은 방법으로 T_{Rmid} 와 T_{Rmax} 를 구하면 다음과 같다.

$$T_{Rmid} = 1.5571sec$$

$$T_{Rmax} = 1.5001sec \text{ 이고,}$$

$$T_{Rmin} > T_{Rmid} > T_{Rmax} \text{ 의 관계를 갖게된다.}$$

따라서 최대회전반경에서 최소시간이 되므로 Fig. 8 에서 (100,300)의 위치에 G(Green 영역)으로 표시한다.

가속도가 증가함에 따라서 가속, 감속구간의 시간은 전체 시간에서 큰 비중을 차지하지 못하기 때문에 최대회전반경의 영역과 최소회전반경의 영

역이 증가하고 그 중간의 회전반경을 갖는 영역은 작아지는 형태를 아래분포도를 통해서 볼 수 있다

4.1.1 가속도에 따른 최단시간을 갖는 회전반경의 영역

V_1 (m/s)을 초기속도, $a(m/s^2)$ 를 가속도라 할 때, V_1 과 a 에 따라 다음과 같은 분포도를 보인다.

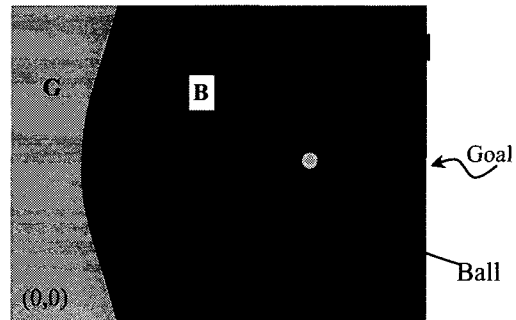


Fig. 8 초기속도가 0 이고 가속도가 1 인 경우의 최 단시간 회전반경 영역분포도

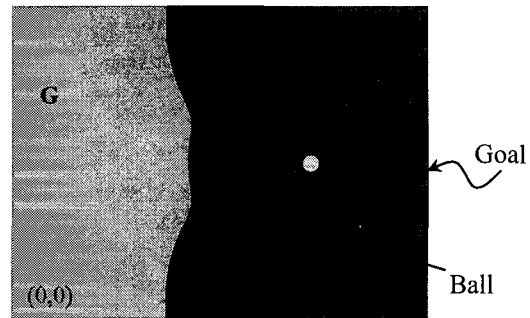


Fig. 9 초기속도가 0 이고 가속도가 2 인 경우의 최 단시간 회전반경 영역분포도



Fig. 10 초기속도가 0 이고 가속도가 3 인 경우의 최 단시간 회전반경 영역분포도

4.1.2 초기속도에 따른 회전반경



Fig. 11 가속도가 3 이고 초기속도가 0 인 경우의 최단시간 회전반경 영역분포도

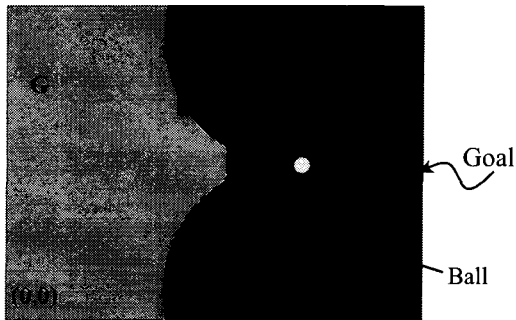


Fig. 12 가속도가 3 이고 초기속도가 0.5 인 경우의 최단시간 회전반경 영역분포도

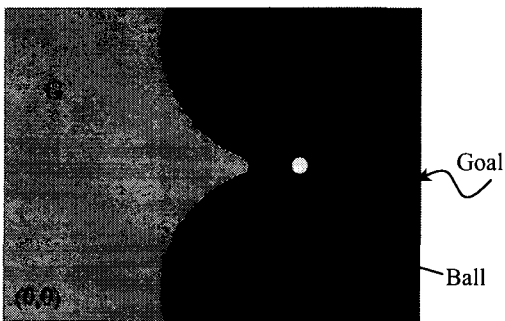


Fig. 13 가속도가 3 이고 초기속도가 1.0 인 경우의 최단시간 회전반경 영역분포도

5. 실험 및 결과

5.1 실험 1

Table 5 experiment condition

	Ball	Robot	Goal	
x	460	173	590	a = 2
y	379	232	238	V ₁ = 0

10cm	20cm	30cm
46 (43) frame	42 (42) frame	41 (42) frame

Fig.14 Robot path (case 1)

위 영역은 시뮬레이션에서 중간회전반경 일 때 최단시간을 갖는 것으로 나타났고 실험에서는 30cm 에서 최단시간을 나타냈다. 실제 회전반경은 10 에서 63cm 이지만 경기장의 크기 등으로 인하여 제약조건이 많아 10~30cm 까지만을 실험하였다. 여기서 기존의 고정동심원도법에서는 10cm 의 회전반경만 사용하였으므로 로봇의 구조상 이를 최소회전반경으로 정하고, 20cm 를 중간회전반경, 30cm 를 최대회전반경으로 가정하였다. 따라서 30cm 일 때가 최소시간을 나타냈으며 고정동심원도법에 비해서 가변동심원도법이 시간을 단축하는 결과를 나타냈다.

이하 실험에서는 경우에 따라서 최소회전반경, 중간회전반경, 최대회전반경에서 각각 달리 최단시간이 나타나는 것을 볼 수 있다.

5.2 실험 2

Table 6 experiment condition

	Ball	Robot	Goal	
x	457	109	590	a = 2
y	379	92	238	V ₁ = 0

10cm	20cm	30cm
56 (53) frame	55 (52) frame	53 (53) frame

Fig.15 Robot path (case 2)

실험 2 는 중간회전반경에서 최단시간을 갖는다. 계산에서는 20cm 일때 최단 시간을 갖게 나타났으나 실험에서는 30cm 에서 최단시간을 갖게 나타났다.

5.3 실험 3

Table 7 experiment condition

	Ball	Robot	Goal	
x	325	543	590	a = 2
y	237	92	238	V ₁ = 0




10cm	20cm	30cm
		
56 (48) frame	61 (53) frame	65 (58) frame

Fig. 16 Robot path (case 3)

실험 3 은 최소 회전반경에서 최단시간을 갖도록 계산되었고 실험에서도 최소회전반경에서 최단 시간을 갖도록 나타났다.

계산에서 보다 목표점에 도달하는 시간이 8 frame 늦게 나타났다.

5.4 실험 4

Table 8 experiment condition

	Ball	Robot	Goal	
x	459	322	590	a = 2
y	235	455	238	V ₁ = 0




10cm	20cm	30cm
		
40 (37) frame	37 (36) frame	36 (35) frame

Fig. 17 Robot path (case 4)

실험 4 는 최대 회전반경에서 최단시간을 갖도록 계산되었고 실험에서도 최대 회전반경에서 최단 시간을 갖도록 나타났다.

5.5 실험 5

Table 9 experiment condition

	Ball	Robot	Goal	
x	539	112	590	a = 2
y	203	438	238	V ₁ = 0




10cm	20cm	30cm
		
59 (53) frame	54 (51) frame	52 (51) frame

Fig. 18 Robot path (case 5)

실험 5 는 중간회전반경에서 최단시간을 갖도록 계산되었으며 실험에서는 30cm 일 때 최단시간이 되었고 시간지연이 1~6 frame 정도 나타났다.

5.6 실험 6

Table 10 experiment condition

	Ball	Robot	Goal	
x	539	544	590	a = 2
y	203	396	238	V ₁ = 0




10cm	20cm	30cm
		
45 (40) frame	52 (44) frame	57 (49) frame

Fig. 19 Robot path (case 6)

6. 결론

본 논문에서 제시한 가변동심원 도법은 기존의 동심원도법이 일정한 회전반경을 갖는 동심원과 두 직선으로 이루어진 최단거리 알고리즘인 반면에 가변동심원 도법은 가변적인 회전반경을 갖는 동심원과 두 직선으로 이루어진 최단시간 알고리즘이다.

회전반경이 커짐에 따라 곡선에서의 이동속도가 증가하고 그에 따라서 직선에서 곡선으로 이동

할 때 감속해야 할 양이 적게된다. 반면 회전반경이 커지면 직선이동거리가 감소하고 곡선이동거리가 증가하기 때문에 그에 따른 직선이동시간의 감소량이 곡선이동시간의 증가량보다 클 때 목표점에 도달하는 시간이 짧아진다.

2 장의 계산 예와 3 장의 실험 결과를 통해 로봇의 위치에 따라서 각기 다른 회전 반경일 때 최단시간이 되는 것을 확인할 수 있었다.

회전반경은 회전경로의 이동거리, 회전경로의 이동시간과 비례관계가 있고, 직선경로의 이동거리, 직선경로의 이동시간, 직진에서 회전시작점사이의 감속시간과 반비례관계가 있다.

본 논문에서 계산과 실험을 통하여 얻은 결과를 다음과 같이 몇 가지 결론으로 요약할 수 있다.

- (1) 회전반경이 큰 경우는 회전반경이 짧은 경우에 비하여 이동거리가 길어지기 때문에 회전이동경로가 길어지고 회전 이동시간 또한 길어진다.
- (2) 회전반경이 커짐에 따라서 직선 경로의 이동거리는 짧아지고 그에 따른 직선경로의 이동시간도 짧아진다.
- (3) 회전반경이 큰 경우의 회전속도는 회전반경이 작은 경우에 비하여 빠르기 때문에 직진에서 회전시작점에 들어가기 전 감속해야 하는 시간이 짧아진다.

좌표점에 따라서 회전반경이 작을 때 총 이동 경로시간이 최소가 되기도 하고 회전반경이 커짐에 따라 총 이동경로 시간이 최소가 되기도 한다.

본 논문에서 제시한 가변동심원 도법을 계산하기 위해 position 과 velocity profile 을 사용하여 12 가지의 경우로 구분하여 계산하고 최단시간을 구하기 위한 알고리즘으로 황금 분할법을 사용하였는데 이러한 방법은 계산량이 매우 증가하는 방법이기 때문에 보다 효과적인 계산을 하기위한 연구가 더 진행되어야 할 것이다.

그리고 실험에서는 직선이동에서 회전이동 시작점 이라든지 회전이동에서 직선이동 시작점으로 변할 때 로봇의 관성과 슬립에 의해서 계산과 같은 경로로 이동하지 못하였다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 원호보간과 같은 방법을 사용하여 실제계산과 유사한 경로를 이동할 수 있도록 로봇을 제어하는 것도 추가되어야 할 것이다.

실제 경기에 적용했을 때, 과연 전체 게임 운영적 측면에서 다른 제어적 요소와 기술적인 요소를 고려한 경우에 얼마나 효율적인지도 연구가 더 진행되어야 할 것이다.

후 기

이 논문은 서울산업대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. 김동한, "Petri Net 과 Q-학습을 이용한 로봇축구 시스템의 설계," 석사학위논문, 한국과학기술원, 1997.
2. 박귀홍, "Modular Q-학습 기반 다개체 협력 시스템과 로봇축구예의 적용," 석사학위논문, 한국과학기술원, 1998.
3. 김홍수, "로봇축구를 위한 다개체 시스템의 행동선택기 설계," 석사학위논문, 한국과학기술원, 1996.
4. 홍광희, "면역시스템을 이용한 행동선택기 구성과 로봇 축구예의 이용," 석사학위논문, 한국과학기술원, 1999.
5. 이재환, "영상경계추출 및 오차 보정 필터를 이용한 항법 시스템의 개발," 석사학위논문, 서울대학교, 1999.
6. 김용백, "Fuzzy logic 을 이용한 로봇축구 시스템의 협동 행동 제어기," 석사학위논문, 부산대학교, 1999.
7. 조법기, "축구로봇의 경로 제어 알고리즘의 구현," 석사학위논문, 동양대, 2001.
8. 이병주, 이성오, 이관수, 박귀태, "로봇축구 시스템과 게임전략," 제 1 회 로봇축구 공학 워크샵 논문집, pp. 77-100, 1999.
9. 김광춘, 김동한, 김용재, 김종환, "진화 연산과 Q-학습을 이용한 축구 로봇 제어기 설계," 제 1 회 로봇축구 공학 워크샵 논문집, pp. 59-73, 1999.
10. 김종환, "로봇축구 시스템", 대영사, 1999.
11. 교통사고조사기술원(Traffic Accident Investigation Institute) <http://accident.co.kr/>.
12. Jasbir S. Arora, "최적설계입문," 1994.