

# 주차판 표시장치의 토크 최적화에 대한 연구

정양희\*, 이보희\*\*, 유일현\*\*\*, 최상호\*\*\*\*, 김종태\*\*\*\*

## A Study on the Torque Optimization of Parking Sign system

Yanghee Joung, Il-Hyun You, Bo-hee Lee, Sang-Ho Choi, Jong-Tae Kim,

### 요 약

본 논문은 주차판 시스템의 토크 최적화에 대하여 다루었다. 주차판 시스템은 독립된 전원을 가지고 있어야 하므로 주차판 시스템을 움직이는 데 소요되는 모터 구동력을 최소화하는 것이 문제이다. 따라서 이 문제를 해결하기 위해서는 주차판 시스템의 동적인 방정식을 유도하여야 하며, 비선형 미분방정식을 풀어야 하는 어려움이 있다. 본 논문에서는 동적인 방정식을 유도하였으며, 유전 알고리즘을 이용하여 방정식을 풀었으며, 컴퓨터 모의실험을 통하여 결과의 유용성을 보였다.

### ABSTRACT

This paper is concerned with optimization of a motor torque to drive Parking Sign system. It needs to minimize powers for stand alone operation and requires the optimized parameters in order to move the plates in the minimum torque. The operation can be represented as a complicated non-linear equation which is difficult to solve by general optimization techniques. In this paper, the dynamic equations of the system are derived, also the suitable Genetic Algorithm is designed to solve the equations. Computer simulation shows the availability of this method.

### 1. 서 론

근래에 주차문제는 날로 심각성을 더하여 주택가는 물론 빌딩이나 공공 장소 등에서 큰 문제로 대두되고 있다. 이로 인하여 여러 가지 주차 공간에 대한 제도가 시행되고 있지만 소요 경비 및 효율성의 문제로 인한 별다른 효과를 보이지 못하고 있다. 본 장치는 J.T. Kim<sup>[1]</sup>이 제작한 장치로 차내 및 외

부에서 주차금지 표지판을 원격으로 제어하는 장치로써 운전자의 편의는 물론, 지면에 부착하여 설치함으로써 주차질서 확립 및 차고지 확보를 위한 목적으로 설계된 장치이다. 장치 설치 지역은 옥외나 전기 사용이 불리한 특정지역일 수도 있다는 점을 고려하여 건전지를 채택하기 때문에 최소 에너지로 구동되는 모터 선정이 중요한 문제이다. 이는 필요 이상의 대용량 모터 사용을 방지하고 최소의 전력 소비량을 위해서 필수적이라 할 수 있다. 본 논문에서는 이 주차금지 표지판의 구동력을 최소화하는 설계변수의 최적 값을 찾고 이 때 필요한 최대 구동력을 계산하고자 한다. 여기서 요구되어지는 최대

\* 여수 국립대학교 전기공학과, \*\* 세명대학교 전기공학과,

\*\*\*세명대학교 컴퓨터응용과학과

\*\*\*\*인하대학교자동차 공학과

구동력을 만족할 정도의 작은 용량의 모터를 선정함으로써 최적의 전력 소비가 가능해질 것이다. 이러한 구동력을 얻기 위해서 구속조건이 포함된 유전 알고리즘<sup>[2-3]</sup>이 적당하며 이를 이용하여 최적화된 설계변수를 찾고 이를 적용하여 유용성을 검증하였다.

## II. 장치의 해석

### 1. 장치의 구성

본 논문에서 사용된 장치의 외관은 그림1과 같고 이에 따른 구조적 표현은 그림2와 같다.

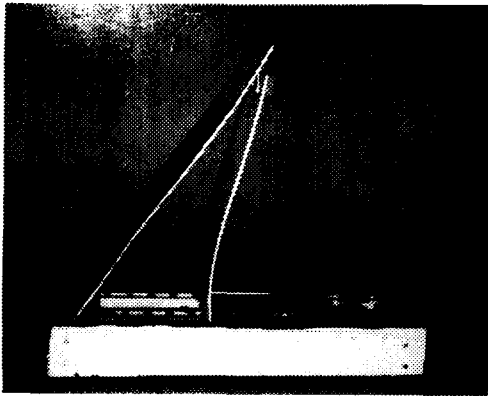


그림 1. 주차판 시스템  
Fig. 1 Parking Sign system.

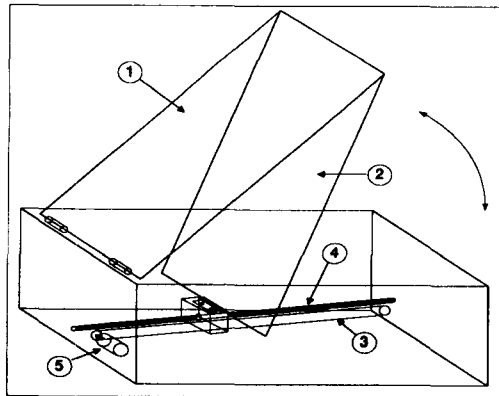


그림 2. 시스템의 도해적 표현  
Fig. 2 Graphical representation of system.

그림 2에서 전체 장치는 상판(①)과 하판(②)으로 이루어진 표지판과 센서부, 제어부로 구성되어 있다. 구동력 전달은 벨트(③)에 의해 이루어지며 하판의 아랫단은 벨트와 평행한 리드봉(④)을 따라 모터(⑤)의 회전에 의해 전진 혹은 후진한다. 표지판의 상판과 하판은 힌지 결합되어 있으며, 상판의 끝단은 케이스에 그리고 하판의 끝단은 벨트와의 연결부에 각각 힌지 결합되어 있다. 본 장치에 있어서 설계시 고려되는 사항은 첫째로 설계변수 설정에 있다. 표지판이 누운 상태에서 상판과 하판이 이루는 각( $\theta_1$ )과 리드봉이 지면에 대해 기울어진 각( $\psi$ )을 두 개의 설계 변수로 하여 모터의 필요 구동 토크가 최소가 되도록  $\theta_1, \psi$ 의 최적값을 선정한다. 특히,

$\theta_1$ 에 의해서 장치의 높이가 결정되어지며,  $\psi$ 에 의해 벨트로부터 전달되는 구동력이 달라짐은 물론 반력의 크기에도 영향을 미치는 등, 두 설계변수는 구동토크의 최적화를 위해 중요하다. 둘째는 모터의 필요 구동토크의 설정에 있다. 표지판 구동시 상판이 일어서면서 지면과 이루는 각( $\theta$ )의 변화와 이에 따른 구동 토크의 변화를 구한다. 이 때, 구동시 요구되는 최대 토크를 구하여 이를 만족할 수 있는 모터를 선정함으로써 최적화를 가능하게 한다.

### 2. 동특성 해석

우선, 시스템의 구동 토크를 최소로 만들어 주는 판 사이의 각( $\theta_1$ )과 리드봉의 기울임 각( $\psi$ )을 구하기 위해 시스템에 걸리는 동특성에 대한 해석이 필요하며<sup>[4-5]</sup>, 한 기준점(A)에서의 중력에 의한 회전력과 모터의 구동에 의한 회전력으로 나누어 비교하여 해석하였다. 단, 이 때의 마찰력은 무시하였다. 그림3은 하판의 끝단이 리드봉을 따라 진행하면서 표지판이 일어서는 과정 중의 한 순간을 옆에서 바라 본 측면도이다.

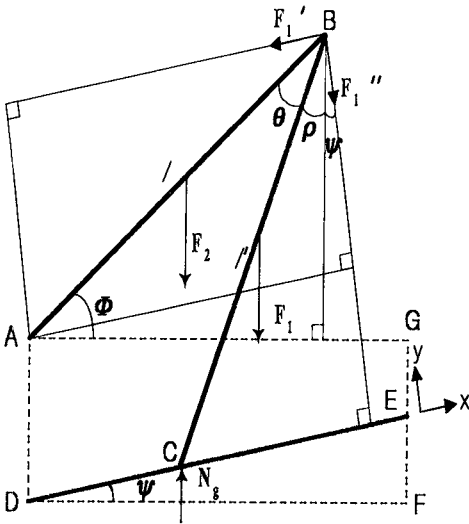


그림 3. 주차판에 미치는 힘

Fig. 3 Various forces acting on the plates.

a : 판의 넓이, l : 상판의 길이, l' : 하판의 길이  
 t : 판의 두께, A,D,F,G : 장치케이스, AB: 상판,  
 BC: 하판,  
 DE: 리드봉, DF: 지면

$F_1, F_2$  : 하,상판에 가해지는 중력

$\rho$  : B점에서 지면의 수선이 하판과 이루는 각

$\psi$  : 리드봉과 지면의 사잇각

$N_g$  : C에서 반력

$F_1', F_1''$  : B에서의  $F_1$ 에 대한 반력

우선 l과 l' 및  $F_1, F_2$ 의 관계식을 표현하면 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned} l' \cos \theta_1 &= l \\ F_1 &= dal'tg \\ F_2 &= daltg = F_1 \cos \theta_1 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,  $\theta_1$ 는 표시판이 누운 상태에서의 각도이며 d는 밀도를 g는 중력 가속도를 의미한다.

하판에서의 대한 힘의 성분은 식(2)-(4)와 같다

$$\sum F_x = F_1' - F_1 \sin \psi = 0 \quad (2)$$

$$\sum F_y = F_1'' - F_1 \cos \psi + N_g = 0 \quad (3)$$

$$\sum M_B = F_1 \frac{l'}{2} \sin \rho - N_g l' \sin(\rho + \psi) = 0 \quad (4)$$

반력 성분으로 다시 정리하면 식(5)-(7)과 같다.

$$N_g = \frac{F_1 \sin \rho}{2 \sin(\rho + \psi)} \quad (5)$$

$$F_1' = F_1 \sin \psi \quad (6)$$

$$F_1'' = F_1 \cos \psi - N_g = F_1 \cos \psi - \frac{F_1 \sin \rho}{2 \sin(\rho + \psi)} \quad (7)$$

따라서 중력으로 인해 A점에 작용하는 회전력은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \tau_{AG} &= F_1' l \sin(\Phi - \psi) - F_2 \frac{l}{2} \cos \Phi \\ &\quad - F_1'' l \cos(\Phi - \psi) = dal'tg\delta \end{aligned} \quad (8)$$

여기서,

$$\begin{aligned} \delta &= l \sin \psi \sin(\Phi - \psi) - \frac{1}{2} \cos \theta_1 l \cos \Phi \\ &\quad - \left( \cos \psi - \frac{1}{2} \sin \rho / \sin(\rho + \psi) \right) l \cos(\Phi - \psi) \end{aligned}$$

그림4와 같이 벨트로부터 하판에 전달되는 구동력을 P라 하고 P에 의해 B에 발생하는 반력을  $P', P''$  그리고, P에 의해 C에 발생하는 반력을  $N_p$ 라 하자.

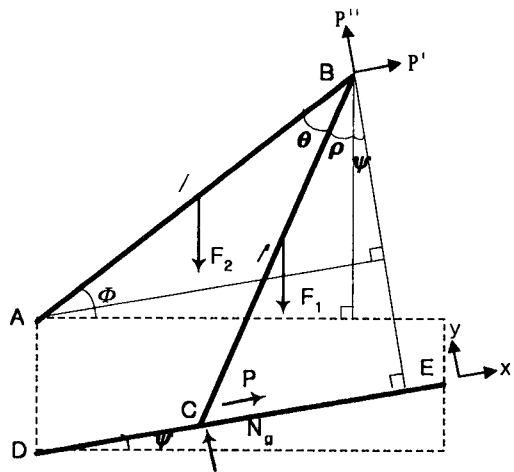


그림 4. 벨트와 모터에 미치는 힘

Fig. 4 Various forces acting on belt and motor

이때 구동기에 전달되는 힘은 다음과 같다.

$$\sum F_x = P - P' = 0 \quad (9)$$

$$\sum F_y = N_p - P'' = 0 \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \sum M_B = Pl' \cos(\rho + \phi) \\ - N_p l' \sin(\rho + \phi) = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

또한 반력에 대한 성분으로 정리하면 아래와 같다.

$$N_p = P \frac{\cos(\rho + \phi)}{\sin(\rho + \phi)} \quad (12)$$

$$P' = P \quad (13)$$

$$P'' = N_p = P \frac{\cos(\rho + \phi)}{\sin(\rho + \phi)} \quad (14)$$

위의 결과로부터 하판에서 상판으로 전달되어지는 힘  $P'$ ,  $P''$ 에 의해 A점에 발생하는 회전력

( $\tau_{AM}$ )은 식(15)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \tau_{AM} = P'' l \cos(\phi - \theta) - \\ P' l \sin(\phi - \theta) = \\ Pl \frac{\cos(\phi - \theta) \cos(\rho + \phi)}{\sin(\rho + \phi)} \\ - Pl \sin(\phi - \theta) \end{aligned} \quad (15)$$

여기서,  $\rho$ 는 식(16)과 같으며 지면의 수직성분과 하판이 이루는 각도를 나타낸다.

$$\rho = \cos^{-1} \left[ \frac{\cos \phi \cos \theta_1 (\tan \theta_1 - \cos \phi \tan \psi + \sin \phi)}{\cos \phi \tan \psi + \sin \phi} \right] - \phi \quad (16)$$

### 3. 최적 파라미터의 설정

모터를 구동시켜 장치가 작동하기 위해서는 모터가 가해주는 정방향 토크가 중력에 의한 역방향 토크보다 커야 한다.

$$\tau_{AM} + \tau_{AG} > 0 \quad (17)$$

따라서 식(8)과 (15)을 이용하여 P에 관해 정리하면 장치를 구동시키기 위해 필요한 구동력 P의 범

위를 알 수 있으며, 이로부터 최소 구동력을 구할 수 있으며 식(18)과 같다

$$P > \frac{-dal'tg\delta}{\cos(\phi - \theta) \cos(\rho + \phi)} \cdot \frac{1}{\sin(\rho + \phi) - \sin(\phi - \theta)} \quad (18)$$

그런데, 장치의 높이  $L$ 은 자동차 하부에 걸리지 않기 위해서 20[cm]이하로 하고 반면  $L$ 이 너무 작으면 초기에 요구되는 힘이 매우 커지므로 실제 제작 여건을 고려하여  $L$ 을 5[cm]이상으로 상판의 길이  $l$ 을 60[cm]로 할 때  $\theta_1$ 의 범위를 다음과 같이 설정할 수 있다.

$$\begin{aligned} 0.05[m] \leq [L = l \tan \theta_1] \leq 0.20[m] \\ 4.7613^\circ \leq \theta_1 \leq 18.4378^\circ \end{aligned} \quad (19)$$

$\phi$ 는 상판이 일어서면서 지면과 평행한 면에 대하여 이루는 각이다. 따라서  $\phi$ 의 범위를 구하는 것은 장치의 작업 공간을 알 수 있다는 점에서 중요한 의미를 갖는다. 그러므로  $\phi$ 의 범위를 실제 구동 가능한 최대값( $\phi_{max}$ )보다 크게 설정하여 알고리즘을 수행하면 타당치 못한 값을 얻게 된다. 여기서  $\phi_{max}$ 는 장치의 설계 구조에 따라 결정된다. 즉  $\theta_1$ 과  $\psi$ 값에 따르게 되는 것이다.  $\phi_{max}$ 는 하판이 지면과 수직으로 일어서었을 때의  $\phi$ 값이며 다음과 같이 구해진다. 아래 수식에서 편의를 위하여  $\phi_{max}$ 는  $\phi$ 로 표현하였다.

$$\sin \phi = \frac{l' - l \tan \theta_1 + l \cos \phi \tan \psi}{l} \quad (20)$$

식(20)은 다음과 같이 정리될 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{1}{\cos \theta_1} - \tan \theta_1 &= \sin \phi - \tan \psi \cos \phi \\ &= \sec \psi (\cos \psi \sin \phi - \sin \psi \cos \phi) \\ &= \sec \psi \sin(\phi - \psi) \end{aligned} \quad (21)$$

따라서 식(21)을 정리하면 다음과 같이  $\phi_{max}$  를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \phi_{max} &= \sin^{-1} \left[ \frac{\cos \psi}{\cos \theta_1} - \cos \psi \tan \theta_1 \right] + \psi \quad (22) \\ &= \frac{1}{\cos \theta_1} - \tan \theta_1 + \cos \psi \tan \psi \end{aligned}$$

여기서,  $\phi_{max}$  는 장치 구조상 다음과 같은 범위로 한정된다.

$$\phi(\psi_{min}, \theta_{1max}) \leq \phi_{max} \leq \phi(\psi_{max}, \theta_{1min}) \quad (23)$$

따라서,  $\theta_1, \psi$  의 범위가 설정되면  $\phi_{max}$  값도 결정된다. 이상으로부터 목적함수는 식(17)으로 구속조건은 식(24)와 같이 정해질 수 있다.

$$\begin{aligned} 4.7613^\circ &\leq \theta_1 \leq 18.4378^\circ \\ 0^\circ &\leq \phi \leq \phi_{max} \\ 0 &\leq \psi \leq 9.2189 \end{aligned} \quad (24)$$

여기서,  $\psi$  는  $\frac{1}{2}\theta_1$  까지 변화할 수 있는 범위로 제한하여 설정하고  $\phi$  는 최대 토크가 존재하는 범위 내로 한정하였다.

식(18)의 목적함수를 적합도 함수로 설정하여 유전알고리즘을 수행한다. 이를 통해  $\phi$  에 대하여 구동력을 최소로 하는  $\theta_1$  과  $\psi$  를 설정한다. 그리고, 각각의  $\phi$  에 대한 최대구동력을 구하였다. 그림5는 최대 구동력을 찾기 위해 설계된 유전알고리즘의 프로그램 흐름도 이다.

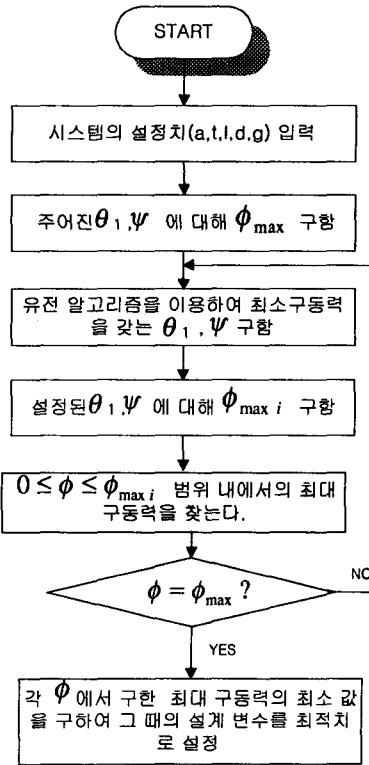


그림 5. 유전알고리즘의 플로차트  
Fig. 5 Flow diagram of GA

이때, 유전알고리즘의 설정치는 표1과 같다.

표1. 시스템 변수

Table 1. Parameters of system

항목	수치
판의 넓이	a = 0.25[m]
판의 두께	t = 0.001[m]
상판의 길이	l = 0.60[m]
판재(A1)의 밀도	d = 2710[Kg/m <sup>3</sup> ]
중력가속도	g = 9.8 [m/s <sup>2</sup> ]

또한  $\theta_1$  과  $\psi$  의 범위는 식(24)에서 제시한 구속조건을 사용하였다. 따라서 주어진 두 설계변수의

범위로부터 주차판 표시장치의 동작시  $\Phi$ 의 최대값 ( $\Phi_{max}$ )을 구할 수 있다. 최대값을 구하는 방법은 0에서  $\Phi_{max}$ 까지의 범위에서  $\Phi$ 를 조금씩 변화시켜 가며 각각에 대해 설계변수의 최적치를 구하였다. 상기방법으로 각  $\Phi$ 값에 대해 유전알고리즘을 이용하여 구동력을 최소로 하는  $\theta_1, \psi$ 를 구하고, 구해진  $\theta_1, \psi$ 에 대해 0부터  $\Phi_{max}$ 까지  $\Phi$ 를 변

화시키면서 최대 구동력을 구하여 저장한다. 이 때  $\Phi_{max}$ 는 설정된  $\theta_1, \psi$ 에서  $\Phi$ 가 변화할 수 있

는 최대 값이다. 즉 하나의  $\Phi$ 에 대하여 최적의  $\theta_1, \psi$ 를 구하고, 구한 값에 대하여  $\Phi$ 를 변화시키면서 구동력의 최대값을 구하는 것이다. 이런 식으로 하여 처음의  $\Phi$ 가 0부터  $\Phi_{max}$ 까지 변화하면서 각각의 설계 변수  $\theta_1, \psi$ 의 최적치와 이 때 요구되는 최대 구동력을 구하게 된다. 따라서 모터 선정시 구해진 최대 구동력들 중에 최소치를 만족하는 값으로 설계하면 되고 장치의 구조는 이 때의 설계 변수  $\theta_1, \psi$ 를 근거로 제작하면 무방하다고 할 수 있다.

4. 구동 방법

주차판의 동력원은 기본적으로 배터리를 이용한 구동방법이다. 따라서 구동시 정지점까지 최대속도로 구동하는 것보다 중간에 경유점을 두고 경유점간의 궤적을 보간법으로 처리하는 방법이 더욱 효과적일 수 있다. 경유점을 두어 보간하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있으나 본 논문에서는 선형 보간법과 B-spline의 일종인 Bezier 보간법을 사용하였다. 선형보간법을 이용하면 간단히 직선 수식을 이용하여 표시할 수 있다.

$$\phi(t) = at + b \tag{25}$$

또한 2차원 평면상의 Bezier 보간법의 기본식은

아래와 같다.

$$\phi(t) = (1-t)^2 \phi_1(t) + t^2 \phi_2(t) + 2t(1-t)\phi_c(t) \tag{26}$$

여기서  $\phi_1(t), \phi_2(t), \phi_c(t)$ 는 각각 상판 구동각의 시작점, 끝점 및 제어점을 의미하며, 구동각의 움직임을 표현하게 된다.

III. 실험 결과

유전알고리즘을 이용하여 최적 설계변수 값을 찾아 보았다. 모의실험은 IBM PC에서 사용하였으며 프로그램의 용이성을 위하여 Matlab 5.2를 사용하여 구현하였다. 유전 알고리즘에서 사용된 각 설정치는 표2와 같으며 실험 결과는 식(24)와 같다.

표 2. GA의 변수  
Table 2. Parameters of GA

항 목	설정치
개체수	50
세대수	200
변수의 개수	2
교배율	0.8
돌연 변이율	0.15

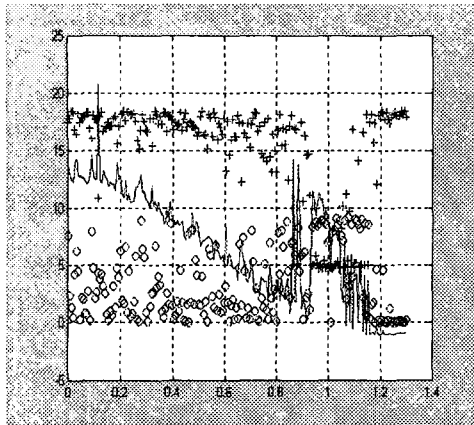


그림 6.  $\phi$ 에 따른  $\theta, \psi, \tau$  (표2자료이름)  
Fig. 6  $\theta, \psi, \tau$  as a function of the  $\phi$ .

3.7[N]이다. 그림6은 주어진 설계 변수  $\psi, \phi$ 에 대한 토크의 관계를 나타내었다. 그림7은 이때의 상판에서 걸리는 토크에 대하여 표현하였다. 그림에서 알 수 있듯이 구동각이 커지면서 토크가 줄어들음을 알 수 있다. 따라서 이 힘을 만족하는 용량의 모터를 선정하면 가장 경제적이며 최적의 모터의 선정을 할 수 있다.

이번에는 교배율을 0.15에서 0.25로 늘려 보았다. 그 결과 얻어지는 각각의 설계인자는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \theta &= 0.319(\text{rad}) = 18.251^\circ \\ \psi &= 0.044(\text{rad}) = 2.516^\circ \\ \phi &= 0.851(\text{rad}) = 48.777^\circ \\ \tau &= 0.257k_gf \end{aligned} \quad (28)$$

그림 8과 9에 설계인자에 따른 구동각과 토크를 표현하였다.

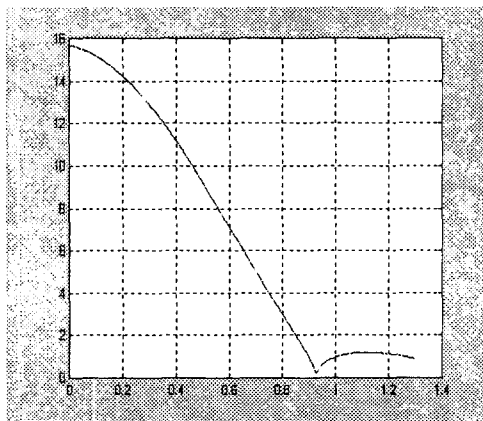


그림 7.  $\phi$ 에 따른 힘의 분포(자료2)  
Fig. 7 Forces w.r.t  $\phi$  by table 2.

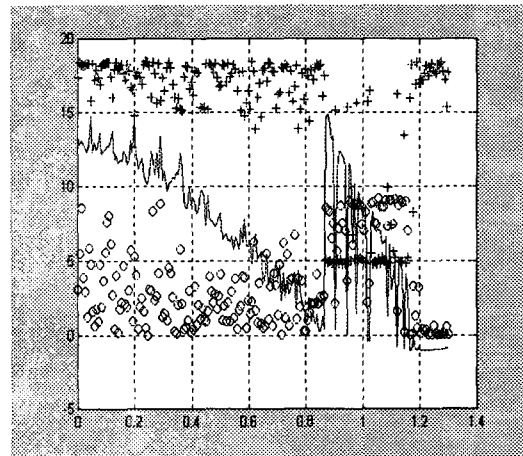


그림 8.  $\phi$ 에 따른  $\theta, \psi, \tau$  (교배율 0.25)  
Fig. 8  $\theta, \psi, \tau$  w.r.t  $\phi$  in mutation rate 0.25.

$$\begin{aligned} \theta &= 0.257(\text{rad}) = 14.713^\circ \\ \psi &= 0.045(\text{rad}) = 2.606^\circ \\ \phi &= 0.925(\text{rad}) = 53.006^\circ \\ \tau &= 0.378k_gf \end{aligned} \quad (27)$$

식(27)로부터 최적의 설계 변수는  $\theta = 14.7^\circ$ ,  $\phi = 2.6^\circ$  일 때로 나타났으며, 이 설계치로 장치를 제작하였을 때 요구되는 최대 구동력은 상판이

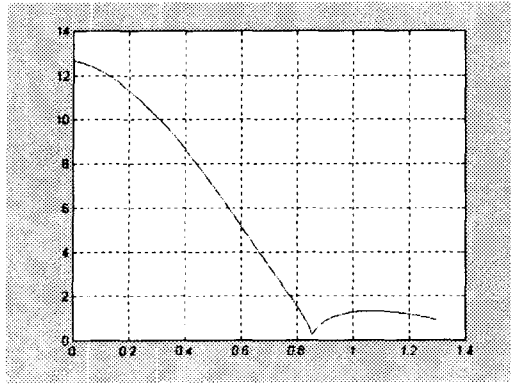
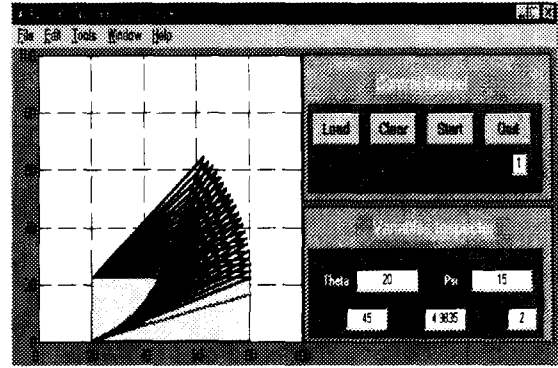
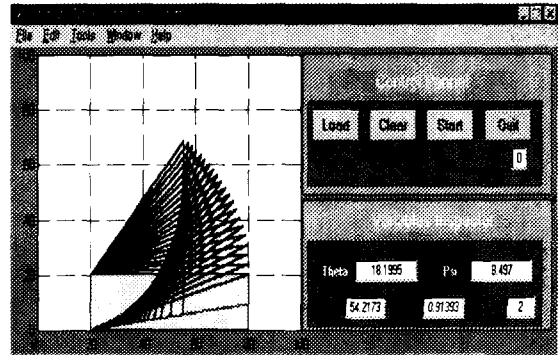


그림 9.  $\phi$ 에 따른 힘의 분포(교배율 0.25)  
Fig. 9 Forces w.r.t  $\phi$  in mutation rate 0.25.

식(28)로부터 최적의 설계 변수는  $\theta = 18.3^\circ$ ,  $\phi = 2.5^\circ$  이며, 실제 장치를 제작하였을 때 요구되는 최대 구동력은 2.518[N]이다. 설계 인자는 유전 알고리즘의 변수에 차이는 있으나 대략  $\theta$ 는  $20^\circ$  전후이고  $\phi$ 는 대략  $3^\circ$  정도 인 것을 알 수 있었다. 이렇게 선정된 설계인자를 이용하여 실제 적용하기 전에 구동 형태를 인지할 수 있는 모의 실험기를 구성하여 보았다. 모의 실험기는 실제 구동 형태를 표현하였고 각각의 설계인자를 직접 입력하게 하여 각각의 설계인자의 변경에 따라 주차판의 상판과 하판의 움직임을 알 수 있게 하였다. 그림 10은 각각 선형 구동시와 Bezier보간을 이용한 구동 모습을 표현하였다.



(a) 선형 보간시



(b) Bezier 보간시

그림 10. 주차판의 모의실험기  
Fig.10 Simulator of Parking Sign System (a) Linear Interpolation (b) Bezier Interpolation

그림에서와 같이 각각의 설계인자에 의한 구동부의 모습을 실제 제작하지 않고도 검증할 수 있었다. 실제 구동 모습에서와 같이 움직이는 모습은 Bezier 보간으로 구동시 상부로 올라갈 때 좁은 간격으로 표현되어 구동력이 작게 됨을 알 수 있었다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 주차금지 표지판 장치의 동특성을 유도하였으며, 최적의 모터 선정을 위한 구동력을



구하였다. 최적화 기법은 유전알고리즘을 도입하였다. 이러한 방법은 장치의 제작 및 모터 선정에 있어서 경험에 의존하지 않고 시스템의 해석을 이용하여 효율적인 설계가 가능하며, 유전 알고리즘과 같은 지능제어를 이용하여 최적화된 시스템을 구축하여 시간적, 물질적 손실을 감소시킬 수 있었다. 본 연구로부터 상판과 하판의 사잇각의 최적치를 설정하고, 리드 봉의 기울임 각의 최적치를 알 수 있었다. 이러한 장치를 제작하여 작동할 때 초기력이 가장 크게 요구되어진다. 따라서 앞으로 초기력을 줄이기 위한 연구가 수행되어야 할 것이며 실제 시스템과 연동하여 다양한 실제 구동실험이 병행되어야 할 것이다.

### 참고 문헌

- [1] J.T.Kim, "주차금지 표시판의 자동 출몰장치", 실용신안등록출원 제 97-16009호.
- [2] David E.Goldberg, Genet Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1989.
- [3] Zbigniew Michalewicz, Genetic Algorithms + Data Structures =Evolution Programs, Springer-Verlag, third edition, 1995.
- [4] J.L.Meriam and L.G.Kraige, D.J. Wiley & Sons inc. 3rd edition, 1993.
- [5] George W.Housner AND Donald E. Hudson, Applied Mechanics Statics, D. Van Nostrand Company inc., 1949.