

## 온실내 작업 가능한 전동작업차의 자동추종 주행시스템 개발

홍영기 이동훈 신익상 김상철 Koji Tamaki

### Development of an Autonomous Guidance System Based on an Electric Vehicle for Greenhouse

Y. K. Hong D. H. Lee I. S. Shin S. C. Kim K. Tamaki

#### Abstract

The percentage of those aged 60 and over is 43.5% among our country's 3,186 thousands farming population, so farm village is getting an aging society rapidly. Moreover agricultural competitiveness has being weakened due to labor shortage by degradation in quality of labor configuration from elderly person. For easy workability, we developed a motor vehicle for agricultural activity. The vehicle had an automatic guidance system which could follow a track of magnetic tape on the floor for easy moving to given working position. We collected data from two guidance sensors, located on front and rear ends of the vehicle, and calculated displacement and angle deviation from the track. This traveling system was stably controlled with processing information deflection  $S$ , angle of deviation,  $D$  and angle velocity,  $V_t = k_1D - k_2S$  from two guidance sensors attached on front and rear of the motor vehicle. Also this system have was under various conditions of  $k_1$ ,  $k_2$  for comparison on both stepped and turning routes. The results showed that traveling performance was best at  $k_1=0.7$ ,  $k_2=3$ .

**Keywords :** Aging society, Greenhouse, Motor vehicle, Automatic guidance system

#### 1. 서론

우리나라 전체 농가인구는 3,186천명으로 60세 이상이 차지하는 비율이 43.5%로 농업인구가 급속히 고령화되고 있으며(KNSO, 2008), 또한 부녀화로 인한 노동력 구성의 질적저하 등에 의한 노동력의 부족현상으로 농업경쟁력이 약화되고 있다(Kim and Choi, 2007). 이와 같은 조건에서도 시설원예 재배면적은 증가하는 추세를 보이고 있다. 시설원예는 노동집약적이며 순자르기, 유인, 수확 등 기계화하기 어려운 작업이 많고, 작업체계에서 대부분 운반작업을 동반하고 있다. 이와 같은 시설재배에 있어서 운반작업의 기계화 생력화를 위하여 국내에서 Lee와 Ryu(1996), Son 등(2001)에 의해 연구가 수행된 바 있으나, 승용형 작업차에 대한 연구는 없었다. 또한 농업

기계의 자율주행에 관한 연구로는 Cho 등(1997), Lee와 Ryu(1996), Cho 등(2001)이 수행하였으며 DGPS 등을 이용하고 있어 시설재배 환경에 적용한 예는 아직 없다.

최근 시설원예에서 주목받고 있는 품목 중 하나인 딸기는 경제발전과 더불어 소비확대, 대일 수출증가 그리고 시장가격의 안정세에 힘입어, 재배면적이 꾸준히 증가하고 있다. 우리나라의 2007년 딸기 재배면적은 6,665 ha이며 이중 노지재배는 309 ha이고, 시설재배 면적은 6,356 ha이다. 시설재배에서 생산되는 딸기의 생산량을 살펴보면 전체 생산량의 97.8%인 198,855 ton을 차지하고 있다(MIFAFF, 2008). 하지만 딸기재배는 육묘부터 수확종료까지 14개월이나 소요되고, 작업의 기계화가 어려우며, 장시간 허리를 굽혀 작업을 해야 하는 등 생산상의 문제가 심각하다. 이와 같은 문제점들은 재배면적이 증

The article was submitted for publication on 2009-08-07, reviewed on 2009-10-05, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2009-10-22. The authors are Young Ki Hong, Ik Sang Shin, Sang Cheol Kim, Agricultural Researcher, KSAM member, Department of Agricultural Engineering, National Academy of Agricultural Science, Dong Hoon Lee, Ph.D Course, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea, and Koji Tamaki, Professor, Bioproduction and Environment Engineering, Tokyo University of Agriculture, Japan.. Corresponding author: D. H. Lee, Ph.D Course, Sungkyunkwan University, 300 CheonCheon-Dong, JangAn-Gu, Suwon, GyeongGi-Do, 440-746, Korea; Tel: +82-32-290-7833; Fax: +82-31-290-1860; E-mail: <owody@hotmail.com>.

가하면서 고령화, 부녀화 등 농업전체가 안고 있는 현실적인 문제와 결부되어 그 심각성이 더해가고 있는 실정이다(Yoon et al., 2004). 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 고안된 고설 재배의 장점은 작업하기 쉬운 위치에 딸기를 정식함으로써 작업자의 개선 및 생력화를 실현할 수 있다는 것인데, 토경의 노동시간에 비해 약 30% 정도 노동시간이 절약되고 작업으로 인한 신체부담도 상당히 줄일 수 있는 것으로 보고되었다(Doi, 1987; Fushihara et al., 1995; Otani et al., 1986).

본 연구는 고령자나 부녀자 등이 고설재배 등과 같은 하우스 시설내에서 작업을 수행하는 경우에 작업부담을 줄이고, 작업성을 향상시켜 농작업을 용이하게 하기 위해 앉은 자세로 자동주행 및 수확물의 운반이 가능한 전동작업차의 자동 추종 주행시스템 개발을 목표로 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 전동작업차의 개요

개발한 전동작업차의 외관을 그림 1, 사양을 표 1에 나타내었다. 고령자나 부녀자 등의 작업자가 하우스 시설내에서, 국내에 보급되어 있는 딸기 고설재배의 경우를 고려하여 재배베드 높이 1000~1200 mm의 범위, 재배베드간 폭 1000 mm 이상의 조건에서 재배작업에 대응할 수 있도록 설계하였다. 전동작업차의 주행형태는 시설내 작업시에 사용하는 자동추종 주행과 운반이나 이동에 이용되는 수동주행으로 나누고, 각각의 주행속도는 0.06~0.12 m/s, 0.14~1.67 m/s로 하였다. 전동작업차의 전체 중량은 약 137 kg이고, 좌석부는 전동 액츄에이터에 의해 높이조절이 가능하고 조절범위는 300 mm이다. 또한 좌석부는 작업조건에 맞추어 -90°에서 +90°의 범위를 45°간격으로 고정하는 것이 가능하도록 하였다. 농기구나 수확물 등의 운반이 가능한 520×440×160 mm 짐받이를 좌석부 뒤에 설치하였다.

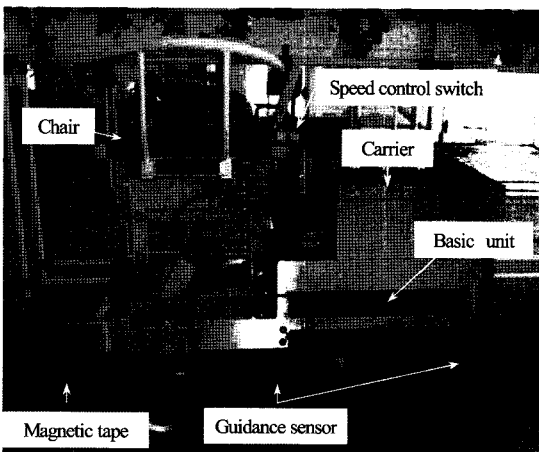


Fig. 1 Motorvehicle for agriculture work.

Table 1 Specification of motor vehicle

Size (L×H×W, mm)	1345 × 620 × 580
Weight (kg)	136
Traveling speed with automatic operation (m/s)	0.06 ~ 0.12
Traveling speed with manual operation (m/s)	0.14 ~ 1.67
Adjust range of seat height (mm)	0 ~ 300 mm
Adjust range of seat direction (°)	-90 ~ +90 (45°pitch)
Size of carrier (mm)	520 × 440 × 160

전동작업차의 전륜은 2륜 캐스터를 사용하였고, 후륜 구동부는 시판되고 있는 축구용 전동휠체어(EMU-S, Waco, Japan)를 주행부로 사용하였다. 표 2에 주행부의 제원을 나타냈다. 그 외에 제어부, 좌석부, 짐받이로 구성되어있다. 주행부는 주행속도 및 선회각속도 제어를 위해 2개의 입력 채널을 가지고 있고, +5 V에서 -5 V 범위의 전압에 의해 제어가 가능하다. 2개의 입력전압을 각각 주행속도전압, 선회각속도 전압으로 하였다. 직진주행의 경우 정전압은 전진, 부전압은 후진, 0 V인 경우는 정지이다. 선회주행은 2륜의 속도차 제어로 이루어지며 정·부전압에 의해 좌우로 선회하고, 전압에 비례하여 선회각속도를 설정하는 것이 가능하다. 0 V의 경우는 선회각속도가 0 rad/s이다.

Table 2 Specification of basic unite

Size (mm)	620 × 570 × 360
Weight (kg)	88
Driving motor	AC Servo motor × 2
Driving system	Independent drive of two rear wheel
Battery	12V/47Ah × 2
Mileage per charge	25 km/full battery

제어부는 자기테이프 리더기(이하 가이던스센서라 한다), 주행속도 제어스위치, 정보처리장치로 구성되어 있다. 전동작업차의 주행로면에는 자기테이프(MGL-50, Macome, Japan)를 설치하였고, 작업차의 위치정보를 검출하기 위해서 가이던스센서(GS-3384, Macome, Japan)를 그림 2(a)에서처럼 주행부의 전·후부에 600 mm 간격을 두고 평행하게 설치하였다. 주행속도 설정 및 정지를 조작하기 위한 주행속도 제어스witch는 좌석부의 측부에 설치하였고, 작업속도에 적합하게 작업자가 5단계의 속도조절이 가능하다. 정보처리장치는 가이던스센서에서 검출한 위치정보를 처리하여 주행·선회의 전압출력 등을 처리하는 장치이고 짐받이 아래로 설치하였다.

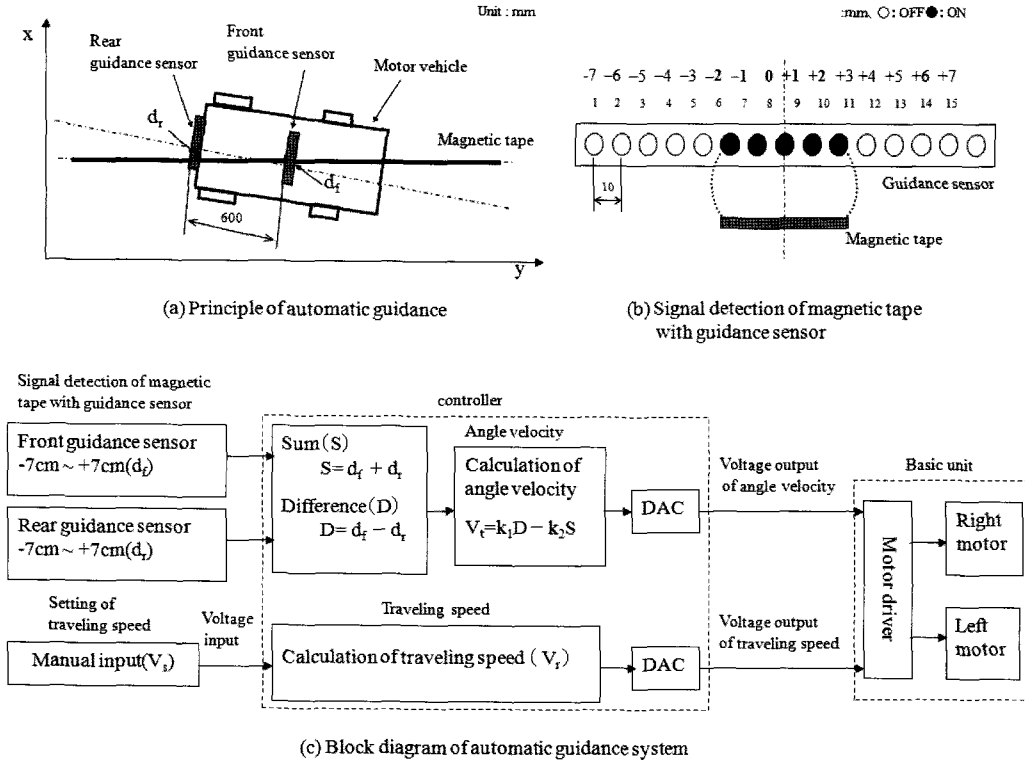


Fig. 2 Principle of automatic guidance system.

나. 자동추종 주행시스템

전동작업차의 자동주행을 위하여 자동추종 주행시스템을 개발하였다. 그림 2에 자동추종 주행시스템의 개요를 나타내었다. 그림 2(a)에 나타냈듯이 전동작업차의 자동주행은 가이던스센서에 의해 주행로면의 자기테이프를 추종하면서 주행한다. 주행부 전면에 설치된 가이던스센서를 통해 얻은 차량의 위치정보를  $d_f$ , 후면의 위치정보를  $d_r$ 로 하였다. 그림 2(b)에 나타냈듯이 가이던스센서에 의한 위치정보는 10 mm 간격으로 배치된 15개의 자기스위치에 의해 검출되어 각각의 자기스위치의 ON/OFF 정보로서 출력된다. 주행부에 설치된 가이던스 센서에서 검출된  $d_f$ 와  $d_r$ 의 차량 위치정보에 의해 자기테이프를 기준으로 진행방향에 대한 작업차의 선회방향 및 선회각도를 파악할 수 있다. 그림 2(c)에 자동추종 주행시스템의 블록선도를 나타내었다. 자동추종 주행시스템에 의한 자동주행을 위해 2개의 입력정보인 주행속도 제어스위치에서 입력된 주행속도( $V_s$ )와 가이던스센서의 위치정보( $d_f$ ,  $d_r$ )가 필요하고, 입력된 2개의 정보는 다시 모터제어가 가능하도록 +5 V에서 -5 V 범위의 전압으로 환산하여 주행속도전압( $V_t$ )을 결정한다. 그리고 2개의 가이던스센서에서 검출한 차량의 위치정보의 합과 차를 산출하여 편위정보  $S=d_f + d_r$ , 편각정보  $D=d_f - d_r$ 로 하였고, 편위·편각정보에서 식 (1)을 이용하여 선회각속도전압( $V_t$ )을 도출한다.

$$V_t = k_1D - k_2S \tag{1}$$

where,  $V_t$  : calculation of angle velocity

$k_1, k_2$  : speed variable

$D$  : angle of deviation

$S$  : deflection

$d_f$  : position of magnetic tape with front guidance sensor

$d_r$  : position of magnetic tape with rear guidance sensor

산출한 주행속도전압( $V_t$ )과 선회각속도전압( $V_t$ )을 주행부 모터드라이버의 입력채널에 전달하여, 주행속도전압( $V_t$ )에 의해 주행속도가 결정되며, 선회각속도전압( $V_t$ )에 의해 2륜의 속도차 제어를 통해 좌우선회를 하며 자동주행이 이루어진다. 제작한 자동추종 주행시스템의 구성도를 그림 3에 나타내었다. 마이크로 컨트롤러(micro controller, MC)는 PIC(PIC16F876A, Microchip Technology Co, USA)을 사용하였다. MC2와 MC3의 기능은 뒤·앞부분에 설치되어 있는 가이던스센서에서 차량의 위치정보를 검출하는 것이다. MC1은 수동스위치에 의한 주행속도의 입력정보 및 MC2와 MC3에서 검출된 위치정보에서 주행속도전압, 선회각속도전압을 산출한다. 그림 4에 전동작업차의 자동주행 플로차트를 나타냈다.

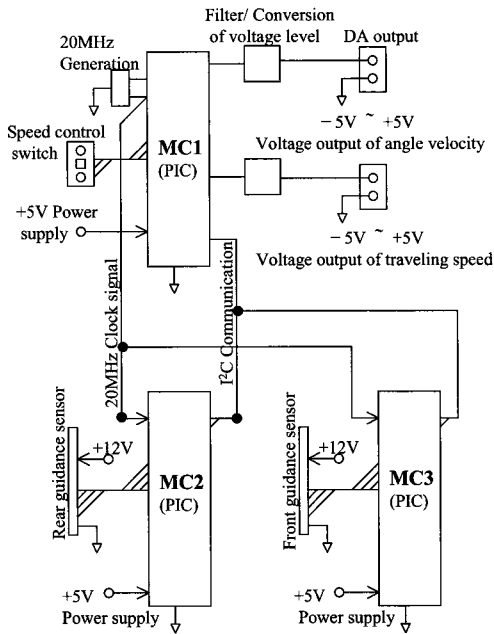


Fig. 3 Configuration of automatic guidance system.

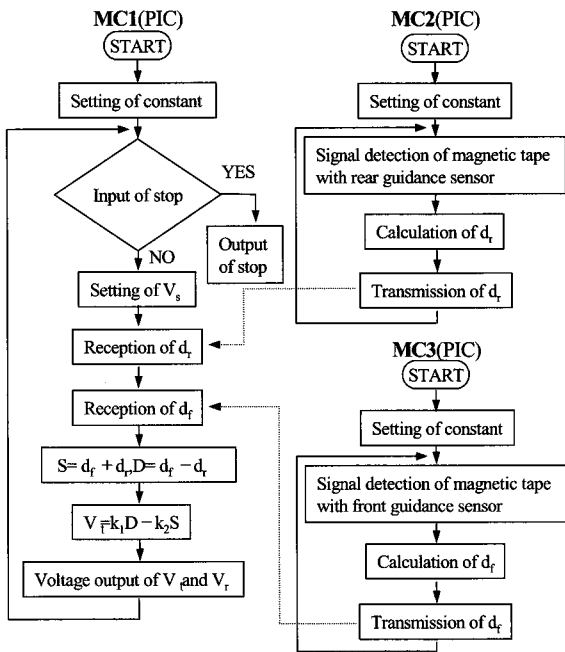


Fig. 4 Procedure of automatic guidance.

다. 자동추종 주행시스템에 의한 주행특성

(1) 스텝경로를 주었을 경우의 주행특성

전동작업차의 자동추종 주행시스템에 의한 주행특성을 확인하기 위해서 전동작업차에 스텝주행경로를 주고 주행하는 실험을 수행하였다. 스텝주행경로를 주기 위해서 2개의 자기 테이프를 중심선에서 60 mm 간격을 두고 평행하게 비껴놓아 설치하였다. 주행특성을 측정하기 위해 후륜 구동축의 중

심에 마커를 설치하여 주행시 바닥면에 트레스하였다. 작업자가 작업을 하고 있을 경우를 가정하여 중량 50 kg의 하중을 좌석에 재하하였다. 실제의 작업속도를 고려하여 전진속도는 0.07, 0.12 m/s, 후진속도는 0.06, 0.1 m/s로 설정하였다. 전동작업차의 선회특성을 나타내는 식 (1)의  $k_1$ 과  $k_2$ 를 변화시키면서 실험을 수행하였다.

(2) 주행경로를 주었을 경우의 주행특성

고설재배의 작업을 할 경우에는 재배베드간의 이동이 필요하다. 이와 같은 경우를 가정하여 그림 5과 같은 주행경로를 설정하여 주행실험을 실시하였다. 실험에서는 고설재배 베드 간격을 1000 mm, 베드높이 1000 mm, 베드 폭 250 mm로 가정하여 선회범위를 반경 625 mm로 하였다. 실제의 작물재배에서는 재배면적의 감소를 줄이기 위해 선회면적을 가능한 적게 하기를 원한다. 그렇기 때문에 자기테이프를 반원상의 경로가 아닌 그림 5과 같은 주행경로로 선정하였다. 실험 모습을 그림 6에 나타냈다. 스텝경로를 주었을 경우의 주행 실험과 동일하게 전진속도는 0.07, 0.12 m/s, 후진속도는 0.06, 0.11 m/s로 설정하였다. 전동작업차의 선회특성을 나타내는 식 (1)의  $k_1$ 과  $k_2$ 를 변화시키면서 실험을 수행하였다.

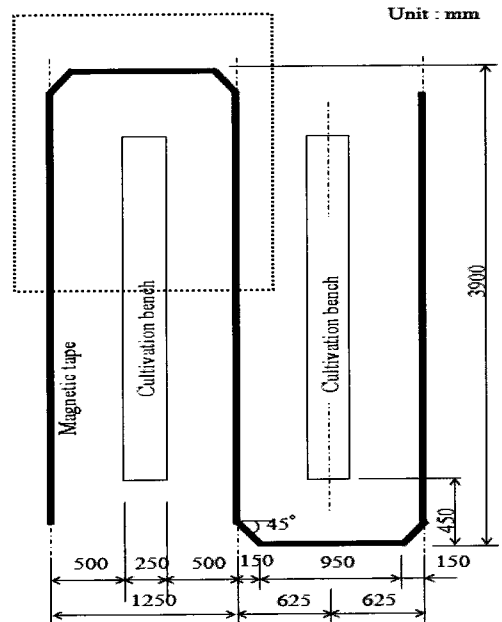


Fig. 5 Route layout assumed actual cultivation field.

3. 결과 및 고찰

전동작업차의 자동추종 주행시스템에 의한 주행특성을 확인하기 위해서 전동작업차에 스텝주행경로를 주고 주행하는 실험과 고설재배 베드간의 이동시 주행경로를 설정하여 주행

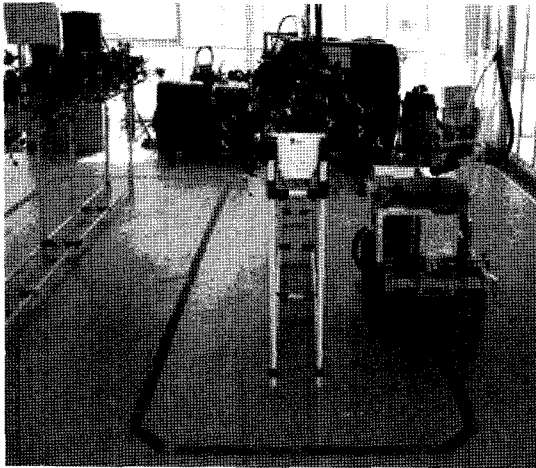


Fig. 6 Outlook of total experimental system.

실험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

스텝주행경로를 주었을 경우의 주행궤적을 그림 7에 나타내었다. 전진속도 0.12 m/s의 조건에서 점선은  $k_1=3, k_2=1$ 의 경우, 실선은  $k_1=0.7, k_2=3$ 의 주행궤적을 나타내었다.  $k_1=3, k_2=1$ 의 경우 60 mm 간격으로 설치한 자기테이프의 중심선에 도달하는 시간은 2초였지만, 주기적인 진동을 확인할 수 있었다.  $k_1=0.7, k_2=3$ 의 경우는 5초로 안정된 주행성능을 나타내었다. 전진속도 0.7 m/s의 조건에서  $k_1=3, k_2=1$ 의 경우 자기테이프 중심선 도달시간이 10초,  $k_1=0.7, k_2=3$ 의 경우 13초 소요되었다. 0.12 m/s의 주행속도 조건과 동일하게  $k_1=3, k_2=1$ 의 경우에 주기적인 진동이 나타났고,  $k_1=0.7, k_2=3$ 의 경우 안정된 주행특성을 확인할 수 있었다. 후진속도 0.12 m/s, 0.7 m/s의 조건에서  $k_1=3, k_2=1$ 의 경우 자기테이프 중심선 도달시간이 각각 2초, 5초였으며,  $k_1=0.7, k_2=3$ 의 경우는 6초, 13초 후에 자기테이프 중심선에 도달하였다. 또한 전진의 조건과 동일하게  $k_1=3, k_2=1$ 의 경우 주기적인 진동을 확인할 수 있었고,  $k_1=0.7, k_2=3$ 인 경우 안정된 주행성능을 나타내었다.  $k_1$ 의 계수가 증가할수록 자기테이프 중심선 도달시간은

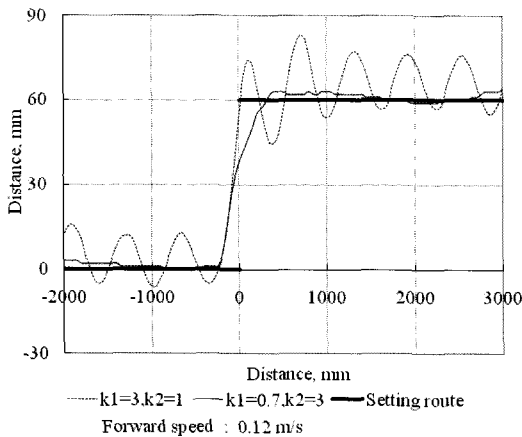


Fig. 7 Response of motor vehicle for stepped route.

빨라지는 경향을 나타냈고,  $k_2$ 계수가 증가할수록 자기테이프 중심선에 주기적인 진동없이 수렴하는 시간이 단축되는 경향이 확인되었다.  $k_1$ 과  $k_2$ 를 가변시키면서 실험을 한 결과  $k_1=0.7, k_2=3$ 의 경우에 가장 안정된 추종성능을 나타냈다. 이 결과로부터 편위정보 S와 편각정보 D를 이용하여 식 (1)에 의해 제어하므로써 설정한 속도에서는 안정된 자동주행이 가능한 것을 확인할 수 있었다.

그림 5의 사각형 점선으로 표시한 부분에 대한 선회시의 주행경로에 대하여 전동작업차가 전진속도 0.12 m/s이고,  $k_1=0.7, k_2=3$ 으로 주행했을 경우의 주행궤적을 그림 8에 나타내었다. 스텝경로를 주었을 경우의 주행실험으로 사용한  $k_1=3, k_2=1$ 의 경우에는 선회도중에 정지하여 주행 불능상태였다.  $k_1=0.7, k_2=3$ 인 경우에 선회주행이 안정된 결과를 얻을 수 있었다. 이 결과에서도 전향에서 서술한 제어 방식에 의해 안정된 선회주행이 가능한 것을 확인할 수 있었다.

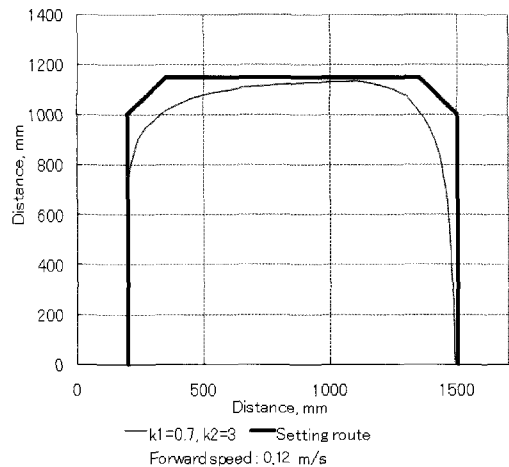


Fig. 8 Response of motor vehicle for turning route.

#### 4. 요약 및 결론

고령자나 부녀자 등이 하우스 재배시설내에서 작업을 행할 때의 작업 부담을 경감시키고 작업성을 높이며, 농기구나 수확물 등의 운반작업을 도와주기 위해 앉은 자세로 작업이 용이한 전동작업차를 개발하였다. 전동휠체어를 베이스 차량으로 하여 자기테이프를 추종하고 자동주행을 하는 전동작업차를 개발하여 실험에 의해 검증한 결과를 다음과 같이 얻었다.

- (1) 전동작업차는 전륜에 2륜 캐스터, 후륜은 시판되고 있는 축구용 전동휠체어를 주행부로 사용하였고, 그 외에 제어부, 좌석부, 짐받이로 구성하였다.
- (2) 전동작업차의 자동주행을 위하여 전동작업차에 장착한 가이던스센서에 의해 주행로면의 자기테이프를 추종하면서 주행 가능한 자동추종 주행시스템을 개발했다.

- (3) 스텝주행경로를 주었을 경우와 고설재배 베드간의 이 동시 주행경로를 주었을 경우의  $k_1$ 과  $k_2$ 를 가변시키면 서 실험한 결과  $k_1=0.7$ ,  $k_2=3$ 의 경우에 가장 안정된 추 종성능을 나타냈다. 후진의 경우에도  $k_1=0.7$ ,  $k_2=3$ 의 경우 동일한 안정된 결과를 얻었다.
- (4) 전동작업차의 전후에 평행하게 설치한 2개의 가이드스 센서의 위치정보에서 편위정보(S)·편각정보(D)를 산출 하여 구동륜제어에 의해 안정된 자동주행이 가능한 것 을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

1. Cho, S. I., J. H. Lee and S. O. Chung. 1997. Autonomous speedsprayer using DGPS and fuzzy control (1) -graphic simulation-. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 22(4):487-497. (In Korean)
2. Cho, S. I., Y. S. Park, C. H. Choi, H. Hwang and M. L. Kim. 2001. Development of autonomous combine using DGPS and machine vision. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 26(1):29-39. (In Korean)
3. Doi, E. 1987. Studies on the alleviation of workload for harvesting of strawberry. Technology, Bulletin of the Faculty of Horticulture, Kochi University 36:1-11.
4. Fushihara, H., M. Hayashi, Y. Shibato, M. Yamashita and T. Miyazaki. 1995. Development of shelf-styled raising system for strawberry. Bulletin Fukuoka Agriculture Research Center. 14:57-60. (In Japanese)
5. Kim, B. S and S. H. Choi. 2007. A review of the changes on the population structure in rural area. Korean Journal of Organic Agriculture 15(3):291-307. (In Korean)
6. Korea National Statistical Office (KNOS). 2008. Agriculture Research. [http://meta.kosis.kr/bzmt/main.jsp?surv\\_id=42&curYear=2008](http://meta.kosis.kr/bzmt/main.jsp?surv_id=42&curYear=2008). (In Korean)
7. Lee, J. H. and K. H. Ryu. 1996. Development of a simple autonomous vehicle for greenhouse works. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 21(4):422-428. (In Korean)
8. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MFAFF). 2008. Actual Output of Vegetables 2007. pp.3-5. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Gwacheon, Korea. (In Korean)
9. Otani, H., H. Otani and K. Toyoka. 1986. A newly developed cultivation method for strawberry (*Fragara grandiflora*) setting under structure and circulating small amounts of nutrient solution. Bulletin Fukuoka Agriculture Research Center 27: 27-31. (In Japanese)
10. Son, J. R., C. H. Kang, K. S. Han, S. R. Jung, K. Y. Kwon and I. J. Jang. 2001. Development of a worker - following vehicle for transporting in greenhouses. Proceedings of the Korean Society for Agricultural Machinery Conference 6(1): 420-425. (In Korean)
11. Yoon, H. S., Y. H. Hwang, C. K. An, H. J. Hwang and C. W. Rho. 2004. Growth and fruit yield of strawberry grown in raised bed culture using growing media with lower cost. Korean Journal Horticultural Science Technology 22(3):266-269. (In Korean)