

자율 주행 트랙터를 위한 포장형상 및 경운작업특성 인식시스템 개발

서일환¹ · 서동현² · 김만수³ · 정선옥³ · 김기대^{3*}

¹인천광역시 강화군 농업기술센터, ²한국산업안전관리공단, ³충남대학교 농업생명과학대학 바이오시스템기계공학과

Development of recognition system of field shape and tillage characteristics for autonomous tractor

Il-Hwan Seo¹, Dong-Hyun Seo², Man-Soo Kim³, Sun-Ok Chung³, Ki-Dae Kim^{3*}

¹Agricultural Technology Service Center, Incheon Metropolitan City

²Korea Occupational Safety and Health Agency, Incheon Metropolitan City

³Dept. of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

Received on 10 May 2011, revised on 3 June 2011, accepted on 20 June 2011

Abstract : Precise traveling and tillage operation using an autonomous tractor is difficult with the data from the Geographic Information System(GIS) because it does not include the data of the width and inclination of the field to work. The minimum turning radius of the tractor could be different from the value presented by the tractor maker due to the moisture content of the field soil or operators' skill. Two programs were developed to process data obtained with the tillage path measuring system: one for recognizing coordinates of the 4 field corners, and the other for recognizing the minimum turning radius of the tractor.

Key words : Autonomous tractor, Precise traveling, GIS, Tillage operation, Minimum turning radius

I. 서론

사용자의 농작업 편이성 향상, 작업 정밀도 향상 등을 위하여 농작업기계의 자동화, 무인화 연구가 진행되고 있다. 특히, 트랙터는 농작업의 주요 동력원이며 가장 많이 사용되는 농업기계로 자율주행 트랙터 관련 연구가 보고되고 있다. Nagasaka 등(2002)은 위치측정장치인 GPS와 주행방향 측정장치인 FOG를 이용한 벼 이앙기 무인화 및 자율주행을 보고하였으며, Noguchi 등(2001)은 자율주행 트랙터를 보고하였다. 국내에서도 Kim 등(1997)과 Seo 등(2010a)이 자율주행 트랙터 관련 연구를 보고하였다. 트랙터 자율주행을 위해서는 다양한 구성요소의 전자제어가 필요하며, 농작업을 위해서는 농경지 형상, 작업경로 계획이 반드시 필요하다(Chung 등, 1999; McCarthy 등, 2004; Seo 등, 2010b).

트랙터가 작업경로를 스스로 주행하면서 작업하기 위해

서는 포장 내측 형상과 관련된 경도 및 위도 좌표가 필요하다. 그러나 포장의 폭 및 경사면에 대한 내용이 반영되지 않은 GIS 정보만으로는 정확한 작업을 하기가 어렵다. 때문에 우리나라와 같이 단위 포장의 면적이 작은 환경 하에서 트랙터가 자율주행 하기 위해서는 개별 포장에 대한 지리정보를 각각 인식해 줄 필요가 있다. 포장의 내측 좌표에 대한 정보를 별도의 시스템을 활용해서 작성할 경우 비용과 시간이 추가로 필요하게 된다. 그러나 자율주행 트랙터에 장착된 RTK-GPS 수신기와 장치를 활용하여 포장의 좌표를 인식할 수 있다면 해당 포장에 대한 작업경로를 생성할 수 있다.

또한, 트랙터 출고 시 제작사에 의해 제시되는 회전반경은 실제 포장의 토양의 종류, 함수율 등에 따라 트랙터 최소 회전반경의 차이가 발생하게 된다. 이러한 문제는 생성된 경운경로데이터를 자율주행 트랙터에 적용 시 포장의 상태에 따라 바퀴와 토양간의 상호작용에 의해 경로를 벗어날 수 있다. 따라서 작업 대상 포장의 상태에 따른 트랙터 최소 회전반경에 대한 정보가 필요하므로 실제로 계측하여 입력

*Corresponding author: Tel: +82-42-821-6716

E-mail address: kdkim@cnu.ac.kr

할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 작업대상 포장에 대한 트랙터의 경로를 생성하기 위해 포장의 내부 형상을 계측하고 해당 포장에 대한 최소회전반경 등 경운작업 시 작업 특성을 자동으로 인식하는 프로그램을 개발하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

2.1 포장형상 인식

포장의 형상을 계측하기 위하여 자율주행 트랙터의 RTK-GPS를 이용하였으며 노트북컴퓨터에 주행 데이터를 기록할 수 있는 프로그램을 개발, 설치하였다. 주행 데이터 기록 프로그램을 실행시켜 위치 좌표를 기록 하면서 그림 1에 서와 같이 트랙터를 포장의 입구에서 1번 기준 논두렁 포장 안쪽으로 최대한 가까이 접근하여 주행하였으며, 첫 번째 논두렁의 주행이 끝나는 지점에서는 2번 논두렁으로 정지 없이 연속하여 1번 논두렁에서의 주행방법과 동일하게 주행하도록 하였고, 4개의 논두렁 주행 완료시 주행 및 계측을 정지하도록 하였다. 주행 자료는 NMEA(The National Marine Electronics Association) text 파일로 저장하도록 하였다.

트랙터 운전자가 포장의 외측 경로를 따라 주행하면서 저장한 데이터를 이용하여 포장의 형상을 인식하기 위한 개략도는 Fig. 1과 같다. 계측된 NMEA 자료를 이용하여 화면에 트랙터의 궤적을 출력하고, 출력된 궤적상의 8점을 작업자가 선택하도록 하였다. 계측된 트랙터 경로는 작업자가 직선주행을 하였다 하더라도 실제 직선 주행이 아닌

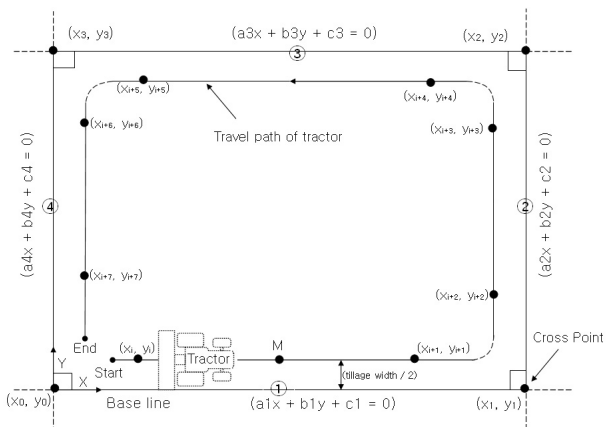


Fig. 1. Schematic diagram explaining field recognition procedures.

구불구불한 경로를 나타내게 된다. 그러므로 8개의 점의 선택은 한 면에 대하여 작업자가 직선이라고 판단되는 2개의 점을 반시계방향으로 회전하면서 순차적으로 지정하였다. 1면과 같은 방향으로 선택된 점들 (X_i, Y_i) , (X_{i+1}, Y_{i+1}) 이라고 하였고 2면부터 4면까지의 선택 점을 그림과 같이 $(X_{i+2}, Y_{i+2}) \sim (X_{i+7}, Y_{i+7})$ 로 나타내었다. 포장을 인식하기 위한 알고리즘을 요약하면 Fig. 2와 같다.

2.2 경운작업 시 트랙터 작업 특성 분석

트랙터 운전자의 트랙터 전진, 후진 및 주행 속도 등의 경운특성을 분석하기 위하여 여러 종류의 경운궤적계측실험을 실시하였으나 본 분석에서는 100 m × 33 m규격인 충남 천안시 지역의 한 포장에서 경운궤적을 계측한 자료를 활용하여 분석하였다. 트랙터 운전자의 경운경로를 계측한 자료를 활용하여 작업 시 내부 왕복작업부와 회경작업부의 경운작업으로 구분하여 분석하였다. 그 결과를 GPS 위치 데이터와 비디오 영상을 분석하여 왕복작업부와 회경작업부의 경운작업 진행방향, 작업의 시작점 끝점, 회전방향, 작업속도, 진행속도, 후진속도 등에 대하여 분석하였다.

트랙터의 최소회전 반경을 계산하기 위하여 삼각형의 외심을 계산하면 결국 원의 중심이 되므로 삼각형의 외심을

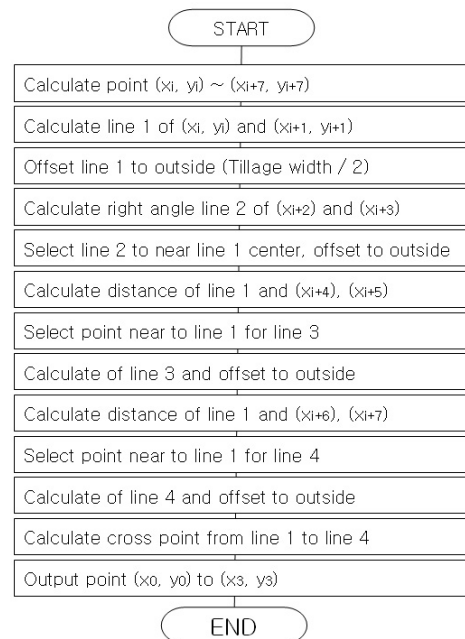


Fig. 2. Flowchart summarizing the field recognition algorithm.

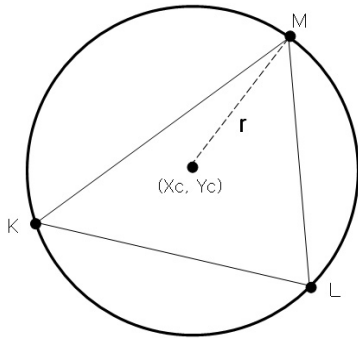


Fig. 3. Circumcenter of triangle.

구하는 공식을 이용하였다. Fig. 3은 3개의 점을 지정하였을 경우 삼각형의 외심을 나타낸 것이다. 운전자가 트랙터가 주행한 원형 경로상의 3점(K, L, M)을 지정하면 삼각형의 외심을 계산하는 식(1)과 (2)에 의해 원의 중심(X_c, Y_c)이 계산된다. 원의 반지름은 원의 중심으로부터 점 K, L, M중의 한 점까지의 거리이므로 점 M와의 거리를 계산하여 다음의 식(3)에 의하여 계산할 수 있으며, 계산된 결과 값이 트랙터의 회전 반경 r이 된다.

$$X_c = \frac{\begin{vmatrix} x_{LK}^2 + y_{LK}^2 & y_{LK} \\ x_{MX}^2 + y_{MX}^2 & y_{MX} \end{vmatrix}}{2 \begin{vmatrix} x_{LK} & y_{LK} \\ x_{MX} & y_{MX} \end{vmatrix}} \quad (1)$$

$$Y_c = \frac{\begin{vmatrix} x_{LK} & x_{LK}^2 + y_{LK}^2 \\ x_{MK} & x_{MX}^2 + y_{MX}^2 \end{vmatrix}}{2 \begin{vmatrix} x_{LK} & y_{LK} \\ x_{MX} & y_{MX} \end{vmatrix}} \quad (1)$$

where,

$$x_{LK} = x_L - x_K, \quad x_{MK} = x_M - x_K$$

$$y_{LK} = y_L - y_K, \quad y_{MK} = y_M - y_K$$

$$r = \sqrt{(X_c - x_M)^2 + (Y_c - y_M)^2} \quad (3)$$

III. 결과 및 고찰

3.1 포장 인식 프로그램개발 결과

포장인식프로그램은 비주얼베이직 6.0을 활용하여 개발

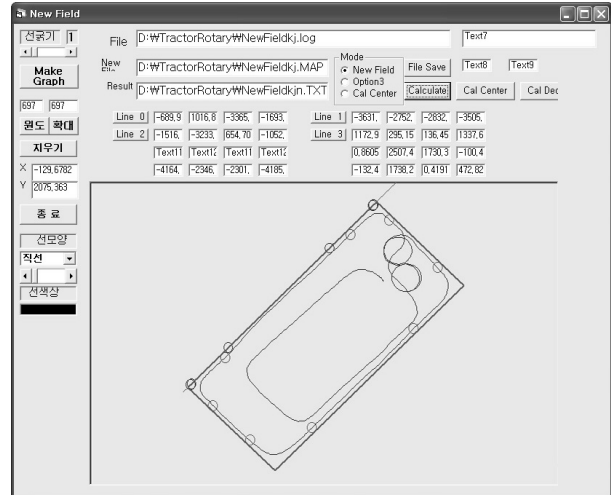


Fig. 4. Example of the field recognition program.

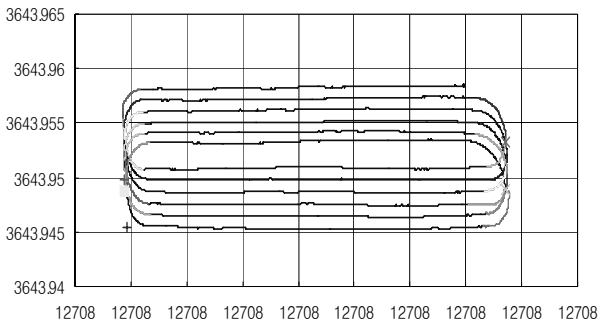
하였으며, 개발된 프로그램의 실행 예는 Fig. 4와 같다. 트랙터가 포장의 논두렁 안쪽을 주행하여 측정한 자료를 입력하여 컴퓨터 모니터에 출력하고, 작업자가 마우스를 이용하여 포장의 한 면에 대하여 각각 직선에 가까운 2개의 점을 지정하여 총 8개를 선택하도록 한다.

선택한 다음 포장인식 버튼을 누르면 포장의 4개점의 좌표와 함께 포장의 회전각도 함께 계산되도록 하였다. 계산된 자료는 포장정보파일로 저장할 수 있도록 하였으며, 저장된 정보파일은 자율주행 트랙터의 경운경로 생성 시 포장변수로 활용할 수 있도록 하였다.

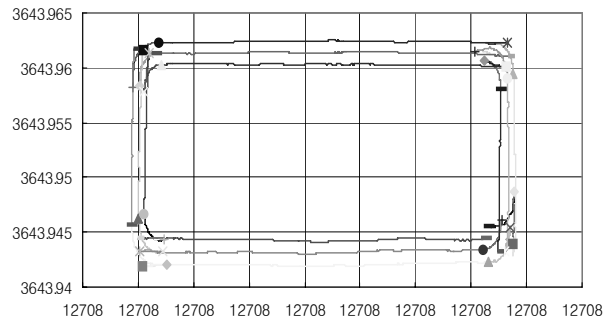
3.2 경운작업 시 트랙터 작업 특성

경운작업 시 측정한 자료를 그림으로 나타낸 사례를 Fig. 5에 나타내었다. 측정한 자료를 엑셀 및 비디오 분석을 통하여 분석된 결과를 요약하면 Table 1과 같다. 경지정리가 이루어진 가로 100 m 세로 33 m의 포장에서 C형 선회 경운작업을 수행한 숙련된 트랙터 운전자의 운전 특성결과는 로터리 작업시의 작업속도는 1.124 m/s이었으며, 로터를 동작시키지 않고 이동하는 전진 주행속도는 1.035 m/s이었고, 후진 주행속도는 0.940 m/s이었다. 그리고 평균 90° 선회시간은 4.75초 이었으며 무경운 시의 전진 주행속도가 후진 주행속도보다 빠른 것으로 조사되었다.

본 결과로부터 각 유형별 경운소요시간 및 전 후진 횟수 등 작업에 소요되는 여러 가지 변수에 대하여 조사할 수 있었으며, 이 결과를 활용하여 숙련된 트랙터 운전자의 경운성향이 적용된 자율주행 트랙터의 경운경로생성시스템



(a) Inside working area



(b) Outside working area

Fig. 5. Example of working path using coordinates during tillage operations.

Table 1. Results of the tractor tillage characteristics analysis.

Working type	Unit	Result value
Forward speed with tillage	m/s	1.124
Forward speed with no tillage	m/s	1.035
Backward speed with no tillage	m/s	0.940
Average turning time	s	4.750
Total travel distance	m	1,366
Total working time	min	36

IV. 결론

본 연구에서는 자율주행 트랙터의 경운경로생성프로그램에 적용하고자 개발된 경운궤적 계측용 하드웨어와 소프트웨어인 경운궤적계측시스템을 이용하여 자율주행 트랙터의 경운경로생성을 위한 포장의 4개 꼭짓점의 좌표 및 트랙터의 최소회전반경을 인식하는 프로그램을 개발하였다.

개발된 시스템을 이용하여 자율주행 트랙터가 포장에서 경운작업을 수행하기 위해 필요한 경운경로의 생성을 위한 입력변수인 포장의 4개의 꼭짓점 좌표, 포장의 길이와 폭, 최소회전 반경, 포장 진입 위치 좌표 등을 생성할 수 있었다.

참고 문헌

Chung SO, Park WP, Chang YC, Yeo YW. 1999. Optimum path planning of a tractor-implement for precision farming. *Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery* 24(4): 301-308.

Kim SC, Park WP, Cha JP, Chung SO, Jung IG. 1997. Development of Electronically Controlled Steering Unit for Tractor. *RDA Journal of Farm Management & Agricultural Engineering* 39(2):

McCarthy SG, Pocknee S, Rains G, Kvien C. 2004. Path following studies with an articulated farm vehicle. *Automation Technology for Off-Road Equipment, Proceedings of the October 7-8, 2004 Conference, Kyoto, Japan.* pp. 264-273.

Nagasaka, Y., N. Umeda and T. Kanetai. 2002. Automated rice transplanter with GPS and FOG. *Automation Technology for Off-Road Equipment.* pp. 190-195.

Noguchi N, John F, Qin Z, Jeffrey D. 2001. Turning function for robot tractor based on spline function. 2001 ASAE

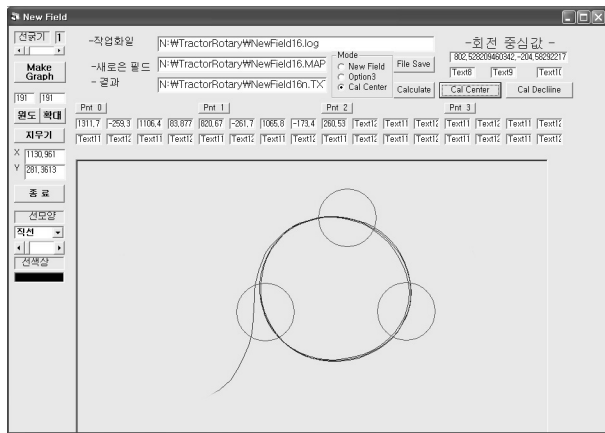


Fig. 6. Example of tractor turning radius recognition for given 3 points.

의 주요변수로 활용하였다.

트랙터의 최소회전반경 인식 프로그램은 포장의 형상인식 프로그램과 함께 개발되었으며 실행한 예가 Fig. 6과 같다. 트랙터의 최소회전반경의 계산은 트랙터가 원형으로 주행한 경로 상에서 임의의 점 3개를 찍고 계산버튼을 누르면 3개 지점에 대한 삼각형의 외심을 계산하고 이 외심을 이용하여 원의 반경을 계산하도록 하였다.

- Annual International Meeting, Paper Number: 01-1196.
- Seo DH, Seo IH, Chung SO, Kim KD. 2010a. Development of steering control system based on CAN for autonomous tractor system. *Journal of Agricultural Science* 37(1): 123-130.
- Seo IH, Seo DH, Kim KD. 2010b. Development of working path formation program for autonomous tractor system. *Journal of Agricultural Science* 37(1): 113-121.