

DGPS와 자이로 센서를 이용한 콤바인의 무인 자율주행 시스템 개발

Development of Automatic Guidance System for Combine Using DGPS and Gyro Sensor

최창현*	황 현*	조성인**	김종민*	남궁만준*
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
C.H.Choi	H.Hwang	S.I.Cho	J.M.Kim	M.J.NamGung

1. 서론

최근 농작업은 급속히 기계화, 자동화, 시스템화 되고 있으며 정밀농업을 실현하기 위한 효율적인 시스템 운용기술에 관한 농민들의 수요가 급증하고 있는 반면, 농촌인구의 감소에 의한 노동력 부족현상과 3D 기피현상은 갈수록 심화되고 있는 실정에서 농기계의 자동화·무인화는 시급한 실정이다.

농용 차량의 자율주행을 위해서는 위치파악, 센서기술, 알고리즘 개발, 구동회로 구성, 액추에이터 선정 등 다양한 요소기술이 필요하고 각 요소별로 다양한 기법과 장비가 개발되어야 한다. 나아가 차량의 현재위치, 방위각, 조향각, 차량의 주행속도 등의 차량자세를 정확히 검출하는 것은 농용차량이 예정된 경로를 추종하여 자율주행을 하기 위한 필수적 요소이고 GPS(Global Positioning System)와 자이로센서를 많이 쓰고 있다. 특히 GPS는 날씨나 시간, 지형 등에 관계없이 인공위성에서 발신하는 정보를 수신하여 정확한 위치정보를 획득할 수 있는 것으로 농업 분야에서는 정밀도가 높은 DGPS가 사용되고 있다. 본 연구에서는 농작업기 중에서 콤바인을 대상으로 DGPS, 자이로센서, 초음파센서 등을 사용하여 무인자율주행 실험을 실시하였다.

2. 재료 및 방법

가. 재료

실험에 사용된 콤바인(국제, Model KC300)은 3조식이며, 무인자율주행 시스템은 설정된 직선의 기울기와 직선과의 거리를 판단하여 조향하도록 설계되었다. 직선의 기울기 및 콤바

* 성균관대학교 생명공학부 바이오메카트로닉스전공

** 서울대학교 생물자원학부 농업기계전공

인의 방향각을 얻기 위해서 자이로(Gyro, KVH Industries Inc, Model DGS³)센서를 장착하였고, 콤파인의 피치(Pitch), 좌우 흔들림(Roll), 방향각(Azimuth)을 실시간으로 검출할 수 있다. 콤파인과 직선사이의 거리를 구하기 위하여 DGPS(CANADIAN MARCONI Co., Model RT-STAR) 장치를 사용하였으며, 수신안테나, 실시간 GPS 수신장치, 모뎀(GLB 사, Model SNRDS)으로 구성되어 있다. DGPS는 실시간에서 10cm의 CEP(Circular Error Probable)를 가지고 있으므로 소구획 포장에서 위치를 판단하는데 적합하다. 또한 콤파인의 무인작동을 위하여 유압시스템을 제어하고 DGPS, 자이로센서의 신호를 수신하기 위하여 인터페이스(National Instrument 사, Model SCXI)를 사용하였다. 각 센서와 인터페이스 사이의 신호흐름은 <그림 1>과 같다.

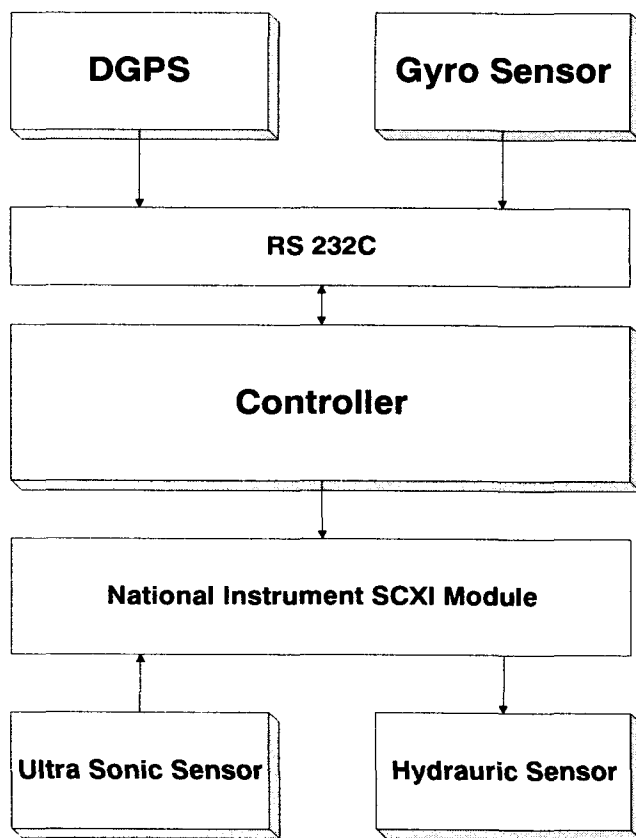


Fig. 1 Diagram of Automatic Guidance system.

위하여 콤파인의 옆쪽에 초음파센서(Pulsonic사, Model ULTRA-120A)를 부착하였다. 초음파센서는 약 30cm에서 250cm까지 측정이 가능하고 측정된 거리는 전압으로 출력된다. 이 신호를 SCXI의 아날로그 입력으로 받아들이고 1m 이내에서 장애물이 발견되면 콤파인에 정지신호를 주어서 콤파인을 멈추게 하였다.

기지국 설정을 위한 GPS 운용 프로그램은 제작회사에서 제공한 STARVIEW(ver 7.4)를 이용하였다. 유압장치는 콤파인의 운반 등을 위하여 도로에서 주행할 때를 고려하여 운전자가 수동으로 운전이 가능하도록 콤파인 자체의 유압장치와는 독립적으로 작동하도록 구성되어 있으며, 시스템에서 오작동이 발생하였을 때 무인자율주행을 즉시 중단할 수 있는 안전스위치를 2 곳에 설치하였다.

유압장치는 콤파인에 장착된 유압펌프, 솔레노이드, 유압실린더 등으로 구성된 작동부와 유압의 솔레노이드를 제어하는 컨트롤 보드, SCXI의 I/O 인터페이스, 마이크로컴퓨터로 구성되어 있다.

콤파인이 주행할 때 장애물로 인하여 주행이 어려운 경우를

나. 제어 알고리즘

콤바인의 무인자율주행을 위하여 3개의 프로그램이 개발되었다. 첫째, GPS 신호와 자이로 센서의 신호를 수신하는 수신 프로그램, 둘째, GPS 신호로부터 계산, 판단, 유압실린더를 제어하는 컨트롤 프로그램, 셋째, 획득된 GPS 데이터를 분석하기 위해 저장하는 저장 프로그램이다. 프로그램을 세 개로 개발한 이유는 위의 세 가지 프로그램을 하나의 통합 프로그램으로 개발하는 것보다 알고리즘 처리의 시간단축과 PC 자체의 부하를 줄일 수 있고, 개발자 측면에서 본다면 수정이 용이하고 데이터의 포맷을 미리 약속하고 개발하기 때문에 개발 시간을 단축시키는 효과를 가져올 수 있다.

각 프로그램 사이에 데이터 전송은 TCP/IP 프로토콜을 이용하여 이루어지며 GPS의 많은 신호 중 원하는 신호만을 선택하여 사용할 수 있게 구성되어 있다. GPS 신호와 자이로 센서의 데이터를 수신하는 수신 프로그램은 Visual C를 사용하여 개발하였으며, 이 프로그램은 하드웨어에서 제공하는 Binary 포맷을 이용하여 GPS 데이터 중 UTC Time, 위도, 경도, 고도, GPS모드, 속도와 자이로센서로부터 나오는 Azimuth, Roll, Pitch를 수신하도록 하였다. 컨트롤 프로그램은 수신 프로그램으로부터 위도, 경도, GPS 모드, Azimuth를 TCP/IP 프로토콜을 이용하여 전송 받아서 직선과 콤바인까지의 거리, 콤바인의 주행방향, 직선의 기울기 등을 계산하고 조향수준을 결정하여 유압실린더를 제어하도록 Visual Basic을 이용하여 개발되었다. 저장 프로그램은 콤바인의 주행경로와 위치를 분석하기 위하여 개발되었으며 Visual Basic을 이용하였다.

다. 무인자율주행실험

콤바인의 무인주행을 위해서 성균관대학교 운동장에서 직선구간과 선회구간 및 곡선구간을 설정을 하고 실험하였다. 직선구간은 미리 출발점과 목표점을 설정하고 그 위치의 DGPS 데이터를 수신한 후 직선의 방정식을 도출하여 직선의 기울기와 직선까지의 떨어진 거리를 비교하면서 조향수준을 결정하고 결정된 조향수준에 따라 콤바인이 직선경로를 주행하는 실험을 하였다.

소구획 포장에서 콤바인의 선회는 일반적으로 왼쪽으로의 선회를 반복하면서 다음 직선구간으로 들어가기 때문에 실험도 이와 같은 방법으로 구성하였다. 선회구간은 콤바인이 목표점, 즉 직선으로 주행하여야 할 부분의 끝을 지났을 경우에 90° 좌회전 할 수 있도록 직선구간에서의 알고리즘과 별도의 알고리즘을 개발하였다. 곡선구간은 곡선 내에서 일정개수의 직선으로 나눈 다음 그 구간을 직선구간을 무인 자율주행 하는 방법으로 DGPS 신호를 이용하여 곡선주행이 가능한지 판단하였다.

<그림 2>는 직선구간에서의 콤바인이 주행할 때 조향수준을 결정하기 위해서 필요한 콤바인과 직선사이의 거리, 콤바인의 주행방향을 나타내고 있다. 출발점과 목표점이 정해지면 두 점 사이의 직선의 방정식을 구해낸다. 출발점의 좌표가 (X_s, Y_s) , 목표점의 좌표가 (X_t, Y_t) 이면 두 점 사이의 직선의 방정식은 식 (1)과 같다.

$$aX + bY + C = 0 \quad (1)$$

$$\text{여기서, } a = Y_t - Y_s,$$

$$b = X_t - X_s,$$

$$c = b \cdot Y_t - a \cdot X_t$$

직선구간에서 콤팩트가 주행을 하다보면 직선으로부터 콤팩트가 거리 d 만큼 떨어져 있게 되는 경우가 생기는데 이때는 조향을 하면서 주행을 하여 직선에 근접하게 접근을 해야 한다. 콤팩트의 현재위치는 DGPS의 신호로부터 계산을 통하여 구할 수 있다. 콤팩트의 현재위치가 (X_i, Y_i)이면 현재 위치로부터 직선까지의 거리 d 는 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$d = \frac{|aX_i + bY_i + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (2)$$

직선구간을 주행하는 콤팩트는 직선의 기울기와 직선까지의 떨어진 거리를 이용하여 조향수준을 결정하게 되고 조향수준에 따라서 조향을 하면서 직선과 근접하게 된다. 직선구간에서의 실험은 성균관대학교 운동장에서 하였고 45m의 미리 설정된 직선에서 아래와 같이 4가지 유형으로 하였다.

(a) 직선 위에서 콤팩트가 출발하는 경우

(b) 직선 위에서 콤팩트의 방향이 직선과 30°의 차이를 가지는 경우

(c) 직선으로부터 콤팩트가 1m 떨어져서 출발하는 경우

(d) 직선으로부터 콤팩트가 1m 떨어지고 직선과 30°의 차이를 가지는 경우

1m 떨어져서 출발하는 경우는 직선으로부터 콤팩트의 위치가 오른쪽에 있도록 하였다. 콤팩트의 주행방향을 직선의 기울기와 30° 차이가 나게 출발하는 경우는 직선의 기울기와 콤팩트의 주행방향이 일치하지 않을 경우에 진입하는 시간 및 진입경로를 주행방향이 일치하는 경우와 비교해 보기 위해서 각각 실험을 하였다.

<그림 3>은 위의 4가지 방법에 따른 콤팩트가 직선 위에서 위치하고 있는 모습을 나타내며 각각 4회씩 반복 실험을 하였다. 45m 주행을 하고 난 후 50cm 간격으로 오차를 측정하였다. 주행직선의 오른쪽에서 측정한 편차를 양의 값으로 왼쪽에서 측정한 편차를 음의 값으로 각각 기록하였다. 직선주행에 있어서 성능평가는 이러한 4가지 방법으로 실제 무인 자율주행을 하고 난 후 생긴 콤팩트의 경로와 미리 설정된 직선과의 편차(Deviation)를 구하고, 이 편차의 RMS(Root Mean Square)값으로 하였다.

일반적으로 포장내에서 콤팩트가 수확을 하게되는 경로가 대규모 포장과는 다르게 소구획 포장에서는 콤팩트가 직선구간 끝 부분에서 선회가 항상 90° 좌회전을 한 다음 직선구간으로 진입하여 주행하고 있다. 따라서 본 연구에서도 직선구간의 끝 부분에서 90° 좌회전하는 방법으로 실험을 하였으며 콤팩트가 직선구간의 끝인 목표점을 지나가면 정지한 다음 화살표 방향으로 진행을 하면서 90° 회전을 하여서 다음 직선구간으로 진입한다. 직선구간의 알

고리증과 선회구간의 알고리즘은 별도로 개발하였고, 다음 직선구간으로 들어가기 전까지는 선회구간의 알고리즘을 사용하도록 하였다. 콤바인 주행의 정확도 측정은 다음 직선구간으로 진입한 다음 20m 주행하게 하고 50cm 단위로 오차를 측정하였다.

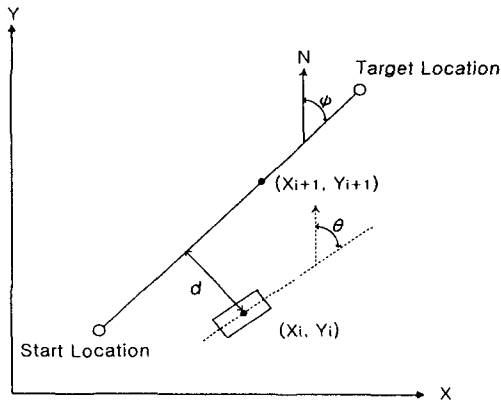


Fig. 2 Deviation and Heading angle of Combine.

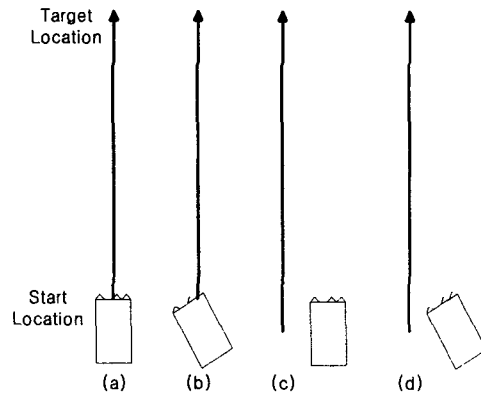


Fig. 3 Experimental Methods.

3. 결과 및 고찰

<표 1>은 미리 설정된 직선 경로위에서 직선의 기울기와 콤바인의 방향각을 일치하여 콤바인이 출발한 경우 실제 무인 자율주행을 하고 생긴 경로로부터 미리 설정된 직선경로까지의 편위와 계산한 RMS 오차와 최대오차를 나타내고 있다. 콤바인의 출발자세를 4가지 형태로 변형하며 45m의 직선 경로를 무인 주행한 결과 RMS 오차는 20cm 미만으로 비교적 양호하게 나타났으나 최대 오차는 대부분 30cm 이상으로 매우 크게 나타났다. 포장에서 콤바인의 무인 수확작업을 위하여서는 RMS 오차가 10cm 이하로, 최대 오차는 20cm 이하로 나타나는 것이 바람직하다. 소구획의 포장에서 벼는 가로방향으로 25~30cm, 세로방향으로 15~20cm의 간격으로 심어져 있다. 따라서 GPS 신호에 의한 위치결정을 할 때 자체오차 10cm를 고려하여도 직선구간에서는 콤바인의 위치와 자세에 상관없이 직선주행이 가능함을 실험을 통하여 알 수 있었다.

<표 2>는 콤바인이 선회구간을 자율주행 한 후 콤바인의 주행오차를 나타내고 있다. 콤바인의 선회반경을 가능한 최소로 설정하여 콤바인의 후진 절차를 수행하였으나 실제로는 콤바인이 더욱 많이 후진한 후 직진하는 현상이 나타났고, 후진하며 직선구간을 찾는 과정에서 최초의 편위가 발생하여 오차가 증가되었다. 직선구간 끝 부분의 선회구간에서 콤바인은 90° 선회를 하였고 다음 주행해야할 직선과 ±5°의 방향각 차이가 있었지만 거의 정확하게 다음 직선의 기울기를 찾아서 멈출 수 있었다.

Table 1 Deviation of each method

Method	Trial	RMS (cm)	Max. Error(cm)
Without Offset	1	13.48	30
	2	17.91	40
	3	15.69	39
	4	14.54	41
30° Heading Angle Offset	1	11.15	29
	2	13.44	30
	3	12.30	31
	4	16.27	42
1-m Offset	1	12.43	30
	2	13.85	35
	3	16.13	38
	4	14.59	29
1-m & 30° Heading Angle Offset	1	17.24	51
	2	18.29	46
	3	17.76	49
	4	16.77	50

Table 2 Deviation after Turning

Trial	RMS (cm)	Max. Error(cm)
1	52.66	92
2	52.81	94
3	46.91	85
4	43.36	52

콤바인의 포장실험은 2000년 10월~11월에 수원시 성균관대학교 공원용지내의 논에서 수확작업을 수행하며 주행실험을 수행하였다. 콤바인은 미리 설정된 출발점에서 목표점을 향하여 자율주행하며 수확작업을 수행하였다. 콤바인은 평균 2.5 km/h의 주행속도로 직선경로를 탐색하며 주행하며, 초음파센서에 장애물이 검출되면 멈추게 하였다. 콤바인이 직선경로를 주행한 후 수확작업의 결과를 분석한 결과 평균 82%의 면적에서 정상적인 수확작업이 수행된 것으로 나타났다. 콤바인의 주행오차로 인하여 일부 지역은 수확되지 않은 상태로 벼가 그대로 서 있거나 쓰러져 있었으며, 일부 지역은 콤바인이 밟고 지나간 것으로 관찰되었다.

4. 결론 및 요약

본 연구는 DGPS, 자이로 센서를 이용한 무인 주행이 가능한 콤바인의 자율주행 시스템을 개발하고자 수행되었다. 콤바인 자율주행시스템은 포장에서 작업중인 콤바인의 위치를 측정

할 수 있는 DGPS, 콤바인의 주행방향을 측정할 수 있는 자이로센서, 장애물의 감지를 위한 초음파 근접센서, 콤바인의 주행방향을 조정하는 유압작동부, 마이크로 컴퓨터로 구성된 제어기와 입출력 인터페이스로 구성되어 있다.

콤바인의 자율주행을 위하여 운동방정식을 이용한 제어 알고리즘을 개발하였다. 콤바인의 자율주행은 콤바인의 현재 위치로부터 예정된 경로직선까지의 거리, 직선경로의 기울기로부터 목표 방위각, 콤바인의 주행 방위각, 그리고 콤바인의 현재 위치와 다음 위치를 고려하여 콤바인의 조향수준을 결정하였다. 콤바인 자율주행시스템의 프로그램은 DGPS 신호, 자이로센서, 초음파 센서 등으로부터 관련 변수들을 분석하여 콤바인의 조향수준을 결정하고 유압실린더를 작동하는 제어 프로그램, 수집된 DGPS 신호 등을 분석하기 위해 자료를 저장하는 저장 프로그램으로 구성되어 있다.

무인 자율주행의 성능평가를 위해서 성균관대학교 운동장에서 직선구간과 선회구간을 설정하고, 학교의 실험포장에서는 수확작업을 수행하며 실험하였다. 콤바인의 출발자세를 4 가지 형태로 변형하며 45m의 직선 경로를 무인주행한 결과 RMS 오차는 20cm 미만으로 비교적 양호하게 나타났으나 최대오차는 대부분 30cm 이상으로 매우 크게 나타났다. 포장실험 결과 평균 82%의 면적에서 정상적인 수확작업이 수행된 것으로 나타났다. 대부분의 오차는 GPS 신호에서 발생되었으며, 특정한 방향으로 오차가 치우쳐 있는 현상을 발견할 수 있었다.

DGPS 신호, 자이로센서 등을 이용한 무인주행장치는 콤바인의 무인 수확작업을 위한 충분한 성능을 보여주지 못하고 있으나, 일부의 오차 감지기능을 개선하면 만족한 성능을 나타낼 수 있을 것으로 판단된다. 전체적인 시스템의 구성, 신호의 처리 절차, 제어 알고리즘 등은 향후 무인주행장치의 기초자료로 충분히 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

5. 참고문헌

1. 이재훈, 조성인, 이정엽. 1998. DGPS와 퍼지제어를 이용한 스피드스프레어의 자율주행. 한국농업기계학회 1998년 동계학술대회 논문집 3(1):498-504.
2. 장익주, 이기명, 김태한, 김신길, 팽정수. 1998. GPS와 CCD 카메라의 영상을 이용한 무인 작업 트랙터 개발(I). 한국농업기계학회 1998년 동계학술대회 논문집3(1):493-497.
3. 정선옥, 박원규, 김상철, 박우풍, 장영창. 1998. DGPS와 Gyro Compass를 이용한 트랙터의 자세검출. 한국농업기계학회 1998년 동계학술대회 논문집 3(1):505-510.
4. 조성인, 이정엽, 박영식. 1999. DGPS와 GIS를 이용한 스피드스프레어의 자율주행. 한국농업기계학회 동계학술대회 논문집 4(1):698-703.
5. Erbach, D. C., C. H. Choi, and K. Noh. 1991. Automated guidance for agricultural tractors. In Proc. Automated Agriculture for the 21st Century, 182-191. St. Joseph, Mich., ASAE.