

DGPS와 Gyro Compass를 이용한 트랙터의 자세검출

Posture Sensing of a Tractor Using DGPS and Gyro Compass

정선옥*	박원규*	김상철*	박우풍*	장영창**
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
S.O.Chung	W.G.Park	S.C.Kim	W.P.Park	Y.C.Chang

1. 서론

최근 들어 농기계의 자동화, 무인화, 로봇화에 대한 필요성이 크게 대두되어 이 분야의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히 무인방제기 개발(장익주 등, 1995), 트랙터 자동주행장치(최창현, 1990), 트랙터 자동 조향장치에 관한 연구(노광모, 1991, 김상철 등, 1997), 스피드 스프레이어의 자율주행(조성인 등, 1997), 자동 표고측정(김종안 등, 1997), 작업기 수평제어연구(차진팔 등, 1997)등, 주로 자율주행에 관한 연구가 많이 수행되었다.

농용차량의 자율주행을 위해서는 센서기술, 알고리즘 개발, 구동회로 구성, 액추에이터 선정 등 다양한 요소기술이 필요하고 각 요소별로 다양한 기법과 장비가 개발되어야 한다. 나아가 차량의 현재 위치, 방위각, 조향각, 차량의 주행속도 등의 차량 자세를 정확히 검출하는 것은 농용 차량이 예정된 경로를 추종하여 자율주행을 하기 위하여 필수적 요소이다. 농용 차량의 위치인식 및 경로 탐색의 도구로서 CCD camera, VHF 라디오 전파 시스템, DGPS 등이 주로 이용되고 있다. 본 연구에서는 트랙터 자율주행의 기초연구로서 DGPS, Gyro Compass, 포텐쇼미터를 이용하여 농용 트랙터의 자세검출 시스템을 구성하고, 트랙터 조향륜의 회전각에 근거하여 조향각을 구하며, 구축된 DGPS의 측위 정밀도를 분석하여 자율주행에 필수적인 트랙터의 자세를 검출하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 센서시스템 구성

본 연구에서는 공시 트랙터로 45마력 동양물산 트랙터를 사용하였다. 트랙터의 자세는 임의 고정좌표에 대한 트랙터 무게중심의 (x, y)좌표, 기체 중심선과 진북이 이루는 각으로 나타내는 방위각(ζ), 트랙터 중심선과 조향륜이 이루는 조향각(δ)으로 나타낼 수 있다. 고정좌표계의 y축을 진북으로 설정한 것은 GPS수신기에서 출력되는 위도, 경도값이 (x, y)좌표로 쉽게 변환되기 때문이다. 방위각, 조향각은 모두 시계방향(CW)을 (+)방향으로 하였으며, 속도는 전진방향을 (+)로 하였고 후진방향을 (-)로 하였다.

자율주행 트랙터의 중심좌표 및 속도측정 센서로서 정밀도가 20cm RMS인 RTK DGPS

* 농촌진흥청 농업기계화 연구소 재배기계과

** 서울대학교 농업생명과학대학 농업개발연구소

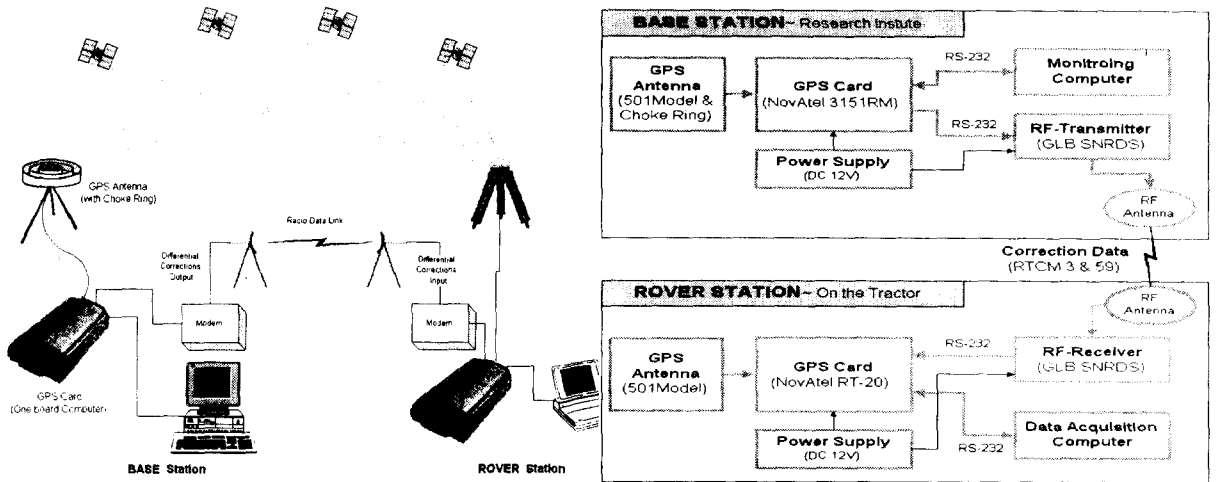


Fig. 1. Schematic diagram and block diagram of the DGPS constructed in the study.

를 이용하였다. DGPS는 트랙터 지붕을 개조하여 전·후륜이 이루는 4각형의 면적 중심에 수신 안테나가 위치하도록 하였으며, 입력신호는 10Hz로 트랙터의 위치를 측정하고 직렬통신으로 데이터가 송수신될 수 있도록 그림 1과 같이 구성하였다. 트랙터의 주행속도는 두번의 측위 데이터와 시간으로부터 계산하였다. 본 연구에 사용된 DGPS는 기지국과 이동국으로 구성되며 농업기계화 연구소에 고정되어 있는 기지국에서 정확한 위치와 오차 보정상수를 계산하여 트랙터에 장착된 이동국으로 무선 송신함으로써 보다 정밀한 이동국의 위치측정이 가능한 시스템이다. DGPS에서 얻어진 경위도 좌표계를 TM도법에 의해 (x, y) 직교좌표계로 변환하여 사용하였다.

방위각은 자이로 컴퍼스를 이용하여 측정하였다. 외부 자장의 영향을 제거하기 위하여 자체적으로 자장의 영향을 보정하는 기능을 갖추고 Roll, Pitch, Yaw 3축의 신호를 20Hz로 출력하는 자이로 센서를 선정하였다. 본 연구에서는 출력되는 3축 신호 중에서 Yaw 신호만을 이용하였다. 또한 자이로 센서는 내부 회로에 의해 안정화된 디지털 데이터를 직렬통신을 통해 쉽게 전송할 수 있는 형태로서 차량 진행방향과 평행하도록 설치하였다.

트랙터는 핸들을 돌리면 좌우 조향륜이 그림 2와 같이 다른 회전각으로 돌아가고 구동륜의 직각방향과 조향륜의 직각방향으로 연장한 직선들이 만나는 점을 중심으로 선회하게 된다. 본 연구에서는 그림 3과 같이 트랙터의 우측 조향륜에 1개의 포텐쇼미터를 장착하고 핸들의 회전각을 계측하여 트랙터의 조향각을 측정하였다. 공시 트랙터의 조향각은 좌우 35°가 최대이므로 포텐서미터의 출력특성에서 직선 범위인 -45° ~ +45° 이용하여 조향각을 검출하였으며 직진 주행시 2.5V(Input : 5.0V)가 나오도록 조정하였다. 조향각(δ)은 좌우측 조향륜의 회전각과 트랙터 치수와의 기하학적 근사식에서 유도된 식 1으로부터 구하였다.

$$\delta = \frac{0.5\delta_i(2 + G\delta_i)}{1 + G\delta_i} = \frac{0.5\delta_o(2 - G\delta_o)}{1 - G\delta_o}, \quad G = \frac{1}{\delta_o} - \frac{1}{\delta_i} = \frac{t_f}{L} \quad (\text{식 1})$$

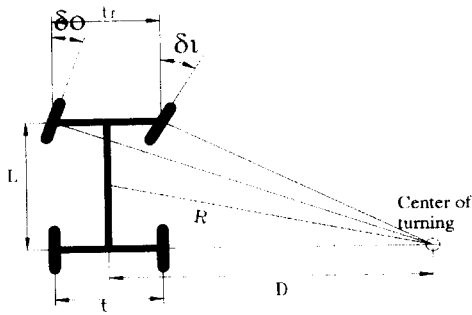


Fig. 2. Geometry of a turning vehicle.

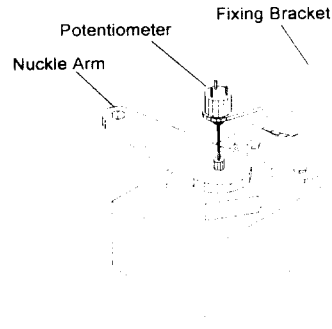


Fig. 3. Potentiometer Attachment.

나. 실험방법

본 연구에서는 정지시 DGPS 측위성능, 주행방향 변경에 대한 측위성능, 조향각 결정, DGPS 보정신호 미수신에 의한 영향 등을 실험, 분석함으로써 구축된 센서시스템의 트랙터 자세검출 성능을 검증하였다.

DGPS가 필요로 하는 가시 위성의 숫자, 간격 등은 시간에 따라 변하고, 이에 기인하여 위성 위치의 기하학적 배치가 변하게 된다. 따라서 정지시 DGPS 측위성능은 농업기계화 연구소 내에서 한 지점의 위치데이터를 1Hz 간격으로 24시간 수집하여 시간에 따른 오차 변화를 고찰하는 방법으로 검증하였다.

트랙터의 주행방향 변경에 대한 측위성능을 검증하기 위하여 사각형, 삼각형, 8자 경로를 설정하고, 수신기를 경로 상에서 움직이며 측위 데이터를 분석하였다.

트랙터의 조향각은 식 1을 이용하여 측정데이터로부터 구하였다. 조향각을 결정하기 위하여 사이로 컴퍼스를 조향륜 위에 고정시켜 놓고 핸들을 좌우로 돌리면서 조향각과 A/D 변환된 포텐쇼미터 값을 비교, 분석하여 정확도를 검증하였고 A/D 컨버터값에 대한 조향각의 직선회귀 방정식을 구하였다.

DGPS 보정신호 미수신에 의한 영향을 고찰하기 위하여 트랙터가 주행하는 동안에 장애물에 의하여 DGPS 보정신호가 중단되었다가 다시 수신을 시작할 경우, 안정된 측위 신호를 수신하는데 소요되는 시간과 정밀도를 실험적으로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 정지시 DGPS의 측위성능

본 연구에서 구성한 DGPS 시스템으로 24시간 동안 수신된 측위신호를 그래프로 나타낸 결과를 그림 4에서 보여주고 있다. 그림에서 횡축은 경도 방향을 나타내며 종축은 위도 방향을 나타낸다. DGPS 수신 데이터의 95%가 실제 위치에 대해 약 6.6cm의 오차를 나타냄으로써 매우 정확한 측위가 이루어짐을 알 수 있다. 특히 사용된 DGPS의 공시오차 20cm보다 측정오차가 작은 이유는, 본 연구에서 DGPS가 제시하는 3차원 정보 중에서 높이 정보를 배제한 2차원 오차를 분석하고, Kalman 필터링으로 인하여 측위 초기에 오차가 급격히 줄어들기 때문인 것으로 판단되

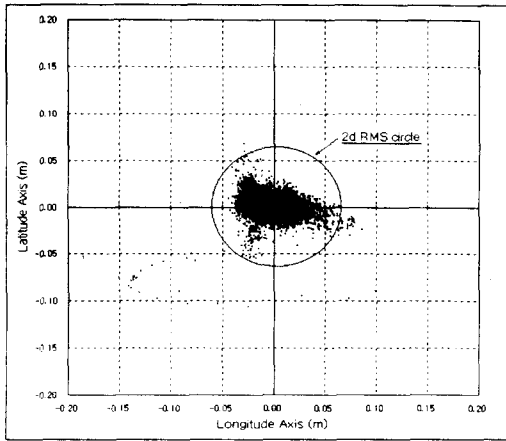


Fig. 4. Static positioning accuracy.

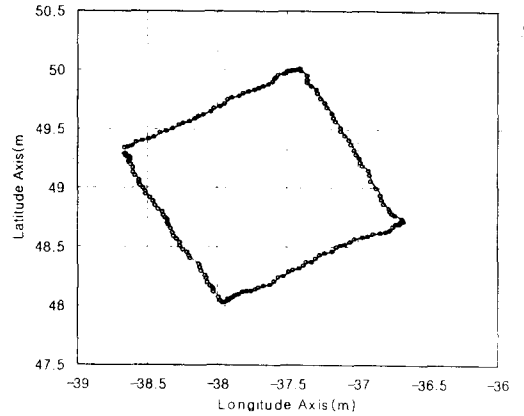


Fig. 5. Positioning of traveling on the Square path.

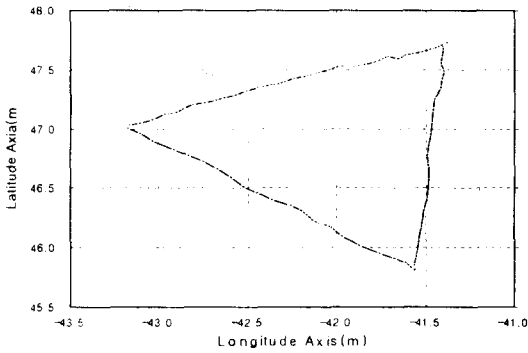


Fig. 6. Positioning of traveling on the Triangular path.

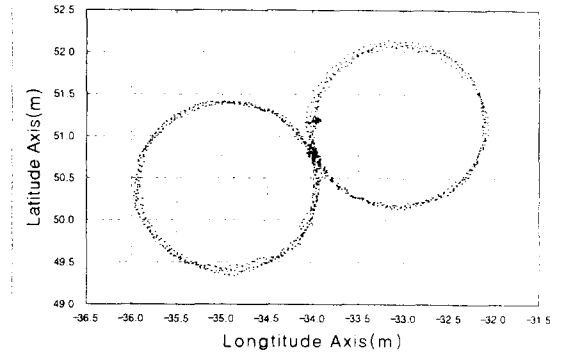


Fig. 7. Positioning of traveling on the 8-shaped path.

었다. 관측 위성의 수는 5~11개로서, 측위에 필요한 4개 이상의 위성신호를 이용하여 위치를 계산하는 것으로 관찰되었고, 5~6개의 위성으로 측위를 할 경우에 HDOP가 약 1.5이었으며 7개 이상의 위성을 추적할 수 있을 때 측위성능이 우수하였다.

나. 주행방향 변경에 대한 측위성능

DGPS를 탑재한 트랙터가 조향률이 비교적 큰 농로를 주행하거나 포장 끝에서 선회할 경우 측위성능이 안정적인가를 고찰하기 위한 측위실험 결과를 그림 5 ~ 그림 7에 나타내었다. 그림에서 나타난 바와 같이 측위 결과는 모서리에서 트랙터의 급격한 방향전환에도 측정 위치는 매우 정확히 나타나 급선회시 DGPS의 측위성능이 우수함을 알 수 있다. 또한 원형 경로의 선회반경은 1m로서 트랙터의 선회반경보다 작게 설정한 경우, 반복에 의한 차이가 10cm를 넘지 않는 것으로 나타나고 있고, 이는 실험시 GPS 수신 안테나의 좌우 흔들림을 고려한다면 트랙터의 측위에는 매우 안정적인 것으로 판단되었다.

다. 조향각 결정

우측 조향륜의 회전각을 검출하고 식 1을 이용하여 차량의 조향각을 구하였다. 그림 8은 좌우 차륜의 회전각과 조향각을 관계를 보여주고 있으며, 횡축에는 A/D 변환된 포텐쇼미터의 출력값을, 종축에는 차량의 조향각을 나타내었다. 직선 회귀분석 결과에 따르면 포텐쇼미터의 출력값과 조향각의 관계는 상관계수가 0.9993으로 직선성이 매우 우수하였다. 공시 트랙터의 $t_f = 1245\text{mm}$, $L = 1900\text{mm}$ 이므로 $G = 0.6553$ 가 되고, 이를 이용한 회귀식은 식 2와 같다.

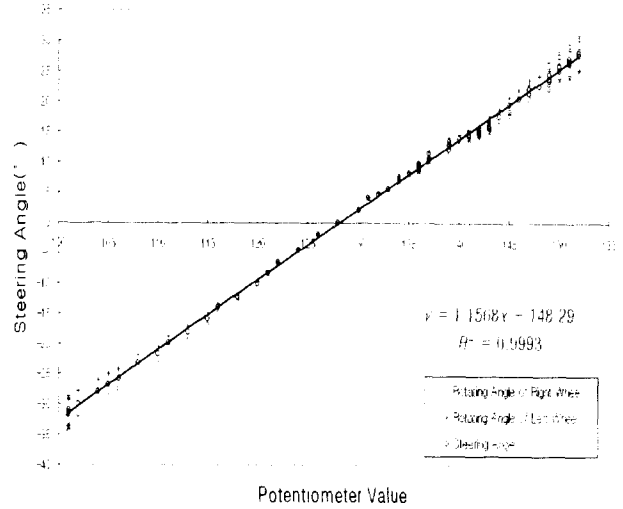


Fig. 8. Steering Characteristics.

$$\delta = 1.1568X - 148.29 \quad (R^2 = 0.9993) \quad (\text{식 } 2)$$

여기서, X = 포텐서미터 출력값(정수, $90 \leq X \leq 160$)

라. GPS 보정신호 미수신 영향

그림 9는 GPS가 보정신호를 수신하지 못하였을 때 그 영향에 의한 측위 정밀도를 고찰하기 위하여 실험을 수행한 구간(농촌진흥청 농업기계화연구소 내)의 전자지도 위에 GPS의 위치신호를 맵핑한 것이다. 위성 수신이 거의 불가능한 건물 사이를 통과할 때 처음에는 기지국으로부

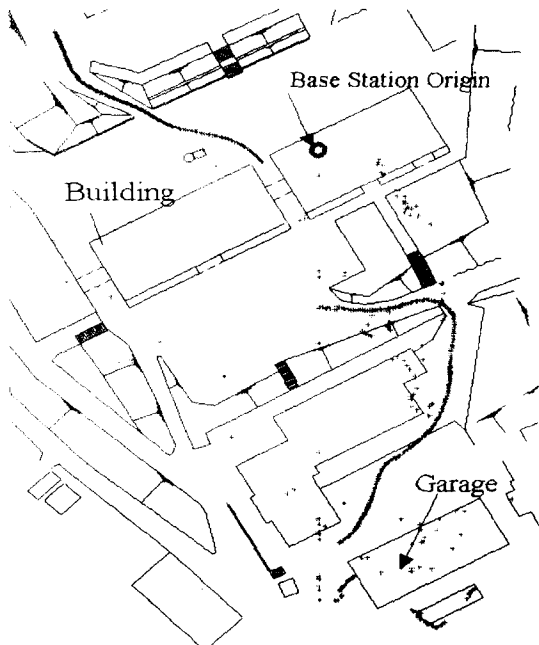


Fig. 9. Map matching of the tractor position

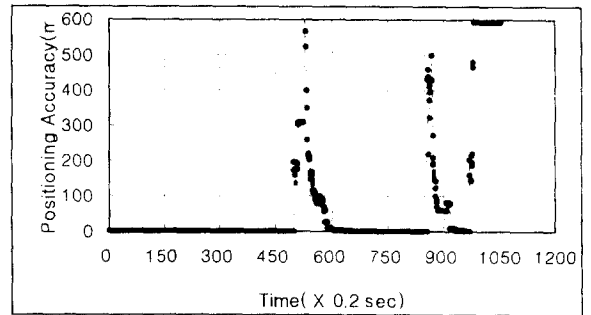


Fig. 10. GPS Positioning Accuracy.

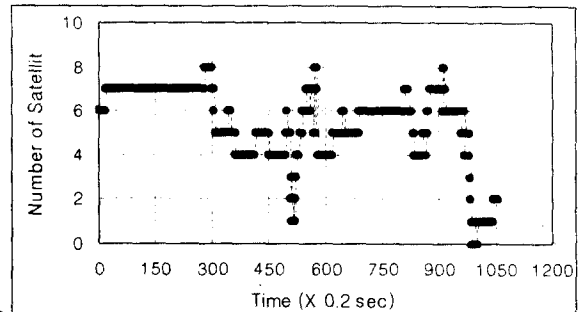


Fig. 11. Variation of Number of satellites.

터 RF통신으로 들어오는 보정신호를 놓치고, 다음으로 측위를 위한 최소한의 위성 신호마저 놓치게 되면서 측위 정밀도가 급격히 떨어졌다. 위성신호를 다시 수신한 이후에도 안정적인 측위 성능을 나타내기 위해서는 약 10초 정도의 대기시간이 필요한 것으로 나타났다. 그림 10과 그림 11은 전체 주행구간에서의 GPS 신호 수신 위성의 숫자의 변화와 그에 따른 측위 정밀도의 변화를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 건물 밑으로 들어가게 되어 수신위성의 개수가 적어지면 정밀도의 오차가 100m 이상이 되어 농용 차량에서 자율주행을 위한 위치 측정은 거의 불가능하였다. 따라서, 트랙터의 안정적인 자율주행을 위해서는 GPS 신호 미수신시를 보완하는 센서를 부착하고, 이를 이용한 자세 추정 알고리즘을 개발해야 할 것으로 판단되었다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 트랙터 자율주행의 기초연구로서 DGPS, Gyro, 포텐쇼미터를 이용하여 농용 트랙터의 자세측정 시스템을 구성하고, 트랙터 조향륜의 회전각에 근거하여 조향각 구하며, 구축된 DGPS의 측위 정밀도를 분석하여 자율주행에 필수적인 트랙터의 자세를 측정하고자 수행되었으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 트랙터의 자율주행과 관련하여 트랙터의 자세는 무게중심의 좌표, 방위각, 조향각으로 나타낼 수 있다. 둘째, DGPS는 트랙터의 급격한 방향전환에 대하여 위치추정이 안정적이었다. 셋째, 트랙터의 조향각은 한쪽 차륜에 변위센서를 장착함으로써 직선적인 관계로 추정 가능하였다. 넷째, DGPS는 추적할 수 있는 위성의 숫자에 따라 그 측위 정밀도가 달라졌으며, 7개 이상의 위성으로 10cm이내의 정밀측위가 가능하였다. 다섯째, DGPS를 이용하여 농용차량의 자율주행 시스템을 구축할 경우에는 장애물 등에 의한 보정신호의 차단 및 위성 추적이 곤란한 경우가 발생하므로, 이에 대한 연구가 필요한 것으로 판단되었다.

5. 참고문헌

1. 김상철, 박우풍, 차진팔, 정선옥, 정인규. 1997. 電子制御型 트랙터의 操向裝置 개발. 농업과학논문집 39(2) : 55~61.
2. 김종안, 김수현, 박윤근. 1997. 경지 균평 작업을 위한 자동 표고 측정에 관한 연구. 한국농업기계학회지 22(3) : 269~278.
3. 노광모. 1996. 농용트랙터의 자동조향을 위한 퍼지제어와 적응제어의 비교. 한국농업기계학회지 21(3) : 283~292.
4. 장익주, 김태환, 조명동. 1995. 무인 스피드 스프레이어의 개발(I). 한국농업기계학회지20(3) : 226~235.
5. 조성인, 이재훈, 정선옥. 1997. DGPS와 퍼지제어를 이용한 스피드스프레이어의 자율주행(I). 한국농업기계학회지 22(4) : 487~496.
6. 차진팔, 박우풍, 김상철, 정인규, 정선옥. 1997. 트랙터 작업기의 수평제어 알고리즘 개발. 한국농업기계학회 1997 하계 학술대회 논문집 2(2) : 32~40.
7. 최창현. 1990. 位置 測定裝置를 이용한 트랙터의 自動 走行裝置. 한국농업기계학회지 15(2) : 79~87.