

DGPS와 Gyro Compass를 이용한 트랙터의 자세검출

Posture Sensing of a Tractor Using a DGPS and a Gyro Compass

정 선 옥*	박 원 규*	김 상 철*	박 우 풍*	장 영 창**
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
S. O. Chung	W. G. Park	S. C. Kim	W. P. Park	Y. C. Chang

ABSTRACT

This study was conducted to sense posture of an autonomous tractor using a DGPS, a gyro compass, and a potentiometer. Posture sensing system was constructed and its accuracy was evaluated. The accuracy of DGPS was evaluated under stationary and moving conditions, and the performance of the gyro compass and the potentiometer was investigated by measuring bearing and steering angles, respectively. Also, the effect of DGPS interference by obstacles was evaluated experimentally. The position accuracy was about 6.6cm(95%) under the stationary condition and 10 cm at sharp turning condition. Steering angle of the tractor could be related linearly to the output of the potentiometer that was installed on the rotating center of a knuckle arm.

The positioning accuracy of the DGPS varied significantly according to the number of visible GPS satellites, but was good with more than 7 satellites. The DGPS gave bad solutions for sensing the posture of tractor when signals from satellites or the correction data from the base were interfered by obstacles.

주요용어(Key Words): 무인트랙터(Autonomous Tractor), 자세검출(Posture Sensing), 디지피에스(DGPS), 자이로 컴퍼스(Gyro Compass)

1. 서 론

최근 들어 농기계계의 자동화, 무인화, 로봇화에 대한 필요성이 대두되어 이 분야의 연구가 국내에서 활발히 이루어지고 있다. 특히 무인방제기 개발(장 등, 1995), 트랙터 자동주행장치(최, 1990), 트랙터 자동 조향장치에 관한 연구(노, 1996, 김 등, 1997), 스

피드 스프레이어의 자율주행(조 등, 1997), 자동 표고측정(김 등, 1997), 작업기 수평제어 연구(차 등, 1997) 등 주로 농용차량의 자율주행에 관한 연구가 많이 수행되고 있다.

미국, 일본 등 외국에서는 이미 농용차량의 자율주행을 위한 요소 기술로서 센서기술, 제어 알고리즘, 구동회로 등이 오래 전부터 연구되어 왔으며, 농

* 농촌진흥청 농업기계화 연구소

** 서울대학교 농업생명과학대학 농업개발연구소

용차량의 위치인식 및 경로 탐색의 도구로서 CCD camera, VHF 라디오 전파 시스템, DGPS 등을 사용하였다. 최근에는 정밀농업이라는 개념 하에서 농업의 시스템화를 위하여 이러한 기술들의 응용범위를 넓히고 있다(Joseph, 1998).

자주형 농업기계의 측위 시스템으로 기존에는 관성항법 시스템이 주로 사용되었으나 최근 고정밀도의 GPS와 자이로 컴퍼스(Gyro Compass)가 측위 센서와 방위각 센서로 새롭게 추가되거나 대체되는 추세이다(Yilin, 1997).

Gabriel(1996) 등은 무인트랙터 제어를 위해 트랙터 자세를 계획된 경로에 대한 상대위치 좌표, 방위각, 조향각으로 나타내었으며 측위와 방위각 센서로 4개의 DGPS, 조향각 센서로 포텐쇼미터(Potentiometer)를 사용한 센서시스템을 구성하였다. Inoue(1997) 등은 관성항법과 GPS를 함께 사용하여 무인트랙터의 위치를 추정하였으며, Nagasaka(1997) 등은 자이로센서와 GPS로 이앙기의 자율주행 시스템을 구성하고 100m 직선경로에서 실제주행을 실시하여 4cm 이하의 오차로 이앙기의 주행을 제어하는데 성공하였다.

Leick(1995)은 GPS는 측위 성능이 수cm 이내로 우수하지만, 측위를 위해 필요한 GPS위성의 가시성 장애물에 의해 제한을 받으며, 가시성이 보장되는 경우의 정밀도는 기하학적 배치를 나타내는 DOP(Dilution Of Precision)에 의해 직접적인 영향을 받는다고 지적하였다.

트랙터의 보다 정밀한 자율주행을 위하여 트랙터의 현재 위치를 검출하고 그에 따른 차량의 진행 방향을 결정하는 것은 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 트랙터 자율주행의 기초연구로서 DGPS, 자이로컴퍼스, 포텐쇼미터를 이용하여 농용 트랙터의 자세검출 시스템을 구성하고, 트랙터 조향륜의 회전각에 근거하여 조향각을 구하며, 구축된 DGPS의 측위 정밀도 및 방위각 정밀도를 분석하여 자율주행에 필수적인 트랙터의 자세를 검출하고자 하였다. 또한 측위 데이터를 전자도면과 결합하여 트랙터의 이동 경로를 매핑(mapping)하고 보정신호 미수신 및 위성 가시성 미확보에 대한 자세검출 시스템의 영향을 분

석하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 센서 시스템 구성

본 연구에서는 공시 트랙터로 45마력 동양물산 트랙터를 사용하였다. 트랙터의 자세는 그림 1과 같이 임의 고정 좌표계에 대한 트랙터 무게 중심의 (x, y) 좌표, 기체 중심선과 진북이 이루는 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. 또한 그림에서 O점은 트랙터의 선회 중심점을 나타낸다.

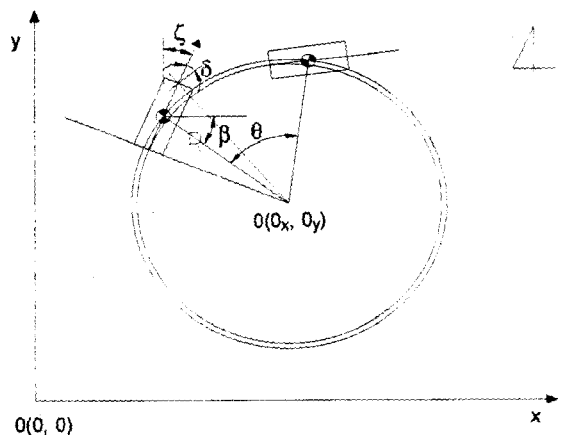


Fig. 1 A posture definition of a vehicle.

자율주행 트랙터의 중심좌표 및 속도측정 센서로서 정밀도가 20cm RMS인 RTKDGPS를 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 2와 같이 시스템을 구성하였다.

트랙터의 주행속도는 두번의 측위 데이터와 시간으로부터 계산하였다. 본 연구에 사용된 DGPS는 기지국과 이동국으로 구성되며 농업기계화연구소에 고정되어 있는 기지국에서 정확한 위치와 오차 보정 상수를 계산하여 트랙터에 장착된 이동국으로 무선 송신함으로써 보다 정밀한 트랙터의 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 출력된 3축 신호 중에서 yaw 신호만을 이용하였다. 또한 자이로 센서는 오차

가 $\pm 1^\circ$ 이며, 내부 회로에 의해 안정화된 디지털 데이터를 직렬통신을 통해 전송할 수 있는 형태로서 차량 진행 방향과 평행하도록 설치하였다.

트랙터는 핸들을 돌리면 좌우 조향륜이 그림 3과 같이 서로 다른 회전각으로 돌아가고 구동륜의 직각 방향과 조향륜의 직각방향으로 연장한 직선들이 만나는 점을 중심으로 선회하게 된다. 본 연구에서는 그림 4와 같이 트랙터의 우측 조향륜에 1개의 포텐쇼미터를 장착하고 핸들의 회전각을 계측하여 트랙터의 조향각을 측정하였다. 공시 트랙터의 조향각은 좌우 35° 가 최대이므로 포텐쇼미터의 출력특성에서 직선 범위인 $-45^\circ \sim +45^\circ$ 를 이용하여 조향각을 검출하였으며 직진 주행시 입력전압 5.0V에 대해 출력전압 2.5V가 나오도록 조정하였다.

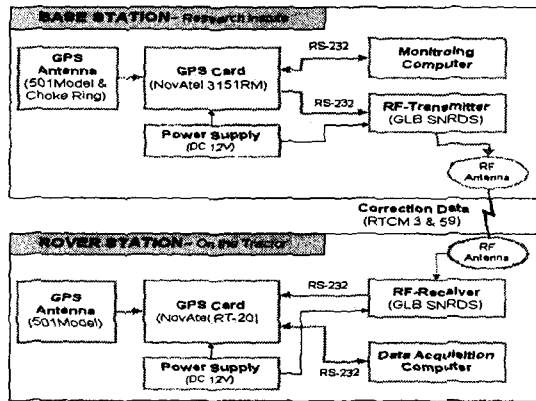
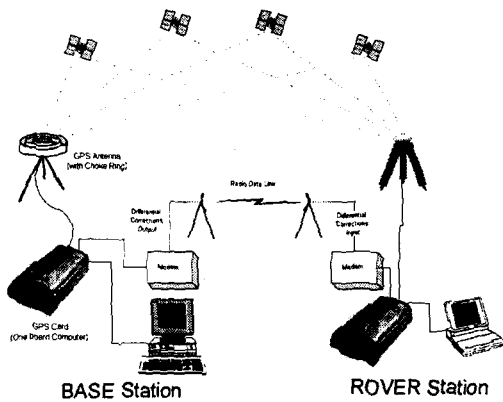


Fig. 2 The schematic and block diagram of the DGPS.

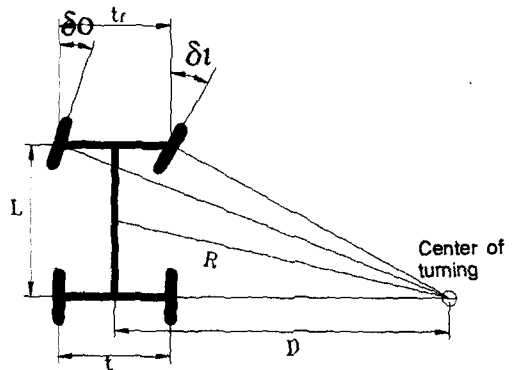


Fig. 3 The geometry of tractor turning.

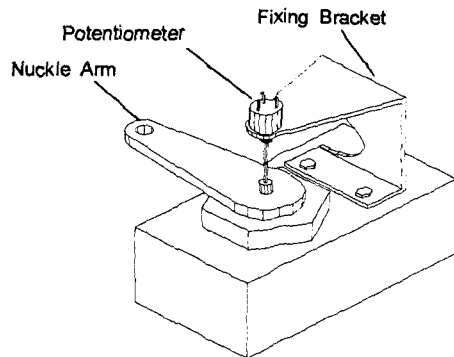


Fig. 4 The potentiometer to measure steering angle.

조향각(δ)은 좌우측 조향륜의 회전각과 트랙터 치수와의 기하학적 관계에서 구해진 식 1로부터 구하였다.

$$\delta = \frac{0.5 \delta_o(2+G \delta_i)}{1+G \delta_i} = \frac{0.5 \delta_o(2-G \delta_i)}{1-G \delta_i} \dots\dots (1)$$

여기서, $G = \frac{1}{\delta_o} - \frac{1}{\delta_i} = \frac{t_f}{L}$

δ_o = 좌측 조향륜의 회전각

δ_i = 우측 조향륜의 회전각

L = 전후 차축간 거리

t_f = 전륜간의 거리

식 1을 통하여 구해진 조향각은 현재의 조향각으로써 궁극적으로 예정 경로상의 다음 지점에서 가져야 할 조향각과 비교하여 제어신호를 출력하게 된다.

나. 실험방법

본 연구에서는 정지시 DGPS를 이용한 트랙터의 측위성능, 트랙터 주행방향 변경에 따른 측위성능, 방위각 검출, 조향각 검출과 DGPS 보정신호 미수신에 의한 영향 등을 실험, 분석함으로써 구축된 센서 시스템의 트랙터 자세검출 성능을 검증하였다.

DGPS가 필요로 하는 가시위성의 숫자, 간격 등은 시간에 따라 변하고, 이에 기인하여 위성 위치의 기하학적 배치가 변하게 된다. 따라서 정지시 DGPS 측위성능은 농업기계화연구소 내 한 지점에서 트랙터의 위치 데이터를 1Hz 간격으로 24시간 수집하여 시간에 따른 오차 변화를 고찰하는 방법으로 검증하였다.

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

자이로 컴퍼스에서 출력되는 값은 자북에 대한 방위각이므로 본 연구에서 설정한 좌표계와는 차이가 있다. 직선주행에서 얻은 GPS와 자이로 데이터를

분석하여 자북에 대한 방위각과 진북에 대한 방위각의 차이인 국부자기변이(local magnetic variation)를 구하였다. 또한, 트랙터의 조향각을 일정하게 설정하고 원형경로를 따라 주행한 후, 임의의 두 지점에서 원형경로의 접선방향에 대해 트랙터의 실제 방위각의 차이를 구하고 동일 두 점에서의 차이로 센서로부터 얻은 방위각 차이를 서로 비교하였다. 실제 방위각은 DGPS에 근거하여 계산하였으며 두 수치의 비교를 통해 자이로 컴퍼스의 방위각 검출성능을 검증하였다.

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

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 트랙터의 측위성능

본 연구에서 구성한 DGPS 시스템으로 24시간 동안 수신된 트랙터의 측위신호를 그래프로 나타낸 결과를 그림 5에서 보여주고 있다. 그림에서 횡축은 경도 방향을 나타내며 종축은 위도 방향을 나타낸다.

DGPS 수신 데이터의 95%가 트랙터 실제 위치에 대해 약 6.6cm의 오차를 나타냄으로써 매우 정확한 측위가 이루어짐을 알 수 있다. 특히 사용된 DGPS의 공시오차 20cm 보다 측정오차가 작은 이유는, 본 연구에서 DGPS가 제시하는 3차원 정보 중에서 높이 정보를 배제한 2차원 오차를 분석하였기 때문인 것으로 판단된다.

또한 관측 위성의 수는 5~11개로 변하였으며 측

위에 4개 이상의 위성신호를 이용하여 위치를 계산하는 것으로 관찰되었고, 5~6개의 위성으로 측위할 경우에 HDOP(horizontal dilution of precision)가 약 1.5이었으며 DGPS가 7개 이상의 위성을 추적할 수 있을 때 측위성능이 우수하였다.

나. 주행방향 변경에 따른 측위성능

DGPS를 탑재한 트랙터가 조향률이 비교적 큰 농로를 주행하거나 포장 끝에서 선회할 경우 측위성능이 안정적인가를 고찰하기 위한 측위실험 결과를 그

림 6~그림 8에 나타내었다. 그림에서 나타난 바와 같이 측위 결과는 모서리에서 트랙터의 급격한 방향 전환에도 삼각경로와 사각경로에 대하여 오차의 표준편차가 13cm로 나타나 급선회시 DGPS의 측위성능이 우수함을 알 수 있다. 또한 원형 경로의 반지름은 1m로서 트랙터의 선회반경보다 작게 설정한 경우, 반복에 의한 차이가 10cm를 넘지 않는 것으로 나타나고 있고, 이는 실험시 GPS 수신 안테나의 좌우 흔들림을 고려한다면 DGPS를 이용한 트랙터의 측위는 매우 안정적인 것으로 판단된다.

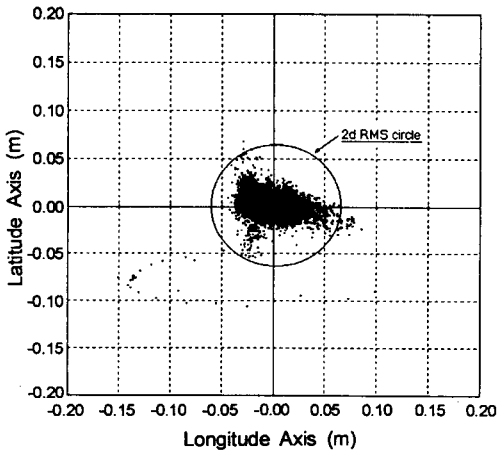


Fig. 5 The positioning accuracy of DGPS for a stationary tractor.

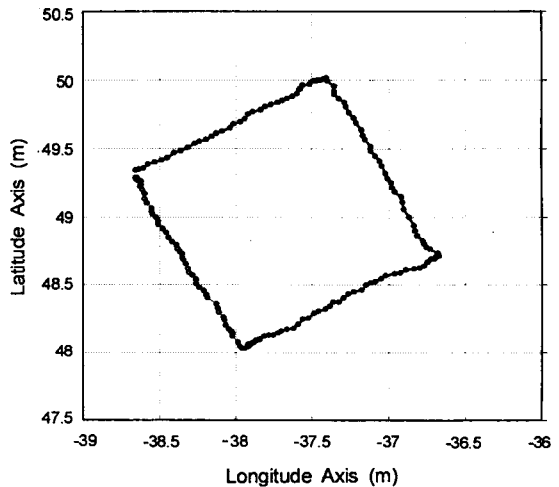


Fig. 7 The positioning accuracy of DGPS for a tractor on a square path.

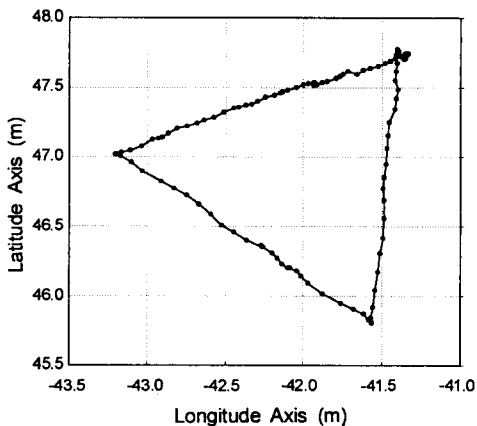


Fig. 6 The positioning accuracy of DGPS for a tractor moving on a triangular path.

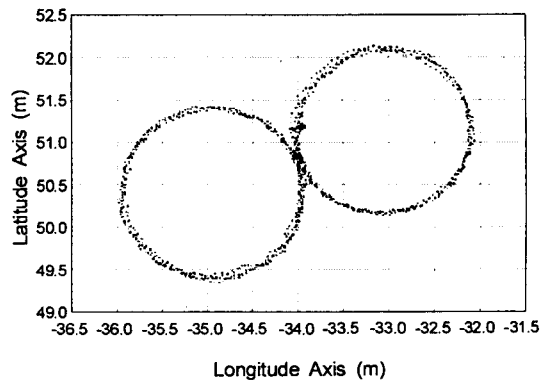


Fig. 8 The positioning accuracy of DGPS for a tractor on a 8-shaped path.

다. 방위각 측정

평지에서 직선경로를 따라 트랙터를 주행하고 DGPS를 이용한 트랙터의 방위각과 자이로 컴퍼스를 통해 얻어진 방위각을 이용하여 자북과 진북에 대한 방위각을 구하였으며 그 결과를 그림 9에 나타냈다. DGPS 측위데이터에 근거한 트랙터 주행방향의 방위각은 123.056°로 계산되었다. 그러나 자이로 컴퍼스에서 얻어진 방위각의 평균은 135.490°, 표준편차는 0.987°로 나타나 국부자기변이(local magnetic variation)는 12.434° (W)이었다.

그림 10은 트랙터를 선회반경은 3.216m, 주행속도는 0.180m/s로 원형경로를 주행한 경우 자이로 컴퍼스의 방위각 검출성능을 보여주고 있다. 원형경로에서 10° 단위로 36개 지점을 추출하여 자이로 컴퍼스의 출력 방위각으로부터 두 지점에서 방위각 차이를 구하였고, DGPS에서 얻은 두 지점에서 원형경로에 접선을 그어 진북과 이루는 실제 방위각의 차이와 비교하였다.

DGPS 측위점에 기초한 실제 방위각 차이와 자이로 컴퍼스에 의한 방위각 차이간의 오차는 평균은 0.505°, 표준편차는 3.662°이었다. 자이로 컴퍼스에서 얻은 방위각 차이는 원을 1주 했을 때 사인파에

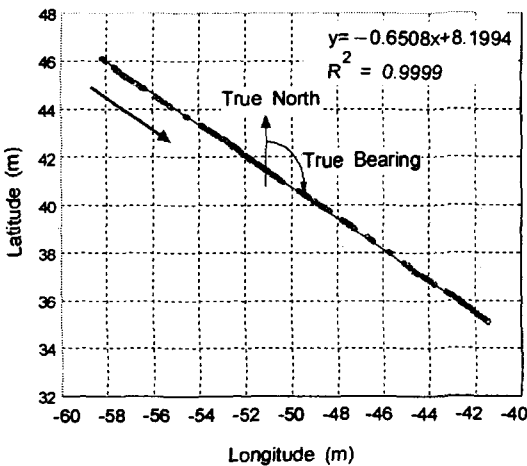


Fig. 9 The measurement of local magnetic variation using a DGPS and a gyro compass on a straight path.

가까운 형태를 나타내고 있어 트랙터 기계 자장의 영향을 포함하고 있음을 알 수 있었다.

라. 조향각 결정

트랙터의 우측 조향륜에 대해 회전각을 검출하고 식 1과 공시 트랙터에 대한 $t_r = 1,245\text{mm}$, $L = 1,900\text{mm}$ 를 이용하여 트랙터의 조향각을 구하였다. 그림 11은 우측 차륜에서 검출한 포텐쇼미터 출력값과 조향각을 관계할 보여주고 있으며, 횡축에는 A/D 변환된 포텐쇼미터의 출력값을, 종축에는 차량의 조향각을 나타내었다. 직선 회귀분석 결과에 따르면 포텐쇼미터의 출력값과 조향각의 관계는 상관계수

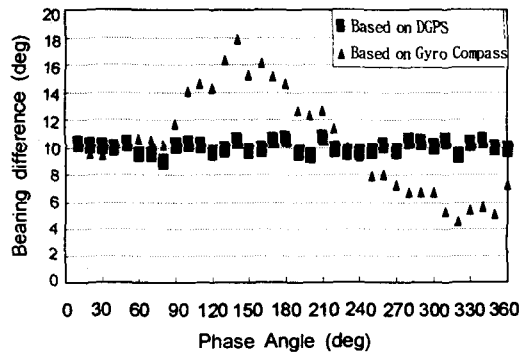


Fig. 10 The change in bearing differences for a gyro compass on a circular path.

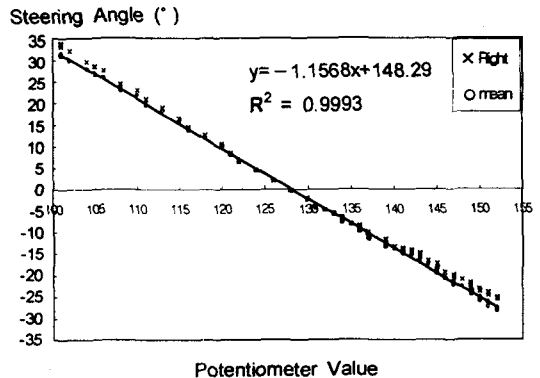


Fig. 11 The relationship between steering angle and potentiometer output.

가 0.9993으로 직선성이 매우 우수하였으며 조향각 오차 평균은 0.392° , 오차의 표준편차는 0.341° , 최대 오차는 1.434° 였다. 따라서 포텐쇼미터를 이용하여 조향각을 검출하고 이에 근거하여 트랙터 진행에 따라 연속적으로 조향각을 제어하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

마. GPS 보정신호 미수신 영향

그림 12는 GPS가 보정신호를 수신하지 못하였을 때 그 영향에 의한 측위 정밀도를 고찰하기 위하여 실험을 수행한 구간(농촌진흥청 농업기계화연구소 내)의 전자지도 위에 GPS의 위치신호를 매핑한 것이다. 위성 수신이 거의 불가능한 건물 사이를 통과할 때 처음에는 기저국으로부터 RF통신으로 들어오는 보정신호를 놓치고, 다음으로 측위를 위한 최소한의 위성 신호마저 놓치게 되면서 측위 정밀도가 급격히 떨어졌다. 위성신호를 다시 수신한 이후에도 안정적인 측위성능을 나타내기 위해서는 약 10초 정도의 대기시간이 필요한 것으로 나타났다.

그림 13과 그림 14는 전체 주행구간에서 GPS 신

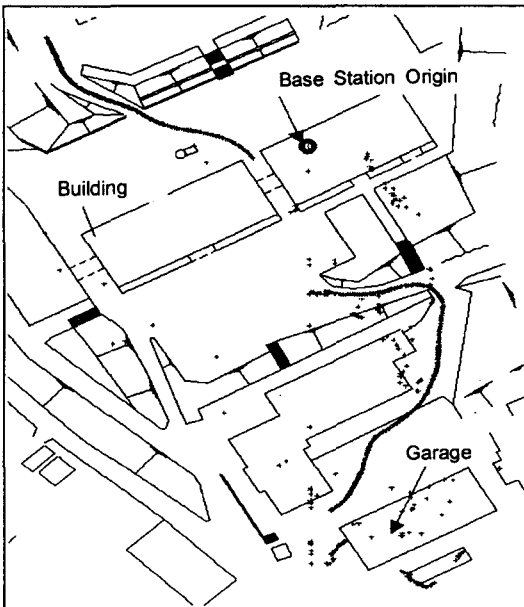


Fig. 12 Mapping of GPS-based tractor position on an electric map.

호가 수신되는 위성의 개수와 그에 따른 측위 정밀도의 변화를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 건물 밑으로 들어가게 되어 수신 위성의 개수가 적어지면 정밀도의 오차가 100m 이상이 되어 트랙터 자율주행을 위한 위치 측정은 거의 불가능하였다. 따라서, 트랙터의 안정적인 자율주행을 위해서는 GPS 신호 수신 불량할 때 이를 보완하는 센서를 부착하고, 센서와 연관된 자세 추정 알고리즘을 개발해야 할 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 트랙터 자율주행의 기초연구로서 DGPS, 자이로 컴퍼스, 포텐쇼미터를 이용하여 농용 트랙터의 자세검출 시스템을 구성하고, 트랙터 조향륜의 회전각에 근거하여 조향각 구하며, 구축된

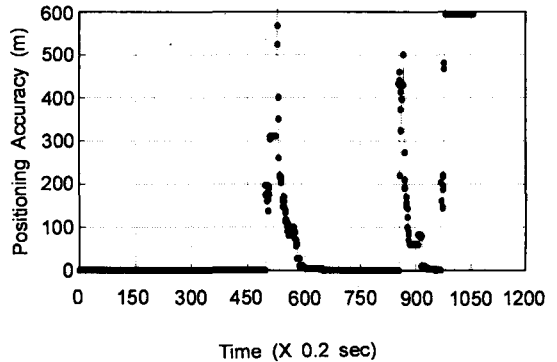


Fig. 13 The positioning accuracy of GPS.

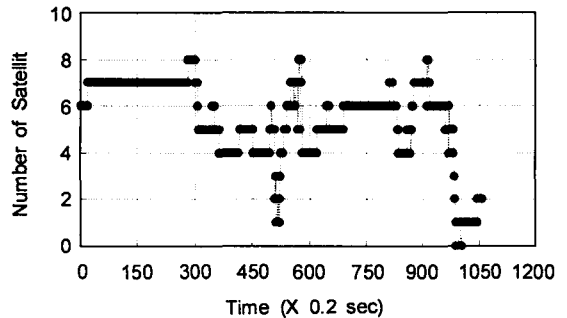


Fig. 14 The number of satellites used for estimating tractor positions with time.

DGPS의 측위 정밀도를 분석하여 자율주행에 필수적인 트랙터의 자세를 측정하고자 수행되었다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, DGPS를 이용한 트랙터의 위치검출은 오차범위 6.6cm 이내로 매우 정확하였으며 또한 주행방향의 급격한 변경에 대한 위치추정은 매우 안정적이었다. 둘째, DGPS와 자이로 컴퍼스를 이용하여 국부자기변이를 구할 수 있었다. 셋째, 트랙터의 조향각은 한쪽 차륜에 변위센서를 장착함으로써 직선적인 관례로 추정 가능하였다. 넷째, DGPS는 추적할 수 있는 위성의 숫자에 따라 그 측위 정밀도가 달라졌으며, 7개 이상의 위성으로 10cm이내의 정밀측위가 가능하였다. 다섯째, DGPS를 이용하여 트랙터의 자율주행 시스템을 구축할 경우에는 장애물 등에 의한 보정신호의 차단 및 위성 추적이 곤란한 경우가 발생하므로, 이에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김상철, 박우풍, 차진팔, 정선옥, 정인규. 1997. 電子制御型 트랙터의 操向裝置 개발. 농업과학 논문집 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). 한국농업기계학회지 20(3): 226-235.
5. 조성인, 이재훈, 정선옥. 1997. DGPS와 퍼지제어를 이용한 스피드스프레어의 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.
8. Joseph, K. B. 1998. Who's minding the farm. GIS World 11(2):46-51.
9. Yilin, Z. 1997. Vehicle location and navigation systems. Artech House, Inc.
10. Gabriel, E., O. Michale, B. Thomas, and P. Bradford. 1996. System identification of a farm vehicle using carrier-phase differential GPS. Proceedings of ION GPS-96, Kansas City, September 17-20.
11. Inoue, K., O. Kanji, S. Mitsuho, and M. Noriyuki, 1997. Estimation of place of tractor and adaptive control method of autonomous tractor using INS and GPS. Proceedings of BIO-ROBOTICS '97, Valencia, Spain, September 21-24.
12. Nagasaka, Y., O. Ryuji, S. Kazuto, and T. Ken, 1997. Automated operation in paddy fields with a fiber optic gyro sensor and GPS. Proceedings of BIO-ROBOTICS '97, Valencia, Spain, September 21-24.
13. Leick, A. 1995. GPS satellite surveying, 2nd edition. John Wiley & Sons, Inc.