

位置 測定裝置를 이용한 트랙터의 自動 走行裝置

Automatic Guidance System for Tractor based upon Position-measurement Systems

崔 昌 鉉*

C. H. Choi

Summary

An automatic guidance system based upon two position-measurement systems was designed to record where the tractor traveled and to guide the tractor along the predetermined path. An algorithm, using the kinematic behavior of tractor movement, was developed to determine the steering angle to reduce lateral position error. The algorithm was based upon constant travel speed, constant steering rate, and zero slip angles of the tractor wheels. The algorithm was evaluated through use of computer simulation and verified in field experiments.

Results showed that the distance interval between position measurements was an important factor in guidance system performance. The position-measurement error of the guidance system must be less than 5 cm to be acceptably precise for field operations. An algorithm based upon a variable steering rate might improve the stability of the guidance system. More accurate measurement of tractor position and yaw angle, and faster error processing are required to improve the field performance of the guidance system.

1. 緒 論

작물의 성장을 위한 土壤條件과 농업용 차량의 牽引力 向上을 위한 토양조건은 相反되므로 수확량 감소를 防止하고 차량의 전인력을 增大시키기 위하여 포장에서 작물의 栽培地域과 농업용 차량의 走行地域을 영원히 分離시키는 耕作방법이 고려되고 있다. 농업용 차량의 바퀴가 일정한 지역을 走行하므로써 포장의 흩다짐 면적을 極小化 시키고 작물의 재배면적을 極大化하기 위해서는 모든 작업시 차량의 주행위치를 항상 일정하게 維持할 수 있는 自動 走行裝置가 필요하다.

농업용 차량에 주행 警報裝置를 부착하므로써 운전자가 보다 손쉽게 운전할 수 있는 방법으로부터 최근 조향장치 自動化에 이르기까지 많은 방법이 소개되었다. 차량의 주행위치를 制御할 수 있는 自動 주행장

치는 주행위치 測定의 正確性, 여러 형태의 농업용 차량과 耕作방법에 사용될 수 있는 融通性 및 多樣性, 설비투자에 의한 經濟性, 이용자의 便利性 등에 力點을 두어 개발되고 있다. 대부분의 自動 주행장치에는 예정된 주행위치에 대하여 현재의 위치를 比較 및 測定하는 주행위치 측정장치, 주행위치 誤差에 따라 走行方向을 결정하는 制御機, 차량의 앞바퀴를 조정하는 作動機 및 각 器機간의 입력과 출력을 적합한 形態로 변환시키는 I/O 인터페이스로 이루어져 있다.

自動 주행장치의 性能은 주행위치의 測定誤差, 주행 방향의 豫測 및 修整을 위한 제어 알고리즘의 正確性, 앞바퀴를 조정하는 作動機의 조정오차에 의하여 左右된다. 트랙터, 콤파인, 예취기, 과실 및 사료 수확기 등의 농업용 차량의 작업목적에 따른 여러 形態의 自動 주행장치가 개발되었으나 만족한 作業性能을 보여주지 못하고 있는 實情이다. 포장에 설치된 표적물을 感

* 成均館大學校 農科大學 農業機械工學科

知하여 作動하는 자동 주행장치는 차량의 走行方向을 感知하지 못하며 센서와 표적물의 위치오차에 比例하여 조향장치를 調整한다. 카메라를 이용하는 視覺的 感知裝置는 주행방향을 정확히 감지할 수 있으나 아직 實用的 단계에 이르지 못하고 있다. 포장 작업시 차량의 위치를 정확히 測定할 수 있으면 미리 豫定된 주행 위치와 比較하여 정확한 방향으로 주행할 수 있는 理想的인 자동 주행장치의 개발이 可能하다.

포장을 座標化하여 차량의 走行 豫정위치를 x-y 좌표로 컴퓨터에 미리 入力시킨 후 차량의 주행위치를 x-y 좌표로 測定 및 比較하여 주행방향을 결정한다. 人工衛星을 이용하여¹⁰⁾ 측정된 차량의 絕對座標는 좌표의 測定誤差가 너무 크므로 (약 20m) 포장내에 基準點을 設定하여 비이컨(Beacon)³⁾, 라디오 전파, 레이저(laser) 광선⁸⁾을 이용하여 相對座標를 측정하는 方法이 사용되고 있다. 본 연구의 目的은 포장에서 트랙터의 現在位置를 측정하고 미리 豫定된 주행위치와 比較하여 豫정된 주행방향으로 走行할 수 있는 트랙터의 自動 走行裝置를 개발하는데 있다.

2. 資料 및 方法

가. 自動 走行裝置의 構成

트랙터의 自動 走行裝置는 그림 1과 같이 트랙터 앞바퀴의 위치와 作業機의 위치를 측정할 수 있는 2조의 위치 측정장치, 豫定된 주행위치와 測定된 현재위치를 比較 및 分析하여 앞바퀴의 調整각도를 결정하는 마이크로 컴퓨터, 트랙터의 앞바퀴를 調整하기 위한 스텝 모터(Step Motor), 앞바퀴의 현재 角度를 측정하기 위한 전위차계(Potentiometer), 트랙터의 走行速度를 측정하기 위한 속도센서, 信號 調整機(Signal Co-

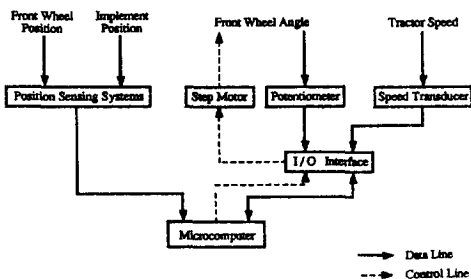


Fig. 1. Block diagram of automatic guidance system

nditioner)가 포함된 I/O 인터페이스로 이루어졌다. 컴퓨터, 스텝 모터, I/O 인터페이스에 안정된 電壓을 供給하기 위하여 1.2kw의 가솔린 發電機를 사용하였다.

트랙터 앞바퀴의 위치와 작업기의 위치를 測定하기 위하여 미국 D & N Micro Product 회사에서 製作된 2조의 AGNAV 시스템이 사용되었다. AGNAV 시스템은 측정 對象物의 현재위치를 x-y좌표로 측정할 수 있으며 RS-232 시리얼 포트를 가지고 있으므로 다른 컴퓨터와 連結이 비교적 쉽다. AGNAV 시스템은 컴퓨터가 있는 制御部, 調整板, 주안테나, 보조안테나가 있는 두개의 리피터(Repeater)로 구성되어 있다. 제어부에서는 154.565 MHz-154.605 MHz의 VHF 라디오 電波를 발생하여 주 안테나를 통하여 리피터로 送信한 후 각 리피터로부터 返送된 信號를 받아 주안테나의 位置를 결정한다.

트랙터의 주행방향을 調整하기 위하여 미국 Bodine Electric 회사의 스텝 모터 모델 2007과 THD-1810C 制御機를 사용하여 트랙터의 앞바퀴를 조정하였다. 스텝 모터는 운전대에 V-벨트로 연결되어 秒速 4.5도의 各속도로 앞바퀴를 回轉시킬 수 있도록 調整되었다. 앞바퀴의 현재 각도를 測定하기 위하여 전위차계(Potentiometer)는 앞바퀴의 垂直軸에 附着되었다. 앞바퀴의 内部에 부착된 잇수 65개의 기어와 마크네틱 픽업(American Philips Control 회사의 모델.087-304-0044)에서 發生된 필스를 計數하므로써 트랙터의 주행 速度를 측정하였다.

마이크로 컴퓨터(Zenith 모델 190)는 x-y 좌표로 입력된 豫정된 주행위치에 관한 資料를 읽고 현재의 주행위치를 디스크에 貯藏한 후 트랙터가 미리 豫정된 방향으로 走行하기 위하여 필요한 앞바퀴의 조정각도를 결정하였다. AGNAV 시스템은 컴퓨터의 RS-232 시리얼 포트에 연결되었으며 미국 Dianachart 회사의 I/O 인터페이스 장치(PC-Acquisitor 모델 PCA-48)는 컴퓨터의 프린터 포트에 연결되었다. 컴퓨터는 AGNAV 시스템에서 측정된 트랙터의 위치와 I/O 인터페이스 장치를 통하여 각 센서로부터 計測된 信號를 읽고 스텝 모터를 制御하였다.

나. 制御 알고리즘의 開發

트랙터에 연결된 作業機의 위치를 조정하기 위하여 앞바퀴가 연결된 조향장치를 操作하여야 한다. 트랙터

가 急速히 回轉할 경우를 除外하고는 뒷바퀴는 대부분 앞바퀴를 따라가며 앞바퀴의 搖動이 주행방향으로부터 5cm以下일 때 뒷바퀴에 나타나는 搖動은 未備하며 작업기는 예정된 走行經路에 위치한다.⁵⁾ 그러므로 자동 주행장치는 앞바퀴의 位置誤差가 5cm이하가 되도록 설계되어야 한다. 트랙터가 時速 12km이하로 회전할 때 타이어에 발생하는 側方力은 매우 작으며 측방향의 미끄럼 현상은 無視할 수 있으므로¹¹⁾ 트랙터의 운동방정식은 低速으로 주행하는 트랙터의 旋回運動을 精確히 나타낼 수 있다. 자동 주행장치의 제어 알고리즘을 개발하기 위하여 사용된 假定은 다음과 같다.

- 1) 트랙터는 평평한 地面에서 低速으로 주행하므로 側方向의 미끄럼 현상은 무시한다.
- 2) 앞바퀴의 회전 角速度는 일정하다.
- 3) 트랙터의 中心軸에 대한 앞바퀴의 조정각도는 左右 20도로 制限되었다.
- 4) 작업기는 트랙터의 뒷부분에 堅固히 固定되었다.
- 5) 시계 반대방향의 각도는 陽數이다.

트랙터의 중심축에 대한 앞바퀴의 각도는 트랙터를 조향하는데 중요한 變數이며 앞바퀴의 回轉 角速度(rad/s)와 트랙터의 走行 速度(m/s)에 의하여 變化된다. 앞바퀴의 회전 角속도와 트랙터의 주행속도의 比를 조향율(rad/m)로 나타낼 때 앞바퀴의 각도 變化는 조향율(α)와 트랙터의 주행거리(z)로 表示할 수 있다.

트랙터를 조향할 때 그림 2와 같이 앞바퀴의 위치는 F_i 에서 F_{i+1} 로 變化된다. 그림 2에서 x-y좌표계는 포장에 설치된 위치 측정장치에서 사용된 絶對 좌표계이며 트랙터의 진행방향을 p축으로 하는 p-q 좌표계는 x축에 대한 트랙터의 중심축 각도(θ_i)만큼 회전된 變換 좌표계 이다. 트랙터의 중심축 각도(θ_i)는 앞바퀴와 作業機의 위치로부터 계산될 수 있다. 트랙터의 조향상태는 다음과 같은 식으로 表示할 수 있다.

$$F_{x_{i+1}} = z \cos(0.5\alpha z + \delta_i + \theta_i) + F_{x_i} \quad \dots\dots (1)$$

$$F_{y_{i+1}} = z \sin(0.5\alpha z + \delta_i + \theta_i) + F_{y_i} \quad \dots\dots (2)$$

$$\theta_{i+1} = z(0.5\alpha z + \delta_i) / L + \theta_i \quad \dots\dots (3)$$

$$I_{x_{i+1}} = F_{x_{i+1}} - H \cos(\theta_{i+1}) \quad \dots\dots (4)$$

$$I_{y_{i+1}} = F_{y_{i+1}} - H \sin(\theta_{i+1}) \quad \dots\dots (5)$$

여기서,

$i, i+1$ =조향전과 조향후의 상태

F_x, F_y =x-y좌표로 표시한 앞바퀴의 위치

I_x, I_y =x-y좌표로 표시한 작업기의 위치

δ =트랙터의 중심축에 대한 앞바퀴의 각도(rad)

θ =트랙터의 중심축 각도(rad)

α =트랙터의 조향율(rad/m)

z =트랙터가 조향중 주행거리(m)

L =앞바퀴와 뒷바퀴간의 거리(m)

H =앞바퀴와 작업기간의 거리(m)

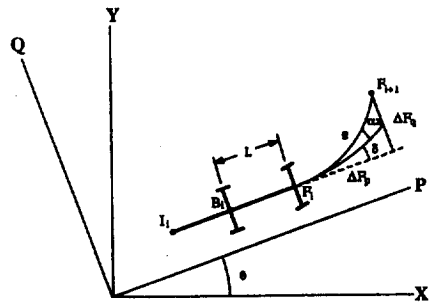


Fig. 2. Front wheel movement, from F_i to F_{i+1} , depends upon front wheel angle (δ), steering angle (α), and tractor yaw angle (θ). Front wheel moves ΔF_p in p direction and ΔF_q in Q direction

위치 측정장치를 이용하여 측정된 앞바퀴와 작업기의 x-y 좌표인 (F_x, F_y)와 (I_x, I_y)는 p-q 좌표인 (F_p, F_q)와 (I_p, I_q)로 나타낼 수 있다. 트랙터가 조향될 때 앞바퀴의 위치(F_p, F_q)는 그림 2에서 표시된 것과 같이 ΔF_p 와 ΔF_q 만큼 變化된다. 앞바퀴의 조정각도를 20도이내로 制限하므로 앞바퀴의 q방향의 위치는 다음과 같이 간단히 할 수 있다.

$$\Delta F_{q_i} = z(0.5\alpha z + \delta_i) \quad \dots\dots (6)$$

트랙터의 위치오차는 예정된 주행위치로부터 q축 방향의 偏差로 나타낼 수 있다. 그림 3에서 표시된 것과 같이 미리 입력된 작업기와 앞바퀴의 예정된 주행 위치 P_0 와 P_1 으로부터 작업기와 앞바퀴의 位置誤差는 각각 e_1 와 e_2 로 나타낼 수 있다. 트랙터는 다시 위치가 측정될 때까지 p축 방향으로 거리 s만큼 走行하게 된다. 앞바퀴의 각도변화가 없다면 다음 위치측정시의 예정위치 P_2 와 P_3 를 입력자료로부터 계산할 수 있다. 앞바퀴의 조정각도는 현재의 위치오차보다는 다음 측

정위치(P_2)에서 예상되는 위치오차(e_{p2})를 줄이기 위하여 결정되어야 하므로 豫想되는 위치오차(e_{p2}), 앞바퀴의 각도, 트랙터의 중심축과 예정된 주행방향의 曲線 기울기가 이루는 주행방향 각도차(ϕ_i)를 고려하였다.

그림 3의 P_1, P_2, P_3 의 3점을 이용하여 豫定經路가 직선 또는 곡선인지를 判別한후 예정경로의 곡률각을 결정하였다. 예정경로가 직선인 경우에 曲率角은 없으나 곡선인 경우 반지름을 계산한 후 곡률각은 다음과 같이 算出되었다.

$$\delta_{cv} = L / (R - 0.5B) \quad \dots\dots\dots (7)$$

여기서,

δ_{cv} = 豫定經路의 곡률각 (rad)

L = 앞바퀴와 뒷바퀴간의 거리 (m)

R = 예정경로의 반지름 (m)

B = 트랙터의 뒷바퀴간의 間隔 (m)

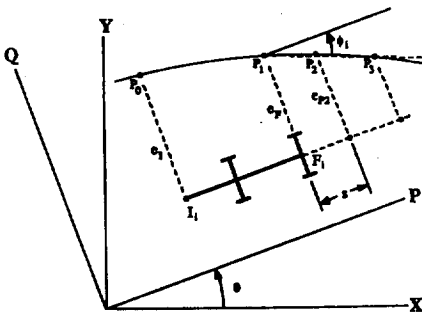


Fig. 3. Lateral position errors ($e_i, e_F,$ and e_{p2}) at implement, front wheel, and look-ahead position, respectively. Slope difference (ϕ_i) can be found between tractor yaw angle (θ) and slope from P_1 to P_3

원하는 각도로 트랙터를 조향한 후에 다음 측정위치 (P_2)에서 위치오차와 주행방향 각도차를 豫測할 수 있으므로 아래와 같은 식을 사용하여 앞바퀴의 조정 각도를 결정하였다.

$$e_{new} = e_{p2} - z(0.5az + \delta_i) \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\phi_{new} = \phi_i - z(0.5az + \delta_i) / L \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\delta_{new} = \delta_{cv} - (az + \delta_i) \quad \dots\dots\dots (10)$$

다음 測定地點인 P_2 에서 앞바퀴의 위치오차가 없도록

목 ($e_{enw} = 0$), 주행방향 각도차가 없도록 ($\phi_{new} = 0$), 앞바퀴의 각도와 豫定經路의 곡률각이 같도록 ($\delta_{new} = 0$) 앞바퀴의 각도를 조정하여야 하나 모든 條件을 同時に 만족하기는 어려우므로 앞바퀴의 위치오차를 줄이는데 優先하였다.

다. 컴퓨터 시뮬레이션

자동 주행장치의 제어 알고리즘은 컴퓨터 시뮬레이션에 의하여 檢討되었다. 시뮬레이션 프로그램은 C언어로 작성되었으며 豫定經路에 대한 x-y좌표, 트랙터의 조향율, 위치측정 地點간의 走行距離를 입력자료로 사용하였으며 개발된 알고리즘을 이용하여 앞바퀴와 작업기의 位置誤差를 줄일 수 있도록 앞바퀴의 조정 각도를 결정하였다. 프로그램은 결정된 각도로 앞바퀴를 조정하였을 때 트랙터의 運動狀態를 시뮬레이션하여 앞바퀴와 작업기의 位置, 트랙터의 中心軸 각도, 앞바퀴의 각도를 계산하므로써 트랙터의 反應을 나타내었다. 제어 알고리즘의 精確성은 예정된 주행위치에 대한 앞바퀴와 작업기의 最大 誤差와 RMS(Root-Mean-Squared) 오차를 이용하여 分析하였다.

제어 알고리즘의 評價를 위하여 트랙터의 조향율이 0.09, 0.17, 0.26, 0.35 rad/m (5, 10, 15, 20 °/m)일 때와 위치측정간의 距離가 0.2, 0.4, 0.6, 0.8m 일때 컴퓨터로 시뮬레이션 하였다. 컴퓨터 시뮬레이션에 사용된 走行經路는 그림 4에서와 같이 振幅이 10m이며 週期가 100m, 진폭이 5m이며 주기가 50m인 2개의 交叉 曲線形 경로, 반지름이 100m, 50m, 25m인 3개의 圓弧形 경로, 높이가 1m, 5m인 階段形 경로이다. 원호형과 交叉 曲線形 경로는 곡선 始作 前과 終了 後에 각각 10m의

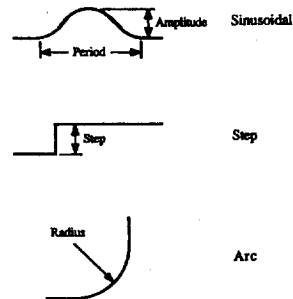


Fig. 4. Paths considered for computer simulation

直線 經路가 포함되었으며 계단형 경로는 총 주행거리가 50m이며 높이 變化 前에 10m의 직선 경로가 포함되었다.

라. 포장실험

제어 알고리즘을 評價하기 위하여 기울기가 1% 미만이며 길이가 92m 폭이 106m인 실험포장에서 John-Deere 4430 트랙터에 자동 주행장치를 附着하여 實驗하였다. 제어 알고리즘은 트랙터의 위치와 트랙터의 중심축 각도가 요구되므로 AGNAV 시스템을 이용하여 트랙터의 앞바퀴와 작업기의 위치를 측정하여 중심축 각도를 계산하였다. AGNAV 시스템의 주안테나는 그림 5에서와 같이 앞바퀴 축의 중심으로 부터 0.58 m 지점 前方에, 뒷바퀴 축의 중심으로 부터 1.96m 지점 後方에 각각 설치하였다. 트랙터의 앞바퀴와 뒷바퀴간의 距離는 2.67m이며 폭은 1.65m이다.

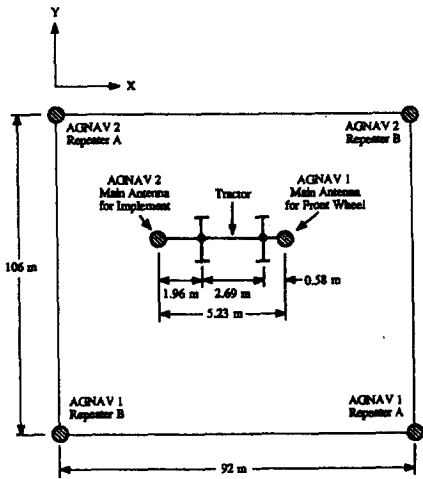


Fig. 5. Layout of the main antennas and repeaters in the field

자동 주행장치는 트랙터의 앞바퀴와 작업기의 위치 측정을 위하여 2조의 AGNAV 시스템을 사용하도록 설계되었다. 각각의 AGNAV 시스템은 각기 다른 周波數를 사용하여 전파를 送受信하나 주파수의 差異가 너무 작아 (0.3MHz) 전파간의 干涉으로 인하여 포장에서 트랙터와 리피터간의 距離에 따라 위치측정에 많은 誤差를 보여 주어 주행장치가 精確히 作動되지 않았다. 전파간의 간섭을 없애기 위하여 자동 주행장치는 1조의 AGNAV 시스템을 사용하여 다시 實驗되었다.

포장실험시 트랙터의 平均 주행속도는 1.7km/h, 조향율은 0.17rad/m, 각 위치측정간의 距離는 0.24m로 조정되었다. 트랙터 앞바퀴의 위치는 AGNAV 시스템을 사용하여 측정되었으며 트랙터의 중심축 각도는 앞바퀴의 位置 變化에 의하여 계산되었다.

자동 주행장치의 포장실험은 70m의 直線 經路, 進 폭이 5m이며 주기가 50m인 싸인곡선형 경로, 높이 5 m인 계단형 경로에서 각각 4회 反復되었다. 계단형 경로는 階段函數 發生 前後에 각각 25m의 직선으로 구성되었으며 싸인곡선형 경로는 曲線 前後에 각각 10 m의 직선이 포함되었다. 예정된 각 주행경로의 地面에 2.5m 間隔으로 깃발을 꽂았으며 트랙터의 作業機 부분에 석막대를 달아서 토양의 地面에 痕迹을 남길 수 있도록 하였다. AGNAV 시스템에 의하여 측정된 작업기와 앞바퀴의 위치는 마이크로 컴퓨터의 디스크에 貯藏되었고 각 실험 후에 깃발이 꽂힌 地點에서 작업기의 위치오차를 줄자를 사용하여 측정하였다.

3. 結果 및 考察

가. 컴퓨터 시뮬레이션

트랙터의 조향율과 위치측정간의 거리가 增加할 때 RMS 위치오차와 最大 위치오차는 같은 反應을 나타내었다. 위치측정간의 距離가 증가할 때 작업기의 위치 오차는 증가되었다(그림 6). 앞바퀴의 위치오차를 줄이기 위해 조향장치가 操作用되므로 항상 뒷바퀴의 위치 오차는 앞바퀴의 誤差보다 크게 나타났다. 앞바퀴의 각도를 원하는 각도까지 조정된 후 다음 위치측

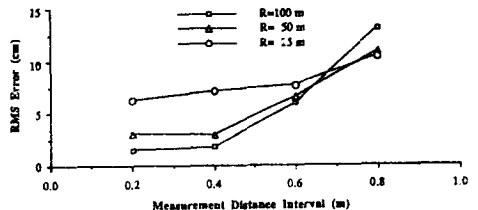


Fig. 6. RMS error of implement as affected by measurement distance interval when following arc paths with radii (R) of 100m, 50m, and 25m. Each line represents combinations of four turning ratios (5, 10, 15, and 20 deg/m)

정 지점까지 조정된 각도로 트랙터가 주행하므로 위치측정간의 距離가 증가하면 위치오차도 증가되었다. 위치측정간의 거리가 0.6m以下일 때 원호형 경로의 半徑이 증가함에 따라 위치오차는 감소되었다.

그림 7은 트랙터의 조향율이 작업기의 RMS 위치 오차에 미치는 影響을 보여주고 있다. 半徑이 25m인 원호형 경로에서 조향율의 증가에 따라 작업기의 RMS 위치오차는 減少되었다. 트랙터의 조향율이 증가되면 急速히 변화되는 곡선형 경로에서도 쉽게 接近할 수 있으나 조향율이 필요以上으로 너무 크게 설정되면 安定性을 잃기 쉽다. 싸인곡선형 경로와 원호형 경로에 나타난 컴퓨터 시뮬레이션의 결과는 매우 類似하다. 작업기의 최대 위치오차는 위치측정간의 거리가 증가함에 따라 증가되었다(그림 8).

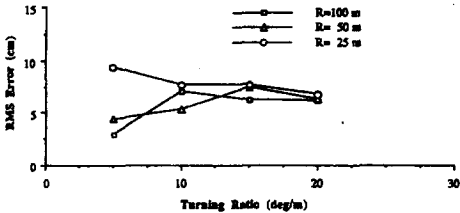


Fig. 7. RMS error of implement as affected by turning ratio when following arc paths with radii (R) of 100m, 50m, and 25m. Each line represents combinations of four distance intervals (0, 2, 0.4, 0.6, and 0.8m)

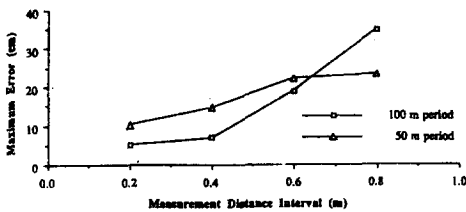


Fig. 8. Maximum absolute error of implement as affected by measurement distance interval when following sinusoidal paths with periods of 100 m and 50m. Each line represents combinations of four turning ratios (5, 10, 15, and 20 deg/m)

急激한 위치變化에 대한 알고리즘의 反應은 계단형 경로의 결과에서 알 수 있다. 트랙터의 조향율이나 위

치측정간의 距離가 너무 크면 安定性을 잃게 된다. 위치측정간의 거리가 0.6m以下일 때 트랙터의 위치오차가 5cm以內로 安定되기 위하여서는 급격한 位置變化後 약 50m의 주행거리가 요구된다. 급격히 위치가 변화되는 계단형 경로에 보다 빨리 接近하기 위하여 트랙터의 앞바퀴는 最大 角度로 조정되었으며 다시 원래 위치로 돌아오는데 많은 走行距離를 요구하므로 최대 位置誤差는 급격한 위치변화가 있는 다음에 나타났다. 계단형 경로의 높이가 높을 수록 위치오차도 큰 현상을 보여 준다.

위치측정간의 거리와 트랙터의 조향율은 자동 주행 장치의 制御에 중요한 요소로 작용한다. 急激히 변화되는 曲線에 빨리 接近하기 위하여서는 조향율의 증가가 요구되나 위치측정간의 거리를 감소시키지 않으면 트랙터는 安定性을 잃고 搖動하게 된다. 앞바퀴의 回轉 각속도가 일정할 때 트랙터의 주행속도를 증가시키면 위치측정간의 거리는 증가되며 조향율은 감소하게 된다. 자동 주행 장치의 制御性能을 증가하기 위하여서는 위치측정에 소요되는 時間과 조향 장치의 調整속도를 고려하여 트랙터의 주행속도를 制限할 필요가 있다.

나. 포장실험

AGNAV 시스템의 위치측정 誤差는 약 50cm로 나타났다며 측정오차는 포장에서 주안테나의 위치에 따라 변화되었다. 주안테나와 리피터가 接近하였을 때 측정오차는 매우 크게 나타났다며 리피터로부터 일정한 거리를 維持할 때 最小의 오차를 보여 주었다. 2조의 AGNAV 시스템을 사용할 때 각 조의 리피터를 같은 위치에 설치할 수 없으므로 항상 주안테나와 리피터간의 일정한 距離維持가 어려웠으며 각 시스템간에 발생하는 電波의 干涉으로 완전한 실험을 실행하기 어려웠다.

마이크로 컴퓨터의 RS-232포트에 연결된 AGNAV 시스템은 位置測定에 많은 시간이 요구되므로 자동 주행장치는 0.5초마다 앞바퀴의 각도를 조정하였다. AGNAV 시스템을 이용하여 측정한 앞바퀴의 位置變化에 의하여 트랙터의 중심축 각도와 작업기의 위치를 계산하여 구하였으므로 이 계산한 값에는 AGNAV 시스템의 위치측정 誤差도 포함하게 된다. 그림 9에서 보는 것과 같이 AGNAV 시스템의 위치측정 오차 때문

에 트랙터가 직선 經路를 走行할 때에도 搖動하고 있다. 80% 이상의 위치측정 地點에서는 위치오차가 AGNAV 시스템의 測定誤差인 50cm보다는 작게 나타났다. 도표 1은 직선 經路를 주행할 때 줄자, AGNAV 시스템 및 컴퓨터 시뮬레이션에 의하여 측정된 最大 위치오차와 RMS 위치오차를 나타내었다. 컴퓨터 시뮬레이션에 나타난 위치오차는 측정장치의 誤差를 50 cm로 시뮬레이션하여 구한 結果이다. 줄자에 의하여 측정된 RMS 위치오차와 AGNAV 시스템에 의하여 측정된 RMS 위치오차는 작업기의 경우 3cm의 差異를 보이고 있다.

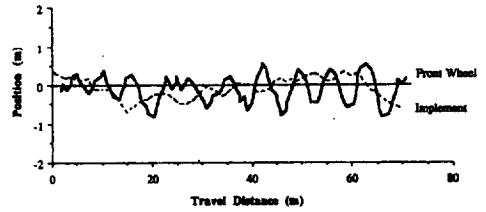


Fig. 9. Tractor movement, with one AGNAV, when following a straight-line path

Table 1. Mean and Standard deviation of absolute maximum error (Max) and RMS error when following a straight-line path. Values represented are the average of four replications

Method	Implement		Front Wheel	
	Max	RMS	Max	RMS
	cm	cm	cm	cm
Tape Measurement				
Mean	99.0	40.9		
Std. Dev.	25.0	4.8		
Computer Reading				
Mean	101.3	38.3	109.5	42.0
Std. Dev.	28.4	9.2	23.9	7.8
Computer Simulation ^a				
Mean	79.6	34.0	84.0	35.0
Std. Dev.	2.6	0.7	3.8	1.2

^a Program simulated position-measurement error of 50 cm.

그림 10은 싸인곡선형 經路를 따라 움직이는 트랙터의 位置變化를 보여주고 있다. 곡선이 急激히 變化되면 예정된 經路에 접근하는데 보다 많은 走行距離를 요구하므로 곡선에 接近하기 전과 곡선을 離脫할 때 오차가 크게 나타났다. 트랙터의 앞바퀴는 92%의 測定地點에서, 작업기는 75%의 측정지점에서 50cm 以內的 위치오차를 維持하였다. 도표 2에서와 같이 줄자에 의하여 측정된 RMS 위치오차는 컴퓨터 시뮬레이션의 결과와 類似하다. 줄자에 의하여 측정된 最大 위치오차와 RMS 위치오차는 직선 經路를 주행할 때보다 작게 나타났다. 일반적으로 曲率이 증가되면 위치오차도 증가되나 실험결과에 의하면 AGNAV 시스템의 測

定誤차가 곡률의 증가보다는 더욱 중요하게 작용되었다.

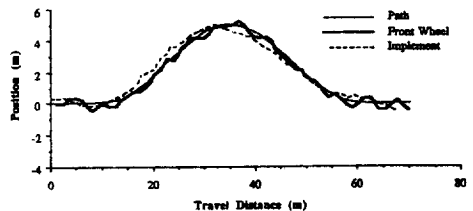


Fig. 10. Tractor movement, with one AGNAV, when following a sinusoidal path with a 5m amplitude and a 50m period

Table 2. Mean and standard deviation of absolute maximum error (Max) and RMS error when following a sinusoidal path with 5m amplitude and 50m period. Values represented are the average of four replications

Method	Implement		Front Wheel	
	Max	RMS	Max	RMS
	cm	cm	cm	cm
Tape Measurement				
Mean	78.3	34.8		
Std. Dev.	10.2	6.1		
Computer Reading				
Mean	90.2	40.8	84.6	27.6
Std. Dev.	9.0	1.7	24.4	6.9
Computer Simulation ^a				
Mean	84.9	32.7	90.9	33.5
Std. Dev.	8.8	0.9	7.6	1.8

^a Program simulated position-measurement error of 50 cm.

그림 11은 높이가 5m인 계단형 경로에 접근하는 트랙터 앞바퀴의 움직임을 보여주고 있다. 실험 결과에 의하면 앞바퀴의 위치측정만으로는 만족한 결과를 얻을 수 없으므로 트랙터의 中心軸 각도는 계산하는 대신 센서를 사용하여 測定되어야 한다. 위치측정 오차를 포함한 시뮬레이션의 결과는 실제 포장실험의 결과와 類似한 결과를 보여 주고 있으며 RMS 위치오차는 최대 위치오차의 약 折半정도 였으며, 70% 이상의 測定地點에서는 위치오차가 시뮬레이션된 위치 측정장치의 측정오차보다 작은 결과를 보여 주었다. 위치 측정장치의 측정오차가 5cm以内로 維持될 때 컴퓨터 시뮬레이션에 의하여 豫測된 작업기의 RMS 위치오차는 직선 경로에서는 3.6cm로, 싸인곡선형 경로에서는 5.7cm로 각각 나타났다. 그러므로 자동 주향장치

의 만족한 性能을 얻기 위하여서 位置 측정장치의 誤差는 5cm 이내로 제한 되어야 한다.

4. 要約 및 結論

位置 측정장치를 이용한 트랙터의 自動 走行裝置는 포장에서 트랙터의 현재 위치를 측정하고 미리 豫定된 주행위치와 比較하여 豫정된 方向으로 走行할 수 있도록 개발되었다. 제어 알고리즘은 현재의 位置誤差보다는 다음 측정위치에서 豫상되는 위치오차, 앞바퀴의 각도, 트랙터의 中心軸과 豫정된 주행방향의 曲線 기울기가 이루는 주행방향 角度差를 고려하여 앞바퀴와 작업기의 位置誤差를 줄일 수 있도록 앞바퀴의 조정 각도를 결정하였다. 알고리즘은 앞바퀴의 回轉 각속도와 트랙터의 주행 速度는 일정하며 측방향의 미끄럼 현상은 없다는 假定아래 개발되었다.

컴퓨터 시뮬레이션의 결과에 의하면 위치측정간의 距離는 자동 주향장치의 制御에 중요한 요소로 작용한다. 위치측정간의 거리가 20cm 이하일 때 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 作業機의 RMS 위치오차는 5cm 이내로 維持되었다. 급격히 變化되는 곡선에 빨리 接近하기 위하여서는 조향율의 增加가 요구되나 위치측정간

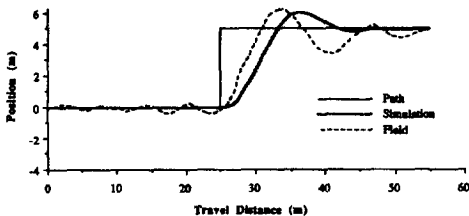


Fig. 11. Tractor front wheel movement, with one AG-NAV, when following a 5m step path

의 거리를 減少시키지 않으면 트랙터는 안정성을 잃고 搖動하게 된다. 自動 주행장치는 트랙터의 앞바퀴와 작업기의 位置測定을 위하여 2조의 AGNAV 시스템을 사용하도록 설계되었으나 시스템간에 발생하는 電波의 간섭때문에 1조의 AGNAV 시스템을 사용하여 포장에서 실험되었다. AGNAV 시스템을 이용하여 앞바퀴의 위치는 약 0.5초마다 측정되었으며 시스템의 위치측정 誤差는 약 50cm로 나타났다. 트랙터의 앞바퀴는 92%의 測定地點에서, 작업기는 75%의 측정지점에서 50cm 以內의 위치오차를 유지하였다. 트랙터의 주행속도가 增加되면 적절한 位置測定간의 거리를 유지하기 위하여 시스템에 所要되는 시간을 減少시켜야 한다.

自動 주행장치의 만족한 性能을 얻기 위하여서는 트랙터의 주행위치와 中心軸 각도의 精確한 測定과 신속한 자료의 處理가 필요하다. 앞바퀴의 회전 각속도를 變數로 하는 制御 알고리즘은 시스템의 安定性을 높이는데 도움이 될 것이다. 트랙터의 중심축 角度나 작업기의 位置는 계산하는 대신 센서를 사용하여 측정되어야 하며 위치 측정장치의 측정오차는 5cm이내로 제한되어야 한다. 여러대의 마이크로 컴퓨터로 電算網을 구성하여 트랙터 주행위치의 측정, 앞바퀴 조정각도의 결정, 조향장치의 조작이 同時에 이루어지면 자료의 處理速度를 증가시킬 수 있다.

參 考 文 獻

1. 鄭昌柱, 金成玉, 金水成. 1988. 콤파인의 自動制御에 관한 연구(1) -- 自脫型 콤파인의 走行方向 制御. 農業機械學會誌 13(2) : 38-45.
2. 최창현. 1988. 농업용 차량의 조향장치 자동화. 農業機械學會誌 13(4) : 56-58, 63.
3. Bonicelli, B. and M. O. Monod. 1987. A self-propelled plowing robot. ASAE Paper No. 87-1064.
4. Choi, C. H. 1988. Automatic guidance system for farm tractor. Unpublished Ph. D. dissertation. Library, Iowa State University, Iowa.
5. Julian, A. P. 1971. Design and performance of a steering control system for agricultural tractors. J. Agric. Engng. Res. 16(3) : 324-336.
6. Owen, G. M. 1982. A tractor handling study. Vehicle System Dynamics 11 : 215-240.
7. Schafer, R. L., R. E. Young, J. G. Hendrick and C. E. Johnson. 1981. Control concepts for tillage systems. ASAE Paper No. 81-1610.
8. Shmulevich, I., G. Zeltzer and A. Brunfeld. 1987. Guidance system for field machinery using laser scanning method. ASAE Paper No. 87-1558.
9. Smith, L. A., R. L. Schafer and R. E. Young. 1985. Control algorithms for tractor-implement guidance. TRANSACTIONS of the ASAE. 28(2) : 415-419.
10. Wagner, L. E. and M. D. Schrock. 1986. Field experiences with LORAN-C positioning agricultural machinery. ASAE Paper No. MCR 86-113.
11. Wong, J. Y. 1978. Theory of ground vehicles. John Wiley and Sons, Inc., New York.
12. Young, S. C., C. E. Johnson and R. L. Schafer. 1983. A vehicle guidance controller. TRANSACTIONS of the ASAE 26(5) : 1340-1345.