

콤바인의 자동제어에 관한 연구(I)⁺
—自脱型 콤바인의 走行方向制御—

Automatic Control of the Combine(I)
—Automatic guidance control of the head-feed combine—

정 창 주*, 김 성 옥*, 김 수 성**
Chang-Joo Chung, Seong-Ok Kim, Soo-Sung Kim

Summary

This study was intended to develop the system automatically controlling travel direction of combine by means of sensing paddy rows.

The control system was composed of three detecting levers having different length, micro-switch, microcomputer and electro-hydraulic control system. Sensor and control system developed was tested to estimate optimum design values and its actual performance as installed in combine. The computer simulation and performance test at simulated and actual field were conducted to test for possibility of practical use.

The results of the study are summarized as follows:

1. The travel traces of combine having the conventional sensor with 2 levers and the new sensor detecting the slope of paddy rows were compared through computer simulation. Turning frequency of combine having new sensor was fewer than that of conventional sensor, but the rate of turning for the combine with new sensor was much greater than that of conventional sensor.
2. As sensor was established behind the tip of divider, the sensor itself well followed paddy rows but the tip of divider did not, resulting in divider being deviated from paddy rows. It was analyzed that the sensor should be attached closer to the tip of divider to have a better performance of the control system.
3. The greater the length of sensor lever for given location of sensor attachment and combine forward speed, the higher sensitivity of turning in control system. Moreover, increasing combine speed resulted in a worse performance of control system following paddy rows. Consequently, it was necessary that an optimum length of sensor attachment and for the range of combine operational speed.
4. Field test of combine installed with the sensor and electro-hydraulic system developed in this study showed that it may be operated smoothly and well behaved to paddy rows to 4th gear of combine speed which was 59cm/s. Consequently, it was concluded that the

*本 연구는 한국학술진흥재단 87년도 학술연구조성비의 지원에 의하여 수행되었음.

*서울대학교 농과대학

**대동공업주식회사

combine with the guidance control system developed in this study may be successfully used for paddy combining.

1. 結 論

최근 콤바인에는 運轉者의 疲勞輕減과 安全確保를 위하여, 또한 콤바인 作業性能의 向上을 기하기 위하여 電氣 油壓式이나 마이크로 컴퓨터 方式의 自動 制御裝置와 警報裝置가 設置되어 있다. 특히 移秧機에 의해 植付된 벼를 收穫할 경우 벼열이 不規則的으로 굽어져 있는 경우가 많아서 運轉者는 刈取幅을 일정하게 維持하면서 벼 줄을 따라서 刈取되지 않는 부분이 없도록, 운전하지 않으면 안되기 때문에 操向操作이 頻繁해지게 된다. 따라서 刈取할 부분의 位置와 範圍를 精確하게 感知, 判斷하여 콤바인의 進行方向을 자동 제어하는 裝置의 必要性이 대두되어 여러 形態의 制御裝置가 實用化되고 있는 實情이다. 實用化 되고 있는 센서는 한 줄, 또는 두 줄의 벼열을 基準으로 삼아 작동되도록 하는 것이 있고 이것의 갯수도 1個 또는 2個를 사용하며 크기 또한 多樣하다. 이러한 方向制御裝置는 주행 속도의 증가에 따른 追從性能과 旋回頻度에 의해서 性能評價가 이루어지고 있다. 콤바인 作業에서 주행 속도의 증가에는 限界性이 있으며 또한 既存 方向制御裝置들의 性能도 適正 作業 速度에서 만족할만한 追從性能을 보이고 있으나, 잦은 旋回頻度 및 旋回強度에 따른 영향을 줄여보기 위한 研究의 必要性이 대두되고 있다.

따라서 本 研究에서는 方向制御裝置의 性能에 至대한 영향을 미친다고 볼 수 있는 센서부의 변화에 따른 性能評價를 目的으로 既存의 센서가 벼 한 포기나 센서와의 거리를 感知하여 判斷했던 것과는 달리 이미 지나간 벼 포기와의 거리도 記憶하여 벼열의 기울기를 檢出, 필요한 時期에만 方向을 調節하도록 하는 裝置를 開發하고 이 制御裝置의 性能을 評價하고자 하였다. 本 研究의 目的을 더욱 구체적으로 나타내면

1) 從來의 시스템에서와 같이 불필요하게 자주 旋回함에 의하여 나타나는 旋回頻度を 줄이기 위한 제어 시스템을 開發하며,

2) 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 既存 센서와 試作 센서와의 旋回頻度を 評價하며,

3) 試作 方向制御裝置의 센서部 變化에 따른 性能을 評價하고 圃場實驗을 통하여 實用化 可能性을 提示하는데 있다.

2. 自動方向制御裝置의 設計

가. 電氣·油壓裝置

1) 電氣·油壓回路

센서로부터 받은 入力信號를 平滑시키고 理論判斷을 행한 후 솔레노이드操作 油壓밸브(Solenoid operated hydraulic valve)를 驅動시키는 電氣回路를 그림 1에, 本 실험에 사용된 油壓裝置回路를 그림 2에 나타내었다.

시작 自動方向制御裝置의 작동은 다음과 같다. 센서는 양쪽 벼열과의 거리를 感知하여 이를 電氣信號로 바꾸게 되는데, 이 入力檢出信號는 平滑 回路를 거쳐 컴퓨터에서 論理判斷作用을 거치도록 하였다. 判斷作用 결과 旋回할 필요가 있다고 判斷되었을 때 Z80 PIO port B를 통해서 右旋回일 경우 PB0로, 左旋回일 경우 PB1으로 出力信號가 보내지게 된다. 이 信號는 솔레노이드操作 油壓밸브의 電磁石을 勵磁시키도록 하였다. 勵磁된 쪽으로 油路가 形成되고 油壓 실린더의 피스톤이 밀리게 되어 클러치와이어를 잡아당겨 주게 된다. 이렇게 되면 처음에는 클러치가 끊어져 動力이 切斷되고 그 후엔 브레이크가 작동되어 콤바인은 旋回하게 된다. 旋回量의 限界는 센서의 가장 긴 感知 레버가 벼열에서 벗어날 때 까지로 프로그램 상에서 고정시켰다.

센서에서 入力된 데이터를 基礎로 벼열의 기울기를 檢出하는 方法은 다음과 같다. 즉 센서로부터 데이터를 받게되면 제일 먼저 TM(새로운 자료)으로 저장되고 TM값 이전에 받은 데이터인 TD(남은 자료)와 TD 이전에 받은 YE(더 남은 자료) 등 3개의 데이터를 서로 比較하여 디바이더가 벼열에 가까워지고 있는가 그렇지 않은가를 判斷하게 된다. 이러한 論理 判斷의 경우는 표 1에 나타낸 센서에서, 1) 벼가 레버에 닿지 않는 경우, 2) C 또는 C' 레버에 닿는 경우, 3) BC 또는 BC' 레버에 닿는 경우, 4)

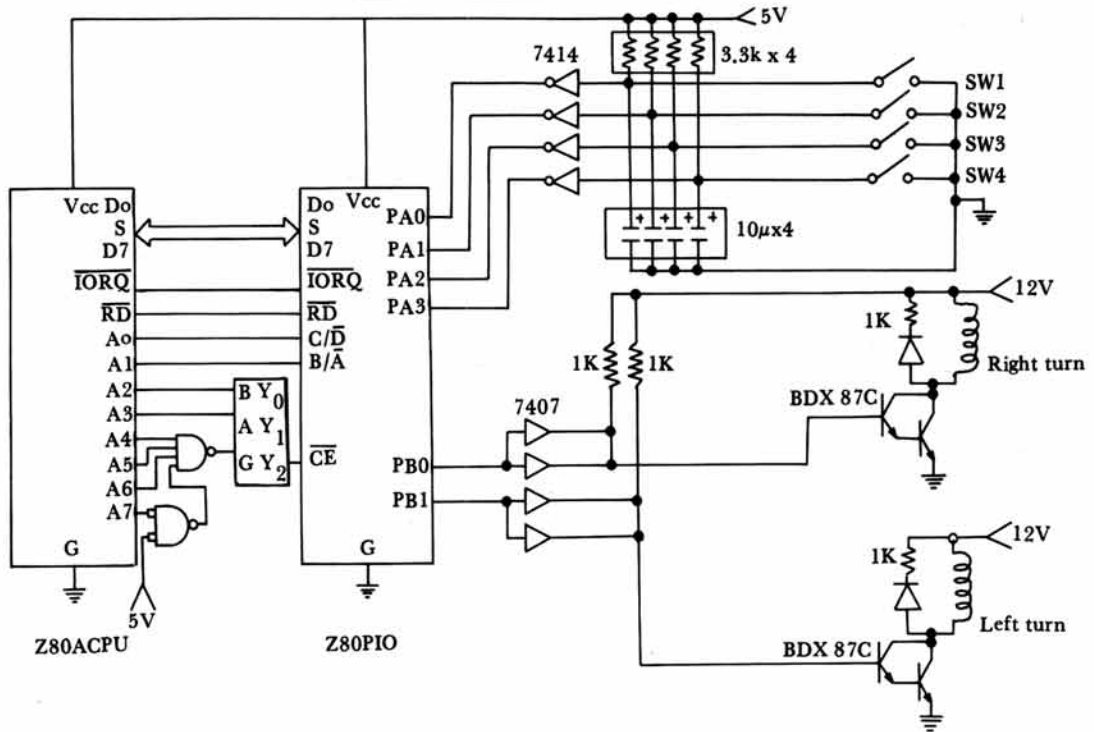


Fig. 1. Electric circuit used for automatic guidance control.

Table 1. Relationship between input data and output for automatic guidance control.

TM	TD	YE	Solenoid operated hydraulic valve	
			Right	Left
1	BC	C'	BC	ON OFF
2	BC	C	-	ON OFF
3	BC	BC	-	ON OFF
4	ABC	-	-	ON OFF
5	BC'	C	BC'	OFF ON
6	BC'	C'	-	OFF ON
7	BC'	BC'	-	OFF ON
8	ABC'	-	-	OFF ON
9	C	BC	-	OFF OFF

TM → New data A ⊕ A
 TD → Old data B ⊕ B
 YE → Very old data C ⊕ C'

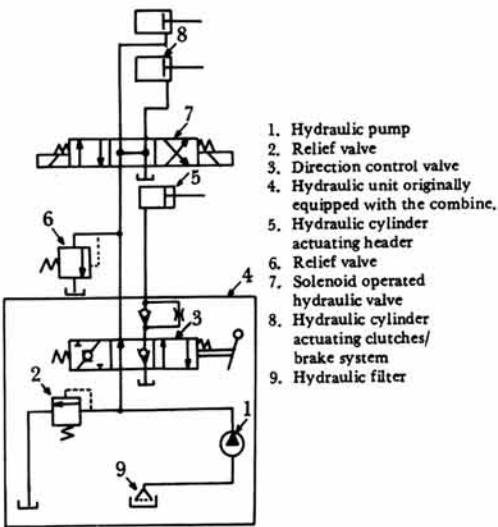


Fig. 2. Hydraulic circuit designed for automatic guidance control.

ABC 또는 ABC' 레버에 닿는 경우 등을 서로 조합한 총 64가지이다.

그 중에서 旋回出力信號를 내보내는 경우는 8가지로 要約할 수 있다. 表1은 벼열의 기울기를 判

斷하여 旋回出力信號를 보내는 8가지 경우를 나타낸 것으로, 2의 경우는 맨 처음 벼가 어느 레버에 닿았는가는 無關하지만, 그 다음 벼가 제일 긴 왼쪽 레버에 닿고, 그 다음 벼가 중간 크기의 왼쪽 레버에 닿은 경우이다. 이것은 벼의 열이 기울기를 가지고 디바이더에 점점 가까워지고 있다는 것을 나타

낸다. 따라서, 이럴 경우에는 右回轉 出力을 내보내야 한다. 9의 경우는 TD가 BC이고 TM이 C이므로 디바이더가 벼열에서 점점 벗어나고 있다는 것을 나타낸다. 따라서, 이럴 경우에는 슬레노이드 조작 油壓밸브에 旋回出力信號를 보내지 않게 된다.

2) 油壓裝置

方向制御 시스템을 驅動시키기 위해서 3-位置, 4-通路 슬레노이드 조작 油壓밸브를 사용하여 開中心 回路(Open-center circuit)를 構成하였으며, 本 研究에서 사용된 펌프가 適正作業速度에서 油量이 6.4 l/min인 점을 考慮하여 定格油量이 7.3 l/min인 슬레노이드 조작 油壓밸브를 選擇하였으며, 클러치와이어를 작동시키기 위해서 직경이 20mm인 2개의 油壓 실린더를 사용하였다.

電氣·油壓 裝置의 全體의인 時間 遲延量은 操向 動作을 基準으로 센서 入力이 있을 경우(Ton)와 끊어질 경우(Toff)로 나누어 생각할 수 있다.

遲延時間은 函數 發生器와 周波數 카운터 3개를 이용하여 測定하였던 바 입력의 경우 Ton=435ms, 끊어질 경우 Toff=58ms이었다.

나. 센서 設計

方向制御裝置에 있어서 센서의 形態나 크기에 따라 제어 시스템의 動作이 달라진다. 入力檢出센서의 形態로는 感知레버나 캠(Cam) 모양의 接觸型과 超音波와 光電子를 이용한 비접촉형이 있으나, 本 研究에서는 經濟性이나 作動的 信賴性, 單純性등의 長點을 고려하여 既存의 接觸型 센서를 채택하였다. 進行方向에 대한 벼열의 기울기를 感知할 수 있는, 크기가 서로 다른 3개의 感知레버와 마이크로 스위치를 組合시킨 센서를 제작하였다.

進行方向에 대한 벼열의 기울기를 감지하기 위해서는 감지레버의 길이와 센서 設置位置가 適正值로 設計되어야 한다. 센서와 벼 포기와의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$h_1 = h - w \dots\dots\dots (1)$$

$$h_1 = 2l_y + z \dots\dots\dots (2)$$

여기서 h = 條間 거리, cm

h_1 = 벼포기 분얼폭(w)을 제외한 實際條間 거리, cm

l_y = 方向 轉換用 센서 길이, cm

z = 不感帶幅(Dead zone, $z_1 + z_2$), cm

센서 레버의 臨界 길이와 設置位置를 구하기 위해서는 센서와 벼열과의 幾何學的 關係와 遲延時間이 고려되어야 한다. 디바이더 끝에서 l_x 만큼 떨어진 곳에 레버길이가 l_y 인 센서를 附着한 디바이더가 y/x 의 기울기를 가진 벼열에 進入하는 경우를 그림 3에 나타냈다. 이 그림에서 센서 感知레버가 벼열에 닿는 순간, 디바이더의 선단이 벼열에 침범하지 않도록 하려면 다음 관계가 성립되어야 한다.

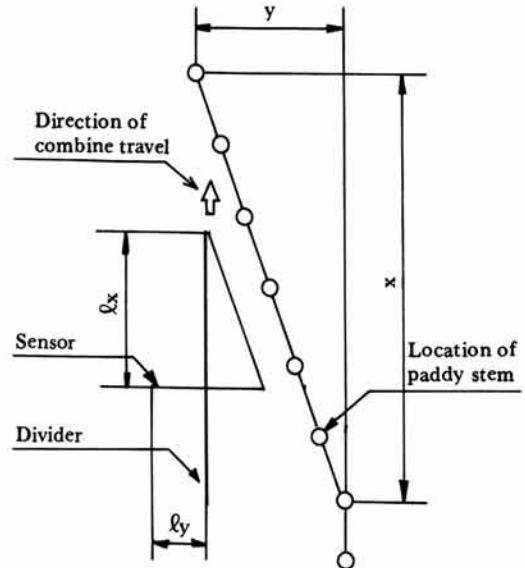


Fig. 3. Relationship between the sensor and paddy row.

$$l_y > (y/x) (l_x + v \cdot t) \dots\dots\dots (3)$$

여기서 y/x = 벼열의 기울기

l_x = 디바이더 끝에서 센서 設置位置까지의 거리, cm

v = 走行 速度, cm/sec

t = 反應 遲延 時間, sec

콤바인의 進行方向에 대한 벼열의 기울기는 模擬 벼열을 基礎로 하여 本 研究에서는 $y/x=8/84$ 로 設定하였다. 그림 4에는 式(3)을 만족시키는 相異한 센서 設置位置와 遲延時間에 대한 臨界센서 길이(Critical sensor length)를 나타낸 것이다. 센서는 벼 포기의 收縮性이나 缺株 등이 있는 경우를 勘案하여 設計式에 의한 센서길이보다 약간 길게 제작함으로써 安全性을 기할 필요가 있다. 本 研究에서 設計·製作한 試作 센서를 그림 5에 나타내었다.

3. 컴퓨터 시뮬레이션

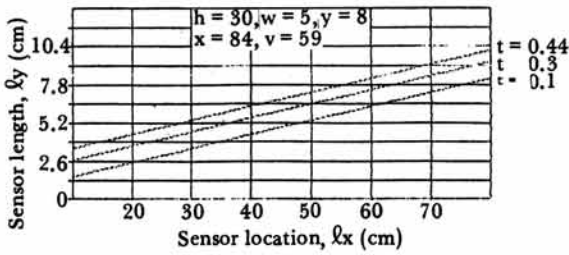


Fig. 4. Critical sensor length and location.

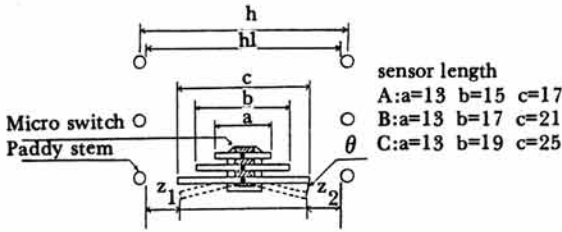


Fig. 5. Design of AGC Sensor.

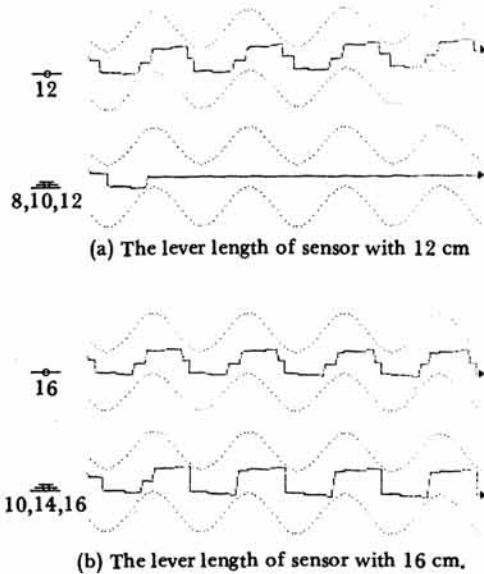


Fig. 6. Comparison of the simulated locus of the combine equipped with the conventional (the upper figures) and the newly developed sensor (the lower ones).

本 研究에서 設計한 센서의 旋回頻度 評價를 위해서 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다. 흔히 사용되고 있는 단일 감지 레버에 2개의 마이크로 스위치를 附着한 既存의 센서를 새로이 設計한 센서와 비교하였다.

시뮬레이션의 條件은, 1) 模擬 벼열의 株間거리

는 14cm, 條間거리는 30cm로 하였으며, 2) 模擬 벼열은 振幅이 8cm, 波長이 120cm, 총 길이 500cm로 正弦波形으로 가정하였으며, 3) 時間遲延과 슬립에 의한 영향은 無視하였다.

시뮬레이션은 IBM PC-XT를 사용하였다. 그림 6에는 디바이더 先端의 走行軌跡에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 結果를 나타낸 것이다. 그림에서 (a)는 센서의 한쪽 레버 길이가 6cm일 때로서, 既存의 센서는 왼쪽으로 8번, 오른쪽으로 8번 旋回한 반면에 같은 水準의 試作 센서는 오른쪽으로 1번, 왼쪽으로 1번 旋回한 것을 알 수 있다. 또한 센서의 한쪽 레버 길이가 8cm인 (b)의 경우에 있어서도 既存의 센서는 같은 水準의 試作 센서보다 旋回動作 횟수가 훨씬 줄어든 것으로 나타났다. 즉 旋回頻度 면에서 試作센서가 既存의 센서보다 旋回 횟수가 적었으나, 旋回時 旋回量은 큰 것으로 나타났다.

4. 實驗裝置 및 方法

가. 供試 콤바인

本 研究에 사용된 供試 콤바인은 2조 刈取型이며, 左旋回 方式으로 운전되는 D社 製品이다. 이 콤바인의 走行 變速段數는 前進 6段(最大 作業段數 5段), 後進 1段이며 操向裝置는 일반적으로 많이 사용되고 있는 클러치/브레이크方式이다.

나. 實驗 方法

1) 模擬圃場 性能實驗

제어 시스템의 性能에 영향을 미칠 수 있는 要因으로는 1) 入力되는 벼열의 振幅이나 株間, 條間, 2) 센서의 形態나 設置位置, 3) 센서의 有效接觸에 의한 不感帶幅(Dead zone), 4) 電氣, 油壓裝置 遲延時間(Delay time), 5) 進入角度, 6) 走行速度, 7) 土壤條件 등이 考慮될 수 있다. 本 實驗에서는 여러 變數중에서 영향을 미치는 정도가 크다고 생각되는 變數인 走行速度를 5수준, 센서 길이를 3수준, 센서 設置位置를 3수준으로 설정하였다.

손으로 심은 벼열에 비해 機械移秧된 벼열은 상대적으로 不規則한 편이다. 機械移秧된 벼의 排列狀의 變動을 測定한 바에 의하면 약 80% 정도가 基準線에서 ± 6 cm 이내에 있었으며 또한 正弦波形

형태를 나타내고 있다는 것을 알 수 있었다. 따라서 本 實驗에서는 이 경우보다 변화가 약간 심한 경우를 考慮하여 基準線에서 最大振幅이 ± 8 cm 떨어져지고, 벼열의 기울기가 0.095인 模擬벼열을 제작하였다. 또한 콤바인의 走行性能에는 토양 조건이 영향을 줄 수 있으므로 實驗值의 均一성을 고려하여 沈下가 적고 反復走行에 따른 破壞程度가 적은 土壤을 選擇하였다. 模擬벼열의 제작 방법은 직경이 5 cm인 鐵製 파이프를 10cm의 길이로 잘라 株間을 14 cm, 條間을 30cm로 正弦波形을 이루도록 토양속에 박고, 거기에 벼줄기를 꽂아서 마치 실제로 포장에서 자란 벼와 같이 만들었다.

또한 콤바인의 실제 走行軌跡은 디바이더 (Divider) 先端部에서 파이프를 통하여 石灰를 적당히 흘려내려 나타내었다.

2) 圃場 性能實驗

圃場性能實驗이 실시된 圃場의 土壤條件은 粘着力(Cohesion)이 0.518kg/cm^2 이고 摩擦角이 59.8° 인 비교적 砂質性이 강한 토양이었다. 실험에 사용된 벼열은 不規則性이 심하고, 缺株된 벼가 있는 곳을 선택하였다.

圃場性能을 評價하기 위한 實驗方法은 模擬圃場性能實驗에서와 같이 주어진 벼열과 制御된 콤바인의 走行軌跡을 측정하였다. 콤바인의 走行軌跡은 1段과 4段의 두 수준의 走行速度에서 측정되었다.

5. 結果 및 考察

가. 模擬圃場 性能實驗

方向制御裝置의 性能을 評價하기 위해 模擬圃場에서 走行實驗을 행하였다. 走行性能實驗에 적용된 디바이더 先端에 대한 센서의 位置와 센서 種類, 콤바인의 走行速度는 표 2와 같다.

그림 7의 (a)에는 센서의 位置가 디바이더 先端에서 5.0cm 떨어져 있을 경우에 A, B, C의 세가지 센서(그림 5 참조)와 1-4段의 콤바인 走行速度에 대한 콤바인의 走行軌跡을 나타내었다. 走行速度의 增加에 따라 센서 B, C(실험번호 5-7)는 走行軌跡에 混亂을 가져왔다. 이것은 센서 레버가 센서 位置에 대해서 適切하지 못하고 길기 때문에 走行速度에 따른 旋回 維持時間이 길어지게 되고, 또한 이에 比例하여 旋回角이 커지기 때문이라고 판단되었다. 센서 A를 사용한 경우에는 실험번호 1-4에서 나타난 바와 같이 走行速度의 증가에 따라 콤바인의 走行軌跡이 벼열에 잘 追從하였으므로 센서의 레버 길이와 旋回 維持時間이 適切한 것으로 인정할 수 있다.

센서를 디바이더 先端部에서 뒤쪽으로 25.5cm 떨어진 곳에 설치할 경우, 센서 A(실험번호 14)는 走行速度의 增加에 그 追從性이 따르지 못했으나 센서 B, C(실험번호 15-19)는 走行速度 2段까지는 追從하였지만 走行狀態는 不安定하였다. 이와 같은 현상은 單位時間當 旋回量이 센서 設置點과 디바이더 先端部에서 다르게 되므로 센서 自體는 잘 追從할

Table 2. Experimental conditions to test the performance of combine equipped with newly developed automatic guidance system.

Test No.	Location of sensor from the tip of divider, cm	Kinds of Sensor*1	Traveling Speed cm/sec	Test No.	Location of sensor from the tip of divider, cm	Kinds of sensor	Traveling Speed cm/sec
1	5.0	A	25 (1 gear)	11	8.5	B	25
2	5.0	A	38 (2 gear)	12	8.5	B	38
3	5.0	A	49 (3 gear)	13	8.5	C	25
4	5.0	A	59 (4 gear)	14	25.5	A	25
5	5.0	B	25	15	25.5	B	25
6	5.0	B	38	16	25.5	B	38
7	5.0	C	25	17	25.5	B	49
8	8.5	A	25	18	25.5	C	25
9	8.5	A	38	19	25.5	C	38
10	8.5	A	49				

*1 : Refer to Fig. 5 for identifying the kinds of sensors A, B and C.

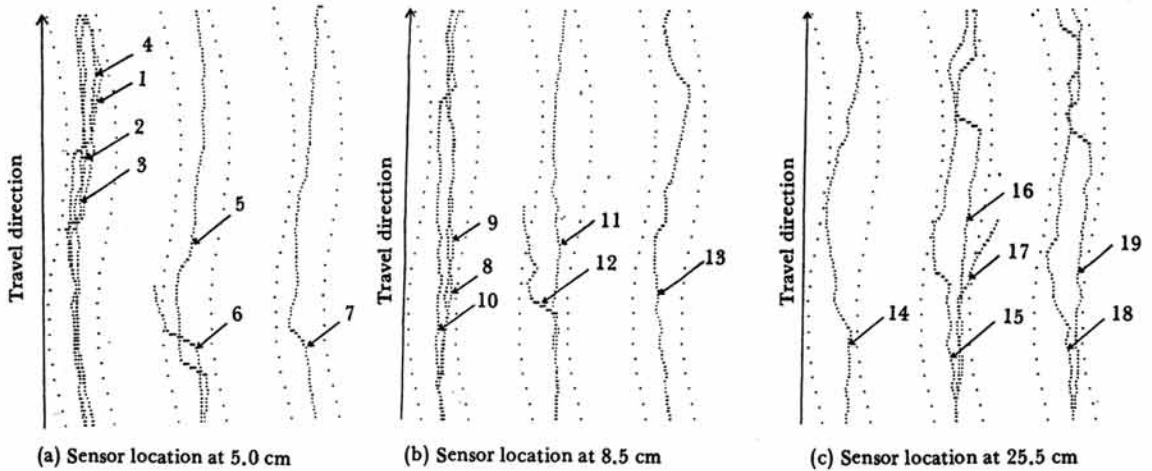


Fig. 7. Traveling traces measured of automatically steered combine as operated in the simulated paddy rows.

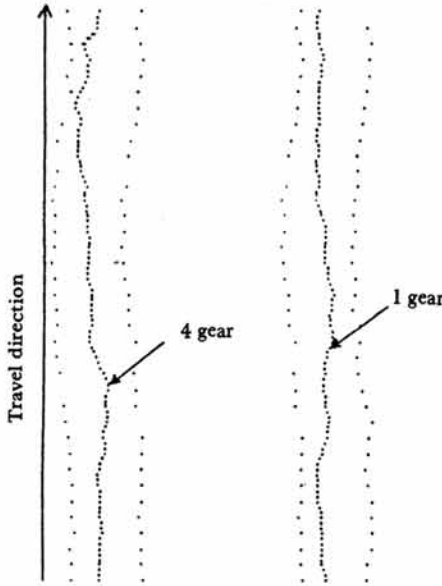


Fig. 8. Transplanted row and the traces of combine travel as tested using the newly designed automatic control system.

수 있음에도 불구하고 디바이더 先端의 軌跡이 混亂해지게 되어 결과적으로 디바이더가 센서의 벼열 感知를 妨害하는 것으로 판단되었다.

나. 圃場 性能實驗

試作 方向制御裝置의 實用化 可能性을 提示하기 위해 性能實驗 結果 가장 좋다고 判斷된 센서 A 를

使用하여 實際 圃場에서 走行實驗을 行하였다.

供試된 콤바인의 實際圃場 走行性能에 대한 實驗 結果를 그림 8에 나타내었다. 이 그림에서 볼 수 있듯이, 콤바인의 走行軌跡은 벼열 사이에서 所望의 走行을 하고 있으며, 走行速度를 1段에서 4段으로 증가시켜도 벼열에 대한 追從性이 良好함을 알 수 있었다.

6. 要約 및 結論

本 研究는 벼의 排列을 感知하여 自轉형 콤바인의 走行方向을 自動制御하는 裝置를 開發하는 데 있었다. 센서는 감지레버와 마이크로 스위치를 조합하여 제작하였으며, 센서에서의 入力信號는 마이크로 컴퓨터를 통하여 電氣·油壓裝置를 驅動토록 하였다. 設計·製作된 센서와 制御裝置는 컴퓨터 시뮬레이션, 模擬圃場 性能實驗, 圃場 性能實驗을 거쳐 適正 設計值, 그 性能과 實用性을 評價하였다.

研究 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 既存의 2個 레버를 가진 센서와 試作 센서를 設置한 콤바인의 走行軌跡을 比較하였던 바 試作 센서의 旋回頻度가 既存 센서보다 적게 나타난 반면 旋回時의 旋回量은 큰 것으로 나타났다.

2. 走行實驗 結果 센서 設置位置가 디바이더 先端部에서 後方으로 갈수록 追從性이 좋지 못하였으므로 追從性能을 향상시키기 위해서는 디바이더 先

端到 대한 센서의 設置位置를 적당히 유지할 필요가 있다고 판단되었다.

3. 센서의 設置位置, 走行速度가 같을 경우 센서 레버 길이가 길수록 旋回作用이 敏感하게 나타났으며 走行速度가 增加할수록 콤바인의 追從성이 좋지 못하였으므로 센서의 設計에서는 臨界 길이와 安全性을 考慮하여 適切な 레버 길이를 選擇할 필요가 있는 것으로 판단되었다.

4. 本 研究에서 設計 製作한 센서와 電氣 油壓 裝置는 圃場 走行實驗에서 走行速度 4段까지는 緩慢한 旋回動作이 일어났으며, 또한 追從性도 좋게 나타났으므로 走行方向 制御裝置로 實用化 할 수 있을 것으로 판단되었다.

參考文獻

1. C.H. Choi, Don C. Erbach. 1987. Automatic guidance system for agricultural

vehicle — A review. ASAE Mid — Central Meeting Paper.

2. Ikeda Y., Kawamura N. 1974. Studies of automatic steering system of combine. Journal of JSAM. 35(4):368-377.
3. Jozaki, H., Kitano M. 1979. Study on steerability of tracked vehicle on soft ground (Part 1) — Theoretical analysis—. Journal of JSAM. 40(4):509-515.
4. Kojima J., Ito N. 1978. A study on automatic control of head feeding type combine. The Bulletin of the faculty of Agriculture, Mie Univ. 57:85-114.
5. M.A. Grovum, G.C. Zoerb. 1970. An automatic guidance system for farm tractor. Trans. of ASAE. Vol. 13(5): 565-567.

▶ 原 稿 募 集 ◀

韓國農業機械學會誌에 揭載할 原稿를 아래와 같이 募集하오니 會員여러분의 많은 投稿 바랍니다.

아 래

- 原稿의 種類 : 投稿規定 第2項 參照
- 投 稿 要 令 : 投稿規定 參照 (改定內容은 當學會誌 (12卷 1號) 78~79P 參照)
- 原 稿 接 受 : 隨時接受 (단 9月號의 원고접수마감은 7月31日임)
- 送 付 處 : 京畿道 水原市 西屯洞 103番地

서울大學校 農科大學 農工學科內 韓國農業機械學會