

콤바인 HST 전자제어시스템 개발

— 제어특성 실외시험 —

서신원^{1*} · 허윤근¹ · 이제용² · 이창규³ · 배근수¹

¹충남대학교 생물산업기계전공, ²(주)미도테크 연구소, ³(주)LS엠트론 연구소

Development of HST electronic control system for combine (II) - Outdoor tests for control Characteristics -

Sin-Won Seo^{1*}, Yun-Kun Huh¹, Je-Yong Lee², Chang-Kyu Lee³, Keun-Soo Bae¹

¹Dept. of the Bioindustrial Machinery, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

²Dept. of the Research Institute, Mido Tech Ltd., 20-165, Gian-Dong, Taean-Eup, HwaSeong-si, Gyeonggi-Do, 445-310, Korea

³Dept. of the Research Institute, LSmtron Co. Ltd., 778, Yongam-ri, Bongdong-Eup, Wanje-Gun, Jeollabuk-Do, 565-904, Korea

Received on 5 January 2011, revised on 27 January 2011; accepted on 9 March 2011

Abstract : I/An electro-hydraulic transmission having advantages of convenience, safety, simple linking and high power, and an electronic control system were designed and fabricated. In this study, characteristics of the control system were investigated through outdoor tests for evaluation of installation of the system on a combine. Major findings were as followings. 1. Experiment for performance evaluation of the control system was conducted on concrete road. With steering lever in neutral position, driving HST swash plate and left/right wheel speed increased in proportion to driving lever angle. In case of steering control, steering swash plate angle changed in proportion to steering lever angle. This should cause increase in outer wheel speed, but it was observed that HST swash plate was controlled toward neutral to maintain the speed before steering. As a result, speed before steering was maintained despite the change in outer wheel speed by steering HST swash plate angle change. 2. It was observed that the HST system enabled steering with outer wheel maintained at constant speeds while inner wheel speed decreased, which was more stable than conventional mechanical links. In addition, for the selected 5 criteria, experiment showed satisfactory results and it was judged that installation on real vehicle would be feasible. 3. The control system showed response property of appropriate forward/reverse movement and left/right steering, without causing any problems during experiment on concrete. Result of response property experiment on field operation also showed appropriate control over forward/reverse movement and left/right steering

Key words : Electronic control system, HST(Hydro static transmission)

I. 서론

기계화 농업의 확산으로 자탈형 콤바인의 세계 시장 규모는 2008년도 기준 약 47억 달러에 달했으며, 2009년도에는 약 50억 달러에 달할 것으로 예상된다. 국가별 자탈형 콤바인 시장규모를 살펴보면 일본이 약 19억 달러, 중국이 약 16억 달러, 한국이 약 5억 달러, 기타 지역이 대략 10억 달러 수준이 예상되고 있다(Rural Development Adminis-

tration, 2009).

국내 자탈형 콤바인의 보편화, 대형화 및 자동화를 들 수 있는데, 수요패턴은 고성능과 고효율의 제품인 대형급 모델의 수요가 급격히 증가하고 있다. 현재 국내 자탈형 콤바인은 기계식 HST 제어방식의 복잡한 기구학적 링크구조로 인해 콤바인 제작 시 많은 시간과 인력이 투입되며, 고장 시 유지 보수의 어려움이 있다. 특히 국내와 같이 전업농의 고령화에 따른 콤바인의 구매 경향이 작업 편리성, 작업 효율 및 안전성, 정비성 등을 중시하는 경향으로 바뀌고 있는 점을 고려할 때, 기존 기계식 HST 제어방식의 단점

*Corresponding author: Tel: +82-42-361-1143

E-mail address: seosinwon@hanmail.net

을 보완하고, 포장의 적응성이 우수한 전자식 HST 제어방식의 대형 콤바인을 개발하여야 한다는 필요성이 대두되고 있다.

콤바인 등과 같은 노외작업차량에 채용된 HST에 대한 전자제어 방식의 적용은 마이크로컴퓨터 및 전자제어 기술의 비약적인 발전과 함께 국내외에서 개발 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이며, 외국의 선진 업체와의 기술격차를 극복하기 위한 핵심 기술이라고 할 수 있다. 특히 동력 전달 시스템을 기계식에서 HST방식으로 대체하는 기술은 콤바인뿐만 아니라 트랙터 등 타 분야에서도 활발한 연구 개발이 진행 중에 있으며, 이미 적용된 제품이 출시되고 있는 실정이다.

Kitano 등(1976)은 궤도차량의 조향성능을 설명하기 위하여 궤도와 지면과의 미끄러짐, 원심력을 고려하여 정상 조향 상태의 운동방정식을 유도하여 내측 궤도의 미끄럼 속도, 조향반경, 견인력 등을 고찰하였으며, 궤도차량이 직진주행에서 조향을 실시할 때의 과도상태 운동방정식을 구하였고 내측 및 외측궤도의 주속도를 입력변수로 하여 시간에 따른 조향 특성을 고찰하였다. 또한 여러 가지의 조향 입력 모드에 대하여 모형 궤도차량의 실험결과와 비교하였으며 고속주행의 조종성에 대한 선형 운동방정식을 구하고 선형화가 가능한 영역을 제시하였다.

본 연구에서는 대형 자탈형 콤바인의 개발에 있어, 작업자의 조작 편리성 및 안전성의 확보, 복잡한 기구학적 링크 구조의 단순화, 정비성 향상이 가능한 콤바인 HST 전자제어시스템을 개발하여, 시작기를 설계, 제작하고 실내 실험을 바탕으로 포장 성능실험 등을 통하여 연구·개발된 전자제어시스템의 양산 적용 가능성을 검토하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 공시 재료

본 연구 수행에 사용한 콤바인은 K사의 72kW급이며, Table 1에 주요 제원을 나타내었으며, 실험을 위해 사용된 공시기대는 Fig. 1에 나타내었다.

제어시스템은 입력 포트를 통해 각종 센서로부터의 신호를 읽어 들여 각종 연산처리를 수행한 후에 출력포트를 통해 제어신호를 출력하기 위한 마이크로컴퓨터와 마이크로컴퓨터의 제어신호에 의해 모터 및 솔레노이드밸브의 구

Table 1. Specification of prototype (Seo. 2010).

Item	Specification
Max output and rpm, kW / rpm	72 / 2600
Transmission	Hydraulic infinite
Number of gears	range × 3
Speed, m/s	Slow : 0.96 Standard : 1.65 Fast : 2.77
HST capacity, cc	37 × 2
Steering type	Mechanical link control
Max. weight, kg	4,580



Fig. 1. Photo of experiment on asphalt pavement.

동을 위한 구동회로 등의 전자회로의 하드웨어와 소프트웨어로 구성하였으며, 하드웨어는 전원 공급을 위한 전원회로, 센서신호의 검출을 위한 신호검출회로, 검출 센서신호의 입력, 제어 신호의 출력을 위한 입/출력 포트 및 각종 연산처리 등을 위한 마이크로컴퓨터 및 마이크로컴퓨터로부터의 제어 신호에 의해 DC 모터, 솔레노이드밸브의 제어를 위한 구동회로 등으로 구성하였다(Seo. 2010).

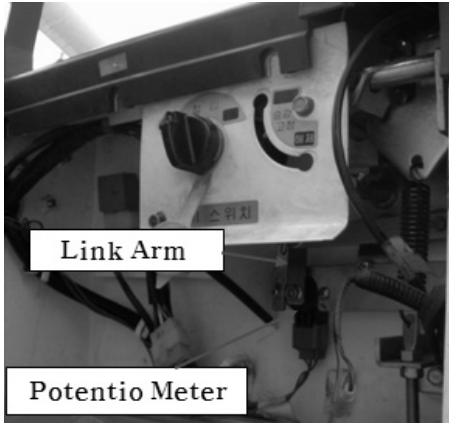


Fig. 2. Photo of steering lever.

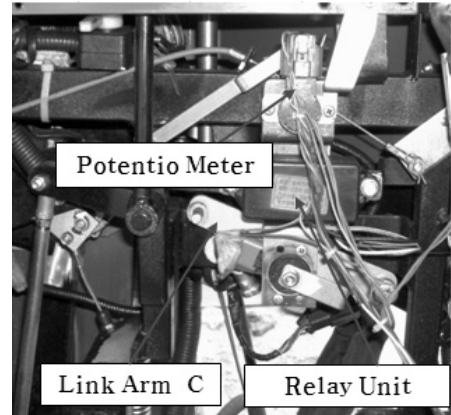


Fig. 3. Photo of range shift lever and main shift lever.



Fig. 4. Photo of notebook computer.

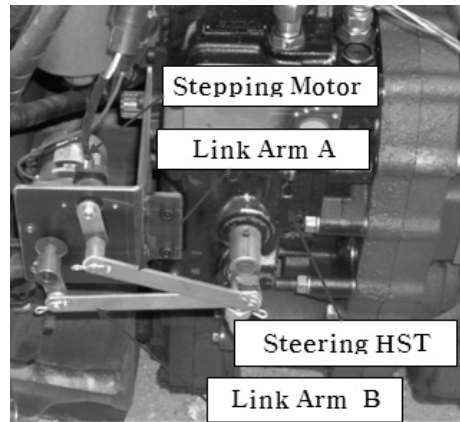


Fig. 5. Photo of swash plate link arm.

2. 실험 장치

본 실험을 위한 실험장치의 모습을 Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4, 및 Fig. 5에 보여주고 있으며, 실험 장치는 주행 및 조향용 HST의 사판각 측정을 위한 주행 및 조향 사판각 센서(포텐쇼메터), 조향각 측정을 위한 조향각센서(포텐쇼미터), 엔진 회전수 및 좌/우측 차륜의 속도 측정을 위한 차속센서(기어 및 마그네틱 픽업센서) 등으로 구성되었다. 실험 중의 각종 센서로부터의 신호는 A/D보드를 통해 노트북 컴퓨터로 읽어 들여 노트북 컴퓨터에 저장하였으며, 실험이 끝난 후에 데이터 처리를 실시하였다.

3. 실험 방법

실험은 콘크리트도로 상에서 엔진 회전수 2850 rpm, 2종류의 부 변속 단(표준, 고속)에서 1) 주행실험의 경우에는 주행레버 각을 전/후진에 대해 중립(0도)에서 5°, 10°, 15°,

2) 조향실험의 경우에는 조향레버 각을 좌/우회전에 대해 중립(0도)에서 5°, 10°, 15° 변화시키면서 차량의 주행 및 조향 제어 성능을 구명하였다. 실험 중의 각종 센서로부터의 신호는 A/D보드를 통해 읽어 들여 컴퓨터에 저장되어, 실험이 끝난 후에 데이터 처리가 수행되었다.

실 포장에서의 실험은 일반적인 콤바인의 수확 작업방법에 의해 수행되었으며, 또한 제어성능 등의 평가는 운전자의 감성적인 방법에 의해 이루어졌다. 5명의 인원이 반복적으로 수확 작업을 실시한 후 각각의 항목에 대한 평가표를 가지고 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 실외에서의 제어시스템의 응답 특성 실험

Fig. 6, Fig. 7에 전진 및 후진 시의 주행레버 각도의 변화에 따른 좌/우 차륜의 속도(회전수)를 나타내었다.

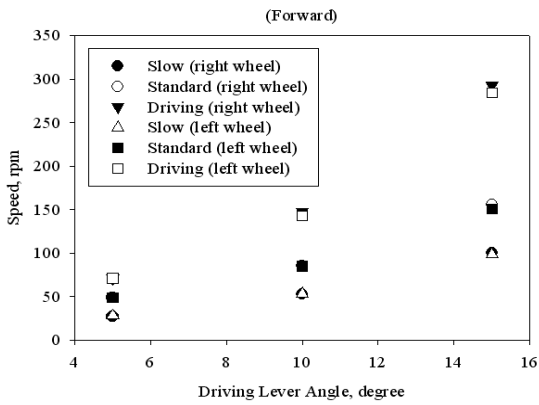


Fig. 6. Change in ground speed by driving lever angle.

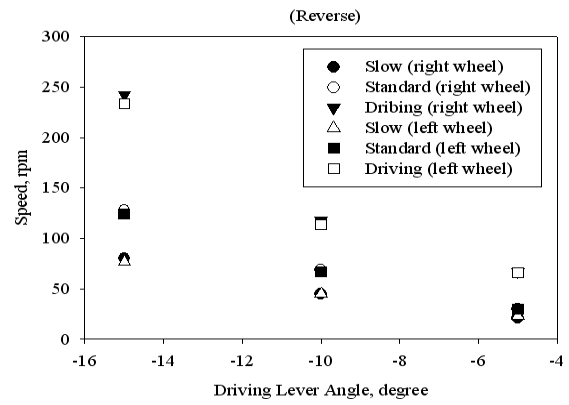
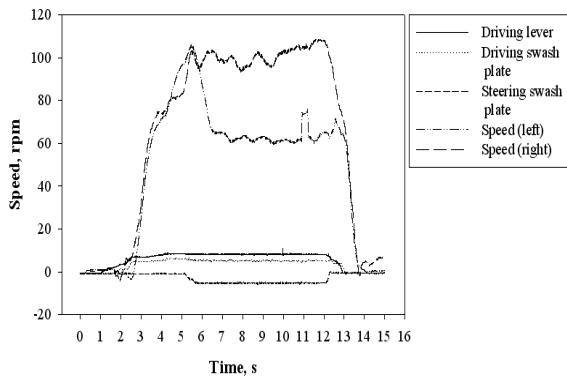
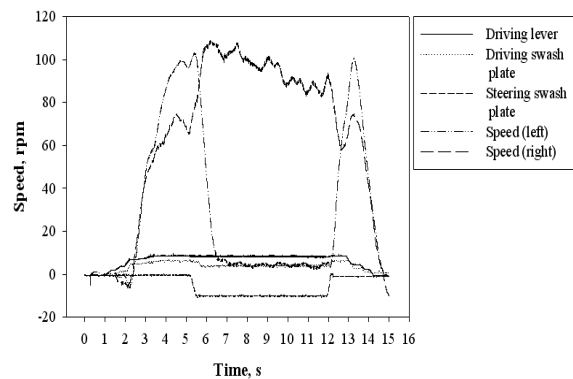


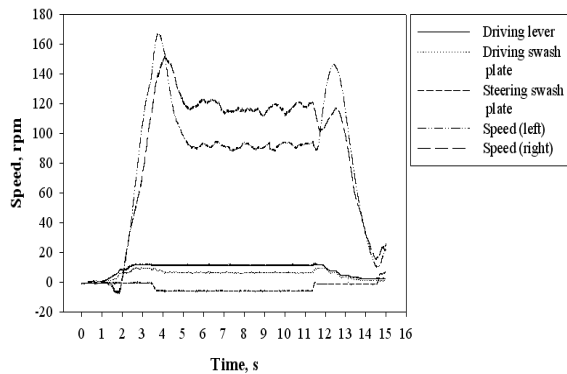
Fig. 7. Change in ground speed by driving lever angle (reverse).



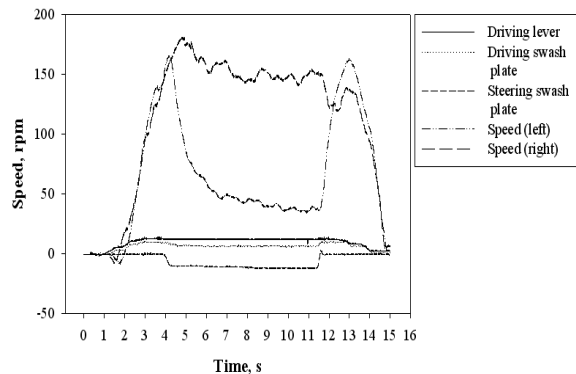
(a) Forward_high speed 5 degree-left 5 degree



(b) Forward_high speed 5 degree-left 10 degree



(c) Forward_high speed 10 degree-left 5 degree



(d) Forward_high speed 10 degree-left 10 degree

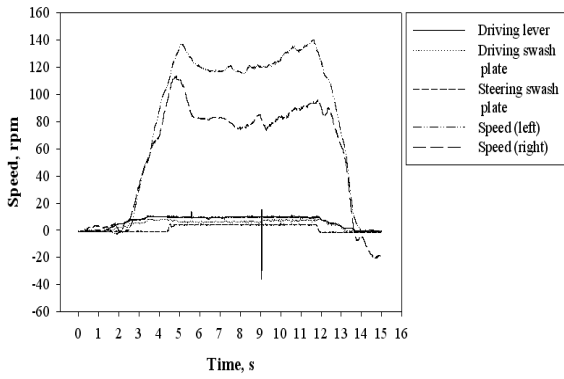
Fig. 8. Change in ground speed by steering lever angle (forward, left turn).

실험결과로부터 레버 각의 증가와 함께 좌/우 차륜의 속도 차 없이 차속이 증가하고 있으며, 전진 고속의 경우 5°, 10°, 15°에 대해 각각 약 71, 148, 282 rpm이었으며, 후진의 경우는 각각 68, 121, 247 rpm이었다. 후진의 경우에 전진 시의 속도 보다 약간 낮은 것이 관측되었으나, 이는 도로주행 중 후진 시의 부하 변동에 의한 것으로 판단되었다.

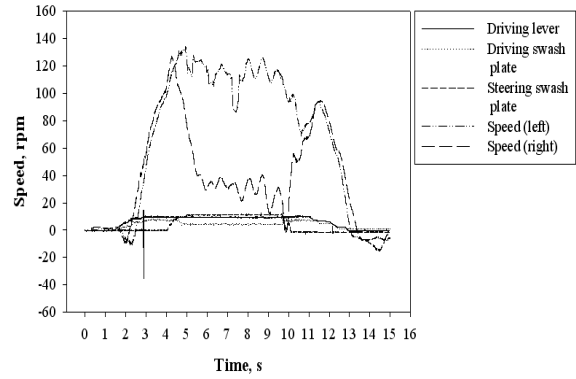
Fig. 8, Fig. 9에 대표적으로 전진, 고속모드 주행레버

각 5°, 10°에서 조향 레버각 중립(0°)에서 좌/우회전에 따른 5°, 10° 변화에 대한 실험 결과를 나타내었다.

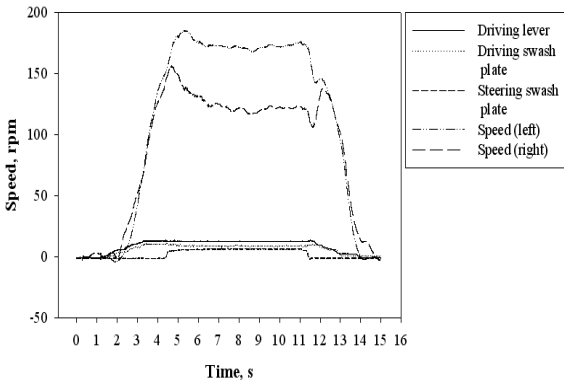
실험결과로부터 주행레버 각의 변화에 따라 주행 사판각이 추종하고 있으며, 또한 좌/우회전 조향 사판 각이 변화하는 순간에 외측 차륜의 속도를 유지하기 위해 주행 사판각을 제어하고 있는 것이 관측되었다. 그러나 외측 차륜 속도에서 약간의 지연 현상이 관측되었으나 이는 사판제어



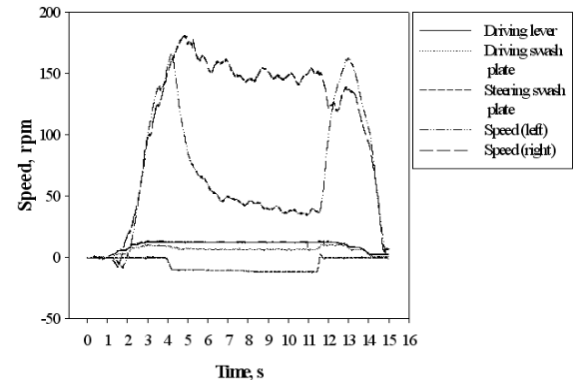
(a) Forward_high speed 5 degree-right 5 degree



(b) Forward_high speed 5 degree-right 10 degree



(c) Forward_high speed 10 degree-right 5 degree



(d) Forward_high speed 10 degree-right 10 degree

Fig. 9. Change in ground speed by steering lever angle (forward, right turn).

모터의 특성에 의한 것으로 판단되었다.

Fig. 10, Fig. 11에 대표적으로 후진, 표준(주행레버 각: 10°) 및 고속(주행레버 각: 15°)에서 조향 레버 각 중립(0°)에서 좌/우회전에 따른 5°, 10° 변화 시켰을 때의 실험 결과를 나타내었다.

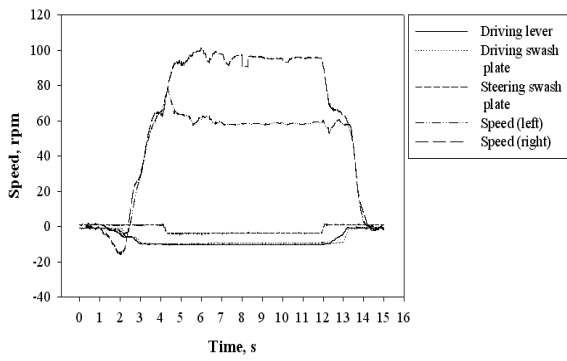
실험결과로부터 주행레버 각의 변화에 따라 주행 사판각이 추종하고 있으며, 또한 좌/우회전 조향 사판 각이 변화하는 순간에 외측 차륜의 속도를 유지하기 위해 조향용 HST 사판각은 주행 중의 조향 레버각의 변화에 비례하여 변화하였으며, 이로 인해 조향시의 외측 차륜의 속도가 증가하여야 하나, 조향 전의 속도를 유지하기 위해 주행용 HST 사판 각이 중립 쪽으로 제어되고 있는 것이 관측되었다. 이로 인해 조향용 HST 사판각의 변화에 의한 외측 차륜의 속도 변화에도 불구하고 조향 전의 속도가 일정하게 유지되었다.

2. 실 포장에서의 제어시스템의 성능실험

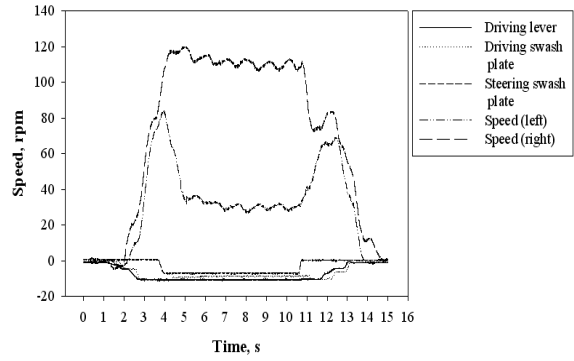
Table 2는 기구식 링크제어 시스템을 3점으로 기준을

설정 후 전자제어 시스템을 평가한 값을 나타내었으며, Fig. 12는 5개 항목 실험 평균값을 가지고 비교한 결과를 나타내었다.

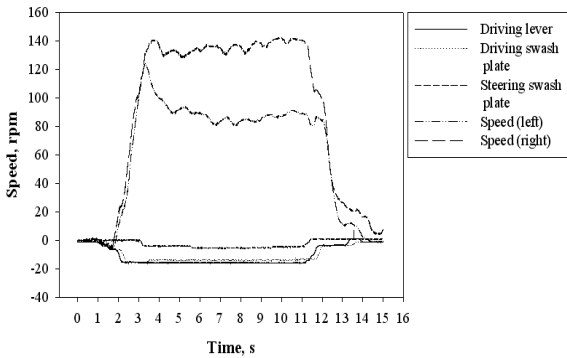
결과로부터 전진과 후진의 응답성에서 링크제어 시스템보다 0.4점 높게 나타나 기존 제어시스템보다도 전후진 제어가 용이한 것으로 나타났다. 특히 전진 및 후진 레버의 조작력이 기존 기구식 링크 제어시스템에서 0.41~0.51N의 힘을 가해야 작동이 되었으나 전자제어식 조향 시스템에서는 0.07~0.08N의 조작력을 가해도 작동이 되었고 조향의 경우 기존 기구식 링크 제어시스템에서는 한쪽 무한궤도 차륜을 정지 시킨 후 다른 한쪽의 무한궤도의 차륜이 선회하여 포장과의 마찰에 의한 안전성에 문제가 발생되었으나 전자제어식 조향 시스템에서는 내측의 무한궤도 차륜은 감속하고 외측의 무한궤도 차륜은 일정한 속도를 유지하여 포장과의 마찰을 최소화시켜 부드러운 선회가 이루어졌다. 또한 실험자의 감성적인 평가 결과 기존 기계식 링크 구조 제어시스템 보다 전자제어식 조향 시스템의 5개 평가항목 모두 높은 수준이라는 결론을 얻을 수 있었다



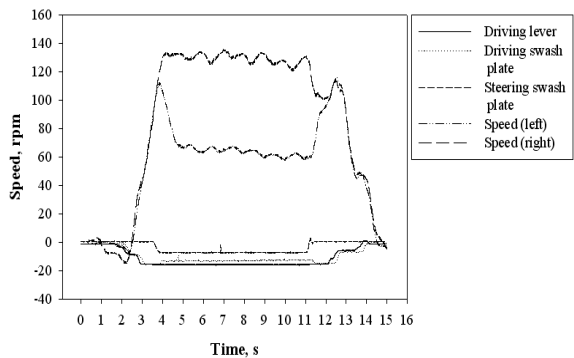
(a) Reverse_nomal speed 10 degree-left 5 degree



(b) Reverse_nomal speed 10 degree-left 10 degree

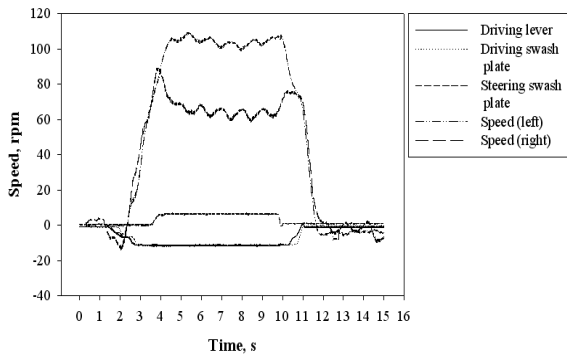


(c) Reverse_nomal speed 15 degree-left 5 degree

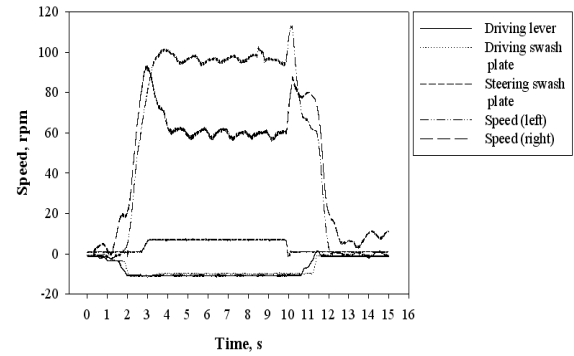


(d) Reverse_nomal speed 15 degree-left 10 degree

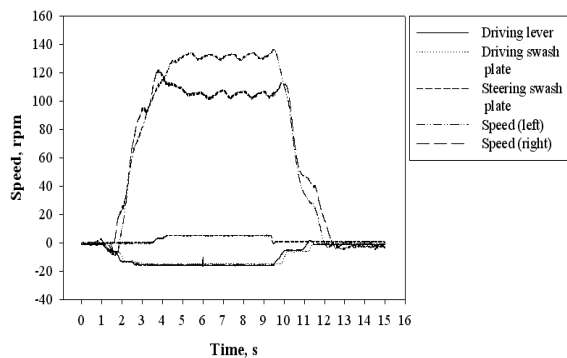
Fig. 10. Change in speed and angle by steering lever angle (reverse, left turn).



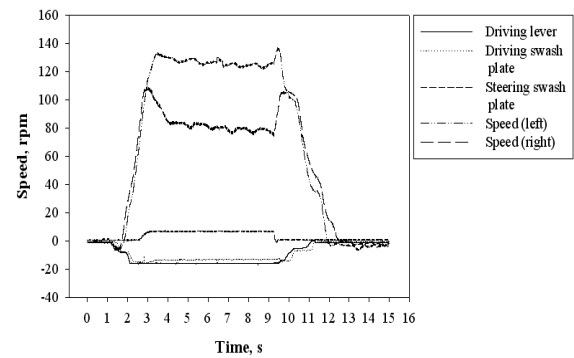
(a) Reverse_nomal speed 10 degree-right 5 degree



(b) Reverse_nomal speed 10 degree-right 10 degree



(c) Reverse_nomal speed 15 degree-right 5 degree



(d) Reverse_nomal speed 15 degree-right 10 degree

Fig. 11. Change in speed and angle by steering lever angle (reverse, right turn).

Table 2. Evaluation table of control system.

Panel	forward/ reverse responsibility	left/right steering responsibility	forward/reverse maneuverability	stability	maintainability
Overall specification	3	3	3	3	3
n1	4	4	5	4	5
n2	3	5	5	4	4
n3	3	4	5	5	4
n4	4	5	5	5	4
n5	3	5	5	5	4
Average	3.4	4.6	5	4.6	4.2

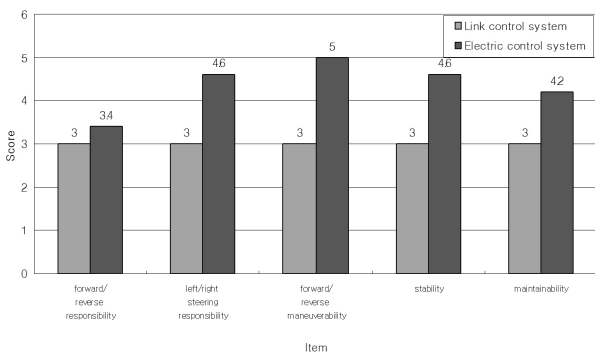


Fig. 12. Result of performance evaluation for link control system and the developed electronic control system.

IV. 결론

본 연구에서는 콤바인 수확 작업자의 조작 편리성, 안전성의 확보, 복잡한 링크 기구의 단순화 및 유압계통의 고출력이라는 장점을 살린 유압 트랜스미션과 전자제어 기능이 융합된 콤바인 HST 전자제어시스템을 설계하여, 실내에서의 요소 특성실험을 수행한 후에 각각의 요소들로 구성되어 있는 제어 시스템에 대한 실외(콘크리트 도로 및 실 포장) 성능실험을 실시한 결과를 통해 설계된 제어시스템의 차량탑재의 적용 가능성을 검토하였다. 본 연구에서 설계한 제어시스템에 대한 상기의 각종 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 콘크리트 도로상에서의 제어 성능 실험 결과 조향 레버 중립 위치의 조건하에서 주행 레버각의 변화에 비례하여 주행용 HST 사판 각 및 좌/우 차륜의 속도도 증가하였다. 조향 제어의 경우에는 조향용 HST 사판 각은 주행 중의 조향 레버각의 변화에 비례하여 변화하였으며, 이로 인해 조향시의 외측 차륜의 속도가

증가하여야 하나, 조향 전의 속도를 유지하기 위해 주행용 HST 사판 각이 중립 쪽으로 제어되고 있는 것이 관측되었다. 이로 인해 조향용 HST 사판각의 변화에 의한 외측 차륜의 속도 변화에도 불구하고 조향 전의 속도가 일정하게 유지되었다.

2. 본 연구를 통해 설계 제작된 콤바인 HST 전자제어 시스템은 기존 기계식 링크 기구를 이용한 제어 시스템에서 조향 시 제어가 되지 않는 내측 차륜은 감속하고, 외측 차륜은 일정하게 유지되어 기계식 링크 기구 제어시스템보다 안정적으로 제어가 되고 있다는 연구 결과 값을 얻을 수 있었다. 또한 기존 기계식 링크 구조 제어시스템을 부착한 콤바인보다 전자제어식 조향시스템의 5개 평가 항목 모두 실험자가 만족할 만한 감성적인 결론을 얻을 수 있었으며 차량탑재의 적용가능성이 충분한 것으로 판단되었다.
3. 결론적으로 설계 제작한 제어 시스템은 전진, 후진 및 좌/우 조향이 원활하게 제어 되는 응답특성을 보여 콘크리트 도로상에서의 제어 시스템 실험 시에도 아무런 문제가 없는 것으로 고찰 되었고, 실제 포장지에서의 작업을 실행 하면서 응답 특성을 실험한 결과 전진, 후진 및 좌우 조향이 원활한 제어가 되고 있는 것으로 구명되었다.
4. 복잡한 기계식 기구를 이용한 제어 시스템을 전자제어식 시스템으로 단순화 할 수 있는 제어 프로그램을 개발 하였다.

참고 문헌

1. Rural Development Administration. 2009. Agricultural machinery demand forecast and trends.

2. Kim SJ, Jin JH, Chung SJ, Pyo JH, Song JG. 2006. A study on development of actuator for active front steering. Spring Conf. Proc. 2: 728-733. Korea Society of Automotive Engineers.
3. Kim TG, Son SJ, Ryoo YJ, Kim ES, Lim YC. 2001. Steering control for autonomous electric vehicle using magnetic fields. Journal of the Korean Sensors Society 10(2): 134-141.
4. Pang DY, Lee SC. 2004. Handle torque response and PD control with road wheel impulse input of column drive electric power steering system. Journal of Engineering Research 35: 141-147.
5. Kitano M, Jyozaki H. 1975. Transac study on steerability of tracked vehicles (Part 1) -Track skid and turning radiations. Transactions of the Society of Automative Engineers of Japan 1(9): 51-57.
6. Kitano M, Kuma M, Kinou A. 1975. Transac study on steerability of tracked vehicles (Part 2) -Effects of center of gravity on steerability spelling. Transactions of the Society of Automative Engineers of Japan 2(10): 54-60.
7. Sunwoo MH, Lee YK, Lee JI. 1998. A study on the development of an electronic control unit and the fault detection algorithm for a motor driven steering column. Proceedings of the KIEE Fall Annual Conference 2: 448-450.
8. Hidaka S. 2002. Development of forced differential steering control system. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery 64(2): 111-116.
9. Wong JY. 1984. An introduction to terramechanics. Journal of Terramechanics 21(1): 5-17.
10. Wong JY. 1986. Computer aided analysis of the effects of design parameters on the performance of tracked vehicles. Journal of Terramechanics 23(2): 95-124.
11. Seo SW. 2010. Development of HST electronic control system for combine (I). CNU Journal of Agricultural Science 37(2): 295-302.