

DGPS를 이용한 트랙터의 직선추종 조향시스템 개발

김기덕¹, 신범수^{1*}

¹강원대학교 바이오시스템공학과

(2012년 5월 11일 접수, 2012년 6월 15일 수리)

Development of a Tractor Steering Control System for Parallel Tracking using DGPS

Kim, K. D.¹ and B. S. Shin^{1*}

¹Department of Biosystems Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

Abstract

The purpose of this research was to construct the hardware to control tractors' steering autonomously using an electro hydraulic direction/flow control valve and steering angle sensors attached to king pins on both front wheels for the automatic driving as well as a DGPS for the navigation. A steering control algorithm is developed to drive the tractor straightforward from a position to the destination position for the parallel tracking farm-work operation. Contrary to previous steering control systems which use dead zones for starting point and finishing point, in this research, the dead zone for only finishing points was used in order to make it converged and proceed faster. The preliminary experimental results showed that P-control was sufficient as long as the control time of a loop maintained less than 50 ms. Since GPS provides data on every 200 ms, however, the same control of 50 ms interval was replicated 4 times, for a single period of position data acquisition. Through experiments conducted by changing the amount of steering angle at given ground speed, it was concluded that the desired RMS error should be less than 20 cm of GPS measurement error. The steering angle per control cycle should be within 2.65 ° when the ground speed of tractor is 0.836 m/s. If the tractor speed gets slow upto 0.491 m/s, the amount of steering angle should be less than 11.25 °.

Key words : DGPS, Electro hydraulic valve, P-control, Steering control, Tractor.

서론

여러 산업 분야중 대표적인 3D 분야로 분류 할 수 있는 농업은 열악한 작업환경에서 작업을 수행하고자 했을 때 고려해야 할 작업자의 안전사고 위험문제, 농업 생산 작업시 수반되는 환경오염문제, 경제적 이익문제 등 여러 문제점을 가지고 있는 분야이다. 특히 농촌노동력의 양적 감소와 고령화, 부녀화로 인한 질적저하는 고성능 농업기계를 운전, 조작하는데 있어 어려움을 가진다. 특히, 파종이나 이식작업은 정확한 조간거리를 유지하며 작업할 때 토지공간활용을 극대화 할 수 있는데 미숙련자에게는 어려운 작업이다. 이와 같은 이유로 농업 생산성에 지대한

영향을 미치는 상황이 될 수 있다. 따라서, 이와 같은 문제들을 해결하기 위해서는 농기계 조작의 많은 부분을 자동화하거나, 무인화를 할 필요가 있다(Park, 2008).

이러한 무인화는 노약자나 부녀자, 농기계 운전이 미숙한 사람들이 간단한 조작으로 작업을 가능하게 하거나 열악한 농업 환경으로 작업자를 노출시키지 않을 수 있다. 현재 미국의 존디어라는 농기계 회사에서는 GPS를 이용하여 Auto Guidance System을 적용한 농기계를 보급하고 있으며, 이에 따라 운전자의 직선추종 운전부담을 경감케 할 뿐 아니라 토지생산성을 극대화 할 수 있었다.

여러 농업기계 중 특히 트랙터의 자율주행시스템은 힘들고 고된 다양한 농작업을 간편하게 함으로써 농작업의

*Corresponding Author: Shin, B. S. (E-mail: bshin@kangwon.ac.kr)

작업 기피 현상요인을 해소하고, 인력부족 및 노령화된 농촌 노동력에 대하여 간단한 조작으로 정밀 농작업을 실현시킬 수 있는 대표적인 농업기계이다. 최근 농업기계의 개발 및 연구방향은 급속히 전자 및 유압자동화 시스템으로 변화였고, 더욱 발전하고 있다. 또한 정밀농업을 실현하기 위하여 생산적이고 효율적인 시스템 운영기술이 농민들에게 보급되고 있지만 농촌인구의 감소에 따른 자동화 기술이 더욱 요구되어지고 있는 것이 현실이다. 또한 이와 더불어 인공위성을 이용한 GPS기술의 발달은 과거 군사목적으로만 사용되던 것이 이용범위가 확대되어 근래에는 산업 현장이나 개인에게까지 보급되는 기술이 되었으며, 정밀한 GPS기기도 개인이 소유할 수 있게 되었다(Seo, 2010).

무인주행을 위해서는 목표 주행선에 대한 차량의 위치를 파악하는 것이 매우 중요하다. 차량의 위치검출을 위한 GPS나 DGPS, RTK-GPS, 지자기센서, 자이로센서, 기계시각, 초음파센서, 레이저센서 등 많은 센서들이 제안되고 연구되어 왔다. 이 센서들은 비 접촉식 센서로 범위의 제한이 적고, 정확한 데이터를 얻어낼 수 있어 실제 적용성이 높다(Lee, 1999).

따라서 본 연구의 목적은 자율주행에 필요한 자동 조향제어 시스템으로서 조향각 및 GPS 등의 센서와 비례 제어밸브를 이용한 전기유압제어 시스템을 구성하며, NI사의 CompactRIO의 FPGA를 활용하여 실시간 제어가 가능한 계측 및 제어 시스템의 하드웨어 구성하고 이를 구동하는 LabVIEW를 이용한 소프트웨어를 개발하는 것이다. 트랙터의 직선경로 추종을 위한 조향제어 시스템 알고리즘을 개발하고, 개활지에서 트랙터의 주행속도와 조향각 제어량에 따른 조향제어성능을 평가하는데 있다.

재료 및 방법

하드웨어 구성

공시농용트랙터

본 실험에서 사용된 트랙터는 Fig. 1로 68마력급 후륜 구동형이며 오비트롤을 이용한 양로드 유압실린더를 조작하여 직접 전차륜을 조향하는 방식이다. 2단식 유압펌프를 이용하여 조향장치와 3점하치 시스템을 별도로 운전한다. 부변속 4단, 주변속 4단으로 총 16단의 변속이 가능하여 각종 농작업에 알맞은 주행속도를 제공하기 때문에 채택되었다.

조향각센서

트랙터 전륜의 조향각을 측정하기 위하여 기존 킹핀축 커퍼의 중심에 홈을 내어 직경 15 mm, 길이 30 mm의 연

장 축을 압착고정하여, 커플러를 이용하여 Fig. 2와 같은 형태로 조향각센서와 연결하였다.



Fig. 1. Wheel type farm tractor.



Fig. 2. Steering angle sensor.

DGPS 수신기

본 연구에서 DGPS 수신기를 사용하기 위하여 Fig. 3과 같이 시스템을 구성하였다. GPS의 신호를 보정하기 위하여 춘천기준국에서 비컨신호를 수신하였다. RS-232C를 이용하여 제어기와 통신을 하며, 본 연구에서는 \$GPGGA, \$GPVTG코드를 수신하여 위도, 경도 및 방위각 값만 추출하여 사용하였다.

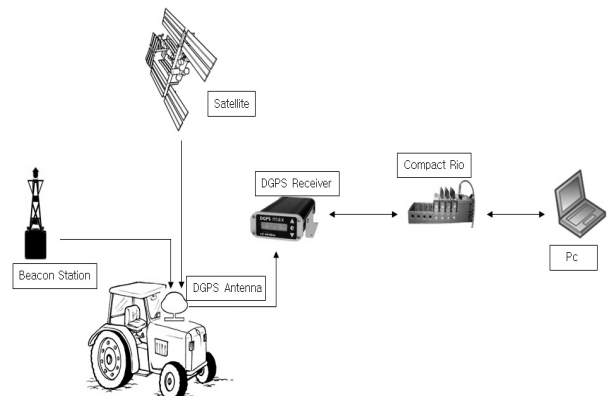


Fig. 3. Schematic diagram of DGPS instrumentation system.

Electro Hydraulic Power Steering 시스템 구성

자동조향장치를 구성하기 위하여 Fig. 4에서와 같이 비례제어밸브를 수동조향장치와 병렬연결 하였다. 이 외에도 작업의 효율성과 시스템의 안정성을 고려하여 방향제어밸브, 파일럿체크밸브, 릴리프밸브를 Fig. 5와 같이 추가하였다.

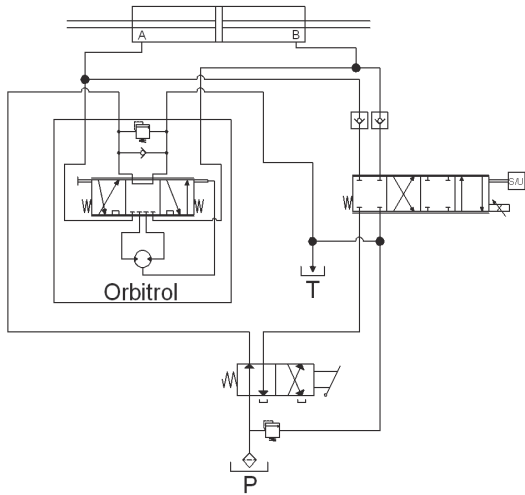


Fig. 4. Hydraulic circuit for manual/autonomous steering.

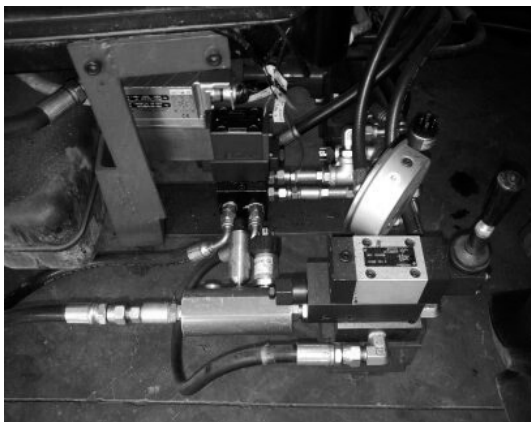


Fig. 5. Hydraulic components installed on a tractor.

제어기

본 시스템에서의 모든 제어와 계측은 NI사의 자료수집장치인 CompactRIO를 이용하여 트랙터 캐빈내 좌석뒤편에 제어반 형태로 구성되었다.

제어알고리즘

Figure 6과 같이 목표점과 시작점에 대한 기울기와 목표점과 현재점에 대한 기울기를 비교하여 제어하는 형식으로 구성되었으며, Fig. 7과 같이 새로운 형태의 Dead Zone을 도입하여 초반에 빠른 반응을 할 수 있게 프로그래밍 하였다.

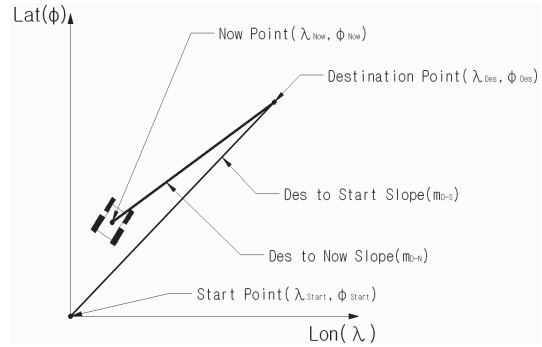


Fig. 6. Principle of steering control.

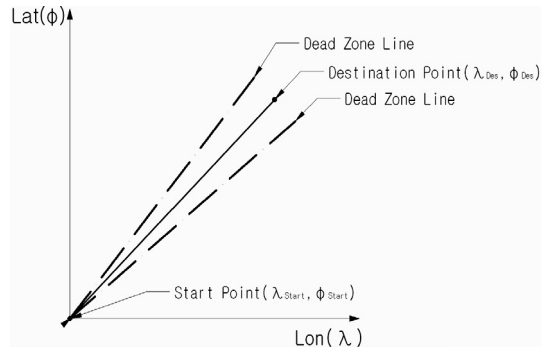


Fig. 7. New type of dead zone.

시스템평가

DGPS 정확성 검증실험

정해진 코스를 만들어 수동으로 조향을 제어하여 사용한 DGPS의 정확성을 검증하기 위한 실험을 실시하였다.

비례제어밸브 사용조건 및 사용가능성 검증실험

스풀의 중립위치 보정실험

스풀의 위치를 중립에 둌으로써 조향차륜으로의 유압 동력을 차단해야 원하는 일정각도의 제어가 이루어질 수 있다고 판단하여 시행착오법에 의하여 보정하였다.

비례제어밸브의 동적특성실험

비례제어밸브의 동적특성을 파악하기 위하여 스텝함수를 입력하여 입력전압에 따른 스�풀의 응답을 알아보았다.

유량조건에 따른 비례제어밸브 성능실험

밸브로의 입력전압을 가변조건으로 두어 트랙터의 엔진속도가 1000 rpm, 2000 rpm 일 때, 조향각의 변화속도를 계측하여 트랙터의 유압펌프 배수량을 산출하였다.

부하조건에 따른 비례제어밸브 성능실험

마찰력에 의해 생기는 부하의 유무에 따라 유량이 달라질 수 있는 점을 감안하여 무부하 상태와 아스팔트, 시멘트, 흙으로 구성된 바닥면에서 밸브로의 최대입력전압

을 가하였을 때 1 V에 해당하는 조향각량이 변화한 시간을 계측하였다.

비례제어밸브 제어주기 검증실험

비례제어에서는 P gain값이 증가하면 목표값에 도달하는 속도가 빨라지는데 이 때 제어주기가 뒷받침 되지 않으면 Overshoot이 발생한다. 따라서 트랙터의 엔진속도가 2000 rpm일 때, 1 V의 입력을 최대로 증가시키는 P Gain 값 10에 대한 실험으로 제어주기를 변화하여 Step 신호에 대한 응답특성을 계측하였다.

조향성능 최적조건실험

본 시스템에서는 P gain값이나 펌프의 유량을 높이는 것이 조향속도를 최대화하는 방법이기 때문에 각각의 변화에 따른 응답특성을 계측하였다.

직선추종 조향시스템 성능평가

비컨 신호에 의해 GPS의 신호를 보정할 수 있을 때 DGPS를 수신하였고, 모래재질의 평탄한 지면에서 40 m 구간에 대하여 직선추종을 실시하였다. 전체가 아닌 조향 부분에 대한 무인화로써 차량의 변속이나 정지 등과 같은 부분에 대해서는 실험자에 의한 수동조작을 실시하였으며, 매 실험에서의 목표점은 새로운 값으로 갱신하여 40 m 구간에 대하여 임의의 출발점으로 이동하였다. 이 때, 엔진속도가 2000 rpm, P gain의 값은 밸브로의 입력이 항상 최대값이 되도록 유지한 상태로 주행속도와 조향각도를 변수로 실험을 진행하였다.

최적주행속도

부변속 L 단에서의 1,3,4 단의 속도는 각각 0.491 m/s, 0.836 m/s, 1.098 m/s 이다.

최적조향각도

조향각도는 좌우 0.1~1.0 V의 차이로 각각 2.6542 ~ 15.5431 °의 범위이다.

결과 및 고찰

DGPS 정확성 검증실험

DGPS의 정확도는 정해진 주행경로를 기준으로 RMS오차 19.813 cm를 가졌다. 이는 본 수신기를 이용하여 비컨 신호로 보정하였을 때의 오차인 20 cm의 오차와 근사한 값으로 오차범위 내에 해당하기 때문에 본 수신기를 실험에 사용하는데 무리가 없다고 판단하였다. Figure 8은 DGPS의 정확성 검증결과이다.

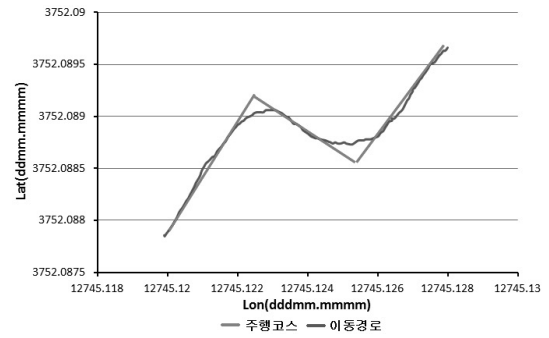


Fig. 8. Trajectory recorded by DGPS at the path of crank shape.

비례제어밸브 사용조건 및 사용가능성 검증실험 스푼의 중립위치 보정실험

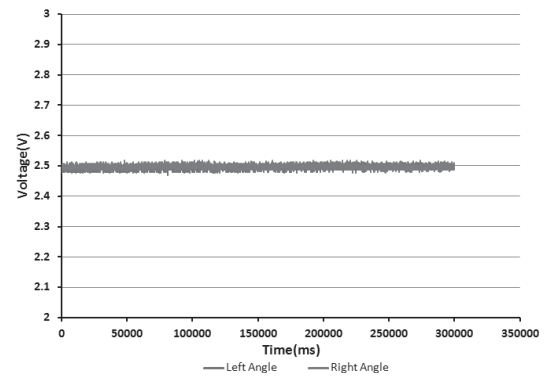


Fig. 9. Voltage ranges of valve spool at neutral position.

중립의 위치에 해당하는 전압값으로 0.225 V를 인가하였을 때, Fig. 9와 같이 2.5 V의 값을 유지하는 것을 확인할 수 있었다.

비례제어밸브의 동적특성실험

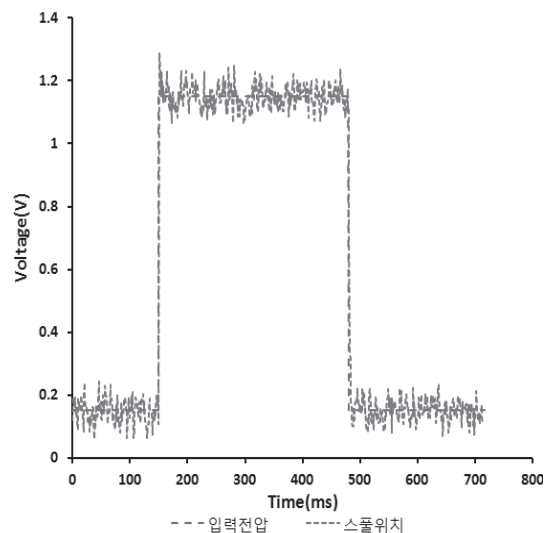


Fig. 10. Dynamic characteristics of the proportional control valve.

입력전압 1 V의 스텝함수 응답특성은 Fig. 10과 같이 1 ms의 주기로 실험하여도 정확히 추종함을 알 수 있었다. 따라서 본 비례제어밸브를 사용하기에 충분한 것으로 판단하였다.

유량조건에 따른 비례제어밸브 성능실험

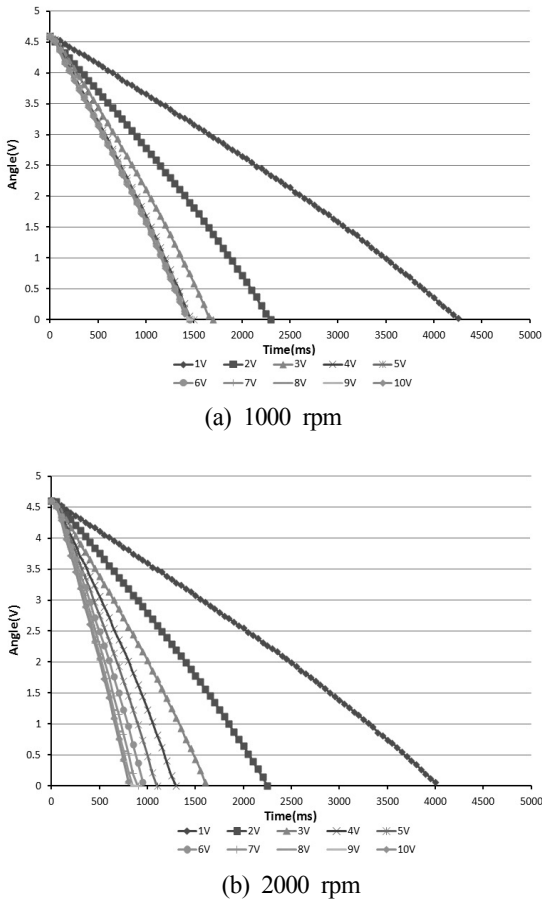


Fig. 11. Angular rate of steering angle by input voltage at different engine speeds.

본 연구에 이용된 비례제어밸브는 제어 가능한 유량이 약 40 Lpm이기 때문에 Fig. 11의 결과로 엔진속도가 1000 rpm일 때는 16 Lpm, 2000 rpm일 때는 32 Lpm의 유량을 사용하는 것을 입증할 수 있었다. 또한 본 비례제어밸브를 이용하여 트랙터의 유량을 제어하기에 충분한 성능을 가지고 있음을 확인하였다.

부하조건에 따른 비례제어밸브 성능실험

Fig. 12는 각 부하조건에서의 차륜의 조향속도의 변화는 없었음을 보여준다. 이를 근거로 본 실험에서는 부하조건에 의한 조향각량의 변화는 없다고 가정하였다.

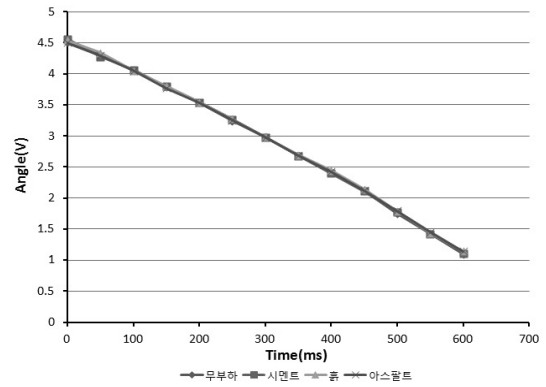


Fig. 12. Angular steering rate of wheel on different external loads.

비례제어밸브 제어주기 검증실험

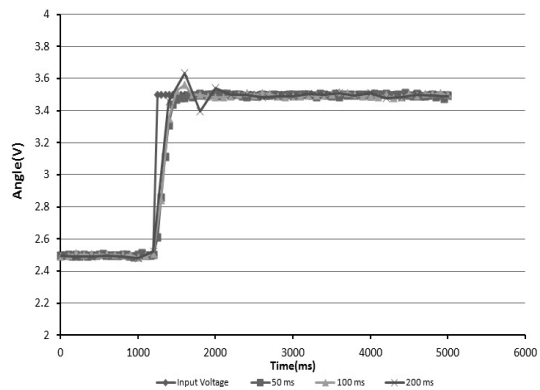
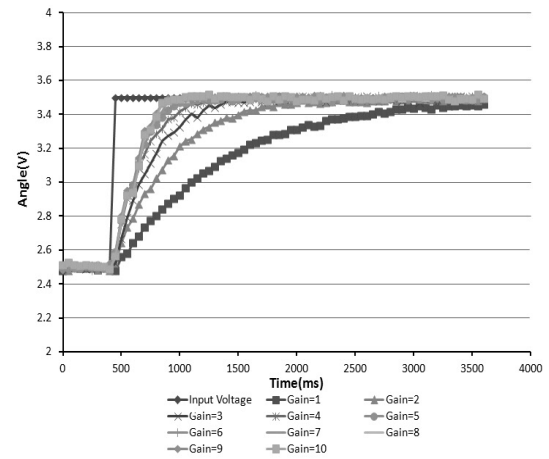


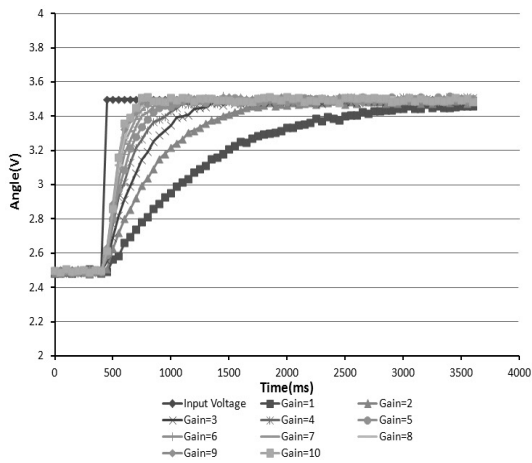
Fig. 13. Step function responses of steering system on different control time.

제어주기가 50 ms이며, Overshoot이 발생하지 않음을 Fig. 13과 같이 알 수 있다. 따라서 본 프로그램에서의 제어주기는 50 ms로 설정하였다.

조향성능 최적조건실험



(a) 1000 rpm



(b) 2000 rpm

Fig. 14. Step function responses of steering system on different P-gain.

조향성능은 입력된 스텝함수에 대한 응답특성으로 표현될 수 있으며 Fig. 14를 통하여 P gain값과 엔진속도의 증가에 대하여 반응시간이 짧아짐을 알 수 있다.

직선추종 조향시스템 성능평가

Table 1. RMS error on different settings of steering angle per control command at different travel speeds

Travel speed(m/s)	Steering angle(degree)	RMS error
		Vertical direction(cm)
0.491	8.3826	15.75
	9.8147	19.032
	11.2468	15.715
	12.6789	26.561
	14.111	21.034
	15.5431	24.183
0.836	2.6542	18.482
	4.0863	20.686
	5.5184	22.025
	8.3826	33.929
	9.8147	58.835
	11.2468	46.427
1.098	12.6789	46.282
	14.111	57.171
	2.6542	30.094
	4.0863	93.772
	8.3826	119.294
	9.8147	103.581
1.098	11.2468	164.859
	12.6789	246.941
	14.111	239.765

DGPS의 오차범위가 반경 20 cm인 점을 고려하면 트랙터의 주행속도가 같을 경우 조향각량의 크기가 작을수록 조향오차는 작다는 것을 입증하였다. 또한 조향각량이 같을 경우 트랙터의 주행속도가 낮을수록 조향오차가 작다는 것을 입증하였다.

본 시스템에서는 트랙터의 주행속도를 0.836 m/s이하로 유지한다면 DGPS만을 가지고 직선구간내 주행오차 20 cm(RMS)이내의 값을 가지게 할 수 있다는 것을 입증하였다.

참고문헌

Lee, J. Y. (1999) Autonomous speed sprayer using DGPS and GIS.MS. Thesis, Seoul National University, Suwon, Korea.

Park, D. S. (2008) Development of steering controller for autonomous-guided orchard sprayer. MS. Thesis, Kangwon National University, Chuncheon, Korea.

Seo, I. H. (2010) Working path formation system for autonomous traveling tractor. PhD. Thesis, Chungnam National University, Daejeon, Korea.