

DGPS와 기계시각을 이용한 자율주행 콤바인의 개발

Development of Autonomous Combine Using DGPS and Machine Vision

조성인	박영식	최창현	황 헌	김명락
정희원	정희원	정희원	정희원	정희원
S. I. Cho	Y. S. Park	C. H. Choi	H. Hwang	M. L. Kim

SUMMARY

A navigation system was developed for autonomous guidance of a combine. It consisted of a DGPS, a machine vision system, a gyro sensor and an ultrasonic sensor. For an autonomous operation of the combine, target points were determined at first. Secondly, heading angle and offset were calculated by comparing current positions obtained from the DGPS with the target points. Thirdly, the fuzzy controller decided steering angle by the fuzzy inference that took 3 inputs of heading angle, offset and distance to the bank around the rice field. Finally, the hydraulic system was actuated for the combine steering. In the case of the misbehavior of the DGPS, the machine vision system found the desired travel path. In this way, the combine traveled straight paths to the target point and then turned to the next target point. The gyro sensor was used to check the turning angle.

The autonomous combine traveled within 31.11 cm deviation (RMS) on the straight paths and harvested up to 96% of the whole rice field. The field experiments proved a possibility of autonomous harvesting. Improvement of the DGPS accuracy should be studied further by compensation variations of combines attitude due to unevenness of the rice field.

Keywords : Autonomous guidance, Fuzzy logic controller, Differential global positioning system, Machine vision, Gyro sensor, Ultrasonic sensor.

1. 서 론

1960년대 이후 계속된 농업의 기계화에 대한 노력으로 1997년 현재 콤바인이 153,207대(농림

부, 1998)가 보급되는 등 많은 진전을 보여왔다. 이러한 결과를 바탕으로 농 작업 생산성의 향상을 도모하고, 갈수록 감소하는 농업 노동력을 대체하기 위하여 농업기계의 자동화 및 무인화에

This study was conducted by the research fund of advanced technology project(project No:297064-3), and supported by Ministry of Agriculture and Forestry. The article was submitted for publication in December 2000, reviewed in January 2001, and approved for publication by the editorial board of KSAM in February 2001. The authors are Seong In Cho, Associate Professor, Young S. Park, Former Research Assistant, and Myoung L. Kim, Research Assistant, School of Bio-resources and Materials Engineering, Seoul National University, Suwon, Korea; Heon Hwang, Professor, and Chang H. Choi, Professor, Faculty of Life Science and Technology, Suwon, Korea. The corresponding author is Seong In Cho, Associate Professor, School of Bio-resources and Materials Engineering, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea. E-mail: <sicho@snu.ac.kr>.

관한 연구가 활발히 진행 중이다.

벼는 우리나라의 주곡으로 1997년도 생산량이 5,449,561 M/T(농업기계연감, 1998)에 달하고 있으며, 국내 전체 농산물 생산량 중 가장 많은 비중을 차지하고 있다. 벼 생산에 있어서 주요 작업별 노동투하량(ha당)을 살펴보면 파종에 70시간, 경운·정지에 47시간, 병충해 방제에 31시간, 수확에 68시간(작목별 작업단계별 노동력 투하시간, 농촌진흥청, 1994) 등으로 나타났다. 특히 수확작업은 전체 노동투하량의 15%로 높은 비율을 차지하며, ha당 노동투하량이 미국의 9.1시간(Sample Costs to Produce Rice. University of California, 1992), 일본의 64시간(일본 농림수산통계연보, 일본 농림수산성, 1994) 보다도 높은 것으로 나타났다.

또한 1960년도 현재 우리나라 전체 인구에 대한 농업인구가 58.3%에서 1997년 현재 9.7%(농업기계연감, 1998)로 현저히 감소하였으며, 특히 전체 농업인구 중 60세 이상의 노령자와 부녀자가 차지하는 비율이 65.5%(농업기계연감, 1998)로 매우 높게 나타났다. 이러한 농업 노동력의 노령화 및 부녀화로 인한 농업기계의 비효율적 사용은 농업에 있어서의 노동생산성을 저하시키는 원인이 되고 있다. 그러나 농촌노임은 1984년에 비하여 1995년 현재 337.5%(농협조사월보, 1995)가 상승하여 부족한 농업 노동력을 대체하는 데에도 어려움이 있는 실정이다. 이러한 추세가 계속될 경우 2001년에는 농업인구가 전체 인구의 5.1%(한국경제연구원)로 크게 감소하고, 2003년에는 농촌노임이 10만원대(농업기계화의 장기전망과 기계화기술 개발 전략, 농림수산부, 1995)에 육박할 것으로 전망됐다. 따라서 21세기에는 농업 노동력의 양적 감소와 질적 저하가 더욱 심화될 것이며, 농산물 생산비에 있어서 노동비용의 부담이 더욱 커질 것으로 예상된다. 이러한 경우 우리나라도 노동비용을 줄이기 위하여 부부중심의 가족농 형태가 주를 이루게 될 것이며, 적은 노동력으로 많은 경지를 경작해야 할 것이다. 또한 최근 들어 교통재해 등의 사고로 인해 신체를 자유롭게 쓸 수 없는 장애인들

의 수가 늘고 있으며, 미국에서는 이미 해마다 늘고 있는 장애인들이 사용할 수 있는 무인화 또는 반무인화 된 농업기계에 대한 연구가 진행 중에 있다. 이러한 관점에서 농업 노동력을 대체하고 장애정도가 심하지 않은 장애인들도 농업에 종사할 수 있도록 농업기계의 무인화에 관한 연구가 요구되고 있다. 또한 농업기계는 그 특성상 노지에서서의 작업이 많은 비중을 차지하므로 농업용 차량의 자율주행은 농업기계의 무인화에 반드시 필요한 기술이며, 근래에 들어 컴퓨터, 센서 등의 기반 기술의 발달로 인하여 더욱 많은 연구가 진행 중에 있다.

콤바인의 자율주행 기술은 지속적인 감소 추세에 있는 농업 노동력을 대체하고, 노인 및 부인의 기계조작 미숙으로 인한 생산성 저하를 억제하며, 심한 진동과 먼지 등의 열악한 작업환경으로부터 작업자를 보호하기 위하여 반드시 필요한 기술이다.

Vetter(1996)는 DGPS를 이용하여 주행한 차량의 경로를 분석한 결과 편차가 1m 이내인 것을 확인하고 농업용 차량의 자율주행에 있어서 DGPS의 이용 가능성을 제시하였다. 또한 정선옥 등(1998)은 DGPS와 지자기 센서를 이용하여 트랙터의 주행경로 형태에 따른 DGPS 신호의 응답성을 분석한 결과 DGPS에 의한 측위가 상당히 우수한 것을 확인하였으며, 기지국의 보정신호의 송수신 상태가 불량한 경우나 위성과의 시야확보가 되지 않을 경우를 대비하여 이를 보완하는 센서의 필요성을 제시하였다. 이재훈(1998)은 DGPS, 초음파 센서 및 퍼지제어를 이용한 스피드스프레어의 자율주행 함에 있어 직선 및 회전 주행에서 15~28.6 cm의 RMS를 보였다. 또한 이정엽(1999)은 DGPS, 자이로 센서, 로터리 엔코더 및 GIS를 이용한 자율주행에 있어 직선 및 회전 주행에서 23~42 cm의 RMS를 얻었다. 한편 Nagasaka(1999) 등은 DGPS와 자이로 센서를 이용한 이앙기의 자율주행에 관한 수 년 간에 걸친 연구 끝에 매우 정밀한 위치제어를 요하는 이앙기 자율주행의 직선 및 회전 경로에서 10 cm 이내의 편차를 보였다.

2. 재료 및 방법

가. DGPS 구성

사용된 DGPS는 농촌진흥청 농업기계화 연구소에서 보유하고 있는 캐나다 Novatel사의 RT-2 모델로 CEP(Circular Error Prob- able)가 2 cm 이하의 매우 정밀한 제품이다. L1-C/A 코드와 L2-P 코드를 모두 획득하며, 동시에 24개의 위성을 병렬 채널을 통해 추적한다. 실시간 DGPS를 구성하기 위해 라디오 모뎀과 라디오 모뎀 안테나가 필요하다. 라디오 모뎀은 미국 GLB 사의 SNRDS로 RS-232를 통하여 GPS 수신기와 직렬 통신을 한다. GPS 안테나는 콤바인 운전석의 캡 위에 설치되었으며 지상으로부터의 높이는 2.6m이다. 그림 1은 실험에 사용한 GPS 수신기와 라디오 모뎀을 보여준다. 1 Hz로 입력되는 DGPS 측위 신호를 이용하여 주행중인 콤바인의 오프셋(offset)과 방향각(heading angle)을 계산해 내고, 이를 퍼지제어기로 입력한다.

나. 자이로 센서

차량의 방향은 그 위치를 측정하는데 있어 중요한 부분이다. 방향을 측정하는 데에는 초기각과의 상대값을 이용하는 자이로 센서(gyro sensor)와 지구의 자북을 기준으로 현재 각도의 절대값을 이용하는 지자기 센서가 주로 쓰인다. 지자기 센서(geomagnetic sensor)는 그 가격이 비싸고 지구상의 모든 지역에서 자북(magnetic north)이 일정하지 않

을 뿐만 아니라 센서 주변의 철제류에 의한 자력을 보정해 주어야 하는 단점이 있다.

본 연구에서 사용된 자이로 센서는 미국 KVH 사의 DGS³(Digital Gyro Stabilized Sensor System)이다. DGS³는 45° /sec까지의 각 속도를 오차 범위 ±3.0°에서 ±0.1°의 분해능으로 측정이 가능하며, 동시에 요(yaw), 롤(roll) 및 피치(pitch) 각을 측정할 수 있다. 본 연구에서는 요(yaw) 각도를 검출하여 콤바인의 회전각을 측정하는데 사용하였다.

다. 기계시각 시스템

기계시각은 일반적으로 컴퓨터를 이용하여 2차원 화상을 처리하는 것을 말한다.

사용된 카메라는 미국 PULNIX사의 컬러 CCD 카메라이며, 영상획득 보드는 Canada CORECO 사의 OCULUS-TCX /MX frame grabber이다.

OCULUS-TCX/MX는 표준 입력 해상도 512×512에서 768×575 사이를 지원하며, 영상처리 라이브러리를 제공하여 C/C++ 컴파일러를 통한 소프트웨어 개발이 가능하다.

구성된 기계시각 시스템은 포장의 영상을 획득하여 비가 있는 부분과 수확이 끝난 부분을 구분해 낸다. 그림 2에서와 같이 카메라의 설치 위치 및 각도를 결정하기 위하여 카메라의 높이를 지면에서 80cm와 160cm, 카메라의 각도를 주행방향의 30°와 40°로 고정하여 실험한 결과 높이 160cm, 각도 30°로 설치한 경우가 경로 탐색을 위한 영상처리에 더 적합하였다. 카메라의 초점거리 f는



Fig. 1 GPS receiver and radio modem.

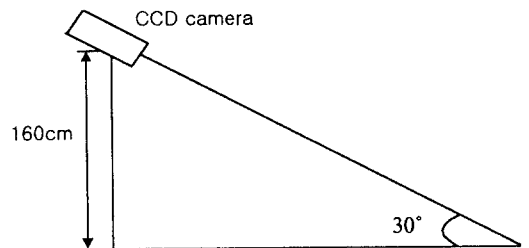


Fig. 2 Position and direction of the CCD camera.

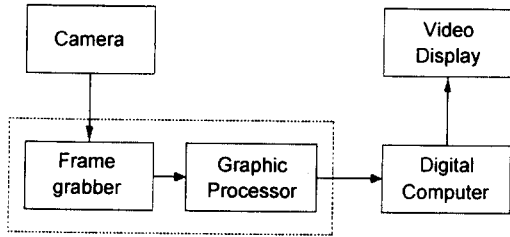


Fig. 3 Machine vision system.

0.4m 이었으나 야외에서처럼 노광이 밝은 경우 획득되는 영상은 초점거리에 크게 영향을 받지 않았다. 그림 3은 기계시각 시스템의 구성도를 보여준다.

라. 초음파 센서

포장에서 첫 번째 작업시 논둑과 충돌하는 것을 방지하기 위하여 초음파 센서를 사용하였다. 사용된 초음파 센서는 일본 KEYENCE사의 UD-330 모델로 400 mm에서 3,000mm까지의 범위를 1 mm의 분해능(resolution)으로 측정할 수 있다.

초음파 센서는 운전석 아래쪽에 설치하였으며, 지상으로부터의 높이는 70cm이다.

마. 조향 장치

콤바인의 조향 레버를 기계적으로 처리하기 위해 유압시스템을 사용하였다. 그림 4는 본 연구에서 조향을 위해 사용한 유압시스템의 구조로 5개의 실린더와 이를 구동하기 위한 솔레노이드 밸브, 조향 레버를 작동하기 위한 실린더 1개, 클러치와 탈곡·예취 클로치 각 1개, 주변속 레버를 작동하기 위한 실린더 1개, 유압펌프로 구성되어 있다.

유압시스템의 제어를 위하여 각 유압실린더에 리미트 센서를 부착하여 실린더의 현재 상태를 알 수 있게 하였다. 리미트 센서는 이성 오토센서사의 제품이며, 조향실린더에 4개, 주변속 전진에 4개 후진에 3개로 모두 11개가 사용되었다.

유압 실린더를 구동하는 솔레노이드 밸브는

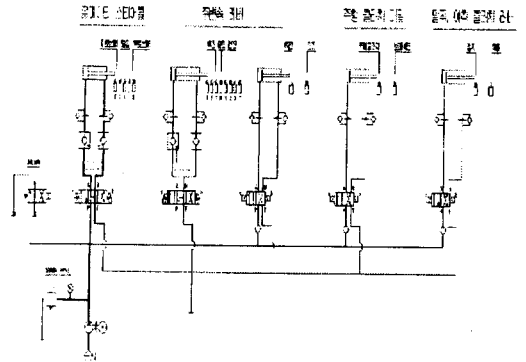


Fig. 4 Hydraulic system for the combine driving.

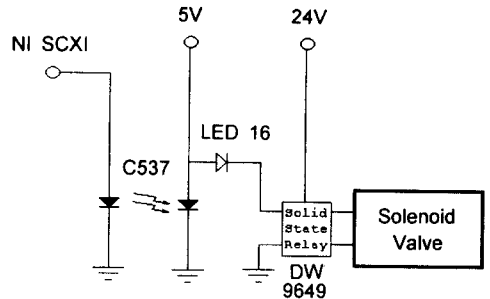


Fig. 5 Control circuit for the hydraulic system.

24V로 구동되기 때문에 신호변환기를 통해 제어 신호를 24V로 변환한 다음 솔레노이드 밸브를 구동시키게 된다. 신호변환기는 NI SCXI 입·출력 보드에서 출력되는 5V의 신호를 솔레노이드 밸브에서 사용하는 24 V로 변환해 주기 위한 회로이다. 신호 변환기는 포토커플러와 SSR(solid state relay) 등으로 이루어져 있다. 그림 5는 유압시스템의 제어 회로도를 보여주며 그림 6은 신호변환기의 실제 모습을 나타낸 것이다. 그림 6에서 아래쪽 포트가 입력측이고 위쪽 포트가 출력측이다.

바. 퍼지제어기

본 연구에서 퍼지제어기의 입력은 이상적인 경로에 대한 콤바인의 오프셋(offset)과 목표로 하는

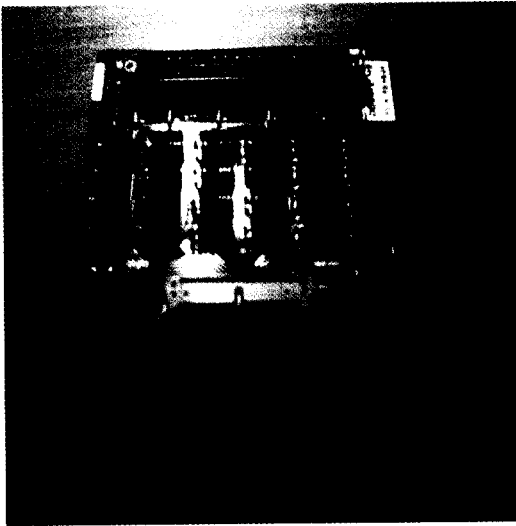


Fig. 6 Signal converter.

Table 1 Linguistic variables for heading angle

LH	PL	RH
Left Heading	Parallel	Right Heading

Table 2 Linguistic variables for offset

LO	NO	RO
Left Offset	No Offset	Right Offset

Table 3 Linguistic variables for distance from ultrasonic sensor

NE	MD	FA
NEar	Medium Distance	FAR

좌표에 대한 현재 콤바인의 방향각(heading angle) 등의 2개와 최초 1회전 시에는 콤바인의 급회전으로 인한 눈독과의 충돌을 방지하기 위하여, 초음파 센서로부터 입력되는 눈독과의 거리값까지 모

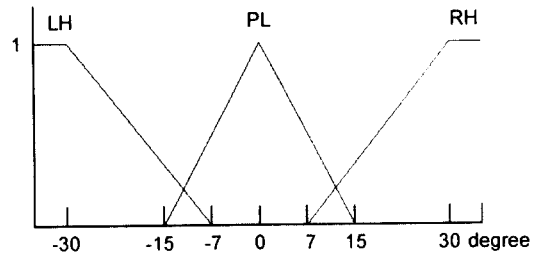


Fig. 7 Membership function for heading angle.

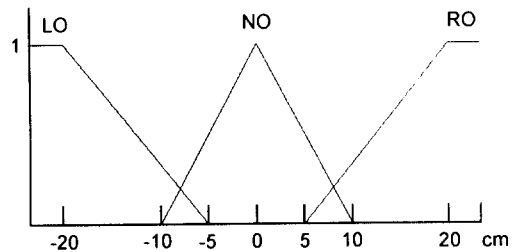


Fig. 8 Membership function for offset.

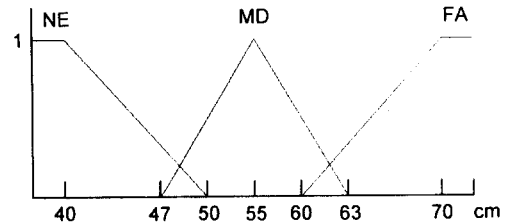


Fig. 9 Membership function for distance from ultrasonic sensor.

두 3개를 퍼지제어의 입력으로 하였다.

이렇게 측정된 3개의 입력값은 각각 3개의 언어 변수(linguistic variables)를 갖는다. 각각의 언어 변수와 귀속도 함수는 표 1, 2, 3과 그림 7, 8, 9에 나타나 있다.

이러한 입력값을 가지고 퍼지추론(fuzzy inference)을 한 후 출력되는 값은 조향각(steering angle)인데, 조향각은 7개의 언어 변수를 갖으며 총 11개의 규칙(rule)을 이용하였다.

퍼지 제어의 결과로 출력되는 값은 조향각으로 그에 대한 언어 변수와 귀속도함수는 각각 표 4와 그림 10에 나타나 있다.

Table 4 Linguistic variables for steering angle

LL	ML	SL	NP	SR	MR	LR
Large Left	Medium Left	Small Left	No Peration	Small Right	Medium Right	Large Right

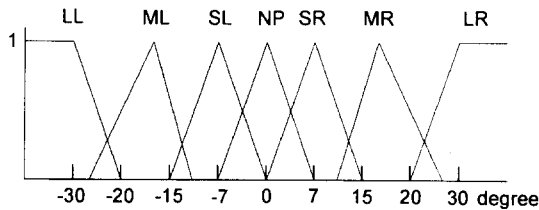


Fig. 10 Membership function for steering angle.

사용된 규칙은 표 5에 나타나 있으며 이는 'IF, <조건>, THEN <결과>'의 형식을 취하며 조건부와 결과부 모두 하나 이상의 퍼지 변수를 인자로 가질 수 있다.

사. 자율 주행 통합 시스템

자율주행 시스템은 크게 외부환경을 감지·인식하여 주행에 필요한 정보를 생성하는 부분과 이러한 정보를 종합하여 처리·판단하는 부분, 그리고 실제로 작동을 하기 위한 액츄에이터 부분으로 나눌 수 있다.

본 연구에서는 외부환경을 감지하기 위해 DGPS, 자이로 센서 및 초음파 센서 등 모두 세 가지 방법을 사용한다. DGPS 수신기에서 측정된 위치 좌표와 회전부에서 사용되는 자이로 센서의

Table 5 Fuzzy rules

Rule NO. 1	IF [heading= LH] and [offset = LO] THEN [Steering = LR]
Rule NO. 2	IF [heading= LH] and [offset = LO] and [distance = NE] THEN [Steering = SR]
Rule NO. 3	IF [heading= LH] and [offset = NO] THEN [Steering = MR]
Rule NO. 4	IF [heading= LH] and [offset = NO] and [distance = NE] THEN [Steering = SR]
Rule NO. 5	IF [heading= LH] and [offset = RO] THEN [Steering = NP]
Rule NO. 6	IF [heading= PL] and [offset = LO] THEN [Steering = MR]
Rule NO. 7	IF [heading= PL] and [offset = NO] THEN [Steering = NP]
Rule NO. 8	IF [heading= PL] and [offset = RO] THEN [Steering = ML]
Rule NO. 9	IF [heading= RH] and [offset = LO] THEN [Steering = NP]
Rule NO. 10	IF [heading= RH] and [offset = NO] THEN [Steering = ML]
Rule NO. 11	IF [heading= RH] and [offset = RO] THEN [Steering = LL]

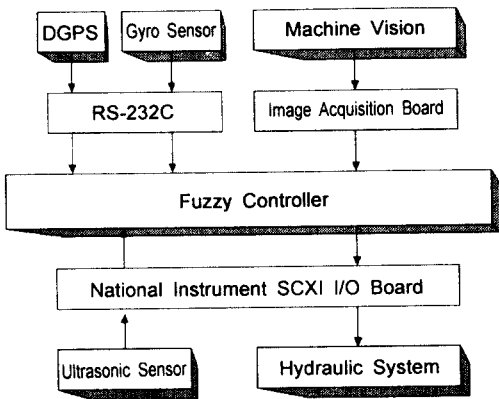


Fig. 11 Schematic of overall system for the autonomous guidance.

측정값은 RS-232C 직렬통신에 통해 퍼지제어기로 입력된다. 또한 기계시각에 의해 획득된 영상은 영상획득보드를 통해 퍼지제어기로 입력된다. 초음파 센서에서 측정된 출력값은 아날로그 신호이므로 NI SCXI I/O 보드를 통하여 퍼지제어기로 입력되며, 이러한 정보를 이용하여 퍼지제어를 통해 도출된 제어 결과값은 다시 NI SCXI I/O 보드를 통해 유압시스템을 제어하게 된다. 이러한 자율주행 시스템의 전체 구성은 그림 11에서 보는 바와 같다.

아. 성능 평가

직선주행에 있어서 성능 평가는 이상적인 경로와 실제 자율주행에 의한 경로와의 편차(deviation)를 구하고, 이 편차의 RMS (root mean square)값으로 하였다.

콤바인이 직선 및 회전 주행에 의해 실제로 수확작업을 할 때와 같이 주행할 수 있는가를 평가하기 위하여 실제 포장과 같은 면적의 포장에서 직선 및 회전을 통합하여 주행한다.

주행시 예취부가 지나간 면적은 실제 수확작업에서 예취부를 작동하기만 하면 수확이 이루어지므로, 이 면적을 수확작업이 이루어진 면적으로 보고, 목표로 한 전체 면적에 대하여 예취부가 지나간 면적을 비로 나타내어 성능을 평가

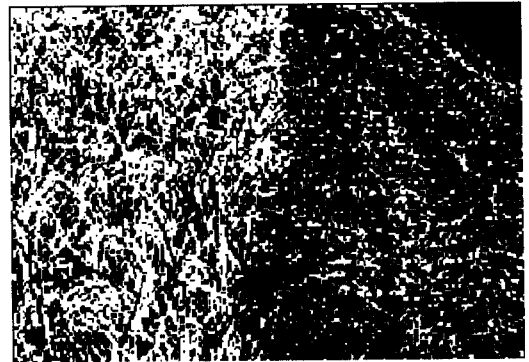


Fig. 12 Binarized image.

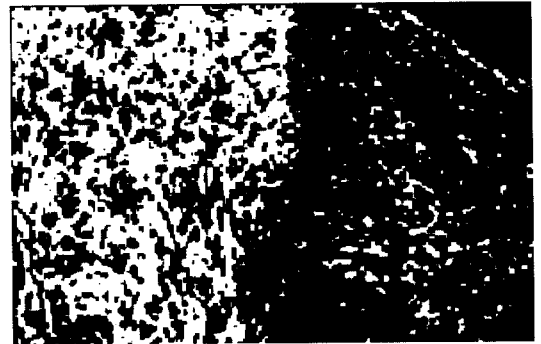


Fig. 13 Median filtered image.

한다.

3. 결과 및 고찰

가. 기계시각에 의한 경로 탐색

획득된 영상의 RGB 값에 대해 각각 히스토그램을 구해 본 결과 수확되지 않은 벼가 서 있는 부분과 수확이 끝난 토양을 구분하는데 있어서 G(green) 값이 가장 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 따라서 경로 탐색을 위한 영상처리에서는 G값만을 이용한다.

이치화된 영상(그림 12)에서 수확이 된 부분과 수확이 되지 않은 부분에서 각각 화소치 255와 0의 값을 갖는 영상 잡음이 국소적으로 나타나 메디안 필터를 적용하여 이를 제거하였다. 영상

의 처리시간을 고려하여 마스크(mask)의 크기는 3×3으로 하였다. 그림 13은 그 결과이다.

경계에 해당하는 픽셀을 찾기 위하여 각 수평 라인별로 왼쪽에서 오른쪽으로 진행하면서 식 (1)의 'confidence' 값을 계산하여 그 값이 최대한 점을 경계선 위에 있는 픽셀로 결정하였다.

$$confidence = noLeftPixel * leftPortion \dots\dots\dots (1)$$

여기서

confidence : 경계에 해당하는지 판단하는 신뢰 지수

noLeftPixel : 좌측 점들 중 화소치 255의 픽셀 개수

leftPortion : 좌측 점들 중 화소치 255인 픽셀의 비율

이러한 방법으로 경계선 위의 픽셀들을 추출한 결과가 그림 14에 나타나 있다.

나. 자율 주행 포장 실험

직진주행 성능평가를 위한 포장실험은 서울대학교 농생대 부속농장에서 이루어졌다. 실험시 주행속도는 1.2km/hr이었으며 편차의 측정방법은 콤팩트 에취부 부분에 수직으로 막대를 세우고 주행을 한 후 생성된 궤적과 이상적인 경로를 비교하여 측정하였다. 모두 10회에 걸쳐 실험하였고, 1회 실험에 15 m를 주행하였으며 50cm 간

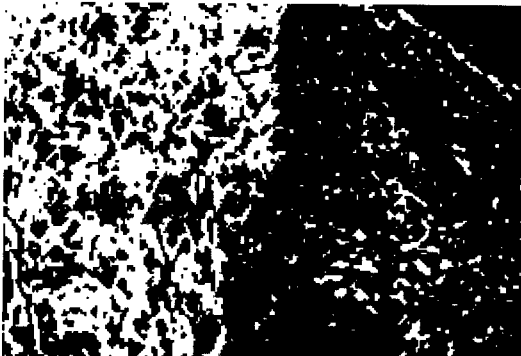


Fig. 14 Edge-detected image with noise.

격으로 편차를 측정하였다. 초기 위치는 -20cm 정도의 오프셋(offset)을 주었고 콤팩트의 방향은 이상적인 경로와 대체로 일치하도록 하였다. 실험한 결과를 표 6에 나타내었다.

Table 6 Experimental results

Trial	RMS(cm)
1	21.13
2	18.92
3	27.60
4	31.11
5	16.91
6	25.26
7	28.61
8	22.71
9	16.16
10	18.52

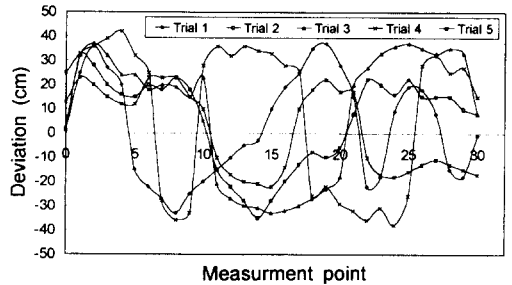


Fig. 15 Deviation of autonomous travel I.

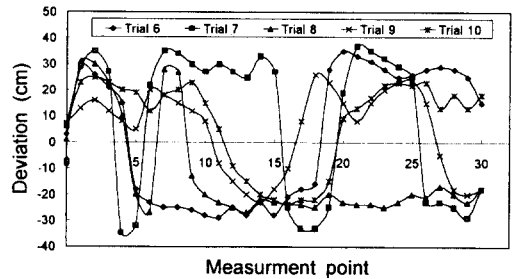


Fig. 16 Deviation of autonomous travel I.

Table 7 Experimental results in a whole field

Trial	1	2	3
%	92	95	96

실험 결과 RMS 값이 최소 16.16 cm에서 최대 31.11 cm의 범위를 보였으며 RMS의 평균은 22.7 cm로 나타났다. 이러한 주행의 편차를 그림 15과 16에 나타내었다.

초기에 양(+)의 방향으로 오프셋이 생기는 것은 콤바인의 초기위치를 음(-)의 방향으로 오프셋을 주었기 때문으로 판단된다.

회전주행의 성능을 평가하기 위한 실험은 15×27 m 크기의 포장에서 실시하였으며 편차를 측정하는 방법은 직선주행과 동일하다.

이러한 방법으로 실험한 결과 전체 주행 면적에서 수확이 이루어진 부분의 면적을 비율(%)로 나타내면 표 7과 같다.

직진 및 회전 실험 결과를 보면 약 40 cm 이내의 오차와 95%의 수확비율로 콤바인의 자율주행이 가능하다고 판단된다. 직진 주행 오차를 줄이기 위한 향후 연구가 더 필요하며 40 cm정도 편차를 미리 고려하여 콤바인의 예취부를 한쪽으로 치우치게 하여 주행을 할 수도 있을 것이다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 콤바인의 자율주행을 위하여 DGPS, 기계시각, 자이로 센서 및 초음파 센서를 이용한 통합시스템을 구축하였다. 또한 각 센서들로부터의 출력값을 퍼지제어기에 입력할 수 있도록 RS-232C 및 NI SCXI I/O 보드를 이용한 인터페이스를 개발하였으며, 이러한 출력값을 입력으로 받는 퍼지제어기를 개발하였다. 개발된 퍼지제어기는 센서들로부터 입력받는 값들을 퍼지추론에 통해 조향각을 출력하며, 이 결과를 NI SCXI I/O 보드를 통해 유압시스템 제어회로로 입력함으로써 유압시스템을 제어하여 콤바인의

자세를 교정한다.

콤바인의 자율주행 가능성을 입증하기 위하여 실제 논에서 직선 및 회전 경로에 대한 주행 실험을 실시하였다. 그러나 실제로 벼가 서 있는 논을 대상으로 한 것은 아니며, 실제 벼가 서 있는 논을 대상으로 한 수확작업 실험을 위한 시스템의 보완과 실험이 앞으로의 과제이다.

콤바인이 작업하는 대상 포장은 비교적 평탄한 지면을 갖기 때문에 콤바인의 롤링(rolling)이나 피칭(pitching)에 의해 DGPS 안테나의 기울기에 의해 생기는 오차는 무시하였다. 그러나 이앙기 등과 같이 심한 요철이 있는 지면을 대상으로 하고 매우 높은 정밀도를 요하는 경우에는 이러한 오차까지 보정해 주어야 할 것이다. 또한 농용 차량과 같이 심한 진동과 같은 열악한 환경에서 사용되는 DGPS 또는 여타의 센서들이 제품 제작 당시 명기된 사양만큼 좋은 성능을 보이는데 관해서 연구가 진행되어야 할 것이다.

본 연구에서 개발된 자율주행 시스템은 수도작의 수확작업에 있어서의 자동화를 가능하게 할 것이며, 또한 수도작 작업과정 전체의 자동화 및 무인화를 촉진하여 수도작 무인화를 위한 통합시스템을 구성할 수 있게 할 것이다. 이러한 경우 개별적인 농용 차량의 제어가 아닌 집단제어(group control)의 개념이 도입되어야 할 것이며, 소수의 작업자가 기지국(base station)에서 모든 과정의 농용 차량을 감시하고 제어하게 될 것이다. 따라서, 부족한 노동력 문제를 해소하고 농업기계의 사용에 있어서의 효율성도 제고될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 이정엽. 1999. DGPS와 GIS를 이용한 스피드스프레이어의 자율주행. 석사학위 논문. 서울대학교 대학원.
2. 이재훈, 조성인, 이정엽. 1998. DGPS와 퍼지제어를 이용한 스피드스프레이어의 자율주행(II) - 실제주행 -. 한국농업기계학회지. Vol.

- 23(1):75-82.
3. 정선옥, 박원규, 김상철, 박우풍, 장영창. 1998. DGPS와 Gyro compass를 이용한 트랙터의 자세 검출. 한국농업기계학회지. Vol. 23(2):179-186.
 4. 기노훈, 조성인, 최창현. 1996. 기계시각과 퍼지논리를 이용한 스피드스프레어의 자율주행(II) - 실제주행 -. 한국농업기계학회지. Vol. 21(2):175-181.
 5. Nagasaka, Y., R. Otani, K. Shigeta and K. Taniwaki. 1997. Automated Operation in Paddy Fields with a Fiber Optic Gyro Sensor and GPS. Proceeding of International Workshop on Robotics and Automated Mahinery for Bio-productions. pp. 21-26.
 6. Vetter, A. A. 1996. Quantitative Evaluation of DGPS Guidance for Ground-Based Agricultural Applications. Applied Engineering in Agriculture. Vol. 11(3):459-464.