

발 간 등 록 번 호

11-1543000-000792-01

친환경 정밀농업 기술을 이용한 변량형 시비 겸용  
자율주행형 잔디 모위 개발

Development of an autonomous lawn mower with a function of  
variable-rate application of fertilizer using environment-friendly  
precision agriculture technology

전 남 대 학 교

농 립 축 산 식 품 부



# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “친환경 정밀농업 기술을 이용한 변량형 시비 검용 자율주행형 잔디 모위 개발” 과제의 보고서로 제출합니다.

2015 년 01 월 24 일

주관 연구 기관명 : 전남대학교  
주관 연구 책임자 : 이 경 환  
세부 연구 책임자 : 이 경 환  
연 구 원 : 유 승 화  
연 구 원 : 백 선 옥  
협동 연구 기관명 : LS엠트론  
협동 연구 책임자 : 이 진 응  
제1위탁연구기관명 : 준성이엔알  
위탁 연구 책임자 : 김 중 권  
제2위탁연구기관명 : 충남대학교  
위탁 연구 책임자 : 정 선 옥

# 요 약 문

## I. 제 목

친환경 정밀농업 기술을 이용한 변량형 시비 겸용 자율주행형 잔디 모위 개발

## II. 연구개발 필요성 및 목적

잔디 깎기는 노동의 피로도가 높고 작업시간이 오래 소요되므로 보행형 보다는 승용형 예초기가 많이 사용되고 있다. 승용형 예초기 또한 1 ha 작업에 약 7시간이 소요되므로 인력부족으로 인해 잔디 깎기 횟수를 줄이고 있으며 이로 인해 잔디의 상품성 저하를 유발하고 있다. 따라서 잔디 깎기의 노동력 부족을 충당하고 잔디의 상품성 향상을 위해서는 잔디깎기 작업 동시에 잔디의 생육상태에 따라 변량 시비할 수 있는 지능형 잔디모위의 개발이 필요하다. 따라서, 본 연구의 목적은 친환경 정밀농업기술을 이용하여 잔디의 생육정보를 판별하고 변량 시비할 수 있는 자율주행 잔디모위를 개발하는 것이다.

## III. 연구개발 내용

주요 연구 분야는 잔디 생육정보 측정 시스템과 변량시비 시스템, 생육정보 맵핑 및 공간변이 분석, 자율주행 잔디모위 시스템으로 각각의 세부적인 연구내용은 다음과 같다.

### 1. 잔디 생육정보 측정 시스템과 변량시비 시스템

잔디 포장에서 주행하면서 실시간으로 생육정보를 측정할 수 있는 영상기반 생육정보 측정 시스템을 구성하였다. 이 시스템은 컬러카메라로 획득한 잔디 영상을 자체 개발한 LabVIEW 플랫폼의 영상분석 프로그램을 통해 생육정보를 측정하고, 이를 생육인자로 변량시비를 실시하였다. 변량시비 시스템은 모위 트랙터에 탑재가 가능하도록 소형의 비산방식 비료살포기를 선정하였으며, 비산 회전날의 회전속도를 조절함으로써 살포량을 조절하였다.

### 2. 생육정보 맵핑 및 공간변이 분석

잔디 생육정보 측정 시스템에서 획득한 생육정보를 GPS에서 획득한 위치정보와 결합하여 지도화하고 통계분석을 통해 공간변이를 분석하였다. 의사결정 알고리즘에 의해 생육정보를 기반으로 시비량을 10단계로 구분하였으며 이를 지리정보시스템과 연계하여 맵핑하였다.

### 3. 자율주행 잔디모위 시스템

자율주행 잔디모위 시스템은 20 kW 콤팩트 트랙터를 기반으로 잔디 생육정보 측정 시스템을 전방에 변량 시비기와 예취부를 후방에 탑재 하였다. 자율주행 잔디모위의 위치인식 및 자

제제어를 위해 RTK GPS와 IMU를 트랙터 중심선에 위치 시켰으며, HST 페달의 변위 조정에 의한 주행속도 제어와 조향핸들 조절에 의한 조향각 제어를 위해 모터를 설치하였다. RTK GPS와 IMU의 데이터 획득 및 모터제어에 의한 속도 및 방향제어 그리고 자율주행 알고리즘 구현을 위해 Compact RIO를 제어기로 사용하였으며 자율주행 프로그램은 LabVIEW 플랫폼 기반으로 개발하였다.

#### IV. 연구개발 결과

본 연구의 주요 연구 분야에 대한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

##### 1. 잔디 생육정보 측정 시스템과 변량시비 시스템

잔디 생육정보 측정 인자로 색상과 피복도를 선정하였으며 포장 내에서 주행하면서 실시간으로 생육인자를 측정할 수 있었다. 생육정보 측정 시스템에 의해 측정한 피복도는 전문가가 수작업으로 분석한 결과와 비교했을 때 높은 상관관계를 보였다. 변량시비 시스템은 소형의 비산방식 비료살포기를 개조하여 사용하였으며, 비산 회전날의 회전속도를 조절함으로써 시비량을 조절하였다. 비산 회전날에 연결된 모터의 회전속도와 실제 시비량과의 상관관계가 높아 시비량이 정밀하게 조절될 수 있음을 보여주었다. 잔디 생육정보 측정 시스템과 변량시비 시스템은 모워 트랙터에 탑재되어 실제 포장에서 사용되었다.

##### 2. 생육정보 맵핑 및 공간변이 분석

잔디 생육정보 측정 시스템에서 획득한 생육정보를 지리정보시스템과 연계하여 맵핑하고 통계분석을 통해 공간변이를 분석하였다. 생육정보의 변이에 대한 통계적 분석을 통해 추천 시비량을 10단계로 구분하여 변량시비 시스템의 입력인자로 활용하였다. 또한 사용자 편의를 위하여 사용자 인터페이스 및 시각화 메뉴를 확립하였다.

##### 3. 자율주행 잔디모워 시스템

자율주행 잔디모워 통합 시스템 구성을 위해 잔디 생육정보 측정시스템과 변량시비기, 예취부를 20 kW 모워 트랙터에 탑재하였으며, 자율주행 구현을 위해 RTK GPS와 IMU를 설치하고 주행속도와 조향각 제어를 위해 모터를 사용하였다. 자율주행 알고리즘 구현을 위해 Compact RIO를 제어기로 사용하였으며 자율주행 프로그램은 LabVIEW 플랫폼 기반으로 개발하였다. 자율주행 성능은 직선과 곡선 코스에서 시험하였으며, 직선 주행에서 RMS 오차는 12cm 이하였으며, 곡선 주행에서 RMS 오차는 33cm 이하였다.

#### V. 연구성과 및 활용 계획

연구개발 결과의 정량적 성과는 특허출원 6건, 논문 5건, 학술발표 15건, 기술이전 1건, 상품화 1건 예정, 대농민 교육지도 2건, 언론 홍보 2건을 실시하였다. 본 연구에서 개발한 자율주행

잔디모위 기술은 농업용 로봇 시범사업을 통해 잔디 재배농가에 보급할 예정이며, 생육정보 측정 및 변량시비 기술은 기업의 기술이전을 통하여 사업화를 추진할 계획이다. 생육정보 측정 및 변량시비 기술이 탑재된 자율주행 잔디모위 시스템을 잔디 재배관리에 활용함으로써 잔디 생육자료를 체계적으로 확보할 수 있을 뿐만 아니라 농자재와 노동력 투입을 저감하고 고품질의 잔디를 생산함으로써 잔디의 생산성 향상에 기여할 것으로 기대된다.

# 목 차

제1장 연구개발 과제 개요 .....	7
제1절 연구개발 배경 및 필요성 .....	7
1. 벼 대체 작물로서 잔디의 중요성 .....	7
2. 자율주행 잔디모위 개발의 필요성 .....	8
제2절 연구 목적 및 연구 내용 .....	9
제2장 국내외 기술개발 현황 .....	10
제1절 정밀농업 기술개발 현황 .....	10
제2절 잔디모위 기술개발 현황 .....	11
제3절 자율주행 기술개발 현황 .....	12
제3장 연구 개발수행 내용 및 결과 .....	15
제1절 잔디 생육정보 측정시스템과 변량시비 시스템 개발 및 성능평가 .....	15
1. 잔디 생육정보 측정 시스템 .....	15
가. 잔디 생육 인자 및 생육정보 측정 기술 .....	15
나. 생육정보 측정 영상 시스템 .....	17
다. 생육정보 분석 결과 .....	19
라. 포장 내 잔디 생육정보 측정 .....	30
2. 변량시비 시스템 .....	36
가. 변량 시비기 .....	36
제2절 생육정보 맵핑 및 공간변이 분석 .....	53
1. 생육정보 맵핑 .....	53
2. 변이 분석 및 시비추천 .....	55
가. 변이분석 .....	55
나. 시비추천 .....	57
3. 사용자 인터페이스 및 시각화 메뉴 확립 .....	58
가. 포장인식 .....	59
나. 경로생성 .....	60
다. 데이터 출력 .....	63
라. 시각화 메뉴 .....	63
제3절 자율주행 잔디모위 개발 및 성능평가 .....	65
1. 자율주행 잔디모위 개발 .....	65
가. 자율주행 잔디모위 구성 .....	65
2. 자율주행 제어 시스템 .....	74
가. 잡음제어 필터 .....	74
나. 제어 시스템 .....	77
3. 잔디모위 통합시스템 .....	99
가. 잔디모위 시작기 제작 .....	99

나. 통합 제어 시스템 개발 .....	105
다. 잔디모위 자율주행 성능평가 .....	108
라. 자율주행 경로 생성 .....	117
마. 성능평가 및 시스템 최적화 .....	129
제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 .....	131
제1절 목표달성도 .....	131
제2절 관련분야에의 기여도 .....	132
제5장 연구 개발 성과 및 성과활용 계획 .....	134
제1절 연구개발결과의 정량적 성과 .....	134
1. 특허 성과 .....	134
2. 논문 성과 .....	134
3. 학술발표 성과 .....	135
4. 기타 성과 .....	136
제2절 연구개발 결과의 성과활용 계획 .....	138
1. 개발 기술의 산업화 및 실용화 계획 .....	138
가. 양산 전략 방향 .....	138
나. 사업화 방안 .....	139
다. 경제성 및 가격 경쟁력 제고 .....	140
제6장 연구 개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 .....	143
제1절 특허 정보 .....	143
제2절 논문 정보 .....	144
제3절 제품 및 시장조사 정보 .....	145
제7장 연구 시설장비 현황 .....	146
제8장 참고문헌 .....	147

# 제1장 연구개발 과제 개요

## 제1절 연구개발 배경 및 필요성

### 1. 벼 대체 작물로서 잔디의 중요성

국내 쌀 수급은 식생활의 서구화와 의무 수입량의 증가로 지난 10년간 만성적인 초과 공급 상태에 있었으며, 2010년 전체 쌀 재고량은 약 150.9만 톤으로 권장재고량을 초과하고 있다. 이런 추세는 지속되어 권장 재고량을 초과한 쌀 재고량은 2010년 70.9만 톤에서 2014년에는 16.5만 톤으로 늘어날 전망이다. 쌀 재고량의 증가는 보관비용의 증가를 초래하여 재고미 10만 톤 당 보관비용 220억 원을 기준으로 2009년에 396억 원, 2010년에는 1,560억 원이 소요되었으며, 2011년부터 2014년까지 초과 재고의 추가 보관비용은 총 9,022억 원이 소요될 전망이다.

쌀 재고량의 누적은 쌀 값 하락으로 이어져 농가소득을 감소시키고 있다. 쌀 재고량이 급증한 2009년과 2010년의 경우 쌀 도매가는 전년 대비 각각 -5.9%와 -12.9% 하락하였다. 이에 농림축산식품부는 쌀 대체 소득작물 재배 지원책으로 논 40천 ha에 벼 대신 다른 작물재배를 유도하여 쌀 20만 톤 이상을 감축하고자 하였다. 벼농사는 국내 쌀 재고량 증가와 생산비 증가에 따른 소득 감소와 농촌 노동인구의 고령화로 인한 노동력 부족으로 어려움에 직면해 있다. 따라서 노동력이 적게 소요되며 안정적인 고소득을 보장할 수 있는 벼 대체 작물이 필요하게 되었다. 이 중 잔디는 적은 노동력으로 벼농사 보다 2~3배의 고수익을 올릴 수 있으므로 쌀 대체 고소득 작물로 타당성이 높다. 하지만 잔디 재배관리를 위한 농작업 기계는 대부분 수입에 의존하고 있어 국산화가 필요한 실정이다. 또한 적은 노동력으로 대구획의 잔디 재배관리를 위해서는 농작업기계의 무인화, 지능화 기술 개발이 요구되고 있다.

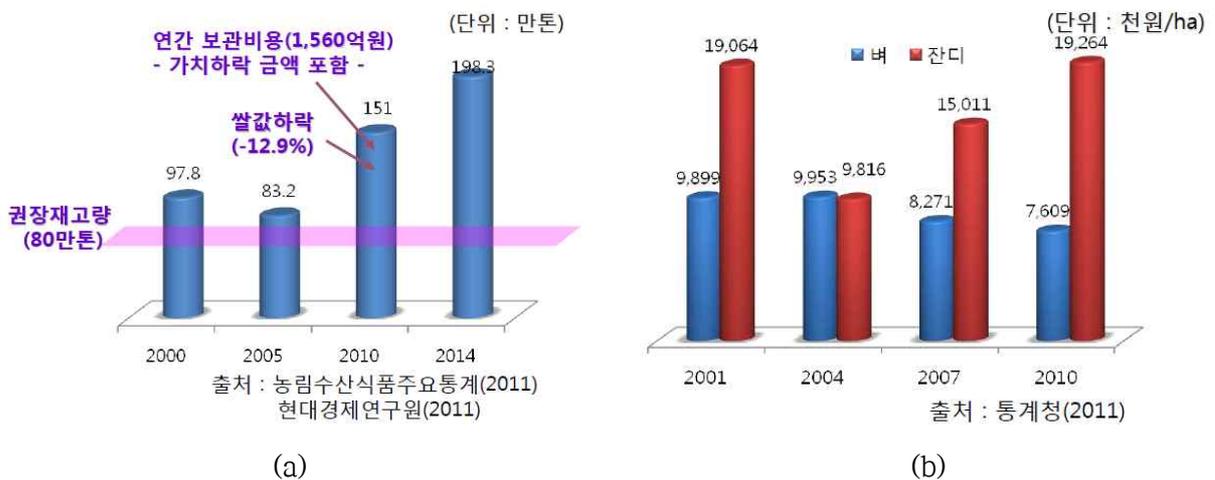


그림 1-1-1 쌀 재고량(a)과 벼와 잔디의 생산액 비교(b)

## 2. 자율주행 잔디모위 개발의 필요성

잔디 재배관리를 위해서는 식재, 시비, 관수, 잡초방제, 병해충 방제, 깎기, 수확 등의 일련의 과정을 필요로 하며 이 중 시비와 깎기는 잔디의 품질을 결정하는 중요한 과정으로 많은 노동력과 시간이 소요된다. 비료 시비는 잔디 잎, 줄기 및 뿌리의 생장을 촉진시키고 잎의 색깔, 회복력, 답압, 스트레스 및 병의 저항성 등을 향상시킨다. 따라서 잔디의 적절한 비료 시비를 위해서는 잔디의 종류, 토양상태, 잔디 관리요구도, 비료종류, 시비시기, 시비량 및 시비방법 등을 잘 고려하여야 한다. 시비는 주로 고상의 속효성 비료나 완효성 비료를 동력살분무기에 의해 인력으로 재배지에 고르게 살포하고 있다. 따라서 과도한 비료 살포로 토양 오염을 야기할 수 있으며 생산비 또한 증가하고 있다. 또한 작업노동 강도가 높고 많은 작업시간이 요구되므로 주행 중 잔디의 생육상태에 따라 변량 시비할 수 있는 작업기계가 요구되고 있다.

잔디깎기는 가장 빈번하게 이루어지는 작업으로 잔디관리에 있어서 가장 중요한 작업 중의 하나이다. 잔디깎기의 효과는 잔디면을 균일하고 아름답게 하며 잔디의 엽수와 포복경수를 증가시켜 밀도를 높이고 잡초방제효과가 있으며 단위 면적당 엽록소 함량을 증가시켜 상품성을 향상시킨다. 잔디의 깎기 높이나 깎기 횟수는 중요하며 품종과 이용 목적에 따라 다르다. 벤프그라스는 3.0~6.0mm, 켄트키 블루그라스는 20~30mm정도로 관리되며 깎기 횟수는 1회 깎기 시 엽 조직의 30~40% 이상을 제거하지 않도록 신초 생장률, 환경조건, 깎기 높이, 잔디의 사용목적 등에 따라 결정한다. 한번에 1/3이상을 깎으면 잔디의 재생부위가 황변되므로 유의해야 한다.

잔디 깎기는 노동의 피로도가 높고 작업시간이 오래 소요되므로 보행형 보다는 승용형 예초기가 많이 사용되고 있다. 승용형 예초기 또한 1 ha 작업에 약 7시간이 소요되므로 인력부족으로 인해 잔디 깎기 횟수를 줄이고 있으며 이로 인해 잔디의 상품성 저하를 유발하고 있는 것은 직접적으로 소득감소를 야기한다. 따라서 잔디 깎기의 노동력 부족을 충당하고 잔디의 상품성 향상을 위해서는 잔디의 생육상태에 따라 잔디깎기 작업 동시에 변량시비 할 수 있는 무인화, 지능화된 잔디 모위의 개발이 필요하다.

## 제2절 연구 목적 및 연구 내용

본 연구는 친환경 정밀농업기술을 이용하여 잔디의 생육정보를 판별하고 변량 시비가 가능한 자율주행 모위를 개발하는 것으로 주요 연구 분야는 잔디 생육정보 측정 시스템과 변량시비 시스템, 생육정보 맵핑 및 공간변이 분석, 자율주행 잔디모위 시스템이다.

### 1. 잔디 생육정보 측정 시스템과 변량시비 시스템

잔디 포장에서 주행하면서 실시간으로 생육정보를 측정할 수 있는 영상기반 생육정보 측정 시스템을 구성하였다. 이 시스템은 컬러카메라로 획득한 잔디 영상을 자체 개발한 LabVIEW 플랫폼의 영상분석 프로그램을 통해 피복도를 측정하고, 이를 생육인자로 비료의 변량시비를 실시하였다. 변량시비 시스템은 모위 트랙터에 탑재가 가능하도록 소형의 비산방식 비료살포기를 선정하였으며, 비료 살포량 조절을 위해 배출부와 제어부를 개발하였다. 또한 상위 제어기와 통신을 위해 인터페이스 모듈을 개발하여 탑재하였다.

### 2. 생육정보 맵핑 및 공간변이 분석

잔디 생육정보 측정 시스템에서 획득한 생육정보를 GPS에서 획득한 위치정보와 결합하여 지도화하고 통계분석을 통해 공간변이를 분석하였다. 의사결정 알고리즘에 의해 생육정보를 기반으로 시비량을 10단계로 구분하였으며 이를 지리정보시스템과 연계하여 맵핑하는 기술을 개발하였다.

### 3. 자율주행 잔디모위 시스템

자율주행 잔디모위 시스템은 20 kW 콤팩트 트랙터를 기반으로 잔디 생육정보 측정 시스템을 전방에 변량 시비기와 예취부를 후방에 탑재 하였다. 자율주행 잔디모위의 위치인식 및 자세제어를 위해 RTK GPS와 IMU를 트랙터 중심선에 위치 시켰으며, HST 페달의 변위 조절에 의한 주행속도 제어와 조향핸들 조절에 의한 조향각 제어를 위해 모터를 설치하였다. RTK GPS와 IMU의 데이터 획득 및 모터제어에 의한 속도 및 방향제어 그리고 자율주행 알고리즘 구현을 위해 Compact RIO를 제어기로 사용하였으며 자율주행 프로그램은 LabVIEW 플랫폼 기반으로 개발하였다. 잔디 포장의 크기 및 형상, 모위의 치수 및 회전반경 그리고 관행 잔디모위 작업의 특성을 분석하여 잔디깎기 및 시비를 위한 최적 경로생성 프로그램을 개발하였다.

## 제2장 국내외 기술개발 현황

### 제1절 정밀농업 기술 개발 현황

국내 정밀농업기계 기술은 1999년 한국농업기계학회와 농촌진흥청 농업기계화연구소의 국제 심포지엄과 국제공동연구 추진 등으로 시작되었으며, 그동안 토양 이화학적 측정 센서, 벼 생육상태 측정 센서, 벼 수확량 모니터링 시스템, 작물의 질소 시비량 추천을 위한 지상원격측정 센서, 농업기계 자율주행 기술, 원격제어기술 등의 연구가 수행되었다.

농촌진흥청은 우리나라 전체 토양의 전산화를 위해 정밀토양도를 이미 완성하였고, 현재는 세부 정밀토양도를 작성 중에 있다. 또한 농업공학부는 미국 미주리주립대학, 미국 플로리다대학교와 공동으로 정밀농업 구현에 필요한 수확량 측정 시스템, 작물 질병 및 병해충 예찰 시스템, 포장정보 검출 시스템에 관한 연구를 진행하고 있다.

국외 정밀 농업기계 기술 현황을 살펴보면, 미국에서는 농가 이익과 환경보전을 위해 정밀농업의 필요성이 끊임없이 논의되어 왔으며, 그 결과 1980년대 중반 항공사진과 토양도를 이용한 시비추천방법으로 비료를 변량 살포하는 장비가 처음으로 개발되어 중부 대규모 곡창지대에서 농가 활용이 시작되었다. 미국은 1990년대 초부터 정밀농업이 농업현장에 보급되기 시작하여 정밀농업을 실천하고 있는 면적은 1998년도에 주요곡물재배 면적의 11%인 1천만ha에 달하였다. 1999년도 통계에 의하면 어떠한 형태로든 정밀농업을 수행하고 있는 농가는 37.5%나 되며, 곡물수확량모니터는 1992년경부터 보급되기 시작하여 1998년에는 콤바인의 약 25%가 보급되어 미국 전체 작물 재배면적의 약 25%에서 사용되고 있다. 이 중 수확량 모니터링 시스템은 현재 옥수수, 콩 재배면적의 약 50%에 채택되고 있으며, 변량 시비 기술은 재배면적의 약 30%에 적용되고 있다. 최근에는 GPS를 이용한 자동조향(auto-steering) 기술이 급속히 보급되고 있다.

지금까지의 정밀농업 기술이 농자재 절감과 생산량 증대 위주였다면 미래 정밀농업 기술은 환경보전에 보다 중점을 둔 기술개발이 이루어 질 것으로 전망된다. 토양 및 작물의 특성 측정은 이동형 센서보다는 고정 무선 센서 네트워크를 이용한 기술이 확대될 전망이며, 옥수수, 콩 등의 재배에 국한되었던 기술을 과수와 채소 생산에 확대할 전망이다.

유럽은 다양한 규모의 농업형태를 가진 나라들로 구성되어 있으며 유럽 15개국의 평균 농가 규모는 4.8-57.4 ha규모이고 평균 20.2 ha이다. 유럽의 정밀농업은 작물의 생육밀도 및 특성에 따라 농약 및 비료의 살포량을 조절하는 변량 살포기술, 소규모 필지를 가상으로 통합하여 이용하기 위한 가상 토지관리, 농작업 로봇화, 각종 센서로부터 수집된 정보를 DB화하는 기술에 대한 연구가 중점적으로 이루어지고 있다.

일본에서는 1996년부터 정밀농업 관련 연구가 시작되었으며, 1999년 “Basic Plan of Food, Agriculture and Rural Area”의 법률제정으로 가속화되었다. 대학, 정부 연구기관을 중심으로 수도작, 전작용 정밀농업 센서와 장비를 개발하여 상용화가 추진되고 있다. 소규모 농경지를 가진 일본의 상황에서 여러 농가의 필지를 공동으로 운영하는 아시아 국가 형태의 정밀농업기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

## 제2절 잔디모위 기술개발 현황

국내 농업기계 시장규모는 2010년 기준 2조원 수준으로 내수가 1조 2000억 원, 수출 4억 달러, 서비스 4000억 원 등이며, 이중 관리기를 비롯한 기타 작업기의 비중은 25%이다. 국내 농업기계 수입은 2000년 1억 3180만 달러에서 2008년 4억 7150만 달러까지 크게 증가하다가 2009년에는 3억 3220만 달러로 다소 감소하였다. 2000년대 초반 수입비중이 다소 높았던 예취기는 매년 2000만 달러 이상 수입되고 있으나, 그 비중은 감소 경향을 보여 2009년 6.8%를 나타내고 있다. (농업기계연감, 2010)

국내에서 생산되는 제초기의 대부분은 소형, 경량의 예취기와 트랙터 부착형 모위를 비롯한 중경제초기가 주를 이루고 있다. 잔디 모위로 분류할 수 있는 동력제초기 또한 국내에서 생산되고 있으나 그 수가 적고 대부분 미국, 일본, 유럽 등에서 수입하여 사용하고 있다. 제초기의 사용 장소는 주로 과수원을 비롯한 농경지이며, 골프장, 주택, 공공기관 등에서도 사용하고 있으며 국내 동력제초기 생산회사는 아세아텍과 한성태앤아이로 동력제초기의 중심이 되는 엔진은 외국에서 수입하고 있어 100% 국산화라고 보기 어렵다. 또한 국내 동력제초기의 가격이 보행식인 경우 150~300만원 사이로 수입 동력제초기에 비해 가격이 비싸다는 단점을 지니고 있다. 2008년 세계 제초기 시장의 소비 규모는 11,828,000대로 2000년 8,486,000대에 비해 약 1.5배 증가하였다. 이는 연평균 약 4.92%의 증가율을 기록한 것으로 지역별로는 2008년 기준 북미 지역이 39.22%로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 그 다음으로는 유럽 지역이 34.58%, 아시아 태평양 지역이 22.67%, 기타 지역이 3.53%를 기록하고 있다. 미국은 정원 및 잔디 관리장비의 최대 생산국이며, 장비의 총 생산액은 1999년 78억 9000만 달러에서 2004년 92억 달러로 5년 동안 3.1%가 성장하였으며 2004년 미국의 정원 및 잔디 관리장비의 총 거래량의 11%는 수출을 통해 이루어지고 8%는 수입을 통해 이루어진다. 미국에서 주요 정원 및 잔디 관리장비 제작회사는 John Deere, Toro, MTD, Electrolux, Murray로 2004년 전체 시장의 63%이상을 차지하고 있으며 John Deere의 경우 전체 매출액 200억 달러의 11%를 정원 및 잔디 관리장비 산업에서

차지하고 있고 Toro의 경우 정원 및 잔디 관리장비 산업이 전체 매출액의 3분의 2에 해당하는 17억 달러를 차지하고 있다. 잔디 모위 산업은 2004년 34억 9000만 달러로 1999년 32억 8000만 달러에 비해 1.2% 성장하였다. 미국에서 생산하는 잔디 모위의 3분의 2는 승용식이며, 나머지를 보행식이 차지하고 있다. 잔디 모위의 대부분은 농경지, 골프장, 주택, 경기장 및 지자체 등에서 사용되고 있다.

### 제3절 자율주행 기술개발 현황

국내는 1960년대 이후 공업화 시책으로 청장년 세대의 도시집중현상이 계속되어 농촌일손부족을 가져왔고, 이러한 문제를 해결하기 위하여 농업기계화 사업을 추진하여 오늘에 이르기까지 커다란 성과를 이루었다. 현재 농촌의 고령화율은 30.3%로 도시의 3배 수준이며, 농촌인구 4명중 3명은 40세가 넘는 중장년층이다. 사실상 농업경영의 주체를 보면 더 심각하다. 40세 미만 경영주는 100중 2명에 불과한 것이 우리의 농업현실이자 농업후계자 육성이 안 될 경우 앞으로 젊은 농업 경영인을 찾기 어려울 수도 있는 실정이다.(농림수산식품부, 2008)

그러나, 농업기계화가 실현된 현시점에서 농업후계자를 육성해야하는 상황이 되었고, WTO 및 FTA 체결로 인하여 예외 없이 국제 경쟁 원리에 의해 국가 간 거래가 이루어지고 있어 우리의 농업을 현재보다 한 단계 높은 원가절감 수준으로 올릴 노력이 필요한 시점에 와 있다. 우리 농업의 원가절감 노력은 다각도로 이루어져야 하나, 기계 및 시설 의존도가 날로 높아지는 현재 농업의 특성상 농작업의 자동화 등 하드웨어 부분의 원가절감 노력이 매우 높게 요구되고 있다.

농작업에서 주로 사용되고 있는 농용 트랙터, 이앙기, 콤바인 및 스피드스프레이어 등은 무인화 연구에 많이 이용되고 있으며, 특히 트랙터의 자율주행은 힘들고 고된 농작업을 무인화함으로써 농작업의 작업 기피 현상요인을 해소하고, 인력부족 및 노령화된 농촌 노동력을 대체할 수 있으며, 정밀 농작업을 실현시킬 수 있는 대표적인 농업기계이다. 2010년 세계 농업기계 시장 규모는 888억불 규모이며, 이중 자율주행, 자동제어 등의 로봇기술을 적용한 IT기반 정밀 농업기계는 80억불로 약 10% 수준이다. 또한 2015년에는 25% 수준인 250억불 규모로 성장이 예측된다. 국내 농업기계 시장 규모는 약 5억불로 세계시장의 0.6%로 상대적으로 매우 낮은 수준이며, 국내 농업용 로봇 시장 규모는 2009년 기준으로 약 30억원 수준으로 시장 형성단계에 있다.

자율주행기술은 미국에서 군사용 장비에 사용하기 위하여 개발되기 시작하였다. 2004,

2005년 DARPA Grand Challenge와 2007년 DARPA Urban Challenge를 통하여 상용차량을 이용한 비포장, 포장도로를 주행할 수 있는 자율주행기술이 개발되었으며 군사용으로 사용하기 위한 기술개발이 계속해서 이루어지고 있다. 최근 해외 선진 농기계 기술은 필요 정보를 입력하면 GPS 기술을 기반으로 자동으로 원하는 경로를 따라가는 자동 주행안내 시스템이 개발되었으며 John Deere, Autofarm 등 대형 농기계업체의 경우 트랙터, 콤파인 등 본체에 장착되는 키트(Kit)형태로서 보급되고 있으며 그 보급증가율도 높은 추세이다. 미국의 경우 트랙터, 콤파인 등 농기계의 운전자에게 주행정보를 LED 또는 지도정보로 안내해 주는 장치가 오래전부터 이미 보급되고 있으며 최근에는 주행경로를 입력하면 자동으로 핸들을 조향하면서 경로를 따라 주행하는 자율주행 시스템이 상용화되었다. 일본의 경우도 이앙기와 트랙터에 GPS와 센서를 이용하여 위치와 방향을 인식하고 조향장치를 전자적으로 제어하는 자율조향 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 실용화 전 단계에까지 도달하였다.

국내 기술개발 현황을 살펴보면, 정형 환경에서 로봇 주행은 제품화 단계에 진입하였고 관련 표준화 및 성능평가등 기반을 구축 중이나 비정형, 3차원 환경에서의 로봇주행은 연구개발 초기 단계이다.

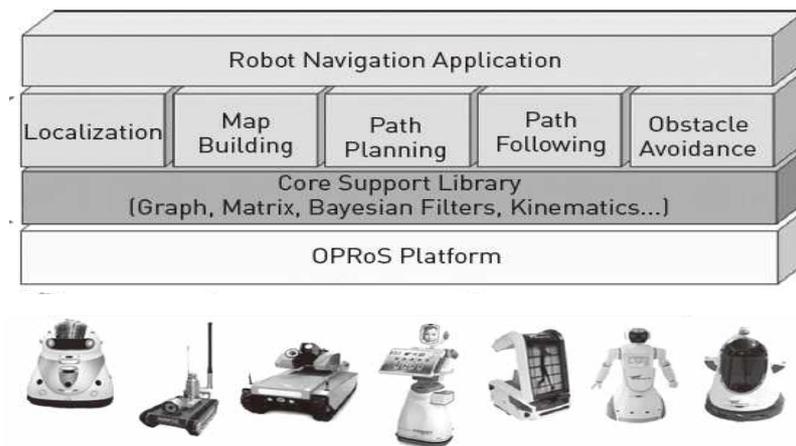


그림 2-3-1 로봇주행 라이브러리 구성 및 실제 적용사례

실외에서 움직이는 자율주행 로봇 경우 2차원으로 근사화 가능한 도로, 구내 등 정형 환경에서 동작하는 로봇주행기술 개발이 진행되고 있으나 제품화 단계에는 이르지 못하였다. 스테레오 카메라, 레이저 스캐너를 이용한 지형형상 복원, 지형지물 구조분석 및 이를 통한 로봇경로 계획, GIS지도와 국부 주행 지도 간 매칭을 통한 정밀 위치인식 등 국방, 보안로봇 서비스분야에서 지속적인 연구개발이 진행 중이다. 3차원 공간인식, 대형공간/장시간 안전주행기술을 통한 다양한 전문 서비스 로봇제품화를 추진하는 해외에 비해 국내 로봇주행기술은 응용범위 확대가 필요하고 IT 기술과 연계한 서비스 시나리오 개발을 통해 기술격차 해소가 필요하다.

국의 로봇주행기술 현황은 2차원 환경에서의 위치인식, 알려진 공간에 대한 환경지도 작성, 경유점 기반 주행제어기술이 완성되고 중장기적으로 3차원 환경모델링 및 대공간 인지를 바탕으로 위치인식, 3D 맵핑 및 동적객체를 고려한 주행기술개발을 진행하고 있다. 실외 로봇주행의 경우 임의의 도로형상, 지형지물 인식을 통한 로봇위치인식, 주행상황인식을 위해 주행공간의 3차원 모델링 및 인식에 대한 연구개발 증가추세이다. 영국 옥스퍼드, 독일 Freiburg 대학, 미국 카네기멜런대학 등이 이 분야 원천기술을 선도하고 있다. EU의 FP프로젝트에서도 EUROPA, EYESHOTS, FROG등 연구과제 지원을 통해 도심, 도로, 쇼핑몰, 상점 등 도로 및 근접실외 통합 로봇주행기술을 개발 중이다.

해외의 경우 로봇주행 핵심기술을 바탕으로 제품화 단계에 돌입하였다. 로봇 자율주행을 구현한 상용, 오픈소스 SW가 개발되어 제공되고 있다. MobileRobots사를 인수한 Adept에서 연구용 이동로봇 플랫폼 및 ARIA, ARNL, Mapper로 구성된 로봇주행 SW를 제공하고 있다. Willow Garage사에서 ROS (Robot Operating System)내에 로봇주행을 위한 맵핑 및 경로계획 모듈을 탑재하여 오픈소스로 제공한다. SRI가 KARTO SDK를 라이선싱하고 있으며 (레이저센서기반의 맵핑, 주행제어 솔루션), Evolution Robotics사에서 NorthStar를 개발하였다. 구글에서 2010년 처음으로 무인 자동차를 발표한 이후 2011년 관련특허를 획득 앞으로 5년 이내에 상용화를 목표로 개발을 진행 중에 있다.



그림 2-3-2 구글에서 개발 중인 무인자동차

## 제3장 연구개발 수행내용 및 결과

### 제1절 잔디 생육정보 측정시스템과 변량시비 시스템 개발 및 성능평가

#### 1. 잔디 생육정보 측정 시스템

##### 가. 잔디 생육 인자 및 생육정보 측정 기술

###### (1) 잔디 생육 인자

잔디 재배 및 관리 과정에서 잔디의 생육 및 품질 정보에 따라 잔디 깎기, 시비, 방제 등 다양한 처방의 관리 작업이 이루어진다. 잔디의 생육 정보에 따라 처방이 이루어지기 위해서는 잔디 생육 및 품질의 기준이 객관적으로 확립되어야 한다. 그러나 현재 잔디의 평가는 잔디 재배자 또는 관리자들에 의해 주관적이며 평가 내용 또한 매우 어렵고 복잡하다. 잔디 평가는 일반적으로 피복도, 색상, 밀도, 잎의 질감, 균일도 등과 같은 요소들이며 재배 관리자들의 시각에 의해 주관적으로 측정되어 진다. 이러한 주관적인 측정 방법은 그 기준이 모호하여 논란의 대상이 되고 있으며, 현재 객관적으로 측정 할 수 있는 장치와 제도가 마련되지 않아 잔디의 품질을 평가하는데 어려움이 있다.

시각 평가에 의한 등급 결정이 객관적이고 일관성을 유지하기 위해서는 잔디 품질 평가에 대한 기준과 제도가 마련되어야 한다. 국외의 경우를 살펴보면, 잔디의 생육 상태 및 품질을 판정하는 대표적인 방법으로 미국 농무성의 National Turfgrass Evaluation Program( ‘이하 NTEP’ ) 평가 방법이 있다. NTEP 평가자들은 색상과 밀도, 균일도, 병해 발생률, 환경 스트레스 등에 의한 시각적 차이를 알아볼 수 있도록 훈련된다. NTEP 평가자들에 의한 평가는 그림자와 반사의 영향이 가장 적은 구름 낀 날에 이루어진다. NTEP의 평가는 1등급에서 9등급의 범위르 가지며, 1등급은 잔디의 품질이 가장 나쁜 상태를 의미하며, 9등급은 최상위 등급을 의미한다. 그러나 겨울철 고사나 피복도 같은 일부 특성은 백분율로 표시되기도 한다.

NTEP에서 잔디 생육 인자로는 피복도, 밀도, 색상, 질감 등이 이용된다. 피복도는 단위면적당 잔디로 덮여있는 표면적 비율을 의미하며, 잔디 재배 관리에 있어서 대표적인 생육인자이다. 또한 잔디 생육 과정 중 병해나 해충, 잡초, 환경적 스트레스에 의한 피해를 나타내는 지표로도 이용된다. 잔디 재배 농가에서는 피복도를 기준으로 다양한 처방을 통해 수확시기를 조절하기도 한다.

잔디의 밀도는 단위면적당 살아있는 식물 또는 분얼경의 수를 시각적으로 평가한 것으로 죽은 잔디나 잡초는 제외된다. 잔디 밀도는 특정지역의 분얼경수를 세면 정량적으로 구할 수도 있지만, 분얼경수를 세려면 시간과 노동력이 많이 소요되기 때문에 시각적 평가가 주로 이용된

다. 시각적 잔디 밀도 등급평가는 실제 개수와 고도의 상관관계를 가지며 시간과 노동력도 절약할 수 있는 장점이 있다. 분얼경의 밀도는 계절에 따라 다르기 때문에 밀도 등급평가는 계절적 변이를 반영하기 위해서 봄, 여름, 가을별로 평가된다.

잔디 색상의 평가는 유전적 색상과 녹화에 따른 색상으로 구분한다. 유전적 색상은 유전자의 유전형(genotype)에 내재된 색상을 반영한 것이다. 유전적 색상은 잔디가 스트레스를 받지 않고 활발하게 성장할 때 평가된 값으로, 백화현상이나 괴사에 의한 색상변화 등은 유전적 색상의 고려대상이 아니다. 잔디 녹화에 따른 색상은 겨울철 휴면으로부터 봄철의 활발한 성장으로 얼마만큼 빨리 전이하는가를 측정하는 것으로 유전적 색상이 아닌 전체 포장의 색상을 보고 판단한다. 또한 병해충, 영양결핍, 환경스트레스 등으로 인한 색상 변화를 반영하며, 계절의 변화에도 얼마만큼 색상을 유지하는가를 나타내므로 온도변화나 서리에 대한 잔디 생육 응답(휴면)을 관찰하는데 유용하다. 잔디의 시각적 평가에서 낮은 등급은 지푸라기와 같은 갈색 또는 색상 유지 능력이 없는 것을 나타내며 높은 등급일수록 짙은 녹색으로 색상 유지 능력 즉, 생육 상태가 좋다는 것을 나타낸다.

잔디의 질감은 엽 폭의 측정치 또는 추정치이다. 잔디 질감의 시각적 등급평가 역시 9단계의 범위로 측정되는데 낮은 단계일수록 거칠고 높은 단계일수록 균일하고 부드러움을 나타낸다. 질감을 시각적으로 평가하는 방법은 어렵고 정밀하지 못하다는 단점을 가지고 있다. 질감의 기계적인 측정을 위해서는 발육상태가 같고 동일한 연령대의 잎을 주의 깊게 택하여 측정하여야 한다. 시각적인 잔디 잎의 질감 평가 역시 스트레스를 받지 않는 상태에서 왕성하게 성장할 때 측정되어야 한다.

이와 같이 잔디의 생육 인자는 매우 다양하고 복잡하지만 대표적인 생육 측정 인자로는 피복도, 색상이며 이에 따른 측정 기준을 확립하고 잔디의 생육 상태와 품질을 객관적으로 평가할 수 있는 시스템이 마련되어야 한다.

## (2) 잔디 생육정보 측정 기술

생육지수는 작물군락에 의한 반사를 단순화하고 있기 때문에 추정 정도 등에 한계가 있지만, 비교적 광역적인 바이오매스의 평가 등에는 유효한 방법으로 알려져 있다. 식생지수 중 가장 많이 사용되는 지수중의 하나가 정규식생지수(normalized difference vegetation index : NDVI)이다. 이는 녹색식물의 반사율이 적색영역에서 대체로 낮고 근적외선 영역에서는 높다는 것을 이용하여 두 분광대 영상이 가진 화소간의 비율(근적외선 반사도-적색 반사도/근적외선 반사도+적색 반사도)을 구하여 식생의 밀집도, 생육상태 등을 지수로 나타내는 것이다.

정규식생지수를 계산하기 위해서는 가시광선 영역으로부터 근적외선 영역에 걸쳐 반사도를 측정할 수 있는 카메라가 필요하다. 이런 대역에서 영상을 측정할 수 있는 카메라는 비교적 고

가이므로 최근에는 가시광선 영역의 적색, 녹색, 청색 파장의 영상을 분석하여 생육정보를 간접적으로 예측할 수 있는 연구가 진행되고 있다.

잔디의 생육 정보 측정 방법은 잔디 촬영 후 영상분석법, 분광분석법 등 다양한 종류의 센서를 이용한 방법 등이 있으며 본 연구에서는 영상정보를 이용한 분석 방법을 이용하였다. 영상 정보는 초당 30장의 촬영이 가능하고 해상도가 높으며 자동 해상도 조절이 가능한 CCD 카메라(DFK 31BF03, Sony co., Japan)를 이용하여 측정하였다.

표 3-1-1 잔디 생육 정보 측정 장비 제원

사진	항 목	내 용
	제품명	DFK-31BF03 / DBK 23GM021
	업체명	The Imaging Source (Germany)
	규격 (mm)	29 × 29 × 57 (H×W×L)
	해상도 (mm)	1024 × 768 / 1280 × 960
	센서	1/3" CCD / 1/3" Aptina CMOS
	촬영속도(images/s)	Up to 30 / Up to 60
	Interface	IEEE-1394 / GigE

#### 나. 생육정보 측정 영상 시스템

##### (1) 영상시스템

잔디의 생육 정보를 측정하기 위해 영상수집 시스템을 구성하였다. 잔디 영상 수집 시스템은 8개의 삼파장 전구(20W/12V)와 CCD digital color camera(DFK-31BF03, Imaging Source, USA)가 설치된 이동형 챔버와 전구의 전원 공급을 위한 배터리(100Ah/12V), 카메라로부터 획득한 영상을 저장하기 위한 노트북으로 구성되었다. 영상획득은 외부 광이 차단된 챔버 내에서 300×300 mm<sup>2</sup>의 잔디 면적에 대해 이루어졌다. 잔디의 영상 측정 지점별 영상 크기를 동일하게 측정하기 위하여 백색의 영상 측정 틀을 사용하였다.

잔디의 영상 측정 지점은 지표면에 잔디가 피복 되어있는 정도를 기준으로 선정하였다. 잔디 영상을 측정하기 위해 300×300 mm<sup>2</sup>의 영상 측정 틀과 이동형 챔버를 위치하고 외부의 영향을 차단하기 위해 암막을 설치한 후 영상을 측정하였다.

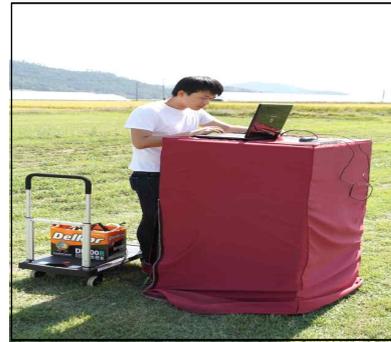
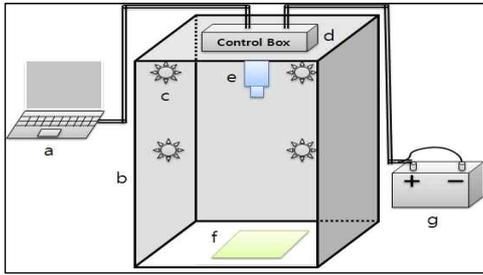


그림 3-1-1 영상측정 시스템

(2) 잔디 질감 및 엽록소 함량 측정

잔디의 질감에 해당하는 엽 폭은 잔디 엽의 중간부분에서 아크릴 투명 자를 이용하여 측정하였다. 잔디 엽 폭의 자료는 영상 측정 지점별 10개의 엽을 랜덤 샘플링하여 측정하였으며, 그 값을 평균하여 해당 지점의 엽 폭의 대표 값으로 사용하였다.

잔디 생육상태의 하나의 인자로 엽록소 함량을 설정하고, 엽록소 측정기(SPAD-502, Konica Minolta Holdings, Inc., Japan)를 이용하여 영상측정 지점에서 10개의 엽을 랜덤 샘플링하여 측정한 후 그 평균값을 대표 값으로 사용하였다.



(a) 잔디 엽 폭 측정



(b) 잔디 엽의 엽록소 함량 측정

그림 3-1-2 영상 측정 지점의 잔디 엽 폭과 엽록소 함량 측정

잔디의 영상 측정 지점별 엽 폭, 엽록소 함량 등을 측정 후 중량을 측정하기 위하여 잔디 시료를 지면으로부터 채취하였다.



(a) 잔디 시료 채취 준비



(b) 잔디 시료 채취

그림 3-1-3 영상 측정 지점의 잔디 시료 채취

잔디 시료 채취 후 뿌리와 줄기의 흙을 완전히 세척한 후 잔디 뿌리 부분을 분리하여 잔디 뿌리부분과 줄기와 엽의 생체중량을 각각 측정하였다. 시료는 오븐건조기(70℃)에서 72시간 건조 후 건물 중량을 측정하였다.

#### 다. 생육정보 분석 결과

##### (1) 영상 특성 분석 및 예측모형 개발

수집한 컬러영상은 HSB 공간의 Hue(H), Saturation(S), Brightness(B) 영상으로 변환하였다. H 영상의 픽셀 색상은 0 - 360° 로 표시되며 균일한 30개의 구간에서 히스토그램을 작성하여 빈도수를 측정하였다. S와 B영상의 픽셀 강도는 0 - 1로 표시되며 H영상과 동일하게 균일한 30개의 구간에서 히스토그램을 작성하여 빈도수를 측정하였다. 또한 잔디의 생육정보 측정인자로서 사용되고 있는 Dark Green Color Index(DGCI)를 측정하여 HSB 영상분석과 동일하게 균일한 30개의 구간에서 히스토그램을 작성하여 빈도수를 측정하였다(Karcher et al., 2003, Ghali et al., 2012).

$$DGCI \text{ value} = [(H-60)/60 + (1-S) + (1-B)] / 3$$

이와 같은 영상분석 방법은 Matlab Image Processing Toolbox(Ver. 6.1, The MathWorks, USA)가 제공한 함수를 사용하여 Matlab(Ver. 7.6, The MathWorks, USA)을 이용하여 수행하였다.

수집한 영상의 영상 분석 자료를 이용하여 잔디 분포정도를 예측하는 모형을 개발하고 검증

하기 위해 부분최소제곱회귀법(partial least squares regression, PLSR)을 사용하였다. 예측 모형 개발은 생체중량과 건조중량을 이용하여 각각 개발하였으며, 개발한 예측모형은 상관계수(correlation coefficient of calibration,  $r_c$ )와 자승평균평방근 오차(root mean square error of calibration, RMSEc)로 성능평가 하였다. 개발된 예측 모형의 검증은 교차검증(cross validation) 방법 중 full cross validation 방법을 사용하였으며, 교차검증 상관계수(correlation coefficient of cross-validation,  $r_{cv}$ )와 교차검증의 자승평균평방근오차(root mean square error of cross-validation, RMSEcv)를 사용하여 성능을 평가하였다.

## (2) 잔디 질감 및 엽록소 함량 분석

본 연구에서 수집한 자료는 아래 표와 같이 전라남도 함평군 소재 잔디 재배 농가에서 생육 상태별로 20지점에서 획득하였다. 잔디의 포장 면적은 0.4 ha 이고 품종은 ‘한국 들잔디’ 이었다. 잔디의 영상은 30×30 cm<sup>2</sup> 로 측정하였으며, 영상 측정한 지점에서 엽 폭과 엽록소 함량을 측정하고 잔디 시료를 채취해 생체중량과 건조중량을 측정하였다. 수집한 잔디 시료의 엽 폭은 2.3-3.6 mm 로 한국 들잔디의 평균 엽 폭(5 mm) 보다 작게 나타났다. 이것은 잔디의 생육 상태가 아직 만생이 아니며, 잔디 예초 관리가 적기에 이루어지지 않음을 나타낸다. 또한 잔디 시료의 엽록소 함량이 14.7-36.1의 범위로 크게 나타나 잔디 시비관리가 적절히 이루어지지 않아 잔디 구획별 필요 영양분이 부족하고 잔디가 불균일하게 성장한 것으로 판단되었다. 잔디 시료의 중량 측정 결과 생체중량과 건조중량이 각각 42-166 g, 16-49 g으로 중량 변이가 크게 나타난 것으로 보아 잔디밭 전체에 대한 잔디 재배 관리가 적절히 이루어지지 않았음을 알 수 있었다.

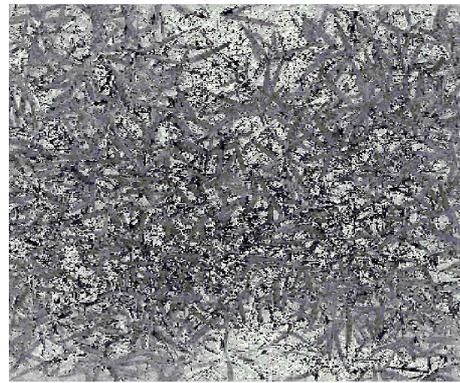
표 3-1-2 잔디 시료의 물리적 특성

Item		value	
Cultivar		Korean lawngrass ( <i>Z. japonica</i> Steud.)	
Produced county		Hampyeong,	
Test season		2012. 10	
Area of Turfgrass samples(cm×cm)		30×30	
No. of sample		20	
Leaf width (mm)	Range	2.3-3.6	
	Mean±S.D	3.2±0.3	
chlorophyll content	Range	14.7-36.1	
	Mean±S.D	30.3±4.6	
Weight (g)		Fresh	Dry
	Range	42.0-166.0	16.0-49.0
	Mean±S.D	96.8±38.3	33.0±12.3

영상 자료의 특성을 파악하기 위하여 아래 그림 3-1-4에 나타난 바와 같이 H, S, B 값과 DGCI 값을 구하였다. 그림에 나타난 바와 같이 H 영상의 색상은  $60^{\circ} \sim 180^{\circ}$  사이에서 변이가 크게 나타났으며, 이는 잔디 영상자료의 색상이 주로 녹색 영역에서 분포하고 있음을 보여준다. 채도와 명도를 분석한 결과는 잔디 샘플별 패턴은 동일하게 나타나고 있으나, S와 B 영상의 샘플 별 변이 차이는 H 영상의 색상 변이에 비해 상대적으로 크지 않음을 알 수 있다. DGCI 값은 샘플 별 차가 크게 나타나고 있어 샘플에 따른 암녹색의 분포 정도를 파악할 수 있고 이에 따른 잔디의 분포 정도를 판단할 수 있을 것으로 생각되었다.



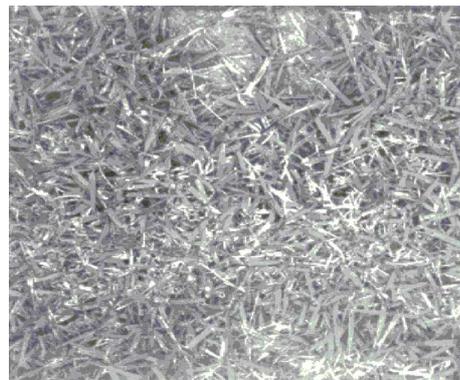
(a) 컬러 영상



(b) Hue 영상



(c) Saturation 영상



(d) Brightness 영상

그림 3-1-4 잔디 시료의 이미지

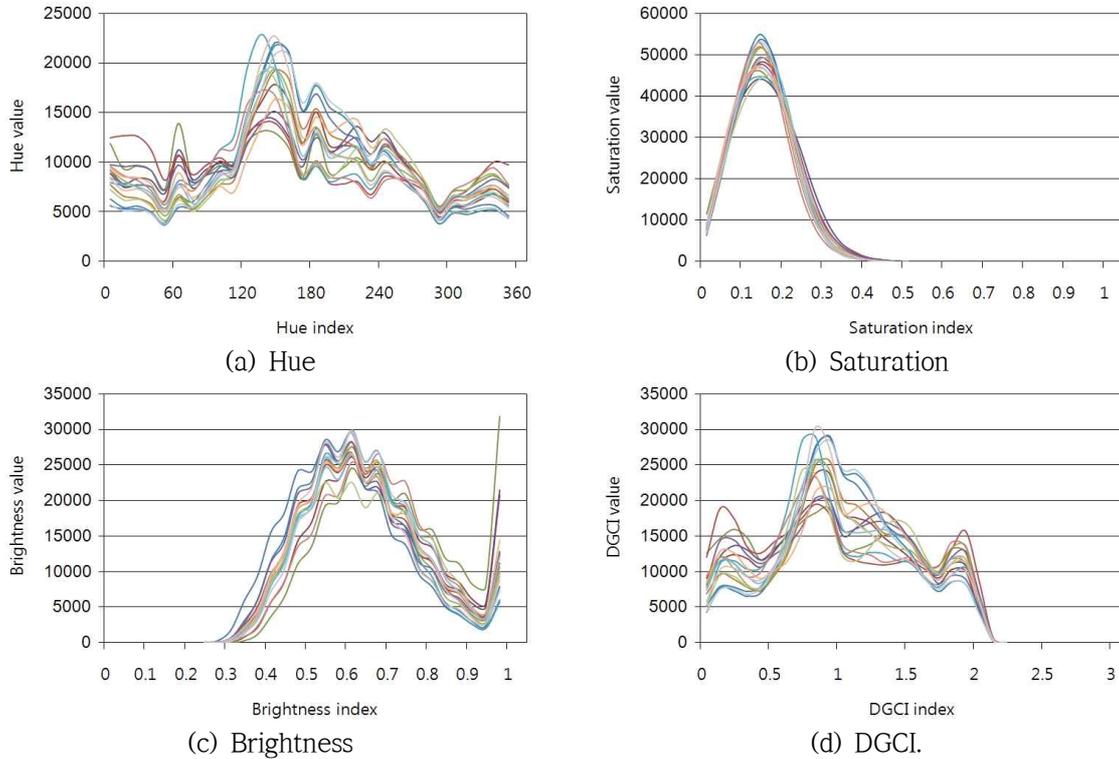
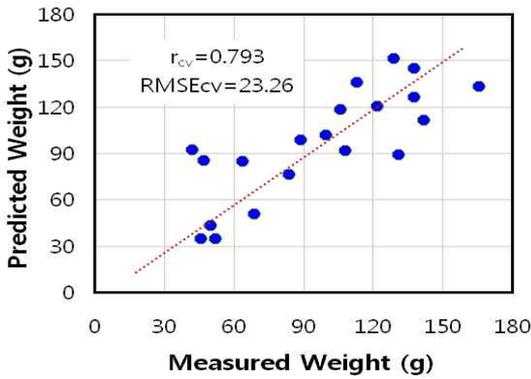


그림 3-1-5 잔디 컬러 특성 값

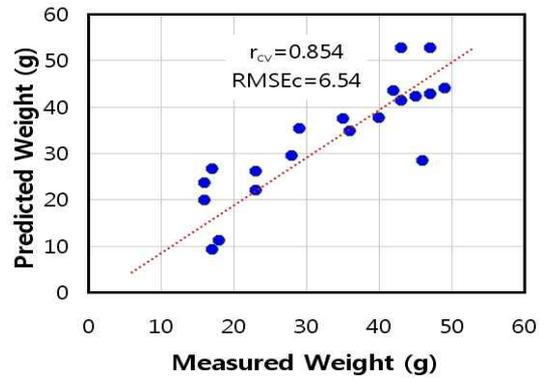
영상 분석을 통해 잔디의 생체중량과 건조중량을 예측하기 위한 PLSR 모델을 개발하고 교차 검증한 결과는 아래 표3-1-3과 같다. 잔디의 생체중량과 영상의 H, S, B, DGCI를 이용하여 개발한 모형의  $r_c$ 와  $RMSEc$ 는 각각 0.712~0.928과 13.94~26.35 g이었으며, 모형 교차검증의  $r_{cv}$ 와  $RMSEcv$ 는 각각 0.522~0.811과 23.26~33.15 g이었다. 건조중량을 이용하여 개발한 모형의  $r_c$ 와  $RMSEc$ 는 각각 0.702~0.951과 3.71~8.51 g이었으며, 모형 교차검증의  $r_{cv}$ 와  $RMSEcv$ 는 각각 0.514~0.856과 6.45~10.63 g이었다. 일반적으로 H의 색상 자료와 H, S, B의 혼합자료, 그리고 DGCI 자료를 사용한 모델들의 예측 성능이 우수하였다. 이는 잔디의 영상분석을 통해 잔디의 중량, 즉 단위 면적당 피복도를 측정할 수 있음을 보여주고 있으며 향후 다른 생육정보 인자 측정에도 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각되었다.

표 3-1-3 잔디의 피복도 검증을 위한 PLSR 모델의 성능

Image	Fresh Leaf				Dry Leaf			
	$r_c$	$RMSEc$	$r_{cv}$	$RMSEcv$	$r_c$	$RMSEc$	$r_{cv}$	$RMSEcv$
H	0.928	13.94	0.811	23.43	0.948	3.80	0.854	6.45
S	0.712	26.22	0.587	30.58	0.768	7.65	0.678	8.95
B	0.709	26.35	0.522	33.15	0.702	8.51	0.514	10.63
H+S+B	0.897	16.52	0.793	23.26	0.909	4.98	0.759	7.43
DGCI	0.709	20.15	0.740	25.30	0.951	3.71	0.856	6.65



(a) H, S, B 혼합영상을 이용한 생체중량 예측 모형



(b) H 영상을 이용한 건조중량 예측 모형

그림 3-1-6 PLSR 모델의 교차검증 결과

### (3) 잔디 생육정보 측정

머신비전에 의한 잔디의 피복도 측정 캘리브레이션을 위해 20x20 cm의 일정한 면적을 가진 잔디를 1개에서 6개까지 흙으로만 구성된 FOV에 위치시키면서 영상분석을 통해 조사한 피복도와 실제 피복도를 조사하였다.



(a)



(b)

그림 3-1-7 잔디 피복도 캘리브레이션 샘플: (a) 잔디샘플(20x20cm) 1개 포함,  
(b)잔디샘플(20x20cm) 6개 포함.

잔디의 피복도 측정을 위해서는 FOV 영상내의 토양으로부터 잔디만을 분리하여야 한다. 이를 위해 여러 문헌에서 소개하고 있는 excess green index(ExG, Ribeiro et al., 2005; Woebbecke et al., 1995), excess red index(ExR, Meyer et al., 1998), excess green minus excess red index(ExGR, Neto, 2004), color index of vegetation extraction(CIVE, Kataoka et al.,

2003), vegetative index(VEG, Hague et al., 2006)와 각 지수간의 단점을 보완하기 위하여 ExR, CIVE, VEG 지수를 결합한 combined index(COM, Guijarro et al. 2011), 이 combined index에서 잔디의 녹색 특성을 부각한 excess combined index(ExCOM) 등의 7가지 작물지수를 이용하여 영상을 변환하였다. 작물지수 영상을 얻기 위해 수집한 컬러 영상을 RGB 컬러 공간에서 red(R), green(G), blue(B) 각각의 영상으로 분리한 후 픽셀 값을 아래 방정식을 이용하여 0 - 1 범위로 정규화 하였다.

$$R = \frac{R_n}{R_n + G_n + B_n}, G = \frac{G_n}{R_n + G_n + B_n}, B = \frac{B_n}{R_n + G_n + B_n}$$

$$r = \frac{R}{R_{max}}, g = \frac{G}{G_{max}}, b = \frac{B}{B_{max}}$$

정규화한 영상을 이용하여 아래와 같은 작물 지수를 이용하여 작물지수 영상으로 변환하였다.

Excess Green Index:  $ExG = 2g - r - b$

Excess Red Index:  $ExR = 1.4r - g$

Excess Green minus Excess Red Index:

$$ExGR = ExG - ExR$$

Color Index of Vegetation Extraction:

$$CIVE = 0.441r - 0.811g - 0.385b - 18.78745$$

Vegetative Index:

$$VEG = \frac{g}{r^a b^{1-a}}, a = 0.667$$

Combined Index:

$$COM = 0.25 ExG + 0.30 ExGR + 0.33 CIVE + 0.12 VEG$$

Excess Combined Index:  $Ex - COM = COM \times g$

토양으로부터 잔디를 분리하기 위해 위에서 설명한 작물지수를 이용하였으며, 또 한편으로 획득한 컬러 영상에서 사람이 토양부분을 검정색(픽셀 강도 0) 혹은 하얀색(픽셀 강도 1)으로 색칠하여 잔디 영역만을 분리하였다. 작물지수 영상에 대해서는 Otsu(Otsu, 1979) 이진화 기법에 의해 이진화 영상을 얻었으며, 이진화 영상에서 각각 독립적으로 분포되어 소수의 픽셀을 연결하기 위해 adaptive median filter를 사용하였다. 피복도는 filter를 사용하기 전 이진화 영상과 filter를 사용한 후의 각 영상에 대해서 잔디 영역의 픽셀개수를 전체 픽셀개수로 나누어 계산하였다. 잔디의 색상분석을 위해 컬러 영상을 Hue(H), Saturation(S), Intensity(I) 공간에서 H, S, I 영상으로 분리한 후, 피복도 측정에서 분리한 잔디영역에 대해서만 각각의 hue, saturation, intensity 값의 평균, 표준편차 값을 분석하여 잔디의 색상 특성을 나타내었다.

이와 같은 영상분석을 통한 피복도와 색상 분석은 Matlab Image Processing Toolbox(Ver. 6.1, The MathWorks, USA)가 제공한 함수를 사용하여 수행하였다.

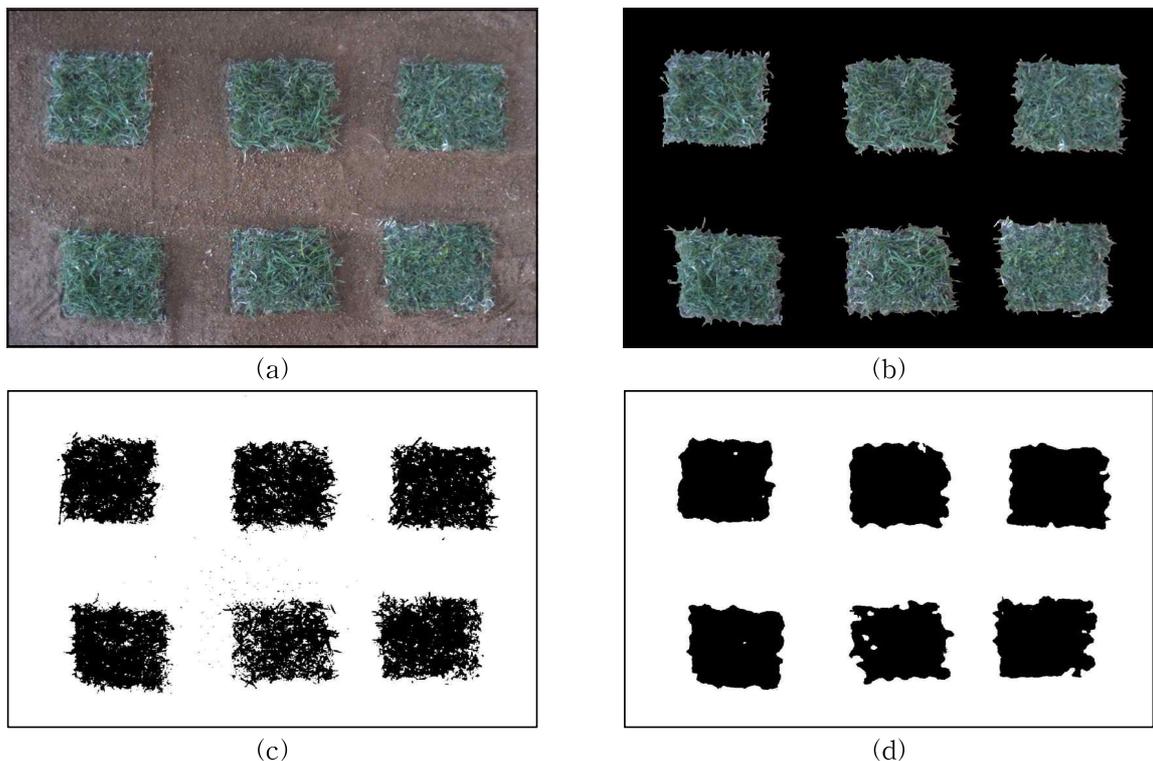


그림 3-1-8 잔디 영상 분석: (a) RGB 컬러 영상, (b) 사람에 의해 분리된 잔디의 컬러 영상, (c) ExCOM 이진화 영상, (d) (c)영상에 대해 adaptive median filter를 적용한 영상.

잔디 영상 분석을 통한 피복도 측정 가능성을 파악하기 위하여 면적 실측이 가능한 잔디를

1 - 6개로 구성해 각 영상 내에서 잔디 피복도 차이가 있도록 하였다. 피복도 차이가 있는 각각의 컬러 영상에 대해서 사람에 의하여 잔디를 분리한 영상, 작물지수를 이용해 잔디를 분리한 후 이진화 한 영상, 그리고 작물지수 이진화 영상을 adaptive median filter를 적용한 영상으로 구분하여 각각에 대해서 피복도를 계산하였다.

그림 3-1-8에서 볼 수 있듯이 토양 내 색상이 짙은 영역은 잔디 영역으로 구분되어 독립적인 픽셀로 존재하고 있음을 알 수 있다. 한편 adaptive median filter를 적용한 영상은 이러한 독립적인 픽셀들이 토양영역으로 인식되고 있음을 보여주고 있다.

영상분석에 의한 잔디 피복도 측정 정확도를 파악하기 위하여 작물지수에 의해 계산된 피복도를 실측면적에 의한 피복도와 사람에 의해 분리된 영상에서의 피복도와 비교하였다. 표 3-1-4는 작물지수 이진화 영상에서 계산한 피복도를 실측면적에 의한 피복도와 사람에 의해 분리된 영상에서의 피복도와 비교한 결과이다.

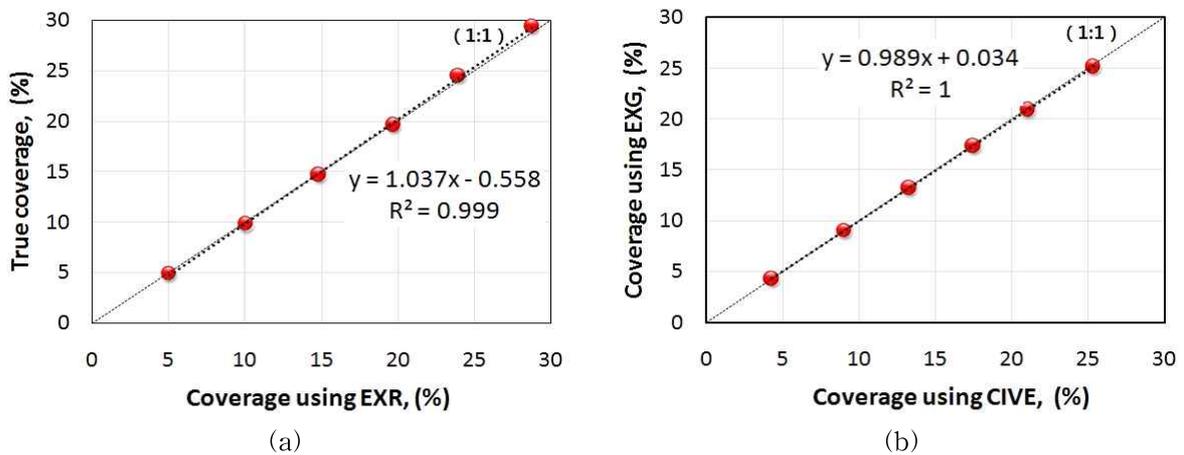


그림 3-1-9 인위적으로 조성한 잔디 샘플에서 잔디의 이진화 영상에 대한 피복도 상관관계: (a) ExR 영상과 실측면적의 피복도, (b) CIVE 영상과 ExG 영상의 피복도.

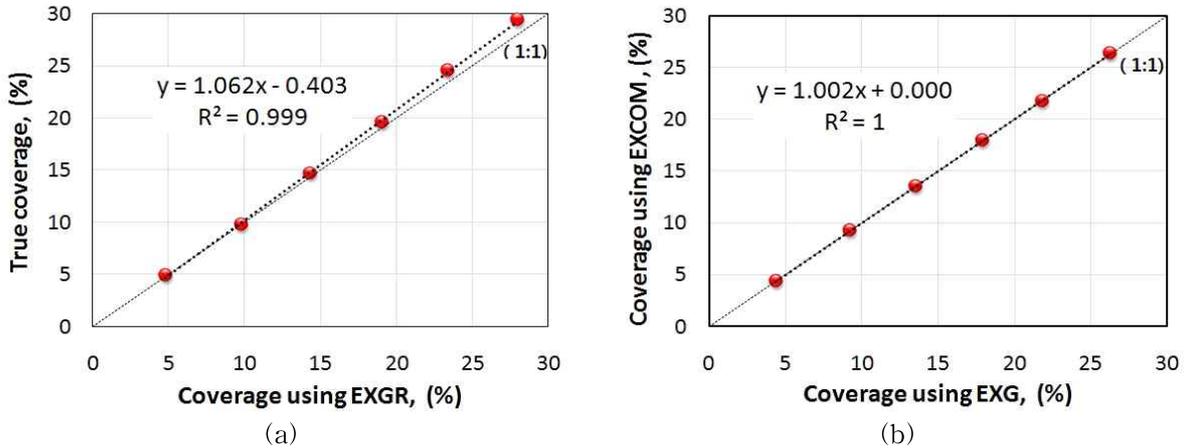


그림 3-1-10 인위적으로 조성한 잔디 샘플에서 잔디의 이진화 영상에 대한 adaptive median filter를 적용한 영상에 대한 피복도 상관관계: (a) ExGR 영상과 실측면적의 피복도, (b) ExG 영상과 ExCOM 영상의 피복도.

표 3-1-4에서 알 수 있듯이 사람에 의해 분리된 영상에서의 피복도는 실측면적의 피복도와 매우 유사한 수준이었으며( $R^2=0.9996$ ), 작물지수 이진화 영상에서의 피복도 또한 실측면적의 피복도와 높은 상관관계( $R^2=0.998$  이상)를 보였다. 실측면적의 피복도와 가장 높은 상관관계를 나타내는 작물지수는 ExR로  $R^2$ 값은 0.9995이었다. 또한 각 작물지수의 영상간의 피복도 결정계수( $R^2$ )또한 0.998 이상으로 높은 상관관계를 나타내었다.

표 3-1-5는 작물지수 이진화 영상에 대해 adaptive median filter를 적용한 후 계산한 피복도를 실측면적의 피복도와 사람에 의해 분리된 영상에서의 피복도와 비교한 결과를 보여주고 있다. 표에서 알 수 있듯이 이진화 영상에서의 피복도 비교 결과와 유사하게 사람에 의해 분리된 영상에서의 피복도는 실측면적의 피복도와 매우 유사한 수준이었으며( $R^2=0.9996$ ), 필터를 적용한 영상에서의 피복도 또한 실측면적의 피복도와 높은 상관관계( $R^2=0.999$  이상)를 보였다. 실측면적의 피복도와 가장 높은 상관관계를 나타내는 작물지수는 ExGR로  $R^2$ 값은 0.9997이었다. 또한 각 작물지수의 영상간의 피복도 결정계수( $R^2$ )또한 0.999 이상으로 높은 상관관계를 나타내었다.

표 3-1-4 인위적으로 조성한 잔디 샘플에서 실측면적의 피복도, 사람에 의해 분리된 영상의 피복도, 작물지수의 이진화 영상에 대한 피복도 간의 상관관계.

	True coverage	Coverage by human	ExR	ExG	ExGR	CIVE	VEG	COM	EXCOM
True coverage		$R^2 = 0.9996$ $y = 1.1257x + 0.52$	<b><math>R^2 = 0.9995</math></b> <b><math>y = 0.9629x + 0.5468</math></b>	$R^2 = 0.9984$ $y = 0.8393x + 0.5831$	$R^2 = 0.9993$ $y = 0.9236x + 0.5723$	$R^2 = 0.9984$ $y = 0.8481x + 0.5545$	$R^2 = 0.9988$ $y = 0.8705x + 0.6732$	$R^2 = 0.9989$ $y = 0.8993x + 0.593$	$R^2 = 0.9980$ $y = 0.844x + 0.5613$
Coverage by human	$R^2 = 0.9996$ $y = 0.8881x - 0.4557$		$R^2 = 0.9998$ $y = 0.8554x + 0.1019$	$R^2 = 0.9992$ $y = 0.7458x + 0.1921$	$R^2 = 0.9998$ $y = 0.8205x + 0.1442$	$R^2 = 0.9992$ $y = 0.7536x + 0.1591$	$R^2 = 0.9995$ $y = 0.7735x + 0.2684$	$R^2 = 0.9995$ $y = 0.799x + 0.1753$	$R^2 = 0.9988$ $y = 0.7499x + 0.1681$
ExR	<b><math>R^2 = 0.9995</math></b> <b><math>y = 1.0379x - 0.5581</math></b>	$R^2 = 0.9998$ $y = 1.1688x - 0.1154$		$R^2 = 0.9997$ $y = 0.8719x + 0.1014$	$R^2 = 1$ $y = 0.9592x + 0.047$	$R^2 = 0.9997$ $y = 0.8811x + 0.0675$	$R^2 = 0.9999$ $y = 0.9043x + 0.1749$	$R^2 = 0.9999$ $y = 0.9341x + 0.0787$	$R^2 = 0.9995$ $y = 0.8769x + 0.0751$
ExG	$R^2 = 0.9984$ $y = 1.1896x - 0.667$	$R^2 = 0.9992$ $y = 1.3399x - 0.2424$	$R^2 = 0.9997$ $y = 1.1466x - 0.1109$		$R^2 = 0.9998$ $y = 1.0998x - 0.0605$	<b><math>R^2 = 1</math></b> <b><math>y = 1.0106x - 0.0351</math></b>	$R^2 = 0.9999$ $y = 1.037x + 0.0714$	$R^2 = 0.9999$ $y = 1.0712x - 0.0277$	$R^2 = 0.9999$ $y = 1.0057x - 0.0275$
ExGR	$R^2 = 0.9993$ $y = 1.082x - 0.6072$	$R^2 = 0.9998$ $y = 1.2185x - 0.1723$	$R^2 = 1$ $y = 1.0425x - 0.0482$	$R^2 = 0.9998$ $y = 0.909x + 0.0583$		$R^2 = 0.9998$ $y = 0.9186x + 0.0239$	$R^2 = 0.9999$ $y = 0.9428x + 0.1306$	$R^2 = 0.9999$ $y = 0.9739x + 0.0331$	$R^2 = 0.9995$ $y = 0.9142x + 0.0323$
CIVE	$R^2 = 0.9984$ $y = 1.1772x - 0.6253$	$R^2 = 0.9992$ $y = 1.3259x - 0.1957$	$R^2 = 0.9997$ $y = 1.1346x - 0.0708$	<b><math>R^2 = 1</math></b> <b><math>y = 0.9895x + 0.0348</math></b>	$R^2 = 0.9998$ $y = 1.0883x - 0.0222$		$R^2 = 0.9999$ $y = 1.0262x + 0.1076$	$R^2 = 0.9999$ $y = 1.06x + 0.0097$	$R^2 = 0.9999$ $y = 0.9952x + 0.0076$
VEG	$R^2 = 0.9988$ $y = 1.1473x - 0.7516$	$R^2 = 0.9995$ $y = 1.2922x - 0.3366$	$R^2 = 0.9999$ $y = 1.1057x - 0.1908$	$R^2 = 0.9999$ $y = 0.9642x - 0.0681$	$R^2 = 0.9999$ $y = 1.0606x - 0.1369$	$R^2 = 0.9999$ $y = 0.9744x - 0.1038$		$R^2 = 1$ $y = 1.033x - 0.1017$	$R^2 = 0.9999$ $y = 0.9698x - 0.096$
COM	$R^2 = 0.9989$ $y = 1.1107x - 0.6393$	$R^2 = 0.9995$ $y = 1.2509x - 0.2095$	$R^2 = 0.9999$ $y = 1.0704x - 0.0822$	$R^2 = 0.9999$ $y = 0.9334x + 0.0271$	$R^2 = 0.9999$ $y = 1.0267x - 0.0324$	$R^2 = 0.9999$ $y = 0.9433x - 0.0075$	$R^2 = 1$ $y = 0.968x + 0.0986$		$R^2 = 0.9998$ $y = 0.9388x - 0.0004$
EXCOM	$R^2 = 0.998$ $y = 1.1825x - 0.6298$	$R^2 = 0.9988$ $y = 1.3319x - 0.2005$	$R^2 = 0.9995$ $y = 1.1398x - 0.0771$	$R^2 = 0.9999$ $y = 0.9942x + 0.0288$	$R^2 = 0.9995$ $y = 1.0933x - 0.0276$	$R^2 = 0.9999$ $y = 1.0047x - 0.0059$	$R^2 = 0.9999$ $y = 1.031x + 0.1013$	$R^2 = 0.9998$ $y = 1.065x + 0.003$	

표 3-1-5 인위적으로 조성한 잔디 샘플에서 실측면적, 사람에 의해 분리된 영상, adaptive median filter를 적용한 작물지수 영상의 각 피복도 간의 상관관계.

	True coverage	Coverage by human	ExR	ExG	ExGR	CIVE	VEG	COM	EXCOM
True coverage		$R^2 = 0.9996$ ( $y = 1.1257x + 0.52$ )	$R^2 = 0.9997$ ( $y = 0.9683x + 0.4409$ )	$R^2 = 0.9992$ ( $y = 0.8833x + 0.3653$ )	<b><math>R^2 = 0.9997</math></b> ( <b><math>y=0.9406x + 0.3849</math></b> )	$R^2 = 0.9992$ ( $y = 0.8875x + 0.3737$ )	$R^2 = 0.9994$ ( $y = 0.8961x + 0.48$ )	$R^2 = 0.9994$ ( $y = 0.9215x + 0.399$ )	$R^2 = 0.9989$ ( $y = 0.8851x + 0.3677$ )
Coverage by human	$R^2 = 0.9996$ ( $y = 0.8881x - 0.4557$ )		$R^2 = 0.9992$ ( $y = 4.3344x + 0.3653$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 0.8602x - 0.0052$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 0.8355x - 0.0486$ )	$R^2 = 0.9996$ ( $y = 0.7885x - 0.0371$ )	$R^2 = 0.9997$ ( $y = 0.796x + 0.0664$ )	$R^2 = 0.9997$ ( $y = 0.8186x - 0.0261$ )	$R^2 = 0.9994$ ( $y = 0.7864x - 0.0418$ )
ExR	$R^2 = 0.9997$ ( $y = 1.0324x - 0.4493$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 1.1624x + 0.0086$ )		$R^2 = 0.9999$ ( $y = 0.9123x - 0.0396$ )	$R^2 = 1$ ( $y = 0.9713x - 0.0431$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 0.9167x - 0.0331$ )	$R^2 = 1$ ( $y = 0.9255x + 0.0706$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 0.9517x - 0.0221$ )	$R^2 = 0.9998$ ( $y = 0.9143x - 0.039$ )
ExG	$R^2 = 0.9992$ ( $y = 1.1312x - 0.3988$ )	$R^2 = 0.9996$ ( $y = 1.2739x + 0.0632$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 1.096x + 0.0459$ )		$R^2 = 0.9999$ ( $y = 1.0645x + 0.0011$ )	$R^2 = 1$ ( $y = 1.0048x + 0.0068$ )	$R^2 = 1$ ( $y = 1.0143x + 0.1119$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 1.0431x + 0.0205$ )	<b><math>R^2 = 1</math></b> ( <b><math>y=1.0022x+0.0003</math></b> )
ExGR	<b><math>R^2 = 0.9997</math></b> ( <b><math>y= 1.0628x - 0.4032</math></b> )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 1.1967x + 0.0604$ )	$R^2 = 1$ ( $y = 1.0295x + 0.0449$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 0.9392x + 0.0011$ )		$R^2 = 0.9999$ ( $y = 0.9438x + 0.0078$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 0.9528x + 0.112$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 0.9798x + 0.0206$ )	$R^2 = 0.9997$ ( $y = 0.9413x + 0.0022$ )
CIVE	$R^2 = 0.9992$ ( $y = 1.1258x - 0.4065$ )	$R^2 = 0.9996$ ( $y = 1.2678x + 0.0544$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 1.0907x + 0.0385$ )	$R^2 = 1$ ( $y = 0.9952x - 0.0067$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 1.0594x - 0.006$ )		$R^2 = 1$ ( $y = 1.0095x + 0.1051$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 1.0381x + 0.0136$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 0.9974x - 0.0063$ )
VEG	$R^2 = 0.9994$ ( $y = 1.1154x - 0.5256$ )	$R^2 = 0.9997$ ( $y = 1.2559x - 0.0782$ )	$R^2 = 1$ ( $y = 1.0805x - 0.0755$ )	$R^2 = 1$ ( $y = 0.9858x - 0.1096$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 1.0495x - 0.1166$ )	$R^2 = 1$ ( $y = 0.9906x - 0.1034$ )		$R^2 = 1$ ( $y = 1.0284x - 0.0947$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 0.988x - 0.1095$ )
COM	$R^2 = 0.9994$ ( $y = 1.0846x - 0.4228$ )	$R^2 = 0.9997$ ( $y = 1.2213x + 0.0378$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 1.0507x + 0.0241$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 0.9586x - 0.0187$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 1.0206x - 0.0198$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 0.9632x - 0.012$ )	$R^2 = 1$ ( $y = 0.9724x + 0.0921$ )		$R^2 = 0.9999$ ( $y = 0.9608x - 0.0186$ )
EXCOM	$R^2 = 0.9989$ ( $y = 1.1286x - 0.3969$ )	$R^2 = 0.9994$ ( $y = 1.2709x + 0.0655$ )	$R^2 = 0.9998$ ( $y = 1.0935x + 0.0467$ )	<b><math>R^2 = 1</math></b> ( <b><math>y=0.9977x + 0.0004</math></b> )	$R^2 = 0.9997$ ( $y = 1.0621x + 0.0024$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 1.0026x + 0.0073$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 1.012x + 0.1124$ )	$R^2 = 0.9999$ ( $y = 1.0408x + 0.0207$ )	

## 라. 포장 내 잔디 생육정보 측정

### (1) 잔디 시료 및 포장실험

잔디 포장 내에서 영상 측정은 잔디가 지표면에 피복 되어있는 정도를 시각적 기준으로 약 90%, 70%, 50%의 3 종의 잔디 포장을 선정하였다. 또한, 각각의 잔디 포장 내에서 잔디 생육 변이가 큰 지점 20곳을 선발하여 아래 그림과 같이 각 지점에 트랙터를 정지시킨 후 CCD 컬러 카메라를 이용하여 영상을 획득하였다. 또한 각 포장을 트랙터가 0.5 m/s의 속도로 주행하면서 1 m 간격으로 GPS에 의한 위치정보와 함께 영상정보를 수집하였다.



그림 3-1-11 포장에서의 잔디 생육정보 측정

### (2) 잔디 영상정보 측정 시스템

잔디 포장 내에서 주행하면서 잔디의 생육 정보를 실시간으로 측정하기 위해 아래 그림 3-1-12와 같이 측정 시스템을 구성하였다. 잔디 생육정보 측정 시스템은 트랙터(J2030, LSMtron, Korea)에 센서 장착을 위해 50 ~ 200 cm 까지 높이 조절이 가능한 거치대를 장착하였으며 잔디 영상 정보 수집을 위해 거치대에 CCD digital color camera(DFK-31BF03, Imaging Source, USA)를 설치하였다. CCD 카메라로부터 획득된 영상은 노트북(8570p, Hewlett-Packard Co., USA)에 설치된 LabVIEW(ver. 2011, National Instruments, USA)와 Labview Imaging

Control(ver. 3.2, National Instruments, USA) 소프트웨어를 통해 실시간으로 분석될 수 있도록 구성하였다. 다만 본 실험에서는 노트북에 획득된 영상을 저장하여 별도로 분석하면서 생육정보 측정 인자를 발굴하였다. 카메라는 지면에서 167 cm 높이에 설치하였으며 이 위치에서 카메라의 Filed of View(FOV)는 100×75 cm이었다. 잔디 영상 측정 지점의 위치 좌표는 RTK-GPS(A220, Hemisphere GPS Co., USA)를 이용하여 획득하였으며, 트랙터의 pitch, roll, yaw angle은 관성센서(IG-500E, SBG Systems Co., France)를 이용하여 수집하였다.

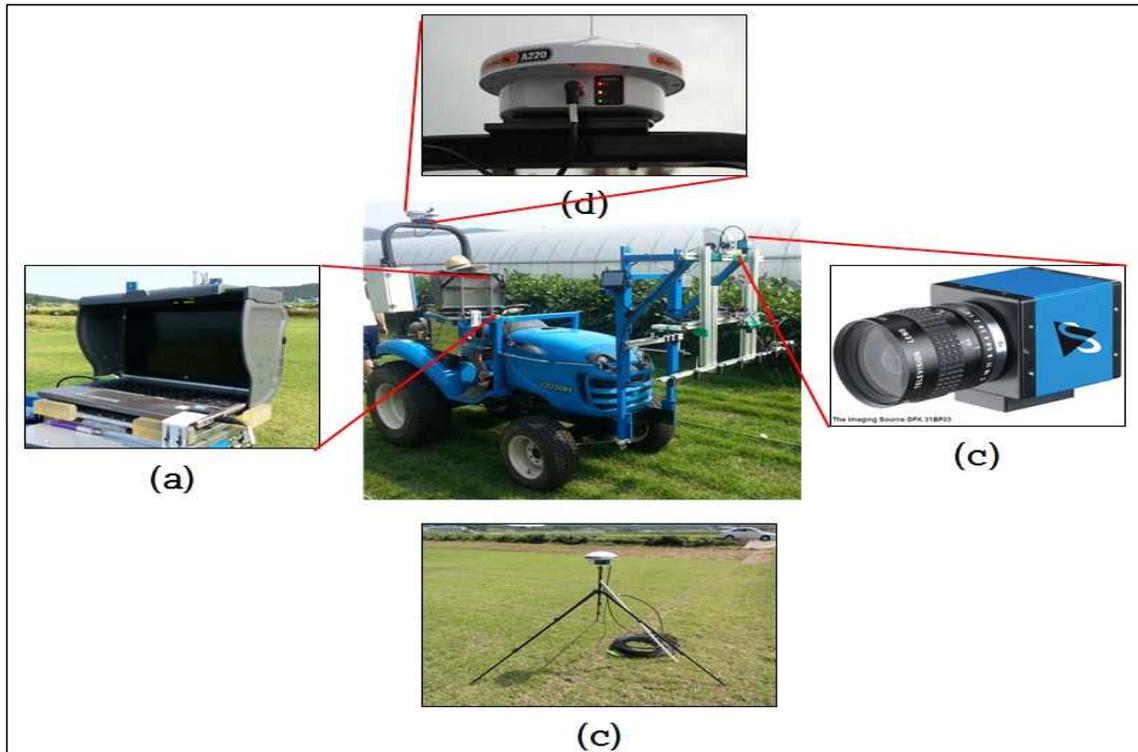


그림 3-1-12 잔디 생육정보 측정 시스템: (a) 노트북, (b) CCD 카메라, (c) RTK-GPS\_안테나, (d) RTK-GPS 베이스스테이션

### (3) 잔디 생육정보 측정 결과

잔디 포장에서 측정한 영상 자료를 이용하여 잔디 피복도를 분석하였다. 아래 그림 3-1-13은 잔디 분포 밀도가 다른 시료의 컬러영상을 보여주고 있다. 잔디 피복도 캘리브레이션에서 사용한 동일한 방법으로 피복도를 분석하였다. 표 3-1-6은 작물지수 이진화 영상에서 계산한 피복도를 사람에 의해 분리된 영상에서의 피복도와 비교한 결과이다. 표에서 알 수 있듯이 작물지수 이진화 영상에서의 피복도 또한 사람에 의해 분리된 영상에서의 피복도와 좋은 상관관계( $R^2=0.62$  이상)를 보였다. 사람에 의해 분리된 영상에서의 피복도와 가장 높은 상관관계를 나타내는 작물지수는 CIVE로  $R^2$ 값은 0.7470이었다. 또한 각 작물지수의 영상간의 피복도 결정계수

(R<sup>2</sup>) 또한 0.84 이상으로 높은 상관관계를 나타내었다.

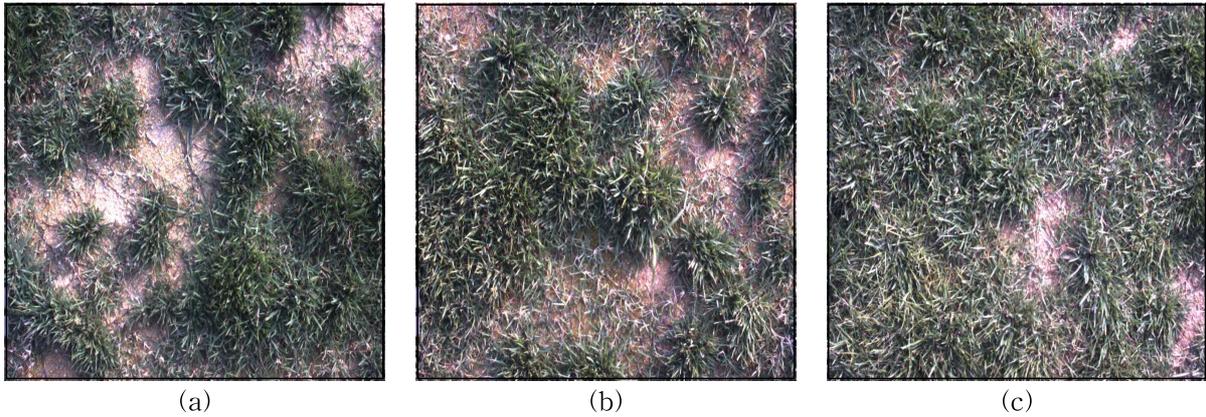


그림 3-1-13 잔디 분포 밀도가 다른 RGB 컬러 영상: (a) 저밀도, (b) 중밀도, (c) 고밀도.

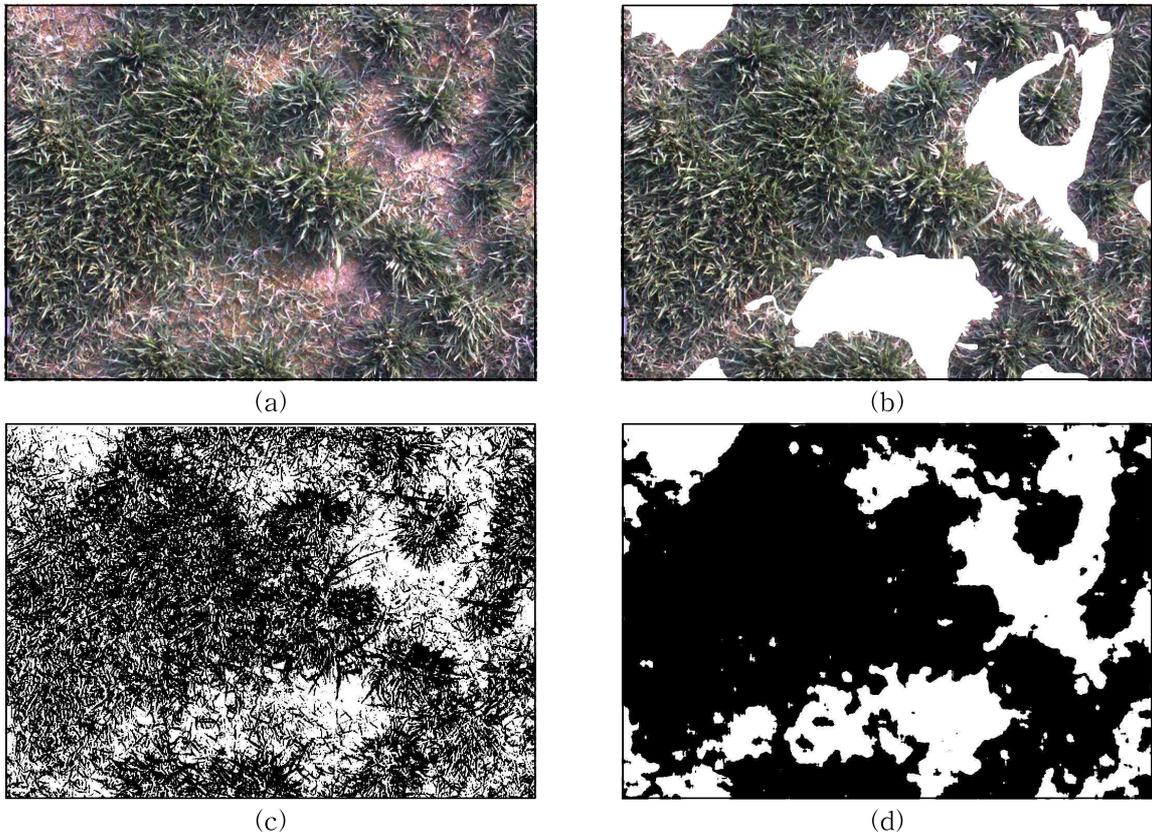


그림 3-1-14 포장 잔디 영상 분석: (a) RGB 컬러 영상, (b) 사람에 의해 분리된 잔디의 컬러 영상, (c) CIVE 이진화 영상, (d) (c)영상에 대해 adaptive median filter를 적용한 영상.

표 3-1-7은 작물지수 이진화 영상에 대해 adaptive median filter를 적용한 영상의 피복도를

사람에 의해 분리된 영상에서의 피복도와 비교한 결과이다. 표에서 알 수 있듯이 adaptive median filter를 적용한 영상에서의 피복도 또한 사람에 의해 분리된 영상에서의 피복도와 좋은 상관관계( $R^2=0.79$  이상)를 보였다. 사람에 의해 분리된 영상에서의 피복도와 가장 높은 상관관계를 나타내는 작물지수는 ExGR로  $R^2$ 값은 0.8362이었으며 추세선은  $y=0.5907x+44.394$ 로 y 절편이 44.394로 크게 나타났다. 이는 사람에 의해 분리한 영상의 피복도가 ExGR 지수 영상분석에 의한 피복도 보다 매우 낮은 상태임을 보여주고 있다. 각 작물지수의 영상간의 피복도 결정계수( $R^2$ )는 0.93 이상으로 높은 상관관계를 나타내었다.

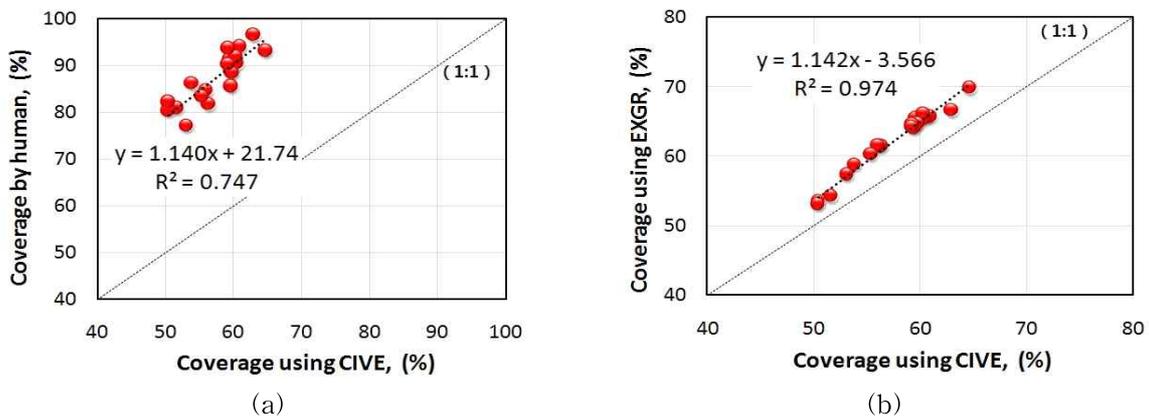


그림 3-1-15 잔디 포장에서 잔디의 이진화 영상에 대한 피복도 상관관계: (a) CIVE 영상에서의 피복도와 사람에 의해 분리된 영상에서의 피복도, (b) CIVE 영상의 피복도와 ExGR 영상의 피복도.

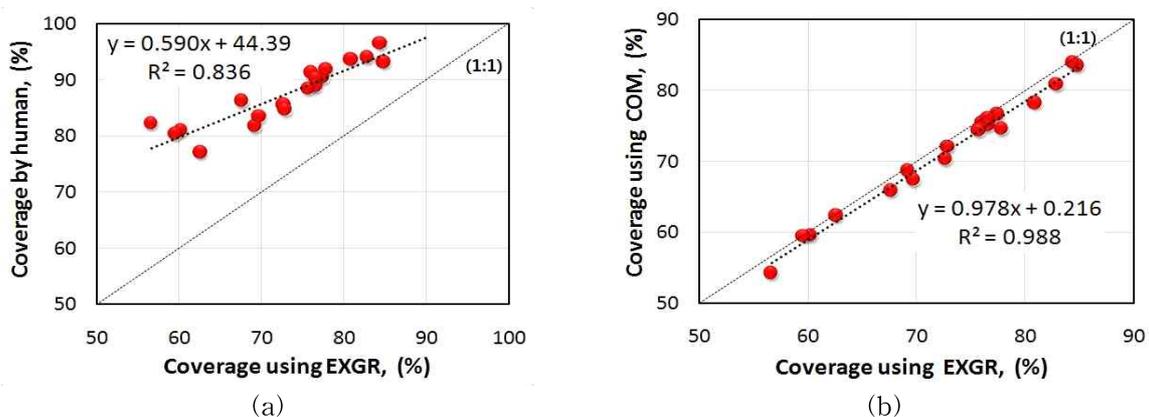


그림 3-1-16 잔디 포장에서 잔디의 이진화 영상에 대한 adaptive median filter를 적용한 영상에 대한 피복도 상관관계: (a) ExGR 영상에서의 피복도와 사람에 의해 분리된 영상에서의 피복도, (b) ExGR 영상의 피복도와 COM 영상의 피복도.

표 3-1-6 잔디 포장에서 사람에 의해 분리된 영상에서의 피복도, 작물지수의 이진화 영상에 대한 피복도 간의 상관관계.

	Coverage by human	ExR	ExG	ExGR	CIVE	VEG	COM	ExCOM
Coverage by human		$R^2 = 0.6189$ $y = 0.6659x + 5.0668$	$R^2 = 0.7453$ $y = 0.6208x + 4.9591$	$R^2 = 0.6879$ $y = 0.7271x - 1.3575$	<b><math>R^2 = 0.7470</math></b> <b><math>y = 0.6549x + 0.3375</math></b>	$R^2 = 0.7046$ $y = 0.6219x + 2.9964$	$R^2 = 0.6582$ $y = 0.692x + 0.5044$	$R^2 = 0.7287$ $y = 0.6843x - 1.676$
ExR	$R^2 = 0.6189$ $y = 0.9295x + 28.614$		$R^2 = 0.8444$ $y = 0.7807x + 9.8305$	$R^2 = 0.947$ $y = 1.0079x - 1.5701$	$R^2 = 0.894$ $y = 0.8464x + 4.0293$	$R^2 = 0.8452$ $y = 0.8047x + 6.4434$	$R^2 = 0.9093$ $y = 0.961x + 0.1906$	$R^2 = 0.8517$ $y = 0.8739x + 2.8425$
ExG	$R^2 = 0.7453$ $y = 1.2006x + 16.318$	$R^2 = 0.8444$ $y = 1.0817x - 0.7859$		$R^2 = 0.9258$ $y = 1.173x - 7.27$	$R^2 = 0.9514$ $y = 1.0278x - 3.2878$	$R^2 = 0.9333$ $y = 0.9954x - 1.5917$	$R^2 = 0.9399$ $y = 1.15x - 7.1133$	$R^2 = 0.9531$ $y = 1.0883x - 6.3146$
ExGR	$R^2 = 0.6879$ $y = 0.9461x + 28.574$	$R^2 = 0.947$ $y = 0.9396x + 4.8318$	$R^2 = 0.9258$ $y = 0.7892x + 10.134$		<b><math>R^2 = 0.9745</math></b> <b><math>y = 0.8533x + 4.5098</math></b>	$R^2 = 0.922$ $y = 0.8115x + 6.8833$	$R^2 = 0.9653$ $y = 0.956x + 1.5315$	$R^2 = 0.9279$ $y = 0.8808x + 3.3526$
CIVE	<b><math>R^2 = 0.747</math></b> <b><math>y = 1.1406x + 21.741</math></b>	$R^2 = 0.894$ $y = 1.0561x + 2.4562$	$R^2 = 0.9514$ $y = 0.9256x + 5.9234$	<b><math>R^2 = 0.9745</math></b> <b><math>y = 1.1421x - 3.5669</math></b>		$R^2 = 0.9158$ $y = 0.9357x + 3.4774$	$R^2 = 0.9547$ $y = 1.0998x - 2.3419$	$R^2 = 0.9618$ $y = 1.0374x - 1.6027$
VEG	$R^2 = 0.7046$ $y = 1.133x + 22.437$	$R^2 = 0.8452$ $y = 1.0503x + 3.0308$	$R^2 = 0.9333$ $y = 0.9376x + 5.4431$	$R^2 = 0.922$ $y = 1.1361x - 2.9673$	$R^2 = 0.9158$ $y = 0.9787x + 1.4451$		$R^2 = 0.8985$ $y = 1.0912x - 1.5996$	$R^2 = 0.8938$ $y = 1.0228x - 0.5291$
COM	$R^2 = 0.6582$ $y = 0.9512x + 29.411$	$R^2 = 0.9093$ $y = 0.9463x + 5.5578$	$R^2 = 0.9399$ $y = 0.8173x + 9.3759$	$R^2 = 0.9653$ $y = 1.0098x + 0.6111$	$R^2 = 0.9547$ $y = 0.868x + 4.6435$	$R^2 = 0.8985$ $y = 0.8234x + 7.1429$		$R^2 = 0.9296$ $y = 0.9061x + 2.8749$
ExCOM	$R^2 = 0.7287$ $y = 1.065x + 25.507$	$R^2 = 0.8517$ $y = 0.9745x + 6.6205$	$R^2 = 0.9531$ $y = 0.8758x + 8.3069$	$R^2 = 0.9279$ $y = 1.0536x + 0.952$	$R^2 = 0.9618$ $y = 0.9271x + 3.6857$	$R^2 = 0.8938$ $y = 0.8739x + 6.5576$	$R^2 = 0.9296$ $y = 1.026x + 1.3451$	

표 3-1-7 잔디 포장에서 사람에 의해 분리된 영상에서의 피복도, adaptive median filter를 적용한 작물지수 영상의 피복도 간의 상관관계.

	Coverage by human	ExR	ExG	ExGR	CIVE	VEG	COM	ExCOM
Coverage by human		$R^2 = 0.8291$ (y = 1.247x - 39.868)	$R^2 = 0.7941$ (y = 1.2992x - 39.491)	<b><math>R^2 = 0.8362</math></b> <b>(y = 1.4157x - 50.907)</b>	$R^2 = 0.8302$ (y = 1.2682x - 43.65)	$R^2 = 0.8111$ (y = 1.21x - 38.377)	$R^2 = 0.8058$ (y = 1.368x - 48.091)	$R^2 = 0.8119$ (y = 1.3199x - 47.558)
ExR	$R^2 = 0.7941$ (y = 0.6112x + 42.142)		$R^2 = 0.9323$ (y = 1.0279x + 3.015)	$R^2 = 0.9667$ (y = 1.1114x - 3.9967)	$R^2 = 0.9731$ (y = 1.0026x - 2.1058)	$R^2 = 0.9665$ (y = 0.9644x + 0.7169)	$R^2 = 0.9715$ (y = 1.0969x - 4.3377)	$R^2 = 0.9712$ (y = 1.0541x - 5.0574)
ExG	$R^2 = 0.8291$ (y = 0.6649x + 41.454)	$R^2 = 0.9323$ (y = 1.0279x + 3.015)		$R^2 = 0.9797$ (y = 1.051x - 5.0138)	$R^2 = 0.9403$ (y = 0.9257x - 1.3671)	$R^2 = 0.926$ (y = 0.8867x + 1.7062)	$R^2 = 0.9631$ (y = 1.0259x - 4.5005)	$R^2 = 0.9207$ (y = 0.9641x - 3.5984)
ExGR	<b><math>R^2 = 0.8362</math></b> <b>(y = 0.5907x + 44.394)</b>	$R^2 = 0.9797$ (y = 0.9321x + 6.1809)	$R^2 = 0.9667$ (y = 0.8698x + 5.7818)		$R^2 = 0.9734$ (y = 0.887x + 2.594)	$R^2 = 0.9684$ (y = 0.854x + 5.1845)	<b><math>R^2 = 0.988</math></b> <b>(y = 0.9785x + 0.2165)</b>	$R^2 = 0.9506$ (y = 0.9225x + 0.6173)
CIVE	$R^2 = 0.8302$ (y = 0.6546x + 43.425)	$R^2 = 0.9403$ (y = 1.0157x + 5.8172)	$R^2 = 0.9731$ (y = 0.9706x + 3.904)	$R^2 = 0.9734$ (y = 1.0974x - 0.9095)		$R^2 = 0.9678$ (y = 0.9496x + 3.5735)	$R^2 = 0.975$ (y = 1.0812x - 1.1694)	$R^2 = 0.9819$ (y = 1.0429x - 2.2712)
VEG	$R^2 = 0.8111$ (y = 0.6704x + 42.243)	$R^2 = 0.926$ (y = 1.0443x + 3.7066)	$R^2 = 0.9665$ (y = 1.0021x + 1.6018)	$R^2 = 0.9684$ (y = 1.134x - 3.578)	$R^2 = 0.9678$ (y = 1.0192x - 1.4777)		$R^2 = 0.9595$ (y = 1.1112x - 3.3905)	$R^2 = 0.9542$ (y = 1.065x - 3.957)
COM	$R^2 = 0.8058$ (y = 0.589x + 45.311)	$R^2 = 0.9631$ (y = 0.9388x + 6.9583)	$R^2 = 0.9715$ (y = 0.8857x + 5.8141)	<b><math>R^2 = 0.988</math></b> <b>(y = 1.0097x + 0.6549)</b>	$R^2 = 0.975$ (y = 0.9018x + 2.7348)	$R^2 = 0.9595$ (y = 0.8635x + 5.6565)		$R^2 = 0.9567$ (y = 0.9401x + 0.6038)
ExCOM	$R^2 = 0.8119$ (y = 0.6151x + 45.705)	$R^2 = 0.9207$ (y = 0.955x + 9.3131)	$R^2 = 0.9712$ (y = 0.9214x + 6.6534)	$R^2 = 0.9506$ (y = 1.0305x + 2.9616)	$R^2 = 0.9819$ (y = 0.9416x + 3.3539)	$R^2 = 0.9542$ (y = 0.8959x + 6.6358)	$R^2 = 0.9567$ (y = 1.0177x + 2.4803)	

## 2. 변량시비 시스템

### 가. 변량 시비기

잔디 포장 내에서 주행하면서 잔디 깎기 작업과 동시에 단위면적당 잔디의 생육 상태를 판단하고 이에 따라 변량적 시비 처방을 하는 변량 시비 시스템을 구성하였다. 잔디 시비 방법은 잔디 생육 상태에 따라 인력에 의해 변량 시비하는 것은 어려움이 많아 그림 3-1-17과 같이 잔디 생육 정도에 관계없이 전면 시비를 실시하고 있다. 따라서 잔디 생육상태를 파악하고 변량 시비할 수 자동화된 시스템이 요구되고 있다.



그림 3-1-17 인력에 의한 시비.

### (1) 홈 롤러 변량시비기

#### (가) 시비기 구성

본 연구에서 개발한 변량 시비기는 비료를 적재하는 호퍼부와 비료를 지면에 살포하는 롤러부 그리고 롤러의 회전속도를 조절하여 비료 살포량을 조절하는 롤러 컨트롤러부로 구성되어 있다.



그림 3-1-18 홈 롤러 변량 시비기의 구성

호퍼부는 다시 호퍼, 시비량 조절판, 비료 투입 보조장치로 구성되어 있다. 호퍼는 총 비료 80ℓ를 수용할 수 있는 용량으로 한 번에 잔디밭 1,200평을 시비할 수 있도록 제작되었다. 호퍼와 롤러 사이에 부착되어 있는 시비량 조절판은 7단 조절 레버와 연결되어 있어, 레버를 컨트롤하여 손쉽게 호퍼에서 롤러로 전달되는 비료의 양을 조절한다. 그리고 비료 투입 보조장치는 호퍼의 안에서 모터로부터 전달되는 동력을 받아 회전하여, 쌓여있는 비료가 원활하게 롤러로 전달될 수 있도록 충격을 가해준다.

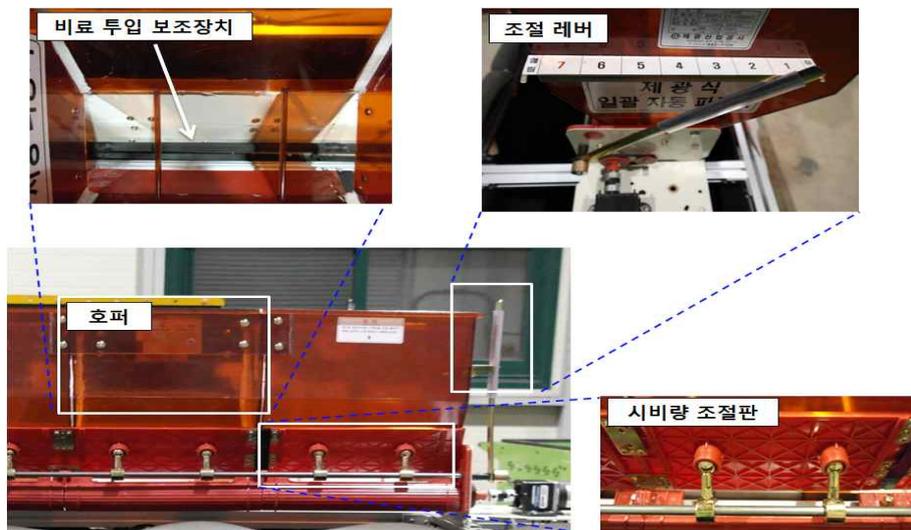


그림 3-1-19 호퍼부 구성도

알루미늄 합금으로 제작된 롤러는 경량의 장점을 지니고 있다. 롤러는 호퍼에서 전달받은 비료를 직접 시비할 수 있도록 총 14개의 홈이 있고, 모터로부터 동력을 전달받아 일정하게 회전하면서 시비하는 역할을 한다.

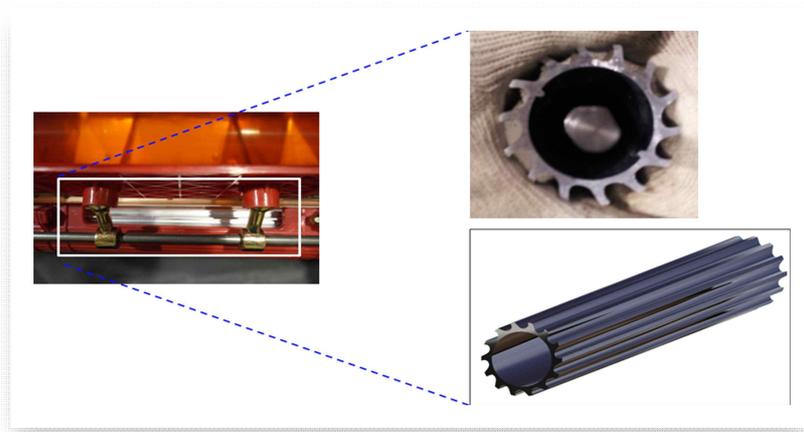


그림 3-1-20 롤러

롤러 컨트롤러부는 모터와 감속기, 스피드 컨트롤러 그리고 최대 15V까지 출력이 가능한 직류전원장치로 구성되어 있다. 본 연구에서 사용된 DC 모터는 최대 회전속도가 3,000rpm으로 정격전압 12V에서 15W의 출력을 갖는다. 이 DC 모터는 롤러와 비료 투입 보조장치가 회전할 수 있도록 동력을 전달한다. 감속기의 감속비는 40:1로 모터의 회전속도가 최대 3,000rpm일 때, 시비 하는 롤러의 회전 속도는 75rpm이 된다. 이는 트랙터가 잔디를 예초하면서 주행했을 때, 비료가 고르게 분포될 수 있는 적정속도이다. 회전속도 컨트롤러는 내부에 가변저항기가 부착되어 있어, 저항 값을 조절하여 모터로 흐르는 전류량을 제어한다. 전류량을 제어함으로써 모터의 회전속도를 컨트롤하여 잔디의 생육상태에 따라 변량시비가 가능해진다. 또한 스피드 컨트롤러는 총 10단계로 세분화되어 있어 모터의 속도를 정밀하게 조정할 수 있다. 그리고 직류전원장치는 DC 모터에 정격전압 12V를 일정하게 공급해주는 역할을 한다.

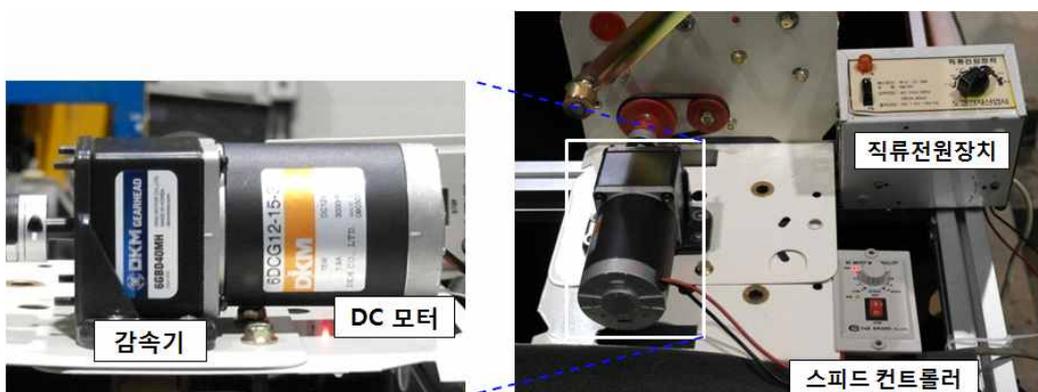


그림 3-1-21 모터 컨트롤러부 구성도

연구의 주목적인 잔디의 생육상태에 따라 변량 시비하기 위해서 비료의 양을 결정하는 인자

인 시비량 조절판의 열린 정도와 롤러의 회전속도를 제어하여 변량 시비가 가능하도록 하였다.

#### (나) 시비기 성능평가

시비량 조절판의 열린 정도와 롤러의 회전속도에 따라 시비량은 달라진다. 하지만 시비되는 비료의 양을 결정하는 두 인자를 동시에 컨트롤하는 것은 어려운 일이다. 그래서 본 연구에서는 동일한 속도에서 시비량 조절판의 열린 간격 정도에 따라 시비되는 비료의 양을 실험하여 시비량 조절판의 간격의 적절한 값을 찾아 고정한 후, 롤러의 회전속도만 제어하여 변량 시비가 가능하도록 하였다.

일반적으로 트랙터가 잔디를 모취하면서 주행하는 속도는  $0.7\sim 1\frac{m}{s}$ 이고, 잔디의 생육상태에 따라 시비되는 비료의 양은  $20\sim 50g$ 이다. 현 시스템의 롤러의 최대 회전속도는 감속기에 의해 감속되어  $75rpm$ 이므로, 시비되는 비료의 양을 자유롭게 조절하기 위해 최대 회전속도의 중간 값인  $37.5rpm$ 에서 약  $30\sim 40g$ 이 시비가 되어야 할 것으로 생각되어 진다. 따라서 비료의 크기를 고려하여 시비량 조절판의 열린 간격을  $5mm, 7mm, 10mm$ 로 설계하고 각각의 경우에서 시비되는 비료의 양을 비교 분석 하였다.

그림 3-1-22의 조절레버에 의해 시비량 조절판의 열린 간격이 제어되는 그림으로, A는 닫혀 있는 상태이고 B는 열려있는 상태이다.

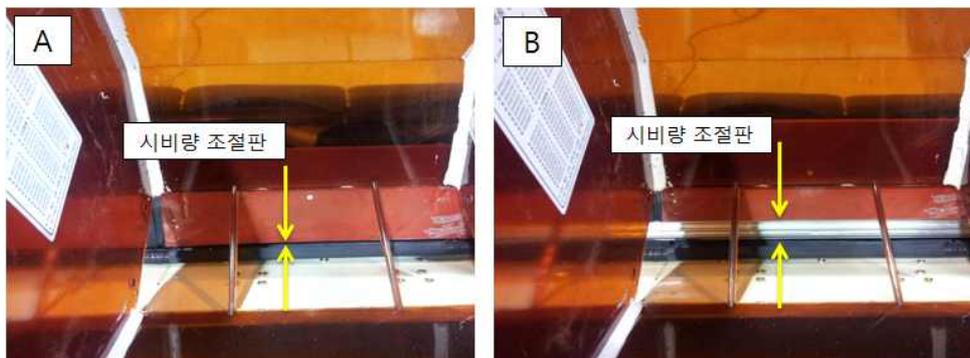


그림 3-1-22 시비량 조절판의 간격 제어

롤러의 회전속도는 시비량 조절판이 일정하게 열린 상태에서 스피드 컨트롤러의 가변저항기의 저항 값을 제어하여  $22.5, 30, 37.5, 45, 52.5rpm$ 에서 시비된 비료의 양을 저울로 측정하였다. 실험은 오차를 최소화하기 위해 10초 동안 시비된 값을 측정하였고, 3반복하여 평균과 표준편차를 계산하였다.

실험을 통해 적절한 시비량 조절판의 간격을 선정 한 후 이를 고정시켜, 트랙터의 주행속도와 잔디의 생육상태에 따른 시비량을 고려하여 롤러의 회전속도를 산정하였다.

롤러의 회전속도를 결정하는 요인은 트랙터 주행속도와 시비량이며 이 두 요인의 결합은 롤러의 회전속도와 비례적 관계를 가지므로 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$y = ax_1x_2 + b$$

이 때  $x_1$ 과  $x_2$ 는 각각 시비량과 트랙터의 주행속도이고,  $y$ 는 롤러의 회전속도를 의미한다. 그리고  $a$ 와  $b$  이 두 상수는 실험을 통해 얻어진 실험결과 값을 분석하여 산출하였다. 최종적으로 얻어진 두 상수의 값을 대입하여 위의 식을 완성하였으며, 이를 통해 잔디의 생육상태와 트랙터의 주행속도에 따른 롤러의 회전속도를 구할 수 있다.

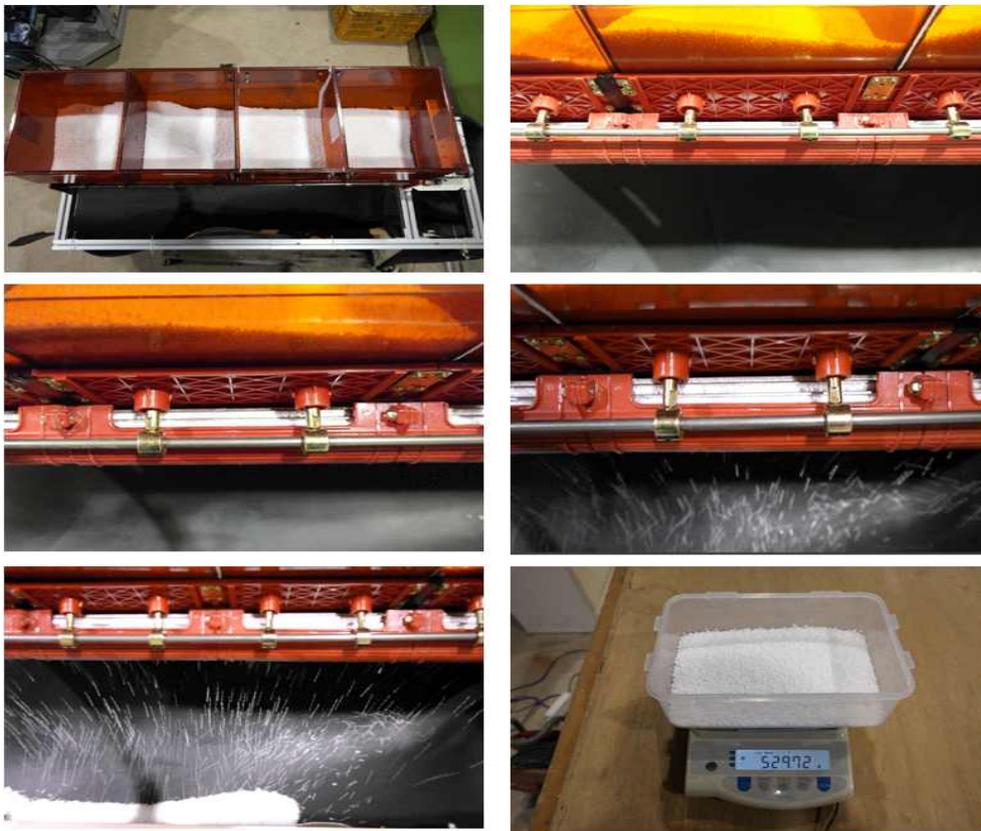


그림 3-1-23 시비기 실험 절차

트랙터가 주행하면서 시비되는 비료간의 간격 또한 잔디의 생육에 영향을 미치는 중요한 인자이다. 시비되는 간격이 조밀할수록 잔디 생육에 더 효과적이다. 개발된 시스템에서 롤러가 최고 속도 대비 중간 속도인 37.5rpm으로 회전하고 트랙터는 1%의 속도로 주행할 때, 시비된 비료간의 간격은 약 11cm로 적절한 것으로 판단된다.

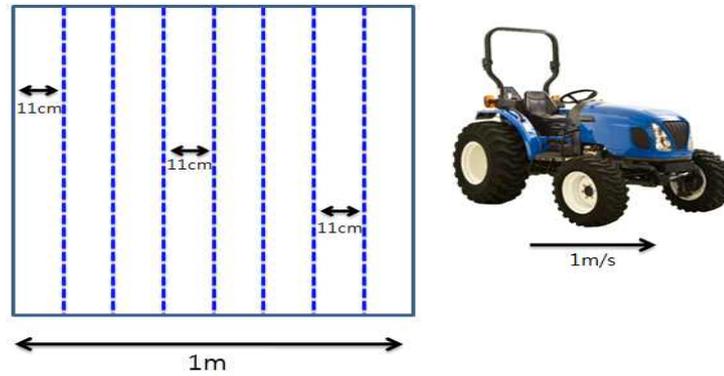


그림 3-1-24 시비된 비료의 간격

시비량 조절판의 열린 간격을 5mm, 7mm, 10mm로 설계하고 각각의 경우에서 롤러의 회전속도를 변화시켜 10초 동안 시비된 비료 양을 측정하였다. 아래 표는 시비량 조절판의 간격이 5mm일 때 시비된 비료양의 측정결과이다. 롤러가 회전하는 최저속도인 22.5rpm에서 평균 111.4g이 시비되었고, 롤러의 최대속도 대비 중간 속도인 37.5rpm에서는 평균 426.1g이 시비되었다. 그리고 롤러의 속도가 52.5rpm에서는 평균 636.2g이 시비되어 적정 시비량을 초과하는 결과가 나타났다.

표 3-1-8 시비량 조절판의 간격이 5mm일 때의 시비량

반복횟수 rpm	1	2	3	평균	S.D.
22.5	103.2	117.5	113.6	111.4	7.39
30.0	282.6	278.9	283.4	281.6	2.40
37.5	434.5	424.1	419.8	426.1	7.56
45.0	536.5	548.0	545.7	543.4	6.09
52.5	630.6	636.3	641.6	636.2	5.50

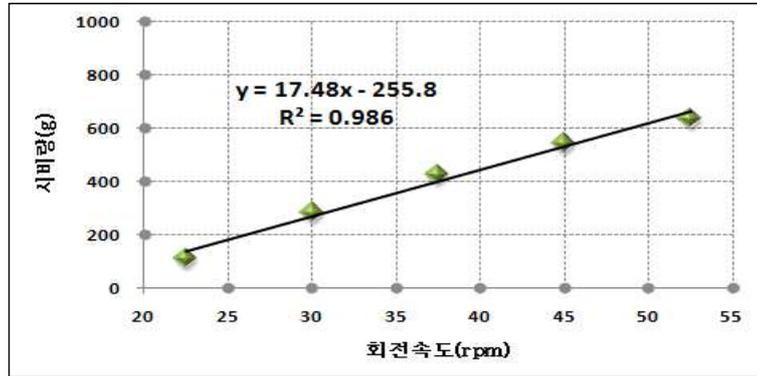


그림 3-1-25 시비량 조절판의 간격이 5mm일 때의 시비량

다음의 표와 그림은 시비량 조절판의 간격이 7mm일 때 시비된 비료의 양을 측정한 결과이다. 롤러가 회전하는 최저속도인 22.5rpm에서 평균 141.8g이 시비되었고, 롤러의 최대속도 대비 중간 속도인 37.5rpm에서는 평균 477.6g이 시비되었다. 그리고 롤러의 속도가 52.5rpm에서는 평균 705.7g이 시비되어, 시비량 조절판의 간격이 5mm일 때보다 더 많은 양의 비료가 시비되는 것으로 나타났다.

표 3-1-9 시비량 조절판의 간격이 7mm일 때의 시비량

rpm	반복횟수			평균	S.D.
	1	2	3		
22.5	145.3	138.5	141.5	141.8	3.41
30.0	332.9	330.3	324.7	329.3	4.19
37.5	480.9	471.9	479.9	477.6	4.93
45.0	590.7	601.3	606.3	599.4	7.97
52.5	705.6	719.1	692.5	705.7	13.30

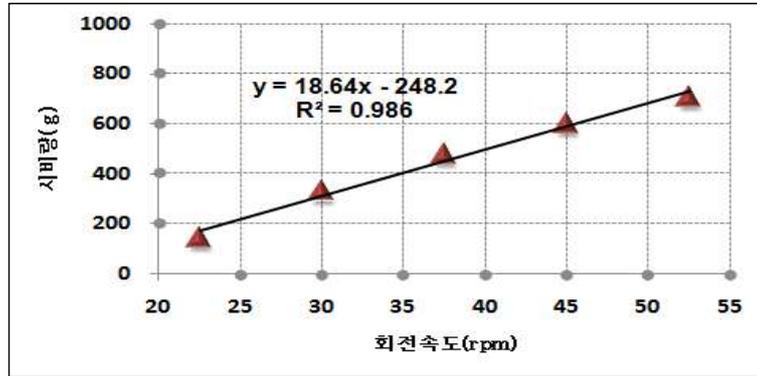


그림 3-1-26 시비량 조절판의 간격이 7mm일 때의 시비량

다음은 시비량 조절판의 간격이 10mm일 때 시비된 비료의 양을 측정한 결과이다. 위에서 알 수 있듯이 롤러의 중간 속도인 37.5rpm에서 평균 636.6g이 시비되었으며, 시비량 조절판의 간격이 5mm일 때보다 시비된 비료의 양이 약 200g 정도 더 많은 것으로 나타났다.

이와 같이 시비량 조절판의 간격이 7mm와 10mm일 때 잔디 생육에 적합한 적정 시비량 이상의 비료가 시비되므로, 시비량 조절판의 열린 정도는 5mm가 적당하다고 판단되어진다.

표 3-1-10 시비량 조절판의 간격이 10mm일 때의 시비량

반복횟수 rpm	반복횟수			평균	S.D.
	1	2	3		
22.5	192.1	205.7	185.5	194.4	10.30
30	438.2	459.5	458.8	452.2	12.10
37.5	634.2	646.4	629.3	636.6	8.81
45	759.5	770.2	778.2	769.3	9.38
52.5	845.1	867.7	857.7	856.8	11.32

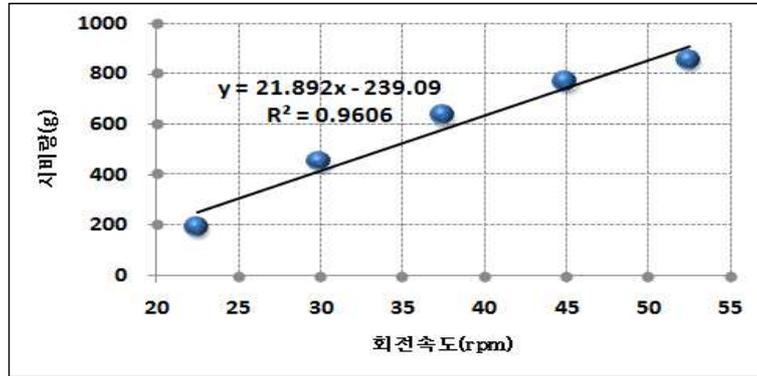


그림 3-1-27 시비량 조절판의 간격이 10mm일 때의 시비량

따라서, 시비량 조절판의 간격이 5mm일 때 얻어진 방정식  $y=12.48x-255.8$ 을 다시 롤러의 회전 속도에 관해 풀면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다. 각 실험은 트랙터의 주행속도를 1 $\frac{m}{s}$ 로 가정하고 실험하였기 때문에 트랙터의 주행속도  $x_2$ 가 1이 되어 표기가 되지 않았다.

$$y = 0.572x_1x_2 + 14.63$$

위의 식에서  $y$ 는 롤러의 회전속도,  $x_1$ 은 시비량,  $x_2$ 는 트랙터의 주행속도를 의미한다. 즉, 롤러의 회전속도  $y$ 는 시비량  $x_1$ 과 트랙터의 주행속도  $x_2$ 의 곱에 비례하는 것으로 나타났다.

위 식을 두 가지의 경우를 통해 검증할 수 있다.

검증1) 트랙터의 주행속도 1 $\frac{m}{s}$ 이고, 1 $m^2$ 당 시비량 30g일 때의 롤러의 회전속도.

$$y = 0.572 \times 30g \times 1\frac{m}{s} + 14.63 = 31.79rpm$$

구해진 롤러의 회전속도 31.79rpm을 검증하기 위해 시비량 조절판의 간격이 5mm일 때의 방정식  $y = 17.48x - 255.8$ 에 대입하면,

$$y = 17.48 \times 31.79rpm - 255.8 = 299.889g$$

따라서 299.889g은 10초 동안 시비된 양이므로, 1초 동안 1 $m^2$ 에 30g이 시비됨을 알 수 있다.

검증2) 트랙터의 주행속도 0.7m/s이고, 1㎡당 시비량 40g일 때의 롤러의 회전속도.

$$y = 0.572 \times 40g \times 0.7\frac{m}{s} + 14.63 = 30.646rpm$$

구해진 롤러의 회전속도 30.646rpm을 검증하기 위해 시비량 조절판의 간격이 5mm일 때의 방정식  $y = 17.48x - 255.8$  에 대입하면,

$$y = 17.48 \times 30.646rpm - 255.8 = 279.89g$$

따라서 279.89g은 10초 동안 시비된 양이므로, 1초 동안 0.7㎡에 약 28g 이 시비됨을 알 수 있다. 위의 결과와 같이 시비기 조절판을 고정시킨 상태에서 트랙터의 주행 속도와 잔디의 생육상태에 따른 투입해야 할 비료의 양을 롤러의 회전속도를 제어함으로써 가변적으로 조정할 수 있다.

## (2) 비산형 변량시비기

### (가) 시비기 구성

흡롤러 방식의 시비기는 비교적 정확한 양을 균일하게 살포할 수 있는 장점은 있지만 시비기 부피가 커서 실제 잔디모위에 탑재하여 포장에서 사용하기에는 한계가 있다. 따라서 잔디모위에 탑재가 가능한 변량 시비 장치를 아래 그림과 같이 구성하여 트랙터 후방부에 장착하였다. 시비기의 호퍼부는 그림과 같이 비료를 저장하고 비료 투입을 준비하는 호퍼와 살포부까지 비료를 이동시키는 이동관으로 구성하였다. 이 호퍼의 용량은 10 ℓ로 필요에 따라 호퍼를 추가하여 비료 수용 용량을 증가 할 수 있도록 제작되었다. 비료 이동관은 살포부로 비료가 이동 중에 정체와 막힘이 없도록 하기 위하여 매끄러운 PE 재질의 원통형 배관을 사용하였다.



(a)



(b)



(c)

그림 3-1-28 변량 시비 장치의 구성: (a) 트랙터 탑재된 시비 장치, (b) 호퍼부, (c) 살포부.

살포부는 아래 그림과 같이 비료 투입 및 시비량 조절부, 비료 살포 장치로 구성되었다. 비료 투입부는 시비량 조절부의 시비 홀에 비료를 정량으로 연속적으로 투입한다. 시비량 조절부는 시비량 조절 홀더, 변량 시비 모터, 홀더 위치 확인 센서(포토커플러) 등으로 구성하였다. 시비량 조절 홀더는 비료 투입부로부터 투입된 비료를 좌우 회전하면서 살포부로 전달하는 기능을 한다. 이 때 홀더의 좌우 회전 속도를 제어함으로써 살포되는 비료량을 조절할 수 있다. 이 홀더의 좌우 회전 속도를 조절하는 것은 스텝모터(103H52, 12V-2A, 1.8° /STEP, Sanyo-Electronic, JAPAN)로서 모터제어기를 통해 좌우 왕복 속도를 가변적으로 제어한다. 그리고 시비량 조절 홀더의 진행 방향과 위치 확인을 위한 센서(포토커플러)가 장착되어 있다.



(a)



(b)

그림 3-1-29 변량 시비기의 살포장치: (a) 비료 투입 및 시비량 조절부, (b) 비료 살포 날.

비료 살포부는 시비기의 말단 작동 장치부로 시비량 조절 홀더에서 전달된 비료를 잔디 포장에 직접적으로 살포하는 부분으로 비료를 포장으로 비산시키는 살포 날과 살포 날을 회전시키는 비료 살포 모터로 구성되어 있다. 살포 날은 그림 3-1-29(b)와 같이 180도 방향으로 2조의 날로 구성되어 있으며, 비료 홀더로부터 전달된 비료를 살포 날이 회전하면서 비료를 포장에 비산시킨다. 살포 날을 정속 회전시키기 위해 12V, 470mA 에서 최대 2050 RPM으로 작동할 수 있는 DC 모터(1H18, Nissei-Moter, JAPAN)를 사용하였다.

변량 시비기에서 비료의 살포량은 비료 홀더의 덤핑 속도에 의해서 결정된다. 따라서 변량 시비 제어기는 덤핑 속도를 주관하는 모터의 회전속도를 제어할 수 있도록 구성하여야 한다. 시비 제어기는 전원 공급부, 외부와의 통신을 위한 USB 포트, 아날로그 입출력 포트, 스텝모터 제어 IC, LED 인디케이터 등으로 구성되었다. 이를 PCB 기판에 제작하여 시비기 내부에 설치하여 작동하였다.

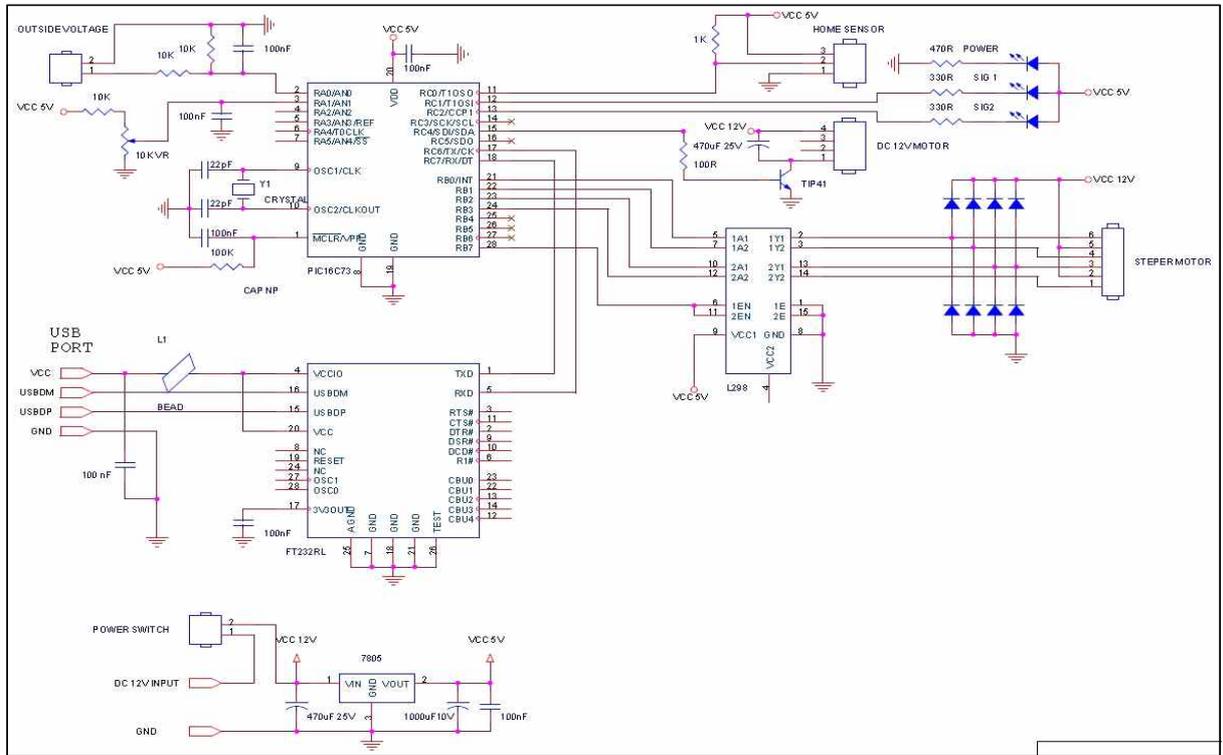
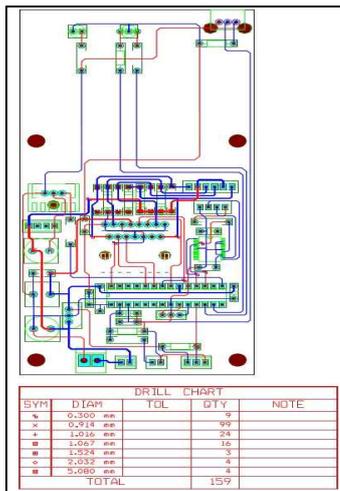


그림 3-1-30 변량 시비 제어기 회로도.



(a)



(b)

그림 3-1-31 PCB 회로도(a)와 제작 기판(b).

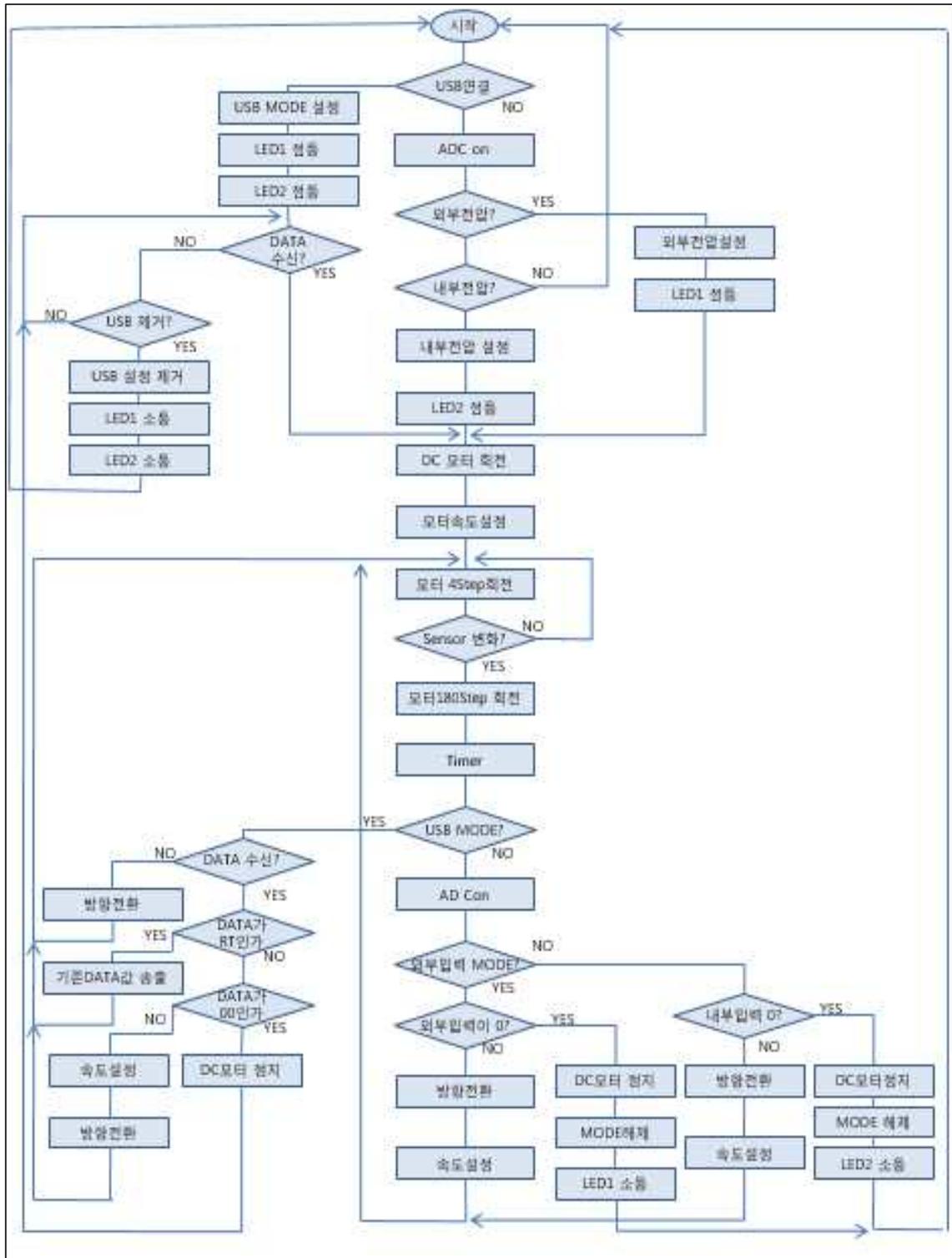


그림 3-1-32 변량 시비 모터 제어 흐름도.

(나) 시비기 성능 평가

변량 시비기에서 모터 속도에 따른 시비량의 변화는 아래 그림과 같다. 시비 모터 회전속도 지수와 실제 시비량과의 상관관계는 0.899로 모터 회전속도 제어에 의해 시비량 조절이 가능함을 보여주었다. 모터 회전속도의 최저 수준인 지수 10에서 시비량은 41.83 kg/ha, 중간 수준인

50에서 54.07 kg/ha, 최고 수준인 95에서 68.25 kg/ha를 살포하였다.

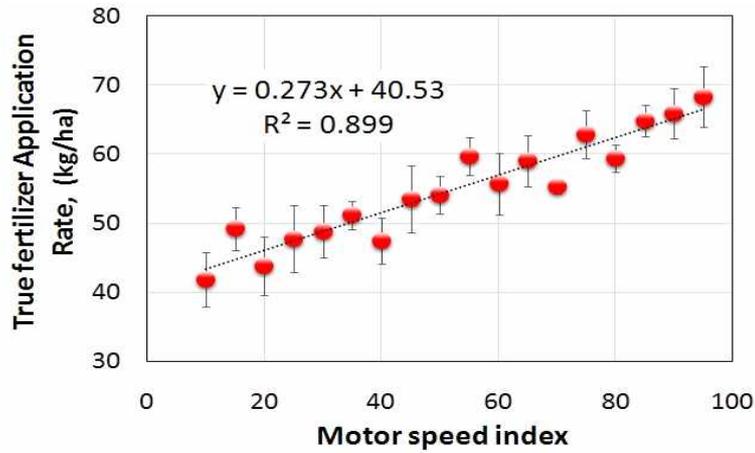


그림 3-1-33 시비 모터 제어에 따른 시비량 변화

잔디의 생육 등급에 따라 시비량을 조절하기 위하여 아래 그림과 같이 시비 모터의 속도를 결정하였다. 시비 모터의 속도는 시비 제어기에 시비 모터 속도 지수를 입력함으로써 제어가 가능하였다.

잔디의 생육 등급은 잔디 영상 분석을 통해 피복도를 1-5 등급으로 구분하였다. 잔디 생육 등급은 1등급일 때 잔디의 생육 상태가 가장 좋을 때를 나타내며 가장 적은 양의 비료를 살포하고 5등급일 때 잔디 생육이 가장 낮을 때이므로 가장 많은 양의 비료를 살포하도록 하였다.

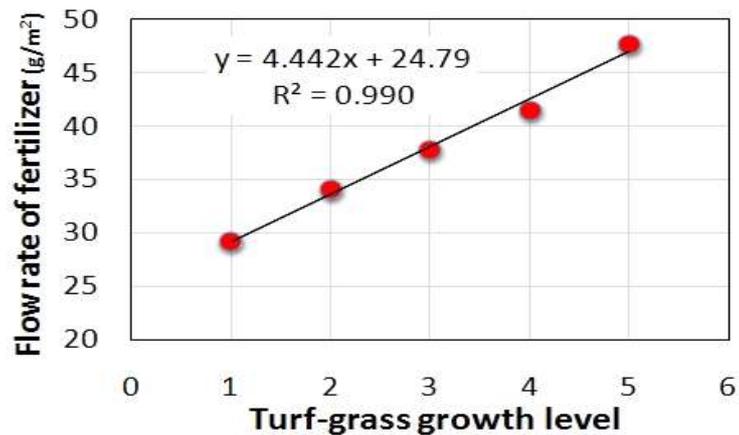


그림 3-1-34 잔디 생육 등급에 따른 변량 시비.

(다) 시비기 구조 개선

기 개발된 변량시비기의 시비부는 아래 그림과 같이 시비량 조절부의 시비 홀에 비료를 정

량으로 연속적으로 투입하는 방식이다. 이 시비량 조절 홀더는 비료 투입부로부터 투입된 비료를 좌우 왕복하면서 살포부로 전달한다. 이 때 홀더의 좌우 왕복 속도를 제어함으로써 살포되는 비료량을 조절할 수 있다. 하지만 시비량 조절 홀더를 좌우 왕복으로 조절하는 모터는 좌우 왕복 최대 속도가 초당 3회로 한계가 있어 살포되는 비료량을 일정량 이상으로 증가시킬 수가 없다. 이에 잔디 모위 탑재용 변량시비기의 시비량 조절부를 구조 변경하여 살포되는 비료의 최대량을 증가시키고 기존 방법보다 더 가변적으로 제어하고자 하였다.



그림 3-1-35 비산형 변량 시비기의 비료량 조절 홀더

시비량 조절부의 구조 변경을 위해 기존의 비료량 조절 홀더를 제거하고 비료 투입부와 시비부 사이에 아래 그림과 같이 롤러형 시비량 조절 장치를 설계 및 제작하여 장착하였다. 롤러형 시비량 조절 장치는 비료 투입부에서 투입된 비료를 원형 홈 롤러의 회전량에 따라 비료량을 조절하여 살포부로 전달하는 원리이다.

롤러가 장착 된 시비량 조절 장치는 비료투입부에서 비료가 투입되면 홈 롤러까지 비료를 전달하는 안내판과 전달된 비료의 양을 조절하는 홈 롤러 그리고 롤러의 회전속도를 조절하는 모터로 구성되어 있다.

모터는 최대 회전속도가 3,000rpm으로 정격전압 12V에서 15W의 출력을 갖으며 롤러 회전속도를 조절하기 위해 가변적으로 모터 회전 속도를 제어한다. 감속기의 감속비는 25:1로 모터의 회전속도가 최대 3,000rpm일 때, 시비를 하는 감속기의 회전 속도는 120rpm으로 롤러의 최대 회전 속도는 초당 2회전이 된다. 롤러의 홈은 12개로 되어 있어 모터 회전 속도를 제어함에 따라 비료의 양을 24단계로 변량 제어가 가능해진다.

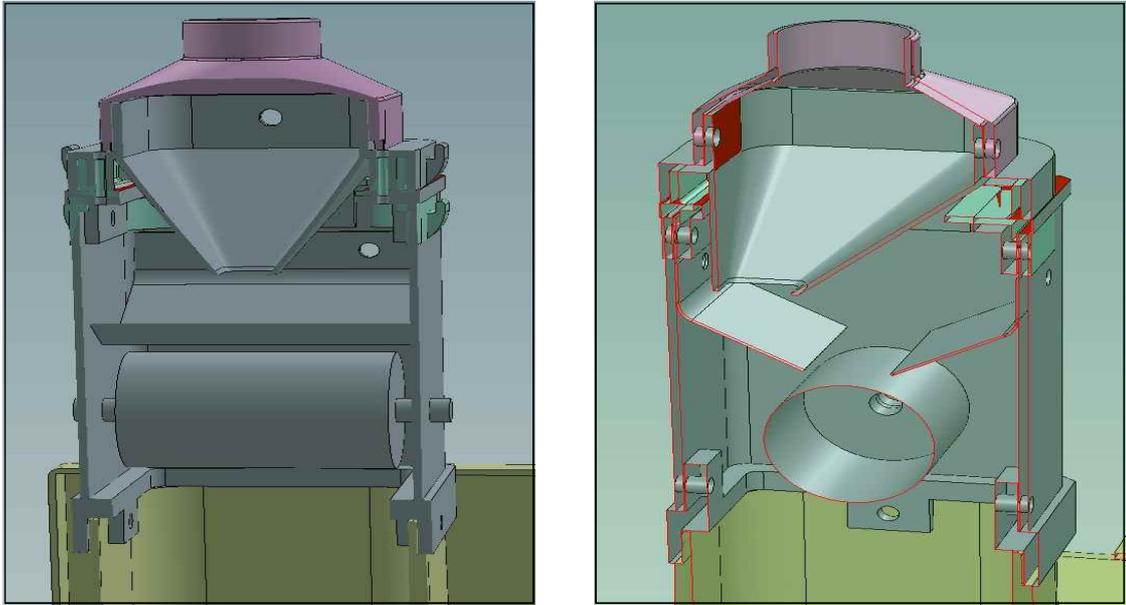


그림 3-1-36 롤러형 시비량 조절 장치 설계도; 정면도(좌), 측면도(우)

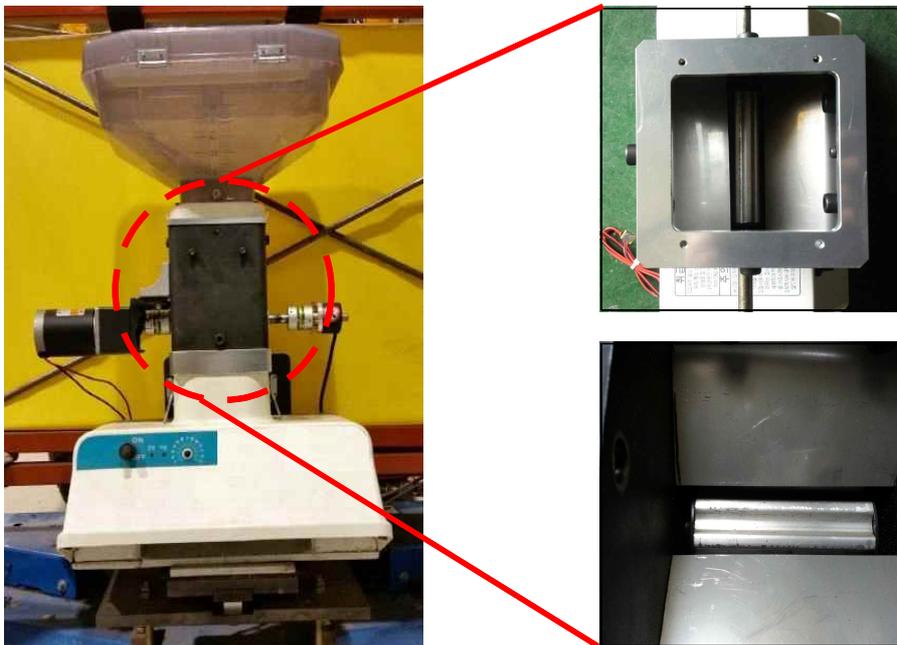


그림 3-1-37 롤러형 시비량 조절 장치

(라) 구조개선에 따른 시비기 성능 평가

모터 속도에 따른 시비기의 성능은 아래 표와 같다. 롤러의 회전 속도인 107 rpm에서 시비량은 약 93 g 으로 나타났으며, 시비가 가능한 최저 속도는 73 rpm에서는 평균 약 34 g이 시비되었다. 모터 회전 속도와 실제 시비량과의 상관관계가 0.975 로 나타나, 비산형 변량시비기의 시비량 조절 성능이 우수함을 알 수 있었다.

표 3-1-11 비산형 변량 시비기의 모터 속도에 따른 시비량

반복횟수 rpm	1	2	3	평균	S.D.
73	33.2	34.6	34.0	33.9	0.7
77	36.4	37.9	37.5	37.3	0.8
80	39.6	41.3	41.1	40.6	0.9
83	42.8	44.6	44.6	44.0	1.0
87	49.0	52.6	52.4	51.3	2.0
90	59.6	62.6	62.6	61.6	1.7
93	72.0	73.4	71.8	72.4	0.9
97	76.6	78.0	80.0	78.2	1.7
100	88.0	87.4	85.6	87.0	1.2
103	90.2	89.8	90.8	90.3	0.5
107	92.8	93.4	92.4	92.9	0.5

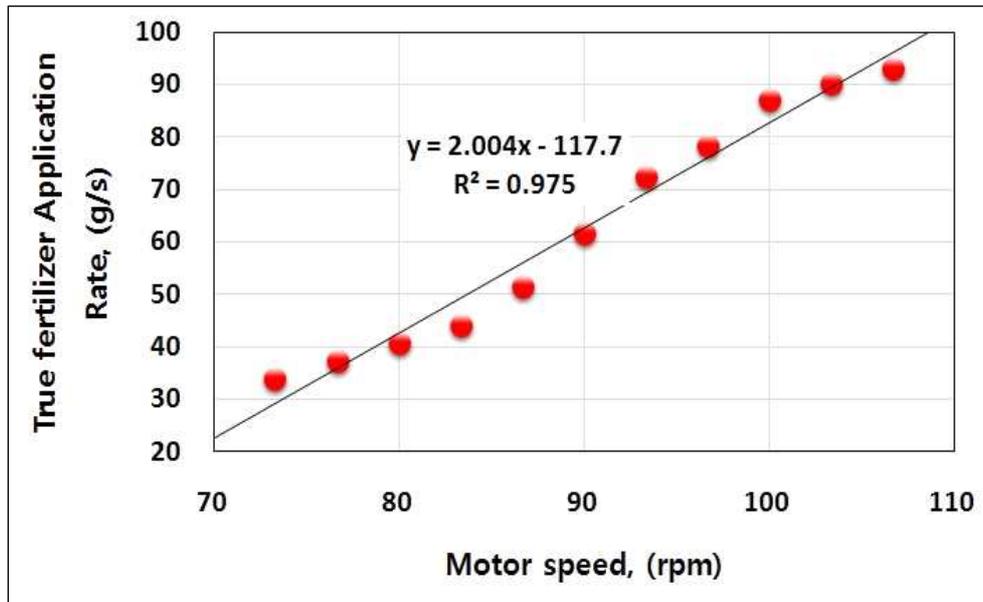


그림 3-1-38 비산형 변량 시비기 모터 제어에 따른 시비량 변화

## 제2절 생육정보 맵핑 및 공간변이 분석

### 1. 생육정보 맵핑

공간변이 분석을 수행한 후 크리깅된 생육 단계 및 시비 추천 단계 데이터는 Sufer 소프트웨어(Golden Software Inc., Golden, Colorado)를 이용하여 맵핑 수행하였다. 관행 주행경로 및 생육 정보 측정을 수행한 3곳 잔디밭의 예취작업 시 촬영한 영상을 이용하여 생육 정보 확인 후 생육 단계와 시비 추천 단계 계산하여 맵핑하다. 맵핑 수행 시 모워 트랙터의 작업 폭인 1.2 m 간격 기준으로 하고 잔디밭의 생육 단계 분포와 생육 정도에 따른 시비 추천 분포를 확인하였다.

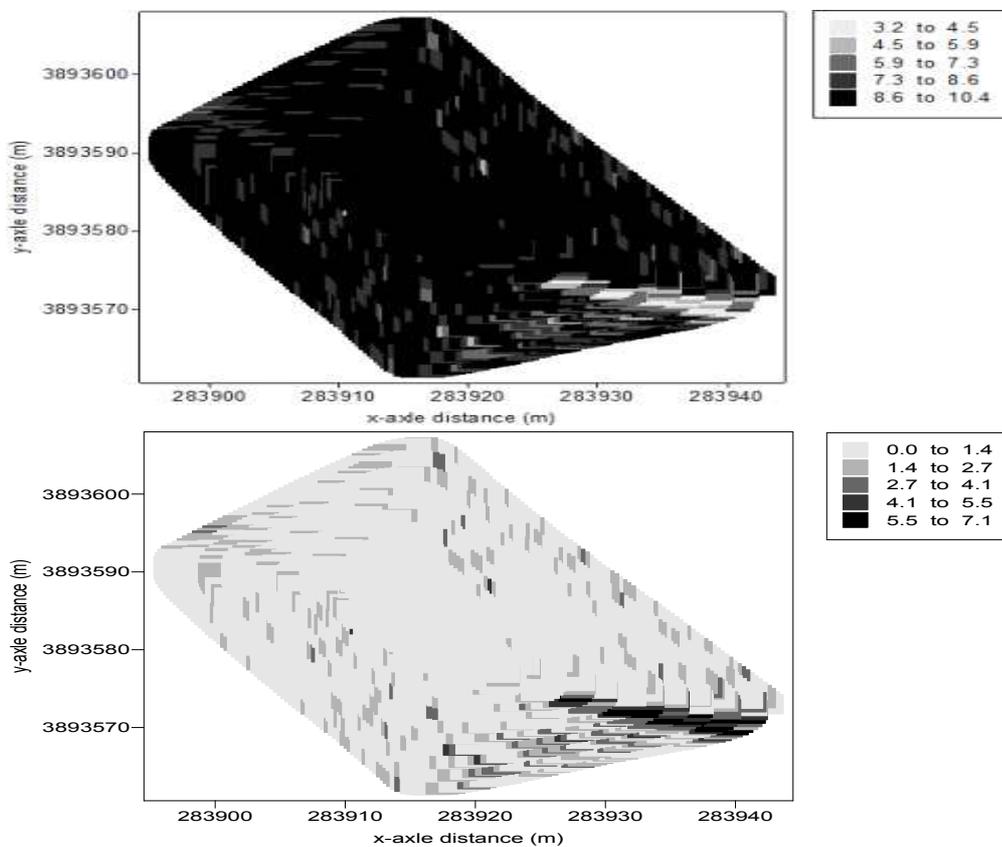


그림 3-2-1 첫 번째 잔디밭 생육 맵핑(위) 및 시비 추천 맵핑(아래)

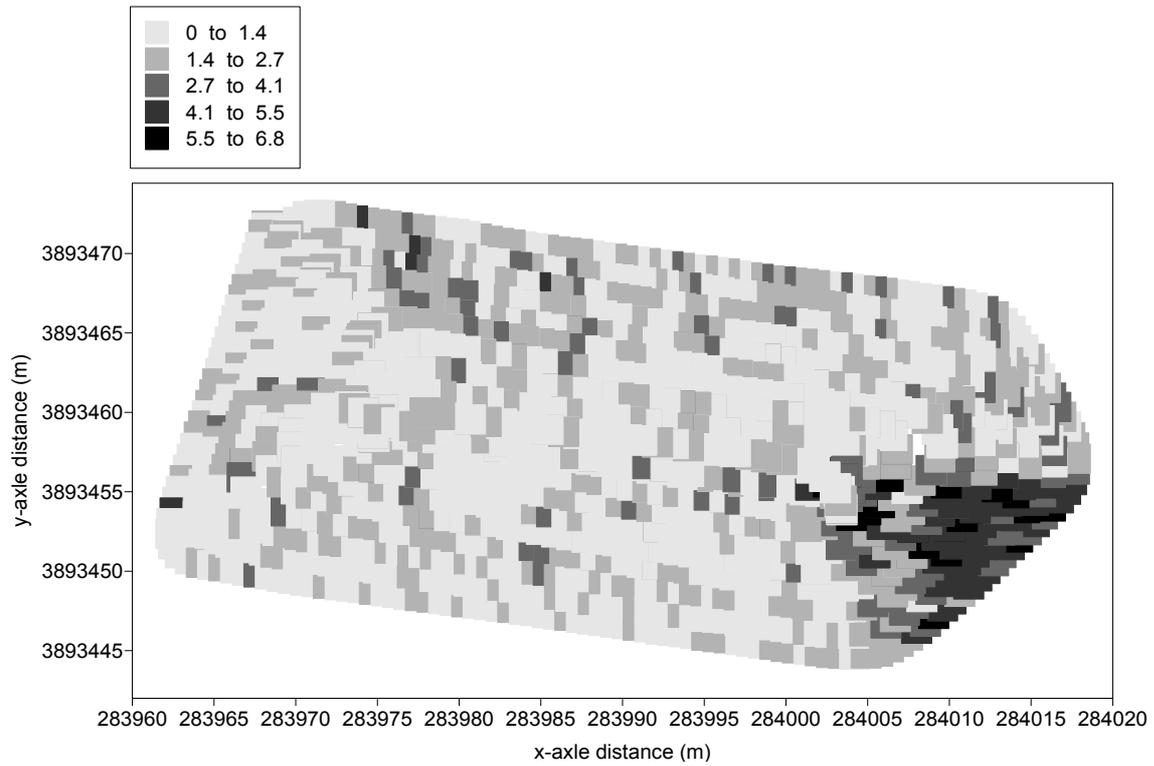
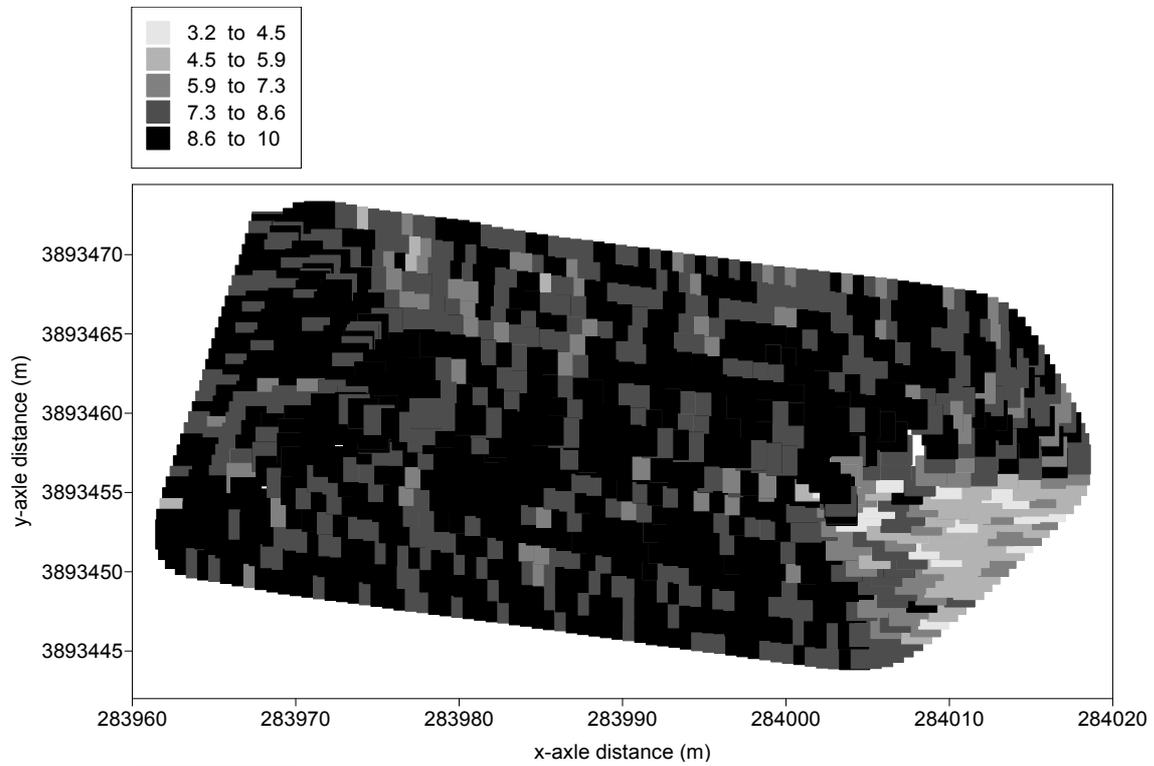


그림 3-2-2 두 번째 잔디밭 생육 맵핑(위) 및 시비 추천 맵핑(아래)

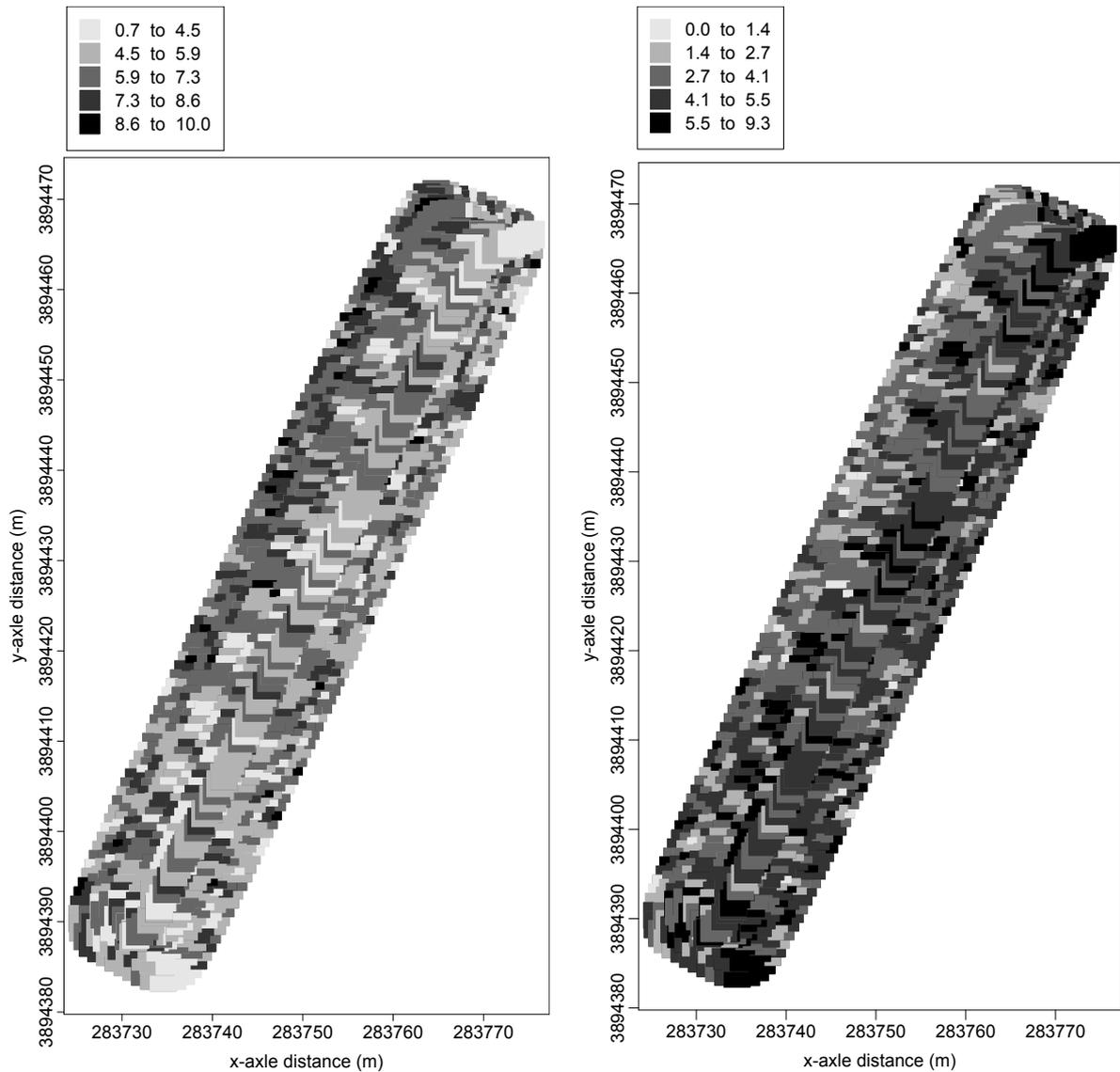


그림 3-2-3 세 번째 잔디밭 생육 맵핑 및 시비 추천 맵핑

## 2. 변이 분석 및 시비 추천

### 가. 변이 분석

정보기반형 정밀농업 생물생산시스템에서는 위치별 생물 생육환경, 생육상태, 수확량 등과 같은 자료(속성)의 공간적 변이에 대한 많은 데이터를 제공하는데, 이 데이터는 서비스 가능한 정보를 제공하기 위해 지도로 가공하였다.

본 연구에서는 지리정보시스템을 이용하여 측정된 생육정보를 위치정보와 결합하여 지도화하고 통계분석을 통해 공간 변이를 분석하고자 하였다. 작성한 지도는 DB화하여 매 생산 적기 시 작물 생산량 및 품질 향상을 위한 의사결정시 기반 자료로 활용하였다.

변량 시비를 실현하는 기술은 의사결정 알고리즘에 의해 미리 작성된 전자지도를 이용하는 방법과 포장에서 직접 국지적인 변이를 측정하여 적용하는 두 가지 방법이 있다. 두 방법 모두

포장 조건에 알맞게 농자재를 투입하여 생산량 증대와 품질 향상이 주된 목적이다.

잔디밭을 주행하며 연속적으로 취득한 영상을 처리 후 회귀식을 이용하여 생육 단계와 시비 추천 단계를 계산하고 (표 3-2-1) 동 시간에 측정된 좌표데이터와 함께 GS+ 소프트웨어 (Gamma Design Software, Plainwell, Michigan)을 이용하여 공간변이 분석 수행 하였다. 생육 단계와 시비 추천 단계는 선형 반비례관계이기에 동일한 베리오그램 결과가 확인되었고(그림 3-2-4) LTIS (linear to sill)과 지수함수 모델이 R2가 0.99, 0.95의 높은 정확성을 확인하였다.

표 3-2-1 영상의 좌표, 분석, 생육 단계, 시비 추천 단계

No.	X-axle (m)	Y-axle (m)	CIS analysis	Growth level	Fertilization level
2-1-1	283968.2874	3893471.7580	0.0146	8.5060	1.4939
2-1-2	283968.2871	3893471.7469	0.0152	8.4760	1.5239
2-1-3	283968.2871	3893471.7469	0.0151	8.4826	1.5173
2-1-4	283968.2871	3893471.7469	0.0142	8.5254	1.4745
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2-8-296	283977.9693	3893459.9836	0.0152	8.4779	1.5220

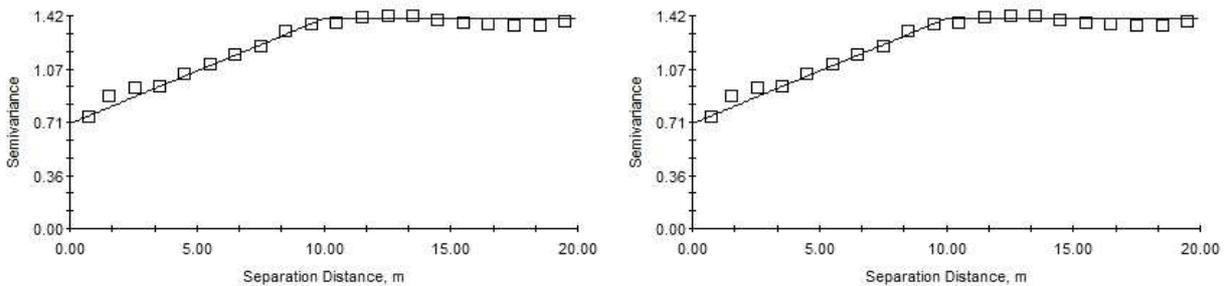


그림 3-2-4 생육 단계(좌)와 시비 추천 단계(우) 생육 정보의 등방성 베리오그램

표 3-2-2 생육 단계 및 시비 추천 단계의 등방성 베리오그램 파라미터

Model*	Nugget (C0)	Sill (C0+C)	Range (A0)	Q (C/C0+C)	R2
SPHR	0.872	1.745	34.870	0.500	0.79
EXPN	0.632	1.439	5.440	0.561	0.95
LINR	0.916	1.522	19.489	0.399	0.75
LITS	0.800	1.400	10.000	0.429	0.99
GAUS	1.010	2.021	22.210	0.500	0.61

\*SPHR-spherical model, EXPN-exponential model, LINR-linear, LITS-linear to sill, GAUS-Gaussian

나. 시비 추천

변량 시비를 실현하는 기술은 의사결정 알고리즘에 의해 미리 작성된 전자지도를 이용하는 방법과 포장에서 직접 국지적인 변이를 측정하여 적용하는 두 가지 방법이 있음. 두 방법 모두 포장 조건에 알맞게 농자재를 투입하여 생산량 증대와 품질 향상이 주목적임. 본 연구에서는 후자 방법을 이용하여 변량 시비를 하고자 하였다.

영상의 분석 결과와 잔디의 생육 단계를 1단계(못자람)부터 10단계(매우 잘 자람)로 구분하고 생육 단계에 따라서 시비 추천 단계 또한 총 10단계로 구분하였다. 영상 분석 결과를 X 변수, 잔디 생육 단계 및 시비 추천 단계를 Y 변수로 설정하여 상관 확인하였다. 또한, 시비 추천 단계를 X변수, 생육 단계를 Y변수로 지정하고 상관 확인하였다.

대부분의 상관 확인 결과 Y 변수의 분포가 일정하지 않은 분산형태를 보여 상관성이 높은 회귀방식을 찾기 위하여 X 변수를 다양하게 변화하며 확인 수행하였고 영상 분석 결과와 생육 단계의 상관 확인 시 선형회귀식의 R2가 높은 분석 방법은 칼라 영상 분할(CIS) 방식이었고 X 변수를  $\sqrt{X}$ 로 변환하여 분석 시 R2가 0.950의 높은 상관을 확인하였다.

3곳의 잔디밭에서 각각 20지점씩 촬영한 영상의 CIS 분석 방법을 이용하여 각각의 밭마다 10단계의 생육 수준과 상관을 확인하였고 상관을 나타내는 식은 다음과 같다.

$$Growth\ level = 1.105 - 1.523\ CIS$$

확인된 결과 회귀식의 형태가 비슷하고 그 수준은 각각의 잔디밭마다 다소 차이를 보인다.

표 3-2-3 영상 분석 방법과 잔디 생육 단계의 상관 확인

X	X processing	Y	Regression results	
			R <sup>2</sup>	Sig.
Skewness	X	Growth Level	0.164	0.000
	X <sup>2</sup>	Growth Level	0.238	0.000
	$\sqrt{X}$	Growth Level	0.113	0.195
RGB ratio	X	Growth Level	0.153	0.973
	X <sup>2</sup>	Growth Level	0.154	0.121
	$\sqrt{X}$	Growth Level	0.153	0.121
CIS	X	Growth Level	0.871	0.000
	X <sup>2</sup>	Growth Level	0.798	0.000
	$\sqrt{X}$	Growth Level	0.950	0.000

### 3. 사용자 인터페이스 및 시각화 메뉴 확립

자율주행 트랙터가 포장에서 경운작업을 수행하기 위한 경로를 생성하기 위하여 경로생성시스템을 구성하였다. 경로생성프로그램은 MATLAB 7.2를 이용하였으며, 변수입력, 포장인식, 경로생성, 경로 출력 등 프로그램 개발하였다. 사용자에게 프로그램은 편리한 이용을 위하여 MATLAB에서 GUI (Graphical User Interface)를 이용하였고 그림 3-2-5에서와 같이 사용자 인터페이스 작성하였다.

개발된 프로그램의 포장 입력변수는 WGS84좌표계의 경도 및 위도좌표를 이용하였으며, 포장이 위치한 지역의 경도와 위도 1도에 대한 거리를 m단위로 환산하고 포장의 기준면을 X축과 동일하도록 하기 위하여 포장의 회전각만큼 회전하여 포장의 경로를 계산하였다. 계산된 경로 좌표는 m단위이고 포장의 회전각만큼 회전한 상태이므로 실제의 트랙터가 주행할 경도와 위도 좌표를 얻기 위해서 계산된 경로좌표를 처음 포장의 좌표를 회전한 반대방향으로 회전각만큼 회전하고 m단위의 좌표를 WGS84좌표계로 변환하여 경로자료를 출력하도록 하였다.

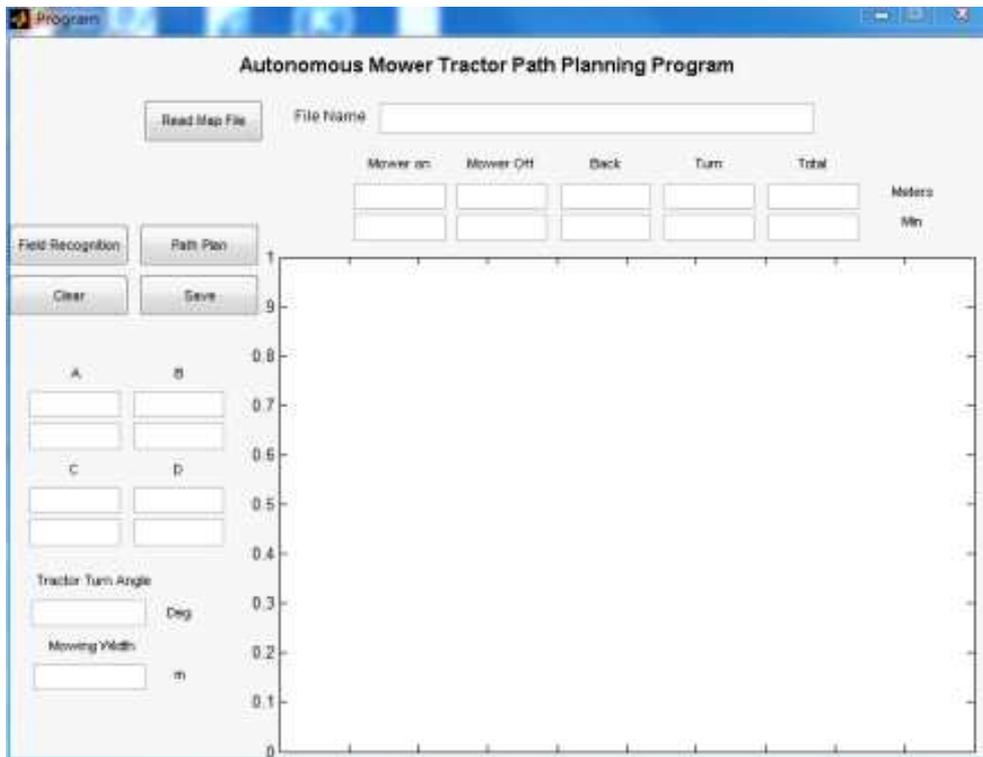


그림 3-2-5 경로생성 프로그램 인터페이스 메뉴

시스템의 전체적인 구성은 크게 3부분으로 구성하였다. 첫 번째는 경로를 생성하기 위한 변수설정부분으로 트랙터 및 포장의 변수를 파일입력 또는 수동 입력이 가능하도록 하였으며, 신규 작업 대상 포장의 경우 프로그램 구현에서 보고한 포장인식프로그램과 트랙터 회전반경 인

식프로그램을 변수입력메뉴에 삽입하여 사용하도록 하였다.

두 번째의 경로생성메뉴에서는 입력된 트랙터 및 포장의 변수를 이용하여 2가지의 작업유형별 경로를 화면출력과 파일로 출력하도록 하였으며, 출력된 데이터는 트랙터의 모위 ON/OFF를 제어할 수 있는 정보를 갖도록 하였다. 또한 각 유형별 예상 주행거리, 주행시간 및 작업 시간 등에 대하여 계산할 수 있도록 하였다.

### 가. 포장 인식

자율주행 트랙터를 이용하여 포장의 작업을 위해서는 기본적인 포장 4개 모서리의 좌표가 필요하다. 포장의 좌표를 측정하기 위하여 별도의 GPS수신기가 부착된 이동식 측측기를 활용하여 측정하여 이용할 수 있다. 하지만 별도의 시스템을 활용해야하는 경우 비용과 시간이 추가 소요되며, GIS자료는 논두렁의 폭 및 경사면에 대한 내용이 고려되지 않아 포장의 좌표로 활용할 수가 없다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 경운경로측측시스템에 장착된 DGPS수신기를 활용하여 포장 4개의 좌표를 인식하는 프로그램을 개발하였다.

또한 본 연구에서는 포장의 좌표를 계산하기 위하여 포장의 형태는 여러 형태가 있으나 경지정리가 이루어진 포장을 대상으로 하였으며, 포장의 형태를 직사각형의 포장이라고 가정하여 개발하였다.

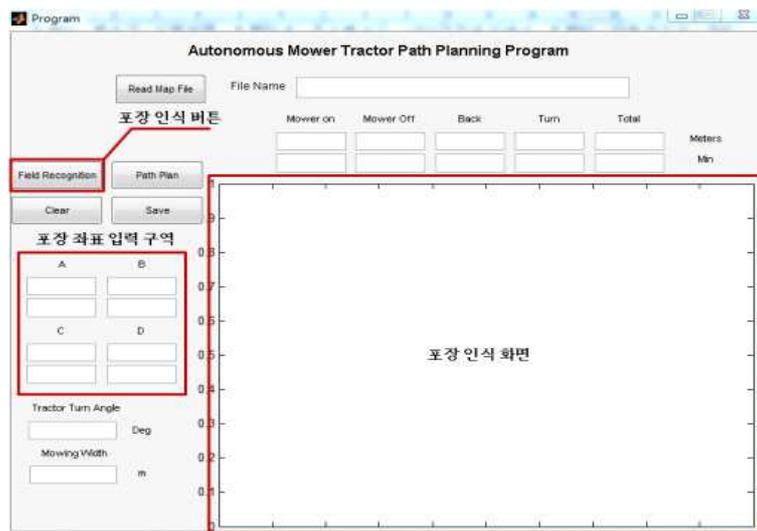


그림 3-2-6 포장 인식 메뉴 설명

포장의 형상을 계측하기 위하여 트랙터에 DGPS를 장착하고 노트북컴퓨터에 계측용 프로그램을 설치하였다. 계측용 프로그램을 실행시켜 계측을 하면서 트랙터를 포장의 입구에서 1번 기준 논두렁 포장 안쪽으로 최대한 가까이 접근하여 주행하였으며, 첫 번째 논두렁의 주행이 끝나는 지점에서는 2번 논두렁으로 정지 없이 연속하여 1번 논두렁에서의 주행방법과 동일하게 주행하도록 하였고, 4개의 논두렁 주행 완료시 주행 및 계측을 정지하도록 하였다. 계측된 자료는 NMEA text 파일로 저장하도록 하였다.

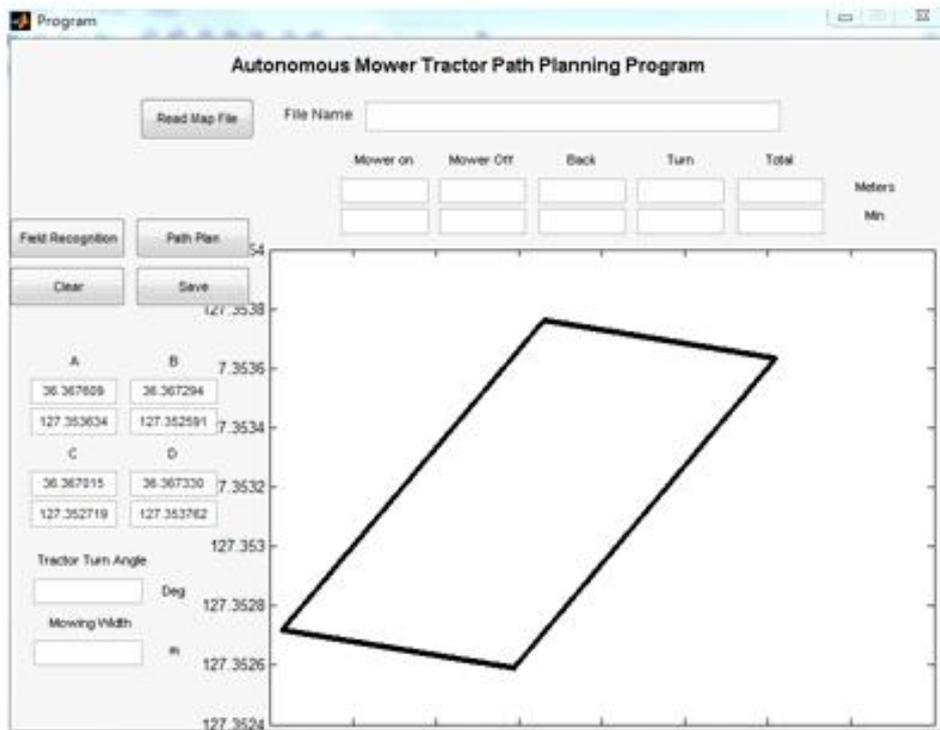


그림 3-2-7 포장 인식 결과

#### 나. 경로 생성

경운작업의 준비단계인 포장의 진입부터 내부 왕복작업, 회경작업 및 작업종료에 대한 포장의 경운 경로생성 프로그램을 개발하였다. 그러나 트랙터의 변수 및 포장의 크기 등에 의해 발생할 수 있는 작업 시간, 주행거리 및 미경지 부분을 사전에 조사하여 실제 자율주행 트랙터에 적용하기 전에 시뮬레이션을 통하여 생성된 경운경로자료가 해당 포장에 적합한지를 검토할 필요가 있었다.

경운경로생성프로그램에서 생성된 경운경로좌표를 시뮬레이션프로그램에 읽어 들여 작업 상태를 확인하고 미경지가 발생하는지 확인할 수 있으며, 각 생성된 경운유형별 주행거리, 주행 시간 및 작업 시간을 계산하여 작업하고자 하는 포장의 최적 작업유형을 조사하고자 한다.

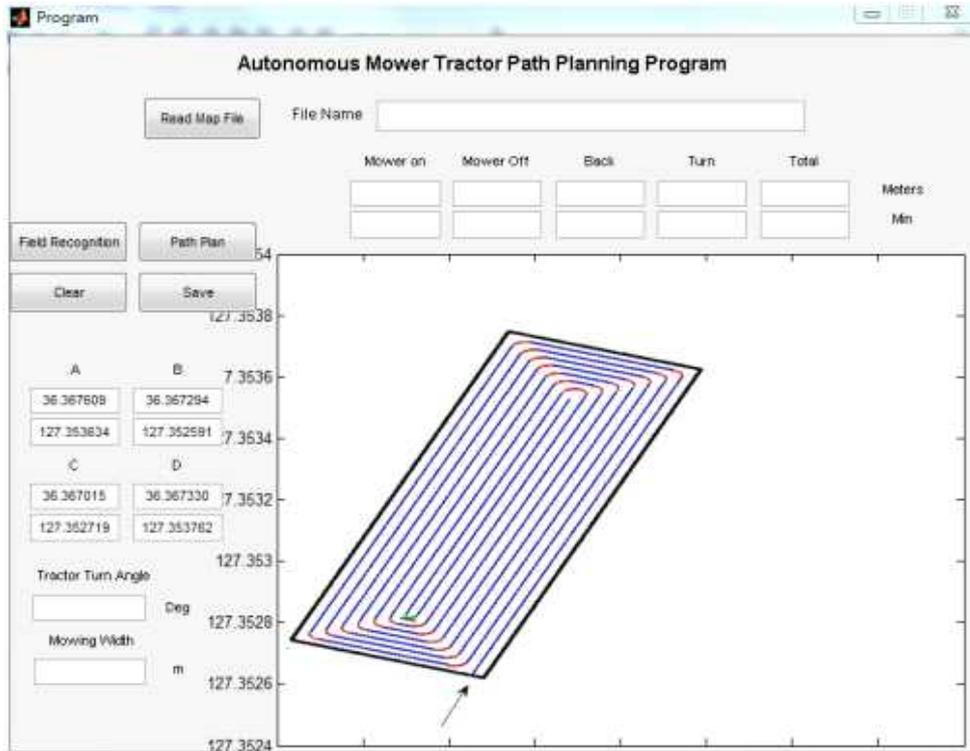


그림 3-2-8 경로생성 결과

본 연구에서 개발된 경운경로 생성프로그램을 이용하여 C형 경운경로 생성 시 트랙터의 회전반경을 변경하면서 로터리의 작업 거리, 시간 등을 조사하였다. 그림 3-2-8은 C형 선회유형을 갖는 경운경로생성 시물레이션 결과를 나타낸 것이다.

트랙터의 최소회전반경이 2.4 m일 경우의 트랙터의 총 주행거리와 시간은 각각 2,210.88 m과 39.3분으로 조사되었으며, 트랙터의 회전반경이 3.3 m일 경우는 2,289.57 m과 43.01분으로 조사되어 주행거리는 회전반경이 2.4 m일 경우보다 3.55%, 주행시간은 9.4% 증가하였다.

그러나 트랙터는 실제 로터리 작업 시에 가장 많은 동력이 소요되며 연료가 가장 많이 소비되게 된다. 그러므로 로터리 작업시의 총 주행거리와 주행시간은 회전반경이 2.4 m일 경우 1,706.95 m와 25.31분이고 트랙터의 회전반경이 3.3 m인 경우는 1,702.05 m와 25.24분이 소요되는 것으로 계산되었다. 즉 트랙터가 실제 경운작업을 실시하는 영역의 주행거리와 시간은 트랙터의 회전반경에 크게 변화가 없는 것으로 조사되었다. 아래 그림은 트랙터의 회전반경별 전체 주행거리와 로터리작업시의 주행거리를 도표로 나타낸 것이다.

그리고 본 시물레이션을 통하여 트랙터의 회전반경이 2.4 m부터 3.0 m까지는 회경횟수가 3회 회전하였으나 3.3 m에서는 4회로 회경작업을 하는 것으로 조사 되었으며, 회경작업의 횟수가 증가하여도 실제 경운작업 주행 및 시간의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

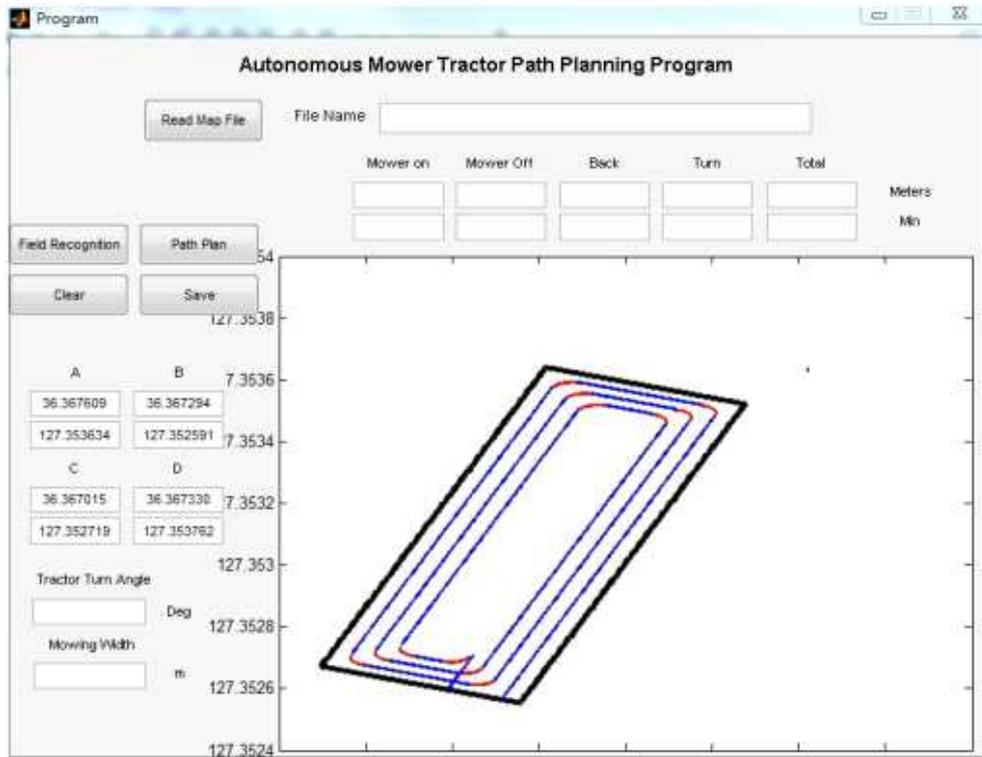


그림 3-2-9 잔디 놓고 오기 위한 주행 경로 생성

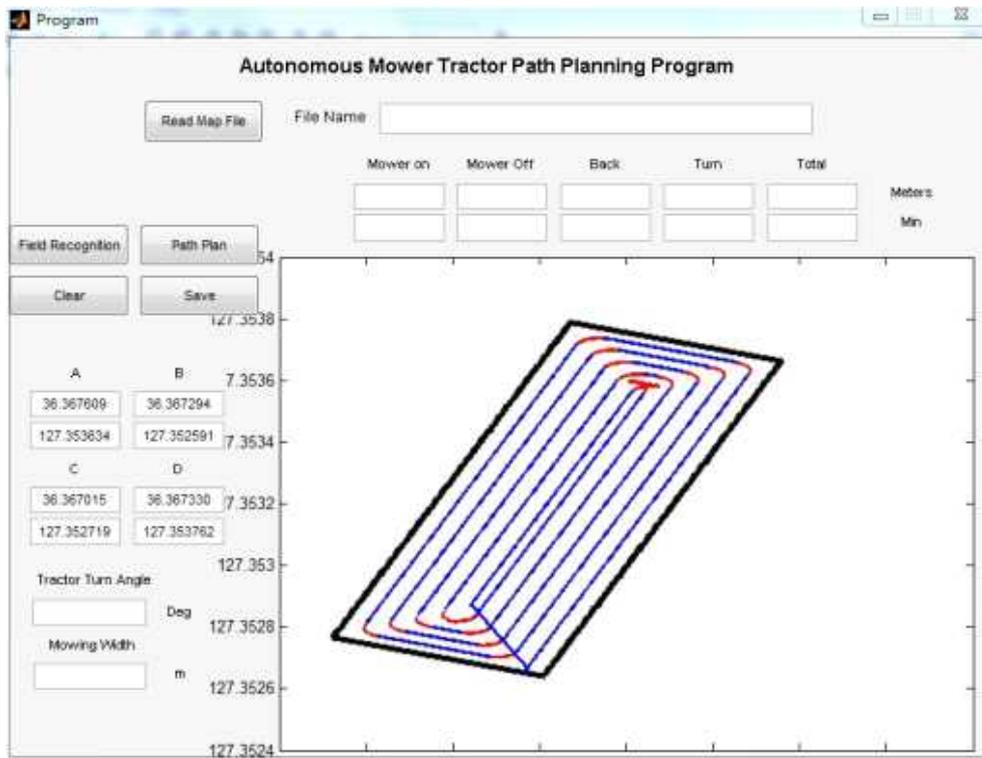


그림 3-2-10 퇴장 경로 생성

다. 데이터 출력

자율주행 트랙터에서 이용하기 위하여 경운경로생성시스템에서 생성된 자료는 트랙터가 주행할 경로좌표와 트랙터를 제어할 여러 가지 제어명령어가 함께 생성된다.

자율주행 트랙터가 포장에서 경운작업을 수행하기 위해서는 엔진의 속도, 작업기의 상하상태, PTO동작상태, 트랙터의 전/후진 및 속도 등에 대한 제어가 동시에 필요하며, 자료의 사용 용도에 따라 포장정보파일 이 별도 필요하게 된다. 그러므로 경로생성시스템에서 생성될 자료의 형태와 종류에 대하여 결정하였다.

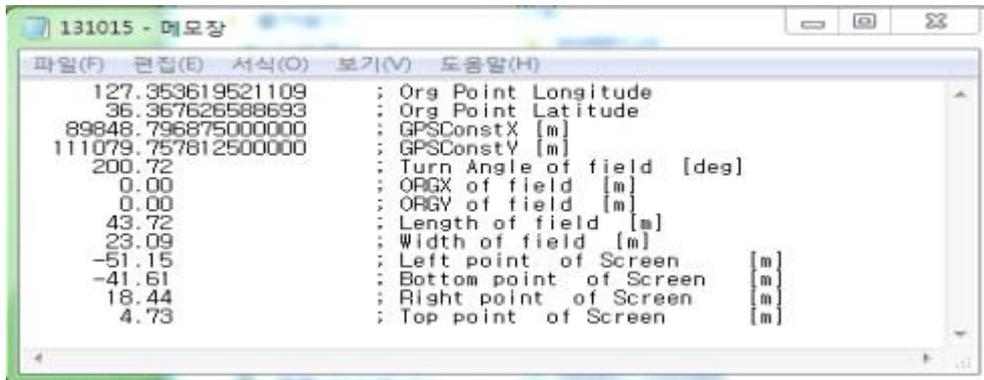


그림 3-2-11 주행경로 정보 저장

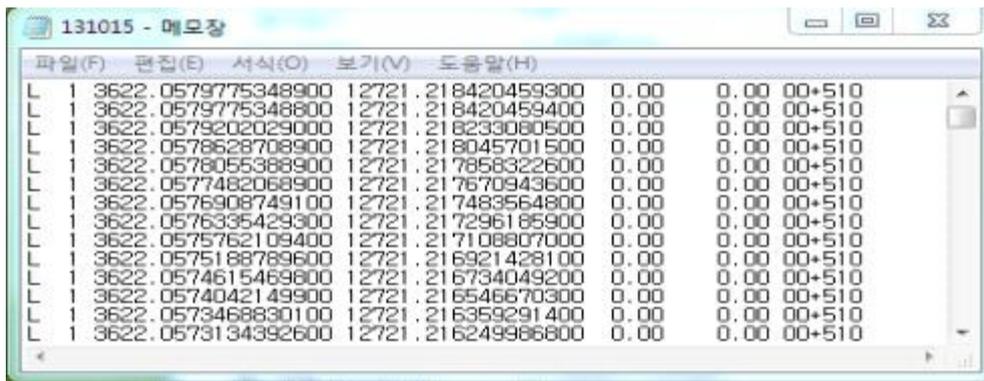


그림 3-2-12 주행경로 좌표 저장

라. 시각화 메뉴

그래픽 사용자 인터페이스에서 어떤 요소를 제어하려면 그 요소에 해당하는 그래픽을 직접 조작하여야 한다. 일반적으로 2차원이나 3차원의 가상공간에서 그 기능을 은유적 혹은 대표적으로 나타내는 그래픽으로 요소를 꾸미고 이를 선택, 이동, 복사하여 작동한다. 이를테면, X자와 같은 형태의 그래픽 요소는 이를 선택하면 삭제하거나 취소하는 기능을 수행하게 되며 어

면 파일을 나타내는 아이콘을 어느 위치에서 다른 하드 디스크의 장소를 나타내는 공간으로 이동하면 복사가 된다. 이전의 명령 줄 입력 인터페이스에서는 copy와 같은 명령어에 그 파일의 현재 이름과 장소를 입력하고 연달아 이동할 장소를 입력하는 방식으로 실행해야 하므로 불편하다.

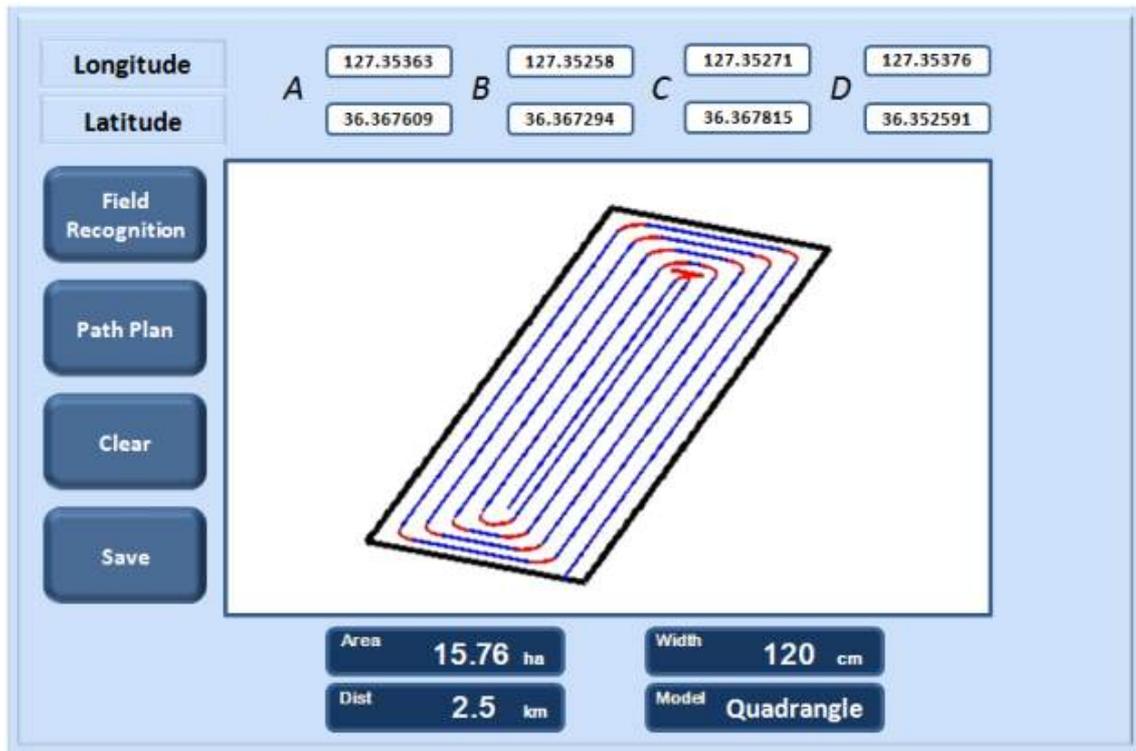


그림 3-2-13 사용자 인터페이스 시각화 메뉴

## 제3절 자율주행 잔디모위 개발 및 성능평가

### 1. 자율주행 잔디모위 개발

#### 가. 자율주행 잔디모위 구성

자율주행 잔디 모위 시스템은 잔디 재배지역에서 기존의 승용형 모위가 가지고 있던 많은 작업시간과 소요 노동력 문제를 무인 자율주행 시스템으로 해결하여 작업의 편의성과 생산성을 높이고자 하는 것을 목표로 하고 있다. 그림 3-3-1과 같이 IMU와 초음파 센서 등을 이용하여 모위 트랙터의 자세 검출 및 작업경로 추종 시스템, 작업경로의 정밀한 추종을 위한 Steering motor와 유압제어 기반의 자동조향 시스템, 포장 작업시 실시간 부하변동 감지를 통해 자동변속이 가능한 저비용, 고효율의 무단변속 시스템으로 구성된 CAN 통신 기반의 통합 제어 시스템으로 이루어져 있다.



그림 3-3-1 잔디 모위 시스템 Layout

#### (1) DGPS (Differential GPS)

잔디 모위의 위치를 결정하기 위해 캐나다 Hemisphere GPS 社의 듀얼 주파수 DGPS 수신기 (A220)를 사용하였다. 수신기는 Base Station과 Rover로 사용하였다. 그림 3-3-2는 수신기가 Base Station으로 사용될 때의 위치이고 그림 3-3-3은 사용된 제품의 외관 사진이다. 수신기는 사용 프로그램에 따라 정확도의 차이가 있으며, 모드별 정확도는 RTK 모드에서 2 cm, OmmiSTAR HP에서는 10cm, 그리고 SBAS는 30-60cm 이다. 수신기는 1-20 Hz의 다양한 데이터 출력 속도를 사용할 수 있으며, CAN, USB 및 시리얼포트를 통해 외부 장치와 통신이 가능하다. 그림 3-3-3은 수신기의 모습이며, 표 3-3-1은 DGPS 수신기의 제원이다. 또한 주행에 따른 원활한 GPS 신호 수집을 위해 잔디 모위 최상단에 별도의 장착지그를 이용하여 그림 3-3-4와

같이 GPS와 모뎀을 설치하였다.

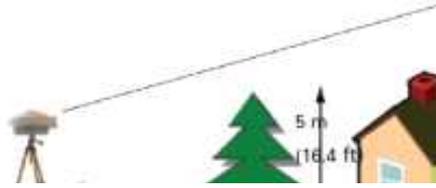


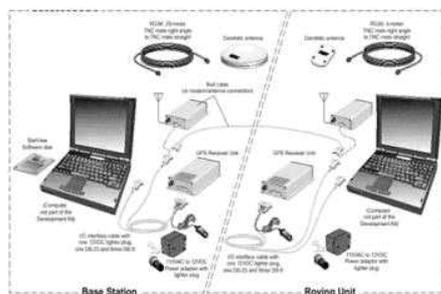
그림 3-3-2 Base Station의 위치



그림 3-3-3 DGPS 수신기(A220)

표 3-3-1 DGPS 수신기의 제원

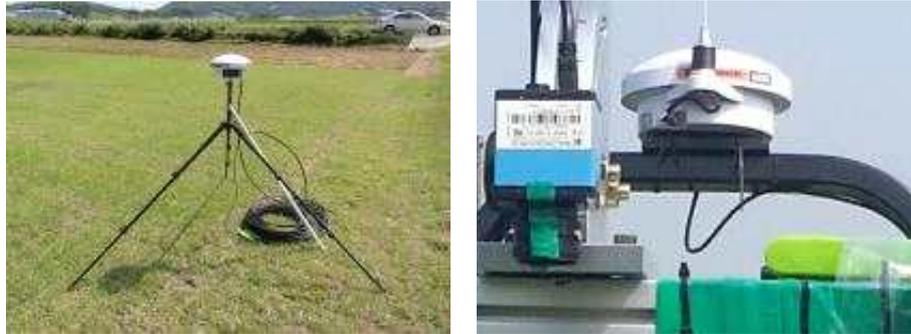
Item	Specification	
Input Voltage (V)	9-36	
Power/Current Consumption	<5W / 400 mA at 12 VDC	
Power Connector	Cable mount environmentally sealed	
H x W(cm), Weight(kg)	15 x 24.4, 1.8	
Mounting Options	Magnetic mount	
Operating Temp. (° C)	-30 - 65	
Storage Temp. (° C)	-40 - 85	
I/O Communications	Serial ports	2 full duplex RS232
	CAN/USB port	NMEA 2000 (CAN)
	Pulse output	1 PPS(HCMOS, active high, rising edge sync)
	Baud rates	4,800 - 115,200
	Differential Collection	Hemisphere GPS Proprietary DFX and ROX
	I/O protocol	RTCM SC-104 v3
	Data I/O protocol	CMR+
	Ground speed output	NMEA 0183,SLX binary and NMEA 2000 Range: 0.8 - >322 Km/h Signal: Opto-isolated pulse out Frequency Conversion: 94 Hz/m/s
	Event mark output	HCMOS, active low, falling edge sync, 10 k-ohm,10 pF load
	Receiver type	L1 and L2 RTK carrier phase smoothing 12 L1CA GPS
GPS Sensor Specification	Channels	12 L1P GPS 12 L2P GPS
	Update rate	3 SBAS or 3 additional L1CA GPS 1 - 20 Hz positions (10 Hz standard)
	Satellite reacquisition	< 1 s
Differential options	SBAS, autonomous, external RTCM, RTK, OmniSTAR (HP/XP)	



a) Interconnection of DGPS equipment      b) Installation of DGPS antenna

그림 3-3-4 무인 자율주행 모워 트랙터의 DGPS System

아래의 그림 3-3-5은 자율주행 잔디 모위에 적용된 DGPS의 base station과 DGPS antenna 이다. base station은 작업을 수행하는 필드위에 설치하였으며, DGPS antenna는 잔디 모위의 보호구조물(ROPS)의 정중앙에 위치할 수 있도록 하였다.



a) DGPS base station

b) DGPS antenna

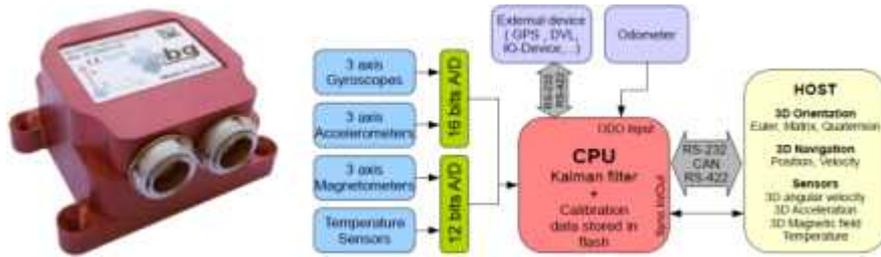
그림 3-3-5 자율주행 잔디 모위 시작품에 적용된 DGPS

## (2) IMU (Inertial Measurement System, 관성 측정 장치)

IMU는 Accelerometer(가속도계), Rate gyroscope(각속도계), Geomagnetic(지자기센서)로 구성되어 있으며, Kalman filter 등을 이용하여 각 센서의 누적오차를 다른 종류의 센서가 보정하는 원리를 이용하여 대상의 자세와 움직임을 측정하는 장치로 AHRS(Attitude Heading Reference System)이다. IMU는 기존의 분석 장치와 달리 정밀하게 배치된 다수의 송수신 장치가 필요 없으며, 근거리 무선통신 시스템으로 데이터를 송수신 할 수 있다. 또한 MEMS기술의 발달로 매우 작은 크기로 대량생산이 가능하고, 고가의 수신 장비가 필요하지 않기 때문에 다른 종류의 측정 장비에 비해서 경제적이다. IMU에 탑재된 CPU는 센서의 데이터를 처리하여 속도, 가속도, Euler angle, Quaternion angle등의 파라미터들을 실시간으로 전송하기 때문에 대상의 움직임을 Delay 없이 분석할 수 있고, 자료 궤적을 미분하여 속도와 가속도를 구하는 방식이 아니기 때문에 데이터의 손실을 최소화 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 주변에 간섭을 일으킬만한 자속이 존재하거나 생성되게 되면, 지자기센서에 교란이 발생하여 측정 데이터의 정밀도가 떨어지게 되는 단점이 있다.

본 연구에서는 잔디 모위의 방향을 감지하기 위해 프랑스 SBG systems 社의 IG-500E를 사용하였다. IG-500E는 GPS위치나 주행 방향 및 속도에 관한 데이터를 칼만 필터를 이용하여 실시간으로 처리하는 MEMS 기반의 측정 장치이다. 그림 3-3-6-a)는 IG-500E의 모습이고, 그림 3-3-6-b)는 IG-500E의 Block diagram이다. IMU의 정확도는 감지범위 360°, 동적 정확성 1.0°로 자율주행 차량의 고저(pitch), 좌우 흔들림(roll), 수평각(yaw)의 실시간 검출이 가능하다. 표

3-3-2는 IMU 내부 센서의 제원을 나타내고 있으며 표 3-3-3은 IG-500E의 제원이다. 그림 3-3-7은 초기 개발단계에서 적용한 모습이고, 그림 3-3-8은 당해 연도 연구에서 실제 시작품에 적용된 모습이다.



a) IG-500E

b) Block diagram

그림 3-3-6 IMU 및 Block diagram



그림 3-3-7 방향각 측정을 위한 IMU system



그림 3-3-8 실제 시스템에 적용된 IMU

표 3-3-2 IMU 내부 센서 제원

Standard sensor	Accelerometers	Gyroscopes	Magnetometers
Measurement range	± 5g	± 300 ° /s	± 1.2 Gauss
Non-linearity	< 0.2 % of FS	< 0.1 % of FS	< 0.2 % of FS
Bias stability	-	± 0.1 ° /s	-
Scale factor stability	< 0.1 %	< 0.05 %	< 0.5 %
Noise density	0.25 mg/√Hz	0.05 ° /s/√Hz	0.01 mGauss/√Hz
Alignment error	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Bandwidth	50 Hz	40 Hz	500 Hz

표 3-3-3 IMU(IG-500E) 제원

Item	Specification	
Sensing range	360° in all axes	
Static accuracy	± 0.5° (pitch, roll) ± 1° (heading)	
Dynamic accuracy	± 1° (RMS)	
Repeatability	< 0.2°	
Resolution	< 0.05°	
Output frequency (Hz)	0.01 - 500	
Demension (mm)	36 x 49 x 25	
Weight (kg)	49	
Operating temp. (° C)	-40 - 85	
Storage temp. (° C)	-40 - 85	
Shock limit (g)	1,000(powered), 2,000(unpowered)	
Operating voltage (V)	3.3 to 30	
Power consumption (at 5.0 V)	600 mW	
Logic input	0 level : < 0.8 V, 1 level : > 2.0 V	
Logic output	Pull-up Voltage : -0.3 - 25 V (<100 ns)	
Start up time (s)	< 2	
Fully stabilized time (min)	< 10	
External interface	E x t e r n a l sensors	Standard NMEA with True heading support Remote SBG IG-Device. Ublox GPS receivers
	Interface option	RS-232 or RS-422
	Serial data rate	9,600 to 921,600 bps, Fast or Slow Slew Rate
Main communication interface	Output	Euler angles, Quaternion, Matrix, 3D velocity, 3D Position, Calibrated sensor data, Raw sensor data UTC Time Reference
	I n t e r f a c e options	Serial (RS-232 RS-422, TTL 3.3V), CAN 2.0A/B, USB
	Serial data rate	9,600 to 921,600 bps, Fast or Slow Slew Rate

### (3) 모터

조향 모터는 컨트롤러가 부착되어 있어 차량의 조향각도 제어가 가능하며, 이를 통해 시스템의 자동 조향이 가능하도록 하였다. 본 연구에서는 일본 Oriental Motor 사의 DG-2 serice(DG130R-ARACD2-3)를 사용하여 휠의 조향각도를 제어하였다. DG-2 series는 전용 컨트롤러를 이용하여  $\pm 0.004^\circ$ 의 높은 해상도를 바탕으로  $360^\circ$  회전이 가능하다. 또한 작은 면적에 비해 20kg 정도의 높은 하중에서도 회전이 가능하다. 표 3-3-4는 모터의 제원이며 그림 3-3-9는 조향 모터의 모습을 나타내고 있다.

표 3-3-4 모터 제원

Item	Specification
Integrated controller	Y
Range (°)	360
Accuracy (°)	$\pm 0.05$
Repeatability (°)	$< 0.02$
Backlash (°)	$< 0.06$
Maximum centered load (N)	200
Maximum cantilever load (N-cm)	410
Guide type	Pre-loaded ball bearing
Stage diameter (mm)	60
Maximum current draw (mA)	450
Power supply (VDC)	12 - 16
Power plug (mm)	2.1 (center positive)
Inductance (mH)	4
Controller resolution	1/64 of a step
Data cable connection	Minidin 6
Mechanical drive type	Precision Worm Gear
Limit or home sensing	Magnetic home sensor
Manual control	Y, Potentiometer
Operating temperature range (° C)	0 - 50
RoHS status	Compliant
CE compliant	Compliant



그림 3-3-9 조향 모터

잔디 모위의 핸들에 모터를 부착하기 위해 모터 고정용 브라켓을 설계하였다. 설계 Tool은 CAD 2004(AutoCAD Inc.)를 사용하였으며 2D도면 작업을 통해 핸들에 모터를 부착할 수 있는 브라켓을 제작하고 3D 도면을 통해 시뮬레이션 검증 작업을 수행하였다. 그림 3-3-10은 핸들 브라켓의 2D 형상이고, 그림 3-3-11은 핸들 브라켓의 3D형상이다.

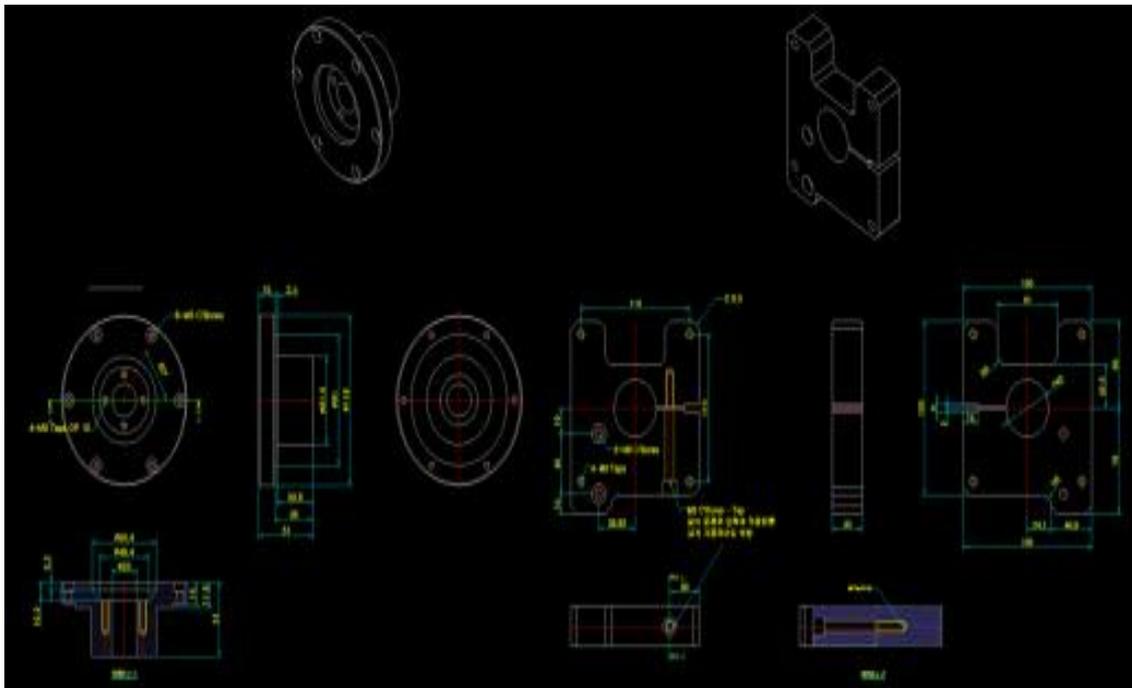


그림 3-3-10 핸들 브라켓 (2D)

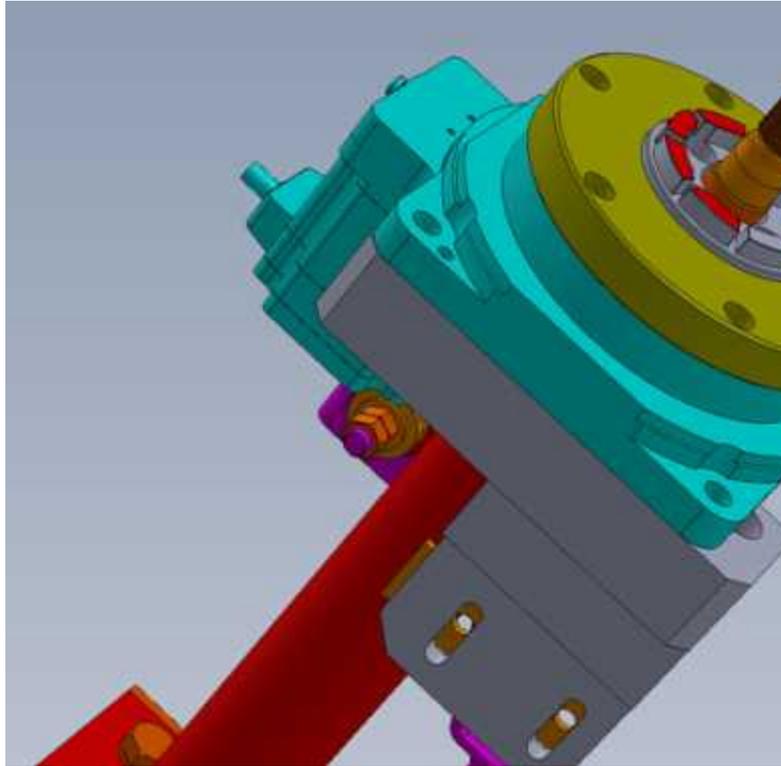


그림 3-3-11 핸들 브라켓 3D 형상

#### (4) HST (Hydrostatic Transmission)

HST는 축에 따라 왕복펌프 또는 회전펌프를 구동하여 유압을 발생시킨 후 왕복식 또는 회전식 유압모터로 유도하여 다른 축을 회전시키는 장치로 동력전동장치라고 한다.

HST는 유압모터에 유입되는 유량을 조절함으로써 피동축의 회전수를 단계를 거치지 않고 변화시킬 수 있고, 또한 유압이 흐르는 방향을 반대로 하면 축의 회전 방향을 역전시킬 수도 있으므로 유압전동장치는 유압을 매개로 하는 무단변속장치가 된다. 유압펌프와 유압모터는 왕복 2개의 유관으로 연결되어 있기 때문에 엔진에서 멀리 떨어진 곳에 놓여 있는 부하를 구동할 경우에도 2개의 유관을 연장하는 것만으로 충분한 장점이 있다. 그러나 전달효과는 동일한 무단변속장치인 토크컨버터(torque converter)와 거의 같은 정도이지만, 기어 등의 기계적 전동장치보다는 능률이 낮은 단점이 있다.

HST는 왕복식·회전식 등 여러 가지 형식이 있다. 피동축의 회전수를 자유롭게 조절하기 위해서는 유압펌프나 유압모터 중 한쪽을 토출량 가변식으로 하면 충분하기 때문에, 가변용량식 펌프와 정용량식 유압모터를 조합하여 사용하는 것이 보통이다. 그림 3-3-12는 제일PMC 社의 HSTunit의 모습이다.



그림 3-3-12 HST unit (Jeil PMC)

## 2. 자율주행 제어 시스템

### 가. 잡음제어 필터

본 연구에서는 잡음 제거를 위해 다음 그림 3-3-13과 같이 웨이블릿 필터, 이동평균필터, 적응필터, 칼만필터로 신호 잡음을 제거한 후, 신호대잡음비(Signal to Noise Ratio, SNR)를 이용해 잡음 제거 필터의 성능을 평가했고, 필터의 과도한 연산에 따른 감도 저하를 방지하기 위해 잔디 모위 변속에 따른 지연, 상승 시간을 계산하여 이에 적합한 잡음 제거 필터를 선정하였다. 웨이블릿필터, 이동평균필터, 적응필터, 칼만필터를 이용한 잡음 제거 알고리즘은 각각의 특성에 맞는 인자 선택에 따라 개발하였다.

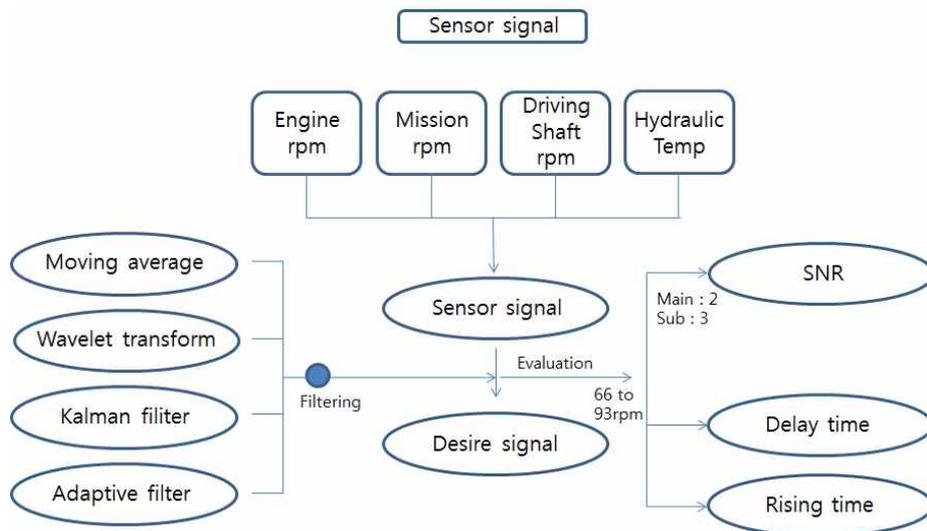


그림 3-3-13 잡음제거 알고리즘 선정 흐름도

웨이블릿 필터는 실시간 잡음 제거를 위해 연산속도가 빠른 Haar 함수를 기본함수로 사용하였고, 잡음 제거 분야에서 주로 사용되는 Universal 방법을 통한 최대값 계산으로 임계치를 결정했다. 이 최대값에 따른 잡음 제거는 외란에 의해 이상 신호가 발행되는 깁스(Gibbs)현상을 최소화하는 소프트 임계처리 방법을 사용하여 개발하였다. 또한 잡음을 보정하는 신호의 차수를 결정해야하는 이동평균필터를 이용하여 샘플링 주파수를 고려해 100개의 신호를 평균 내어 1초의 간격으로 입력되는 신호의 잡음을 제거하였다. 적응필터를 이용한 잡음제거는 잡음이 섞인 신호( $s + n_1$ )에 대한 유사 잡음을 가지고 있는 기준 신호( $a \times n_1$ )를 입력하여 잡음을 제거하는 방법으로 올바른 기준 신호의 선정 필요한데, 잔디 모위의 잡음은 엔진에서 발생하는 잡음과 주파수 영역에서 유사한 특성을 보이고 있어서 각 센서에 대한 기준신호를 엔진의 회전속도로 하여 필터의 알고리즘을 개발하였다. 칼만 필터를 이용한 잡음제거는 센서가 갖는 측정오차에 대한 공분산, 그리고 칼만필터를 통한 잡음 제거 시스템 오차의 공분산을 입력해야 하는데, 센서가 갖는 측정오차에 대한 공분산을 센서 종류에 따라 표기된 측정오차로 사용하였고 잡음 제거 시스템의 오차를 측정값의 1%로 설정하여 통과한 신호 잡음이 1% 내외의 값을 갖도록 설정하였다.

주로 엔진에서 진동 잡음이 발생된다고 보고된 잔디 모위의 경우, 작업 시 포장 상태 및 장애물에 따라 이상 잡음이 첨가되기 때문에 계측 시스템의 잡음 제거 필터를 개발하기 위해서 주행 상태에 따라서 달라지는 잡음의 크기 변화에 대한 연구가 필요하다. 그렇기 때문에 이번 연구에서는 주행 중 각각의 센서 신호를 측정하고 신호대잡음비를 계산해 계측 시스템의 잡음에 주행상태가 미치는 영향에 대해 밝혔다. 신호대잡음비는 다음 식과 같이 평균값에 대한 표준편차의 비로 로그함수를 이용해 데시벨(dB) 값으로 계산하였다.

$$SNR(dB) = 20 \times \log_{10} \left( \frac{S_a}{S_s} \right)$$

$SNR$  : 신호대잡음비

$S_a$  : 신호의 평균값

$S_s$  : 신호의 표준편차

잔디 모위의 장단점으로는 신호의 변속이 없는 경우에는 대부분의 신호 크기가 일정한 정속 신호이기 때문에 잡음 제거가 용이하지만, 시스템 성능을 높이기 위해 많은 연산과 높은 차수를 사용해야하는 이유로 시스템 감도를 저하시키는 단점이 있으므로 응답 특성을 구명하여 잡음 제거 시스템의 잡음 제거 성능을 높이면서 감도를 유지한다. 작업 시 센서 신호는 주로 변

속에 의해 값이 바뀌기 때문에 본 연구에서는 변속으로 인한 센서 신호의 응답을 계단 응답으로 가정하고, 다음 그림 3-3-14과 같이 지연, 상승 시간을 계산했다. 응답이 최종값의 50%가 되는 최초의 시간이 지연 시간이며, 응답이 최종값의 10~90%까지 걸리는 시간이 상승시간인데 지연, 상승 시간이 짧을수록 시스템의 반응이 빠른 것을 의미한다.

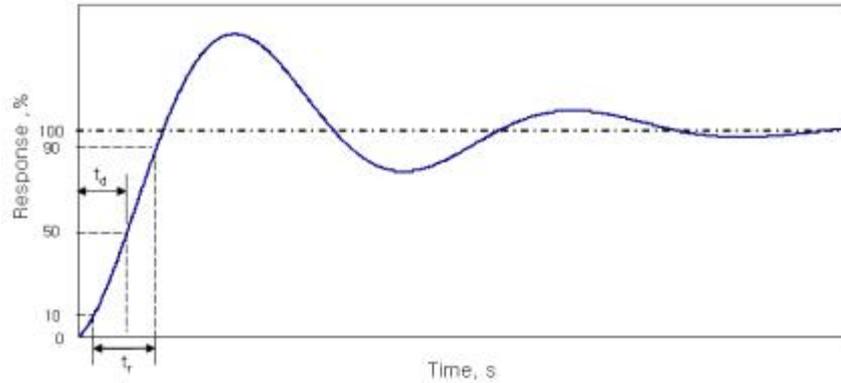


그림 3-3-14 계단응답에 대한 응답특성

잔디 모위 주행 시에 측정된 신호 대 잡음비는 개발된 계측 시스템을 이용하여 전진상태에서 엔진 rpm을 2600으로 하였을 때 각각의 센서 신호와 공회전 시의 신호를 측정하여 비교하였다. 실험 시에 많은 양의 데이터 신호 처리가 용이하도록 하기 위해서 센서 신호의 샘플링 주파수는 100Hz로 설정하여 저장하였다. 또 잡음 제거 시스템 응답 특성을 확인하기 위하여 차량 속도에 따라 변하는 센서 신호를 계단 응답으로 가정하고 지연, 상승 시간을 계산하였다.

웨이블릿필터, 이동평균필터, 적응필터, 칼만필터 등을 사용하여 센서 잡음을 제거하였더니 다음 표 3-3-5와 같이 신호대잡음비의 평균값은 37.92 dB, 27.88 dB, 39.42 dB, 41.43 dB로 각각의 값이 측정된 것으로 보아 원신호인 28.08 dB 보다 좋은 신호대비잡음비를 보이고 있으므로 높은 잡음 제거 성능을 보였다고 말할 수 있다. 잡음 제거 성능은 측정 센서에 따라 다르지만 전체적으로 봤을 때 적응필터를 사용한 경우가 가장 우수한 결과를 보였다.

표 3-3-5 전진 상태에서 필터에 따른 신호대잡음비

Sensor signal	SNR (db)				
	Raw signal	Wavelet filter	Moving average filter	Kalman filter	Adaptive filter
Engine revolution speed	25.1	36.5	27.2	41.5	44.8
Transmission revolution speed	28.6	37.9	28.6	43.8	42.1
Driving shaft revolution speed	31.4	41.9	27.8	38.8	45.0
Actuator position	27.2	35.4	27.9	33.6	33.8
Average	28.08	37.92	27.88	39.42	41.43

잡음 제거 시스템 응답 특성을 확인해보기 위해 차량 속도에 따라 변하는 센서 신호의 변화를 계단 응답으로 가정해 다음 표 3-3-6과 같이 지연, 상승 시간을 계산하였다. 지연 시간이 경우 적응 제어를 이용한 경우가 1.02초로 가장 적게 나타났고, 복잡한 연산 등에 의한 웨이블릿필터를 이용할 때는 1.83 초로 잡음 제거 시 많은 시간이 필요한 것을 알 수 있다.

상승 시간은 단순 계산에 의해 이동평균필터를 사용하였을 때 가장 짧은 시간이 나타났으며, 칼만필터를 사용하면 이전 신호의 공분산에 대한 업데이트로 인해 상승 시간이 오래 걸리긴 하지만 안정된 응답 성능을 보인다. 따라서 본 연구에서는 신호대잡음비가 높고 시간 지연이 적은 필터인 적응필터를 사용하여 잔디 모위 계측 시스템의 잡음 제거를 하였다.

표 3-3-6 필터 방법에 따른 응답 특성

Item	Wavelet filter	Moving average filter	Kalman filter	Adaptive filter
Delay time(s)	1.83	1.64	1.73	1.02
Rising time(s)	1.15	0.61	1.50	0.91

#### 나. 제어 시스템

잔디 모위는 작업 시 운전지원 또는 무인 주행을 통하여 농업생산성 증대 및 작업 편의성을 높일 수 있다. 그러나 운전지원이나 무인 주행의 개념은 승용차나 트럭, 버스와 같은 차량을 대상으로 우선적으로 개발되었으나 주변 환경의 다양성과 운전자의 안전성 확보문제로 상용화 시기가 늦어지고 있다. 상대적으로 주행 시 주변 외부환경이 단순하고 주행을 위한 안전 공간이 확보된 농업용 잔디 모위의 경우 운전지원 시스템이 먼저 상용화되고 있다.

상용 차량의 제어를 위해 제안되고 있는 횡방향 제어를 잔디모위에 적용하기 위해서는 일반 차량과 다른 몇 가지 사항을 고려해야 한다. 첫 번째로 자동차의 경우 고속도로나 국도와

같이 포장도로를 주행한다고 가정하고 있지만 잔디 모위의 경우 잔디나 밭과 같이 다양한 토질 및 굴곡 형태의 노면 위를 주행한다. 이로 인해서 지면과 잔디 모위와 미끄럼이 존재하면 이로 인한 성능저하가 예상된다. 두 번째로는 농업용 잔디 모위의 조향 시스템은 유압식 액추에이터가 사용되어 조향 핸들과 조향 각간의 시간지연이 발생하고 이로 인하여 작동 주파수 (bandwidth) 대역이 제한적이다. 첫 번째 문제의 경우 sliding mode 제어나 integrator backstepping과 같은 강인한 비선형 제어기법이 적용되고 있으며 지면과 잔디 모위와 미끄럼이 존재하더라도 성능저하를 최소화 시키는 방법이 제안되고 있다. 두 번째 문제의 경우 조향 액추에이터를 모델링하는 연구는 있지만 시간지연을 포함하고 있는 유압식 액추에이터를 고려해서 횡방향 제어를 설계하는 연구는 거의 찾아 볼 수 없다. 따라서 본 연구에서는 조향 액추에이터 모델을 고려하고 노면의 형태가 오르막이나 내리막과 같은 작업 환경에서 강인한 제어를 설계하고 상용 잔디 모위 시뮬레이터를 사용하여 횡방향 제어기의 성능 및 강인성을 검증한다.

(1) 하드웨어 구성

자동 운전 지원을 위한 잔디 모위 시스템에 사용된 트랙터는 20kW(J2030, LSMtron社)급 트랙터이다. 잔디 모위의 위치정보를 받기 위한DGPS(GPS-702-GG, SPAN-CPT, Novatel社)와 (Novatel社), Wheel angle(sensors 9901, BEI社)을 측정 할 수 있는 센서를 장착 하였고, 횡방향 제어를 위한 프로세서(UNO-2176, Adventech社) 등으로 구성하였다. 또한 이를 CAN 통신을 이용하여 제어하도록 설계 하였다. 그림 3-3-15는 자율주행 잔디 모위의 구성을 나타내고 있다.

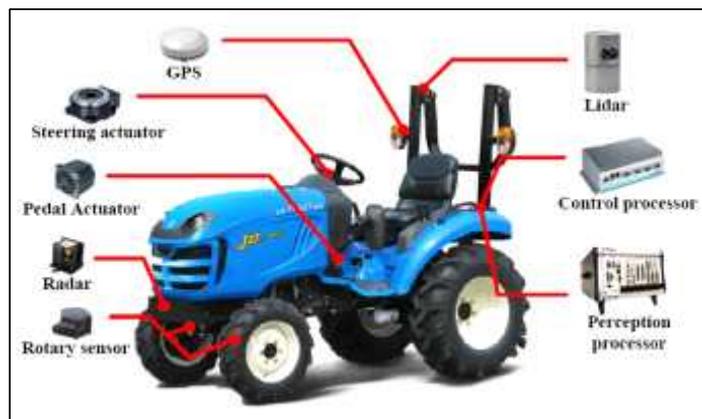


그림 3-3-15 자율주행 잔디 모위 시스템 layout

잔디 모위의 조향은 일반 차량과 달리 핸들을 조향 했을 시 랙 & 피니언 시스템 대신 유압 실린더로 동력이 전달되어 스티어링 암과 타이로드를 움직여서 타이어의 방향을 전환하는 시

스텝이다. 여기서 유압 실린더의 압력차이를 이용하여 조향각이 타이로드로 전달되어 바퀴각으로 전달되어지는데 이때 실린더 내부의 차있던 기포로 인하여 리크가 발생되고 이로 인하여 시간지연이 발생하게 된다. 잔디 모위의 경우 그림 3-3-16과 같은 유압식 복동식 양로드형 실린더가 사용되는데 이는 유압실린더로 압유를 공급하여 플런저 양측에 압유를 교대로 공급하여 계획된 조작력을 공히 유압으로 얻는 것에 있다.

그림 3-3-16 유압 조향 액추에이터

(2) 제어시스템

(가) 모델링

액추에이터의 시간지연을 고려하며 다양한 환경에서 강인한 횡방향 제어를 개발하기 위해서는 우선적으로 잔디 모위 모델이 필요하다. 잔디 모위의 경우 최대 5(km/h)내외로 주행하기에 횡방향 제어기 설계를 위하여 그림 3-3-17과 같은 기구학적(kinematic) 모델을 사용하였다.

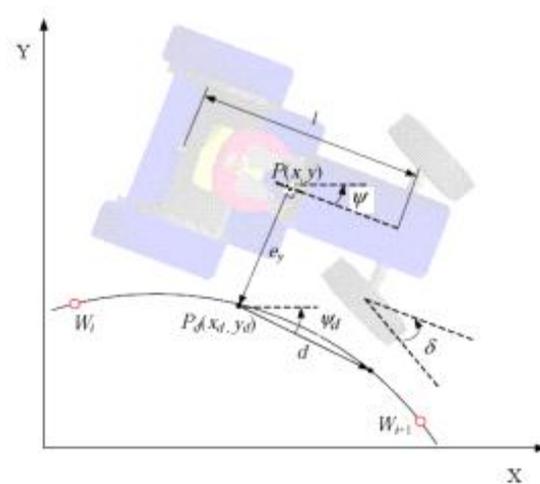


그림 3-3-17 잔디 모위의 기구학적 모델

$$\begin{aligned}\dot{x} &= V \cos \psi \\ \dot{y} &= V \sin \psi \\ \dot{\psi} &= \frac{V}{l} \tan \delta\end{aligned}$$

다음으로 시간지연을 가진 조향 액추에이터에 대한 모델은 다차원 미분방정식으로 표현될 수 있으면 위의 식과 같이 1차 미분방정식으로 근사화 하여 나타낼 수 있다. 더 나아가 조향 각과 조향 각의 각속도가 물리적으로 제한되어 있으므로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}\tau_s \dot{\delta} + \delta &= \theta / R_s \\ |\delta| \leq \delta_{\max}, |\dot{\delta}| &\leq \omega_{\max}\end{aligned}$$

#### (나) 횡방향 제어기

바퀴와 노면 사이에 미끄럼이 발생하는 상황에 대해서 이를 보상하기 위한 제어기로 비선형 제어기가 설계되고 시뮬레이션을 통하여 이의 유용성이 검증되고 있다. 본 연구에서는 조향 액추에이터 모델을 고려하여 횡방향 제어기를 설계하기 위해서 동적 표면 제어라는 비선형 제어 기법 중 하나를 사용하였다.

우선 횡방향 제어기를 설계하기 위해 첫 번째 오차 표면(sliding surface)을 횡방향 오차와 헤딩각 오차의 선형적 조합으로 다음과 같이 정의한다.

$$S_1 = e_y + d e_{\psi} = e_y + d(\psi_d - \psi)$$

여기서 그림 3-3-21에서 보는 바와 같이  $\psi_d$ 를 원하는 주행궤적의 접선방향이 아닌  $d$ 만큼 떨어진 지점을 정하여 그 점과 이루는 각도로 정의하였다. 이는 preview의 효과를 가져와서 곡선 주행 시 좀 더 안정성을 확보할 수 있다.

다음으로 위 식의  $S_1$ 을 미분한 후 적용하면 다음과 같다.

$$\dot{S}_1 = \dot{e}_y + d(\dot{\psi}_d - \dot{\psi}) = \dot{e}_y + d\dot{\psi}_d - \frac{dV}{l} \tan \delta$$

이때  $S_1$ 을 0으로 수렴시키기 위해 이라 놓으면 원하는 조향각 (synthetic steering angle)은

다음과 같다.

$$g(\bar{\delta}) = \tan \bar{\delta} = \frac{l}{dV} (\dot{e}_y + d\dot{\psi}_d + K_1 S_1)$$

여기서  $K_1$ 는 제어상수이다. 다음으로 위 식의 값을 다음과 같이 저역(low-pass) 필터를 이용하여 통과시키면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\tau \dot{g}_{des} + g_{des} = g(\bar{\delta}), g_{des}(0) = g(\bar{\delta})(0)$$

두 번째 오차 표면을  $S_2 = \tan(\delta) - g_{des}$  로 정의하고 미분을 한 후 적용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{S}_2 = \frac{\partial g}{\partial \delta} \dot{\delta} - \dot{g}_{des} = \sec \delta^2 \frac{\theta / R_s - \delta}{\tau_s} - \dot{g}_{des} \approx K_2 S_2$$

따라서 조향 핸들 각도를 위한 명령값은 다음과 같다.

$$\theta_{cmd} = R_s \{ \delta + \tau_s \cos \delta^2 (\dot{g}_{des} - K_2 S_2) \}$$

마지막으로 최종적인 명령값은 다음과 같다. 여기서  $K_2$ 는 제어상수이다.

$$\theta_{cmd} = R_s \left\{ \delta + \tau_s \cos \delta^2 \left( \frac{g(\bar{\delta}) - g_{des}}{\tau} - K_2 S_2 \right) \right\}$$

#### (다) 시뮬레이션

횡방향 제어기의 검증을 위해서 CarSim이라는 차량 시뮬레이터에 있는 트랙터 모델을 이용하였다. 잔디 모위의 제원을 표 3-3-7과 같이 시뮬레이션을 위한 모델 상수를 설정하였다. 또한 그림 3-3-18에서 보는 바와 같이 식 4와 식 5의 조향 액추에이터 모델을 추가하여 구성하였다. 그림 3-3-19는 잔디 모위의 주행 시뮬레이션을 위한 waypoint와 이를 연결한 주행궤적을 보여주고 있다.

표 3-3-7 모델 파라미터

Specifications			
Engine Power	20 Kw	Width	122.6 cm
Overall length	266 cm	Height	102.9 cm
Wheel base	150 cm	Weight	720 kg



그림 3-3-18 잔디 모위 조향 액추에이터 모델

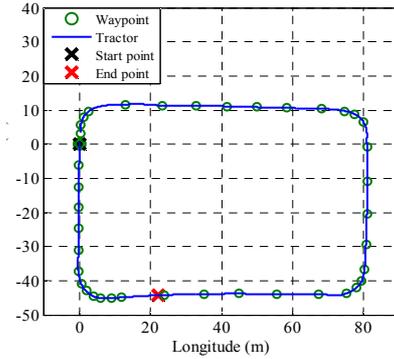


그림 3-3-19 잔디 모위와 waypoint 위치

제어기의 성능 검증을 위해서 세 가지의 인자 변화를 고려하였다. 첫 번째는 잔디 모위의 속도 변화이고 두 번째는 조향 액추에이터의 동특성 변화, 그리고 마지막은 노면의 기울기 변화를 고려하였다. 더 나아가 제안된 제어기의 성능 및 강인성을 보여주기 위해서 문헌에서 찾아볼 수 있는 다른 두 제어기와 비교해 보았다. 첫 번째로는 조향 액추에이터를 고려하지 않은 모델에 대해서 Sliding Mode Control(SMC) 기법을 적용한 경우로 위의 식을 이용하여 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\delta_{des} = \tan^{-1} \left\{ \frac{l}{dV} (\dot{e}_y + d\dot{\psi}_d + K_1 S_1) \right\}, \theta_{cmd} = R_s \delta_{des}$$

두 번째로는 액추에이터의 시간지연을 고려하여 액추에이터를 위한 하위제어기를 별도로 설계한 구조이다. 즉, 위 식의 SMC와 다음과 같이 PI 제어기를 추가하였다.

$$e = \delta_{des} - \delta, \theta_{cmd} = R_s \left\{ K_p e + \int_0^t e(\tau) d\tau \right\}$$

먼저 잔디 모위의 평균 작업속도인 3.6km/h와 최대속도인 10.8km/h 에서 제어기의 성능을

비교 분석하였다. 이때의 조향 액추에이터의 시간 상수는  $\tau_s = 0.5$ , 노면 상태를 잔디라 가정  
을 하고 노면 마찰계수를 0.4로 설정하였다. 속도가 3.6km/h일 때 SMC는 조향이 안정적으로  
움직이며 주행하였으나 최대 횡방향 오차가 시간지연을 고려한 제어기에 비하여 0.06(m)로 크  
게 주행 하였다. 또한 SMC+PI제어기는 곡선로 주행 부분에서 조향각(steering wheel angle)이  
1.5 sec 사이(49 sec~50.5 sec)에  $-70^\circ$  에서  $200^\circ$  로 심하게 움직이는 것을 볼 수 있다.

그림 3-3-20에서 나타나 있듯이 속도가 10.8km/h로 증가 하였을 때 시간지연을 고려한 DSC  
와 SMC+PI제어기는 안정적으로 주행하였다. SMC제어기는 곡선 구간에서 안정적 주행을 하였  
으나 곡선주행 후 직선로 진입 시(18sec) 횡방향 오차가 0.14(m)로 급격히 커지는 것을 확인하  
였다. 세가지 제어기는 3.6km/h일 때 횡방향 오차 평균값이 0.01(m)로 미세한 차이를 내었지만  
속도가 10.8km/h일 때는 시간지연을 고려한 제어기가 보다 안정적 주행 하는 것을 알 수 있다.

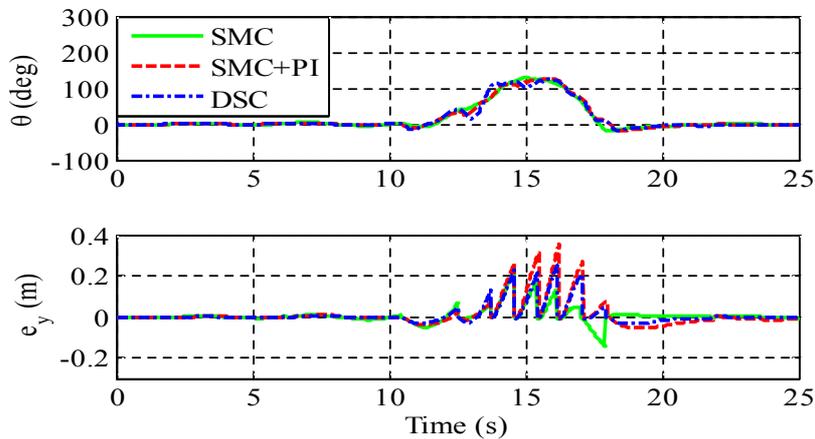


그림 3-3-20 시간지연과 조향각 (10.8km/h)

다음으로 조향 액추에이터의 시간지연이 증가하였을 때 본 연구에서 제안한 제어기와  
SMC+PI 제어기를 횡방향 오차와 원하는 바퀴각과 실제 바퀴각의 차를 통하여 제어기의 성능을  
비교하였다.

그림 3-3-21에서 두 제어기를 비교하였을 경우 곡선주행구간에서 최대 횡방향 오차가  
0.095(m) 차이로 DCS제어기가 적게 나타났다. 그리고 곡선주행 후 직선로 진입 시(20sec) 횡방  
향 오차는 0.03(m) 차이로 DSC가 안정적 주행을 하였다. 또한 바퀴의 원하는 각도와 실제 바퀴  
각의 차를 보면 휠의 명령이 심하게 흔들리는 것을 알 수 있고 DSC의 경우 저역 필터를 사용  
하여 원하는 각도와 실제 휠각의 차가  $\pm 3^\circ$  로 안정적이지만 SMC+PI의 경우 최고  $-6^\circ$  까지 발  
생하였다. 그림 3-3-22에서는 두 제어기의 주행궤적과 waypoint를 나타내고 있다. 이때 DSC 제  
어기가 SMC+PI 제어기에 비해 waypoint에 가깝게 주행하는 것을 확인 할 수 있다. DSC의 경  
우  $\tau_s$ 의 값이 증가함에도 일정한 횡방향 오차로 주행을 하였고 액추에이터의 시간지연에 강  
인함을 나타내었다.

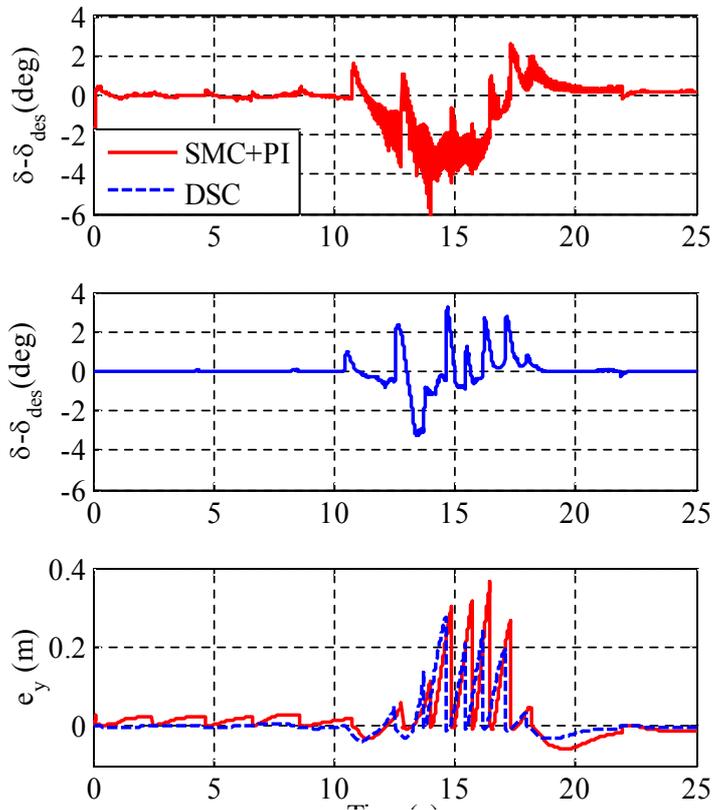


그림 3-3-21 조향 각 및 시간지연 ( $\tau_s = 0.7$ )

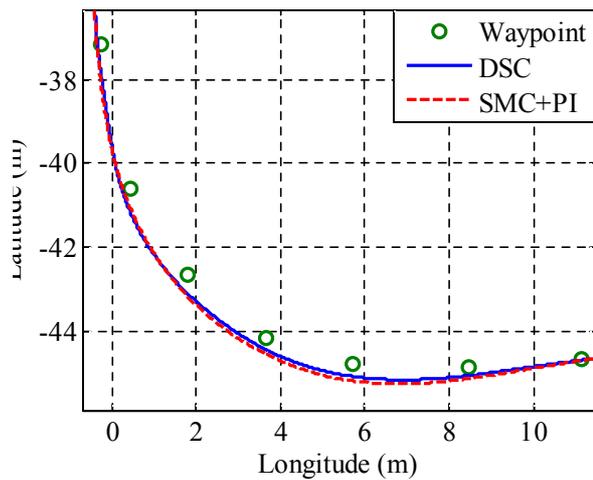


그림 3-3-22 주행궤적과 waypoint ( $\tau_s = 0.7$ )

본 연구에서 제안한 제어기의 강인성을 다양한 도로환경 검증하기 위하여 도로면에 높이와 기울기를 변화시켰다. 그림 3-3-23과 같이 도로면을 4구간으로 나누어 잔디 모위의 조향각과 횡방향 오차를 SMC+PI 제어기와 비교하였다. 1,2구간은 오르막으로 3,4 구간은 내리막으로 가

정하였다. 또한 1,3구간은 각각 잔디 모위 주행방향의 오른쪽으로 5°, 왼쪽으로 5° 도로면의 기울기를 추가하였다. 표 3-3-8에 나타나듯이 오르막 구간인 Curve1~Curve2까지 구간은 평균 0.02(m), 표준편차 0.02(m)로 비교 대상인 SMC+PI 제어기보다 적은 오차로 주행하는 것을 확인할 수 있다. 그림 3-3-24은 Curve3구간 즉, 내리막 곡선구간에서의 횡방향 오차와 미끄럼각을 나타내고 있다. 미끄럼각이 급격히 증가함에도 본 연구에서 제안한 제어기인 DSC가 SMC+PI제어기보다 안정적으로 주행하는 것을 확인함으로써, 시간지연뿐만 아니라 미끄럼각이 존재함에도 큰 성능 저하가 없이 주행을 위한 조향 제어가 이루어졌음을 검증하였다. 본 제어기는 3차년도 잔디모위 시스템의 시작품이 적용하여 실차 성능을 평가할 계획이다.

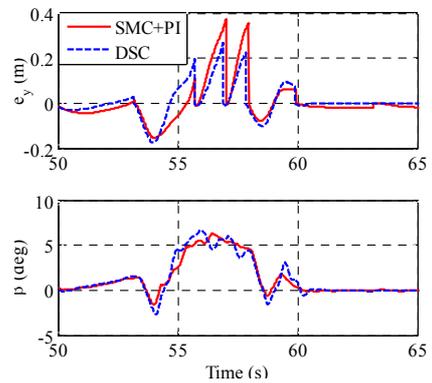


그림 3-3-23 도로면의 높이와 기울기, waypoint

그림 3-3-24 시간지연, 슬립각도

표 3-3-8 시간지연 비교

Curve	Path	DSC		SMC+ PI	
		Mean(m)	Std(m)	Mean(m)	Std(m)
1	1~2	0.0805	0.0786	0.1134	0.1041
2	2~3	0.0653	0.0802	0.0930	0.1161
3	3~4	0.0902	0.1059	0.1160	0.1470
4	4~1	0.1829	0.1234	0.1997	0.2064

### (3) HST 제어시스템

#### (가) HST 제어 시스템

정유압 변속기(Hydrostatic Transmission, HST)는 원동축에 따라 펌프를 구동하여 고압의 유체를 발생 및 순환시켜 구동축을 회전시키는 방식으로 그림 3-3-25와 같이 유체 순환을 위한 유압펌프, 구동축 회전을 위한 모터, 유량 제어를 위한 사판(swash plate)과 사판 제어를 위한 제어 시스템으로 구성된다.

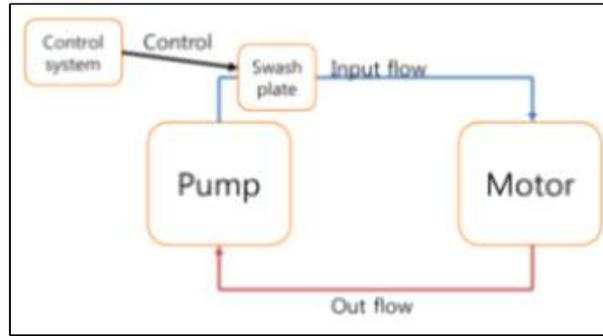


그림 3-3-25 HST system의 개념구조

잔디 모워 HST의 제어는 조속페달의 위치 제어를 이용하였으며, 이를 위해 선형 액추에이터 (linear actuator)를 이용하였다. 선형 액추에이터는 일반적으로 그림 3-3-26과 같이 구성되며, 모터의 회전 운동을 축의 직선 운동으로 변환해주는 장치로 산업 기기나 로봇의 동작에 많이 쓰인다. 회전식의 교류 모터를 직선상으로 늘인 구조의 선형 액추에이터나 회전식 모터와 랙 앤 피니언 기구를 사용한 선형 액추에이터 등이 있으며, 전자석을 기계적 운동에 이용하는 솔레노이드 등도 선형 액추에이터에 포함된다.

본 연구에서는 잔디 모워의 조속 페달 조작을 위한 힘을 측정 및 분석한 후 선형 액추에이터의 사양을 결정하였으며 HST 제어 시스템 구축을 위해 선형 액추에이터의 장착이 가능하도록 바닥에 별도의 지그를 개발하여 부착하였다. 또한 선형 액추에이터가 조속 페달과 연결되어 제어를 수행하기 위해 기구-링크를 설계 및 개발하였다.

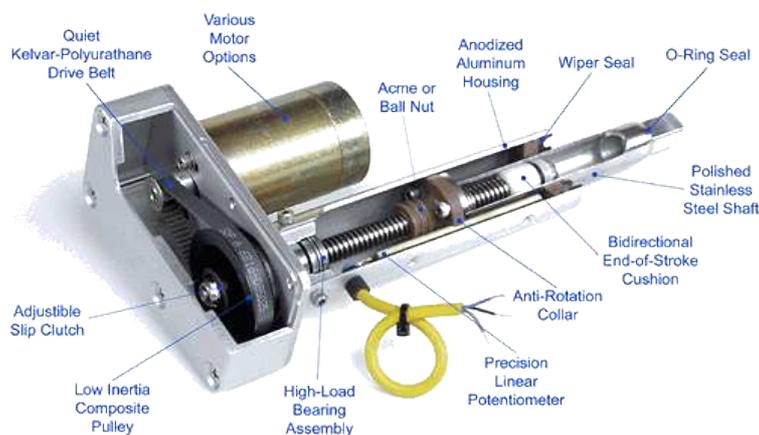


그림 3-3-26 선형 액추에이터의 구성

HST 제어 시스템은 선형 액추에이터 위치 신호 및 잔디 모워 기초 신호 측정과 선형 액추에이터 제어 신호 출력을 위해 아날로그/디지털 측정 및 제어신호 출력이 가능하게 개발하였다.

제어시스템의 구성은 모터 및 잔디 모위의 출력 신호 수집 및 제어를 위한 I/O 인터페이스 모듈, 입력된 센서 신호를 고속으로 처리하여 PCI 통신으로 제어부로 전송하는 FPGA(Field Programmable Gate array) 모듈, 고속의 신호처리 및 제어가 가능한 RT (Real Time) 모듈로 이루어져있다. 이 때에 FPGA 모듈(Crio-9104, National Instrument, USA)은 최대 3 Mhz의 전송 속도로 8개의 I/O 인터페이스 모듈을 동시에 측정 가능하며, RT 모듈(Crio-9012, National Instrument, USA)은 400 MHz의 프로세서가 장착되어 많은 양의 신호 처리를 실시간 수행 가능한 장점이 있다.

NI 9205(National Instrument, USA)와 NI 9219(National Instrument, USA)를 아날로그 입력모듈로 사용하였는데, NI 9205는 11초에 250,000개를 읽을 수 있고, 16개의 아날로그 입력을 가지며, 16비트의 분해능으로  $\pm 200$  mV,  $\pm 1$ ,  $\pm 5$ ,  $\pm 10$  V의 대역 신호 입력이 가능하다. 아날로그 출력모듈(NI cRIO-9263, National Instrument, USA)은 4개의 아날로그 출력을 가지며 최대 100 kS/s의 속도로  $\pm 10$  V의 전압을 출력한다. 또한 NI 9403과 NI 9401을 디지털 입출력모듈로 사용하였는데, NI 9403(National Instrument, USA)은 32개의 채널을 가지며 노이즈가 많은 입력 신호를 측정할 때 성능을 향상시키기 위한 히스테리시스(hysteresis)가 있다.

또한 보호 장치로 과전압, 과전류 및 단락 회로가 있다. NI 9401(National Instrument, USA)은 8개의 채널을 가지며 최대 100 ns의 고속 펄스 신호 측정이 가능하다. NI cRIO-9474와 NI cRIO-9411을 디지털 출력모듈로 사용하였다. NI cRIO-9474(National Instrument, USA)는 8개의 채널을 갖고 최대 1  $\mu$ s 속도로 전압을 출력하며 각 채널의 상태를 나타내는 LED가 있고, NI cRIO-9411(National Instrument, USA)은 6개 채널을 갖고 500 ns의 속도로 데이터를 차동으로 입력받을 수 있다. 다음 I/O 모듈과 FPGA 모듈 및 RT 모듈의 사양은 표 3-3-9에 보여진다.



(a) Crio-9012

(b) Crio-9104

그림 3-3-27 RT 모듈 and FPGA 모듈



(a) NI 9205

(b) NI 9219

(c) NI cRIO-9263

그림 3-3-28 HST 제어시스템의 Analog input and output 모듈



(a) NI 9403

(b) NI 9401

그림 3-3-29 HST 제어 시스템의 Digital input and output 모듈

표 3-3-9 data acquisition board and I/O module의 제원

Module	Specifications
Real time processor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 400 MHz processor Real time embedded controller</li> <li>• 128 MB nonvolatile storage, 64 MB DRAM</li> <li>• 10/100 BaseT Ethernet, USB/RS232 port</li> </ul>
FPGA gate	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control and signal processing circuitry</li> <li>• 8 slot reconfigurable embedded chassis</li> <li>• 3 M gate reconfigurable FPGA core</li> </ul>
Analog I/O module	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 32 single-ended or 16 differential analog inputs</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NI 9205</li> <li>• 16-bit resolution; 250 kS/s aggregate sampling rate</li> <li>• <math>\pm 10</math> V programmable input ranges</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NI 9219</li> <li>• 250 Vrms channel-to-channel isolation</li> <li>• Thermocouple, RTD, resistance measurements</li> <li>• 100 S/s/ch simultaneous inputs</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cRIO-9263</li> <li>• 4 simultaneously updated analog outputs, 100 kS/s</li> <li>• 16-bit resolution</li> <li>• NIST-traceable calibration</li> </ul>
Digital I/O module	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NI 9403</li> <li>• 32-channel digital I/O module</li> <li>• 5 V/TTL, sinking/sourcing digital I/O</li> <li>• 1000 Vrms transient isolation</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NI 9401</li> <li>• 8-channel and 100 ns ultrahigh-speed digital I/O</li> <li>• 5 V/TTL, sinking/sourcing digital I/O</li> <li>• Industry-standard 25-pin D-Sub connector</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cRIO-9474</li> <li>• 8-channel, 1 <math>\mu</math>s high-speed digital output</li> <li>• 5 to 30 V, sourcing digital output</li> <li>• Extreme industrial certifications/ratings</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cRIO-9411</li> <li>• 6-channel, 500 ns digital input</li> <li>• <math>\pm 5</math> to 24 V, differential/single-ended digital input</li> <li>• Extreme industrial certifications/ratings</li> </ul>

입력된 신호를 RT 모듈에 고속으로 전달하기 위한 I/O 모듈, FPGA 모듈, RT 모듈간의 통신 프로그램이 있어야 I/O 모듈을 통하여 입력된 신호 처리 및 저장을 할 수 있다. FPGA 모듈을 위한 프로그램은 주로 VHDL 형식이 사용되며, 본 연구에서는 신호 처리 및 수집이 용이한 LabVIEW (version 2011, National Instrument, USA)를 이용하여 개발하였다.

FPGA 모듈은 그림 3-3-30와 같이 장착된 I/O 모듈과의 데이터 통신을 위해 I/O 모듈의 LSB (Least significant bit)와 오프셋(Offset) 등의 정보를 보정한 후 RT 모듈에 전달한다. 반대로 반대로 RT 모듈은 그림 3-3-31와 같이 신호 수집 범위 및 주파수 등의 신호 측정을 위한 사용자의 설정 값을 FPGA 모듈에 전송하는 방법으로 FPGA 모듈과 RT 모듈은 동기화된다. 그리고 FPGA 모듈과 RT 모듈은 FIFO(First in first out) 버퍼를 자체적으로 내장하고 있어 FPGA 모듈

을 통하여 수집된 신호를 RT 모듈의 FIFO 버퍼에 순차적으로 전달하며, RT 모듈은 입력된 신호를 10진수로 변환하여 USB 등의 저장매체에 저장하게 된다.

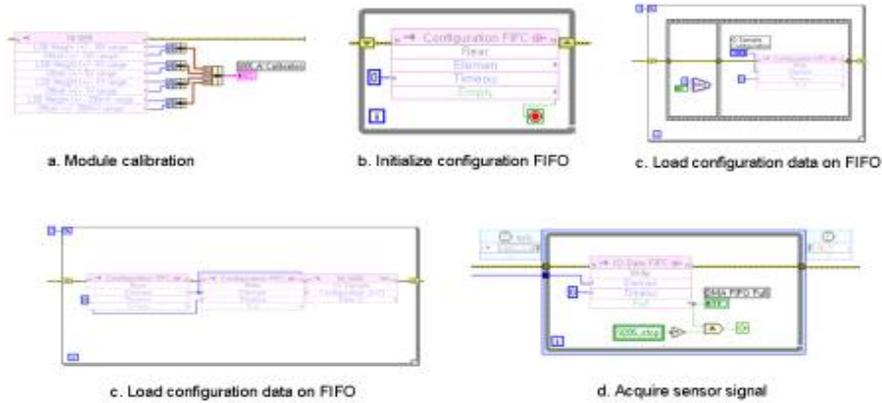


그림 3-3-30 FPGA 프로그램의 개략도

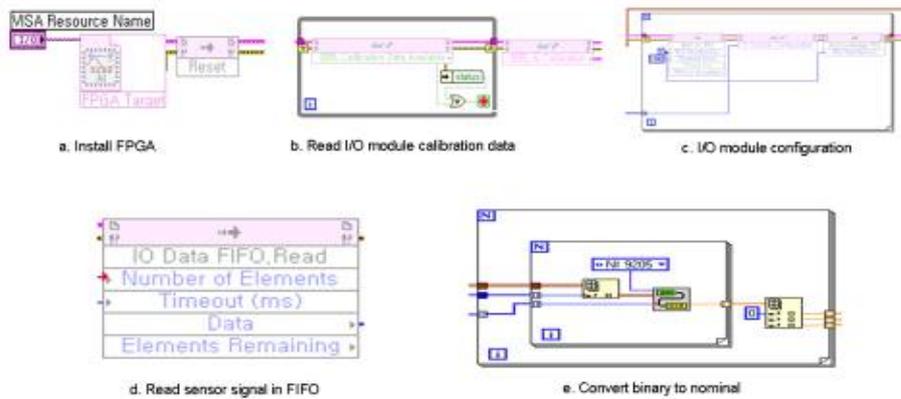


그림 3-3-31 RT 모듈 프로그램의 개략도

(나) 제어 알고리즘

본 연구에서는 액추에이터 내의 모터의 위치, 속도 제어를 통해 목표 성능을 달성 할 수 있는 선형 액추에이터를 사용한다. 일반적인 제어 방법으로는 모델기준적응 제어, 슬라이딩모드 제어, Fuzzy 제어, 시간지연 제어, PID 제어 등이 사용되고 있다. 본 연구에서는 비례 동작(Proportional action), 적분 동작(Integral action), 미분 동작(Derivative action)을 조합하여 구성하는 제어로 액추에이터의 제어를 위하여 간단하면서 효율이 좋아 널리 쓰이는 PID 제어 기법을 사용하였다. 대상을 설정한 값으로 유지하기 위해 측정된 값과 미리 설정되어 있는 값의 차이인 오차신호  $e(t)$ 에 대해 비례이득, 적분이득, 미분이득을 산출, 출력을 조절하여 제어대상 시스템을 제어하는 방식으로 오차의 크기와 변화에 따른 종합된 이득에 따라 전체적인 시스템의 안정도 및 제어성능이 결정된다.

### ① PID 제어기

PID 제어는 비례(proportional) 동작, 적분(integral) 동작, 미분(derivative) 동작으로 구성되어 있으며 3가지 동작을 조합하여 제어 대상 시스템을 제어하게 되는데, 제어 대상 시스템을 설정한 목표 값으로 유지하기 위해 귀환신호와의 차이인 오차신호를 계산하고 이에 대한 PID 제어기의 비례 이득, 적분 이득, 미분 이득 계수를 조절하여 대상 시스템을 제어하게 된다. 이로 인해서 시스템의 안정도 및 목표 제어성능을 확보하기 위해서는 적절한 PID 계수의 선정이 필요하다.

구성이 간단하여 구현하기가 쉽고, 적절하게 동조되었을 때 시스템의 안정도를 높인다는 장점이 있는 비례 동작은 아래 식과 같이 오차신호에 적당한 비례 이득을 곱해서 제어신호를 만들어내는 제어기법이다. 그러나 진동(oscillation)이 발생하는 경우 그 진동의 진폭을 작게 하는 기능을 갖지만 정상상태오차를 제거하지 못하는 특징이 있다.

$$U(t) = K_P e(t)$$

$U(t)$  : 조작값,  $K_P$  : 비례 이득

$e(t)$  : 측정값과 설정값의 차이

아래 식의 내용과 같이 적분동작은 오차의 적분값에 비례하여 동작하는 것으로 단독으로 사용되지 않고 비례 동작 혹은 미분 동작과 결합하여 사용된다. 비례 동작에서 발생할 수 있는 정상상태오차는 제거가 가능하다. 하지만 시간지연(time delay)을 발생시켜 시스템을 진동시키기 쉽고 안정도를 저하시키는 등의 과도응답특성을 저하시킨다는 단점이 있다.

$$U(t) = K_I \int e(t) dt$$

$U(t)$  : 조작값,  $K_I$  : 적분 이득

$e(t)$  : 측정값과 설정값의 차이

미분 동작은 아래 식과 같이 오차의 시간에 대한 미분값에 비례하여 이루어지는데, 설정값을 바꾸거나 외란 등의 요인으로 측정값이 변했을 때 측정값과 설정값의 차이 역시 변한다. 미분 동작은 급격한 외란에 대해 큰 제어입력을 주어 신속하게 원래의 제어 상태로 되돌아가도록

함으로써 정상상태 도달시간을 빠르게 하지만 출력의 갑작스런 변화를 유발하기도 하고, 비례 동작이나 적분동작에서 발생하는 문제점을 해결해 주는 역할을 한다. 그러므로 실제제어를 수행하는 경우 이 3가지 제어동작의 상호 장단점을 보완해주기 위하여 이들의 조합으로 아래 두 번째 식과 같은 PID 제어 형태가 주로 사용된다.

$$U(t) = K_D \frac{d}{dt} e(t)$$

$U(t)$  : 조작값,  $K_D$  : 미분 이득

$e(t)$  : 측정값과 설정값의 차이

$$U(t) = K_P e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{d}{dt} e(t)$$

$U(t)$  : 조작값,  $K_P$  : 비례 이득

$K_I$  : 적분 이득,  $K_D$  : 미분 이득

$e(t)$  : 측정값과 설정값의 차이

적절한 제어 계수 선택을 통해 다양한 응용분야에서 원하는 응답성능을 얻을 수 있는 것이 PID 제어의 장점이며 이와 같이 시스템에 적절한 제어 계수 선택하는 과정을 PID 제어기 Tuning이라 하는데, 이 Tuning을 통한 PID 제어 계수에 따른 시스템의 성능 변화는 다음 표 3-3-10과 같이 나타난다.

표 3-3-10 PID 제어 계수에 따른 시스템의 성능 변화

	Rise time	Overshoot	Setting time	Steady state error
KP	Decrease	Increase	Small change	Decrease
KI	Decrease	Increase	Increase	Eliminate
KD	Small change	Decrease	Decrease	Small change

## ② 액추에이터의 PID 계수 설정

PID 계수는 액추에이터의 제어 시스템 성능에 가장 큰 영향을 미치기 때문에 액추에이터의 제어를 위해 그림 3-3-32과 같이 PID 계수 선정 알고리즘을 개발하였으며 이를 통해 PID 제어

기를 설계하였다. 계수 선정 알고리즘은 Z-N (Ziegler-Nichols) 방법을 사용하여 액추에이터의 PID 초기 계수를 선정 한 후, 초기 계수와 액추에이터의 전달함수를 기준으로 KP, KI, KD 순서로 진행되는 시뮬레이션 프로그램을 개발하였고, 응답성능과 안정성 평가 결과를 동시에 만족시키는 경우를 계수로 선정하였다.

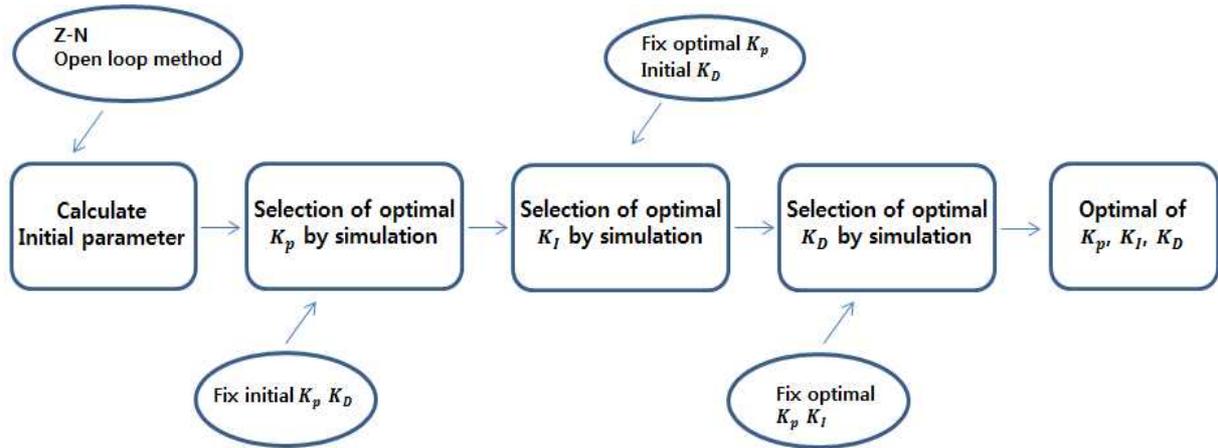


그림 3-3-32 PID 최적 계수 선정 알고리즘

전자식 액추에이터와, PID 제어기, 포텐시오미터의 전달함수를 이용하여 액추에이터 시스템의 전달함수가 개발되었다. 액추에이터는 아래 첫 번째 식과 같이 DC 모터의 전달함수를 사용하였으며, PID 제어기는 아래 두 번째 식과 같은 일반적인 형태를 이용하였다. 포텐시오미터의 전달함수 H(s)는 아래 세 번째 식과 같이 나타낼 수 있으며 본 연구에서 사용된 포텐시오미터는 기준전압(E)이 5 V, 회전수(N)가 270°/360°로 전달함수가 1에 가까운 값을 가지므로 단위 폐루프로 가정하였다. 그러므로 액추에이터 제어 시스템의 전달함수는 H(s)로 나타낼 수 있으며, 전체 시스템은 그림 3-3-33과 같이 나타낼 수 있다.

$$T(s) = \frac{K_m (K_D s^2 + K_P s + K_I)}{\tau s^3 + (1 + K_m K_D) s^2 + K_m K_P s + K_m K_I}, \quad G(s) = \frac{K_m}{s(\tau s + 1)}$$

$$\tau = R_a J / (R_a B + K K_e), \quad K_m = K / (R_a B + K K_e), \quad G_{PID} = K_P + K_D s + \frac{K_I}{s}$$

$$H(s) = \frac{E}{2\pi N}$$

K : 전동기 토크 상수(Nm/A)

Ra : 아마추어 저항(Ω)

- B : 점성 마찰 계수( $kgm^2/s$ )
- Ke : 역기전력 상수( $Vsec/rad$ )
- $\tau$  : 시정수
- J : 회전 관성 계수( $kgm^2$ )
- E : 기준 전압(V)
- N : 회전범위( $rad$ )

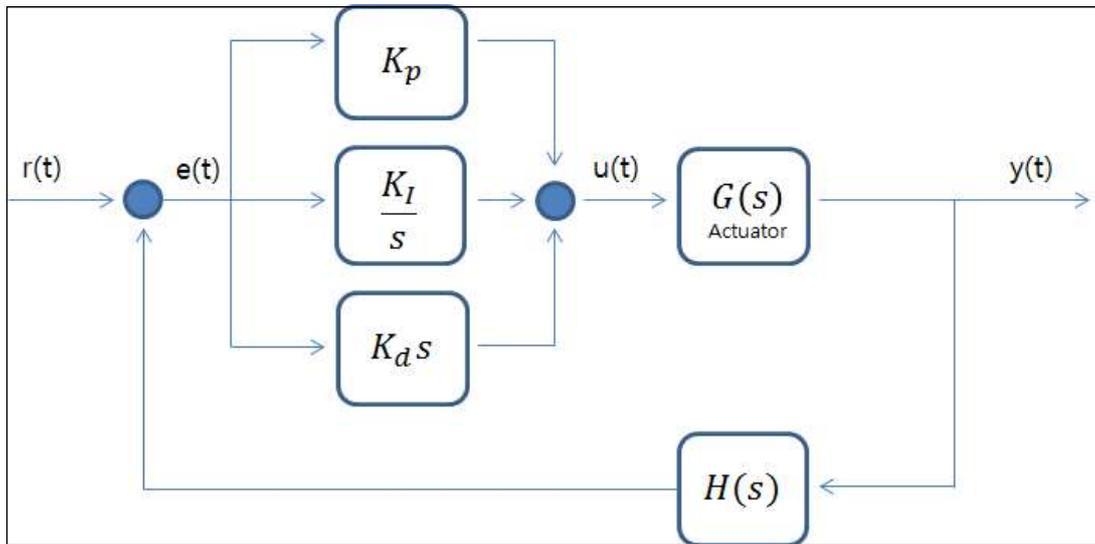


그림 3-3-33 전자식 액추에이터 시스템의 전달함수

PID 초기 계수는 그림 3-3-34과 같이 개루프 시스템에 계단 응답을 통해 얻어진 지연시간(L)과 시정수( $\tau$ )로 PID 계수를 결정하는 Z-N 계단 응답법(open loop method)을 이용하였다. Z-N 계단 응답법은 아래 식과 같이 비교적 간단한 모델을 사용하기 때문에 산업 현장에서 좋은 응답성능을 기대하기는 어렵지만, 제어 계수 선정을 위한 기준점 제공이 가능하다.

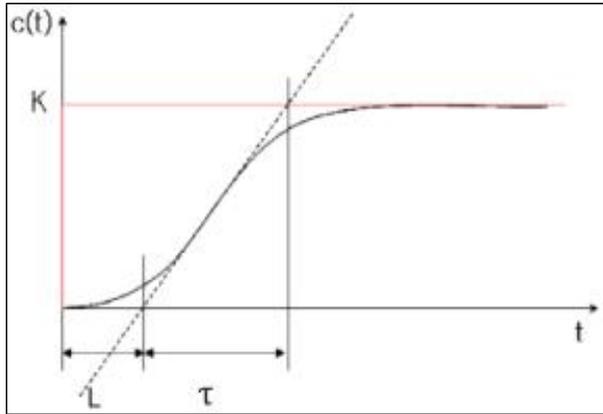


그림 3-3-34 Z-N method의 계단응답 특성

$$K_p = 1.2 \frac{\tau}{L} \quad , \quad K_i = \frac{K_p}{2L} \quad , \quad K_d = K_p \times 0.5L$$

여기서, L : 지연시간(s)

$\tau$  : 시정수(s)

PID 계수의 선정을 위한 시뮬레이션 프로그램은 그림 3-3-35와 같이 LabVIEW (version 2009, National Instrument, USA)를 이용하여 개발되었다. 시뮬레이션 프로그램은 Z-N 방법에 의해 선정된 초기 계수를 액추에이터의 제어 시스템 전달함수를 기준으로  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_D$  순서로 최적화시키며, 응답성능과 안정성 평가 결과를 동시에 만족시키는 경우를 계수로 선정하였다.

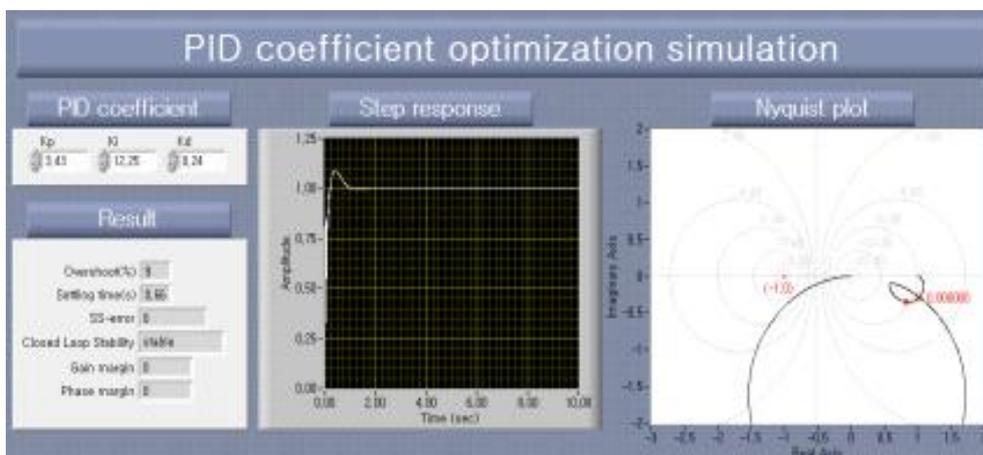


그림 3-3-35 PID 계수 최적화를 위한 시뮬레이션 프로그램

응답성능 평가는 정착시간(settling time), 최대 오버슈트(maximum overshoot), 정상상태오차

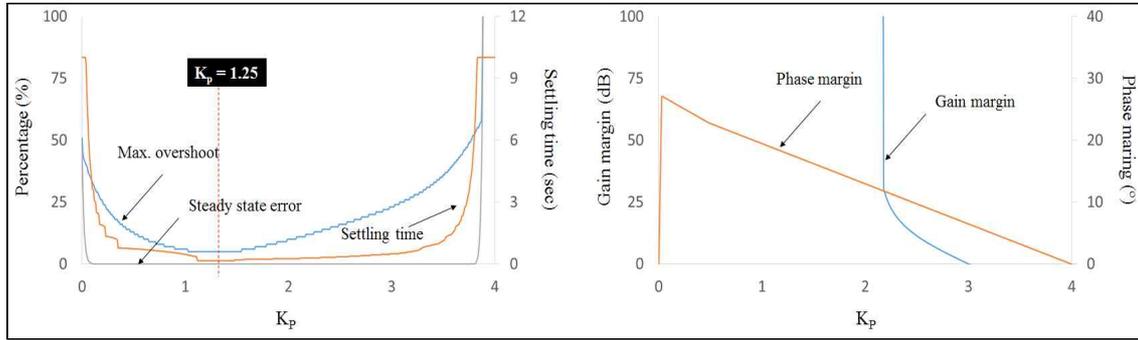
(steady-state error)를 실시했으며, 3가지 항목 모두를 최소로 만족하는 경우 계수로 선정하였다. 선형 액추에이터는 과감쇠 시스템과 같이 진동에 따라 변속충격이 발생하지 않아야 하기 때문에 오버슈트가 없으며 정착시간 및 정상 상태 오차가 최소인 경우를 선정하였다. 안정성 평가를 위해 시스템의 절대적 안정성이 아닌 상대적 안정도를 평가하는 방법인 나이퀴스트 선도(Nyquist plot)의 위상 여유(phase margin)와 이득 여유(gain margin)를 이용하였다. 위상 여유와 이득 여유는 각각의 수치가 클수록 시스템이 상대적으로 안정하다는 것을 의미하며, 음수인 경우에는 절대적으로 시스템이 불안정하다는 것을 의미하는 것으로, 시스템의 안정도를 나타내는 지표로 사용된다.

PID 제어시스템의 초기 제어 계수 선정을 위해 Z-N 계단 응답으로 특성을 측정한 결과 지연 시간과 시정수는 각각 0.2초와 0.3초로 나타났으며, 이를 이용하여 초기 계수를 계산한 결과는  $K_P=1.8$ ,  $K_I=4.5$ ,  $K_D=0.18$ 으로 나타났다.

Z-N 방법에 의해 선정된 초기 계수를 제어시스템 전달함수를 기준으로  $K_P$ ,  $K_I$ ,  $K_D$  순서로 최적화 시뮬레이션을 수행한 결과는 그림 3-3-36, 3-3-37, 3-3-38와 같다.  $K_P$ 의 응답성능은 그림 3-3-36(a)와 같이  $K_P$ 가 1.25일 때 최대 오버슈트, 정착시간, 정상상태오차가 가장 낮게 나타나 가장 좋은 응답특성을 보이고 있으며,  $K_P$ 가 3.25 이상인 경우에는 응답성능이 크게 저하되어 제어가 어려움을 알 수 있다.  $K_P$ 가 증가함에 따라 이득 여유는 그림 3-3-36(b)와 같이 2.2 부근에서 급격히 감소하였으며, 위상 여유는 선형적으로 감소하여 시스템이 불안정한 상태를 나타내었다.  $K_P$ 가 2.2 미만에서는 위상 여유와 이득 여유가 모두 안정되어 최적  $K_P$ 는 1.25로 선정되었다.

$K_P$ 를 1.25로 고정한 상태에서  $K_I$ 의 응답성능과 안정도를 시뮬레이션 한 결과, 응답성능은 그림 3-3-37(a)와 같이  $K_I$ 가 2.55인 경우에 가장 우수한 응답특성을 보였다. 2.55 미만 경우에는 정상 상태 오차가 높게 나타났으며, 최대 오버슈트는 지속적으로 증가되는 경향을 보이기 때문에 정착 시간과 정상 상태 오차가 최소인 2.55를 선정하였다. 안정도는 그림 3-3-37(b)와 같이  $K_I$ 의 크기가 커질수록 이득 여유와 위상 여유가 일정하게 감소되고 있으며 선정된 값에서는 모두 안정함을 알 수 있었다.

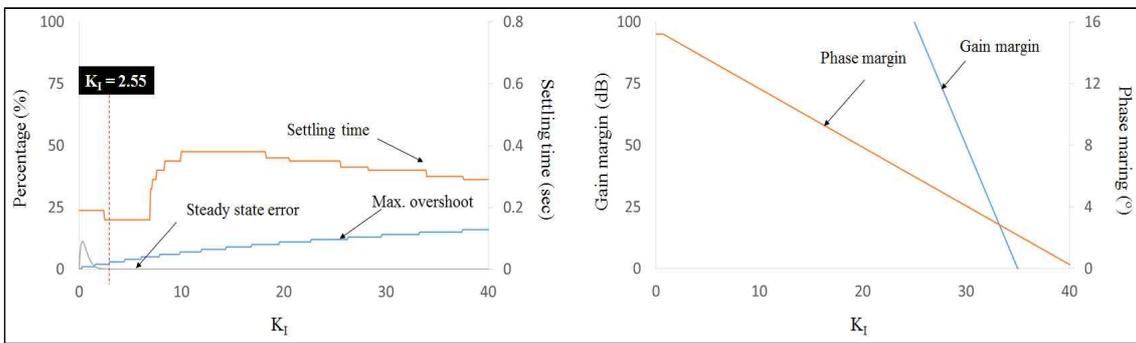
$K_P$ 를 1.25,  $K_I$ 를 2.55로 고정한 상태에서  $K_D$ 의 응답성능과 안정도를 시뮬레이션 한 결과, 응답성능은 그림 3-3-38(a)와 같이 최대 오버슈트와 정착시간이  $K_D$ 가 0.05일 때 가장 낮게 나타났으며, 정상상태오차는  $K_D$ 가 0.2에서 가장 작은 값을 보였다.  $K_D$ 가 증가함에 따라 이득 여유는 그림 3-3-38(b)와 같이 0.05 이상에서 전체적으로 높은 값을 가져 안정하였으며, 위상 여유는  $K_D$ 가 대부분의 구간에서 높은 값을 유지하였다. 따라서  $K_D$ 의 최적 계수를 0.05로 선정하였다.



(a) 응답 성능

(b) 안정성

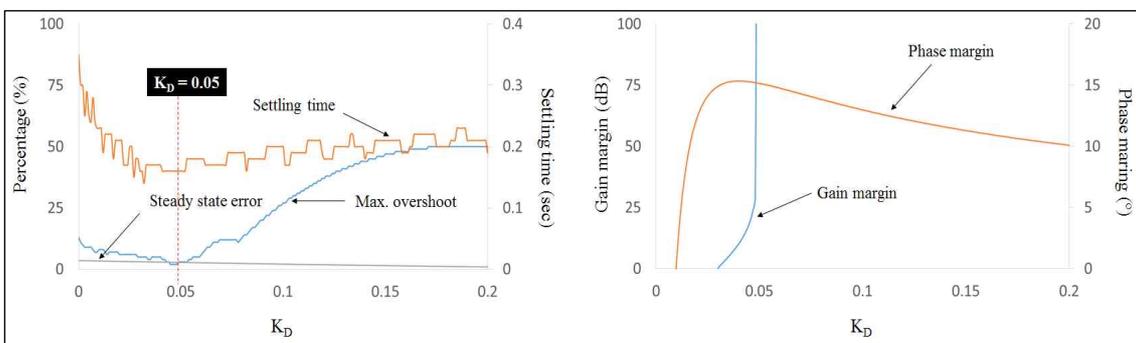
그림 3-3-36 선형 액추에이터의 계수 선정 결과 ( $K_p$ ).



(a) 응답 성능

(b) 안정성

그림 3-3-37 선형 액추에이터의 계수 선정 결과 ( $K_i$ ).



(a) 응답 성능

(b) 안정성

그림 3-3-38 선형 액추에이터의 계수 선정 결과 ( $K_D$ ).

(다) 제어 성능 평가

① 액추에이터 제어 프로그램 개발

그림 3-3-39과 같이 LabVIEW (version 2009, National Instrument, USA)를 이용하여 액추에이터 제어를 위한 자동제어 프로그램을 구성하였다. 실내 실험장치의 제어가 가능하도록 제어 프

로그를 개발했으며 엔진뿐만 아니라 구동축, 차축의 회전속도의 신호 측정까지도 가능하다. 본 자동제어 프로그램은 액추에이터의 포텐시오미터에 대한 측정값 및 변화량을 실시간으로 그래프를 통해 관찰이 가능하도록 설계되었고 액추에이터별로 램프를 두어 동작의 진행상태 및 완료 표시를 확인할 수 있는 장점이 있다.

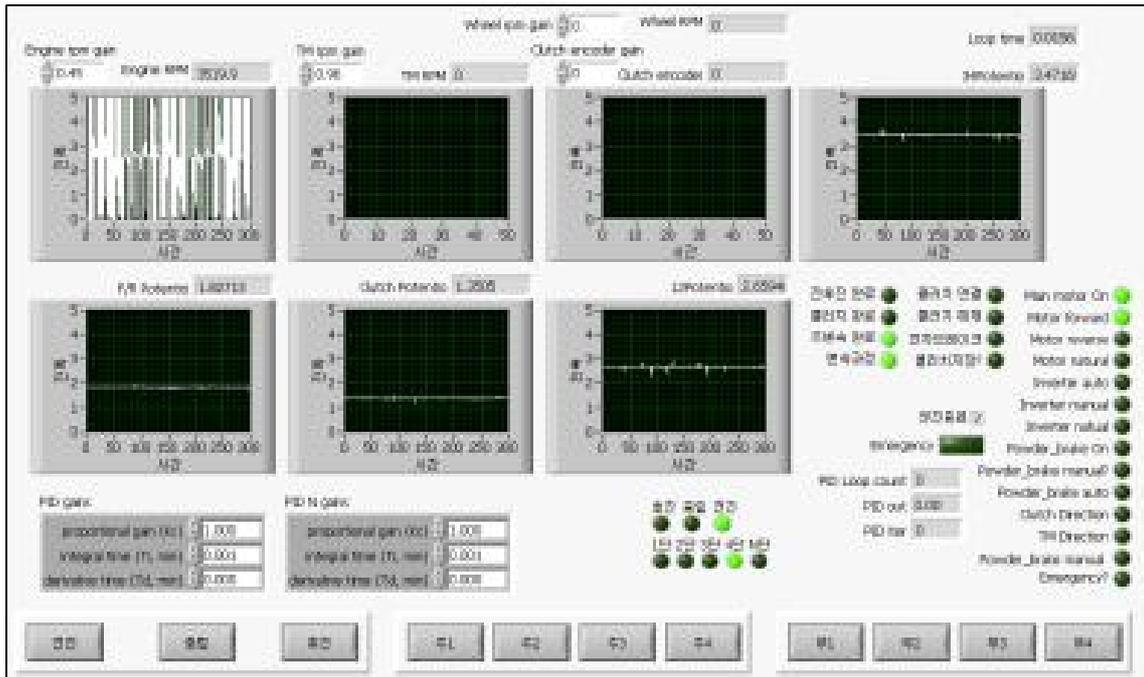


그림 3-3-39 액추에이터 시스템 제어 프로그램

## ② 제어 성능 평가

액추에이터를 이용한 HST의 변속 제어 성능 평가를 위해 실내 시험장치에서 액추에이터 1 cycle을 중립 → 전진 → 중립 → 후진 → 중립으로 하고 3cycle 반복 변속했으며, 액추에이터는 1 cycle 당 4회 작동된다. 제어 성능은 변속에 걸리는 총 시간을 계산했으며 중립 → 전진, 중립 → 후진의 경우에 대해 동력 해지에 걸리는 시간과 전후진 변속에 걸리는 시간, 동력 전달되는 순간까지의 시간을 측정했다. 또한 동력 전달 성능 평가를 위해 제어 완료 후 구동축의 RPM과 변속 후 구동축의 목표 회전속도까지 도달하는데 걸리는 시간(RPM reaching time)을 관찰하였다.

액추에이터를 이용한 변속시간은 중립 → 전진의 경우 표 33과 같이 2.5초 이내를 만족하였고 목표 RPM에 도달하는 시간은 3초 이내를 만족하였다. 중립 → 후진의 경우 또한 표 34와 같이 2.5초 이내를 만족하였고 목표 RPM에 도달하는 시간은 3초 이내를 만족하였다.

표 3-3-11 액추에이터 변속 제어 성능

N -> F	1st	2nd	3rd
Total duration time (sec)	2.21 ± 0.05	2.22 ± 0.06	2.42 ± 0.05
RPM reaching time (sec)	2.61 ± 0.04	2.51 ± 0.05	2.65 ± 0.04
Transmission RPM (rpm)	66.0 ± 0.05	78.7 ± 0.09	92.1 ± 0.14

표 3-3-12 액추에이터 변속 제어 성능

N -> R	1st	2nd	3rd
Total duration time (sec)	2.32 ± 0.06	2.22 ± 0.04	2.32 ± 0.05
RPM reaching time (sec)	2.60 ± 0.07	2.43 ± 0.05	2.62 ± 0.04
Transmission RPM (rpm)	55.5 ± 0.14	63.9 ± 0.07	76.8 ± 0.64

### 3. 잔디모위 통합시스템

#### 가. 잔디모위 시작기 제작

잔디의 생육 정보를 실시간으로 측정하는 잔디 생육 측정시스템과 생육 정보에 따라 비료의 살포량을 조절하는 변량시비 시스템, 그리고 GPS, IMU, 스텝모터 등과 같은 자율주행 핵심부품을 잔디모위 트랙터에 탑재하여 자율주행 잔디모위 시작기를 개발하였다.



그림 3-3-40 자율주행 잔디모위 통합시스템 시작기

(1) 모위 트랙터

자율주행 잔디 모위 시스템의 트랙터는 그림 3-3-41와 같이 소형 트랙터(J2030H, LSMtron, Korea)를 이용하였으며, 자세한 사양은 표 3-3-13과 같다



그림 3-3-41 모위 트랙터 (J2030H)

잔디 모위의 전체 크기 및 중량은 720 kg이고 엔진은 정격회전속도 2,700 rpm에서 20 kW(27 HP)의 출력이 가능하다. 변속기의 경우 정유압 방식(hydrostatic transmission, HST)을 이용하고 있으므로 기어를 변속하지 않아도 속도의 제어가 가능하며 PTO는 독립(independent) 방식으로 일반적으로 설치되어 있는 후면(rear)의 PTO 외 앞, 뒷바퀴 사이에 미드(mid) PTO가 존재한다.

표 3-3-13 모워 트랙터의 제원

Item	Specification	
L × W × H (mm)	2,616 × 1,140 × 2,159	
Weight (kg)	719	
Engine	Rated power	20 kW @ 2700 rpm
PTO	Type	Independent
	Speed	mid (2,000 rpm), rear (540 rpm)
Drive train	Tranmission	Hydroststic drive type
	number of speed	2 ranges (forward, reverse)
	steering	Hydrostatic power steering

(2) 센서 장착부

자율주행 잔디 모워의 자율 주행을 위해 전방에 CCD 카메라와 센서를 장착하였다. 잔디 모워 전방의 로더 부분을 제거하고 카메라와 센서를 장착할 수 있는 구조물을 설계하였다. 설계 Tool은 CAD 2004(AutoCAD Inc.)를 사용하였다. 전방 CCD 카메라 장착부는 그림 3-3-42과 같이 2D 도면 작업을 통해 카메라의 위치 및 각도를 조절할 수 있는 형태로 설계하였다. 카메라 장착부 좌우에는 각도측정기를 부착하여 카메라의 위치 및 각도를 정확하게 조절하여 장착할 수 있도록 제작하였다. 그림 3-3-43은 2D 도면을 기초로 제작된 카메라 장착부에 카메라를 장착하였다.

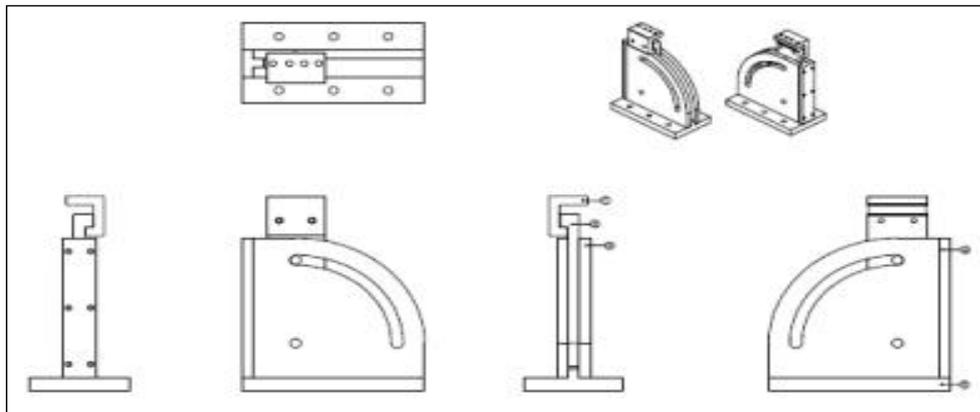


그림 3-3-42 CCD 카메라 장착부 2D ASSY 도면



그림 3-3-43 CCD 카메라 및 카메라 장착부

전방 센서 장착 구조물은 철근구조물을 이용하여 지지대를 만들고, 알루미늄 프로마일을 이용하여 센서 장착부를 제작하였다. 철근구조물은 노트북 거치 구조물과 연결하여 빔의 처짐을 막고, 센서 장착부는 센서의 높이를 조절할 수 있도록 5cm 간격의 Hole을 가공하였다. 그림 3-3-44은 잔디 모위 전면부에 설치된 센서 장착구조물을 보여주고 있다.



그림 3-3-44 센서 장착 구조물

### (3) 제어기 장착부

자율주행 잔디 모위 시작품 시험시 발생하는 여러 상황에 대해 즉각적인 대처하고 주행성능 및 작업 상황을 직접적으로 확인하기 위해서는 시험자가 잔디 모위에 탑승하여 시작품의 상태를 확인하여야 한다. 따라서 탑승 공간에 PC를 설치할 수 있는 구조물이 필요하며, PC 거치 구조물은 지면의 굴곡이나 잔디 모위 자체의 진동에도 PC가 흔들리지 않는 구조로 제작되어야 한다. 본 시작품에 적용된 PC 거치 구조물은 시작품 탑승 공간 우측에 위치할 수 있도록 제작 되었으며, 사용자의 편의를 고려하여 PC가 회전 및 고정 가능한 구조로 제작 되었다. 그림

3-3-45는 PC 거치를 위한 구조물의 2D 도면이며, 그림 3-3-46은 실제 제작된 구조물의 모습을 나타내고 있다.

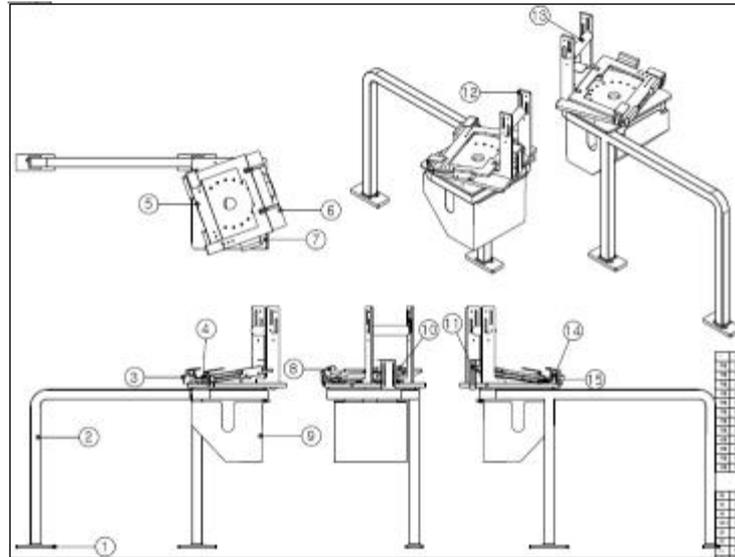


그림 3-3-45 PC 거치 구조물의 2D ASSY 도면



그림 3-3-46 시작품에 장착된 PC 거치 구조물

자율주행 잔디 모위 트랙터 시작품은 일반 도로가 아닌 필드에서 시험을 수행하기 때문에 오염에 노출될 위험이 크기 때문에 별도의 컨트롤 박스를 제작하여 잔디 모위에 부착하여 MCU를 비롯한 센서, 카메라의 전원장치를 보호하도록 하였다. 컨트롤 박스는 시작품의 보호구조물 우측면에 위치하도록 하였다. 그림 3-3-47은 실제 시작품에 장착된 컨트롤 박스의 모습을 보여주고 있다.



그림 3-3-47 컨트롤 박스

#### (4) 예초기

자율주행 잔디모위 시스템의 예초를 위해 그림 3-3-48와 같이 모위 트랙터 후면에 예초기 (LM2560, LSMtron, Korea)를 장착 하였으며, 자세한 사양은 표 3-3-14와 같다.



그림 3-3-48 예초기(LM2560, rear-mower)

잔디 모위의 예초기 중량은 204 kg, 전체 폭은 1,879 mm, 예초 폭은 1,524 mm이며, 최소 예초 높이는 25.4mm이다. 이 예초기는 PTO 위치별 mid-mower 또는 rear-mower 형태로 장착이 가능하며, 본 연구에서는 집초 및 집초기의 덤핑 편의를 고려하여 rear-mower로 장착하였다.

표 3-3-14 예초기의 제원

Item	Specification
Cutting Width (mm)	1,524
Overall Width (mm)	1,879
Cutting Height Range (mm)	25.4 ~ 101.6
Spindle Speed at 2800 RPM	3300 RPM
Blade Tip Speed (ft./min)	18,800
Number of Blades	3
Blade Length (mm)	533.4
Blade Width (mm)	63.5
Blade Thickness (mm)	6.35
Shipping Weight of Base 60 “ Deck (kg)	204

(5) 시비기

시작품의 성능평가를 위해서는 자율주행 성능평가 뿐만아니라, 변량시비 성능 또한 시작품의 중요한 성능평가 요인이 된다. 따라서 변량 시비 성능 평가를 위한 시비기를 설계하여 제작 및 장착하였다. 그림 3-3-49은 AutoCAD를 이용하여 설계한 시비기의 2D 도면이고, 그림 3-3-50는 실제 제작되어 장착된 시비기의 모습을 나타내고 있다.

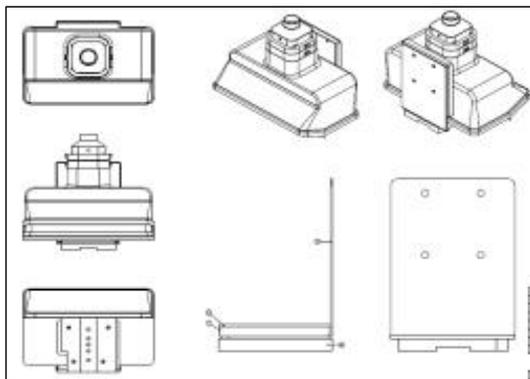


그림 3-3-49 시비기의 2D ASSY 도면



그림 3-3-50 시비기의 모습

나. 통합 제어 시스템 개발

(1) 통합 제어 시스템

자율주행 잔디모위 트랙터 통합 제어 시스템은 그림 3-3-51와 같이 구성하였다. 최상위 제어기로 노트북 컴퓨터를 사용하였으며 리얼타임 제어기와 TCP/IP를 통해 통신하였다. 카메라의 영상정보와 GPS의 위치정보, IMU의 자세정보는 노트북 컴퓨터에 직접 입력되도록 구성하였으며, 조향각 센서, 페달 액츄에이터와 조향 액츄에이터, 시비기는 리얼타임 제어기에 연결되었다. 또한 잔디모위 트랙터를 원격제어에 의한 운전할 수 있도록 원격제어 모듈이 리얼타임 제

여기에 설치되었으며 통합 제어시스템의 신호흐름은 그림 3-3-52과 같다.

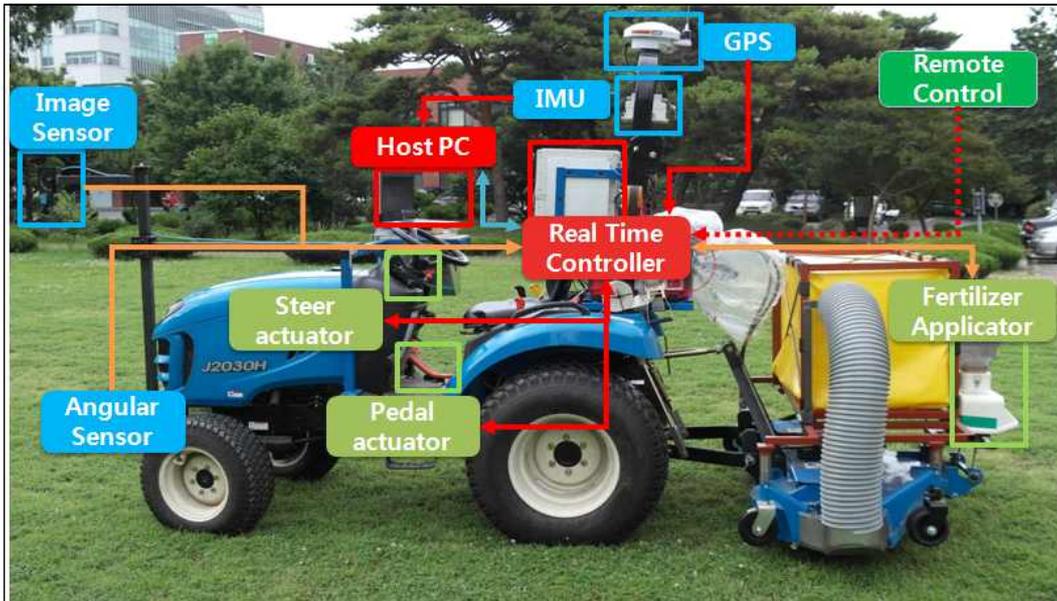


그림 3-3-51 자율주행 잔디모위 통합 제어시스템

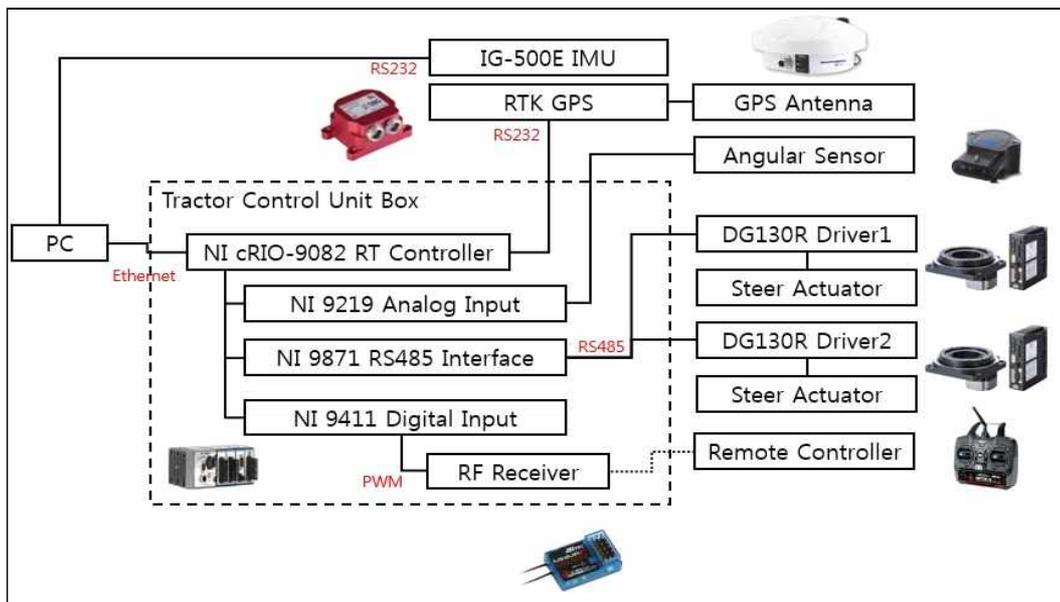


그림 3-3-52 통합 제어시스템의 신호 흐름 블록 다이어그램

통합 제어 시스템의 제어 알고리즘 적용을 위한 기본 구조는 그림 3-3-53과 같이 real-time 프로그램 계층, 호스트 프로그램 계층, 사용자 인터페이스 계층으로 나누어져 있다. Real-time 계층을 통해 전달된 각각의 신호들은 모듈을 통해 필요한 정보의 형태로 호스트에 전달되게 되며 제어 프로그램의 메인 loop에 따라 동작을 수행하게 된다. 이때 초기화 등의 대기 상태와 전체 시스템의 안전 및 예외 상황 발생을 방지하고 대응하기 위한 비상 상황 모드가 추가로

설계되어 있다. 호스트 프로그램을 통해 수행되는 제어는 사용자 인터페이스로부터 들어오는 주행 패턴에 대해서 조건에 따라 다른 모드로 작동되게 되며 수행과정 이력 및 성능 측정을 위해 데이터를 PC 메모리에 지속적으로 저장하게 된다.

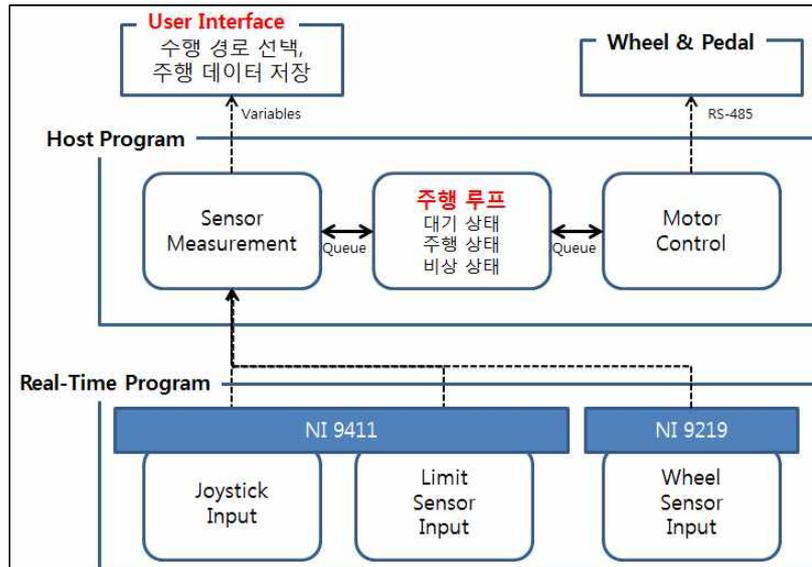


그림 3-3-53 소프트웨어 구조.

(2) 통신 시스템

데이터의 송수신은 250 kbps의 속도로 10 ms의 주기로 정보 교환 및 제어를 실시하였다. 제어를 위한 protocol은 다른 제어기로부터 통합 제어기로 상시 받아들이거나 내보내는 상시 메시지와 요청 혹은 이벤트성으로 발생하는 request 메시지, response 메시지로 구분하여 protocol을 설계하였다. 응답 메시지는 요청받은 메시지를 그대로 응답(echo)해주거나 필요 정보를 다시 회신하는 형식으로 전송된다.

표 3-3-15 통신 프로토콜 메시지 layout

Message	Comment	ID	Transmit	Receive
System	System Control	0x0hh	Host	UTCU
HP	Host to Pedal	0x1hh	Host	UTCU
HS	Host to Steer	0x2hh	Host	UTCU
PH	Pedal to Host	0x3hh	UTCU	Host
SH	Steer to Host	0x4hh	UTCU	Host
RE	Rotary Encoder	0x5hh	UTCU	Host
SS	Speed Sensor	0x6hh	UTCU	Host
JS	Joystick	0x7hh	UTCU	Host

표 3-3-16 통신 프로토콜 상세 메시지

Signal Name	ID	DLC	Value	Unit
System_Free	0x002	1	0 : Nothing, 1 : Free_Pedal, 2 : Free_Steer, 3 : Free_All	
HP_Home	0x100	1	0 : Nothing, 1 : Start	
HP_Move	0x101	4	-5 ~ 25	Deg
HP_SetVelocity	0x102	2	1 ~ 360	Deg/sec
HP_Up	0x103	1	0 : Slow, 1 : Fast	
HP_Down	0x104	1	0 : Slow, 1 : Fast	
HP_Stop	0x105	1	0 : Nothing, 1 : Stop	
HS_Home	0x200	1	0 : Nothing, 1 : Start	
HS_Move	0x201	4	-3600 ~ 3600	Deg
HS_SetVelocity	0x202	2	1 ~ 360	Deg/sec
HS_Right	0x203	1	0 : Slow, 1 : Fast	
HS_Left	0x204	1	0 : Slow, 1 : Fast	
HS_Stop	0x205	1	0 : Nothing, 1 : Stop	
HS_Initialize	0x206	1	0 : Nothing, 1 : Start	
HS_SetInitPosition	0x207	1	-10 ~ 10	Deg
PH_Status	0x300	2	0 or 1 per bit	3 : START_R 4 : HOME 5 : READY 6 : WNG 7 : ALM 8 : S-BSY 9 : AREA1 10 : AREA2 11 : AREA3 12 : TIM 13 : MOVE 14 : END 15 : TLC
PH_GetPosition	0x301	4	-5 ~ 25 (*0.02)	Deg
PH_GetVelocity	0x302	2	1 ~ 360	Deg/Sec
SH_Status	0x400	2	Same with PH_Status	
SH_GetPosition	0x401	4	-3600 ~ 3600 (*0.02)	Deg
SH_GetVelocity	0x402	2	1 ~ 360	Deg/Sec
RE_Angle	0x500	4	-90 ~ 90 (*0.1)	Deg
SS_Speed	0x600	4	-100 ~ 100 (*0.1)	km/h
JS_Pause	0x700	1	0 : Not Use 1 : Pause 2 : Run	
System_Connect	0x000	1	0 : Error, 1 : Normal	

다. 잔디모위 자율주행 성능평가

(1) 조향 제어

그림 3-3-54는 직선구간에서의 모위 트랙터가 주행할 때 조향수준을 결정하기 위해서 필요한 모위 트랙터와 직선사이의 거리, 모위 트랙터의 주행방향을 나타내고 있다. 출발점과 목표점이 정해지면 두 점 사이의 직선의 방정식을 구한다. 출발점의 좌표가 (Xs, Ys), 목표점의 좌표가 (Xt, Yt)이면 두 점 사이의 직선의 방정식은 아래 식과 같다.

$$aX + bY + C = 0$$

여기서,  $a = Ys - Yt$ ,

$$b = X_t - Y_t,$$

$c$  : 상수

직선구간에서 모워 트랙터가 주행을 하다보면 직선으로부터 모워 트랙터가 일정한 거리  $d$  만큼 떨어져 있게 되는 경우가 생기는데 이때는 조향하면서 주행하여 직선에 근접하게 접근을 해야 한다. 모워 트랙터의 현재위치는 DGPS의 신호로부터 계산을 통하여 구할 수 있다. 모워 트랙터의 현재위치가  $(X_i, Y_i)$ 이면 현재 위치로부터 직선까지의 거리  $d$  는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$d = \frac{|a X_i + b Y_i + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

직선구간을 주행하는 모워 트랙터는 직선의 기울기와 직선까지의 떨어진 거리를 이용하여 조향 수준을 결정하게 되고 조향수준에 따라서 조향을 하면서 직선과 근접할 수 있도록 설계되었다. 조향수준은 오른쪽으로 3단계 수준과 왼쪽으로 3단계 수준의 선회, 그리고 중립 주행으로 구분하여 조정하였다.

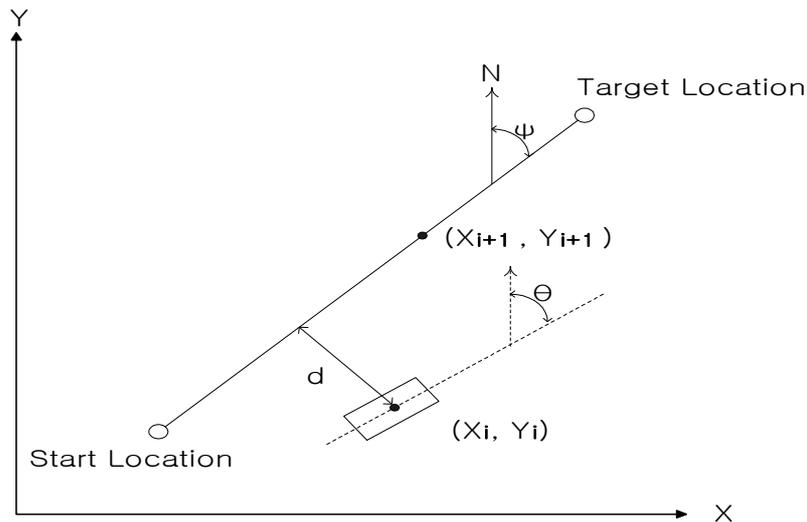


그림 3-3-54 Deviation and heading angle of mower tractor.

(가) 선회 주행

일반적으로 포장 내에서는 모워 트랙터가 직선구간 끝 부분에서 선회가 90° 좌회전을 한다

음 직선구간으로 진입하여 주행한다. 따라서 본 연구에서도 직선구간의 끝 부분에서 90° 좌회 전하는 방법으로 실험을 하였으며, 선회하는 과정은 그림 3-3-55과 같이 (a)~(f)의 순서대로 모 워 트랙터가 작동하도록 하였다.

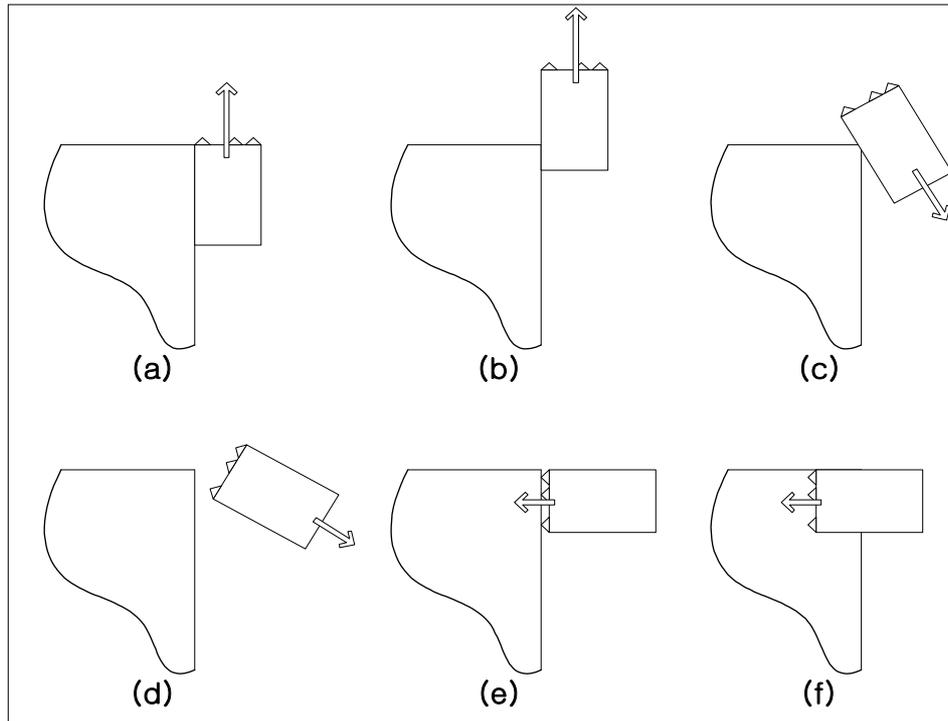


그림 3-3-55 Schematic diagram of turning sequence at the edge.

#### (나) 곡선 주행

잔디가 직선뿐만 아니라 곡선의 형태로도 심어져 있는 상태를 고려해야 한다. 이러한 구간을 DGPS와 자이로 센서의 신호를 이용하여 주행하기 위해서는 곡선구간의 위치 좌표를 미리 알고 있어야 한다. 그러나 포장 내에서 잔디의 곡선형태가 곡률 반경이 크지 않고 대체적으로 원만하기 때문에 곡선도 직선의 일부분으로 가정할 수 있다. 곡선구간의 주행은 반경을 알고 있는 곡선을 취하여 곡선구간 내에서 출발점과 목표점을 수 개로 나눈 다음, 짧은 직선구간을 주행하는 방법으로 알고리즘을 개발하였다. 그림 3-3-56은 곡선구간을 직선으로 나누고, 그 구간을 주행하는 모워 트랙터의 모습을 보여주고 있다.

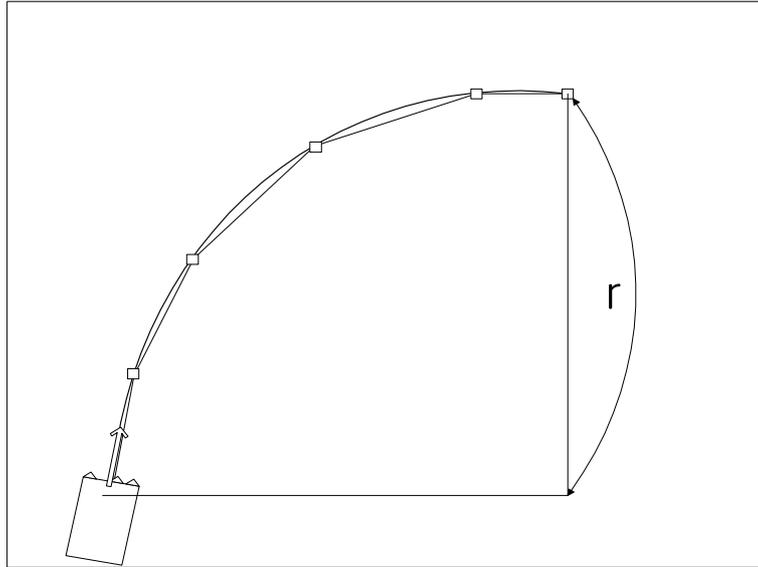


그림 3-3-56 Schematic diagram of curve path.

(다) 계단형 직선 주행

계단형 직선주행의 알고리즘은 곡선주행의 알고리즘과 같이 목표 직선의 주행이 완료되고 다음의 직선주행으로 계속하여 주행하는 경우를 고려하였다. 그림 3-3-57와 같이 다음의 직선을 찾아가는 과정에서 직선과 같은 방향으로 모워 트랙터가 접근하여 오차를 줄일 수 있도록 조향 수준을 결정하였다.

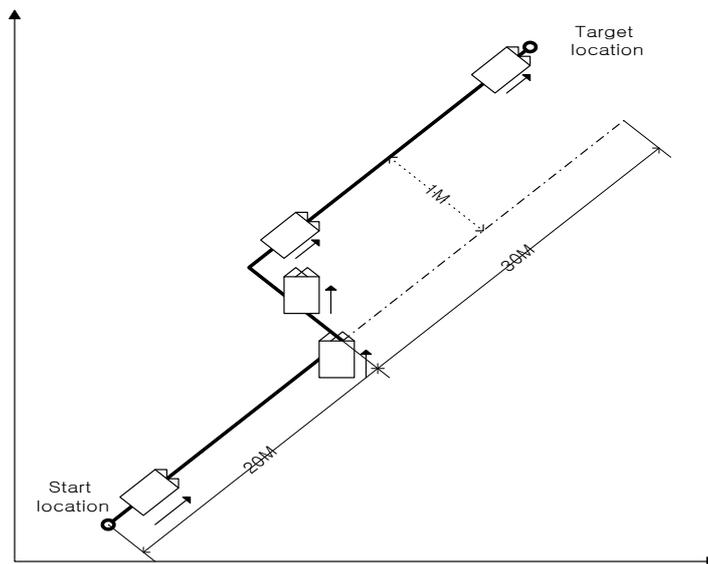


그림 3-3-57 Schematic diagram of 1m offset path.

(2) 성능평가 방법

무인 자율주행의 성능평가를 위해서 전남대학교 운동장에서 직선구간, 계단형 직선구간, 선 회구간, 곡선구간을 설정하고 각각 4회씩 반복하여 실험하였다. 실제 주행한 경로와 미리 설정된 경로와의 편차(deviation)의 측정방법은 관행적인 방법으로 모위 트랙터의 후방부에 주행 경로를 표시할 수 있는 막대를 수직으로 부착하고 무인 자율주행 한 후 지면에 생선된 경로와 미리 설정된 직선과의 편차를 1 m 간격으로 측정하였다. 모위 트랙터는 다음과 같이 설정된 경로를 주행하고 주행 성능을 분석하였다.

- 원점을 출발하여 50 m 직선주행
- 원점을 출발하여 20 m 직선주행후 1 m의 오프셋(offset)된 30m 직선주행
- 원점을 출발하여 20 m 직선주행후 90° 선회하여 25 m 직선주행
- 반지름 23m인 원주의 4분면 곡선주행

그림 3-3-58과 그림 3-3-59는 미리 설정된 경로와 실제 주행에 의한 경로와의 편차를 보여 주고 있으며, RMS 오차는 아래 식과 같이 구하였다. 주행 경로의 오른쪽에서 측정한 편차량을 양의 값으로 왼쪽에서 측정한 편차를 음의 값으로 각각 기록하였다.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum(\varepsilon^2)}{N}}$$

여기서,  $\varepsilon$  : 설정선과 실제 주행경로와의 편차,

N : 총 측정개수

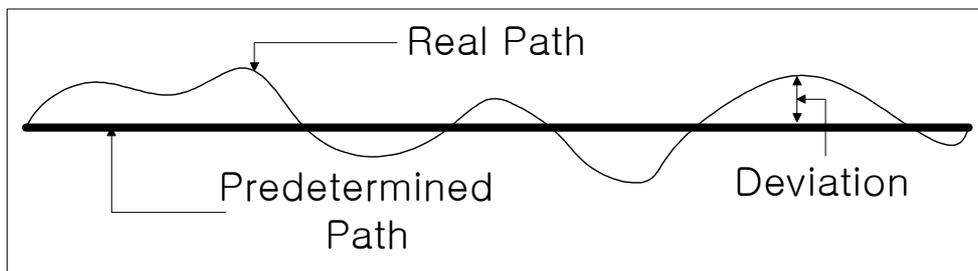


그림 3-3-58 Deviation of straight path.

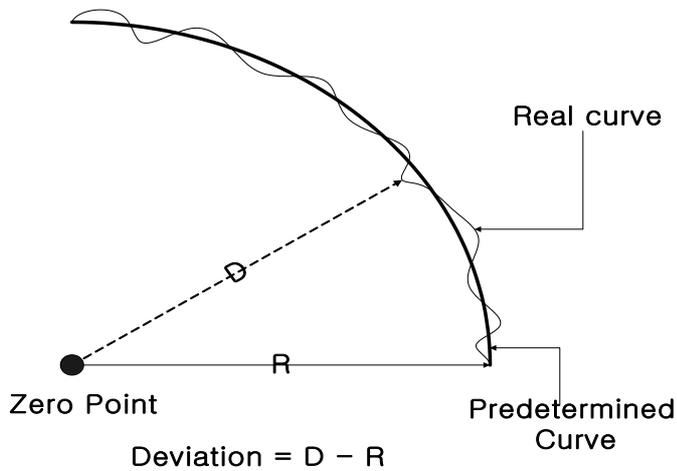


그림 3-3-59 Deviation of curve path.

### (3) 자율주행 성능

표 3-3-17는 미리 설정된 직선경로 위에서 직선의 기울기와 모위 트랙터의 방향각을 일치시켜 모위 트랙터를 출발시켰을 때, 실제 무인 자율주행을 하고 생긴 경로와 미리 설정된 직선과의 편위와 계산한 RMS 오차를 나타내고 있다.. 4회 반복 실험시 RMS 오차의 평균은 7.52 cm로 나타났으며, 최대오차가 26 cm로 30 cm를 넘지 않았다. 하지만 잔디 관리에서 약 30 cm의 오차는 허용이 가능하나 타 농작업에서는 30 cm 미만의 오차가 요구되므로 지속적인 연구를 통해 자율주행 오차를 최소화 하도록 하고자한다.

그림 3-3-60는 직선 경로를 따라 주행한 모위 트랙터의 실제 주행경로와 GPS 수신기로 측정된 주행경로의 오차를 나타내고 있다. 실제 손으로 측정된 오차와 GPS 신호에 의한 오차는 어느 정도 차이를 보여주고 있으나 전반적인 경향은 대체로 일치하고 있다.

소 구획의 포장에서 잔디는 가로 방향으로 25 ~ 30 cm, 세로 방향으로 15 ~ 20 cm의 간격으로 심어져 있다. 따라서 GPS 신호에 의한 위치 결정을 할 때 자체 오차 10cm를 고려하여도 직선구간에서 모위 트랙터가 무인 자율주행하며 수확작업이 가능함을 알 수 있었다.

표 3-3-17 Deviation of straight path unit(cm)

Trial	GPS RMS	Measured RMS	Max Error
1	6.46	4.13	12.18
2	14.73	11.59	19.73
3	8.30	5.41	12.56
4	10.94	8.98	29.26

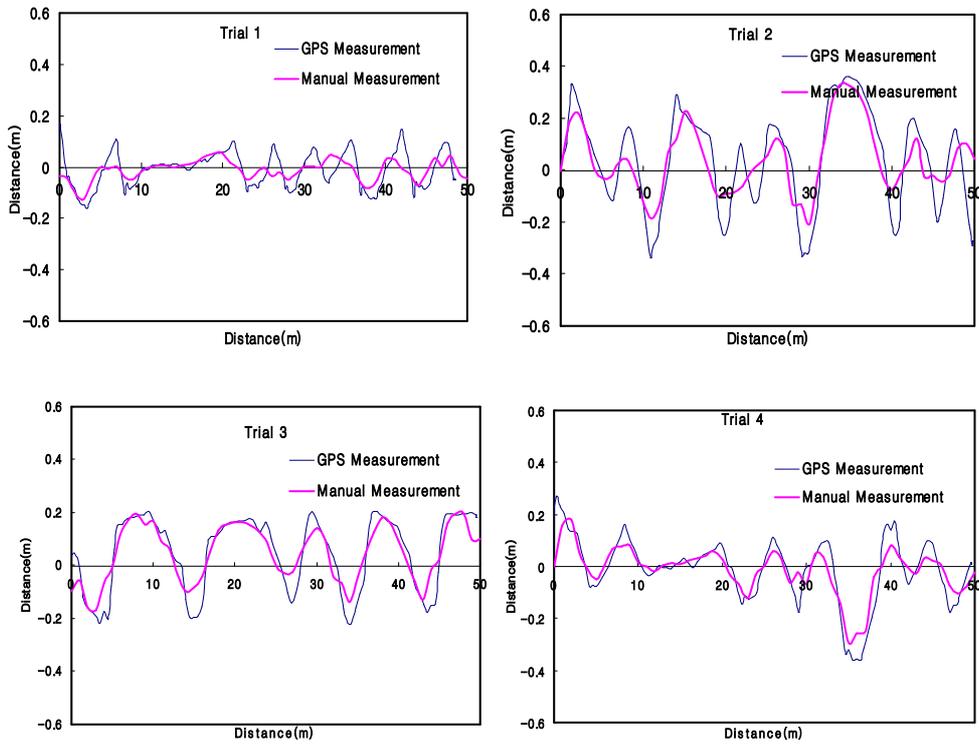


그림 3-3-60 Deviations of straight path.

표 3-3-18은 미리 설정된 직선경로 위에서 직선의 기울기와 모워 트랙터의 방향각을 일치시켜 모워 트랙터를 20 m를 직선주행 시킨 후 1 m 오프셋(offset)된 30m 직선주행 하였을 때, 실제 무인 자율주행을 하고 생긴 경로와 미리 설정된 직선과의 편위와 계산한 RMS 오차를 나타낸다. 4회 반복 실험시 RMS 오차의 평균은 21.85 cm로 나타났으며, 최대오차는 77.47cm로 매우 크게 나타났다. 최대 오차가 크게 나타난 이유는 오프셋된 직선경로로 너무 신속히 접근한 영향에 의하여 발생된 것을 알 수 있다.

그림 3-3-61은 직선 경로를 따라 주행후에 1m 오프셋된 직선을 주행한 모워 트랙터의 실제 주행경로와 GPS 수신기로 측정한 주행경로의 오차를 나타내고 있다. 모워 트랙터가 원점을 기준으로 약 20 m를 직선주행 후 1 m 오프셋된 직선을 찾아가면서 직선이 시작 부분에서 그 오차가 크게 나타났으나, 두번째 직선을 약 10 m 주행한 후에는 원점을 기준으로 출발한 직선과 오차가 거의 일치하는 수준으로 주행을 하였다.

표 3-3-18 Deviation of straight path with 1m offset unit(cm)

Trial	GPS RMS	Measured RMS	Max Error
1	22.40	20.38	51.81
2	13.63	12.68	38.20
3	29.19	26.19	62.33
4	31.58	28.17	77.47

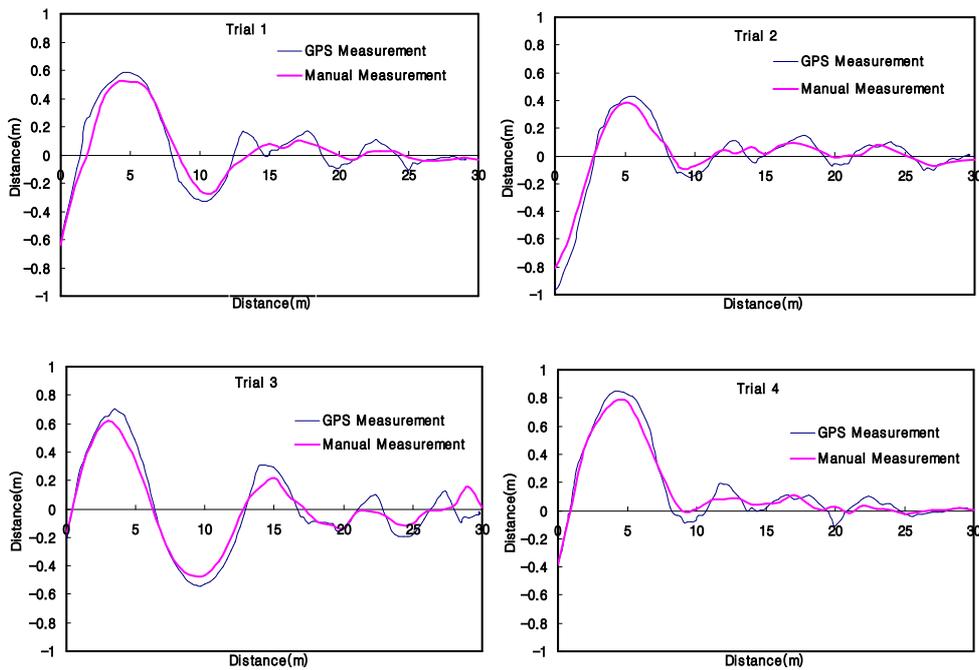


그림 3-3-61 Deviations of straight path with 1m offset.

표 3-3-19은 미리 설정된 직선경로 위에서 직선의 기울기와 모워 트랙터의 방향각을 일치시켜 모워 트랙터를 20 m 직선주행 시킨 후 90° 선회하여 25 m 직선주행을 하였을 때, 실제 무인 자율주행을 하고 생긴 경로와 미리 설정된 직선과의 편위와 계산한 RMS 오차를 나타낸다. 4회 반복 실험시 RMS 오차의 평균은 7.55 cm로 나타났으며, 최대오차는 24.57 cm로 나타났다.

그림 3-3-62은 직선 경로를 따라 주행 후에 90° 회전을 한 후 두 번째 직선에서 실제 주행 경로와 GPS 수신기로 측정된 주행경로의 오차를 나타내고 있으며, 모워 트랙터가 후진하며 직선구간을 찾는 과정에서 최초의 편위가 크게 발생하여 직선구간보다 초기 오차가 증가되었다. 모워 트랙터의 선회반경을 가능한 최소로 설정하여 모워 트랙터의 후진을 수행하였으나, 실제로는 더욱 많이 후진한 후 직진하거나, 두 번째 직진과 일치하지 않았을 때 직진하는 현상이 나타났다. 소 구획의 포장에서 모워 트랙터가 무인 자율주행할 때, 직선구간이 종료될 때 선회

가 가능함을 알 수 있었다.

표 3-3-19 Deviation after 90° turning path unit(cm)

Trial	GPS RMS	Measured RMS	Max Error
1	13.65	8.37	16.80
2	11.82	7.17	24.57
3	12.18	7.03	21.81
4	11.96	7.65	18.70

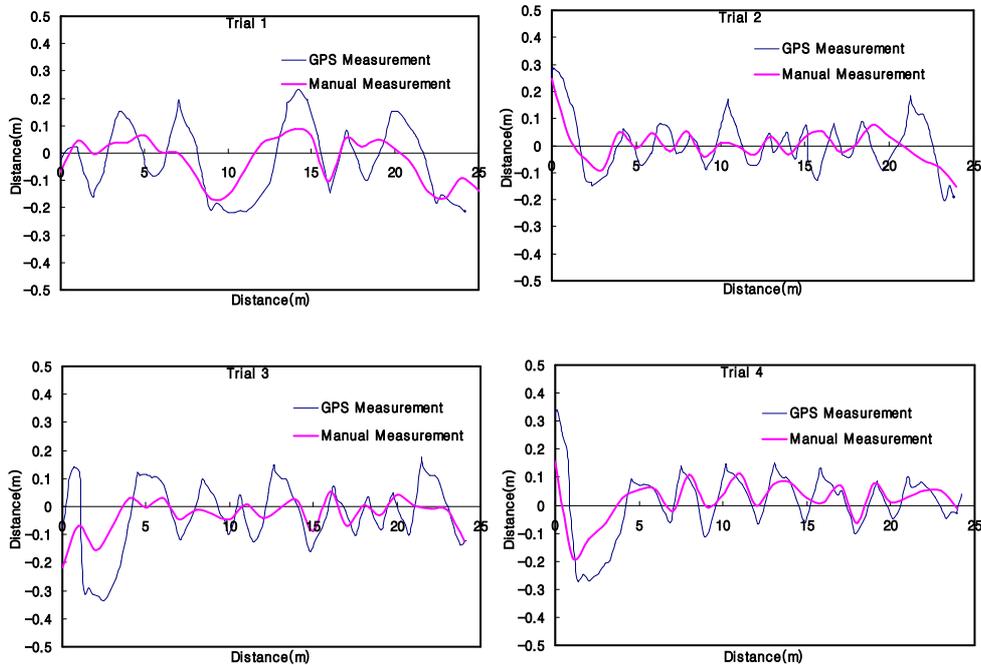


그림 3-3-62 Deviation of 90° turning path.

표 3-3-20는 미리 설정된 반지름 23m인 원주의 사분면의 곡선경로 위에서 모위 트랙터를 곡선주행 시켰을 때, 실제 무인 자율주행을 하고 생긴 경로와 미리 설정된 곡선과의 편위와 계산한 RMS 오차를 나타낸다. 4회 반복 실험시 RMS 오차의 평균은 25.98cm로 나타났으며, 최대오차는 65.47cm로 크게 나타났다.

그림 3-3-63은 곡선경로를 따라 주행한 모위 트랙터의 실제 주행경로와 GPS 수신기로 측정된 주행경로의 오차를 나타내고 있다. 곡선주행의 경우 원주의 사분면을 몇 개의 직선으로 구분하는 것이 가장 적합한지 결정하기 위하여 예비실험을 수행하였으며, 본 실험에서는 원주의 사분면 8 개의 직선으로 구분하여 주행하였다. 원주 사분면의 구간별 직선을 주행하다 다음 직선으로 이동하는 시점에서 상대적으로 큰 오차가 발생하였다. 그림에 나타난 바와 같이 GPS

신호에 의한 편차가 실제 주행 편차보다 왼쪽으로 크게 나타났으며, GPS의 오차가 일정시간동안 한쪽으로 치우쳐 나타나는 특성이 있어 주행 오차가 더욱 크게 발생하였다.

표 3-3-20 Deviation of curved path unit(cm)

Trial	GPS RMS	Measured RMS	Max Error
1	28.39	23.64	42.91
2	36.83	33.34	65.47
3	27.19	20.51	56.02
4	29.06	23.44	55.76

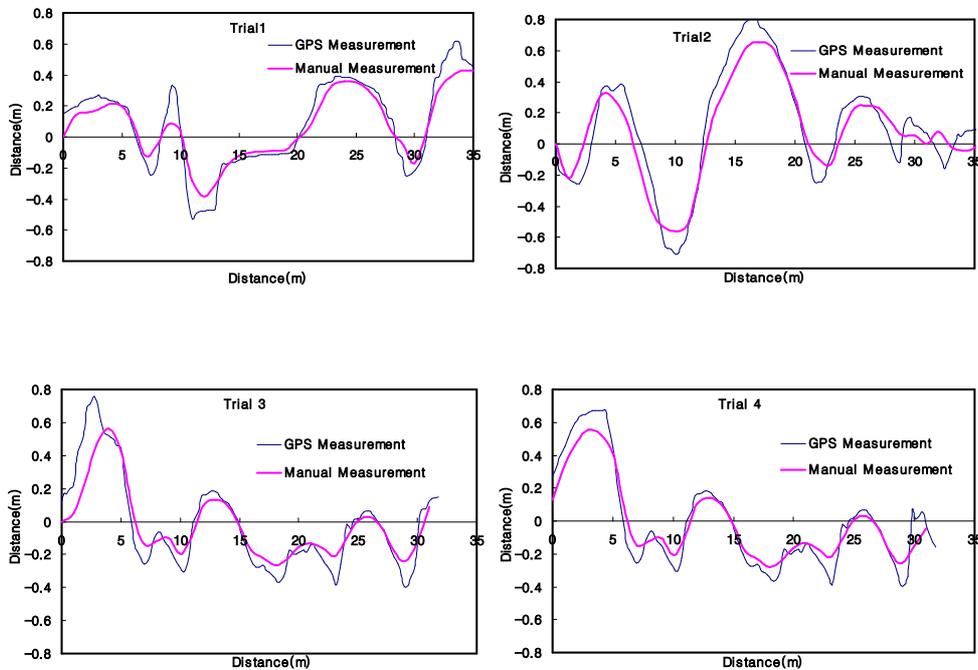


그림 3-3-63 Deviation of curved path.

#### 라. 자율주행 경로 생성

##### (1) 관행 잔디모위 경로 분석

본 실험은 18마력 모위 트랙터(J2030H, LS Tractor Co., USA)를 사용하여 센서 수집 시스템 구성은 그림 3-3-64에서 제시한 바와 같다. GPS는 기준이 되는 신호를 보내주는 장치가 우주 공간에 위치하므로 지구상에서 언제 어디서나 이용이 가능하다. 하지만 순수 인공위성만을 이용한 위치 검출은 수 m의 오차를 발생하므로 국내 여러 곳에 설치된 보정신호 발생 기지국의 신호를 이용한 DGPS가 이용되고 있다. 하지만 포장에서의 경우는 정밀한 위치검출이 필요하므

로 2 cm이하의 정밀도를 갖는 RTK-GPS (Outback® A220/A221, Hemisphere GPS Co., USA)를 이용하고 있다. 자율주행 모위 트랙터의 구조는 트랙터의 위치를 알기위한 GPS와 방위 센서인 지자기센서 (Compass), 그리고 자세제어를 위한 자이로센서가 사용되며, 모위 트랙터를 제어하기 위하여 클러치, 편 브레이크, 엔진의 속도 제어를 위한 액셀러레이터, 전 후진, 변속기, PTO ON/OFF 각각 제어하기 10-Hz로 수집 되는 액추에이터가 장착된다. 본 실험은 4각형 포장에서 일반 작업 방법을 이용하여 총 3개 포장을 실험 진행 하였다. 수집 된 데이터를 노트북 컴퓨터에서 MATLAB로 저장 하였다.

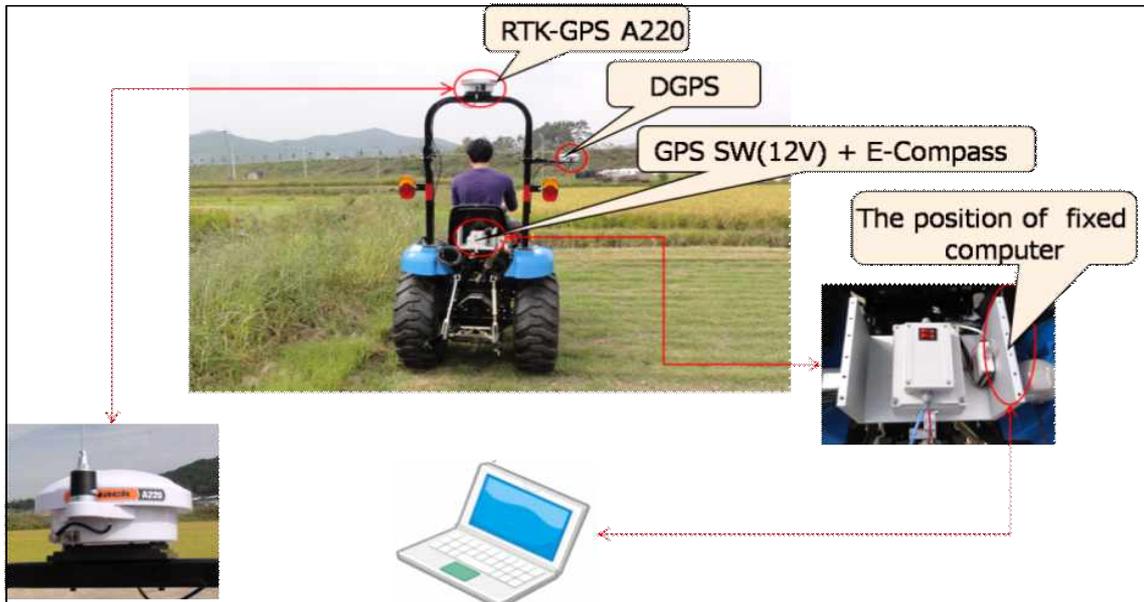


그림 3-3-64. 관행 주행경로 측정을 위한 시스템 구성

3곳의 잔디밭에서 총 주행한 거리는 각각 1008, 1024, 1498 m이었고, 그 중 직선 주행은 73.6, 78.9, 82.2%인 742, 808, 1231 m로 총 주행 거리의 70% 이상이 직선으로 주행하다. 선회 주행은 총 주행한 거리 중 15.2, 10.5, 7.7%인 153, 108, 116 m이고 퇴장, 잔디를 놓고 오기 위한 주행, 꺾침 주행 구간들을 포함한 기타 주행은 11.4, 10.6, 10.1%인 114, 108, 152 m 있다.

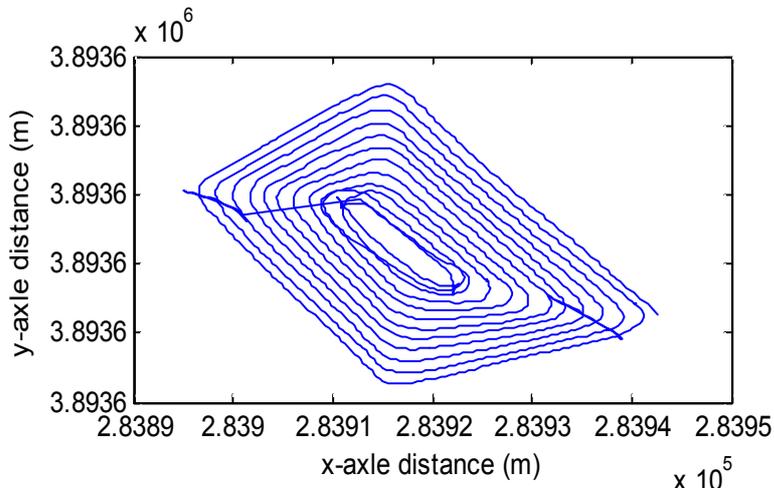
3곳의 밭에서 직선주행의 평균 속도는 각각 0.42, 0.79, 0.73 m/s로 첫 번째 포장에서는 다소 느린 주행 속도를 보였지만 대체적으로 0.7 m/s 이상의 속도로 주행하였고 선회주행은 0.45, 0.67, 0.60 m/s로 직선주행 후 속도가 약간 줄어든 상태로 선회하였으며 잔디를 버리기 위해 주행한 구간은 0.25, 0.23, 0.24 m/s로 위치를 확인하고 잦은 선회 및 잔디를 버리기 위한 시간이 소모되어 다소 낮은 0.25 m/s 이하로 주행하였다. 주행 중간에 깎은 잔디를 버리기 위하여 포장의 가장자리 부분으로 이동은 첫 번째 밭에서 353와 262 m의 주행 후 이동하였고 두 번째 밭에서는 685와 238 m, 세 번째 밭에서는 765와 607 m 주행 후 이동하였고 이동한 거리

는 각각 35, 21, 39 m이고, 전체 작업 시간의 10% 이내에 이루어졌다.

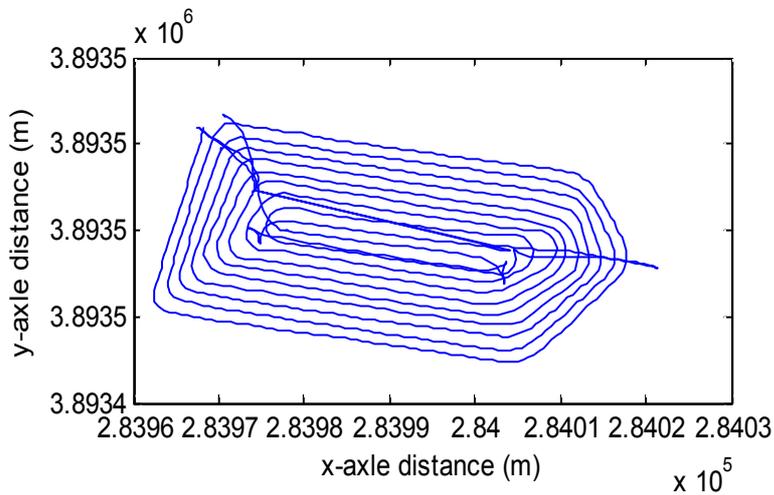
첫 번째 밭에서는 두 번째 및 세 번째 밭과는 다르게 다소 짧은 거리인 353 m의 주행 후 이동하였으나 주행속도가 다른 밭보다 느린 0.42 m/s로 주행하였음을 통하여 잔디의 생육정도가 다른 밭보다 높았기 때문이고 그로인해 보다 짧은 거리를 주행하였음에도 잔디를 놓고 오기위하여 이동하였다. 전체 주행거리 중 중첩되어 잔디를 깎은 경로는 3.5, 6.9, 1.7%인 35, 71, 26 m로 총 작업시간에 높은 비중을 차지하고 있지는 않지만 중첩된 작업시간의 절약이 필요하다.

표 3-3-21. 3곳의 잔디밭에서 측정한 경로정보 분석

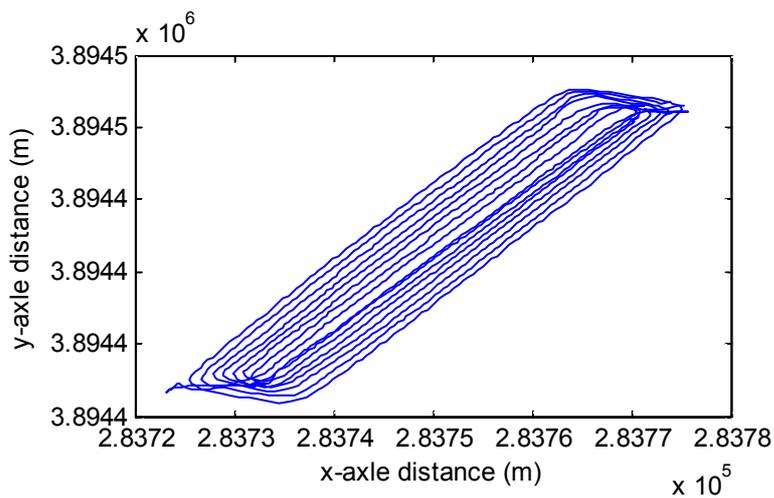
Field	Data	Total	Straight	Turning	Others		
					Exit	Dumping	Overlap
1st field	Distance (m)	1008 (100%)	742 (73.6%)	153 (15.2%)	44 (4.4%)	35 (3.5%)	35 (3.5%)
	Time (sec)	2399 (100%)	1753 (73.1%)	342 (14.3%)	77 (3.2%)	141 (5.9%)	86 (3.6%)
	Data	2237 (100%)	1583 (70.8%)	383 (17.1%)	78 (3.5%)	103 (4.6%)	30 (1.3%)
2nd field	Distance (m)	1024 (100%)	808 (78.9%)	108 (10.5%)	16 (1.6%)	21 (2.1%)	71 (6.9%)
	Time (sec)	1393 (100%)	1021 (73.3%)	162 (11.6%)	31 (2.2%)	93 (6.7%)	86 (6.2%)
	Data	2240 (100%)	1620 (72.3%)	273 (12.2%)	63 (2.8%)	108 (4.8%)	176 (7.9%)
3rd field	Distance (m)	1498 (100%)	1231 (82.2%)	116 (7.7%)	87 (5.8%)	39 (2.6%)	26 (1.7%)
	Time (sec)	1838 (100%)	1684 (91.6%)	193 (10.5%)	104 (5.7%)	165 (9.0%)	54 (2.9%)
	Data	2706 (100%)	1996 (73.8%)	317 (11.7%)	150 (5.5%)	161 (5.9%)	82 (3.0%)



(a) 첫 번째 잔디밭



(b) 두 번째 잔디밭



(c) 세 번째 잔디밭

그림 3-3-65. 관행 주행 경로 및 잔디밭

## (2) 자율주행 경로생성 알고리즘

자율주행트랙터가 포장에서 작업을 하기 위한 경로를 생성하기 위해서는 우선 트랙터의 작업순서 및 방법 등에 대하여 조사하여, 조사된 자료를 이용하여 작업유형별 알고리즘을 개발하고 개발된 결과를 이용하여 자율주행트랙터 경운경로생성 프로그램을 개발한다. 개발된 경운경로생성프로그램에 포장, 트랙터 및 작업기의 주요변수를 입력하여 실행시키면 경로가 생성되게 된다.

모워 트랙터는 기계의 사용이 잦으나 잔디밭의 변화를 주지 않는 무게가 적게 나가고 작업 폭이 넓지 않은 소형 기계를 이용하여 작업해야하기 때문에 최단시간에 작업이 진행될 수 있도록 최적의 주행 속도와 최적의 작업 겹침 폭을 고려하여 주행경로의 생성이 필요하다. 자율주행 경로안내 알고리즘은 포장 및 트랙터의 정보에 대한 변수 설정, 자율주행 경로안내 알고리즘, 주행 경로 생성의 단계로 진행하였다. 모워 트랙터의 경로안내 알고리즘을 개발하기 위해선 우선 경로 생성을 위한 잔디밭의 정보(잔디밭 넓이(가로 및 세로길이), 포장입구 위치, 깎은 잔디 쌓는 위치, 수로 위치 등)와 모워 트랙터 정보(트랙터의 크기, 모워의 부착 위치, 작업 폭, 선회반경 등)를 이용한 변수의 설정 필요하다. 모워 트랙터의 주행은 작업을 준비 과정, 밭의 입구에서 작업이 시작되는 위치까지의 이동 과정, 작업이 진행되는 과정, 작업 중 깎은 잔디를 지정된 위치에 놓기 위하여 이동하는 과정, 작업이 종료되고 밭의 밖으로 이동하는 과정의 알고리즘 개발하였다.

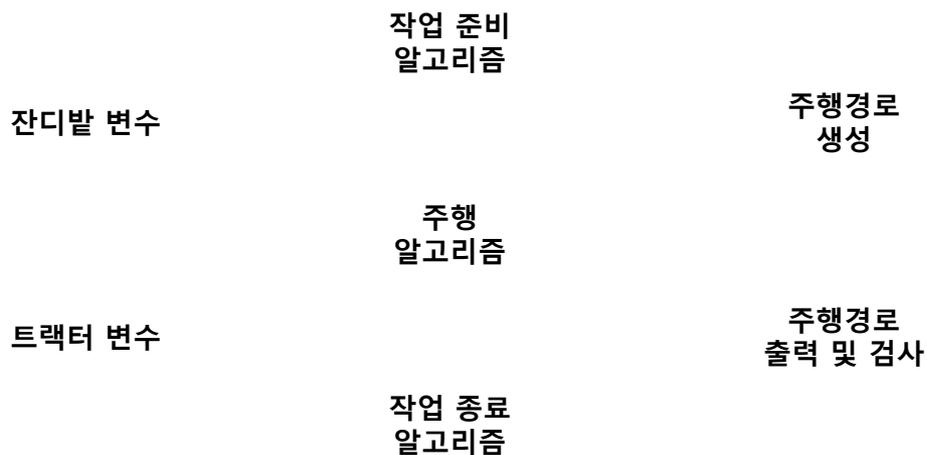


그림 3-3-66. 모워 트랙터 자율주행 경로안내 프로세스

트랙터가 포장에서 경운작업을 하기 위해서 포장의 구역을 내부왕복작업부와 회경작업부로 구분하였다. 포장의 내부왕복작업부의 구역을 결정하기 위해서는 우선 회경작업부의 작업영역을 결정하여야 한다. 즉 회경작업부의 작업영역은 트랙터의 회경횟수에 의해 결정된다. 회경작

업부의 선회작업의 횟수는 C형, C-구획형 및 X형 선회를 하는 경우작업의 경우는 동일한 방법으로 계산할 수 있으나, R형이 경우는 별도의 방법으로 계산하여야 한다. 또한 회경횟수는 최소 3회전으로 시작하며, 트랙터의 회전반경에 따라 4회전까지 변하게 된다. 그러므로 회경작업의 회경횟수는 3회 또는 4회 결정방법에 대하여 연구하였다.

① C형 회전 부가 있는 경로 안내 알고리즘

- 포장 진입 지점 결정 후 직선주행 시작 지점으로 이동 후 작업기 상태 점검 및 모위의 전체적인 주행 준비 상태 점검 → 이상치 발생할 경우 모위 주행 중단
- 직선주행 시작 지점 및 종료 지점 생성 후 양 끝 지점의 중간 지점 생성
- 직선주행 시작 지점부터 중간 지점까지 이동 후 중간지점에서부터 종료지점 이동 → 종료 지점까지 이동 후 모위 작업 중단, 모위 작업 중 모위 상태 이상 발견 시 작업 및 주행 종료
- 종료지점 도착 후 C형 회전 주행 작업 시작, 회전주행 시작지점 및 종료 지점 생성 → 각 시작 및 종료지점은 모위의 회전반경을 고려한 회전 중심점으로부터 도출
- 회전주행 종료 후 다음 직선주행 경로까지 직선주행 → 모위 작업 중단
- 비 작업구간 직선주행 종료 후 회전중심점, 회전 시작 지점, 회전 종료 지점 생성
- 회전 종료 지점 도착 후 직선 주행 시작 지점 생성 및 처음과 같은 프로세스로 진행 → 직선주행 시작 지점 도착 후 모위 작업 시작

② X형 회전 부가 있는 경로 안내 알고리즘

- 포장 진입 지점 결정 후 직선주행 시작 지점으로 이동 후 작업기 상태 점검 및 모위의 전체적인 주행 준비 상태 점검 → 이상치 발생할 경우 모위 주행 중단
- 직선주행 시작 지점 및 종료 지점 생성 후 양 끝 지점의 중간 지점 생성
- 직선주행 시작 지점부터 중간지점 까지 이동 후 중간지점에서부터 종료지점 이동 → 종료 지점까지 이동 후 모위 작업 중단, 모위 작업 중 모위 상태 이상 발견 시 작업 및 주행종료
- 종료지점 도착 후 X형 회전 주행 작업 시작, 회전주행 시작지점 및 종료 지점 생성 → 각 시작 및 종료지점은 모위의 회전 반경을 고려한 회전 중심점으로부터 도출
- 회전주행 종료 후 직선 후진 주행 시작 지점 및 종료 지점 생성 → 직선 후진 주행 시작 지점은 1차 회전 중심점으로부터 계산되어 지며, 직선 후진 주행 종료 지점은 2차 회전 중심점으로부터 계산된다.
- 직선 후진 주행 종료지점 이동 후 2차 회전 주행 시작 지점 생성 및 종료 지점 생성

- 회전 종료 지점 도착 후 직선 주행 시작 지점 생성 및 처음과 같은 프로세스로 진행  
→ 직선주행 시작 지점 도착 후 모워 작업 시작

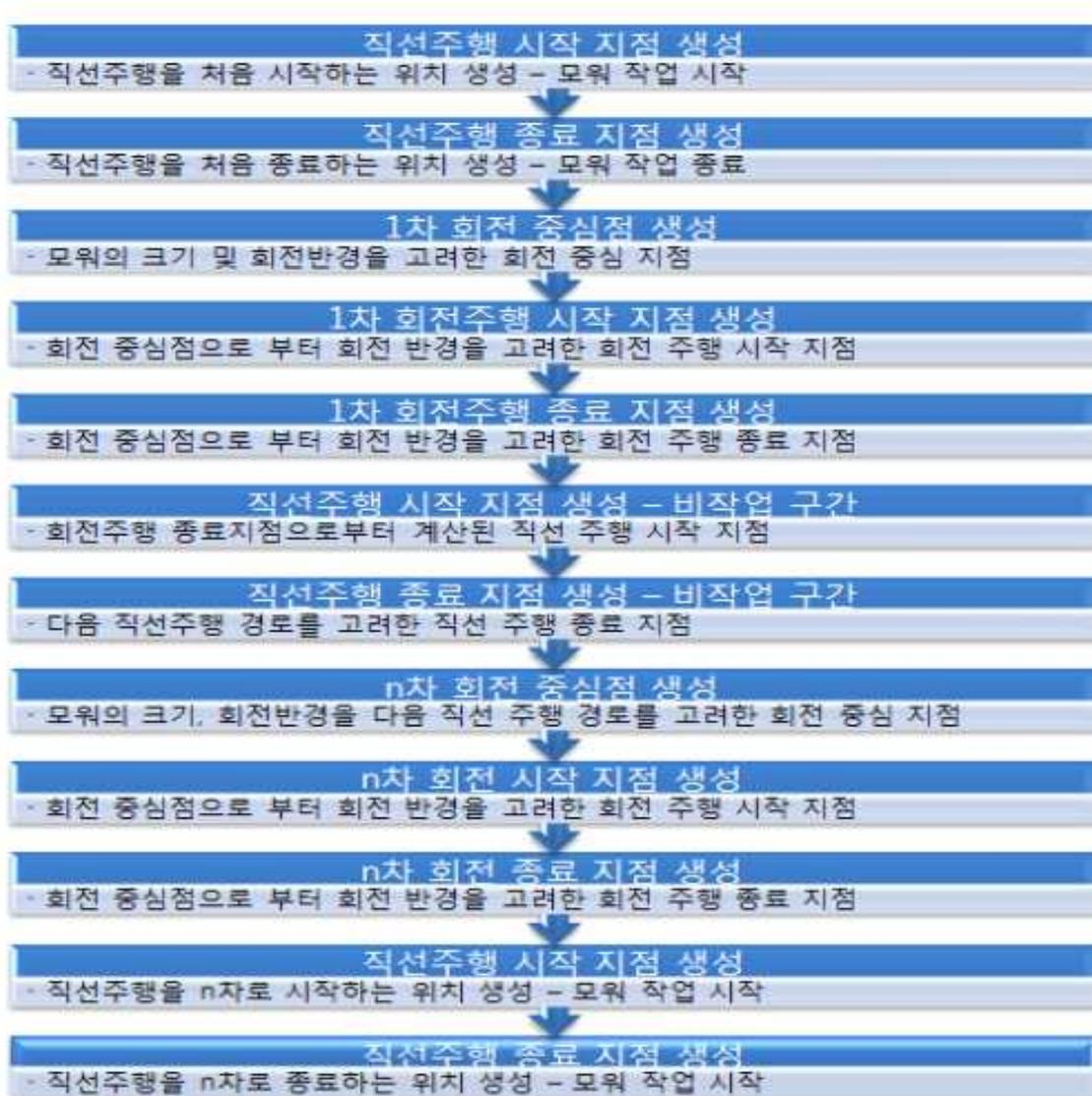


그림 3-3-67. C형 회전 주행 플로우 차트

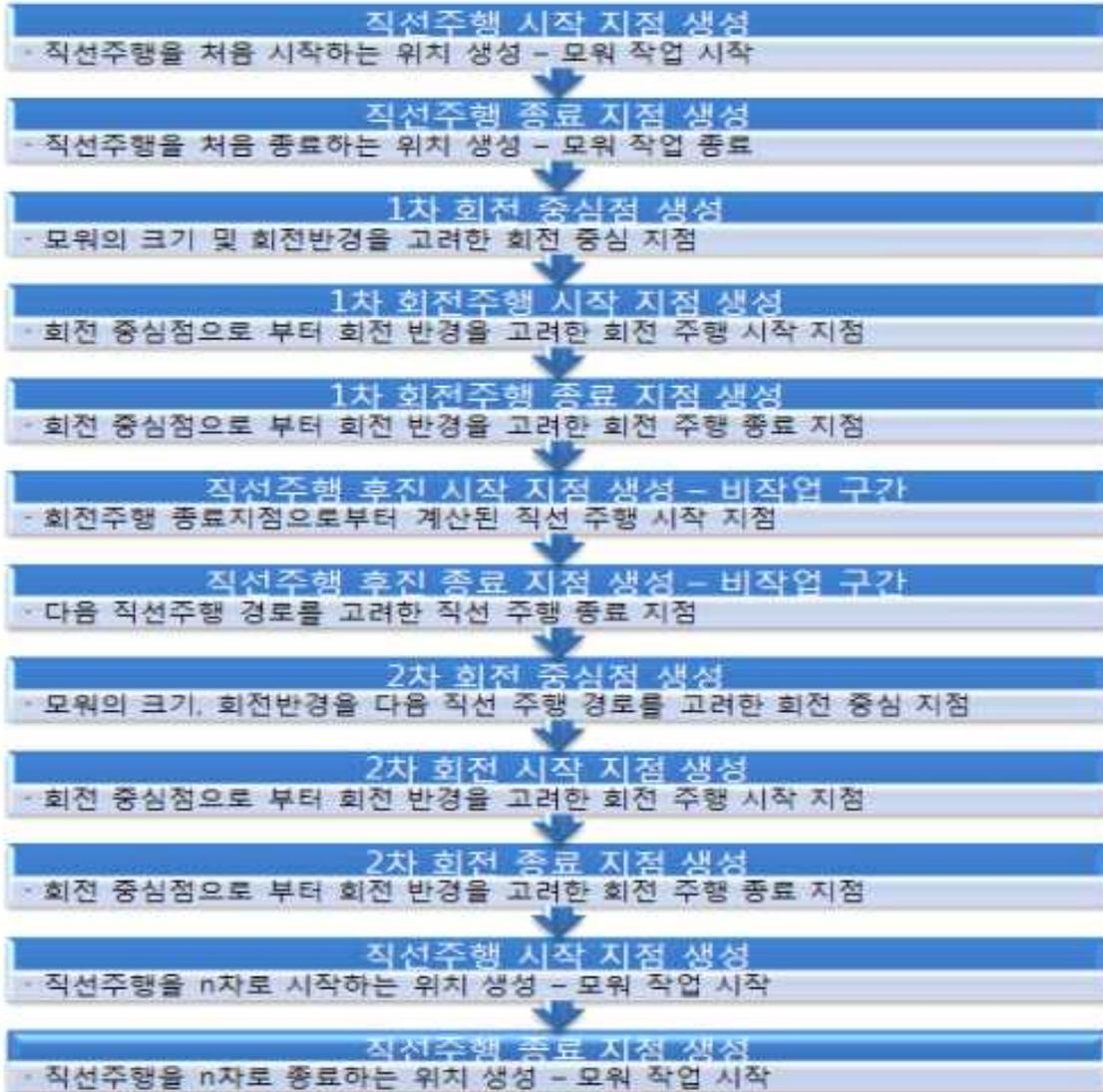


그림 3-3-68. X형 회전 주행 플로우 차트 .

③ R형 회전 부가 있는 경로 안내 알고리즘

- 포장 진입 지점 결정 후 직선주행 시작 지점으로 이동 후 작업기 상태 점검 및 모워의 전체적인 주행 준비 상태 점검 → 이상치 발생할 경우 모워 주행 중단
- 직선주행 시작 지점 및 종료 지점 생성 후 양 끝 지점의 중간 지점 생성
- 직선주행 시작 지점부터 중간지점 까지 이동 후 중간지점에서부터 종료지점 이동 → 종료 지점까지 이동 후 모워 작업 중단, 모워 작업 중 모워 상태 이상 발견 시 작업 및 주행 종료
- 종료지점 도착 후 R형 1-1차 회전 주행 작업 시작, 1-1차 회전주행 시작지점 및 종료 지점 생성 → 1-1차 회전 주행은 1-1차 회전 중심점에 의해서 수행되며, 종료지점은 1-1차 회전반경과 1-2차 회전반경이 접하는 지점으로부터 생성

- 1-1차 회전주행 종료 후 1-2차 회전 주행 시작 및 종료지점 생성, 1-2차 회전주행 수행 → 종료지점은 회전 중심점으로 부터 회전 반경을 고려하여 생성
- 1-2차 회전 종료 지점 도착 후 직선 주행 시작 지점 생성 및 처음과 같은 프로세스로 진행 → 직선주행 시작 지점 도착 후 모워 작업 시작



그림 3-3-69. R형 회전 주행 플로우 차트

### (3) 자율주행 경로생성 프로그램

경로생성프로그램으로 생성된 데이터에 대한 경로 및 미작업 발생에 대한 사전 검사를 위하여 예측경로 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다. 개발된 예측경로생성프로그램에 의해 생성된 예측경로자료를 활용하여 예측경로 및 미경지 발생 검사를 위한 기능, 시뮬레이션 속도조절기

능, 작업진행을 한 단계 또는 연속으로 볼 수 있도록 선택기능을 부여하였다. 또한 예초전진주행, 미 예초 전진주행, 미 예초 후진 및 미 예초 선회작업 종류별로 주행거리 및 주행시간을 계산하도록 하였다. 주행시간은 조사된 숙련된 트랙터 운전자의 작업특성을 적용하여 계산하였다.

또한 생성된 예초경로를 화면에 출력하여 작업순서를 신규 농업인의 예초작업 교육에 활용이 가능하도록 하였으며, 예초경로를 화면에 출력 시 해당 주행코스에서의 작업종류에 따라 경로 색을 다르게 하여 작업 상태를 확인할 수도 있도록 하였다. 그리고 예초경로 시뮬레이션 시 연속 또는 한 단계씩 진행이 가능하도록 하였다.

자율주행 경로 생성 프로그램은 변수 설정, 주행거리 및 시간 계산, 주행 경로 그래프화 작업이 수월한 윈도우 소프트웨어 개발 툴 MATLAB 2010a을 이용하여 제작하였다. 자율주행 경로 생성을 수행하기 이전 우선 잔디밭 정보를 변수로 입력하는 과정이 있다.

잔디밭의 크기와 포장 모양을 확인하여 경로를 생성해야하기 때문에 잔디밭의 가장자리인 4곳 혹은 5곳의 좌표데이터, 작업이 시작되는 지점 좌표데이터, 입구 위치 데이터, 주행 중 잔디를 버리기 위해 이동하는 경로를 생성하기 위하여 잔디를 쌓아두는 위치 데이터를 입력한다.

#### (가) 모워 트랙터 변수

모워 트랙터 주요치수는 그림 3-3-70과 같이 여러 가지로 표시할 수 있으나 본 연구에서는 몇 가지 주요치수를 트랙터 및 작업기 변수로 활용하였다. 트랙터의 치수 중 그림의 왼쪽 부분은 트랙터의 기본적인 크기를 나타내고 있으며, 오른쪽은 GPS안테나 장착위치를 기준으로 각 부분의 치수를 표시하고 있다.

본 프로그램에서 입력변수로 필요한 트랙터의 주요치수는 GPS안테나 장착위치로부터 트랙터 앞까지의 거리, GPS안테나로부터 트랙터 뒷부분의 작업기 끝까지의 거리, 트랙터 회전반경, 작업기의 작업 폭 및 작업시의 겹침량이며 변수에 대한 설명은 아래 그림과 같다.

자율주행 트랙터 예초경로생성시의 트랙터와 작업기 변수를 입력하는 장면을 나타낸 것이다. 트랙터의 변수는 한번 입력되면 자동 저장되어 다음 프로그램 실행 시 기본 값으로 읽어오도록 하였으며, 변수 값을 수정하려면 트랙터 변수설정 프로그램을 실행하도록 하였다.

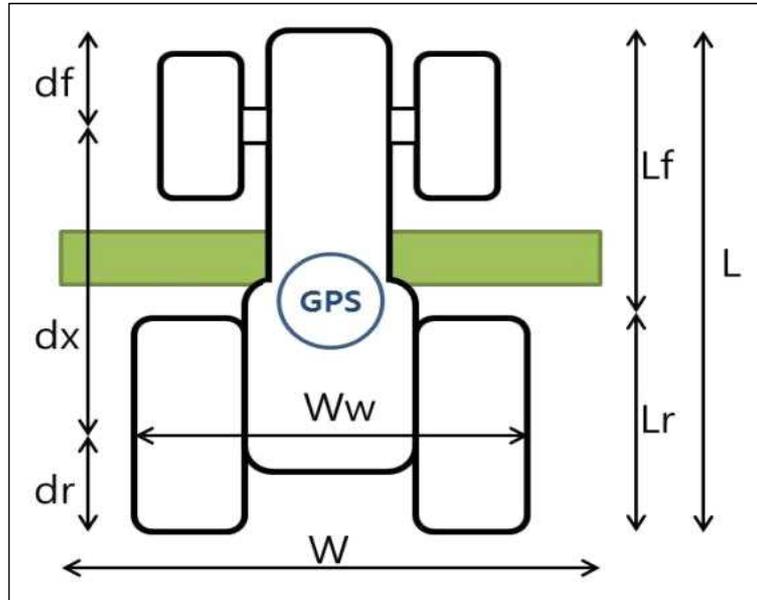


그림 3-3-70. 모위 변수

#### (나) 자율주행 경로 생성 방법

잔디밭 변수 및 모위 트랙터 변수가 입력된 후 잔디밭 바깥부분인 이랑과 0.2 m 간격 떨어진 부분부터 작업 폭인 1.2 m를 고려하여 작업 시작위치에서부터 직선 주행경로를 생성하여 직선 주행 경로 생성 후 다음 직선 주행경로까지 모위 트랙터의 최대 조향각 50° 와 앞 뒤 바퀴의 간격 약 1.5 m를 통해 계산된 회전 반경 2.3 m으로 선회 구간경로를 생성하였다.

첫 번째 직선 및 선회 구간경로생성 후 처음 구간과 마찬가지로 직선 및 선회 구간을 생성하면서 외곽 가장자리 처음 바퀴 주행경로를 생성하였다. 처음 외곽 가장자리 주행경로생성 후 작업 폭 길이만큼 간격을 두고 안쪽방향으로 다음 바퀴 주행경로를 생성하였다.

잔디밭 내부지역에서 작업 진행 중 예취된 잔디를 정해진 지역으로 이동하여 놓고 오기에는 다소 거리 및 시간이 소비되기 때문에 외곽지역 주행과정에서 일정 거리(관행 주행경로 분석 결과 약 600~750 m)를 주행하였거나 정해진 거리 이하로 외곽지역 주행이 진행된다면 내부 지역 작업이 진행되기 전 잔디를 놓고 오기 위한 주행경로를 생성하였다.

외곽지역 주행경로 생성 후 작업 폭이 약 10 m 남아있는 구간부터 동일한 길이의 경로를 C형 선회방식으로 주행하면서 작업이 진행되도록 회전반경 및 작업 폭을 고려한 직선 및 선회 주행경로를 생성하였다. 잔디밭 외곽 및 내부지역 경로 생성이 모두 진행된다면 주행경로가 끝난 지점부터 잔디밭의 입구까지 직선 퇴장경로를 생성하였다.

#### (다) 경로 출력 방법

자율주행경로 생성작업을 수행하기 이전 잔디밭 및 트랙터의 정보를 변수로 설정하고 그 중

작업 폭과 선회반경을 확인할 수 있는 텍스트 박스가 있다.

프로그램 인터페이스에는 주행경로를 생성하기 위한 시작버튼, 경로생성 작업을 마치는 종료버튼, 그래프화된 경로를 지우는 삭제버튼이 있다.

생성된 경로에서 주행방식에 따라 직선주행, 선회주행, 잔디를 버리기 위해 이동하는 주행, 작업이 종료된 후 퇴장하는 주행의 각각 거리 및 시간의 확인 및 이를 모두 합한 총 이동거리 및 시간 확인하였다.

주행 거리는 생성된 경로의 길이를 이용하여 확인하고 주행 시간은 직선 주행의 경우 모워 트랙터의 기본 작업 속도인 1.0~1.2 m/s를 고려하여 적정속도인 1.0 m/s를 이용하여 계산하고 선회 경로, 잔디를 놓고 오기 위한 경로는 관행 주행경로 분석 결과를 이용하여 각각 0.62, 0.25 m/s를 고려하여 계산하였다.

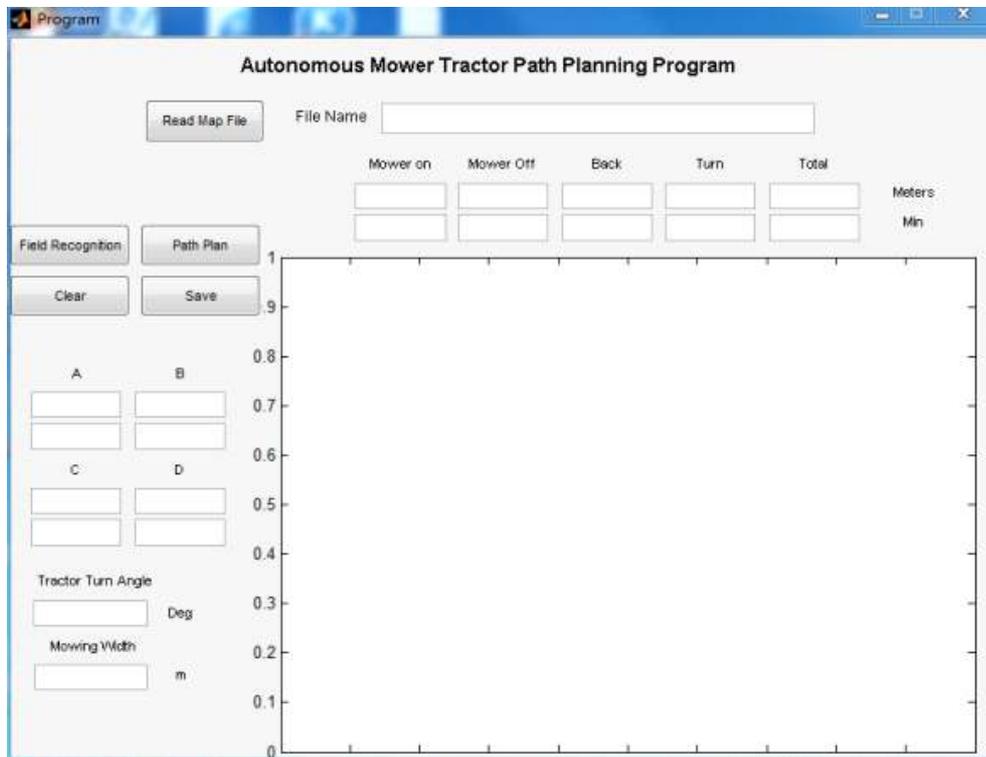


그림 3-3-71. 자율주행 경로 생성 프로그램 인터페이스

#### (라) 자율주행 경로 생성 결과

자율주행 경로 생성을 위해서 충남대학교 부설농장에서 소유하고 있는 밭의 위치 정보를 이용하여 자율주행 경로를 생성하고 확인하였다. 자율주행 경로안내 프로그램을 이용하여 생성된 경로는 총 주행거리가 915.91 m이었고, 그 중 직선 주행은 전체 주행 거리의 77.0%인 705.24 m, 선회 주행은 16.8 %인 153.71 m이었다. 총 소요 시간은 1087.8초(약 18분)이었고, 그 중 직

선 주행은 전체 소요 시간의 51.7%인 627.44초, 선회 주행은 37.2%인 404.52초 였다. 직선 주행 경로의 거리는 전체 주행거리의 77.0%를 차지하였으나 직선 주행 경로는 선회 주행 및 기타 주행보다 빠른 주행속도로 진행되어 전체 작업시간의 57.7%인 627.44초 였다.

기타 주행 구간인 잔디를 놓고 오기 위한 주행 거리는 전체 주행거리의 2.0%인 18.15 m이 였고, 퇴장을 위한 주행 거리는 4.2%인 38.79m로 전체 주행거리의 10%이였다. 자율주행 경로 안내 프로그램을 이용하여 생성된 경로는 관행 경로의 평균 작업속도인 0.42, 0.73, 0.81 m/s보다 빠른 0.84 m/s로 생성된 경로가 기존의 관행작업경로보다 작업이 빠르게 진행될 수 있음을 확인하였다. 생성된 경로에 대한 정보는 원 데이터인 GPS 위도, 경도, UTM좌표 변환을 통하여 위도와 경도가 변환된 X, Y 축 데이터, 잔디밭의 모서리 4부분의 좌표를 이용하여 확인된 세로 및 가로 길이 등의 정보가 저장되고 생성된 주행경로의 좌표 저장하였다.

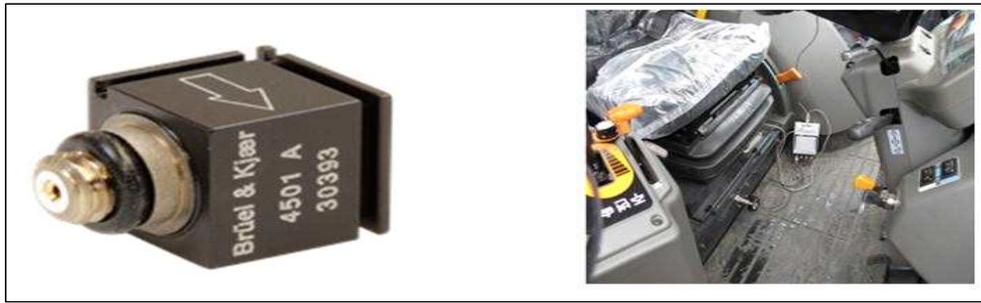
표 3-3-22. 자율주행 경로 생성 결과

Data	Total	Straight	Turning	Others		
				Exit	Dumping	Overlap
Distance (m)	915.91 (100%)	705.24 (77.0%)	153.71 (16.8%)	38.79 (4.2%)	18.15 (2.0%)	-
Time (sec)	1087.8 (100%)	627.44 (57.7%)	404.52 (37.2%)	41.26 (3.8%)	17.24 (1.6%)	-

#### 마. 성능평가 및 시스템 최적화

##### (1) 충격 평가 시스템

자율주행 모워 트랙터 시작품을 이용하여 작업 및 주행 시 발생하는 충격을 측정하기 위한 실험을 실시하였다. 충격 시스템은 작업 시 가속도 변화 측정을 위한 가속도 센서와 데이터 수집 장치를 이용하여 개발하였다. 가속도 센서(4501-A, Bruel & Kjaer, Denmark)는 그림 3-3-72(a)와 같이 앞전소자 방식(Charged type)을 사용하여 넓은 측정 범위를 이용하여 다양한 환경에서 사용이 가능하도록 했으며, 아날로그 입력모듈을 이용한 신호 측정이 용이하도록 별도의 앰프(2646, Bruel & Kjaer, Denmark)를 장착하여 9.8 mV/g의 감도를 갖도록 하였다. 또한 충격이 주로 횡방향 진동보다 차량의 이동방향에 대한 진동이 크게 작용하는 점을 고려하여 1 축 방향의 가속도 측정이 가능한 센서를 사용하였다(강 등, 2000). 데이터 수집 장치는 아날로그 입력모듈(9233, National Instrument, USA)을 사용하여 최대 50 kS/s의 속도로 24 bits의 정밀한 가속도를 측정했다. 그림 3-3-72(b)와 가속도 센서는 트랙터 조작석의 하단에 부착하였으며, 트랙터의 작업 및 주행 충격은 가속도 센서의 전압 신호를 아날로그 입력모듈로 수집하여 가속도의 최대변화를 실시간으로 나타낼 수 있도록 하였다.



a) 가속도 센서

(b) 시스템의 설치

그림 3-3-72 충격 측정 시스템.

### (2) 실험 및 분석 방법

실험은 전/후진별 저속, 고속으로 각각 4회 반복 작업을 실시하였다. 인체에 영향을 미치는 정확한 변속 충격을 측정하기 위해서는 적절한 신호처리가 필요하다. 본 연구에서는 대역통과 필터(Band Pass Filtering, BPF)를 이용하여 인간이 불편함을 느끼는 진동 범위인 1~10 Hz 대역을 제외한 나머지 주파수 영역을 제거하였으며(Suzanne, 2007) 필터링된 진동 신호의 가속도의 최대 변화를 충격으로 정의하고 분석하였다. LabVIEW (version 2010, National Instrument, USA)를 이용하여 충격의 측정 및 분석을 위한 프로그램 개발하였다. 이 프로그램은 액추에이터 내부의 포텐시오미터와 변속 시 가속도 변화 측정을 위한 가속도 센서를 통해 실시간으로 진동신호의 측정이 가능하도록 하였다.

### (3) 충격 측정 결과

가속도 센서를 이용해 측정한 진동 신호는 실험 수준에 따라 모두 유사한 형태로 나타났다. 자율주행 및 작업 시 모위의 충격 측정 결과는 표 3-3-23와 같다. 전진 변속의 고속에서 높게 나타났으며 후진 변속의 경우 전진 변속과 같이 고속에 진동 및 충격이 높은 경향을 보였다.

표 3-3-23 작업 및 주행 조건에 따른 충격량 (단위 : g)

F/R shift	Working speed	Shifting shock
Forward	Low speed	0.26±0.027 <sup>1)</sup>
	High speed	0.35±0.021
Reverse	Low speed	0.26±0.016
	High speed	0.32±0.023

<sup>1)</sup> Average±standard deviation

## 제4장 목표달성도 및 관련 분야에의 기여도

### 제1절 목표달성도

본 연구의 목적은 친환경 정밀농업기술을 이용하여 잔디의 생육정보를 판별하고 변량 시비가 가능한 자율주행형 모위를 개발하는 것으로 당초 계획한 목표를 성공적으로 달성하였다. 참여 기관별 연구내용과 목표달성도는 아래와 같으며, 각 참여기관 또한 당초 계획한 목표를 성공적으로 달성하였다.

#### 1. 정밀농업 기기 및 자율주행 잔디 모위 시스템 통합기술 개발 [주관기관]

연 도	내 용	달 성 도
1차년도 (2012)	○ 잔디 생육정보 측정 인자 발굴 ○ 영상분석 시스템 개발 ○ 비료 변량 살포기 개발	100
2차년도 (2013)	○ 잔디 생육정보 측정 기술 개발 ○ 변량살포/모위 제어시스템 개발	100
3차년도 (2014)	○ 모위 탑재 통합 시작기 개발 ○ 모위 탑재용 변량시비기 성능 평가	100

#### 2. 자율주행 잔디 모위 시스템 및 실용화 기술 개발 [협동기관]

연 도	내 용	달 성 도
1차년도 (2012)	○ 잔디 모위 핵심부품 및 시스템 layout 설계 ○ 자율주행 핵심부품 사양 선정 및 시스템 설계 ○ HST 제어시스템 설계	100
2차년도 (2013)	○ 자율주행 잔디 모위 핵심부품 개발 ○ 자율주행 잔디 모위 플랫폼 및 시작품 개발 ○ HST 제어시스템 개발 및 제어성능 평가	100
3차년도 (2014)	○ 자율주행 잔디 모위의 시스템 통합 ○ 전체 시스템의 성능평가 및 최적화 기술 개발 ○ HST 제어성능 최적화	100

### 3. 잔디모위의 자율주행 기술 개발 [위탁기관 1]

연 도	내 용	달 성 도
1차년도 (2012)	○ 자율주행 핵심 알고리즘 개발	100
2차년도 (2013)	○ 자율주행 임베디드 플랫폼 개발	100
3차년도 (2014)	○ 자율주행 소프트웨어 통합 및 실용화 기술 개발	100

### 4. 자율주행 경로설정 및 생육정보 맵핑 기술 개발 [위탁기관 2]

연 도	내 용	달 성 도
1차년도 (2012)	○ 자율주행 경로탐색 및 안내 알고리즘 개발	100
2차년도 (2013)	○ 잔디 생육 및 작업정보 맵핑과 공간변이 분석	100
3차년도 (2014)	○ 사용자 인터페이스 및 시각화 메뉴 확립	100

## 제2절 관련분야에의 기여도

정밀농업기술과 무인자동화 기술에 대한 연구는 과거부터 다양한 연구가 수행되어 오며 따라 본 과제는 실용화, 산업화에 중점을 두어 연구 과제를 수행하였다. 작물 전문가와 영농현장의 전문가, 자율주행기술 전문가 등의 유기적인 협력을 통해 정밀농업형 자율주행 농업기계를 개발하는 계기가 되었다. 본 연구를 통한 관련분야에의 기여는 아래와 같다.

- 효율적인 작물 생육정보의 수집과 분석기술, 변량 처방 기술 등 정밀농업의 기술을 독자 개발함으로써 농업선진국과의 경쟁력 제고에 기여.
- 작물 생육정보 측정센서와 변량시비기, 자율주행 농작업기계와의 통합시스템을 구성함으로써 단순한 한 가지 작업만 가능했던 농기계가 무인 주행하며 작물 정보를 수집하고 처방할 수 있는 기능을 가진 ICT 융복합 농기계의 재탄생의 기틀을 확립하는데 기여.
- 탑재용 소형 변량시비기의 개발을 통해 우리나라와 같은 소규모 포장에서도 토양 및 작

물 정보에 기초한 비료의 변량처방이 가능해져 비료 사용량 감소로 인한 농업의 환경부담 경감과 농민의 소득향상에 기여.

## 제5장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

### 제1절 연구개발결과의 정량적 성과

구분	특허출원	논문	학술발표	기타 성과
연구 성과	6	7	15	6

#### 1. 특허 성과

- 1) 10-2012-0127909, 2012. 11. 13., 트레일러 공압 브레이크 시스템, 김택성 남정현
- 2) 10-2013-0146423, 2013. 11. 28., 변량 시비시스템 및 이를 이용한 시비방법, 이경환 유승화 정선옥
- 3) 10-2014-0000156, 2014. 01. 02., 트랙터용 변속기, 김택성 이상헌
- 4) 10-2014-0000157, 2014. 01. 02., 트랙터용 변속기, 김택성 최철환 이상헌
- 5) 10-2014-0012675, 2014. 02. 04., 차량용 파워 시프트 변속장치, 이상헌 최철환
- 6) 10-2014-0029629, 2014. 03. 13., 트랙터용 변속기, 김택성 김상현

#### 2. 논문 성과

- 1) Yong-Joo Kim, Chang-Hyun Choi, 2013, The Analysis of Paddy Soils in Korea Using Visible-near Infrared Spectroscopy for Development of Real-time Soil Measurement System. J Korean Soc Appl Biol Chem (2013) 56, 559–565. (SCI)
- 2) S. W. Back, S. H. Yu, Y. J. Kim, S. O. Chung, K. H. Lee, 2013. AN IMAGE-BASED APPLICATION RATE MEASUREMENT SYSTEM FOR A GRANULAR FERTILIZER APPLICATOR, Transactions of the ASABE Vol. 57(2): 679-687. (SCI)
- 3) D. H. Lee, Y. J. Kim, T. H Kim, S. O. Chung, C. H. Choi, K. H. Lee, 2015. Development of Automatic Steering system.
- 4) D. H. Lee, Y. J. Kim, S. O. Chung, C. H. Choi, K. H. Lee, 2015. Development of Autonomous Guidance System using Machine Vision and Gyro Sensor.
- 5) S. M. Zhang, S. O. Chung, K. D. Kim, Y. J. Kim, S. H. Yu, K. H. Lee, 2015. Comparison of sensors for detection of grass growth.
- 6) S. M. Zhang, S. W. Kang, S. O. Chung, K. D. Kim, Y. S. Chae, D. H. Lee, Y. J. Kim, S. H. Yu, K. H. Lee, 2015. Development of Path Planning Algorithm for an

Autonomous Mower Tractor.

- 7) S. M. Zhang, S. O. Chung, K. D. Kim, Y. J. Kim, S. H. Yu, K. H. Lee. 2015. Grass Growth Mapping for Variable Fertilizer Application.

### 3. 학술발표 성과

- 1) Kim, Y. J., S. H. Yu, S. O. Chung, D. H. Lee, K. H. Lee, 2012. An Autonomous Lawn Mower using Precision Agriculture Technology. The 2012 International Conference on Smart Convergence Technologies and Applications(SCTA 2012), Gwangju, Korea.
- 2) 김용주, 이경환, 유승화, 류명진, 정선옥, 2012. DGPS와 IMU를 이용한 무인자율모위 시스템 설계. 한국농업기계학회. 17(2):88-93.
- 3) 유승화, 이경환, 신현민, 서상룡, 김용주, 정선옥, 성제훈, 최영수, 유수남, 2012. 영상분석을 이용한 잔디 생육정보 측정. 한국농업기계학회. 17(2):376-381.
- 4) Ming Zhang Song, Sun Ok Chung, Ki Dae Kim, Young Seok Chae, Yong Joo Kim, Dae Hyun Lee, Seung Hwa Yu, Kyeong Hwan Lee, 2012. Analysis of Operating Trajectory for Autonomous Mower. Proceeding of the KSAM. 17(2):71-74. (in Korea)
- 5) Seung-Hwa Yu, Kyeong-Hwan Lee, Sun-Wook Back, Yong-Joo Kim, Sun-Ok Chung, Hyun-Min Shin, Jae Hoon Sung, 2013. VARIABILITY OF TURFGRASS QUALITY IN LAWN FIELD. Proceedings of the 5th Asian Conference on Precision Agriculture (ACPA). 5:764-772.
- 6) Sun-Wook Back, Kyeong-Hwan Lee, Seung Hwa Yu, Yong-Joo Kim, Sun-Ok Chung, Hyun-Min Shin, Jae Hoon Sung, 2013. A VARIABLE-RATE FERTILIZER FOR THE MANAGEMENT OF TURFGRASS. Proceedings of the 5th Asian Conference on Precision Agriculture (ACPA). 5:670. (in Jeju, Korea)
- 7) Ming Zhang Song, Sun-Ok Chung, Ki-Dae Kim, Young-Seok Chae, Yong-Joo Kim, Seung-Hwa Yu, Kyeong-Hwan Lee, 2013. Grass Growth Mapping using RGB Imagery. Proceedings of the 5th Asian Conference on Precision Agriculture (ACPA). 5:319-324. (in Jeju, Korea)
- 8) Ming Zhang Song, Sun-Ok Chung, Ki-Dae Kim, Young-Seok Chae, Yong-Joo Kim, Seung-Hwa Yu, Kyeong-Hwan Lee, 2013. Grass Growth Estimation using RGB Image. 한국농업기계학회 2013 춘계학술대회.
- 9) Ming Zhang Song, Sun-Ok Chung, Sin-Woo Kang, Ki-Dae Kim, Young-Suk Chae, Dae-Hyun Lee, Yong-Joo Kim, Seung-Hwa Yu, Kyeong-Hwan Lee. 2013/ Development

of Path Planning Algorithm for an Autonomous Mower Tractor. The 4th IFAC Conference on Modeling and Control in Agriculture.

- 10) Seung-Hwa Yu, Kyeong-Hwan Lee, Sun-wook Back, Yong-Joo Kim, Sun-Ok Chung, Hyun-Min Shin, Je Hoon Sung. 2013. Estimation of Turfgrass Cover Rate using Image Analysis. 한국농업기계학회 2013 추계학술대회.
- 11) Sun-wook Back, Kyeong-Hwan Lee, Seung-Hwa Yu, Yong-Joo Kim, Sun-Ok Chung, Hyun-Min Shin, Je Hoon Sung. 2013. Measurement of Granular Fertilizer Application Rate using Image Analysis. 한국농업기계학회 2013 추계학술대회.
- 12) Seung-Hwa Yu, Sun-wook Back, Yong-Joo Kim, Sun-Ok Chung, Kyeong-Hwan Lee. 2014. NIR Sensitive Digital Color Camera의 영상 분석을 이용한 잔디 생육 인자 예측. 한국농업기계 학회 2014 추계학술대회 논문집 19(2):67-68.
- 13) Sun-wook Back, Seung-Hwa Yu, Yong-Joo Kim, Sun-Ok Chung, Kyeong-Hwan Lee. 2014. 자율주행 잔디재배 트랙터 개발. 한국농업기계학회 2014 추계학술대회 논문집 19(2):17-18.
- 14) Seung-Hwa Yu, Sun-wook Back, Yong-Joo Kim, Sun-Ok Chung, Kyeong-Hwan Lee. 2014. NIR감도 디지털 컬러 카메라를 이용한 작물 생육지수 예측. 2014 한국정밀농업학회 국제심포지엄 논문집 231-232.
- 15) Sun-wook Back, Seung-Hwa Yu, Yong-Joo Kim, Sun-Ok Chung, Kyeong-Hwan Lee. 2014. 자율주행 잔디모위의 원격제어 성능 평가. 2014 한국정밀농업학회 국제심포지엄 논문집 236-237.

#### 4. 기타 성과: 기술이전(1건), 사업(상품)화(1건), 교육지도(2건), 언론홍보(2건)

##### 1) 기술이전: 1건

가) 네스트아이엔씨, 잔디 생육에 따른 변량 시비 기술, 2013-12-02

##### 2) 사업(상품)화: 1건

가) 네스트아이엔씨, 잔디 생육에 따른 변량 시비 기술, 상품화 예정

##### 3) 교육지도: 2건

###### 가) 농민교육(1차):

- 일시 및 장소: 2014년 1월 전남 함평군 월야면 월야농협회의실

- 교육 내용: 정밀농업 기술의 이해와 국내외 잔디모위 기술 개발 동향 및 적용사례

나) 기술교육(2차):

- 일시 및 장소: 2014년 9월 전남 함평군 월야면 용월리 마을회관 및 잔디밭
- 교육 내용: 본 연구팀이 개발 중인 변량시비형 자율주행 잔디모위 기술교육 및 시연

4) 언론홍보: 2건

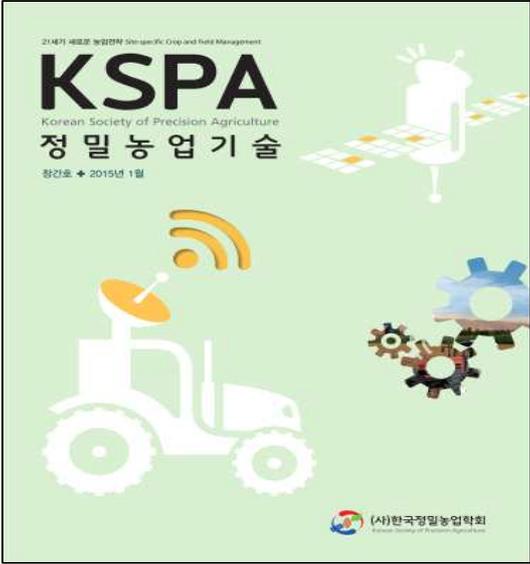
가) 2014년 7월 21일자, 헤럴드경제

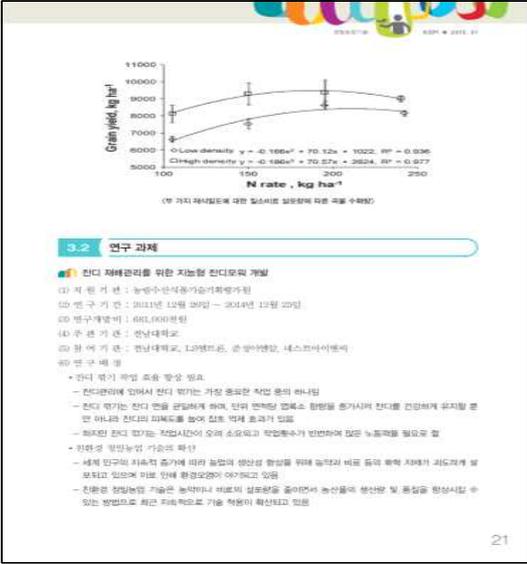


**이제는 농업도 무인화 시대... 전남대학교 지역바이오시스템공학과 헤럴드경제 | 2014.07.21 | 네이버뉴스 |**

이런 가운데 전남대학교 지역바이오시스템공학과 이경환 교수 연구팀은 농업기계의 새 바람을 이끌고 있다. 이경환 교수는 “이제는 농업도 식량생산의 단순한 목표를 벗어나 작업의 효율을, 고편의를 추구하고...”

나) 2015년 1월, (사)한국정밀농업학회 간행물 정밀농업기술 창간호 p21-p23. 재배관리를





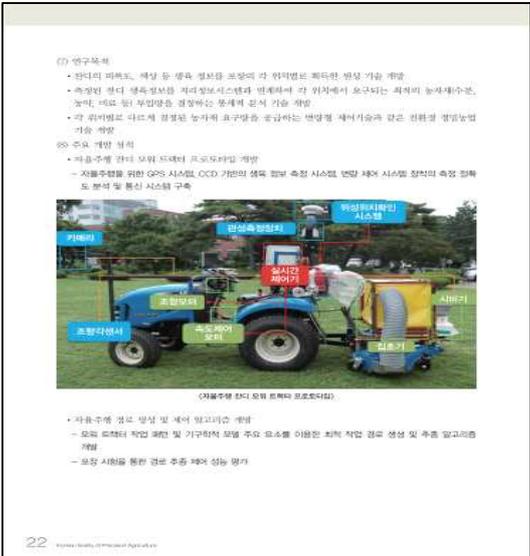
**3.2 연구 과제**

■ 잔디 재배관리를 위한 지능형 잔디모위 개발

(1) 저 편 기 관 : 농업수산과학기술기획개발원  
 (2) 연구 기 관 : 2011년 12월 20일 - 2014년 12월 20일  
 (3) 연구개발비 : 681,000만원  
 (4) 주 관 기 관 : 전남대학교  
 (5) 참 여 기 관 : 전남대학교, 129연구소, 순천대학교, 세스프사이언스

■ 연구 목적

- 잔디 관리에 있어서 잔디 깎기는 가장 중요한 작업 중의 하나임
- 잔디 깎기는 잔디 땅을 균일하게 하며, 잔디 관리를 효율적으로 할 수 있도록 잔디를 건강하게 유지할 뿐 만 아니라 잔디의 피복도를 높여 침투 빗물 증가가 있음
- 최대한 잔디 깎는 작업시간이 오래 소요되고 작업중추가 반복하여 많은 노동력을 필요로 함
- 친환경 정밀농업 기술의 확산
- 세계 인구와 자원의 증가에 따라 농업의 생산성 향상을 위해 농작물 비료 등의 화학 재료가 과도하게 사용되고 있는데 이를 위해 환경모니터링이 이루어지고 있음
- 친환경 정밀농업 기술은 농작물과 비료의 사용량을 줄이면서 농산물의 생산량 및 품질을 향상시킬 수 있는 방법으로 최근 주목적으로 기술 적용이 확산되고 있음



(7) 연구 목적

- 잔디의 피복도, 색상 등 생육 정보를 바탕으로 각 위치별로 최적화된 방목 기술 개발
- 최적화된 잔디 방목정보를 처리정보 시스템과 연계하여 각 위치에서 요구되는 최적의 농자재수준, 농약, 비료 및 투입량을 결정하는 통제계 개발
- 각 위치별로 다르게 결정된 농자재 요구량을 공급하는 변량형 제어기술과 같은 친환경 정밀농업 기술 개발

(8) 주요 개발 목적

- 자율주행 잔디 모위 모작에 프로토타입 개발
- 자율주행을 위한 GPS 시스템, CCD 기반의 생육 정보 측정 시스템, 변량 제어 시스템 장치의 측정 정확도 분석 및 통신 시스템 구축



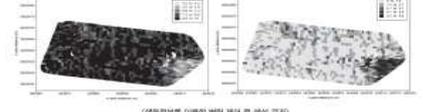
(자율주행 잔디 모위 모작에 프로토타입)

- 자율주행 정보 발생 및 제어 알고리즘 개발
- 모작 로터의 작업 패턴 및 기구학적 모델 주요 요소들 이용한 최적 작업 경로 생성 및 추종 알고리즘 개발
- 모작 시뮬레이션 통한 경로 추종 제어 성능 평가



(자율주행 잔디 모위 성능평가자료용 영문)

- 잔디 방목정보 측정 기술 개발 및 비료 방목정보 제어 시스템 개발
- CCD 기반의 잔디 생육정보 측정 및 분석 알고리즘 개발
- 생육정보 기반의 변량 제어 및 생장 및 투입량을 통한 변량 제어 성능 평가



(생육정보를 이용한 변량 제어 및 방목 알고)

■ 농업생산 무인화추진에 의해 달성 및 연구

(1) 저 편 기 관 : 농업수산과학기술기획개발원  
 (2) 연구 기 관 : 2011년 12월 1일 - 2011년 12월 31일(연구용 2건)  
 (3) 연구개발비 : 10,285,000만원  
 (4) 주 관 기 관 : 전남대학교  
 (5) 참 여 기 관 : 전남대학교, 순천대학교, 고려대학교, 서울대학교, 중앙대학교, 동양대학교, 한양대학교, 숙명여자대학교, 연세대학교, 한서대학교, 나세대학교

## 제2절 연구개발 결과의 성과활용 계획

### 1. 개발 기술의 산업화 및 실용화 계획

본 연구에서 개발한 자율주행 잔디모위 기술은 농업용 로봇 시범사업을 통해 잔디 재배농가에 보급할 예정이며, 생육정보 측정 및 변량시비 기술은 기업의 기술이전을 통하여 사업화를 추진할 계획이다. 생육정보 측정 및 변량시비 기술이 탑재된 자율주행 잔디모위 시스템을 잔디 재배관리에 활용함으로써 잔디 생육자료를 체계적으로 확보할 수 있을 뿐만 아니라 농자재와 노동력 투입을 저감하고 고품질의 잔디를 생산함으로써 잔디의 생산성 향상에 기여할 것으로 기대된다. 또한 본 연구에서 개발한 정밀농업 기술 및 자율주행 기술은 다양한 농업분야에 응용이 가능할 것으로 판단되며, 타 작물에의 적용성을 높이기 위해 지속적인 연구를 수행할 계획이다.

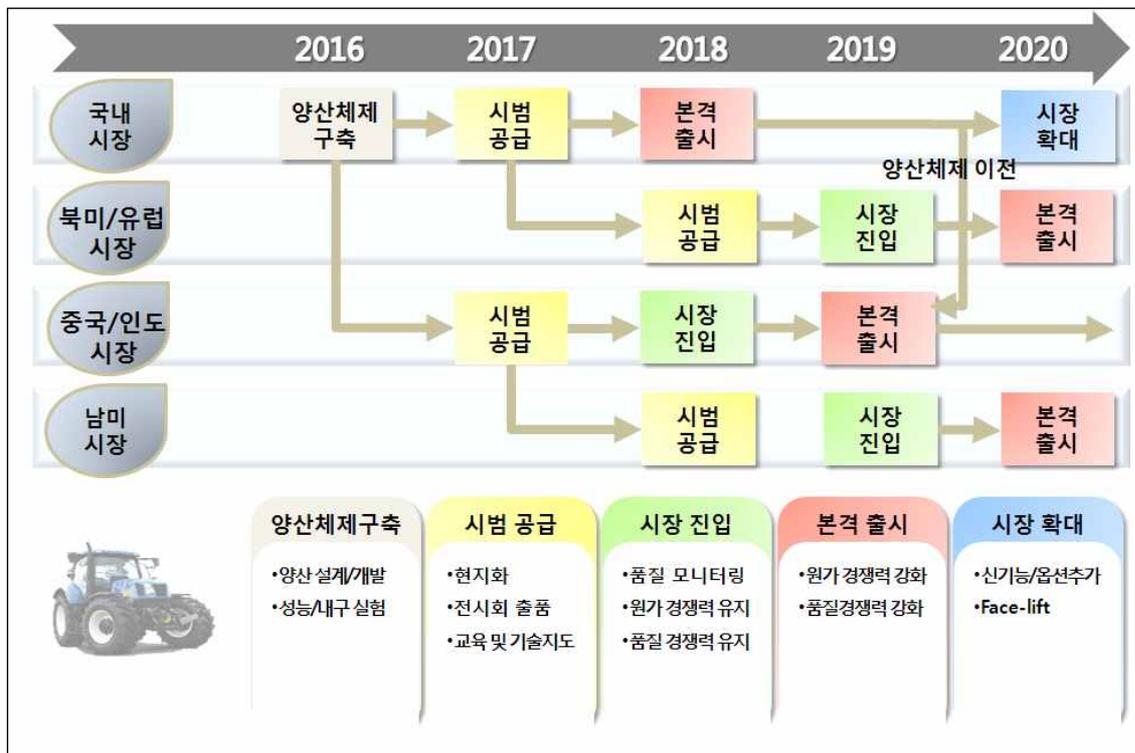


그림 5-2-1 자율주행 잔디모위 양산 전략

#### 가. 양산 전략 방향

잔디 모위 핵심부품의 상세도면을 바탕으로 과제 완료 후 상용화되는 시점에 맞추어 양산 체제를 구축할 계획이며, 국내의 실정 및 구매 경향에 적합한 제품과 경쟁국보다 앞서는 신기

술 도입에 따라 영업 및 생산전략을 수립할 계획이다. 또한 잔디 모위와 정밀농업 기술 및 자율주행 핵심부품의 내구성능 평가 후 신뢰성을 향상하여 잔디 모위의 시작품에 대해 조기 실용화 기틀을 마련할 계획이다. 자율주행 기술, 생육관리 기술, 변량 시비 기술 등을 모듈화하는 방식으로 자체 제품화 실현 및 관련 기술의 파급성을 향상시키고자 한다.

일정	절차	내용	비고
'15년 4월	무인 잔디모위 ES 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>Engineering Sample 제작                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 실내 및 필드시험</li> <li>- 형식검사</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>LS엠트론</li> </ul>
'15년 5월	지정 검사 (농업실용화재단)	<ul style="list-style-type: none"> <li>형식검사 방안 분석                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존 모위와 차이점 분석</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>농업기술실용화재단</li> </ul>
'15년 7월	형식 검사 방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>형식검사 방안 수립                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- OECD</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>국립농업과학원</li> </ul>
'15년 12월	신기술 인증	<ul style="list-style-type: none"> <li>신기술 인증(농림부)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 판가 100% 용자 지원</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>농림축산수산물식품부/환경부</li> </ul>
'16년 12월	무인 모위 인증	<ul style="list-style-type: none"> <li>독자 인증 코드 수립                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- OECD -&gt; 실용화재단</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>농업기술실용화재단</li> </ul>
'16년 3월	정부 보조금 확보	<ul style="list-style-type: none"> <li>농협 임대 사업 적용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 구매 보조금 지원</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>농림축산수산물식품부</li> </ul>

그림 5-2-2 자율주행 잔디모위 사업화 전략

#### 나. 사업화 방안

국내 농업기계 업체 수출의 대부분을 차지하고 있는 북미의 15~25 PS 마력 시장규모는 연간 145,000대 이나 국내 업체의 M/S는 약 1.5%로 미비한 실정으로 원가절감 및 기술 차별화 전략을 통해 M/S확보 계획이다. 자율주행과 생육관리를 통한 변량시비가 가능한 잔디 모위는 국내에서 적용된 사례가 없으나 일본 및 미국 등의 선진국에서는 편의옵션으로 개발 및 적용되고 있어 차별화 기술을 확보하여야 한다. 이에 본 연구 개발품은 자율주행, 정밀농업기술 등이 모듈화 형태로 개발되어 있어 다른 농업기계에 적용이 용이하므로 emd-market 판매를 통한 해외 시장 M/S를 확대하고자 한다. 중국과 같은 저 임금 시장을 통한 추가적인 제품 단가 절감으로 가격 및 제품 경쟁력 또한 강화하고자 한다.

본 연구는 농업기계 생산기업이 참여하는 과제로 개발단계에서부터 양산 및 실용화를 위한 상세도면을 작성하여 부품별 양산체제를 구축하여 제품 판매를 조기에 실시하고자 하였다. 이

에 따라 자율주행형 잔디 모위의 사업화를 위해 국내 환경 적응성 평가 및 모니터링을 위해 시범공급할 예정이며, 국내 시장에서의 제품 안정화를 통해 해외 시장을 공략할 계획이다. 또한 다양한 정밀농업 및 편의기능을 지속적으로 추가 발굴하여 국내의 경쟁력을 확보할 계획이다. 또한 핵심 부품(자율주행, 제어기 등) 및 제품 전체시스템에 대하여 국내 및 해외 특허출원·등록(PCT출원)과 실용신안 출원으로 안정적 국내의 시장 M/S를 확보하고자 한다.

본 연구를 통하여 얻어진 연구시설, 시약품 등 연구개발사업의 유형적 결과물과 지식재산권, 연구보고서의 판권 등 무형적 결과물의 소유는 농림축산식품 연구개발사업 운영규정 제28조의 9에 따르며, 향후 신제품 출시에 따른 기술의 소유는 해당 기관 단독으로 소유하여 양산 및 실용화를 촉진하고자 한다.

#### 다. 경제성 및 가격 경쟁력 제고

본 연구를 통해 개발된 변량시비 모듈, 자율주행 모듈, 변량시비형 자율주행 잔디모위시스템에 대하여 관행 작업 방법과의 비교를 통해 분석하였다.

변량시비 모듈을 기존 잔디모위에 장착하여 사용할 경우 관행 시비방법 대비 연간 작업시간의 변화는 없으나, 비료의 살포 방법의 변화로 비료 사용량과 비용을 약 40%를 절감하였다. 이에 따라 변량 시비 모듈에 대한 투자 회수 기간이 약 2.7년으로 나타나 경제성이 있는 것으로 판단되었다.

구분	시기별 작업시간 (hr/ha)			연간 총 작업시간	인건비 (천원)	비료		인건비+ 비료비용 (천원)	시비기 (천원)	총 투입비 (천원)	비 고
	4~6월	7~8월	9~10월			사용량 (Kg)	사용액 (천원)				
관행 시비	4 (4회)	4 (4회)	3 (3회)	11 (11회)	138	2,200	2,750	<b>2,888</b>	500 (판매가)	<b>3,388</b>	- 영농 규모 1ha/농가 - 200kg/ha·회 - 인건비 기준 12,500원/시간
변량 시비	4 (4회)	4 (4회)	3 (3회)	11 (11회)	138	1,320 (▽ 880)	1,650 (▽ 1,100)	<b>1,788</b> (▽ 1,100)	3,000 (재료비)	<b>4,788</b> (△ 1,400)	- 비료 가액 25,000원/20kg (△ 41%)
						구분		변량시비 모듈*		비 고	
						투자 회수 기간		약 2.7 년		* 기존 승용 모어에 모듈 장착	

그림 5-2-3 관행시비 대비 변량시비 효과 비교

자율주행 모듈을 기존 승용 잔디모위에 장착하여 사용할 경우 유인 잔디모위 대비 연간 작업시간은 단위면적당 작업 속도의 차이로 약 2배 증가하나 인건비를 100% 절감하였다. 이때

자율주행 모듈의 투자회수기간을 보면 약 2.8년으로 경제성이 있는 것으로 나타났다. 자율주행 잔디모위를 사용할 경우 모위 트랙터와 자율주행 모듈의 비용이 고가여서 초기 투입비용이 관행 승용모위에 비해 81% 증가하였다. 그러나 자율주행 잔디모위를 다년간 사용하는 점을 고려할 때 투자 회수 기간이 약 3.9년으로 나타나 경제성이 있는 것으로 판단되었다. 또한 절감된 노동력을 타 작업에 활용함으로써 노동력 절감에 대한 승수효과(multiplier effect)를 기대할 수 있다.

구분	시기별 작업시간 (hr/ha)			연간 총 작업시간	인건비 (천원)	모위 트랙터 (천원)	제어모듈 (천원)	총 투입비 (천원)	비고
	4~6월	7~8월	9~10월						
관행 승용 모위	126 (18회)	140 (20회)	84 (12회)	350 (50회)	4,375	5,000 (판매가)	0	9,375	- 관행 잔디 깎기 7시간/ha·회 - 인건비 기준 12,500원/시간
자율주행 모위	252 (18회)	280 (20회)	168 (12회)	700 (50회)	0 ▽4,375 (▽100%)	10,000 (판매가)	7,000 (재료비)	17,000 (△7,625)	- 영농 규모 1ha/농가 (△ 81%)
구분		자율주행 모듈*		자율주행 모위		비고			
투자 회수 기간		약 2.8 년		약 3.9 년		* 기존 승용 모위에 모듈 장착			

그림 5-2-4 관행 승용 모위 대비 자율주행 모위 효과

변량시비형 자율주행 잔디모위시스템과 기존 승용 유인 잔디모위와 비교한 결과 연간 작업 시간은 약 2배 증가하나, 유인 잔디모위에 비해 인건비 및 비료비용을 77% 절감하였다. 이때 변량시비형 자율주행 잔디모위시스템의 투자회수기간을 보면 약 3.6년으로 경제성이 있는 것으로 나타났다. 그리고 변량시비모듈과 자율주행 모듈을 기존 승용 잔디모위에 장착하여 사용할 경우 유인 잔디모위에 비해 각종 비용을 절감 할 수 있으나 모듈 장착비용 등 제반 비용을 미계상한 것으로 제반 비용 및 호환성을 고려 할 경우 변량시비형 자율주행 잔디모위시스템을 사용하는 것이 경제적일 것으로 판단된다.

구분	시기별 작업시간 (hr/ha)			연간 총 작업시간	인건비 (천원)	모원 트랙터 (천원)	제어모듈 (천원)	총 투입비 (천원)	비고
	4~6월	7~8월	9~10월						
관행 승용 모원	126 (18회)	140 (20회)	84 (12회)	350 (50회)	4,375	5,000 (판매가)	0	9,375	- 관행 잔디 깎기 7시간/ha-회 - 인건비 기준 12,500원/시간
자율주행 모원	252 (18회)	280 (20회)	168 (12회)	700 (50회)	0 ▽4,375 (▽100%)	10,000 (판매가)	7,000 (재료비)	17,000 (△7,625) (△ 81%)	- 영농 규모 1ha/농가
구분		자율주행 모듈*		자율주행 모원		비고			
투자 회수 기간		약 2.8 년		약 3.9 년		* 기존 승용 모원에 모듈 장착			

그림 5-2-5 관행 시비 승용 모원 대비 자율주행 변량시비 자율주행 모원 효과

표 5-2-1 유사 제품 분석 및 가격 경쟁력 비교

구분	스티가(Italy)	구보다	개발 잔디모원	비고	
모델명	ESTATE 6120HW	BX2350	LS EZ-Mower (가칭)	기존 line-up 활용	
스타일링				조작부 편의성 제공	
주요 기능	집초기	집초	N	자동 집초 및 배출	집초기 계측
	자율주행	N	N	Y	DGPS 이용
	생육관리	N	N	Y	머신 비전 이용
	변량처방	N	N	Y	변량시비기 이용
가격 (천원)	본체	8,200	12,700	8,500	
	모원	1,300	1,500	1,500	
	추가옵션	-	-	7,000 3,000	자율주행 모듈 생육관리 및 변량시비 모듈
	합계	9,500	14,200	10,000 ~ 20,000	옵션 개별 장착 가능

## 제 6 장. 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

### 제1절 특허 정보

Keyword		농업 자율주행	자율주행	경로생성
핵심특허 및 관련성	특허명	지피에스를 이용한 트랙터용 비료살포장치	주행이력정보 기반의 차량 자율주행 시스템	자율로봇의 경로계획방법 및 이를 구비한 경로계획장치
	보유국	대한민국	대한민국	대한민국
	출원년도	2008	2010	2010
	관련성(%)	30%	30%	30%
	유사점	GPS 데이터를 이용하여 트랙터 자율주행 수행	계측 데이터를 통한 자율 적으로 주행하는 운송수단	계측 데이터를 통한 자율 적으로 주행하는 운송수단
차이점	비료살포장치를 위한 GPS 데이터를 이용	지형지물 인식을 위한 카메라, 레이더, 초음파 센서 등으로 이루어진 센서부	GPS 이용방식이 아닌 센 서장치가 주변 장애물의 정보를 통해 격자지도를 생성하여 이동 유무 확인	

Keyword		Tractor path planning		
핵심특허 및 관련성	특허명	Method for creating end of row turns for agricultural vehicles	GNSS CONTOUR GUIDANCE PATH SELECTION	System and method for planning the operations of an agricultural machine in a field
	보유국	미국	미국	미국
	등록년도	2007	2010	
	관련성(%)	50%	60%	70%
	유사점	-Use a GPS-based vehicle guidance system and a method for automatically guiding a vehicle	-Use GPS guidance system for trace choice -Automatic steering system for vehicle	-Path planning system and auto-guidance control system for plurality of desired paths.
차이점	-Main of row turn haven't detail about turning type and path plan, still use manually guide the vehicle.	-The guidance system include processor programmed for locking onto a particular aspect of the operation, such as deviating from a pre- planned or original guidance pattern and locking the guidance system onto a new route guide path	-This patent completed the structure the autonomous agricultural machine except the path plan and turn pattern.	

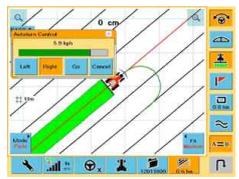
Keyword		Autonomous tractor		
핵심 특허 및 관련성	특허명	Autonomous agriculture platform guidance system	Methods and apparatus for precision agriculture operations utilizing real time kinematic global positioning system systems	AUTOMATIC CULTIVATION METHOD, AND AUTOMATIC CULTIVATION SYSTEM
	보유국	미국	미국	일본
	등록년도	2008	1995	2010
	관련성(%)	50%	60%	70%
	유사점	Use a autonomous guidance system and improving land utilization efficiency	RTK-GPS technology is integrated with precision farming methodologies to provide highly accurate	Automatic cultivation method and tractor continously sensing control system
	차이점	This patent used lidar guide sensor to guidance the vehicle direction and used the cross tracker.	Only for improve the position system without the operation system for agricultural machine.	Use radio signals to control the tractor and need artificial remote operation not in fact autonomously operation by tractor robotize.

## 제2절 논문 정보

핵심 논문 및 관련성	논문명	A Dynamic path search algorithm for tractor automatic navigation	Autonomous path navigation in citrus groves using machine vision and laser lader	Tractor-based Real-time Kinematic-Global Positioning System(RTK-GPS) guidance system for geospatial mapping of row crop transplant
	학술지명	Transaction of the ASAE	ASAE Annual International Meeting	Biosystems engineering
	저자	Zhang외 1명	Subramanian외 1명	Manuel외 3명
	게재년도	2004	2005	2012
	관련성(%)	60%	40%	20%
	유사점	·Apply RTK-GPS ·Tractor automatic operate	·Autonomous vehicle guidance system ·Algorithm for turning pattern	·Tractor field experiments path plan
차이점	·Tractor power and operating speed ·Ahead dynamic path search	·The object is use for citrus not grass ·Use image-guid edsurgery	·Use the tomato transplant ·Crop plant location	

핵심 논문 및 관련성	논문명	Automated rice transplanter with GPS and FOG	An optimal operation path of agricultural field machines	Turning function for robot tractor based on spline function
	학술지명	Automation Technology for Off-Road Equipment	ASAE/CSAE-SCGR Annual International Meeting	ASAE Annual International Meeting
	저자	Nagasaka외 2명	Chung외 2명	Noguchi외 3명
	게재년도	2002	1999	2001
	관련성(%)	40%	80%	60%
	유사점	·Use C type turning pattern ·Use a FOG sensor	·Optimize of operation path of agricultural field machinery	·Turning function for autonomous tractor. · Path creation algorithm
	차이점	·Object for rice transplanter ·Control system only use motor controller.	·Only for algorithm not about GPS connect and automatic control	·Spline functions

### 제3절 제품 및 시장조사 정보

제품	주요 기능
 <p>&lt;GPS Pilot S3&gt;</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Auto Turn - automated headland turns</li> <li>○ Proportional technology for faster steering performance and track finding</li> <li>○ Wheel angle sensor for high precision parallel tracking</li> <li>○ Retrofit for almost all standard tractors</li> </ul>
 <p>&lt;GPS Pilot S3 - Auto Turn&gt;</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○Autonomous headland turn</li> <li>○Highly accurate line acquisition of the next track <ul style="list-style-type: none"> <li>○ no gaps or overlapping</li> <li>○ exact turn in onto next track especially in row crop application</li> </ul> </li> <li>○Selection and definition of the next track <ul style="list-style-type: none"> <li>○ to the right or left</li> <li>○ into the 1st or 2nd or 3rd or ...</li> </ul> </li> <li>○Display of the turning sequence</li> </ul>
 <p>&lt;Outback STS&gt;</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○Electronically integrated Outback Steering Guide(TM), <ul style="list-style-type: none"> <li>-Outback Sts uses GPS data and specific job details to provide real-time data and precision guidance.</li> </ul> </li> <li>○Solution offers various guidance patterns and ability to set/adjust guidance lines.</li> <li>○Recording job-specific notes - can be stored on internal memory or transferred via USB port</li> </ul>

제품	주요 기능
 <p data-bbox="274 470 422 504">&lt;CFX-750&gt;</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○Guidance and Mapping <ul style="list-style-type: none"> <li>-Coverage, point, line, and area mapping</li> <li>-Manual guidance for a number of field patterns, or add hands-free guidance with the EZ-Steer®, EZ-Pilot™, or Autopilot™ steering systems</li> </ul> </li> <li>○Information Exchange and Farm Software <ul style="list-style-type: none"> <li>-Wireless data transfer between vehicles in the field or from the field to the office with Connected Farm™</li> <li>-Data analysis with Farm Works Software®</li> </ul> </li> </ul>
 <p data-bbox="231 817 470 884">&lt;ARAG SKIPPER GPS&gt;</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○Driving mode - parallel, contour and curved parallel</li> <li>○Area can be measured by driving perimeter</li> <li>○Tracks and covered area are displayed continuously, cursor indicates position relative to track position.</li> <li>○Displays multiple data including speed, area sprayed, calculated area of field, elapsed time, productivity, perimeter, date, time, direction, GPS signal strength, track number, target rate, available memory.</li> <li>○Displayable GPS data: latitude, longitude, No of satellites, index of signal degradation (HDOP) last DGPS correction time and availability.</li> <li>○Complete job overview - zooming in and out to display completed and untreated areas of field.</li> </ul>
 <p data-bbox="231 1265 470 1332">&lt;C-Farmnavigator &gt;</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○When entering a field to commence work, the field can be measured on first drive around perimeter of the field and area size indicated. Contour, parallel, or irregular contour guidance can be selected.</li> <li>○Farmnavigator also incorporates virtual spray boom commander which gives a visual indication when to turn off spray boom sections, if overlapping, for greater savings with pesticides.</li> <li>○Worked field area, field size &amp; current speed clearly displayed on field view screen.</li> <li>○Arrow guidance indicates in which direction steering should be corrected.</li> <li>○Field File indicating total area of field, worked area, max speed, duration of work and any overlapped area can be downloaded and evaluated on Google Earth.</li> <li>○The Farmnavigator with John Deere Starfire 300 antenna gives a typical accuracy in field of 30-40cm.</li> </ul>

## 제7장 연구시설장비 현황

- 도입·개발한 연구시설·장비 및 국가과학기술종합정보시스템 장비 없음.

## 제8장 참고문헌

1. Adamchuk, V.I.; Rossel, R.A.V.; Sudduth, K.A.; Lammers, P.S. Sensor Fusion for Precision Agriculture. In *Sensor Fusion-Foundation and Applications*; Thomas, C., Ed.; In-Tech.: Rijeka, Croatia, 2011; pp. 27-40.
2. Ahmed, F., Hawlader Abdullah Al-Mamun, A. S. M. Hossain Bari, Emam Hossain, Paul Kwan. 2012. Classification of crops and weeds from digital images: A support vector machine approach. *Crop Protection* 40:98-104.
3. Ashraf, M.A., Torisu. R., and Takeda, J. (2002). Autonomous traveling of off-road vehicles along rectangular path on slope terrain. *Automation Technology for Off-Road Equipment Proceeding of the July 26-27 Conference*, 412-421. Chicago, Illinois, USA.
4. Barawid, O. C. Jr., Mizushima, A., Ishii, K., and Noguchi, N. (2007). Development of an autonomous navigation system using two-dimensional laser scanner in an orchard application. *Biosystems Engineering*, 96(2), 139-149.
5. Bremer, D. J., H. Lee, K. Su, and S. J. Keeley, 2011. Relationships between NDVI and visual quality in cool-season turfgrass: I. Variation among species and cultivars. *Crop Sci.* 51(5):2212-2218.
6. Bremer, D. J., H. Lee, K. Su, and S. J. Keeley, 2011. Relationships between NDVI and visual quality in cool-season turfgrass: II. Factors Affecting NDVI and its Component Reflectances. *Crop Sci.* 51(5):2219-2227.
7. Burgos-Artizzu, X. P., Angela Ribeiro, Maria Guijarro, Gonzalo Pajares. 2011. Real-time image processing for crop/weed discrimination in maize fields. *Computers and Electronics in Agriculture* 75:337-346.
8. Burgos-Artizzu, X.P.; Ribeiro, A.; Tellaeché, A.; Pajares, G.; Fernández-Quintanilla, C. Improving weed pressure assessment using digital images from an experience-based reasoning approach. *Comput. Electron. Agric.* 2009, 65, 176-185.
9. Chou, C., Wen-Hsiung Lin, Fu Chang. 2010. A binarization method with learning-built rules for document images produced by cameras. *Pattern Recognition* 43:1518-1530.
10. Chung, S.O., Chang, Y.C., and Kim, S.C. (1999). An optimal operation path of agricultural field machines. *ASAE/CSAE-SCGR Annual International Meeting*. Paper NO. 991105.

Toronto, Ontario Canada.

11. Cointault, F., Sarrazin, P., & Paindavoine, M. (2003). Measurement of the motion of fertilizer particles leaving a centrifugal spreader using a fast imaging system. *Precision Agric.*, 4(3), 279-295.
12. Dworak, V., J. Selbeck, K. Dammer, M. Hoffmann, A. A. Zarezadeh, and C. Bobda. 2013. Strategy for the Development of a Smart NDVI Camera System for Outdoor Plant Detection and Agricultural Embedded Systems. *Journal of Sensors* 13(2):1523-1538.
13. Escola, A., Planas S, Rosell JR et al. (2011) Performance of an ultrasonic ranging sensor in apple tree canopies. *Sensors* 11, 2459-2477.
14. Fricke, T.; Richter, F.; Wachendorf, M. Assessment of forage mass from grassland swards by height measurement using an ultrasonic sensor. *Comput. Electron. Agric.* 2011, 79, 142-152.
15. Garcia-Ramos, F. J., Bone, A., Serreta, A., & Vidal, M. (2012). Application of a 3-D laser scanner for characterizing centrifugal fertilizer spreaders. *Biosystems Eng.*, 113(1), 33-41.
16. Gerhards, R.; Oebel, H. Practical experiences with a system for site-specific weed control in arable crops using real-time image analysis and GPS-controlled patch spraying. *Weed Res.* 2006, 46, 185-193.
17. Gerrish, J.B., Fehr, B.W., Van Ee, G.R., and Welch, D.P. (1997). Self-steering tractor guided by computer-vision. *Applied Engineering in Agriculture*, 13(5), 559-563.
18. Ghali, I. E., G. L. Miller, G. L. Grabow and R. L. Huffman. 2012. Using variability within digital images to improve tall fescue color characterization. *Journal of Crop Science* 52(5):2365-2374.
19. Grift, T. E., & Hofstee, J. W. (2002). Testing online spread pattern determination sensor on a broadcast fertilizer spreader. *Trans. ASAE*, 45(3), 561-567.
20. Guerrero, J. M., G. Pajares, M. Montalvo, J. Romeo, M. Guijarro. 2012. Support Vector Machines for crop/weeds identification in maize fields. *Expert Systems with Applications* 39:11149-11155.
21. Guerrero, J. M., M. Guijarro, M. Montalvo, J. Romeo, L. Emmic, A. Ribeiro, G. Pajares. 2013. Automatic expert system based on images for accuracy crop row detection in maize fields. *Expert Systems with Applications* 40:656-664.

22. Guijarro, M., G. Pajares, I. Riomoros, P. J. Herrera, X. P. Burgos-Artizzu, A. Ribeiro. 2011. Automatic segmentation of relevant textures in agricultural images. *Computers and Electronics in Agriculture* 75:75-83.
23. Guo, L. 2003. Development of a low-cost navigation system for autonomous off-road vehicles. Unpublished PhD diss. Urbana, Ill.: University of Illinois at Urbana-Champaign, Department of Agricultural Engineering.
24. Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2010). *Principles of Physics* (9th ed.). New York, N.Y.: John Wiley and Sons.
25. Han, S., Zhang, Q., and Noh, H. (2002). Kalman filtering of DGPS positions for a parallel tracking application. *Transactions of the ASAE*, 45(3), 553-559.
26. Hemming, J.; Rath, T. Computer-vision-based weed identification under field conditions using controlled lighting. *J. Agric. Eng. Res.* 2001, 78, 233-243.
27. Hess, M.; Barralis, G.; Bleiholder, H.; Buhr, L.; Eggers, T.; Hack, H.; Stauss, R. Use of the extended BBCH scale-general for the descriptions of the growth stages of mono- and dicotyledonous weed species. *Weed Res.* 1997, 37, 433-441.
28. Jan U. H. Eitel, Lee A. Vierling, Dan S. Long, E. Raymond Hunt. 2011. Early season remote sensing of wheat nitrogen status using a green scanning laser. *Agricultural and Forest Meteorology* 151:1338-1345.
29. Karcher, D. E., and M. D. Richardson. 2003. Quantifying turfgrass color using digital image analysis. *Crop Sci.* 43:943-951.
30. Karcher, D. E., and M. D. Richardson. 2005. Batch analysis of digital images to evaluate turfgrass characteristics. *Crop Sci.* 45:1536-1539.
31. Kenkel, N.C.; Derksen, D.A.; Thomas, A.G.; Watson, P.R. Review: Multivariate analysis in weed science research. *Weed Sci.* 2002, 50, 281-292.
32. Kise M., Noguchi, N., Ishii, K. and Terao, H., (2001), Development of the agricultural tractor with an RTK-GPS and FOG. In Proc. Fourth IFAC symposium on intelligent autonomous vehicle, 103-108. Sapporo, Japan, 5-7 September.
33. Kise, M. (2003), Development of General-Purpose Robot Tractor, *Memoirs of the Graduate School of Agriculture Hokkaido University*, 25(1), 1-60

34. Kise, M., Noguchi, N., Ishii, K. and Terao, H. (2002). Enhancement of turning accuracy by path planning for robot tractor. Automation Technology for Off-Road Equipment, Proceeding of the July 26-27 Conference, 298-404. Chicago, Illinois, USA.
35. Lawrence, H. G., Yule, I. J., & Goetzee, M. G. (2007). Development of an image-processing method to assess spreader performance. Trans. ASABE, 50(2), 397-407.
36. Lee, H., D. J. Bremer, K. Su, and S. J. Keeley, 2011. Relationships between Normalized Difference Vegetation Index and Visual Quality in Turfgrasses: Effects of Mowing Height. Crop Sci. 51(5):323-332.
37. Meyer, G., Neto, J., 2008. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. Comput. Electron. Agr. 63, 282-293.
38. Montalvo, M., J. M. Guerrero, J. Romeo, L. Emmi, M. Guijarro, G. Pajares. 2013. Automatic expert system for weeds/crops identification in images from maize fields. Expert Systems with Applications 40:75-82.
39. Morris, K. N. 2002. A guide to NTEP turfgrass ratings. National Turfgrass Evaluation Program (NTEP), Beltsville, MD. <http://www.ntep.org/reports/ratings.htm> (accessed 13 Oct. 2011).
40. Morris, K. N. 2002. A guide to NTEP turfgrass ratings. National Turfgrass Evaluation Program (NTEP), Beltsville, MD. <http://www.ntep.org/reports/ratings.htm> (accessed 13 Oct. 2011).
41. Morris, K. N., and R. C. Shearman. 2002. NTEP Turfgrass Evaluation Guidelines. National Turfgrass Evaluation Program (NTEP), Beltsville, MD.
42. Nagasaka, Y., Umeda, N., and Kanetai, T. (2002). Automated rice transplanter with GPS and FOG. Automation Technology for Off-Road Equipment, 190-195.
43. Nagasaka, Y., Umeda, N., Kanetai, Y., Taniwaki, K., and Sasaki, Y. (2004). Autonomous guidance for rice transplanting using global positioning and gyroscopes. Computers and Electronics in Agriculture, 43(3): 223-234.
44. Narra, S., T. W. Fermanian, and T. B. Voigt. 2009. A MACHINE VISION APPROACH TO OBJECTIVE TURFGRASS TEXTURE EVALUATION. Journal of International Turfgrass Society Research. 11:437-448.

45. Nixon, M.S.; Aguado, A.S. Feature Extraction and Image Processing, 1st ed.; Newnes: Oxford, UK, 2002.
46. Noguchi N. and Terao, H. (1997). Path planning of an agricultural mobile robot by neural network and genetic algorithm. *Computer and Electronics in Agriculture*, 18, 187-204.
47. Noguchi, N., Ishii, K., and Terao, H. (1997). Development of an agricultural mobile robot using a geomagnetic direction sensor and image sensors. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 67, 1-15.
48. Noguchi, N., John, F., Qin, Z., and Jeffrey, D. (2001). Turning function for robot tractor based on spline function. *ASAE Annual International Meeting*, 01-1196. Sacramento, CA, USA.
49. Qiu, H., and Q. Zhang, 2003. F-PID control for agricultural vehicles with electrohydraulic steering systems. *J.Automobile Eng.* 217(5): 375-382.
50. Richardson, M. D., D. E. Karcher, and L. C. Purcell. 2001. Quantifying turfgrass cover using digital image analysis. *Crop Sci.* 41:1884-1888.
51. Sakamoto, T., A.A. Gitelson, B.D. Wardlow, T.J. Arkebauer, S.B. Verma, A.E. Suyker, and M. Sibayama. 2012. Application of day and night digital photographs for estimating maize biophysical characteristics. *Precision Agriculture* 13:285-301.
52. Seo, I.W. (2010). Working path formation system for autonomous traveling tractor. Doctoral Dissertation. Chungnam National University, Daejeon, South Korea.
53. Shibayama M, Aliyama T & Munakata (1985) A portable field ultrasonic sensor for crop canopy characterization. *Remote Sensing of Environment* 18, 269-279.
54. Subramanian, V. and Burks, T.F. (2005). Autonomous path navigation in citrus groves using machine vision and laser lader. *ASAE Annual International Meeting*, 05-1142. Tampa, FL, USA.
55. Taghvaeian, S., J. L. Chaez, M. J. Hattendorf and M. A. Crookston, 2013. Optical and Thermal Remote Sensing of Turfgrass Quality, Water Stress, and Water Use under Different Soil and Irrigation Treatments. *Journal of Remote Sensing* 2013(5):2327-2347.
56. Tellaeché, A., Burgos-Artizzu, X.P., Pajares, G., Ribeiro, A., 2008a. A new vision-based approach to differential spraying in precision agriculture. *Comput. Electron. Agr.* (60) 144-

155.

57. Tellaeché, A., Burgos-Artizzu, X.P., Pajares, G., Ribeiro, A., 2008b. A vision-based method for weeds identification through the bayesian decision theory. *Pattern Recognit.* 41, 521-530.
58. Tellaeché, A., Gonzalo Pajares, Xavier P. Burgos-Artizzu, Angela Ribeiro. 2011. A computer vision approach for weeds identification through Support Vector Machines. *Applied Soft Computing* 11:908-915.
59. Tola, E., Kataoka, T., Burce, M., Okamoto, H., & Hata, S. (2008). Granular fertiliser application rate control system with integrated output volume measurement. *Biosystems Eng.*, 101(4), 411-416.
60. Van Evert, F.K., Van Der Heijden, G., Lotz, L., Polder, G., Lamaker, A., De Jong, A., Kuyper, M., Groendijk, E., Neeteson, J., Van Der Zalm, T., 2006. A mobile field robot with vision-based detection of volunteer potato plants in a corn crop. *Weed Technol.* 20, 853-861.
61. Weiss, U., Peter Biber. 2011. Plant detection and mapping for agricultural robots using a 3D LIDAR sensor. *Robotics and Autonomous Systems* 59:265-273.
62. Woebbecke, D., Meyer, G., VonBargen, K., Mortensen, D., 1995. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Trans. ASAE* 38 (1), 271-281.
63. Yuan, J., Liu, C., Li, Y., Zeng, Q., & Zha, X. F. (2010). Gaussian processes based bivariate control parameters optimization of variable-rate granular fertilizer applicator. *Comp. Electr. Agric.*, 70(1), 33-41.
64. Yukumoto, O., Matsuo, Y., Noguchi, N., and Suzuki, M. (1998). Development of tilling robot (part 1). *Journal of Japanese Society for Agricultural Machinery*, 60(3), 37-44.
65. Yukumoto, O., Matsuo, Y., Noguchi, N., and Suzuki, M. (1998). Development of tilling robot (part 3). *Journal of Japanese Society for Agricultural Machinery*, 60(5), 53-61.
66. Zaman, Q.U.; Esau, T.J.; Schumann, A.W.; Percival, D.C.; Chang, Y.K.; Read, S.M.; Farooque, A.A. Development of prototype automated variable rate sprayer for real-time spot-application of agrochemicals in wild blueberry fields. *Comput. Electron. Agric.* 2011, 76, 175-182.

67. Zhang, Q. and Qui, H. A. (2004). Dynamic path search algorithm for tractor automatic navigation. *Transaction of the ASAE*, 47(2), 639-646.
68. Zhang, R., Zhao, C., Wang, X., Meng, Z., Chen, L., & Ma, W. (2012). A variable-rate fertilizer control system for disc fertilizer spreaders. *Intelligent Automation and Soft Computing*, 18(5), 461-467.
69. Zheng, L., D. Shi, J. Zhang. 2010. Segmentation of green vegetation of crop canopy images based on mean shift and Fisher linear discriminant. *Pattern Recognition Letters* 31:920-925.

## 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.