

발간등록번호

11-1541000-001371-01

보안과제( ), 일반과제( ○ ) 과제번호 109042-03-3-SB010

트랙터의 에너지 효율 및 편의성 향상을 위한  
자동화 수동변속 시스템 개발

(Development of Automated Manual Transmission for  
Improvement of Tractor's Energy Efficiency and Convenience)

LS엠트론

농림수산식품부

# 제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “트랙터의 에너지 효율 및 편의성 향상을 위한 자동화 수동변속 시스템 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2012 년 4 월 8 일

주관연구기관명 : LS엠트론

주관연구책임자 : 김 용 주

세부연구책임자 : 유 성 철

협동연구기관명 : 성균관대학교

협동연구책임자 : 최 창 현

# 요 약 문

## I. 제 목

트랙터의 에너지 효율 및 편의성 향상을 위한 자동화 수동변속 시스템 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

국내 농업분야는 농기계 구입자금 융자지원 등의 정부 사업에 의해 농업기계화가 활발히 이루어짐에 따라 1998년 이후 95% 이상의 기계화율을 나타낸다. 특히 트랙터는 2010년 243,531대로 전체 농업기계의 86%의 높은 사용 비율을 차지하며, 그 사용량이 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 그러나 연료 소비량이 연간 345,000 kL로 전체 농업기계의 연료 소비량에 48.5%의 높은 비율을 차지하고 있어 트랙터의 에너지 효율에 연구가 필요한 실정이다.

농업용 트랙터에서는 대부분 기계식 변속방식인 수동 변속기와 유압식 무단변속기 등의 자동 변속기가 사용되고 있다. 수동 변속기는 자동변속기에 비해 효율이 높고 가격이 저렴한 장점이 있으나 작업자가 변속 시점을 감지하여 변속작업과 동시에 클러치 해지 및 연결을 번갈아 작동해야하는 단점이 있다. 반면 자동변속기는 전후진 자동(power shuttle) 혹은 무단변속(Hydro Static Transmissio, HST)이 가능한 장점이 있으나, 유체 토크컨버터를 장착하여 동력을 전달하므로 동력전달 손실을 발생하고 가격이 비싸며 연비가 나쁘다는 단점이 있다.

자동화수동변속기(Automated Manual Transmission, AMT)는 클러치를 통하여 동력을 전달하는 수동변속기에 별도의 액추에이터를 장착하여 자동 변속하는 시스템으로 기계식 변속기의 고효율성과 자동변속기의 편의성을 동시에 확보할 수 있다는 장점이 있다(Choi et al., 2010). 자동화수동변속기는 벤츠, 볼보, 도요타 등의 선진 자동차 업체를 중심으로 이미 개발되어(Han et al., 2005) 변속감보다 연비를 중요시하는 상용차에서는 적용되고 있으나, 상대적으로 상용차보다 열악한 주행 환경과 잦은 변속을 갖는 농업기계에는 적용된 사례가 보고된 적이 없다.

이에 본 연구는 농작업의 효율 및 작업 편의성 향상을 위해 고효율/고편의성을 동시에 확보할 수 있는 자동화변속 시스템을 개발하여 트랙터에 적용하는 것을 목적으로 수행하였으며 주요 연구 목적은 다음과 같다.

- 1) 고효율 자동화 수동변속기 요소부품 및 시스템 개발
- 2) 인간공학 기반의 트랙터 변속레버 개발
- 3) 자동화 수동변속기의 고장진단 알고리즘 및 시스템 개발

### Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

추진 년도	고효율 자동화 수동변속기 요소부품 및 시스템 개발	인간공학 기반의 트랙터 변속레버 개발	자동화 수동변속기의 고장진단 알고리즘 및 시스템 개발
1차 년도	자동화 수동변속기의 설계 및 요소부품 개발		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>-저비용/고효율 액추에이터의 설계 및 개발</li> <li>-요소부품의 내구성 평가를 위한 AMT 실내시험장치 설계 및 제작</li> <li>-자동화 수동변속 시스템의 제어를 위한 TCU 설계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-변속레버의 편의성 평가 지표 및 방법 개발</li> <li>- 트랙터 포장작업에 따른 변속 기본동작 분석</li> <li>- 변속레버의 최적 위치 시뮬레이션</li> <li>- 인간공학 기반의 트랙터 변속레버의 3D 디자인</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-작업상태 진단을 위한 CAN 기반 고장진단 시스템 설계</li> <li>-고장진단 센서의 신호처리를 위한 인터페이스 개발</li> <li>-고장진단 시스템 제어를 위한 임베디드 장치 개발</li> <li>-AMT 요소부품의 성능평가를 통한 고장진단</li> </ul>
2차 년도	자동화 수동변속기 개발 및 시스템 통합을 통한 트랙터 적용		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>-AMT 파워트레인 시제품 제작 및 레이아웃 설계</li> <li>-클러치와 변속부 구동을 위한 제어 알고리즘 및 프로그램 개발</li> <li>-AMT 파워트레인의 제어성능 측정 및 분석</li> <li>-TCU 시제품 설계 및 개발</li> <li>-개발된 액추에이터와 TCU 컨트롤러 간의 내환경성 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-시뮬레이션을 통한 변속레버의 최적 설계 및 시제품 개발</li> <li>-변속레버의 트랙터 적용 및 3D 디자인 설계</li> <li>-변속 레버의 인간공학적 편의성 비교 및 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-고장진단 시스템의 시제품 개발 및 트랙터 적용</li> <li>-고장진단 시스템의 신호처리 알고리즘 개발</li> <li>-파워트레인의 고장진단 알고리즘 개발</li> <li>-고장진단 시스템의 신호측정 및 분석</li> </ul>
3차 년도	포장실험을 통한 자동화 수동변속 시스템의 성능평가 및 실용화 연구		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>-포장작업을 통한 AMT 파워트레인의 내구성 평가</li> <li>-AMT 파워트레인의 작업 효율 및 에너지 절감효과 분석</li> <li>-AMT 파워트레인의 실용화 기술 개발 및 양산을 위한 상세 설계</li> <li>-TCU의 실용화 기술 개발 및 회로 보완</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-포장작업을 통해 개발된 변속레버의 내구성 및 편의성 평가</li> <li>-성능 평가 자료를 이용한 변속레버의 보완 및 성능 개선</li> <li>-트랙터 변속레버의 실용화를 위한 디자인의 상세 설계를 위한 디자인의 상세 설계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-AMT 파워트레인의 실용화를 위한 고장진단 기준 작성</li> <li>-포장실험을 통한 AMT 파워트레인의 고장진단 성능 분석</li> <li>-고장진단 및 예방을 위한 사용자 영역의 고장 조치 방법 제시</li> <li>-고장진단 계기판 및 휴대용 고장진단기 개발</li> </ul>
트랙터의 에너지 효율 및 편의성 향상을 위한 자동화 수동변속 시스템 개발			

#### IV. 연구개발결과 및 활용계획

##### 1. 트랙터 자동화 수동변속 시스템 개발 프로세스

농업인의 작업 편의성과 에너지 효율 증대에 따른 경제적 부담을 감소하기 위해 자동화 수동 변속 시스템의 트랙터 적용 기술을 개발 방향으로 설정하였다. 트랙터 자동화 수동변속 시스템은 저비용·고효율의 요소 부품 설계, 실내시험장치를 통한 내구성 평가를 통한 자동화 수동변속기의 요소 부품의 개발과 자동화 수동변속기 시제품 개발 및 트랙터 적용, 자동화 수동변속 시스템의 성능 평가 및 실용화 연구의 과정으로 개발되었다. 인간공학 기반의 트랙터 변속 레버는 변속레버의 최적 위치 시뮬레이션과 3D 디자인을 통한 설계를 수행하고 편의성 분석을 통해 시제품을 개발한 뒤 내구성 및 편의성의 성능평가와 실용화를 위한 상세 설계의 과정을 통해 개발되었다. 자동화 수동변속기의 고장진단 시스템 개발은 자동화 수동변속기의 고장진단을 위한 CAN 설계 및 개발, 고장진단 시스템의 알고리즘 개발 및 신호 분석을 통한 고장진단 시스템 개발, 고장진단 기준 작성 및 사용자 영역의 고장 조치 방법 제시를 통한 자동화 수동 변속기의 실용화를 위한 고장진단 기술 개발의 과정으로 수행되었다.

##### 2. 고효율 자동화 수동변속기 요소부품 및 시스템 개발

자동화 수동변속기(Automated Manual Transmission, AMT)의 시제품 개발을 위해 개발 적용 대상 트랙터의 사양에 맞는 클러치 액추에이터, 전후진 액추에이터, 주변속 액추에이터, 부 변속 액추에이터를 설계하고 개발하였다. 여기에 개발된 AMT 핵심요소인 액추에이터를 실내 시험장치를 이용하여 성능평가가 가능하도록 하였다. 실내 시험장치는 성균관대학교에 설치되었으며 농업용 트랙터의 파워트레인, 트랙터 엔진을 대신할 모터, 모터의 속도제어를 위한 3상 인버터, 전후진 및 클러치 액추에이터, 데이터 입출력 모듈로 구성되었다. 각 액추에이터의 제어는 액추에이터 내의 포텐시오미터와 모터의 회전수, 변속기 회전수를 측정하여 수행하였다.

성능평가가 수행된 액추에이터를 기반으로 자동화 수동변속 시스템에 적용될 파워트레인을 설계하고 구성요소를 개발하였다. 파워트레인의 전체적인 레이아웃은 기존 트랙터 내 파워트레인의 변경을 최소화하며 ADD-ON 방식으로 장착하는 것을 목적으로 하여 개발되었다. AMT 트랙터에 적용될 파워트레인의 성능평가는 개발된 실내시험장치를 이용하여 실시하였으며 목표 제어성능을 모두 만족하였다.

AMT 시스템의 핵심요소인 액추에이터의 구동을 위한 제어 알고리즘을 설계하고 이를 기반으로 시뮬레이션 프로그램을 개발하여 설계된 파워트레인의 제어성능을 측정하고 분석하였다. 또한 자동화수동변속기의 파워트레인 제어를 위해 TCU (transmission control unit) 시제품을 설계하고 개발하였으며, TCU 컨트롤러의 내환경성 평가는 과도전압시험, 과전압시험, 내수성

시험, 내진성 시험, 온도 시험, 통상전원전 시험을 통해 실시하였다.

자동화수동변속기의 실용화 및 제품화를 위해 클러치, 전후진, 주변속 및 부변속 액추에이터를 실제 트랙터에 각각 장착하였고 전체 통합 시스템을 구축하였다. 또한 변속 최적화를 위해 포장작업 시험을 이용하여 TCU의 제어 성능을 분석하고 TCU 회로에 대한 보안을 실시하였다. 자동화수동변속기의 핵심부품 및 전체 시스템에 대해 내구성 평가를 실시하였으며 트랙터 포장 작업의 효율 및 에너지 절감 효과를 동급마력대의 다른 트랙터 제품과 비교, 분석한 결과 상대적으로 작업 효율 및 에너지 절감 효과가 높게 나타났다.

### 3. 인간공학 기반의 트랙터 변속레버 개발

변속레버는 조작성, 시계성, 접근성의 인간공학기준에 따라 평가 후 최적 설계하였으며, 조작성 평가결과 ISO기준을 이용하였으며 시계성은 유효시야 영역 내에 들어가 시계가 확보되는 정도를 정량적으로 분석하였다. 또한 접근성은 인체의 불편도 함수를 이용하여 변속레버의 길이 및 위치에 대한 최적화 시뮬레이션을 수행을 통해 평가하였다.

인간공학적 변속레버 개발을 위해 기존 상용 자동변속 차량의 레버, AMT 차량의 레버, 타사 트랙터의 변속레버를 비교·분석 하였으며 자동화수동변속 시스템에 적합하도록 각 레버의 장점들을 취합하여 전후진, 주변속, 부변속이 포함된 통합레버 형태로 제작하였다. 개발 시 시제품에 대해 결정된 사양에 맞춰 인간공학적 디자인 설계를 수행하였으며 설계도면에 따라 하드 Mock-up을 제작하여 동작 구현과 미비한 부분에 대한 보완사항을 평가하였다. 변속레버의 검증에 위해 인간공학적 기준에 따라 평가를 실시하였으며 조작성 평가 결과 ISO기준을 모두 만족하였고 시계성 평가결과는 유효시야 영역 내로 기준치를 만족하였으며 평가점수가 기준에 비해 상당히 향상됨을 알 수 있었다. 변속레버의 실용화를 위해 트랙터에 장착하여 내구성 및 편의성을 평가하였으며 실제 트랙터 캐빈의 내부 공간 제약 및 기존 콘솔과의 상호 연관성을 고려하고, 고장으로 인한 정비 및 수리가 용이하도록 개발된 변속레버의 추가적인 설계 보완 및 최적 배치를 수행하였다.

### 4. 자동화 수동변속기 고장진단 알고리즘 및 시스템 개발

트랙터의 주요 고장진단 부위를 선정하여 각각에 적합한 고장진단 센서를 장착하였으며 신호 측정을 위한 I/O 인터페이스 및 FPGA (Field Programmable Gate Array)와 RT (Real Time) 모듈을 이용하여 자동화 수동변속기 파워트레인의 고장진단 시스템 및 실시간 고장진단이 가능한 고장진단 모니터링 프로그램을 개발하였다. 또한 트랙터 적용이 가능한 고장진단기를 PC, 단말기의 두 가지 형태로 개발하였으며 이를 통해 안전사고 예방 및 고장 발생 후 조치가 용이하도록 하였다.

고장진단을 위한 신호처리 알고리즘 개발을 위해 이동평균 필터, 웨이블릿 필터, 칼만 필터, 적응 필터의 잡음제거 성능을 트랙터의 주행 속도에 따른 신호대잡음비를 비교하여 평가하였다. 신호처리 알고리즘 개발 후 파워트레인의 고장진단 알고리즘을 개발하였으며 이는 고장진단 항목을 선정하고 수동/자동 진단 항목으로 분류한 후 각각에 대해 고장 원인과 현상에 따른 진단 방법을 개발하였다. 개발된 고장진단 알고리즘을 고장진단 시스템 회로에 추가 적용하고 이를 이용하여 고장진단 항목의 신호를 측정하고 분석하였다.

AMT 파워트레인의 실용화를 위해 요소 부품인 클러치 액추에이터, 클러치 액추에이터 포텐시오미터, 전후진 액추에이터, 전후진 액추에이터 포텐시오미터, 전자 브레이크, 엔진 회전수 측정 센서, 변속기 회전수 측정 센서에 대한 고장진단 기준을 작성하고 포장실험 중 발생한 파워트레인의 고장의 원인을 분석하여 조치 방법을 제시하였다. 또한 계기판의 고장진단 표시창, 휴대용 고장진단기를 개발하여 사용자가 고장의 원인 파악 및 조치가 용이하도록 하였다.

## V. 연구 성과

### 1. 지적재산권

- 본 연구개발은 개발 기술의 권리 확보 및 보호가 중요하므로 국내외 특허 출원을 우선적으로 실시하였음
- 출원된 특허는 현재 등록 진행중임.

구분	특허				논문				인력양성	
	출원		등록		SCI		비SCI		석사	박사
	국내	해외	국내	해외	국내	해외	국내	해외		
목표	3	-	2	-	2	-	9	-	-	-
실적	7	3	-	-	1(1)*	-	9	1	1	-

\*4월 중 특허 등록 후 투고예정임

#### 가. 전문학술지

- 논문명 : 트랙터 전후진 자동 변속을 위한 전자식 액추에이터의 위치 제어 시스템 개발  
 저 자 : 최창현, 우미나, 이대현, 김용주, 정진희  
 학 술 지 : 바이오시스템공학 (학진등재)  
 발행년도 : 2010, 35(4)

- 논문명 : Development of Automated Manual Transmission of Agricultural  
 저 자 : 김용주, 최창현, 이대현  
 학 술 지 : American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE)  
 발행년도 : 2012 7월 게재

#### 나. 학술대회

- 논문명 : Performace of Noise Reduction Algorithm for Development of Failure Monitoring System.  
 저 자 : 김용주, 김상현, 김현명, 이상현, 최정용, 최철환, 정진희, 이대현  
 학 술 지 : International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering (ISMAB) 2010

- 논문명 : 트랙터 변속 충격 측정 시스템 개발  
 저자 : 김용주, 이상헌, 최철환, 김현명, 김상현, 최정웅, 정진희, 최창현, 우미나  
 학술지 : 한국농업기계학회 2009 하계학술대회 논문집 14(2):67-73
- 논문명 : 트랙터 전후진 변속 제어를 위한 전동식 액추에이터 개발  
 저자 : 김용주, 이상헌, 최철환, 김상현, 최정웅, 정진희, 김진영, 이대현, 최창현  
 학술지 : 한국농업기계학회 2010 동계학술대회 논문집 15(1):91-97
- 논문명 : 트랙터 기계식 변속기의 자동화를 위한 전자식 액추에이터의 위치 제어 시뮬레이션 개발  
 저자 : 우미나, 최창현, 김용주, 이상헌, 김수철, 김현명, 최철환, 정진희  
 학술지 : 한국농업기계학회 2010 하계학술대회 논문집 15(2):103-111
- 논문명 : 클러치 액추에이터의 위치제어 시스템 개발  
 저자 : 최창현, 박진감, 윤현웅, 김용주, 이상헌, 김수철, 정상철  
 학술지 : 한국농업기계학회 2011 동계학술대회 논문집 16(1):145-150
- 논문명 : 전자식 액추에이터를 이용한 클러치 자동 제어 시스템 개발  
 저자 : 우미나, 이대현, 최창현, 김용주, 최철환, 김현명, 최정웅, 김상현  
 학술지 : 한국농업기계학회 2011 동계학술대회 논문집 16(1):151-157
- 논문명 : 자동화수동변속기의 변속시간에 따른 진동신호 분석  
 저자 : 윤현웅, 박진감, 최창현, 김용주, 이대현  
 학술지 : 한국농업기계학회 2011 하계학술대회 논문집 16(2):135-138
- 논문명 : 트랙터 센서 시스템의 잡음제거 알고리즘 개발  
 저자 : 윤현웅, 박진감, 최창현, 김용주, 이대현  
 학술지 : 한국농업기계학회 2012 동계학술대회 논문집 17(1):171-176
- 논문명 : 트랙터 자동화수동변속기의 변속시간에 따른 pTVT 분석  
 저자 : 박진감, 윤현웅, 심재환, 최창현, 이대현, 김용주  
 학술지 : 한국농업기계학회 2012 동계학술대회 논문집 17(1):177-182

- 논문명 : 트랙터 자동화수동변속기의 변속수준에 따른 충격량 측정  
 저자 : 박진감, 윤현용, 최창현, 이대현, 김용주  
 학술지 : 한국농업기계학회 2012 동계학술대회 논문집 17(1):183-18

다. 특허

- 특허명 : Automatic transmission  
 출원인 : 최정용, 김상현, 이상현  
 출원번호 : US/12/689,338 (미국)
  
- 특허명 : Automatic transmission for vehicle  
 출원인 : 이상현, 김상현  
 출원번호 : US/12/952,997 (미국)
  
- 특허명 : Automatic transmission for vehicle  
 출원인 : 이상현, 김상현  
 출원번호 : CN/201010565794.8 (중국)  
 출원번호 : 2010, 10-2010-0058657
  
- 특허명 : 트랙터 트랜스미션용 주 변속레일의 변속 자동화장치  
 출원인 : 김수철, 이상현, 김현명  
 출원번호 : 10-2011-0003356
  
- 특허명 : 자동화 수동 부변속 기구를 구비하는 정유압 기계식 변속 장치  
 출원인 : 김수철, 이상현, 김상현  
 출원번호 : 10-2011-0140940
  
- 특허명 : 유압변속장치 제어용 액추에이터  
 출원인 : 이상현  
 출원번호 : 10-2011-1401076

■ 특 허 명 : 변속 및 조속 링크 장치

출 원 인 : 최철환

출원번호 : 10-2011-01412760

■ 특 허 명 : 무단 변속기

출 원 인 : 김상현

출원번호 : 10-2011-014130

■ 특 허 명 : 동력전달 효율을 향상한 변속장치

출 원 인 : 김수철

출원번호 : 10-2012-0000288

■ 특 허 명 : 자동화 수동변속기에서의 액추에이터 위치 설정 시스템 및 방법

출 원 인 : 정상철

출원번호 : 2012, 10-2012-000112

## 2. 인력양성효과

■ 석 사 : 1명(우미나), 2011년 2월 졸업

기 관 : 성균관대학교 생명공학과

학위논문명 : 전자식 액추에이터를 이용한 수동변속기의 전후진 자동 변속 제어 시스템 개발

## 3. 실용화 및 산업화

자동화수동변속기는 현재 50마력급 트랙터에 전후진 자동화가 우선 적용되어 이미 실용화 및 상품화되어 있으며 국내외적으로 판매 중이다. 이후에는 50~75마력급 트랙터를 대상으로 전후진+주변속 자동화 기술을 적용, 75~100마력급 트랙터를 전후진+주변속+부변속 자동화 기술을 단계적으로 적용 및 제품화 할 예정이다.



<자동화수동변속 제품 적용 단계>

전후진 자동화의 자동화수동변속 트랙터는 국내 및 해외(북미)에서 2010년부터 판매실적이 발생되었으며 자동화수동변속 트랙터의 편의성 및 고효율 장점에 대한 인식이 점차적으로 증가함에 따라 판매량도 같이 증가되고 있다. 자동화수동변속 트랙터는 작업 효율 증대(작업시간 단축, 근골격계 질환 예방 등), 에너지 절감(동력전달효율 우수, 연비 향상 등), 경제성 확보(타 모델 대비 가격 저렴, 유압식 대비 유지보수 비용 절감 등)의 3가지 장점을 중심으로 제품의 강점을 홍보하고 있다. 또한 제품 소개서 작성, 국내외 전시회 출품 등을 통하여 소비자에 대한 광고, 홍보 효과를 높이고 있으며, 국내최고의 산업기술상 IR52 장영실상에 추천 되는 등 개발기간에 따른 목표 대비 매우 높은 효과를 발생시키고 있다.

#### 4. 기술 확산 방안

자동화 수동변속 시스템은 조작성의 편의성을 극대화함으로써 국내외 여성 및 고령자를 포함하는 농업인 및 취미농도 쉽게 사용가능하게 할 뿐만 아니라 트랙터 시장에서 최초로 선보이는 변속 기술이므로 산업화에 따른 효과는 지속적으로 증가할 것으로 판단된다. 또한 자동화수동변속 시스템은 각각의 요소부품의 별도 적용이 가능하므로 기능에 따라 전후진 자동화, 주변속 자동화, 클러치 자동화 시스템의 개발이 및 적용하기 용이하다. 따라서 현재 개발 된 시스템을 기준으로 타 마력 트랙터에 부분적으로 혹은 전체 시스템을 적용하여 자동화수동변속 시스템의 활용도를 높일 것이며 이를 통해 국내외 M/S를 지속적으로 확보 가능하다. 또한 타마력대 적용은 기반기술 확보 및 장착 노하우 등에 필요한 시간이 단축되므로 전이 효과는 배가 될 것으로 판단된다.

## SUMMARY

### (영 문 요약 문)

A shuttle shifting actuator and a clutch actuator were used to shift transmission AMT of farm tractor. A shuttle shifting actuator and a clutch actuator were used to shift transmission gears. PID position control algorithm and simulation program were developed to control the actuators. The transmission control algorithm was developed and experimental tests were conducted to evaluate the performance of the algorithms. PID position control algorithm and simulation program for a shuttle shifting actuator and a clutch actuator were developed. The initial PID gains were found by Ziegler-Nichols open-loop method and the simulation program was used to select the optimal PID gains by analyzing response and stability of the system performance. The step response of the actuators were analyzed to evaluate the performance of the PID control algorithm and to validate the simulation program. Seven levels of the loads were applied to test the performance of the clutch actuator by considering the tractor operating conditions. The experimental data and the simulation results were compared. The results showed that the actuators were controlled properly at given conditions.

The experimental test-bed was constructed at Sungkyunkwan University for laboratory tests. The test-bed consisted of a power train of farm tractor, an electric motor instead of a tractor engine, a three-phase inverter to control the motor speed, the shuttle shifting and the clutch actuators, and I/O interface modules. The potentiometer signals of the actuators and the RPMs of the motor and the transmission axle were measured and used to control the actuators.

The transmission of the experimental test-bed was shifted in order of neutral, forward, neutral, reverse, and neutral ranges to evaluate the control performance of the shuttle shifting actuator. Maximum overshoot, settling time, and steady-state error were analyzed to evaluate the control performance. The results showed that the shuttle shifting actuator was controlled properly to achieve the maximum overshoot of less than 5%, the settling time of less than 0.5 seconds, and the steady-state error of

less than 1% at the all range levels. To evaluate the control performance of the clutch actuator, the clutch of the experimental test-bed was operated from disengaging position to engaging position at sixteen-speed levels, 4 levels of main shift lever and 4 levels of auxiliary shift lever. The settling time was considered divided into two stages from disengaging position to initial contact position and from initial contact position to clutch engaging position. The clutch actuator was controlled with the maximum overshoot of 0% and the steady-state error of less than 1% at the all speed levels. The settling time was slightly greater than 1.5 seconds at the second and the third main shift levels of the fourth auxiliary shift level.

The transmission of the experimental test-bed was shifted from neutral to forward range and from neutral to reverse range to evaluate the control performance of the shuttle shifting transmission. Total duration time was analyzed to evaluate the performance. The total duration time was sum of the clutch disengaging time, the shuttle shifting time, and the clutch engaging time when the ranges were changed. The tests were conducted at the second and the third auxiliary shift levels of all main shift levels by considering the field operation of farm tractor. The total duration times of all speed levels were less than 2.5 seconds and the speed of transmission axle was reached at the designed speed within 3 seconds. The results showed that the developed shuttle shifting transmission control algorithm could be useful for the automated manual transmission AMT of farm tractor.

The test of power requirements of tractor for field operation was conducted to evaluate endurance and operating efficiency of AMT powertrain. A power measurement system was developed and installed at the 38 kW AMT tractor. The strain-gages with telemetry system were used to measure torques of transmission input shaft and PTO input shaft. The engine tachometers were used to measure rotational speed of transmission input shaft and PTO input shaft. Strain-gages with slip ring were used to measure torques of driving axles, and encoders were used to measure rotational speeds of driving axles. The measurement system also included pressure sensors to measure pressure of hydraulic pumps, flow meter to measure fuel consumption, radar sensor to measure traveling speed of tractor, thermocouples to measure temperature (fuel, transmission oil, outdoor), an I/O interface to acquire the sensor signals, and an embedded system to determine power requirements. The power requirements of the

tractor for plowing and rotary tillage operation were 35.4 and 48.5 kW, respectively. The results showed that rotary tillage required more tractor power among the operations. Fuel consumption ratios for plowing and rotary tillage operation were 0.59 and 0.40ℓ/h·kW, respectively.

# CONTENTS

## (영 문 목 차)

Chapter 1 Introduction	18
Section 1 Research background	18
Section 2 Purpose and objectives	25
Chapter 2 Present status of technology developments	27
Section 1 Status of technology developments in Korea	27
Section 2 Status of technology developments in foreign countries	28
Section 3 Status of registered patents	29
Chapter 3 Methods and results	32
Section 1 Development of AMT system for a tractor	32
Section 2 Development of ergonomic shifting lever	158
Section 3 Development of diagnosis system for an AMT	225
Chapter 4 Achievements of goal and contribution	303
Section 1 Objectives and goal	303
Section 2 Contributions of related fields	306
Chapter 5 Achievements and application plans of research	310
Section 1 Achievements of research	310
Section 2 Plan of industrialization and technology applications	340
Section 3 Plan of intellectual property rights ensuring	352
Section 4 Applications to other areas and necessity of further works	354
Chapter 6 Technical information related to this study	357
Section 1 Publications	357
Section 2 Patents	360
Chapter 7 References	363

# 목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	18
제 1 절	연구개발 필요성	18
제 2 절	연구개발 목표 및 범위	25
제 2 장	국내외 기술개발 현황	27
제 1 절	국내 기술개발 현황	27
제 2 절	국외 기술개발 현황	28
제 3 절	국내외 특허 현황	29
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과	32
제 1 절	트랙터 자동화 수동변속 시스템 개발	32
제 2 절	인간공학 기반의 트랙터 변속레버 설계	158
제 3 절	자동화 수동변속기의 고장진단 시스템 개발	225
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	303
제 1 절	연도별 연구목표 및 달성도	303
제 2 절	관련분야 기여도	306
제 5 장	연구개발성과 및 성과활용 계획	310
제 1 절	연구개발 성과	310
제 2 절	산업화 추진 및 기술확산 방안	340
제 3 절	지적재산권 확보 계획	352
제 4 절	타분야 활용 및 추가연구 필요성	354
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	357
제 1 절	학술논문	357
제 2 절	관련특허	360
제 7 장	참고문헌	363

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제 1 절 연구개발 필요성

### 1. 경제적 · 산업적 중요성

#### 가. 트랙터 시장 환경 분석

트랙터는 일반 경운정리 외에도 중경제초, 수확, 운반 등의 폭넓은 이용이 가능하며 변속 범위가 넓고 도로조건에 적응성도 좋기 때문에 다방면에서 사용이 편리한 농업기계이다. 국내 농업기계 중 트랙터는 하루 평균 사용시간이 9.7 시간(한국농업기계학회, 2010), 연간 사용일수는 약 35일, 연간 작업 면적은 대당 13.5 ha로 다른 농업기계에 비해 높은 사용 빈도로 장시간 사용되고 있으며(국립농산물품질관리원, 2007). 특히 트랙터의 국내 생산량은 그림 1-1과 같이 2008년 29,920대로 전체 농업기계의 대부분인 약 40%를 차지하였다. 해외 수출량은 199,264대로 전년대비 103.6% 상승하여 트랙터의 내수 시장 및 해외 시장에서의 중요성은 지속적으로 증가될 것으로 판단된다(한국농업기계학회, 2009).

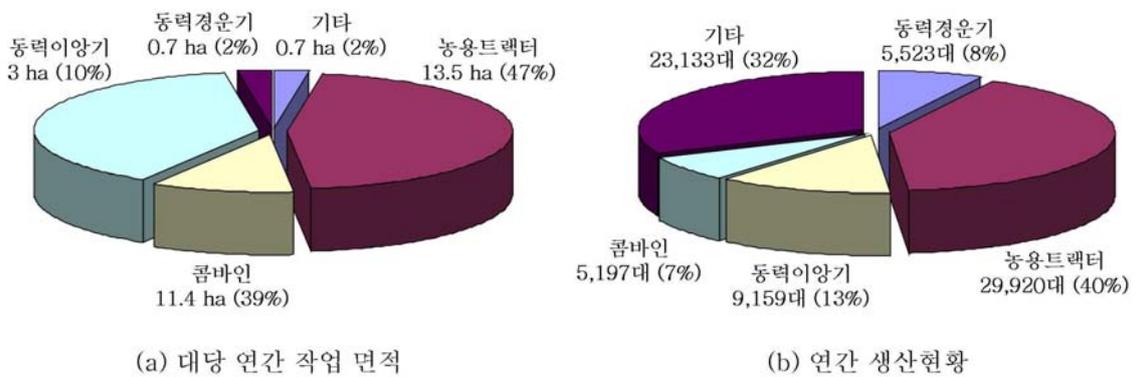
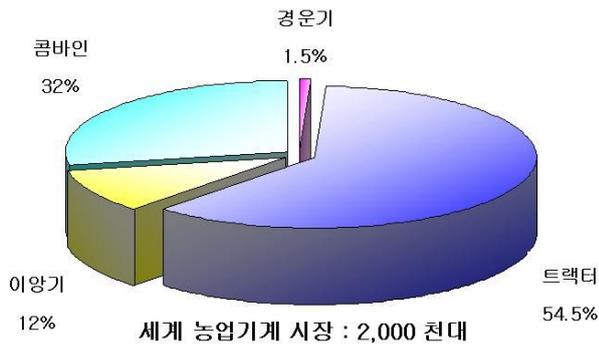
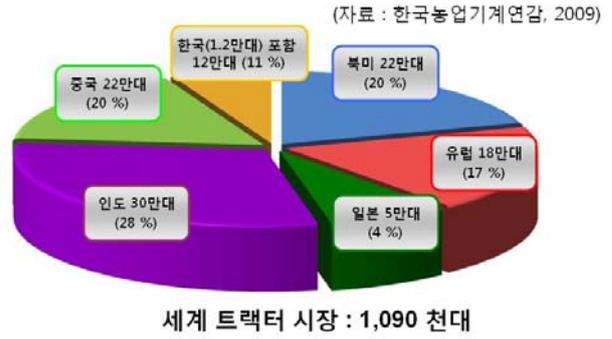


그림 1-1 주요 농업기계의 연간 작업 면적 및 생산현황.

세계의 농업기계 시장 규모는 그림 1-2(a)와 같이 연간 농업기계 공급대수가 전체 2,000천대로 나타났으며, 그 중 트랙터가 약 1,090천대로 세계 시장의 절반 이상인 54.5%를 차지하여 시장성 및 잠재성을 고려했을 때 트랙터의 세계 시장 확보가 필요하다. 또한 그림 1-2(b)와 같이 전체 시장의 약 37%를 북미 및 유럽에서 차지하고 있으며, 인도 및 중국이 48%로 최근 급 성장세를 보이고 있다.



(a) 농업기계 시장 규모



(b) 트랙터 시장 규모

그림 1-2 세계 농업기계 시장 규모.

해외 각국의 트랙터 수요도 꾸준히 증가하고 있는 추세로 중국의 경우 2006년에 166천대였던 수요가 2010년에 258천대로 두 배 가까이 증가하였다. 뉴질랜드의 경우 트랙터의 자국 생산이 전무하여 제품 공급을 전량 수입에 의존하고 있으며 2007년 트랙터 수입액이 전년 대비 15.39% 증가한 1억 3,000만 달러로 나타났다. 미국은 2003년 농기구 매출액은 전년도 같은 시기보다 3.7% 성장한 167억 달러를 기록하였으며, 2004년도에는 전년대비 27% 성장한 212억 달러를 기록할 정도로 대규모의 농기계 시장이 형성돼 트랙터 시장도 이에 따라 그 규모가 증가하는 추세이다. 세계 2위의 쌀 수출국인 베트남의 경우 농업기계화율 60~70% 달성을 목표로 2010년까지 농업기계화 정책을 추진 중에 있으며 이를 위해 매년 4천대 이상의 트랙터가 필요한 것으로 파악된다. 터키는 2008년 산업통상부가 에너지 절약 및 농업 효율성 증대를 위해 노후된 트랙터 700천대 정도를 폐기하기로 결정하였으며, 이로 인해 연간 30~40 천대 수준의 대규모 트랙터 수요가 발생할 것으로 예상된다.

국내 시장의 경우 그림 1-3과 같이 트랙터 업체의 표준 생산 능력이 4.2만대이며 2009년 생산 실적은 2.7만대, 가동률은 65%로 다른 농업기계에 비해 상대적으로 높지만(농업기계연감, 2010), 세계 시장에서 국내 트랙터 업체의 생산 규모는 1.2만대로 전체의 약 1%의 미비한 수준에 머무르고 있다. 또한 현재 국내 농업기계 기술수준은 부품의 경우 선진국의 81%, 소재는 77% 정도로 나타나 선진기술과의 큰 격차를 보이며 이러한 기술격차는 수출규모에서 큰 차이를 나타낸다. 세계 시장의 농업기계 수출 규모는 그림 1-3과 같이 유럽이 373억 달러, 미국이 102억 달러, 일본이 19억 달러, 중국이 11억 달러로 나타났으나 우리나라는 그 규모가 2억 8천만 달러로 0.5%에 불과한 것으로 나타나타났다. 또한 미국, 유럽, 일본 등의 선진사는 오랫동안 축적된 R&D를 통한 차별화된 기술로 트랙터 시장을 장악하였고 중국, 인도의 경우 저임금을 활용한 저가 제품으로 해외시장에 진입하고 있어 우리나라의 농업기계 산업은 선진국과의 기술격차 해소를 위해 신기술 도입 및 관련 핵심 기술의 조기 자립화를 통해 수출 경쟁력 강

화에 힘써야 한다.

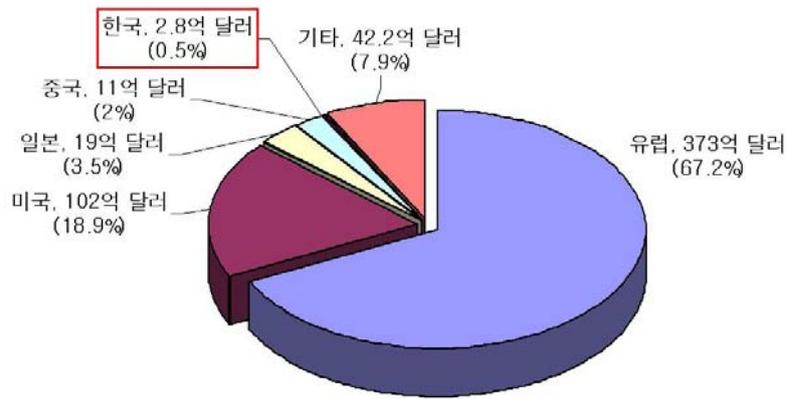


그림 1-3 국가별 농기계 수출규모(전북중앙신문, 2008).

#### 나. 기술개발의 중요성

현재 상용화된 차량의 변속기는 수동변속기(Manual Transmission, MT), 자동변속기(Automatic Transmission, AT), 자동화수동변속기(Automated Manual Transmission, AMT) 등으로 구분될 수 있다. 이 중 수동변속기는 주행속도에 따라 운전자가 직접 기어를 조작하는 방식의 변속기로 동력을 전달하는 장치인 클러치(clutch)의 작동을 운전자가 손으로 직접 조작하도록 되어 있다. 주행속도에 따라 기어가 자동으로 조작되는 변속기인 자동변속기는 자동차의 주행속도와 부하에 맞추어 자동으로 최적의 토크 변환을 얻을 수 있도록 클러치를 제거하였으며, 유체의 미끄러짐에 의해 동력을 전달한다. 자동화수동변속기는 수동변속기와 마찬가지로 동력의 전달은 클러치에 의해 이루어지지만 변속 동작이 자동화되어 있다는 점에서 수동변속기와 자동변속기의 중간 형태로 볼 수 있으며 표 1-1과 같이 수동변속기와 자동변속기의 장점을 모두 가지고 있어 자동차 분야에서 차세대 변속기로 주목받고 있다.

표 1-1 각 변속기의 장단점 비교

변속기 종류	장 점	단 점
수동변속기	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 단순한 구조</li> <li>- 제작비가 낮음</li> <li>- 연료 효율이 뛰어나</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 클러치, 레버 조작 불편</li> <li>- 가감속 때의 충격과 소음이 큼</li> <li>- 클러치를 조작할 때마다 클러치 디스크가 마모될 수 있음</li> </ul>
자동변속기	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 조작의 편의성</li> <li>- 기계적 접촉이 작아 충격 및 소음이 적음</li> <li>- 초기 구동력이 큼</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 구조가 복잡함</li> <li>- 높은 가격</li> <li>- 연료 효율이 수동변속기에 비해 10~20% 낮음</li> </ul>
자동화수동변속기	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 조작의 편의성</li> <li>- 높은 연료 효율</li> <li>- 가격이 비교적 저렴함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 동력 단절감</li> <li>- 변속 충격</li> </ul>

세계 자동차 시장에서 유럽 지역의 경우 운전감을 선호하는 기호에 맞추어 자동화수동변속기에 DCT(Dual Clutch Transmission)를 옵션으로 장착하여 출시되는 제품이 꾸준히 증가하고 있으며, 일본에서도 미츠비시-푸조의 캠퍼, 마이티 트럭, 이스즈의 엘프 트럭 등에 적용하고 판매 중인 추세이다. 현재 국내 자동차 생산업체들도 변속기와 관련하여 경량, 저가, 고효율의 수동변속기의 장점을 살리면서 수동변속기의 단점인 불편한 수동 기어 변속 및 클러치 조작을 자동화하기 위한 기술개발을 시도하고 있는 추세이다.

표 1-2 자동화수동변속기의 자동차 적용 사례

생산 업체	모 델	변속기
Alfa-Romeo	156 Veloce	Selespeed(ZF), DCT
Citroen	C3 Pluriel	SensoDrive
Porsche	911 Carera	Tiptronic(ZF), DCT
Audi	A4	Tiptronic(ZF), DCT
BMW	M3	SMG(ZF), DCT
VolksWagen	Lupo	DSG(ZF), DCT
VOLVO	버스, 트럭	I-SHIFT
ISUZU	NPR 400	AMT
ASTON MARTIN	V8	Tiptronic(ZF), DCT

트랙터 분야의 경우 변속기는 크게 기계식 변속기와 자동변속기인 무단변속기(HST)가 있으며, 현재 상용화된 무단변속기는 모든 변속을 자동으로 할 수 있다는 편의성이 있으나 에너지 효율이 낮고 변속 시간이 오래 걸리는 등의 단점이 있어 이를 개선할 수 있는 변속기의 필요성이 대두되고 있다. 자동화수동변속기는 기본 변속방식이 수동이므로 중량, 연비, 가격, 가속 성능이 자동변속기보다 우수하고 유체 토크컨버터가 아닌 건식 단판 클러치를 사용하므로 클러치 부분에 있어 효율이 높다. 또한 그림 1-4와 같이 수동변속기에 비해 5% 연비 향상 효과, 운전편의성이 증대된 효과를 얻을 수 있으며 자동변속기 대비 15% 정도의 연비 향상, 짧은 변속 시간, 경량화 등의 장점이 있다. 이에 자동화수동변속기는 현재 판매 중인 무단변속 트랙터의 단점인 고가, 저효율, 변속 시간 지연 등과 기계식 트랙터의 변속작업의 불편함을 개선할 수 있는 변속 방식으로 트랙터 적용을 통해 국내 및 해외 시장의 활발한 진출이 필요하다.

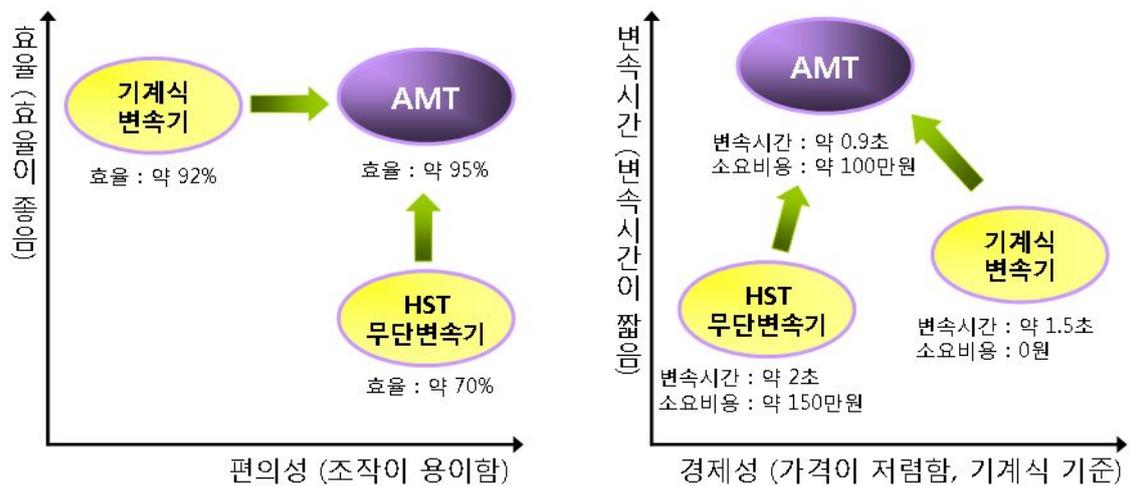


그림 1-4 자동화 수동변속기와 기계식 변속기 및 무단변속기의 경제성 및 성능비교.

## 2. 연구개발의 필요성

### 가. 연구개발의 타당성 분석

#### (1) AMT 트랙터 개발 선정 타당성 분석

본 연구는 주요 농업기계 중 사용량이 가장 많은 트랙터의 편의성과 작업 효율 향상을 위하여 트랙터에 자동화수동변속 방식을 도입한 것으로 연구의 타당성은 표 1-4와 같다.

표 1-3 자동화수동변속 트랙터 개발의 항목별 타당성 분석

항 목	선정 타당성 분석 내용
트랙터	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 농업기계 중 국내 판매 및 해외 수출량 1위</li> <li>- 농업인의 작업환경 개선 및 농가의 수익 증대에 가장 크게 기여가 가능</li> </ul>
변속기	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 트랙터 작업 중 변속작업은 작업부하 변동에 의해 가장 빈번하게 일어남</li> <li>- 변속기의 종류에 따라 에너지 효율이 큰 차이를 나타냄.</li> </ul>
자동화수동변속기	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기본 변속방식이 수동이므로 중량, 연비, 가격, 가속성능, 클러치 효율이 우수</li> <li>- 자동변속에 따른 편의성 확보</li> </ul>

#### 나. 연구개발의 필요성

##### (1) 노동 집중형 작업으로 인해 근골격계 통증 심화

현재 시판되는 트랙터 레버의 위치와 모양은 직관적이고 정성적인 개발에 의한 것으로 트랙터 변속기에 종류에 적합한 조작레버의 개발이 필요함. 그러므로 자동변속기인 자동화 수동변속기의 편의성이 확보되기 위해서는 자동화 수동변속기의 변속 특성에 적합한 인간공학 기반의 변속레버 개발이 요구된다. 트랙터의 하루 조업 시간은 9.67시간으로 다른 농기계보다 장시간 사용되고 있으며, 트랙터의 장시간 운전은 작업자의 집중력 저하 및 육체의 피로도 증가로 인한 안전사고를 유발한다.(한국농업기계연감, 2007). 지난 94년 19.8%에 불과하던 농부중 발생율은 99년 28.5%, 2004년 42.7%로 수직 상승중인 것으로 나타났으며, 농부중을 보이는 농민들의 81.9%가 요통, 어깨 결림, 수족감각둔화 등의 근골격계질환을 보이고 있다.

##### (2) 트랙터의 고장진단 및 예방

기존의 기계 및 유압식 변속기와 달리 전자제어를 사용하고 있어 상용화 시 주위 환경에 따라 고장이 발생할 확률이 높은 단점이 있어 TCU, 액추에이터, 센서 신호 등의 고장에 따른 오작동을 방지하게 위해서는 트랙터 통신 규격(ISO 11789)에 적합한 CAN 기반의 자동화 수동변속기 고장진단 시스템 개발이 필요하다. 농업기계에 대한 의존도가 높아짐에도 불구하고 농민들의 관련 지식 부족 및 관리 소홀로 잦은 고장을 유발하고 있으며, 특히 자동화 수동변속기와 같은 전자 장비의 고장 발생 시 고장 부위 및 원인 파악이 불가능하다. 이러한 고장은 사용 특성상 시기적으로 크게 제약을 받고 있는 농업기계의 경우, 적기에 수리하지 못하면 이용효율을 저하시킬 뿐만 아니라 농번기의 수리집중에 따라 A/S 인력 및 부품 부족 현상 등으로 농가의 경제적 부담이 가중시키고 있다.

(3) 트랙터용 변속기의 경제성, 에너지 효율, 편의성

AMT 시스템은 기계식 트랙터의 변속 방법인 클러치 작동->변속->반클러치의 동작을 별도의 액추에이터, 요소 부품, 제어장치 등을 이용하여 자동화한 변속기로 경량, 저가, 고효율의 수동변속기 장점을 살리면서 자동변속기와 같은 편의성을 확보할 수 있는 변속기로 다른 트랙터용 변속기와 장단점을 비교하면 표 1-4와 같다.

표 1-4 트랙터용 변속기의 종류 및 장단점

변속기 종류	변속 방식	경제성 (가격)	에너지 효율 (연비)	편의성 (조작성)	변속 자동화		
					전후진	주변속	부변속
Manual	기계식 마찰 클러치와 기어박스 등으로 운전자가 직접 변속	상	상	하	×	×	×
Power shuttle	유압 클러치로 전동라인을 변화	중	중	중	○	×	×
HST	엔진 동력을 유압식 동력전달장치에 전달하여 유압 펌프를 구동하여 변속	중	하	중	○	○	×
HMT	유성기어를 이용하여 기계식과 유압식 변속장치를 선택적으로 사용하여 변속	하	중	상	○	○	○
AMT	별도의 요소 부품 및 TCU를 이용하여 기계식 변속동작을 자동으로 변속	상	상	상	○	○	○

HST : Hydro Static Transmission

HMT : Hydro-Mechanical Transmission

## 제 2 절 연구개발 목표 및 범위

### 1. 연구개발 목표

최근 농업기계는 에너지 효율 향상 및 작업 성능 개선에 관한 연구가 활발히 이루어져 기능면에서 크게 향상되었으며 농업분야의 고령화, 여성화에 따라 승차감 등의 편의성이 점차 중요해지고 있다. 트랙터는 국내 농업기계 중 약 86%를 차지하고 있으며, 사용빈도는 9.7 시간/일로 다른 농업기계에 비해 장시간 사용되고 있다(한국농업기계연감, 2007). 트랙터의 장시간 사용은 작업자의 집중력 저하 및 육체 피로도 증가를 유발하며, 나아가 안전사고를 야기하고 있어 트랙터 작업의 편의성에 대한 인식은 점점 중요시 되고 있다.

트랙터는 로터리, 쟁기 작업 등에 따라 적합한 변속수준의 선택이 필요한 동시에 작업 중 토양부하에 따라 변속작업이 빈번히 발생되므로 변속작업의 편의성 확보는 무엇보다 중요한 요소이다(Kim et al., 2010). 현재 트랙터에 사용되고 있는 파워셔틀(power shuttle)과 무단변속기(Continuously Variable Transmission, CVT)는 자동으로 변속 작업이 가능한 장점이 있으나, 모두 유압장치를 사용하므로 효율이 낮고 가격이 비싸 이를 대체할 수 있는 변속기 개발이 필요한 실정이다(Song and Lee, 2007).

자동화수동변속기(Automated Manual Transmission, AMT)는 클러치를 통하여 동력을 전달하는 수동변속기에 별도의 액추에이터를 장착하여 자동 변속하는 시스템으로 기계식 변속기의 고효율성과 자동변속기의 편의성을 동시에 확보할 수 있다는 장점이 있다. 자동화수동변속기는 벤츠, 볼보, 도요타 등의 선진 자동차 업체를 중심으로 이미 개발되어(Han et al., 2005) 변속감보다 연비를 중요시하는 상용차에서는 적용되고 있으나, 아직까지 트랙터에 적용된 사례는 보고된 적이 없다.

이에 본 연구는 트랙터의 에너지 효율 및 편의성 향상을 위한 자동화수동변속 시스템을 개발하자 수행되었으며, 주요 연구개발목표는 다음과 같다.

- 자동화 수동변속기 설계 및 요소 부품 개발
- 자동화 수동변속기 개발 및 시스템 통합을 통한 트랙터 적용
- 포장실험을 통한 자동화 수동변속 시스템의 성능 평가 및 실용화 연구

## 2. 연구개발 범위

### 가. AMT 시스템 및 트랙터 적용기술 개발

- 고성능 자동화수동변속기의 요소 부품 설계 및 개발
- 고성능 자동화수동변속기의 시제품 개발 및 트랙터 적용
- 자동화수동변속 시스템의 성능평가 및 실용화 연구
- 자동화수동변속 시스템의 제어성능 평가

### 나. 인간공학 기반의 변속레버 개발

- 인간공학 기반의 트랙터 변속레버 설계
- 인간공학 기반의 트랙터 변속레버 시제품 개발
- 트랙터 변속레버의 성능평가

### 다. AMT 시스템 고장진단 기술 개발

- 자동화 수동변속기의 고장진단을 위한 CAN 설계 및 개발
- 자동화 수동변속기의 고장진단 시스템 개발 및 통합 네트워크 구축
- 자동화 수동변속 시스템의 실용화를 위한 진단 및 예방 기술 개발

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 제 1 절 국내 기술개발 현황

연구수행 기관	현 황
자동차부품연구원	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 자동화수동변속기용 트랜스미션 설계 및 제작</li> <li>· 국내 고유 모델의 자동화수동변속기 Layout 설계</li> <li>· 자동화수동변속기 시스템 분석</li> <li>· 변속 액추에이터 설계 및 제작</li> <li>· 변속 메커니즘 설계 및 최적화</li> <li>· 주요 부품의 Compact 및 모듈화 설계</li> <li>· 액추에이터 최적화 및 제작</li> <li>· TCU 하드웨어 및 소프트웨어 최적화</li> <li>· 운전자의 의지, 차속, 엔진속도에 대응하는 변속 제어 로직 개발</li> </ul>
(주) 에스디	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 중대형 디젤 화물차량용 자동화수동변속기(AMT) 개발</li> <li>· 자동화수동변속기(AMT) 단품(클러치, 변속기 기계부 및 제어 회로) 개발</li> <li>· 차량의 변속 특성 및 신호체계 분석</li> <li>· 모터구동형 자동화수동변속기(EAMT) 장착 자동변속 차량 시스템 개발</li> </ul>
S&T대우 (주)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 자동화수동변속기(AMT)용 Actuator 개발</li> <li>· 구동용 Motor의 전자기적 설계 및 3D 기구설계</li> <li>· Select/Shift Actuator의 구동 DC Motor의 제작 및 성능 평가</li> <li>· Clutch Actuator의 BLDC Motor의 기본 성능 평가</li> <li>· BLDC Motor의 구동 알고리즘 개발</li> <li>· DC Motor의 과전류 보호기능 등 Actuator의 전기적 신뢰성 향상 연구</li> <li>· Actuator 설계 인자 도출 및 Sensor 및 Power Interface 방안 수립</li> <li>· 구동용 BLDC Motor의 전자기장 설계 및 성능해석</li> <li>· BLDC Motor 구동용 엔코더 설계</li> </ul>
현대자동차 (주)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 상용차용 자동화 수동변속기 시스템 개발</li> <li>· 상용차용 전동식 기어/클러치 액추에이터 모듈 개발</li> <li>· 상용차용 TCU(Transmission Control Unit) 개발</li> <li>· 상용차용 전자식 변속 레버 모듈 개발</li> <li>· 상용차용 자동화MT 제어 로직 개발</li> <li>· 핵심부품 및 시스템 평가 기술 개발 및 신뢰성 확보</li> </ul>
(주) 현대모비스	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 상용차용 Shift &amp; Clutch by wire 핵심 부품 신뢰성 확보</li> <li>· 기어 및 클러치 액추에이터, TCU 신뢰성 시험 (내구, 내환경 내진 시험)</li> <li>· 신뢰성 시험 결과에 따른 최종 수정 및 개선 제작</li> <li>· 기어/클러치 액추에이터 단품 성능 평가법 표준 정립</li> <li>· 기어/클러치 액추에이터 양산화 기술 검토</li> </ul>

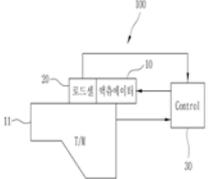
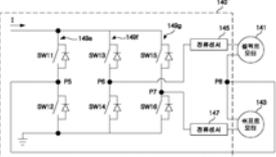
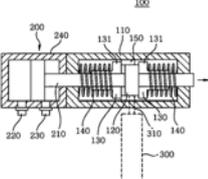
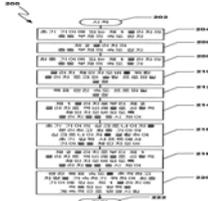
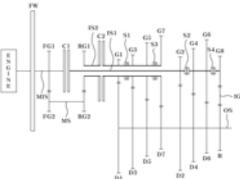
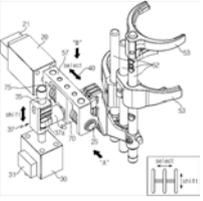
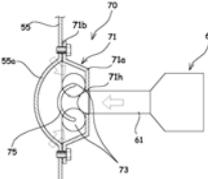
## 제 2 절 국외 기술개발 현황

연구수행 기관	현 황
GM	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Cora AMT 출시, 5단 MT 변속기를 자동화하기 위해 3개의 전자모터를 가진 전자기계 시스템을 사용</li> <li>· 소형 자동차를 중심으로 AMT 탑재 차량 출시</li> </ul>
미국 포드	<ul style="list-style-type: none"> <li>· CVT와 AMT에 대한 관심을 표명했고 지멘스와 AMT에 관해 개발을 진행</li> <li>· Transit 생산의 5%까지 새로운 AMT를 공급, 수동변속기 버전보다 6% 이상의 연료절감</li> <li>· 차량의 변속 특성 및 신호체계 분석</li> <li>· Tremec의 6단 MT 변속기에 기반을 두고 Magneti Marelli의 Selespeed 기술을 사용하는 AMT를 장착</li> </ul>
독일 다임러 크라이슬러	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 미국에서 만들어지는 클라이슬러, 닛지, 질 차량을 위한 WA-580 5AT를 생산하기 위해 이전의 클라이슬러 미국 Kokomo 시설을 개발</li> <li>· 뉴 Sprinter 밴은 최고의 엔진크기에 추가적인 700파운드의 비용 선택사양으로서 6단 AMT Sprintshift 변속기를 장착</li> <li>· 다임러클라이슬러는 AMT를 장착한 Sprinter 생산품의 10% 이상을 영국에서 판매할 것을 희망하고 있고, 차기 Vit는 또한 6단 AMT를 사용</li> <li>· 이륜차형 변속기를 사용하는 전진 6단을 가진 AMT Getrag 시스템 개발</li> </ul>
독일 BMW	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Getrag와의 합작으로 개선된 AMT 개발</li> <li>· BMW는 1996년 Getrag와 Sachs에 의해 개발된 최초의 AMT 시스템 중 하나가 고성능 M3에 사용되었고, 최신의 6 시리즈에도 Getrag 6AMT(또한 6MT와 5AT)가 사용</li> </ul>
독일 폭스바겐	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 폭스바겐의 Lupo 3리터(1.2 디젤엔진)는 AMT를 사용하고 이 시스템은 지금 Lupo FSI(직분가솔린 1.4엔진)에 적용</li> <li>· 미주에서 조립한 차량은 Batavia, Ohio에 있는 ZF/For에 의해 생산된 CVT를 사용</li> </ul>
일본 도요타	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 현재 유럽에서 시장에 Yaris와 최신의 MR2 SMT(Lu에 의한 클러치작동 패키지를 가진)등 2가지의 MTAC 차를 개발</li> <li>· 자동변속기 이상으로 효율성을 개선하기 위한 1.0-1.5리터 엔진을 위한 자체 CVT를 개발</li> </ul>
일본 Aisin	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 자동화수동변속기(AMT)에 모터를 일체화한 하이브리드 변속기 개발</li> <li>· AMT의 파이널 드라이브에 감속기구를 개입시켜 모터를 직결하는 1모터 방식의 패러럴 하이브리드 시스템 개발</li> </ul>

### 제 3 절 국내외 특허 현황

#### 1. 특허 동향

##### 가. 자동화수동변속기 관련 국내 주요 특허 내용

특허명	대표 도면	출원인/IPC분류/처분
자동화 수동 변속기의 변속 충격방지장치 및 방법		현대자동차주식회사 /10-083637 /2008.06.02. /등록
자동화 수동 변속장치		현대모비스주식회사 /10-0637793 /2006.10.17. /등록
자동화 수동변속기의 변속장치		자동차부품연구원 /10-0834521 /2008.05.27 /등록
이중 클러치 변속기 제어 방법		보르그워너 인코퍼레이티드 /10-0990696 /2010.10.22 /등록
연비효율 극대화를 위한 동축형 다중 클러치 변속기		강명구 등 /10-1029422 2011.04.07 /등록
수동 변속기용 자동 변속 조작 장치		에이디텍스(주) /10-0851373 /2008.08.04 /등록
클러치 릴리즈 장치		현대자동차주식회사 /10-0551084 /2006.02.03. /등록

나. 자동화수동변속기 관련 해외 주요 특허 내용

국가	특허명	출원인/등록번호
유럽	Automated manual transmission control apparatus	AISIN AI Co., Ltd. /EP 01788287
	Clutch control for automated manual transmission(AMT)	General Motors Corporation /US 07070538
미국	Hydraulic control system of automated manual transmission	Fuji Jukogyo Kabushiki Kaisha /US 06865965
	Automated manual transmission launch control	Jiang Hong / US 11037983
일본	Automated manual transmission system for a vehicle	Tomomitsu Terakawa /JP 08003436
	Gear change process for an automated manual transmission unit and automated transmission for a vehicle	Kengo Minam /JP 02048401
	Automated manual transmission and method for controlling the same	Hidenobu Satoh /JP 01837560.
	Shift position sensor of automated manual transmission	Makoto Futamura / JP 01750037

2. 특허 분석 내용

가. 트랙터용 자동화 수동변속 시스템 개발

- AMT 시스템에 관한 특허는 주로 승용차, 트럭 등의 상용차에 적용하기 위한 기술이 대부분임.
- 승용차를 대상으로 하는 AMT 시스템의 구성은 주로 액추에이터와 토크 센서 등으로 구성되며, 차량 상태에 따라 액추에이터를 작동시키므로 트랙터용 AMT와는 개념적으로 유사하나 트랙터에 적용에는 문제가 있음.

- 트랙터는 기본적으로 승용차의 파워트레인과 구조가 다르며, 포장작업 시 진동이 큰 단점이 있어 승용차용 AMT 요소 부품을 트랙터에 적용하기 어려움.

#### 나. 자동화 수동변속기 TCU개발

- AMT의 TCU에 관련된 특허는 크게 상용차용 TCU와 트랙터 자동 변속기(AT, CVT, HMT, HST)에 관한 특허가 대부분임.
- 상용차의 TCU에 관련된 특허는 AMT 변속 시 운전자의 변속 충격을 최소화 하면서 빠른 시간 내에 변속을 종료하는 것을 목적으로 하므로 AMT 트랙터용 TCU 개발과는 유사한 면이 있으나 포장작업 시 큰 부하를 발생하는 트랙터에 적용하기에는 어려움.
- 트랙터는 포장에서 주행뿐만 아니라, 로더, 로터리, 쟁기 작업 등과 같은 다양한 작업을 수행하고 있으며, 이때 작업 부하도 크게 작용하여 승용차용 TCU의 제어 알고리즘 보다 더 복잡하고 정밀한 제어 알고리즘 및 시스템 개발이 필요함.
- 트랙터 자동 변속기 TCU에 관한 특허는 주로 기계/유압 장치의 변속기에 대한 내용으로 전자제어를 하는 AMT의 TCU에 적용하기에는 어려움.
- AMT의 TCU는 주로 전자 제어를 수행하므로 기계/유압식 변속기 보다 고장 발생률이 높은 점을 감안하여 작업상태에 대한 고장진단 및 방지 기술이 필요함.

#### 다. 인간공학적 트랙터 변속레버 개발

- 인간공학적 트랙터의 변속레버에 관련된 특허는 주로 상용차인 승용차나 트럭, 버스 등에 집중되어 있으며, 시작품 개발 보다는 시뮬레이션 모델을 통한 성능평가가 대부분임.
- 농업기계 분야에서는 인간공학 기반의 정량적 분석이 부족하기 때문에 본 연구 과제에서는 인간공학 기반 3D 모델을 개발하고 시뮬레이션을 통하여 최적의 변속레버 개발 및 실용화를 위한 상세 설계도면을 완성할 계획임.

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1 절 트랙터 자동화 수동변속 시스템 개발

#### 1. 고성능 자동화 수동변속기의 요소 부품 설계 및 개발

가. 저비용, 고효율 액추에이터의 설계 및 개발

##### (1) AMT 동작 메커니즘 설계

변속기는 변속 방식에 따라 수동변속기(Manual Transmission, MT)와 자동변속기(Automatic Transmission, AT)로 나눌 수 있다. 수동변속기는 고효율, 경량, 저비용 등의 장점이 있지만 운전자가 상황을 판단하여 조작해야 한다는 번거로움이 있어 운전자의 숙련된 운전 기술이 요구된다는 단점이 있다. 자동변속기는 운전자가 변속에 대한 별다른 지식이 없어도 쉽게 운전할 수 있고 동력전달이 유체에 의해 이루어지기 때문에 변속감이 좋다는 장점이 있으나 구조가 복잡하고 가격이 비싸며 상대적으로 낮은 연료 효율의 단점이 있다.

트랙터 분야에서 수동 변속기에는 기계식 변속기, 자동변속기에는 무단변속기(Hydra Static Transmission, HST)가 있으며 현재 상용화된 무단변속기는 모든 변속을 자동으로 할 수 있다는 편의성이 있으나 연료 효율이 낮고 변속 시간이 오래 걸리는 등의 단점이 있어 이를 개선할 수 있는 변속기가 필요하다. 자동화 수동변속기(Automated Manual Transmission, AMT)는 이에 대한 방안으로, 일반적으로 그림 1-1과 같이 기계식 변속기의 클러치 작동→변속→반클러치의 동작을 별도의 액추에이터(actuator), 요소부품, 제어장치 등을 이용하여 자동화한 변속기로 수동변속기의 경량, 저가, 고효율 등 장점을 살리면서 자동변속기와 같은 편의성을 확보할 수 있는 변속 방식이다.

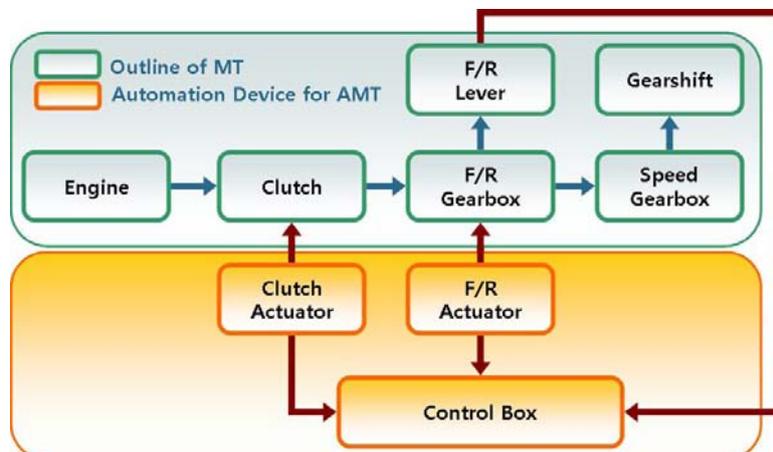


그림 1-1 AMT의 일반적인 변속 방식.

액추에이터란 동력을 공급받아 힘 또는 토크 등의 기계적 출력으로 변환하는 장치로 에너지 공급원에 따라 전동식(electric), 공압식(pneumatic), 유압식(hydraulic)으로 나뉜다. 본 연구에서는 빠른 제어를 위해서 상대적으로 고속의 제어에 적합한 전동식 액추에이터를 사용하였다.

트랙터용 AMT의 개략적인 동작 매커니즘은 변속 제어 장치(Transmission Control Unit, TCU)와 액추에이터를 통해 기계식 변속기를 제어하는 것으로 그림 1-2와 같다. 사용자가 변속레버를 조작하면 TCU에 전달되어 전후진(F/R shifting) 액추에이터, 주변속(main shifting) 액추에이터, 클러치(clutch) 액추에이터를 제어하여 변속을 수행하고 TCU로부터 측정된 센서 신호를 CAN(Controll Area Network)을 통해 전송하여 AMT 요소부품 및 센서, TCU, 액추에이터 등의 고장을 진단한다. AMT 시스템의 고장이 발생할 경우 정확하고 신속하게 고장상태를 계기판에 표시하여 사용자의 안전 및 제품에 대한 신뢰성을 확보한다.

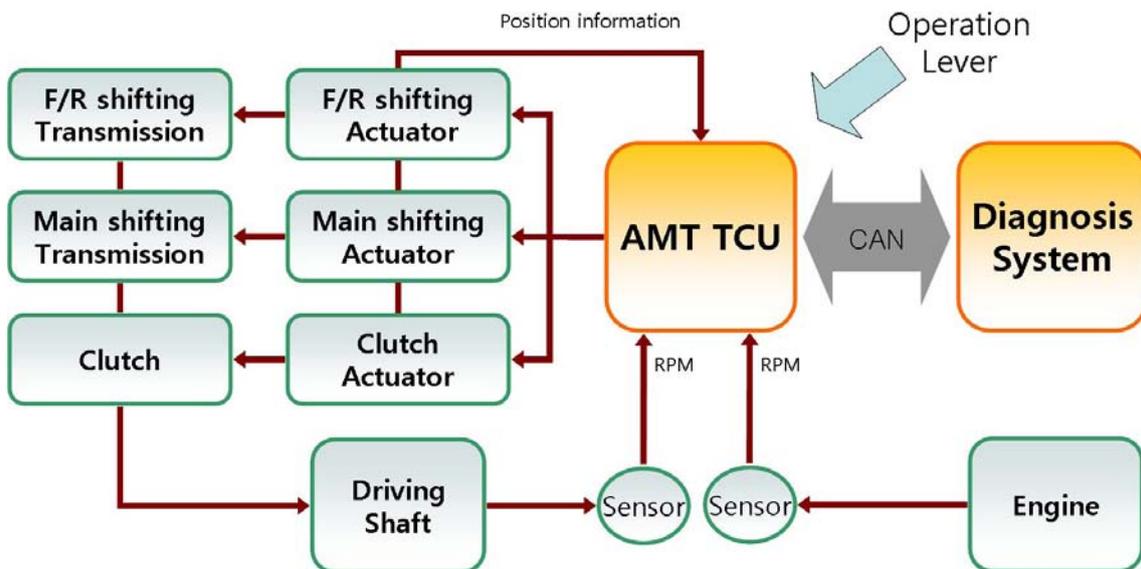


그림 1-2 AMT 트랙터의 동작 매커니즘.

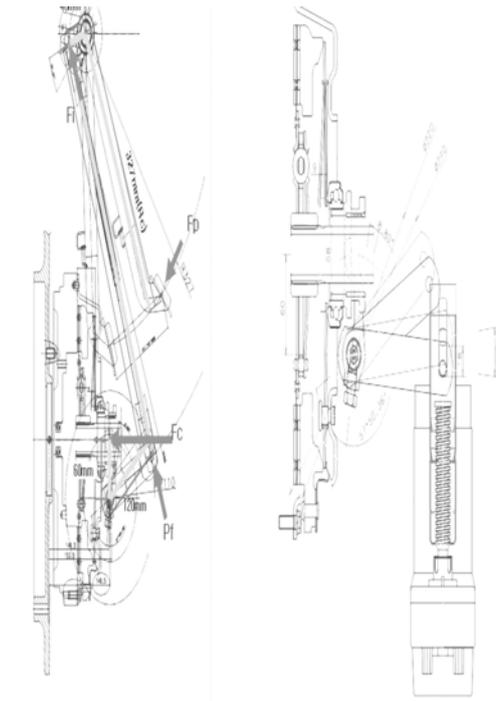
## (2) 액추에이터 설계 및 개발

### (가) 클러치 액추에이터

클러치는 동력 전달 계통을 구성하는 요소로 변속 시 엔진과 구동계 사이에 동력을 전달 또는 단절하는 역할을 수행하며 이 때 발생하는 트랙터 구동계의 비틀림 진동은 클러치 조작에 매우 민감하게 반응하여 승차감에 영향을 준다. 그러므로 클러치의 자동화를 위해서는 변속 조작 시 주어진 운전조건에서 클러치 연결 전후의 토크 변동폭을 최소화하고 정밀 제어가 가능한 고성능 클러치 액추에이터의 개발이 필요하다.

수동변속기의 클러치는 그림 1-3과 같이 크게 플라이 휠, 클러치 디스크, 클러치 커버로 구

성된다. 플라이 휠은 엔진의 크랭크축과 연결되고 클러치 디스크는 클러치 커버와 플라이 휠 사이에 위치하여 엔진의 구동력을 변속기로 전달하며 클러치 커버는 플라이 휠과 볼트로 체결되어 디스크와 플라이 휠을 결속시킨다. 클러치 커버에 있는 다이어프램 스프링은 클러치 연결(engage), 해제(disengage) 특성에 가장 큰 영향을 미치는 부분으로 압력판을 통해 클러치 디스크와 플라이 휠에 압축력을 작용시켜 동력 전달 시에 이들을 결속시키고 동력 차단 시에는 압력판을 떨어뜨려 분리시키는 작용을 한다.



tion, No future!

그림 1-3 기존 클러치 컨트롤계의 구성도.

클러치 액추에이터의 설계사양을 도출하기 위해 액추에이터에서 발생할 추력에 대한 기어비와 전기모터의 사양을 결정하였다. 표 1-1과 같이 클러치 페달 기어비(clutch pedal ratio)의 경우 40/327, 릴리즈 포크 레버(release fork lever)는 60/110, 다이어프램 스프링(diaphragm spring lever)은 21/69, 릴리즈 포크 클러치 액추에이터 레버(release fork clutch actuator lever)는 60/120로 계산되었다.

표 1-1 클러치 시스템 사양

System parameters	Gear ratio
Clutch pedal	40/327
Release fork lever	60/110
Diaphragm spring lever	21/69
Release fork clutch actuator lever	60/120

전기모터의 사양을 결정하기 위해 마찰이나 변형량 같은 손실항은 무시하였다. 실험을 통해 얻은 기존의 클러치 컨트롤 계의 전체효율을 곱하여 필요한 클러치 액추에이터 추력을 계산하였다. 컨트롤 계의 변위는 반복 측정을 통해 산출했으며 힘(release force)과 변위(stroke) 값은 표 1-2와 같다.

표 1-2 이론적 계산에 따른 릴리즈 하중

	Release bearing	Release fork lever	Clutch pedal	Actuator screw
release force max.[kgf]	193.0	105.3	12.9	96.5
Stroke [mm]	9.0	16.5	138.0	18.0

클러치의 해제에 걸리는 시간은 트랙터의 레버 조작 후 구동되는 시간까지의 지연시간을 고려하여 0.5초 이하로 결정되었고 위의 결과로부터 액추에이터 사양의 조건은 표 1-3과 같다.

표 1-3 클러치 액추에이터 제원

Actuator condition	Value
Disengagement time	0.5 sec
Clutch actuator screw max. load	96.5 kgf
Clutch actuator screw stroke	18 mm
Operation speed	36 mm/sec

클러치 액추에이터의 구조는 그림 1-4와 같고 릴리즈 포크 레버에 전달되어야 하는 최대 추

력은 96.5 kgf이다. 표 1-4는 클러치 액추에이터에 사용된 스크류의 사양이다. 스크류를 구동시키기 위해 나사축 회전수는 200 rpm, 입력 토크는 30 kgf-cm 이상이 가능하도록 제작되었으며 이를 위한 모터 및 감속비는 표 1-5와 같다.

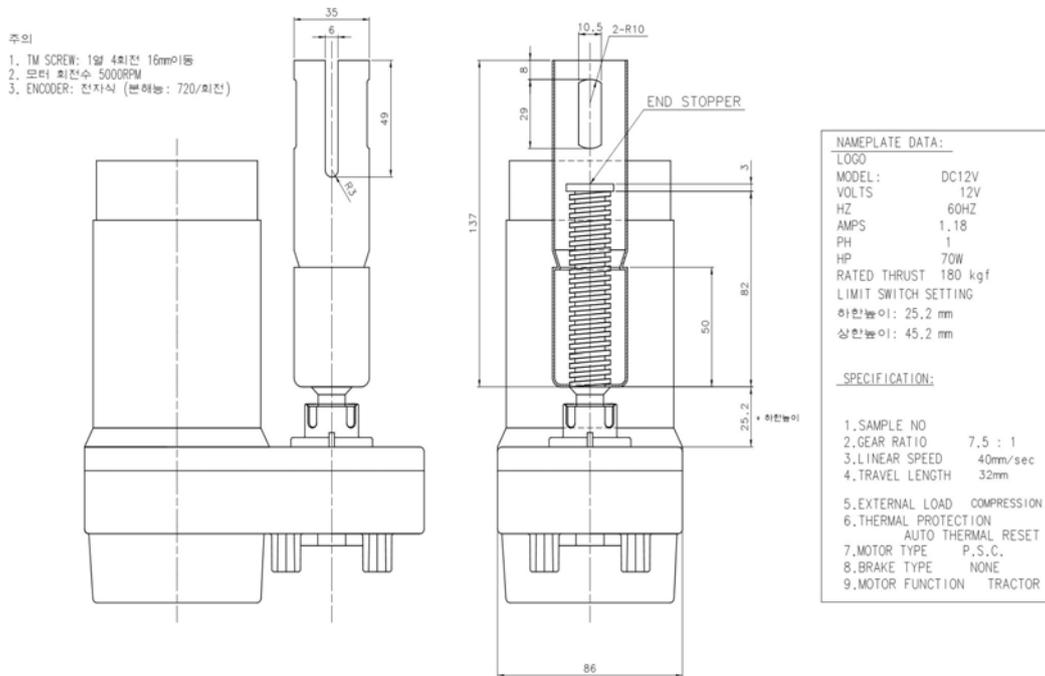


그림 1-4 클러치 액추에이터의 구성도.

표 1-4 스크류 제원

	Pitch	Helix angle	Number of line	Effective diameter
Screw	8.5	9.6	2.0	16.0

표 1-5 클러치 액추에이터 모터 제원

Actuator condition	Value
Reduction gear ratio	4850 rpm
Rated motor torque	1.89 kgf-cm
Motor power	100 W

개발된 클러치 액추에이터는 자체에 포텐시오미터(potentiometer)와 엔코더(encoder)가 내장

되어있어 모터 회전에 대한 정보를 출력한다. 또한 모터의 회전 시 헛도는 현상을 방지하기 위해 ‘ㄷ’자 링크부와 스크류 축을 용접하였으며 클러치 상승 시에 큰 부하가 작용하므로 축의 뒤틀림 현상이 발생하지 않도록 고정하였다.

(나) 전후진 액추에이터

트랙터 변속기는 작업의 특성상 잦은 변속이 필요하므로 전후진을 담당하는 변속부가 차량 속도를 담당하는 변속부와 분리되어 있다. 전후진 액추에이터의 사양을 결정하기 위한 기존 트랙터의 전후진 조작레버 제원 및 조작력은 실험을 통해 검증되었으며 표 1-6과 같이 조작레버의 길이는 270 mm, 변속암의 길이는 30 mm로 나타났으며 전후진 조작력과 변속력은 각각 5 kgf, 45 kgf로 나타났다.

표 1-6 전후진 조작레버 제원 및 조작력

Lever length	Shifting arm length	F/R operation power	Shifting power
270 mm	30 mm	5 kgf	45 kgf

또한 엔진 최대 회전 시(2700 rpm)을 기준으로 변속 시 상대속도를 동기화 시키는 토크의 크기는 변속시간과 관계되며 최대 0.45초가 된다. 위의 결과로 결정된 전후진 액추에이터 사양은 표 1-7과 같다.

표 1-7 전후진 액추에이터 사양

System parameter	Specifications
Neutral to forward operation angle	17°
Neutral to reverse operation angle	17°
Shifting power	45 kgf
F/R shifting time	0.45 sec
Actuator connection lever ratio	40/105
Actuator operation torque	51.4 kgf-cm
Actuator operation RPM	25 rpm

그림 1-5는 전후진 액추에이터의 설계도를 나타내며 클러치 액추에이터와 같이 포텐시오미터가 내장되어 있어 모터 회전정보를 자체 출력이 가능하다. 전후진 액추에이터 내부에 사용된 모터는 정격전압 13.5 V, 정격토크 30 Kgf·cm인 DC 모터로 사양은 표 1-8과 같으며 개발된 전후진 액추에이터의 외형은 그림 1-6와 같다.

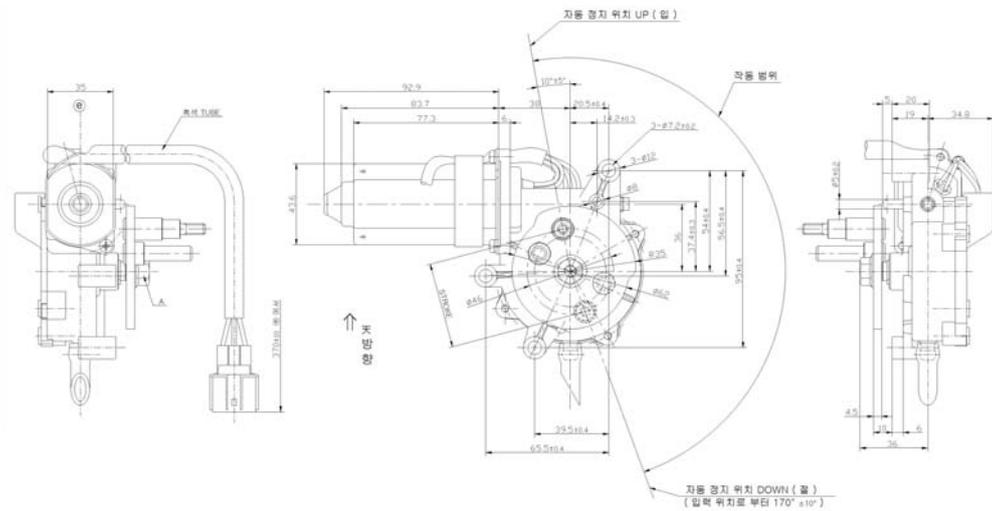


그림 1-5 전후진 액추에이터 설계도.

표 1-8 전후진 액추에이터 모터 제원

Parameter	Specification
Type	DC FERRITE
Rated voltage	13.5 V
Voltage range	10 ~ 15 V
Temperature range	-30 ~ +80℃
Rated torque	30 Kgf·cm
Protection	Waterproof type, Within C/BREAKER



그림 1-6 개발된 전후진 액추에이터.

(다) 주변속 액추에이터

주변속 조작레버 제원 및 조작력은 전후진과 마찬가지로 이미 실험에 의해 검증되었으며 표 1-9와 같이 조작레버의 길이는 685 mm, 변속암의 길이는 109 mm으로 나타났으며 전후진 조작력과 변속력은 각각 5 kgf, 26 kgf로 나타났다. 콘 토크의 크기는 최대 0.45초이며 주변속 액추에이터 사양은 표 1-10과 같다.

표 1-9 주변속 조작레버 제원 및 조작력

Lever length	Shifting arm length	Operation force	Shifting force
685 mm	109 mm	5 kgf	26 kgf

표 1-10 주변속 액추에이터의 사양

System parameter	Specifications
Neutral to 1st, 2nd level	17°
Neutral to 3rd, 4th level	17°
Shifting power	45 kgf
Shifting time	0.45 sec
Actuator gear ratio	1/20
Actuator operation RPM	67 rpm
Actuator operation torque	30.48 kgf

개발된 주변속 내부 구조와 외형은 그림 1-7과 같고 2개의 모터로 구성되어 있으며 각각의 모터가 회전하면서 1-2, 3-4단의 싱크로나이저를 움직여 변속을 수행한다. 모터와 포텐시오미터를 커플링으로 연결하여 모터의 위치 값을 통해 주변속의 제어가 가능하도록 하였다.

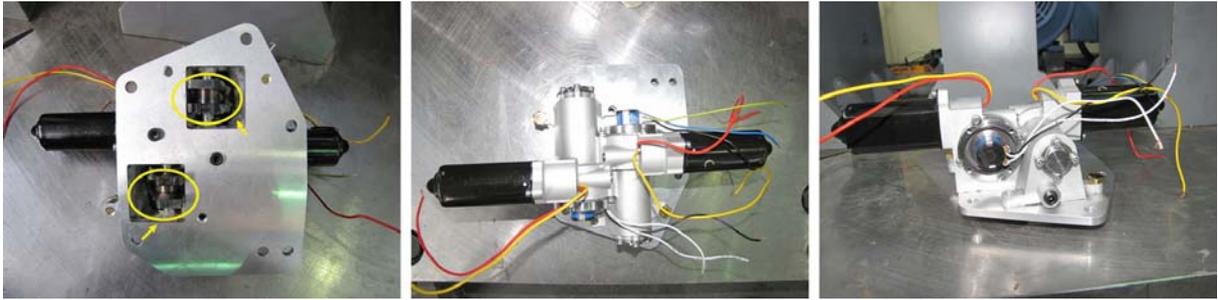


그림 1-7 개발된 주변속 액추에이터.

(라) 부변속 액추에이터

부변속의 변속에 사용되는 상시물림 변속방식(Constant mesh transmission)은 주축과 부축의 기어가 항상 맞물려 회전하는 변속방식으로 부변속 액추에이터는 이러한 점을 고려하여 설계하였다. 부변속 액추에이터 조립체에 사용된 모터는 전후진에 적용된 모터와 동일한 사양의 모터를 사용하였다. 표 1-11은 부변속 조작레버의 제원과 조작력을 나타내며 조작레버의 길이는 645 mm, 변속암의 길이는 95 mm로 나타났으며, 부변속 조작력과 변속력은 각각 6 kgf, 27 kgf로 나타났다. 이에 따른 부변속 액추에이터의 설계 사양은 표 1-12와 같다.

표 1-11 부변속 조작레버 제원 및 조작력

Lever length	Shifting arm length	Operation force	Shifting force
645 mm	95 mm	6 kgf	27 kgf

표 1-12 부변속 액추에이터의 사양

System parameter	Specifications
Neutral to 1st, 2nd level	9 mm
Neutral to 3rd, 4th level	9 mm
Shifting power	27 kgf
Shifting time	1 sec
Actuator gear ratio	1/20
Actuator operation rpm	67 rpm
Actuator operation torque	30.36 kgf

그림 1-8는 개발된 부변속 액추에이터의 설계도면을 나타낸다. 부변속 액추에이터는 부변속

기어의 변속시 상부에 위치한 액추에이터를 통한 부변속 1, 2단의 기어 변속이 가능하며, 하부에 위치한 액추에이터를 통한 부변속 3, 4단의 기어 변속이 가능하도록 설계되었다. 또한 전후진 액추에이터와 동일한 사양의 모터를 사용하였으므로 내부 포텐시오미터의 전압값은 전후진 액추에이터와 비교하여 그림 1-9과 같이 측정될 수 있다.

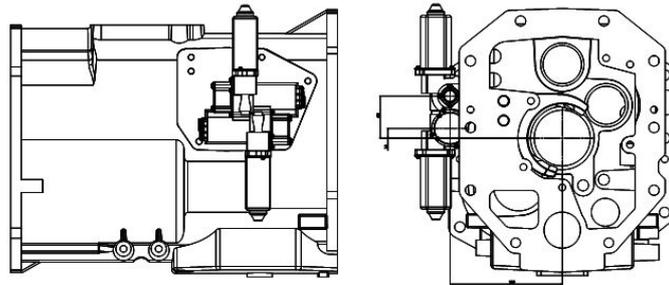
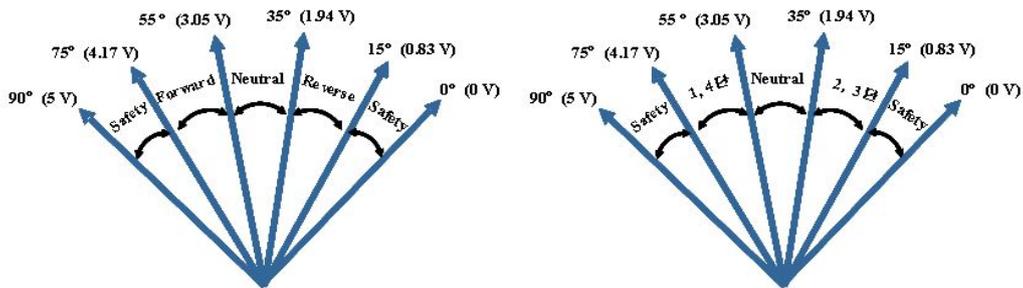


그림 1-8 부변속 액추에이터 설계도.



(a) 전후진 액추에이터 포텐시오미터 측정값 (b) 주변속/부변속 액추에이터 포텐시오미터 측정값

그림 1-9 각 액추에이터의 포텐시오미터 측정값.

#### 나. 요소부품의 내구성 평가를 위한 AMT 실내시험장치 설계 및 제작

##### (1) AMT 실내 시험장치

요소 부품의 내구성을 평가하기 위해 실내 시험장치를 제작하였으며 전체적인 외형은 그림 1-10와 같다. 시험장치는 AMT 제작에 필요한 부품과 개발된 액추에이터 및 메인모터, 인버터, 파우더 브레이크, 냉각 장치, 컨트롤 박스로 구성되었으며 자세한 항목은 표 1-13과 같다. AMT 시스템을 위해 기계식 변속기의 상부에는 전후진 액추에이터, 측면에는 클러치 액추에이터와 주변속 액추에이터, 부변속 액추에이터를 각각 장착하였다. 메인모터는 최대 엔진 회전수 2600 rpm을 만족하기 위해 3상 220 V, 2극(3560 rpm) 45 kW의 모터를 사용하였으며 3상 200 V의 인버터로 모터 속도를 제어하였다. 파우더 브레이크는 내축형, 수냉식으로 50마력 트랙터를 기준으로 출력축에서 최대 50% 부하를 줄 수 있으며, 연속해서 작동이 가능한 전자식으로 선정하였다. 또한 파우더 브레이크의 냉각을 위해 11,163 W 이상을 냉각시킬 수 있는 용량의

냉각 장치를 설치하여 파우더 브레이크의 연속 작동이 가능하게 하였다.



그림 1-10 개발된 실내 시험장치.

표 1-13 실내 시험장치의 구성 목록

Component		Component	
1	U-AMT TEST BENCH FRAME	15	PULLY MOTOR
2	U-AMT TEST BENCH PLATE 01	16	PULLY FLYWHEEL
3	U-AMT TEST BENCH PLATE 02	17	GRID COUPLING SH TYPE
4	U-AMT TEST BENCH PLATE 03	18	SPACER AXLE SHAFT
5	BRACKET	19	KEY AXLE SHAFT
6	SUPPORT POWDER BRAKE	20	SHAFT PULLY FLYWHEEL
7	SUPPORT BEARING	21	SHAFT LEFT POWDER BRAKE
8	SUPPORT BRACKET AXLE CASE (L, R SIDE)	22	SHAFT RIGHT POWDER BRAKE
9	SUPPORT TORQUE SENSOR	23	SHAFT LEFT INERTIA
10	COVER AXLE SHAFT	24	SHAFT RIGHT INERTIA
11	SUPPORT TORQUE SENSOR	25	MOTOR(220V, 3Phase, 2Pole, HHI)
12	COVER FLYWHEEL PULLY	26	INVERTER(3Phase 220V, 45kW)
13	COVER SUPPORT BRACKET C/H	27	POWDER BRAKE
14	MOUNT MOTOR		

시험장치의 모니터링 및 제어를 위한 컨트롤 박스는 그림 1-11과 같이 제작되었다. 컨트롤 박스의 외부에는 메인모터의 회전속도, 좌·우 파우더 브레이크의 회전 속도, 냉각수 온도, 토크센서로부터 출력된 차축의 토크를 표시하기 위한 인디케이터가 있으며 모터 운전 및 방향 제어, 제어의 자동/수동을 위해 ON/OFF 스위치를 설치하였다. 또한 엔진과 파우더 브레이크의 회전 속도 제어를 위한 노브와 비상정지 버튼을 포함하고 있고 자세한 항목은 표 1-14와 같다. 내부에는 메인모터 회전 속도 조절을 위한 인버터, 각각의 요소들의 ON/OFF 제어를 위한 릴레이가 포함되어 있으며 액추에이터 구동 및 제어를 위한 모터드라이브와 모터드라이브 구동을 위해 12 V의 전원 공급 장치가 있다.



그림 1-11 컨트롤 박스의 구성.

표 1-14 컨트롤 박스의 외부 구성

	Gauge	Indicator	Button	Switch	Nobe
1	Motor voltage	Motor RPM	Power	Power ON/OFF	Motor control
2	Motor current	Powder brake RPM(left)	Ready ON	Motor Manual/Neutral/Auto	Left powder brake control
3	Powder brake voltage(left)	Powder brake RPM(right)	Ready OFF	Motor F/N/R	Right powder brake control
4	Powder brake current(left)	Torque sensor signal	Driving ON	Powder brake ON/OFF	
5	Powder brake voltage(right)	Coolant temperature	Driving OFF	Powder brake Auto/Manual	
6	Powder brake current(right)				

시험장치에 장착된 클러치 액추에이터, 전후진 액추에이터, 주변속 액추에이터, 부변속 액추에이터의 위치는 그림 1-12~15와 같다.



그림 1-12 시험장치에 장착된 클러치 액추에이터.



그림 1-13 시험장치에 장착된 전후진 액추에이터.

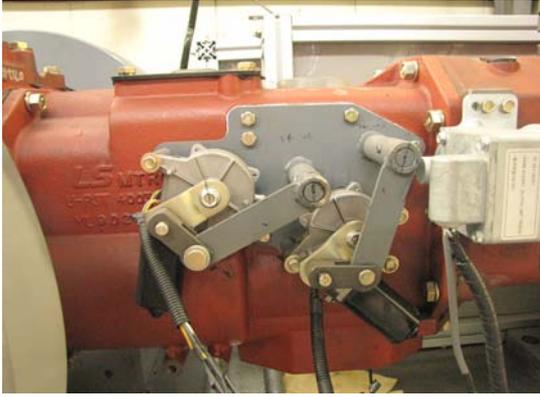


그림 1-14 시험장치에 장착된 주변속 액추에이터.

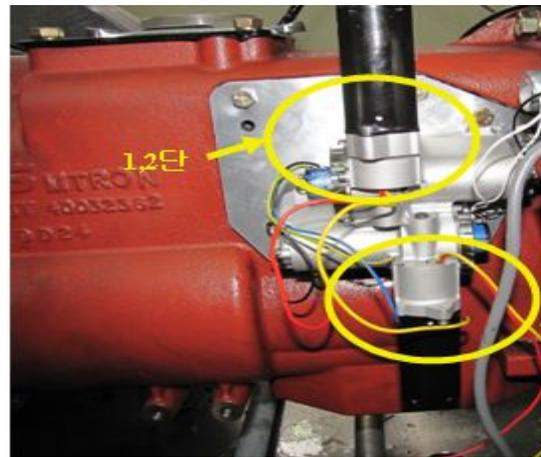
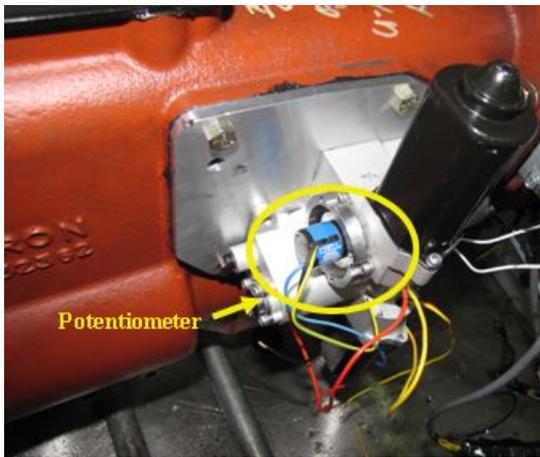


그림 1-15 시험장치에 장착된 부변속 액추에이터.

## (2) 제어성능 측정 및 분석

클러치 액추에이터의 제어 동작은 상승과 하강 방식으로 상승 동작을 하는 것은 사용자가 클러치 페달을 밟아 동력해제를 시키는 동작과 같고, 클러치 액추에이터가 하강 동작을 하는 것은 사용자가 밟았던 클러치 페달을 놓아 동력전달을 시키는 동작과 같다.

그림 1-16과 같이 클러치 페달 링크에 클러치 액추에이터를 연결시킨 상태에서 상승 동작 시에는 그림 1-17과 같이 약 47.6 A의 기동전류가 초기에 흐르며 기동이 된 순간 이후부터는 약 16 A 정도의 구동전류가 흐른다. 또한 제동 동작 시에는 순간 역기전력에 의한 제동전류가 역방향으로 생긴다. 클러치 액추에이터의 상승과 하강 동작들의 구동 시간 중 상승 동작 시간은 약 0.46초이며, 하강 동작 시간은 약 0.6초로 나타났다.

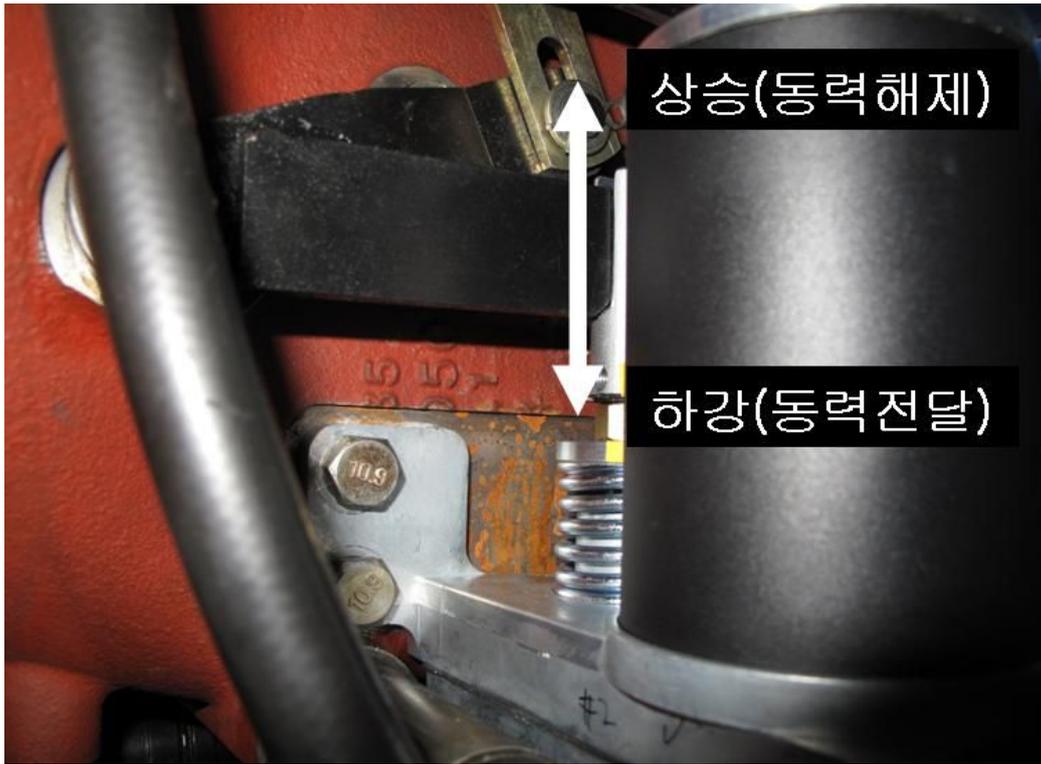


그림 1-16 트랙터에 장착된 클러치 액추에이터.

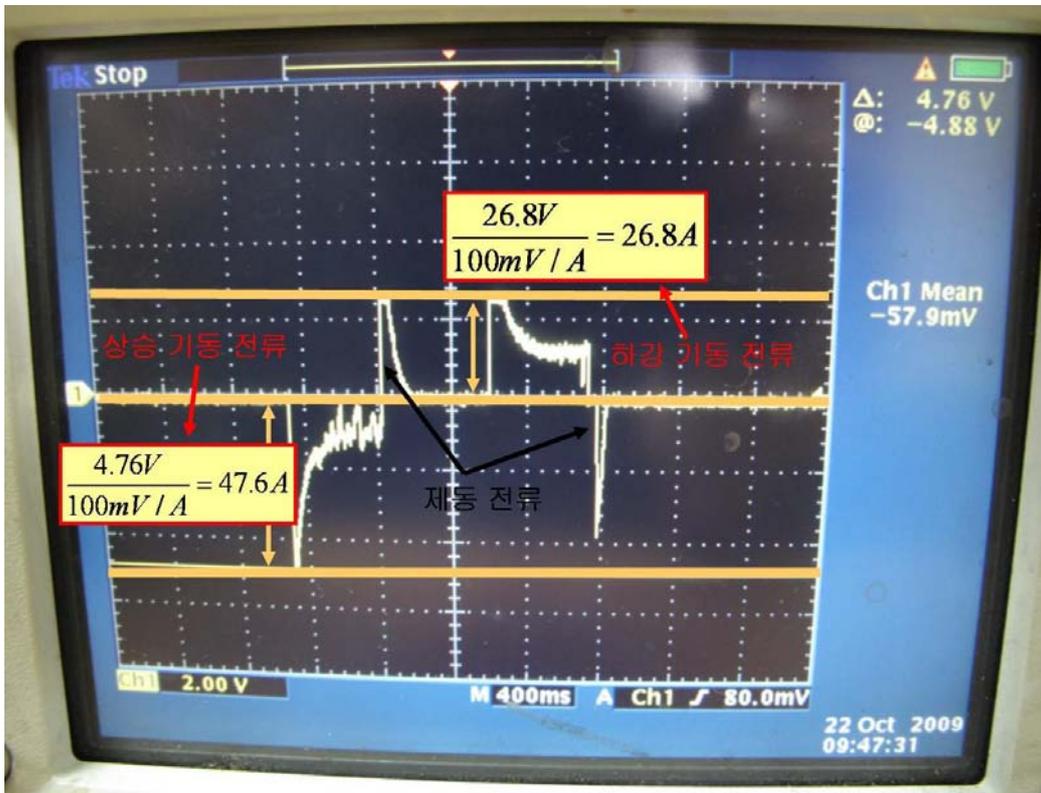


그림 1-17 클러치 액추에이터 상승/하강 시의 오실로스코프 파형.

전후진 액추에이터가 전진 동작을 하는 것은 사용자가 전후진 기어를 전진으로 이동시키는 동작과 같고, 전후진 액추에이터가 후진 동작을 하는 것은 사용자가 전후진 기어를 후진으로 이동시키는 동작과 같다. 또한 전후진 액추에이터가 중립 동작을 하는 것은 사용자가 전후진 기어를 중립으로 이동시키는 동작과 같은 것으로 차량 동력해제의 또다른 방식이다.

그림 1-18에서 전후진 기어 연결 링크에 전후진 액추에이터를 연결시킨 상태에서는 후진 동작 시에 그림 1-19와 같이 약 10 A의 기동전류와 약 4 A의 구동전류가 흐르며, 기계적 stopper에 걸려 더 이상 이동이 불가능한 상태에서 액추에이터가 계속적으로 미는 경우에 약 14.2 A의 구속전류가 흐른다. 전진 동작 시에는 약 10 A의 기동전류와 약 4 A의 구동전류, 그리고 약 11.3 A의 구속전류가 흐른다. 전후진 액추에이터의 전진점과 후진점은 기계적 stopper에 닿기 전에 놓인 위치이므로 후진 동작 시간은 약 0.25초이며, 전진 동작 시간 또한 약 0.25초이다.

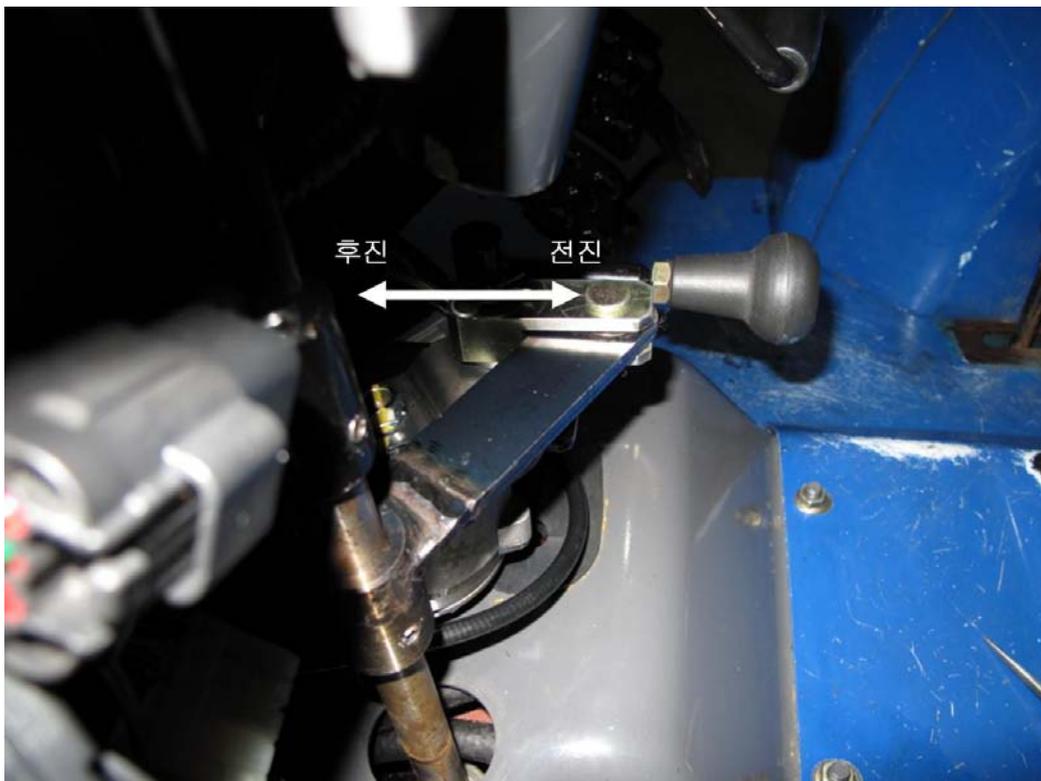


그림 1-18 트랙터에 장착된 전후진 액추에이터.



그림 1-19 전후진 액추에이터 전진/후진 시의 오실로스코프 파형.

주변속 액추에이터의 변속은 2개의 액추에이터를 이용하여 이루어지며, 주변속 레버에 의해 4수준으로 변속이 이루어진다. 부변속 액추에이터의 경우 주변속 액추에이터와 마찬가지로 2개의 액추에이터를 이용하며, 상시물림변속방식으로 변속이 이루어진다.

그림 1-20은 주변속 변속 레버에 의해 동작된 2개의 주변속 액추에이터의 위치 센서값 변화를 측정한 그래프이다. 임의의 시점에 주변속 변속 레버가 3단에서 4단으로 변경되었고, 레버 값에 맞게 1단/2단용 액추에이터는 그대로 유지되며 3단/4단용 액추에이터는 4단에 맞는 위치 값으로 이동하였다. 단수 이동시간은 약 0.38초이며, 중립에서 단수 이동시간은 약 0.25초이다.

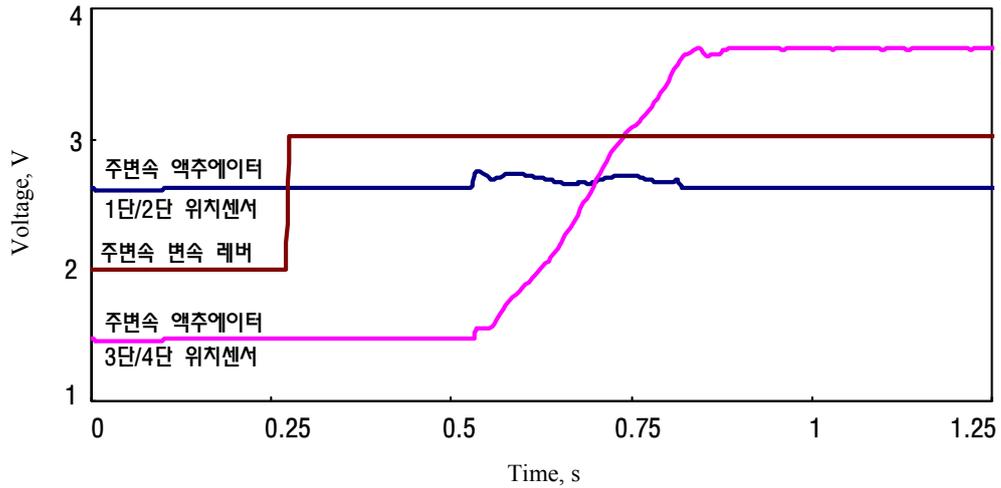


그림 1-20 주변속 변속 레버에 의한 주변속 액추에이터의 위치 센서값 변화.

그림 1-21은 부분속 변속 레버에 의해 동작된 2개의 부분속 액추에이터의 위치 센서값 변화를 측정된 그래프이다. 특정 시점에서 부분속 변속 레버에 의해 1단에서 2단으로 변속이 되었고 3, 4단은 고정된 상태에서 변속이 이루어졌다. 단수의 이동시간은 약 0.38초로 나타났으며 중립에서 단수 이동시간은 약 0.25초로 나타났다.

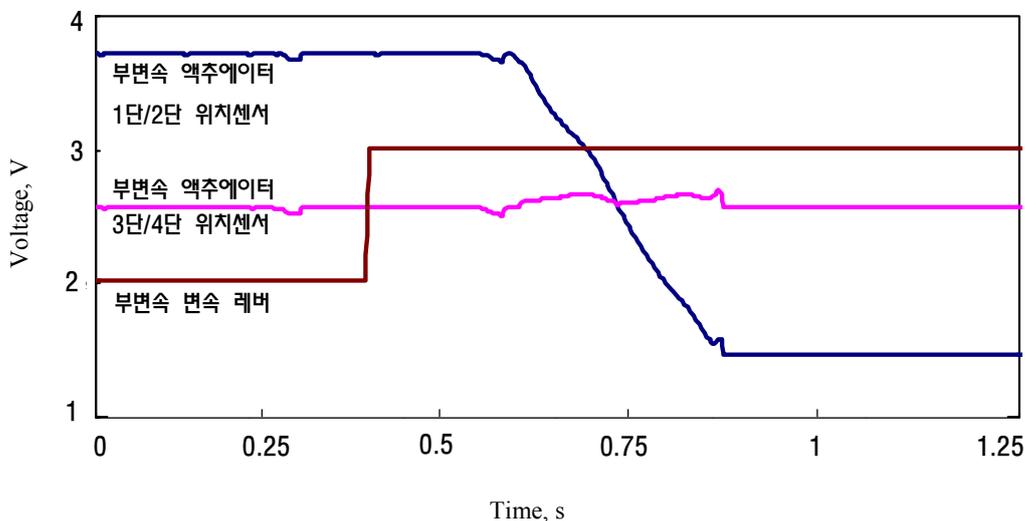


그림 1-21 부분속 변속 레버에 의한 부분속 액추에이터의 위치 센서값 변화.

자동화 수동변속기의 전체 변속 시간을 줄이기 위해 클러치 액추에이터가 상승하여 동력해제를 시킨 상태에서 바로 전후진 액추에이터를 사용자가 원하는 방향으로 이동시켜 기어를 체결하여 차량을 구동시켜야 한다. 그러나 클러치를 동력 해제한 후 전후진 기어를 체결하면 클러치 하우스 내 엔진으로부터 동력 해제되어 관성으로 돌고 있는 기어와 충돌하면서 생긴 충

돌량이 차량에 전달되어 커다란 변속 충격이 발생할 수 있는데 이는 사용자에게 위험을 초래할 수 있다. 따라서 전체 변속 시간을 줄이면서 변속 충격을 줄이기 위한 방법으로 전자 브레이크를 사용하였다. 전자 브레이크를 사용하여 동력해제 한 후, 관성으로 도는 기어의 속도를 줄여 전후진 기어를 체결하더라도 변속 충격량이 적게 발생되도록 하였다.

그림 1-22는 전자 브레이크 사용 여부에 따른 내부 기어 속도 감속 차이를 측정하였다. 그림 1-23은 측정된 데이터를 바탕으로 감속률의 계산을 도식화한 것으로 약 0.3초 전자 브레이크 사용으로 전체 변속 시간을 줄이면서 변속 충격량을 줄일 수 있게 되었다.

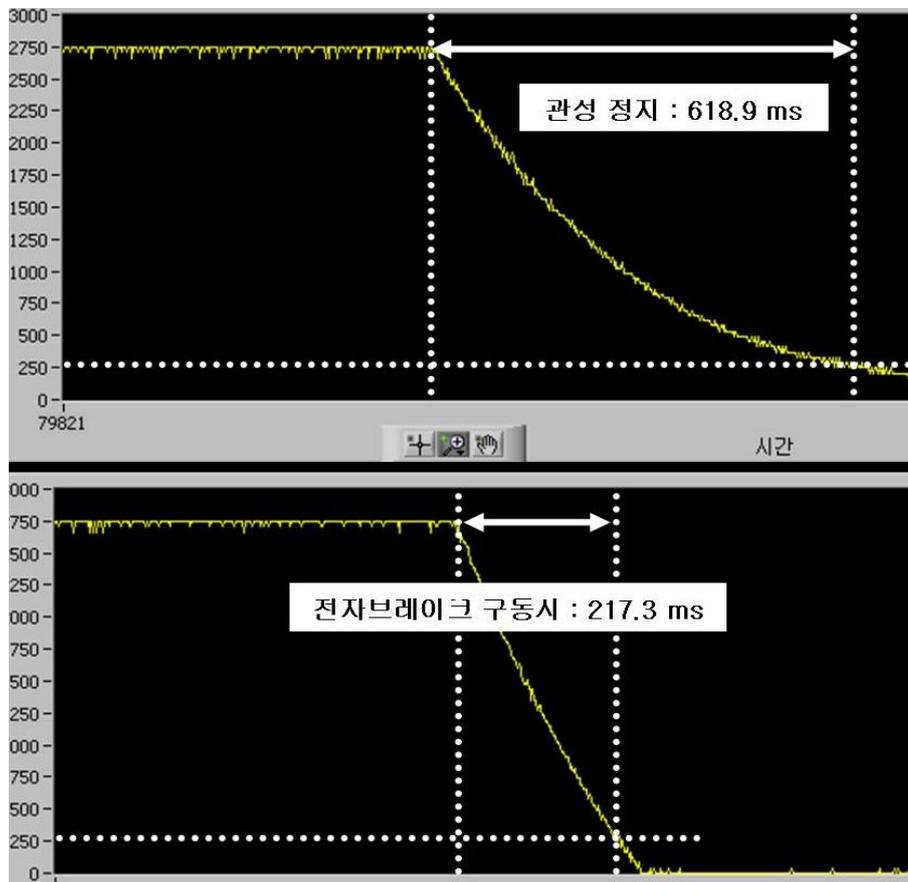


그림 1-22 전자 브레이크 사용 여부에 따른 내부 기어 속도 감속 차이.

전자브레이크 감속률 측정

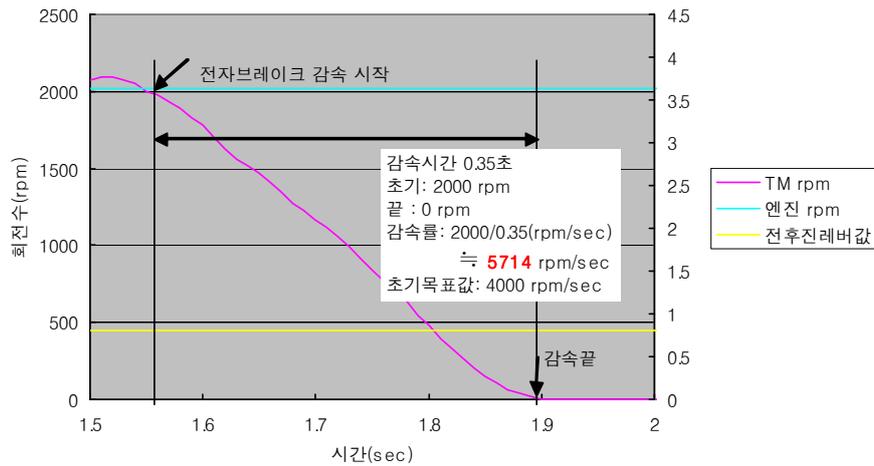


그림 1-23 전자 브레이크 감속률.

전자식 액추에이터 추가에 따라 트랙터에 사용되는 전력량이 증가되고 최대 전력 소요 시 트랙터 작업이 기존의 배터리 정격 용량 범위 내에서 사용 가능하여야 한다. 따라서 변속 과정에서 각각의 액추에이터 전력을 분석하여야 한다. 자동화수동변속기의 변속 시 각각의 액추에이터 전력 변화는 그림 1-24와 같으며 이때 모든 액추에이터의 정격 전압은 12 V로 동일하기 때문에 전류 변화로 표현하였다. 클러치 액추에이터의 경우 최대 전류는 기동 전류에서 47.6 A였으며 전후진 액추에이터의 최대 전류는 후진에서 구속 전류가 14.2 A로 나타났다. 주변속 액추에이터의 최대 전류는 1-2단의 경우 1단에서 13.8 A, 3-4단의 경우 3단에서 14.0 A로 나타났다. 각각의 액추에이터는 변속 과정에서 순차적으로 동작하며 동시에 2개 이상의 액추에이터가 작동되는 경우가 없어 변속 과정의 최대 전류는 47.6 A임을 알 수 있다. 기존의 부대장치에서 사용되는 전류는 약 10 A로 액추에이터와 부대장치 모두 작동 시 최대 전류는 60 A 미만이 소요된다. 자동화수동변속기가 적용되는 트랙터의 배터리 정격 용량은 약 1 kW/h이고 정격 전압은 12 V이다. 이는 시간당 80 A를 낼 수 있는 전력 용량으로 액추에이터 동작 시간이 1초 미만인 것을 고려했을 때 자동화수동변속기의 적용에 무리없을 것으로 판단된다. 또한 트랙터의 변속은 엔진이 구동되는 상태에서 이루어지므로 배터리의 지속적인 충전으로 전력 소모에 따른 문제도 발생하지 않음을 알 수 있다.

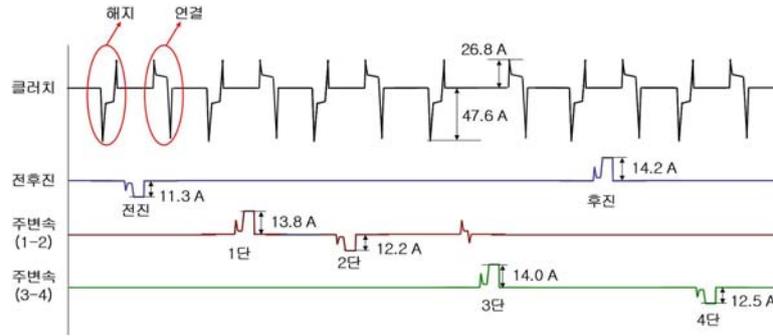


그림 1-24 자동화수동변속기 변속에 따른 액추에이터 전류 변화

다. 자동화 수동변속 시스템의 제어를 위한 TCU 설계

(1) AMT 시스템의 제어를 위한 TCU layout 설계

(가) TCU의 정의

현재 차량운전에서는 운전자의 편의성이 중요시되어 연료 효율이 떨어지고 고가임에도 불구하고 자동변속기 차량을 많이 선호하는 추세이다. 자동변속기는 토크 컨버터, 변속기어계, 밸브 몸체로 구성되고 이들을 변속제어기(Transmission Control Unit, TCU)를 이용하여 제어한다. TCU는 그림 1-25와 같이 TPS에서 스톱틀의 상태와 VSS에서 차량의 속도, 입·출력 회전수, 가속페달의 상태 등의 센서 신호를 입력받아 구동장치와 차량의 주행상태를 확인한다. 그리고 현 상태에서의 최적단수를 결정하여 변속기내의 유압밸브들을 작동시킨다.

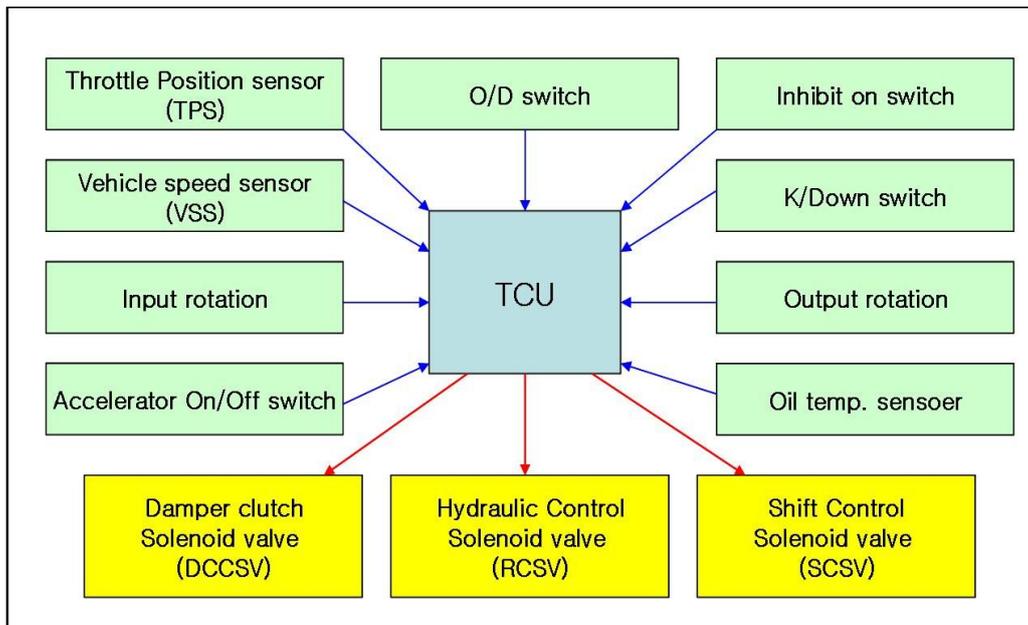


그림 1-25 자동변속기의 TCU 입력 및 출력.

변속 제어기는 펌웨어, 마이크로프로세서, 램, 센서 입력 신호 인터페이스, 출력제어 인터페이스로 구성된다. 펌웨어는 롬에 저장된 ‘변속장치 전자제어 프로그램’을 의미하며, 마이크로프로세서는 ‘변속장치 전자제어 프로그램’에 저장된 내용에 따라 변속장치를 제어한다. 전자제어 변속장치의 핵심은 변속 제어기에 내장된 마이크로프로세서가 롬에 저장된 펌웨어에 따라 엔진에서 변속장치로 공급되는 출력과 변속장치 변속시기를 제어하도록 하는 것이다.

변속 제어기가 소형화되면서 자동변속기와 분리한 별개의 부품으로 보지 않고 자동변속기의 내부 또는 외곽에 탑재하여 원가를 절감하고, 어셈블리(assembly) 상태로 최종 품질이 확인되기 때문에 성능과 신뢰성이 더욱 향상되고 있다. 특히 슬레노이드와 각종 센서들과 커넥터 없이 연결되어 신뢰성이 높아지고 다른 기종의 자동변속기에도 쉽게 공용화가 가능하여 이점이 많다. 반면에 자동변속기 내부의 오일 침투나 높은 온도에 대한 내구성을 확보해야 하는 과제가 남아 있다.

차량용 자동화 수동변속 시스템에서도 변속의 자동화를 구현하기 위하여 TCU를 이용한다. 하지만 기계식 변속기의 우수한 변속감 및 에너지 효율과 자동변속기의 편의성을 갖기 위해 자동변속기의 TCU와는 다른 방식을 사용한다. 자동화 수동변속 시스템은 유압밸브를 조절하여 토크를 조절하는 것이 아니라 수동 변속기처럼 기어비를 변화시켜 토크를 조절한다. 따라서 엔진의 RPM과 TPS의 신호, 브레이크와 가속페달의 상태로부터 가속 혹은 감속 의지, 현재 기어의 단수, 클러치의 위치, 속도 등의 신호를 수집하고 이를 미리 정해진 엔진 맵과 미션 맵에 비교하여 최적 단수를 결정한다. 그 후 클러치 작동자와 트랜스미션 작동자에 변속 명령을 내려 기어를 조정한다. 그러므로 이러한 과정을 연산하고 명령할 수 있는 TCU가 필요하다. 이 과정을 나타내면 그림 1-26과 같다.

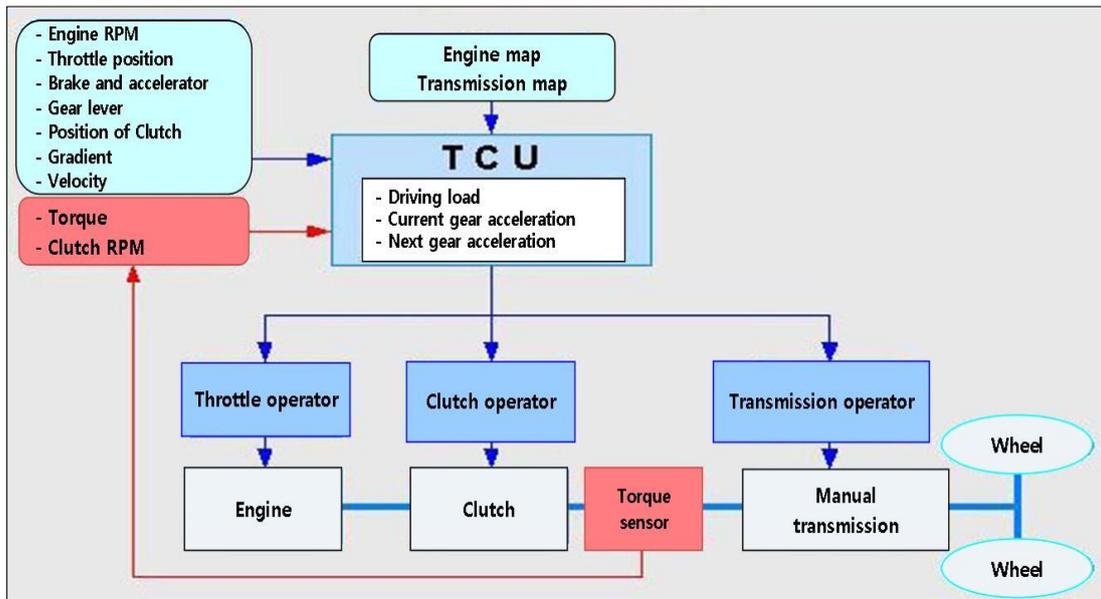


그림 1-26 자동화수동변속기의 TCU 개략도.

(나) 트랙터 AMT용 변속제어기

일반적으로 수동변속 트랙터에는 TCU가 없지만 자동화 수동변속기를 트랙터에 적용하기 위해서는 새로운 TCU의 설계가 필요하다. 트랙터용 TCU는 그림 1-27과 같이 작업자가 변속레버를 조작하면 엔진과 트랜스미션의 RPM신호를 분석하여 클러치 액추에이터와 변속 액추에이터에 신호를 주어 변속을 실행한다.

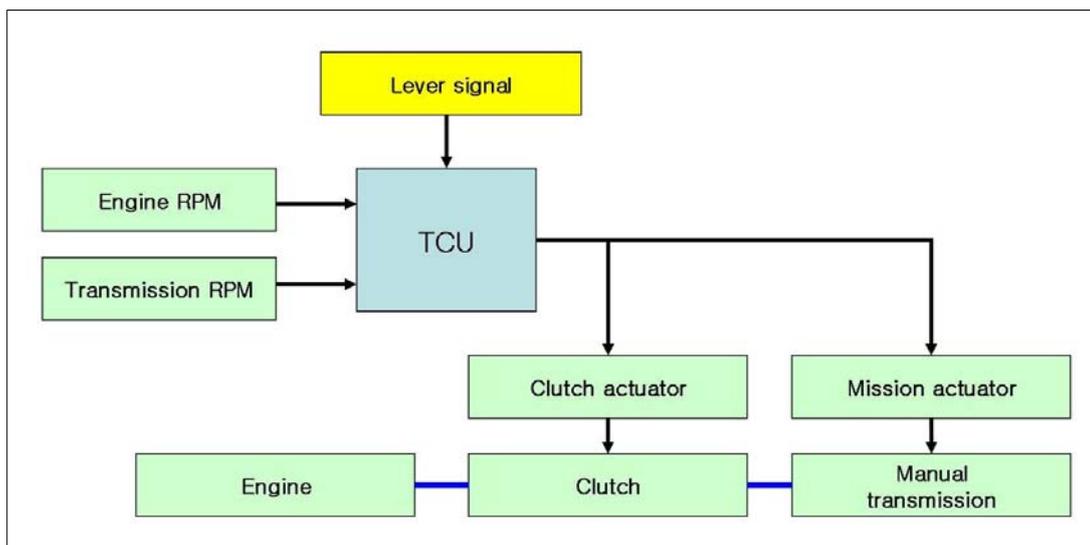


그림 1-27 AMT 트랙터의 TCU 개략도.

TCU의 설계 시 적용할 수 있는 방법에는 하드웨어(실험장치) - 하드웨어(변속제어기 시제품), 하드웨어(실험장치) - 소프트웨어(변속제어 알고리즘), 소프트웨어(동적 해석 프로그램) -

하드웨어(변속제어기 시제품), 소프트웨어(동적 해석 프로그램) - 소프트웨어(변속제어 알고리즘)를 이용하는 네 가지 방법을 사용할 수 있다. 현재 자동차 회사에서 많이 사용되고 있는 하드웨어(실험장치) - 하드웨어(변속제어기 시제품)의 방법은 변속제어기를 설계하고 이를 수정할 때마다 변속제어기를 다시 만들어 실험을 반복해야하는 번거로움과 함께 개발에 많은 시간과 경비가 소요된다는 단점이 있지만 실제 차량의 변속기를 모델로 한 실험 장치에 시제품을 장착하기에 완성품에 적용 시 높은 신뢰도와 적용성을 보장한다는 장점이 있다. 하드웨어(실험장치) - 소프트웨어(변속제어기 알고리즘)의 방법은 변속제어기를 쉽게 변경할 수 있으나, 만약 알고리즘 상에 문제가 발생하면 실험장치가 고장 날 우려가 있다. 소프트웨어(동적 해석 프로그램) - 하드웨어(변속제어기 시제품)의 방법은 일반적으로 HILS (Hardware-In-the-Loop Simulation)로 불리며 변속제어기의 작동여부는 물론 실험 장치에서 구현 할 수 없는 모든 주행상태에 대하여 변속제어기의 동작을 검증할 수 있는 장점이 있지만 우선 동적 해석 프로그램이 실험 장치에 의해 검증이 되어야한다. 소프트웨어로만 설계할 경우에는 제작비용 및 시간을 절감할 수 있지만, 신빙성이 떨어지는 단점이 있다.

## (2) 엔진부, 변속부, 클러치, 구동부 등의 신호측정을 위한 센서 선정

AMT 시스템은 차량의 현재 상태에서부터 변속시점을 알아내기 때문에 차량의 현재 상태를 정확히 감지할 필요가 있다. 변속 시 고려되는 사항은 차량의 가속 혹은 감속여부, 차량의 부하에 맞는 토크 등이다. 이들 정보를 알아내기 위하여 적절한 센서를 부착해 줄 필요가 있다.

### (가) RPM 센서

차량의 가속 혹은 감속 여부를 확인하기 위하여 엔진의 RPM 변화와 변속 시의 RPM, 차축의 RPM을 측정하여 적절한 변속 비를 구해야한다. RPM을 측정하기 위한 방법은 여러 가지가 있으나 가장 간단한 방법으로는 기어의 톱니에 회전수를 측정하는 방법이 있다. 일정한 위치에서 지나가는 톱니의 수를 측정할 수 있으면 기어의 총 톱니의 개수와 지나가는 속도를 통하여 회전 속도를 구할 수 있다. 따라서 톱니의 수를 측정하기 위한 센서가 필요한데 물체의 유무를 감지하는 점유센서로 측정하는 것이 일반적이며 대표적인 센서로는 근접센서, 광센서, 홀센서 등이 있다. 광센서는 장점은 센서의 정확도가 다른 형식의 센서에 비해 높고(오차범위 최대 회전각  $\pm 1^\circ$ ), 응답속도가 빠르며 온도에 따른 출력변화가 작다는 것이다. 하지만 최대 회전속도가 낮고(최대 4500rpm) 구조가 복잡하고 부피가 크다. 또한 노이즈 대책이 필요하며 일체형이 아닌 조립식으로 만들어지고 빛에 의해 작동하므로 플레이트나 센서 표면이 오염되면 정상적으로 작동할 수 없다는 단점이 있다. 근접센서는 구조가 단순하고 크기 형태 등에 융통성이 크며 가격이 저렴하다는 장점이 있지만, 습도와 온도 변화에 민감하고 노이즈(noise)에 약

하다. 홀 센서는 출력이 디지털이므로 다른 센서처럼 컨버팅(converting) 과정이 없이 시스템에서 직접 사용할 수 있고, 센서와 타겟이 접촉되지 않아 마모로 인한 내구성 저하가 없으며 성능저하가 발생하지 않고 온도에 따른 출력변화도 작다. 또한 최근에 발전된 전자산업의 발전으로 비용이 저렴하고 홀 센서의 크기도 작아 엔진에 적용하기 쉽다.

본 연구에서는 기어의 톱니가 자성체이고 측정부인 엔진 및 미션, 차축은 진동 및 온도 변화 등의 노이즈가 있기 때문에 이러한 환경에서 적합한 점유센서인 홀센서(55505-00-01-A, Hamlin Electronics, USA)를 이용하여 RPM을 측정하였다(그림 1-28). 홀센서의 장착 모습과 사양은 그림 1-29와 표 1-15와 같다.

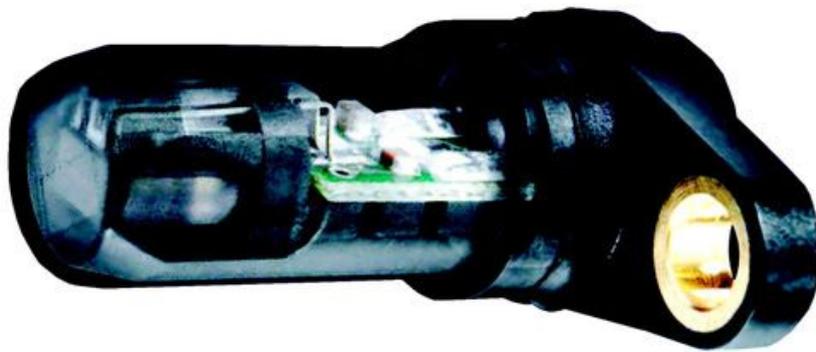


그림 1-28 홀 센서.



그림 1-29 엔진 회전수(왼쪽)와 변속기 회전수(오른쪽) 측정을 위해 설치된 홀 센서.

표 1-15 홀 센서의 사양

Specifications	Accuracy
Type	Hall Effect
Output Type	Digital
Voltage - Supply	4.75 V ~ 25.2 V
Frequency	15 kHz
Termination Style	Wire Leads

(나) 토크센서

변속시점을 결정하기 위해서는 RPM 외에 토크(torque)도 중요한 요소이다. 토크는 차축의 토크를 측정할 필요가 있는데, 이는 차량이 움직이는 데는 차축의 토크와 밀접한 관련이 있기 때문이다. 차량의 부하에 맞는 적절한 토크를 낼 수 있는 변속 단수를 결정해 주어야 한다. 이를 위해 그림 1-30과 같이 차축에 토크센서(TRC-100k, 다셀, Korea)를 장착하였으며 그 사양은 표 1-16과 같다.

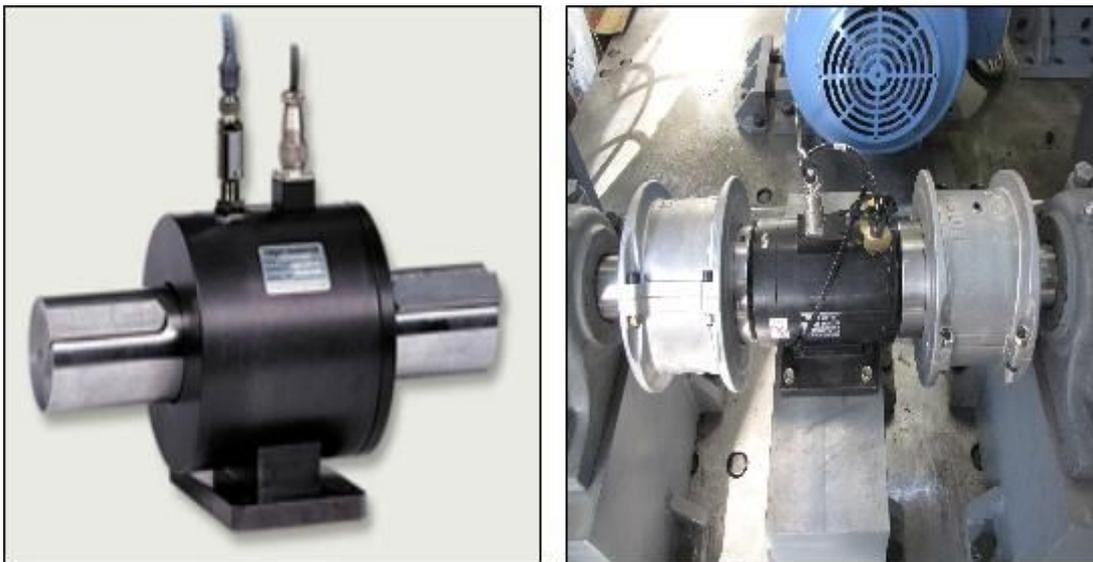


그림 1-30 구동축 토크를 측정하기 위한 토크 센서.

표 1-16 토크 센서의 사양

Specifications	Accuracy
Rated capacity	100 kgf-m
Rated Output	1.3 mV/V±1%
Supply voltage	AC 2 V
Temperature operating	0 ~60℃
Safe overload	120% R.C
Hysteresis	±0.5% R.O.
Cable length	cable Φ10, 4core shield 5 m

(다) 파우더 브레이크

본 연구에서는 실내 시험 장치를 사용하였고 차축을 띄워놓았기 때문에 차량에 부하를 줄 수 없었다. 따라서 토크를 발생시키기 위하여 차축에 그림 1-31과 같이 파우더 브레이크 (PRB-65 I2, 보라전기공업, Korea)를 장착하였다. 파우더 브레이크로 차축을 멈춤으로써 부하를 발생시켜 토크를 측정하도록 하였으며 그 사양은 표 1-17과 같다.



그림 1-31 부하 토크를 생성하기 위한 파우더 브레이크.

표 1-17 파우더 브레이크 사양

Specifications	Accuracy
Rated capacity	650 Nm
current	5.0 A
Supply voltage	DC 24 V
weight	160 kg
bearing standard	#6019
Powder capacity	1000 g
Revolutions	500rpm

(라) 온도센서

브레이크는 마찰에 의한 제동력을 발생시킴으로 이에 따른 장치의 변형이 일어나지 않도록 냉각시키는 것이 필요하다. 냉각 방식에는 여러 가지가 있지만 공기로 냉각시키는 공랭식과 물로 냉각시키는 수랭식이 대표적이다. 본 파우더 브레이크는 효율이 좋은 수랭식으로 냉각하는데, 물의 순환을 위해 펌프를 작동시킨다. 이때 계전력 낭비를 방지하기 위해 수온을 측정하여 일정 온도 이상일 때만 펌프를 작동시키도록 하였다.

온도측정을 위한 센서로는 서미스터(thermistor), 서머커플(thermocouple), RTD (Resistance Temperature Detector) 등이 있다. 서미스터는 반도체 물질 중에서 온도에 따라 저항이 변하는 성질을 이용하여 온도를 측정하는 것으로 출력 차이가 크고 반응속도가 빠르지만 선형적이지 않고 측정범위가 좁은 단점이 있다. 서머커플은 온도에 따른 금속의 기전력을 이용하여 온도를 측정하는 센서로써 간단하고 측정범위도 넓은 장점이 있지만, 완전히 선형적이지 않고 기전력 자체가 매우 작다는 단점이 있다. RTD는 금속이 온도에 따라 전기저항이 변하는 성질을 이용하여 온도를 측정한다. 가격이 비싸고 전류원이 필요하다는 단점이 있지만 가장 정확성이 높고 가장 선형적이며 가장 안정적이기 때문에 자동차와 같은 노이즈가 심하고 변화가 심한 환경에서는 RTD센서가 적당하다.

RTD는 백금, 동, Nickel 등이 있으며, 그중 백금선이 온도변화에 예민하게 전기저항이 증감하고 사용온도범위도  $-200^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ 이기 때문에 그림 1-21와 같은 백금측온저항체(platinum resistance temperature detector, PRTD)를 사용하였다. PRTD의 사양은 표 1-18과 같다.



그림 1-32 냉각수 온도 측정을 위한 PRTD 타입의 온도 센서.

표 1-18 온도 센서의 사양

Specifications	Accuracy
Range	-50 ~ 150℃
Output voltage	4 ~ 20mA
Accuracy	DC 24 V
Thread	160 kg

(마) 포텐시오미터

차량의 현재 상태를 파악한 후 TCU는 클러치 및 기어를 조작하여 단수를 변경해야하는데 이를 자동 제어하기 위해서는 클러치의 위치와 기어의 위치를 측정하는 것이 필요하다. 본 연구에서 개발한 AMT의 변속은 전자식 액추에이터의 회전 운동에 의해 클러치 및 기어를 제어하기 때문에 회전 운동을 측정할 수 있는 가변저항(potentiometer)을 사용하여 그 값을 측정하였다. 액추에이터에는 그림 1-33과 같이 장착하였으며 그 사양은 표 1-19와 같다.



그림 1-33 액추에이터 변위 측정을 위한 포텐시오미터.

표 1-19 포텐시오미터 사양

Specifications	Accuracy
Max. active angle	345°
Resistance	1kΩ
Resolution	0,5 up to <0,1 %
Thread	160 kg

## 2. 고성능 자동화 수동변속기의 시작품 개발 및 트랙터 적용

### 가. AMT 파워트레인 시작품 제작 및 레이아웃 설계

#### (1) 액추에이터 시스템 개발

##### (가) 클러치 액추에이터 시스템

그림 1-34는 클러치 액추에이터 시스템의 개념도이다. 클러치 액추에이터 시스템은 전기모터, 연결기어 및 스크류로 구성된 액추에이터와, 연결 링크, 릴리스 허브 베어링으로 구성된다. 이는 기존의 클러치 시스템에서 운전자가 클러치를 작동하기 위해 조작했던 페달을 전기-기계식 클러치 액추에이터로 대체한 것이다. 액추에이터는 클러치를 단속 및 해지하기 위한 연결 링크를 바로 조작할 수 있도록 모터의 회전운동을 직선운동으로 변환하기 위한 스크류가 일체화 되어 있으며 클러치 위치를 판단하기 위한 센서가 추가되어 있다. 이러한 방식은 클러치의 정밀 제어를 가능하게 하며, 작은 용량의 모터로도 클러치 전달 토크 용량이 큰 트랙터에 기존의 클러치 컨트롤 계의 변화 없이 Add-On 방식으로 장착할 수 있다.

클러치 액추에이터의 기구 메커니즘은 모터, 기어와 스크류로 구성된다. 전기 모터는 크기, 가격 등에 의해서 출력의 한계가 있다. 트랙터에 사용되는 클러치는 릴리즈 하중이 매우 큰 다이어프램 스프링을 사용하기 때문에 전기 모터를 직결로 연결하여 사용하기에는 매우 큰 용량의 모터가 필요하게 된다. 이를 해결하기 위해 전기 모터의 토크를 증가시키기 위해 감속기어와 스크류를 이용하였다. 또한 스크류는 외력에 의해 역회전이 하기 힘든 구조이기에 장시간 동안 클러치를 해지하거나 반클러치 상태를 유지할 수 있으며 모터에 의한 전기 소모가 거의 없다.

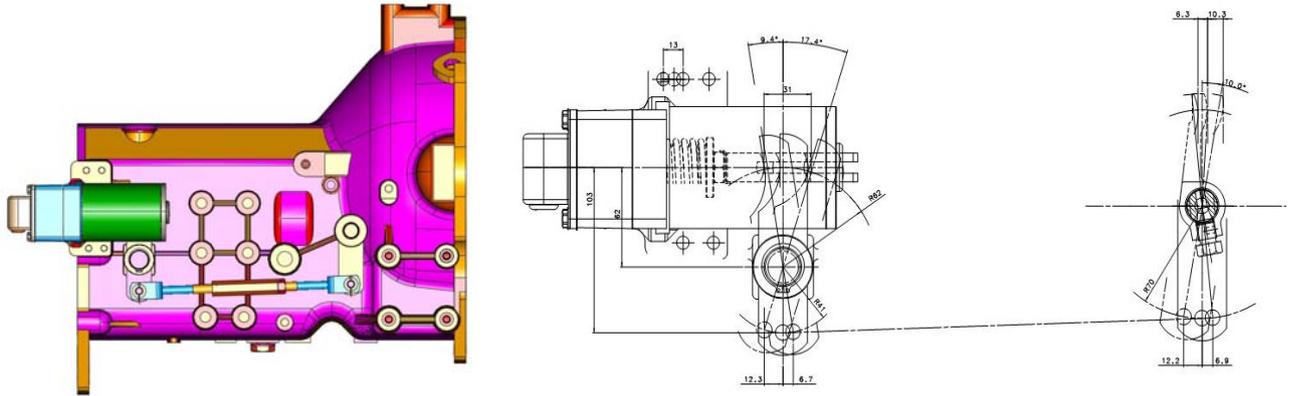


그림 1-34 전기-기계식 클러치 액추에이터 시스템 개념도 및 도면.

#### (나) 전후진 액추에이터 시스템

트랙터에서 전진과 후진 변속은 다양한 로더 작업으로 인해 특성상 잦은 변속을 하게 되며 이러한 전후진 변속은 싱크로나이저(synchronizer)에 의하여 수행된다. 개발 대상 트랙터의 전진과 후진 싱크로나이저는 출력축에 장착되어 있으며 이에 따라 속도의 동기화는 입력축 회전 속도보다 기어비만큼 감속된 속도에서 이루어진다. 그러나 전진 주행 중 후진으로 변속하게 되는 경우 변속을 위하여 슬리브(sleeve)가 후진 기어로 전진하면 출력축에 연결된 싱크로나이저 링과 후진 기어에 연결된 싱크로 콘(synchro cone) 사이의 콘 토크(cone torque)에 의해 입력축에 연결된 후진 기어 속도가 출력축 속도로 동기화된다. 이 과정은 차량의 속도를 변속하는 경우와 달리 입력축 회전이 정회전에서 역회전으로 감속, 정지 및 동기화를 이루는 과정을 필요로 하게되며, 따라서 트랙터의 전후진 변속부는 매우 큰 용량의 속도 동기화를 위한 싱크로나이저를 사용하며 슬리브를 작동시키는 힘의 변화가 차량의 진행 상태에 따라 다르게 작용해야 한다.

그림 1-35는 본 연구에서 개발하고자 하는 전기-기계식 전후진 액추에이터 시스템의 개념도 및 도면이다. 전후진 액추에이터 시스템은 전기 모터와 웜기어로 구성된 액추에이터와 연결링크, 포크와 슬리브로 구성된다. 이는 기존의 전후진 시스템에서 운전자가 전후진 레버를 작동하기 위해 조작했던 레버를 전기-기계식 전후진 액추에이터로 대체한 것이다.

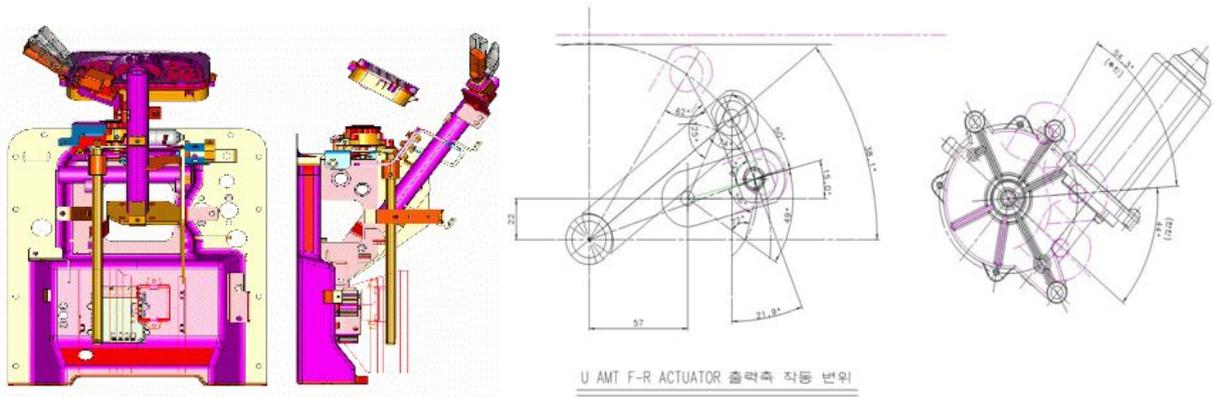


그림 1-35 전후진 액추에이터 시스템의 개념도 및 도면.

(다) 주변속 액추에이터 시스템

트랙터는 작업 부하에 따라 차량 속도 변속을 하며 전진 16속 및 후진 16속을 가진다. 본 트랙터는 자동차와 같이 주행 중 변속이 가능한 주변속 4단과 차량이 정지한 상태에서 변속이 가능한 부변속 4단으로 구성되어 있다. 주변속 4단의 변속은 싱크로나이저에 의하여 수행되며 전후진 변속부와 동일한 방식으로 속도 변속이 이루어진다.

그림 1-36은 본 연구에서 개발하고자 하는 전기-기계식 주변속 액추에이터 시스템의 개념도이다. 기존 주변속 레버 장착부에 주변속 변속을 위한 전기-기계식 액추에이터 시스템을 장착하는 Add-on 방식을 적용하였다.

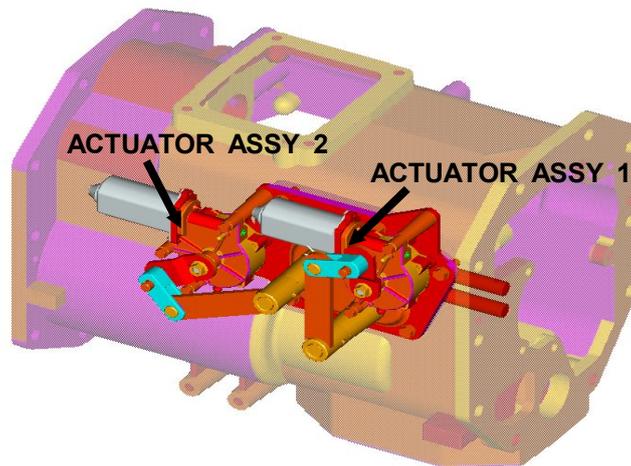


그림 1-36 주변속 액추에이터 시스템의 개념도.

(라) 부변속 액추에이터 시스템

부변속 액추에이터의 경우 주변속 액추에이터와 마찬가지로 4단의 변속이 싱크로나이저에 의하여 수행되고 전후진 변속부와 동일한 방식으로 속도 변속이 이루어진다. 또한 그림 1-37과 같이 기존 부변속 레버 장착부에 부변속을 위한 전기-기계식 액추에이터 시스템을 장착하는

Add-on 방식을 적용하여 개발하였다.

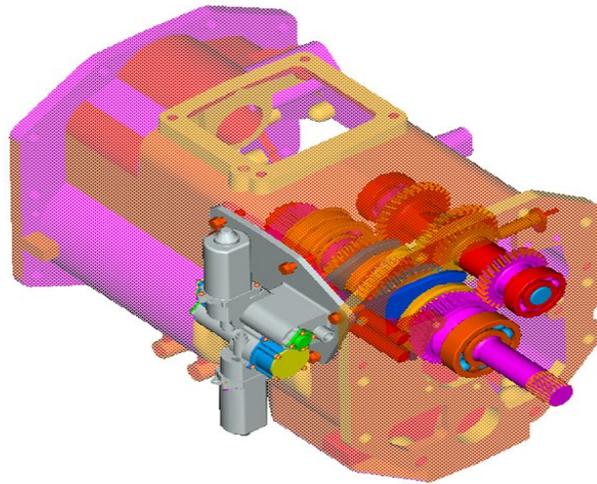


그림 1-37 무변속 액추에이터 시스템의 개념도.

## (2) 전자브레이크 시스템 개발

### (가) 전자브레이크 설계 및 개발

차량이 중립에서 전진 또는 후진으로 출발시 파워트레인 내부의 회전체가 가진 회전력을 감소시키기 위해 전자브레이크를 파워트레인 내부 축에 장착할 수 있도록 설계를 하였다. 이는 변속시 싱크로 기구가 동기화되기 전에 전후진 피동축 및 기어류의 회전을 감속시켜 전후진 변속시 싱크로메쉬 기구의 동기화되는 속도를 줄이고 잦은 변속에 의한 싱크로메쉬 기구부의 마모를 방지할 수 있다.

전자브레이크의 기본동작 원리는 Stator 내부에 감겨진 코일에 전류를 인가하여 Stator와 Armature 간에 서로 끌어당기는 자력이 형성될 때 Stator의 마찰면과 Armature의 마찰면이 밀착되면서 마찰력이 발생하여 회전체를 감속 또는 정지시키는 것으로, Stator의 코일에 전원이 차단되면 자력이 소멸되어 판스프링의 힘으로 Armature가 원래의 위치로 돌아가 간격을 유지한다. 그림 1-38은 전자브레이크의 개략도를 나타낸다.

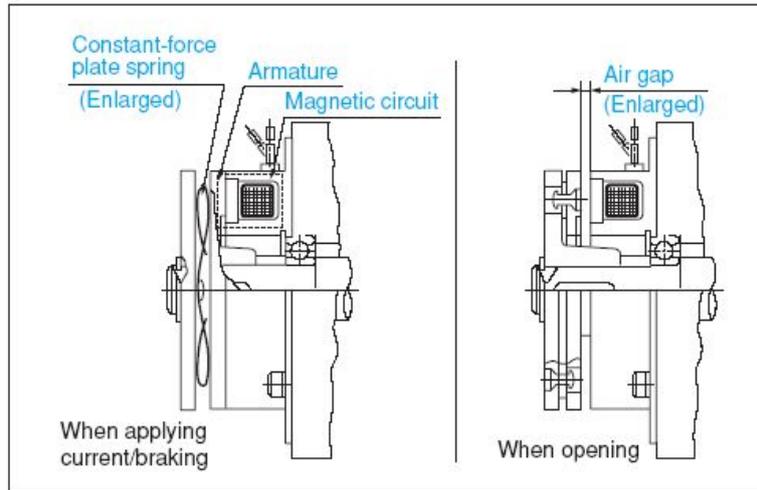


그림 1-38 전자브레이크 개략도.

전자브레이크의 개발은 0.5초 이내에 2600 rpm을 600 rpm으로 2000 rpm을 감속시키는 것을 목표로 하였고 이와 관련된 전자브레이크 설계 사양은 표 1-20과 같다.

표 1-20 전자브레이크 설계 사양

System parameter	Specification
Engine RPM	2600 rpm
Gear ratio	29 / 32
Initial RPM	2275 rpm
Objective reduction RPM	581 rpm
Reduction rpm time	0.5 sec
Brake torque	0.68 kfg-m

그림 1-39는 트랙터에 적용된 전자브레이크 조립체의 도면으로 일반 시중에 판매되는 제품과 동일하며, 제동력을 확보하기 위해 내부 코일에 대한 최적화를 실시하였다. 또한 양산을 고려하여 조립이 용이한 구조로 제작하였다.

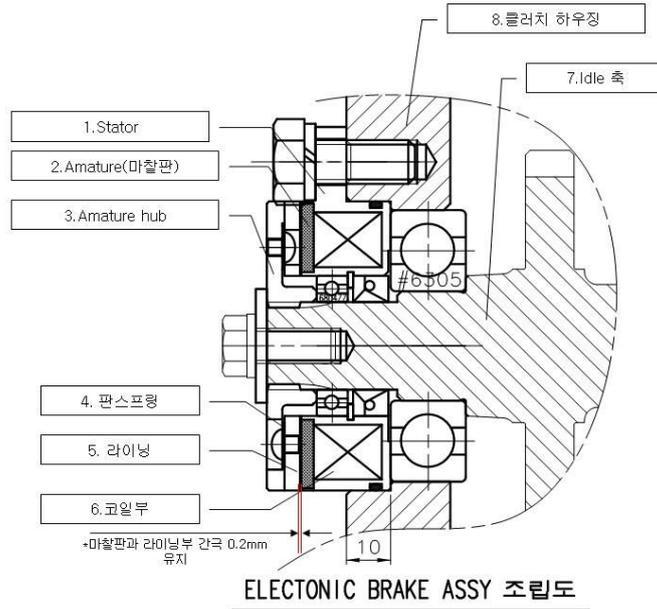


그림 1-39 트랙터에 적용된 전자브레이크 조립체 도면 .

(나) 전자브레이크 성능평가

전자브레이크 외형 및 재질은 이미 설계되었으며, 내부 코일의 선경, 감김수 및 라이닝 직경을 조정하여 필요한 제동력을 확보하기 위한 시험을 실시하였다. 시험은 실제 차량에 전자브레이크를 장착하고 축이 회전하지 못하도록 구속한 상태에서 전자브레이크에 12V 전원을 인가한 후 다이얼 토크 렌치를 전자브레이크가 장착된 축에 연결하여 측정하였다. 그림 1-40은 제동 토크 측정과 전자브레이크에서 소비되는 전류량을 측정한 것이다.

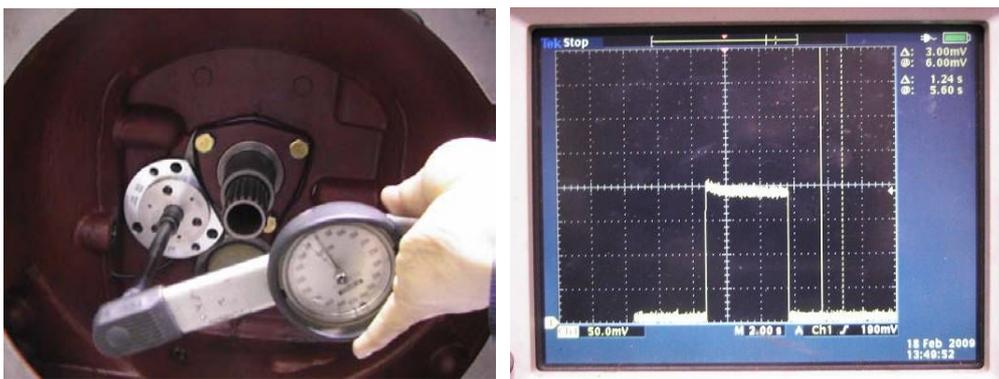


그림 1-40 제동 토크 측정 및 소비 전류량 측정.

전자브레이크의 성능평가를 위한 시험을 실시하였으며, 시험 조건은 표 1-21과 같다.

표 1-21 전자브레이크 성능평가 시험 조건

Parameter	Condition
Engine RPM	2600 rpm
Gear ratio	29 / 32
Initial RPM	2275 rpm

표 1-22는 코일선경에 따른 코일 저항, 소비 전류, 제동 토크의 측정결과를 나타내며, 표 1-23은 라이닝외경에 따른 제동 토크를 나타낸다.

표 1-22 코일 저항, 소비 전류, 제동 토크 측정 결과

Coil radius( $\Phi$ )	코일감김수(회)	Coil resistance( $\Omega$ )	Current(A)	Braking Torque(kgf-cm)
0.28	200	8.3	1.35	42
	300	12.8	0.93	64
	400	17.2	0.77	62
0.30	200	7.4	1.50	58
	300	11.3	1.12	52
	400	15.2	0.86	56
0.32	200	6.3	1.90	68
	300	9.7	1.26	58
	400	13.2	0.94	58

표 1-23 라이닝외경에 따른 제동 토크

Lining outer radius( $\Phi$ )	Coil resistance( $\Omega$ )	Current(A)	Braking Torque(kgf-cm)
60	11.3	1.12	52
61	11.3	1.12	66
62	11.3	1.12	70
63	11.3	1.12	75

시험 결과 전자브레이크의 제동 토크는 대체적으로 저항값에 반비례하였으며, 각각의 선경별로 최대 자력이 발생할 수 있는 코일 감김수를 갖는 것으로 판단되었다. 상대적으로 큰 제동토크 조건은 코일 선경과 감김수를 기준으로 했을 때 선경 0.32, 감김수 200 조건에서 68 kgf-cm의 토크가 발생하였고, 라이닝 단면적을 기준했을 때는 라이닝 외경 63  $\Phi$ 에서 75 kgf-cm의 토크값이 측정되었다. 코일 선경을 증가시키고 감김수를 적게 하여 인가 전류를 증대시키거나, 라이닝의 단면적을 증대시킴으로써 제동 토크를 향상시킬 수 있는 것으로 판단되

었다. 설계 시 계산된 제동 토크는 68 kgf-cm이나 안전율을 고려하여 90 kgf-cm를 목표로 하였기에 현재 상태로는 제동 토크가 부족하여 추가로 다음 조건에 대하여 3종을 제작하여 제동 토크를 측정하였다.

표 1-24 추가 제작된 전자 브레이크 설계 조건

No.	Coil radius( $\Phi$ )	코일감김수(회)	Lining outer radius( $\Phi$ )
1	0.32	200	63
2	0.35	200	63
3	0.35	300	63

제동토크는 표 1-25와 같이 추가 제작된 전자브레이크에서 선경이  $\varnothing 0.35$ , 코일 감김수가 200회일 때 가장 큰 80kgf-cm로 측정되었다. 라이닝 외경이 커진 것과 선경이 커진 것이 주요한 영향을 준 것으로 판단되었으나 목표한 수준에는 모자라는 수준이다. 그림 1-41은 전자브레이크 작동시 감속률을 측정 한 결과이다.

표 1-25 추가 제작된 전자브레이크의 제동토크

Coil radius( $\Phi$ )	코일감김수(회)	Coil resistance( $\Omega$ )	Current(A)	Braking Torque(kgf-cm)
0.32	200	6.3	1.9	72
0.35	200	5.4	2.2	80
	300	8.2	1.5	75

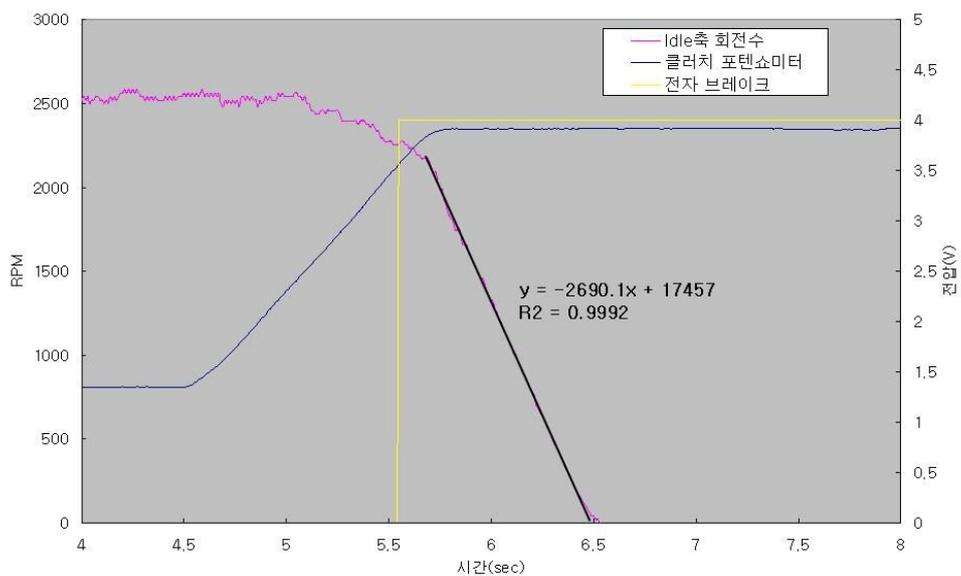


그림 1-41 전자브레이크 작동시 감속률 측정 결과.

초당 감속률은 약 2690rpm으로 목표하는 수준의 절반정도의 수준으로 측정되었다. 최종 설계안으로는 라이닝 경  $\varnothing 63$ , 코일감김수 200회, 선경  $\varnothing 0.35$ 로 선정하였으며, 자력이 형성되는 Stator의 스틸부의 직경을 변경하였다. 측정된 전자브레이크의 성능은 그림 1-42와 같으며, 목표하는 수준의 감속률을 보여준다.

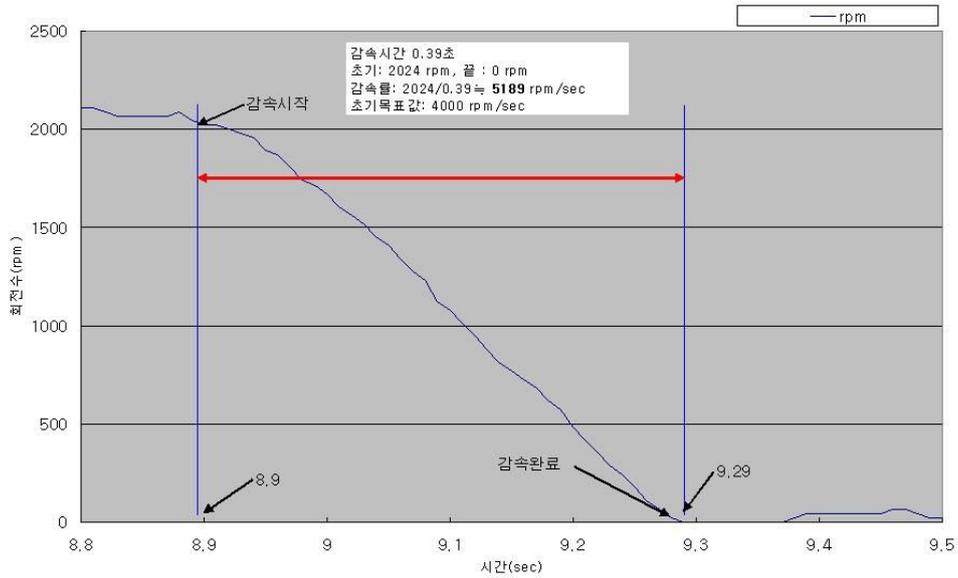


그림 1-42 전자브레이크에 따른 감속률 성능평가.

#### (다) 전자 브레이크 시스템 구성

기계식 차량은 중립 상태에서 메인 클러치가 항상 엔진과 연결되어 회전하고 있으며, 메인 클러치와 연결되어 동력을 연결하는 구동축 및 구동 기어는 엔진 회전수에 상당한 회전을 하고 있다. 엔진이 최대 회전일 때 중립에서 변속을 하기 위해 클러치를 해지하여도 파워트레인 내부에서 회전하던 클러치 디스크(clutch disk), 구동축 및 기어류가 정지할 때까지 최대 3~4 초 정도의 시간이 필요하며, 이 회전체는 중립에서 전진 또는 후진 변속과정에서 싱크로메쉬(synchromesh)가 동기화 할 때 차량을 구동시킬 수 있다. 특히 트랙터는 최저 단수의 속도가 시속 1~2 km/hr로 동기화 과정에서 바로 최대 속도까지 차량이 구동하게 되며, 이는 변속 충격으로 나타나게 된다. 클러치가 해지되고 회전하는 관성을 줄이기 위해 파워트레인의 내부 축에 전자식 브레이크를 장착하고 이를 통해 짧은 시간 안에 관성을 줄여줌으로써 변속 시 충격을 최소화하고자 개발하게 되었다. 그림 1-43은 전자브레이크 적용을 위한 시스템 레이아웃이다.

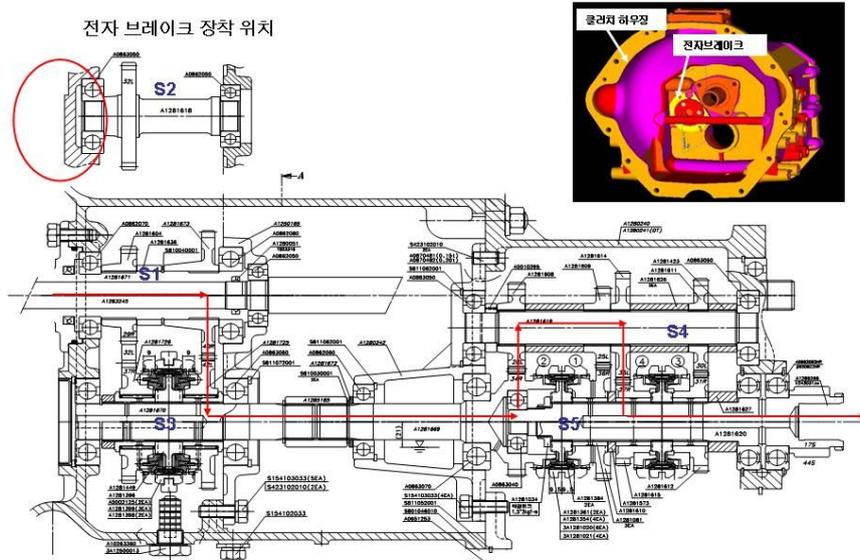


그림 1-43 전자브레이크 장착부 레이아웃.

### (3) 파워트레인 레이아웃 설계

개발 적용 대상인 트랙터에 AMT 시스템을 적용하는 방식은 기존 트랙터 내 파워트레인의 변경을 최소화하며, ADD-ON 방식으로 장착하는 것이 목적이다. 따라서 개발된 각 액추에이터 및 전자브레이크의 장착을 위한 공간 설정 및 연결 링크 설계가 가장 중요한 설계 인자가 된다. 그림 1-44는 개발된 파워트레인 레이아웃을 나타내며 그림 1-45는 컨트롤러 시스템 레이아웃을 나타낸다.

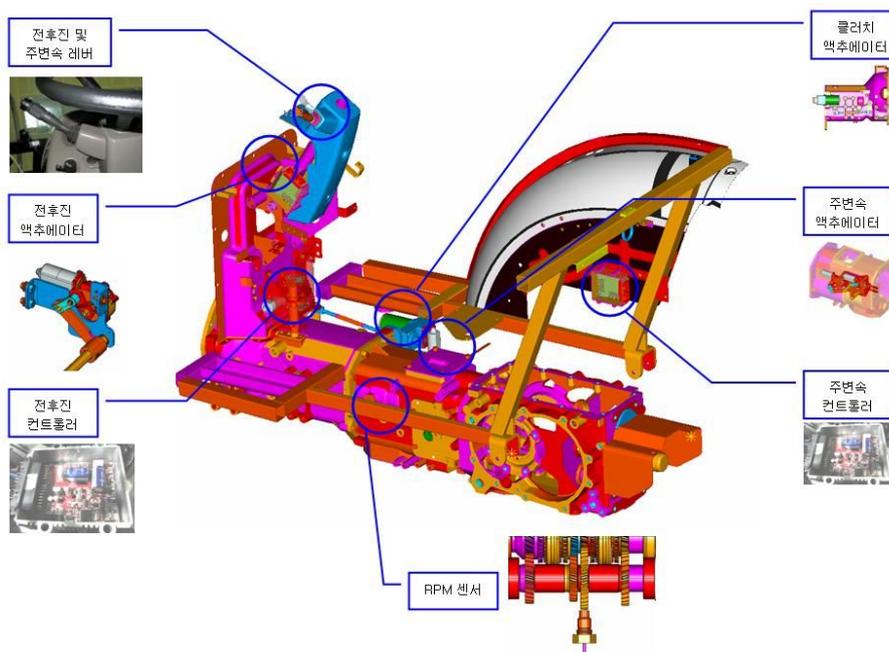


그림 1-44 파워트레인 시스템 레이아웃.

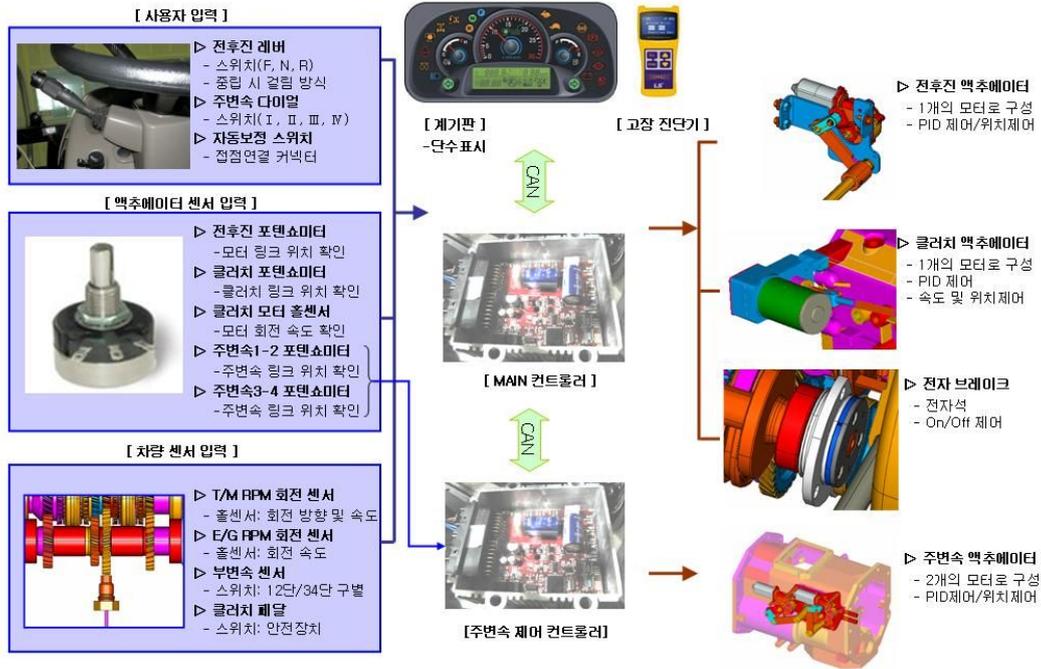


그림 1-45 컨트롤러 레이아웃.

(4) AMT의 트랙터 적용기술 개발

표 1-26은 AMT 시스템을 트랙터에 적용하여 개발될 시제품 제작을 위한 부품의 리스트이다. AMT 시스템 적용을 위해 총 74개의 신규 부품(LS엠트론)이 기존 기계식 트랙터에서 교체되어 장착되었다.

표 1-26 신규 개발 부품 리스트

No.	Item Number	Item
1	20122313	HOUSING-CLUTCH-AMT-U-TRG250
2	40251324	HOUSING-CLUTCH-AMT-U(CST)G250
3	40251326	SHAFT-C/LEVER-AMT-U-TRG260
4	40251328	ROD ASSY-CLUTCH-AMT-G260
5	40009519	ADJUSTER-CONTROL-TRG670
6	40029049	NUT-HEX SMALL-S314120013
7	40012288	ROD-BRAKE(RH)-TRG670
8	40251329	ROD-CLUTCH-AMT-U-TRG260
9	40251331	SHAFT-C/AC ARM-AMT-U-TRG250
10	40251332	ARM-C/L SHAFT-AMT-U-TRG260
11	40251333	SUB ARM-CLUTCH LEVER SHAFT-U-AMT
12	20122314	AC ASSY-CLUTCH_AMT-U-TRG250
13	40251334	COVER-CLUTCH ACTUATOR-AMT-U
14	20122315	CASE-CENTER-AMT-U-TRG280
15	40032362	CASE-CENTER-(CST)G280
16	40219935	COVER-F/R SHAFT_AMT-TRG281
17	40234883	BEARING-BALL-A0869034
18	40055294	NUT-A0610211

No.	Item Number	Item
19	40234812	WASHER-LOCK-TRG280
20	40220438	BRAKE ASSY-ELECTRIC-G280
21	40234915	SEAL-OIL-TRG280
22	40219933	SHAFT-R/IDLE_AMT-TRG280
23	40249729	LEVER-MAIN_AMT-TRG292
24	40237470	KNOB ASSY-AMT-TRG750
25	40030817	KNOB-REAR-TRG869
26	40237467	HARNESS-AMT SHIFT-TRG730
27	40181401	SWITCH-PUSH BUTTON-TRG750
28	40237463	SWITCH-PUSH BUTTON-TRG750
29	40007355	CAP-RUBBER-TRG750
30	40012843	CAP-A0710062
31	40030816	KNOB-FRONT-TRG869
32	40251084	KNOB-CAP-U-TRG869
33	40220667	SENSOR-RPM-DIR-TRG750
34	40187402	SENSOR-RPM-TRG750
35	40036269	SWITCH-PROXIMITY-TRG750
36	40036272	BRACKET-LEVER SWITCH-TRG750
37		CABIN-ASSY
38	40220110	LINK-F/R_AMT-TRG290
39	40008367	BUSHING-PLASTIC-TRG970
40	40251409	ARM-F/R LEVER-AMT-U-TRG290
41	40251098	SHAFT-F/R GUIDE_AMT-TRG292
42	20122526	ACTUATOR ASSY-FR-U-TRG750
43	40251636	BRACKET-FR ACTUATOR_U-TRG750
44	40031194	BRACKET-PS SWITCH-TRG750
45		MAIN-SHIFT-LEVER
46	40220410	CONTROLLER-AMT-TRG750
47	40229786	BUZZER-ALARM-TRG750
48	40214278	CAP-STR COVER-TRG869
49	40214281	COVER-P/S-TRG869
50	40192175	CAP-FR LEVER-TRG869
51	40214156	COVER-STR COLUMN RR-TRG864
52	40214159	COVER-STR COLUMN FR-TRG864
53	40220412	PANEL-INSTRUMENT(S4S)-TRG750
54	40251442	FRAME-PEDAL-AMT-TRG830
55	40247109	HARNESS-MAIN(AMT)-TRG750
56	40220409	BOX ASSY-FUSE(AMT)-TRG750
57	40182988	COLUMN ASSY-STR(PSS)-G630
58	40251638	BRACKET-PANEL UPPER AMT-TRG750
59		FUSEBOX(POWER SHUTTLE)
60	40220410	CONTROLLER-M/S AMT-TRG750
61		AC ASSY-M/S_AMT-U-TRG250
62	70145	ACTUATOR-MAIN-SHIFT-ASSY-1
63	83636	ACTUATOR-MAIN-SHIFT-ASSY-2
64	40220110	LINK-F/R_AMT-TRG290
65	89517	ARM-M/SHIFT#2
66	89516	COVER-CASE-UAMT

No.	Item Number	Item
67	86137	U-AMT-LEVER1
68	86135	U-AMT-LEVER2
69	83586	RAIL-MAIN-SHIFR(1-2)U-AMT
70	83585	RAIL-MAIN-SHIFR(3-4)U-AMT
71	40010311	ADAPTOR-F/R-TRG291
72		MAIN-SHIFT-LINE
73	40220309	SENSOR-POTENTIOMETER-TRG750
74	40247110	HARNESS-MIDDLE(AMT)-TRG730

그림 1-46~49는 실제 트랙터에 장착된 클러치 액추에이터, 전후진 액추에이터, 주변속 액추에이터, 전자브레이크를 나타낸 것이다. 개발된 액추에이터 및 전자브레이크는 기존 기계식 트랙터 사양 및 구조에 따라 장착되었으며, 주변속의 경우 개발된 액추에이터를 트랙터 장착부의 위치 및 구조를 고려하여 외형의 설계 변경한 후 설치하였다.

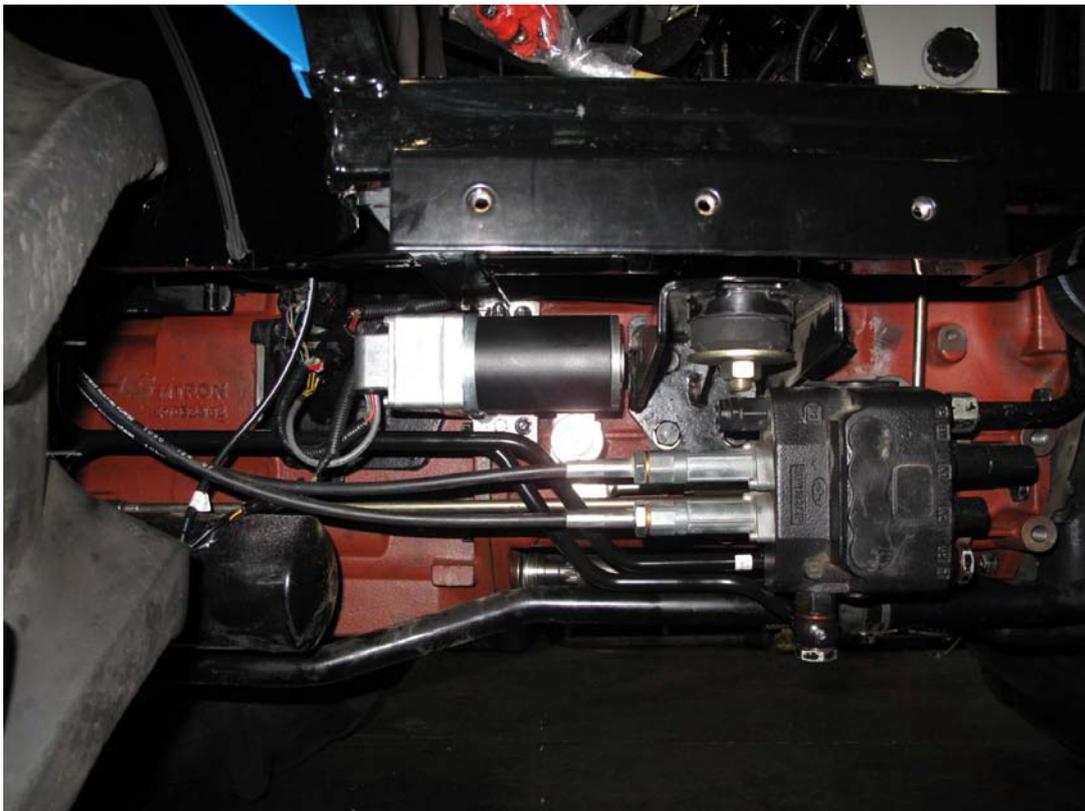


그림 1-46 클러치 액추에이터 장착부.



그림 1-47 전후진 액추에이터 장착부.

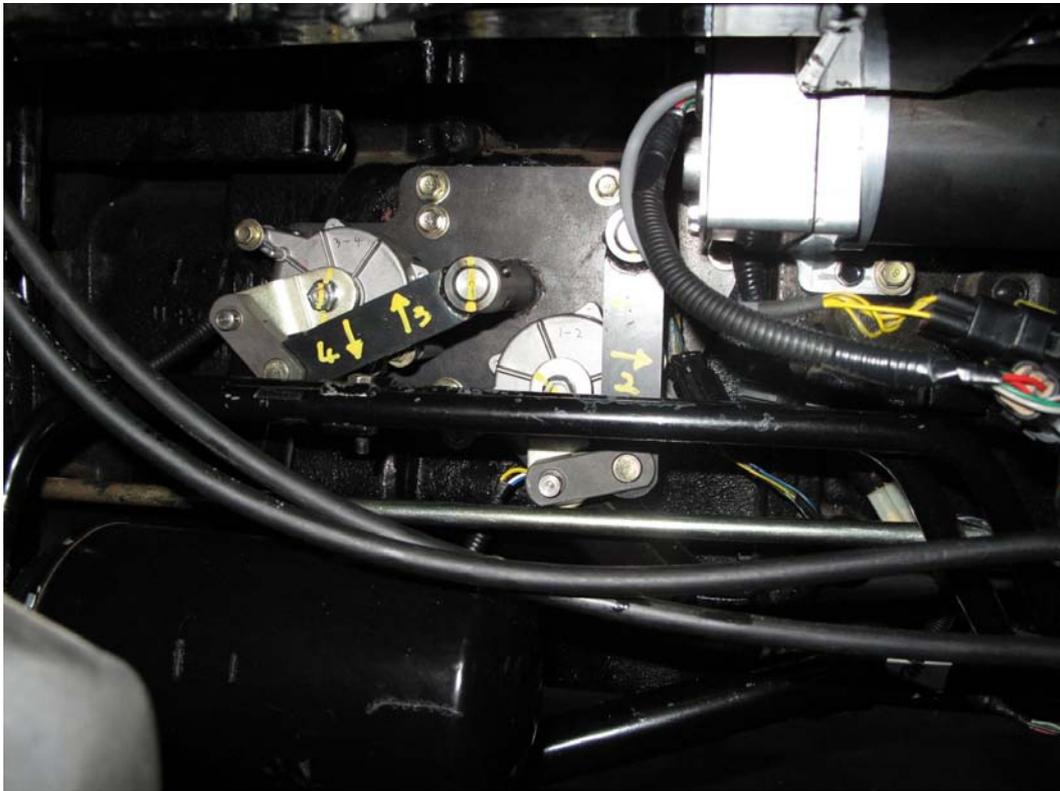


그림 1-48 주변속 액추에이터 장착부.

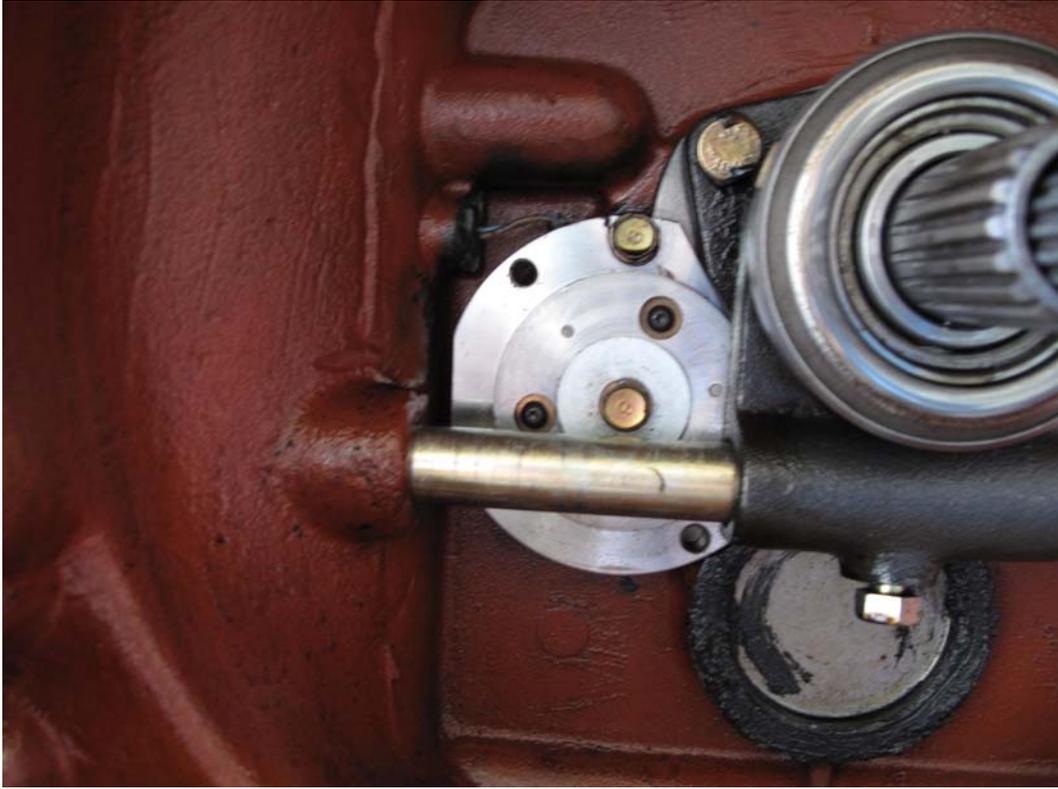


그림 1-49 전자브레이크 장착부.

#### 나. 클러치와 변속부 구동을 위한 제어 알고리즘 및 프로그램 개발

##### (1) 제어 알고리즘

본 연구의 자동화수동변속기에 사용되는 액추에이터는 모터의 회전을 이용하는 전동식으로 적절한 모터의 위치, 속도 제어를 통해 목표 성능을 달성할 수 있다. 이러한 모터 제어에 이용되는 일반적인 제어 방법으로는 모델기준적응 제어, 슬라이딩모드 제어, Fuzzy 제어, 시간지연 제어, PID 제어 등이 연구 및 적용되고 있다.

모델기준 적응제어 (Model Reference Adaptive Control, MARC)는 1958년에 Whitacker에 의해 처음으로 소개된 방법으로 플랜트 및 제어기 내에 값을 모르는 파라미터나 시간적으로 변하는 파라미터에 대한 추정에 널리 사용되고 있다. 특히 시스템 상황의 변동에 비교적 빨리 적응되며 상대적으로 쉽게 구현할 수 있어 많이 사용되어지고 있으며 사용되는 분야로는 모델 추종 적응제어, 온라인과 실시간 정수동정, 적응상태 관측 등이 있다. 하지만 시스템의 차수가 높아지거나 매개변수의 수가 증가하면 수학적 계산이 복잡해지고 이에 따라 모델링이 어려워져 많은 계산시간이 소요되기 때문에 빠른 응답특성을 갖는 시스템의 경우에 실시간 제어가 어려운 단점이 있다.

가변구조 시스템 이론에 기초가 되는 슬라이딩 모드 제어는 제어 특성상 시스템 변수의 변동, 플랜트 모델링의 오차, 플랜트 비선형 요소 및 외란에 대하여 강인한 제어 특성을 가지고

있다. 슬라이딩 모드에서는 시스템의 현재 상태에 의존하여 스위칭 함수(switching function)라고 하는 결정 규칙(decision rule)이 어떤 시점에서 어떠한 제어규칙을 사용할 것인지 결정하게 된다. 결정 규칙은 시스템의 상태를 상태공간상에 존재하는 결정된 표면에 도달하고 계속 유지하도록 설계하는 방법이고 제한된 상태공간의 표면에 시스템이 동적인 상태에 머물러 있을 때, 이상적 슬라이딩 동작이라고 한다. 정확도가 높고 고속 동력에 대해 신속하게 응답하며 안정성이 우수하고 제어시스템의 설계 및 수행이 간단하여 시스템 파라미터 변동, 플랜트 모델링의 오차, 플랜트의 비선형 요소 및 외란 등에 강인성을 가지고 있기 때문에 변화하기 쉬운 구조의 제어시스템에서 널리 사용된다.

퍼지제어(fuzzy Control)의 경우 외부로부터 받은 입력 값을 퍼지화기(fuzzifier)를 통해 퍼지화하고 퍼지 추론엔진에 전달하게 된다. 퍼지 추론엔진은 퍼지화된 수치들을 설계자의 경험적인 지식을 바탕으로 설계된 퍼지규칙을 통해 추론기를 만들고 이를 통해 제어신호를 결정하게 된다. 경험적인 규칙을 바탕으로 결정된 신호는 비퍼지화기(defuzzifier)를 통해 최종적으로 대상시스템에 적합한 값으로 변환되어 출력된다. 퍼지제어는 경험이나 지식을 바탕으로 대상을 제어하기 때문에 환경변화에 따른 제어형태를 다양하게 설정할 수 있고 인간과 같이 애매한 반응을 가지는 시스템에 대한 처리도 가능하다는 장점이 있다. 그러나 경험으로부터 제어기법을 도출하는 것이 항상 가능한 것이 아니며, 복잡한 동적 특성을 갖는 제어 시스템의 경우 적절한 제어규칙을 찾는 것이 쉽지 않다는 단점이 있다.

시간지연 제어 기법(Time delay control)은 불확실성을 제거하기 위해 피드백 루프에 높은 이득 값을 사용하거나 매개변수를 추정하여 이득 값을 조절하는 대신, 부가적인 루프를 사용하여 불확실성을 제거 하는 구조를 갖고 있다. 시간지연 제어 기법은 플랜트의 예측하지 못한 외란과 비선형 동역학의 요소를 공칭 플랜트 모델의 불확실성 요소로 치환한 후 전체적인 요소를 직접적으로 추정하고 상쇄하는 부가적 루프를 가지고 있다. 비선형 플랜트의 정확한 모델이 없을 시에도 제어기의 설계가 가능하며, 모델 오차가 제어기에 영향을 주지 않는다는 장점이 있지만 알고리즘 구현을 위해서는 전체 상태변수 벡터가 측정 가능하고 전체 상태변수 벡터의 미분치를 알아야 한다는 조건이 있다. 따라서 대부분 전체의 상태 변수를 측정하는 것이 가능하지 않으므로 이런 경우에는 시간지연 제어 기법의 적용이 불가능하게 된다.

PID (Proportional Integral Derivative) 제어 방법은 실제 산업현장에서 가장 널리 사용되는 제어 알고리즘으로 1940년대 Ziegler-Nichols에 의해 처음으로 체계적인 동조방법이 제시되었다. 마이크로프로세서 용량이 증대하고 처리속도가 빨라짐에 따라 제어기의 성능 및 특성도 급격히 개선되어 다방면의 생산 현장에 사용할 수 있게 되었고, 이를 기본으로 다른 제어기기와 조합하여 다방면의 제어계통에 융통성있게 사용되고 있다. 근래에는 보다 정교한 현대제어이론(최적제어, 강인제어, 모델예측제어, 적응제어) 등이 개발되었지만 PID 제어는 현대제어이론에

비례 구조와 기능이 간단하여 구현이 용이하고 동작 범위가 넓어 쉽게 조작할 수 있으며, 대부분의 시스템에서 특별한 조건이 없는 한 안정되고 우수한 성능을 보이고 있어 현재에도 널리 이용되고 있다.

(2) PID 제어기

PID 제어는 비례(proportional) 동작, 적분(integral) 동작, 미분(derivative) 동작으로 구성되어 있으며 3가지 동작을 조합하여 제어 대상 시스템을 제어하게 된다. 제어 대상 시스템을 설정한 목표 값으로 유지하기 위해 귀환신호와의 차이인 오차신호  $e(t)$ 를 계산하고 이에 대한 PID 제어기의 비례 이득, 적분 이득, 미분 이득 계수를 조절하여 대상 시스템을 제어하게 된다. 따라서 시스템의 안정도 및 목표 제어성능 확보를 위해서는 적절한 PID 계수의 선정이 필요하다.

비례 동작은 식 (1-1)과 같이 오차신호에 적당한 비례 이득을 곱해서 제어신호를 만들어내는 제어기법으로 구성이 간단하여 구현하기가 쉽고, 적절하게 동조되었을 때 시스템의 안정도를 높인다는 장점이 있다. 또한 진동(oscillation)이 발생하는 경우 그 진동의 진폭을 작게 하는 기능을 갖지만 정상상태오차를 제거하지 못하는 단점을 가진다.

$$U(t) = K_p e(t) \dots\dots\dots \text{식 (1-1)}$$

$U(t)$  : 조작값

$K_p$  : 비례 이득

$e(t)$  : 측정값과 설정값의 차이

적분 동작은 식 (1-2)와 같이 오차의 적분값에 비례하여 동작하는 것으로 단독으로 사용되지 않고 비례 동작 혹은 미분 동작과 결합하여 사용되며 비례 동작에서 발생할 수 있는 정상상태 오차의 제거가 가능하다. 그러나 시간지연(time delay)을 발생시켜 시스템을 진동시키기 쉽고 안정도를 저하시키는 등 과도응답특성을 저하시킨다는 단점이 있다.

$$U(t) = K_I \int e(t)dt \dots\dots\dots \text{식 (1-2)}$$

$U(t)$  : 조작값

$K_I$  : 적분 이득

$e(t)$  : 측정값과 설정값의 차이

미분 동작은 식 (1-3)과 같이 오차의 시간에 대한 미분값에 비례하여 이루어진다. 설정값을 바꾸거나 외란 등의 요인으로 측정값이 변했을 때 측정값과 설정값의 차이인  $e(t)$  역시 변한다. 미분 동작은 이러한  $e(t)$ 의 변화율에 상응하는 조작값을 연산하여  $e(t)$ 의 변화를 억제한다. 급격한 외란에 대해 큰 제어입력을 주어 신속하게 원래의 제어 상태로 되돌아가도록 함으로써 정상상태 도달시간을 빠르게 하지만 출력의 갑작스런 변화를 유발하기도 한다. 미분동작은 비례동작이나 적분동작에서 발생하는 문제점을 해결해 주는 역할을 한다. 그러므로 실제제어를 수행하는 경우 이 3가지 제어동작의 상호 장단점을 보완해 주기 위하여 이들의 조합으로 식 (1-4)와 같은 PID 제어 형태가 주로 사용된다.

$$U(t) = K_D \frac{d}{dt} e(t) \dots\dots\dots \text{식 (1-3)}$$

- $U(t)$  : 조작값
- $K_D$  : 미분 이득
- $e(t)$  : 측정값과 설정값의 차이

$$U(t) = K_P e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{d}{dt} e(t) \dots\dots\dots \text{식 (1-4)}$$

- $U(t)$  : 조작값
- $K_P$  : 비례 이득
- $K_I$  : 적분 이득
- $K_D$  : 미분 이득
- $e(t)$  : 측정값과 설정값의 차이

PID 제어의 장점은 적절한 제어 계수 선택을 통해 다양한 응용분야에서 원하는 응답성능을 얻을 수 있는 것이며 이와 같이 시스템에 적절한 제어 계수 선택하는 과정을 PID 제어기 Tuning이라 한다. Tuning을 통한 PID 제어 계수에 따른 시스템의 성능 변화는 표 1-27과 같이 나타난다.

표 1-27 PID 제어 계수에 따른 시스템의 성능 변화

	Rise time	Overshoot	Setting time	Steady state error
$K_P$	Decrease	Increase	Small change	Decrease
$K_I$	Decrease	Increase	Increase	Eliminate
$K_D$	Small change	Decrease	Decrease	Small change

(3) 액추에이터의 PID 최적 계수 선정

PID 계수는 액추에이터의 제어 시스템 성능에 가장 큰 영향을 미치므로 액추에이터의 최적 제어를 위해 그림 1-50과 같이 PID 계수 최적화 알고리즘을 개발하였으며 이를 통해 PID 제어를 설계하였다. 최적 계수 선정 알고리즘은 Z-N (Ziegler-Nichols) 방법을 통해 액추에이터의 PID 초기 계수를 선정한 후, 초기 계수와 액추에이터의 전달함수를 기준으로  $K_P$ ,  $K_I$ ,  $K_D$  순서로 최적화시키는 시뮬레이션 프로그램을 개발하였으며, 응답성능과 안정성 평가 결과를 동시에 만족시키는 경우를 최적 계수로 선정하였다.

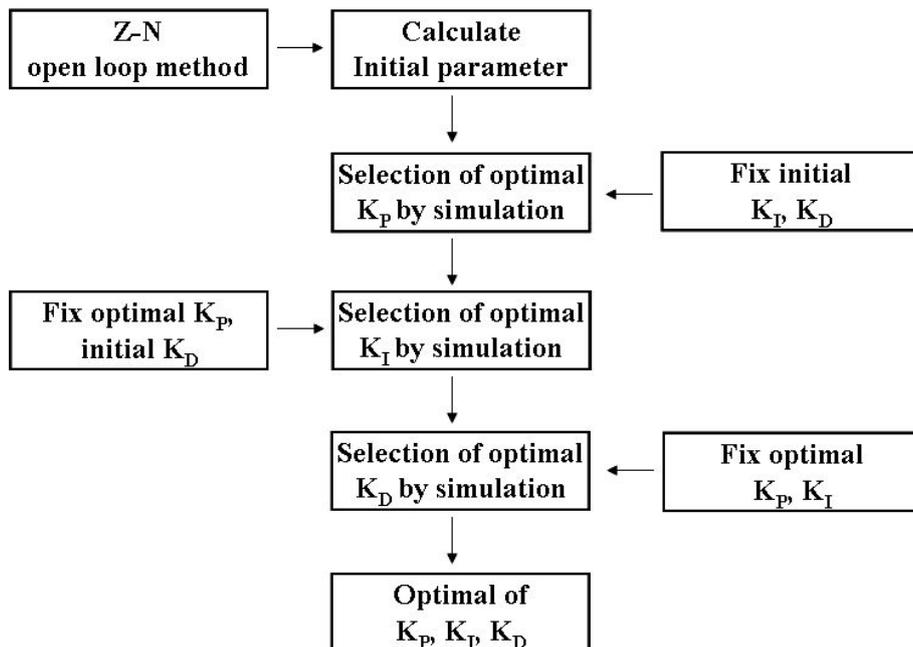


그림 1-50 PID 최적 계수 선정 알고리즘.

액추에이터 시스템의 전달함수는 전자식 액추에이터와, PID 제어기, 포텐시오미터의 전달함수를 이용하여 개발되었다. 액추에이터는 식 (1-5)와 같은 DC 모터의 전달함수를 사용하였으며, PID 제어기는 식 (1-6)과 같은 일반적인 형태를 이용하였다. 포텐시오미터의 전달함수  $H(s)$ 는 식 (1-7)과 같이 나타낼 수 있으며 본 연구에서 사용한 포텐시오미터는 기준전압( $E$ )이

5 V, 회전수(N)가 270°/360°로 전달함수가 1에 가까운 값을 가지므로 단위 펄스로 가정하였다. 그러므로 액추에이터 제어 시스템의 전달함수는 식 (1-8)과 같이 나타낼 수 있으며, 전체 시스템은 그림 1-51과 같이 나타낼 수 있다.

$$G(s) = \frac{K_m}{s(\tau s + 1)} \dots\dots\dots \text{식 (1-5)}$$

$$\tau = R_a J / (R_a B + K K_e)$$

$$K_m = K / (R_a B + K K_e)$$

$$G_{PID} = K_P + K_D s + \frac{K_I}{s} \dots\dots\dots \text{식 (1-6)}$$

$$H(s) = \frac{E}{2\pi N} \dots\dots\dots \text{식 (1-7)}$$

$$T(s) = \frac{K_m (K_D s^2 + K_P s + K_I)}{\tau s^3 + (1 + K_m K_D) s^2 + K_m K_P s + K_m K_I} \dots\dots\dots \text{식 (1-8)}$$

K : 전동기 토크 상수(Nm/A)

R<sub>a</sub> : 아마추어 저항(Ω)

B : 점성 마찰 계수(kgm<sup>2</sup>/s)

K<sub>e</sub> : 역기전력 상수(V sec/rad)

τ : 시정수

J : 회전 관성 계수(kgm<sup>2</sup>)

E : 기준 전압(V)

N : 회전범위(rad)

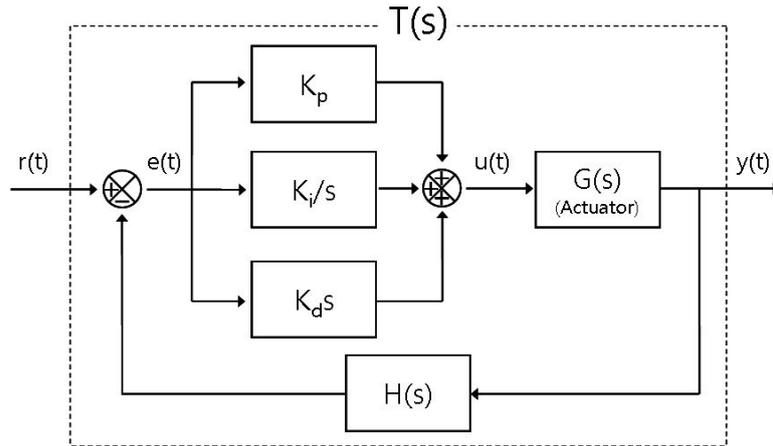


그림 1-51 전자식 액추에이터 시스템의 전달함수.

PID 초기 계수는 그림 1-52와 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 식 (1-9)와 같이 비교적 간단한 모델을 사용하기 때문에 산업 현장에서 좋은 응답성능을 기대하기는 어려우나, 최적 제어 계수 선정을 위한 기준점 제공이 가능한 장점이 있다.

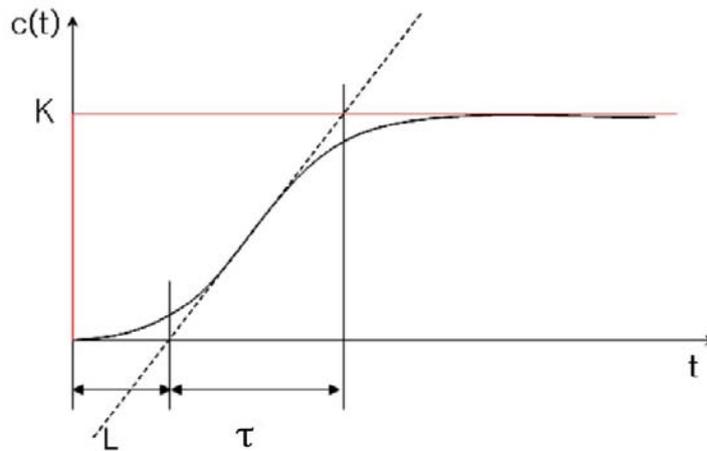


그림 1-52 Z-N method의 계단응답특성.

$$K_p = 1.2 \frac{\tau}{L}$$

$$K_i = \frac{K_p}{2L}$$

$$K_d = K_p \times 0.5L \dots\dots\dots \text{식 (1-9)}$$

여기서,  $L$  : 지연시간(s)

$\tau$  : 시정수(s)

PID 계수의 최적화를 위한 시뮬레이션 프로그램은 그림 1-53과 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 최적 계수로 선정하였다.

응답성능은 최대 오버슈트(maximum overshoot), 정착시간(settling time), 정상상태오차(steady-state error)를 평가하였으며, 3가지 항목을 모두 최소로 만족하는 경우를 최적계수로 선정하였다. 이 때 전후진, 주변속, 부변속 액추에이터의 경우 그림 1-54(a)와 같이 약간의 오버슈트가 발생하더라도 정착시간이 짧은 경우를 선정하였으며, 클러치 액추에이터의 경우 과감쇠 시스템, 즉 진동에 따른 변속충격이 발생하지 않아야 하기 때문에 그림 1-54(b)와 같이 오버슈트가 없고 정착시간과 정상 상태 오차가 최소인 경우를 선정하였다. 안정성 평가는 시스템의 절대적인 안정성이 아닌 상대안정도를 평가하는 방법인 나이퀴스트 선도(Nyquist plot)의 이득 여유(gain margin)와 위상 여유(phase margin)를 이용하였다. 이득 여유와 위상 여유는 시스템의 안정도를 나타내는 지표로 각각의 수치가 클수록 시스템이 상대적으로 안정하다는 것을 의미하며, 음수인 경우에는 절대적으로 시스템이 불안정하다는 것을 의미한다.

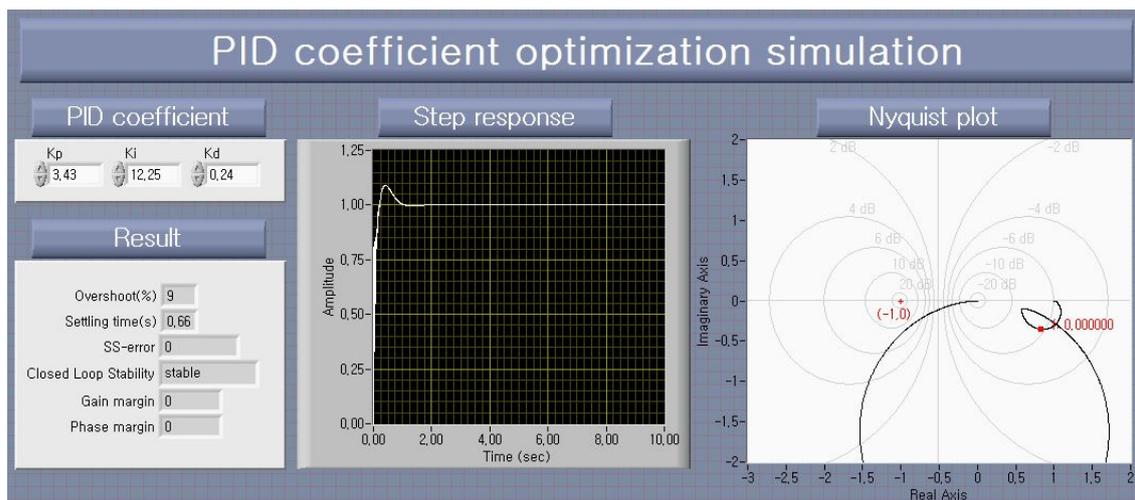


그림 1-53 PID 계수 최적화를 위한 시뮬레이션 프로그램.

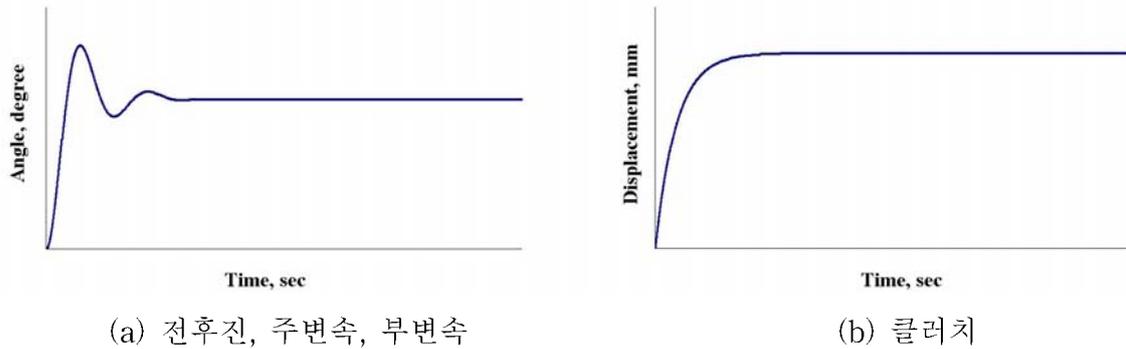


그림 1-54 액추에이터의 목표 응답 성능.

(가) 클러치 액추에이터

클러치 액추에이터의 PID 초기 제어 계수 선정을 위해 해지 위치에서 접속 위치로 이동하는 것을 Z-N 계단 응답으로 가정하여 포텐시오미터의 응답특성을 측정된 결과는 그림 1-55와 같다. 지연시간과 시정수는 각각 0.19초, 0.31초로 나타났으며 이를 통해 초기 계수를  $K_P=1.96$ ,  $K_I=5.16$ ,  $K_D=0.18$ 로 선정하였다.

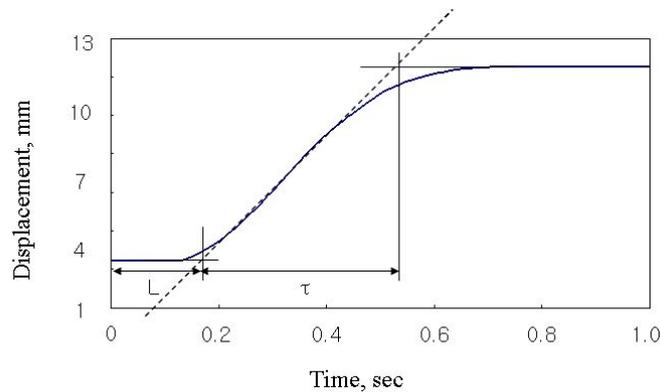


그림 1-55 초기계수 선정을 위한 Z-N 계단 응답법.

Z-N 방법에 의해 선정된 클러치 액추에이터의 제어 시스템 전달함수를 기준으로  $K_P$ ,  $K_I$ ,  $K_D$  순서로 최적화 시뮬레이션을 수행한 결과는 그림 1-56, 그림 1-57, 그림 1-58과 같다.  $K_P$ 의 응답성능과 안정도를 시뮬레이션 한 결과는 그림 1-56과 같이 나타났으며 응답성능은 그림 1-56(a)와 같이  $K_P$ 가 1.45일 때 최대 오버슈트, 정착시간, 정상상태오차가 가장 낮게 나타나 가장 좋은 응답특성을 보여주었다.  $K_P$ 가 1.45 이상인 경우에는 정착시간이 점차 증가하여 클러치 액추에이터의 제어가 어려움을 알 수 있다.  $K_P$ 가 증가함에 따라 이득 여유는 그림 1-56(b)와 같이  $K_P$ 가 0.9 이상일 때 급격히 증가하였으며 위상 여유는 0.35 이후부터 증가하다 일정한 값을 가져 시스템이 안정한 상태를 나타내었다. 그러므로  $K_P$ 가 0.35 이후에서는 위상 여유와 이득 여유가 모두 안정하여 클러치 액추에이터의 최적  $K_P$ 를 1.45로 선정하였다.

$K_P$ 를 1.45로 고정한 상태에서  $K_I$ 의 응답성능과 안정도를 시뮬레이션 한 결과는 그림 1-57과 같이 관찰되었다. 응답성능은 그림 1-57(a)과 같이  $K_I$ 가 3.45일 때 정착시간, 정상상태오차가 가장 낮게 나타나고 오버슈트가 발생하지 않아 클러치 액추에이터의 최적  $K_I$ 를 3.45로 선정하였다. 안정도는 그림 1-57(b)와 같이  $K_I$ 의 크기에 상관없이 이득 여유와 위상 여유가 양수 값을 가져 모든 범위에서 안정함을 알 수 있으며, 이 때 이득 여유는 무한대의 값으로 그림에는 나타내지 않았다.

$K_P$ 를 1.45,  $K_I$ 를 3.45로 고정한 상태에서  $K_D$ 의 응답성능과 안정도를 시뮬레이션 한 결과는 그림 1-58과 같다. 응답성능은 그림 1-58(a)와 같이  $K_D$ 가 0.19일 때 정착시간이 가장 짧고 오버슈트가 발생하지 않아 가장 우수한 응답특성을 보였다.  $K_D$ 가 증가함에 따라 위상 여유는 그림 1-58(b)와 같이 전체적으로 높은 값을 가져 안정하였으며, 이득 여유는 무한대의 값을 가져 그림에는 나타내지 않았다.

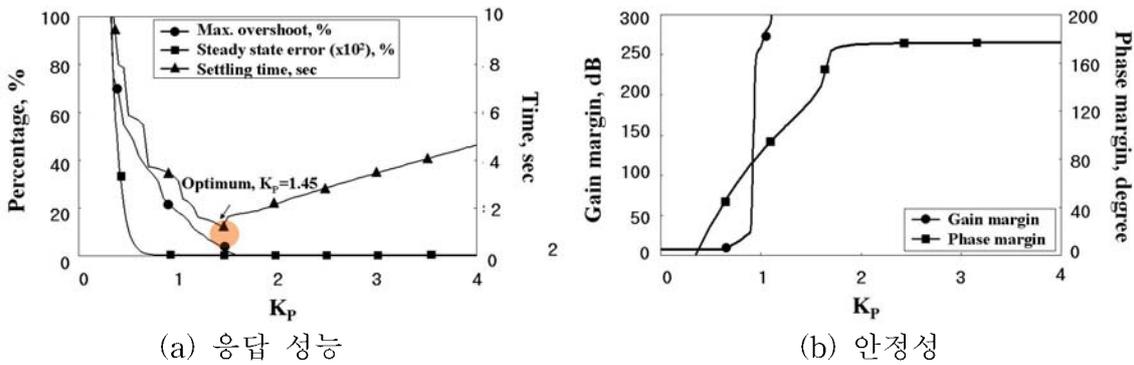


그림 1-56 클러치 액추에이터의 최적 계수 선정 결과( $K_P$ ).

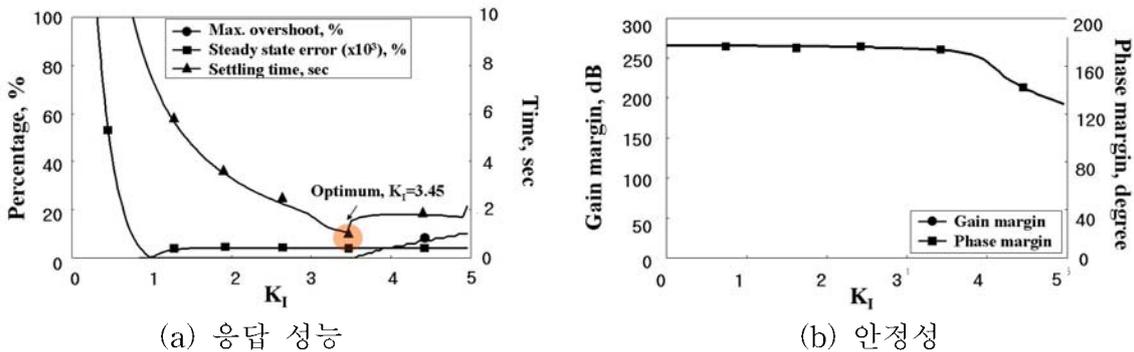
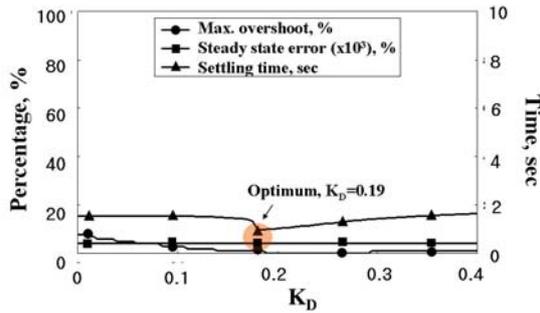
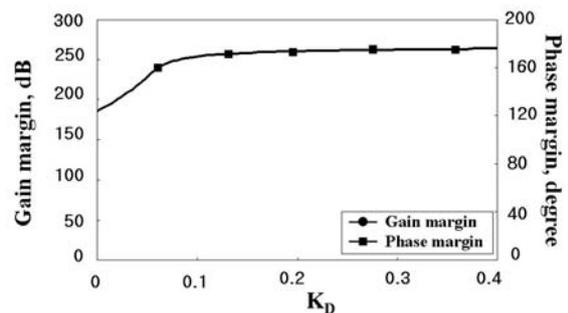


그림 1-57 클러치 액추에이터의 최적 계수 선정 결과( $K_I$ ).



(a) 응답 성능



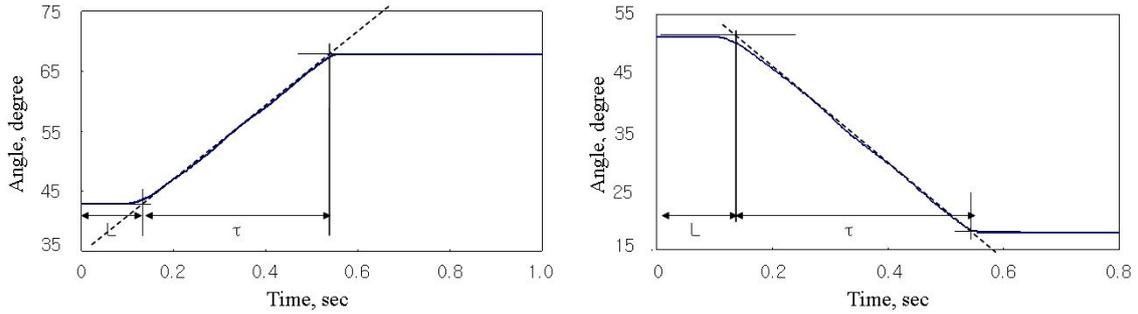
(b) 안정성

그림 1-58 클러치 액추에이터의 최적 계수 선정 결과( $K_D$ ).

(나) 전후진(주변속, 부변속) 액추에이터

전후진 액추에이터의 PID 초기 제어 계수 선정을 위해 중립 위치에서 전진 위치, 중립 위치에서 후진 위치로 이동하는 것을 Z-N 계단 응답으로 가정하여 포텐시오미터의 응답특성을 측정 한 결과는 그림 1-59와 같다. 이때 주변속 및 부변속 액추에이터는 각각 전후진 액추에이터와 같은 사양의 액추에이터 2개를 사용하여 1-2단, 3-4단 변속을 하므로 전후진 액추에이터가 중립 위치에서 전진 위치로 이동하는 것은 주변속과 부변속의 1-2단 액추에이터의 경우 중립 위치에서 1단 위치로, 주변속과 부변속의 3-4단 액추에이터의 경우 중립 위치에서 4단 위치로 이동하는 경우와 같다. 또한 전후진 액추에이터가 중립 위치에서 후진 위치로 이동하는 것은 주변속과 부변속의 1-2단 액추에이터의 경우 중립 위치에서 2단 위치로, 주변속과 부변속의 3-4단 액추에이터의 경우 중립 위치에서 3단 위치로 이동하는 경우와 같으므로 전후진 액추에이터의 초기 계수를 주변속과 부변속의 1-2단, 3-4단 액추에이터의 초기 계수로 사용하였다.

전후진 액추에이터의 지연시간과 시정수는 중립 위치에서 전진 위치로 변화하는 경우 각각 0.137초, 0.41초로 나타났으며, 중립 위치에서 후진 위치로 변화하는 경우에는 각각 0.145초, 0.38초로 나타났다. 지연시간과 시정수는 중립 위치에서 전진 혹은 후진 위치로 가는 경우가 유사한 범위를 보였으며, 본 연구에서는 평균값인 0.14초와 0.4초를 이용하여 전후진(주변속, 부변속) 액추에이터의 PID 초기 계수를  $K_P=3.43$ ,  $K_I=12.25$ ,  $K_D=0.24$ 로 선정하였다.



(a) 중립→전진 (b) 중립→후진  
 그림 1-59 전후진 액추에이터의 PID 초기 계수 선정 결과.

Z-N 방법에 의해 선정된 전후진 액추에이터의 제어 시스템 전달함수를 기준으로  $K_P$ ,  $K_I$ ,  $K_D$  순서로 최적화 시뮬레이션을 수행한 결과는 그림 1-60, 그림 1-61, 그림 1-62와 같이 나타났다.  $K_P$ 의 응답성능과 안정도를 시뮬레이션 한 결과는 그림 1-60과 같이 관찰되었다. 응답성능은 그림 1-60(1)와 같이  $K_P$ 가 6.5일 때 최대 오버슈트, 정착시간, 정상상태오차가 가장 낮게 나타나 가장 좋은 응답특성을 보이고 있으며,  $K_P$ 가 18 이상인 경우에는 응답성능이 크게 저하되어 전후진 액추에이터의 제어가 어려움을 알 수 있다.  $K_P$ 가 증가함에 따라 이득 여유는 그림 1-60(2)와 같이 12에서 급격히 감소하였으며, 위상 여유는 선형적으로 감소하여 시스템이 불안정한 상태를 나타내었다.  $K_P$ 가 12 미만에서는 위상 여유와 이득 여유가 모두 안정되어 전후진 액추에이터의 최적  $K_P$ 는 6.5로 선정되었다.

$K_P$ 를 6.5로 고정한 상태에서  $K_I$ 의 응답성능과 안정도를 시뮬레이션 한 결과는 그림 1-61과 같다. 응답성능은 그림 1-61(1)와 같이  $K_I$ 가 20 이상인 경우에는 유사하게 나타났으며, 5.7인 경우에 가장 우수한 응답특성을 보였다. 안정도는 그림 1-61(2)와 같이  $K_I$ 의 크기에 상관없이 이득 여유와 위상 여유가 일정한 값을 가져 모든 범위에서 안정함을 알 수 있으며, 이 때 이득 여유는 무한대의 값으로 그림에는 나타나지 않았다.

$K_P$ 를 6.5,  $K_I$ 를 5.7로 고정한 상태에서  $K_D$ 의 응답성능과 안정도를 시뮬레이션 한 결과는 그림 1-62와 같다. 응답성능은 그림 1-62(1)와 같이 최대 오버슈트와 정착시간이  $K_D$ 가 0.24일 때 가장 낮게 나타났으며, 정상상태오차는  $K_D$ 가 1.7에서 가장 작은 값을 보였다.  $K_D$ 가 증가함에 따라 이득 여유는 그림 1-62(2)와 같이 전체적으로 높은 값을 가져 안정하였으며, 위상 여유는  $K_D$ 가 0.25 이상일 때 일정하게 감소하는 경향을 보였다. 본 연구에서는 변속 시간이 트랙터 변속기 개발에 가장 중요한 요소인 점을 고려하여 최대 오버슈트와 정착시간이 최소이며, 안정도가 상대적으로 가장 우수한 최적  $K_D$ 를 0.24로 선정하였다.

주변속 및 부변속 각각에 사용된 액추에이터는 전후진 액추에이터 2개를 이용하였으므로 최적 계수는 초기 계수와 마찬가지로 전후진 액추에이터와 같이  $K_P=6.5$ ,  $K_I=5.7$ ,  $K_D=0.24$ 로 선정

하였다.

(4) 액추에이터 제어 프로그램 개발

클러치, 전후진, 주변속, 부변속 각각의 액추에이터 제어를 위해 LabVIEW (version 2009, National Instrument, USA)를 이용하여 그림 1-60과 같이 자동제어 프로그램을 구성하였다. 제어 프로그램은 AMT 실내 실험장치의 제어가 가능하도록 개발되었으며 엔진과 구동축, 차축의 회전속도 신호 측정이 가능하다. 각각의 액추에이터의 포텐시오미터에 대한 측정값과 변화량을 그래프를 통해 실시간 관찰이 가능하며 액추에이터별로 램프를 두어 동작의 완료의 표시 및 진행상태의 확인이 가능한 장점이 있다.

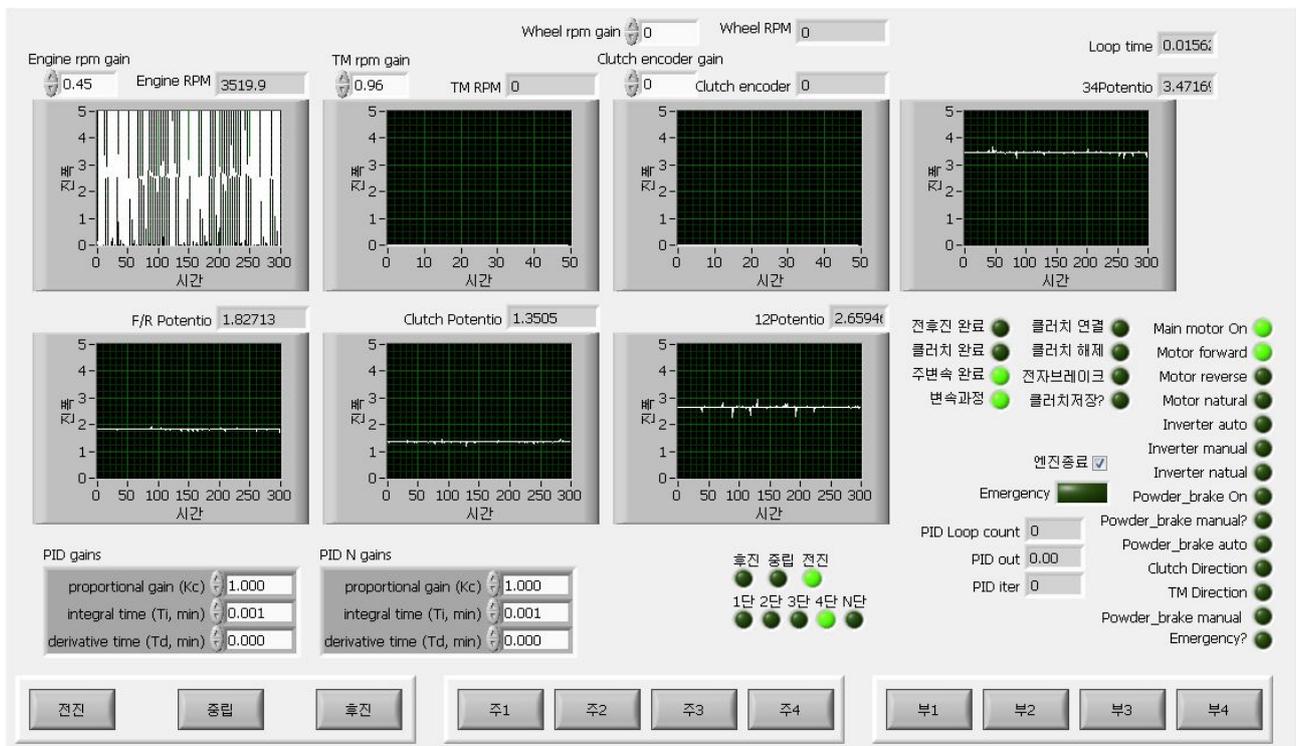


그림 1-60 액추에이터 시스템 제어 프로그램.

(5) PID 최적 계수 성능 평가

(가) 클러치 액추에이터

클러치 액추에이터의 최적 계수( $K_P=1.45$ ,  $K_I=3.45$ ,  $K_D=0.190$ ) 검증은 AMT 실내 실험장치에서 임의의 제어 계수 쌍을 선정하여 최적 계수와 응답성능을 비교하였으며 결과는 그림 1-61과 같이 나타났다. 이때 임의의 제어 계수 쌍은  $K_P$ 를 최적 계수보다 0.2 낮은 1.25로 설정한 후 최적화 한 계수 쌍( $K_P=1.25$ ,  $K_I=2.85$ ,  $K_D=0.065$ )과  $K_P$ 를 최적 계수보다 0.2 높은 1.65로 설정한 후 최적화 한 계수 쌍( $K_P=1.65$ ,  $K_I=4.15$ ,  $K_D=0.325$ )을 말한다. 제어 계수쌍에 따른 최대

오버슈트, 정착시간, 정상상태오차는 표 1-28과 같이 모든 경우 오버슈트는 나타나지  $K_P=1.25$ ,  $K_I=2.85$ ,  $K_D=0.065$ 의 경우 정착시간이 2.50초로 나타났고  $K_P=1.65$ ,  $K_I=4.15$ ,  $K_D=0.325$ 의 경우 정착시간이 1.68초로 나타나 두가지 경우 모두 최적계수의 정착시간인 1.06초에 비해 제어 성능이 낮아  $K_P=1.45$ ,  $K_I=3.45$ ,  $K_D=0.19$ 가 최적 제어 계수임을 확인하였다. 이때 정상상태오차는 세 경우 큰 차이가 관찰되지 않았다.

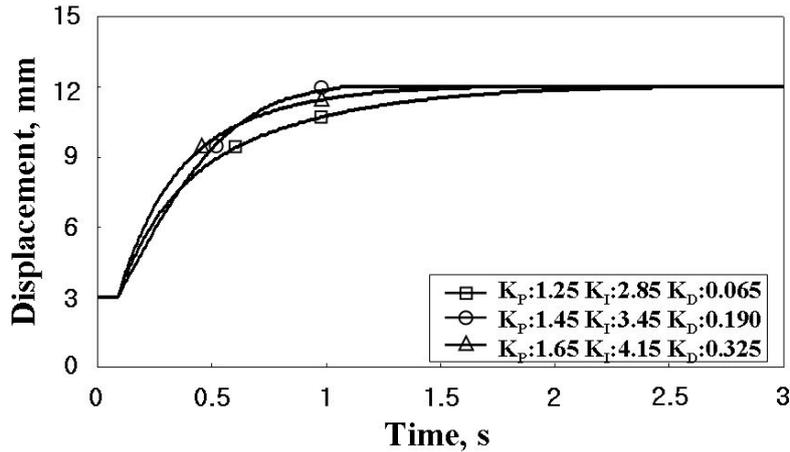


그림 1-61 클러치 액추에이터의 최적 제어 계수 검증 결과.

표 1-28 클러치 액추에이터의 최적 제어 계수 검증 결과

Parameters	Max. Overshoot (%)	Settling time (sec)	Steady state error (%)
$K_P=1.25$ , $K_I=2.85$ , $K_D=0.065$	0.00	2.50	1.29
$K_P=1.45$ , $K_I=3.45$ , $K_D=0.190$	0.00	1.06	1.32
$K_P=1.65$ , $K_I=4.15$ , $K_D=0.325$	0.00	1.68	1.32

클러치 액추에이터 변속 수준에 따른 제어 성능 평가는 AMT 실내 시험장치에서 실시하였으며 부하 수준에 따른 클러치 액추에이터의 제어 성능은 그림 1-62와 같이 모든 경우에서 유사한 제어 성능이 관찰되었다. 부하 수준에 따른 제어의 응답 성능은 표 1-29와 같이 부하가 증가하여도 최대 오버슈트는 발생하지 않았고 정착시간은 1.1초 이내로, 정상상태오차는 0.5% 이내로 나타났다. 이를 통해 클러치 액추에이터의 최적 계수는 단품 실험장치뿐만 아니라 부하가 발생하는 트랙터 실차에도 적용이 가능함을 알 수 있다.

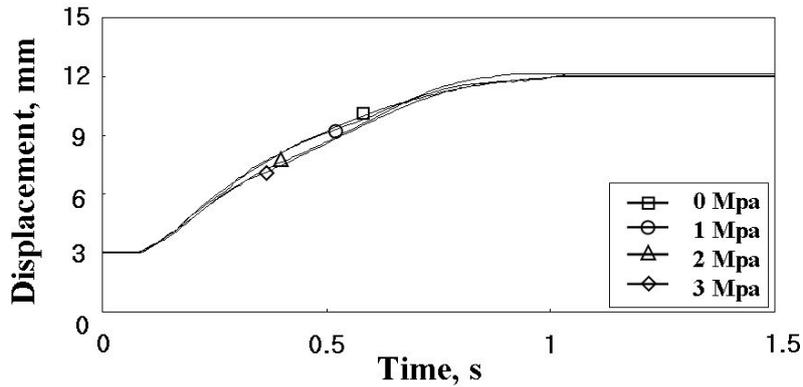


그림 1-62 부하 수준에 따른 클러치 액추에이터 제어 성능 결과.

표 1-29 부하 수준에 따른 클러치 액추에이터 최적 계수의 응답 성능

Load (Mpa)	Max. overshoot (%)	Settling time (sec)	Steady state error (%)
0	0.00 ± 0.000	1.03 ± 0.015	0.33 ± 0.068
0.5	0.00 ± 0.000	1.04 ± 0.015	0.28 ± 0.102
1	0.00 ± 0.000	1.04 ± 0.017	0.30 ± 0.251
1.5	0.00 ± 0.000	1.06 ± 0.015	0.41 ± 0.043
2	0.00 ± 0.000	1.08 ± 0.010	0.32 ± 0.059
2.5	0.00 ± 0.000	1.07 ± 0.010	0.49 ± 0.110
3	0.00 ± 0.000	1.07 ± 0.015	0.31 ± 0.123

(나) 전후진(주변속, 부변속) 액추에이터

전후진(주변속, 부변속) 액추에이터의 최적 계수( $K_P=6.50$ ,  $K_I=5.70$ ,  $K_D=0.240$ ) 검증은 AMT 실내 시험장치에서 임의의 제어 계수 쌍을 선정하여 최적 계수와 응답성능을 비교하였으며 결과는 그림 1-63과 같이 나타났다. 이때 임의의 제어 계수 쌍은  $K_P$ 를 최적 계수보다 0.2 낮은 6.30으로 설정한 후 최적화 한 계수 쌍( $K_P=6.30$ ,  $K_I=4.80$ ,  $K_D=0.155$ )과  $K_P$ 를 최적 계수보다 0.2 높은 6.70으로 설정한 후 최적화 한 계수 쌍( $K_P=6.70$ ,  $K_I=6.05$ ,  $K_D=0.330$ )을 말한다. 표 1-30과 같이  $K_P=6.30$ ,  $K_I=4.80$ ,  $K_D=0.155$ 의 경우 최대 오버슈트가 8.50%, 정착시간이 1.18초, 정상상태 오차가 0%로 나타났고,  $K_P=6.70$ ,  $K_I=6.05$ ,  $K_D=0.330$ 의 경우 최대 오버슈트가 1.50%, 정착시간이 3.74초, 정상상태오차가 4.5%로 나타나 모두 선정된 최적계수의 응답성능인 최대 오버슈트 3%, 정착시간 0.44초, 정상상태오차 0%에 비해 제어 성능이 낮아  $K_P=6.50$ ,  $K_I=5.70$ ,  $K_D=0.24$ 이 최적 제어 계수임을 확인하였다.

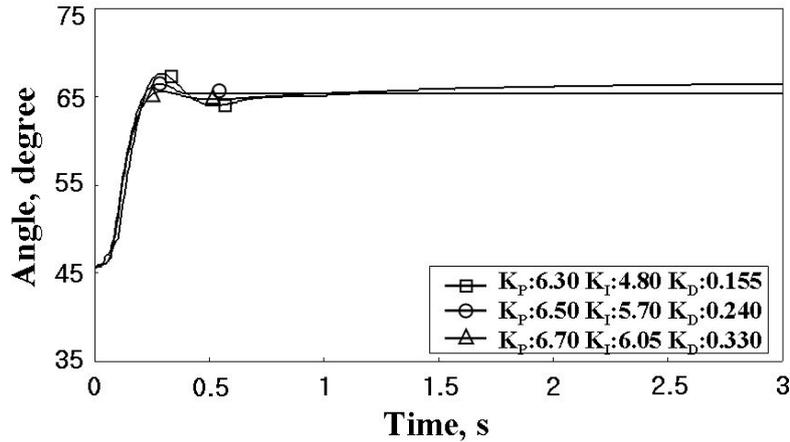


그림 1-63 전후진 액추에이터의 최적 제어 계수 검증 결과.

표 1-30 전후진 액추에이터의 최적 제어 계수 검증 결과

Parameters	Max. Overshoot (%)	Settling time (sec)	Steady state error (%)
$K_P=6.30, K_I=4.80, K_D=0.155$	8.50	1.18	0.00
$K_P=6.50, K_I=5.70, K_D=0.240$	3.00	0.44	0.00
$K_P=6.70, K_I=6.05, K_D=0.330$	1.50	3.74	4.50

전후진 액추에이터의 위치 제어 성능을 평가하기 위해 실내 시험장치에서 중립 → 전진 → 중립 → 후진 → 중립 위치로 이동하며 응답성능을 평가한 결과는 그림 1-64와 같다. 이때 주변속 및 부변속 액추에이터의 경우로 보면 1-2단 액추에이터는 중립 → 1단 → 중립 → 2단 → 중립 위치이며, 3-4단 액추에이터의 경우 중립 → 4단 → 중립 → 3단 → 중립 위치의 순서이다. 중립에서 전진 위치로 제어한 결과 표 1-31과 같이 최대 오버슈트와 정상상태오차는 각각 2.58%와 0.04%로 나타났으며, 전진에서 중립 위치로 제어한 결과 각각 3.11%와 0.03%의 응답 특성을 보였다. 중립에서 전진 위치로의 정착시간은 0.43초, 전진에서 중립으로의 정착시간은 0.37초로 나타나 중립 → 전진에 비해 다소 감소하였다. 중립에서 후진 위치로 제어한 결과 최대 오버슈트와 정상상태오차는 각각 3.36%와 0.02%로 나타났으며, 후진에서 중립 위치로 제어한 결과는 각각 2.78%와 0.03%의 응답 특성을 보였다. 정착시간은 중립에서 후진으로 제어한 경우 0.40초, 후진에서 중립으로의 경우 다소 감소하여 0.31초로 나타났다. 제어 방향에 따라 다소 차이는 있었으나 모두 제어 목표인 최대 오버슈트 5% 미만, 정착시간 0.5초 미만, 정상상태오차 1% 미만을 만족하여 전후진 액추에이터의 제어가 원활히 수행되었음을 알 수 있다. 주변속 액추에이터와 부변속 액추에이터의 경우 전후진 액추에이터와 동일한 액추에이터를 이용하므로 별도의 성능 평가를 수행하지 않았다.

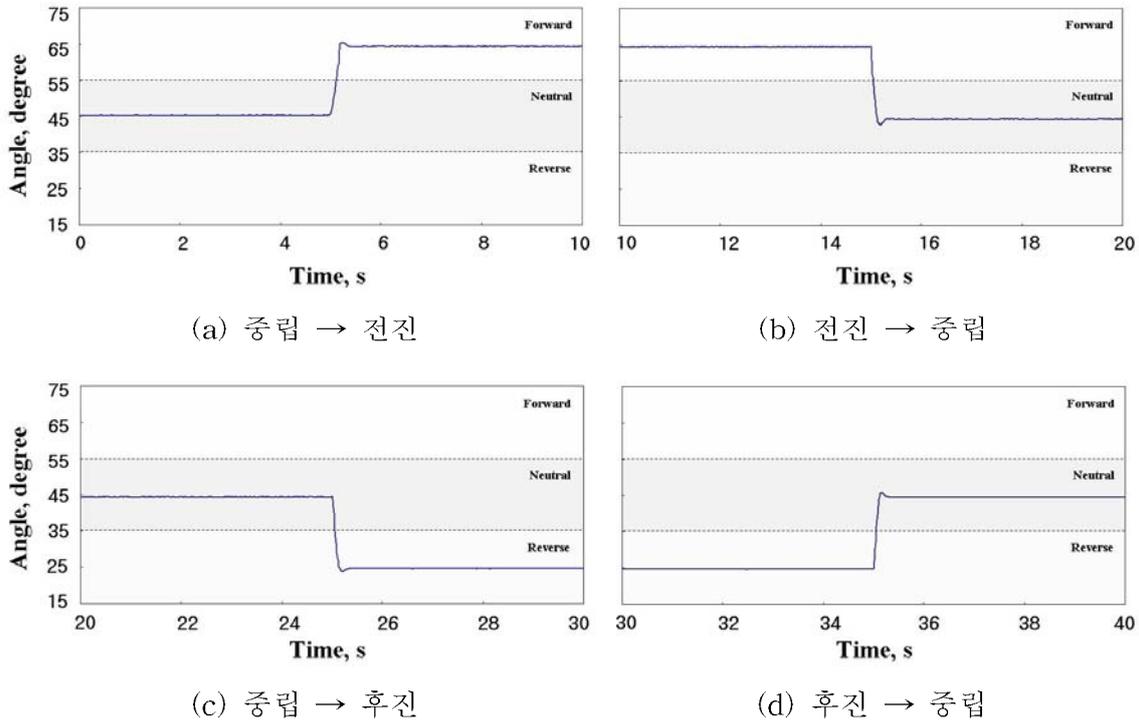


그림 1-64 최적 계수를 이용한 전후진 액추에이터의 위치 제어 결과.

표 1-31 전후진 액추에이터의 위치 제어 성능

Control direction	Max. overshoot (%)	Settling time (sec)	Steady state error (%)
N* → F*	2.58 ± 0.035	0.43 ± 0.012	0.04 ± 0.003
F → N	3.11 ± 0.085	0.37 ± 0.023	0.03 ± 0.005
N → R*	3.36 ± 0.068	0.40 ± 0.020	0.02 ± 0.010
R → N	2.78 ± 0.040	0.31 ± 0.012	0.03 ± 0.005

\*N : neutral, \*F : forward, \*R : reverse

#### 다. AMT 파워트레인의 제어성능 측정 및 분석

##### (1) 제어성능 평가 방법

##### (가) 클러치 액추에이터

파워트레인의 클러치 제어 성능 평가는 실내 실험장치에서 주변속 4수준, 부변속 4수준의 전체 16수준에서 클러치 액추에이터를 동력 해지 영역에서 동력 전달 영역으로 위치 제어하며 변속에 따른 동력 전달 성능 평가하였다. 제어 순서는 먼저 클러치 액추에이터 위치를 해지 영역으로 이동시킨 후 중립에서 전진으로 전후진 변속을 실시하였으며 전후진 변속이 완료되는 시점에서 다시 클러치 액추에이터의 위치를 동력 전달 영역으로 이동시켜 동력을 구동축에 전

달시켰다. 이 때 클러치 동력 전달 영역으로의 위치 제어는 동력이 전달되기 시작하는 반클러치 영역, 동력이 완전히 전달되는 동력 전달 영역의 두 구간으로 나누어 제어하였으며 각 수준에 대해 3회 반복 실시하였다. 제어 주기는 데이터 수집장치의 아날로그 입출력 속도를 고려하여 최대 속도인 0.02초로 설정하였으며 동력 전달 성능은 클러치 자동화 시스템의 위치 제어 성능과 구동축으로의 동력 전달 성능의 두 가지 항목을 평가하였다. 위치 제어 성능은 클러치 액추에이터 동작 시 내장된 포텐시오미터의 위치 신호를 측정하여 정착시간, 정상상태오차 측정을 통해 평가하였고 동력 전달 성능은 클러치 액추에이터 제어 시작점으로부터 구동축의 목표 회전 속도까지 도달하는데 걸린 시간과 목표 회전 속도와 차이를 계산하였다. 이 때 정착시간은 전후진 변속 후 동력 전달 영역으로 제어하는 데 걸린 시간이고 목표 회전 속도는 엔진과의 감속비를 통해 계산된 값이다.

#### (나) 전후진 액추에이터

파워트레인의 전후진 변속 제어 성능 평가는 실내 시험장치에서 전후진 액추에이터를 중립 → 전진 → 중립 → 후진 → 중립의 동작을 1 cycle로 하여 3회 반복 변속하였다. 이때 1 cycle 당 전후진 액추에이터는 4회, 클러치 액추에이터는 8회(헤지, 전달) 작동된다. 전후진 변속 간에는 10초의 간격을 두었으며 부변속 4 수준 중 로터리, 쟁기 등의 작업이 주로 이루어지는 부변속 2, 3단에서 주변속 4 수준에 대해 전후진 자동 변속 제어 성능을 분석하였다(곽희성, 2008). 제어 성능은 기어 물림이 발생하는 중립 → 전진, 중립 → 후진의 경우에 대해 클러치 동력 해지에 걸리는 시간(clutch disengaging time), 전후진 변속에 걸리는 시간(shuttle shifting time), 클러치 동력 전달까지 걸리는 시간(clutch engaging time)을 측정하여 전후진 변속에 걸리는 총 시간(total duration time)을 계산하여 평가하였다. 또한 동력 전달 성능 평가를 위해 변속 후 구동축의 목표 회전속도까지 도달하는데 걸리는 시간(RPM reaching time)과 제어 완료 후 구동축의 RPM을 관찰하여 기어비에 의해 계산된 값과 비교하였다.

#### (다) 주변속 액추에이터

파워트레인의 주변속 제어 성능 평가는 실내 시험장치에서 부변속 1~4단의 4수준에 대해 실시하였으며 주변속을 자동 제어하였다. 이때 주변속 제어 순서는 1-2단 액추에이터와 3-4단 액추에이터가 번갈아 사용되도록 3단 → 1단 → 4단 → 2단 → 3단으로 정하였으며 초기 상태는 구동축의 충격을 방지하기 위해 1단으로 시작하였다. 레버 신호에 따라 주변속 액추에이터를 제어하였으며 주변속 액추에이터의 경우 하나의 액추에이터가 기어물림 발생 시 다른 액추에이터는 중립 범위에 머물러야하므로 변속 시작과 동시에 하나의 액추에이터는 변속단으로, 다른 하나는 중립으로 제어하였다. 제어 성능은 3단 → 1단, 1단 → 4단, 4단 → 2단, 2단 → 3

단의 변속 과정에서 레버의 신호 발생 후 클러치가 해지된 후 다시 동력 전달범위로 이동하는데까지 걸리는 시간인 전체 주변속 시간(total duration time)을 계산하여 평가하였다. 또한 동력 전달 성능 평가를 위해 변속 후 구동축의 RPM을 관찰하여 기어비에 의해 계산된 값과 비교하였으며 전체 실험은 3회 반복하였다.

#### (라) 주변속 액추에이터

파워트레인의 주변속 제어 성능 평가는 실내 시험장치에서 주변속 1~4단의 4수준에서 주변속을 중립 → 1단 → 2단 → 3단 → 4단으로 제어하였으며 이때 주변속의 경우 일반적으로 트랙터 작업이 정해지면 변속 수준이 고정되므로 동력 전달이 없는 정지 상태에서 변속을 제어하였다. 주변속의 경우와 마찬가지로 하나의 액추에이터가 기어물림 발생 시 다른 액추에이터는 중립 범위에 머물러야하므로 변속 시작과 동시에 하나의 액추에이터는 변속단으로, 다른 하나는 중립으로 제어하였다. 제어 성능은 중립 → 1단, 1단 → 2단, 2단 → 3단, 3단 → 4단의 변속 과정에서 변속 제어 시작 후 클러치가 해지되고 다시 동력 전달범위로 이동하는데까지 걸리는 시간인 전체 주변속 시간을 계산하여 평가하였다. 또한 동력 전달 성능 평가를 위해 변속 후 구동축의 RPM을 관찰하여 기어비에 의해 계산된 값과 비교하였으며 전체 실험은 3회 반복하였다.

### (2) 제어성능 평가 결과

#### (가) 클러치 액추에이터

변속 수준별 동력 전달 성능의 평가 결과는 모든 경우에서 유사하게 나타났으며 그림 1-65는 대표적인 결과로 주변속 3단의 경우를 나타낸다. 클러치 액추에이터 위치 제어의 경우 모든 수준에서 동력 해지 영역, 반클러치 영역, 동력 전달 영역의 범위내로 제어가 가능함을 알 수 있었으나, 반클러치 영역에서 동력 전달 영역으로의 제어에는 다소 차이가 나타났다. 이는 변속 수준에 따라 동력 전달 시 클러치 디스크와 플라이 휠 사이의 진동이 달라지며 발생한 진동으로 인해 클러치 액추에이터 내부 포텐시오미터 값에 차이가 생기기 때문으로 판단된다. 동력 전달 성능은 모든 경우에서 반클러치 구간에서 구동축의 회전 속도가 상승하기 시작하였으며 동력 해지로부터 3초 이내로 목표 속도에 도달하였다.

클러치 자동화 시스템의 위치 제어 응답성능 및 동력 전달 성능은 표 1-32와 같이 나타났으며 응답성능은 반클러치 영역으로 제어하는 경우 정착시간이 주변속 1단, 주변속 3단에서 0.47초로 가장 빨랐으며 주변속 4단, 주변속 3단에서 정착시간이 0.56초로 가장 느리게 나타났지만 변속 수준에 따른 차이가 크게 관찰되지 않았다. 반클러치 영역에서 동력 전달 영역으로 제어한 결과는 주변속 3단, 주변속 4단에서 정착시간이 1초로 가장 느리게 나타났고 나머지 모든

경우에서 1초 미만으로 나타나 전체 정착시간이 1.5초 이내로 제어 성능을 만족하였으며 정상 상태 오차는 모든 변속 수준에서 0.5% 미만으로 목표 영역 내로의 위치 제어가 가능함을 알 수 있었다.

변속 수준별 동력 전달 성능은 목표 회전 속도까지 상승하는데 걸린 시간을 측정하였으며 이 때 목표 회전 속도는 엔진의 회전속도에 대한 기어의 감속비로 계산되며 부변속 1단, 주변속 1~4단은 각각 28, 30, 45, 60 rpm이고 부변속 2단, 주변속 1~4단은 각각 66, 79, 93, 124 rpm 부변속 3단, 주변속 1~4단은 각각 147, 174, 205, 274 rpm 부변속 4단, 주변속 1~4단의 경우에는 각각 381, 457, 533, 716 rpm이다. 목표 회전 속도까지 상승시간은 부변속 1단, 주변속 1단에서 2.56초로 가장 빨랐으며 부변속 4단, 주변속 4단에서 3.13초로 가장 느리게 나타나 대체적으로 변속 수준이 높을수록 시간이 더 크게 소모됨을 알 수 있다. 이는 변속 수준이 높아질수록 엔진과 구동축 사이의 감속비가 낮아져 상대적으로 목표 회전 속도가 크게 증가하기 때문으로 판단된다. 동력 전달 완료 시 구동축의 회전 속도는 부변속 2단, 주변속 3단에서 93.1 rpm으로 목표 회전 속도인 93 rpm과 0.1 rpm 차이로 가장 근접하였고 부변속 4단, 주변속 4단에서 713.7 rpm으로 목표 회전 속도인 716 rpm과 2.3 rpm의 가장 큰 차이를 나타냈으며 모든 변속 수준에서 목표 회전 속도의 5% 이내로 상승하였다.

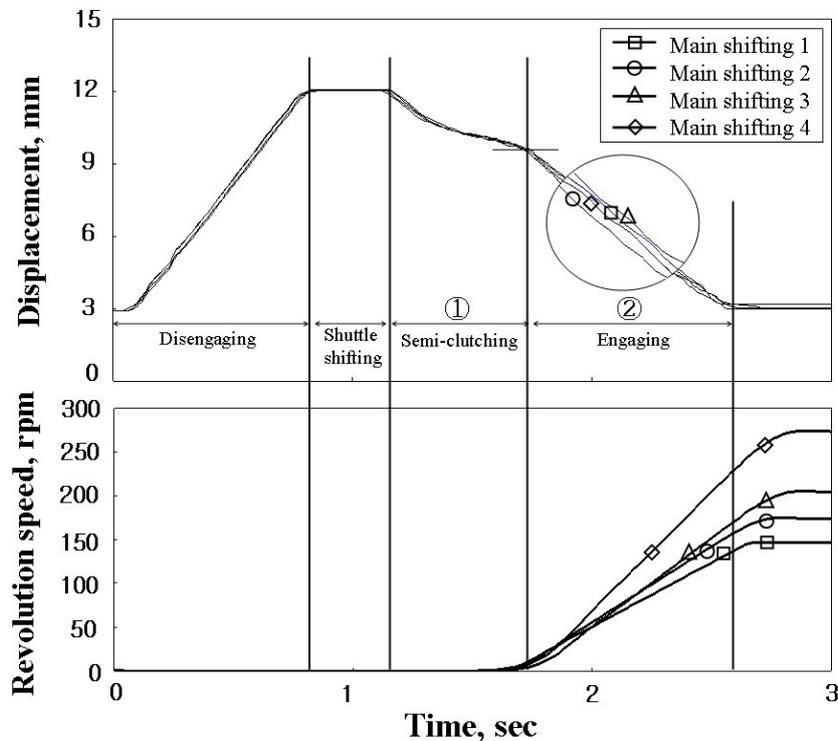


그림 1-65 최적 계수를 이용한 클러치 액추에이터 변속 제어(부변속-3).

표 1-32 클러치 액추에이터의 변속 제어 성능

Auxiliary shift	Main shift	Settling time (sec)		Standard state error (%)	RPM reaching time (sec)	Mission RPM (rpm)
		(가)	(나)			
1	1	0.48±0.02	0.97±0.01	0.11±0.017	2.56 ± 0.08	26.7 ± 3.15
	2	0.49±0.03	0.94±0.02	0.10±0.011	2.57 ± 0.05	29.1 ± 2.53
	3	0.47±0.01	0.96±0.01	0.14±0.019	2.60 ± 0.12	43.8 ± 2.22
	4	0.53±0.01	0.92±0.02	0.22±0.222	2.61 ± 0.11	59.6 ± 2.31
2	1	0.49±0.02	0.97±0.02	0.14±0.028	2.63 ± 0.15	65.7 ± 2.55
	2	0.51±0.03	0.92±0.02	0.11±0.022	2.59 ± 0.09	78.4 ± 3.10
	3	0.53±0.03	0.93±0.01	0.19±0.125	2.65 ± 0.04	92.9 ± 2.13
	4	0.51±0.02	0.92±0.02	0.12±0.034	2.65 ± 0.10	123.8 ± 3.62
3	1	0.49±0.01	0.89±0.01	0.15±0.064	2.62 ± 0.11	145.9 ± 1.03
	2	0.50±0.02	0.91±0.01	0.23±0.189	2.69 ± 0.08	173.5 ± 2.20
	3	0.50±0.02	0.91±0.01	0.36±0.071	2.75 ± 0.07	204.8 ± 1.25
	4	0.49±0.03	1.00±0.01	0.26±0.170	2.88 ± 0.16	273.1 ± 1.22
4	1	0.51±0.05	0.93±0.01	0.16±0.057	2.92 ± 0.18	380.1 ± 2.92
	2	0.53±0.01	0.97±0.02	0.30±0.164	2.97 ± 0.16	455.9 ± 2.53
	3	0.56±0.10	0.93±0.03	0.19±0.128	3.04 ± 0.13	532.5 ± 3.37
	4	0.53±0.06	0.93±0.03	0.33±0.294	3.13 ± 0.19	713.7 ± 3.52

(나) 전후진 액추에이터

전후진 자동 변속 제어의 성능 평가를 위해 실내 시험장치에서 부변속 3단, 주변속 2단으로 설정하고 중립 → 전진 → 중립 → 후진 → 중립으로 변속한 결과는 그림 1-66과 같고, 그림 1-67은 중립 → 전진, 중립 → 후진의 영역을 확대한 그림이다. 전후진 변속에 따라 전후진 및 클러치 액추에이터의 신호는 전진, 중립, 후진의 모든 경우에 대해 변속 범위를 만족하였으며, 구동축의 회전은 변속 후 빠른 증가를 나타내며 표 1-33과 같은 기어 감속비의 차이로 인해 전진보다 후진의 회전수가 낮게 관찰되었다. 전후진의 전체 변속시간은 중립 → 전진의 경우 표 1-34와 같이 변속 단수에 상관없이 2.5초 이내를 만족하였고 목표 RPM에 도달하는 시간은 3초 이내를 만족하였다. 측정된 구동축 RPM은 기어 감속비에 의해 계산된 RPM과 유사하게 나타났다. 중립 → 후진의 경우 표 1-35와 같이 변속 단수에 상관없이 2.5초 이내를 만족하였고 목표 RPM에 도달하는 시간은 3초 이내를 만족하였으며, 측정된 구동축 RPM은 기어 감속비에 의해 계산된 RPM과 유사하게 나타났다. 전진 → 중립, 후진 → 중립의 경우는 동력이 전달되지 않으므로 측정 대상에서 제외되었다.

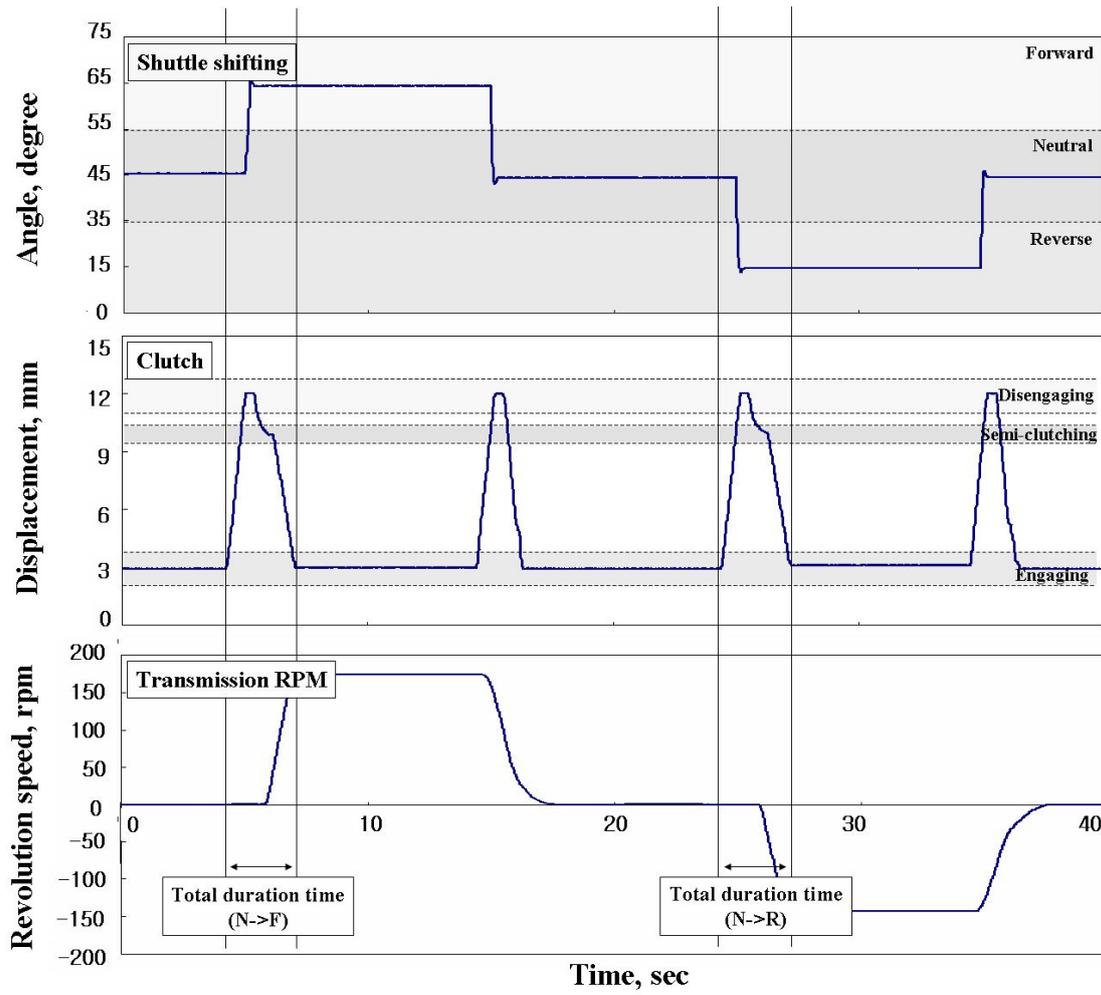
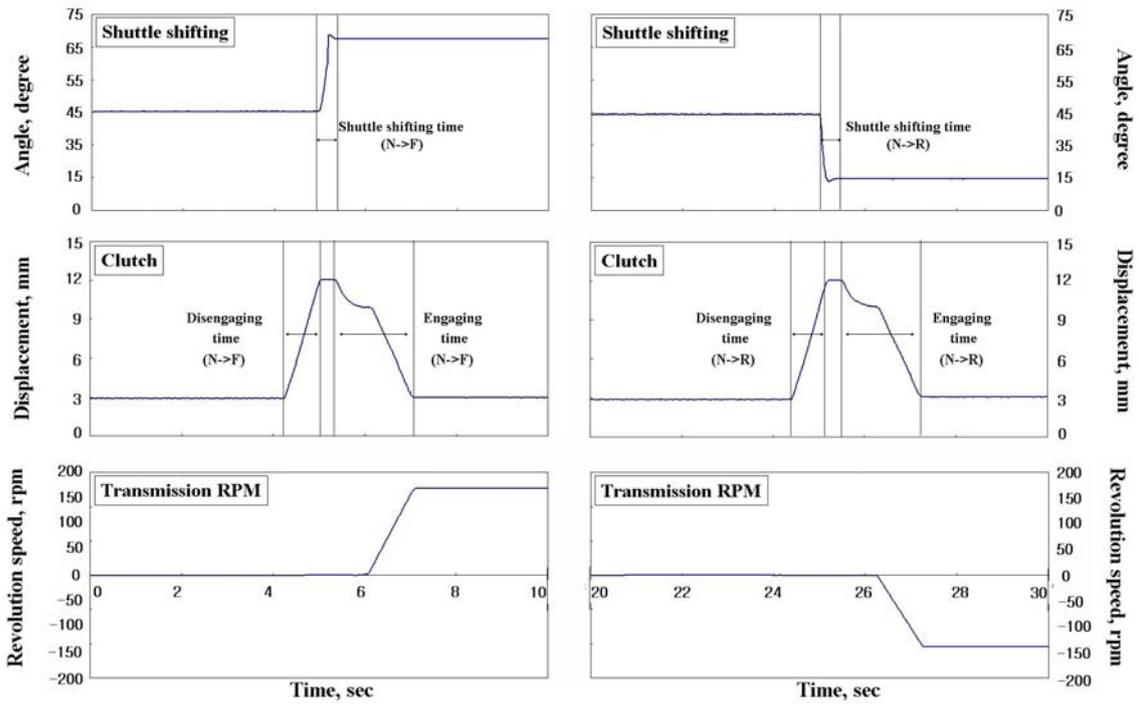


그림 1-66 전후진 액추에이터의 변속 제어(부변속-3, 주변속-2).



(a) 중립 → 전진

(b) 중립 → 후진

그림 1-67 전후진 액추에이터의 변속 제어(부변속-3, 주변속-2).

표 1-33 기어 감속비에 의한 구동축의 회전속도(부변속 2, 3단)

Auxiliary shift	2				3			
Main shift	1	2	3	4	1	2	3	4
Forward	66	79	93	124	147	174	205	274
Reverse	55	65	76	102	121	143	168	225

\*구동축 RPM = 정격 RPM (2600 rpm) × 기어 감속비

표 1-34 전후진 액추에이터 변속 제어 성능(중립 → 전진)

Auxiliary shift	Main shift	Neutral → Forward		
		Total duration time (sec)	RPM reaching time (sec)	Transmission RPM (rpm)
2	1	2.40 ± 0.04	2.63 ± 0.05	66.3 ± 0.05
	2	2.35 ± 0.05	2.59 ± 0.04	79.1 ± 0.10
	3	2.40 ± 0.04	2.65 ± 0.03	93.1 ± 0.13
	4	2.38 ± 0.07	2.65 ± 0.08	124.1 ± 0.15
3	1	2.29 ± 0.03	2.62 ± 0.04	147.1 ± 0.03
	2	2.36 ± 0.03	2.69 ± 0.03	174.0 ± 0.20
	3	2.37 ± 0.03	2.75 ± 0.03	204.8 ± 0.25
	4	2.43 ± 0.06	2.88 ± 0.05	274.0 ± 0.22

표 1-35 전후진 액추에이터 변속 제어 성능(중립 → 후진)

Auxiliary shift	Main shift	Neutral → Reverse		
		Total duration time (sec)	RPM reaching time (sec)	Transmission RPM (rpm)
2	1	2.39 ± 0.05	2.61 ± 0.08	55.0 ± 0.15
	2	2.33 ± 0.06	2.55 ± 0.06	65.0 ± 0.10
	3	2.38 ± 0.04	2.60 ± 0.03	75.8 ± 0.65
	4	2.37 ± 0.06	2.63 ± 0.08	102.0 ± 0.06
3	1	2.29 ± 0.04	2.58 ± 0.03	121.6 ± 0.47
	2	2.36 ± 0.03	2.63 ± 0.03	143.6 ± 0.32
	3	2.37 ± 0.04	2.73 ± 0.05	168.2 ± 0.36
	4	2.41 ± 0.03	2.81 ± 0.05	225.1 ± 0.30

(3) 주변속 액추에이터

주변속 자동 변속 제어의 성능 평가의 대표적인 결과는 주변속 3단의 경우로 그림 1-68과 같이 1단을 시작으로 2단 → 3단 → 1단 → 4단 → 2단 순서로 주변속 액추에이터가 제어되었다. 1단 상태에서 레버 신호가 3단으로 바뀌면 1-2단 액추에이터가 중립상태로 가는 동시에 3-4단 액추에이터가 3단 위치로 이동함을 알 수 있었다. 3단 상태에서 레버 신호가 다시 1단으로 바뀌게 되면 3-4단 액추에이터가 중립상태로 가는 동시에 1-2단 액추에이터가 1단 위치로 이동하였다. 1단 상태에서 레버 신호가 4단으로 바뀌면 3-4단 액추에이터가 중립상태로 가는 동시에 1-2단 액추에이터가 4단 위치로 이동하였으며 다시 레버가 2단으로 이동하면 3-4단 액

추에이터는 중립상태로, 1-2단 액추에이터는 2단 위치로 이동하였다. 주변속 및 클러치 액추에이터의 신호는 2단 → 3단 → 1단 → 4단 → 2단의 모든 경우에 대해 변속 범위를 만족하였으며, 부변속 수준에 따른 전체 주변속 시간과 최종 RPM은 표 1-36과 같이 나타났다. 이때 RPM 상승에 걸리는 시간은 주변속의 변속전 상태에 따라 구동축의 RPM이 0이 아닌 다양한 수준의 값에서 시작되므로 평가에서 제외하였다. 전체 주변속 시간은 부변속 3단에서 주변속이 3단에서 1단으로 제어되는 경우에 3.65초로 가장 느렸지만 부변속 및 주변속 수준에 따른 변화가 크게 관찰되지 않았다. 전체 변속 시간이 전후진에 비해 느리게 나타났는데 이는 주변속의 경우 두 개의 액추에이터를 사용하므로 변속 제어에 시간이 더 소요되기 때문으로 판단된다. 또한 측정된 제어 종료 후 구동축 RPM은 부변속 및 주변속 수준의 상승에 따라 더 높게 관찰되었으며 모든 경우에서 기어 감속비에 의해 계산된 목표 RPM과 유사하게 나타났다.

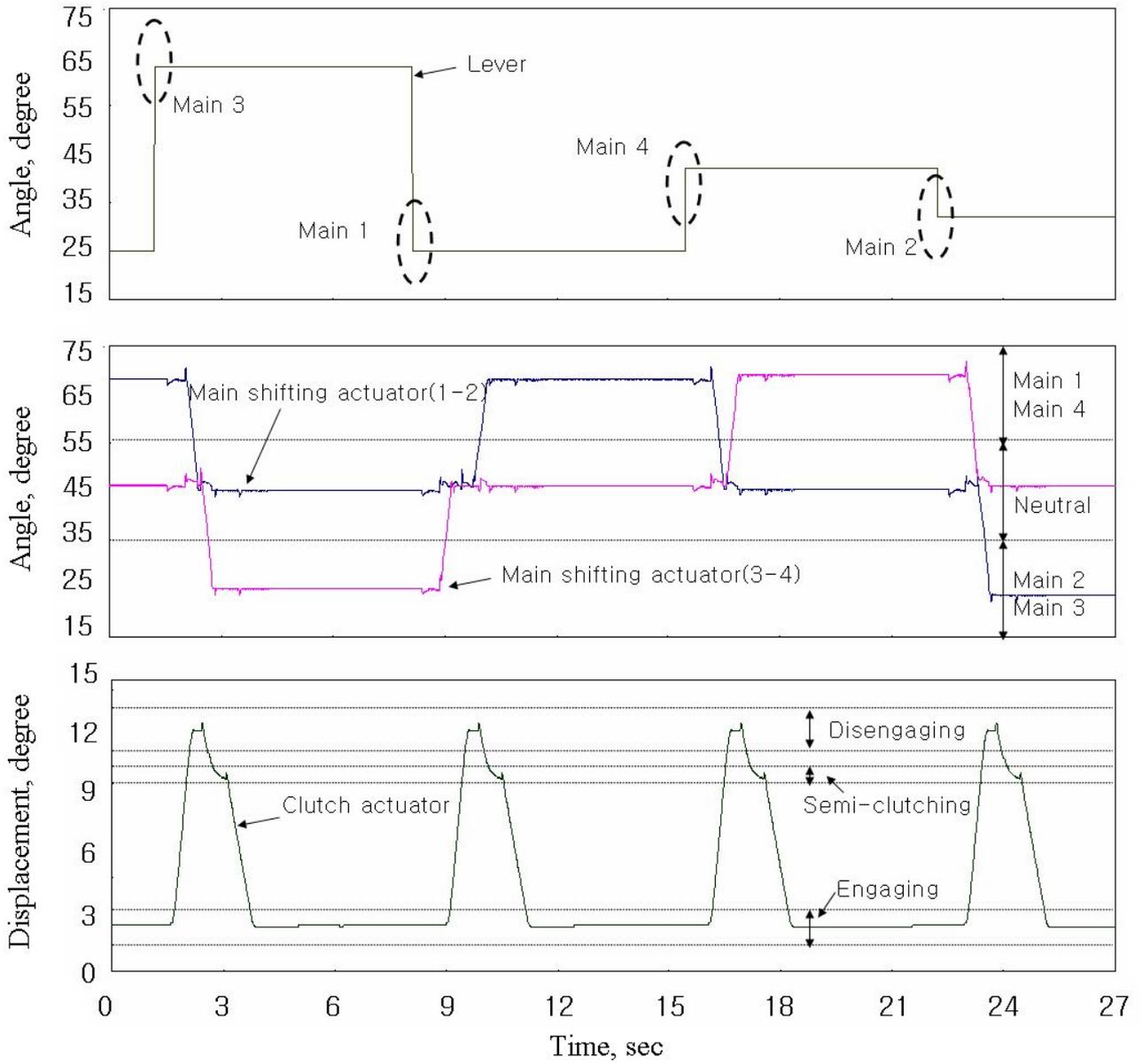


그림 1-68 주변속 액추에이터 변속 성능 평가 결과.

표 1-36 주변속 액추에이터 변속 성능 평가 결과

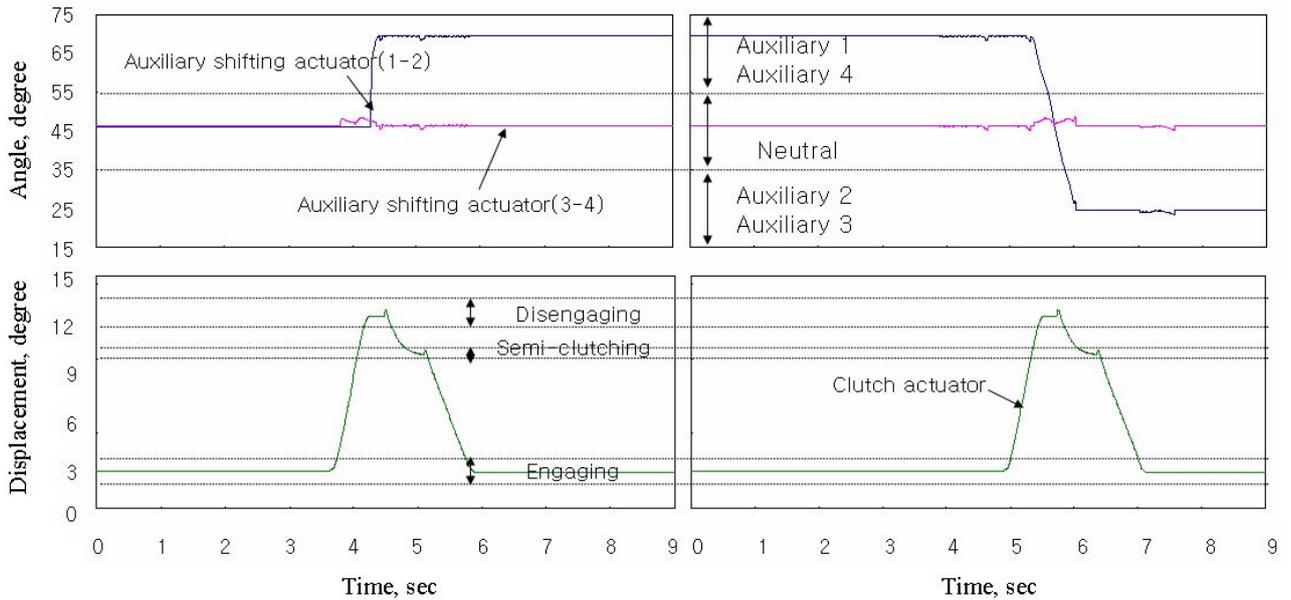
Auxiliary shift	Main shift	Total duration time (sec)	Mission RPM (rpm)
1	3 → 1	3.56 ± 0.18	25.4 ± 2.55
	1 → 4	3.17 ± 0.12	58.8 ± 3.11
	4 → 2	3.50 ± 0.13	28.2 ± 2.41
	2 → 3	3.61 ± 0.11	43.1 ± 2.78
2	3 → 1	2.63 ± 0.18	65.1 ± 3.55
	1 → 4	2.59 ± 0.11	123.5 ± 3.77
	4 → 2	3.25 ± 0.07	76.2 ± 2.96
	2 → 3	3.15 ± 0.05	91.5 ± 2.82
3	3 → 1	3.65 ± 0.08	144.9 ± 2.13
	1 → 4	3.47 ± 0.09	272.6 ± 1.78
	4 → 2	3.43 ± 0.15	172.6 ± 2.35
	2 → 3	3.64 ± 0.07	203.5 ± 2.49
4	3 → 1	3.59 ± 0.13	379.4 ± 2.81
	1 → 4	3.62 ± 0.21	712.3 ± 3.68
	4 → 2	3.63 ± 0.18	454.9 ± 2.67
	2 → 3	3.59 ± 0.14	532.2 ± 3.39

(4) 주변속 액추에이터

주변속 자동 변속 제어의 성능 평가의 대표적인 결과는 주변속 3단의 경우로 그림 1-69와 같이 관찰되었다. 모든 변속은 동력이 전달되지 않는 정지 상태에서 실시하였으며 중립 → 1단의 경우 그림 1-69(a)와 같이 1-2단 액추에이터가 1단 범위로 이동하였으며 3-4단 액추에이터는 현재 중립 상태를 유지하였다. 1단 → 2단의 변속은 그림 1-69(b)와 같이 1-2단 액추에이터가 2단 범위로 이동하였으며 3-4단 액추에이터는 현재 중립 상태를 유지하였다. 2단 → 3단의 변속에서는 3-4단 액추에이터가 작동해야하므로 그림 1-69(c)와 같이 1-2단 액추에이터가 중립 범위로 이동하였으며 3-4단 액추에이터는 3단 범위로 이동하였다. 3단 → 4단의 변속에서는 1단 → 2단, 2단 → 3단의 경우와 마찬가지로 1-2단 액추에이터는 중립 범위를 유지하고 3-4단 액추에이터는 4단 범위로 이동하였다. 모든 주변속 수준에서 주변속 액추에이터 및 클러치 액추에이터의 범위내로 제어가 가능하였다.

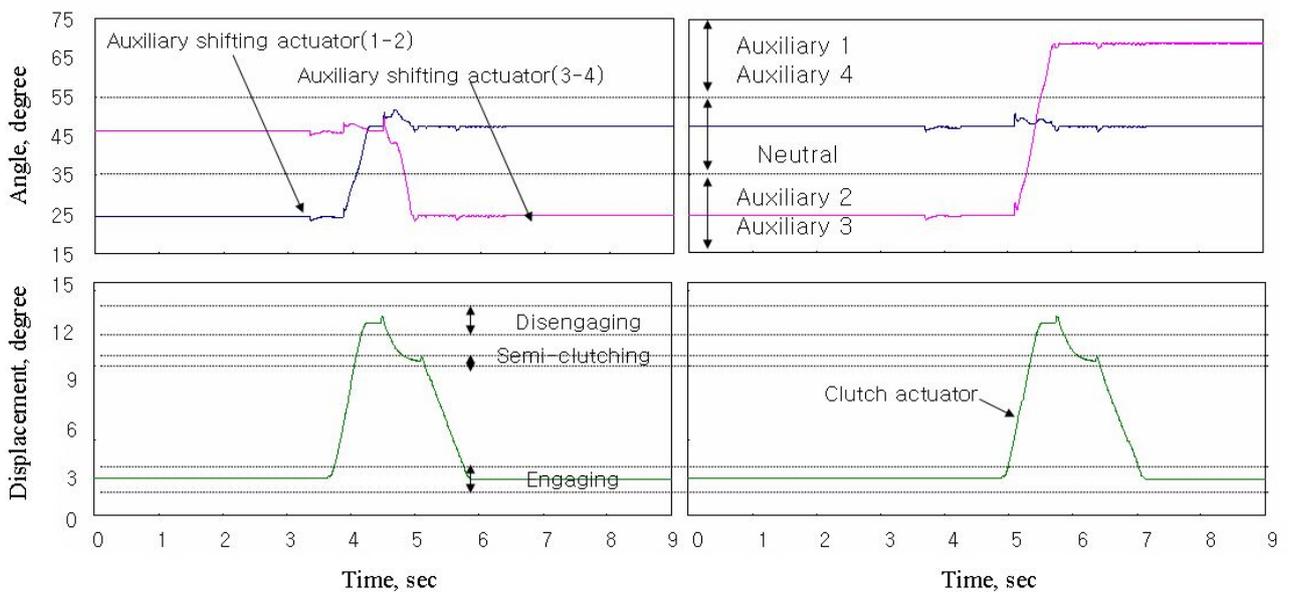
주변속 수준에 따른 전체 주변속 시간과 최종 RPM은 표 1-37과 같이 나타났다. 전체 주변속 시간은 주변속 1단에서 주변속이 2단에서 3단으로 제어되는 경우에 3.47초로 가장 느렸지만

주변속 및 부변속 수준에 따른 변화가 크게 관찰되지 않았다. 전체 변속 시간이 전후진에 비해 느리게 나타났는데 이는 주변속 액추에이터의 경우와 마찬가지로 두 개의 액추에이터를 사용하므로 변속 제어에 시간이 더 소요되기 때문으로 판단된다. 또한 측정된 제어 종료 후 구동축 RPM은 부변속 및 주변속 수준의 상승에 따라 더 높게 관찰되었으며 모든 경우에서 기어 감속비에 의해 계산된 목표 RPM과 유사하게 나타났다.



(a) 중립 → 2단

(b) 1단 → 2단



(c) 2단 → 3단

(d) 3단 → 4단

그림 1-69 부변속 액추에이터 변속 성능 평가 결과.

표 1-37 부변속 액추에이터 변속 성능 평가 결과

Main shift	Auxiliary shift	Total duration time (sec)	Mission RPM (rpm)
1	중립 → 1	2.39 ± 0.13	26.9 ± 3.45
	1 → 2	2.17 ± 0.21	66.0 ± 2.78
	2 → 3	3.47 ± 0.18	145.8 ± 2.15
	3 → 4	2.22 ± 0.14	378.6 ± 3.02
2	중립 → 1	3.19 ± 0.09	29.1 ± 2.47
	1 → 2	3.01 ± 0.07	78.4 ± 3.10
	2 → 3	2.89 ± 0.12	173.5 ± 2.20
	3 → 4	3.12 ± 0.11	455.9 ± 2.23
3	중립 → 1	2.98 ± 0.08	42.3 ± 2.59
	1 → 2	2.88 ± 0.07	91.1 ± 3.01
	2 → 3	3.02 ± 0.13	200.1 ± 1.99
	3 → 4	3.13 ± 0.15	528.3 ± 3.21
4	중립 → 1	3.10 ± 0.09	59.5 ± 2.65
	1 → 2	3.07 ± 0.09	122.7 ± 4.01
	2 → 3	2.99 ± 0.10	272.2 ± 2.01
	3 → 4	3.01 ± 0.08	714.0 ± 2.92

라. AMT 파워트레인의 TCU 시작품 설계 및 개발

(1) TCU 시작품 내부회로 설계

TCU 시작품은 제작 시 신뢰성과 적용성이 보장되는 하드웨어 - 하드웨어 방식의 설계 방식을 사용하였다. 또한 변속제어기를 수정할 때 다시 만들어야하는 이 방식의 단점을 보완하기 위하여 사용자 요구에 따라 쉽게 수정이 가능한 마이컴 컨트롤러를 사용하여 설계하였다. 그림 1-70은 설계된 컨트롤러의 메인 CPU의 배선도를 나타내고 있다. 전후진 액추에이터 컨트롤러는 각종 사용자 입력장치 및 차량 제어용 센서들에 대한 신호를 수신 및 처리하고, 처리된 결과를 토대로 클러치 액추에이터와 전후진 액추에이터를 제어하여 차량 전후진 변속 제어를 수행하도록 설계되었다. 주변속 컨트롤러는 1단/2단 주변속 변속 제어용 주변속 액추에이터와 3단/4단 주변속 변속 제어용 주변속 액추에이터를 제어하여 차량 주변속 변속 제어를 수행한다. 주변속 제어의 경우 주변속 제어와 마찬가지로 1단/2단, 3단/4단의 액추에이터를 나누어 제어하게 설계되었다.

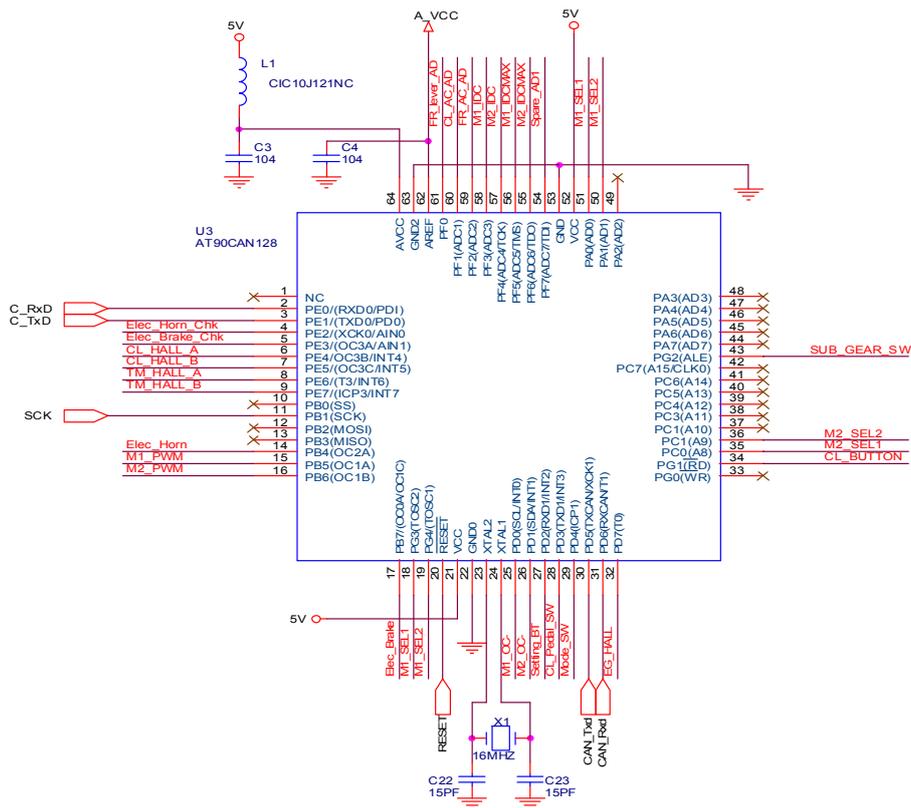


그림 1-70 컨트롤러 회로도(메인 CPU).

전후진 컨트롤러와 주변속 및 부변속 컨트롤러간의 통신은 여러 개의 전자제어 장치들을 병렬로 연결하여 각각의 전자제어 장치들 간에 원활한 정보교환이 가능하며 여러 개의 장치를 단 2개의 선으로 제어할 수 있다는 장점이 있는 CAN 통신을 이용하였다. 트랙터의 CAN의 경

우 ISO 11783에서 규정되어 있으며 본 연구에서는 그림 1-71과 같이 회로도를 구성하였다. CAN 통신부의 회로도에 사용되는 CAN프로토콜 컨트롤러와 물리계층 버스 사이의 인터페이스는 SMD타입으로 1 Mbaud 이상의 전송속도를 가지는 PCA82C250T를 사용하였다.

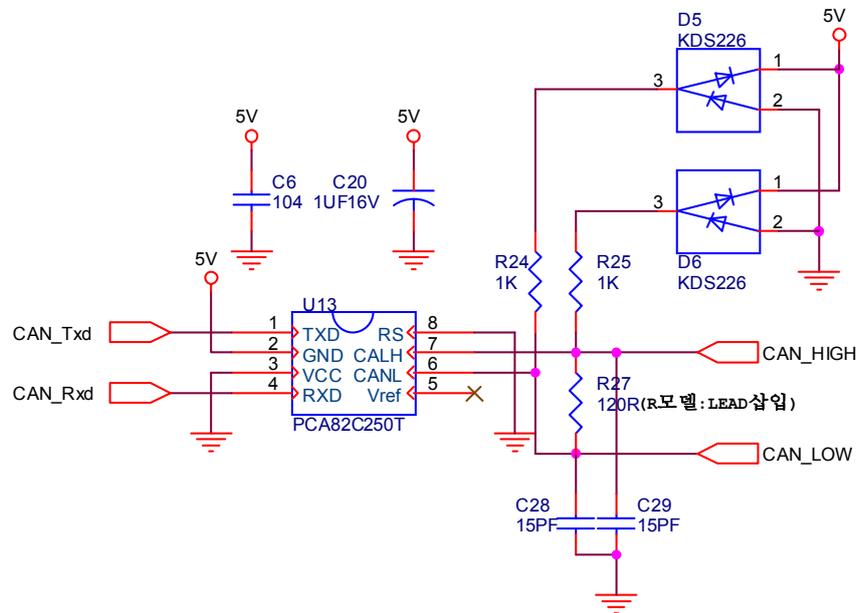


그림 1-71 컨트롤러 회로도(CAN 통신부).

전후진 레버와 주변속 레버, 부변속 레버의 위치와 클러치 액추에이터, 전후진 액추에이터, 주변속 액추에이터와 부변속 액추에이터의 위치에 대한 정보를 입력 받기 위해 그림 1-72와 같이 입력부 회로도를 구성하였다. 구성된 회로는 analog to digital 회로로써 레버 및 액추에이터를 통해 측정되는 0 ~ 5 V의 아날로그 신호를 제어 및 측정에 용이한 디지털 신호로 변환한다. 또한 회로의 집적도 향상을 위해서 여러 개의 저항기를 하나의 패키지 안에 넣고 저항 네트워크를 구성한 네트워크 저항기 (MNR14, Rohm, Japan)를 이용하였다.

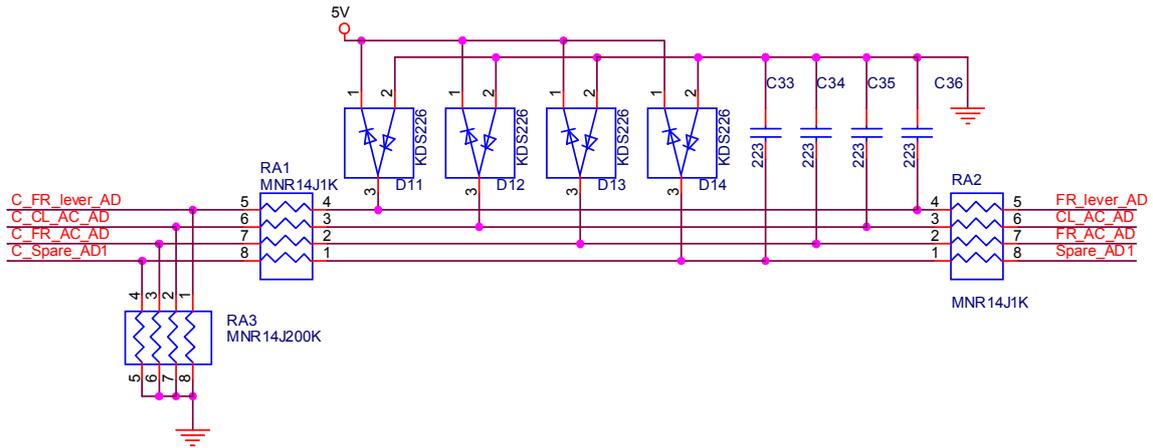


그림 1-72 컨트롤러 회로도(AD 입력부 회로).

그림 1-73은 변속에 대한 입력 신호를 위한 사용자 입력장치용 스위치와 전후진 액추에이터, 클러치 액추에이터에서 사용하는 홀센서 입력용 회도로를 나타내었다.

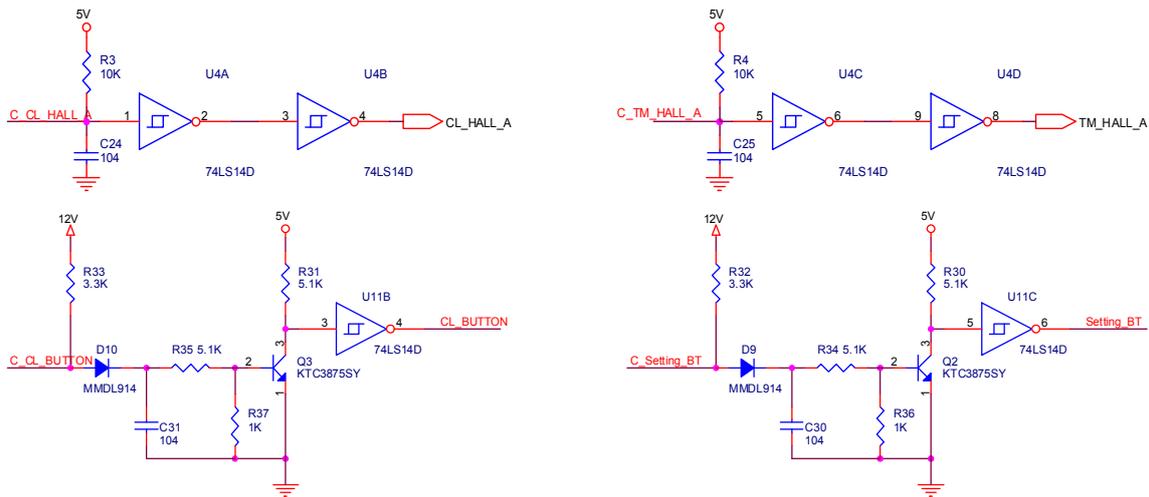


그림 1-73 컨트롤러 회로도(스위치).

그림 1-74에는 전후진 액추에이터와 클러치 액추에이터에서 사용하는 DC 모터 제어용 회도로를 나타내었다. 모터의 제어를 위해서 고속의 4개 입력을 가지는 멀티플렉서(74LS153M, On semiconductor, USA)를 이용하였으며 모터의 제어 신호 출력을 위해 고온에서 고속의 스위칭 작동이 가능한 반도체인 IRF3205, IRF4905\_P (International rectifier, USA)를 사용하였으며 IRF3205의 경우 continuous drain current가 20℃에서 110 A, 100℃에서 80 A, IRF4905의 경우 각각 -74, -52 A를 가진다.

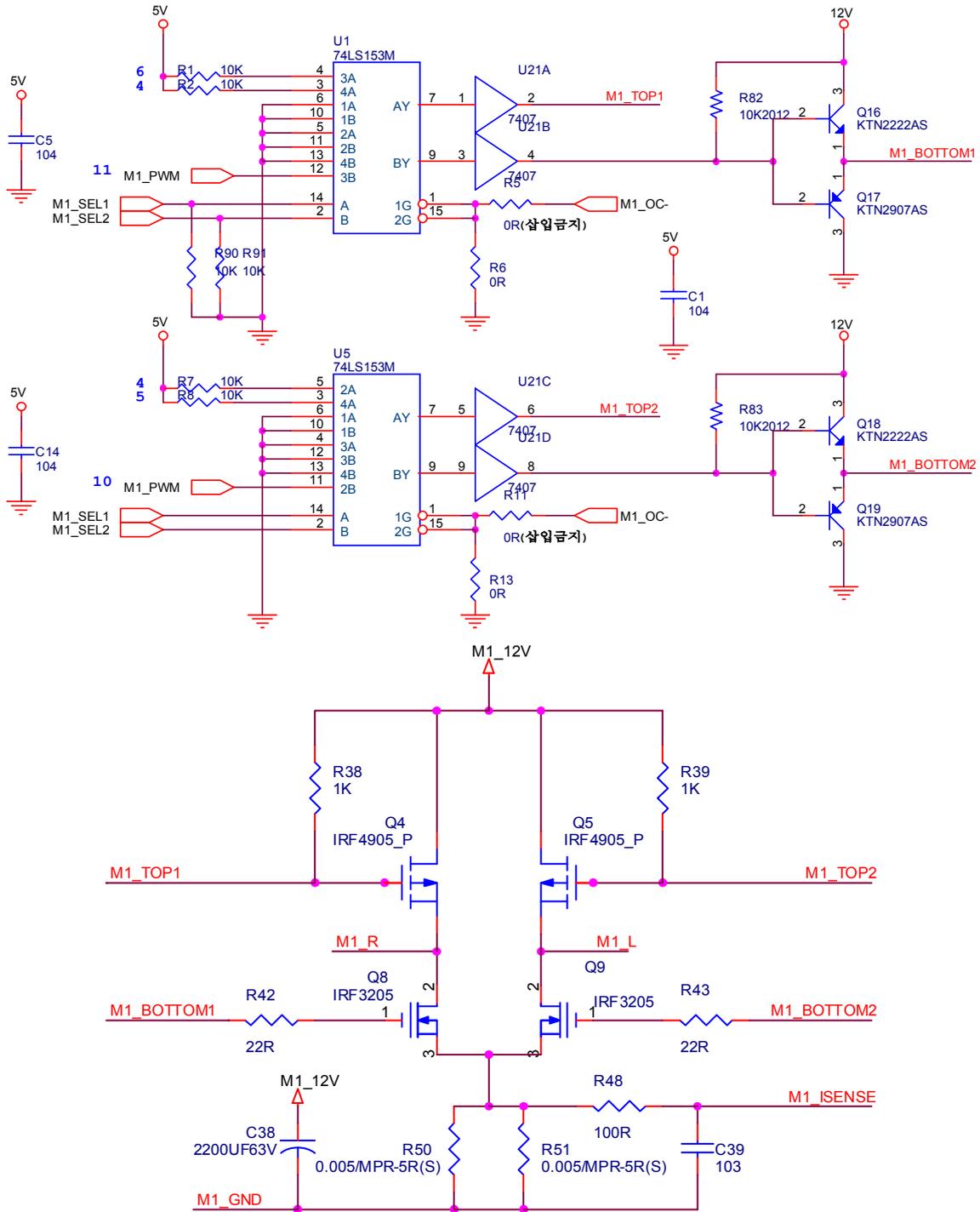


그림 1-74 컨트롤러 회로도(DC 모터 제어).

그림 1-75에는 각각의 액추에이터에서 사용하는 DC 모터의 구동 전류를 측정하기 위한 모터 전류 증폭 회로도를 나타내었다.

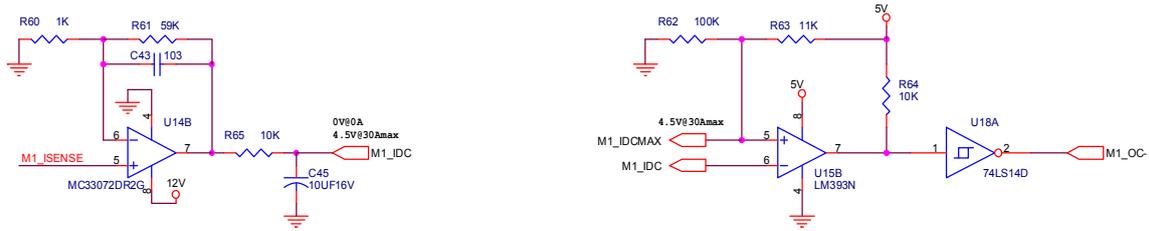


그림 1-75 컨트롤러 회로도(모터 전류 증폭).

그림 1-76에는 전자 브레이크와 전자 혼을 제어하기 위한 외부 출력 회로도를 나타내었다. 제어의 출력 제어를 위해 IPS5451S (International rectifier, USA)를 사용하였으며 과온도 보호 (over temperature protection) 및 과전류 보호(over current protection) 기능을 가진다.

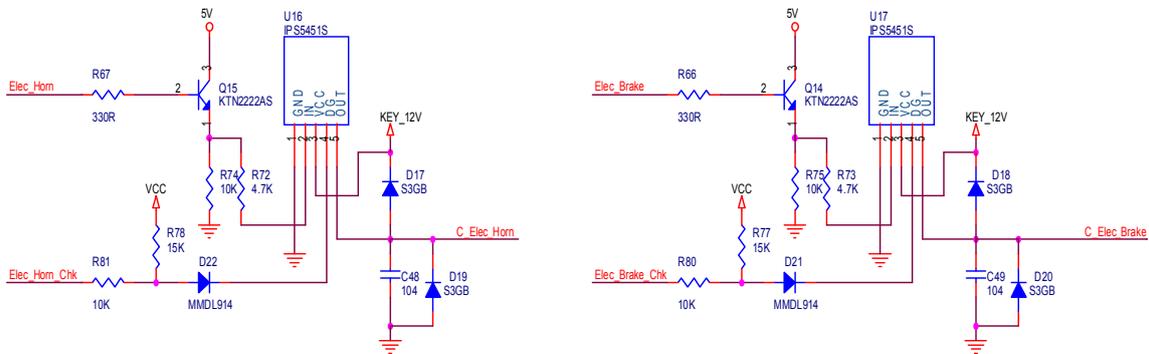


그림 1-76 컨트롤러 회로도 (외부 출력).

## (2) TCU 케이스 설계

TCU 컨트롤러에는 전후진 액추에이터와 클러치 액추에이터, 주변속 액추에이터, 부변속 액추에이터에서 사용하는 DC 모터를 제어하기 위해 모터 제어용 POWER-FET가 8개 장착되어 있다. POWER-FET는 소모 전력을 열에너지로 방출하므로 POWER-FET 파괴 방지를 위한 방열판이 반드시 필요하다. 자동화 수동변속기에서 사용되어지는 전후진 액추에이터는 최대 13A 전류를 사용하면서 3.38W의 열을 방출하고, 클러치 액추에이터는 최대 37A의 전류를 사용하면서 10.952W의 열을 방출한다. 또한 주변속 및 부변속 액추에이터의 경우 1-2단, 3-4단 액추에이터 모두 전후진 액추에이터와 같이 13A의 전류를 사용하며 3.38W의 열을 방출한다. 따라서, 액추에이터의 열 방출에 따라 POWER-FET의 방열이 필요하므로 케이스를 알루미늄으로 제작하여 방열판 겸 TCU 케이스로 이용하였다. 그림 1-77은 컨트롤러 보드에 장착된 POWER-FET을 알루미늄 케이스에 조립한 상태를 도식화한 3D 도면을 나타내었으며 그림 1-78과 같이 TCU 보드와 알루미늄 케이스를 개발하여 장착하였다.

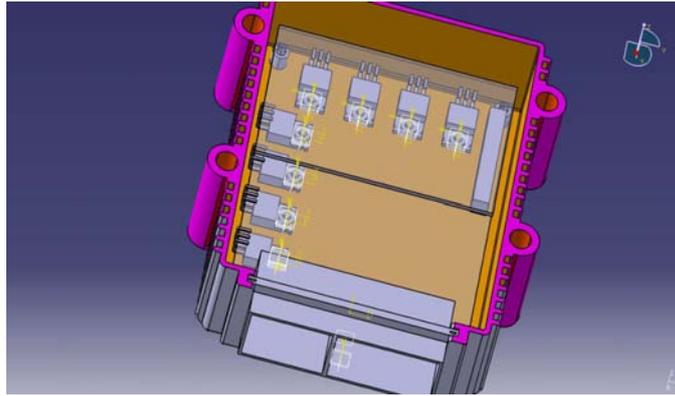


그림 1-77 TCU 케이스의 3D 설계 도면.

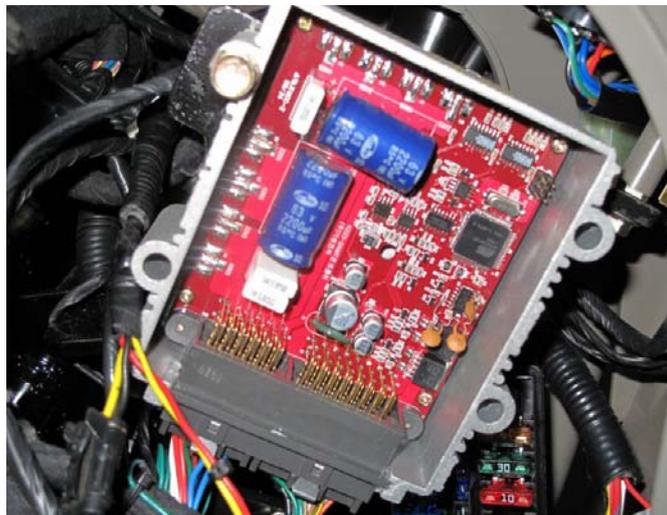


그림 1-78 알루미늄 케이스에 장착된 TCU 보드.

#### 마. 개발된 액추에이터와 TCU 컨트롤러 간의 내환경성 평가

TCU 컨트롤러 간의 내환경성을 평가하기 위해서 과도전압시험, 과전압시험, 내수성 시험, 내진성 시험, 온도 시험, 통상전원전 시험, 컨트롤러 임펄스 시험, 정전기 시험 테스트를 실시하였다.

##### (1) 과도전압 및 과전압 시험

TCU 컨트롤러의 과도전압 시험은 그림 1-79와 같이 컨트롤러가 과도전압에 노출되었을 때, 손상되지 않고 정상적으로 동작하는지 평가하는 시험으로 JASO D001-94 5.7항 A종(A-2)항을 이용하여 시험을 실시하였다. 컨트롤러의 입력장치 및 부하장치를 연결 후 컨트롤러가 작동되는 상태에서 과도 전압시험기를 이용하여 규정된 시험전압을 인가 후 제품의 동작 성능을 평가하였다. 시험조건은 과도전압의 최대치 110 V, 감쇠시정수는 2.5 us, 발생주파수는 1/30 Hz, 시험전압발생회로의 출력 임피던스는 0.4 옴으로 정하였으며 시험이 종료된 후 컨트롤러 오동

작 없이 동작사양을 만족하였다.



그림 1-79 과도전압 시험.

시험보고서				1 / 1	
시험일자	2010.01.20	결 계	담당	검토	승인
시험부서	기술 연구소		[Signature]		[Signature]
시험자	한광식				
계 목	컨트롤러 과도전압 시험				
차 례	트래커	업체명	LS 오토콘		
품 명	컨트롤러	시험수	1EA		
품 번		시험기간	2010.01.20		
<p>1. 목적 : 컨트롤러의 과도전압 시험 후 정상 동작 여부 확인.</p> <p>2. 시험방법</p> <p>1) JASO D001-04 6.7항 A종 (A-2)항으로 시험.                      (제품의 입력장치 및 부하장치를 인공수 계류이 작동하는 상태로 하고, 과도전압시험기를 통해 규정된 시험전압을 인가후 제품성능을 확인한다.)</p> <p style="text-align: center;">시험조건</p> <p>과도전압의 최대치 (Vp) : 110[V]                      감쇠시정수 (τ) : 2.6[us]                      발생주파수 (f) : 1/30[Hz]                      시험전압발생회로의 출력 임피던스 : 0.4[Ω]</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>표1 過渡電圧試験 A種及 D種の電圧波形</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>사진</p> </div> </div> <p>3. 결과</p> <p>1) 과도전압 시험 후 오동작 없이 동작사양 만족함.</p>					

그림 1-80 과도전압 시험 성적서.

과전압 시험은 그림 1-81과 같이 컨트롤러의 정격전압 보다 높은 DC 26 V를 5분간 인가한 후 다시 정격전압을 인가하여 TCU 컨트롤러의 동작여부를 확인하였으며 시험 후 TCU 컨트롤러는 오동작 없이 정상적으로 작동되었다.



그림 1-81 과전압시험.

시험보고서				1 / 1	
시험일자	2010.01.19	결재	담당	검토	승인
시험부서	기술 연구소		<i>[Signature]</i>		<i>[Signature]</i>
시험자	한광석				
계 목	컨트롤러 과전압 시험				
차 례	트랙터	일제일	LS 오토론		
품 명	컨트롤러	시료수	1EA		
품 번		시험기간	2010.01.19		
<p>1. 목적 : 컨트롤러의 과전압 시험 후 정상 동작 여부 확인</p> <p>2. 시험방법</p> <p>1) 컨트롤러를 시험기에 연결하고 전원단자에 DC 26[V]를 5분간 인가한다.</p> <p>2) 전원단자에 정격전압을 인가 한 후 동작 여부를 확인한다.</p> <p style="text-align: center;">시험사진</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;">DC 26[V]</p> <p>3. 결과</p> <p>1) 과전압 시험 후 오동작 없이 동작사항 만족함.</p>					

그림 1-82 과전압 시험 성적서.

(2) 내수성 시험

내수성 시험은 자동차 부품 중 간접적으로 풍우 또는 살수를 받는 부품의 내습 및 내수 기능을 시험하는 방법으로 KS R0015 R2를 이용하여 실시하였다. 시험은 그림 1-83과 같이 상온의 물을 400 mm 거리에서 0.03 MPa의 수압으로 10분간 부품에 살수하여 부품의 내수성을 확인한다. KS R0015 R2 시험 뒤 1시간 방치 후 정상 동작여부를 확인한 결과 내수성 동작사양을 만족하였다.



그림 1-83 내수성 시험.

시험보고서				1 / 1	
시험일자	2010.01.28	결 과	담당	김도	
시험부서	기술 연구소		[Handwritten Signature]	승인	[Handwritten Signature]
시험자	한광식				
계 목	컨트롤러 내수성 시험				
차 종	트랙터	업체명	LS 엘르온		
품 명	컨트롤러	시료수	1EA		
품 번		시험기간	2010.01.28		
<p>1. 목 적 : 컨트롤러의 내수성시험 후 정상 동작 여부 확인</p> <p>2. 시험방법</p> <p>1) KS R0015 R2시험 뒤 1시간 방치 후 정상 동작할 것.</p> <p style="text-align: center;">시험사진</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>3. 결 과</p> <p>1) 내수성 시험 후 오동작 없이 동작사양 만족함.</p>					

그림 1-84 내수성 시험 성적서.

(3) 내진성 시험

내진성 시험은 KS R1034 3종 B종 시험법으로 실시하였으며 이는 자동차 진동시험 방법 중 트럭 계열이면서 부품이 차체 또는 현가장치의 스프링 위에 부착되어 비교적 진동이 큰 경우에 적용하는 시험으로 전반적으로 트랙터의 작업 환경과 유사하다. 시험은 그림 1-85와 같이 66 Hz로 상하 4시간, 좌우, 전후 각각 2시간의 진동을 가한 후 컨트롤러를 시험한 결과 정상적으로 동작하였다.



그림 1-85 내진성 시험(좌)전후, (중)상하, (우)좌우.

시험보고서				1 / 1	
시험일자	2010.01.26	결 재	담당	검토	승인
시험부서	기술 연구소				
시험자	황경식				
계 목	컨트롤러 내진성 시험				
차 종	트랙터	업체명	LS 엘트론		
품 명	컨트롤러	시료수	1EA		
품 번		시험기간	2010.01.26		
<p>1. 목적 : 컨트롤러의 내진성 시험 후 정상 동작 여부 확인</p> <p>2. 시험방법</p> <p>1) KS R1034 3종 B종 66HZ에서 상하 4시간, 좌우, 전후 각각 2시간 시험 후 정상 작동할 것.</p> <p style="text-align: center;">시험 사진</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  전후         </div> <div style="text-align: center;">  상하         </div> <div style="text-align: center;">  좌우         </div> </div> <p>3. 결과</p> <p>1) 내진성 시험 후 오동작 없이 동작사항 만족함.</p>					

그림 1-86 내진성 시험 성적서.

(4) 온도 시험

TCU 컨트롤러 온도시험의 경우 보존온도시험과 동작온도시험의 2가지 항목을 실시하였다. 보존온도시험은 그림 1-87과 같이 소자나 장치의 특성이 열화 없이 유지되는지를 확인하는 것으로 컨트롤러를 향온항습기에 넣고 -30℃, 80℃에서 각각 1시간씩 유지한 후 상온에서 기기의 성능을 테스트하였다. 동작온도는 장치가 작동할 수 있는 온도범위로 컨트롤러를 향온항습기에 넣은 다음 -15℃, 80℃에서 각각 1시간씩 유지 후 상온에서 성능을 평가하였다. 두가지 시험 후 모든 경우에서 이상없이 정상 작동하였다.



그림 1-87 온도시험 (좌)-30℃, (우)80℃.

시험보고서				1 / 1		
시험일자	2010.01.22	검 제	발달	검토	승인	
시험부서	기술 연구소		[Signature]			[Signature]
시험자	한광석					
계 속	컨트롤러 온도시험					
차 례	트랙터	업체명	LS 엘트론			
종 목	컨트롤러	시험수	1EA			
종 번		시험기간	2010.01.22			
<p>1. 목 적 : 컨트롤러의 고온, 저온 작동시험 후 정상 동작 여부 확인.</p> <p>2. 시험 방법</p> <p>1) 보존 온도 : 향온항습기에 넣고 -30[°C], 80[°C]를 각각 1시간 유지 후 상온에서 테스트</p> <p>2) 동작 온도 : 향온항습기에 넣고 -15[°C], 80[°C]를 각각 1시간 유지 후 상온에서 테스트</p> <p style="text-align: center;">시 험 사 찰</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>-30℃</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>+80℃</p> </div> </div> <p>3. 결 과 : 시험 종료 후 정상 동작함.</p>						

그림 1-88 온도 시험 성적서.

(5) 통상전원전압 시험

통상전원전압 시험은 그림 1-89와 같이 컨트롤러를 통상전원전압 시험기에 연결하고 DC 9 ~ 16 V의 전원전압을 60분간 인가하였다. 통상전원전압 시험 결과, 전원전압 인가 후 TCU 컨트롤러는 정상적으로 동작하여 목표 성능을 만족하였다.



그림 1-89 통상전원전압 시험.

시험보고서				1 / 1	
시험일자	2010.01.19	결과	담당	검토	승인
시험부서	기술 연구소		[Signature]		[Signature]
시험자	황경식				
계 목	컨트롤러 견입 시험				
차 종	트랙터	업체명	LS 엘트론		
품 명	컨트롤러	시료수	1EA		
품 번		시험기간	2010.01.19		
<p>1. 목적 : 컨트롤러에 통상 전원 전압 시험 후 정상 동작 여부 확인</p> <p>2. 시험방법</p> <p>1) 컨트롤러를 시험기에 연결하고 전원전압을 DC9[V] ~ 16[V]를 60분간 인가 후 정격전압 인가할 때,</p> <p style="text-align: center;">시험 사진</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>9[V]</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>16[V]</p> </div> </div> <p>3. 결과</p> <p>1) 통상 전원 전압 시험 후 오동작 없이 동작사항 만족함.</p>					

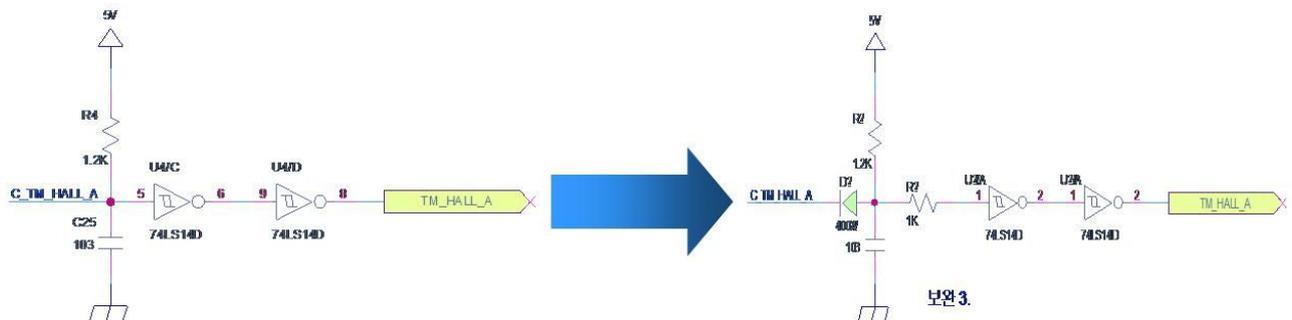
그림 1-90 통상전원전압 시험 성적서.

(6) 임펄스 시험

임펄스 시험은 그림 1-91과 같이 컨트롤러를 임펄스 테스트기에 연결하고 2,000 V의 인가전압을 15분간  $1\mu\text{ sec}$ 의 펄스폭으로 15분간 인가하면서 실시하였다. 통상전원전압 시험 결과, 전원전압 인가 30초 후 포트의 불량으로 오동작을 나타내었다. 이에 그림 1-92와 같이 TCU 회로에 다이오드를 추가하여 포트가 보호되고 고장내성이 향상돼 15분 테스트 결과 정상적으로 동작하였다.



그림 1-91 임펄스 시험장비.



(a) 보완 전 TCU 회로

(b) 보완 후 TCU 회로

그림 1-92 TCU 회로 보완.

(7) 정전기 시험

정전기 시험은 그림 1-93과 같이 모터, 모터 배선, 컨트롤러 케이스본체에 정전기 테스트기를 이용한 접촉방전 방식으로 2 kV 10회, 4 kV 10회, 6 kV 10회, 8 kV 10회의 4 수준으로 모터의 정역회전을 가하면서 시험을 실시하였다. 정전기 시험 결과, 모터본체 및 배선, 케이스 본체에 이상없이 동작함을 확인할 수 있었다.



(a) 모터 본체



(b) 모터 배선



(c) 케이스 본체

그림 1-93 정전기 시험.

### 3. 자동화 수동변속 시스템의 성능 평가 및 실용화 연구

#### 가. 포장작업을 통한 AMT 파워트레인의 내구성 평가

##### (1) 실차 실험을 통한 요소 부품의 내구성 평가

AMT 파워트레인의 내구성 평가를 위해 표 1-38과 같은 사양의 50마력급 트랙터를 표 1-39와 같이 연간 사용시간 및 클러치 페달 조작횟수 등을 고려한 사내 시험 기준을 활용하여 평가를 실시하였다. 기준에 의해 연간 클러치 작동횟수가 26358회로 주어졌고, 이의 약 2배인 5만회를 내구성 기준으로 선정하였다. 전후진 액추에이터 제어의 내구성 평가를 위하여 조작 시퀀스를 '전진-중립-후진-중립'으로 하여 반복시험 횟수를 5만회의 1/4인 12500회로 산정하였다. 주변속은 1단-2단-3단-4단-3단-2단-1단-중립의 시퀀스로 하여 5만회의 약 1/8인 6250회를 반복 횟수로 선정하였으며, 부변속은 1단-2단-중립-3단-4단-3단-중립-2단-1단의 시퀀스로 하여 반복횟수는 사내 기준을 적용하였다. 여기에 각 액추에이터의 기준 성능 이상의 내구성 평가를 위해 200회의 반복시험을 추가적으로 실시하였다. 내구성 평가항목은 액추에이터의 내부 기어류 파손 유무, 액추에이터 동작 시간, 정류자 및 브러쉬 상태, 링크부 용접 상태 및 스크류 틀어짐 상태로 선정하고 시험을 실시하였다.

표 1-38 AMT 트랙터의 제원

Item		Specification
Length × Width × Height (mm)		3,548 × 1,580 × 2,386
Weight (kg)		2,103
Engine	Rated power (hp)	50 @2600 rpm
Transmission		AMT
PTO	Rated power (hp)	40

표 1-39 내구성 평가 기준

		Overseas	Domestic	
Tractor used hours per year	hr	100	205	
Percentage of loader use	%	60	45	
Loader used hours per year	hr	60.0	92.3	
The minimum warranty period	year	2	3	
Loader used hours during the warranty	hr	120	277	
The number of loader work per hour (Consider of work margin)	L4	108(86)	86	
	H1	120(96)	96	
The number of clutch operation per 1 time loader working	L4	4.3		
	H1	5.3		
The number of clutch operation per hour	L4	369.8	60hour	
	H1	508.8	60hour	
The number of clutch operation per year	L4	22188	5160*	
	H1	30528	5760*	
	Total	52716	10920	
Work margin(Promoting factor)		0.5	0.5	
The final number of clutch operation		26358	5460	31818
	L4	11094	2580	13674
	H1	15264	2880	18144

\*The number of loader work

내구성 실험은 LabVIEW(version 8.5, National Instrument, USA)를 이용하여 자동제어 프로그램을 구성하였다. 홀센서의 신호로부터 RPM을 계산하여 엔진 RPM과 미션 RPM을 각각 측정 하였고, 전·후진 액추에이터와 클러치 액추에이터, 주변속 액추에이터에 각각 부착된 포텐시오미터의 출력 값을 측정 하였다. 1만회 이상의 내구성 평가를 위해서는 많은 시간이 소요되므로 작동 중 30분마다 1분씩 포텐시오미터의 출력 값을 저장하여 정상 작동여부를 확인할 수 있다. 또한 각각의 액추에이터를 작동시킬 수 있는 부분도 있어 셋팅을 조절할 수 있다. 이들 동작을 그림 1-94와 같이 프런트패널에 구성하여 사용하였다.

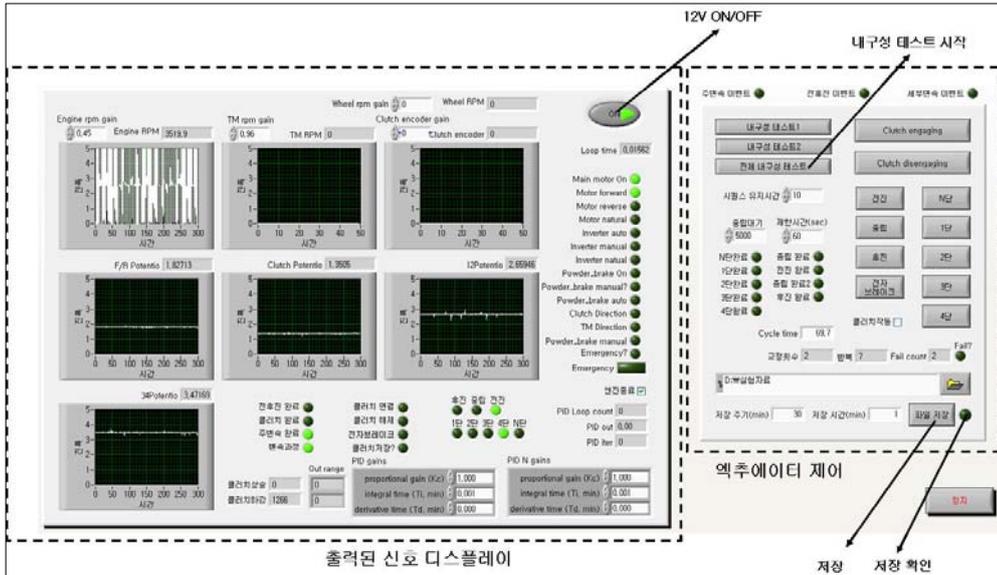


그림 1-94 TCU 내구성 평가 제어 프로그램.

(가) 전후진 내구성 평가

트랙터는 작업의 특성상 전진과 후진을 반복하는 일이 많으므로 전후진 액추에이터는 이러한 요구에 맞게 잦은 전후진 변속에도 오작동이 일어나지 않는 내구성이 필요하다. 이는 변속을 제어하는 TCU의 내구성과도 동일한 의미를 갖는다. 전후진 내구성 평가를 위한 조작시퀀스는 표 1-40과 같이 전진-중립-후진-중립을 한 cycle로 하여 평가하였고, 총 실험 시간은 식 (1-10)과 같이 6.5일이 걸린다.

반복 시험을 통한 내구성 평가 결과 변속 과정에서 오작동이 일어나지 않았으며, 기준 이상의 성능 평가를 위해 200회 반복 시험을 추가적으로 시행한 결과에서도 변속의 오작동이 일어나지 않았다.

$$1\text{cycle} \Rightarrow 45s \quad \dots\dots\dots \text{식 (1-10)}$$

$$45 \times 12500 = 562500s = 156hr \text{ (6.5 days)}$$

표 1-40 전후진 내구성 평가 작동 시퀀스

F/R	Forward		Neutral		Reverse		Neutral	
Step	1st	2ed	3rd	4th	5th	6th	7th	8th
Condition	Forward shifting	Forward traveling	Stop after output	Neutral	Reverse shifting	Reverse traveling	Stop after output	Neutral
Clutch	E-D*	D-E**	E-D	D-E	E-D	D-E	E-D	D-E
F/R gearshift	N-F	F	F-N	N	N-R	R	R-N	N

\* E-D : Engage→Disengaged, \*\* D-E : Disengaged→Engage

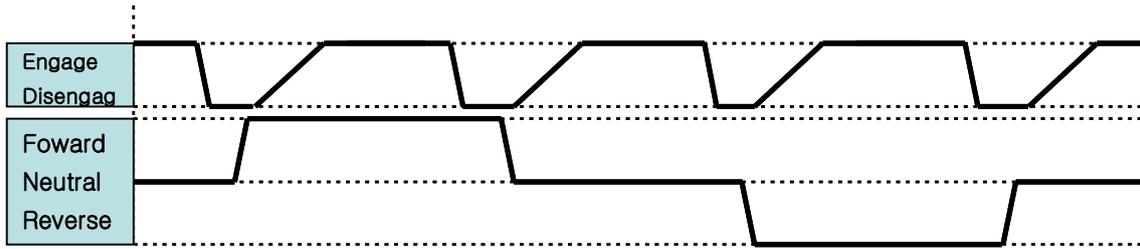


그림 1-95 전후진 액추에이터의 내구성 평가 사이클.

(나) 주변속 내구성 평가

트랙터의 주변속은 4단까지 구성되어 작업 및 노면에 상황에 맞게 변속을 해줄 필요가 있다. 특히 농지의 노면이 고르지 않고, 로더나 경운 작업 시 부하변동이 크기 때문에 원하는 힘을 얻기 위해 잦은 기어 변속이 필요하다. 이에 따라 단수 변속에 따른 오작동 여부를 확인하기 위하여 주변속 내구성 평가를 시행할 필요가 있다.

주변속 내구성 평가를 위한 조작시퀀스는 표 1-41과 같이 1단-2단-3단-4단-3단-2단-1단-중립 순으로 하여, 한 cycle당 8번의 클러치 조작하였다. 또한 1-2단 구동과 3-4단 구동이 나뉘어 있기 때문에 1-2단을 움직이기 위해서는 3-4단이 중립 위치에 있어야하고 3-4단을 움직이기 위해서는 1-2단이 중립 위치에 있어야 한다. 이러한 변속 타이밍도를 그림 1-96으로 나타내었고, 실험 시간은 식 (1-11)과 같이 5일이 소요된다.

반복 시험을 통한 내구성 평가 결과 변속 과정에서 오작동이 일어나지 않았으며, 기준 이상의 성능 평가를 위해 200회 반복 시험을 추가적으로 시행한 결과에서도 오작동이 일어나지 않았다.

$$1\text{cycle} \Rightarrow 70\text{s} \dots\dots\dots \text{식 (1-11)}$$

$$70 \times 6250 = 43750\text{s} = 121.5\text{hr} (5\text{days})$$

표 1-41 주변속 내구성 평가 작동 시퀀스

Step	1st	2ed	3rd	4th	5th	6th	7th	8th
Condition	1 level shifting	2 level shifting	3 level shifting	4-level shifting	3 level shifting	2 level shifting	1 level shifting	Neutral
1-2 gearshift	N-1	1-2	2-N	N	N	N-2	2-1	1-N
3-4 gearshift	N	N	N-3	3-4	4-3	3-N	N	N

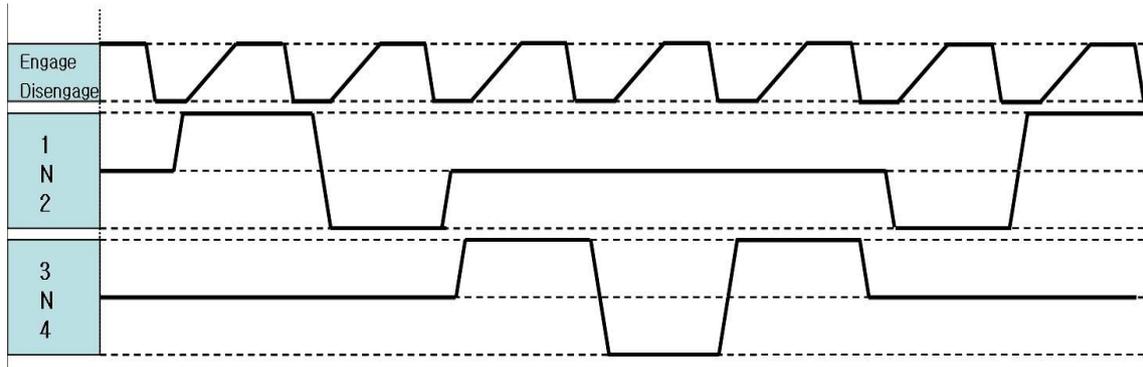


그림 1-96 주변속 액추에이터의 내구성 평가 사이클.

(다) 부분속 내구성 평가

트랙터에는 일반 자동차에는 없는 부분속이 존재한다. 이 부분속으로 인해 변속 범위의 폭이 크게 증가한다. 이러한 부분속 시스템은 주변속의 싱크로 타입이 아닌 기어 맞물림 형태로 구성되어 변속의 제어가 어려운 단점이 있지만 한번 포장작업을 설정하면 사용하지 않으므로 작동 빈도는 그리 높지는 않다.

부분속 내구성 평가의 조작 시퀀스는 표 1-42와 같이 1단-2단-중립-3단-4단-3단-중립-2단-1단으로 하였고, 타이밍선도는 클러치를 사용하지 않기 때문에 그림 1-97과 같이 단독동작의 내구성을 평가하였다.

내구성 평가 결과 변속 과정에서 오작동이 일어나지 않았으며, 기준 이상의 성능평가에서도 변속의 오작동이 일어나지 않았다.

표 1-42 부분속 내구성 평가 작동 시퀀스

Step	1st	2ed	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th
Condition	1 level shifting	2 level shifting	Neutral	3-level shifting	4 level shifting	3 level shifting	Neutral	2 level shifting	1 level shifting
gearshift	1	1-2	2-N	N-3	3-4	4-3	3-N	N-2	2-1

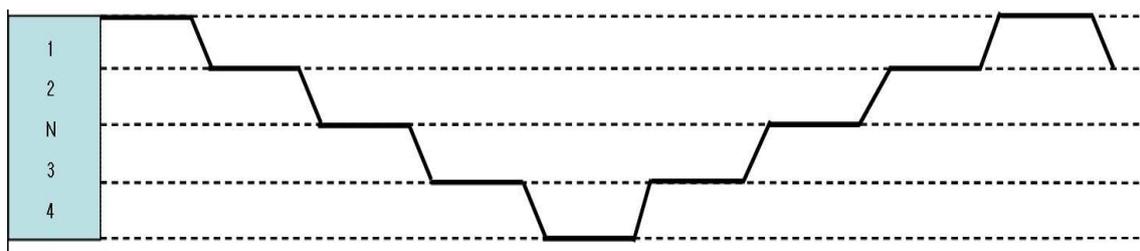


그림 1-97 부분속 액추에이터의 내구성 평가 사이클.

(2) 포장실험을 통한 AMT 파워트레인의 내구성 평가

포장작업 시 내구성 평가는 변속이 제어 가능 범위 내에서 수행되는지 확인하기 위해 변속 신호에 따라 발생하는 액추에이터의 신호를 분석하였으며, AMT 파워트레인의 동력 전달 효율을 확인하기 위해 변속기 입력축과 차축의 소요동력을 분석하여 변속 효율(efficiency of transmission) 및 슬립율(slip rate)을 측정하였다.

(가) 포장 실험

포장실험을 위해 사용된 시험 포장은 농경지 크기 및 토성이 다른 3 지역의 논을 선정하였으며, 토양 조건 분석을 위해 3곳의 논 각각에 대해 임의의 네 곳을 선정하여 토성, 수분 함량, 원추 관입지수를 3 반복 측정하였다. 토성은 전북 농업기술원에 의뢰하여 미국 농무부(USDA) 법에 따라 분석하였고, 원추 관입지수는 soil compaction meter (SC900, Spectrum Technology, E Plainfield, USA)를 이용하여 0 ~ 25 cm 범위에서 5 cm 간격으로 측정하였으며 수분 함량 측정은 토양 채취관을 이용하여 토양을 채취한 후 오븐 건조법을 이용하였다. 시험 포장의 토성은 표 1-43과 같이 사양토(이천, 완주)와 양토(수원)로 수분 함량은 각각 15.7, 28.4, 21.3%로 나타났으며, 원추 관입지수는 지역과 깊이에 따라 차이가 있었으나 588 ~ 2,451 kPa 범위로 나타났다.

표 1-43 포장 시험 토양의 조건

Site	Soil type	Field size (m)	Water content (wb, %)	Cone index (kPa) by depth					
				0 cm	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
I	Sandy loam	100 × 40	15.7	850	948	1,894	1,470	1,208	1,208
II	Loam	105 × 35	21.3	1,796	2,124	2,285	2,445	2,451	-
III	Sandy loam	120 × 30	28.4	588	784	1,666	2,450	-	-

실외 포장작업은 50마력급 트랙터의 주요 작업인 플라우 경운(plow tillage), 로타리 경운(rotary tillage)을 대상으로 해당 지역에서 숙련된 작업자를 추천받아 표 1-44와 같은 조건에서 실시하였다. 실험은 3곳의 토양에 대해 각각의 작업을 3회 반복 실시하였으며 경로는 작업자의 기존 방법을 이용하여 작업의 신뢰성을 향상시켰다.

작업기는 그림 1-98과 같이 플라우 경운 작업기의 경우 경폭이 240 cm인 8련 단용 플라우(PS2408, Sewoong, Korea)를 사용하였으며, 로타리 경운 작업기는 경폭이 230 cm이고 L형 칼날이 탑재되어 있는 대형 로타베이터(WJ230E, Woongjin Machinery Co. Ltd., Korea)를 사용

하였다.

표 1-44 포장 작업의 시험 조건

	Plow tillage	Rotary tillage
Operation speed	L2 (1.9 km/h)	L2 (1.9 km/h)
PTO speed	-	P1 (540 rpm)
Engine rotational speed	2,500 rpm	
Plowing depth	20 cm	20 cm



(a) Plow



(b) Rotavator

그림 1-98 포장 작업에 따른 트랙터 작업기.

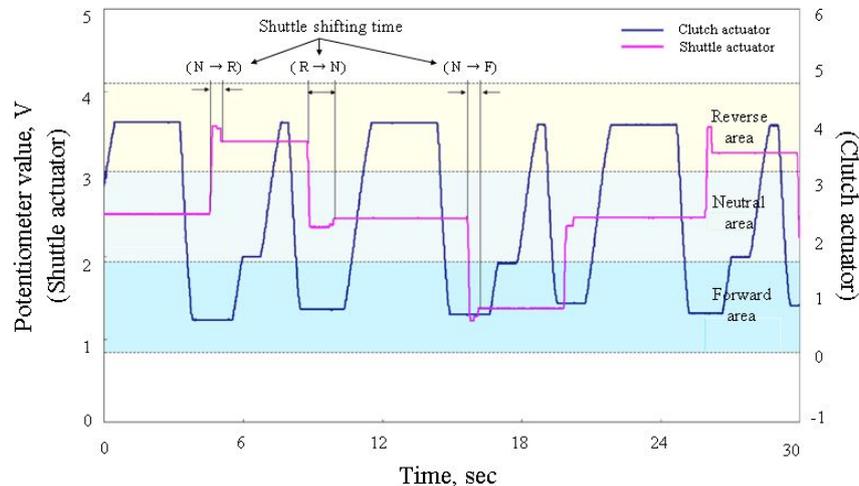
(나) 변속제어 성능평가

① 전후진 변속제어

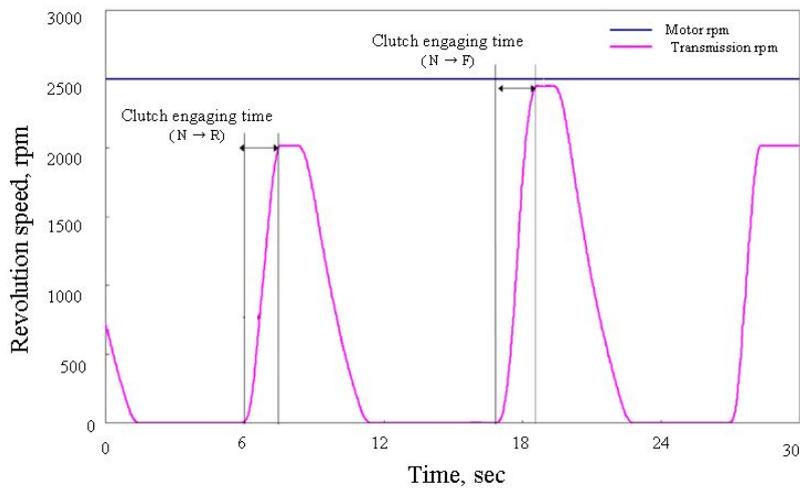
전후진 변속제어 성능 평가를 위해 중립 → 전진 → 중립 → 후진 → 중립의 동작을 1 cycle 로 하여 전후진 액추에이터 4회, 클러치 액추에이터 8회 작동시켰으며 변속 간에는 0.5초의 유지시간을 두었다. 실험 간 지연 없이 총 20 cycle을 반복하였으며 포텐시오미터 신호를 이용하여 전후진 및 클러치 액추에이터의 변속 제어성능을 분석하였다. 또한 저장된 데이터를 통해 클러치 동력 해지 후, 전후진 변속에 걸리는 시간(shuttle shifting time)과 클러치 동력 전달까지 걸리는 시간(clutch engaging time)을 측정하여 전후진 변속에 걸리는 시간(Total shifting time)을 계산하였다.

전후진 변속제어 성능 평가실험은 실험 간 지연 없이 연속적으로 실시하였으며 대표적인 결과는 그림 1-99와 같다. 전후진 변속에 따른 액추에이터의 신호는 그림 1-99(a)와 같이 전진, 중립, 후진의 모든 경우에 대해 변속 범위를 만족하였으며 클러치 액추에이터의 경우 기어의

물림이 없는 중립을 제외하고 반클러치 구간에서 클러치 연결의 지연이 있음을 알 수 있다. 미션축의 회전은 그림 1-99(b)와 같이 변속 후 빠른 증가를 나타내며 기어비의 차이로 인해 전진보다 후진의 회전수가 낮게 관찰되었다.



(a) Shuttle shifting time



(b) Clutch engaging time

그림 1-99 전후진 변속제어 성능평가 결과.

표 1-45는 전후진 변속 성능을 나타낸 것으로 변속에 걸린 평균 시간은 전진의 경우 0.36초, 중립은 0.38초, 후진은 0.33초로 후진이 가장 빨랐다. 클러치 동력 전달까지 걸리는 시간은 후진의 경우가 평균 1.79초로 전진 1.81초에 비해 더 빨랐으며 일반적인 전후진 자동 제어 시 걸리는 시간인 2초 이내에서 제어가 가능하였다. 변속제어 성능평가 결과 전후진 변속에 따라 정해진 액추에이터의 변위 범위에서 일정 시간 내 제어가 가능함을 확인하였다.

표 1-45 전후진 변속 성능평가 결과

(단위 : sec)

Shifting direction	Shuttle shifting time	Clutch engaging time	Total shifting time
Forward	0.36 ± 0.07	1.91 ± 0.18	2.26 ± 0.19
Neutral	0.38 ± 0.15	-	0.38 ± 0.15
Reverse	0.33 ± 0.11	1.79 ± 0.22	2.14 ± 0.25

## ② 주변속 변속제어

주변속의 변속제어 성능 실험은 엔진의 정격 회전수인 2,500 rpm을 유지하였고 부변속은 일반적인 주행단수인 4단으로, 전후진은 전진방향으로 설정하였다. 주변속 제어 순서는 1-2단 액추에이터와 3-4단 액추에이터가 번갈아 사용되도록 3단→1단→4단→2단으로 설정하였으며 초기 상태는 구동축의 충격을 방지하기 위해 1단으로 시작하였다. 주변속 제어에 따른 변속 제어 성능은 부변속 단수를 변화시키며 중립에서 1-2단 액추에이터를 변화시켰을 때와 3-4단 액추에이터를 변화시켰을 때, 1-2단에서 3-4단으로 변화할 때 3가지로 나누어 변속시간을 측정하였다. 제어성능의 분석은 일원산분석(one-way ANOVA)와 다중비교의 SNK 방법(Student-Newman-Keul's test)을 사용하여 평가하였다. 이때 변속시간은 제어 시작으로부터 구동축이 목표 회전수까지 도달하는데 걸린 시간으로 설정하였으며, 이때 기어비에 따른 구동축 목표 회전수는 각각 150, 170, 210, 270 rpm이다.

주변속 자동제어에 따른 주변속, 클러치 액추에이터 및 구동축 회전속도 측정의 대표적인 결과는 그림 1-100과 같이 나타내었으며 1단을 시작으로 3, 1, 4, 2단 순서로 주변속 액추에이터가 제어됨을 알 수 있다. 초기 1단 상태에서 3단으로 제어되면 1-2단 액추에이터가 중립상태로 변화하는 동시에 3-4단 액추에이터가 3단 위치로 이동함을 알 수 있다. 이와 같은 방법으로 주변속이 1, 2단으로 제어될 때 3-4단 액추에이터를 먼저 중립으로 제어하고, 반대로 주변속이 3, 4단으로 제어될 때 1-2단 액추에이터를 먼저 중립으로 제어한 후 목표 단수로 주변속을 자동제어 함을 알 수 있다. 클러치 액추에이터는 주변속에 따라 클러치 해지 → 반클러치 → 클러치 연결로 제어됨을 알 수 있으며 주변속 및 클러치 액추에이터 모두 정해진 범위내로 모든 경우에서 제어가 가능하였다.

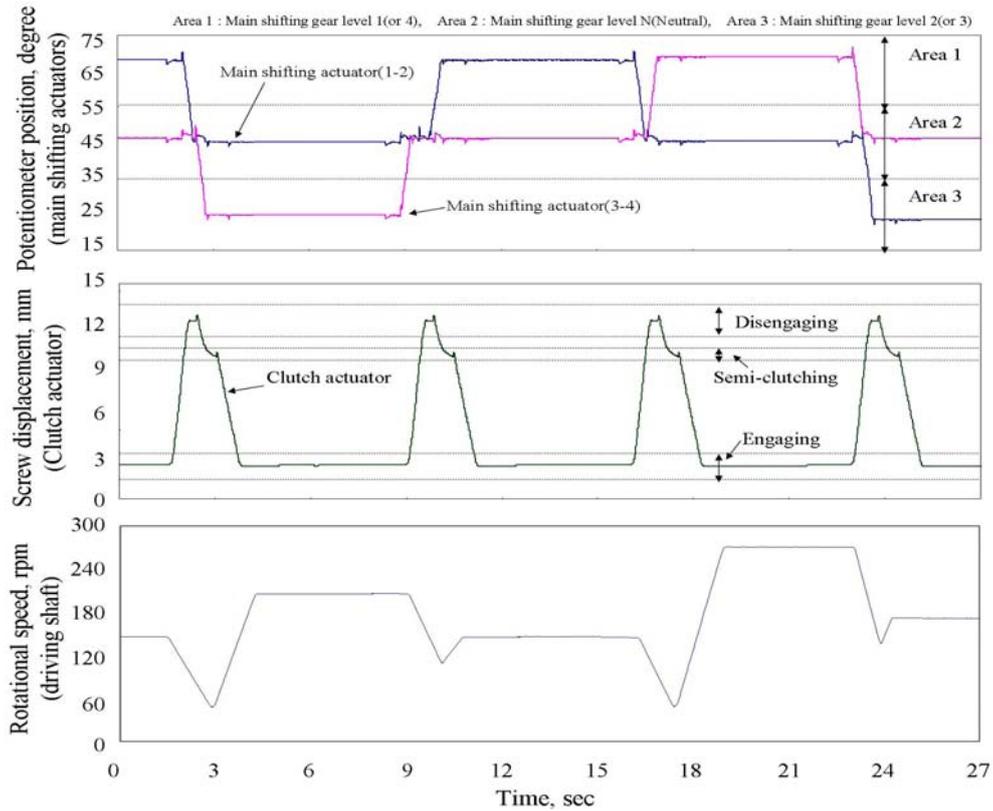


그림 1-100 주변속 변속제어 성능평가 결과.

주변속 액추에이터의 변속성능 평가를 위해 각 액추에이터 작동별 변속시간을 계산한 결과는 표 1-46과 같다. 1-2단 주변속 액추에이터의 변속시간은 평균 1.25초로 모든 부변속 단수에 대하여 유사하게 나타났으며, 3-4단 액추에이터의 경우도 평균 1.29초로 부변속 단수의 변화와는 무관하였다. 이는 중립을 기준으로 주변속 자동제어 시 걸리는 일정 시간 1.5초 이내를 만족하여 일정 시간 내 변속 제어가 가능함을 확인하였다. 주변속 3-4단 액추에이터의 변속시 변속시간이 크게 나타났는데 이는 3-4단 변속의 경우 구동축의 목표 회전수가 상대적으로 크기 때문에 도달시간이 오래 걸린 것으로 판단된다. 주변속 액추에이터 두 개가 동시에 작동하는 1단에서 3단, 2단에서 4단으로의 변속의 경우 1-2단 액추에이터가 중립으로 변속함과 동시에 3-4단 액추에이터가 작동함으로 두 액추에이터의 변속시간을 합한 시간과 유사하게 나타났다.

표 1-46 주변속 액추에이터의 변속 제어 분석 결과

(단위 : sec)

Auxiliary shift	Main shift		
	N → 1-2	N → 3-4	1-2 → 3-4
1	1.21 ± 0.04a*	1.28 ± 0.18b	2.53 ± 0.09c
2	1.24 ± 0.08a	1.27 ± 0.11b	2.58 ± 0.19c
3	1.27 ± 0.12a	1.29 ± 0.06b	2.57 ± 0.08c
4	1.28 ± 0.10a	1.30 ± 0.13b	2.59 ± 0.13c
Average	1.25 ± 0.18**	1.29 ± 0.19	2.57 ± 0.22

\* p&lt;0.05 by SNK multiple range test

\*\* average ± Standard deviation

## (다) 소요동력 분석

AMT 파워트레인의 내구성 평가 중 파워트레인의 효율을 분석하기 위해 변속기 입력축과 차축 간의 소요 동력을 분석하여 변속 효율 및 슬립율을 계산하였다. 소요동력의 측정은 변속기 입력축과 차축에 토크와 회전수가 측정이 가능한 시스템을 구성하였으며, 작업 간 변속 수준은 각 작업에서 가장 많이 사용되고 있는 단수로 선정하였다.

## ① 변속기 입력축

변속기 입력축의 토크 및 회전수를 측정하여 소요동력을 계산하였으며, 회전속도는 변속기 입력축과 엔진의 회전속도비가 1:1임을 고려하여 트랙터 자체에 내장되어 있는 엔진 속도계(tachometer)를 사용하여 측정하였다. 토크 측정은 변속기 입력축의 경우 슬립링 등을 이용한 접촉식의 센서 인터페이스를 이용하기 어렵기 때문에 그림 1-101과 같이 텔레메트리 시스템을 이용하였다. 변속기 입력축의 텔레메트리 시스템은 클러치를 통해 엔진과 연결되는 중공 축(hollow shaft) 외부에 스트레인게이지(CEA-06-250US-350, MicroMeasurement Co., USA)를 부착하여 토크 신호를 측정하였으며 라디오 텔레메트리(radio telemetry) I/O 인터페이스(R2, Manner, Germany)를 이용하여 무선으로 센서의 신호를 수집하였다. 변속기 입력축의 텔레메트리 시스템은 그림 1-102와 같이 구성되었으며, 토크 신호는 스트레인게이지 → 회전부 안테나(rotor antenna) → 고정부 안테나(stator antenna) → 수신기(receiver) → 데이터 수집장치의 순서로 전송되며, 센서 및 안테나 전원은 수신기에서 고정부 안테나를 통해 회전부 안테나로 전원을 공급(induction power)하게 된다. 변속기 입력축의 토크 측정을 위해 사용된 텔레메트리 시스템은 파워트레인 내부에 설치되었고 무선 통신으로 인한 결선의 제한 및 기계적 마모가 없어 수명이 길다는 장점이 있어 작업환경이 열악한 트랙터의 정확한 소요동력 측정이 가능할 것으로 판단된다.

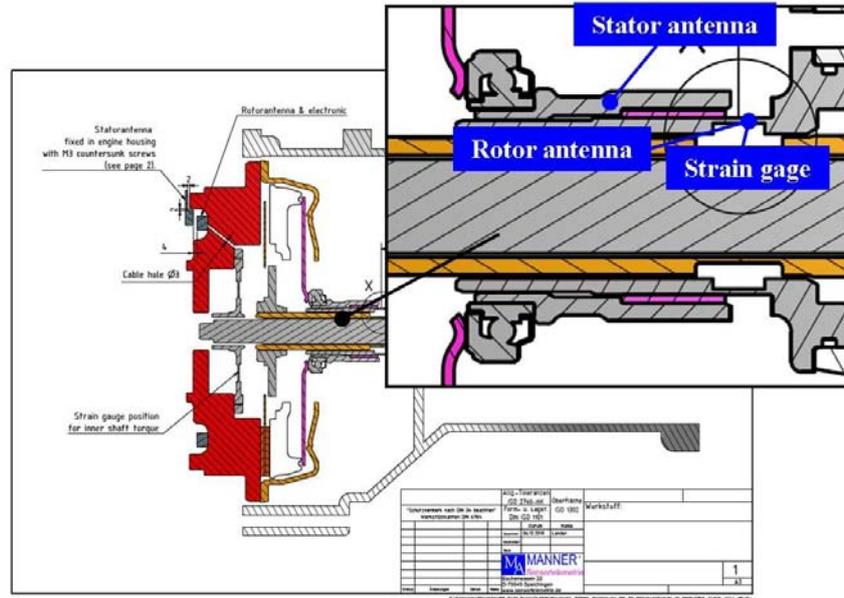


그림 1-101 변속기 입력축 및 PTO 입력축 토크 측정 시스템 설계.



(a) Strain gage+rotor antenna      (b) Stator antenna      (c) Receiver

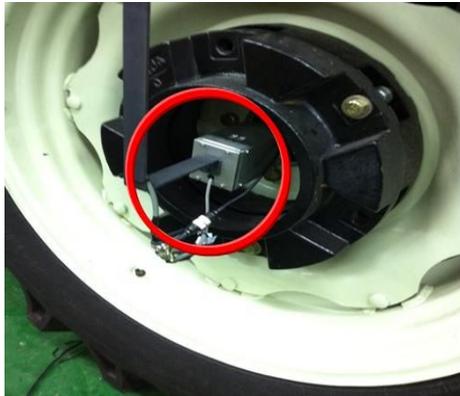
그림 1-102 토크 측정 시스템 구성 요소.

## ② 차축

트랙터 차축의 소요동력은 4개의 차축에 작용하는 토크와 차축의 회전속도를 측정하여 식 (4-1)을 이용하여 계산하였다. 차축의 토크는 Four element full-bridge 스트레인게이지 (CEA-06-250US-350, Micro Measurement Co., USA)를 굽힘 모멘트의 영향을 최소화시키기 위해 축 방향에 대하여 45°로 부착하고(Nahmgung, 2001) 접촉식 슬립링을 이용하여 신호를 검출하였으며, 이때 스트레인게이지는 외부 충격을 완화하기 위해 코팅 처리하였다.

뒤 차축의 스트레인게이지는 그림 1-103(a)와 같이 최종 구동축(final drive axle)에 부착하였으며, 회전속도는 뒤 차축의 구조로 인해 별도의 회전속도 센서를 장착하는 것이 어려우므로 슬립링(SR-10M/E60, MI-Scientific Co., USA)에 내장된 엔코더를 사용하여 측정하였다. 앞 차축은 그림 1-103(b)와 같이 회전축의 편 부분에 스트레인게이지를 부착하여 뒤 차축과 동일한 방법으로 슬립링(SK6, HBM Co., Germany)을 이용하여 토크를 측정하였다. 앞 차축의 회전속

도는 별도의 엔코더(M60H, Autonics, Korea)를 부착하여 측정하였으며, 포장작업 시 이물질 및 충격으로 엔코더가 오작동하는 것을 방지하기 위해 보호대를 설치하였다.



(a) 뒷 차축



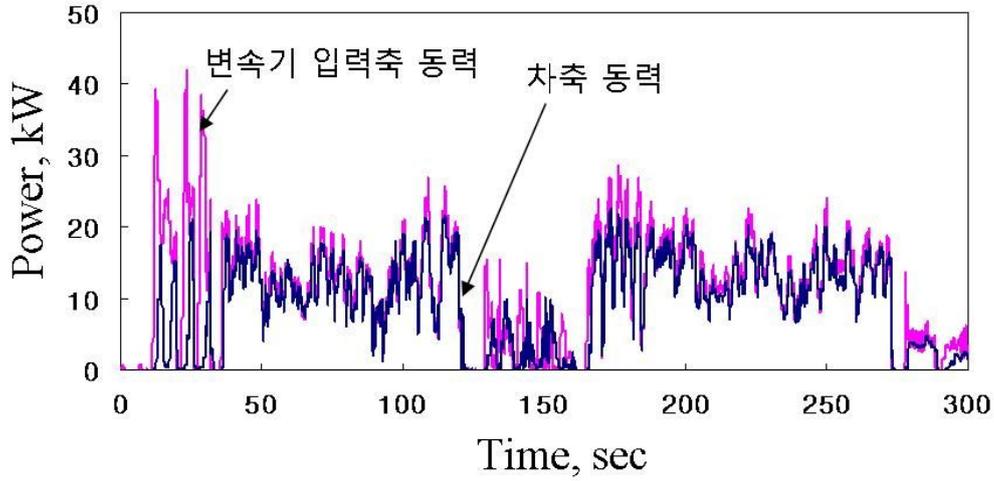
(b) 앞 차축

그림 1-103 차축의 동력 계측 시스템.

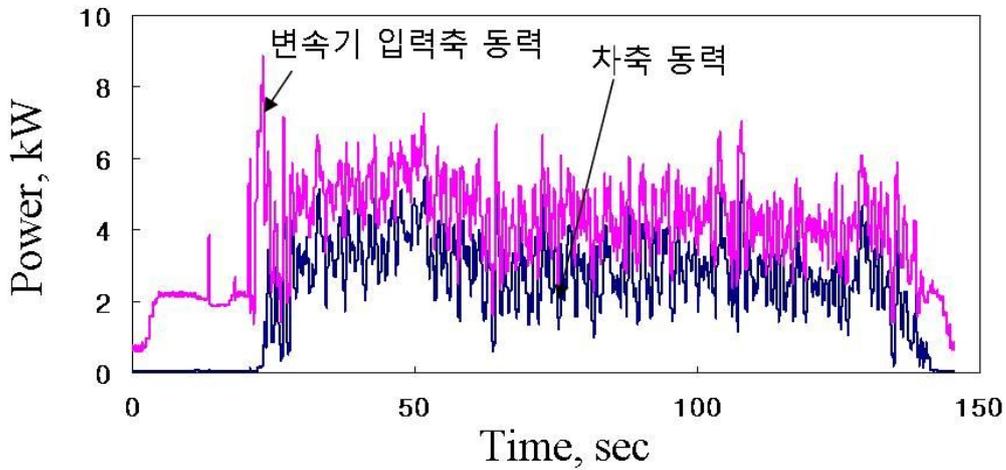
### ③ 소요동력 측정 결과

플라우 경운 작업은 주로 사용되는 변속수준인 부변속 2단 주변속 1단에서 변속기 입력축과 차축의 소요동력을 측정하였으며 그 결과는 그림 1-104(a)와 같이 측정되었다. 변속기 입력축의 최대 소요동력은 42.1 kW, 평균 소요동력은 15.1 kW로 나타났으며 차축의 경우 최대 소요동력은 47.1 kW, 평균 소요동력은 11.6 kW로 나타났다. 변속기 효율은 차축과 변속기 입력축의 평균 소요동력 비율로 평균 76.8%로 나타나 이론 동력전달효율인 85 ~ 95%보다 낮게 나타났으며 이는 본 연구에서 사용된 트랙터 변속기가 작업 중 슬립으로 인해 일반적인 기계식 변속기 효율에 비해 다소 낮게 관찰되었음을 알 수 있다.

로타리 경운의 경우 주로 사용되는 변속수준인 부변속 2단 주변속 2단에서 소요동력을 측정하였으며 그 결과는 그림 1-104(b)와 같이 측정되었다. 변속기 입력축의 최대 소요동력은 9.1 kW, 평균 소요동력은 3.8 kW로 나타났으며 차축의 경우 최대 소요동력은 5.7 kW, 평균 소요동력은 2.8 kW로 나타나 변속기 효율은 평균 73.6%로 나타났다.



(a) 플라우 경운 작업



(b) 로타리 경운 작업

그림 1-104 변속기 입력축과 차축의 소요동력.

표 1-47 포장 작업 시 차축에 발생하는 소요동력 분석

Operations	Transmission input shaft	Driving alxes power (kW)	Efficiency of transmission <sup>1)</sup> (%)	Slip rate <sup>2)</sup> (%)
Plow tillage	15.1±4.7 <sup>A3)</sup>	11.6±1.7 <sup>A</sup>	76.8±3.1 <sup>A</sup>	20.3±3.1 <sup>A</sup>
Rotary tillage	3.8±3.6 <sup>B</sup>	2.8±0.4 <sup>B</sup>	73.6±2.2 <sup>A</sup>	19.1±2.5 <sup>B</sup>

<sup>1)</sup> driving axles power (kW) / transmission input shaft power (kW) × 100

<sup>2)</sup> (1-(traveling speed (km/h) / driving axle speed (km/h)) × 100

<sup>3)</sup> averages with different superscript (A, B, C, D) in each row are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

## 나. AMT 파워트레인의 작업효율 및 에너지 절감효과 분석

AMT 파워트레인의 작업효율 및 에너지 절감효과를 분석하기 위해 AMT 모델과 동급 마력대의 유압식(HST) 트랙터의 성능 시험을 실시하였다. 성능 시험은 농업기계측진법에 명시된 농업기계 트랙터의 형식검사 성능시험을 기준으로 하였다.

### (1) PTO 출력 평가

트랙터 엔진 회전속도에 따른 토크 및 출력 변화, 에너지 소비율, 최대출력 등의 성능을 확인하기 위해 PTO 성능 시험을 실시하였다. PTO 축의 토크와 출력은 동력계(dynamometer)를 이용하여 측정하였으며 이때 PTO 축과 동력계 사이의 동력 전달손실은 고려하지 않았다. 성능평가를 위해 PTO 축과 동력계를 연결하는 유니버설조인트를 직선이 되도록 하였으며 주위온도는  $23\pm 7^{\circ}\text{C}$ 로 하였다. 대기압은 99.6 kPa 보다 낮지 않은 상태를 유지하였으며 출력 성능의 주요 측정항목으로 토크, 출력, PTO 회전속도, 연료소비량, 연료온도, 윤활유온도, 냉각수온도, 공기온도, 상대습도, 대기압을 선정하였다.

트랙터 PTO 출력 성능은 최대출력시험, 회전속도변동 전부하시험, 부분부하시험으로 구성되며 각각의 시험 방법은 아래와 같다.

#### ① 최대출력시험

: 최대출력을 얻을 수 있도록 조속 레버를 설정해 놓은 상태에서 출력을 안정시킨 후 1시간 동안 균등시간 간격으로 6회 이상 측정된 출력의 평균값 및 출력변동률 측정.

#### ② 전부하시험

: 전부하 상태에서 회전속도를 변동시키면서 시간당 연료소비량, 토크 및 출력 측정하여 출력곡선 작성. 최대 토크시의 회전속도보다 최소 15% 이하의 회전속도부터 시험 실시.

#### ③ 부분부하시험

: 조속 레버를 기관 정격회전속도에서 최대출력을 얻을 수 있도록 설정하고 6수준의 부하조건에서 토크, 기관회전속도 및 시간당 연료소비량을 측정.

㉠ 기관 정격회전속도에서 최대 출력시 토크

㉡ ㉠에서 측정된 토크의 85%

㉢ ㉡에서 정의된 토크의 75%

㉣ ㉢에서 정의된 토크의 50%

㉓ ㉒에서 정의된 토크의 25%

㉔ 무부하

#### ④ 각 부의 온도 측정

: 성능평가 시에는 아래 항목의 온도를 측정함.

㉕ 연료탱크와 기관사이의 적당한 지점에서의 연료온도

㉖ 유로의 적당한 지점에서의 윤활유온도

㉗ 실린더블록의 출구 또는 정온기 앞의 실린더 헤드에서의 냉각수온도, 공랭식일 경우는 제조자가 지정한 위치에서의 기관온도

㉘ 트랙터의 전방 약 2m, 지상으로부터 약 1.5m 되는 한 지점 및 기관의 공기 흡입구에서의 공기온도

㉙ 상대습도 및 대기압

#### (2) PTO 출력 성능

자동화수동변속기(automated manual transmission, AMT) 파워트레인의 PTO 출력 성능은 동일한 출력의 엔진이 탑재된 정유압(hydrostatic transmission, HST) 변속방식의 트랙터와 비교 분석하였으며, 이때 시험 환경 및 트랙터 각 부위의 온도는 표 1-48과 같다. 대기온도, 습도와 대기압은 자동화수동변속, 정유압 방식에서 각각 20℃, 38%, 100kPa와, 21℃, 36%, 100kPa로 대기온도와 습도에서 다소 차이가 있었지만 5% 내외로 일정한 환경 하에서 시험이 진행되었다고 판단할 수 있다. PTO 출력 시험 중 트랙터 냉각수, 엔진오일, 연료 및 엔진의 흡입공기의 최대 온도를 측정한 결과 자동화수동변속 방식의 경우 각각 86, 125, 33, 26℃이며, 정유압 방식의 경우 각각 84, 122, 32, 26℃으로 두 가지 방식 모두 유사하게 나타났으며, 이는 트랙터 동작 시 정상적인 온도 범위내이다.

표 1-48 PTO 출력 성능 시험 환경 및 트랙터 각 부위 온도

변속방식	대기온도 (℃)	습도 (%)	대기압 (kPa)	냉각수 (℃)	엔진오일 (℃)	연료 (℃)	흡입공기 (℃)
AMT	20	38	100	86	125	33	26
HST	21	36	100	84	122	32	26

정유압 변속기와 자동화수동변속기의 성능곡선은 각각 그림 1-105, 그림 1-106과 같이 나타

났으며 출력의 경우 서서히 증가하여 엔진의 정격 회전속도에서 출력이 최대임을 알 수 있다. 최대 출력은 두 가지 변속방식 모두 정격 회전수에서 관찰되었으나 정유압 방식에 비해 자동화수동변속 방식에서 높게 나타났다. 최대 출력 뿐만 아니라 전체 구간에서 토크 및 출력이 자동화수동변속 방식에서 높게 나타났는데 이는 자동화변속 방식의 경우 기계식을 베이스로 개발되었기 때문에 기계식 변속기의 높은 동력 전달 효율을 그대로 유지됨을 알 수 있다. PTO 토크는 1500~1600 rpm의 범위에서 최대로 관찰되었으며 정격 회전수까지 서서히 감소하다가 정격 회전수보다 높은 회전속도에서 급격히 감소하였다. 토크의 경우에도 출력과 같이 두 가지 방식 모두 유사한 형태로 나타났으나 기계식인 자동화수동변속기에서 전체적으로 더 높게 나타남을 알 수 있다.

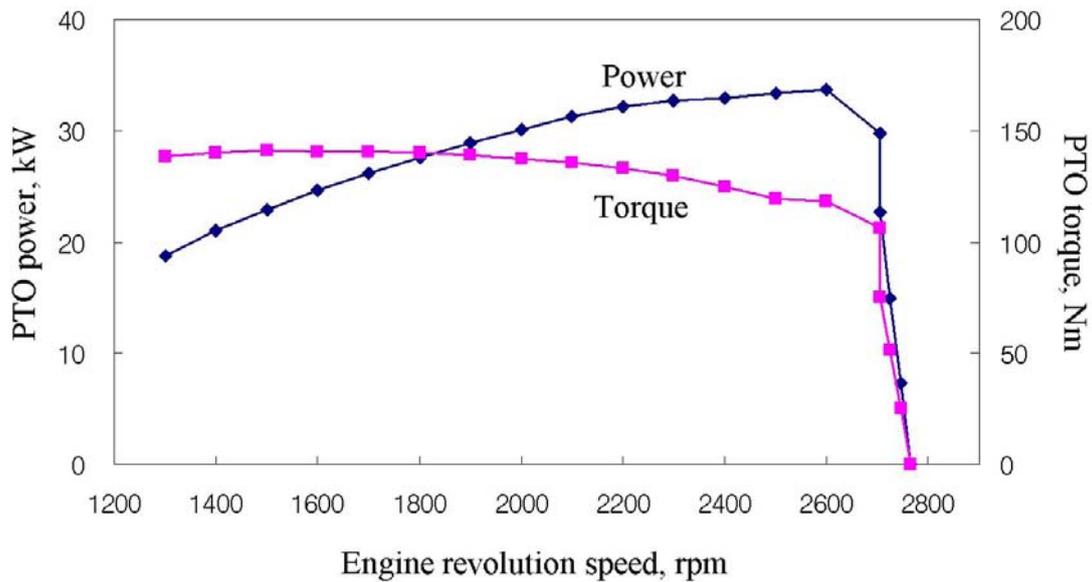


그림 1-105 자동화수동변속기 PTO 성능곡선.

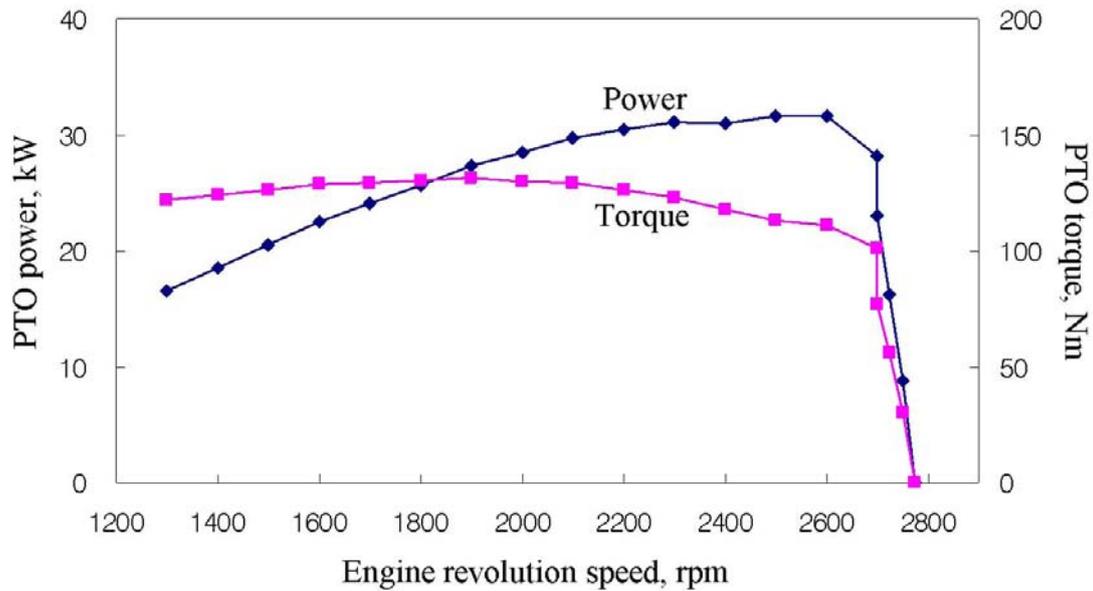


그림 1-106 정유압변속기 PTO 성능곡선.

변속방식에 따른 PTO의 최대출력, 출력변동률, 최대토크를 비교한 결과는 표 1-49와 같이 나타났다. 최대출력은 정격 회전수 2600rpm에서 나타났으며 자동화수동변속 방식에서 32.8kW(44.0ps), 정유압 방식의 경우 31.2kW(41.9ps)로 관찰되었다. 이는 엔진의 정격출력 35kW(48ps)와 비교하였을 때, 각각의 동력전달 효율이 91%, 87%로 위의 성능곡선 결과와 같이 자동화변속기가 기계식의 높은 효율을 가짐을 알 수 있다. 이때 최대출력을 2시간 동안 유지했을 때 출력변동률은 자동화수동변속 방식이 0.14%, 정유압 방식이 0.25%로 나타나 자동화수동변속 방식의 경우 동력전달 안정성에서도 더 높은 우수성을 보였다. 최대토크는 최대출력과 같이 자동화수동변속 방식이 140.9Nm로 정유압 방식 131.3Nm에 비해 더 높게 나타났으며 이때, 최대토크가 발생된 엔진 회전수는 자동화수동변속, 정유압 방식이 각각 1500, 1600rpm으로 나타났다.

표 1-49 PTO 성능 비교

변속방식	최대출력(kW)	출력변동률(%)	최대토크(Nm)
AMT	32.8 (@2600 rpm)	0.14	140.9 (@1500 rpm)
HST	31.2 (@2600 rpm)	0.25	131.3 (@1600 rpm)

자동화수동변속, 정유압 방식의 PTO 출력시험에 따른 연료소비량 비교 결과는 그림 1-107과 같이 두 가지 경우 모두 정격 회전수 이전까지 지속적으로 상승하다가 정격 회전수 이상의

회전속도에서 급격히 감소하는 유사한 형태가 관찰되었다. 이는 엔진 회전속도의 상승에 따라 연료분사 속도가 증가하기 때문이며, 정격 회전수 이후에는 흡기 저항이나 피스톤의 왕복 주기 한계 등의 엔진 특성으로 인해 연료 분사량이 급격히 줄어든다. PTO 출력 변화와 연료소모량 변화를 비교해보면 유사한 형태를 띄고 있는데, 이를 통해 연료소비량이 출력에 직접적인 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 연료소비량은 엔진 회전속도 1300~1800rpm까지 두 가지 변속방식이 유사한 수준을 나타내었으며, 1800rpm 이상의 엔진 회전속도에서는 정유압 방식에 비해 자동화수동변속 방식에서 적게 관찰되기 시작하여 정격 회전수인 2600rpm에서 연료소비량의 차이가 최대로 관찰되었다.

연료소비량을 해당 엔진회전수에서의 출력으로 나눈 연료소비율은 그림 1-108과 같이 자동화수동변속 방식이 정유압 방식에 비해 대체적으로 연료소비율이 낮음을 알 수 있다. 이를 통해 트랙터 작업에 같은 출력이 요구되었을 때 자동화수동변속 방식이 경제적인 측면에서 보다 더 효율적임을 알 수 있다. 이때 두 가지 방식 모두 엔진 회전속도 2700rpm 이후에서 연료소비율이 급격히 상승하였는데, 이는 연료 소모량의 감소보다는 출력의 급격한 하강으로 인해 기인된 결과로 판단된다.

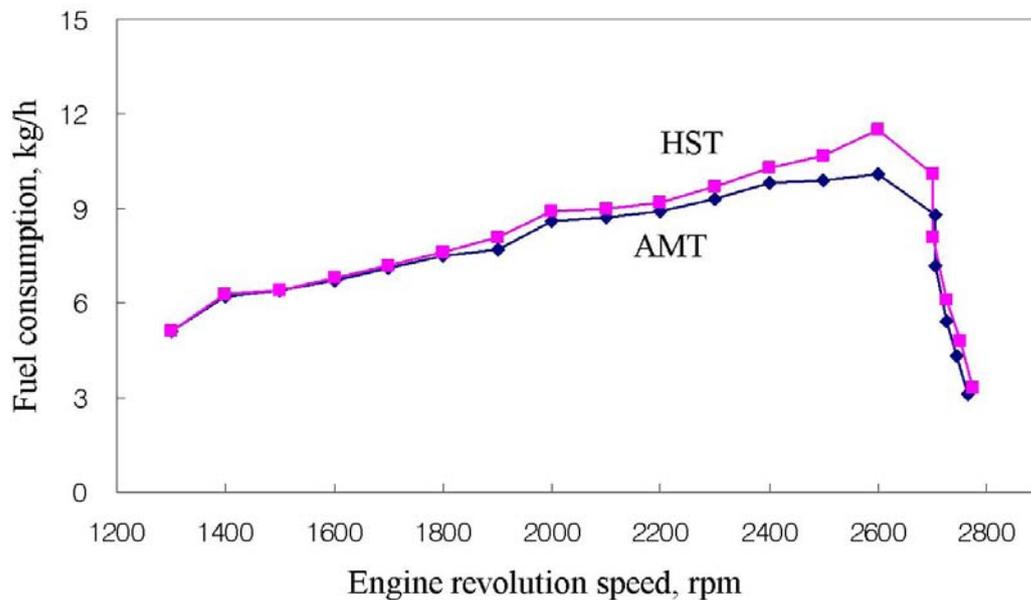


그림 1-107 연료소비량 비교 결과.

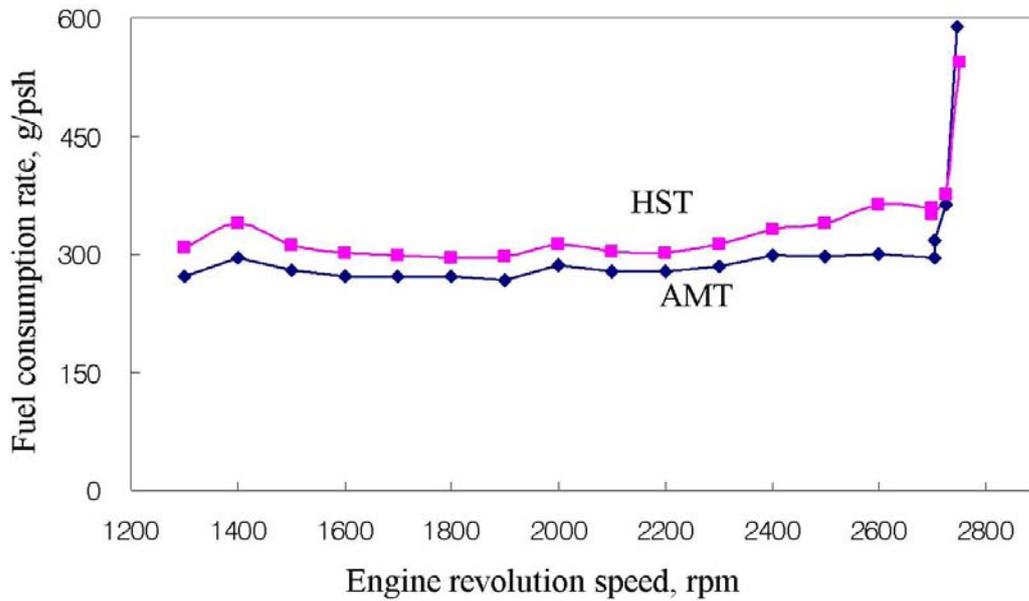


그림 1-108 연료소비율 비교 결과.

변속 방식에 따른 연료소비량, 연료소비율의 분석 결과는 표 1-50과 같이 나타났다. 연료소비량의 경우 정격출력(엔진 정격 회전속도에서의 출력)에서 가장 높게 관찰되었으며 이때 자동화수동변속, 정유압 방식은 각각 10.1, 11.5 kg로 자동화수동변속 방식에서 낮게 나타났다. 평균 연료소비량은 자동화수동변속 7.7kg/h, 정유압 8.2kg/h로 정격출력에서와 같이 자동화수동변속에서 연료 소모가 더 적게 관찰됨을 알 수 있다. 연료소비율의 경우 엔진 정격 회전속도 이상의 구간은 급격한 출력 하강으로 인해 정확한 연료소비율 산출이 어려워, 이 구간을 제외한 후 분석하였으며 이때 최대 연료소비율은 연료소비량과 마찬가지로 정격출력에서 나타났다. 연료소비율의 최대와 평균은 자동화수동변속 방식의 경우 각각 299.7, 282.7g/psh로 계산되었으며, 정유압 방식은 각각 363.1, 315.9g/psh로 나타났다. 따라서, 위의 연료소비량, 연료소비율 비교 결과에서 알 수 있듯이 자동화수동변속 방식을 사용할 경우 기존 유압 방식에 비해 연료 사용 측면에서 더 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

표 1-50 변속방식에 따른 연료 소비 분석

변속방식	연료소비량(kg/h)		연료소비율(g/psh)	
	@정격출력	평균	@정격출력	평균
AMT	10.1	7.7	299.7	282.7
HST	11.5	8.2	363.1	315.9

다. AMT 파워트레인의 실용화 기술 개발 및 양산을 위한 상세설계

(1) AMT 파워트레인의 실용화 기술 개발

AMT 파워트레인의 실용화 기술 개발을 위해 트랙터의 변속 과정에서 발생하는 변속 충격을 측정하고 이러한 충격이 운전자에 미치는 영향을 고려한 연구를 시행하였다. 현재 대부분의 변속 충격에 관한 연구는 실험실 수준에서 이루어지고 있으므로 실차 실험을 통해 신뢰성 있고 실용화된 연구가 가능할 것으로 판단된다.

(가) 변속 충격 측정 시스템

변속 시 발생하는 충격을 측정하기 위해 50마력급의 트랙터를 이용하여 실험을 실시하였다. 변속 충격 시스템은 변속 시 가속도 변화 측정을 위한 가속도 센서와 데이터 수집 장치를 이용하여 개발하였다. 가속도 센서(4501-A, Bruel & Kjaer, Denmark)는 그림 1-109(a)와 같이 측정 범위가 넓어 다양한 환경에서 사용이 가능한 압전소자 방식(Charged type)을 사용하였으며, 아날로그 입력모듈을 이용한 신호 측정이 용이하도록 별도의 앰프(2646, Bruel & Kjaer, Denmark)를 장착하여 9.8 mV/g의 감도를 갖도록 하였다. 또한 변속 충격이 주로 횡방향 진동보다 차량의 이동방향에 대한 진동이 크게 작용하는 점을 고려하여 1축 방향의 가속도 측정이 가능한 센서를 사용하였다(강 등, 2000). 데이터 수집 장치는 최대 50 kS/s의 속도로 24 bits의 정밀한 가속도 측정이 가능한 아날로그 입력모듈(9233, National Instrument, USA)을 사용하였다. 가속도 센서는 그림 1-109(b)와 같이 트랙터 조작석의 하단에 부착하였으며, 트랙터의 변속 충격은 가속도 센서의 전압 신호를 아날로그 입력모듈로 수집하여 가속도의 최대변화를 실시간으로 나타낼 수 있도록 하였다.



(a) 가속도 센서                      (b) 변속 충격 측정 시스템의 설치  
그림 1-109 AMT 트랙터의 변속 충격 측정 시스템.

(나) 신호 처리 방법

인체에 영향을 미치는 정확한 변속 충격을 측정하기 위해서는 적절한 신호처리가 필요하다. 본 연구에서는 대역통과필터(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 변속 충격으로 정의하고 분석하였다. 충격의 측정 및 분석을 위한 프로그램은 LabVIEW (version 2010, National Instrument, USA)를 이용하여 개발하였다. 변속 충격 측정 프로그램은 액추에이터 내부의 포텐시오미터와 변속 시 가속도 변화 측정을 위한 가속도 센서를 통해 실시간으로 진동신호의 측정이 가능하도록 하였다. 진동신호를 분석한 변속 시간은 클러치 해지(disengaging)가 이루어지는 시점부터 전후진 변속 후 클러치 연결(engaging)까지의 시간으로 설정하였다.

#### (다) 실험 방법

실험은 포장작업에 주로 사용되는 변속 수준인 부변속 2, 3단, 주변속 1, 2, 3, 4단으로 하였다. 변속 시 엔진속도는 트랙터 포장작업 시 주로 사용되는 2,500 rpm으로 설정하였으며, 신호의 측정은 부변속 단수와 주변속 단수를 고정시킨 상태에서 전진 혹은 후진 변속으로 트랙터를 5회 반복 이동시키며 진동신호를 측정하였다. 신호 측정 시간은 선행 연구에서 전후진 변속 후 클러치 연결까지 걸린 시간이 2.26초임을 고려하여(김용주, 2010) 변속이 충분히 이루어지도록 전후진 변속 후 8초 동안 측정하였다.

#### (라) 변속 충격 측정 결과

##### ① 진동 신호 분석

가속도 센서를 이용해 측정한 진동 신호는 변속 수준에 따라 모두 유사한 형태로 나타났으며 대표적인 형태는 부변속 3단 주변속 2단의 전진 변속 시 진동신호인 그림 1-110과 같다. 클러치 해지 시점에서는 진동이 거의 발생하지 않았으며, 클러치 해지 이후 전후진 변속 시 미세한 진동이 발생하였다. 전후진 변속 후 클러치가 연결하는 과정에서 큰 진동이 발생하였으며 클러치 연결 이후엔 엔진에 의한 진동이 나타났다. 가속도의 최대변화는 클러치가 연결되는 초기 시점보다 연결 과정에서 변속기의 입력축의 회전속도가 가장 크게 변하였으며, 이는 클러치 연결 시점보다 연결 과정에서 더 큰 충격이 발생하였기 때문이다.

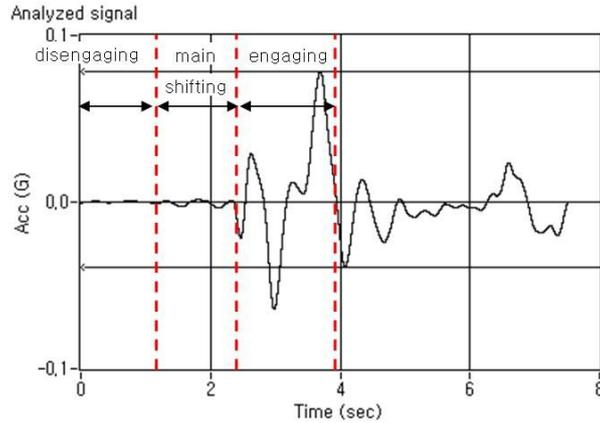


그림 1-110 클러치 액추에이터의 위치값에 따른 진동신호 분석.

## ② 진동 신호 분석

포장작업이 주로 이루어지는 부변속 2, 3단에서의 변속 충격 측정 결과는 표 1-51과 같다. 전진 변속의 부변속 2단의 경우 주변속 1단이 0.24 g, 2단이 0.26 g, 3단이 0.27 g, 4단이 0.31 g로 주변속 단수가 높아질수록 충격량이 증가하는 경향을 나타내었다. 전진 변속의 부변속 3단의 경우에도 주변속 1단이 0.26 g, 2단이 0.35 g, 3단이 0.46 g, 4단이 0.55 g로 부변속 2단과 마찬가지로 주변속 단수가 높아질수록 충격량이 증가하였다.

후진 변속의 경우 전진 변속과 같이 부변속 2, 3단에서 주변속 단수가 높아질수록 충격량이 증가하였다. 후진 변속 부변속 2단의 경우 주변속 1단이 0.23 g, 2단이 0.26 g, 3단이 0.29 g, 4단이 0.30 g로 주변속 단수가 높아질수록 충격량이 증가하는 경향을 나타내었다. 후진 변속의 부변속 3단의 경우에도 주변속 1단이 0.25 g, 2단이 0.32 g, 3단이 0.38 g, 4단이 0.47 g로 부변속 2단과 마찬가지로 주변속 단수가 높아질수록 충격량이 증가하였다. 이는 주변속 단수가 높아질수록 클러치 연결시간 동안 변속기 입력축과 출력축의 회전속도 차이가 크게 나타나 일정 연결시간 동안 출력축 회전속도가 더 빠르게 증가해야므로 더 큰 진동이 발생한 것으로 볼 수 있다.

표 1-51 변속 수준에 따른 충격량

(단위 : g)

F/R shift	Auxiliary shift	Main shift	Shifting shock
Forward	2	1	0.24±0.015 <sup>1)</sup>
		2	0.26±0.027
		3	0.27±0.023
		4	0.31±0.014
	3	1	0.26±0.007
		2	0.35±0.021
		3	0.46±0.013
		4	0.55±0.014
Reverse	2	1	0.23±0.009
		2	0.26±0.016
		3	0.29±0.021
		4	0.30±0.026
	3	1	0.25±0.014
		2	0.32±0.023
		3	0.38±0.020
		4	0.47±0.010

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

## (2) 요소 부품의 자동 보정 기능 개발

AMT 파워트레인의 실용화 기술 개발을 위해 자동 보정 기능을 개발하여 충격, 마모 등의 요인으로 인한 클러치 액추에이터와 전후진 액추에이터의 문제를 자동으로 보정하고 변속 상태를 최적으로 재설정 가능하도록 하였다. 자동 보정 기능의 알고리즘은 그림 1-111~114와 같이 크게 자동 보정 준비과정, 클러치 액추에이터의 자동 보정, 전후진 액추에이터의 자동 보정, 자동 보정 종료의 순서로 구성되어 있다.

## (가) 자동 보정 준비과정

그림 1-111은 자동 보정 준비과정으로 자동 보정을 시행하기 전 주변 환경, 변속기의 위치 등을 결정하며 그 과정은 다음과 같다. 먼저 트랙터를 전방에 장애물이 없는 평탄한 지역으로 이동한 후 자동보정 커넥터가 있는 커버를 제거한다. 주변속과 부변속은 각각 1단에 위치해 놓고 전후진 레버를 중립에 놓는다. 여기에 엔진의 시동을 걸고 엔진 회전수를 800 rpm(공회전)으로 낮춘다. 이 후 클러치 페달을 완전히 밟고 자동 보정 커넥터 2개를 서로 연결하게 되면 자동 보정 준비과정이 완료되며 자동 보정이 시작되게 된다.

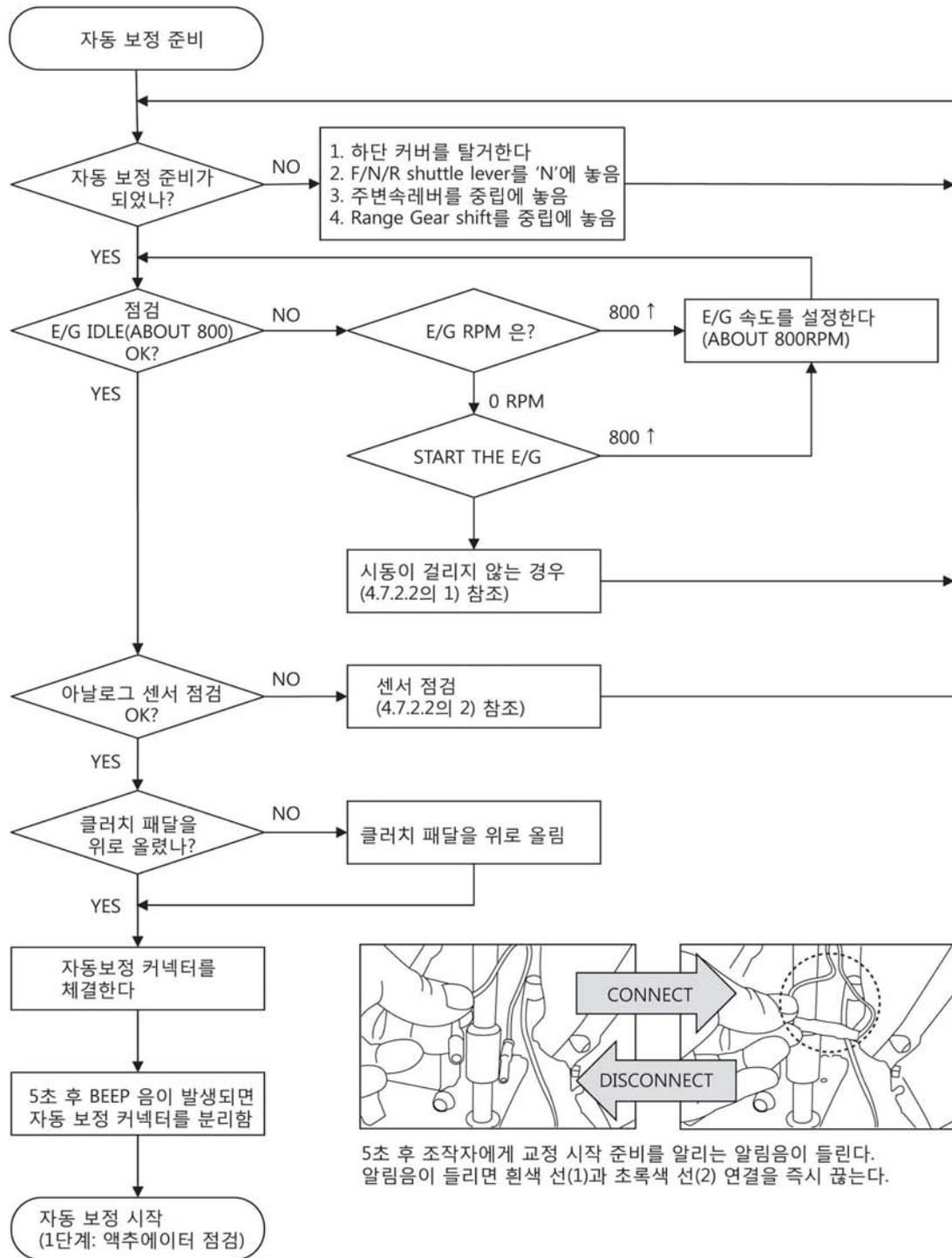


그림 1-111 자동 보정 준비 알고리즘.

(나) 자동 보정

그림 1-112, 113은 클러치 액추에이터와 전후진 액추에이터의 자동 보정 과정으로 크게 액추에이터 모터의 이상 유무를 먼저 확인하고 내부 변위 센서의 이상 유무를 확인하는 과정으로 진행된다. 자동 보정 진행 시 운전자는 자동 보정이 시작되고 약 12초 이후 클러치 페달에서

말을 해야 한다. 자동 보정의 시작은 부저의 울림으로 확인할 수 있으며 이 후 다음 부저가 울릴 때까지 자동 보정이 진행되게 된다.

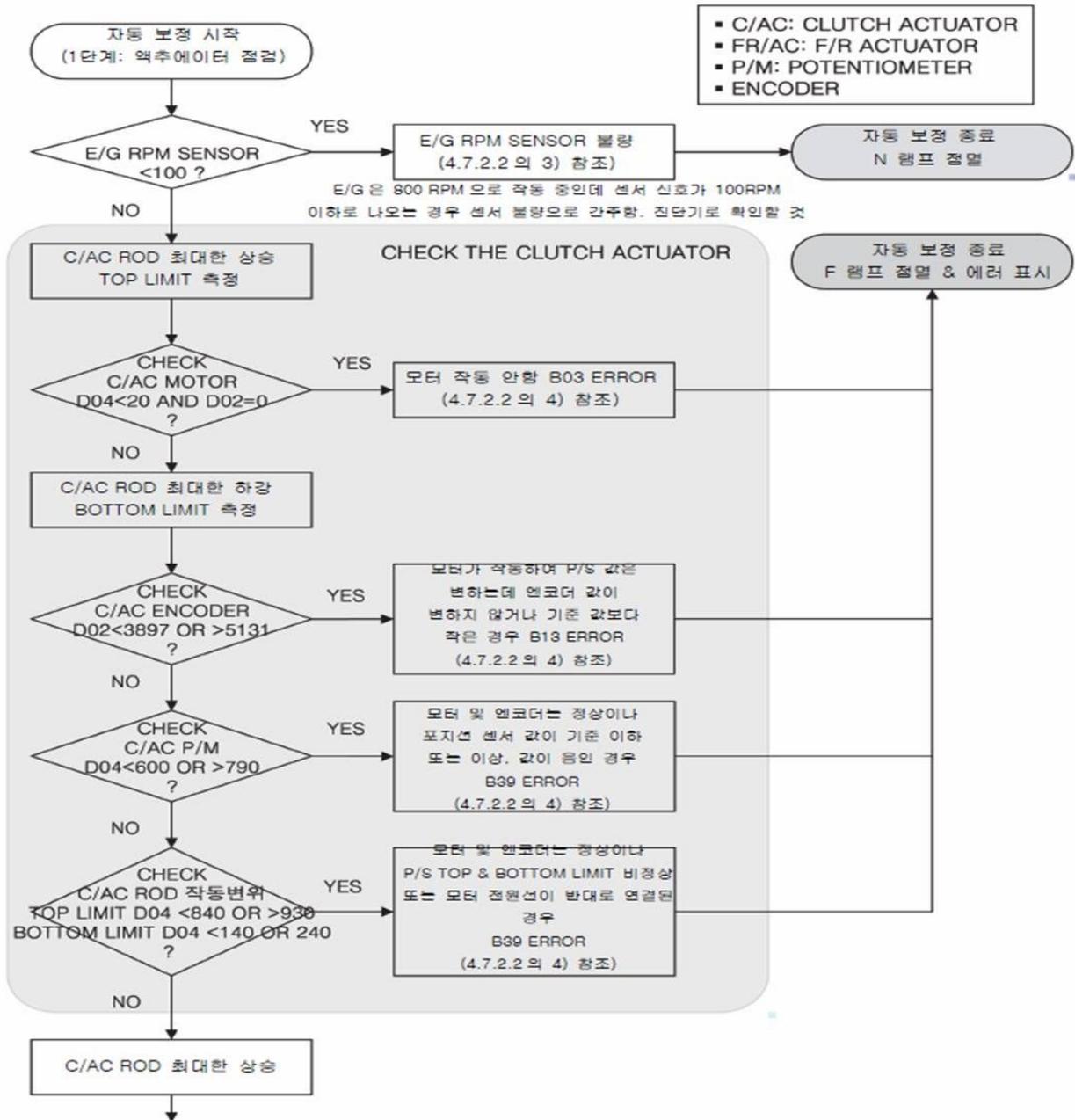


그림 1-112 클러치 액추에이터의 자동 보정 알고리즘.

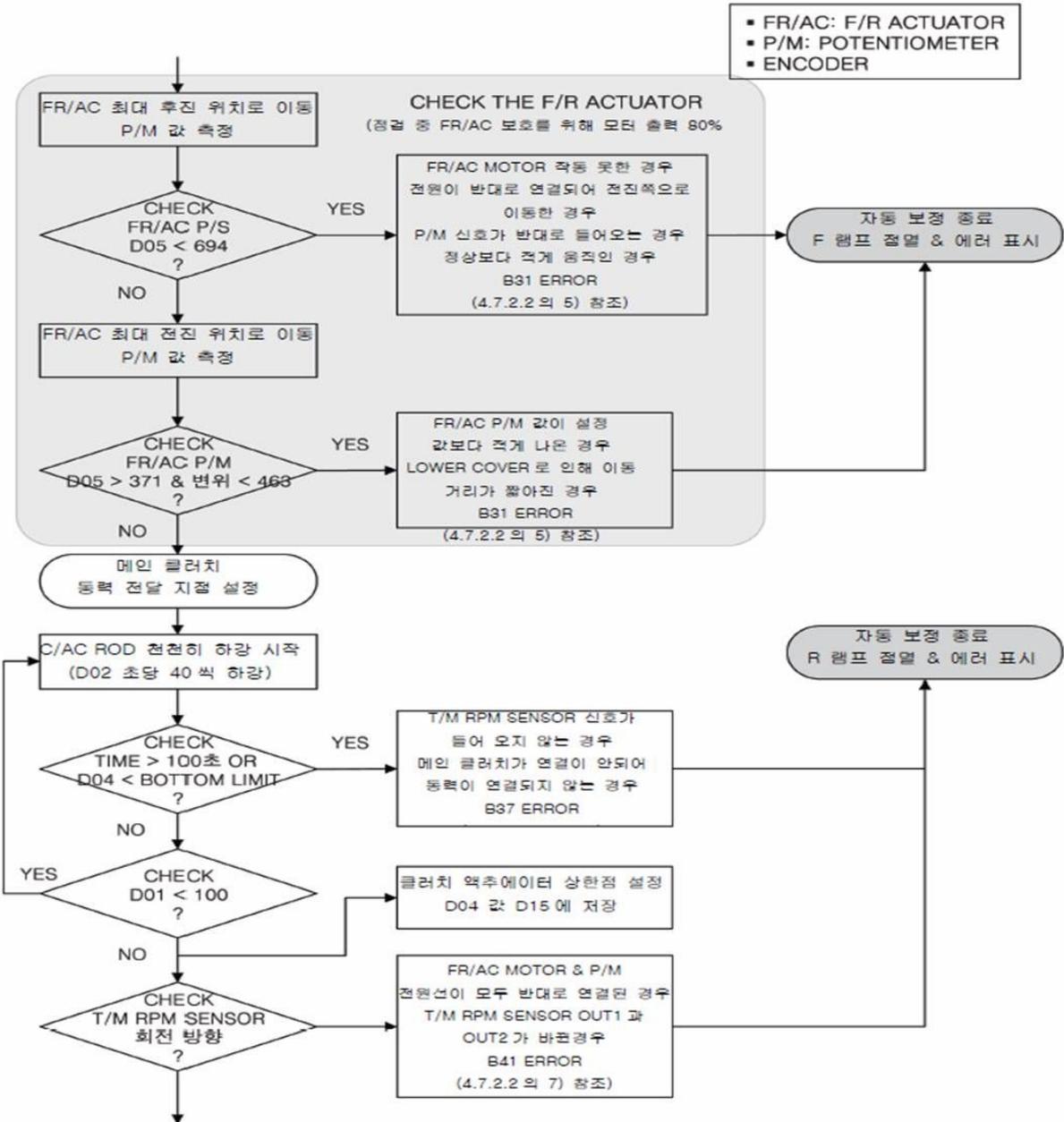


그림 1-113 전후진 액추에이터의 자동 보정 알고리즘.

(다) 자동 보정 종료

그림 1-114는 자동 보정 종료과정으로 변속기의 회전방향 이상 유무 확인, 앞서 시행했던 각 액추에이터 및 변속기의 이상 유무 표시를 수행한다. 자동 보정의 종료는 자동 보정이 시작되고 약 2분 후에 이루어지며 자동 보정을 중간에 중지하고자 할 경우, 엔진의 시동을 끄으로써 자동 보정이 시작되기 이전 상태를 유지할 수 있다.

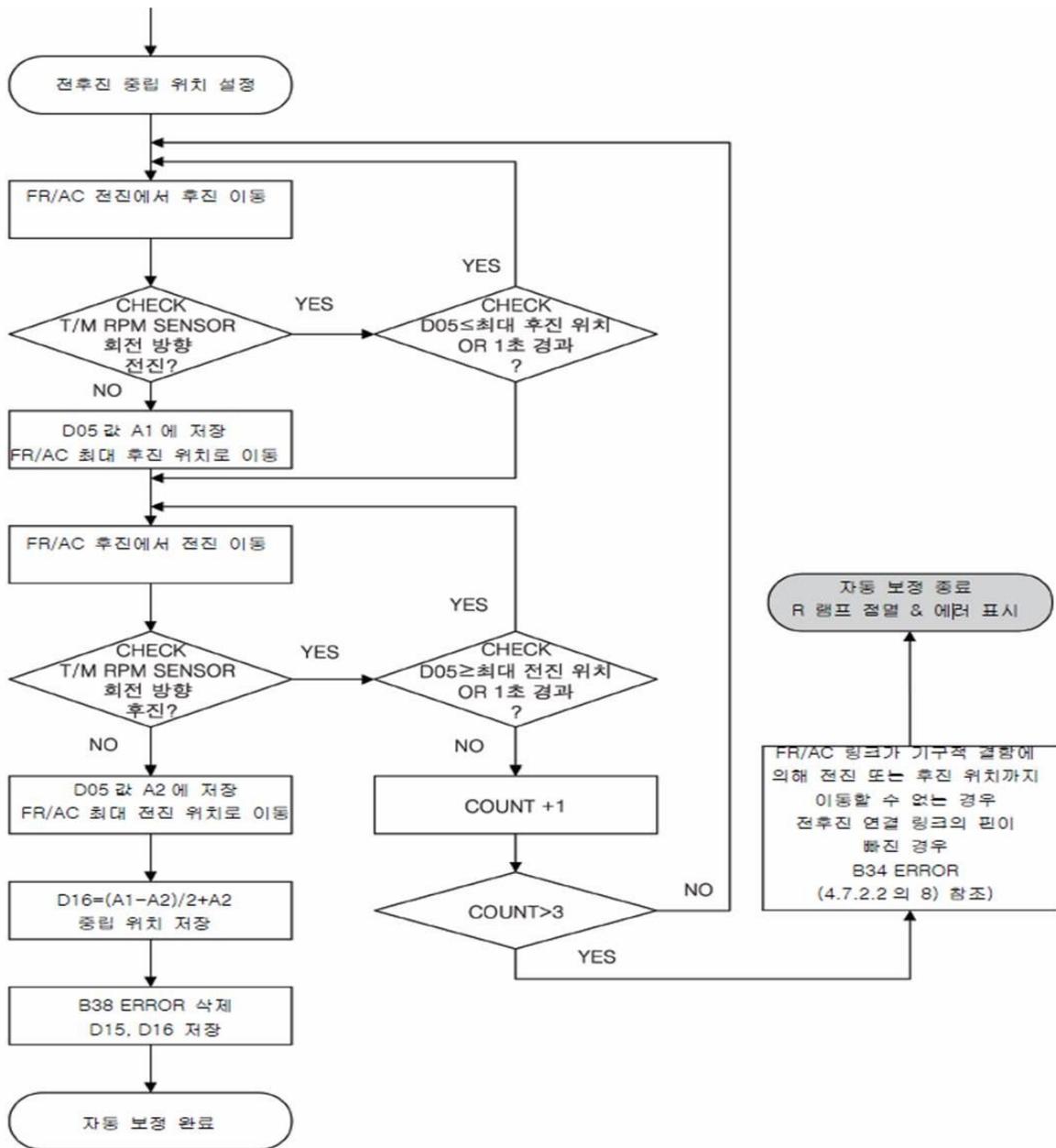


그림 1-114 자동 보정 종료 알고리즘.

### (3) AMT 파워트레인의 양산을 위한 상세설계

앞선 연구에서 수행한 AMT 파워트레인 요소부품의 성능 평가 및 실용화 기술 개발 연구를 통해 그림 1-115와 같이 실제 양산이 가능한 파워트레인을 설계하였다. 파워트레인의 구조는 운전자의 편의성과 트랙터 내부 설치 공간을 고려하여 설계하였으며 그림 1-116과 같이 실제 개발 제품을 설치한 결과 공간의 제약과 결선의 엉킴이 없이 설치가 가능하였다. 실제 트랙터의 작업 환경과 같은 진동 조건에서도 설치된 요소 부품이 잘 고정되었으며 결선의 단선이나 쇼트가 발생하지 않았다.

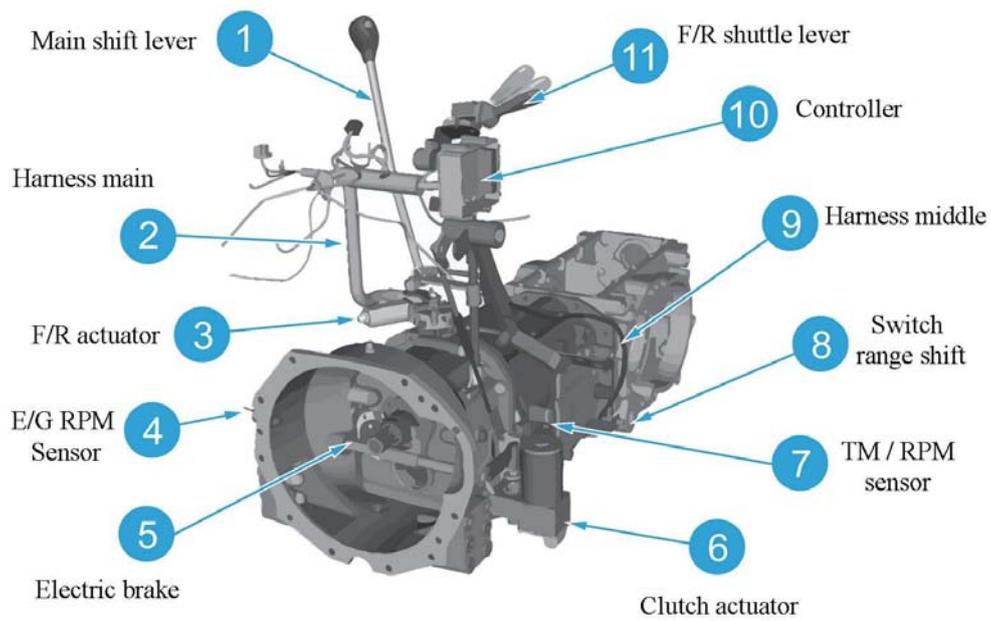
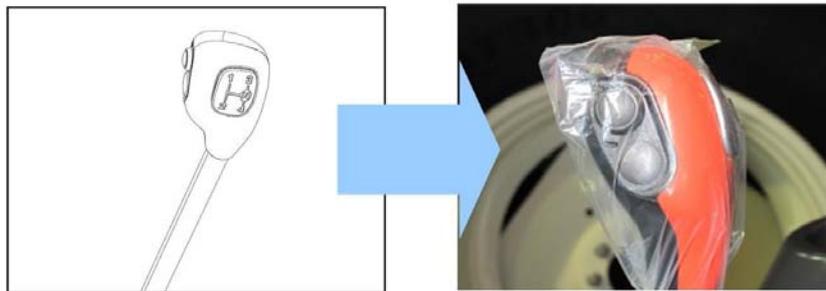
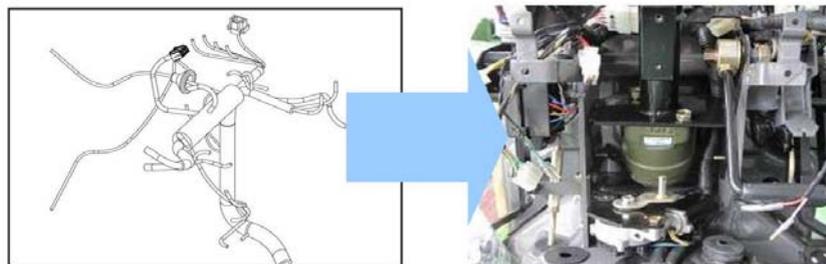


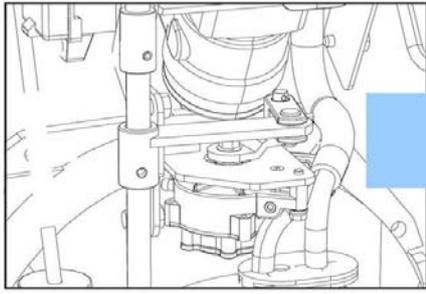
그림 1-115 AMT 파워트레인 시스템 레이아웃.



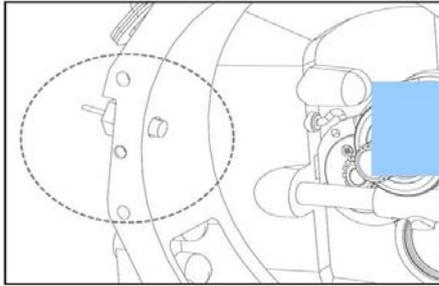
1. Main shift lever



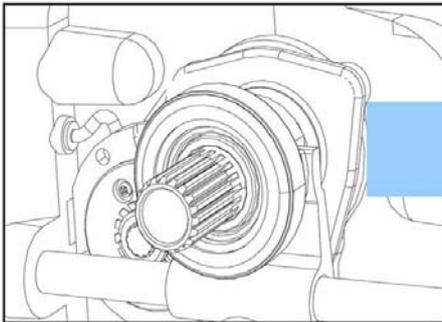
2. Harness main



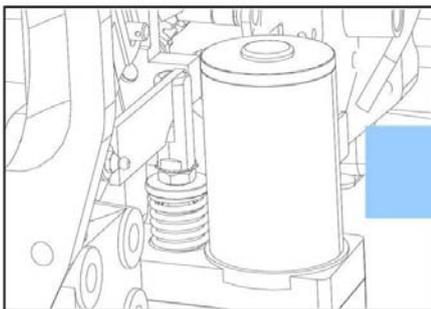
3. F/R actuator



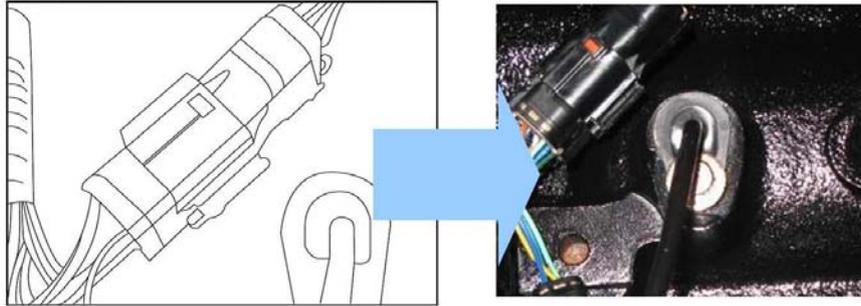
4. E/G rpm sensor



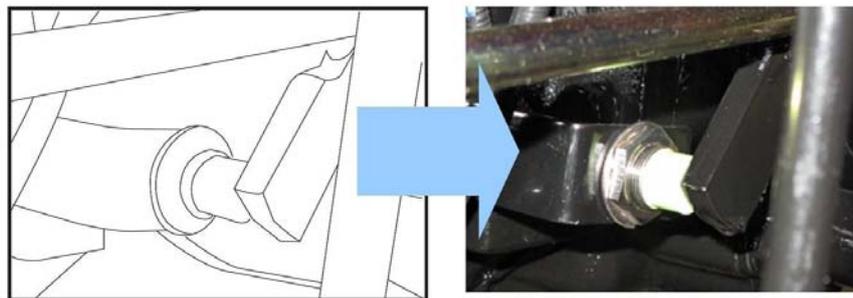
5. Electric brake



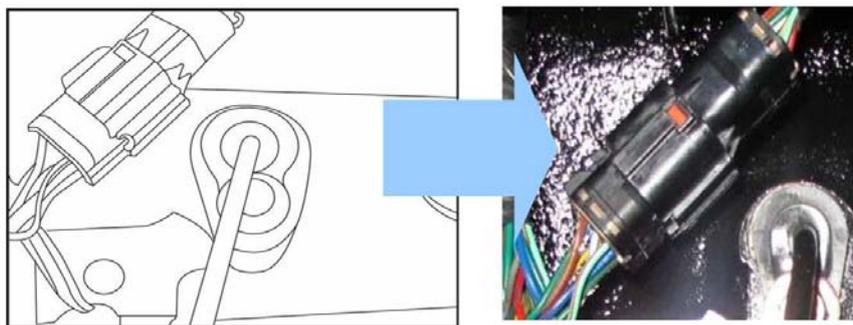
6. Clutch actuator



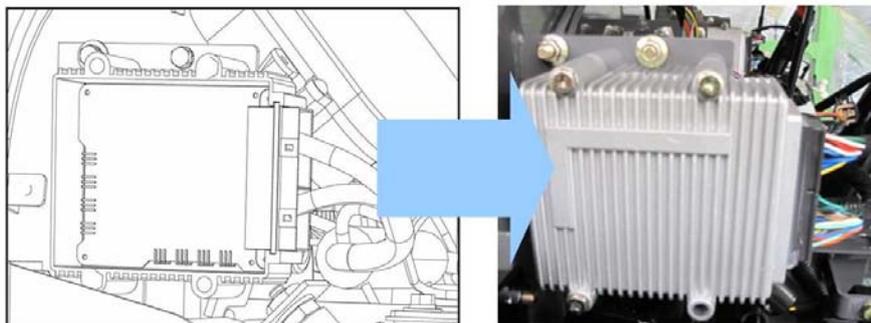
7. T/M rpm sensor



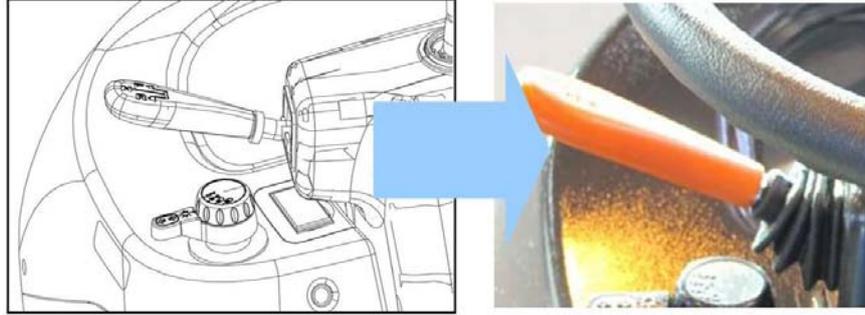
8. Switch range shift



9. Harness middle



10. Controller



11. F/R shuttle lever

그림 1-116 설계된 파워트레인 요소 부품의 제작.

라. TCU의 실용화 기술 개발 및 회로 보완

(1) TCU의 실용화 기술 개발

TCU의 실용화 기술 개발을 위해 AMT 실차 트랙터를 이용하여 변속 시간에 따라 발생하는 충격량을 분석하였다. 변속 시간이 너무 느리거나 빠를 경우 발생하는 진동으로 인해 운전자에게 불편함을 줄 수 있으므로 제어 신호에 따른 변속 시간에 대한 연구는 TCU 실용화에 중요한 요소이다.

(가) 실험 방법

TCU를 통한 변속 제어는 클러치 액추에이터 내부 포텐시오미터의 위치값을 이용한 PID 제어를 통해 이루어지도록 하였으며, 클러치 자동 변속의 경우 오버슈트(overshoot)가 발생하지 않아야 하므로(배규한, 2002) 오버슈트가 나지 않는 범위에서 가장 빠른 변속 시간을 나타내는 PID 계수를 선정하였다. P, I, D 계수는 선행 연구의 결과인 1.45, 3.45, 0.19로 선정하였으며(우미나, 2011), 이 때의 변속 시간은 1.03초이다. 진동 신호는 3축 가속도 센서를 운전자의 좌석 아랫부분에 설치하여 변속 시 인체에 영향을 미치는 진동값을 측정할 수 있도록 하였으며 그림 1-117과 같이 LabVIEW (version 2010, National Instrument, USA)를 이용하여 클러치 액추에이터 내부 포텐시오미터의 위치 값과 가속도 센서의 가속도 값을 측정하여 변속 시간에 따른 진동 신호를 실시간으로 확인할 수 있도록 하였다.

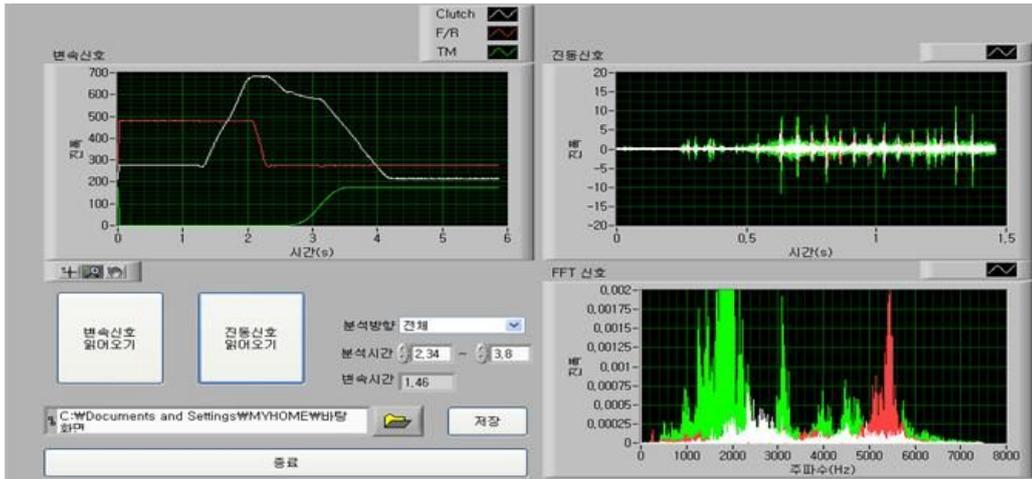


그림 1-117 변속 및 진동 신호 측정 프로그램.

진동신호의 분석은 측정된 진동신호를 대역통과필터(Band Pass Filtering, BRF)를 이용하여 인간이 불편함을 느끼는 진동 범위인 1~10 Hz 대역을 제외한 나머지 주파수영역을 제거하였으며(Suzanne, 2007), 그림 1-119와 같이 KS B 0710-1에 명시된 인간이 피로를 느끼는 정도에 따른 주파수 가중치 함수(frequency weight function)를 푸리에 역변환(Inverse Fourier Transform, IFT)을 이용하여 시간 영역 가중치 함수(time domain weight function)로 변환한 후 필터 처리된 진동신호와 컨볼루션(convolution)하였다. 여기서 컨볼루션은 시간변화를 가지는 두 신호를 합성하는 방법으로 시간영역에서는 식 (1-12)를 이용하여 계산된다. 컨볼루션 후 생성된 신호(weighted vibration signals)는 사람이 해당 진동 값에서 불편함을 느끼는 정도에 따른 정량화된 값인 pVTV로 나타내었으며 이는 식 (1-13)과 같이 RMS(Root Mean Square)를 이용하여 계산된다(Suzanne, 2007). 여기서  $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$ ,  $a_{wz}$  값은 가중치 함수가 적용된  $x$ ,  $y$ ,  $z$ 축의 가속도 값을 나타내며  $k_x$ ,  $k_y$ ,  $k_z$  는 인간이 불편함을 느끼는 각 축의 진동 가중치 계수를 나타낸다.

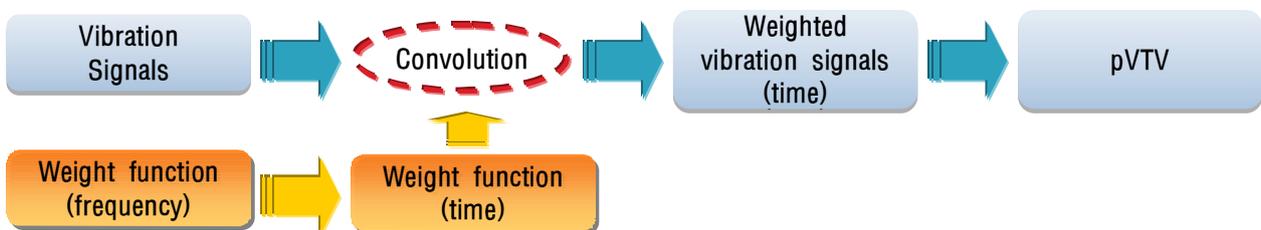
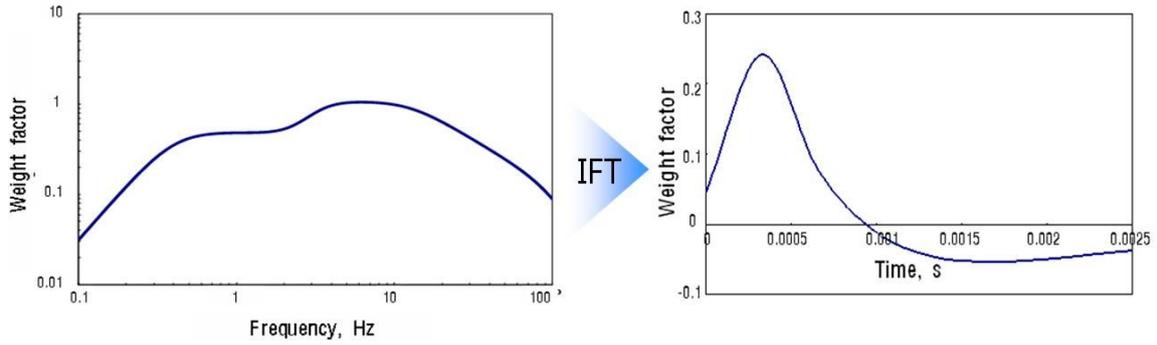


그림 1-118 진동 신호의 분석과정.



(a) 주파수 가중치 함수

(b) 시간 영역 가중치 함수

그림 1-119 진동 신호 가중치 함수(KS B 0710-1).

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t')h(t-t')dt' \dots\dots\dots(1-12)$$

where  $y(t)$  : 가중치가 적용된 진동 신호  
 $x(t)$  : 진동 신호  
 $h(t)$  : 가중치 함수

$$pVTV = \sqrt{k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2} \dots\dots\dots(1-13)$$

$$k_x = 1.4, k_y = 1.4, k_z = 1$$

변속 시간에 따른 진동신호 측정을 위해 변속 수준은 로터리, 쟁기 등의 작업이 주로 이루어지는 부변속 3단, 주변속 2단의 조건에서 중립에서 전진으로 변속하며 측정하였다. 엔진 속도는 트랙터 포장작업 시 주로 사용되는 2,500 rpm으로 하였으며, 변속 시간에 따른 충격량을 측정하기 위해 선정된 PID 계수 중 I 계수를 3.55, 3.65로 변화시켜 변속 시간이 3 수준으로 나타나도록 하였다. I 계수는 PID 제어 중 정착시간에 영향을 미치며 I 계수가 증가할수록 정착시간이 길어진다.

(나) 변속 시간에 따른 충격량 측정 결과

변속 시간에 따른 충격량을 비교하기 위해 변속 시간은 선정된 P, I, D 계수 1.45, 3.45, 0.19 중 정착시간에 영향을 미치는 I 계수를 3.55, 3.65로 변화시켜 클러치 액추에이터의 변위 신호가 그림 1-120과 같이 3 수준으로 차이가 나도록 하였다. 변속 시간은 각각 1.03초, 1.33초, 1.53초로 나타났다.

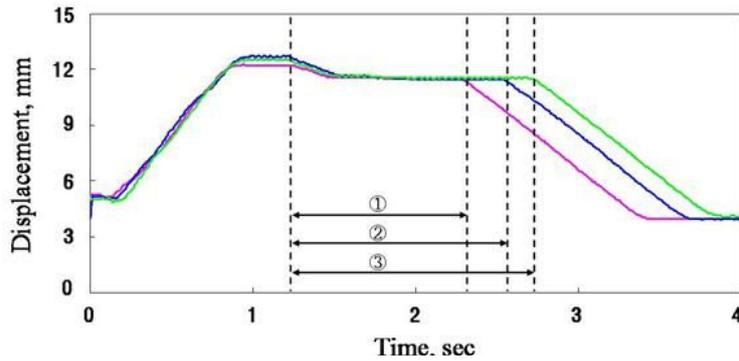
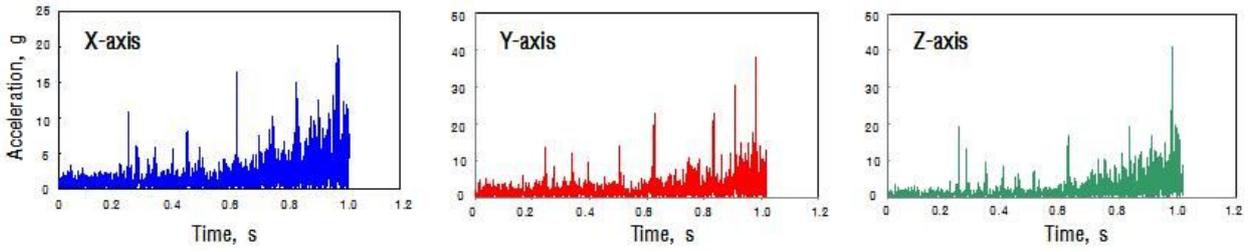


그림 1-120 PID 제어를 통한 변속 시간의 변화( $t_s=1.03s, 1.33s, 1.53s$ ).

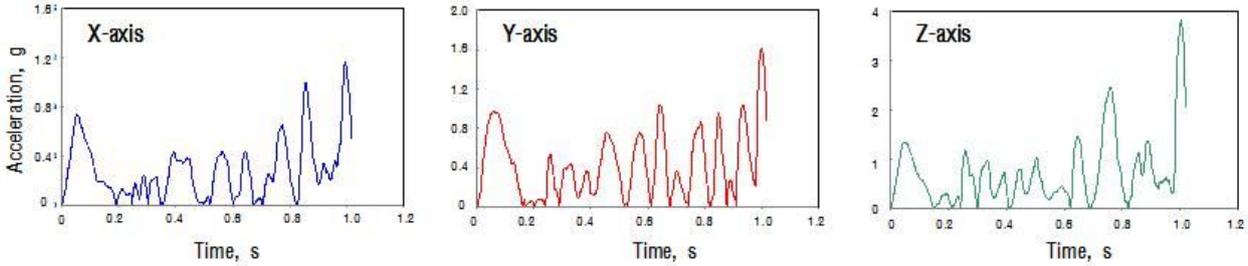
그림 1-121은 측정된 진동신호를 pVTV 값으로 나타내기 위한 과정으로 변속 시간 1.03초 일 경우를 대표해서 나타내었다. 그림 1-121(a)는 변속시간 1.03초일 때 나타난  $x, y, z$ 축의 진동신호이며 그림 1-121(b)는 측정된 진동신호를 1~10 Hz 대역으로 대역통과필터를 거친 후의 신호로, 인체에 영향을 미치는 진동 신호에 대한 분석이 가능하도록 하였다. 그림 1-121(c)는 필터링된 신호에 인간이 피로를 느끼는 정도에 따른 시간영역 가중치 함수를 컨볼루션한 결과로 그래프 모양은 필터링된 신호와 유사하나 진동값은 전체적으로 줄어들었는데 이는 가중치 함수가 모두 1 미만의 값이기 때문이다.

가중치가 적용된 진동신호는 pVTV를 이용하여 비교분석하였으며 그 결과는 표 1-52와 같다.  $z$ 축 상하방향의 진동이 다른 축에 비해 모든 변속 시간에서 가장 크게 나타났으며 변속 시간에 따른 각 축의 진동 값은  $y$ 축을 제외하고 모두 변속 시간이 증가함에 따라 진동 값이 증가하였다. pVTV 값의 경우  $x$ 축과  $y$ 축의 가중치 계수가 1.42로  $z$ 축의 가중치 계수 12보다 큰 값임에도 불구하고  $z$ 축의 진동 값이 다른 축에 비해 크게 나타나 pVTV 값을 결정하는데  $z$ 축 진동 값이 가장 크게 작용하였으며 변속 시간 1.03초일 때 0.479 g, 1.33초일 때 0.630 g, 1.53초일 때 0.732 g로  $z$ 축 진동 값과 마찬가지로 변속 시간이 길어질수록 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 오버슈트가 일어나지 않는 클러치 제어에서 변속 시간이 가장 짧은 PID 계수가 변속 충격에서도 가장 적게 나타나, 선정된 P, I, D 계수 1.45, 3.45, 0.19가 변속 시간과 변속 충격을 모두 고려한 최적 PID 계수임을 의미한다.

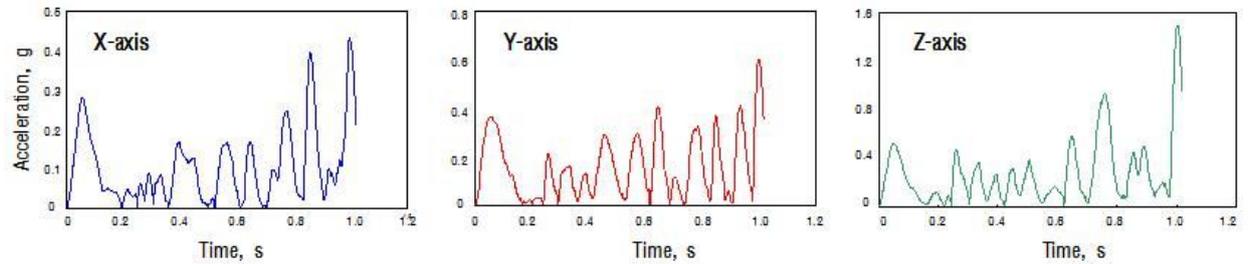
A)



(a) 3축의 가속도 신호.



(b) 1~10Hz 영역으로 필터링된 가속도 신호.



(c) 가중치 함수가 적용된 필터링된 가속도 신호.

그림 1-121 3축 진동 신호의 분석( $t_s=1.03s$ ).

표 1-52 변속 시간에 따른 pVTV 값

Shifting time(s)	Acceleration Signal (g)			pVTV (g)
	X-axis RMS	Y-axis RMS	Z-axis RMS	
1.53	0.326±0.031*	0.211±0.045	0.491±0.020	0.732±0.030
1.33	0.205±0.026	0.242±0.011	0.447±0.033	0.630±0.021
1.03	0.194±0.027	0.130±0.078	0.350±0.029	0.479±0.023

\* Average ± standard deviation

## (2) 실용화를 위한 TCU의 상세 설계

TCU의 정상적인 동작을 위해서는 TCU를 구성하고 있는 전력용 반도체 소자의 과열을 방지하여 오작동을 방지하여야 하며 이는 적합한 방열판(heat-sink) 설계를 통해 해결 가능하다. 본 연구에 사용된 반도체 소자 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)의 경우 작동 온도 영역이 85℃ 이하이므로 방열판의 온도가 지속적으로 85℃ 이하의 온도를 유지하여야 하므로, 이에 TCU, 방열판을 포함한 전체 기구의 온도 변화 및 방열 특성하기 위해 시뮬레이션을 수

행하였다. 온도 변화 시뮬레이션의 초기 조건은 주위 온도 60℃, IGBT의 온도는 100℃로 설정하였으며, 방열 특성 시뮬레이션의 초기 조건은 주위 온도 50℃, IGBT의 온도는 90℃로 설정하였다.

방열판의 온도 변화를 시뮬레이션 한 결과는 그림 1-122와 같이 나타났다. 아랫부분의 강판(steel plate)의 온도는 시뮬레이션 시작과 동시에 급격히 상승하다가 방열판의 온도가 감소함에 따라 약 25초 부근에서 감소하여 일정수준을 유지하였다. 방열판의 경우 초기 IGBT 온도와 같이 100℃에서 시작하였으며 시간이 지남에 따라 TCU와 함께 급격히 감소하여 50초 이후부터 약 65℃의 온도를 지속적으로 유지하고 있으므로 개발된 방열판을 통한 인버터 소자의 과열 방지가 가능함을 알 수 있었다.

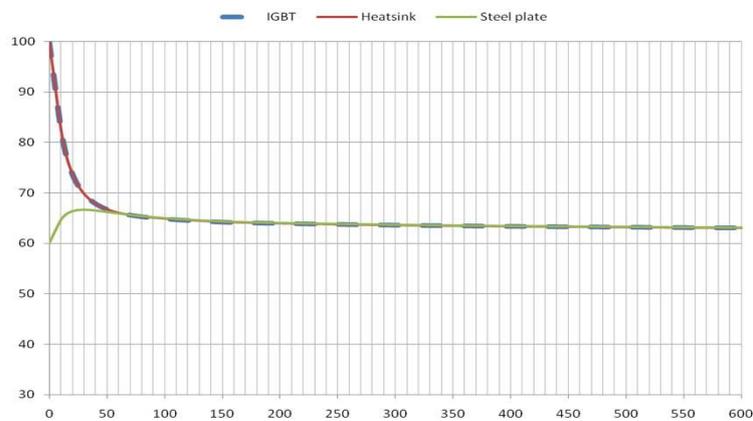


그림 1-122 온도 변화 시뮬레이션 결과.

방열 특성을 시뮬레이션 한 결과는 그림 1-123과 같이 나타났다. 시뮬레이션 10초 경과 후 IGBT 및 방열판의 온도가 급격히 하강하여 최고 73℃로 나타났으며 100초 경과 후에는 강판으로 열이 전도되어 방열판의 온도가 최고 55℃로 하강하였다. 200초 경과 이후 방열로 인해 지속적인 온도 유지가 가능하였으며 500초가 경과하여 시뮬레이션이 종료되었을 때 방열판의 온도는 최고 53℃로 나타나 방열판의 방열 성능이 우수함을 알 수 있었다.

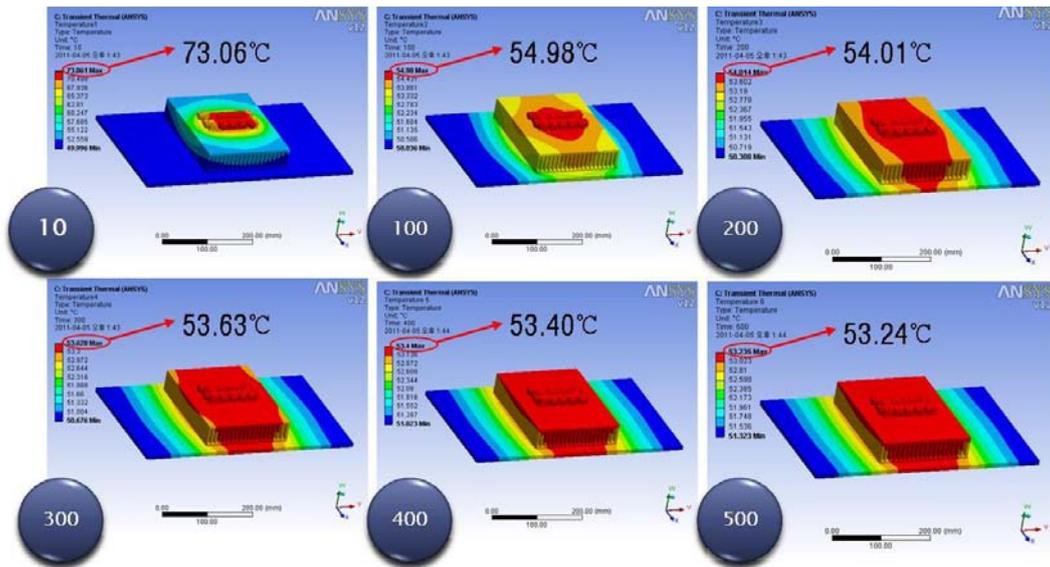


그림 1-123 방열 특성 시뮬레이션 결과.

방열 특성 시뮬레이션 결과를 토대로 실제 고온의 조건에서 시뮬레이션 결과와 유사하게 나타나는지 확인하기 위해 시뮬레이션과 같은 조건에서 방열 특성을 확인하였다. 그림 1-124는 휴대용 열화상 카메라(T335, Flir, Sweden)를 이용하여 60초 이후 온도 특성을 확인한 것으로 시뮬레이션과 유사하게 방열판 온도가 최대 65.5°C, 최소 27.2°C를 나타내 방열 특성이 우수하게 나타남을 확인할 수 있었다.

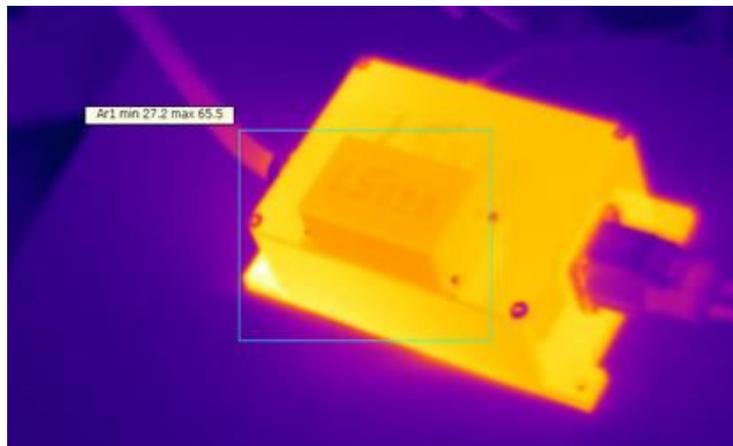


그림 1-124 TCU의 방열 특성 측정 결과.

## (2) 실용화를 위한 TCU 회로 보완

TCU의 실용화를 위해 AMT 트랙터에 TCU를 장착한 후 실제 포장작업에서 발생하는 회로상의 문제점을 분석하고 보완하였다. 전원 회로의 경우 기존 회로에서 사용하고 있던 7805 레귤레이터는 입력 전압인 5V 이상의 전압이 인가될 경우 5V를 제외한 나머지 에너지는 열로 방출하여 발열상의 문제가 있었다. 이에 대한 개선 사항으로 7805 레귤레이터 대신 DC-DC 컨

버터 LM22675 회로를 사용하여, 발열량을 줄이고 설계 프로세스의 단순화를 통해 전체 시스템의 크기를 줄일 수 있었다. 또한 고정 스위치 주파수 500kHz, 조정 가능한 스위칭 주파수 또는 최대 1 MHz의 주파수 동기화를 통해 전자파 방해를 줄일 수 있도록 하였다.

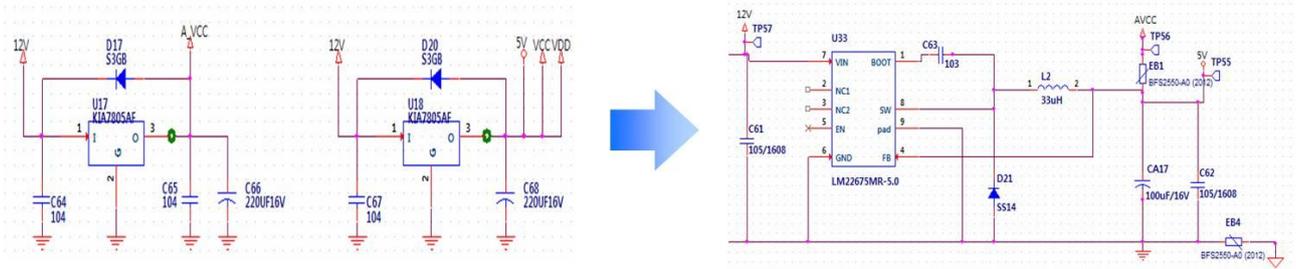


그림 1-125 전원 회로 보완.

혼 제어 회로의 경우 IPS60215 회로는 복잡한 회로의 제어가 가능하나 출력 전류가 요구 출력 1A보다 훨씬 높게 나타나 에너지 효율 측면에서 문제를 나타냈으며 이에 IPS60215 회로를 제거하고 출력 전류가 2A인 회로를 구성하여 에너지 효율을 높일 수 있도록 하였다.

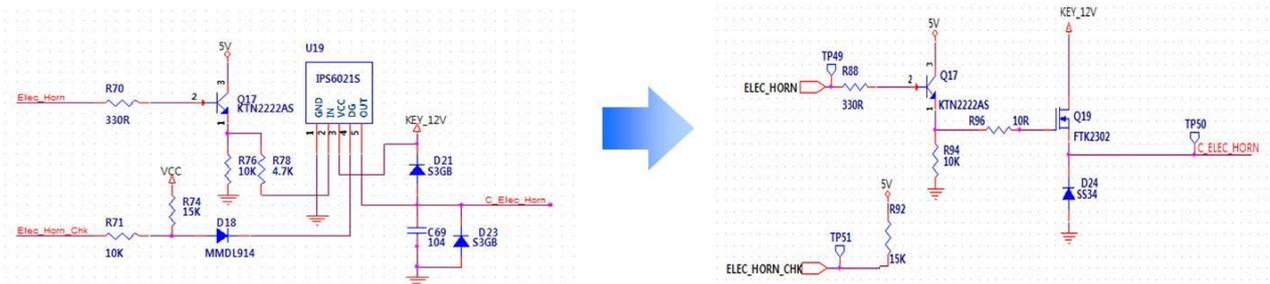


그림 1-126 혼 제어 회로 보완.

모터 과전류 검출 회로의 경우 포장 작업 시 모터에 과전류가 발생하였으나 응답 성능이 떨어져 검출 동작이 이루어지지 않았다. 이에 검출 신호를 MICOM/Driver IC에 연결하고 클러치 85A / 레버 85A 설정을 통해 기존 회로의 전류 검출의 응답성을 개선하였다.

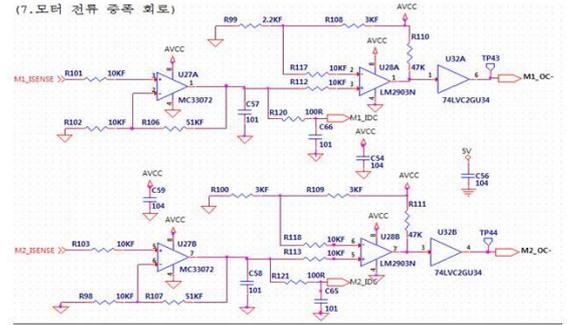
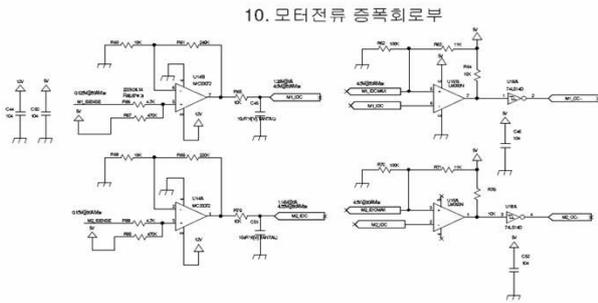


그림 1-127 모터 과전류 검출 회로 보완.

모터 게이트 드라이버 회로의 경우 포장 작업시 부품 파손에 의한 FET 파손으로 회로의 동작이 올바르게 수행되지 않았다. 이에 모터 전용 게이트 드라이버 IC 사용하여 신뢰성을 확보하고 과전류에 의한 Shutdown 기능이 가능하도록 하였다.

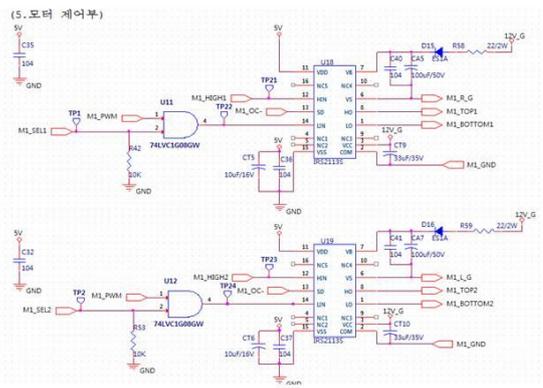
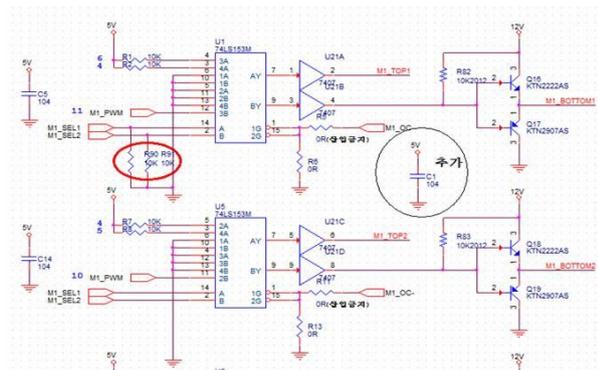


그림 1-128 모터 게이트 드라이버 회로 보완.

모터 드라이버 회로의 경우 포장 작업 시 부품 파손이 발생하였으며, 모터의 기동 전류의 최대 값이 80A임에 비해 회로에 사용된 변속기용 MOSFET인 FET P-ch 74A는 출력 전류값이 부족하여 FET P-ch 74A를 FET N-ch 120A로 교체한 후 모터 드라이버를 구동하였다.

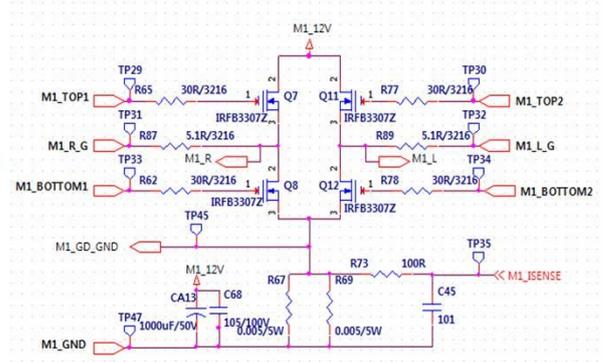
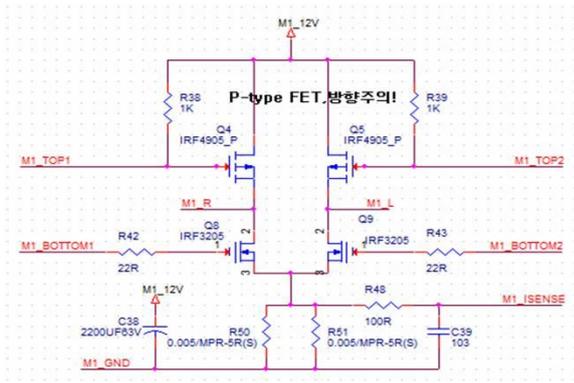


그림 1-129 모터 드라이브 회로 보완.

## 제 2 절 인간공학 기반의 트랙터 변속레버 개발

### 1. 인간공학 기반의 트랙터 변속레버 설계

#### 가. 변속레버의 편의성 평가 지표 및 방법 개발

인간공학이라는 말은 최근 우리 생활의 모든 분야에서 많이 사용되고 있으며 생산시설이나 일상생활용품, 우주선 개발에 이르기까지 인간공학이 응용되고 있다. 인간공학은 인간을 사용하기 위한 공학으로서 인간의 작업, 인간기계 계통의 작업을 가장 능률적으로 행할 수 있도록 조작하는 장치의 각 요소를 설계하는 것을 말한다. 이와 같이 인간공학은 여러 분야에서 적용되고 있는 실제적인 학문분야로서 디자인 분야에서도 그 중요성이 인식되어 도입, 활용되고 있다. 인간공학의 연구 분야는 오감 등을 관측하고 검사하는 실험심리학 분야, 해부학, 신경생리학, 인체측정, 에너지 대사 등을 연구하는 의학 및 생리학 분야, 시간연구, 동작연구, 작업공간 및 작업영역의 설계 등을 연구하는 광의의 작업연구 분야, 산업·공중위생, 소음, 진동, 조명, 색채, 온도, 습도, 분진 등의 연구를 하는 환경공학 분야, 정보이론, 인간기계 시스템, 휴먼-컴퓨터 인터페이스 등을 연구하는 제어공학 분야, 휴먼 에러, 스트레스, 산업안전 등을 연구하는 안전공학 분야, 가정생활용품, 사무·교육 용구, 과학·의료용구 레저·스포츠 용구, 공공환경 시설물, 정보통신 시스템에 따른 설비용품 등의 디자인을 연구하는 산업디자인 분야, 사무자동화를 위하여 환경공학적 측면, 스트레스 등을 연구하는 VDT (Visual Display Terminals) 작업 분야, 인간의 특성을 파악하는 감성공학 분야 등 크게 9가지로 분류할 수 있다.

본 연구에서는 인간공학 기반의 트랙터 변속레버를 설계하기 위해 필요한 인간공학적 평가 지표를 표 2-1과 같이 시계성, 접근성, 조작성으로 선정하였다.

표 2-1 트랙터 변속레버의 인간공학적 평가 항목

Evaluation item	Visibility
	Accessibility
	Manipulability

작업자의 시계성, 접근성, 조작성을 고려한 트랙터의 변속레버를 개발하기 위해 먼저 트랙터를 실제로 사용하는 작업자들의 체형을 측정할 필요성이 있다. 통계청(2008)에 따르면 연령별 비농사에 종사하는 남자 농업인의 인구 분포는 표 2-2와 같이 나타났으며, 40 ~ 69세의 인구가 50% 이상 차지하고 있음을 알 수 있다. 농업인의 인체 사이즈와 대한민국 남성의 인체 사이즈 측정값은 큰 차이가 없다고 가정하여 한국인 인체치수조사(Korean Agency for

Technology and Standards, 2005)의 결과를 이용하였다. 변속레버 개발에 필요한 인체 치수 항목은 표 2-3과 같이 선정하였다. 선정항목 중 앉은 키, 앉은 눈높이, 앉은 어깨 높이, 앉은 팔꿈치 높이, 앉은 오금 높이는 변속레버의 설치 높이를 결정하는 기준이 되며 앉은 엉덩이 무릎 수평 길이, 앉은 엉덩이 오금 수평 길이, 벽면 앞으로 뻗은 주먹 수평 길이, 팔꿈치 손끝 수평 길이, 머리 두께는 변속레버가 운전자 몸의 중심축에서 앞으로 떨어진 거리를 결정하는 기준이 된다. 또한 팔꿈치 주먹 수평 길이, 아래팔 수평 길이는 변속레버의 지지대의 굽기를 결정하는 기준이 된다. 남성 40 ~ 69세의 각 항목별 치수에 따른 평균값, 표준편차, 최소값, 최대값의 결과는 표 2-4와 같다.

표 2-2 연령별 농업 인구 분포

Age	Population	Ratio(%)	Age	Population	Ratio(%)
20 - 24	128	0.02	55 - 59	79,819	12.31
25 - 29	939	0.14	60 - 64	100,291	15.47
30 - 34	4,774	0.74	65 - 69	132,137	20.38
35 - 39	12,809	1.98	70 - 74	106,789	16.47
40 - 44	29,564	4.56	75 - 79	50,362	7.77
45 - 49	51,929	8.01	above 80	17,674	2.73
50 - 54	61,084	9.42			

표 2-3 변속레버 개발에 필요한 신체 치수 항목

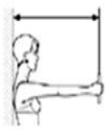
			
Sitting height	Sitting eye's height	Sitting shoulder's height	Sitting elbow's height
			
Buttock-knee length	Buttock-popliteal length	Popliteal height	Head length
			
Forward grip reach	Forearm-fingertip length	Elbow-grip length	Elbow-wrist length

표 2-4 농업종사자 신체 치수 측정값

(단위 : mm)

Factor	Avg.	S.D.	Min.	Max.
Sitting height	901	33.53	774	1004
Sitting eye's height	787	32.16	666	896
Sitting shoulder's height	588	27.43	491	671
Sitting elbow's height	256	24.21	155	342
Buttock-knee length	558	25.17	452	660
Buttock-popliteal length	459	26.16	360	560
Popliteal height	387	20.57	320	464
Head length	174	22.46	139	216
Forward grip reach	690	41.33	558	868
Forearm-fingertip length	441	18.43	376	502
Elbow-grip length	320	15.79	256	410
Elbow-wrist length	262	12.98	214	307

트랙터 변속레버의 인간공학적 평가 지표, 즉 접근성 및 조작성과 설계 변수와의 연관관계를 표 2-5와 같이 분석하였다(선미선 등, 2002). 시계성의 경우 트랙터 작업 시 레버가 인체 시야 내에 정확히 들어오는 정도로 정의되어 변속레버의 설계 보다는 최종 설치 위치와 관련이 있기 때문에 제외하였다. 변속레버는 작업자의 손과 접촉이 이뤄지는 손잡이(grip) 부분과 손잡이를 지탱해주는 지지대(support) 부분으로 나눌 수 있다. 손잡이의 형태와 길이 및 직경은 조작성과 관련되고 손잡이의 측면각도와 수직각도 및 위치 등은 접근성과 관련된다. 또한 제동방식과 가속방식 및 여유 공간은 조작성과 관련된다. 지지대의 경우 설계변수는 회전축의 수평각도와 시계방향 최종위치, 반시계방향 최종위치가 되고 모두 접근성과 관련된다.

표 2-5 인간공학적 평가 항목과 설계 변수의 연관관계

Part	Design parameter	Accessibility	Manipulability
Grip	Shape		○
	Length		○
	Diameter		○
	Side angle	○	
	Vertical angle initial position	○	
	Upper's final position	○	
	Lower's final position	○	
	Braking method		○
	Acceleration method		○
	Reverse space		○
Support	Rotation axis horizontal angle	○	
	CW final position	○	
	CCW final position	○	

(1) 시계성 평가 방법 개발

주로 자동차 관련 분야에서 활발히 진행된 시계성에 관한 연구는 미국의 FMVSS (Federal Motor-Vehicle Safety Standard), 유럽의 EEC (European Economy Community), 국내의 한국산업규격(Korean Industrial Standards, KS)에서 시계성과 관련하여 시계 영역, 차폐 등에 대한 기준을 정하고 있으며, 주로 뷰포인트(viewpoint)에 대한 시계성을 평가요소로 선정하고 있다. 뷰포인트는 승용차 내부에서 운전자가 바라보는 지점을 의미하는 것으로 주행 시 운전가 자주 보는 조작부, 후사경, 계기판 등은 운전자의 안전성 및 편의성을 위한 중요한 뷰포인트라고 할 수 있다. 현재 뷰포인트를 이용한 승용차의 시계성은 인체 시야의 직진성을 고려하여 눈의 중심을 레이저 포인터로 대신하는 방법으로(Korean Agency for Technology and Standards, 2002) 중요한 뷰포인트에 대한 시야 확보 유무를 수작업으로 평가하고 있으며, 그림 2-1과 같이 신체동작범위를 고려하여 5개 등급의 시계 적절성 평가체계를 제시한 연구(신승우, 2004)는 있었으나 아직까지 기준이 명확하고 정량적인 시계성 평가에 관한 연구는 전무한 실정이다.

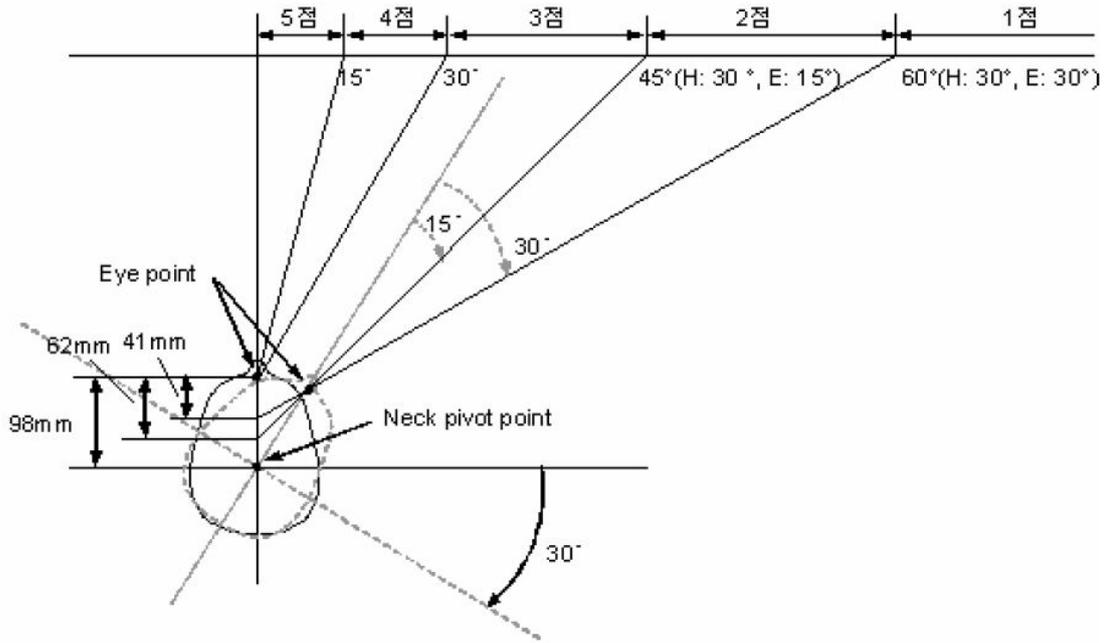


그림 2-1 시계성 평가 방법의 선행연구.

인체 시야의 가장 큰 특성은 빛 에너지에 의해 시신경이 작용한다는 것이며, 뷰포인트와 같은 시각적 정보 획득의 대상체는 반드시 눈의 방향과 일치하여야 한다. 표 2-6은 인체 시야를 망막 위치에 의한 정보 처리 능력의 차이와 정보수용을 보조하는 운동 발생 상태에 따라 정보수용 특성별로 구분한 것이며 판별시야, 유효시야, 주시안정시야, 유도시야, 보조시야로 나누어진다(장성록, 2001; Nakaji et al., 2003). 판별시야(perceptive field of view)는 시력, 색 판별 등의 시각 기능이 뛰어나며, 정밀도가 높은 정보를 수용할 수 있는 범위이다. 유효시야(effective field of view)는 안구운동만으로 정보를 주시하며, 순간적으로 특정정보를 수용할 수 있는 범위로 좌우 15°, 상방 8°, 하방 12° 이내이다. 주시안정시야(stable gaze field of view)는 머리 부분의 운동이 안구운동을 돕는 상태로 발생하며, 무리 없이 주시가 가능한 범위로 좌우 30 ~ 45°, 상방 20 ~ 30°, 하방 25 ~ 40° 이내를 말한다. 유도시야(induced field of view)는 제시된 정보의 존재를 판별할 수 있는 정도의 식별능력만 있으나 인간의 공간좌표 감각에 영향을 미치는 범위로 좌우 30 ~ 100°, 상방 8 ~ 35°, 하방 12 ~ 50° 이내이다. 보조시야(auxiliary field of view)는 정보수용은 극도로 떨어지며, 강력한 자극 등에 의해 주시동작을 유발시키는 정도의 보조적 범위로 좌우 50 ~ 100°, 상방 35 ~ 50°, 하방 50 ~ 75° 이내를 말한다.

표 2-6 정보수용 특성별 인체 시야의 범위

(단위 : degree)

Field of view	Horizontal angle	Vertical angle
Perceptive	0	0
Effective	-15 ~ 15	-12 ~ 8
Stable gaze	-30 ~ -45	-25 ~ -40
	30 ~ 45	20 ~ 30
Induced	-15 ~ -50	-12 ~ -50
	15 ~ 50	8 ~ 35
Auxiliary	-50 ~ -100	-50 ~ -75
	50 ~ 100	35 ~ 50

(-) : left or down

(+) : right or up

(장, 2001; Nakaji et al., 2003)

본 연구에서는 트랙터의 뷰포인트에 대한 시계성을 정량적으로 평가하기 위해 인체 시야의 정보수용 특성에 따른 시계 영역에 평가점수 부여 시 기존의 불연속인 평가점수 부여에 따른 문제점을 해결하고자 연속적으로 평가점수를 부여하였다. 인체 시야의 정보수용 특성에 따라 수직 및 수평 각도의 범위로 표시된 시계 영역은 그림 2-2와 같이 타원의 형태로 표시할 수 있다. 평가점수는 정보수용 특성이 가장 좋은 시야 중심에서 거리가 멀어질수록 낮은 평가점수를 갖도록 설정하였다. 관별시야를 100점, 보조시야의 외부 영역을 0점으로 설정하였으며, 조망 대상에 대한 평가점수는 식 (2-1)과 같이 조망대상별로 측정되는 수직 및 수평 각도에 따라 조망대상이 포함된 타원의 면적을 구하여 보조시야 영역까지의 전체 타원 면적으로 나누어 조망 대상에 대한 평가점수를 계산하였다.

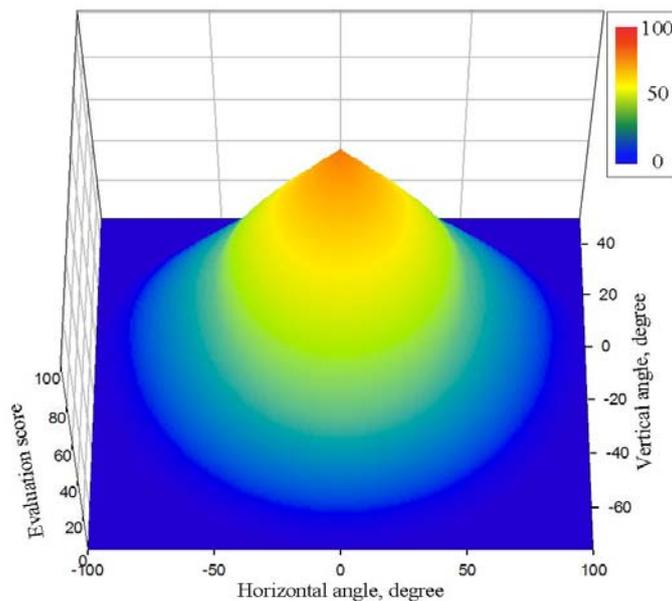
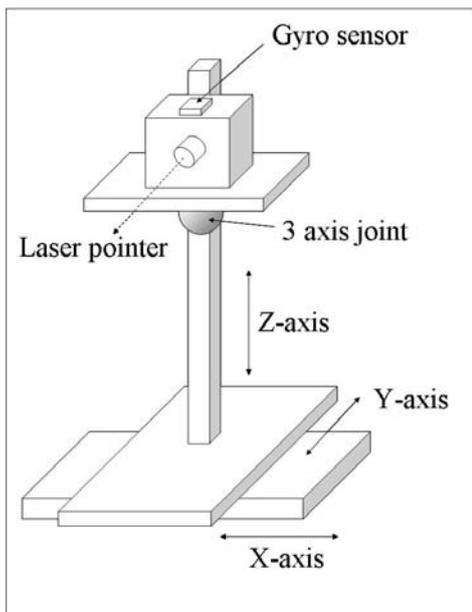


그림 2-2 인체 시야에 따른 정량적 시계성 평가.

$$(Evaluation\ score\ of\ viewpoint) = \left( 1 - \frac{Elliptic\ area\ of\ measured\ viewpoint}{Total\ area\ of\ auxiliary\ field\ of\ view} \right) \times 100 \quad \text{식 (2-1)}$$

트랙터의 시계성 평가 시스템은 그림 2-3과 같이 커플링과 연결이 용이한 스텝 모터(AK-24, Autonics, Korea)를 이용하여 스크루를 따라 눈위치 역할을 하는 레이저 포인터의 이동이 가능하도록 개발하였다. 트랙터의 내부와 작업자의 자세에 따라 인체 시야의 위치가 변경되는 것을 고려하여 스텝 모터의 이동 거리는 X, Y축 방향으로 각각 30 cm와 60 cm로 선정하였다. 인체의 머리 및 안구의 회전은 3축 방향 조인트를 이용하여 조정하였으며, 이때 인체 시야의 중심이 변경되는 것을 측정하기 위해  $\pm 180^\circ$ 의 범위에서 2축 방향 회전각 측정이 가능한 자이로 센서(NT-Gyro300, NTrex, Korea)를 사용하였다. 특정 위치에서 인체의 시야는 머리와 안구의 움직임에 따라 수직 및 수평 방향의 변화가 있으므로 자이로 센서의 상하(pitch) 및 좌우(yaw) 회전각을 측정하였다. 데이터 수집 장치는 자이로 센서의 전압값 측정이 가능하도록 아날로그 입력모듈(NI-9205, National Instrument, USA)을 사용하였다. 스텝 모터와 자이로 센서 및 데이터 수집 장치의 사양은 표 2-7과 같다.

시계성 평가에 필요한 수평, 수직 각도를 측정하기 위해 사용된 자이로 센서의 교정(calibration)은 레이저 포인터가 수평 방향  $-90 \sim 90^\circ$ , 수직 방향  $-90 \sim 90^\circ$  범위에서  $5^\circ$  간격으로 각도를 표시한 지점을 가리키도록 변화시키면서 전압의 변화를 측정하였다. 측정된 전압은 그림 2-4와 같이 실제 각도와 상관관계를 계산하여 교정하였으며, 결정계수는 수평 각도가 0.9996, 수직 각도가 0.9997로 나타나 시계성 평가 시스템에 사용이 가능함을 알 수 있다.



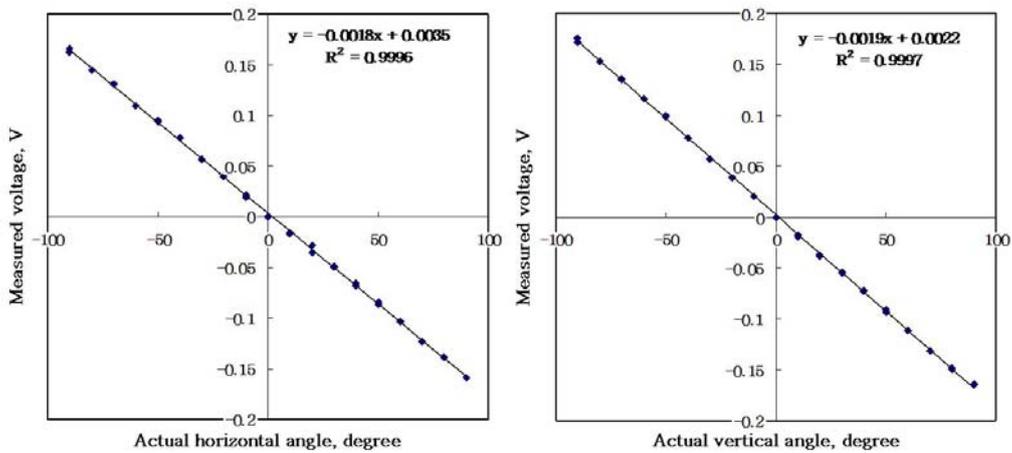
(a) 시계성 평가 시스템 모식도

(b) 개발된 시계성 평가 시스템

그림 2-3 트랙터의 시계성 평가 시스템.

표 2-7 트랙터 시계성 평가 시스템의 사양

Item	Model	Specifications
Step Motor	NK266-02AT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3.6 input voltage</li> <li>• 1.8 degree/step resolution</li> </ul>
Gyro Sensor	NT-Gyro300	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ±180 degree measuring range</li> <li>• 0.1 degree resolution</li> </ul>
Analog Input Module	NI 9205	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 16/32 analog inputs</li> <li>• 16-bit resolution, 50 kS/s sampling rate</li> <li>• ±10 V programmable input ranges</li> </ul>



(a) 수평각

(b) 수직각

그림 2-4 자이로 센서의 교정 결과.

## (2) 접근성 평가 방법 개발

접근성은 작업자가 변속레버를 조작할 때 편안한 자세를 유지하는 정도로 정의할 수 있다. 접근성에 대한 기존의 연구는 주로 자동차에서 인간공학적인 joystick 설계에 관한 것이다. 박형상(2007)은 산업용 차량인 로더(loader)의 핸들, 레버, 페달, 스위치 등 4가지 평가 항목에 대한 접근성을 7점 척도도 설문문을 통해 평가, 분석하였다. 한국인 평균 남성의 신체치수를 고려하여 그림 2-5와 같이 작업영역을 Normal area, Maximum area의 영역과 작업 영역을 벗어나는 Out of work area, 작업자의 손이 신체 중심라인 뒤에 위치하게 되는 Rear work area로 분류하였다.

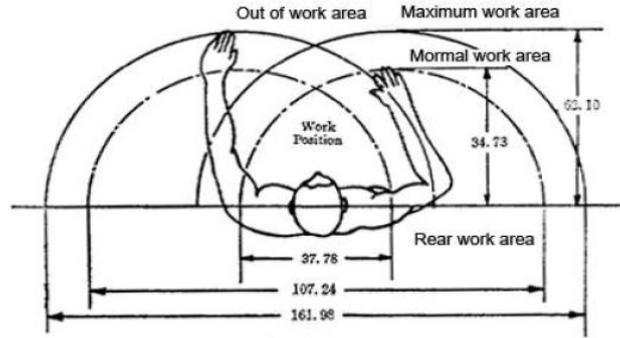


그림 2-5 접근성 평가 방법의 선행 연구.

본 연구에서는 트랙터를 주로 운전하는 남성 40 ~ 69세의 인체치수를 적용하여 개발한 시뮬레이션 프로그램으로 변속레버의 접근성을 평가하도록 하였다. 작업자가 손과 발이 편리하게 변속레버에 닿을 수 있으려면 변속레버가 인체 시야 내에 정확히 들어와야 하기 때문에 시계성 평가 시스템을 기반으로 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다. 눈위치와 뷰포인트의 위치는 그림 2-6과 같이 좌석 지표점(Seat Index Point, SIP)을 원점으로 하는 3차원 직교 좌표에 표현하였으며, 각 뷰포인트의 위치는 트랙터의 설계도면에서 좌표를 얻었다. 수평 각도는 식 (2-2)와 같이 조망대상의 좌표( $x_V, y_V, z_V$ )와 눈위치의 좌표( $x_E, y_E, z_E$ )의  $x$ 와  $y$  좌표값을 이용하여 표현할 수 있으며, 수직 각도는 조망대상과 눈위치의 좌표를 이용하여 식 (2-3)과 같이 표현할 수 있다. 계산된 수평, 수직 각도는 본 연구에서 개선한 시계성 평가 방법에 따라 접근성 평가점수를 산출하는데 사용되었다.

$$(Horizontal \angle) = ATAN2(x_V - x_E, y_V - y_E) \dots \dots \dots \text{식 (2-2)}$$

$$(Vertical \angle) = ATAN2(z_V - z_E, \sqrt{(x_V - x_E)^2 + y_V - y_E^2}) \dots \dots \text{식 (2-3)}$$

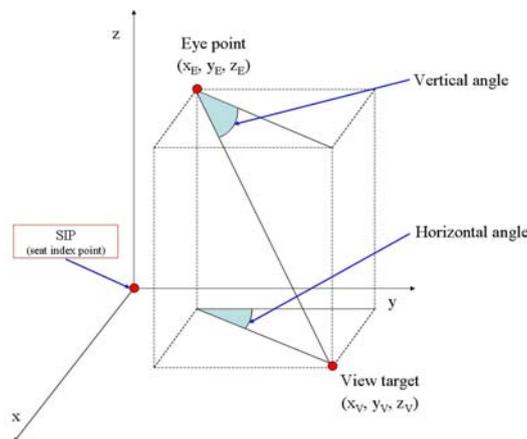


그림 2-6 시계성 평가를 위한 수평, 수직 각도 결정.

접근성 평가를 위해 시뮬레이션은 CATIA (HSX, Dassault Systems, France)를 사용하였다. 3차원 CAD (Computer Aided Design) 프로그램인 CATIA (Computer Aided Three dimensional Interactive Application)는 자동차나 항공기를 설계, 개발하는데 주로 사용된다. HSX (Human Builder and Simulation) 버전은 가상 제품의 환경에서 정확한 디지털 인체 모형의 상호 작용을 직접 구현, 조작하고 시뮬레이션 할 수 있으며 제품 설계 환경에서 사람의 자세, 시야 및 안락함을 직접 평가하고 최적화함으로써 신속한 의사 결정과 설계 변경이 가능하다는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 인체치수를 고려한 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 접근성을 평가할 예정이다.

### (3) 조작성 평가 지표 및 방법 개발

조작성이란, 작업자가 기계 따위를 일정한 방식에 따라 다루어 움직일 때 작업이 잘 처리되는 정도로 정의되며 본 연구에서는 농작업자가 착좌 자세에서 변속레버를 편안하게 조작하고 오조작이 없도록 설계하는 정도로 정의하였다. 조작성에 대한 기존의 연구들을 간략히 살펴보면 다음과 같다. Salisbury와 Craig(1982)는 처음으로 로봇손의 최적설계를 위하여 조작성의 개념을 사용하였으며, Yoshikawa(1985)는 조작성 타원체를 도입하여 조작성의 정도를 정의하였다. Gosselin과 Angeles(1988), Zanganeh와 Angeles(1997) 등은 Yoshikawa의 조작성의 개념을 병렬형 머니플레이터의 기구학적 최적설계에 적용하였으며 Kokkinis와 Paden(1989)은 사용되는 좌표계에 독립적인 조작성의 미분기하학적인 해석을 제시하였다. Kosuge(1993)는 병렬형 머니플레이터의 힘과 모멘트 부분을 분리하여 조작성을 해석함으로써 힘과 모멘트 전달특성에 차별화를 시도하였다. Ahn과 Hong(1996)은 힘과 모멘트를 분리하여 Kosuge가 사용한 고유치 해석 대신에 특이값 분해를 통하여 얻어진 타원체의 체적을 조작성에 대한 척도로서 사용할 것을 제안하였다. 최근에는 오경원(2009)이 보다 효율적인 작업을 위한 굴삭기 원격 조종 장치의 조작성 평가에 대해 연구하였다. 굴삭기 조종에 능숙하지 않은 비숙련자 5명을 대상으로 기존의 굴삭기 조이스틱과 원격 조종 장치를 이용하여 그림 2-7과 같은 위치에 매겨진 번호의 순서대로 버킷을 이동시키도록 한 후 오차를 계산하여 조작성을 평가하였으나 기준이 명확하지 않고 주관적인 단점이 있다.

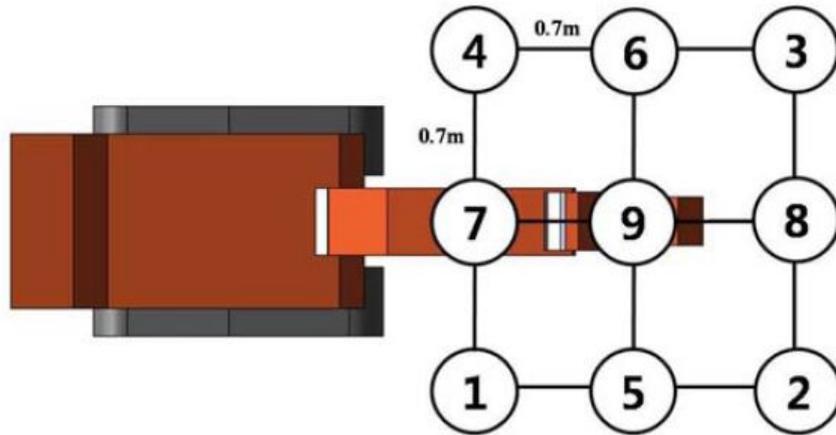


그림 2-7 조작성 평가 방법의 선행연구.

본 연구에서는 객관적인 조작성 평가를 위해 그림 2-8의 근력 측정장치(Model 01163, Lafayette Instrument, USA)를 이용하였다. 근력 측정장치는 마이크로 프로세서로 조절되어 과학적이고 정밀하게 근력을 측정할 수 있으며 도달된 최고치의 시간과 힘을 측정할 수 있는 장점이 있다. 근력 측정장치는 표 2-8과 같이 고강도에서 0.2 kg 단위로 0 ~ 136 kg 범위까지 측정가능하며 측정의 오차범위는  $\pm 1\%$ 이다.



그림 2-8 근력 측정장치.

표 2-8 근력 측정장치의 사양

Item	Model	Specifications
Manual muscle tester system	01163	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\pm 1\%</math> over full scale accuracy</li> <li>• 0.2 kg high range resolution</li> <li>• Dual measurement range, 0 ~ 136 kg or 0 ~ 23 kg</li> <li>• <math>\pm 0.03\%</math> timing accuracy</li> </ul>

### 나. 국내의 농업인의 체형을 고려한 변속레버의 최적 위치 시뮬레이션

농업인의 체형을 고려하여 변속레버를 포함한 트랙터 부대부품의 최적 위치를 시뮬레이션하기 위해 그림 2-9와 같이 50마력의 트랙터(LS U50, LS Mtron, KOREA)를 대상으로 시계성과 조작성을 평가하였다.



그림 2-9 시계성 및 조작성 평가를 위한 트랙터.

#### (1) 시계성 평가

시계성 측정 시스템은 그림 2-10과 같이 트랙터의 조작석에 장착하였다. 농업인의 인체 치수(표 2-4) 중 머리 두께와 앉은 눈높이를 이용하여 눈 위치를 계산한 후 레이저 포인터의 직진성을 이용해 눈위치와 뷰포인트 간의 위치 차이를 수평, 수직 각도로 측정하여 시계성을 정량화된 수치로 산출하였다. 좌석 지표점은 좌석 중심을 기준으로 앉은 자세의 눈위치는 위로 79 cm, 앞으로 17 cm에 위치하였다.



그림 2-10 시계성 평가 시스템의 설치.

트랙터의 뷰포인트는 그림 2-11과 같이 선정하였다. 백미러는 작업자가 앞을 향한 자세로 뒤쪽을 확인하는데 필요하고 계기판은 주행 시 작업의 상태를 수시로 확인하는데 필요하다. 조속레버는 엔진의 회전수를 조절하는데 점진적으로 회전수를 증가시키려면 앞쪽으로 밀고 줄이기 위해서는 뒤쪽으로 당긴다. 조속레버를 밀거나 당겨 연료 분사량을 조절하여 엔진의 회전수를 조절한다. 전후진 변속레버는 전진과 후진을 결정하는 역할을 하며 시동키는 시동발전기를 돌려 크랭크축이 회전과 함께 피스톤운동을 이루도록 하여 동력을 만드는 역할을 한다. PTO 스위치 및 레버는 필요한 동력을 엔진에서 빼내는 역할을 하며 작업등 스위치 및 램프는 야간에도 작업이 가능하도록 하며 와이퍼 스위치는 우천 시에도 작업이 가능하도록 한다. 경보등 및 비상깜박이는 상대차량 운전자의 눈에 잘 띄게 하여 사고를 미연에 방지하는 역할을 한다. 핸들 틸팅(tilting)레버는 작업자의 신체조건에 맞게 핸들의 위치를 조절할 수 있어 장시간 작업 시에도 편안한 작업이 가능하도록 한다. 로더 조이스틱은 흙이나 거름 등의 물질을 짧은 거리까지 운반하거나 적재, 하역을 용이하게 하는 로더를 조이스틱으로 손쉽게 작동할 수 있도록 한다. 유압실린더에 있는 오일의 분사 압력으로 인해 힘이 전달되는 것을 조절하는 것을 유압레버라고 하는데, 보조유압레버는 유압실린더의 동작을 보조하는 장치를 작동시킨다. 3점 링크 리프트는 트랙터의 견인력, 부하 등을 제어하여 고효율의 작업이 가능하도록 하며 부변속레버는 트랙터의 운행 속도를 조절한다. 주차 브레이크는 손으로 레버를 당겨 조작하는 브레이크로 핸드 브레이크 또는 사이드 브레이크라고도 한다. 4륜구동이란 네 바퀴 동시에 엔진의 동력이 전달되는 방식으로 4륜구동레버로 조작한다.

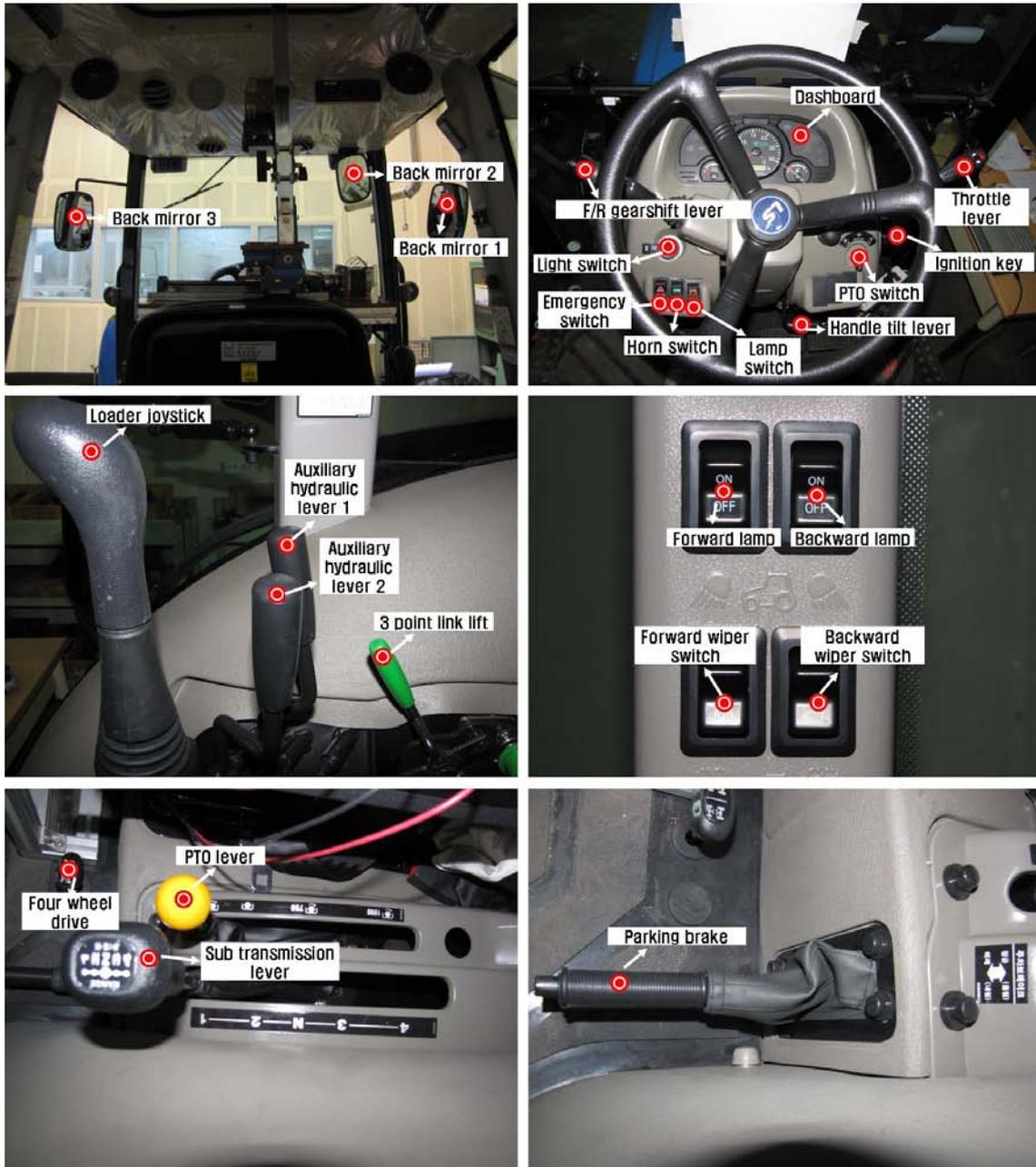


그림 2-11 트랙터의 뷰포인트.

트랙터의 정량적인 시계성 평가를 위해 본 연구에서 개발한 시계성 평가 시스템을 이용하여 작업자의 눈위치에서 트랙터의 뷰포인트를 측정할 수평, 수직 각도는 표 2-9와 같고 정확성을 위해 5번 반복하여 측정한 후 평균값을 계산하였다.

표 2-9 시계성 평가 시스템을 이용한 각도 측정 결과

View targets	Horizontal angle	Vertical angle
	Measured value (°)	Measured value (°)
Right back mirror	49.7±0.44	-6.1±0.54
Middle back mirror	33.4±0.42	0.2±0.33
Left back mirror	-38.7±0.88	-4.0±0.14
Dashboard	0.9±1.34	-37.2±1.10
Throttle lever	28.2±1.96	-34.2±0.48
F/R gearshift lever	-14.5±0.58	-34.1±2.77
Ignition key	23.4±1.12	-37.5±1.81
PTO switch	16.8±1.51	-41.6±1.26
Light switch	-12.1±0.11	-44.5±2.07
Lamp switch	-8.7±0.91	-49.9±1.48
Horn	-8.2±0.76	-45.9±1.33
Emergency blinker	-7.9±0.83	-44.5±1.26
Handle tilting lever	10.0±0.92	-52.1±1.19
Loader joystick	82.4±0.71	-44.6±1.32
Auxiliary hydraulic lever 1	87.7±0.49	-58.5±1.58
Auxiliary hydraulic lever 2	91.3±0.72	-58.1±0.12
3 point link lift	90.3±1.18	-57.1±0.78
PTO lever	-56.9±0.01	-68.5±0.98
Sub transmission lever	-56.8±1.80	-57.1±0.21
Parking brake	-51.9±1.76	-54.4±1.94
Four wheel drive	-40.1±0.35	-59.0±1.34
Backward lamp	97.8±1.02	-19.7±1.46
Forward lamp	99.8±0.76	-19.6±1.39
Forward wiper lamp	97.2±0.90	-21.0±0.52
Backward wiper lamp	100.2±0.01	-21.1±0.74

트랙터 뷰포인트의 정량적 평가 결과는 표 2-10과 같이 나타났다. 작업자의 오른쪽에 위치하는 백미러, 중앙에 위치하는 백미러, 왼쪽에 위치하는 백미러의 평균 평가점수는 각각 36점, 61점, 54점으로 나타나 중앙과 왼쪽의 백미러는 주시안정시야 영역인 43점보다 높게 나타났으나 오른쪽의 백미러는 낮은 수준으로 평가되었다. 계기판의 평균 평가점수는 50점으로 나타나 계기판의 시계성이 비교적 양호함을 알 수 있었다. 조속 레버와 전후진 레버의 평균 평가점수는 각각 43점과 51점으로 모두 주시안정시야 영역보다 높아 시계성이 매우 양호함을 알 수 있었다. 시동키와 PTO 스위치, 조명 스위치의 평균 평가점수는 각각 43점, 42점, 40점으로 나타나 작업자가 스위치에 대한 시계성을 쉽게 확보할 수 있음을 알 수 있었다. 작업등과 경적, 비상깜박이 스위치의 평균 평가점수는 각각 35점, 40점, 41점으로 나타나 시계성이 비교적 높게 나

타났으며 핸들 틸팅 레버 역시 평균 평가점수가 44점으로 주시안정시야 영역보다 높은 수준으로 평가되었다. 조작석 오른쪽에 위치하는 로더 조이스틱, 보조유압레버, 3점 링크 리프트의 평균 평가점수는 모두 0점으로 평가되어 시계성이 매우 저조함을 알 수 있었다. 조작석 왼쪽에 위치하는 PTO 레버, 부변속 레버, 주차 브레이크, 4륜 구동장치의 평균 평가점수는 각각 0점, 5점, 10점, 11점으로 나타나 시계성을 확보하는데 어려움이 있음을 알 수 있었다. 전, 후방 작업등 스위치와 전, 후방 와이퍼 작업등 스위치의 경우 모두 작업자의 뒤쪽에 위치해 시계성 평균 평가점수는 0점으로 나타났다.

본 연구에서 사용된 대부분 뷰포인트의 평균 평가점수가 주시안정시야 영역(43점)보다 낮은 수준으로 평가되어 작업자가 안정된 작업 자세에서 주요 장치의 작동 상태를 확인하기 어려운 것을 알 수 있다. 트랙터 작업 시 농업인의 안전성 및 편의성 향상을 위하여 주요 부분의 시계성을 주시안정시야 수준으로 향상할 필요가 있으며, 작업 환경을 고려한 조작석의 위치 조정, 프레임의 구조 변경 등으로 작업자의 시계성이 개선될 수 있을 것으로 판단된다.

표 2-10 시계성 평가 결과

Viewpoint	Point	Viewpoint	Point
Right back mirror	36	Loader joystick	0
Middle back mirror	61	Auxiliary hydraulic lever 1	0
Left back mirror	54	Auxiliary hydraulic lever 2	0
Dashboard	50	3 point link lift	0
Throttle lever	43	PTO lever	0
F/R gearshift lever	51	Sub transmission lever	5
Ignition key	43	Parking brake	10
PTO switch	42	Four wheel drive	11
Light switch	40	Backward lamp	0
Lamp switch	35	Forward lamp	0
Horn	40	Forward wiper lamp	0
Emergency blinker	41	Backward wiper lamp	0
Handle tilting lever	44		

## (2) 조작성 평가

조작성은 조작력 측정장치를 이용하여 그림 2-12와 같이 클러치 페달과 브레이크 페달 및 로더 조이스틱을 평가하였다. 클러치 페달은 기어 변속을 할 때 클러치 조작을 위해 밟는 페달이고 브레이크 페달은 운전자가 제동을 하기 위해 밟로 조작하는 페달이다.

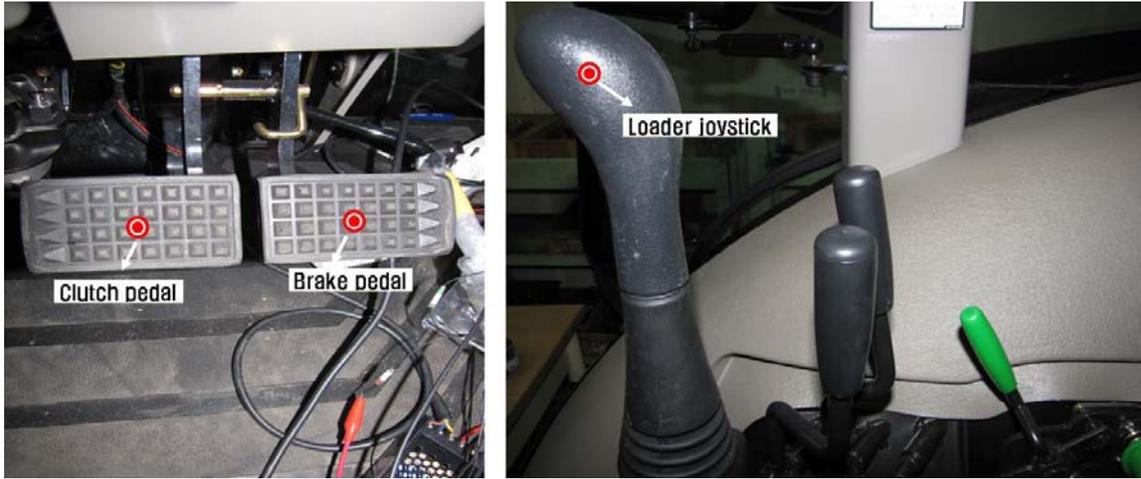


그림 2-12 조작성 평가 항목.

조작력 측정 결과는 표 2-11과 같다. 클러치 페달은 132.1 N, 브레이크 페달은 178.7 N, 로더 조이스틱은 30.1 N으로 나타나 모두 ISO가 기본 설계값으로 제시하였던 트랙터 조작장치의 최대조작력보다 낮음을 알 수 있다.

표 2-11 조작성 평가 결과

Object	Measured value (N)	ISO/TR 3778 (N)
Clutch pedal	132.1±2.94	350
Brake pedal	178.7±4.53	600
Loader joystick	30.1±1.13	70

다. 인간공학 기반 트랙터 변속레버의 3D 디자인 개발

레버의 가이드라인(guideline) 및 평가방법에 대한 자료(European Ergonomic and Safety Guidelines for Forest machines, 2006)를 살펴보면 레버를 너무 약하게 조작할 경우 작업 외의 동작이나 기계 장치의 진동에 의하여 오작동이 발생할 수 있고 너무 세게 조작할 경우 작업 속도에 영향을 줄 수 있다고 한다. 따라서 적절한 힘으로 레버를 조작하는 것이 중요하다. 기존에 특허로 개발되어 있는 인간공학형 레버에는 그림 2-13과 같이 운전자의 체형이나 운전 습관에 따라 변속로드부위를 가변할 수 있는 각도 조절형이 있고 그림 2-14와 같이 레버의 높이를 자유롭게 조절하여 다양한 체형의 운전자에게 최적의 운전 조건을 제공하는 높이 조절형이 있다. 또한 그림 2-15와 같은 조작력 조절장치가 있는데 이는 변속레버를 조작할 때 소요되는 작동시간을 검출한 후 이를 통해 조작력의 정도를 추측함과 더불어 이를 감소 또는 증가시키도록 함으로써 운전자의 특성이나 차량의 내구진행에 따라 조작력을 적정 수준으로 맞출 수 있다.

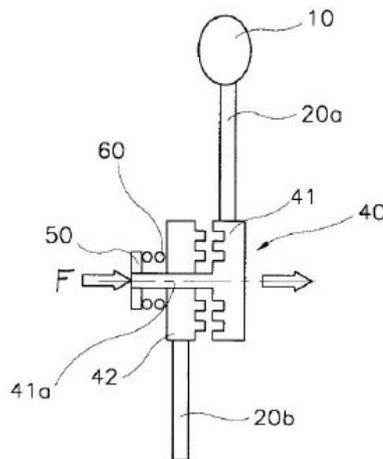


그림 2-13 각도 조절형 변속 레버의 도면.

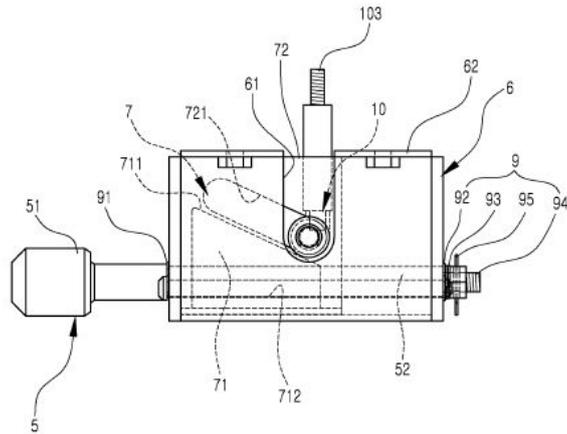


그림 2-14 높이 조절형 변속 레버의 도면.

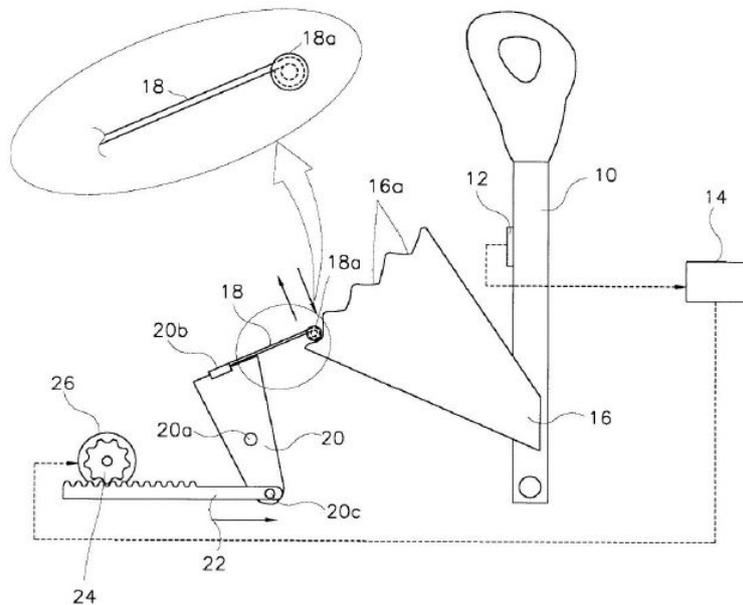


그림 2-15 변속 레버의 조작력 조절장치 도면.

본 연구에서 개발하려는 제품과 같은 기능을 구현하는 타사 제품의 변속레버를 조사하여 향후 개발할 제품에 참고할 수 있도록 3社 제품을 그림 2-16과 같이 조사하였다. (a)와 (b)는 동일 제품의 변속 레버를 다른 각도에서 찍은 사진이다. 이 제품의 경우 주변속 레버에 미세 조정이 가능한 다이얼 타입의 조절 장치를 추가하여 미세 조정을 할 때 조작자의 부담을 덜어준다는 장점이 있다. (c)는 레버의 변속 단계를 눈으로 보기 쉽게 표현하여 작업이 편리하도록 하였다. (d)는 레버 위에 단추를 추가하여 미세한 동작이 가능하도록 하였다. 그러나 미숙한 작업자에게는 작업 실수를 유발할 수 있다는 단점이 있다.



(a) (b) (c) (d)

그림 2-16 타사 제품의 변속 레버.

운전자가 트랙터의 레버를 작동할 때 발생하는 조작력에 미치는 인자를 분석하기 위해 그림 2-17과 같이 레버 링크부의 작동 원리를 분석하였다. 식 (2-4)와 같이 레버 조작을 위한 레버 토크( $T$ )는 링크부의 트러스트 와셔(trust washer)의 내경( $d_i$ ) 및 외경( $d_o$ )과 전단력( $\tau$ )에 영향을 받으며 이 때 레버의 작용을 위한 허용응력( $\sigma_s$ )은 최대 전단력( $\tau_{max}$ )의 두 배로 나타난다. 레버의 조작을 위한 작동면 압력( $P_m$ )은 레버를 움직이기 위한 회전 마찰력( $F$ )을 링크부의 트러스트 와셔의 면적( $A$ )으로 나눈 것으로, 이것은 레버의 조작력( $F_1$ ), 링크의 조작력( $F_2$ ), 레버의 길이( $d_1$ ), 링크까지의 거리( $d_2$ ), 트러스트 와셔의 내외경 길이에 영향을 받는다. 본 연구에서는 트랙터 설계의 변경이 어려워 트러스트 와셔의 내외경의 길이는 일정하다고 가정하였다. 링크 조작을 위한 작동면 압력은 레버 및 링크의 조작력, 레버의 길이, 링크까지의 거리에 영향을 받으며, 레버 및 링크의 조작력은 레버의 길이 및 링크의 길이에 따른 종속변수 이므로 링크의 조작을 위한 작동면 압력에 영향을 미치는 변수를 운전자와 레버 및 링크의 길이로 하여 레버의 인간공학적 최적 설계를 수행하였다.

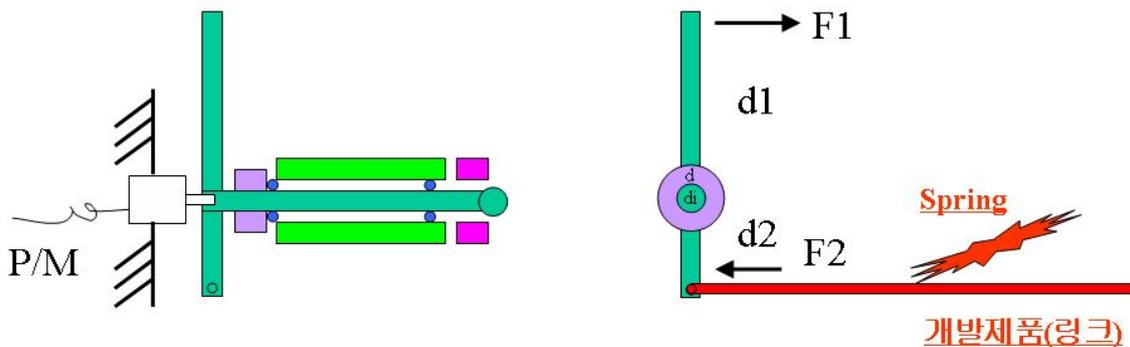


그림 2-17 레버 링크부의 모식도.

$$T = \frac{\pi}{16} d_o^3 (1 - n^4) \tau, n = \frac{d_i}{d_o} \dots\dots\dots \text{식 (2-4)}$$

$$\sigma_s = 2\tau_{\max}$$

$$P_m = \frac{F}{A} = \frac{2(F_1 \times d_1 + F_2 \times d_2)}{A(d_o - d_i)}$$

인체공학적인 레버를 설계하기 위하여 그림 2-18과 같은 기구학적 분석 모델을 개발하여 그림 2-19와 같이 레버의 조작력을 분석하였다. 트러스트 와셔의 위치 ( $P_x, P_y$ )는 식 (2-5)와 같이 나타낼 수 있으며 이 때 작용하는 힘의 크기는 레버의 지지점 (A,C,D)와 트러스트 와셔(2)의 수직, 수평거리에 영향을 받게 된다. 이를 이용해 레버에 걸리는 레버 조작력을 분석하면 레버 작동력은 레버의 질량(m), 중력 가속도(g), 레버의 길이, 링크까지의 거리를 변수로 가지게 되며(식 (2-6)), 마찬가지로 운전자와 레버 및 링크의 길이를 변수로 하여 레버의 조작력인 작동면 압력에 영향을 분석할 수 있다.

레버에 영향을 미치는 각 변수가 조작력에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 실제 조작력을 알아야 하므로 본 연구에서는 조작력 측정 장치를 이용하여 현재 사용 중인 트랙터의 레버 및 페달의 조작력을 측정한다.

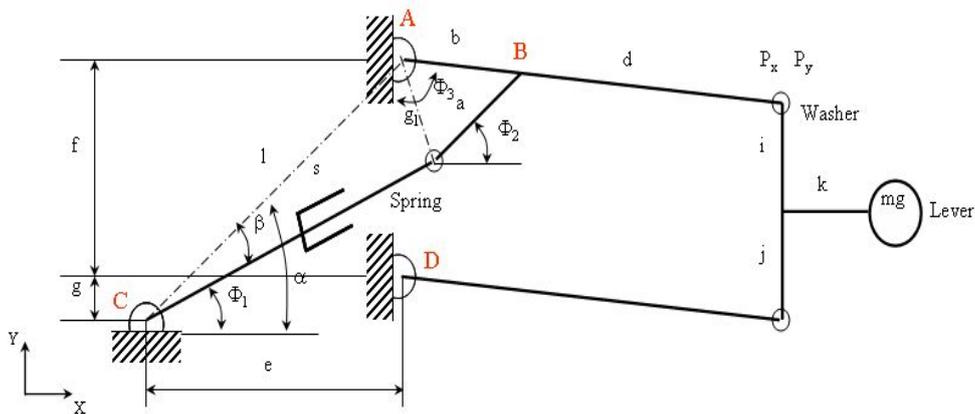


그림 2-18 레버 링크부의 기구학적 분석 모델.

$$P_x = e + (b + d) \sin \phi_3 \dots\dots\dots \text{식 (2-5)}$$

$$P_y = (f + g) - (b + d) \cos \phi_3$$





그림 2-21 다이얼 타입의 레버.

(나) 레버 설계

콘셉트 디자인된 제품의 레버 설계를 위하여 그림 2-22와 같이 다이얼 타입의 속도 변환 장치를 추가하였다. 이는 기존의 방식에 다이얼만 추가한 것으로 동작구현에 영향을 끼치지 않는 위치에 설치하도록 하였다.



그림 2-22 다이얼 타입의 속도 변환 장치.



그림 2-23 다이얼 타입의 속도 변환 장치 추가부.

(다) 인간-기계 인터페이스

인체와 기계와의 인터페이스는 그림 2-24와 같이 시뮬레이션 하였다. 다이얼을 부착한 레버

의 동작과 기존의 동작이 어떻게 다른 결과를 유발 하는지 검토하여 새로운 방식으로 편의성을 제공하였다.

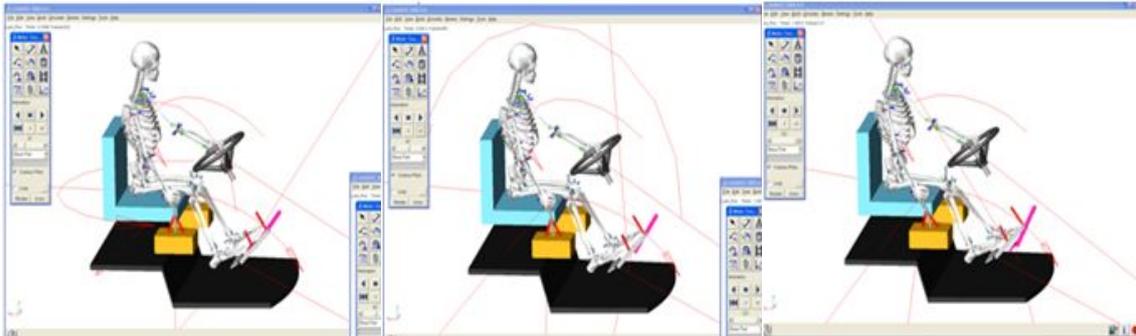


그림 2-24 시뮬레이션을 이용한 레버 설계 평가.

## (2) 변속 레버의 3D 디자인

설계 및 분석을 통하여 변속 레버의 3D 디자인 결과는 그림 2-25와 같다. 그림에 표시되어 있는 ①번과 ③번은 커버의 역할을 하는 하우징이고 ②번과 ④번은 변속을 할 수 있는 회전 플레이트와 기관이다. ⑤번 역시 변속을 위한 변속 핸들이며 ⑥번은 변속 위치를 나타내는 볼 플런저이며 ⑦번은 지지대 역할을 하는 샤프트다. ⑧번과 ⑨번은 볼 플런저와 연결되는 스프링과 지지대이며 고정을 위해 ⑩번의 스크류를 디자인하였다. 각각의 품명에 대한 기능은 표 2-12과 같고 변속부 외관의 3D 도면은 그림 2-26과 같다.

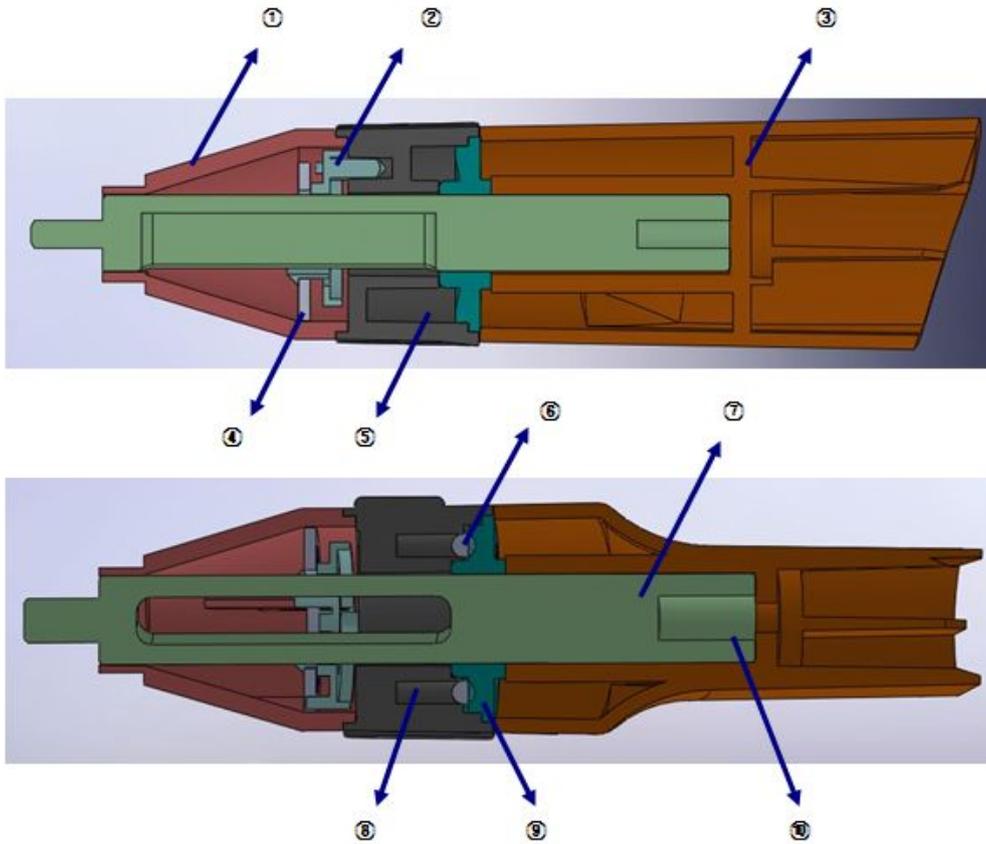


그림 2-25 변속부 내부 3D 도면.

표 2-12 레버의 요소 부품 및 기능

Number	Part name	Function
①	Housing 1	Cover
②	Revolution plate	Transmission
③	Housing 2	Cover
④	Circuit board	Transmission
⑤	Transmission handle	Transmission
⑥	Ball plunger	Transmission position
⑦	Shaft	Support
⑧	Ball plunger spring	Connected with ball plunger
⑨	Ball plunger support	Connected with ball plunger
⑩	Screw	Fix

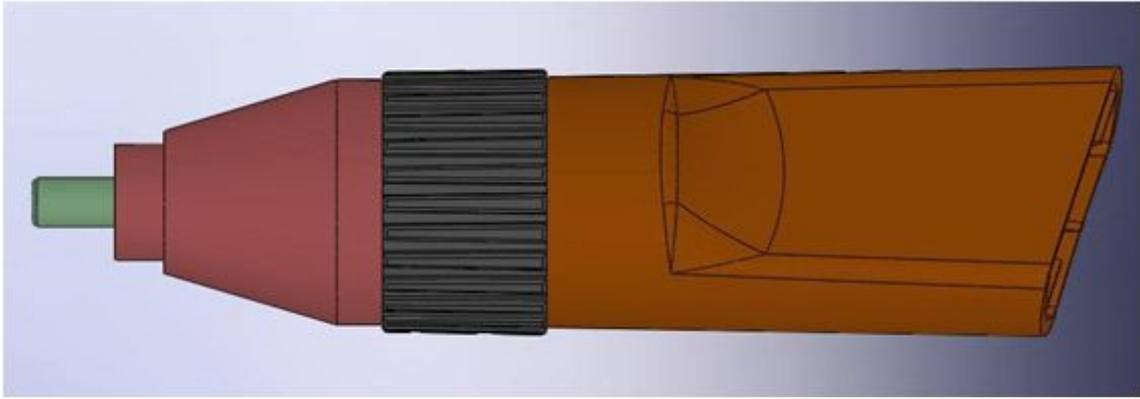


그림 2-26 변속부 외관 3D 도면.

## 2. 인간공학 기반의 트랙터 변속레버 시제품 개발

### 가. 시뮬레이션을 통한 변속레버의 최적설계 및 시제품 개발

#### (1) 1차 시제품 평가

자동화수동변속기의 경우 액추에이터에 의해 변속구조를 유지하고 운전자 변속레버의 기계적인 연결을 스위치 혹은 버튼으로 대신하는 형태로 운전자의 핸들 및 조작의 편리성을 고려한 위치에 장착할 수 있다. 이러한 기술을 적용함으로써 복잡한 교통 환경에서 변속조작에 의해 발생될 수 있는 사고의 위험성을 최소화하며 편리성을 증대할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 공간적 제약을 많이 받았던 기존의 변속레버를 스위치 또는 버튼화 시킴으로써 더욱더 소형화와 경량화된 변속시스템을 구현할 수 있다.

트랙터의 경우 작업별 토양별로 걸리는 부하가 다르기 때문에 원하는 최적 출력을 위해 변속단수가 일반 차량에 비해 세분화 되어야한다. 이에 따라 전후진변속, 주변속, 부변속으로 변속이 세분화되어있고 변속레버 또한 각각 나뉘져 있다. 3개로 세분화된 변속레버는 많은 공간을 필요로 하고 작업 시 여러 레버를 조작해야하기 때문에 작업의 번거로움과 오작동으로 인한 안전사고 등의 문제점이 있다. 특히 부변속 레버는 쟁기, 로타리, 로더 등의 작업에 따라 작업 시작 전에 고정해놓고 사용하기 때문에 실제 작업 시 주로 사용하는 레버는 전후진 레버와 주변속 레버이다. 이에 그림 2-27과 같이 두 레버를 하나로 합쳐 제작하여 여러 레버를 조작함에 따라 발생하는 번거로움과 오작동으로 인한 안전사고를 방지할 수 있도록 하였다.



그림 2-27 1차 시작품 변속레버.

1차 시작품은 레버를 앞과 뒤로 움직여 전진, 후진, 중립을 결정하고 다이얼을 회전하여 주 변속을 제어할 수 있다. 이렇게 제작한 레버를 형태를 고려하여 그림 2-28과 같이 핸들의 왼쪽에 부착한 후, 앞서 선정된 조작성, 시계성, 접근성 평가를 실시하였다.



그림 2-28 1차 시작품의 장착 모습.

#### (가) 조작성 평가

앞선 연구에서 조작성이란, 작업자가 기계 따위를 일정한 방식에 따라 다루어 움직일 때 작업이 잘 처리되는 정도로 정의되며 본 연구에서는 농작업자가 착좌 자세에서 변속레버를 편안하게 조작하고 오조작이 없도록 설계하는 정도로 정의하였다. 이러한 조작성의 객관적이고 정량적인 평가를 위하여 근력 측정 장치를 이용하여 조작력을 측정하였다.

조작력의 측정 방법은 근력 측정 장치를 이용하여 중립에서 전진, 전진에서 중립, 중립에서 후진, 후진에서 중립방향으로 움직일 때 필요한 근력을 3회 반복 측정하여 평균을 구하였다. 측정된 결과는 국제표준기구(International Organization for Standardization, ISO)에서 제시한 설계기준과 비교하였고 그 결과는 표 2-13과 같다. 1차 시작품의 전후진 변속에 대한 조작력은 전후진 변속 시 44.6 N, 중립 변속 시 39.4 N으로 모두 ISO의 기본 설계 값보다 낮음을 알 수 있다(손가락 조작 20 N, 손조작 100 N). 개발된 트랙터 레버의 시작기는 모두 ISO 규격을 초과하지 않았으나 현재 본 연구에서 적용한 기준은 토공기계의 규격이며, 현재 국내 농업인이 노인 및 부녀가 대부분인 시점을 고려할 때, 농업기계에 적합한 ISO 규격이 필요한 실정이다. 그러므로 현재 농업인의 인체 특징을 고려한 조작력의 ISO 규격을 고려하여 현재 측정된 조작력을 다시 분석하여 인체공학적인 조작부를 설계하는 것이 필요하다.

표 2-13 변속레버의 조작력 평가 결과

	Measured value (N)	ISO/TR 3778 (N)
N → F	44.1±1.87	100
F → N	39.7±0.98	
N → R	45.2±1.34	
R → N	39.2±0.81	

\*N : Neutral, F : Forward, R : Reverse

#### (나) 시계성 평가

본 연구에서는 트랙터의 변속레버에 대한 시계성을 정량적으로 평가하기 위해 인체의 시계 영역을 판별시야(perceptive field of view), 유효시야(effective field of view), 주시안정시야(stable gaze field of view), 유도시야(induced field of view), 보조시야(auxiliary field of view)로 나누어 평가점수를 부여하였다. 평가점수는 그림 2-29와 같이 판별시야의 영역을 100 점, 보조시야 영역을 0점으로 기준을 잡고 각각의 시야 영역에 따른 면적을 계산하여 시야 영역의 면적이 증가할수록 즉, 인체의 시야 중심에서의 거리가 멀어질수록 낮은 평가점수를 갖도록 설정하였다. 각 시계 영역의 경계선은 타원의 방정식으로 나타낼 수 있어 뷰포인트별로 측정되는 수직, 수평 각도에 따라 뷰포인트가 포함된 타원의 면적을 구하여 각 뷰포인트에 대한 평가점수를 계산할 수 있다. 작업자 눈의 위치와 뷰포인트까지의 거리에 따라 타원의 면적이 다르게 나타나므로 측정된 면적을 보조시야(0점)까지의 총면적으로 나눈 비율을 이용하여 평가점수를 결정하였다.

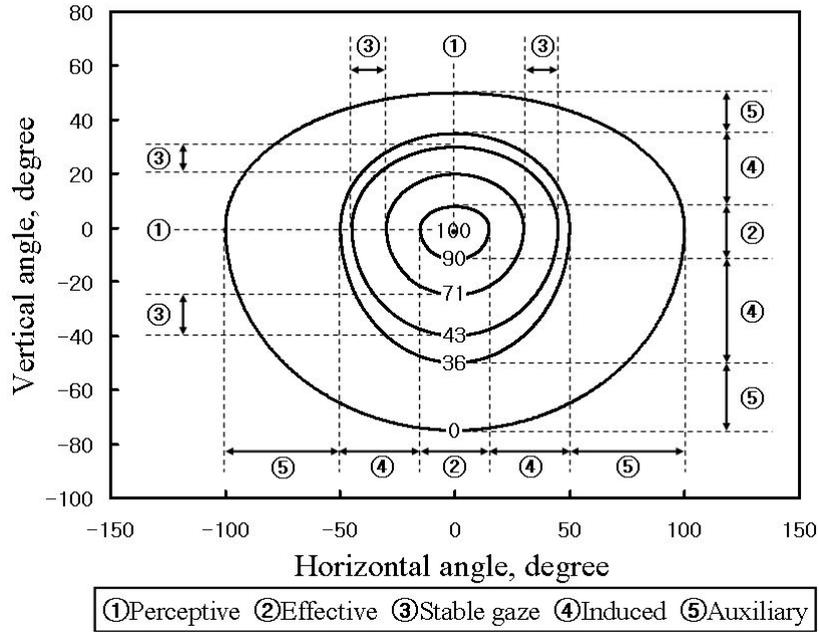


그림 2-29 인체 시야 범위의 특성에 따른 시계성 평가 점수.

시계영역은 눈의 위치에서 뷰포인트의 수직각도와 수평각도에 따라 구분되며 개발된 시계성 평가 시스템을 이용하여 이 각도를 측정하였다. 트랙터의 정량적인 시계성 평가를 위해 본 연구에서 개발한 시계성 평가 시스템을 검증하기 위해 표 2-14와 같이 운전자의 눈위치에서 트랙터의 조망대상을 측정한 수평, 수직 각도를 트랙터의 설계도면과 비교·분석하였다. 트랙터는 현재 국내에서 판매중인 50마력의 트랙터(LS U50, LS Mtron, Korea)를 사용하였으며, 실험은 계기판, 전후진 레버, 주변속 레버, 부변속 레버, PTO 스위치 5가지의 조망대상에 대해 수행하였다. 운전자의 눈위치는 45 ~ 69세인 농업인의 평균 체형을 고려하여 SIP를 기준으로 위로 78 cm, 앞으로 17 cm인 지점으로 선정하였다. 시계성 평가 시스템을 이용하여 수평, 수직 각도를 5회 반복 측정하였으며, 개발한 시계성 평가 시스템의 검증을 위해 뷰포인트별로 설계도면에서 계산한 수평, 수직 각도와 각각 쌍차 t-검정을 수행하였다. 쌍차 t-검정은 상용화된 통계분석 프로그램인 SAS (version 9.1, SAS Institute, USA)를 이용하여 유의수준 5%에서 수행하였다.

표 2-14 시계성 평가 시스템 검증을 위한 실험 설계

Input	Output	Analysis
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experimental tractor : 47 Hp, L社</li> <li>• View targets : dashboard, F/R shift lever, main shift lever, sub shift lever, PTO switch</li> <li>• Eye point : at sitting straight</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Horizontal angle (degree)</li> <li>• Vertical angle (degree)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paired t-test with designed dimensions of drawings</li> </ul>

트랙터의 시계성 평가 시스템을 검증하기 위해 L사 트랙터 주요 뷰포인트의 수평, 수직 각도를 측정하여 설계도와 비교·분석한 결과는 표 2-15와 같다. 계기판은 설계도의 경우 수평, 수직 각도가 각각 0.7°와 -36.8°로 나타났으며, 시계성 평가 시스템의 경우 0.9°, -37.2°로 나타나 유의수준 5%에서 차이가 없는 것을 확인하였다. 전후진 레버는 설계도와 시계성 평가 시스템에서 수평 각도가 각각 -14.1°와 -14.5°로 나타났으며, 수직 각도가 각각 -34.6°, -34.1°로 나타나 유의한 차이가 없는 것을 알 수 있었다. 주변속 레버는 설계도에서 수평 각도가 27.9°, 수직 각도가 -34.5°로 나타났으며, 시계성 평가 시스템으로는 수평, 수직 각도가 각각 28.2°, -34.2°로 측정되어 유의수준 5%에서 차이가 없는 것을 알 수 있었다. 부변속 레버는 설계도와 시계성 평가 시스템에서 수평 각도가 각각 -57.4°와 -56.8°로 나타났으며, 수직 각도가 각각 -56.3°, -57.1°로 나타나 유의수준 5%에서 차이가 없는 것을 확인하였다. PTO 스위치는 설계도에서 수평 각도가 -15.9°, 수직 각도가 -16.8°로 나타났으며, 시계성 평가 시스템으로는 수평, 수직 각도가 각각 -41.9°, -41.6°로 측정되어 유의수준 5%에서 차이가 없는 것을 알 수 있었다. 시계성 평가 시스템으로 측정된 각 뷰포인트의 수평, 수직 각도가 설계도상의 실제 값과 통계적으로 유사한 것으로 나타나 개발된 시스템으로 트랙터의 시계성을 평가하기 위한 각도 측정이 가능한 것으로 판단된다.

표 2-15 시계성 평가 시스템 검증 결과

	Horizontal angle			Vertical angle		
	Actual value (°)	Measured value (°)	t-value	Actual value (°)	Measured value (°)	t-value
Dashboard	0.7	0.9±1.34	1.02	-36.8	-37.2±1.10	-1.23
F/R shift lever	-14.1	-14.5±0.58	2.21	-34.6	-34.1±2.77	1.48
Main shift lever	27.9	28.2±1.96	-1.49	-34.5	-34.2±0.48	-0.32
Sub shift lever	-57.4	-56.8±1.80	-1.80	-56.3	-57.1±0.21	-2.62
PTO switch	-15.9	-16.8±1.51	2.18	-41.9	-41.6±1.26	0.68

개발된 1차 시작품의 시계성 평가를 위해 뷰포인트를 전후진을 담당하는 손잡이부분과 주변속을 담당하는 다이얼부분 두 곳으로 결정하고 앞서 검증된 시계성 평가 프로그램을 이용하여 수직, 수평각도를 5회 반복 측정하였다. 그 결과 전후진부의 평균 수직각도와 수평각도는 각각 -14.5°, -34.1°로 나타났고 주변속부의 평균 수직각도와 수평각도는 각각 -13.4°, -33.7°로 나타났다. 시계성 평가 시스템을 이용하여 수직각도와 수평각도를 측정한 후 이를 이전 연구에서 개발한 시계성 평가 프로그램을 이용하여 시계성 평가점수를 산출하였다. 전후진부의 결과는 51점이고 주변속부의 결과는 53점으로 둘 다 유효시야 영역에 포함되어 시계성이 확보되는 것으로 나타났다.

표 2-16 1차 시작품의 시계성 평가 결과

View point	Horizontal angle (°)	Vertical angle (°)	Evaluation score (point)
F/R shift lever	-14.5 ± 0.12	-34.1 ± 0.29	51
Main shift dial	-13.4 ± 0.32	-33.7 ± 0.27	53

(다) 접근성 평가

시작품의 접근성은 한국 산업규격 중에서 편리하고 접근 가능한 운전 영역(KS B ISO 6682)

을 기준으로 하였다. 이 규격은 1986년 제2판으로 발행한 ISO 6682 Earth-moving machinery-Zones of comfort and reach for controls를 번역하여 기술적 내용 및 규격서의 서식을 변경하지 않고 작성한 한국 산업규격으로 큰 체구 및 작은 체구의 운전자 모두가 앉은 위치에서 닿을 수 있는 편리하고 접근 가능한 운전 영역을 정의하며, 토공 기계 운전실 내의 조종에 대한 설계 지침을 명시한다.

### ① 인용규격

다음에 나타내는 규격은 이 규격에 인용됨으로써 이 규격의 규정 일부를 구성한다.

- KS B ISO 3411 : 2005 토공 기계 - 운전자의 신체 치수 및 최소 운영 공간
- KS B ISO 5353 : 2005 토공 기계, 트랙터와 농업 및 임업용 기계 - 좌석 기준점
- KS B ISO 6746-1 : 2004 토공 기계 - 치수 및 기호의 정의 - 제1부 : 기본 장비

### ② 정의

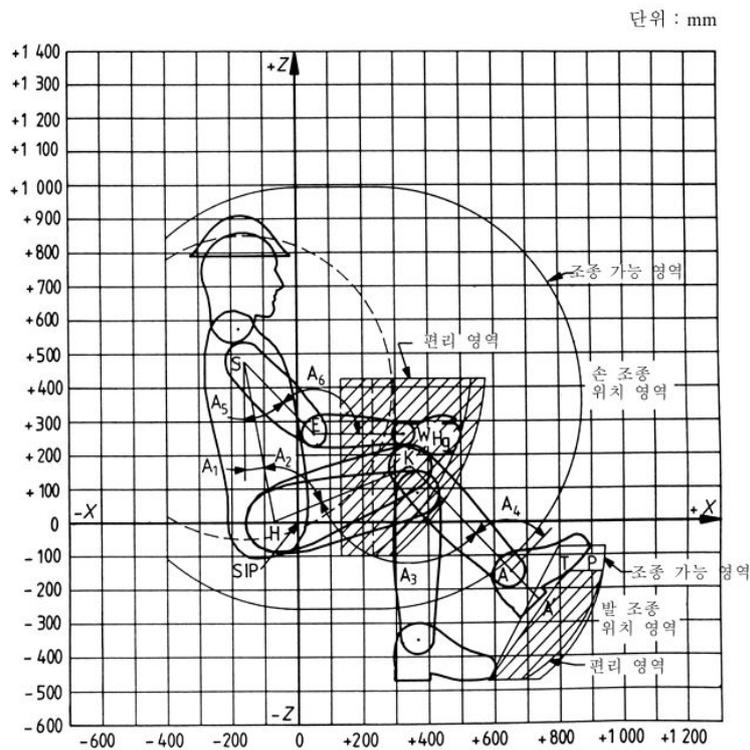
이 규격에서 사용하는 주된 용어의 정의는 다음에 따른다.

- SIP(Seat Index Point) : KS B ISO 5353에 정의한 SIP(좌석 기준점 : 표준 시트 조절로 고정된 상태)
- 조종 변위 : 운전 EH는 조종 작동 범위
- 조종 위치 : SIP로부터 정의되는 작동 범위를 포함한 조종 장치의 위치이다.
- 주 조종 장치 : 다음은 운전자가 자주 또는 연속적으로 사용하는 조종 장치다.
- 보조 조종 장치 : 운전자가 간헐적으로 사용하는 조종 장치. 예를 들어 각종 등, 와이퍼, 시동기, 히터, 에어컨 등
- 편리 영역 : 주로 사용하는 손 및 조종 장치에 대한 편리한 조종 영역이다. 큰 체구 및 작은 체구의 운전자 모두가 이러한 조종 영역에서 편리하게 조종 장치에 닿을 수 있어야 한다.
- 조종 가능 영역 : 자주 사용하지 않는 손과 발 조종 장치에 대한 조종 위치 영역이다. 큰 체구 및 작은 체구의 운전자 모두가 앉은 자세에서 이러한 조종 영역에서 조종 장치에 닿을 수 있어야 하지만, 운전자가 몸을 돌리거나 앞 또는 다른 방향으로 기울일 수도 있다.
- XYZ 좌표 시스템 : 조종 영역 위치를 정의하는 데 사용하는 좌표 시스템이다.
  - 원점은 SIP
  - X축 : 전후(SIP의 전방, +)
  - Y축 : 좌우(SIP의 우측, +)

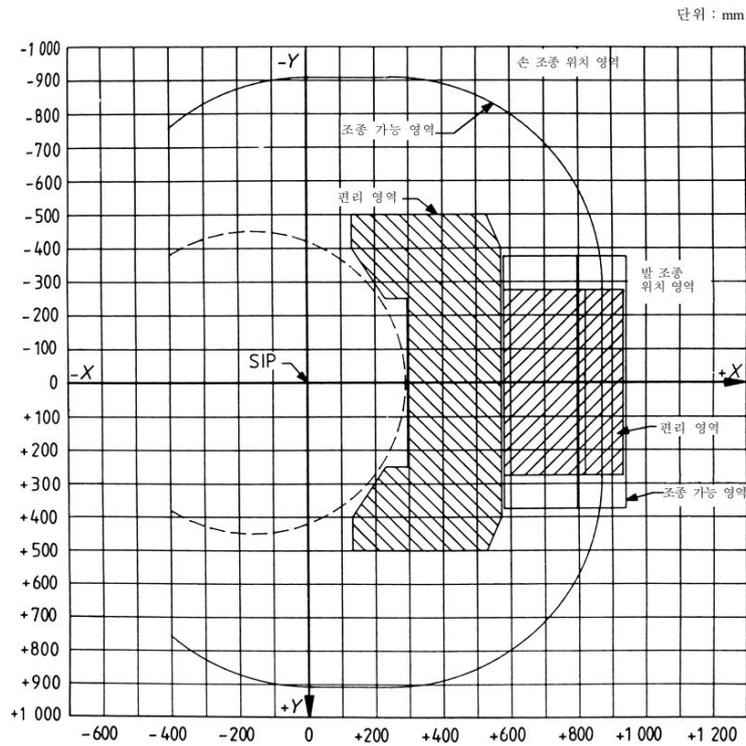
- Z축 : 상하(SIP의 상부, +)
- KS B ISO 6746-1 참조
- 관절 꺾임 : 몸 각부의 각도를 변화시키는 움직임
- 안쪽 꺾임 : 관절 꺾임 면에서 수직으로 몸체의 중간축(XZ 평면)을 향하는 움직임
- 바깥쪽 꺾임 : 관절 꺾임 면에서 수직으로 몸체의 중간축(XZ 평면) 바깥쪽을 향하는 움직임
- 회전 : 축의 원 둘레로의 움직임

③ 조종 위치 영역

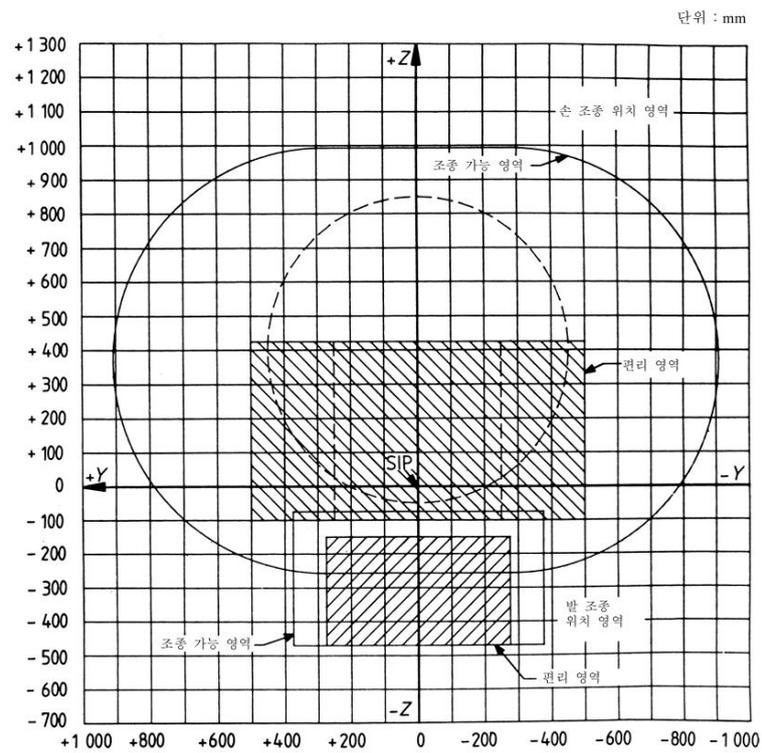
- 조종 위치 영역은 SIP와의 관계에서 결정된다.
- 손과 발의 편안한 조종 가능 영역은 그림 2-30에 나타내었다.



(a) 측면



(b) 평면



(c) 정면

그림 2-30 조종 가능 영역.

- 조종 위치 영역은 큰 체구 및 작은 체구의 운전자 모두가 조종할 수 있는 영역으로 정의

된다.

- 손으로 조종하는 편리 영역은 운전자가 둘러 앉은 자세에서 손목을 사용하여 뒤에 있는 조종 장치의 조작을 위해 SIP를 지나는 수직 축에 대해 최대 30°까지 회전될 수 있다.
- 손의 조종 편리 영역과 조종 가능 영역은 손가락 그림에 의해 작동되는 조종 장치에 대해서 75 mm 증가될 수 있다.

#### ④ 조종 위치 영역에 적용하는 특정 조건

- 시트 등받이는 10° 경사지게 하고 폭 500 mm로 한다. 조종 위치 영역은 표준 시트 등받이가 (10±5)°의 경사를 초과하거나 폭이 550 mm 이상인 경우에는 조종 위치 영역에 영향이 있다.
- 큰 체구 및 작은 체구의 운전자가 앉을 경우에는 개인적인 신체 특성에 따라 시트의 상하 높이를 75 mm(권장) 내에서 할 수 있다. 예를 들어, 긴 다리에 짧은 팔을 지니거나 긴 몸통에 짧은 다리를 지닌 체구 등
- 시트가 전후 150 mm 조절되는 경우에는 작은 체구의 운전자는 가장 앞으로 조절하고 큰 체구의 운전자는 가장 뒤로 조절한다.

#### ⑤ 트랙터의 편리하고 접근 가능한 운전 영역

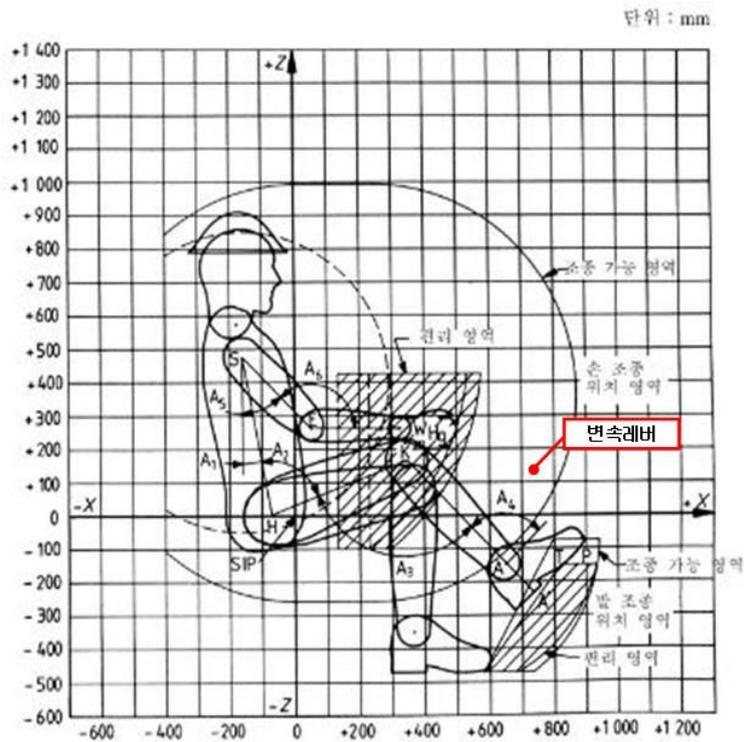
트랙터 운전에 중요하며 빈번히 사용되는 장치는 편안한 작업 자세에서 쉽게 닿을 수 있는 리치(reach) 내에 있어야 한다. 트랙터 내의 변속레버에 대한 리치평가를 수행함으로써 작업자가 편안한 자세에서 조작할 수 있는지를 평가할 수 있다. 만약 이를 만족하지 못할 경우에는 레버의 위치를 변경하면서 리치평가를 수행한다. 이러한 과정을 반복함으로써 편안한 자세에서 각 구성요소들을 조작할 수 있도록 설계할 수 있다.

리치 평가를 수행하기 위해서는 인체를 구성하는 관절에 대한 인체치수가 필요하다. 인체를 구성하는 관절은 부위에 따라 한 축으로만 회전이 가능한 관절인 접변관절(팔꿈치, 무릎, 손가락, 발가락 등), 세 축으로 회전이 가능한 구관절(어깨, 고관절) 등 종류가 다양하고 근육과 인대가 관절을 가로질러 붙어있어 운동한계에 상호작용하게 되므로 이를 고려한 리치평가가 이루어지도록 하여야 한다.

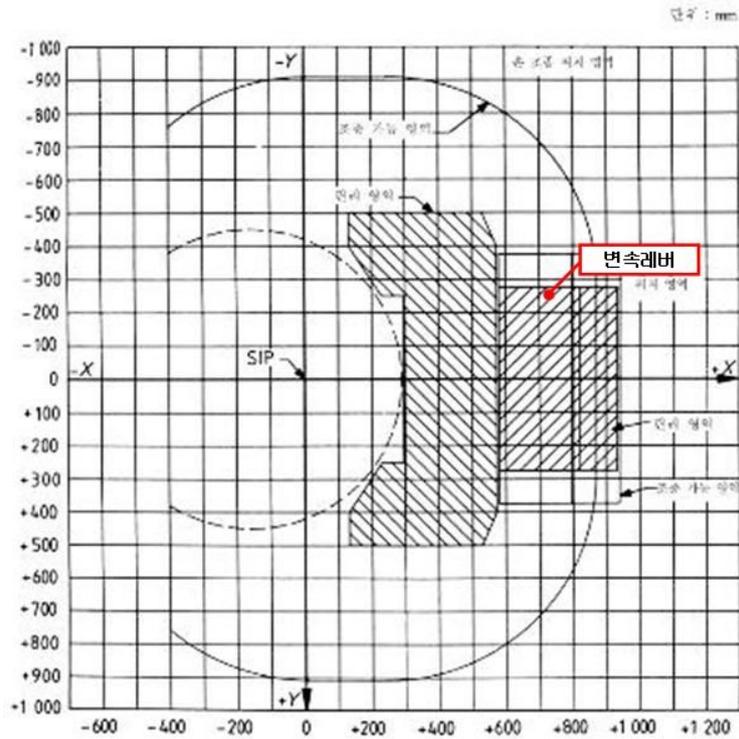
전후진 레버, 주변속 레버, 부변속 레버 등 트랙터의 주 조종 장치는 어깨관절에서의 운동에 의한 상지의 리치평가의 대상이 되는데, 레버의 조작을 트랙터 내의 운전자가 편안하게 앉은 자세에서도 조작할 수 있는지의 여부를 판정하기 위해 팔을 뻗은 상태에서 리치평가를 수행하여야 한다. 이 때, 어깨 관절이 운동할 수 있는 영역 내에서 팔을 곧게 뻗은 자세로 손이 도달할 수 있는 거리를 포락면의 형태로 표시하고 트랙터 내부의 레버 배치 시 이용함으로써 보

다 능률적이고 안락한 트랙터 변속레버를 설계할 수 있다.

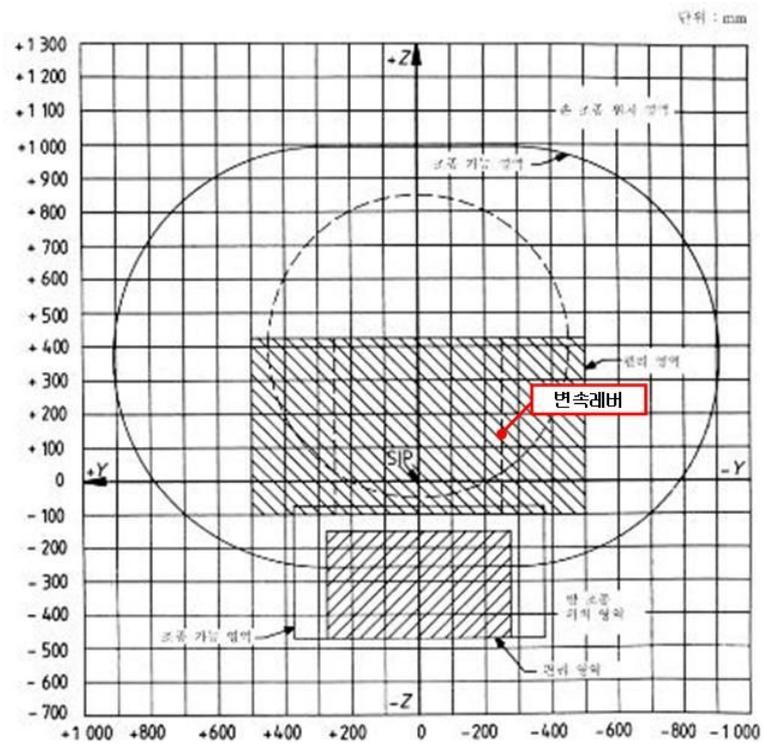
본 연구에서는 앞서 언급한 편리하고 접근 가능한 운전 영역(KS B ISO 6682)을 이용하여 큰 체구 및 작은 체구의 운전자 모두가 앉은 위치에서 닿을 수 있는 편리하고 접근 가능한 운전을 정의하고 1차 시작품에 대한 리치평가를 수행하였다. 운전자가 자주 또는 연속적으로 사용하는 전후진 레버와 주변속 레버를 통합한 1차 시작품의 3차원 좌표는 SIP점을 원점으로 할 때 (720, -250, 120)로 나타났고, 이 좌표에 따른 리치평가를 수행한 결과 그림 2-31과 같이 변속레버가 편리영역이 아닌 조종가능 영역에 위치함을 확인 할 수 있었다.



(a) 측면



(b) 평면



(c) 정면

그림 2-31 변속레버의 리치평가 결과.

(2) 변속레버의 최적화 시뮬레이션

1차 시작품을 대상으로 조작성, 시계성, 접근성을 평가한 결과를 보면 조작성은 ISO기준을 만족하고 시계성도 유효시야에 있어 좋은 결과를 나타냈지만 접근성에서는 편리영역 안에 들어오지 않는 문제가 있었다. 트랙터 작업 중 변속레버는 가장 빈번히 사용하고 특히 주변속의 경우 적정 속도 유지를 위해 상시 잡고 있는 경우가 많기 때문에 1차 시작품의 경우 접근성의 문제로 개선이 필요함을 확인할 수 있었다. 전후진 레버와 주변속 레버를 통합하는 것은 레버의 배치와 조작의 편이성에 유리하기 때문에 이를 유지하면서 접근성 평가에 만족할 수 있는 레버의 설계가 필요하다.

자동변속기의 경우 수동변속기에 비해 오조작 가능성 때문에 제품에 대한 신뢰성이 요구되며(권, 2008) 이에 따라 조작성이 작을수록 좋기보다는 ISO 기준 내에서 적절한 조작성을 필요로 한다. 레버의 조작성에 영향을 미치는 변수로는 내부적으로는 변속레버의 스프링 상수와 외부적으로 운전자와 레버사이의 각도 및 거리가 있다. 변속레버의 오조작을 방지하기 위해서는 스프링 상수 값이 크면 좋지만, 스프링 상수 값이 너무 크다면 운전자가 변속레버 조작 시 많은 힘이 요구되어 편이성이 떨어진다. 이 두 가지 조건을 절충하기 위하여 스프링 상수를 크게 하되 변속레버의 위치 및 형태를 변경함으로써 조작 시 필요한 힘을 감소시킬 수 있다.

변속레버의 조작성을 최소화 하면서 접근성의 편리영역 내에 들어오는 위치 및 형태를 결정하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하였다. 디자인 설계 시 시뮬레이션을 이용하면 설계 변경에 따른 비용과 노력을 절감할 수 있기 때문에 효율적인 설계가 가능하다. 본 연구에서는 트랙터 운전자의 생체 역학적 분석을 위해 인체 모델을 이용하여 기구학적 요인과 운동학적 요인들을 측정하고, 동역학 해석 프로그램인 ADAMS (version 2005, MSC Software, USA)를 이용하여 시뮬레이션 하였다. ADAMS는 기계 조립품의 복잡한 거동을 해석하기 위한 운동 시뮬레이션 제품으로, 물리적인 조립과 테스트 없이 성능, 안전성, 안락감등을 가상으로 확인할 수 있도록 한다. 시뮬레이션을 이용한 트랙터 변속레버 설계는 그림 2-32와 같은 순서로 인체 모델 및 작업 공간 두 부분으로 나누어 연구를 수행하였다. 첫째는 트랙터 운전자를 대표하는 인체 모델을 구성하고, 설계된 레버 형태에 알맞은 작업 자세를 잡는 부분과 트랙터 작업공간을 구성하는 일이다. 이 부분은 트랙터의 기본적인 기능을 수행 할 수 있을 만큼 자세하게 구현하는 일이 중요하다. 그렇지 않으면 모의실험을 수행하는 연산시간이 길어질 뿐 아니라 문제가 발생할 때 에러를 제거하는 작업에 많은 시간이 소비된다.

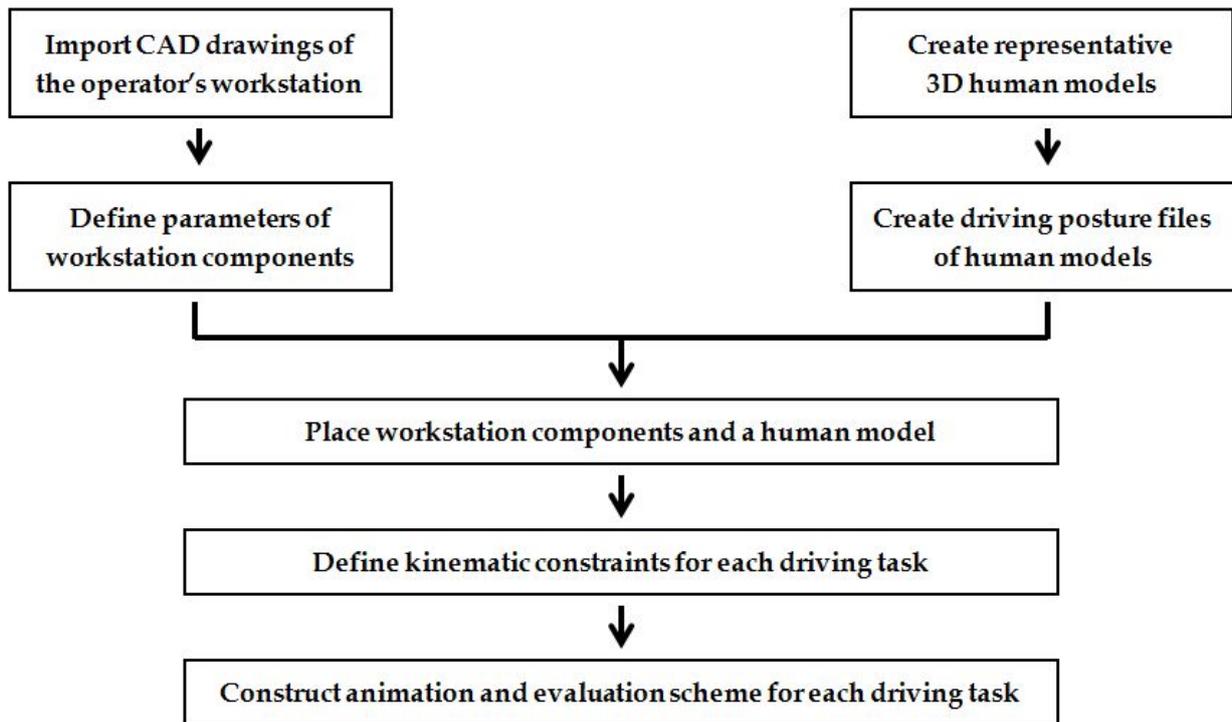


그림 2-32 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 트랙터 변속레버 설계.

트랙터 운전자는 40~60대 남성을 대표하는 인체 모델로 설정하였다. 트랙터 운전석 내 조작 공간은 일정한 수치로 고정하였고 운전자의 위치와 접근성의 편리영역은 설계를 위한 구속조건으로 설정하였다. 변속레버 설계를 위한 설계변수로는 레버의 높이와 거리를 선택하였다. 이 변수들은 여러 문헌에서 조작자의 불편도에 영향을 미치는 것으로 제시된 바 있다(정의승 등, 1993; Amditis et al., 2007).

(가) 목적함수

인체 모델을 활용한 수행능력 평가에는 크게 3가지 수식 함수가 있다. 첫째는 관절 운동 함수이다. 식 (2-7)에서  $w_i$ 는 양의 가중치 계수이다. 일반적으로 이들 값은 상대적인 값을 의미한다. 각각의 가중치 값은 나머지 다른 값보다 단지 상대적으로만 중요함을 뜻한다.

$$f_{jointDispl}(q) = \sum_{i=1}^n w_i (q_i - q_i^N)^2 \dots \dots \dots \text{식 (2-7)}$$

식 (2-8)은 포텐셜(potential) 에너지 함수이다. 예로 인체의 상체는 그림 2-33과 같이 기본적으로 6개(상부, 중부, 하부 몸통, 상완부, 하완부)의 집중질량으로 대표된다. 이들 질량의 높이는 수행하는 동작의 평가를 위한 평가요소를 제공한다. 수식 2에서 (mig)<sup>2</sup>는 가중치를 뜻하고,

$(\Delta h_i)^2$  은 목적함수로 작용한다.  $k=6$ 은 집중질량의 숫자를 뜻하는데, 이 경우 초기의 위치는 중립의 위치를 나타낸다. 수평방향의 운동의 경우, 목적함수로는 부적절한 방법으로 판단된다. 이 함수를 직접적으로 이용하면 항상 앞으로 숙이는 경향이 나타난다. 이를 이용하여 포텐셜 에너지가 줄어들어 에너지 변화를 최소화한다.

$$f_{\Delta-Potential}(q) = \sum_{i=1}^k (m_i g)^2 (\Delta h_i)^2 \dots \dots \dots \text{식 (2-8)}$$

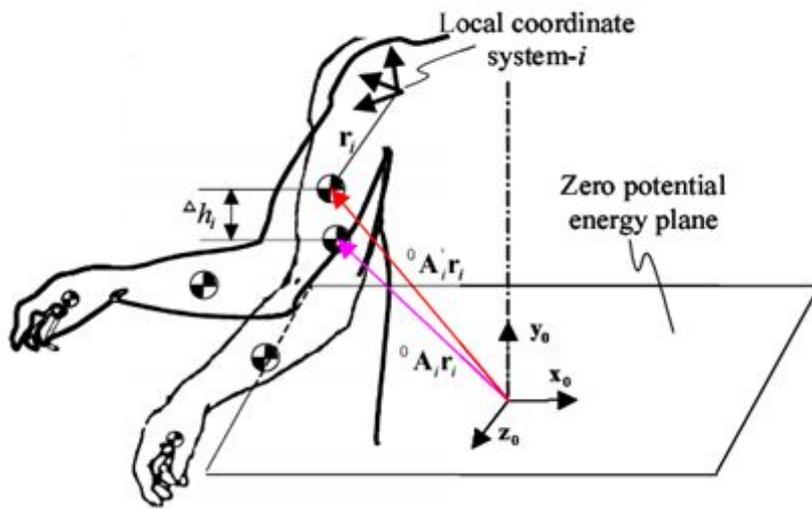


그림 2-33 상지의 포텐셜 에너지.

식 (2-9)의 함수는 불편도 함수로 선호하는 관절의 움직임에 바탕을 둔 가중치 값을 부여하는 함수이다. 일반적으로 이 함수는 잘 작동하지만, 가끔 관절이 가동범위 밖으로 벗어나는 경우가 발생한다. 이는 관절의 불편도를 가중시키는 작용을 한다. 이 문제를 해결하기 위해 추가적인 식이 부가되었는데, 이는 관절이 가동 범위에 가까이 왔을 때 가중치를 부여하는 벌칙 함수식이다. 여기서,  $(\Delta q_{inorm})^2$  은 관절 각각에서의 목적함수로 작용하고 그 값은 0에서 1사이의 값을 가진다.  $G \times QU_i$ 는 상위 한계범위에 접근할 때의 벌칙함수 값이고  $G \times QL_i$ 는 하위 한계범위에 접근할 때의 벌칙함수 값이다.  $\gamma_i$ 는 가중치 값을 뜻한다.

$$f_{Discomfort}(q) = \frac{1}{G} \sum_{i=1}^{DOF} [\gamma_i (\Delta q_i^{norm})^2 + G \times QU_i + G \times QL_i] \dots\dots\dots \text{식 (2-9)}$$

$$QU_i = \left( 0.5 \sin \left( \frac{5.0(q_i^U - q_i)}{q_i^U - q_i^L} + 1.571 \right) + 1 \right)^{100}$$

$$QL_i = \left( 0.5 \sin \left( \frac{5.0(q_i^U - q_i)}{q_i^U - q_i^L} + 1.571 \right) + 1 \right)^{100}$$

(나) 설계변수

최적 설계의 설계변수로는 레버의 높이와 거리를 설정하였다. 레버의 높이는 레버 길이의 변화를 의미하며 거리는 SIP에서 떨어진 위치를 의미한다. 트랙터 운전자가 레버를 적은 힘을 들여 조작하기 위해서는 레버의 길이를 길게 하여야 하며, 레버를 잡을 때 편하게 하기 위해서는 적절한 팔의 각도가 요구된다. 이 두 가지 요구조건을 고려하여 두 가지 요인을 설계 변수로 설정하였다.

(다) 구속방정식

트랙터 운전자가 주로 사용하는 전후진과 주변속 레버는 사용빈도가 높기 때문에 운전자가 항상 잡을 수 있도록 식 (2-10)과 같은 방정식이 사용되었다. 운전자가 레버를 잡을 때 레버의 기본 위치가 접근성을 고려하여 편리영역 안에 들어와야 한다. 편리 영역 내에서 팔의 길이만큼 일정 거리유지를 시켜주는 구속방정식이 필요하며, 이 조건은 식 (2-11)과 같다. 그리고 트랙터 운전자를 대표하는 인체 모델은 관절 가동 범위 내에서 동작이 구현될 수 있도록 구속시켜두었다. 따라서 인체 모델은 식 (2-12)의 조건을 만족해야 한다.

$$Distance = |X(q)^{end-effector} - X^{target\ point}| \leq \epsilon \dots\dots\dots \text{식 (2-10)}$$

$$Distance = |X(q)^{convenience} - X^{arm}| \leq \epsilon \dots\dots\dots \text{식 (2-11)}$$

$$q_i^L \leq q_i \leq q_i^U; i = 1, 2, \dots, DOF \dots\dots\dots \text{식 (2-12)}$$

ADAMS 인체 모델 관절의 자유도 및 가동 범위는 표 2-17과 같다. 17 자유도를 갖는 상지 중 목/흉부/요추는 각각 3개의 자유도로 -40~40° 만큼 움직임을 갖는다. 그 외 견갑골/어깨/팔꿈치/팔목은 2개의 자유도로 표에 나타난 데이터와 같이 다양한 이동 범위를 갖고 있다.

표 2-17 ADAMS LifeMOD 인체 모델 관절 가동범위

관절(자유도)	분면	최대	최소
목(3)	시상면	40	-40
	횡평면	40	-40
	전두면	40	-40
흉부(3)	시상면	40	-40
	횡평면	40	-40
	전두면	40	-40
요추(3)	시상면	40	-40
	횡평면	40	-40
	전두면	40	-40
견갑골(2)	횡평면	25	-50
	전두면	35	-25
어깨(2)	시상면	90	-175
	전두면	175	-90
팔꿈치(2)	시상면	3	-150
	횡평면	90	-90
팔목(2)	시상면	50	-50
	전두면	85	-85

(라) 변속레버 최적설계 결과

ADAMS 인체 모델을 활용한 변속레버 최적설계 평가 시뮬레이션은 그림 2-34와 같다. 인체 모델은 오른손으로 변속레버를 조작하고 왼손으로는 핸들을 조작하는 작업을 설정하여 연구를 수행하였다. 최적설계를 위해 불편도 함수를 이용하여 평가한 변속레버 설계 결과는 그림 2-35와 같다. 변속레버의 높이는 접근성의 편리영역 내에서 z축의 움직임으로 한정하여 초기치를 SIP로부터 +20 cm에서 상/하 10 cm사이에서, 변속레버의 거리는 x, y축으로 40 cm에서 ±10 cm 사이에서의 불편도를 평가하였다. 그 결과 변속레버의 높이가 15 cm이고 SIP로부터 40 cm 떨어졌을 때 0.38로 가장 낮은 값을 가져 가장 편안한 작업을 수행할 수 있는 최적의 설계로 평가되었다.

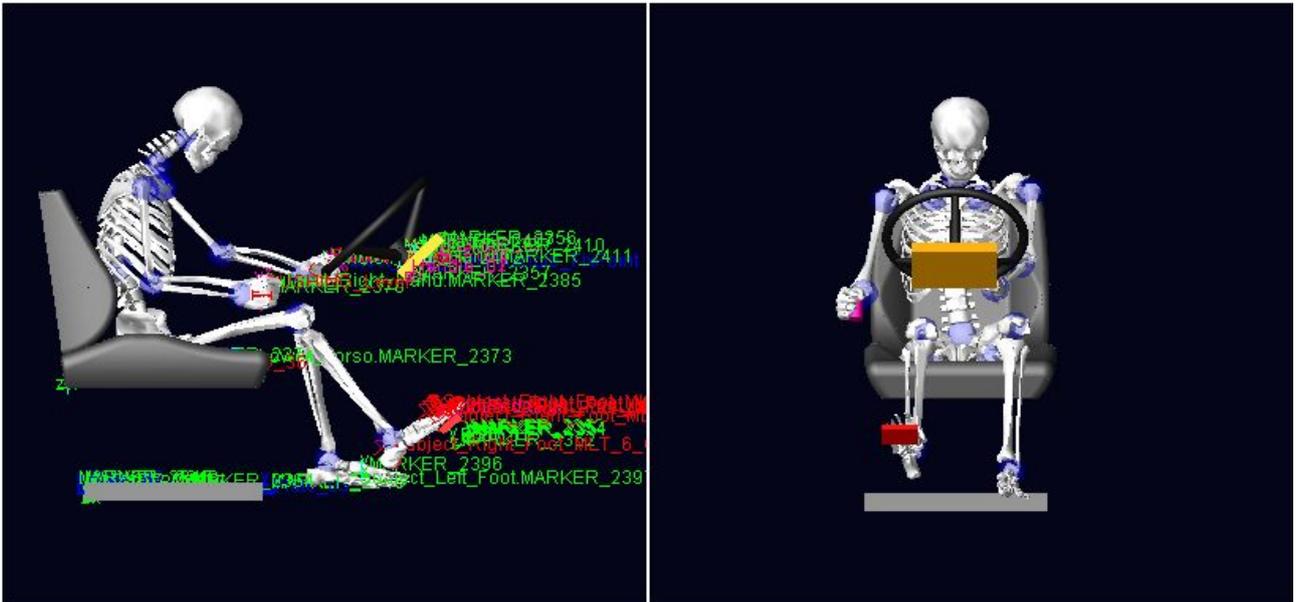


그림 2-34 트랙터 변속레버의 최적 설계를 위한 시뮬레이션.

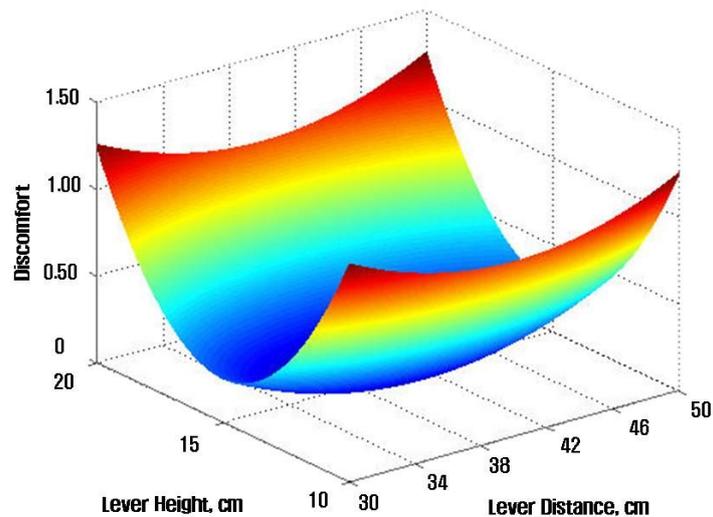


그림 2-35 설계변수에 따른 변속레버 최적설계 평가-불편도 함수 이용.

#### 나. 인간공학 기반 변속레버의 트랙터 적용 및 3D 디자인 설계

##### (1) 트랙터 변속레버 적용

##### (가) 상용 차량 레버 조사

트랙터 변속레버를 인간공학적 기준에 의하여 최적 설계를 수행하여 레버의 길이 및 위치를 결정하였다. 최적 위치 조건을 만족하면서 트랙터 작업에 맞는 변속레버 설계를 위하여 기존 레버의 모양과 기능을 조사하였다. 그림 2-36은 국내 승용차량의 자동변속 차량의 변속레버 형

태를 나타낸다. 운전자가 잡기 쉽게 레버의 끝을 크고 둥글게 하였으며 가죽으로 덮어 손에서 미끄러지지 않게 제작 되었다.



(a) H사 B모델      (b) H사 S모델      (c) S사 A모델      (d) H사 T모델  
그림 2-36 국내 자동변속 차량의 변속레버 형태.

트랙터에는 AMT모델이 개발되지 않았으나 승용차량에는 이미 상용화된 모델이 존재한다. 이러한 AMT차량의 변속레버는 그림 2-37과 같이 기존 차량의 레버와는 다른 형태의 레버를 사용한다. 이러한 레버는 Shift-by-wire 시스템 기술의 일부인 DIM(Driver Interface Module)로 기존 상용화된 수동 및 자동 변속기 구조를 변경하지 않고 운전자가 조작하는 변속레버의 기계적 링크를 전기/통신 Wire로 대체하는 전자 제어 시스템이다. 이러한 기술을 적용함으로써 복잡한 교통 환경에서 변속 조작에 의해 발생할 수 있는 사고의 위험성을 최소화하며 편리성을 증대할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 공간적으로 제약을 받았던 기존의 변속레버를 스위치 또는 버튼화 시킴으로써 소형화와 경량화된 변속시스템을 구현할 수 있다.



(a) J사 X모델      (b) B사 5모델      (c) B사 7모델  
그림 2-37 국외 AMT차량의 변속레버 형태.

(나) 타사 트랙터 레버 조사

트랙터에서도 변속레버의 편리성에 대한 소비자의 요구가 커짐에 따라 다양한 형태의 레버 형태가 개발되었다. 트랙터의 레버는 일반 차량의 레버와는 달리 전후진, 주변속, 부변속으로

나뉘어 세분화 되어있다. 트랙터의 전후진 변속레버는 대부분의 경우 그림 2-38~41의 (a)와 같이 핸들 좌측 하단에 부착되어 있었다. 이는 전진, 후진, 중립 세 가지의 비교적 단순한 조작을 수행하며 빈번히 사용함으로 눈에 잘 보이는 곳에 배치한 것으로 판단된다. 주변속 레버의 경우 그림 2-38~41의 (b)와 같이 일반차량의 변속레버 형태를 많이 사용하고 부변속을 버튼화하여 추가하는 경향을 보이고 있었다. 이는 일반 차량운전 시 속도를 조절하는 변속레버의 기능이 트랙터의 주변속의 기능과 유사하므로 운전자의 편의성을 위한 것으로 판단된다.



(a) 전후진

(b) 주변속과 부변속

그림 2-38 국외 J사 트랙터의 변속레버.



(a) 전후진

(b) 주변속과 부변속

그림 2-39 국외 K사 트랙터의 변속레버.



(a) 전후진

(b) 주변속과 부변속

그림 2-40 국내 T사 트랙터의 변속레버.



(a) 전후진

(b) 주변속과 부변속

그림 2-41 국내 K사 트랙터의 변속레버.

#### (다) 트랙터 변속레버의 개념 설계

트랙터는 주로 작업부하가 일정하지 않은 토양에서 작업을 수행하기 때문에 운전자가 부하에 맞게 변속레버를 자주 조작할 필요가 있다. 또한 일반 차량과는 다르게 좁은 농작지에서 움직이는 작업이 많기 때문에 전진과 후진을 반복하는 작업이 빈번하다. 따라서 자주 사용하는 전후진 레버와 주변속 레버를 통합하여 작업의 편의성을 증대시킬 수 있는 변속레버가 필요하다.

1차 시작품은 기존 전후진 레버에 다이얼 형식으로 주변속 기능을 통합하였지만 시계성과 접근성에서 한계를 나타내었다. 변속레버의 사용빈도가 일반 차량에 비해 월등히 높은 트랙터 작업에서 접근성은 운전자의 작업 자세와 직결된다. 접근성이 좋지 않은 레버는 트랙터 작업과 같은 장시간 반복 작업 시 불편한 작업 자세를 장시간 유지하게 하여 근골격계 질환 및 안전 사고 발생의 위험이 있다. 또한 다이얼 방식의 주변속 레버는 주행 중 변속 시 진동이 심한 트랙터의 특성에 따라 오조작을 할 가능성이 있었고 전후진 레버를 작동시킬 수 있는 문제점이 있었다. 따라서 2차 시작품은 트랙터 변속레버를 주변속 레버에 부변속을 통합 시키려는 경향에 맞춰 주변속 레버를 중심으로 전후진과 부변속 기능을 추가하는 방법을 반영하기로 하였다.

#### (2) 3D 디자인 설계

인간공학 기반의 트랙터 변속레버 2차 시작품은 기존에 비해 접근성을 중심으로 하고 주변속 레버에 전후진과 부변속 기능을 추가하는 방향으로 설계하였다. 세 가지 기능을 통합하기 위하여 일반 자동변속 차량 중에서 필요에 따라 운전자가 직접 변속을 수행할 수 있도록 고안된 Tiptronic 방식의 변속레버를 바탕으로 하였다. Semi-auto 방식으로 불리는 이 방식은 Tip switch를 이용하여 Up/Down Shift로 변속을 수행한다. 이 방식을 이용하여 기존 1차 시작품의 주변속 레버를 다이얼 형식으로 했을 때의 문제점이었던 정확하지 못한 동작을 방지하고 일반 차량에 변속감을 구현할 수 있다.

(가) 디자인 설계

운전 조작의 편의성에는 조작의 용이성, 조작부를 볼 수 있는 시계성, 조작 장치에의 접근성 등이 영향을 미친다. 이에 대한 대비로는 조작부의 적절한 배치, 레버의 모양, 손잡이의 형태 등이 중요한 요소가 된다. 전체 형태를 위해서는 주변과 어울리면서도 운전자가 편리하게 사용할 수 있도록 고려하는 동시에 앞서 요구되는 시계성, 접근성 등을 향상시킬 수 있는 방안을 고려해야 한다.

이러한 요구 조건에 따라 트랙터 변속레버의 디자인을 수행할 때에는 운전자에 대한 배려로 인체공학적 디자인 개발에 중점을 두어야 한다. 이는 장시간 반복 운전 작업을 수행해야하는 사용자의 조작편의성 및 피로 감소 효과를 제공하여 작업능률을 향상할 수 있는 디자인 개발이 필요하다는 것을 의미한다. 이와 같은 요구 조건에 맞추어 각각의 부분에 대한 검토를 수행하여야 한다. 변속레버의 주요 구성부분은 운전자가 잡을 수 있는 손잡이, 각 변속 기능을 수행할 기능부, 구조를 지탱해주고 강성을 유지하는 레버 바 등이다. 이러한 구성부분별로 사용 목적과 전체 형태의 조화를 이루는 디자인의 개발이 필요하다. 사용자 중심의 인간공학적 디자인과 장기간 지속적으로 반복 작업하는 사용자의 피로 감소, 조작 편의성을 개선하여 작업능률을 향상시킬 수 있는 디자인 개발을 목표로 하였다.

그림 2-42는 기본연구와 시뮬레이션 결과를 바탕으로 제안된 기능들을 추가하여 디자인된 변속레버의 설계 도면이다. 본 레버는 전후진, 주변속, 부변속 기능을 하나로 통합하여 운전석 배치 시 공간 활용이 용이하며 레버를 바꿔 잡을 필요가 없어 조작에 편리하게 설계되었다. 전후진과 주변속 기능을 중점적으로 구현하기 위하여 기존과 달리 레버를 상하뿐만이 아니라 좌우로도 움직이게 하였다. 이러한 토대에 부변속 기능을 손잡이 밑 부분에 추가하여 3가지 기능을 모두 수행할 수 있는 통합레버를 설계하였다.

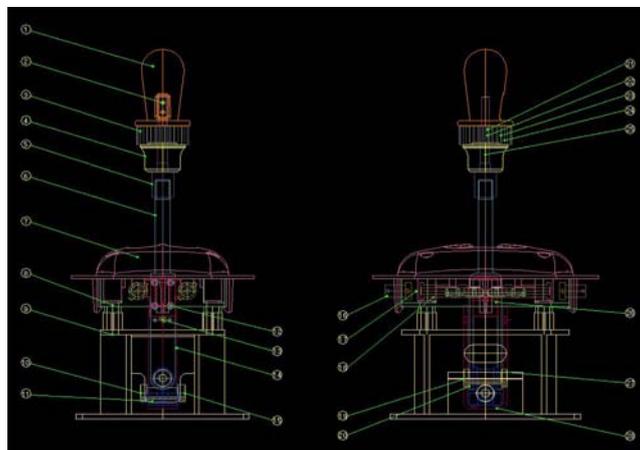


그림 2-42 제작된 변속레버의 설계도면.

(나) 동작 구현

전후진 변속의 기능은 그림 2-43과 같이 구현하였다. 마이크로 스위치(SW-05S-04A0-Z, Zippy Tech. Corp., Taiwan)를 레버 바 양 옆에 하나씩 장착하고 바를 움직이면 스위치가 눌러 신호를 전달한다. 레버가 좌측으로 움직였을 때를 전진으로 하고 우측으로 움직였을 때를 후진으로 선정하였다. 이는 스위치의 신호로 결정되기 때문에 필요에 의해 좌/우를 변경할 수 있다. 또한 레버 조작 시 한쪽 방향으로 과도하게 움직이면 마이크로 스위치에 무리가 갈 수 있기 때문에 레버 지지대에 홈을 파고 볼을 이용하여 스톱퍼 역할을 할 수 있게끔 설계하였다.

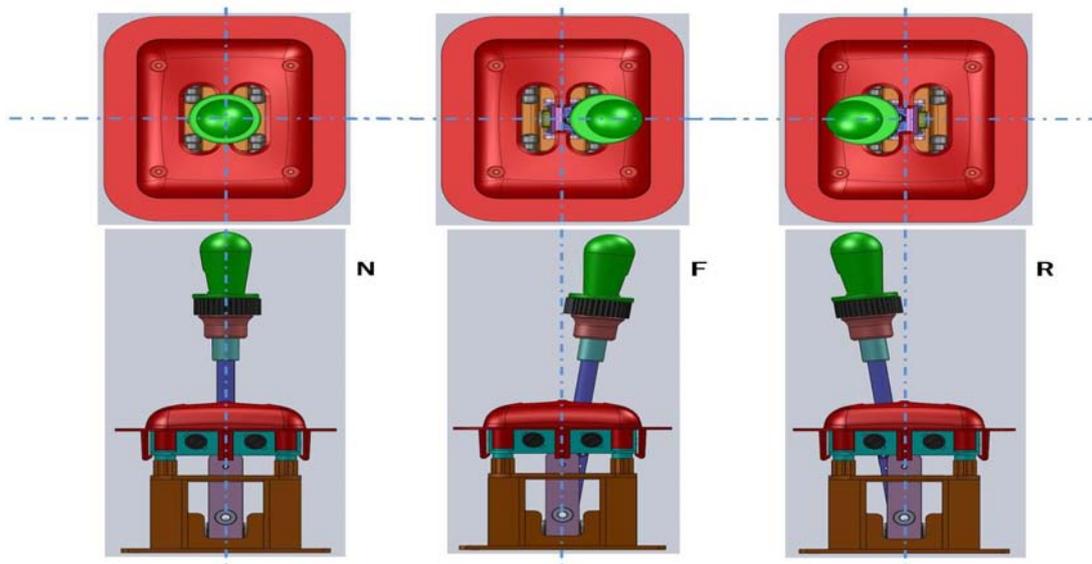


그림 2-43 전후진 변속 시 레버의 동작상태.

주변속 기능은 그림 2-44와 같이 구현하였으며 레버의 내부는 그림 2-45와 같이 구성되어있다. 그림은 전진의 경우를 나타내며 후진은 반대방향으로의 조작이다. 중립에서 전진 혹은 후진으로 조작 시 최초 주변속 1단 상태가 되고 그림 2-20(c)와 같이 앞으로 밀어주면 내부에 스위치 로더가 움직이게 되고 이 로더가 마이크로 스위치(SW-05S-00A0-Z, Zippy Tech. Corp., Taiwan)를 눌러주어 동작을 카운트 할 수 있다. 한번 조작 시 1단이 상승하고 그 후 리턴 스프링에 의해 제자리로 돌아와 주행상태를 유지한다. 감속 시에는 반대방향으로 조작하면 되고 가속과 마찬가지로 마이크로 스위치에 의해 한단씩 카운트된다. 주변속 역시 스위치에 의한 신호이기 때문에 방향에 대한 선택이 가능하다.

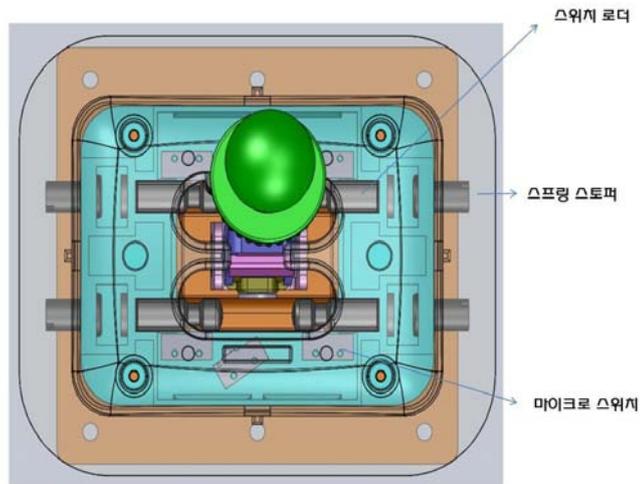
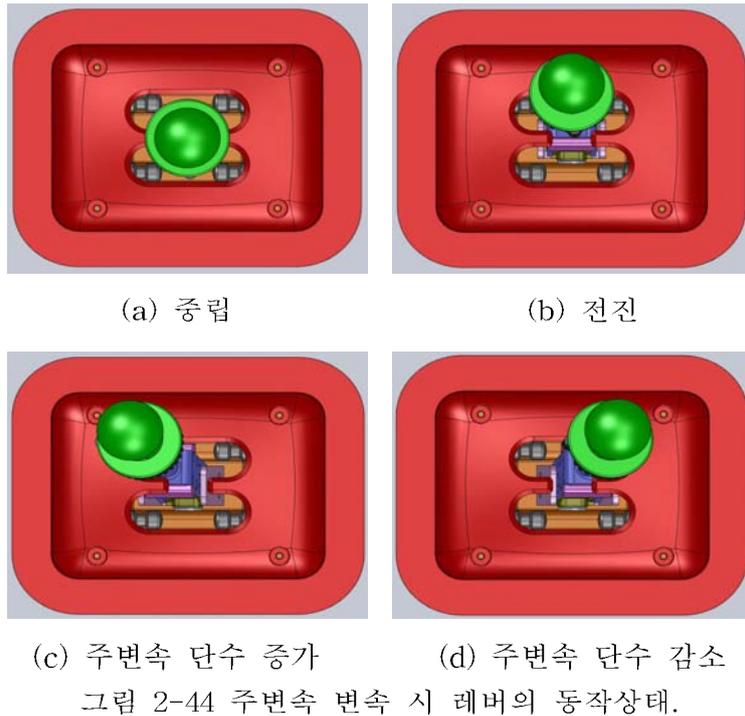
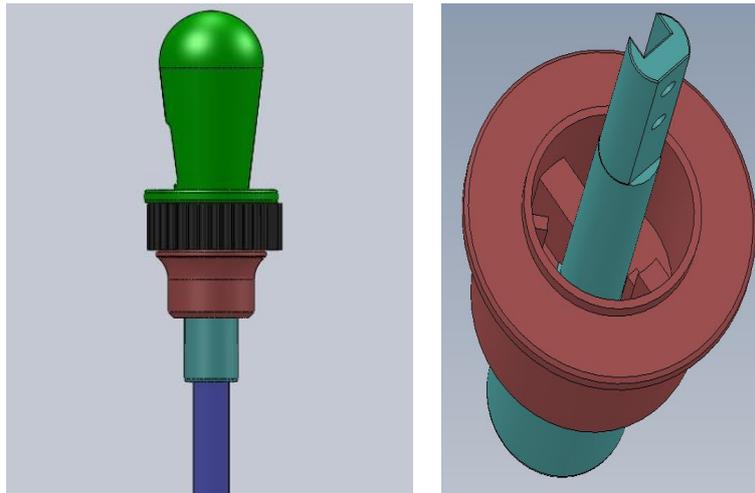


그림 2-45 변속레버의 내부 구성.

그림 2-46(a)는 부변속 레버의 모습을 나타낸다. 부변속은 주행 중 조작을 하지 않고 작업 시작 전 정지 상태에서 고정하기 때문에 사용 빈도가 낮다. 따라서 이전연구에서 주변속 기능을 구현했던 다이얼 방식을 사용하여도 문제가 없다고 판단되었다. 부변속 기능은 그림 2-46(b)와 같이 내부에 자기 저항 센서를 삽입하고 센서의 전압 값이 다이얼의 회전에 따라 변하는 것을 이용하여 부변속 단수를 결정하도록 구현하였다. 정확한 단수 선택 및 주행 중 진동 등에 인한 오작동을 방지하기 위해 내부 볼플런저를 이용하여 변속위치를 고정할 수 있게 하였다.



(a) 부변속 레버 모형도      (b) 자기 저항 센서  
그림 2-46 부변속 레버의 구성.

(다) Mock-up 제작

그림 2-47은 디자인 형상을 하드 Mock-up을 통해 제작한 모습이다. 단품 Mock-up을 세우기 위해 지지대를 만들어 설계하였지만 실제 장착은 외형 틀 없이 트랙터 운전석 내 모든 장소에 장착이 가능하다. 이는 마이크로 스위치의 신호만으로 액추에이터의 동작이 가능한 AMT 차량의 Shift-by-wire 기술로 공간 활용 및 인간공학적 레버 위치 배치에도 유리하다. 6개의 마이크로 스위치와 1개의 자기 저항 센서를 이용하여 전후진, 주변속, 부변속의 기능을 모두 수행할 수 있게 하였고 변속레버의 길이는 시뮬레이션을 통한 최적설계 결과에 따라 15 cm로 제작하였다.

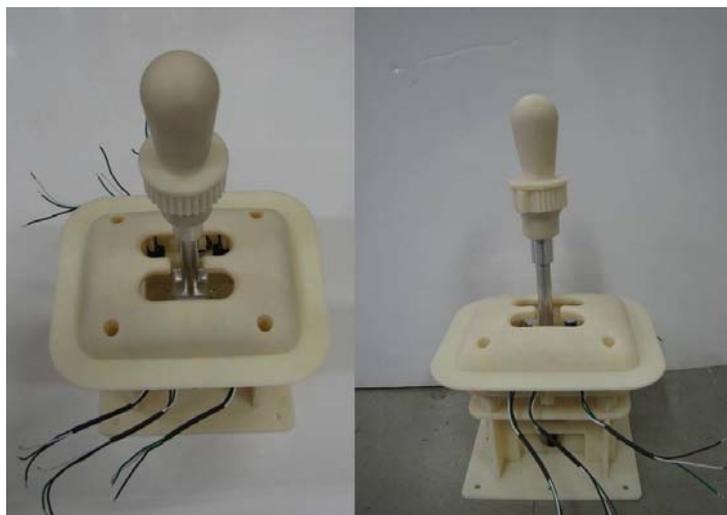


그림 2-47 제작된 변속레버의 모습.

다. 변속레버의 인간공학적 편의성 비교·분석

트랙터 작업 시 변속레버는 가장 빈번히 조작하기 때문에 적절히 설계되지 않는다면 불편한 작업자세로 장시간 작업을 하게 되어 근골격계 질환 및 안전사고의 위험성이 있다. 따라서 변속레버에 대한 인간공학적 평가를 통해 1차 시작품에 대해 적정설계 여부를 평가하였고 그 결과 접근성영역을 만족시키지 못하였다. 접근성은 작업 자세와 직결되므로 근골격계 질환을 유발할 수 있기 때문에 전체적인 설계변경이 불가피하였다. 새로운 설계는 인체 모델을 이용한 시뮬레이션을 통해 수행하였다. 최적 설계를 위해 설계변수로 레버의 길이와 레버의 위치를 선정하였고 불편도 함수를 이용하여 레버 길이는 15 cm, 레버 위치는 SIP로부터 40 cm일 때 최적임을 확인하였다. 이를 반영하여 Mock-up을 제작하였고 이를 선정된 인간공학적 기준에 따라 평가를 수행하였다.

(1) 2차 시작품 평가

(가) 조작력

새로 설계된 변속레버는 전후진, 주변속, 부변속 기능을 하나로 통합한 레버로 세가지 기능에 대하여 조작력 평가를 실시하였다. 우선 기존의 조작력 측정 장치를 사용하여 전후진과 주변속 기능에 대해 평가하였다. 그 결과 표 2-18~19와 같이 전후진 변속 기능의 경우 11N, 주변속 기능 수행 시 18N으로 모두 ISO 설계 기준을 만족하였다.

표 2-18 전후진 레버의 조작력 평가 결과

	Measured value (N)	ISO/TR 3778 (N)
N → F	87.0 ± 6.96	100
F → N	78.2 ± 3.14	
N → R	88.7 ± 4.70	
R → N	81.0 ± 5.00	

\*N : Neutral, F : Forward, R : Reverse

표 2-19 주변속 레버의 조작력 측정 결과

	Measured value (N)	ISO /TR 3778 (N)
Forward acceleration	61.5 ± 2.68	100
Forward deceleration	60.7 ± 2.88	
Reverse acceleration	61.2 ± 2.91	
Reverse deceleration	60.3 ± 2.63	

(나) 시계성

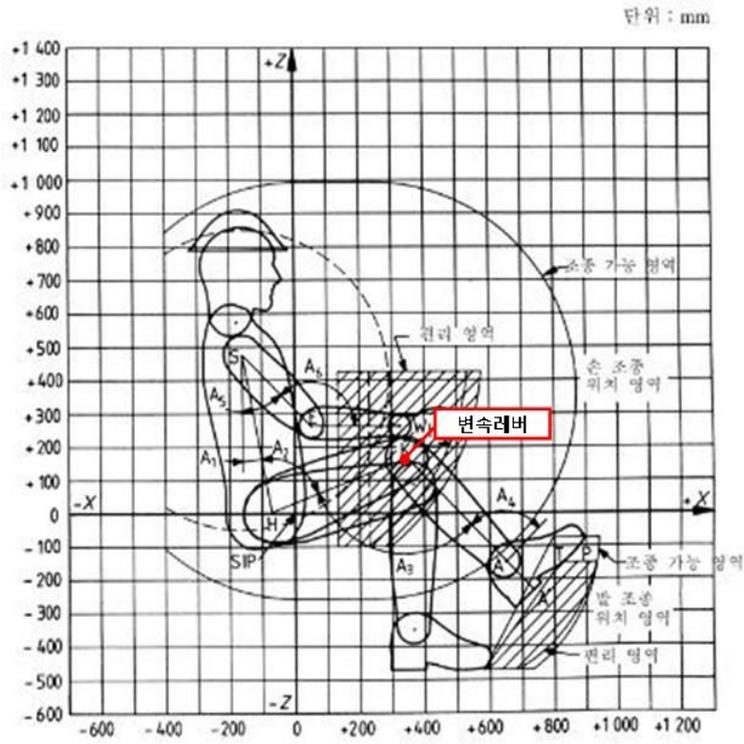
2차 시작품에 대한 시계성 평가는 기존 시계성 평가 시스템을 사용하여 수행 되었다. 평가 대상인 뷰포인트는 전후진과 주변속을 동작하기 위한 레버 손잡이와 주변속 다이얼로 선정하였다. 시계성 평가 시스템을 사용하여 선정한 뷰포인트에 대하여 5회 반복 측정 한 결과는 표 2-20과 같이 나타났다. 손잡이 부분은 수평각도 53.1°, 수직각도 -20.5°로 주변속 부분의 경우는 수평각도와 수직각도가 각각 53.2°, -22.4°로 나타났다. 이 두 결과를 시계성 평가 프로그램을 이용하여 평가점수를 구한 결과 각각 31점, 30점으로 나타나 둘 다 유도시야 영역임을 확인하였다.

표 2-20 변속레버의 시계성 평가 결과

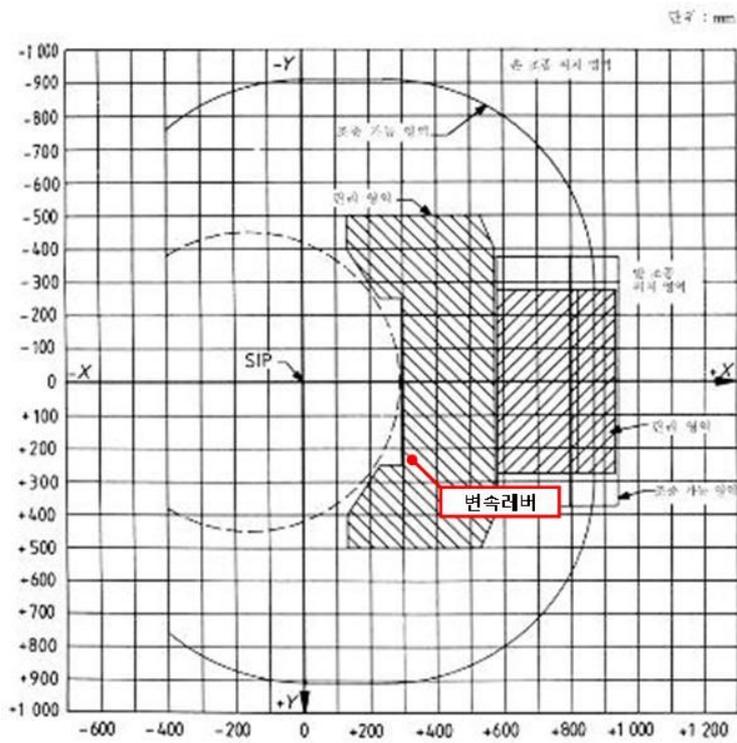
	Horizontal angle (°)	Vertical angle (°)	Evaluation score (point)
Lever knob	53.1±0.32	-20.5±0.24	31
Sub shift dial	53.2±0.12	-22.4±0.18	30

(다) 접근성

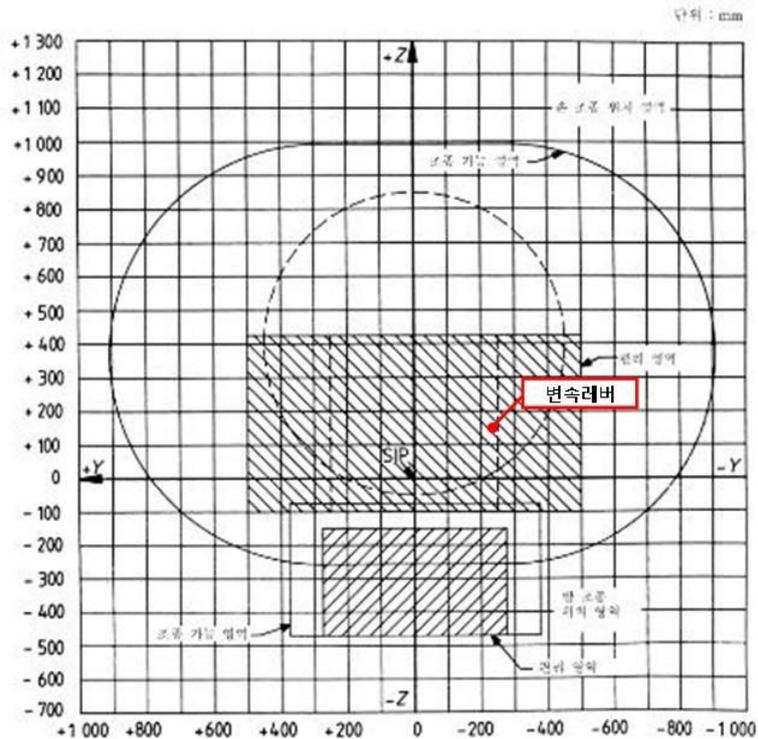
변속레버의 접근성 평가를 위하여 설계된 위치에 대하여 리치평가를 수행하였다. 변속레버의 좌표는 SIP를 원점으로 하여 (320, 240, 150)으로 그림 2-48과 같이 측면, 정면, 평면 모든 방향에서 편리영역 내에 들어옴을 확인할 수 있다.



(a) 측면



(b) 평면



(c) 정면

그림 2-48 2차 시작품의 접근성 평가 결과.

### 3. 트랙터 변속레버의 성능평가 및 실용화를 위한 상세 설계

#### 가. 포장작업을 통한 개발된 변속레버의 내구성 및 편의성 평가

트랙터 작업 시 가장 빈번히 조작하는 변속레버의 인간공학적 설계를 위하여 시뮬레이션을 통해 최적 위치를 선정하였고, 시계성, 조작성, 접근성의 세 가지 지표를 이용하여 정량적 평가를 실시하였다. 이렇게 개발된 2차 시작기를 실차에 장착하였고 실제 포장실험을 통해 내구성 및 편의성 평가를 실시하였다.

#### (1) 내구성 평가

변속레버는 힘을 주어 작동시키기 때문에 레버 작동 부와 링크 부분에 과도한 힘을 줄 경우 오작동 및 파손의 우려가 있다. 이렇게 레버를 작동시키는 힘을 조작력으로 정의하였고 손으로 조작하는 레버의 조작력은 ISO 국제 기준에서 100 N 이하로 규정하고 있다. 이에 따라 레버 및 링크부의 설계 시 설계기준을 100 N으로 설정하였는데 실차에서 변속레버 조작 시 조작력이 설계기준을 초과하는지 반복실험을 통하여 확인하였다. 실험 조건은 표 2-21과 같이 엔진 정지 시와 엔진 최저 회전수(830 rpm), 주 작업 회전수(2000 rpm), 엔진 최대 회전수(2780 rpm)에 대하여 중립→전진, 전진→중립, 중립→후진, 후진→중립 전환 시 조작력을 8회 반복 측정하였다.

표 2-21 변속레버의 내구성 평가를 위한 실험 설계

Condition	Lever shift	Engine	Repetition
<ul style="list-style-type: none"> <li>Experimental tractor : 48 Hp, L社</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N → F</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stop</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>8</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>F → N</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Min. (830 rpm)</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Design standard : 100 N</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N → R</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2000 rpm</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>R → N</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Max. (2780 rpm)</li> </ul>	

\* N : Neutral, F : Forward, R : Reverse

포장작업에서 변속레버의 내구성 평가 결과는 표 2-22~23과 같이 나타났다. 실험 결과 평균으로는 ISO 기준인 100 N 이하를 만족하였지만 각 조작에 대해서는 만족하지를 못하였다. 엔진 정지 시 전후진 변속은 중립에서 후진 변속 시 1회 기준치 이상을 나타내었고 엔진 최저 회전수에서는 중립에서 후진 변속 시 4회 초과하였다. 2000 rpm과 최대 회전수에서 중립에서 전진 변속 시는 대부분 기준치 이상의 조작력이 필요하였고 중립에서 후진은 모두 기준을 초과하였다. 특히 엔진 최대 회전수에서 중립→후진 변속 시 평균 119.9 N으로 20% 가량 기준치를 초과하여 개선의 필요성이 뚜렷하게 나타났다. 따라서 전후진 싱크로부 체결력 감소를 위한 방향설정이 필요할 것으로 판단되며 전후진 싱크로부를 포함하여 링크부 표준편차에 의한 전후진 조작력 증대 가능성 여부도 확인해야 할 것으로 사료된다.

표 2-22 전후진 레버의 조작력 측정 결과

(단위 : N)

Engine	Lever shift				Avg.
	N → F	F → N	N → R	R → N	
Stop	84.0±4.3 <sup>1)</sup>	82.4±3.7	91.9±9.6	88.1±4.7	86.6±2.2
Min.	90.5±5.6	84.8±3.4	99.4±2.9	81.0±3.2	88.9±1.6
2000 rpm	107.9±8.0	83.7±2.9	113.6±3.8	81.3±1.2	96.6±2.4
Max.	112.3±7.3	81.7±0.8	119.9±5.8	81.3±1.3	98.8±2.4

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

표 2-23 기준 이상의 조작력 측정 비율

(단위 : %)

Engine	Lever shift			
	N → F	F → N	N → R	R → N
Stop	0	0	12.5	0
Min.	0	0	50	0
2000 rpm	62.5	0	100	0
Max.	100	0	100	0

## (2) 편의성 평가

운전 조작의 편의성에 영향을 미치는 요소로는 외부 작업부 및 내부 조작 장치를 볼 수 있는 시계성, 각종 조작 장치에의 접근성, 조작 용이성 등이 영향을 미친다. 이는 장시간 반복 운전 작업을 수행해야 하는 사용자의 조작 편의성 및 피로 감소 효과를 제공하여 작업능률을 향상할 수 있는 디자인 개발이 필요하다는 것을 의미한다.

편의성 평가 실험은 작업 시 작업자가 행하는 동작의 문제점을 분석하기 위해 비디오 촬영을 통하여 작업 동작을 조사 및 분석하였다. 동작 분석을 위한 비디오 촬영은 2011년 4월경에 전라북도 고산지방에서 실시하였고 작업 중 견인력 변화에 따라 변속 작업이 빈번히 일어나는 플라우 경운 작업에 대하여 실시하였다. 변속수준은 실제 작업에서의 편의성을 확인하기 위하여 숙련된 작업자가 적절한 작업을 위하여 변속을 실시하도록 하였으며, 새로운 변속레버에 적응할 수 있도록 충분한 연습을 실시한 후 작업을 수행하도록 하였다. 비디오 촬영은 실내·외에서 진행하였는데, 실내 촬영으로 후면에서 관찰되는 작업자의 허리 및 손동작에 대해 분석하였고 실외 촬영으로 측면 작업 자세를 분석하였다. 작업동작은 시동을 거는 것을 시작으로 플라우 경운 작업 후 선회하여 다시 경운작업 후 작업 종료 및 선회하는 것 까지를 한 주기로 하여 분석하였다.

플라우 경운작업 중에는 트랙터의 좌우 진행 방향을 조절하는 핸들과 주행속도를 조절하는 주변속 레버를 주호 사용한다. 한 주기 동안의 작업시간은 플라우 경운의 경우 약 2분, 선회의 경우 약 30초로 총 작업시간은 약 5분이다. 2차 시작기는 접근성을 고려하여 배치하였기 때문에 처음 시동을 걸기 전 고개를 숙여 레버의 위치를 확인한 후에는 한 번에 잡지 못하는 상황 외에는 레버를 쳐다보지 않고 잡는 것을 확인하였다. 한 주기의 작업 동안 평균 6회의 변속을 수행하였으며, 작업자 인터뷰 결과 토양의 상태에 따라 작업속도를 유지하기 위해 변속을 수행하거나 선회 시 속도를 줄이기 위해 변속하였다고 답하였다. 플라우 경운 작업 중에는 주로 작업의 직진성을 위해 두 손으로 핸들을 잡고 있는 경우가 많았고 직진이 유지된다고 느꼈을 시

에는 오른손은 변속레버를 잡은 상태로 유지함을 확인하였다. 작업 후 설문 결과 변속 시 조작력이나 접근성에는 문제가 없었으나, 현재 상태를 확인하지 못하여 계기판을 자주 확인해야했으며 지속적인 진진 중에도 레버를 우측으로 미는 동작을 계속해야함이 불편하다는 의견을 확인하였다.

#### 나. 성능 평가 자료를 이용한 변속레버의 보완 및 성능 개선

##### (1) 손압력 측정

반복적으로 손이나 팔을 주로 사용하는 작업자들은 손가락, 손, 손목, 위팔, 아래팔, 팔꿈치, 어깨 등 상지의 연조직에 발생하는 장애인 상지 누적성 외상 장애(Cumulative Trauma Disorders, CTD)가 발생하기 쉽다. CTD의 원인은 반복적인 작업, 과도한 힘의 사용, 불편한 자세, 장시간의 정적인 자세, 빠른 동작, 진동, 추운환경, 그리고 연조직들에 대한 공구나 날카로운 모서리의 압력 등이다. CTD를 피하기 위해 도구를 설계함에 있어 네 가지 지침이 있다. 첫째, 손목을 굽히지 않도록 설계하고 둘째, 형태를 잡기 쉽도록 설계하고 셋째, 손잡이의 파악 범위를 적당하게 하고 넷째, 손가락 혹은 장갑을 착용했을 때 동작 여유 공간을 제공해야 한다는 것이다(인간공학, 시그마프레스). 특히, 본 연구에서처럼 지속적으로 잡고 있는 레버를 설계할 때에는 닿는 면적이 크도록 설계해야 한다. 상당한 힘이 손바닥에 가해지는 수공구의 경우 압력에 민감한 부분이 신경과 혈관에 압박을 가하게 되면 통증을 유발하게 되고 혈액의 흐름을 방해하기 때문이다. 따라서 가능하다면 손잡이의 접촉면적을 크게 하여 압력이 손바닥 전체에 분배되도록 설계해야 한다(Tichauer, E, 1967).

동력을 이용한 손잡이의 크기와 모양은 사용자가 조정할 때 드는 힘에 영향을 미친다. 손잡이의 모양과 크기는 손 크기에 맞아야 하므로 손잡이의 반지름은 사용자의 손과 손가락이 닿는 면이 최대가 되도록 해야 하고 사용자가 쥘 수 있는 크기보다 커서는 안 된다. 현대에 와서는 레버 손잡이의 모양이 매우 다양해졌으나 어떠한 형태가 좋은지에 대한 정량적 연구는 진행된바 없으며, 특히 손압력에 대한 연구는 미미하다.

현재 상용되고 있는 손잡이 형태는 그림 2-49에서 보는바와 같고 이를 크게 3가지로 분류하였다. 동그랗고 납작한 형, 원기둥의 형태에서 손 모양에 맞추어 변형된 형, 바(bar)형태의 원기둥형, 이렇게 세 가지 종류의 레버를 조작할 때의 손접촉 면적에 걸리는 압력을 계산하여 주 변속 레버 손잡이의 적정 형태를 결정하고자 하였다. 즉, 본 연구에서는 손잡이의 형태에 따른 손압력을 측정하여 같은 힘을 주었을 때 가장 적은 노력으로 레버를 조정할 수 있는 손잡이를 설계하고자 한다.



그림 2-49 상용되고 있는 레버분류 및 실험에 사용된 손잡이(화살표 a, b, c 실험에 사용).

트랙터 주변속 레버에 적합한 손잡이 형태를 찾기 위해 3가지 형태의 손잡이를 이용하여 손압력 분포 실험을 하였다. 실내실험을 위해 주변속 레버에 손잡이가 탈부착 가능하도록 제작하였다. 둥글고 납작한 형태의 손잡이, 길고 원기둥형의 손잡이, 길고 원기둥형이며 손가락 모양의 홈이 있는 손잡이 3가지 종류를 각각 장착하고, 앉은 자세에서 레버를 밀고 당길 때 손압력을 측정하였다.

피험자는 신체 건강한 20대 성인 남성 4명을 대상으로 하였다. 변속 레버를 사용하는 오른손에 그림 2-50과 같이 장갑을 이용하여 손압력 센서(Glove sensor, Novel Inc.)를 착용하였고, 작업 동작은 노브를 가볍게 쥐고 레버를 당기고 미는 동작을 5회씩 반복하였다. 회당 5분씩 휴식시간을 주었으며, 당기는 속도는 메트로놈을 이용하여 1회/초의 속도로 작업하였다. 측정 샘플링 주기는 50Hz이다. 손 압력분포가 고르게 되고, 단위면적당 발생한 압력의 적분 값이 작은 것이 잘 설계된 것이므로 압력 분포와 단위면적당 발생한 압력의 적분 값을 이용하여 적정 손잡이를 선택하였다.



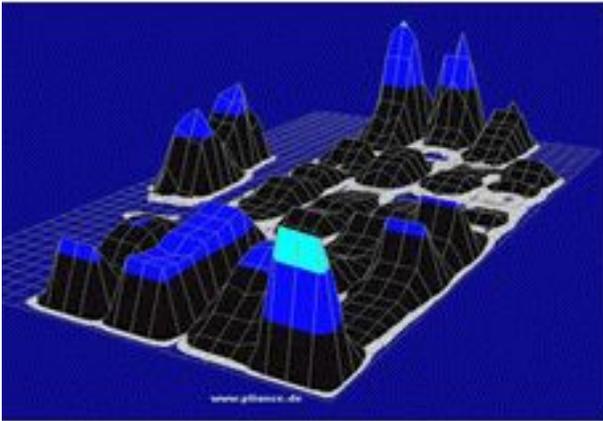
그림 2-50 실험에 사용한 손압력 센서 및 장착 모습.

손압력 실험결과 둥글고 납작한 형태의 손잡이로 실험 하였을 경우 표 2-24와 같이 면압은 평균 407N ( $\pm 25$ N), 길고 원기둥형이며 손가락 모양의 홈이 있는 손잡이의 면압은 499N ( $\pm 10$ N), 길고 원기둥형의 손잡이의 면압은 609N ( $\pm 20$ N)이다. 둥글고 납작한 형태의 손잡이는 다른 손잡이보다 접촉 면적이 넓고 고르게 분포되어 있고, 단위면적당 압력 값이 가장 작아 손에 가해지는 압력이 세 개의 손잡이 중 가장 낮은 것을 알 수 있다. 그림 2-51은 레버 형태에 따른 손압력 측정 분포도를 보여주고 있으며, 압력이 높을수록 붉은 색을 띤다. 검은색은 손이 살짝 닿았을 때의 분포이며, 파란색에서 노란색으로 갈수록 높은 압력이다. 회색은 5N이하, 검은색은 50N 이하, 파란색은 60N 이하, 하늘색은 70N이하, 연두색은 80N이하, 노란색은 100N 이하, 빨간색은 100N이상의 압력을 받았을 때이다. 분석 결과 단위면적당 압력이 가장 작게 나온 손잡이의 형태는 둥글고 낮은 형태의 손잡이이다. 주변속 레버의 손잡이 설계 시 손바닥에 단위면적당 가해지는 압력을 작게 하기 위해 접촉면적 넓혀 설계해야 한다.

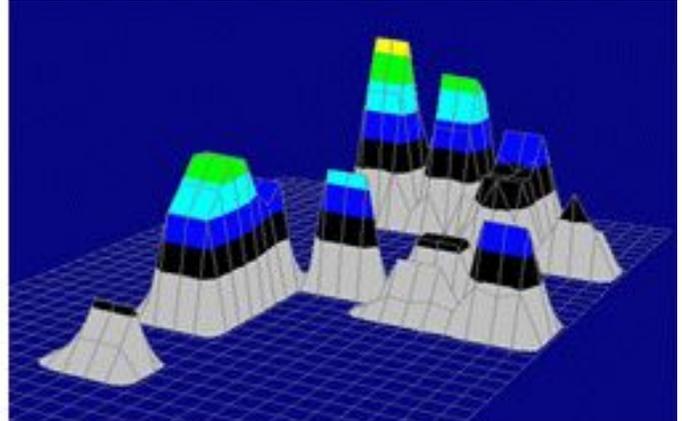
표 2-24 단위면적당 손압력 적분 결과

(단위 : N)

	Lever a	Lever b	Lever c
Pressure	407 $\pm$ 25	499 $\pm$ 10	609 $\pm$ 20



(a) 둥글고 낮은 형의 손잡이



(b) 원기둥 형태의 손잡이

그림 2-51 레버 형태에 따른 손압력 측정 분포.

(2) 계기판 변경

포장 실험을 통하여 작업자가 계기판을 통하여 차량을 상태를 확인한다는 것을 알 수 있었다. 계기판은 시계성 평가에서 주시안정시야 영역으로 작업자가 큰 불편 없이 바라보기 쉬운 위치이기 때문에 트랙터의 상태에 대한 주요 정보를 계기판에 배치하는 것이 효과가 있다. 트랙터 작업에서 중요한 정보는 현재 속도와 진행 방향, PTO 단수 등이 있다. 이중 인간공학기반의 변속레버를 설계하는데 있어 전후진 레버의 현재 상태를 확인하는 것이 중요하므로 그림 2-52와 같이 계기판에 전진, 중립, 후진을 표시할 수 있도록 계기판을 변경하였다. 또한 작업속도를 나타내는 계기판에 PTO 회전수도 함께 나타내어 PTO동력을 필요로 하는 로타리나 베일리 작업 시 트랙터의 상태를 편하게 확인할 수 있도록 설계하였다.

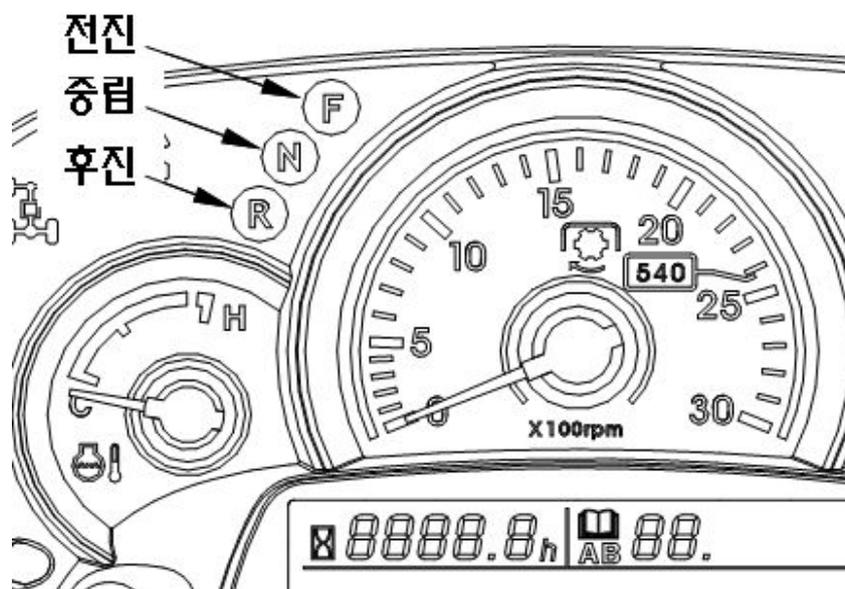


그림 2-52 계기판 변경 사항.

다. 트랙터 변속레버의 실용화를 위한 디자인의 상세 설계

포장작업을 통한 편의성 평가에서 전후진과 주변속이 하나의 레버에 있는 것이 불편하다는 의견과 레버의 상태로 현재 변속 단수를 확인할 수 없다는 불편이 확인되었다. 또한 1차 시작기의 설계 위치가 접근성은 떨어지지만 시계성이 뛰어나기 때문에 이러한 설계 자료를 활용할 필요가 있다. 따라서 트랙터의 진행 상태를 나타내고 변속 작업 수행 시 번거로운 동작을 없애기 위하여 전후진 레버의 기능만을 분리하였고, 주행속도를 결정하는 주변속과 주변속 레버의 기능을 합친 변속 레버를 설계하였다.

(1) 전후진 레버 설계

트랙터의 진행방향을 결정하는 전후진 레버는 1차 시작기의 설계를 유지하며 주변속의 기능을 제외한 전후진 기능만을 수행하게 설계하였다. 전후진 동작은 포장 작업 중 사용자가 특별히 조작하는 경우를 제외하고는 주로 변경하지 않기 때문에 진동 등에 의한 오작동이 발생할 시 사고를 유발할 수 있다. 따라서 그림 2-53의 설계도와 같이 레버가 위로 15도 당겨진 상태에서만 앞/뒤로 조작하여 전후진을 결정하고 다시 놓으면 틀에 고정되어 움직일 수 없게 하여 진동에 의한 오작동을 예방하도록 설계하였다.

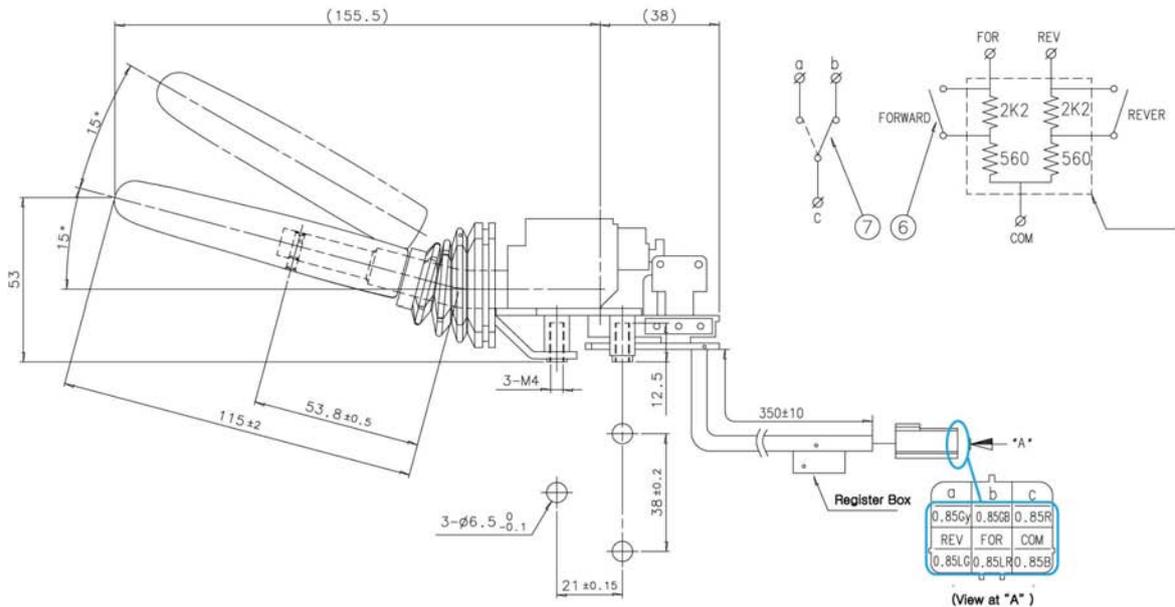


그림 2-53 전후진 레버의 설계도.

이러한 설계 사양에 맞추어 전후진 레버를 개발하였고 장착 위치는 접근성은 다소 떨어졌으나 시계성이 우수하였던 1차 시작기의 장착 위치에 장착할 수 있도록 그림 2-54와 같이 3D 모델링을 실시하였다. 개발된 전후진 레버는 그림 2-55와 같이 실제 AMT 트랙터에 장착을 하였다. 전후진 셔틀 기능은 차량의 정지 상태에서 전후진 레버를 중립에서 위로 당긴 후 전진/후진 방향으로 조작을 실시하면 클러치 조작 없이 변속이 시행된다. 추가적으로 차량이 전진(또는 후진)으로 움직이는 상태에서 레버를 차량의 진행방향의 반대로 조작하면 전후진 급속 조작 모드로 인식되어 레버의 조작 후 클러치가 해지되어 동력이 차단되고 관성에 의해 차량은 계속 움직인다. 그 후 차량의 차중 및 마찰에 의해 차량 속도가 일정 속도(변속기 rpm센서 600 rpm)이하로 감속되면, 전진(또는 후진)에 연결되어 있던 슬리브가 반대방향으로 이동하여 선택되고, 클러치는 다시 연결되어 진행되던 방향의 반대방향으로 이동하게 된다.

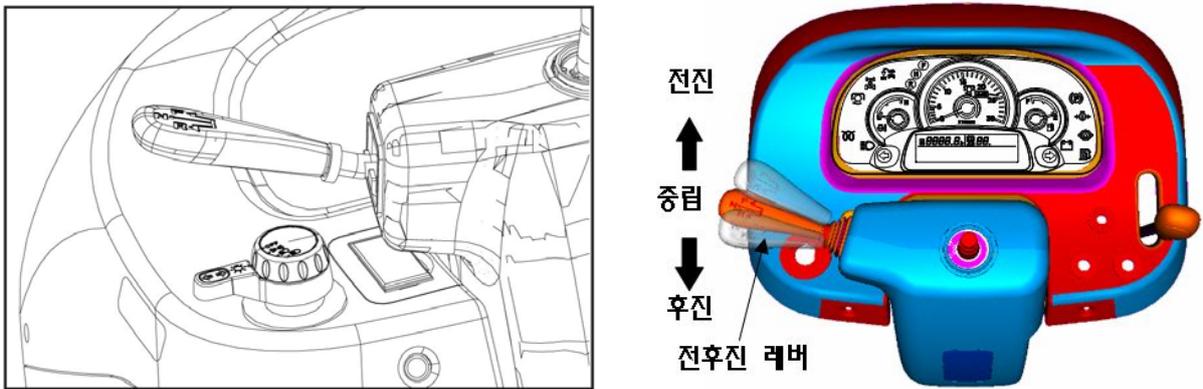


그림 2-54 전후진 레버의 개념도.



그림 2-55 전후진 레버의 실제 장착 모습.

## (2) 변속 레버 설계

트랙터의 주행 속도를 조절하는 변속레버는 그림 2-56과 같이 2차 시작기의 설계를 유지한 상태에서 손잡이 부분을 앞선 연구를 통해 선정된 둥글고 낮은 형태의 손잡이로 변경하고 주변속과 부변속의 기능만을 합쳐 설계하였다. 클러치 단속 스위치는 주변속 레버에 장착되어 있으며, 차량이 운행 중인 상태에서 주변속 속도를 변속하는 경우 클러치 페달 조작 없이 레버에 장착된 스위치를 누르고 주변속 레버를 원하는 단수로 변경하는 것만으로 차량의 변속이 가능하게 한다. 이 때, 클러치 단속 스위치를 누르고 있는 상태에서 주변속 단수 변경을 완료하고 스위치를 놓아야한다. 또한 전후진 레버가 중립인 상태에서는 클러치 단속 스위치를 눌러도 클러치 액추에이터는 작동하지 않으며, 동력도 해지되지 않는다.

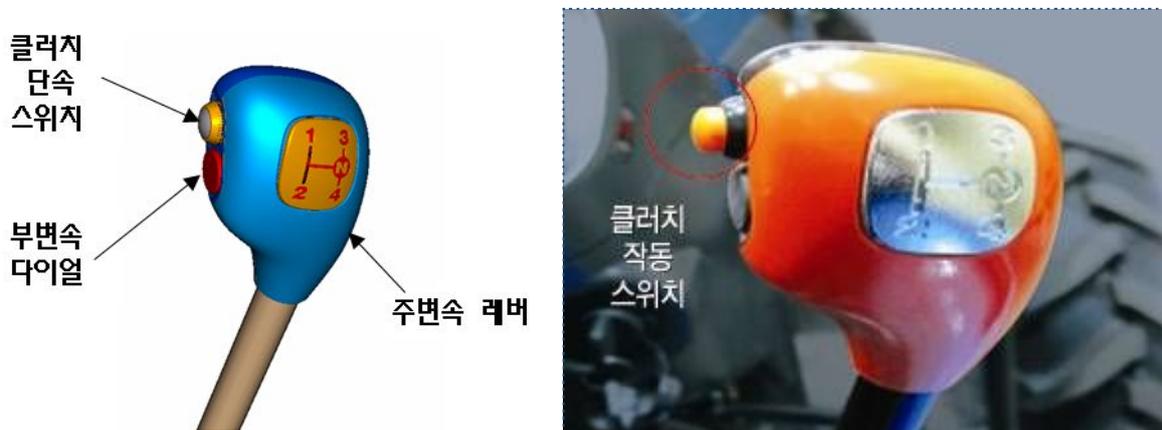


그림 2-56 변속 레버의 개념도(좌) 및 실제 장착 모습(우).

## (3) 인간공학적 평가

### (가) 조작성

최종 개발된 주변속 레버와 주변속과 부변속 기능이 합쳐진 변속 레버의 조작력 평가를 실시하였다. 기존 평가에 사용했던 근력 측정 장치를 사용하여 5회 반복 측정하였고 전후진 레버의 조작력을 평가한 결과는 표 2-25와 같이 나타났다. 내구성 평가에서 발생했던 문제점을 해결하기 위하여 전후진 싱크로부의 설계를 변경하였으며 링크부의 설계도 변경하여 링크부의 표준편차에 의한 조작력 증대 상황을 해결하도록 하였다. 그 결과 모든 변속에 대하여 조작력이 50% 가량 감소하였음을 확인할 수 있었다. 또한 트랙터의 작업 중의 진동에 의한 오작동을 방지하기 위하여 위도 당기는 동작을 추가하였는데 이때의 조작력은 구속하고 있는 잠금 걸쇠를 밀어내는 힘이 추가되어 전후진 변속보다는 높은 힘을 요구하였으나 평균 80.3 N으로 ISO 기준을 만족함을 확인하였다.

표 2-25 전후진 레버의 조작력 평가 결과

	Measured value (N)	ISO / TR 3778 (N)
N → F*	48.5 ± 1.12**	
F → N	43.9 ± 1.02	
N → R	50.2 ± 1.76	100
R → N	45.9 ± 1.55	
Up	80.3 ± 2.42	

\* N : Neutral, F : Forward, R : Reverse

\*\* Average ± Standard deviation

주변속과 부변속 기능을 통합한 변속레버의 조작력을 측정된 결과는 표 2-26과 같이 나타났다. 변속 레버는 기존 2차 시작기에서 원래상태로 돌아오게 하는 리턴 스프링 대신 변속 단수 위치에 머물게 하는 걸쇠를 추가하여 기존의 조작력보다 소폭 증가하였다. 그러나 손으로 조작하는 레버의 ISO 기준인 100 N이하를 만족하였기 때문에 변속레버의 조작력 평가는 이상이 없다고 판단된다. 기존 다이얼 방식의 부변속 레버와 새로 추가한 클러치 단속 스위치는 손가락으로 조작을 해야 함으로 그 기준이 10 N이하이어야 하는데, 측정결과 각각 평균 3.8 N, 3.2 N으로 조작력 기준을 만족함을 알 수 있다.

표 2-26 변속 레버의 조작력 측정 결과

	Measured value (N)	ISO / TR 3778 (N)
N → 1	22.5 ± 0.70	
N → 2	21.3 ± 0.78	
N → 3	23.3 ± 0.89	100
N → 4	20.8 ± 0.71	
Auxiliary shift dial	3.8 ± 0.14	
Clutch switch	3.2 ± 0.12	10

#### (나) 시계성

최종 개발된 두 개의 전후진 레버와 변속 레버의 시계성 평가를 위해 기존의 시계성 평가 시스템을 사용하여 전후진 레버와 변속 레버의 손잡이와 부변속 부분, 클러치 단속 스위치를 대상으로 각도를 측정하였다. 선정된 뷰포인트에 대하여 5회 반복 측정된 결과는 표 2-27과 같

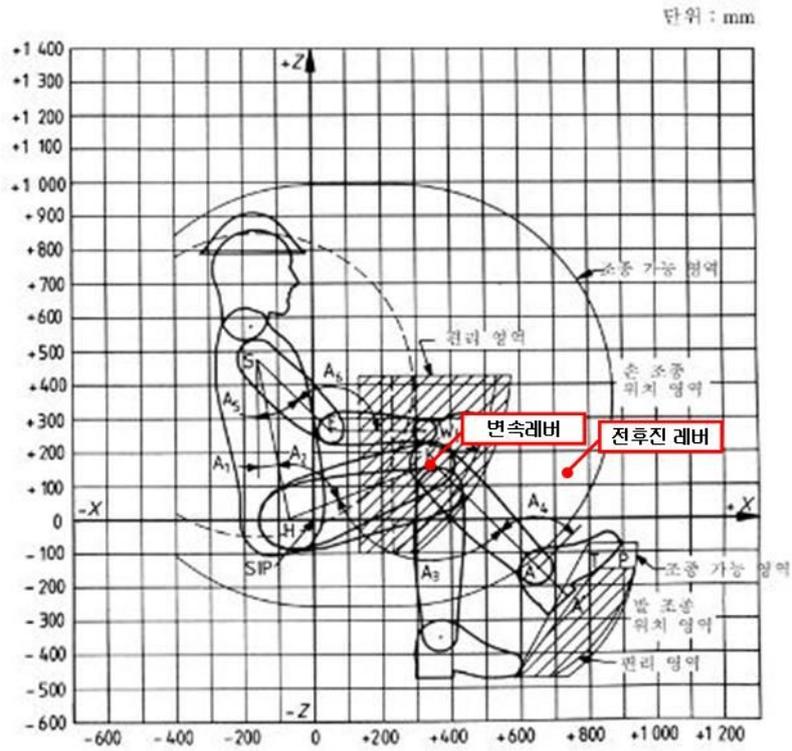
이 나타났다. 전후진 레버의 경우 작업자의 눈 위치에서 수평각도는  $-14.8^\circ$  수직각도는  $-34.2^\circ$  위치로 측정되었고 이를 평가 점수로 환산하면 51점으로 주시안정 시야 영역에 우수한 시계성을 나타냄을 확인하였다. 변속레버의 경우 주변속 레버부와 부분속 다이얼, 클러치 단속 스위치가 각각 32, 30, 31 점으로 주시안정시야를 벗어나지만 유도시야 영역에 있음을 확인할 수 있다.

표 2-27 변속레버의 시계성 평가 결과

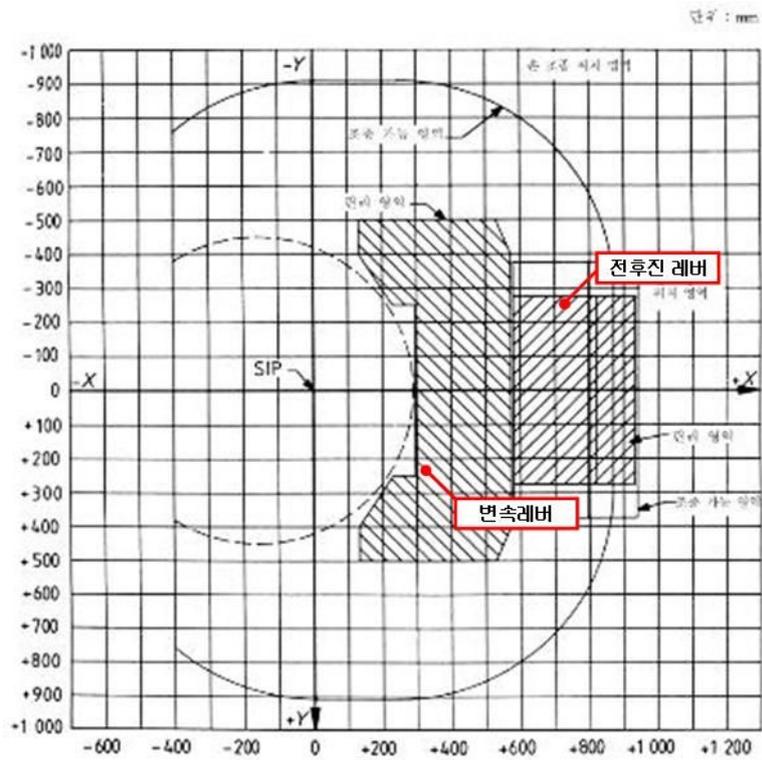
View point	Horizontal angle ( $^\circ$ )	Vertical angle ( $^\circ$ )	Evaluation score (point)
F/R shift lever	$-14.8 \pm 0.21$	$-34.2 \pm 0.22$	51
Main shift lever	$52.8 \pm 0.32$	$-19.4 \pm 0.24$	32
Auxiliary shift dial	$51.6 \pm 0.12$	$-22.6 \pm 0.14$	30
Clutch switch	$51.7 \pm 0.15$	$-20.5 \pm 0.13$	31

(다) 접근성

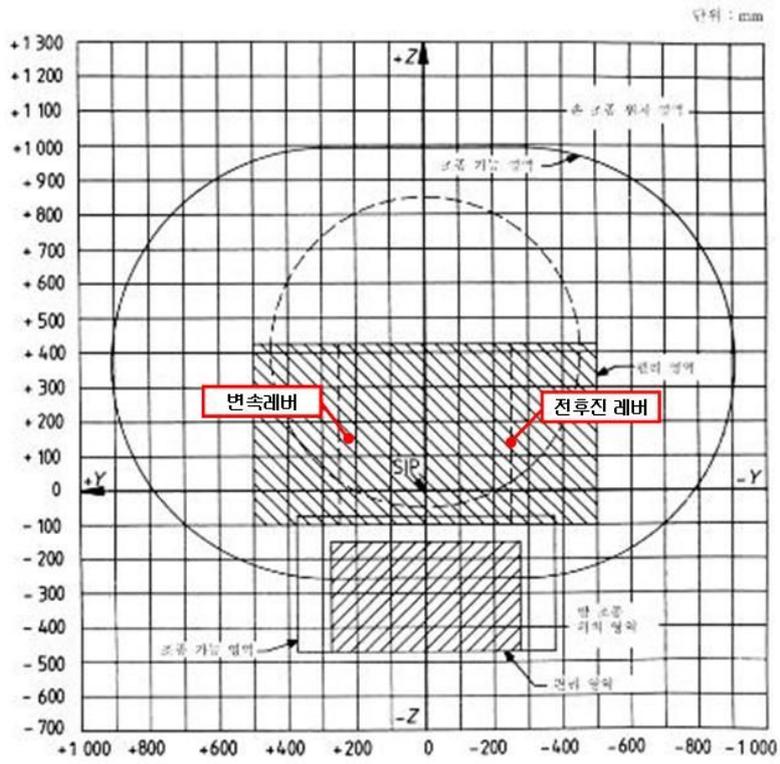
전후진 레버와 변속 레버의 접근성 평가를 위하여 설계된 위치에 대하여 리치평가를 수행하였다. 전후진 레버는 SIP에서부터 x축 720 mm, y축 -250 mm, z축 120 mm 떨어져 있으며 그림 2-57과 같이 측면영역에서 조종가능 영역에 위치하고 평면과 정면에서는 편리영역임을 확인 할 수 있다. 변속 레버의 좌표는 SIP를 원점으로 하여 (320, 240, 150)로 그림 2-57과 같이 측면, 정면, 평면 모든 방향에서 편리영역 내에 들어옴을 확인할 수 있다.



(a) 측면



(b) 평면



(c) 정면

그림 2-57 주변속 레버와 변속 레버의 리치평가 결과.

### 제 3 절 자동화 수동변속기의 고장진단 시스템 개발

#### 1. 자동화 수동변속기의 고장진단을 위한 CAN 설계 및 개발

##### 가. 작업 상태 진단을 위한 CAN 기반의 고장진단 시스템 설계

##### (1) CAN의 개요 및 자동차에서의 활용

최근 자동차 전자제어 기술이 발달하고 마이크로 컨트롤러의 성능이 향상되면서 자동차 내의 전자제어 장치(ECU)의 수가 점차 증가하고 있다. 전자제어 장치는 그림 3-1과 같이 자동차의 엔진, 변속기, ABS (Anti-lock Brake System, 자동차가 급제동할 때 바퀴가 잠기는 현상을 방지하기 위해 개발된 특수 브레이크) 따위의 상태를 제어하는 장치로서 애초의 개발 목적은 엔진의 점화시기, 연료분사, 공회전 등 핵심 기능을 정밀하게 제어하는 것이었으나 차량과 컴퓨터의 성능이 발전함에 따라 자동변속기의 제어를 비롯한 구동, 제동, 조향 등 차량의 모든 부분을 제어하는 역할까지 하고 있다. 그러나 각 전자제어 장치들은 서로의 정보를 전달하기 위해 각각 다른 연결 방법을 가지고 있어 각 제어 장치끼리의 연결에 필요한 배선의 증가와 확장성의 문제를 일으켜 차량 개발의 효율성을 감소시킨다. 또한 신차의 개발기간이 점차 짧아지고 차량의 개발 및 생산 비용 절감과 제어 성능 향상 등에 대한 요구 또한 커지고 있다. 이러한 요구를 만족하기 위해 각 전자제어 장치들의 모듈화가 이루어져야하며 효과적이고 체계적인 개발 프로세스와 최적의 시스템 구성이 필요하다. 이를 위해 CAN (Controller Area Network) 통신 프로토콜이 개발되기 시작하였다.

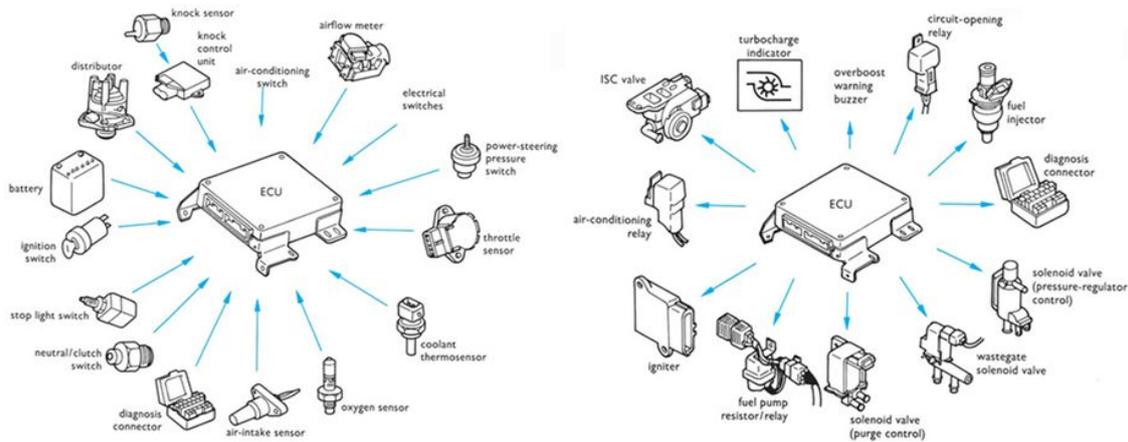


그림 3-1 ECU의 입력 및 출력 신호.

CAN 통신이란, 1988년 Bosch사와 Intel사에서 자동차내의 각종 계측제어 장비들 간의 디지털 직렬 통신을 제공하기 위하여 개발한 시리얼 네트워크 통신방식으로 처음에 'Car Area

Network'라는 명칭으로 시작된 만큼 차량 내에 적합하도록 개발되었다. 여러 개의 전자제어 장치들을 병렬로 연결하여 각각의 전자제어 장치들 간에 원활한 정보교환이 가능하다는 장점이 있고 여러 개의 장치를 단 2개의 선으로 제어할 수 있다는 장점이 있다. 또한 다른 자동화 통신망들에 비하여 가격 대 성능비가 우수하며, 지난 수년간 차량내의 열악한 환경에서 성공적으로 동작되어 신뢰도가 검증된 통신망이다. 신뢰도가 검증된 만큼 기존 차량에서도 승용차, 트럭, 버스 등 엔진 관리 시스템, 미끄럼 방지 브레이크, 기어제어, 활성 서스펜션 등과 같은 전자제어 장치들 사이의 커뮤니케이션 Power Train에 이용되고 있다. 또한 외부 전자파나 노이즈에 강해 자동차뿐만 아니라 산업 자동화, 건물 자동화, 의료 장비, 열차, 중장비 차량 등 표 3-1과 같이 다양한 분야에서 활용되고 있다.

표 3-1 CAN 네트워크의 활용 분야

Application Field	Contents
General vehicle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Communicate between ECU</li> <li>• Control the dashboard, light, air conditioner, windows, center lock, air bag, safety belt</li> </ul>
Heavy vehicle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Power train and control the water pressure for construction vehicle, forklift, tractor</li> </ul>
Train	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exchange data between electronic system</li> </ul>
Industry automation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Connect the control equipments</li> <li>• Initialize, up/download the program and parameter, exchange the measurement/actual value</li> <li>• Printing equipment, control the paper and fiber</li> <li>• Transport system</li> </ul>
Medical appliance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MRI, X-ray, wheel chair</li> </ul>
Building automation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control the heater, air conditioner, light, elevator, escalator</li> </ul>

차량 내에서 CAN 네트워크는 CAN의 메시지 전송 속도에 따라 표 3-2와 같이 고속 CAN 네트워크와 저속 CAN 네트워크로 분류할 수 있다. 고속 CAN 네트워크는 엔진 및 변속기의 파워트레인 시스템과 ABS 및 ESP (Electronic Stability Program) 등의 샤시(chassis) 시스템과 같이 고속의 데이터 전송이 필요한 통신 네트워크에 제공되며 Bit rate는 125 Kbit/s부터 최대 1 Mbit/s를 제공한다. 더불어 자동차와 같이 다양하고 심각한 노이즈가 많은 환경에 적합하도록 에러 검출 및 에러 보정의 기능이 있다. 저속 CAN 네트워크는 편의 장치 위주의 바디 시스템과 같이 속도에 덜 영향을 받는 통신 네트워크에 제공되며 Bit rate는 최대 125 Kbit/s를 제공한다. 저속 CAN은 고속 CAN과 달리 전송 속도에 구애를 받지 않아 많은 수의 노드 허용이 가능하다.

표 3-2 고속 CAN 네트워크와 저속 CAN 네트워크의 비교

Section	High Speed CAN	Low Speed CAN
CAN Class	Class C (125 Kbit/s ~ 1 Mbit/s)	Class B (~ 125 Kbit/s)
Standard ISO	ISO 11898-2	ISO 11519-2
Transceiver	Philips 82C250/251 TJA 1040/1041/1050	Philips 82C252 TJA 1050/1054/1054A
Topology	Line topology	Various topology
Signals	Approx.500-800	Approx.1200-2500
Messages	Approx.30-50	Approx.250-350
Nodes	Approx.2-10	Approx.30-50
Part	Power train Engine control	Body CAN Comfort features

(2) CAN의 트랙터에서의 활용

CAN은 일반 승용 자동차 및 특수 차량에서 전선의 무게 감소와 각 유닛들의 효율성을 높이며 자동화 등에 큰 기여를 하고 있다. 국내에 일반 승용 자동차 분야는 CAN 기반의 내부 시스템의 많은 발전이 있었으나 농경지 등에서 사용되는 트랙터는 아직 그에 못 미치고 있다. CAN은 통신선을 트위스트 꼬임으로 하여 주변 노이즈에 강하므로 농업 환경에서 적용성이 가장 좋은 통신방법이다. 농용 트랙터와 임업 작업기에서의 CAN은 ISO 11783에서 규정되어 있다.

ISO 11783의 내용을 살펴보면, CAN에 의해 데이터가 교환될 때 어떠한 전자제어 장치들도 주소화되지 않고 메시지의 내용에 의해서 정해진다. ID는 메시지의 내용뿐만 아니라 우선순위도 결정하는데, 이것은 여러 개의 전자제어 장치들이 동시에 버스에 접근하려고 할 때 버스 할당을 위하여 중요하다. 전송되는 메시지의 우선순위는 해당 메시지의 ID에 의해 결정되는데 시스템을 설계하는 동안 결정되며 이진법에 의해 표현되고 동적으로 변할 수 없으며 가장 낮은 이진수를 갖는 ID가 가장 높은 우선순위를 갖는다. 본 연구에서는 고장진단 신호의 CAN 통신을 위해 표 3-3과 같은 ID를 통해 우선순위를 결정하였다.

표 3-3 CAN ID를 이용한 고장 진단

CAN ID	Source	Destination	Reference	Period
0x19FFA060	AMT controller	dashboard	Error cord FR lever	100ms
0x19FFA080	AMT controller	diagnosis/PC	RPM Current / AD	30ms
0x19FFA090	AMT controller	diagnosis/PC	AD SW Error state	30ms
0x19FFA0A0	AMT controller	diagnosis/PC	Number of errors Program version	100ms
0x19FFA0B0	diagnosis/PC	AMT controller	Electronic horn test Delete number of errors	Request
0x19FFA0C0	AMT controller	diagnosis/PC	Main shift lever AC level AC AD Error state	30ms
0x19FFA0C2	AMT main controller	AMT main shift controller	Main shift lever TM_RPM FR lever Clutch AD	100ms
0x19FFA0C4	AMT main shift controller	AMT main controller	Main shift level Gear engagement alarm diagnosis	100ms

(3) 고장진단 센서의 선정 및 신호 측정을 위한 인터페이스 개발

트랙터 고장에 관한 조치는 대부분 제조 회사의 정비 지침서에 명시된 점검 방법을 따르고 있으며, 트랙터 자체적으로 유압, 레버, 전후진, 밸브, 클러치 등의 진단 시스템을 가지고 있으나(동양, 대동, 국제 트랙터, LG 취급 설명서, 1998, 1999, 1998) 정확한 진단은 어렵고 고장유·무만 감지하므로 고장을 예측하기에는 한계가 있어 트랙터 고장진단 시스템이 필요한 실정이다.

고장진단 시스템은 지속적인 센서 신호의 측정을 통하여 기계장비의 이상 및 고장상태를 신속히 감지하는 것을 목표로 하며 그림 3-2~4와 같이 센서를 이용하여 자동화 수동변속기의 작동 상태를 감지하는 자료수집 장치, 측정된 센서 신호의 잡음을 제거하여 원하는 형태의 신호로 변환하는 신호처리 장치, 고장을 검출하는 고장진단 모델로 구성된다.

본 연구에서는 고장진단을 위한 소프트웨어 툴로써 LabVIEW(version 8.5, National

Instrument, USA)를 사용하였다. LabVIEW는 신호계측 및 제어 프로그램으로써 다양한 신호 처리가 가능하고, 소스코드 부분이 아이콘으로 되어있어 데이터의 흐름을 직관적으로 관찰할 수 있는 장점이 있다. 또한 자체적으로 내장하고 있는 측정 및 각종 분석함수가 있어 신호처리 및 분석에 매우 용이하다.

트랙터 고장진단을 위한 계측 시스템을 개발하기 위해 진단 센서의 측정신호 입력이 가능한 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) 모듈을 이용하였다. 측정된 센서 신호는 I/O 인터페이스 모듈을 이용하여 신호 변환을 거친 후, FPGA 모듈에 입력되어 잡음 제거 등의 신호처리 과정을 거쳐 RT 모듈에 전송되어 트랙터의 현재 상태를 진단하게 된다. FPGA 모듈(Crio-9104, National Instrument, USA)은 최대 3 Mhz의 전송 속도로 8개의 I/O 인터페이스 모듈을 동시에 측정 가능하여 고속의 진동 및 회전속도의 측정이 가능하도록 하였으며, RT 모듈(Crio-9012, National Instrument, USA)은 400 MHz의 프로세서가 장착되어 많은 양의 신호 처리를 실시간 수행 가능하다. 아날로그 입력모듈로는 NI 9205(National Instrument, USA)와 NI 9219(National Instrument, USA)를 사용하였다. 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. NI 9219는 4개의 아날로그 입력을 가지며 250 Vrms의 분해능으로 Thermocouple, RTD, 저항, 전압 및 전류를 측정할 수 있다. 아날로그 출력모듈(NI cRIO-9263, National Instrument, USA)은 4개의 아날로그 출력을 가지며 최대 100 kS/s의 속도로  $\pm 10$  V의 전압을 출력한다. 디지털 입출력모듈로는 NI 9403과 NI 9401을 사용하였다. NI 9403(National Instrument, USA)은 32개의 채널을 가지며 노이즈가 많은 입력 신호를 측정할 때 성능을 향상시키기 위한 히스테리시스(hysteresis)가 있다. 또한 과전압, 과전류 및 단락 회로 보호장치가 있다. NI 9401(National Instrument, USA)은 8개의 채널을 가지며 최대 100 ns의 고속 펄스 신호 측정이 가능하다. 디지털 출력모듈로는 NI cRIO-9474와 NI cRIO-9411을 사용하였다. NI cRIO-9474(National Instrument, USA)는 8개의 채널을 갖고 최대 1  $\mu$ s 속도로 전압을 출력하며 각 채널의 상태를 나타내는 LED가 있다. NI cRIO-9411(National Instrument, USA)은 6개 채널을 갖고 500 ns의 속도로 데이터를 차동으로 입력받을 수 있다. FPGA 모듈과 RT 모듈 및 I/O 모듈의 사양은 표 3-4와 같다.



(a) Crio-9012

(b) Crio-9104

그림 3-2 RT 모듈과 FPGA 모듈.



(a) NI 9205

(b) NI 9219

(c) NI cRIO-9263

그림 3-3 고장진단 시스템의 아날로그 입력 및 출력 모듈.



(a) NI 9403

(b) NI 9401

(c) NI cRIO-9474

(d) NI cRIO-9411

그림 3-4 고장진단 시스템의 디지털 입력 및 출력 모듈.

표 3-4 데이터 수집 장치 및 I/O 모듈의 사양

Module		Specifications
Real time processor	cRIO-9012	<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	cRIO-9104	<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	NI 9205	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 32 single-ended or 16 differential analog inputs</li> <li>• 16-bit resolution; 250 kS/s aggregate sampling rate</li> <li>• <math>\pm 10</math> V programmable input ranges</li> </ul>
	NI 9219	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 250 Vrms channel-to-channel isolation</li> <li>• Thermocouple, RTD, resistance measurements</li> <li>• 100 S/s/ch simultaneous inputs</li> </ul>
	cRIO-9263	<ul style="list-style-type: none"> <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	NI 9403	<ul style="list-style-type: none"> <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>
	NI 9401	<ul style="list-style-type: none"> <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>
	cRIO-9474	<ul style="list-style-type: none"> <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>
	cRIO-9411	<ul style="list-style-type: none"> <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>

(1) 트랙터 고장진단 센서

자동화 수동 변속기의 고장진단을 위한 측정 항목은 표 3-5와 같다. 메인모터는 회전속도, 회전방향, 온도를 측정하였고 파우더 브레이크는 토크(torque)와 회전속도를 측정하였다. 전·후진 액추에이터는 액추에이터 내부에 장착되어있는 포텐쇼미터(potentiometer)를 이용하여 회전각도를 측정하였고 회전속도를 측정하였다. 주변속 액추에이터는 회전속도, 주변속 액추에이터는 회전각도와 회전속도를 측정하였으며 클러치 액추에이터 또한 회전각도와 회전속도를 측정하였다. 기어 박스는 변속 시 회전속도와 차축 회전속도를 냉각장치는 온도를 측정하였다.

표 3-5 AMT 트랙터의 고장진단을 위한 측정 항목

Component		Measurement item
Main motor		<ul style="list-style-type: none"> <li>• RPM</li> <li>• Direction</li> <li>• Temperature</li> </ul>
Powder brake		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Torque</li> <li>• RPM</li> </ul>
Actuator	Foward and reverse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potentiometer</li> <li>• RPM</li> </ul>
	Main transmission	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RPM</li> </ul>
	Sub transmission	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potentiometer</li> <li>• RPM</li> </ul>
	Clutch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potentiometer</li> <li>• RPM</li> </ul>
Gear box		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mission RPM</li> <li>• axle RPM</li> </ul>
Cooling device		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperature</li> </ul>

이 센서의 신호를 측정하기 위해 FPGA 모듈과 RT 모듈, I/O 모듈을 이용하여 그림 3-5와 같이 고장진단을 위한 인터페이스를 설계하였고, 그림 3-6과 같이 LabVIEW를 통하여 측정된 신호 및 고장 여부를 확인할 수 있도록 하였다.



그림 3-5 트랙터 고장진단 인터페이스.

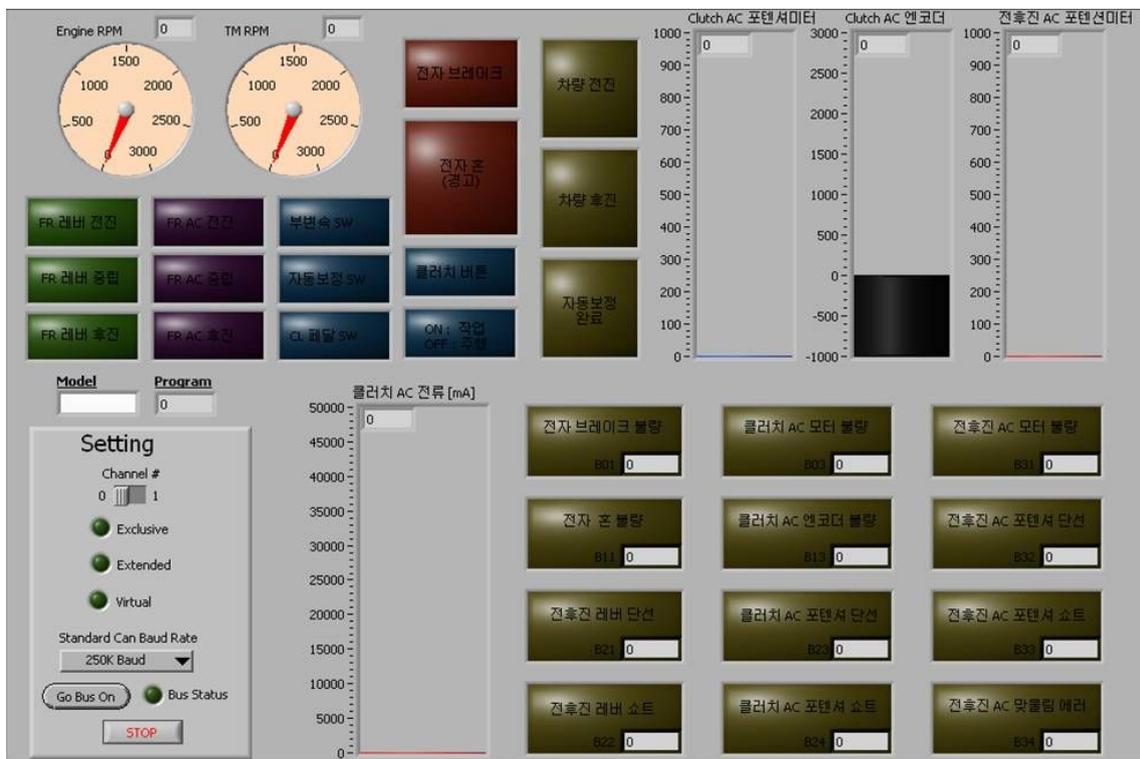


그림 3-6 트랙터 고장진단 모니터링 시스템.

## (2) 잡음제거 알고리즘

트랙터는 포장 작업 시 고장을 진단해야 하는데 데이터 수집 장치에 의해 측정된 센서 신호는 측정 시 주변 환경에 따라 여러 가지 잡음이 섞여있기 때문에 정확한 고장진단을 위해서는 신뢰성 있는 센서 신호의 수집이 무엇보다 중요하다.

현재 여러 가지 신호의 잡음제거에 사용되는 알고리즘은 특정 주파수 영역의 잡음제거가 가능한 웨이블릿 변환(wavelet transform)을 이용하는 방법, 측정된 신호를 평균내어 사용하는

이동 평균법(moving average), 주변 환경의 변화에 따라 필터 특성의 변화가 가능한 적응 필터(adaptive filter) 등이 있다.

작업 중인 트랙터에서 신뢰성 있는 센서 신호의 수집을 위해 웨이블릿 변환, 이동 평균법, 적응 필터 등의 잡음제거 알고리즘을 이용하여 트랙터 고장진단 시스템에 적합한 잡음제거 알고리즘을 선정하였다.

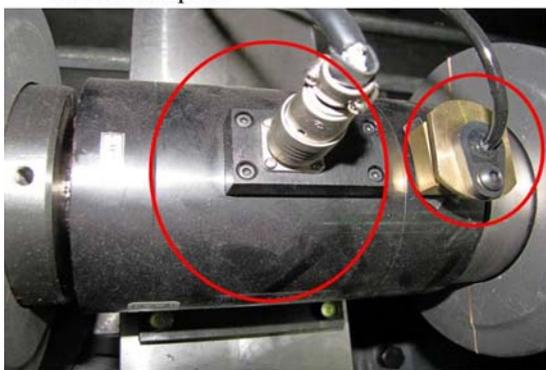
트랙터 고장진단 시스템의 잡음제거 알고리즘 선정을 위해 트랙터 주요 고장항목을 감지할 수 있는 측정항목을 선정하였다. 고장요인은 농기계 사후실태 조사 결과에 따른 트랙터의 부품 교환 빈도와 트랙터 점검 항목을 기준으로 작업 중 트랙터의 부하를 판단할 수 있는 항목으로 정하였으며, 센서의 장착 편의성 및 측정 환경을 고려하여 측정항목을 그림 3-7과 같이 선택하여 장착하였다.



(a) Proximity sensor for measuring engine revolution speed



(b) Proximity sensor for measuring transmission revolution speed



(c) Torque sensor for measuring driving shaft load (left), and proximity sensor for measuring driving shaft speed (right)



(d) Temperature sensor for measuring hydraulic temperature

그림 3-7 고장진단 모니터링 센서의 설치.

고속의 트랙터 엔진 회전에 따른 엔진축의 회전속도 측정을 위해서는 자체 개발한 자성 근접센서를 이용하였으며, 트랜스미션축 및 차축의 회전속도는 회전속도의 검출이 가능한 양방향 자성 근접센서(R-1, honeywell, USA)를 이용하였다. 또한 각각의 회전축에 장착한 센서로부터

측정된 펄스 신호는 주파수 변환 카운터를 이용하여 주파수로 변환해서 회전속도를 측정하였다. 차축에 걸리는 부하는 비접촉식(brushless type)으로 장시간 사용이 가능하며 RPM 센서를 동시에 장착 가능한 토크센서(TRC 1000, Dacell, Korea)를 사용하였다. 또한 변속기의 유체 온도 측정은 -200 ~ 400℃의 온도 측정이 가능하고 응답 속도가 빠른 T-type 열전대(Iijin Sensor, Korea)를 사용하였다.

트랙터 고장진단 시스템에 적합한 잡음제거 알고리즘을 선정하기 위해 그림 3-8과 같이 트랙터 작업 중 웨이블릿 변환, 이동 평균법, 적응 필터의 알고리즘을 실시간 처리할 수 있도록 계측 시스템을 개발하였다. 계측 시스템은 고장 진단 센서로부터 측정된 신호를 입력하는 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) 모듈을 이용하였다. 측정된 센서 신호는 1 kHz의 속도로 각각의 센서에 적합한 I/O 인터페이스 모듈에 입력되어 신호 변환을 거친 후, FPGA 모듈에 입력되어 각각의 잡음제거 알고리즘으로 신호처리 하여 RT 모듈에 전송되어 진다.

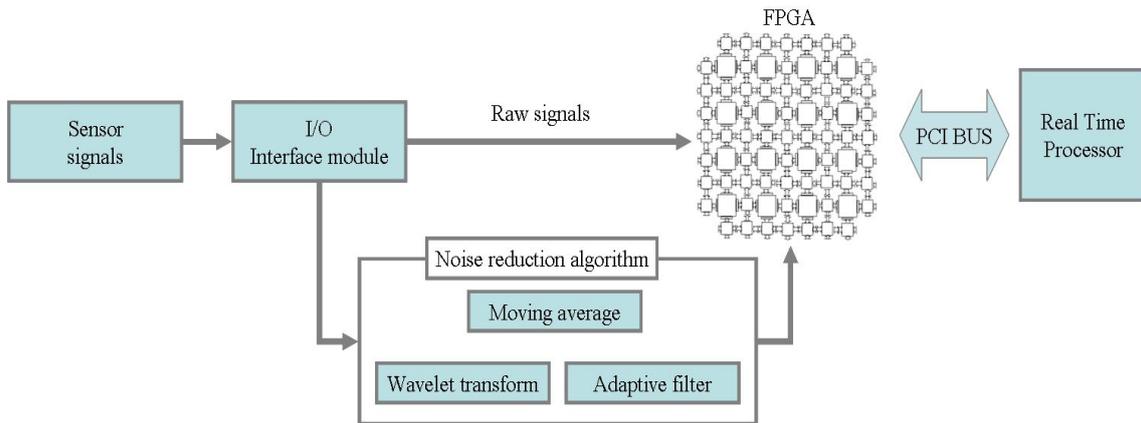


그림 3-8 잡음제거 알고리즘을 이용한 트랙터 고장진단 시스템.

트랙터 계측 시스템의 잡음제거를 위해 이동 평균법, 웨이블릿 변환, 적응 필터 알고리즘을 이용하였으며, 각각의 필터 특성에 적합한 인자를 선택하여 잡음제거 알고리즘을 개발하였다.

이동 평균법은 잡음을 보정하는 신호의 차수를 결정해야 하는데, 본 연구에서는 샘플링 주파수를 고려하여 100개의 신호를 평균 내어 1초 간격으로 입력되는 신호의 잡음을 제거하였다.

웨이블릿 변환의 잡음제거는 실시간 잡음제거를 위하여 연산속도가 빠른 Haar 함수를 기본 함수로 사용하였다. 임계치의 결정은 잡음제거 분야에서 주로 사용되는 Universal 방법으로(성열훈, 2005) 임계값을 계산하였으며 임계값에 따른 잡음의 제거는 외란에 의한 이상 신호가 발생하는 깁스(Gibbs)현상을 최소화하는 소프트 임계처리 방법으로 개발하였다.

적응 필터는 적응제어를 이용한 잡음제거 알고리즘으로 잡음이 섞인 신호( $s+n_1$ )에 대하여 유사한 잡음을 가지고 있는 기준신호( $a \times n_1$ )를 입력하여 잡음을 제거하는 방법으로 올바른 기준신호의 선정 필요하다. 트랙터의 잡음은 주로 엔진에서 발생하는 잡음과 주파수 영역에서 유사한 특성을 보이고 있으므로 각각의 센서에 대한 기준신호를 엔진의 회전속도로 하여 적응 필터 알고리즘을 개발하였다.

잡음제거 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 트랙터의 주행 속도를 15 km/h로 고정하고 주행 중 고장진단 센서 신호를 측정하여 신호대잡음비(Signal to noise ratio, SNR)로 변환하였다. 이때, 신호대잡음비는 잡음이 포함되지 않은 원신호를 알지 못하므로 식 (3-1)과 같이 표준편차에 대한 평균값의 비를 데시벨(dB)로 계산하였다.

$$SNR(dB) = 20 \times \log_{10} \left( \frac{S_{Avg.}}{S_{Std.}} \right) \dots \dots \dots \text{식 (3-1)}$$

여기서,  $SNR$  : 신호대잡음비

$S_{avg.}$  : 신호의 평균값

$S_{std.}$  : 신호의 표준편차

트랙터의 신호는 변속이 없는 경우에는 대부분의 신호가 일정하므로 잡음제거가 용이한 장점이 있으나 지나치게 많은 연산과 높은 차수를 사용하면 시스템의 감도를 저하시키는 단점이 있다. 그러므로 잡음제거 시스템의 잡음제거 성능을 높이는 동시에 감도를 유지하기 위해서는 각각의 잡음제거 알고리즘의 응답 특성에 관한 연구가 필요하다. 포장 작업 시 엔진축, 트랜스미션축, 차축의 회전속도는 주로 변속에 의하여 측정값이 변화되므로 본 연구에서는 기계식 무단변속기를 이용하여 15 km/h에서 30 km/h로 급속 변속함에 따른 근접센서 신호의 응답을 경사 응답(ramp response)으로 가정하고 지연 시간(delay time)과, 상승 시간(rising time)을 계산하였다. 지연 시간은 응답이 최초로 최종 값의 50 %가 되는데 걸리는 시간이며, 상승 시간은 응답이 최종값의 10~90 %까지 걸리는 시간으로 지연 시간과 상승 시간이 짧을수록 시스템의 반응이 빠른 것을 의미한다.

웨이블릿필터, 이동평균필터, 적응 필터를 이용하여 고장진단 센서의 잡음을 제거한 결과, 표 3-6과 같이 신호대잡음비의 평균값은 각각 35.9 dB, 28.7 dB, 39.1 dB로 측정되어 원신호의 평균값인 27.7 dB 보다 좋은 신호대잡음비를 나타내고 있어 높은 잡음제거 성능을 보여주고 있다. 이동평균필터는 센서의 종류에 상관없이 일정한 신호대잡음비를 가지고 있는 것으로 나타났는데, 이것은 이동평균필터가 고속으로 센서 신호를 수집하고 평균을 내서 신호의 잡음을 제거하므로 잡음제거 성능이 센서의 종류 보다는 센서의 수집 속도에 영향을 받기 때문으로 판

단된다. 각각의 잡음제거 필터에 대한 잡음제거 성능은 측정 센서에 따라 다소 다른 결과를 보여주고 있으나 전체적으로 적응 필터를 이용한 경우가 가장 우수한 결과를 보여주고 있다. 또한 적응 필터의 경우 엔진 회전속도가 가장 좋은 신호대잡음비를 가지고 있으며, 변속부와 차축도 우수한 잡음제거 성능을 보여 엔진의 회전속도와 유사한 잡음 신호에 영향을 받는 것을 알 수 있다.

표 3-6 주행속도 15km/h에서 필터 알고리즘을 이용한 SNR

Sensor signal	SNR (db)			
	Raw signal	Wavelet filter	Moving average filter	Adaptive filter
Engine revolution speed	24.5	36.0	28.7	45.0
Transmission revolution speed	29.6	36.8	28.8	44.1
Driving shaft revolution speed	31.9	41.5	28.8	43.9
Driving shaft torque	27.2	36.2	28.7	32.5
Hydraulic temperature	25.4	28.9	28.7	30.2
Average	27.7	35.9	28.7	39.1

잡음제거 시스템의 응답 특성을 알아보기 위해 15 km/h에서 30 km/h로 급속 변속함에 따른 센서 신호의 변화를 경사 응답으로 가정하여 표 3-7과 같이 지연 시간과 상승 시간으로 나타내었다. 필터를 사용하지 않은 경우의 지연 시간은 0.60 s, 상승 시간은 1.13 s로 자동화 수동 변속기의 변속 시간이 다소 지연되고 있음을 알 수 있다.

필터를 사용한 경우의 지연 시간은 적응 필터를 이용한 경우가 0.82 s로 가장 적게 나타났으며, 복잡한 연산 등에 의하여 웨이블릿필터를 이용하면 1.98 s로 잡음제거 시 많은 시간을 필요로 하는 것을 알 수 있다. 상승 시간은 단순한 계산에 의하여 이동평균필터를 이용하는 것이 1.43 s로 가장 짧은 시간을 보여주고 있으며, 적응 필터를 사용한 경우 1.51 s로 다소 높게 나타났으나 전반적으로 가장 우수한 반응 속도를 보여 주어 트랙터의 신뢰성 있는 신호 계측을 위한 잡음제거 알고리즘으로 선정하였다.

표 3-7 필터 종류에 따른 응답특성

Item	Raw signal	Wavelet filter	Moving average filter	Adaptive filter
Delay time (s)	0.60	1.98	1.59	0.82
Rising time (s)	1.31	1.70	1.43	1.51

다. 고장진단 시스템의 제어를 위한 임베디드 장치 설계 및 개발

(1) 임베디드 시스템의 개요

신호처리를 위한 제어 장치는 크게 임베디드 하드웨어를 이용하거나 윈도우 소프트웨어를 이용하는 방법이 있다. 소프트웨어를 이용하는 방법인 마이크로프로세서는 사용자가 원하는 목적에 따라 명령어 집합을 재구성하여 프로그래밍 하는 방법으로 하드웨어를 변화시키지 않고 다양한 분야에 적용이 가능한 장점이 있으나 메모리로부터 명령어를 읽고 해석한 후에 실행하므로 속도가 느린 단점이 있다.

하드웨어 방법으로는 고속의 신호처리가 가능한 ASIC (Application Specific Integrated Circuit)이나 ASSP (Application-Specific Standard Products)가 있다. 이것은 일반적인 DSP (Digital Signal Processing) 프로세서로 구현할 수 없는 높은 성능을 발휘 할 수 있는 장점이 있기 때문이다. ASIC는, 주로 PC에 사용되는 마이크로프로세서나 메모리칩 등의 일반 집적회로와 달리 특정한 전자·정보통신 제품에 사용할 목적으로 설계된 비메모리 반도체 칩으로 자 제품을 제조하는 업체가 반도체 설계 업체에 개발을 주문하는 형태로 제작되므로 고속의 신호처리가 가능하지만, 특정 응용에만 이용이 가능하도록 설계된 것인 만큼 다양한 분야에 응용할 수 있는 융통성에는 많은 제약이 있다. 반면 DSP 프로세서는 ASIC이나 ASSP과 비교했을 때 성능은 떨어지지만, 거의 모든 응용분야에 사용될 수 있을 만큼 융통성이 뛰어난 장점으로 인해 널리 사용되어져 왔다. 이처럼 수년전까지의 DSP 기술은 낮은 성능대신 높은 융통성을 제공하는 DSP 프로세서와, 낮은 융통성 대신 높은 성능을 제공하는 ASSP, ASIC으로 양분되어 있었다. 이와 같이 Programmable device들은 그림 3-9와 같이 융통성과 속도가 반비례하게 된다.

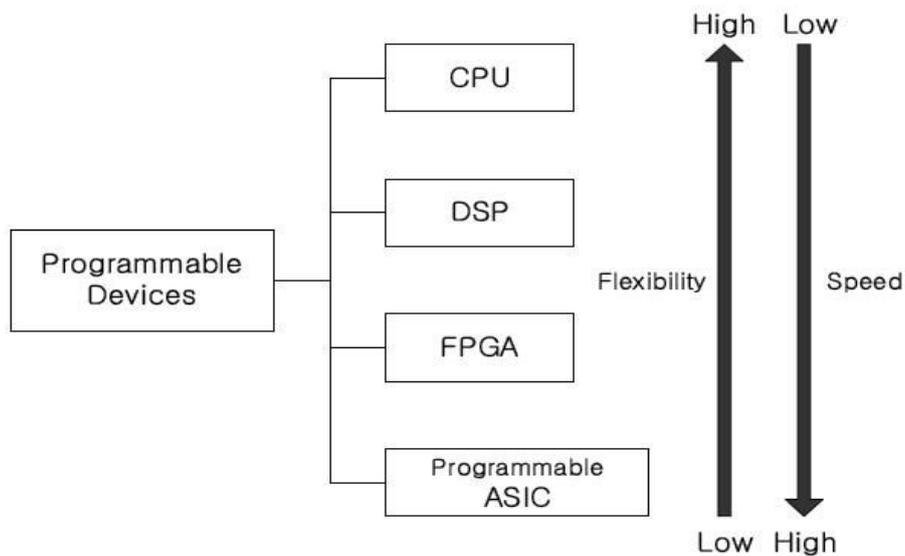


그림 3-9 디지털 신호처리 요소의 특성.

자동화 수동변속기의 고장진단 시스템 설계에서는 다양한 센서 신호의 입력과 분석을 위하여 고속의 신호처리가 필요한 동시에 사용자의 요구에 따라 진단항목을 쉽게 추가할 수 있는 자료수집 장치가 필요하다. 그림 3-10과 같이 FPGA는 칩 내부에 작은 입출력 블록(I/O blocks)과 논리 블록(logic blocks)의 논리 모듈(logic module)과 배선 영역(interconnect)으로 구성되며, 전기적 신호로 논리모듈을 조합시켜 재구성이 가능한 하드웨어 장치로 고속의 신호처리가 가능하다.

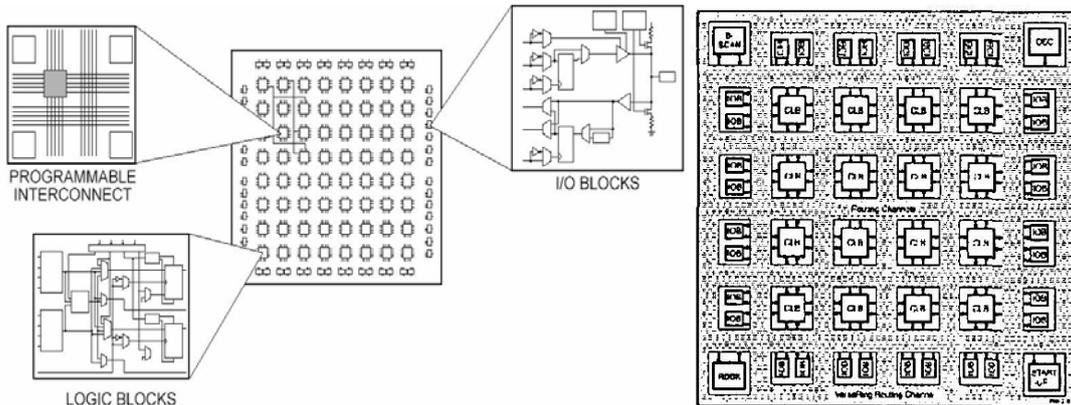


그림 3-10 FPGA의 내부 모식도.

또한 표 3-8과 같이 설계환경이 간편하여 다른 ASIC 보다 개발 기간이 매우 짧고 소프트웨어 방법과 마찬가지로 사용자의 요구에 따라 변경할 수 있어 설계 및 제작의 융통성이 높다는 장점이 있다.

표 3-8 데이터 수집 장치의 소프트웨어 및 하드웨어 비교

Item	Software	Hardware	
		ASIC	FPGA
Flexible	Possible	Impossible	Possible
Inspection	Easy	Hard	Easy
Development time	Short	Long	Moderate
Price	License price	Expensive	Inexpensive

최근 FPGA의 수요는 2001년 15,232천 건에서 2004년 24,318천 건으로 약 38% 증가하였으며, PDP (Plasma Display Panel), LCD (Liquid Crystal Display) 등의 디지털 TV, 유비쿼터스를 기반으로 하는 무선 제어, DVD (Digital Video Disk), 복사기, 스캐너, MP3 등의 여러 산업 분야에 적용이 늘어나고 있는 추세이다(세계반도체장비재료협회, 2005). FPGA는 주로 사용자

의 목적에 따라 가변적으로 변화가 가능하고 고속의 신호처리를 필요로 하는 영상 처리 분야에서 사용되었으며, 현재 로봇, 의공학 등의 진단 시스템 분야에 활발히 적용되고 있다.

김성훈(2007)은 난청자의 난청 특성을 고려한 가변 필터를 저전력이며 고속으로 4 kHz 이상의 신호를 왜곡 없이 처리 가능한 FPGA로 구현하였으며, ASIC 이나 마이크로프로세서를 이용한 방법은 유연성과 필터 처리 속도의 한계로 사용이 어렵다고 보고하였다. 이성환(2004)은 소형 로봇 및 항공기의 자율주행 시스템 개발을 위해 3차원 영상의 깊이 정보를 실시간 처리하기 위한 알고리즘을 FPGA에 적용하여 대상체의 실시간 3차원 깊이 정보를 성공적으로 측정하였다. 한상돈(2004)은 FPGA 모듈에 적응 신호처리 알고리즘을 설계하여 심전도의 기저선 제거 및 QRS 파형을 검출하였으며, 실시간 심전도의 진단을 위해서는 FPGA 모듈과 같은 고속의 신호처리가 가능하고 융통성 있는 시스템이 필요하다고 하였다. Atencia 등(2007)은 FPGA에 Hopfield network 알고리즘을 적용하고 최적화하여 FPGA 자체적으로 진단이 가능한 시스템을 개발하였으며, 다른 ASIC 보다 알고리즘 수행 시 소요되는 시간을 감소시킬 수 있다고 보고하였다.

## (2) FPGA의 종류

FPGA의 종류는 하드웨어를 설계하는 프로그램의 방법에 따라 Anti-fuse 방식, EPROM (Erasable and Programmable Read Only Memory) 혹은 EEPROM (Electrically EPROM) 방식, SRAM (Static RAM) cells 방식이 있으며, 각각의 방식은 사용자가 용도 및 환경에 적합하게 개발해야 한다(Aubesystem, 2007).

Anti-fuse방식은 3개의 단면층으로 구성되는데 가장 아래층은 n형, 반도체, 유전체로 이루어진 중간 절연층, 최상층의 폴리실리콘 전도층으로 이루어진다. 이 구조에서 비교적 높은 18 V의 전압을 Anti-fuse 터미널에 인가하고 5 mA 정도 되는 전류를 흐르게 하면 중간층의 유전체가 열에 의하여 녹게 되어 최상층과 하층 사이에 전기적인 연결이 이루어지게 된다. 퓨즈가 파괴된 후 연결되는 두 개의 전도층은 각각 전도성이 좋은 금속층과 연결되어 약 300-500  $\Omega$ 의 낮은 저항값을 가지게 된다. Anti-fuse방식의 FPGA 프로그래밍을 위하여 별도의 마스크 제조공정이 필요하나 프로그래밍을 위한 칩 면적은 매우 적다. 한편 한번 프로그래밍을 하게 되면 재프로그래밍이 불가능하다.

EPROM을 포함한 프로그래밍 방식은 Select 와 Floating 두 개의 게이트를 가진 구조로 두 게이트사이에는 전기적으로 연결되지 않은 상태이다. 프로그래밍이 되지 않은 상태에서는 Floating 게이트에 전하가 존재하지 않아서 이 트랜지스터는 보통의 경우와 동일하게 Select 게이트에 의하여 ON 시킬 수 있다. 이러한 방법으로 EPROM은 프로그래밍 스위치로 사용한다. 프로그래밍된 EEPROM 소자는 비휘발성이나 자외선을 일정시간 조사하게 되면 포획된 전

하를 잃어버리게 되므로 재프로그래밍이 가능하고 칩 면적이 매우 적다는 장점이 있다.

SRAM 구조에서는 프로그래밍하기 위한 연결 스위치 점이 SRAM셀에 의하여 조정되어지는 멀티플렉서 등을 사용한다. SRAM방식에서는 연결점을 제어하기 위한 배열 정보가 SRAM 셀에 저장되어 있는데 이것은 동작전원이 꺼지면 그 정보를 유실하는 휘발성소자이다. 따라서 이 방식을 사용하는 시스템에서는 FPGA의 배열정보를 영구히 보존하기 위한 별도의 저장매체가 필요하다. 다른 방식에 비하여 SRAM구조는 비교적 면적을 많이 차지하나 재프로그래밍이 시스템 안에서 장착된 채로 이루어질 수 있으며 표준 CMOS 공정을 사용하여 제조할 수 있다는 장점이 있다. 전원이 꺼지면 데이터가 지워지고 전원이 켜지면 EEPROM 에서 FPGA로 데이터를 전송하는 방식으로 많은 입출력 포트를 제공하므로 많은 입출력을 필요로 하는 시스템에 효과적이다. 그러므로 본 연구에서는 여러 가지 센서신호의 입출력을 위해 그림 3-11과 같은 SRAM Cells 방식의 FPGA 모듈을 사용하였다.

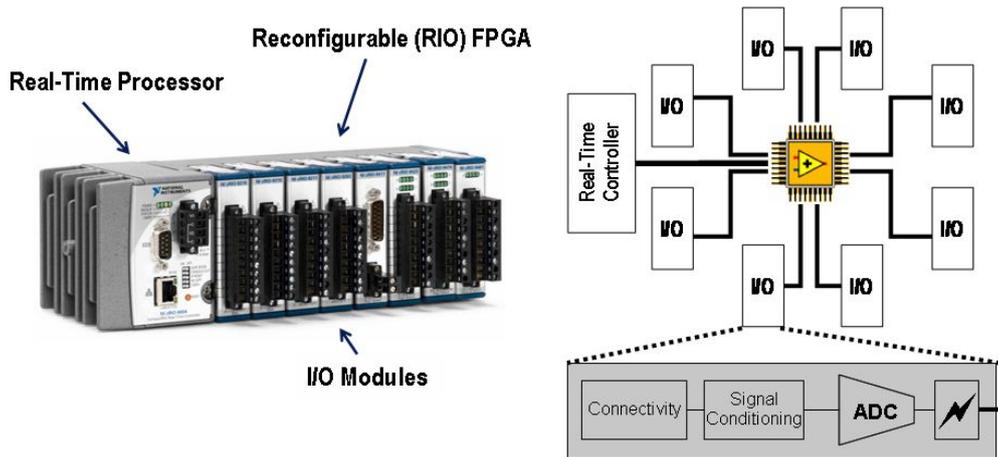


그림 3-11 트랙터 고장진단을 위한 재설정 가능 임베디드 시스템.

각 부품의 측정 항목에 대한 신호를 수집하고 고장진단 시스템의 제어를 위해 임베디드 장치를 표 3-9와 같이 설계하였다. 먼저 채널이 4개인 아날로그 출력모듈인 NI cRIO-9263을 2개 이용하여 전후진 액추에이터, 주변속 액추에이터, 클러치 액추에이터, 파우더 브레이크, 메인모터를 제어하도록 하였다. 아날로그 입력모듈인 NI 9205를 이용하여 엔진의 회전속도와 미션 회전속도를 측정하도록 하였다. 또한 메인모터의 회전방향과 인버터의 작동방식, 파우더 브레이크의 작동방식을 입력받았다. 아날로그 입력모듈인 NI 9219를 이용하여 메인모터와 전자 브레이크의 온도를 측정하였으며 디지털 입출력모듈인 NI 9403의 입력채널을 통해 메인모터의 회전 방향과 인버터와 파우더 브레이크의 작동방식을 입력받았다. NI 9403의 출력채널을 통해 전후진 액추에이터, 주변속 액추에이터, 클러치 액추에이터의 운전과 정지의 여부, 회전방향을 제어하도록 하였다. 디지털 입력모듈인 NI cRIO-9411을 이용하여 엔진과 미션의 회전속도를

측정하도록 하였으며 디지털 출력모듈인 NI cRIO-9474를 이용하여 메인모터의 회전방향과 전자 브레이크를 제어하도록 하였다.

표 3-9 고장진단 시스템의 제어를 위한 임베디드 장치

Module	Specifications	Signal
9263	Analog output	Control F/W actuator
		Control main transmission actuator
		Control clutch actuator
9263	Analog output	Control Powder brake
		Control main motor RPM
9205	Analog input	Engine RPM
		Mission RPM
		Emergency switch
		Driving/stop
		Main motor CW/CCW
		Inverter Manual/Automatic
		Powder brake Manual/Automatic
9219	Analog input	Temperature sensor signal
9403	Digital input	Emergency switch
		Driving/stop
		Main motor CW/CCW
	Digital output	Inverter Manual/Automatic
		Powder brake Manual/Automatic
		F/W actuator driving/stop, CW/CCW
9411	Digital input	Main transmission actuator driving/stop, CW/CCW
		Clutch actuator driving/stop, CW/CCW
		Engine RPM
9474	Digital output	Mission RPM
		Emergency switch
		Main motor CW
		Main motor CCW
		Electro brake

라. AMT 요소 부품의 성능평가를 통한 고장진단

자동화 수동 변속기의 핵심은 수동 변속 장치를 액추에이터를 사용하여 자동으로 조작하는 것이다. 액추에이터의 고장은 변속이 불가능 하게 되거나 잘못된 변속으로 인하여 작업 중 원하는 힘을 얻을 수 없거나 갑작스러운 엔진 정지뿐만이 아니라 사고로도 이어질 수 있다. 따라서 본 연구에서의 핵심 요소인 액추에이터의 성능 평가 및 고장진단을 실시하였다.

#### (1) 액추에이터 제어 성능평가

액추에이터는 회전운동을 하는데, 전·후진 액추에이터는 그 회전력을 그대로 사용하고 클러치 액추에이터와 주변속 액추에이터는 회전력을 선형운동으로 변환하여 사용한다. 회전운동의 전·후진 액추에이터와 선형운동의 클러치 액추에이터를 성능평가 할 수 있는 단품 시험장치를 개발하여 액추에이터를 구동시키는 PID제어를 통해 성능평가를 실시하였다.

##### (가) 클러치 액추에이터 단품시험장치

클러치 액추에이터의 설계에 따른 성능 평가를 실시하기 위해 그림 3-12, 13과 같이 단품시험장치를 제작하여 실험하였다. 클러치 액추에이터는 변속 작업 시 작업자가 클러치 페달로 링크부를 상하로 움직이며 동력을 해지 및 연결한다는 점을 고려하여 액추에이터의 회전운동을 직선운동으로 변화시킬 수 있도록 설계하였다. 또한 외부에 별도의 LVDT (Linear Variable Differential Transformer)를 액추에이터와 평행하게 연결하여 클러치 액추에이터의 위치값을 나타내는데 이용하였다. 공압장치는 액추에이터의 위치제어 성능평가에서 부하 조건을 주기위해 설계되었으며 공압 조절을 위한 장치는 다이얼 방식으로 개발되어 수동으로 압력을 조절할 수 있게 설계하였다.

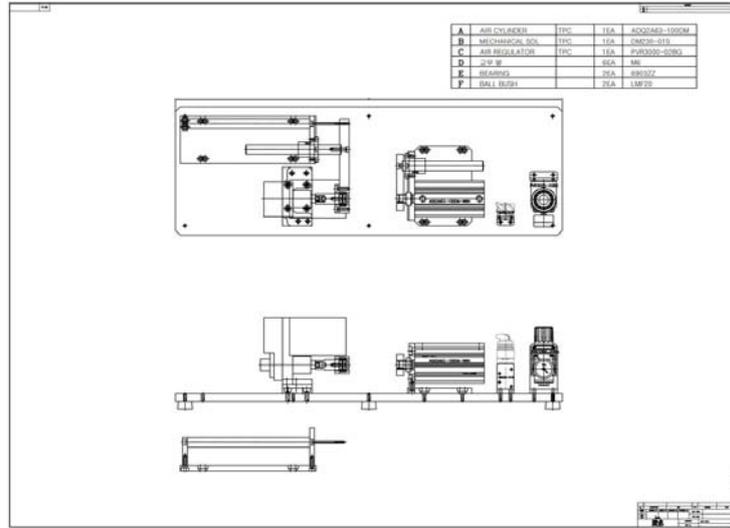


그림 3-12 클러치 액추에이터 단품시험장치 설계도.

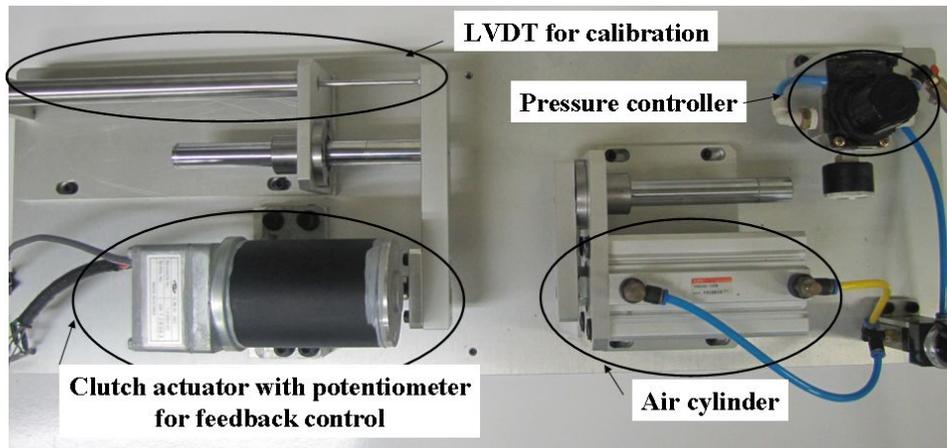


그림 3-13 클러치 액추에이터의 단품시험장치.

클러치 액추에이터의 위치를 측정하고자 사용된 LVDT는 출력 전압을 변위값으로 나타내기 위해 교정(calibration)을 시행하였다. 클러치 액추에이터의 측정값은 그림 3-14와 같이 -8~18 mm 범위에서 양쪽 끝에 6 mm 씩 안전 범위를 두어 클러치 액추에이터가 지정된 범위를 벗어나 센서가 파손되는 것을 방지하고, 이에 LVDT 교정점위를 -16~22 mm로 하였다. LVDT의 교정 결과는 그림 3-15와 같이 거리와 전압의 관계가 결정계수 0.99로 나타나 LVDT를 이용한 펌프 제어가 가능함을 확인할 수 있다.

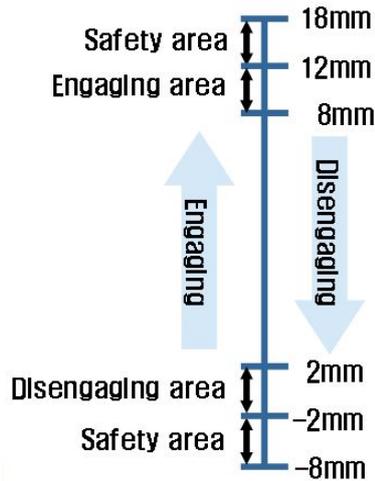


그림 3-14 클러치 액추에이터의 접속 및 해지 위치.

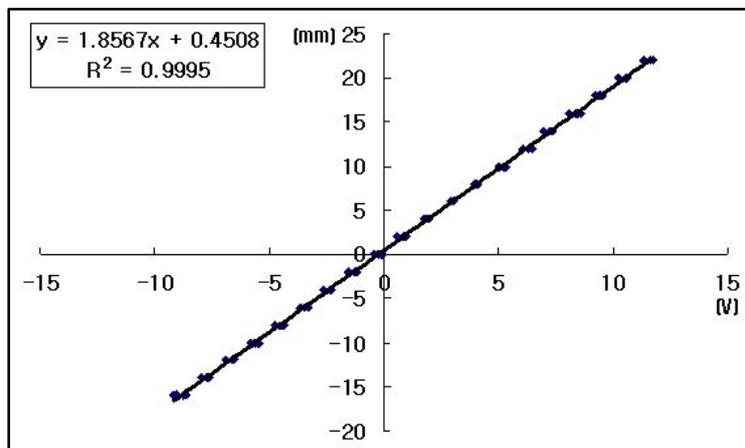


그림 3-15 LVDT 교정(calibration) 결과.

(나) 전후진 액추에이터 단품시험장치

개발된 전후진 액추에이터의 설계에 따른 성능 평가를 위해 그림 3-16, 17과 같이 단품을 제작하여 실험하였다. 전후진 액추에이터 단품시험장치에서 사용된 액추에이터는 주변속 및 부변속 액추에이터와 동일한 사양의 것이므로 주변속 및 부변속 액추에이터는 단품시험장치를 제작하여 성능평가를 실시하지 않아도 전후진 액추에이터 단품시험장치의 성능평가 결과를 통해 제어성능을 확인할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 주변속 및 부변속 액추에이터의 단품시험장치를 통한 성능평가를 추가로 실시하지 않았다.

전후진 액추에이터는 전후진 기어가 동기물림 방식인 점을 고려하여 전후진 링크부와 맞물려 링크의 회전에 따라 변속이 가능하도록 설계하였다. 또한 액추에이터 내부에 작동 위치에 따른 페루프 (feedback) 제어가 가능하도록 별도의 포텐시오미터를 장착하였다. 여기에 액추에이터 내부에 장착된 포텐시오미터를 교정하기 위해 전후진 액추에이터와 회전축을 연결하여

실험장치를 구성하였다.

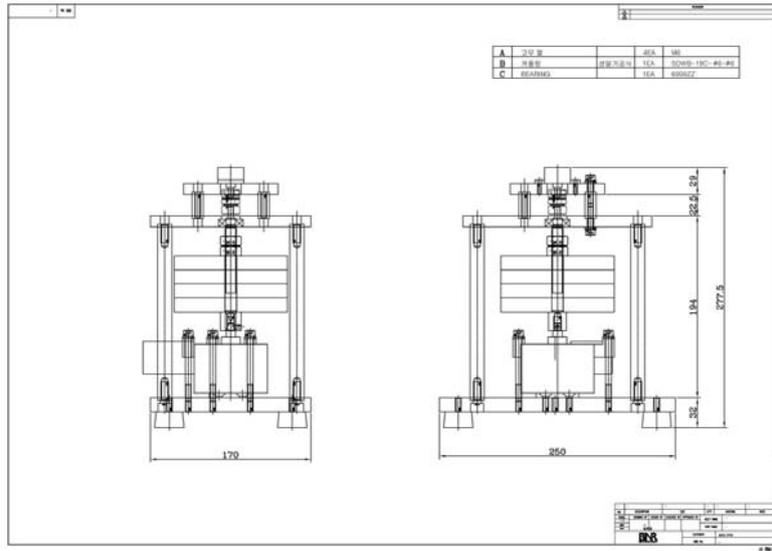


그림 3-16 전후진 액추에이터의 단품실험장치 설계도.

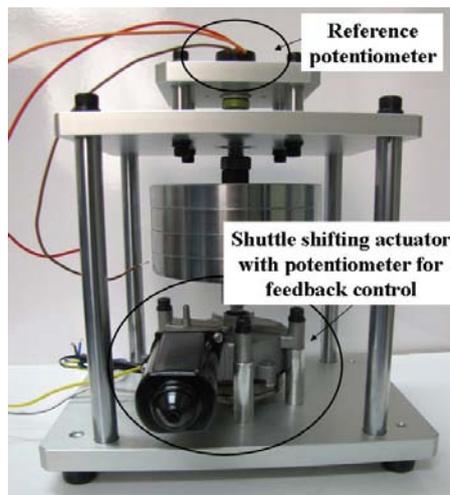


그림 3-17 전후진 액추에이터의 단품실험장치.

장착된 포텐시오미터의 측정값은 그림 3-18과 같이 0~90° 범위에서 20° 간격으로 각각 전진, 중립, 후진의 범위를 갖도록 설정되어 있으며, 양쪽 끝에 15°씩 안전범위가 있어 전후진 액추에이터가 지정된 범위를 벗어나 포텐시오미터가 파손되는 것을 방지하였다.

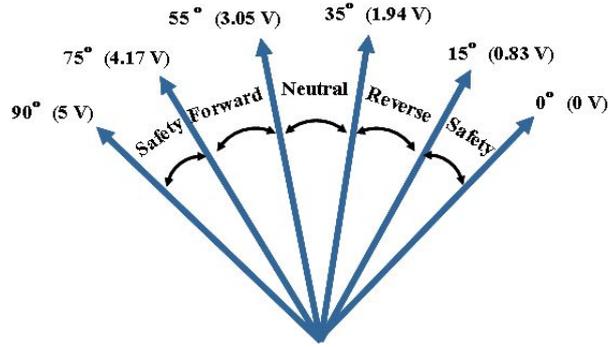
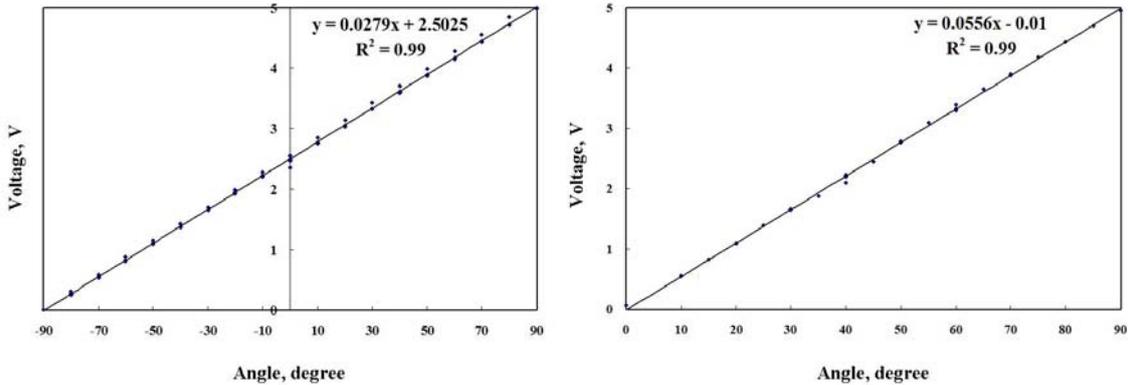


그림 3-18 전진, 후진, 중립에 따른 포텐시오미터 출력값.

전후진 액추에이터의 회전각 측정을 위해 장착한 외부 포텐시오미터는  $-90 \sim 90^\circ$ 의 범위를  $10^\circ$  간격으로 전압의 변화를 3회 반복 측정하였으며, 이 때 전압 측정은  $-10 \sim 10$  V의 아날로그 출력과 12비트 분해능의 아날로그 입력이 가능한 데이터 수집장치를 이용하였다. 외부 포텐시오미터의 교정 결과는 그림 3-19(a)와 같이 각도와 전압의 관계가 결정계수 0.99로 나타나 내부 포텐시오미터의 교정에 이용 가능함을 확인하였다. 교정된 외부 포텐시오미터를 이용하여 전후진 액추에이터의 회전각과 내부 포텐시오미터 출력전압의 상관관계를 계산하였으며, 그림 3-19(b)와 같이 결정계수 0.99로 나타나 내부 포텐시오미터를 이용한 페루프 제어가 가능함을 확인할 수 있었다.



(a) 외부 포텐시오미터

(b) 내부 포텐시오미터

그림 3-19 외부 포텐시오미터와 내부 포텐시오미터의 교정 결과.

#### (다) 액추에이터 제어 성능평가 방법

실험은 연구의 목표가 되는 AMT의 전/중/후진과 클러치의 Engage와 Disengaged 상태를 제어하기 위한 PID 제어의 응답특성을 분석하였다. 전·중·후진 각 상태의 각도차이는  $60^\circ$ 로 설정하였으며 히스테리시스 오차를 방지하기 위해 4가지 변속순서 전진→중립, 중립→전진, 중립

→후진, 후진→중립의 상태를 임의로 설정하여 각 100회씩 측정하였다. 변속시간은 1.4초 이내로 일어날 수 있도록 설정하였으며, 허용오차범위는 설계된 전·후진 액추에이터에 맞게 3도 이내로 하여 정확한 변속이 이루어질 수 있도록 하였다. 클러치액추에이터의 경우 액추에이터에 내장된 포텐시오미터의 출력값으로 전·후진 액추에이터와 같은 방식으로 Engage와 Disengaged상태를 반복하여 PID제어를 실행하였고 LVDT의 출력값으로 100회 측정하여 성능평가를 실시하였다. 측정값은 LabVIEW 프로그램에 저장되며 이론적인 차이와 PID 제어로 측정된 오차 및 시간을 계산하였다.

(라) 액추에이터 제어 성능평가 결과

전·후진 액추에이터에서의 PID 제어 성능평가를 위한 실험을 수행한 결과 그림 3-20과 표 3-10과 같이 나타났다. 상승시간과 지연시간은 네 가지 상태, 즉 전진→중립, 중립→전진, 중립→후진, 후진→중립의 상태 모두 허용오차와 목표값에 부합하는 결과를 보였다. 정착시간의 경우 목표값인 1.4초 이내에 모두 제어가 가능하였고 정상상태에 도달했을 때의 값과 목표값의 차이가 오차범위 3°이내에 99%의 정확도로 제어할 수 있었다.

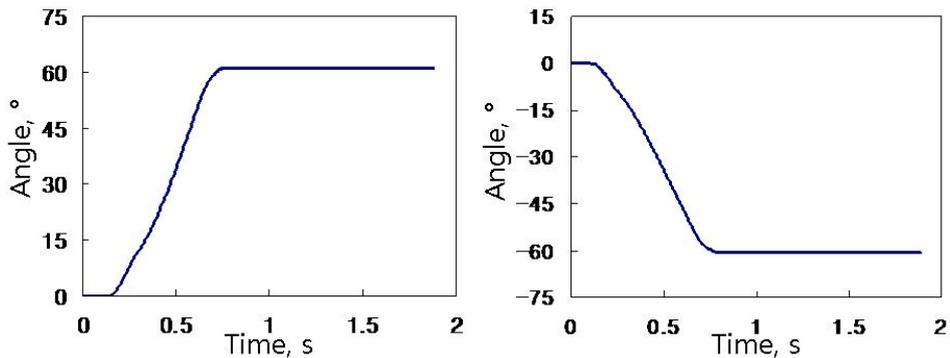


그림 3-20 전후진 액추에이터의 PID 제어 결과.

표 3-10 전후진 변속 제어 결과

Transmission direction	Rise time (s)	Delay time (s)	Setting time (s)	Steady state error(°)
F → N	0.46±0.01	0.52±0.23	1.11±0.09	0.74±0.58
N → R	0.44±0.01	0.47±0.02	1.08±0.07	0.54±0.50
R → N	0.46±0.04	0.52±0.14	1.05±0.14	2.05±0.53
N → F	0.47±0.01	0.49±0.01	1.07±0.14	2.02±0.51

클러치 액추에이터의 제어 결과도 그림 3-21과 표 3-11과 같이 0.5초 이내에 제어가 가능하였고, 정상상태 오차역시 0.02 V이내로 제어 가능하였다. 즉, AMT를 대상으로 본 연구에서 설계한 PID 제어기를 적용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

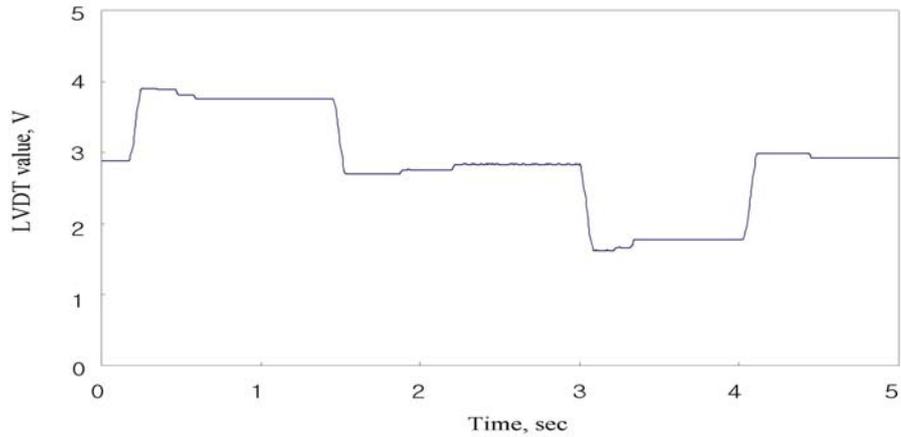


그림 3-21 클러치 액추에이터의 PID 제어 결과.

표 3-11 클러치 변속 제어 결과

Clutch direction	Rise time (s)	Delay time (s)	Setting time (s)	Steady state error(mV)
N → E	0.23±0.01	0.26±0.23	0.48±0.02	20±0.11
E → N	0.22±0.01	0.23±0.02	0.48±0.17	22±0.21
N → D	0.23±0.04	0.26±0.14	0.47±0.01	21±0.22
D → N	0.23±0.01	0.24±0.01	0.49±0.04	24±0.21

(2) 고장진단

앞서 개발한 PID제어기와 성능평가 결과를 이용하여 전후진 액추에이터와 클러치 액추에이터의 고장진단 시험장치를 그림 3-22와 같이 설계하였다. 엔진의 회전을 모터로 대신하여 실제 엔진이 구동 중인 상태에서의 성능 및 고장진단을 가능하게 하였다. 다이어그램을 바탕으로 제작한 고장진단 시험장치는 그림 3-23과 같다.

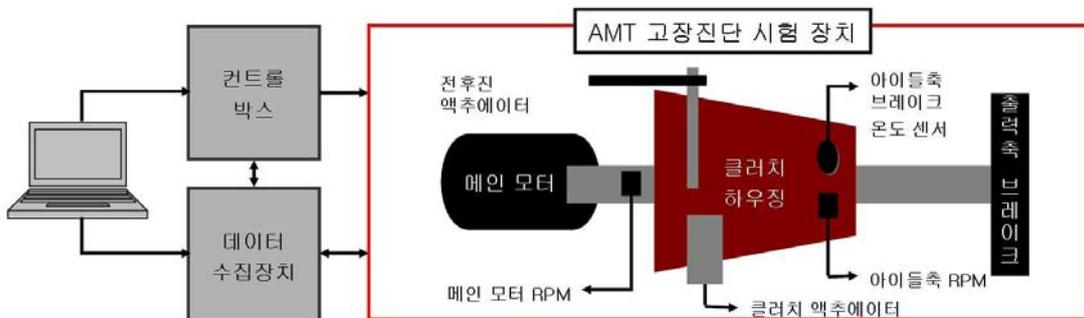


그림 3-22 고장진단 시험 장치의 구성도.

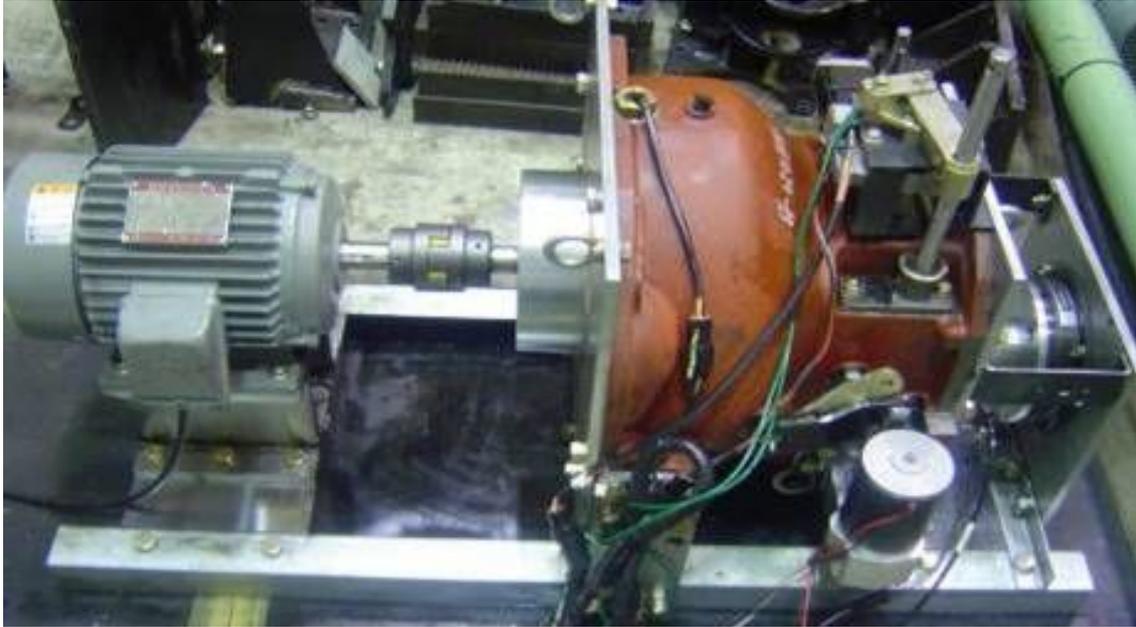


그림 3-23 고장진단 시험장치.

트랙터에서 주로 나타나는 고장의 증상 및 원인은 다음과 같다. 엔진부분의 경우 시동이 되지 않거나 불량일 때가 있고 시동은 되나 회전이 원활하지 않을 때가 있다. 시동이 되지 않거나 불량인 현상은 연료가 없거나 연료계통에 공기가 들어갔다거나 배터리가 약해서 나타날 수 있다. 시동이 되지 않거나 회전이 원활하지 않은 현상은 연료의 질이 나쁘거나 연료분사펌프나 노즐이 문제일 수 있다. 냉각수나 윤활유가 부족하면 엔진이 과열될 수 있고 유압지시등이 꺼지지 않을 때에는 오일펌프의 결함일 수 있다. 전기장치부분의 경우 시동모터가 돌지 않는 현상은 시동스위치의 결함이나 배터리의 출력부족이 원인일 수 있다. 시동모터는 회전하지만 동력이 전달되지 않는 경우는 시동모터 클러치의 결함이 원인이므로 교환해야 한다. 충전등이 꺼지지 않는 경우는 배선이나 발전기 또는 전압조정기의 결함이 원인일 수 있다. 브레이크부분의 경우 브레이크 수유가 마모되거나 스프링이 손상되면 브레이크의 작동이 불량이 될 수 있고 클러치 페달은 마찰판이 훼손되면 클러치가 끊어지지 않으며 리턴 스프링이 파손되면 클러치 페달이 돌아오지 않을 수 있다. 변속기의 경우 너무 빠른 변속으로 엔진회전이 맞지 않거나 클러치 페달을 완전히 밟지 않으면 기어가 들어가지 않는 증상이 나타나고 유압장치의 경우 유압펌프나 구동축이 손상되면 작업기가 올라가지 않거나 속도가 느린 증상이 나타난다.

표 3-12 고장 진단 평가항목

	Failure part	Failure reason	Failure status
F/R actuator	Motor	Poor	Stop(poor motion)
		Open	Stop(0V)
	Potentiometer	Short	Stop(out of regular range)
		Poor	Stop(within regular range)
Clutch actuator	Motor	Poor	Stop(poor motion)
		Open	Stop(0V)
	Potentiometer	Short	Stop(out of regular range)
		Poor	Stop(within regular range)
		Open	Stop(0V)
	Encoder	Short	Stop(out of regular range)
	Poor	Stop(within regular range)	

이와 마찬가지로 자동화 수동변속기의 고장은 표 3-12와 같이 센서의 불량, 단선, 쇼트 신호로부터 파악할 수 있다. 위의 시험장치에서 쇼트 상태로 나오면 포텐시옴터의 출력값이 정상 범위를 벗어나서 고장이 났다는 것이고 0V의 값이 나오면 단선이라 고장진단을 할 수 있다.

## 2. 자동화 수동변속기의 고장진단 시스템 개발

### 가. 고장진단 시스템의 시작품 개발 및 트랙터 적용

#### (1) 고장진단 시스템 layout

트랙터의 자동수동변속기 고장진단 시스템은 지속적으로 센서 신호를 측정하여 기계장비의 이상 및 고장상태를 신속히 감지하는 것을 목표로 하고 있으며 그림 3-24와 같이 고장진단 위치의 신호를 측정하기 위한 센서와 센서 신호를 받아들이는 I/O모듈, 자료 수집장치와 제어를 위한 FPGA로 구성되었다. 고장진단 시스템의 모니터링 및 측정 프로그램은 그림 3-25와 같이 신호계측 및 제어 프로그램으로써 다양한 신호처리가 가능한 LabVIEW (version 2009, National Instrument, USA)를 이용하여 개발하였다. LabVIEW는 계측 시스템에 범용적으로 사용이 가능하고 소스코드 부분이 아이콘으로 되어있어 데이터의 흐름을 직관적으로 관찰할 수 있는 장점이 있으며 또한 자체적으로 내장하고 있는 측정 및 각종 분석함수가 있어 신호처리 및 분석에 매우 용이하다.

고장진단 시스템의 시작품은 파워트레인에 설치된 클러치, 전후진, 주변속, 부변속 액추에이터의 제어 동작을 측정하기 위한 아날로그 입력 모듈과 엔진 회전수, 구동축 회전수, 차축 회전수 등의 회전 속도를 측정하기 위한 디지털 입력 모듈, 변속에 따른 내부의 온도 측정을 위

한 온도 측정 모듈 등으로 구성되어 있다. 개발된 시작품은 그림 3-26과 같이 파워트레인의 고장진단을 위한 것으로 고장진단 알고리즘 적용과 성능 평가 후 마이크로 컨트롤러 등을 이용한 임베디드 시스템과 휴대용 고장 진단기를 개발할 예정이다. 또한 TCU와의 통신을 위해 CAN 기반의 통신 인터페이스 구축 및 성능 평가가 이루어질 것이다.

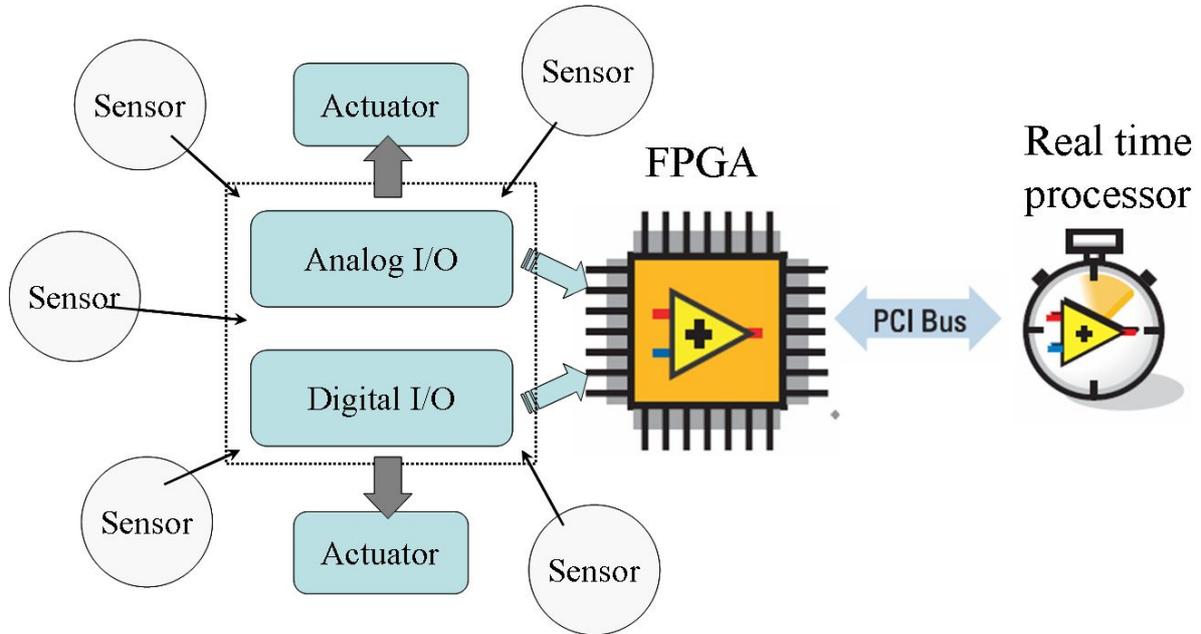


그림 3-24 고장진단 시스템 시작품 layout.

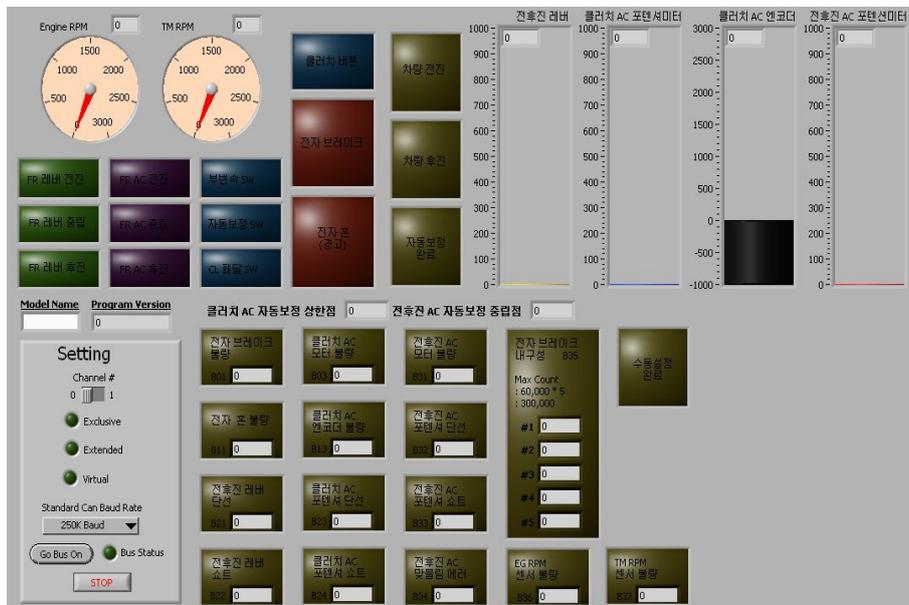


그림 3-25 고장진단 시스템 모니터링 프로그램 패널.

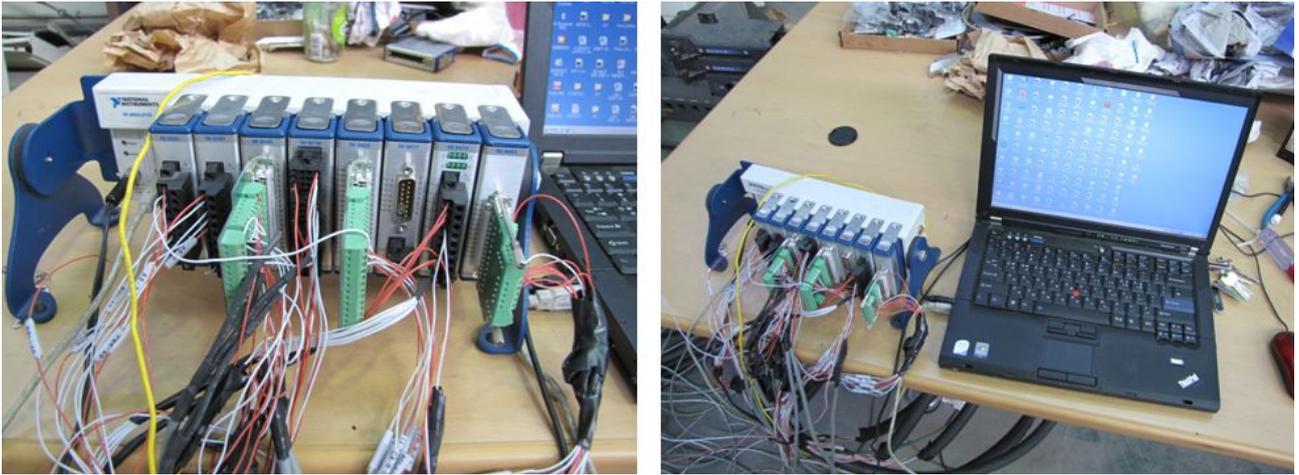


그림 3-26 고장진단 시스템 시작품.

## (2) 고장진단 시스템 구성

고장진단 시스템의 신호 측정을 위한 센서는 그림 3-27과 같이 엔진, 구동축 및 차축의 회전 속도 측정을 위한 광센서(photo sensor), 차량의 변속에 따른 차축 토크 측정을 위한 토크 센서(torque sensor), 변속 시 클러치 동력 연결에 따른 진동 분석을 위한 가속도 센서(accelerometer), 그리고 변속기 유체와 파우더 브레이크 냉각수 온도 측정을 위한 열전대(thermocouple)를 이용하였다. 센서의 자세한 사양은 표 3-13과 같으며 회전속도 측정을 위한 광센서는 엔진과 변속부 입력축의 높은 회전수를 고려하여 반응 시간이 1 ms인 광센서(Model BR-100DDT, Autonics, Korea)를 이용하였고 차축 부하 측정을 위한 토크 센서는 정격 용량이 100kgf-m이고 정격 출력이 1.3 mV/V를 가지는 토크센서(TRC-100k, 다셀, Korea)를 사용하였다. 가속도 센서는 측정 범위가 넓어 다양한 환경에서 사용이 가능한 압전소자 방식(Charged type)으로 본 연구에서 사용하기 용이한 가속도 센서(4384, Bruel & Kjaer, Denmark)를 사용하였으며 이때 신호 측정이 용이하도록 별도의 앰프(2646, Bruel & Kjaer, Denmark)를 장착하여 9.8 mV/G의 감도를 갖도록 하였다. 클러치, 전후진, 주변속 및 주변속 액추에이터 위치 신호의 경우 내장된 포텐시오미터의 값을 사용하였다.

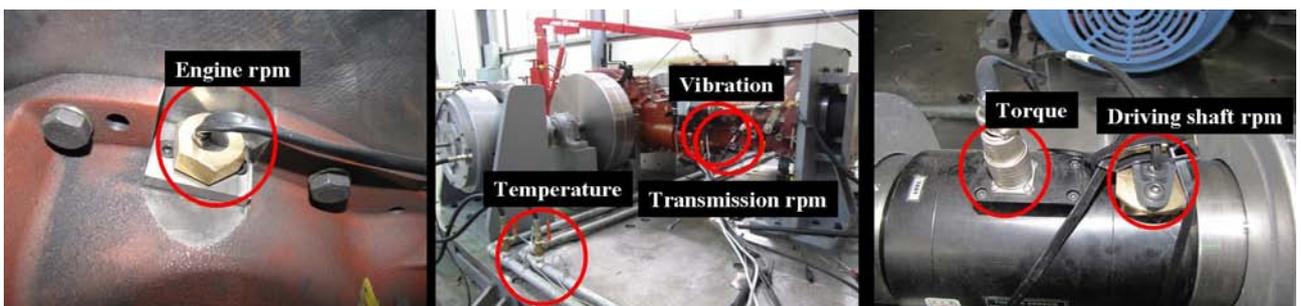


그림 3-27 고장진단 시스템 측정 대상 및 센서 장착 위치.

표 3-13 고장진단 시스템 구성을 위한 센서 사양

Sensor	Items	Specifications
Photo sensor	Output type	digital
	Supply voltage	4.75 ~ 25.2 V
	Frequency	15 kHz
Torque sensor	Hysteresis	±0.5% R.O.
	Rated capacity	100 kgf-m
	Rated output	1.3 mV/V±1%
	Safe overload	120% R.C
	Supply voltage	AC 2 V
Accelerometer	Frequency range	0.3 to 100,000 Hz
	Sensitivity	9.8 mV/G
Thermocouple	Type	T type, Cu(+)-Ni(-) constantan
	Range	-200~400°C

고장진단 시스템의 센서 신호를 측정하기 위한 I/O 인터페이스 모듈은 그림 3-28과 같이 구성하였으며 자세한 사양은 표 3-14와 같다. 변속기 내부 유체 온도 및 냉각수 온도의 측정은 자체적으로 냉접점 보상 기능이 있어 열전대의 온도 측정이 용이한 열전대 입력모듈(NI 9213, National Instrument, USA)을 사용하였으며 차축의 토크는 full bridge 회로를 가지는 아날로그 입력모듈(NI 9237, National Instrument, USA)을 사용하여 측정하였다. 변속 시 충격 측정을 위한 가속도 센서의 신호는 50 kS/s의 속도로 24 bits의 정밀한 가속도 측정이 가능한 장점이 있는 아날로그 입력모듈(NI 9233, National Instrument, USA)을 사용하였고 엔진, 구동축, 차축에 장착된 광센서의 디지털 신호는 최대 100 ns의 고속 펄스 신호 측정이 가능한 디지털 입출력 모듈(NI 9401, National Instrument, USA)을 이용하여 회전속도를 측정하였다. 클러치, 전후진, 주변속 및 부변속 액추에이터의 위치 신호는 각각의 내부에 설치된 포텐시오미터 값을 이용하였으며 최대 250 kS/s로 32 채널의 아날로그 신호 측정이 가능한 아날로그 입력 모듈(NI 9205, National Instrument, USA)을 통해 측정하였다.

또한, 최대 3 MHz의 전송 속도로 8개의 I/O 인터페이스 모듈을 동시에 측정 가능한 FPGA 모듈(Crio-9104, National Instrument, USA)을 사용하여 고속의 진동 및 회전속도의 측정이 가능하도록 하였으며, 400 MHz 의 프로세서가 장착되어 많은 양의 신호 처리를 실시간 수행 가

능한 RT 모듈(Crio-9012, National Instrument, USA)을 이용하여 측정된 센서 신호를 USB (Universal Serial Bus) 저장매체에 저장하도록 하였다.

표 3-14 고장진단 시스템 구성 I/O모듈 사양

Module		Function
I/O module	NI 9213	16 ch, built-in cold-junction compensation 24-bit ADC for up to 0.02°C measurement sensitivity
	NI 9237	4 simultaneously isolated analog input channels 50 kS/s sampling rate, 24 bit resolution Programmable half and full bridge completion Up to 10 V internal excitation
	NI 9233	4 simultaneously isolated analog input channels 50 kS/s sampling rate 2 mA IEPE signal conditioning for accelerometer 24-bit resolution, Antialiasing filters ±5 V programmable input range
	NI 9401	8 isolated digital input channels 100 ns ultrahigh speed digital I/O 5 V TTL, sinking/sourcing input
	NI 9205	32 isolated analog input channels 250 kS/s sampling rate, 16 bit resolution ±10 V programmable input range
FPGA gate	Crio-9104	Control and signal processing circuitry 8 slot reconfigurable embedded chassis 3 M gate reconfigurable FPGA core
Real time processor	Crio-9012	400 MHz processor Real time embedded controller 128 MB nonvolatile storage, 64 MB DRAM 10/100 BaseT Ethernet, USB/RS232 port

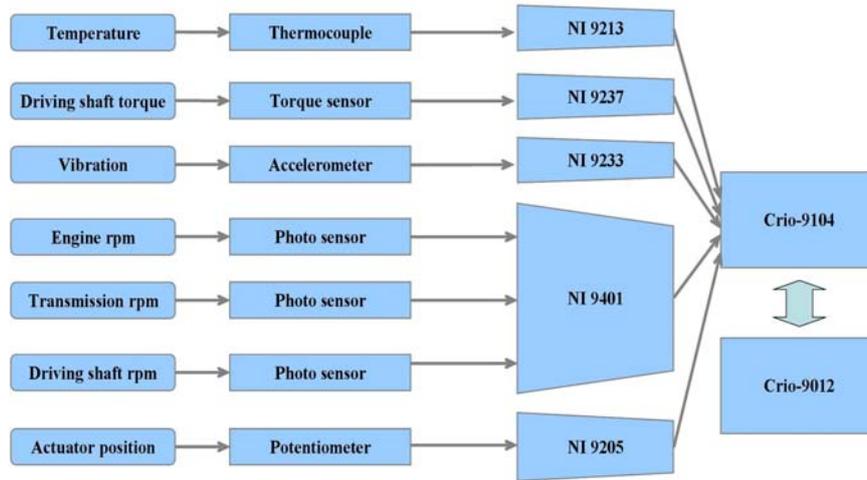


그림 3-28 고장진단 시스템 신호 측정 layout.

I/O 모듈을 통하여 입력된 고장진단 센서의 신호 측정을 위해서는 입력된 신호를 RT 모듈에 고속으로 전달하기 위한 I/O 모듈, FPGA 모듈, RT 모듈간의 통신 프로그램이 필요하다. FPGA 모듈을 위한 프로그램은 주로 VHDL 형식이 사용되며, 본 연구에서는 신호 처리 및 수집이 용이한 LabVIEW (version 2009, National Instrument, USA)를 이용하여 개발하였다. FPGA 모듈은 그림 3-29와 같이 장착된 I/O 모듈과의 데이터 통신을 위해 I/O 모듈의 LSB (Least significant bit)와 오프셋(Offset) 등의 정보를 보정하여 RT 모듈에 전달하고 반대로 RT 모듈은 그림 3-30과 같이 신호 수집 범위 및 주파수 등의 신호 측정을 위한 사용자의 설정 값을 FPGA 모듈에 전송하는 방법으로 FPGA 모듈과 RT 모듈은 동기화된다. 또한 FPGA 모듈과 RT 모듈은 자체적으로 FIFO(First in first out) 버퍼를 내장하고 있어 FPGA 모듈을 통하여 수집된 센서 신호를 순차적으로 RT 모듈의 FIFO 버퍼에 전달하며, RT 모듈은 입력된 신호를 10진수로 변환하여 USB 등의 저장매체에 저장하게 된다. 이때, FPGA 모듈과 RT 모듈의 프로그램을 별도로 개발한 것은 시스템에 부하가 큰 고속의 잡음제거 신호 처리는 FPGA 모듈에서만 처리하고 RT 모듈에서는 진단 및 제어만을 수행하여 시스템의 걸리는 부하를 최소화하기 위해서이다. 그러므로 측정된 센서 신호는 FPGA를 통하여 잡음 제거된 후 RT 모듈에 전달되어 분석된다.

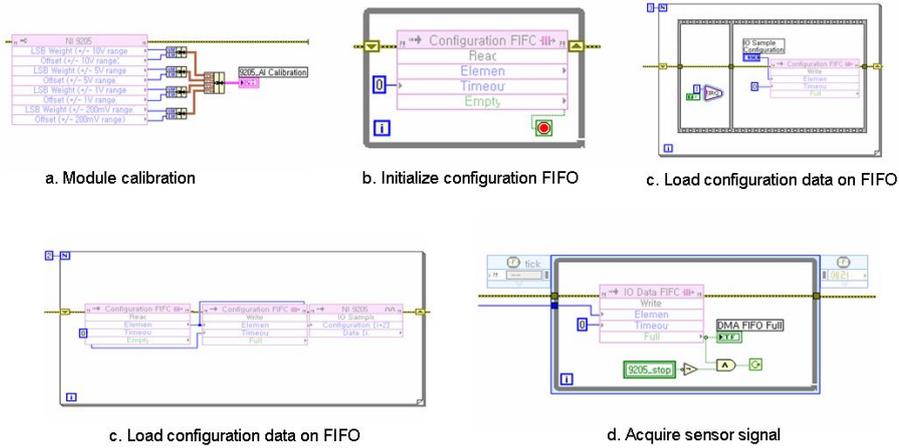


그림 3-29 FPGA 프로그램의 개략도.

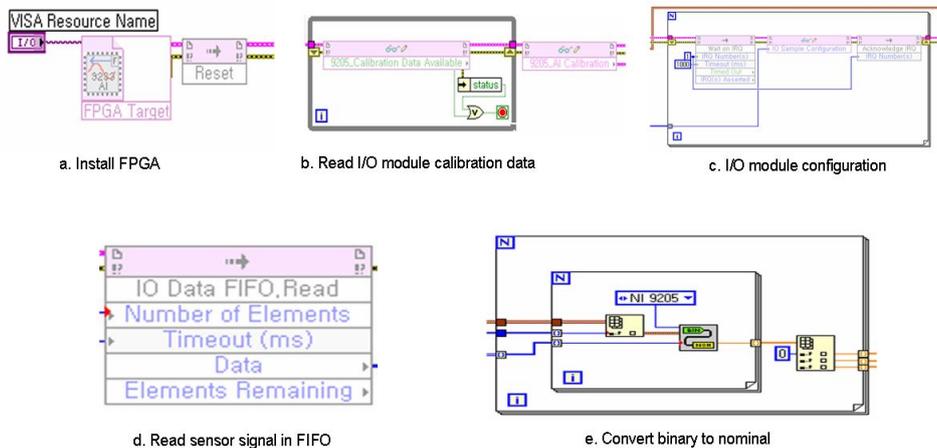


그림 3-30 RT 모듈 프로그램의 개략도.

### 나. 고장진단 시스템의 신호처리 알고리즘 개발

#### (1) 고장진단 신호처리 알고리즘

자료수집 장치에 의해 측정된 센서 신호는 측정 시 주변 환경에 따라 여러 가지 잡음이 섞여있어 시스템의 진단을 위해서는 센서 신호의 종류에 따라 적합한 잡음제거 방법이 필요하다. 일반적으로 잡음 제거 방법에는 시간 영역에서 연속되는 신호의 통계적 연산을 이용하여 제거하는 방법과 주파수 영역으로 변환한 후, 알고 있는 잡음 영역을 제거하는 주파수 영역의 방법이 있다. 주파수 영역의 잡음 제거로는 푸리에 변환(Fourier transform)을 이용한 방법과 웨이블릿 변환(Wavelet transform)을 이용한 방법 등이 있으며 복잡한 신호의 잡음제거에는 모함수(Mother function)가 다양한 웨이블릿 변환이 많이 사용되어 진다. 시간 영역의 잡음 제거로 가장 많이 사용되는 것은 연산이 적고 간단한 이동평균필터(Moving average filter)가 있으며 주변 환경의 변화에 따라 필터 특성의 변화가 가능한 적응필터(Adaptive filter), 상태값을 갱신

및 교정하는 연산을 반복하여 최적의 값을 통계적으로 추정해 나가는 칼만필터(Kalman filter) 등이 있다. 본 연구에서는 이동평균필터, 웨이블릿필터, 적응필터, 칼만필터를 콤바인 계측 시스템의 잡음 제거에 적합하도록 각각 개발하여 실제 포장에서의 주행 실험을 통해 잡음을 제거하였으며, 이때 사용된 각각의 필터의 특징은 다음과 같다.

(1) 이동평균필터(Moving average filter)

이동평균필터는 측정된 신호들을 일정한 계수만큼 평균함으로써 잡음을 제거하는 방법으로, 이것은 식 (3-2)와 같이  $i$  번째 측정된 센서 신호와 이전에 측정된 신호의 평균을 산출하는 것으로 이전에 측정된 센서 신호를 이용하여 다음번 센서 신호의 값을 보정하게 된다.

$$y(t) = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} x(t-i) \dots \dots \dots \text{식 (3-2)}$$

여기서,  $x(t)$  :  $t$  시간일 때의 입력신호

$M$  : 신호의 평균 낼 차수

$y(t)$  :  $t$  시간일 때의 출력신호

이동평균 필터는 간단한 연산으로 입력된 신호의 잡음을 제거할 수 있는 장점은 있으나 필터의 성능을 높이기 위해서는 평균을 내는 필터의 차수를 높여야 하므로 이에 따라 응답이 느려지는 단점이 있다.

(2) 웨이블릿필터(Wavelet filter)

일반적인 주파수 분석에 많이 사용되고 있는 푸리에 변환은 모든 신호를 정현파의 조합이라고 가정하고 기본함수로 정현파를 사용하여 주파수 영역에서 분석하는 방법으로 일정한 영역의 주파수가 중첩된 잡음 신호의 제거는 용이하나 복잡한 신호의 잡음 제거는 어려우며 정확한 잡음 발생 시간의 판별이 어려운 단점이 있다. 단기 푸리에 변환(Short Time Fourier Transform: STFT)은 푸리에 변환이 가지고 있는 단점을 보완하기 위해 창(Window)이라는 개념을 도입하여 일정 크기의 창을 이용하여 시간 영역의 분석이 가능하도록 하였으나 창이 고정되어 있어 고속의 신호처리에서 시간의 해상도를 높이고 느리게 변화하는 부분에서 주파수의 해상도를 높이고자 하는 욕구를 충족시킬 수 없는 단점이 있다. 반면 웨이블릿 변환은 다양한 기본함수를 사용하여 주파수가 높은 영역에서는 주기가 짧은 기본함수로 시간에 관한 분해능을 높이고 반대로 주파수가 낮은 영역에서는 주기가 긴 기본함수로 주파수에 관한 분해능

을 높일 수 있어 복잡한 신호를 다양한 해상도로 분석하여 잡음을 제거할 수 있다.

웨이블릿 변환을 이용한 잡음제거 방법은 그림 3-31과 같이 원신호를 여러 가지 기본 함수(Mother Wavelet)의 주파수 영역으로 변환하는 웨이블릿 변환, 제거하려는 잡음과 복원하려는 신호의 기준을 정하는 최대값 설정방법(Threshold method), 최대값에 의하여 잡음이 제거된 신호를 다시 시간 영역으로 복원하는 역웨이블릿 변환(Wavelet inverse transform)의 과정을 거쳐 잡음을 제거하게 된다.

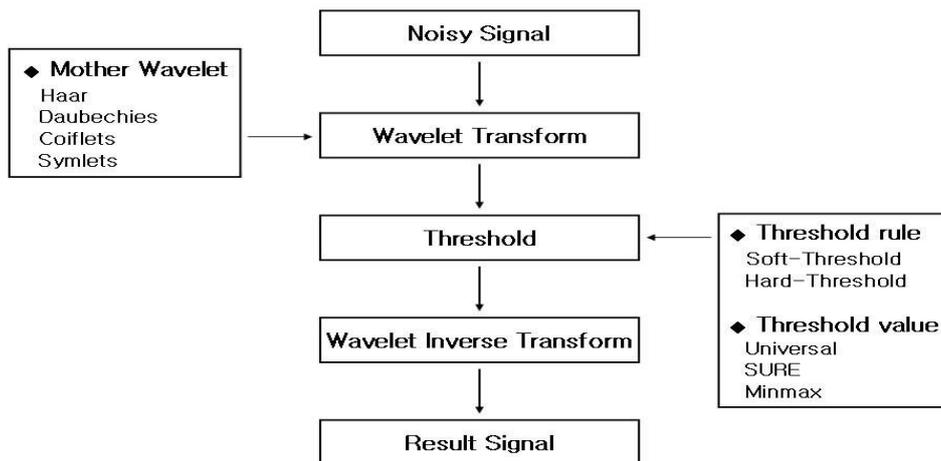


그림 3-31 웨이블릿 변환을 이용한 잡음제거 방법 흐름도.

웨이블릿 변환은 Haar, Daubechies, Coiflets, Symlets 등의 여러 기본함수를 이용하여 시간 영역의 신호를 주파수 영역으로 변환하는 방법으로 기본함수의 선택에 따라 원신호와 유사한 신호로 근사화 시켜 변환시킬 수 있다. 최대값 선정 방법에는 Minimax, Universal, SURE 등이 있으며 작은 최대값은 잡음 제거 성능이 저하되고 큰 최대값은 신호의 중요한 정보가 손실되므로 최대값의 결정은 잡음제거 성능을 결정하는 중요한 인자로 적용하려는 시스템에 적합하게 사용해야 한다. 최대값의 처리 방법에는 하드 임계처리법과 소프트 임계처리법이 있으며 하드 임계처리법은 오차의 기대값을 최소화한다는 장점이 있지만 추정 신호에 인위적인 깃스(Gibbs)현상이 발생하여 원하는 매끄러움을 갖지 못하는 단점이 있다. 소프트 임계처리법은 하드 임계처리법에 보다 매끄러운 잡음 제거 패턴을 가지며 인위적인 깃스현상을 줄일 수 있는 장점이 있으나 오차의 기대값이 커지는 단점이 있다(웨이블릿 이론과 응용, 2003). 원(2000)은 웨이블릿 변환을 이용한 잡음 제거기를 설계하여 주변 환경의 잡음 신호를 지속적으로 증가시켜 이에 따른 설계된 잡음 제거기의 성능을 평가하였으며, 다양한 잡음이 존재하는 노출된 환경에서 웨이블릿 변환을 이용하여 잡음제거가 가능하다고 보고하였다.

### (3) 적응필터(Adaptive filter)

적응필터는 환경 변화 또는 원하는 출력 특성의 변화에 따라 스스로 자신의 특성을 변화시켜 예상치 못한 환경에서 최적의 결과를 얻고자 하는 방향으로 동작하는 필터를 말한다. 적응필터의 특성은 설계 시 모두 정해지지 않으며 필터가 가동된 직후나 환경 등의 변화 발생 시 자체적으로 적응하기 위한 적응 시간을 거쳐 필터의 특성이 결정된다. 따라서 적응필터는 다른 필터들과는 달리 비선형적이며 시변하는 계수를 가지는 시스템으로 볼 수 있다. 적응필터를 이용한 잡음제거 방법은 그림 3-32와 같이 잡음이 포함된 원신호( $s_1 + n_1$ )와 잡음과 상관성 높은 기준 신호( $n_2$ )를 동시에 입력하여 원신호와 기준 신호와의 오차를 최소화 하도록 적응필터의 가중치를 계산하여 잡음을 제거하는 방법이다.

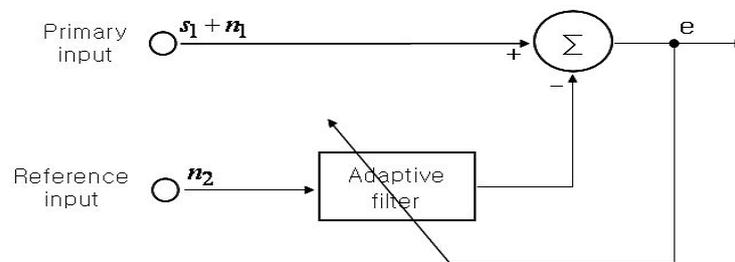


그림 3-32 적응필터의 구성도.

적응필터는 신호나 환경의 특성이 시간에 따라 변화하거나 또는 설계 시에 그 특성을 미리 알 수 없는 경우, 신호와 잡음의 대역이 겹쳐서 존재하는 경우, 잡음이 존재하는 주파수 대역을 알지 못하는 경우에 좋은 결과를 얻을 수 있다. 그러므로 적응필터를 이용한 잡음 제거는 신호에 비하여 잡음이 상대적으로 크게 존재하는 생체신호처리 뿐만 아니라 통신, 레이더, 제어, 지진학, 각종 설계 등의 실제 잡음을 예측하기 어려운 분야에서 많이 응용되고 있다. 임(2004)은 주변 환경의 잡음을 예측하기 어려운 경우에 적응필터를 사용하여 음성 신호만을 깨끗이 추출하였으며, 이(2007)는 심전도 측정 시 인체의 움직임에 따라 발생하는 기저선 변동과 60 Hz 전원 잡음의 제거를 위하여 적응필터를 사용하였다. 또한 전두엽 뇌파의 안전도 잡음을 제거하기 위해 적응필터를 DSP(Digital signal processor) 보드에 구현하여 적응필터로 복잡한 잡음 신호를 고속으로 제거할 수 있음을 보여주었으며 잡음 제거 성능을 높이기 위해서는 기준 신호의 선정이 무엇보다 중요하다고 하였다(안보섭, 2004).

### (4) 칼만필터(Kalman filter)

칼만필터는 최소자승방법(Lesat square method)에 의해 효율적인 순환해를 제공하는 수학적 방정식의 반복적 연산을 통해 측정된 센서 신호를 확률적으로 예측하여 최적값을 추정하는 신

호처리 방법이다. 칼만필터는 잡음제거 시스템이 시간에 따른 변화의 예측이 가능하도록 설계되어 잡음으로부터 잡음 신호의 제거가 용이한 장점이 있다. 칼만필터를 이용한 잡음제거는 추정오차에 대한 공분산을 반복적으로 계산하여 잡음을 제거하는 방법으로 그림 3-33과 같이 맨 처음 센서가 가지는 기계적인 추정오차에 대한 공분산을 입력으로 칼만 이득을 계산하여 다음 추정값을 보정하고 다시 오차에 대한 공분산과 칼만 이득을 갱신하여 잡음을 제거하게 된다. 칼만필터는 구조가 선형으로 구성되어 설계가 용이하며 실제값을 추정하는 방법이 통계적이므로 센서 시스템에 있어 확률적이고 예측 가능한 해석을 가능하게 한다. 그러나 센서를 통해 입력되는 추정오차의 공분산 계산에 따른 센서 잡음의 분산을 알아야 하므로 환경변화가 큰 실제 시스템 적용 시 잡음에 대한 분산을 계산하기 어려운 단점이 있다.

칼만필터의 경우 주로 우주선 및 GPS(Global positioning system) 등의 분야에서 적용되고 있으며, 이것은 칼만필터를 이용하여 소실된 신호의 추정이 가능하기 때문이다. 근래에는 칼만필터를 이용하여 영상에서 발생하는 잡음을 인접한 영상 정보를 가지고 보정하는 잡음제거 방법에 관하여 보고되었으며(Hong, 2001), Nam 등(2007)은 호흡 신호 추정 시 칼만필터를 이용하여 예측이 불가능한 동잡음에 따른 호흡 신호의 소실 및 증폭 등의 잡음 제거가 가능하다고 보고하였다.

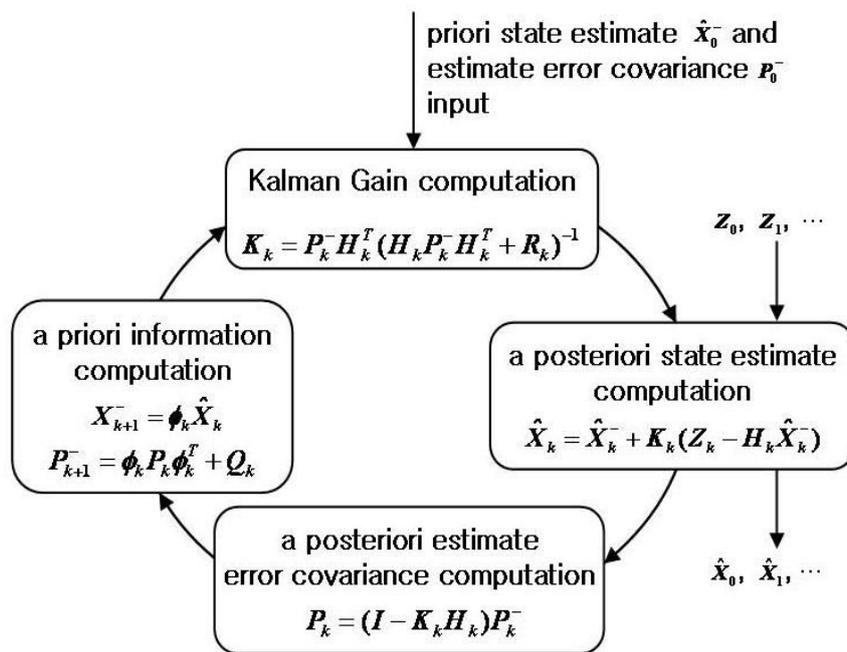


그림 3-33 칼만필터의 흐름도.

여기서,  $\hat{X}_k$  : 시간이  $t_k$ 일 때의 상태 벡터

$X_k^-$  : 시간이  $t_k$ 일 때의 이전 상태 벡터

$\Phi_k$  : 상태  $X_k$ 와  $X_{k+1}$  사이의 관계의 상태변환 벡터

$Q_k$  : 시스템 오차의 공분산 벡터

$Z_k$  : 시간이  $t_k$ 의 측정치 벡터

$H_k$  : 시간이  $t_k$ 일 때 측정치와 상태값 사이의 이상적 관계 벡터

$R_k$  : 측정 오차의 공분산 벡터

$K_k$  : 칼만 이득(Gain)

$P_k^-$  : 추정 오차의 이전 공분산 벡터

$P_k$  : 추정 오차의 공분산 벡터

## (2) 고장진단을 위한 잡음제거 알고리즘

작업 시 포장 상태 및 장애물 등으로 인한 진동은 트랙터 고장진단 센서에 여러 가지 형태의 잡음으로 나타나 고장진단 시스템의 오작동 및 진단율을 저하시키므로 정확한 고장진단을 위해서는 트랙터 고장진단 시스템에 적합한 잡음제거 알고리즘의 사용이 필요하다.

본 연구에서는 트랙터 계측 시스템의 잡음제거를 위하여 그림 3-34와 같이 이동평균필터, 웨이블릿필터, 칼만필터, 적응 필터로 센서 신호의 잡음을 제거한 후, 신호대잡음비(Signal to Noise Ratio, SNR)를 이용하여 잡음제거 필터들의 성능을 평가하였다. 또한 필터의 과도한 연산에 따른 센서의 감도 저하를 방지하기 위해 트랙터 변속에 따른 지연 시간과 상승 시간을 계산하여 적합한 잡음제거 필터를 선정하였다. 이동평균필터, 웨이블릿필터, 칼만필터, 적응필터를 이용한 잡음제거 알고리즘은 각각의 필터 특성에 맞는 인자를 선택하여 개발하였다.

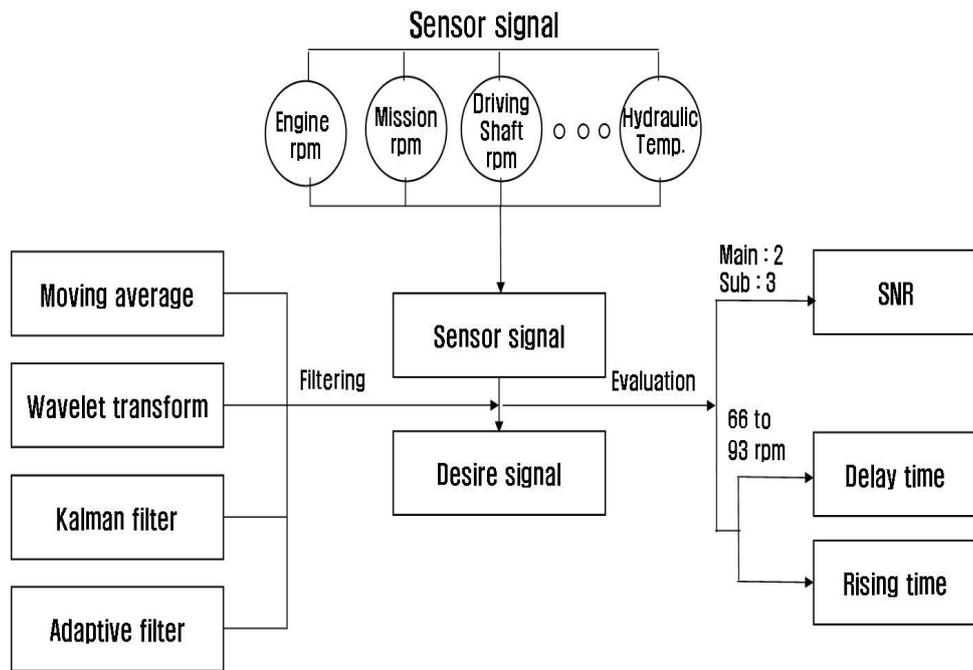


그림 3-34 트랙터 고장진단 시스템의 잡음제거 알고리즘 선정 흐름도.

이동평균필터는 잡음을 보정하는 신호의 차수를 결정해야 하며, 본 연구에서는 샘플링 주파수를 고려하여 100개의 신호를 평균 내어 1초 간격으로 입력되는 신호의 잡음을 제거하였다. 웨이블릿필터는 실시간 잡음제거를 위하여 연산속도가 빠른 Haar 함수를 기본함수로 사용하였고 임계치의 결정은 잡음 제거 분야에서 주로 사용되는 Universal 방법으로(성열훈, 2005) 최대값을 계산하였으며 최대값에 따른 잡음의 제거는 외란에 의한 이상 신호가 발생하는 깁스(Gibbs)현상을 최소화하는 소프트 임계처리 방법으로 개발하였다. 칼만필터를 이용한 잡음제거는 센서가 갖는 측정오차에 대한 공분산과 칼만필터를 통한 잡음제거 시스템 오차의 공분산을 입력해야 하며, 본 연구에서는 센서가 갖는 측정오차에 대한 공분산을 센서의 종류에 따라 센서에 표기된 측정오차로 사용하였고 잡음제거 시스템의 오차를 측정값의 1%로 하여 칼만필터를 통과한 신호의 잡음이 1% 내외의 값을 갖도록 설정하였다. 적응필터를 이용한 잡음제거는 잡음이 섞인 신호( $s+n_1$ )에 대하여 유사한 잡음을 가지고 있는 기준 신호( $a \times n_1$ )를 입력하여 잡음을 제거하는 방법으로 올바른 기준 신호의 선정 필요하다. 트랙터의 잡음은 주로 엔진에서 발생하는 잡음과 주파수 영역에서 유사한 특성을 보이고 있으므로 각각의 센서에 대한 기준신호를 엔진의 회전속도로 하여 적응 필터 알고리즘을 개발하였다.

트랙터의 진동 잡음은 주로 엔진에서 발생된다고 보고되었으나(최중섭, 2001), 작업 시 포장 상태 및 장애물 등에 의하여 이상 잡음이 첨가되므로 계측 시스템의 잡음제거 필터를 개발하

기 위해서는 주행 상태에 따른 잡음의 크기 변화에 대한 연구가 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 주행 중 각각의 센서 신호를 측정하고 신호대잡음비를 계산하여 주행 상태가 계측 시스템의 잡음에 미치는 영향을 구명하였다. 신호대잡음비는 식 (3-3)과 같이 평균값에 대한 표준편차의 비로 로그함수를 이용하여 데시벨(dB)로 계산하였다.

$$SNR(dB) = 20 \times \log_{10} \left( \frac{S_a}{S_s} \right) \dots\dots\dots \text{식 (3-3)}$$

$SNR$  : 신호대잡음비

$S_a$  : 신호의 평균값

$S_s$  : 신호의 표준편차

트랙터의 신호는 변속이 없는 경우에는 대부분 신호의 크기가 일정한 정속 신호이므로 잡음 제거가 용이한 장점이 있으나, 시스템의 성능을 높이기 위해 많은 연산과 높은 차수를 사용하므로 시스템의 감도를 저하시키는 단점이 있다. 그러므로 잡음제거 시스템의 잡음 제거 성능을 높이는 동시에 감도를 유지하기 위해서는 시스템에 응답 특성을 구명할 필요가 있다. 작업 시 고장진단 센서 신호는 주로 변속에 의하여 값이 바뀌므로 본 연구에서는 변속에 의한 센서 신호의 응답을 계단 응답으로 가정하고 그림 3-35와 같이 지연 시간과 상승 시간을 계산하였다. 지연 시간은 응답이 최초로 최종값의 50 %가 되는데 걸리는 시간이며, 상승 시간은 응답이 최종값의 10~90 %까지 걸리는 시간으로 지연 시간과 상승 시간이 짧을수록 시스템의 반응이 빠른 것을 의미한다.

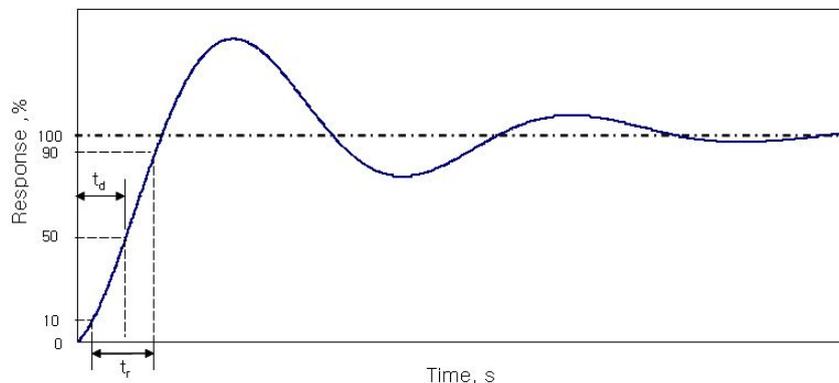


그림 3-35 계단응답에 대한 응답특성.

트랙터 주행에 따른 신호대잡음비의 측정 실험은 개발된 계측 시스템을 이용하여 전진기어에 주변속 2단, 부변속 3단 상태로 엔진을 2600 rpm으로 하였을 때 각각의 센서 신호와 공회전 시의 신호를 측정하여 비교하였다. 이때 센서 신호의 샘플링 주파수는 많은 양의 데이터로 신호 처리가 용이하도록 100 Hz로 설정하여 저장하였다. 또한 잡음 제거 시스템의 응답 특성을 알아보기 위하여 부변속 3단을 고정한 상태로 주변속을 1단에서 4단으로 변속함에 따른 센서 신호의 변화를 계단 응답으로 가정하고 지연 시간과 상승 시간을 계산하였다.

웨이블릿필터, 이동평균필터, 칼만필터, 적응필터를 이용하여 고장진단 센서의 잡음을 제거한 결과, 표 3-15와 같이 각각의 신호대잡음비의 평균값은 35.8 dB, 28.7 dB, 35.9 dB, 37.9 dB로 측정되어 원신호의 27.7 dB 보다 좋은 신호대잡음비를 나타내고 있어 높은 잡음제거 성능을 보여주고 있다. 잡음 제거 성능은 측정 센서에 따라 다소 다른 결과를 보여주고 있으나 전체적으로 적응필터를 이용한 경우가 가장 우수한 결과를 보여주고 있다.

표 3-15 주변속 2단, 부변속 3단에서 필터에 따른 신호대잡음비

Sensor signal	SNR (db)				
	Raw signal	Wavelet filter	Moving average filter	Kalman filter	Adaptive filter
Engine revolution speed	24.5	36.0	28.7	43.7	45.0
Transmission revolution speed	29.6	36.8	28.8	42.5	44.1
Driving shaft revolution speed	31.9	41.5	28.8	39.1	43.9
Driving shaft torque	27.2	36.2	28.7	30.9	32.5
Actuator position	27.6	35.1	28.9	30.1	31.8
Hydraulic temperature	25.4	28.9	28.7	29.3	30.2
Average	27.7	35.8	28.7	35.9	37.9

잡음 제거 시스템의 응답 특성을 알아보기 위해 그림 3-36과 같이 부변속 3단에서 주변속을 1단에서 4단으로 변속함에 따른 센서 신호의 변화를 계단 응답으로 가정하여 표 3-16과 같이 지연 시간과 상승 시간을 계산하였다. 지연 시간은 적응 제어를 이용한 경우가 1.09 초로 가장 적게 나타났으며, 복잡한 연산 등에 의하여 웨이블릿필터를 이용하면 1.93 초로 잡음 제거 시 많은 시간을 필요로 하는 것을 알 수 있다. 상승 시간은 단순한 계산에 의하여 이동평균필터를 이용하는 것이 가장 짧은 시간을 보여주고 있으며, 칼만필터를 이용하면 안정된 응답 성능을 보이고 있으나 이전 신호의 공분산에 대한 업데이트로 인하여 상승 시간이 오래 걸리는 것을 알 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 신호대잡음비가 높고 시간 지연이 적은 적응필터를 이용하여 트랙터 계측 시스템의 잡음을 제거하였다.

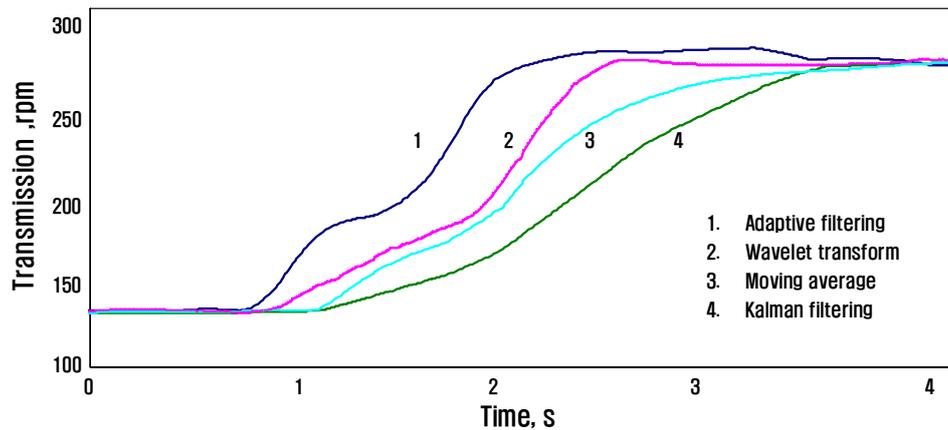


그림 3-36 필터 방법에 따른 계단응답.

표 3-16 필터 방법에 따른 응답 특성

Item	Wavelet filter	Moving average filter	Kalman filter	Adaptive filter
Delay time(s)	1.93	1.77	1.88	1.09
Rising time(s)	1.20	0.67	1.53	0.97

#### 다. 파워트레인의 고장진단 알고리즘 개발

##### (1) 파워트레인 고장진단 항목

본 연구의 파워트레인의 고장진단 항목 및 진단 방법은 표 3-17, 표 3-18과 같이 클러치, 전후진, 주변속, 부변속의 각각의 제어를 위한 레버, 저항과 액추에이터의 모터, 포텐시오미터 그리고 아이들 브레이크, 전자혼, rpm 센서에 대해 나타내었다. 각각의 고장 항목에 대해 단선, 쇼트, 불량 등의 고장원인에 대해 고장현상을 정의하였으며 이에 대한 진단 방법을 나타내었으며 레버 고장과 아이들 브레이크 불량, 전자혼 불량의 경우에는 자동 진단이 불가능하여 사용자 매뉴얼에 표시하였다. 또한 rpm 센서는 단선이나 쇼트에 의한 고장의 경우 시동상태에서만 진단이 가능하다.

표 3-17 고장진단 리스트 1

고장부위	고장원인	고장현상	진단방법
클러치, 전후진, 주변속, 부변속 레버	단선	정지	자동 진단 불가 → 사용자 메뉴얼
	쇼트	오작동	자동 진단 불가 → 사용자 메뉴얼
	불량	정지	자동 진단 불가 → 사용자 메뉴얼
클러치, 전후진, 주변속, 부변속 저항	단선	정지(0V)	150 ~ 850 : 정상
	쇼트	정지(정상범위 벗어남)	150 ~ 850 : 정상
전후진 주변속 부변속 액추에이터	모터	불량	정지(동작 불량)
		단선	정지(0V)
	포텐시오미터	쇼트	정지(정상범위 벗어남)
		불량	정지(정상범위 이내)
클러치 액추에이터	모터	불량	정지 (동작 불량)
		단선	정지(0V)
	포텐시오미터	쇼트	정지(정상범위 벗어남)
		불량	정지(정상범위 이내)
	엔코더	단선	정지(0V)
		쇼트	정지(정상범위 벗어남)
		불량	정지(정상범위 이내)

표 3-18 고장진단 리스트 2

고장부위	고장원인	고장현상	진단방법
아이들 브레이크	단선	정지	Smart IC
	쇼트	오동작	Smart IC
	불량	정지 (동작 불량)	자동 진단 불가 → 사용자 메뉴얼
전자혼	단선	정지	Smart IC
	쇼트	오동작	Smart IC
	불량	정지 (동작 불량)	자동 진단 불가 → 사용자 메뉴얼
엔진 rpm센서	단선	정지(펄스 안나옴)	시동상태에서만 진단 가능
	쇼트	정지(펄스 안나옴)	시동상태에서만 진단 가능
	불량	작동(정상범위 이내)	미션 rpm → 엔진 rpm
미션 rpm센서	단선	정지(펄스 안나옴)	시동상태에서만 진단 가능
	쇼트	정지(펄스 안나옴)	시동상태에서만 진단 가능
	불량	작동(정상범위 이내)	미션 rpm → 엔진 rpm

(2) 파워트레인 수동 고장진단

메인 컨트롤러 유닛 내부에서 처리되는 고장진단 기능 적용이 불가능한 품목으로서 표 3-19와 같이 사용자 입력으로 사용되는 외부 스위치 및 버튼 종류가 이에 해당된다. 이러한 품목의 고장진단은 별도의 진단 시나리오가 필요하며 현재 설정된 고장진단 방식은 수동진단으로써 계기판 상의 사용되지 않는 램프를 이용하는 방법이다. 이때 차량의 상태는 시동이 걸리지 않았으며 전원만이 인가된 상태이다. 사용자 입력으로 장착된 스위치 및 버튼들을 전원만 인가된 상태에서 동작시키면 그림 3-37과 같은 계기판 상의 램프가 On/Off되고 고장진단 시스템에 의해 차량의 고장진단 상태를 확인 할 수 있다.

표 3-19 수동 고장진단 리스트

진단 품목	진단 부위	진단 결과	진단 램프
Button (스위치)	주변속 클러치 스위치	정상 / 불량	토끼 램프
	클러치 페달 스위치	정상 / 불량	토끼 램프
	부변속스위치 (1/2단, 3/4단)	정상 / 불량	거북 램프
	자동보정 스위치	정상 / 불량	토끼 램프

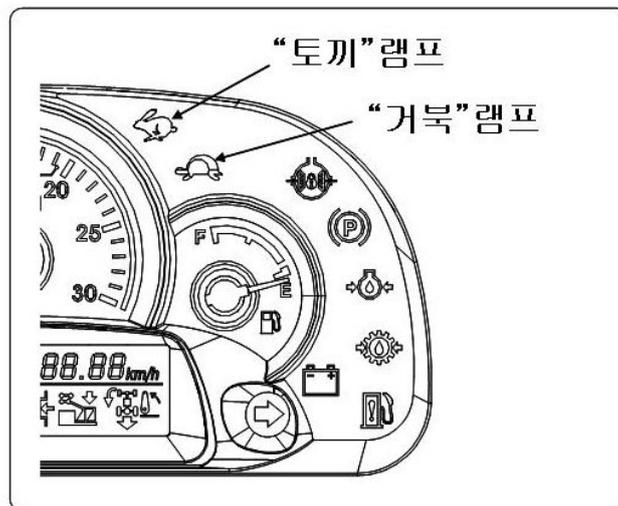


그림 3-37 수동 고장진단용 계기판 램프.

(3) 파워트레인 자동 고장진단

메인 컨트롤러 유닛 내부에서 처리되는 고장진단 기능 적용이 가능한 품목으로서 외부출력 (전자 브레이크, 전자 혼), rpm 센서(엔진, 트랜스미션), 변속 레버(전후진, 주변속), 클러치 액

추에이터(모터, 엔코더, 위치센서), 전후진 액추에이터(모터, 위치센서), 주변속 액추에이터(모터, 위치센서)가 자동 고장진단에 해당된다.

(가) 외부 출력

외부 출력에 대한 메인 컨트롤러 유닛의 고장진단 방식은 외부 출력 회로에 적용된 Smart-IC를 이용한 방법이 사용된다. Smart-IC는 고장진단을 위한 Dg 출력 핀을 지원하고, 출력 형태는 정상인 경우 High(5V), 불량인 경우 Low(0V)로 표현된다. 즉, 항상 High 상태로 있다가 이상이 생기면 Low로 떨어지며 강제로 불량 상태를 만들어 나온 출력 값과 정상 상태의 출력 값을 비교하여 고장진단 기준을 만들고 이를 바탕으로 표 3-20과 같이 정상/불량을 진단하는 알고리즘을 적용하였다. 또한 전자 브레이크의 경우 사용횟수 30만 회를 기준으로 이를 초과할 경우 내구성에 문제가 생겨 차량의 변속 충격이 커지게 된다. 따라서 고장진단에 전자 브레이크의 내구성 항목을 추가하여 사용횟수가 30만회를 초과하는 경우 에러코드를 계기판에 표시해 전자 브레이크 교체가 필요함을 사용자에게 알리도록 하였다.

표 3-20 외부출력 고장진단 리스트

진단 품목	진단 부위	진단 결과
외부 출력	전자 브레이크	정상 / 불량 & 내구성
	전자혼	정상 / 불량

(나) rpm 센서

엔진 rpm 센서의 고장진단을 위해서는 비교할 수 있는 기준값이 필요하다. 따라서 현재 계기판에서 측정되는 엔진 rpm 데이터를 메인 컨트롤러 유닛으로 수신하는 통신 프레임을 추가하였다. 계기판 상에서 측정된 엔진 rpm 데이터를 기준 값으로 사용하였으며 엔진 rpm 센서의 고장을 진단할 수 있는 알고리즘을 적용하였다. 알고리즘을 통해 표 3-21과 같이 기준 값과 센서 값의 차이가 300 rpm 이상이고 엔진 rpm 센서로 측정된 데이터가 600 rpm 이하면 불량으로 진단하게 된다.

TM (transmission) rpm 센서는 전후진 기어 바로 뒷단에 장착되어 있으며 이를 통해 측정된 회전속도는 차량의 속도를 판단하는 기준으로 사용된다. 이는 슬립제어의 핵심 입력 값이 되기 때문에 TM rpm 센서 값의 안정성은 무엇보다 중요하다. 계기판에서 측정된 엔진 rpm 데이터를 수신하는 기능이 적용되기 전에는 엔진 rpm 센서 불량에 대한 진단이 불가능하였고, TM rpm 센서 또한 진단이 불가능 하였다. 하지만 기준 값을 통한 엔진 rpm 센서에 대한

진단이 가능하기 때문에 TM rpm 센서에 대한 진단 역시 가능하며 이를 통해 TM rpm 센서의 고장진단 알고리즘의 경우에는 엔진 rpm 센서가 정상인 경우에만 적용되는 것을 알 수 있다. 차량이 전진 또는 후진으로의 슬립제어가 끝나고 안정적으로 동작하고 있을 조건 하에 엔진 rpm 센서 값과 TM rpm 센서 값이 300 rpm 이상의 차이를 가지고, TM rpm 센서값이 600 rpm 이하이면 불량으로 진단된다.

표 3-21 rpm 센서 고장진단 리스트

진단 품목	진단 부위	진단 원인
rpm 센서	엔진 rpm 센서	정상 / 불량
	TM rpm 센서	정상 / 불량

(다) 위치 센서(포텐시오미터)

위치 센서는 아날로그 출력이 나오는 센서로서 가변저항 또는 일반 저항 연결을 이용한 전압 분배 방식이 적용되었다. 가변저항 방식은 표 3-22와 같이 클러치 액추에이터, 전후진 액추에이터, 주변속 액추에이터, 부변속 액추에이터에 적용되었고, 전압 분배 방식은 전후진 레버, 주변속 레버, 부변속 레버에 적용되었다.

표 3-22 부위별 위치센서 고장진단 리스트

진단 품목	진단 부위	진단 결과
위치 센서 (포텐시오미터)	전후진 레버	정상 / 단선 / 쇼트
	주변속 레버	
	클러치 액추에이터	
	전후진 액추에이터	
	주변속 액추에이터	
	부변속 액추에이터	

위치 센서에 대한 고장진단 알고리즘은 가변 저항 방식과 전압 분배 방식에 상관없이 공통으로 적용되는데, 이는 진단 부위별로 이동 구간에 따른 위치 센서 변화량의 제한 조건이 같기 때문이다. 진단 부위별 위치 센서 변화량은 회로상으로 0V ~ 5V 이며, 이를 ADC로 읽어들이

메인 컨트롤러 유닛에서 사용할 수 있는 값으로 변환하면 0 ~ 1024로 표현된다. 예를 들어 그림 3-38은 가변저항 방식을 이용하는 클러치 액추에이터의 이동 구간에 따른 위치 센서의 변화량을 나타내고 있으며 AD값이 메인 컨트롤러 유닛에서 사용할 수 있게 0 ~ 1024의 변환된다. 따라서, 고장진단은 위치 센서 변화량의 제한 조건을 사용하였으며 1000 이상이면 SHORT(쇼트), 10 이하면 OPEN(단선), 10~1000 사이면 정상으로 처리한다.

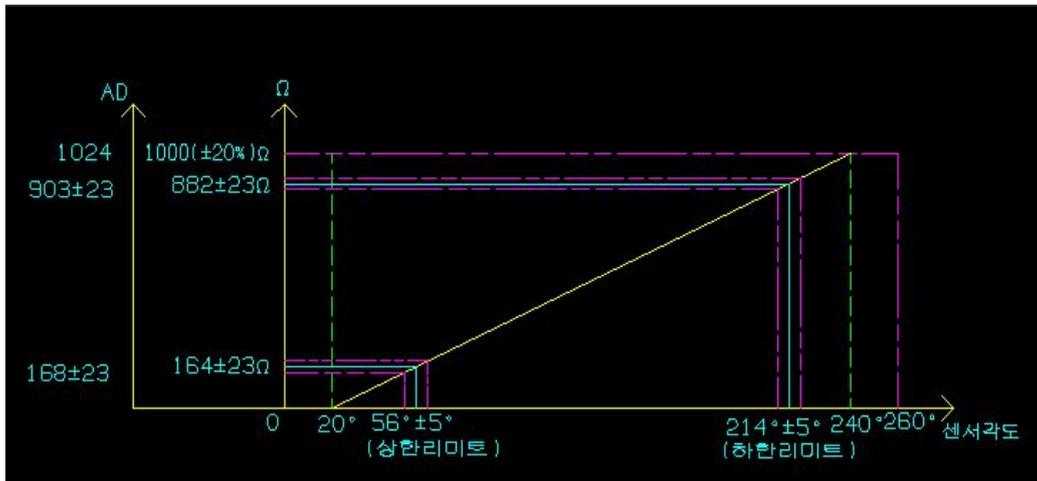


그림 3-38 클러치 액추에이터 이동 구간에 따른 위치 센서값 변화량.

(라) 모터

모터에 대한 고장진단 알고리즘은 표 3-23과 같이 각 액추에이터의 위치 센서가 정상이라는 기준을 가지고 적용되었다. 위치 센서가 정상인 상태에서 각 모터를 동작시키는 명령이 실행되고, 각 모터 동작 시에 흐르는 전류가 측정된 상태에서 일정 시간 동안의 위치 센서(AD 값) 변화량을 측정하게 된다. 그리고 사전 실험을 통해 결정된 기준 값과 비교하여 모터 불량을 진단하는 알고리즘을 이용하여 모터의 고장을 진단하였다.

표 3-23 부위별 모터 고장진단 리스트

진단 품목	진단 부위	진단 결과
모터	클러치 액추에이터	정상 / 불량
	전후진 액추에이터	정상 / 불량
	주변속 액추에이터	정상 / 불량
	부변속 액추에이터	정상 / 불량

(마) 엔코더 및 기어 맞물림 상태

엔코더는 표 3-24와 같이 클러치 액추에이터에만 적용되었으며, 이에 대한 고장진단 알고리즘은 클러치 액추에이터의 위치 센서값과 모터가 모두 정상인 상태에서 클러치 액추에이터를 구동시켜 일정 시간 동안 엔코더값이 측정되지 않으면 불량으로 진단하는 방법이다. 기어 맞물림 상태에 대한 고장진단은 전후진 액추에이터와 주변속 액추에이터에, 부변속 액추에이터에 해당되는 사항으로 변속 시에 전후진, 주변속, 부변속 기어를 제대로 체결하여 기어가 갈리거나 뒤로 빠지는 등의 위험요소 발생을 방지한다.

표 3-24 부위별 엔코더 및 기어 맞물림 상태 고장진단 리스트

진단 품목	진단 부위	진단 결과
엔코더	클러치 액추에이터	정상 / 불량
기어 맞물림 상태	전후진 액추에이터	정상 / 미체결
	주변속 액추에이터	정상 / 미체결
	부변속 액추에이터	정상 / 미체결

전후진 액추에이터의 맞물림 방지 제어 알고리즘의 경우 그림 3-39와 같이 메인 컨트롤러 유닛이 클러치/전후진 액추에이터와 전자 브레이크를 제어하여 차량을 구동시키는 과정에서 적용되어진다. 전후진 액추에이터가 사용자가 지정한 전진 또는 후진 위치점에 들어가지 못하여 미 체결된 상태를 인지하면 클러치 액추에이터는 현 상태를 유지하고, 전후진 액추에이터만 중립으로 이동 후 다시 지정된 전진 또는 후진 위치점으로 체결되는 동작을 3회 반복하며, 3회 초과 시에는 사용자에게 경고음을 발생시키며, 강제로 전후진 액추에이터를 중립으로 이동시킨다.

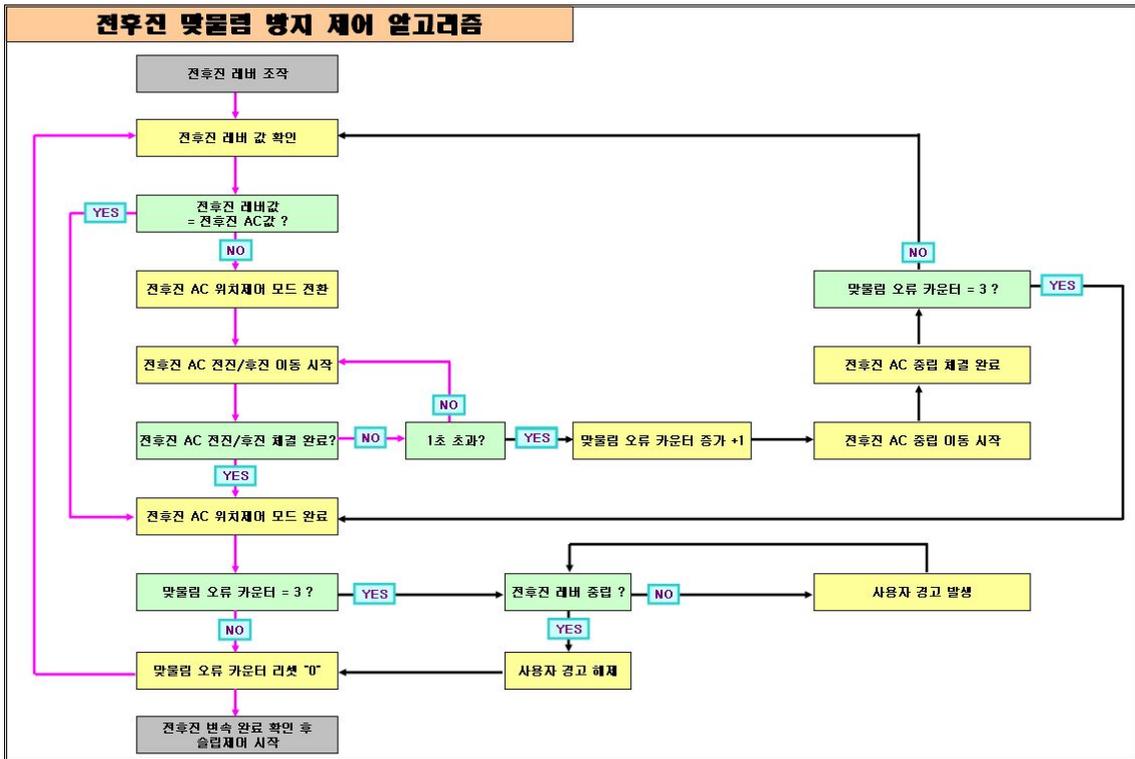


그림 3-39 전후진 맞물림 방지 제어 알고리즘 흐름도.

주변속 액추에이터의 맞물림 방지 제어 알고리즘의 경우 그림 3-40과 같이 메인 컨트롤러 유닛(MC:Main controller)과 주변속 컨트롤러 유닛(MS:Main-Shift controller)이 CAN 통신으로 연결되어 유기적으로 클러치, 전후진, 주변속 액추에이터들과 전자 브레이크를 제어하여 차량을 구동시키는 과정에서 적용된다. 주변속 액추에이터가 사용자가 지정한 단수 위치점에 들어가지 못하여 미 체결된 상태를 인지하면 다른 액추에이터들은 현 상태를 유지하고 주변속 액추에이터만 중립으로 이동한 후 다시 지정된 단수로 체결되는 동작을 3회 반복하고, 3회 초과 시에는 사용자에게 경고음을 발생시키며, 강제로 주변속 액추에이터를 중립으로 이동시킨다. 주변속의 경우 기어가 상시 물림 방식으로 차량이 구동중에는 변속이 불가능하기 때문에 정지 상태에서 적용되며 주변속 액추에이터의 맞물림 방지 제어 알고리즘과 같이 사용자가 지정한 단수 위치점에 들어가지 못하면 중립으로 이동한 후 다시 지정된 단수로 체결되는 동작을 3회 반복하다. 위의 동작이 3회 초과 시에는 사용자에게 경고음을 발생시키며, 강제로 주변속 액추에이터를 중립으로 이동시킨다.

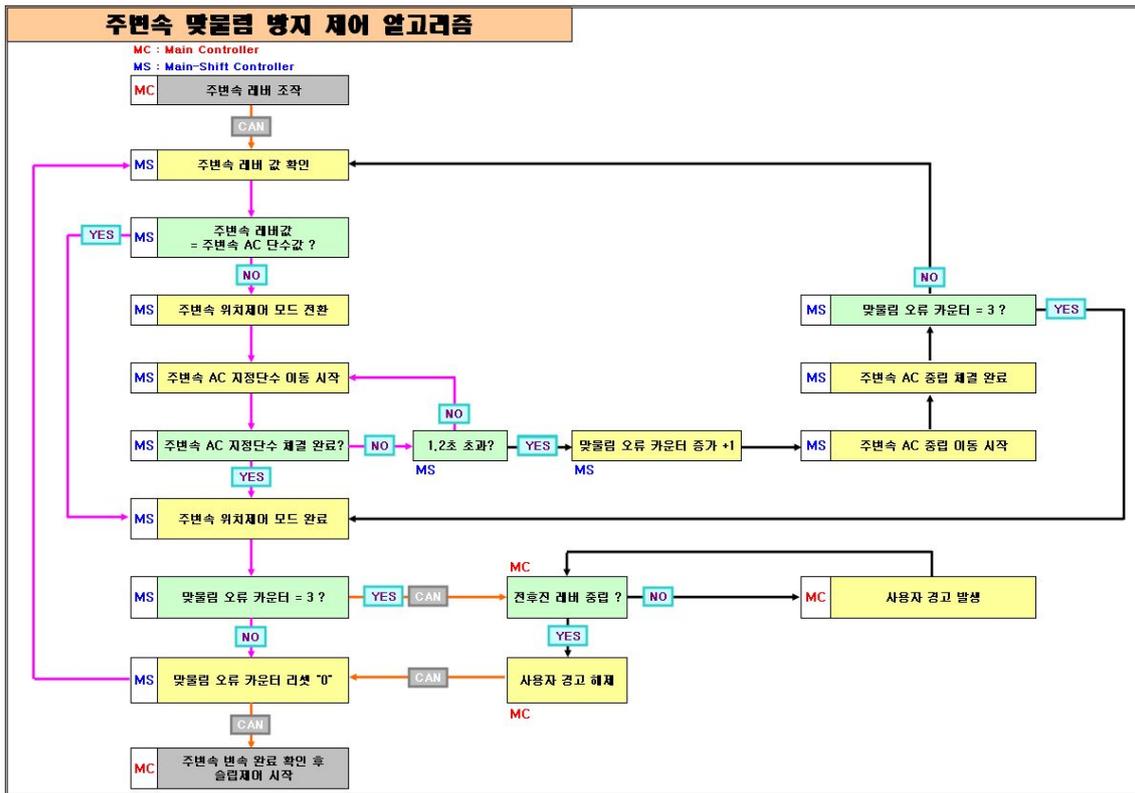


그림 3-40 주변속 맞물림 방지 제어 알고리즘 흐름도.

라. 고장진단 시스템의 신호측정 및 분석

개발된 신호처리 및 고장진단 알고리즘의 회로 부분을 설계 및 제작하여 고장진단 시스템 컨트롤러에 추가하였으며 신뢰성 테스트를 위해 신호측정 및 분석을 위한 PC용 고장진단 모니터링 프로그램을 Labview를 이용하여 개발하였다. 컨트롤러 유닛들과 CAN 통신으로 연결되어 각종 센서들의 입출력 상태와 고장진단 상태를 한 화면에 동시에 모니터링 할 수 있도록 개발하였다.

(1) 수동 고장진단 방식 신호측정 및 분석

컨트롤러 유닛 내의 자동 고장진단 기능 적용이 불가능한 외부 사용자 입력 장치인 스위치 및 버튼에 대한 수동 고장진단 방식에서 계기판 상의 램프를 이용하여 고장진단을 하는 알고리즘을 적용하였고, 그림 3-41과 같이 고장진단 모니터링 프로그램으로도 확인이 가능하도록 하였다.



그림 3-41 수동 고장진단 방식에서 스위치 및 버튼 신호측정 모니터링.

(2) 자동 고장진단 방식 신호측정 및 분석

(가) 외부 출력

외부 출력은 전자 브레이크와 전자혼에 대한 것으로서 회로 내 Smart-IC의 Dg 핀의 출력 상태를 분석하여 고장진단을 판단하는 알고리즘이 적용되었다. 모니터링 PC 프로그램에서 외부 출력에 관련된 상태 창은 그림 3-42와 같다.

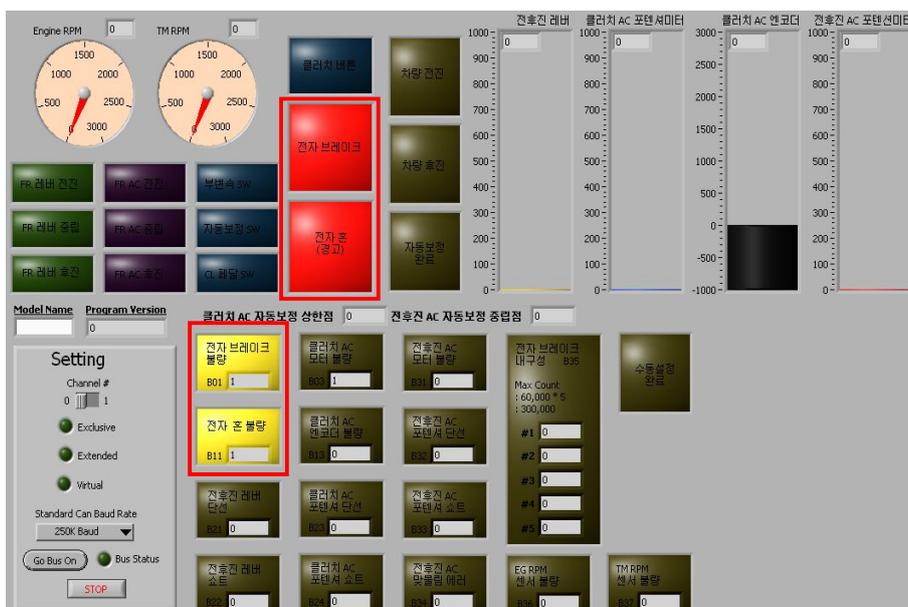


그림 3-42 자동 고장진단 방식에서 외부 출력 모니터링 화면.

(나) rpm 센서

자동화 수동변속기에서 사용하는 rpm 센서에는 엔진 rpm 센서와 TM rpm 센서가 있다. 엔진 rpm 센서는 계기판에서 측정된 엔진 rpm과 컨트롤러 유닛에서 측정된 rpm을 비교하여 고장진단을 판단하고, TM rpm 센서는 엔진 rpm 센서가 측정된 rpm과 TM rpm을 비교하여 고장진단을 판단하는 알고리즘이 적용되었으며, 고장 신호 발생에 대한 모니터링 프로그램의 상태 창은 그림 3-43과 같다.



그림 3-43 자동 고장진단 방식에서 rpm 센서 모니터링 화면.

(다) 위치 센서(포텐시오미터)

자동화 수동변속기에서 사용하는 위치센서에는 아날로그 출력 타입에 따라 가변저항 방식의 클러치, 전후진, 주변속, 부변속 액추에이터 내에 장착된 위치센서와 전압 분배 방식의 전후진, 주변속, 부변속 레버가 있으며, 아날로그 변화량의 제한 조건에 따라 고장진단을 하는 알고리즘이 적용되었으며, 관련된 모니터링 프로그램의 상태 창은 그림 3-44와 같다.

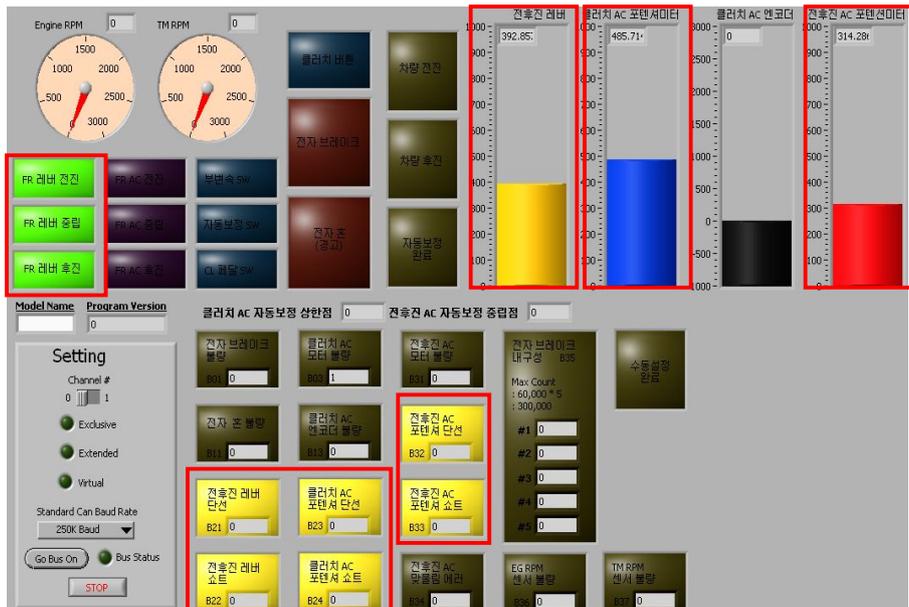


그림 3-44 자동 고장 진단 방식에서 위치 센서 모니터링.

(라) 모터

자동화 수동변속기에서 사용하는 모터에는 클러치, 전후진, 주변속 액추에이터 내에 장착된 3개의 모터들이 있으며, 위치 센서가 정상인 상태에서 각 모터를 동작시키는 명령이 실행되었고, 또한 각 모터 동작 시에 흐르는 전류가 측정된 상태에서 일정 시간 동안의 위치 센서(AD 값) 변화량을 측정하여, 사전 실험으로 결정된 기준값과 비교하여 모터 불량을 진단하는 알고리즘을 적용하였다. 관련된 모니터링 프로그램의 상태 창은 그림 3-45와 같다.

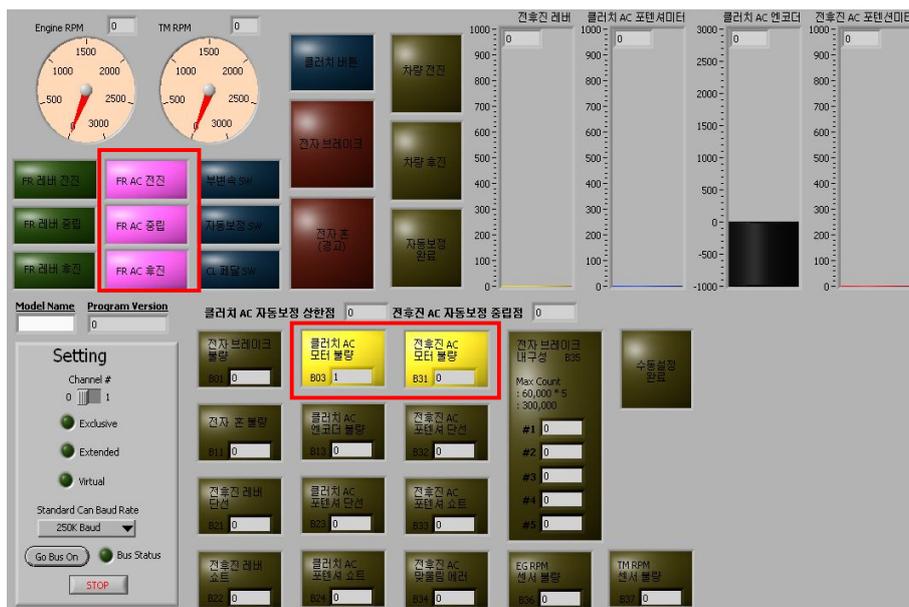


그림 3-45 자동 고장진단 방식에서 모터 모니터링.

(마) 엔코더 및 기어 맞물림 상태

자동화 수동변속기에서 사용하는 엔코더는 클러치 액추에이터에 장착되어있으며, 클러치 액추에이터의 위치 센서, 모터가 모두 정상인 상태에서 클러치 액추에이터를 구동시켜 일정 시간 동안 엔코더 값이 측정되지 않으면 불량으로 진단하는 알고리즘을 적용하였다. 기어 맞물림 상태에 대한 고장진단은 전후진, 주변속, 부변속 액추에이터에 해당되는 진단품목으로서 차량 내부의 전후진, 주변속, 부변속 기어의 미체결 상태를 판단하여 고장을 진단하는 알고리즘을 적용하였다. 관련된 모니터링 프로그램의 상태 창은 그림 3-46과 같다.

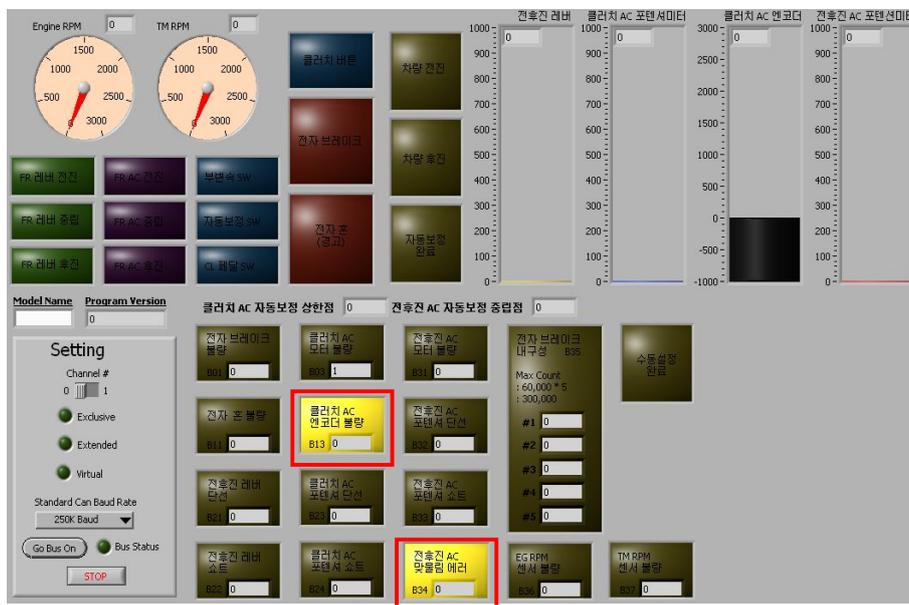


그림 3-46 자동 고장진단 방식에서 엔코더 및 기어 맞물림 모니터링.

(3) 자동 고장진단 방식의 고장진단 예시

클러치 액추에이터와 차량의 메인 배선에 연결된 3개의 커넥터 중 그림 3-47과 같이 모터 전원 커넥터를 사용하여 여러 고장진단 품목 중 클러치 액추에이터 모터 불량 품목을 테스트 해보았다.



그림 3-47 클러치 액추에이터 커넥터.

우선 클러치 액추에이터의 모터 전원 커넥터를 정상적으로 연결시킨 상태에서 주변속 변속 레버를 3단에서 4단으로 변속하였고, 이를 데이터로 측정하였다. 그림 3-48과 같이 주변속 레버값이 3단에서 4단으로 변속된 순간 클러치 액추에이터는 주변속의 변속이 가능하도록 엔진과의 동력을 해제하기 위하여 설정된 동력 해제점까지 상승하였고, 동력 해제 후 주변속 액추에이터가 3단에서 4단으로 변속되었다.

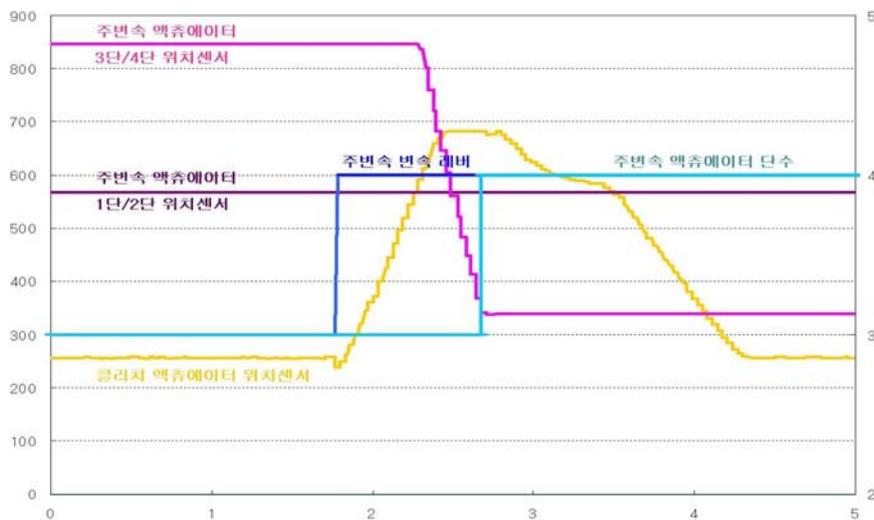


그림 3-48 클러치 액추에이터 모터 커넥터 연결 상태.

클러치 액추에이터의 모터 전원 커넥터를 분리한 경우는 그림 3-49와 같이 임의의 시점에 주변속의 변속 레버를 3단에서 4단으로 이동하였다. 클러치 액추에이터의 모터 전원이 커넥터 미연결로 인가되지 않았기에 구동되지 않았고, 따라서 주변속 액추에이터 또한 구동되지 않아 기존값을 유지하고 있음을 알 수 있다. 이로 인해 클러치 액추에이터 모터가 불량으로 판단되어 그림 3-50과 같이 고장진단 상태 창이 ON으로 변하였다.



그림 3-49 클러치 액츄에이터 모터 커넥션 분리 상태.

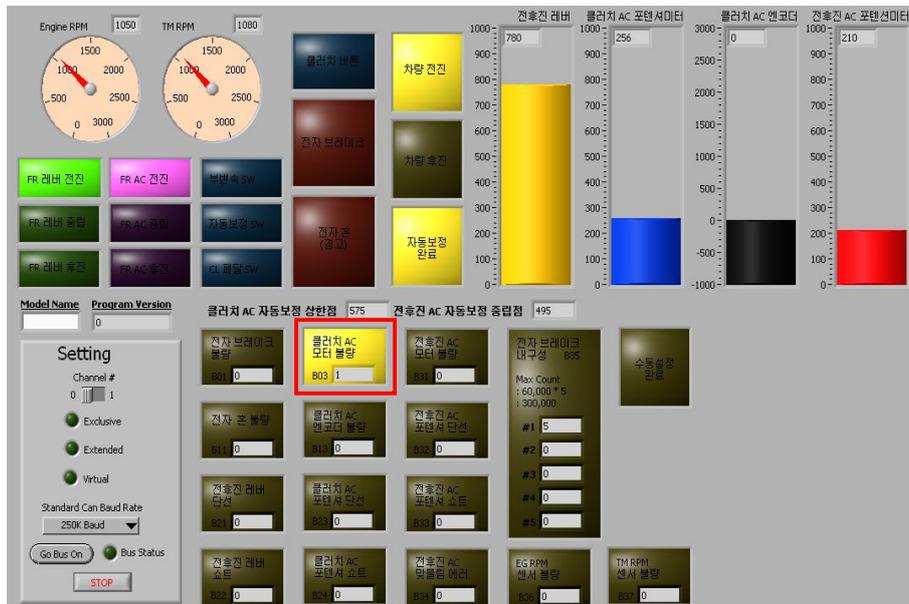


그림 3-50 모니터링 프로그램 상의 클러치 액츄에이터 모터 불량 상태 창.

#### (4) 트랙터용 통합형 진단기 개발

트랙터에 전자유압, 파워셔틀 옵션 등과 같은 센서 및 전자구동부가 증가함에 따라 기기의 고장 유무와 고장 부위의 판단이 어려워지고 있다. 따라서 고장유무를 판단하여 안전사고를 예방하고 고장 발생 후 조치를 쉽게 취하기 위해서는 고장 진단기가 필수적이다. 고장 진단기는 PC형과 단말기형으로 구분되며, 타사의 경우 표 3-25와 같이 PC형이 대부분을 이루고 있다. PC형은 다양한 부가기능이 있으며 한눈에 보기 쉽게 구성이 가능하고 업데이트와 다양한 모델/옵션 사양에 대한 대응이 용이하지만 진단을 위해서는 반드시 PC가 필요하며, 이로 인해 필

드에서는 사용이 불편하다는 단점이 있다. 반면, 단말기형의 경우 표시의 제한이 있으나, 크기가 작아 필드에서 사용이 용이하기 때문에 사용자의 사용 환경에 맞게 선택이 가능하도록 고장진단 알고리즘을 적용하여 PC형과 단말기형 모두 개발하는 것을 목표로 정하였다. 이때 진단기의 통신 시스템은 그림 3-51과 같이 컨트롤러(Node)를 CAN 통신으로 연결하여 상호 간의 정보 분석 및 고장진단 기능을 수행할 예정이다.

표 3-25 타사 진단기의 형태 및 방식

	대동/국제	동양	구보다	CNH	JohnDeere
	단말기형	PC형	PC형	단말기형/ PC형	PC형
진단기 형태	자동차스캐너 타입	USB-RS232C 인터페이스	계기판에서 고장진단 및 조정 처리함	T-series : 계기판에서 모두 해결, PC형만 존재	고장진단 및 모니터링이 용이함
	N/A	CAN	CAN	CAN/RS485	CAN
통신방식		보쉬 전자유압 밸브와 유닛을 그대로 사용함. 계기판과 CAN 통신	계기판 - 조작 유닛 - 컨트롤러 간 CAN적용	CAN:110마력 이상 RS485:85마력 이하	CAN 적용



그림 3-51 고장 진단기의 통신시스템 구성.

### 3. 자동화 수동변속기의 실용화를 위한 고장진단 기술 개발

#### 가. AMT 파워트레인의 실용화를 위한 고장진단 기준 작성

##### (1) 클러치 액추에이터

(가) 클러치 액추에이터

AMT 파워트레인의 실용화를 위해서는 트랙터에 고장이 발생할 경우 운전자에게 고장의 원인과 조치사항을 빠르고 정확하게 표시할 필요가 있다. AMT 파워트레인 내 클러치 액추에이터의 고장이 발생할 경우 고장의 형태는 에러 코드로 표 3-26과 같이 구분될 수 있으며 원인 및 조치 사항은 다음과 같다.

표 3-26 클러치 액추에이터 고장진단 기준

명 칭	에러 코드	원 인	조 치
C/AC 점검	B03	모터 전원 커넥터 미조립	모터 전원 커넥터 연결
		30A 퓨즈 소손	30A 퓨즈 교체(컨트롤러 소손 여부를 먼저 점검한 후 교체할 것)
		컨트롤러 소손	컨트롤러 교환
		클러치 액추에이터 모터 고장	C/AC 모터 교환
		메인 배선 단선	메인 배선 점검 및 교체
	B13	엔코더 커넥터 미조립	엔코더 커넥터 연결
		엔코더 커넥터 단선	메인 배선 점검 및 교체
		클러치 액추에이터 홀 센서 고장	클러치 액추에이터 홀 센서 교체
		엔코더 배선이 반대로 결합	엔코더 배선 점검후 재연결
		전원선과 포텐시오 배선이 반대로 결합	컨트롤러 교환, 메인 배선 점검 및 교체
	B39	신호가 입력되지 않은 경우	클러치 액추에이터 포텐시오미터 배선 및 메인 배선 점검
		신호가 반대로 입력되는 경우	클러치 액추에이터 교환 또는 컨트롤러 교환
	B40	액추에이터 셋팅 불량	클러치 액추에이터 교환
		모터 전원선이 반대로 결합	배선 점검 후 재연결

(나) 클러치 액추에이터 포텐시오미터

클러치 액추에이터 내부의 포텐시오미터는 단선이나 쇼트에 의해 고장이 발생할 수 있고 이에 대한 고장진단 기준은 표 3-27과 같이 정의하였다.

표 3-27 클러치 액추에이터 포텐시오미터 고장진단 기준

명 칭	에러 코드	원 인	조 치
C/AC 단선 점검	B23	C/AC 포텐시오미터 커넥터 미조립	C/AC 포텐시오미터 커넥터 연결
		C/AC 포텐시오미터 단선	C/AC 포텐시오미터 교체
		메인 배선 단선	메인 배선 점검 및 교체
C/AC 쇼트 점검	B24	C/AC 쇼트	C/AC 포텐시오미터 교체
		메인 배선 쇼트	메인 배선 점검 및 교체

(2) 전후진 액추에이터

(가) 전후진 액추에이터

AMT 파워트레인 내 전후진 액추에이터의 고장이 발생할 경우 고장의 형태는 에러 코드로 표 3-28과 같이 구분될 수 있으며 원인 및 조치 사항은 다음과 같다.

표 3-28 전후진 액추에이터 포텐시오미터 고장진단 기준

명 칭	에러 코드	원 인	조 치
FR/AC 점검	B31	전후진 모터 메인 배선이 연결되지 않은 경우	FR/AC 커넥터 점검 및 교체
		전후진 모터 전원선이 반대로 연결된 경우	메인 배선 커넥터 점검 및 교체
		포텐시오미터 신호가 반대로 입력되는 경우	전진 또는 후진 위치에서 저항값 점검 및 교체
		언더 커버가 분해되지 않는 경우	언더 커버 점검 및 분해

(나) 전후진 액추에이터 포텐시오미터

전후진 액추에이터 내부의 포텐시오미터는 클러치 액추에이터의 포텐시오미터와 마찬가지로 단선이나 쇼트에 의해 고장이 발생할 수 있고 이에 대한 고장진단 기준은 표 3-29와 같이 정의하였다.

표 3-29 전후진 액추에이터 포텐시오미터 고장진단 기준

명 칭	에러 코드	원 인	조 치
FR/AC 포텐시오미터 단선점검	B32	FR/AC 포텐시오미터 커넥터 미조립	FR/AC 포텐시오미터 커넥터 연결
		FR/AC 포텐시오미터 단선	FR/AC 포텐시오미터 교체
		메인 배선 단선	메인 배선 점검 및 교체
FR/AC 포텐시오미터 쇼트점검	B33	FR/AC 포텐시오미터 쇼트	FR/AC 포텐시오미터 교체
		메인 배선 쇼트	메인 배선 점검 및 교체

(3) 전자 브레이크

기존 트랙터의 브레이크는 페달의 조작에 의해 작동함에 비해 AMT 트랙터의 경우 전자 신호에 따라 브레이크가 작동하도록 개발하였으며, 전자 신호에 문제가 발생할 경우 브레이크 오작동에 의한 사고가 발생할 수 있어 고장진단이 매우 중요하다. 전자 브레이크의 고장진단 기준은 표 3-30과 같이 정의하였다.

표 3-30 전자 브레이크 고장진단 기준

명 칭	에러 코드	원 인	조 치
전자 브레이크 출력 점검	B01	전자 브레이크 커넥터 미조립	전자브레이크 커넥터 연결
		전자 브레이크 고장	전자 브레이크 교체
		메인 배선 단선	메인 배선 점검 및 교체

(4) 엔진 회전수 측정 센서 점검

엔진 회전수 측정 센서의 고장이 나오는 경우는 주로 커넥터 조립 불량, 센서 조립 불량 또는 센서 자체의 고장으로 발생하게 된다. 엔진 회전수 측정 센서를 체결한 상태에서 조립하는 경우에도 센서의 파손에 의해 고장이 발생할 수 있으므로 이를 주의해야 한다. 고장진단 기준은 표 3-31과 같이 정의하였다.

표 3-31 엔진 회전수 측정 센서 고장진단 기준

명 칭	에러 코드	원 인	조 치
E/G RPM 센서 점검	B36	E/G RPM 커넥터 미조립	E/G RPM 커넥터 연결
		E/G RPM 조립 불량	E/G RPM 센서 체결 상태 확인
		E/G RPM 센서 고장	E/G RPM 센서 교체
		메인 배선 단선	메인 배선 점검 및 교체 (미들 배선 포함)

(4) 변속기 회전수 측정 센서 점검

변속기 회전수 측정 센서의 고장이 측정되는 경우는 변속기 회전 방향을 감지하여 전진 방향이 아닌 후진 방향으로 회전하고 있을 때 표시된다. 이런 경우는 전후진 액추에이터 모터 전원선과 포텐시오미터 전원선이 모두 반대로 연결된 경우에 발생된다. 전후진 액추에이터 모터 전원선과 포텐시오미터 전원선이 모두 반대로 연결된 경우 전후진 액추에이터 점검에 맞추어 확인한다. 또한 이럴 경우는 전후진 액추에이터가 전진 방향에 있지 않고 후진 방향에 있으므로 육안으로 확인이 가능하다. 고장진단 기준은 표 3-32와 같이 정의하였다.

표 3-32 변속기 회전수 측정 센서 고장진단 기준

명 칭	에러 코드	원 인	조 치
차량 진행 방향 에러 점검	B41	전후진 모터 전원선이 반대로 연결되어 있고 포텐시오미터 신호선도 반대로 연결된 경우	전후진 액추에이터 커넥터 배선 점검 및 교체 메인 배선 커넥터 점검 및 교체 (클러치 액추에이터 점검 참고)
		T/M RPM 센서 신호선이 반대로 연결된 경우	T/M RPM 센서 커넥터 및 배선 색상 점검 (T/M RPM 신호가 검출되지 않는 경우 참고)

(5) 맞물림 방지 에러 점검

차량의 센서, 배선 및 액추에이터 점검은 모두 완료되고 정상인 상태이지만 기구적으로 문제가 있을 경우 맞물림 방지 에러가 발생된다. 먼저 메인 클러치의 동력이 완전히 차단되지 않아

전후진 액추에이터에 동기화를 할 수 없어 전진 또는 후진 기어에 체결되지 못하는 상황에서 고장이 발생할 수 있다. 또한 전후진 액추에이터와 전후진 연결 링크의 조립에 문제가 있어 링크가 원활히 작동하지 못하는 경우에 발생할 수 있으며, 엔진 회전수가 설정(800rpm) 이상으로 높아 작동되지 못하는 경우에 발생할 수 있다. 정의한 고장진단 기준은 표 3-33과 같다.

표 3-33 맞물림 방지 고장진단 기준

명 칭	에러 코드	원 인	조 치
중립 위치 점검	B34	E/G RPM이 높아 싱크로 결합이 되지 않는 경우	스로틀 상태를 확인(idle)
		전후진 arm과 액추에이터가 분리된 경우	FR/AC 링크를 확인
		전후진 축이 빠진 경우	전후진 축 결합 여부를 확인

나. 포장실험을 통한 AMT 파워트레인의 고장진단 성능 분석

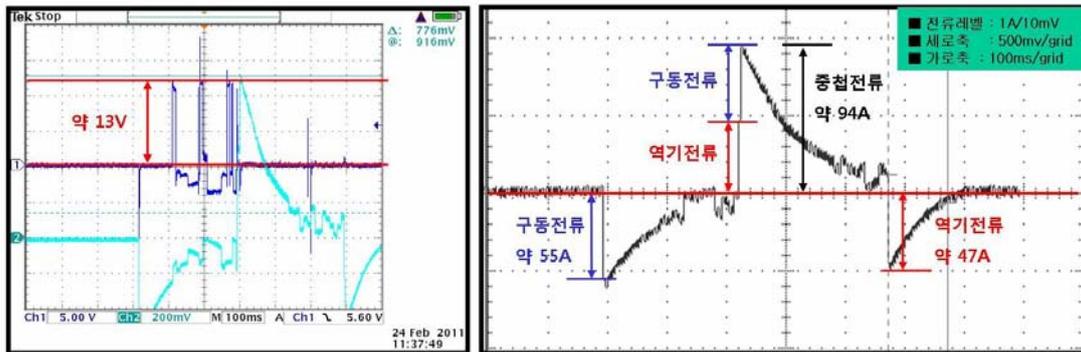
AMT 파워트레인의 고장진단 성능을 분석하기 위해 AMT 실차 트랙터로 포장작업을 수행 하면서 발생하는 고장 요소 및 원인을 진단하였다. 파워트레인 고장은 포장작업 수행 후 자동 보정 단계에서 발생하였으며 그림 3-52와 같이 육안 검사 결과 클러치 액추에이터 모터 제어 용 FET에 소손이 발생하였다. 소손된 부품에서 탄 냄새가 났으며 테스트 결과 과전압 또는 과전류로 인한 게이트, 드레인 소스의 쇼트로 고장이 발생한 것으로 판단되었다.



그림 3-52 모터 제어용 FET의 파손(앞, 뒤).

소손의 원인을 분석하기 위해 그림 3-53과 같이 클러치 액추에이터에 과전압 / 과전류 테스트를 시행하였다. 분석 결과 과전압 테스트의 경우 그림 3-53(a)와 같이 구동 전압 및 역기전력에 이상이 없었으며 FET 연속 특성 내의 전압 치만 측정되었다. 과전류 테스트의 결과는 그림 3-53(b)와 같이 나타났다. 개별 구동전류 , 역기전류 값들은 FET 연속 특성 내의 정상

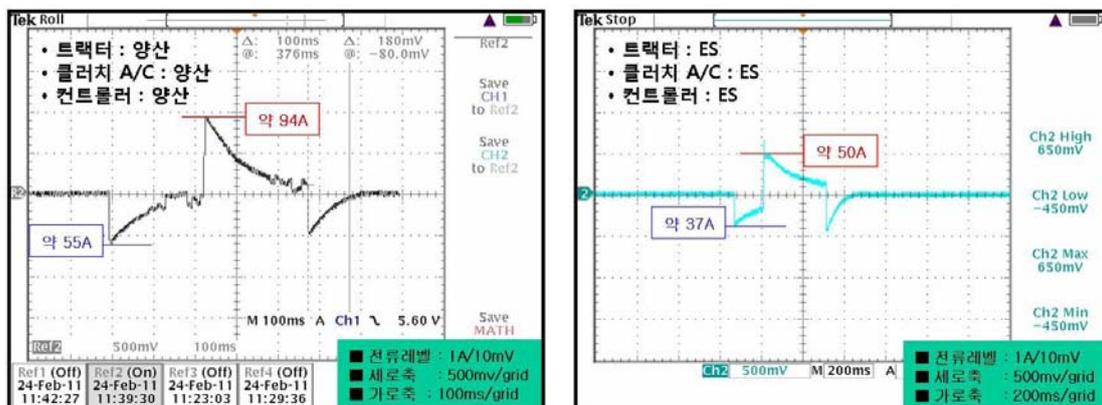
전류치를 나타냈으나 모터 정지 시 모터 코일 내에서 발생된 역기전류와 동시에 모터 구동으로 인한 구동전류가 합쳐져 발생하는 FET연속 특성을 초과한 중첩 전류로 인해 이상 과전류가 발견되었다. 과전류의 발생 시점은 중립 / 전후진 / 클러치 3개의 모드를 각 모드 완료 전에 다른 모드로 전환했을 때 발생하였으며 그 중 차량 중립 상태에서 전후진 레버를 전진으로 한 후 약 0.25초 뒤에 다시 중립으로 뺀 경우의 클러치 액추에이터의 전류 파형으로 나타났다.



(a) 과전압 테스트 (b) 과전류 테스트

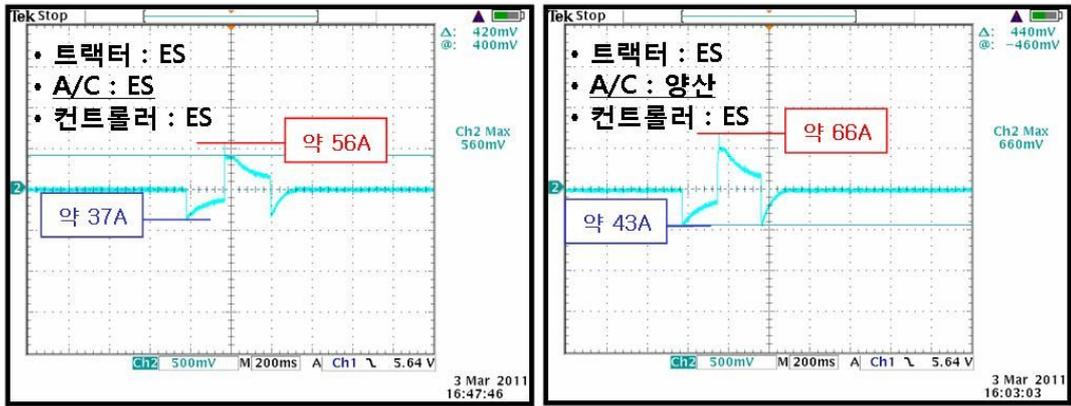
그림 3-53 과전압 / 과전류 테스트 결과.

과전류로 인한 FET 소손은 AMT 트랙터의 ES 기대 개발 중에는 발생하지 않았으며 본 실험에서 사용한 양산 기대에서만 발생하였으므로 ES 기대와 양산 기대의 중첩 전류를 비교 분석함으로써 고장의 원인을 파악하도록 하였다. 그림 3-54는 양산 기대와 ES 기대의 중첩전류 파형을 측정하여 구동 전류가 약 12A 차이, 중첩 전류가 약 44A의 상당한 차이가 발생함을 알 수 있었으며 이는 그림 3-55와 같이 액추에이터의 성능 차이에 따라 발생한 것으로 확인할 수 있었다.



(a) 양산 기대 (b) ES 기대

그림 3-54 양산 기대와 ES 기대의 중첩 전류 비교.



(a) 양산 기대 (b) ES 기대  
 그림 3-55 양산 기대와 ES 기대의 액추에이터 성능 차이.

액추에이터의 성능 차이에 의해 발생하는 과도한 중첩 전류를 방지하기 위해 그림 3-56과 같이 중첩전류 차단 펌웨어를 개발하여 겹치는 상황에서 시간 지연을 주어 전류 중첩이 차단 되도록 하였다. 중첩전류 차단 펌웨어를 통한 성능 평가 시험은 다음과 같은 순서로 진행되었다. 먼저 전후진 레버를 0.5초 정도의 주기로 전진→중립→후진→중립→전진을 반복 수행하였으며 이러한 반복 수행을 전후진 레버만 조작, 클러치 페달과 병행한 레버 조작, 클러치 버튼과 병행한 레버조작으로 시행하여 각 모드가 완료되기 전에 시행하여도 과도전류가 발생하지 않고 변속이 수행되는지를 확인하였다. 반복 수행 결과 그림 3-57과 같이 중첩 전류가 발견되지 않음을 확인할 수 있었다.

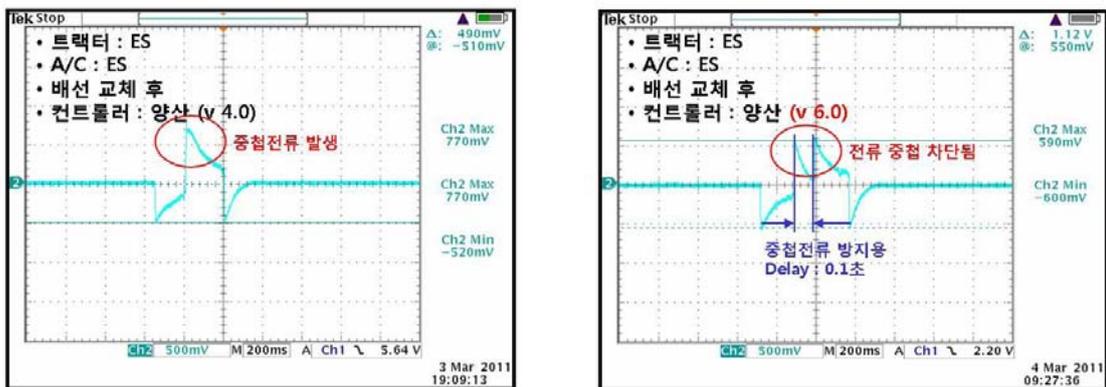


그림 3-56 중첩 전류 차단 펌웨어를 통한 중첩 전류 차단.

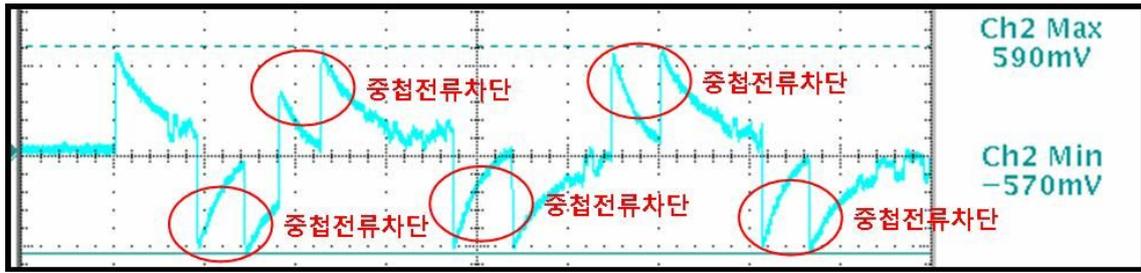


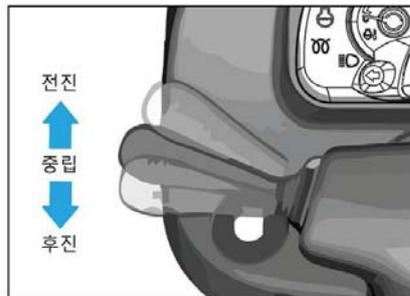
그림 3-57 중첩 전류 차단 성능평가.

다. 고장진단 및 예방을 위한 사용자 영역의 고장 조치 방법 제시

(1) 엔진 시동 고장

엔진 시동의 경우 KEY 시동 상태에서 안전장치 및 전기계통의 연결의 문제에 의해 고장이 발생할 수 있으며 그림 3-58과 같이 점검을 수행하고, 문제가 없는 경우 차량 전기 회로도를 참고하여 추가로 조치한다.

- 1) 전후진 레버 중립 확인
- 2) 독립 PTO 스위치 정지 확인
- 3) 클러치 페달 스위치 점검
- 4) 엔진 배선 50A 메인 퓨즈 점검
- 5) 퓨즈 박스 점검



10A 키정지 FUEL SHUT OFF	SPARE	
10A 계기램프 INSTRUMENT RELAY, HORN	10A 예비	5A 컨트롤러 CONTROLLER
20A 전조등 HEAD LAMP	SPARE	30A 클러치모터 CLUTCH MOTOR
15A 작업등 WORK LAMP	15A 예비	15A 전후진모터 F/R MOTOR
15A 독립 PTO	SPARE	10A 배터리 BATTERY
10A 방향지시등 DIRECTION LAMP	30A 예비	10A 비상등 HAZARD LAMP

그림 3-58 엔진 시동 고장 항목 및 조치사항.

(2) 전후진 조작 레버 고장

전후진 조작 레버의 경우 레버의 커넥터 미조립, 레버 배선 단선, 레버 배선 쇼트 등에 의해 고장이 발생할 수 있으며 그림 3-59, 60과 아래 항목을 참고하여 조치가 가능하다.

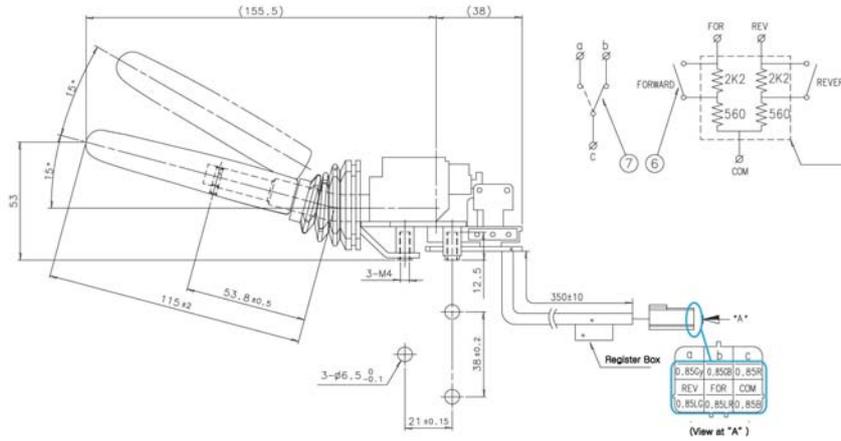


그림 3-59 전후진 조작 레버의 커넥터 연결 상태.

- ① 전후진 조작 레버의 커넥터의 조립 상태를 점검한다.
- ② 배선 색상이 표기된 것과 일치하는지 점검한다.
- ③ 전후진 조작 레버의 내부 회로에 이상이 있는지 판단하기 위해 테스터기를 이용하여 아래에 제시된 배선의 저항을 점검한다.
  - ※ 저항 측정시(전원 off, 커넥터 분리) : N에서 REV & COM( $2.76k\Omega \pm 20\%$ )  
 N에서 FOR & COM( $2.76k\Omega \pm 20\%$ )  
 R에서 REV & COM( $0.56k\Omega \pm 20\%$ )  
 R에서 FOR & COM( $0.56k\Omega \pm 20\%$ )
- ④ 메인 배선의 GND & 5V 배선의 전압을 점검한다.(KEY ON 상태에서 측정)
  - ※ 저항 측정시(전원 on, 커넥터 연결) : F/N/R 위치값은 컨트롤러의 A/D 값으로 입력  
 FOR 에 5V 입력(아래 회로에서 89D 와 연결)  
 REV 에 GND 입력(아래 회로에서 89D와 연결)  
 COM은 컨트롤러 입력임  
 스위치가 연결된 상태에서 전압 측정값  
 -F( $4.2V \pm 20\%$ ), N( $2.5V \pm 20\%$ ), R( $0.8V \pm 20\%$ )
- ⑤ 스위치와 컨트롤러간 배선의 통전 테스트를 진행한다. (5V → 정상, 전원 ON 상태에서 측정)  
 또는 스위치와 컨트롤러 89D-89B, 81B-81 통전 테스트를 진행한다.  
 (통전 → 정상, 전원 OFF 상태에서 측정)
- ⑥ F/R 스위치 79 와 컨트롤러 79 간 통전 테스트를 진행한다.  
 (통전 → 정상, 전원 OFF 상태에서 측정)

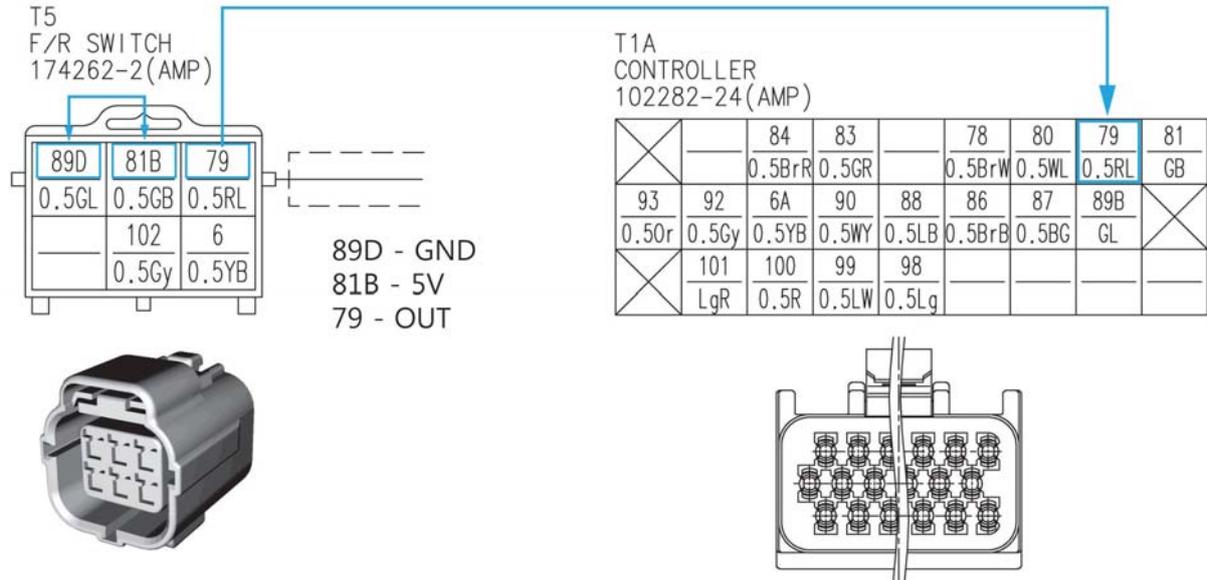


그림 3-60 전후진 액추에이터의 커넥터 회로도.

### (3) 클러치 액추에이터 고장

클러치 액추에이터의 고장은 액추에이터에 장착된 모터가 작동하지 않는 경우에 발생하거나 클러치 액추에이터 포텐시오미터 및 엔코더 커넥터를 연결하지 않은 경우에 발생한다. B03 에러가 발생한 경우 다음과 같은 순서로 점검이 가능하다.

- ① 그림 3-61과 같은 퓨즈 박스의 30A 퓨즈를 점검한다. 30A 퓨즈가 소손된 4 번의 컨트롤러 모터 회로부 소손 검사를 진행하여 소손이 확인된 경우 컨트롤러와 클러치 액추에이터를 모두 교체한다.
- ② 그림 3-62와 같이 모터 전원 커넥터 및 메인 배선 커넥터를 점검한다.
- ③ 그림 3-63과 같이 메인 배선 컨트롤러에 전원 공급이 되는지 확인한다.
- ④ 컨트롤러 모터 회로부 소손 검사를 한다. 모든 검사가 문제가 없을 경우 클러치 액추에이터 모터 고장으로 신제품으로 교체한다.

10A 키정지 FUEL SHUT OFF	10A 예비 SPARE	5A 컨트롤러 CONTROLLER
10A 계기램프 INSTRUMENT, RELAY, HORN		
20A 전조등 HEAD LAMP	15A 예비 SPARE	30A 클러치모터 CLUTCH MOTOR
15A 작업등 WORK LAMP		15A 전후진모터 F/R MOTOR
15A 독립 PTO	30A 예비 SPARE	10A 배터리 BATTERY
10A 방향지시등 DIRECTION LAMP		10A 비상등 HAZARD LAMP

그림 3-61 클러치 액추에이터 퓨즈 박스.

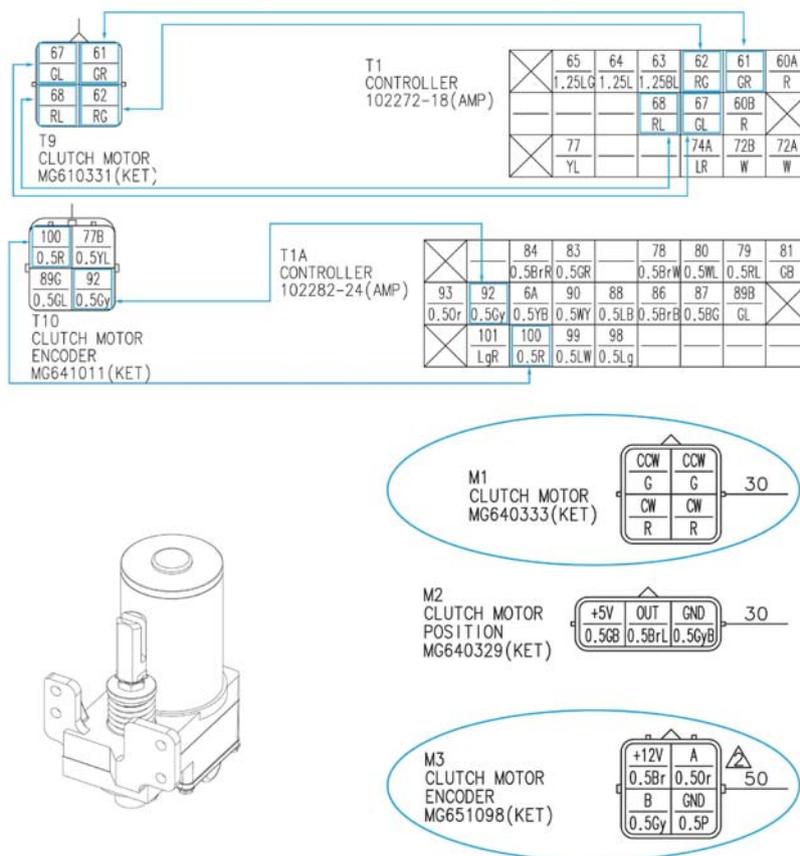


그림 3-62 클러치 액추에이터 모터의 전원 커넥터 및 메인 배선 커넥터.

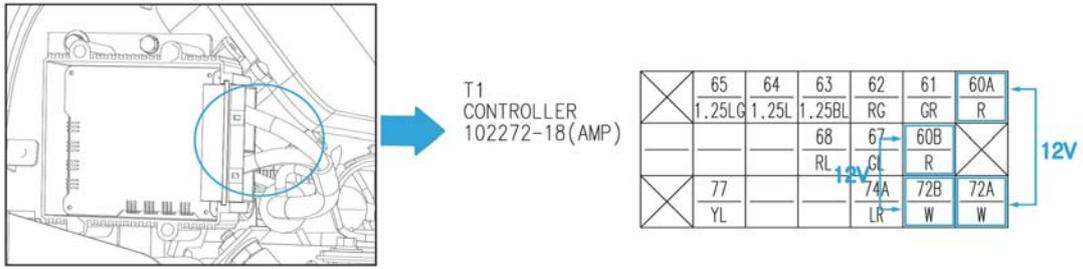


그림 3-63 컨트롤러 메인 배선 커넥터.

모터회로부의 손상이 의심될 경우 전류 테스터기를 이용하여 컨트롤러 핀의 쇼트검사를 통해 모터회로부 소손 검사를 시행할 수 있다. 그림 3-64와 같이 각각의 핀의 통전 테스트를 수행하고 하나라도 통전 시 컨트롤러가 소손된 것으로 볼 수 있다.

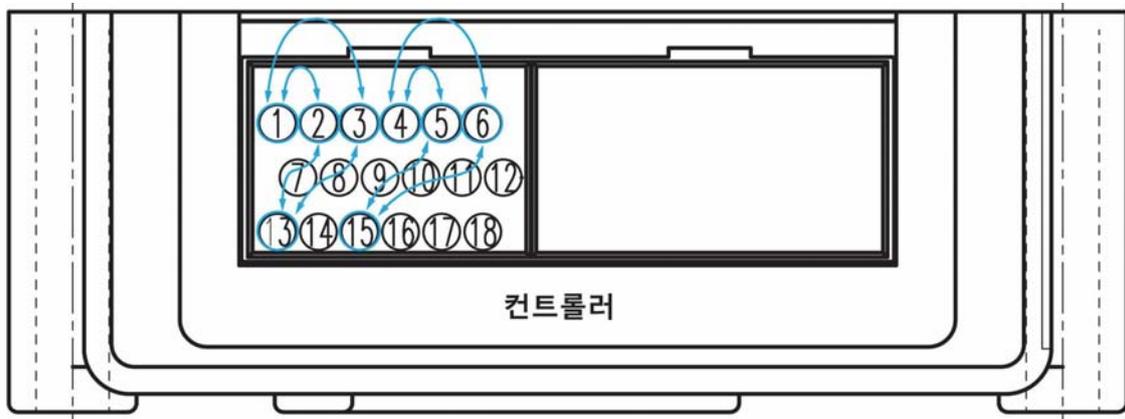


그림 3-64 모터 회로부의 소손 검사 방법.

#### (4) 클러치 액추에이터 포텐시오미터 고장

클러치 액추에이터 포텐시오미터의 경우 커넥터 미조립, 포텐시오미터 단선, 메인 배선 단선 등에 의해 고장이 유발될 수 있으며 그림 3-65, 3-66 및 아래의 항목을 참고하여 조치가 가능하다.

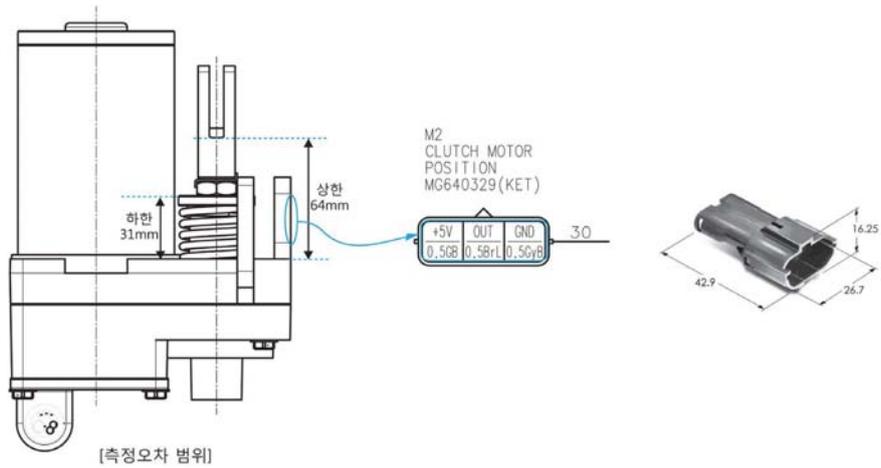


그림 3-65 클러치 액추에이터의 커넥터 연결 상태.

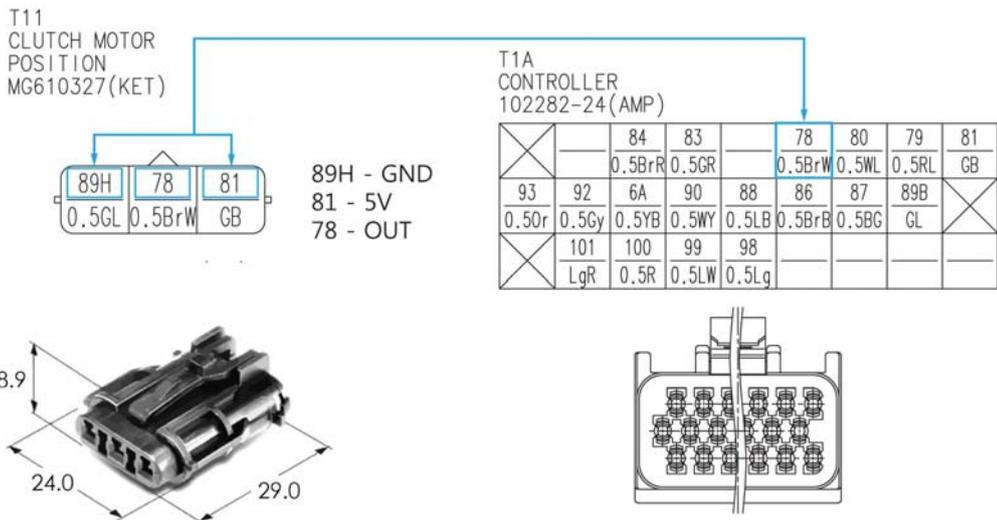


그림 3-66 클러치 액추에이터의 커넥터 회로도.

- ① 클러치 액추에이터 커넥터의 조립 상태를 점검한다.
- ② 배선 색상이 표기된 것과 일치하는지 점검한다.
- ③ GB & GyB 간 저항을 측정한다. (측정값이  $1k\Omega \pm 20\%$ 이면 정상)
- ④ 상한에서 BrL & GyB 간 저항을 측정한다. (측정값이  $0.88 \sim 0.94\Omega$ 이면 정상)
- ⑤ 하한에서 BrL & GyB 간 저항을 측정한다. (측정값이  $0.14 \sim 0.24\Omega$ 이면 정상)
- ⑥ 89H & 81 간 전압을 측정한다.(측정값이 5V 이면 정상)
- ⑦ 78 번 통전 테스트를 수행한다.(통전시 정상)

(5) 전후진 액추에이터 고장

전후진 액추에이터의 고장은 액추에이터에 장착된 모터가 작동하지 않는 경우, 전원선이 반대로 연결된 경우 그리고 포토시미터 전원이 반대로 연결되어 신호가 반대로 나오는 경우 발생된다. 조치 사항은 다음과 같다.

- ① 그림 3-67과 같이 메인 배선 컨트롤러 전원 커넥터 단자의 연결 상태를 점검한다.
- ② 배선 색상을 점검한다.
- ③ 그림 3-68과 같이 전압 테스트와 G & R 통전 테스트를 수행한다.

(89K & 81A 전압을 측정한다. → 5V이면 정상)

88, 64, 65번 통전시 정상)

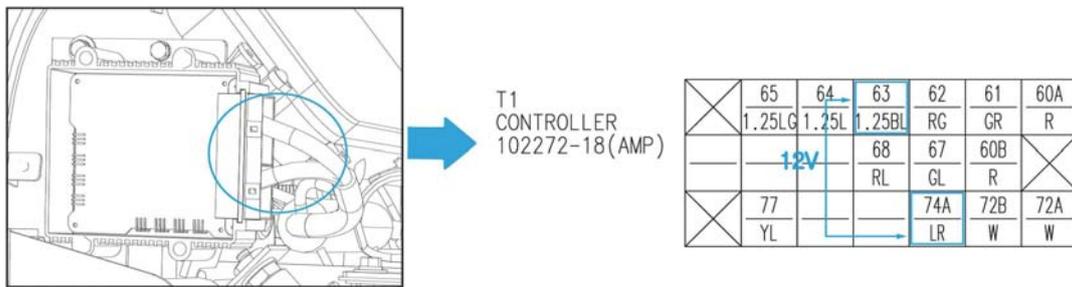


그림 3-67 메인 배선 컨트롤러 전원 커넥터.

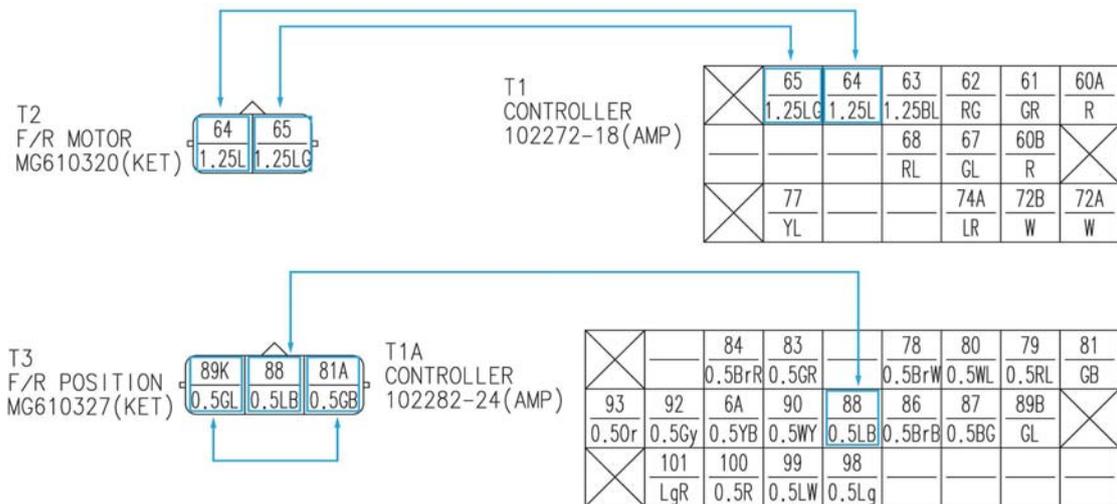


그림 3-68 메인 배선 컨트롤러 전원 커넥터 통전 테스트.

(6) 전후진 액추에이터 포토시미터 고장

전후진 액추에이터 포토시미터의 경우 커넥터 미조립, 포토시미터 단선, 메인 배선 단선, 메인 배선 쇼트 등에 의해 고장이 유발될 수 있으며 그림 3-69, 3-70 및 아래의 항목을 참고

하여 조치가 가능하다.

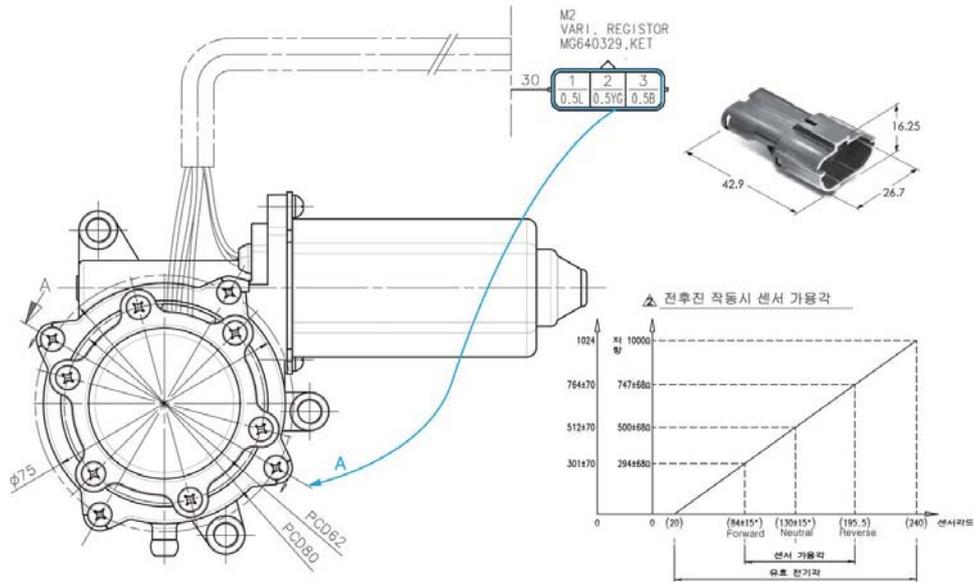


그림 3-69 전후진 액추에이터의 커넥터 연결 상태.

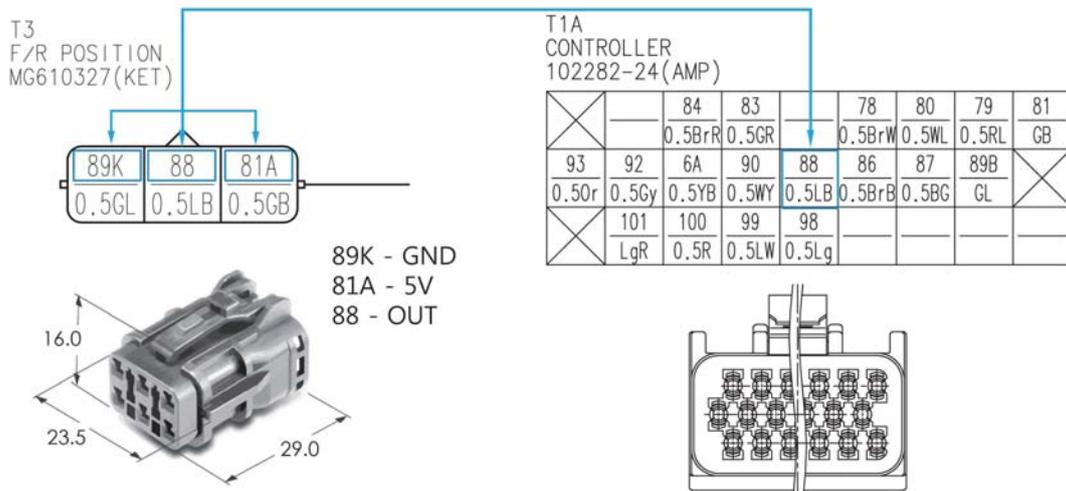


그림 3-70 전후진 액추에이터의 커넥터 회로도.

- ① 전후진 액추에이터 커넥터의 조립 상태를 점검한다.
- ② 배선 색상이 표기된 것과 일치하는지 점검한다.
- ③ L&B 저항을 측정한다. (측정값이  $1k\Omega \pm 20\%$ 이면 정상)
- ④ N에서 YG&B 를 측정한다. (측정값이  $0.4 \sim 0.6\Omega \pm 20\%$ )
- ⑤ 89K & 81A 간 전압을 측정한다. (측정값이 5V이면 정상)

⑥ 88 번 통전 테스트를 수행한다.(통전시 정상)

(7) 전자식 브레이크 고장

전자식 브레이크의 경우 커넥터 미조립, 메인 배선 단선 등에 의해 고장이 유발될 수 있으며 그림 3-71, 3-72 및 아래의 항목을 참고하여 조치가 가능하다.

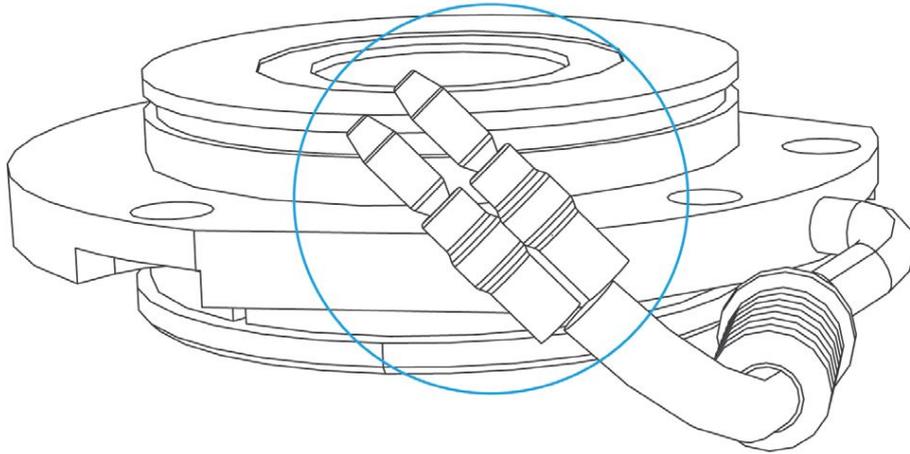


그림 3-71 전자 브레이크의 커넥터 연결 상태.

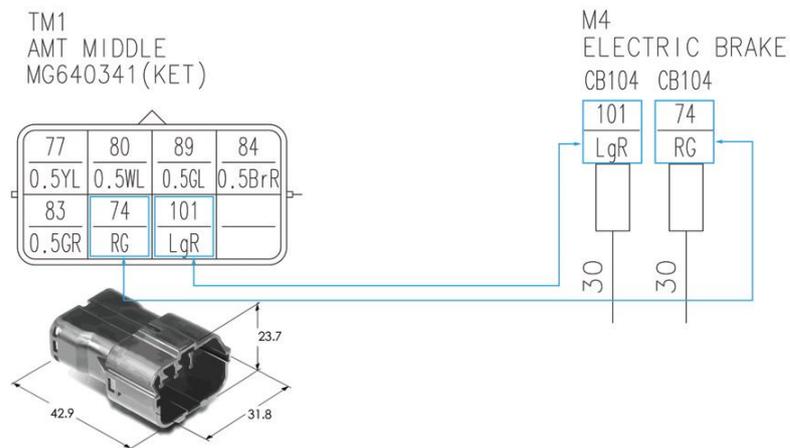


그림 3-72 전자 브레이크의 커넥터 회로도.

- ① 전후진 액추에이터 커넥터의 조립 상태를 점검한다.
- ② 양단 저항을 측정한다.(측정값이  $5.4\Omega \pm 10\%$ 이면 정상)
- ③ 배선 양단의 커넥터 통전 테스트를 수행한다.(통전시 정상)

(8) 엔진 회전수 측정 센서 점검

엔진 회전수 측정 센서의 경우 센서 커넥터의 미조립, 센서의 조립 불량, 메인 배선 단선 등에 의해 고장이 발생할 수 있으며 그림 3-73, 74와 아래 항목을 참고하여 조치가 가능하다.

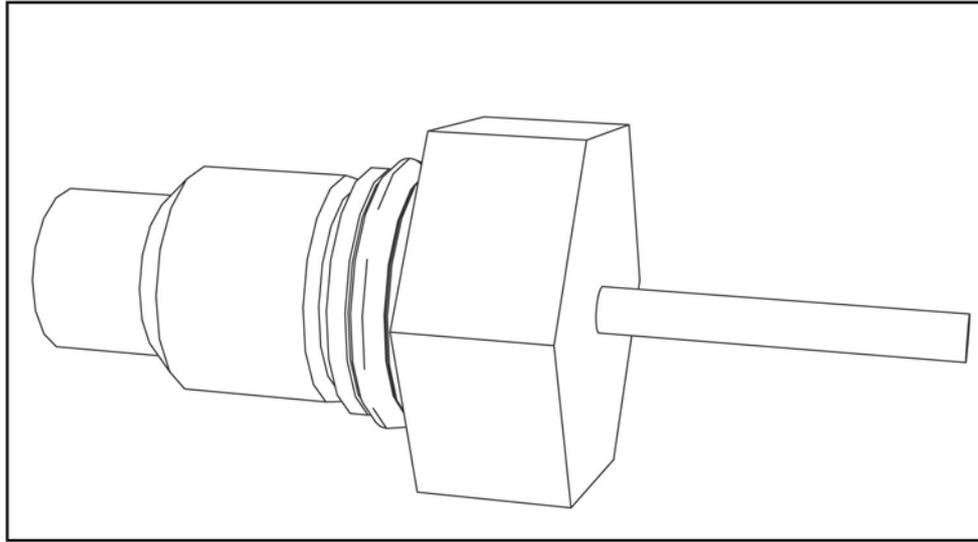


그림 3-73 엔진 회전수 측정 센서의 조립 상태.

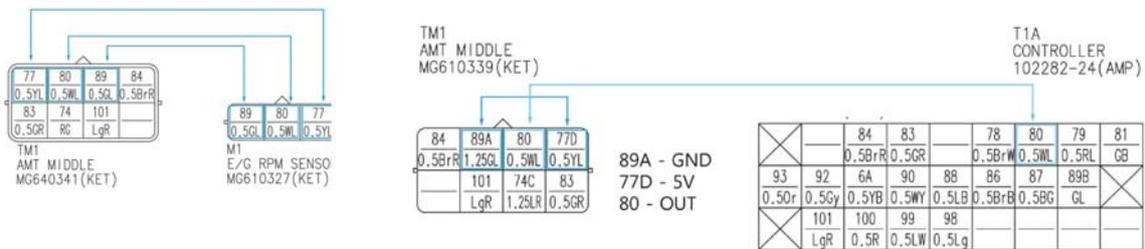


그림 3-74 엔진 회전수 측정 센서 단자의 배선도.

- ① 엔진 회전수 측정 센서 단자의 조립 상태를 점검한다.
- ② 각 단자간 통전 테스트를 수행한다.(SHORT 인 곳이 있으면 센서 불량임)
- ③ 배선 양단간 통전 테스트를 수행한다.(통전시 정상)
- ④ 89A & 77D 간의 전압을 측정한다.(전압이 12V이면 정상)
- ⑤ 80 번 통전 테스트를 수행한다.(통전시 정상)

라. 고장 표시를 위한 기존 계기판의 보완 및 휴대용 고장 진단기 개발

(1) 고장진단 계기판

계기판은 해당 차량의 주행정보 및 관련 시스템의 동작 상태나 에러 현상을 운전자에게 알려주어 적절한 대처를 하도록 돕는 장치이다. 전자기술의 발전과 더불어 컨트롤이 용이하고, 시인성이 뛰어난 블랙 페이스타입, EL 클러스터, 아날로그 클러스터 등이 개발 되었다. 계기판의 기능은 차량의 속도, 주행거리, 엔진 회전수, 잔류 연료량, 냉각수 온도, 시간, 외부 온도, 트립 컴퓨터 등 차량의 기능 및 차량 정보를 디스플레이 한다.

트랙터의 경우 다양한 작업 모드 및 변속으로 인해 일반적인 차량의 계기판보다 디스플레이 하는 정보가 다양하며 그 역할이 중요하다. 특히 AMT 트랙터의 경우 변속의 자동화로 인해 고장 표시가 매우 중요하며 이에 대한 디스플레이가 필요하다. 그림 3-75는 본 연구에서 개발한 트랙터 고장진단 계기판으로 에러 코드의 형태로 고장 표시가 가능하며 각 표시등의 역할은 다음과 같다. 전진 표시등의 경우 전후진 레버가 전진 위치에서 선택되었을 때 켜지며 중립 표시등은 전후진 레버가 중립 위치에 있을 때, 후진 표시등은 전후진 레버가 후진 위치에 있을 때 켜진다. 가동시간계는 엔진의 총 사용시간을 나타내며 19.1시간을 사용하였을 경우 00191의 형태로 표시된다. 고장진단 표시창은 AMT 파워트레인과 관련된 고장이 발생한 경우 에러 코드의 형태로 표시된다.

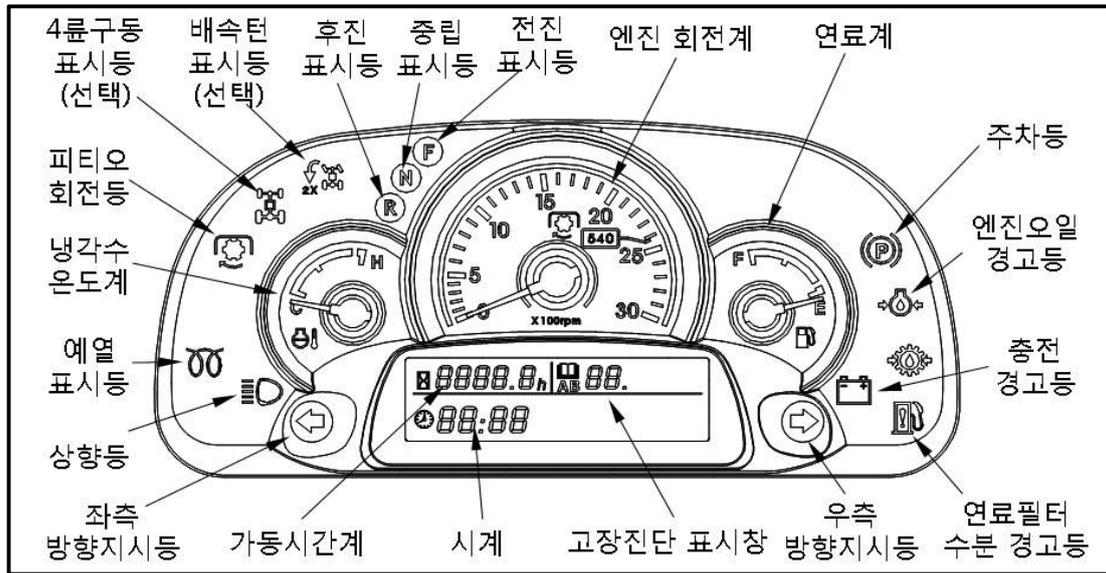


그림 3-75 트랙터 고장진단 계기판.

(가) 에러 코드

고장진단 표시창은 AMT 파워트레인과 관련된 센서나 스위치에 고장이 발생한 경우 그림 3-76과 같이 에러 코드가 표시된다. 표 3-34는 표시된 에러 코드에 대한 설명을 나타내며, 동시에 여러 가지 고장이 발생한 경우 각 에러 코드들이 매 1초마다 번갈아 표시된다.

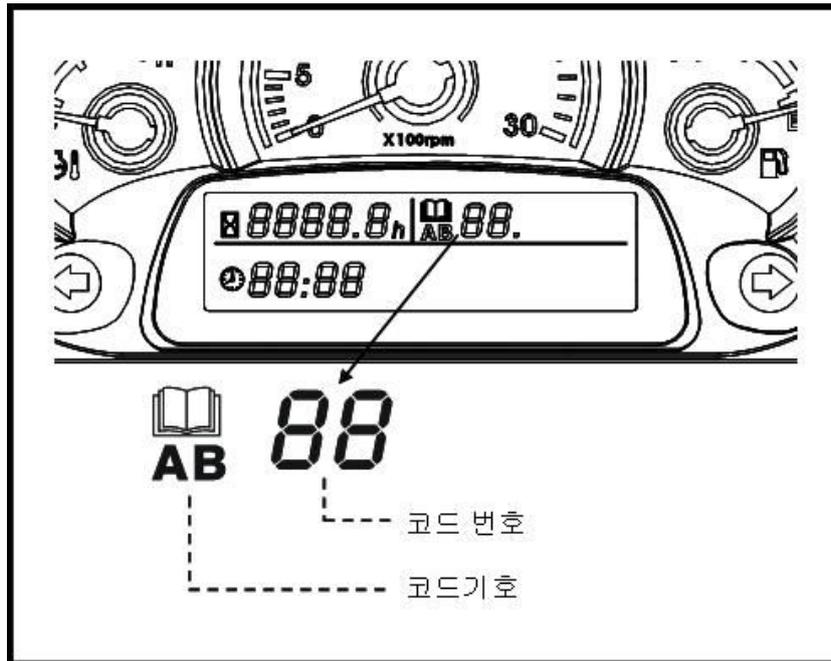


그림 3-76 고장진단 표시창.

표 3-34 고장진단 표시창의 에러코드 종류

에러코드	설 명
B01	전자 브레이크 불량
B11	전자 혼 불량
B21	전후진 레버 단선
B22	전후진 레버 쇼트
B03	클러치 액추에이터 모터 불량
B13	클러치 액추에이터 엔코더 불량
B23	클러치 액추에이터 포텐쇼미터 단선
B24	클러치 액추에이터 포텐쇼미터 쇼트
B31	전후진 액추에이터 모터 불량
B32	전후진 액추에이터 포텐쇼미터 단선
B33	전후진 액추에이터 포텐쇼미터 쇼트
B34	전후진 액추에이터 맞물림 방지 에러
B35	전자 브레이크 내구 수명 종료

(나) 스위치 점검

스위치 점검 표시창은 그림 3-77과 같으며 키 스위치를 돌려 전원만 인가한 상태에서 페달 스위치, 주변속 / 클러치 단속 스위치, 부변속 스위치의 작동 상태를 점검할 수 있다. 주변속

레버에 장착된 클러치 단속 스위치를 누르면 ‘토끼’ 램프가 켜지며 스위치를 놓으면 소등 된다. 부변속 레버가 1단, 2단, 중립에 있으면 ‘거북’ 램프가 켜지며 3단, 4단에 있으면 소등 된다.

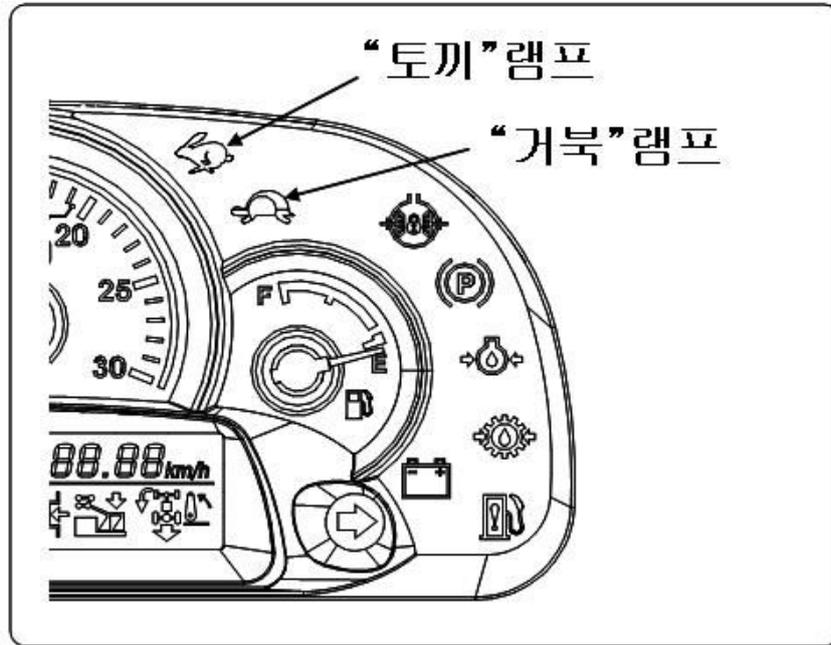


그림 3-77 스위치 점검 표시창.

## (2) 휴대용 고장 진단기

AMT 트랙터 파워트레인에 고장이 발생할 경우 사용자가 측정기기를 휴대하지 않은 상태에서는 세부적인 고장 요소에 대한 정확한 측정이 어렵다. 이에 본 연구에서는 단말기형 휴대용 고장 진단기를 개발하여 각 구성요소의 커넥터와의 연결을 통해 사용자가 직접 진단할 수 있도록 하였다. 고장 진단기는 계기판과 마찬가지로 에러 코드의 형태로 표시되며 출력, 제어 및 보정이 가능하다. 그림 3-78은 휴대용 고장 진단기를 나타낸 것으로 버튼 4개로 조작이 가능하며 진단기 LCD에 가로 16자 세로 4줄로 고장 내용이 각 부위별로 표시된다. 그림 3-79는 실제 트랙터에서 진단기를 장착하는 과정을 나타낸 것으로 장착 순서는 고정볼트 2개를 풀어 진단하려는 제품 커버를 제거하고 진단기 연결 커넥터를 제품에 연결하여 측정하는 것이다.



## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

### 제 1 절 연도별 연구목표 및 달성도

구분	세부연구개발 목표		평가의 착안점 및 기준	달성도
1차 년도 (2008)	1세부	AMT 요소 부품 설계 및 개발	설계도면 및 내구성	100%
		저비용, 고효율 액추에이터 설계	설계도면 및 내구성	100%
		TCU 센서 선정 및 설계	구성 및 개발	100%
	2세부	AMT 진단용 CAN 설계	구성 및 개발	100%
		AMT 고장진단 센서 선정 및 설계	내구성 및 신뢰성	100%
	1협동	인간공학 기반 변속레버의 편의성 평가 지표	조사 및 기준 설정	100%
		인간공학 기반 변속레버 설계	설계도면	100%

구분	세부연구개발 목표		평가의 착안점 및 기준	달성도
1차 년도 (2008)	1세부	AMT 파워트레인 설계 및 개발	설계도면 및 시작품	100%
		AMT 파워트레인의 트랙터 적용	설계도면 및 시작품	100%
		AMT TCU 개발	구성 및 제어 성능	100%
	2세부	AMT 고장진단 시스템 신호처리 알고리즘 개발	제어 성능	100%
		AMT 고장진단 및 예방 알고리즘 개발	고장 진단률	100%
	1협동	인간공학 기반 변속레버의 최적 설계 및 개발	설계도면 및 시작품	100%
		인간공학 기반 변속레버의 성능평가	편의성 분석	100%

구분	세부연구개발 목표		평가의 착안점 및 기준	달성도
1차 년도 (2008)	1세부	AMT 파워트레인 성능평가	내구성 및 효율	100%
		AMT 파워트레인 실용화 기술	상세 설계도면	100%
		AMT TCU 제어 성능	변속 시간 및 충격	100%
	2세부	AMT 고장진단 시스템의 성능	고장진단률	100%
		AMT 고장진단 및 예방 기준	조사 및 기준 설정	100%
	1협동	인간공학 기반 변속레버의 개발	설계도면 및 시작품	100%
		인간공학 기반 변속레버의 성능	편의성	100%

## 제 2 절 관련분야 기여도

### 1. 자동화수동변속 핵심부품 및 요소기술

자동화수동변속기는 클러치를 통하여 동력을 전달하는 수동변속기에 별도의 액추에이터를 장착하여 자동 변속하는 시스템으로, 기계식 변속기의 고효율성과 자동변속기의 편의성을 동시에 확보할 수 있다는 장점이 있다. 본 자동화수동변속기의 개발 대상인 트랙터는 국내 농업기계 중 약 86%를 차지하고 있으며, 사용빈도는 9.7 시간/일로 다른 농업기계에 비해 장시간 사용되고 있다. 트랙터의 경우 장시간 사용되어 작업자의 집중력 저하 및 육체 피로도 증가를 유발시키고 있으며, 이에 따른 안전사고도 빈번히 발생되고 있어 자동화수동변속기의 적용은 편의성, 작업효율 향상 등 다양한 측면에서 상당히 높은 효과를 가져다 줄 것으로 판단된다.

자동화수동변속기는 전후진, 주변속, 부변속의 자동화를 위한 각각의 액추에이터와 동력 전달 및 해지를 위한 클러치 액추에이터로 크게 구성되어 있으며, 각각의 액추에이터 동작을 위해 링크 및 기구부 설계를 통해 트랙터에 장착하였다. 또한 작업에 따른 고효율/고편의성 확보가 가능한 최적 자동 변속 제어를 위해 TCU를 개발하여 변속 제어를 수행하였다. 개발된 시스템은 각각의 단품들을 기 판매되고 있는 트랙터 제품에 설계변경 없이 추가로 장착하는 add-on 방식을 이용하기 때문에 개발에 필요한 비용 절감을 통해 트랙터 가격 경쟁력 확보에도 높은 영향을 끼친다. 또한 개발된 액추에이터는 각각의 단품으로도 활용 가능하도록 모듈화되어 있어 필요에 따라 개별적 적용이 가능하며 전후진 자동화의 경우 우선 제품화되어 판매 중이다. 상기의 개발 방식을 통해 현재 개발 대상품 외에도 타 마력대 트랙터에도 적용이 쉬우며 적용되는 기술의 경우 유사하므로 개발기간과 소요되는 비용의 감축이 가능하다. 또한 트랙터 뿐만 아니라 다른 농업기계에도 비교적 쉽게 개발 및 적용이 가능하며, 자동화수동변속 기술 적용을 통한 농업기계 편의성 및 작업효율 향상으로 국내 농업기계의 기술 수준 증대 및 이미지 향상이 가능할 것으로 사료된다.

자동화수동변속의 요소부품에 사용되는 설계기술, 제어기술, 통합기술 등의 핵심 요소기술은 일반차량 분야 외 열악한 환경에서 주행하는 Non-road 차량에도 전이되어 국내 차량 분야의 기술력 확보에도 크게 이바지 할 수 있다.

### 2. 인간공학적 레버 설계

인간공학 기반의 레버 개발은 트랙터 작업자의 작업 분석 및 조작 반력 등의 기본 데이터를 구축한 후 다양한 시뮬레이션을 이용하여 최적 설계를 통해 개발되었다. 트랙터 레버는 조작성, 시계성, 근접성을 평가를 통해 최적 설계를 수행하였으며 트랙터 작업 패턴에 적합한 방식

으로 장착 방법을 결정하였다. 자동변속기의 경우 수동변속기에 비해 오조작 가능성이 있으므로 상대적으로 높은 신뢰성이 요구되어 ISO 기준 내에서 적절한 조작력을 산출하였다. 또한 변속레버는 조작력을 최소화 하면서 접근성의 편리영역 내에 들어오는 위치 및 형태를 결정하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하였으며 이를 위해 생체 역학적 분석이 가능한 동역학 해석 프로그램을 이용하였으며 목적함수, 설계변수, 구속방정식 등을 이용하여 최적 설계하였다. 개발된 레버는 트랙터의 전후진, 주변속, 부변속의 다양한 변속 레버를 하나로 통합하여 하나의 레버로 설계하였으며 이를 통해 운전석의 공간을 확보하였다. 통합 레버는 트랙터 뿐만 아니라, 일반 차량에 비해 상대적으로 조작 레버가 많은 농업기계에 활용되어 공간의 효율적인 활용 및 작업 효율을 향상시킬 수 있다. 또한 레버 개발에 사용된 기술들은 농업기계 뿐만 아니라 차량, 항공기, 선박, 열차, 승용차 등의 타분야에도 기여 가능하며, 설계와 동시에 검증이 이루어지는 과정을 통해 제품 개발에 소요되는 시간과 비용을 줄이고 작업 편의성을 고려한 설계 기법을 제시할 수 있다.

### 3. 변속제어 기술

#### 가. 최적 제어 기술

자동화수동변속기의 제어는 최적 제어계수 선정 시뮬레이션 및 PID 최적 제어기 설계를 통해 수행하였다. 제어기 개발은 Z-N 계단 응답법을 이용하여 시뮬레이션을 위한 초기 계수를 계산한 후, 시뮬레이션을 통해 제어계수를 응답성능과 안정성 평가를 통해 최적화 하는 방식을 이용하였다. 각각의 제어계수는 개개별로 최적화된 것이 아니라 상호 작용을 고려하여 최적화 하였기 때문에 현재 시스템에 적합한 제어 성능을 보여준다. 또한 제어기는 최적 계수 선정 후 각각의 상황에 맞게 환경을 구성하여 검증을 거쳐 신뢰성을 향상시켰으며 이를 통해 여러 산업분야에서 자동화를 위한 적용에 높이 활용될 것으로 판단된다.

#### 나. 최적화 시뮬레이션

제어기 설계를 위해 수많은 제어계수 경우의 수에 따라 대상을 제어해보는 시행착오는 많은 비용과 노동력의 낭비를 초래한다. 따라서 수학적 모델을 통해 최적 제어기 설계가 가능한 컴퓨터 시뮬레이션 개발하였으며 이를 이용하여 다양한 제어 계수 간의 성능평가를 가능하게 하였다. 최적 제어기 설계에 사용된 최적화 시뮬레이션 프로그램은 상용화 및 제품화를 통해 활용도를 높일 것이며 전동화, 자동화에 따라 그 활용도는 매우 증가할 것으로 판단된다.

### 4. 고장진단 시스템

고장진단 시스템 개발을 위해 트랙터의 주요 고장진단 부위를 선정하여 각각에 적합한 고장

진단 센서를 장착하였으며 신호 측정을 위한 I/O 인터페이스 및 FPGA (Field Programmable Gate Array)와 RT (Real Time) 모듈을 이용하여 자동화 수동변속기 파워트레인의 고장진단 시스템 및 실시간 고장진단이 가능한 고장진단 모니터링 프로그램을 개발하였다. 또한 트랙터 적용이 가능한 고장 진단기를 PC, 단말기의 두 가지 형태로 개발하였으며 이를 통해 안전사고 예방 및 고장 발생 후 조치가 용이하도록 하였다. 고장진단을 위한 신호처리 알고리즘은 이동 평균 필터, 웨이블릿 필터, 칼만 필터, 적응 필터의 잡음제거 성능 비교 및 분석을 기초로 하여 개발하였으며 이를 통해 선정된 고장진단 항목의 진단을 위한 신뢰성 높은 신호 측정과 자동 보정이 가능하게 하였다. 또한 수동/자동 진단 항목으로 분류한 후 각각에 대해 고장 원인과 현상에 따른 진단 방법을 개발하였다. 고장진단 시스템은 CAN 기반으로 개발되어 사용자의 접근이 쉽도록 하였으며 단품으로 활용이 가능하여 다양한 분야에서 적용이 가능하다.

## 5. 기대효과

### 가. 기술적 측면

자동화수동변속 시스템 개발로 기계식 트랙터의 자동변속이 가능하게 된다. 그리고 향후 개발될 다양한 종류의 차세대 농작업기의 기반 기술로써의 역할이 가능하며 원천 기술 확보를 통한 트랙터 관련 국내 자체기술 개발의 활성화 도모가 가능하다. 변속과정에서 발생하는 동력 단절을 감소하는 기술은 승용차나 트럭 등의 자동화 수동변속기 개발에 적용 가능하며, 자동화 수동변속 시스템 개발에서 중요한 요소인 클러치 액추에이터의 개발로 트랙터용 자동화수동변속기 설계 기준을 정립할 수 있다. 또한 현재 개발 예정인 AMT 시스템은 다양한 트랙터 마력급에 적용이 가능 할 뿐만 아니라 타 기종의 농업기계에도 적용이 가능하여 자동화 수동변속 기술의 파급효과는 지속적으로 증가할 것으로 판단됨.

### 나. 산업적 측면

친환경 고효율 자동화수동변속 기술 개발로 에너지 절감 효과를 가져와 유가 상승에 대한 농민의 경제적 부담 뿐만 아니라 기존 동급 트랙터에 비해 저가로 공급함으로써 트랙터 구매에 대한 부담을 절감시킬 수 있다. 또한 트랙터 관련 작업의 효율을 높여 농업인의 작업환경을 개선하고 농가의 수익을 증대가 가능하며 핵심 기술 개발과 최초의 자동화수동변속 트랙터 개발로 차세대 농업기계 개발에 대한 기대를 고취시켜 농업기계 산업 기술 발전에 이바지가 가능하다.

트랙터용 자동화수동변속기의 개발로 생산비 절감의 효과가 있으며, 가격의 이점을 살려 해외 시장 개척 및 외화 획득에 기여할 수 있다. 변속 단수가 많은 트랙터에 자동화수동변속 시스템을 조기에 적용함으로써 트랙터 시장의 선두 업체로 나아갈 수 있는 중요한 발판이 될 수

있다. 또한 포장 실험을 통한 성능평가로 자동화 수동변속기의 제품화를 앞당길 수 있으며 이는 트랙터 수출 경쟁국과 차별화된 기술 확보로 해외 시장에서 국내 트랙터의 국가 경쟁력을 향상 가능하다.

자동화수동변속기 설계 기준 정립은 다른 모델에 즉시 적용 가능함. 즉 개발기간 및 시행착오를 단축하게 되므로, 개발비용 절감과 함께 조기 제품 출시에 의한 시장 선점이 가능하다. 또한, 전기식 자동화수동변속 시스템 개발로 인하여 장치의 구성이 매우 단순하며, 저렴한 가격에 제품을 생산할 수 있어 기능적인 부분과 경제적인 부분을 동시에 만족시킬 수 있는 트랙터의 생산이 가능함.

#### 다. 사회적 측면

자동화수동변속기의 개발 중 트랙터 변속작업의 편의성 분석은 농업인의 인간공학적 연구에 활용되며 관련기술은 국내외 전문 학술지에 게재 및 특허출원을 통해 홍보한다. 인간공학적 측면에서 트랙터 작업자의 작업동작 및 신체 불편도의 정량적 분석으로 운전자의 작업부하를 줄이고 쾌적한 작업환경을 제공할 것으로 기대되며, 클러치 액추에이터의 경우 유압식 시스템의 오일 오염에 의한 오작동 문제가 완전히 배제되므로 신뢰성 있는 시스템 구축이 가능하며, 부가적으로 소비자 불만 사고를 예방할 수 있다고 판단된다. 또한, CAN 기반의 고장진단 및 방지 기술은 농민의 트랙터 관리에 관한 교육 자료로 활용되어 농업인의 트랙터 관련 지식 습득에 도움을 줄 수 있음.

## 제 5 장 연구개발성과 및 성과활용 계획

### 제 1 절 연구개발 성과

#### 1. 지적재산권

■ 본 연구개발은 개발기술의 권리 확보 및 보호가 중요하므로 국내/외 특허 출원을 우선적으로 실시하였음.

■ 출원된 특허는 현재 등록 진행중임.

구분	특허				논문				인력양성	
	출원		등록		SCI		비SCI		석사	박사
	국내	해외	국내	해외	국내	해외	국내	해외		
목표	3	-	2	-	2	-	9	-	-	-
실적	7	3	-	-	1(1)*	-	9	1	1	-

\*4월 중 특허 등록 후 제출 예정임

가. 특허

(1) 해외

■ 특허 명 : Automatic transmission

출원인 : 최정웅, 김상현, 이상현

출원번호 : US/12/689,338 (미국)



## SHERR & VAUGHN, PLLC

620 Herndon Parkway  
Suite 320  
Herndon, Virginia 20170  
Phone: 1-571-313-7556  
Facsimile: 1-703-935-8473  
www.sherr-law.com

VIA MAIL AND EMAIL

January 26, 2010

Young-Chol Kim  
KIM, CHOI & LIM  
Korea Coal Center 10th Floor  
80-6, Susong-dong, Chongro-gu  
Seoul 110-727, Republic of Korea

Re: U.S. Patent Application No. 12/689,338  
**AUTOMATIC TRANSMISSION**  
Inventorship: Jung Woong Choi et al.  
Our Reference Number: **661-0002**  
Your Reference Number: **OF09P297/US/YJY**

Dear Sirs:

We are pleased to inform you that the above-referenced patent application was filed and the assignment recorded on January 19, 2010 at the United States Patent & Trademark Office (USPTO). Enclosed are copies of all of the documents filed, an electronic Acknowledgement Receipt from USPTO, and Notice of Recordation of the Assignment. Also enclosed is our invoice.

We have enclosed our draft of a preliminary amendment to reduce section 112 issues for your review. Please review the enclosed preliminary amendment and give us your feed back when you return the executed documents to us.

Please advise us of any prior art which you, the inventor and/or anyone associated with the filing or prosecution of this application are aware which relate to this invention so that they may be submitted to USPTO. Under U.S. Patent Law, failure to submit known "relevant" prior art may result in invalidation (i.e. cancellation) of a resulting patent. Any prior art cited in a corresponding foreign patent application should be submitted to USPTO in an information disclosure statement within three months of citation.

Please also identify for us any U.S. Patents or Pending Patent Applications that you, the inventors or any assignee are aware of that are related to the subject matter of this case. We need to determine if the file of these cases contains any relevant prior art or if it should be brought to the Examiner's attention since it may be a potential or actual prior art reference under U.S. Patent Law or it may raise an issue of double patenting.

**PRIVILEGED AND CONFIDENTIAL**



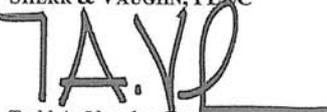
**SHERR & VAUGHN, PLLC**

**Privileged and Confidential**

January 26, 2010

We will be sure to inform you of any developments in this patent application. We expect to receive the Official Filing Receipt within one month. In the interim, please do not hesitate to contact us if there are any questions or concerns.

Very truly yours,

SHERR & VAUGHN, PLLC  
  
Todd A. Vaughn, Esquire

Enclosures: Preliminary Amendment  
Invoice  
Patent Application Papers Filed  
Electronic U.S. Patent Application Acknowledgement Receipt  
Notice of Recordation of Assignment

TAV/MST/SWL/kmt



**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

*In re* Patent Application of: Jung Woong Choi et al.  
Application No.: 12/689,338  
Filed: 01/19/2010  
For: AUTOMATIC TRANSMISSION

Docket No.: 661-0002  
Confirmation No.: TBA  
Group Art Unit: TBA  
Examiner: TBA

Commissioner for Patents  
P.O. BOX 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

**PRELIMINARY AMENDMENT**

Sir:

Prior to examination on the merits, please amend the above-identified application as follows.

**Amendments to the Claims** are reflected in the listing of claims which begins on page 2.

**Remarks** begin on page 7.

■ 특 허 명 : Automatic transmission for vehicle

출 원 인 : 이상현, 김상현

출원번호 : US/12/952,997 (미국)



620 Herndon Parkway  
Suite 320  
Herndon, Virginia 20170  
Tel. Phone: 1-571-313-7556  
Fax: 1-703-935-8473  
www.sherr-law.com  
Email: [mail@sherr-law.com](mailto:mail@sherr-law.com)

\*Admitted to practice in the District of Columbia,  
Texas and before the U.S. Patent & Trademark Office  
and the Supreme Court of the United States of America

January 12, 2011

Ms. Sun-young Kim  
**KIM, CHOI & LIM**  
Korea Coal Center 10th Floor  
80-6, Susong-dong, Chongro-gu  
Seoul 110-727, Republic of Korea

Re: U.S. Patent Application Serial No. 12/952,997  
**AUTOMATIC TRANSMISSION FOR VEHICLE**  
Inventorship: Sang Heon Lee et al.  
S&V Reference Number: **661-0005**  
Your Reference Number: **OF10P072/US/YJY**

Dear Sirs:

We have received a *Notice of Recordation* and *Updated Filing Receipt* from the U.S. Patent and Trademark Office (USPTO). We have enclosed a copy for your records.

If you have any questions or concerns, please do not hesitate to contact us.

Very truly yours,

**SHERR & VAUGHN, PLLC**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'T.A. V. L.', with a long horizontal flourish extending to the right.

Todd A. Vaughn, Esquire\*

Enclosures: Notice of Recordation  
Undated Filing Receipt

TAV/SWL/fit

**PRIVILEGED AND CONFIDENTIAL**



UNITED STATES PATENT AND  
TRADEMARK OFFICE

Facsimile Transmission

To: Name: SHERR & VAUGHN, PLLC  
Company: 620 HERNDON PARKWAY  
Fax Number: 17039358473  
Voice Phone:

From: Name: ASSIGNMENT RECORDATION SERVICES  
Voice Phone: 571-272-3350

37 C.F.R. 1.6 sets forth the types of correspondence that can be communicated to the Patent and Trademark Office via facsimile transmissions. Applicants are advised to use the certificate of facsimile transmission procedures when submitting a reply to a non-final or final Office action by facsimile (37 CFR 1.8(a)).

Fax Notes:

---

Pg#	Description
1	Cover Page
2	<Description not available>
4	Batch 2289120 Document 1

USPTO ASSIGNMENT SYSTEM PROCESSING

---

Date and time of transmission: Sunday, January 09, 2011 8:06:02 PM  
Number of pages including this cover sheet: 05

---



**UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

UNDER SECRETARY OF COMMERCE FOR INTELLECTUAL PROPERTY AND  
DIRECTOR OF THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

DECEMBER 29, 2010

PTAS

SHERR & VAUGHN, PLLC  
620 HERNDON PARKWAY  
SUITE 320  
HERNDON, VA 20170



UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE  
NOTICE OF RECORDATION OF ASSIGNMENT DOCUMENT

THE ENCLOSED DOCUMENT HAS BEEN RECORDED BY THE ASSIGNMENT DIVISION OF THE U.S. PATENT AND TRADEMARK OFFICE. A COMPLETE MICROFILM COPY IS AVAILABLE AT THE ASSIGNMENT SEARCH ROOM ON THE REEL AND FRAME NUMBER REFERENCED BELOW.

PLEASE REVIEW ALL INFORMATION CONTAINED ON THIS NOTICE. THE INFORMATION CONTAINED ON THIS RECORDATION NOTICE REFLECTS THE DATA PRESENT IN THE PATENT AND TRADEMARK ASSIGNMENT SYSTEM. IF YOU SHOULD FIND ANY ERRORS OR HAVE QUESTIONS CONCERNING THIS NOTICE, YOU MAY CONTACT THE EMPLOYEE WHOSE NAME APPEARS ON THIS NOTICE AT 571-272-3350. PLEASE SEND REQUEST FOR CORRECTION TO: U.S. PATENT AND TRADEMARK OFFICE, MAIL STOP: ASSIGNMENT SERVICES BRANCH, P.O. BOX 1450, ALEXANDRIA, VA 22313.

RECORDATION DATE: 11/23/2010

REEL/FRAME: 025521/0771  
NUMBER OF PAGES: 5

BRIEF: ASSIGNMENT OF ASSIGNOR'S INTEREST (SEE DOCUMENT FOR DETAILS).  
DOCKET NUMBER: 661-0005

ASSIGNOR:

LEE, SANG HEON

DOC DATE: 11/02/2010

ASSIGNOR:

KIM, SANG HYUN

DOC DATE: 10/25/2010

ASSIGNEE:

LS MTRON LTD.  
1026-6, HOGYE-DONG, DONGAN-GU  
ANYANG-SI, GYEONGGI-DO, REPUBLIC OF  
KOREA 431-080

P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 - www.uspto.gov

025521/0771 PAGE 2

APPLICATION NUMBER: 12952997 FILING DATE: 11/23/2010  
PATENT NUMBER: ISSUE DATE:  
TITLE: AUTOMATIC TRANSMISSION FOR VEHICLE

JOANN STEWART-WOOD, EXAMINER  
ASSIGNMENT SERVICES BRANCH  
PUBLIC RECORDS DIVISION

■ 특 허 명 : Automatic transmission for vehicle

출 원 인 : 이상현, 김상현

출원번호 : CN/201010565794.8 (중국)

**The State Intellectual Property Office of the People's Republic of China**

**100101**

18<sup>th</sup> Floor, Tower B, Grand Place, No. 5 Huizhong Road, Chaoyang District,  
Beijing Lungtin Int'l Intellectual Property Agent Ltd.  
Xiaojun ZHENG Teqiang ZHENG

Issuing Date:

December 6, 2010

Application or Patent No. 201010565794.8

**The Official Filing Receipt for Patent Application**

The Patent Office has received the patent application filed by the applicant in accordance with the Article 28 of the Chinese Patent Law and Rules 38 and 39 of the Implementing Regulations of the Chinese Patent Law. The accorded application number, filing date, applicant(s) and the title of Invention creation are notified herewith as the following:

Application Number: 201010565794.8

Filing Date: November 26, 2010

Applicant(s): LS Mtron Ltd.

Title of Invention-creation: Automatic Transmission for Vehicle

The State Intellectual Property Office has received the following documents after checking:

- |   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. Request for Patent Application   | 1 set, each 3 sheets; |
| 2. Abstract   | 1 set, each 1 sheet;  |
| 3. Drawing for Abstract   | 1 set, each 1 sheet;  |
| 4. Claims   | 1 set, each 2 sheets; |
| 5. Description  | 1 set, each 7 sheets; |
| 6. Drawings   | 1 set, each 3 sheets; |
| 7. Power of attorney  | 1 set, each 1 sheet;  |
| 8. Certified copy of the priority document                                    | 1 set                 |
| 9. The Original Application Document  | 1 set                 |
| 10. Request for substantive examination                                       | 1 set                 |
| 11. Chinese translation of the cover sheet of the certified priority document | 1 set                 |

Reminder:

1. After receiving this notification, if the applicant finds the recorded contents is not identical with the contents filed by him, he may request CSIPO to correct.
2. After receiving this notification, the applicant should indicate the application number accurately and clearly in any proceedings before CSIPO.

Examiner: Airong LIU  
Tel.: 5500

Examination Department: Preliminary and Procedure Administration Department

200101  
2009.10

Paper Application, address: The Receiving Department, SIPO, No. 6 Xitucheng Rd., Jimenqiao, Haidian District, Beijing, 100088;  
Electronic Application, the corresponding documents shall be submitted in the form of electronic documents through the electronic patent application system. The corresponding documents submitted in other form than electronic documents, such as in paper, shall be deemed not to have been submitted unless otherwise provided.



中华人民共和国国家知识产权局



100101

北京市朝阳区慧忠路5号远大中心B座18层  
隆天国际知识产权代理有限公司  
郑小军 郑特强

发文日:

2010年12月06日



20T



申请号: 201010565794.8

发文序号: 2010120100153630

专利申请受理通知书

根据专利法第28条及其实施细则第38条、第39条的规定, 申请人提出的专利申请已由国家知识产权局受理。现将确定的申请号、申请日、申请人和发明创造名称通知如下:

申请号: 201010565794.8  
申请日: 2010年11月26日  
申请人: LS美创有限公司  
发明创造名称: 用于车辆的自动变速器  
经核实, 国家知识产权局确认收到文件如下:  
发明专利请求书 1份 3页; 说明书摘要 1份 1页;  
摘要附图 1份 1页; 权利要求书 1份 2页 7项;  
说明书 1份 7页; 说明书附图 1份 3页;  
实质审查请求书 1份 1页; 原文 1份 1页;  
专利代理委托书 1份 1页; 经证明的在先申请文件副本 1份 1页;  
经证明的在先申请文件副本首页译文 1份 1页;

提示:

- 1. 申请人收到专利申请受理通知书之后, 认为其记载的内容与申请人所提交的相应内容不一致时, 可以向国家知识产权局请求更正。
- 2. 申请人收到专利申请受理通知书之后, 再向国家知识产权局办理各种手续时, 均应当准确、清晰地写明申请号。

审查员: 刘爱荣

审查部门: 专利局初审及流程管理部

联系电话: 5500



200101 纸件申请, 回函请寄: 100088 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 国家知识产权局专利局受理处  
2010.2 电子申请, 应当通过电子专利申请系统以电子文件形式提交相关文件。除另有规定外, 以纸件等其他形式提交的文件视为未提交。

(2) 국내

■ 특 허 명 : 트랙터 트랜스미션용 주 변속레일의 변속 자동화장치

출 원 인 : 김수철, 이상현, 김현명

출원번호 : 10-2011-0003356

발급번호 : 5-5-2012-001876445



### 출원사실증명원 CERTIFICATE OF APPLICATION

출원인 Applicant	성명 Name	엘에스엠트론 주식회사 LS Mtron Ltd.	주민번호 Residence No	134111-*****
	주소	경기도 안양시 동안구 엘에스로 127 (호계동, LS타워)	전화번호	031-450-8231
발명자 Inventor	성명 Name	김수철 KIM, Su Chul	주민번호 Residence No	850102-*****
	주소	대전광역시 중구 목동로 37, 106동 102호 (목동, 목양마을아파트)	전화번호	
	성명 Name	이상현 LEE, Sang Heon	주민번호 Residence No	750428-*****
	주소	경기도 화성시 효행로 229-11, 102동 1103호 (기안동, 광도와이드빌)	전화번호	
	성명 Name	김현명 KIM, Hyun Myung	주민번호 Residence No	771030-*****
	주소	경기도 안양시 동안구 학의로 120, 302동 501호 (관양동, 한가람한양아파트)	전화번호	
대리인 Agent	성명	김영철	대리인 코드	9-1998-000040-3
	주소	서울특별시 종로구 종로5길 58, 10층 케이씨엘특허법률사무소 (수송동, 석탄회관빌딩)		
	성명	김순영	대리인 코드	9-1998-000131-1
	주소	서울특별시 종로구 종로5길 58, 10층 케이씨엘특허법률사무소 (수송동, 석탄회관빌딩)		
출원번호 Application Number		특허-2011-0003356 PATENT-2011-0003356	출원일자 Filing Date	2011년 01월 13일 JAN 13, 2011
발명(고안)의 명칭, 디자인을 표현할 물품, 상품(서비스업)류 구분  Title of Invention, Product(s) Embodied in Design, or Classification of Mark		트랙터 트랜스미션용 주 변속레일의 변속 자동화장치 Transmission Automatic Device for Main Shifting Transmission Rail with Transmission of Agricultural Tractor		
용도	제출용	IPC 분류	F16H 63/30	
최종처분상태		최종처분일		
위 사실을 증명함. This is to certify that the above applicant has filed as stated in this certificate at the Korean Intellectual Property Office				

발급일자 : 20120110

1/2

2012년 01월 10일  
**특 허 청**  
COMMISSIONER



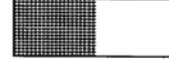
◆ 본 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, 특허청 홈페이지(www.kipo.go.kr)의 '특허넷-온라인제증명발급' 메뉴를 통해 발급번호 또는 문서하단의 바코드로 내용의 위·변조 여부를 확인해 주십시오. 단, 발급번호를 통한 확인은 90일까지 가능합니다.

■ 특 허 명 : 자동화 수동 부변속 기구를 구비하는 정유압 기계식 변속 장치

출 원 인 : 김수철, 이상현, 김상현

출원번호 : 10-2011-0140940

발급번호 : 5-5-2012-001876445



**출원사실증명원**  
**CERTIFICATE OF APPLICATION**

출원인 Applicant	성명 Name	엘에스엠트론 주식회사 LS Mtron Ltd.	주민번호 Residence No	134111-*****
	주소	경기도 안양시 동안구 엘에스로 1 27 (호계동, LS타워)	전화번호	031-450-8231
발명자 Inventor	성명 Name	김수철 KIM, Su Chul	주민번호 Residence No	850102-*****
	주소	서울특별시 관악구 신림로 17길 8 9, 306호 (신림동)	전화번호	
	성명 Name	이상현 LEE, Sang Heon	주민번호 Residence No	750428-*****
	주소	경기도 화성시 흥행로 229-11, 10 2동 1103호 (기안동, 광도와이드 빌딩)	전화번호	
	성명 Name	김상현 KIM, Sang Hyun	주민번호 Residence No	760123-*****
대리인 Agent	주소	경기도 안양시 동안구 범계동 목 련우성아파트 310동 1603호	전화번호	
	성명	김영철	대리인 코드	9-1998-000040-3
	주소	서울특별시 종로구 종로5길 58, 10층 케이씨엘특허법률사무소 (수 송동, 석탄회관빌딩)	대리인 코드	9-1998-000131-1
출원번호 Application Number	특허-2011-0140940 PATENT-2011-0140940	출원일자 Filing Date	2011년 12월 23일 DEC 23, 2011	
	발명(고안)의 명칭, 디자인을 표현할 물품, 상표(서비스업)류 구분  Title of Invention, Product(s) Embodied in Design, or Classification of Mark	자동화 수동 부변속 기구를 구비하는 정유압 기계식 변속 장치 Hydrostatic Mechanical Transmission for Automatic shifting of sub-gearshift		
	용도	제출용	IPC 분류	
최종처분상태		최종처분일		
위 사실을 증명함. This is to certify that the above applicant has filed as stated in this certificate at the Korean Intellectual Property Office				

발급일자 : 20120110

1/2

2012년 01월 10일

**특 허 청**  
**COMMISSIONER**



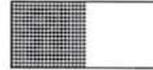

◆ 본 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, 특허청 홈페이지(www.kipo.go.kr)의 '특허넷-온라인제증명발급' 메뉴를 통해 발급번호 또는 문서하단의 바코드로 내용의 위·변조 여부를 확인해 주십시오. 단, 발급번호를 통한 확인은 90일까지 가능합니다.

■ 특 허 명 : 유압변속장치 제어용 액추에이터

출 원 인 : 이상현

출원번호 : 10-2011-1401076

발급번호 : 5-5-2012-001900825



출원사실증명원  
CERTIFICATE OF APPLICATION

출원인 Applicant	성명 Name	엘에스엠트론 주식회사 LS Mtron Ltd.	주민번호 Residence No	134111-*****
	주소	경기도 안양시 동안구 엘에스로 1 27 (호계동, LS타워)	전화번호	031-450-8231
발명자 Inventor	성명 Name	이상현 LEE, Sang Heon	주민번호 Residence No	750428-*****
	주소	경기도 화성시 효행로 229-11, 10 2동 1103호 (기안동, 광도와이드 빌)	전화번호	
대리인 Agent	성명	김영철	대리인 코드	9-1998-000040-3
	주소	서울특별시 종로구 종로5길 58, 10층 케이씨엘특허법률사무소 (수 송동, 석탄회관빌딩)		
	성명	김순영	대리인 코드	9-1998-000131-1
	주소	서울특별시 종로구 종로5길 58, 10층 케이씨엘특허법률사무소 (수 송동, 석탄회관빌딩)		
출원번호 Application Number		특허-2011-0141076 PATENT-2011-0141076	출원일자 Filing Date	2011년 12월 23일 DEC 23, 2011
발명(고안)의 명칭, 디자인을 표현할 물품, 상품(서비스업)류 구분  Title of Invention, Product(s) Embodied in Design, or Classification of Mark		유압변속장치 제어용 액추에이터 Actuator for Hydro Static Transmission Control		
용도	제출용	IPC 분류		
최종처분상태		최종처분일		
<p>위 사실을 증명함. This is to certify that the above applicant has filed as stated in this certificate at the Korean Intellectual Property Office</p> <p>2012년 01월 10일</p> <p>특 허 청 COMMISSIONER</p> 				

◆ 본 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, 특허청 홈페이지(www.kipo.go.kr)의 '특허넷-온라인제증명발급' 메뉴를 통해 발급번호 또는 문서하단의 바코드로 내용의 위·변조 여부를 확인해 주십시오. 단, 발급번호를 통한 확인은 90일까지 가능합니다.

발급일자 : 20120110

1/1

■ 특허명 : 변속 및 조속 링크 장치

출원인 : 최철환

출원번호 : 10-2011-0141276

발급번호 : 5-5-2012-001876445



출원사실증명원  
CERTIFICATE OF APPLICATION

출원인 Applicant	성명 Name	엘에스엠트론 주식회사 LS Mtron Ltd.	주민번호 Residence No	134111-*****
	주소	경기도 안양시 동안구 엘에스로 1 27 (호계동, LS타워)	전화번호	031-450-8231
발명자 Inventor	성명 Name	최철환 CHOI, Chul Hwan	주민번호 Residence No	780216-*****
	주소	경기도 안양시 동안구 평촌대로10 7번길 28, 301호 (호계동)	전화번호	
대리인 Agent	성명	김영철	대리인 코드	9-1998-000040-3
	주소	서울특별시 종로구 종로5길 58, 10층 케이씨엘특허법률사무소 (수송동, 석탄회관빌딩)		
	성명	김순영	대리인 코드	9-1998-000131-1
	주소	서울특별시 종로구 종로5길 58, 10층 케이씨엘특허법률사무소 (수송동, 석탄회관빌딩)		
출원번호 Application Number		특허-2011-0141276 PATENT-2011-0141276	출원일자 Filing Date	2011년 12월 23일 DEC 23, 2011
발명(고안)의 명칭, 디자인을 표현할 물품, 상품(서비스업)류 구분  Title of Invention, Product(s) Embodied in Design, or Classification of Mark		변속 및 조속 링크 장치 LINK DEVICE FOR TRANSMISSION AND SPEED CONTROL		
용도	제출용	IPC 분류		
최종처분상태		최종처분일		
위 사실을 증명함. This is to certify that the above applicant has filed as stated in this certificate at the Korean Intellectual Property Office 2012년 01월 10일 특허청 COMMISSIONER				
				

◆ 본 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, 특허청 홈페이지(www.kipo.go.kr)의 '특허넷-온라인제증명발급' 메뉴를 통해 발급번호 또는 문서하단의 바코드로 내용의 위·변조 여부를 확인해 주십시오. 단, 발급번호를 통한 확인은 90일까지 가능합니다.

발급일자 : 20120110

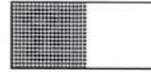
1/1

■ 특 허 명 : 무단 변속기

출 원 인 : 김상현

출원번호 : 10-2011-0141300

발급번호 : 5-5-2012-001981600



출원사실증명원  
CERTIFICATE OF APPLICATION

출원인 Applicant	성명 Name	엘에스엠트론 주식회사 LS Mtron Ltd.	주민번호 Residence No	134111-*****
	주소	경기도 안양시 동안구 엘에스로 1 27 (호계동, LS타워)	전화번호	031-450-8231
발명자 Inventor	성명 Name	김상현 KIM, Sang Hyun	주민번호 Residence No	760123-*****
	주소	경기도 안양시 동안구 범계동 목 련우성아파트 310동 1603호	전화번호	
대리인 Agent	성명	김영철	대리인 코드	9-1998-000040-3
	주소	서울특별시 종로구 종로5길 58, 10층 케이씨엘특허법률사무소 (수 송동, 석탄회관빌딩)		
	성명	김순영	대리인 코드	9-1998-000131-1
	주소	서울특별시 종로구 종로5길 58, 10층 케이씨엘특허법률사무소 (수 송동, 석탄회관빌딩)		
출원번호 Application Number		특허-2011-0141300 PATENT-2011-0141300	출원일자 Filing Date	2011년 12월 23일 DEC 23, 2011
발명(고안)의 명칭, 디자인을 표현할 물품, 상품(서비스업)류 구분  Title of Invention, Product(s) Embodied in Design, or Classification of Mark		무단 변속기 CONTINUOUSLY VARIABLE TRANSMISSION		
용도	제출용	IPC 분류		
최종처분상태		최종처분일		
<p>위 사실을 증명함. This is to certify that the above applicant has filed as stated in this certificate at the Korean Intellectual Property Office</p> <p>2012년 01월 11일</p> <p>특 허 청 COMMISSIONER</p> 				

◆ 본 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, 특허청 홈페이지(www.kipo.go.kr)의 '특허넷-온라인제증명발급' 메뉴를 통해 발급번호 또는 문서하단의 바코드로 내용의 위·변조 여부를 확인해 주십시오. 단, 발급번호를 통한 확인은 90일까지 가능합니다.

발급일자 : 20120111

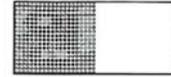
1/1

■ 특 허 명 : 동력전달 효율을 향상한 변속장치

출 원 인 : 김수철

출원번호 : 10-2012-0000288

발급번호 : 5-5-2012-002009703



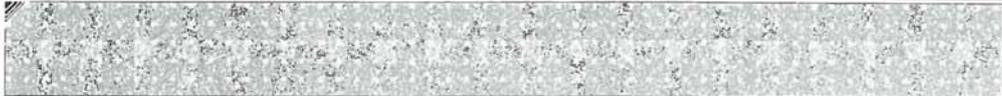
## 출원사실증명원 CERTIFICATE OF APPLICATION

출원인 Applicant	성명 Name	엘에스엠트론 주식회사 LS Mtron Ltd.	주민번호 Residence No	134111-*****
	주소	경기도 안양시 동안구 엘에스로 127 (호계동, LS타워)	전화번호	031-450-8231
발명자 Inventor	성명 Name	김수철 Su-Chul KIM	주민번호 Residence No	850102-*****
	주소	서울특별시 관악구 대학동 255-36번지 306호	전화번호	
대리인 Agent	성명	특허법인 대아	대리인 코드	9-2009-100101-8
	주소	서울특별시 강남구 역삼로 123, 한양빌딩3층 (역삼동, 인정빌딩)		
출원번호 Application Number		특허-2012-0000288 PATENT-2012-0000288	출원일자 Filing Date	2012년 01월 02일 JAN 02, 2012
발명(고안)의 명칭, 디자인을 표현할 물품, 상품(서비스업)류 구분  Title of Invention, Product(s) Embodied in Design, or Classification of Mark		동력전달 효율을 향상한 변속장치 TRANSMISSION DEVICE HAVING ENHANCED MECHANICAL EFFICIENCY OF P OWER TRANSMISSION		
용도	제출용	IPC 분류		
최종처분상태		최종처분일		

위 사실을 증명함.  
This is to certify that the above applicant has filed as stated in this certificate at the Korean Intellectual Property Office

2012년 01월 11일

**특 허 청**  
 COMMISSIONER



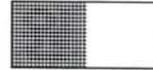
◆ 본 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, 특허청 홈페이지(www.kipo.go.kr)의 '특허넷-온라인제증명발급' 메뉴를 통해 발급번호 또는 문서하단의 바코드로 내용의 위·변조 여부를 확인해 주십시오. 단, 발급번호를 통한 확인은 90일까지 가능합니다.

■ 특 허 명 : 자동화 수동변속기에서의 액추에이터 위치 설정 시스템 및 방법

출 원 인 : 정상철

출원번호 : 2012, 10-2012-0001120

발급번호 : 5-5-2012-001981600



출원사실증명원  
CERTIFICATE OF APPLICATION

출원인 Applicant	성명 Name	엘에스엠트론 주식회사 LS Mtron Ltd.	주민번호 Residence No	134111-*****
	주소	경기도 안양시 동안구 엘에스로 1 27 (호계동, LS타워)	전화번호	031-450-8231
발명자 Inventor	성명 Name	정상철 JUNG, Sang Cheol	주민번호 Residence No	801225-*****
	주소	경기도 용인시 수지구 성북동 LG 빌리지3차아파트 314동 706호	전화번호	
대리인 Agent	성명	김영철	대리인 코드	9-1998-000040-3
	주소	서울특별시 종로구 종로5길 58, 10층 케이씨엘특허법률사무소 (수송동, 석탄회관빌딩)		
	성명	김순영	대리인 코드	9-1998-000131-1
	주소	서울특별시 종로구 종로5길 58, 10층 케이씨엘특허법률사무소 (수송동, 석탄회관빌딩)		
출원번호 Application Number		특허-2012-0001120 PATENT-2012-0001120	출원일자 Filing Date	2012년 01월 04일 JAN 04, 2012
발명(고안)의 명칭, 디자인을 표현할 물품, 상품(서비스업)류 구분  Title of Invention, Product(s) Embodied in Design, or Classification of Mark		자동화 수동변속기에서의 액추에이터 위치 설정 시스템 및 방법 System and Method for Positioning Actuator in Automatic Manual Transmission		
용도	제출용	IPC 분류		
최종처분상태		최종처분일		
<p>위 사실을 증명함. This is to certify that the above applicant has filed as stated in this certificate at the Korean Intellectual Property Office</p> <p>2012년 01월 11일</p> <p>특 허 청 COMMISSIONER</p> 				

◆ 본 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, 특허청 홈페이지(www.kipo.go.kr)의 '특허넷-온라인제증명발급' 메뉴를 통해 발급번호 또는 문서하단의 바코드로 내용의 위·변조 여부를 확인해 주십시오. 단, 발급번호를 통한 확인은 90일까지 가능합니다.

발급일자 : 20120111

1/1

나. 논문

(1) 해외

■ 논문명 : Performace of Noise Reduction Algorithm for Development of Failure Monitoring System.

저 자 : 김용주, 김상현, 김현명, 이상현, 최정웅, 최철환, 정진희, 이대현

학술지 : International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering (ISMAB) 2010

P-22	<b>The Research for Mathematic Approach for Gardening and Ornamental Affective Engineering</b> *Taro Hayashi, Tomoya Kaniyama, Kenji Hyoshi, Osumi Kinoshita, Yoshinori Gejama, Masafumi Matsu, Haruhisa Inoue College of Horticulture and Landscape, Minami Kyushu University, Japan *Corresponding Author: shoyashi@kyushu-u.ac.jp
P-23	<b>The Study of Automatic Grinding and Sampling Operation for the Orchid Virus Detection</b> J. S. Ju, H. Y. Bhang, C. Y. Chen, K. L. Hwang, *C. Ay Department of Biomechatronics Engineering, National Chiayi University, Taiwan *Corresponding Author: car@nchiu.nyu.edu.tw
P-24	<b>Development of Truss Structure Using Resin Joints for a Large-scale Greenhouse</b> *Takashi Shikama, Mare Tamaki, Takashi Touma, Toru Akachi, Takahiko Shingyo, Kazuya Kobata, Kazuo Hasegawa, Shigeyo Agawa Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus, Japan *Corresponding Author: shikama@ag.u-ryukyuu.ac.jp
P-25	<b>The Application of Membrane - Less electrolyzed water fogging for disinfection in the wine house</b> Ming-Yih Chang, *Ying-Hung Wu, Chi-Yu Chung, Wei Fang Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University, Taiwan *Corresponding Author: weifang@ntu.edu.tw
P-26	<b>Bubble Screen System for Greenhouse Thermal Insulation</b> *Kiyoshi Miyazaki, Takaoji Yamashita, Kazumasa Ishikawa Faculty of Agriculture, Kochi University, Japan *Corresponding Author: kmiyazaki@kochi-u.ac.jp
P-27	<b>Performance of Noise Reduction Algorithm for Development of Failure Monitoring System</b> *Yong J. Kim, Sang H. Kim, Hyun S. Kim, Sang H. Lee, Jeong W. Choi, Chul H. Choi, Jin Y. Kim, Jin H. Jeong, Dae H. Lee, Chang H. Choi R&D Center, LG-Mtron Ltd., Anyang, Korea *Corresponding Author: hohans@lgt.co.kr
P-28	<b>Hyperspectral Imaging Technology for Non-destructive Measurement of Bruising Damages of Peas in can</b> *Byoung-Kwon Cho, Moon S. Kim, Kaeungho Choo, Dae-Yong Kim, Hyun-Keun Ch, In-Suk Park Department of Biomedical Machinery Engineering, Chungnam National University, Korea *Corresponding Author: chobk@bme.cnu.ac.kr
P-29	<b>Determination of Astringency and Umami Levels in Tea for Taste Assessment by a Fluorescent System</b> Tseng-Shih Chang Department of Bio-industrial Mechatronics Engineering, College of Bio-Resource and Agriculture, National Taiwan University, Taiwan Corresponding Author: tscs@bme.ntu.edu.tw
P-30	<b>The Side-polished Plastic Optical Fiber Sensor Applied to Sucrose Solution Concentration Measurement</b> *Ti-Cheng Hsu, Chih-Da Hu Department of Biomechatronics Engineering, National Pingtung University of Science and Technology, Taiwan *Corresponding Author: vchsu@mail.nptu.edu.tw
P-31	<b>Feasibility Study on Electrical-conductivity-based Field Measurement of Inorganic Nitrogen Concentration in Irrigation Water</b> *Masamichi Hirai, Kenzo Kawa, Mariko Mizuo, Yoko Mori, Kunihiko Hamagami Laboratory of Bioproduction and Environment Information Sciences, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Japan *Corresponding Author: hirai@agr.kyushu-u.ac.jp

P-26

**Bubble Screen System for Greenhouse Thermal Insulation**Kiyoshi Miyauchi<sup>1\*</sup>, Takanori Yamasaki<sup>2</sup>, Katsumi Ishikawa<sup>3</sup><sup>1</sup>Faculty of Agriculture, Kochi University, B 200 Monobe, Nankoku, Kochi 783-8502, Japan<sup>2</sup>Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Kochi, B 200 Monobe, Nankoku, Kochi 783-8502, Japan<sup>3</sup>Faculty of Agriculture, Kochi University, B 200 Monobe, Nankoku, Kochi 783-8502, Japan  
Corresponding Author, Tel +81-088-864-5212, Email: kmuya@kochi-u.ac.jp

**Abstract:** New technology development to raise profitability is expected because production cost increases by oil prices remarkable rise these days in the field of the protected horticulture in Japan. For heating costs reduction to hold many of production cost, a natural energy and woody biomass resources and the use of the heat pump are performed in each place, but enough result is not provided. Therefore, in this study we devise a bubble screen system as the new technique of the greenhouse covering which can let oil consumption decrease sharply, inspect the fundamental performance and effect, and develop the practical use scale system. The objective of this study is the production cost reduction by the thermal insulation in winter season and shading in summer season. The bubble screen system is a method to cover the greenhouse by a bubble. We replaced the atmospheric layer of two folds of air films that thermal effect was recommended with a bubble and raised the thermal insulation with the outside. Because we compare the bubble screen with the flow atmospheric layer, and thermal resistance growing big and the manufacture of the bubble and collection are easy, it is thought for the thermal insulation improvement of the greenhouse effectively. Therefore, large reduction of the oil consumption and CO<sub>2</sub> discharge reduction are expected. About 5 degrees Celsius thermal effect is confirmed in the preliminary examination, and this leads to the 30% reduction of the warming fuel consumption of the winter season.

**Key Words:** Greenhouse, Heat Insulation, Bubble Screen, Energy-saving, Cost Reduction

P-27

**Performance of Noise Reduction Algorithm for Development of Failure Monitoring System**Yong J. Kim<sup>1\*</sup>, Sang H. Kim<sup>1</sup>, Hyun M. Kim<sup>1</sup>, Sang H. Lee<sup>1</sup>, Jeong W. Choi<sup>1</sup>, Chul H. Choi<sup>1</sup>,  
Jin Y. Kim<sup>1</sup>, Jin H. Jeong<sup>2</sup>, Dae H. Lee<sup>2</sup>, Chang H. Choi<sup>2</sup><sup>1</sup>R&D Center, LS Mtron Ltd., Anyang, Korea<sup>2</sup>School of Life Science and Biotechnology, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea

\*C Corresponding Author, Tel +82-31-688-5383, Email: babina@sikku.ac.kr

**Abstract:** In order to develop the failure monitoring system for a tractor, the failure monitoring list and the failure monitoring sensor have been selected and equipped. Additionally, the noise reduction algorithm has been developed in accordance with vibrations while driving a tractor so as to ensure reliable signal estimations.

As for the failure monitoring sensor, the revolution speed of the respective shafts (e.g., engine shaft, transmission shaft, driving shaft) depending on the power transfer, the torque exerted on the drive shaft, and the hydraulic temperature have been added to the failure monitoring list so that the load exerted on a tractor during the execution of the field packaging work can be estimated. Moreover, the measurement system has been developed based on the FPGA module and the RT module which possesses the capability of processing signals at high speeds so as to collect sensor signals in a stable manner.

Regarding the noise reduction algorithm, a wavelet filter, a moving average filter and an adaptive filter have been implemented. Specifically, tests were based on the evaluation of the noise ratio to the signals of the respective filters while executing the packing work with the driving speed maintained at 15 km/h and a response speed while making a sudden gear change from 15 km/h to 30 km/h. The result of the test revealed that the adaptive filter provides the most excellent performance. Therefore, it is estimated that it can be used effectively for measuring reliable signals while executing packing work with a tractor.

**Key Words:** Noise Reduction, Failure Monitoring, Tractor

■ 논문명 : Development of Automated Manual Transmission of Agricultural

저 자 : 김용주, 최창현, 이대현

학술지 : American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE) 2012

## Development of Automated Manual Transmission of Agricultural Tractor Using Electric Actuators

*Yong-Joo Kim<sup>a</sup>, Chang-Hyun Choi<sup>b,2</sup>, Dae-Hyun Lee<sup>a</sup>*

<sup>a</sup> Machinery Technology Group, Advanced R&D Center, LS Mtron Ltd., Anyang, Korea (e-mail: babina@lsmtron.com)

<sup>b</sup> Dept. of Bio-mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea (e-mail: chchoi@skku.ac.kr)

The purpose of this study was to develop automated manual transmission (AMT) of agricultural tractor using electric actuator. A shuttle shifting actuator and a clutch actuator were developed to control manual type shuttle gearbox and transmission. To evaluate performance of the AMT, the experimental test-bed was used. The test-bed was consisted of a power train of agricultural tractor, an electric motor instead of a tractor engine, a three-phase inverter to control the motor speed, the actuators, and I/O interface modules. The actuators were installed at the link of shuttle gearbox and transmission of the power train, respectively. The potentiometer signals of the actuators and the rotational speed of input shaft of the motor and the transmission axle were measured and used to control the actuators. PID Simulation program was developed to optimize position control of the actuators. The AMT control algorithm was developed and experimental tests were conducted to evaluate the performance of the AMT at speed levels. The results showed that the actuators were controlled properly to achieve the maximum overshoot of less than 5%, the settling time of less than 1.5 seconds, and the steady-state error of less than 1% at the all speed levels. The AMT of the total shifting time of all speed levels were less than 2.5 seconds and the speed of transmission axle was reached at the designed speed within 3 seconds. The results showed that the developed electric actuators and the control algorithm could be useful for the automated manual transmission (AMT) of agricultural tractor.

---

<sup>2</sup> Corresponding author. Tel.: +82 312907834; fax: +82 312907830.

E-mail addresses:

(1) 국내

■ 논문명 : 트랙터 전후진 자동 변속을 위한 전자식 액추에이터의 위치 제어 시스템 개발

저자 : 최창현, 우미나, 이대현, 김용주, 정진희

학술지 : 바이오시스템공학 (학진등재)

발행년도 : 2010, 35(4)

바이오시스템공학 (J. of Biosystems Eng.)  
Vol. 35, No. 4, pp.224-230 (2010. 8)  
DOI:10.5307/JBE.2010.35.4.224

### 트랙터의 전후진 자동 변속을 위한 전자식 액추에이터의 위치 제어 시스템 개발

최창현 우미나 이대현 김용주 정진희

#### Development of Electric Actuator Position Control System for Automatic Shuttle Shifting of Tractor

C. H. Choi M. N. Woo D. H. Lee Y. J. Kim J. H. Jeong

#### Abstract

The purpose of this study was to develop position control system of an electric actuator for automatic shuttle shifting of a tractor. The electric actuator was installed at the link of the forward-reverse gearshift of the tractor transmission, and controlled in the ranges of forward, neutral, and reverse positions. The position control system of the electric actuator was developed based on PID (Proportional Integral Derivative) controller and transfer function of the electric actuator. The coefficients of the PID controller were determined by Ziegler-Nichols (Z-N) method and optimized using simulation program. The prototype AMT (Automated Manual Transmission) test unit of the tractor was installed and used to evaluate the performance of the position control. The evaluation system for the control performance consisted of forward-reverse actuator, motor driver, and controller.

The tests were conducted as the controlled positions of the actuator were changed from neutral position to forward, neutral, and reverse positions in sequence. The sequential tests were repeated 20 times. The operations of changing the gearshift were considered as the step response of the control system. Maximum overshoot, settling time, and steady-state error were analyzed. The results showed that performance of the position control system was reasonable and qualified. The maximum overshoots, the steady-state errors, and the settling times of the position control system were 10~20%, 1~5%, and 0.92~1.49 sec, respectively. The modifications of the electric actuator will be required to enhance the performance of position control during field operation.

**Keywords :** Automated manual transmission, PID, Electric actuator, Position control

#### 1. 서론

트랙터는 로터리, 쟁기 작업 등에 따라 적합한 변속수준의 선택이 필요한 동시에 작업 중 토양부하에 따라 변속작업이 빈번히 발생되므로 변속작업의 편의성 확보는 무엇보다 중요한 요소이다(Kim et al., 2010). 현재 트랙터에 사용되고 있는

파워셔틀(power shuttle)과 무단변속기(Continuously Variable Transmission, CVT)는 자동으로 변속 작업이 가능한 장점이 있으나, 모두 유압장치를 사용하므로 효율이 낮고 가격이 비싸 이를 대체할 수 있는 변속기 개발이 필요한 실정이다 (Song and Lee, 2007).

자동화수동변속기(Automated Manual Transmission, AMT)

This Study was supported by Technology Development Program for Agriculture and Forestry, Ministry for Agriculture, Forestry and Fisheries, Republic of Korea. The article was submitted for publication on 2010-06-30, reviewed on 2010-07-19, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2010-08-13. The authors are Chang Hyun Choi, Professor, KSAM member, Mi Na Woo, Researcher, Dae Hyun Lee, Researcher, Faculty of Life Science and Technology, SungKyunKwan University, Suwon, Gyeonggi, Korea, Yong Joo Kim, Senior Research Engineer, KSAM member, and Jin Hee Jeong, Director, LS Mtron LTD., Anyang, Gyeonggi, Korea. Corresponding author: Y. J. Kim, Senior Research Engineer, LS Mtron LTD., Anyang, Gyeonggi, 431-080 Korea; Fax: +82-31-290-7829; E-mail: <babina@lsmtron.com>.

■ 논문명 : 트랙터 변속 충격 측정 시스템 개발

저 자 : 김용주, 이상현, 최철환, 김현명, 김상현, 최정웅, 정진희, 최창현, 우미나

학술지 : 한국농업기계학회 2009 하계 학술대회 논문집 14(2):67-73

트랙터 변속 충격 측정 시스템 개발

Development of Measurement System for Shifting Shock of Tractor

김용주*	이상현*	최철환*	김현명*	김상현*
Y. J. Kim	S. H. Lee	C. H. Choi	H. M. Kim	S. H. Kim
최정웅*	정진희*	최창현**	우미나**	
J. U. Choi	J. H. Jeong	C. H. Choi	M. N. Woo	

1. 서론

최근 농업기계는 에너지 효율 향상 및 작업 성능 개선에 관한 연구가 활발히 이루어져 기능면에서 큰 향상이 되었으며, 장시간 연속 작업을 하는 운전자가 증가함에 따라 승차감 등의 편의성이 점차 중요해지고 있다. 이에 따라 트랙터 분야에서는 잦은 레버 조작 등의 불편함이 있는 수동변속기(Manual Transmission)를 대체할 수 있는 자동변속기(Automatic Transmission)를 도입하기 위한 연구가 활성화 되고 있다. 자동변속기는 트랙터의 주행 속도와 부하에 맞추어 기어가 자동으로 조작되며 운전자가 변속에 대한 별다른 지식이나 조작이 없어도 쉽게 운전할 수 있다는 장점이 있지만 변속 시점을 예상할 수 없어 변속 충격에 대한 불편감을 증대시킬 수 있다는 단점이 있다. 수동변속기의 경우 주행 속도에 맞추어 운전자가 직접 기어를 조작하여 운전자가 스스로 변속 시점을 결정하기 때문에 예상된 변속 충격에 대해 관대하게 받아들이지만, 변속 시점을 예상할 수 없는 자동변속기의 경우에는 작은 충격이라도 갑자기 받게 되므로 상대적으로 더 큰 충격을 느끼게 된다. 또한 장시간 연속적으로 변속 작업을 하는 트랙터의 경우에는 변속 충격이 작업 능력에도 영향을 미치기 때문에 트랙터용 자동 변속기의 개발 시 변속 충격에 대한 고려가 필요하다.

농업기계 분야에서 자동 변속기의 변속 충격에 관한 연구는 미비한 실정이며, 이를 위해서는 변속 충격에 대한 정량화가 선행되어야 한다. 그러므로 본 연구는 트랙터용 자동 변속기 개발을 위한 기초연구로서 충격에 대한 절대적인 크기 및 경향 파악이 용이한 최대 가속도의 변화를 이용하여 변속 충격 시스템을 개발하는 것을 목적으로 한다.

2. 재료 및 방법

가. 변속 충격 측정 시스템

변속 충격 측정 시스템은 표 1과 같이 변속 시 가속도 변화 측정을 위한 가속도 센서와

† 본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

\* LS엠트론(주) 중앙연구소 기계기술그룹

\*\* 성균관대학교 생명공학부

■ 논문명 : 트랙터 전후진 변속 제어를 위한 전동식 액추에이터 개발

저 자 : 김용주, 이상현, 최철환, 김상현, 최정용, 정진희, 김진영, 이대현, 최창현

학술지 : 한국농업기계학회 2010 동계학술대회 논문집 15(1):91-97

한국농업기계학회 2010 동계 학술대회 논문집 15(1):91-97

## 트랙터 전후진 변속 제어를 위한 전동식 액추에이터 개발

### Development of an electric actuator for tractor shuttle control

김용주\*    이상현\*    최철환\*    김상현\*    최정용\*  
Y.J. Kim   S.H. Lee   C.H. Choi   S.H. Kim   J.W. Choi  
정진희\*    김진영\*    이대현\*\*    최창현\*\*  
J.H. Jeong   J.Y. Kim   D.H. Lee   C.H. Choi

#### 1. 서론

트랙터는 국내 농업기계 보유현황에서 약 86 %를 차지하고 있으며, 사용빈도는 9.67 시간/일으로 다른 농업기계보다 장시간 사용되고 있다(한국농업기계연감, 2007). 트랙터의 장시간 사용은 작업자의 집중력 저하 및 육체 피로도 증가를 유발하며, 나아가 안전사고를 야기하고 있어 트랙터 작업의 편의성에 대한 인식은 점점 더 중요 시 되고 있다. 트랙터는 주로 프터리, 쟁기, 로더 작업 등을 수행하며, 각각의 작업은 부하조건에 적합한 변속수준의 선택이 필요한 동시에 작업 중 토양부하에 따라 변속작업이 빈번히 발생되므로 변속작업의 편의성은 무엇보다 더 중요한 항목이다.

트랙터 변속작업의 편의성을 좌우하는 요소인 변속기는 크게 수동변속기(Manual Transmission, MT)와 자동변속기(Automatic Transmission, AT)로 구분된다. 수동변속기는 일반적인 기계식 변속기로 에너지 효율이 높은 장점이 있으나 작업자가 변속 시점을 감지하여 변속작업과 동시에 클러치 해지 및 연결을 번갈아 작동해야하는 단점이 있으며, 자동변속기는 전후진 자동(Power shuttle) 혹은 무단변속(Hydro Static Transmission, HST)이 가능한 장점이 있으나 에너지 효율이 낮은 단점이 있어 기존의 변속기를 보완할 수 있는 시스템 개발이 필요한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 기계식 변속기의 편의성 확보를 위한 기초연구로써, 기계식 변속기에 장착이 가능한 전후진 및 클러치 액추에이터를 개발하여 자동 변속에 따른 변속 성능을 평가하였다.

#### 2. 재료 및 방법

##### 가. 액추에이터 설계

액추에이터는 일반적으로 전동식과 유압식이 있으나 본 연구에서는 수동변속기의 에너지 효율을 향상시키기 위하여 동력전달효율이 우수한 전동식 액추에이터를 사용하였다. 전후진 액추에이터는 전후진 기어가 동기물림(Synchromesh)방식인 점을 고려하여 전후진 링크부와 맞물려 링크의 회전에 따라 변속이 가능하도록 설계하였다. 클러치 액추에이터는 변속 작업

\* LS엠트론(주)

\*\* 성균관대학교 바이오메카트로닉스

■ 논문명 : 트랙터 기계식 변속기의 자동화를 위한 전자식 액추에이터의 위치 제어 시뮬레이션 개발

저 자 : 우미나, 최창현, 김용주, 이상현, 김수철, 김현명, 최철환, 정진희

학술지 : 한국농업기계학회 2010 하계학술대회 논문집 15(2):103-111

한국농업기계학회 2010 하계 학술대회 논문집 15(2):103-111

트랙터 기계식 변속기의 자동화를 위한  
전자식 액추에이터의 위치 제어 시뮬레이션 개발

Development of Position Control Simulation of  
Electric Actuator for Tractor Automated Manual Transmission

우미나\* 최창현\* 김용주\*\* 이상현\*\* 김수철\*\* 김현명\*\* 최철환\*\* 정진희\*\*  
M. N. Woo C. H. Choi Y. J. Kim S. H. Lee S. C. Kim H. M. Kim C. H. Choi J. H. Jeong

1. 서론

트랙터는 로터리, 쟁기 작업 등에 따라 적합한 변속수준의 선택이 필요한 동시에 작업 중 토양부하에 따라 변속작업이 빈번히 발생되므로 변속작업의 편의성 확보는 무엇보다 중요한 요소이다(Kim et al., 2010). 현재 트랙터에 사용되고 있는 파워셔틀(power shuttle)과 무단 변속기(Continuously Variable Transmission, CVT)는 자동으로 변속 작업이 가능한 장점이 있으나 모두 유압장치를 사용하므로 효율이 낮고 변속시간이 오래 걸리며 특히 가격이 비싸 이를 대체할 수 있는 변속기 개발이 필요한 실정이다(Song et al., 2007).

자동화수동변속기(Automated Manual Transmission, AMT)는 클러치를 통하여 동력을 전달하는 수동변속기에 별도의 액추에이터를 장착하여 자동 변속하는 시스템으로, 수동변속기의 고효율성과 자동변속기의 편의성을 동시에 확보할 수 있다는 장점이 있다. 자동화수동 변속기는 벤츠, 볼보, 도요타 등의 선진 자동차 업체를 중심으로 이미 개발되어(Han et al., 2005) 변속감보다 연비를 중요시하는 상용차에서는 적용되고 있으나 아직까지 트랙터에 적용된 사례는 보고된 적이 없다.

자동화수동변속기의 개발을 위해서는 트랙터에 적합한 액추에이터의 개발 및 제어가 필요하며, 특히 트랙터의 경우에는 전후진, 주변속, 부분속의 변속기를 가지고 있으나 전후진 변속이 가장 빈번히 이뤄지므로 전후진 액추에이터의 제어가 가장 먼저 선행되어야 한다.

본 연구는 트랙터 자동화수동변속기 개발을 위한 기초 연구로써 전자식 액추에이터의 PID 위치 제어 시뮬레이션을 개발하고 최적 계수를 제시하는 것을 목적으로 한다.

\* 성균관대학교 생명공학부

\*\* LS엠트론(주) 중앙연구소 기계기술그룹

† 본 연구는 농림수산식품부의 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

■ 논문명 : 클러치 액추에이터의 위치제어 시스템 개발

저 자 : 최창현, 박진감, 윤현웅, 김용주, 이상현, 김수철, 정상철

학술지 : 한국농업기계학회 2011 동계 학술대회 논문집 16(1):145-150

### 클러치 액추에이터의 위치제어 시스템 개발

#### Development of Clutch Actuator Position Control System

최창현\* 박진감\* 윤현웅\* 김용주\*\* 이상현\*\* 김수철\*\* 정상철\*\*  
C. H. Choi J. K. Park H. W. Yun Y. J. Kim S. H. Lee S. C. Kim S. C. Jung

#### 1. 서론

농업 현장에서 트랙터 작업은 부하변동이 커 높은 에너지 효율을 필요로 하며, 전후진 작업이 많아 잦은 변속이 요구된다. 현재 트랙터에서 사용 중인 수동변속기(Manual Transmission, MT)는 연료 효율이 우수하나 변속의 번거로움으로 인해 운전자에게 육체적 피로를 제공할 수 있다. 자동변속기(Automatic Transmission, AT)는 이러한 번거로움을 해소하여 변속의 편의성이 확보되지만 상대적으로 가격이 높은 반면 효율은 떨어지므로 운전자의 경제적 부담을 증가시킬 수 있다.

자동화수동변속기(Automated Manual Transmission, AMT)는 클러치를 통하여 동력을 전달하는 수동변속기에 별도의 액추에이터를 장착하여 변속을 자동화하는 기계식 변속기의 고효율성과 자동변속기의 편의성을 동시에 확보할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 변속시간이 다소 길고 변속감이 좋지 못한 단점이 있어(송 등, 2007) 클러치 액추에이터의 효과적인 위치제어를 통해 변속 시간을 줄이고 변속감을 향상시키는 것이 필요하다.

PID (Proportional Integral Derivative) 제어 방법은 실제 산업현장에서 가장 널리 사용되는 제어 알고리즘으로 구조와 기능이 간단하여 구현이 용이하고 동작 범위가 넓어 쉽게 조작할 수 있으며 강인하고 우수한 성능을 보인다. PID 제어기의 성능은 주로 제어 계수의 적정성에 따라 다르게 나타나므로 제어 성능을 향상시키기 위해서는 적용하고자 하는 시스템에 적합한 계수를 효율적으로 선정하는 것이 중요하다.

그러므로 본 연구의 목적은 트랙터의 자동화수동변속기 개발을 위한 기초연구로써 클러치 액추에이터의 PID 제어기를 설계 및 개발하여 클러치의 위치 제어 성능을 향상시키는 것을 목적으로 한다.

#### 2. 재료 및 방법

##### 가. 클러치 액추에이터 설계

액추에이터는 일반적으로 전자식과 유압식이 있으나, 본 연구에서는 동력전달 효율 및 제어 성능이 우수한 전자식 액추에이터를 사용하였다. 클러치 액추에이터는 변속 작업 시

† 본 연구는 농림수산식품부의 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

\* 성균관대학교

\*\* LS엠트론(주) 중앙연구소

- 논문명 : 전자식 액추에이터를 이용한 클러치 자동 제어 시스템 개발
- 저 자 : 우미나, 이대현, 최창현, 김용주, 최철환, 김현명, 최정웅, 김상현
- 학술지 : 한국농업기계학회 2011 동계학술대회 논문집 16(1):151-157

## 전자식 액추에이터를 이용한 클러치 자동 제어 시스템 개발

### Development of Automated Clutch System using Electric Actuator

우미나*	이대현*	최창현*	김용주**
M. N. Woo	D. H. Lee	C. H. Choi	Y. J. Kim
최철환**	김현명**	최정웅**	김상현**
C. H. Choi	H. M. Kim	J. W. Choi	S. H. Kim

#### 1. 서론

트랙터는 대표적인 농업기계로 사용빈도는 9.7 시간/일로 다른 농업기계에 비해 장시간 사용되고 있으며(KSAM, 2007) 로터리, 쟁기 등의 작업 중에 잦은 변속으로 클러치 조작이 빈번히 발생된다. 수동변속 차량의 변속을 위한 클러치 조작은 차량 구동계의 비틀림 진동 발생 정도에 큰 영향을 미치고 이로 인해 승차감에 영향을 주므로 트랙터에서의 클러치 조작은 매우 중요한 요소이다(Kim et al., 2003).

변속의 편의성 향상을 위한 트랙터 변속기에는 현재 파워셔틀(power shuttle)과 무단변속기(Continuously Variable Transmission, CVT)가 있으나 모두 유압장치를 사용하여 효율이 낮고 가격이 비싸 이를 대체할 수 있는 변속기 개발이 필요한 실정이다(Song et al., 2007). 따라서 변속작업의 편의성 확보와 효율 향상을 위한 변속기 개발을 위해서는 무엇보다 클러치 자동화에 관한 연구가 선행되어야 한다.

본 연구는 트랙터의 작업 편의성과 효율 향상을 위한 변속기 개발의 기초 연구로써 트랙터의 클러치 자동화에 적합한 전자식 액추에이터를 개발하고 클러치 자동화 시스템을 구성하여 제어 성능을 평가하는 것을 목적으로 한다.

#### 2. 재료 및 방법

##### 가. 클러치 액추에이터 설계

수동변속기의 클러치 자동화를 위해서는 변속 조작 시 주어진 운전조건에서 클러치 연결 전후의 토크 변동폭을 최소화하고 정밀 제어가 가능한 고성능 클러치 액추에이터의 개발이 필요하다. 클러치 액추에이터는 동력전달효율이 우수한 전자식을 사용하였고 기존 수동변속기에 탈부착이 용이하도록 회전운동을 직선운동으로 변화시킬 수 있도록 개발하였다. 또한 0~12 V 전압 범위에서 속도 제어가 가능하고 모터의 회전에 따른 위치 제어가 가능하도록 내부에 별도의 포텐시오미터를 장착하였다. 장착된 포텐시오미터의 측정값은 그림 1과 같이

† 본 연구는 농림수산식품부의 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

\* 성균관대학교 생명공학부

\*\* LS엠트론(주) 중앙연구소 기계기술그룹

■ 논문명 : 자동화수동변속기의 변속시간에 따른 진동신호 분석

저 자 : 윤현웅, 박진감, 최창현, 김용주, 이대현

학술지 : 한국농업기계학회 2011 하계 학술대회 논문집 16(2):135-138

한국농업기계학회 2011 하계 학술대회 논문집 16(2):135-138

## 자동화수동변속기의 변속시간에 따른 진동신호 분석

### Analysis of Vibration Signals by Shifting time at an AMT

윤현웅\*      박진감\*      최창현\*      김용주\*\*      이대현\*\*  
H. W. Yun    J. K. Park    C. H. Choi    Y. J. Kim    D. H. Lee

#### 1. 서론

진동은 어떤 물체가 기준 좌표계나 평형 위치에 대해서 반복적으로 운동하는 현상이다. 일반적으로 진동은 회전이나 왕복운동을 하는 물체들에서 불균형한 힘들과 기계 부품들 사이에서 발생하는 마찰, 회전접속, 제작상의 공차 및 여유 부분에 의한 동력적 영향으로 발생되며 이러한 특성을 고려하여 기계요소에 작용하는 충격을 확인하는 연구가 다양한 분야에서 활발히 진행 중에 있다.

농업 현장에서 트랙터 작업은 부하의 변동이 커 높은 에너지 효율과 잦은 변속이 요구된다. 현재 트랙터에서 사용 중인 수동변속기(Manual Transmission, MT)는 연료 효율이 우수하나 변속의 번거로움이 있으며, 자동변속기(Automatic Transmission, AT)는 변속 시 편의성이 확보되나 연료의 효율이 수동변속기에 비해 상대적으로 떨어져 수동변속기와 자동변속기의 장점을 동시에 확보할 수 있는 자동화수동변속기(Automated Manual Transmission, AMT)의 개발이 필요한 실정이다. 그러나 변속 시간이 다소 길고 변속감이 좋지 못한 단점이 있어 이를 위해 최근 변속 시간에 관한 선행 연구가 수행되었으나 변속 시 발생하는 진동에 따른 충격량을 고려한 연구는 미비한 상태이다.

본 연구는 트랙터 자동화수동변속기의 변속에 따른 충격량 측정을 위한 기초 연구로써, 변속 시간에 따라 발생하는 진동을 3축 가속도 센서를 이용하여 측정한 후 진동 신호의 특성을 분석하는 것을 목적으로 하였다.

#### 2. 재료 및 방법

##### 가. 가속도 센서

가속도 센서는 가속도, 진동, 충격 등의 동적 힘을 감지하며 관성력, 전기변형, 자이로의 응용 원리를 이용한 것이다. 가속도 센서는 물체의 운동 상태를 순간적으로 감지할 수 있으므로 자동차, 기차, 선박, 비행기 등 각종 수송수단, 공장자동화 및 로봇 등의 제어시스템에 있어서 필수적인 소자이며, 그 활용 분야가 매우 다양하다. 본 연구에서는 3축 가속도

† 본 연구는 농림수산식품부의 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

\* 성균관대학교

\*\* LS엠트론(주) 중앙연구소

■ 논문명 : 트랙터 센서 시스템의 잡음제거 알고리즘 개발

저 자 : 윤현웅, 박진감, 최창현, 김용주, 이대현

학술지 : 한국농업기계학회 2012 동계 학술대회 논문집 17(1):171-176

한국농업기계학회 2012 동계 학술대회 논문집 17(1):171-176

## 트랙터 센서 시스템의 잡음제거 알고리즘 개발

### Development of Noise Reduction Algorithm for Installed Sensor System of Agricultural Tractor

윤현웅\* 박진감\* 최창현\* 김용주\*\* 이대현\*\*  
H. W. Yun J. K. Park C. H. Choi Y. J. Kim D. H. Lee

#### 1. 서론

트랙터는 로터리, 쟁기 작업 등에 따라 적합한 변속수준의 선택이 필요한 동시에 작업 중 토양부하에 따라 변속작업이 빈번히 발생되므로 변속작업의 편의성 확보는 무엇보다 중요한 요소이다(Kim et al., 2010). 또한 트랙터의 장시간 사용은 작업자의 집중력 저하 및 육체 피로도 증가를 유발하며, 나아가 안전사고를 야기한다. 따라서 트랙터 작업의 편의성에 대한 인식은 점점 더 중요 시 되고 있으며 이를 위한 연구가 활성화 되고 있다.

자동화수동변속기는 이러한 요구를 충족시키기 위해 고효율의 기계식변속기를 액추에이터를 이용하여 자동으로 변속할 수 있도록 개발되었고 적절한 변속과 액추에이터의 제어를 위해 여러 종류의 센서를 사용하게 된다. 하지만 포장작업이라는 극심한 부하변동에 상시 노출되는 트랙터에서의 신호 계측은 심한 잡음이 항상 존재하여 어려움이 따른다. 이러한 잡음은 잘못된 제어 명령을 발생시켜 트랙터의 고장으로 이어질 수 있기 때문에 변속기의 신뢰성 확보를 위해서는 잡음제거 알고리즘이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 트랙터 자동화수동변속기의 신뢰성 있는 센서 신호 계측을 위한 기초연구로써, 자동화수동변속기의 변속을 위한 정보를 수집하는 센서들을 이용하여 센서 신호의 주요 잡음요인을 구명하며 이를 제거할 수 있는 잡음제거 알고리즘의 개발을 목적으로 하였다.

#### 2. 재료 및 방법

##### 가. 트랙터 센서 장착

본 연구에서는 자동화수동변속기(Automated Manual Transmission, AMT)가 장착되어 있는 62마력급 트랙터(U62, LSmtron, Korea)를 사용하였다. 트랙터의 부하변동 및 상태 모니터링을 위해 측정항목을 엔진 회전수, 변속기축 회전수, 차축 회전수 및 토크, 변속기 오일의 온도로 선정하였다. 각 항목들의 측정을 위하여 센서의 장착 편의성 및 측정 환경을 고려하여 그림 1과 같이 장착하였다. 엔진축 및 변속기축, 차축의 회전수 측정을 위해 고속

† 본 연구는 농림수산식품부의 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

\* 성균관대학교

\*\* LS엠트론(주) 중앙연구소

■ 논문명 : 트랙터 자동화수동변속기의 변속시간에 따른 pTVT 분석

저 자 : 박진감, 윤현웅, 심재환, 최창현, 이대현, 김용주

학술지 : 한국농업기계학회 2012 동계학술대회 논문집 17(1):177-182

한국농업기계학회 2012 동계 학술대회 논문집 17(1):177-182

## 트랙터 자동화수동변속기의 변속시간에 따른 pVTV 분석

### Analysis of pVTV with Shifting Time at an AMT Tractor

박진감\*    윤현웅\*    심재환\*    최창현\*    이대현\*\*    김용주\*\*  
J. K. Park    H. W. Yun    J. H. Sim    C. H. Choi    D. H. Lee    Y. J. Kim

#### 1. 서론

트랙터는 로터리, 쟁기 작업 등에 따라 적합한 변속수준의 선택이 필요한 동시에 작업 중 토양부하에 따라 변속작업이 빈번히 발생되므로 변속작업의 편의성 확보는 무엇보다 중요한 요소이다(김 등, 2010). 이에 자동화수동변속기(Automated Manual Transmission, AMD)는 클러치를 통하여 동력을 전달하는 수동변속기에 별도의 액추에이터를 장착하여 변속을 자동화하는 기계식 변속기의 고효율성과 자동변속기의 편의성을 동시에 확보할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 변속시간이 다소 길고 변속감이 좋지 못하다는 단점이 있으며(송 등, 2007), 특히 변속 시 발생하는 진동에 의한 충격은 운전자의 피로 및 불편함을 유발하므로 정량적인 분석을 통한 감소 방안이 필요하나 이에 관한 연구는 전무한 실정이다.

기계적 진동에 의한 충격을 측정하는 여러 가지 방법이 있으나 그 중 pVTV (point Vibration Total Value)는 자동차, 기계류 등에서 발생하는 진동이 인체 전신에 얼마나 충격을 주는 지에 관한 정량화 방법으로 한국산업표준(KS)과 국제표준화기구(ISO)에서 주기적, 비주기적, 과도적 전신 진동의 측정 방법 및 분석에 관한 정의에 사용되고 있어 트랙터 변속 시 발생하는 진동에 의한 충격을 측정하는데 적절할 것으로 판단된다.

본 연구는 트랙터 편의성 향상을 위한 자동화수동변속기 개발의 기초연구로써 변속시간에 따른 인체에 미치는 충격을 분석하기 위해 수행되었으며, 1) 트랙터 진동 계측 시스템을 개발하고, 2) 변속시간에 따른 진동을 측정 후 3) pVTV를 이용한 진동 신호의 정량화를 통해 변속시간에 따른 충격을 분석하였다.

#### 2. 재료 및 방법

##### 가. 트랙터 AMT 시스템

트랙터의 진동 신호 측정을 위해 성균관대학교 RPC (미국종합처리장)에 트랙터 실차와 동일한 상태를 갖는 실내 시험장치를 구성하였다. 실내 시험장치는 트랙터 실차 모델(U62, LSMtron, Korea)의 파워트레인, 엔진의 역할을 하는 모터(HS-45/2, Hyundai, Korea), 모터 속도의 제어를 위한 3상 인버터로 구성하였으며 여기에 전자식 제어에 따라 자동으로 변속

\* 본 연구는 농림수산식품부의 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

- 논문명 : 트랙터 자동화수동변속기의 변속수준에 따른 충격량 측정
- 저 자 : 박진감, 윤현웅, 최창현, 이대현, 김용주
- 학술지 : 한국농업기계학회 2012 동계학술대회 논문집 17(1):183-187

## 트랙터 자동화수동변속기의 변속수준에 따른 충격량 측정

### Measurement of Shifting Shock of Automated Manual Transmission by Shifting level

박진감\*      윤현웅\*      최창현\*      이대현\*\*      김용주\*\*  
 J. K. Park    H. W. Yun    C. H. Choi    D. H. Lee    Y. J. Kim

#### 1. 서론

최근 농업기계는 장시간 연속 작업을 하는 운전자가 증가함에 따라 승차감과 편의성이 점차 중요해지고 있다. 특히 트랙터의 경우 작업 종류에 따른 부하변동이 커 잦은 변속이 요구되어 운전자의 피로를 증가시키므로 이에 대한 대책이 필요한 실정이다. 이에 자동화수동변속기(Automated Manual Transmission, AMT)는 클러치를 통하여 동력을 전달하는 수동변속기에 별도의 액추에이터 장착을 통해 변속을 자동화하여 수동변속기의 고효율성과 자동변속기의 편의성을 동시에 확보할 수 있다. 그러나 변속시간이 다소 길고 변속감이 좋지 못하다는 단점이 있어(송 등, 2007) 운전자의 피로 및 불편함을 유발하므로 이에 대한 대책이 필요하다.

현재 변속시간을 줄이기 위한 선행연구 및 변속 충격을 줄이기 위한 실험실 수준에서의 연구는 이루어지고 있지만 실차를 대상으로 한 연구는 미비한 실정이다. 특히 트랙터의 경우 포장작업 시 작업환경에 많은 영향을 받으므로 실내 시험장치보다 실제 트랙터 주행을 통해 신뢰성을 확보할 필요가 있다.

그러므로 본 연구는 트랙터 자동화수동변속기의 변속 시 발생하는 충격을 저감하기 위한 기초 연구로써, 트랙터에 변속충격 측정 시스템을 설치하여 변속 수준별 충격량을 측정 후 이를 분석하였다.

#### 2. 재료 및 방법

##### 가. 트랙터

트랙터의 변속 수준별 충격량을 측정하기 위해 표 1과 같은 사양의 65마력 트랙터(U62, LSMtron, Korea) 실차모델을 이용하여 실험을 실시하였다. 트랙터의 변속 방식은 자동화수동변속 방식으로 변속은 클러치 해지(disengaging)가 먼저 일어나고 전후진 변속이 이루어진 뒤 다시 클러치가 연결(engaging)되는 과정이 자동으로 이루어지도록 되어있었다.

† 본 연구는 농림수산식품부의 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

\* 성균관대학교 생명공학부

\*\* LS엠트론(주) 중앙연구소 기계기술그룹

## 2. 인력양성효과

- 논문명 : 전자식 액추에이터를 이용한 수동변속기의 전후진 자동 변속 제어 시스템 개발
- 석사 : 1명(우미나), 2011년 2월 졸업

碩士學位 請求論文  
指導教授 崔 昌 鉉

전자식 액추에이터를 이용한  
수동변속기의 전후진 자동 변속 제어  
시스템 개발

成均館大學校 大學院  
生命工學科  
禹 미 나

## 제 2 절 산업화 추진 및 기술확산 방안

자동화수동변속기는 현재 50마력급 트랙터에 전후진 자동화가 우선 적용되어 이미 실용화 및 상품화되어 있으며 국내외적으로 판매 중이다. 이후에는 50~75마력급 트랙터를 대상으로 전후진+주변속 자동화 기술을 적용, 75~100마력급 트랙터를 전후진+주변속+부변속 자동화 기술을 단계적으로 적용 및 제품화 할 예정이다.



<자동화수동변속 제품 적용 단계>

전후진 자동화의 자동화수동변속 트랙터는 국내 및 해외(북미)에서 2010년부터 판매실적이 발생되었으며 자동화수동변속 트랙터의 편의성 및 고효율 장점에 대한 인식이 점차적으로 증가함에 따라 판매량도 같이 증가되고 있다. 자동화수동변속 트랙터는 작업 효율 증대(작업시간 단축, 근골격계 질환 예방 등), 에너지 절감(동력전달효율 우수, 연비 향상 등), 경제성 확보(타 모델 대비 가격 저렴, 유압식 대비 유지보수 비용 절감 등)의 3가지 장점을 중심으로 제품의 강점을 홍보하고 있다. 또한 제품 소개서 작성, 국내외 전시회 출품 등을 통하여 소비자에 대한 광고, 홍보 효과를 높이고 있으며, 국내최고의 산업기술상 IR52 장영실상에 추천 되는 등 개발기간에 따른 목표 대비 매우 높은 효과를 발생시키고 있다.

자동화변속 시스템은 조작의 편의성을 극대화함으로써 국내외 여성 및 고령자를 포함하는 농업인 및 취미농도 쉽게 사용가능하게 할 뿐만아니라 트랙터 시장에서 최초로 선보이는 변속 기술이므로 산업화에 따른 효과는 지속적으로 증가할 것으로 판단된다. 또한 자동화수동변속 시스템은 각각의 요소부품의 별도 적용이 가능하므로 기능에 따라 전후진 자동화, 주변속 자동화, 클러치 자동화 시스템의 개발이 및 적용하기 용이하다. 따라서 현재 개발 된 시스템을 기준으로 타 마력 트랙터에 부분적으로 혹은 전체 시스템을 적용하여 자동화수동변속 시스템의 활용도를 높일 것이며 이를 통해 국내외 M/S를 지속적으로 확보 가능하다. 또한 타마력대 적용은 기반기술 확보 및 장착 노하우 등에 필요한 시간이 단축되므로 전이 효과는 배가 될 것으로 판단된다.

1. 판매실적

가. 해외

- 현재 북미에서 판매중이며 현재(12년 3월)까지 판매 누적량이 191대임.
- 2013년에는 동급 마력의 북미 시장(전체 30,119) 중 약 4% 시장의 점유가 가능할 것으로 판단됨.
- 북미 판매 실적 및 계획

		10~11년	12년(예상)	13년(계획)
판매대수	동급 모델 전체	917대	893대	1,187대
	AMT	136대(15%)	447대(50%)	771대(65%)
매출액	동급 모델 전체	137억원	134억원	178억원
	AMT	20억원	67억원	116억원

나. 국내

- 국내 동급마력 시장 규모 : 4600대
- 2013년 판매목표 : 560대(동급 모델 중 55%)
- 국내 판매 실적 및 계획

		10~11년	12년(예상)	13년(계획)
판매대수	동급 모델 전체	1,264대	811대	1,014대
	AMT	56대(5%)	364대(44%)	560대(55%)
매출액	동급 모델 전체	225억원	145억원	181억원
	AMT	11억원	65억원	100억원

다. 제품 소개서 (brochure)

# LS Tractor

## R-Series (Premium Compact)

R4041 / R4041 EZ / R4041H



Versatility in a large-horsepower, compact-size 4WD is combined with features designed to take on heavy-duty jobs with ease.



Joystick Lever



Telescopic lower link

- 16 x 16 synchro-shuttle or 3-range HST transmission
- 16 x 16 EZ Shift (Automated Mechanical transmission)
- Push-button-operated independent PTO
- Telescopic lower link
- Two sets of remote-control valves
- Available with quick-attach skid-steer-compatible front-end loader
- Loader control joystick lever
- Optional mid-mount PTO
- Your choice of Industrial, Ag or Turf tires
- 5-year warranty



\*5-year limited warranty. See dealer for details.

LS Tractor USA | 6900 Corporation Parkway, Battleboro, NC | P: 252.984.0700 | F: 252.984.0701 | [www.lstractorusa.com](http://www.lstractorusa.com)

**2011**  
NEW  
PRODUCT

Pursue your passion



R-Series	R4041	R4041 EZ	R4041H
<b>ENGINE</b>			
Type	4 - Cylinder, Indirect - injection, Water - cooled		
Model (Tier 3)	LS - Mitsubishi S4QL - D		
Engine HP (Gross)	41		
PTO HP	35		33
Rated speed, RPM	2600		
Displacement-cu. in.	152.9		
Fuel tank capacity (gal)	9.5		
Alternator	12V - 50 Amps		
<b>DRIVE TRAIN</b>			
Transmission	Synchro shuttle	AMT - EZ shift	Hydrostatic Drive
No. of Speeds	16F / 16 R		3 Ranges
Brakes	Wet, Multi - disc		
Steering	Hydrostatic Power Steering		
<b>PTO</b>			
Type	Full Independent or Manual		Independent
Rear(rpm)	Standard (540 rpm)		
Mid PTO	Field Option (2000 rpm)		
<b>HYDRAULIC SYSTEM</b>			
Implement pump, gpm	8.2		
Steering pump, gpm	4.1		5.5
Total flow, gpm	12.3		13.7
Category, 3pt hitch	CAT 1		
Hitch Lift capacity, lbs	2755		
Lift control type	Position / Draft		
<b>DIMENSIONS</b>			
Overall length with 3pt, in.	132.2		
Min. overall width with Ag tires, in.	55.9		
Wheelbase, in.	69.2		
Ht to top of cab. with Ag tires, in.	95.1		
<b>TIRE SIZE</b>			
Ag Front / Rear	9.5 - 16 / 12.4 - 24		
IND Front / Rear	10 x 16.5 / 43 x 16 - 20		
Turf Front / Rear	28 x 8.5 - 15 / 41 x 14 - 20		
<b>WEIGHT</b>			
Total weight without ballast, lbs	3813		

Note Specifications and design are subject to change without prior notice.

**Implement**

Front end Loader	LL4101
<b>Tractor Application</b>	
Maximum Lift Height, in.	96.1
Clearance with Attachment Dump, in.	65.8
Reach at Maximum Height, in.	24.5
Maximum Dump Angle, deg.	47
Maximum Rollback Angle, deg.	40
Digging Depth, in.	5.9
Overall Height in Carry Position, in.	50.4
Lift Capacity (@ Pivot Pin), lbs.	2500
Breakout Force (@ Pivot pin), lbs.	4354
Approx. Weight (Loader w/o Bucket), lbs.	1102

**Backhoe** **LB2101**

Tractor Application	R-SERIES
Digging Depth, in	89.7
Reach From centerline of swing Pivot, in.	125.1
Loading Height, in.	72.4
Swing Arc, deg.	180
Transport Height, in.	83.5
Bucket Rotation, deg.	180
Stabilizer Spread (Down Position), in.	68.7
Stabilizer Spread (Up Position), in.	46.4
Bucket Cylinder Digging force, lbs.	2679

**Standard Equipment**

- Dry-type air cleaner
- Pre-heat starting aid
- Hand and foot throttle control
- Instrumentation-alternator
- Warning and engine oil pressure light
- Remote-control valve (2 pairs)
- Hydrostatic power steering
- Front outlet valve and loader joystick
- Hydraulic draft and position control
- Rear working light
- Adjustable seat
- Telescopic stabilizer & Drawbar
- ROPS w/seat belt
- Safety flashers
- Turn signals

**LS** Tractor USA

Dealer Imprint Zone

52105977

# LS Tractor

## R-Series (Premium Compact)

R4047 / R4047 EZ / R4047H

Versatility in a large-horsepower, compact-size 4WD is combined with features designed to take on heavy-duty jobs with ease.



Joystick Lever



Telescopic lower link

- 16 x 16 synchro-shuttle or 3-range HST transmission
- 16 x 16 EZ Shift (Automated Mechanical transmission)
- Push-button-operated independent PTO
- Telescopic lower link
- Two sets of remote-control valves
- Available with quick-attach skid-steer-compatible front-end loader
- Loader control joystick lever
- Optional mid-mount PTO
- Your choice of Industrial, Ag or Turf tires
- 5-year warranty



\*5-year limited warranty. See dealer for details.

LS Tractor USA | 6900 Corporation Parkway, Battleboro, NC | P: 252.984.0700 | F: 252.984.0701 | [www.lstractorusa.com](http://www.lstractorusa.com)

**2011**  
NEW  
PRODUCT

Pursue your passion



R-Series	R4047	R4047 EZ	R4047H
<b>ENGINE</b>			
Type	4 - Cylinder, Indirect - injection, Water - cooled		
Model (Tier 3)	LS - Mitsubishi S4QL		
Engine HP (Gross)	47		
PTO HP	41		38
Rated speed, RPM	2600		
Displacement-cu. in.	152.9		
Fuel tank capacity (gal)	9.5		
Alternator	12V - 50 Amps		
<b>DRIVE TRAIN</b>			
Transmission	Synchro shuttle	AMT - EZ shift	Hydrostatic Drive
No. of Speeds	16F / 16 R		3 Ranges
Brakes	Wet, Multi - disc		
Steering	Hydrostatic Power Steering		
<b>PTO</b>			
Type	Full Independent or Manual		Independent
Rear(rpm)	Standard (540 rpm)		
Mid PTO	Field Option (2000 rpm)		
<b>HYDRAULIC SYSTEM</b>			
Implement pump, gpm	8.2		
Steering pump, gpm	4.1		5.5
Total flow, gpm	12.3		13.7
Category, 3pt hitch	CAT 1		
Hitch Lift capacity, lbs	2755		
Lift control type	Position / Draft		
<b>DIMENSIONS</b>			
Overall length with 3pt, in.	132.2		
Min. overall width with Ag tires, in.	55.9		
Wheelbase, in.	69.2		
Ht to top of cab. with Ag tires, in.	95.1		
<b>TIRE SIZE</b>			
Ag Front / Rear	9.5 - 16 / 13.6 - 24		
IND Front / Rear	12 x 16.5 / 17.5L - 24		
Turf Front / Rear	28 x 8.5 - 15 / 41 x 14 - 20		
<b>WEIGHT</b>			
Total weight without ballast, lbs	3813		

Note Specifications and design are subject to change without prior notice.

**Implement**

Front end Loader	LL4101
<b>Tractor Application</b>	
Maximum Lift Height, in.	R-SERIES 96.1
Clearance with Attachment Dump, in.	65.8
Reach at Maximum Height, in.	24.5
Maximum Dump Angle, deg.	47
Maximum Rollback Angle, deg.	34
Digging Depth, in.	5.9
Overall Height in Carry Position, in.	50.4
Lift Capacity (@ Pivot Pin), lbs.	2500
Breakout Force (@ Pivot pin), lbs.	4354
Approx. Weight (Loader w/o Bucket), lbs.	1102

**Backhoe** **LB2101**

Tractor Application	R-SERIES
Digging Depth, in	89.7
Reach From centerline of swing Pivot, in.	125.1
Loading Height, in.	72.4
Swing Arc, deg.	180
Transport Height, in.	83.5
Bucket Rotation, deg.	180
Stabilizer Spread (Down Position), in.	68.7
Stabilizer Spread (Up Position), in.	46.4
Bucket Cylinder Digging force, lbs.	2679

**Standard Equipment**

- Dry-type air cleaner
- Pre-heat starting aid
- Hand and foot throttle control
- Instrumentation-alternator
- Warning and engine oil pressure light
- Remote-control valve (2 pairs)
- Hydrostatic power steering
- Front outlet valve and loader joystick
- Hydraulic draft and position control
- Rear working light
- Adjustable seat
- Telescopic stabilizer & Drawbar
- ROPS w/seat belt
- Safety flashers
- Turn signals



52105978

## 2. 홍보 및 전시회

### 가. 해외

■ 전시회명 : 2010 SUNBELTAGICULTURALEXPOSITION

기 간 : 2010.10.9~10.21

장 소 : Moultrie,Georgia



<AMT 트랙터 전시>



<LS전시장 전경>

### 나. 국내

■ 전시회명 : 2010 KIEMSTA

기 간 : 2010. 11. 3 ~ 11. 6

장 소 : 충남천안



<AMT 트랙터 전시>

### 3. 수상 내역

■ IR52 장영실상 : 한국산업기술진흥협회와 매일경제신문사가 공동주관하고 과학기술부가 후원하여 91년부터 시행되고 있는 국내최고의 산업기술상임(IR : Industrial Research, 52 : 1년 52주동안 매주 1개 제품씩을 시상). 우리기업과 기술연구소에서 개발한 우수신기술 제품을 선정·포상함으로써 기술개발자의 사기를 높이고, 수상제품과 기업에 대한 언론홍보를 통해 초기시장진출 기반을 조성하는 것을 목적으로 함.

### ■ AMT 장영실상 추천서



192.168.0.4 / 2012.04.05 17:21 / 30110103

[별지 제2호 서식]

제 품 설 명 서			
제 품 명	ez-shift	모 델 명	R4047EZ, R4041EZ,
개발기술명	자동화 수동 변속 시스템 개발		
			
<p>&lt; 작성요령 &gt;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 제품명은 개발기술을 활용하여 생산판매하는 제품의 특성을 파악할 수 있는 명칭으로 기재</li> <li>2. 모델명은 적용제품이 여러가지일 경우 모델명을 전부기재</li> <li>3. 개발기술명은 신청기술의 내용을 가장 적절하게 표현하는 명칭을 간단명료하게 기재</li> <li>4. 제품사진은 적용제품의 형태, 특성을 가장 적절하게 확인할 수 있는 사진을 부착, 단 제품형태를 입체적 또는 공정별로 제시할 필요가 있는 경우에는 사진을 별도 제출하고, 신청기술적용제품이 완성품의 부분품으로 활용된 때에는 완성품 사진과 적용부분품 사진을 각각 부착</li> <li>5. 양식 항목중 해당사항이 없는 경우 '없음' 또는 '-'로 기재하여 빈칸이 없도록 함</li> </ol>			

LS Cable Ltd. user license only. These documents are property of LS Cable Ltd.

[별지 제2호 서식]

### 시장성 및 제품특성 II

신청기술관련 국내외 기술개발동향 및 후발참여 예상기업 현황

**\* 기술 Trends와 개발 방향**  
**지구 온난화에 따른 친환경 고효율 제품 및 소형 트럭터 사용자 편의 자동 변속기 개발 Needs 증가.**  
 - 수요자는 작업이 편리하고 고효율의 트럭터를 요구하고 있음-> 전후진에 자동으로 변속되는 제품 개발 필요  
 - 유류비 상승에 따른 시스템 효율이 높은 경제성 있는 제품을 선호함. -> 동력전달 효율이 기계식과 동일 또는 그 이상의 제품 필요  
 - 동절기 하우스 작업이 가능하며, 하절기 논과 밭에서 모두 작업이 가능한 제품을 선호-> 차고가 낮으며, 전후진 조작의 자동화가 필요  
 - 외부 환경(온도, 습도) 변화에 영향이 없는 동일한 변속 성능-> 기계식 변속기에 자동화 장치(ADT-ON)하는 방식의 자동화가 필요

**\* 국내 경쟁사 동향**  
 1. LS엔트론 세계최초 개발  
 2. 타사(동양, 대동, 국제 등)의 전기식 액추에이터 개발 능력 부족 및 모터 컨트롤러 개발 공력 미 보유 -> 향후 5년 이상 ez-shift 제작 어려움

**\* 국외 경쟁사 동향**  
 1. Kubota(일본): 100PS 이하 트럭터 시장의 세계 선두주자이나 50PS이하 트럭터에는 중온 파워셔틀 제품이 주를 이루고 있음.  
 2. 국내 경쟁사(동양, 대동, 국제 등)는 50PS 이하 소형에 자동 변속기를 장착한 트럭터는 개발된 것이 없으며, 수동 변속기 트럭터가 주를 이루고 있음.

**\* 후발참여 예상기업: 국내 업체 및 해외 업체도 향후 5년 이내에는 없을 것으로 판단됨.**

국내와 산업재산권출원·공고·등록 및 품질인증기관인증 실적비율(중·소기업 제외) **별지첨부**

국내 특허		해외 특허		실용신안	
출원: 6 건	등록: 6 건	출원: 1 건	등록: 1 건	출원: 1 건	등록: 1 건

기타:  
 주) 증명서류는 특허증 사본, 출원번호통지서(출원번호 발명의 명칭 등이 기재된 부분만) 등을 제출.  
 전제현황 리스트 함께 제출. 현황리스트에는 등록(출원)국가, 특허번호(출원번호), 등록일(출원일), 발명의 명칭, 특허권자 등을 기재

LS Cable Ltd. user license only. These documents are property of LS Cable Ltd.

[별지 제2호 서식]

### 기술개발 자원투입, 개발방법 I

연구개발비	218 백만원	연구개발기간	2008년 1월 ~ 2009년 10월(22개월)
기업화소요비용	130 백만원	기업화 기간	2009년 5월 ~ 2010년 3월(11개월)
		* 양산 급형 개발	
기술개발방법 (복수응답가능)	<input type="checkbox"/> 자체개발 <input type="checkbox"/> 공동개발 <input type="checkbox"/> 위탁개발 <input type="checkbox"/> 기술도입 <input type="checkbox"/> 기술지도 자체개발 이외의 방법이 포함된 경우 아래작성 대상기관명: _____ 소요 비용: _____ 백만원(연구개발비에 포함된 금액)		
총개발참여자	내부: _____명   외부(자체개발이외의 경우): _____명		
공동개발, 기술도입 등 외부의 도움을 받은 경우 기관명(또는 방법명) 담당개발내용			
*LS엔트론 1. 차량 제어 시스템 구성 및 프로그램 개발 2. 액추에이터 용량/시스템 구성/연결링크/장착부 설계 3. 차량 성능 측정 시스템 개발 및 성능 평가 4. 부품 개발/조립 및 내구성 평가 5. 모니터링 * 1. 2.			

LS Cable Ltd. user license only. These documents are property of LS Cable Ltd.

[별지 제2호 서식]

기술개발 자원투입, 개발방법 II			
단계별 기술개발과정 (예: 개념정립→설계→개발→시작품)			
단 계	소요기간	기술개발내용(자체기술개발내용중심)	연구개발비
1단계 (시스템 분석 및 개념 설계)	2008. 1 ~2008. 3	1) 목표사양 및 B/M 자료 수집 - 변속 충격 및 변속 시간 B/M : John deere 5425 : 0.19G, 1.77초 New Holland TL85DA: 0.25G, 0.77초 - 차량 변속 시간 및 충격 목표 설정: 1.2초 이내, 0.3G 이하 - 클러치 액추에이터 발생 추력 및 이송 속도: 115kgf 이상, 25mm/s 이상 - 전후진 액추에이터 발생 토크 및 이송 속도: 24kgf-cm 이상, 30rpm 이상 - 특허 검토 및 장착 레이아웃 검토	109 백만원
2단계 (부품개발 및 시작품 제작)	2008. 3 ~ 2008. 7	1) 차량 제어 시스템 구성 - 모터 컨트롤러 시스템 및 차량 제어 장치 구성 - 제어용 컨트롤 개발 2) 목표 조건을 만족시킬 액추에이터 개발 및 연결 링크 시스템 개발 - 시제품 장착 링크 시스템 개발 - 시제품 차량 장착 및 속도/가속도 3) 시작품 조립 및 시운전 4) 액추에이터 내구시험 장비 개발	
3단계 (성능 및 포장 시험)	2008. 6 ~ 2008. 9	1) 차량 성능 테스트 - 컨트롤러, 센서, 조작용 액추에이터 작동 상태 점검 및 차량 성능 점검 - 액추에이터 단품 성능 측정 - 차량 제어 로직 튜닝 및 성능 측정(변속 충격: 0.4G, 변속 시간: 1.5초) 2) 작업성 평가를 위해 필드 시험(로터리, 로더 시험)	

LS Cable Ltd. user license only. These documents are property of LS Cable Ltd.

[별지 제2호 서식]

기술개발 자원투입, 개발방법 II			
단계별 기술개발과정 (예: 개념정립→설계→개발→시작품)			
단 계	소요기간	기술개발내용(자체기술개발내용중심)	연구개발비
4단계 (제품 개선 및 양산 준비)	2008.10 ~ 2010.3	1) 변속 충격 저감 장치 개발 및 시험 - 변속 충격 감소를 위한 감속부 목표 설정: 4,000 Rev/sec 감속 - 충격 저감용 전자식 브레이크 개발 및 성능 테스트 2) 개선품 설계 및 부품 개발 - 클러치 및 전후진 작동용 액추에이터 모터 성능 개선 및 단품 성능 측정 클러치 액추에이터: 추력 115kgf 이상, 작동 속도 25.4mm/sec 전후진 액추에이터: 토크 24kgf-cm 이상, 작동 속도 38.6 rpm - 모터 컨트롤러 성능 개선 및 제어 로직 변경 3) 내구시험 - 총 12,500회 "중립->진전->중립->후진->중립" 의 작동 반복 내구시험을 통해 액추에이터, 전자식 브레이크 및 제동장치 내구성 검증 4) 작업성 평가를 위해 필드 시험 - 조립된 개선 차량으로 필드 로터리 및 로더 내구시험 진행 5) 양산체제를 위한 부품 규격 개발 및 문제점 수정	60 백만원
5단계 (모니터링)	2009.11 ~2010.1	1) 실사용자 감성 평가를 위해 시작품 차량 모니터링 진행 - 1차 모니터링(2009.11.24, 경남) - 2차 모니터링(2010. 1.12, 경남) 변속 성능에 대한 만족도 조사 및 개선사항 확인	
6단계 (양산)	2010. 3	1) 생산 조립성 검토 및 양산성 검토 2) 조립 관련 교육 및 CS용 진단기 개발	
			합계
			169 백만원

LS Cable Ltd. user license only. These documents are property of LS Cable Ltd.

[별지 제2호 서식]

제품에 활용된 핵심 기술개발내용		
핵심 기술개발내용	경쟁·유사제품과의 기술적 차이점	
	국 외	국 외
	(제품명 : Kubota L4240H )	(제품명 : John Deere 5425)
1. 시스템 설계 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수동 변속기 트렉터와 동일한 출력 및 효율: PTO 출력 41PS, E/G 출력 47PS, 효율 87%</li> <li>- 수동 변속기 트렉터와 동일한 동력 전달 효율: 95%</li> <li>- 기존 변속기에 ADD-ON 방식으로 자동화 시스템 구축</li> <li>- 변속 충격/변속 시간: 0.23G/0.97초</li> <li>- 컨트롤러 파손, 프로그램 오작동 및 변속장치 파손시에도 비상 탈출 및 동력 차단이 될 수 있는 시스템 구성</li> <li>- 사용자 편의를 위한 인체공학적 조작 레버 및 장착위치 설계</li> </ul> 2. 전기식 액추에이터 부품 설계 및 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 변속 시간을 만족시키는 액추에이터 부품 설계 및 개발</li> <li>- 변속시 발생하는 충격을 완화하기 위한 전자식 브레이크 개발(최대 4000rpm/sec 감속)</li> </ul> 3. 차량 자동 보정 및 고장 진단 기능 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 클러치 마모 및 차량 수리 후 변속성능을 일정하게 유지시켜주는 차체 보정 기능 개발</li> <li>- 액추에이터 및 센서의 고장 여부를 판단하는 진단 기능 개발</li> </ul> 4. 신뢰성 시험 및 성능 테스트 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 액추에이터 내구성 확보를 위한 클러치 액추에이터 5만회 작동 내구시험.</li> <li>- 자체 필드 시험을 통한 감속 평가 및 적응성 평가</li> <li>- 실사용자 필드 모니터링을 통한 검증</li> </ul>	35PS, 42PS, 83% 75% 0.21G/0.46초 X	65PS, 81PS, 81% 90% 0.19G/1.77초 X

주) 기재난이 부족한 경우 별지작성

LS Cable Ltd. user license only. These documents are property of LS Cable Ltd.

[별지 제2호 서식]

국내외 유사·경쟁제품과의 성능 및 특징비교			
성능구분	해당제품 (4047EZ)	선진국 유사·경쟁제품 (제품명 : Kubota L4240H )	선진국 유사·경쟁제품 (제품명 : John Deere 5425 )
PTO 출력(PS), E/G 출력, 효율(%)	41, 47, 87%	35, 42, 83%	65, 81, 81%
동력 전달 효율(%)	95	75	90
변속 시간(초)	0.97	0.46	1.77
변속 충격(G)	0.23	0.21	0.19
작업 편의성	대	대	중
클러치 단속 스위치	O	X	X
비상 동력 차단 장치	O	X	X
최대 견인력(기계식 대비)	100%	75%	100%
개발시기	2010년 3월	년 월	년 월
국산 화율	부품수 대비	100%	
	가격 대비	100%	
차별화 기능	동력 전달 효율, 최대 견인력		
제품 가격(백만원)	22.7	27.8(백미판가기준 추정치)	59.2(국내 판가)

주) 유사·경쟁제품 대비 품질·성능 입증자료 첨부

LS Cable Ltd. user license only. These documents are property of LS Cable Ltd.

[별지 제2호 서식]

적용제품의 용도 및 특징 I	
제품의 용도	제품의 기능
- 소형 트랙터에 개발된 ez-shift는 주로 밭농사에 사용되며, 특히 지고가 매우 낮게 설계되어 있어 하우스 내부에서 정기 로터리 작업에 주로 사용된다. - ez-shift는 하우스 내부(높이 1.7~2.1m)에서 작업시 매우 큰 장점을 준다. 좁은 하우스 공간안에서 정기 및 로터리 작업을 위해 잦은 선회와 후진을 하게 된다. 이를 수동 변속기를 장착한 차량의 경우 클러치 페달과 전후진 레버를 동시에 반복적으로 조작해야 하기에 작업자에게 높은 피로도를 발생시켜 작업의 효율이 저하되는 상황이다. ez-shift는 Finger-Trip형 전지식 전후진 조작레버 조작으로 자동으로 전진, 후진 및 중립 조작이 되어 작업자는 로터리 및 정기 작업시 작업기 조작에만 부담을 가지게 되어 작업 부하를 경감시켜 준다. 1. 국내 - 사용용도 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 자작 수도작 농민</li> <li>• 하우스</li> <li>• 과수원</li> <li>• 운반 및 로터작업</li> <li>• 축산용(축사 청소 및 사료 이송)</li> </ul> 2. 해외 - 사용용도 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 주말농</li> <li>• hobby farmer</li> <li>• 전디 깎기</li> <li>• 기타 산업용</li> </ul>	1. 전진과 후진 변속기능: 클러치 페달 조작 없이 전지식 전후진 조작 레버 작동으로 트랙터 진행 방향을 변경함. 2. 클러치 작동 스위치: 클러치 페달 조작 없이 주변속 레버에 장착된 클러치 단속 스위치를 누르고 주변속 변속레버를 조작하여 속도 변속함. 3. 주행중 전진에서 후진 및 후진에서 전진 변속 기능: 전진 또는 후진 주행 중에도 전후진 변속 레버를 진행방향의 반대로 조작하면, 차량속도 감속 후 진행방향을 바꿀 수 있음. 4. 파워셔틀 대체 효과: 50PS 이상 기종에만 적용되던 파워셔틀 기능을 대체하여 50PS이하 트랙터에 적용함으로써 사용자 편의성 증대 및 작업 효율 증대 5. 동력전달 효율 기계식과 동일(친환경 녹색 제품): 시스템 전체 효율을 높일 수 있음. 기존 파워셔틀 및 HST의 경우 유압을 사용하여 변속하는 시스템으로 상시 유압펌프를 구동시키게 되어 동력 손실이 발생하나 EZ-SHIFT는 전기 모터를 사용한 액추에이터로 구성되어 있어 동력 손실 없음. 6. 클러치 내구 수명 증가: 잦은 선회 및 변속으로 동력 차단용 클러치 내구성은 작업자 특성에 따라 수명이 단축되는 특성이 있으나, ez-shift는 최적의 조건으로 반클러치 동작을 컨트롤러에서 진행하기에 클러치 내구 수명이 연장됨.

LS Cable Ltd. user license only. These documents are property of LS Cable Ltd.

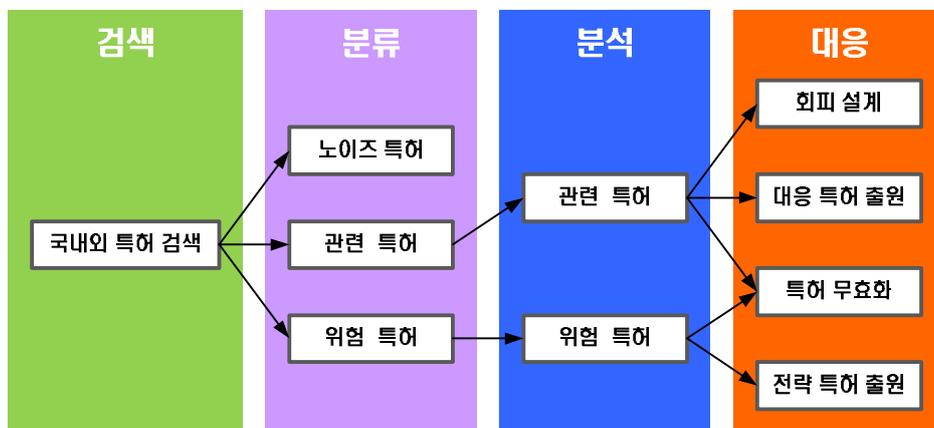
[별지 제2호 서식]

적용제품의 용도 및 특징 II										
국내외 유사-경쟁제품과 비교한 적용제품의 차별적 특징										
*제품의 성능 비교										
구분	목표 Spec.      LS엠트론(4047EZ)      Kubota(L4240H)      John Deere(5425)									
PTO출력(PS), 엔진 출력(PS), 효율	41. 47. <b>87%</b> 41. 47. <b>87%</b> 35. 42. 83%      65. 81. 81%									
변속기 동력 전달 효율(%)	<b>95</b> <b>95</b> 75      90									
변속 시간(초)	1.2초 이내      0.97 <b>0.46초</b> 1.77									
변속 충격(G)	0.3G 이하      0.23 <b>0.16</b> <b>0.19</b>									
작업 편의성	中 이상      中      大      小									
비상 동력 차단 장치	O      O      X      X									
기타특이사항	세계최초개발된 HST 동력 효율 낮음      습식 다관 마찰 클러치									
1. 전세계 트랙터 제조 업체는 존디어, 구보타, CNH, New holland, Fendt 등이 있으며, 수동 변속기에 전기식 액추에이터를 ADD-ON 방식으로 장착하여 자동으로 변속되는 트랙터 제품은 LS엠트론에서 최초로 상용화 함. 2. R EZ-Shift는 운전자가 클러치 페달 조작 없이 전지식 전진 후진 선회 작업을 위한 목적으로 자동으로 변속할 수 있는 장치이다. 3. 기존의 유압식 자동 변속 시스템은 동력 손실이 발생하고 외부 기온에 따라 트랙터의 동작이 느려지거나 빨라지는데 반해, R EZ-Shift모델은 항상 동일한 성능을 유지하며, 연료효율과 작업성능을 향상시킨 친환경 트랙터이다.										
제품 판매개시일      2010년 3월 (판매개시일 입증자료: 세금계산서)										
제품의 주원시장은	①국내신규시장      ②국내생신기존시장(O)      ③수입대체(O)      ④선진국 시장(O)      ⑤개도국 시장									
국내외 경쟁사 환경 및 유사-대체 가능 제품(국내 판매 제품)										
국 내 생 산	<table border="1"> <thead> <tr> <th>회 사 명</th> <th>기존유사-대체제품명</th> <th>출시일</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>대동공업</td> <td>LX470(47PS) 수동변속기</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>동양물산</td> <td>T483(48PS) 수동변속기</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	회 사 명	기존유사-대체제품명	출시일	대동공업	LX470(47PS) 수동변속기	-	동양물산	T483(48PS) 수동변속기	-
회 사 명	기존유사-대체제품명	출시일								
대동공업	LX470(47PS) 수동변속기	-								
동양물산	T483(48PS) 수동변속기	-								
국 외 생 산	<table border="1"> <thead> <tr> <th>회 사 명</th> <th>기존유사-대체제품명</th> <th>출시일</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Kubota</td> <td>L430M(42PS) 수동변속기</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Yanmar</td> <td>FK453-S(45PS) 수동변속기</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	회 사 명	기존유사-대체제품명	출시일	Kubota	L430M(42PS) 수동변속기	-	Yanmar	FK453-S(45PS) 수동변속기	-
회 사 명	기존유사-대체제품명	출시일								
Kubota	L430M(42PS) 수동변속기	-								
Yanmar	FK453-S(45PS) 수동변속기	-								

LS Cable Ltd. user license only. These documents are property of LS Cable Ltd.

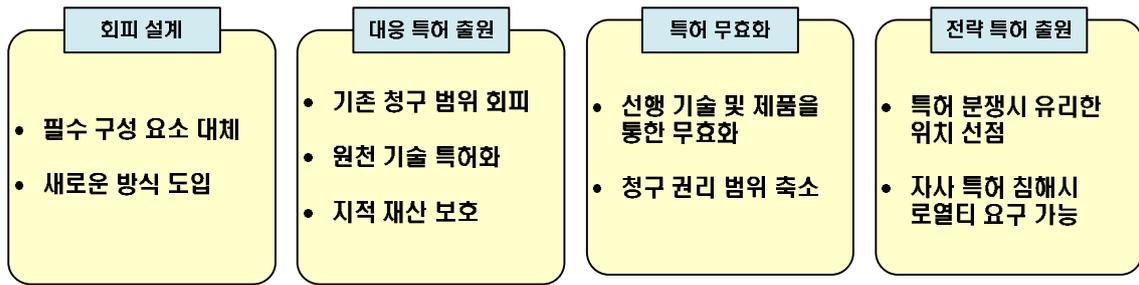
### 제 3 절 지적재산권 확보 계획

트랙터용 자동화 수동변속 시스템, TCU, 인간공학적 변속 레버 개발 기술은 농작업 기계인 트랙터에 적합하게 특화할 것이며 이를 통해 기존 차량분야에 적용되는 기술과의 차별성을 확보 할 것이다. 자동화수동변속 시스템에 대한 국내외 특허를 지속적으로 검색한 후, 관련 없는 특허인 ‘노이즈 특허’와 관련은 있으나 회피 가능성이 있는 ‘관련 특허’, 핵심적인 기술을 청구 범위로 등록하여 회피하기 어려운 ‘위험특허’로 분류하고, ‘관련 특허’와 ‘위험 특허’는 특허의 청구항을 중심으로 분석하여 회피 설계, 대응 특허 출원, 특허 무효화, 전략 특허 출원 등의 방법으로 대응할 것이다.



자동화수동변속 시스템의 특허 출원 프로세스

회피설계는 대표 청구항의 구성 요소를 대체 혹은 제거하거나 새로운 설계를 함으로 대응하는 방식이고 대응특허는 원천 기술이 없는 경우 개발된 기술을 특허화하여 자사의 지적 재산을 보호하는 대응 방식이다. 만약 회피할 수 없는 경우, 선행 기술에 대한 진보성과 다른 특허의 침해여부를 조사하여 문제 특허의 일부 혹은 전체를 무효화하거나 전략적으로 특허를 Making하여 특허 분쟁시 경쟁사의 취약한 부분을 공격함으로써 유리한 위치를 선점하고 자사의 특허를 침해한 경우 로열티를 요구하는 대응하여 자동화 수동변속 트랙터가 개발되어 양산될 수 있도록 만전을 기할 것이다.



자동화 수동변속 트랙터의 특허 대응 전략

자동화수동변속기는 지속적인 연구 수행을 통해 요소부품 설계기술 개발, 변속제어 시스템 개발, 인간공학적 변속레버 개발 기술에 대한 논문 등을 작성하여 국내외 학술지 또는 학술대회에 발표하여 농업기계의 학술적 수준 향상을 이끌어 낼 계획이다.

자동화수동변속 시스템은 파워트레인 개발 과정에서 개발 및 설계된 주요 부품뿐만 아니라 실내시험과 포장시험 등의 성능평가에 관한 내용을 논문을 작성하여 한국농업기계학회, 대한기계학회 등의 국내 저명학회와 미국농공학회(ASAE), 국제노외차량학회(ISTVS) 등의 SCI급 학회 투고할 계획이다.

본 연구에서 개발된 고성능의 TCU는 포장작업 시 부하를 측정하여 변속 수준을 제어하는 시스템으로 트랙터 작업환경을 고려한 신호측정 및 신호처리 알고리즘, AMT 파워트레인의 제어, AMT 시스템의 작동 상태 및 고장진단 알고리즘 등의 개발결과를 국내외 제어관련 학회에 투고할 계획이다.

또한 인간공학적 트랙터 변속레버 개발 기술은 3D 시뮬레이션을 통한 최적화 및 상세 설계 및 실제 성능평가를 통한 정량적인 편의성 평가 지표로 활용할 예정이며 이를 이용하여 국내외 학회에 투고할 예정이다.

## 제 4 절 타분야 활용 및 추가연구 필요성

### 1. 전자식 액추에이터의 활용

자동화수동변속기는 전후진, 주변속, 부변속의 자동화를 위한 각각의 액추에이터와 동력 전달 및 해지를 위한 클러치 액추에이터로 크게 구성되어 있다. 개발된 전자식 액추에이터는 현재 개발 트랙터 사양에 적합한 모터를 이용하여 개발하였으며, 별도의 포텐시오미터를 통해 자동제어가 용이하게 하였다. 또한 add-on 방식으로 설계 및 양산되어 있어 모듈화에 따라 다품 및 세트에 필요에 따라 개별적 적용이 가능하므로 현재 개발 대상품 외에도 타 마력대 트랙터에 적용이 쉬우며, 적용 기술의 경우 유사성이 높아 개발기간과 소요되는 비용의 감축이 가능하다. 또한 액추에이터는 내장된 모터를 다른 사양의 모터를 교체하거나 케이스의 간단한 설계 변경을 통해 다른 모델에 빠른 적용이 가능한 장점이 있다. 농업용 트랙터의 변속에 적합하게 개발된 전자식 액추에이터는 트랙터 이외의 농업기계의 자동제어를 위한 요소부품으로 활용될 수 있으며, 기계의 특성이 충분히 고려된다면 자동차, 선박, 비행기 등 자동제어가 필요한 모든 산업 분야에서도 활용할 수 있다.

현재 트랙터 시장은 전년대비 판매 대수는 유사하나 시장규모가 지속적으로 증가하는 대형화 추세를 보이고 있으며, 이에 따라 중, 소형 마력대 트랙터 외에도 대형마력 적용을 위한 모터 사양 설계 및 시스템 구성에 대한 설계 및 기술 개발에 대해 연구를 지속적으로 진행할 예정이다.

### 2. 인간공학적 변속 레버 개발 기술 활용

인간공학 기반의 변속 레버 개발은 트랙터 작업자의 작업 분석 및 조작 반력 등의 기본 데이터를 구축한 후 다양한 시뮬레이션을 이용하여 최적 설계를 통해 개발되었다. 변속 레버 개발에 사용된 조작성, 시계성, 근접성을 평가 기술은 트랙터 등의 농업기계 뿐만 아니라 변속이나 조작을 위한 레버가 있는 어떠한 산업분야에도 충분히 활용할 수 있으며, 설계와 동시에 검증이 이루어지는 과정으로 향후 제품 개발에 소요되는 시간과 비용을 줄이며 작업 편의성을 고려한 설계 기법을 제시할 수 있다. 레버 개발 과정 중 노브 형태에 따라 레버가 어느 위치에 있어야 가장 적은 힘으로 작동시킬 수 있는지를 정량적으로 평가하여 레버의 위치를 선정하였으며 이는 트랙터에만 적용되는 것이 아니라 앞서서 레버를 조작하고 조작력이 큰 기계를 다루는 산업 분야에 레버를 적은 힘으로 조작할 수 있도록 응용할 수 있다. 특히, 반복적으로 레버를 밀고 당기는 경우에 더욱 효과를 볼 수 있어 근골격계 질환 유발 감소에 활용할 수 있다.

인간공학적 설계 기반의 변속레버는 가격경쟁력 확보를 위해 기존 개발품보다 더 낮은 제작

비로 조작력을 크게 감소시키는 방안에 대해 지속적으로 연구를 진행될 필요가 있다. 또한 변속레버 뿐만 아니라 트랙터의 조작부 전체에 대해 기능 통합 및 재구성을 통해 사용자 인터페이스를 최적화하는 연구를 계속적으로 진행할 예정이다.

### 3. 변속 제어 기술의 활용

액추에이터의 위치 제어를 위한 PID 제어 알고리즘은 Ziegler-Nichols의 계단 응답법을 통해 초기 계수를 계산하고, 개발된 시뮬레이션 프로그램을 통해 액추에이터 전달함수를 기준으로 P 계수, I 계수, D 계수 순서로 최적화하며, 응답성능과 안정성을 동시에 만족시키는 경우를 최적 계수로 선정하도록 개발되었다. 각각의 제어계수는 개개별로 최적화된 것이 아니라 상호작용을 고려하여 최적화하였기 때문에 현재 시스템에 적합한 제어 성능을 보여준다. 제어를 개발하기 위한 최적 설계 알고리즘은 다른 기계의 자동제어에 기반기술로 충분히 활용이 가능하므로 여러 산업분야에서 적용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 제어기 설계를 위해 계수 선정을 위한 최적화 시뮬레이션 프로그램의 개발하였으며 모델식과 조건에 따라 기존의 시행착오법을 대신하여 제어계수를 최적화시켜주므로 개발 효율 향상에 따라 그 활용도가 높음을 알 수 있다.

변속제어는 트랙터 변속성능에 직접적으로 영향을 끼치는 제어 알고리즘을 보완 및 최적화시켜 추후에는 농업기계 환경 기준이 아닌 일반 차량에 적용되는 수준의 변속 성능을 확보하여 사용자에게 최고의 작업 환경을 제공해야 된다. 따라서 모델링 및 시뮬레이션에 관한 연구를 지속적으로 수행할 계획이다.

### 4. 고장진단 시스템 개발 기술 활용

고장진단 시스템은 트랙터에 장착을 위한 개발품 외에도 사용자의 접근성 향상을 위해 진단 단말기를 별도로 개발하였다. 개발을 위해 트랙터의 주요 고장진단 부위를 선정하여 각각에 적합한 고장진단 센서를 장착하였으며 자동화 수동변속기 파워트레인의 고장진단 시스템 및 실시간 고장진단이 가능한 고장진단 모니터링 프로그램을 개발하였다. 또한 고장진단을 위해 비교, 분석한 이동평균 필터, 웨이블릿 필터, 칼만 필터, 적응 필터 등의 신호처리 알고리즘은 여러분야의 신호처리 기초 기술로 활용이 가능하며 이는 산업분야 뿐만아니라 학술적 측면에서도 활용도가 높을 것으로 판단된다. 농업기계의 고장 요인은 본 연구의 항목 외에 다방면으로 발생할 수 있으므로 지속적인 모니터링 및 보완이 필요할 것으로 판단된다.

### 5. 제품 개발 프로세스의 활용

본 연구에서 사용된 제품 설계 및 개발 프로세스는 설계와 분석이 동시에 이루어져 제품 개

발에 소요되는 시간과 비용을 줄일 수 있다. 기술 동향 분석, 설문 조사, 관련 제품의 비교 결과 등을 이용하여 개발할 제품의 특성을 분석하고 설계 및 개발 방향을 설정할 수 있다. 특성 분석 결과를 바탕으로 사용자의 작업 환경을 분석하고 정량적인 성능 평가 방법을 설정한다. 사용자의 작업 환경, 정량적 성능 평가 및 최적 설계 결과를 기반으로 주요 요소부품 및 링크 등을 설계하고, 실내 단품 성능 및 전체 시스템의 평가를 위한 시험장치를 개발하여 각각의 성능을 평가 및 검증한다. 자동화수동변속 시스템 개발에 이용된 제품 개발 프로세스는 각각의 요소부품 설계와 동시에 전체 레이아웃 구성이 가능하고 인간공학적 레버개발, 고장진단 시스템 개발 및 성능평가를 위한 시험장치 개발의 별도 진행이 가능하므로 개발 기간 및 비용을 줄일 수 있다. 따라서, 농업기계 분야는 물론 현장 실험이 필요한 제품의 개발에 적극 활용될 수 있다.

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

### 제 1 절 학술논문

- Horn, J., J. Bamberger, P. Michau and S. Pindl. 2003. Flatness-based clutch control for automated manual transmissions. *Control Engineering Practice* 11: 1353-1359.
  - 자동화수동변속 시스템의 클러치 위치 제어를 위해 전자-유압식 액추에이터를 이용한 제어 시스템을 제안함. 제어 시스템은 flatness의 feed-forward의 비선형 제어를 기반으로 설계하였으며, 제어 성능 시험은 Mercedes-Benz Sprinter, CLK을 대상으로 수행하였음, 제어 성능 평가 결과 클러치 위치의 정확한 추종 제어가 가능하여 자동화수동변속기에 활용 가능함을 확인함.
  
- Gawthrop, P. J. and P. E. Nomikos. 1990. Automatic tuning of commercial PID controllers for single-loop and multiloop applications. *Control System Magazine, IEEE* 10(1): 34-42.
  - Single, multi loop 시스템을 대상으로 PID의 자동튜닝을 알고리즘을 개발함. 이는 시스템 상태에 따라 인접한 루프간 상호작용 장애를 막을 수 있는 피드 포워드 신호 생성이 가능하다는 장점이 있음. 제어 알고리즘의 성능평가는 탱크의 유량 레벨 제어를 대상으로 수행하였음.
  
- Hur, J. G. and K. U. Yang. 2007. Proposal of practical reference-model and its performance improvement for PID control. *Proceedings of the KSPSE 2007 Spring Conference. The Korean Society for Power System Engineering* 11(3):71-77.
  - PID 제어기 개발을 위해 기존의 ITAE 방식에 비해 보다 제어 대상의 피크 시간 및 정착 시간 등의 응답시간만을 파악하여 상대적으로 손쉽게 모델 개발이 가능한 방법을 제시함. 제시된 연구 결과는 제어기 설계에 있어서 안정성과 응답성이 우수한 모델을 설계할 수 있어 쉽고 간편한 작업이 요구되는 산업 현장에 실용적 사용이 가능할 것으로 판단됨.
  
- Moreno, L. L., J. A. Acosta, A. Mendez, G. N. Hamilton, J. D. Marichal. 1996. Stochastic optimal controllers for a DC servo motor: Applicability and Performance. *Control Engineering Practice*.

- 본 연구에서는 최적 제어 알고리즘을 개발하고 실제 플랜트에 적용하여 성능 검사를 수행함. 최적 제어 알고리즘은 플랜트 내 DC모터를 제어함으로써 성능을 검증하였음. 이에 따라 개발된 알고리즘은 확률적으로 발견되는 특정 효과의 실증적인 증명요인을 찾아내거나 전체적으로 선택적 알고리즘과 비교해 확률적 방법의 정확성을 향상이 가능할 것으로 판단됨.
- Kamita, Y. 1999. Dynamic characteristics of DC servo motor driven by conventional servo driver. *Journal of Japan Society of Precision Engineering* 65(3): 464-468.
- 서보모터를 이용한 모션 제어의 최적 제어기 설계를 위해 기존에 사용되는 모터 드라이버의 성능에 따른 서보모터의 동적 성능을 평가함. 모터 드라이버는 제어 신호 증폭 및 정상 상태 오차 감소 역할 등을 수행함으로써, 이에 따른 서보모터의 동적 성능 평가는 서보모터를 이용한 다양한 산업에서 발생하는 여러 현상에 대한 근거 및 해결 방안으로 제시가 가능함. 위의 결과를 통해 제어 대상에 적합한 서보모터 및 드라이버의 자세한 설계 프로세스 방안을 제시함.
- Song, C. S. and S. H. Lee. 2007. A study on the design parameter of a hydraulic shift actuator of an AMT. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering* 24(10): 75-82.
- AMT 유압 액추에이터 시스템을 상용소프트웨어인 AMESim을 통해 모델링을 수행하고 AMT 변속 제어 시뮬레이터를 개발하여 최단기어 변속 시간과 유압 액추에이터 설계사양 제시를 위한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행함. 그 결과 spring stiffness 19000 N/m, spring preload 200 N일 때 최단의 기어 변속 시간을 가짐을 알 수 있었으며, 모든 변속단 응답시간이 0.5초 이내로 나타남.
- Suzanne, D. S., A. S. Jeanne, D. R. Bowden. Transmission characteristics of suspension seats in multi-axis vibration environments. *International Journal of Industrial Ergonomics* 38(5): 434-446.
- 다축 진동신호 측정을 통해 서스펜션에 따른 변속기 특성 분석함. 3축 가속도 센서를 이용해 현가 좌석과 탑승자 인터페이스 사이의 진동을 측정하였고, 진동 신호 전달 비율을 통해 시야, 진동 방향, 사용자 인터페이스(운전자 작업 환경)의 관계를 분석함.
- Jeon, C. S., D. S. Kim, and J. M. Lee. 2007. PID gain auto tuning of ETB by using

RLS. Journal of Korea Robotics Society 2(1):1-8.

- PID 제어기의 단순성과 안정성을 바탕으로 RLS를 이용하여 차량 전자동 스톱바디 개도의 위치를 신속정밀하게 제어 하고 조정하였음. 수식 진개를 통한 제어알고리즘의 체계화와 이를 전자식 스톱바디 시스템에 적용한 경우의 제어 성능을 비교 평가하였으며, 그 결과 위치 제어 및 조정능력이 향상 된 것으로 나타남.
  
- Lucente, G., M. Montanari, C. Rossi. 2007. Modeling of an automated manual transmission system. Mechatronics 17(2-3): 73-91.
- 전자-유압식 기어박스의 비선형적 모델과 자동화수동변속기의 건식 클러치 및 전자-유압식 액추에이터를 개발하였으며, 기어 변속 시 형상과 효과를 분석하였음. 이를 통해 여러 가지 변속 축 모델을 취합한 새로운 모델, 서보밸브에 이상 신호를 탐지하는 기어박스 액추에이터의 축소 모델을 개발하였음. 신호의 특성과 현상을 분석하여 액추에이터의 이상을 판별하는 시스템을 개발함.

## 제 2 절 관련특허

- Satoshi, Uchino. 2002. Hydraulic control system of automated manual transmission. JP-2000-55184.
  - 클러치 중 하나에 공급되는 유압의 변화를 위한 전환밸브와 전기적 시스템 결합으로 인해 밸브의 작동이 불가능 할 시 유압 공급 장치로부터 각각의 클러치에 오일을 보내주는 온-오프 밸브로 구성된 제어 시스템.
  
- Futamura, Makoto. 2008. Abnormal-period automatic shift control apparatus of automated manual transmission. JP-2007-040408.
  - 자동화 수동 변속기의 비정상-기간(Abnormal-period) 자동 시프트 제어 장치는 엔진 구동 시 초기 단계를 감지하는 부분과, 클러치 고장이 발생하는 두 번째 단계를 감지하는 부분, 중립 범위의 클러치에서 발생하는 문제점을 감지하는 섹션 등으로 구성.
  
- Tomomitsu, T., S. Masaru, T. Yoshinori, H. Yoshitomi, M. Takeshige, A. Yoshiyuki. 2008. Automated manual transmission system for a vehicle. JP-08003436.6.
  - 차량의 gear-parking 통제하에 장착된 드라이버에 대한 경고 수단 및 축 레버의 작동을 제한하는 제한 수단을 갖춘 자동화 수동 변속 시스템.
  
- Aisin AI Co., Ltd. 2003. Automated manual transmission control apparatus. JP-2004-345937.
  - 엔진 및 모터에 의해 구동된 차량의 가속을 위한 구동력을 획득할 수 있고, 차량 전진 및 후진 단계에서 축의 자동화된 수동 변속을 하게 만드는 조종 기구.
  
- Jiang Hong. 2009. Automated manual transmission launch control. US-11037983.
  - 자동화 수동 변속기를 탑재한 차량의 발진 제어에 관한 발명으로 차량의 발진이 탐지될 때, 입력 축과 출력 축 사이의 요구되는 슬립율을 판단하고 슬립율 기준으로 차량의 가속도를 얻는 제어 시스템.
  
- Hidenobu Satoh. 2010. Automated manual transmission and method for controlling the same. JP-01837560.
  - 차량의 출력축의 회전 속도가 탐지되는 경우 기어 동기화 장치 타입을 이용해 변속을 자동

화하는 제어 방법.

- Makoto, F. and K. Masasumi. 2011. Shift position sensor of automated manual transmission. JP-01750037.
  - 다수의 shift forks를 포함하는 변속 타입의 자동화수 변속기에서 홀수 속도를 설정하는 첫 번째 클러치와 짝수 속도를 설정하는 두 번째 클러치, shift forks 작동을 위한 다수의 유압 축 액추에이터로 구성된 발명으로 변속에 의해 변화하는 축의 위치를 감지하는 센서와 관련.
  
- Klump, M., S. Winkelmann, M. Preisner, and R. Berger. 2011. Method for detecting damage in the shift-control actuator of an automated manual transmission. DE-07890238.
  - 기어 동기화에 소요되는 주기가 실제와 다른지 평가하는 방법, 기어 선택 후 축 제어 액추에이터를 한계 정지점 까지 이동 시켜 도달한 정지점이 축 제어 액추에이터 내부의 것인지 변속 한계 정지점이 아닌지 평가하는 방법 등을 통하여 축 제어 액추에이터에 손상을 진단하는 시스템.
  
- International Truck Intellectual Property Company, LCC. 2006. Common control interface for diverse automated manual transmissions. US-07139653.
  - 차량 전동 장치의 제어 배치를 위해 다양한 제조자로부터 나온 자동화 수동 변속 제어기에 사용되는 공통 shifter 인터페이스와 통신 서브시스템에 관련된 일반 제어 인터페이스
  
- Futamura, M, and M. Kitou. 2009. Shift control device and method for automated manual transmission. JP-07494442.
  - 각각의 구동 기어와 클러치에 장착된 동력 변화 라인을 갖는 자동화수동변속기의 변속 제어를 위한 장치로 클러치에 맞물리는 힘을 조절하기 위한 클러치 작동 메카니즘과 그것을 제어하는 변속 축 제어기로 구성
  
- Kengo, M. and T. Yoshihiko. 2010. Gear change process for an automated manual transmission unit and automated transmission for a vehicle. JP-02048401.
  - 자동변속기 또는 자동화 수동 변속기의 속도 변화 과정에 관련된 발명

- General Motors Corporation. 2006. Clutch control for automated manual transmission(AMT). US-07070538.
  - 자동화 수동 변속기의 클러치 전자 제어에 관한 발명으로 컨트롤러가 엔진부하에 기초하여 부하 신호를 생성하고 전자식 클러치 제어기의 결합전 이를 바탕으로 부하 엔진의 spark timing을 조절함. 또한 결합 후엔 엔진 속도 변화율을 바탕으로 엔진의 spark timing을 조절한다.
  
- Bjernetun, J., A. Eriksson, and J. Yngwe. Method and device for securing lubrication of an automated manual transmission in a vehicle. SE-12991429.
  - 자동화 수동 변속기가 장착된 차량을 구동하기 위한 방법에 관한 발명으로 전동 장치와 윤활화 시스템이 차량 구동 가능하게 결합되어 차량을 움직일 때 필요한 장치 및 방법

## 제 7 장 참고문헌

1. Ang, K. H., G. Chong, Y. Li., 2005. PID control system analysis, design, and technology. *Control System Technology* 13(4) :559-576.
2. Atherton, D. 1998. Some advantages of the Auto-tuning approach in PID control. *COLLOQUIUM DIGEST*.
3. Choi, C. H., M. N. Woo, D. H. Lee, Y. J. Kim, and J. H. Jeong. 2010. Development of electric actuator position control system for automatic shuttle shifting of tractor. *Journal of Biosystem Engineering* 35(4):224-230. (In korean)
4. Chung K.Y. 1999. A Study on the Real-time Fault Dagnosis of Integrated ship Engine Systems. *Journal of the Research Institute of Maritime Industry* 9(2):143-153.
5. Crouse, W. H. 2008. *Automotive Mechanics*, 10/E. McGraw-Hill, Columbus, USA.
6. Daedong Industrial Company. 1999. *Daedong tractor instruction manual*.
7. FAN, Y., D. LU, Q. WANG, F. JIANG. 2010. Simulation of clutch engagement based on fuzzy logic. 2010 International Conference of Intelligent Computation Technology and Automation pp. 325-328.
8. Fan Y. S. and G. T. Zheng. 2005. Research of high-resolution vibration signal detection technique and application to mechanical fault diagnosis. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 21(2):678-687.
9. GAWTHROP, P. J. 1990. Automatic Tuning of Commercial PID Controller computer control of real-Time processes. *IEEE control system magazine* January pp. 37-57.
10. Han, K. W., W. S. Ryu, S. W. Lee, J. W. Jeon, and S. H. Hwang. 2005. Control performance evaluation of the automatic clutch for AMT using embedded system. *Proceedings of the KSAE 2005 autumn Conference*, pp. 927-934. The Korean Society of Automotive Engineers. (In Korean)
11. Horn, J., J. Bamberger, P. Michau, S. Pindl. 2003. Flatness-based clutch control for automated manual transmissions. *Control Engineering Practice*, 11: 1353-1359.

12. Hur, J. G., and K. U. Yang. 2007. Proposal of practical reference-model and its performance improvement for PID control. Proceedings of the KSPSE 2007 Spring Conference, 11(3): 71-77. The Korean Society for Power System Engineering. (In Korean)
13. Jeon, C. S., D. S. Kim, J. M. Lee. 2007. PID gain auto tuning of ETB by using RLS. Journal of Korea Robotics Society, 2(1): 1-8. (In Korea)
14. Kamita, Y. 1999. Dynamic Characteristics of DC Servo Motor Driven by Conventional Servo Driver. Journal of Japan Society of Precision Engineering.
15. Kawafuku, M. 1998. Self-Tuning PID Control of a Flexible Micro-actuator using Set Neural Networks. IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS MAN AND CYBERNETICS.
16. Kim, M. S., S. E. Moon, H. Yeo, H. L. Song, S. H. Hwang, D. L. Kim, K. S. Han, and H. S. Kim. 2003. Development of clutch by wire vehicle simulator. Proceeding of the KSAE 2003 Spring Conference, pp.670-675. (In korean)
17. Kim, Y. J., S. H. Lee, C. H. Choi, S. H. Kim, J. W. Choi, J. H. Jeong, J. Y. Kim, D. H. Lee, and C. H. Choi. 2010. Development of an electric actuator for tractor shuttle control. Proceedings of the KSAM 2010 winter Conference, pp. 91-97. The Korean Society for Agricultural Machinery. (In Korean)
18. Korea Consumer Agency. 2002. Agricultural machine post management research.
19. KSAM. 2007. Agricultural machinery yearbook. Korean Society for Agricultural Machinery. (In korean)
20. KUKJE MACHINNERY. 1998. Kukje tractor instruction manual.
21. Kwak, H. S. 2008. A study on the state measurement, mean life assessment and prediction of the failure probability of the tractor. Functionbay 2008 RECYRDYN User's Conference. (In Korean)
22. Li, G. and K. M. Tsang. 2007. Concurrent relay-PID control for motor position servo systems. Interanational Journal of Control, Automation, and Systems 5(3) :234-242.

23. Lee, W. H., J. N. Choi, J. K. Kim, and H. S. Hwang. 1998. Rule-based controller by modified zeigler-nichols tuning. Proceedings of the KIEE 1998 Summer Conference, pp. 775-777. The Korean Institute of Electrical Engineers. (In Korean)
24. Leo Shwab. 1994. Development of a shift quality metric for an automatic transmission. SAE Publication pp. 139-144.
25. LS Cable. 1993. Tractor primary function part diagnosis and measures.
26. Moon, S. E., M. S. Kim, H. Yeo, S. H. Hwang, H. S. Kim, H. L. Song, D. L. Kim, and K. S. Han. 2003. Design and implementation of clutch actuator for automated manual transmissions. Proceeding of the KSAE 2003 Spring Conference, pp.663-669. (In korean)
27. Moreno, L. 1996. Stochastic Optimal Controllers for a DC Servo Motor. Control engineering practice.
28. M. Zhuang. and D. P. Atherton. 1993. Automatic tuning of optimum PID controllers. Control Theory Appl., 140, pp. 216-224.
29. Ogata. 2001. Modern Control Engineering. Perntice Hall. New Jersey.
30. Quanan Huang, Huiyi Wang. 2004. Study of DSP-based measuring technique of jerk. SAE Publication pp. 109-114.
31. Seong Y. H. 2005. Wavelet-based Noise reduction filter for 3-dimensional Computed Tomography brian angiography. Catholic University master's thesis.
32. Sim, S. Y., Y. C. Kim, W. S. Ryu, J. S. Kim, and H. S. Kim. 2007. Development of automatic transmission SQ simulator. Proceeding of the KSAE 2007 Spring Conference, pp.872-877. (In korean)
33. Singh G. K. 2003. Vibration signal analysis using wavelet transform for isolation and identification of electrical faults in induction machine. Electric Power Systems Research, 68(2):119-136.
34. Song, C. S., and S. H. Lee. 2007. A study on the design parameter of a hydraulic shift actuator of an AMT. Journal of the Korean Society for Precision Engineering, 24(10): 75-82. (In Korean)

35. Suzanne D. S. 2007. Transmission characteristics of suspension seats in multi-axis vibration environments. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38(5):434-446.
36. Tong Yang Moolsan company. 1998. Tong Yang tractor instruction manual.
37. Whiting, I. 1998. Aspects of control and similar simple controllers in hydraulics applications. *COLLOQUIUM DIGEST*.
38. Yu, G. 2004. Optimal Positioning Control of a DC Servo Motor using Sliding Mode. *IEEE International Conference on Control Applications*.
39. 강민수. 2003. 동력경운기-트레일러 시스템의 3차원 진동특성. 한경대학교 석사학위논문.
40. 강서익, 김동규, 박호. 2004. 궤도차량용 자동변속기의 변속충격에 관한 연구. *한국공작기계학회 논문집* 13(1):100-106.
41. 강서익, 박 범, 박 호. 2000. 자동변속기 변속충격에 의한 변속감의 정량화연구. *한국기계기술학회지* 2(2):195-200.
42. 강서익, 박호, 박범. 2000. 자동변속기 변속충격에 의한 변속기의 정량화연구. *한국농업기계학회지* 2(2): 195-200.
43. 강성봉. 1994. 트랙터의 기관속도 및 변속비의 자동제어에 관한 연구. 서울대학교 박사학위 논문.
44. 강형식. 1997. DC 모터 PID 제어기 설계에 관한 연구. 충남대학교 석사학위논문.
45. 공진영, 송창섭. 2006, AMT 차량의 변속제어 특성에 관한 연구. *한국정밀공학회지* 23(3): 86-93.
46. 공진영. 2006. AMT 차량의 변속제어 특성에 관한 연구. 한양대학교.
47. 광희성. 2008. 트랙터의 고장확률 예측과 평균수명 계산 및 상태진단시스템에 관한 연구. *Functionbay 2008 RECYRDYN User's Conference*.
48. 권욱현, 이영일. 1991. Ziegler-Nichos 방법을 이용한 이산형 PID 제어기의 자동동조. *대한전기학회* 40(8):774-781.
49. 김관수, 이교일, 정규홍, 허재웅. 2002. 건설차량용 자동변속기의 변속제어기 설계. *한국자동차공학회 2002년도 춘계학술대회 논문집* pp. 945-950.

50. 김권섭, 이오걸, 김상호, 고태언. 1996. PID 제어기의 자기동조를 이용한 직류 서보전동기의 위치제어. 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp. 1113-1115.
51. 김덕호, 신병환, 이교일, 허재웅. 1999. 속도 및 가속도 추정 정보를 이용한 자동변속기 변속제어에 관한 연구. 대한기계학회 춘계학술대회 논문집 pp. 167-174.
52. 김도형. 2005. DC Motor 입출력 데이터를 이용한 실시간 Auto-Tuning PID 제어기의 구현. 순천향대학교 석사학위논문.
53. 김동희, 오시창, 이증화, 신위재. 1995. 퍼지 P-I-D 제어기를 이용한 교류 서보모터의 속도 제어. 대한전자공학회 학술발표회 논문집 4(2):165-168.
54. 김병만. 2000. 역동역학을 이용한 DC모터의 속도제어. 한국박용기관학회지.
55. 김보현. 1997. 자동변속차량의 변속충격 완화를 위한 엔진속도제어기 설계. 한양대학교 석사학위논문.
56. 김석곤, 김광홍, 김준홍, 조병학. 2000. 원자력발전소 증기발생기 세관 세정용 로봇의 고정밀 DC 모터 제어. 전력전자학회 2000년 학술대회 논문집 pp. 721-724.
57. 김용주, 이상현, 최철환, 김상현, 최정웅, 정진희, 김진영, 이대현, 최창현. 2010. 트랙터 전후진 변속 제어를 위한 전동식 액추에이터 개발. 한국농업기계학회 동계학술대회논문집 pp. 91-97.
58. 김은성. 2003. 자동화 수동 변속기 장착 차량의 해석. 한양대학교.
59. 김인환. 1999. 퍼지 PID제어기를 이용한 비선형 유압시스템의 제어. 한국박용기관학회지.
60. 김재원, 박영필. 1991. DC 서보모터의 퍼지제어 특성연구. 대한기계학회 춘추학술대회 1(1):246-249.
61. 김종근, 김주식, 김홍규. 2008. 전달함수 합성법에 의한 필터 보상형 PID 제어기 설계. 2008. 조명·전기설비학회논문지 22(9): 88-93.
62. 김종민. 2008. 자동화 수동변속기의 변속성능 향상을 위한 클러치 제어. 한양대학교 석사학위논문.
63. 김철한. 2001. 이중 2차코일과 선형화 프로세스를 이용한 Long Range 선형성을 가진 LVDT에 관한 연구. 동아대학교 석사학위논문.

64. 김현기, 이용희, 이천희. 2004. DC 모터 시스템에서 PID를 이용한 FPGA 구현. 전자공학회지 41(2): 17-24.
65. 도규철, 김호룡. 1994. 자동 변속기 변속 제어를 위한 모델링과 제어기의 최적 설계. 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집 pp. 332-337.
66. 문상은, 김민성, 여훈, 황성호, 김현수. 2003. 자동화 수동변속기용 클러치 액추에이터 설계 및 제작. 한국자동차공학회 춘추계 학술대회 논문집 pp.663-669
67. 박경석, 이종화, 박진일. 2005. 스톱 전자제어 방식에서 제어 특성이 차량의 가/감속 시 운전성에 미치는 영향. 한국자동차공학회논문집 13(6): 113-119.
68. 박경석, 이종화, 박진일. 2006. 스톱 전자제어 방식 M/T차량의 가/감속 시 운전성 향상에 관한 연구. 한국자동차공학회논문집 14(2): 151-157.
69. 박상준, 류완식, 송준걸, 송세일, 황성호, 김현수. 2004. AMT 성능 시뮬레이터 개발과 변속 특성 해석. 한국자동차공학회 춘추계학술대회 논문집 pp. 810-815.
70. 박치태. 2007. PID제어기를 이용한 DC서보모터의 속도제어에 관한 연구. 충북대학교.
71. 배규한. 2002. 고정출력형 Hybrid Puzzy-PID 제어기 설계. 동아대학교 석사학위논문.
72. 송신우. 2002. 자율이동로봇의 주행기록계 오차보상에 관한 연구. 아주대학교 석사학위논문.
73. 송재복, 김효준, 민덕인. 1996. PID 제어에 기초한 스톱 액추에이터의 위치 제어 시스템 개발. 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집 pp. 190-197.
74. 송창섭, 이상현. 자동화 수동변속기의 변속 조작용 유압 액추에이터의 설계 변수에 관한 연구. 한국정밀공학회지 24(10):75-82.
75. 안상준. 2003. 자동화 변속기의 변속제어 알고리즘 및 이상진단 기법 개발. 서울대학교 석사학위논문.
76. 우미나. 2010. 전자식 액추에이터를 이용한 수동변속기의 전후진 자동 변속 제어 시스템 개발. 성균관대학교 석사학위논문.
77. 우미나, 이대현, 최창현, 김용주, 최철환, 김현명, 최정웅, 김상현. 2011. 전자식 액추에이터를 이용한 클러치 자동제어 시스템 개발. 한국농업기계학회 학술대회논문집 pp. 151-157.

78. 이교일, 정규홍. 1996. 자동변속기 변속품질향상을 위한 경사부하추정기법. 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집 pp. 120-127.
79. 이교일, 정현술, 정순배, 강지윤. 1992. 변속장치의 전자제어화 동향-변속제어 알고리즘을 중심으로-. 한국자동차공학회 학술강연초록집 pp. 67-76.
80. 이무재. 2003. DC Servo Motor 속도제어를 위한 Fuzzy PID 제어기 설계. 호서대학교.
81. 이상민, 김태언, 조용성, 손영익, 임영도. 2002. 유전 알고리즘을 이용한 PID 계수 자동조정 에 의한 DC 서보 모터 속도 제어. 한국지능시스템학회 학술발표 논문집 12(2):71-74.
82. 이상용. 2003. PID제어기 설계법. 인하대학교 출판부.
83. 이상현. 2006. AMT 제어 알고리즘 및 클러치 제어에 관한 연구. 한양대학교.
84. 이성철. 2005. DC 서보모터의 PID제어에 관한 연구. 충주대학교.
85. 이수룡, 이운형, 안종갑, 손정기, 류기탁, 소명옥. 2009. 시간지연을 갖는 불안정한 시스템의 PID 제어. 한국마린엔지니어링학회지 33(5): 721-728.
86. 이영일, 권욱현. 1991. Ziegler-Nichos방법을 이용한 이산형 PID제어기의 자동동조. 대한전기학회지 40(8):774-781.
87. 이은오. 2000. 반복 학습 제어 방법에 의한 DC 서보 모터 속도 제어기의 PID 이득 자동조정 프로그램 기법. 단국대학교.
88. 이은행. 1998. PID 제어기를 이용한 DC모터 위치제어. 충북대학교 석사학위논문.
89. 이진혁. 1994. 자기 동조 퍼지 논리 제어기에 관한 연구. 광운대학교 석사학위논문.
90. 장영학. 1999. Matlab/Simulink를 이용한 DC 서보 전동기의 속도제어에 관한 시뮬레이터 개발. JOURNAL OF THE M.N.U. ENGINEERING RESEARCH INSTITUTE.
91. 장효환, 전윤식. 1998. 자동변속기의 변속과도특성 해석. 대한기계학회 논문집 22(3):654-662.
92. 정규홍. 1998. 자동변속기 변속제어 시 관성영역에서 출력축 토크와 터빈 각가속도의 상관관계. 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집 pp. 962-967.

93. 정순현. 2002. DC모터 속도제어를 위한 마이크로 프로세서 응용 Relay 자동동조 PID제어기 설계. 경남대학교 석사학위논문.
94. 정연우, 최수열, 정영호, 조용갑, 임영도, 최부귀. 1996. 유전 알고리즘과 PID 제어를 이용한 DC Motor의 위치제어에 관한 연구. 대한전자공학회 학술발표회 논문집 5(1):176-182.
95. 정영준. 2004. 가속도 센서를 이용한 충격 위치 추정 기법에 관한 연구. 울산대학교 석사학위논문.
96. 지정훈. 2004. 자동화 변속기 변속 장치 및 클러치 제어기 개발. 서울대학교 석사학위논문.
97. 천희영, 박귀태, 송명현, 여형기, 고보형, 이상락. 1992. 새로운 스위칭 함수를 이용한 브러시리스 직류 전동기의 가변 구조 위치 제어기 설계. 대한전기학회 41(12): 1440-1450.
98. 최석현. 2007. 수전달 진동 측정에서의 불확도 저감에 대한 연구. 아주대학교 박사학위 논문.
99. 최종섭, 井上英二. 2001. 스펙트럼 해석에 의한 자탈형 콤팩트의 진동 특성 고찰. 한국농업기계학회지 26(1): 11-20.
100. 최창현, 우미나, 이대현, 김용주, 정진희. 2010. 트랙터의 전후진 자동변속을 위한 전자식 액추에이터의 위치제어 시스템 개발. 바이오시스템공학 35(4):224-230.
101. 한국농업기계학회. 2007. 농업기계연감.
102. 한국표준협회. KS B 0710-1(기계적 진동 및 충격-인체 피폭 진신 진동의 평가).
103. 한기원, 류완식, 이상원, 전재욱, 황성호. 2005. 임베디드 시스템을 이용한 AMT용 자동 클러치의 제어 성능 평가. 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집 pp. 927-934.
104. 황영호, 이안용, 김홍필, 양해원. 2006. 퍼지뉴럴네트워크를 이용한 서보모터 드라이브의 강인 적응 위치제어. 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp. 1834-1835.

## 주 의

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