

321062  
-2

대형 (75kW 이상) 트랙터용 스마트 자동 조향 시스템 개발

2023

농림축산식품부  
농림식품기술기획평가원

보안 과제( ), 일반 과제( O ) / 공개( ), 비공개( O )발간등록번호( O )  
첨단농기계 산업화 기술 개발 사업 2022년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004335-01

대형(75kW 이상) 트랙터용 스마트 자동 조향 시스템 개발

2023.05.26.

주관연구기관 / 하이드로텍(주)

협동연구기관 / 대동(주)

협동연구기관 / 네이스코(주)

협동연구기관 / 경북대학교

농림축산식품부  
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “대형(75kW 이상) 트랙터용 스마트 자동 조향 시스템 개발”  
(개발기간 : 2021.04.01 ~ 2022.12.31) 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2023. 05. 26.

주관연구기관명 : 하이드로텍(주)      김학영(인)  
공동연구기관명 : 대동(주)      김준식, 원승현 (인)  
공동연구기관명 : 네이스코(주)      강인준 (인)  
공동연구기관명 : 경북대학교      공성호 (인)



주관연구책임자 : 서재영

공동연구책임자 : 서진, 채홍무, 김완수

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

최종보고서										보안등급			
										일반[ <input checked="" type="checkbox"/> ], 보안[ <input type="checkbox"/> ]			
중앙행정기관명		농림축산식품부			사업명		사업명		첨단농기계 산업화 기술 개발 사업				
전문기관명 (해당 시 작성)		농림식품기술기획평가원					내역사업명 (해당 시 작성)		농기계 성능 고도화				
공고번호		제 농축 2021-72호			연구개발과제번호		321062-2						
기술분류	국가과학기술 표준분류		LB0801	100%							%		
	농림식품과학기술분류		RC0101	%							%		
연구개발과제명		국문	대형 (75kW 이상) 트랙터용 스마트 자동 조향 시스템 개발										
		영문	Development of smart automatic steering system for heavy-duty (75kW or more) tractors										
주관연구개발기관		기관명		하이드로텍			사업자등록번호		514-81-49836				
		주소		(42697) 대구 달서구 성서로 68길 3			법인등록번호		170111-0256786				
연구책임자		성명		서재영			직위		책임연구원				
		연락처		직장전화		휴대전화		국가연구자번호					
연구개발기간		전체		2021. 04. 01 - 2022. 12. 31( 1년 9개월)									
		1년차		2021. 04. 01 - 2021. 12. 31( 9개월)									
		2년차		2022. 01. 01 - 2022. 12. 31( 12개월)									
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원		기관부담		그 외 기관 등의 지원금				연구개발비 외 지원금			
		연구개발비		연구개발비		지방자치단체		기타( )				합계	
		현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계		
총계		793,000		234,600					793,000	234,600	1,027,600		
1년차		340,000		100,800					340,000	100,800	440,800		
2년차		453,000		133,800					453,000	133,800	586,800		
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명		책임자		직위		휴대전화		전자우편		비고	
												역할 기관유형	
		공동연구개발기관		대동공업(주)		서진		부장					
		네이스코(주)		채홍무		책임연구원						공동 중소기업	
		경북대학교		김완수		조교수						공동 대학	
연구개발담당자 실무담당자		성명		정재훈			직위		주임연구원				
		연락처		직장전화		휴대전화		국가연구자번호					

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2023년 2월 23일

연구책임자: 서재영

주관연구개발기관의 장: 하이드로텍(주)

공동연구개발기관의 장: 대동공업(주)

공동연구개발기관의 장: 네이스코(주)

공동연구개발기관의 장: 경북대학교

김학영 (직인)

김준식, 원유학 (직인)

강인순 (직인)

공성호 (직인)

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

## < 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명	첨단농기계 산업화 기술개발 사업			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)																
내역사업명 (해당 시 작성)	농기계 성능 고도화			연구개발과제번호		321062-2														
기술분류	국가과학기술 표준분류	LB0801	100%		%	%														
	농림식품 과학기술분류	RC0101	100%		%	%														
연구개발과제명	대형 (75kW 이상) 트랙터용 스마트 자동 조향 시스템 개발																			
전체 연구개발기간	2021. 04. 01 ~ 2022. 12. 31																			
총 연구개발비	총 1,027,600천원 (정부지원연구개발비: 793,000천원, 기관부담연구개발비 : 234,600천원, 지방자치단체지원연구개발비: 천원, 그 외 지원연구개발비: 천원)																			
연구개발단계	기초[ ] 응용[ ] 개발[✓] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]		기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준(1단계) 종료시점 목표(7단계)															
연구개발과제 유형																				
연구개발과제 특성																				
연구개발 목표 및 내용	최종 목표	스마트 자동 조향 시스템 개발 및 상용화 기술 확보																		
	전체 내용	<p>○ 대형 트랙터용 국산화 스마트 자동 조향 시스템 설계 및 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고부하 대응이 가능한 유압식 조향 시스템 개발</li> <li>- 대형 트랙터용 국산화 스마트 자동조향시스템의 구동부 모델 시뮬레이션 및 최적 설계</li> <li>- 빠른 조향기능 및 소프트스톱, 드리프트 방지 기능 구현</li> </ul> <p>○ 스마트 자동 조향 밸브 설계, 해석, 제작 및 시험 평가</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 조향 밸브 및 제어기 모듈 일체형 구조 개발</li> <li>- 솔레노이드 반응속도 100Hz 이상의 비례제어밸브 개발</li> <li>- 고부하 유압식 조향 밸브 개발</li> </ul> <p>[주요사양]</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">항목</th> <th style="width: 40%;">사양</th> <th style="width: 30%;">비고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>최대 입력 유량</td> <td style="text-align: center;">60 l/min</td> <td></td> </tr> <tr> <td>최고 압력</td> <td style="text-align: center;">210bar</td> <td></td> </tr> <tr> <td>기본 구조</td> <td style="text-align: center;">매니폴드 구조</td> <td></td> </tr> <tr> <td>구성품</td> <td>우선밸브, 충격 및 흡입 밸브 내장</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>○ 스마트 자동 조향 제어기 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- J1939 CAN 프로토콜 적용 기술 개발</li> <li>- 제어밸브블록 및 제어기 일체형 시스템개발</li> <li>- 국산화 스마트 자동 조향 시스템 개발</li> </ul> <p>○ 자동 조향 시스템 개발 및 대형 (75kW이상)트랙터 적용</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국산 자동 조향 시스템 개발 및 트랙터 적용</li> <li>- 자가 진단 알고리즘 기반의 Safety 기능 개발</li> </ul> <p>○ 대형 트랙터용 자동 조향시스템의 실증 및 상용화기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 실증을 통한 대형 트랙터용 스마트 자동 조향 시스템의 성능 평가 및 보완</li> <li>- 개발된 대형 트랙터용 스마트 자동 조향 시스템의 국내 현지 적응성 및 경제성 평가</li> </ul>					항목	사양	비고	최대 입력 유량	60 l/min		최고 압력	210bar		기본 구조	매니폴드 구조		구성품	우선밸브, 충격 및 흡입 밸브 내장
항목	사양	비고																		
최대 입력 유량	60 l/min																			
최고 압력	210bar																			
기본 구조	매니폴드 구조																			
구성품	우선밸브, 충격 및 흡입 밸브 내장																			

연구개발 목표 및 내용	1차년도	목표	선행 기술 조사 및 Proto 제작
		내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 선진사 기술동향 분석 (특허조사) <ul style="list-style-type: none"> <li>- 대동 IPMS와 WIPS 특허 DB 연계 온라인 키워드 특허 검색 및 분석</li> <li>- 해외 선진사 제품 Benchmarking 조사</li> </ul> </li> <li>○ 자동 조향 시스템 Concept 및 Layout 설계 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 트랙터 Steering System 검토</li> <li>- 특허 회피방안 마련 및 자동 조향 시스템 설계</li> <li>- 자동 조향 제어 기능 구현을 위한 구성 및 설계</li> <li>- 자동 조향 제어 S/W, H/W 개발 및 Proto제작, 성능 평가</li> <li>- 자동 조향 밸브 설계 및 Proto 제작, 기본성능 평가</li> </ul> </li> <li>○ 자동조향 시스템의 구동부 모델 시뮬레이션 개발 및 해석</li> <li>○ 자동 조향 시스템 차량 탑재 Layout 및 개선 검토</li> </ul>
	2차년도	목표	개선 Pilot 제작, 실증 평가 및 내구성 시험, 경제성 평가
		내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 자동 조향 시스템 Proto 실차 기본 성능평가 및 Pilot추진 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Proto 문제점 반영 개선설계</li> <li>- Pilot 추진 및 성능 평가</li> </ul> </li> <li>○ 자동 조향 시스템 차량 성능 평가 및 실증 평가</li> <li>○ 자동 조향 시스템 시뮬레이터 시험기 제작, 내구성 시험</li> <li>○ 시뮬레이터 모델 검증 및 해석결과 활용을 통한 자동 조향 유압시스템 성능 최적화</li> <li>○ 자가 진단 알고리즘 기반의 Safety 기능 보완</li> </ul>

연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 1차년도 성과 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 자동 조향 시스템 Proto 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>→ 해외 선진사 벤치마킹을 통한 기술 분석</li> <li>→ 자동 조향 시스템 설계 완료</li> <li>→ 자동 조향 밸브 설계 및 Proto 제작 완료</li> <li>→ 자동 조향 제어기 설계 및 Proto 제작 완료</li> <li>→ 자동 조향 제어기 S/W 개발</li> <li>→ 자동 조향 시스템 성능 평가 및 공인인증 평가 완료</li> </ul> </li> <li>- 트랙터 탑재 Lay-out 확정 <ul style="list-style-type: none"> <li>→ 차량 장착성 검토 및 호환성 검증</li> </ul> </li> <li>- 자동 조향 시스템 시뮬레이션 모델 개발 및 해석</li> <li>- 신규 고용 창출 : 2명</li> <li>- 논문 : 1건 (비SCI)</li> <li>- 특허 : 출원 2건</li> <li>- 학술발표 : 2건</li> </ul> </li> <li>○ 2차년도 성과 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 자동 조향 시스템 Pilot 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>→ 자동 조향 시스템 Proto 문제점 반영 Pilot 개선 설계 완료</li> <li>→ 자동 조향 제어 알고리즘 및 펌웨어 최적화 설계 완료</li> <li>→ 자동 조향 제어 하드웨어 설계 보완 완료</li> <li>→ 자가 진단 알고리즘 기반의 Safety 기능 적용 완료</li> </ul> </li> <li>- 자동 조향 시스템 시뮬레이터 시험기 제작, 내구성 시험</li> <li>- 자동 조향 시스템 탑재 트랙터 1대 제작</li> <li>- 자동 조향 시스템 시뮬레이션 모델 검증 완료</li> <li>- 해석 결과 활용을 통한 자동조향 유압시스템 성능 최적화 완료</li> <li>- 신규 고용 창출 : 4명</li> <li>- 논문 : 2건 (비SCI)</li> <li>- 특허 : 출원 1건</li> <li>- 학술발표 : 4건</li> </ul> </li> </ul>
--------	---

<p>연구개발성과 활용계획 및 기대 효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 활용계획 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내 완성차 메이커에 대형 자율 주행 트랙터에 활용</li> <li>- 농기계 기반으로 건설기계, 산업장비, 군용등 산업분야 전체에 적용</li> <li>- 자동 조향 시스템으로 전자제어, 자기압 제어등 차세대 조향 시스템 개발에 활용</li> <li>- 부품 및 시스템 수명해석 기술로 활용</li> <li>- 제어기 알고리즘 최적화와 자동 조향 밸브의 설계, 생산기술 확보에 활용</li> </ul> </li> <li>○ 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 무역 수지 개선 및 국내 농기계업체의 수출 경쟁력 확보</li> <li>- 세계 농기계 시장 대응 가능한 기술 확보</li> <li>- 선진국과의 기술 격차 완화</li> <li>- 기술적 파급효과가 크며 지게차, 산업기계 및 건설장비 분야 확대 가능</li> <li>- 국내 산업 활성화 및 신규 고용 창출</li> <li>- 기술후발 국가와의 기술적 차별성</li> <li>- 농가 경제적 부담 경감 및 국내 산업 기술 경쟁력 확보</li> </ul> </li> </ul>												
<p>연구개발성과의 비공개여부 및 사유</p>													
<p>연구개발성과의 등록·기탁 건수</p>	<p>논문</p>	<p>특허</p>	<p>보고서 원문</p>	<p>연구 시설 ·장비</p>	<p>기술 요약 정보</p>	<p>소프트 웨어</p>	<p>표준</p>	<p>생명자원</p>		<p>화합물</p>	<p>신품종</p>		
<p>연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황</p>	<p>4</p>	<p>3</p>						<p>생명 정보</p>	<p>생물 자원</p>		<p>정보</p>	<p>실물</p>	
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>대형트랙터용 자동조향 시스템</p>		<p>대형 트랙터</p>		<p>국산화</p>		<p>자동조향 밸브</p>		<p>자동조향 제어기</p>				
<p>영문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>Automatic Steering System</p>		<p>Heavy-duty Tractor</p>		<p>Localization</p>		<p>Automatic Steering Valve</p>		<p>Automatic Steering Controller</p>				

## < 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

별첨 자료 (참고 문헌 등)

# 1. 연구개발과제의 개요

## 1.1 연구 개발 제품 명칭 및 제품 구성도

- ① 제품 명칭 : 트랙터용 자동 조향 시스템 (Automatic Steering System for Tractors)
- ② 본 과제에서 개발한 자동 조향 시스템은 레고 블록(모듈)형 설계 Concept로 기존 출시되는 트랙터에 연구 개발 결과물을 추가 장착(Add on)가능하도록 설계된 매우 유연한 구조. 유연성과 다양한 변형을 바탕으로 자동 조향 시스템을 사용하는데 안정성이 높은 제어 솔루션이 제공되고, 유압밸브와 제어시스템은 일체형으로 구성되며, CAN통신 기반의 시스템 구현으로 빠른 응답과 정밀한 제어가 가능하도록 개발되어짐.
- ③ 제품 구성도

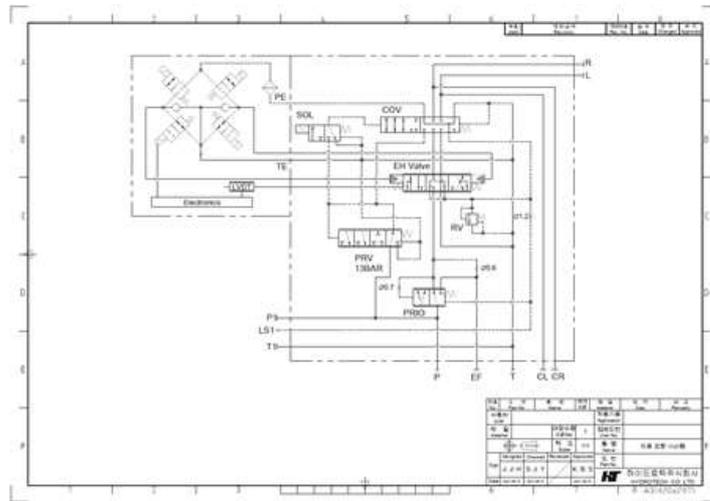


그림 1. 연구 개발 자동 조향 시스템

### ㉞ 부품, 소재의 형상 및 명칭

트랙터용 자동 조향 시스템은 크게 자동 조향 전자제어 유압밸브 (Automatic Steering Electronically Controlled Hydraulic Valve), 자동 조향 컨트롤러 (Automatic Steering Controller)로 구성됨.

### ㉞ 자동 조향 전자제어 유압밸브

- ㉞ 낮은 히스테리시스, 우수한 좌/우 대칭동작 및 빠른 응답이 가능하고 낮은 압력손실로 연료 절약이 가능함.

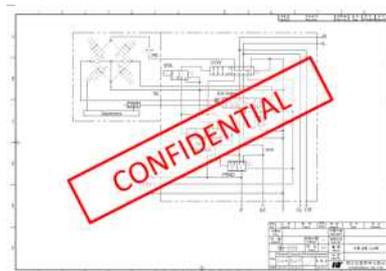


그림 2. 자동 조향 전자제어 유압밸브 및 회로도

### ㉞ 주요 부품 형상 및 명칭

㉠ 밸브바디 (Valve Body)

고부 하에서 구성 품을 보호해주는 역할을 하며 트랙터에 장착, 조립이 가능한 역할도 함. 자동 조향 전자제어 밸브가 구성될 수 있도록 지지부 역할을 하며 내부에 유로가 형성되어 각종 구성 품을 연결하는 역할을 함.



그림 3. 밸브바디

㉡ 스푼 (Spool)

공급되는 유압유의 토출을 결정해주고 토출 포트의 방향을 결정

㉢ 전자 비례 제어 솔레노이드 밸브 (Electronic Proportional Solenoid)

스푼, 슬리브, 코일 등으로 구성되어 공급되는 압유(壓油)를 전류 신호에 따라 비례적으로 제어하여 토출함으로써 액츄에이터의 제어가 가능

㉣ Priority Valve

공급되는 유량을 어떤 압력조건에서도 일정유량을 제어부에 공급하는 밸브로 오리피스(Orifice)의 구멍 크기에 따라 제어유량 조절이 가능

㉤ Cut-off Valve, Shock Valve

제어 장치로 유량이 공급되어 차량의 이상 현상이 발생할 경우 Cut-off상태로 유량을 완전 차단하여 차량을 안전하게 보호하는 기능

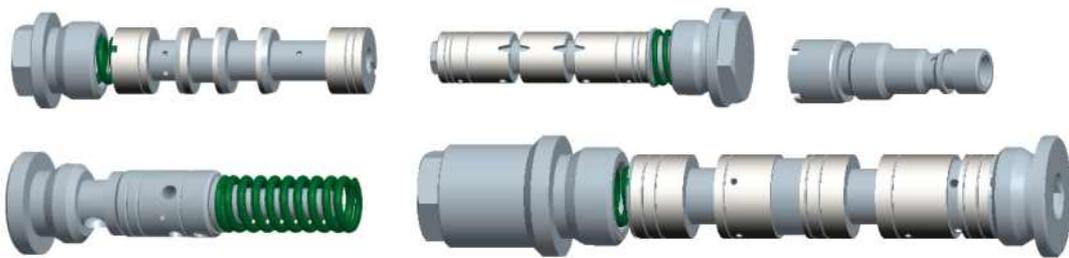


그림 4. 스푼 및 밸브부품

㉥ 자동 조향 제어기 컨트롤러

㉦ 빠른 조향이 가능하도록 제어하고 가변 조향 비율, 속도 제어가 가능

㉧ 기능 블록 다이어그램을 통해 CAN통신 프로토콜 매칭이 필요하며 입출력 인터페이스를 정의된 하드웨어 설계기술이 요구.



그림 5. 자동 조향 컨트롤러 및 CAN 통신 프로토콜 매칭

## 1.2 용도와 특징

- ① 본 기술 개발을 적용한 최종 제품은 “스마트 조향 시스템”으로 주 용도는 대형 (75kW 이상) 트랙터용이며 기타 저 마력대 중소형 트랙터까지 확대 적용이 가능.
  - ㉠ 트랙터
    - ㉡ 트랙터의 차량 구동계 (조향 장치, 전/후진 변환장치, PTO 구동장치, 4WD 구동장치)중 조향 실린더 방향 제어에 사용.
  - ㉢ 기타 적용 가능 분야
    - ㉣ 콤팩트 및 이앙기, 건설기계 등 적용되어 자율주행 구현 가능.
- ② 특징
  - ㉠ 각종 센서 등으로부터 작업 환경인식 정보가 입력된 자동 조향 제어기를 통해 신호를 받아 자율 주행을 위한 트랙터의 방향 제어.
  - ㉢ CAN통신을 통한 응답성과 제어성이 매우 우수하며, 유압 밸브에서는 유량 손실과 압력손실이 최소화 되도록 함.
  - ㉣ 자동 조향 밸브와 자동 조향 제어기가 모듈 구조로 콤팩트하여 차량 탑재에 대한 공간 최적화가 가능하며 반응성과 제어성이 우수.
  - ㉤ 자동 조향 전자제어 밸브는 콤팩트한 구조가 요구되며 구조적 안정성에 따른 최고허용압력이나 최대 유량으로 제한받기 때문에 요구되는 특성을 고려한 최적 설계.
  - ㉥ 자동 조향 제어기는 자율주행 구현시 신뢰할 수 있는 안전 기능과 높은 경고성을 요구한다. 또한, 위급상황 및 차량의 안전사고 방지를 위한 Safety 자가진단 기능이 구현.

## 2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

### 2.1 기술개발 추진 일정

#### (1) 1차년도 추진 일정

1차년도																
일련 번호	연구내용	월별 추진 일정												기간 (주)	책임자 (소속기관)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	특허 조사 및 분석				■	■	■	■							8	권병수 (하이드로 텍)
2	선진사 기술분석 / Benchmarking 조사				■	■	■	■							12	
3	자동 조향 시스템 Concept 및 Lay-out 설계					■	■	■							8	
4	자동 조향 시스템 상세 설계					■	■	■	■						12	
5	성능 평가 항목 / 방법 정의							■	■						6	
6	Bench 검토 및 Up-Grade							■	■	■					6	
7	자동 조향 시스템 Proto 추진								■	■	■	■			12	
8	Proto 조립 및 성능 평가												■	■	10	
1	자동 조향 시스템 유압회로 검토				■	■	■	■							8	서진 (대동공업)
2	차량 유압시스템 영향성 검토					■	■	■	■						12	
3	자동 조향 시스템 Proto Layout 구성 및 검토									■	■	■	■	■	16	
4	연결 배관부 사양 검토												■	■	8	
1	자동 조향 제어기 개발 계획수립				■	■									4	채홍무 (네이스코)
2	B/M 및 수요기업 요구사항 검토 및 분석				■	■	■	■							4	
3	자동 조향 제어기 벤치 선정 및 입출력 특성 분석					■	■	■							4	
4	제어기 H/W 설계 제작							■	■	■					12	
5	제어기 S/W 설계								■	■	■				8	
6	입출력 시뮬레이터 설계 제작									■	■	■			8	
7	부품 성능 시험 및 공인시험											■	■	■	12	
8	완료 보고												■	■	8	

1차년도																
일련 번호	연구내용	월별 추진 일정												기간 (주)	책임자 (소속기관)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	시뮬레이션 설계인자 도출				■	■	■	■							12	김완수 (충남대학 교)
2	시뮬레이션 모델 Lay-out 설계						■	■	■	■	■	■			16	
3	자동조향 시스템 요소부품 모델 개발						■	■	■	■	■	■	■		20	
4	시뮬레이션 모델 최적화								■	■	■	■	■		12	
5	시뮬레이션 해석 및 결과 분석										■	■	■	■	12	

■ 당초계획

■ 개발내용

(2) 2차년도 추진 일정

2차년도																
일련 번호	연구내용	월별 추진 일정												기간 (주)	책임자 (소속기관)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Proto 차량 기본 성능평가 결과 검토	■	■	■	■										8	서재영 (하이드로 텍)
2	Proto 문제점 반영 Pilot 개선 설계		■	■	■	■									10	
3	Pilot 부품 추진				■	■	■	■							10	
4	Pilot 조립 및 성능 평가							■	■	■					8	
5	공인인증 입회 시험									■	■	■	■	■	22	
6	시스템 검증 시뮬레이터 제작					■	■	■	■						12	
7	시뮬레이터 시스템 성능평가								■	■	■	■	■		12	
8	시스템 검증 내구 시험										■	■	■	■	12	
1	실차 기본 성능 확인용 Proto 기대 제작	■	■	■	■										8	서진 (대동공업)
2	기본 성능 시험			■	■	■									8	
3	성능 평가 결과 공유				■	■	■								4	
4	Pilot 기대 제작					■	■	■	■	■	■				16	
5	기대 성능 평가 실증 시험								■	■	■	■	■		12	
6	공인 인증 평가										■	■	■	■	12	
1	자동 조향 제어기 Proto 문제점 조사	■	■	■	■										12	채홍무 (네이스코)
2	H/W 개선 설계			■	■	■	■	■							12	
3	성능 시험 및 S/W 튜닝	■	■	■	■	■	■	■	■	■					28	
4	자동 조향 제어기 Pilot 부품 제작						■	■	■	■	■				12	
5	입출력 시뮬레이터 개선 설계							■	■	■	■				8	
6	주요평가 방법에 따른 성능 평가 항목 결정									■	■				4	
7	공인 인증 시험										■	■	■	■	12	
8	완료 보고											■	■	■	8	

2차년도																
일련 번호	연구내용	월별 추진 일정												기간 (주)	책임자 (소속기관)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	개발품 사양 반영 시뮬레이션 단품부품 모델 개발	■	■	■	■	■	■	■	■						12	김완수 (경북대학 교)
2	개발품 사양 반영 시뮬레이션 통합모델 개발			■	■	■	■	■	■						12	
3	완성차 적용 자동조향 성능 계측					■	■	■	■	■					12	
4	시뮬레이션 모델 검증						■	■	■	■	■	■	■	■	12	
5	자동조향 유압시스템 최적화										■	■	■	■	16	

## 2.2 기술개발 추진 목표

### (1) 1차년도 개발 목표

#### ① 주관기관 : 하이드로텍(주)

선진사 기술 분석 및 B/M, 자동 조향 시스템 설계 및 Proto 추진

- ㉠ 특허 분석
- ㉡ 해외 선진사 기술 분석
- ㉢ 자동 조향 시스템 및 밸브 Concept 및 Lay-out 설계
- ㉣ 자동 조향 시스템 상세 설계
- ㉤ 자동 조향 시스템 성능 평가 항목/방법 정의
- ㉥ 성능 평가를 위한 Bench 검토 및 Up-Grade
- ㉦ 자동 조향 시스템 및 밸브 Proto 추진, 조립 및 성능평가

#### ② 공동연구기관 : (주)대동

자동 조향시스템 국산화 개발품의 차량 유압시스템 정합성 검토 및 차량 탑재 Lay-out 검토

- ㉠ 자동 조향 시스템의 유압시스템 정합성 및 개선검토
- ㉡ 차량 탑재 Lay-out 및 개선 검토

#### ③ 공동연구기관 : (주)네이스코

스마트 자동 조향 제어기 개발

- ㉠ 제어 알고리즘 연구/분석
- ㉡ 하드웨어 설계 : 벤치 시험을 통한 입출력 특성 분석
- ㉢ 펌웨어 설계 : 1939 CAN 프로토콜 적용, 자가진단 알고리즘 기반의 Safety 기능 개발
- ㉣ 입출력 시뮬레이터 제작
- ㉤ Proto 제작 및 신뢰성 평가

④ 공동연구기관 : 경북대학교

자동 조향 시스템의 구동부 모델 시뮬레이션 개발 및 해석

- ㉠ 시뮬레이션 소프트웨어를 활용한 자동 조향 유압 시스템의 Lay-out 설계 및 요소 부품 모델 개발
- ㉡ 요소 부품에 대한 전체 SI (System Integration)를 통한 자동 조향 시스템 구동부 시뮬레이션 모델 개발 및 해석

(2) 2차년도 개발 목표

① 주관기관 : 하이드로텍(주)

Proto 제품 차량 기본 성능 / Bench 시험시 문제점 반영 설계 및 Pilot 추진

- ㉠ 대동공업과 합동 Proto 제품에 대한 차량 기본 성능 시험
- ㉡ 차량 기본 성능 평가 결과 검토 및 분석
- ㉢ 자동 조향 시스템 Proto 문제점 반영 Pilot 개선 설계
- ㉣ 자동 조향 시스템 Pilot 추진
- ㉤ 자동 조향 시스템 Pilot 조립 및 성능 평가
- ㉥ 자동 조향 시스템 Pilot 공인인증 입회시험 진행
- ㉦ 자동 조향 시스템 검증 시뮬레이터 제작
- ㉧ 자동 조향 시스템 검증 내구 시험
- ㉨ 자동 조향 시스템 개발품에 대한 국내 완성차 업체 적용 호환성 검토

② 공동연구기관 : (주)대동

실증을 통한 대형 트랙터용 스마트 자동 조향 시스템의 성능평가 및 보완 검증용 차량 제작

- ㉠ 자동 조향 시스템 pilot 단품 성능의 차량 성능 적합성 평가
- ㉡ 자동 조향 시스템 pilot 검증용 샘플 추진 및 차량 제작
- ㉢ Pilot에 대한 차량상태에서 성능시험

③ 공동연구기관 : (주)네이스코

스마트 자동 조향 제어기 개발

- ㉠ 제어 알고리즘 및 펌웨어 최적 설계
- ㉡ 자동 조향 제어기 Proto 문제점 검토 및 Pilot 개선 설계
- ㉢ 자동 조향 제어기 Pilot 제작
- ㉣ 자동 조향 제어기 Pilot 신뢰성 평가

④ 공동연구기관 : 경북대학교

자동조향 성능평가를 통한 시뮬레이션 모델 검증

- ㉠ 계측 데이터를 이용한 자동조향 제어밸브 시뮬레이션 모델 해석 결과 검증
- ㉡ 시뮬레이션 모델 검증 및 해석 결과 활용을 통한 자동조향 유압시스템 성능 최적화.

## 2.3 기술개발 추진 실적

[주관연구개발기관명 : 하이드로텍(주)]

(1) 1차년도 추진 실적

- ① 국내외 자동 조향 시스템 관련 특허 조사 (한국, 일본, 미국, 유럽)
  - ㉞ 특허 조사 및 유효 특허 선별
    - ㉠ 자동 조향 시스템과 관련된 특허 중 공개, 등록된 한국, 미국, 일본, 유럽 특허를 대상으로 분석 데이터를 작성함.
    - ㉡ 조사방법 : 대동 특허관리 시스템 및 WIPS 특허 DB를 사용하여 기술현황을 파악하고, 특허분석 전문기관인 다린 국제특허 법률사무소와 협업하여 특허 기술 동향 심층 분석을 진행함.

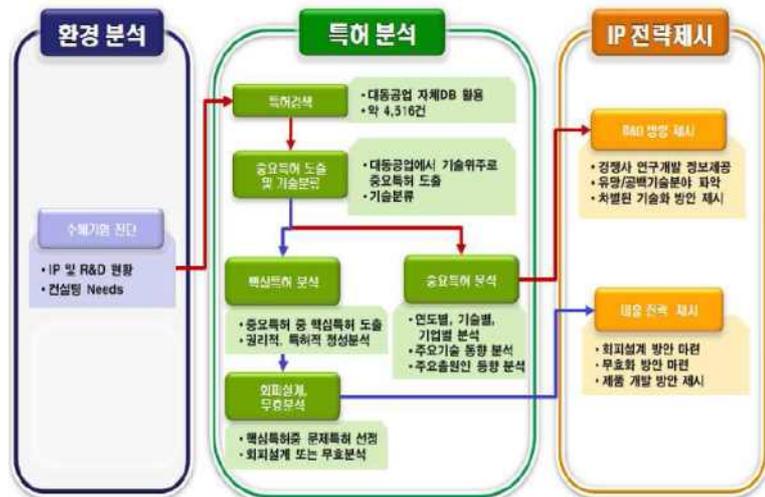


그림 6. 전문기관 특허조사 및 기술동향 분석 의뢰

- ㉢ 특허조사 방법은 대동 특허관리시스템 및 WIPS 특허DB를 사용하여 국가별, 연도별, 기술별 기술내용을 추출하고, 해당 연구과제와 관련도가 높은 유효특허를 선별함. 유효특허 선별 기준은 특허 침해등 문제점 발생 가능성이 있는 문제 특허를 추출하여 최종적으로 검토함.
- ㉣ 내부 특허조사 이외 전문 특허기관과 협업을 통한 관련 특허 및 기술동향에 대해 추가적으로 검토를 진행하였고, 유효 및 핵심 특허에 대한 기술 분석을 진행하고 향후 개발과정에서 발생 우려되는 특허분쟁을 방지하기 위한 방법을 도출함.



1. 특허 분석 DB 및 검색범위

- ◆ 본 특허조사는 농작업 기계의 자율 주행(조향) 시스템의 기본 기술의 개발 주역과 특허의 유효기간을 감안하여, 최근 30(1990년~2021년 현재) 동안 출원공개된 특허를 조사대상으로 하였으며, 주요 출원인(기업)들의 주요 출원국가인 한국(KR), 미국(US), 유럽(EU), 일본(JP)을 대상으로 하였으며 표 기재.
- ◆ 검색 db: wips db를 전주로 검색, 각국db를 보조적으로 사용함

국가	검색어	검색기간	검색자료 범위
한국	KIPRIS	1990.01.01. ~ 2021년 03.31일	공개특허 및 출원 특허
미국	USPTO (USIPAT)	1980.01.01. ~ 2021년 03.31일	공개특허 및 출원 특허
일본	JIPIS (JIPAT)	1980.01.01. ~ 2021년 03.31일	공개특허 및 출원 특허
유럽	ESPRI (EUPAT)	1990.01.01. ~ 2021년 03.31일	공개특허 및 출원 특허

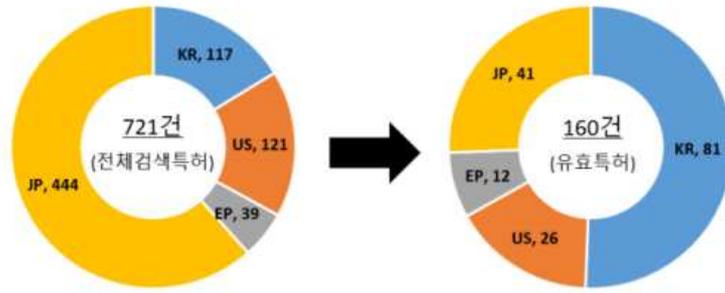
2. 기술 분류 및 중요도 분류

2-1. 기술 분류

기술번호	기술명	요약	ABB	ABB	ABB
자율 주행 제어 기술 (A)	특수형태의 시스템	특수형태의 시스템	AAA	중간도	중간도
	특수 제어 시스템	특수 제어 시스템	AA	중간도	중간도
	특수 제어 방법	특수 제어 방법	AA	중간도	중간도
자율 주행 제어 기술 (B)	특수 제어 방법	특수 제어 방법	AA	중간도	중간도
	특수 제어 방법	특수 제어 방법	AA	중간도	중간도
	특수 제어 방법	특수 제어 방법	AA	중간도	중간도
자율 주행 제어 기술 (C)	특수 제어 방법	특수 제어 방법	AA	중간도	중간도
	특수 제어 방법	특수 제어 방법	AA	중간도	중간도
	특수 제어 방법	특수 제어 방법	AA	중간도	중간도

그림 7. 특허 조사 보고서

㉔ 유효특허 선별 결과



국가별	KR	US	EP	JP	계
유효특허	81	26	12	41	160

- ㉕ 검색된 국내외 특허 721건 (한국117건, 미국121건, 유럽39건, 일본444건)에 대하여 특허요지를 검토하고, 본 과제 기술과는 관련이 없는 특허는 분석 대장에서 제외함.
- ㉖ 특허 유효성(소멸, 거절여부)은 고려하지 않고, 분석 대상에 포함시킴
- ㉗ ‘일반 자동차의 자율 주행기술’, ‘기타 농작업 기계에 속하지 않는 장치’에 대한 특허는 본 대상기술과는 관련성이 낮아서 분석 대장에서 제외함
- ㉘ 주요 경쟁자의 특허출원을 조사하여 유효특허에 포함시키고, 중복특허는 제거함.

㉙ 유효특허에 대한 추가 정밀 조사 실시

㉚ 키워드 : 대동 및 외부 전문가와 협의에 의해 키워드 선정함.

- 1차

국가	검색식
한국	((자동 + auto + 자율 + 오토) * (steer + 스티어링 + 조향 + 주행) * (밸브 + valve )) * AP = [danfoss + eaton + hydac + 신진정밀 + 이턴 + 이튼 + 댄포스 + 하이닥]
일본	((자동 + auto + 자율 + 오토) * (steer + 스티어링 + 조향 + 주행) * (밸브 + valve )) * AP = [danfoss + eaton + hydac + 신진정밀 + 이턴 + 이튼 + 댄포스 + 하이닥]
유럽	((auto+autonomous) * (steer + travel) * (valve)) * AP = [danfoss + eaton + hydac + shinjin]
미국	((auto+autonomous) * (steer + travel) * (valve)) * AP = [danfoss + eaton + hydac + shinjin]

- 2차

국가	검색식
한국	(농기계 + 농업 + 농작업 + agriculture + 트랙터 + 트랙터 + 트랙타 + 트랙타 + tractor + combine)^2(자율 + autonomous + 자동 + auto^(2(주행 + travel + 조향 + steer)
일본	(tractor + combine)*TL = [autonomous^1 (travel + agriculture + work + steer)]
유럽	(tractor + combine)*TL = [autonomous^1 (travel + agriculture + work + steer)]
미국	(tractor + combine)*TL = [autonomous^1 (travel + agriculture + work + steer)]

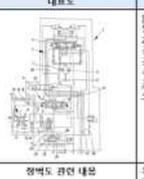
② 협의를 통해 최종 키워드 결정하고, 노이즈제거 및 기술 분류를 진행함. 이후 개발 Concept 및 향후 상세 설계 사양, 도면을 기준으로 중점적으로 분석관리가 필요하다 판단되는 주요특허를 선정하고, 집중 분석을 진행함.

③ 핵심특허선정 : 분석대상 특허가 가지는 법적인 관심(등록여부, 권리존속 기간, 청구항수), 상업적인 관점, 기술적 관점을 주요 인자로 하여 점수를 부여한 후 순위를 매김을 바탕으로 자동조향시스템 기술 분야의 핵심 특허 선정함.

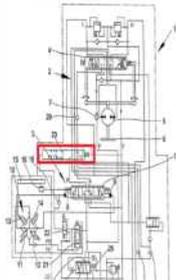
④ 핵심특허 리스트

No.	국가	공개 번호	출원인	발명의 명칭
1	KR	10-2013-0139475	(주)엔맨드솔루션	트랙터 자율 주행 조향 시스템
2	KR	10-2017-0108995	상하이 화차 내비게이션 테크놀로지 엘티디	농기계용 자동 조향 시스템의 유압 제어 밸브 조립체
3	KR	10-2020-0065597	신진정밀(주)	특수 차량용 자동 조향 제어 시스템
4	KR	10-2021-0077386	신진정밀(주)	비상 대응이 가능한 유압식 자율주행 조향 장치
5	JP	2019-166981	YANMAR CO.,LTD	자율 조타 장치 AUTONOMOUS STEERING DEVICE
6	JP	2019-170199	YANMAR CO.,LTD	자율 조타 장치 AUTONOMOUS STEERING DEVICE
7	JP	2017-190119	DANFOSS POWER SOLUTIONS APS	유압식 조향 장치 HYDRAULIC STEERING DEVICE
7-1	US	20170297617	DANFOSS POWER SOLUTIONS APS	유압식 조향 장치 HYDRAULIC STEERING DEVICE
8	US	20180118256	CATERPILLAR	관절식 트럭용 자율 조향 시스템
9	US	20170191244	CNH IND AMERICA LLC [US]; AUTONOMOUS SOLUTIONS	작업 차량의 자율 조향 제어 시스템 및 방법
10	US	20210009162	CNH IND AMERICA LLC [US]; AUTONOMOUS SOLUTIONS	자율주행 차량의 조향 방법 STEERING METHOD FOR AN AUTONOMOUSLY STEERED VEHICLE
11	US	20200070888	CNH IND AMERICA LLC [US]; AUTONOMOUS SOLUTIONS	자율 조향 시스템에서 운전자 개입을 처리하기 위한 방법 및 제품
12	US	20190241212	DANFOSS POWER SOLUTIONS APS	유압식 조향 장치 HYDRAULIC STEERING ARRANGEMENT
13	EP	03467606	KUBATA	자율식 작업 차량 AUTONOMOUS WORK VEHICLE

④ 핵심 특허 분석

S	기술분류	ABA	출원국가	US	출원일	2019.02.01	등록일	2021.05.25
출원인	DANFOSS POWER SOLUTIONS APS		출원번호	16/265,155	등록번호	11,014,604		
현재 상태	특허	특허청구항 수	1	재입력특허	DE102018102465 (A1) CN110116753(A)			
발명의 명칭	유압식 조향 장치 (Hydraulic Steering)							
발명의 목적 및 효과	[목적] 안전 특징을 갖는 유압 조향 장치를 제공하는 것이다. [효과] 조향밸브가 작동하지 않는 경우, 외도저 없는 방향에 놓이는 것을 방지할 수 있다.							
대표도	 <p>주요 기술내용</p> <p>[청구항 1] 유압식 조향 장치로서, 상기 유압식 조향장치는, 압력 포트(A)와 탭크 포트(B)를 갖는 공급 유닛(C); 2개의 작동 포트(D, E)를 갖는 작동 유닛(F); 공급 포트(D)와 탭크 포트(E) 사이에 배치된 조향 유닛(G) 및 공급 유닛(C)과 작동 유닛(F) 사이에 배치되는 조향 밸브(H)를 포함하고, 작동 유닛(F)에서 조향 밸브(H)는 조향 유닛(G)을 통해 작동 포트(D)에 연결되고, 조향밸브(H)의 조향 유닛(G) 사이에 컨트롤 밸브(I)가 배치되고, 작동 유닛(F)에서, 조향밸브(H)는 첫-오류밸브(J)를 통하여 조향 유닛(G)에 연결되는 것.</p>							
장벽도 관련 내용	특허법, 해당 기술 구성은 수준, 자동 전환할 때 오작동없이 전환되게 하는 기존기술 구성에서 장벽도 기술적, 무효화 조사 확보 완료됨.							
R&D 활동 관련 내용	농기계의 자율 주행에 기반 기술로 적용가능함.							
발명 창출 활동 관련 내용	본 기계 기술 개발시 기반 기술로 해당 응용 또는 개발에 필요함.							

S	기술분류	ABA	출원국가	US	출원인	2019.02.01	등록일	2021.05.25
출원인	DANFOSS POWER SOLUTIONS		출원번호	16/265,155	등록번호	11,014,604		



[청구항 1] 유압식 조향 장치로서, 상기 유압식 조향장치는, 압력 포트(A)와 탭크 포트(B)를 갖는 공급 유닛(C); 2개의 작동 포트(D, E)를 갖는 작동 유닛(F); 공급 포트(D)와 탭크 포트(E) 사이에 배치된 조향 유닛(G) 및 공급 유닛(C)과 작동 유닛(F) 사이에 배치되는 조향 밸브(H)를 포함하고, 작동 유닛(F)에서 조향 밸브(H)는 조향 유닛(G)을 통해 작동 포트(D)에 연결되고, 조향밸브(H)의 조향 유닛(G) 사이에 컨트롤 밸브(I)가 배치되고, 작동 유닛(F)에서, 조향밸브(H)는 첫-오류밸브(J)를 통하여 조향 유닛(G)에 연결되는 것.

[회피문제 방지]

1. 작동유닛의 작동을 감지하는 감지센서를 설치하고, 상기 감지센서의 감지신호에 의해 첫-오류 밸브(J)가 잠금상태로 전환하는 것
2. 조향 장치에서, 첫-오류 밸브(J)가 포함된 청구항 1의 구성이 출원전에 공지된 구성임을 증명하는 신청기술자료를 조사할경하여, 본 특허의 청구항 1항이 실질적 신규, 무효임을 입증함.

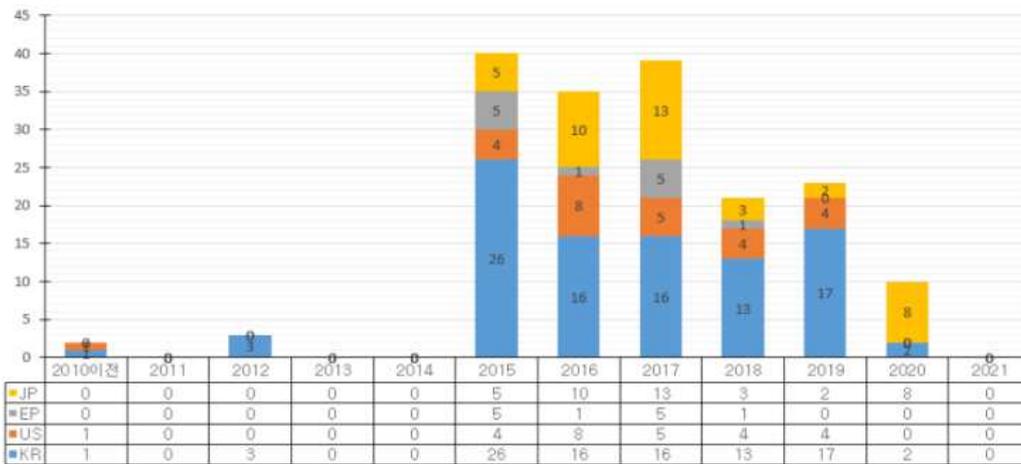
그림 8. 특허 검토 및 분석

㉠ 상기와 같이 추출된 기술분야 160여건의 유효 특허에서 문제특허 13건을 추출하여 기술상세분석 및 권리분석을 진행함. 상세 분석결과 자동 조향 제어 시스템 기술 10건, 자율 조향 밸브 3건으로 확인되었고, 심사과정에서 구성요소를 추가하거나 특정 구성 기능을 더욱 한정하여 특허를 등록 받은 건이 다수 확인됨. 향후 개발 진행시 특정 문제 특허의 권리(청구범위)를 감안하여 설계안을 계획하고, 설계안에 따른 실시 기술이 확정된 후 각 문제특허와 구성 대비를 통해 침해 가능성 판단 절차를 실시하여 분쟁을 사전 예방하고자 함.

② 선진업체 기술동향 및 시장조사

㉠ 기술동향

㉠ 연도별 특허 출원 추이



- ㉠ 과거 2010년 이전~2014년 구간과 2015년~2020년 구간의 출원 추이를 보면, 2015년 이후부터 출원건수가 급격히 증가하였음. 2015년 이후에 본 기술 분야에서 기술개발이 활발히 진행되어 오고 있음을 알 수 있음.
- ㉠ 특히 2015년 이후, 미국, 일본, 유럽 및 특히 한국의 출원건수가 증가한 것으로 보아, 자율 작업 농기계의 개발을 통한 농업 생산성 향상을 위한 기술개발이 활발히 이루어지고 있음.

㉠ 과거(2001~2014년)와 최근(2015~2021년) 기술개발변화 추이

분류	기술 분야	과거 (2001~2014년)					최근 (2015~2021년)				
		KR	US	EP	JP	계	KR	US	EP	JP	계
AAA	자율 주행 제어 시스템	1	1	0	0	2	5	5	0	7	17
AAB	자율 조향 제어 시스템	1	0	0	0	1	2	0	0	0	2
AAC	경로 생성 및 추종 기술	1	0	0	0	1	54	4	10	19	87
AAD	통신 시스템	0	0	0	0	0	2	0	0	2	4
AAE	기타 보조 시스템	0	0	0	0	0	0	1	0	9	10
ABA	자동 조향 제어밸브 시스템 기술	1	0	0	0	1	3	2	1	3	9
ABB	자율 조향 밸브	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3
ACC	차량 위치/자세 제어	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
<b>계</b>		<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>67</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>40</b>	<b>134</b>

㉠ 국가별 기술분류별 출원추이를 보면, 과거 2014년전까지에 비하여 최근 6년 (2015~2021년) 간 각 국마다 기술 분야별로 출원건수는 전체적으로 증가하는 추세를 보임. 특히, 주행 경로의 생성 및 그 경로를 따라 추종하는 기술(AAC)분야에 기술 개발이 집중됨.

㉡ 선진업체 기술동향

- ㉢ 선진업체의 경우 자동 조향 기능을 최적화하여 고정밀, 자동 주행 작업 기술 보급 중에 있으며 설정된 주행 경로를 따라 안정적으로 작업 차량을 주행시키고 회전시키는 자율 조향 장치에 대한 기술개발을 지속적으로 진행하는 중임.
- ㉣ J1939 CAN통신 프로토콜을 통해 개발형 아키텍처 유량 수요를 자동 조향 시스템에 전달하고 정밀한 흐름제어가 가능하게 하는 동시에 진단 범위를 강화하여 전반적인 기능 안정성을 향상시키는 기술 개발을 진행 중임.
- ㉤ 기존 Orvitrol 조향 장치가 여전히 필요한 애플리케이션의 경우 자동 조향 시스템에 인체 공학 및 안전 스플은 중복 EH차단 기능을 제공하여 기존 장치의 절대 우선순위를 부여하여 기능 안전 요구 사항이 충족될 수 있도록 기술 개발을 진행 중임.



그림 9. 선진사 외형

㉥ 선진업체의 경우 H/W적인 연구와 더불어 국제 법규와 연계하여 작업 중 상용화 가능한 편의장치에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 선행 기술 및 기본 연구 DATA를 기반으로 추가적인 원천기술 확보에 초점을 맞추어 기술 진보를 위한 개발을 진행 중임.

시스템	핵심요소기술	경쟁력평가				평가 지수	기술목표	선진 경쟁사 기술 수준			기술 확보 방안
		기술 난이도 (易5)	중요도 (高5)	시급성 (高5)	투자비용 (低5)			저	중	고	
조향 시스템	고부하 대응 가능 유압식 조향 시스템	1	4	3	2	24	210bar, 60lpm			◎	하이드로텍 충남대학교
	유연하고 컴팩트한 구조 (공간 최적화 기술)	3	3	3	4	108	차량 장착시 간섭등 없을 것.		◎		하이드로텍 대동공업
조향 밸브	제어밸브블록 및 제어기 일체화 기술	2	4	3	2	48	제어밸브 및 제어기 일체형 구조일 것.			◎	하이드로텍 네이스코 충남대학교
	좌/우 대칭 동작 및 반복성 (낮은 히스테리시스) 기술	3	4	5	1	60	히스테리시스 5%↓			◎	하이드로텍 네이스코 충남대학교
	솔레노이드 반응속도 100Hz 이상 응답 기술	3	2	4	2	48	100Hz ↓		◎		하이드로텍 네이스코
조향 제어기	자가진단 알고리즘 기반의 SAFETY 기술	1	4	5	1	20	SAFETY 기능 구현 할 것.			◎	네이스코 충남대학교
	J1939 CAN 프로토콜 적용 기술	2	4	4	1	32	CAN통신 구조 일 것.			◎	네이스코

<선진사 기술수준>

- ⑤ 선진사 기술동향과 수준은 상기 표와 같으며 본 과제 개발부에서 대부분의 기술 수준이 높은 수준으로 확인된다. 이를 통해 그만큼 중요 기술인 것을 확인 할 수 있으며 해당 기술에 대한 기술개발과 더불어 원천기술 확보를 위한 연구개발이 지속적으로 요구됨.

㉠ 시장동향 조사

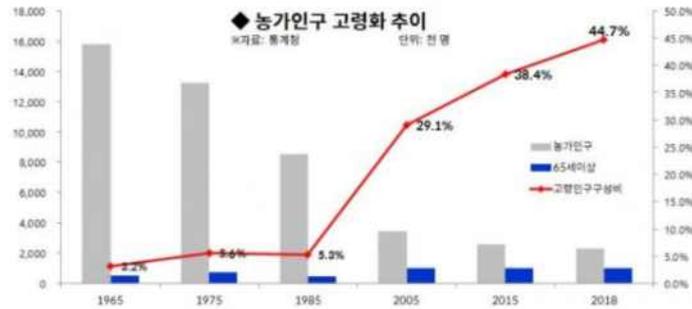


그림 10. 2019 농가 인구 고령화 추이, 출처 : 통계청

- ① 매년 농가수 및 농가인구가 감소, 경지면적 감소, 고령화 추세가 지속되어 농업 생산 환경이 악화되고 있는 추세임. 농가인구의 고령화와 기술 정체는 점점 수확의 효율성과 생산능력을 저해하며, 늘어나는 식량 수요를 따라가기 어려운 상황. 국내뿐만 아니라 국제사회도 비슷한 문제들을 겪고 있으며 이러한 문제를 해결하기 위해 다양한 방안이 제시되고 있음. 이종 존 디어(John Deere), CNH 등 농기계 선도 기업들은 자율주행 기술을 접목한 차세대 트랙터 프로토 타입 확대를 위해 노력하고 있음.
  - ② 국내는 자동 조향 시스템이 적용된 자율주행 트랙터 시제품이 개발되었으며 관련 기술 연구도 지속적으로 진행되고 있으나 아직 상용화 단계까지는 이루어지지 못하고 있는 실정이었고 ICT부품, 전자제어 액츄에이터(Actuator) 기술 등이 부족한 상황이며 Level 1~2단계 수준으로 선진국 대비 기술격차는 최소 5년 이상으로 추정됨.
  - ③ 2017년 동양물산 등 6개 산학연으로 구성된 컨소시엄 대상을 110kW급 자율주행 트랙터 시제품 개발을 지원함(산업통상자원부)
  - ④ 2019년 3월 대동에서 국내 농기계 기업 처음으로 직진 자동 기능을 탑재한 8조 이양기 'ERP80DZFA'를 출시함.
  - ⑤ 2021년 10월 LS엠트론에서 국내 농기계 기업 처음으로 자율 주행 2.5단계 트랙터 출시
  - ⑥ 2022년 11월 KIEMSTA 국제농기계자재박람회에서 대동, LS, TYM 등 여러 업체에서 자율주행 트랙터 전시
- ③ 해외 선진사 제품 Benchmarking 조사
- ㉠ 벤치마킹 샘플 선정
    - ① Danfoss의 EHi 밸브를 벤치마킹 모델로 선정하고, 구조분석, 사양 분석, 성능 시험 및 특성 분석을 실시함. EHi밸브는 자동 조향 제어기인 PVED - CLS와 자동 조향 밸브가 일체형 되어있는 구조의 밸브임.

입고 검수서		작성일자	25.08.26
입고번호		작성처	당사자
1. 입고 부품		2. 입고 부품 사진	
품명	EH120 DC N E	수량	5
제조사	ZIEMER	제정일자	3,500 USD
입사일자	25.08.26	공액	4,500 USD
입사금액	0	비고	
3. 입고/출고/재고 재차량명		4. 입고/출고/재고 차량	
차종		제정금액	
차량번호		제정시점	
제정업체			
제정인명			

\* 본 부분은 2025년 자동 조향 시스템 개발 사업 진행을 위해 일부는 임의적으로 기재된 것을 양해 부탁드립니다.



그림 11. 벤치마킹 샘플 Danfoss社 EHi Valve

⑧ BM (Benchmarking) 제품 Lay-out 조사

- ㉠ 해당 연구개발 궁극적인 목표는 대형 (75kW이상) 트랙터의 자율 주행을 위한 자동 조향 시스템 구현이며, 각 부 시스템의 위치가 자동 조향 제어를 위한 조작 시 중요한 요소로 작용됨. 따라서 벤치마킹 기대의 중요 시스템 위치 Lay-out 조사를 진행함.

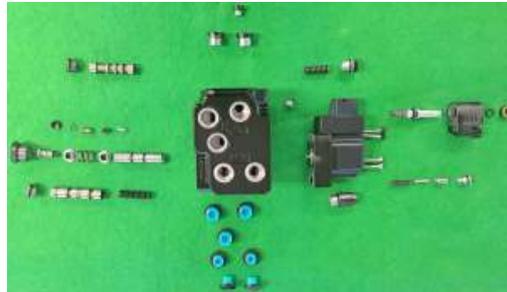
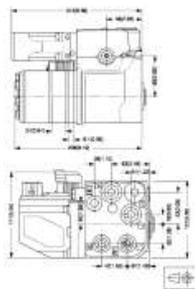


그림 12. 벤치 마킹 샘플 구조 분석

⑨ BM (Benchmarking) test

- ㉠ 기본 성능 시험
  - 밸브 재원
  - ㉠ 밸브 크기

항 목	가로	세로	높이
측정결과	110mm	194mm	121.5mm

㉠ 구성품 Lay-out

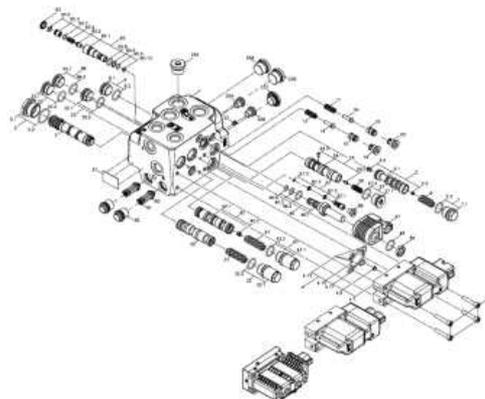
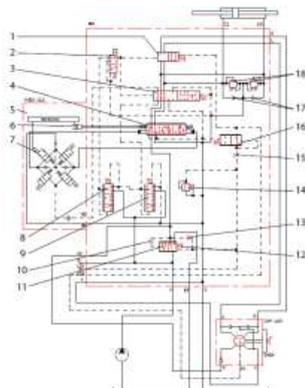


그림 13. BM샘플 Lay-out조사

항목	명칭	항목	명칭
1	RSV:Reaction Switch Vavle	10	PP damping orifice
2	SOL:Solenoid control valve for EH cut off valve and RSV	11	Priority valve spool
3	COV:EH cut off valve	12	Priority valve spring
4	EH directional valve	13	Dynamic orifice
5	PVE control unit	14	Pilot pressure relief valve
6	Spool position sensor LVDT	15	LS orifice
7	Solenoid valvel bridge	16	PVFC valve/LS resolver
8	Pilot reduction valve,13bar,SOL-PE	17	Suction valves
9	Pilot reduction valve,13bar,PE-T	18	Shock valves



그림 14. 벤치 마킹 보고서

㉔ 작동원리

- 2개의 파일럿 감소 밸브인 PRV가 있으며 PRV는 EH 차단 밸브, COV가 활성화될 때 PVE에 탱크 압력보다 13bar높은 파일럿 압력을 공급함. PRV는 반응 스위치 밸브 RSV를 활성화하고 COV를 활성화하기 위해 PVE 파일럿 압력보다 최대 13bar높은 파일럿 압력을 공급하여 솔레노이드 밸브 SOL가 활성화됨. 조작을 위해 먼저 솔레노이드 밸브 DP 전원을 공급하고 EHi에 PVED CLS가 SOL를 제어함. CLS는 EH스티어링을 제공하기 위해 MMI (Man Machine Interface)로부터 입력을 받아야 하며 CLS는 SOL에 전원을 공급함. RSV가 활성화되면 LSR형 조향 장치의 반작용 기능이 차단되고 조향 핸들은 실린더 포트 압력과 무관하게 고정된 위치를 유지함. 조향을 위한 입력 신호가 PVE의 전기 커넥터로 전송되면 오른쪽으로 조향하기 위해 솔레노이드 밸브 브리지가 활성화되고 EH방향 스푼이 오른쪽 따라 LS는 필요한 조향 압력을 감지하고 이것이 PVFC밸브/LS리졸버로 전달됨. 밸브는 우선밸브의 오리피스에서 유량이 제어되고 우선 밸브 스푼의 LS압력은 EH방향 밸브 스푼에서 필요한 LS압력과 일치함. 스티어링 휠을 돌리면 스티어링 휠 센서 유형 SASA가 신호를 PVED CLS에 전송하고 EH스티어링이 해제되어 스티어링 휠에 우선 순위를 부여하며 LS압력이 증가하고 이 압력이 EHi포트 LS2와 RSV로 전달되어 조향 핸들이 열림

㉔ 치수 분석 : 주요 구성품의 공차, 형상 및 가공 정밀도 분석

품 명	주요 치수 및 형상 공차 (mm)
Valve Body	원통도 0.008, 평면도 0.005, 조도 0.2a
EH Spool	원통도 0.004, 진원도 0.003, 조도 0.1a
Prio Spool	원통도 0.002, 진원도 0.002, 조도 0.1a
COV Spool	원통도 0.005, 진원도 0.003, 조도 0.1a
Dynamic Orifice	Φ0.697

㉕ BM 샘플 벤치 성능 시험

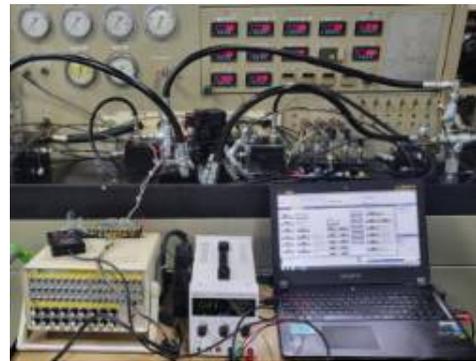
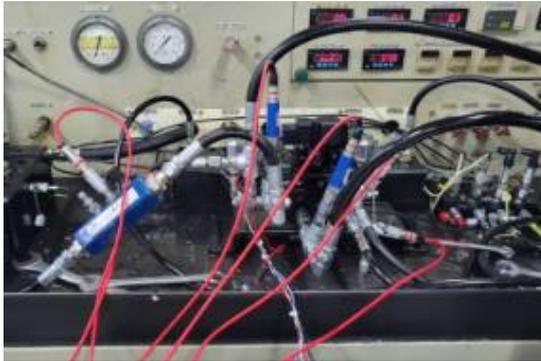


그림 15. BM 샘플 TEST 사진

- 시험 결과

No.	항 목	시험 결과
1	Steering Test	Safety Mode : LED RED 점등 Offroad Mode : LED GREEN 점등
2	Start Up Test	5 사이클 반복 작동 특이사항 없음
3	Pilot relief valve Test	Setting Pre. : 145.2bar (at 25 lpm) Peak Pre. : 175.5bar (하기 상세 결과 참조)
4	Check for External leakage	누유 없음
5	EH flow rate	곡률 값에 따른 토출 압력 확인 (하기 상세 결과 참조)
6	유량에 따른 P-EF 차압	7~9bar (하기 상세 결과 참조)
7	Flow limitation	차속 27 조건에서 압력 및 유량 최소 (하기 상세 결과 참조)
8	절환 응답성 시험	On : 0.456 s / Off : 0.029 s (하기 상세 결과 참조)
9	Prio Valve 부하조건에서의 유량 변화 확인	17.7 ~ 18.6 lpm (부하 조건별) (하기 상세 결과 참조)

- 상세 시험 결과
- Pilot relief valve Test

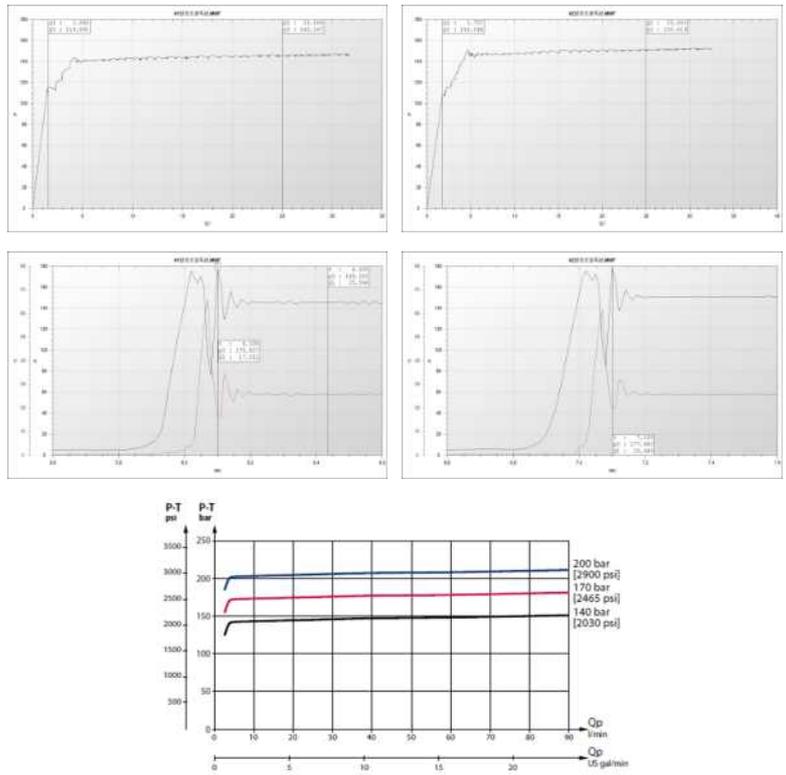


그림 16. Pilot relief valve 정특성, 동특성

- EH flow rate

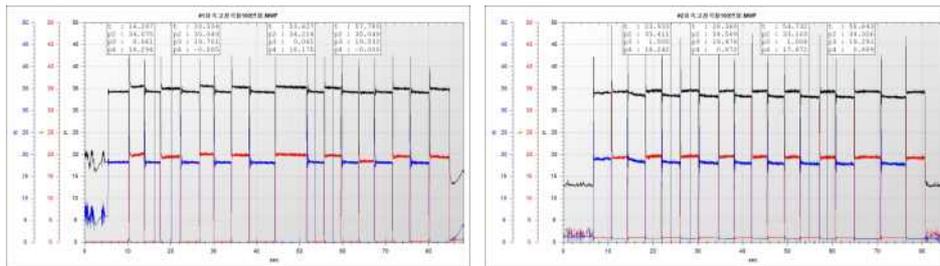


그림 17. EH flow rate

- 유량에 따른 P-EF 차압

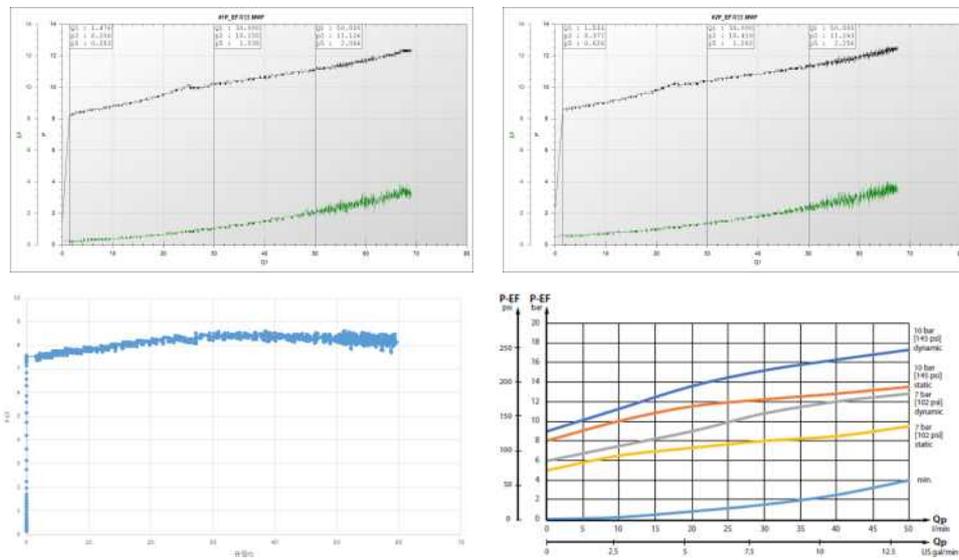


그림 18. 유량에 따른 P-EF 차압

· Flow limitation

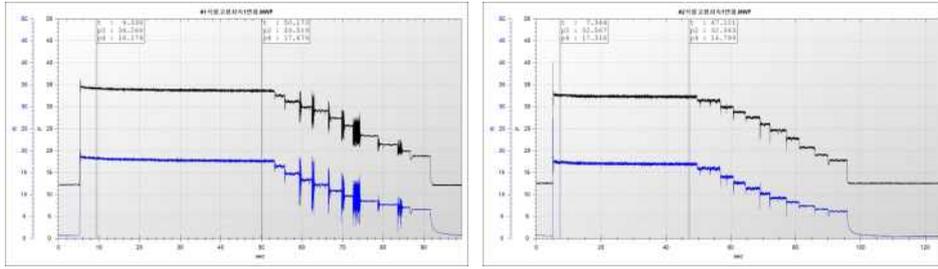


그림 19. Flow limitation

· 절환 응답성 시험

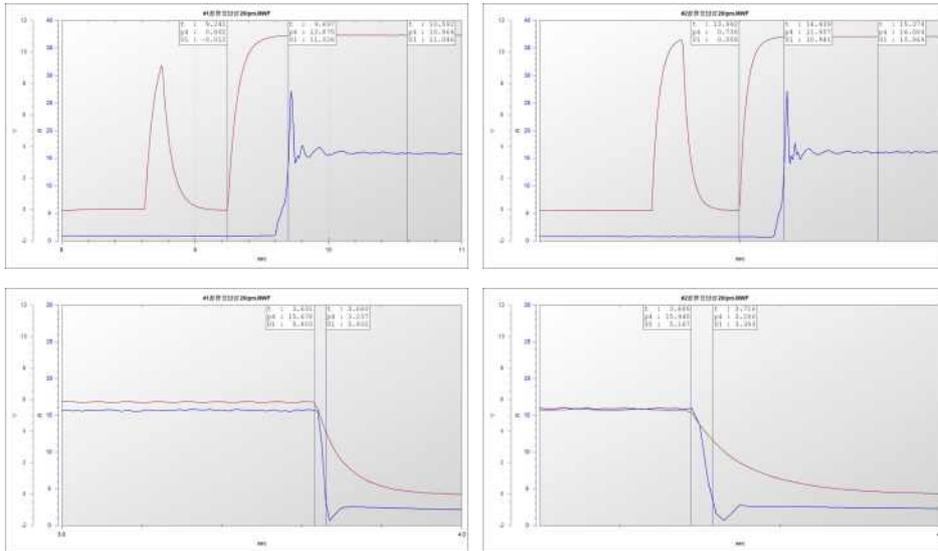


그림 20. 절환 응답성 시험

· Prio Valve 부하조건에서의 유량 변화 확인

DANFOSS #	제어	부하조건	P압력	L압력	R압력	EF압력	제어유량	제어	부하조건	P압력	L압력	R압력	EF압력	제어유량
		무부하	32.8	17.3	0.1	1.7	17.7		무부하	32.9	0.1	16.9	1.7	18.3
DANFOSS #1	L제어	부하50k	64.4	50.0	0.1	1.7	17.9	R제어	부하50k	64.9	0.1	50.0	1.7	18.6
		부하100k	115.5	100.0	0.1	1.7	18.6		부하100k	115.1	0.1	100.0	1.7	19.2
		무부하	32.7	17.2	0.2	1.1	17.5		무부하	31.6	0.2	16.2	1.1	18.0
		부하50k	63.4	50.0	0.2	1.1	17.8		부하50k	63.2	0.2	50.0	1.1	18.2
DANFOSS #2	L제어	부하100k	115.1	100.0	0.2	1.1	18.4	R제어	부하100k	114.1	0.2	100.0	1.1	18.7

그림 21. Prio Valve 부하조건에서의 유량 변화 확인

㉞ 추가 벤치마킹 샘플 검토

㉞ Eaton社 EHSV밸브 추가 검토

항 목		사 양
Part No.		EHSV-18050
Model Code		ES-ULA145175AA00A
Max. Pressure	P port	25.0 Mpa
	T port	3.0 Mpa
Max. Steering flow		23 lpm
Proportional valve (Sol_1, Sol_2)	Supply. Voltage	12VDC
	Max. Current	1.50A
	Coil Resistance	4.72Ω
Solenoid Valve (Sol_3)	Supply. Voltage	12VDC
	Coil Duty	Continuous -15~+10%
	Initial Current	1.67A
Max. Oil Temperature		95℃
Mass		9.0kg
Steer relief valve Setting Pressure		14.5(+0.7/0) Mpa (at 23lpm)
Overload relief valve Setting Pressure		17.5(+0.7/0) Mpa (at 2lpm)

㉞ 비례솔레노이드 2개, 온오프솔레노이드 1개로 구성됨.

㉞ 컨트롤러 외부별도 구성

→ Eaton社 SBX 모델 컨트롤러 일체형

㉞ 유량조절밸브가 별도 구비필요하며 유압시스템 내에서 일정하게 제어된 유량 공급이 필요함.

㉞ 릴리프 세팅압력은 Danfoss EHi Valve와 동일함.

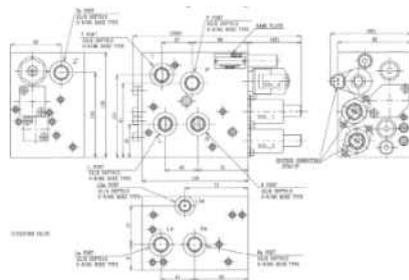


그림 22. Eaton社 EHSV 샘플

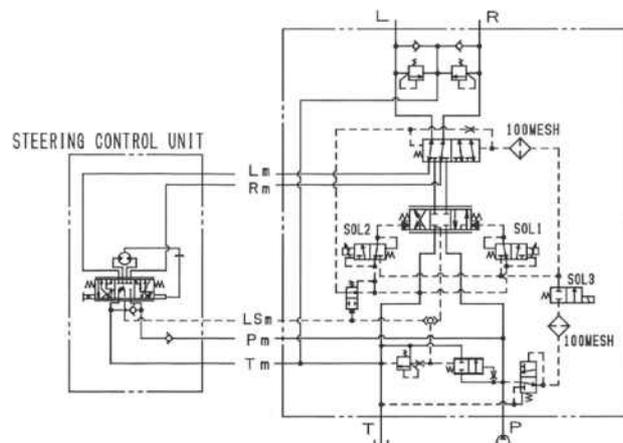


그림 23. Eaton EHSV 유압 회로도



그림 24. 밸브 바디



그림 25. 비례슬레노이드 2종 및 온오프슬레노이드



그림 26. 스펴 및 스프링류

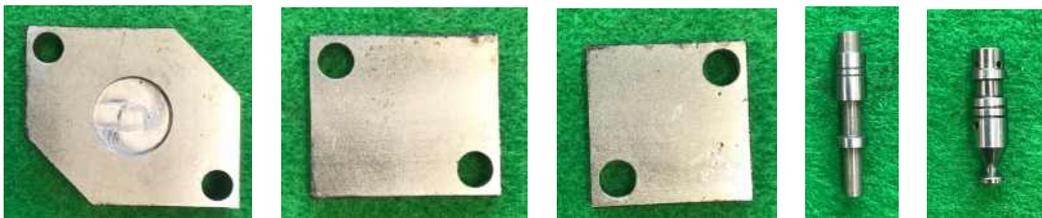


그림 27. 커버 및 포핏류



그림 28. 플러그류

㉔ Eaton社 EHSV밸브 구조 검토 결과

- ㉕ 별도 주물소개 개발품이 아닌 각소재 절단품 사용
- ㉖ 내부 유로 관계가 Danfoss社 EHi밸브 대비 상당히 단순함
- ㉗ 비례제어슬레노이드 밸브를 통한 조향 질환구조
- ㉘ 차단 밸브 구조를 통한 긴급 상황 대처구조 (안전모드 추정)
- ㉙ 파일럿 압력 제어밸브를 통한 제어압력 유지

④ 목표 사양 설정

㉠ 선진사 동급 자동 조향 시스템 사양 분석 (개발 기종 사양)

- 해외 선진사의 자동 조향 시스템 사양을 분석한 결과, 해외 선진사의 경우 전자 유압식 조향용 밸브(EHi)로 GPS수신기/컨트롤러 또는 가변 스티어링 휠 센서의 전기 입력 신호에 의해 가변 조향모드에서 차량 제어가 가능함.
- PVED CLS에는 소프트웨어 매개변수 화를 통해 전용 안전기능을 포함한 조향 관련 기능이 있음.

㉡ 개발 자동 조향 시스템부 상세 사양

- 본 과제에서 개발 대상인 자동 조향 시스템은 유량분배밸브, 전자제어 컨트롤러, 전환밸브, 조향밸브, 파일럿공급밸브, 안전밸브로 구성되어 있으며, 각 구성별 성능을 해외 선진사 동등수준 이상 개발이 목표이다.

항목	단위	국외기술 수준	목표사양	BM 사양
최대 입력 유량	bar	60	60	60
제어 유량	lpm	25	25	20
최고 압력	bar	210	210	210
절환 특성 (응답성)	s	0.5	0.5	0.5
릴리프 세팅 압력	bar	150	150	150
릴리프 오버로드 압력	bar	175	175	175
유량 제어밸브 압력	bar	10	10	10

- 본 과제에서 조향 시스템 제어를 위한 제어 알고리즘 구현 목표

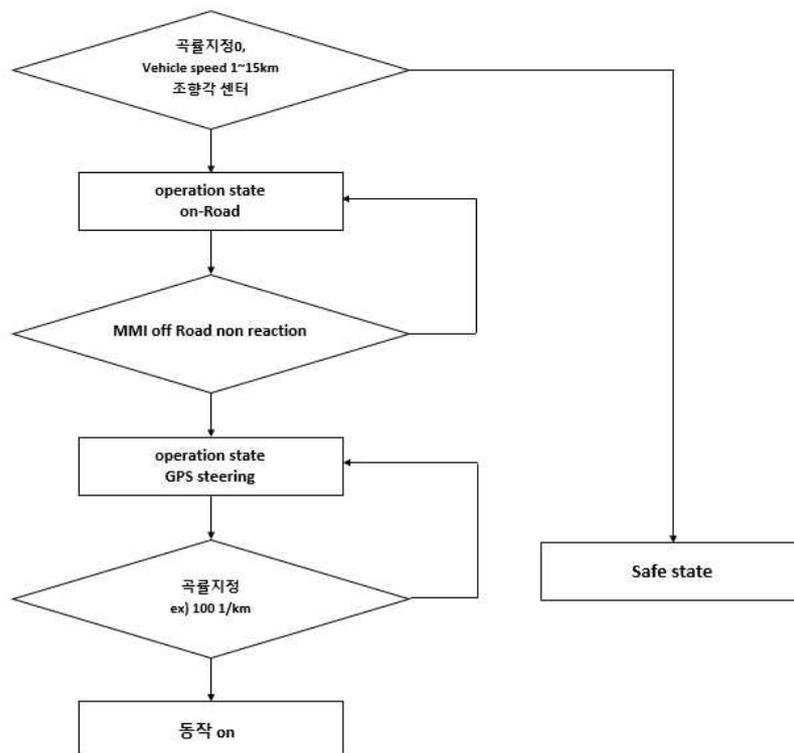


그림 29. 제어 알고리즘

- ④ 자동 조향 시스템 전체 Lay-out 설계 및 상세 설계, 부품개발
  - ㉞ 자동조향 시스템 Concept 및 Lay-out 설계



그림 30. 자동 조향 밸브 Concept 설계

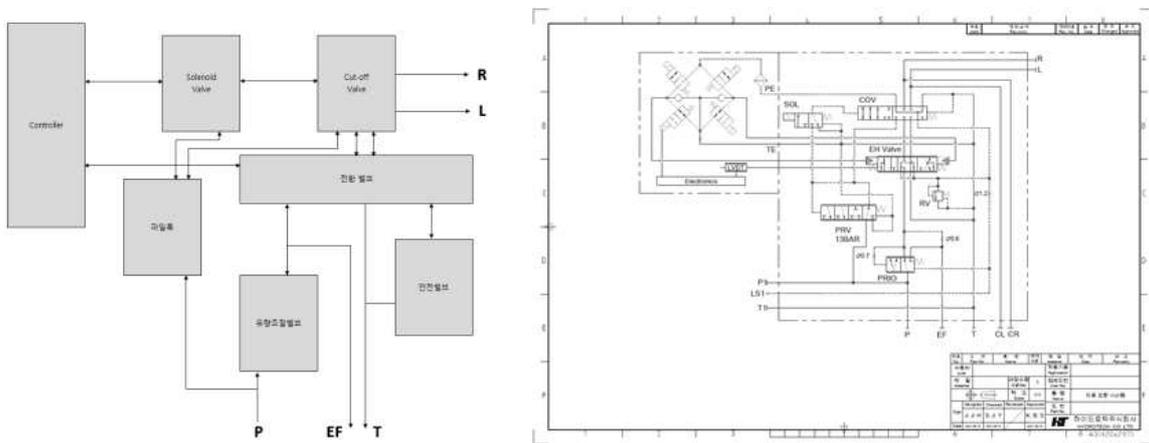


그림 31. Lay-out 설계 (유압회로도)

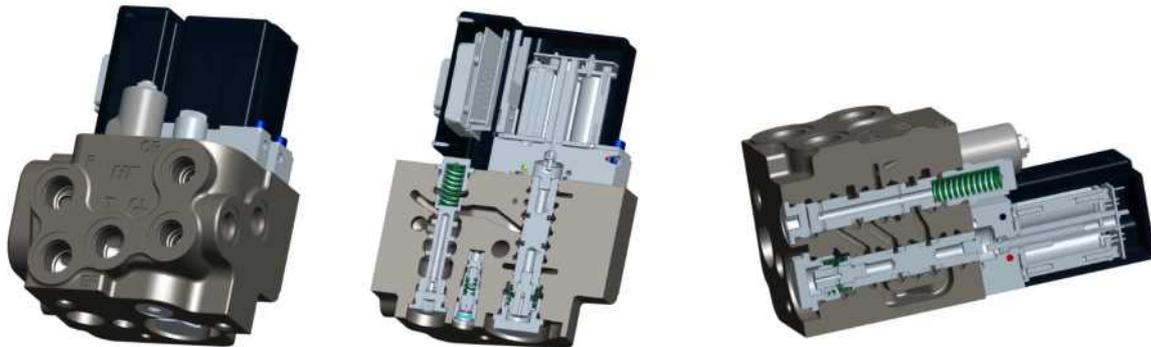


그림 32. 자동 조향 시스템 외형 및 단면도

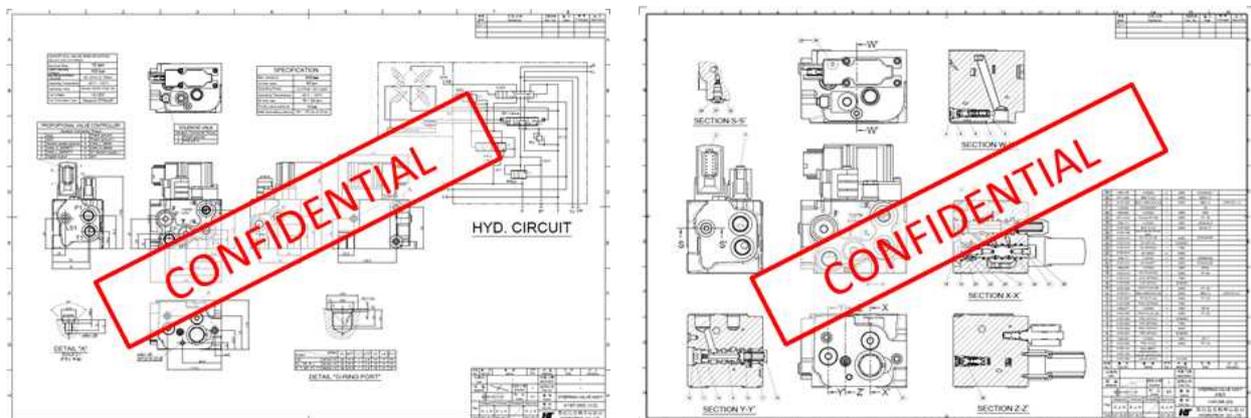


그림 33. 자동 조향 시스템 외형도 및 조립도

㉞ 자동 조향 시스템 설계 사양

㉠ 자동 조향 밸브 사양

No.	항목	사양	비고
1	최대압력	210 bar	
2	정격 유량	60 lpm	
3	사용 오일	S-UTF38 / ISO VG 46	
4	사용 온도 조건	-40℃ ~ 120℃	
5	제어 유량	16 ~ 24 lpm	
6	유량제어밸브 압력	10 bar	
7	릴리프 밸브 압력	145~155 bar (at 25 lpm)	

㉡ 솔레노이드 밸브 사양

No.	항목	사양	비고
1	사용 유량	15 lpm	
2	정격 사용 압력	103 bar	
3	최대 내부 누유량	82cc/min (at 103bar)	
4	사용 온도 조건	-40℃ ~ 120℃	
5	사용 오일	ISO VG 32 ~ 46	
6	코일 볼트	12 VDC	
7	코일 터미널 타입	Deutsch DT04-2P	

㉢ 자동 조향 밸브 상세 설계 및 부품개발

㉠ 밸브 바디 및 제어밸브 상세 설계 및 부품개발 (설계도면 28종)

㉡ 밸브바디 설계 및 목형제작



그림 34. 밸브 바디 3D CAD 모델링

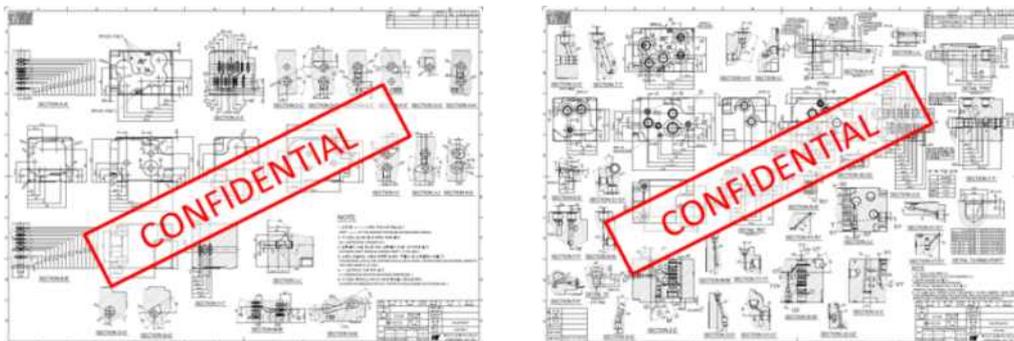


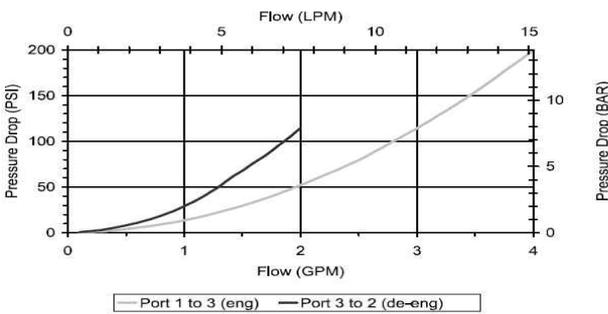
그림 35. 밸브 바디 소재 및 가공 도면

㉔ 솔레노이드 밸브 사양 선정

항목	목표사양	검토사양		
		SV08-S3CN-Q0	MC-S3T	HIB-31-12VR
회로도				
사용유량 (lpm)	10	10	15	22
사용압력 (bar)	110	110	103	50
내부 리크량 (cc/min)	100	50	82	30
사용온도 (°C)	-40~120	-40~100	-40~120	-40~120
코일 (V)	12	12	12	12
제조사		썬하이드로릭스	델타파워	아이오테크

※ 선정된 솔레노이드 밸브 성적서 (MC-S3T)

**PERFORMANCE**  
Actual Test Data (Cartridge Only)



**VALVE SPECIFICATIONS**

Nominal Flow	4 GPM (15 LPM) from (1) to (3) 2 GPM (7.6 LPM) from (3) to (2)
Rated Operating Pressure	1500 PSI (103 bar)
Typical Internal Leakage (150 SSU)	5 cu in/min (82 ml/min)
Viscosity Range	36 to 3000 SSU (3 to 647 cSt)
Filtration	ISO 20/18/15
Media Operating Temperature Range	-40° to 250° F (-40° to 120° C)
Weight	.14 lbs. (.06 kg)
Operating Fluid Media	General Purpose Hydraulic Fluid
Cartridge Torque Requirements	15 ft-lbs (20.3 Nm)
Coil Nut Torque Requirements	3-5 ft-lbs (4.1-6.8 Nm)
Cavity	MINI 3W
Cavity Form Tool (Finishing)	40500004
Seal Kit	21191006

㉕ 유량조절밸브 설계 및 부품 제작

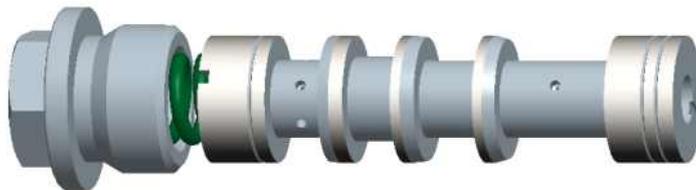


그림 36. 유량조절밸브 3D CAD 모델링

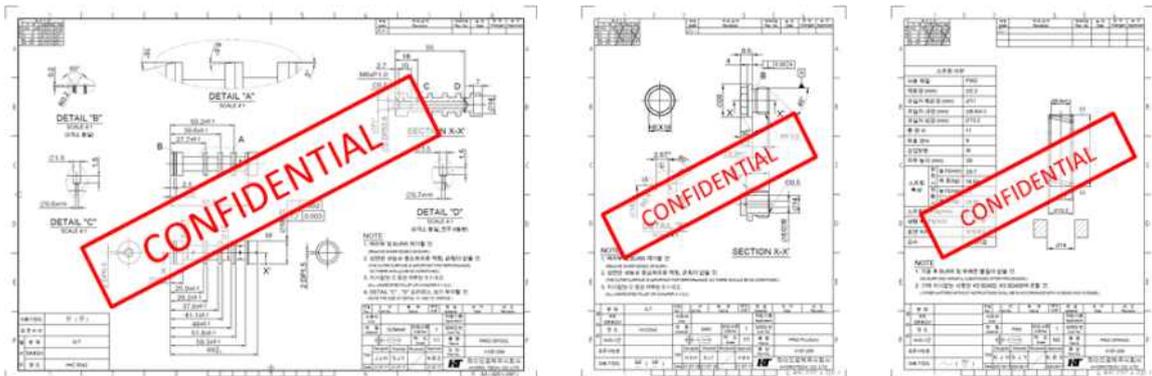


그림 37. 유량조절밸브 가공 도면

㉔ 조향 밸브 설계 및 부품 제작

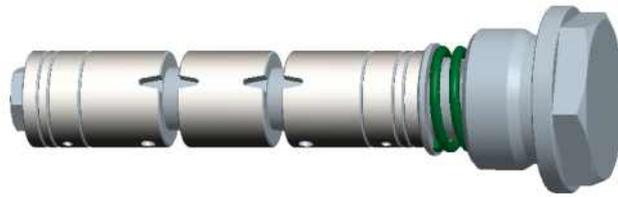


그림 38. 조향밸브 3D CAD 모델링

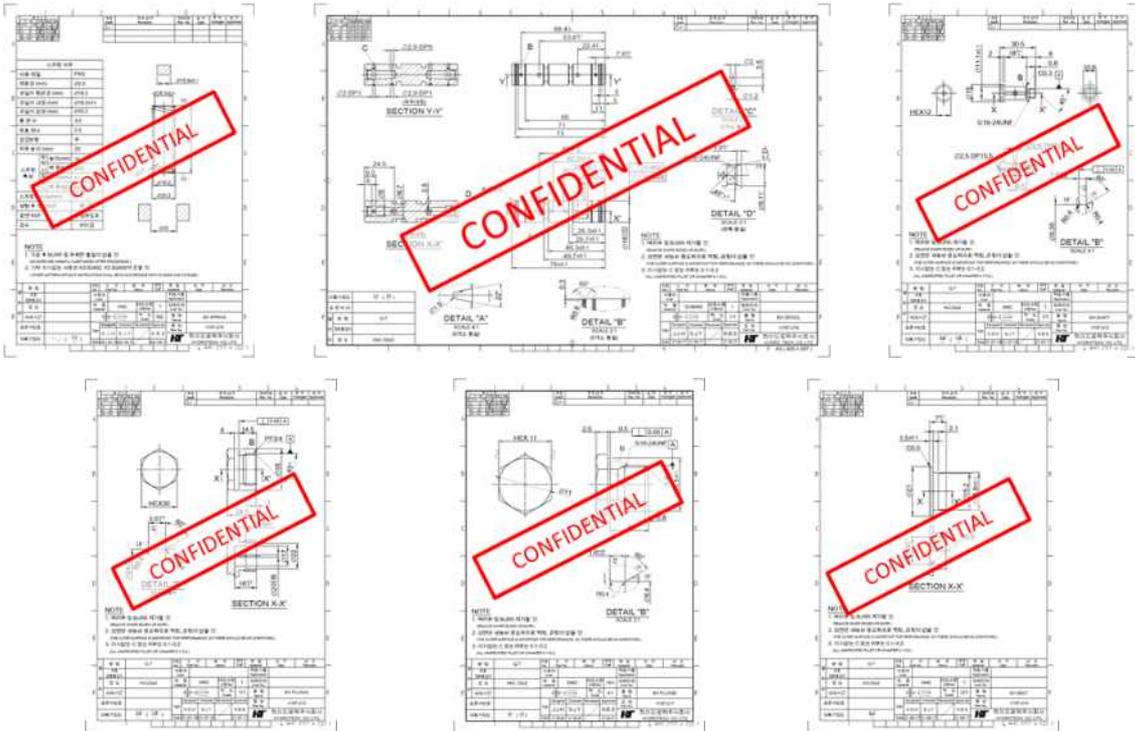


그림 39. 조향밸브 가공 도면

㉕ 파일럿공급밸브 및 안전밸브 설계 및 부품 제작

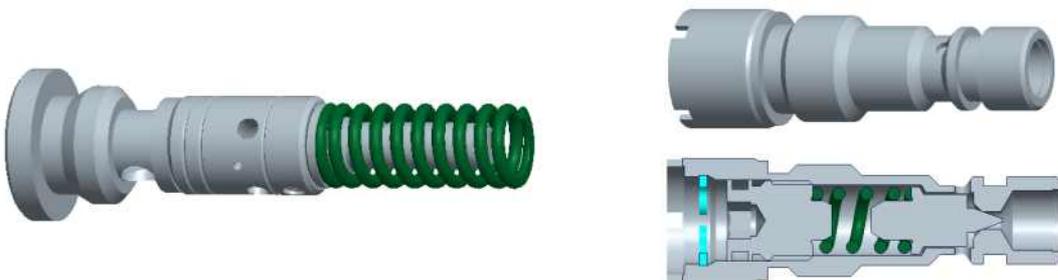


그림 40. 파일럿공급밸브, 안전밸브 3D CAD 모델링

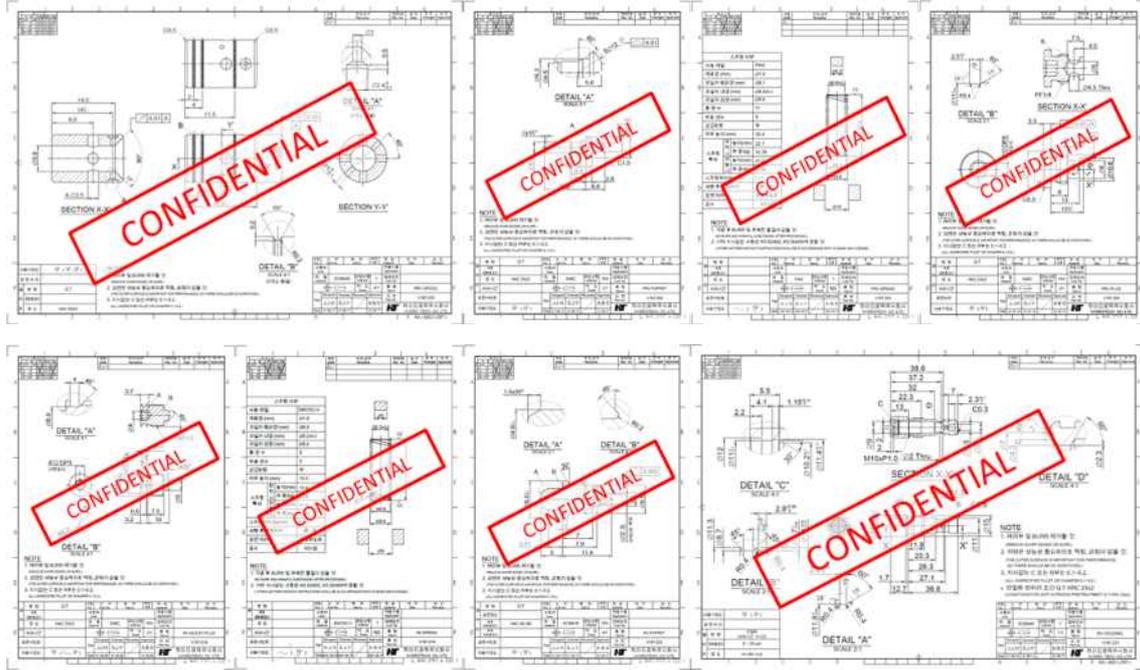


그림 41. 파일럿공급밸브, 안전밸브 가공 도면

㊸ 전환밸브 설계 및 부품 제작



그림 42. 전환밸브 3D CAD 모델링

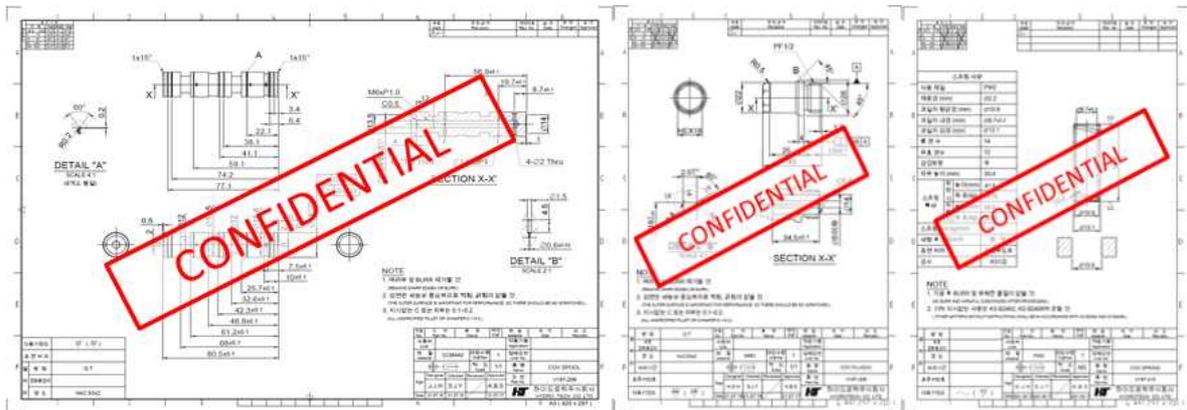


그림 43. 전환밸브 가공 도면

㊸ 컨트롤러 솔레노이드부 설계 및 부품 제작

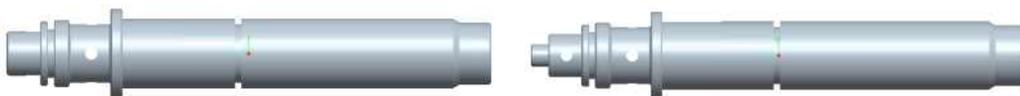


그림 44. 솔레노이드부



그림 45. 솔레노이드 도면

㉠ 주요 검토 및 설계 내용

구분	설계 검토 내용	비고
밸브 바디	바디 강도 검토 주물 소재 유동 검토에 따른 설계 유로 가공을 고려한 형상 설계 콤팩트 구조에 요소부품 위치 결정 스펴 및 기능품 틈새를 고려한 설계 밸브 작동에 따른 단거리 및 랜드부 설계 각 구성품 간섭여부 및 유로 설계	
유량조절밸브	적정 오리피스 사양 선정 스프링 힘값에 따른 스펴 작동 설계 스펴 및 바디 틈새를 고려한 설계 목표 제어 유량을 위한 밸브 설계 제어정도 관리를 위한 노치 형상 설계 부품 마모 및 강도 유지를 위한 열처리 정의	
조향밸브	제어 성을 위한 스펴 형상 설계 제어정도 관리를 위한 노치 형상 설계 반복제어(히스테리시스) 정도 관리를 위한 설계 스펴 및 바디 틈새를 고려한 설계 밸브 작동에 따른 단거리 및 랜드부 설계 부품 마모 및 강도 유지를 위한 열처리 정의	
파일럿공급밸브	적정압력제어를 위한 스프링 설계 스펴 및 바디 틈새를 고려한 설계 밸브 작동에 따른 단거리 및 랜드부 설계 부품 마모 및 강도 유지를 위한 열처리 정의	
안전밸브	시스템 회로 파손 보호를 위한 안전밸브 설계 안전 제어 압력 유지를 위한 포핏 형상 설계 세팅 압력 유지를 위한 스프링 안전 설계 부품 마모 및 강도 유지를 위한 열처리 정의 작동 내구성을 고려한 스프링 안전 설계	
전환밸브	방향 전환 작동 응답성을 위한 형상 설계 부품 마모 및 강도 유지를 위한 열처리 정의	
기타	유압유 기밀 유지를 위한 오링 및 플러그 설계	

- ㉡ 3D 모델링을 통한 밸브 조립 모델 구축
- ㉢ 주요 구성품 간 조립 및 구동 간섭 회피 설계
- ㉣ 주요 구성품 기능 분석 설계

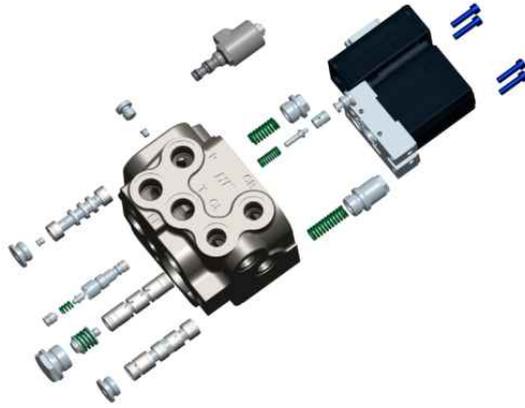
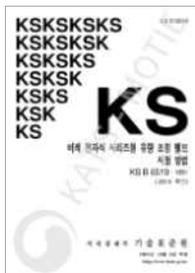


그림 46. 1차 시제품 3D CAD 조립 모델링 (전개도)

- ⑤ 자동 조향 시스템 성능 평가 항목/방법 정의
  - ㉞ 기본 성능 평가 항목/방법 정의 (국내외 성능시험 관련 규격 조사 및 분석)
    - Ⓐ KS, JIS, ISO, RS, SAE, MIL-STD 외
      - ㉠ KS 코드 1 : KS B 6510
      - ㉡ RS 코드 2 : RS B 0029
      - ㉢ 미 국방성 환경 공학적 고찰 및 시험소 시험용 표준 규격



㉠ 신뢰성 규격



㉡ 신뢰성 규격



㉢ 미 국방성 규격

- ④ 자동 조향 시스템 성능 시험절차서 및 성적서 양식 도출
  - Ⓐ 작동 및 기능 구현, 정격 유량 특성 평가, 최고 압력 / 제어정도 평가방법 정의

항목	평가방법	비고
스티어링 시험	전원 연결후 작동시켜 LED 점등확인 1. RED : 세이프티 모드 2. GREEN : 서비스 모드 / 조향밸브 중립 상태	
스타트업 시험	유량 25lpm 공급 후 L, R 작동 반복 확인	
안전밸브 성능 시험	유량 공급후 P-T포트 오버라이드 확인	
외부 누유 확인 시험	20bar 유량 공급 1hr 후 외부 누유 확인	
유량 조절 시험	60lpm 유량 공급후 토출부 유량 확인	
유량에 따른 차압시험	공급유량에 따른 P-EF 압력 차이 확인	
유량 제어 시험	외부신호(곡률 값, 차속등)dp 다른 유량 변화 확인	
절환 응답성 시험	전원 연결, 60lpm공급후 컨트롤러 동작시 토출부 압력 변화시점 확인 (시간차 확인)	
유량 조절밸브 부하 시험	토출부 배압에 따른 유량조절밸브 유량 및 압력확인	

- ㉔ 자동 조향 시스템의 성능 시험을 위한 시험 벤치 보완 검토
  - ㉑ 센서류, 밸브류, DAQ류, 호스피팅류, 누유시험류, 커플링류 규격 검토
  - ㉒ 센서류 : 압력, 유량, 온도 센서 확인
  - ㉓ 밸브류 : 유량제어밸브, 압력제어밸브, 방향제어밸브 확인
  - ㉔ DAQ류 : Analog-to-Digital, Digital-to-Analog, Digital Input / Output
  - ㉕ 누유시험류 : 실린더 사양 확인 및 유량센서 확인
  - ㉖ 시험평가용 지그 및 마운트 설계, 제작
  - ㉗ 시험 계측기 검교정 (교정 성적서 발급)
- ㉕ 성능 평가를 위한 Bench 검토 및 Up-Grade
  - ㉘ 정의된 기본 성능 평가 항목 및 방법 구현을 위한 Bench 시험 장비 점검 및 보완 사항 검토

구분	구분	구분	구분
1. 시험 장비	2. 시험 방법	3. 시험 결과	4. 시험 평가
1.1. 센서류	1.1.1. 압력 센서	1.1.2. 유량 센서	1.1.3. 온도 센서
1.2. 밸브류	1.2.1. 유량제어밸브	1.2.2. 압력제어밸브	1.2.3. 방향제어밸브
1.3. DAQ류	1.3.1. Analog-to-Digital	1.3.2. Digital-to-Analog	1.3.3. Digital Input / Output
1.4. 누유시험류	1.4.1. 실린더 사양	1.4.2. 유량센서	1.4.3. 누유시험류
1.5. 시험평가용 지그 및 마운트	1.5.1. 지그	1.5.2. 마운트	1.5.3. 시험평가용 지그 및 마운트
1.6. 시험 계측기	1.6.1. 검교정	1.6.2. 교정 성적서	1.6.3. 시험 계측기

그림 47. 보완 제작 시방서 사진

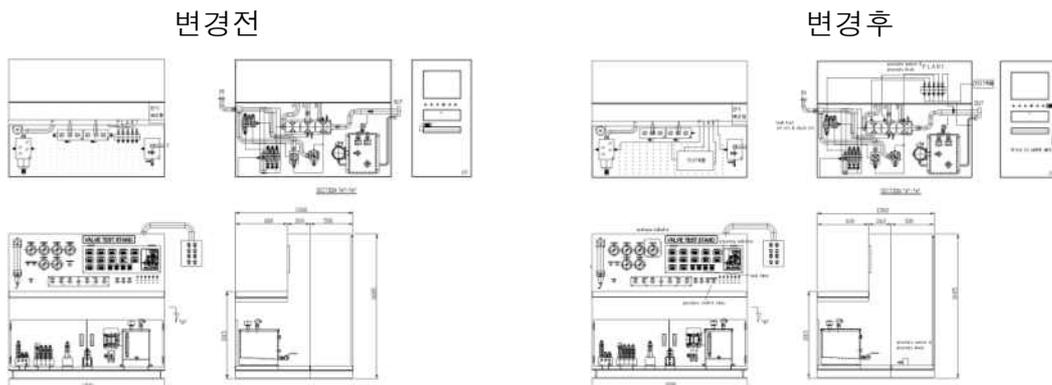


그림 48. 현 시험 장치 및 변경 시험 장치



그림 49. 현 시험 장치 및 변경 시험 장치 사진

- ⑥ 자동 조향 시스템 Proto 추진
  - ㉞ 주조 소재 목형 설계 및 제작
    - Ⓐ 밸브 바디 목형 제작



밸브바디 목형

- Ⓑ 밸브 바디 간이 지그 제작
  - ㉟ 유로 각도 형성을 위한 간이 지그 제작
  - ㊱ 정밀 가공 및 황, 정삭 가공성 증대를 위한 간이 지그 제작



밸브바디  
1차 간이지그

밸브바디  
2차 간이지그

- Ⓒ 밸브 바디 가공 공구 선정 및 제작
  - ㉟ 동심도 및 원통도 확보를 위한 가공 툴 선정
  - ㊱ 유로 형성을 위한 가공 툴 선정
  - ㊲ 특수 형상 가공을 위한 전용 툴 선정



버니싱드릴

버니싱리머 4종

포트툴 4종

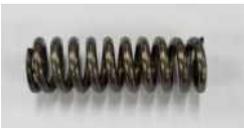
포트툴 7종

호닝툴

T커터

㉔ Proto 제작

- ① 소재 가공 및 열처리
- ② 정밀 각오 및 조립 공정도 작성
- ③ 구성품 가공 및 조립
- ④ 황삭, 정삭 및 연마 공정 설계 및 적용
- ⑤ 열처리 온도 선도 확정 및 경화 깊이, 표면/심부 경도 제어
- ⑥ 구매품 규격 검토 및 구매

			
밸브바디	바디 오리피스 플러그	M12 플러그	M22 플러그
			
안전밸브 하우징	안전밸브 포펫	안전밸브 스프링	안전밸브 조정플러그
			
조향밸브 플러그1	조향밸브 스푼	조향밸브 스프링	조향밸브 시트
			
조향밸브 샤프트	조향밸브 플러그2	유량조절밸브 플러그	전환밸브 스프링
			
전환밸브 스푼	유량조절밸브 스프링	유량조절밸브 오리피스	유량조절밸브 스푼
			
파일럿공급밸브 스프링	파일럿공급밸브 포펫	파일럿공급밸브 스푼	파일럿공급밸브 플러그
			
PF1/2 플러그	전환밸브 플러그1	컨트롤러 바디	컨트롤러 솔레노이드

			
오링	스냅링	백업링	전환 솔레노이드

㉔ 자동 조향 시스템 Proto 조립 및 성능 평가

㉔ 자동 조향 시스템 Proto 성능시험용 지그 추진

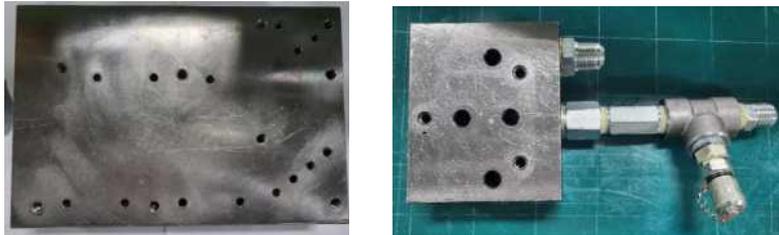


그림 50. 성능 시험용 지그

㉔ 자동 조향 시스템 Proto 조립

㉔ 부품 상태 확인 및 조립상 간섭 여부 확인



그림 51. 조립 사진

㉔ 자동 조향 시스템 Proto 성능 시험

㉔ 작동 확인 및 성능 확인

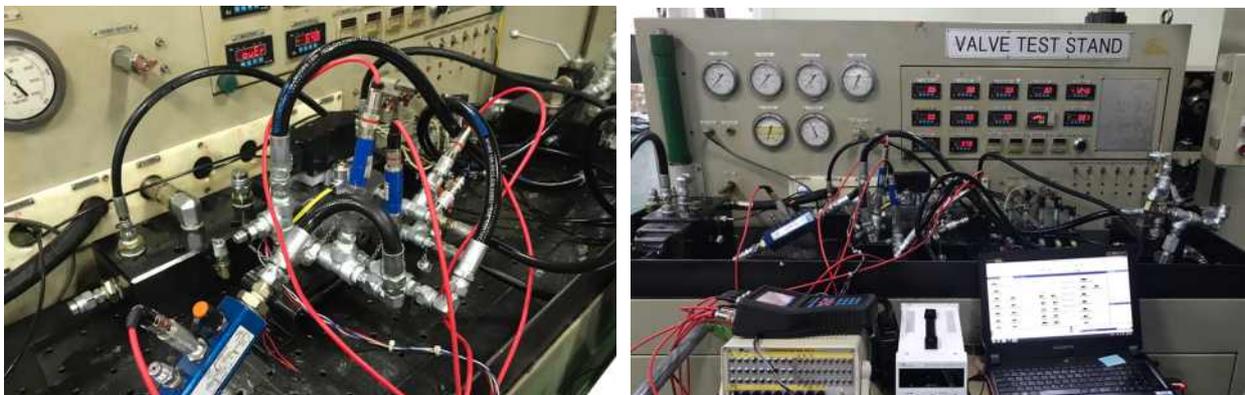


그림 52. 성능 시험 사진

항목	시험 결과		비고
	#1	#2	
스티어링 시험	Safety Mode : LED RED 점등 Offroad Mode : LED GREEN 점등		
스타트업 시험	5 사이클 반복 작동 특이사항 없음		
파일럿 공급 시험	Setting Pre. : 149.1bar Peak Pre. : 175.4bar	Setting Pre. : 150.2bar Peak Pre. : 178.9bar	(at 25 lpm)
외부 누유 확인 시험	누유 없음		
유량 조절 시험	곡률 값에 따른 토출 압력 확인		
유량에 따른 차압시험	7~9bar	7~9bar	
유량 제어 시험	차속 27 조건에서 압력 및 유량 최소		
절환 응답성 시험	On : 0.464 s Off : 0.042 s	On : 0.425 s Off : 0.029 s	
유량 조절밸브 부하 시험	21.6 ~ 26.1 lpm	21.5 ~ 26.2 lpm	(부하 조건별)

- 상세 시험 결과  
· 안전밸브 Test

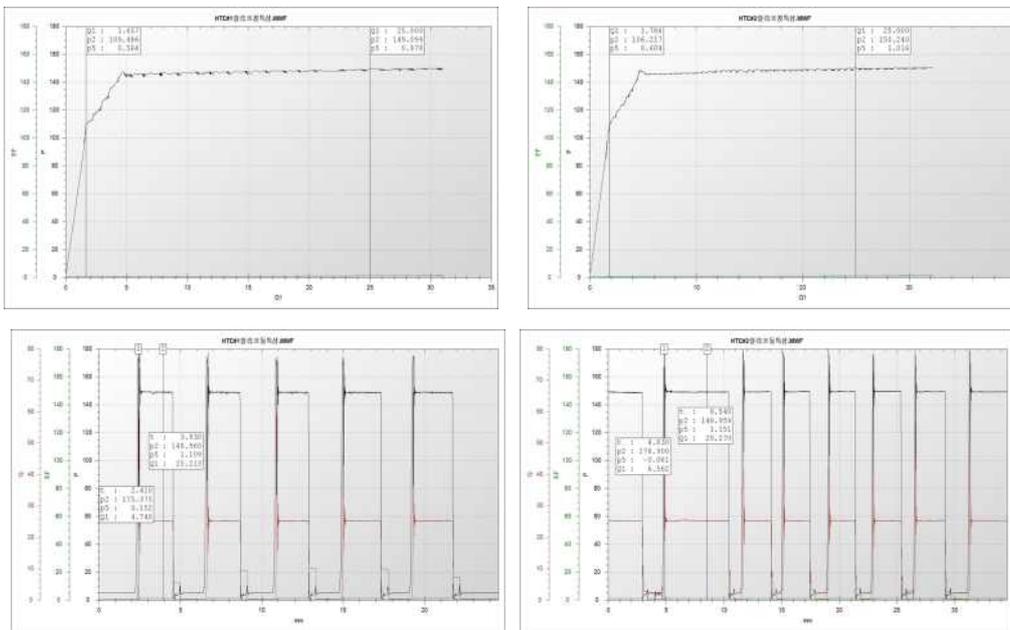


그림 53. Pilot relief valve 정특성, 동특성

· 조향밸브 flow rate

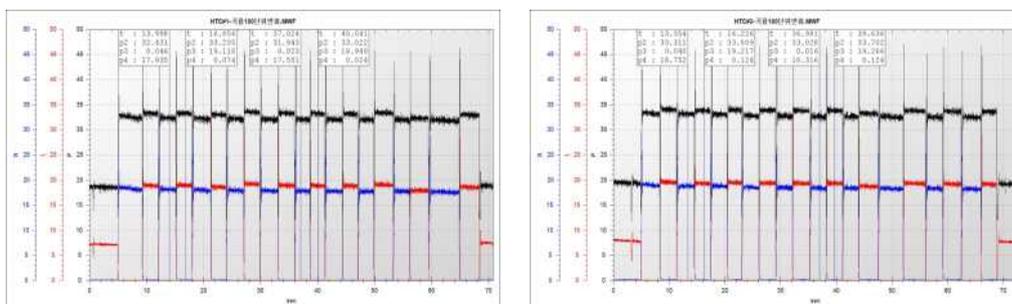


그림 54. EH flow rate

· 유량에 따른 P-EF 차압

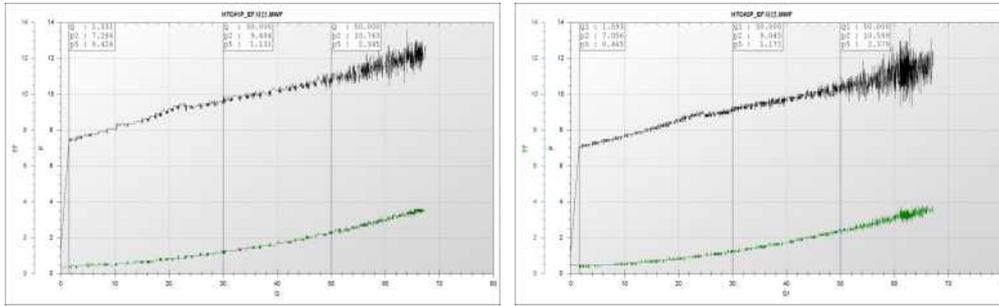


그림 55. 유량에 따른 P-EF 차압

· Flow limitation

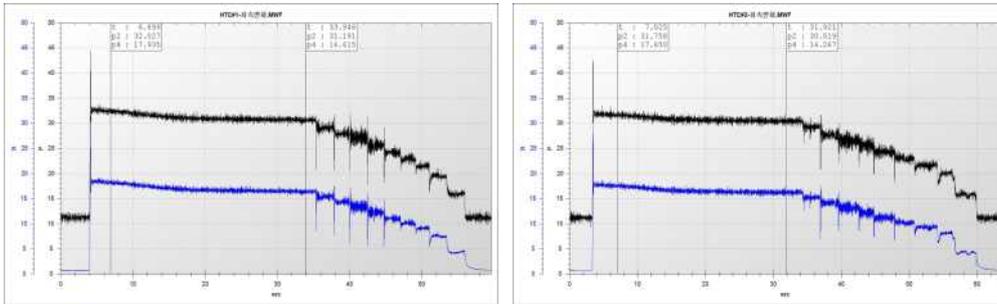


그림 56. Flow limitation

· 절환 응답성 시험

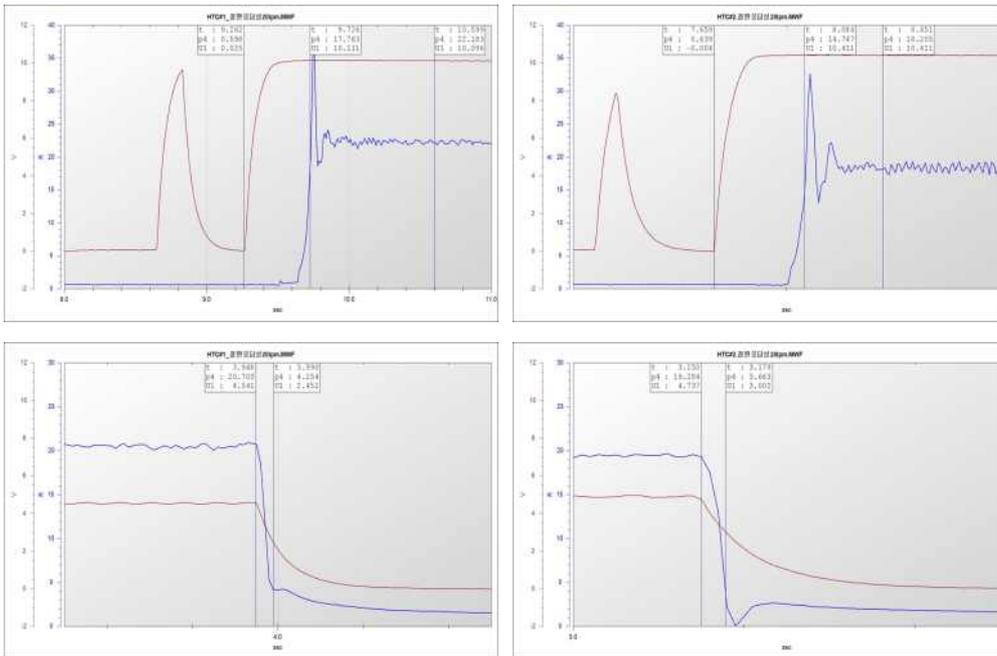


그림 57. 절환 응답성 시험

· 유량조절밸브 부하조건에서의 유량 변화 확인

HTC #1	L제어	부하조건	P압력	L압력	R압력	EF압력	제어유량	R제어	부하조건	P압력	L압력	R압력	EF압력	제어유량
		무부하	43.8	25.1	0.1	2.0	21.6		무부하	41.2	0.1	21.1	2.0	20.1
		부하50k	73.0	50.0	0.1	2.0	22.3		부하50k	72.2	0.1	50.0	2.0	21.0
		부하100k	131.1	100.0	0.1	2.0	26.1		부하100k	127.0	0.1	100.0	2.0	24.0
HTC #2	L제어	부하조건	P압력	L압력	R압력	EF압력	제어유량	R제어	부하조건	P압력	L압력	R압력	EF압력	제어유량
		무부하	43.5	24.7	0.1	1.8	21.5		무부하	42.4	0.1	22.1	2.0	20.0
		부하50k	73.5	50.0	0.1	1.8	22.2		부하50k	72.8	0.1	50.0	2.0	21.1
		부하100k	130.2	100.0	0.1	1.8	26.2		부하100k	126.4	0.1	100.0	2.0	24.3

그림 58. 유량조절밸브 부하조건에서의 유량 변화 확인

④ 공인 인증 시험

㉠ 공인기관 입회 검사

- ㉡ 시험장소 : 하이드로텍(주) 1층, 대구광역시 달서구 성서로 68길 3
- ㉢ 입회기관 : 대구기계부품연구원 (DMI)
- ㉣ 시험 장비

순번	장비정보				교정일
	장비명	제조사	모델명	기기번호	
1	자동 조향 시스템 성능시험기	HYSYS	R&D BENCH	HTM-RH-02	2021.06.13

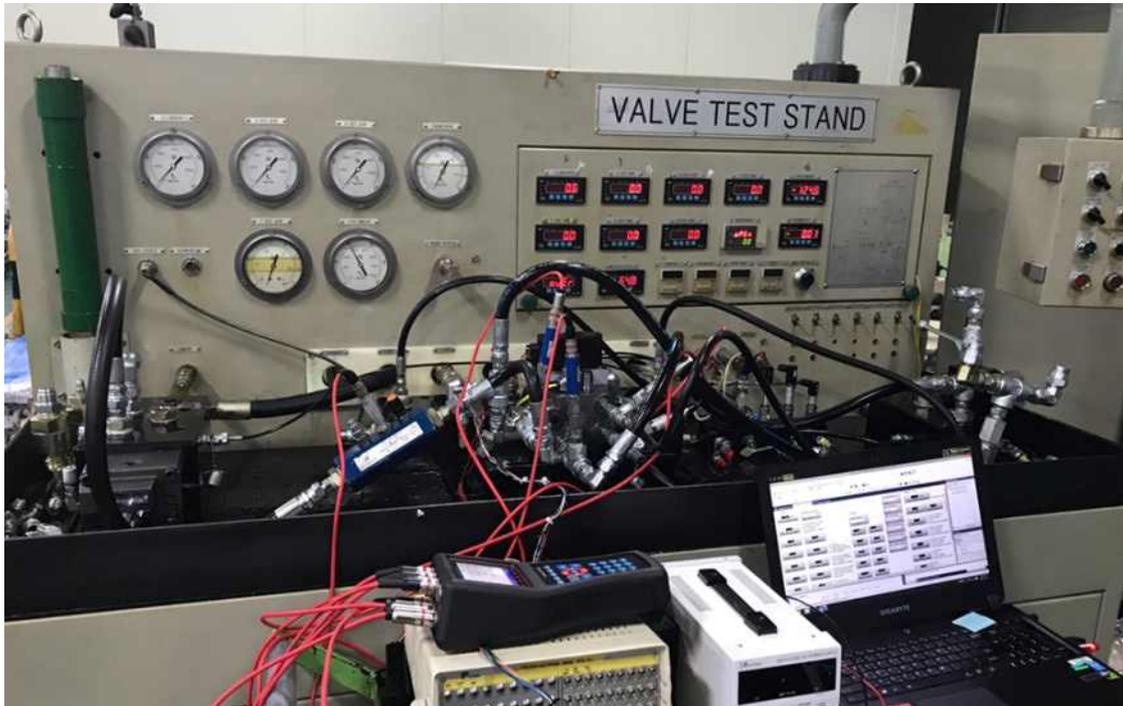
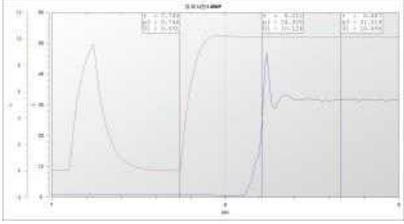


그림 59. 자동 조향 시스템 성능시험기 및 장착 사진

㉤ 시험 항목 및 방법

순번	시험항목	시험규격	평가방법	사용 시험장비
1	자동조향밸브 최대입력유량	RS B 0029	정격 유량 공급 조건에서 작동시 이상 소음 및 외부 누유 없이 정상 작동 할 것.	자동조향 밸브 성능시험 장비
2	자동조향밸브 제어유량	RS B 0029	조향 공급 포트에 압력을 인가하고 귀한 포 트에 유량을 정격유량이 되도록 설정하여 이때 유량 확인	
3	자동조향밸브 최고압력	RS B 0029	조향 공급 포트에 압력을 인가하여 릴리프 작동 압력 확인	
4	자동조향밸브 절환특성	RS B 0029 KS B 6510	정격 유량 또는 압력을 설정하여 통전시 작 업 포트 유량 또는 압력이 공급 유량 또는 압력의 80%에 도달하는 시간을 측정	

㉔ 시험 결과

시험항목	단위	시험 결과	
최대입력유량	L/min	50.3	
제어유량	L/min	20.7	
최고압력	bar	192.2	
절환특성	sec	0.472 (전압시간 : 7.740) (제어압력 시간 : 8.212)	

㉕ 공인 성적서 접수 후 추후 추가 예정

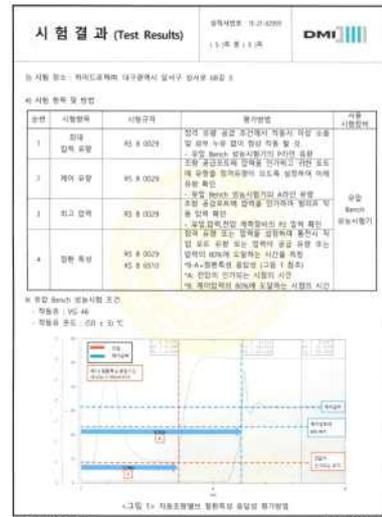


그림 60. 공인입회 시험 성적서

(2) 2차년도 추진 실적

① 자동 조향 시스템 Pilot 제작

㉞ 1차년도 주요 문제점 및 개선 설계

구분	개선 항목	개선 방안	비고
BODY	내부 유로 주물사 발생	코렌 공정 추가 진행	
	내부 단 미가공 발생	해당 부위 단 가공 위치 수정	
	외부 소재 음각 미흡	금형 수정을 통한 음각 개선	
	2차년도 정량적 목표치 달성 (공급유량 및 제어유량 증대)	BODY-EH SPOOL 간의 유로 개방 면적 확대	
EH SPOOL	2차년도 정량적 목표치 달성 (공급유량 및 제어유량 증대)	BODY-EH SPOOL 간의 유로 개방 면적 확대	
	2차년도 정량적 목표치 달성 (절환응답성 단축)	노치형태 변경	
PRIO SPOOL	2차년도 정량적 목표치 달성 (공급유량 및 제어유량 증대)	오리피스 Ø 증대	
RELIEF VALVE	2차년도 정량적 목표치 달성 (최대압력 증대)	스프링 하중값 증대 설계	
SOLENOID VALVE	브레이징 공정 미접합 발생	구조변경을 통한 개선	

㉞ 밸브바디 개선

㉞ 밸브바디 소재 내부 유로에서 주물사 대거 발생

㉞ 밸브바디 소재 코렌 공정을 추가하여 주물사 제거

㉞ 밸브바디 소재 외부 음각 미흡

㉞ 밸브바디 소재 금형 수정을 통한 음각 개선

㉞ 밸브바디 단 미가공 발생

㉞ 밸브바디 단 가공 위치 이동을 통한 가공 개선

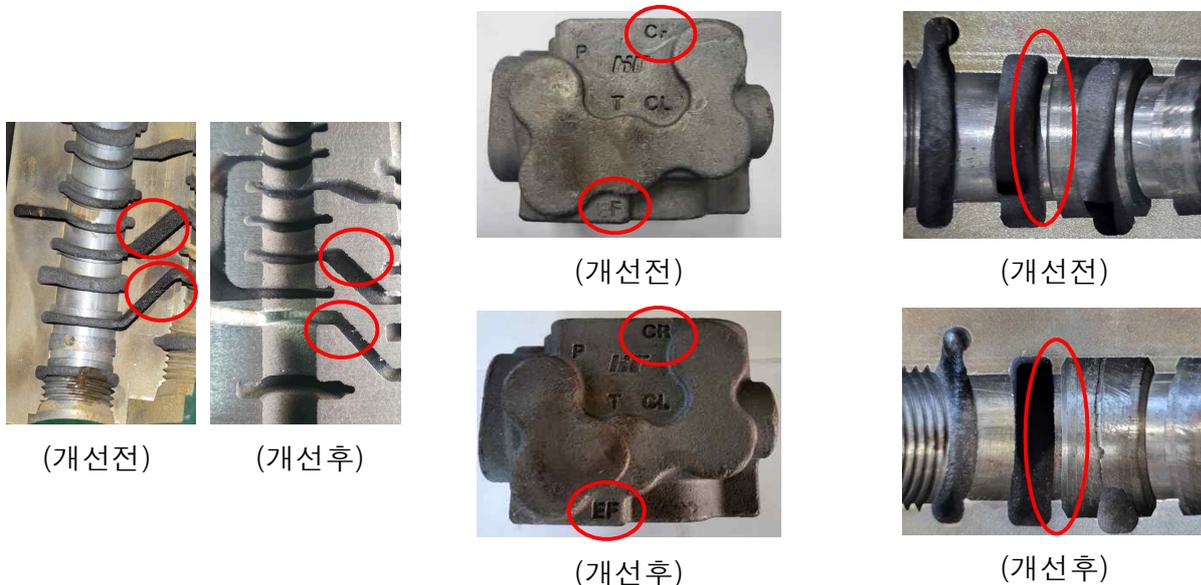


그림 61. 밸브바디 개선 사진

㉔ 공급 유량 및 제어 유량 증대 개선

㉕ BODY-SPOOL 간의 유로 개방 면적 확대

- ㉖ BODY의 단가공을 변경하여 유로 개방 거리 x값을 증대
  - ㉗ 최대 스트로크 기준 유로 개방 면적 130% 증대
- 유로 개방 면적  $A=2\pi rx$  로 계산한다.

$$\begin{aligned} A_1 &= 2 \times \pi \times r \times x_1 \\ &= 2 \times \pi \times 9 \times 4.6 \\ &= 260.12 \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_2 &= 2 \times \pi \times r \times x_2 \\ &= 2 \times \pi \times 9 \times 6 \\ &= 339.29 \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\therefore \frac{A_2}{A_1} = \frac{260.12}{339.29} = 130\%$$

㉖ PRIO SPOOL 오리피스 홀 지름 증대 ( $\Phi 0.6 \rightarrow \Phi 1.5$ )

- ㉗ 제어유량 20L/min에서 25 L/min으로 증대 됨에 따라 차압 증가
- 기존대비 1.56배 증가 예상

$$Q = CA \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} = C \frac{\pi}{4} D^2 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} = C \frac{\pi}{4} D^2 \sqrt{\frac{2g\Delta P}{\gamma}}$$

$$Q_2 = 1.25 Q_1$$

$$C \frac{\pi}{4} D_2^2 \sqrt{\frac{2g\Delta P_2}{\gamma}} = 1.25 C \frac{\pi}{4} D_1^2 \sqrt{\frac{2g\Delta P_1}{\gamma}}$$

$$\left( C \frac{\pi}{4} D_2^2 \sqrt{\frac{2g\Delta P_2}{\gamma}} \right)^2 = \left( 1.25 C \frac{\pi}{4} D_1^2 \sqrt{\frac{2g\Delta P_1}{\gamma}} \right)^2$$

$$\Delta P_2 = 1.25^2 \Delta P_1 = 1.5625 \Delta P_1$$

- ㉘ 차압해소를 위한 오리피스 크기 증대

기존대비 0.04배 차압 해소 예상

$$Q_2 = 1.25 Q_1$$

$$C \frac{\pi}{4} D_2^2 \sqrt{\frac{2g\Delta P_2}{\gamma}} = 1.25 C \frac{\pi}{4} D_1^2 \sqrt{\frac{2g\Delta P_1}{\gamma}}$$

$$\left( C \frac{\pi}{4} D_2^2 \sqrt{\frac{2g\Delta P_2}{\gamma}} \right)^2 = \left( 1.25 C \frac{\pi}{4} D_1^2 \sqrt{\frac{2g\Delta P_1}{\gamma}} \right)^2$$

$$\Delta P_2 = 1.25^2 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^4 \Delta P_1 = 1.25^2 \left( \frac{0.6}{1.5} \right)^4 \Delta P_1 = 0.04 \Delta P_1$$

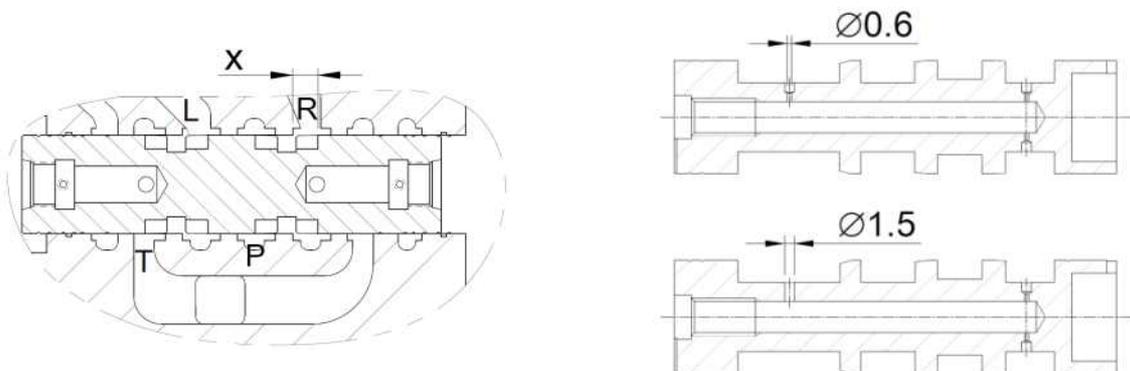


그림 62. 유량 증대 개선 사진

㉔ 절환응답성 개선

㉑ EH SPOOL 노치 형태 변경을 통한 절환응답성 개선

㉒ 동일 SPOOL 변위 위치에서 유량이 통과되는 면적 증대

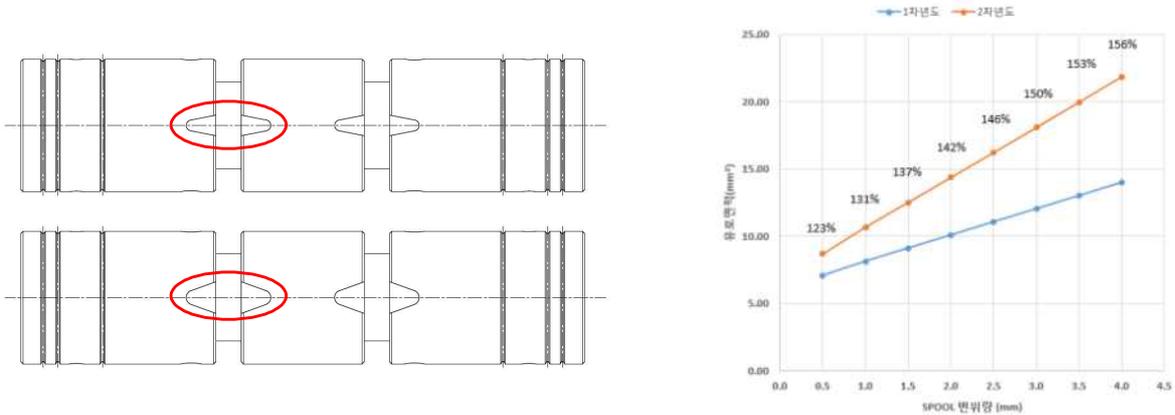


그림 63. 절환응답성 개선 사진

㉕ RELIEF VALVE 압력증대

㉑ SPRING 하중값 증대를 통한 RELIEF VALVE 압력 증대

· POPPET을 열려고 하는 힘  $F_p = \frac{\pi}{4} D^2 P$

D : 밸브 접촉 시트의 지름

P : 압력

· POPPET을 닫으려고 하는 스프링의 힘  $F_s = kS$

k : 스프링 상수

S : 스프링의 변위량

$F_p = F_s$  시점에서 릴리프밸브가 작동하기 시작하므로 릴리프의 압력식은

$$\therefore P = kS \frac{4}{\pi D^2} = \frac{F_s}{A} \text{ 로 계산한다.}$$

A : 밸브 접촉 시트의 단면적

항목	1차년도	2차년도
릴리프밸브 시트 단면적	4.15mm <sup>2</sup>	4.15mm <sup>2</sup>
스프링 하중값	7.97kg	8.84kg
릴리프밸브 압력값	192.05 kgf/cm <sup>2</sup>	213.01 kgf/cm <sup>2</sup>

㉖ 솔레노이드 밸브 브레이징 공정 미접합 발생

㉑ 솔레노이드 밸브 구조 변경을 통한 공정 개선

㉒ 솔레노이드 밸브의 CAP, STOPPER, TUBE 의 접촉면적 증대 및 흠 추가를 통하여 구리와 부품간의 접합력 증대

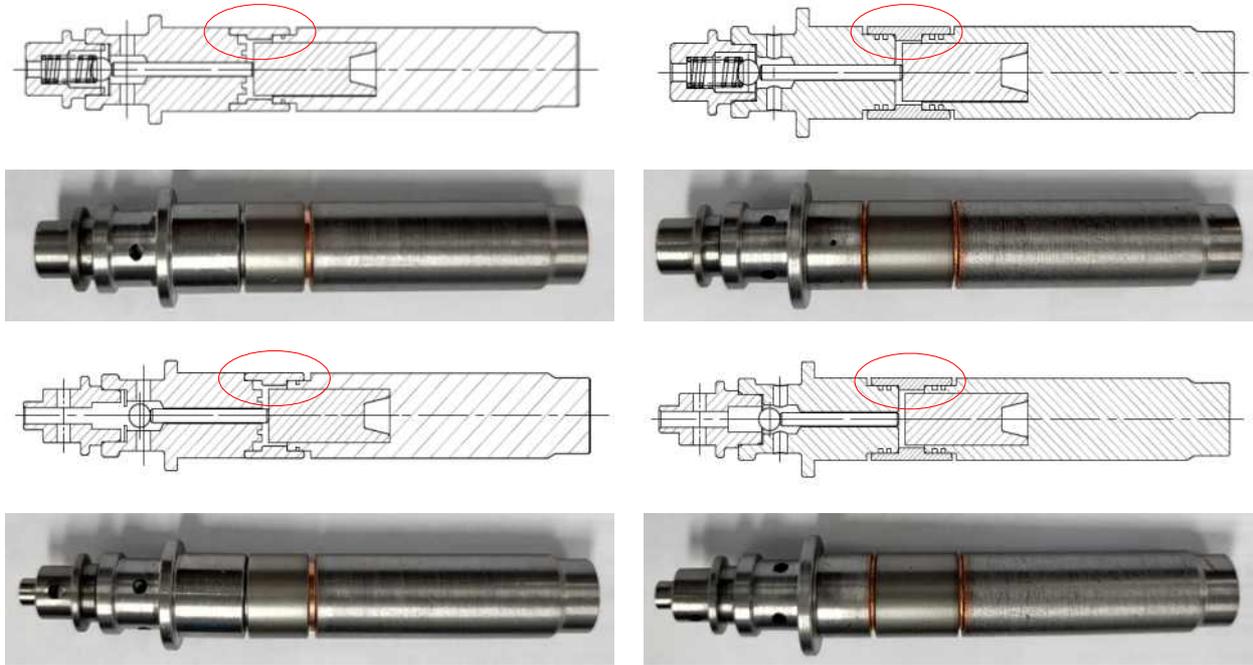


그림 64. 솔레노이드 구조 변경 사진

㉔ 2차년도 Pilot 추진

			
밸브바디	바디 오리피스 플러그	M12 플러그	M22 플러그
			
안전밸브 하우징	안전밸브 포펫	안전밸브 스프링	안전밸브 조정플러그
			
조향밸브 플러그1	조향밸브 스푼	조향밸브 스프링	조향밸브 시트
			
조향밸브 샤프트	조향밸브 플러그2	유량조절밸브 플러그	전환밸브 스프링

			
전환밸브 스푼	유량조절밸브 스프링	유량조절밸브 오리피스	유량조절밸브 스푼
			
파일럿공급밸브 스프링	파일럿공급밸브 포핏	파일럿공급밸브 스푼	파일럿공급밸브 플러그
			
PF1/2 플러그	전환밸브 플러그1	컨트롤러 바디	컨트롤러 솔레노이드
			
오링	스냅링	백업링	전환 솔레노이드

㉔ 2차년도 Pilot 성능시험

항목	시험 결과		비고
	#1	#2	
스티어링 시험	Safety Mode : LED BLUE 점등 Offroad Mode : LED GREEN 점등		
스타트업 시험	5 사이클 반복 작동 특이사항 없음		
파일럿 공급 시험	Setting Pre. : 214.8bar Peak Pre. : 217.4bar	Setting Pre. : 212.1bar Peak Pre. : 217.8bar	(at 25 lpm)
외부 누유 확인 시험	누유 없음		
유량 조절 시험	곡률 값에 따른 토출 압력 확인		
유량에 따른 차압시험	11~13bar	10~13bar	
유량 제어 시험	차속 27 조건에서 압력 및 유량 최소		
절환 응답성 시험	On : 0.100 s Off : 0.044 s	On : 0.111 s Off : 0.045 s	
유량 조절밸브 부하 시험	25.0 ~ 30.9 lpm	25.5 ~ 30.5 lpm	(부하 조건별)

- 상세 시험 결과
- 안전밸브 Test

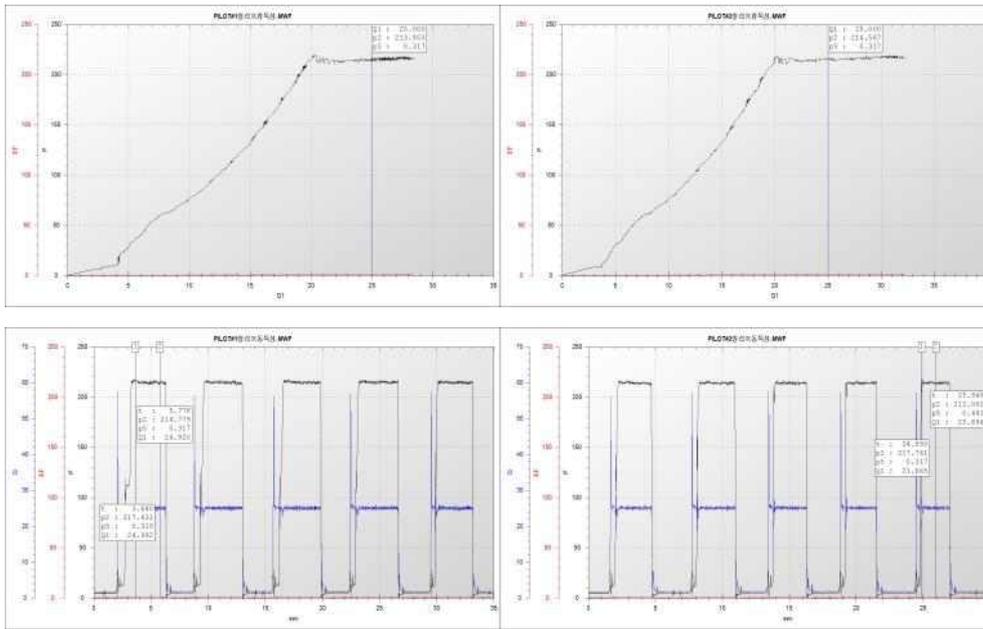


그림 65. Pilot relief valve 정특성, 동특성

- 조향밸브 flow rate

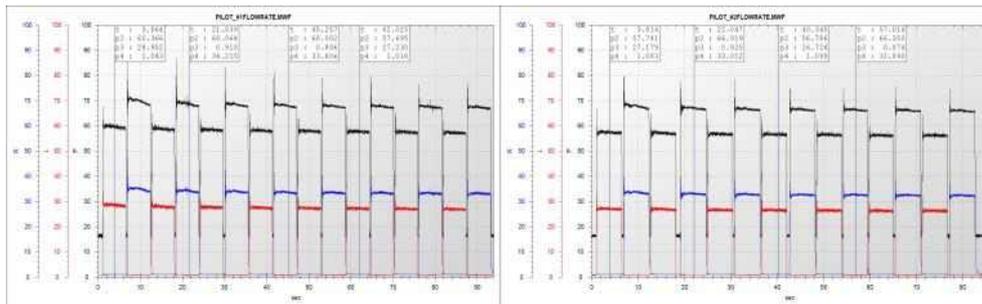


그림 66. EH flow rate

- 유량에 따른 P-EF 차압

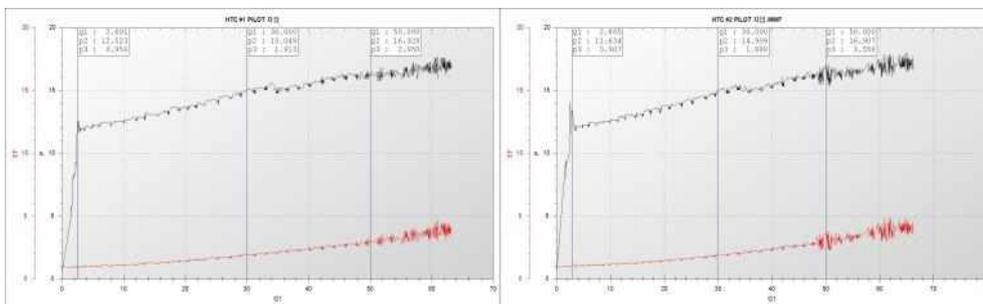


그림 67. 유량에 따른 P-EF 차압

· Flow limitation

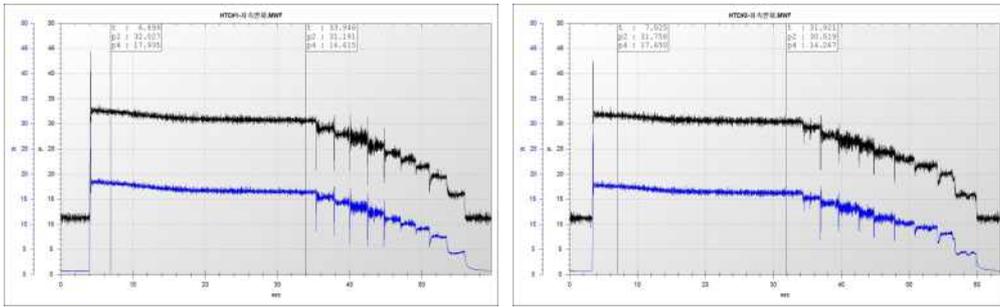


그림 68. Flow limitation

· 절환 응답성 시험

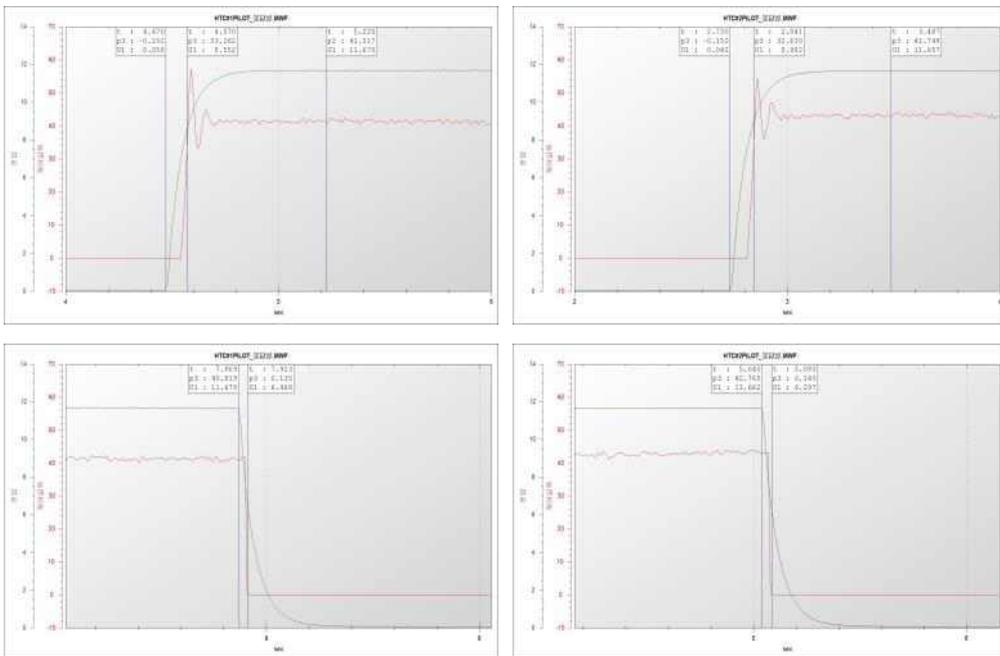


그림 69. 절환 응답성 시험

· 유량조절밸브 부하조건에서의 유량 변화 확인

HTC PILOT #1	L제어	부하조건	P압력	L압력	R압력	EF압력	제어유량	R제어	부하조건	P압력	L압력	R압력	EF압력	제어유량
		무부하	56.6	23.7	0.9	0.9	25.0		무부하	62.7	0.9	30.5	1.1	27.1
		부하50k	93.2	50.0	0.9	29.9		부하50k	95.0	0.9	50.0	0.9	30.9	
		부하100k	145.0	100.0	1.0	27.3		부하100k	144.0	0.9	100.0	0.9	28.2	
HTC PILOT #2	L제어	부하조건	P압력	L압력	R압력	EF압력	제어유량	R제어	부하조건	P압력	L압력	R압력	EF압력	제어유량
		무부하	55.5	23.2	0.9	0.9	25.5		무부하	61.3	0.9	29.5	1.0	26.4
		부하50k	94.5	50.0	0.9	29.7		부하50k	94.0	0.9	50.0	0.9	30.5	
		부하100k	142.0	100.0	1.0	27.5		부하100k	142.0	0.9	100.0	0.9	27.9	

그림 70. 유량조절밸브 부하조건에서의 유량 변화 확인

② 자동 조향 시스템 시뮬레이터 제작

㉠ 실제 본기의 앞차축을 사용하여 본기조건을 구현한 시뮬레이터 제작

㉡ 실제 본기의 유압 펌프 사양을 반영

㉢ 본기 엔진 정격 출력 : 2,200rpm에서 93.2kW

㉣ 본기 유압 펌프 사양 : 21.cc/rev , 46.2 lpm

㉤ 시뮬레이터 사양

㉥ 공급유량 : MAX 60 lpm

㉦ 작동압력 : MAX 210 kgf/cm<sup>2</sup>

㉧ 작동유 : ISO VG 32

㉨ 사용온도 : 45℃~55℃

㉩ 사용전압 : MAIN - 380V

CONTROL - 220V

㉪ 시뮬레이터 제작 도면

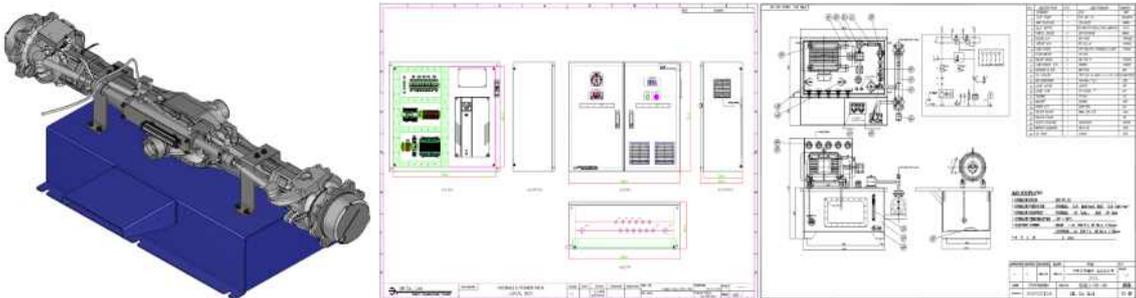


그림 71. 시뮬레이터 제작 도면

㉫ 시뮬레이터 설치 사진

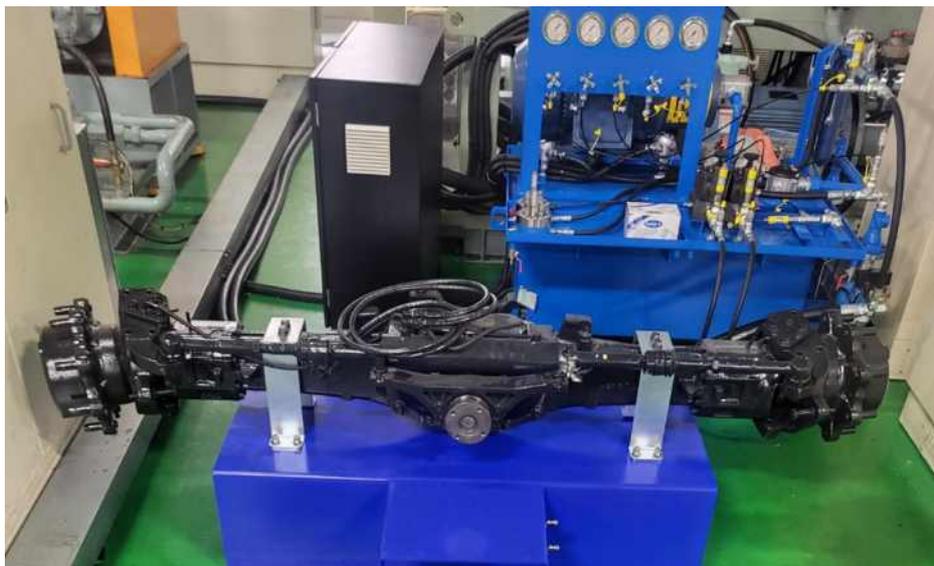


그림 72. 자동 조향 시스템 시뮬레이터 사진

③ 자동 조향 밸브 공인기관 입회 검사 및 자동 조향 시스템 내구 수명 평가

㉠ 공인기관 입회 검사 및 내구 수명 평가

㉡ 시험장소 : 하이드로텍(주) 1층, 대구광역시 달서구 성서로 68길 3

㉢ 입회기관 : 대구기계부품연구원 (DMI)

© 시험 장비

순번	장비정보				교정일
	장비명	제조사	모델명	기기번호	
1	자동 조향 시스템 성능시험기	HYSYS	R&D BENCH	HTM-RH-02	2022.06.02
2	자동 조향 시스템 시뮬레이터	(주)쓰리알	R&D SIMULATOR	HTM-RH-11	2022.07.15 (도입일)

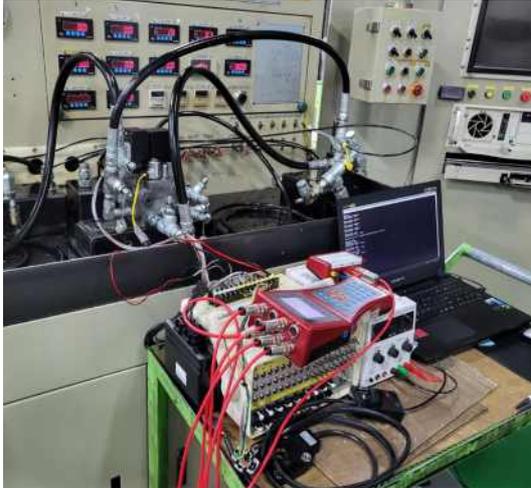


그림 73. 자동 조향 시스템 성능시험기 및 장착 사진



그림 74. 자동 조향 시스템 시뮬레이터 및 장착 사진

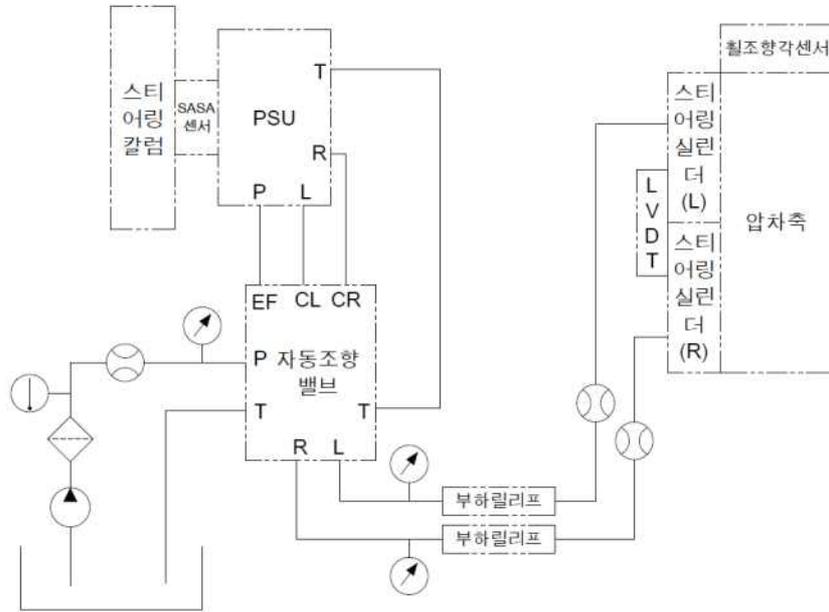


그림 75. 내구 수명 평가 시험 장치의 기본 유압 회로도

㉔ 시험 항목 및 방법

순번	시험항목	시험규격	평가방법	사용 시험장비
1	자동조향밸브 최대입력유량	RS B 0029	정격 유량 공급 조건에서 작동시 이상 소음 및 외부 누유 없이 정상 작동 할 것.	자동조향 밸브 성능시험 장비
2	자동조향밸브 제어유량	RS B 0029	조향 공급 포트에 압력을 인가하고 귀한 포트에 유량을 정격유량이 되도록 설정하여 이때 유량 확인	
3	자동조향밸브 최고압력	RS B 0029	조향 공급 포트에 압력을 인가하여 릴리프 작동 압력 확인	
4	자동조향밸브 절환특성	RS B 0029 KS B 6510	정격 유량 또는 압력을 설정하여 통전시 작업 포트 유량 또는 압력이 공급 유량 또는 압력의 80%에 도달하는 시간을 측정	
5	자동조향밸브 내구수명	RS B 0029	자동조향밸브 좌/우 102,600 Cycle 작동 내구 시험 후 성능 저하 5% 이내일 것	자동조향 밸브 시뮬레이터

㉕ 내구시험 Cycle : 6,000 hr 등가 (102,600회)

㉖ 보증 수명, 불신도, 신뢰수준 및 시료수를 통한 무고장 시험시간 산출

- 수명 분포: Weibull 분포 (형태모수  $\beta=2.0$ )
- 보증 수명:  $B_{100p} = B_{10} = 6,000$
- 불신도:  $p=0.1$
- 신뢰 수준:  $CL=0.8$  (80%)
- 시료수:  $n=1$
- 무고장 시험 시간:

$$t_n = B_{100p} \times \left[ \frac{\ln(1-CL)}{n \times \ln(1-p)} \right]^{\frac{1}{\beta}} = 6,000 \times \left[ \frac{\ln(1-0.8)}{\ln(1-0.1)} \right]^{\frac{1}{2.0}} = 23,450$$

등가 평균 부하 및 시험 부하 조건에 따른 가속 수명 시험 시간 산출

- 등가 평균 부하:  $T_{eq} = 50bar$
- 등가 평균 속도:  $\omega_{eq} = 0.5m/s$
- 시험 부하:  $T_{test} = 80bar$
- 시험 속도:  $\omega_{test} = 1.0m/s$
- 가속 지수:  $m=9.0$
- 가속 계수:

$$AF = \left( \frac{T_{test}}{T_{eq}} \right)^m \left( \frac{\omega_{test}}{\omega_{eq}} \right) = \left( \frac{80}{50} \right)^{9.0} \left( \frac{1.0}{0.5} \right) = 137.439$$

- 가속수명 시험 시간:

$$t_{na} = \frac{t_n}{AF} = \frac{23,450}{137.439} = 170.6238 \approx 171시간$$

- 시험 사이클 주기 : 6s
- 총 사이클 수 :  $171 \times 60 \times 60 \div 6 = 102,600$ 회
- 가속 수명 계수 적용을 통한 내구수명 산출
  - 시료 1개를 102,600회 시험 후, 1개 모두 고장이 없고 대표성능시험을 실시하여 성능의 저하가 10% 이내일 경우, 신뢰수준 80%에서 작동 수명 6,000 시간( $B_{10}$  수명)을 보장

㉔ 내구 수명 평가 증빙자료

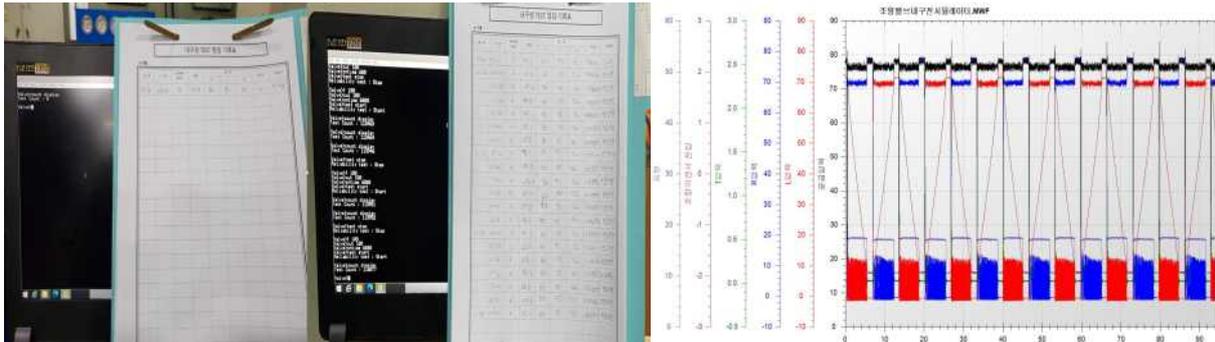


그림 76. 내구 수명 평가 기록표 및 작동 그래프 사진

㉕ 시험 결과

항목	단위	시험 결과		변화량	2차년도 정량적목표
		내구시험전	내구시험후		
최대입력유량	L/min	60.56	60.26	0.5% 성능저하	60
제어유량	L/min	25.58	25.12	1.8% 성능저하	25
최고압력	bar	220.96	219.28	0.8% 성능저하	210
절환특성 응답성	sec	0.1034	0.1062	2.7% 성능저하	0.5

- 내구 시험 전/후 비교시 절환특성 응답성에서 최대 2.7% 성능저하 되었음.
- 내구 시험 전/후 변화량은 4개 항목 5% 미만으로 일반적인 성능저하로 나타남.

① 공인 성적서



그림 77. 공인입회 시험 성적서

④ 자동 조향 시스템 개발품에 대한 완성차 업체 적용 호환성 검토

㉞ 국내 3사 자율주행 트랙터 호환성 검토

- ㉠ 국내 2.5단계(자율주행+장애물 감지 및 회피) 자율주행 트랙터 출시
- ㉡ 국내 3사 자율주행 트랙터의 조향 구현방식 검토
- ㉢ 기존 출시된 트랙터의 경우 트랙터의 부분적인 Lay-out 변경이 필요
- ㉣ 레고 블록(모듈)식 설계 Concept 구현시 확장성이 높아질 것으로 판단됨



그림 78. 국내 3사 트랙터 예시 사진

[공동연구개발기관명 : 대동공업(주)]

(1) 1차년도 추진 실적

① 자동 조향 유압시스템의 정합성 및 본기 System 영향성 검토

㉠ 자동 조향 시스템의 유압회로 검토

㉡ 자동 조향 시스템의 유압회로는 기능의 탑재 유연성과 기존 제품으로의 확대 적용성을 높이기 위해 기존 대형 트랙터의 순환시스템, 조향시스템, 밧션 제어 시스템, 작업기 제어 시스템에 추가적으로 자동 조향 밸브를 적용하는 방안으로 검토함.

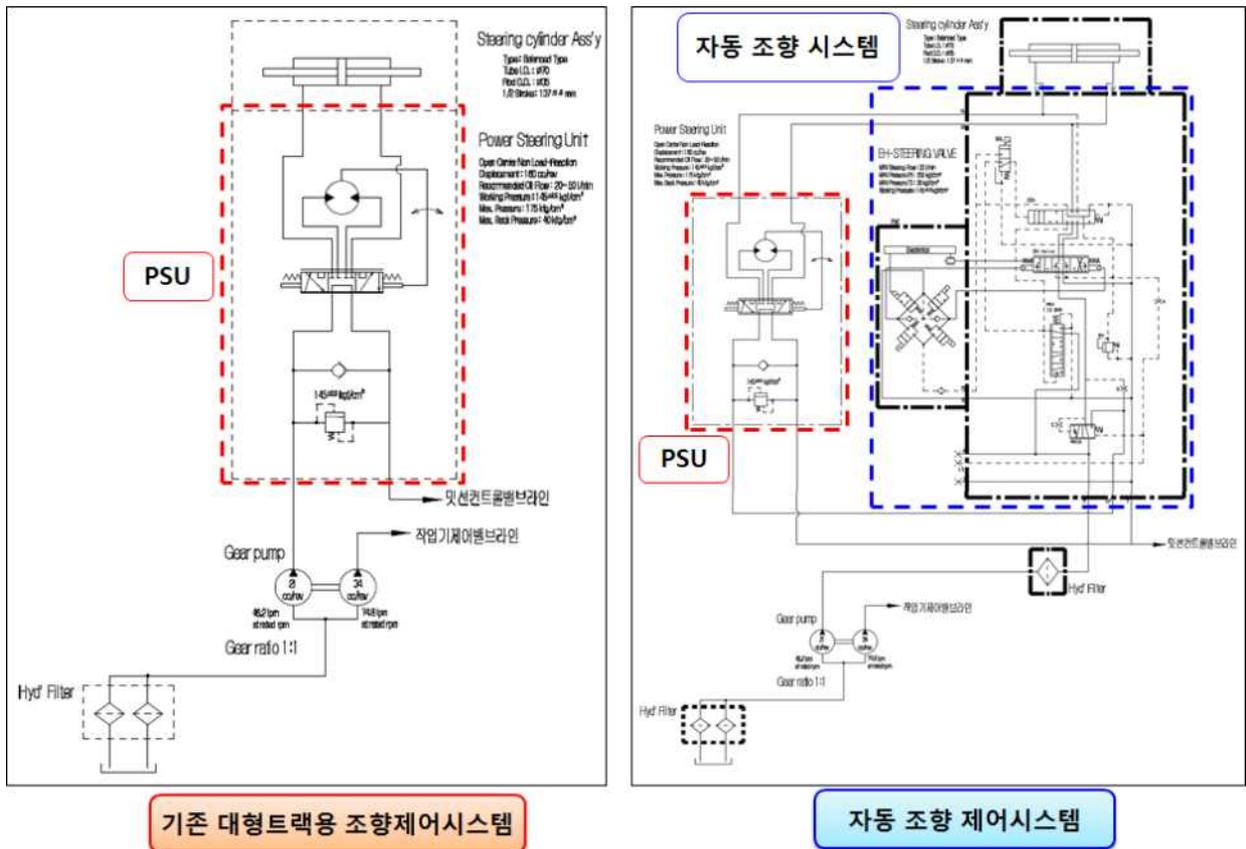


그림 79. 트랙터용 조향제어시스템 구성

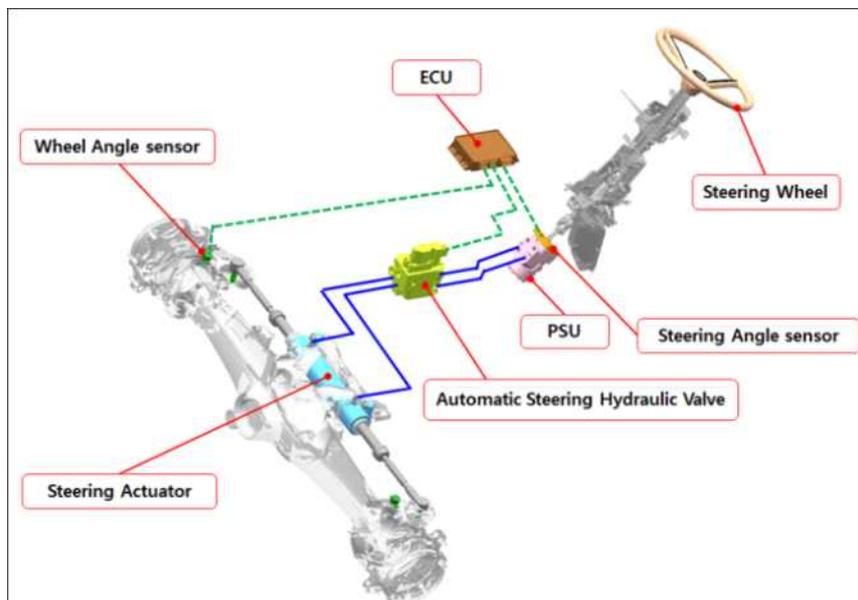


그림 80. 대형(75kW 이상) 트랙터 스마트 자동 조향 제어 시스템 구성도

⑧ 조향 시스템 사양 검토

- ㉠ 대형 트랙터용 자동 조향 제어시스템은 핸들을 조작하여 구동하는 기존 방식의 파워 스티어링 유니트와 조향제어 알고리즘에 따라 앞차축의 조향각을 좌/우 조정하기 위한 조향제어밸브로 구성됨
- ㉡ 75kW 이상의 트랙터용 파워 스티어링 유니트는 조향 성능 및 핸들 조작성 등을 고려하여 용량을 120cc/rev 로 선정하였으며, 고속 주행 시 차량의 직진성 향상을 위해 Load-Reaction 타입을 선정함.

⑨ 순환 시스템 사양 검토

- ㉠ 개발모델인 75kW 이상의 트랙터의 조향 시스템에 선정된 120cc/rev의 파워스티어링 유니트는 정상적인 작동을 위해 20LPM ~ 40LPM 의 정격유량이 요구되어지며, 다양한 작업환경에서 Work site 용 밸브 제어를 위해 65LPM 이상의 외부 송출 유량이 요구되어짐. 개발 차량의 원활한 조향 성능 및 작업 성능 확보를 위해 유압펌프의 사양에 조향부는 21cc/rev (최소 21LPM)를 Work site 부는 34cc/rev(34LPM ~ 75LPM) 를 채택한 Tandem 펌프로 사양을 정의하였음.
- ㉡ 순환 시스템은 기어펌프에 따른 소비출력을 최소화하고, 흡입 부압 감소를 위해 트랜스미션 케이스의 측면에 배치하였으며, 기어펌프를 통해 송출된 오일이 조향제어밸브 및 파워스티어링 유니트를 통과한 후 트랜스미션의 변속제어를 구현하기 위한 주행제어밸브와 트랜스미션의 PTO, 4WD, QT(Quick Turn)의 제어가 가능하도록 구현하기 위한 제어밸브로 공급될 수 있도록 유압회로를 구성함.
- ㉢ 개발되는 조향 제어시스템은 적합한 조향 제어시간, Actuator의 반응시간 및 주행상황 및 긴급한 상황에 적합하고도 정확한 조향제어가 요구됨. 시스템은 고정밀 전자 비례제어 솔레노이드가 내장된 자동 조향 밸브 및 차량의 주행제어를 위한 전자 비례밸브의 적용을 포함한 다수의 오리피스(Orifice)로 구성되기에 제어에 있어 위해요인인 이물질에 의한 오작동을 방지하기 위하여 필터링 성능 확보를 위해 흡입필터와 고압필터의 여과효율은 각각 1.3(@Beta\_10), 10(@Beta\_10) 사양을 선정하였음.

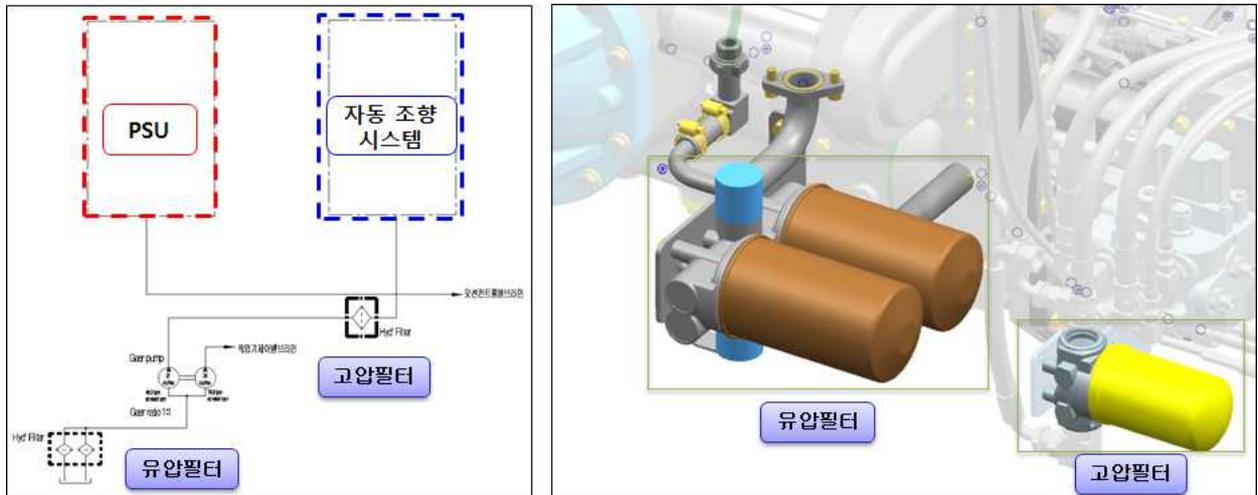


그림 81. 흡입유압필터 및 고압필터 구성안

- ㉔ 자동조향 제어시스템을 적용한 75kW 이상의 트랙터 유압시스템은 고압필터 적용에 따라 전자비례제어밸브 및 오리피스(Orifice)에 보완 설계를 수행하였으며, 유압시스템 전체에 대한 필터링 성능 개선에 대해 방안을 검토하였음. 흡입측의 유압필터 사양은 기존 대비 용량을 증대하고 내부 Element의 사양도 변경하여 필터링 성능개선과 동시에 유압필터 교환주기를 증대할 수 있는 사양으로 검토하였음.

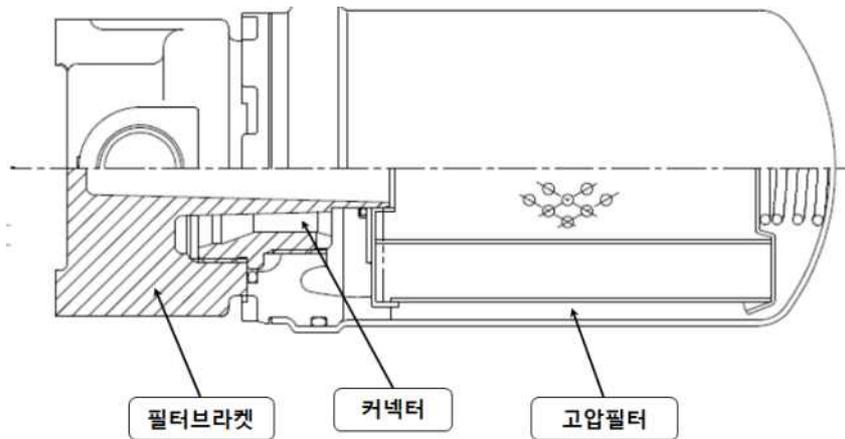


그림 82. 고압유압필터 적용 구성안

- ㉕ 자동 조향 시스템으로 인한 차량 유압시스템 영향성 검토
  - ㉑ 스마트 자동 조향 시스템을 위한 자동 조향 밸브는 기존의 대형 트랙터에 사용 되는 조향 시스템과 트랜스미션 제어시스템에 추가로 적용됨으로써 이로 인해 차량의 유압시스템 내에서 배압이 상승되는 결과를 만들게 됨. 특히, 저온 및 고유량 상태에서의 자동 조향 밸브의 T 라인(드레인부)에 고압이 발생되어, 자동조향 밸브의 슬레노이드 유압 라인의 압력에 의한 파손 발생 소지가 높음. 이러한 영향성을 배제하기 위해 차량의 조향 시스템을 저온 및 고유량에서 발생하는 고압이 영향을 받지 않도록 자동 조향 밸브의 후단에 시퀀스 밸브를 추가함으로써 자동 조향 밸브를 보호할 수 있도록 시스템을 구성함과 동시에 전체적인 라인 배압 저감효과도 반영된 시스템 설계를 하였음.

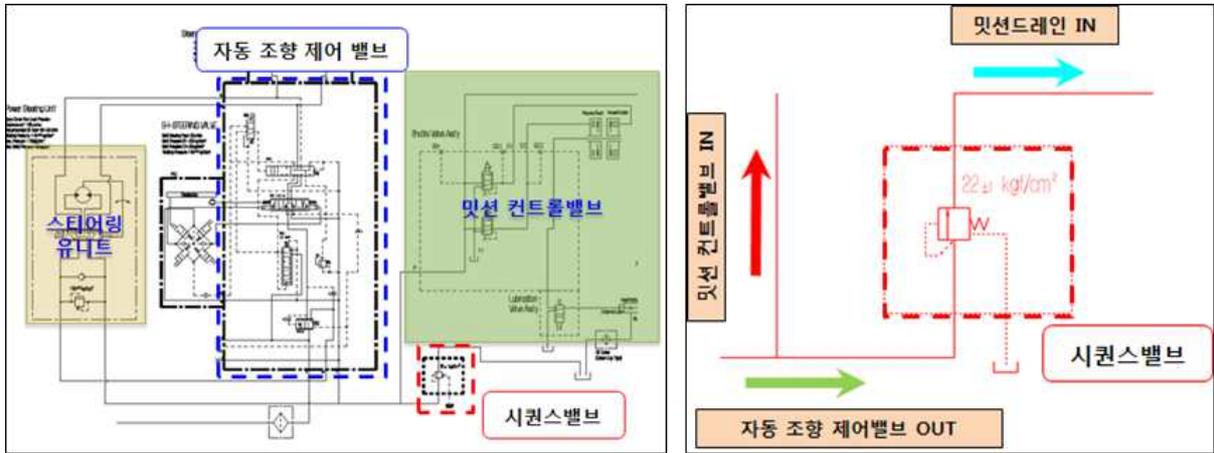


그림 83. 시퀀스밸브 적용 유압회로도

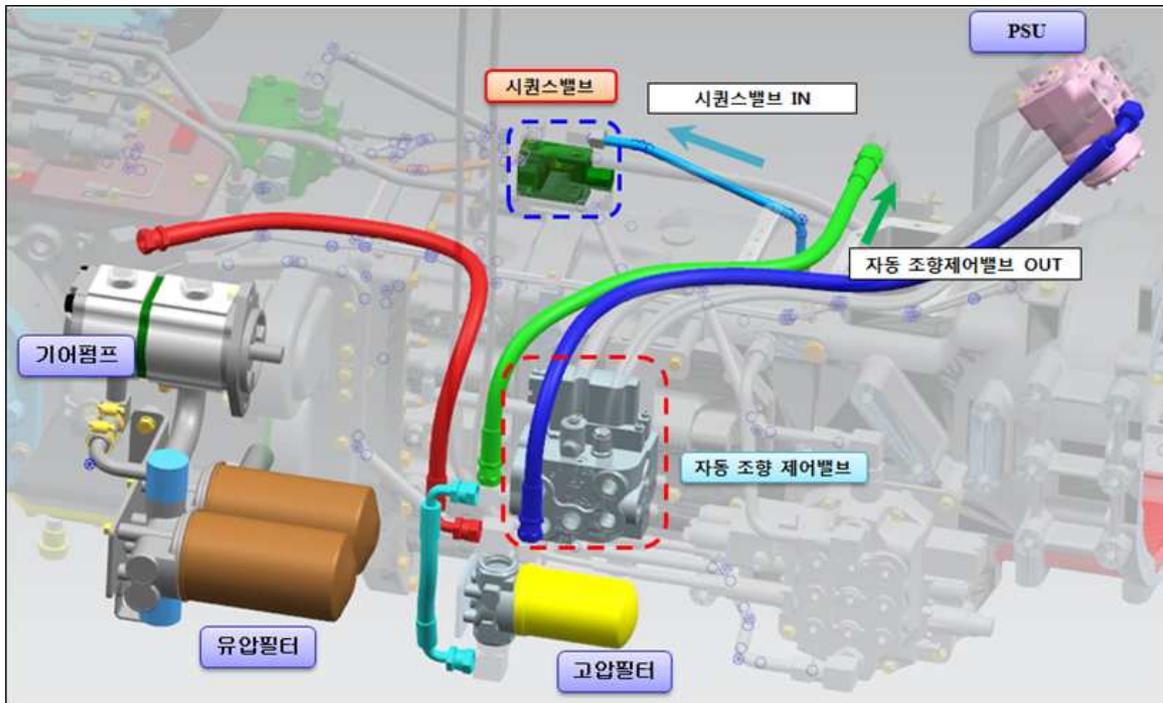


그림 84. 시퀀스밸브 적용 본기 유압시스템 구성안

- ② 차량 탑재를 위한 본기 Lay-out 구성 및 Proto 부품 추진
  - ㉞ 하이드로텍 1차 결과물에 대한 본기 장착 Lay-out 배치 및 연결 배관부 사양 검토
  - ㉟ 스마트 자동 조향 시스템을 적용한 75kW 이상의 대형 트랙터용 유압 사양의 선정 및 유압회로를 구성함.

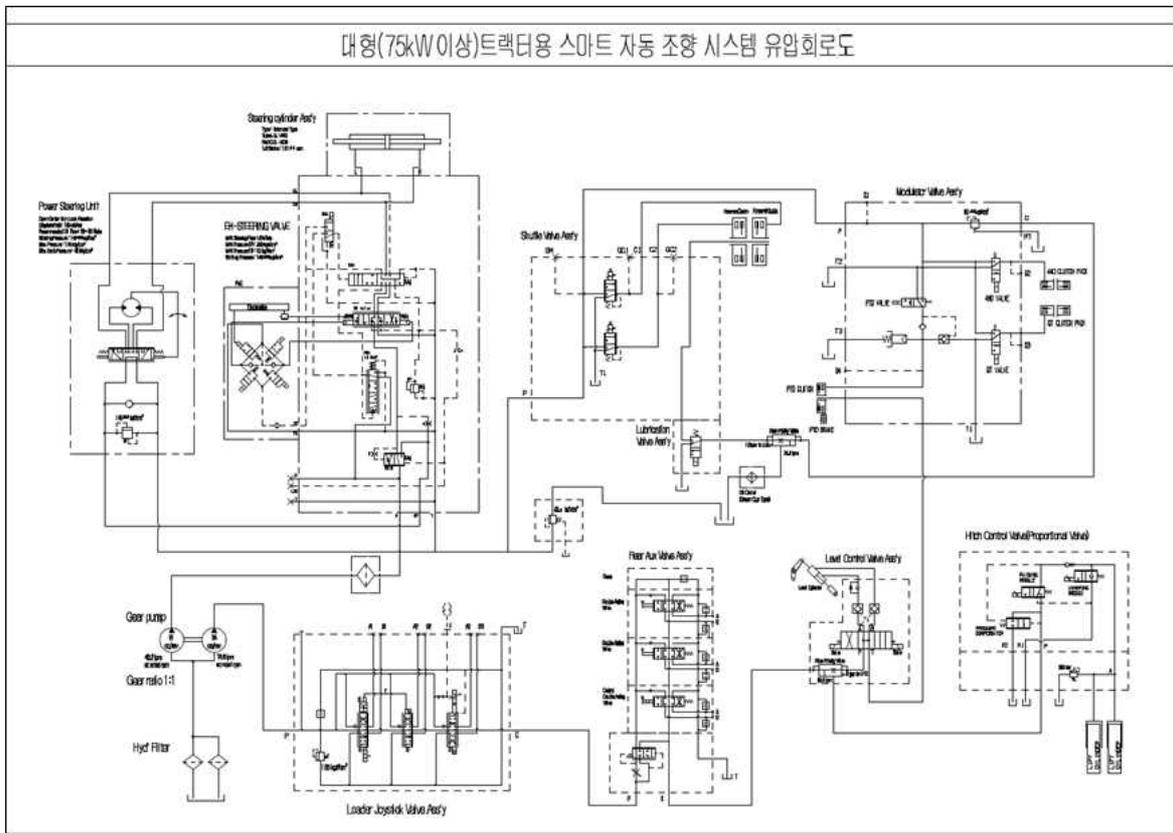


그림 85. 스마트 자동 조향 시스템을 적용한 대형 (75kW이상) 트랙터용 유압회로도

- ⑧ 정의된 유압 기능품의 사양 및 유압회로를 기준으로 스마트 자동 조향 시스템을 적용한 차량의 Proto 탑재용 유압시스템의 Lay-out을 설계함.

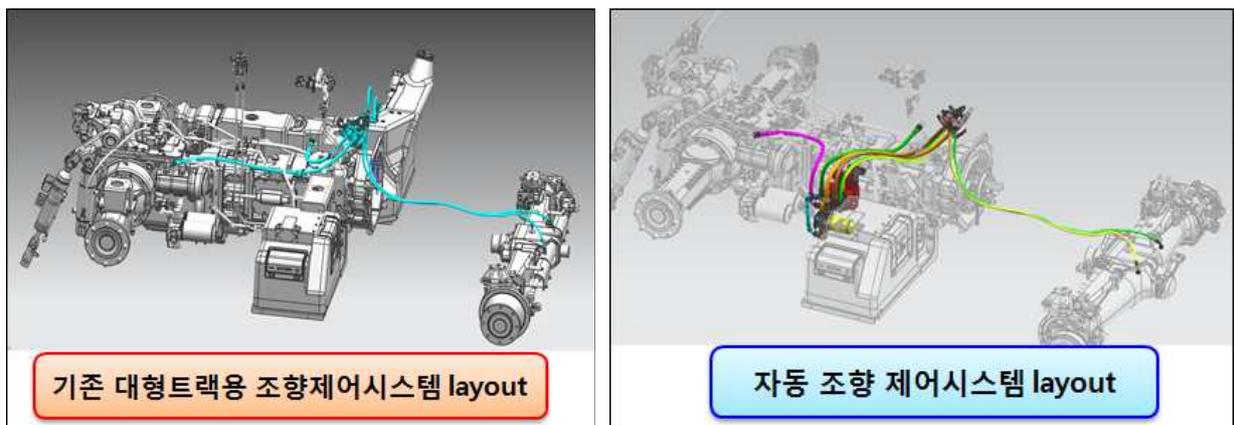


그림 86. 스마트 자동 조향시스템을 적용한 75kW 이상 대형 트랙터의 유압시스템 Lay-out

- ㉞ Proto 탑재를 위한 상세 설계
  - ㉠ 시제품 제작용 부품 도면 설계

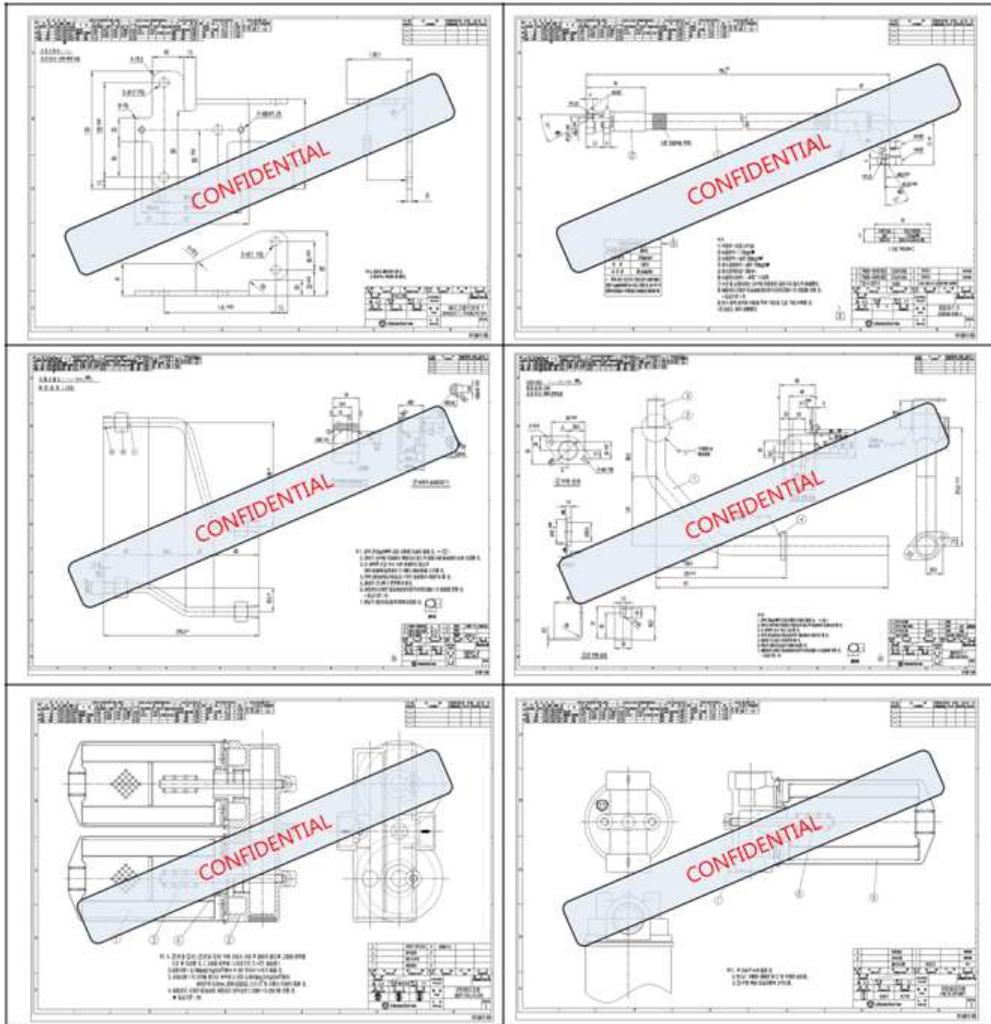
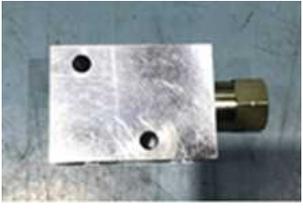


그림 87. Proto 제작 유압시스템 주요 부품 설계도

- ㉞ Proto 부품 추진
  - 시제품 제작용 유압부 주요 추진 부품

		
<p>기어펌프</p>	<p>시퀀스밸브</p>	<p>스티어링칼럼</p>
		
<p>고압필터</p>	<p>흡입필터</p>	<p>PSU</p>

(2) 2차년도 추진 실적

① 자동 조향 시스템 단품 성능의 차량 성능 적합성 평가

㉞ 성능평가 항목 점검 및 목표 수립 (vs 수입품)

㉠ 선회반경

㉡ 시험 목적 : 자동 조향 시스템 장착 차량의 선회반경을 평가

㉢ 참고 규격 : 대동 자체 규격(DG-VT-043-00)

㉣ 평가 기준 : 선진社 대비 성능 95% 이상일 것

㉤ 시험 방법

- 차속 2km/h, 2WD 상태에서 좌/우 회전 시 선회 원을 바닥에 그린다.
- 선회 원에 내접하는 삼각형의 3개의 변의 길이를 측정 후 선회반경을 계산한다.

$$R = (ABC)/4\sqrt{[S(S-A)(S-B)(S-C)]}$$

$$※ S = (A+B+C)/2$$

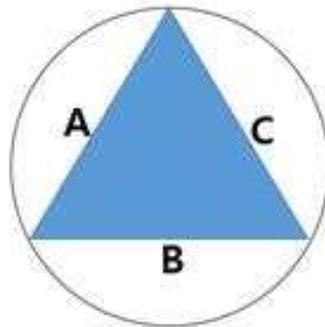


그림 88. 선회반경 측정 표준

㉡ 조향성능 부하비

㉡ 시험 목적 : 자동 조향 시스템 장착 차량의 조향성능 부하비를 평가

㉢ 참고 규격 : 대동 자체 규격(DG-VT-024-00)

㉣ 평가 기준 : 선진社 대비 성능 95% 이상일 것

㉤ 시험 방법

- 공차 상태의 조향 핸들 회전수와 부하 상태의 조향 핸들 회전수의 비를 확인한다.
- 부하 상태 중량 산정 기준 : 로더(산적 상태), 로터리 장착 상태의 전륜 기준 최대 하중 적재(4,800kg)
- 작업기 : 로더(태성 K1100, 산적용량 0.65m³), 로터리(한국첼리 K260)

FL	FR	RL	RR	Total	전륜비(%)
2372	2420	1741	1373	7906	60.6
4792		3114			

그림 89. 평가차량 제원



그림 90. 조향성능 측정장비 구성

㉔ 조향반응시간

- ㉔ 시험 목적 : 자동 조향 시스템 장착 차량의 조향반응시간을 평가
- ㉔ 참고 규격 : 대동 자체 규격(DG-VT-173-00)
- ㉔ 평가 기준 : 선진사 대비 성능 95% 이상일 것
- ㉔ 시험 방법
  - 조향 제어 개시 명령 시점을 측정하기 위해 명령이 입력되는 신호를 측정한다.
  - 조향 개시 명령 신호와 기구부 작동 개시 신호의 시간 차이를 측정하여 조향반응시간을 산출한다.



그림 91. 조향반응시간 측정장비 구성

㉔ 직진주행오차

㉔ 시험 목적 : 자동 조향 시스템 장착 차량의 직진주행오차를 평가

㉔ 참고 규격 : ISO 12188-2

㉔ 평가 기준 : 이탈범위 20cm 이하

㉔ 시험 방법

- 직진주행오차 시험 전 트랙터가 정차한 위치를 시작점으로 하여 50m 구간을 주행하여 기준경로를 생성한다.
- 트랙터를 직진자율주행 모드 상태에서 고정밀 GPS를 이용하여 경로를 취득 후 기준점 대비 평균제곱근의 오차를 산출한다.



그림 92. 직진주행오차 측정장비 구성

㉔ 유압식 자동 조향 시스템의 선진사(D社) 모듈의 기대 성능 확인

평가 항목	선진사 성능(D社)
선회반경	CW 5.21m, CCW 5.25m
조향성능 부하비	CW 57.8%, CCW 58.5%
조향반응시간	0.23초
직진주행오차	12.4cm (3.5km/h 주행 시)

㉔ 스마트 자동 조향 시스템 기능 구현을 위한 유압시스템 설계

㉔ 취부 구조에 대한 모듈 구조 검토

자동 조향 시스템이 반영된 트랙터의 조향제어를 위한 조향제어 시스템은 기존의 스티어링 휠(핸들)을 이용한 사용자 메뉴얼 타입의 파워스티어링 유니트(PSU)와 자율주행 상황에 따라 컨트롤러에서 지령된 신호에 의해 자동으로 좌/우 조향각을 조정할 수 있도록 전자비례제어 솔레노이드가 내장된 전자식 조향제어밸브로 각각 구성되어 있다.

75kW 이상의 트랙터용 파워스티어링 유니트가 포함된 스티어링 모듈은 상부 칼럼과 하부 고정 브라켓으로 구성되고 두 부품이 연결되는 힌지축에서 각도조절이 되는 톨팅 구조를 적용하였으며, 톨링 레버를 발로 밟은 상태에서 스티어링 휠을 앞뒤 방향으로 밀고 당기면 위치의 조정이 가능도록 설계되었다.

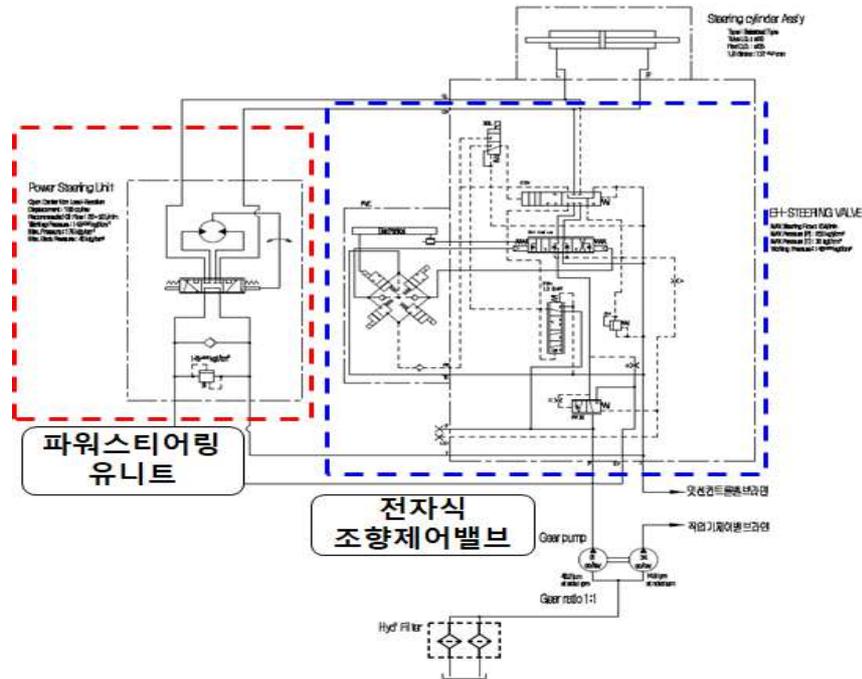


그림 93. 유압구동방식 전자식 조향제어밸브 구성

자동 조향 시스템에서의 스티어링조합은 위급상황에서의 운전자 조작 혹은 운전자의 의도한 조작인지에 대한 판단을 위해 칼럼과 스티어링 유닛(PSU) 사이의 연결부에 별도의 Angle 센서(SASA Sensor)의 부착이 가능하도록 구성하였다.

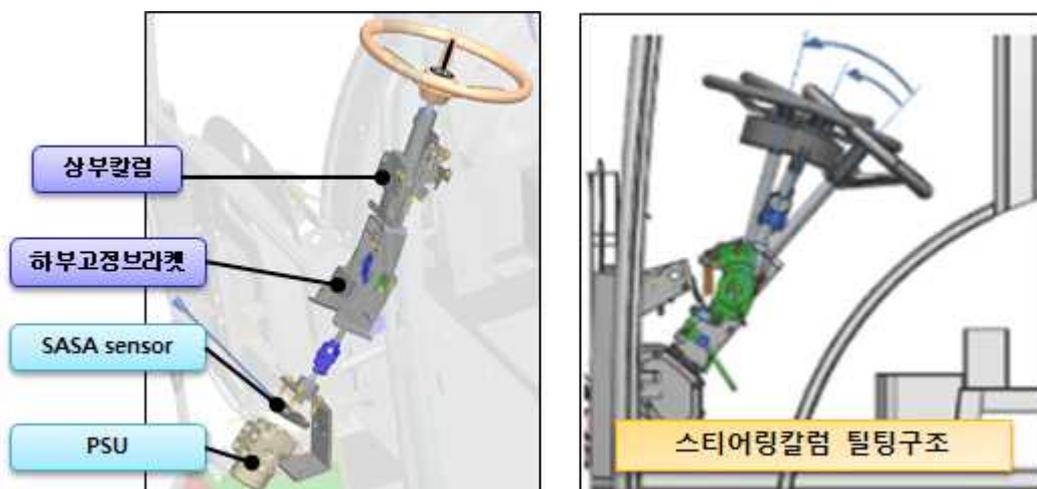


그림 94. 자동 조향 시스템의 스티어링 모듈 구조

조향실린더는 트랙터 앞차축 모듈과 함께 구성되며, 앞차축지지 브라켓을 이용하여 본기에 부착된다. 조향실린더의 사양은 동일한 핸들 회전수 및 조향력 증대를 위해 양로드 복동실린더 타입으로 적용 하였다. 또한 앞차축 모듈에는 스마트 조향시스템에서 앞차축 스티어링 회전각을 검출하여 스마트조향 제어기로 전달하기 위한 스티어링 회전검출 센서가 부착되는 구조로 설계 하

였다.

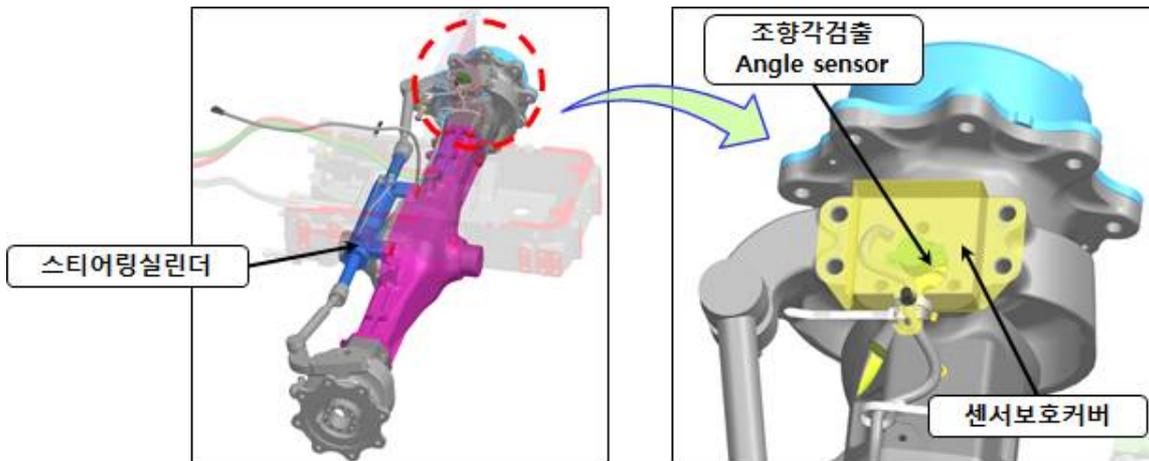


그림 95. 스마트 자동 조향 시스템 앞차축 모듈 구성

스마트 자동 조향 시스템에서의 경로생성 및 전자식 조향제어밸브의 제어를 위한 스마트 조향 제어기 및 GPS 수신모듈과 주행정보 확인을 위한 모니터는 기존 트랙터의 사양을 수정하여 기능의 구현이 가능하도록 설계하였다.

스마트 자동 조향 시스템이 적용된 트랙터의 위치 및 현 주행경로 확인을 위한 GPS모듈은 차량 최상부 지붕에 장착하였고, 모니터는 운전 우측면에 운전자와 가까운 위치에 배치하여 자율주행 경로 및 주행 정보를 확인할 수 있도록 배치하였다.

스마트 조향 제어기는 운전석 우측면 실내에 별도의 조립구조를 이용하여 캐빈 프레임에 조립하였다.

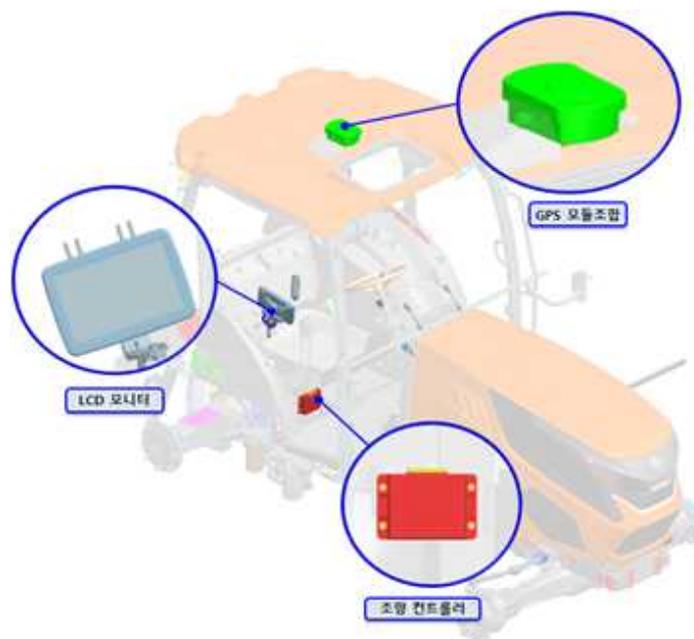


그림 96. 스마트 자동 조향 제어모듈 구성

스마트 자동 조향 시스템은 기존 대형 트랙터의 스티어링조합 및 앞차축 조합을 활용한 옵션 모듈로의 적용이 가능하도록 전자식 조향제어밸브 장착이 가능한 분리형 Type의 유압식 자동 조향 제어시스템으로 개발 검토 되었다.

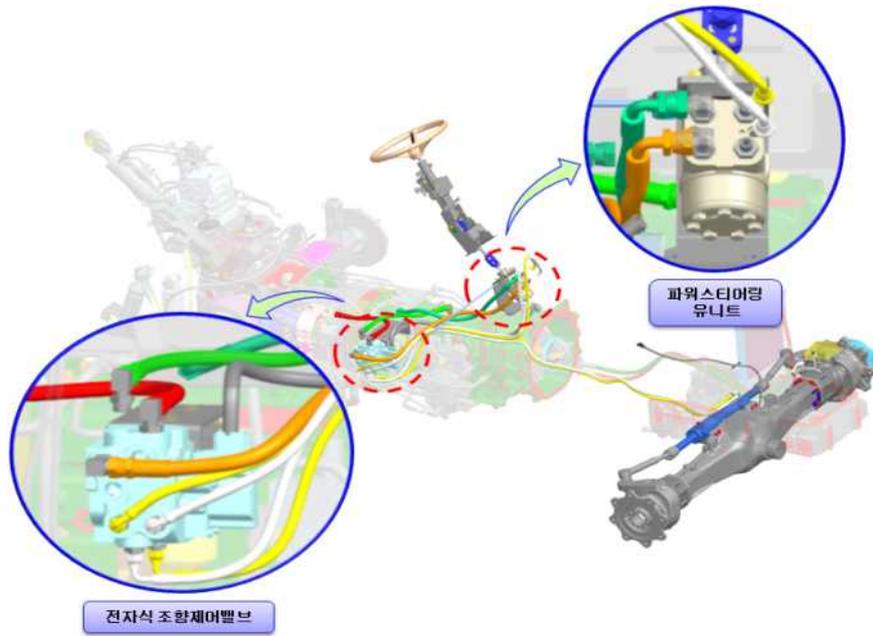


그림 97. 유압식 자동 조향 시스템 구조

③ 자동 조향 시스템 Proto 검증용 부품 추진 및 차량 제작

㉞ 유압부품 추진

㉠ 필터 브라켓류, 유압튜브, 유압필터 헤드 추진 (주요 개발품)

1차년도에서 정의된 유압 기능품의 사양 및 유압회로도를 기준으로 스마트 자동 조향 시스템을 적용한 차량의 Proto 검증용 유압시스템 부품을 추진하였으며, 전자식 조향제어밸브가 탑재된 유압시스템이 작동유 내부의 이물질로 인한 손상이 없도록 시스템 보호를 위해 기존의 대형 트랙터 대비 향상된 필터링 성능을 갖춘 유압필터를 적용하였다.

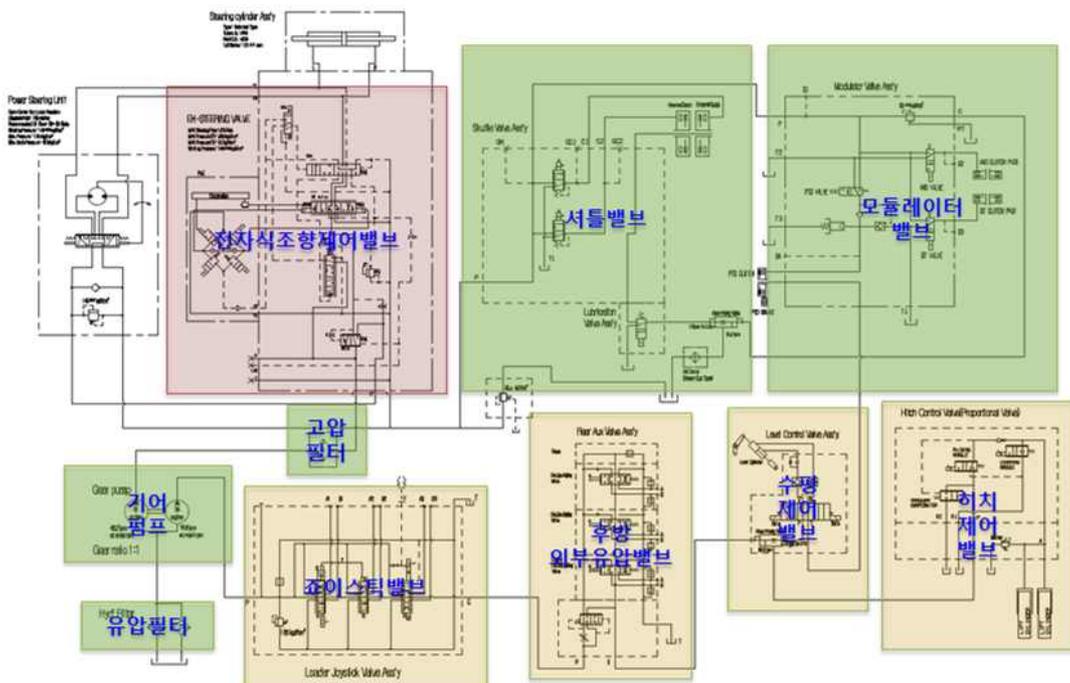
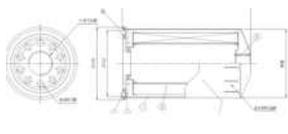
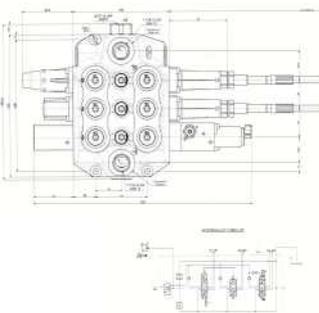
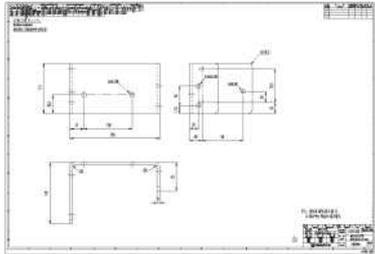
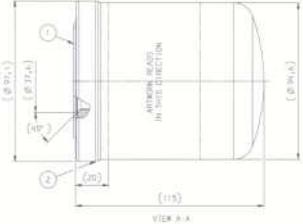


그림 98. 자동 조향 시스템 Proto용 유압회로도

구분	추진품	사양																										
유압필터		 <table border="1" data-bbox="1197 291 1364 459"> <tr><td>부품명</td><td>유압필터</td></tr> <tr><td>도움말</td><td>3D모델</td></tr> <tr><td>이름</td><td>유압필터</td></tr> <tr><td>부품번호</td><td>3D모델</td></tr> <tr><td>소재</td><td>알루미늄</td></tr> <tr><td>중량</td><td>0.1kg</td></tr> <tr><td>제조업체</td><td>3D모델</td></tr> <tr><td>제작일자</td><td>2023.10.10</td></tr> <tr><td>제작자</td><td>3D모델</td></tr> <tr><td>검열자</td><td>3D모델</td></tr> <tr><td>검열일자</td><td>2023.10.10</td></tr> <tr><td>검열결과</td><td>합격</td></tr> <tr><td>비고</td><td></td></tr> </table>	부품명	유압필터	도움말	3D모델	이름	유압필터	부품번호	3D모델	소재	알루미늄	중량	0.1kg	제조업체	3D모델	제작일자	2023.10.10	제작자	3D모델	검열자	3D모델	검열일자	2023.10.10	검열결과	합격	비고	
부품명	유압필터																											
도움말	3D모델																											
이름	유압필터																											
부품번호	3D모델																											
소재	알루미늄																											
중량	0.1kg																											
제조업체	3D모델																											
제작일자	2023.10.10																											
제작자	3D모델																											
검열자	3D모델																											
검열일자	2023.10.10																											
검열결과	합격																											
비고																												
로더밸브																												
필터지지 브라켓																												
고압필터																												
유압 배관류																												

<Proto 검증용 유압 주요 추진품>

㉔ 대형 트랙터(75kw급 이상) 조향시스템 구성용 공용부품 수급

	
<p>파워스티어링 유니트</p>	<p>파워스티어링 브라켓</p>
	
<p>스티어링칼럼조합</p>	<p>기어펌프</p>
	
<p>모니터 지지대</p>	<p>GPS 모듈지지대</p>
	
<p>모니터</p>	<p>GPS 모듈</p>

<Proto 제작용 기타 부품>

㉞ 차량제작 (1대)

㉞ 트랙터는 대동공업 보유 기대 활용



자동조향제어시스템 적용  
Proto 설계 형상



자동조향제어시스템 적용  
Proto 본기 제작 모습

그림 99. 스마트 자동 조향 시스템 Proto 본기 제작

㉞ 자동 조향 시스템 Proto 검증용 부품으로 교체 조립



그림 100. 자동 조향 제어밸브 Proto 조립 모습

④ 자동 조향 시스템 Proto에 대한 차량상태에서 성능시험

㉞ 유압식 자동 조향 모듈의 실차 작동 성능 평가

평가항목	평가기준	시험결과	평가
선회반경	선진사 대비 성능 95% 이상	CW 5.04m (선진사 대비 103%) CCW 5.17m (선진사 대비 102%)	만족
조향성능 부하비	선진사 대비 성능 95% 이상	CW 55.2% (선진사 대비 96%) CCW 55.4% (선진사 대비 95%)	만족
조향반응 시간	0.5초 이하	CW 0.35초 CCW 0.45초	만족
직진주행 오차	20cm 이하	12.0cm(2.38km/h 주행 시) 19.5cm(3.5km/h 주행 시) 11.0cm(5.72km/h 주행 시) 18.0cm(7.81km/h 주행 시)	만족

㉔ 실차 성능평가에 대한 결과 리뷰

시험 평가 절차서에 따라 수행된 시험 평가와 데이터 분석을 통해 Proto 제품의 성능을 확인하였으며, 평가항목(선회반경, 조향성능 부하비, 조향반응시간, 직진주행오차) 모두 평가기준에는 만족함을 확인하였다.

㉕ 개선 보완 사항 점검 및 공유

자동 조향 시스템이 반영된 75kw급 대형 트랙터는 작업 환경에서 지면에 따라 좌/우 앞바퀴로 충격이 발생을 확인하였으며, 이는 앞차축 조향실린더에 일시적으로 일정압력 이상의 피크압력이 발생하는 것으로 측정되어 전자식 조향 제어밸브에 적정 압력 유지를 위한 추가적인 유압회로가 필요한 것으로 판단되었음.

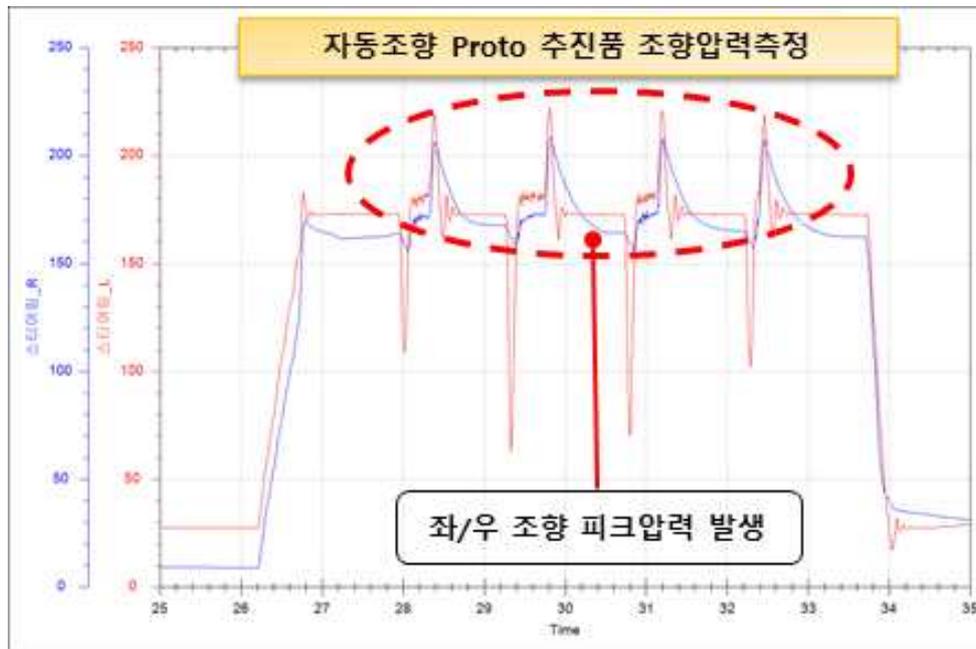


그림 101. 자동 조향 시스템 Proto 차량 스티어링실린더 압력 측정 데이터

⑤ 자동 조향 시스템 Pilot 차량 제작

유압 구동시스템에서 자동 조향 시스템의 핵심 부품인 전자식 조향 제어밸브는 좌/우 자동 조향의 제어를 위해 고정밀의 스플과 각종 밸브로 구성되어 있으며 이를 적정한 압력을 유지시켜 원활히 작동될 수 있도록 차량에서의 유압 시스템을 구성하여야 한다.

현재 적용된 75kw급 트랙터는 작업환경에서 지면에 의한 외력이 앞차축 조향 실린더를 통해 연결된 조향밸브에 설정압력 이상의 과도한 압력으로 전달되게 된다. 이를 방지하기 위해 조향밸브에서 조향실린더로 연결되는 유로에 별도의 Shock valve를 추가하여 외부충격에 의한 과도한 압력을 해소할 수 있도록 유압회로를 보완하여 구성하였다.

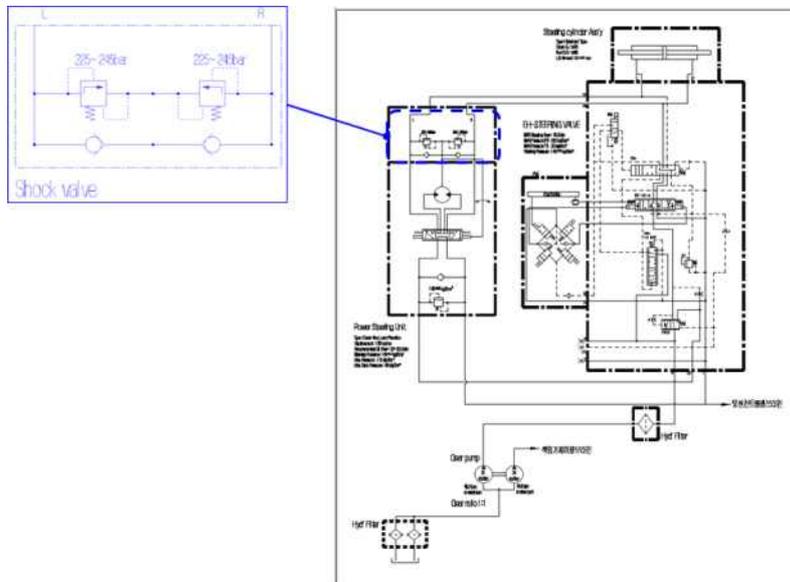


그림 102. Shock valve 유압회로 구성

자동 조향 시스템이 적용될 작업차량은 무인화를 기반으로 하는 자율주행 혹은 반자율주행 차량으로 경작지에서의 작업경로 추종을 위한 선회제어가 수반된다. 시스템이 사용되는 차량의 Safety 측면에서 스마트 조향 모듈에서의 안전 로직도 필요하나 완성차량에서의 외부교란 혹은 운전자의 미인지에 따른 차량의 손상 방지와 운전자 안전 확보를 위해 기존 차량에서의 Manual 타입 제동 장치 외에도 별도의 자동 제동 메카니즘의 탑재도 필요하다. 이를 구현하기 위해 전자비례식 브레이크 밸브를 추가하여 스마트 자동 조향 시스템을 구성하였다.

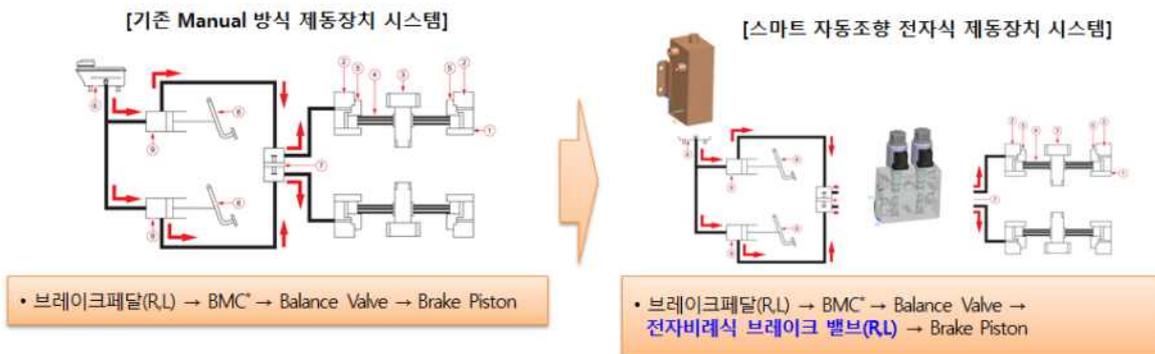


그림 103. 75kw급 트랙터 제동 시스템 비교

스마트 자동 조향 시스템의 제동시스템은 링크부에 의한 브레이크 페달 작동과 전자비례식 브레이크 밸브 작동을 동시에 수행하기 위해 방향제어 밸브를 추가 구성하였다.

전자비례식 브레이크 밸브를 추가한 스마트 자동 조향 시스템 Pilot 차량의 제동시스템 구성은 유압 작동유와 브레이크 오일의 공용 사용을 위해 신규 오일 탱크를 구비하고, 오일탱크, 브레이크밸브 및 배관으로 구성된 제동 시스템을 Cabin 전면 부에 배치하였다.

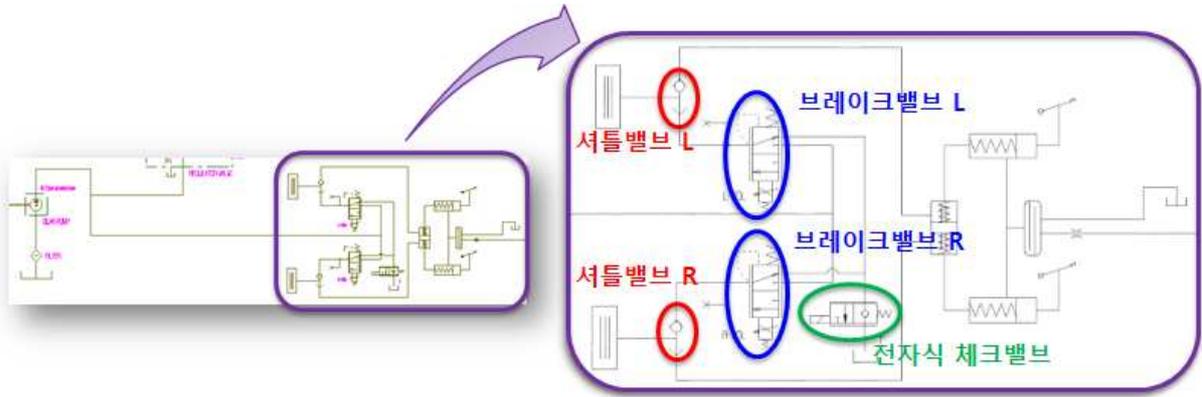


그림 104. 전자비례식 브레이크밸브 구조

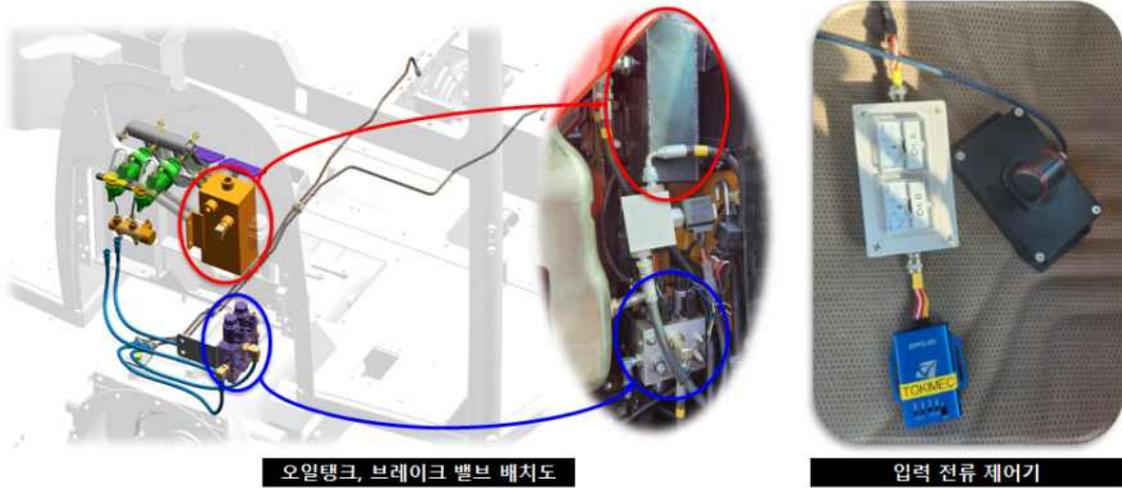


그림 105. 스마트 자동 조향 시스템 Pilot 본기 제동시스템

- ⑥ 자동 조향 시스템 Pilot에 대한 차량 상태 성능 검증 및 실증시험
  - ㉠ 유압식 자동 조향 모듈 최종 사양 실차 성능 평가

평가항목	평가기준	시험결과	평가
선회반경	선진사 대비 성능 95% 이상	CW 5.10m (선진사 대비 102%) CCW 5.19m (선진사 대비 101%)	만족
조향성능 부하비	선진사 대비 성능 95% 이상	CW 55.6% (선진사 대비 96%) CCW 56.1% (선진사 대비 96%)	만족
조향반응 시간	0.5초 이하	CW 0.18초 CCW 0.22초	만족
직진주행 오차	20cm 이하	17.5cm(3.5km/h 주행 시) 13.0cm(4.5km/h 주행 시)	만족

④ 성능 평가 결과 비교 (vs 수입품)

평가 항목	연구개발품	선진사 성능
선회반경	CW 5.10m (선진사 대비 102%) CCW 5.19m (선진사 대비 101%)	CW 5.21m CCW 5.25m
조향성능 부하비	CW 55.6% (선진사 대비 96%) CCW 56.1% (선진사 대비 96%)	CW 57.8% CCW 58.5%
조향반응시간	0.22초	0.23초
직진주행오차	17.5cm (3.5km/h 주행 시)	12.4cm (3.5km/h 주행 시)

⑤ 자동 조향 시스템 Pilot 차량 스티어링 실린더 압력 측정 결과

Shock valve가 추가된 스마트 자동 조향 시스템의 스티어링 실린더 압력 측정시 좌/우 조향 실린더에 가해지는 피크압력이 해소됨을 확인하였다.

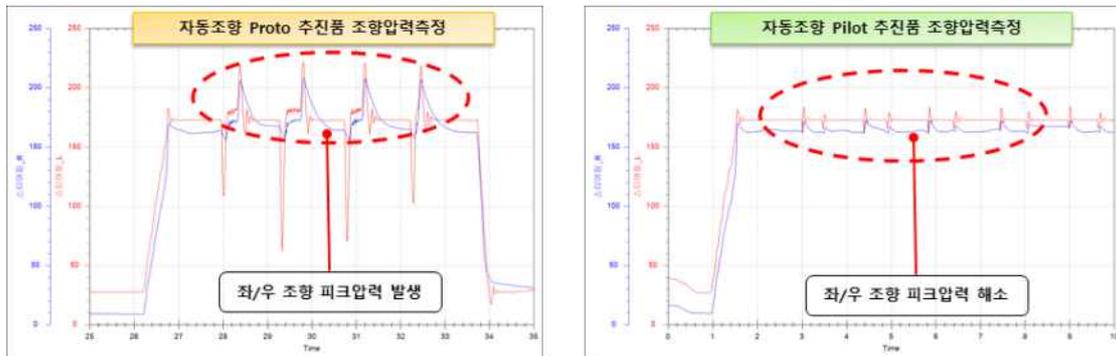


그림 106. 스티어링 실린더 압력측정 결과 비교(Proto/Pilot)

⑥ Pilot 본기 제동시스템 전자비례제어밸브 제어 압력 측정 결과

전자비례식 브레이크 제어밸브의 출력 신호 대비 브레이크 라인 압력을 측정하였으며, 제어기 출력(1A ~ 1.6A)에 따른 제동 압력 제어 가능 범위를 확인하였다.

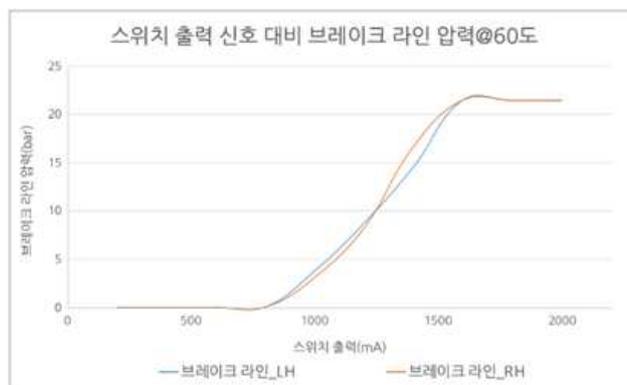


그림 107. 전자비례식 브레이크 제어밸브 제어 압력 측정

㉔ 유압식 자동 조향 모듈 최종 사양 실증 시험

㉔ 실 농작업을 준한 실작업성 검증

㉕ 목적 : 스마트 자동 조향 시스템이 적용된 차량의 연속 작업성능 검증

㉖ 실증시험자 : 대동 차량시험팀 필드 시험자

㉗ 실증 시험 기간 : 2022.12. 05 ~ 12. 06

㉘ 실증 작업지 및 작업 면적 :

경남 창원군 창녕읍 대동 창녕개발본부 일대, 950평



그림 108. 스마트 자동 조향 시스템 실증 작업지

㉔ 실증 작업 종류 : 로타리 작업

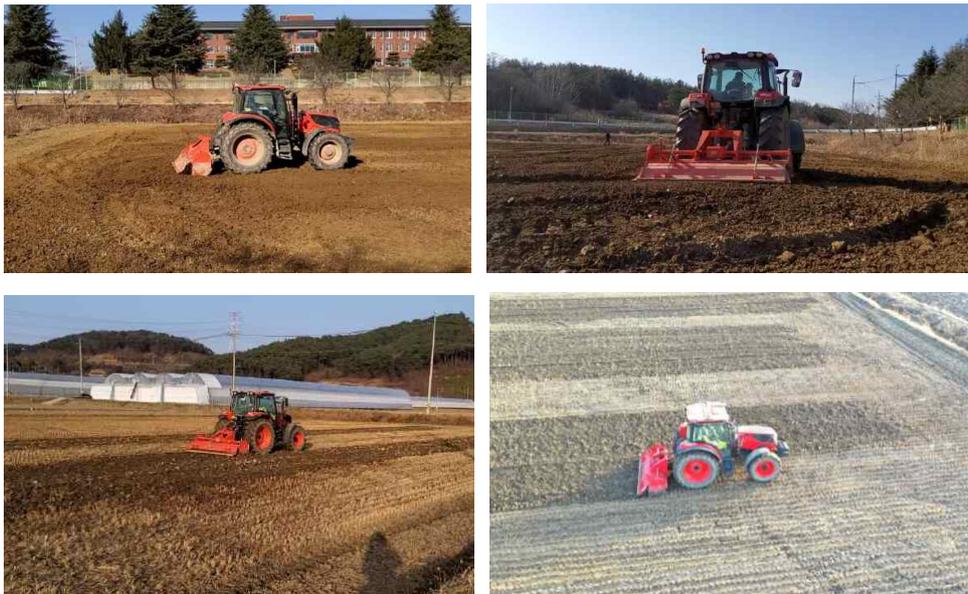


그림 109. 스마트 자동 조향 시스템 로타리 작업

㉔ 공인 인증 평가

- 공인인증기관 : 한국생산기술연구원

- 시험기간 : 2022.11.24.~11.25



### 3. 시험 결과

< 스마트 자동 조향 시스템 성능시험 결과 >

시험항목	단위	평가기준	시험결과				비고
선회반경	%	선진사 대비 성능 95 이상	CW		CCW		
			101		102		
조향반응 시간	sec	0.5 이하	10도	20도	30도	40도	
			0.19	0.16	0.14	0.24	
			0.25	0.17	0.22	0.24	
조향성능	%	선진사 대비 성능 95 이상	CW		CCW		
			96.2		95.9		
적진주행 오차	cm	20 이하	1차 주행		2차 주행		
			17.5		13.0		

#### 3.1 선회반경 시험결과

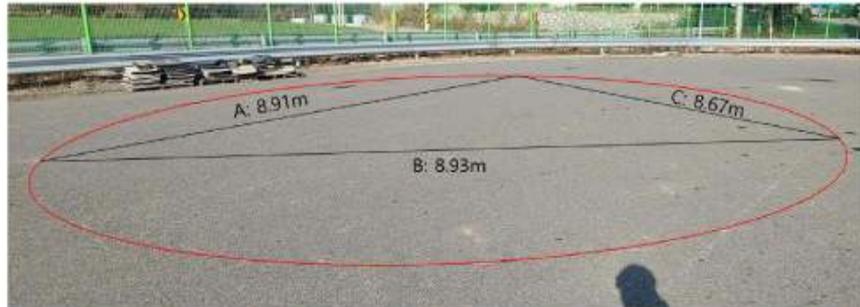
##### 1) 시험 결과

- 선회반경 시험결과 CW: 5.10m, CCW: 5.19m로 산출 되었으며, 이는 선진사(덴포스) 대비 102%, 101%의 성능을 보여 판정 기준을 만족함

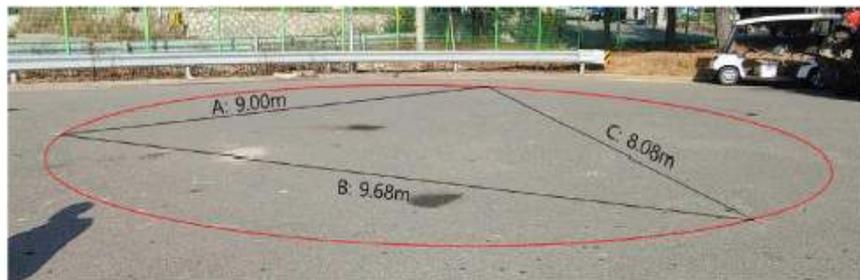
< 선회반경 시험결과 >

회전 방향	A	B	C	선회반경
CW	8.91	8.93	8.67	<b>5.10</b>
CCW	9.00	9.68	8.08	<b>5.19</b>





< 선회반경 시험결과 : CW >



< 선회반경 시험결과 : CCW >





< 선진社(덴포스) 대비 선회반경 성능 비교결과 >

구분	선회반경(m)	
	CW	CCW
선진社(덴포스)	5.21	5.25
시험품	5.10	5.19
대비 성능	<b>102%</b>	<b>101%</b>

3.2 조향반응시간 시험결과

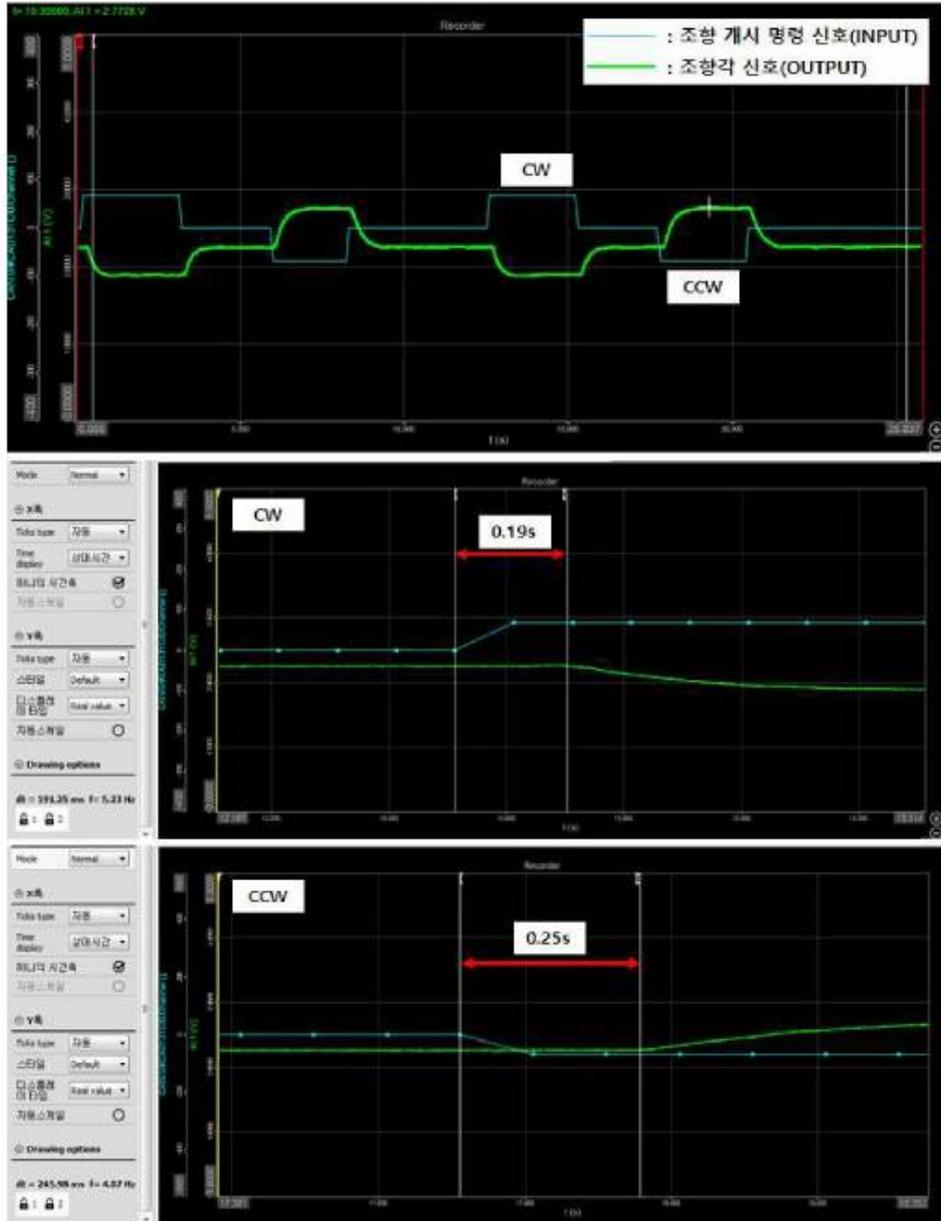
1) 시험 결과

- 조향반응시간 시험결과 각 시험 조건에서 0.5sec 이하로 산출되어 판정 기준에 만족함을 확인하였다.

< 조향반응시간 시험결과 >

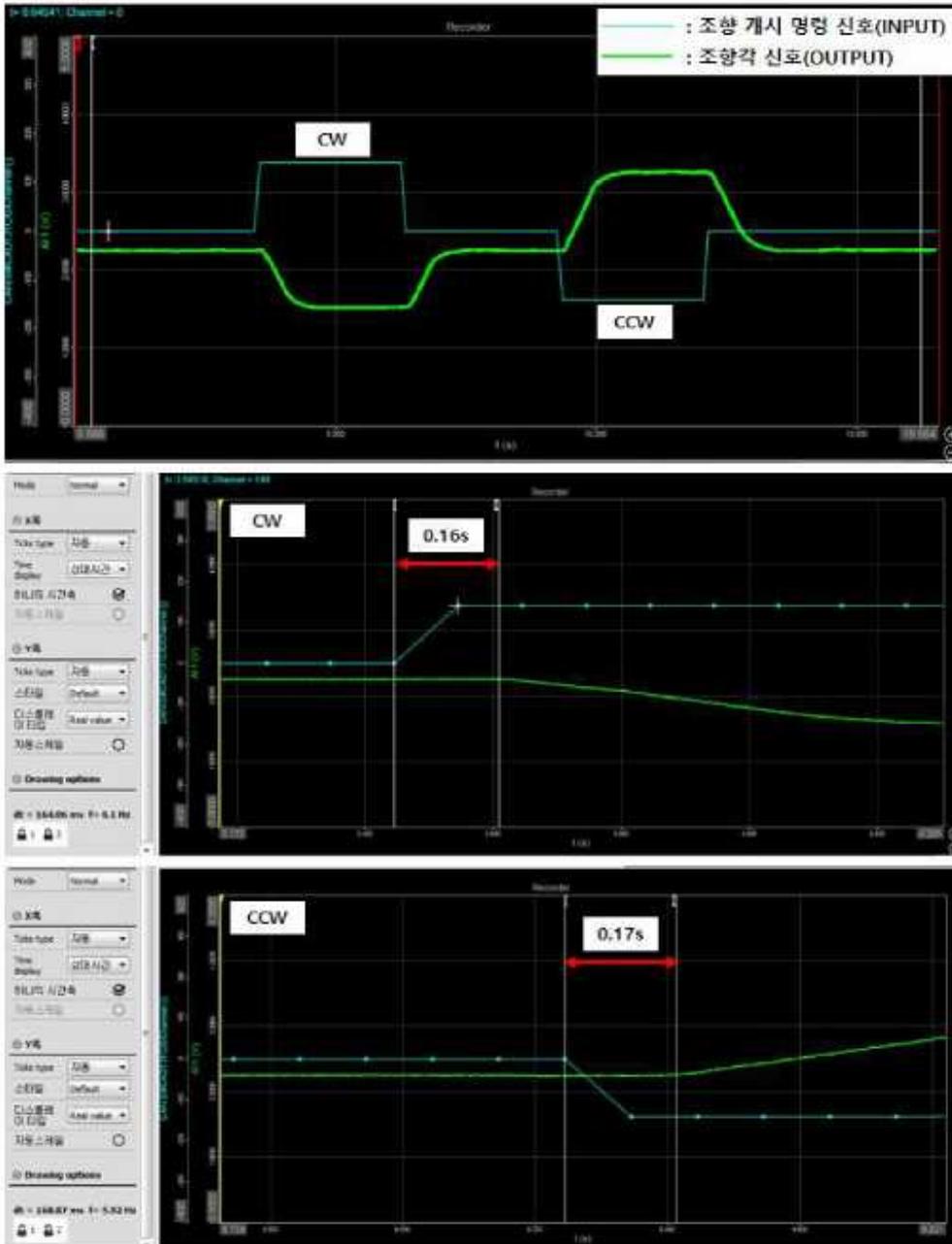
구분	조향반응시간(s)			
	10도	20도	30도	40도
CW	0.19	0.16	0.14	0.24
CCW	0.25	0.17	0.22	0.24





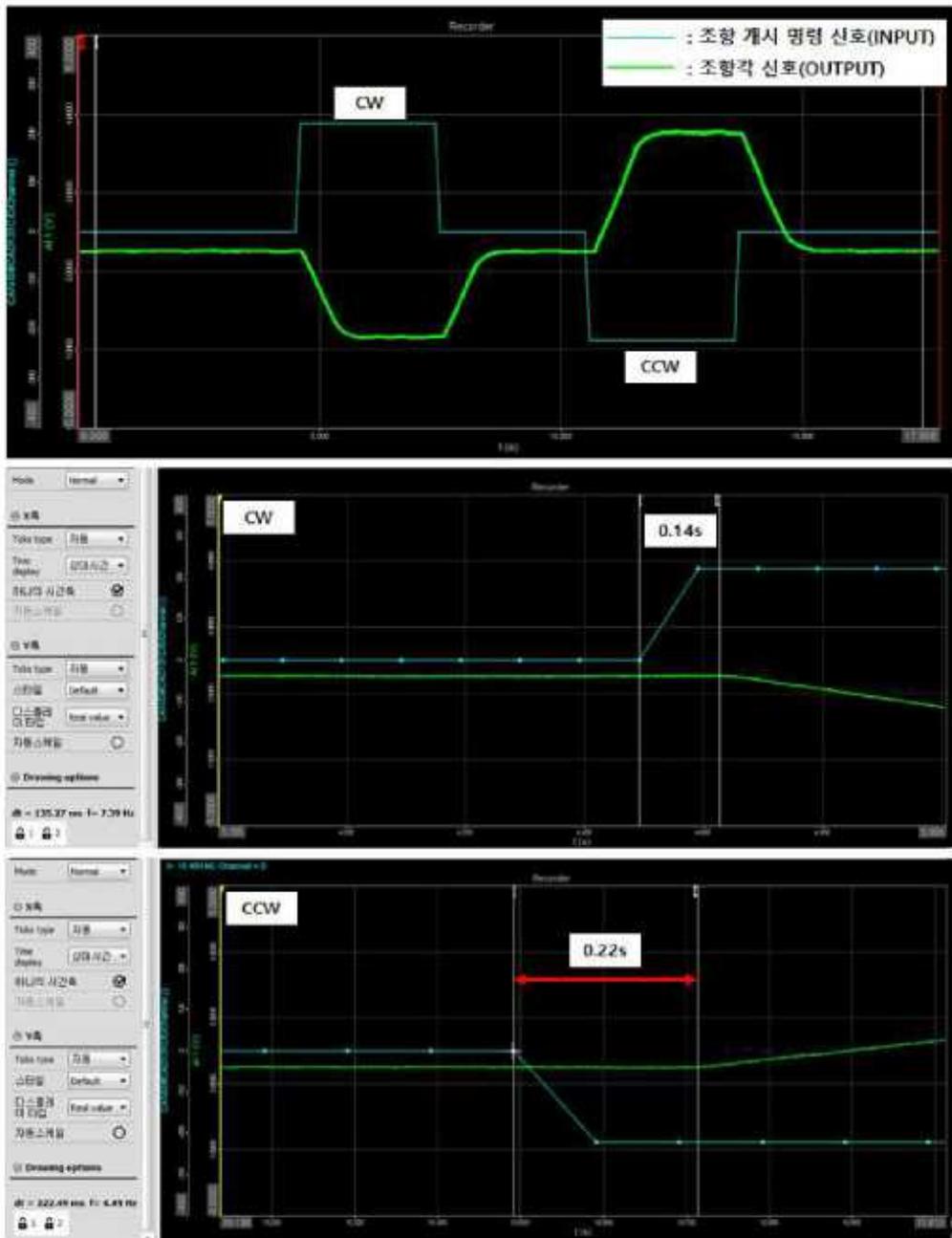
< 조향반응시간 시험결과 : 10도 >





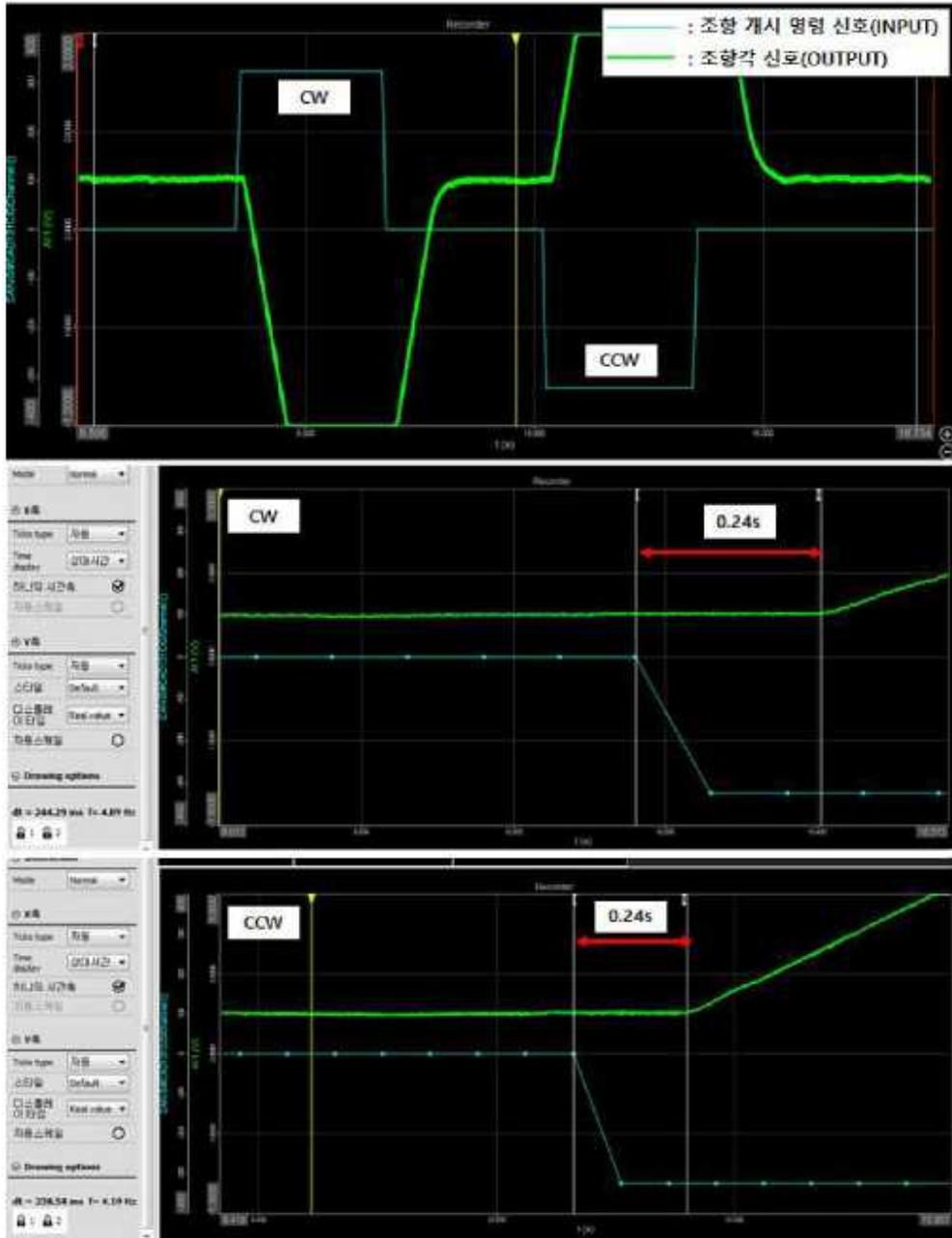
< 조향반응시간 시험결과 : 20도 >





< 조향반응시간 시험결과 : 30도 >





< 조향반응시간 시험결과 : 40도 >





### 3.3 조향성능 시험결과

#### 1) 시험 결과

- 시험 결과 무부하에서의 핸들 회전수 대비 부하 시 핸들 회전수가 High idle(2350rpm)에서 CW, CCW 각 55.6%, 56.1%로 산출되었다.
- 선진社(덴포스)의 조향성능과 비교 결과 CW, CCW 부하비가 각 96.2%, 95.9%로 판정 기준에 만족함을 확인하였다.

#### < 중량 적재 결과 >

구분	무부하(차량 단독)		부하(하중 적재)	
	LH	RH	LH	RH
전륜 하중	1131.5	1152.0	2419.5	2381.0
	2283.5		4800.5	



< 무부하(차량 단독) 및 부하(하중 적재) 형상 >

#### < 조향성능 시험결과 >

엔진 회전수(rpm)	무부하 핸들 회전수(rev)		부하 핸들 회전수(rev)		부하비(%)	
	CW	CCW	CW	CCW	CW	CCW
High idle (2350rpm)	4.29	4.30	2.38	2.41	55.6	56.1
Low idle (950rpm)	4.31	4.32	1.91	1.93	44.3	44.6





< 무부하 시 핸들 조향 결과 >



< 부하 시 핸들 조향 결과 >

< 선진社(덴포스) 대비 조향성능 비교결과 >

구분	조향성능	
	CW	CCW
선진社(덴포스)	57.8	58.5
시험품	55.6	56.1
대비 성능	<b>96.2%</b>	<b>95.9%</b>





### 3.4 직진주행오차 시험결과

#### 1) 시험결과

- 자율 주행 모드 상태에서 두차례 왕복 시험 결과 평균 17.5cm, 13.0cm 오차를 보여 판정기준에 만족함을 확인하였다.

< 직진주행오차 시험결과 >

주행 횟수	차속 (km/h)	직진주행오차 (cm)	평균 (cm)
1	3.5	15.0	17.5
		20.0	
2	4.5	10.0	13.0
		16.0	

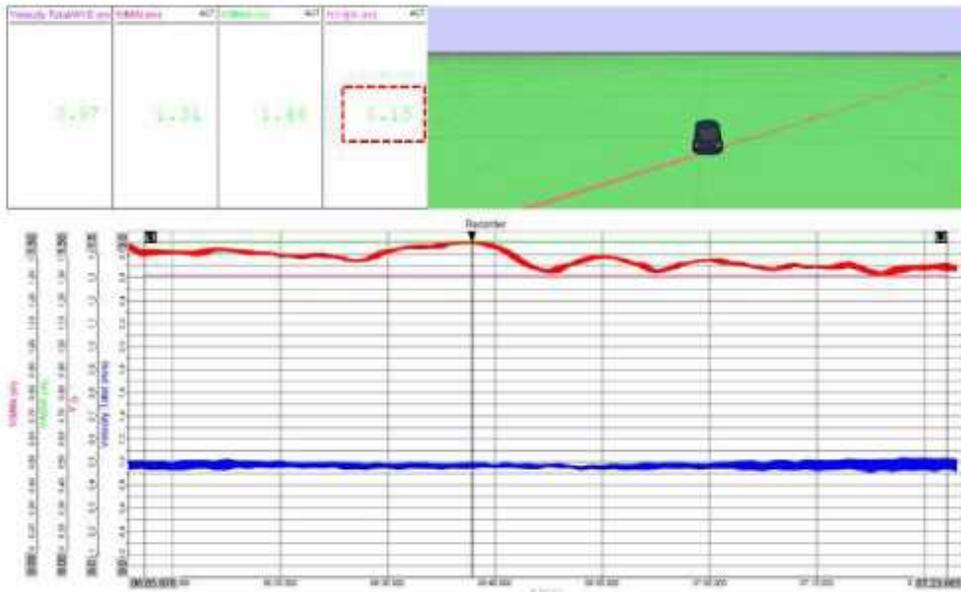


< 직진주행오차 시험 환경 >

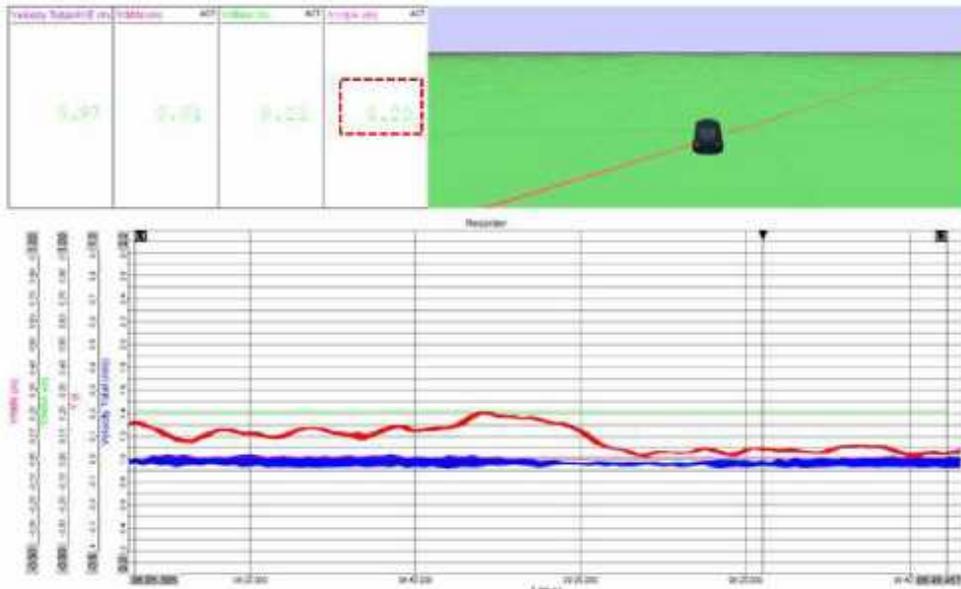


< 직진주행오차 시험 형상 : 자율주행 모드 왕복 시험 >



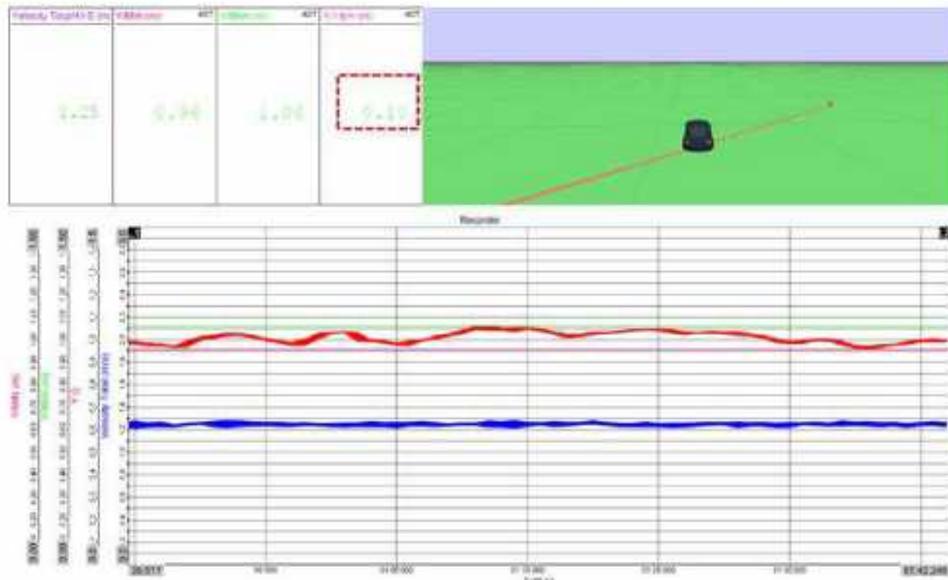


< 직진주행오차 시험 결과 (주행 #1) >

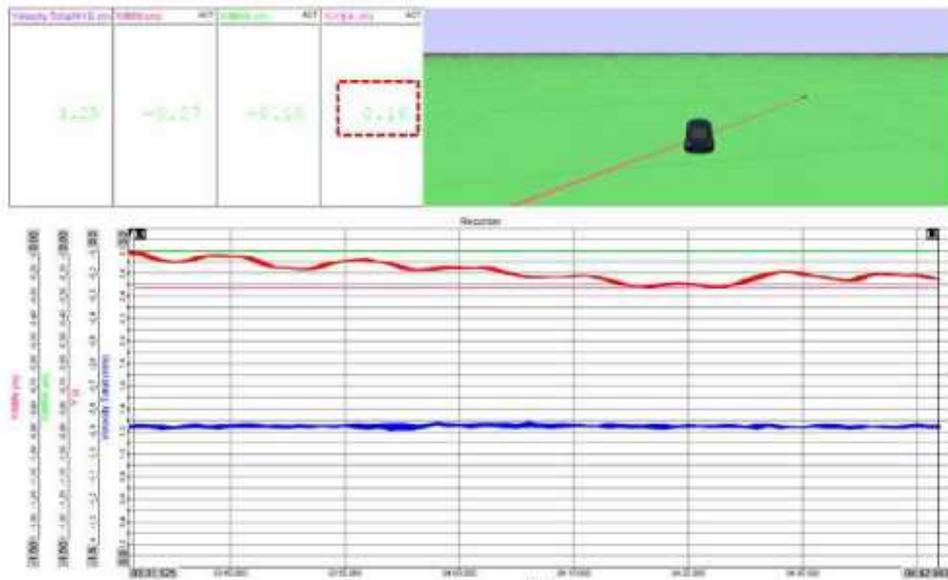


< 직진주행오차 시험 결과 (주행 #1) >





< 직진주행오차 시험 결과 (주행 #2) >



< 직진주행오차 시험 결과 (주행 #2) >



[공동연구개발기관명 : 네이스코]

(1) 1차년도 추진 실적

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
1차 년도 (2021)	대형(75kW 이상)트랙터 용 스마트 자동 조향 시스템 개발	선진사 벤치마킹 및 수요기업 요구사항 검토	선진기술 분석 및 벤치마킹 부품 분석, 요구사항 검토	B/M부품 조사 및 CAN 구동 시퀀스 작성
		벤치 시험을 통한 입출력 특성 분석, H/W설계	전원관리 회로 조향밸브 구동 회로	Hard Ware 설계 완료하여 신뢰성 시제품 제작완료
		제어 알고리즘 연구/분석	알고리즘 설계사항 safety mode, 조향제어	알고리즘 연구/분석을 통한 Soft Ware 설계자료 활용
		펌웨어 설계	safety mode 조향 제어, CAN기반 GUI	safety mode 설계 조향 제어, GUI설계
		Proto 제작	2대분 제작	1대 : 주관기관 평가용 지원 1대 : 신뢰성 시험
		입출력 시뮬레이터 제작	전용 검사기 제작	전용검사기를 활용하여 신뢰성 시험 및 입출력 확인
		정량적 목표항목 평가	공인인증기관 신뢰성시험 진행	공인 인증 시험 완료

- ① 입력된 차량 정보 및 조향지령 알고리즘으로 자율주행을 위한 트랙터의 방향을 제어하는 장치 개발
- ② 선진사 기술 분석 및 수요기업 요구사항 검토 및 분석
  - ㉠ 선진사 B/M 부품 조사
    - ㉡ B/M모델(Danfoss社 전자유압 조향용 PVED-CLS 컨트롤러)는 컨넥터 및 PCB (MCU,GPI/O,CAN,AD)부,COIL 부,LVDT 부,솔레노이드 밸브 및 블록 부로 구성되었으며,CAN,AD,LVDT로 입력된 차량정보 및 조향지령 알고리즘으로 트랙터의 좌우방향을 제어

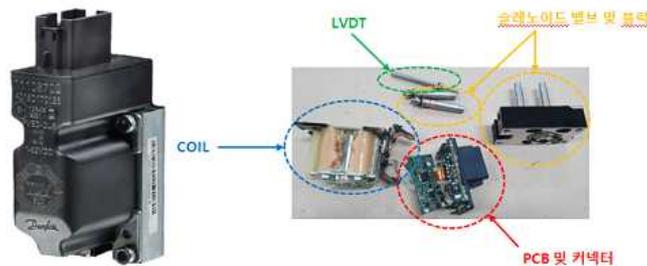


그림 110. Danfoss社 전자유압 조향용 PVED-CLS 컨트롤러

- ㉢ 커넥터 및 PCB(인쇄회로기판)부 커넥터는 PCB타입으로, 커넥터가 PCB에 삽입되고 납으로 고정되는 방식이며, 커넥터 PIN MAP설정으로 차량과 컨트롤러간 입출력 항목을 결정하고 인쇄회로 기판부에는 결정된 항목의 회로 및 부품이 실장됨
  - ㉣ 전원입력단: 차량 전원이 입력되어 컨트롤러 전원으로 사용
  - ㉤ AD입력단: 차량의 상태신호(ex.조향각센서) 입력

- ㉔ CAN통신: 차량과 컨트롤러간 통신
- ㉕ Digital Out: CUT OFF SolenoidValve 신호 출력
- ㉖ MCU : 차량 상태정보가 MCU에 입력되고, 조향지령 알고리즘으로 트랙터의 좌우방향을 제어

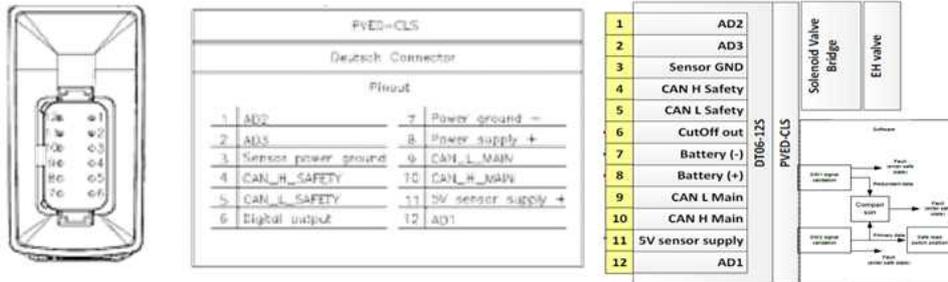


그림 111. Danfoss 社 PVED-CLS 컨트롤러 커넥터 PIN MAP

㉗ LVDT (Linear Variable Differential Transformer)

선형의 위치를 측정하는 센서로 자기장의 변화를 이용해 측정하며 높은 정밀성을 가짐, 조향 제어시 실시간으로 변화하는 현재의 조향각 DATA를 MCU에 FEED BACK

㉘ COIL 부

조향 좌/우 구동 솔레노이드 출력 회로 및 코일 4개, LVDT코일 1개로 구성 MCU에 목표 조향각이 입력되면, 조향 좌/우 솔레노이드가 구동, 실린더의 위치가 변경되어 현재 조향각이 변경되고, 현재 조향각을 MCU에 피드백하여 목표 조향각에 반영 (COIL부와 PCB간 배선으로 연결)

㉙ 솔레노이드 밸브 및 블록

조향 좌/우 솔레노이드 밸브 4개 및 블록으로 구성되며, COIL부에 삽입되는 방식으로 콤팩트하게 구성

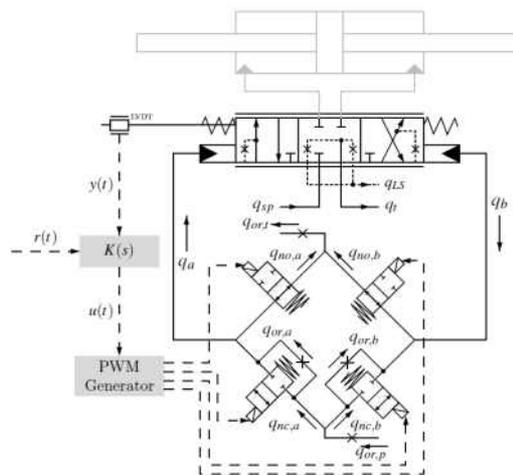


그림 112. 방향 스톱, 논리밸브 및 자동 실린더의 유압회로도

㉔ 수요기업 요구사항 검토 및 분석

㉔-1 구동 시퀀스 작성 및 시험

벤치마킹 제품 성능 확인을 위해 기능 블록 다이어그램을 통한 CAN통신 프로토콜 매칭이 필요하여 구동 시퀀스 작성 및 벤치시험 진행

㉔-1-1 시동후 초기 CAN통신 시퀀스

MMI, VSP, STW, SASA센서 DATA가 조향제어기에 입력, DATA가 정상범 위인 경우 On road 송신

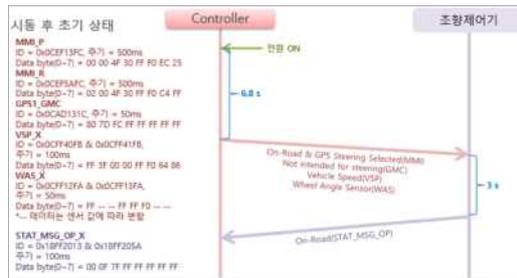


그림 113. 시동후 초기 CAN 통신 시퀀스

㉔-2 자동조향 ON CAN통신 시퀀스

Off-Road Non Reaction 지령 입력, Off-Road Safety Check상태 및 Off Road Non Reaction 확인 전달, Intended for steering 수신, System is ready, GPS Steering selected 전송

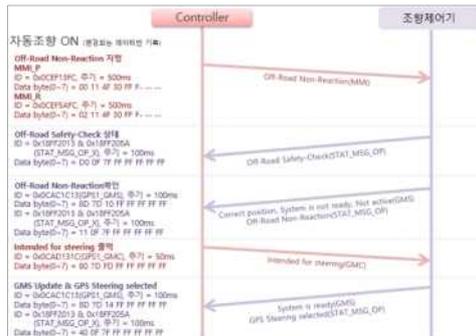


그림 114. 자동조향 ON CAN 통신 시퀀스

㉔-3 기능시험

벤치마킹 제품 성능 확인을 위해 MMI(Man-Machine Interface), VSP, STW(SteeringWheel), SASA(Steering Angle Sensor)DATA를 CAN 프로토콜 매칭후 STW 알고리즘에 따라 곡률값 입력후, 유압과 유량의 변화량을 측정결과 차속 과 목표 조향각에 따라 유압 과 유량이 변화하였으며 곡률 100으로 고정 후 차속을 1단위로 증가시 압력 및 유량은 감소하고, 차속을 5로 고정후 곡률값을 1단위로 증가 시 곡률값 증가에 따라 압력 및 유량이 증가하였다.

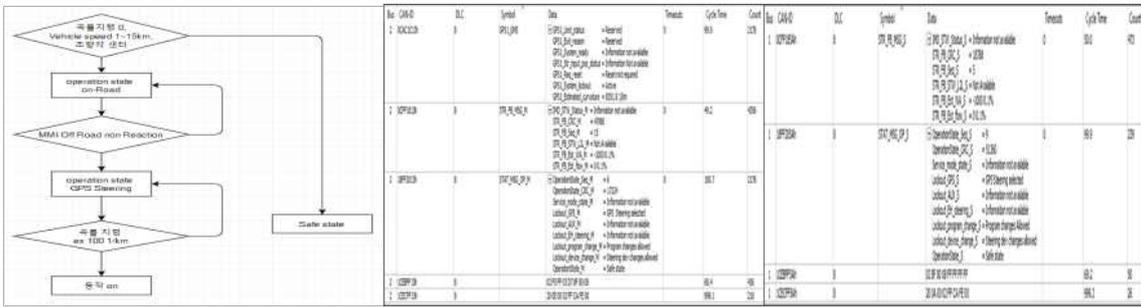


그림 115. 서도 , CAN프로토콜

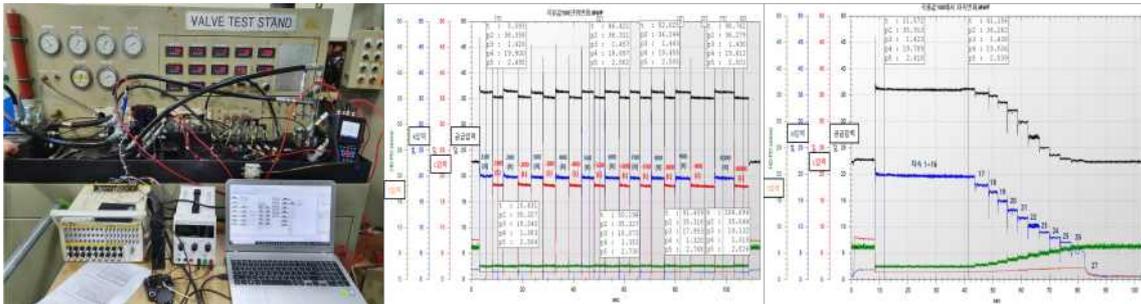


그림 116. 시험사진 / 시험 그래프

③ 자동 조향 제어기 벤치 선정 및 입출력 특성 분석

㉞ 벤치시험을 통한 입출력 특성 분석

㉠ 전원입력

Range Input Voltage : DC8~16V  
Surge Protector, 역전압 보호, 과전압 보호

㉡ CAN통신

2ch, CAN 2.0B , 250Kbps  
CAN Line Filter, CAN Bus Protector

㉢ ADC 입력

Range Input Voltage : MAX 5V

㉣ 솔레노이드 출력

Range of output current : MAX 2 A

④ 제어기 하드웨어 설계 및 제작

㉞ 제어기 회로 설계

㉠ 연산처리 능력이 높고 차량용 spec을 만족하는 mcu선정

Core size 32Bit , 동작 온도 -40~105도, CPU Frequency 120Mhz

㉡ CAN 2ch 및 CAN Line Filter 및 CAN Bus Protector 사용

㉢ 솔레노이드 출력단 MOSFET 사용 및 MCU PWM OUT SET

㉣ 동작온도 -30~+85도를 만족하는 부품 선정

㉤ ADC 센서 입력 가변전압 0~5V로 변화하고, 콘트롤러에서 10BIT분해능으로 구성

- ㉔ 전원단 회로는 역전압, 과전압, Surge 보호 회로 구성
- ㉕ 제어기 Print Circuit Board (인쇄회로기판) 설계
  - ㉔ PCB 재질 FR-4, 두께 1.6T ,동판 10Z로 제작
  - ㉕ 부하용량에 따른 패턴 설계 및 그라운드 패턴 강화
  - ㉖ 회로도 및 결과물

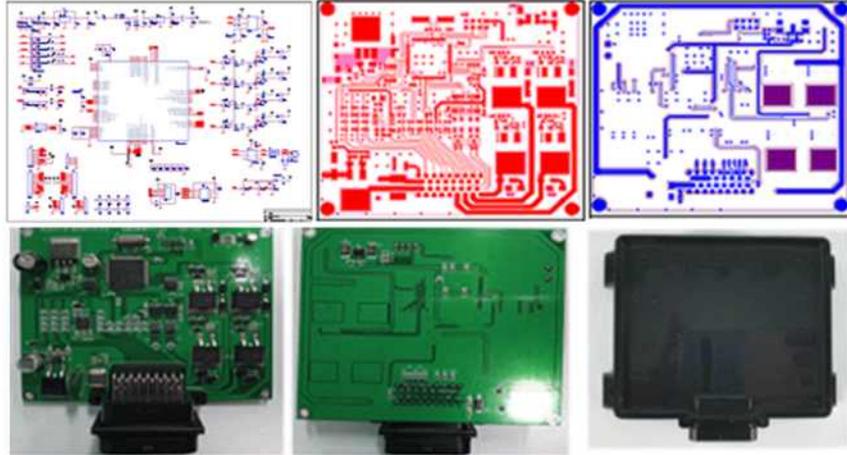


그림 117. 전자회로도, 인쇄회로기판도 및 결과물

- ㉕ 제어기 기구 설계
  - ㉔ BASE PNL - 재질 SPCC 3.0T 아연도금, 공법 레이저 밴딩
  - ㉕ ARRAY BUSHING - 재질 SPCC 3.0T 아연도금, 공법 레이저 드로잉
  - ㉖ COVER - 재질 PC, 흑색도장, 공법 CNC가공(MOCK-UP)
  - ㉗ COVER SUB - 재질 PC, 흑색도장, 공법 CNC가공(MOCK-UP)
  - ㉘ FOST - 재질 SPCC 3.0T 아연도금, 공법 레이저
  - ㉙ MTG PIN\_PCB - 재질 PC , 공법 레이저
  - ㉚ 고정 MOLD - 재질 내열수지, 공법 CNC가공(MOCK-UP)
  - ㉛ 그로밋 - 재질 실리콘 , 공법 마스터 주형 제품
  - ㉜ 부싱2 - 재질 내열수지 , 공법 CNC가공(MOCK-UP)
  - ㉝ 연결판 - 재질 베륨동 0.25T 열처리 , 공법 WATER JET,간이금형

BASE PNL	ARRAY_BUSHING	COVER	COVER_SUB
MTG PIN_PCB	ARRAY_BUSHING	그로밋	부싱2
부싱4	FOST	연결판	ASS'Y

그림 118. 기구 설계 결과물

④ 제어기 알고리즘 연구/분석

전체 제어로직은 크게 Safety 모드, 자동조향제어 모드, 캘리브레이션 로직으로 나누어진다. Safety 모드는 운전자 안전과 관련된 직접적인 문제가 발생되었을 때 구동되는 로직으로 자동조향제어 모드 중 위험을 감지시 자동조향제어를 멈추도록 프로그램 되어야 한다. 캘리브레이션 로직은 조향각 센서의 직진방향 정렬 상태의 위치를 저장하고 조향제어시 편차가 보정되어야 한다.

최초 생산 공정상에서 사용되어지는 제어 로직부로서 공정 시간을 고려하여 최대한 짧은 시간에 수행이 가능하도록 프로그램이 되어야 한다. 자동조향제어 모드 로직은 MMI 또는 Steering Wheel 알고리즘에 따라 입력된 곡률 또는 목표 조향각에 따라 좌,우 조향 실린더에 전기적 신호를 전달하고 변동되는 조향각 신호를 FEED BACK하여 목표 조향각에 반영하여 제어한다.

⑤ 제어기 펌웨어 설계

㉠ J1939 CAN(Controller Area Network) 프로토콜 적용 펌웨어 설계

CAN 통신 규격으로 CAN ID, START BIT, DATA LENGTH, 메시지 NAME, CYCLE TIME등 CAN PROTOCOL을 정리하여 소프트웨어 설계 자료로 사용하였으며, CAN 통신으로 입력된 차량 상태 및 조향지령 알고리즘에 따라 밸브를 제어하고 현재 밸브 위치 및 제어기 정보를 CAN 통신으로 FEED BACK하는 펌웨어를 설계

㉡ 자가진단 알고리즘 기반의 Safety기능 개발

제어기 입,출력 장치의 기능에 대한 상태를 검출하고, 그에 대응하는 진단코드를 내부의 메모리에 저장하고 저장되어있는 진단코드를 외부로 출력 및 Safety 모드 실행하는 기능 설계

㉢ 결과물

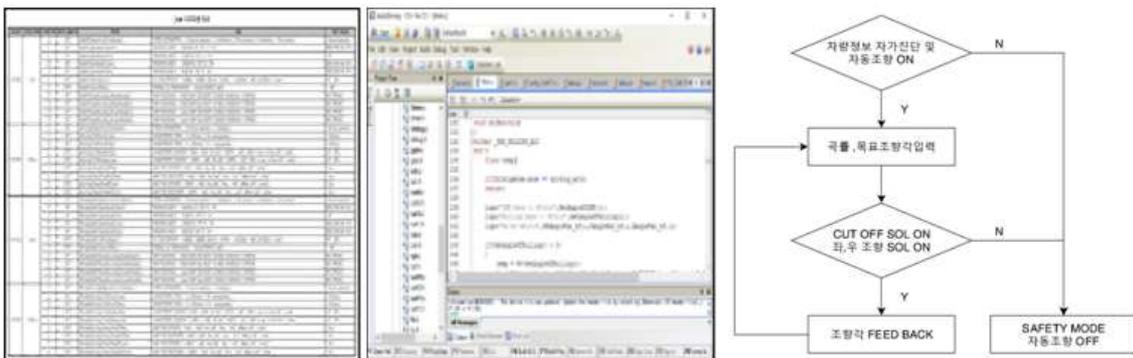


그림 119. 제어기 펌웨어 설계

⑥ 입출력 시뮬레이터 설계 및 제작

㉞ GUI(Graphical User Interface)개발

자동차 통신 네트워크 중 대표적인 CAN통신의 J1939프로토콜을 적용하였으며, 표준화된 규격으로 타 업체들이 적용하기에 용이하도록 개발하였다. GUI 개발은 PEAK SYSTEM社 의 CAN interface 장비와 CAN analyser software를 사용하여 CAN DATA 분석 및 모니터링을 할 수 있도록 GUI를 개발하였다. 또한 사용자가 편리하게 사용할 수 있도록 입출력 등의 기능을 알기쉬운 아이콘 그래픽으로 나타내었고 제어기와 PC의 두 장치를 CAN통신 기반으로 연결하였다.

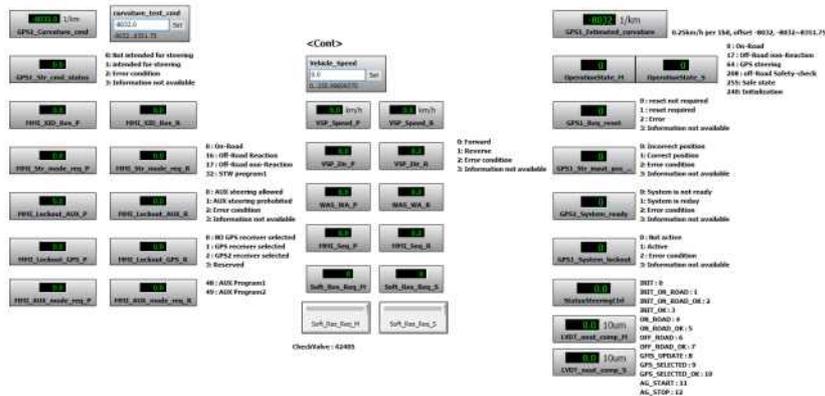


그림 120. Graphical User Interface

㉟ 입출력 변환 보드 제작하여 벤치 시험용 CAN통신 기반 시뮬레이터제작

자동조향제어기 펌웨어 업데이트 및 개발중인 제어 시스템을 검증하고 제어 시스템의 분석 및 개선에 활용목적으로 제작하였으며 MCU를 사용한 입출력 변환 보드를 제작하여 제어기 펌웨어 업데이트 및 입출력 데이터 송수신이 가능하도록 구성하였다.



그림 121. 시뮬레이터 설계 및 제작

⑦ 공인기관 신뢰성 평가 및 성능시험 보고서

㉓ 공인기관 신뢰성 평가

Ⓐ 시험장소 : 충청남도 천안시 동남구 풍세면 303 한국자동차연구원

Ⓑ 시험기관 : 한국자동차연구원

㉔ 시험 항목 및 방법

순서	시험항목	시험규격	평가방법	시험장비	결과
1	고온작동	KS R 0016 5종	시험온도 85도에서 제품에 전원을 인가하여 12시간동안 실시 후 제품 동작 및 외관에 이상이 없을 것	자동 조향 제어기 성능 시험 장비	규격 만족
2	저온작동	KS R 0016 5종	시험온도 -20도에서 제품에 전원을 인가하여 12시간동안 실시 후 제품 동작 및 외관에 이상이 없을 것		
3	살수시험	KS R 0015 S2	게이지압력 3Kg/cm <sup>2</sup> , 전방수량 39.4 L/min, 분수구수 40, 회전속도 17로 1시간동안 시험 후 제품동작에 이상이 없을 것 <IP등급 기준 방수 5등급 수준>		
4	진동시험	KS R 1034	진동주파수 33.3Hz, 진동가속도 39.2m/s <sup>2</sup> 시험방향 X,Y,Z각 4시간씩 실시 후 제품 동작 및 외관에 이상이 없을 것		
5	EMC시험	75/322/ECC JASO D 001-94 KS C 9610-4-2	규격 만족할 것		

㉕ 공인 성적서 접수



그림 122. 공인 기관 시험성적서

(2) 2차년도 추진 실적

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
2차 년도 (2022)	대형(75kW 이상)트랙터 용 스마트 자동 조향 시스템 개발	Proto 문제점 검토 및 Pilot 개선 설계 및 제작	케이스 개선설계 제어기 인쇄회로기판 개선설계	PILOT개선 설계 및 제작
		성능시험 및 S/W 보완	PWM제어 알고리즘 보완	PWM제어 알고리즘 보완 조향반응시간 측정
		Pilot 부품 제작	기구물 11종 제작 LVDT, PCB ASS'Y 제작	자동조향 제어기 시제품 3SET 제작 완료
		입출력 시뮬레이터 개선설계	Pilot 개선 설계내용 반영 한 시뮬레이터 제작	입출력 시뮬레이터 제작 완료
		정량적 목표항목 평가	공인인증기관 신뢰성시험 진행	공인 인증 시험 완료

① Proto문제점 검토 및 Pilot 개선 설계 및 제작

㉞ 하드웨어 개선설계

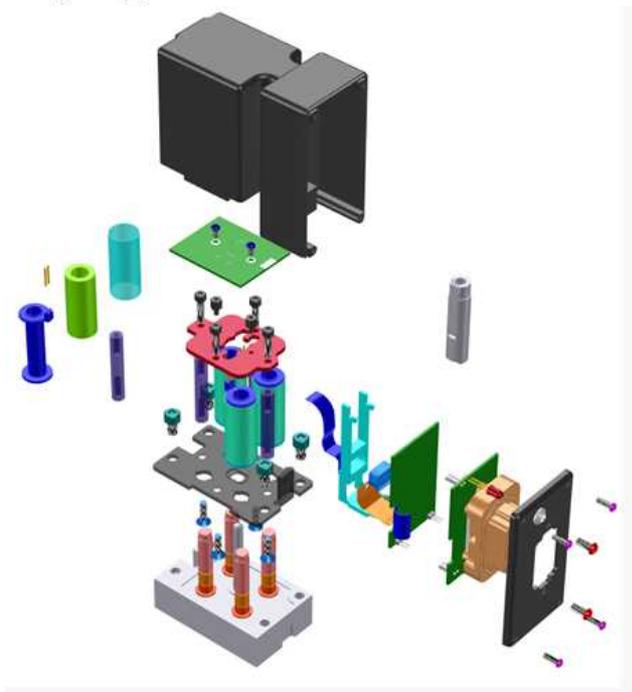
Ⓐ 케이스 개선 설계

자동조향제어기 내부에 조향 좌/우 솔레노이드 밸브 4개 및 블록으로 구성하고, COIL부에 삽입되는 방식으로 콤팩트하게 구성하고 방수조건 보완함

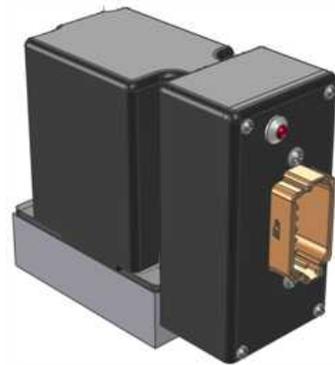
■ 기구사양

- 컨넥터 규격 : DT15-12PA (12PIN)
- 방수 조건 : 내부 우레탄 몰딩

▷ 조립도



▷ 외관도



▷ 내부 우레탄 몰딩

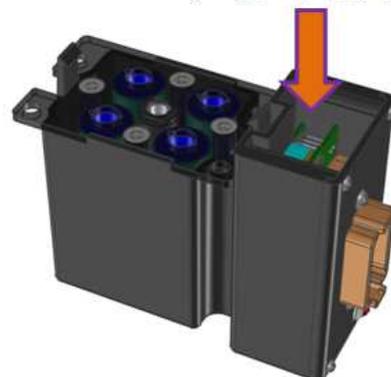


그림 123. CASE 조립도 및 외관도

② 제어기 인쇄회로기판 개선

PCB SIZE, 커넥터 및 장착구조 개선 설계

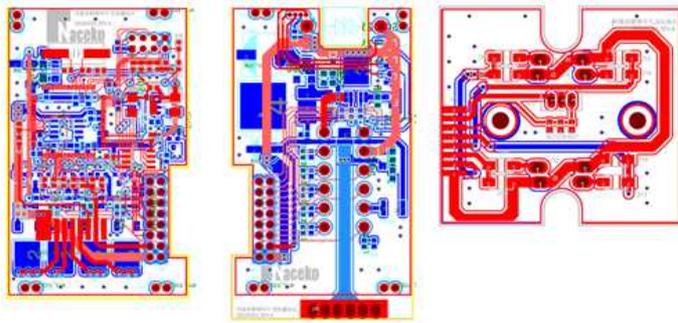


그림 124. 인쇄회로기판도

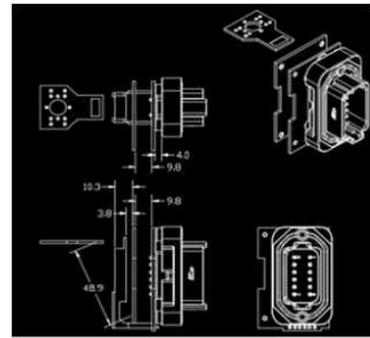


그림 125. 장착 구조

③ 입출력 인터페이스 수정

차량상태에서 제어기의 Reprogram이 가능하도록 회로 및 진단 커넥터를 추가로 구성하고 제어기 핀맵에 진단 커넥터 연결부 추가함

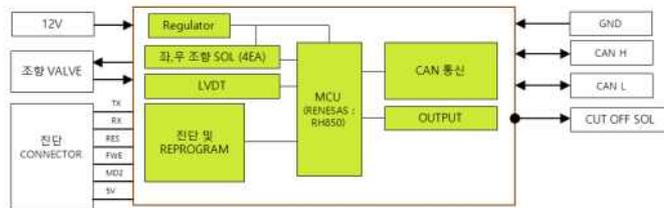


그림 126. 자동조향 제어기 블럭도

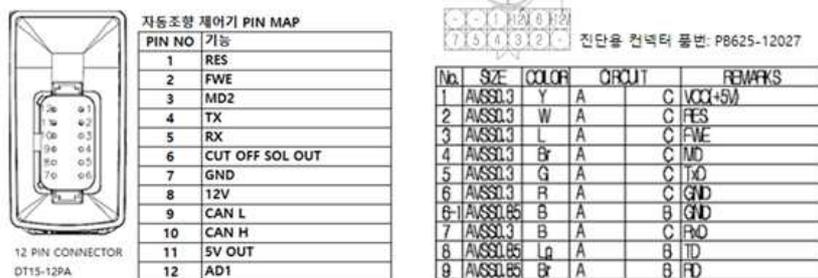


그림 127. 자동조향 제어기 핀맵 / reprogram 및 진단용 커넥터 핀맵

제어기 MCU에 물리적으로 진단시에는 Normal operating mode설정, Reprogram시에는 Serial programming mode로 변경이 가능하도록 회로 구성하고 차량의 진단용 커넥터로 PC와 자동조향 제어기를 연결하여 진단 및 Reprogram실행함.

외부 리셋 또는 파워 온 클리어 리셋이 생성되면 FLMD0, FLMD1, MODE0, MODE1 및 MODE2핀의 상태를 사용하여 리셋해제 후 작동 모드를 아래표와 같이 결정함.

Pins					Operating Mode
FLMD0	FLMD1 (P10_8)	MODE0 (P10_1)	MODE1 (P10_2)	MODE2 (P10_6)	
0	x	x	x	x	Normal operating mode
1	0	x	x	x	Serial programming mode

그림 128. Selection of Operation Mode

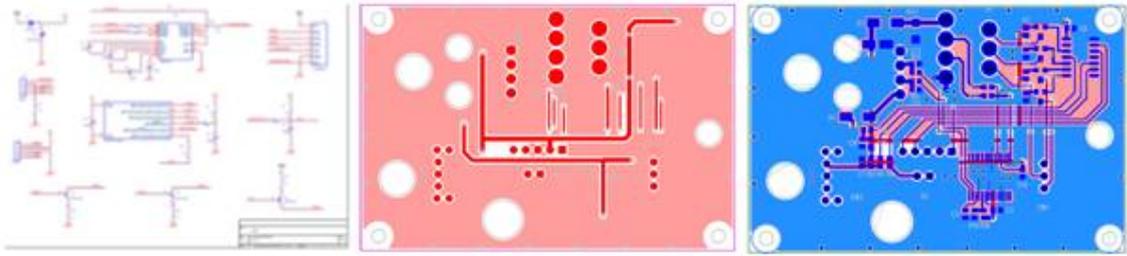


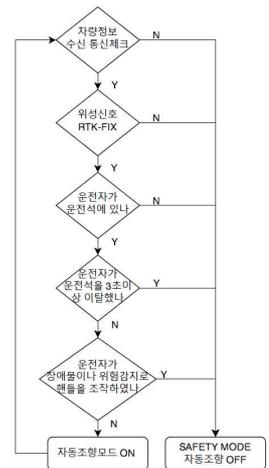
그림 129. 진단 및 Reprogram 회로

㉔ Safety Mode 기능 보완

ISO10975에 준한 조향 Assist 조건에서의 기능 보완

- ㉑ 차량정보 확인을 목적으로 수신되는 CAN 통신이 정상적인지 확인, 통신 ERROR가 1초 이상일 경우 세이프티 모드로 변경
- ㉒ 위성신호 정밀도가 RTK-FIX(위치오차 수 cm급) 인지 확인 후 아닐 경우 세이프티 모드로 변경
- ㉓ 운전자가 운전석에 없거나, 3초 이상 이탈시 세이프티 모드로 변경

※ 농작물파괴, 차량손상, 인사 사고 등을 초래할 수 있는 환경에서 세이프티 모드 적용



㉕ LVDT 설계

LVDT(Linear variable Differential Transformer)는 선형의 위치를 측정하는 센서로써 자동조향 제어 트랙터의 현재 조향각 DATA로 활용하며 트랙터의 직진방향 정렬시 변위 0mm(2.5V), 좌한 및 우한시 -4mm(0V), +4mm(4.5V)로 위치가 변위되고 출력되는 아날로그 및 이산신호를 증폭 및 디지털 신호로 전압을 변환하여 현재의 위치DATA로 출력이 가능한 LVDT 개발함

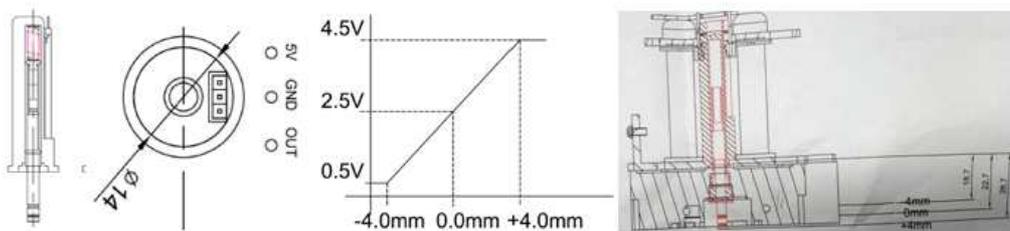


그림 130. LVDT 도면

㉖ 정량적 목표 항목 만족을 위한 회로 개선 설계

정전기 방전 내성시험 만족을 위해 전원 및 입력단에 정전기 보호회로 추가

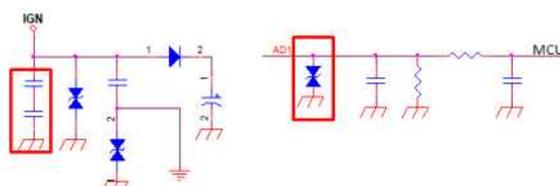


그림 131. 전원 및 입력단 정전기 보호회로추가

② 성능시험 및 S/W보완

㉠ 실차검증을 통한 PWM제어(duty cycle변경)알고리즘 보완

좌,우조향 솔레노이드를 PWM제어하고 duty cycle변경에 따른 LVDT의 DATA를 측정하고 측정된 data를 알고리즘에 반영

좌조향시 duty별 LVDT DATA 측정 : 불감대 범위 및 duty별 조향위치 측정

우조향시 duty별 LVDT DATA 측정 : 불감대 범위 및 duty별 조향위치 측정

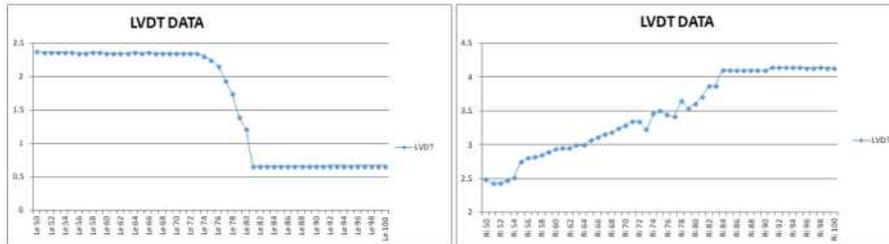


그림 132. 좌/우조향시 duty비 에따른 LVDT DATA측정

㉡ 조향반응 시간 측정

실차에서 우측 10,20,30,40도 조향지령, 좌측 10,20,30,40도 조향지령을 순차적으로 조향개시 명령후 기구부 작동 개시 신호의 시간 차이를 측정하여 조향반응 시간을 확인함

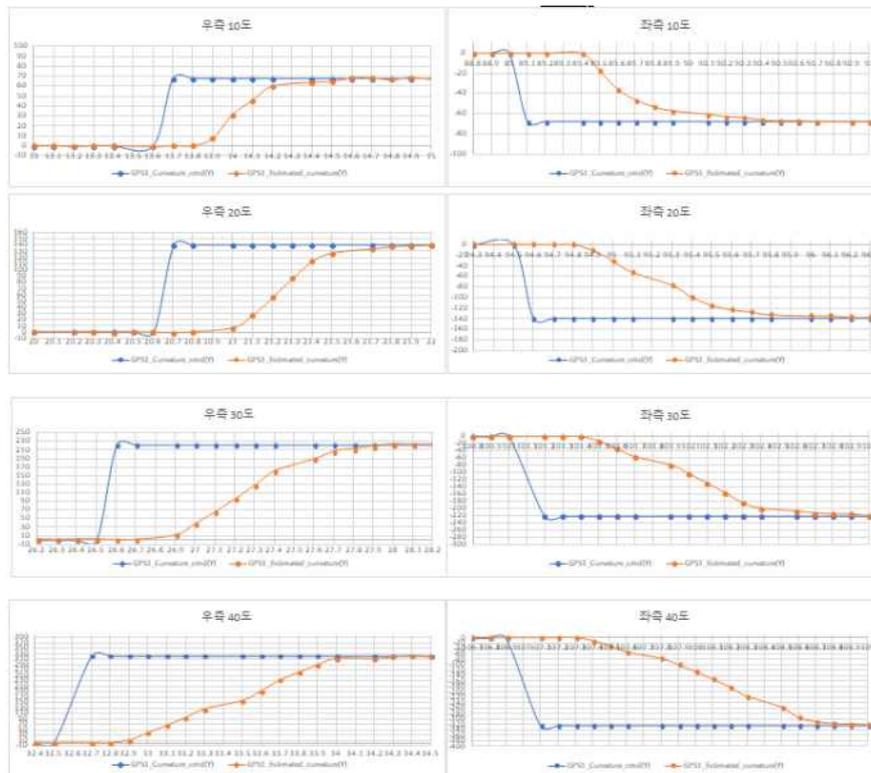


그림 133. 조향반응 시간 측정

③ PILOT 부품제작

㉠ COVER - 재질 내열ABS, 공법 INJ'MOLD,2CA'

㉡ 그로밋 - 재질 NBR, 공법 RUB'MOLD, 20CA'

㉢ 고정 MOLD - 재질 내열ABS, 공법 INJ'MOLD,2CA'

㉣ 연결판B - 재질 베름동, 공법 PRESS(PROGRESSIVE)

- ㉔ BASE PLN - 재질 쾌삭강, 공법 절삭가공
- ㉕ ARRAY BUSH'G - 재질 쾌삭강, 공법 절삭가공
- ㉖ 보빈앗세이 - 재질 PC, 황동 공법 INJ'MOLD, 2CA', 절삭가공
- ㉗ 철환봉, 보빈 - 재질 쾌삭강, 공법 절삭가공
- ㉘ FOST - 재질 쾌삭강, 공법 절삭가공
- ㉙ BOSS, SCREW - 재질 PC, 공법 INJ'MOLD, 4CA'
- ㉚ COVER - 재질 내열ABS, 공법 INJ'MOLD, 2CA'
- ㉛ PCB ASS'Y - 재질 FR-4 공법 다층기판, 전자부품, 커넥터 실장

			
COVER	그로밋	고정 MOLD	연결판 B
			
BASE PNL	ARRAY BUSH'G	보빈앗세이	철환봉, 보빈
			
FOST	BOSS, SCREW	COVER	PCB ASS'Y

그림 134. 기구 설계 결과물

- ㉜ LVDT - 선형 위치 측정 센서 부품 제작

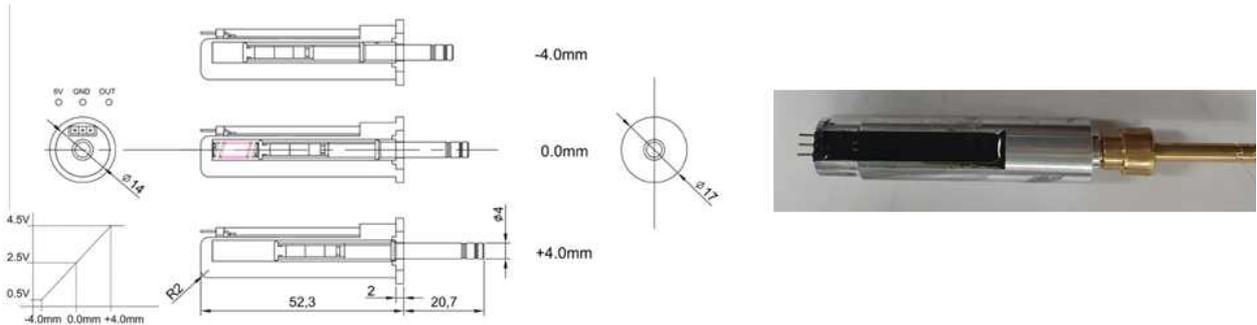


그림 135. LVDT 도면 및 실물사진

- ㉝ ASS'Y 제작 (3EA)

자동조향 제어기 완성품 3SET 제작



그림 136. 자동조향 제어기 제품 사진

④ 입출력 시뮬레이터 개선설계

Proto문제점 검토 및 Pilot 개선 설계내용 반영한 입출력 시뮬레이터 개선설계

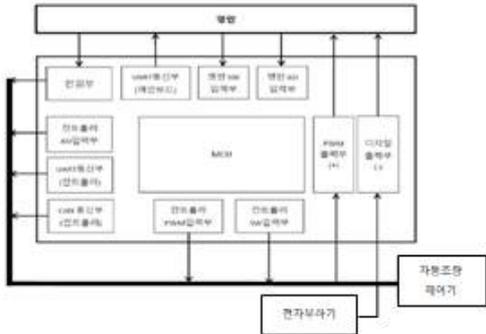


그림 137. 입출력 시뮬레이터 블록도 및 사진

⑤ 공인기관 신뢰성 평가 및 성능시험 보고서

㉞ 공인기관 신뢰성 평가

- ㉠ 시험장소 : 충청남도 천안시 동남구 풍세면 303 한국자동차연구원
- ㉡ 시험기관 : 한국자동차연구원
- ㉢ 시험 항목 및 방법

순서	시험항목	시험규격	평가방법	시험장비	결과
1	고온작동	KS R 0016 5종	시험온도 85도에서 제품에 전원을 인가하여 12시간동안 실시 후	자동 조향 제어기 성능 시험 장비	규격 만족
2	저온작동	KS R 0016 5종	시험온도 -30도에서 제품에 전원을 인가하여 12시간동안 실시 후		
3	살수시험	KS R 0015 S2	게이지압력 3.6Kg/cm <sup>2</sup> , 전방수량 40L/min, 분수구수 40, 회전속도 17로 1시간동안 시험 후 제품동작에 이상이 없을 것 <IP등급 기준 방수 5등급 수준>		
4	진동시험	KS R 1034	진동주파수 33.3Hz, 진동가속도 49m/s <sup>2</sup> 시험방향 X,Y,Z각 2시간씩 실시 후		
5	EMC시험	75/322/ECC JASO D 001-94 KS C 9610-4-2	규격 만족할 것		

㉣ 공인 성적서 접수



그림 138. 공인 기관 시험성적서

[공동연구개발기관명 : 경북대학교]

(1) 1차년도 추진 실적

- ① 시뮬레이션 소프트웨어를 활용한 자동조향 유압시스템의 Lay-out 설계 및 요소 부품 모델 개발
- ㉞ 해외 선진사 플랫폼에 적용되고 있는 자동 조향시스템 분석
  - Ⓐ CNH社は Auto guidance system 구현을 위해 EATON社의 조향 비례 제어 밸브(EH steering valve)를 사용하였으며, 상세 제원은 아래와 같음.
    - ㉠ Directional Solenoid, 350 bar, P port closed/bleed A and B to T
    - ㉡ Spring centered, dual solenoid, 8 lpm, 24 VDC

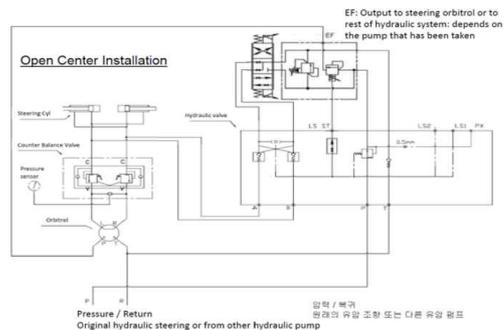


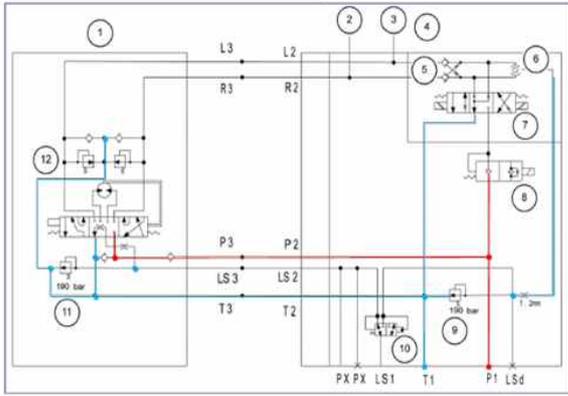
그림 139. EATON社의 조향 비례제어밸브 (EH steering valve)

- Ⓑ EATON社의 밸브가 적용된 EH steering system은 John deere, Yanmar 등 선진 트랙터 업체의 주요 제품에 적용되고 있음.
- Ⓒ 최근에는 미국, 일본 뿐만 아니라 중국에서 생산하는 트랙터에도 EATON社의 비례제어밸브가 적용되고 있음.

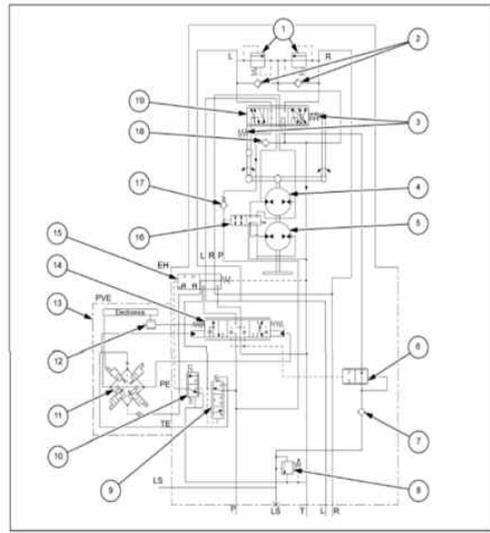
<table border="1"> <tr><td>Customer</td><td>John Deere</td></tr> <tr><td>Application</td><td>Tractor</td></tr> <tr><td colspan="2">XCEL45, S10 + GPS Steering Manifolds</td></tr> <tr><td colspan="2">Auto-Guidance manifolds developed by Eaton US ACE in early 2000s</td></tr> <tr><td colspan="2">2006 sales – 2,500</td></tr> <tr><td colspan="2">2013 sales – 16,000</td></tr> </table>	Customer	John Deere	Application	Tractor	XCEL45, S10 + GPS Steering Manifolds		Auto-Guidance manifolds developed by Eaton US ACE in early 2000s		2006 sales – 2,500		2013 sales – 16,000		  	<table border="1"> <tr><td>Customer</td><td>Tianbao</td></tr> <tr><td>Application</td><td>Tractor Retrofit</td></tr> <tr><td colspan="2">Steering Manifolds with KDG4V3 and SicV</td></tr> <tr><td colspan="2">Projected 500K for market</td></tr> </table>	Customer	Tianbao	Application	Tractor Retrofit	Steering Manifolds with KDG4V3 and SicV		Projected 500K for market		  
Customer	John Deere																						
Application	Tractor																						
XCEL45, S10 + GPS Steering Manifolds																							
Auto-Guidance manifolds developed by Eaton US ACE in early 2000s																							
2006 sales – 2,500																							
2013 sales – 16,000																							
Customer	Tianbao																						
Application	Tractor Retrofit																						
Steering Manifolds with KDG4V3 and SicV																							
Projected 500K for market																							
<table border="1"> <tr><td>Customer</td><td>Yanmar</td></tr> <tr><td>Application</td><td>Tractor</td></tr> <tr><td colspan="2">SCU+ Proportional Control Valve for auto-following up manifold</td></tr> <tr><td colspan="2">Mature Year: 1000 sets</td></tr> </table>	Customer	Yanmar	Application	Tractor	SCU+ Proportional Control Valve for auto-following up manifold		Mature Year: 1000 sets		  	<table border="1"> <tr><td>Customer</td><td>Foton</td></tr> <tr><td>Application</td><td>Tractor</td></tr> <tr><td colspan="2">XCEL45 + Steering Manifolds</td></tr> <tr><td colspan="2">Got production order 30 units</td></tr> </table>	Customer	Foton	Application	Tractor	XCEL45 + Steering Manifolds		Got production order 30 units		  				
Customer	Yanmar																						
Application	Tractor																						
SCU+ Proportional Control Valve for auto-following up manifold																							
Mature Year: 1000 sets																							
Customer	Foton																						
Application	Tractor																						
XCEL45 + Steering Manifolds																							
Got production order 30 units																							

그림 140. 국가별 EATON社의 비례제어밸브 적용 사례

- Ⓓ New Holland社의 T6 시리즈 모델은 EATON社의 Auto guidance valve가 적용되어 있으며, T7 시리즈 모델은 Danfoss社의 steering valve (OSPED LSRM 60/375 cc)가 적용되어 있음.
- ㉠ Danfoss OSPED는 steering unit 및 컨트롤러 일체형 모델임.



1. Steering control unit : Normal close type으로, Load sensing에 의해 압력 제어됨
2. Right hand steering cylinder : 우측 실린더
3. Left hand steering cylinder : 좌측 실린더
4. Autoguidance valve : 4Way 3 Position Proportional valve(PWM)
5. Lock valves
6. Pilot line shuttle valve
7. Directional control valve
8. Isolation valve
9. Relief valve(185~190bar)
10. Load sensing pilot operated shuttle valve : Load sensing 파일럿 밸브는 steering unit와 Auto guidance valve 작동에 따라 위치가 변경됨
11. Relief valve
12. Shock relief valves(220.0 - 240.0 bar)



1. Shock relief valves
2. Suction valves
3. Neutral spring package for spool sleeve
4. Gear set
5. Gear set
6. PVFC valve/LS resolver
7. Load sense check valve
8. Pilot pressure relief valve
9. Pilot reduction valve
10. Control valve
11. Solenoid valve bridge
12. LVDT transducer
13. PVE (Proportional valve electric actuator) control unit
14. Electro-hydraulic directional control valve
15. Mode select and Electro-hydraulic cut off valve
16. Steering emergency valve
17. Check valve
18. Emergency steering check valve
19. Spool/sleeve set

그림 141. Danfoss 社의 steering valve (OSPED LSRM 60/375 cc)

- ㉔ EATON 및 Danfoss 社의 비례제어밸브 외에도 Wandfluh, Hydraforce社의 밸브 또한 트랙터 자동조향 시스템 구현을 위해 제원 비교 및 검토를 수행하였음.
- ㉕ 관련 업체의 밸브의 상세 제원 및 가격은 아래 그림과 같음.

항목	Wandfluh(4W3P)	Hydraforce(5W3P)	EATON(4W3P)	Danfoss Ehi Assy	
HYD Circuit					
Model No.	WDPF A06-ACB-S-16-G12/ WG-HF1	SP10-58C-0-N-E12- DR	SP10-57F-0-N-12-E R	KDG4V-3-2C20N-MU -G7	EHI-20-OC-N-E 11225049
flow(Compensation Pres.)	16 lpm(@ΔP=10bar)	22.7 lpm(@ΔP=10.3bar)	22.7 lpm(@ΔP=10.3bar)	20 lpm(@ΔP=10bar)	20lpm(@ΔP=13.5bar )
P max	350bar	250bar	250bar	250bar	250bar
Hysteresis(Dither)	≤5% (70Hz, 400mA)	-(100Hz, 100mA)	-(100Hz, 100mA)	8%@ΔP=5bar(w/dit her)	1%(PVED CLS, LVDT)
Viscosity range	12~320 cSt	10~420cSt	7.4~420cSt	16~54cSt	10~460cSt
Operating Temp.	-20~70°C	-40~100°C	-40~100°C	20~82°C	-30~90°C
Mounting Temp	Flange(ISO 4401-03)	cartridge	cartridge	Flange(ISO4401-3)	Valve
Current(Deadband)	1,690mA @12V(0.4A)	1,200mA@12V(0.5A)	1,200mA@12V(0.3A)	3,500mA@12V(1.2A)	1,320mA@12V(0.3A)
추천 PWM Frequency	1,000Hz	120Hz	120Hz	2,000Hz	CAN Control
Internal Leakage	246cc/min @207bar	328cc/min @207bar	1016cc/min @207bar	-	-
Filtration (ISO 4406)	18/16/13	18/16/13	20/18/14	18/16/13	21/19/16
Valve Assy	견적금액 W 600,000원	W 850,000(STR Unit 포함)	W 430,000원	W 2,180,000원	1,660 USD (SASA kit \$260USD 포함)
Valve Assy 개발업체	윙스코	신진정밀	Hydraforce	Eaton	Danfoss

그림 142. 트랙터 자동 조향 시스템 적용 밸브 분석

- ㉖ 자동조향 유압시스템 Lay-out 설계
- ㉗ B/M 비례제어밸브 분석
  - ㉘ B/M 모델(Danfoss 社 EHi)은 아래와 같이 펌프, 밸브, 제어기, 유압부품(Orifice, resolver) 등으로 구성되었으며, Ehi밸브를 통해 유량을 조절하여 실린더를 작동(조향)시킴.
  - ㉙ SOL(Solenoid control valver EH cut off valve)는 솔레노이드로 EH

cut off valve를 제어하는 벨브임.

- ㉞ COV(EH cut off valve)는 엔진 과속 또는 압력폐쇄 발생 시, 자동 유체의 흐름을 중지시키는 벨브임.
- ㉟ 우선적으로 Priority valve spool에서 전기적 신호에 따라 유압전달이 결정됨.
- ㊱ EH directional valve에서 전기적 신호값에 따라 휠의 조향각이 결정됨.

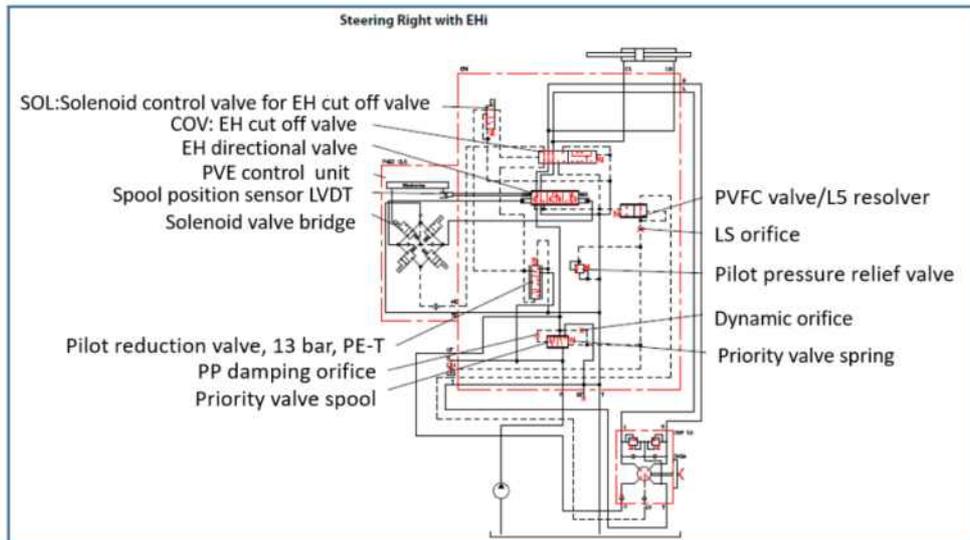


그림 143. B/M 모델 유압회로도 및 구성

- ㊲ Ehi밸브의 주요 제원(Steering flow, system pressure, Priority valve flow 등)은 아래와 같음.



SPECIFICATIONS	
Steering flow	12, 20, 30, 40, 50, 70, l/min
Max system pressure	210 bar (280 bar)
Max back pressure (T-port)	25 bar
Priority valve flow	45 and 90 l/min
PVE actuators	PVED-CLS, PVED-CC, PVES
Weight	11.2 kg (24.7 lbs)

그림 144. B/M 모델 메인 밸브의 주요 제원

㉟ 유압시스템 Lay-out 설계

- ㊳ B/M의 유압시스템 레이아웃은 아래와 같으며, Main 조향 밸브인 EH valve를 통해 실린더를 제어함.
  - ㉠ 유압시스템은 핸들의 조향값에 따라 유압을 주어 휠의 조향을 명령함.
  - ㉡ Controller에 연결된 Safety sensor는 차량 조향 시스템의 CAN 출력 신호에 응답하여 조향비 변수에 적용시킴.
  - ㉢ Safety Micro-controller는 Safety 센서에서 출력된 CAN 신호를 입력

받아 안전범위에서 벗어날 경우 밸브 중지를 명령함.

- ㉔ Main Micro-controller는 Safety sensor, Vehicle speed sensor, Auto-guidance 등에서 출력된 신호를 받고, Safety Micro-controller 와 신호를 공유하며 위기 상황 시 제어 중단을 명령함.

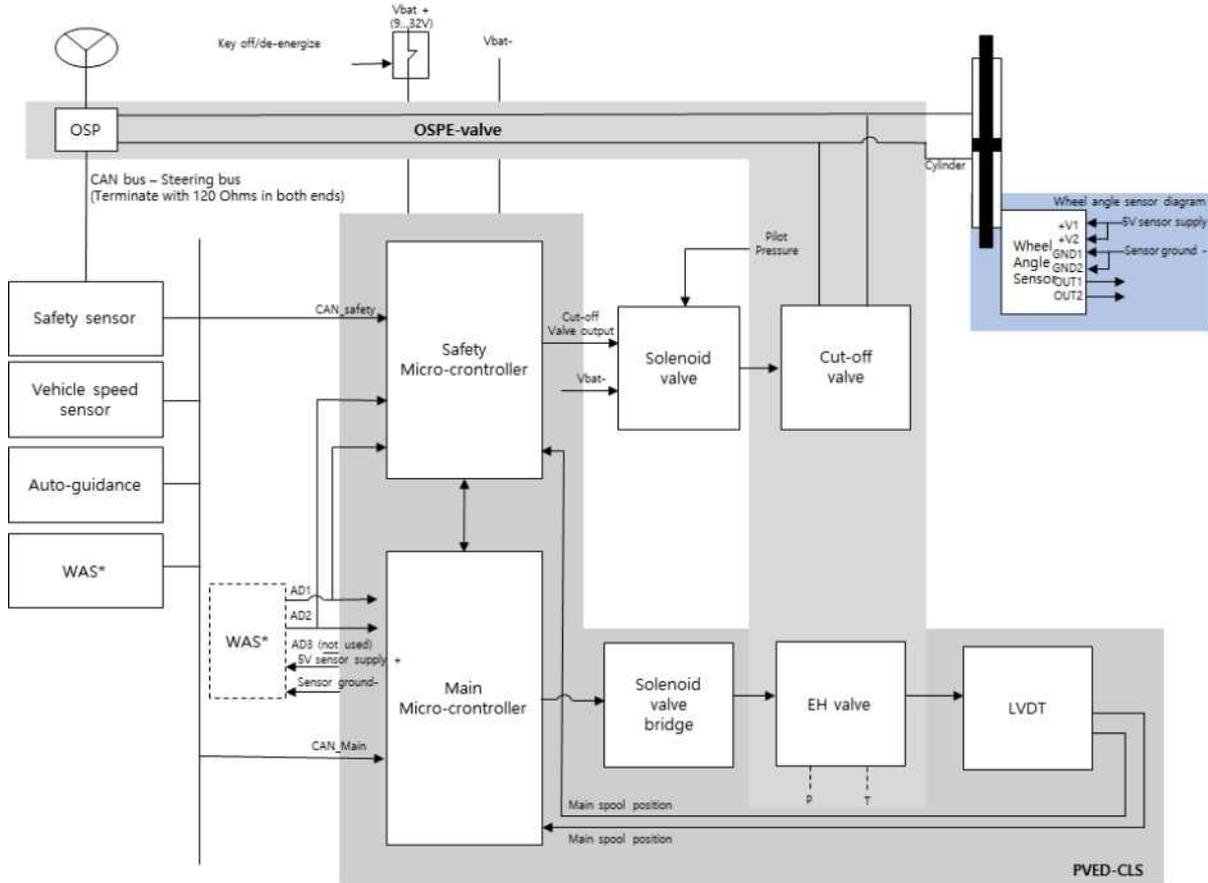


그림 145. 자동조향 밸브 및 유압 시스템 Lay-out

- ㉕ 비례제어밸브를 포함한 자동조향 시스템 구동부의 시뮬레이션 요소 부품 모델 개발

㉕ 시뮬레이션 Software

- ㉕ 다양한 산업분야에서 제품 개발 시 CAE(Computer Aided Engineering) 기술을 활용한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 CAE 기술은 비용 절감 및 개발 기간의 단축을 가능하게함.
- ㉕ AMESim (Simcenter AMESim, Germany Munich, Siemens)은 유압뿐만 아니라, 기계, 공압, 열, 전기, 전자 분야로 구성된 시스템의 성능을 정확하게 예측할 수 있는 통합 시뮬레이션 플랫폼을 제공하는 소프트웨어로 자동차, 건설기계, 농업기계 등 다양한 산업분야에서 유압시스템 해석을 위해 사용되고 있음.
- ㉕ 본 연구에서는 트랙터용 자동조향 시스템 구동부 시뮬레이션 모델 개발을 위하여 1D-domain 해석 소프트웨어인 AMESim을 이용하여 비례제어밸브 단품 모델 및 자동조향 시스템 구동부 시뮬레이션 모델을 개발하

였음.

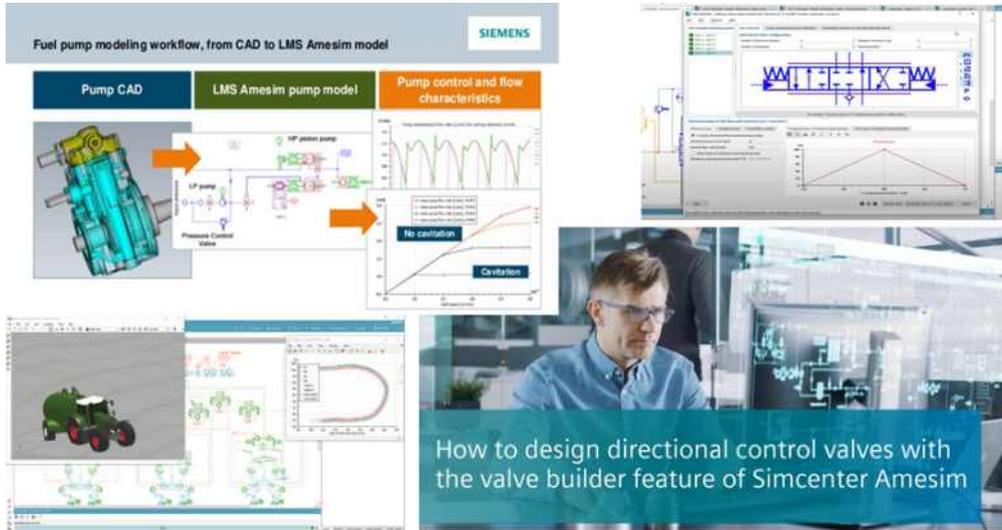


그림 146. 자동조향 시스템 구동부 시뮬레이션을 위한 Simcenter AMESim

⑧ 자동조향 시스템 시뮬레이션 요소 부품 모델 개발

① 시뮬레이션 요소 부품 모델 중 밸브는 라이브러리 컴포넌트 및 Valve builder를 통해 개발하였으며, 각 모델은 B/M 모델의 유압회로도를 기반으로 개발하였음.

② AMESim의 라이브러리 컴포넌트를 이용하여 아래 그림과 같이 Solenoid valve bridge 모델, Relief valve 모델, Cut-off valve 모델을 구현하였음.

- Relief valve의 작동 압력은 약 145~155 bar (@ 25 lpm)이며, 주관 기관에서 전달한 Relief valve의 정특성 및 동특성 시험데이터를 입력 제원에 반영하였음.
- Solenoid valve bridge 모델은 off-road 조건에서 1.32A의 인가 전류를 통해 cut-off가 구현되며, on-road 조건에서 0.23A의 전류가 인가 됨.

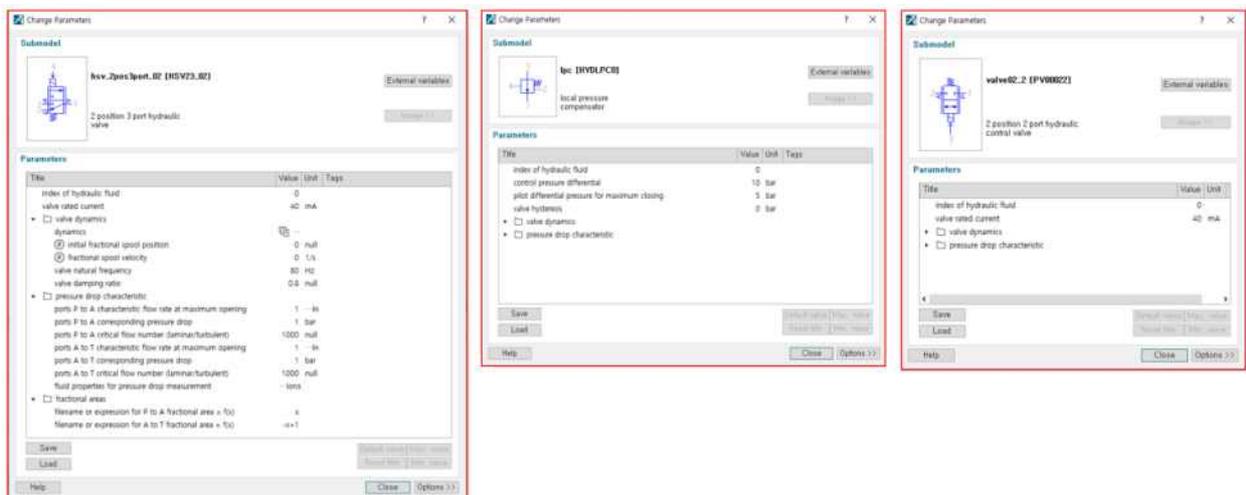


그림 147. 소프트웨어의 라이브러리 컴포넌트를 통한 밸브 단품 모델 개발

- ㉞ AMESim의 라이브러리 컴포넌트 중 복동 실린더 타입의 액추에이터 모델을 통해 입력 유량에 따른 자동 조향 시스템을 구현하였으며, 세부 파라미터는 트랙터 조향 시스템에 적용되는 액추에이터의 제원을 반영하였음.

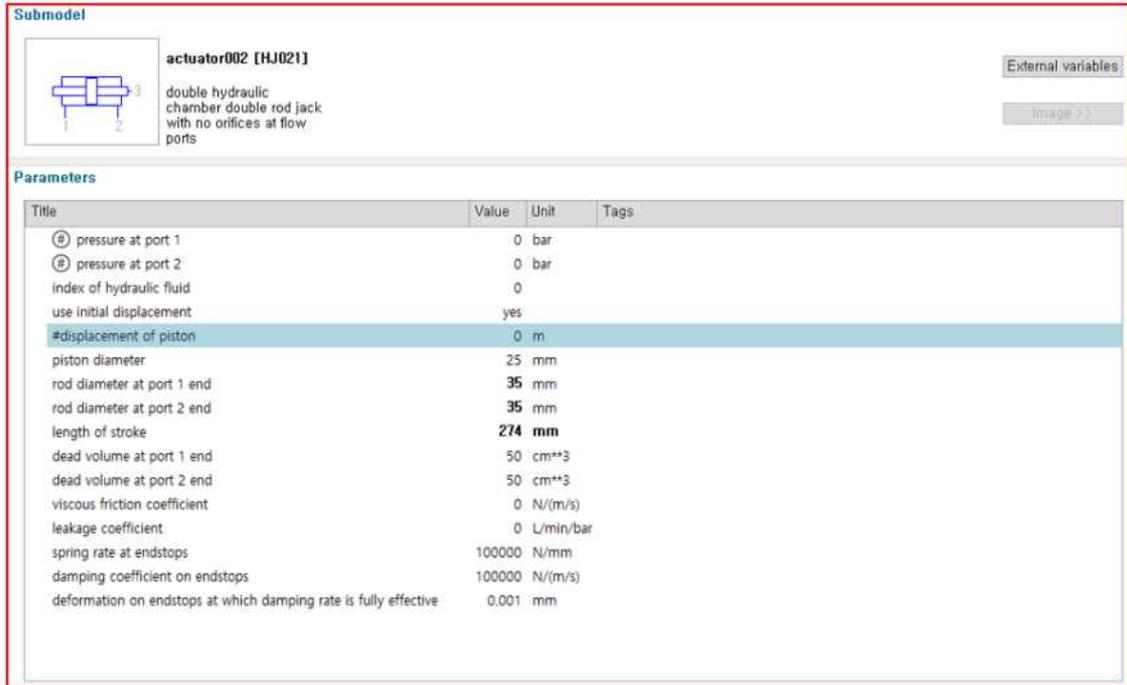


그림 148. 소프트웨어의 라이브러리 컴포넌트를 통한 액추에이터 단품 모델 개발

- ㉟ AMESim의 Valve builder를 통해 Cut off valve를 개발하였으며, 스톱의 위치 0 to 3 mm (0 to 100%)에 따라 Priority valve에서 토출된 유량(17 lpm)을 제어 가능함.

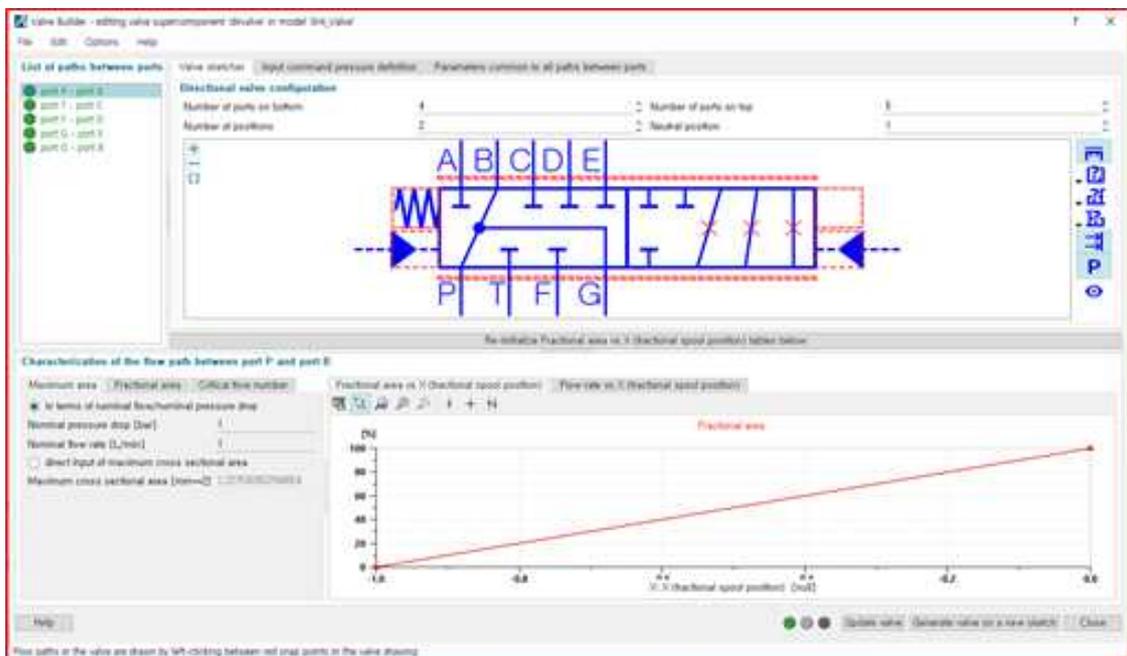


그림 149. Valve builder를 통한 Cut off valve의 단품 모델 개발

- ㉔ AMESim의 Valve builder를 통해 Pilot reduction valve의 단품 모델을 개발하였으며, 해당 밸브는 Solenoid valve 작동 시 cut off valve의 스톱 작동을 구현하도록 구성하였음.

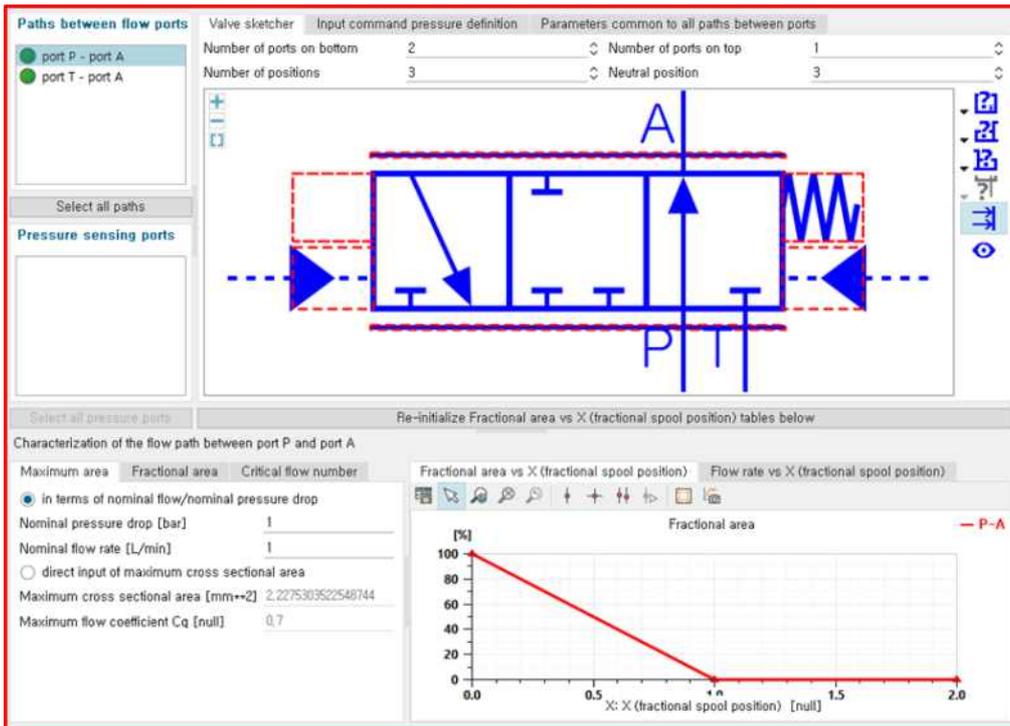


그림 150. Valve builder를 통한 Pilot reduction valve의 단품 모델 개발

- ㉕ AMESim의 Valve builder를 통해 Priority valve의 단품 모델을 개발하였으며, 스톱의 위치 0 to 4.7 mm (-100 to 100%)에 따라 펌프에서 토출된 유량을 제어 가능하도록 구성하였음.

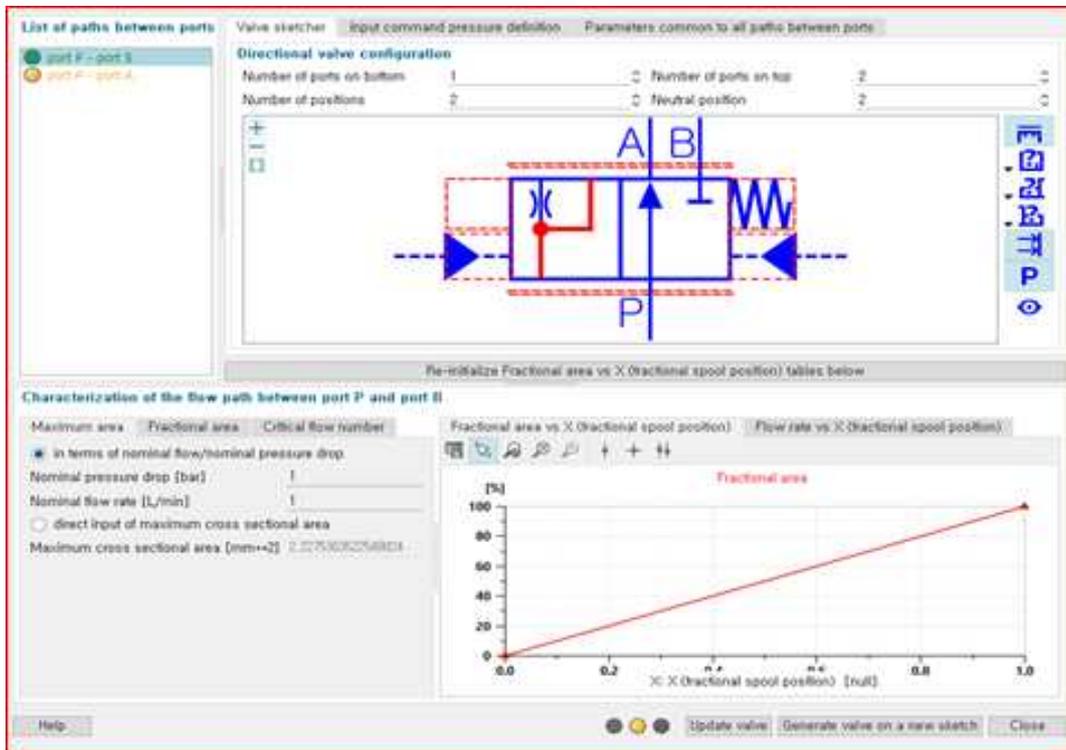


그림 151. Valve builder를 통한 Priority valve의 단품 모델 개발

- ② 요소 부품에 대한 전체 SI (System Integration)를 통한 자동 조향 시스템 구동부 시뮬레이션 모델 개발 및 해석
  - ㉞ 요소 부품 및 제어 신호 input 모델 통합을 통한 시뮬레이션 모델 개발
    - ㉠ 라이브러리 컴포넌트 및 Valve builder를 통해 개발한 단품모델의 SI를 통해 자동조향 밸브의 시뮬레이션 모델을 개발하였음.
    - ㉡ 각 밸브에 입력되는 Pilot 압력을 구현하기 위해, 라이브러리 컴포넌트의 압력 센서 모델을 활용하였으며, 실시간으로 발생하는 압력을 신호로 변환하여 밸브에 인가될 수 있도록 구성하였음.

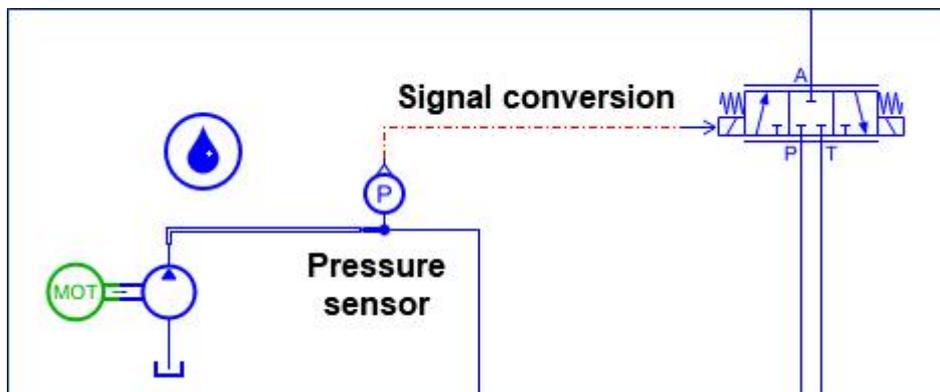


그림 152. Pilot 압력 구현을 위한 압력 센서 및 입력 신호 변환 모델

- ㉢ 각 세부 부품의 입력 파라미터는 주관기관으로부터 전달받은 부품의 제원을 반영하였음
  - ㉣ 펌프 모델의 토출 유량은 60 lpm 이며, Priority valve를 통해 메인 밸브

로 입력되는 유량은 17 lpm으로 설정하였음.

- ㉔ 액추에이터로 인가되는 유량은 좌·우 조향 시 약 17~18 lpm이며, 해당 데이터를 기반으로 유압 배관 모델의 submodel을 지정하였음.

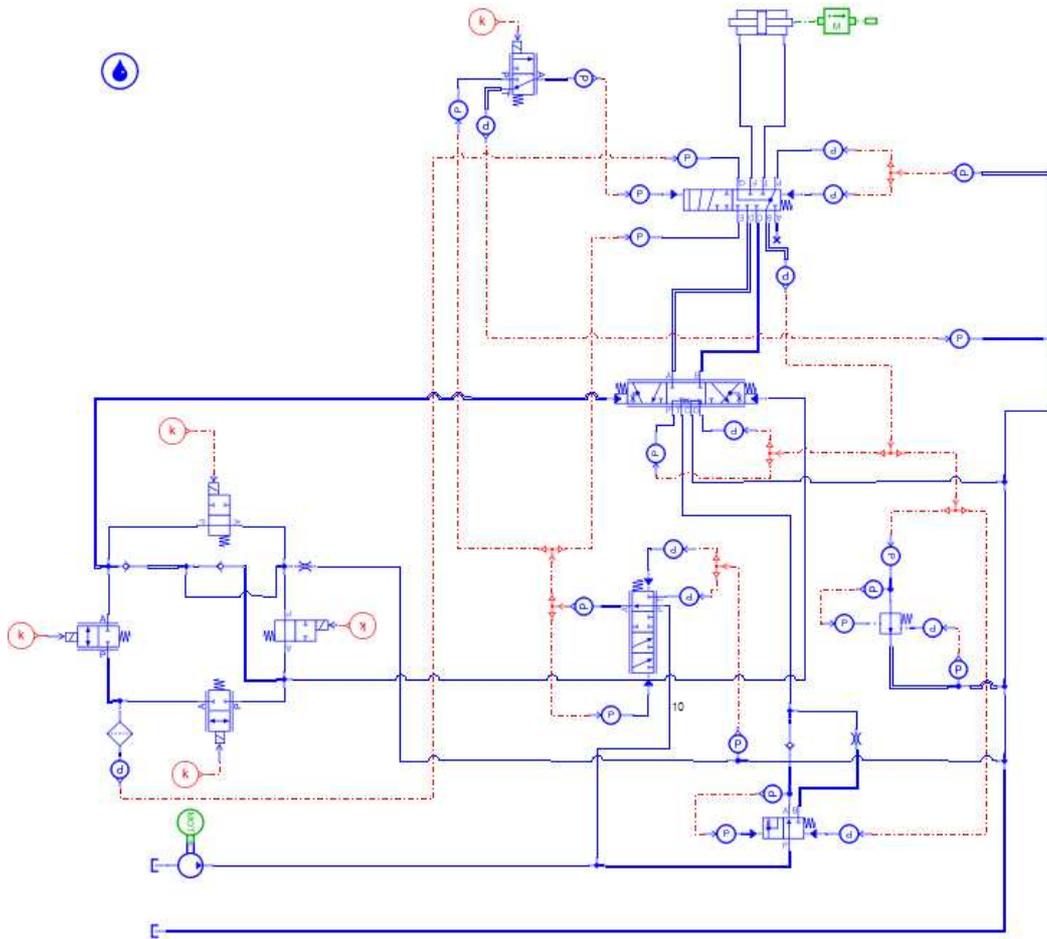


그림 153. 단품 모델 SI를 통한 자동 조향 시스템의 시뮬레이션 모델

㉔ 자동 조향 시스템 비례제어밸브의 시뮬레이션 해석 및 결과 분석

㉔ 시뮬레이션 해석 모델

- ㉔ 메인 valve 거동에 따른 액추에이터 시뮬레이션 해석을 위해, 아래와 같은 단품 시뮬레이션 모델을 개발하였음.
  - ㉔ 시뮬레이션 모델은 유압펌프, 릴리프 밸브, 메인 valve 및 신호 입력 모델, 액추에이터로 구성하였으며, 입력 신호에 따라 메인 valve의 포지션(유체의 방향)이 결정됨.
  - ㉔ 유압펌프는 B/M 모델의 Priority valve에서 제어된 유량(17 lpm)을 구현하기 위해 모터 회전속도에 따라 일정한 유량을 토출하도록 구성하였음.
  - ㉔ 릴리프 밸브는 시스템 전체 압력이 150 bar 이하로 유지되게 하여 안정성을 확보하기 위해 구성하였음.
  - ㉔ 메인 valve는 자동 조향 시스템의 시뮬레이션 모델에 구성된 모델을 적용하였음.

- ㉔ 입력 신호 모델은 신호에 따른 메인 valve의 포지션 변화 및 액츄에이터의 작동 방향을 제어하기 위해 square wave output 타입을 적용하였음.
- ㉕ 액츄에이터는 조향에 사용되는 액츄에이터의 제원을 반영하여 구성하였음.
- ㉖ 시뮬레이션 조건은 트랙터 작업 시 불균일한 지면에 의해 부하가 발생하므로, 부하 조건에 따른 밸브에서의 영향을 확인하고자 부하 압력을 임의로 선정하였음.
- ㉗ 부하 압력은 실린더 단에 작용하는 부하를 무부하, 50 kgf/cm<sup>2</sup>, 100 kgf/cm<sup>2</sup>의 세 가지 조건으로 선정하였음.

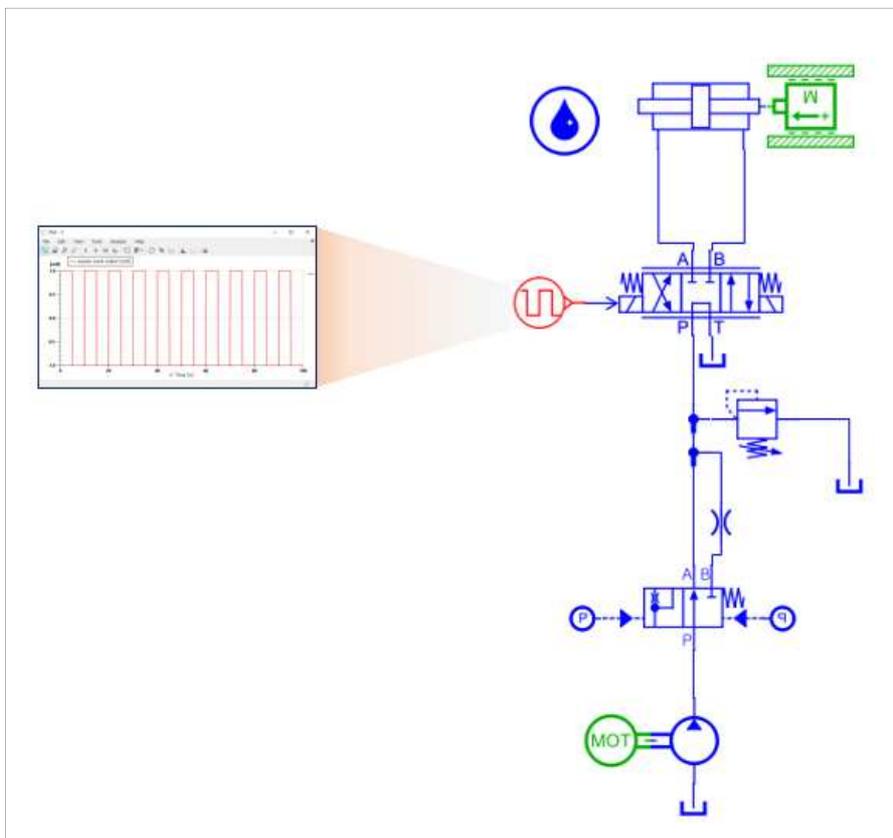


그림 154. 메인 valve 포지션에 따른 액츄에이터 거동 시뮬레이션 해석 모델

### ㉘ 시뮬레이션 해석 결과 및 모델 평가

- ㉙ 메인 valve 출력단의 유압동력을 계산하기 위해 시간에 따른 유량 및 압력 시뮬레이션 결과를 분석하였으며, 시뮬레이션 결과는 주관기관(하이드로텍)에서 제공받은 테스트벤치 데이터를 활용하여 비교 분석하였음.
- ㉚ 밸브 출력단의 유량 및 압력은 액츄에이터 입력단의 유량 및 압력과 같으므로 메인 valve의 출력 포트에서의 시뮬레이션 결과를 활용함.
- ㉛ 무부하 조건에서의 시뮬레이션 해석 결과 분석
  - ㉜ 무부하 조건에서 메인 valve의 port A에서 토출되는 유량은 입력 신호(-1, R제어) 조건에서 17.0 lpm으로 나타났으며, 입력신호(1, L제어) 조건에서도 17.0 lpm으로 유사하게 나타남.

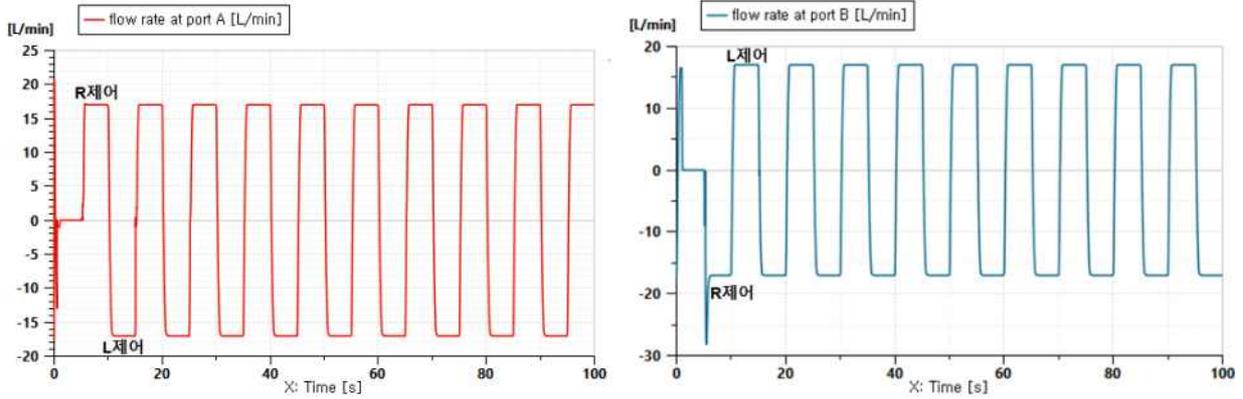


그림 155. 메인 valve 스푼 거동에 따른 port A 및 port B의 유량 시뮬레이션 결과(무부하 조건)

- ㉠ 무부하 조건에서 메인 valve의 port A에서의 압력은 펌프 최초 구동 시 약 83 bar로 나타났으나, 5.5 sec 이후 안정되어 16.0 bar로 나타남.
- ㉡ 압력은 입력 신호의 변화에 따른 스푼의 이동으로 순간적으로 강하하는 개형이 나타남.
- ㉢ 무부하 조건에서 메인 valve의 port B에서의 압력은 펌프 최초 구동 시 약 150 bar로 나타났으나, 릴리프 밸브를 통해 6.1 sec 이후 안정되어 약 16.0 bar로 유지됨.

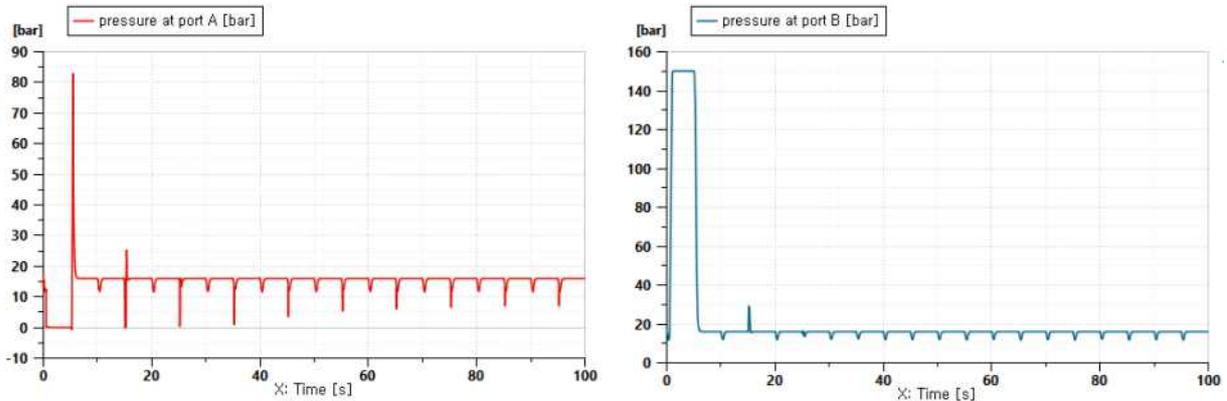


그림 156. 메인 valve 스푼 거동에 따른 port A 및 port B의 압력 시뮬레이션 결과(무부하 조건)

- ㉣ 유압동력은 아래와 같은 식을 통해 계산하였으며, 압력 및 유량 결과 데이터를 활용하여 소프트웨어 내 post processing 기능을 이용하여 계산하였음

$$Power_{hydraulic} = \eta_v \times \frac{P \times Q}{600}$$

Where,  $Power_{hydraulic}$  = Power of hydraulic system (kW)

$$\eta_v = \text{Efficiency (\%)}$$

$P$  = Pressure of hydraulic system (bar)

$Q$  = Flow rate of hydraulic system (lpm)

- ㉔ 무부하 조건에서 액추에이터를 구동하기 위한 유압동력은 R제어 및 L제어에서 최초 구동 시 약 1.0 kW로 나타났으나, 약 6.1 sec 이후 안정화되어 약 0.39 kW로 유지됨.

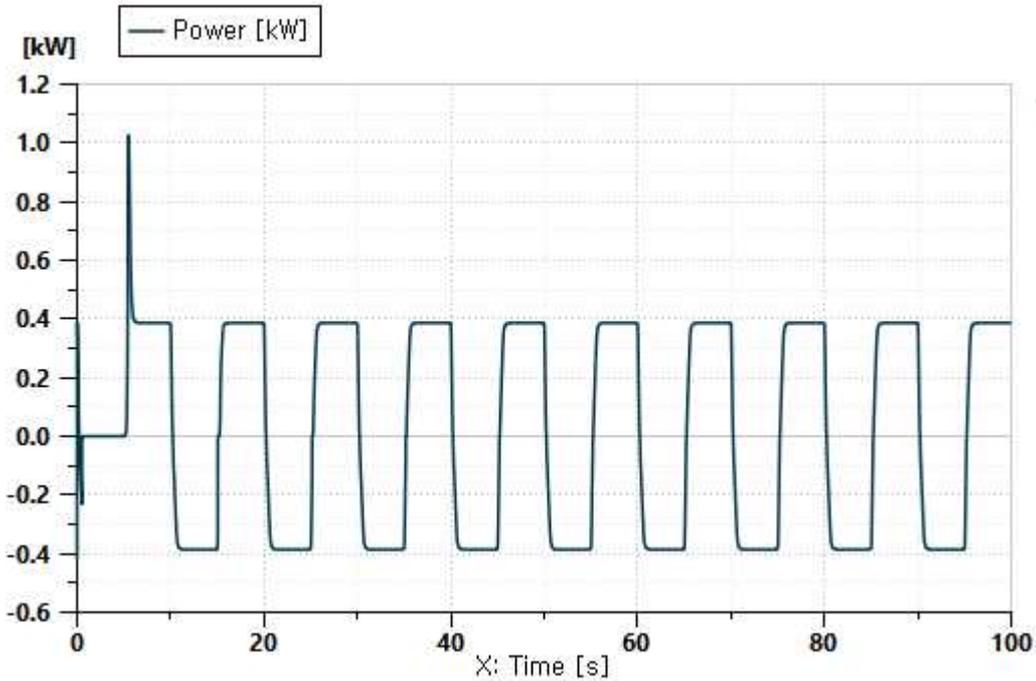


그림 157. 무부하 조건에서의 액추에이터 구동 출력 시뮬레이션 결과

- ㉕ 실린더 단 부하(50 kgf/cm<sup>2</sup>) 조건에서의 시뮬레이션 해석 결과 분석

- ㉖ 부하(50 kgf/cm<sup>2</sup>) 조건에서 메인 valve의 port A에서 토출되는 유량은 입력 신호(-1, R제어) 조건에서 무부하 조건과 유사하게 17.0 lpm으로 나타났으며, 입력신호(1, L제어) 조건에서도 17.0 lpm으로 유사하게 나타남.

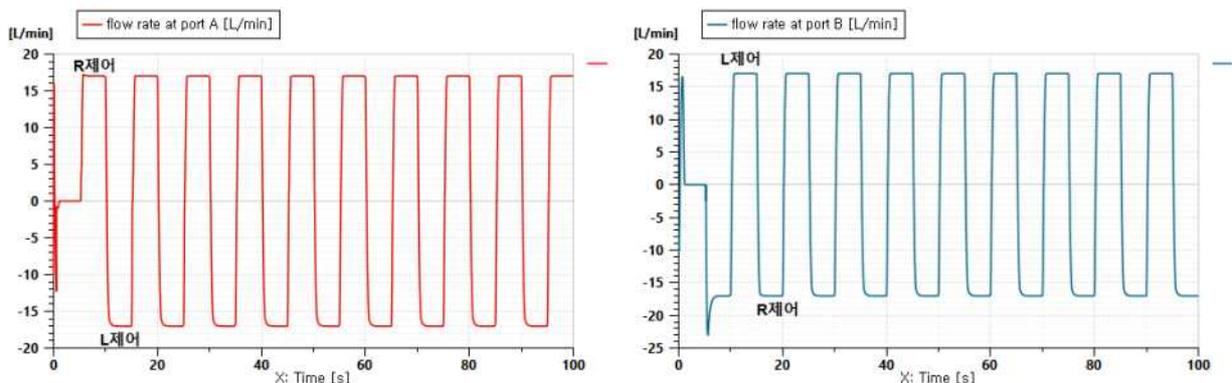


그림 158. 메인 valve 스푼 거동에 따른 port A 및 port B의 유량 시뮬레이션 결과(50 kgf/cm<sup>2</sup> 부하 조건)

- ㉔ 부하(50 kgf/cm<sup>2</sup>) 조건에서 메인 valve의 port A에서의 압력은 펌프 최초 구동 시 약 128 bar로 나타났으나, 36.5 sec 이후 안정되어 47.7 bar로 나타남.
  - ㉠ 압력은 무부하 조건과 동일하게 입력 신호의 변화에 따른 스푼의 이동으로 순간적으로 강하하는 개형이 나타남.
  - ㉡ 압력은 방향 전환 시 순간적으로 강하되는 경우를 제외하고 일정한 값으로 나타날 때 안정된다고 가정하였음.
- ㉕ 부하(50 kgf/cm<sup>2</sup>) 조건에서 메인 valve의 port B에서의 압력은 펌프 최초 구동 시 약 150 bar로 나타났으나, 릴리프 밸브를 통해 36.5 sec 이후 안정되어 약 47.7 bar로 유지됨.

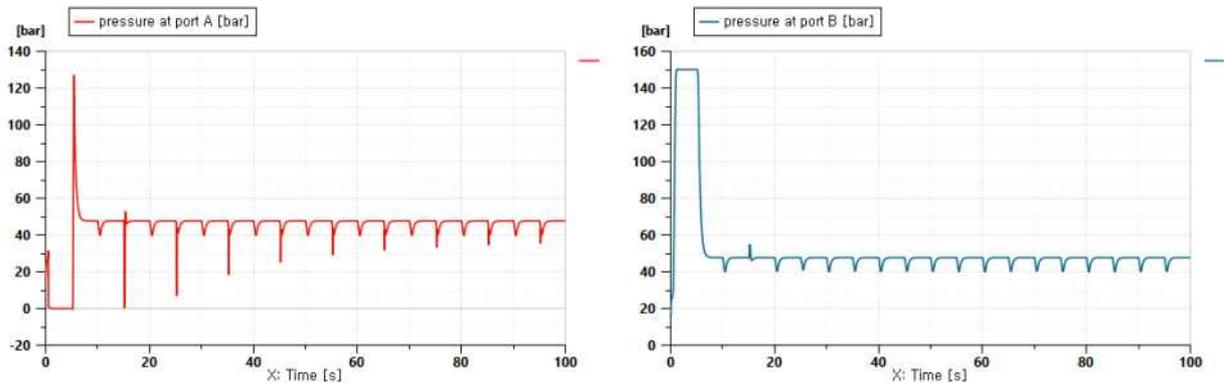


그림 159. 메인 valve 스푼 거동에 따른 port A 및 port B의 압력 시뮬레이션 결과(50 kgf/cm<sup>2</sup> 부하 조건)

- ㉖ 부하(50 kgf/cm<sup>2</sup>) 조건에서 액추에이터를 구동하기 위한 유압동력은 R 제어 및 L제어에서 최초 구동 시 약 2.1 kW로 나타났으나, 약 5.0 sec 이후 안정화되어 약 1.15 kW로 유지됨.

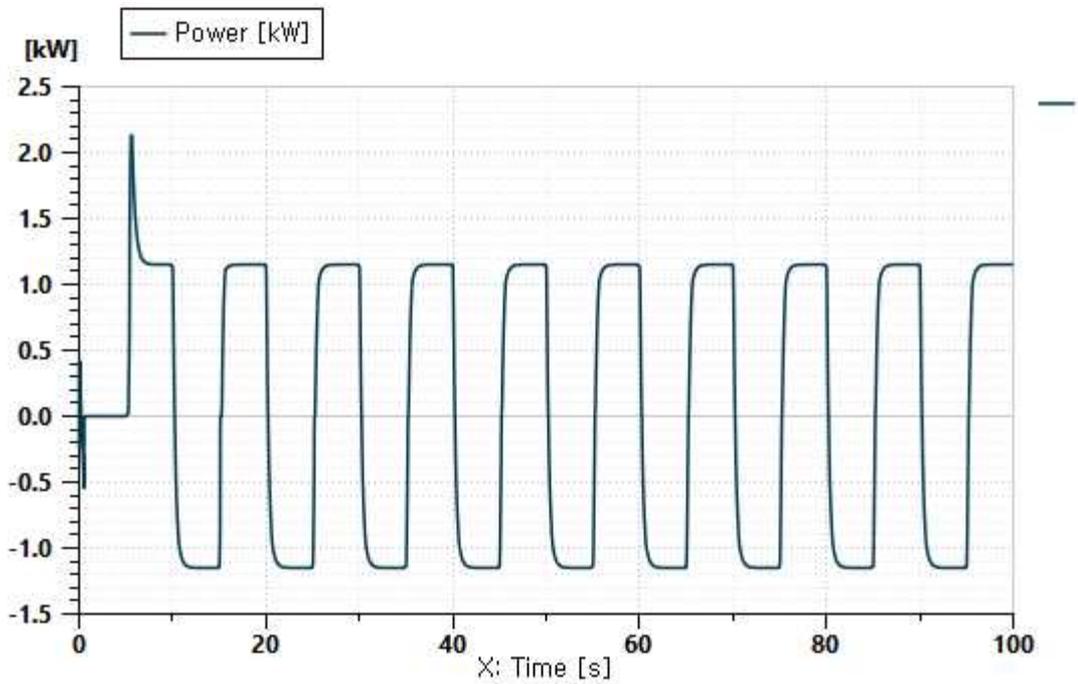


그림 160. 50 kgf/cm<sup>2</sup> 부하 조건에서의 액츄에이터 구동 출력 시뮬레이션 결과

㉔ 실린더 단 부하(100 kgf/cm<sup>2</sup>) 조건에서의 시뮬레이션 해석 결과 분석

- ㉕ 부하(100 kgf/cm<sup>2</sup>) 조건에서 메인 valve의 port A에서 토출되는 유량은 입력 신호(-1, R제어) 조건에서 15.89 lpm으로 나타났으며, 입력신호 (1, L제어) 조건에서도 15.89 lpm으로 유사하게 나타남.

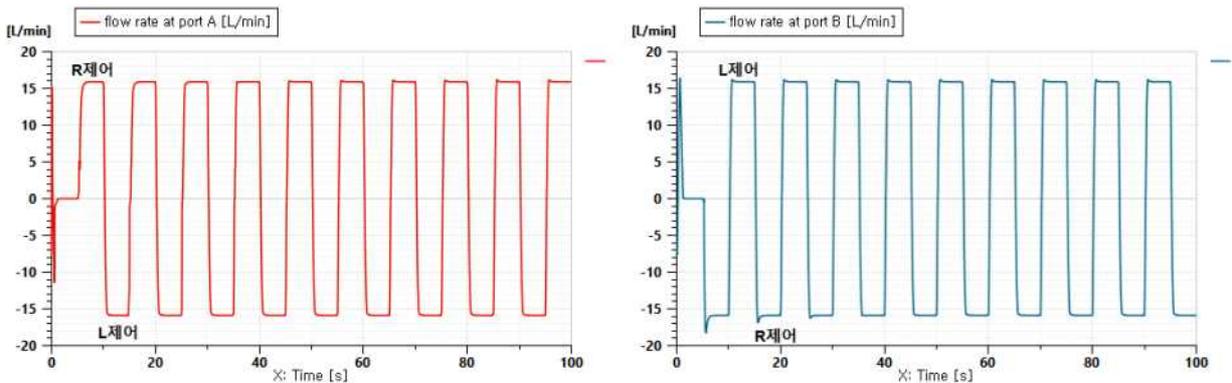


그림 161. 메인 valve 스펴 거동에 따른 port A 및 port B의 유량 시뮬레이션 결과(100 kgf/cm<sup>2</sup> 부하 조건)

㉖ 부하(100 kgf/cm<sup>2</sup>) 조건에서 메인 valve의 port A에서의 압력은 펌프 최초 구동 시 약 140 bar로 나타났으나, 36.5 sec 이후 안정되어 75.2 bar로 나타남.

- ㉗ 부하가 높아짐에 따라 유량은 소량 감소하고 압력을 대폭 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 부하를 대응하기 위해 압력이 높아지기 때문으로 판단됨.
- ㉘ 압력은 모든 조건과 동일하게 입력 신호의 변화에 따른 스펴의 이동으

로 순간적으로 강하하는 개형이 나타남.

- ㉞ 압력은 방향 전환 시 순간적으로 강하되는 경우를 제외하고 일정한 값으로 나타날 때 안정된다고 가정하였음.
- ㉟ 부하(100 kgf/cm<sup>2</sup>) 조건에서 메인 valve의 port B에서의 압력은 펌프 최초 구동 시 약 150 bar로 나타났으나, 릴리프 밸브를 통해 36.5 sec 이후 안정되어 약 75.2 bar로 유지됨.

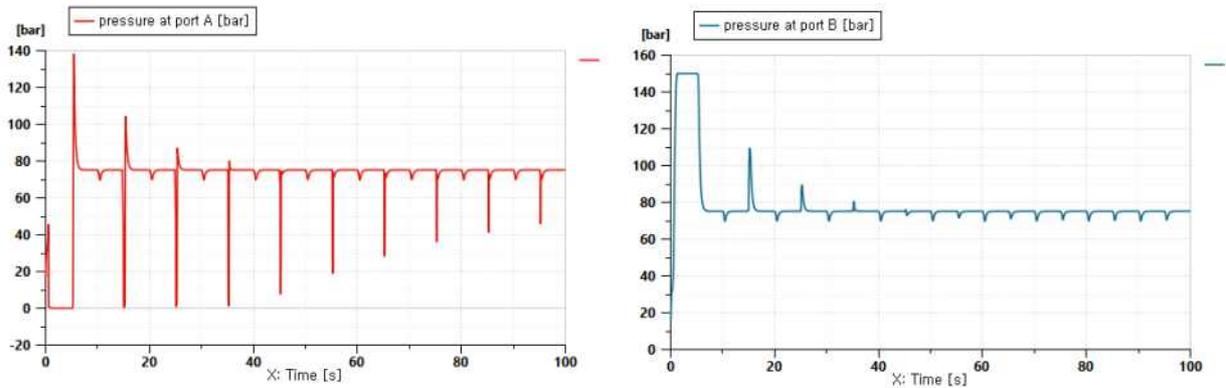


그림 162. 메인 valve 스푼 거동에 따른 port A 및 port B의 압력 시뮬레이션 결과(100 kgf/cm<sup>2</sup> 부하 조건)

- ㊱ 부하(100 kgf/cm<sup>2</sup>) 조건에서 액추에이터를 구동하기 위한 유압동력은 R 제어 및 L제어에서 최초 구동 시 약 2.1 kW로 나타났으나, 약 5.5 sec 이후 안정화되어 약 1.69 kW로 유지됨.

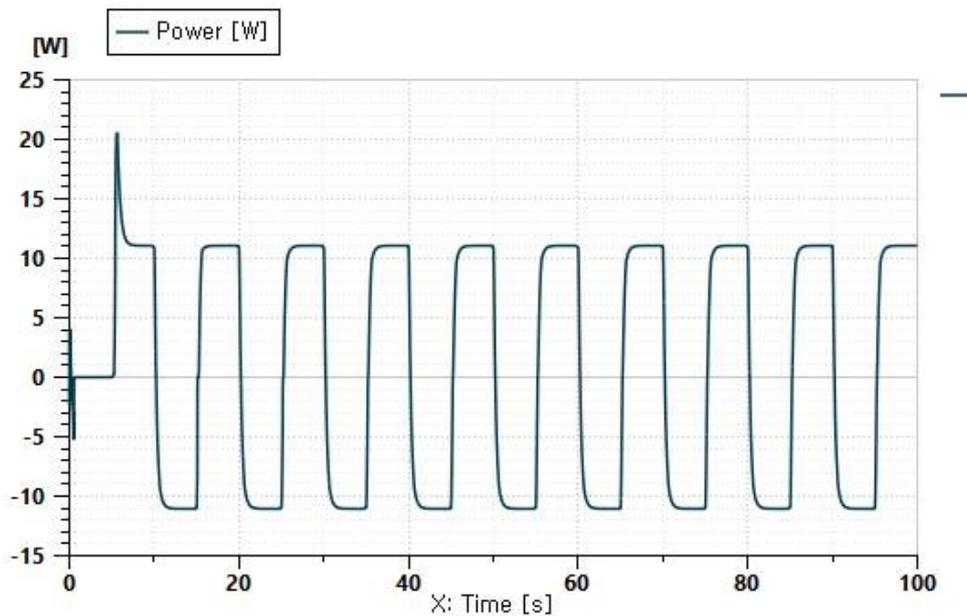


그림 163. 100 kgf/cm<sup>2</sup> 부하 조건에서의 액추에이터 구동 출력 시뮬레이션 결과

- ㊲ 부하 조건에 따른 자동조향 시스템 유압동력 예측 정확도 분석
- ㊳ 시뮬레이션 해석 결과는 주관기관에서 측정한 자동조향 밸브 벤치시험 결과를 바탕으로 비교하였으며, 시뮬레이션 모델의 정확도는 해석 결과

및 계측 데이터의 절대오차를 통해 분석하였음.

㉠ 무부하 조건에서의 유압동력 예측 정확도 분석

- ㉠ 무부하 조건에서 자동조향 밸브 벤치시험 결과, 무부하 조건에서 R제어 시 액츄에이터 입력단 압력 및 유량은 각각 15.1 bar, 17.6 lpm으로 나타났으며, L제어 시 액츄에이터 입력단 압력 및 유량은 각각 15.8 bar, 17.4 lpm으로 나타남.
- ㉡ 무부하 조건에서 실린더 단에 작용하는 유압동력은 R제어 및 L제어 조건에서 각각 0.38 kW, 0.39 kW로 계산되었으며, 시뮬레이션 결과 유압동력은 R제어 및 L제어 조건에서 모두 0.39 kW로 계산됨.
- ㉢ 무부하 조건에서 시뮬레이션 모델의 유압동력 절대오차가 R제어 및 L제어 시 각각 2.8%, 0.6%로 계산됨에 따라, 예측 정확도는 R제어 시 97.2%, L제어 시 99.4%로 나타남.

표 219. 무부하 조건에서의 자동조향 시스템 유압동력 시뮬레이션 해석 결과 및 벤치 시험 결과 비교

Load	Control	Simulation results			Bench test results			Accuracy analysis <sup>1)</sup>			
		Flow rate (lpm)	Pressure (bar)	Power (kW)	Flow rate (lpm)	Pressure (bar)	Power (kW)	$E_f$ <sup>2)</sup> (%)	$E_p$ <sup>3)</sup> (%)	$E_{po}$ <sup>4)</sup> (%)	$ACC_{po}$ <sup>5)</sup> (%)
Non-load	R control	17.02	16.02	0.39	17.6	15.1	0.38	3.3	6.1	2.6	97.4
	L control	17.02	16.02	0.39	17.4	15.8	0.39	2.2	1.4	0.8	99.2

1) 시뮬레이션 결과와 벤치시험 결과의 APE (Absolute percentage error) 계산을 통한 정확도 분석 결과, 2) 유량 절대 오차 (%), 3) 압력 절대 오차 (%), 4) 유압동력 절대 오차 (%), 5) 유압동력 예측 정확도 (%)

㉡ 부하(50 kgf/cm<sup>2</sup>) 조건에서의 유압동력 예측 정확도 분석

- ㉠ 부하(50 kgf/cm<sup>2</sup>) 조건에서 자동조향 밸브 벤치시험 결과, 무부하 조건에서 R제어 시 액츄에이터 입력단 압력 및 유량은 각각 50 bar, 18.2 lpm으로 나타났으며, L제어 시 액츄에이터 입력단 압력 및 유량은 각각 50 bar, 17.9 lpm으로 나타남.
- ㉡ 부하(50 kgf/cm<sup>2</sup>) 조건에서 실린더 단에 작용하는 유압동력 벤치시험 결과, R제어 및 L제어 조건에서 각각 1.29 kW, 1.27 kW로 계산되었으며, 시뮬레이션 결과 유압동력은 R제어 및 L제어 조건에서 모두 1.15 kW로 계산됨.
- ㉢ 부하(50 kgf/cm<sup>2</sup>) 조건에서 시뮬레이션 모델의 유압동력 절대오차가 R제어 및 L제어 시 각각 10.7%, 9.2%로 계산됨에 따라, 예측 정확도는 R제어 시 89.3%, L제어 시 90.8%로 나타남.

표 220. 50 kgf/cm<sup>2</sup> 부하 조건에서의 자동조향 시스템 유압동력 시뮬레이션 해석 결과 및 벤치 시험 결과 비교

Load	Control	Simulation results			Bench test results			Accuracy analysis <sup>1)</sup>			
		Flow rate (lpm)	Pressure (bar)	Powe (kW)	Flow rate (lpm)	Pressure (bar)	Powe (kW)	$E_f^{2)}$ (%)	$E_p^{3)}$ (%)	$E_{po}^{4)}$ (%)	$ACC_{po}^{5)}$ (%)
50 kgf/cm <sup>2</sup>	R control	17.02	47.72	1.15	18.2	50	1.29	6.5	4.6	10.7	89.3
	L control	17.02	47.72	1.15	17.9	50	1.27	4.9	4.6	9.2	90.8

1) 시뮬레이션 결과와 벤치시험 결과의 APE (Absolute percentage error) 계산을 통한 정확도 분석 결과, 2) 유량 절대 오차 (%), 3) 압력 절대 오차 (%), 4) 유압동력 절대 오차 (%), 5) 유압동력 예측 정확도 (%)

㉔ 부하(100 kgf/cm<sup>2</sup>) 조건에서의 유압동력 예측 정확도 분석

- ㉔a 부하(100 kgf/cm<sup>2</sup>) 조건에서 자동조향 밸브 벤치시험 결과, 무부하 조건에서 R제어 시 액츄에이터 입력단 압력 및 유량은 각각 100 bar, 18.7 lpm으로 나타났으며, L제어 시 액츄에이터 입력단 압력 및 유량은 각각 100 bar, 18.3 lpm으로 나타남.
- ㉔b 부하(100 kgf/cm<sup>2</sup>) 조건에서 실린더 단에 작용하는 유압동력 벤치시험 결과, R제어 및 L제어 조건에서 각각 2.65 kW, 2.59 kW로 계산되었으며, 시뮬레이션 결과 유압동력은 R제어 및 L제어 조건에서 모두 1.69 kW로 계산됨.
- ㉔c 무부하 조건에서 시뮬레이션 모델의 유압동력 절대오차가 R제어 및 L제어 시 각각 36.1%, 34.7%로 계산됨에 따라, 예측 정확도는 R제어 시 63.9%, L제어 시 65.3%로 나타남.

표 1. 100 kgf/cm<sup>2</sup> 부하 조건에서의 자동조향 시스템 유압동력 시뮬레이션 해석 결과 및 벤치 시험 결과 비교

Load	Control	Simulation results			Bench test results			Accuracy analysis <sup>1)</sup>			
		Flow rate (lpm)	Pressure (bar)	Powe (kW)	Flow rate (lpm)	Pressure (bar)	Power (kW)	$E_f^{2)}$ (%)	$E_p^{3)}$ (%)	$E_{po}^{4)}$ (%)	$ACC_{po}^{5)}$ (%)
100 kgf/cm <sup>2</sup>	R control	15.89	75.17	1.69	18.7	100	2.65	15.0	24.8	36.1	63.9
	L control	15.89	75.17	1.69	18.3	100	2.59	13.2	24.8	34.7	65.3

1) 시뮬레이션 결과와 벤치시험 결과의 APE (Absolute percentage error) 계산을 통한 정확도 분석 결과, 2) 유량 절대 오차 (%), 3) 압력 절대 오차 (%), 4) 유압동력 절대 오차 (%), 5) 유압동력 예측 정확도 (%)

㉔ 부하 조건에 따른 유압동력 예측 정확도 분석

- ① 유압동력 시뮬레이션 정확도는 부하 조건에 따른 시뮬레이션 모델의 해석 정확도의 평균값으로 계산하였으며, 시뮬레이션 모델의 평균 오차는 15.7%, 평균 정확도는 84.3%로 나타남.
- ② 본 과제의 1차년도 유압동력 시뮬레이션 정확도의 목표는 80%로, 정량적 목표 수치를 만족하는 것으로 나타났으나 고부하 조건에서 감소하는 정확도에 대한 개선 방안이 필요함.
  - 시뮬레이션 모델의 유압동력 예측 정확도는 부하가 증가함에 따라 압력에 대한 예측 정확도가 낮아져 감소하였으며, 고부하 조건에 대해 대응이 가능한 인자를 고려한 시뮬레이션 모델의 보완이 추가적으로 수행되어야 될 것으로 판단됨.
  - 추가로 시뮬레이션 모델의 검증을 위해 주관기관에서 수행하는 벤치시험 결과값의 DB를 구축 및 활용할 예정이며, 시뮬레이션 결과의 신뢰성 확보를 위해 각 밸브 단품모델의 파라미터를 세부적으로 수정할 계획임.

표 2. 부하 조건에 따른 자동조향 시스템 유압동력 예측 정확도

Load Condition	Control	Simulation results	Bench test results	Accuracy analysis <sup>1)</sup>	
		Power (kW)	Power (kW)	$E_{po}$ <sup>2)</sup> (%)	$ACC_{po}$ <sup>3)</sup> (%)
No-load	R control	0.39	0.38	2.6	97.4
	L control	0.39	0.39	0.8	99.2
Load (50 kgf/cm <sup>2</sup> )	R control	1.15	1.29	10.7	89.3
	L control	1.15	1.27	9.2	90.8
Load (100 kgf/cm <sup>2</sup> )	R control	1.69	2.65	36.1	63.9
	L control	1.69	2.59	34.7	65.3
Averaged value				15.7	84.3

1) 시뮬레이션 결과와 벤치시험 결과의 APE (Absolute percentage error) 계산을 통한 정확도 분석 결과, 2) 유압동력 절대 오차 (%), 3) 유압동력 예측 정확도 (%)

(2) 2차년도 추진 실적

- ① 자동조향 트랙터의 다양한 작업조건별 유압 동특성 계측 실험
  - ㉞ 자동조향 시스템이 구성된 완성차를 활용한 제어밸브의 유량, 압력 등의 데이터 계측시스템 구성
    - ㉠ 본 연구에서는 (주)대동의 93kW 급 대형 트랙터를 실험 대상을 선정하였으며, 자세한 제원은 아래 표와 같음.
    - ㉡ 트랙터의 크기는 4,290 (L) × 2,250 (W) × 2,770 (H) mm이며, 공차중량은 4,070 kg임.
    - ㉢ 트랙터의 엔진 정격출력은 2,200 rpm에서 93.2 kW임.
    - ㉣ 유압 펌프는 엔진 직결 방식이며, 스티어링 펌프의 배제용적 및 정격유량은 각각 21 cc/rev, 46.2 lpm (@2,200 rpm)임.

표 3. Specification of the used tractor in this study

Items		Specification
Length×Width×Height (mm)		4,290×2,250×2,770
Empty weight (kg)		4,070
Rated engine power (kW)		93.2 @2,200 rpm
Max. torque (Nm)		500 @ 1,400 rpm
Steering pump	Displacement (cc/rev)	21
	Efficiency (%)	95 ↑ @ No load
	Gear ratio of engine-pump	1:1

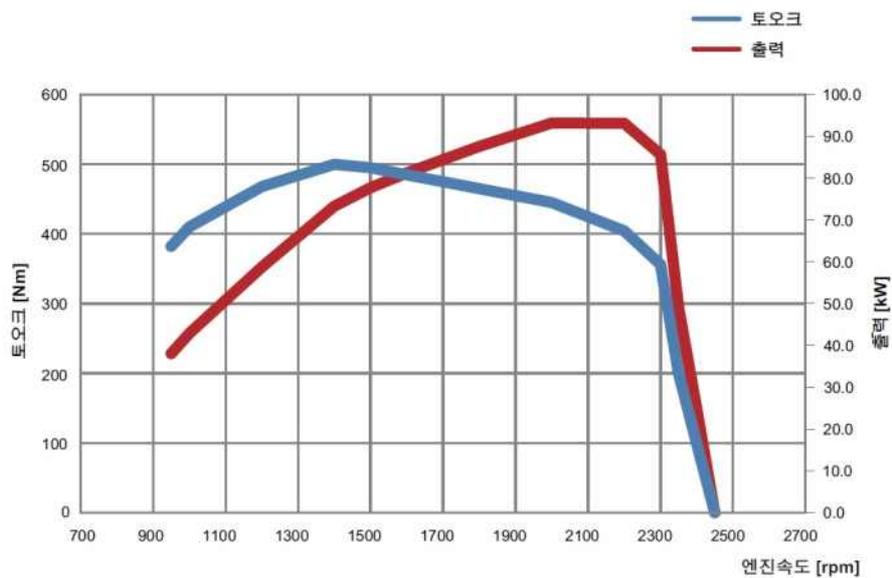


그림 164. 본 연구에 사용된 트랙터(PX1300, Daedong)의 엔진출력 곡선

- ㉞ 트랙터 조향에 따른 제어밸브 동특성 분석을 위해 비례제어밸브 port A 및 B에 각각 유량센서 및 압력센서를 설치하여 아래 그림과 같이 계측시스템을 구성함.
  - ㉡ 본 연구에서는 자동조향용 유압시스템 중 비례제어밸브의 출력 port의

유량 및 압력을 계측하기 위하여 유량 센서(Hysense QG 100, Hyrdotechnik) 사용 및 압력 센서(Hysense PR130, Hydrotechnik) 사용.

- ㉠ 유량센서 2ch 및 압력센서 2ch 데이터를 수집하기 위하여 데이터수집장치 DAQ(Q.brixx A107, Gantner)를 사용.
- ㉡ 유량센서, 압력센서 및 데이터수집장치의 주요 제원은 다음 표와 같음.



그림 165. 자동조향용 트랙터 유압시스템 동특성 분석을 위한 계측 시스템

표 4. 계측시스템에 활용된 유량센서, 압력센서, 데이터수집장치의 제원

Item	Model	Specifications
Flow sensor	Hysense QG 100 (Hyrdotechnik)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Measuring principle: displacement</li> <li>• Viscosity range: 10~500 mm<sup>2</sup>/s (cSt)</li> <li>• Output signal: 4~20 mA</li> <li>• Range: 0.7~70 lpm</li> <li>• Supply voltage : 12~24 VDC</li> <li>• Environmental temperature: max. +80 °C</li> <li>• Accuracy: 0.4%</li> </ul>
Pressure sensor	Hysense PR130 (Hydrotechnik)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Measuring principle: piezo-resistive</li> <li>• Pressure type: relative pressure</li> <li>• Output signal: 4~20 mA / 0~10 VDC</li> <li>• Range: 250 bar</li> <li>• Weight: 85 g</li> <li>• Accuracy: 0.5%</li> </ul>
DAQ	Q.brixx A107 (Gantner)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 universal analog input channels</li> <li>• Fast high accuracy digitalization 24 bit ADC, 10 kHz sample rate per channel</li> <li>• Power supply: 10~30 VDC</li> <li>• Environmental temperature: -20~60 °C</li> <li>• Accuracy: 0.01 % typical</li> </ul>

- ㉢ 데이터 수집 소프트웨어는 DewesoftX를 사용하였으며, 조향에 따른 데이터를 매칭하여 비교하기 위하여 Webcam을 활용하여 실시간으로 영상 및 데이터를 같이 수집함.

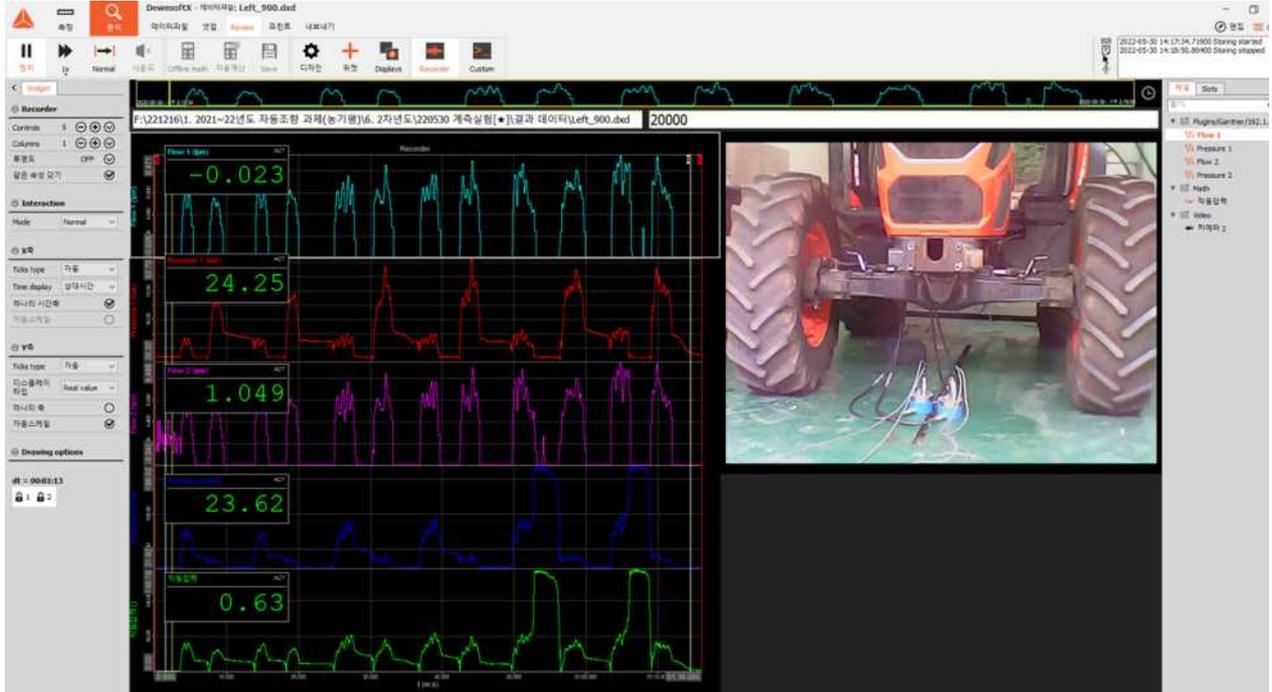


그림 166. 자동조향용 트랙터 유압시스템 동특성 계측 소프트웨어 User interface

㉞ 실험 방법 및 조건

- ㉠ 자동조향용 트랙터 유압시스템 동특성 계측을 위하여, 계측 실험을 수행함. 실험 장소는 트랙터 실제 작업 시 불규칙한 토양 노면조건에 의한 영향을 최소화하기 위하여, 우레탄 노면조건으로 선정하고 실험을 수행함.
- ㉡ 트랙터는 정지상태를 유지하고, 각 조건별 트랙터 조향작업에 따른 동특성을 계측 및 분석함.
- ㉢ 본 연구에서는 엔진 회전속도 4수준과 조향각 3수준을 선정하여 시험을 수행함.
- ㉣ 엔진 회전속도는 엔진의 주요 작동회전속도 지점(Idle, 최대토크, 정격 회전속도)을 고려하여 4수준(900, 1,400, 2,200, 2400 rpm)을 선정함.
- ㉤ 조향각은 트랙터 최대 조향각을 고려하여 3수준 (16, 38, 54°)을 선정함.
- ㉥ 데이터 신뢰성 확보를 위해 각 조건별 시험은 2회 반복하여 수행함.
- ㉦ 총 시험은 24개의 조건에 대하여 수행됨.

\* 엔진회전속도 4수준 \* 조향각 3수준 \* 조향방향 2수준

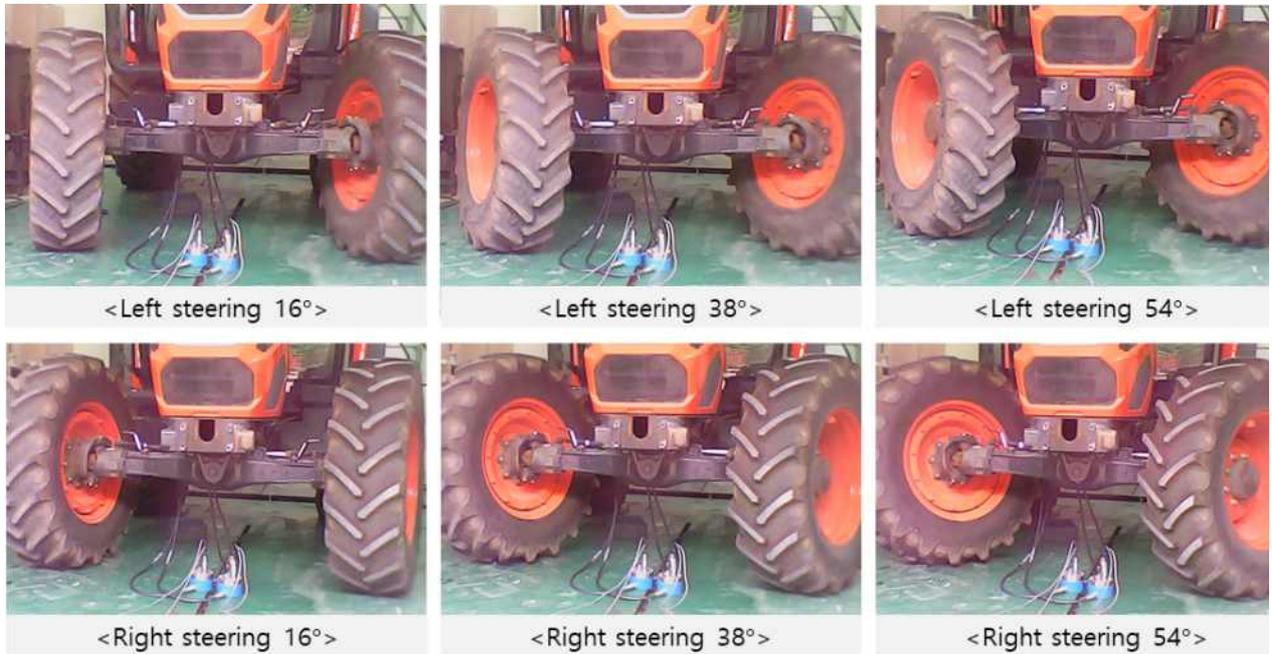


그림 167. 자동조향용 트랙터 유압시스템 동특성 계측을 위한 조향 방향 및 조향각에 따른 실험 사진

㉔ 데이터 분석 방법

- ㉔ 비례제어밸브의 유압동력 특성은 아래 식 (1)을 참고하여 유량 및 압력 데이터를 이용하여 산출함.

$$Power_{hydraulic} = \eta_v \times \frac{P \times Q}{600} \times 1000 \quad (1)$$

Where,  $Power_{hydraulic}$  = Power (W)

$\eta_v$  = Efficiency (%)

$P$  = Pressure (bar)

$Q$  = Flow rate (lpm)

- ㉔ 엔진 회전속도와 조향각이 트랙터 유압 시스템의 동특성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 IBM SPSS Statistics (SPSS 25, SPSS Inc., New York, USA)를 사용하여 일원분산분석(One-way ANOVA)을 수행하였으며, LSD (Least Significant Difference)를 통하여 사후 검증을 수행함.

㉠ 자동조향용 트랙터 유압시스템 동특성 분석 결과

㉡ LS에 따른 유량 분석 결과

- ㉢ LS 조향 시 유량 특성은 아래 그림과 같이 나타남.
- ㉣ 가장 낮은 엔진 회전속도 900 rpm 조건에서 조향각 16°에서 38° 및 54°로 증가 할 때, 평균 유량은 각각 137%, 190% 증가하였으며, 엔진 회전속도 2400rpm 조건에서는 조향각 16°에서 38° 및 54°로 증가 할 때, 평균 유량은 각각 108%, 135% 증가함.
- ㉤ 동일한 엔진 회전속도 조건에서 조향각 증가 시 비례제어밸브 유량은 증가하는 것으로 나타남. 이는 조향각이 증가할수록스티어링 실린더에 공급되는 유량이 높기 때문임.
- ㉥ 더 낮은 엔진 회전속도 조건에서 조향각이 증가함에 따른 유량의 증가폭이 더 높게 나타났으며, 동일한 조향각 조건에서 엔진 회전속도 증가 시 비례제어밸브 유량이 증가하는 것으로 나타남.
- ㉦ 조향각 16°조건에서 엔진회전속도 900 rpm에서 1,400, 2,200, 2400 rpm으로 증가할 때, 평균 유량은 각각 110%, 159%, 161% 증가, 조향각 54° 조건에서는 엔진회전속도 900 rpm에서 1,400, 2,200, 2400 rpm으로 증가할 때, 평균 유량은 각각 104%, 112%, 114% 증가함.
- ㉧ 더 낮은 조향각 조건에서 엔진 회전속도 증가에 따른 유량 증가폭이 더 높게 나타남.
- ㉨ 엔진 회전속도 대비 조향각이 비례제어밸브의 유량 특성에 더 높은 영향을 미치는 것으로 나타남.

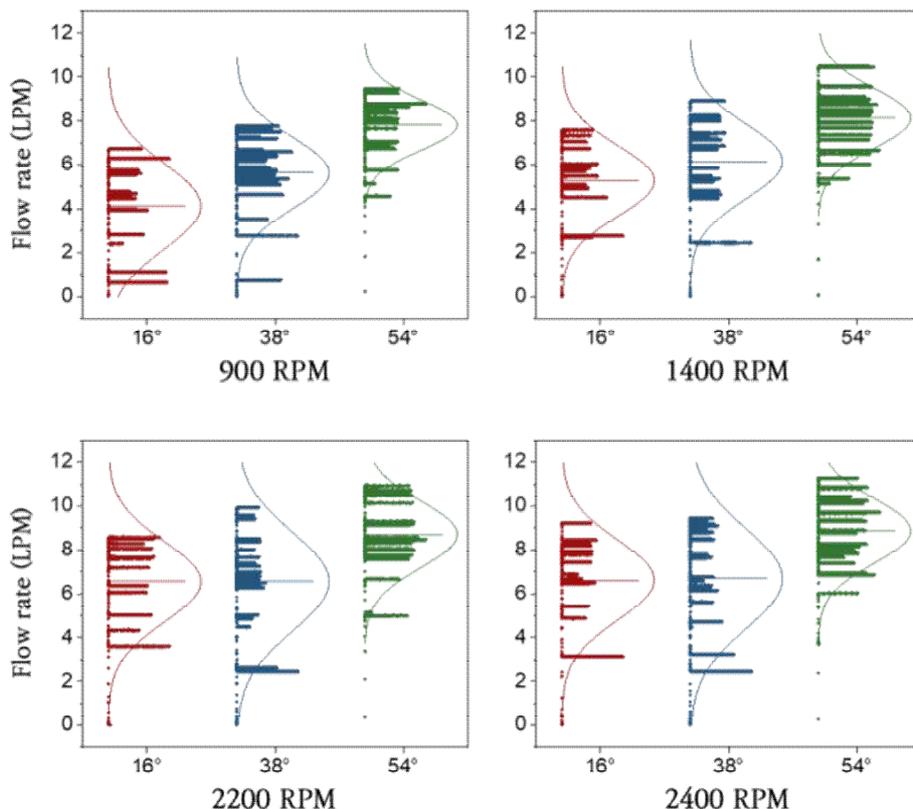


그림 168. 트랙터 LS에 따른 자동조향 유압시스템 유량 분석 결과

㉔ RS에 따른 유량 분석 결과

- ㉕ 트랙터 RS 조향 시 유량 특성은 아래 그림과 같이 나타남.
- ㉖ 가장 낮은 엔진 회전속도 900 rpm 조건에서 조향각 16°에서 38° 및 54°로 증가 할 때, 평균 유량은 117%, 132% 증가하였으며, 가장 높은 엔진 회전속도인 2400 rpm 조건에서는 조향각 16°에서 38° 및 54°로 증가 할 때, 평균 유량은 115%, 137% 증가함.
- ㉗ 동일한 엔진 회전속도 조건에서 조향각 증가 시 비례제어밸브 유량은 증가하는 것으로 나타남.
- ㉘ 동일한 조향각 조건에서 엔진 회전속도 증가 시 비례제어밸브 유량이 증가하는 것으로 나타남.
- ㉙ 가장 낮은 조향각 16°조건에서 엔진회전속도 900 rpm에서 1,400, 2,200, 2400 rpm으로 증가할 때, 평균 유량은 107%, 115%, 126% 증가하였으며, 가장 높은 조향각인 54° 조건에서는 엔진회전속도 900 rpm에서 1,400, 2,200, 2400 rpm으로 증가할 때, 평균 유량은 117%, 127%, 131% 증가함.

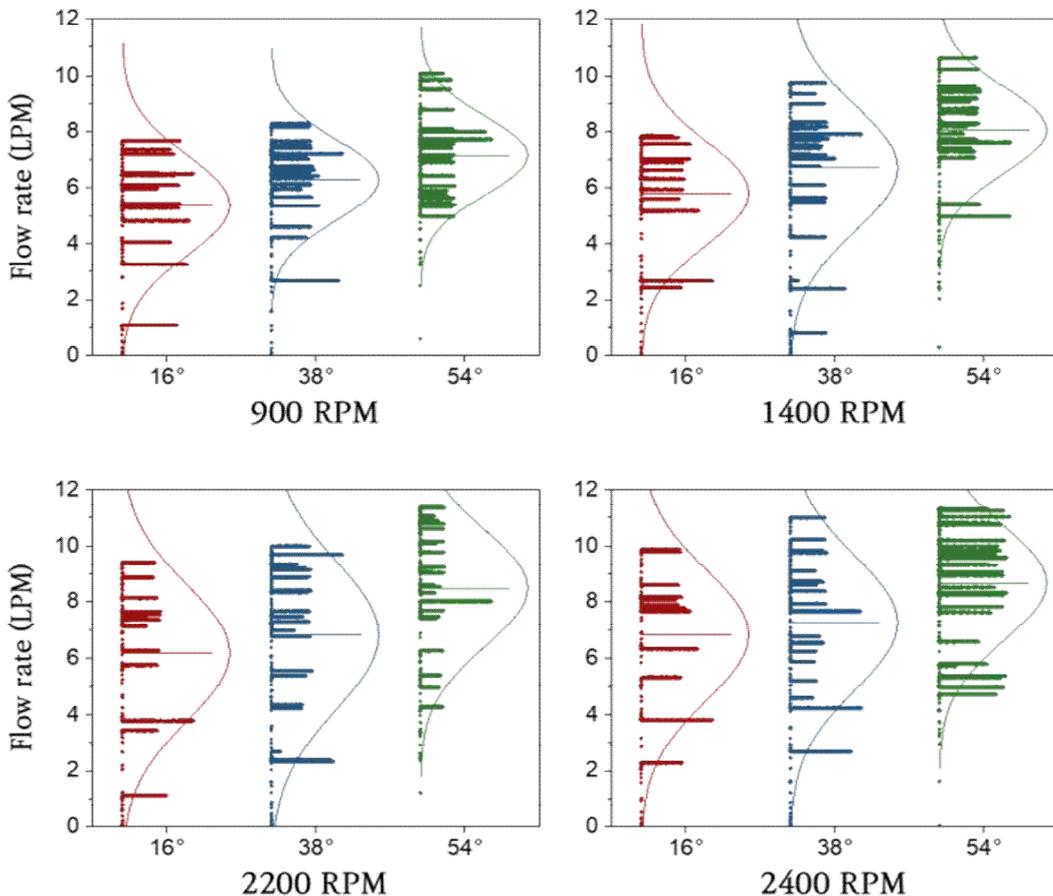


그림 169. 트랙터 LS에 따른 자동조향 유압시스템 유량 분석 결과

㉚ LS에 따른 압력 분석 결과

- ㉛ 트랙터 LS 조향 시 압력 특성은 아래 그림과 같이 나타남.
- ㉜ 가장 낮은 엔진 회전속도 900 rpm 조건에서 조향각 16°에서 38° 및

54°로 증가 할 때, 평균 압력은 125%, 172% 증가하였으며, 가장 높은 엔진 회전속도인 2400 rpm 조건에서는 조향각 16°에서 38° 및 54°로 증가 할 때, 평균 압력은 122%, 153% 증가함.

- ㉔ 동일한 엔진 회전속도 조건에서 조향각 증가 시 비례제어밸브 압력은 증가하는 것으로 나타났으며, 더 낮은 엔진 회전속도 조건에서 조향각이 증가함에 따른 압력의 증가폭이 더 높게 나타남.
- ㉕ 가장 낮은 조향각 16°조건에서 엔진회전속도 900 rpm에서 1,400, 2,200, 2400 rpm으로 증가할 때, 평균 압력은 105%, 119%, 122% 증가하였으며, 조향각 54° 조건에서는 엔진회전속도 900 rpm에서 1,400, 2,200, 2400 rpm으로 증가할 때, 각각 압력은 102%, 106%, 108% 증가함.
- ㉖ 동일한 조향각 조건에서 엔진 회전속도 증가 시 비례제어밸브 압력이 증가하는 것으로 나타났으며, 더 낮은 조향각 조건에서 엔진 회전속도가 증가함에 따른 압력의 증가폭이 더 높게 나타남.
- ㉗ 트랙터 최대 조향각 54° 조건에서 압력이 가장 높게 상승하였으며, 압력은 유압 회로 내의 릴리프 밸브 작동압력인 160 bar 까지 증가함.

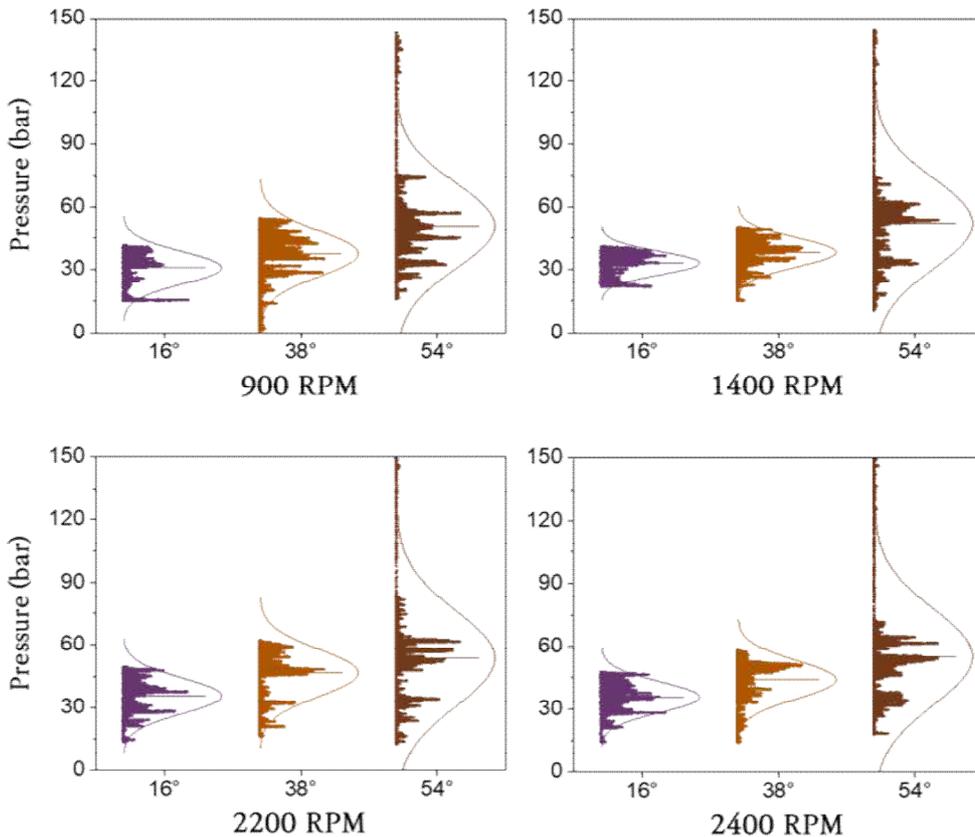


그림 170. 트랙터 LS에 따른 자동조향 유압시스템 압력 분석 결과

㉘ RS에 따른 압력 분석 결과

- ㉙ 트랙터 RS 조향 시 압력 특성은 아래 그림과 같이 나타남.
- ㉚ 가장 낮은 엔진 회전속도 900 rpm 조건에서 조향각 16°에서 38° 및 54°로 증가 할 때, 각각 압력은 113%, 154% 증가하였으며, 가장 높은

엔진 회전속도인 2400 rpm 조건에서는 조향각 16°에서 38° 및 54°로 증가 할 때, 각각 압력은 112%, 137% 증가함.

- ㉔ 동일한 엔진 회전속도 조건에서 조향각 증가 시 비례제어밸브 압력은 증가하는 것으로 나타났으며, 더 낮은 엔진 회전속도 조건에서 조향각이 증가함에 따른 압력의 증가폭이 더 높게 나타남.
- ㉕ 가장 낮은 조향각 16°조건에서 엔진회전속도 900 rpm에서 1,400, 2,200, 2400 rpm으로 증가할 때, 각각 압력은 106%, 118%, 121% 증가하였으며, 가장 높은 조향각인 54° 조건에서는 엔진회전속도 900 rpm에서 1,400, 2,200, 2400 rpm으로 증가할 때, 각각 압력은 107%, 112%, 108% 증가함.
- ㉖ 동일한 조향각 조건에서 엔진 회전속도 증가 시 비례제어밸브 압력이 증가하는 것으로 나타났으며, 더 낮은 조향각 조건에서 엔진 회전속도가 증가함에 따른 압력의 증가폭이 더 높게 나타남.
- ㉗ LS 조건과 유사하게, 최대 조향각 54° 조건에서 압력이 가장 높게 상승함.

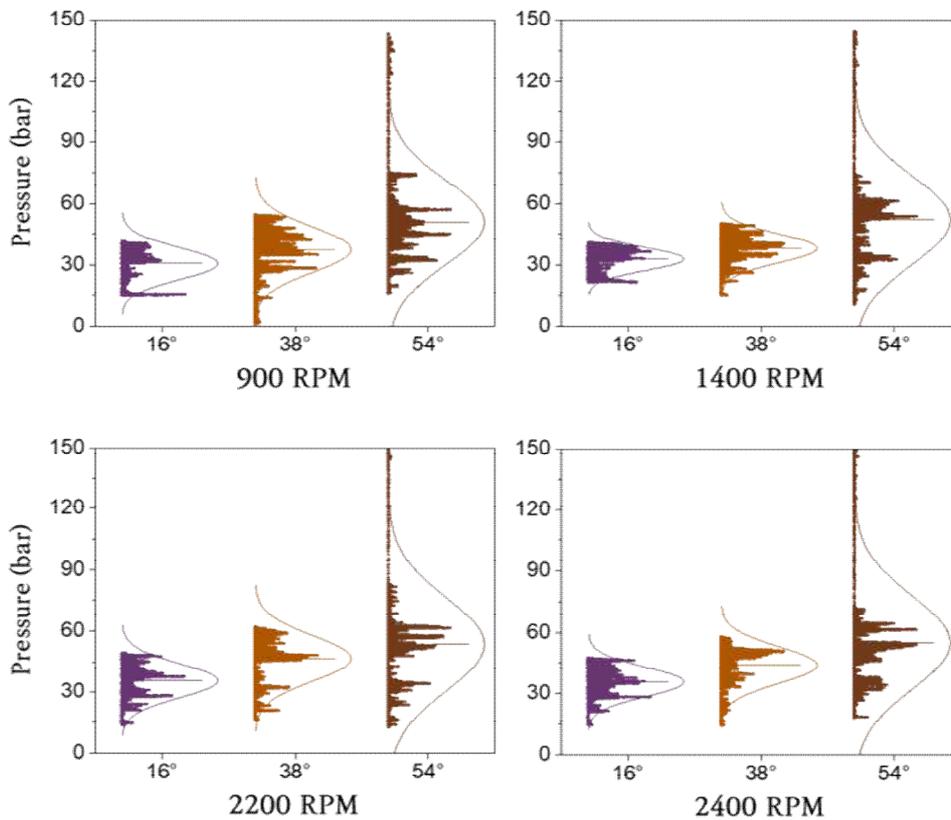


그림 171. 트랙터 RS에 따른 자동조향 유압시스템 압력 분석 결과

㉘ LS에 따른 동력 분석 결과

- ㉙ 트랙터 LS 조향 시 동력 특성은 아래 그림과 같이 나타남.
- ㉚ 가장 낮은 엔진 회전속도 900 rpm 조건에서 조향각 16°에서 38° 및 54°로 증가 할 때, 각각 동력은 141%, 173% 증가하였으며, 가장 높은 엔진 회전속도인 2400rpm 조건에서는 조향각 16°에서 38° 및 54°로 증

가 할 때, 각각 동력은 130%, 195% 증가함.

- ㉔ 동일한 엔진 회전속도 조건에서 조향각 증가 시 비례제어밸브 동력은 증가하는 것으로 나타났으며, 동일한 조향각 조건에서 엔진 회전속도 증가 시 비례제어밸브 압력이 증가하는 것으로 나타남.
- ㉕ 가장 낮은 조향각 16°조건에서 엔진회전속도 900rpm에서 1,400, 2,200, 2400rpm으로 증가할 때, 각각 압력은 127%, 155%, 168% 증가함.
- ㉖ 가장 높은 조향각인 54° 조건에서는 엔진회전속도 900rpm에서 1,400, 2,200, 2400으로 증가할 때, 각각 압력은 105%, 120%, 120% 증가함.
- ㉗ 더 낮은 조향각 조건에서 엔진 회전속도가 증가함에 따른 압력의 증가폭이 더 높게 나타남.
- ㉘ 엔진 회전속도 2,200 rpm 이상의 고속 회전 시에는 동력이 더 이상 증가하지 않는 것으로 나타남.
- ㉙ 트랙터 엔진회전속도 및 조향각에 따른 변동폭은 유량, 압력, 동력 중 동력이 가장 크게 나타남.

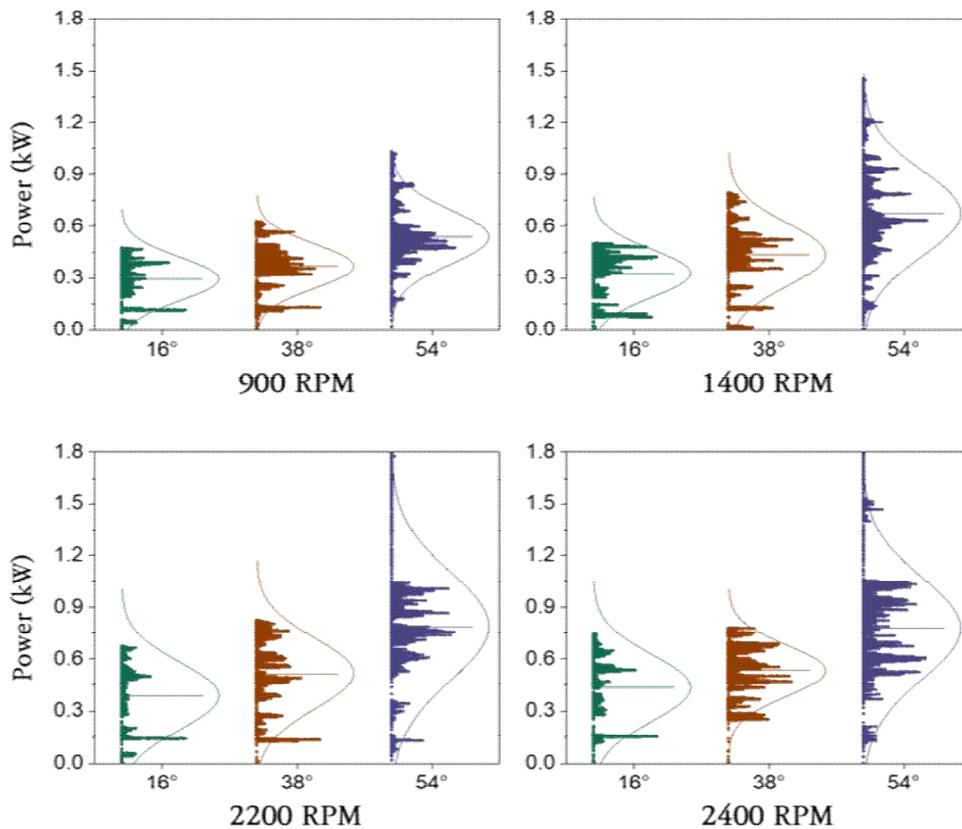


그림 172. 트랙터 LS에 따른 자동조향 유압시스템 동력 분석 결과

㉚ RS에 따른 동력 분석 결과

- ㉛ 트랙터 RS 조향 시 동력 특성은 아래 그림과 같이 나타남.
- ㉜ 가장 낮은 엔진 회전속도 900rpm 조건에서 조향각 16°에서 38° 및 54°로 증가 할 때, 각각 동력은 123%, 180% 증가하였으며, 가장 높은 엔진 회전속도인 2400rpm 조건에서는 조향각 16°에서 38° 및 54°로 증가

할 때, 각각 동력은 123%, 179% 증가함.

- ㉔ 동일한 엔진 회전속도 조건에서 조향각 증가 시 비례제어밸브 동력은 증가하는 것으로 나타남.
- ㉕ 동일한 조향각 조건에서 엔진 회전속도 증가 시 비례제어밸브 동력이 증가하는 것으로 나타남.
- ㉖ 가장 낮은 조향각 16°조건에서 엔진회전속도 900rpm에서 1,400, 2,200, 2400rpm으로 증가할 때, 각각 동력은 107%, 130%, 143% 증가하였으며, 가장 높은 조향각인 54° 조건에서는 엔진회전속도 900rpm에서 1,400, 2,200, 2400으로 증가할 때, 각각 동력은 126%, 146%, 143% 증가함.
- ㉗ 트랙터 엔진회전속도 및 조향각에 따른 변동폭은 유량, 압력, 동력 중 동력이 가장 크게 나타남.

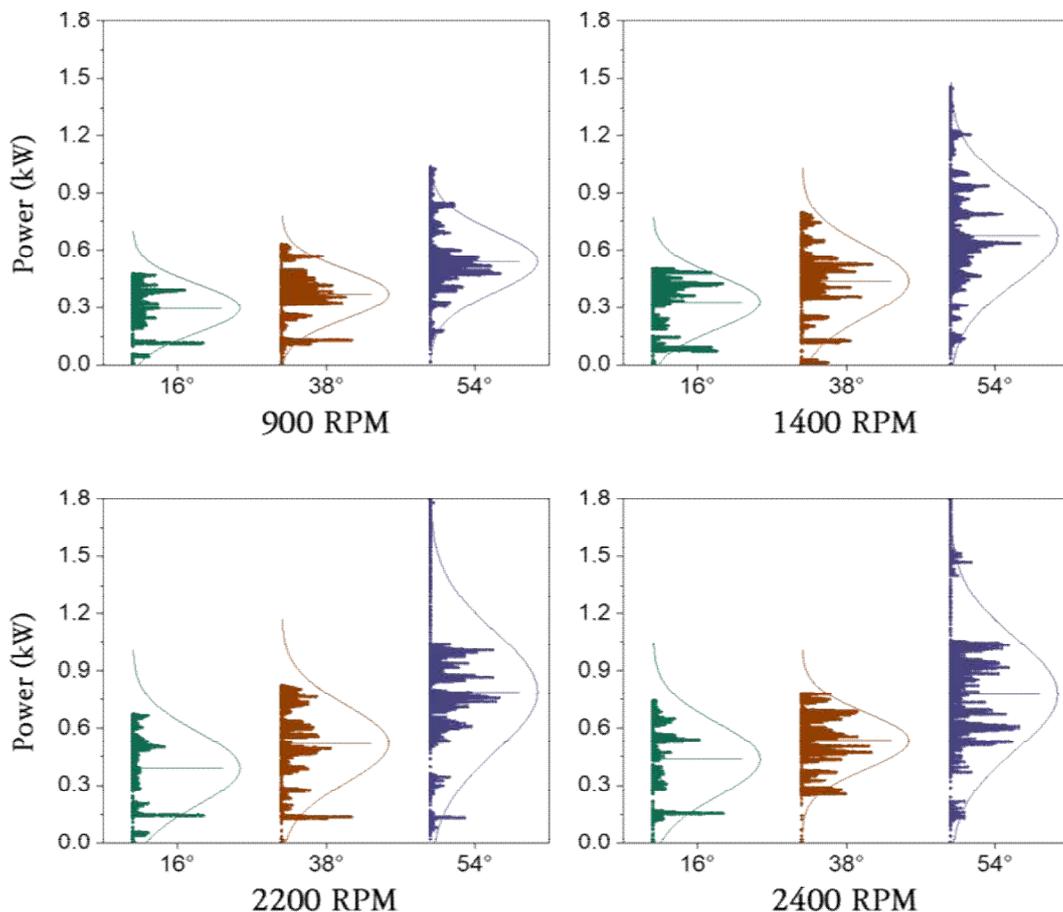
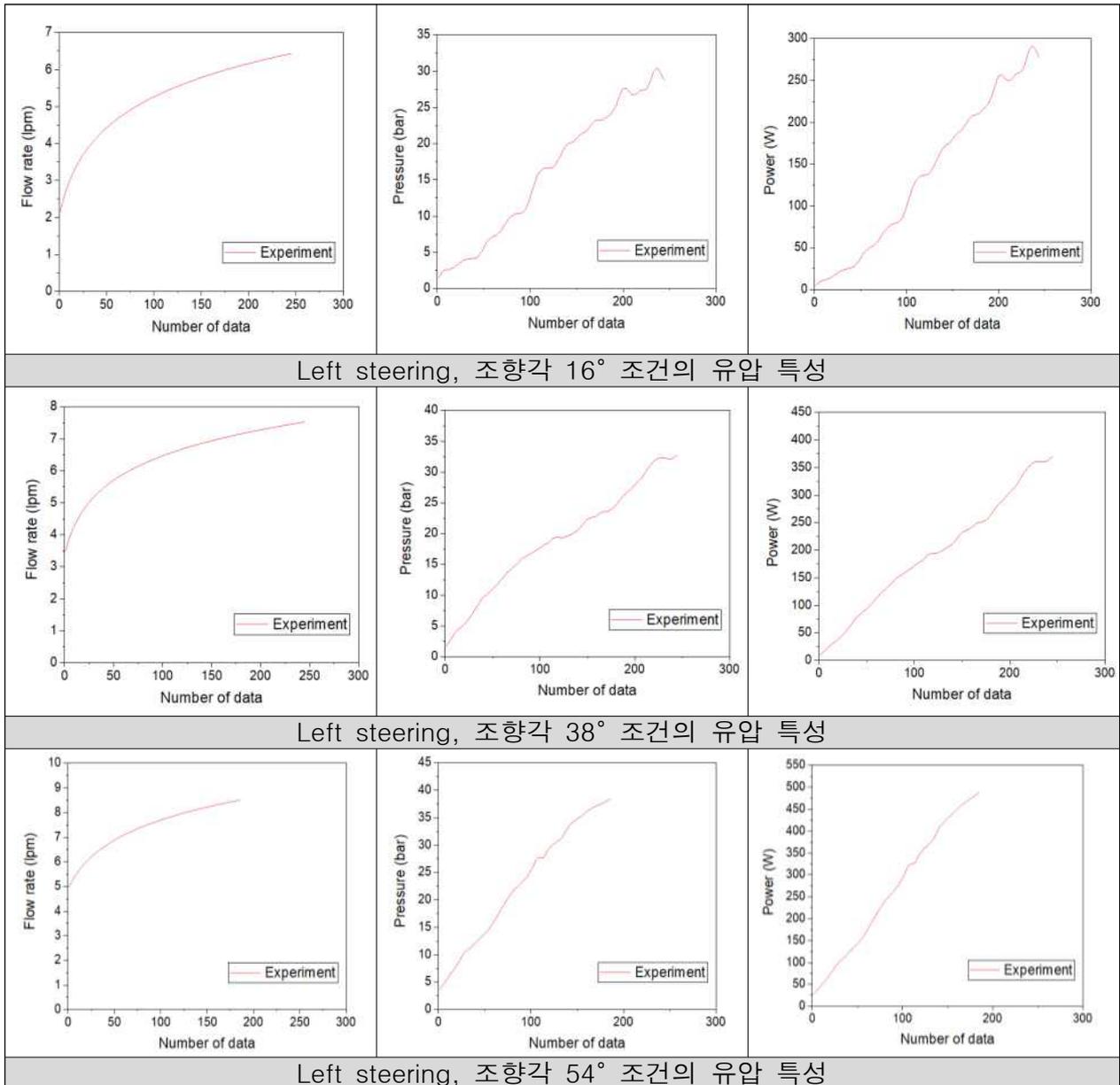


그림 173. 트랙터 RS에 따른 자동조향 유압시스템 동력 분석 결과

- ㉘ 시뮬레이션 모델 검증용 실차 데이터 set 구성
  - ㉙ 작업조건별 시뮬레이션 모델의 성능을 검증하기 위하여 실차에서 수집된 데이터를 시작점부터 최대 유량, 압력, 동력이 나타나는 지점까지의 데이터를 하나의 set으로 구성하여, 시뮬레이션 검증용 실차 데이터로 사용함.
  - ㉚ 엔진 회전속도 900 rpm에서 수집된 시뮬레이션 모델 검증용 데이터
    - ㉛ 조향각 증가 시 유량과 압력은 증가하는 것으로 나타남.

- ㉑ 조향각이 증가할수록 동력의 평균 및 최대 값은 높아지는 경향을 보임
- ㉒ LS와 RS를 비교할 때, 동일한 조향각조건에서 RS가 LS 대비 더 높은 유량을 보임.
- ㉓ 엔진 회전속도 900 rpm에서 조향 방향 및 조향각에 따른 유량, 압력, 동력과 같은 동특성의 기술통계분석 결과는 아래 표와 같음.
- ㉔ LS 조건 및 RS조건 모두에서 조향각 38°와 54° 사이의 압력이 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 그 외 나머지 조건에서는 유의한 차이를 보임.



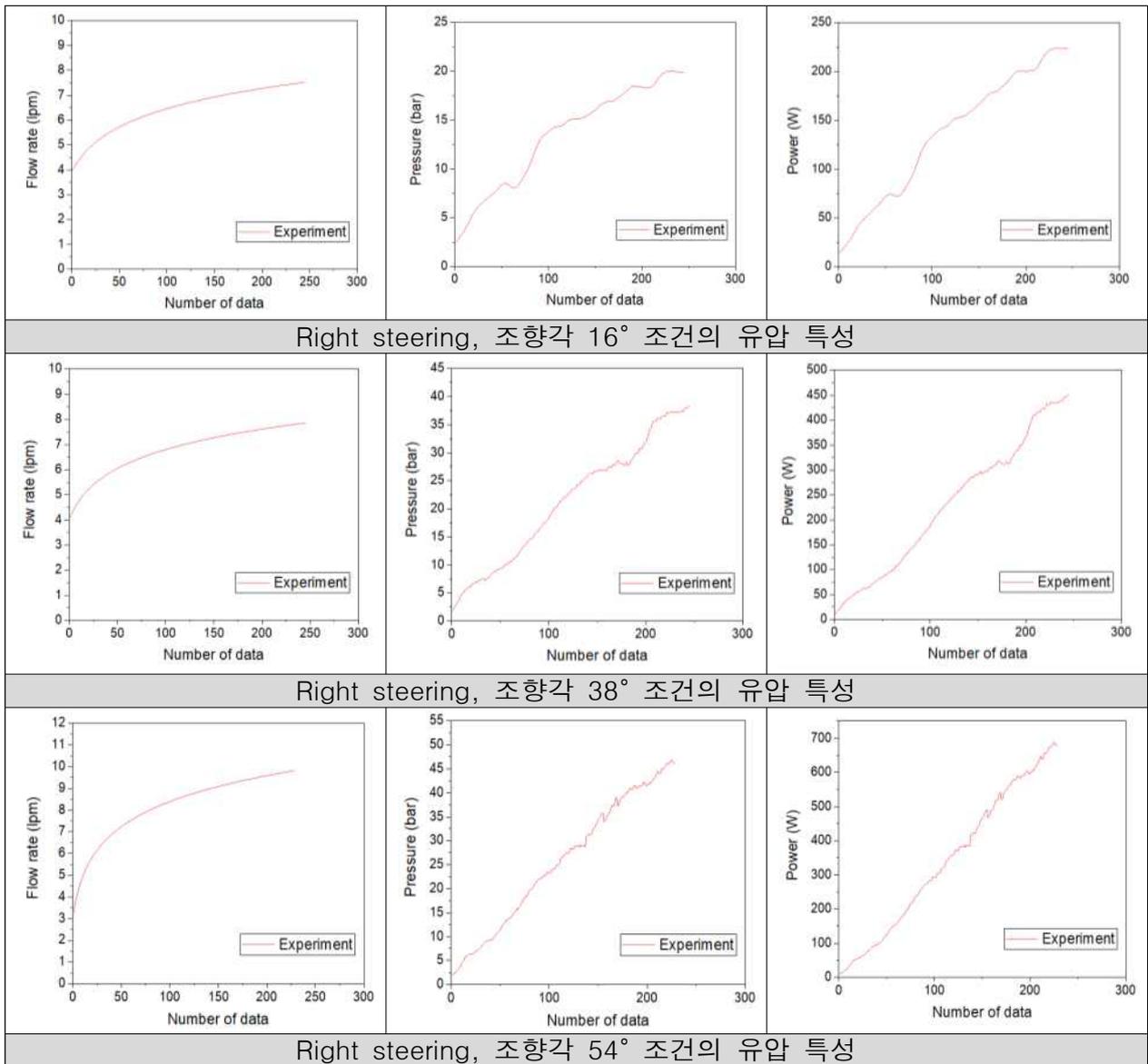


그림 174. 엔진 회전속도 900 rpm에서 조향 방향 및 조향각에 따른 비례제어밸브 유압 특성 분석 결과

표 5. 엔진 회전속도 900 rpm에서 작업 조건에 따른 비례제어밸브 유압 특성 기술통계분석 결과

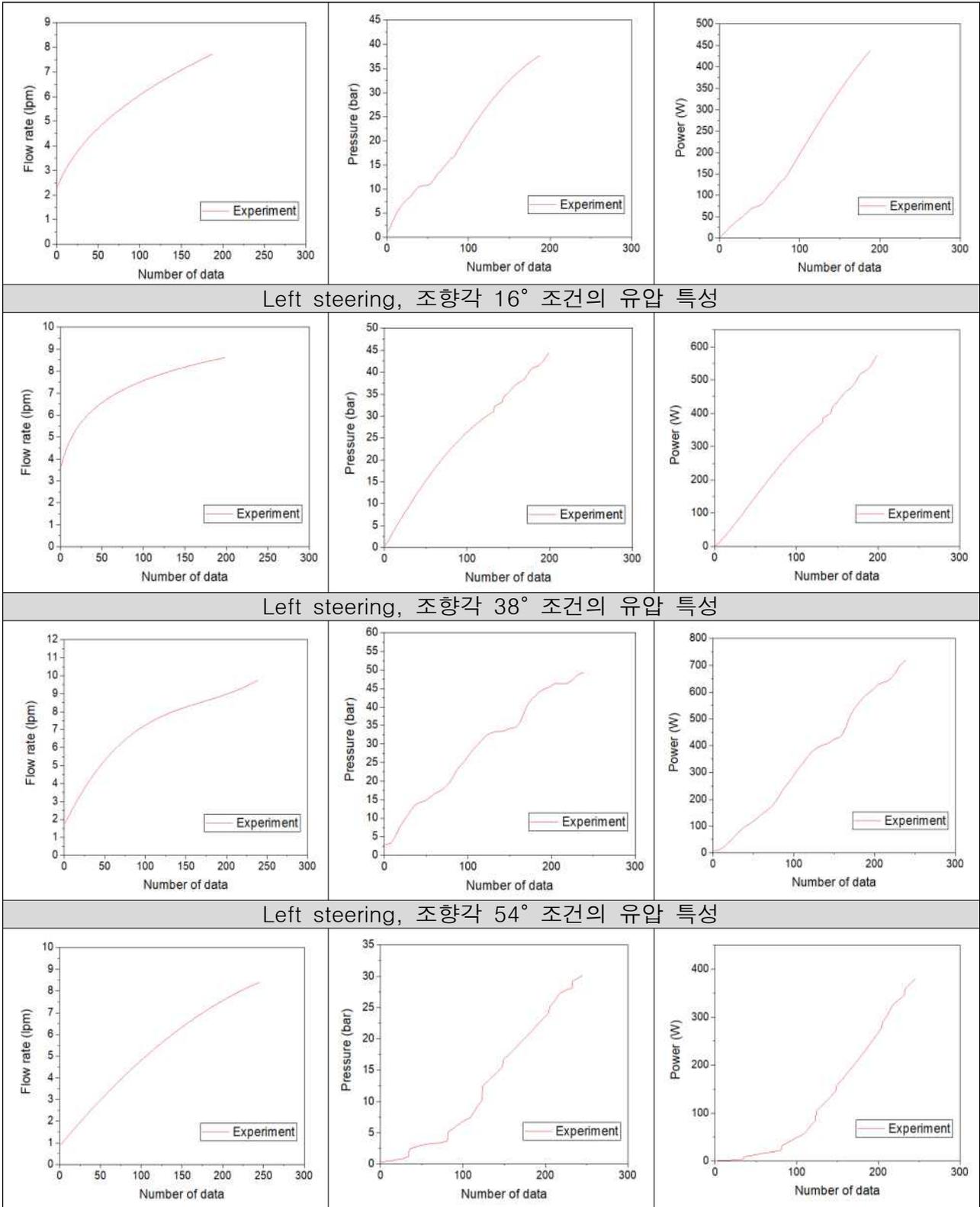
Direction	Steering angle	Flow rate (lpm)		Pressure (bar)		Power (W)	
		Max.	Avg±Std.	Max.	Avg±Std.	Max.	Avg±Std.
LS	16	6.43	5.23±1.02 <sup>c</sup>	30.40	15.93±9.13 <sup>b</sup>	291.35	137.8±91.0 <sup>c</sup>
	38	7.80	6.69±0.97 <sup>b</sup>	34.94	22.14±9.62 <sup>a</sup>	409.03	235.9±120.2 <sup>b</sup>
	54	8.51	7.38±0.90 <sup>a</sup>	38.46	23.08±10.63 <sup>a</sup>	490.94	269.6±143.3 <sup>a</sup>
RS	16	7.81	6.71±0.92 <sup>c</sup>	20.73	14.89±5.35 <sup>b</sup>	240.44	157.3±68.8 <sup>c</sup>
	38	8.11	7.01±0.94 <sup>b</sup>	39.97	24.55±11.81 <sup>a</sup>	481.68	273.9±150.0 <sup>b</sup>
	54	9.81	8.19±1.44 <sup>a</sup>	46.93	25.65±13.46 <sup>a</sup>	688.94	342.3±207.1 <sup>a</sup>

1) Average ± standard deviation.

2) Means with different superscripts (a,b,c) in each column are significantly different at  $p < 0.05$  by Duncan multiple range tests.

㉔ 엔진 회전속도 1,400 rpm에서 수집된 시뮬레이션 모델 검증용 데이터

- ㉑ 조향각 증가 시 유량과 압력은 증가하는 것으로 나타났으며, 이에 따라 동력도 증가하는 경향을 보임.
- ㉒ LS와 RS를 비교할 때, 동일한 조향각 조건에서 RS가 LS 대비 더 높은 유량, 압력, 동력을 보임.



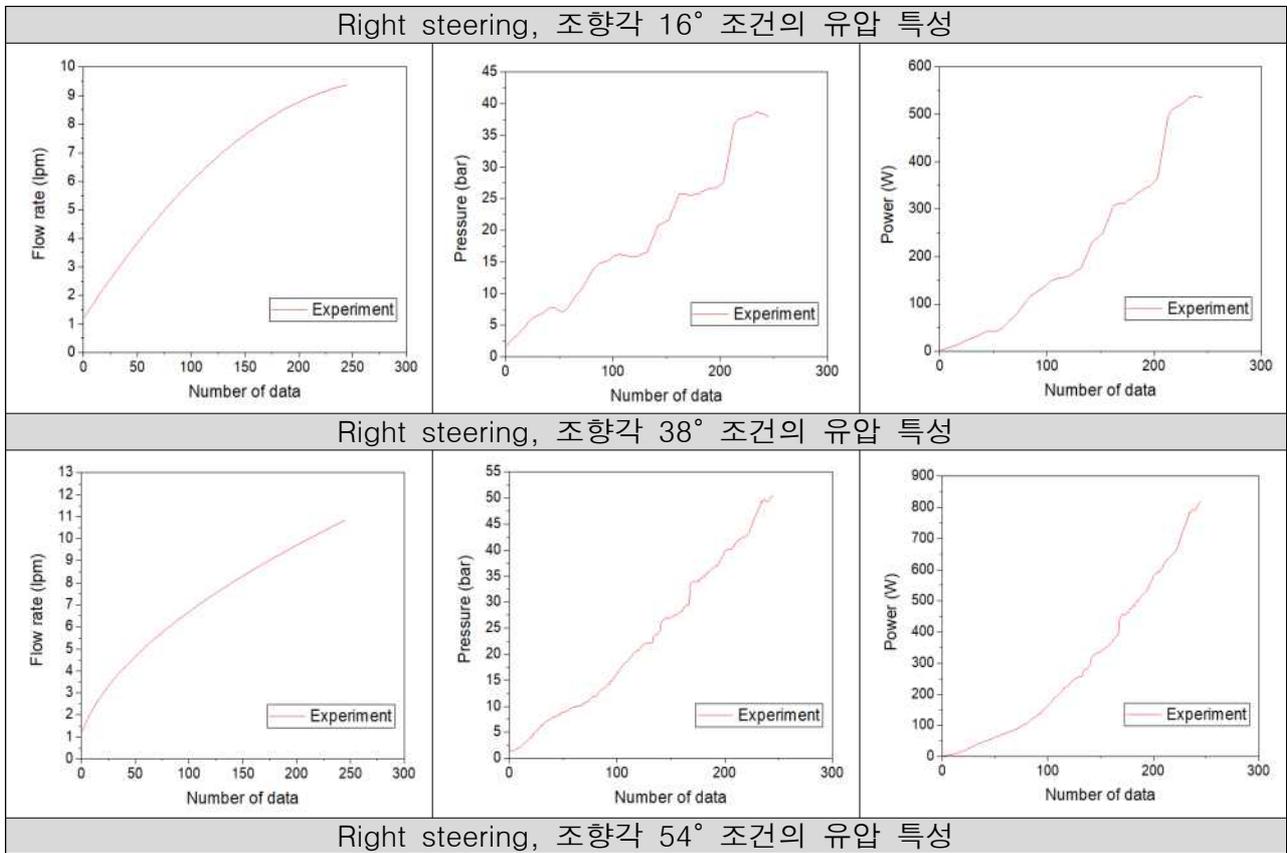


그림 175. 엔진 회전속도 1,400 rpm에서 조향 방향 및 조향각에 따른 비례제어밸브 유압 특성 분석 결과

- ㉔ 엔진 회전속도 1,400 rpm에서 조향 방향 및 조향각에 따른 유량, 압력, 동력과 같은 동특성의 기술통계분석 결과는 아래 표와 같음.
- ㉕ LS 조건에서 조향각 38°와 54° 사이의 유량과 RS 조건에서 조향각 38°와 54° 사이의 동력은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 그 외 조건에서는 유의한 차이를 보임.

표 6. 엔진 회전속도 1,400 rpm에서 작업 조건에 따른 비례제어밸브 유압 특성 기술통계분석 결과

Direction	Steering angle	Flow rate (lpm)		Pressure (bar)		Power (W)	
		Max.	Avg±Std.	Max.	Avg±Std.	Max.	Avg±Std.
LS	16	7.73	5.69±1.44 <sup>b</sup>	37.71	20.65±10.82 <sup>c</sup>	437.41	199.1±133.7 <sup>c</sup>
	38	8.62	7.23±1.18 <sup>a</sup>	44.46	24.82±12.15 <sup>b</sup>	574.90	290.1±164.5 <sup>b</sup>
	54	9.76	7.07±2.07 <sup>a</sup>	49.09	29.01±13.86 <sup>a</sup>	718.00	349.0±217.7 <sup>a</sup>
RS	16	9.31	6.15±2.48 <sup>c</sup>	39.58	18.38±13.23 <sup>c</sup>	552.64	216.9±186.8 <sup>b</sup>
	38	9.57	6.76±2.49 <sup>b</sup>	46.76	22.36±13.13 <sup>b</sup>	671.05	272.2±210.1 <sup>a</sup>
	54	11.26	7.37±2.65 <sup>a</sup>	53.15	24.93±15.80 <sup>a</sup>	877.26	336.5±275.9 <sup>a</sup>

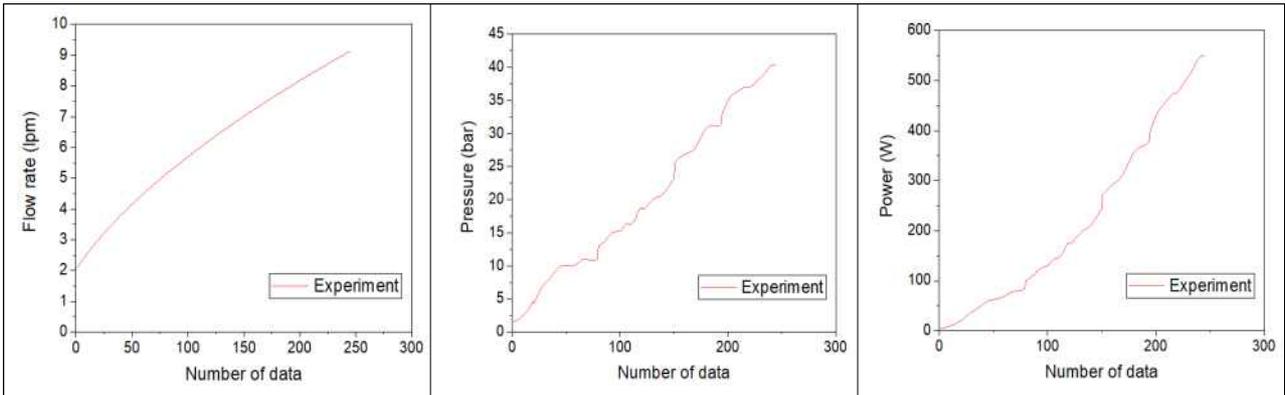
1) Average ± standard deviation.

2) Means with different superscripts (a,b,c) in each column are significantly different at  $p < 0.05$  by Duncan multiple range tests.

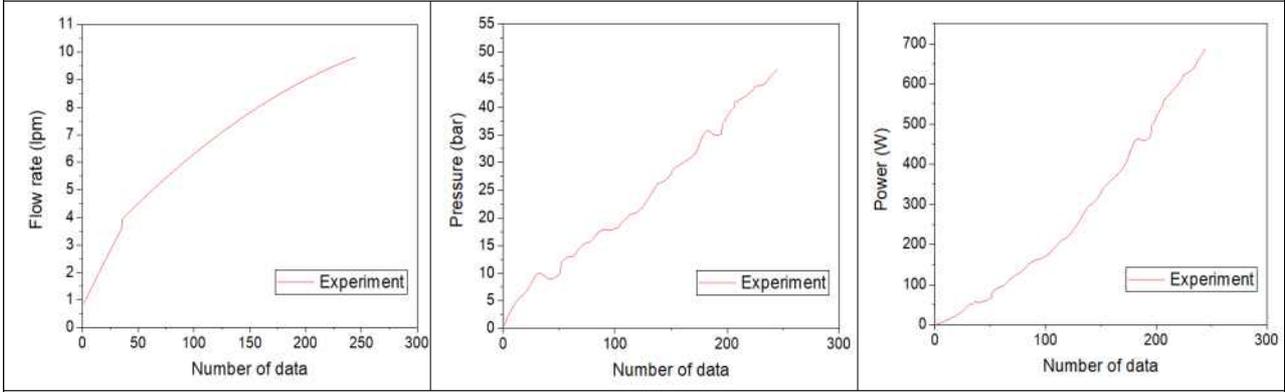
㉔ 엔진 회전속도 2,200 rpm에서 수집된 시뮬레이션 모델 검증용 데이터

㉕ 조향각 증가 시 유량과 압력은 증가하는 것으로 나타났으며, 이에 따라 동력도 증가하는 경향을 보임.

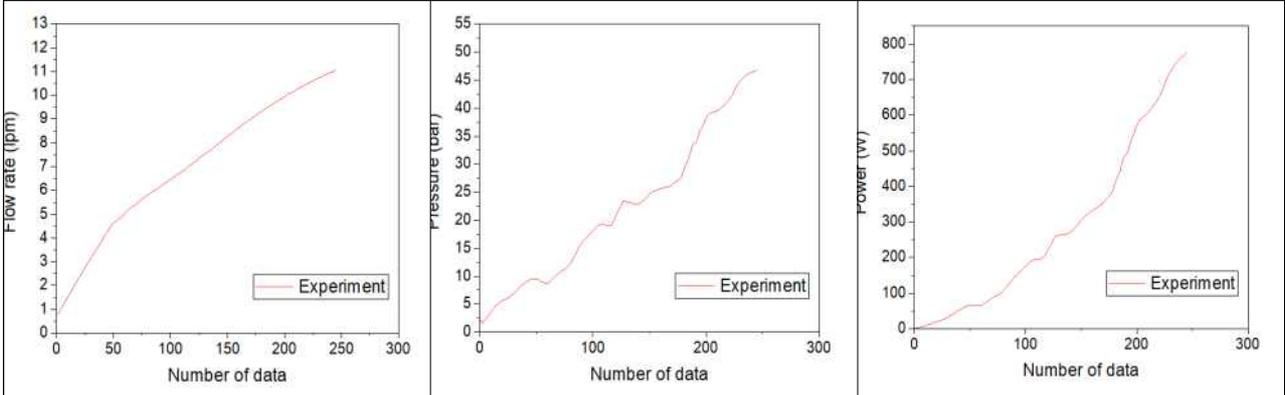
㉖ 조향 방향 LS와 RS를 비교할 때, 동일한 조향각 조건에서 RS가 LS 대비 더 높은 압력, 동력을 보임.



Left steering, 조향각 16° 조건의 유압 특성



Left steering, 조향각 38° 조건의 유압 특성



Left steering, 조향각 54° 조건의 유압 특성

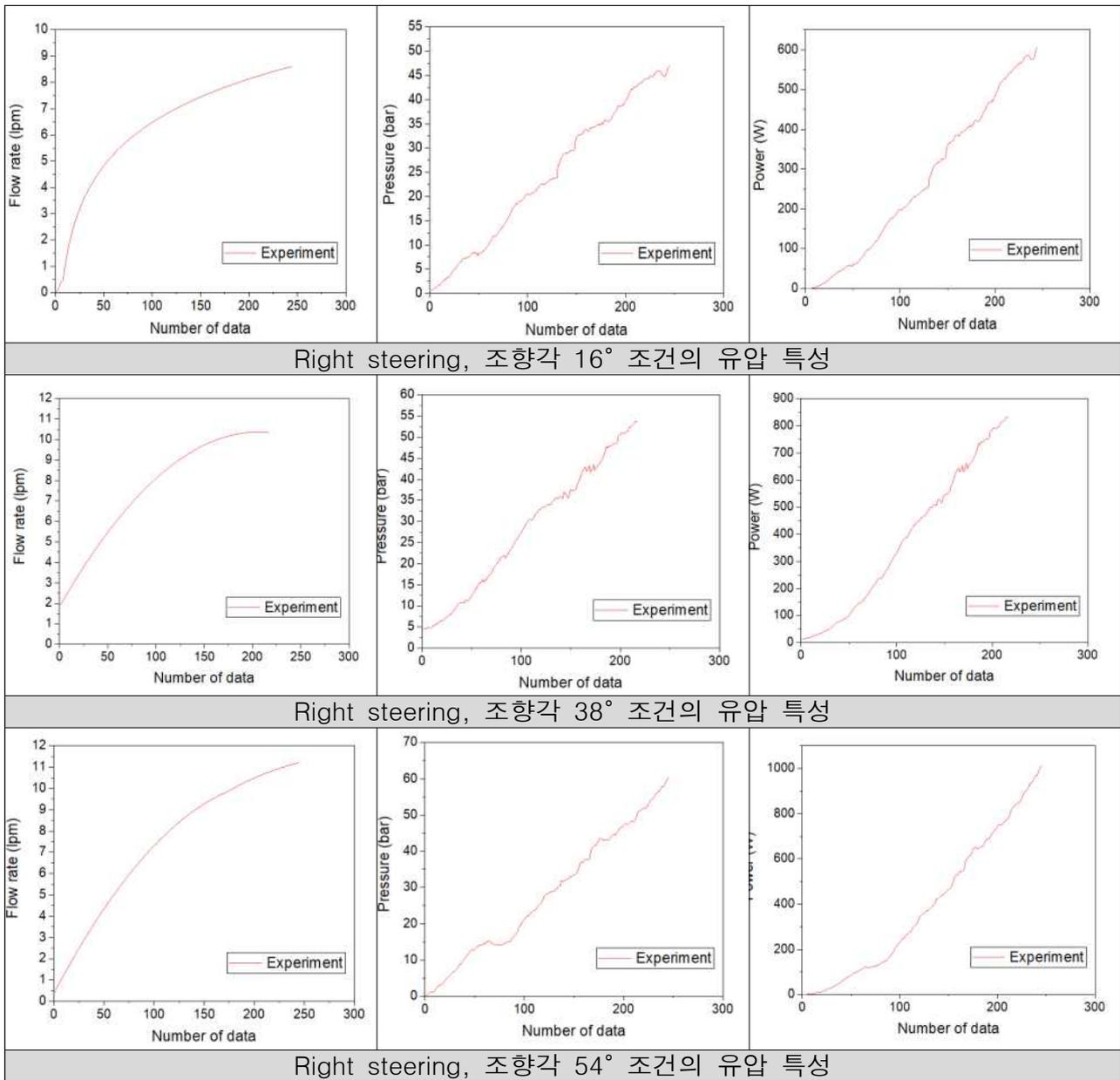


그림 176. 엔진 회전속도 2,200 rpm에서 조향 방향 및 조향각에 따른 비례제어밸브 유압 특성 분석 결과

- ㉔ 엔진 회전속도 2,200 rpm에서 조향 방향 및 조향각에 따른 유량, 압력, 동력과 같은 동특성의 기술통계분석 결과는 아래 표와 같음.
- ㉕ LS 조건에서 조향각 38°와 54° 사이의 압력 및 동력과 RS 조건에서 조향각 38°와 54° 사이의 유량, 조향각 16°와 38° 그리고 조향각 38° 및 54° 사이의 압력은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 그 외 조건에서는 유의한 차이를 보임.

표 7. 엔진 회전속도 2,200 rpm에서 작업 조건에 따른 비례제어밸브 유압 특성 기술통계분석 결과

Direction	Steering angle	Flow rate (lpm)		Pressure (bar)		Power (W)	
		Max.	Avg±Std.	Max.	Avg±Std.	Max.	Avg±Std.
LS	16	9.72	6.46±2.12 <sup>c</sup>	46.78	23.04±13.17 <sup>b</sup>	678.3	264.6±202.4 <sup>b</sup>
	38	10.33	7.07±2.54 <sup>b</sup>	52.20	27.42±14.85 <sup>a</sup>	808.7	345.2±252.1 <sup>a</sup>
	54	11.78	7.68±3.02 <sup>a</sup>	58.09	26.59±16.36 <sup>a</sup>	1026	376.9±311.5 <sup>a</sup>
RS	16	8.95	6.64±2.13 <sup>b</sup>	48.57	27.39±15.41 <sup>b</sup>	647.6	318.4±215.2 <sup>c</sup>
	38	10.36	7.68±2.54 <sup>a</sup>	53.70	28.24±15.15 <sup>ab</sup>	833.4	380.8±264.2 <sup>b</sup>
	54	11.41	7.72±3.15 <sup>a</sup>	63.53	30.63±18.61 <sup>a</sup>	1084	437.70±342.3 <sup>a</sup>

1) Average ± standard deviation.

2) Means with different superscripts (a,b,c) in each column are significantly different at  $p < 0.05$  by Duncan multiple range tests.

② 자동조향 트랙터용 비례제어밸브 시뮬레이션 모델 보완 및 검증

㉠ 시뮬레이션 모델 보완

㉠ 단품 시뮬레이션 모델

㉠ 시뮬레이션 Software

- ㉠ 다양한 산업분야에서 제품 제작 과정의 경제적, 시간적, 인적 자원 절약을 위해 CAE(Computer Aided Engineering) 기술을 활용한 연구를 활발히 진행중임.
- ㉠ AMESim (Simcenter AMESim, Germany Munich, Siemens)은 메카트로닉스 시스템의 성능 평가 및 최적화를 위한 통합 시스템 시뮬레이션 플랫폼으로 자동차, 건설기계, 농업기계 등 다양한 산업분야에서 유압 시스템 해석을 위해 사용되고 있음.
- ㉠ 본 연구에서는 자동조향 트랙터용 전기유압식 조향 시스템 시뮬레이션 모델 개발을 위하여 1D-domain 해석 소프트웨어인 AMESim을 이용하여 비례제어밸브 단품 모델 및 자동조향 시스템 구동부 시뮬레이션 모델을 개발하였음.

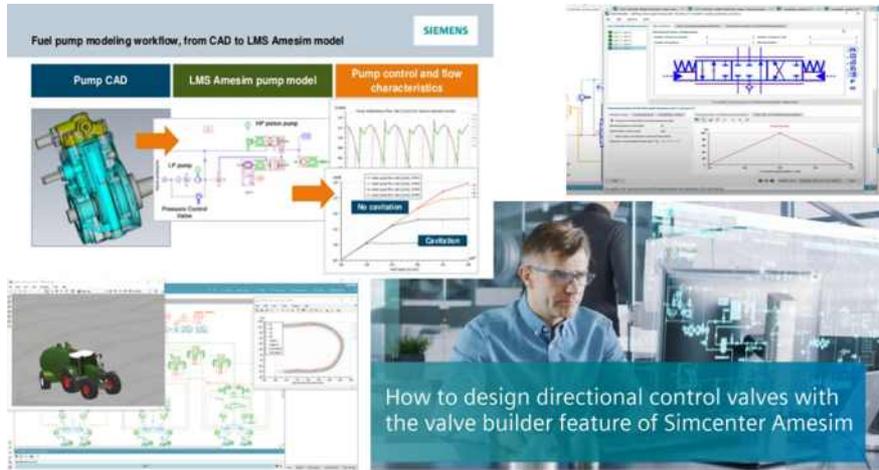


그림 177. 자동조향 시스템 시뮬레이션을 위한 Simcenter AMESim

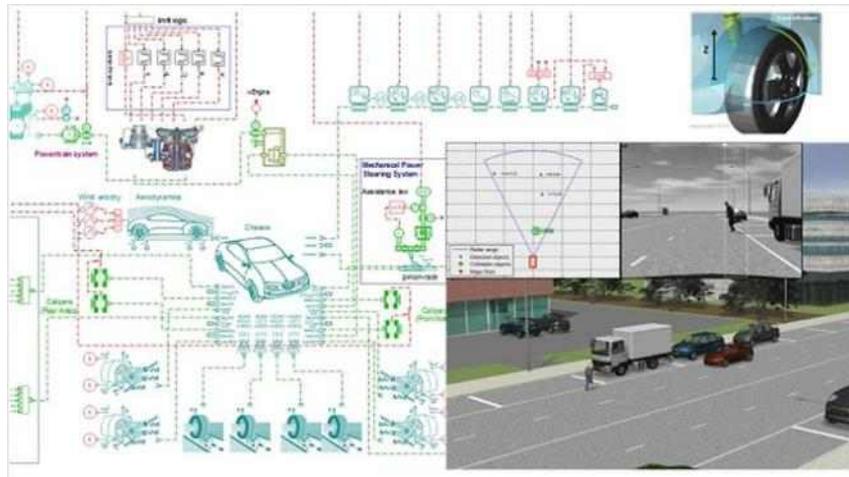


그림 178. AMESim software의 차량 조향부 시뮬레이션 모델 개발 예시

㉠ 단품 부품 모델 개발

- ㉠ 시뮬레이션 요소 부품 모델은 Hydraulic component 라이브러리 및 Valve builder를 통해 개발하였으며, 비례제어밸브에 요구되는 단품 모델을 기준으로 함.
- ㉡ AMESim의 라이브러리 컴포넌트를 이용하여 아래 그림과 같이 Relief Valve 모델을 구현
  - Relief valve의 작동 압력은 약 150 bar (@ 25 lpm)으로 설정함.
- ㉢ AMESim의 라이브러리 컴포넌트 중 복동식 실린더 타입 액츄에이터 모델을 통해 입력 유량에 따른 자동 조향 시스템을 구현하였으며, 세부 파라미터는 실차 트랙터의 조향 시스템에 탑재된 액츄에이터의 제원을 반영함.

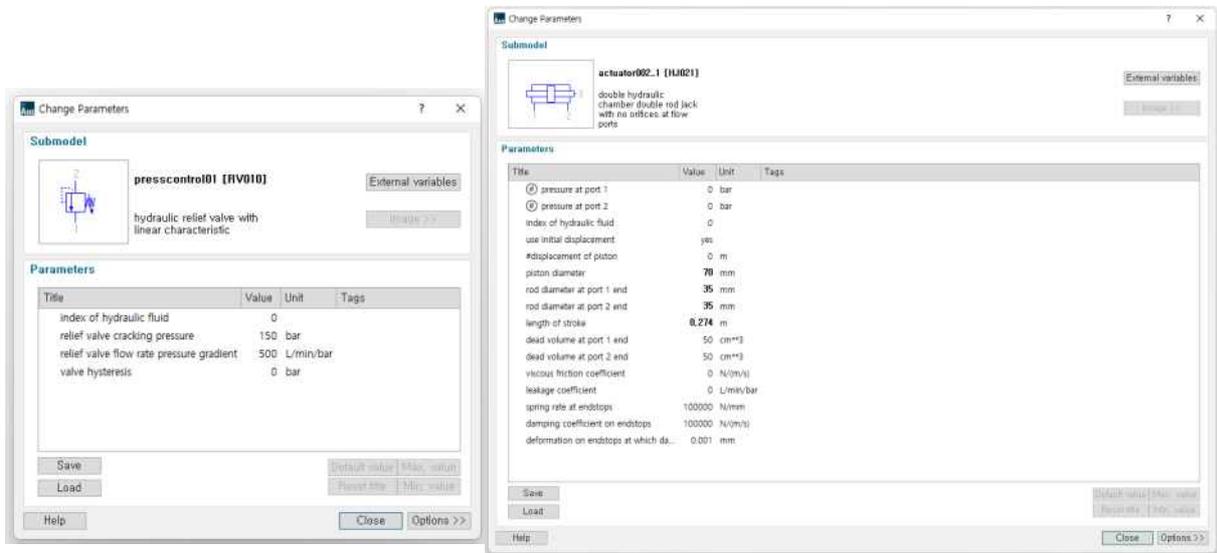


그림 179. 소프트웨어의 라이브러리 컴포넌트를 통한 밸브 단품 모델 개발

- ㉔ AMESim의 Valve builder를 통해 Cut off valve를 구성하였으며, 시스템에서 이상 현상 발생 시 스톱의 위치를 조절해 시스템 내 유량을 차단할 수 있도록 설정함.

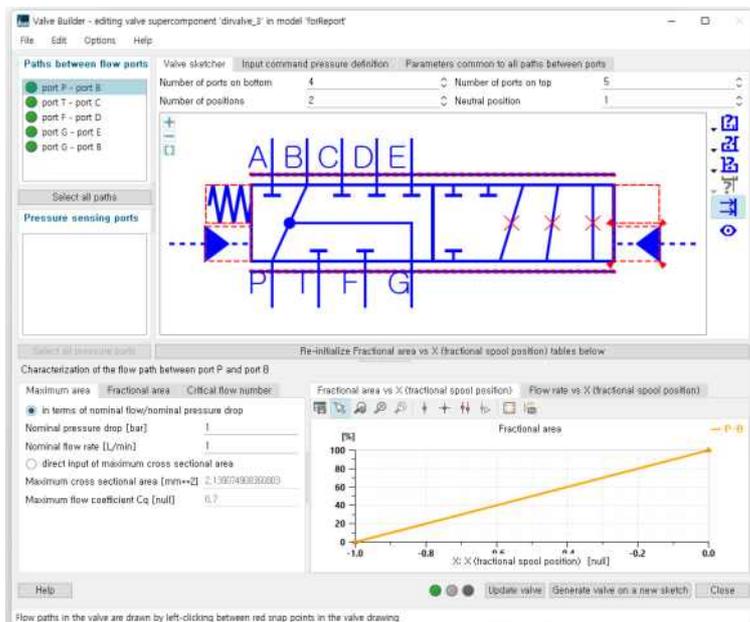


그림 180. Valve builder를 통한 Cut off valve의 단품 모델 개발

- ㉔ AMESim의 기본 Hydraulic component에서 제공하는 valve로는 실제 개발품 밸브를 구현하기 어렵기 때문에, 밸브를 커스터마이징 할 수 있는 Valve builder를 통해 비례제어밸브의 단품 모델을 개발함. 스톱의 위치 -4 to 4 mm (-100 to 100%)에 따라 스톱의 좌·우 작동을 통해 액츄에이터로 공급되는 유체의 방향 및 유량을 제어하도록 구성함.

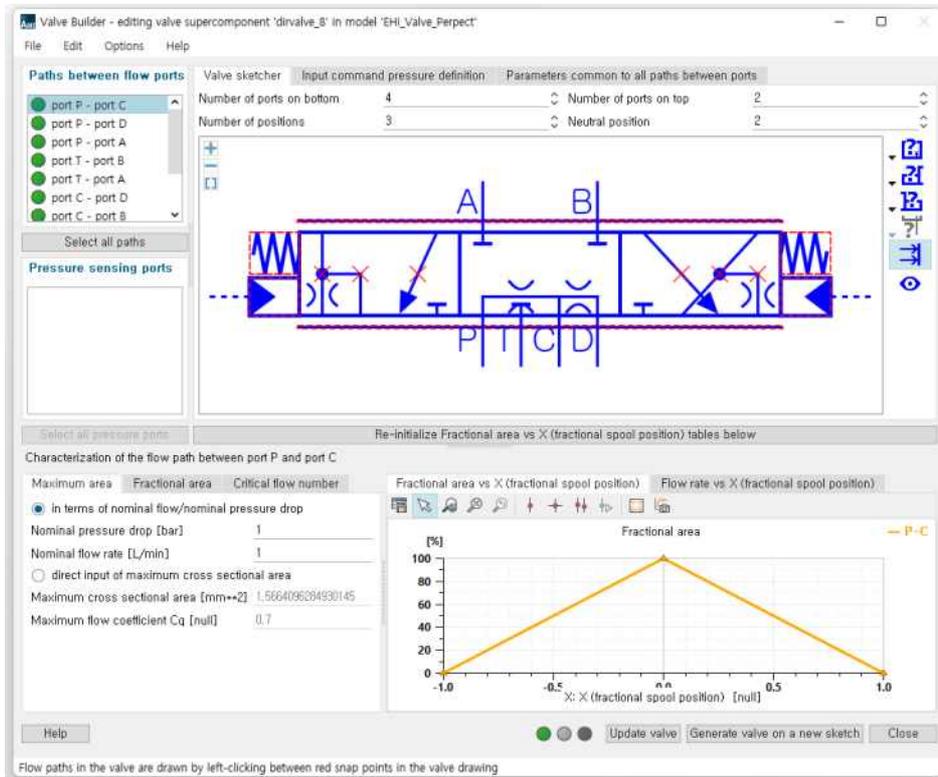


그림 181. Valve builder를 통한 Proportional control valve 의 단품 모델 개발

- ㉠ Priority valve 단품 모델은 다른 단품 모델과 마찬가지로 Valve builder 를 통해 개발하였으며, 스톱의 위치에 따라 유압펌프에서 토출된 유량을 일정유량으로 제어부에 공급함.

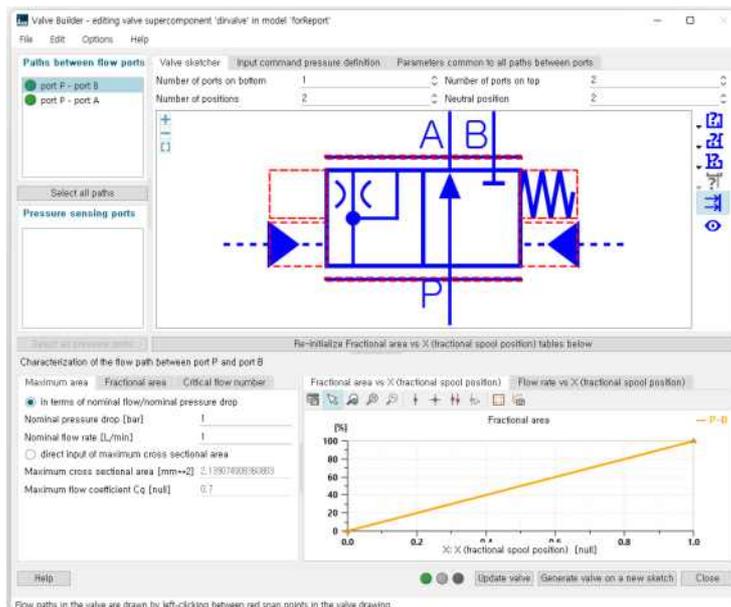


그림 182. Valve builder를 통한 Priority valve 의 단품 모델 개발

- ㉡ AMESim의 Valve builder를 통해 Pilot reduction valve의 단품 모델을 개발하였으며, 해당 밸브는 Solenoid valve 작동 시 cut off valve의 스톱 작동을 구현하도록 구성하였음.

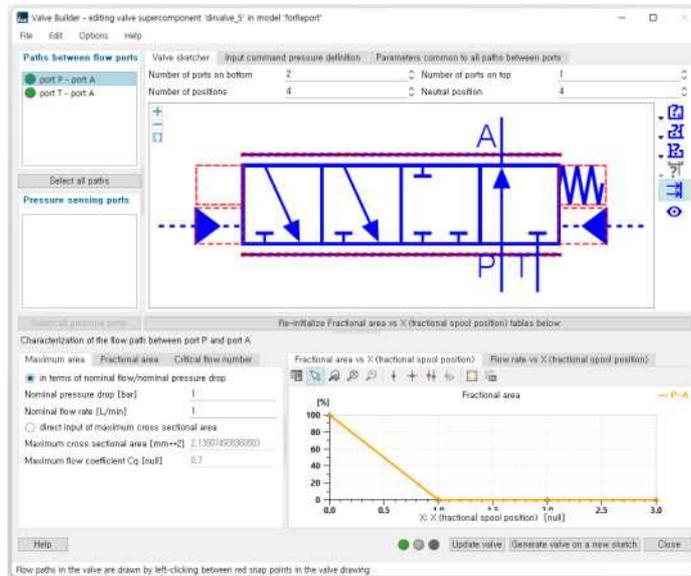


그림 183. Valve builder를 통한 Pilot reduction valve 의 단품 모델 개발

⑥ 통합 시뮬레이션 모델

㉠ 요소 부품 및 제어 신호 input 모델 통합을 통한 자동조향 시스템 시뮬레이션 모델 개발

㉠ 비례제어밸브 유압 회로도를 기반으로 AMESim software의 라이브러리 컴포넌트 및 Valve builder를 통해 개발한 단품모델의 SI를 수행하였으며, 이를 통해 통합 시뮬레이션 모델을 개발하였음. 각 세부 파라미터는 주관기관의 설계 기준을 적용함.

㉠ 유압펌프의 배제용적(displacement)은 자동조향용 트랙터에서 사용하고 있는 조향용 펌프의 배제용적 21 cc/rev 이며, 엔진 회전속도에 따라 18.9~50.4 lpm의 토출 유량을 가짐.

㉠ 시뮬레이션 모델은 hydraulic pump, relief valve, external priority valve, proportional control valve, pilot reduction valve, cut-off valve, solenoid valve, actuator로 구성함.

㉠ proportional control valve를 통한 유체의 이동 방향을 결정하기 위하여 valve spool position(방향)은 인가 신호(signal, 0-1)에 따라 결정되도록 구성함. 이때, 신호에 따른 메인 valve의 포지션 변화 및 액츄에이터의 작동 방향을 제어하기 위해 라이브러리 컴포넌트의 1D-signal input model을 활용함.

㉠ Priority valve를 통해 메인 밸브로 입력되는 유량은 17~25 lpm 사이의 값을 가지도록 구성하였음.

㉠ 릴리프 밸브는 시스템 압력을 150 bar 이하로 유지할 수 있도록 구성

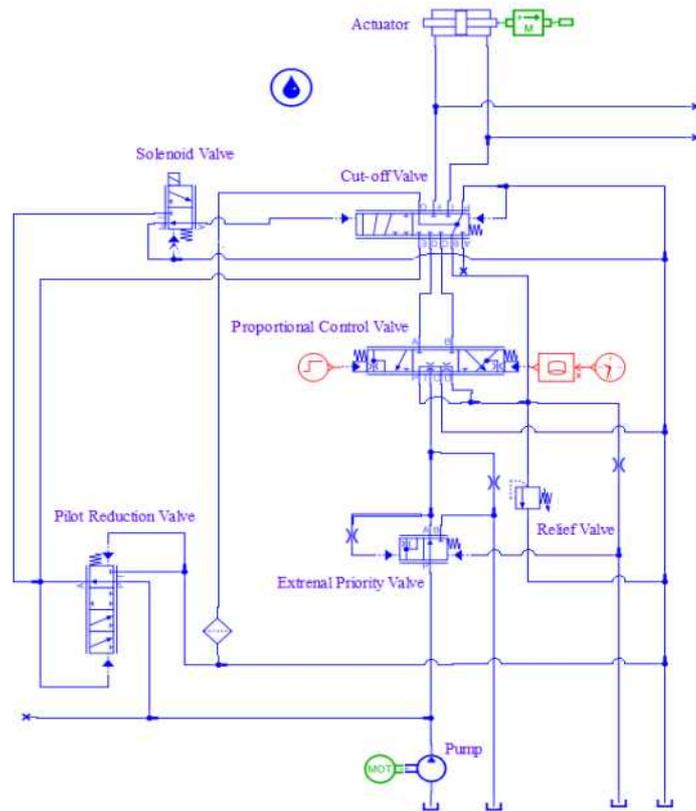


그림 184. 자동조향 트랙터용 비례제어밸브 통합 시뮬레이션 모델

㉞ 시뮬레이션 조건

- ㉠ 시뮬레이션 조건은 트랙터 작업조건에 따른 비례제어밸브의 동특성을 분석하고자 1) 엔진 회전속도, 2) 조향방향, 3) 조향각으로 선정함.
- ㉡ 엔진 회전속도는 엔진 주요 작동회전속도 지점(Idle, 최대토크점, 정격 회전속도)을 고려하여 4수준(900, 1,400, 2,200 rpm)으로 선정함.
- ㉢ 엔진 회전속도 2,400 rpm은 2,200 rpm과 계측 결과의 큰 차이가 없어 시뮬레이션 조건에서 제외함.
- ㉣ 조향각은 트랙터 최대 조향각 54°를 고려하여 3수준 (16, 38, 54°)를 선정함.
- ㉤ 모든 조건에서 각각 좌조향(Left control, LS), 우조향(Right control, RS)에 대하여 평가함.

㉞ 유압 동력 분석 방법

- ㉠ 유압 동력은 아래 수식과 같이 효율, 유량, 압력을 이용하여 산출됨.
- ㉡ 압력은 작동 압력으로써, 비례제어밸브 양쪽 출력 포트 압력의 절댓값 차이를 이용함.

$$Power_{hydraulic} = \eta_v \times \frac{P \times Q}{600}$$

Where,  $Power_{hydraulic}$  = Power of hydraulic system (kW),

$\eta_v$  = Efficiency (%),

$P$  = Pressure of hydraulic system (bar),

$Q$  = Flow rate of hydraulic system (lpm)

㉠ 시뮬레이션 결과

㉡ 엔진 회전속도 900 rpm 조건에 따른 유압 동특성 시뮬레이션 결과

- ㉢ 트랙터 LS 제어 시 조향각 16, 38, 54° 조건에 따른 동특성은 다음과 같음.
- ㉣ 조향각 16° 조건일 때 최대 유량, 압력, 동력은 각각 6.45 lpm, 29.71 bar, 287.27 W로 나타났으며, 조향각 38° 조건일 때 최대 유량, 압력, 동력은 각각 7.82 lpm, 34.47 bar, 401.33 W, 조향각 54° 조건일 때 최대 유량, 압력, 동력은 각각 8.73 lpm, 39.56 bar, 518.12 W로 나타남.
- ㉤ 트랙터의 조향각이 증가할수록 비례제어밸브의 유량, 압력, 동력도 증가하는 것으로 나타남.

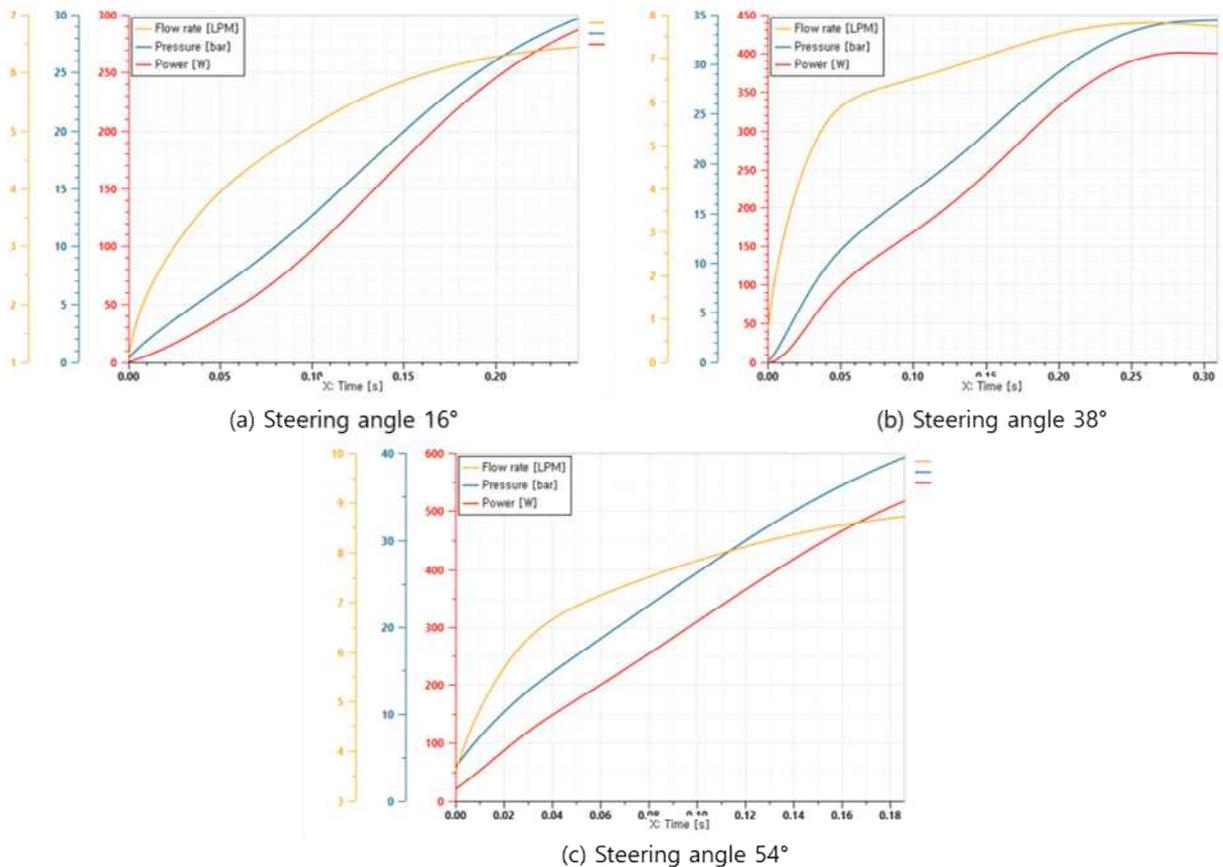


그림 185. 조향각에 따른 비례제어밸브 시뮬레이션 해석 결과(LS 제어, 엔진 회전속도 900 rpm)

- ㉢ 트랙터 RS 제어 시 조향각 16, 38, 54° 조건에 따른 동특성은 다음과 같음.

- ㉔ 조향각 16° 조건일 때 최대 유량, 압력, 동력은 각각 7.68 lpm, 23.11 bar, 266.05 W로 나타났으며, 조향각 38° 조건일 때 최대 유량, 압력, 동력은 각각 8.28 lpm, 41.12 bar, 510.64 W, 조향각 54° 조건일 때 최대 유량, 압력, 동력은 각각 9.97 lpm, 45.88 bar, 686.42 W로 나타남.
- ㉕ 트랙터의 조향각이 증가할수록 비례제어밸브의 유량, 압력, 동력도 증가하는 것으로 나타남.

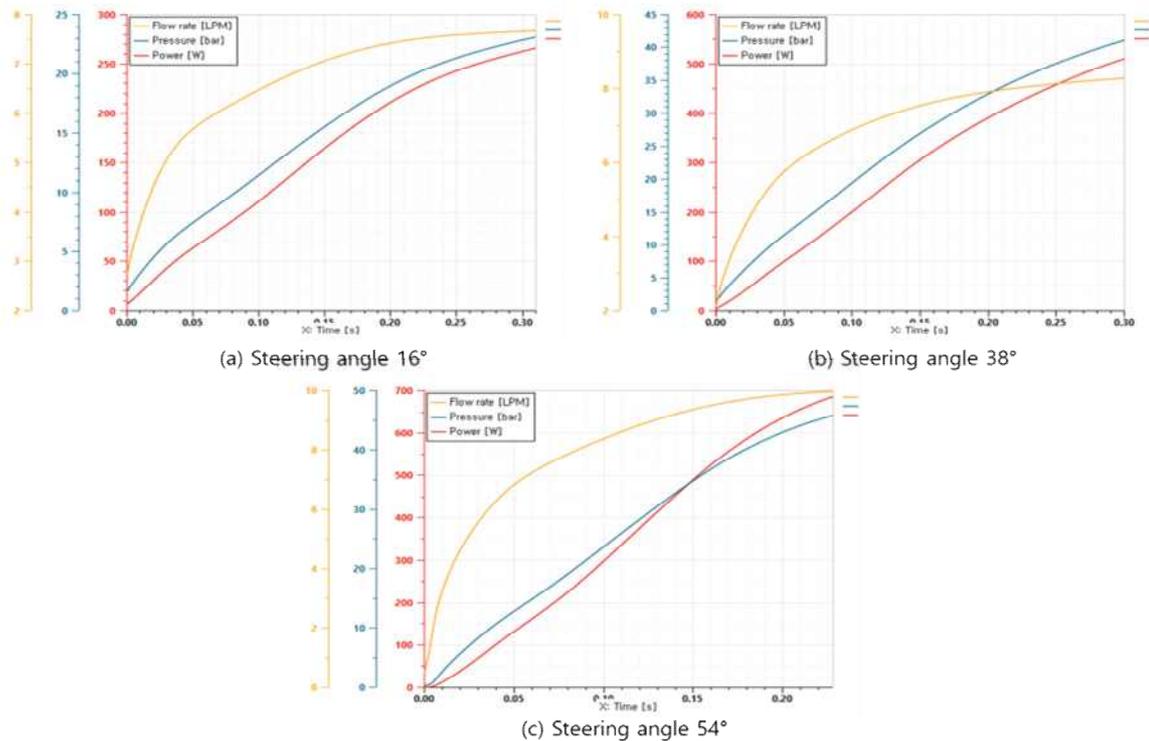


그림 186. 조향각에 따른 비례제어밸브 시뮬레이션 해석 결과(RS 제어, 엔진 회전속도 900 rpm)

- ㉖ 엔진 회전속도 1,400 rpm 조건에 따른 유압 동특성 시뮬레이션 결과
  - ㉗ 트랙터 LS 제어 시 조향각 16, 38, 54° 조건에 따른 동특성은 다음과 같음.
  - ㉘ 조향각 16° 조건일 때 최대 유량, 압력, 동력은 각각 7.71 lpm, 40.26 bar, 465.59 W로 나타났으며, 조향각 38° 조건일 때 최대 유량, 압력, 동력은 각각 8.93 lpm, 45.16 bar, 605.00 W, 조향각 54° 조건일 때 최대 유량, 압력, 동력은 각각 9.71 lpm, 49.41 bar, 719.92 W로 나타남.
  - ㉙ 트랙터의 조향각 증가 시 비례제어밸브의 유량, 압력, 동력도 증가함.

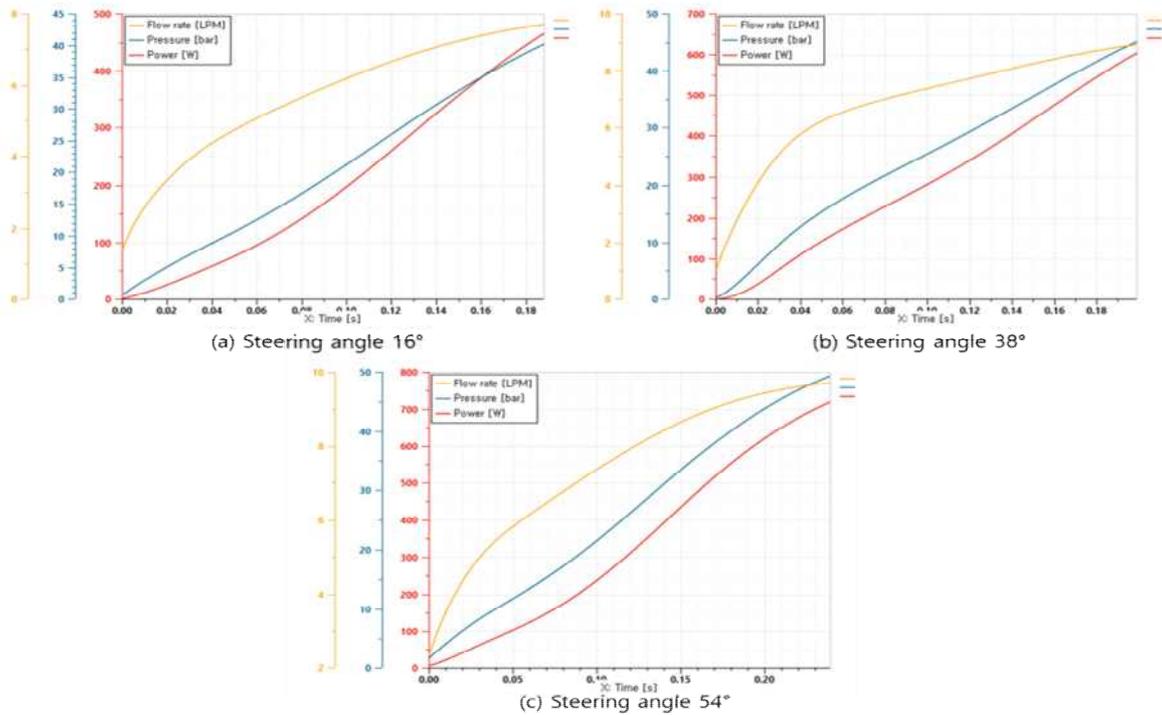


그림 187. 조향각에 따른 비례제어밸브 시뮬레이션 해석 결과(LS 제어, 엔진 회전속도 1,400 rpm)

- ㉔ 트랙터 RS 제어 시 조향각 16, 38, 54° 조건에 따른 동특성은 다음과 같음.
- ㉕ 조향각 16° 조건일 때 최대 유량, 압력, 동력은 각각 8.75 lpm, 41.59 bar, 545.83 W로 나타났으며, 조향각 38° 조건일 때 최대 유량, 압력, 동력은 각각 9.74 lpm, 48.39 bar, 706.98 W, 조향각 54° 조건일 때 최대 유량, 압력, 동력은 각각 10.75 lpm, 54.99 bar, 887.04 W로 나타남.
- ㉖ 위에서 제시된 LS 조건과 유사하게 조향각 증가 시 유량, 압력, 동력도 증가함.

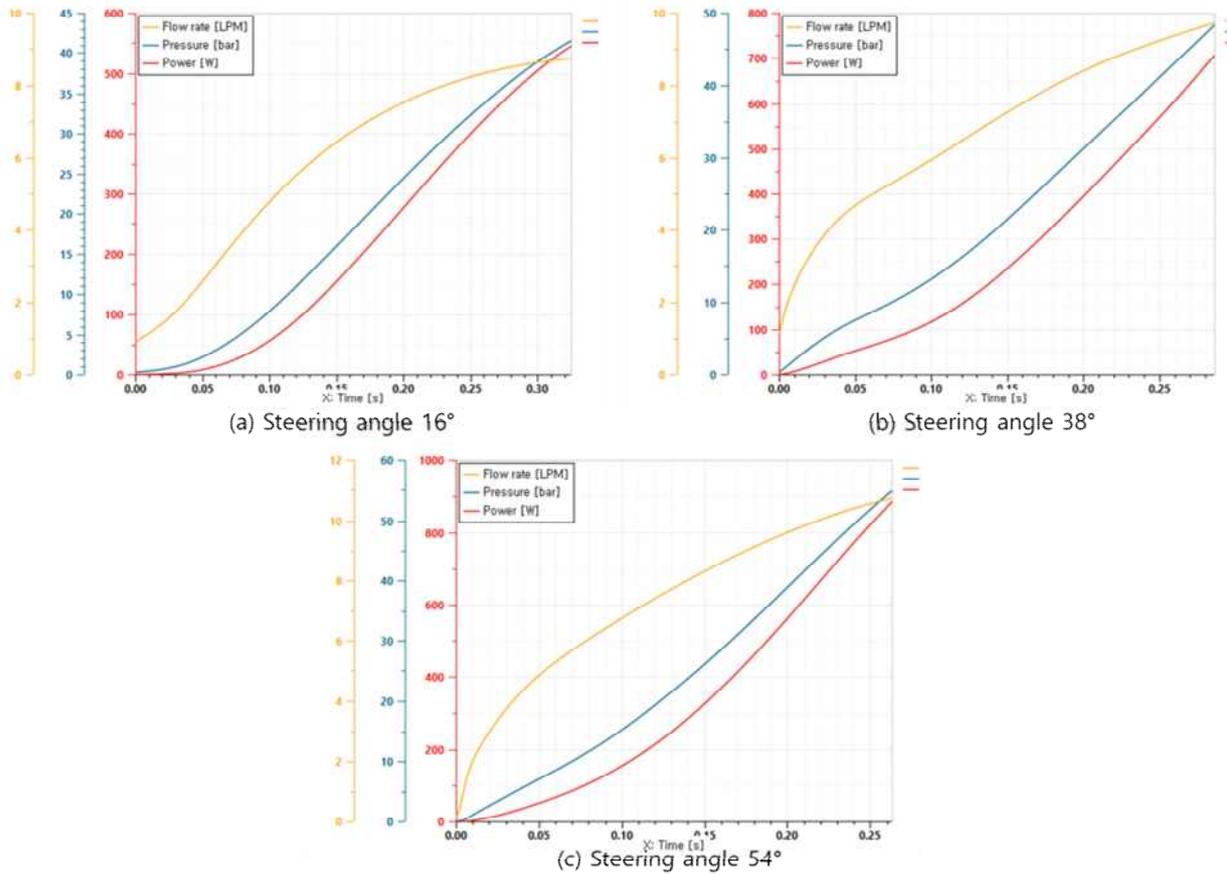


그림 188. 조향각에 따른 비례제어밸브 시뮬레이션 해석 결과(RS 제어, 엔진 회전속도 1,400 rpm)

㉔ 엔진 회전속도 2,200 rpm 조건에 따른 유압 동특성 시뮬레이션 결과

- ㉕ 트랙터 LS 제어 시 조향각 16, 38, 54° 조건에 따른 동특성은 다음과 같음.
- ㉖ 조향각 16° 조건일 때 최대 유량, 압력, 동력은 각각 9.44 lpm, 47.59 bar, 674.08 W로 나타났으며, 조향각 38° 조건일 때 최대 유량, 압력, 동력은 각각 10.06 lpm, 52.33 bar, 789.76 W, 조향각 54° 조건일 때 최대 유량, 압력, 동력은 각각 11.66 lpm, 59.06 bar, 1033.34 W로 나타남.
- ㉗ 트랙터의 조향각 증가 시 비례제어밸브의 유량, 압력, 동력도 증가함.

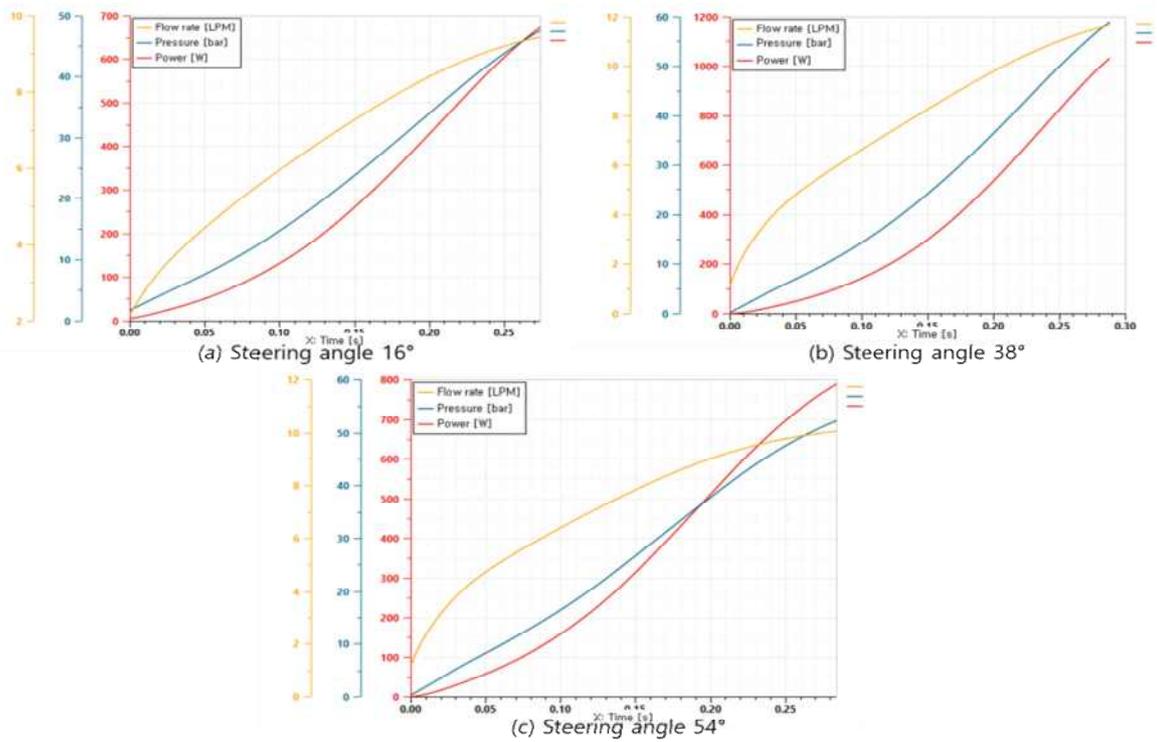


그림 189. 조향각에 따른 비례제어밸브 시뮬레이션 해석 결과(LS 제어, 엔진 회전속도 2,200 rpm)

- ㉔ 트랙터 RS 제어 시 조향각 16, 38, 54° 조건에 따른 동특성은 다음과 같음.
- ㉕ 조향각 16° 조건일 때 최대 유량, 압력, 동력은 각각 9.27 lpm, 48.52 bar, 682.32 W로 나타났으며, 조향각 38° 조건일 때 최대 유량, 압력, 동력은 각각 10.17 lpm, 55.58 bar, 848.09 W, 조향각 54° 조건일 때 최대 유량, 압력, 동력은 각각 11.71 lpm, 62.96 bar, 1105.40 W로 나타남.

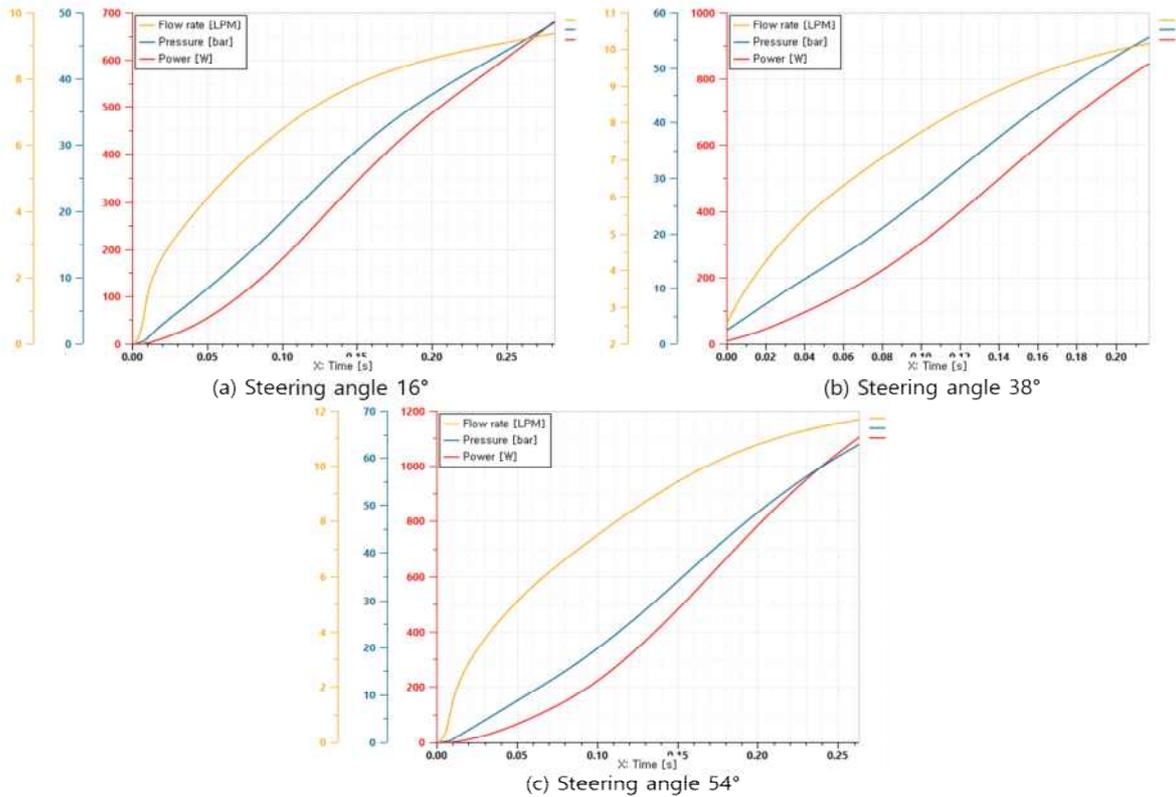


그림 190. 조향각에 따른 비례제어밸브 시뮬레이션 해석 결과(RS 제어, 엔진 회전속도 2,200 rpm)

㉠ 시뮬레이션 모델 검증

㉠ 시뮬레이션 모델 검증 방법

㉠ 시뮬레이션 모델의 검증을 위해서 성능 평가가 필수적임. 시뮬레이션 모델의 성능은 시뮬레이션 모델의 결과와 계측된 값의 결과 값을 비교하여 평가하는 것으로 진행하였으며, 다음과 같은 지표를 활용하여 평가를 수행함.

㉠ Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

㉠ MAPE는 평균절대비율오차로서, 실제 값에 대한 상대오차의 비율을 더한 다음 총 데이터 수로 나눈 값으로 모델(시뮬레이션)의 정확도를 평가하기 위한 방법으로 사용됨.

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} \left| \frac{1}{y_a} (y_a - y_p) \right| \times 100(\%)$$

Where,  $y_a$  = Actual value,  $y_p$  = Predicted value

㉠ Root Mean Square Error (RMSE)

㉠ RMSE는 평균 제곱근 편차로서, 잔차(예측 오차)의 표준편차로, 시뮬레이션 모델이 예측한 값과 실제 계측한 값의 차이를 표현하기 위하여 사용됨. 특히, 정밀도(precision)을 표현하는데 적합함.

$$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} (y_p - y_a)^2}$$

㉔ Coefficient of Determination (R2)

- ㉔ 결정계수(R2)는 회귀분석의 개념으로 모형(즉 독립변수)이 종속변수를 얼마나 설명하는지를 보여주는 계수로, 본 연구에서는 계측 값과 시뮬레이션 값의 데이터 들을 사이의 관계를 분석하고 수치화 하기 위하여 사용됨.

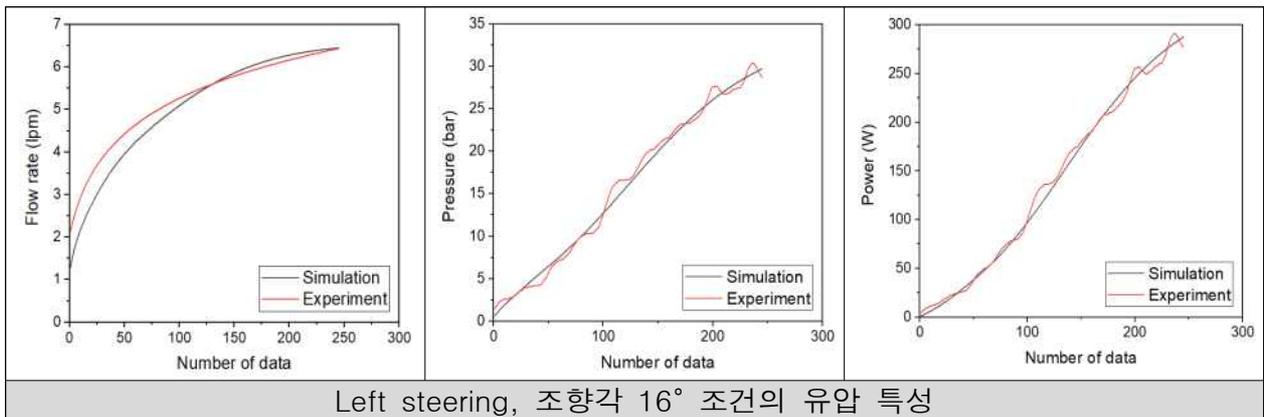
$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} (y_a - y_m) - \sum_{i=1}^{i=N} (y_a - y_p)}{\sum_{i=1}^{i=N} (y_a - y_m)}$$

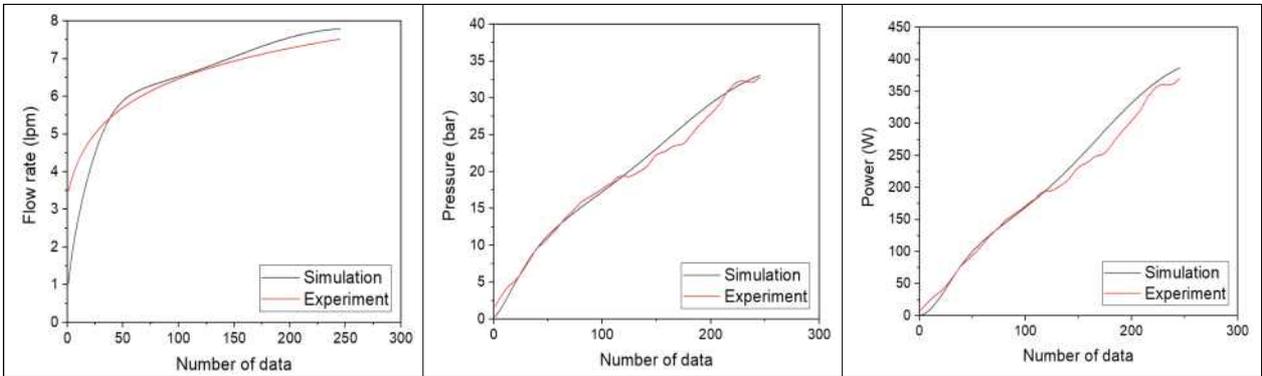
Where,  $y_m$  = Mean actual value

㉕ 시뮬레이션 모델 검증 결과

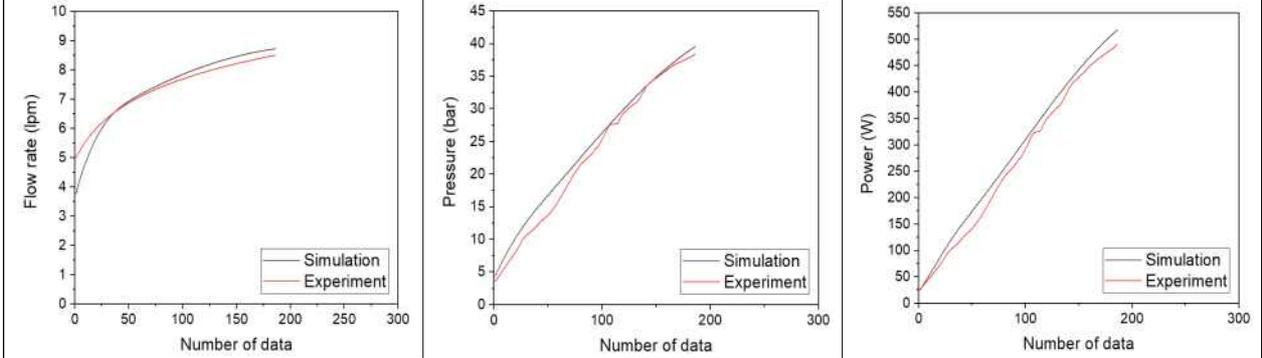
㉕ 엔진 회전속도 900 rpm 조건에 따른 시뮬레이션 모델 검증 결과

- ㉕ 트랙터 엔진 회전속도 900 rpm 조건에서 비례제어밸브의 유압 동특성 계측 결과 및 시뮬레이션 결과의 비교 결과는 다음 그림과 같으며, 이를 통해 유압동력 예측 정확도 분석을 수행함.
- ㉕ 전반적으로 조향각이 높을수록 시뮬레이션 모델의 정확도는 낮아지는 것으로 나타남.

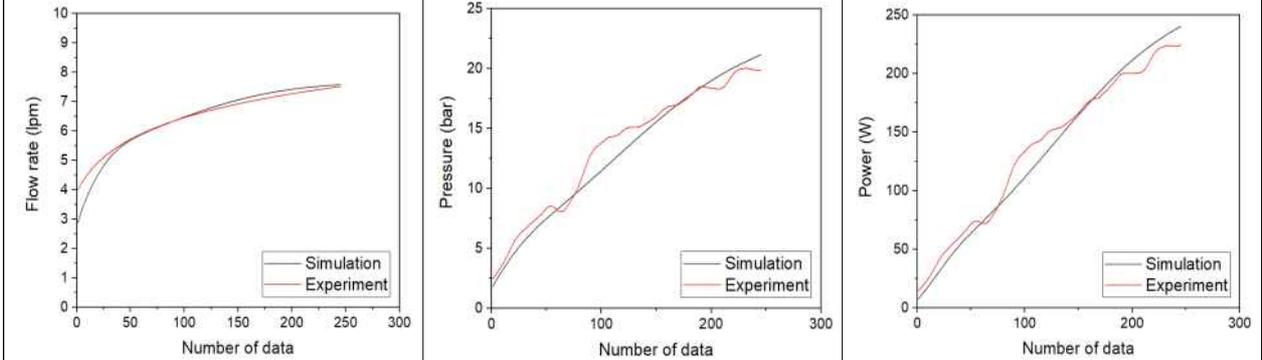




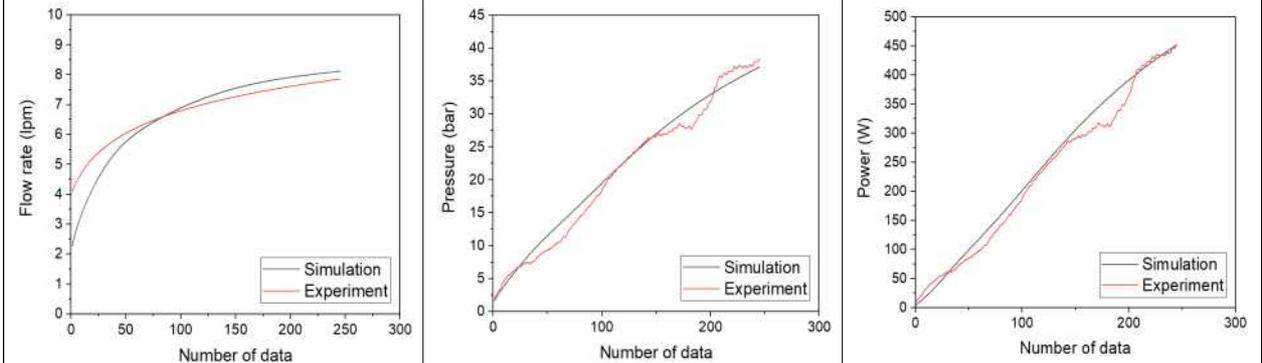
Left steering, 조향각 38° 조건의 유압 특성



Left steering, 조향각 54° 조건의 유압 특성



Right steering, 조향각 16° 조건의 유압 특성



Right steering, 조향각 38° 조건의 유압 특성

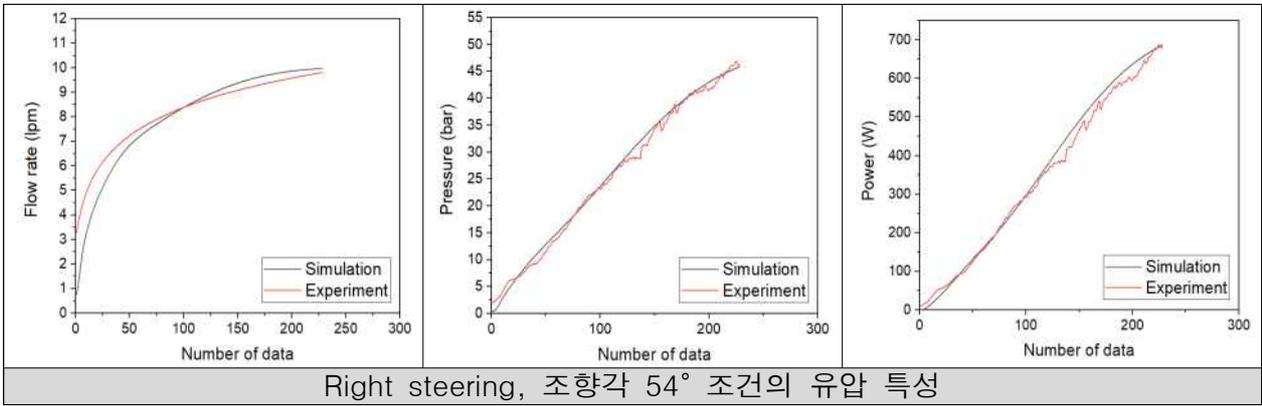


그림 191. 엔진 회전속도 900 rpm에서 조향 방향 및 조향각에 따른 비례제어밸브 유압 특성 분석 결과

- ㉔ 시뮬레이션 모델 검증은 아래 그림과 같이 실차 데이터와의 비교 분석을 통해 평가되었으며, 1:1 line을 기준으로 계측 값과 시뮬레이션 값의 비교 분석을 수행함.

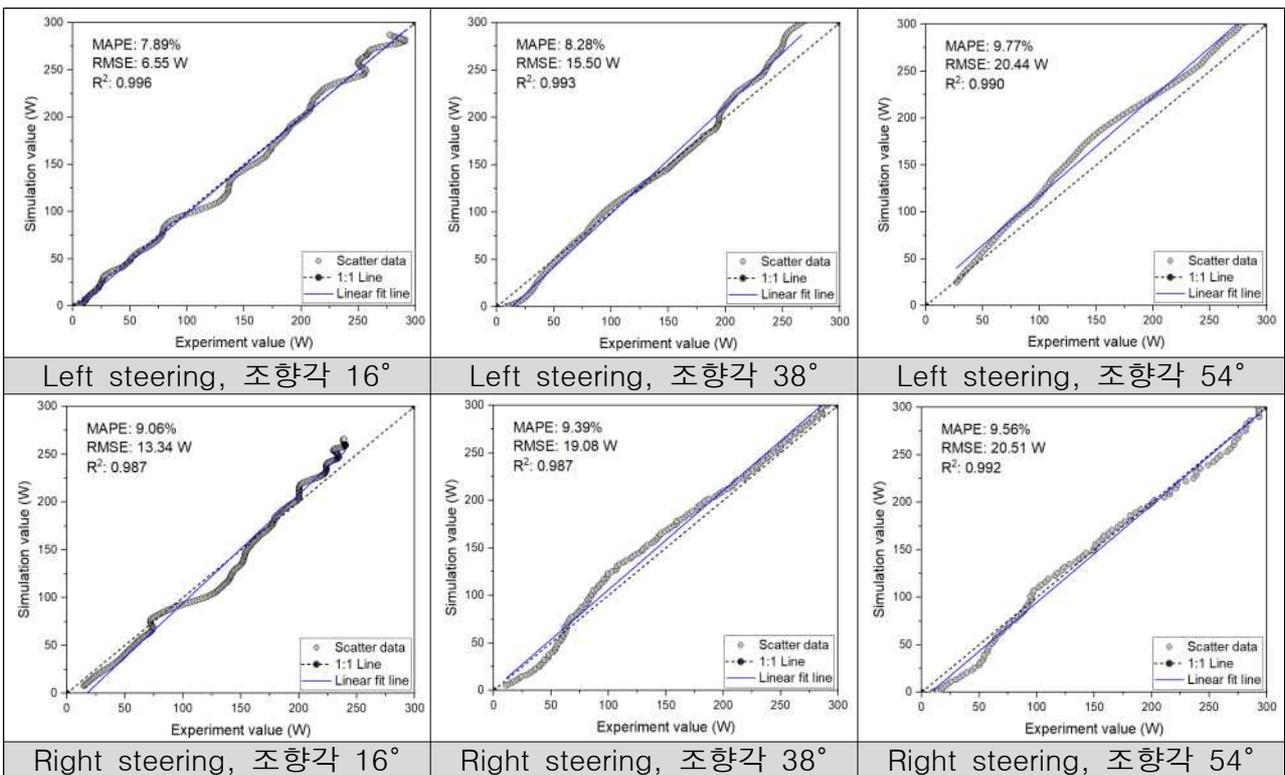


그림 192. 엔진 회전속도 900 rpm에서 계측 값을 활용한 시뮬레이션 모델 검증 결과

- ㉔ 다음 표는 900 rpm 조건에서 조향 방향 및 조향각에 따른 유압 특성 비교 결과를 나타냄. 전체적으로 시뮬레이션 모델의 정확도는 작업 조건에 따라 90.4%~92.2%의 범위로 나타남.

표 8. 엔진 회전속도 900 rpm에서 조향 방향 및 조향각에 따른 비례제어밸브 유압 특성 분석 결과

	Steering angle	Experiment			Simulation			Performance <sup>1)</sup>			
		Flow rate (lpm)	Pressure (bar)	Power (W)	Flow rate (lpm)	Pressure (bar)	Power (W)	$E_f$ <sup>2)</sup> (%)	$E_p$ <sup>3)</sup> (%)	$E_{po}$ <sup>4)</sup> (%)	$ACC_{po}$ <sup>5)</sup> (%)
LS	16	6.4/5.2*	30.4/16.1	291/140	6.5/5.1	29.7/16.0	287/138	6.19	7.19	7.89	92.1
	38	7.8/6.7	34.9/22.1	409/236	7.8/6.7	34.5/22.5	401/245	4.78	5.40	7.80	92.2
	54	8.5/7.4	38.5/23.1	491/270	8.7/7.4	39.6/24.4	518/289	3.27	9.95	9.77	90.2
RS	16	7.8/6.7	20.7/14.9	240/157	7.7/6.7	23.1/14.9	266/159	2.31	7.89	9.06	90.9
	38	8.1/7.0	40.0/24.5	482/274	8.3/7.0	41.1/25.2	511/287	5.46	7.06	9.39	90.6
	54	9.8/8.2	46.9/25.6	689/342	10.0/8.0	45.9/26.1	686/353	6.85	7.04	9.56	90.4
Averaged value								4.81	7.42	8.91	91.07

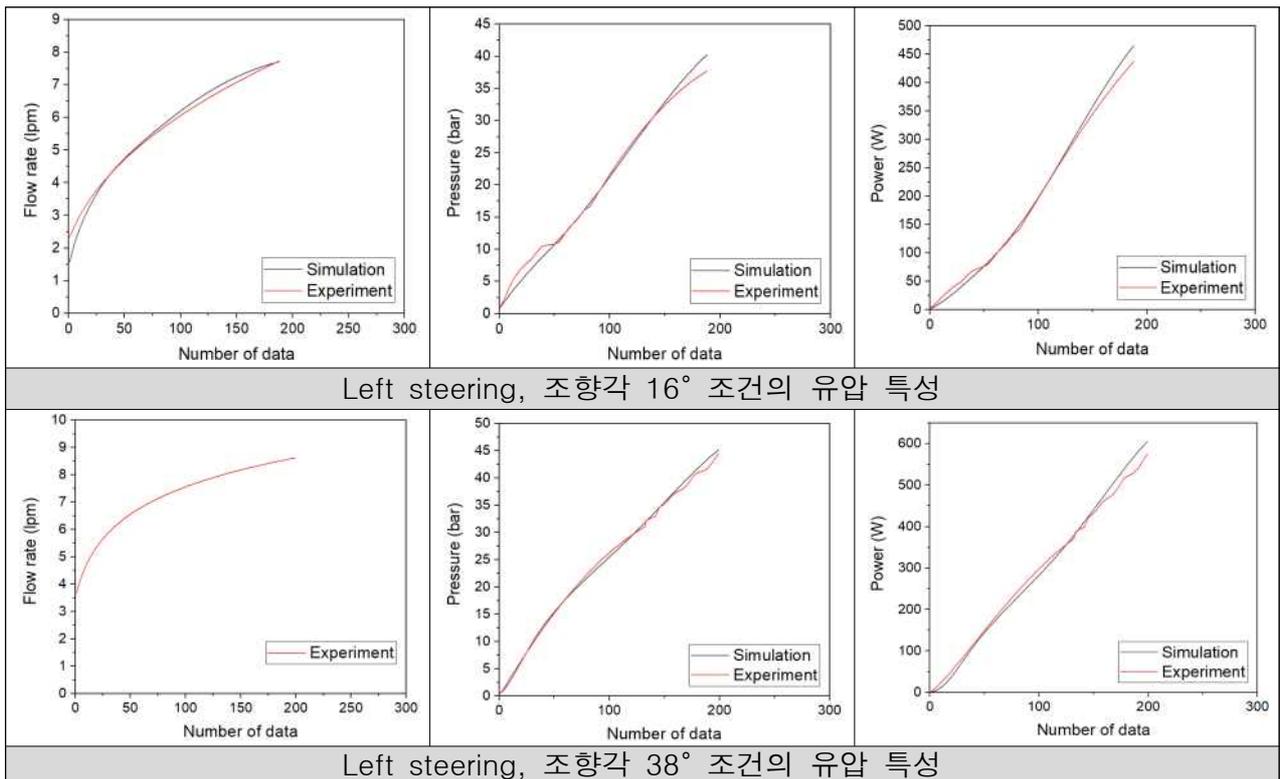
1) 시뮬레이션 결과와 벤치시험 결과의 APE (Absolute percentage error) 계산을 통한 정확도 분석,

2) 유량 절대상대오차 (%), 3) 압력 절대상대오차 (%), 4) 유압동력 절대상대오차 (%), 5) 유압동력 예측 정확도 (%)

\* Maximum/Average

㉠ 엔진 회전속도 1,400 rpm 조건에 따른 시뮬레이션 모델 검증 결과

㉠ 트랙터 엔진 회전속도 1,400 rpm 조건에서 비례제어밸브의 유압 동특성 계측 및 분석 결과는 다음 표와 같으며, 이를 통해 유압동력 예측 정확도 분석을 수행함.



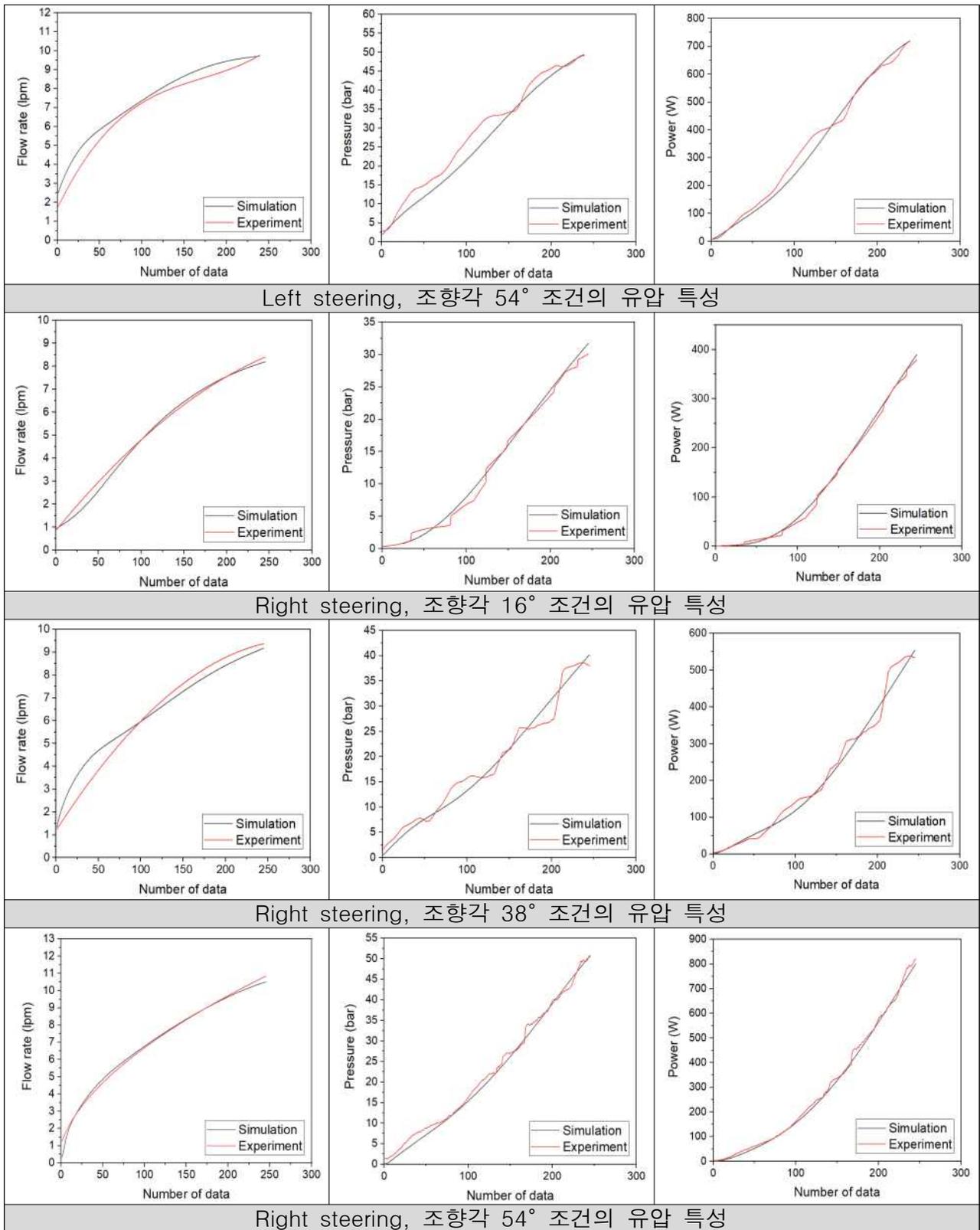


그림 193. 엔진 회전속도 1,400 rpm에서 조향 방향 및 조향각에 따른 비례제어밸브 유압 특성 분석 결과

- ㉞ 전반적으로 조향각이 높을수록 시뮬레이션 모델의 정확도는 낮아지는 것으로 나타남.
- ㉟ 다음 표는 1,400 rpm 조건에서 조향 방향 및 조향각에 따른 유압 특성 비교 결과를 나타냄. 전체적으로 시뮬레이션 모델의 정확도는 작업 조건에 따라 90.2%~91.5%의 범위로 나타남.

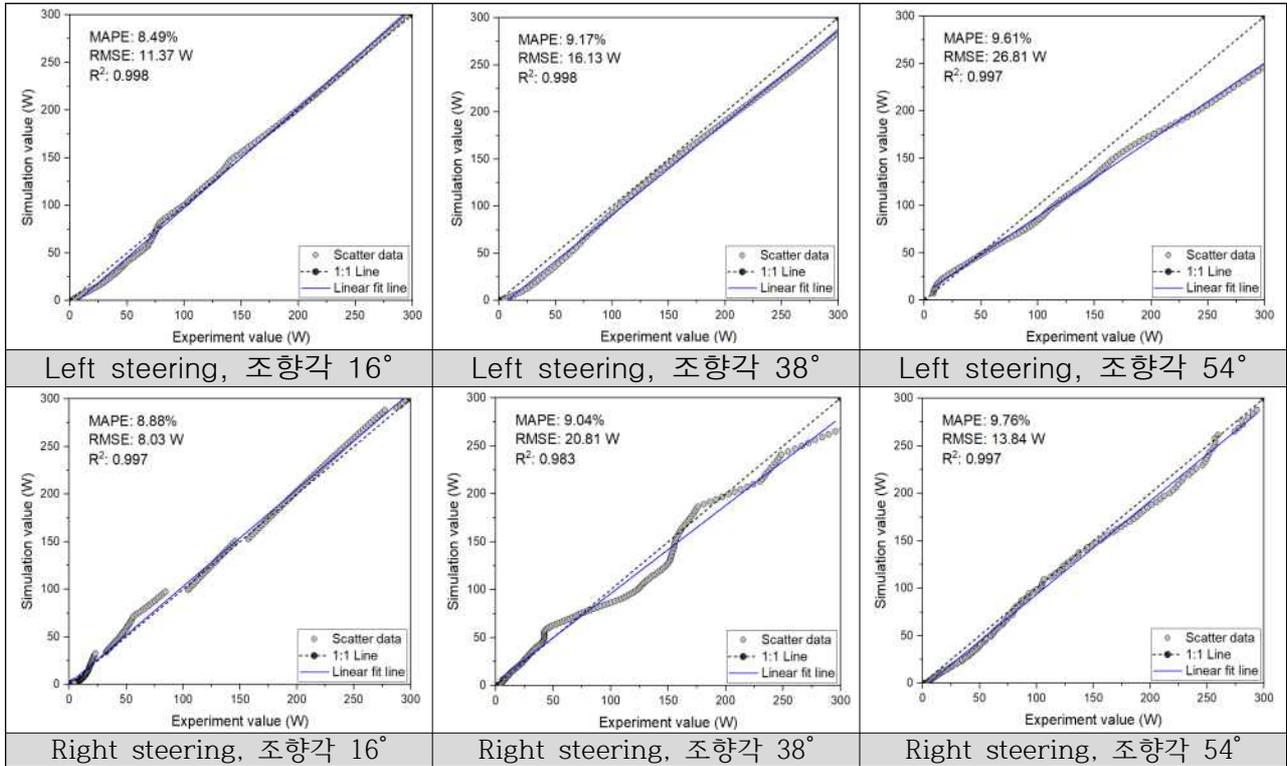


그림 194. 엔진 회전속도 1,400 rpm에서 계측 값을 활용한 시뮬레이션 모델 검증 결과

표 9. 엔진 회전속도 1,400 rpm에서 조향 방향 및 조향각에 따른 비례제어밸브 유압 특성 분석 결과

	Steering angle	Experiment			Simulation			Performance <sup>1)</sup>			
		Flow rate (lpm)	Pressure (bar)	Power (W)	Flow rate (lpm)	Pressure (bar)	Power (W)	$E_f$ <sup>2)</sup> (%)	$E_p$ <sup>3)</sup> (%)	$E_{po}$ <sup>4)</sup> (%)	$ACC_{po}$ <sup>5)</sup> (%)
LS	16	7.7/5.7*	37.7/20.7	437/199	7.7/5.7	40.3/20.6	466/203	3.07	6.59	8.49	91.5
	38	8.6/7.2	44.5/24.8	575/290	8.9/6.9	45.2/24.9	605/291	7.54	3.00	9.17	90.8
	54	9.8/7.1	49.1/29.0	718/349	9.7/7.5	49.4/26.6	720/339	8.65	11.7	9.61	90.4
RS	16	9.3/6.1	39.6/18.4	553/217	8.7/6.0	41.6/18.9	546/218	4.66	7.90	8.88	91.1
	38	9.6/6.8	46.8/22.4	671/272	9.7/6.8	48.4/22.3	707/270	9.47	10.4	9.04	91.0
	54	11.3/7.4	53.2/24.9	877/337	10.8/7.3	55.0/24.3	887/328	3.06	10.3	9.76	90.2
Averaged value								6.08	8.32	9.16	90.8

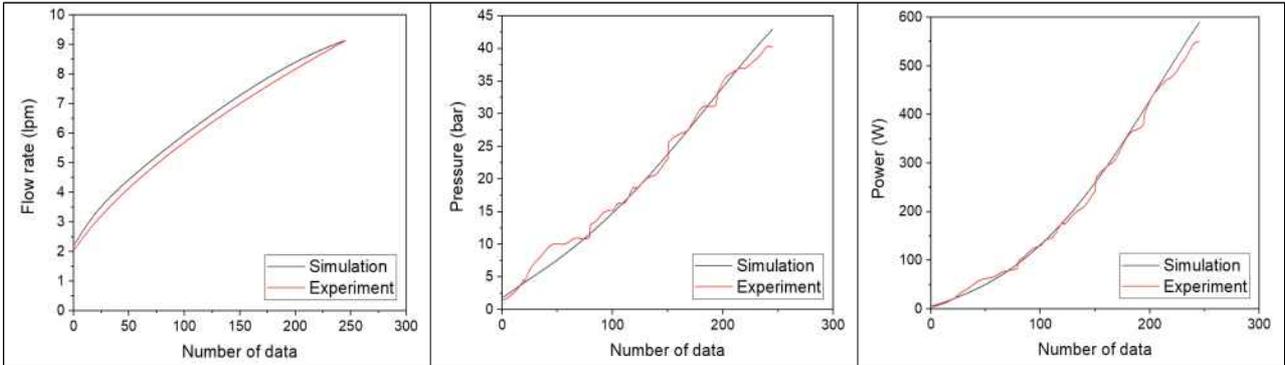
1) 시뮬레이션 결과와 벤치시험 결과의 APE (Absolute percentage error) 계산을 통한 정확도 분석.

2) 유량 절대상대오차 (%), 3) 압력 절대상대오차 (%), 4) 유압동력 절대상대오차 (%), 5) 유압동력 예측 정확도 (%)

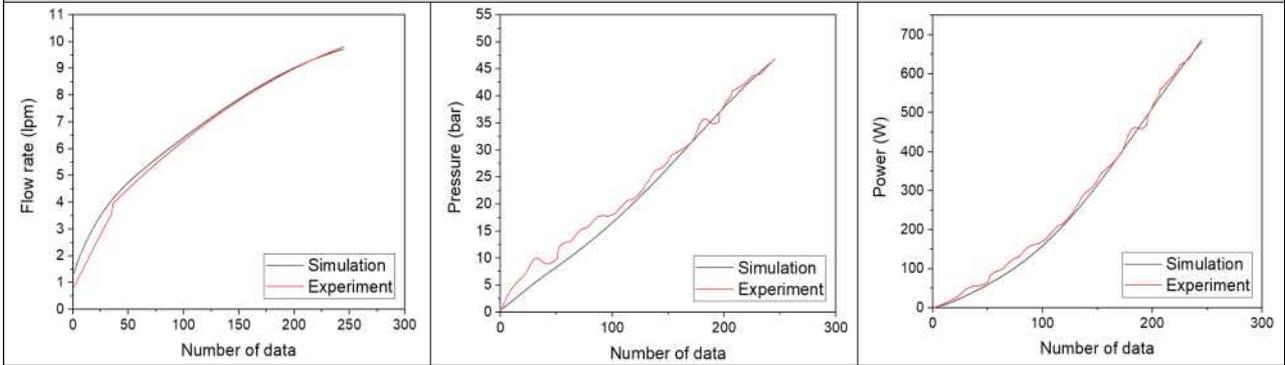
\* Maximum/Average

㉔ 엔진 회전속도 2,200 rpm 조건에 따른 시뮬레이션 모델 검증 결과

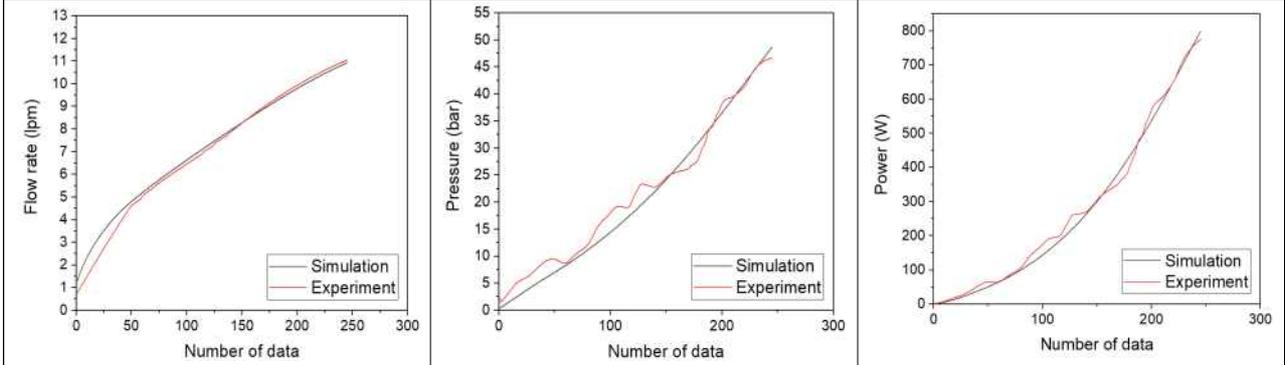
㉔ 트랙터 엔진 회전속도 2,200 rpm 조건에서 비례제어밸브의 유압 동특성 계측 및 분석 결과는 다음 표와 같으며, 이를 통해 유압동력 예측 정확도 분석을 수행함.



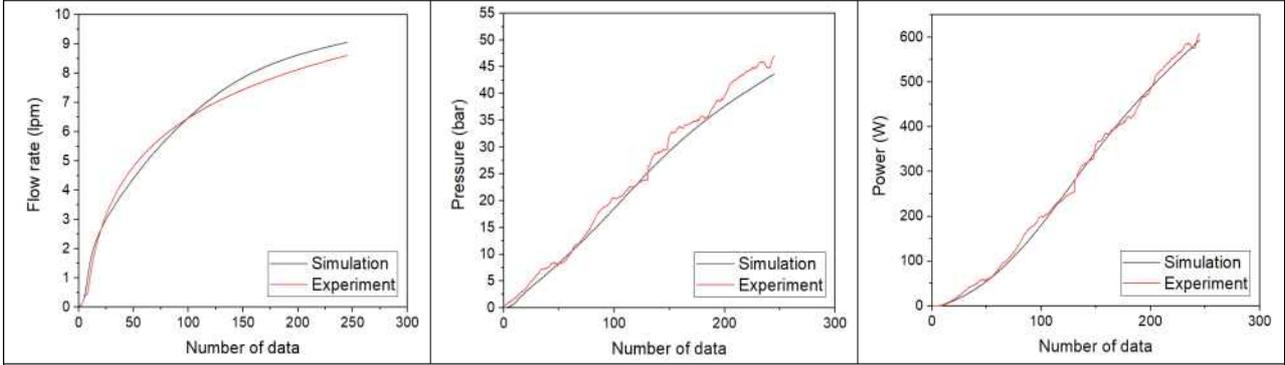
Left steering, 조향각 16° 조건의 유압 특성



Left steering, 조향각 38° 조건의 유압 특성



Left steering, 조향각 54° 조건의 유압 특성



Right steering, 조향각 16° 조건의 유압 특성

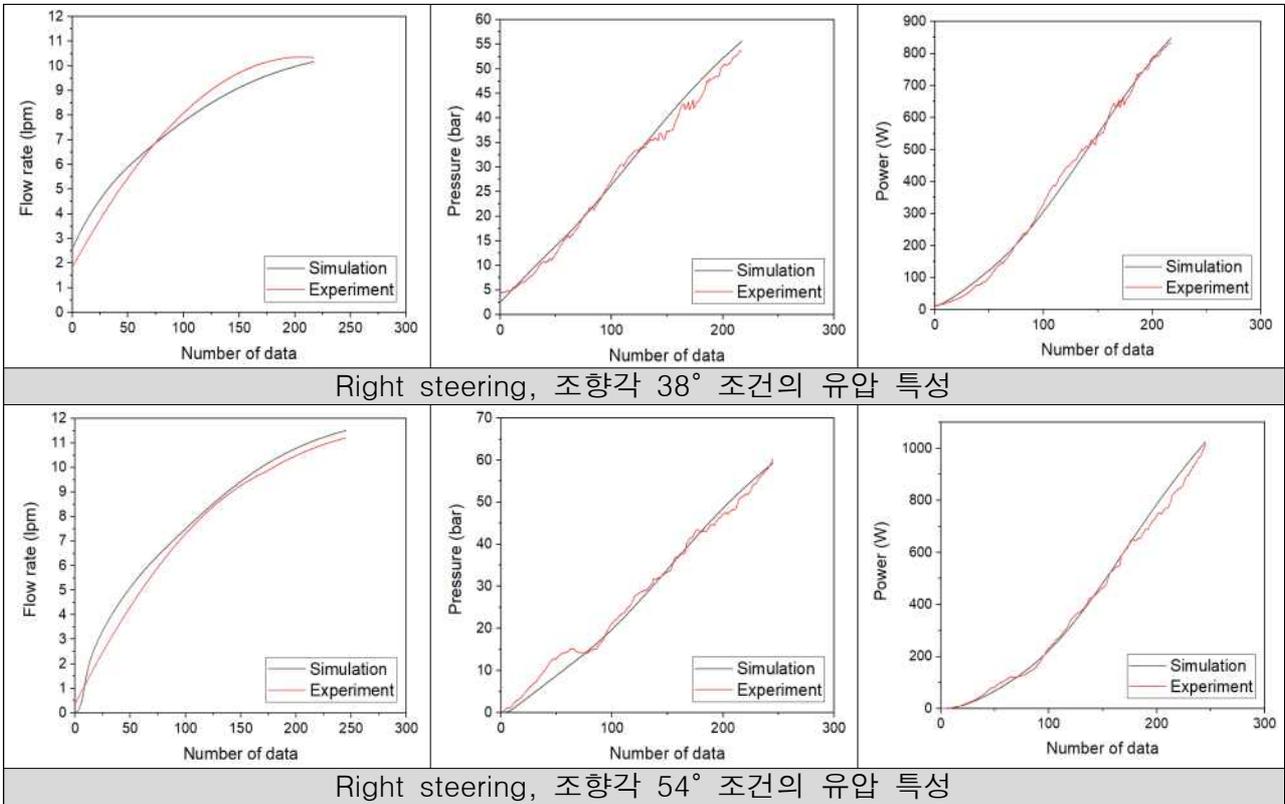


그림 195. 엔진 회전속도 2,200 rpm에서 조향 방향 및 조향각에 따른 비례제어밸브 유압 특성 분석 결과

㉑ 전반적으로 조향각이 높을수록 시뮬레이션 모델의 정확도는 낮아지는 것으로 나타남.

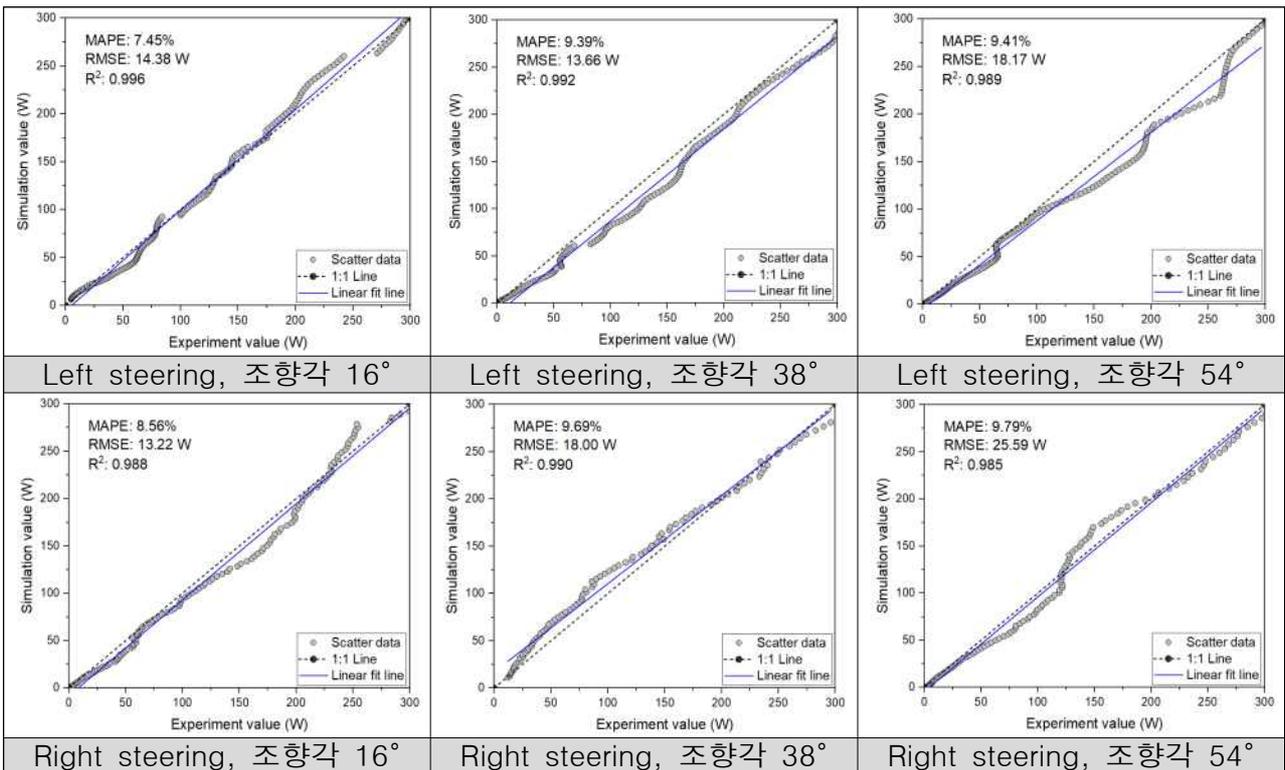


그림 196. 엔진 회전속도 2,200 rpm에서 예측 값을 활용한 시뮬레이션 모델 검증 결과

㉔ 다음 표는 2,200 rpm 조건에서 조향 방향 및 조향각에 따른 유압 특성 비교 결과를 나타냄. 전체적으로 시뮬레이션 모델의 정확도는 작업 조건에 따라 90.2%~92.6%의 범위로 나타남.

표 10. 엔진 회전속도 2,200 rpm에서 조향 방향 및 조향각에 따른 비례제어밸브 유압 특성 분석

	Steering angle	Experiment			Simulation			Performance <sup>1)</sup>			
		Flow rate (lpm)	Pressure (bar)	Power (W)	Flow rate (lpm)	Pressure (bar)	Power (W)	$E_f$ <sup>2)</sup> (%)	$E_p$ <sup>3)</sup> (%)	$E_{po}$ <sup>4)</sup> (%)	$ACC_{po}$ <sup>5)</sup> (%)
LS	16	9.7/6.5*	46.8/23.0	678/265	9.4/6.7	47.6/22.9	674/271	4.45	7.60	7.45	92.6
	38	10.3/7.1	52.2/27.4	809/345	10.1/7.2	52.3/26.1	790/335	5.94	12.1	9.39	90.6
	54	11.8/7.7	58.1/26.6	1027/377	11.7/7.8	59.1/25.9	1033/372	6.87	13.0	9.41	90.6
RS	16	8.9/6.6	48.6/27.4	648/318	9.4/6.8	48.5/25.9	682/316	6.74	9.85	8.56	91.4
	38	10.4/7.7	53.7/28.2	833/380	10.2/7.6	55.6/29.2	848/380	8.51	6.28	9.69	90.3
	54	11.4/7.7	63.5/30.6	1084/438	11.7/8.1	63.0/30.0	1105/448	9.59	12.6	9.79	90.2
Averaged value								7.02	10.2	9.05	91.0

1) 시뮬레이션 결과와 벤치시뮬 결과의 APE (Absolute percentage error) 계산을 통한 정확도 분석.

2) 유량 절대상대오차 (%), 3) 압력 절대상대오차 (%), 4) 유압동력 절대상대오차 (%), 5) 유압동력 예측 정확도 (%)

\* Maximum/Average

### ㉔ 시뮬레이션 모델 검증 종합 분석 결과

- 트랙터 엔진 회전속도, 조향 방향, 조향각에 따른 트랙터 자동조향용 비례제어밸브의 동특성 분석을 통한 유압동력 예측 정확도 평가 결과는 다음 표와 같음
- 유압동력 시뮬레이션 정확도는 실차 조건에서 수집된 각 조건별 유압 동력과 시뮬레이션 모델을 통한 유압 동력의 비교를 통하여 계산됨
- 본 과제의 정량적 목표항목인 유압동력 시뮬레이션 정확도는 90%로, 본 연구에서는 각 작업조건별로 시뮬레이션 정확도가 90.2%~92.6% 수준으로 다르게 나타남. 이는, 목표 대비 달성도로 환산할 때, 약 100.2%~102.8% 수준으로써 목표 대비 달성도는 충족한 것으로 판단됨

표 11. 본 과제의 정량적 목표와 작업조건별 정량적 목표 대비 달성도 평가 결과

Operating conditions			본 과제의 목표	본 연구 결과 (시뮬레이션 정확도)	목표 대비 달성도
RPM	Direction	Steering angle			
900	LS	16	90%	92%	102%
		38		92%	102%
		54		90%	100%
	RS	16		91%	101%
		38		91%	101%
		54		90%	100%
1,400	LS	16		92%	102%
		38		91%	101%
		54		90%	100%
	RS	16		91%	101%
		38		91%	101%
		54		90%	100%
2,200	LS	16		93%	103%
		38		91%	101%
		54		91%	101%
	RS	16		91%	102%
		38		90%	100%
		54		90%	100%
Averaged value				91%	101%

- ③ 시뮬레이션 해석 결과 활용을 통한 자동조향 유압시스템 성능 최적화
  - ㉞ 시뮬레이션 모델의 입력 변수 및 요소 부품 제원 변경에 따른 자동조향 유압 시스템의 성능 최적화 사양 도출
    - Ⓐ 비례제어밸브 최적화 파라미터 정의
      - ㉠ 본 연구개발과제의 B/M 사양 및 1, 2차년도 비례제어밸브 개발 목표 사양 분석.
        - ㉡ 자동 조향밸브의 조정 가능 사양은 펌프 공급유량, relief valve 작동압력, priority valve 토출유량, 스푼 작동 위치 총 4가지로 자세한 제원은 아래 표와 같음.

표 12. 자동조향용 비례제어밸브 사양

항목	B/M 사양	1차년도	2차년도 (최종 개발 목표)
공급유량	60 lpm	50 lpm	60 lpm
릴리프밸브 작동압력	150 bar (@25 lpm)	190 bar (@25 lpm)	210 bar (@25 lpm)
제어유량 (Priority valve 토출유량)	17 lpm	20 lpm	25 lpm
작동 spool의 위치	-4 to 4 mm	-4 to 4 mm	-4 to 4 mm

- ㉢ 시뮬레이션 해석은 펌프 공급유량, relief valve 작동압력, priority valve 제어유량을 조정하여 수행함.

- ㉔ Spool의 작동위치는 시뮬레이션 SW에서 단위가 없는 무차원 값으로 적용되기 때문에, Spool의 작동위치가 결과에 영향을 미치지 않기 때문에 해석 대상에서 제외함.

㉑ 최적화 프로세스

- ㉒ 선행연구에 따른 최적화 사양 평가 지표 선정

- ㉓ 비례제어밸브 최적화 성능 평가를 위해 선행연구<sup>1)</sup>에서 사용된 유압시스템의 성능 평가 지표(Max. overshoot 및 Settling time)를 채택함.

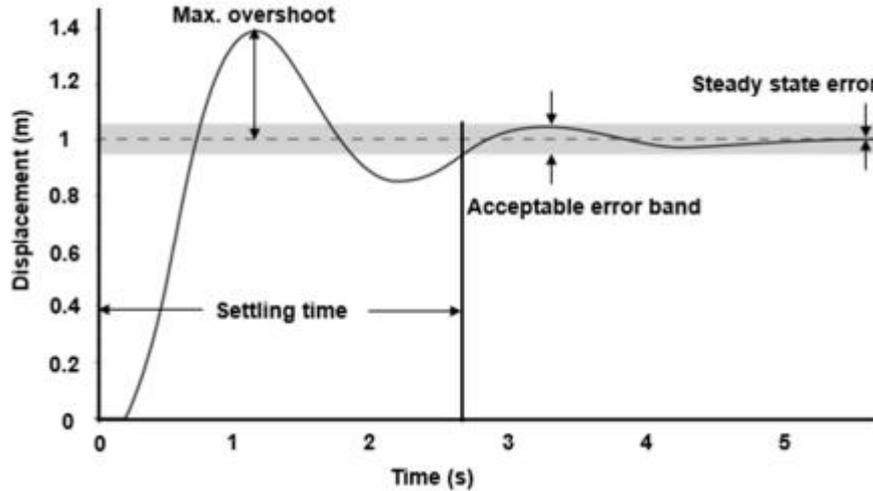


그림 197. 유압시스템 성능평가 지표 (Siddique, 2019)

- ㉔ Overshoot 는 아래와 같은 공식을 통해 산출함.

$$Overshoot = \frac{M_p - F_v}{F_v} \times 100\%$$

where,  $M_p$  is the max value of the response

$F_v$  is the final value of the response

- ㉕ Settling time은 제어 신호에 따른 응답이 acceptable error band 내에 정착하는데 필요한 시간을 의미함.
- ㉖ Acceptable error band는 선행연구에 따라 final value의  $\pm 2\%$ 로 설정.
- ㉗ Main valve 유량 및 압력 응답의 overshoot, settling time, final value 를 평가지표로 선정하여 비례제어밸브의 최적화 사양을 도출하는데 사용함.

㉑ 분석 결과

- ㉒ 시뮬레이션을 통한 펌프 공급유량 최적화 사양 도출

- ㉓ 자동조향 유압 시스템의 펌프 공급유량에 대해 50, 60, 70 lpm의 3

1) Md. Abu Ayub, Siddique. 2019. Simulation model of the automatic planting depth system for rice transplanter using proportional valve. Master's thesis. Chungnam National University.

수준에서 시뮬레이션을 수행하였음.

- ② 입력 사양에 대한 결과는 priority valve의 제어유량, main valve의 유량 및 작동압력 데이터를 통해 평가하였음.
- ③ 시뮬레이션 모델은 펌프 공급유량이 60 lpm일 때 priority valve 제어 유량이 25 lpm으로 나타나도록 설정하였음.
- ④ 펌프 공급유량 50 lpm 조건일 때 priority valve 제어유량 및 main valve 유량, 작동압력은 다음과 같이 나타났음.

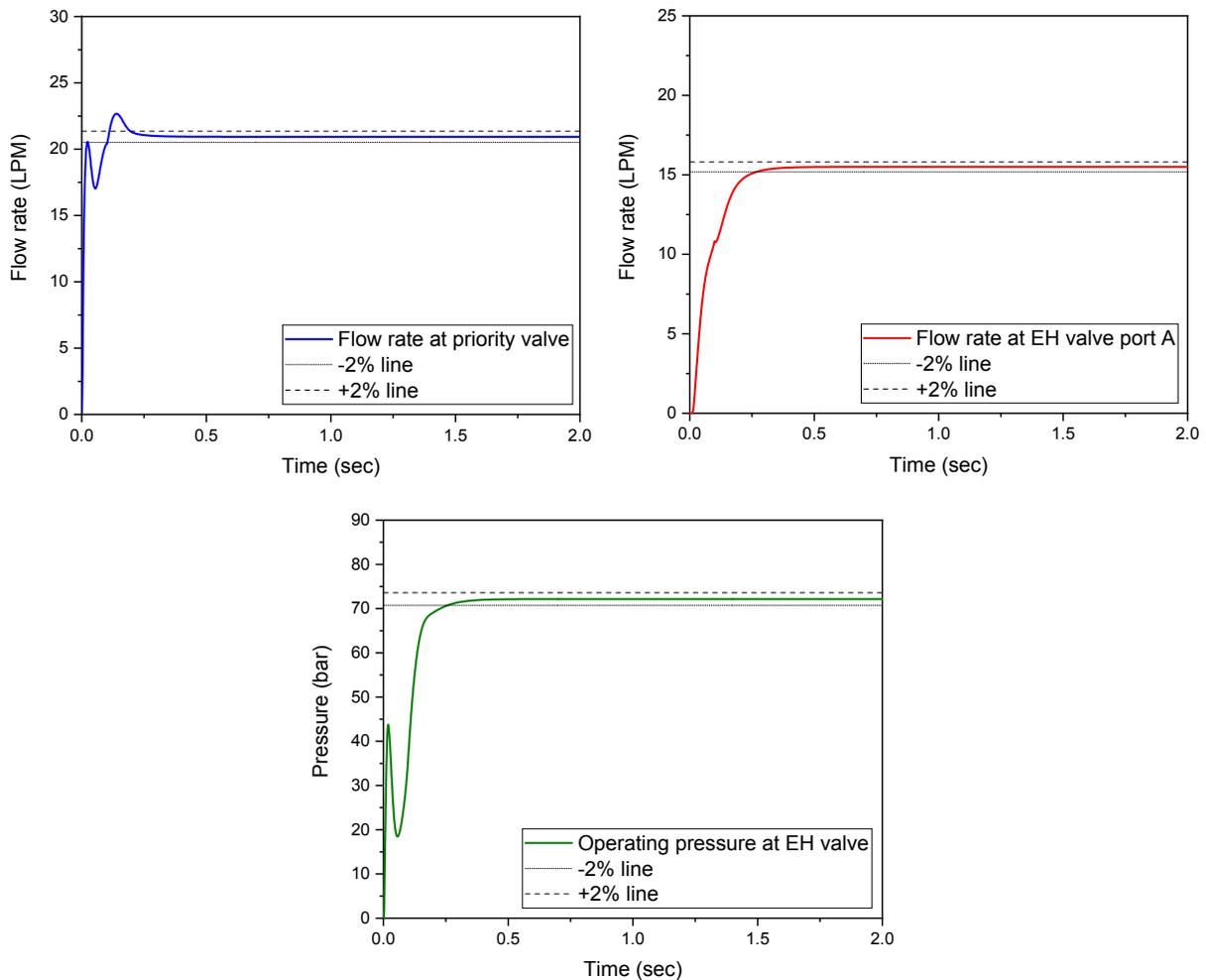


그림 198. 펌프 공급유량 50 lpm 조건에서의 시뮬레이션 주요 동특성 결과

- 제어 유량은 priority valve의 작동을 통해 main valve에 공급되는 유량의 총량으로 구하였음.
- Priority valve를 통해 main valve로 공급되는 유량의 final value는 20.94 lpm으로 나타났음.
- 제어 유량의 max value는 22.67 lpm으로 나타났으며, overshoot 는 8.3%,  $\pm 2\%$  까지의 settling time 은 0.195 sec로 나타났음.
- Main valve의 토출 유량은 스톱 이동방향 (0 to -1)을 고려하여 밸브 포트 A에서의 토출 유량을 구함.
- Main valve 유량의 final value는 15.50 lpm으로 나타났음
- Main valve의 유량 응답에선 overshoot가 발생하지 않으며,  $\pm 2\%$  까

지의 settling time 은 0.269 sec로 나타났음.

- Main valve 작동압력의 final value는 72.16 bar로 나타났음
- Main valve의 압력 응답에선 overshoot가 발생하지 않으며,  $\pm 2\%$  까지의 settling time 은 0.256 sec로 나타났음.

㉔ 펌프 공급유량 60 lpm 조건일 때 priority valve 제어유량 및 main valve 유량, 작동압력은 다음과 같이 나타났음.

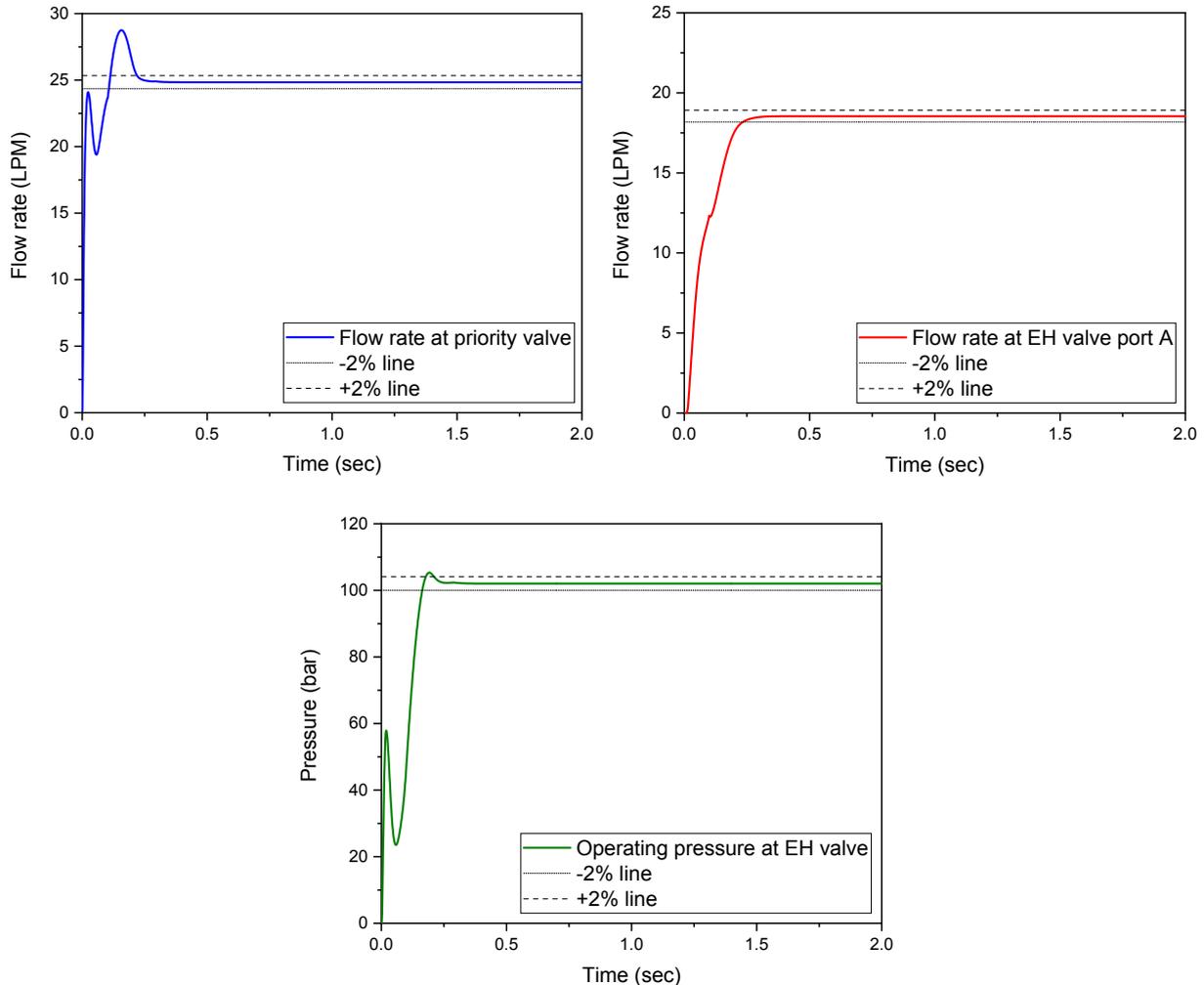


그림 199. 펌프 공급유량 60 lpm 조건에서의 시뮬레이션 주요 동특성 결과

- Priority valve를 통해 main valve로 공급되는 유량의 final value는 24.84 lpm으로 나타났음.
- 제어 유량의 max value는 28.75 lpm으로 나타났으며, overshoot 는 28.8%,  $\pm 2\%$  까지의 settling time 은 0.220 sec로 나타났음.
- Main valve 유량의 final value 는 18.54 lpm 로 나타났음
- Main valve의 유량 응답에선 overshoot가 발생하지 않으며,  $\pm 2\%$  까지의 settling time 은 0.233 sec로 나타났음.
- Main valve 작동압력의 final value는 102.03 bar로 나타났음
- 작동압력의 max value는 105.32 lpm으로 나타났으며, overshoot 는 3.2%,  $\pm 2\%$  까지의 settling time은 0.211 sec로 나타났음.

㉕ 펌프 공급유량 70 lpm 조건일 때 priority valve 제어유량 및 main

valve 유량, 작동압력은 다음과 같이 나타났음.

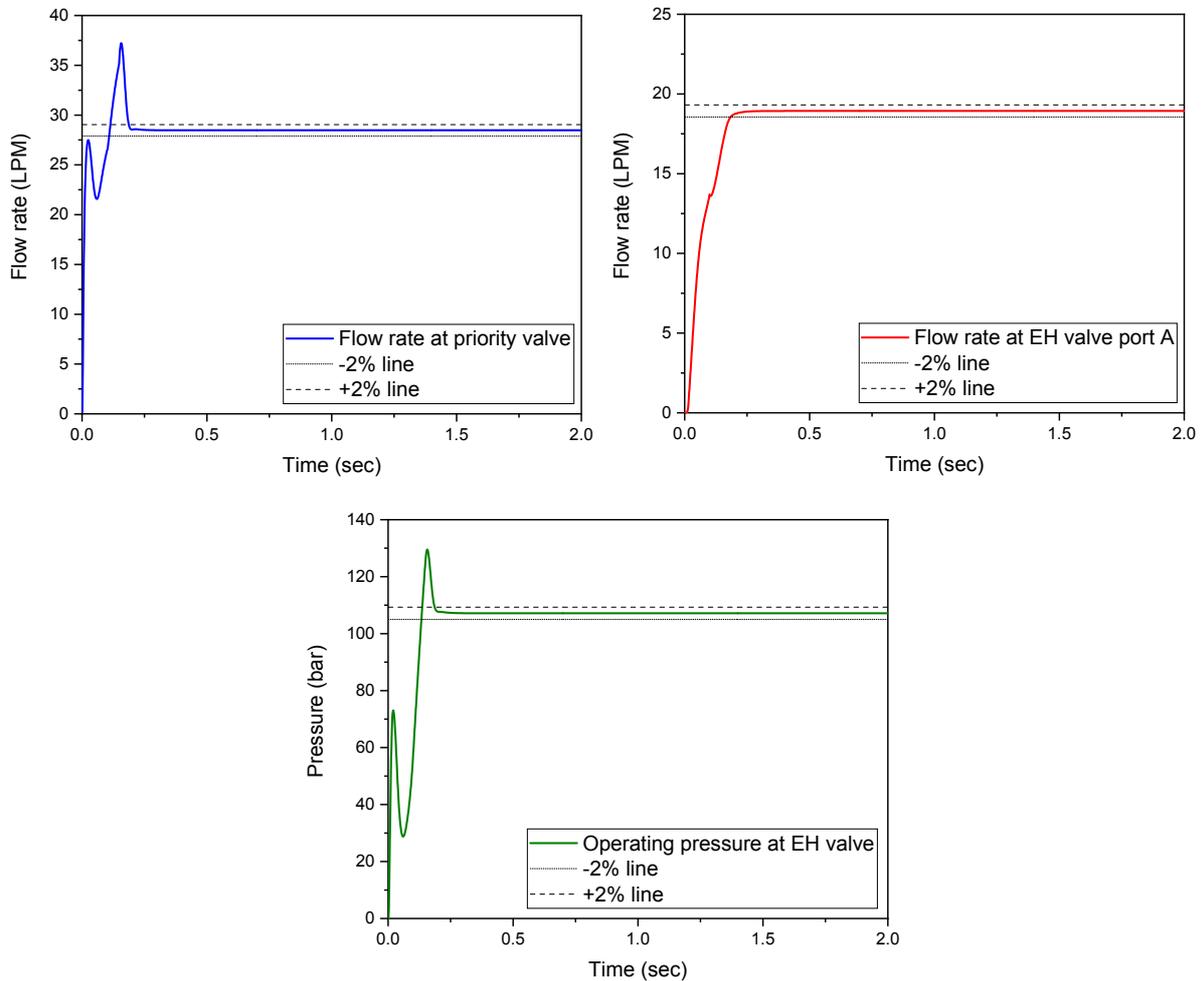


그림 200. 펌프 공급유량 70 lpm 조건에서의 시뮬레이션 주요 동특성 결과

- Priority valve를 통해 main valve로 공급되는 유량의 final value는 28.47 lpm으로 나타났음.
- 제어 유량의 max value는 37.22 lpm으로 나타났으며, overshoot 는 37.2%,  $\pm 2\%$  까지의 settling time 은 0.187 sec로 나타났음.
- Main valve 유량의 final value는 18,93 lpm으로 나타났음
- Main valve의 유량 응답에선 overshoot가 발생하지 않으며,  $\pm 2\%$  까지의 settling time 은 0.184 sec로 나타났음.
- Main valve 작동압력의 final value는 107.15 bar로 나타났음
- 작동압력의 max value는 129.53 lpm으로 나타났으며, overshoot 는 20.9%,  $\pm 2\%$  까지의 settling time 은 0.187 sec로 나타났음.

⑨ 펌프 공급유량별 시뮬레이션 결과에 따른 최적 사양 선정

표 12. 펌프 공급유량에 따른 주요 시뮬레이션 결과

Pump flow rate (lpm)	Items	Final value	Max. value	Overshoot (%)	Settling time (sec)
50	Priority valve control flow rate (lpm)	20.94	22.67	8.3	0.195
	Main valve flow rate (lpm)	15.50	15.50	0.0	0.269
	Main valve pressure (bar)	72.16	72.16	0.0	0.256
60	Priority valve control flow rate (lpm)	24.84	28.75	28.8	0.220
	Main valve flow rate (lpm)	18.54	18.54	0.0	0.233
	Main valve pressure (bar)	102.03	105.32	3.2	0.211
70	Priority valve control flow rate (lpm)	28.47	37.22	37.2	0.187
	Main valve flow rate (lpm)	18.93	18.93	0.0	0.184
	Main valve pressure (bar)	107.15	129.53	20.9	0.187

- 펌프 공급유량에 따른 Priority valve 제어 유량은 펌프 공급유량 50, 60, 70 lpm 일 때 각각 20.94, 24.84, 28.47 lpm으로 나타남. 펌프 공급유량이 60 lpm 일 때 제어 유량의 target value인 25 lpm과 가장 근접하게 나타났음.
- 펌프 공급유량을 60 lpm에서 50 lpm으로 감소 시켰을 때, 제어 유량의 settling time은 감소하나, main valve의 출력 유량 및 작동압력에 대한 settling time이 증가하는 것으로 나타남.
- 또한, 펌프 공급 유량 60 lpm에서 50 lpm으로 감소 시 main valve 유량이 16.4% 감소하였음. 이전 계측 실험 결과에 따르면 이상적인 트랙터 제어 시 유량 최대값이 약 13 lpm 수준으로 나타났으나, 펌프 공급 유량 50 lpm 조건에서는 main valve 최대 개방시 유량이 15.5 lpm으로 나타나 트랙터 실제 가동시 main valve의 공급 유량 부족이 우려됨.
- 펌프 공급유량을 60 lpm에서 70 lpm으로 증가시켰을 때, 제어 유량 및 작동 압력의 overshoot 가 증가하였고, 특히 작동압력의 overshoot 가 크게 증가함.
- 그에 반해 main valve의 유량 및 압력은 각각 2.1%, 1.0% 증가하여 펌프 공급유량을 증가시켰을 때 얻을 수 있는 main valve 유량 및 압력의 이득보다, 압력의 overshoot 상승으로 인한 위험이 더 큰 것으로 판단됨.
- 펌프 토출 유량의 최적화 사양은 60 lpm으로 판단됨.

㉔ 시뮬레이션을 통한 priority valve 제어유량 최적화 사양 도출

- ㉑ 자동조향 유압 시스템의 제어유량에 대해 20, 25, 30 lpm의 3 수준에서 시뮬레이션을 수행하였음.
- ㉒ 펌프 공급유량 60 lpm, priority valve 제어유량을 20 lpm 조건일 때 priority valve 제어유량 및 main valve 유량, 작동압력은 다음과 같이 나타났음.

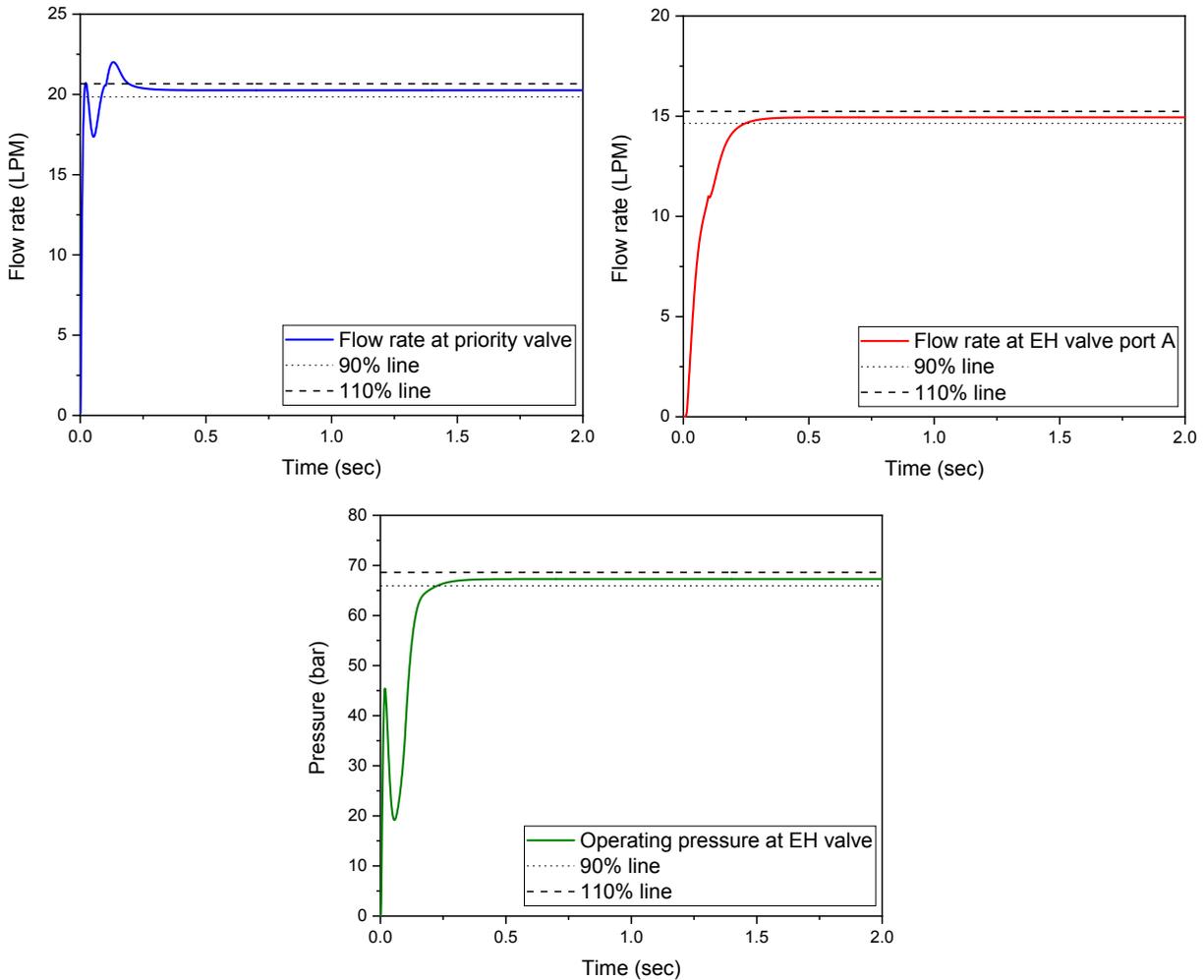


그림 201. 제어유량 20 lpm 조건에서의 시뮬레이션 주요 동특성 결과

- Priority valve를 통해 main valve로 공급되는 유량의 final value는 20.26 lpm으로 나타났음.
- 제어 유량의 max value 는 22.01 lpm으로 나타났으며, overshoot 는 8.7%,  $\pm 2\%$  까지의 settling time 은 0.193 sec로 나타났음.
- Main valve 유량의 final value 는 14.94 lpm으로 나타났음
- Main valve의 유량 응답에선 overshoot가 발생하지 않으며,  $\pm 2\%$  까지의 settling time 은 0.248 sec로 나타났음.
- Main valve 작동압력의 final value 는 67.27 bar로 나타났음
- Main valve의 압력 응답에선 overshoot가 발생하지 않으며,  $\pm 2\%$  까지의 settling time 은 0.226 sec로 나타났음.

㉔ 펌프 공급유량 60 lpm, priority valve 제어유량을 30 lpm 조건일 때 priority valve 제어유량 및 main valve 유량, 작동압력은 다음과 같이 나타났음.

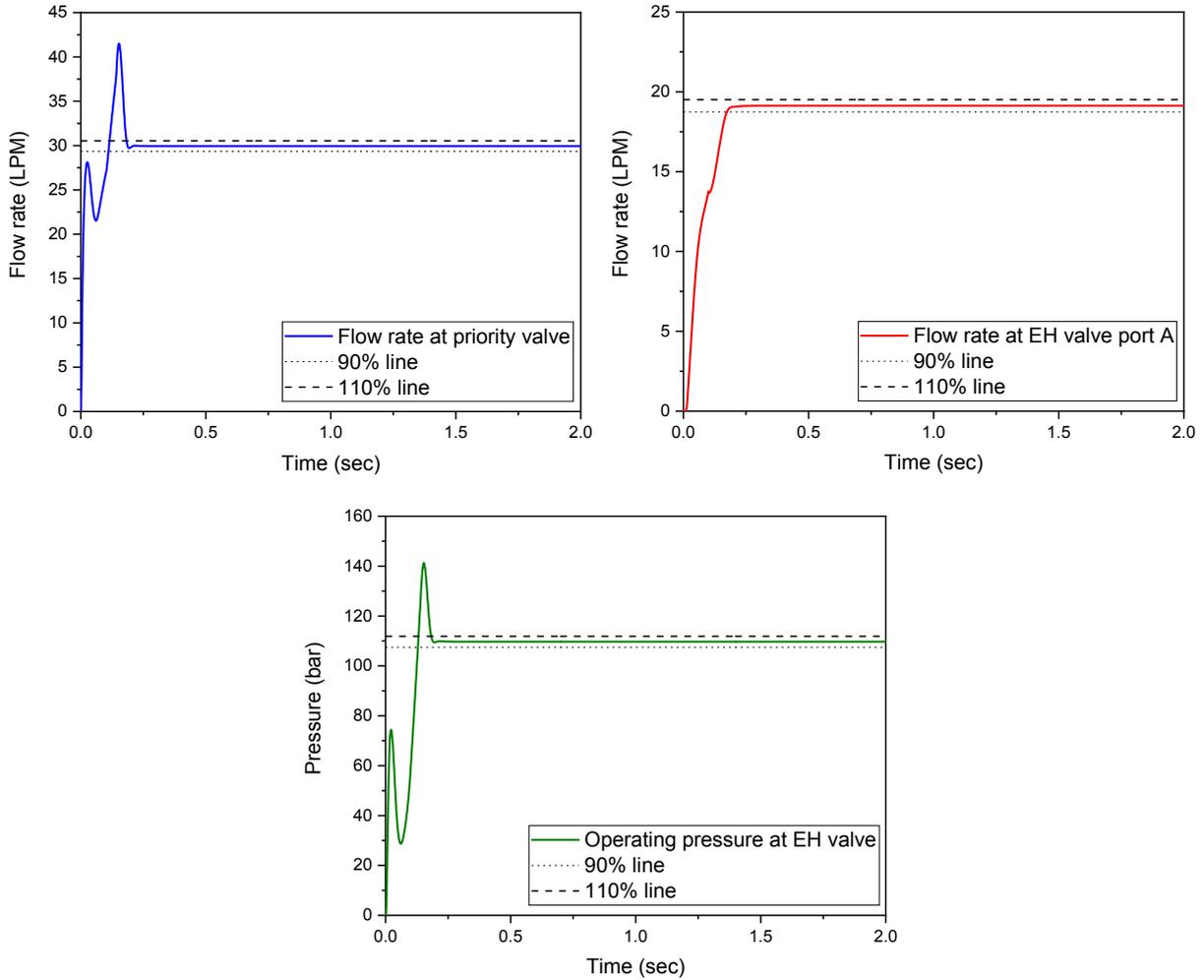


그림 202. 제어유량 30 lpm 조건에서의 시뮬레이션 주요 동특성 결과

- Priority valve를 통해 main valve로 공급되는 유량의 final value는 29.93 lpm으로 나타났음.
- 제어 유량의 max value는 41.50 lpm으로 나타났으며, overshoot 는 38.6%,  $\pm 2\%$  까지의 settling time 은 0.183 sec로 나타났음.
- Main valve 유량의 final value는 18,93 lpm으로 나타났음
- Main valve의 유량 응답에선 overshoot가 발생하지 않으며,  $\pm 2\%$  까지의 settling time 은 0.174 sec로 나타났음.
- Main valve 작동압력의 final value는 109.69 bar로 나타났음
- 작동압력의 max value는 141.25 bar로 나타났으며, overshoot 는 28.8%,  $\pm 2\%$  까지의 settling time 은 0.183 sec로 나타났음.

㉕ 제어유량 조건별 시뮬레이션 결과에 따른 최적 사양 선정

표 13. 제어유량에 따른 주요 시뮬레이션 결과

Control target flow rate (lpm)	Items	Final value	Max. value	Overshoot (%)	Settling time (sec)
20	Main valve flow rate (lpm)	14.94	14.94	0.0	0.248
	Main valve pressure (bar)	67.27	67.27	0.0	0.226
25	Main valve flow rate (lpm)	18.54	18.54	0.0	0.233
	Main valve pressure (bar)	102.03	105.32	3.2	0.211
30	Main valve flow rate (lpm)	18.93	18.93	0.0	0.174
	Main valve pressure (bar)	109.69	141.25	28.8	0.183

- Priority valve의 제어 유량이 증가할수록 settling time 이 감소하는 것으로 나타남.
- 제어 유량이 20 lpm일 때, main valve 유량이 14.94 lpm 으로 나타나 이전 계측 데이터와 비교하여 트랙터 실 제어 시 공급 유량 부족이 우려됨.
- 제어유량을 25 lpm에서 30 lpm으로 증가 시켰을 때, main valve의 유량 및 압력은 각각 3.2%, 7.5% 증가하였으나, main valve 압력의 overshoot 가 28.8%로 크게 증가함.
- 제어 유량을 30 lpm으로 증가시켰을 때 얻을 수 있는 main valve 유량 및 압력의 이득보다, 압력의 overshoot 상승으로 인한 위험이 더 큰 것으로 판단됨.
- Priority valve 제어유량은 2차년도 사양인 25 lpm 이 가장 적합한 것으로 판단됨.

㉔ 시뮬레이션을 통한 Relief valve 압력 최적화 사양 도출

- ㉔a Relief valve 작동 압력 최적화를 위해 각각 작동 압력을 150, 180, 210, 240 bar로 설정하여 시뮬레이션을 수행함.
- ㉔b 트랙터 바퀴가 최대 조향각에 도달 시 스티어링 실린더 내부에 작동유가 가득차게 되고, 작동유는 비압축성 특성 상 main valve의 토출 방향 포트에 대해 큰 압력을 가하게 됨
- ㉔c Relief valve의 작동 압력은 최대 조향이 수행되거나, 또는 고장 등의 사유로 인해 압력이 급증할 때 유압 시스템의 보호를 위해 설정됨
- ㉔c Relief valve의 작동압력을 각 150, 180, 210, 240 bar로 두고 시뮬레이션을 수행하였을 때, main valve의 유량에는 영향을 끼치지 않는 것으로 나타남.
- ㉔d Relief valve의 작동압력 각 150, 180, 210, 240 bar에 따른 main

valve의 작동 압력은 각 173.5, 200.4, 227.7, 255.3 bar 로 나타남.

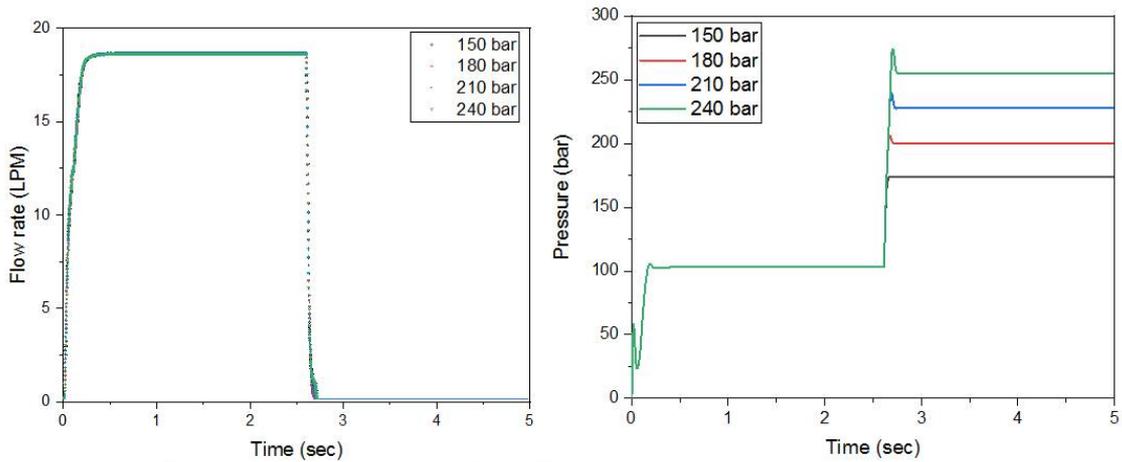


그림 203. Relief valve 작동 압력에 따른 main valve 유량 및 압력 결과

㉔ Relief valve의 작동압력 증가에 따라, Main valve의 작동압력은 비례적으로 증가하는 개형을 보였으며, 이때 relief valve의 작동으로 인하여, 유량은 tank 방향으로 흐르기 때문에 Main valve의 유량은 0으로 나타남. 따라서, relief valve 압력은 주관기관의 설계사양대로 반영해도 무방할 것으로 판단됨.

㉕ 최적화 사양 도출 종합 결과

- ㉑ 비례제어밸브 최적화 사양 도출을 위해 펌프 공급유량 3수준 (50, 60, 70 lpm), priority valve 제어 유량 3수준 (20, 25, 30 lpm) 및 relief valve 압력 4수준 (150, 180, 210, 240 bar)에 대한 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과 최적화 사양을 도출하였음.
- ㉒ 펌프 공급유량은 60 lpm, priority valve 제어 유량은 25 lpm이 최적값으로 제시되었으며 relief valve 작동 압력은 210 bar 적용이 가능함.

### 3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

#### 1) 연구수행 결과

##### (1) 정성적 연구개발성과

---

###### [기술적 성과]

현재 75kW(100hp급) 미만 트랙터의 경우 세계 시장에서 국내 제품은 품질은 선진국 대비 낮고 가격은 크게 차이가 나지 않아 판매에 장애요인이 되고 있으며, 특히 인도, 중국과 같은 기술후발 국가들의 저가 판매 정책으로 국내 농업기계업체의 판매 신장에 상당한 영향을 받고 있음. 이를 해소하는 근본적인 방법은 원천 기술 확보로 기술후발 국가와의 기술차별로 품질 우위 확보 및 기술후발 국가의 저가공세에 기술적 차별성으로 대응하는 것이다.

이러한 시점에서 “스마트 자동 조향 시스템”을 개발함으로써 선진국과의 기술 격차를 좁히고 기술후발 국가와의 기술적 차별성을 가져와 시장경쟁력을 확보 할 수 있을 것으로 판단됨.

###### [경제적 성과]

“스마트 자동 조향 시스템”에 대해서는 자동차 업체를 제외하고는 핵심 기술 부재 및 부품업체의 영세, 전문 연구 인력부족으로 인하여 자체 신기술 접목, 고급 기술 선행연구 개발이 불가능한 상황임. 본 과제를 통해 참여기업의 농기계 전문 업체로 육성화와 협력 부품 생산 기업의 기술발전을 통한 동반성장을 이룰 수 있을 것으로 판단됨. 또한 참여 기업의 고유 기술 확보로 해당 분야별로 제품화하여 상품화 및 수출도 가능하기 때문에 국내 산업화가 가능함. 특히 지게차, 산업 기계 및 소형 건설 장비 등의 유사 시스템에 확대 적용이 가능함.

###### [사회적 성과]

농촌의 노동력 감소와 고령화가 급속하게 진행됨에 따라 여러 가지 작업 조건과 경작지 조건에서 작업을 수행하기 때문에 조작이 쉽고 편리함이 요구됨. 이러한 농촌 수요자의 요구를 만족하기 위해서는 국산품이 아닌 고가의 수입 부품을 적용할 수밖에 없는 것이 농기계 완성업체의 입장이며, 이러한 고가의 수입 부품 비용은 고스란히 농민에게 돌아가 농촌의 현실을 어렵게 만드는 실정임.

이에 “스마트 자동 조향 시스템”의 개발로 국내의 가격 경쟁력이 확보된 부품을 농기계 완성업체에 공급함으로써 농민들의 가계 부담 경감에 기여할 것으로 판단됨.

###### [인프라 성과]

“스마트 자동 조향 시스템”이 상용화됨에 따라 농기계 시장에서의 인프라가 확충 될 것으로 예상됨. 농기계 시장에서 인프라가 확충됨으로써 청년인력의 채용 등 국내 고용 창출에 큰 도움이 됨. 또한, 인프라가 확충됨으로써 해외 선진국과의 가격 경쟁력을 확보하여 해외 수출이 가능해짐에 따라 시장 경쟁력을 가질 수 있게 됨. 그리고 “스마트 자동 조향 시스템”을 유사 사업에 확대 적용을 하여 추가적인 인프라 확충도 가능하다고 판단됨.

---

(2) 정량적 연구개발성과(해당 시 작성하며, 연구개발과제의 특성에 따라 수정이 가능합니다)

< 정량적 연구개발성과표(예시) >

(단위 : 건, 천원)

성과지표명	연도	1단계		계	가중치 (%)	
		2021 1차년도	2022 2차년도			
전담기관 등록·기탁 지표 <sup>1)</sup>	국내·외 논문게재	목표(단계별)	1	3	4	
		실적(누적)	1	2	3	
	국내·외 학술대회	목표(단계별)	1	1	2	10
		실적(누적)	2	4	6	
	기술 요약 정보	목표(단계별)				
		실적(누적)				
	보고서 원문	목표(단계별)				
		실적(누적)				
	생명자원/화합물	목표(단계별)				
		실적(누적)				
	지식재산권(출원)	목표(단계별)	3	2	5	10
		실적(누적)	2	1	3	
	지식재산권(등록)	목표(단계별)		3	3	10
		실적(누적)				
저작권	목표(단계별)					
	실적(누적)					
연구개발과제 특성 반영 지표 <sup>2)</sup>	기술인증	목표(단계별)				
		실적(누적)				
	기술실시(이전)	목표(단계별)		1	1	10
		실적(누적)		1	1	
	제품화	목표(단계별)		1	1	20
		실적(누적)		1	1	
	매출액	목표(단계별)				
		실적(누적)				
	수출액	목표(단계별)				
		실적(누적)				
	고용창출	목표(단계별)	2	4	6	20
		실적(누적)	2	4	6	
	투자유치	목표(단계별)				
		실적(누적)				
	교육지도	목표(단계별)		1	1	10
		실적(누적)		1	1	
	인력양성	목표(단계별)		1	1	10
		실적(누적)		1	1	
포상 및 수상	목표(단계별)					
	실적(누적)					
계	목표(단계별)	7	17	24		
	실적(누적)	7	14	21		

\* 1) 전담기관 등록·기탁 지표: 논문[에스시아이 Expanded(SCIE), 비SCIE, 평균Impact Factor(IF)], 특허, 보고서원문, 연구시설·장비, 기술요약정보, 저작권(소프트웨어, 서적 등), 생명자원(생명정보, 생물자원), 표준화(국내, 국제), 화합물, 신제품 등을 말하며, 논문, 학술발표, 특허의 경우 목표 대비 실적은 기재하지 않아도 됩니다.

\* 2) 연구개발과제 특성 반영 지표: 기술실시(이전), 기술료, 사업화(투자실적, 제품화, 매출액, 수출액, 고용창출, 고용효과, 투자유치), 비용 절감, 기술(제품)인증, 시제품 제작 및 인증, 신기술지정, 무역수지개선, 경제적 파급효과, 산업지원(기술지도), 교육지도, 인력양성(전문 연구인력, 산업연구인력, 졸업자수, 취업, 연수프로그램 등), 법령 반영, 정책활용, 설계 기준 반영, 타 연구개발사업에의 활용, 기술무역, 홍보(전시), 국제화 협력, 포상 및 수상, 기타 연구개발 활용 중 선택하여 기재합니다 (연구개발과제 특성별로 고유한 성과지표를 추가할 수 있습니다).

평가 항목 (주요성능 <sup>1)</sup> )	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 <sup>2</sup> (%)	세계 최고수준 보유국/보유기관	연구개발 전 국내 수준	연구개발 목표치		실적		목표 설정 근거
			성능수준	성능수준	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	
자동조향밸브 최대입력유량	l/min	5	60 (미국/Danfoss)	50	50	60	50.3	60.3	RS B 0029
자동조향밸브 Priority유량	l/min	5	25 (미국/Danfoss)	20	20	25	20.7	25.3	RS B 0029
자동조향밸브 최고압력	bar	5	210 (미국/Danfoss)	190	190	210	192.2	220.1	RS B 0029
자동조향밸브 절환특성	s	10	0.5 (미국/Danfoss)	0.8	0.8	0.5	0.472	0.105	KS B 6510
자동조향제어기 고온작동	℃	5	85 (독일/ZF)	80	85	85	85	85	KS R 0016
자동조향제어기 저온작동	℃	5	-30 (독일/ZF)	-20	-20	-30	-20	-30	KS R 0016
자동조향제어기 전원역접촉시험	V	5	-16	-16	-16	-16	-16	-16	JASO D001 - 94 5.4
자동조향제어기 과전압시험	V	5	24	24	24	24	24	24	JASO D001 - 94 5.4
자동조향제어기 Surge시험	V	5	110	110	110	110	110	110	ISO7637-2
자동조향제어기 ESD시험	kV	5	±8	±8	±8	±8	±8	±8	KS C 9610-4-2
자동조향제어기 살수시험	kgf/ cm <sup>2</sup>	5	0.8 (독일/ZF)		0.8	0.8	0.8	0.8	KR R 0015 S2
자동조향제어기 진동시험	G	5	5.0 (독일/ZF)	4.0	4.0	5.0	4.0	5.0	KS R 1034
자동조향제어기 EMC시험		5	규격만족 (독일/ZF)	규격만족	규격만족	규격만족	규격만족	규격만족	75/322/ECC
자동조향시스템 시뮬레이션 정확도	%	5	90 (미국/John Deere)	80	80	90	84.3	91	자체평가
자동조향시스템 내구수명평가	B <sub>10</sub>	5	-	-	-	6,000hr 등가	-	6,000hr	자체규격
차량 조향성능부하비	%	5	95	-	-	>95	-	95.9	자체규격
차량 선회반경	%	5	95	-	-	>95	-	101	자체규격
차량 조향반응시간	초	5	0.5	-	-	<0.5	-	0.25	DG-VT-173 -00
직진주행오차	cm	5	20	-	-	<20	-	17.5	ISO 12188-2

\* 1) 정밀도, 인장강도, 내충격성, 작동전압, 응답시간 등 기술적 성능판단기준이 되는 것을 의미합니다.

\* 2) 비중은 각 구성성능 사양의 최종목표에 대한 상대적 중요도를 말하며 합계는 100%이어야 합니다.

순번	평가항목 (성능지표)	평가방법	평가환경
1	자동조향밸브 최대입력유량	정격 유량 공급 조건에서 작동시 이상 소음 및 외부 누유 없이 정상 작동 할 것.	자동 조향 시스템 성능 시험평가 장비, 벤치테스트 환경
2	자동조향밸브 제어 유량	조향 공급포트에 압력을 인가하고 귀한 포트에 유량을 정격유량이 되도록 설정하여 이때 유량 확인	자동 조향 시스템 성능 시험평가 장비, 벤치테스트 환경
3	자동조향밸브 최고압력	조향 공급포트에 압력을 인가하여 릴리프 작동 압력 확인	자동 조향 시스템 성능 시험평가 장비, 벤치테스트 환경
4	자동조향밸브 절환특성	경적유량 또는 압력을 설정하여 통전시 작동 포트 유량 또는 압력이 공급 유량 또는 압력의 80%에 도달하는 시간을 측정	자동 조향 시스템 성능 시험평가 장비, 벤치테스트 환경
5	자동조향제어기 고온작동	시험온도 85℃에서 제품에 전원을 인가하여 118시간동안 실시한 후 상온에서 2시간 이상 방치 후 제품 외관 및 성능에 이상이 없을 것	온, 습도, 진동을 차량 관리 제어기에 가할 수 있는 항온, 항습챔버, 제어기 성능 시험 평가 장비
6	자동조향제어기 저온작동	시험온도 -30℃에서 1시간동안 비전원 상태로 방치 후 제품에 전원을 인가하여 72시간동안 실시 후 상온에서 2시간 이상 방치 후 제품 외관 및 성능에 이상이 없을 것.	온, 습도, 진동을 차량 관리 제어기에 가할 수 있는 항온, 항습챔버, 제어기 성능 시험 평가 장비
7	자동조향제어기 전원 역접속시험	역전압 -16V를 1분이상 인가 후 정격전압 인가 시 정상동작 할 것.	제어기 성능 시험 평가 장비, 전원 공급장치, 벤치 테스트 환경
8	자동조향제어기 과전압 시험	과전압 DC24V를 60분이상 인가 후 정격전압 인가 시 정상동작 할 것.	제어기 성능 시험 평가 장비, 전원 공급장치, 벤치 테스트 환경
9	자동조향제어기 Surge시험	전원단자에 110V 2.5μsec 1/30Hz 10회이상 인가 후 오동작 및 전자부품 파손이 없을 것	제어기 성능 시험 평가 장비, 전원 공급장치, 벤치 테스트 환경
10	자동조향제어기 ESD시험	제어기 입출력부에 +8KV, -8KV 접촉 방전 3회이상 충격(RC 150pF, 2Kohm)후 오동작 및 파손이 없을 것.	제어기 성능 시험 평가 장비, 전원 공급장치, 벤치 테스트 환경
11	자동조향제어기 살수시험	게이지압력 0.3MPa, 전방수량 40.1 l/min, 분수구 수 42.5, 회전속도 17로 1시간동안 실험실시 후 외관 및 동작에 이상이 없을 것.	온, 습도, 진동을 차량 관리 제어기에 가할 수 있는 항온, 항습챔버, 제어기 성능 시험 평가 장비
12	자동조향제어기 진동시험	진동주파수 33.3, 진동가속도 44.1m/s <sup>2</sup> 로 상하, 전후, 좌우 방향으로 2시간 이상 가진 후 외관의 균열, 파손, 및 부품의 이탈이 발생되지 않을 것.	온, 습도, 진동을 차량 관리 제어기에 가할 수 있는 항온, 항습챔버, 제어기 성능 시험 평가 장비
13	자동조향제어기 EMC시험	규격 만족 할 것.	75/322/ECC
14	자동조향시스템 시뮬레이션 정확도	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 선진사 수준의 유압동력 시뮬레이션 정확도를 확보하기 위하여 정확도는 비례제어밸브의 실증 시험 결과값과 시뮬레이션 모델의 결과값을 비교하여 평가할 예정</li> <li>- 정확도는 통계분석 방법인 T-TEST 혹은 절대상대오차 계산식을 활용</li> <li>- 좌/우 회전 모드 시험에 따른 유압동력 평가</li> <li>- 유압동력은 유량과 유압 데이터를 이용하여 분석</li> <li>- 유압동력 시뮬레이션 정확도에 대한 자체평가 보고서를 작성하여 국내 농기계 제조사의 설계/해석 전문가에게 평가받을 예정임</li> </ul>	AMESim 시뮬레이션 환경 조건(시뮬레이션) 및 실내 시뮬레이터 장비(검증시험)
15	자동조향시스템 내구수명평가	대동공업 시험 표준	자동 조향 시스템 시뮬레이터 장비
16	차량 조향성능부하비	공차 상태의 타이어 회전각과 부하 상태의 타이어 회전각의 비 확인 → 부하상태는 전방 작업기의 최대 하중 적재	차량
17	차량 선회반경	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 앞차축 Stopper의 길이, 조향각도, Toe-in, Camber angle 및 타이어 규격 셋팅</li> <li>- 차속 2km/h속도로 2WD 상태에서 좌/우 회전시 선회반경 측정</li> <li>- 차속 2km/h속도로 2WD 상태에서 편브레이크 작동 조건에서 좌/우 회전시 선회 반경 측정</li> <li>- 타이어의 중심점을 있는 원에 대해 원에 내접하는 삼각형의 세변을 설정하여 원의 반지름을 계산한다. (R=(ABC)/4√[S(S-A)(S-B)(S-C)]) ※ S=(A+B+C)/2)</li> </ul>	차량
18	차량 조향반응시간	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 조향 제어 개시 명령 시점을 측정하기 위해 명령이 입력되는 신호를 측정한다.</li> <li>- 조향을 위한 기구부 작동 개시 시점을 측정하기 위해 조향실린더에 변위센서를 설치하고 변위센서의 출력을 측정한다.</li> <li>- 조향 개시 명령 신호와 기구부 작동 개시 신호의 시간 차이를 측정하여 조향반응 시간을 확인한다.</li> </ul>	차량
19	직진주행오차	- 50m 직진 주행시 계획된 주행 경로와 실제 주행 경로와의 평균제곱근 오차 측정	차량

(3) 세부 정량적 연구개발성과(해당되는 항목만 선택하여 작성하되, 증빙자료를 별도 첨부해야 합니다)

[과학적 성과]

논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Stability evaluation of a proportional valve controller for forward-reverse power shuttle control of agricultural tractors	Korean Journal of Agricultural Science	전현호	3	대한민국	충남대학교 농업과학연구소	비SCIE	'21. 08. 18.	2466-2410	100
2	자동 조향 트랙터용 비례제어밸브의 동특성 분석	한국정보전자통신기술학회논문지	민이서	5	대한민국	한국정보전자통신기술학회	비SCIE	'22. 10. 30.	2288-9302	100
3	Analysis of load data for developing a self-propelled underground crop harvester during potato harvesting	Korean Journal of Agricultural Science	박민중	4	대한민국	충남대학교 농업과학연구소	비SCIE	'22. 11. 14.	2466-2410	100
4	Evaluation of dynamic characteristics of electrohydraulic pro-portional valve for an auto-steering tractor according to engine rotational speed and steering angle	Applied Sciences	민이서		스위스	Multidisciplinary Digital Publishing Institute	SCIE	투고 진행중	2076-3417	100

국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2021년 추계 한국농업기계학회 학술대회	이준호	'21. 10. 29.	소노벨 제주	대한민국
2	(사)한국농업기계화정책연구원 2021 동계 학술대회	최지원	'21. 12. 29.	비대면 온라인	대한민국
3	2022년 춘계 한국농업기계학회 학술대회	김완수	'22. 04. 29.	전주 국립농업과학원 농업공학부	대한민국
4	2022년 추계 한국농업기계학회 학술대회	민이서	'22. 11. 03.	대구 EXCO	대한민국
5	2022년 추계 한국자동차공학회 학술대회	민이서	'22. 11. 17.	제주신화월드 랜딩컨벤션센터	대한민국
6	The XX CIGR World Congress 2022	Yee-Seo Min	22. 12. 07	kyoto International Conference Center	일본

기술 요약 정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용여부	허용방식

보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	농기계의 자동 조향 장치용 유압밸브장치	한국	정재훈/ 김재형	21.11.26	10-2021-0165142					100	
2	유압제어용 솔레노이드 체크밸브	한국	서재영	21.11.26	10-2021-0165152					100	
3	파일럿 체크밸브	한국	정재훈/ 송지훈/ 김하림	22.10.18	10-2022-0133948					100	

○ 지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다(최대 3개 중복선택 가능).

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타

저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율

신기술 지정

번호	명칭	출원일	고시일	보호 기간	지정 번호

기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		
1	성능시험	대구기계부품연구원	시험성적서	TE-21-02959	2021.12.16	대한민국
2	진동내구시험	KATECH	시험성적서	KTS212611-1	2021.11.30	대한민국
3	저온동작시험 고온동작시험 살수시험	KATECH	시험성적서	KTS212610-1	2021.11.29	대한민국
4	전자파 시험	KATECH	TEST REPORT	KTS212608-1	2021.12.01	대한민국
5	본기 성능시험	한국생산기술연구원	시험성적서	C22N920057-01-01	2022.12.09.	대한민국
5	자동조향시스템 내구시험	대구기계부품연구원	시험성적서	TE-22-02943	2022.12.28	대한민국
6	진동시험	KATECH	시험성적서	KTS222502-1	2022.12.08	대한민국
7	저온동작시험 고온동작시험 살수시험	KATECH	시험성적서	KTS222505-1	2022.12.20	대한민국
8	전자파 시험	KATECH	시험성적서	KTS222501-1	2021.12.26	대한민국

□ 표준화

○ 국내표준

번호	인증구분 <sup>1)</sup>	인증여부 <sup>2)</sup>	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류 <sup>3)</sup>	제안/인증일자

- \* 1) 한국산업규격(KS) 표준, 단체규격 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.
- \* 2) 제안 또는 인증 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- \* 3) 신규 또는 개정 중 해당하는 사항을 기재합니다.

○ 국제표준

번호	표준화단계구분 <sup>1)</sup>	표준명	표준기구명 <sup>2)</sup>	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식 <sup>3)</sup>	제안자	표준화 번호	제안일자

- \* 1) 국제표준 단계 중 신규 작업항목 제안(NP), 국제표준초안(WD), 위원회안(CD), 국제표준안(DIS), 최종국제표준안(FDIS), 국제표준(IS) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- \* 2) 국제표준화기구(ISO), 국제전기기술위원회(IEC), 공동기술위원회1(JTC1) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- \* 3) 국제표준(IS), 기술시방서(TS), 기술보고서(TR), 공개활용규격(PAS), 기타 중 해당하는 사항을 기재합니다.

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	자동 조향 밸브 PROTO	21.11.02	하이드로텍 네이스코	하이드로텍	성능평가			
2	자동 조향 밸브 PILOT	22.08.22	하이드로텍 네이스코	하이드로텍	성능평가			
3	트랙터	22.09.04	대동	대동	성능평가			

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	직접실시	대형(75kW)이상 트랙터 용 스마트 자동 조향 시스템	하이드로텍	2023.01.02.	-	-

- \* 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

□ 사업화 투자실적

번호	추가 연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격*

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식 <sup>1)</sup>	사업화 형태 <sup>2)</sup>	지역 <sup>3)</sup>	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		

- \* 1) 기술이전 또는 자기실시
- \* 2) 신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등
- \* 3) 국내 또는 국외

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
합계					

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

[주관연구기관 : 하이드로텍]

성과		자동 조향 시스템 개발			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	2년			
	소요예산(천원)	500,000			
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
		0	1,750,000	4,500,000	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
			국내	0	25
국외			0	5	10
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		이앙기 , 산업장비 , 건설기계 자동 조향 시스템 적용			
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
		0	350,000	1,800,000	
	수출	0	175,000	750,000	

[공동연구기관 : (주)대동]

성과		대형(75kW이상) 트랙터용 스마트 자동조향 시스템 상용화 기술 확보			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	4년			
	소요예산(천원)	630,000			
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
		0	0	800,000	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
			국내	0	0
국외			0	0	1
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		중,소형 농업용 작업차량 및 운반차량			
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
		0	0	435,000	
	수출	0	0	78,000	

[공동연구기관 : (주)네이스코]

성과		자동조향제어기 개발			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	2년			
	소요예산(천원)	120,000			
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
		0	100,000	200,000	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
			국내	0	50
국외			0	2	3
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		GPS 주행컨트롤러			
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
	수출				

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			2021년	2022년	
1	자동조향시스템	하이드로텍	2	4	
합계			2	4	

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	8명
		생산인력	13명
	개발 후	연구인력	12명
		생산인력	17명

□ 비용 절감(누적)

순번	사업화명	발생연도	산정 방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수)	기타
해당 연도							
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도)

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원

□ 기술 무역

(단위: 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	기 징수액	총 계약액	해당 연도 징수액	향후 예정액	수출/ 수입

[사회적 성과]

□ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	공학사	2023.02			1		1			1			

산업 기술 인력 양성

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비

국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일

포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

연구시설·장비

구축기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)
쓰리알	자동조향시스템 시뮬레이터	R&D SIMULATOR	X	X	X	22.07.15	35,000	하이드로텍

\* 「과학기술기초법 시행령」 제42조제4항제2호에 따른 연구시설·장비 종합정보시스템을 의미합니다.

[그 밖의 성과](해당 시 작성합니다)

---



---

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성합니다)

---



---

## 2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도 (%)
○선진사 기술동향 분석 (특허조사)	○대동 IPMS와 WIPS 특허 DB 연계 온라인 키워드 특허 검색 및 분석	○ 100
	○해외 선진사 제품 Benchmarking 및 성능시험 진행	○ 100
○자동 조향 시스템 개발	○트랙터 Steering System 검토	○ 100
	○특허 회피방안 마련 및 자동 조향 시스템 설계	○ 100
	○차량 탑재를 위한 본기 Lay-out 구성	○ 100
	○자동 조향 밸브 Proto 제작	○ 100
	○자동 조향 밸브 Proto 공인인증	○ 100
	○자동 조향 밸브 개선 설계	○ 100
	○자동 조향 밸브 Pilot 제작	○ 100
	○자동 조향 밸브 Pilot 단품 내구 시험 진행	○ 100
○자동 조향 밸브 Pilot 공인인증	○ 100	
○자동 조향 제어기 개발	○선진사 제품 Benchmarking 및 제어 로직 분석	○ 100
	○자동 조향 제어기 하드웨어 설계	○ 100
	○자동 조향 제어기 펌웨어 설계	○ 100
	○자동 조향 제어기 소프트웨어 설계	○ 100
	○자가 진단 알고리즘 기반의 Safety 기능 구현	○ 100
	○자동 조향 제어기 Proto 제작	○ 100
	○자동 조향 제어기 Proto 공인인증	○ 100
	○자동 조향 제어기 개선 설계	○ 100
	○자동 조향 제어기 Pilot 제작	○ 100
	○자동 조향 제어기 Pilot 공인인증	○ 100
○자동 조향 시스템 시뮬레이터 시험기 개발	○자동 조향 시스템 검증	○ 100
	○자동 조향 시스템 Pilot 성능 평가	○ 100
	○자동 조향 시스템 내구 시험 검증	○ 100
○자동조향 시스템의 구동부 모델 시뮬레이션 개발 및 해석	○자동 조향 밸브 성능 평가를 통한 시뮬레이션 모델 검증	○ 100
	○시뮬레이션 모델 검증 및 해석 결과 활용을 통한 자동 조향 유압시스템 성능 최적화	○ 100
	○자가 진단 알고리즘 기반의 Safety 기능 검증	○ 100
○자동 조향 시스템 차량 제작	○자동 조향 밸브 Proto 차량 탑재 및 성능평가	○ 100
	○자동 조향 밸브 탑재 개선 Lay-out 설계	○ 100
	○자동 조향 밸브 Pilot 차량 탑재 및 성능평가	○ 100
	○자동 조향 시스템 Pilot 차량 공인인증	○ 100

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성합니다)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

---

2) 자체 보완활동

---

3) 연구개발 과정의 성실성

---

## 5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

(단위 : 백만원, %)

세부과제명	기관명	유형	총 연구개발비 (A)	정부지원 연구개발비 (B)	정부지원 연구개발비 비율 (C=B/A)	성과 유형	기술기여도	
							산정 근거	비율
대형(75kW이상) 트랙터용 스마트 자동 조향 시스템 개발	하이드로텍	중견기업 (영리)	491.5	344	70	신규 기술개발	①-①	70
	대동공업	중견기업 (영리)	113.1	79	69.8	신규 기술개발	①-①	69.8
	네이스코	중소기업 (영리)	212	159	75	신규 기술개발	①-①	75
	경북대학교	대학 (비영리)	211	211	100		해당 없음	-
<b>계</b>			<b>1,027.6</b>	<b>793</b>	-	-	-	-

[주관연구기관 : 하이드로텍]

- 자동 조향 시스템에서 자가 진단 알고리즘 기반의 Safety 기능 구현
- 자동 조향 시스템의 국산화 개발
- 빠른 조향기능 및 소프트스톱, 드리프트 방지 기능 구현

[공동연구기관 : (주)대동]

- 대형 트랙터 자동 조향 시스템의 현장실증 및 상용화 기술 개발
- 실증을 통한 스마트 자동 조향 시스템 성능평가 기술 개발

[공동연구기관 : (주)네이스코]

- 자동 조향 시스템에서 자가 진단 알고리즘 기반의 Safety 기능 구현 기여
- 자동 조향 시스템의 국산화 개발 기여
- 제어밸브블록 및 제어기 일체형 시스템 개발 기여

[공동연구기관 : 경북대학교]

- 트랙터 자동조향 시스템 동특성 계측을 통해 실무하 기초 데이터 확보에 기여
- 실제 시스템 모사가 가능한 비례제어밸브 시뮬레이션 모델 개발 기여
- 시뮬레이션 모델 기반 비례제어밸브 해석 결과 제공

## 6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

- 연구개발된 솔레노이드밸브의 반복성 시험을 진행 계획이며 반복 정밀도 및 반응속도에 대한 검증을 통하여 상용화 계획.
- 대동 외 완성차 업체의 대형 자율 주행 트랙터에 적용 및 현장 실증 협의 계획. 협의 진행 후 현장 실증을 통한 상용화 검증 및 상품화 계획.
- 국내, 해외 전시회 출품을 통한 제품 홍보 및 글로벌 농기계사와 ODM/OEM 체결 및 전략적 제휴를 통해 판로 확보 계획.
- 연구개발성과를 활용하여 트랙터뿐만 아니라 이앙기, 건설기계, 산업장비 등 유사 산업분야에 확대 적용 계획.
- 연구 과제에서 진행한 논문, 학술대회 및 특허 실적을 통해 국내 자율 주행 트랙터 기술에 대한 지식 재산을 확보, 향후 자율 주행 장비에 대한 연구 진행에 도움이 될 것으로 판단됨.
- 연구 과제에서 진행한 시뮬레이션 모델을 통하여 향후 연구 과제 진행시 이를 활용하여 연구 계획을 작성하고, 연구 수행에 있어 실차와 유사한 조건에서의 시험이 가능하여 큰 도움이 될 것으로 판단됨.

< 연구개발성과 활용계획표(예시) >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내				
		2023	2024	2025	2026	2027
국외논문	SCIE	1				
	비SCIE					
국내논문	SCIE					
	비SCIE					
특허출원	국내		1			
	국외					
특허등록	국내	2	1			
	국외					
인력양성	학사					
	석사					
	박사					
사업화	시제품개발	1	1	1	1	
	상품출시			1	1	1
	기술이전					
	공정개발	1	1		1	1
	매출액(단위 : 천원)			1,750,000	2,625,000	5,700,000
기술료(단위 : 천원)			21,000	31,500	63,000	
비임상시험 실시						
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상				
		2상				
		3상				
	의료기기					
진료지침개발						
신의료기술개발						
성과홍보						
포상 및 수상실적						
정성적 성과 주요 내용						

## 자체평가의견서

### 1. 과제현황

		과제번호	321062-2		
사업구분	농림축산식품연구개발사업사업				
연구분야				과제구분	단위
사업명	첨단농기계 산업화 기술 개발 사업				주관
총괄과제				총괄책임자	
과제명	대형(75kW이상)이상 트랙터용 스마트 자동 조향 시스템 개발			과제유형	개발
연구개발기관	하이드로텍			연구책임자	서재영
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	2021.04.01. ~2021.12.31	340,000	100,800	440,800
	2차년도	2022.01.01. ~2022.12.31	453,000	133,800	586,800
	계	2021.04.01. ~2022.12.31	793,000	234,600	1,027,600
참여기업	대동공업(주) , 네이스코(주) , 경북대학교				
상대국	상대국연구개발기관				

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

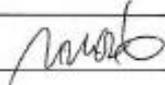
2. 평가일 : 2023. 01. 05

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
하이드로텍	책임연구원	서재영

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확약	
----	---

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
1.공통요구자료	1) 자체평가의견서
	2) 연구성과 활용계획서
2.목표 달성 실적	1) 기관별 실적 첨부 자료

[별첨 1]

## I. 연구개발실적

※ 다음 각 평가항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

### 1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 우수

본 과제를 통해 개발된 스마트 자동 조향 시스템은 각종 센서등으로부터 작업 환경인식 정보가 입력된 자동 조향 제어기를 통해 자율 주행을 위한 트랙터의 방향 제어가 가능하게 한다. 컴팩한 구조와 레고 블록(모듈)형으로 트랙터와 같은 차량의 추가 장착 (Add on)이 가능하며 매우 유연하여 지게차, 산업기계 및 건설장비등 분야 확대 적용이 쉽고 안정성 높은 제어 솔루션을 제공하며 유압밸브와 제어시스템 일체형으로 구성되어 있음. 또한 CAN통신 기반의 시스템 구현으로 빠른 응답과 정밀한 제어가 가능하고 낮은 히스테리시스와 우수한 좌/우 대칭동작이 장점이며 낮은 압력손실로 연료절약이 가능하게 함.

자율 주행 구현시 신뢰할 수 있는 안전 기능과 높은 경고성을 요구하며 위급상황 및 차량의 안전사고 방지를 위한 Safety 자가 진단 기능을 포함하고 있음. 스마트 자동 조향 시스템으로 선진국과의 기술 격차를 줄이고 시장경쟁력 있는 원천 기술을 확보하였음.

### 2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 보통

스마트 자동 조향 시스템의 원천 기술을 확보로 기술적 파급효과가 크며 선진국과의 기술 격차를 완화, 기술 후발 국가와의 기술적 차별성을 확보할 수 있음.

세계 농기계 시장 대응 가능한 기술 확보로 무역 수지 개선과 국내 농기계업체의 수출 경쟁력 확보에 효과가 예상되며 세계시장에서 중소형 마력에 집중된 국내 농기계 업체의 대형 농기계 시장 확대 및 확장 효과가 예상됨.

국내 산업 활성화를 통해 신규 고용 창출이 가능하며 노동력 감소와 고령화에 대한 농촌 어려움에 경제적 부담을 경감하는 효과가 예상된다.

### 3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 우수

스마트 자동 조향 시스템의 경우 특히 국내 완성차 메이커의 대형 자율 주행 트랙터에 활용이 가능하며 농기계 기반으로 건설기계, 산업장비, 군용등 산업분야 전체에 적용 확대 가능하다는 점에서 활용 가능성이 매우 크다고 판단됨.

전자제어, 자기압 제어등 차세대 조향 시스템 개발에 활용 가능하며 부품 및 시스템 수명 해석 기술을 통해 차량의 외부유압 밸브, 프론트 로더 밸브등 차세대 밸브에도 활용 가능함. 제어기 알고리즘 최적화와 자동 조향 밸브의 설계와 생산 기술 확보에 활용할 예정임.

#### 4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 우수

대형 (75kW이상) 트랙터용 스마트 자동 조향 시스템 개발 과제기간 1년 9개월 간 공동 연구 개발 기관과 함께 2개월마다 진행 된 정기 진도 점검회의 및 수시 업무 회의를 통해 활발한 교류가 이루어 졌으며, 상호간에 어려움과 문제점을 공론화하여 함께 해결하고 협업하여 성과를 이룰수 있었다. 여러 가지 시행착오가 있었지만 완성차업체와 유압밸브 업체, 컨트롤러 업체 그리고 학교기관이 성실히 과제에 임하여 컴팩트하고 유연한 시스템 구조의 구현이 가능하였으며 선진사 제품에 대한 벤치마킹과 컨트롤러의 성능, 유압시스템의 성능 확보를 통해 선진사 제품 대비 성능상 부족함이 없는 제품을 개발하고 기술확보에 성과를 이루었다고 평가한다.

#### 5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 보통

특허의 경우 과제기간동안 총 3건을 출원하였으며 등록여부는 23년도 5월경에 결과를 확인할 수 있음. 논문의 경우 총 3건을 게재하였으며 추가로 SCIE 논문을 해외에 게재 예정. 학술발표는 총 6건을 국내, 국외에서 진행하였음.

[별첨 1]

## II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체 평가
지식재산권 특허출원	10	60	
지식재산권 특허등록	10	0	23년 5월경 특허 등록 가능 여부 확인
기술실시(이전)	10	100	
사업화(제품화)	20	100	
사업화(고용창출)	20	100	
학술발표	10	300	
교육지도	10	100	
인력양성	10	100	
합계	100점	86점	

### III. 종합의견

#### 1. 연구개발결과에 대한 종합의견

본 연구과제를 통하여 대형 (75kW이상) 트랙터용 스마트 자동 조향 시스템의 원천 기술 확보와 국산화를 이루어 냈다는 점에서 좋은 결과를 만들어 냈다고 할 수 있음. 국내 농기계 완성차 업체의 자율 주행 구현에 요소 부품 기술은 해외 선진사에 의존하는 한계에서 벗어나 요소 부품 기술 또한 국산화 하여 농기계 제품의 글로벌 경쟁력 강화에도 큰 성과를 이룰 수 있는 기반을 확보했다고 판단함. 또한 자율 주행 시스템 제어기와 자율주행 밸브의 융·복합된 기술 개발로 차세대 유압밸브 및 제어기술에 대한 기반 기술을 확보할 수 있었음.

#### 2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

국내 완성차량 업체의 자율 주행 트랙터의 사업화 시점이 곧 눈앞에 와있으며 이미 시장에 출시가 이루어지고 있음. 해당 자율 주행 트랙터의 요소 부품 기술은 해외 선진사 제품에 의존하고 있는게 현실이며 기술 경쟁력, 원가 경쟁력 등 글로벌 경쟁력에서 한계를 보일 수밖에 없는 상황임. 이에 대하여 해당 과제를 통해 기반을 조성하고 차세대 요소 부품 기술 확보 및 국산화에 이바지 할 수 있는 점에 긍정적으로 평가가 가능할 것으로 예상됨. 또한 과제 진행 과정에서 공동연구개발기관간의 활발한 교류를 통해 성실히 마무리 할 수 있었으며 예상치 못한 원자재 가격 상승 등으로 어려움이 있지만 추후 사업화와 사업 확대에도 협력하여 원가 절감 및 공정단순화 등에도 성과를 이룰 수 있도록 업무 추진 예정임

#### 3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

본 연구결과를 활용하여 대형 트랙터 뿐만아니라 중소형 트랙터에도 적용 가능하도록 최적화 개발에 활용 예정이며 건설기계, 군용, 산업차량등 유사 시스템에 확대 적용할 계획임. 연구과제를 통해 제작된 시뮬레이터를 활용하여 확대 적용된 제품의 성능 시험 검증을 진행할 예정이며 수행한 시뮬레이션 모델 개발 및 실차 시험 내용을 기반으로 향후 연구 과제 추진시 이를 활용하여 연구 계획을 작성하고 연구 수행에 도움이 될 것으로 판단됨. 연구 내용 기반, 국내학술발표, 논문게재등 학술 성과활용하여 국내 자동 조향 시스템에 대한 지식 재산권을 확보하고, 선행 연구를 통해 자율 주행 차량의 자동 조향시스템 연구 진행에 도움이 될 것으로 판단됨.

#### IV. 보안성 검토

o 연구책임자의 보안성 검토의견, 연구개발기관 자체의 보안성 검토결과를 기재함

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

##### 1. 연구책임자의 의견

대형 (75kW이상) 트랙터용 스마트 자동 조향 시스템 개발과 관련된 성과물에 대해 일반과제로 진행되었으며 해당 과제 진행시 스마트 자동 조향 시스템 에 대한 권리화(특허 출원)가 이루어 졌으나 아직 등록이 진행되지 못한점 그리고 차량 시스템 구현, 제어관련 알고리즘 및 제어 시스템 등에 대한 권리화가 이루어지지 못한 부분등을 감안하여 보안성이 필요하다는 의견임

##### 2. 연구개발기관 자체의 검토결과

대형 (75kW이상) 트랙터용 스마트 자동 조향 시스템 개발에 대한 개발과정에서 발생된 Know-how 및 기술 정보에 대한 최소화로 기술 정보 유출 방지가 필요할 것으로 보임.

## 연구성과 활용계획서

### 1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제		분 야	
연구과제명	대형 (75kW이상) 트랙터용 스마트 자동 조향 시스템 개발			
주관연구개발기관	하이드로텍		주관연구책임자	서재영
연구개발비	정부지원 연구개발비	기관부담연구개발비	기타	총연구개발비
	793,000,000	234,600,000		1,027,600,000
연구개발기간	2021.04.01 ~ 2022.12.31			
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타(원천기술 확보) <input type="checkbox"/> 미활용 (사유: )			

### 2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 대형 트랙터용 국산화 스마트 자동 조향 시스템 설계 및 개발	① 스마트 자동 조향 시스템 설계 및 개발
② 스마트 자동 조향 밸브 설계, 해석, 제작 및 시험 평가	② 자동 조향 밸브 Proto , Pilot 제작 및 시험
③ 스마트 자동 조향 제어기 개발	③ S/W 개발 및 제어 알고리즘 개발
④ 자동 조향 시스템 개발 및 대형트랙터 적용	④ 대동공업 대형트랙터 적용 및 공인 인증 시험

### 3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활용액)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기술 료	제품 화	매출 액	수출 액	고용 창출		투자 유치	논문 SCI	비 SCI			논문 평 균 I F	학술 발표	
단위	건	건	건	건	백 만 원	건	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	명	건	건		
가중치	10	10			10		20			20				10	10	10			
1차 년도	목표	3								2			1	1					
	실적	2								2			1	2					
2차 년도	목표	2	3			1	1			4		1	2	1	1	1			
	실적	1				1	1			4			2	4	1	1			
최종	목표	5	3			1	1			6		1	3	2	1	1			
	실적	3				1	1			6			3	6	1	1			
달성률 (%)	60	0			100		100			100		0	100	300	100	100			

[별첨 2]

#### 4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	스마트 자동 조향 시스템
②	

#### 5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해결	정책 자료	기타
①의 기술			v			v				
②의 기술										

\* 각 해당란에 v 표시

#### 6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 활용계획               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내 완성차 메이커에 대형 자율 주행 트랙터에 활용</li> <li>- 농기계 기반으로 건설기계, 산업장비, 군용등 산업분야 전체에 적용</li> <li>- 자동 조향 시스템으로 전자제어, 자기압 제어등 차세대 조향 시스템 개발에 활용</li> <li>- 부품 및 시스템 수명해석 기술로 활용</li> <li>- 제어기 알고리즘 최적화와 자동 조향 밸브의 설계, 생산기술 확보에 활용</li> </ul> </li> <li>○ 기대효과               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 무역 수지 개선 및 국내 농기계업체의 수출 경쟁력 확보</li> <li>- 세계 농기계 시장 대응 가능한 기술 확보</li> <li>- 선진국과의 기술 격차 완화</li> <li>- 기술적 파급효과가 크며 지게차, 산업기계 및 건설장비 분야 확대 가능</li> <li>- 국내 산업 활성화 및 신규 고용 창출</li> <li>- 기술후발 국가와의 기술적 차별성</li> <li>- 농가 경제적 부담 경감 및 국내 산업 기술 경쟁력 확보</li> </ul> </li> </ul>
②의 기술	

7. 연구종료 후 성과창출 계획

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용· 홍보		기타 (타연구 활용(기))
	특 허 출원	특 허 등록	품 종 등록	S M A R T  평 가 제 도	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출		투 자 유 치	논 문				학 술 발 표	정 책 활 용	
											SCI		비 SCI	논 문 평 관 I F					
단위	건	건	건	건	건	건	백만원	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	명	건	건		
가중치	10	10			10		20			20				10	10	10			
최종목표	5	3			1		1			6		1	3	2	1	1			
연구기간내 달성실적	3				1		1			6			3	6	1	1			
연구종료후 성과창출 계획	1	3				21	1	1,750	175			1							

[별첨 2]

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명 <sup>1)</sup>			
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식 <sup>2)</sup>	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타( )		
이전소요기간		실용화에상시기 <sup>3)</sup>	
기술이전시 선행조건 <sup>4)</sup>			

- 1) 핵심기술이 2개 이상일 경우에는 각 핵심기술별로 위의 표를 별도로 작성
- 2) 전용실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 다른 1인에게 독점적으로 허락한 권리  
통상실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 제3자에게 중복적으로 허락한 권리
- 3) 실용화에상시기 : 상품화인 경우 상품의 최초 출시 시기, 공정개선인 경우 공정개선 완료시기 등
- 4) 기술 이전 시 선행요건 : 기술실시계약을 체결하기 위한 제반 사전협의사항(기술지도, 설비 및 장비 등 기술이전 전에 실시기업에서 갖추어야 할 조건을 기재)

# [별첨3-1] 1차년도 목표 달성 실적

## (1) 평가항목별 성적서

기관 : 하이드로텍(주)

기술적 성과목표 (1,2,3,4) : 자동 조향 밸브 시험 성적서 (공인인증시험)

대구기계부품연구원  
DAEGU MECHATRONICS & MATERIALS INSTITUTE  
대구광역시 달서구 성서공단로11길32(호원동)  
TEL: (053)608-2112 FAX: (053)608-2119



# 시험 성적서

· 성적서 번호 : TE-21-02959

· 의뢰자  
기관명 : 하이드로텍 주식회사  
주소 : 대구 달서구 성서로 68길 3(감산동)

· 페이지 번호 : 5 쪽 중 1 쪽

· 시험대상 품목 : 대형(75kW 이상)트랙터용 스마트 자동 조향 시스템 개발

· 접수일자 : 2021. 11.03

· 시험장소 : □ 고정시험실 ■ 현장시험  
[주소 : 대구광역시 달서구 성서로 68길 3]

· 시험방법 : 다음 쪽 "시험방법" 참조

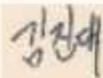
· 시험결과 : 다음 쪽 "시험결과" 참조

· 시험기간 : 2021. 11.29

작성자  
성명 : 오상균



기술책임자  
성명 : 김진대



·위의 내용은 신청인이 제출한 시험원에 대한 결과이며, 별도 이의의 사용을 금합니다.

2021.12.16



## 대구기계부품연구원장



발급 및 결과문의-<http://www.dmi.re.kr>



194(14-02)(7)(01)

A4(210×297mm)

기관 : 하이드로텍(주)

연구개발과제 주요 결과물 (1) : 특허출원(1)

관인생략

## 출원번호통지서

출원일자 2021.11.26  
 특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)  
 출원번호 10-2021-0165142 (접수번호 1-1-2021-1367770-20)  
 (DAS접근코드DOFA)  
 출원인명칭 하이드로텍(주)(1-2009-020897-5)  
 대리인성명 정대섭(9-2004-000419-4)  
 발명자성명 정재훈 김재형  
 발명의명칭 농기계의 자동 조향 장치용 유압밸브장치

## 특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.  
 2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.  
 ※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호  
 3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
 4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.  
 ※ 심사제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr-지식재산제도>

2021-11-26

【주민등록번호】

【우편번호】

【주소】

【출원언어】 국어

【심사청구】 청구

【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】

【과제고유번호】 3210622

【과제번호】 321062-2

【부처명】 농림축산식품부

【과제관리(전문)기관명】 농림수산식품기술기획평가원

【연구사업명】 첨단농기계 산업화 기술개발 사업

【연구과제명】 대형 (75kW이상) 트랙터용 스마트 자동 조향 시스템 개발

【기여율】 90/100

【과제수행기관명】 하이드로텍(주)

【연구기간】 2021.04.01 ~ 2022.12.31

【취지】 위와 같이 특허청장에게 제출합니다.

대리인 정대섭

(서명 또는 인)

기관 : 하이드로텍(주)

연구개발과제 주요 결과물 (1) : 특허출원(2)

관인생략

## 출원번호통지서

출원일자 2021.11.26  
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)  
출원번호 10-2021-0165152 (접수번호 1-1-2021-1367803-49)  
(DAS접근코드758B)  
출원인명칭 하이드로텍(주)(1-2009-020897-5)  
대리인성명 정대섭(9-2004-000419-4)  
발명자성명 서재영  
발명의명칭 유압제어용 솔레노이드 체크밸브

## 특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.  
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.  
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호  
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.  
※ 심사제도 안내 : <http://www.kipogo.kr>-지식재산제도

2021-11-26

**【과제고유번호】** 3210622  
**【과제번호】** 321062-2  
**【부처명】** 농림축산식품부  
**【과제관리(전문)기관명】** 농림수산식품기술기획평가원  
**【연구사업명】** 첨단농기계 산업화 기술개발 사업  
**【연구과제명】** 대형 (75kW이상) 트랙터용 스마트 자동 조향 시스템 개발  
**【기여율】** 10/100  
**【과제수행기관명】** 하이드로텍(주)  
**【연구기간】** 2021.04.01 ~ 2022.12.31  
**【취지】** 위와 같이 특허청장에게 제출합니다.

대리인 정대섭

(서명 또는 인)

기관 : (주)네이스코

기술적 성과목표 (5,6,7,8,9,10,11,12,13) : 자동 조향 제어기 시험 성적서 (공인인증시험)

총 5페이지 중 1페이지

# 시험 성적서

## KATECH

31214 충남 천안시 동남구 동서면 풍서로 303  
Tel.041-559-3342 Fax.041-559-3029  
http://www.katech.re.kr

성적서번호 : KTS212611-1

### 의뢰자

기관명 : (주)네이스코  
주소 : 경기도 성남시 중원구 순창로 94(상대원동)

접수일 : 2021년 11월 15일  
시험시작일 : 2021년 11월 18일  
시험종료일 : 2021년 11월 19일  
성적서발행일 : 2021년 11월 30일  
성적서용도 : 제출용

시험명 : 자동조향제어기

시험방법 : 의뢰자 제시

시험실험경 : 온도 (20 ~ 22) °C, 습도 (45 ~ 55) % R.H.

시험장소 : 고정시험실 (충남 천안시 동남구 동서면 풍서로 303)

## 시험 결과

시험항목	시험결과	비고
전동내구시험	4 ~ 5 페이지 참조	2 ~ 3 페이지 참조

- 비고: 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시험 및 시험요청으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.  
 2. 이 성적서는 우리 연구원의 사전 동의없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 무단 이의의 사용을 금합니다.  
 3. 이 성적서는 연구원의 승인없이 전체를 재인하고는 일부분만 복사하여 사용할 수 없습니다.  
 4. 성적서의 권위확인용 홈페이지(<http://kts.katech.re.kr>) 또는 아래 QR코드로 확인 가능합니다.  
 5. 이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인증과 관련이 있음을 밝힙니다.

확인	실무자	기술책임자
	성명 : 천혁진	성명 : 신현동

한국자동차연구원장



기관 : (주)네이스코

기술적 성과목표 (5,6,7,8,9,10,11,12,13) : 자동 조향 제어기 시험 성적서 (공인인증시험)

총 7페이지 중 1페이지

# 시험 성적서

## KATECH

31214 충남 천안시 동남구 풍세면 풍세로 303

Tel.041-559-3342 Fax.041-559-3029

http://www.katech.re.kr

성적서번호 : KTS212610-1

의 회 자

기관명 : (주)네이스코

주 소 : 경기도 성남시 중원구 순창로 94(상대원동)

접 수 일 : 2021년 11월 15일

시 험 시 작 일 : 2021년 11월 24일

시 험 종 료 일 : 2021년 11월 25일

성적서 발행일 : 2021년 11월 29일

성적서 용도 : 제출용

시 료 명 : 자동조향 제어기

시 험 방 법 : 신청인이 제시

시험실험경 : 온도 : (24~26) °C, 습도 : (64~66) % R.H.

시 험 장 소 : 고정시험실 (충남 천안시 동남구 풍세면 풍세로 303)

## 시험 결과

시험항목	시험결과	비고
저온동작시험	3 Page 참조	2 Page 참조
고온동작시험	5 Page 참조	4 Page 참조
실수시험	7 Page 참조	6 Page 참조

- 비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.  
 2. 이 성적서는 우리 연구원의 사전 동의없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.  
 3. 이 성적서는 연구원의 승인없이 전체를 재인하고는 일부분만 복사하여 사용할 수 없습니다.  
 4. 성적서의 정위확인용 홈페이지(<http://kts.katech.re.kr>) 또는 아래 QR코드로 확인 가능합니다.  
 5. 이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인증과 관련이 없음을 밝힙니다.

확 인	실무자	기술책임자
	성명 : 유종근 	성명 : 남혁승 

한국자동차연구원장



기관 : (주)네이스코

기술적 성과목표 (5,6,7,8,9,10,11,12,13) : 자동 조향 제어기 시험 성적서 (공인인증시험)

## **TEST REPORT**

For

**자동 조향 제어기**  
**NACEKO**  
**인원 업체 제시 규격**

**Issued date : December 1, 2021**

ENGINEERING

## Stability evaluation of a proportional valve controller for forward-reverse power shuttle control of agricultural tractors

Hyeon-Ho Jeon<sup>1</sup>, Taek-Jin Kim<sup>2</sup>, Wan-Soo Kim<sup>3</sup>, Yeon-Soo Kim<sup>4,5</sup>, Chang-Hyun Choi<sup>6</sup>, Yong-Hyeon Kim<sup>7,\*</sup>, Yong-Joo Kim<sup>8,4\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Smart Agricultural Systems, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

<sup>2</sup>Research and Development Institute, TYM Co., Ltd., Gongju 32530, Korea

<sup>3</sup>Institute of Agricultural Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

<sup>4</sup>Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

<sup>5</sup>Smart Agricultural Machinery R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology (KITECH), Gimje 54325, Korea

<sup>6</sup>Department of Bio-Mechatronics Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 16419, Korea

<sup>7</sup>Gint Co., Ltd., Suwon 16225, Korea

\*Corresponding author: yonghyeon.kim@gintlab.com, babina@cnu.ac.kr

### Abstract

Due to the characteristics of the farmland in Korea, forward and reverse shift is the most used. The fatigue of farmers is caused by forward and reverse shifting with a manual transmission. Therefore, it is necessary to improve the convenience of forward and backward shifting. This study was a basic study on the development of a current control system for forward and reverse shifting of agricultural tractors using proportional control valves and a controller. A test bench was fabricated to evaluate the current control accuracy of the control system, and the stability of the controller was evaluated through CPU (central processing unit) load measurements. A controller was selected to evaluate the stability of the proportional valve controller. The stability evaluation was performed by comparing and analyzing the command current of the controller and the actual current measured. The command current was measured using a CAN (controller area network) communication device and DAQ (data acquisition). The actual current was measured with a current probe and an oscilloscope. The control system and stability evaluation was performed by measuring the CPU load on the controller during control operations. The average load factor was 12.27%, and when 5 tasks were applied, it was shown to be 70.65%. This figure was lower than the CPU limit of 74.34%, when 5 tasks were applied and was judged to be a stable system.

**Keywords:** agricultural tractor, CPU (central processing unit) load ratio, current control, electronic control system, proportional control valve



### OPEN ACCESS

**Citation:** Jeon HH, Kim TJ, Kim WS, Kim YS, Choi CH, Kim YH, Kim YJ. Stability evaluation of a proportional valve controller for forward-reverse power shuttle control of agricultural tractors. Korean Journal of Agricultural Science 48:597-606. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20210050>

**Received:** June 28, 2021

**Revised:** August 17, 2021

**Accepted:** August 18, 2021

**Copyright:** © 2021 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

(사)한국농업기계학회/2021년 추계공동학술대회

**트랙터 전자유압시스템용 비례제어 밸브의 제어 성능 평가**

**Control performance evaluation of proportional valve**

**이준호<sup>1</sup>**      **김원수<sup>2</sup>**      **김용현<sup>3</sup>**      **김용주<sup>1,4\*</sup>**  
**Jun-Ho Lee<sup>1</sup>**    **Wan-Soo Kim<sup>2</sup>**    **Yong-Hyeon Kim<sup>3</sup>**    **Yong-Joo Kim<sup>1,4\*</sup>**

<sup>1</sup>충남대학교 스마트농업시스템학과  
1Department of Smart Agricultural Systems, Chungnam National University, Daejeon, Korea  
<sup>2</sup>충남대학교 농업과학연구소  
<sup>2</sup>Institute of Agricultural Science & Technology, Chungnam National University, Daejeon, Korea  
<sup>3</sup>(주)긴트  
<sup>3</sup>Gint Co. Ltd., Suwon 16225, Korea  
<sup>4</sup>충남대학교 바이오시스템기계공학과  
<sup>4</sup>Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea

**초록(Abstract)**

농촌인구의 감소 및 고령화에 따라 농작업 편의성 향상에 대한 필요성이 증대되고 있으며, 농기계 제조사들은 고효율 농작업 구현을 위하여 트랙터용 자동변속시스템에 대한 기술 개발을 진행 중이다. 트랙터용 비례제어밸브는 자동 변속을 구현하기 위하여 클러치를 제어하는데 사용될 뿐만 아니라, 농작업기를 연결하는 3점치와 트랙터 조향장치 등 트랙터 내에 유압장치에 사용되고 있다. 이에 따라 MCU (Main Control Unit)에서 처리해야 할 데이터 수가 많아지므로 제어 성능이 저하 될 수 있다. 이는, SOC (System On Chip)를 활용함으로써 해결될 수 있다. 본 연구의 목적은 SOC가 부착된 제어를 이용하여 비례제어밸브의 제어를 수행함에 따라, 목표 전류와 실제 전류를 측정하여 오차 값을 분석하고 이를 통해 비례제어밸브의 제어 성능을 평가하는 것이다. 비례제어밸브 제어 성능평가를 수행하기 4개의 비례제어밸브, 유압펌프 및 전기모터, 밸브 제어를 수행하는 제어를 사용하여 시험장치를 구성하였으며, 목표전류 프로파일과 실제 제어기에서 흐르는 전류를 전류 프로브로 측정하여 오차를 측정하였다. 제어기 목표 전류 조건은 자동변속기 클러치의 체결 시 1,200, 300, 400, 550, 900, 1,100, 1,200 mA, 해제 시 100, 1,050, 900, 700, 400, 300, 200 mA로 구성하였다. 시험 결과는 목표 전류 대비 실제 출력 전류의 오차율이 최대 0.67%로 나타났으며, 시험에 사용된 전류 프로브 오차 1%를 고려할 때, 최대 오차는 1.67% 내외로 우수한 유압 제어 성능을 수행한 것으로 판단된다. 하지만, 본 연구는 비례제어밸브 단품의 제어 성능에 대한 평가만 다루었으며 사용된 비례제어밸브 및 개발된 제어를 실제 트랙터에 적용하기 위해서는 추가적인 기능 구현에 대한 평가가 필수적이다. 향후 연구에서는 실차 상태에서 다양한 조건별 테스트를 통해 성능 평가를 수행할 예정이다.

**키워드(Keywords)**

Agricultural tractor, Proportional valve, Valve control, Test bench

**사사(Acknowledgement)**

본 논문은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 첨단농기계산업화기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(321062-02).

\*교신저자 김용주(babina@cnu.ac.kr)

기관 : 충남대학교

연구개발과제 주요 결과물 (14) : 학술발표

(사)한국농업기계화정책연구원 2021 동계학술대회는문집

KAMPI Winter Conference

## 자동조향 트랙터용 비례제어밸브 시뮬레이션 모델 개발 Development of Proportional Valve Simulation Model for an Agricultural Tractor

최지원<sup>1</sup>  
Ji-Won Choi<sup>1</sup>

김완수<sup>1,2\*</sup>  
Wan-Soo Kim<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 농업생명과학대학 바이오시스템기계공학과

<sup>1</sup>Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

<sup>2</sup>충남대학교 농업과학연구소

<sup>2</sup>Institute of Agricultural Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

\* E-mail :

### 초록(Abstract)

본 연구는 트랙터용 자동 조향 시스템 개발을 위한 기초연구로써, 자동조향용 비례제어밸브 시뮬레이션 모델을 개발하기 위하여 수행되었다. 시뮬레이션 모델은 비례제어밸브 도면 및 자동조향 시스템 설계도를 기반으로 1D-domain 해석 소프트웨어 AMESIM을 이용하여 개발되었다. 시뮬레이션 모델은 유압펌프, 릴리프 밸브, 메인 valve 및 신호 입력 모델, 액츄에이터로 구성하였다. 시뮬레이션 요소 부품 모델 중 밸브는 라이브러리 컴포넌트 및 Valve builder를 통해 개발하였다. 시뮬레이션 조건에서 펌프 모델의 토출 유량은 60 lpm으로 설정하였고, 메인 밸브로 입력되는 유량은 17 lpm으로 설정하였다. 시뮬레이션 모델 평가는 무부하 조건 및 고부하 조건(100 kgf/cm<sup>2</sup>)에서 수행되었으며, 시뮬레이션 해석 결과는 벤치시험 결과와 비교되었다. 무부하 조건에서 실린더 단에 작용하는 유압동력은 R 및 L제어 조건에서 각각 0.38 kW, 0.39 kW로 나타났으며, 시뮬레이션 결과는 R 및 L제어 조건에서 모두 0.39 kW로 나타났다. 고부하 조건에서 실린더 단에 작용하는 유압동력은 벤치시험 결과, R 및 L제어 조건에서 각각 2.65 kW, 2.59 kW로 나타났으며, 시뮬레이션 결과는 R 및 L제어 조건에서 모두 1.69 kW로 계산되었다. 시뮬레이션 결과와 벤치 시험 결과를 비교한 결과, 시뮬레이션 모델의 평균 정확도는 81.45%로 나타났다. 따라서, 본 연구에서 개발된 시뮬레이션 모델은 자동조향용 비례제어밸브 설계 및 개발에 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 향후 연구에서는 실차 조건에서 데이터를 계속하고 시뮬레이션 모델을 검증 및 보완할 예정이다.

### 사사(Acknowledgement)

본 논문은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 첨단농기계산업화기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(321062-02).

### 키워드(Keywords)

자동 조향, AMESIM, 비례제어밸브, 시뮬레이션 모델

# [별첨3-2] 2차년도 목표 달성 실적

## (1) 평가항목별 성적서

기관 : 하이드로텍(주)

기술적 성과목표 (1,2,3,4) : 자동 조향 밸브 시험 성적서 (공인인증시험)

**대구기계부품연구원**  
대구機械部品研究院  
DAEGU MECHANICAL & MATERIALS INSTITUTE  
대구광역시 달서구 성서공단로11길32(호림동)  
TEL: (053)608-2112 FAX: (053)608-2119



# 시험 성적서

- 성적서 번호 : TE-22-02943
- 의뢰자  
기관명 : 하이드로텍 주식회사  
주소 : 대구 달서구 성서로 68길 3(갈산동)
- 시험대상 품목 : 대형 (75kW이상) 트랙터용 스마트 자동 조향 시스템 개발
- 접수일자 : 2022. 11.28
- 시험장소 : □ 고정시험실 ■ 현장시험  
(주소 : 대구광역시 달서구 성서로 68길 3)
- 시험방법 : 다음 쪽 "시험방법" 참조
- 시험결과 : 다음 쪽 "시험결과" 참조

- 페이지 번호 : 8 쪽 중 1 쪽
- 시험기간 : 2022. 11.15 ~ 2022. 12. 23

작성자  
성명 : 권태하



기술책임자  
성명 : 오상균



위의 내용은 신청인이 제출한 시험품에 대한 결과이며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

2022.12.28



## 대구기계부품연구원장



발급 및 결과문의 - <http://www.dmi.re.kr>



TP-0114-02(1/2)(01)A4(210×297mm)

기관 : 하이드로텍(주)

연구개발과제 주요 결과물 (1) : 특허출원(1)

관인생략

## 출원번호통지서

출원일자 2022.10.18  
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)  
출원번호 10-2022-0133948 (접수번호 1-1-2022-1095659-47)  
(DAS접근코드D78C)  
출원인명칭 하이드로텍(주)(1-2009-020897-5)  
대리인성명 정대섭(9-2004-000419-4)  
발명자성명 정재훈 송지훈 김하림  
발명의명칭 파일럿 체크밸브

## 특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.  
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 통보된 납입명수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.  
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호  
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.  
※ 심사제도 안내 : <https://www.kipo.go.kr>-지식재산제도

제출 일자 : 2022-12-23 10-2022-0133948

【과제번호】 3210622  
【부처명】 농림축산식품부  
【과제관리(전문)기관명】 농림식품기술기획평가원  
【연구사업명】 첨단농기계 산업화 기술개발 사업  
【연구과제명】 대형 (75kW이상) 트랙터용 스마트 자동 조향 시스템 개발  
【기여율】 1/1  
【과제수행기관명】 하이드로텍(주)  
【연구기간】 2021.04.01 ~ 2022.12.31  
【취지】 위와 같이 특허청장(특허심판원장, 심판장)에게 제출합니다.

대리인 정대섭 (서명 또는 인)

기관 : 대동공업(주)

기술적 성과목표 (16,17,18,19) : 자동 조향 제어기 시험 성적서 (공인인증시험)



**KITECH**  
한국생산기술연구원

충청남도 천안시 서북구 입장면 양대기로길 89  
Tel: 041-589-8114 | Fax : 041-589-8120 | www.kitech.re.kr

# 시험 성적서

## (Test Report)

- 1. 성적서 번호 : C22N920057-01-01-(00-00)
- 2. 의뢰자 : 대동(주)  
대구 달성군 논공읍 논공중앙로34길 35 (북리)
- 3. 시험기간 : 2022-11-24 ~ 2022-11-25
- 4. 용도 : 시험분석
- 5. 품목/시료명 : 75kW 트랙터용 스마트 자동 조향 시스템  
\* 시험의뢰자가 제공한 시료 및 시료명에만 한정됩니다.
- 6. 시험방법 : 75kW 트랙터용 스마트 자동 조향 시스템 성능시험
- 7. 시험결과 : 다음 페이지 참조
- 8. 시험장소 : 경상남도 창원군 창녕읍 창녕공단길 39, 대동공업 기술연구소

시험자	기술책임자
확인 성명 : 박진선 연락처 : _____	(인) 성명 : 김정길 연락처 : _____

2022년 12월 09일

한국생산기술연구원장



- 비고 : 1. 본 성적서는 고객이 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과에 한하며, 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
- 2. 본 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금지합니다.
- 3. 본 성적서의 진위 확인은 QR코드로 확인가능합니다.



page: 1 of 18

[QP-17-03A]

C22N920057-01-01-(00-00)



기관 : (주)네이스코

기술적 성과목표 (5,6,7,8,9,10,11,12,13) : 자동 조향 제어기 시험 성적서 (공인인증시험)

총 4페이지 중 1페이지

# 시험 성적서

## KATECH

31214 충남 천안시 동남구 풍세면 풍세로 303

Tel.041-559-3342 Fax.041-559-3029

http://www.katech.re.kr

성적서번호 : KTS222502-1

### 의뢰자

기관명 : (주)네이스코

주소 : 경기도 성남시 중원구 순환로 94(상대원동)

접수일 : 2022년 11월 18일

시험시작일 : 2022년 11월 30일

시험종료일 : 2022년 12월 01일

성적서발행일 : 2022년 12월 08일

성적서 용도 : 제출용

시험명 : 자동조향 제어기

시험방법 : 의뢰자 제시

시험실환경 : 온도 (20 ~ 22) °C, 습도 (45 ~ 55) % R.H.

시험장소 : 고정시험실 (충남 천안시 동남구 풍세면 풍세로 303)

## 시험 결과

시험항목	시험결과	비고
진동시험	4 페이지 참조	2 ~ 3 페이지 참조

- 비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 검체 지름에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.  
 2. 이 성적서는 우리 연구원의 사전 동의없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.  
 3. 이 성적서는 연구원의 승인없이 검정을 제외하고는 일부뿐만 복제하여 사용할 수 없습니다.  
 4. 성적서의 진위확인용 홈페이지(<http://kts.katech.re.kr>) 또는 아래 QR코드로 확인 가능합니다.  
 5. 이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인증과 관련이 없음을 밝힙니다.

확인	실무자	기술책임자
	성명 : 권혁진	성명 : 신현동

한국자동차연구원장



기관 : (주)네이스코

기술적 성과목표 (5,6,7,8,9,10,11,12,13) : 자동 조향 제어기 시험 성적서 (공인인증시험)

총 10페이지 중 1페이지

# 시험 성적서

## KATECH

31214 충남 천안시 동남구 풍세면 풍세로 303

Tel.041-559-3342 Fax.041-559-3029

http://www.katech.re.kr

성적서번호 : KT8222505-1

### 의뢰자

기관명 : (주)네이스코

주소 : 경기도 성남시 중원구 순흥로 94(상대원동)

접수일 : 2022년 11월 18일

시험시작일 : 2022년 12월 02일

시험종료일 : 2022년 12월 13일

성적서발행일 : 2022년 12월 20일

성적서용도 : 제출용

시험명 : 자동조향제어기

시험방법 : 신청안이 제시한 조건

시험실험경 : 온도 : (24~26) °C, 습도 : (64~66) % R.H.

시험장소 : 고정시험실 (충남 천안시 동남구 풍세면 풍세로 303)

## 시험 결과

시험항목	시험결과	비고
저온동작시험	3 Page 참조	2 Page 참조
고온동작시험	5 Page 참조	4 Page 참조
살수시험	7 Page 참조	6 Page 참조

- 비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시험 및 시료명으로 시험한 결과로서 경쟁 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.  
 2. 이 성적서는 우리 연구원의 사전 동의없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.  
 3. 이 성적서는 연구원의 승인없이 진위를 제외하고는 일부뿐만 꼭장하여 사용할 수 없습니다.  
 4. 성적서의 진위확인용 홈페이지(<http://kts.katech.re.kr>) 또는 아래 QR코드로 확인 가능합니다.  
 5. 이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인증과 관련이 없음을 밝힙니다.

확인	실무자	기술책임자
	성명 : 유종근	성명 : 남택승

한국자동차연구원장



기관 : (주)네이스코

기술적 성과목표 (5,6,7,8,9,10,11,12,13) : 자동 조향 제어기 시험 성적서 (공인인증시험)



**KATECH**

총 37페이지 중 1페이지

# 시험 성적서

31214 충남 천안시 동남구 풍세면 풍세로 303  
Tel.041-559-3342 Fax.041-559-3029  
http://www.katech.re.kr

성적서번호 : KT6222501-1

의뢰자

기관명 : (주)네이스코  
주소 : 경기도 성남시 중원구 순환로 94(상대원동)

접수일 : 2022년 11월 18일  
시험시작일 : 2022년 11월 21일  
시험종료일 : 2022년 12월 23일  
성적서발행일 : 2022년 12월 26일  
성적서용도 : 제출용

시험명 : 자동조향제어기

시험방법 : 의뢰업체 제시규격

시험실환경 : 각항 참조

시험장소 : 고정시험실 (충남 천안시 동남구 풍세면 풍세로 303)

## 시험 결과

시험항목	시험결과	비고
Broadband/narrowband electromagnetic interference generated by ESAs	4.1항 참조	
Electromagnetic radiation - free field testing method	4.2항 참조	
Electromagnetic radiation - the bulk current injection (BCI) testing meth	4.3항 참조	
Transient disturbances conducted along 12/24 V supply lines	4.4항 참조	
Transient conducted disturbances generated by ESAs on 12/24 V supply line	4.5항 참조	
Transient voltage characteristics test A-2	4.6항 참조	
Overvoltage test (B method)	4.7항 참조	

- 비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.  
 2. 이 성적서는 우리 연구원의 사권 동의없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.  
 3. 이 성적서는 연구원의 승인없이 전체를 정의하고는 일부뿐만 복사하여 사용할 수 없습니다.  
 4. 성적서의 진위확인용 홈페이지(<http://kts.katech.re.kr>) 또는 아래 QR코드로 확인 가능합니다.  
 5. 이 성적서는 KS Q 180/IEC 17025 및 KOLAS 인증과 관련이 없음을 밝힙니다.

확인	실무자	기술책임자
	성명 : 김동균	성명 : 최병진

한국자동차연구원장





## 자동 조향 트랙터용 비례제어밸브의 동특성 분석

민이서\*, 김용주\*\*, 김완수\*\*\*

### Analysis of dynamic characteristics of proportional control valve for auto-steering tractor

Yee-Seo Min\*, Yong-Joo Kim\*\*, Wan-Soo Kim\*\*\*

**요약** 본 연구는 자동 조향 트랙터용 비례제어밸브의 국산화를 위한 기초연구로써 다양한 트랙터 조향 조건에 따른 조향 비례제어밸브 동특성 계측 및 분석을 위해 수행되었다. 동특성 데이터는 유량 및 압력 계측 시스템을 통해 수집되었으며, 수집된 유량 및 압력 데이터를 이용하여 동력을 분석하였다. 실험 조건은 트랙터 엔진 회전속도와 조향각을 주요 변수로 선정하였으며, 실험은 우레탄 노면 조건에서 수행되었다. 그 결과, 트랙터 엔진 회전속도 및 조향각이 증가함에 따라 비례제어밸브 유량, 압력, 동력이 모두 증가하는 것으로 나타났다. 특히, 동일한 엔진회전속도에서 조향각이 증가함에 따라, 유량, 압력, 동력은 각각 최대 190%, 172%, 273% 증가하는 경향을 보였으며, 동일한 조향각에서 엔진회전속도가 증가함에 따라, 유량, 압력, 동력은 각각 최대 161%, 122%, 168% 증가하는 경향을 보였다. 이를 통해, 조향각이 엔진 회전속도보다 비례제어밸브의 동특성에 더 높은 영향을 미치는 것을 확인하였다.

**Abstract** The aim of this study is to analyze the dynamic characteristics of proportional control valves according to various working conditions as a basic study for developing proportional control valves for auto-steering tractors. The dynamic characteristics of proportional valves were measured using hydraulic characteristics measurement system, and the power was analyzed using measured flow rate and pressure data. As the experimental conditions, the tractor engine speed and steering angle was selected as the main variables, and the experiment was performed on urethane road conditions. As a result, it was found that the flow rate, pressure, and power of the proportional control valve increased as the tractor engine speed and steering angle increased. In particular, as the steering angle increased at the same engine speed, the flow rate, pressure, and power tended to increase by up to 190%, 172%, and 273%, respectively. Similarly, as the engine speed increased at the same steering angle, the flow rate, pressure, and power tended to increase up to 161%, 122%, and 168%, respectively. Therefore, it can be seen that the steering angle has a higher influence on the dynamic characteristics of the proportional control valve than the engine speed.

**Key Words** : Agricultural tractor, Steering system, Proportional control valve, Flow rate, Hydraulic power, Pressure

#### 1. 서론

전 세계적인 농업인구의 고령화 및 여성화로 인하여

농가의 노동력 문제가 대두되고 있다[1]. 자율주행 기술은 이러한 농촌 노동력 문제 해결과 동시에 고효율

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Advanced Production Technology Development Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (321062-02).

\*Department of Bio-Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University

\*\*Department of Biosystems Machinery Engineering & Department of Smart Agriculture Systems, Chungnam National University

\*\*\*Corresponding Author : Department of Bio-Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University (wansoo.kim@knu.ac.kr)

Received September 21, 2022

Revised October 03, 2022

Accepted October 18, 2022

ENGINEERING

## Analysis of load data for developing a self-propelled underground crop harvester during potato harvesting

Min Jong Park<sup>1</sup>, Seung Min Baek<sup>2</sup>, Seung Yun Baek<sup>2</sup>, Hyeon Ho Jeon<sup>2</sup>, Wan Soo Kim<sup>3</sup>, Ryu Gap Lim<sup>4</sup>, Yong Joo Kim<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

<sup>2</sup>Department of Smart Agriculture Systems, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

<sup>3</sup>Department of Bio Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

<sup>4</sup>Innovalley Substantiation Team, KOAT, Iksan 54667, Korea

\*Corresponding author:

### Abstract

The purpose of this study is to develop a self-propelled underground crop harvester and its performance was evaluated by measuring the load during actual potato harvesting operations. This study was conducted at a constant working speed of 1 km·h<sup>-1</sup>. A load measurement system was installed to measure the actual load and the required working power was analyzed. A hydraulic pressure sensor was also installed to measure the hydraulic pressure. The required hydraulic power was calculated using the hydraulic pressure and flow rate. The results showed that the engine speed, torque, and power during harvesting operation were in the range of 845 - 1,423 rpm, 95 - 228 Nm, and 9 - 31 kW, respectively. Traction power, excluding the hydraulic pump of the tractor and power take-off (PTO) output, was in the range of 9 - 28 kW, and it was confirmed that it occupies a ratio of 16.2 to 50% of the engine rated output. The engine can supply the minimum required traction power to move the vehicle. This means that the engine used in this study could be down-sized to be suitable for an underground crop harvester. In this study, the gear stages of the tractor were not considered. This research thus shows the possibility of developing a self-propelled underground crop harvester.

**Key words:** harvester, load, measurement, self-propelled, underground crop



### OPEN ACCESS

**Citation:** Park MJ, Baek SM, Baek SY, Jeon HH, Kim WS, Lim RG, Kim YJ. Analysis of load data for developing a self-propelled underground crop harvester during potato harvesting. Korean Journal of Agricultural Science 49:845-855. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20220077>

**Received:** October 12, 2022

**Revised:** November 09, 2022

**Accepted:** November 14, 2022

**Copyright:** © 2022 Korean Journal of Agricultural Science

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

### Introduction

전 세계 인구는 2050년까지 100억명 이상까지 증가할 것으로 예상되며(Kim et al., 2020), 농업 생산성 증대에 대한 관심이 지속적으로 증가하고 있다. 국내 농업 기계화율은 벼농사의 경우 지속적으로 증가하여 2020년 기준 98.6%에 달하지만, 밭농사의 기계화율은 61.9%에 불과한 것으로 나타났다(KOSIS, 2021a). 이는 수확 작물의 종류가 한정된 논농업에 비해, 밭 농

(사)한국농업기계학회/2022년 춘계학술대회

**자율주행 트랙터 조향제어를 위한 비례제어밸브 해석 모델 개발**

Development of proportional valve analysis model for steering control of autonomous tractor

김완수

Wan-Soo Kim\*

경북대학교 생물산업기계공학전공

Department of Bio-Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea

**초록(Abstract)**

농작업 효율 향상과 농민의 노동력 감소를 위하여 트랙터 자율주행 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 트랙터 자율주행을 위해서는 조향제어가 필수적이며, 조향제어에 사용되는 전자비례 제어밸브의 성능은 자율주행 성능에 직접적인 영향을 미친다. 본 연구는 자율주행 트랙터에 사용되는 조향 제어용 유압시스템 해석 모델 개발을 위한 기초연구로서, 전자비례제어밸브 해석 모델을 개발하기 위하여 수행되었다. 해석 모델은 트랙터 자동조향 시스템 설계도 및 탑재된 비례제어밸브 제원을 기반으로 1D-domain 소프트웨어인 AMESIM을 이용하여 개발되었다. 해석 모델은 유압 펌프, 릴리프 밸브, 방향제어밸브, 액추에이터와 같은 단품 모델을 기반으로 개발하였다. 개발된 해석 모델의 정확도를 검증하기 위하여 실내 시험장치에서의 밸브 단품 시험을 수행하였으며, 절대상대오차를 통하여 해석 모델의 정확도를 평가하였다. 해석 모델의 입력 조건은 실내 시험 조건과 동일하도록 유압펌프의 유량 및 방향제어밸브 입력 유량은 각각 60 LPM, 17 LPM으로 설정하였다. 비례제어밸브 성능은 실린더에 작용하는 부하를 3수준(무부하, 50 kgf/cm<sup>2</sup>, 100 kgf/cm<sup>2</sup>)으로 구분하여 평가하였으며, 좌(L)·우(R) 조향에 대하여 평균값으로 분석하였다. 그 결과 유량, 압력, 출력의 절대상대오차는 무부하 조건에서 2.8%, 3.7%, 1.3%로 나타났으며, 50 kgf/cm<sup>2</sup> 조건에서 5.7%, 4.6%, 10% 그리고 100 kgf/cm<sup>2</sup> 조건에서 14.1%, 24.8%, 35.4%로 나타났다. 무부하 조건, 50 kgf/cm<sup>2</sup> 조건에서는 각각 95%, 90% 이상의 우수한 정확도를 보인 반면, 100 kgf/cm<sup>2</sup> 조건에서는 65% 수준으로 다소 낮은 정확도를 보였다. 따라서, 본 연구를 통해 개발된 해석 모델은 무부하 및 중부하수준의 부하 조건에서 자율주행 트랙터의 조향제어용 비례제어밸브의 성능 평가에 적용할 수 있다고 판단된다. 향후 연구에서는 해석 모델을 보완함으로써 고부하 조건에서의 해석 정확도를 향상시킬 예정이며, 트랙터를 이용한 실차 데이터를 수집함으로써 해석 모델의 신뢰성을 확보할 예정이다.

**키워드(Keywords)**

Agricultural tractor, Autonomous tractor, Auto-steering, Proportional valve, Valve control

**사사(Acknowledgement)**

본 논문은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 첨단농기계산업화기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(321062-02).

\*교신저자 : wansoo.kim@knu.ac.kr

## 자동조향 트랙터용 비례제어밸브의 등가 유량 및 압력 분석 Analysis of Equivalent Flow Rate and Pressure of Proportional Control Valve for Auto-Steering Tractors

민이서<sup>1</sup>                      김완수<sup>1\*</sup>  
Yee-Seo Min<sup>1</sup>              Wan-Soo Kim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 생물산업기계공학과

Department of Bio-Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University

\*교신저자: 김완수

### 초록(Abstract)

국내 농업인구의 감소 및 여성화·고령화로 인하여 농가의 노동력 문제는 더욱 심화되고 있다. 이러한 노동력 문제를 해결하고 고효율 농작업을 구현하기 위한 방안으로 자율주행 트랙터의 필요성이 증가하고 있다. 자동조향 기술은 자율주행 트랙터의 핵심기술 중 하나이며, 이는 조향 비례제어밸브의 성능에 큰 영향을 받는다. 그러나, 아직까지 국내 자동 조향용 비례제어밸브는 대부분 해외 제품에 의존하고 있어, 신뢰성 있는 자동 조향용 비례제어밸브 국산화에 대한 기술개발이 필요한 실정이다. 본 연구는 비례제어밸브 국산화 기술 개발을 위한 기초연구로서, 트랙터 작업조건에 따른 비례제어밸브의 동특성을 계측 및 분석하고자 수행되었다. 본 연구에서는 자동 조향 유압 시스템이 적용된 93 kW급 대형 트랙터를 사용하였으며, 비례제어밸브 양쪽 포트에 유량 센서(Hysense QG 100, Hydrotechnik, Germany) 및 압력 센서(Hysense PR130, Hydrotechnik, Germany)를 설치하고 데이터 수집 장치(Q.brixx A107, Gantner, Austria)를 이용해 유량 및 압력 데이터를 수집하였다. 실험조건은 트랙터에 탑재된 엔진의 주요 작동점과 최대 조향각(54°)을 고려하여 각각 엔진 회전속도 4수준(900, 1400, 2200, 2400 rpm)과 조향각 3수준(16, 38, 54°)으로 선정하였다. 수집된 데이터는 연속적으로 변동하는 유량 및 압력으로, 이를 대표할 수 있는 하나의 등가 유량 및 압력으로 산출되었다. 그 결과, 등가 유량 및 압력은 전체 작업조건에서 각각 4.12~9.29 lpm, 35.8~99.8 bar 수준으로 나타났다. 동일한 조향각 조건에서 엔진 회전속도에 따라, 등가 유량 및 압력은 각각 최대 60.9%, 26.7% 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 동일한 엔진 회전속도 조건에서 조향각에 따라, 등가 유량 및 압력은 각각 최대 89.7%, 144.0% 증가하는 것으로 나타났다. 결과적으로 트랙터 작업 조건 중 조향각이 엔진 회전속도에 비해 비례제어밸브 등가 유량 및 압력 특성에 더 높은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 향후 연구에서는 본 연구에서 산출된 등가 유량 및 압력을 이용하여 비례제어밸브 시뮬레이션 모델 개발 및 성능 평가에 관한 연구를 수행할 예정이다.

키워드(Keywords) : 자동 조향, 트랙터, 비례제어밸브, 등가 유량, 등가 압력

### 사사(Acknowledgement)

본 연구는 농림식품기술기획평가원의 첨단생산기술개발사업(과제번호:321062-02) 지원으로 수행되었음.

## 농업용 트랙터의 자동 조향을 위한 비례제어밸브 유량 및 압력 특성 분석

민 이 서<sup>1)</sup> · 김 완 수<sup>1)\*</sup>

경북대학교 생물산업기계공학과<sup>1)</sup>

### Analysis of Flow Rate and Pressure Characteristics of Proportional Control Valves for Auto-steering Agricultural Tractor

Yee-Seo Min<sup>1)</sup> · Wan-Soo Kim<sup>\*1)</sup>

*Department of Bio-Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University<sup>1)</sup>*

**Key words** : Agricultural tractor(농업용 트랙터), Auto-steering(자동 조향), Steering system(조향계), Proportional control valve(비례제어밸브), Flow rate(유량), Pressure(압력)

\* 김완수

국내 농가는 고령화 및 여성화로 인하여 노동력 수급에 어려움을 겪고 있다. 이러한 노동력 문제를 해결하고, 농업 생산성을 향상시키기 위하여 자율주행 농업기계에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다. 자율주행 기술은 특히 전체 농업기계 중 68.8%로 높은 공급 비율을 갖는 트랙터를 중심으로 개발되고 있다. 자율주행 기술 중 대표적인 핵심 기술은 트랙터의 좌·우 조향을 제어하는 자동 조향 기술이다. 자동 조향 트랙터는 작업 특성상 고부하 대응이 가능한 유압식 조향 시스템이 주로 사용되며, 이는 전자비례제어밸브 성능에 좌우된다. 하지만, 아직까지 국내 자동 조향 트랙터는 성능 문제로 대부분 해외 제조사에서 개발된 비례제어밸브를 적용하고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구는 트랙터 자동 조향용 비례제어밸브의 국산화를 위한 기초연구로써, 트랙터 자동 조향 시스템의 핵심 부품인 비례제어밸브의 유량 및 압력 특성을 분석하기 위해 수행하였다. 본 연구에 사용된 트랙터는 자동 조향 기술이 적용된 93 kW급 대형 트랙터이다. 비례제어밸브의 유량 및 압력 데이터 계측을 위해 비례제어밸브의 양쪽 포트에 유량 센서(Hysense QG 100, Hydrotechnik, Germany) 및 압력 센서(Hysense PR130, Hydrotechnik, Germany)를 설치하였으며, 데이터 수집 장치(Q.brixx A107, Gantner, Austria)를 이용해 데이터를 수집하였다. 실험조건은 트랙터에 탑재된 엔진의 주요 작동점(Idle, 최대토크, 정격 회전속도, 최대 회전속도)을 고려하여 각각 엔진회전속도 4수준(900, 1400, 2200, 2400rpm)과 조향각 3수준(16, 38, 54°)으로 선정하였다. 수집된 데이터는 일원분산분석(One-way ANOVA)을 수행하였으며, LSD (Least Significant Difference)를 통하여 사후 검증을 수행하여 각 조향 조건 간의 통계적 유의성을 분석하였다. 주요 결과로, 트랙터 엔진회전속도 및 조향각이 증가함에 따라, 비례제어밸브의 유량 및 압력이 증가하는 것으로 나타났다. 특히, 동일한 엔진회전속도 조건에서 조향각 증가 시 유량, 압력은 각각 최대 190%, 172% 증가하였고, 동일한 조향각 조건에서 엔진회전속도 증가 시 유량, 압력은 각각 최대 161%, 122% 증가하였다. 엔진회전속도 대비 조향각이 비례제어밸브의 유량 및 압력 특성에 더 높은 영향을 나타냈다. 또한, 각 작업조건별 비례제어밸브 유량 및 압력 특성은 대부분 통계적으로 유의한 차이를 보였으나, 일부 구간에서는 동일한 조향각에서 엔진회전속도가 변경됨에 따라 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 향후 비례제어밸브의 국산화를 위한 기초 데이터로 활용될 수 있을 것으로 예상되며, 향후 연구에서는 비례제어밸브 시뮬레이션 모델 개발을 통해 자동조향 트랙터의 성능 평가를 수행할 예정이다.

#### 사사 (Acknowledgement)

본 연구는 농림식품기술기획평가원의 첨단생산기술개발사업(과제번호:321062-02) 지원으로 수행되었음.

The XX CIGR World Congress 2022, December 5 - 9, 2022, Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan

## Development of proportional valve analysis model for steering control of an autonomous tractor

Yee-Seo Min<sup>1</sup>, Wan-Soo Kim<sup>1\*</sup>, Young-Woo Doh<sup>1</sup>

<sup>1,2</sup> Department of Bio-Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea

\* Corresponding author. Email: wansoo.kin@knu.ac.kr

### Abstract

Heavy tractors use hydraulic steering systems to cope with high load variations. For automatic steering of the tractor, the performance of the proportional electronic control valve of the hydraulic steering system directly affects the steering performance. This study aims to develop a simulation model of an electric proportional control valve to be used in future studies to improve the automatic steering performance of tractors. The simulation results of the analysis model were compared with the actual vehicle test results to verify the accuracy of the flow rate, pressure, and power of the proportional control valve port. The simulation and actual vehicle tests were conducted under three load conditions. The average power accuracy of the three load conditions is 84.3%, which increased under the low load condition and decreased under the high load condition.

**Keywords:** Agricultural tractor, Autonomous tractor, Auto-steering, Proportional valve, Valve control

### 1. Introduction

Autonomous tractors are being continuously studied to improve agricultural work efficiency and reduce farmers' labor (Stentz et al. 2002). To maintain the work path, autonomous operation of tractors includes steering control, autonomous path planning, environmental awareness, etc (Blackmore et al. 2002). For large tractors, it is more appropriate to use a hydraulic steering system than the electric motor method as it operates under high-load conditions (Lee et al. 2022). The performance of the electronic proportional control valve used for steering control directly affects the autonomous driving performance. Therefore, the purpose of this study is to develop an electronic proportional control valve analysis model to improve the performance of the automatic steering tractor. This model can be used to simulate and evaluate the performance of the automatic steering tractor. The model was designed and developed to predict the performance of the steering system driving unit under each load condition. The predictive performance of the simulation model was verified using actual experimental data.

### 2. Materials and Methods

The analysis model was developed using Simcenter AMESIM (version 2021.2, Siemens Digital Industries Software, Company, US), 1D-domain software. Based on a single product model such as a hydraulic pump, a relief valve, a direction control valve, and an actuator, utilized a tractor auto-steering system drawing and proportional control valve specifications. The flow rate of the hydraulic pump was set to 60 LPM, and the input flow rate of the direction control valve was set to 17 LPM so that the input conditions of the analysis model were the same as the

indoor test conditions. The performance of the proportional control valve was evaluated by dividing the load acting on the cylinder into three levels (no load, 50kgf/cm<sup>2</sup>, 100kgf/cm<sup>2</sup>), and analyzed as an average value for Left and Right steering. The input signal model was applied as a square wave output to control the change of position of the main valve and the actuator operation direction according to the signal. Under the simulation conditions, a non-uniform load occurs during an actual tractor operation, and an arbitrary load pressure was selected to confirm an effect on the valve according to the load condition. (No load, 50kgf/cm<sup>2</sup>, 100kgf/cm<sup>2</sup>)

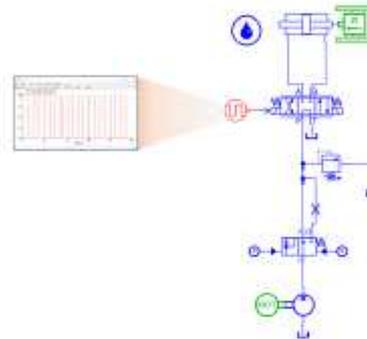


Figure 1. Simulation analysis model of actuator movement according to the main valve position.

The developed autonomous steering model was evaluated based on flow rate, pressure, and power. The flow rate and pressure at the main valve output terminal are the same as the flow rate and pressure at the actuator input terminal, so the simulation result at the main valve output terminal was used. Hydraulic power was calculated through the following Eq (1) and was calculated through the post-processing function in AMESIM using the pressure and flow rate result data.

$$Power_{hydraulic} = \eta_v \times \frac{P \times Q}{600} \quad (1)$$

where  $Power_{hydraulic}$  is the power of the hydraulic system (kW),  $\eta_v$  is efficiency (%),  $P$  is the pressure of the hydraulic system (bar),  $Q$  is the flow rate of the hydraulic system (L/min)

To confirm the accuracy of the developed analysis model, a single valve test was performed on an indoor test rig, and the accuracy was evaluated with relative error.

### 3. Results and Discussion

The power required to drive the actuator under no-load

기관 : 경북대학교

연구개발과제 주요 결과물 (14) : 인력양성

- 1차년도에 연구과제에 참여한 충남대학교 강명수 학부생 졸업예정(2023.02)

\* 원본확인번호 : 85D8-83012-4690-76569

제 2022 - 132721 호

## 졸업예정증명서

성 명 : 강명수  
생 년 월 일 :   
대 학 : 농업생명과학대학  
학 과 : 바이오시스템기계공학과  
부 전 공 1 :  
부 전 공 2 :  
복 수 전 공1 :  
복 수 전 공2 :  
입 학 년 월 일 : 2017년 03월 01일  
졸업예정년월일 : 2023년 02월 24일  
취득예정학위명 : 공학사

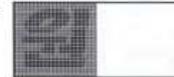
위의 사실을 증명합니다.

2022년 12월 19일

충남대학교 총장



<https://cnu.icerti.com/icerti/compare.jsp> 에 접속하여 증명서 원본확인번호를 입력하면 증명서 원본대조 및 유효성을 검증할 수 있습니다. QR코드를 이용하면 더욱 편리합니다. (발급일로부터 180일 이내)



### 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단농기계 산업화 기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단농기계 산업화 기술 개발 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.