

# 최 종 보 고 서

11-1543  
000-002  
109-01

발간등록번호

11-1543000-002109-01

무동력  
디스크  
해로우  
방식의  
경운과  
배토  
고효율  
복합  
작업기

최  
종  
보  
고  
서

2018

농림축산식품부

무동력 디스크해로우 방식의 경운과  
배토 고효율 복합작업기 R&D Report

## 무동력 디스크해로우 방식의 경운과 배토 고효율 복합작업기 최종보고서

2018. 2. 28.

주관연구기관 / (주)그린맥스  
협동연구기관 / 그린하이팜  
전주대학교  
한국기계연구원

농 립 축 산 식 품 부

# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “무동력 디스크해로우 방식의 경운과 배토 고효율 복합작업기”(개발기간 : 2015. 11. 30. ~ 2017. 11. 29.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2018. 02. 28.

주관연구기관명 : (주)그린맥스

(대표자)

강대식



협동연구기관명 : 그린하이팜

(대표자)

정용석



협동연구기관명 : 전주대학교

(대표자)

변주승



협동연구기관명 : 한국기계연구원

(대표자)

박천홍



주관연구책임자 : 강대식

협동연구책임자 : 정용석

협동연구책임자 : 이충호

협동연구책임자 : 한정우

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

## 보고서 요약서

과제고유번호	115040-2	해당 단계 연구 기간	2015.11.30.~ 2017.11.29.	단 계 구 분	(2 단계) / (총 2 단계)
연구 사업 명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	첨단생산기술개발사업			
연구 과제 명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세 부 과 제 명	무동력 디스크해로우 방식의 경운과 배토 고효율 복합작업기			
연구 책임자	강대식	해당단계 참 여 연구원 수	총: 29명 내부: 29명 외부: 0명	해당단계 연구 개발비	정부:550,000천원 민간:184,500천원 계:734,500천원
		총 연구기간 참 여 연구원 수	총: 58명 내부: 58명 외부: 0명	총 연구개발비	정부:1,100,000천원 민간:369,000천원 계:1,469,000천원
연구기관명 및 소속부서명	(주)그린맥스			참여기업명 그린하이팜, 전주대학교, 한구기계연 구원	
위탁 연구	연구기관명: 경상대학교			연구책임자: 김현대	
1.연구개발 최종목표 트랙터 후방 부착 복합(원판디스크+ 치즐쟁기+ 2row배토기) 형식 무동력 디스크해로우방식의 경운과 배토 고효율 복합작업기 개발				보고서 면수 350	
2.연구개발 성과 가.연구개발 주요추진실적 (1)디스크해로우 복합작업기 3D설계, 부품개발 및 시작품 제작 (2)두둑 폭 가능한 가변형 배토기 개발 및 시작품 제작 (3)주요부구조해석 및 간이견인장치개발, 시험데이터 설계반영 (4)복합작업기 주요구성품(디스크해로우, 치즐, 디스크해로우 스프링, 디스크해로우허브베어링) 피로내구도 해석 및 평가에 따른 시험 절차서 개발					

- (5)디스크해로우 작업특성 연구용 Soil-bin 제작  
 -디스크해로우 작업특성에 따른 경운작업분석연구  
 -토양 조건에 따른 디스크해로우(반전율, 쇠토율, 경운 깊이)  
 시험 및 시험데이터 설계반영
- (6)시작품 정량적 목표 달성

항목	정량적 목표	실적		결과
		1차년도	2차년도	
작업속도(km/h)	15 이상	15.49	15.60	ok
작업 폭(cm)	250 이상	251.8	255.0	ok
복합작업기 수(개)	3	3	3	ok
경운 깊이(cm)	20 이상	20.3	20.8	ok
소요동력(Hp)	90 이상	95	95	ok

나.특허 출원 2건, 등록 1건

- (1)특허 출원 (10-2016-0123844)  
 치즐배토기 형식의 디스크해로우, 2016.09.27
- (2)특허 등록 (제10-1740377호)  
 치즐배토기 형식의 디스크해로우, 2017.05.22.
- (3)특허 출원 (10-2017-0143720)  
 주행안전성이 향상된 무동력 디스크해로우, 2017.10.31.

다.비SCI논문 게재3건, 진행5건 (게재확정1건, 투고진행4건)

- (1)전주대학교 게재1건(투고예정 2건)  
 (2)한국기계연구원 게재2건(게재확정 1건)  
 (3)경상대학교 게재0건(심사진행 2건)

라.학술대회 발표 14건

- (1)전주대학교 8건  
 (2)한국기계연구원 3건  
 (3)경상대학교 3건

마.교육지도 및 인력양성 3건(86명)

- (1)무동력 디스크해로우 복합작업기 현장실습교육 8명  
 (2)국가공인 역설계 기능인력 양성과정 1차년도 48명  
 (3)국가공인 역설계 기능인력 양성과정 2차년도 30명

바.홍보전시

- (1)디스크해로우 시작품 제작 시연회 2016.09.30.  
 (2)한국농기계신문 게재 2016.09.30.  
 (3)김제 농업기계 박람회 출품 2017.11.08.~2017.11.10.

사.고용

- (1)연구인력 6명 및 간접인력 15명 총 21명 채용

## < 국문 요약문 >

	코드번호	D-01																				
<p style="text-align: center;">연구의 목적 및 내용</p>	<p><b>1. 연구의 목적</b></p> <p>○ 무동력 디스크헤로우방식의 경운과 배토 고효율 복합작업기 개발</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">작물</th> <th style="width: 15%;">작업속도</th> <th style="width: 15%;">중량</th> <th style="width: 15%;">작업 폭</th> <th style="width: 15%;">적용마력</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">고추</td> <td style="text-align: center;">15(km/h)</td> <td style="text-align: center;">1,451(kg)</td> <td style="text-align: center;">2.5(m)</td> <td style="text-align: center;">90(HP)이상</td> </tr> <tr> <th style="width: 15%;">경운 깊이</th> <th style="width: 15%;">형태</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">복합작업내용</th> <th style="width: 15%;">목표가격</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">15(cm)</td> <td style="text-align: center;">트랙터 후방 부착형</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">원판디스크+치즐쟁기+2골배토기 (3가지 복합작업)</td> <td style="text-align: center;">900(만원대)</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 무동력디스크헤로우 복합작업기 시작품제작</li> <li>■ 두둑 폭 가능한 가변형 2row배토기 시작품제작</li> <li>■ 3D모델링과 주요부 구조해석, 견인부하와 작업속도의 포장시험 분석</li> <li>■ 복합작업기 주요구성부품의 신뢰성 확보를 위한 시험평가 기술개발</li> <li>■ 디스크헤로우의 배토성, 토양반전을 등의 반복적 포장시험(soil-bin)을 통해 실제필드에서 발생하는 문제점을 해결하고자 함.</li> </ul> <p><b>2. 연구개발 내용</b></p> <p>○ 주관기관 [(주)그린맥스]</p> <p>가. 1차년도</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 작업기 구성품의 하중시험에 대한 논문 및 시험규격 분석             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국산화 경제성 분석</li> </ul> </li> <li>② 주요 메커니즘 분석 및 시스템 레이아웃 설계             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 주요장치의 layout 및 최적 조건의 제품 설계</li> <li>- 주요 요소부품 Mechanism 및 동력전달부품 등의 설계</li> <li>- 3D 모델링 및 해석조건(경계조건, 하중, 재질 등) 부합한 설계</li> </ul> </li> <li>③ 작업 성능 시험검증 및 신뢰성평가용 시작품 제작             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 트랙터 3점지지 마스터 제작</li> <li>- 메인프레임 제작</li> <li>- 원판 연결장치 및 보호장치 개발</li> <li>- 치즐 쟁기 개발</li> </ul> </li> <li>④ 포장시험 [위탁기관: 경상대학교]             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 테스트 베드(Soil-bin)제작 및 반복실증시험 배토성 결과물 분석</li> <li>- 테스트 시 발생된 문제정리 및 보완으로 필드 문제점 최소화</li> </ul> </li> </ol> <p>나. 2차년도</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 설계 Data를 기본으로 원천기술 확보 ,고유 모델개발             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 신뢰성평가 결과물로 철강 재질, 강도 등 재 검토</li> <li>- 최대 작업 능력 및 사용조건을 고려한 구조물 설계 재검토</li> <li>- 복합작업기 개념 정리</li> </ul> </li> <li>② 무동력 복합 디스크헤로우 시작품 제작             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 신뢰성 평가 항목 제작에 반영</li> <li>- 시작품 결과와 구조해석결과 치 비교분석</li> </ul> </li> <li>③ 시작품 트랙터 견인부하 및 내구성 종합 평가</li> <li>④ 시험포장 설계 재분석 [위탁기관: 경상대학교]</li> </ol>		작물	작업속도	중량	작업 폭	적용마력	고추	15(km/h)	1,451(kg)	2.5(m)	90(HP)이상	경운 깊이	형태	복합작업내용		목표가격	15(cm)	트랙터 후방 부착형	원판디스크+치즐쟁기+2골배토기 (3가지 복합작업)		900(만원대)
작물	작업속도	중량	작업 폭	적용마력																		
고추	15(km/h)	1,451(kg)	2.5(m)	90(HP)이상																		
경운 깊이	형태	복합작업내용		목표가격																		
15(cm)	트랙터 후방 부착형	원판디스크+치즐쟁기+2골배토기 (3가지 복합작업)		900(만원대)																		

- 실증시험으로 연구 목표 달성치 확인
- 고추작물을 위한 배토기능 적합여부 확인

○ 협동기관1 [그린하이팜]

가. 1차년도

- ① 국내외 작물별 배토기 특성 분석
- ② 고추밭에 적합한 배토기 설계
  - 강도, 구조해석
  - 폭 조절 가변식 설계
- ③ 고추밭에 특화된 가변식 배토기 시작품 제작
- ④ 디스크해로우 용접구조물 용접지그 최적화 설계
  - 용접변형 최소화 구조
- ⑤ 신뢰성 평가에 필요한 지그 픽처 최적화 설계 및 제작
- ⑥ 배토기 실증 포장시험
  - 테스트 베드 실증시험 배토성 결과물 분석
  - 테스트 시 발생된 문제정리 및 보완으로 필드 문제점 최소화

나. 2차년도

- ① 디스크해로우와 연결 구조의 가변식 고추배토기 시작품 제작
  - 연결구성품의 신뢰성 평가 결과치 시작품과 비교 평가
- ② 메인프레임 및 3점지지 마스터 등 용접 피척 제작
- ③ 신뢰성 평가를 위한 지그 픽처 설계 및 제작
- ④ 배토기 실증 포장시험

○ 협동기관2 [전주대학교]

가. 1차년도

- ① 복합작업기 3D 모델링을 통한 해석
- ② 복합기 전체 프레임에 대한 구조해석
- ③ 간이 견인부하 측정 장치의 개발과 해석 방법 개발

나. 2차년도

- ① 주요부 구조설계와 해석을 통한 신뢰성 설계
- ② 원판부의 비틀림 각도에 대한 분석
- ③ 트랙터 작업속도 측정 설계 및 실험
- ④ 견인부하에 대한 마력별 포장시험과 해석결과의 분석

○ 협동기관3 [한국기계연구원]

가. 1차년도

- ① 작업기 구성품의 하중시험에 대한 논문 및 시험규격 분석
- ② 필드 시험 또는 선진자료 분석을 통한 시험하중 도출
  - 시험 토양조건 및 트랙터 / 복합작업기의 작업조건 분석
  - 측정 항목/측정 위치 / 센서 타입 결정
  - 계측용 센서(육분력계 & 스트레인게이지) 부착 및 시험 수행
  - 재료 특성(SN곡선)을 고려한 피로 손상도 분석 : Miner's rule 적용
- ③ 디스크해로우 지지용 베어링 하중 분석 및 수명 예측
- ④ 신뢰성 확보를 위한 시험절차서 개발

- 시험 항목 및 결과분석 방법 연구
- 작업기 구성품별 정하중 및 피로 시험을 위한 시험절차서 개발

나. 2차년도

- ① 신뢰성 확보를 위한 시험절차서 개발
  - 시험 항목 및 결과분석 방법 연구
  - 작업기 구성품별 정하중 및 피로 시험을 위한 시험절차서 개발
- ② 작업기 구성품 시험장치 개발
  - 핵심 구성품별 시험용 지그 설계 및 제작
  - 핵심 구성품별 시험장치 개발
- ③ 최종시제품의 핵심 구성품 신뢰성 시험
  - 작업기 핵심 구성품 원판 연결부 및 코일 스프링의 정하중 시험
  - 작업기 핵심 구성품 원판 연결부 및 코일 스프링의 피로 시험
  - 원판해로우지지 베어링의 수명 시험

○ 위탁기관 [경상대학교]

가. 1차년도

- ① 시험포장 및 배토 관련 연구동향 세부 분석
- ② 고추작물 토양의 종류별 배토성 및 전국 고추 주산단지 동향 분석
- ③ 테스트베드(Soil-bin)제작 반복적 포장시험, 토양강도 및 함수율 분석 및 쇠토율, 반전율 시험 연구

나. 2차년도

- ① 시험포장 설계 재분석
- ② 포장시험
  - 토양의 물리적, 작업기의 역학적 특성에 따른 관계 규명
  - 토양에 관한 연구 복합작업기에 적용하여 최종실험
- ③ 실제 작업 시 신뢰성 및 실용화평가
  - 발생문제 인자에 대한 해결방안 설계

연구개발성과

**1. 정성적 성과**

가. 무동력 디스크해로우 복합작업기 3D설계 및 시작품 개발

나. 두둑폭조절이 가능한 가변형 배토기 설계 및 시작품 개발

다. 레이저 스캐닝을 이용한 제품역설계 모델링 최적화 설계기술 개발

라. 복합작업기 주요구성품의 신뢰성 확보를 위한 시험평가 기술개발

마. 토양분석에 따른 디스크해로우 경운작업분석 및 설계지원기술 개발

**2. 정량적 성과**

가. 지식재산권

순	지식재산권 명칭	국명	출원			등록		
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호
1	치출배토기형식의 디스크해로우	대한민국	그린맥스	2016.09.27	10-2016-0123844	그린맥스	2017.05.22	10-1740377
2	주행안전성이 향상된 무동력 디스크해로우	대한민국	그린맥스	2017.10.31	10-2017-0143720			

나. 논문 게재 / 발표 실적

구분 순 (논문 /학회)	논문명	저자명	논문게재지	일시	장소	SCI 등재 여부
1 논문	3차원스캐닝과 역설계를 이용한 트랙터 복합작업기 치수 검사	이충호	한국기계공학학회	2017.06	국내	N
2 논문	Experimental Method for Durability Evaluation of a Chisel Mounted on a Composite Working Implement	한정우 외3	J. of Biosystems Eng.	2017.12	국내	N
3 논문	6분력계를 이용한 복합작업기의 작업하중 측정과 피로 손상도 계산	김응경 외3	J. of Agricultural Life and Environmental Sciences	2017.12	국내	N
4 논문	발작업용 복합작업기의 작업하중분석에 관한 연구	한정우 외3	대한기계학회	2018.05 계재예정	국내	N
5 학회 발표	3차원스캐닝을 이용한 무동력 해로우 복합작업기 역설계	이충호 외3	한국농업기계학회	2016.04	국내	
6 학회 발표	역설계를 이용한 트랙터 복합작업기 구조해석	이충호 외5	한국기계공학학회	2016.10	국내	
7 학회 발표	3차원 스캐닝기술을 이용한 트랙터용 복합 작업기 설계	이충호 외5	한국농업기계학회	2016.10	국내	
8 학회 발표	무동력 디스크해로우의 디스크 각도별 작용력과 치즐플라우에 대한 해석	이충호 외4	한국농업기계학회 한국정밀농업학회	2016.11	국내	
9 학회 발표	무동력 트랙터 복합작업기의 디스크 구조해석	이충호 외3	한국농업기계학회	2017.04	국내	
10 학회 발표	견인력에 따른 디스크해로우와 치즐의 부하하중	이충호 외4	한국기계공학학회	2017.10	국내	
11 학회 발표	고속 복합작업기의 외부하중에 따른 디스크 및 치즐쟁기의 구조해석	이충호 외3	한국농업기계학회	2017.10	국내	
12 학회 발표	트랙터용 무동력 복합작업기 경량화 설계모델링	이충호 외3	한국농업기계학회	2017.10	국내	
13 학회 발표	무동력 디스크해로우 방식의 경운과 배토 고효율 복합작업기의 치즐 및 디스크해로우의 구조적 안전성 해석	강가에 외3	한국농업기계학회 한국정밀농업학회	2016.11	국내	
14 학회 발표	무동력 디스크해로우 작업기의 치즐 및 디스크해로우 암의 구조해석 및 스트레인 게이지 위치선정	신인경 외3	한국농업기계학회	2017.04	국내	
15 학회 발표	무동력 디스크해로우 작업기의 허브베어링 수명 예측	신인경 외2	한국농업기계학회 농업생산무인자동 화연구센터	2017.10	국내	
16 학회 발표	토양 및 작업기의 물리적 특성에 따른 경운 작업 분석	정호준 외4	한국농업기계학회 한국정밀농업학회	2016.11	국내	
17 학회 발표	Analysis of tilling operation according to the physical form of soil & mechanical properties of the work machine	정호준 외3	GIGR2016, International Conference on Agricultural Engineering, The poster-ID number	2016.06	덴마크	
18 학회 발표	Analysis of tillage operations with variable working machine parameters using a disc harrow	Frank Gyan Okyere 외5	한국농업 기계학회 추계학술	2017.10	국내	



	<p>다. 교육지도</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 국가공인 역설계 기능인력 양성과정 교육지도 78명</li> <li>■ 국가공인 역설계기능 민간자격취득 교육 78명 (19명 자격증취득)</li> <li>■ 디스크해로우 복합작업기 현장실습교육 8명</li> </ul> <p>라. 고용창출</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 연구인력 6명, 간접인력15명 총21명 신규채용</li> </ul> <p>마. 홍보전시</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2016.09.30. 디스크해로우 복합작업기 시작품 시연회 농기계신문 홍보</li> <li>■ 2017.11.08. 김제 농업박람회 출품 홍보</li> </ul>				
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<p><b>1. 기술적 측면</b></p> <p>가. 무동력 원판해로우 국산화로 원천기술 확보</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 복합 고속작업기 설계기술 및 조립기술 확보</li> <li>■ 구성 요소부품 설계 및 제작기술</li> <li>■ 원판해로우 구조물, 구성 요소품 내구수명 및 신뢰성평가 원천기술</li> <li>■ 복합작업기 결합 및 연결 기술 확보</li> </ul> <p>나. 유사한 용도의 디스크해로우 제품 개발로 농기계시장 활성화</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 연구대상 작물(고추) 외 다른 작물에도 적용 가능한 배토기 복합작업기의 원판디스크해로우 개발</li> <li>■ 디스크해로우와 맥류파종기를 결합한 파생 복합작업기 개발</li> <li>■ 수출전략형 대형트랙터(180마력대) 6m 폴더형 디스크해로우 개발</li> </ul> <p><b>2. 경제적 측면</b></p> <p>가. 가격경쟁력(900만원대)을 갖추면서 내구성 및 작업편리성을 만족시키는 복합작업기 개발 공급하여 농민의 정식 전 작업기 구입비용(약2천만원)을 (약1천만원)으로 절감효과 제공과 고속작업(15km/h)으로 경비절감효과</p> <p>나. 연구개발 기간 내 몽고 및 중국 출장을 통해 해외 복합작업기 시장 분석 완료 및 주 타겟 시장 니즈를 확보, 중국 및 몽고 기존 딜러망 활용하여 판매 추진 국가 경쟁력 향상 및 무역수지 개선</p> <p><b>3. 파급효과</b></p> <p>가. 사업화 성공 시 국내매출 증가 및 수출증가</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2018년 상용화추진 향 후 3년간 예상매출계획 85.5억원 (내수 58.5억 ·수출27억)</li> </ul> <p><b>4. 고용창출 효과</b></p> <p>가. 상용화계획에 의거 기존인력 외에 연구인력 1명, 전담영업인력 1명 생산인력 3명 등 5명의 신규인력채용 계획임</p>				
<p>중심어 (5개 이내)</p>	<p>디스크해로우</p>	<p>해로우배토기</p>	<p>무동력해로우</p>	<p>치즐 디스크해로우</p>	<p>치즐배토기</p>

## < SUMMARY >

		코드번호	D-02		
Purpose& Contents	<b>1. Purpose</b> ○Composite working implement of High efficiency with cultivator & ridged by Unpowered harrow				
	<b>crop</b>	<b>velocity</b>	<b>weight</b>	<b>width</b>	<b>horsepower</b>
	chilli	15km/h	1450kg	2.5m	90Hp
	<b>depth</b>	<b>form</b>	<b>price</b>	<b>composite working</b>	
	15cm	tractor attachments	900,000,000	disk+ chisel+ 2 furrow ridger (3 composite working)	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Manufacturing of composite working machine prototype</li> <li>■ Manufacturing of variable ridger prototype</li> <li>■ 3d modeling, structure analysis of main part and test of traction load and velocity</li> <li>■ Development of test evaluation for securing reliability of composite implement main component</li> <li>■ Repetitive packaging test of the soil properties to solve problems in the actual field</li> </ul>				
	<b>2. Contents</b> ○GREENMAX Co., Ltd.				
	<b>I. 1st year</b>				
	① Analysis of papers and test specifications for load test of working machine components <ul style="list-style-type: none"> <li>- localization economic analysis</li> </ul>				
	② Analysis of main mechanism and system layout design <ul style="list-style-type: none"> <li>- Product design of layout and optimum condition of main device</li> <li>- Design of main component parts mechanism and power transfer parts</li> <li>- 3D modeling and analysis conditions (boundary condition, load, material, etc.)</li> </ul>				
③ Work performance, test verification and production of prototype for reliability evaluation <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tractor 3 point support master production</li> <li>- Mainframe production</li> <li>- Development of disk connecting device and protection device</li> <li>- Development of chisel plow</li> </ul>					
④ Packing test [Commissioned by Gyeongsang National University] <ul style="list-style-type: none"> <li>- Test bed (Soil-bin) fabrication and repeated verification test</li> <li>- Minimize field problems by organizing and supplementing problems that occurred during testing</li> </ul>					
<b>II. 2nd year</b>					
① Securing basic source technology of design data, developing unique					

model

- As a result of reliability evaluation, steel material, strength review
- Re-examination of structure design with Considering maximum working capacity and conditions of use
- Summary of complex machine overview
- ② production of prototype of disk harrow
  - reflected in the production of reliability evaluation items
  - Comparative analysis of prototype results and structural analysis results
- ③ Prototype evaluation of Tractor Towing and Durability
- ④ Re-analysis of test packaging design [Commissioned by Gyeongsang National University]
  - Confirmation of the achievement of the research goal with the demonstration test
  - Confirmation of suitability for chili for crops

○ GREEN HIFARM

I. 1st year

- ① Analysis of characteristics of cultivating plants by domestic and overseas crops
- ② Design of paddy soil suitable for pepper field
  - Strength, structural analysis
  - Variable width control design
- ③ Production of modified pottery specimen specialized in pepper field
- ④ Optimum design of welding jig for disc harrow welding structure
  - Welding strain minimization structure
- ⑤ Jig picture optimization design and production for reliability evaluation
- ⑥ Verification packing test of ridger
  - Analysis of batch saturation Result by Test Bed Verification Test
  - Minimize field problems by organizing and supplementing problems that occurred during testing

II. 2nd year

- ① Manufacture of flexible harvesting machine for disc harrow and connection structure
  - Reliability evaluation of connected components.
- ② Main figure and three point support master
- ③ Design and manufacture of jig picture for reliability evaluation
- ④ Verification packing test of ridger

○ JEONJU UNIVERSITY

I. 1st year

- ① Interpretation through 3D modeling of complex machine
- ② Structural analysis for all frame of Composite working machine
- ③ Development of simple traction load measuring device and

development of analysis method

II. 2nd year

- ① Reliability design by designing and analyzing main structure
- ② Analysis of twist angle of disk
- ③ Tractor working speed measurement design and experiment
- ④ Analysis of packing test and analysis results by horsepower for traction load

○ KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS

I. 1st year

- ① Analysis of the papers and test specifications for the load test of the work machine components
- ② Derive test load through field test or advanced data analysis
  - Analysis of working conditions of test soil condition and tractor/compound machine
  - Measurement item/measurement position/sensor type determination
  - Attachment and test of measuring sensor (force meter and strain gage)
  - Fatigue damage analysis considering material characteristics (SN curve): Miner's rule application
- ③ Bearing Load Analysis and Life Prediction for Disk Harrow Support
- ④ Development of test procedures to ensure reliability
  - Study of test items and results analysis method
  - Developed test procedure for static load and fatigue test by working machine components

II. 2nd year

- ① Development of test procedures to ensure reliability
  - Study of test items and results analysis method
  - Developed test procedure for static load and fatigue test by working machine components
- ② Development of test equipment for work machine components
  - Design and manufacture of test jig for each core component
  - Development of testing equipment for core components
- ③ Core component reliability test of final prototype
  - static load test of core connection component and coil spring of machine
  - Fatigue test of core connection parts and coil spring of machine
  - Life test of disc harrow support bearing

○ GYEONGSANG NATIONAL UNIVERSITY

I. 1st year

- ① Detailed analysis of research packages related to test packaging and clay
- ② The analysis of trends of paddy fields and chillies of main crops in

	<p>Korea</p> <p>③ Soil-bin repetitive packing test, Soil strength and water content analysis, Soil ratio, ridging ratio</p> <p>II. 2nd year</p> <p>① Re-analysis of test packaging design</p> <p>② Packing test</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identification of the relationship between the physical properties of the soil and the mechanical properties of the working machine</li> <li>- Study on Soil The final experiment</li> </ul> <p>③ Evaluation of reliability and practical use in actual work</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Design solution for incident factors</li> </ul>																																																																	
Results	<p><b>1. Qualitative achievements</b></p> <p>I. 3D design and prototype development of non-motorized disc harrow complex machine</p> <p>II. Development of Variable Discharge Equipment and Prototype Development</p> <p>III. Development of reverse design modeling optimization design technology using laser scanning</p> <p>IV. Development of test evaluation technology to ensure reliability of major components of complex machine</p> <p>V. Analysis and design support technology of disc harrow according to soil analysis</p> <p><b>2. Quantitative Performance</b></p> <p>I. Intellectual property rights (Patent)</p> <table border="1" data-bbox="437 1272 1437 1585"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th rowspan="2">patent</th> <th rowspan="2">nation</th> <th colspan="3">application</th> <th colspan="3">registration</th> </tr> <tr> <th>applicant</th> <th>date</th> <th>number</th> <th>registrant</th> <th>date</th> <th>number</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Disc harrow topdressers type of chisel</td> <td>korea</td> <td>greenmax</td> <td>2016.09.27</td> <td>10-2016-0123844</td> <td>greenmax</td> <td>2017.05.22</td> <td>10-1740377</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Non-motorized disc harrows with improved driving stability</td> <td>korea</td> <td>greenmax</td> <td>2017.10.31</td> <td>10-2017-0143720</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>II. Thesis/Symposium thesis</p> <table border="1" data-bbox="437 1675 1437 2027"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th>name</th> <th>1 author</th> <th>publication</th> <th>date</th> <th>place</th> <th>SCI listing</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>thesis</td> <td>Inspection of Composite Working Implement of Tractor using 3D Scanning and Reverse Design</td> <td>lee chung ho</td> <td>korean society for agricultural machinery</td> <td>2016</td> <td>korea</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>thesis</td> <td>Experimental Method for Durability Evaluation of a Chisel Mounted on a Composite Working Implement</td> <td>han jeong woo</td> <td>Journal of Biosystems Engineering</td> <td>2016.12</td> <td>korea</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>thesis</td> <td>Working Load Measurement using 6-Component Load Cell and Fatigue Damage Analysis of Composite</td> <td>kim eung kyung</td> <td>Journal of Agricultural Life and</td> <td>2017</td> <td>korea</td> <td>N</td> </tr> </tbody> </table>		patent	nation	application			registration			applicant	date	number	registrant	date	number	1	Disc harrow topdressers type of chisel	korea	greenmax	2016.09.27	10-2016-0123844	greenmax	2017.05.22	10-1740377	2	Non-motorized disc harrows with improved driving stability	korea	greenmax	2017.10.31	10-2017-0143720						name	1 author	publication	date	place	SCI listing	1	thesis	Inspection of Composite Working Implement of Tractor using 3D Scanning and Reverse Design	lee chung ho	korean society for agricultural machinery	2016	korea	N	2	thesis	Experimental Method for Durability Evaluation of a Chisel Mounted on a Composite Working Implement	han jeong woo	Journal of Biosystems Engineering	2016.12	korea	N	3	thesis	Working Load Measurement using 6-Component Load Cell and Fatigue Damage Analysis of Composite	kim eung kyung	Journal of Agricultural Life and	2017	korea	N
	patent				nation	application			registration																																																									
		applicant	date	number		registrant	date	number																																																										
1	Disc harrow topdressers type of chisel	korea	greenmax	2016.09.27	10-2016-0123844	greenmax	2017.05.22	10-1740377																																																										
2	Non-motorized disc harrows with improved driving stability	korea	greenmax	2017.10.31	10-2017-0143720																																																													
		name	1 author	publication	date	place	SCI listing																																																											
1	thesis	Inspection of Composite Working Implement of Tractor using 3D Scanning and Reverse Design	lee chung ho	korean society for agricultural machinery	2016	korea	N																																																											
2	thesis	Experimental Method for Durability Evaluation of a Chisel Mounted on a Composite Working Implement	han jeong woo	Journal of Biosystems Engineering	2016.12	korea	N																																																											
3	thesis	Working Load Measurement using 6-Component Load Cell and Fatigue Damage Analysis of Composite	kim eung kyung	Journal of Agricultural Life and	2017	korea	N																																																											

		Working Implement		Environmental Sciences			
4	thesis	A Study on Working Loads Analysis of Composite Working Implement for Agricultural Machine	han jeong woo	the korean society of mechanical engineers	2018.05 Publication on schedule	korea	N
5	symposium thesis	Reverse Design of Composite Working Implement of Unpowered Harrow using 3D Scanner	lee chung ho	korean society for agricultural machinery	2016	korea	
6	symposium thesis	Structural Analysis of Multi-disc Tractor Implements using Reverse Design	lee chung ho	the korean society of manufacturing process engineers	2016.10	korea	
7	symposium thesis	Reverse Design of Multi-disk Tractor Implements using 3D Scanning Technology	lee chung ho	the korean society of manufacturing process engineers	2016.10	korea	
8	symposium thesis	Load Analysis according to the Angle of the Unpowered Disc Harrow and Chisel Plow	lee chung ho	korean society for agricultural machinery	2016	korea	
9	symposium thesis	Disk Harrow Structure Analysis of Non-motorized Composite Implement of Tractor	lee chung ho	korean society for agricultural machinery	2017	korea	
10	symposium thesis	Loading Force of Disc Harrow and Chisel Plow for Drawbar Pulls	lee chung ho	the korean society of manufacturing process engineers	2017.10	korea	
11	symposium thesis	Structural Analysis for High Speed Nonpowered Implement Complex	lee chung ho	korean society for agricultural machinery	2017.10	korea	
12	symposium thesis	Design and Structural Analysis for Lightening Design of Nonpowered Tractor Implement Complex	lee chung ho	korean society for agricultural machinery	2017.10	korea	
13	symposium thesis	Structural analysis of chisel and disk harrow for composite working implement of high efficiency with cultivator and ridged by unpowered harrow	kang ka ae	korean society for agricultural machinery	2016	korea	
14	symposium thesis	Structural analysis and selection of strain gauge point of chisel and disk harrow arm for unpowered disk harrow working implement	sin in kyung	korean society for agricultural machinery	2017.04	korea	
15	symposium thesis	Structural analysis and selection of strain gauge point of chisel and disk harrow arm for unpowered disk harrow working implement	sin in kyung	korean society for agricultural machinery	2017.10.	korea	
16	symposium	Analysis of Tilling Operation according to the Physical Form of	jeong ho	korean society for agricultural	2016	korea	

	m thesi s	Soil & Work Machine	jun	machinery			
	17 symp osiu m thesi s	Analysis of tilling operation according to the physical form of soil & mechanical properties of the work machine	jeong ho jun	GIGR2016, International Conference on Agricultural Engineering, The poster-ID number	2016.06	denmar k	
	18 symp osiu m thesi s	Analysis of tillage operations with variable working machine parameters using a disc harrow	Frank Gyan Okyere	korean society for agricultural machinery	2017.10	korea	
	<p>III. Manpower cultivation</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Authentication of state reverse engineering skill manpower cultivation class 78 people (acquisition of capacity 19 people)</li> <li>■ Disk harrow composite machine trial performance and education 8 people</li> </ul> <p>IV. Employment</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Hired 5 researchers, Indirect employment 15 people</li> </ul> <p>V. Exhibition</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2016.09.30. Disk harrow trial performance and agricultural newspaper publication</li> <li>■ 2017.11.08. Gimje agricultural machine exhibition</li> </ul>						
Expected Contribution	<p><b>1. Technical side</b></p> <p>I. Secure of source technology to develop localization of unpowered disk harrow</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Secure of composite harrow design and assembly technology</li> <li>■ Element design and production technique</li> <li>■ Secure of source technology of durability and performance reliability assessment of disk harrow structure and element</li> <li>■ Secure of combination and linking technique of composite machine</li> </ul> <p>II. Rural vitalizations by developing product similar disk harrow</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Development of disk harrow be not only used chilli but used other crops</li> <li>■ Development of combination of disk harrow and barley seeder</li> <li>■ Export Strategy Large Tractor (180 Hp) 6m Folding Disc Harrow Development</li> </ul> <p><b>2. Economic side</b></p> <p>I. It has cost competitiveness (9 million won), and it has developed and supplied a complex machine that satisfies the durability and convenience of operation. It can reduce the purchase cost of the machine (about 20 million won) by about 10 million won, Cost reduction effect to fast velocity working</p>						

	<p>II. Analysis of overseas complex machine market analysis through Mongolia and China trip during R&amp;D, get the main target market needs, Promoted sales using existing dealers network in China and Mongolia and Improve national competitiveness and improve trade balance</p> <p><b>3. Ripple effect</b></p> <p>I. As product commercialization is success, increase of domestic revenue and export</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Three-year sales forecast of 85.5bn (· domestic 5.85 billion · export 2.7 billion)</li> </ul> <p><b>4. The effect of job creation</b></p> <p>I. It plans to recruit 5 new employees including 1 research manpower, 1 dedicated salesperson and 3 production workers</p>				
Keywords	Disc harrow	Harrow ridged	non-powered harrow	chisel disk harrow	chisel ridged



## < **CONTENTS** >

1. Overview of research and development project .....	
2. Internal and external technical development .....	
3. Research performance result .....	
4. Goal achievement & contribution .....	
5. The applicable planning of research result .....	
6. Security level .....	
7. Research performance .....	
8. Reference .....	

## < 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요 .....	18~34
2. 국내외 기술개발 현황 .....	35~48
3. 연구수행 내용 및 결과 .....	49~339
4. 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 .....	340~342
5. 연구결과의 활용계획 등 .....	343~346
6. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적 ....	347~347
7. 연구개발과제의 대표적 연구실적 .....	348~348
8. 참고문헌 .....	349~350

# 1장. 연구개발과제의 개요

코드번호	D-03
------	------

## 1절. 연구개발 목적

### ○ 개발대상의 기본개념

가. 발농사의 정식 전 작업은 보편적으로 심경토양반전+쇄토반전+정식전배토작업 등의 3단계로 파종(정식) 환경(Seed Bed)이 조성되며, 이 과정을 농가에서 각각의 작업기로 수행함에 따른 작업기 구입비용이 크다.

나. 일반적인 정식 전 Seed Bed 조성 작업형태는 쟁기작업(심경토양반전)1회+로터베이터작업(경운쇄토)2회+로타리부착전용배토기(두둑배토)1회로 이루어지며, 쟁기작업 외의 작업은 트랙터 PTO 동력원으로 작업되므로, 1(ha) 기준 평균작업속도는 1.8~3.5(km/h), 작업시간은 5.35(HR), 소요인력은 4(명)으로 노동력 및 영농비용 증가로 경제성이 떨어진다.

다. 연구개발 ‘무동력 디스크해로우 방식의 고효율 복합작업기’는 트랙터 견인형 작업기로서, 고속작업(15km/h)으로 정식 전 잔여농작물 파쇄와 반전, 쇄토, 경운작업이 가능하고 필요에 따라 배토작업을 수행할 수 있어 1회의 작업으로 1(ha) 기준 작업시간이 0.7(HR), 소요인력 1(명)으로 Seed Bed를 형성하는 복합작업기 개발을 목표로 하여 작업기 구입비용 경감 및 영농비용을 절감하여 농업경쟁력을 확보할 수 있는 제품이다.

## 2절. 연구개발의 필요성

### ○ 연구개발 배경

가. 농업선진국과의 FTA 체결, 농촌의 도시개발로 농경지 감소, 농업인구 감소 및 고령화, 이상기후, 밭 작업 기계화율 저조 등으로 성장 동력을 상실한 한국 농업은 경쟁력을 회복하지 못하고, 최소한의 국가신량안보를 위한 국가 보호정책으로 유지되고 있다.

나. 농업의 경쟁력 상실은 한국 농업기계를 침체 위기로 내몰고 있다. 세계시장에 수요가 높은 제품, 농업기계 선진국의 탑 브랜드 회사들과 경쟁이 가능한 제품, 내구성과 품질 신뢰성이 보장된 수출 가능한 제품 개발 및 내수에 의존한 산업에서 다변화된 수출시장과 새로운 수출시장 개척이 가능한 산업으로 성장시켜, 한국 농기계 산업을 미래에 지속성장이 가능한 산업으로 육성해야 하는 시점이다.

다. 국내 농업현장에는 생산성 향상과 생력화 작업이 가능하고 농가 영농비용 절감을 위해 정식 전 단계인 경운 작업 시 토양의 반전, 쇄토, 비닐피복작업과 배수를 위한 고랑작업, 재배작물의 정식을 위해 최적화된 seed bed 및 배토기로 형성되어 범용으로 사용이 가능한, 토양의 반전, 쇄토, 배토가 가능한 복합작업기인 ‘**무동력 디스크해로우 방식의 경운과 배토 고효율 복합작업기**’가 필요하다.

### ○ 한국시장 필요성

#### 가. 경제적, 산업적 측면

한국은 농촌인구 감소, 고령화 및 높은 인건비를 절약하기 위한 복합작업기가 필요하지만, 고속작업 및 배토작업이 가능한 고효율 복합작업기인 무동력 디스크해로우가 국산화되어 있지 않다.

(1) 한국 토양작업기의 작업효율 비교

참고사진	작업용도 요구동력 작업 폭 경운 깊이	작업 속도	정식 전 작업순서	장단점
 로터베이터	반전, 쇄토 100HP 작업 폭 2.5m 깊이 15cm	2.5 km/h	이랑쟁기 +로터베이터 +배토기 (3-4회 작업)	*반전, 쇄토 가능하나 작업 속도 낮음 *트랙터연료소모량 과다 -트랙터 동력사용 부하
 이랑쟁기	반전 100HP 작업 폭 2.4m 깊이 15cm	3.5 km/h	이랑쟁기 +로터베이터(2회) +배토기 (4-5회 작업)	*작업 후 큰 두둑 형성, 쇄토를 위해 로터리 2회 이상 작업 필요
 몰드보드쟁기	반전 110HP 작업 폭 2m 깊이 30cm	2 km/h	몰드쟁기 +로터베이터(2회) +배토기 (4-5회 작업)	*작업 후 큰 두둑 형성, 쇄토를 위해 로터리 2회 이상 작업 필요
 동력 원판쟁기 (한국, 일본만 사용)	반전 80HP 작업 폭 2.2m 깊이 20cm	3.5 km/h	원판쟁기 +로터베이터 +배토기 (4회-5회 작업)	*작업 후 큰 두둑형성, 쇄토를 위해 로터리 2회 이상 작업 필요 *원판 구동부 고장 다발 발생 *트랙터연료소모량 과다 -트랙터 동력사용 부하

\* 한국토양 작업기 성능지표

(가) 평균작업속도 - 3km/h

(나) 평균 작업 깊이 - 20cm

(다) 트랙터 소요동력 - 90~110HP


(라) 작업 폭 - 2~2.5m

(마) 정식 전 seed bed 작업 횟수 - 3~5회

(바) 정식 전 seed bed 만드는 배토작업 별도 실시

(사) 트랙터 동력을 사용하는 로터베이터, 원판쟁기는 트랙터 부하로 연료 소모량 과다








(2) 디스크해로우(Disk Harrow)와 원판쟁기(Disc Plough)작업 기능 차이

구분	국내생산, 수입제품		연구개발제품
항목			
제품명	동력 원판쟁기	무동력 원판쟁기	디스크해로우
동력	트랙터 동력	무동력	무동력
반전	●	●	●
쇄토	X	X	●
농업잔여물 파쇄	X	X	●
부하 시 원판보호장치	X	X	●
원판 보수 유지	원판 집체구조 복잡	원판 독립구조 용이	원판 독립구조 용이
작업속도	3.5km/h	2.5km/h	15~20km/h
작업 깊이	15~20cm	20~25cm	15~20cm
최대 가능 작업 폭	1.6~2.2m	1.2~2m	1.8~12m
정식 전 복합작업	X	X	●
작업부하	트랙터동력사용 부하 큼	없음(연료소모적음)	없음(연료소모적음)
정식 전 경운상태	X	X	●
정식 전 작업횟수	4회	4회	1회
국내생산여부	●	X	X

- 연구개발제품인 디스크해로우는 복합작업구성이 정식 전 잔여농작물 파쇄와 반전, 쇄토 경운작업을 고속작업으로 수행할 수 있으며, 주요 구성품인 디스크조합이 독립구조로 탈부착 구조로 수리보수가 용이하고, 스프링 틸팅기능을 적용하여 돌이 많은 국내토양에서 순간 충격부하 시 보호 장치가 있는 디스크해로우가 필요하다.

(3) 기존제품과 연구제품의 경제성 분석

- 정식 전 작업순서비교표는 재배면적이 전국적으로 고루 분포되어있고, 재배면적이 많은 고추작물을 기준하였음.

정식전 작업순서비교 (고추밭 1.2m*2골, 작업폭 2.5m 기준)									
현재 작업순서					연구대상제품				
작업기 종류	작업	횟수	작업 속도	가격 (만원)	무동력 복합 원판해로우	작업	횟수	작업 속도	가격 (만원)
 이랑쟁기	심경 토양 반전	1		373					
 로터베이터	반전 쇄토	2		769					
 로터리 부착 전용배토기 (일반 로터리로 사용불가)			3 Km/h			심경 반전 파쇄 쇄토 배토	1	15 Km/h	900
 배토위한 전용경운날 (일반 로터리로 사용불가)	정식 전 배토	1		1,050					
 로터리 탈부착 가능 전용배토기 (배토골 형성 어려움)									
계		4	3 Km/h	2,192			1	15 Km/h	약 900

(4) 고추밭 정식 전 배토작업(Seed Bed)영농비용 절감 분석[포장면적 1(ha)\_3,000(평)]

항목	기존 작업기	연구대상 작업기	절감효과
작업속도	3km/h	15km/h	5배 생산성 증가
소요 작업시간	1시간 20분×4회 작업 = 5시간20분 (320분)	40분×1회 작업 = 40분	8배 빠름
필요작업기	3대	1대	관리비용 절감
소요 작업인원	4명	1명	3명 인건비 절감
소요 인건비	15만원×4명 = 60만원	15만원×1명 = 15만원	인건비 45만원 절감
트랙터연료소요량 (4km/L)	4리터	1리터	3리터 절약
전체 기계 구입비용	2,192만원	약 900만원	약 1,292만원 절감
소모성부품 수리보수비용	약 40만원	약 10만원	약 30만원 절감

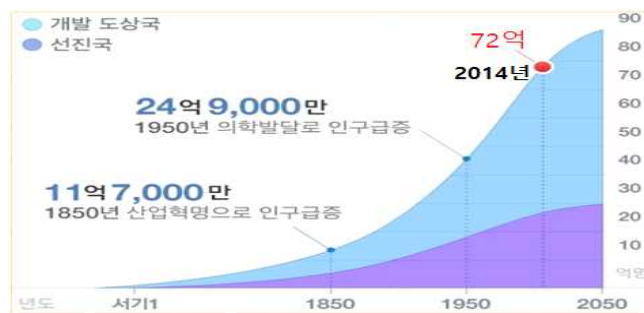
- ‘무동력 디스크헤로우 방식의 경운과 배토 고효율 복합작업기’ 는 유지보수가 쉽고, 구입 비용이 저렴하며, 생산 생력화가 가능하여 영농시간을 단축, 영농비용을 절감하여 한국 농업경쟁력을 확보할 수 있는 제품개발이라고 할 수 있다.

나. 기술적 측면의 필요성

- (1) 무동력 원판헤로우 국산화로 원천기술 확보
- (2) 복합 고속작업기 설계기술 및 조립기술 확보
- (3) 구성 요소품 설계 및 제작기술
- (4) 원판헤로우 구조물과 구성 요소품 내구수명 및 신뢰성평가 원천기술 확보
- (5) 원판이 돌과 충돌 시나 견인력 과부하시 원판보호장치 기술 확보
- (6) 복합작업기 결합 및 연결 기술 확보
- (7) 정식 전 배토를 위한 반전 및 쇄토율 개념 정리
- (8) 대형 구조물의 용접 변형 최소화기술 확보

○ 해외시장 필요성

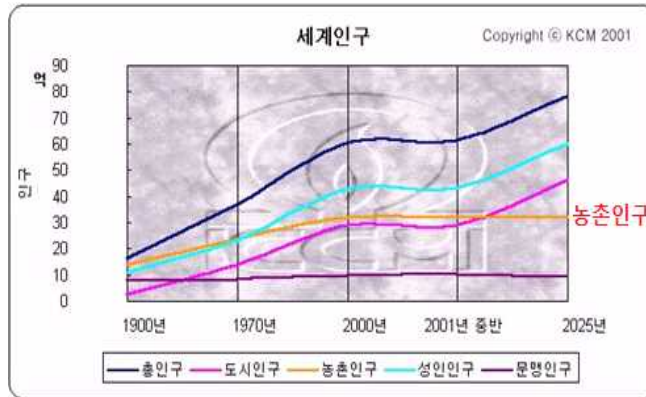
가. 농업이 미래성장 산업이 될 것이라는 예측에 대한 근거 중 가장 변함없이 뒷받침하고 있는 요인은 인구에 대한 예측이다. 인구증가의 요인은 세계 식량 수요의 원천이며, 농업 기계의 전반적인 시장 확대를 의미한다고 할 수가 있다.



<세계인구전망>

나. 세계인구 장기예측

- 2014년 UN 발표 자료에 따르면 세계인구 수가 2014년에 72억 명을 기점으로, 2025년 81억 명, 2050년에 96억 명이 될 것으로 예측되며, 이 중 54%는 아시아 지역, 33%는 아프리카 지역 등 개발도상국에서 급격히 증가할 것으로 분석되었다. 2050년에는 세계 인구 증가분의 80%가 아프리카 지역, 12%가 아시아 지역에서 증가하는 것으로 분석되었다. 세계 식량의 총 수요는 2014년 대비 2050년의 인구증가만 예측하면 약 33%가 증가하지만, 세계자원기구에 의하면 칼로리 기준의 식량 수요는 인구수의 증가보다 거의 2배인 66%가 증가할 것으로 보고 있다.

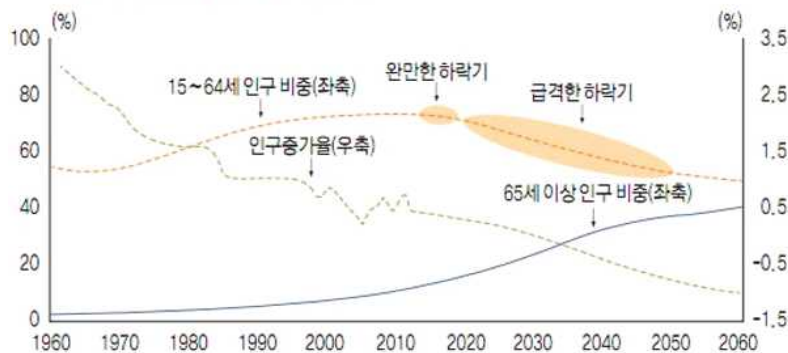


<세계인구 증가대비 농촌인구비교>

다. 세계인구 증가대비 농촌인구비교 및 한국 인구구조 변화추이

- 세계 전체 33% 인구증가에도 불구하고 산업화로 세계 농촌인구는 2014년 약 30억 명에서 정점에서 정체 할 것으로 예측하고 있다. 따라서 도시인구 증가대비 농촌인구 부족은 농업 기계화를 촉진 될 것으로 예상되면, 향후 농업기계의 성장 동력은 아시아, 아프리카시장이 될 것으로 예상 된다
- 세계인구 증가에도 불구하고, 한국은 15세~64세 생산가능인구가 2020년경부터 급격히 감소하고, 고령화 사회 진입을 예측하고 있다. 생산가능인구가 감소한다는 것은 경제 활력이 떨어질 가능성이 높아진다는 것을 예측한다. 정부의 농업선진국과 FTA 확대, 전체 생산가능 인구감소, 도시경제 활력저하는 농업경쟁력 상실하게 될 것이며, 국내 농기계 산업도 2020년을 정점으로 급격히 하락 할 것으로 예상된다. 침체위기의 내수 시장 극복을 위해 수출전략 농업기계 작업기를 개발이 필요한 시점이다.

[그림1] 우리나라 인구구조 변화 추이



출처 : 통계청 장래인구 추계 2022.12

<한국 인구구조 변화추이>

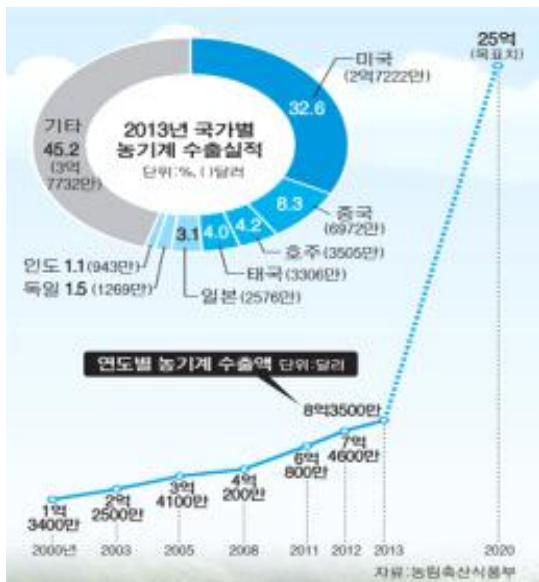


라. 개도국대상 수출전략제품으로 무동력 디스크해로우 개발 필요성

- 농업선진국(미국, EU)은 대규모 농업에 적합하게 대형트랙터 위주(150~300HP)의 디스크 해로우기반의 토양경운과 파종을 동시에 수행하는 복합작업기의 원천기술을 가지고 토양 작업기 시장을 선도하고 있다.



- 이러한 작업기는 한국과 농업환경이 비슷하고 중대형(80~150HP)트랙터가 많이 보급된 중국, 몽골 등의 개발도상국에 공급되기에는 현실적으로 제약이 많은바, 수출전략제품으로 연구개발 필요성이 있다.
- 특히, 아시아 및 아프리카의 토양은 석회질토양으로 우기에는 질퍽한 점토성토양이며, 건기에는 돌덩어리처럼 딱딱한 토양으로 Seed Bed형성을 위한 토양경운작업 시 트랙터 동력 소모량이 크고, 연료소모가 많고 작업속도와 기어박스의 잔고장이 많이 발생하는 로터베이터보다는 트랙터 동력 소모가 적고, 연료가 절약되는 디스크해로우나, 디스크 쟁기가 주요 토양작업기 시장을 형성하고 있는 추세이다.
- 따라서 현재 수출주력시장으로 형성 예상되는 아시아 및 아프리카에서 선호하는 고속 작업이 가능한 디스크해로우를 국산화하여 수출전략 농업기계로 개발할 필요성이 있다.



- \* 정부 농기계 2020년 25억 달러로 수출목표 제시
- \* 한국농기계 2014년 10억 달러 수출 달성

---

- \* 수출가능성 높은 부속작업기 개발로 신규시장 개척필요
- \* 수출지역 다변화로 수출증가 건인 필요
- \* 인구 증가 국가 농업기계 선점 필요

(출처 농림축산식품부)

<2013년 농기계 수출실적>

다. 주관기업 생산품과 연구제품과의 관련 필요성

- 주관기업인 (주)그린맥스는 1988년 창업 이후 국내에서 부속작업기 시장 및 관련기술을 선도하고 있으며, 로티베이터, 쟁기, 파종기 등 토양작업기 전문 제조회사로, 중국, 몽고, 동남아시아 등에 부속작업기를 수출하고 있다. 해외시장 선호도가 높고 같은 토양 작업기인 디스크해로우를 국산화하고 관련 원천기술을 확보하여, 내구성과 품질신뢰성이 확보된 작업기를 개발하면 현재 거래중인 해외 거래처를 통해 빠른 신규 해외시장 개척과 해외시장 수출이 가능하다.
- (주)그린맥스는 2014년 개발이 완료된 맥류파종기를 신규 개발예정인 디스크해로우와 결합하여 토양경운 및 파종기가 결합된 다목적 복합작업기를 개발한다. 이는 국내 매출 증가, 수출증가 및 관련기술 확보로 국내 부속작업기 업체의 기술 향상과 매출증가로 국내외 시장에서 한 단계 도약하는 기회가 될 것이다.



주관기관이 개발한 맥류파종기  
\*작업 폭 3m \*소요동력 80HP  
\*21 Row, 조간거리 12cm

디스크해로우와 파종기 결합 제품 예시

### 3절. 연구개발 범위

○ 연구개발의 최종목표 및 주요내용

가. 최종목표

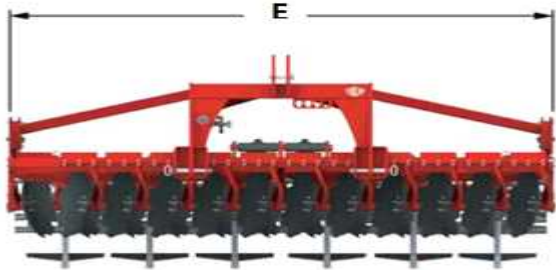
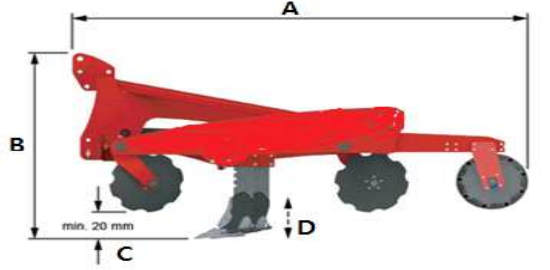
- (1) 무동력 디스크해로우방식의 경운과 배토 고효율 복합작업기 개발

작물	작업 속도	중량	작업 폭	적용 마력	경운 깊이	형태	복합작업내용	목표가격
고추	15 km/h	1450kg	2.5m	90HP 이상	15cm	트랙터 후방 부착형	원판디스크+치즐쟁기 +2골 배토기 (3가지복합작업)	900만 원대

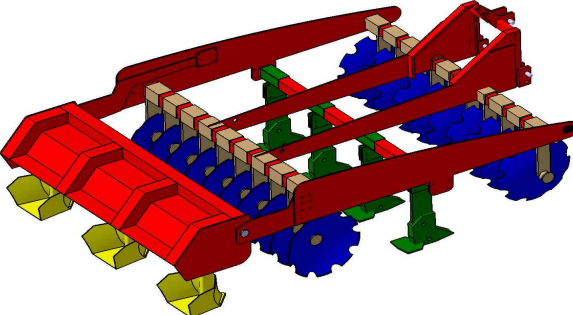

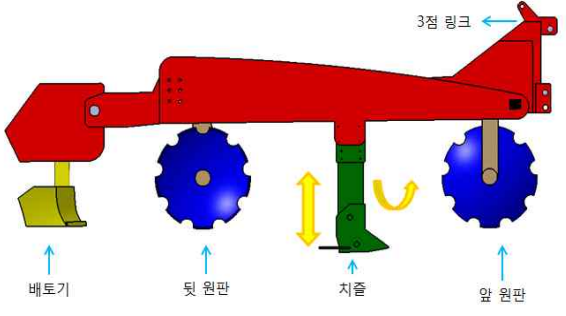


- 최종목표치 설정근거

- (가) 고추작물 배토기 한골 규격이 1.2m기준
- (나) 2골 배토 작업 시 작업 폭이 2.4m
- (다) 연구제품 목표 작업 폭을 2.5m로 설정
- (라) 2.5M 작업 폭의 2골 배토작업기 구성에 필요한 트랙터소요 동력은 90HP이상임
- (마) 고추작물 기준 선정 이유는 최근 국내 재배면적이 가장 많은 대표작물로 기준 선정함. 연구개발목표치를 특정하기 위해 고추작물로 선정하였으나, 가변식 배토기로 연구하여 다양한 작물(감자, 고구마 등)에 적용 가능하도록 개발 할 예정임.

(2) 제원

	
<ul style="list-style-type: none"> <li>* 소요트랙터 동력 80HP 이상</li> <li>* 중량 : 1450Kg</li> <li>* 원판 수량 : 18개</li> <li>* 원판외경크기 : 520~660mm</li> <li>* 치즐쟁기 수량 : 4개</li> </ul>	<p>* 작업기 크기 (mm)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A - 3210</li> <li>B - 1330</li> <li>C - Min20</li> <li>D - 240</li> <li>E - 2500</li> </ul>

(3) 개발목표 복합작업기 개략도

(4) 선진제품과 연구제품의 상세비교

비교 기술항목	선진제품 (LEMKEM 독일)	연구제품
소요동력	90마력 이상	90마력 이상
작업 폭	2.5M	2.5M
복합작업	경운, 쉘토작업	경운, 쉘토, 배토 복합기
원판보호장치	스프링 리턴방식	고무텐션 리턴방식
원판크기	520파이	560-660 파이

원판수	18개	18개
치즐경운장치	없음	치즐쟁기 성애 4개 부착
품질보증기간	3년	3년
가격	1300만원	900만원

(5) 복합작업 후 정식 전 배토형상



- 고추작물 선정이유

(가) 최근 재배면적이 많은 작물선택 (고추와 담배는 배토 두둑 크기가 같음)



(나) 콩은 파종기자체에서 두둑을 형성하면서 파종, 별도의 배토기가 필요치 않음

(다) 잡곡은 점파파종으로 별도 배토기가 필요치 않음

년도	고추	마늘	양파	무	배추	감자	콩	고구마	잡곡
2014년	36,120	25,062	23,908	5,498	15,233	15,596	76,303	20,525	37,669
2013년	45,360	29,352	20,036	7,532	15,095	20,977	80,031	22,013	33,064

(라) 연구개발목표치를 특정하기 위하여 연구대상작물을 고추로 선정 했지만 가변식 배토기를 연구하여 다양한 작물에도 적용 가능한 배토기 연구를 진행할 예정임.

(6) 주요내용

(가) 무동력 원판해로우 고효율 복합작업기 부품개발 및 시제품 제작

(나) 두둑 폭 조절이 가능한 가변형 배토기 개발(기타 작물에 적용가능검토)

- (다) 고효율 복합작업기의 3D모델링과 부하와 작업속도의 포장시험 분석  
 (라) 고효율 복합작업기 주요 구성품의 신뢰성 확보를 위한 시험평가 기술개발  
 (마) 테스트베드 실증포장시험과 시험포장 설계를 통한 토양반전, 쇄토율 및 배토성 검증

경제성	<ul style="list-style-type: none"> <li>*복합작업기 구입비용이 기존 작업기대비 경제적</li> <li>*<b>고속 작업속도</b> 경제성 실증분석</li> <li>*<b>원판해로우 + 치즐쟁기 + 배토기 3가지 복합기능</b>의 생산성 분석</li> <li>*양산시 제조원가 자료분석 및 사업성 분석</li> </ul>
작업성	<ul style="list-style-type: none"> <li>*1회 일관 복합작업으로 정식전 배토폭(1.2m) 두 골 두둑 Seed Bed 형성</li> <li>*<b>고추작물</b> 정식전 배토기능의 복합작업기 성능 실증시험</li> <li>*농업잔여물 파쇄, 반전, 쇄토성이 우수한 원판 해로우 기능</li> <li>*토양의 통기성과 지력향상 선택적으로 심경깊이 조절이 가능한 치즐쟁기부착</li> </ul>
신뢰성	<ul style="list-style-type: none"> <li>*<b>주산지에 시험포장 테스트베드 설치</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 반전율, 쇄토율, 배토성, 작업효율, 속도 등 실증평가로 실용성/경제성 분석</li> <li>- 토양작업기 시험포장 Layout 설계</li> </ul> </li> <li>*원판연결부 반복 작업 피로도 평가</li> <li>*육분력계로 견인력 및 피로 손상도 분석</li> <li>*원판 구동부 베어링 하중분석 및 수명예측           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 작업시간 1000Hr/년 내구성 확보</li> </ul> </li> <li>*신뢰성 시험기준은 품질보증 3년 보장</li> </ul>
기술성	<ul style="list-style-type: none"> <li>*3D 모델링 및 해석조건(경계조건, 하중, 재질 등) 검토</li> <li>*설계 Data를 기본으로 원천기술 확보 ,고유 모델개발</li> <li>*주요 메커니즘 분석 및 복합작업기 시스템 레이아웃 설계           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 최대 작업 능력 및 사용조건을 고려한 구조물 구조 및 강도 해석</li> </ul> </li> <li>*메인프레임 구조해석 및 신뢰성평가 결과 지표와 비교분석</li> <li>*각 구성부품 유한요소 해석 및 시뮬레이션 수행           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 하중 및 재질에 따른 구조 및 강도 해석</li> </ul> </li> <li>*90마력 이상의 트랙터 견인부하력에 견디는 연결 3점 링크 설계</li> <li>*주요 장치들의 Mechanism, 동력원, 동력전달 등의 기술 분석</li> <li>*토양 반전과 쇄토율이 우수한 최적의 원판 비틀림 각도 선정</li> <li>*원판해로우에 적합한 배토기 기구 설계</li> <li>*심경깊이 조절이 가능한 치즐쟁기 보습 과 성애 개발</li> <li>*포장시험 시 발생된 문제정리 및 보완으로 필드 문제점 최소화</li> </ul>

(7) 주요개발품

	 <p>메인프레임</p>	
<p>트랙터 연결 3점지지 마스터</p>	<p>메인프레임</p>	<p>배토기 프레임</p>
 <p>300mm</p>		
<p>원판보호장치</p>	<p>원판 연결 링크</p>	<p>원판복원 스프링</p>
		
<p>치즐보습 및 성애</p>	<p>치즐 성애 연결장치</p>	<p>원판구동 요소부품</p>
 <p>cassette sealing</p> <p>axial angular ball bearing</p>		
<p>원판 구동 셸링 구조</p>	<p>원판 복원 고무</p>	<p>치즐쟁기 상하조절용 유압실린더</p>

나. 과제별(세부, 협동)연구개발의 목표 및 내용

(1) 주관기업((주)그린맥스)

■ 연구개발목표 : 무동력 원판해로우 고효율 복합작업기 시제품 제작

■ 연구개발내용

(가) 1차년도

- ① 작업기 구성품의 하중시험에 대한 논문 및 시험규격 분석
  - 국산화 경제성 분석
- ② 주요 메커니즘 분석 및 시스템 레이아웃 설계
  - 주요장치의 layout 및 최적 조건의 제품 설계
  - 주요 요소부품 Mechanism 및 동력전달부품 등의 설계
  - 3D 모델링 및 해석조건(경계조건, 하중, 재질 등) 부합한 설계
- ③ 시제품 제작
  - 트랙터 3점지지 마스터 제작
  - 메인프레임 제작
  - 원판 연결장치 및 보호장치 개발
  - 치즐 쟁기 개발
- ④ 포장시험 (위탁기관: 경상대학교)
  - 테스트베드 실증시험 배토성 결과물 분석
  - 테스트 시 발생된 문제정리 및 보완으로 필드 문제점 최소화

(나) 2차년도

- ① 설계 Data를 기본으로 원천기술 확보 ,고유 모델개발
  - 신뢰성평가 결과물로 철강재질, 강도 등 재 검토
  - 최대 작업 능력 및 사용조건을 고려한 구조물 설계 재검토
  - 복합작업기 개념 정리
- ② 무동력 디스크 해로우 시제품 제작
  - 신뢰성 평가 항목 제작에 반영
  - 시제품 결과와 구조해석결과치 비교분석
- ③ 시제품 트랙터 견인부하 및 내구성 종합 평가
- ④ 시험포장 설계 재분석(위탁기관: 경상대학교)
  - 실증시험으로 연구 목표 달성치 확인
  - 고추작물을 위한 배토기능 적합여부 확인
- ⑤ 경제성 및 사업성 분석

(2) 협동1 (그린하이팜)

■ 연구개발목표 : 두둑폭 조절이 가능한 가변형 배토기 개발

■ 연구개발내용

(가) 1차년도

- ① 국내외 작물별 배토기 특성 분석
- ② 고추밭에 적합한 배토기 설계
  - 강도, 구조해석

- 폭 조절 가변식 설계
- ③ 고추밭에 특화된 가변식 배토기 시작품 제작
- ④ 디스크해로우 용접구조물 용접지그 최적화 설계
  - 용접변형 최소화 구조
- ⑤ 신뢰성 평가에 필요한 지그픽처 최적화 설계 및 제작
- ⑥ 배토기 실증 포장시험
  - 테스트 베드 실증시험 배토성 결과물 분석
  - 테스트 시 발생된 문제정리 및 보완으로 필드 문제점 최소화

(나) 2차년도

- ① 디스크해로우와 연결 구조의 가변식 고추배토기 시작품 제작
  - 연결구성품의 신뢰성 평가 결과치 시작품과 비교 평가
- ② 메인프레임 및 3점지지 마스터 등 용접 피척 제작
- ③ 신뢰성 평가를 위한 지그 픽처 설계 및 제작
- ④ 배토기 실증 포장시험
  - 테스트 베드 실증시험 배토성 결과물 분석
  - 테스트 시 발생된 문제정리 및 보완으로 필드 문제점 최소화
- ⑤ 사업화 및 경제성 분석

(3) 협동 2 (전주대학교)

- 연구개발목표: 고효율 복합작업기의 3D모델링과 부하와 작업속도의 포장시험 분석
- 연구개발 내용

(가) 1차년도

- ① 복합작업기 3D 모델링을 통한 해석
- ② 복합기 전체 프레임에 대한 구조해석
- ③ 간이 견인부하 측정장치의 개발과 해석 방법 개발

(나) 2차년도

- ① 주요부 구조설계와 해석을 통한 신뢰성 설계
- ② 원관부의 비틀림각도에 대한 분석
- ③ 트랙터 작업속도 측정 설계 및 실험
- ④ 견인부하에 대한 마력별 포장시험과 해석결과의 분석

(4) 협동 3 (한국 기계 연구원)

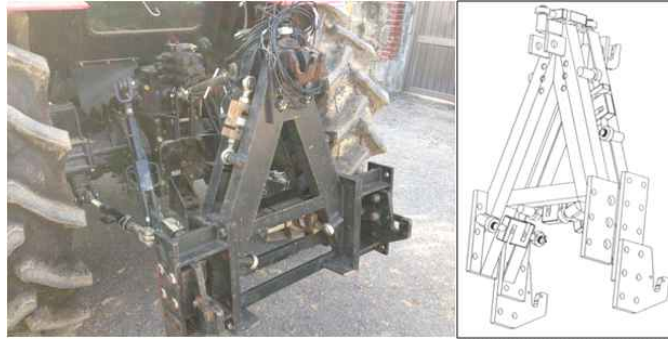
- 연구개발목표 : 고효율 복합작업기 주요 구성품의 신뢰성 확보를 위한 시험 평가 기술개발
- 연구개발 내용

(가) 1차년도

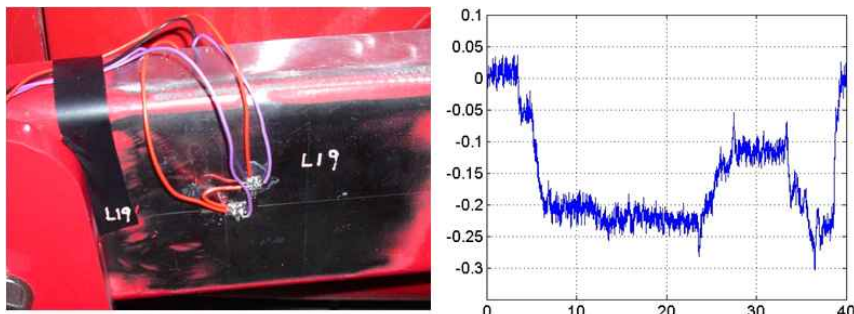
- ① 작업기 구성품의 하중시험에 대한 논문 및 시험규격 분석
- ② 필드 시험 또는 선진자료 분석을 통한 시험하중 도출
  - 시험 토양조건 및 트랙터/복합작업기의 작업조건 분석
  - 측정 항목/측정 위치/센서 타입 결정



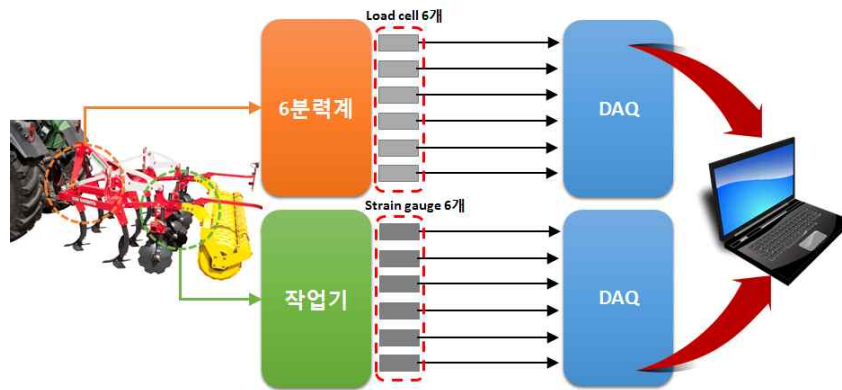
- 계측용 센서(육분력계 & 스트레인게이지) 부착 및 시험 수행
- 재료 특성(SN 곡선)을 고려한 피로 손상도 분석 : Miner's rule 적용



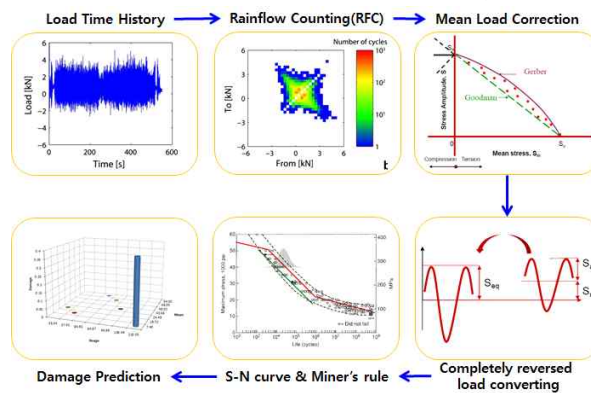
<육분력계를 이용한 견인력 계측>



<스트레인게이지를 이용한 응력 계측>

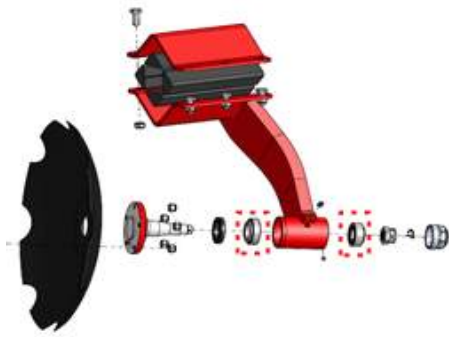


<복합작업기 부하 계측 시스템 Layout>

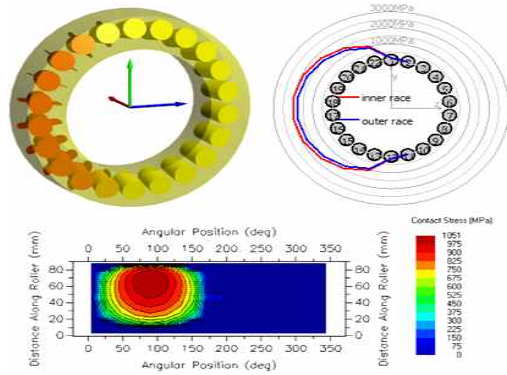


<복합작업기의 피로손상도 분석 절차>

③ 디스크해로우 지지용 베어링 하중 분석 및 수명 예측



<디스크해로우 지지 베어링>



<베어링 하중 및 수명 분석>

④ 신뢰성 확보를 위한 시험절차서 개발

- 시험 항목 및 결과분석 방법 연구
- 작업기 구성품별 정하중 및 피로 시험을 위한 시험절차서 개발

(나) 2차년도

① 작업기 구성품 시험장치 개발

- 핵심 구성품별 시험용 지그 설계 및 제작
- 핵심 구성품별 시험장치 개발



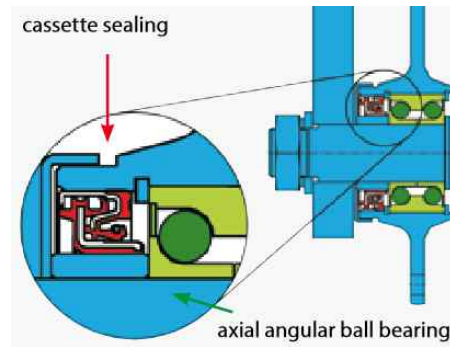
<메인 프레임>



<원판 연결부>



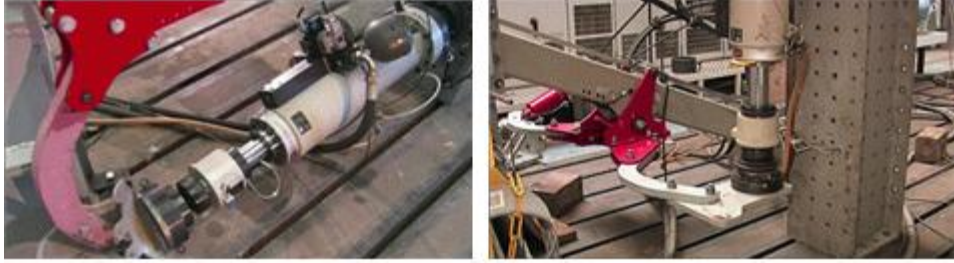
<코일 스프링>



<베어링 및 오일씰>

② 구성품 하중시험

- 작업기 메인프레임, 원판 연결부 및 코일 스프링의 정하중 시험
- 작업기 메인프레임, 원판 연결부 및 코일 스프링의 피로 시험
- 원판해로우지지 베어링 및 오일씰의 수명 시험



<농업용 작업기 피로 시험 (예시)>



<한국기계연구원 기계류 부품 정하중 및 피로 시험 (예시)>

③ 시험결과 분석

- 구성품별 하중시험결과 데이터분석 및 시험결과 평가

(5) 경상대학교(위탁)

- 연구개발목표: 복합작업기의 배토성, 토양반전율 등의 반복적 포장시험을 통해 실제 필드에서 발생하는 문제점을 해결하고자 함.

- 연구개발 내용

(가) 1차년도

- ① 시험포장(Soil-bin)제작 및 배토관련연구동향 세부분석
- ② 고추작물토양의 종류별 배토성 및 전국 고추 주산단지 동향분석
- ③ 토양강도 및 함수율분석
- ④ 쇄토율, 반전율 시험연구

(나) 2차년도

- ① 시험포장 설계 재분석
- ② 포장시험
  - 토양의 물리적, 작업기의 역학적 특성에 따른 관계규명
  - 토양에 관한 연구 복합작업기에 적용하여 최종시험
- ③ 실제작업 시 신뢰성 및 실용화 평가
  - 발생문제인자에 대한 해결방안 설계

## 2장. 국내외 기술개발 현황

코드번호	D-0
------	-----

### 1절. 국내외 기술 현황

#### ○ 국내 기술현황

가. 국내 쇠토경운작업기 중 고속작업(15km/h)과 반전, 쇠토, 경운작업 및 배토작업이 가능한 ‘무동력 디스크해로우 복합작업기’의 국산화 생산업체는 없다. 일부 대단위 발농사 농가를 위해 해외제품을 일부 수입판매하고 있다.

나. 국내에선 논농사용으로 트랙터 PTO 동력원으로 하는 동력 원판쟁기(Disk Plough)를 토 반전작업용으로 제조공급하나 작업속도(3.5km/h이하)가 낮고, Seed Bed를 형성하기 위해 로터베이터로 경운작업을 해야하는 문제와 기어구동형식의 원판구조로 유지보수비용이 소요되는 문제점이 있어 발농사에 적합하지 않다.

다. 발농사의 정식 전 작업은 보편적으로 심경토양반전(쟁기작업)+쇠토경운작업(로터리작업)+정식 전 배토작업(로타리부착형배토기) 등 3단계로 진행되며 재배농가는 각기의 작업기를 파종 전작업을 수행한다. 이러한 점은 국내의 농촌인구감소와 고령화가 진행되고, 발농사 재배면적이 대형화되는 추세에서는 생산성향상을 위해 국내에 많이 보급되어 사용되는 90~120마력대에 필요한 무동력 디스크해로우 복합작업기의 개발이 필요하다.

#### ○ 국외 기술현황

가. 미국, 유럽시장

- 농업선진국인 미국, EU지역은 대규모 발농사 위주 농업이 발달된 지역으로 작업시간을 최소화할 수 있는 반전, 경운작업기인 디스크해로우 기술개발이 많이 이루어졌으며, 농지면적에 따라 다양한 쟁기 사이즈와 길이를 선택할 수 있다. 대체로 대규모 농업에 적합한 대형 디스크해로우(150~250HP)가 개발되어 있으며, 고속작업이 가능하고 토양의 경운과 파종을 동시에 할 수 있는 등 다양한 기술이 개발되어 있다.



<다양한 형태의 디스크해로우>

나. 중국 및 아세안 개도국

- 중국의 많은 업체에서 다양한 작업기와 부품을 생산하고 있으며, 디스크해로우, 디스크 플로우, 킬티베이터를 생산하고 있다. 판금을 이용한 단순 형태의 작업기를 주로 생산하며, 대형 작업기는 유럽에서 수입판매하고 있으며, 벤치마킹한 작업기들도 점차 확대 생산되는 추세이다. 여러 작업을 동시에 수행하는 복합식 기계가 주류로 부상하고 있으며, 대형 농장에서 파종과 농약 살포, 쟁기작업등을 복합적으로 수행할 수 있는 기계의 수요가 증가하고 있다.
- 아시아 및 아프리카는 석회질 토양으로 우기에는 질퍽한 점토성토양이며 건기에는 돌덩어리처럼 딱딱한 토양으로 트랙터동력 소모량이 크고, 연료소모가 많고 과부하에 잔고장이 심한 로터베이터 보다는 트랙터 동력소모가 적고, 트랙터 연료가 절약되는 농업비용 절감형인 디스크해로우나 디스크 쟁기가 주요 토양 작업기 시장을 형성하고 대부분 수입에 의존하고 있다.



<디스크해로우>



<디스크쟁기>



<다양한 복합 작업기>

○ 개발방향

가. 본 연구개발 국내시장 외에 해외 중국, 몽골 및 아세안지역의 90~120마력대의 중대형 트랙터에 적합한 무동력디스크 해로우 복합작업기를 국산화하여 국내의 밭농업 농가 및 중국, 몽골 등의 수출전략 농업기계로 개발하고자 한다.

## 2절. 연구개발 제품의 특허 동향 분석

### ○ 특허 동향

가. 우리나라의 농기계 산업의 미래 지속 가능성을 확보하기 위해서, 국산화된 복합 작업기의 개발이 반드시 필요하고, 이러한 국산화 복합 작업기의 개발에 있어 부가적으로 발생할 수 있는 기술적 및 법적 문제의 해결은 기술개발과 함께 병행되어야 한다.

나. 현재 개발예정 중인 트랙터용 복합작업기와 관련된 기술 분야의 특허를 분석하여, 해당 기술 분야의 동향을 분석하였다. 개발제품과 지재권 분쟁 소지가 있는 핵심 특허를 추출하고, 권리를 분석하여, 기술 개발 방향의 타당성을 검토하였다.

다. 특허동향의 분석 범위는 국내뿐만 아니라, 미국, 중국, 일본 및 유럽에서 2017.9 이전에 공개 및 등록된 특허를 분석대상으로 하였으며, 사용 검색 DB는 웹스온과 키프리스를 이용하였다.

<표> 국가별 분석구간 및 특허건 (검색일 : 2017.09)

자료 구분	국가	분석 구간	분석대상특허 건수
전체 특허 (공개일 기준)	한국	~2017.09.	22
	일본	~2017.09.	43
	미국	~2017.09.	42
	중국	~2017.09.	35
	유럽	~2017.09.	8
합계			150건

<표> 분석대상 기술 분류

대분류	중분류	소분류
트랙터용 복합 작업기	기능별	경운 기능
		경운 기능 + 기타 기능
		경운 기능 + 배토 기능
		기타
	구조별	디스크 해로우 및 치즐 쟁기
		디스크해로우 또는 치즐 쟁기+기타 장비
		디스크 해로우 및/또는 치즐 쟁기+배토기
		기타

라. 양적인 통계를 의미하는 정량 분석과 각 특허가 갖는 기술적인 내용을 의미하는 정성 분석으로 나누어 분석하였다.

- (1) 정량 분석 방법 : 노이즈를 제거하고 기술 분류를 실시한 유효 특허 150건을 대상으로 정량 분석을 실시하였다. 정량 분석은 연도별 동향, 국가별 동향, 기술 분류별 동향 및 출원인별 동향을 심층 분석하였다.
- (2) 정성 분석 방법 : 정량 분석의 기반이 된 유효 특허 150건 중 유효 특허 50개를 선별하여 등급별로 분류하되, S등급에 해당하는 10건의 특허를 정성 분석을 수행하는 핵심 특허로 선별하였다.

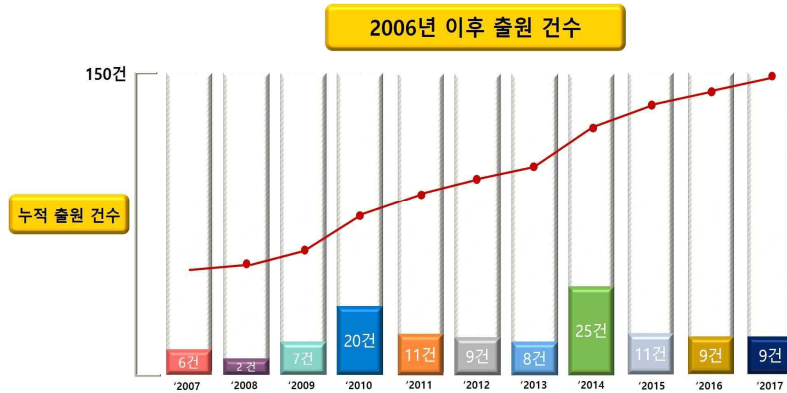
○ 정량 분석

가. 검색 기간 기준, 정량 분석에 이용되는 150건의 특허 문헌을 출원된 연도에 따라 구분하여, 아래 도표 1.1, 1.2에 나타내었다. 도표1.1은 2006년 이전에 출원된 건의 연도별 특허출원 동향이고, 도표1.2는 2006년 이후에 출원된 건의 연도별 특허출원 동향이다.

<도표1.1> 2006년 이전 출원 건수



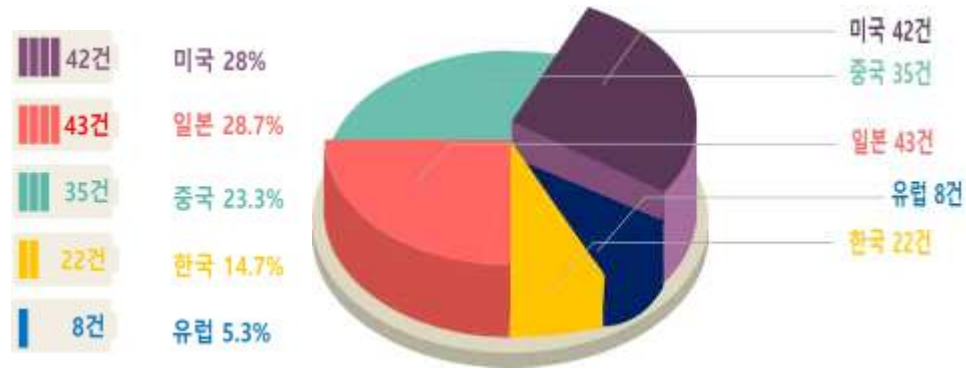
<도표1.2> 2006년 이후 출원 건수



나. 무동력 디스크해로우 복합작업기 분야 특허의 국가별 특허출원 동향

- 검색 기간 기준, 정량 분석에 이용되는 150건의 특허 문헌을 출원된 국가에 따라 구분하여, 아래 도표1.3에 나타내었다. 가장 많은 특허출원을 한 국가는 일본으로 총 43건 (28.7%)의 특허 출원이 있었고, 그 다음 미국(총 42건, 23%), 중국(총 35건, 23.3%), 한국(총 22건, 14.7%) 및 유럽(총 8건, 5.3%)순으로 나타났다.

<도표 1.3> 국가별 특허출원 동향



다. 주요 출원인 동향

(1) ISEKI & CO LTD

검색 기간 기준, 정량 분석에 이용되는 150건의 특허 문헌을 출원인 별로 분석한 결과, 일본의 트랙터 제조업체 ISEKI & CO LTD이 18건으로 복합 작업기 분야에 가장 많은 특허출원을 진행한 것으로 파악되었고, 위 18건 모두 일본에서 출원한 것이다.

(2) CNH Industrial

검색 기간 기준, 정량 분석에 이용되는 150건의 특허 문헌을 출원인 별로 분석한 결과, 유럽의 농업 및 건설 장비 제조업체 CNH industrial이 11건으로 복합 작업기 분야에서 두 번째로 많은 특허출원을 진행한 것으로 파악되었고, 위 11건 모두 미국에서 출원한 것이다.

(3) KUBOTA

검색 기간 기준, 정량 분석에 이용되는 150건의 특허 문헌을 출원인 별로 분석한 결과, 일본의 농업 및 건설 장비 제조업체 KUBOTA가 8건으로 복합 작업기 분야에서 세 번째로 많은 특허출원을 진행한 것으로 파악되었고, 위 8건 모두 일본에서 출원한 것이다.

(4) NATIONAL AGRICULTURE AND FOOD RESEARCH ORGANIZATION(NARO)

검색 기간 기준, 정량 분석에 이용되는 150건의 특허 문헌을 출원인 별로 분석한 결과, 일본의 R&D 연구소 NARO가 8건으로 복합 작업기 분야에서 세 번째로 많은 특허 출원을 진행한 것으로 파악되었고, 위 8건 모두 일본에서 출원한 것이다. 제조업체가 아닌 연구기관이 주요 출원인으로 파악된 것은 NARO가 유일하다.

(5) SALFORD GROUP

검색 기간 기준, 정량 분석에 이용되는 150건의 특허 문헌을 출원인 별로 분석한 결과, 캐나다의 농기계 제조업체가 5건으로 복합 작업기 분야에서 다섯 번째로 많은 특허 출원을 진행한 것으로 파악되었고, 위 5건 모두 미국에서 출원한 것이다.



○ 정성 분석

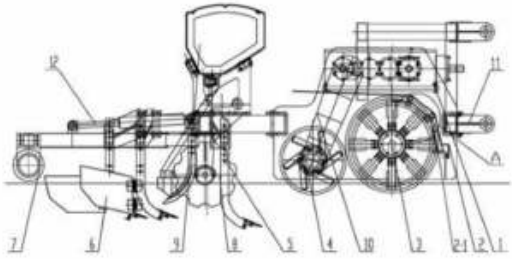
가. 복합 작업기는 크게 무동력으로 구동 가능한 디스크해로우, 치즐 쟁기 및 2궤 배토기를 포함하는 구조로 되어 있어 토양의 반전, 쇄토 및 배토 작업을 한 번에 수행할 수 있고, 상기 구조들을 고정시키는 프레임은 포함하고 있다.

이에 정성 분석에서는, 디스크해로우, 치즐 쟁기 및 배토기의 구성을 포함하는 복합 작업기의 구조에 중점을 두어 핵심 특허를 선별하여 권리 분석을 실시하였다.

(1) 정성 분석 결과 유효 데이터 50건 중 복합 작업기 구조와 유사한 정도를 기준으로 S등급, A등급, B등급, C등급으로 세분하여 S등급 10건을 핵심 특허로 선정하여 집중 분석 하였다.

(2) 핵심 특허 리스트

NO	출원국가	출원 번호	발명의 명칭	출원인	법적상태	침해 가능성
			기술적 요지			
1	KR	2010-0110195	보습부가 구비된 해로우 배토기	위컨글로벌 주식회사	등록	중
			해로우 배토기의 후측에 보습부를 형성하여 농토를 균일하게 배토하면서 고랑도 함께 형성할 수 있도록 하는 해로우 배토기에 대한 것임			
2	US	13/922,653	SEED BED PREPARATION AND TILLAGE APPARATUS	Salford Group Inc	등록	하
			치즐 쟁기, 롤링 해로우, 쿨터 휠(Coulter wheel) 등을 이용한 경작 기능과 파종 기능을 선택적으로 수행할 수 있는 복합 작업기에 대한 것임			
3	US	14/452,907	ATTACHMENT ARRANGEMENT WITH DOUBLE SHEAR CONFIGURATION FOR FRAME MEMBERS OF AN AGRICULTURAL TILLAGE IMPLEMENT	CNH Industrial america LLC	등록	하
			이랑 쟁기, 원판 쟁기 및 디스크 해로우를 포함하는 복합 작업기에 대한 것임			
4	US	10/340,138	ROW CLEANER IN COMBINATION OF PRIMARY TILLAGE SHANK SYSTEM	CNH Industrial america LLC	등록	하
			치즐 쟁기, 디스크 블레이드 및 로타리 휠을 포함하는 복합 작업기에 대한 것임			
5	JP	2011-205969	중경제초 배토기	ISEKI & CO LTD	등록	상
			전후방에 위치한 디스크 해로우, 치즐 쟁기 및 배토기를 포함하는 중경제초 배토기에 대한 것임			
6	JP	2010-570043	중경잡초 제거기	NARO/ KOBASHI/ ISEKI/ SUKIGARA	등록	하
			전후방에 위치한 디스크 해로우 및 치즐 쟁기를 포함하는 중경제초 제거기에 대한 것임			
7	JP	2009-042154	중경잡초 제거기	NARO/ KOBASHI/ ISEKI/ SUKIGARA	등록	상
			전후방에 위치한 디스크 해로우, 치즐 쟁기 및 배토 기구부를 포함하는 중경제초 제거기에 대한 것임			
8	CN	2016-20203130	Multi -functional seven groups joint soil preparation machine	Heilongjiang Yunyao Agriculture Machinery Co., Ltd.	등록	상
			디스크 해로우, 치즐 쟁기(subsoiler) 및 배토기와 비료 살포기 등을 포함하는 복합 작업기에 대한 것임			
9	CN	2014-20304815	Combined soil preparation harrow	SHANGHAI CITY SHANGHAI FARMS	등록	하
			디스크 해로우 및 치즐 쟁기와 soil-suppressing board 등을 포함하는 복합 작업기에 대한 것임			
10	CN	2016-10147948	A kind of Double soil-working machine	Yu Zheng	공개	하
			제 1 및 2 분쇄기와 심경 쇄토기를 포함하는 복합 작업기에 대한 것임			

핵심특허 NO.1			
발명의 명칭	Multi-functional seven groups joint soil preparation machine	출원인	Heilongjiang Yunyao agriculture Machinery co., ltd
출원번호(일)	CN 2016-20203130(20160316)	공개번호(일)	
등록번호(일)	CN 20540841(20160803)	우선권번호(일)	-
기술내용			
요약			
<p>Multi-functional seven groups of combined soil preparing machines, belong to agricultural machinery technological field. It provide one have straw chopping and returning, stubble-cleaning, subsoiling, rake the soil level, apply fertilizer, ridging, the function such as suppression, and multi-functional seven groups of combined soil preparing machines that crushed stalk is effective. This utility model can be completely complete straw chopping and returning, stubble-cleaning, subsoiling, rake the soil level, apply fertilizer, ridging, suppression seven group job.</p>			
대표 청구항/ 대표도면			
<p>【대표 청구항】</p> <p>multi-functional seven groups of combined soilpreparing machines, including reductor (1), frame(2), subsoiling device (5), multiple ridge device (6), suppression device (7), organize disc harrow (8), fertilizer apparatus (9) and traction frame (11) more ; Described traction frame (11) is fixing with frame (2) front center to be connected, described frame (2) front end is fixedly arranged above reductor (1), it is fixed with subsoiling device (5) below frame (2) rear end the most successively, organizes disc harrow (8), multiple ridge device (6) and suppression device (7) more, frame (2) rear end is fixedly arranged above fertilizer apparatus (9) It is characterized in that: described multi-functional seven groups of combined soilpreparing machines also include straw millstone (3), stubble-clearing device (4), two hydraulic jacks (12), two universal couplings (13), two crushed stalk power transmission shafts (14), two crushed stalk actuating devices (15), 2 stubble cleaning power</p>			

transmission shafts (16) and two limitactuating devices (10) Said two hydraulic jack (12) cylinder body end is connected with frame (2) left and right sides, rear end respectively, two hydraulic jack (12) piston rod outer ends are all connected with suppression device (7), straw millstone (3) and stubble-clearing device (4) it is rotatably connected to the most successively below frame (2) front end Described reductor (1) left and right sides two output shafts near front end are respectively fixing with universal coupling (13) one end to be connected, said two universal coupling (13) other end is respectively fixing with crushed stalk power transmission shaft (14) one end to be connected, described two crushed stalk power transmission shaft (14) other ends respectively drive straw millstone (3) to rotate coaxially by a crushed stalk actuating device (15) Described reductor (1) left and right sides two output shafts near rear end are respectively fixing with stubble-cleaning power transmission shaft (16) one end to be connected, and described two stubble-cleaning power transmission shaft (16) other ends respectively drive stubble-clearing device (4) to rotate coaxially by a limit actuating device (10).

#### 검토 의견

핵심 특허 1은, 디스크 해로우, 치즐 쟁기(subsoiler) 및 배토기와 비료 살포기 등을 포함하는 7종 복합 작업기에 대한 것임. 핵심 특허 1에는 디스크 해로우, 치즐 쟁기 및 배토기에 대한 구성이 모두 개시되어 있어, 복합 작업기와 구조가 동일함. 또한, 각 구성의 배열이 복합 작업기와 동일하여, 토양의 반전, 쇄토 및 배토 작업을 동시에 수행하는 복합 작업기의 목적 및 효과가 실질적으로 개시되어 있다고 판단됨.

따라서, 핵심 특허 1과는 분쟁 가능성이 다소 있을 것으로 판단되며, 구체적인 분쟁 대응안의 수립이 요구됨

핵심특허 NO.2			
발명의 명칭	중경제초 배토기	출원인	ISEKI&CO LTD
출원번호(일)	JP 2011-205969(20110921)	공개번호(일)	JP2013-066397(20130418)
등록번호(일)	JP 5879860(20160212)	우선권번호(일)	
기술내용			
요약			
본 발명은 작물이 재배되고 있는 작물 고랑의 경운, 제초, 배토 관리 작업에서 배토 내지 비료를 사용하여 비료배양 관리 작업의 효율화를 도모한다.			
대표 청구항/ 대표도면			
<p><b>【대표 청구항】</b></p> <p>차체(1) 후부에 연결 히치(2)를 통해 상하 요동 가능한작업 프레임(6)을 장착하고 이 작업 프레임(6)에는 게이지 호일(7)과 게이지 호일(7)보다 후방 위치에 있어 밭두둑 법면을 배토하는 전부 디스크(8)와 상기 전부 디스크(8) 보다 후방 위치하여 밭두둑 사이의 홈 바닥부를중경하는 치즐(9)과 치즐(9)보다 후방 위치에 후부 디스크(10) (을)를 설치하고 상기 후부 디스크(10) 후방 위치에 후부 배토관(14)을 설치하고 연결 히치(2)에는 작업 프레임(6)과는 별도로 고정의 설치 브라켓(3)을 설치하고 상기 설치 브라켓(3)의 후부에 시드기(4)의 시비호퍼-(11)를 탑재하고 상기 시비 호퍼-(11) 및 시비 호퍼-(11)의 인출구(12)를 측면시로 전부 디스크(8)와 후부 디스크(10)의 사이의 상방에 마련해 상기 인출구(12)에서 풀어내지는 비료를 안내하는 시비 호스(13)를 후하강 경사 자세에 마련해 후부 디스크(10)의 배토 위치 부근에서 또한 밭두둑 상면 측에 시비하는 구성으로하고, 설치 브라켓(3) 측에 핸들(27)의 회동에 의해 신축하는 링크(28)를 연결하고 상기 링크(28)의 신축에 의해 설치 브라켓(3)의 측면 시에서의 각도 및 작업 프레임(6)의 전후 방향의 각도를 조절 가능하게 구성하는 것을 특징으로 하는 중경제초 배토기.</p>			
검토 의견			
<p>핵심 특허 2는, 전후방 디스크해로우, 치즐 쟁기 및 배토기를 포함하는 복합 작업기에 대한 것임. 핵심 특허 5에는 전후방 디스크해로우, 치즐 쟁기 및 배토기에 대한 구성이 모두 개시되어 있어, 의뢰기업((주)그린맥스)의 복합 작업기와 구조가 동일함. 또한, 각 구성의 배열이 의뢰기업((주)그린맥스)의 복합 작업기와 동일하여, 토양의 반전, 쇄토 및 배토 작업을 동시에 수행하는 복합 작업기의 목적 및 효과가 실질적으로 개시되어 있다고 판단됨.</p> <p>따라서, 핵심 특허 5와는 분쟁 가능성이 다소 있을 것으로 판단되며, 구체적인 분쟁 대응안의 수립이 요구됨</p>			

핵심특허 NO.3

발명의 명칭	중경잡초 제거기	출원인	NARO/KOBASHI KOGYO /ISEKI CO LTD /SUKIGARA NOKI KK
출원번호(일)	JP 2009-042154(20090225)	공개번호(일)	JP 2010-193776(20100909)
등록번호(일)	JP 5598808(20140822)	우선권번호(일)	

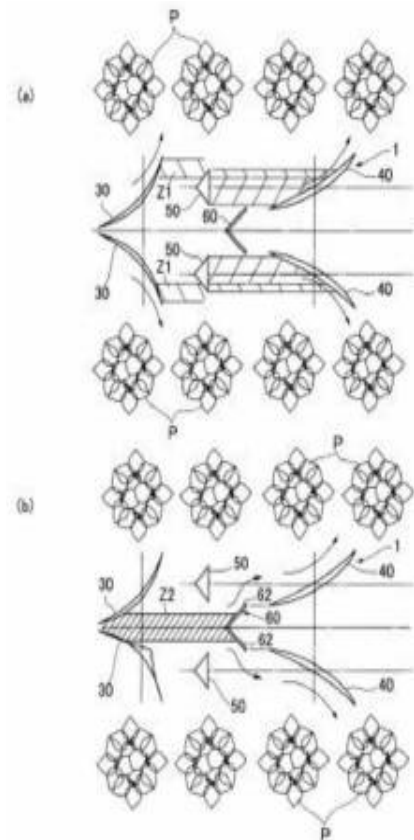
기술내용  
요약

뒷줄 디스크의 조간의 흙으로의 침투를 쉽게 하고, 작물로의 배토량이 증대 가능한 중경잡초제거기를 제공한다.

대표 청구항/ 대표도면

【대표 청구항】

조간 폭방향으로 연장되어서 지지된 메인프레임에 전단측이 접속되어 진행 방향 후측으로 연장되는 지지프레임의 전측과 후측의 각 양측에 회전 가능하게 지지되어 진행방향전측에 대해서 후측이 후방경사 외측에 경사진 한쌍의 전열 디스크 및 한 쌍 뒷줄 디스크를 구비하고, 상기 전열 디스크 및 상기 뒷줄 디스크가 작물의 조간을진행하면서 상기 조간의 흙을 중경배토하는 중경잡초제거기에서 상기 한 쌍의 전열 디스크는 진행 방향 전후 위치를 가지런히 해 배치되고 상기 한 쌍의 전열 디스크의일방 측에 배설된 전열 디스크와 상기 한 쌍 뒷줄 디스크의 일방 측에 배설된 뒷줄 디스크 사이로 상기 전열디스크의 조 간 폭방향 외측 및 상기 뒷줄 디스크의 조 간 폭방향 거의 중앙 및 상기 한 쌍의 전열 디스크의 타방 측에 배설된 전열 디스크와 상기 한 쌍 뒷줄 디스크의 타방 측에 배설된 뒷줄 디스크 사이로 상기 전열 디스크의 조 간 폭방향 외측 및 상기 뒷줄 디스크의 조 간폭방향 거의 중앙 에 한 쌍의 치즐이 설치되고 상기 한쌍의 치즐과 상기 한 쌍 뒷줄 디스크와의 사이에 , 상기한 쌍의 전열 디스크에 의해 안 경작해지지 않은 잔경을조간 폭방향 외측으로 배제하는 배토 기구부가 마련되어있는 것을 특징으로 하는 중경 잡초제거기



검토 의견

핵심 특허 3은, 전후방 디스크헤로우, 치즐 쟁기 및 배토 기구부를 포함하는 복합 작업기에 대한 것임. 핵심 특허 3에는 전후방 디스크헤로우, 치즐 쟁기 및 배토기에 대한 구성이 모두 개시되어 있어, 연구개발제품과 구조가 동일함. 또한, 각 구성의 배열이 복합 작업기와 동일하여, 토양의 반전, 쇄토 및 배토 작업을 동시에 수행하는 복합 작업기의 목적 및 효과가 실질적으로 개시되어 있다고 판단됨. 따라서, 핵심 특허 3과는 분쟁 가능성이 다소 있을 것으로 판단되며, 구체적인 분쟁 대응안의 수립이 요구됨

나. 분쟁 예비 대응안

(1) 핵심특허 1의 등록 청구항 제 1항은 치즐 쟁기(5), 디스크 해로우(8) 및 배토기(6)을 포함하는 배토기구부(60)를 필수적 구성으로 기재하고 있다. 따라서, 디스크 해로우, 치즐 쟁기 및 배토기의 구성과 실질적으로 동일한 구성을 등록 청구항에 모두 기재하고 있다. 다만, 핵심특허 1은 상기 구성 이외에 비료 살포기(9), 서프레션 디바이스(7) 및 로터베이터와 유사한 stubble-clearing 장비(4) 등을 추가로 포함하고 있으나, 상기 구성들은 연구 개발제품에 포함되지 않는 구성이라 판단된다. 또한, 핵심특허 1의 등록 청구항에는 상기 구성들에 대한 명확한 기재가 있다.

따라서, 핵심특허 1 과의 분쟁 발생시, 핵심특허 1의 등록 청구항에 모든 구성을 실시하고 있지 아니하다는 내용에 근거하여 비침해 주장이 가능할 것으로 판단된다.

(2) 핵심특허 2의 등록 청구항 제 1항은 치즐 쟁기(9), 치즐 쟁기(9)의 전후방에 위치한 디스크해로우(8,10) 및 후방 디스크 해로우(10)의 후면에 위치한 배토판(14)의 구성을 기재하고 있다. 따라서, 핵심특허 2는 의뢰기업((주)그린 맥스)의 디스크 해로우, 치즐 쟁기 및 배토기의 구성과 실질적으로 동일한 구성을 등록 청구항에 포함하고 있다. 또한, 각 구성의 위치가 복합 작업기와 동일하다.

다만, 핵심특허 2의 등록 청구항에는, 설치 브라켓(3)의 후부에 위치하는 시드기(4) 및 시드 호퍼(11)에 대한 구성이 기재되어 있다. 이는 핵심특허 2의 복합 작업기가 파종기의 역할을 추가로 수행할 수 있음을 의미한다. 한편, 복합 작업기는 파종기능을 수행하는 별도의 구성이 포함되어 있지 않다. 따라서, 복합 작업기가 핵심특허 2에 등록 청구항 제 1항의 모든 구성을 포함하고 있지 아니하기 때문에, 구성요소 완비의 원칙에 따라 침해를 구성하지 아니한다고 사료된다. 또한, 핵심특허 2의 경우, 설치 브라켓(3) 측에 핸들(27)의 회동에 의해 신축하는 링크(28)를 연결하고 상기 링크(28)의 신축에 의해 설치 브라켓(3)의 측면에서의 각도 및 작업 프레임(6)의 전후 방향의 각도를 조절 가능하게 구성하는 것을 특징으로 하고 있으나, 복합 작업기는 상기와 같은 기술적 특징을 보유하고 있지 아니한 것으로 판단된다. 다만, 파종기를 추가로 포함하는 복합 작업기에 대한 R&D를 시행하고자 하는 경우, 문제소지 특허 1과의 추가적인 권리범위 해석이 필요할 수도 있을 것으로 믿어진다.

(3) 핵심특허 3의 등록 청구항 제 1항은 치즐 쟁기(50), 치즐 쟁기(50)의 전후방에 위치한 디스크 해로우(30,40) 및 배토판(62)을 가지는 배토기구부(60)를 필수 구성으로 포함하고 있다. 따라서, 핵심특허 3의 등록 청구항 제 1항에는 디스크 해로우, 치즐 쟁기 및 배토기의 구성과 실질적으로 동일한 구성이 모두 포함되어 있다. 다만, 핵심특허 3의 배토판(62)을 포함하는 배토 기구부(60)는 전후열 디스크 해로우(30,40)의 사이에 위치하고 있는 반면, 복합 작업기는 배토기가 후방 디스크 해로우의 뒷면에 위치하고 있다. 따라서, 복합 작업기와 핵심특허 3의 중경잡초제거기는 배토기의 구체적인 위치가 상이하다.

한편, 핵심특허 3의 청구항 제 1항에는 “한 쌍의 치즐과 상기 한 쌍 뒷줄 디스크와의 사이에, 상기 한 쌍의 전열 디스크에 의해 경작해지지 않은 잔경을 조건 폭방향 외측으로 배제하는 배토 기구부가 마련되어 있는 것을 특징”으로 한다는 기재가 있다. 따라서, 핵

심특허 3의 등록청구항 제 1항은 배토 기구부의 위치를 명확히 기재하고 있다. 복합 작업기와 핵심특허 3의 중경잡초제거기는 배토기의 구체적인 위치가 상이하며, 핵심특허 3의 등록 청구항에 해당 내용이 명시적으로 기재되어 있다는 점을 기반으로 비침해 논리 구성이 가능할 것으로 믿어진다.

### 3절. 연구개발 제품의 사업성 및 경제성 분석

#### ○ 사업성 분석

##### 가. 시장분석

##### (1) 국내 복합작업기 시장 규모 및 전략 분석

- 현재 국내에는 복합작업기 시장이 크지 않지만, 복합 부착작업기에 대한 시장 니즈는 커지고 있음
- 부착작업기 시장은 확대 성장되고 있으나, 현재 국내 업체의 부착 작업기는 대체로 소형 저가형으로 수익성 제고가 필요함. 이를 위해서는 대형 작업기 개발이 필요하며, 대형의 경우 고강성 고성능 요구
- 현지 시장에 적합하면서도 가격 경쟁력을 가지는 대형 부착작업기 개발은 업체의 수익성 제고와 더불어 후진국 업체와 기술력 격차 유지로 시장 주도적 역할 유지 가능
- 중소기업의 기술력으로는 대형 부착작업기 개발은 한계가 있으므로 개발을 위한 산학연 기술 협력 방안 구축 필요

##### (2) 해외 복합작업기 시장 규모 및 전략 분석

- 해외 시장은 대규모 농업이 이루어져, 고속으로 복합작업이 가능한 농기계 시장이 매우 크며, 복합작업기 위주의 시장이 형성되고 있다.
- 중국은 보통 유럽에서 대형 작업기를 수입판매하고 있으며, 벤치마킹한 작업기들도 확대되는 추세이다. 여러 작업을 동시에 수행하는 복합 작업기 수요가 커져, 시장이 커지고 있다.
- 해외 수출은, 유럽 대형 작업기 회사와 경쟁이 예상되나 현지 농업관계자의 니즈 분석을 통해 현지에 적합한 제품으로 공급할 예정이다.
- 개발 후 해외영업지역을 중국 흑룡강성, 상해 및 몽고에 주력할 예정으로, 국내 상위 3사의 해외 현지 파트너와의 파트너십 계약을 체결하여 기존 거래처 중심으로 홍보할 예정이다.

\* 예상 단가 : 8,000\$

\* 개발 인력 투입 기간 : 2018.01.-2018.12.

- 해외 출장을 통한 해외 현지 수요 분석 및 애로사항 파악

(가) 몽골은 파종기간이 15일 이내로 짧은 상황이지만 작업속도 3.5km/h의 몰드쟁기 위주의 작업으로 파종시기를 넘기는 경우가 많아, 파종을 포기하는 상황이 많아, 현지에 맞는 기계 개발이 이루어지면 협회차원으로 공동구매의사를 확약 받음

(나) 중국 흑룡강성 감자생산자 보고대회에 참석, 현지경작체계에 맞는 기계개발을 통해 현재 조합원이 보유한 트랙터(95~120ps)에 적합한 작업기 공급을 요청받아, 디스크해로우 테스트 영상 시뮬레이션을 실시하여 현지테스트 제의를 받음

○ 시장분석을 통한 제품 판매 전략 분석

가. 품질 검증

- (1) 주산지에 시험포장 테스트베드를 설치하여 반전율, 쇄토율, 배토성, 작업효율 등의 실증평가 완료
- (2) 육분력계를 통한 견인력 및 피로 손상도 분석 완료
- (3) 원판 구동부 베어링 하중분석 및 수명예측으로 작업시간 1000hr/년 내구성 확보
- (4) 품질보증 3년 보장

나. 기술 검증

- (1) 3D모델링 및 해석조건(경계조건, 하중, 재질)적용으로 구조해석 실시
- (2) 주요 메커니즘 분석으로 최대 작업 능력과 사용조건을 고려한 구조 및 재질 선정
- (3) 메인프레임 구조해석 및 신뢰성평가 결과 지표로 비교 분석
- (4) 각 구성부품 유한요소 해석 및 시뮬레이션 수행으로 구조 및 강도 해석 완료
- (5) 토양 반전과 쇄토율이 우수한 원판 각도 연구 개발을 통한 최적의 디스크 제작

다. 제품 차별화

- (1) 심경깊이 조절이 가능한 치즐쟁기 개발
- (2) 국내에 없는 제품으로, 가격경쟁력 및 제품기술력을 만족하여 농민니즈 충족
- (3) 기존 작업기 분야 제조 노하우 확립 및 기존에 구축된 작업기 판매망 활용
- (4) 원판 보호장치를 통해 돌이 많은 한국토양에서 충격 시 작업기 고장 방지

○ 경제성 분석

가. 복합작업기 구입비용 분석

- (1) 기존 작업기 대비 복합작업기의 구입비용이 경제적임

작업 폭	기존 작업기	개발 후 추정 판매가	절감액
(2.5M 90HP)	2,192만원	900만원	1,292만원

\* 양산시 제조원가 분석 및 사업성 분석을 통해 제품 가격 선정

- (2) 원판해로우 + 치즐쟁기 + 배토기 3가지 복합기능의 생산성 분석

- (가) 1회 복합작업을 통해 배토폭(1.2m)의 2골 두둑 형성 가능
- (나) 농업잔여물 파쇄, 반전, 쇄토성 기능 확인 완료
- (다) 경운 깊이 조절 가능한 치즐쟁기를 부착하여 선택적으로 사용 가능



나. 복합작업기 성능 경제성 분석

(1) 고속 작업속도 경제성 실증 분석 완료

항목	기존 작업기	개발 후 추정 판매가	절감액
작업속도	3km	15km	5배 생산성 증가
소요 작업시간	1시간20분*4회	40분*1회	7.8배 증가

(2) 복합작업기 배토작업 영농비용 절감 분석(10,000㎡ 기준)

- (가) 소모성 부품 및 수리보수비용 기존작업기 대비 약 25% 절감
- (나) 트랙터 연료 소요량 절감
- (다) 소요 인건비 절감 (기존작업 4회 필요)
- (라) 기존 작업기 3대 필요한 작업을 연구작업기 하나로 작업 가능하여 관리비용 절감

다. 국가 경쟁력 강화 및 수출 무역수지 개선

- (1) 가격 경쟁력과 품질 신뢰성을 가진 제품 개발로, 국가 경쟁력 강화
- (2) 중국, 동남아 등의 해외 현지 맞춤 개발로 수출 증가 및 무역 수지 개선

### 3장. 연구수행 내용 및 결과

코드번호 D-05

#### 1절. 연구개발 목표 및 추진전략

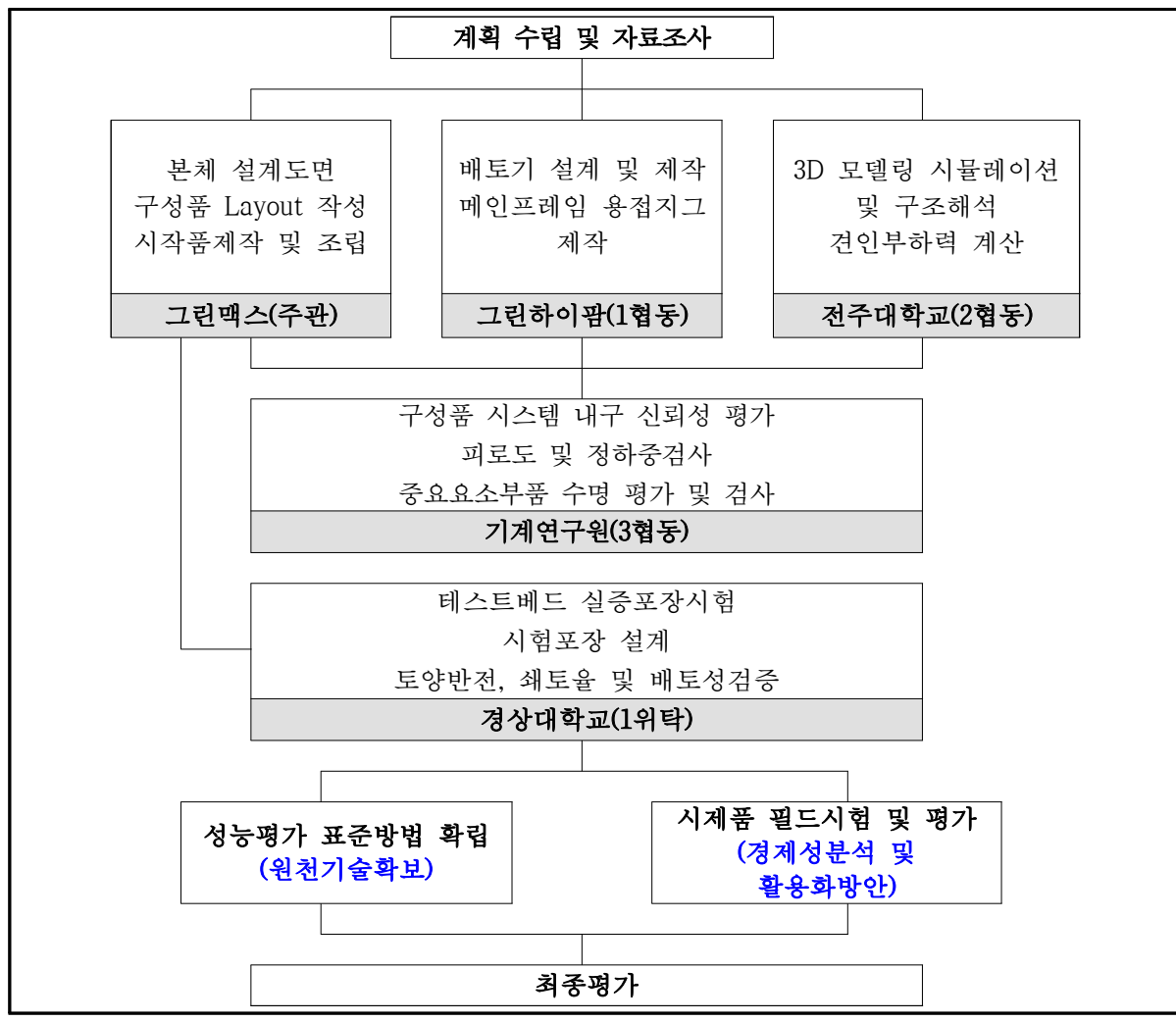
○ 최종목표 및 추진체계

가. 최종목표

작물	작업 속도	중량	작업폭	적용 마력	경운 깊이	형태	복합작업내용	목표가격
고추	15 km/h	1450kg	2.5m	90HP 이상	15cm	트랙터 후방 부착형	원판디스크+치즐쟁기 +2골 배토기 (3가지복합작업)	900만원대

- 무동력 디스크해로우 고효율 복합작업기 부품개발 및 시작품제작
- 두둑 폭 조절이 가능한 가변형 배토기 개발(기타작물적용가능성 기능검토)
- 복합작업기의 3D모델링과 부하와 작업속도의 포장시험 분석
- 복합작업기의 주요구성품의 신뢰성확보를 위한 시험평가 기술 개발
- 테스트베드 실증포장시험과 시험포장설계를 통한 토양반전, 쇄토율 및 배토성 검증

나. 연구개발 수행 추진체계



다. 기관별 세부연구개발 추진체계도

구분	기술개발 추진체계	주관기업 [㈜그린맥스]	제1협동 [그린하이팜]	제2협동 [전주대학교]	제3협동 [기계연구원]	제1위탁 [경상대학교]
1차 년도 (15 11 30 ~ 16 11 29)	자료조사 및 개념설계	•선진제품 특성분석 •제품메커니즘분석 •시스템Lay-out설계	•배토기별 성능분석 •복합작업구조 최적 메커니즘분석 •배토기Lay-out설계	•선진제품 3D모델링 분석 및 시뮬레이션 •주요부 부하측정 장치 및 해석방법 연구	•디스크해로우 선진 자료분석 트랙터와 작업기 특성분석 •주요구성품 시험 하중분석 및 최적화 연구	•배토성 연구동향 및 주요 주산지 토양별 기초토양 특성조사 •토양분석 테스트베드 (Soil-bin)설계 •토양별 강도 및 감수 율분석_배토성 결과 분석 및 상태 기초 이론 확립
	구조해석 및 요소설계	•선진제품 필드작업 특성분석 •각주요부 3D설계 •유압System설계	•각종배토기구조해석 •복합작업기 최적화 배토기 모델링 및 구조해석	•3D모델링을 통한 분석 및 해석 •메인프레임, 디스크 치즐... 구조해석 및 설계최적화 원리 개발	•복합작업기 주요 부품 신뢰성확보 분석 및 시험평가 기술개발	
	각부주요부품 설계 및 시험 제작	•3점지지마스터 제작 •메인프레임 제작 •치즐 제작 •테스트기계제작	•복합작업기 적합한 가변식배토기 설계 및 제작 •복합작업기 메인 프레임 용접JIG설계 및 제작	•간이 견인부하측정 장치개발 •복합작업기 구조 해석 방법 개발	•견인력시험 6분력계 설계 및 제작 •주요구성품 필드 분석, 시험하중 도출	•토양별 분석용 테스트 베드(Soil-bin)제작 •토양특성, 작업구역확 적 특성에 따른 경운 작업반복시험 및 분석
	시작품제작, 필드 시험 및 문제분석	•기계적요소 정량시험 •선진제품 비교시험 개발요소연구		•견인부하에 대한 트랙터 마력별 포장 시험 견인력 실험	•복합작업기 트랙터 KS B ISO-730 규정 에 매칭되는 자체 시험계획서 개발	
	2차 년도 (16 11 30 ~ 17 11 29)	실증작업평가설계 기반, 고유모델화경 설계	•시작품 견인부하, 내구성 종합평가 •신뢰성평가 결과물 기반 각구성품 재질, 강도재분석 및 선정 •역설계기반 고유모델 설계	•배토기실증포장시험 •배토기신뢰성평가 작물과 배토성 적합 성 분석에 따른 최 적화 설계 •고유모델 용접구조 물 JIG Fix설계, 제작	•주요부 구조설계와 해석을 통한 신뢰성 설계 •디스크 비틀림각에 대한분석 •견인부하력해석결과 분석	•주요구성품 시험 장치 JIG설계 및 제작 •핵심구성품 시험 장치 개발 •주요구성품 피로 시험 및 피로도, 수명시험 실시 설계 반영 FeedBack
고유모델제작 신뢰성 및 실용화 평가		•주요부품 신뢰성평가 결과값 반영 •고유모델 제작설계 •고유모델 시작품 필 드시험, 견인부하, 내구성 종합 테스트 •정량적목표 평가실시 (한국생산기술원) •최종보고서작성				

## 2절. 연구개발 기관별 수행내역 및 결과

### ○ 주관(주그린맥스)

#### 가. 1차년도 수행내역 및 결과

##### (1) 선진제품 필드작업특성분석 및 메커니즘 시스템 Lay-out설계

- 벤치마킹용 선진제품을 구매하여 제품별 구조시스템을 분석하고 필드작업을 병행하며 작업특성을 분석 개발방향 연구
- 연구개발 제품 해외 주요 수출목표시장 방문(중국 흑룡강성 거산현 감자집단협회, 몽골 채소협회 외)재배양식에 따른 작업기 사용실태 조사 및 개발방향에 대한 의견수렴
- 샘플기대를 레이저 T스캐너를 이용하여 주요부품과 메인프레임부를 모델링 한 뒤 프레임부의 구조해석을 수행 개발목적에 맞도록 경량화 설계 Lay-out 컨셉 수립
- 주요부품등을 분해하여 부품별 특성(재질, 강도 등)을 분석하여 기본설계 컨셉 수립

##### (가) 벤치마킹기계 구입



<Tulip社 복렬형 디스크해로우 150HP>



<Azim社 Off-set형 디스크해로우 100HP>



<Azim社 디스크 톨러 100HP>



<Azim社 폴더형 디스크해로우 180HP>

##### (나) 벤치마킹제품 작업특성분석을 위한 필드시험

- 디스크해로우의 전체적인 작업특성 및 핵심부품의 메커니컬 역할을 분석하기 위하여 Heavy, Middle heavy, Folder 3Type의 Sample기계를 필드실증시험을 실시하여 작업 성능 및 특성 등 메커니즘 시스템을 분석하여 연구개발목표 값을 특정하였다.



<Middle Heavy 디스크톨러 실증시험 및 특성분석>



〈Heavy Folder 디스크해로우 실증시험 및 특성분석〉



〈Heavy 복렬형 디스크해로우 실증시험 및 특성분석〉

(다) 경제성 및 사업화분석을 위한 해외시장분석

① 밀과 함께 감자를 주식으로 하는 몽골의 “감자농민협회” 초청(울란바트로 1,278조합원, 2만ha경작, 씨감자공급)의 감자과종 및 수확기계화 협의와 관련하여 2016년5월 현지 방문하여 협회장의 몽골경작환경에 알맞은 기계개발 및 공급에 대한 요청을 받아 현지 농업전문가 및 농업전문학교장, 농장주와 몽골경작에 대한 토론 및 협의를 진행하였다.

애로사항으로 과종기간이 D+15 이내로 짧은 몽골현실에서 경운작업을 대부분 구소련 및 중국에서 수입한 폴드쟁기(작업속도 3.5km/h)위주로 작업으로 하는데 잦은 고장 및 작업속도가 더디어 과종시기를 넘기는 경우가 많아 전체 농지의 1/3은 과종을 포기하는 현실을 대체하는 방안으로 무동력 디스크해로우 복합작업기의 영상 시뮬레이션을 실시하고, 판매 예정가를 상담한 결과 가격적 측면대비 작업가성비가 높고, 당사의 로터베이터 제품을 현재 사용하는 경험을 비추어 시험 포장제공 및 기계시험 후 협회 차원에서 공동구매의사를 확약 받아 현지 딜러망을 통한 영업활동을 진행하고 있다.



〈몽골 울란바토르 ‘농민협회’ 및 ‘농업전문학교’, ‘조합원 농장’ Meeting〉

② 중국 흑룡강성 치치하얼 거산현정부 및 감자영농협회(30개소 감자영농조합연합회, 재배면적 50만무(33만ha)경작, 기계화영농지원 및 씨감자 공급)의 초청으로 5월 방문에 이어 8월말 “중국전국 감자생산자 보고대회”에 기계개발자로 참석하여 현지관계자와 기계 영농화 추진관련 현지경작체계에 알맞은 기계개발 및 공급에 대한 협의 시 현재조합원이 주종으로 보유한 트랙터(95~120ps)에 적합한 경운작업기 및 수확기계의 공급을 요청받고, 개발 중인 ‘무동력 디스크해로우 작업기’의 테스트 영상 시뮬레이션을 실시하고, 경운작업시기에 구매조건으로 현지테스트 제의를 받았다



<중국 흑룡강성 방문>



<농장 경운작업 몰드쟁기(3.5km/h)>



<독일 렌켄 디스크해로우 250ps용>



<거산현 감자영농조합 조합장 및 거산현관계자 기계영농 상담>



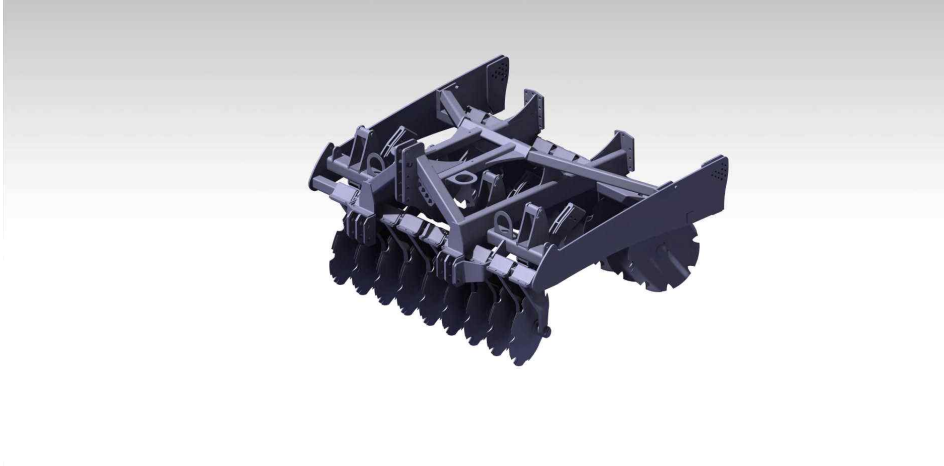
<독일 렌켄 디스크해로우 230ps용>



<조합원(5천ha) 파종작업 경운상태확인>

(라) 메커니즘 시스템분석 및 디스크해로우Lay-out설계

① 필드작업특성을 분석결과에 따라 시험한 Heavy 및 Folder형식의 디스크해로우는 대형트랙터(150ps↑)에 적합하게 메인프레임 용접구조물이 중량구조이며, Middle heavy형식인 디스크틸러는 경운 경심깊이가 부족하여, 설계디자인 컨셉을 국내 및 해외(중국&몽골)에 보편적으로 보급된 대형트랙터(90ps~110ps)에 적합하도록 구조해석을 통한 경량화설계가 필요 하다고 판단하여 초기모델링을 수행하였다.



<첫 번째 모델링 (샘플기대 초기컨셉)>

② 실증시험을 통해 코일스프링, 링스프링, 고무완충형 디스크모듈의 시험을 실시하고 시험데이터에 의한 구조해석을 실시한 결과 코일스프링형식이 적정하였고, 디스크 외경 크기도 경심깊이의 확보를 위해  $\phi 560\text{mm}$  대비  $\phi 610\text{mm}$ 가 정량목표값인 경심 15cm보다 높은 값(평균20cm)이 유지되기에  $\phi 610\text{mm}$  원판디스크로 특정하였다.

			
<p>&lt;디스크원판교환테스트&gt;</p>		<p>&lt;테스트토양(김제첨단농기계지원센터)&gt;</p>	
<p>디스크 560<math>\phi</math> 테스트 값</p>		<p>디스크 610<math>\phi</math> 테스트값</p>	
			
<p>경운깊이 11.5~max16.5cm</p>		<p>경운깊이 20~max21cm</p>	

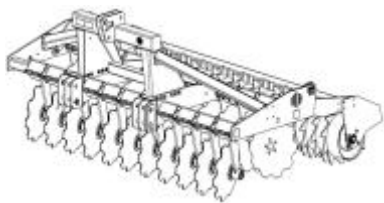
③ 설계Lay-out방향을 연구개발 최종목표인 작업폭2.5(M)에 경운작업과 동시에 두둑형성을 고추작물에 적합한 2두둑(1두둑=1.2M)을 기본으로 하되 타 작물 두둑도 형성가능한 기능을 추가한 가변식 배토구조를 복합기로 결정하고, 현장상황에 따라 배토기 및 쟁기형 치즐을 절.입할 수있는 어큐플레이터를 부착한 유압시스템을 적용하여치즐쟁기 작업 시 작업 안정성을 증대하는 방향으로 설계 컨셉트를 확정하였다.

(2) 주요요소부품 분석 및 시작부품 3D모델링 설계 및 제작

(가) System Lay-out 구성 개발요소부품 시험 및 개발

- 요소부품의 3D모델링 및 해석조건(경계조건,하중,재질 등)검토하여 유한요소 해석 및 시뮬레이션 수행 시작품 설계 제작

① 개발요소부품 예시



<트랙터 연결 3점지지 마스터>



메인프레임

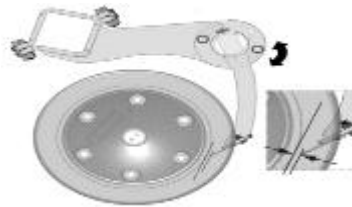
<메인프레임>



<배토기 프레임>



<원판보호장치>



<원판 연결 링크>



<원판복원 스프링>



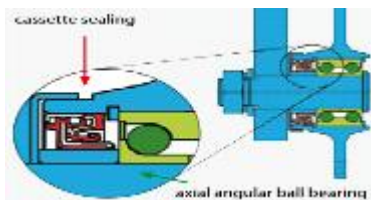
<치즐보습 및 성애>



<치즐 성애 연결장치>



<원판구동 요소부품>



<원판 구동 씰링 구조>



<원판 복원 고무>

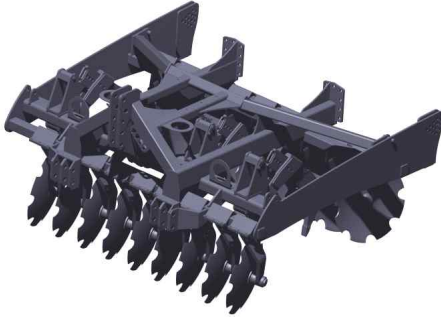


<치즐쟁기 상하조절용 유압실린더>

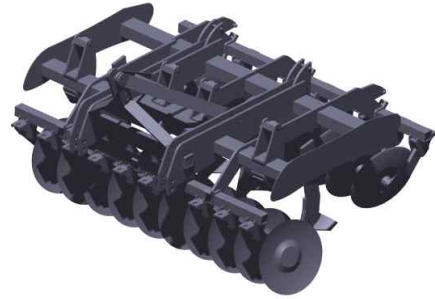


## ② 메인프레임 구조해석

- 디스크해로우 구조의 안전성 및 각 프레임부의 재료선정 설계를 위하여 모델링설계 수행하여 메인프레임의 구조해석을 실시



<첫번째 모델링(샘플기대 초기컨셉)>



<두번째 모델링(최종수정모델)>

### ■ 메인프레임 구조해석

- 무동력 디스크해로우 복합 작업기의 제품 개발에 있어서 설계단계에서 시스템의 적합성을 평가할 수 있는 중요한 기술로서 구조물의 강도 및 피로수명을 사전에 예측하고 설계단계에서 발생할 수 있는 문제점을 최소화 시켜 개발시간을 단축하기 위하여 CAE 해석 기법을 실시하였다.

CAE해석을 이용하면 일반적으로 시작품이 개발되면 제품은 시험을 통해 성능을 평가하고 제품이 목표 성능에 미치지 못할 시 구조변경 및 보강을 통해 재시험을 실시하게 된다. 이러한 반복 작업은 많은 시간과 비용을 소모할 뿐만 아니라, 현대와 같이 짧은 개발시간을 요구하는 트렌드에 부합하지 않는다.

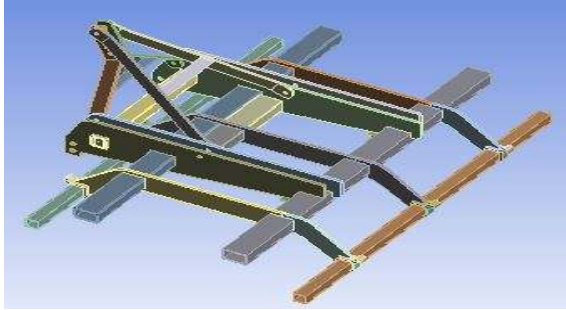
따라서 본 연구에서는 Ansys software를 이용하여 무동력 디스크해로우 복합 작업기의 주요 부품에 대하여 구조강도해석을 실시하고자 한다.

- 무동력 디스크해로우 복합 작업기는 트랙터에 3점 히치에 부착하여 사용하게 된다. 3점 히치와 연결되는 부분은 무동력 디스크해로우 복합 작업기의 메인 프레임 부분이다. 무동력 디스크해로우 복합 작업기를 이용하여 경운 및 배토작업을 시작할 때, 작업 중일 때, 그리고 이동할 때 메인 프레임에 안정성을 검토하여야 한다.

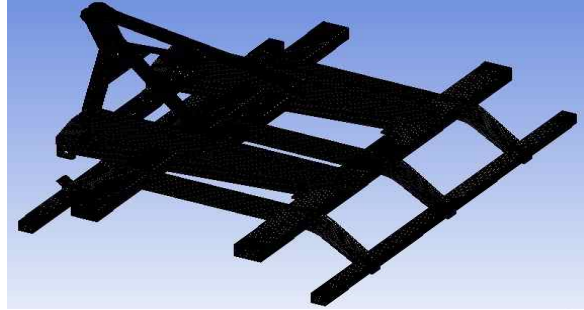
무동력 디스크해로우 복합 작업기를 이동하거나 작업을 시작하기 위하여 작업기를 내려놓을 때 순간적으로 무동력 디스크해로우 복합 작업기의 무게 이상의 하중이 걸리며, 작업 중에 디스크, 치즐 및 배토기가 작업을 하면서 반력이 발생하여 메인 프레임에 영향을 미치기 때문에 메인 프레임의 구조강도 해석을 통하여 안정성을 검토하였다.

- 메인 프레임의 구조 강도를 해석하기 위하여 해석에 영향을 미치지 않는 부분을 제거하여 단순화 3D 모델링을 하였다. 해석을 위한 격자는 노드수 1,565,347개, 엘리먼트수 379,664개를 이용하였다.

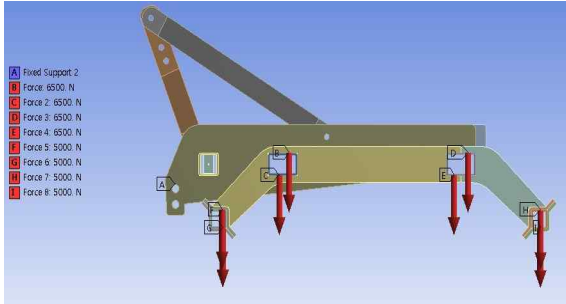
그리고 해석 조건으로 3점 히치에 연결되어 있다고 가정하여 양 핀 끝을 Fixed-support로 구속하였고, 중력 방향으로 무동력 디스크해로우 복합 작업기의 무게의 약 2배인 1,500kg과 작업 시 나타나는 반력의 2배인 65,000N을 작업 반대방향으로 가하여 해석하였다.



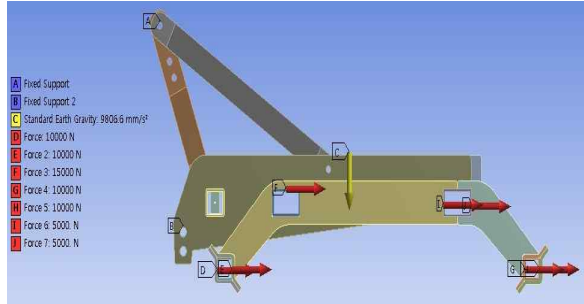
<단순화 3D 모델링>



<해석 격자 생성>

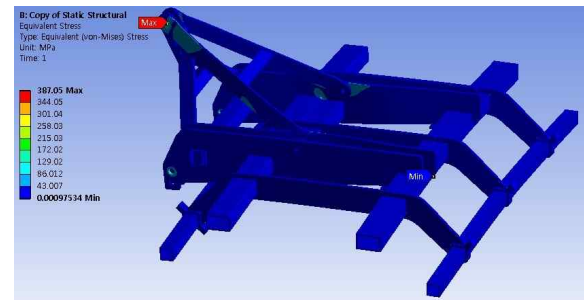
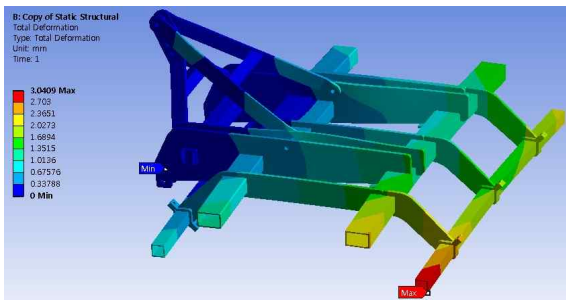


<이동 및 작업 시작 시를 고려한 해석 조건>

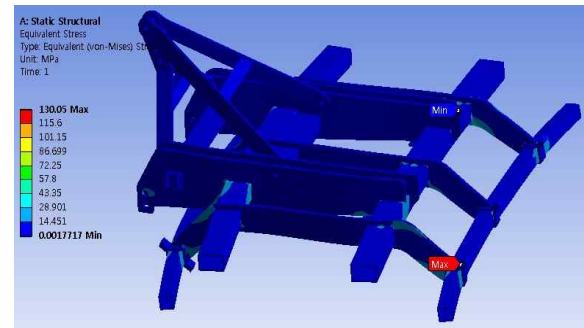
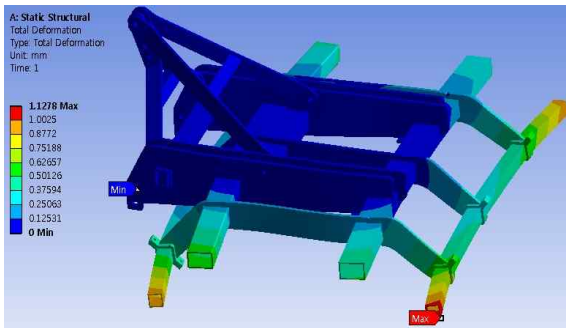


<작업 중 반력을 고려한 해석 조건>

- 무동력 디스크해로우 복합 작업기 프레임의 재질은 SS400으로 인장강도가 약 500MPa이다. 메인 프레임의 최대 변형량은 약 3mm이고, 최대 응력은 387MPa으로 3점 히치가 연결되는 마스터에서 최대로 나타났다. 해석결과 전체적으로는 문제없고 최대 응력이 나타난 3점 히치 연결부는 재질의 인장강도 이내이고 실제로는 보강 브라켓이 부착되어 문제없을 것으로 판단된다. 따라서 이동 및 작업 시작 시 전체 메인 프레임의 응력이 인장강도보다 낮기 때문에 안전하게 설계되어 문제가 발생하지 않을 것으로 판단된다.



이동 및 작업 시작 시를 고려한 메인 프레임 해석 결과



작업 중 반력을 고려한 메인 프레임 해석 결과

- 작업 중 발생하는 반력을 고려하여 메인 프레임 해석한 결과 최대 변형량은 1.1mm 이고, 최대 응력은 130MPa로 나타났다. 메인 프레임의 가장 끝부분에서 최대응력이 나타났으나 아주 미세한부분에 발생되었다. 위 해석결과와 동일하게 재질 SS400으로 인장강도가 약 500MPa이기 때문에 안전하게 설계되었다고 판단된다.
- 메인 프레임의 구조 강도 해석을 하기 위하여 트랙터에 무동력 디스크해로우 복합 작업기를 부착하여 이동하거나 작업을 시작하기 위해 내려놓을 때의 충격을 고려하여 해석하였으며, 또 작업 중 발생하는 반력을 고려하여 구조 강도 해석을 실시하였다. 결과적으로 두 가지 경우 재질의 인장강도에 비해 낮게 응력이 나타났다. 따라서 무동력 디스크해로우 복합 작업기 메인 프레임은 복합작업에 무리 없이 안전하게 설계되었다고 판단된다.

③ 유압실린더 설계 및 제작

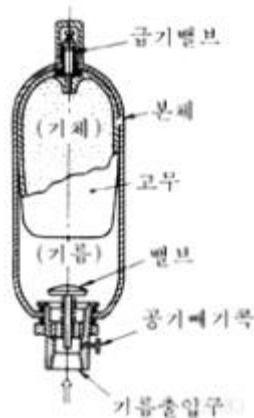
■ 작업기 유압순서 : 트랙터 유압 → 어큐플레이터 → 치즐유압실린더



<복합작업기 유압회로 개략도>

㉑ 어큐플레이터 선정

- 작업기의 치즐쟁기 절입장치인 유압실린더를 동시작동 시 발생하는 유압손실 및 맥동흡수를 위하여 어큐플레이터가 필요하다 판단되었다.
- 어큐플레이터란 우리말로는 축압기로 정의될 수 있으며 축압기는 일종의 유압을 저장하는 장치로 압축된 유체의 형태로 에너지를 저장하고 방출하며 유압시스템의 효율을 향상시킬 목적으로 사용된다.



<어큐플레이터 구조예시>

- 일반적으로 기름은 비압축성 유체이므로 고압의 기름 자체를 저장하려고 해도 그 양은 조금밖에 안되는게 사실임. 그러므로 다른 에너지로 변환하여 저장하여 두게 된다.
- 어큐뮬레이터를 사용 목적 면에서 나누게 되면 우선, 에너지의 보조측면에서 펌프 보조누출의 보조, 정전이나 펌프고장 등 긴급시의 유압원으로 나뉘볼 수 있다. 충격압의 흡수적인 면에서 보면 서지압력의 흡수이며, 유체 맥동의 흡수적인 면으로 따진다면 펌프 맥동의 흡수라고 볼 수 있다.
- 이번 개발의 경우 어큐뮬레이터는 에너지 보조용이며, 복수의 실린더를 움직일 경우의 펌프 토출량은 실린더에서 계산한 최대100Bar까지 조절 할 수 있는 규격으로 선정하였다.

㉔ 유압실린더 설계 및 제작

- 치즐쟁기용 유압실린더는 다음과 같이 계산식을 적용하여 제작하였다.

$$P(Kgf/cm^2) = \frac{W(kg)}{A(cm^2)}$$

- 실린더 규격결정 (예시)

실린더 POWER		
전진 Fe: (Kg)	$\frac{\pi \cdot D^2 \cdot P}{4}$	96,211
후진 Fw: (Kg)	$\frac{\pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot P}{4}$	25,525
실린더내경 D: (cm)		35
피스톤경 d: (cm)		30
압력 P: (Kgf/cm <sup>2</sup> )		100

<실린더 계산>

- 제작된 유압실린더



<배토기 및 치즐쟁기용 유압 실린더>

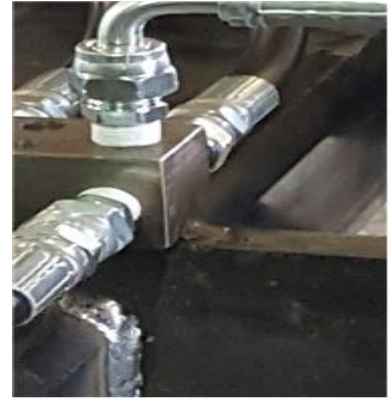
㉔ 유압어셈블리Line 제작



<유압 분배 밸브>



<유압게이지>



<유압 블록>



<유량 조절게이지>



<어큐물레이터RH>



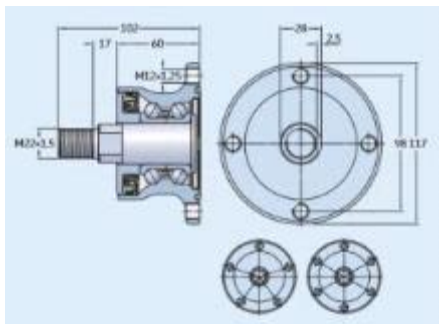
<어큐물레이터LH>

<Hydraulic Assembly Line Unit system>

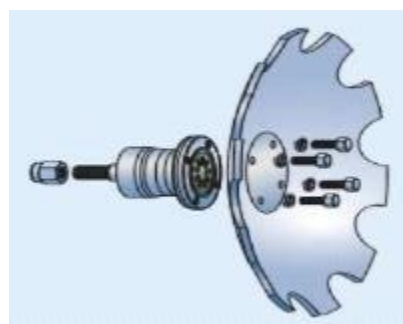
④ Disk Assembly용 허브 베어링구조해석 및 설계 제작

- 허브 베어링부는 원판디스크와 디스크프레임 러그를 연결해주는 역할로 경운작업시 원판디스크의 회전운동에 매우 중요한 역할을 수행하는 부품으로 하우징 내에 축과 베어링으로 구성되어있다.
- 디스크수명과 관계되는 부품으로 설계에 대한 구조해석과 내구성에 대한 시험을 한국 기계연구원에서 실시하고 그 결과를 바탕으로 시작품을 제작하고 한국생산기술원(김제첨단농업기계지원센터)에서 시료검사를 진행하여 재질을 확정하였다.

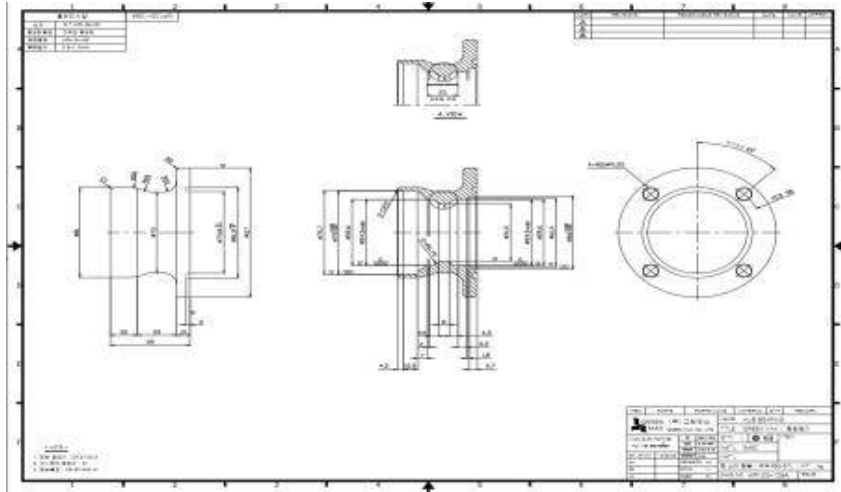
㉔ 3D모델링 설계



<3D모델링 허브베어링 구조>



<허브베어링과 디스크모듈 어셈블리>



<허브베어링 제작도면(하우징)>

1. dynamic load : 46.8 KN
2. static load: 36.6 KN
3. inside ball size:  $\phi$  11.509 mm
4. 내륜 볼 수량: 24 pieces ( 2x12 pieces, double row)
5. 내륜 철강재질: SUJ2
6. 외륜 허브 하우징 철강재질: S55C
7. 샤프트 철강재질: S45C or SCM420



<허브베어링 설계요구사항>

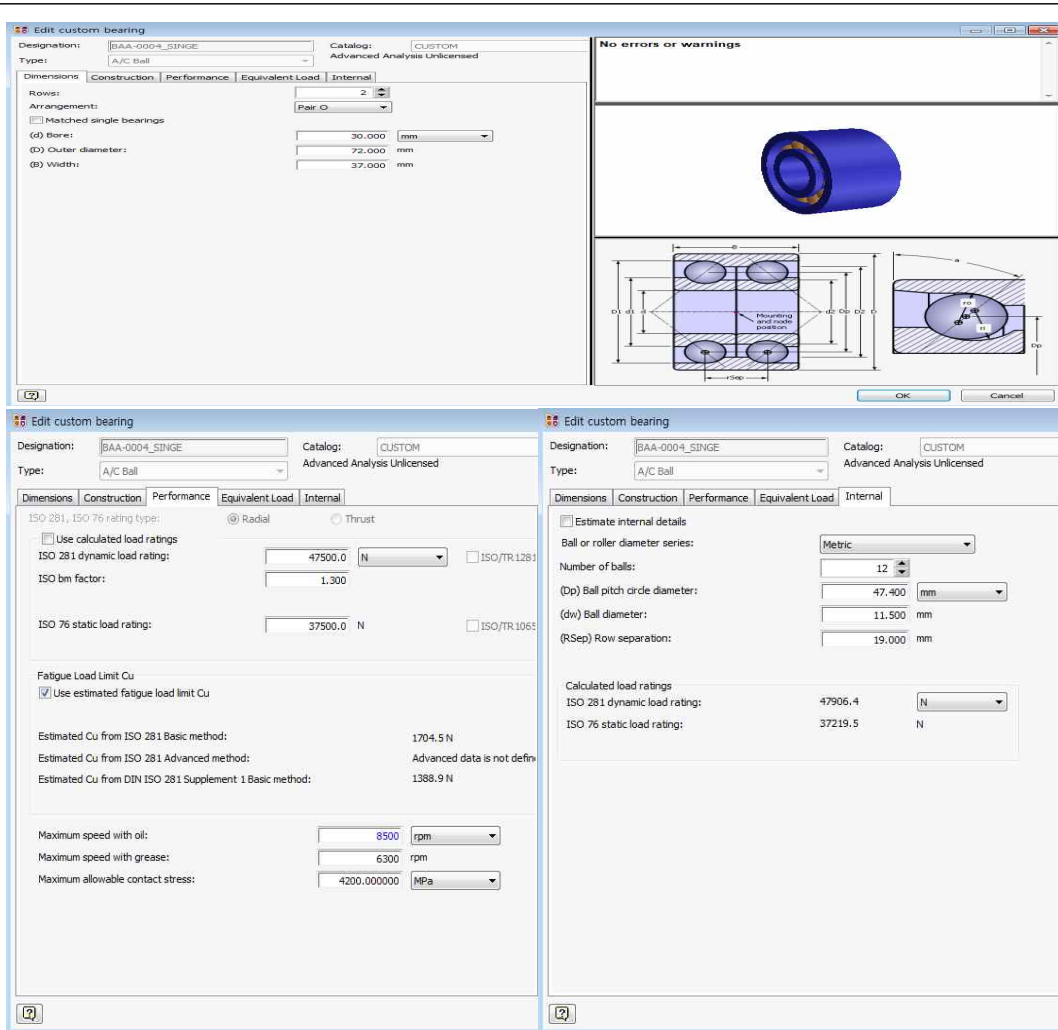
<시작품 허브베어링조합 제작>



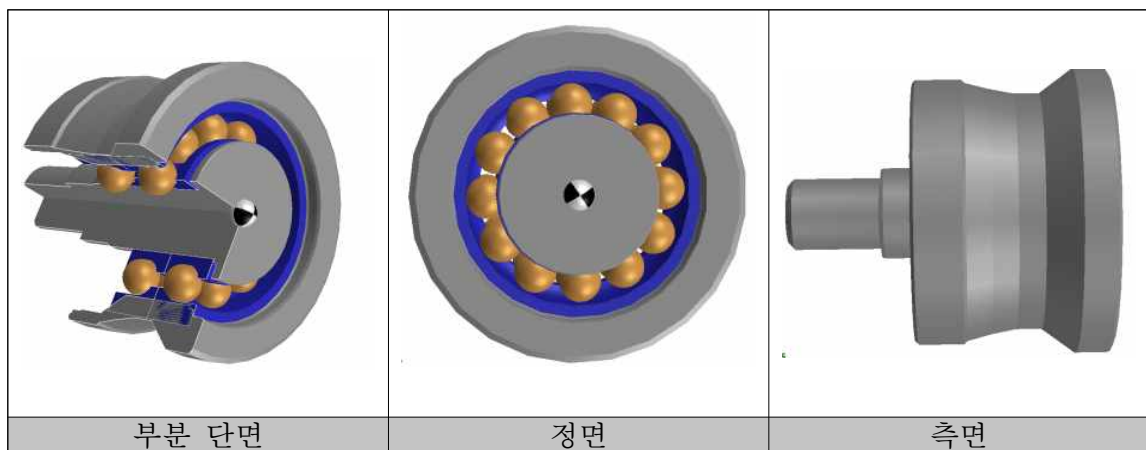
<허브베어링 하우징 재질 시험성적서>

㉞ 허브베어링 해석 및 수명예측

- 디스크 해로우와 프레임 사이를 연결하는 허브 베어링 해석을 위해 Romax의 베어링 custom 모드를 사용하여 베어링을 생성하였다. 생성된 베어링을 축 모델에 결합하여 허브 베어링을 모델링 하였다.



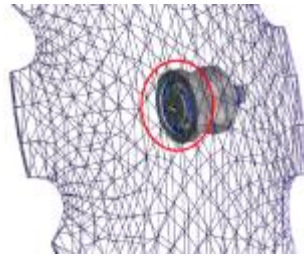
<허브 베어링 제원입력>



<허브베어링 모델링 in Romax>

- 허브베어링 해석을 위하여 디스크해로우의 전체 형상을 모델링 하였으면, 디스크해로우 디스크와 프레임은 FE를 적용하였다.
- 디스크해로우의 디스크 mesh의 Node수 4,639개, Element수 2,148개로 구성되었고, 프레임의 mesh의 Node수 20,405개, Element수 10,994개이다.
- 해석조건으로서 디스크와 프레임윗면은 총6개의 볼트로 전체 프레임에 고정되므로 메인프레임과 맞닿게되는 면 전체를 프레임윗면경계조건으로 설정하였으며, 디스크와

프레임은 허브베어링과의 연결부에 Fixed조건으로 경계조건으로 설정하였다.



(a) 디스크 해로우 연결부



(b) Frame 연결부

<프레임 윗면 경계조건>

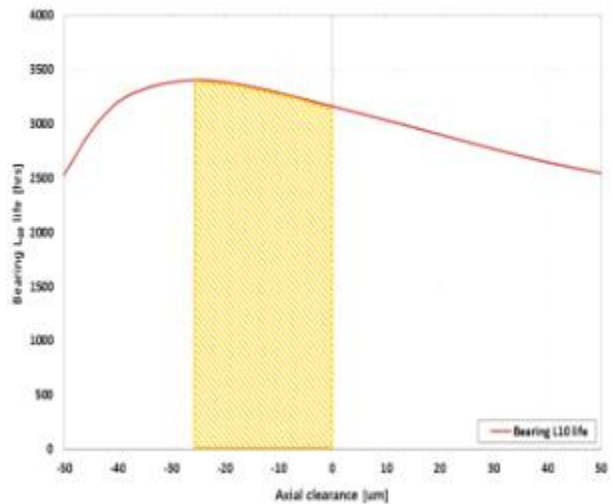
<허브 베어링 연결부 경계조건>

- 해석 및 결과

위 모델의 베어링 클리어런스를 -50um에서 50um까지 5um 간격으로 증가시키며 해석을 수행하였다. ISO 281 / TS 16281의 규격으로 해석한 결과 표 2.9와 같이 베어링 클리어런스를 0 ~ -25um 사이에 맞추었을 때 베어링 수명이 가장 높게 나타났다. 또한 0 ~ -25um 사이를 벗어나는 클리어런스를 주는 경우 베어링 수명이 급격히 저하되는 것을 볼 수 있었다.

따라서 디스크 해로우 조립시 그림 1과 같이 베어링 클리어런스가 0 ~ -25um 구간에 들어오도록 체결토크를 결정하여야 한다.

< ISO 281 / TS 16281 >		
Life modification factor, $a_{10}$	Axial clearance, $\mu\text{m}$	Bearing $L_{10}$ life, hrs
0.14518	-50	2527.59
	-45	2930.02
	-40	3198.85
	-35	3321.33
	-30	3381.84
	-25	3404.68
	-20	3384.86
	-15	3341.24
	-10	3285.48
	-5	3224.29
	0	3161.00
	5	3096.67
	10	3032.03
	15	2967.38
	20	2901.04
	25	2833.67
	30	2766.87
	35	2703.87
	40	2645.35
	45	2593.86
	50	2545.66
Max		3404.68



<베어링 클리어런스에 따른 베어링수명>

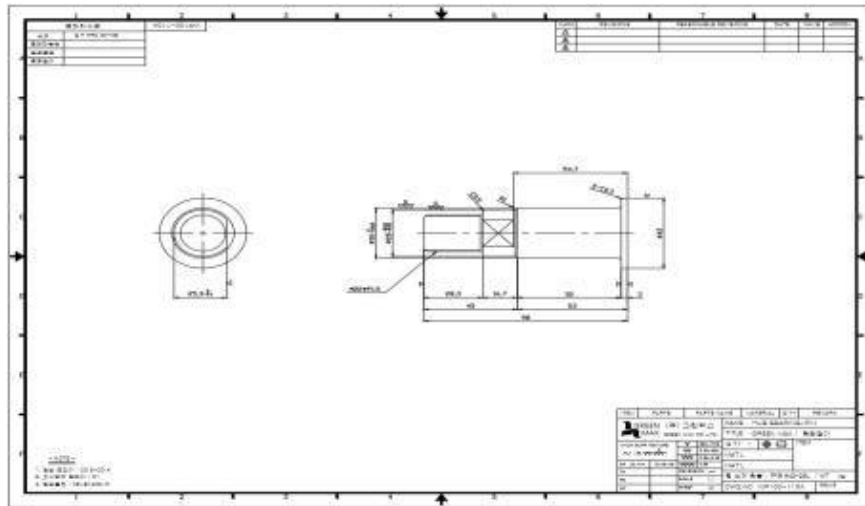
<베어링예압량에 따른 베어링 수명>

㉔ 허브베어링 축 설계 및 인장강도 시험

- 강도와 내구성을 고려하여 설계조건을 SNCM220으로 정하고, 허브베어링축 조합 제작에 앞서 소재의 열처리검사 및 인장강도시험을 실시하였다.



- 설계도면



<허브 베어링 도면 (연결 축)>

- 허브베어링 축 열처리 검사

- 재질 : SNCM220
- 결과 : 설계조건에 부합된 HRC경도 58~62만족하여 재질 SNCM220을 선정함.



< 열처리 검사 >

- 허브베어링 축 인장강도시험

- 시험편 : SNCM220 5EA



<봉형 인장시험 시편>

REPORT No. 2016-09-01		검사(시험)성적서 INSPECTION(TEST)REPORT		2016년 09월 02일									
회사명 CUSTOMER	(주)그린맥스	표 범	HmV 600										
품명 ITEM	허브베어링축	과	0.90mm										
규격 SIZE	WF100-110A												
재질 MATERIAL	SNCM220												
경화깊이 HARDENING DEPTH	0.8 - 1.0 mm												
(표면) 경도 HARDNESS	HRC : 58~62												
(표면내부) 조직 STRUCTURE													
변형 DISTORTION													
주 LOT - SIZE	5EA												
LOT NO.	160328-AC-1												
검사 항목 INSPECTION ITEM	SIZE OF SAMPLE					1	2	3	4	5	6	7	판 단 Decision
겉모양 APPEARANCE						GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD			O.K
표면경도 SUR. HARDNESS	1	HRC60	HRC68	HRC60.6	HRC60	HRC68.6			O.K				
유효경화층깊이 HARDENING DEPTH	1	0.90mm	0.90mm	0.90mm	0.90mm	0.90mm			O.K				
조직 STRUCTURE									O.K				
비고													
종합판정 COMPOSITE DECISION	합격		승급자	검사 승인	수요자	검사 결과 승인							
호성열처리 인천광역시 남동구 고잔동 738-10 032-816-6204 HSF-70-04-01													

<열처리 검사 성적서>

•시험기기 600kN 기계식 인장압축시험기

1. 최대하중	600kN
2. 속도	0.0017mm/min ~ 508mm/min
3. 크로스 해더 이송	1525mm



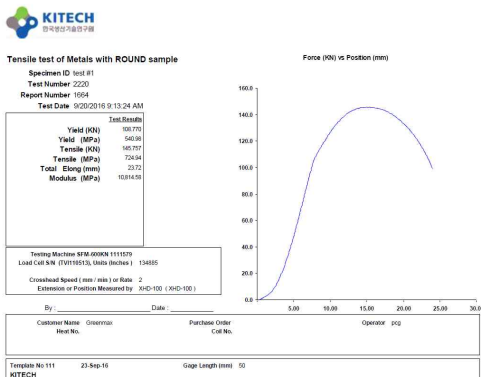
- 모델명 SFM-600kN
- 용도 재료 물성 시험
- 특성
  - 600kN 기계식 인장압축시험기
  - 중/형 신율계
  - 챔버 및 고온로

〈고온·고속 재료물성 시험기〉

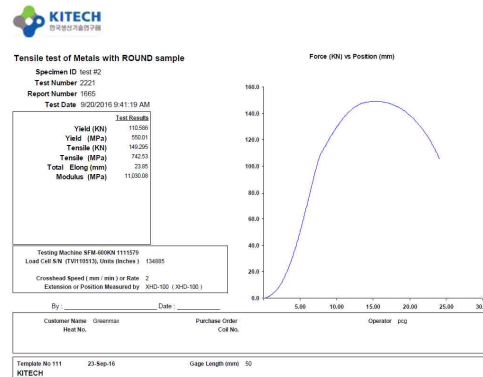
•인장시험 시료5개의 시험결과 평균인장강도 730.69Mpa로 설계조건인 720Mpa를 충족

시편	항복강도(MPa)	인장강도(MPa)	연신률(%)	최대하중(KN)
test #1	540.98	724.94	26.2	145.757
test #2	550.01	742.53	26.16	149.295
test #3	548.06	740.8	25.32	148.947
test #4	538.76	724.5	27.22	145.670
test #5	535.71	720.69	25.8	144.903
평균	542.70	730.69	26.14	146.91

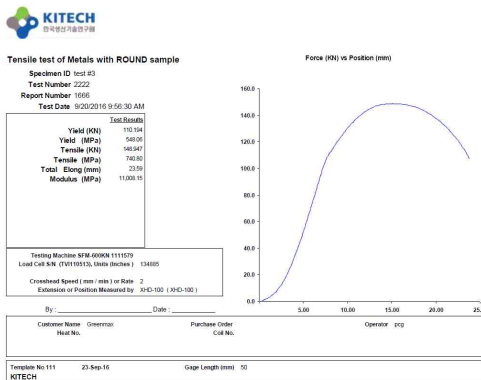
〈인장시험 결과〉



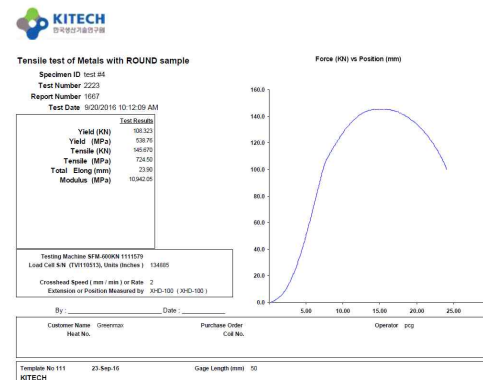
〈 시험결과 Test #1 〉



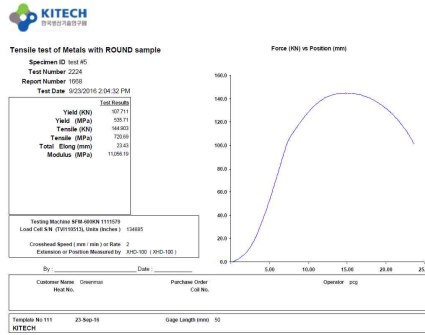
〈 시험결과 Test #2 〉



〈 시험결과 Test #3 〉



〈 시험결과 Test #4 〉



<시험결과 Test #5>



<인장시험>



<파단된 시험편>

㉠ 허브 베어링 Assembly제작

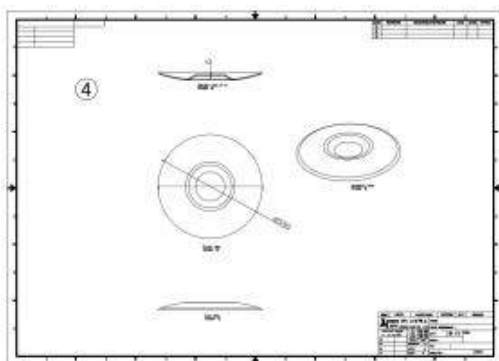


<허브베어링 개발 단품>

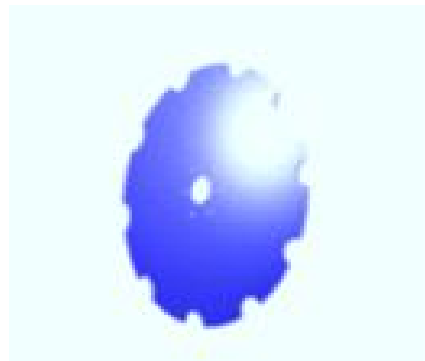
<허브베어링 조합>

㉡ 디스크해로우 원판디스크 모듈 분석 및 시험

㉢ 디스크 설계도면



< 디스크 설계도면 2D >



<3D 모델링>

㉞ 디스크 열처리 검사



< 열처리검사 HRC40~45 >

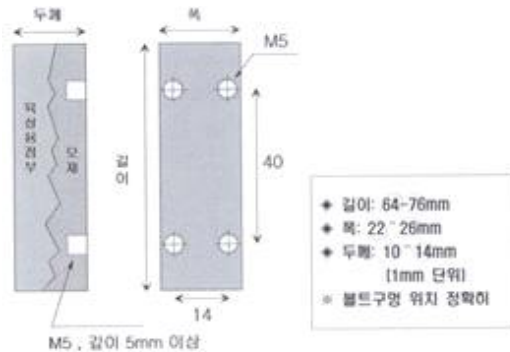
<원판 디스크>

REPORT No. 2018-0205		검사(시험)성적서 INSPECTION(TEST)REPORT		2018년 09월 10일						
회사명	(주)그린텍스	비	mm	800						
고객명	원광머스크(부품실)	단		5.75mm						
품명										
규격										
재료	SSC/MING									
소재										
제조일자	0.8 ~ 1.0 mm									
표면경도	HRC : 38~46									
(표면 내측) 조직										
조직										
조건										
LOT NO.	SEA									
10.8	210.8	310.8	410.8	510.8						
877	818	859	900	941						
8(1.2)	7(1.1)	6(1.2)	5(1.2)	10(1.4)						
478	470	466	468	459						
검사항목	SIZE OF SAMPLE	1	2	3	4	5	6	7	판정	
외관	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	O.K.	
표면경도	1	HRC38	HRC39	HRC41	HRC42	HRC44	HRC42	HRC42	O.K.	
표면경도	1	0.70mm	0.72mm	0.71mm	0.70mm	0.81mm	0.80mm	0.78mm	O.K.	
조직									O.K.	
비고										
합격	출판자	검사자	수령자	검사	판정	수인				
호성 열처리 HOSEONG heat treatment co.										

<열처리 검사성적서>

㉞ 내마모성 검사

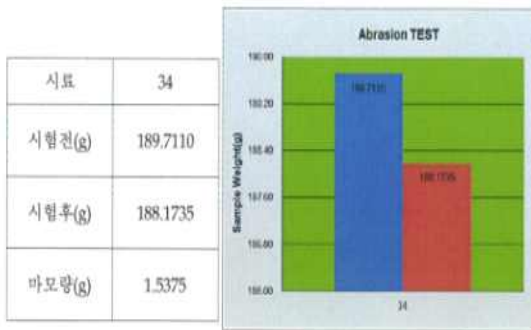
•시험방법 : ASTM G65 Procedure A 시험규격(130N, 30min)준수



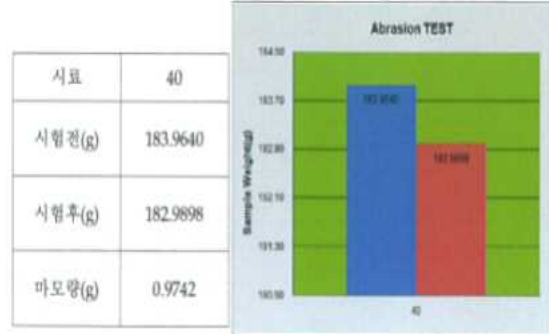
< ASIM G65내마모성 시편제작도면 >

<내마모성 검사시편>

•시험결과



<시편 A 결과>



<시편 B 결과>

한국생산기술연구원 충청남도 천안시 서북구 임정면 향대교로 89 (Tel: 041 589 8051, Fax: 041 589 8510)	성적서 번호:CI6N910204 페이지 ( 1 ) / ( 총 2 )	
1. 의뢰자 ○ 업체(기관)명 : (주)그린텍스 ○ 주 소 : 전라북도 전주시 덕진구 백제대로 567 농기계ICT융합연구소 201호 2. 성적서 용도 : 성능평가 3. 시험대상품목/물질/시료 설명 : 내마모시험/34, 40 4. 시험기간 : 2016. 09. 25 5. 시험방법 : ASTM G65-A 6. 시험결과 :		
2페이지 참조		
이 시험결과는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에만 한정됩니다.		
확인 성 명 : 심지연	작성자 성 명 : 김지연	기술책임자 성 명 : 강봉용
이 시험성적서는 용도 이외의 사용을 금하며 기타 상품광고, 별첨소송 등의 목적으로 사용할 수 없음 2016. 09. 27. 한국생산기술연구원장 (인)		


시 험 결 과		성적서 번호:CI6N910204 페이지 ( 2 ) / ( 총 2 )									
<table border="1"> <tr> <td>시료</td> <td>34</td> </tr> <tr> <td>시험전(g)</td> <td>189.7110</td> </tr> <tr> <td>시험후(g)</td> <td>188.1735</td> </tr> <tr> <td>마모량(g)</td> <td>1.5375</td> </tr> </table>	시료	34	시험전(g)	189.7110	시험후(g)	188.1735	마모량(g)	1.5375			
시료	34										
시험전(g)	189.7110										
시험후(g)	188.1735										
마모량(g)	1.5375										
<table border="1"> <tr> <td>시료</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>시험전(g)</td> <td>183.9640</td> </tr> <tr> <td>시험후(g)</td> <td>182.9898</td> </tr> <tr> <td>마모량(g)</td> <td>0.9742</td> </tr> </table>	시료	40	시험전(g)	183.9640	시험후(g)	182.9898	마모량(g)	0.9742			
시료	40										
시험전(g)	183.9640										
시험후(g)	182.9898										
마모량(g)	0.9742										
○ 시험방법(Test Method) : ASTM G65 procedure A 시험규격(130N, 30min) 준수											

<내마모성 시험 성적서>

㉠ 디스크 러그제작

- 디스크러그는 디스크모듈과 메인프레임과 연결해주고, 디스크작동 시 발생하는 힘을 지탱해주는 서포트로서 소재선정이 중요한 관계로 샘플러그를 가지고 러그 물성치 시험을 하여 재질을 선정하고자 수행하였다.
- 러그 물성치 시험결과 \_(한국생산기술원 성적서 참고)

종류	C	Mn	Si	Cr	Mo	B	Ni
시편 A	0.20	1.22	0.18	0.015	0.02	0	0.001
시편 B	0.34	1.373	0.258	0.223	0.02	0	0.016

시험 결과		성격서 번호 : C16N920034	KITECH 한국산업기술연구원													
		페이지 ( 3 )(중 3 )														
 <b>KITECH</b> Korea Institute of Industrial Technology [첨단농기계종합지원센터]		당 : 산업부 수석연구원 연락처 : 063-920-1277 E-mail : cjoon@kitech.ra.kr														
<b>Analysis - Report</b>																
program no. : 111		program description : low alloy steel														
date : 9.9.2016		Value:														
no.	C	Si	Mn	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Ba	Pb	Zr
1	0.302	0.245	1.306	0.016	<0.001	0.221	0.023	0.017	<0.001	0.051	<0.001	0.006	0.070	0.027	0.008	<0.001
2	0.330	0.280	1.300	0.032	0.005	0.227	0.020	0.016	0.016	0.059	0.009	0.211	0.106	0.028	0.011	<0.001
4	0.368	0.257	1.307	0.021	0.004	0.225	0.023	0.017	<0.001	0.054	0.002	0.006	0.059	0.031	0.007	<0.001
5	0.305	0.251	1.349	0.014	0.008	0.218	0.021	0.015	<0.001	0.052	<0.001	0.002	0.048	0.020	0.005	<0.001
Average:																
	C	Si	Mn	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Ba	Pb	Zr
	0.340	0.258	1.373	0.021	0.004	0.223	0.022	0.016	0.005	0.054	0.003	0.007	0.071	0.029	0.007	<0.001
grade: 1.1166 34 Min 5																

<성분 분석 표>

- 물성치 시험결과 주요화확성분기준으로 S20C~S25C에 근접하지만 Mn의 함유량이 0.6~0.7%높게 형성되어 있지만 시작품의 리그재질은 담금질을 하여 S20C로 선정함.
- 사업화관련 리그소재의 확정을 위해 하독스계열의 물성치 및 특성을 조사하였다.

종류	C	Mn	Si	Cr	Mo	B	Ni
AR400	0.18	1.60	0.70	1.0	0.25	0.004	0.25
AR500	0.35	1.60	0.55	1.0	0.15	0.005	0.25

<하독스 화학성분 표준치>

- HARDOX \_ AR Plate(특수 내마모성강판)은 Abrasion resistant Plate의 약자로서 현재로서는 ASTM, JIS 또는 DIN등 국제규격에 등재되어있지 않고 각 제조회사 별로 고유브랜드명으로 판매되고 있으나 통상적으로 ‘AR Plate’ ‘Hardox’ 라는 명칭으로 불려지고 있다. 국내에서는 한국특수스틸에서 생산하는 것으로 조사됨
  - 종류로는 AR400 , AR450, AR 500 등으로 분류되고 AR뒤의 3자리숫자는 해당 강재 표면경도(브린넬경도HB)수치에 따라 AR235, AR300, AR320, AR360, AR400, AR450, AR500, AR550, AR600등으로 세분 등급화 되어있다.
- 브린넬경도가 높을수록 내마모성은 좋아지지만 동시에 경도가 높아질수록 가공성은 매우 떨어지는 단점이 있다.

-[참고] 하독스 기계적 성질 표준치

AR GRADE	브랜드명	항복점 (N/mm <sup>2</sup> )	인장강도 (N/mm <sup>2</sup> )	신율(%)	충격치	브리넬경도(HB)
AR 400	EH 400A	-	-	-	21J at 0°C	Min,401
	BRIN AR 400	1100	1300	12	35J at -20°C	360-440
	HARDOX 400	1000	1250	10	45J at -40°C	370-430
	+SH K400	1156	1325	10	30J at -40°C	360-440
	RAEX AR400	1000	1250	10	20J at -40°C	380-450
	WELTEN AR 400E	1265	1393	20	25J at -20°C	Min,401
AR 450	RAEX AR 450	1200	1350	10	20J at -40°C	420-490
	EH 450	-	-	-	-	Min,441
AR 500	EH500A	-	-	-	21J at 0°C	Min,447
	BRIN AR 500	1250	1500	10	25J at -20°C	460-540
	HARDOX 500	1300	1550	8	30J at -40°C	470-530
	+SH K500	1373	1552	8	25J at -40°C	450-550
	RAEX AR500	1250	1600	8	20J at -30°C	450-530
	WELTEN AR500E	1294	1638	18	37J at -20°C	Min,477

- 시작품 리그열처리 시험
- 시험결과 : 기준치를 만족함.



<열처리 시험 사진>

<열처리 시험 성적서>

㉞ 텐션스프링 설계 및 선정

- 디스크 텐션스프링의 역할은 디스크경운작업 시 돌발적인 장애물(돌)발생 시 디스크에 순간적 부하가 발생되어 디스크파손으로 이어지는 것을 완화해주는 장치다. 이와 같이 충격보호 장치는 일반적으로 텐션스프링방식과 고무리그방식으로 나눌 수 있는데 원가적인 측면에서는 고무리그방식이 우위에 있으나 국내에서는 고무재질 및 금형제작등의 난제가 있는 관계로 텐션스프링방식으로 선정하였다.
- 스프링선정을 위해 독일LEMKEN제를 분석하여 탄성도가 더 높은 스프링설계 수행하여 제작하고 수입품(독일LEMKEN)과 스프링하중시험을 통하여 연구개발 시작품에 적용하였다.

- 스프링 설계

### 스프링 설계자료

1) 하중  $P = k \cdot \delta$  -----①

2) 스프링 정수  $K = \frac{Gd^4}{8N\alpha D^3}$  -----②

3) 용력  $Z = K \cdot \frac{8D}{\pi d^3} \cdot F$  -----③

용력수정계수  $K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C}$  -----④

스프링지수  $C = D/d$  -----⑤

• ③에 의해 구해진 최대용력 Zmax는 재료의 허용 용력 이하가 되도록 설계한다.  
 • 계산식 ②의 탄성계수 G값

재 료	G의 값 kgf/mm <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	
스프링강 강재	$8 \cdot 10^3$ ( $78 \cdot 10^2$ )	
경강선	$8 \cdot 10^3$ ( $78 \cdot 10^2$ )	
피아노선	$8 \cdot 10^3$ ( $78 \cdot 10^2$ )	
오일 템퍼선	$8 \cdot 10^3$ ( $78 \cdot 10^2$ )	
스테인리스강선	STS 302	$7 \cdot 10^3$ ( $69 \cdot 10^2$ )
	STS 304	
	STS 316	
	STS 631 J1	$7.5 \cdot 10^3$ ( $74 \cdot 10^2$ )
활동선	$4 \cdot 10^3$ ( $39 \cdot 10^2$ )	
양백선	$4 \cdot 10^3$ ( $39 \cdot 10^2$ )	
인형 동선	$4.3 \cdot 10^3$ ( $42 \cdot 10^2$ )	
베릴륨 동선	$4.5 \cdot 10^3$ ( $44 \cdot 10^2$ )	

재 료	허용 용력
경강선	$0.5 \cdot \delta B$
피아노선	$0.5 \cdot \delta B$
스테인리스강선	$0.45 \cdot \delta B$
인형동선	$0.4 \cdot \delta B$

• 재료의 비중

재 료	비 중 g/mm <sup>3</sup>
피아노선	$7.8 \cdot 10^{-3}$
경강선	$7.8 \cdot 10^{-3}$
스테인리스선	$7.93 \cdot 10^{-3}$
인형동선	$8.8 \cdot 10^{-3}$
활동선	$8.6 \cdot 10^{-3}$
베릴륨동선	$8.26 \cdot 10^{-3}$

<스프링 하중 설계자료>

-설계자료에 의한 스프링하중계산 비교표

#### DISK HARROW SPRING Calculation

PROJECT	DISK HARROW	PARTNAME	
CUSTOM	KIM SANG IK	DWG NO	
DESIGN		DATE	2016.03.17.

회탄성계수 G

피아노선	8200
SWP	8000
SUS	7200
인형동	450

외선 경(D)	14	외자 유량(L)	220
외 경(D2)	141	밀 착 경(Hs)	112
중심 경(D)	127	면 마 후	98
내 경(D1)	113	회탄성계수(G)	8000
층 권 수(Nt)	8	스프링정수(K)	3.12572
유효권수(Na)	6	재 질	SWP

구분	입속길이(mm)	회탄성계수(G)	하중		공차(+5%) (Kg)	공차(-5%) (Kg)
			(kgf)	(N)		
1차하중	208.88	11.12	34.758	340.628	36.496	33.020
2차하중	207.34	12.66	39.572	387.802	41.946	37.197
3차하중	204.94	15.06	47.073	461.318	49.898	44.249
4차하중	198.76	21.24	66.390	650.624	70.374	62.407
5차하중	194.43	25.57	79.925	783.261	84.720	75.129

d	선 경	Nt	층권수	Pmax	2차하중
D1	내 경	Na	유효권수	K	스프링정수
D2	외 경	G	회탄성계수	δ	스프링치질항
D	중심 경	P	스프링에작용하는 하중	Hs	밀착장

#### DISK HARROW SPRING Calculation

PROJECT	DISK HARROW	PARTNAME	
CUSTOM	KIM SANG IK	DWG NO	
DESIGN		DATE	2016.03.17.

회탄성계수 G

피아노선	8200
SWP	8000
SUS	7200
인형동	450

외선 경(D)	12	외자 유량(L)	150
외 경(D2)	99	밀 착 경(Hs)	96
중심 경(D)	87	면 마 후	84
내 경(D1)	75	회탄성계수(G)	8000
층 권 수(Nt)	8	스프링정수(K)	5.24827
유효권수(Na)	6	재 질	SWP

구분	입속길이(mm)	회탄성계수(G)	하중		공차(+5%) (Kg)	공차(-5%) (Kg)
			(kgf)	(N)		
1차하중	138.88	11.12	58.361	571.935	61.279	55.443
2차하중	137.34	12.66	66.443	651.142	70.430	62.456
3차하중	134.94	15.06	79.039	774.581	83.781	74.297
4차하중	128.76	21.24	111.473	1092.437	118.162	104.785
5차하중	124.43	25.57	134.198	1315.142	142.250	126.146

d	선 경	Nt	층권수	Pmax	2차하중
D1	내 경	Na	유효권수	K	스프링정수
D2	외 경	G	회탄성계수	δ	스프링치질항
D	중심 경	P	스프링에작용하는 하중	Hs	밀착장

<수입품(독일LEMKEN)>

<설계제작 제품>



- 스프링 하중시험



<시편 1. 수입품 스프링>



<시편 2. 자체제작 스프링>

•스프링하중 Testing

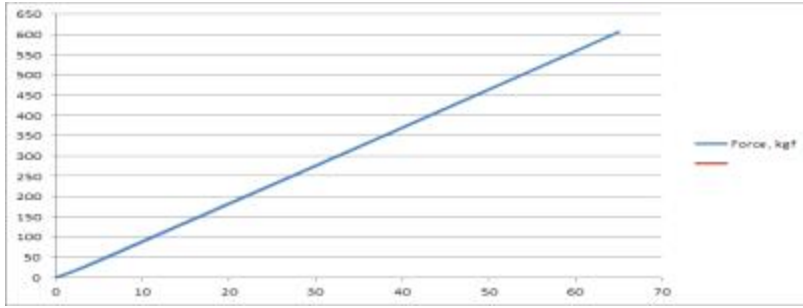


<시편1. 독일제(LEMKEN) 수입 스프링 하중시험>



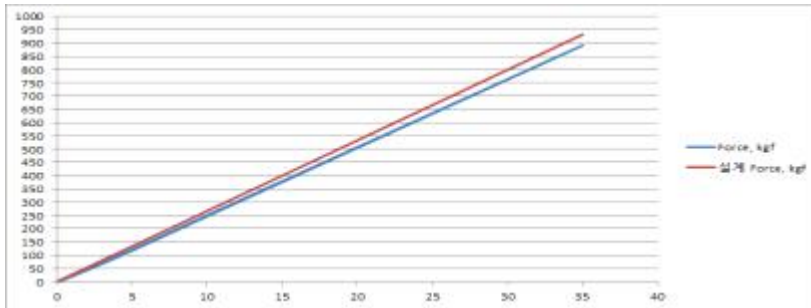
<시편2. 개발된 스프링 하중시험>

• 스프링 하중시험 결과값



자유장,mm	설계 Displacement, mm	설계 Force, kgf
220	0	0
180	40	372.4474145
160	60	561.0992796
스프링상수	9.432593259	kgf/mm

<시편 1. 수입품 시험결과 값>



자유장, mm	설계 Displacement, mm	설계 Force, kgf
150	0	0
130	20	533
115	35	932
스프링상수	26.6	kgf/mm

<시편2. 개발스프링 시험결과 값>

• 스프링전문제작업체 비료의뢰

<독일 LEMKEN 수입제품>

<설계 제작 제품>

• 결과

스프링 설계의 중요한 비중을 가지고 있는, 선경과 내경, 자유장의 경우 크기가 큰 것이 작은 스프링보다 받을 수 있는 하중량이 적게 나타남.

위 두 결과를 보면, 각1~5차 하중까지 주었을 때, 선경 d(14) 내경(113)인 스프링(시편1)보다, 선경 12(d) 내경 75(d)인 스프링(시편2)이 하중을 더 버틸 수 있도록 되어 있다. 따라서 효율성이 좋은 자체제작 스프링을 채택하였다.



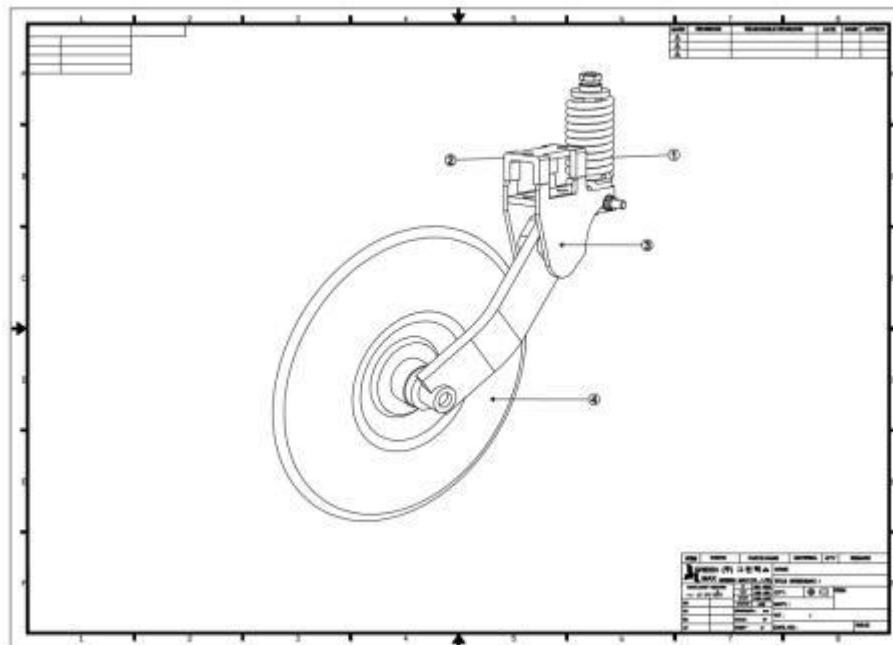
<시험결과로 제작된 스프링>

㉞ 디스크모듈의 설계 및 제작

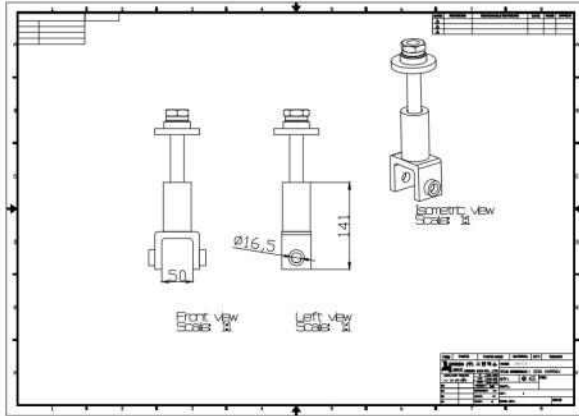
■ 디스크조합을 지탱하고 허브역할을 수행하는 Disk Module 설계를 위해  $\phi 560$  디스크 모듈을 수입하여 실증시험을 실시하여 Modify 설계를 수행하였다.

■ 개발목표 경심깊이는 15cm 이상으로 하였으나 국내의 재배환경 및 실수요자의 의견 수립결과 경심깊이는 20cm 충족조건이 필요한바, 실지설계는  $\phi 620$  디스크로 선정함.

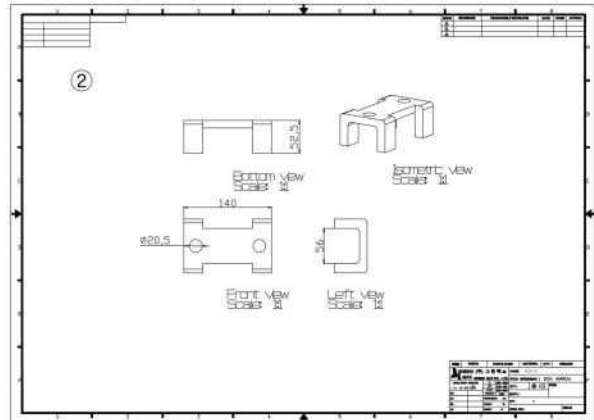
- 디스크모듈 설계



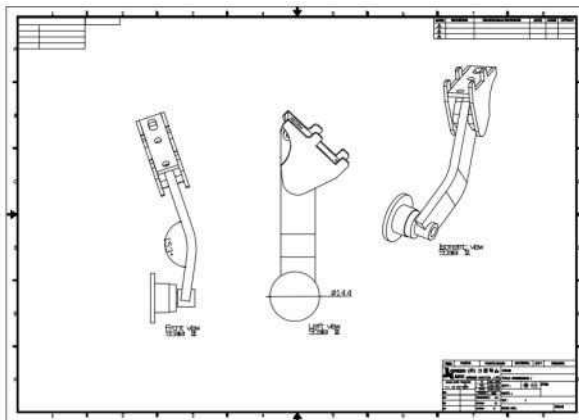
<Disk Module Assembly 설계도>



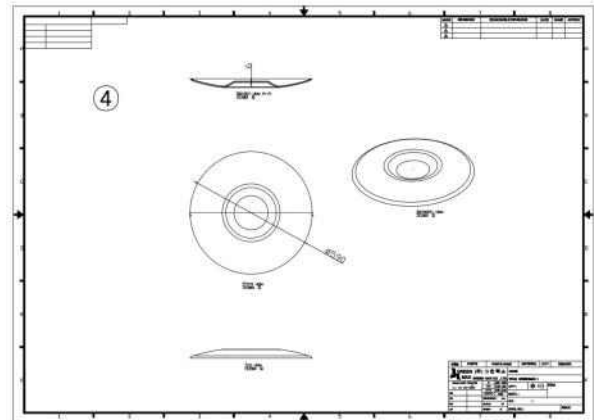
<스프링체결암조합 도면>



<프레임브라켓 도면>



<허브(러그)조합 도면>



<원판 디스크 도면>

- 디스크모듈(샘플)구매 분석
- 디스크 경 560mm



<디스크 모듈 제품>



<조립>

•디스크성분분석결과 물성치가 일반철강(S10C)과 비슷하나 붕소함유량이 0.005%함유된 합금강의 일종인 보론강(Boron steel)으로 판단되어졌다.  
 보론강은 붕소를 미량첨가(0.001~0.008%)하여 담금질성질이 현저하게 향상되는 장점이 있어 경도가 높아 내마모성이 우수한 장점이 있지만 과다하게 첨가될 경우에는 용접성능이 떨어지고 경도가 높아져 용도에 따라서는 품질을 저하시키는 요인이된다.

- 디스크 성분분석



<성분 분석 시험>



Analysis - Report

no.	C	Si	Mn	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Sr	Pb	Zr
1	0.362	0.245	1.368	0.010	<0.001	0.221	0.023	0.017	<0.001	0.051	<0.001	0.005	0.019	0.027	0.000	<0.001
2	0.338	0.238	1.360	0.032	0.015	0.227	0.020	0.016	0.016	0.059	0.011	0.009	0.011	0.011	0.011	<0.001
4	0.365	0.257	1.367	0.021	0.004	0.225	0.023	0.017	<0.001	0.054	0.002	0.009	0.010	0.011	0.007	<0.001
5	0.301	0.251	1.349	0.014	0.008	0.218	0.021	0.015	<0.001	0.052	<0.001	0.002	0.041	0.021	0.005	<0.001
average:																
	C	Si	Mn	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Sr	Pb	Zr
	0.340	0.256	1.373	0.021	0.004	0.223	0.022	0.016	0.016	0.054	0.003	0.007	0.011	0.009	0.007	<0.001
grade: 1.1506 - 34 Mn 5																

<성분 분석표>

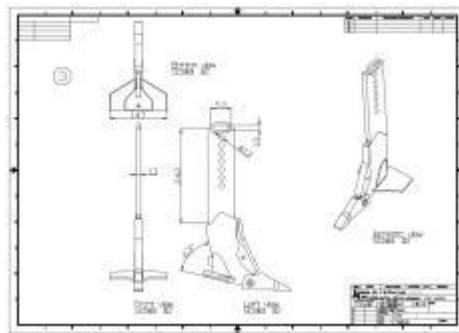
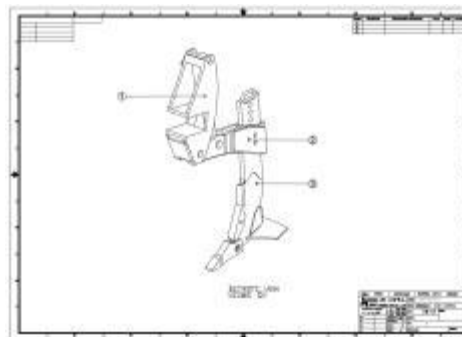
㉔ 치즐설계 및 해석

- 디스크해로우에 치즐쟁기를 복합시킨 것은 딱딱한토양(경질토), 휴경지토양의 경운 작업 시 심경경운을 할 수 있도록 1차 디스크모듈이 흙을 갈아줄 때 쟁기가 심경 작업을 하며 뒤에 2차 디스크모듈이 반전경운이 될 수 있도록 하여 경심을 20cm 이상 경운하고자 하는 목적이 있다.
- 치즐쟁기의 특징은 일반 치즐쟁기와 달리 트랙터유압을 이용하여 사용목적에 따라 치즐깊이를 조절할 수 있도록 하여 작업효율성을 높이고자 설계 하였다.
- (참고) 일반 치즐쟁기 형태



<일반 치즐 쟁기 사진>

- 설계도면



<개발된 치즐 쟁기 모델링>



<치즐단품>



<치즐조합완성>



<치즐쟁기 부착>

### (3) 디스크해로우 3D모델링설계 및 1차 시작품제작

(가) T스테너를 이용한 주요부품 모델링 및 역설계 수행



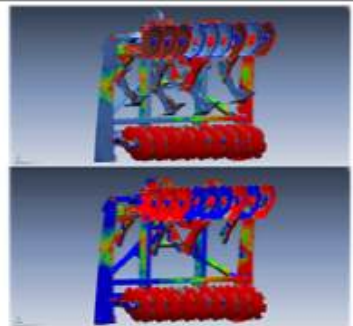
(a) B/M model



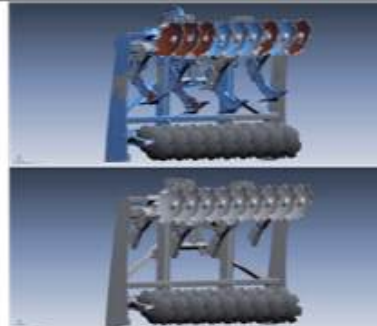
(b) scanning



(c) manual measurement



(d)compare scanned modeling data



(e) overlap scanned modeling data



(f)overlap scanned modeling data



(g) results of reverse design

<T 스캐닝 작업 및 모델링>

- 무동력 디스크해로우방식의 복합작업기의 개발을 위한 벤치마킹기대의 성능분석을 통한 개발사양과 목표설정을 위해 선진제품에 대한 역설계를 수행하여 주요프레임에 대한 실측과 스캐닝데이터의 비교를 통한 모델링을 수행하였다.
- 이와 같이 수집된 모델링데이터는 개발제품의 개발사양을 결정하는 기본데이터로 활용하여 설계Lay-out를 설정하였다.
- 설계된 데이터를 기반으로 디스크 해로우 총 조립구성설계를 추진하였으며, 각 부품의 재료를 선정하고 구조해석 등을 통하여 경량화 설계를 수행하였다.



<역설계수행에 의한 디스크해로우 3D모델링>

(나) 제관부품제작 및 제관진행



<본체 조립>



<배토기 부착 조립>



<디스크 장착>



<3점링크 마스터>

(다) 시작품용접완성 및 1차 시작품완성



<치즐조립>



<상부프레임 용접>



<프레임 부속품>



<치즐연결 프레임>



<치즐 유압 실린더>



<배토기 리프팅 테스트>



<조립 과정>



<유압라인 조립>



<시작품 전면>



<측면 조립>



■ 유압Line조립과정



<유압 분배 밸브>



<유압게이지>



<유압 블록>



<유량 조절게이지>



<어큐뮬레이터RH>



<어큐뮬레이터LH>

■ 시험장비구매

-지속적인 펠드시험을 위해 LS트랙터(95HP)을 구매함.



■ 1차 시작품 완성



<완성 시작품>

**(4) 무동력 디스크해로우 성능평가**

(가) 시작품 기계적 요소 정량목표시험 결과

① 시험조건

- 작업기명칭 : 무동력 디스크해로우 복합작업기
- 시험동력 : 트랙터[LS PS100N 95HP]
- 시험장소 : 한국생산기술연구원[김제 첨단농기계지원센터 내 시험포장]
- 시험규격 : 농업실용화재단 농업기계 검정기준(#47쟁기), 구조기준(#56쟁기)

② 정량적 목표 시험결과

항 목	작업속도	작업 폭	복합작업기 수	경운깊이	소요동력
목표값	15km/h이상	250cm이상	3개	20cm	90HP이상
결과값	15.49	251.8	3	20.3	95
결 과	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS

③ 검사성적서

한국생산기술연구원  
 충청남도 공주시 석곡로 100번길 100 (Tel: 041-500-8211, Fax: 041-500-8212) | 연락처 : 11(총 5) | KITECH 한국생산기술연구원

3. 의뢰 목적  
 ○ 기 관 명 : (주)그린에스  
 ○ 주 소 : 전북 완주시 서안읍 벽제대로 542, 농업기계RCF중앙연구소  
 ○ 완료일자 : 2017. 11. 28.  
 3. 시험성적서의 용도 : 성능시험결과

3. 시험대상물품 : 무동력 디스크 해로우 양의 경운과 제초 교묘율 측정 작업기

4. 시험기준 : 2017. 11. 28.

5. 시험 규격 : 복합쟁기 수, 작업속도, 작업폭, 경운깊이  
 (농업실용화재단 농업기계 검정방법(FACE, 2016) - 56, 조차지 / 56, 쟁기)

6. 시험결과

< 농작업 관련기 시험 항목에 대한 결과 >

시험 항목	목표값	측정값	비고
복합쟁기 수	3 개	3 개	속성값에 대한 성적 결과는 온 성적지표 4-주 페이지 참고
작업폭	15.8m 이상	평균 15.6 8m/h	
작업폭	2.5 m 이상	평균 2.28 m	
경운깊이	20 cm 이상	평균 20.8 cm	

이 시험결과는 재위자가 제시한 시료 및 시료정제만 한정됩니다.

확인 : 시험자 (성명: 김재영) | 승인자 (성명: 김현우)  
 2017. 11. 28.

한국생산기술연구원장 (인)

(나) 항목별 시험내용 및 결과

① 작업속도

- 트랙터에 부착된 복합작업기의 작업상태에서 임의구간 3회 속도측정(25m구간)
- 결과 : 평균작업속도 15.49(km/h)

항목	1회	2회	3회	평균
구간주행시간(sec)	5.93	5.78	5.73	5.81
작업속도(km/h)	15.18	15.57	15.71	15.49



② 작업폭

- 작업구간 임의 3지점 작업폭 측정
- 결과 : 평균 251.8cm (목표값 250cm 충족)

항목	1회	2회	3회	평균
실측(cm)	250.7	252.2	252.5	251.80



③ 복합작업기 수

- 디스크해로우의 복합작업기 기능별 작업기 개수확인
- 결과

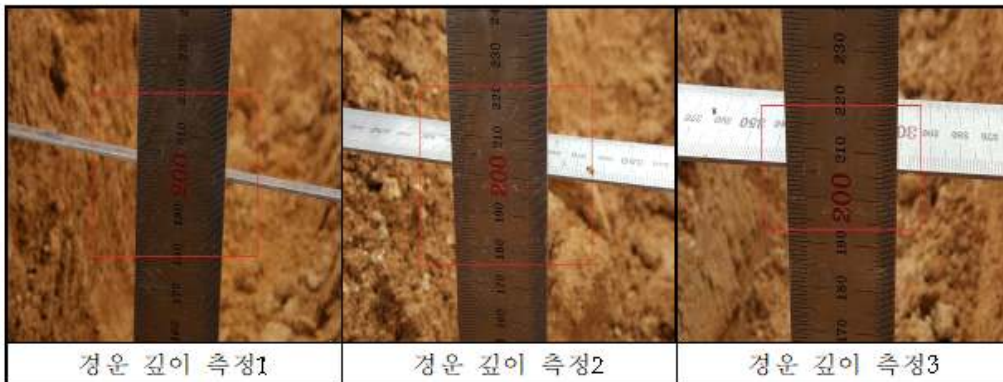
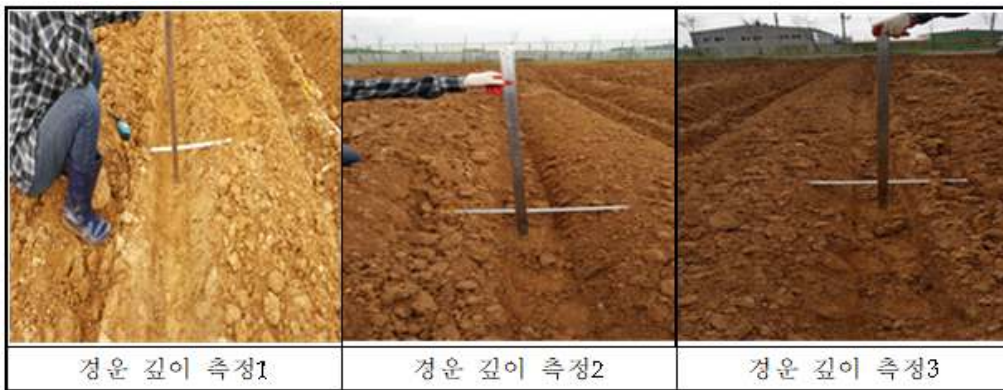
항목	1	2	3
명칭	원판디스크	치즐 쟁기	배토기



④ 경운깊이

- 시험포장 작업 후 임의구간 경운깊이 실측
- 결과 : 평균20.3cm (목표값 20cm이상 충족)

항 목	1회	2회	3회	평균
실측(cm)	20.2	20.2	20.6	20.3



⑤ 소요동력 확인

- 트랙터[LS PS100-N(70kw\_95HP)]에 디스크해로우 복합작업기 부착 작동상태 확인
- 결과



<작업기부착 상태 1>



<작업기부착 상태 2>



<작업기부착 상태 3>



<작업기부착 작업수행>

항목			사양
모델명			PS100-N
본체크기	길이x넓이x높이	mm	4342x1965x2650
	중량	kg	3340
엔진부	사양		Water Cooled, 4Cycle, Diesel
	출력	ps/rpm	95/2300
주행부	타이어	전륜	12.4-24 6PR
		후륜	16.9-34 8PR
	구동방식		4WD
	T/M		Syncromash(Hydro-Shuttle)
	변속단수		F20/R20
	주행속도	전진(km/h)	0.17~38.98
PTO Type			Independent
PTO rpm			540/750/1000
유압인출구		전/후	R6

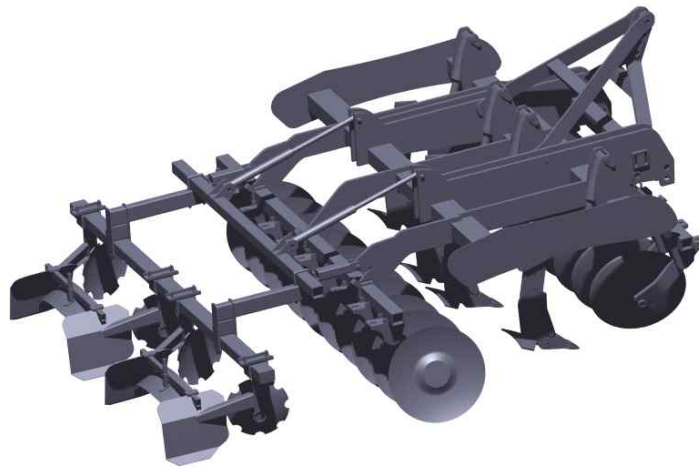
<작업기부착 실증트랙터 제원표>

나. 2차년도 수행내역 및 결과

(1) 1차시작품 문제분석 및 개선모델 설계

(가) 복합작업기 1차년도 시작품 분석

- 1차년도에 제작한 복합작업기 시작품을 대상으로, 트랙터 부착 및 작업 시에 발생한 문제점을 파악하기 위해 필드테스트 및 부하테스트를 시행하였다.
- 테스트 시 발생한 문제점은 트랙터의 유압양력이 부족하여 작업기의 상승이 제대로 이루어지지 않아 이동 시 장애요인으로 지적되었다. 1차년도 복합작업기 시작품 중량은 2,500kg으로, 트랙터 유압작업유량(55.2lpm)기준내에 들어가나 트랙터유압으로 파워셔틀, 위치,견인,수평제어 등의 작업을 동시에 수행하는 관계로 하부링크 상승력이 부족하다는 점을 파악했다.
- 또한, 작업기 중 치즐 쟁기는 약 60도로 스윙하며 작동하기 때문에 프레임 간격이 중간 파이프 기준 1,183mm로 길어 무게중심이 후방으로 이동하면서 선회작업 시 앞바퀴가 들리며 핸들제어에 어려움이 발생하였으며, 마스터 탑 링크와 하부링크는 각이 125도로 결합되어 있어 제관품 조립 시 각도 설계에 어려움이 있고, 트랙터에 부착 시에 유압으로 복합작업기를 최대한으로 높은 각도로 올려야 견인이동이 가능한 문제가 발생하는 것을 확인하였다.
- 위와 같은 1차시작품테스트Data를 분석한 결과 해결해야 할 문제를 ①복합작업기 중량을 경량화(현재2,500kg→ 2,100kg) ②디스크해로우의 전열디스크모듈과 후열디스크모듈의 거리가 치즐쟁기 스윙각 간격으로 길어지는것 무게중심이 후면으로 치우침 ③트랙터 장착되는 마스터 탑링크와 하부링크 결합부 불합리점 개선이 필요함을 파악하였으며 설계보완설계를 통하여 문제점을 해결하고자 한다.



<1차년도 시작품 모델링>

\* 발생한 문제

- (가) 2,500kg 중량
- (나) 디스크해로우 복합작업기 옆면 크기가 큼 (무게중심 후방 위치)
- (다) 탑 링크-하부링크 125도 결합

(나) 개선모델 설계

- 1차년도 시작품 문제점 분석 결과, 복합작업기 최소 중량, 프레임 크기 축소, 링크 각도 조절 등으로 보완하여 2차년도 시작품을 개발하기로 하였다. 복합작업기 프레임은 구조물의 구조 파악을 통해 개선 모델이 작업효율을 유지할 수 있도록 두께와 크기를 수정하여, 경량화, 구조물 축소 및 상부-하부 마스터 링크 각도를 조절해 보완하도록 하였다.
- 메인프레임 두께와 크기를 수정하여, 메인프레임 파이프 두께 20T에서 16T로 수정, 상부 하부 마스터 링크의 두께 20T에서 19T로 수정, 메인프레임 파이프 크기는 150×100에서 125×75로 변경하였다. 원판쟁기 간격은 1,183mm에서 200mm 줄인 983mm로 수정, 상부 하부링크는 90도로 각도를 조절하여 재설계하였다

① 1차 메인프레임 모델링설계



<기존 프레임>



<A안 두께 변경>



<B안 길이, 두께 변경>



<C안 길이, 두께, 마스터 변경>

② 메인프레임 구조해석

- 디스크해로우의 제품 개발에 있어서 설계단계에서 시스템의 적합성을 평가할 수 있는 중요한 기술로서 구조물의 강도 및 피로수명을 사전에 예측하고 설계단계에서 발생할 수 있는 문제점을 최소화 시켜 개발시간을 단축하기 위해 CAE해석 기법을 실시하고자 한다.

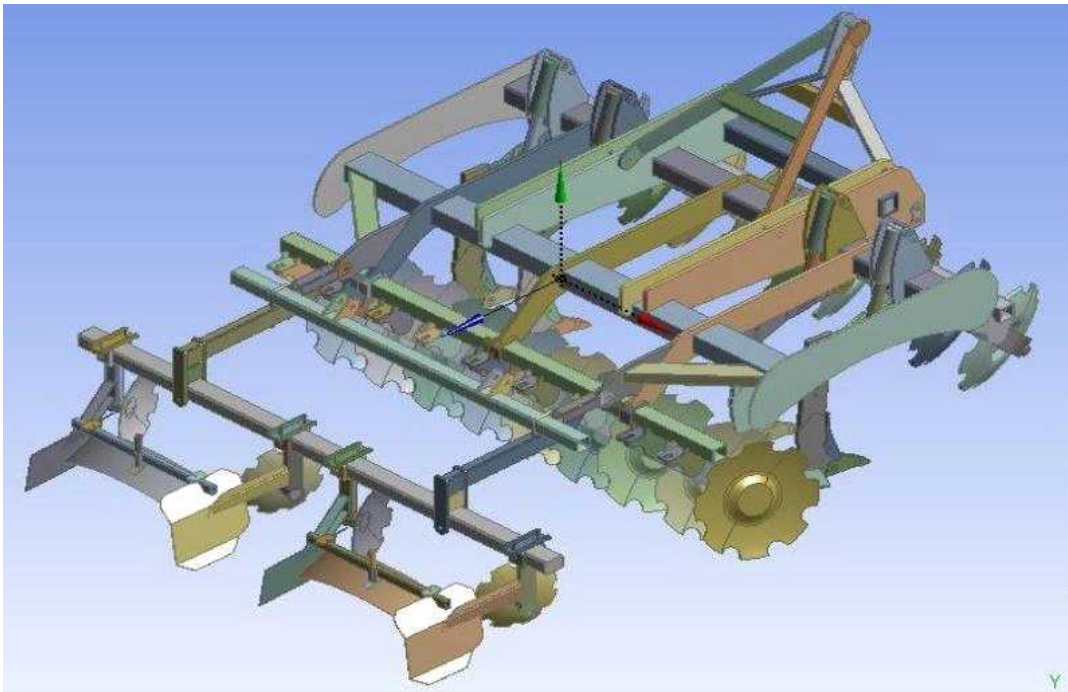
CAE해석을 이용하면 일반적으로 시작품이 개발되면 제품은 시험을 통해 성능을 평가하고 제품이 목표 성능에 미치지 못할 시 구조 변경 및 보강을 통해 재시험을 실시

하게 된다. 이러한 반복 작업은 많은 시간과 비용을 소모할 뿐만 아니라, 현시대와 같이 짧은 개발시간을 요구하는 트렌드에 부합하지 않는다.

■ 디스크해로우 구조해석을 위하여 기존 설계모델과 개선 설계모델을 준비하였다. 개선 설계모델 A안은 메인 프레임 두께를 20T에서 16T로 변경하고, B안은 메인 프레임 두께를 20T에서 16T로 변경하고 앞·뒷열 디스크간격을 200mm 줄였다. C안은 B안에서 탭링크를 하부링크와 수직으로 일치하도록 수정하였다. 따라서 본 연구에서는 Ansys software를 이용하여 디스크해로우 기존 설계안과 개선 설계안에 3건에 대하여 구조강도해석을 실시하여 비교해보고자 한다.

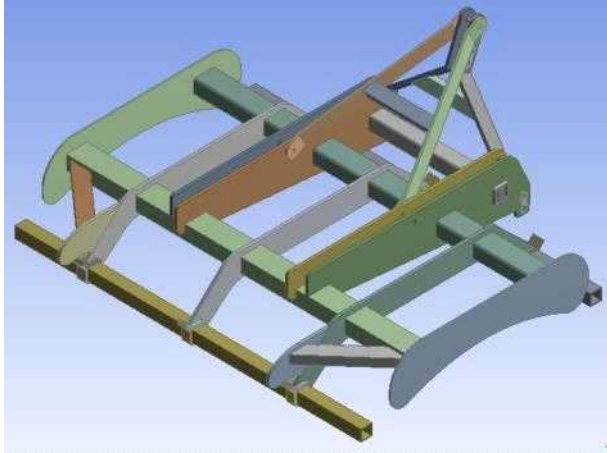
■ 디스크해로우는 트랙터의 3점 히치에 부착하여 사용하게 된다. 이 3점 히치와 연결되는 부분은 디스크해로우의 메인프레임 부분이다. 디스크해로우를 이용하여 경운 작업을 시작할 때, 작업 중일 때, 그리고 이동할 때 메인 프레임의 안정성을 검토하여야 한다.

디스크해로우를 이동하거나 작업을 시작하기 위하여 디스크해로우를 내려놓을 때 순간적으로 디스크해로우 무게 이상의 하중이 걸리며, 작업 중에 제초기가 작업을 하면서 반력이 발생하여 메인프레임에 영향을 미치기 때문에 메인프레임의 구조강도 해석을 통하여 안정성을 검토하고자 한다.

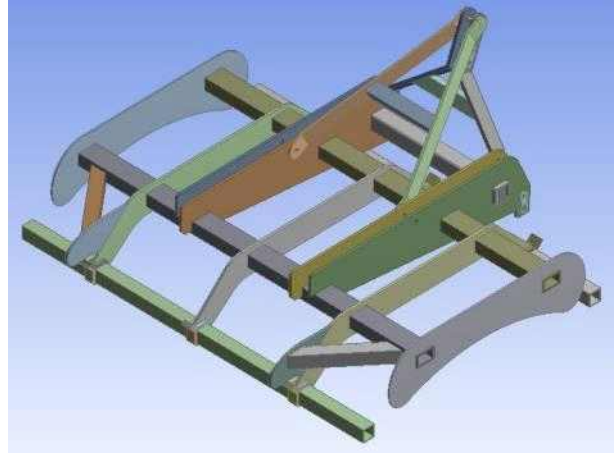


<디스크해로우 3D 모델링>

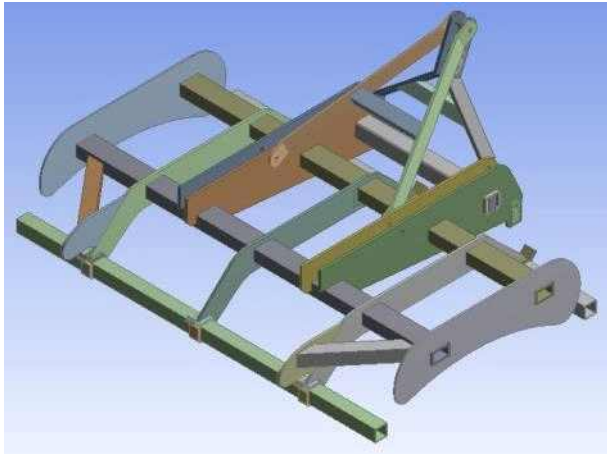




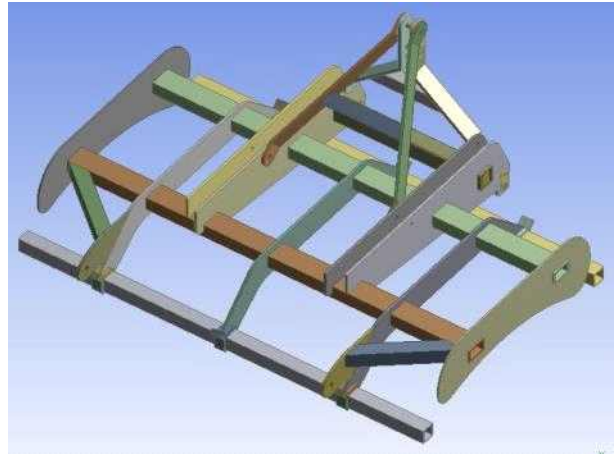
해석용 단순화 3D 모델링(기준)



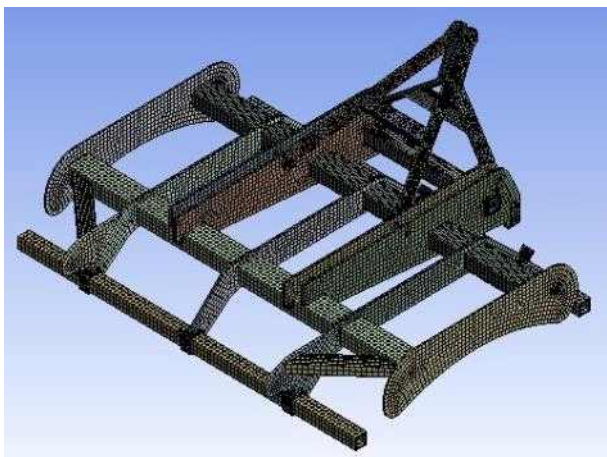
해석용 단순화 3D 모델링(A안)



해석용 단순화 3D 모델링(B안)



해석용 단순화 3D 모델링(C안)



해석용 격자 생성(기준)

Defaults	
Physics Preference	Mechanical
<input type="checkbox"/> Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Si...	On: Curvature
Relevance Center	Medium
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
<input type="checkbox"/> Curvature Nor...	Default (70.3950 °)
<input type="checkbox"/> Min Size	Default (0.88640 mm)
<input type="checkbox"/> Max Face Size	25.0 mm
<input type="checkbox"/> Max Size	50.0 mm
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1.850 )
Minimum Edge L...	5.2954e-002 mm

격자 생성 조건(기준)

Statistics	
Nodes	188955
Elements	43438
Mesh Metric	Skewness
Min	1.3057293693791E-10
Max	0.999661756457616
Average	0.367803602473392
Standard Deviation	0.237374751161273

Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Inacceptable
0~0.24	<b>0.25~0.49</b>	0.50~0.79	0.80~0.94	0.95~0.97	0.98~1.00

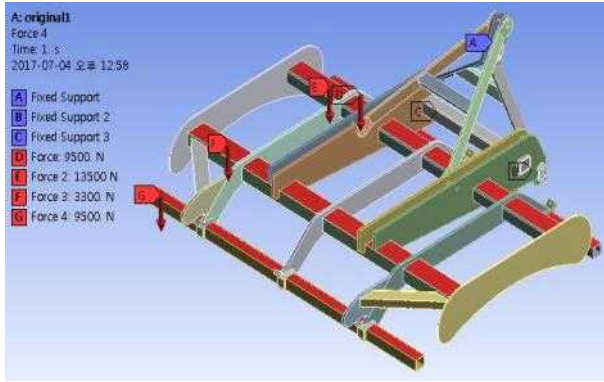
<Skewness 격자 품질 측정(기준)>

Statistics	
Nodes	188955
Elements	43438
Mesh Metric	Orthogonal Quality
Min	0.119949556363965
Max	1
Average	0.787788269527783
Standard Deviation	0.183012394920394

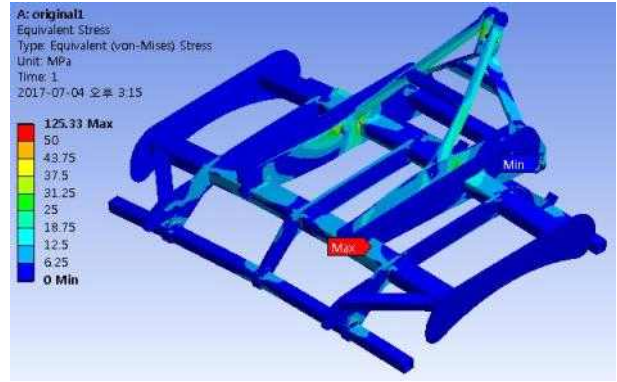
Inacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0~0.001	0.002~0.14	0.15~0.19	0.20~0.69	<b>0.70~0.94</b>	0.95~1.00

<Orthogonal Quality 격자 품질 측정(기준)>

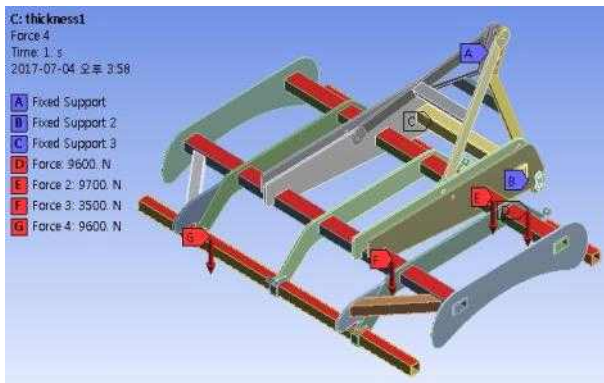
- 디스크헤로우의 구조 강도 해석을 수행하기 위하여 메인 프레임을 제외한 해석의 결과에 큰 영향을 미치지 않는 디스크 모듈, 치즐, 배토기, 유압 실린더 등을 제거하여 단순화 3D 모델링을 하였다. 해석을 위한 격자는 기존 설계안 노드 수 188,955개, 엘리먼트 수 43,438개를 이용하였고, 격자 품질 측정결과 평균값이 매우 좋으므로 나왔다. 개선 설계안들도 같은 격자 생성 조건을 적용하였고, 노드 수와 엘리먼트 수 그리고 격자 품질 측정결과가 기존 설계안과 큰 차이가 없었다.
- 해석 조건으로 3점 히치에 고정되어 있다고 가정하여 탑 링크의 핀, 하부 링크의 양 핀 끝을 Fixed support로 구속하였다. 이동 및 작업 시작 시를 고려한 해석조건의 경우 기존, 개선A, 개선B, 개선C 순으로 중력 방향으로 디스크헤로우 중량의 약 2배인 35,800N, 32,400N, 31,900N, 31,600N을 가하여 해석하였고, 작업 중 반력을 고려한 해석 조건의 경우 작업방향의 반대로 작업 시 나타나는 반력을 디스크헤로우 중량의 약3배인 53,700N, 48,600N, 47,850N, 47,400N을 가하여 해석하였다.



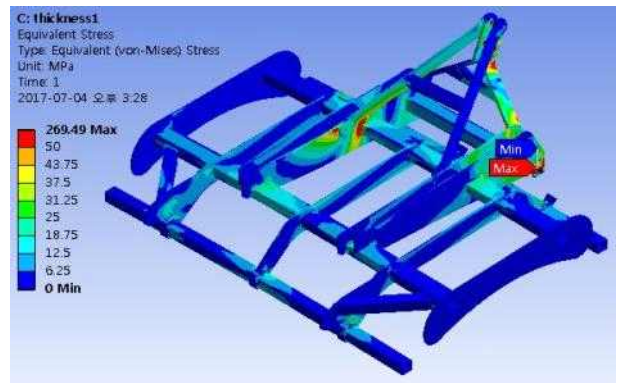
이동 및 작업 시작 시를 고려한 해석 조건(기준)



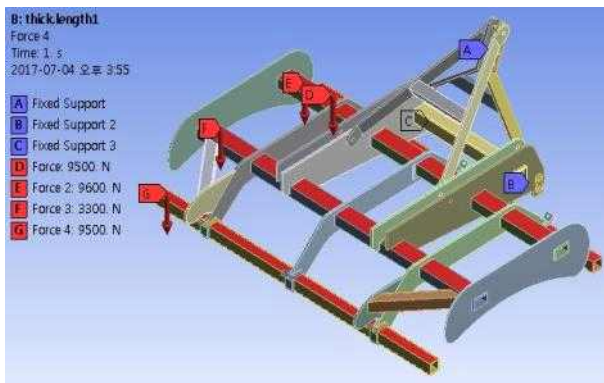
등가응력 해석 결과(기준)



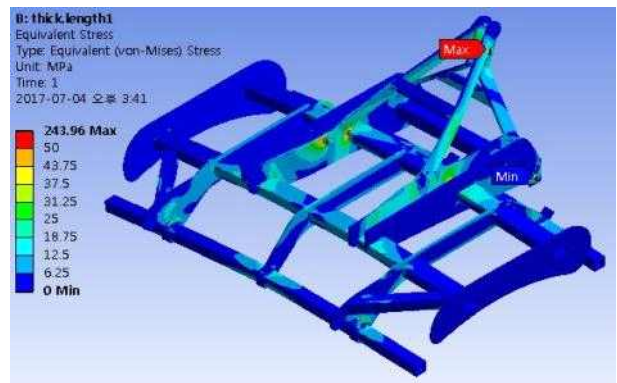
이동 및 작업 시작 시를 고려한 해석 조건(A)



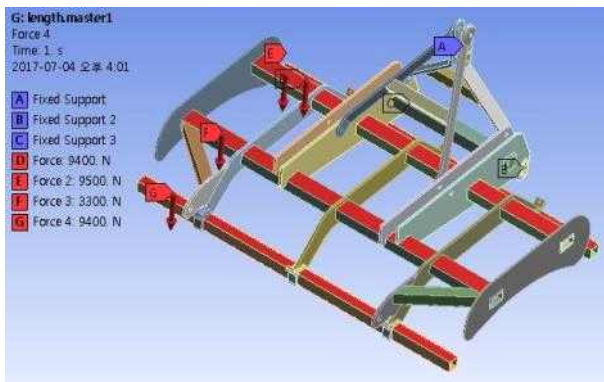
등가응력 해석 결과(A)



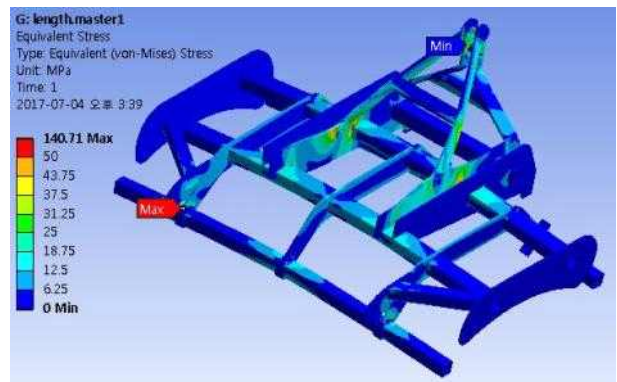
이동 및 작업 시작 시를 고려한 해석 조건(B)



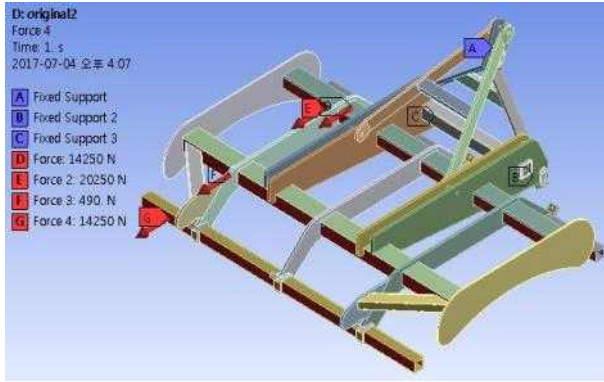
등가응력 해석 결과(B)



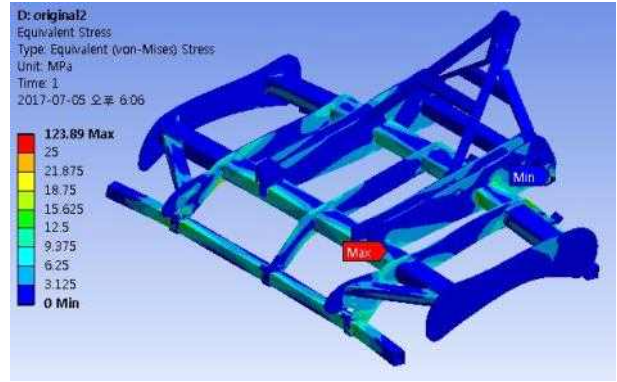
이동 및 작업 시작 시를 고려한 해석 조건(C)



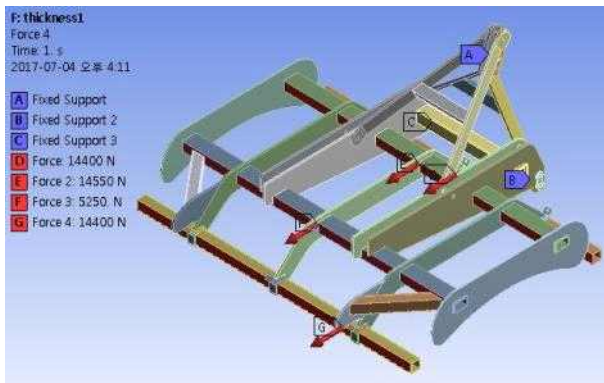
등가응력 해석 결과(C)



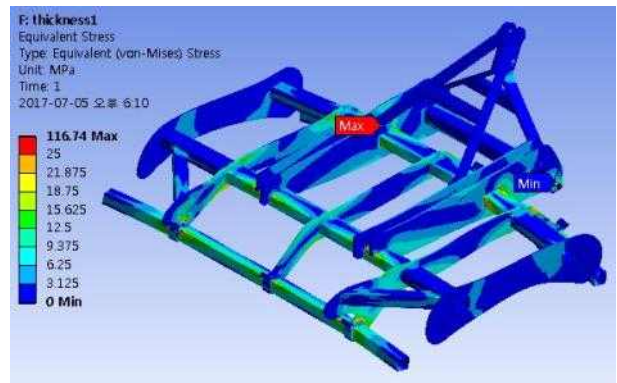
작업 중 반력을 고려한 해석 조건(기준)



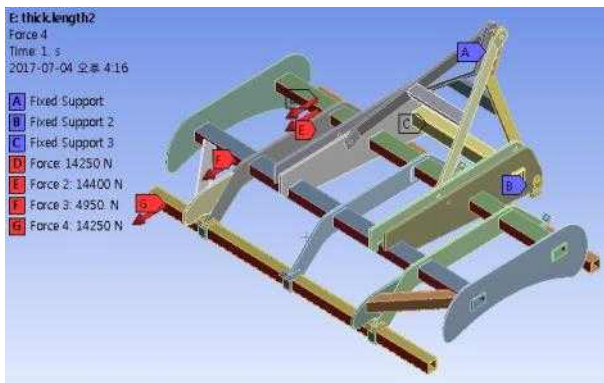
등가응력 해석 결과(기준)



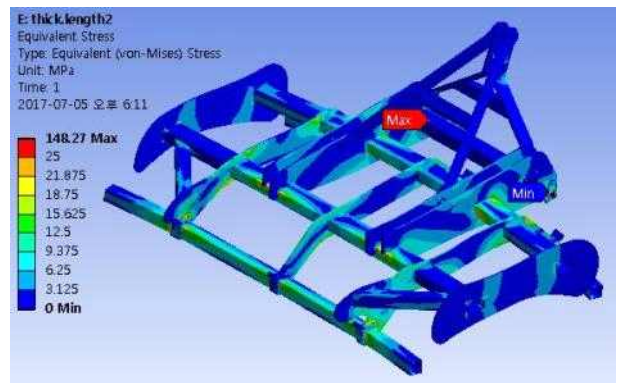
작업 중 반력을 고려한 해석 조건(A)



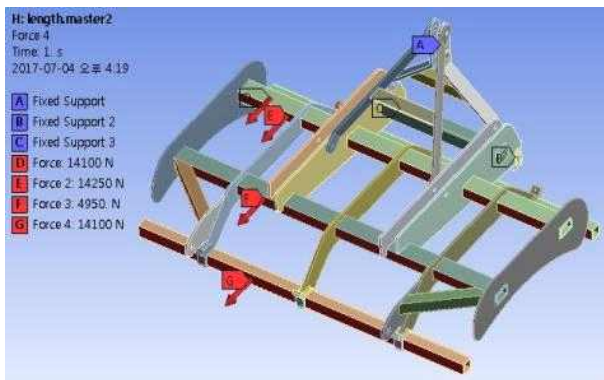
등가응력 해석 결과(A)



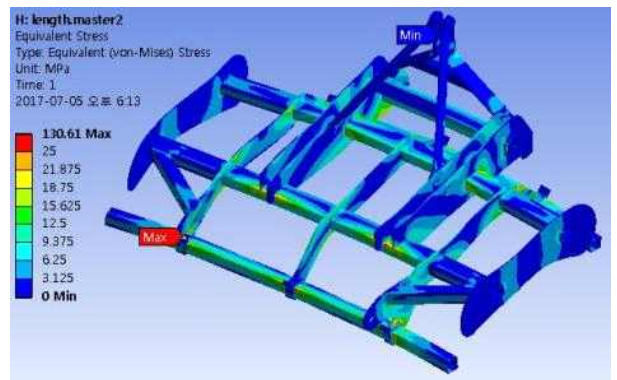
작업 중 반력을 고려한 해석 조건(B)



등가응력 해석 결과(B)



작업 중 반력을 고려한 해석 조건(C)



등가응력 해석 결과(C)

■ 메인 프레임의 재질은 SS400으로 인장강도가 약 400MPa이다. 이동 및 작업 시작 시를 고려한 해석 조건으로 해석결과 메인 프레임에 걸리는 최대응력은 A, B, C, 기준의 순으로 약 269Mpa, 244Mpa, 140Mpa, 125Mpa로 나왔다. 대부분의 조건에서 최대응력은 3점 히치와 연결되는 마스터나 마스터지지 프레임에서 발생되었다. 허나 모든 조건에서 최대 응력이 인장강도보다 낮고 미세한 부위에 응력이 집중되기 때문에 실제로는 문제가 발생하지 않을 것으로 판단된다. 따라서 이동 및 작업 시작 시 조건을 고려한 해석결과 디스크해로우는 안전하게 설계되었다고 볼 수 있다.

■ 작업 중 발생하는 반력을 고려한 조건에서 메인 프레임을 해석한 결과 최대응력은 B, C, 기준, A의 순으로 약 148Mpa, 130Mpa, 124Mpa, 116Mpa로 나왔다. 작업 중 반력을 고려한 조건에서 해석의 최대응력도 이동 시 조건과 비슷한 부위에서 발생하였다. 하지만 모든 조건에서 최대응력이 269Mpa로 메인 프레임의 재질은 이동 및 작업 시작 시 조건과 동일한 SS400으로 인장강도가 약 400MPa이기 때문에 실제로는 문제가 발생하지 않을 것으로 판단되어 안전하게 설계되었다고 할 수 있다.

■ 메인 프레임의 구조 강도를 해석하기 위하여 디스크해로우를 부착하여 이동하거나 작업을 시작하기 위해 내려놓을 때의 충격을 고려하여 해석하였으며, 또 작업 중 발생하는 반력을 고려하여 구조 강도 해석을 실시하였다. 결과적으로 모든 설계 조건에서 두 가지 상황일 때를 가정한 해석에서 재질의 인장강도에 비해 낮은 응력이 나타났다. 따라서 디스크해로우는 설계 수정안 모두 이동 및 경운 작업에 무리 없도록 안전하게 설계되었다고 판단된다.

■ 하여, 본 개발에서는 메인 프레임의 두께와 길이를 줄이고, 3점 히치 마스터의 상부 링크를 하부 링크와 일치하도록 설계 변경을 한 개선안 C를 기준으로 시제품을 제작하고자 한다.

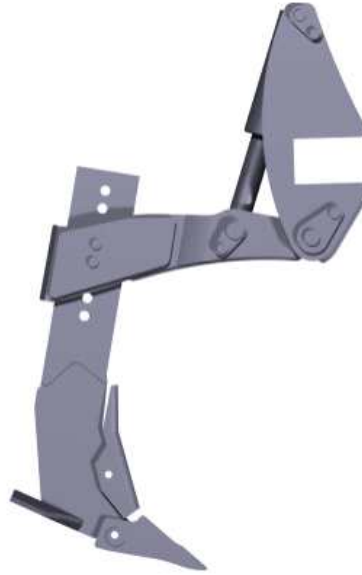
### ③ 치즐모듈분석 및 수정설계

#### ㉞ 1차년도 치즐모듈 시제품 분석

■ 디스크해로우 복합작업기 중 치즐 쟁기 모듈을 대상으로, 트랙터 부착 및 주행 시에 발생한 문제점을 파악하기 위해 필드테스트 및 부하테스트를 시행하였다. 시행 결과, 트랙터의 전륜디스크모듈과 후륜디스크모듈의 거리를 단축시켜야 할 필요성이 있어 메인프레임이 줄어든만큼 치즐의 상.하작동 스윙각의 수정과 치즐쟁기의 형상을 수정할 필요성이 발생되었다. 이로 인하여 작업기의 전체적인 중량과 후면쏠림을 현상을 해결하고자 한다.

■ 치즐 쟁기는 하나 당 100kg이며, 디스크해로우에 부착되는 치즐 쟁기가 4개이므로 총 400kg이다. 복합작업기 2,500kg 중 약 20%를 치즐 쟁기가 차지하고 있다. 또한 치즐 쟁기 브라켓의 길이가 500mm로, 치즐 스윙 각도가 커서 복합작업기 구조물의 크기가 커지고 무게중심이 후방으로 이동하게 만들었다. 그림은 1차년도 시제품인

복합작업기에 부착된 치즐 쟁기 모델링 그림이다.



<1차년도 치즐 모듈>

\* 발생한 문제

(가) 중량 400kg

(나) 치즈 브라켓 400mm

㉔ 치즐수정계획안

■ 1차 치즐 모듈 분석 결과, 메인프레임에서 발생한 문제점과 종합하여 분석한 결과 치즐부의 형상 및 재질을 완전 재설계하여 새로운 구조로 수정하는 게 낫다고 판단하여 3가지 구조로 자료 조사 및 설계를 실시하여 개선안을 확보하기로 하였다. A안은 기존 치즐에 브라켓 길이를 200mm 줄여 재설계하였다. B안은 파이프에 치즐을 부착하여 치즐이 상하 이동하는 방식으로 재설계, 디스크 간격과 무게를 줄이도록 수정하였다. C안은 파이프에 치즐을 부착하여 파이프를 중심으로 65도 각도로 치즐이 이동하도록 수정하였다. D안은 치즐이 부착된 파이프 프레임만 폴딩식으로 설계하여 최적안을 도출하고자 수정계획을 수립하고 수행하였다.

㉕ 1차 모델링설계

■ 수정안을 중심으로 치즐부착방식 및 치즐 형상은 4가지 방안으로 재설계하였다.  
■ 기존 치즐에 브라켓 길이만 200mm 축소한 A안(그림1), 치즐이 부착된 파이프가 상하로 이동하는 B안(그림2), 치즐이 부착된 파이프가 메인파이프 기준 65도 각도로 이동하는 C안(그림3), 치즐이 부착된 파이프 프레임의 폴딩형태구조인 D안(그림4) 총 4가지로 설계하여 기존 치즐 모듈과 비교하여 효율적인 구조의 모듈을 선정하여 제작하기로 하였다.



<그림1. A안 브라켓 축소>



<그림2. B안 치즐 파이프 부착 (상하이동)>



<그림3. C안 치즐 파이프 부착 (65도 이동)>



<그림4. D안폴딩식 프레임>

<치즐 모듈 수정안 검토>

- 부착 방식에 따라 달라지는 치즐 형상을 고려하여 2가지 수정안으로 추가 설계 하였다.
- 파이프 부착 방식으로 조립되는 고정식 치즐쟁기방식 과 실린더 부착 방식으로 조립되는 치즐쟁기방식으로 치즐의 형상을 바꾸어 설계수행하였다.



<치즐쟁기 고정식>



〈치즐형상변경 유압깊이조정식 치즐쟁기모듈〉  
 〈치즐쟁기 수정검토안〉

■ 치즐 모듈 및 치즐 형상을 수정한 후, 시뮬레이션 작동 수행 및 메인프레임 결합 문제 등을 종합하여 1차년도에 개발한 시작품과 같은 구조인 유압실린더 부착 방식을 이용하는 대신, 브라켓을 감소시키는 치즐 형상을 변경해 유압깊이조정식 치즐쟁기 모듈을 개발하여 디스크해로우 구조 경량화 및 기체축소를 시키기로 하였다.

④ 디스크해로우 복합작업기 시작품 최종모델링

■ 1차년도 시작품 필드테스트 및 부하테스트를 통해 얻은 분석 자료와 재설계 및 구조 해석을 통해 메인프레임 두께, 크기, 길이 축소 및 3점 히치의 상부-하부 링크 각도 90도 조절을 한 메인프레임을 선정하였으며, 치즐 모듈과 치즐 형상은 1차년도에 시행한 유압실린더 부착 방식을 유지하는 대신 브라켓을 200mm 감소시키고, 가벼운 치즐 형상을 재개발하여 경량화를 실시하였고, 브라켓 조정으로 인한 경운 깊이 조절은 치즐 쟁기 상단에 3개의 높이조절 hole을 제작, 원하는 경운 깊이 조절이 가능하도록 수정하였다.

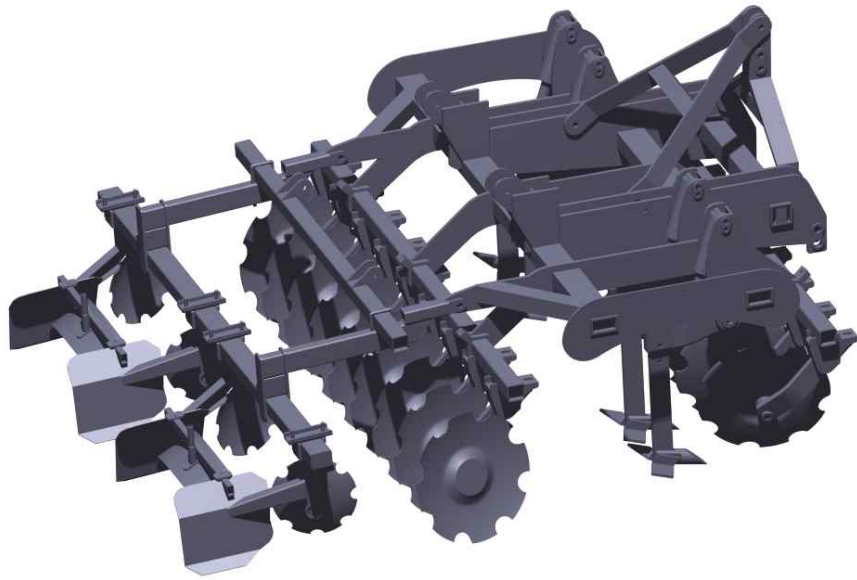
㉠ 메인프레임 설계수정사항

- 메인프레임 파이프 두께 및 크기 축소, 사이드 간격 길이 축소
- 상부-하부 링크 각도 조절

㉡ 치즐 설계수정사항

- 1차년도 유압실린더 부착 방식-300mm 브라켓 축소
- 가벼운 치즐 부착으로, 전체 무게 경량화
- 치즐 쟁기 상단 hole 로 경운 깊이 조절 가능



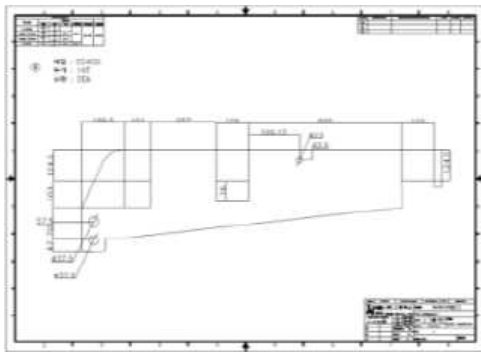


< disc harrow 복합작업기 시제품 최종 모델링 >

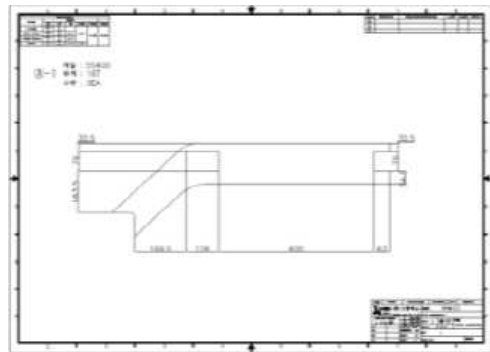
(다) 디스크해로우 복합작업기 시작품 제작

■ 디스크해로우 수정보완 설계 모델링을 완료하여 제관품 제작 및 파이프 주문을 시행하였다. 아래그림은 메인프레임 제관품 도면이며, 일부만 첨부하였다.

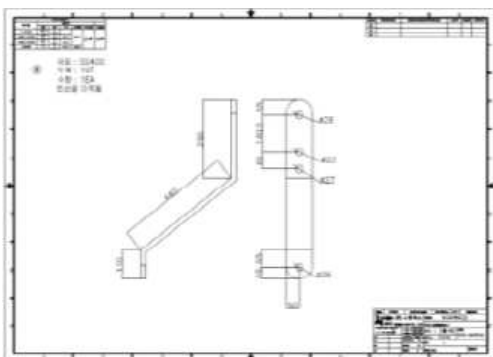
(1) 메인프레임 제작도면



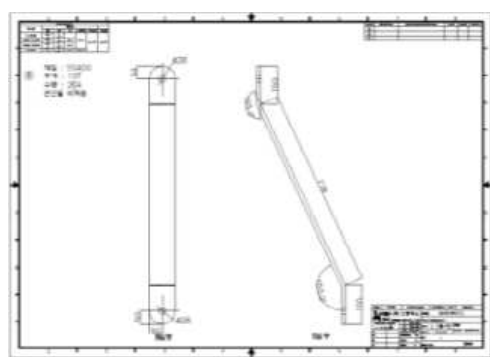
<메인프레임 A>



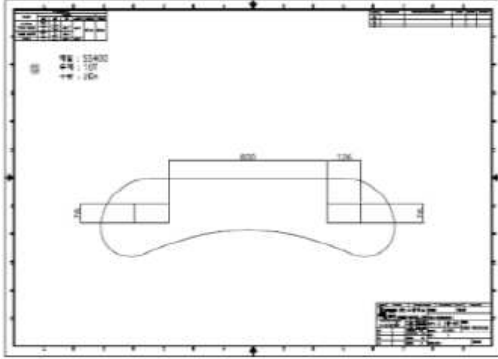
<메인프레임 B>



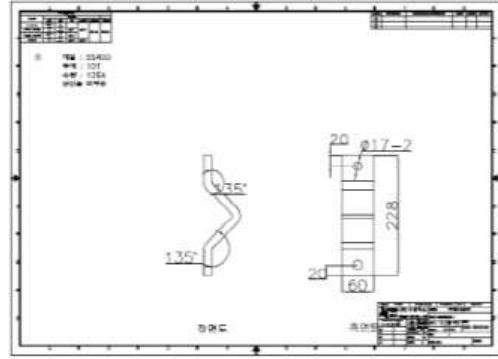
<3점 히치 마스터 A>



<3점 히치 마스터 B>



<메인프레임 사이드보강판>



<디스크모듈 연결브라켓>

(2) 제관품 제작



<메인프레임 서포트>



<메인프레임 A>



<메인프레임 B>



<메인프레임 사이드보강판>



<치즐브라켓가이드브라켓>



<지지고정브라켓>



<마스트 고정판 A>



<디스크모듈고정브라켓>

(3)조립 및 용접

■ 메인프레임에 상.하부링크를 연결 조립하고 프레임Assembly 완성하였다.



<디스크해로우 메인프레임 Assembly 완성작업>



⑥ 치즐모듈 완성



<치즐쟁기 용접조합>



<메인프레임 유압실린더 방식+치즐모듈조립완성>

⑦ 최종시작품 제작



<디스크헤로우 복합작업(디스크헤로우+치즐쟁기+가변식 배토기)완성품>

(2) 디스크해로우 기계적 요소 정량목표시험

(가) 시작품 기계적 요소 정량목표시험 결과

① 시험조건

- 작업기명칭 : 무동력 디스크해로우 복합작업기
- 시험동력 : 트랙터[LS PSI00N 95HP]
- 시험장소 : 한국생산기술연구원[전북대학교 농생명공학과 부설농장일원]
- 시험규격 : 농업실용화재단 농업기계 검정기준(#47쟁기), 구조기준(#56쟁기)

② 정량적 목표 시험결과

항 목	작업속도	작업 폭	복합작업기 수	경운깊이	소요동력
목표값	15km/h이상	250cm이상	3개	20cm	90HP이상
결과값	15.6	255	3	20.8	95
결 과	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS

## 시 험 성 적 서

<p style="text-align: center;"><b>한국생산기술연구원</b></p> <p style="font-size: small;">충청남도 천안시 서북구 입장면 양대기로길 89 (Tel: 041 589 8051, Fax: 041 589 8510)</p>	<p>성적서 번호: C17N920050</p> <p>페이지 ( 1 ) / ( 총 9 )</p>	<p><b>KITECH</b> 한국생산기술연구원</p>																				
<p><b>1. 의 의 자</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기 관 명 : (주)그린텍스</li> <li>○ 주 소 : 전북 전주시 덕진구 백제대로 567, 농업기계ICT융합연구소</li> <li>○ 의뢰일자 : 2017. 11. 22.</li> </ul> <p><b>2. 시험성적서의 용도 : 성능시험평가</b></p> <p><b>3. 시험대상품목 : 무동력 디스크 해로우 방식 경운과 배토 고효율 복합 작업기</b></p> <p><b>4. 시험기간 : 2017. 11. 28.</b></p> <p><b>5. 시험 규격 : 복합작업기 수, 작업속도, 작업폭, 경운깊이</b> (농업기술실용화재단 농업기계 검정방법(FACT, 2016) - 56, 로터리 / 70, 쟁기)</p> <p><b>6. 시험결과</b></p> <p style="text-align: center; font-weight: bold;">&lt; 농작업 관리기 시험 항목에 대한 결과 &gt;</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 10px 0;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">시험 항목</th> <th style="width: 15%;">목표값</th> <th style="width: 15%;">측정값</th> <th style="width: 45%;">비고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>복합작업기 수</td> <td>3 개</td> <td>3 개</td> <td rowspan="4" style="vertical-align: middle; text-align: center; font-size: small;">측정값에 대한 상세 결과는 본 성적서의 6~9 페이지 참고</td> </tr> <tr> <td>작업속도</td> <td>15 km/h 이상</td> <td>평균 15.6 km/h</td> </tr> <tr> <td>작업폭</td> <td>2.5 m 이상</td> <td>평균 2.55 m</td> </tr> <tr> <td>경운깊이</td> <td>20 cm 이상</td> <td>평균 20.8 cm</td> </tr> </tbody> </table> <p style="font-size: x-small;">이 시험결과는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에만 한정됩니다.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 10px 0;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center; vertical-align: middle;"><b>확 인</b></td> <td style="width: 45%; padding: 5px;"> <p>시험자 성 명 : 김 태 영 </p> </td> <td style="width: 40%; padding: 5px;"> <p>승인자 직 위 : 수석연구원 성 명 : 김 영 주 </p> </td> </tr> </table> <p style="text-align: center; font-weight: bold; margin-top: 10px;">이 시험성적서는 용도 이외의 사용을 금합니다.</p> <p style="text-align: right; margin-right: 50px;">2017. 11 . 28 .</p> <p style="text-align: center; font-weight: bold; margin-top: 10px;">한국생산기술연구원장 (인)</p> <div style="text-align: center; margin-top: 5px;"> </div>			시험 항목	목표값	측정값	비고	복합작업기 수	3 개	3 개	측정값에 대한 상세 결과는 본 성적서의 6~9 페이지 참고	작업속도	15 km/h 이상	평균 15.6 km/h	작업폭	2.5 m 이상	평균 2.55 m	경운깊이	20 cm 이상	평균 20.8 cm	<b>확 인</b>	<p>시험자 성 명 : 김 태 영 </p>	<p>승인자 직 위 : 수석연구원 성 명 : 김 영 주 </p>
시험 항목	목표값	측정값	비고																			
복합작업기 수	3 개	3 개	측정값에 대한 상세 결과는 본 성적서의 6~9 페이지 참고																			
작업속도	15 km/h 이상	평균 15.6 km/h																				
작업폭	2.5 m 이상	평균 2.55 m																				
경운깊이	20 cm 이상	평균 20.8 cm																				
<b>확 인</b>	<p>시험자 성 명 : 김 태 영 </p>	<p>승인자 직 위 : 수석연구원 성 명 : 김 영 주 </p>																				

(나) 항목별 시험내용 및 결과

① 작업속도

■ 트랙터에 부착된 복합작업기의 작업상태에서 임의구간 3회 속도측정(90m구간)

■ 결과 : 평균작업속도 15.6(km/h)

항목	1회	2회	3회	평균
작업속도(km/h)	17.1	15.0	15.0	15.6



비접촉 속도측정기



측정 1 : 17km/h



측정 2 : 15km/h



측정 3 : 15km/h

② 작업폭

■ 작업구간 임의 3지점 작업폭 측정

■ 결과 : 평균 254.7cm (목표값 250cm 충족)

항목	1회	2회	3회	평균
작업폭 실측(cm)	256	255	253	254.67



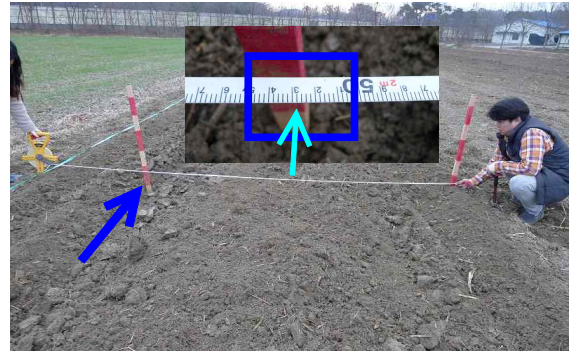
측정구간 설정



측정 1 : 256cm



측정 2 : 255cm



측정 3 : 253cm

③ 복합작업기 수

- 디스크해로우의 복합작업기 기능별 작업기 개수확인
- 결과

항목	1	2	3
명칭	원판디스크	치즐 쟁기	배토기



④ 경운깊이

- 시험포장 작업 후 임의구간 경운깊이 실측
- 결과 : 평균20.8cm (목표값 20cm이상 충족)

항 목	1회	2회	3회	평균
실측(cm)	20.5	21.2	20.8	20.8



측정 구간 설정



측정 1 : 20.5 cm





측정 2 : 21.2cm



측정 3 : 20.8 cm

⑤ 소요동력 확인

- 트랙터[LS PS100-N(70kw\_95HP)]에 디스크헤로우 복합작업기 부착 작동상태 확인
- 결과



<트랙터 장착 완성품>

**KATIC**      **군산대학교 기술혁신센터**  
Korean National University Human Advanced Technology Innovation Center  
 관북-군산시 신안남북로 177-1 | (915400) | 전화 063-462-4865 | 팩스 063-462-4868  
 E-mail: katic@kuan.ac.kr | URL : http://www.katic.or.kr

**시험보고서 - (갑)**

의뢰번호	KRT17-R302	시험번호	KRT17-A302
종 명	디스크 헤로우	분 목	1. ea
임 재	(주)그린맥스	시험기간	2017.11.28 ~ 2017. 11. 28
의 의 자	곽홍규	분 도	과제명
제 목	90마력 트랙터 견인 디스크 헤로우 작동성 평가		
1. 목적 트랙터 견인 디스크 헤로우 작동성 평가를 군산대학교 기술혁신센터 임원에게 확인하고자 함.			
2. 시험조건 90마력 트랙터 부착 디스크 헤로우 작동여부 확인.			
3. 임의사항자 : 군산대학교 기술혁신센터 기밀사항임을 명함			
4. 시험결과 디스크 헤로우 동작 확인			
※ 세부내용은 첨부 참조 첨부 : 시험보고서(갑) 1부			
상기와 같이 시험보고서를 제출합니다. 2017년 11월 29일			
확 인	작성자 허인호	확인자 김은희	
군산대학교 기술혁신센터 소장 신청자 ㈉그린맥스 귀중			

a) 본 시험보고서는 상기목적에 의해 작성된 시험결과에 대한 시험결과이다. 필드 인체의 사용, 안전, 소음 및 기타 잠재적위험요인 사용  
 o 관련  
 KATIC-TP-22-07(02)

**KATIC**

<95마력 트랙터 디스크헤로우 작동성 성능평가>

○협동 1 (그린하이팜)

가. 연구개발 목표

- 두둑폭조절이 가능한 가변형 배토기 개발
- 복합작업기 메인프레임 용접JIG설계 및 제작

나. 1차년도 수행내역 및 결과

(1)국내 작물별 배토기 특성분석

■ 고추 주산단지인 충남청양 및 경북영양의 두둑형성을 분석하였을 때 지역성향에 따라 동일지역에서도 둥근두둑과 평두둑을 혼합하여 형성하고, 하우스재배일 경우 평 두둑에 2열심기, 노지의 경우 둥근두둑에 1열심기를 보편적으로 한다.

두둑의 폭과 높이는 농촌진흥청에서 권장하는 1열 재배는 두둑폭을 90~100cm 2열재배는 150~160cm, 두둑높이는 20~30cm로 규정하지만, 조사지의 두둑폭은 50~100cm에 높이는 30~50cm로 1열재배, 두둑폭을 50~120cm에 높이를 15~25cm하여 2열 심기를 하고, 재배지의 토양의 비옥도 및 재배품종에 따라 약간의 차이는 있을 수 있다고 하지만 시급이 표준재배 양식의 개발보급이 필요할 것으로 분석됨.

■ 배토기를 고추작물로 선택한 사유는 최근 정부의 밭작물 경작확대정책에 따라 재배면적이 꾸준히 증가하고 대부분 이식묘의 형태가 고추두둑크기와 대동소이한 부분이 많은 점에 선택하였음



\* 콩은 파종기 자체에서 두둑을 형성하면서 파종, 별도의 배토기가 필요치 않음

\* 잡곡은 점파파종으로 별도 배토기가 필요치 않음

년도	고추	마늘	양파	무	배추	감자	콩	고구마	잡곡
2014년	36,120	25,062	23,908	5,498	15,233	15,596	76,303	20,525	37,669
2013년	45,360	29,352	20,036	7,532	15,095	20,977	80,031	22,013	33,064

- 연구개발목표치를 특정키위하여 연구대상작물을 고추로 선정 했지만 가변식 배토기를 연구하여 다양한 작물도 적용 가능한 배토기 설계, 개발추진

■ 복합작업 후 정식 전 배토형상

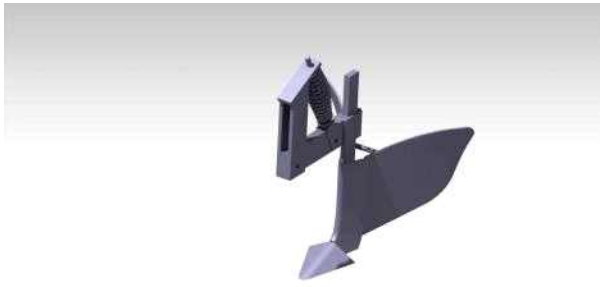


(2) 배토기 선정

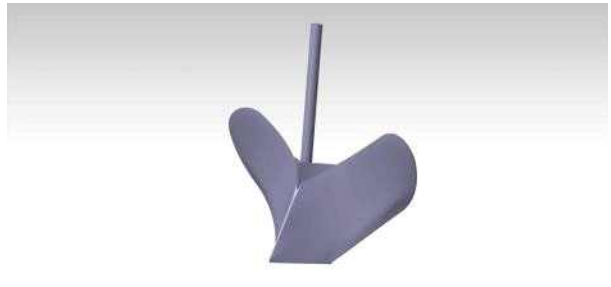
■ 일반적으로 고추밭의 두둑은 1.2m로 형성 됨. 이번 개발에는 고추밭으로만 한정을 두었으나, 배토기의 두둑 작업은 감자밭이나, 여러 작물에도 필요한 작업이다. 따라서 연구개발은 여러 가지 배토기를 시제품으로 만들어보고, 테스트를 해보았으나 상하, 좌우 조절이 가능한 가변식 배토기가 다양한 니즈에 적합하다고 판단되었음.

(가) 배토기 유형별 분석 및 검토

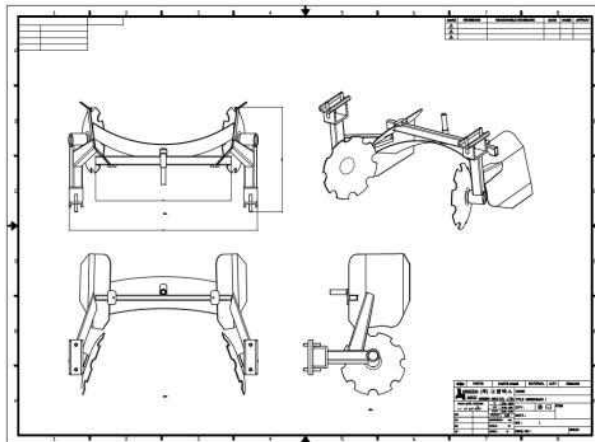
- 일반 배토기와 텐션 스프링 구조의 배토기의 구조강도에 대해 알아 보기위해 실시 하였다.



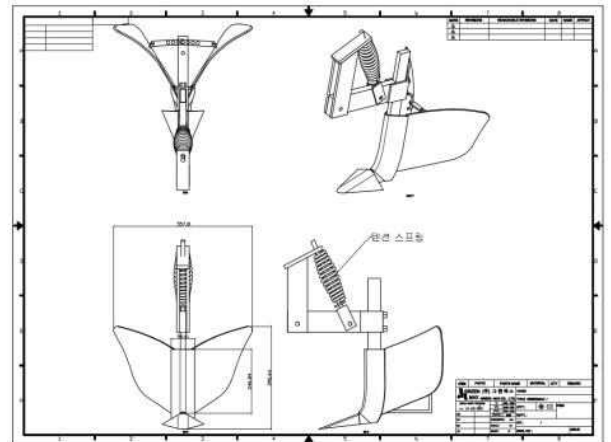
<텐션 스프링 구조의 배토기>



<일반 배토기>



<커버 원판형 배토기>



<텐션 구조 배토기>

- 배토와 두둑형상을 동시에 수행하는 개발목적에 맞도록 여러 유형의 배토기를 제작 시험한 결과 디스크해로우 후면 유압절입형식의 커버 원판형 배토기를 선택하였다.

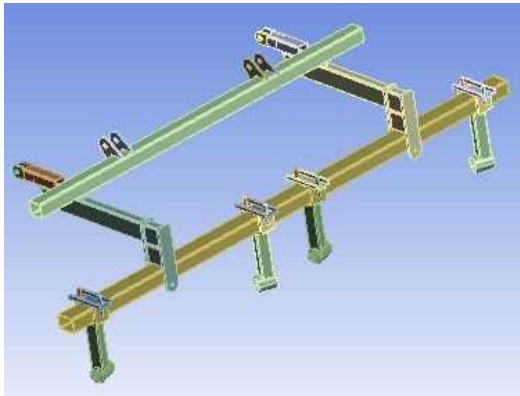
(나) 배토기 프레임 구조해석

■ 무동력 디스크 해로우 복합 작업기의 배토기는 메인 프레임의 뒤쪽에 부착하여 사용하게 됨. 배토기 프레임은 두 개의 핀과 두 개의 실린더로 메인 프레임과 연결 한다. 배토기를 이용하여 작업을 시작할 때, 작업 중일 때, 그리고 이동할 때 프레임의 안정성을 검토하여야 함

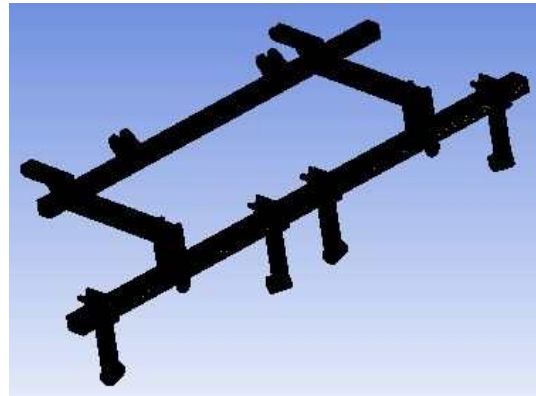
■ 작업기를 이동하거나 작업을 시작하기 위하여 작업기를 내려놓을 때 순간적으로 작업기의 무게 이상의 하중이 걸리며, 배토기가 작업을 하면서 반력이 발생하여

프레임에 영향을 미치기 때문에 배토기 프레임의 구조강도 해석을 통하여 안정성을 검토하였다.

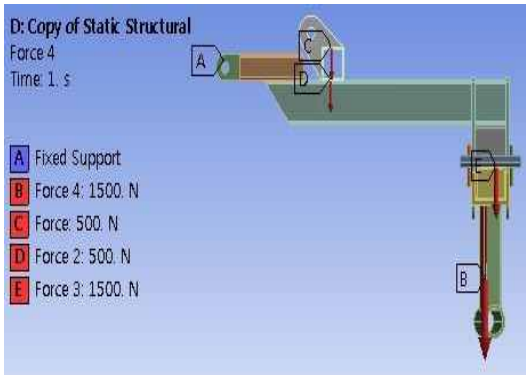
- 배토기 프레임의 구조 강도 해석을 하기 위하여 해석에 영향을 미치지 않는 부분을 제거하여 단순화 3D 모델링을 함. 해석을 위한 격자는 노드수 813,080개, 엘리먼트수 379,267개를 이용함. 그리고 해석 조건으로 두 개의 핀과 실린더로 연결되는 끝을 Fixed support로 구속하였고, 중력 방향으로 배토기의 무게의 약 2배인 4,000N과 작업 시 나타나는 반력의 약 2배인 5,000N을 작업 반대방향으로 가하여 해석함.



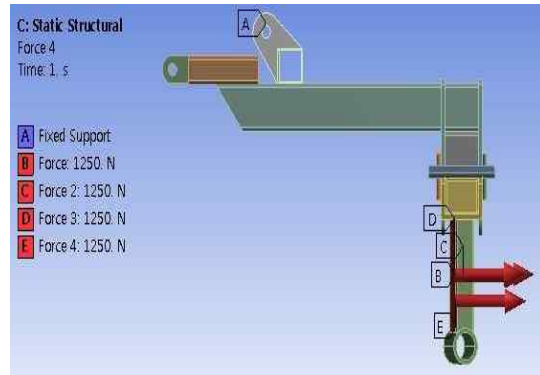
<단순화 3D 모델링>



<해석 격자 생성>

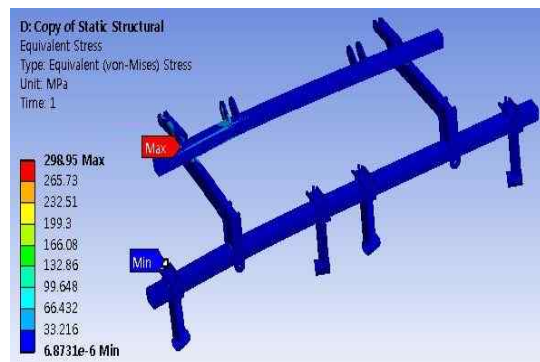
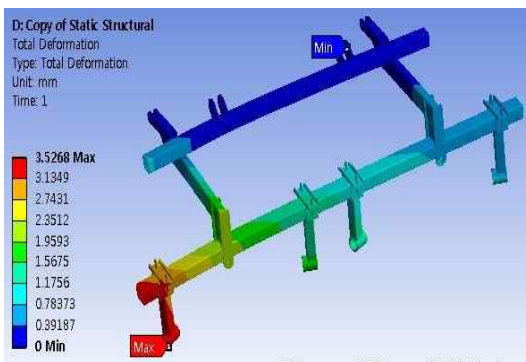


<이동 및 작업시작 시를 고려한 해석조건>



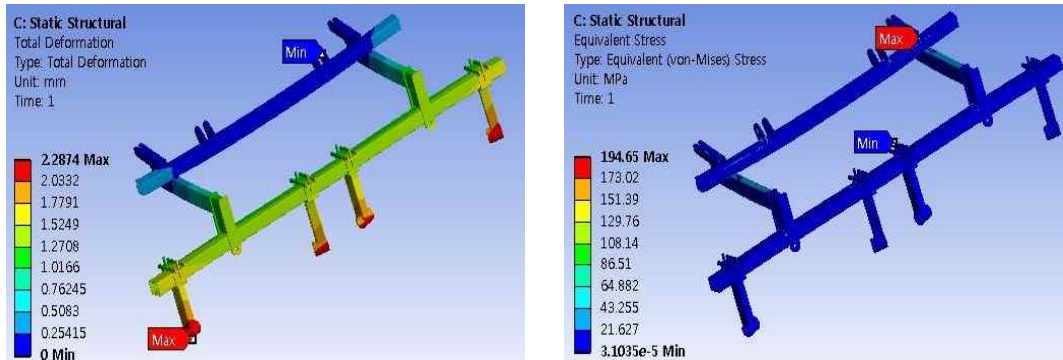
<작업 중 반력을 고려한 해석조건>

- Fixed 구속은 두 가지 경우 같기 때문에 같은 방법으로 구속하였고, Force 방향은 중력 방향과 작업 반대 방향으로 다르게 조건을 주었다.



<이동 및 작업 시작 시를 고려한 배토기 프레임 해석결과>

■ 배토기 프레임의 재질은 SS400으로 인장강도가 약 500MPa이다. 배토기 프레임의 최대 변형량은 약 3.5mm이고, 최대 응력은 299MPa으로 메인 프레임과 연결되는 프레임 부근에서 최대로 나타남. 해석결과 전체적으로는 문제없고 최대 응력이 나타난 곳도 재질의 인장강도 이내이고 작은 부분으로 문제없을 것으로 판단됨. 따라서 이동 및 작업 시작 시 전체 메인 프레임의 응력이 인장강도보다 낮기 때문에 안전하게 설계 되어 문제가 발생하지 않을 것으로 판단됨.



<작업 중 반력을 고려한 배토기 프레임 해석결과>

■ 작업 중 발생하는 반력을 고려하여 메인 프레임 해석한 결과 최대 변형량은 2.3 mm이고, 최대 응력은 195MPa로 나타났다. 위의 이동 및 작업 시작 시의 최대 응력 부분과 인접한곳에서 최대응력이 나타났으나 아주 미세한부분에 발생되었다. 위 해석결과와 동일하게 재질 SS400으로 인장강도가 약 500MPa이기 때문에 안전하게 설계 되었다고 판단됨.

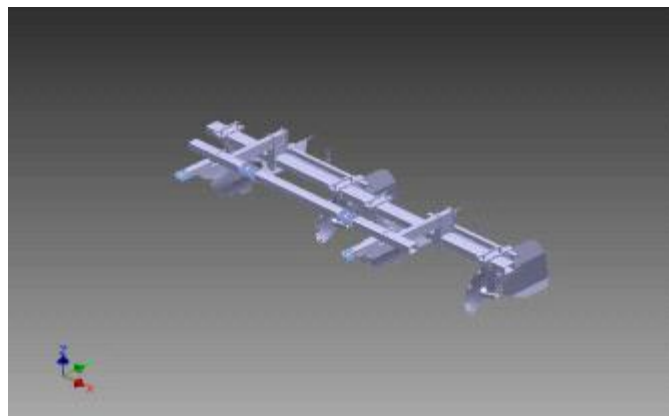
■ 메인 프레임의 구조 강도 해석을 하기 위하여 트랙터에 무동력 디스크 해로우 복합작업기를 부착하여 이동하거나 작업을 시작하기 위해 내려놓을 때의 충격을 고려하여 해석하였으며, 또 작업 중 발생하는 반력을 고려하여 구조 강도 해석을 실시함. 결과적으로 두 가지 경우 재질의 인장강도에 비해 낮게 응력이 나타남. 따라서 무동력 디스크 해로우 복합 작업기 메인 프레임은 복합작업에 무리 없이 안전하게 설계 되었다고 판단됨

(다) 배토기 해석 결과

■ 200마력의 힘으로 작용 시 배토기의 변화를 확인하였다. 2개의 배토기가 부착되어 있어 각각 20,000N의 힘을 적용하였다

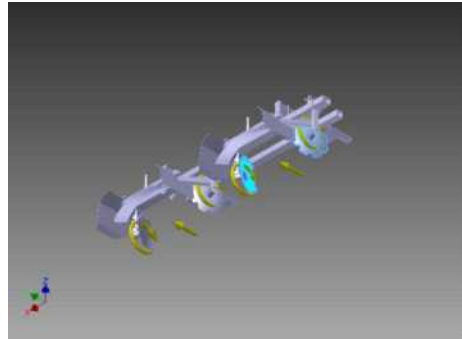
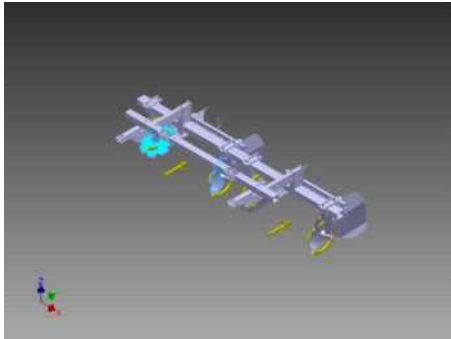
① 구속조건

-구속조건은 배토기와 무동력디스크가 결합되는 핀 부위에 적용하였다.



② 힘의 조건

-힘은 총 6개의 구역으로 나누어 40,000N을 6으로 나누어 대입해 측정하였다.



③ 기계적 성질

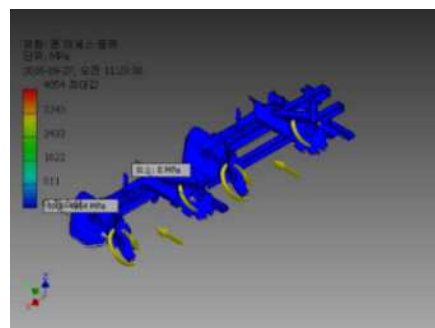
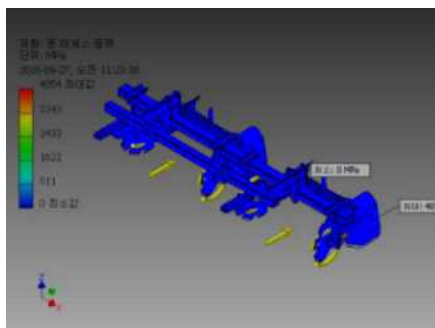
name	SS400(fram)	
normal	mass density	7.85g/cm <sup>3</sup>
	ultimate tensile strength	450MPa
	yield strength	230MPa
stresses	modulus of elasticity	160GPa
	shear modulus	80GPa

④ 결과

구속조건 이름	반력		반작용 모멘트	
	크기	구성요소(X,Y,Z)	크기	구성요소(X,Y,Z)
고정 구속조건	13329.7 N	0N -13329.5N -87.2453N	5794.82 N m	-5794.82 N m 0 N m 0 N m

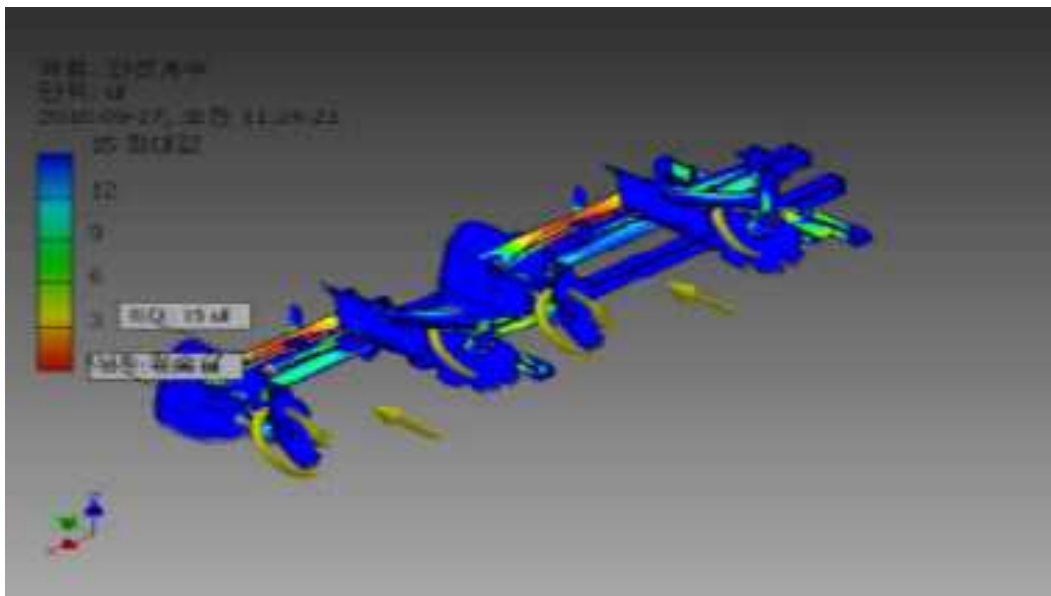
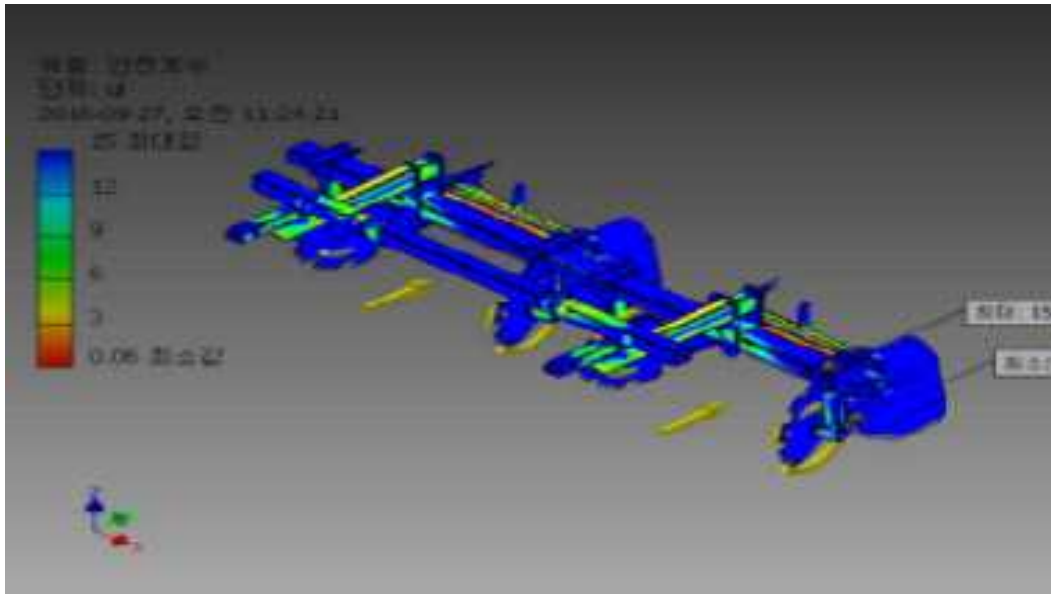
이름	최소값	최대값
체적	23572880 mm <sup>3</sup>	
질량	185.046 kg	
변위	0mm	72.2119mm
폰 미세스 응력	0MPa	4054.23 MPa
첫번째 주 응력	-64.1369 MPa	2846.48 MPa
세번째 주 응력	-2162.24 MPa	51.1867 MPa
안전계수	0.0567308	15
등가변형	0	0.0172566
첫번째 주 변형	-0.000400856	0.0177905
세번째 주 변형	-0.013514	0.000319917

⑤ 폰 미세스응력



-최대 폰 미세스 응력은 4054.23 MPa 로 항복강도 230 MPa, 극한 인장 강도 450MPa을 뛰어 넘는 수치이다. 응력이 강하게 걸리는 면은 허브부분이다.

⑥ 안전계수



- 안전 계수의 경우 0.0567308 이라는 낮은 수치가 나와 구조적으로 안정성이 부족하다고 판단이 된다. 2차년도에 이 점을 보완하여, 일반 안전계수 1.5 정도 수치 정도의 안정성이 확보 될 수 있도록 연구 개발 예정이다.

(라) 배토기 시작품 제작

- 텐션 스프링 구조의 배토기를 제작하였음
- 복합작업기에 적합한 제작을 위해 여러 유형의 배토기를 제작하였음
- 좌우, 상하 조절 가능 가변식 배토기 제작
  - 원판디스크가 좌우 두둑 골을 형성해주며, 위에서 복토해 줄 수 있는 타원 모양의 커버를 만들어 장착하였다.

① 텐션스프링구조의 배토기 제작



<배토기 부품제작>

■ 배토기 제작 및 조립



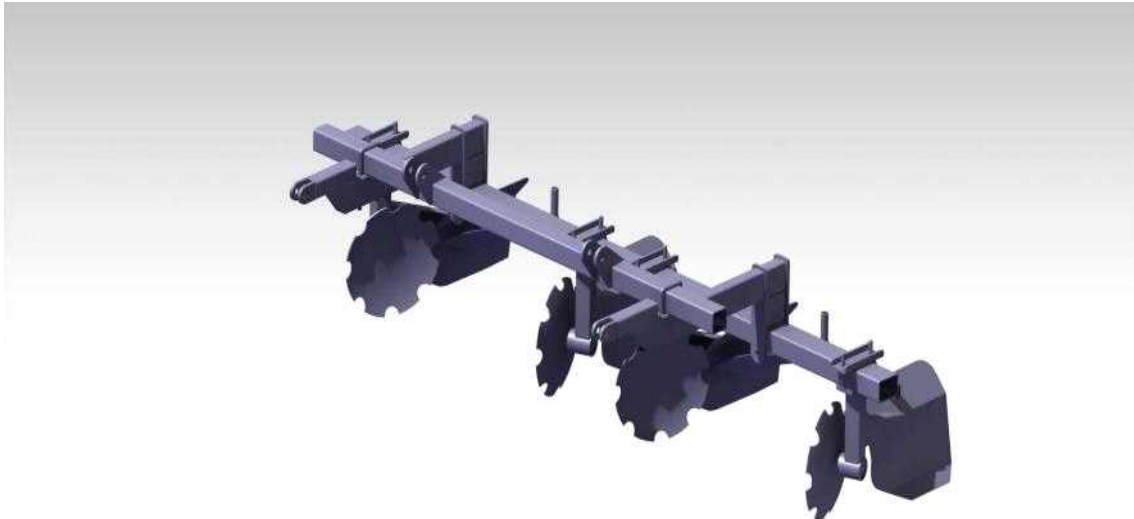
<배토기 보습, 날제작>



<배토기 완성>



② 디스크해로우 부착형 두둑높이조절 배토기 제작



<최종 배토기 개발 3D도면>

㉗ 두둑높이조절 배토기 제작



배토기 후면



배토기 옆면



상하 두둑조절 가능



좌,우 포조절 가능



배토기 가이드원판



배토기연결구조물

- 상하,좌우조절이 가능한 가변식 배토기를 제작. 타 배토기는 고랑경심 깊이는 형성되나, 두둑형성모양이 균일하지 않는 것으로 확인되었다.

따라서 본 개발시작품은 원판디스크가 배토가이드역할을 하여 좌우 두둑골을 형성해주며 위의 타원형 가이드가 두둑을 만들어주게끔 커버를 만들어 장착하였다.



<배토기 장착 및 배토작업 형상>

(마) 메인프레임 용접지그제작

- 시작품제작을 위한 용접JIG제작을 수행하였고, 시작품 테스트완료 후 상용화 단계에 본 지그를 기반으로 상용화JIG완성 예정이다.



< 메인프레임 용접지그 작업 >

다. 2차년도 수행내역 및 결과

(1) 배토기 1차년도 시작품 문제점 분석 및 해결

(가) 배토기 1차년도 시작품 분석

- 1차년도에 제작한 배토기 시작품을 복합작업기에 부착하여 필드테스트 및 부하테스트를 시행하여, 배토기 구조물 파악 및 작업 시 두둑 형성을 분석하였다.
- 배토기의 두둑은 2.5m로 잡았고, 한국생산기술연구원 시험분석을 통해 목표를 달성했음을 알 수 있었다.
- 디스크해로우와 부착하여 작업을 진행하면서, 부하로 인해 배토기 작업기 프레임이 변형되었고, 가변식으로 제작된 두둑 형성 프레임 사이에 흠이 쌓이면서 두둑 모양이 정확히 형성되지 않았다.
- 이 같은 문제의 원인으로서는, 배토기와 디스크해로우의 연결된 거리와 유압실린더 스트로크 길이가 맞지 않아 배토기에 큰 부하가 생기면서 프레임 변형이 생겼고, 배토기 디스크 프레임 사이드가 두둑을 위해 좁아지면서 사이에 흠이 쌓인 것으로 분석되었다.
- 위와 같은 1차 시작품 분석을 통해 해결해야 할 문제를 ①배토기 프레임 내구성 강화 ②유압실린더 스트로크 길이 조정으로 무게중심 전방으로 이동 ③배토기 두둑 형성 프레임 수정하여 올바른 두둑 형성으로 보고 설계수정보완을 시행하기로 하였다.



<배토기 프레임 변형>



<두둑 형성>

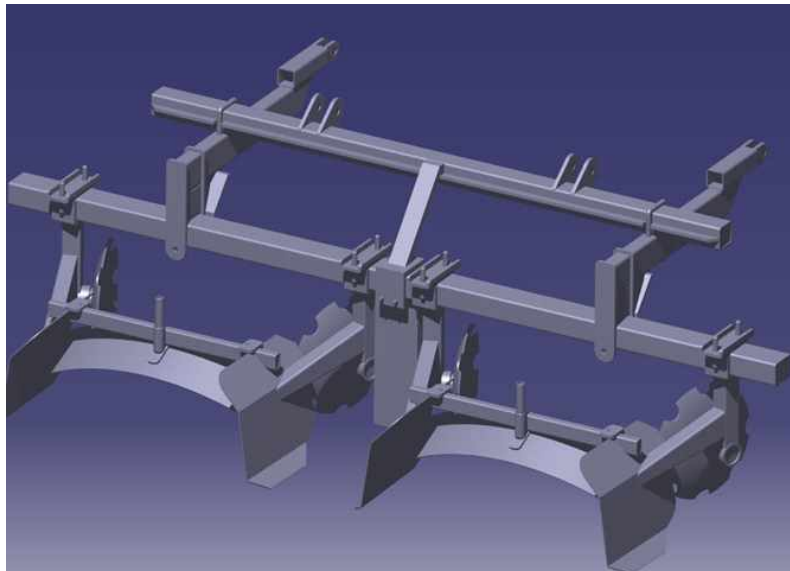


<1차년도 배토기 모델링>

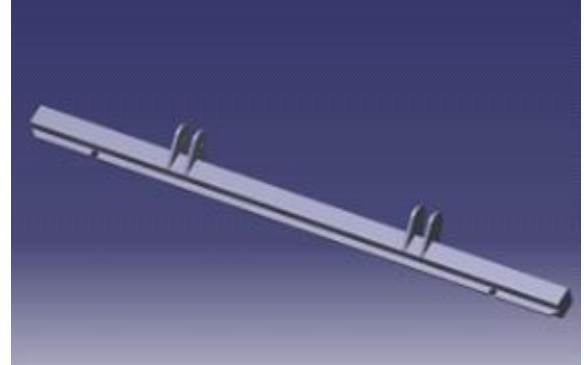
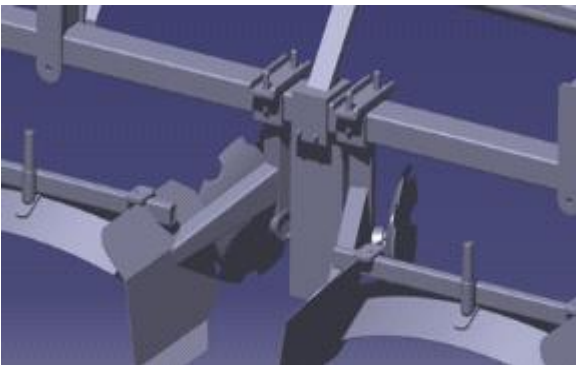
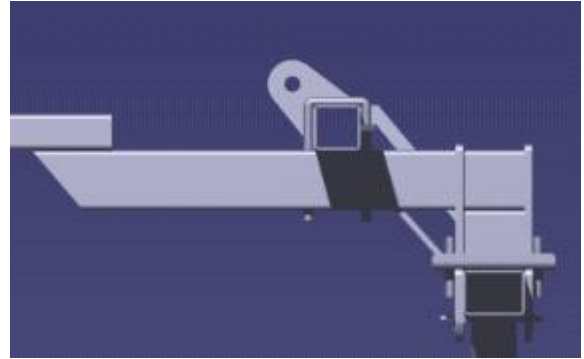
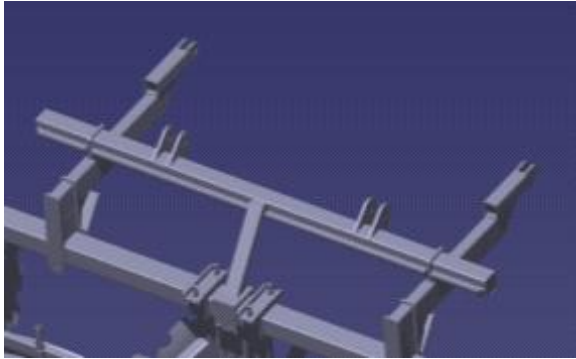
(나) 개선모델 설계

- 1차년도 시작품 문제점 분석 결과, 배토기 내구성 강화를 위한 보강재 추가, 스트로크 길이 조절을 위한 실린더 브라켓 수정, 가변식 디스크 프레임 설계변경으로 2차년도 시작품을 개발하였다.
- 배토기 프레임 파이프에 10T 보강재 추가, 히치 프레임 브라켓 추가 등 지지 브라켓을 추가시켜 프레임 자체 내구성을 강화하였고, 유압실린더 위치를 조정하기 위해 히치 프레임의 실린더 프레임 위치를 후방으로 변경하였다. 또한 두둑 형성을 위해 디스크 프레임 사이에 골 형성판을 추가하였다.

① 1차 배토기 설계 변경



## ② 모듈별 설계변경



- 각 모듈별로 보강재, 브라켓 등을 추가하여 내구성을 강화하고 실린더 프레임 위치 수정, 디스크 프레임에 판을 추가하여 3D 모델링을 변경하였고, 설계 변경된 배토기 시작품을 제작하였다.

### (다) 1차 수정 배토기 제작 및 필드테스트

- 히치 프레임 브라켓 추가, 각 프레임 보강재 추가, 실린더 프레임 위치 조정 등 설계 변경한 2차년도 시작품을 제작하였다.



<2차년도 배토기 시작품>

- 1차년도 시작품의 문제점 분석 결과, 프레임 변형과 부정확한 두둑 형성이 일어났기 때문에 2차 필드테스트를 진행하여 문제가 해결되었는지 확인하였다.

① 시험포장지 확인

- 1차년도 시험포장지와 2차년도 시험포장지의 시험 후 토양 사진을 비교한 결과, 2차년도 시험포장지의 두둑 골이 1차년도에 비해 정확하게 형성되어 작업 기능이 높아졌다.



<1차년도 시험포장지>



<2차년도 시험포장지>

② 프레임 변형 확인

- 2차년도 프레임 변형 확인 결과, 변형 없이 작업이 이루어졌다.



<1차년도>



<2차년도>

- 2차년도 시작품 필드테스트 결과, 문제 분석 시 발생한 문제가 해결되었음을 알 수 있었다.
- 하지만, 디스크해로우와 배토기를 부착 이동 시, 배토기에 부착된 유압실린더 상승을 최대로 해도 45도 상승에 머물러서 디스크해로우의 무게 중심이 후방에 위치하여 작업기 이동에 문제가 발생하였다.
- 따라서, 배토기 상승각을 기존 45도에서 90도로 확보하기 위해, 기존에 부착된 2개의 유압 실린더 외에 1개의 유압 실린더를 추가하여 실린더 프레임을 한 번 더 회전하여 최대한 전방에 부착되도록 설계 변경하기로 하였다.

(2) 배토기 2차년도 1차 시작품 문제점 분석 및 해결

(가) 2차 수정 배토기 설계

- 2차년도 1차 시작품 필드테스트를 진행했을 때 발생한 건인 문제점을 해결하기 위하여, 유압 실린더를 하나 더 추가해서 배토기가 두 번 회전하여 디스크해로우 전방

에 최대한 부착되도록 설계 변경하였다.



<1단계>



<2단계 2차수정 모델링>

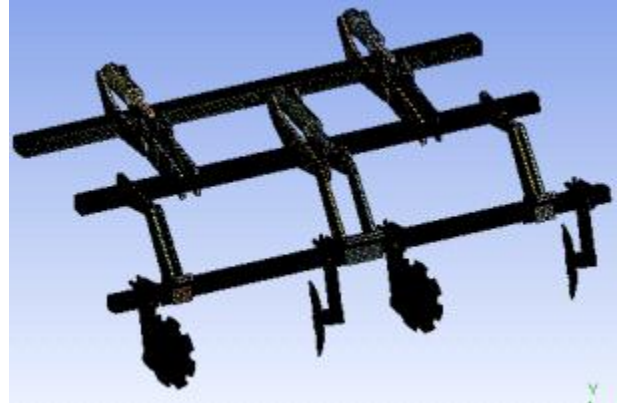
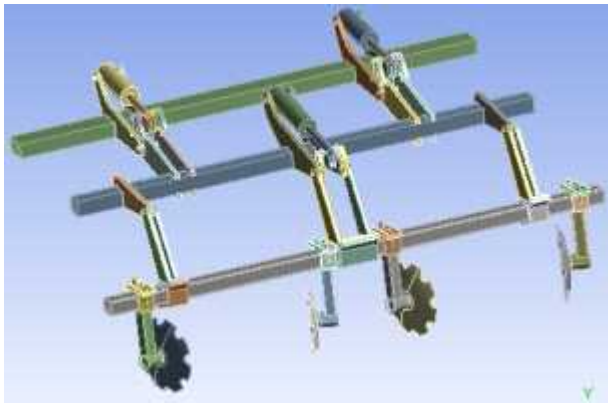


<3단계 3차상용화검토 모델링>

(나) 2차 수정 배토기 구조해석

- 디스크해로우 배토기의 제품 개발에 있어서 설계단계에서 시스템의 적합성을 평가할 수 있는 중요한 기술로서 구조물의 강도 및 피로수명을 사전에 예측하고 설계단계에서 발생할 수 있는 문제점을 최소화 시켜 개발시간을 단축하기 위하여 CAE해석 기법을 실시하고자 한다.
- CAE해석을 이용하면 일반적으로 시작품이 개발되면 제품은 시험을 통해 성능을 평가하고 제품이 목표 성능에 미치지 못할 시 구조 변경 및 보강을 통해 재시험을 실시하게 된다. 이러한 반복 작업은 많은 시간과 비용을 소모할 뿐만 아니라, 현시대와 같이 짧은 개발시간을 요구하는 트렌드에 부합하지 않는다.

- 디스크해로우 배토기의 구조해석을 위하여 3D 설계모델을 준비하였다. 본 연구에서는 Ansys software를 이용하여 디스크해로우 배토기의 구조강도해석을 실시해보고자 한다.
- 디스크해로우 배토기는 트랙터의 3점 히치에 부착된 디스크해로우의 끝에 부착되어 사용하게 된다. 디스크해로우를 이용하여 경운작업과 배토작업을 할 때 메인 프레임의 안정성을 검토하여야 한다.
- 디스크해로우 배토 작업 중에 작업기가 작업을 하면서 반력이 발생하여 메인프레임에 영향을 미치기 때문에 메인프레임의 구조강도 해석을 통하여 안정성을 검토하고자 한다.



<디스크해로우 배토기 3D 모델링>

<해석용 격자 생성>

Sizing	
Use Advanced Size Function	On: Proximity
Relevance Center	Coarse
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
<input type="checkbox"/> Proximity Accuracy	0.5
<input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	Default (1)
<input type="checkbox"/> Min Size	Default (4.24560 mm)
<input type="checkbox"/> Max Face Size	Default (424.560 mm)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (849.130 mm)
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (2.50 )
Minimum Edge Length	8.8178e-002 mm

<격자 생성 조건>



Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	1375621
<input type="checkbox"/> Elements	608383
Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/> Min	1.30577743109428E-10
<input type="checkbox"/> Max	0.999987203891619
<input type="checkbox"/> Average	0.306362080881864
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0.187494634064095

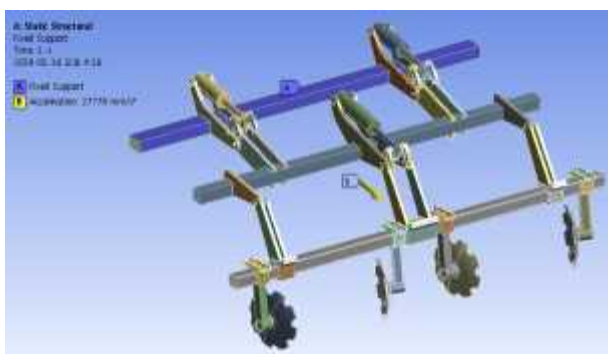
Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Inacceptable
0~0.24	<b>0.25~0.49</b>	0.50~0.79	0.80~0.94	0.95~0.97	0.98~1.00

<Skewness 격자 품질 측정>

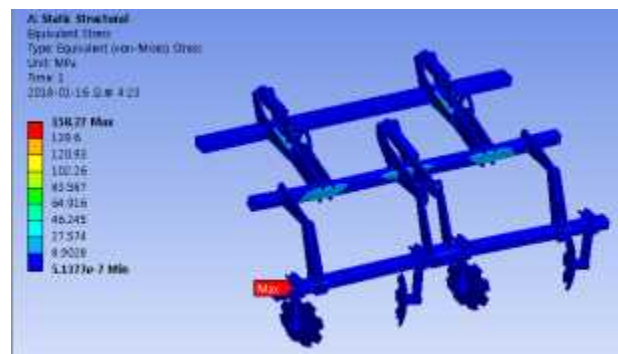
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	1375621
<input type="checkbox"/> Elements	608383
Mesh Metric	Orthogonal Quality
<input type="checkbox"/> Min	2.02097541350612E-02
<input type="checkbox"/> Max	0.99999931322192
<input type="checkbox"/> Average	0.811753045459708
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0.151715145456074

Inacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0~0.001	0.002~0.14	0.15~0.19	0.20~0.69	<b>0.70~0.94</b>	0.95~1.00

<Orthogonal Quality 격자 품질 측정>



<작업 중 반력을 고려한 해석 조건>



<등가응력 해석 결과>

- 디스크해로우 배토기의 구조 강도 해석을 수행하기 위하여 메인 프레임을 제외한 해석의 결과에 큰 영향을 미치지 않는 경우, 롤러 등을 제거하여 단순화 3D 모델링을 하였다. 해석을 위한 격자는 기존 설계안 노드 수 1,375,621개, 엘리먼트 수 608,383개를 이용하였고, 격자 품질 측정결과 평균값이 매우 좋음 이상으로 나왔다.

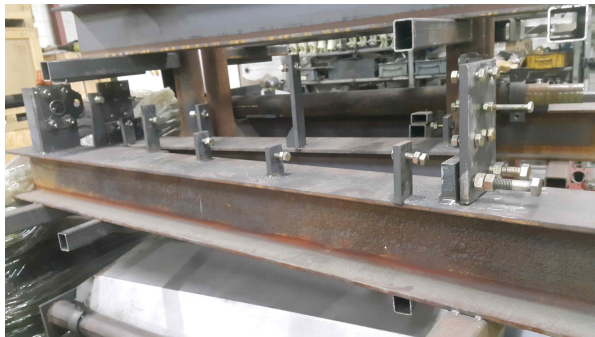
■ 해석 조건으로 디스크해로우 메인프레임에 고정되어 있다고 가정하여 Fixed Support로 구속하였다. 작업 시작 시를 고려한 해석조건인 경우 작업 중 반력을 고려한 해석조건인 경우 작업방향의 반대로 작업 시 나타나는 반력을 작업속도의 약 5배인  $27,778\text{mm/s}^2$ 을 가하여 해석하였다.

■ 메인 프레임의 재질은 SS400으로 인장강도가 약 400MPa이다. 작업 중 발생하는 반력을 고려한 해석 조건으로 해석결과 메인 프레임에 걸리는 최대응력은 약 158Mpa로 나왔다. 모든 조건에서 최대 응력이 인장강도보다 낮고 미세한 부위에 응력이 집중되기 때문에 실제로는 문제가 발생하지 않을 것으로 판단된다. 따라서 이동 및 작업 시작 시 조건을 고려한 해석결과 디스크해로우 배토기는 안전하게 설계되었다고 볼 수 있다.

■ 구조해석 결과, 2차 설계수정된 디스크해로우 배토기가 안전하다고 판단되어 시작품을 제작하였다.

### (3) 배토기 시작품 간이용접JIG 제작

■ 2차년도 시작품제작을 위한 용접 JIG 제작, 테스트완료 후 정 설계 제작 추진하였다.



### (4) 2차년도 시작품 제작



○ 협동 2 (전주대학교)

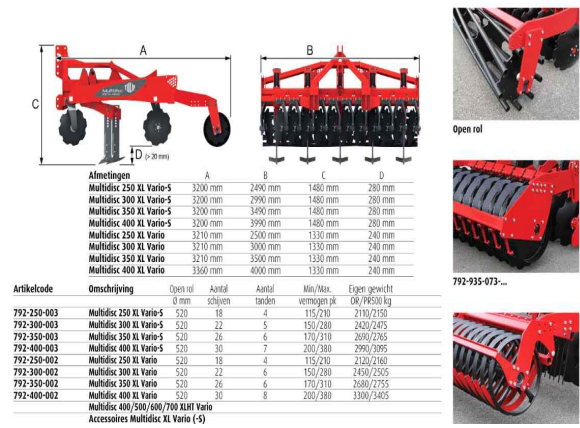
가. 연구개발 목표

- 주요부 구조설계와 해석을 통한 신뢰성 설계
- 원판부의 비틀림각도에 대한 분석

나. 1차년도 수행내역 및 결과

(1) 스캐닝 기술을 이용한 벤치마킹 제품의 역설계 모델링

고효율 복합작업기는 기대 작업속도인 15km/h의 고속작업이 가능하여 정식 전 잔여 농작물 파쇄와 반전,쇄토,경운작업이 기존 로터베이터 경운 평균작업속도인 2.5km/h 대비 두 배 이상 빠르다. 또한 비닐피복작업과 배수를 위한 고랑작업 재배작물의 정식을 위한 최적화된 Seed bed는 복합작업기에 장착된 배토기로 형성하여 범용적으로 사용이 가능하다 [6]. 이에 따라서 복합작업기의 사용은 국내 발작물 재배에서 생산성 향상과 생력화 작업이 가능하고 농가에 영농비용 절감이 가능하다. 무동력 디스크 복합작업기는 원판이 독립 구조로 되어 있어 수리 및 보수가 용이한 장점이 있으나 돌이 많고 사질토양인 국내 특성에 맞게 부하작업을 하는 동안 원판(Disc)의 보호가 되는 복합작업기 제품개발이 필요하다. 하지만 국내에서는 디스크 해로우(Disc harrow) 방식의 경운작업은 관행적으로 이어온 로터베이터 경운작업으로 인해 보급이 늦어서, 국내 농지 작업 환경에 맞는 제품 개발을 위해서는 선진사양의 벤치마킹 모델의 설계치수 분석을 통한 개발사양 및 치수 선정이 필요하다. 복합작업기 벤치마킹 제품설계를 위한 치수분석을 위해 비접촉식 레이저 스캐너 3차원스캐너와 역설계 전용 프로그램을 이용하여, 3D모델링을 수행한 후에 주요 부품과 프레임에 대한 주요부의 치수검사를 수행하였다[1,7,8]



<그림1.1> Benchmarking model (multidisc 250 xl vario\_s)

(가) 역설계 프로세스 및 방법

- 비접촉 스캐너를 이용한 형상측정

비접촉식 3D스캐너에서 산출된 클라우드(Cloud)형태의 점 데이터를 기반으로 파라메트릭 모델링((Parametric modeling) 을 할 수 있으므로 제품 개발, 생산, 품질관리, 설계 및 생산에 따른 치수편차 확인 등에 이용할 수 있다. 또한 3D스캔 데이터를 역설계 소프트웨어 내에서 CAD와 마찬가지로 모델링을 통해, 대상 제품의 설계의도를 추출할 수

있고 그것을 기반으로 제품의 특성을 분석할 수 있으며 조립 등의 오차를 확인할 수가 있다<sup>[3,4,5,9]</sup>. 벤치마킹 모델은 그림1.1과 같이 네덜란드의 농기계 전문회사인 Tulip industries사의 Disc harrow가 장착된 Multidisc 250xl vario s모델이다. 이 제품은 모듈형 태로 설계되어, 새로 개발하고자 하는 제품에서 신규개발모델과 추가되는 배토기의 강도기준을 구하기 위한 역설계모델로 활용되며, 구조해석을 통한 기준을 구하기에 앞서 모델링을 완성하고 치수검사를 수행하였다.

그림1.2는 기준모델을 Jeuscan사의 비접촉 이동형 레이저 스캐너인 TU 3D Scanner를 사용하여 3차원 스캐닝을 실시한 것으로, 추출한 3D Scan data는 역설계 소프트웨어 Geomagic Design X를 통해 역설계 모델링을 수행하였다. 역설계시 3D모델링의 치수를 정하는 데 있어서 기준데이터가 없으므로 그림1.3과 같이 실측데이터를 측정하여 비교하였으며 부재별로 최소 5회이상부터 50회까지의 평균 측정값을 참값으로 간주하였으며, 이렇게 구해진 값은 모델링결과와 실측측정값을 비교하여 오차를 산출하였다.

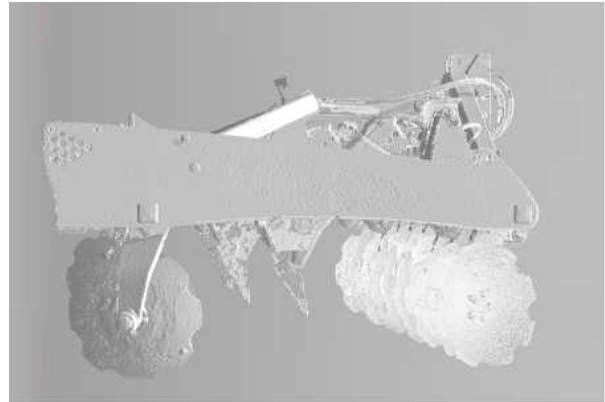
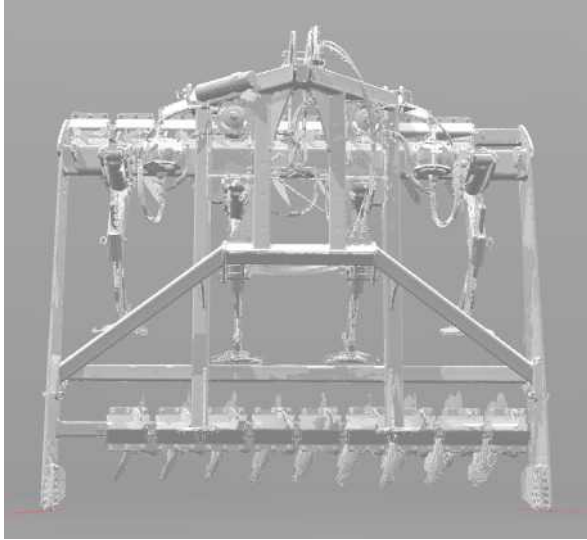


<그림1.2> Benchmarking model with 3D scanning process

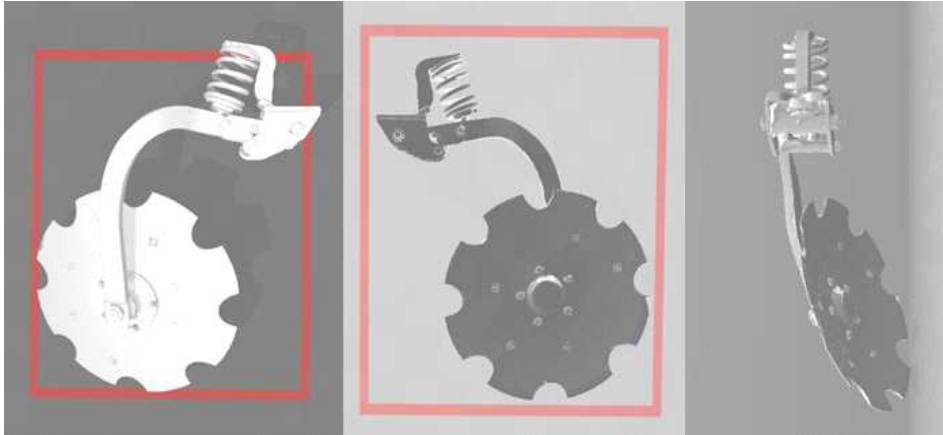


<그림1.3> Benchmarking model with actual(manual) measurement

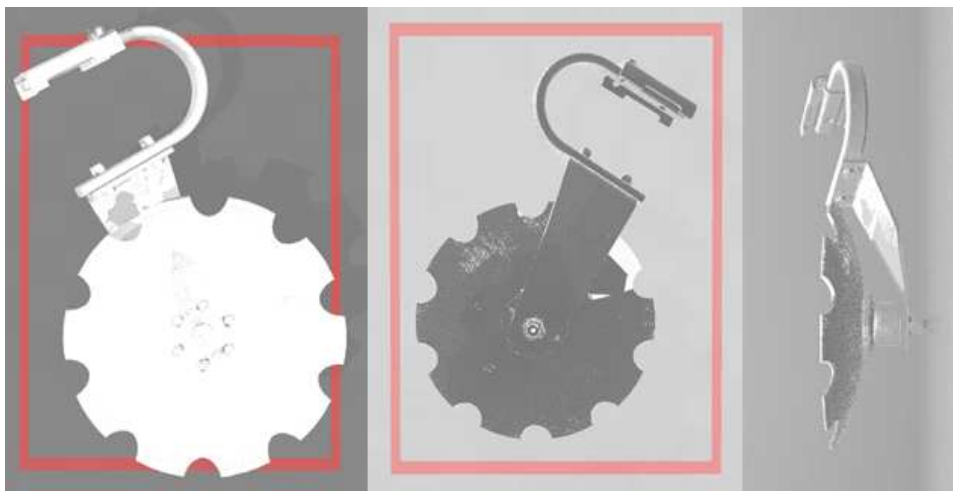
① 무동력디스크해로우 전체 스캔데이터



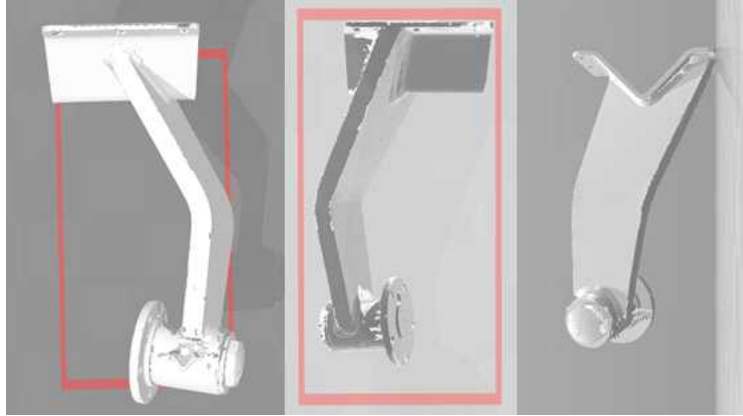
② 무동력 디스크해로우 부품별 스캔 데이터



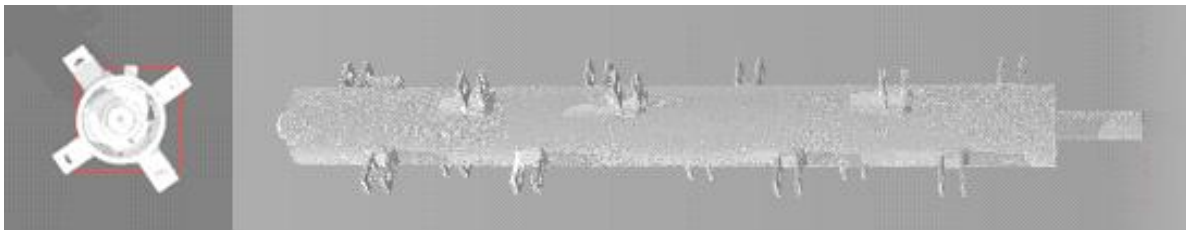
부품1) 정면, 뒷면, 측면



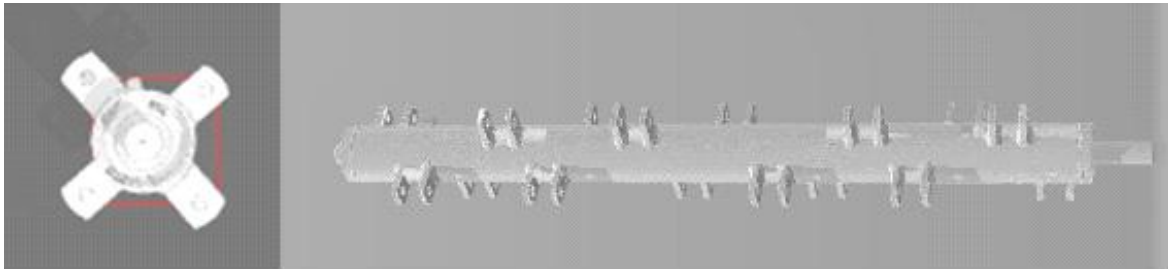
부품2) 정면, 뒷면, 측면



부품3) 정면, 뒷면, 측면

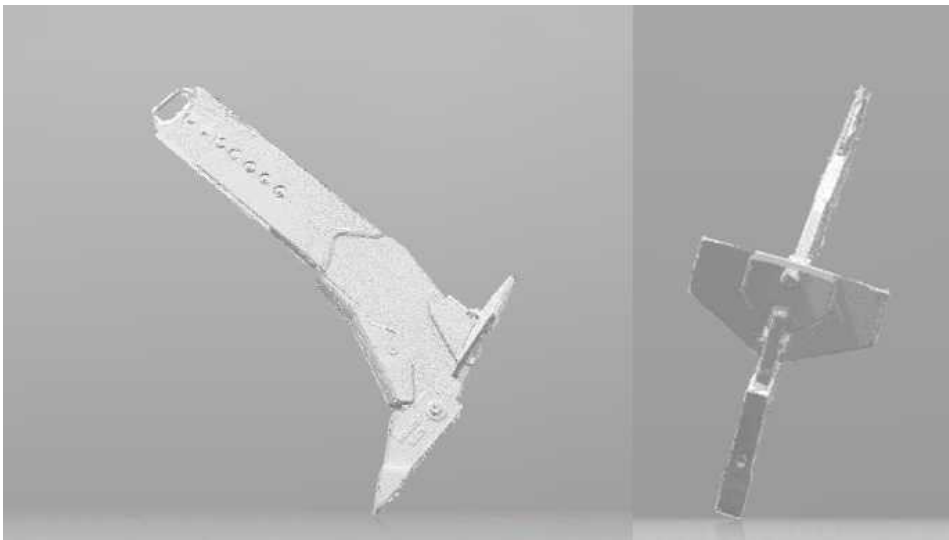


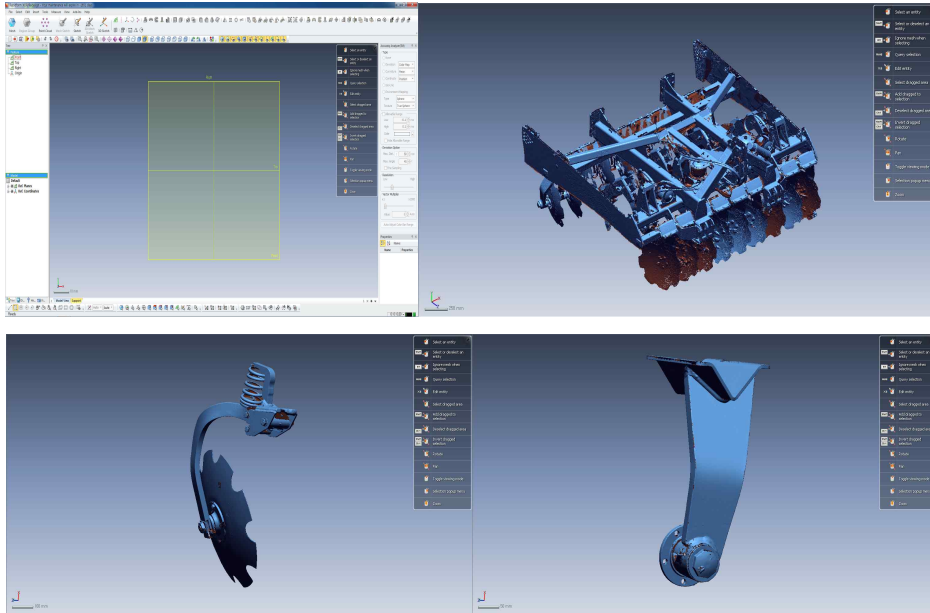
부품4) 윗면, 옆면



부품5) 윗면, 옆면

③ 치즐 스캔데이터

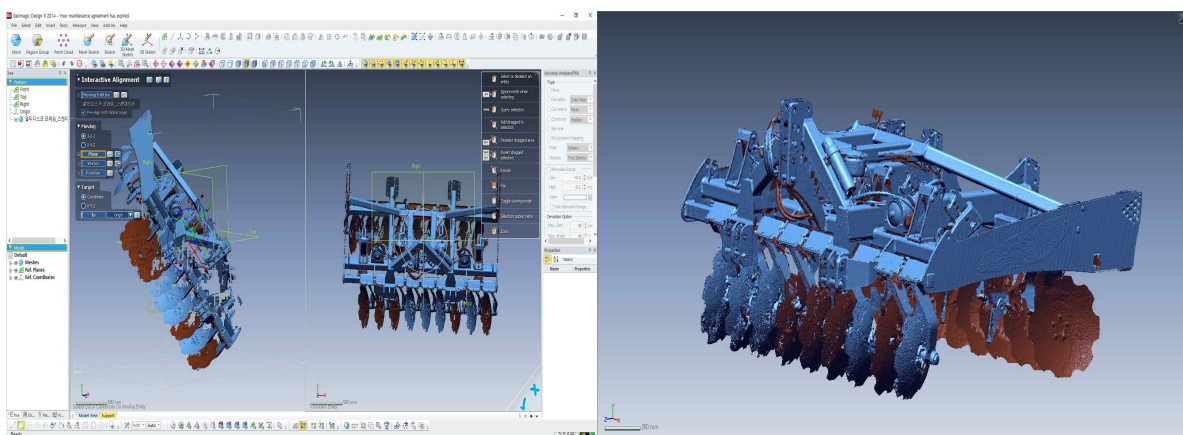




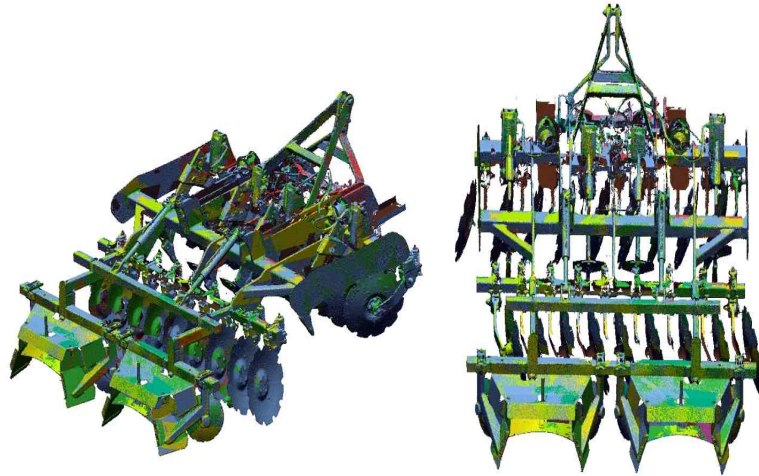
<그림1.4> Analysis using actual measurement

■ 역설계 프로세스

그림1.4는 각 부품별 스캐닝 한 결과이고, Geomagic Design X를 실행 후 스캔데이터를 Import하여 역설계 작업을 수행하였다. 최초 스캔 데이터는 3D모델링 하기에는 적합하지 않은 절대좌표로 설정 되어 있어 Align과정을 수행하였고, 또한 비접촉 측정방식의 단점인 노외 환경에 노출되어 측정오차인 노이즈가 발생하여 스캔데이터 매쉬표면이 불규칙하게 얻어진다. 이것은 벤치마킹분석과 역설계 과정에서 부적합한 결과를 야기하기 때문에 Mesh editing과정을 통해서 노이즈 제거 작업을 수행하였다.



<그림1.5> Interactive alignment of scanned data (계속)



<그림1.5> Interactive alignment of scanned data

① 형상 정렬하기(Align)

그림1.5는 정렬되어 있지 않은 스캔데이터를 인터랙티브 정렬(Interactive alignment)설정을 통하여 틀어져 있는 입력데이터를 XYZ평면의 절대좌표로 정렬하는 과정을 나타낸다. 절대좌표의 기준이 되는 평면을 선정하여 정렬을 실시하며, 스캔데이터 절대좌표 기준을 디스크 헤로우의 좌측 판재를 기준으로 수행하였다.

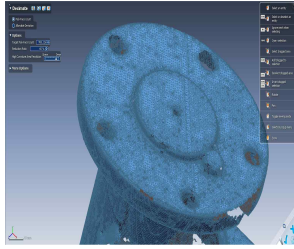
② 메쉬 편집(Mesh editing)

메쉬 편집은 노이즈제거 과정으로 스캐닝 후속작업이다. 스캔 데이터에는 여러가지 이유로 매끄럽지 않은 데이터, 혹은 원치 않는 형태의 데이터가 포함되어 있다. 메쉬 노이즈 발생 이유는 다음과 같다. (a)측정하고자 하는 물체 자체의 면의 거칠기가 심하고 형상에 미세한 굴곡이나 요철이 존재할 때이다. 형상을 그대로 사용하는 것은 문제가 없으나, 노이즈가 후속 작업에 있어 불편함을 초래한다면 사전에 제거하는 작업이 필요하다. (b)측정 레이저의 신호해석에서 노이즈가 발생하여, 실제로 존재하지 않는 형상을 점군으로 추출할 때. (c)측정하는 물체와 스캐너와의 거리가 충분히 멀어, 스캐너의 정밀도가 측정 대상 물체의 형상 크기에 영향을 줄 정도가 될 때이다. 이렇게 발생한 벤칭마킹 기준모델의 메쉬데이터 노이즈를 아래와 같은 과정을 통하여 수행하였다.

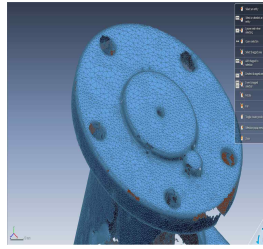
<표1.1> Ratio based decimate execution result data

No.	a	b	c
Poly-face count	955,124	258,469	154,609

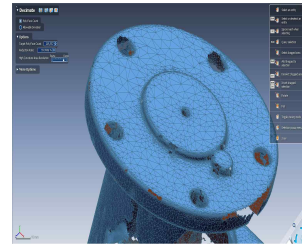




(a)original



(b)1 time decimate



(c) 2 time decimate

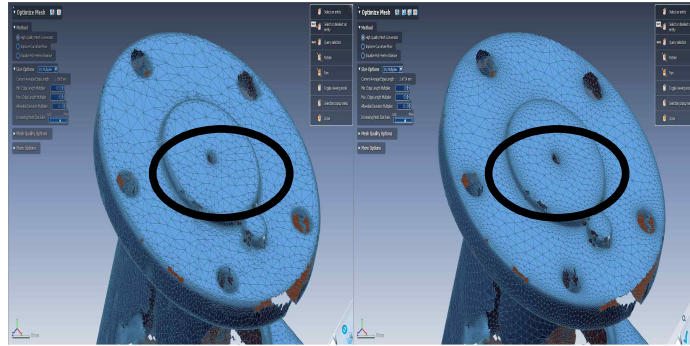
<그림1.6> Decimate of scanned part model

### ③ 메쉬 개수 줄이기(Decimate)

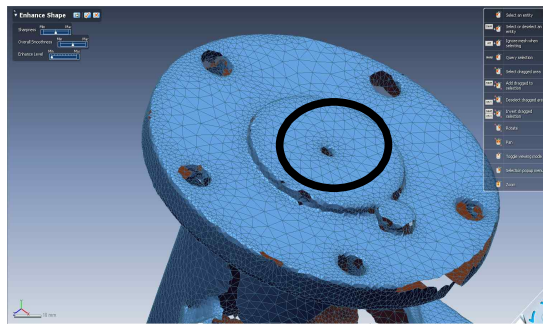
메쉬 삼각형의 개수가 많으면 정밀도는 높아지나 메모리의 필요량 증가로 파일크기가 증가한다. 또한 모델링 작업과정에서 불필요하게 많은 메모리를 사용하거나 계산속도가 저하되는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 모델링 결과물에 요구되는 정밀도를 유지하면서 삼각형의 개수를 줄이는 것이 바람직하다. 보통 비율기반 데시메이트 (Ratio based decimate)를 사용한다. 목표로 하는 삼각형의 개수가 있거나 현재 개수에서 몇%로 줄이고자 할 때 사용하며, 개수를 줄여가는 과정에서 곡률이 높은 부분보다 낮은 부분에서 더 많이 줄여 원본데이터 형상을 최대한 유지하며 데이터양을 조절할 수 있다. 이와 같이 Decimate 명령은 폴리 페이스 개수를 형상의 변형 없이 줄일 수 있어, 메쉬데이터의 용량을 줄이고자 할 때 주로 사용한다. Decimate는 변형을 적게 하기 위해 60%씩 2회로 나누어 실시하였고, 그림1.6는 2회 실행 후의 Poly-face를 나타낸다. 표1.1처럼 최초 스캔데이터의 메쉬 Poly-face는 955,124개 이었으며 60% 1차 실행 후 258,469개 이고, 60% 2차 실행 후 154,609개의 Poly-face가 되어 역설계 과정에서의 데이터 크기를 줄임으로서 빠른 계산이 가능해진다.

### ④ 메쉬 최적화하기(Optimize mesh)

메쉬최적화 방법으로 유한요소법에서 사용하는 삼각형의 형상이 정삼각형에 가깝게 만들고, 삼각형의 각 점에서 인접한 다른 삼각형의 개수가 6개가 되도록 메쉬를 편집하는 것을 말한다. 형상의 곡률을 고려하여 다른 크기의 폴리페이스(Poly-face)들을 메쉬 위에 재구성하여 전체적인 메쉬의 품질을 향상시킨다. 높은 곡률 영역에는 작고 조밀한 폴리페이스들로 구성하고 완만한 곡률 영역에는 크고 뾰족한 폴리페이스들을 구성하였다. 최적화된 메쉬 데이터는 시뮬레이션이나 CAE분야의 형상 분석용 메쉬로 사용이 가능하다. 그림1.7은 디스크가 장착되는 지지프레임 부재로 좌측은 Optimize mesh 실행 전 메쉬 모습이고, 우측은 실행 후 재구성된 폴리페이스 형상이다.



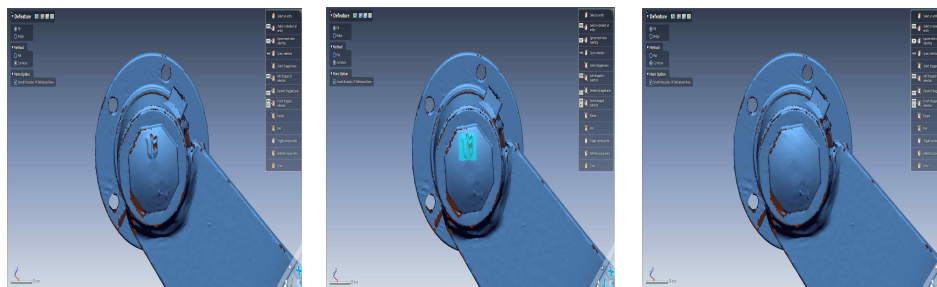
<그림1.7> Optimize mesh



<그림1.8> Mesh enhancing

#### ⑤ 메쉬 향상시키기 (Mesh enhancing)

일반적인 스무딩(Smoothing)의 단점은 날카로운 피쳐 형상들이 묻개지는 것이다. 메쉬 향상은 국부 곡률을 계산하여, 노이즈가 아닌 곡률이 존재하는 부분에서는 가능한 곡률정보를 보존 혹은 강화하는 방식으로 평평한 영역은 더 평평하게, 날카로운 영역은 더 날카롭게 만드는 과정이다. 그림1.7 Optimize mesh에서 얻은 메쉬를 Mesh enhancing를 수래하면 그림1.8 과 같은 향상된 메쉬형상을 얻을 수 있다.

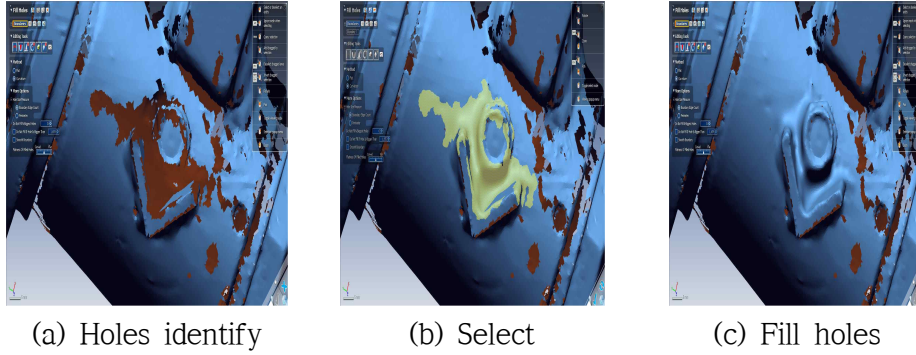


(a)Original

(b)Select region

(c)Defeature

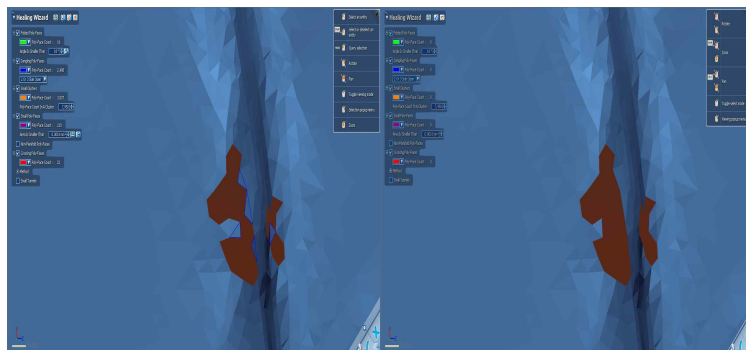
<그림1.9> Defeature



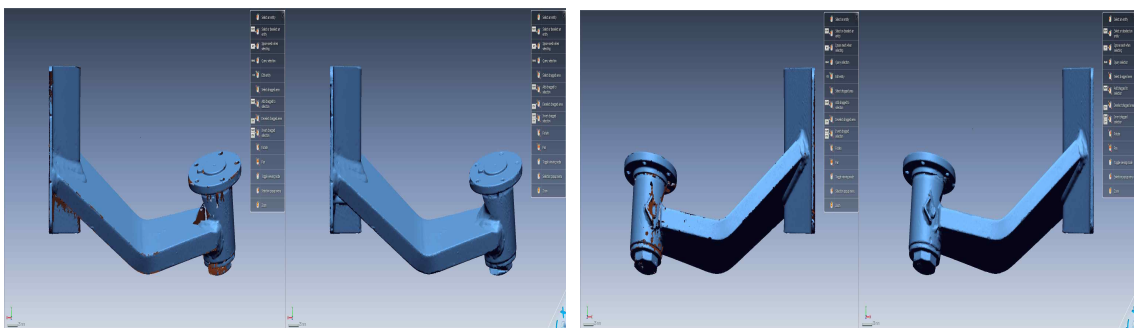
<그림1.10> Fill Holes

⑥ 디피쳐(Defeature)

디피쳐는 메쉬 상의 특정 부분이 역설계에 반영할 필요가 없거나 의도적으로 제외해야 할 때 메쉬에 디피쳐를 수행한다. 구체적인 형상이 서피스피팅하는 과정에서나 설계의도를 추출해 내는 데 방해가 된다면 반드시 실시해야한다. 그림1.9 (a)에 보이는 제조사의 로고는 역설계 과정에 반영할 필요가 없기 때문에 (b)와 같이 영역을 선택하고 Defeature를 실시하여 (c)형상을 얻었다. Defeature는 형상부위의 삼각형들을 삭제하고 이때 발생하는 구멍을 메우는 방식으로 수행된다.



<그림1.11> Noise analysis & defect removal



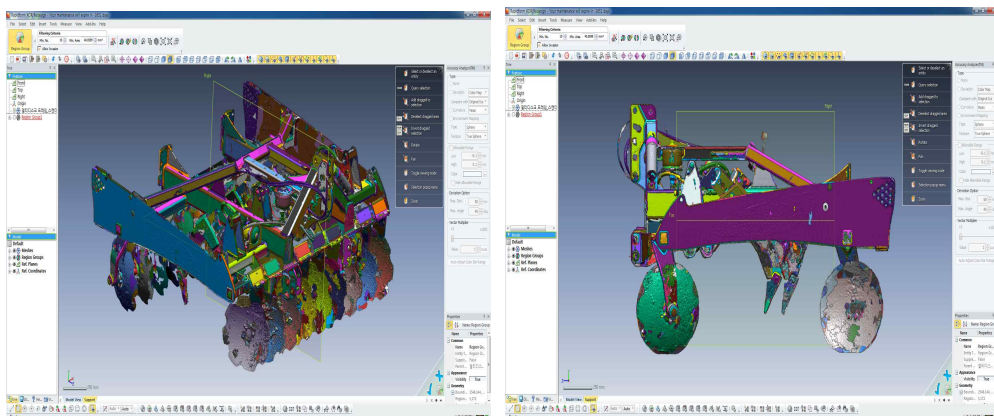
<그림1.12> Noise analysis & defect removal

### ⑦ 홀 메우기 (Fill Holes)

역설계 과정에서 메쉬를 피팅하여 서피스를 생성하고자 할 때 피팅하려는 영역에 구멍이 존재하면 피팅에 필요한 정보가 부족하여 서피스를 계산할 수 없는 경우가 발생한다. 메쉬가 측정대상으로서 불완전한 상태임을 의미한다. 구멍 메우기는 그림1.10과 같이 메쉬 상에 존재하지 않는 영역을 Surface reconstruction을 통해 유추하여 삼각형들을 생성하여 연결해 주는 과정이다.

### ⑧ 바운더리 편집(Boundary editing) 및 결함제거하기(Healing wizard)

취득한 점군으로부터 삼각화를 통해 메쉬를 만들어 낸 경우 삼각화가 이루어진 끝부분의 경계는 울퉁불퉁하다. 그림1.11처럼 역설계 대상물에서 경계부위가 중요한 형상 일 경우에는 역설계 과정에서 문제가 발생할 수가 있다. 이 경우는 메쉬의 경계가 역설계의 대상이 되며, 또한 폴리페이스의 두 변이나 세 변이 다른 폴리 페이스와 연결되어 있지 않고 한모서리 혹은 한 점만 공유하여 다른 폴리페이스에 매달려 있는 경우에 이 폴리페이스는 메쉬 결함이 되며 결함을 제거하는 과정을 거쳐야 한다.



<그림1.13> Region group

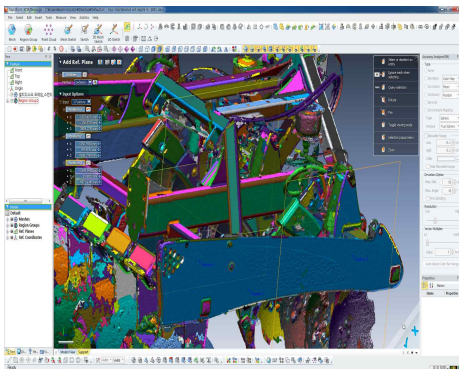
### ⑨ 글로벌 리메쉬(Global remesh).

그림1.12의 좌측은 Global remesh 실행 전 메쉬데이터이고, 메쉬 최적화 과정을 거치면 우측처럼 원본 메쉬를 참조하여 새로운 메쉬를 재구성하는 것을 보여준다. 노이즈가 상쇄되는 효과와 메쉬에 있는 구멍들이 메워지는 효과를 얻을 수 있다. 최적화 과정에서 삼각형 간의 연결 관계를 재정의 하여 수정하기 힘들 정도로 뒤얽힌 메쉬의 수정이 가능해진다.

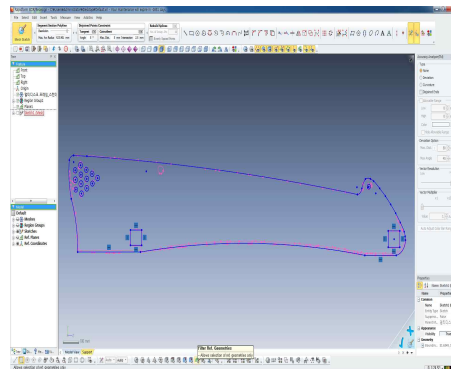
#### (나) 벤치마킹 복합작업기 최종 모델링

수정된 메쉬데이터를 가지고 그림1.13 리전그룹(Region group)을 실행 하면 메쉬데이터로부터 비슷한 곡률 영역의 리전(Region)을 자동으로 분리한다. 자동 분류된 리전들은 서로

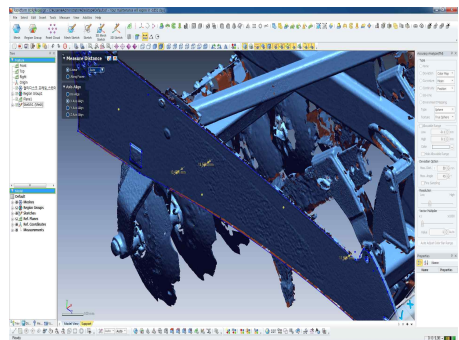
다른 색상으로 메쉬위에 표시된다. 리전그룹을 실행 한 다음 그림.1.14 (a)는 Add Ref. Plane으로 메쉬 스케치(Mesh sketch)를 하기 위하여 작업평면을 추가한다. 추가한 작업평면을 Base plane으로 선택하고 (b)메쉬스케치(Mesh sketch)를 실행하면 메쉬로부터 섹션폴리라인(Section Polyline)을 추출할 수 있다. 추출한 섹션 폴리라인위에 스케치 툴을 이용하여 스케치를 한다. (c)길이측정 (Measure Distance) 툴을 이용하여 좌측 철판의 두께를 측정하여 돌출 치수를 정한다. (d)Convert Entities툴을 이용하여 좌우대칭인 형상에 대해서는 스케치를 그대로 추출할 수 있다. (e), (f) 와 같이 메쉬스케치와 돌출(Extrude)을 반복적으로 진행하여 (g), (h)와 같이 솔리드 형상으로 만들어 각 부품 모델형상을 모델링하였다.



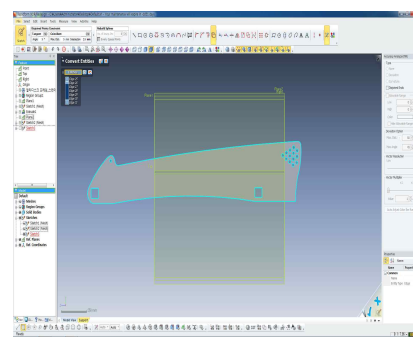
(a)Select



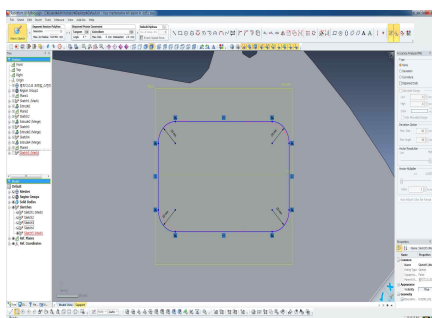
(b)Contour



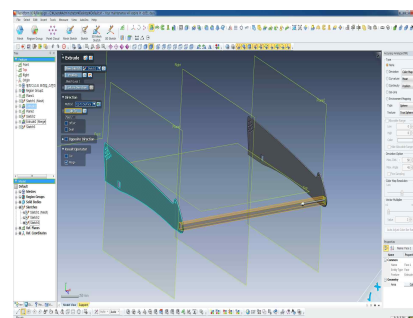
(c)Measure distance



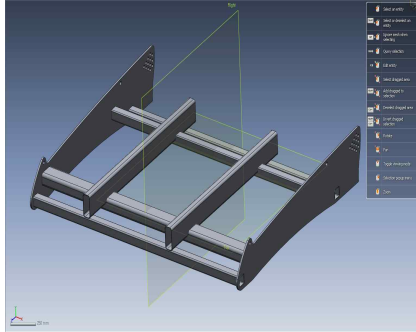
(d)Sketch



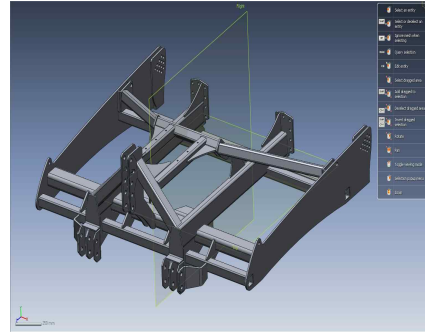
(e)Sketch



(f)Extrude

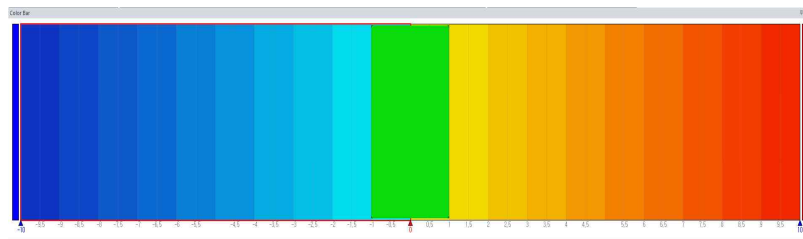


(g) Solid modeling

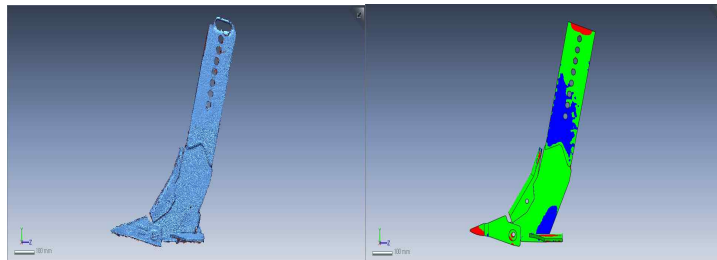


(h) Final model

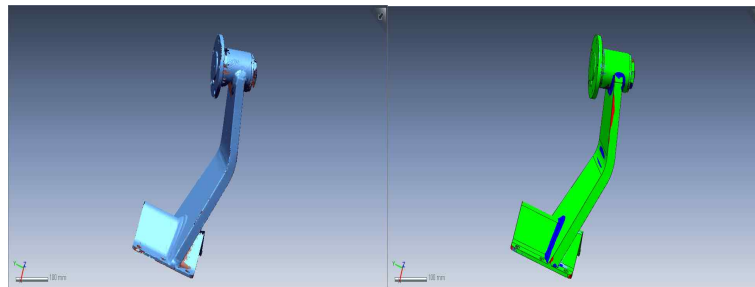
<그림1.14> Solid modeling process



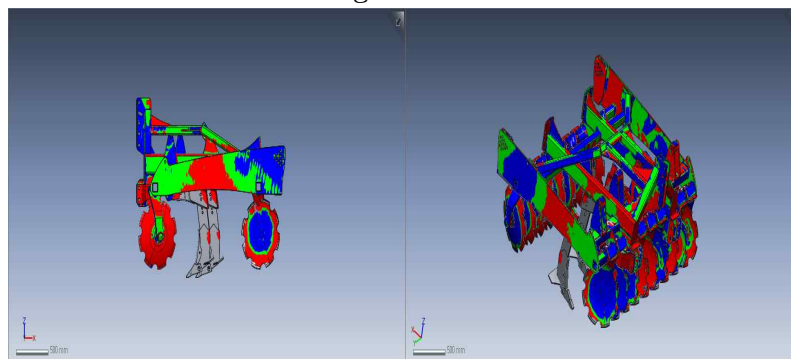
<그림1.15> Color Map



(a) Chisel plow



(b) Connecting rod of disc harrow



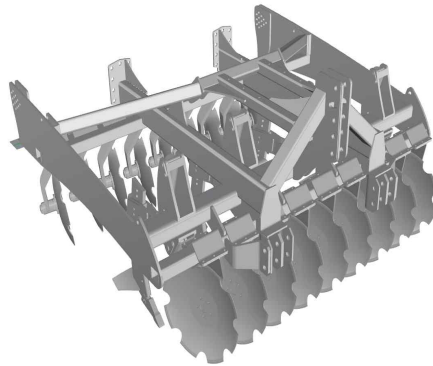
(c) Whole body of implements

<그림1.16> Accuracy analyzer deviation color map

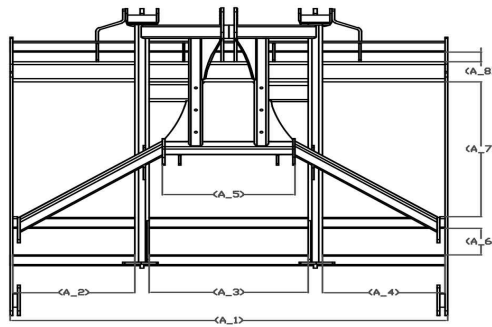
(다) 모델링결과를 이용한 치수검사(Accuracy)

역설계 프로세스에서 CAD를 통해 형상을 추출하는 과정에서 중요한 것이 형상일치이다. 스캔데이터를 참조하며 서피스 모델링을 하는 과정에 있어서 정확한 형상을 추출하고 모델링 과정에서 정도, 즉 원본 스캔데이터와 만들어진 모델링 데이터와의 편차를 확인 하는 것이 역설계 프로세스에서 필수적인 요소이다. Geomagic Design X의 Accuracy analyzer(TM)에서는 <그림1.15와 같은 Deviation color map을 통해 모델링 한 것과 스캔데이터와의 편차를 확인하면서 역설계 모델링이 가능하다. 허용범위는 상위 1mm, 하위 -1mm 로 설정 하였다. 허용범위(Allowable range)에 들어오는 치수는 초록색으로 표시되며 멀어질수록 범위에 따른 색을 나타낸다. 그림1.16은 역설계 3D모델링의 결과로 편차 확인은 Color map을 통해 가능하다.

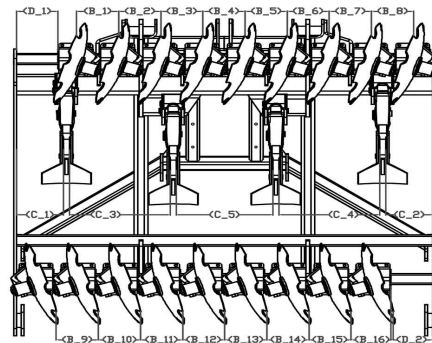
Figure 1.16



<그림1.17> Final reverse design of implements



<그림1.18> Dimension measurement of main frame



<그림1.19> Dimension measurement of disc & chisel plow

<표1.2> '그림1.18' comparison result with scanned data and modeling results (mm)

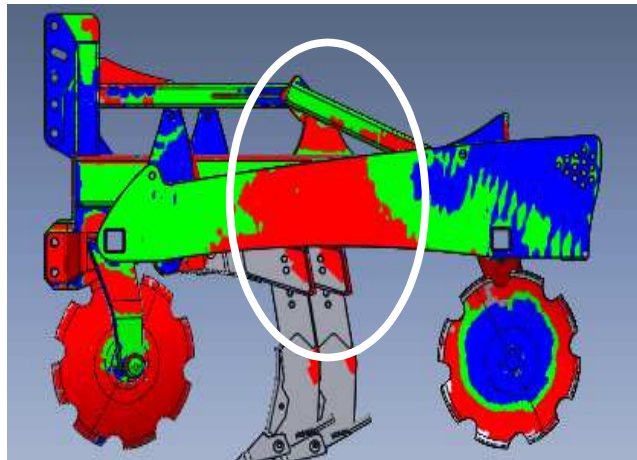
No.	scanned avg.	modeling	deviation
A_1	2,499.76	2500.00	0.24
A_2	700.84	700.00	0.84
A_3	908.22	910.00	1.78
A_4	700.96	700.00	0.96
A_5	735.10	735.00	0.10
A_6	204.13	204.00	0.13
A_7	1,017.24	1018.00	0.76
A_8	67.76	68.00	0.24

<표1.3> '그림1.19' comparison result with scanned data and modeling results(mm)

No.	scanned avg.	modeling	deviation
B_1	251.54	250.00	1.54
B_2	248.44	250.00	1.56
B_3	253.61	250.00	3.61
B_4	254.53	250.00	4.53
B_5	238.31	250.00	11.69
B_6	246.60	250.00	3.40
B_7	251.03	250.00	1.03
B_8	249.24	250.00	0.76
B_9	252.15	250.00	2.15
B_10	251.49	250.00	1.49
B_11	247.19	250.00	2.81
B_12	248.02	250.00	1.98
B_13	248.78	250.00	1.22
B_14	251.75	250.00	1.75
B_15	252.54	250.00	2.54
B_16	252.38	250.00	2.38
total avg.	249.85	250.00	0.15



역설계 과정을 통해 그림1.17과 같이 최종 3D모델링을 실시하였고, 스캔데이터를 기초로 측정된 평균값을 통해 구해진 값을 모델링 치수에 반영하였고 편차를 최소화하도록 모델링하였다. 그림1.18은 스캔데이터에서의 프레임 사이 간격에 대해 측정 위치를 나타낸 것으로 측정 위치별로 5개 구간을 나누어 각 구간별로 10회 측정을 실시 후 측정값들의 평균을 산출하였다. 표1.2는 각 구간별 평균값이며 모델링 치수값은 소수점 둘째 자리에서 반올림하여 정하였다. A\_1부터 A\_8 중에서 A\_3의 모델링치수와 스캔치수 평균값의 편차에서 1.78mm 차이가 나는 것을 제외하고는 1mm이내의 편차를 보였다. 표1.3은 그림1.19의 B\_1부터 B\_16까지 디스크 간격을 측정된 것이다. 3D모델링 디스크 간격은 250mm 선정하였다. 250mm와 11.69mm의 높은 편차를 보이는 B\_5의 평균값은 238.31mm로 많은 차이를 보이지만 전체 평균값을 기준으로 모델링치수를 정하였다. 11.69mm의 상대적으로 큰 편차 발생이유는 디스크 헤로우 조립 단계에서의 조립 오차로 사료되며 실측을 통해 확인하였다.



<그림1.20> ‘그림1.18 (A\_1)’ deviation color map

<표1.4> ‘그림1.19’ Base model comparison result with scanned data and modeling results (mm)

No.	Scanned avg.	Modeling	Deviation
C_1	289.39	287.00	2.39
C_2	285.41	287.00	1.59
Avg.	287.40	287.00	1.99
C_3	610.09	609.00	1.09
C_4	609.58	609.00	0.58
Avg.	609.84	609.00	0.84
C_5	582.27	582.00	0.27

<표1.5> '그림1.19' Base model comparison result of scanned data and modeling results (mm)

No.	Avg.	Modeling	Deviation
D_1	252.03	252.00	0.03
D_2	250.99	252.00	1.01
avg.	251.51	252.00	0.49

<표1.6> '그림1.18 (A\_1)' Comparison result with scanned data 9(mm)

No.	Sect.1 _rear	Sect.2	Sect.3 _middle	Sect.4	Sect.5 _front	Avg.
1	2502.29	2502.81	2496.82	2498.48	2500.48	2,500.18
2	2502.31	2502.83	2496.69	2498.48	2500.43	2,500.15
3	2501.84	2502.91	2497.08	2498.59	2500.84	2,500.25
4	2502.56	2502.86	2496.97	2498.40	2500.54	2,500.26
5	2502.22	2502.72	2496.01	2498.57	2500.76	2,500.05
6	2502.14	2503.86	2495.37	2498.03	2500.77	2,500.04
7	2501.90	2502.72	2495.31	2498.45	2500.59	2,499.79
8	2501.69	2503.03	2495.11	2497.95	2500.32	2,499.62
9	2502.10	2502.76	2495.21	2497.86	2500.43	2,499.67
10	2501.85	2502.93	2495.27	2487.88	2500.16	2,497.62
Avg.	2502.09	2502.94	2495.98	2497.27	2,500.53	2,499.76

표 1.4는 치출쟁기 위치를 정하기 위해 측정한 평균값이고, 표1.5는 디스크 해로우의 기준점과의 위치를 정하기 위해 평균값을 산출하여 모델링값을 정하였다. 표1.6는 표1.2의 측정값 중에서 A\_1을 50번 측정한 값인데, A\_1을 구하기 위해 sect.1\_rear, sect.2, sect.3\_middle, sect.4, sect.5\_front로 5개 구간을 나누어 각 구간별로 10회 측정하여 모두 50개의 데이터를 평균하여 치수르 선정하였다. 양쪽 사이드 프레임 판재사이 치수는 디스크 해로우 뒤쪽에서 앞쪽으로 갈수록 너비가 줄어드는 것을 확인하였고, 그림1.20에서 보여지는 것처럼, 판재 중앙부분이 빨간색으로 표시되며, 앞쪽과 뒤쪽에 너비 치수 값에 비해 중간부분인 sect.3\_middle은 전체 평균값과도 약 -5mm의 차이를 보였다. 전체 평균값 2,499.7627mm과 비교할 때 조립상태에서의 변형이나, 작업 또는 이송과정에서의 변형 등으로 인한 프레임의 치수변형이 발생할 수 있음을 유추할 수 있다. 스캔데이터 평균값과 모델링 치수의 Deviation은 최소 0.1mm부터 최대 1.78mm의 값으로 나타났다.

## (라) 벤치마킹 모델의 역설계 및 치수검사 결과

트랙터 부착 고속 복합작업기 개발을 위해 벤치마킹 모델인 Tulip사의 Multidisc 250xl vario\_s를 고정밀 3차원 스캐너를 이용하여 역설계 모델링을 수행한 후에 주요부에 대한 검사를 수행하였다. 스캔데이터 평균값과 모델링 치수의 Deviation은 최소 0.1mm부터 최대 1.78mm의 값으로 나타났다.. 스캔데이터의 측정 평균값을 통해 모델링 치수 값을 선정하였다. 편차의 원인으로서는 스캔데이터 오차, 조립오차 등 여러 원인이 있을 것으로 사료된다. 역설계한 3D모델은 프레임의 구조해석과 각 요소 부품별 응력해석에 활용되며 역설계 프로세스를 통해 설계 의도 파악과 제품의 결점을 분석해 설계에 반영 할 수 있다. 벤치마킹모델의 3D Scan data와 역설계 모델링 데이터를 통해 제품의 변형을 확인 할 수 있었으며, 이와 같은 스캐닝 기술 등은 설계모델링과는 달리 제품의 기계가공과 조립에서의 문제점을 분석하고, 모델링 결과를 통해 내구수명 분석과 같은 해석과 검사에 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

### 참고문헌(References)

- 1.Ahn, H.H. and Yi, C.S., “Flip-Flap Valve-Type Breakaway Coupling through Reverse Engineering” , J. of KSMPE, Vol.15 No.4, pp.16-22, 2016.
- 2.Hur, J.H., Reverse design with 3D scanners, Inus Technology Co. Ltd., pp.33-45,2011.
- 3.Jeon, E.C, Kim, S.Y., Han, M.S. and Kim, T.H., “The Study on Application of Reverse Engineering on Correction of a Product Error by Rapid Prototyping” , J. of KSMPE, Vol.6 No.4, pp.8-14, 2007.
- 4.Jung, H.S., Park, S.J. and Yoo, J.H., “Analysis of Master Dimensional Shape Error Rate According to Reverse Engineering Technique” , J. of KSMTE, Vol.25 No.5, pp.393-399, 2016.
- 5.Kim, T.G., Kim, T.H., Park, J.H. and Park, Y.C., “Selection and Verification of Press Forming Pipe Model using Pipefitting” , J. of KSMPE, Vol.14 No.3, pp.43-49, 2015.
- 6.Lee, C. H., Lee, J. H., Kim, J. H., and Chae, T. B., “Reverse Design of Composite Working Implement of Unpowerd Harrow using 3D Scanner” , Proceeding of the Korean Society Agricultural Machinery Spring Conference, Vo.21, No. 1, pp. 209-210, 2016.
- 7.Lee, C. H., Lee, J. H., Kim J. H., Chae, T. B., and Kang, D.S., “Structural analysis of multi-disk tractor implements using reverse design“, Proceeding of Korean Society of Manufacturing Process Engineers Autumn Conference, pp. 133-134, 2016.
- 8.Lee, C. H., Lee, J. H., Kim, J. H., Chae, T. B., Cho, Y. T.,and Kang, D. S., “Reverse design of multi-disk tractor implements using 3D scanning technology“, Proceeding of Korean Society of Manufacturing Process Engineers Autumn Conference, pp. 201-202, 2016.
- 9.Maeng, H.Y. and Park, S.W., “An Evaluation on the Accuracy of a 3D Scanning Device Using Spherical Coordinate Mechanisms” , J. of KSMTE, Vol.24 No.1, pp.1-6, 2015.

### **(2) 벤치마킹 복합작업기 구조해석**

무동력디스크 디스크해로우 방식의 경운과 쇄토가 가능한 트랙터용 고효율 복합작업기는 기존의 로터베이터(Rotavator)와 같은 심경작업(Deep tillage)보다 작업속도가 15km/h 정도로 빠르고, 모듈형으로 유지보수가 쉽고, 구입비용이 저렴하며, 생력화가 가능하므로 영농비용을 감소하는 한국 농업경쟁력을 확보할 수 있는 제품이라고 할 수 있다. 이런 복합작

업기 개발을 위해 무동력 원판 해로우(Disc harrow) 구조물과 구성 요소의 강도 및 내구 수명에 대한 검토를 통해 국산화 원천기술 개발이 필요하다. 복합작업기 설계기술 및 조립기술 확보는 구성요소품 설계 및 제작기술, 원판이 돌과 충돌 시나 견인력 과부하시 원판보호 장치기술, 대형 구조물의 용접 변형 최소화기술 등을 확보하기 위해서, 돌이 많고 사질양토인 국내 토질에 맞는 제품개발이 필요한데, 이를 위해 벤치마킹 제품을 구입하여 3차원스캐닝과 역설계를 통해 얻은 모델링 데이터를 이용하여 트랙터 Powertrain 효율과 토양추진력의 산출을 통해 계산한 동력 값으로 복합작업기 프레임, 원판디스크 및 디스크 프레임, 치즐쟁기에 가해지는 폰 미세스 응력, 접촉압력, 변형량 같은 분석이 필요하며, 최종적으로는 하중스펙트럼(Load spectrum)분석을 통해 피로내구 특성에 대한 연구가 필요하다. 선진 제품의 분석을 통해 얻은 분석값은 데토양의 반전, 쇄토, 비닐피복작업과 배수를 위한 고랑작업과 재배작물의 정식을 위한 최적화된 Seed Bed가 배토기 장착까지 되는 복합작업기 국산화 신제품 설계 개발에 활용될 것이다.

#### (가) 해석 모델

선진제품의 구조 해석 과정은 국산 무동력 디스크 해로우 복합 작업기의 제품 설계단계에서 시스템의 적합성을 평가할 수 있는 중요한 과정이다. CAE해석은 복합작업기 설계 단계에서 발생 할 수 있는 문제점을 사전에 확인 할 수 있으며 시제품의 목표 성능 미충족 시 구조 변경 및 보강을 할 수 있고, 선진제품의 구조물의 강도와 각 부품의 피로수명을 분석하여 국산화 제품 개발에 적용하여 시간과 비용을 단축할 수 있다. 일차적으로는 정적인 하중분석을 통해 강도를 분석하여 설계를 위한 기초연구를 수행하였다. 소프트웨어는 Autodesk사의 Inventor의 정적 응력해석 기능을 이용하여 무동력 디스크 해로우 복합 작업기의 주요 부품에 대하여 강도해석을 실시하였다. 벤치마킹 모델은 그림2.1과 같이 네덜란드의 농기계 전문회사인 Tulip industries사의 디스크해로우 복합작업기인 Multidisc 250xl vario s 모델이다.



<그림2.1> Base model multidisc\_250\_xl\_vario\_s

(나) 해석을 위한 시스템 목표 선정

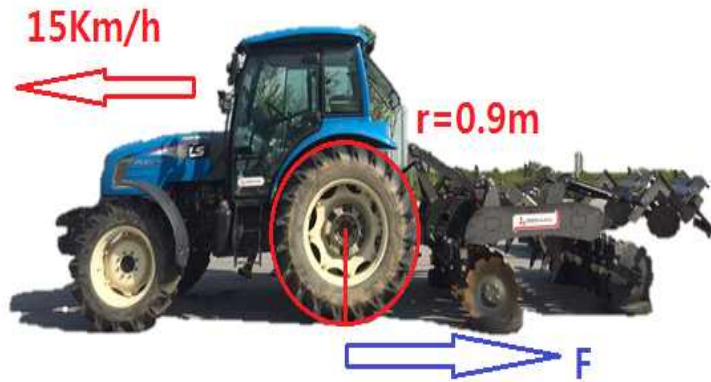
무동력 디스크해로우의 전체적인 시스템 특성 및 핵심부품의 역할을 분석하기 위해 선진 제품 필드실증시험을 실시하여 작업성 및 메커니즘 분석을 수행하여 연구목표를 수립하였다. 국내외에서 보편적으로 공급된 대형트랙터(90HP ~ 110HP)를 바탕으로 100마력, 150마력, 200마력 트랙터에 적용이 가능한지를 검토하였으며, 표2.1과 같이 최종 정량적인 개발 목표로 설정하였다. 국산 개발 디스크 해로우는 90마력 이상으로 15km/h 작업속도에 적합하도록 구조해석을 통한 메인프레임 용접구조물 등의 주요부 강도분석을 실시하였다.

<표2.1> Final marketing goal of the machine

Speed	15 Km/h
Weight	1450 Kg
Tillage width	2.5m
Power	above 90 HP
Tillage depth	15CM
Type	rear attach from tractor
Function	disc harrow+chisel plow+2ridge ridging plow (3 multi working enable)
Price	₩ 9,000,000

(다) 복합 작업기 시험하중 도출을 위한 견인력 계산

그림2.2는 복합작업기 구성품의 시험하중 도출을 위한 견인력 계산조건이다. 국산 개발 목표 속도인 15km/h로 트랙터의 견인력을 계산하여 작업기에 걸리는 부하를 예측하였다. 트랙터의 견인력은 소요동력 효율 100%와 Powertrain 효율 및 토양추진력을 감안하여 각 90%, 85%로 가정하여 표2.2와 같이 계산하였다. ( $P$  = 소요동력, kw), ( $T$  = 토크, kN.m), ( $\omega$  = 각속도, rad/sec), ( $v$  = 속도, km/h)( $r$  = 타이어 동반경, m), ( $F$  = 견인력, N), ( $Traction / 22$  = 치즐, 디스크 하나에 걸리는 견인력) 마력에 0.736을 곱하여 동력으로 환산 하였고, 속도와 타이어 동반경을 통해 각속도를 산출하였다.



<그림2.2> Tractor speed(working) & tire radius

<표2.2> Tractor traction

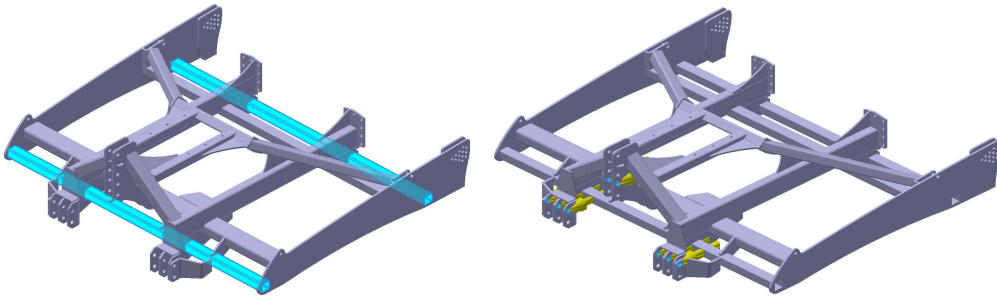
Powertrain 100% / soil thrust 100%							
	P(kw)	V(km/h)	Tire r(m)	$\omega$ (rad/sec)	T(kN.m)	Traction(N)	Traction / 22
100 HP	73.60	15	0.9	4.63	15.89	17,663.99	802.90
150 HP	110.40	15	0.9	4.63	23.84	26,495.99	1,204.36
200 HP	147.20	15	0.9	4.63	31.79	35,327.99	1,605.81
Powertrain 90% / soil thrust 85%							
	P(kw)	V(km/h)	Tire r(m)	$\omega$ (rad/sec)	T(kN.m)	Traction(N)	Traction / 22
100 HP	56.30	15	0.9	4.63	12.16	13,512.95	614.22
150 HP	84.45	15	0.9	4.63	18.24	20,269.43	921.33
200 HP	112.60	15	0.9	4.63	24.32	27,025.91	1,228.45

트랙터의 예상 견인력은 Powertrain 100%에 토양추진력 100%로 가정하였을 때 100마력 17,663.99 N, 150마력 26,495.99 N, 200마력 35,327.99 N 이고, Powertrain 90%에 토양추진력 85%로 가정하였을 때 100마력 13,512.95 N, 150마력 20,269.43 N, 200마력 27,025.91 N 이다. 치즐 과 디스크에 걸리는 견인력 계산은 치즐과 디스크의 22개를 각 마력별 예상 견인력으로 (Traction/22) 하여 응력해석을 실시하였다. 치즐과 디스크에 작용하는 수직력은 무동력 디스크 해로우 복합작업기 전체 질량 1832.81kg을 17,979.86 N 변환후 치즐과 디스크 전체 개수인 22로 나누어 17,979.86 N / 22 = 817.26 N 이라 같이 치즐과 디스크 하나에 걸리는 수직력을 817.26N으로 선정하였다. 응력해석은 무동력 디스크 해로우 복합작업기의 프레임, 치즐, 디스크를 실시하였다.

(라) 복합작업기 프레임 해석

무동력 디스크 해로우 복합 작업기는 트랙터에 3점 히치에 연결되는 부분은 무동력 디스크 해로우 복합 작업기의 메인 프레임 부분에 부착되어 작업을 하게 된다. 그렇기 때문에 복합작업기의 경운 및 배토 작업에 있어서 메인 프레임에 안정성은 중요하다. 프레임에 걸리는 하중의 크기는 전체 복합작업기의 무게가 1832.81kg 으로 각 부재에 걸리는 하중 분석은 매우 중요하다. 프레임은 경운 및 배토 작업시 디스크와 치즐의 반력이 작용하여 메인프레임에 많은 영향을 주고 높은 작업속도와 견인력으로 작업을 하였을 때에 메인 프레임에 미치는 영향을 확인하고, 구조 강도를 통해 프레임의 안정성을 검토 하였다.

메인 프레임의 구조 강도 해석을 하기 위하여 해석에 영향을 미치지 않는 부분을 제거하여 단순화 3D 모델링을 하였다. 그림2.3은 해석 조건으로 디스크 해로우가 부착되는 메인 프레임의 맨 앞의 프레임과 맨 뒤프레임이 고정된 것으로 가정하여 Fixed support로 구속하였고, 중력 방향으로 디스크와 치즐 무게를 모두 포함한 무동력 디스크 해로우 복합 작업기의 전체 무게 1832.81kg이 작용하고, 메인프레임의 3점 히치 부분에 트랙터의 견인력이 작용하여 복합작업기의 진행방향으로 힘이 작용하는 것으로 가정 하였다. 그림2.4는 Mesh node수 275056개, Element수 142398개를 이용하여 모델이 여러 개의 파트로 나뉘어져 다소 복잡한 형태를 보이고 있어, Mixed element type을 사용하여 Mesh를 구성하였다.



<그림2.3> Constraint of fixed support & force direction



Statics	
Node	275056
Element	142398

<그림2.4> Mesh model

표2.3과 표2.4와 같이 프레임의 물성값과 프레임의 물리적 특성으로 steel 강으로 해석을 진행하였고 다음과 같은 성질을 가지고 있다.

<표2.3> Mechanical property of steel

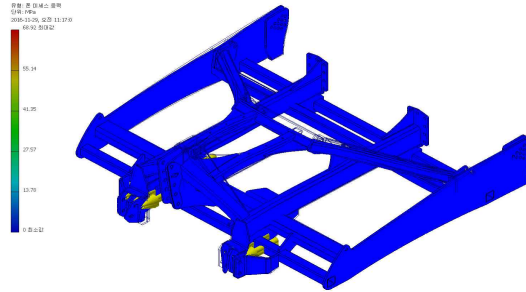
Mass density	7.85g/cm <sup>3</sup>
Ultimate tensile strength	345 MPa
Yield strength	207 MPa
Modulus of elasticity	210 GPa
Shear modulus	80.7692 GPa

<표2.4> Physical properties of steel

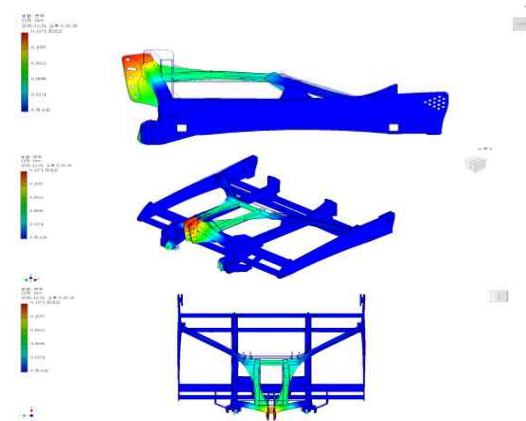
Mass	606.036 kg
Area	20293400 mm <sup>2</sup>
Volume	77202100 mm <sup>3</sup>
The center of gravity	x=-1256.10 mm y=-1234.97 mm z=228.684 mm

무동력 디스크 해로우 복합 작업기 프레임의 재질은 steel 강으로 인장강도가 약 345MPa 이다. 표2.5와 같이 나온 해석결과는 메인 프레임의 최대 변형량은 약 0.05mm ~ 0.14mm 이고, 폰 미세스 응력은 26.35MPa ~ 68.92MPa 으로 3점 히치가 연결되는 부분에서 변위와 폰 미세스 응력이 최대로 나타났다. 해석결과 Powertrain 100% 와 토양반발력 100%일 때 100마력, 150마력 200마력에서 모두 최대 인장강도를 초과하는 부분은 발견되지 않았으며 안전계수 또한 3.00 ~ 7.85까지 나오는 것으로 볼 때 복합작업기의 구조적인 안정성은 문제가 없다고 사료된다. 최대 응력과 최대 변위 값을 보이는 곳은 트랙터와 3점 히치 연결부와 연결되는 전면부이며 그림2.5와 그림2.6처럼 Powertrain 100%의 200마력의 값으로 해석을 하였을 때 응력값은 재질의 최대 인장강도 이내이며 실제로는 보강 브라켓이 부착될 것이다. 무동력 디스크 해로우 복합 작업기 메인 프레임은 복합작업에 무리 없이 안전하게 설계되었다고 판단된다.





<그림2.5> Powertrain 100% , soil thrust 100%, 200HP von mises stress



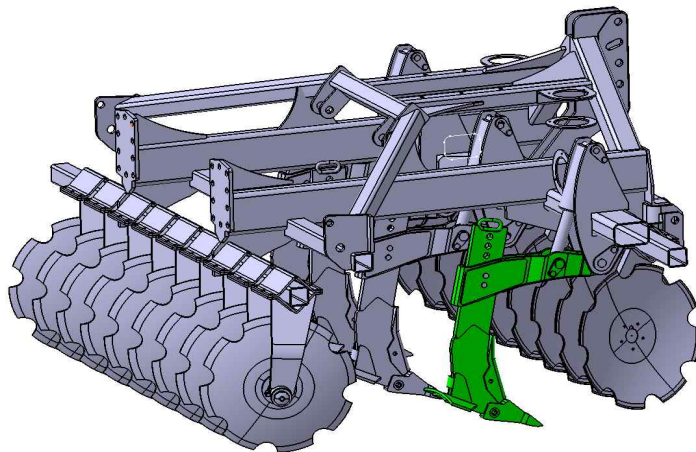
<그림2.6> Powertrain 100% , soil thrust 100%, 200HP Deformation

<표2.5> Von mises stress of frame

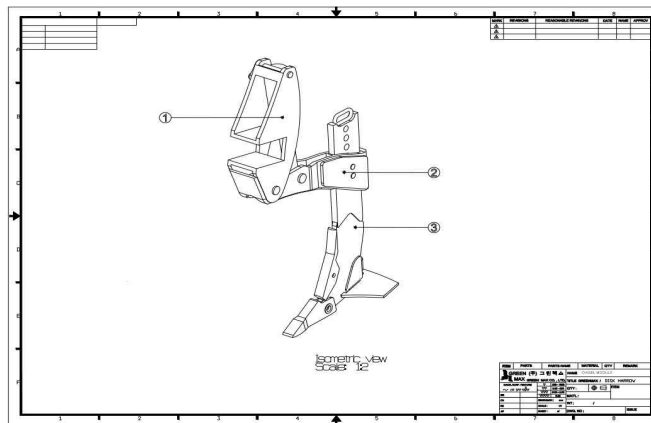
Powertrain 100% / soil thrust 100%			
Power (HP)	Von mises stress(MPa)	Max deformation (mm)	Min. safety coefficient
100	34.47	0.07	6.00
150	51.69	0.10	4.00
200	68.92	0.14	3.00
Powertrain 90% / Soil thrust 85%			
Power (HP)	Von mises stress (Mpa)	Max deformation (mm)	Min. safety coefficient
100	26.35	0.05	7.85
150	39.55	0.08	5.23
200	57.74	0.10	3.92

(마) 치즐쟁기 구조해석

그림2.7에서 초록색으로 표시한 부분이 디스크해로우 복합작업기의 치즐 부분이고 Fig.8은 최종 설계된 치즐쟁기도면이다. 작업기 단품별 하중 계산에서 구한 마력별로 치즐에 걸리는 최대 하중을 적용하여 해석을 수행하였다. 복합작업기에서 치즐 쟁기의 역할은 1차적으로 디스크가 흙을 한번 갈아주며, 이후 치즐 쟁기가 땅속 15cm 이상을 갈아서 심경 작업을 할 수 있어 효율적으로 작업 할 수 있다. 트랙터 유압으로 작업 깊이 조절 할 수 있어 작업 조건에 맞도록 치즐이 설계 되었는지 확인하기 위하여 마력과 깊이별로 치즐에 작용하는 응력을 해석 하였다.



<그림2.7> Chisel position from complex implements

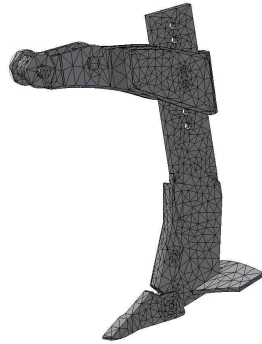


<그림2.8> Chisel plow drawing

■ 치즐쟁기의 해석조건

그림2.9는 Mesh Node수 22919개, Element수 12677개를 이용하여 모델이 여러 개의 파트로 나뉘어져 다소 복잡한 형태를 보이고 있어, Mixed element type을 사용하여 Mesh를 구성하였다. 그림2.10은 치즐이 연결된 파트는 핀으로 연결되어 고정된 상태이고, 상부에 2개의 핀이 전체 프레임의 유압실린더에 의해 움직이게 되는데 작업 시 유압실린더는 일

정하게 유지하게 된다. 해석 시에는 유압실린더 부분을 제외하고 핀 연결 부분에 Fixed 조건으로 설정하여 움직임을 구속시켰다.



Statics	
Node	22919
Element	12677

<그림2.9> Mesh model

<표2.6> Material property of SS400

Yield strength (MPa)		Tensile strength (MPa)
16t less than	16t excess, 40t less than	
245	235	400 ~ 510

<표2.7> Physical properties

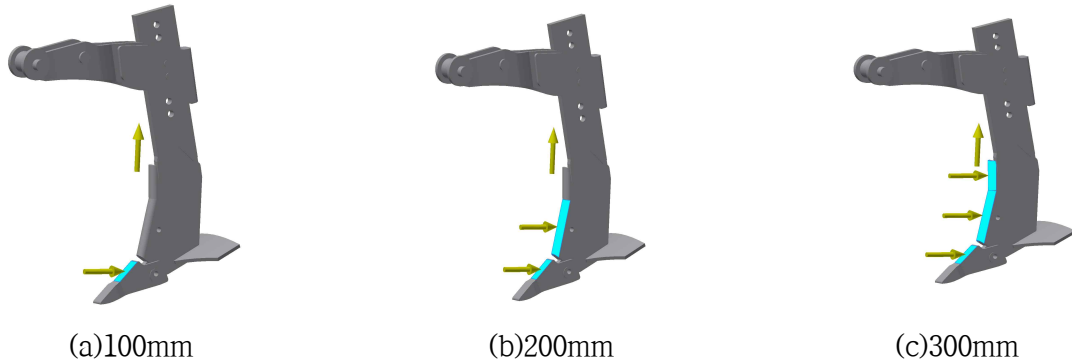
Mass	7.55125 kg
Area	898662 mm <sup>2</sup>
Volume	7551250 mm <sup>3</sup>
The center of gravity	x=-1370.370 mm y=-321.859 mm z=-176.613 mm



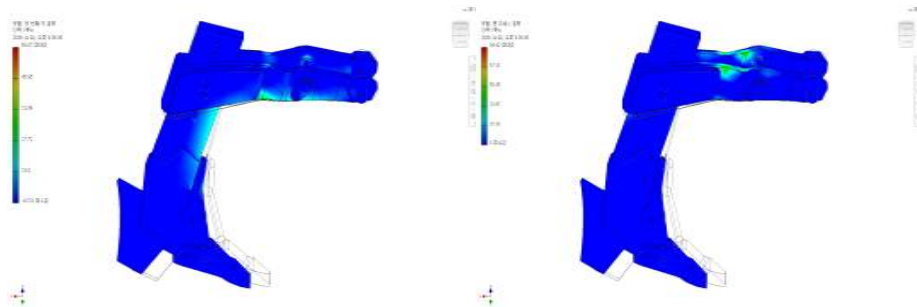
<그림2.10> Fixed support

치즐의 특성상 심경작업을 하기 때문에 표2.6에서와 같이 SS400 재질로 해석을 실시하였고 표2.7과 같이 물리적 특성을 이용하였다. 치즐이 작업 시 지면과 맞닿게 되는 면에 위

에서 계산된 각 치즐에 작용하는 하중인 100마력일 때 802.90N을 150마력일 때 1,204.363N을 200마력일 때 1,605.81N을 적용하였고, 그림2.11 (a)는 작업 깊이 100mm 일 때, (b)는 200mm일 때, (c)는 300mm 일 때 작용하는 견인력의 하중방향이다. 또한 치즐에 작용하는 수직력은 817.26N 로 작용하는 면에 대해 수직한 방향으로 하중을 부여하였다.



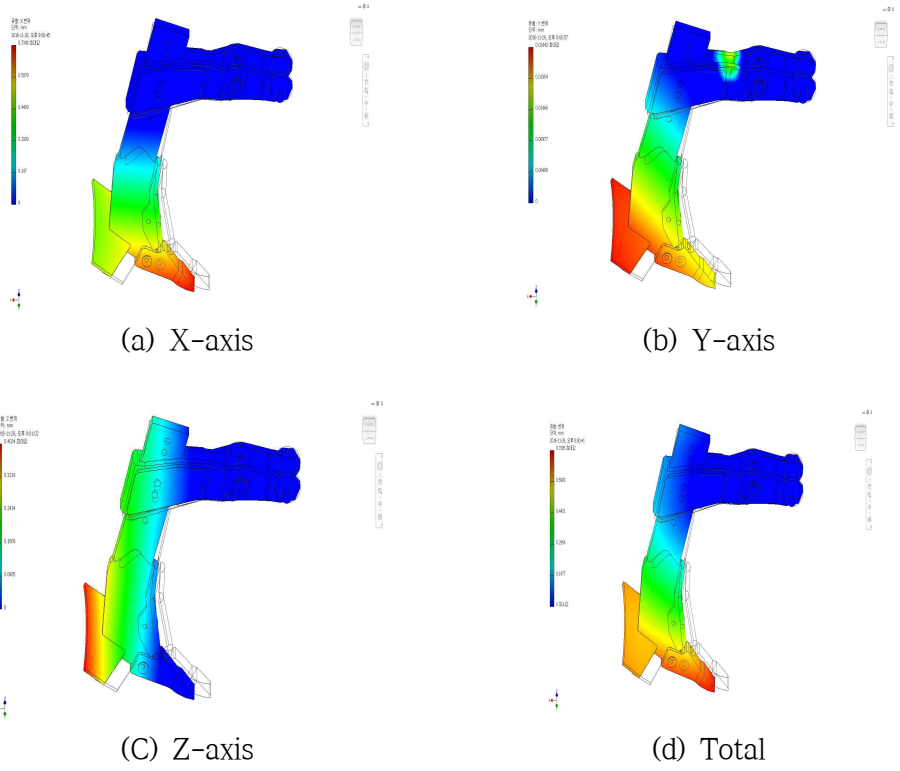
<그림2.11> Force direction of each tillage depth(mm)



<그림2.12> Distribution of von mises stress at chisel plow

<표2.8> Chisel & Chisel Arm von mises stress (Mpa)

Powertrain 100% / soil thrust 100%				
Power (HP)	Tillage depth	100 mm	200 mm	300mm
100	chisel	11.30	18.35	34.69
	chisel arm	17.79	33.02	39.97
150	chisel	16.71	29.74	52.04
	chisel arm	26.68	46.72	59.94
200	chisel	27.69	49.29	52.57
	chisel arm	35.44	63.82	86.36
Powertrain 90% / soil thrust 85%				
Power (HP)	Tillage depth	100 mm	200 mm	300mm
100	chisel	8.50	17.62	26.53
	chisel arm	13.62	23.85	30.50
150	chisel	17.00	30.32	39.81
	chisel arm	20.42	35.75	46.96
200	chisel	12.68	21.86	28.12
	chisel arm	28.80	47.66	65.55



<그림2.13> Deformation of powertrain 100%, soil thrust 100% and 200HP

<표2.9> Chisel X, Y, Y, Total deformation model (mm)

Powertrain 100% / soil thrust 100%				
Power (HP)	Tillage depth	100 mm	200 mm	300mm
100 HP	X-axis	0.166	0.288	0.367
	Y-axis	0.005	0.009	0.010
	Z-axis	0.089	0.156	0.201
	Total	0.167	0.290	0.369
150 HP	X-axis	0.247	0.431	0.549
	Y-axis	0.007	0.011	0.015
	Z-axis	0.133	0.233	0.300
	Total	0.249	0.434	0.552
200 HP	X-axis	0.329	0.574	0.731
	Y-axis	0.009	0.017	0.024
	Z-axis	0.177	0.311	0.401
	Total	0.332	0.578	0.734

<표2.9> Chisel X, Y, Z, Total deformation model (mm)

Powertrain 90% / soil thrust 85%				
Power (HP)	Tillage depth	100 mm	200 mm	300mm
100 HP	X-axis	0.127	0.220	0.282
	Y-axis	0.003	0.006	0.008
	Z-axis	0.035	0.119	0.154
	Total	0.128	0.221	0.283
150 HP	X-axis	0.190	0.330	0.420
	Y-axis	0.005	0.009	0.012
	Z-axis	0.102	0.178	0.230
	Total	0.191	0.332	0.422
200 HP	X-axis	0.253	0.439	0.562
	Y-axis	0.008	0.012	0.019
	Z-axis	0.136	0.238	0.307
	Total	0.255	0.442	0.564

■ 치즐 구조해석 결과

무동력 디스크 해로우 복합 작업기 치즐 재질은 SS400 강으로 항복강도 245MPa 최대 인장강도가 약 500MPa이다. 표2.8은 치즐 응력 해석 결과 값이고 마력과 깊이를 달리하여 해석하였다. 상대적으로 쟁기보다는 쟁기가 복합작업기 프레임과 연결되는 암에 더 많은 응력이 작용 하는 것을 알 수 있었다. 작업 깊이와 마력이 증가할수록 작용하는 힘이 증가하나 그림2.12 Powertrain 100%, 토양 반발력 100% 200마력 작업 깊이 300mm 조건에서 최대 폰 미세스 응력은 86.36Mpa로 재질의 항복강도와 인장강도보다 작은 값을 보인다. 이를 미루어 볼 때 치즐쟁기의 구조는 안전하게 설계되었다고 판단된다. 표2.9는 치즐의 각 방향별 주 변형 량 및 전체 변형 량으로 표와 그림2.13과 같이 X, Y, Z축에 대한 각 방향별 주 변형 량 및 전체 변형 량을 나타내었으며 복합작업기 작업 진행방향인 X방향의 변위가 상대적으로 크게 변하는 것을 알 수 있으며 1mm이하의 변형 량을 보여주고 있다.

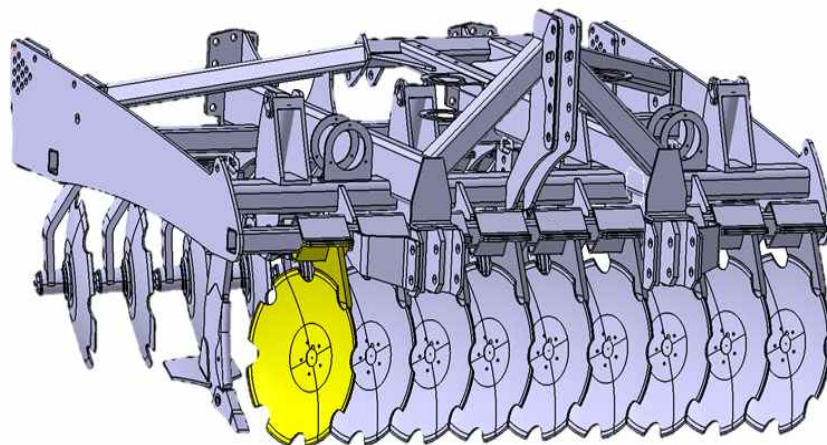
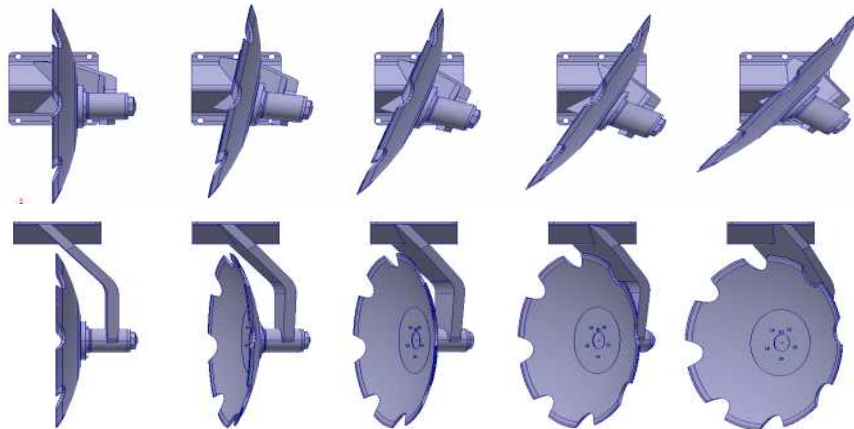


그림2.14 Disc harrow for analysis

(바) 디스크 구조해석

복합작업기에서 디스크의 역할은 20cm 정도의 지면을 반전, 배토, 쇄토해 주는 역할을 한다. 디스크는 돌이 많고 사질양토인 국내특성에 맞는 제품개발을 위해 응력해석을 진행하였다. 그림2.14에서 노란색으로 표시한 부분이 디스크해로우 복합작업기의 디스크 부분이다. 디스크부분의 해석은 각도에 따른 응력 변화 값을 통해 안전한 설계를 위해 지면과 맞닿는 각도별로 그림2.15에 좌측부터 0°, 9°, 18°, 27°, 36° 각도를 가정하고 모델링하여 해석하였다. 마력, 각도에 따라 디스크에 각각 수직력, 횡력, 전인력의 값을 산정하여 폰 미세스 응력, 접촉압력을 확인하는 해석과 X, Y, Z축에 대한 각 방향별 변위량을 확인하는 해석을 수행하였다.



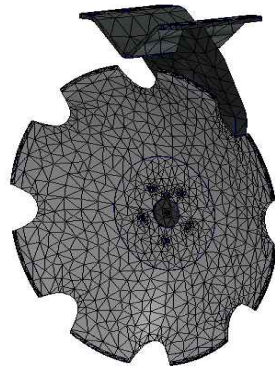
<그림2.15> Angle of disc 3D model(0°, 9°, 18°, 27°, 36° )

■ 디스크 구조해석 조건

작업 20cm 이상의 깊이를 위해 디스크의 크기를 Ø620의 디스크를 선정하고 재질은 SS400을 선택 하였다. 그림2.16은 Mesh Node수 26912개, Element수 13520개를 이용하여 Mesh를 구성하였다. 표2.10은 해석하려는 디스크해로우의 하나의 물리적 성질이다.

<표2.10> Physical properties of SS400

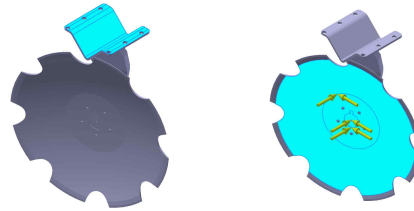
Mass	20.1676 kg
Area	985313 mm <sup>2</sup>
Volume	4812790 mm <sup>3</sup>
The center of gravity	x=10.3734 mm y=-12.7817 mm z=9.32775 mm



Statics	
Node	26912
Element	13520

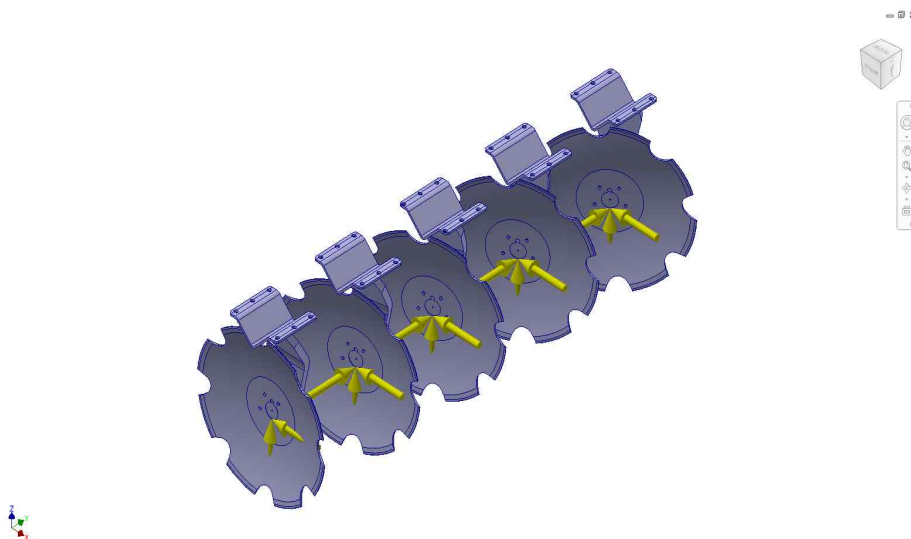
<그림2.16> Mesh model and components

그림2.17 왼쪽은 Fixed support로 디스크는 총 18개로 1개당 윗면 총 6개의 볼트로 전체 프레임과 연결되어 구속이 제한되어 전체 프레임과 맞닿게 되는 면 전체를 Fixed 조건으로 설정하여 움직임을 제한시켰다.



<그림2.17> Fixed support & force direction

그림2.17 오른쪽은 작용 힘 조건으로는 트랙터의 마력(100 HP, 150 HP, 200 HP)별, 디스크의 각도( $0^\circ$ ,  $9^\circ$ ,  $18^\circ$ ,  $27^\circ$ ,  $36^\circ$ )별로 디스크의 면에 각각 견인력 효율100%일때 802.91N, 90%일 때 614.22N, 횡방향 견인력(vertical tractive force) $\times \tan \theta$ , 수직력 817N (그림2.18, 표2.11)을 산출하였다.



<그림2.18> Force direction



<表2.11> traction, lateral force calculations

Powertrain 100% / soil thrust 100%

Angle	100 HP		150 HP		200 HP	
	Traction	Lateral force	Traction	Lateral force	Traction	Lateral force
0°	802.91	0	1,204.37	0	1,605.82	0
9°	802.91	127.168	1,204.37	190.75	1,605.82	254.34
18°	802.91	260.88	1,204.37	391.32	1,605.82	521.76
27°	802.91	409.10	1,204.37	613.65	1,605.82	818.20
36°	802.91	583.35	1,204.37	875.02	1,605.82	1,166.70

Powertrain 90% / soil thrust 85%

Angle	100 HP		150 HP		200 HP	
	Traction	Lateral force	Traction	Lateral force	Traction	Lateral force
0°	614.23	0	921.34	0	1,228.45	0
9°	614.23	97.28	921.34	145.93	1,228.45	194.57
18°	614.23	199.58	921.34	299.36	1,228.45	399.15
27°	614.23	312.96	921.34	469.44	1,228.45	625.93
36°	614.23	446.26	921.34	669.39	1,228.45	892.52

<표2.12> Disc, Disc frame von mises stress & Disc frame Contact pressure (MPa)

Powertrain 100% / soil thrust 100%

		0°	9°	18°	27°	36°
100 HP	Disc von mises stress	37.46	38.98	56.98	86.81	115.01
	Disc frame contact pressure	133.64	140.63	193.86	237.16	254.29
	Frame von mises stress	49.68	41.04	62.52	84.55	101.61
150 HP	Disc von mises stress	56.04	58.54	85.64	130.43	172.77
	Disc frame contact pressure	200.41	211.19	291.10	356.07	381.83
	Frame von mises stress	74.36	61.42	93.95	127.02	152.61
200 HP	Disc von mises stress	74.62	78.09	114.31	174.07	230.54
	Disc frame contact pressure	267.13	281.78	388.26	475.05	509.38
	Frame von mises stress	99.07	81.75	125.41	169.46	203.61

Powertrain 90% / Soil thrust 85%

angle		0°	9°	18°	27°	36°
100 HP	Disc von mises stress	28.72	29.79	43.51	66.30	87.87
	Disc frame contact pressure	102.25	107.47	148.18	181.30	194.16
	Frame von mises stress	38.07	31.43	47.75	64.59	77.66
150 HP	Disc von mises stress	42.94	44.77	65.43	99.68	132.05
	Disc frame contact pressure	153.33	161.44	222.46	272.27	291.92
	Frame von mises stress	56.95	47.02	71.77	97.07	116.65
200 HP	Disc von mises stress	57.16	59.71	87.36	133.05	176.24
	Disc frame contact pressure	204.38	215.43	296.74	363.23	389.49
	Frame von mises stress	75.85	62.59	95.81	129.57	155.67

■ 디스크 구조해석 결과

외부하중에 의한 디스크해로우의 응력은 디스크에 하중점 주위로 일부 나타나고 디스크 프레임에서 가장 큰 응력이 나타나는 부분은 Fixed로 고정된 플레이트와 디스크프레임을 연결하는 파트사이 연결부에서 가장 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 표2.9에서와 같이 마력이 커질 때와 각도가 커질 때 디스크 폰 미세스 응력, 디스크 프레임 접촉압력, 프레임 폰 미세스 응력 모두 증가하는 것을 확인할 수 있었고, 변위에 따른 디스크의 뒤 틀림을 확인 할 수 있었다. 가장 큰 값은 효율 100%, 200마력, 36° 일 때 디스크 폰 미세스 응력 230.54Mpa, 디스크 프레임 접촉압력 509.38Mpa, 프레임 폰 미세스 응력 203.614Mpa로 나타났다. 또 효율이 90%일 때도 200마력, 36° 일 때가 모든 값이 가장 큰 것을 확인할 수 있다.

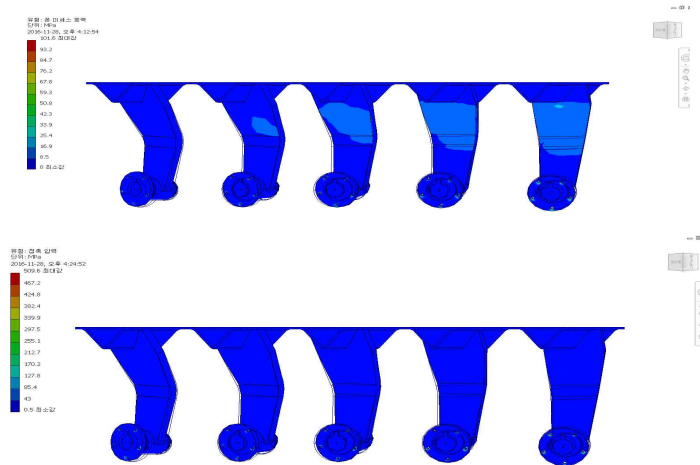


그림2.19 Disc frame von mises stress  
(powertrain 100% / soil thrust 100% 200 HP)

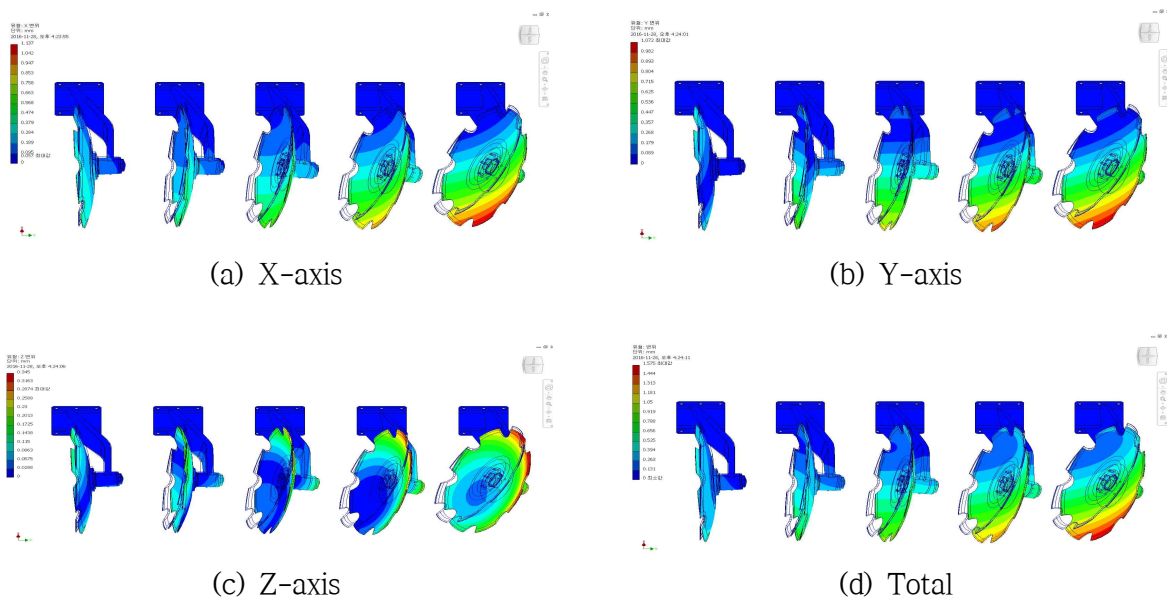


그림2.20 Disc deformation (powertrain 100% / soil thrust 100% 200HP)

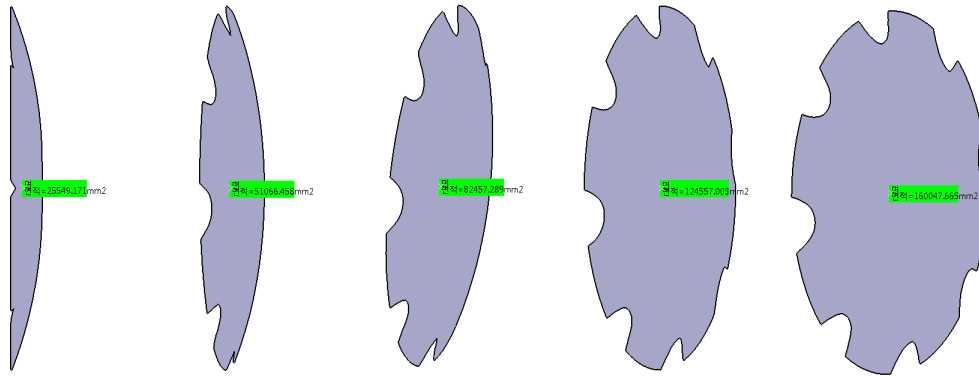
<表2.13> Deformation for each X, Y, Y and total(mm) direction of disc harrow

Powertrain 100% / soil thrust 100%						
angle		0°	9°	18°	27°	36°
100 HP	X-axis	0.0009	0.0014	0.0010	0.0028	0.0280
	Y-axis	0.2046	0.2931	0.3787	0.4737	0.5349
	Z-axis	0.0840	0.0610	0.0859	0.1190	0.1436
	Total	0.2608	0.3691	0.4943	0.6553	0.7865
150 HP	X-axis	0.0014	0.0021	0.0016	0.0047	0.0425
	Y-axis	0.3071	0.4402	0.5687	0.7115	0.8034
	Z-axis	0.1255	0.0910	0.1289	0.1786	0.2155
	Total	0.3913	0.5542	0.7423	0.9839	1.1809
200 HP	X-axis	0.0019	0.0029	0.0021	0.0065	0.0570
	Y-axis	0.4098	0.5874	0.7588	0.9493	1.0719
	Z-axis	0.1670	0.1210	0.1719	0.2382	0.2874
	Total	0.5218	0.7392	0.9902	1.3126	1.5754

<表2.13> Deformation for each X, Y, Y and total(mm) direction of disc harrow

Powertrain 90% / soil thrust 85%						
angle		0°	9°	18°	27°	36°
100 HP	X-axis	0.0007	0.0011	0.0008	0.0020	0.0212
	Y-axis	0.1564	0.2240	0.2893	0.3619	0.4087
	Z-axis	0.0645	0.0469	0.0657	0.0910	0.1098
	Total	0.1995	0.2823	0.3778	0.5008	0.6011
150 HP	X-axis	0.0011	0.0016	0.0012	0.0034	0.0323
	Y-axis	0.2348	0.3365	0.4347	0.5438	0.6141
	Z-axis	0.0962	0.0698	0.0986	0.1366	0.1648
	Total	0.2993	0.4237	0.5675	0.7522	0.9028
200 HP	X-axis	0.0014	0.0022	0.0016	0.0048	0.0434
	Y-axis	0.3133	0.4491	0.5801	0.7257	0.8195
	Z-axis	0.1280	0.0928	0.1315	0.1821	0.2198
	Total	0.3991	0.5653	0.7572	1.0036	1.2046

표2.13과 그림2.20은 X, Y, Z축에 대한 각 방향별 주 변형 량 및 전체 변형량을 나타내었으며, 복합작업기 작업 진행방향인 X방향의 변위가 상대적으로 크게 변하는 것을 알 수 있으며 1mm이하의 변형 량을 보여주고 있다. 그림2.20은 디스크 해로우 각도별 투영 면적을 산출한 것이다. 0° 는 25549.171mm<sup>2</sup>, 9° 는51066.458 mm<sup>2</sup>, 18° 는 82457.289mm<sup>2</sup>, 27° 는 124557.003 mm<sup>2</sup>, 36° 는 16004.665mm<sup>2</sup>의 면적을 나타낸다.



<그림2.20> Projected area of each disc angle

<표2.14> Projected area of each disc angle

Angle(deg.)	Area(mm <sup>2</sup> )
0°	25549.171
9°	51066.458
18°	82457.289
27°	124557.003
36°	16004.665

(사) 벤치마킹 모델의 구조해석 결과

본 연구 해외에서는 무동력 복합작업기를 벤치마킹하기 위해 역설계를 실행해 3D모델링 후 구조 해석을 위해 프레임, 치즐쟁기, 디스크 해로우 3부분으로 나누어서 응력 해석을 실행하였다.

프레임과 디스크해로우의 구속조건은 서로 연결되는 면은 선택하였고, 치즐쟁기는 고정형 유압기에 연결되는 핀과 프레임과 연결된 핀을 선택했다. 견인력은 <Powertrain 효율 : 100% 토양추진력 : 100%>일 때 100마력의 힘은 17,663N이고 150마력은 26,495N 200마력은 35,327이다. 프레임에 전체 힘을 사용하였고, 치즐쟁기와 디스크 해로우는 총 22개이기 때문에 견인력/22를 해 적용 하였다. 그 결과 프레임의 최대 폰 미세스 응력은 68.92MPa, 치즐쟁기의 폰 미세스 응력은 쟁기에는 52.57MPa 암에는 86.36MPa로 암에 더 큰 응력이 가해지는 것을 알 수 있다. 디스크해로우의 최대 폰 미세스 응력은 200마력이 작용할 때 230.54 MPa이다. 응력해석 결과 최종 개발 제품의 목표 성능인 100마력에서는 문제없이

작업을 할 수 있을 것으로 보이며, 150마력과 200마력에서는 재료의 항복강도를 넘어서는 값을 확인 하였고, 재질을 변경하거나 취약부분의 설계 변경을 통해 강도를 충족 할 수 있을 것으로 사료된다.

### 참고문헌(References)

1. Lee, C. H., Lee J. H., Kim J. H., and Chae, T. B., “Reverse Design of Composite Working Implement of Unpowerd Harrow using 3D Scanner” , Proceeding of the Korean Society Agricultural Machinery Spring Conference, Vo.21, No. 1, pp. 209-210, 2016.
2. Lee, C. H., Lee, J. H., Kim J. H., Chae T. B., and Kang,D.S., “Structural analysis of multi-disk tractor implements using reverse design“, Proceeding of Korean Society of Manufacturing Process Engineers Autumn Conference, pp. 133-134, 2016
3. Lee, C. H., Lee J. H., Kim J. H., Chae, T. B., Cho Y. T.,and Kang, D. S., “Reverse design of multi-disc tractor implements using 3D scanning technology“, Proceeding of Korean Society of Manufacturing Process Engineers Autumn Conference, pp. 201-202, 2016

#### 다. 2차년도 수행내역 및 결과

##### (1)수정도면의 스캐닝 모델링 및 치수검토

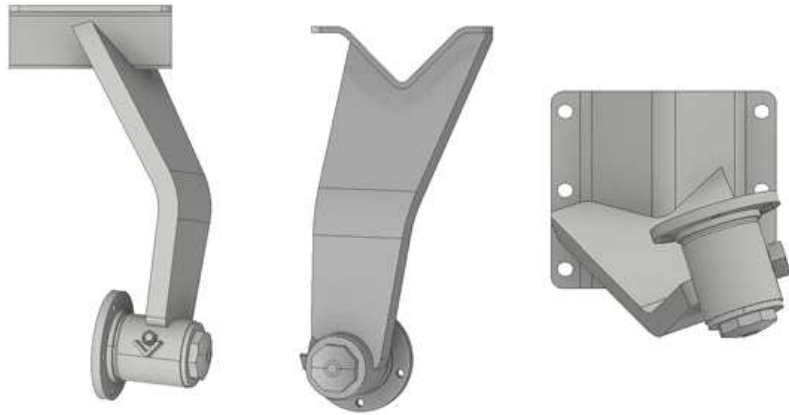
##### (가) 주요 부품별 모델링 데이터

##### ■ 디스크부의 모델링 결과

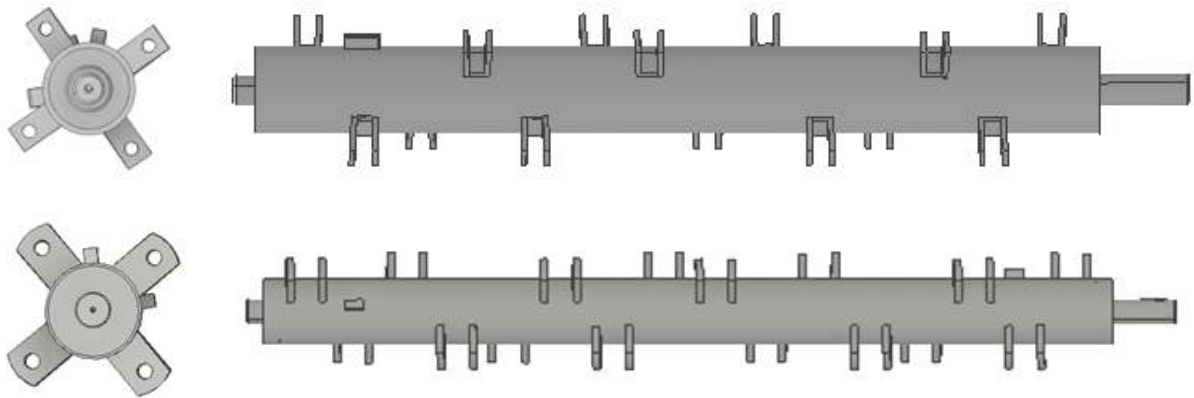
##### ① 부품1) 디스크 조립체



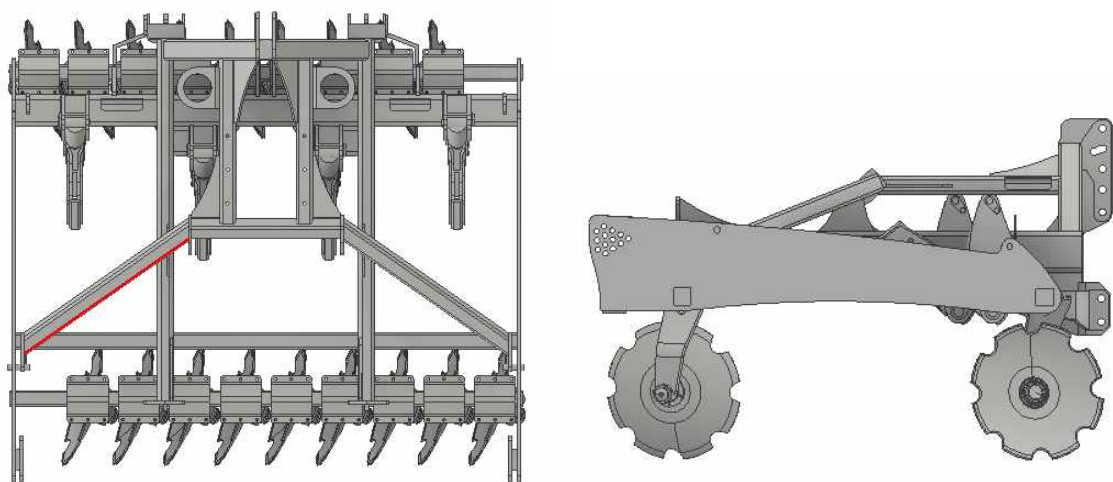
② 부품2) 정면, 밑면, 좌측면



③ 부품3) 정면, 밑면

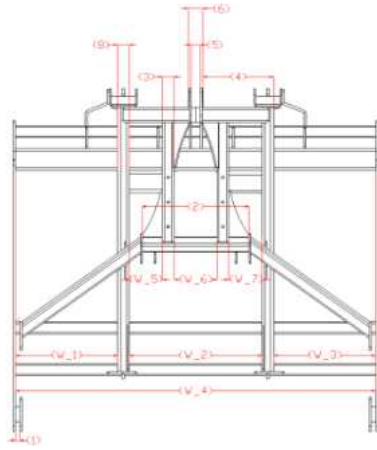


■ 프레임 모델링 데이터

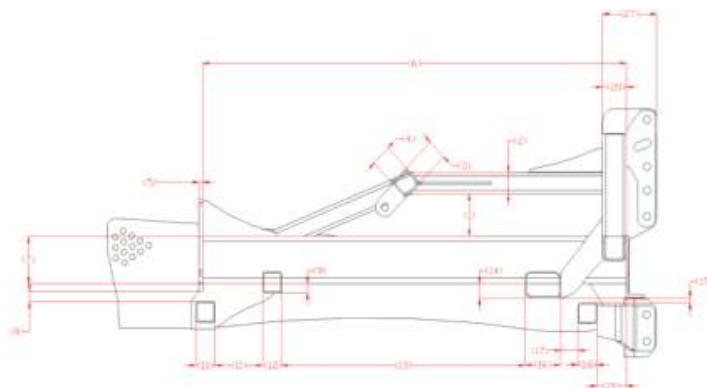


■ 실측데이터와의 비교측정

실측데이터와 스캔데이터, 모델링데이터의 치수 비교가 이루어짐



No	스캔(a)	실측(b1)	모델링(b2)	실측 편차	모델링 편차
W_1	701.2098	700	700	1.20977	1.20977
W_2	908.2242	910	915	1.7758	6.7758
W_3	701.5121	700	700	1.5121	1.5121
W_4	2470.216	*	2470	*	0.2163
W_5	228.215	*	226.469	*	1.746
W_6	293.2297	*	295	*	1.77035
W_7	223.1175	*	228.504	*	5.3865
1	30	30	30	0	0
2	734.84	730	730	4.84	4.84
3	79.423	80	80	0.577	0.577
4	481.4485	485	490	3.5515	8.5515
5	60	60	60	0	0
6	108	110	100	2	8





NO	스캔(a)	실측(b1)	모델링(b2)	실측 편차	모델링 편차
1	170.4678	*	163.509	*	6.9588
2	79.4181	*	80	*	0.5819
3	83.1766	80.27	80	2.9066	3.1766
4	82.0239	80.64	80	1.3839	2.0239
5	15.4849	*	15	*	0.4849
6	1767.23	*	1776.499	*	9.2688
7	181.2357	*	180	*	1.2357
8	32.2823	*	33.32	*	1.0377
9	31.5248	*	36.114	*	4.5892
10	77.6548	80.31	80	2.6552	2.3452
11	204.3828	200	204.564	4.3828	0.1812
12	79.457	80.64	80	1.183	0.543
13	1018.344	1015	1018.842	3.3435	0.4985
14	51.2896	*	55.634	*	4.3444
15	16.2484	*	17.523	*	1.2746
16	154.333	150.58	150	3.753	4.333
17	67.8413	70	71.629	2.1587	3.7877
18	81.4771	80	80	1.4771	1.4771
19	112.0137	*	123.572	*	11.5583
20	102.5396	100.33	100	2.2096	2.5396

(나) 수정모델링에 대한 프레임, 디스크 등 주요부 구조해석

벤치마킹 기대에 대한 디스크, 치즐쟁기에 가해지는 응력을 알아보기 위해 Inventor를 이용해 정적해석을 수행하였다. 정적인 상태에서 끄는 힘을 100마력, 150마력, 200마력으로 정해놓고 해석함. 해석은 disc, chisel plow로 분리해 인벤터를 이용하여 시뮬레이션을 수행함

$$\text{마력(P)} = \text{일(W)}/\text{시간(t)} = [\text{힘(F)} \times \text{이동거리(S)}]/\text{시간(t)}$$

$$1\text{마력} = 746\text{W} = 746\text{J/s} = (\text{F} \times 37.3\text{m})/10\text{s}$$

$$\text{따라서 필요한 힘(F)} = (746\text{J/s}) \times 10\text{s}/37.3\text{m} = 200\text{J/m} = 200\text{N이다.}$$

$$100\text{마력} = 20000\text{N}, 150\text{마력} = 30000\text{N}, 200\text{마력} = 40000\text{N에 해당함}$$

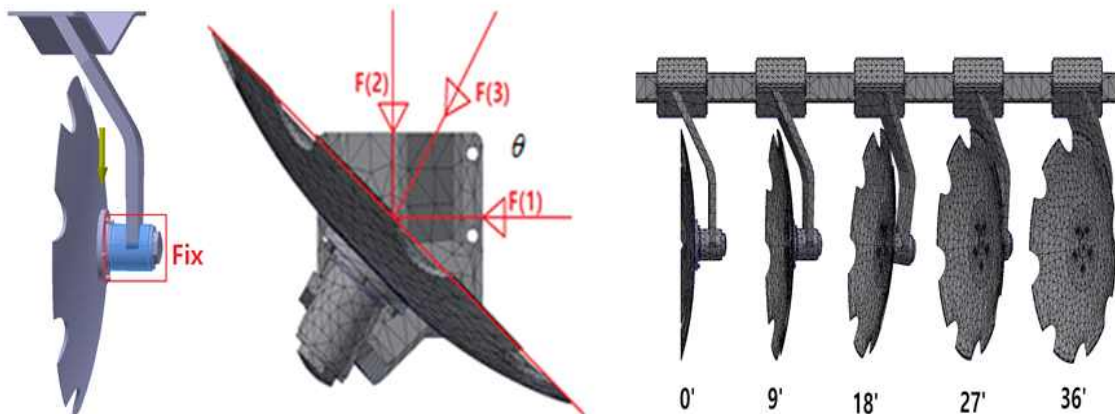
■ 기계적 물성치

name		steel(frame, chisel plow, disc frame)	
normal	mass density	7.85g/cm <sup>3</sup>	
	ultimate tensile strength	345MPa	
	yield strength	207MPa	
stresses	modulus of elasticity	210GPa	
	shear modulus	80.7692GPa	
name		steel, alloy(disc blade)	
normal	mass density	7.73g/cm <sup>3</sup>	
	ultimate tensile strength	400MPa	
	yield strength	250MPa	
stresses	modulus of elasticity	205GPa	
	shear modulus	78.8462GPa	

■ 디스크 해석

① 해석조건

- ㉠ 하중조건:100마력, 150마력, 200마력에 대해 작용하중이 20,000N, 30,000N, 40,000N 으로 계산
- ㉡ 치즐 4개와 디스크가 18가 설치되어 대략적으로 20개의 분력으로 간주
- ㉢ 각도(0°, 9°, 18°, 27°, 36°)에 따라 가해지는 우력모멘트( $M = F \times r \times \cos \theta$ ,  $r = r(3) \times \cos \theta$ )로 계산
- ㉣ 벤치마킹 기대의 디스크의 각도는 18°이며, 각도에 변화를 주어 동일한 구속조건을 적용하여 시뮬레이션을 수행함
- ㉤ 디스크에 가해지는 우력 모멘트 값



F(1)(PS)	F	Angle				
		0°	9°	18°	27°	36°
100 (1000N)	F(2)	0	158	324	509	726
	F(3)	0	1012	1051	1122	1236
150 (1500N)	F(2)	0	237	487	764	1089
	F(3)	0	1518	1577	1683	1854
200 (2000N)	F(2)	0	316	650	1018	1453
	F(3)	0	2024	2102	2244	2472

㉞ 디스크 해로우의 각도별로 접촉면적이 넓어짐에 따라 작용하는 힘을 계산하여 허브를 구속조건으로 계산하였다. 그 결과 아래 표와 같이 마력과 각도가 증가함에 따라 디스크 해로우에 작용하는 폰 미세스 응력과 접촉압력이 증가함을 알 수 있다.

<표2.1> 주요부의 von mises stress, contact pressure(MPa)

HP	Measured value (Mpa)	Angle				
		0°	9°	18°	27°	36°
100	Von mises stress	8.10	29.39	34.05	39.62	42.56
	Contact pressure	41.40	69.15	80.04	87.81	94.79
150	Von mises stress	12.28	43.96	50.90	59.30	63.66
	Contact pressure	62.04	103.77	119.92	131.74	142.14
200	Von mises stress	16.46	58.55	67.72	78.97	84.78
	Contact pressure	82.68	138.39	159.76	175.65	189.51

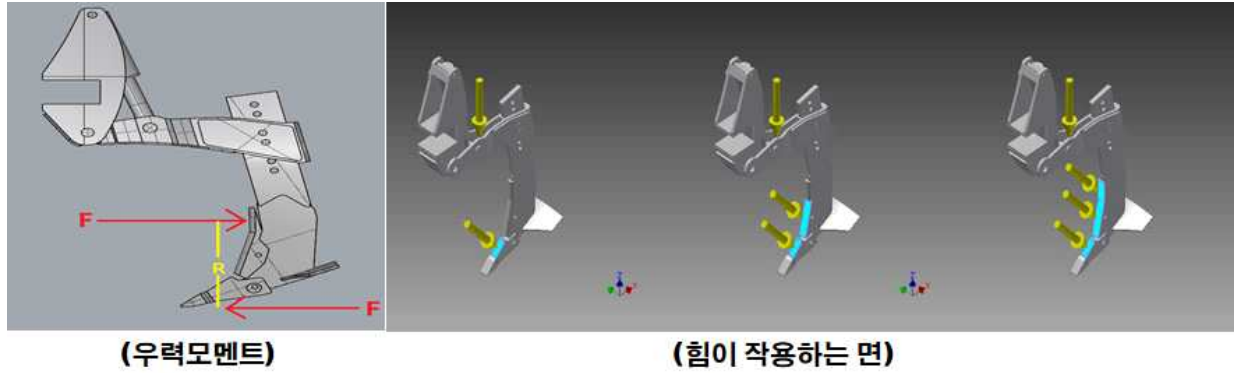
(다) 치즐플로우

■ 해석조건

- ① 하중조건:100마력, 150마력, 200마력에 대해 각각 작용하중이 20,000N, 30,000N, 40,000N 으로 계산
- ② 치즐 4개와 디스크가 18가 설치되어 대략적으로 20개의 분력으로 간주
- ③ 경심(10cm, 20cm, 30cm)에 따라 가해지는 우력모멘트( $2\pi r \cdot (힘) \times \sin(\theta)$ )로 계산

■ 해석결과

- ① 치즐쟁기의 최대 폰 미세스 응력과 접촉압력은 깊이가 깊어질수록 힘이 받는 면적이 커지기 때문에 결과 값이 증가한다.



〈표2.2〉 주요부의 von mises stress, contact pressure(MPa)

HP	Measured value (Mpa)	Tillage depth		
		10 cm	20 cm	30 cm
100	Von mises stress	160.98	253.63	342.82
	Contact pressure	485.04	372.99	505.76
150	Von mises stress	241.48	380.44	514.27
	Contact pressure	727.60	559.49	758.64
200	Von mises stress	321.98	507.26	685.69
	Contact pressure	970.16	745.99	1011.53

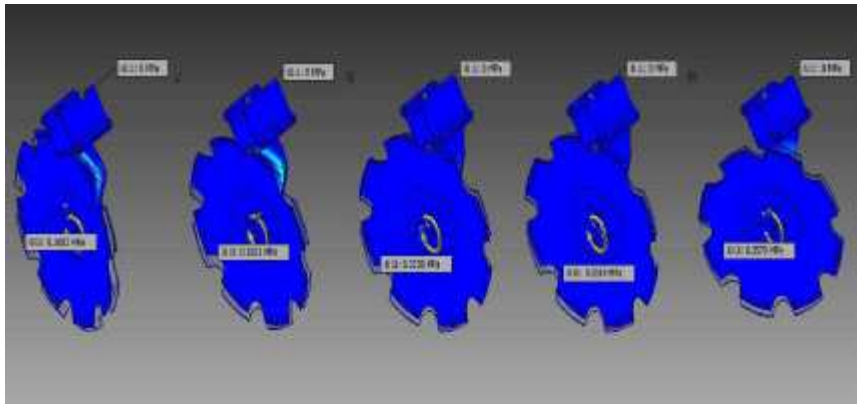
(라) 복합기 전체 프레임 구조해석

- 역설계 모델링을 통해 산출한 솔리드 모델에 대한 구조해석을 인벤터 정적 해석기능을 이용하여 수행하였음.
- 여기서 도출된 설계인자를 이용한 시작품 설계모델에 대한 구조해석을 수복합기 전체 프레임에 대한 구조해석을 수행함
- 벤치마킹기대의 분석을 통해 도출한 설계인자를 이용한 1차 시작품 설계모델(주관기관 설계함)에 대한 해석을 통해 벤치마킹 모델과의 비교를 통해 설계적정성 검증.

〈표2.3〉 von mises maximum stresses (MPa)

	Frame	chisel plow	front disc	rear disc
100 hp	159.676	14.7805	0.190247	0.161918
150 hp	239.524	22.1708	0.286425	0.242874
200 hp	319.368	29.561	0.381921	0.323832

- 정하중에 의한 분석을 통한 1차적인 모델의 강건성 분석을 수행함.



<그림2.1> 200마력으로 다른 각도에 힘을 가한 결과

(2) 최종시제품 설계 신뢰성 검증

(가) 주요부 구조설계 : 1차 해석

■ 프레임 설계

① 가정

프레임의 경우 프레임에 작용하는 최대 부하만 고려하여 해석을 진행하였음

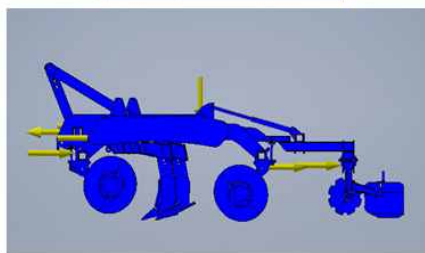
㉞ 힘 : 트랙터의 견인력을 20,000N(힘1), 프레임의 저항력을 전체의 무게인 20,000N의 2배인 40,000N으로 가정하고, 각 디스크나 치질이 프레임에 연결된 부분에 1538.460 N의 힘(힘2)을 부여함. (∵디스크와 치질플라우의 개수 합이 26개. 40,000N/26≃1538.460 N) 중력은 프레임의 수직방향에 부여함.

중력

하중 유형	중력
크기	9810.000 mm/s <sup>2</sup>
벡터 X	-9810.000 mm/s <sup>2</sup>
벡터 Y	0.000 mm/s <sup>2</sup>
벡터 Z	0.000 mm/s <sup>2</sup>

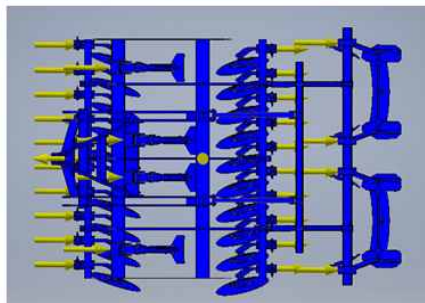
힘:1-트랙터의 견인력

하중 유형	힘
크기	20000.000 N
벡터 X	0.000 N
벡터 Y	-20000.000 N
벡터 Z	0.000 N



힘:2-프레임의 마찰력

하중 유형	힘
크기	1538.460 N
벡터 X	-0.000 N
벡터 Y	1538.460 N
벡터 Z	0.000 N



㉔ 접촉조건 : 접촉으로만 조건을 설정하여 진행

㉔ 재질 : 프레임과 치즐의 재질은 SS400, 디스크는 보론강으로 기계적 성질은 다음과 같음

이름			이름		
ss400			보론강		
일반	질량 밀도	7.8 g/cm <sup>3</sup>	일반	질량 밀도	7.87 g/cm <sup>3</sup>
	항복 강도	230 MPa		항복 강도	380 MPa
	극한 인장 강도	500 MPa		극한 인장 강도	620 MPa
응력	탄성계수	160 GPa	응력	탄성계수	210 GPa
	프와송의 비	0.3 ul		프와송의 비	0.3 ul
	전단 계수	61.5385 GPa		전단 계수	80.7692 GPa

## ② 해석 결과

질량	325.484 kg
면적	55478000 mm <sup>2</sup>
체적	271041000 mm <sup>3</sup>
무게 중심	x=-235.923 mm y=-292.29 mm z=-12.0477 mm

설계 목표	단일 점
시뮬레이션 유형	정적 해석
마지막 수정 날짜	2017-07-05, 오전 1:34
강체 모드 탐지 및 제거	아니오
접촉 표면에서의 개별 응력	아니오
동작 하중 분석	아니오

### 물리적 특성

평균 요소 크기(모형 지름의 일부)	0.1
최소 요소 크기(평균 크기의 일부)	0.2
등급 계수	1.5
최대 회전 각도	60 deg
곡선 메쉬 요소 작성	아니오
조립품 메쉬에 대한 부품 기반 측정 사용 예	

### 일반 목표 및 설정

구속조건 이름	반력		반작용 모멘트	
	크기	구성요소(X,Y,Z)	크기	구성요소(X,Y,Z)
고정 구속조건:1	701.096 N	682.361 N	25.2464 N m	6.88925 N m
		-157.435 N		-4.23893 N m
		-33.6793 N		-23.9155 N m

### 메쉬 설정

### 구속조건에서의 반력 및 반작용 모멘트

이름	최소값	최대값	이름	최소값	최대값
체적	271040000 mm <sup>3</sup>		체적	271040000 mm <sup>3</sup>	
질량	2117.75 kg		질량	2117.75 kg	
폰 미세스 응력	0.00000064766 MPa	23.801 MPa	폰 미세스 응력	0.00000064766 MPa	23.801 MPa
첫 번째 주 응력	-1.46965 MPa	14.272 MPa	첫 번째 주 응력	-1.46965 MPa	14.272 MPa
세 번째 주 응력	-23.0226 MPa	0.966713 MPa	세 번째 주 응력	-23.0226 MPa	0.966713 MPa
변위	0 mm	0.0322183 mm	변위	0 mm	0.0322183 mm
안전계수	9.66346 ul	15 ul	안전계수	9.66346 ul	15 ul
응력 XX	-13.1848 MPa	3.83398 MPa	응력 XX	-13.1848 MPa	3.83398 MPa
응력 XY	-1.81196 MPa	12.0813 MPa	응력 XY	-1.81196 MPa	12.0813 MPa
응력 XZ	-4.58474 MPa	1.82511 MPa	응력 XZ	-4.58474 MPa	1.82511 MPa
응력 YY	-5.8556 MPa	4.2082 MPa	응력 YY	-5.8556 MPa	4.2082 MPa
응력 YZ	-2.9351 MPa	6.82552 MPa	응력 YZ	-2.9351 MPa	6.82552 MPa
응력 ZZ	-8.23365 MPa	3.26655 MPa	응력 ZZ	-8.23365 MPa	3.26655 MPa
X 변위	-0.0035732 mm	0.00280803 mm	X 변위	-0.0035732 mm	0.00280803 mm
Y 변위	-0.032217 mm	0.00210309 mm	Y 변위	-0.032217 mm	0.00210309 mm
Z 변위	-0.00435476 mm	0.0043013 mm	Z 변위	-0.00435476 mm	0.0043013 mm
등가 변형	0.0000000000580002 ul	0.00013155 ul	등가 변형	0.0000000000580002 ul	0.00013155 ul
첫 번째 주 변형	-0.0000000550534 ul	0.000106556 ul	첫 번째 주 변형	-0.0000000550534 ul	0.000106556 ul
세 번째 주 변형	-0.000145432 ul	0.000000486365 ul	세 번째 주 변형	-0.000145432 ul	0.000000486365 ul
변형 XX	-0.0000655002 ul	0.0000217468 ul	변형 XX	-0.0000655002 ul	0.0000217468 ul
변형 XY	-0.0000147222 ul	0.0000981609 ul	변형 XY	-0.0000147222 ul	0.0000981609 ul
변형 XZ	-0.000037251 ul	0.0000148291 ul	변형 XZ	-0.000037251 ul	0.0000148291 ul
변형 YY	-0.0000299328 ul	0.0000252388 ul	변형 YY	-0.0000299328 ul	0.0000252388 ul
변형 YZ	-0.0000238477 ul	0.0000554574 ul	변형 YZ	-0.0000238477 ul	0.0000554574 ul
변형 ZZ	-0.0000468101 ul	0.0000241326 ul	변형 ZZ	-0.0000468101 ul	0.0000241326 ul
접촉 압력	0 MPa	41.0232 MPa	접촉 압력	0 MPa	41.0232 MPa
접촉 압력 X	-11.5806 MPa	9.41139 MPa	접촉 압력 X	-11.5806 MPa	9.41139 MPa
접촉 압력 Y	-5.41549 MPa	39.8815 MPa	접촉 압력 Y	-5.41549 MPa	39.8815 MPa
접촉 압력 Z	-12.7325 MPa	6.72701 MPa	접촉 압력 Z	-12.7325 MPa	6.72701 MPa

### 결과 요약

## ③ 결론

폰 미세스 응력의 최대값이 23.801MPa로 프레임의 재질 SS400의 항복강도 230MPa에 비해 매우 낮은 값으로 안전율이 최소9.66에서 최대 15까지 이르는 것을 확인할 수 있다. 통상 안전율은 1보다 큰 값이 되나 안전율이 지나치게 크면 경제성이 떨어지므로 'SS400'보다 항복강도가 낮은 재료를 사용하면 경제성을 올릴 수 있을 것으로 사료된다.

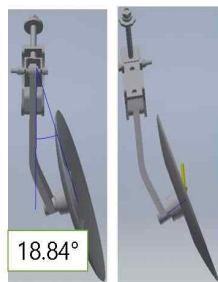
■ 디스크 설계(Disc design)

① 물성치 입력값

기계적 성질	미터법	인장강도, 궁극은 인장강도를 나타내는 말이며, 인장강도, 수율은 항복강도를 나타내는 말이다. 연신율은 변형율과 같으며, $\sigma = E \epsilon$ 으로 탄성계수를 구할 수 있다.
인장 강도, 궁극	620 MPa	
인장 강도, 수율	380 MPa	
연신율	24 %	

② 가정 조건 및 실험 결과

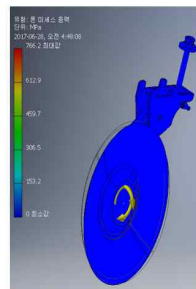
Powertrain 100% / Soil thrust 100%							
	P(kw)	V(km/h)	Tire r(m)	$\omega$ (rad/sec)	T(kN.m)	Traction(N)	Traction / 28
100 HP	73.60	15	0.9	4.63	15.89	17,663.99	630.86
150 HP	110.40	15	0.9	4.63	23.84	26,495.99	946.29
200 HP	147.20	15	0.9	4.63	31.79	35,327.99	1261.71
Powertrain 90% / Soil thrust 85%							
	P(kw)	V(km/h)	Tire r(m)	$\omega$ (rad/sec)	T(kN.m)	Traction(N)	Traction / 28
100 HP	56.30	15	0.9	4.63	12.16	13,512.95	482.61
150 HP	84.45	15	0.9	4.63	18.24	20,269.43	723.91
200 HP	112.60	15	0.9	4.63	24.32	27,025.91	965.21



각도



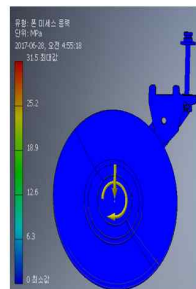
구속조건



1) 견인력과 우력

견인력에 따른 모멘트  
=1000\*295[N\*mm]

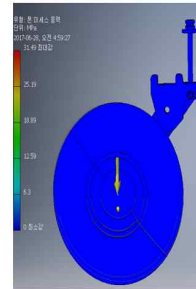
우력  
=100\*170[N\*mm]



2) 수직하중과 우력

수직하중  
=100[N]

우력  
=100\*170[N\*mm]



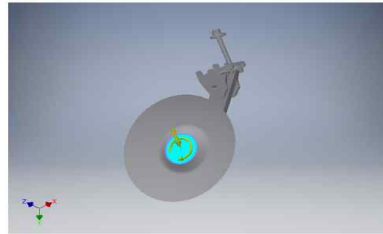
3) 수직하중과 우력

수직하중  
=100[N]

우력  
=100\*170[N\*mm]

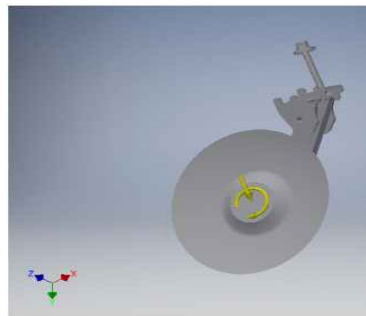
	폰미세스응력(1)	폰미세스응력(2)	폰미세스응력(3)
Min	0.00	0.00	0.00
Max	766.2(Mpa)	31.5(Mpa)	31.49(Mpa)

- ㉔ M(모멘트) = F(힘) \* l(거리)을 이용하여 우력을 구함.
- ㉕ F1(견인력)은 100마력 기준으로 나눈값을 이용하였으며, F2(수직하중)는 프레임의 무게를 측정하여 적용한 값이다.
- ㉖ 모멘트 조건



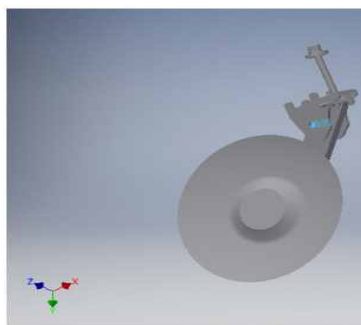
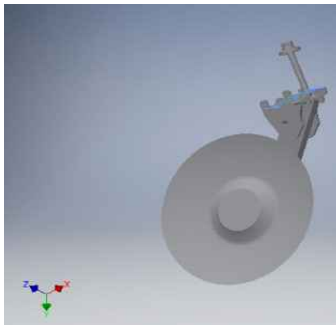
하중 유형	모멘트
크기	63130.000 N mm
벡터 X	49963.663 N mm
벡터 Y	38587.942 N mm
벡터 Z	0.000 N mm

- ㉗ 하중 조건



하중 유형	힘
크기	741.960 N
벡터 X	-171.089 N
벡터 Y	501.430 N
벡터 Z	-519.424 N

- ㉘ 구속조건



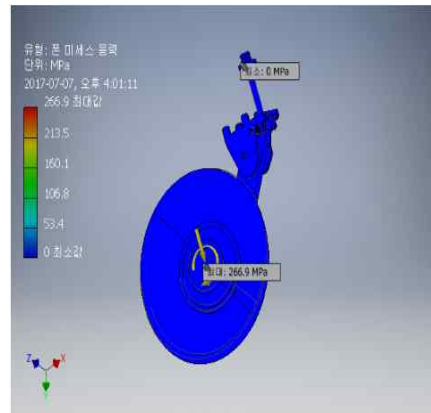
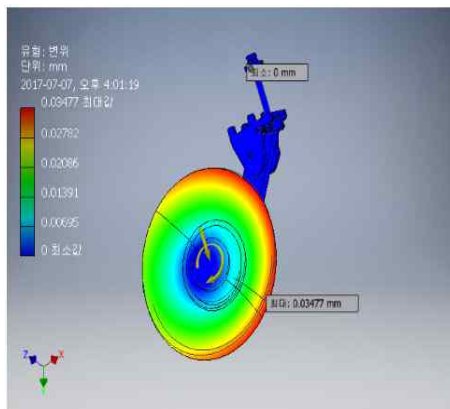
<그림2.2> 고정 구속(1번) <그림2.3> 핀 구속 (1,2,3번) <그림2.4> 핀 구속(4번)

- ㉙ 각 구속조건에 걸리는 반력과 반작용 모멘트의 크기

구속조건 이름	반력		반작용 모멘트	
	크기	구성요소(X,Y,Z)	크기	구성요소(X,Y,Z)
고정 구속조건:1	176.014 N	26.5147 N	13.5294 N m	12.887 N m
		-79.4034 N		4.1192 N m
		-14.4035 N		-0.0342544 N m
핀 구속조건:1	248.056 N	42.5059 N	0.998673 N m	-0.937946 N m
		243.962 N		-0.116141 N m
		-5.58473 N		-0.066516 N m
핀 구속조건:2	114.395 N	48.0795 N	0.247898 N m	0.185347 N m
		103.651 N		-0.150583 N m
		-21.1726 N		0.158795 N m
핀 구속조건:3	43.0677 N	12.5227 N	0.544621 N m	-0.47512 N m
		35.3516 N		0.213676 N m
		189.769 N		-34.5048 N m
핀 구속조건:4	631.458 N	-526.445 N	76.983 N m	44.6504 N m
		292.544 N		52.3654 N m



㉔ 변위 및 폰 미세스 응력값



㉕ 결과값

이름	최소값	최대값
체적	4292980 mm <sup>3</sup>	
질량	4.29298 kg	
폰 미세스 응력	0 MPa	266.899 MPa
첫 번째 주 응력	-3.20074 MPa	204.911 MPa
세 번째 주 응력	-274.614 MPa	33.0747 MPa
변위	0 mm	0.0347731 mm
안전계수	1.42376 ul	15 ul
응력 XX	-24.0475 MPa	173.695 MPa
응력 XY	-72.7669 MPa	50.9071 MPa
응력 XZ	-24.8859 MPa	83.3704 MPa
응력 YY	-184.494 MPa	65.3207 MPa
응력 YZ	-12.1088 MPa	118.49 MPa
응력 ZZ	-140.279 MPa	78.2546 MPa
X 변위	-0.014516 mm	0.0102222 mm
Y 변위	-0.0272197 mm	0.0328855 mm
Z 변위	-0.0331663 mm	0.0254246 mm
중가 변형	0 ul	0.00107919 ul
첫 번째 주 변형	-0.000000638651 ul	0.000897586 ul
세 번째 주 변형	-0.00126885 ul	0.00000000146438 ul
변형 XX	-0.0000344596 ul	0.000719214 ul
변형 XY	-0.000415811 ul	0.000290898 ul
변형 XZ	-0.000142205 ul	0.000476402 ul
변형 YY	-0.000888524 ul	0.000999294 ul
변형 YZ	-0.0000691934 ul	0.000677084 ul
변형 ZZ	-0.000545799 ul	0.000425848 ul
입축 압력	0 MPa	5.39761 MPa
입축 압력 X	-2.14368 MPa	1.71961 MPa
입축 압력 Y	-5.35379 MPa	3.3301 MPa
입축 압력 Z	-1.30849 MPa	4.71503 MPa

■ 치즐플라우 설계(Chisel plow design)

① 설계조건

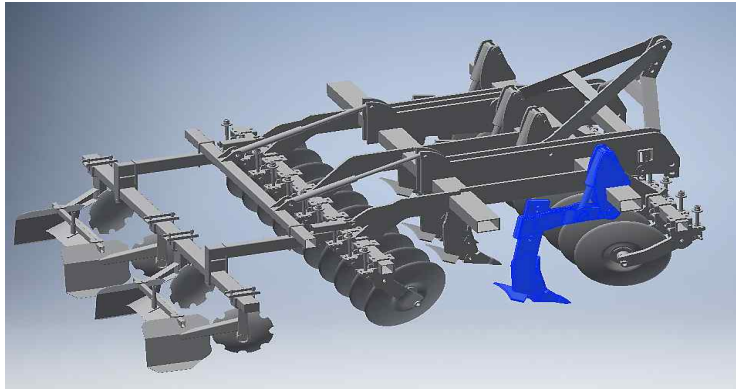
<표2.4> tractor traction

Powertrain 100% / Soil thrust 100%							
	P(kw)	V(km/h)	Tire r(m)	$\omega$ (rad/sec)	T(kN.m)	Traction(N)	Traction/28
100 HP	73.60	15	0.9	4.63	15.89	17,663.99	630.86
150 HP	110.40	15	0.9	4.63	23.84	26,495.99	946.29
200 HP	147.20	15	0.9	4.63	31.79	35,327.99	1261.71
Powertrain 90% / Soil thrust 85%							
	P(kw)	V(km/h)	Tire r(m)	$\omega$ (rad/sec)	T(kN.m)	Traction(N)	Traction/28
100 HP	56.30	15	0.9	4.63	12.16	13,512.95	482.61
150 HP	84.45	15	0.9	4.63	18.24	20,269.43	723.91
200 HP	112.60	15	0.9	4.63	24.32	27,025.91	965.21

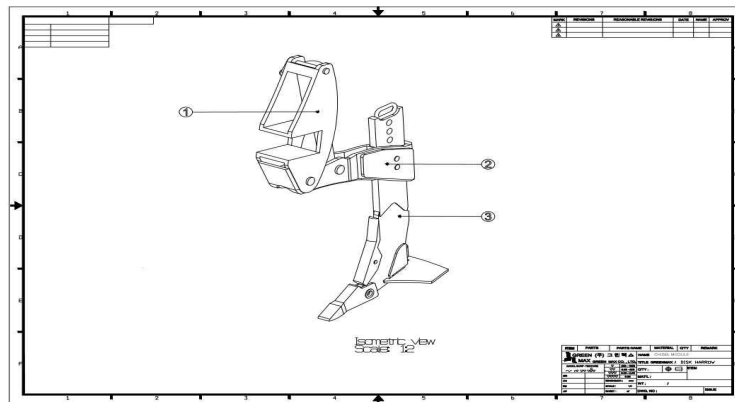
㉖ 트랙터의 예상 견인력은 Powertrain 100%에 토양 추진력 100%로 가정한 값과 Powertrain 90%에 토양 추진력 85%로 가정하였을 때 Table의 값이 나옴.

㉗ 치즐에 걸리는 견인력 계산은 치즐과 디스크의 총 28개를 각 마력별 예상 견인력으로 Traction/28의 값을 힘을 받는 면적으로 나누어 응력해석을 실시하였다.

㉔ 수직력은 전체 질량 2141.85kg을 20,990,13N 변환 후 28로 나누어 = 749.648N 치즐 한 개에 걸리는 수직력을 구함.



<그림2.5> Chisel plow structure analysis and its position



<그림2.6> Chisel plow plan

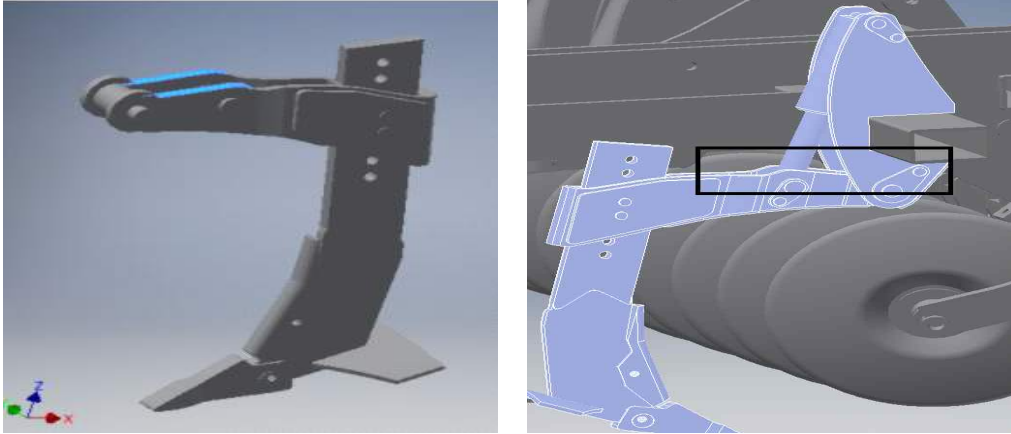


Statics		
Node	24558	
Element	13511	
이름	SS400	
일반	질량 밀도	7.8 g/cm <sup>3</sup>
	항복 강도	230 MPa
	극한 인장 강도	500 MPa
응력	탄성계수	160 GPa
	프와송의 비	0.3 ul
	전단 계수	61.5385 GPa

<그림2.7> Mesh model or SS400 material

<표2.5> Mechanical property

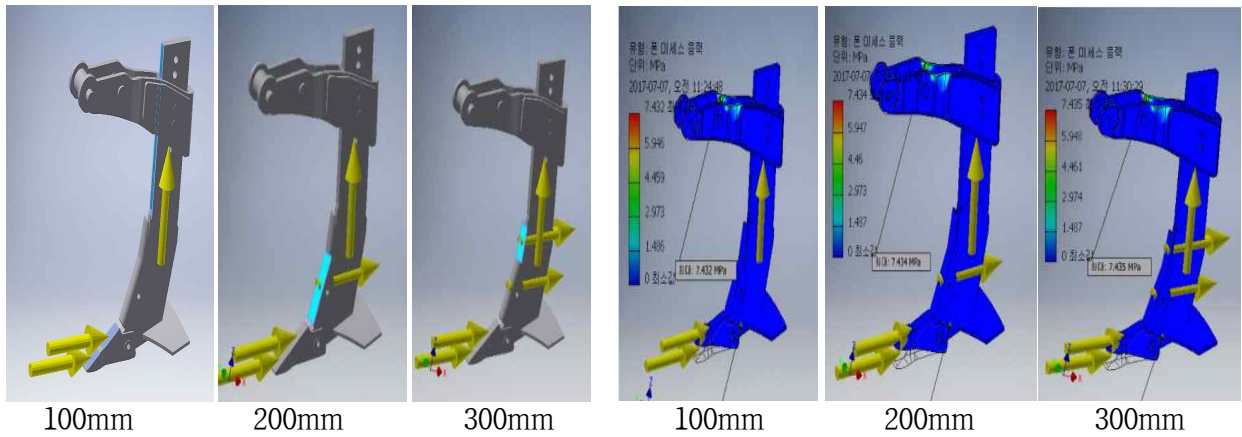
mass	7.76083 kg
area	942033 mm <sup>2</sup>
volume	7760830 mm <sup>3</sup>
the center of gravity	x=-1333.7 mm
	y=-2173.95 mm
	z=-200.353 mm



<그림2.8> Fixed constraint

㉔ 유압실린더를 제외하고 해석을 진행하므로 유압실린더와 고정되는 면을 Fix구속조건으로 구속함.

㉕ 치즐의 특성상 심경작업을 하기 때문에 재질은 SS400으로 구조해석을 실시하였고, 치즐이 작업 시 지면과 맞닿게 되는 면에 위에서 계산된 각 치즐에 작용하는 하중인 100마력일 때 630.86N 150마력일 때 946.29N 200마력일 때 1261.71N을 적용하였고, 작업 깊이별 견인력을 힘이 작용하는 면적으로 나누어 응력해석을 실시함.



<그림2.9> Chisel plow von mises stress (MPa)

Powertrain 100% / Soil thrust 100%				
HP	tillage depth	100 mm	200 mm	300 mm
100	chisel	7.432	7.434	7.435
150	chisel	7.434	7.443	7.445
200	chisel	7.458	7.461	7.464
Powertrain 90% / Soil thrust 85%				
HP	tillage depth	100 mm	200 mm	300 mm
100	chisel	7.434	7.435	7.436
150	chisel	7.434	7.435	7.437
200	chisel	7.441	7.443	7.446

② 치즐 구조해석 결과

㉞ Powertrain 100%에 토양 추진력 100%로 가정한 값과 Powertrain 90%에 토양 추진력 85% 가정의 응력해석 결과를 구함.

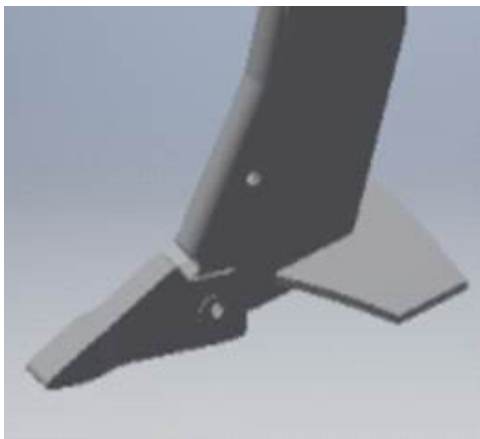
㉟ 깊이가 늘어날수록 폰 미세스 응력값이 아주 미세하게 늘어나지만 거의 차이가 없는 결과값이 나옴.

㊱ 무동력 디스크 해로우 복합 작업기 치즐 재질은 SS400 강으로 항복강도 230Mpa 최대 인장강도가 약 500Mpa임.

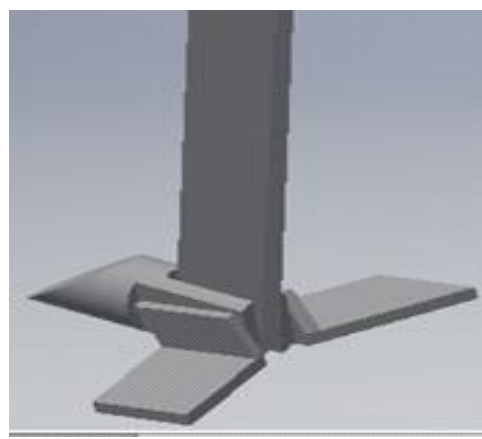
㊲ 작업 깊이와 마력이 증가할수록 작용하는 힘이 증가한다. 100마력, 200마력, 300마력 모두 7.xxx가 나왔으므로 치즐쟁기의 구조는 안전하게 설계되었다고 판단됨.

(나) 주요부 구조설계 : 2차 해석(치즐부 형상변경반영)

■ 치즐 주요부 형상 변경



치즐 주요부의 기존형상



치즐 주요부의 설계 변경된 형상

■ 해석결과

① 조건

㉞ 트랙터 견인력 (하중조건 설정)

<표2.6> tractor traction

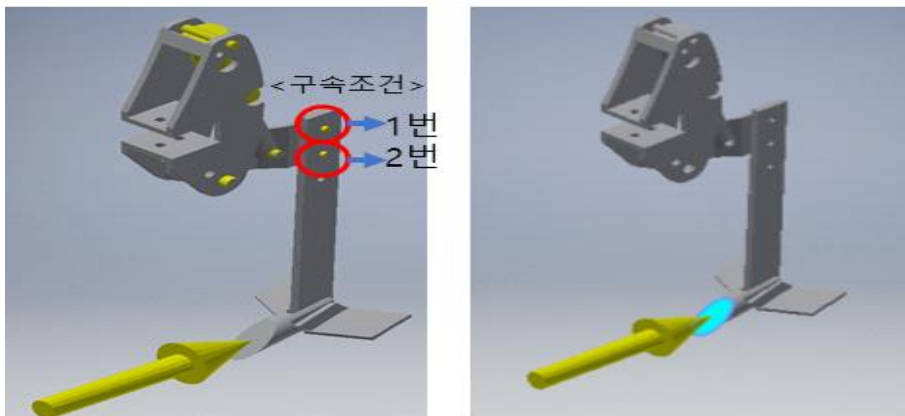
Powertrain 100% / Soil thrust 100%							
	P (kw)	V (km/h)	Tire r (m)	$\omega$ (rad/sec)	T (kN.m)	Traction (N)	Traction / 28
100 HP	73.60	15	0.9	4.63	15.89	17,663.99	630.86
150 HP	110.40	15	0.9	4.63	23.84	26,495.99	946.29
200 HP	147.20	15	0.9	4.63	31.79	35,327.99	1261.71
Powertrain 90% / Soil thrust 85%							
	kw	V (km/h)	Tire r (m)	$\omega$ (rad/sec)	T (kN.m)	Traction (N)	Traction / 28
100 HP	56.30	15	0.9	4.63	12.16	13,512.95	482.61
150 HP	84.45	15	0.9	4.63	18.24	20,269.43	723.91
200 HP	112.60	15	0.9	4.63	24.32	27,025.91	965.21

㉞ 재료의 특성 (SS400)

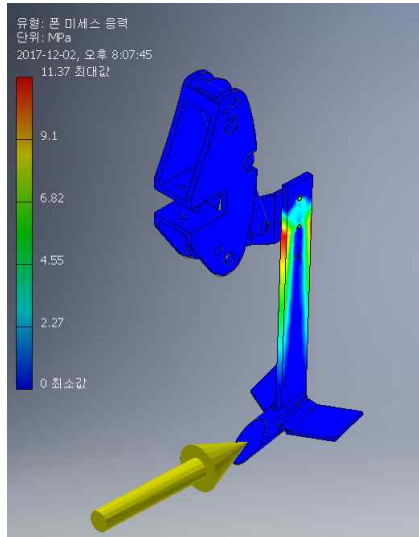
이름	SS400	
일반	질량 밀도	7.8 g/cm <sup>3</sup>
	항복 강도	230 MPa
	극한 인장 강도	500 MPa
응력	탄성계수	160 GPa
	프와송의 비	0.3 ul
	전단 계수	61.5385 GPa

㉞ 구속조건 및 하중조건

<핀 구속조건 및 하중조건>



㉞ 해석결과 : 등가응력(폰 미세스 응력)이 11.37MPa로 나타나, SS400의 인장강도에 크게 못미쳐 안전한 것으로 사료됨

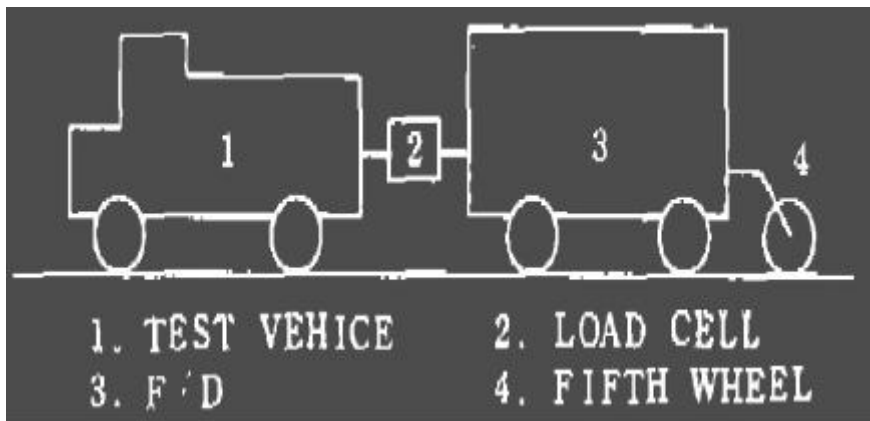


구속조건 이름	반력	
	크기	구성요소(X,Y,Z)
핀 구속조건:1	3839.94 N	-8.29718 N
		167.535 N
		3836.27 N
핀 구속조건:2	3340.77 N	7.49954 N
		-149.523 N
		-3337.42 N
반작용 모멘트		
크기	구성요소(X,Y,Z)	
0.31524 N m	0 N m	
	-0.181688 N m	
	0.257616 N m	
0.515003 N m	0 N m	
	0.212219 N m	
	0.469245 N m	

### (3) 견인부하측정장치, 트랙터 작업속도 측정 및 실험 (1/2차년도)

#### (가) 견인부하측정장치 개발 및 해석 방법 연구

- 드로우바풀을 중심으로 하는 이론식을 분석을 통해 복잡한 견인력측정을 대체하는 간이측정장치의 개발을 위한 이론연구를 수행하였음
- 간이부하장치의 분석을 바탕으로 측정치 개발함
- 로드스펙트럼(Load spectrum)을 통한 강건설계(Robust Design)와 수명예측은 Drawbar pull을 기준으로 육분력 등으로 구축된 견인력 측정장치는 복잡성과 경제성등 운용에 많은 제약이 있어서 단순한 이론식을 적용하여 견인부하를 예측하는 방식에 대한 기초 연구를 수행함.
- 이론식을 바탕으로 견인력측정장치(계측포함)에 대한 연구를 수행하였음



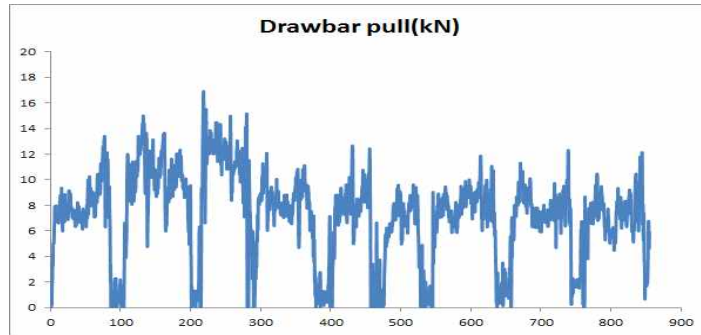
<그림2.10> Load measurement system using 5<sup>th</sup> wheel

#### (나) 이론적 분석

- 농작업기계는 연약지반에서 주로 사용되는 오프로드(offroad) 차량으로 슬립, 주행부의 침하, 기타 토양조건에 따라서 특성이 변하하여 추진력 확보가 어려우므로 견인성능을 높이기 위한 방안으로 개발 기종의 트랙터와의 관계를 이론적으로 분석함
- 로외차량의 견인성능은 토양과 접지하는 면의 추진력과 운동저항에 의해 결정되는데

수직하중에 의해 침하되는 접지면에서의 수직응력과 전단응력 분포에 의해 결정되는 것으로 알려져 있음

■ 오프로드 농작업에서 견인성능을 예측하는 방법은 트랙터와 작업기 사이에서 drawbar pull을 측정하여 동적인 해석이 가능하다. 아래의 그림은 국내 L사의 시간에 따른 drawbar pull의 상태를 보여주고 있는데 동적인 해석을 위해서는 순수한 트랙터로부터의 동력을 산출한 후 각 저항요소에 해당하는 작업기의 토양 접촉부의 응력을 계산하여 산출하게 됨



<그림2.11> drawbar pull for time variation of tractor

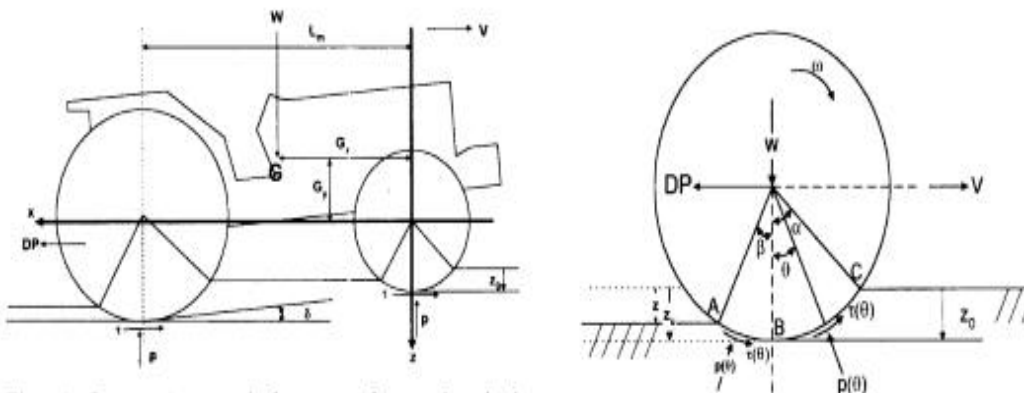
■ 일반적인 동력식에서 힘×속도의 관계에서 트랙터의 작업속도 V를 측정하면, 시간변화에 따른 토크정보를 이용하면 바로 견인력을 산출할 수 있다. 본 연구에서는 간이 측정장치를 제작하여 직접 견인저항을 측정하는 방법을 1차년도에 도입하였으나, 하중프로파일을 이용하여 견인력을 예측하는 방법이 상대적으로 견인력을 예측한 후 주요 부품의 설계 안전성 확보가 용이한 것으로 판단되어 견인력의 산출을 이론식을 이용하여 산출한 후 설계에 반영하였음.

■ 평판에 가해지는 수직압력은 아래의 그림에서 P(kPa)에 해당하며 다음과 같이 구한다. (Bekker et. al, 1969)

$$\text{수직응력 } P = \left( \frac{k_c}{b} + k_\phi \right) z^n \text{ [kPa]} \quad \text{-----(1)}$$

여기서,  $k_c, k_\phi$ 는 토양변형계수( $\text{kN}/\text{m}^{1+n}$ ,  $\text{kN}/\text{m}^{2+n}$ )

$z$ 는 평판의 침하량(m),  $b$ : 평판의 폭(m),  $n$ : 토양변형계수(무차원)



<그림2.12> Loading force geometric diagram for soil condition of traction

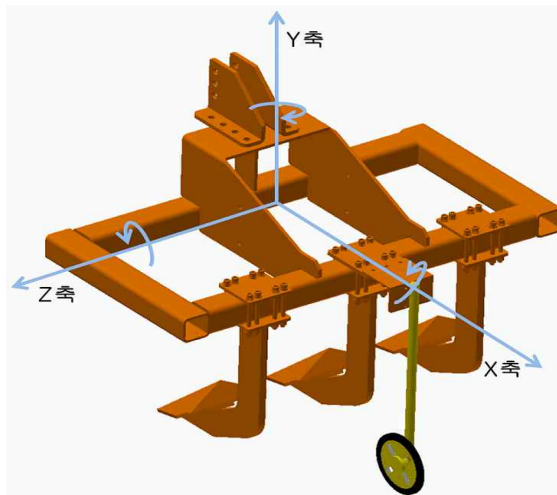
■ 휠과 토양의 접지상태에서, 어떤 임의의 위치에서 수직압력이 정해지면, 전단응력  $\tau(x)$ 은 다음 식으로 손쉽게 구할 수 있다(Janos, 1961)

$$\text{전단응력 } \tau(x) = [c + p(x)\tan\psi][1 - e^{-\frac{j}{k}}]$$

여기서,  $\psi$ 는 토양의 내부마찰각(degree),  $j$ :전단으로 발생하는 변위(m)

$c$ 는 토양의 점착력(kPa),  $k$ 는 전단변형지수(m),  $p(x)$ 는 접지면의 임의위치에서의 수직압력(kPa)

(다) 간이 견인부하 측정장치 개발



<그림2.13> System overview of drawbar pull measurement

■ 일반적으로 탄소성 거동을 보이는 토양은 휠의 진입각  $\alpha$ 과 탈출각  $\beta$ 가 상이하게 나타나는게 일반적이다. 그 이유는 토양의 전륜진입시 전단된 흙이 후륜진입시에는 물성이 변하기 때문이다. 이외에도 트랙터와 휠관련 메카니즘은 수분, 슬립 등 다양한 환경요인으로 예측하기가 어려워 간이 측정방식에 의한 견인거동을 측정하여 작업기개발에 활용하는 방법이 중요함

■ 견인력을 측정하는 차량형 계측장치를 통해 산출한 앞서 설명한 시간에 따른 drawbar pull과 간이측정장치의 측도설정(calibration)을 통해 신뢰성을 확보하는 연구를 수행하였음

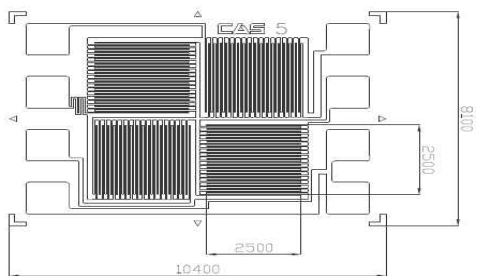
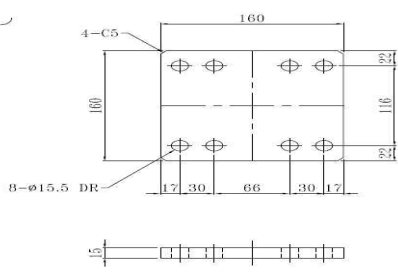
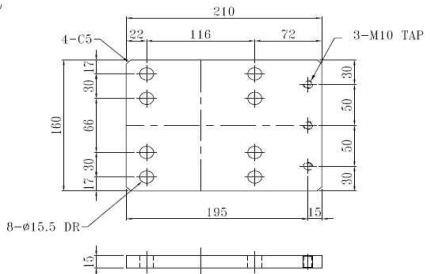
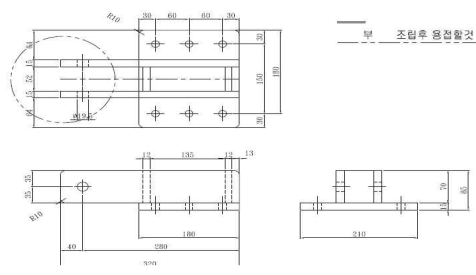
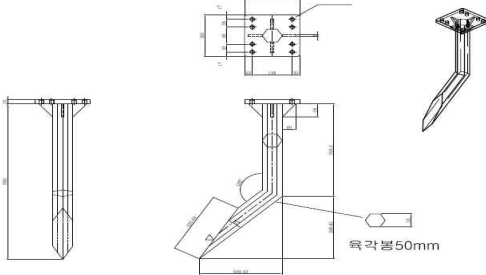
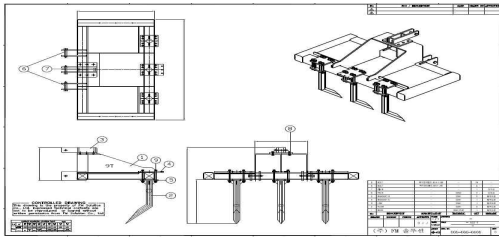
■ 오류를 이용하는 측정방식과 단방향의 힘만을 측정하도록 스트레인게이지 등 센서의 설치방향에 구속조건을 주어 한쪽 방향의 힘을 3군데 동시에 측정하는 방법으로 산출한 출력신호를 drawbar pull 출력신호와 비교할 수 있는 장치이나 부착장치 등 부대비용이 많이 소요되어 쟁기타입의 간이 측정장치를 도입하였음

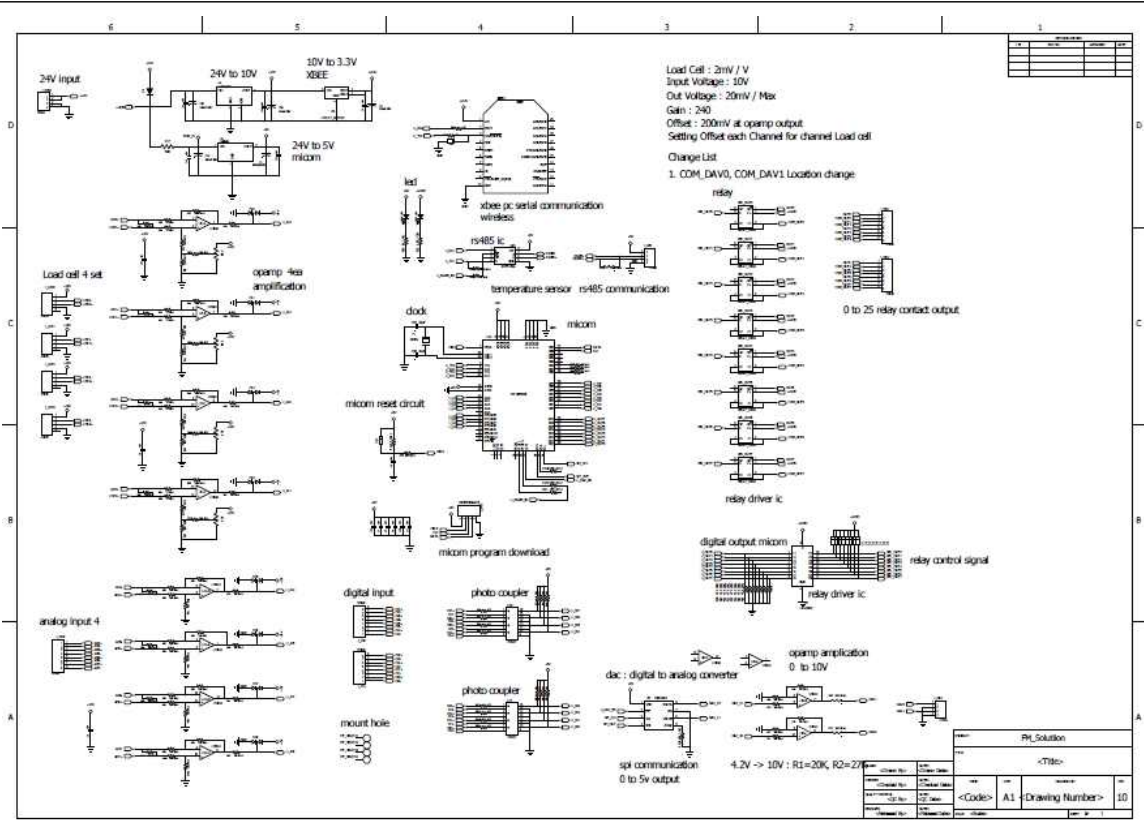
■ 일반적인 동력식에서 힘×속도의 관계에서 트랙터의 작업속도  $V$ 를 측정하면, 시간변화에 따른 토크정보를 이용하면 바로 견인력을 산출할 수 있다( $P = F \times V$ ). 하중프로파일을 이용하여 견인력을 예측하는 방법이 상대적으로 견인력을 예측한 후 주요 부품의 설계 안전성 확보가 용이한 것으로 판단되어 견인력의 산출을 이론식을 이용하여 산출한 후 설계에 반영하였음.



<표2.7> 시간에 따른 견인력의 변화 측정결과

시간(s)	rpm	엔진토크(Nm)	변속기 입력축 토크(Nm)	Drawbar pull(kN)
0	1088.87	40.365	21.033	0.015144789
0.005	1120.19	41.582	21.695	0.057604257
0.01	1151.548	42.801	22.358	0.100127863
0.015	1182.923	44.02	23.022	0.142715607
0.02	1214.294	45.239	23.686	0.185303352
0.025	1245.638	46.457	24.349	0.227826958
0.03	1276.937	47.672	25.01	0.270222287
0.035	1308.169	48.884	25.67	0.312553479
0.04	1339.315	50.091	26.327	0.354692256
0.045	1370.358	51.294	26.981	0.396638618
0.05	1401.279	52.49	27.631	0.438328428
0.055	1432.064	53.679	28.276	0.479697547
0.06	1462.696	54.86	28.917	0.520810114
0.065	1493.16	56.032	29.551	0.561473713
0.07	1523.439	57.195	30.18	0.601816621
0.075	1553.519	58.347	30.802	0.641710562
0.08	1583.382	59.487	31.416	0.681091398
0.085	1613.014	60.616	32.023	0.720023266
0.09	1642.398	61.732	32.622	0.75844203
0.095	1671.52	62.834	33.212	0.796283549
0.1	1700.366	63.922	33.793	0.833547826
0.105	1728.923	64.995	34.365	0.870234858
0.11	1757.179	66.052	34.926	0.906216371
0.115	1785.124	67.094	35.477	0.941556502





<참고> 제어프로그램 소스파일

```

// SerialTestDlg.h : 헤더 파일
//
#pragma once
#include "afxwin.h"
#include "Mycomm.h"
#include "IOcontrol.h"
#include "OScopeCtrl.h"

// CSerialTestDlg 대화 상자
class CSerialTestDlg : public CDialogEx
{
// 생성입니다.
public:
    CSerialTestDlg(CWnd* pParent = NULL); // 표준 생성자입니다.
// 대화 상자 데이터입니다.
#ifdef AFX_DESIGN_TIME
    enum { IDD = IDD_SERIALTEST_DIALOG };
#endif
    protected:
    virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX); // DDX/DDV 지원입니다.
// 구현입니다.
protected:
    HICON m_hIcon;
// 생성된 메시지 맵 함수
    virtual BOOL OnInitDialog();
    afx_msg void OnSysCommand(UINT nID, LPARAM lParam);
    afx_msg void OnPaint();
    afx_msg HCURSOR OnQueryDragIcon();
    DECLARE_MESSAGE_MAP()

public:
    CMycomm* m_comm;
    BOOL comport_state;
    CIOcontrol ciocondlg;

    LRESULT OnThreadClosed(WPARAM length, LPARAM lpara);
    LRESULT OnReceive(WPARAM length, LPARAM lpara);

    COScopeCtrl *m_prtGraph_L0;
    COScopeCtrl *m_prtGraph_L1;
    COScopeCtrl *m_prtGraph_L2;
    COScopeCtrl *m_prtGraph_AD0;
    COScopeCtrl *m_prtGraph_AD1;
    COScopeCtrl *m_prtGraph_AD2;
    CComboBox m_cComPort;
    CString m_strComPort;

```

```

CComboBox m_cBuadRate;
CString m_str_BuadRate;
CEdit m_cedit_rec;
//CFont m_font;
HBITMAP m_hBitmap; // Dialog에 배경이미지 임하기 위한 변수.
BITMAP m_bBit; // bitmap이미지 정보담는 변수.
unsigned char m_nid;
unsigned char m_ncmd;
unsigned int m_ndata;
unsigned char m_conID;
BYTE *m_getData;
int m_nparsing_state;
int m_nparsing_datacount;
int m_nparsing_timer;
int m_nparsing_timer_state;
bool m_bSystem_state;
int m_bSystem_count;
afx_msg void OnClickedButtonConnect();
afx_msg void OnBnClickedButtonDebug();
afx_msg void OnTimer(UINT_PTR nIDEvent);
afx_msg void OnBnClickedButtonStart();
int OnCmdParsing(unsigned char chs);
void ReceiveDataUpdate();
void ButtonDisable(bool b);
void InitGraph(void);
int OnSendGetData(BYTE id, BYTE cmd, BYTE data);
};

// SerialTestDlg.cpp : 구현 파일
#include "stdafx.h"
#include "SerialTest.h"
#include "SerialTestDlg.h"
#include "afxdialogex.h"

#ifdef _DEBUG
#define new DEBUG_NEW
#endif

#define CMD_START          0
#define CMD_ERROR         1
#define CMD_WAIT          2
#define CMD_COMPLETE     3
// 1, 2, 3, 4
#define DATA_LENGTH      4 //0xAA, ID, CMD, data1, data2
#define SYSTEM_TIMER_ID   100
#define SYSTEM_TIMER_TICK 50
#define PARSING_TIMER_ID  200
#define PARSING_TIMER_TICK 100
//ID_DO /ID_DI /ID_L0 /ID_L1
//ID_L2 /ID_L3 /ID_AD0/ID_AD1
//ID_AD2/ID_AD3/ID_T0 /ID_T1
//ID_T2 /ID_T3 /ID_DA0/ID_DA1
const BYTE cmd_getadd[6] = { 0x30, 0x31, 0x32, 0x34, 0x35, 0x36};
#define ID_DI    0
#define ID_L0    1
#define ID_L1    2
#define ID_L2    3
#define ID_L3    4
#define ID_AD0   5
#define ID_AD1   6
#define ID_AD2   7
#define ID_AD3   8
#define ID_T0    9
#define ID_T1   10
#define ID_T2   11
#define ID_T3   12
#define ID_DO   13
#define ID_DA0  14
#define ID_DA1  15

// 응용 프로그램 정보에 사용되는 CAboutDlg 대화 상자입니다.
class CAboutDlg : public CDialogEx
{
public:
    CAboutDlg();
    // 대화 상자 데이터입니다.
#ifdef AFX_DESIGN_TIME
    enum { IDD = IDD_ABOUTBOX };
#endif
protected:
    virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX); // DDX/DDV 지원입니다.
// 구현입니다.
protected:
    DECLARE_MESSAGE_MAP()
public:
    afx_msg void OnTimer(UINT_PTR nIDEvent);
};

CAboutDlg::CAboutDlg() : CDialogEx(IDD_ABOUTBOX)
{
}

```

```

void CAboutDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
    CDialogEx::DoDataExchange(pDX);
}

BEGIN_MESSAGE_MAP(CAboutDlg, CDialogEx)
END_MESSAGE_MAP()

// CSerialTestDlg 대화 상자
CSerialTestDlg::CSerialTestDlg(CWnd* pParent /*=NULL*/)
: CDialogEx(IDD_SERIALTEST_DIALOG, pParent)
, m_strComPort(_T(""))
, m_str_BuadRate(_T(""))
, m_nparsing_state(CMD_WAIT)
, m_nparsing_datacount(0)
, m_nid(0)
, m_nndata(0)
, m_nparsing_timer(0)
, m_nparsing_timer_state(0)
, m_ncmd(0)
, m_bSystem_state(false)
{
    m_hIcon = AfxGetApp()->LoadIcon(IDR_MAINFRAME);
    m_getData = new BYTE[DATA_LENGTH];
}

void CSerialTestDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
    CDialogEx::DoDataExchange(pDX);
    DDX_Control(pDX, IDC_COMBO_COM, m_cComPort);
    DDX_CBString(pDX, IDC_COMBO_COM, m_strComPort);
    DDX_Control(pDX, IDC_COMBO_BUAD_RATE, m_cBuadRate);
    DDX_CBString(pDX, IDC_COMBO_BUAD_RATE, m_str_BuadRate);
    DDX_Control(pDX, IDC_EDIT_DEBUG_REC, m_cedit_rec);
}

BEGIN_MESSAGE_MAP(CSerialTestDlg, CDialogEx)
    ON_WM_SYSCOMMAND()
    ON_WM_PAINT()
    ON_WM_QUERYDRAGICON()
    ON_MESSAGE(WM_MYCLOSE, &CSerialTestDlg::OnThreadClosed)
    ON_MESSAGE(WM_COMM_READ, &CSerialTestDlg::OnReceive)
    ON_BN_CLICKED(IDC_BUTTON_CONNECT, &CSerialTestDlg::OnClickedButtonConnect)
    ON_BN_CLICKED(IDC_BUTTON_DEBUG, &CSerialTestDlg::OnBnClickedButtonDebug)
    ON_WM_TIMER()
    ON_BN_CLICKED(IDC_BUTTON_START, &CSerialTestDlg::OnBnClickedButtonStart)
    ON_WM_ERASEBKGD()
END_MESSAGE_MAP()

// CSerialTestDlg 메시지 처리기
BOOL CSerialTestDlg::OnInitDialog()
{
    CDialogEx::OnInitDialog();
    // 시스템 메뉴에 "정보..." 메뉴 항목을 추가합니다.
    // IDM_ABOUTBOX는 시스템 명령 범위에 있어야 합니다.
    ASSERT((IDM_ABOUTBOX & 0xFFF0) == IDM_ABOUTBOX);
    ASSERT(IDM_ABOUTBOX < 0xF000);
    CMenu* pSysMenu = GetSystemMenu(FALSE);
    if (pSysMenu != NULL)
    {
        BOOL bNameValid;
        CString strAboutMenu;
        bNameValid = strAboutMenu.LoadString(IDS_ABOUTBOX);
        ASSERT(bNameValid);
        if (!strAboutMenu.IsEmpty())
        {
            pSysMenu->AppendMenu(MF_SEPARATOR);
            pSysMenu->AppendMenu(MF_STRING, IDM_ABOUTBOX, strAboutMenu);
        }
    }

    // 이 대화 상자의 아이콘을 설정합니다.
    // 응용 프로그램의 주 창이 대화 상자가 아닐 경우에는
    // 프레임워크가 이 작업을 자동으로 수행합니다.
    SetIcon(m_hIcon, TRUE); // 큰 아이콘을 설정합니다.
    SetIcon(m_hIcon, FALSE); // 작은 아이콘을 설정합니다.
    // TODO: 여기에 추가 초기화 작업을 추가합니다.
    // 리소스에 추가된 bitmap 파일 로딩
    m_hBitmap = LoadBitmap(AfxGetApp()->m_hInstance, MAKEINTRESOURCE(IDB_BITMAP2));
    // 비트맵 개체에서 비트맵 헤더를 구한다. (이미지 사이즈 알기위해)
    GetObject(m_hBitmap, sizeof(BITMAP), &m_bBit);
    // Dialog 위치 및 크기 변경 ( full screen 만들기 위해 )
    SetWindowPos(NULL, 0, 0, m_bBit.bmWidth, m_bBit.bmHeight, SWP_NOZORDER);
    //////////////////////////////////////
    m_cComPort.AddString(_T("COM1"));
    m_cComPort.AddString(_T("COM2"));
    m_cComPort.AddString(_T("COM3"));
    m_cComPort.AddString(_T("COM4"));
    m_cComPort.AddString(_T("COM5"));
    m_cComPort.AddString(_T("COM6"));
}

```

```

m_cComPort.AddString(_T("COM7"));
m_cComPort.AddString(_T("COM8"));
m_cComPort.AddString(_T("COM9"));
m_cBuadRate.AddString(_T("9600"));
m_cBuadRate.AddString(_T("14400"));
m_cBuadRate.AddString(_T("19200"));
m_cBuadRate.AddString(_T("38400"));
m_cBuadRate.AddString(_T("56000"));
m_cBuadRate.AddString(_T("115200"));
comport_state = false;
ButtonDisable(false);
GetDlgItem(IDC_BUTTON_CONNECT)->SetWindowText(_T("연결"));
m_strComPort = _T("COM1");
m_str_BuadRate = _T("9600");
SetTimer(SYSTEM_TIMER_ID, SYSTEM_TIMER_TICK, 0);
InitGraph();
UpdateData(FALSE);
return TRUE; // 포커스를 컨트롤에 설정하지 않으면 TRUE를 반환합니다.
}

```

```

void CSerialTestDlg::InitGraph(void)
{

```

```

CRect rtGraph;
////////////////////////////////////
GetDlgItem(IDC_GRAPH_L0)->GetWindowRect(rtGraph);
ScreenToClient(rtGraph);
m_prtGraph_L0 = new COScopeCtrl(1);
m_prtGraph_L0->Create(WS_VISIBLE | WS_CHILD, rtGraph, this, IDC_GRAPH_L0);
m_prtGraph_L0->SetRanges(0., 5.);
m_prtGraph_L0->autofitYscale = true;
m_prtGraph_L0->SetYUnits(_T("Value"));
m_prtGraph_L0->SetXUnits(_T("Time"));
m_prtGraph_L0->SetLegendLabel(_T("L0"), 0);
m_prtGraph_L0->SetPlotColor(RGB(255, 0, 0), 0);
m_prtGraph_L0->InvalidateCtrl();
////////////////////////////////////
GetDlgItem(IDC_GRAPH_L1)->GetWindowRect(rtGraph);
ScreenToClient(rtGraph);
m_prtGraph_L1 = new COScopeCtrl(1);
m_prtGraph_L1->Create(WS_VISIBLE | WS_CHILD, rtGraph, this, IDC_GRAPH_L1);
m_prtGraph_L1->SetRanges(0., 5.);
m_prtGraph_L1->autofitYscale = true;
m_prtGraph_L1->SetYUnits(_T("Value"));
m_prtGraph_L1->SetXUnits(_T("Time"));
m_prtGraph_L1->SetLegendLabel(_T("L1"), 0);
m_prtGraph_L1->SetPlotColor(RGB(255, 0, 0), 0);
m_prtGraph_L1->InvalidateCtrl();
////////////////////////////////////
GetDlgItem(IDC_GRAPH_L2)->GetWindowRect(rtGraph);
ScreenToClient(rtGraph);
m_prtGraph_L2 = new COScopeCtrl(1);
m_prtGraph_L2->Create(WS_VISIBLE | WS_CHILD, rtGraph, this, IDC_GRAPH_L2);
m_prtGraph_L2->SetRanges(0., 5.);
m_prtGraph_L2->autofitYscale = true;
m_prtGraph_L2->SetYUnits(_T("Value"));
m_prtGraph_L2->SetXUnits(_T("Time"));
m_prtGraph_L2->SetLegendLabel(_T("L2"), 0);
m_prtGraph_L2->SetPlotColor(RGB(255, 0, 0), 0);
m_prtGraph_L2->InvalidateCtrl();
////////////////////////////////////
GetDlgItem(IDC_GRAPH_AD0)->GetWindowRect(rtGraph);
ScreenToClient(rtGraph);
m_prtGraph_AD0 = new COScopeCtrl(1);
m_prtGraph_AD0->Create(WS_VISIBLE | WS_CHILD, rtGraph, this, IDC_GRAPH_AD0);
m_prtGraph_AD0->SetRanges(0., 5.);
m_prtGraph_AD0->autofitYscale = true;
m_prtGraph_AD0->SetYUnits(_T("Value"));
m_prtGraph_AD0->SetXUnits(_T("Time"));
m_prtGraph_AD0->SetLegendLabel(_T("AD0"), 0);
m_prtGraph_AD0->SetPlotColor(RGB(255, 0, 0), 0);
m_prtGraph_AD0->InvalidateCtrl();
////////////////////////////////////
GetDlgItem(IDC_GRAPH_AD1)->GetWindowRect(rtGraph);
ScreenToClient(rtGraph);
m_prtGraph_AD1 = new COScopeCtrl(1);
m_prtGraph_AD1->Create(WS_VISIBLE | WS_CHILD, rtGraph, this, IDC_GRAPH_AD1);
m_prtGraph_AD1->SetRanges(0., 5.);
m_prtGraph_AD1->autofitYscale = true;
m_prtGraph_AD1->SetYUnits(_T("Value"));
m_prtGraph_AD1->SetXUnits(_T("Time"));
m_prtGraph_AD1->SetLegendLabel(_T("AD1"), 0);
m_prtGraph_AD1->SetPlotColor(RGB(255, 0, 0), 0);
m_prtGraph_AD1->InvalidateCtrl();
////////////////////////////////////
GetDlgItem(IDC_GRAPH_AD2)->GetWindowRect(rtGraph);
ScreenToClient(rtGraph);
m_prtGraph_AD2 = new COScopeCtrl(1);
m_prtGraph_AD2->Create(WS_VISIBLE | WS_CHILD, rtGraph, this, IDC_GRAPH_AD2);
m_prtGraph_AD2->SetRanges(0., 5.);
m_prtGraph_AD2->autofitYscale = true;

```

```

        m_prtGraph_AD2->SetYUnits(_T("Value"));
        m_prtGraph_AD2->SetXUnits(_T("Time"));
        m_prtGraph_AD2->SetLegendLabel(_T("AD2"), 0);
        m_prtGraph_AD2->SetPlotColor(RGB(255, 0, 0), 0);
        m_prtGraph_AD2->InvalidateCtrl();
    }

void CSerialTestDlg::OnSysCommand(UINT nID, LPARAM lParam)
{
    if ((nID & 0xFFFF) == IDM_ABOUTBOX)
    {
        CAboutDlg dlgAbout;
        dlgAbout.DoModal();
    }
    else
    {
        CDialogEx::OnSysCommand(nID, lParam);
    }
}

void CSerialTestDlg::OnPaint()
{
    //if (IsIconic())
    //{
        CPaintDC dc(this); // 그리기를 위한 디바이스 컨텍스트입니다.
        CBitmap bmp;
        CBitmap *old_bmp;
        CDC memDC;

        SendMessage(WM_ICONERASEBKGD, reinterpret_cast<WPARAM>(dc.GetSafeHdc()), 0);

        // 클라이언트 사각형에서 아이콘을 가운데에 맞춥니다.
        int cxIcon = GetSystemMetrics(SM_CXICON);
        int cyIcon = GetSystemMetrics(SM_CYICON);
        CRect rect;
        GetClientRect(&rect);
        int x = (rect.Width() - cxIcon + 1) / 2;
        int y = (rect.Height() - cyIcon + 1) / 2;

        // 아이콘을 그립니다.
        dc.DrawIcon(x, y, m_hIcon);
        //////////////////////////////////////
        memDC.CreateCompatibleDC(&dc);
        bmp.LoadBitmap(IDB_BITMAP2);
        old_bmp = memDC.SelectObject(&bmp);
        dc.BitBlt(0, 0, m_bmp.Bit.Width(), m_bmp.Bit.Height(), &memDC, 0, 0, SRCCOPY);
        memDC.SelectObject(old_bmp);
        bmp.DeleteObject();
        memDC.DeleteDC();
    //}
    //else
    //{
        CDialogEx::OnPaint();
    //}
}

// 사용자가 최소화된 창을 끄는 동안에 커서가 표시되도록 시스템에서
// 이 함수를 호출합니다.
HCURSOR CSerialTestDlg::OnQueryDragIcon()
{
    return static_cast<HCURSOR>(m_hIcon);
}

LRESULT CSerialTestDlg::OnThreadClosed(WPARAM length, LPARAM lpara)
{
    //overlapped i/o 핸들을닫는다.
    ((CMyComm*)lpara)->HandleClose();
    delete ((CMyComm*)lpara);

    return 0;
}

LRESULT CSerialTestDlg::OnReceive(WPARAM length, LPARAM lpara)
{
    UpdateData(TRUE); //받는 데이터 타임을 알기 위해
    CString str = _T("");
    CString result;
    BYTE aByte; //데이터를 저장할 변수
    char ret;
    ret = 100;
    int iSize = (m_comm->m_QueueRead).GetSize(); //포트로 들어온 데이터 갯수
    for (int i = 0; i < iSize; i++) //들어온 갯수 만큼 데이터를 읽어 와 화면에 보여줌
    {
        (m_comm->m_QueueRead).GetByte(&aByte); //큐에서 데이터 한개를 읽어옴
        //////////////////////////////////////Command Parsing////////////////////////////////////
        ret = OnCmdParsing(aByte);
        if (ret == CMD_COMPLETE)
        {
            m_nid = m_getData[0];
            m_ncmd = m_getData[1];
            m_ndata = ((int)(m_getData[2]) << 8) + (int)(m_getData[3]);
        }
    }
}

```

```

        str.Format(_T("id=%d cmd=0x%x data=%d"), m_nid, m_ncmd, m_ndata);
        SetDlgItemText(IDC_EDIT_DEBUG_REC, str);
        str = "";
        ReceiveDataUpdate();
    }
    ///////////////////////////////////////////////////////////////////
}
return 1;
}
void CSerialTestDlg::ReceiveDataUpdate()
{
    CString str;
    double V_data;
    switch (m_ncmd)
    {
    case 0x30:
        str.Format(_T("%d"), m_ndata);
        SetDlgItemText(IDC_EDIT_L0, str);
        V_data = (double)(m_ndata) * 5 / 256;
        m_prtGraph_L0->AppendPoints(&V_data);
        break;
    case 0x31:
        str.Format(_T("%d"), m_ndata);
        SetDlgItemText(IDC_EDIT_L1, str);
        V_data = (double)(m_ndata) * 5 / 256;
        m_prtGraph_L1->AppendPoints(&V_data);
        break;
    case 0x32:
        str.Format(_T("%d"), m_ndata);
        SetDlgItemText(IDC_EDIT_L2, str);
        V_data = (double)(m_ndata) * 5 / 256;
        m_prtGraph_L2->AppendPoints(&V_data);
        break;
    ///////////////////////////////////////////////////////////////////
    case 0x34:
        str.Format(_T("%d"), m_ndata);
        SetDlgItemText(IDC_EDIT_AD0, str);
        V_data = (double)(m_ndata) * 5 / 256;
        m_prtGraph_AD0->AppendPoints(&V_data);
        break;
    case 0x35:
        str.Format(_T("%d"), m_ndata);
        SetDlgItemText(IDC_EDIT_AD1, str);
        V_data = (double)(m_ndata) * 5 / 256;
        m_prtGraph_AD1->AppendPoints(&V_data);
        break;
    case 0x36:
        str.Format(_T("%d"), m_ndata);
        SetDlgItemText(IDC_EDIT_AD2, str);
        V_data = (double)(m_ndata) * 5 / 256;
        m_prtGraph_AD2->AppendPoints(&V_data);
        break;
    ///////////////////////////////////////////////////////////////////
    }
}
void CSerialTestDlg::OnClickButtonConnect()
{
    // TODO: 여기에 컨트롤 알림 처리기 코드를 추가합니다.
    UpdateData(TRUE);
    if (comport_state)
    {
        if (m_comm) //컴포트가 존재하면
        {
            m_comm->Close();
            m_comm = NULL;
            AfxMessageBox(_T("COM 포트닫힘"));
            comport_state = false;
            GetDlgItem(IDC_BUTTON_CONNECT)->SetWindowText(_T("연결"));
            ButtonDisable(false);
        }
    }
    else
    {
        m_comm = new CMycomm(_T("WWW.WW") + m_strComPort, m_strBuadRate, _T("None"), _T("8
        Bit"), _T("1 Bit"));
        // initial Comm port

        if (m_comm->Create(GetSafeHwnd()) != 0) //통신포트를열고원도우의핸들을넘긴다.
        {
            AfxMessageBox(_T("COM 포트열림"));
            comport_state = true;
            GetDlgItem(IDC_BUTTON_CONNECT)->SetWindowText(_T("끊기"));

            ButtonDisable(true);
        }
        else
        {
            AfxMessageBox(_T("ERROR!"));
        }
    }
}
}

```



```

int CSerialTestDlg::OnCmdParsing(unsigned char ch)
{
    CString str;

    if (m_nparsing_state == CMD_WAIT)
    {
        if (ch == 0xAA)
        {
            m_nparsing_state = CMD_START;
            m_nparsing_datacount = 0;
            m_nparsing_timer = 0;
            m_nparsing_timer_state = 1;
            return CMD_START;
        }
    }
    else if (m_nparsing_state == CMD_START)
    {
        m_getData[m_nparsing_datacount] = ch;
        m_nparsing_datacount++;

        if (m_nparsing_datacount == DATA_LENGTH)
        {
            m_nparsing_timer = 0;
            m_nparsing_timer_state = 0;
            m_nparsing_datacount = 0;
            m_nparsing_state = CMD_WAIT;
            return CMD_COMPLETE;
        }
    }

    if (m_nparsing_timer)
    {
        m_nparsing_timer = 0;
        m_nparsing_timer_state = 0;
        return CMD_ERROR;
    }
    return CMD_WAIT;
}

void CSerialTestDlg::OnBnClickedButtonDebug()
{
    // TODO: 여기에 컨트롤 알림 처리기 코드를 추가합니다.
    unsigned char send_data[5];
    int id, data;
    CString str_id, str_data, str;
    int num;
    GetDlgItem(IDC_EDIT_DEBUG_SEND_ID)->GetWindowText(str_id);
    GetDlgItem(IDC_EDIT_DEBUG_SEND)->GetWindowText(str_data);
    send_data[0] = 0xaa;
    send_data[1] = 0x01;
    id = _ttoi(str_id);
    data = _ttoi(str_data);
    send_data[2] = id;
    send_data[3] = data;
    send_data[4] = 'W0';
    str.Format(_T("%s"), send_data);
    num = str.GetLength();
    //m_comm->Send(str, num);
}

void CSerialTestDlg::OnTimer(UINT_PTR nIDEvent)
{
    // TODO: 여기에 메시지 처리기 코드를 추가 및/또는 기본값을 호출합니다.
    switch (nIDEvent)
    {
        case PARSING_TIMER_ID:
            if(m_nparsing_timer_state==1)
            {
                m_nparsing_timer++;
            }
            break;
        case SYSTEM_TIMER_ID:
            if (m_bSystem_state == TRUE)
            {
                OnSendGetData(m_conID,cmd_getadd[m_bSystem_count],
                    (m_bSystem_count*rand()) % 255);
                m_bSystem_count++;
                m_bSystem_count %= 6;
            }
            else if (m_bSystem_state == FALSE)
            {
                m_bSystem_count = 0;
            }
            break;
    }
    CDialogEx::OnTimer(nIDEvent);
}

int CSerialTestDlg::OnSendGetData(BYTE id, BYTE cmd, BYTE data)
{
    BYTE send_data[6];
}

```

```

CString str_id, str_data, str;
send_data[0] = (BYTE)0xaa;
send_data[1] = (BYTE)(id); //ID
send_data[2] = (BYTE)(cmd); //cmd
//send_data[3] = (BYTE)(0xff & (data >> 8)); //사용안함
send_data[3] = (BYTE)(0xff & data); //사용안함
send_data[4] = 'W0';
m_comm->WriteComm(send_data, 4);
return 0;
}

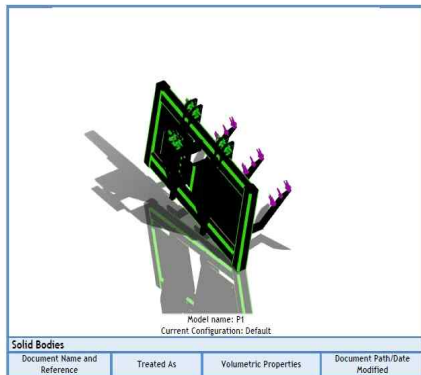
void CSerialTestDlg::ButtonDisable(bool b)
{
    GetDlgItem(IDC_BUTTON_START)->EnableWindow(b);
    GetDlgItem(IDC_BUTTON_DEBUG)->EnableWindow(b);
}

void CSerialTestDlg::OnBnClickedButtonStart()
{
    // TODO: 여기에 컨트롤을 알림 처리기 코드를 추가합니다.
    if (m_bSystem_state == FALSE)
    {
        SetTimer(SYSTEM_TIMER_ID, SYSTEM_TIMER_TICK, 0);
        GetDlgItem(IDC_BUTTON_START)->SetWindowText(_T("정지"));
        m_bSystem_state = TRUE;
        GetDlgItem(IDC_BUTTON_CONNECT)->EnableWindow(false);
    }
    else if (m_bSystem_state == TRUE)
    {
        KillTimer(SYSTEM_TIMER_ID);
        GetDlgItem(IDC_BUTTON_START)->SetWindowText(_T("시작"));
        GetDlgItem(IDC_BUTTON_CONNECT)->EnableWindow(true);
        m_bSystem_state = FALSE;
    }
}

```

(라) 간이 부하측정장치의 기계적 특성 해석

Model Information



1) 해석모델링

Imported1	Solid Body	Mass:626.766 lb Volume:2210.04 in <sup>3</sup> Density:0.283599 lb/in <sup>3</sup> Weight:626.341 lbf
-----------	------------	--

Material Properties

Model Reference	Properties	Components
	Name: ASTM A36 Steel Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Max von Mises Stress Yield strength: 2.5e+008 11/m <sup>2</sup> Tensile strength: 4e+008 11/m <sup>2</sup>	

2) 기계적물성

Loads and Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details
Fixed-1		Entities: 6 face(s) Type: Fixed Geometry

Load name	Load Image	Load Details
Force-1		Entities: 3 face(s) Type: Apply normal force Value: 32666 11

3) 구속조건

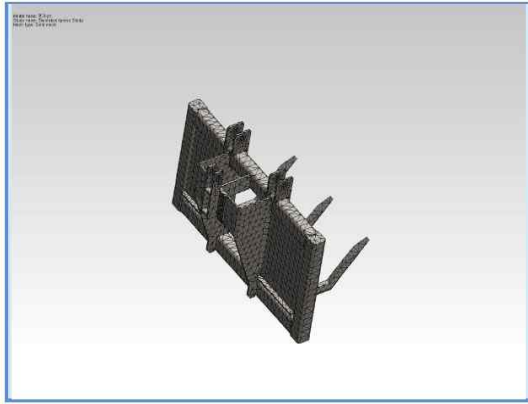
Mesh Information

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Include Mesh Auto Loops:	Off
Jacobian points	4 Points
Element Size	4.32113 cm
Tolerance	0.216056 cm
Mesh Quality	High

Mesh Information - Details

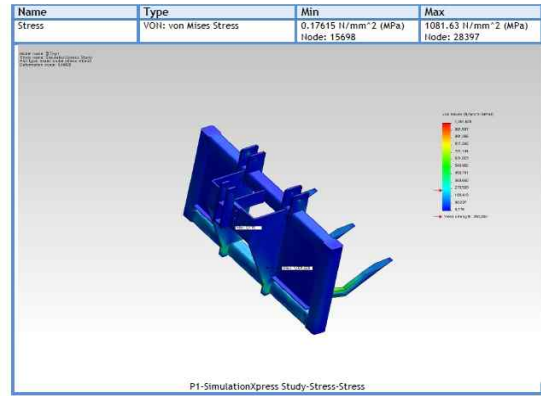
Total Nodes	33138
Total Elements	16760
Maximum Aspect Ratio	47.616
% of elements with Aspect Ratio < 3	41.6
% of elements with Aspect Ratio > 10	5.48
% of distorted elements(Jacobian)	0.0179
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:06
Computer name:	

4) 메쉬정보



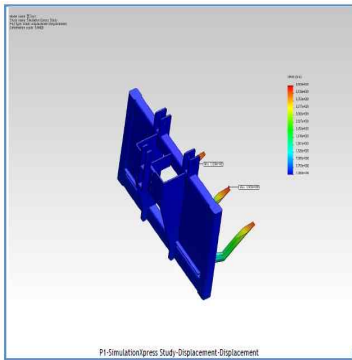
5)메쉬생성

Study Results

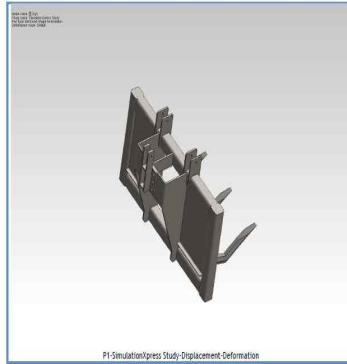


Name	Type	Min	Max
Displacement	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 97	45.0318 mm Node: 623

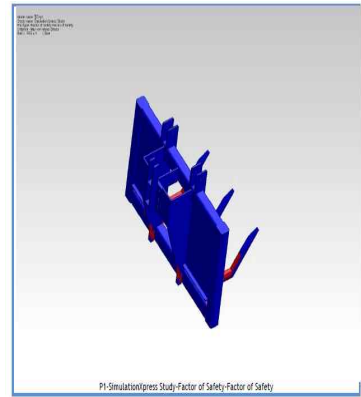
6)해석결과(1) : 등가응력 비교



Name	Type
Deformation	Deformed Shape



Name	Type	Min	Max
Factor of Safety	Max: von Mises Stress	0.231133 Node: 28397	1449.24 Node: 15698



7)해석결과(2) : 변형

○ 협동 3 (한국기계연구원)

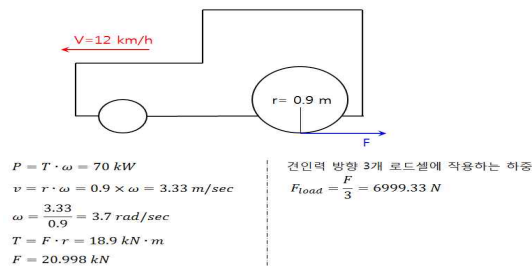
가. 1차년도 수행내역 및 결과

(1) 복합작업기 견인력 계측장비 개발

(가) 복합작업기 시험하중 도출을 위한 계측용 센서 선정(6분력계)

■ Load cell 선정을 위한 견인력 계산

복합작업기 구성품의 시험하중 도출에 필요한 Load cell 용량 선정을 위하여 트랙터의 견인력을 계산하여 복합작업기에 걸리는 부하를 추정하였다. 트랙터의 견인력은 소요동력 효율 100%와 Powertrain 효율 및 토양추진력을 감안하여 각 90%, 85%로 가정하였으며, 계산결과는 표 1.1과 같다.



<그림1.1> 트랙터 작업속도 및 타이어 동반경

$$P = T \times \omega$$

$$v = r \times \omega$$

$$T = F \times r$$

- 여기서, P = 소요동력, kW  
 T = 토크, kN.m  
 w = 각속도, rad/sec  
 v = 속도, km/h  
 r = 타이어 동반경, m  
 F = 견인력, N

<표1.1> 트랙터 견인력 계산

사 항	Powertrain 효율 : 100% 가정 토양추진력 : 100% 가정	Powertrain 효율 : 90% 가정 토양추진력 : 85% 가정
소요동력, kW	70 kW	53.55 kW
속도, km/h	12 km/h	12 km/h
타이어 동반경, m	0.9 m	0.9 m
각속도, $\omega$	3.7 rad/sec	3.7 rad/sec
토크, T	18.9 kN.m	14.46 kN.m
예상 견인력, N	20,998 N	16,065 N

트랙터의 예상 견인력은 총 20,998 N 으로 견인력 방향에 설치되는 3개의 Load cell의 받

는 각 하중은 약 7,000 N으로 계산되었다. 다만, 계산에 반영되지 않은 하중, 편중 등을 고려하여 Load cell 측정 용량을 19,600 N 으로 선정하였다.

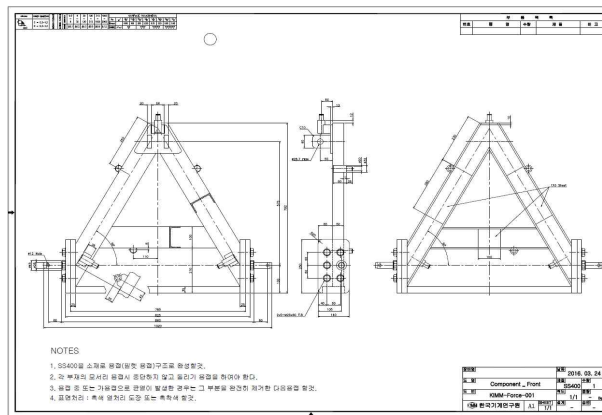
■ 복합작업기 견인력 측정용 6분력계 설계

① 6분력계 설계

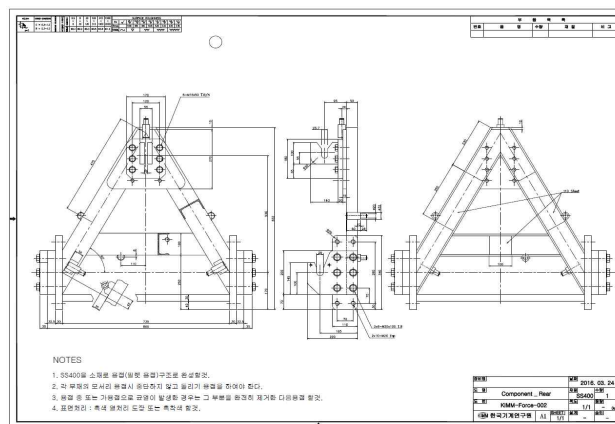
복합작업기의 부하 측정을 위한 Load cell을 설치할 수 있는 6분력계 설치지그를 설계하였다. 6분력계 설치지그는 트랙터와 복합작업기 사이에 설치되어 경운과 배토 작업시 복합기에 걸리는 동하중을 연속적으로 받기 때문에 사용 중 파손되지 않도록 충분한 강도를 확보할 수 있도록 설계하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 구조해석을 수행하여 6분력계 설치지그에 대한 정적강도를 검증하였다.

각 연결 파트에 따라 트랙터와 6분력계가 연결되는 부분을 Front, 6분력계와 복합작업기가 연결되는 부분을 Rear로 구분하였다. 개발품 복합작업기와 트랙터의 3점 링크 연결규격을 고려하여 CAT. II, CAT. III 호환이 가능하도록 설계하였고, 지그의 재료를 SS400로 사용하였다.

그림1.2는 트랙터 견인력 측정을 위한 6분력계 장비의 설계도면이다.

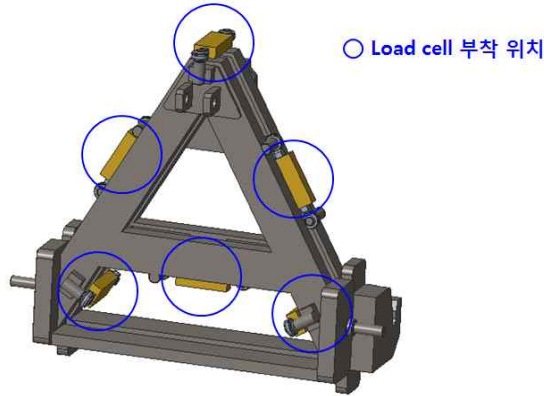


(a) 6분력계 Front



(b) 6분력계 Rear

<그림1.2> 6분력계 설계 도면



<그림1.3> 6분력계 설계 모델링 및 Load cell 부착 위치

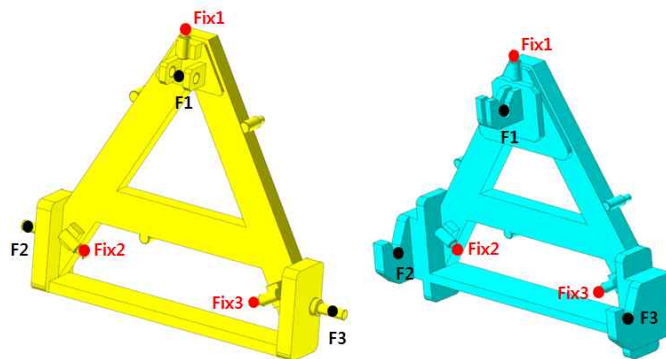
<표1.2> 6분력계 재료 물성치

재료	항복강도(N/mm <sup>2</sup> )		인장강도(N/mm <sup>2</sup> )	연신율(%)	
	16t 이하	16t 초과 40t 이하		5t 이하	5t 초과 16t 이하
SS400	245	235	400 ~ 510	21 이상	17 이상

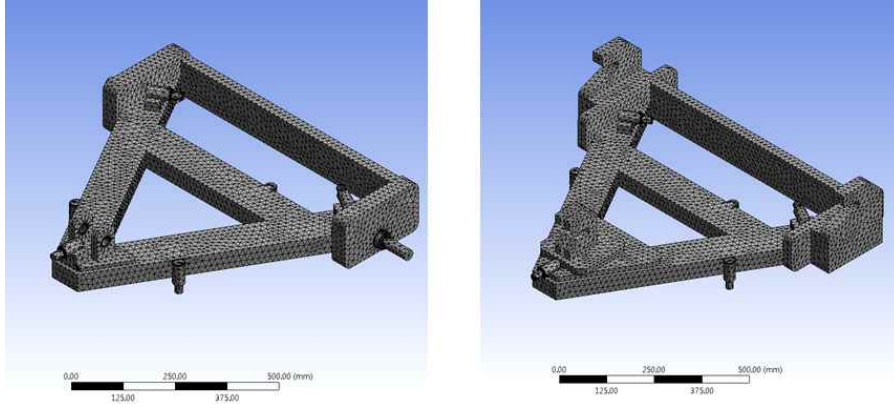
② 구조 해석을 통한 설계 검증

6분력계의 Front-Rear 연결부위에 걸리는 응력 및 설계 안정성을 확인하기 위하여 구조 해석 프로그램(ANSYS v.17.0)을 활용하여 설계 검증을 실시하였다. 구조해석조건은 예상 견인력을 기준으로 Powertrain 효율 및 토양추진력을 감안하여 각 90%, 85%로 가정하여 계산한 결과를 적용하였다. 트랙터 및 복합작업기에 장착되는 부분(Fix1, Fix2, Fix3)을 Fixed constraint 적용하였으며, 로드셀이 장착되는 부분(F1, F2, F3)에 Axial Force 4,000 N , 5,000 N, 5,000 N을 입력하였고 그림1.4와 같다.

구조해석에 필요한 요소는 Solid 요소(Quad mesh)를 사용하여 전체 모델링을 구성하였으며, Load cell 및 트랙터/복합기 연결 부위에는 fine mesh를 적용하여 mesh size를 조정하였다. 구조해석결과로부터 F1, F2, F3 부분에서의 deformation 및 equivalent stress 계산결과를 추출하였다.



<그림1.4> Force 및 Fixed 포인트 (좌:Front, 우:Rear)



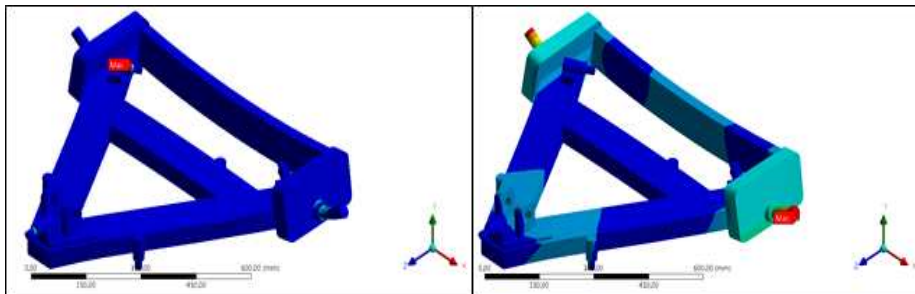
<그림1.5> Mesh 모델링 (좌:Front, 우:Rear)

③ 해석결과

6분력계 구조 해석 결과를 통해 Front와 Rear의 취약 부분에 대한 데이터를 추출하였다. 해석 결과는 그림1.6, 그림1.7, 표1.3과 같이 나타났다. 해석결과 최대응력은 Front의 경우, 191.54 MPa이고 Rear의 경우 186.77 Mpa로써 소재의 항복강도 이하로 계산되었다.

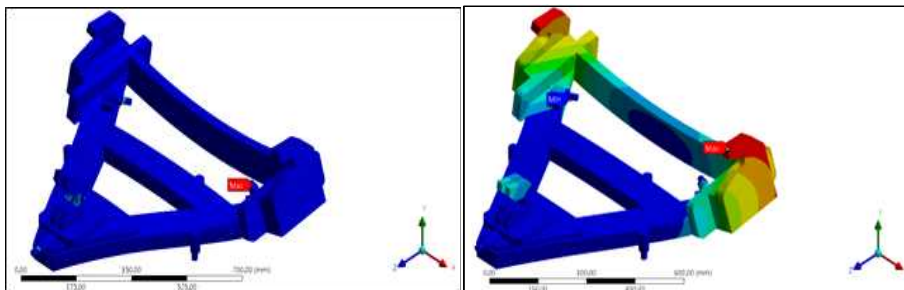
<표1.3> 6분력계 설치지그 구조해석 결과

Front		Rear	
Max. Equivalent stress (MPa)	191.54	Max. Equivalent stress (MPa)	186.77
Max. Deformation (mm)	0.20809	Max. Deformation (mm)	0.08864



(a) Equivalent stress (MPa)                      (b) Deformation (mm)

<그림1.6> 6분력계 Front 지그 구조해석 결과



(a) Equivalent stress (MPa)                      (b) Deformation (mm)

<그림1.7> 6분력계 Rear 지그 구조해석 결과

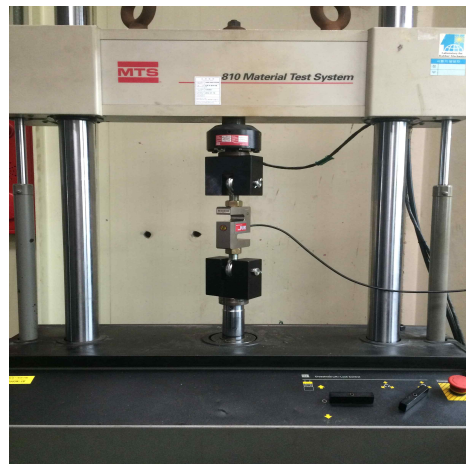
■ 계측용 센서 교정

① Load cell 교정

Load cell을 교정하기 위한 시험장비는 그림1.8과 같이 만능재료시험기(810 Material test system, MTS사)를 활용하였다. Load cell의 상·하부를 시험기에 부착된 고정지그에 연결하고, 정격 하중인 19,600 N까지 인장 및 압축하중을 가하여 Load cell에서 출력되는 전압 신호를 측정하였다. 본 시험에 사용된 시험장비에 대한 정보는 표1.4와 같다.

<표1.4> 시험 장비 구성

구분	사양
하중 인가 장치	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Model : MTS 810 Material Test System</li> <li>- Maximun force 25 kN</li> <li>- Type Hydraulic</li> <li>- Maximum testing range 150 mm</li> <li>- Standards DIN and ISO</li> </ul>
데이터 계측 장비	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Model : HBM MGC plus</li> <li>- accuracy class : 0.0025, 225 Hz or 600 Hz carrier-frequency modules</li> <li>- measurements : DC amplifier offering 100 kHz</li> <li>- sampling rates : parallel sampling using three channel-independent sampling rates</li> </ul>



<그림1.8> 하중 인가 장치

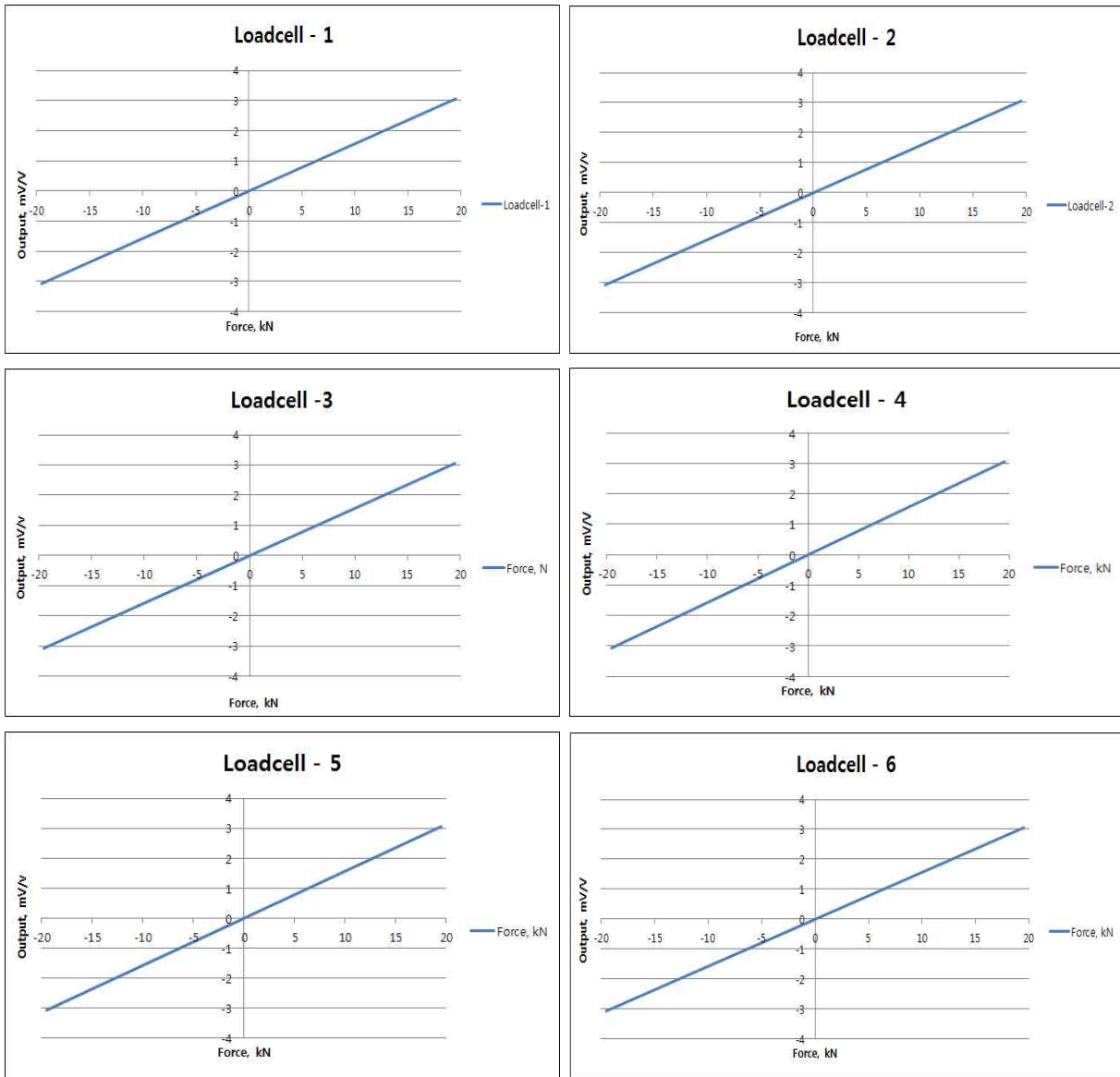
② 시험결과

표1.5는 6개의 Load cell에 대하여 인장 및 압축하중의 인가전압에 대한 출력전압비 (mV/V)를 나타내었으며, 그림1.9는 각 Load cell에 대한 하중 대 출력전압비를 나타낸 그래프이다. 이 결과로부터 인장 및 압축하중에 대한 출력전압값은 선형성을 유지하고 있음을 알 수 있으며, 모든 Load cell에 대하여 최대하중에 대한 출력전압값이 유사한 결과가 나오는 것을 확인하였다.



<표1.5> Load cell calibration 결과

Load cell Number(S/N)	Force, kN	Rated output, mV/V	
		인장	압축
Load cell 1(714)	19.6	3.06	-3.07
Load cell 2(717)		3.05	-3.06
Load cell 3(736)		3.05	-3.06
Load cell 4(743)		3.05	-3.06
Load cell 5(751)		3.05	-3.06
Load cell 6(684)		3.05	-3.06

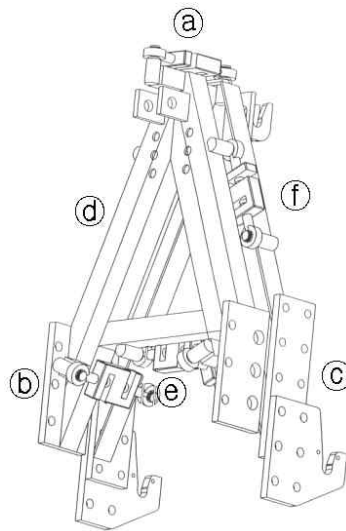


<그림1.9> Load cell calibration 결과

③ 하중계산

트랙터 주행에 의해 발생하는 견인력 측정을 위해 한 6분력계 장비는 그림 1.10과 같이 트랙트 측 프레임과 복합작업기 측의 프레임조합과 6개의 로드셀로 구성이 되며 모서리

의 3개의 로드셀(a, b, c)은 견인력을 측정하기 위한 것이고, 양쪽 중간정도에 있는 2개의 로드셀(d, f)은 트랙터와 복합작업기 사이의 수평력(Horizontal side force)이나 수직력에 민감하며 가장 아래의 로드셀(e)은 수평력에만 민감하다. 종합적으로 볼 때 로드셀 d, e, f가 트랙터 추진방향을 축으로 하는 모멘트를 지탱하게 되는 것이다. 모든 힘은 육분력계 프레임에서 로드셀로 전달되는데, 로드엔드와 핀조인트를 통해 각 로드셀에 굽힘 모멘트가 걸리는 것을 방지한다.

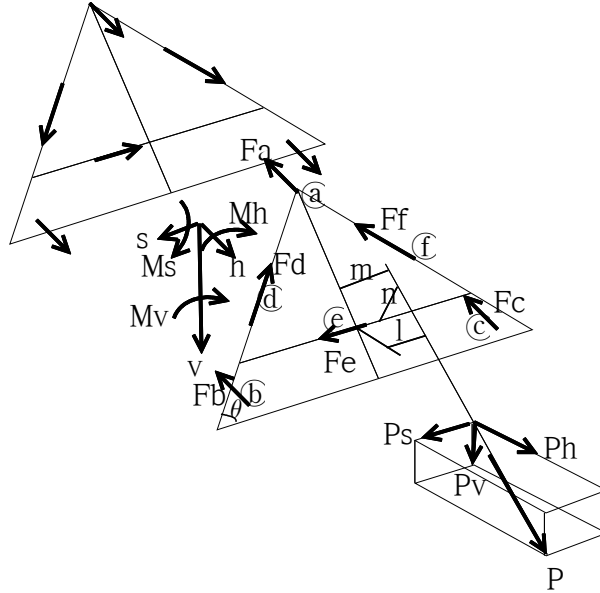


<그림1.10> 6분력계 Load cell 번호 및 위치

복합작업기의 토양반력이 작용할 때 육분력계의 각 로드셀에 걸리는 힘은 그림 1.11과 같으며 여기서 사용될 기호는 다음과 같다.

Ph	: 견인력 (DRAFT FORCE)	Kg
Pv	: 수직력 (VERTICAL FORCE)	Kg
Ps	: 수평력 (HORIZONTAL SIDE FORCE)	Kg
Fa	: 로드셀 ①에 작용하는 힘	Kg
Fb	: 로드셀 ②에 작용하는 힘	Kg
Fc	: 로드셀 ③에 작용하는 힘	Kg
Fd	: 로드셀 ④에 작용하는 힘	Kg
Fe	: 로드셀 ⑤에 작용하는 힘	Kg
Ff	: 로드셀 ⑥에 작용하는 힘	Kg
$\theta$	: ④, ⑥로드셀이 기울어진 각도	° (degree)
Mh	: 트랙터 진행방향을 축으로 하는 모멘트	Kg·m
Mv	: 수직방향을 축으로 하는 모멘트	Kg·m
Ms	: 수평방향을 축으로 하는 모멘트	Kg·m
l	: Mh 모멘트 팔의 길이	m
m	: Mv 모멘트 팔의 길이	m
n	: Ms 모멘트 팔의 길이	m

※ 위의 모든 모멘트는 점 0를 중심으로 한다.



<그림1.11> Load-cell 하중 기호

여기서 트랙터 진행방향 힘(DRAFT FORCE)의 합은 0이다.

$$Ph - Fa - Fb - Fc = 0$$

$$Ph = Fa + Fb + Fc \quad \text{----- (1)}$$

또 수직력(VERTICAL FORCE)의 합도 0이다.

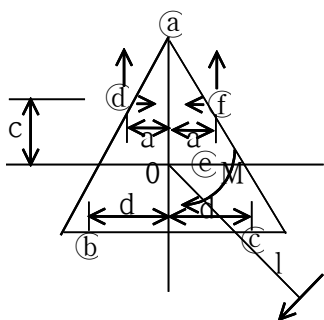
$$Pv - Fd \cdot \sin\theta - Ff \cdot \sin\theta = 0$$

$$Pv = Fd \cdot \sin\theta + Ff \cdot \sin\theta \quad \text{----- (2)}$$

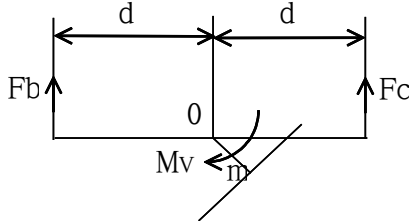
마찬가지로 수평력(HORIZONTAL FORCE)의 합도 0이다.

$$Ps - Fd \cdot \cos\theta + Ff \cdot \cos\theta + Fe = 0$$

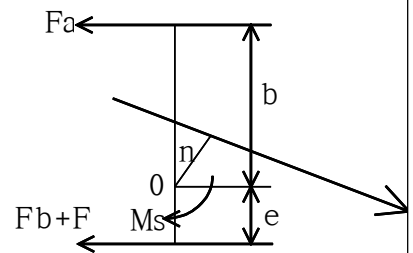
$$Ps = Fd \cdot \cos\theta - Ff \cdot \cos\theta - Fe \quad \text{----- (3)}$$



(a) Tractor progress direction moment



(b) Axial moment



(c) Horizontal direction moment

<그림1.12> 모멘트 계산

여기에서 점 0를 중심으로한 트랙터 진행방향 모멘트의 합은 0이다.

$$\sqrt{(Ps^2 + Pv^2)} \cdot l + Fd \cdot \sin\theta \cdot a + Fd \cdot \cos\theta \cdot c - Ff \cdot \sin\theta - Ff \cdot \cos\theta \cdot c = 0$$

$$l = \frac{(Ff - Fd) \times (a \cdot \sin\theta + c \cdot \cos\theta)}{\sqrt{(Ps^2 + Pv^2)}} \quad (4)$$

$$Mh = l \cdot \sqrt{(Ps^2 + Pv^2)} \quad (5)$$

또, 점 0를 중심으로한 수직방향 모멘트의 합은 0이다.

$$\sqrt{(Ph^2 + Ps^2)} \cdot m + (Fb - Fc) \cdot d = 0$$

$$m = \frac{(Fb - Fc) \cdot d}{\sqrt{(Ph^2 + Ps^2)}} \quad (6)$$

$$Mv = m \cdot \sqrt{(Ph^2 + Ps^2)} \quad (7)$$

마찬가지로 점 0를 중심으로한 수평방향 모멘트의 합도 0이다.

$$\sqrt{(Ph^2 + Pv^2)} \cdot n - Fa \cdot b + (Fb + Fc) \cdot e = 0$$

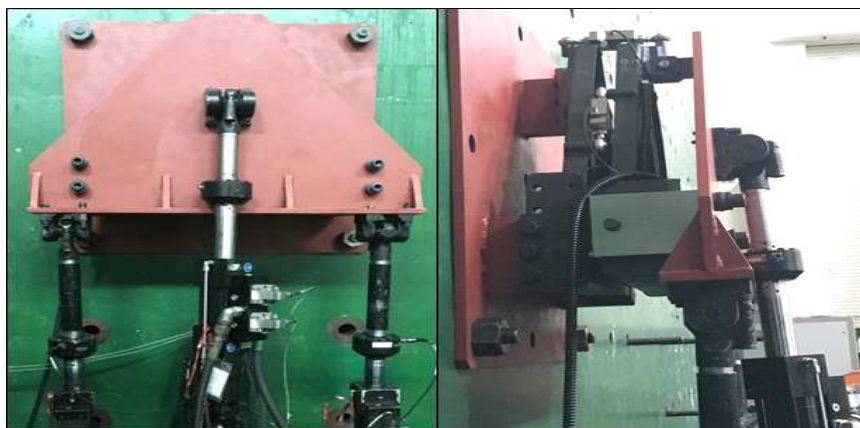
$$n = \frac{Fa \cdot b - (Fb + Fc) \cdot e}{\sqrt{(Ph^2 + Pv^2)}} \quad (8)$$

$$Ms = n \cdot \sqrt{(Ph^2 + Pv^2)} \quad (9)$$

#### ■ 정하중 시험을 통한 6분력계 검교정 시험

##### ① 정하중시험

6분력계의 검증을 위하여 6분력계 검교정을 수행하였다. 실제 작업에서의 견인력, 수직력, 비틀림과 유사한 메커니즘을 구현하기 위하여 전면 지그를 벽에 고정하였고 후면 지그에는 3축 방향의 힘을 측정할 수 있도록 유압식 5톤 액츄에이터(hydraulic actuator system)를 설치하여 정하중시험을 수행하였으며 시험 셋업 사진은 그림 1.13과 같다. 또한 로드 셀에서 측정된 하중과 실제 인가하중을 비교하며 6분력계 검교정을 수행하였다.



<그림1.13> 6분력계 정하중시험

##### ② 정하중시험 결과

6분력계 검 · 교정 위하여 정하중시험을 수행하였다. 시험조건을 4가지(견인력방향, 수직방향, 조합하중 시계방향, 조합하중 반시계방향)로 변경하며 시험을 2회씩 수행하였다. 정하

중시험의 견인력방향 시험은 Actuator 1로 트랙터의 진행방향과 동일한 방향으로 식 3으로부터 계산된 40 kN의 하중을 인가하였고, LoadCell 1, 2, 6을 통하여 각 하중을 측정하여 견인력을 도출하였다. 수직력방향 시험은 Actuator 2, 3으로 진행방향과 수직으로 각 9 kN을 인가하였으며 LoadCell 3, 5을 통하여 수직력을 도출하였다. 조합하중 시험은 6분력계에 회전 및 비틀림 모멘트가 걸리는 것을 시험한 것으로 시계방향과 반시계방향으로 시험을 수행하였다. 시계방향 시험에서는 Actuator 2에 9 kN, Actuator 3에 -9 kN의 하중을 인가하여 LoadCell 3, 4, 5의 하중을 측정한다. 이때 LoadCell 3에는 인장이 발생되고 LoadCell 4, 5에서는 압축이 발생한다. 반시계방향 시험에서는 Actuator 2에 -9 kN, Actuator 3에 9 kN의 하중을 인가하며 LoadCell 3, 4에서는 압축, LoadCell 5에서는 인장이 발생하였다. 이때의 견인력 및 수직력은 계산식은 도출한 하중계산식으로 계산하였다.

검·교정 시험을 수행한 결과 오차율은 1.38% ~ 7.94%로 나타났으며 최대 편차는 0.846 kN 였다. 오차율이 인가하중에 비해 상대적으로 매우 작기 때문에 이후 시험에 크게 문제가 되지 않는다고 판단하였다.

<표1.6> 6분력계 검교정 시험결과

Test	로드셀						합력 (kN)	인가 하중 (kN)	편차 (kN)	오차율 (%)
	1	2	3	4	5	6				
견인력 test1	17.16	10.89	-	-	-	11.38	39.44	40	0.55	1.38
견인력 test2	16.89	11.05	-	-	-	11.57	39.52		0.47	1.19
수직력 test1	-	-	12.21	-	9.54	-	18.84	18	0.84	4.70
수직력 test2	-	-	12.17	-	9.46	-	18.73		0.73	4.10
조합하중 +test1	-	-	-15.10	-14.23	13.28	-	9.43	9	0.43	4.83
조합하중 +test2	-	-	-15.13	-14.27	13.31	-	9.48		0.48	5.37
조합하중 -test1	-	-	15.42	14.55	-13.48	-	9.71	9	0.71	7.94
조합하중 -test2	-	-	15.18	14.21	-13.16	-	9.27		0.27	3.10

(2)복합작업기 구성품 피로내구도 해석

(가) 복합작업기 구성품별 하중계산

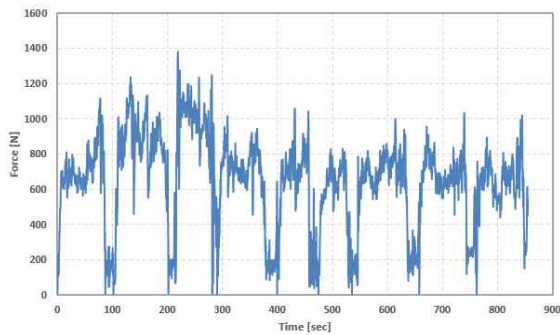
복합작업기 구성품인 디스크 해로우와 치즐에 대한 피로내구도 해석을 수행하였다. 이를 위하여 본 개발품에 적용되는 복합작업기와 유사한 제원을 가지는 복합작업기(트랙터 동력 71kW, 동력단수 3단, 표1.7 참조)에서 측정된 시험결과를 활용하였다. 이 때, 트랙터의 출력축 최대 토크와 견인력은 변속기 입력축 최대 토크, 변속기 기어비, 트랙터 후륜 타이어 동반경 등을 적용하여 계산하였다.

그림1.14와 그림1.15는 855초 동안 측정된 동하중 데이터로서 각각 디스크 해로우와 치즐

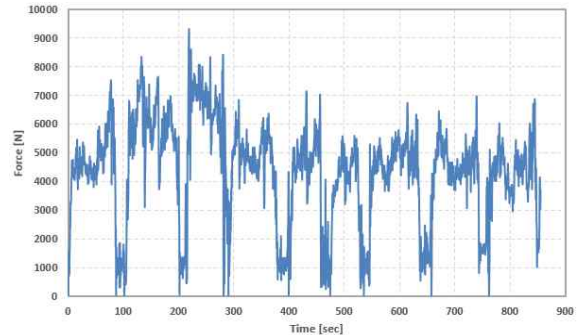
에 작용하는 하중 프로파일이다.

<표1.7> 트랙터 정보 및 복합작업기 구성품별 하중 계산 결과

트랙터 동력, kW	71 kW
트랙터 작업 단수, 단	L3
효율 가정, %	100
변속기 최대 출력 토크, Nm	48925.4
동반경, m	0.7875
트랙터 총 견인력	62127.4
각 치즐에 걸리는 하중, N	9319.12
각 디스크 해로우에 걸리는 하중, N	1380.61



<그림1.14> 디스크 해로우 하중 프로파일

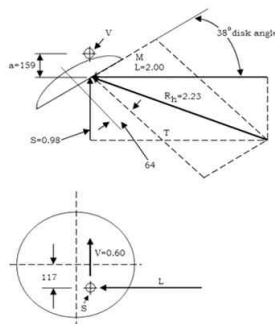


<그림1.15> 치즐 하중 프로파일

(나) 디스크해로우 구조해석

■ 디스크 해로우 작용하중

디스크 해로우에 작용되는 각 성분별 하중크기는 표1.8에서 계산된 견인력 방향 하중(L) 과 그림1.16의 각 방향별 하중비를 통해 횡력방향하중(S) 및 수직방향하중(V)을 계산할 수 있으며, 그 계산결과는 표1.9와 같다.



<그림1.16> 디스크 해로우 하중 비

<표1.8> 디스크 해로우에 걸리는 하중 비

하중비	
견인력(L)	1380 N
횡력(S)	676.2 N
수직력(V)	414 N

■ 재료 물성치

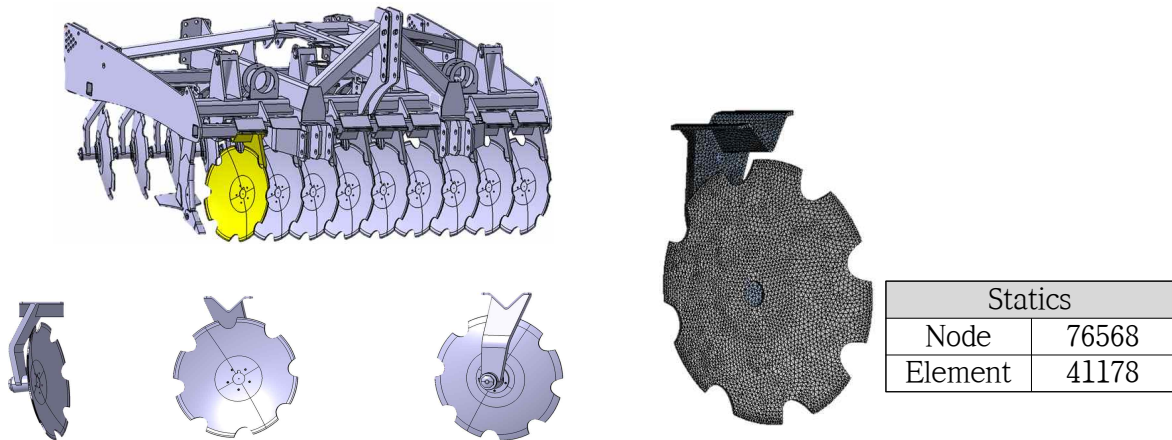
해석 대상인 디스크 해로우의 재료는 SS400 단일 재료를 사용하였고, 아래 표 1.9와 같이 재료 물성치를 적용하였다.

<표1.9> 재료 물성치

Density	7,850 kg/m <sup>3</sup>
Young's modulus	200 GPa
Poisson's ratio	0.3

■ 모델링 및 Mesh

복합기에 설치되는 디스크 해로우는 전·후 2열로서 전열 9개와 후열 9개의 총 18개 디스크 해로우로 구성되어있다. 구조해석은 그림 1.17와 같이 1개의 구성품을 대상으로 모델링하였다. 디스크 해로우 구성품에 대한 Mesh를 위하여 Node 수는 76,566개이며 Element 수는 411,78개가 사용되었으며, Tetra element type 요소를 이용하여 mesh를 구성하였다.

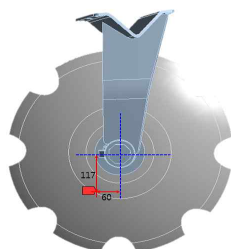


<그림1.17> 디스크 해로우 구조 해석 3D 모델

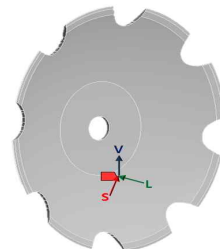
<그림1.18> 디스크 해로우의 Mesh model

■ 해석 경계조건

디스크 해로우는 윗면 총 6개의 볼트로 메인 프레임과 연결되어 구속이 제한되어 메인 프레임과 맞닿게 되는 면 전체를 Fixed 조건으로 설정하여 움직임을 제한시켰다. 디스크 중심을 기준으로 지면 방향으로 117만큼, 전진하는 반대방향으로 60만큼 떨어진 곳에 Nodal force로 하중을 부여하였다.



<그림1.19> Force 위치

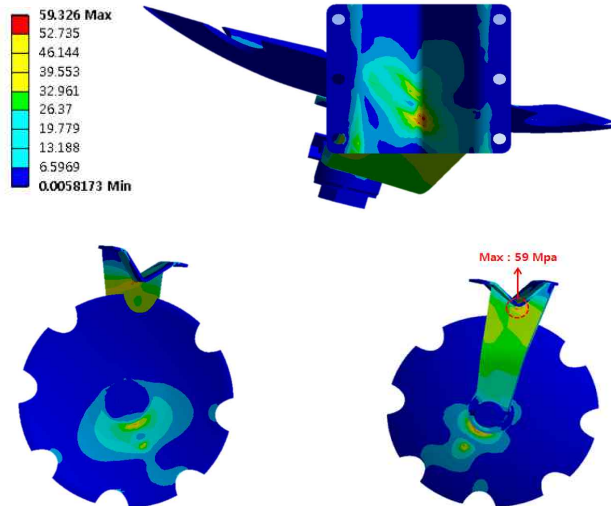


<그림1.20> 디스크에 작용하는 하중 방향

■ 해석결과

Equivalent stress

외부하중에 의한 디스크해로우의 응력은 디스크에 하중점 주위로 일부 나타나고 가장 큰 응력이 나타나는 부분은 Fixed로 고정된 플레이트와 디스크를 연결하는 파트사이 연결부에서 59 MPa로 가장 크게 나타났다.



<그림1.21> Equivalent stress 결과

Deformation

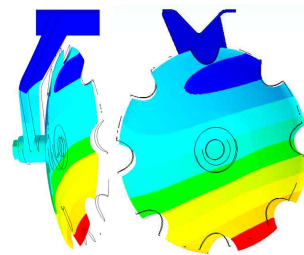
아래 표 1.10과 그림 1.22는 X, Y, Z축에 대한 각 방향별 주 변형량 및 전체 변형량을 나타내었으며, Deformed model은 변형 전·후의 모델을 비교하였다.

<표1.10> 각 방향별 주 변형량 및 전체 변형량

X-axis	0.026 mm
Y-axis	0.043 mm
Z-axis	0.386 mm
Total	2.898 mm



(a) Total deformation



(b) Deformed model

<그림1.22> Deformation 결과

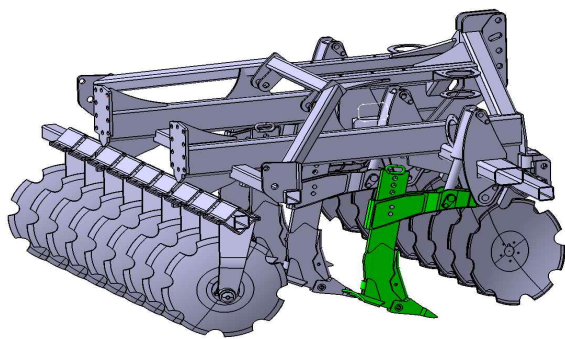
(다) 치즐 구조 해석

■ 모델링

복합작업기에 설치되는 치즐은 총 4개로 구성되어 있다. 복합작업기 구성품별 하중 계산에서 구한 치즐에 걸리는 최대 하중 9319 N을 치즐이 작업시 지면과 맞닿는 면에 하중을



적용하여 해석을 수행하였다. FE 모델링의 Node수는 111,624개, Element수는 68,396개이며, 모델이 여러 개의 파트로 나뉘어져 다소 복잡한 형태를 보이고 있어, Mixed element type을 사용하여 Mesh를 구성하였다.



Statics	
Node	111624
Element	68396

<그림1.23> 치즐 구조 해석 3D 모델

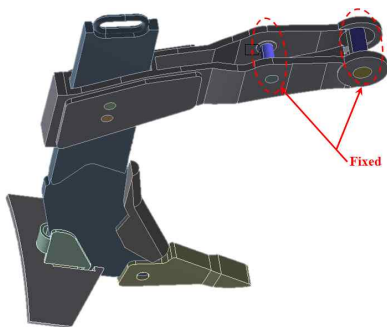
<그림1.24> 치즐 구성품의 Mesh model

■ 재료 물성치

치즐 또한 디스크해로우와 마찬가지로 동일한 재료인 SS400을 사용하였다.

■ 해석 경계조건

치즐이 연결된 파트는 핀으로 연결되어 고정된 상태이고, 상부에 2개의 핀이 메인 프레임의 유압실린더에 의해 움직이게 되는데 작업 시 유압실린더는 일정하게 유지하게 된다. 해석 시에는 유압실린더가 연결되어 있는 핀 부분의 면을 Fixed 조건으로 설정하여 움직임을 구속시켰다. 또한, 치즐이 작업 시 지면과 맞닿게 되는 면에 위에서 계산된 각 치즐에 작용하는 하중인 9,319 N을 적용하였고, 이 하중의 방향은 하중이 작용하는 면에 대해 수직한 방향으로 하중을 부여하였다.



<그림1.25> 해석 경계조건



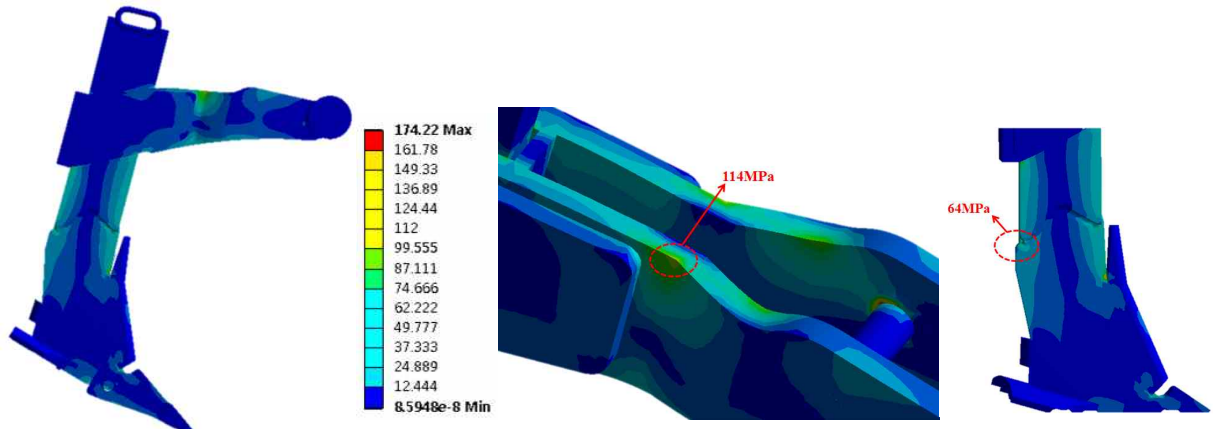
<그림1.26> 치즐에 하중이 작용하는 방향

■ 해석결과

Equivalent Stress

전체 파트에 대한 가장 큰 응력은 174 MPa로 나타나지만, 이 부분을 확인해보면 경계조건과 Mesh data에 대한 error로 보인다. 따라서 이를 제외하고 치즐에 걸리는 하중에 의한 전체적인 응력 분포를 확인해 보았을 때, 치즐과 연결된 파트에서 형상이 변형된 부분에서 다소 크게 응력이 작용하고 있음을 확인 할 수 있다.

또한 치즐 파트에서도 형상이 급격히 변화되는 곳 주위에서 응력이 크게 나타남을 확인하였다.



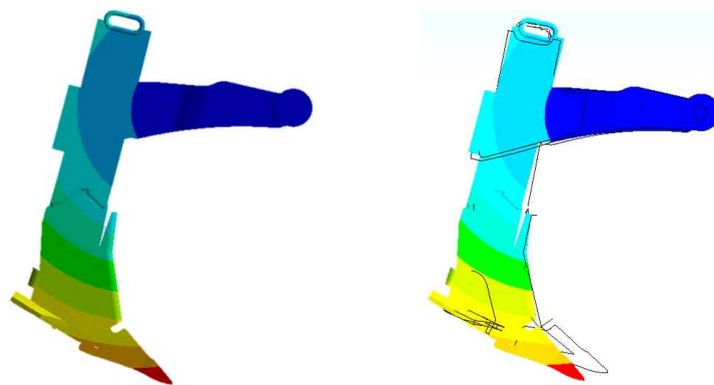
<그림1.27> Equivalent stress 결과

### Deformation

아래 표와 그림은 X, Y, Z축에 대한 각 방향별 주 변형량 및 전체 변형량을 나타내었으며, Deformed model은 변형 전 모델과 변형 후의 모델을 비교하였다.

<표1.11> 각 방향별 주 변형량 및 전체 변형량

X-axis	1.387 mm
Y-axis	0.041 mm
Z-axis	0.660 mm
Total	1.468 mm



(a) Total deformation (b) Deformed model

<그림1.28> Deformation 결과

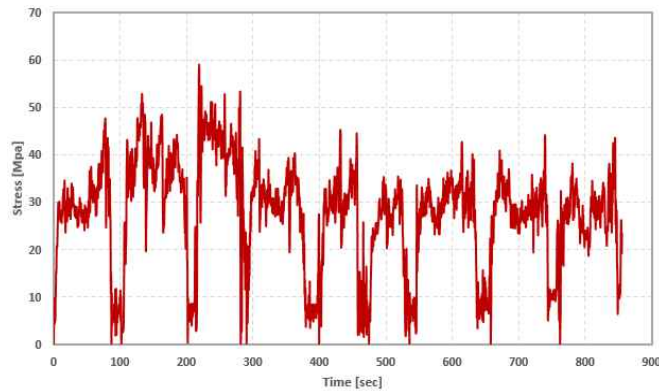
(라) 복합작업기 구성품 누적 손상률 계산

#### ■ 디스크 해로우 구성품

##### ① 작용 하중을 이용한 디스크해로우 응력 프로파일 생성

작용 하중 프로파일과 디스크해로우 구조 해석을 수행한 계산결과를 이용하여 변동 하중에 따른 변동 응력 프로파일을 그림 1.29와 같이 도출하였다. 이 때, 디스크 해로우는 선형 시스템으로 고려하였으며, 하중의 크기와 응력의 크기는 정비례 관계가 있는 것으로

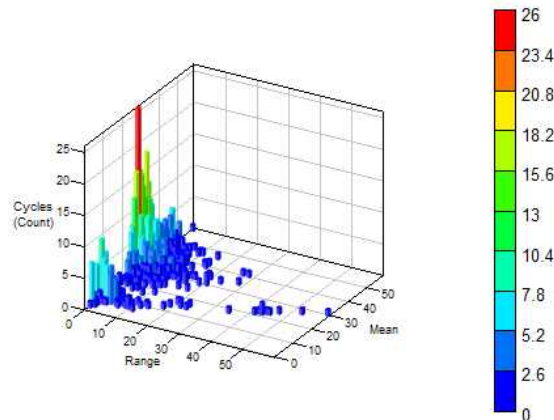
가정하였다.



<그림1.29> 디스크해로우 응력 프로파일

### ② 레인플로우 카운팅

디스크해로우의 손상률 계산을 위해서 사이클 카운팅(cycle counting) 방법 중 레인플로우 카운팅 방법을 사용하였다. 디스크해로우의 구조 해석으로 얻어진 응력 프로파일을 이용하여 레인플로우 카운팅을 수행하였다. 레인플로우 카운팅은 가변 반복 응력을 일정한 크기의 응력과 평균 응력으로 나누어 식별할 수 있는 사이클 집계 방법이다. 이를 통하여 그림 1.30과 같이 응력진폭(stress range, Srange)과 평균응력(mean stress, Smean)을 계산하였다.



<그림1.30> 레인플로우 카운팅 히스토그램

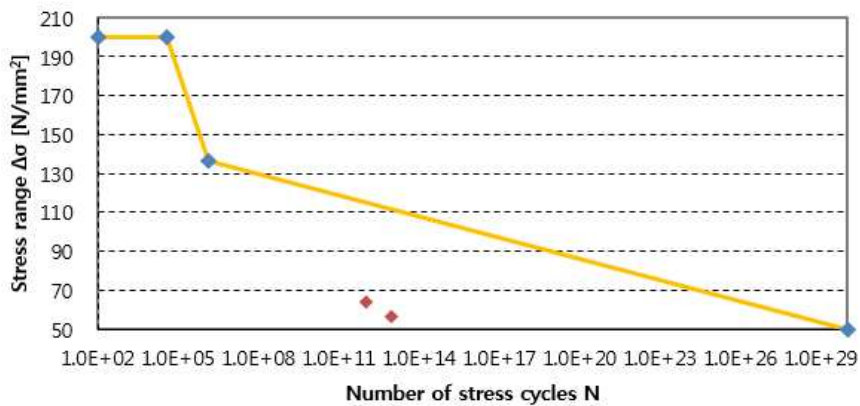
### ③ S-N 선도 작성

S-N 선도는 재료에 반복적으로 가해지는 응력의 진폭과 반복 횟수와의 관계를 나타내는 선도로 GL guideline을 적용하여 얻었다. S-N 선도는 피로 시험 대상체인 디스크해로우 재료의 인장강도, 항복강도, 응력비, 응력집중계수, 노치계수, 표면 거칠기, 재료의 부분 안전계수, 부품 등급, 재료 및 시험 방법에 대한 상수, 두께 등을 이용하여 계산하였다. 입력 매개변수 및 S-N 선도는 각각 표 1.12, 그림 1.31과 같다.

<표1.12> 합성 S-N 선도를 구하기 위한 입력 파라미터

Symbol	Meaning	Value	Unit
$R_m$	Tensile strength	460	$N/mm^2$
$R_{p0.2}$	Yield strength	250	$N/mm^2$
R	Stress ratio	0	-
$\alpha_k$	Stress concentration factor	1	-
n	Notch sensitivity caused by stress gradient influence and localized plastic deformation at the notch base	1	-
$R_z$	Surface roughness	100	$\mu m$
$\gamma_M$	Partial safety factor for material	1.25	-
j	Quality level for component	3	-
$j_0$	Constant for material and test method	0	-
t	Wall thickness	25	mm

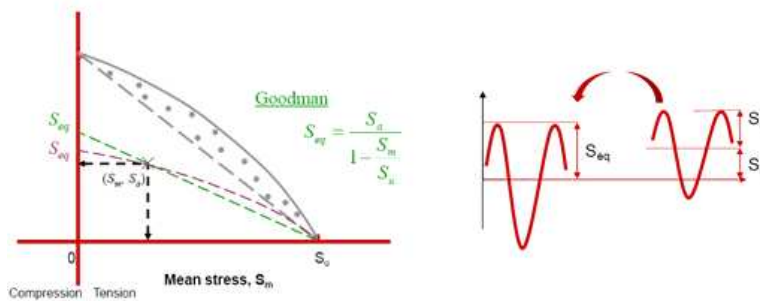
S-N Curve



<그림1.31> S-N 선도

④ 등가손상 이론을 적용한 내구손상도 계산

디스크해로우의 구조 해석으로 얻어진 응력을 사용하여 응력진폭과 평균응력을 도출하였으며, 그림 1.32의 Goodman 이론을 적용하여 등가응력진폭(equivalent stress range,  $S_{eq}$ )으로 변환하였다. 위 결과를 S-N 선도 및 등가 손상이론(Miner's rule)에 적용하여 표 1.13과 같이 전체 손상률을 계산하였다.



<그림1.32> Goodman 이론

$$Damage = \sum_j \frac{n_i}{N_i}$$

여기서,  $N_i$  : permissible life on s\_N curves

$n_i$  : Required life (cycles)

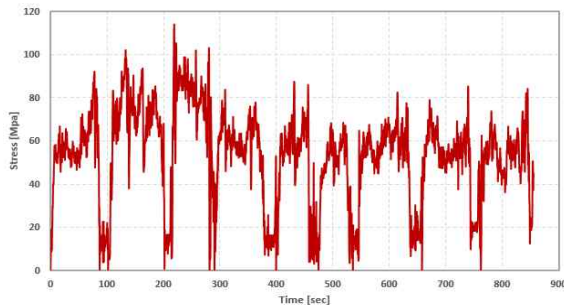
<표1.13> 디스크해로우 누적 손상률

목표수명, hour	데이터 측정시간, sec	누적 손상률
800	855	3.86E-09

■ 치즐 구성품 누적 손상률 계산

① 작용 하중을 이용한 치즐 응력 프로파일 생성

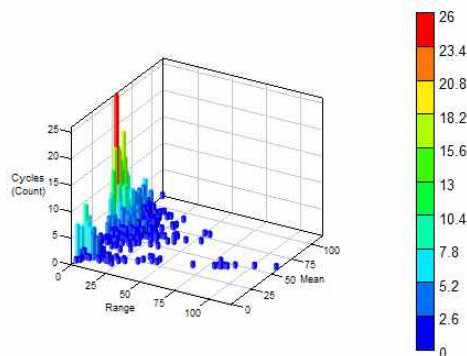
치즐의 손상률 계산을 위해서 사이클 카운팅(cycle counting) 방법 중 레인플로우 카운팅 방법을 사용하였다. 디스크 해로우와 동일한 방법으로 변동 하중에 따른 변동 응력 프로파일을 그림 1.33과 같이 도출하였다. 이 때, 치즐은 선형 시스템으로 고려하였으며, 하중의 크기와 응력의 크기는 정비례 관계가 있는 것으로 가정하였다.



<그림1.33> 치즐 응력 프로파일

② 레인플로우 카운팅

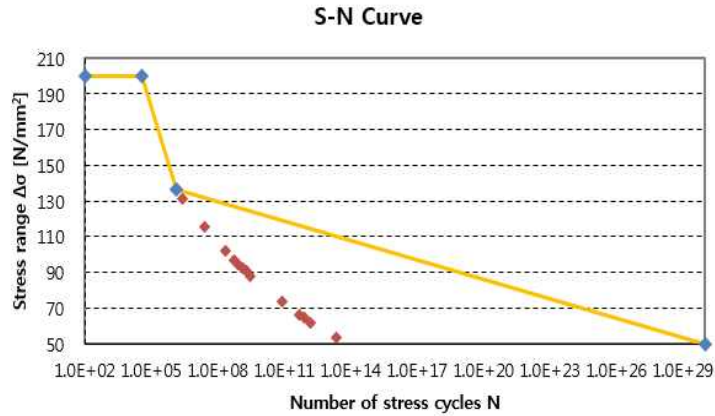
치즐의 구조 해석으로 얻어진 응력 프로파일을 이용하여 레인플로우 카운팅을 수행하였다. 레인플로우 카운팅은 가변 반복 응력을 일정한 크기의 응력과 평균 응력으로 나누어 식별할 수 있는 사이클 집계 방법이다. 이를 통하여 그림 1.34와 같이 응력진폭(stress range, Srange)과 평균응력(mean stress, Smean)을 계산하였다.



<그림1.34> 레인플로우 카운팅 히스토그램

③ S-N 선도 작성

S-N 선도는 재료에 반복적으로 가해지는 응력의 진폭과 반복 횟수와의 관계를 나타내는 선도로 GL guideline을 적용하여 얻었다. S-N 선도는 피로 시험 대상체인 치즐 재료의 인장강도, 항복강도, 응력비, 응력집중계수, 노치계수, 표면 거칠기, 재료의 부분 안전계수, 부품 등급, 재료 및 시험 방법에 대한 상수, 두께 등을 이용하여 계산하였다.



<그림1.35> S-N 선도

④ 등가손상 이론을 적용한 내구손상도 계산

치즐의 구조 해석으로 얻어진 응력을 사용하여 응력진폭과 평균응력을 도출하였으며, Goodman 이론을 적용하여 등가응력진폭(equivalent stress range, Seq)으로 변환하였다. S-N 선도 및 등가 손상이론(Miner's rule)에 적용하여 표 2.8와 같이 전체 손상률을 계산하였다.

<표1.14> 치즐의 누적 손상률

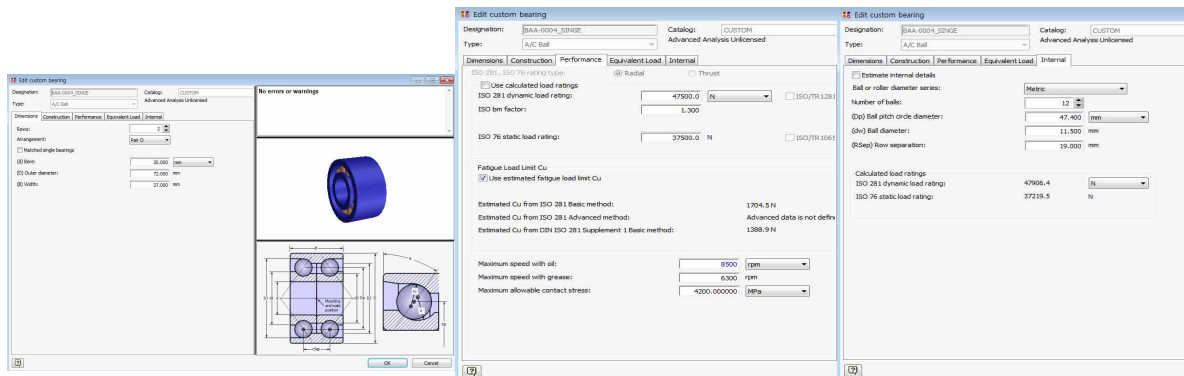
목표수명, hour	데이터 측정시간, sec	누적 손상률
800	855	1.46E-03

(마) 디스크 해로우 지지용 허브 베어링 해석 및 수명 예측

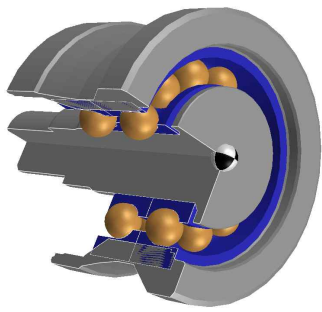
■ 해석 모델링

① 허브 베어링 모델

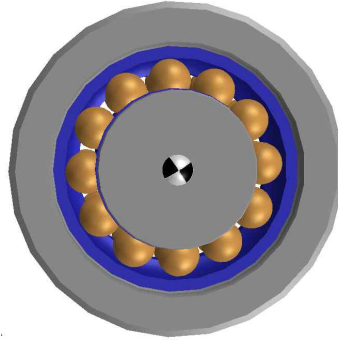
디스크 해로우와 프레임 사이를 연결하는 허브베어링은 디스크 해로우 전용 베어링 이다. 베어링 해석을 위해 Romax의 베어링 custom 모드를 사용하여 그림 1.36과 같은 상세제원이 적용된 베어링을 생성하였다. 생성된 베어링을 축 모델에 결합하여 그림 1.37와 같이 허브 베어링을 모델링 하였다.



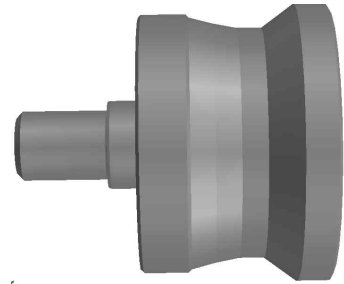
<그림1.36> hub bearing 제원입력



(a) 부분 단면



(b) 정면

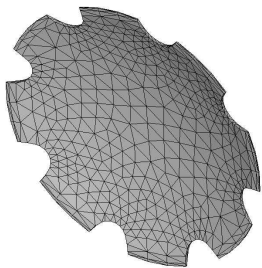


(c) 측면

<그림1.37> Hub bearing in ROMAX

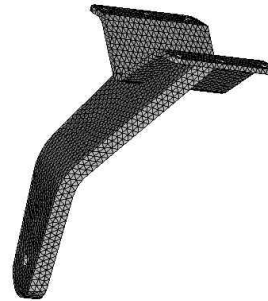
② 모델링 및 Mesh

허브 베어링 해석을 위하여 디스크 해로우의 전체 형상을 모델링 하였으며, 디스크 해로우와 프레임은 FE를 적용하였다. 디스크 해로우의 mesh 형상은 그림 1.38과 같으며, node 수 4639개, Element수 2148개로 구성되어있다. 프레임의 mesh 형상은 그림 1.39와 같고 Node수 20405개, Element수 10994개이다.



Statics	
Node	4639
Element	2148

<그림1.38> Disc harrow FE data



Statics	
Node	20405
Element	10994

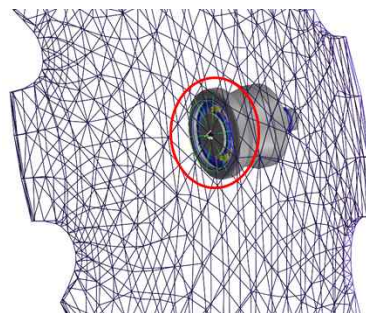
<그림1.39> Frame FE data

③ 해석 조건

디스크 해로우의 프레임 윗면은 총 6개의 볼트로 전체 프레임에 고정되므로 메인 프레임과 맞닿게 되는 면 전체를 그림 1.40과 같이 Fixed 조건으로 설정하였다. 디스크 해로우와 프레임 또한 그림 1.41과 같이 허브베어링과의 연결부에 Fixed 조건으로 경계조건을 설정하였다. 디스크 해로우에 작용하는 하중조건은 표 2.2를 참고하여 그림 1.42와 같이 적용하였다.



<그림1.40> 프레임 윗면 경계조건

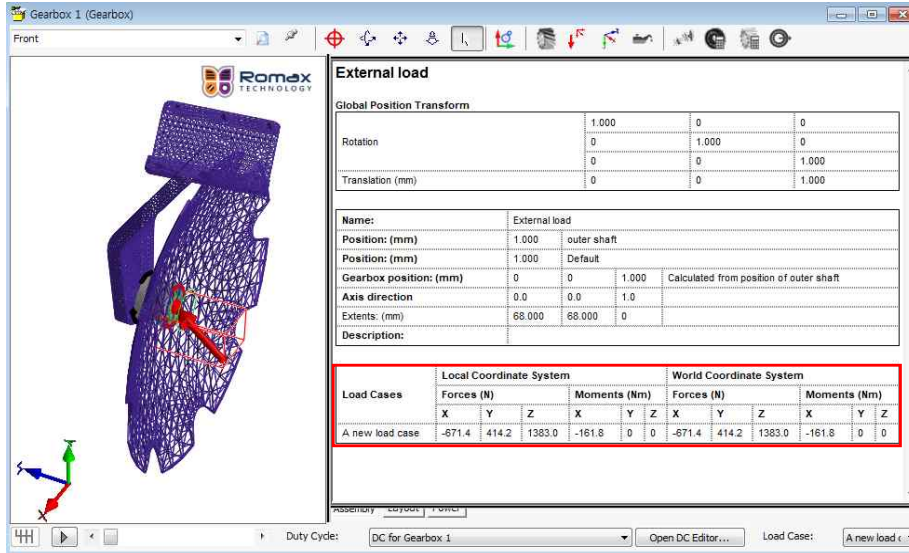


(a) 디스크 해로우 연결부



(b) Frame 연결부

<그림1.41> 허브베어링 연결부 경계조건



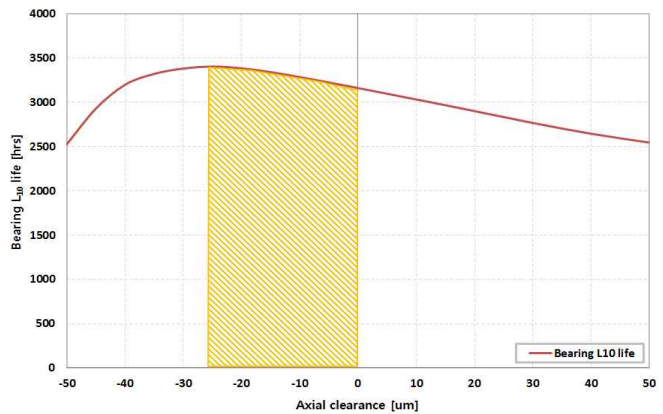
<그림1.42> 디스크 해로우 하중조건

④ 해석 및 결과

위 모델의 베어링 클리어런스를 -50um에서 50um까지 5um 간격으로 증가시키며 해석을 수행하였다. ISO 281 / TS 16281의 규격으로 해석한 결과 표 2.9와 같이 베어링 클리어런스를 0 ~ -25um 사이에 맞추었을 때 베어링 수명이 가장 높게 나타났다. 또한 0 ~ -25um 사이를 벗어나는 클리어런스를 주는 경우 베어링 수명이 급격히 저하되는 것을 볼 수 있었다. 따라서 디스크 해로우 조립시 그림 1.43과 같이 베어링 클리어런스가 0 ~ -25um 구간에 들어오도록 체결토크를 결정하여야 한다.

<표1.15> 클리어런스에 따른 베어링 수명

< ISO 281 / TS 16281 >		
Life modification factor, a <sub>10</sub>	Axial clearance, um	Bearing L <sub>10</sub> life, hrs
0.14518	-50	2527.59
	-45	2930.02
	-40	3198.85
	-35	3321.33
	-30	3381.84
	-25	3404.68
	-20	3384.86
	-15	3341.24
	-10	3285.48
	-5	3224.29
	0	3161.00
	5	3096.67
	10	3032.03
	15	2967.38
	20	2901.04
	25	2833.67
	30	2766.87
35	2703.87	
40	2645.35	
45	2593.86	
50	2545.66	
Max		3404.68



<그림1.43> 베어링 예압량에 따른 베어링 수명



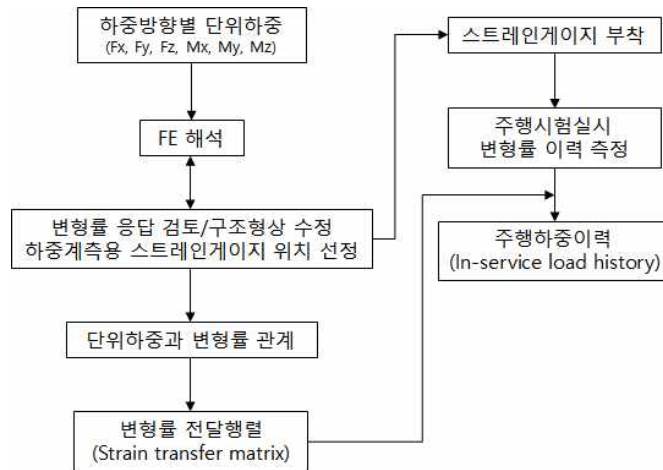
다. 2차년도 수행내역 및 결과

(1)복합작업기 작업하중 분석 및 시험하중 도출

(가) 복합작업기 하중분석을 위한 FE 해석

■ 개요

트랙터 주행 중 디스크 해로우나 치즐에서 발생하는 작업하중이력 정보는 설계에서 가장 중요하게 고려되어야 하는 설계 입력변수이며, 구조해석시 부재의 응력 및 변형률 이력을 계산하기 위한 입력데이터로도 활용된다. 실제 밧작업에서 트랙터의 복잡한 운행조건은 디스크 해로우나 치즐 구성품에 작용하는 하중이력을 직접 계측하거나 정확하게 예측하는 것은 매우 어려운 작업이다. 통상적으로 하중계측을 위해 고가의 측정센서를 취약한 위치에 모두 부착하여 다양한 주행조건에 대해 하중을 실측하는 것은 많은 시간과 비용이 요구되며 특히, 고중량의 계측장비 부착으로 물리적 특성(강성과 하중경로)이 변화되는 문제점도 있어서 측정결과가 실제하중을 대표할 수 없는 불일치결과를 가져올 수 있기 때문에 주의가 필요하다. 본 과제에서는 nCode 프로그램과 유한요소모델링과 연계하여 하중과 스트레인게이지의 응답관계를 표현하는 변형률 전달행렬(strain transfer matrix)을 구하여 주행중 측정된 변형률이력으로부터 하중이력으로 재구성하는 방법을 개발하였다. 또한, 개발된 하중이력은 구조강도 및 피로내구도 검증에 위한 시험조건으로서 복합작업기의 메인프레임, 디스크 해로우, 치즐 구성품의 구조강도해석과 내구시험 절차서 개발에 활용하였다. 그림 2.1은 FE해석과 주행시험(field test)으로부터 시험하중 도출을 위한 작업 흐름도를 보여준다.



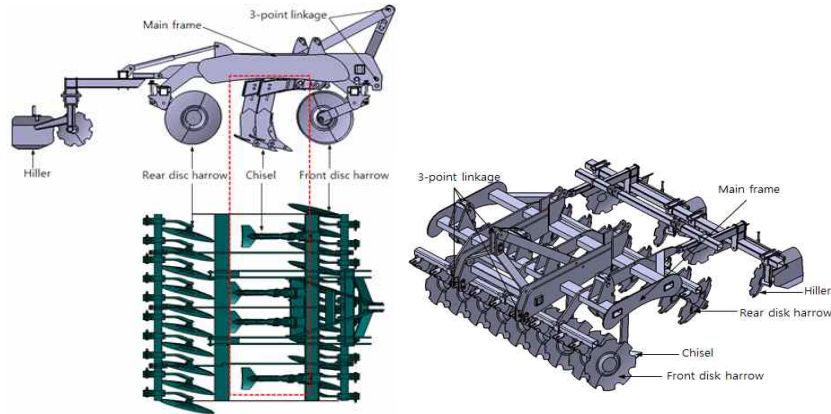
<그림2.1> 시험하중 도출을 위한 작업 흐름도

■ 복합작업기 FE Modeling

복합작업기는 그림 2.2와 같이 트랙터의 3점 링크 연결부(three-point linkage)에 장착되어 트랙터 견인에 의해 무동력으로 경운과 배토작업을 수행하는 다목적 복합장비이다. 복합작업기는 메인 프레임(main frame), 디스크 해로우(disk harrow), 치즐(chisel) 및 배토기(hiller)로 구성되어 있다.

복합작업기에 분포되는 응력을 계산하기 위하여 유한요소해석을 활용하였다. 해석에 사용된 요소는 Solid 요소이며, 사용 프로그램은 ANSYS R16.0 이다. 좌표축은 작업방향(전후방

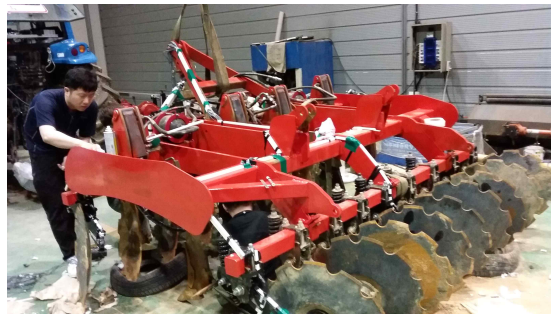
향)을  $x$ 축, 토양표면과 수직방향(상하방향)을  $y$ 축, 이와 수직을 이루면서 토양표면에 수평으로 작용하는 방향(좌우방향)을  $z$ 축으로 설정하였다.



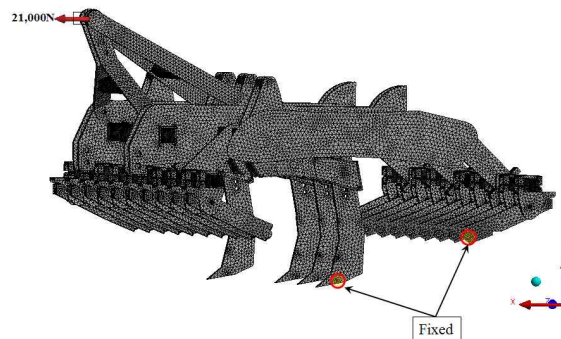
<그림2.2> 복합작업기 구성

① 메인 프레임 모델링

메인프레임은 그림2.3과 같이 2열의 디스크 해로우 18개와 1열의 치즐 4개 및 배토기를 지지하는 프레임으로 트랙터의 3점 링크에 연결되어 있으며, 트랙터에 견인되어 밭작업을 경우, 디스크 해로우와 치즐 구성품들의 작업하중을 동시에 받는 부재이다. 메인 프레임 모델링은 디스크 해로우와 치즐이 토양과 접촉되는 부분을 구속시키고, 트랙터의 3점 링크 연결부(three-point linkage)에 견인방향으로 하중을 부가하였다. 하중크기는  $x$ 축 방향으로 21.0 kN이다. 그림2.4는 메인프레임의 유한요소해석 모델링 형상과 경계점 및 하중 점을 보여준다.



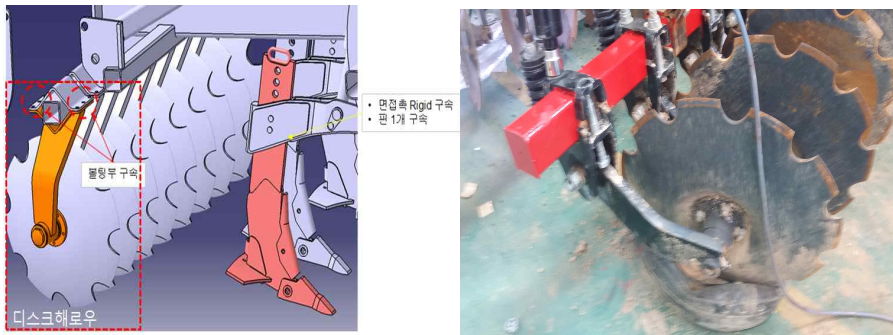
<그림2.3> 복합작업기 메인프레임 형상



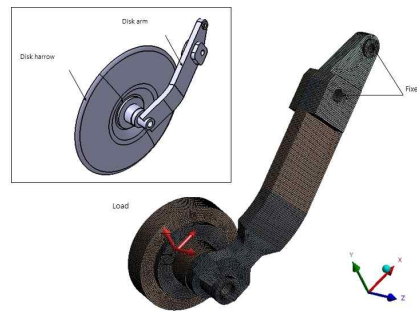
<그림2.4> 복합작업기 메인프레임 모델링

## ② 디스크 해로우 구성품 모델링

디스크 해로우는 직경 600 mm인 원형의 디스크가 너비 100 mm와 두께 26 mm의 디스크 암(disk arm)에 체결되어 트랙터 견인시 디스크가 회전하는 구조로 되어 있다. 디스크 암은 비틀림과 굽힘하중에 저항할 수 있는 구조형상으로 제작되어 있으며, 메인 프레임의 코일스프링에 장착되어 밭작업시 토양으로부터 전달되는 수직, 좌우, 전후 하중을 동시에 받는다. 작업의 효율성을 높이기 위하여 메인 프레임의 전방과 후방에 2열로 디스크 해로우가 정렬되어 있으며, 각 열은 280 mm 등간격으로 9개씩 배치되어 있다. 디스크 해로우의 좌표축은 트랙터 진행방향(전후방향)을 x축, 이와 수직을 이루면서 토양표면에 수평으로 작용하는 방향(좌우방향)을 y축, 토양표면과 수직방향(상하방향)을 z축으로 설정하였다. 디스크 해로우 해석을 위한 경계조건은 메인 프레임에 고정되어 있는 디스크 암의 상부를 Fixed 조건으로 구속하고, 디스크 원반을 제거한 상태에서 베어링 중심에 3축의 하중이 부가되도록 하였다. 하중크기는 각 방향에 대해 3.0 kN이다. 그림2.5는 디스크 해로우 대한 유한요소해석 모델링을 보여준다.



디스크 해로우 구성품 형상

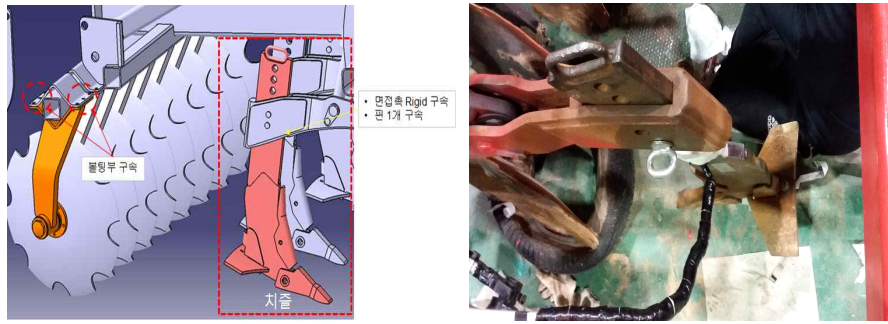


<그림2.5> 디스크 해로우 구성품 FE 해석 모델링

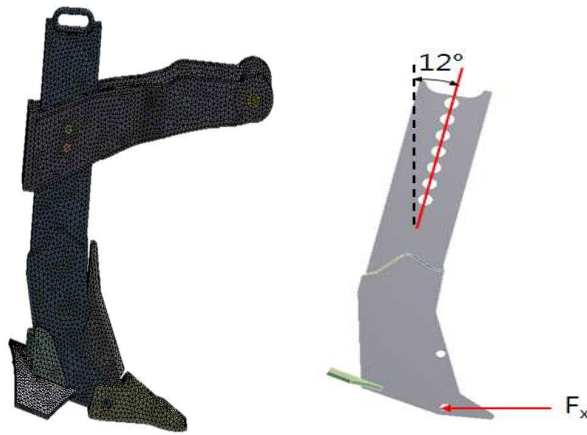
## ③ 치즐 구성품 모델링

복합작업기의 전후방 디스크 해로우 사이에 그림2.6과 같이 설치되어 있는 치즐은 1열에 4개의 치즐로 구성되어 있다. 치즐은 전방 디스크 해로우에 의해 파쇄된 토양을 치즐 쟁기를 이용하여 토양상부의 흙을 뒤엎는 역할을 하기 때문에 견인력에 의해 주로 작업방향의 전후 하중을 받는다. 치즐 구성품 모델링은 치즐이 장착되는 1개의 pin 고정부와 치즐을 고정하는 플레이트의 접촉면을 fixed 조건으로 구속하였다. 하중가력부는 그림2.7과 같이 치즐하단의 쟁기 연결부이며, 하중이 가장 크게 발행하는 견인방향(x축 방향)으로 1,000 N의 크기로 하중을 부가하였다. 이때 실제 치즐은 수직선을 기준으로 12o 가량 기울어져 장착되어 작업되기 때문에 이를 고려한 상태로 수평방향 하중을 부가시켰다. 모델

링에 사용된 요소크기는 3 mm 이하이다.



<그림2.6> 치즐 구성품 형상



<그림2.7> 치즐 구성품 FE 해석 모델링

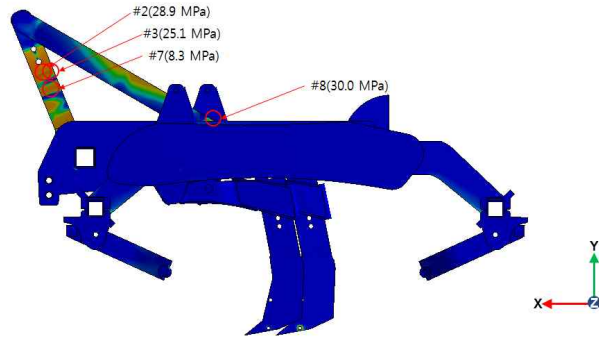
■ FE 해석결과

① 메인 프레임

하중성분별 스트레인계지 응답특성은 유한요소해석을 통하여 분석하였다. 그림2.8은 메인프레임의 FE 해석결과로서 등가응력분포로 나타내었다. 표 2.1에는 메인프레임의 3점 링크에 견인방향인 x축방향으로 21 kN을 부가시켜 계산한 FE 해석 결과중 응력이 크게 걸리는 부위를 중심으로 등가응력크기를 정리하였다. 메인프레임에서 최대응력크기는 41.34 MPa로서 치즐 지지프레임 부위에 가장 큰 응력이 작용하고 있음을 알 수 있다.

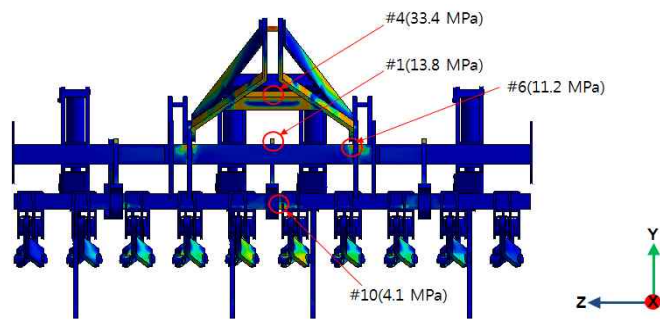
<표 2.1> 메인 프레임 응력계산 결과 정리

번호	등가응력 (MPa)	위치	비고
#1	41.34	치즐 지지프레임 I	응력집중부
#2	28.91	3점 링크 연결 프레임	용접부
#3	25.06	3점 링크 연결 프레임	응력집중부
#4	33.42	3점 링크 연결 프레임	공칭응력
#5	12.40	치즐 지지프레임 II	용접부
#6	11.18	치즐 지지프레임 I	용접부
#7	8.30	3점 링크 연결 프레임	용접부
#8	29.99	3점 링크 연결 프레임	응력집중부
#9	2.62	치즐 지지프레임 I	용접부
#10	4.12	디스크 해로우 지지프레임 I	공칭응력

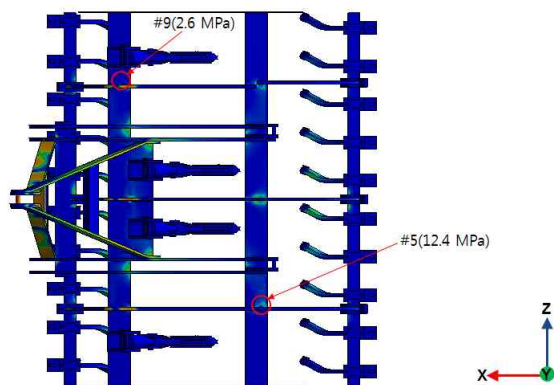


(a) Side view

<그림2.8> 메인 프레임 FE 해석 결과(계속)



(b) Front view



(c) Top view

<그림2.8> 메인 프레임 구조해석 결과

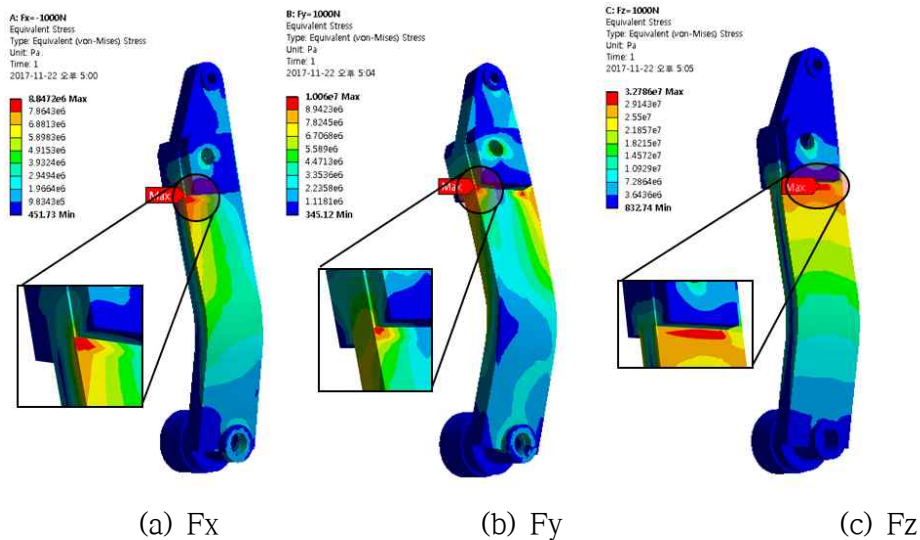
② 디스크 해로우 구성품

그림2.9와 표2.2는 디스크 해로우에 대한 FE 해석결과이다. 최대 응력크기는 11 MPa 이하로 단위하중(=1,000 N)에 대한 응답값이 매우 작다. 이는 디스크해로우의 높은 강성으로 인하여 가해지는 하중에 대해서 변형률의 응답이 작기 때문에, 이 위치에 스트레인게이지를 부착하여 하중을 측정할 경우 응력 민감도가 낮아 정확도가 떨어질 수 있다는 것을 의미한다. 낮은 응력 민감도는 측정오차를 높이고 특히, 스트레인게이지에서 나오는 측정 신호가 노이즈와 중첩될 경우 신호분석에 매우 어려울 것으로 판단된다. 따라서, 본 과제

에서는 스트레인게이지 신호를 효과적으로 측정하고 측정신뢰도를 높이기 위해서는 디스크 해로우의 단면적을 감소를 통해 강성을 감소시켜 스트레인게이지의 신호가 최대한 크게 측정될 수 있도록 디스크 해로우 암의 단면적을 형상을 수정하였다.

<표2.2> 디스크 해로우 구성품의 응력계산 결과 정리

인가하중	Equivalent Stress (MPa)
Fx= 1,000 N	5.1
Fy= 1,000 N	4.8
Fz= 1,000 N	10.6



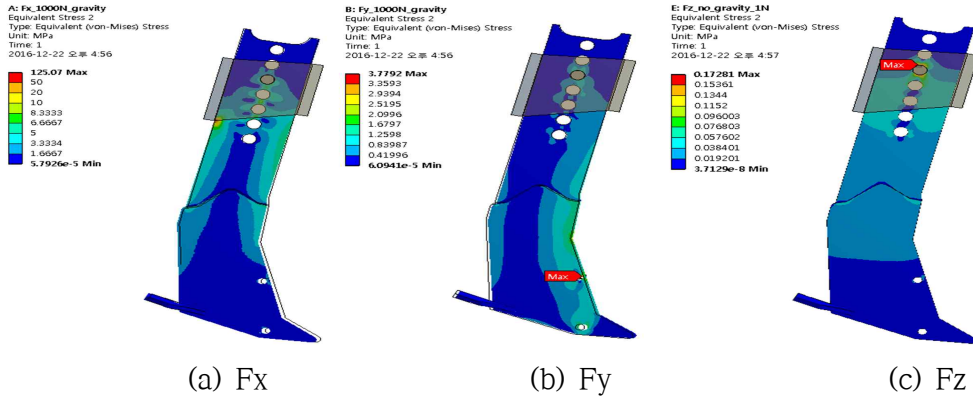
<그림2.9> 디스크 해로우 구성품의 구조해석 결과

③ 치즐 구성품

그림2.10은 치즐 구성품의 해석결과이다. 전후방향(x방향)하중 Fx 부가시, 치즐과 치즐이 편으로 고정되는 플레이트 접촉부에서 계산된 높은 응력값(= 125.07 MPa)은 접촉으로 인해 발생하는 집중응력으로 실제 작용응력으로 볼 수 없기 때문에 계산결과에서 제외시켰으며, 그 외 다른 부분의 응력은 10 MPa 이하의 낮은 값을 가짐을 알 수 있다. 표2.3에 하중방향별(Fx, Fy, Fz)로 최대 등가응력 계산결과를 나타내었다. 치즐의 해석결과 역시 디스크 해로우와 마찬가지로 낮은 응력결과값을 가지기 때문에, 실제 필드 하중에 대한 응력민감도를 높이기 위하여 치즐의 단면적을 감소시키는 방향으로 치즐의 형상을 수정하였다.

<표2.3 치즐 구성품 응력계산 결과 정리

하중	Equivalent Stress (MPa)
Fx= 1,000 N	6.6
Fy= 1,000 N	1.7
Fz= 1.0 N	0.5



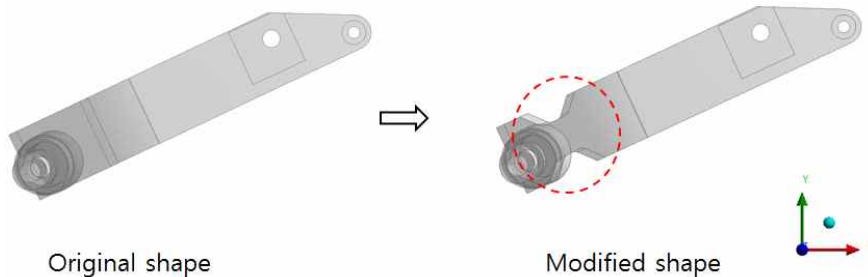
<그림2.10> 치즐 구성품의 구조해석 결과

■ 형상수정

단위하중에 대한 응력크기가 너무 작아서 응력민감도가 낮을 경우, 실제 스트레인게이지에서 측정되는 신호분석에 어려움이 따른다. 낮은 응력 민감도는 측정오차줄이고 계측결과에 대한 신뢰도를 높이기 위해서는 구조해석결과를 분석하여 스트레인게이지 부착 위치에서 응력값이 최대한 높게 측정될 수 있도록 디스크 해로우 압과 치즐 압의 단면적을 줄여 원래의 형상을 수정하였다.

① 디스크 해로우 형상수정

디스크 해로우 압의 플레이트 하단부를 그림2.11과 같이 수정하여 기존의 단면적을 감소시켜 디스크 해로우 압의 강성을 변화시켰다. 디스크 해로우 형상수정 결과, 표2.4와 같이  $F_x = 1,000\text{ N}$  하중에서 등가응력의 크기는 5.1 MPa에서 12.0 MPa로 약 2.4배의 응력이 증가함을 알 수 있다. 이는 동일한 하중에 대해 부재가 반응하는 응력의 크기가 상대적으로 크기 때문에 작은 하중변화에 대하여 응력변화의 감응도는 민감하다고 할 수 있다.



<그림2.11> 디스크 해로우 형상 수정

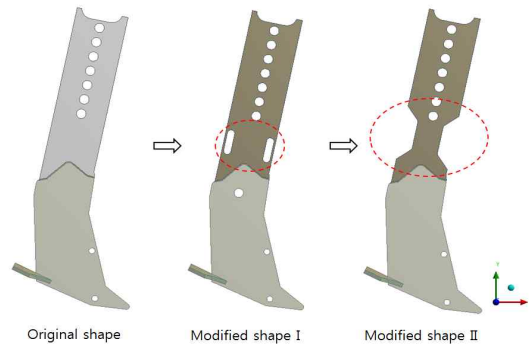
<표2.4> 디스크 해로우 형상수정 전·후 응력계산결과

Loads	Maximum stress at strain gages (MPa)	
	Original shape	Modified shape
$F_x(1,000\text{ N})$	5.1	12.0
$F_y(1,000\text{ N})$	4.8	13.0
$F_z(1,000\text{ N})$	10.6	21.3

② 치즐 형상수정

치즐은 그림2.12와 같이 치즐 압의 상하부를 길이 방향으로 장공을 가공하는 방법

(Modified shape I)과 디스크 해로우 압과 마찬가지로 너비 축소하여 단면적을 수정하는 방법(Modified shape II)을 고려하였다. 먼저,  $F_x = 1,000 \text{ N}$ 을 부가하였을 때 등가응력의 크기는 표2.5와 같이 Modified shape I 형상수정 방법의 경우 14.0 MPa이고 Modified shape II의 경우 42.1 MPa로서 초기형상에서 얻어진 6.6 MPa를 기준으로 볼 때 형상수정에 의해 상대적인 응력증가는 각각 약 2.1배와 6.4배임을 알 수 있다. 이는 형상을 적절히 수정하게 되면 하중에 대한 응력감응도 달라질 수 있으며, 수정된 형상을 고려할 때 Modified shape II가 Modified shape I에 비해 응력감응도면에서 상대적으로 더 유리한 형상이며 또한, 부재의 가공면에서도 효율적인 형상임을 알 수 있다.



<그림2.12> 치즐 형상수정

<표2.5> 치즐 형상수정 전·후 응력계산결과

Loads	Maximum stress at strain gages (MPa)		
	Original shape	Modified shape I	Modified shape II
$F_x(1,000 \text{ N})$	6.6	14.0	42.1
$F_y(1,000 \text{ N})$	1.7	2.6	5.6
$F_z(1,000 \text{ N})$	50.3	73.6	116.0

■ 하중재구성기법(Load Reconstruction)

① 변형률 변환 행렬

탄성범위 내에서 하중과 변형률은 선형적으로 비례하므로 그림2.13에서 가상의 스트레인 게이지에서의 변형률  $\epsilon_i$ 은 계수  $A_{ij}$ 와 하중  $L_j$ 을 중첩하여 다음과 같은 관계식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \epsilon_1 &= A_{11}L_1 + A_{12}L_2 & (가) \\ \epsilon_2 &= A_{21}L_1 + A_{22}L_2 \\ \epsilon_3 &= A_{31}L_1 + A_{32}L_2 \end{aligned}$$

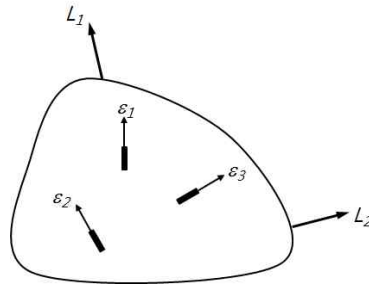
가상의 모든 위치에 대하여 변형률행렬  $\epsilon$ 과 하중행렬  $L$ 을 행렬식으로 식(1)을 다시 표현하면 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\{\epsilon\} = [A] \cdot \{L\} + \{e\} \quad (나)$$

여기서,  $A$ 는 변형률 변환 행렬(strain transfer matrix)로 가력하중에 대한 스트레인게이지의 민감도(sensitivity of gage)이다.  $e$ 는  $\epsilon$ 의 오차를 나타내며, 최소자승법(least square estimation)으로  $e$ 가 최소가 되는 하중추정값행렬  $\hat{L}$ 항으로 나타내면 식(3)과 같다.  $\hat{L}$ 는  $\epsilon$ 와  $A$ 로부터 계산되는 하중추정벡터가 된다.



$$\{\hat{L}\} = ([A]^T[A])^{-1} \cdot [A]^{-T} \cdot \{\epsilon\} \quad (다)$$



<그림2.13> Virtual strain gages and applied loads

(나) 하중계측을 위한 스트레인게이지 위치 선정

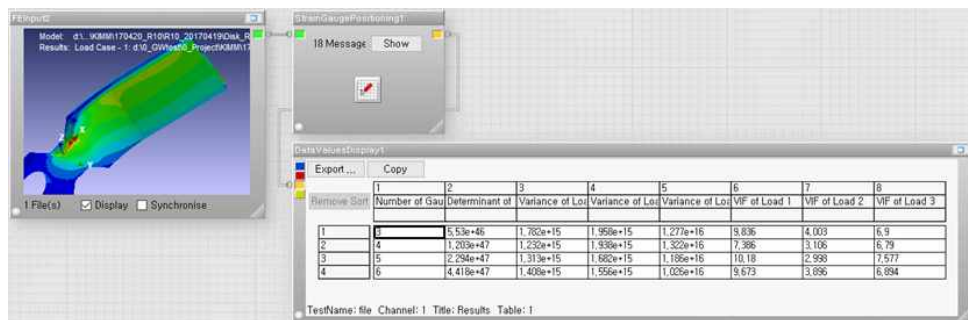
하중계측을 위해서는 각 하중성분별로 반응하는 변형률 응답을 분석한 스트레인게이지의 위치선정(strain gage positioning)이 중요하다. 기존의 방법은 각 방향하중에 대해 고유하게 반응하는 응답지점의 선정이 직관이나 경험에 의존하는 경우가 많았기 때문에 실제 구조물에서 적용하는데 제한적이었다. 또한, 구조물 형상이 대칭성과 직교성이 분명하여 각 하중성분에 대한 변형률의 응답이 잘 나타나는 이상적인 빔 구조물을 제외하고는 적절한 스트레인게이지 위치를 찾는 것이 현실적으로 매우 어려운 작업이다. 본 연구는 구조해석결과를 토대로 nCode DesignLife 프로그램을 활용하여 최적의 스트레인게이지 개수와 위치를 선정하였다. 이 프로그램은 Wickham의 다축 하중측정장비의 최적실험설계기법을 기초 이론으로 활용하고 있다. 구조물의 형상과 응력해석 결과로부터 최적의 독립 응답지점을 선정하는 알고리즘으로 각 방향 하중에 대하여 독립적으로 반응하는 최적의 응답지점을 찾아주는 기능이 있어, 농기계뿐만 아니라 자동차, 철도차량, 방산차량, 건설기계 등의 다양한 차량 구조물의 하중계측을 위한 스트레인게이지 위치를 선정하는데 있어 효율적으로 활용되고 있다.

스트레인게이지 위치선정은 부착이 어려운 용접부나 응력구배가 큰 노치부위를 제외한 나머지 부재 표면의 모든 node들이 위치선정을 위한 후보로 고려되며, 하중추정의 정밀도를 최적화하기 위해서는 D-Optimal design방법에 기초하여 식(1)의  $[A]^T[A]$ 가 최대가 되는 위치를 찾아낸 후, 주어진 스트레인게이지의 수량에 대한 D-optimal set를 찾아 최적의 스트레인게이지 위치가 결정된다. 이 때, undetermined system을 피하기 위하여 스트레인게이지의 최소개수는 부가되는 하중조건 수와 동일하거나 그 이상이 되어야 한다.

행렬 A의 determinant는 행렬식의 크기로서 스트레인게이지의 개수가 증가할수록 값이 증가한다. Variance는 행렬  $[A]^T[A]$ 의 대각선상의 항들로서 스트레인게이지의 개수가 증가할수록 감소하면서 수렴되는 경향을 보이며 이는 하중추정정밀도가 점점 증가하여 수렴함을 의미하기 때문에 감소정도를 분석하여 게이지 사용개수를 결정할 수 있다. VIF(variation inflation factor)는 하나의 하중조건에서 발생한 응력이 다른 하중조건에서 발생한 응력과 얼마나 상관성이 있는지에 대한 척도를 나타낸다. VIF=1일 경우, 이상적인 값을 응력상태가 하중조건에 대해 완전히 독립적임을 의미하며, 독립적인 상관성을 보장되도록 통상 VIF가 10이하의 범위에서 스트레인게이지 개수가 조정된다.

■ 디스크 해로우의 스트레인게이지 위치 선정

디스크 해로우의 스트레인게이지 수량 및 위치를 결정하기 위하여 스트레인게이지 부착 수량을 3개에서 6개까지 변화시키면서 행렬 A의 determinant, variance 및 VIF의 값의 변화량을 검토하였다. 하중에 대한 게이지 응답의 독립성을 나타내는 VIF의 값이 6.8~7.6 범위로 다소 높은 값으로 계산되었으나, 그 값이 10이하로 응답의 독립적 상관성이 보장됨을 알 수 있다. 단, 스트레인게이지 수량 3~6개 범위 내에서 VIF값의 차이는 크게 없다. 따라서, 스트레인게이지 수량(3~6개)에 따른 VIF 계산값(6.8~7.6)의 차이가 크게 없으며, 적용된 하중조건(Fx, Fy, Fz)에서 undetermined system을 피하기 위한 스트레인게이지의 최소 요구수량인 3개임을 고려할 때, 실제 선정된 4개의 스트레인게이지는 적절하다고 판단하였다.

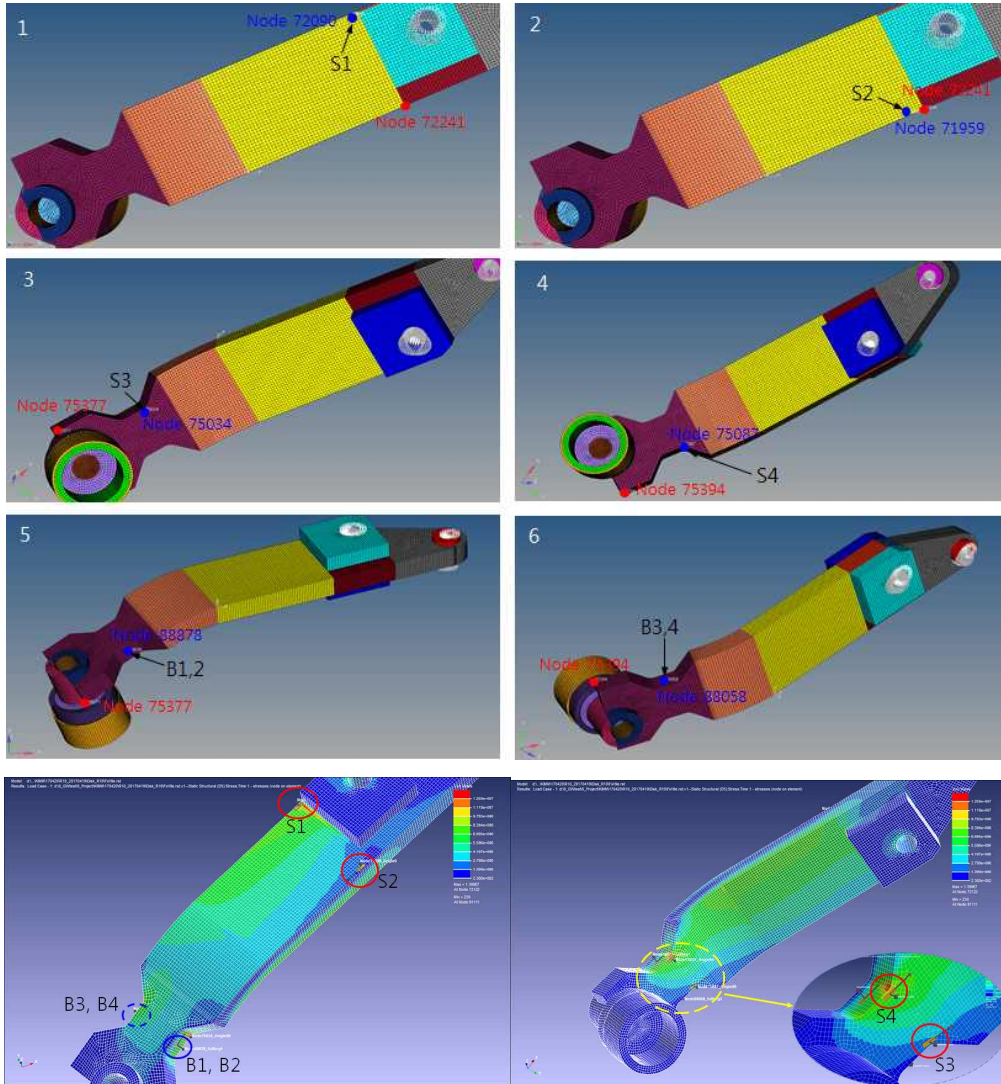


<그림.2.14> 디스크 해로우 스트레인게이지 개수에 따른 Determinant, Variance 및 VIF의 값 계산결과

그림.2.15는 하중계측을 위해 선정된 스트레인게이지의 위치이다. 이 위치는 부가된 하중에 대한 가장 민감한 응답을 갖는 게이지 위치를 의미한다. 디스크 해로우 암 플레이트의 상·하면 4개소에 총 4개의 단방향 스트레인게이지를 선정하였다. 또한, 디스크 해로우의 주응력 방향을 검토하기 위하여 암의 상·하부 2개소에 총 4개의 스트레인게이지로 Full bridge를 구성하여 굽힘응력을 확인하였다. 스트레인게이지 선정시 디스크 해로우의 최적 응답지점으로 추출된 지점에 스트레인게이지의 부착이 어려운 위치 또는 용접이음부는 그와 인접한 위치를 선정하였으며, 응력구배가 크게 급변하는 노치와 같은 형상변화부가 있는 곳은 위치선정에서 제외시켰다. 표.2.6은 디스크 해로우의 스트레인게이지 위치 좌표로서, 각 위치는 기준 node(node of control point)를 원점으로 하여 정리된 좌표값이다.

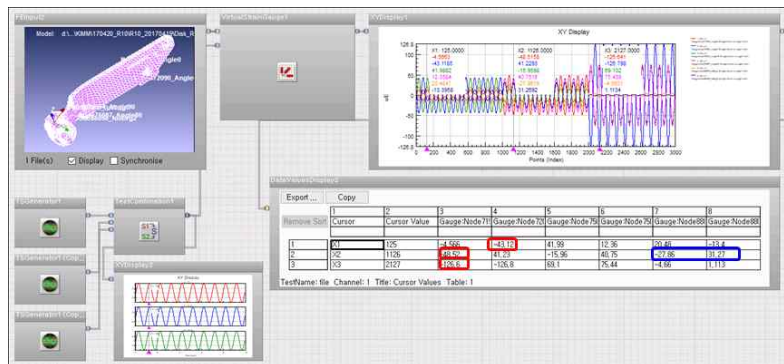
<표.2.6> 디스크 해로우의 스트레인게이지 위치 좌표

Gage No.	No. of node	Distance(mm)			Node of control point	Comment
		x-distance	y-distance	z-distance		
S1	71959	-14.6	-3.9	0.0	72241	1
S2	72090	-46.5	86.7	0.0	72241	2
S3	75034	62.1	59.7	41.1	75377	3
S4	75087	87.7	11.1	42.5	75394	4
B1, B2	88878	88.1	13.5	30.2	75377	5
B3, B4	88058	70.1	5.1	47.7	75394	6



〈그림2.15〉 디스크 해로우의 스트레인게이지 위치 선정

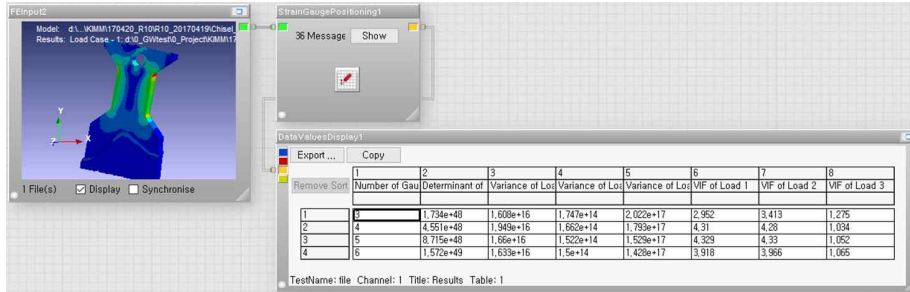
그림2.16은 디스크 원판의 베어링 중심부에  $F_x = 1,000\text{ N}$ ,  $F_y = 1,000\text{ N}$ ,  $F_z = 1,000\text{ N}$  하중조건을 적용시켰을 때 변형률의 응답을 보여주고 있다. 최대 변형률은  $F_x$  하중가력시 S1게이지에서  $-43\ \mu\epsilon$  이며,  $F_y$  하중가력시 S1번 게이지에서  $-48\ \mu\epsilon$  이며, 굽힘하중에 의한 변형률은  $31\ \mu\epsilon$  로 계산되었다.



〈그림2.16〉 디스크 해로우의 하중에 대한 변형률 응답

■ 치즐의 스트레인게이지 위치 선정

그림2.17은 치즐 구성품에 대한 계산결과로서 스트레인게이지 수를 3개에서 6개까지 변화시키면서 계산된 행렬 A의 특성값이다. 스트레인게이지 개수를 변화에 따른 VIF값은 1.03~1.28 범위에 있으며, 이는 치즐의 경우 하중에 대한 변형률이 매우 독립적으로 응답하고 있음을 알 수 있다.



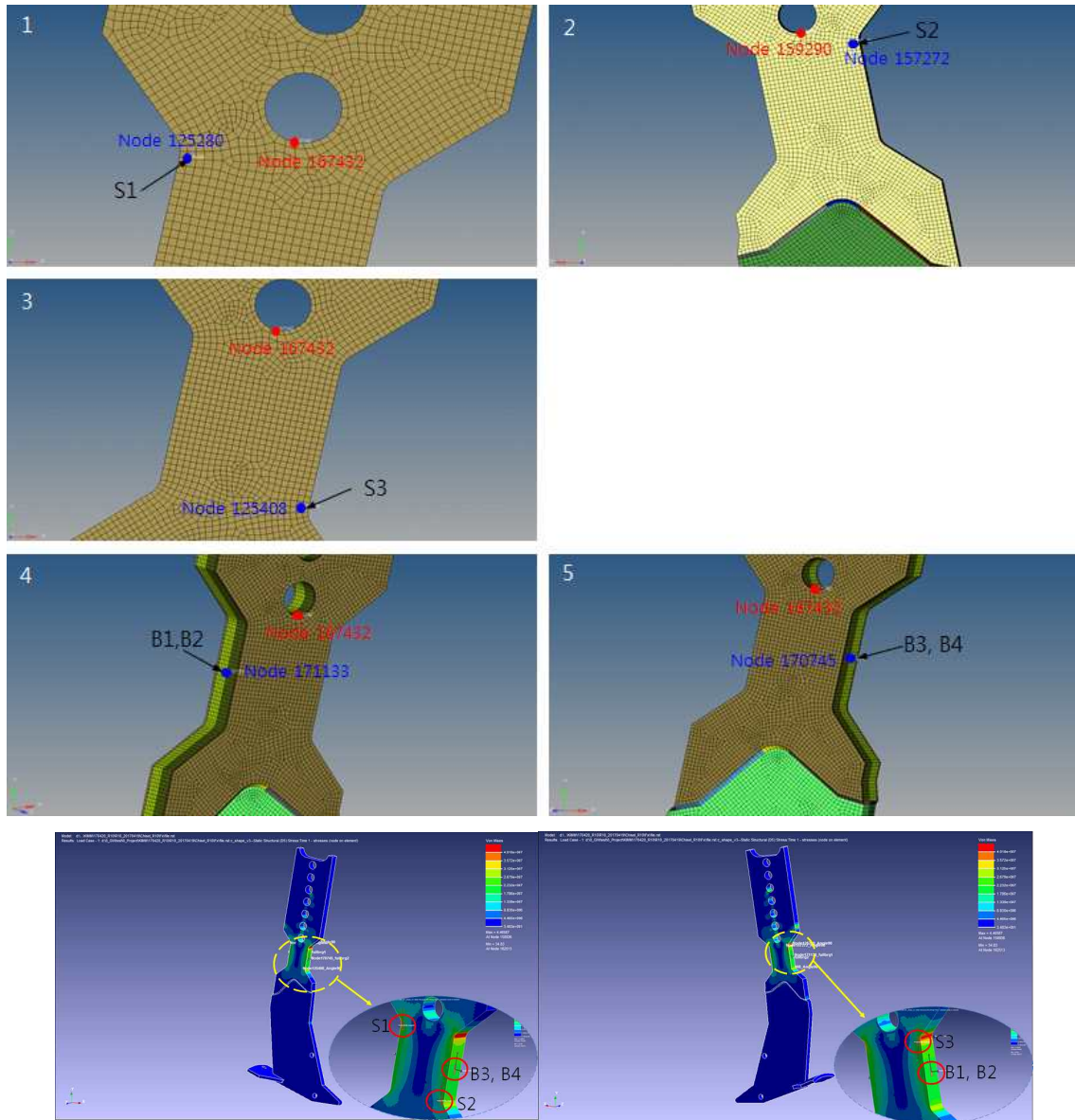
<그림2.17> 치즐 부재의 스트레인게이지 개수에 따른 Determinant, Variance 및 VIF의 값 계산결과

스트레인게이지 수량(3~6개)에 따른 VIF 계산값이 1.03~1.28로 큰 차이가 없고 변형률 응답이 매우 독립적이며, 적용된 하중조건(Fx, Fy, Fz)에 대한 undetermined system을 피하기 위해 요구되는 최소 스트레인게이지 개수를 고려하여 스트레인게이지의 개수를 3개로 결정하였다.

그림2.18은 치즐의 하중계측을 위해 선정된 스트레인게이지의 위치이다. 치즐 플레이트 상·하면 3개소에 총 3개의 단방향 스트레인게이지를 선정하였으며, 치즐의 주응력 방향을 검토하기 위하여 암의 상·하부 2개소에 총 4개의 스트레인게이지로 Full bridge를 구성하였다. 디스크 해로우와 마찬가지로 스트레인게이지 선정시 치즐의 최적의 응답지점으로 추출된 지점에 스트레인게이지의 부착이 어려운 위치 또는 용접이음부는 그와 인접한 위치를 선정하였으며, 응력구배가 큰 급격한 형상변화부나 노치부가 있는 곳은 위치선정에서 제외시켰다. 표2.7은 치즐의 스트레인게이지 위치 좌표로서, 각 위치는 기준 node(node of control point)를 원점으로 하여 정리된 좌표값이다.

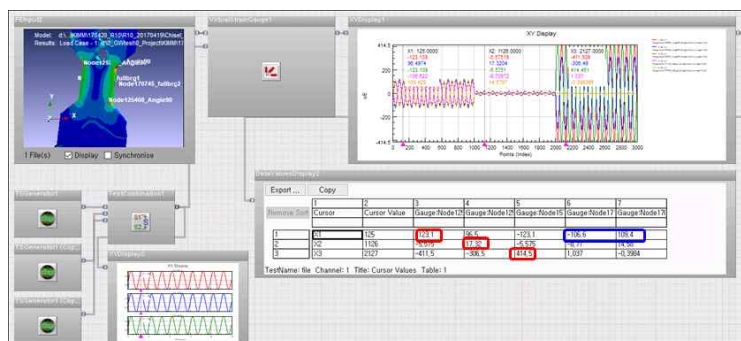
<표2.7> 치즐의 스트레인게이지 위치 좌표

Gage No.	No. of node	Distance(mm)			Node of control point	Comment
		x-distance	y-distance	z-distance		
S1	71959	-14.6	-3.9	0.0	72241	1
S2	72090	-46.5	86.7	0.0	72241	2
S3	75034	62.1	59.7	41.1	75377	3
S4	75087	87.7	11.1	42.5	75394	4
B1, B2	88878	88.1	13.5	30.2	75377	5
B3, B4	88058	70.1	5.1	47.7	75394	6



<그림2.18> 치즐의 스트레인게이지 위치 선정

그림2.19는 치즐 하중점에  $F_x = 1,000\text{ N}$ ,  $F_y = 1,000\text{ N}$ ,  $F_z = 1,000\text{ N}$  하중조건을 적용시켰을 때 변형률의 응답을 보여주고 있다.  $F_x$  및  $F_y$  하중에 대하여 스트레인게이지 각 위치에서의 최대 변형률은 각각  $123\ \mu\epsilon$  및  $17\ \mu\epsilon$  이며, Full bridge의 압축하중에 의한 변형률은  $107\ \mu\epsilon$  로 계산되었다.

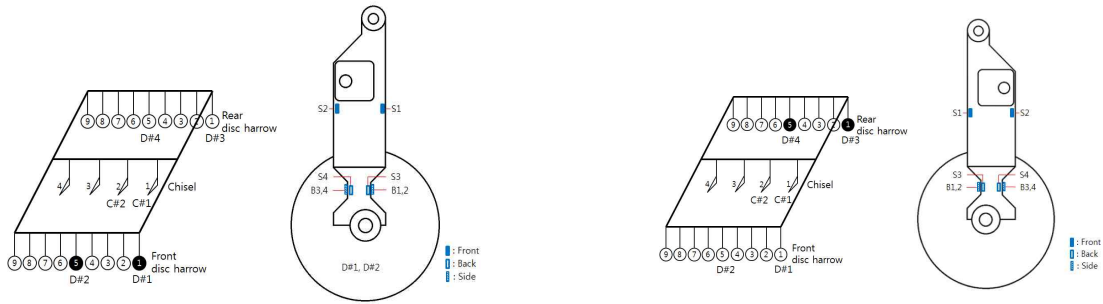


<그림2.19> 치즐의 스트레인 게이지 위치 선정

(다) 스트레인 게이지 부착

■ 디스크 해로우의 스트레인게이지 위치

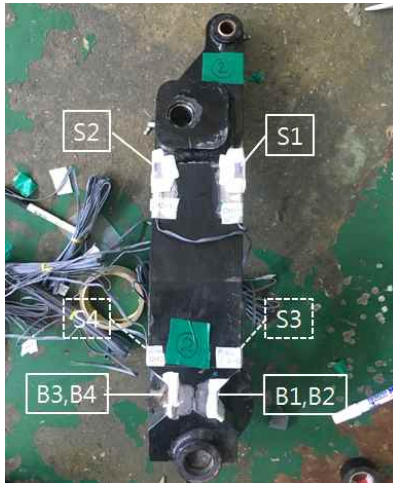
디스크 해로우에 부착된 스트레인게이지 개수는 총 8개이며, 그 위치는 그림2.20과 같다. 디스크 해로우 암 플레이트의 상·하면 4개소에 단방향 스트레인게이지(S1~S4)와 측정된 응답신호와 위상을 비교하기 위하여 암의 상·하부에 총 4개(B1~B4, full bridge)의 스트레인게이지를 부착하였다. 그림2.21은 실제 디스크 해로우에 부착된 스트레인게이지 사진을 보여준다.



(a) Front disk harrow(D#1, D#2)

(b) Rear disk harrow(D#3, D#4)

<그림2.20> 디스크 해로우의 스트레인게이지 부착위치도



(a) 전체 부착사진



(b) S1



(c) S2



(d) S3



(e) S4

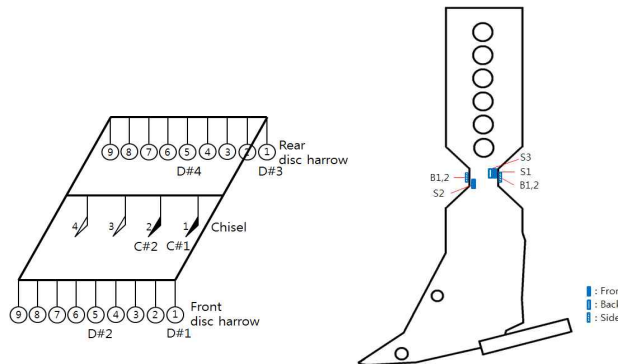
(f) B1, B2

(g) B3, B4

<그림2.21> 디스크 해로우의 스트레인게이지 부착 사진

■ 치즐의 스트레인게이지 위치

치즐에 부착된 스트레인게이지 개수는 총 7개이며, 그 위치는 그림2.22와 같다. 치즐 플레이트의 상·하면 3개소에 총 3개의 단방향 스트레인게이지(S1~S3)와 측정된 응답신호와 위상을 비교하기 위하여 압의 상·하부에 총 4개(B1~B4, full bridge)의 스트레인게이지를 부착하였다. 그림2.23은 실제 치즐에 부착된 스트레인게이지 사진을 보여준다.



<그림2.22> 치즐의 스트레인게이지 부착위치도(C#1, C#2)



(a) 전체 부착사진

(b) S1

(c) S2



(d) S3

(e) B1, B2

(f) B3, B4

<그림2.23> 치즐의 스트레인게이지 부착 사진

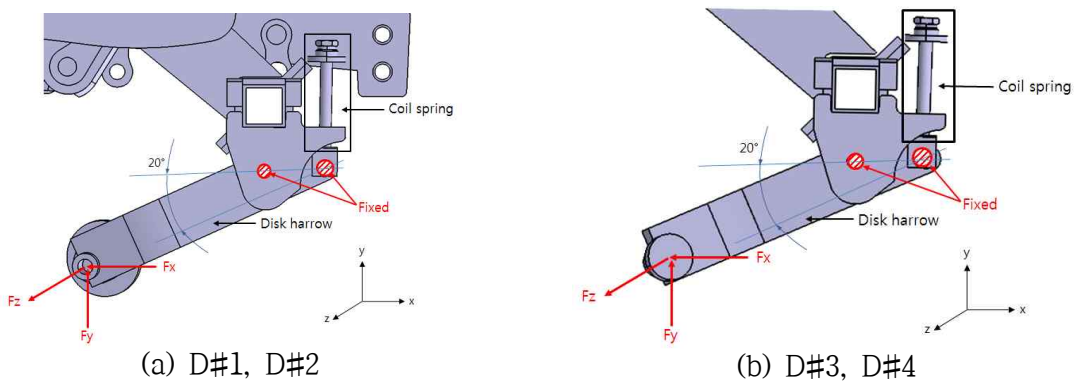
(라) 정하중시험

가력하중에 대한 변형률을 측정하고 측정된 변형률과 응력해석결과를 비교하기 위하여 정하중시험을 수행하였다. 정하중시험은 5톤 용량 가력기를 사용하였으며, 하중방향( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) 별로 순차적으로 가력하여 각 하중별로 변형률을 측정하였다.

■ 디스크 해로우 정하중시험

① 시험설치 및 방법

그림2.24는 전방 디스크 해로우(D#1, D#2)와 전방 디스크 해로우(D#3, D#4)의 하중점과 지지점에 대한 개략도를 보여준다. 하중점은 디스크 원판 중앙이며, 지지점은 디스크와 코일 스프링과 연결되는 링크부이다. 시험설치는 그림2.25과 그림2.26과 같이 코일스프링과 연결되는 디스크 해로우 상단의 링크부를 고정하고, 다른 한쪽의 디스크 원판이 제거된 체결부 중앙에 하중이 가력되도록 지그를 설치하였다. 하중은 트랙터 진행방향(전후방향)을  $x$ 축, 이와 수직을 이루면서 토양표면에 수평으로 작용하는 방향(좌우방향)을  $y$ 축, 토양표면과 수직방향(상하방향)을  $z$ 축으로 설정하여 각각 3,000 N의 하중을 부가하였다. 각 방향별 부가하중의 크기를 정리하면 표2.8과 같다.



(a) D#1, D#2

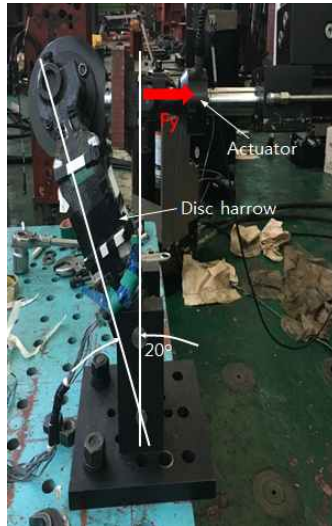
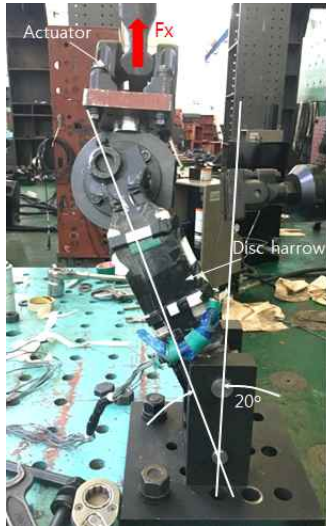
(b) D#3, D#4

<그림2.24> 디스크 해로우 하중점 및 지지점



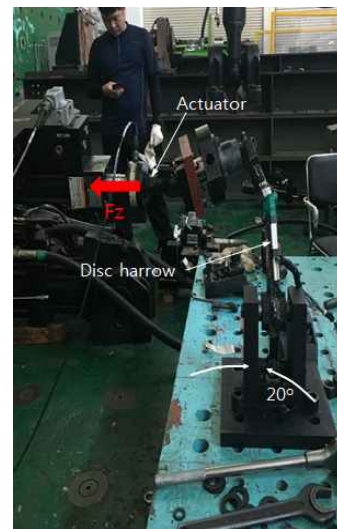
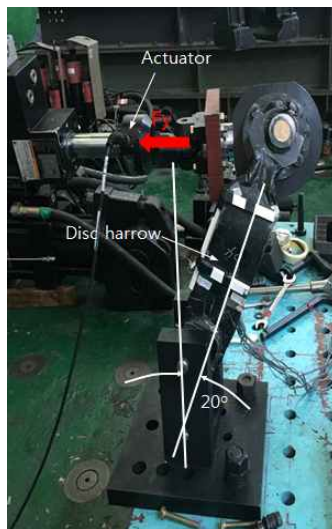
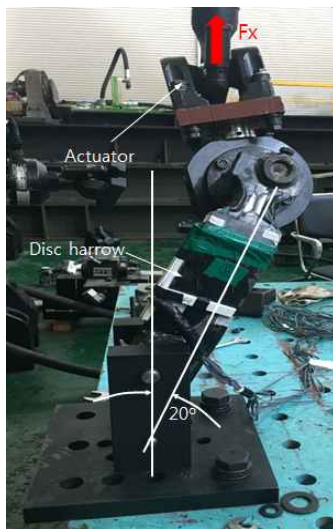
<표2.8> 디스크 해로우의 정하중 시험조건

하중방향	하중크기 (N)
Fx	3,000
Fy	3,000
Fz	3,000



(a) x방향 하중가력, Fx    (b) y방향 하중가력, Fy    (c) z방향 하중가력, Fz

<그림2.25> 디스크 해로우 D#1 및 D#2의 시험설치 사진



(a) x방향 하중가력, Fx    (b) y방향 하중가력, Fy    (c) z방향 하중가력, Fz

<그림2.26> 디스크 해로우 D#3 및 D#4의 시험설치 사진

② 정하중시험결과

그림2.27 - 그림2.30은 디스크 해로우 D#1~D#4의 정하중시험 결과로서, 각 하중방향별로 측정된 스트레인게이지의 변형률부터 계산된 응력선도를 보여준다(정하중시험결과 정리 : 표2.9 참조). 하중증가에 대한 각 스트레인게이지의 위치의 응력의 선형성 측면에서 Fx와 Fy 하중은 비교적 선형성을 보이는 반면, Fz의 경우 초기에 비선형성을 보이다가 어느 정

도 하중을 받은 후에 선형성을 찾아간다. 이는 디스크 해로우가 토양의 효율적 파쇄를 위해 암 플레이트와 디스크 원판이 어느 정도 각도를 이루는 구조로 제작되어 있기 때문에 z방향의 하중을 가해질 때 암 플레이트 면의 바깥방향의 굽힘하중으로 인하여 하중가력 초기에 게이지 부착위치에서 국부적인 비선형 거동의 결과라고 판단된다.

FE 해석결과를 실험적으로 검증하고 해석과 실험 결과값의 비교를 통해 두 결과값의 차이를 확인하였다. 표2.10과 3.11은 앞 절에서 수행한 유한요소 해석결과와 정하중시험결과를 방향별 최대하중에 대한 응력값으로 정리하였으며, 해석과 시험결과와의 차이(Error)를 함께 나타내었다. 여기서, Error(%)는 |(해석결과 - 실험결과)/해석결과| x 100로 계산하였다.

그림2.31은 하중에 대한 변형률 선도로 표현하여 유한요소해석결과와 실험결과를 비교한 그래프이다. 디스크 전방에 장착되는 D#1과 D#2 시편에 대한 정하중결과를 살펴보면, 각 하중별(Fx, Fy, Fz)에 대한 변형률 측정결과는 거의 유사한 크기로 측정되었음을 알 수 있다. 이는 하중가력시 시편에 발생하는 응력이 일정한 재현성을 가지고 있다는 것을 의미한다. 그러나, 유한요소해석결과와 비교해 볼 때 실험결과값과 다소 차이가 난다. 그림에서 보는 바와 같이, S1 게이지를 제외한 다른 게이지의 측정값들이 유한요소해석의 계산결과와 차이가 나고 있음을 알 수 있다. 이러한 차이는 유한요소모델과 실제 제작된 시편의 형상과 경계조건의 불일치, 게이지 부착위치의 차이, 실제 가력되는 하중위치와 시편의 지지조건의 차이 등 복합적인 요인으로 인하여 발생한 것으로 보인다. 따라서, 해석결과를 활용하여 하중조건을 도출하거나 내구해석을 할 경우에는 적절한 관계식을 통하여 실험결과를 보정하는 과정이 필요할 것이다.

〈표2.9〉 디스크 해로우 시편의 각 하중방향별 최대하중에 대한 응력측정결과 정리

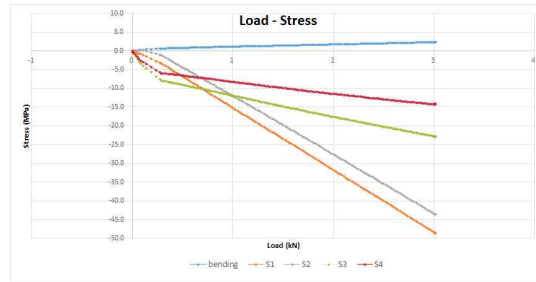
Disk harrow specimen No.	Gage No.	Measured stress at maximum load (MPa)		
		Fx=3,000 N	Fy=3,000 N	Fz=3,000 N
D#1	S1	-28.8	46.1	-44.3
	S2	-65.1	-15.5	-41.0
	S3	120.0	-10.8	-32.0
	S4	98.0	-49.6	-26.1
	B.S.	18.0	20.2	3.8
D#2	S1	-28.9	47.2	-43.8
	S2	-67.9	-13.3	-40.2
	S3	122.1	-16.0	-35.1
	S4	97.0	-53.6	-27.7
	B.S.	12.2	18.3	2.1
D#3	S1	-29.9	45.2	-48.3
	S2	-71.0	-19.5	-43.4
	S3	122.1	-11.3	-22.7
	S4	100.0	-52.9	-14.2
	B.S.	10.8	20.3	2.4
D#4	S1	-29.8	47.1	52.1
	S2	-66.5	-14.2	43.5
	S3	116.5	-12.6	25.0
	S4	93.5	-50.0	18.2
	B.S.	-	-	-



(a) x축방향 하중(Fx)

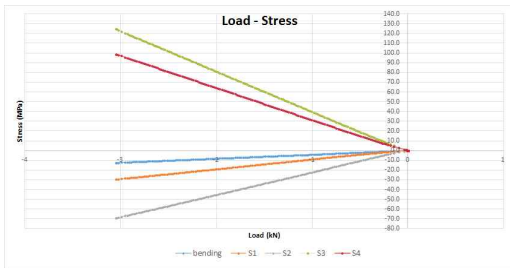


(b) y축방향 하중(Fy)

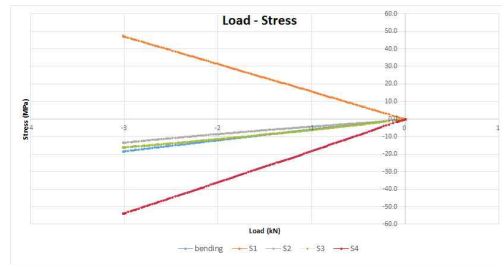


(c) z축방향 하중(Fz)

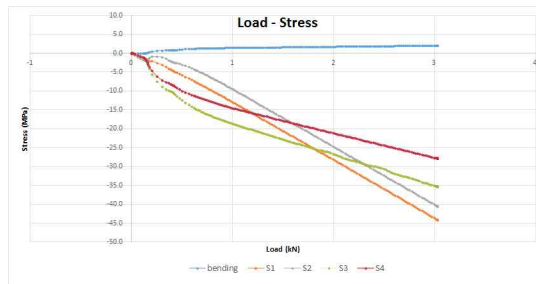
<그림2.27> 디스크 해로우 D#1 시험체 정하중시험 결과



(a) x축방향 하중(Fx)

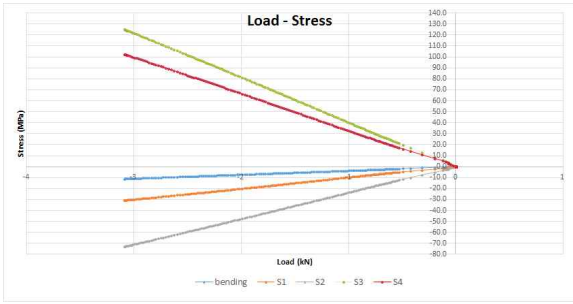


(b) y축방향 하중(Fy)

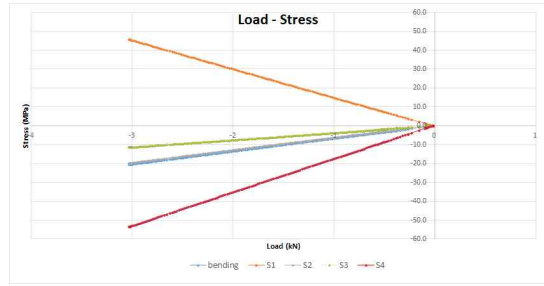


(c) z축방향 하중(Fz)

<그림2.28> 디스크 해로우 D#2 시험체 정하중시험 결과



(a) x축방향 하중(Fx)

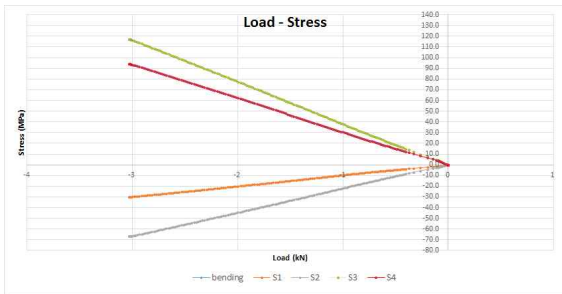


(b) y축방향 하중(Fy)

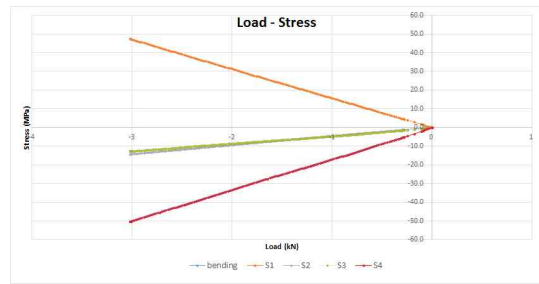


(c) z축방향 하중(Fz)

<그림2.29> 디스크 해로우 D#3 시험체 정하중시험 결과



(a) x축방향 하중(Fx)



(b) y축방향 하중(Fy)



(c) z축방향 하중(Fz)

<그림2.30> 디스크 해로우 D#4 시험체 정하중시험 결과

<표2.10> 디스크 해로우 D#1과 D#2 시편의 유한요소해석 및 시험결과 비교

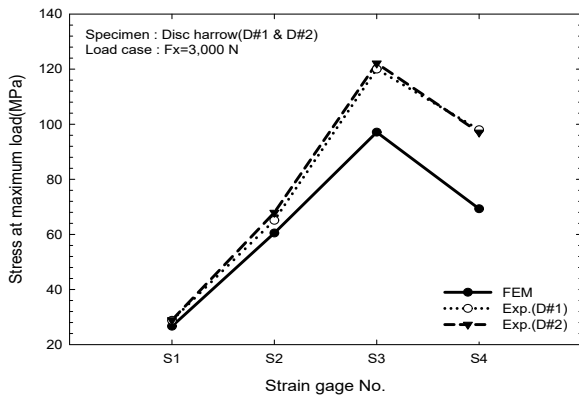
Load case	Gage No.	Stress at maximum load (MPa)				
		FEM	D#1 specimen		D#2 specimen	
			Exp.	Error(%)*)	Exp.	Error(%)*)
Fx=3,000N	S1	26.7	28.8	8.1	28.9	8.4
	S2	60.5	65.1	7.6	67.9	12.3
	S3	97.1	120.0	23.6	122.1	25.8
	S4	69.3	98.0	41.4	97.0	40.0
	B.S.	21.3	18.0	15.7	12.2	42.8
Fy=3,000N	S1	47.5	46.1	3.0	47.2	0.7
	S2	28.7	15.5	46.0	13.3	53.7
	S3	41.0	10.8	73.7	16.0	61.0
	S4	73.8	49.6	32.8	53.6	27.4
	B.S.	59.6	20.2	66.1	18.3	69.3
Fz=3,000N	S1	65.5	44.3	32.3	43.8	33.1
	S2	65.5	41.0	37.4	40.2	38.6
	S3	17.7	32.0	80.8	35.1	98.3
	S4	22.0	26.1	18.7	27.7	25.9
	B.S.	2.7	3.8	42.8	2.1	21.1

\*) Error(%) = |(해석결과 - 실험결과)/해석결과| x 100

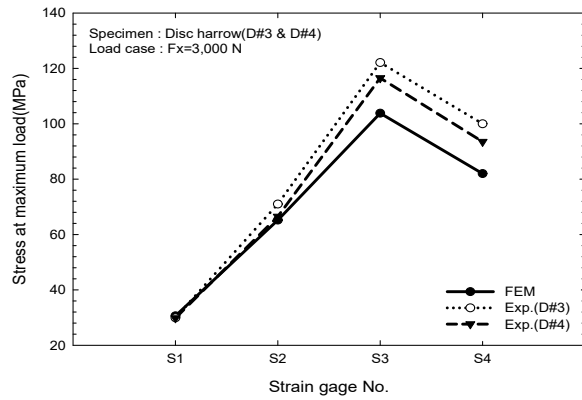
<표2.11> 디스크 해로우 D#3와 D#4 시편의 유한요소해석 및 시험결과 비교

Load case	Gage No.	Stress at maximum load(MPa)				
		FEM	D#3 specimen		D#4 specimen	
			Exp.	Error(%)*)	Exp.	Error(%)*)
Fx=3,000N	S1	30.6	29.9	2.3	29.8	2.7
	S2	65.2	71.0	8.9	66.5	2.0
	S3	103.8	122.1	17.6	116.5	12.2
	S4	82.0	100.0	21.9	93.5	14.0
	B.S.	31.4	10.8	65.6	-	-
Fy=3,000N	S1	47.9	45.2	5.5	47.1	1.6
	S2	29.8	19.5	34.7	14.2	52.4
	S3	44.6	11.3	74.7	12.6	71.7
	S4	78.1	52.9	32.2	50.0	36.0
	B.S.	57.1	20.3	64.5	-	-
Fz=3,000N	S1	58.4	48.3	17.2	52.1	10.7
	S2	72.0	43.4	39.7	43.5	39.6
	S3	20.1	22.7	13.0	25.0	24.5
	S4	16.2	14.2	12.3	18.2	12.5
	B.S.	9.3	2.4	74.3	-	-

\*) Error(%) = |(해석결과 - 실험결과)/해석결과| x 100

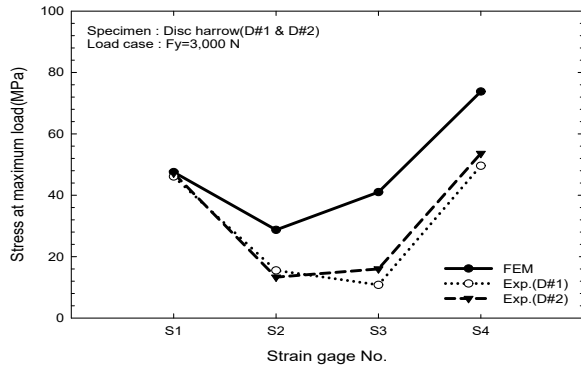


(a) Fx=3,000 N(D#1 & D#2 Specimen)

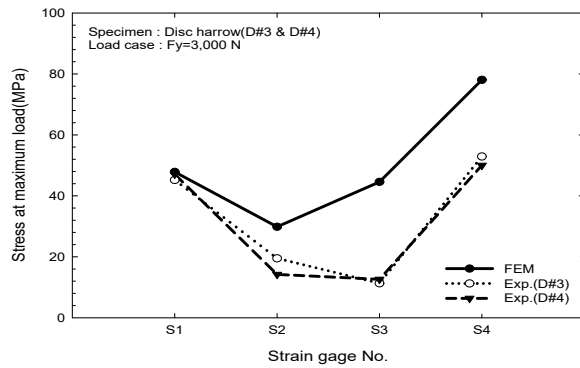


(b) Fx=3,000 N(D#3 & D#4 Specimen)

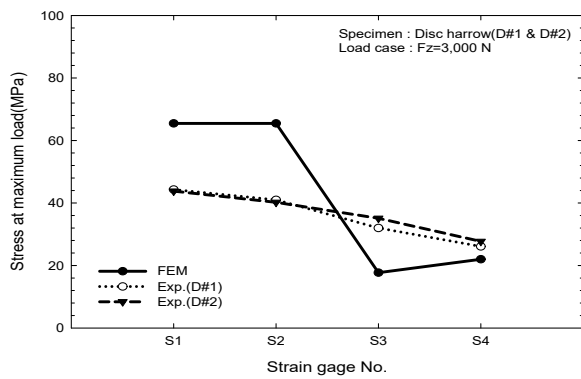
<그림2.31> 디스크 해로우 시편의 해석 및 시험결과 비교(계속)



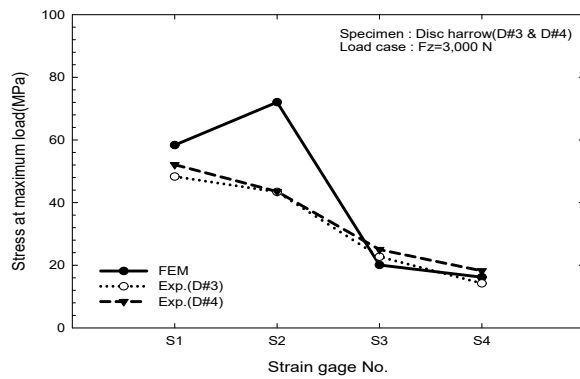
(c) Fy=3,000 N(D#1 & D#2 Specimen)



(d) Fy=3,000 N(D#3 & D#4 Specimen)



(e) Fz=3,000 N(D#1 & D#2 Specimen)



(f) Fz=3,000 N(D#3 & D#4 Specimen)

<그림2.31> 디스크 해로우 시편의 해석 및 시험결과 비교

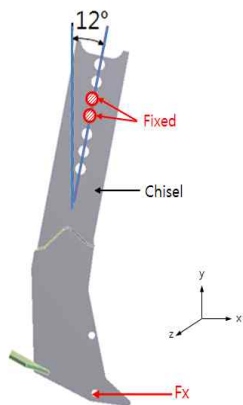
■ 치즐 정하중시험

① 시험설치 및 방법

그림2.32는 치즐의 하중점과 지지점에 대한 개략도를 보여준다. 하중점은 치즐의 쟁기선 단부이며, 지지점은 치즐 링크부이다. 링크로 연결되는 플레이트는 치즐과 12도의 각도로 기울어져 있다. 시험설치는 그림2.33과 같이 치즐상부와 플레이트가 링크로 연결되는 체결부를 볼트로 고정하고, 치즐하부 쟁기부의 구멍에 핀을 체결하여 하중이 한 방향으로 가력되도록 지그를 설치하였다. 치즐의 하중은 견인력에 의해 주로 치즐쟁기와 수평방향으로 흠의 저항을 받기 때문에 전후방향의 x축 방향만을 고려하였으며, 하중크기는  $F_x = 6,000 \text{ N}$ 이다.

<표2.12> 치즐의 정하중 시험조건

하중방향	하중크기 (N)
$F_x$	6,000



<그림2.32> 치즐의 하중점 및 지지점



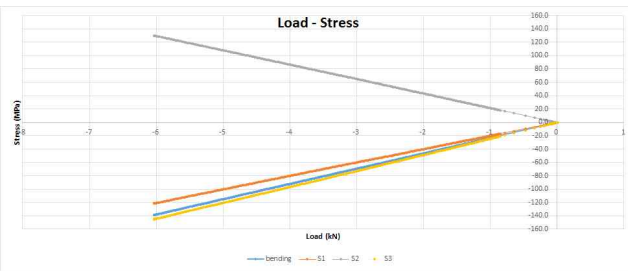
<그림2.33> 치즐의 시험설치 사진

② 정하중시험결과

그림2.34 - 그림2.35는 치즐 C#1과 C#2의 정하중시험 결과로서  $F_x$  하중가력시 측정된 스트레인게이지의 변형률부터 계산된 응력선도를 보여준다. 치즐 두 시편 모두 하중증가에 대한 스트레오력은 선형적으로 거동하고 있으며, 동일 위치에서 측정된 응력값의 편차가 10% 이내로 큰 차이가 없이 거의 동일한 응력이 작용함을 할 수 있다. 표2.13은  $F_x = 6,000 \text{ N}$  최대하중에서 측정된 응력결과를 각 치즐시편에 대해서 정리하여 나타내었다. 표 2.14는 유한요소 해석결과와 정하중시험결과를 방향별 최대하중에 대한 응력값으로 정리하였으며, 그림2.36은 하중에 대한 변형률 선도로 표현하여 유한요소해석결과와 실험결과를 비교한 그래프이다. Error(%)는 10% 이하로 두 결과가 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

〈표2.13〉 치즐 시편의  $F_x = 6,000 \text{ N}$  최대하중에서 측정된 응력결과 정리

Chisel specimen No.	Gage No.	Measured stress at maximum load (MPa)
		$F_x=6,000 \text{ N}$
C#1	S1	-120.7
	S2	137.2
	S3	-139.0
	B.S.	-142.1
C#2	S1	-120.3
	S2	129.8
	S3	-143.8
	B.S.	-130.4



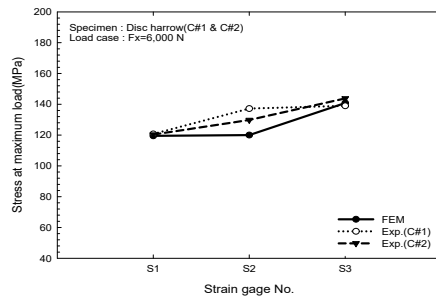
〈그림2.34〉 치즐 C#1 시험체 정하중시험 결과

〈그림2.35〉 치즐 C#2 시험체 정하중시험 결과

〈표2.14〉 치즐시편의 유한요소해석 및 시험결과 비교

Load case	Gage No.	Stress at maximum load (MPa)				
		FEM	C#1 specimen		C#2 specimen	
			Exp.	Error(%) <sup>*</sup>	Exp.	Error(%) <sup>*</sup>
$F_x=6,000 \text{ N}$	S1	119.5	120.7	18.0	120.3	0.7
	S2	120.0	137.2	19.6	129.8	8.2
	S3	140.8	139.0	5.6	143.8	2.1
	B.S.	130.4	142.1	9.0	130.4	0.0

\* ) Error(%) = |(해석결과 - 실험결과)/해석결과| x 100



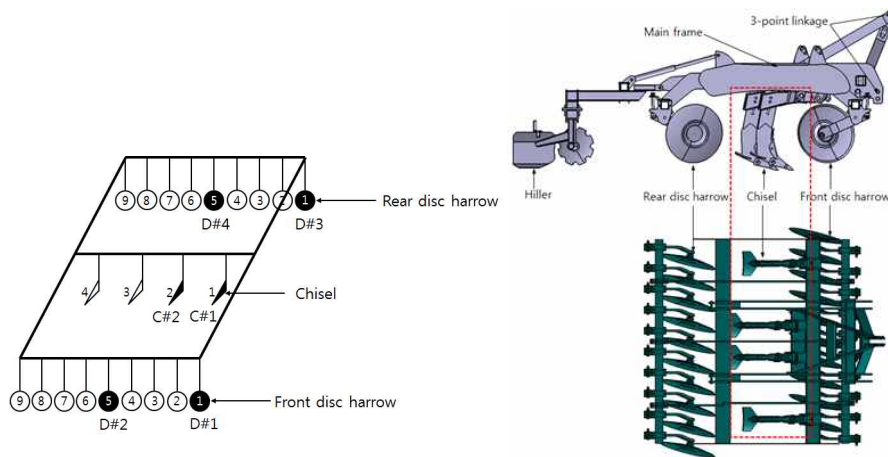
〈그림2.36〉 치즐 시편의 해석 및 시험결과 비교



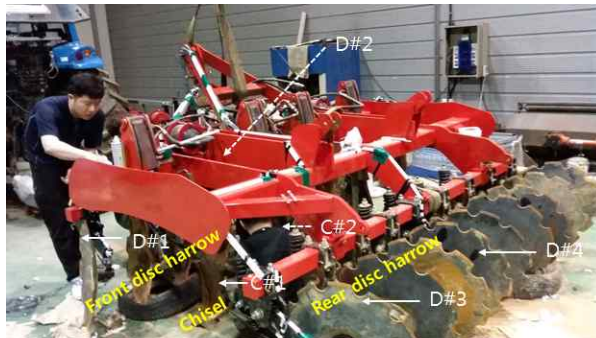
(마) 필드 테스트

■ 측정용 디스크 해로우 및 치즐 설치

복합작업기는 전방 디스크 해로우 9개 1열, 후방 디스크 해로우 9개 1열, 전·후방 디스크 해로우 사이에 치즐 4개 1열로 전체적으로 총 3열로 구성되어 있다. 전·후방 디스크 해로우 좌측부터 차례로 번호를 부여하고, 1번과 5번(중앙) 위치에 기존에 장착되어 있던 디스크 해로우 대신에 작업하중 획득을 위해 제작한 측정용 디스크 해로우(전방 : D#1과 D#2, 후방 : D#3과 D#4)로 대체시켜 설치하였다. 치즐의 경우, 좌측 1번과 2번 치즐을 측정용 치즐 C#1과 C#2로 대체시켰다. 그림2.37은 복합작업기에 측정용 디스크 해로우 및 치즐 구성이며, 그림2.38은 실제 복합작업기에 설치된 측정용 디스크 해로우 및 치즐을 보여준다.



<그림2.37> 복합작업기에 측정용 디스크 해로우 및 치즐 구성



<그림2.38> 복합작업기에 측정용 디스크 해로우 및 치즐 설치

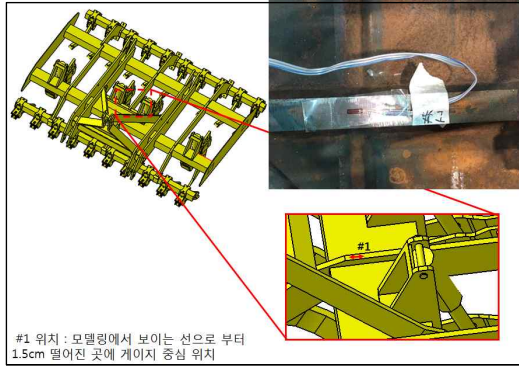
■ 스트레인게이지 결선

필드 테스트는 트랙터를 목표속도까지 필드 시험장을 주행하면서 복합작업기의 메인 프레임, 측정용 디스크 해로우 및 치즐에 다수의 스트레인게이지의 신호를 측정하기 위한 실차량 주행시험이다. 이를 위해 표.2.15와 같이 메인 프레임에 10개와 측정용 디스크 해로우에 32개(8개/조 x 4조), 치즐에 14개(7개/조 \* 2조) 등 총 56개의 스트레인이지를 부착하였다. 그림.2.39는 메인 프레임의 스트레인게이지 부착사진이다. 디스크 해로우와 치즐의 경우 그림.2.21과 그림.2.23에 보인 바와 같다. 그림.2.40은 측정용 디스크 해로우(D#1~D#4) 및 치즐(C#1~C#2)과 메인 프레임에 스트레인게이지 결선이 완료된 후의 복합작업기 사진

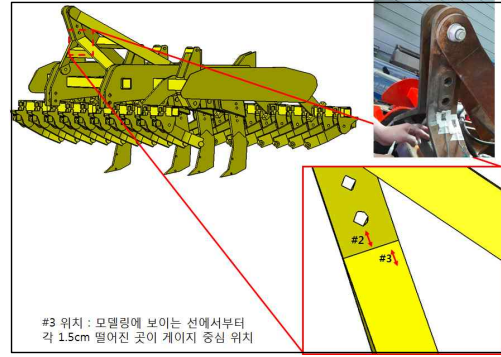
을 보여준다.

<표2.15> 메인 프레임의 스트레인게이지 부착 개수

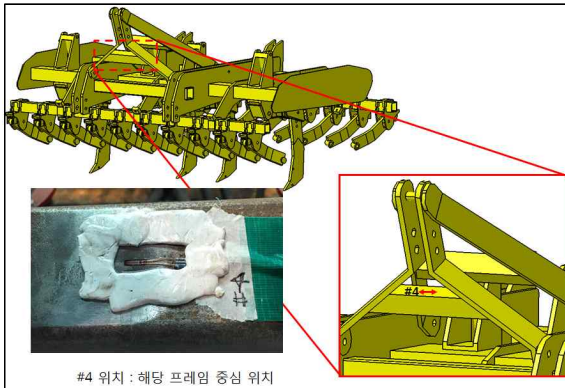
번호	부 품	스트레인게이지 부착수량 (개)	측정목적	비 고
1	메인 프레임	10	피로손상도 계산	
2	측정용 디스크 해로우	32 (8개/조 x 4조)	하중도출	D#1, D#2, D#3, D#4
3	측정용 치즐	14 (7개/조 x 2조)	하중도출	C#1, C#2
합 계		56		



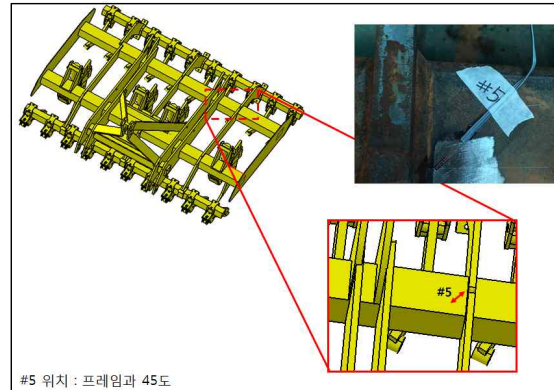
(a) S1



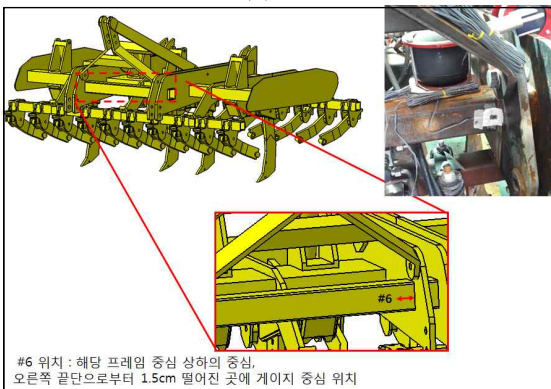
(b) S2, S3



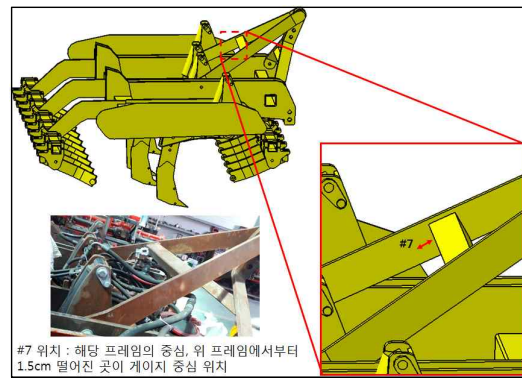
(c) S4



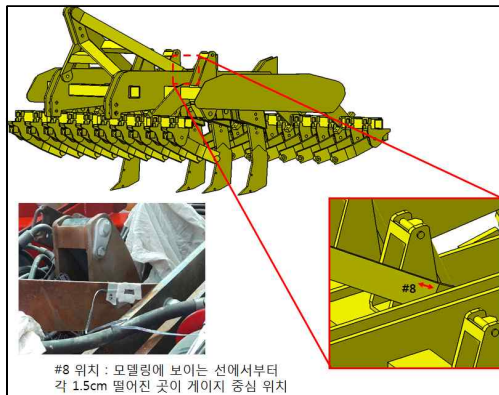
(d) S5



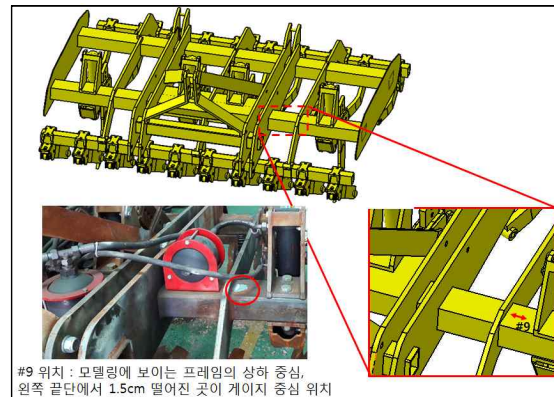
(e) S6



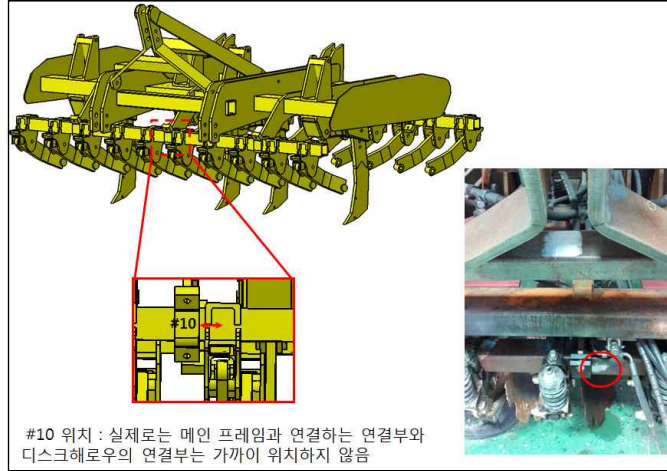
(f) S7



(g) S8



(h) S9



#10 위치 : 실제로는 메인 프레임과 연결하는 연결부와 디스크헤로우의 연결부는 가까이 위치하지 않음

(i) S10

<그림2.39> 메인 프레임의 스트레인게이지 부착위치



(a) 디스크 해로우

(b) 치즐



(c) 메인 프레임

(d) 복합작업기 전체 결선 사진

<그림2.40> 복합작업기에 측정용 디스크 해로우 및 치즐을 장착한 후 스트레인게이지 결선장면

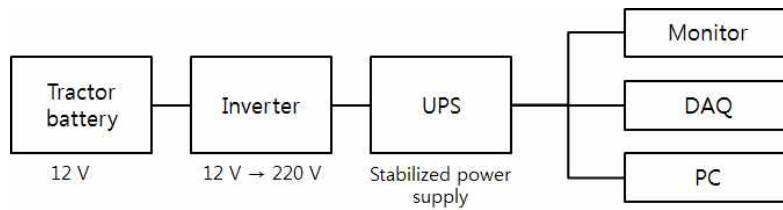
(바) 데이터 측정장비 및 시험용 트랙터

주행중 복합작업기에 설치된 Load cell, 스트레인게이지, 속도계 신호를 계측하기 위하여 그림2.41과 그림2.42와 같이 데이터 취득장비, 계측 모니터장비, 데이터 저장 컴퓨터로 구성되는 계측시스템을 구축하여 트랙터 내부에 장착하였다. 각 장비들의 사양은 표2.16과 같다. 이동형 계측시스템의 특성상 외부로부터 전력공급이 어렵기 때문에 전력은 트랙터의 배터리(12 V 직류전압)을 통하여 공급되며, 이 때, 12 V의 직류전압을 220 V의 교류전압으로 변환하기 위하여 인버터를 설치하였다. 시험 중 트랙터의 시동 꺼짐에 따른 전압 안정화를 고려하여 무정전전원장치(UPS)도 장착하였으며, 무선통신모듈을 연결하여 트랙

터 외부에서 시험데이터를 모니터링 할 수 있도록 하였다. 또한, 시험 중 복합작업기의 디스크해로우와 치즐의 경심상태와 움직임을 관찰하기 위하여 트랙터 후방 창틀에 CCD 카메라를 설치하여 실시간으로 모니터링을 하였다. 트랙터의 주행속도는 그림2.43과 같이 GPS 기반의 속도계(최고측정속도 : 1,610 km/s)로 측정하였다.

그림2.44는 복합작업기를 트랙터에 연결하는 장면이다. 그림2.45는 측정용 디스크해로우, 치즐, 메인프레임의 스트레인게이지를 트랙터 내부에 설치된 데이터 측정장비에 연결하는 장면이다.

필드 테스트를 위한 트랙터는 엔진출력이 95PS용량인 LS엠트론 PS100-N 트랙터 모델이다. 그림2.46은 실제 시험에 사용된 트랙터 사진으로 사양과 함께 나타내었다.



<그림2.41> 계측 시스템(measurement system)의 구성



<그림2.42> 계측시스템 사진

<표2.16> Specifications of measurement system

Devices	Specifications	Comments
Inverter	Model : DC12V-AC220V 1000W Manufacturer : Devicemall Spec. : 정현파 인버터(Pure Sine Wave)	트랙터 배터리 DC 12V → DAQ 전압 AC 220V로 변환
UPS	Model : Niky 1000 Manufacturer : Legrand Spec. : 입력전압 : 160 ~ 290 V 출력전압 : 220 V 입출력주파수 : 50/60 hz 배터리 백업 시간 : 5 ~ 30분	트랙터 시동 꺼짐 대비, 전압안정화 고려
DAQ	Model : MX840B, MX1615B Manufacturer : HBM Spec. : 8-channel universal amplifier of the QuantumX family; Supports the following transducer technologies (total of 8channels): - 8 strain gage full/half bridge(DC/CF 4.8kHz); - 8 x current fed piezo-electrical sensors (IEPE / ICP); - 8 x piezoresistive full bridge; - 8 x thermocouples type K,N,R,S,T,B,E,J,C; - 8 x resistance: 5000 Ohm; - 8 x potentiometric transducer; - 8 x inductive full or half bridge; - 8 x LVDT; - 8 x voltage: 100 mV, 10 V and 60 V; - 1 x CAN bus on channel 1: receive/transmit;	정확한 계측데이터를 얻기 위해 노이즈 필터가 내장된 DAQ를 구성 ex) 철도, 차량 필드 시험 시 사용
PC	Model : UNO-2483G Manufacturer : ADVANTECH Spec. : intel core i3 8GB DDR3 SDRAM 4 x GbE, 4 x usb -20 ~ 60 °C 조건에서 계측 가능	트랙터 계측 환경을 고려하여 진동 및 온도특성에 강한 산업용 PC로 구성 ex) 철도, 차량 필드 시험 시 사용



Item	Specifications
Model	VBSS05
Manufacturer	RACELOGIC
Output signal	Voltage
Maximum velocity (km/h)	1,610
Maximum velocity (km/h)	0.1
Accuracy (%)	±5

<그림2.43> GPS 속도계 사양



<그림2.44> 트랙터에 복합작업기 연결장면



<그림2.45> 스트레인게이지 전선을 데이터 측정장비에 결선하는 장면



모델명	LS엠트론 PS100-N
연결규격	CAT. II
장비정보	엔진출력 : 95 PS, 70 kW

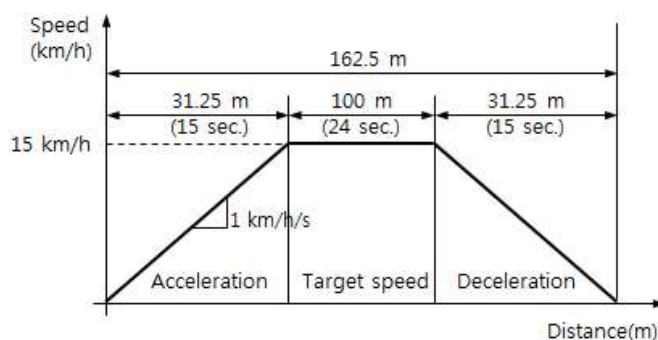
<그림2.46> 시험용 트랙터 및 사양

(사) 토양측정

복합작업기는 목표 최대속도가 15 km/h에서 요구되는 작업성능을 만족해야 한다. 트랙터가 이 목표속도에 도달하기 위해서는 초기 가속구간과 최종 감속구간이 거리가 필요하며, 목표속도에서 속도를 유지하기 위한 어느 정도의 시간이 요구된다. 복합작업기를 장착한 상태에서 트랙터의 실제 가속 및 감속성능을 예측하기 어렵기 때문에 그림2.47과 같이 15 km/h에 도달하는데 걸리는 시간을 15초가 걸리고, 최고속도에 도달한 후에는 24 초 동안 이 속도를 유지한 다음 다시 15초 동안 감속한다고 가정하면, 162.5 m의 계산상

거리가 필요하며, 실제 필드 테스트를 위한 주행거리는 그 이상으로 예상하였다. 국내에서 직선거리가 150m 이상의 넓은 장소의 경작지를 찾기란 쉬운 일 아니기 때문에 경작지와 유사한 조건의 비경작지를 선택하여 필드 테스트의 시험장소로 활용하였다.

시험장소의 토양조건은 원추관입경도계(모델명 : DIK-5530, Penetration : 147~ 2,452 kPa, Resistance depth : 60 cm, Spring : 49N / 50mm )와 토양수분센서(모델명 : WT1000B, Moisture : 0~99.9%, Temperature : 0~60° C, Accuracy : ± 1% , Temperature : ± 0.5° C, Sensor type : FDR2)를 사용하여 토양의 반력과 관입깊이 및 수분을 측정하였다(그림2.48 참조). 측정된 평균 토양반력과 관입깊이는 각각 Cone index 1,939 kPa과 18 cm이다. 필드 테스트시 토양수분은 8.6%이며, 외기온도는 26°C이다.



<그림2.47> 필드 테스트를 위한 계산상 주행거리



<그림2.48> 원추관입경도계를 이용한 토양 반력 측정

(아) 필드 테스트 결과

필드 테스트는 총 8회 실시하였다. 그림2.49는 주행시험을 시작하기 전 복합작업기가 시험장 위에 놓여 준비 중에 있는 장면이다. 노면의 불규칙한 굴곡상태는 디스크 해로우 및 치즐이 일정 깊이의 경심을 유지하기 어려우며 특히, 심하게 굴곡진 구간에서는 경심은 매우 얇아서 디스크 해로우에 반력은 상대적으로 감소하게 된다. 이를 고려하기 위하여 CCD 카메라의 동영상 분석을 통해 평균 경심깊이가 80% 이상의 작업구간에서 얻어진 측정데이터를 발췌하여 사용하였다. 이 조건은 실제 작업조건보다 가혹한 하중조건으로 판단되지만, 구조물의 강도 및 내구도 평가에서 다소 보수적인 평가결과를 가져오기 때문에 안전성 설계 측면에서 다소 유리하다고 할 수 있다.



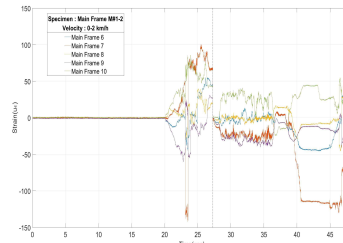
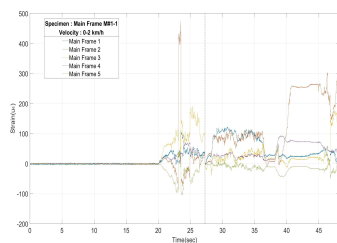


<그림2.49> 필드 테스트 시작 전 측정시스템 최종점검 사진

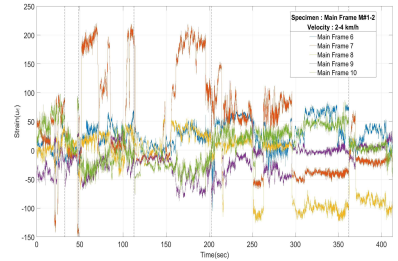
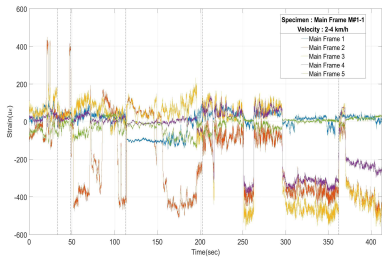
■ 측정결과

필드테스트의 경우 토질의 불균일성으로 인하여 트랙터를 일정 속도로 제어하면서 디스크 해로우와 치즐의 경심을 일정하게 유지하는 것은 어렵다. 특히, 출발점에서 최고속도까지 일정비율로 속도를 증가시키거나 목표속도에 도달해서 일정속도를 유지하는 것은 더욱 어렵다. 불규칙한 트랙터의 가·감속은 주행속도의 불규칙한 증가·감소를 반복하게 되며, 이 때 측정 데이터도 다양한 속도범위에서 복잡한 형태로 나타나게 된다. 따라서, DAQ 장비를 통해 기록된 필드 테스트의 데이터를 그대로 가져와 사용할 수 없으며, 어떤 특정 속도범위에서 측정된 하중 데이터를 분석하여 트랙터 주행속도별로 하중특성을 분류하는 것이 필요하다. 트랙터 주행속도별 응답특성을 파악하기 위하여, 속도구간을 2 km/h 단위로 나누어 최고속도 16 km/h까지 총 8개 구간으로 측정데이터를 분류하였다. 경심깊이는 필드 테스트시 트랙터에 부착된 CCD 카메라의 동영상 분석하여 경심깊이 정도를 최대 경심깊이를 기준으로 상·중·하로 구분하였다. 경심정도는 작업효율과 관련이 있다. 경심깊이가 80~100%(경심정도 상)인 경우 깊은 경운으로 작업효율이 양호하지만 디스크 해로우나 치즐이 받는 저항력이 높아져 부재가 받는 부하하중은 크다. 반면, 80% 미만(경심정도 중·하) 경심깊이인 경우, 부재에 작용되는 상대적인 부하하중은 작다. 실제 디스크 해로우나 치즐의 피로내구성을 검증하는 목적으로 시험하중을 도출할 때는 가능한 모든 경작조건이 고려된 다양한 경심깊이에 따른 도출해야 하지만, 현실적으로 시간, 장소, 경제적인 제약조건이 많이 따르기 때문에 부하하중이 가장 크게 걸리는 최대 경심깊이조건을 기준으로 시험하중을 도출하는 것이 적절하다고 판단된다. 이는 실제조건보다는 보수적으로 평가할 수 있어서 제품설계의 안전측 측면에서는 유리하다고 할 수 있다. 경심깊이가 80% 미만(경심정도 중·하) 제외시키고 80~100%(경심정도 상) 경심깊이에 해당하는 구간의 데이터만 발췌하였다.

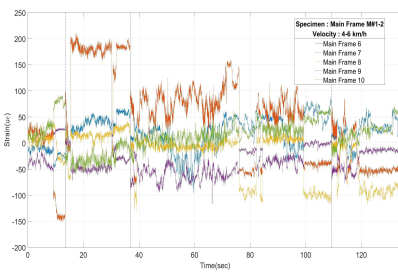
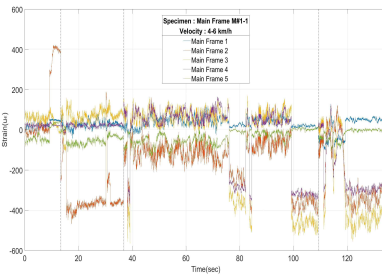
① 메인 프레임



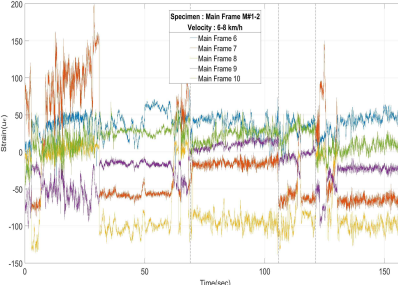
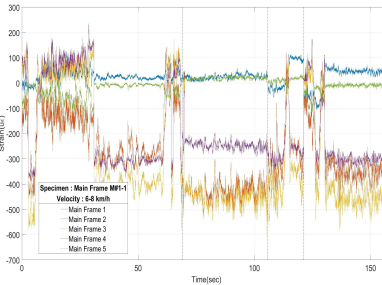
(a) Velocity : 0 ~ 2 km/h



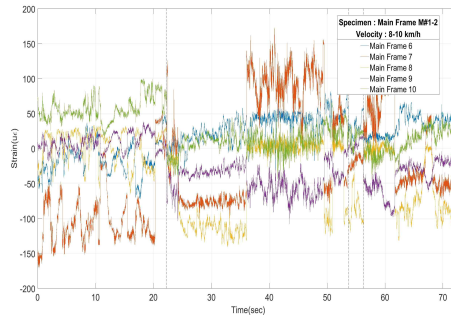
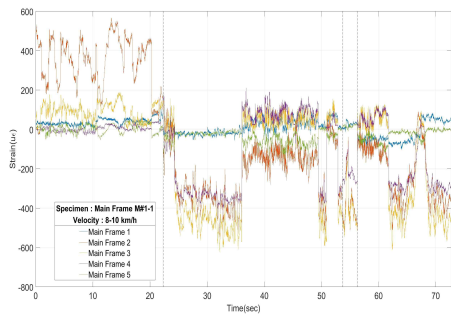
(b) Velocity : 2 ~ 4 km/h



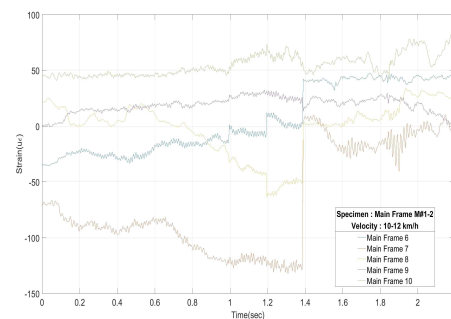
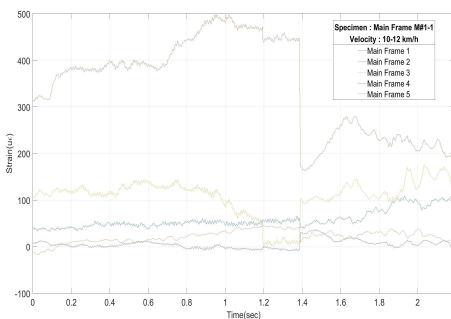
(c) Velocity : 4 ~ 6 km/h



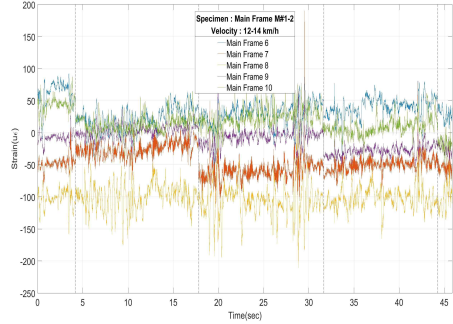
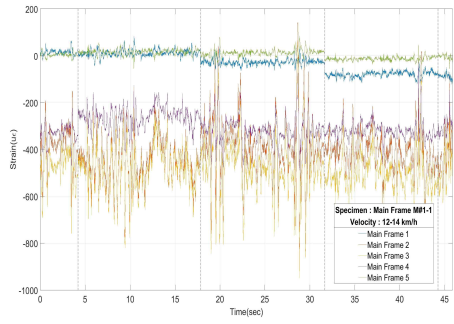
(d) Velocity : 6 ~ 8 km/h



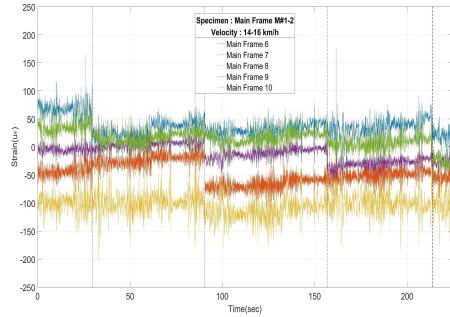
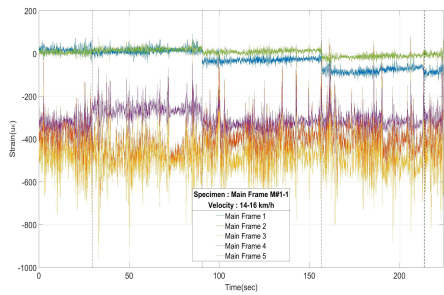
(e) Velocity : 8 ~ 10 km/h



(f) Velocity : 10 ~ 12 km/h



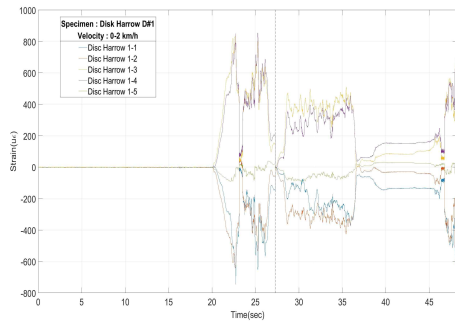
(g) Velocity : 12 ~ 14 km/h



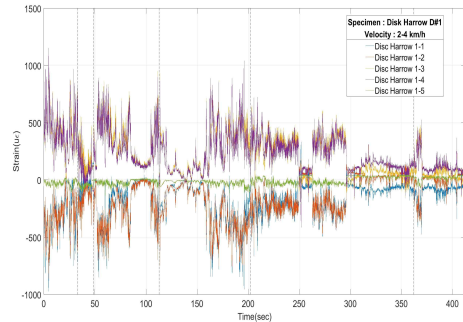
(h) Velocity : 14 ~ 16 km/h  
 <그림2.50> 메인 프레임의 트랙터 주행속도별 측정 데이터

② 디스크 해로우

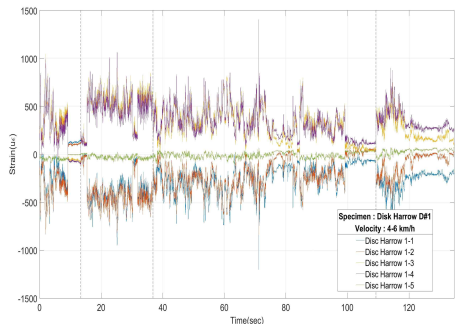
Disk harrow D#1



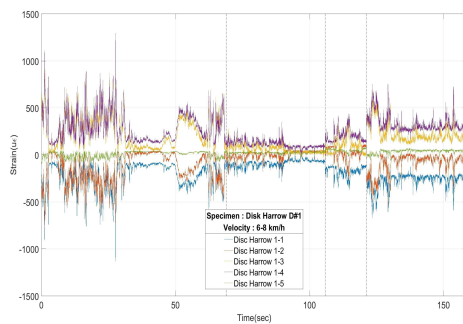
(a) Velocity : 0 ~ 2 km/h



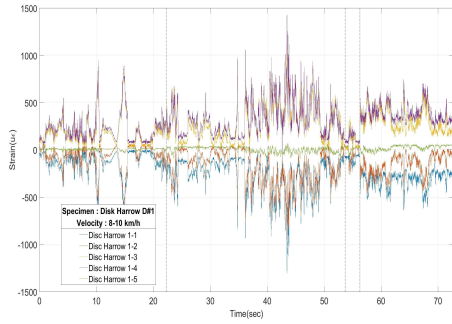
(b) Velocity : 2 ~ 4 km/h



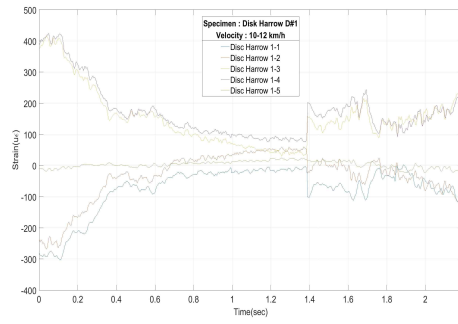
(c) Velocity : 4 ~ 6 km/h



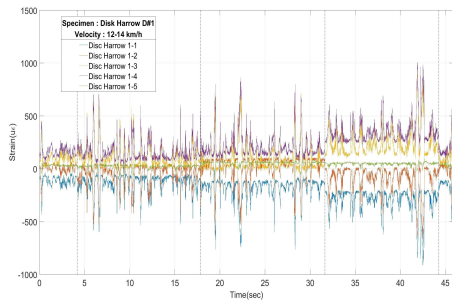
(d) Velocity : 6 ~ 8 km/h



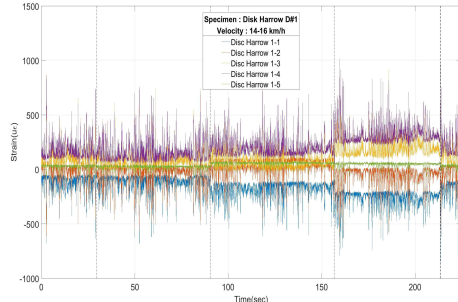
(e) Velocity : 8 ~ 10 km/h



(f) Velocity : 10 ~ 12 km/h



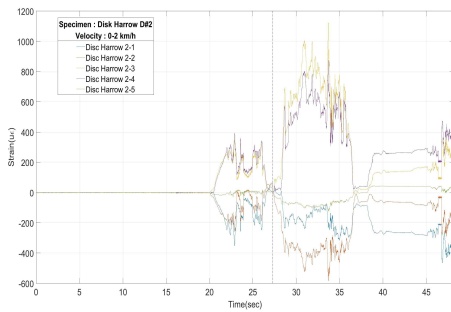
(g) Velocity : 12 ~ 14 km/h



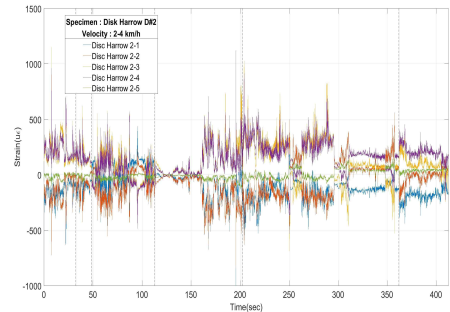
(h) Velocity : 14 ~ 16 km/h

<그림2.51> 디스크 해로우(Disk harrow D#1)의 트랙터 주행속도별 측정 데이터

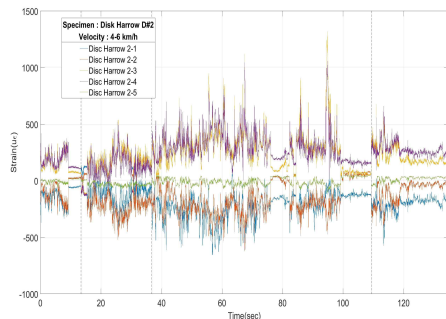
Disk harrow D#2



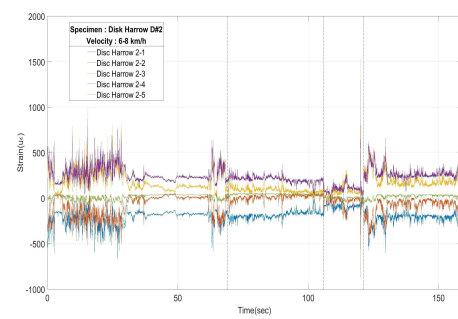
(a) Velocity : 0 ~ 2 km/h



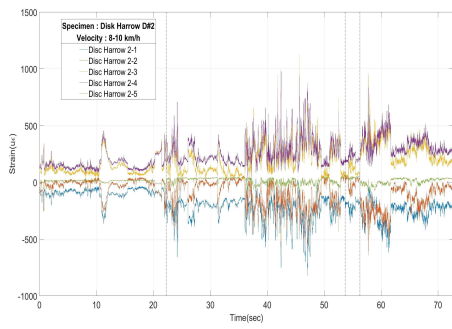
(b) Velocity : 2 ~ 4 km/h



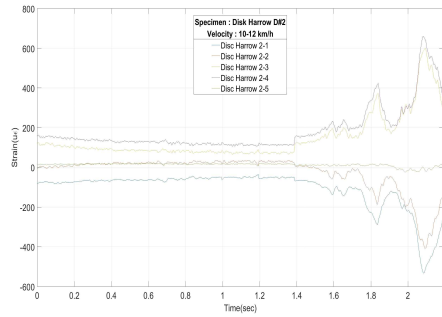
(c) Velocity : 4 ~ 6 km/h



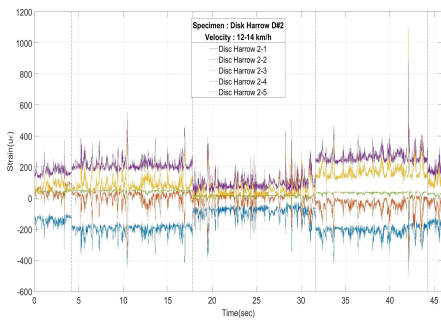
(d) Velocity : 6 ~ 8 km/h



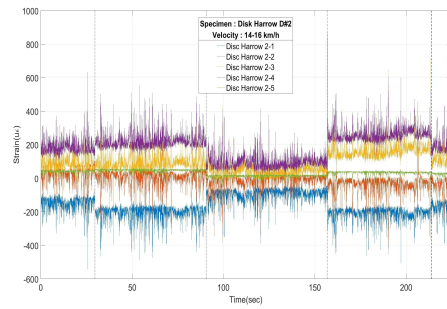
(e) Velocity : 8 ~ 10 km/h



(f) Velocity : 10 ~ 12 km/h



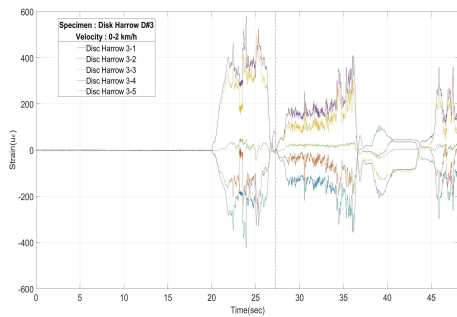
(g) Velocity : 12 ~ 14 km/h



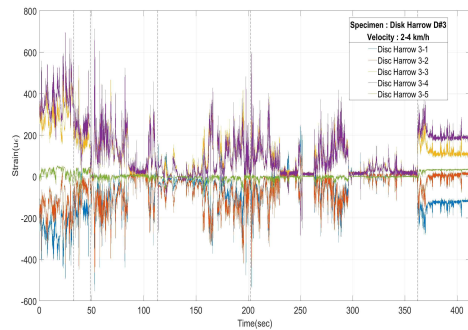
(h) Velocity : 14 ~ 16 km/h

<그림2.52> 디스크 해로우(Disk harrow D#2)의 트랙터 주행속도별 측정 데이터

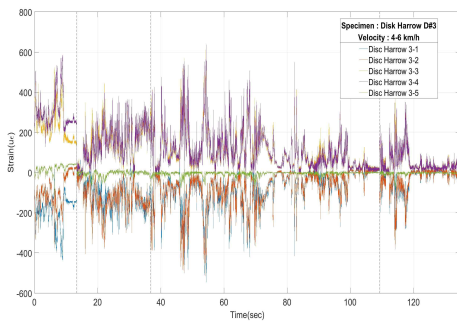
Disk harrow D#3



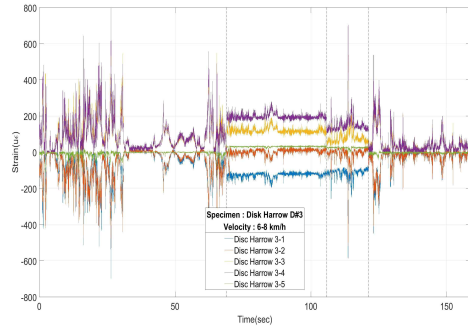
(a) Velocity : 0 ~ 2 km/h



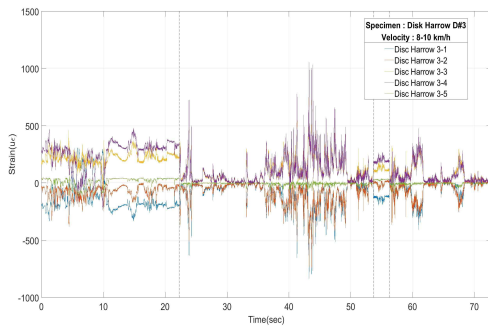
(b) Velocity : 2 ~ 4 km/h



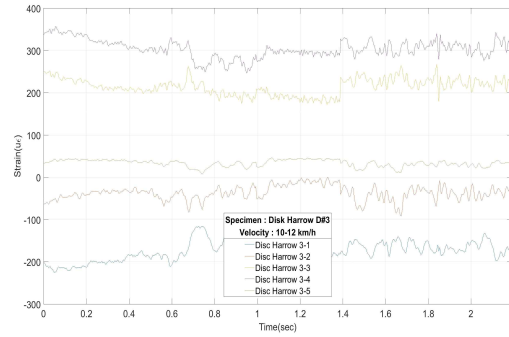
(c) Velocity : 4 ~ 6 km/h



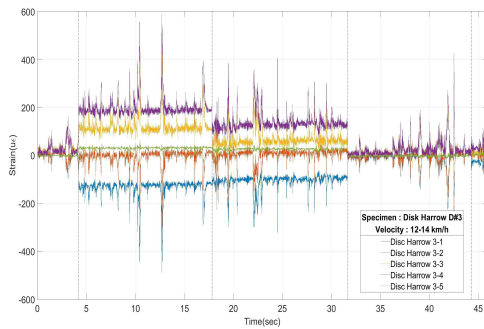
(d) Velocity : 6 ~ 8 km/h



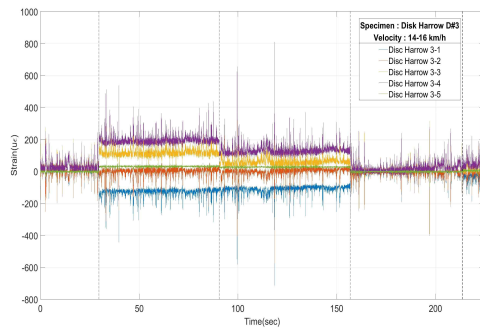
(e) Velocity : 8 ~ 10 km/h



(f) Velocity : 10 ~ 12 km/h



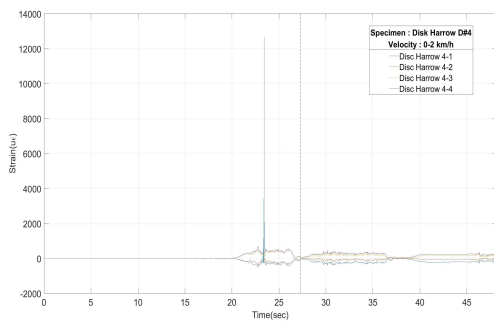
(g) Velocity : 12 ~ 14 km/h



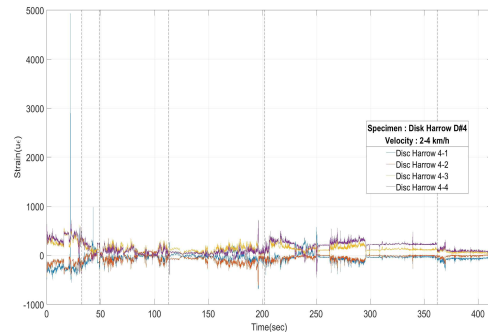
(h) Velocity : 14 ~ 16 km/h

<그림2.53> 디스크 해로우(Disk harrow D#3)의 트랙터 주행속도별 측정 데이터

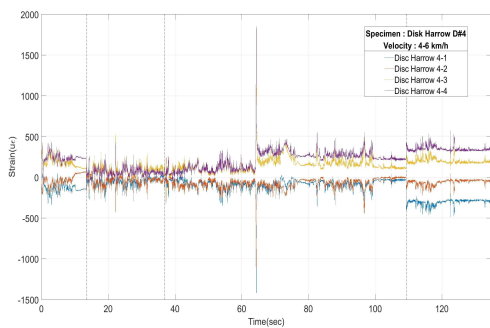
Disk harrow D#4



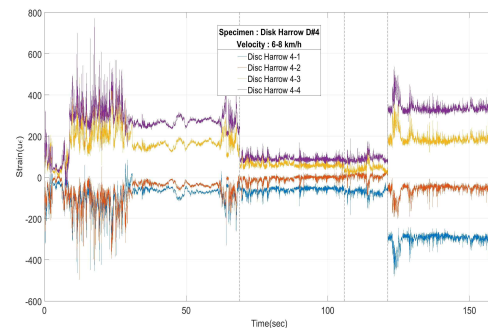
(a) Velocity : 0 ~ 2 km/h



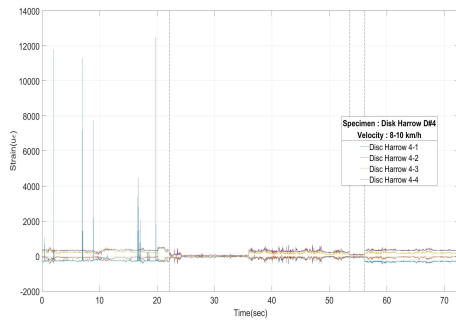
(b) Velocity : 2 ~ 4 km/h



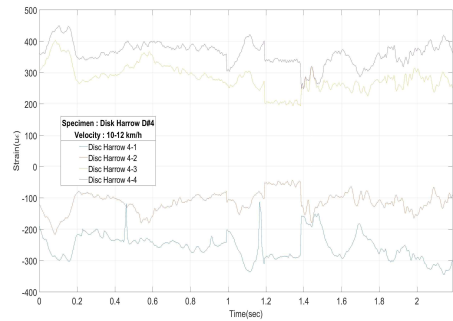
(c) Velocity : 4 ~ 6 km/h



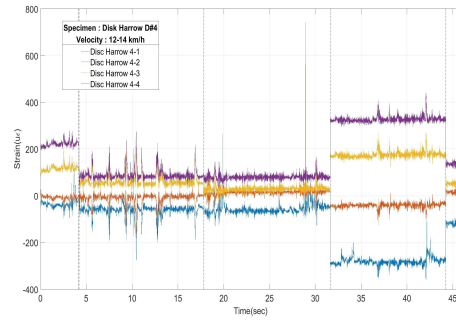
(d) Velocity : 6 ~ 8 km/h



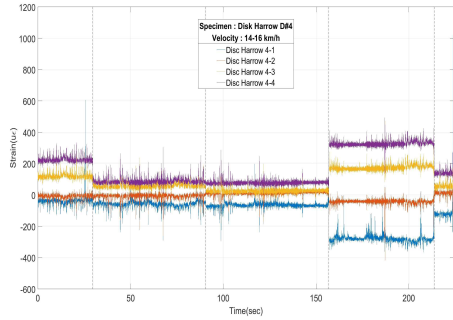
(e) Velocity : 8 ~ 10 km/h



(f) Velocity : 10 ~ 12 km/h



(g) Velocity : 12 ~ 14 km/h

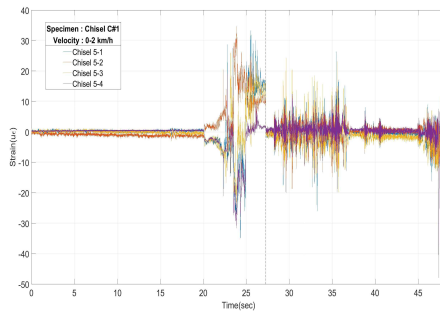


(h) Velocity : 14 ~ 16 km/h

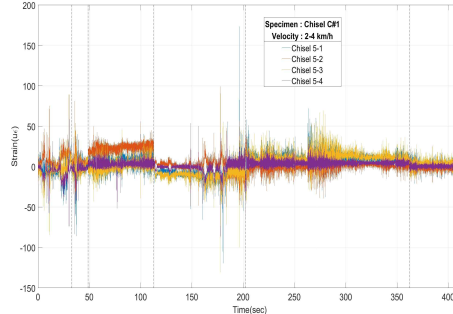
<그림2.54> 디스크 해로우(Disk harrow D#4)의 트랙터 주행속도별 측정 데이터

③ 치즐

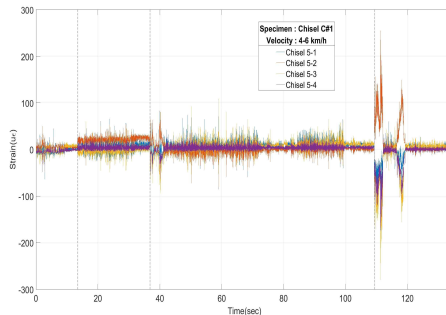
Chisel C#1



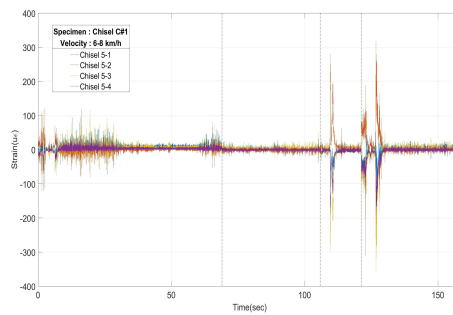
(a) Velocity : 0 ~ 2 km/h



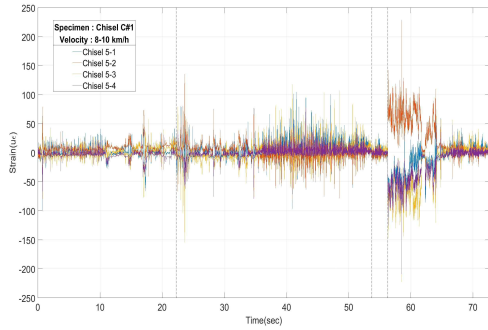
(b) Velocity : 2 ~ 4 km/h



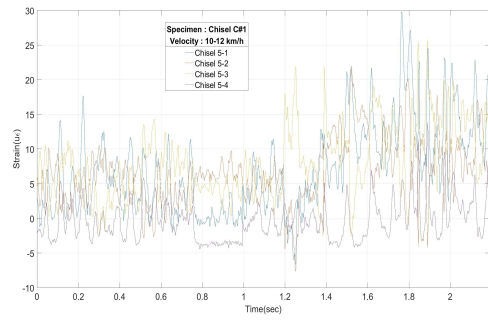
(c) Velocity : 4 ~ 6 km/h



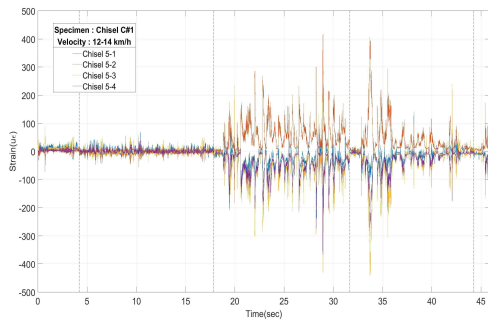
(d) Velocity : 6 ~ 8 km/h



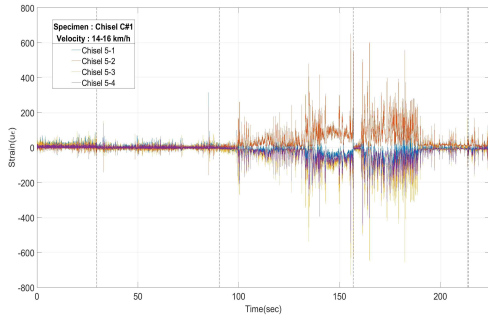
(e) Velocity : 8 ~ 10 km/h



(f) Velocity : 12 ~ 14 km/h



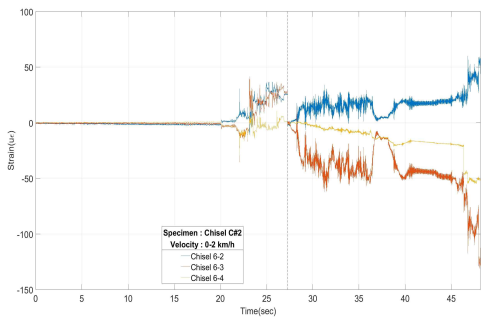
(g) Velocity : 12 ~ 14 km/h



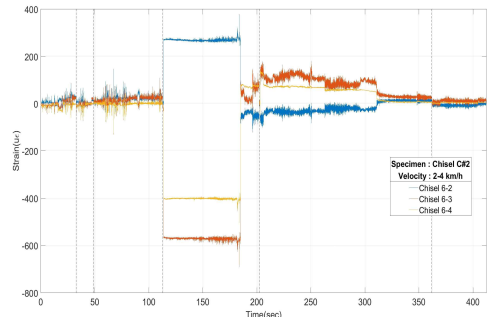
(h) Velocity : 14 ~ 16 km/h

<그림 2.55> 치즐(Chisel C#1)의 트랙터 주행속도별 측정 데이터

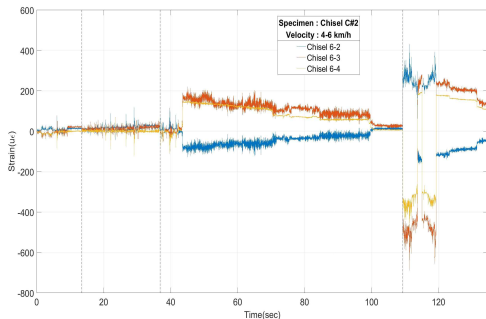
Chisel C#2



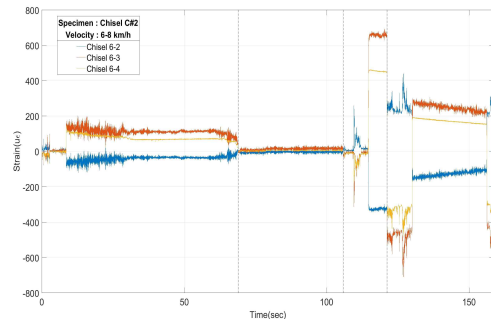
(a) Velocity : 0 ~ 2 km/h



(b) Velocity : 2 ~ 4 km/h

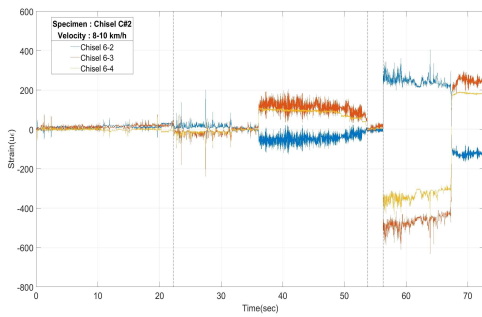


(c) Velocity : 4 ~ 6 km/h

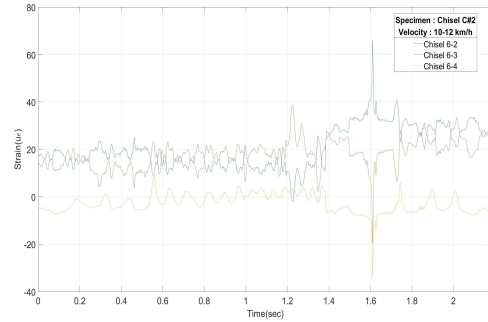


(d) Velocity : 6 ~ 8 km/h

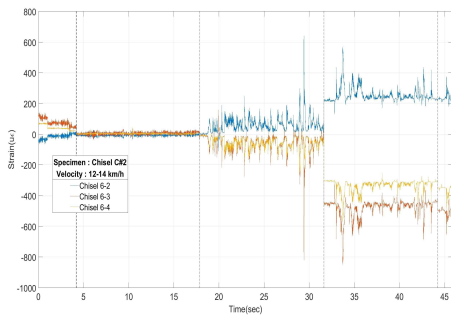




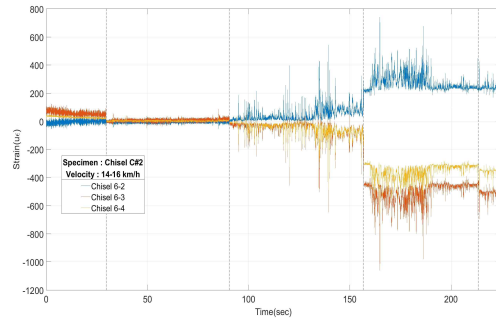
(e) Velocity : 8 ~ 10 km/h



(f) Velocity : 10 ~ 12 km/h



(g) Velocity : 12 ~ 14 km/h



(h) Velocity : 14 ~ 16 km/h

<그림2.56> 치즐(Chisel C#2)의 트랙터 주행속도별 측정 데이터

■ 시험하중도출

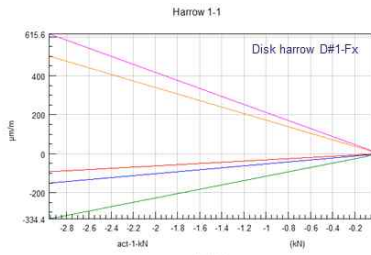
① Calibration matrix 생성

디스크 해로우와 치즐에 대한 정하중시험을 통하여 측정된 하중과 변형률 선도로부터 그림2.57의 nCode를 활용하여 calibration factor(그래프의 기울기)를 구하면 표2.17과 표2.18과 같다.



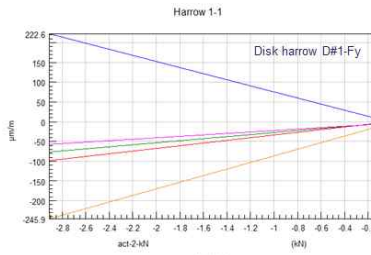
<그림2.57> Calibration matrix 계산

㉗ 디스크 해로우



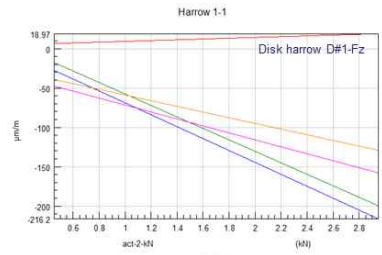
Marker	Title	FullEquation	PercentR Squared
—	Lab_harrow_u_01_u2_Ck1_bending	y=112471x - 332247	99.93
—	Lab_harrow_u_01_u2_Ck2_S1	y=25216x + 13254	99.27
—	Lab_harrow_u_01_u2_Ck3_S2	y=11732x - 33254	99.43
—	Lab_harrow_u_01_u2_Ck4_S3	y=22278x + 123719	99.57
—	Lab_harrow_u_01_u2_Ck5_S4	y=-19239x + 13024	99.18

(a) Disk harrow D#1-Fx



Marker	Title	FullEquation	PercentR Squared
—	Lab_harrow_u_01_u2_Ck1_bending	y=33302x + 331793	99.95
—	Lab_harrow_u_01_u2_Ck2_S1	y=71698x + 17424	99.93
—	Lab_harrow_u_01_u2_Ck3_S2	y=21738x + 15933	99.83
—	Lab_harrow_u_01_u2_Ck4_S3	y=123719x + 14133	99.68
—	Lab_harrow_u_01_u2_Ck5_S4	y=1452x - 233179	99.81

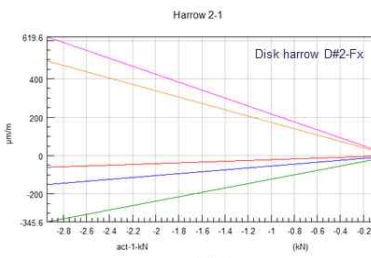
(b) Disk harrow D#1-Fy



Marker	Title	FullEquation	PercentR Squared
—	Lab_harrow_u_01_u2_Ck1_bending	y=99217x + 42493	99.15
—	Lab_harrow_u_01_u2_Ck2_S1	y=123200x + 17254	99.93
—	Lab_harrow_u_01_u2_Ck3_S2	y=71255x + 18332	99.84
—	Lab_harrow_u_01_u2_Ck4_S3	y=41322x - 21607	99.49
—	Lab_harrow_u_01_u2_Ck5_S4	y=-18324x - 22307	97.93

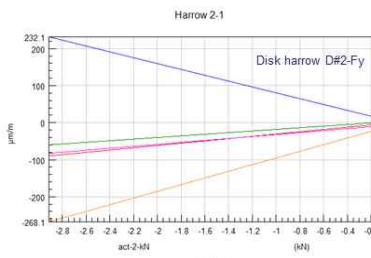
(c) Disk harrow D#1-Fz

<그림.2.58> Disk harrow D#1의 calibration factor 계산



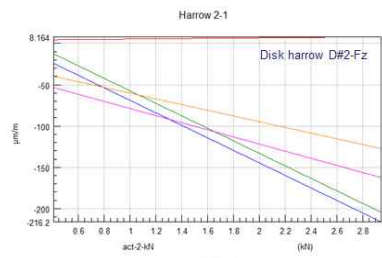
Marker	Title	FullEquation	PercentR Squared
—	Lab_harrow_u_02_u2_Ck1_bending	y=231459x - 131763	99.97
—	Lab_harrow_u_02_u2_Ck2_S1	y=48474x + 48164	99.99
—	Lab_harrow_u_02_u2_Ck3_S2	y=11452x - 84082	99.99
—	Lab_harrow_u_02_u2_Ck4_S3	y=22938x + 82462	99.99
—	Lab_harrow_u_02_u2_Ck5_S4	y=18479x + 84124	99.41

(a) Disk harrow D#2-Fx



Marker	Title	FullEquation	PercentR Squared
—	Lab_harrow_u_02_u2_Ck1_bending	y=23295x + 119912	99.97
—	Lab_harrow_u_02_u2_Ck2_S1	y=-19309x + 17431	99.99
—	Lab_harrow_u_02_u2_Ck3_S2	y=21893x + 17244	99.94
—	Lab_harrow_u_02_u2_Ck4_S3	y=81171x + 11154	99.72
—	Lab_harrow_u_02_u2_Ck5_S4	y=92703x - 14034	99.77

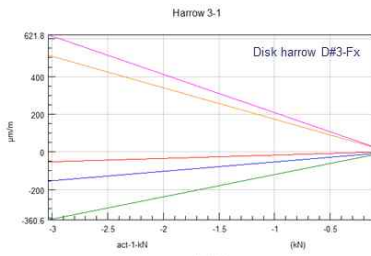
(b) Disk harrow D#2-Fy



Marker	Title	FullEquation	PercentR Squared
—	Lab_harrow_u_02_u2_Ck1_bending	y=116460x + 29872	99.72
—	Lab_harrow_u_02_u2_Ck2_S1	y=-7148x + 83703	99.88
—	Lab_harrow_u_02_u2_Ck3_S2	y=123622x + 18359	99.91
—	Lab_harrow_u_02_u2_Ck4_S3	y=42242x - 18379	97.99
—	Lab_harrow_u_02_u2_Ck5_S4	y=-34847x - 22834	99.31

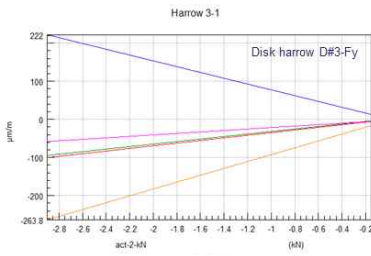
(c) Disk harrow D#2-Fz

<그림.2.59> Disk harrow D#2의 calibration factor 계산



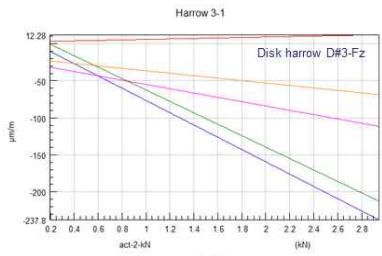
Marker	Title	FullEquation	PercentR Squared
—	Lab_harrow_u_03_u2_Ck1_bending	y=11811x - 530194	99.95
—	Lab_harrow_u_03_u2_Ck2_S1	y=45109x - 22965	97.31
—	Lab_harrow_u_03_u2_Ck3_S2	y=113392x - 22812	99.99
—	Lab_harrow_u_03_u2_Ck4_S3	y=2238x + 34841	99.51
—	Lab_harrow_u_03_u2_Ck5_S4	y=-18277x + 13148	99.92

(a) Disk harrow D#3-Fx



Marker	Title	FullEquation	PercentR Squared
—	Lab_harrow_u_03_u2_Ck1_bending	y=32419x - 123889	99.95
—	Lab_harrow_u_03_u2_Ck2_S1	y=-21252x + 18094	99.92
—	Lab_harrow_u_03_u2_Ck3_S2	y=21568x + 13391	99.94
—	Lab_harrow_u_03_u2_Ck4_S3	y=10737x - 23909	99.1
—	Lab_harrow_u_03_u2_Ck5_S4	y=93569x - 24824	99.7

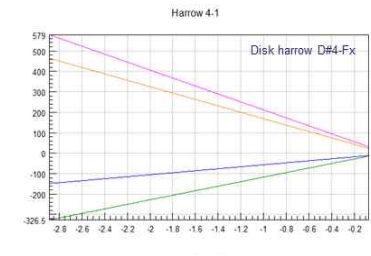
(b) Disk harrow D#3-Fy



Marker	Title	FullEquation	PercentR Squared
—	Lab_harrow_u_03_u2_Ck1_bending	y=23441x + 21812	99.21
—	Lab_harrow_u_03_u2_Ck2_S1	y=42846x + 31544	99.91
—	Lab_harrow_u_03_u2_Ck3_S2	y=71738x + 187815	99.97
—	Lab_harrow_u_03_u2_Ck4_S3	y=29393x - 18191	94.89
—	Lab_harrow_u_03_u2_Ck5_S4	y=-18345x - 18383	98.11

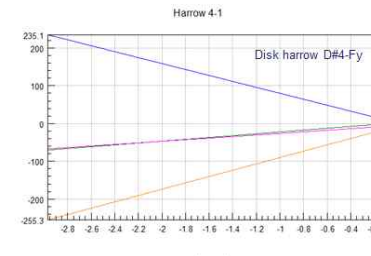
(c) Disk harrow D#3-Fz

<그림.2.60> Disk harrow D#3의 calibration factor 계산



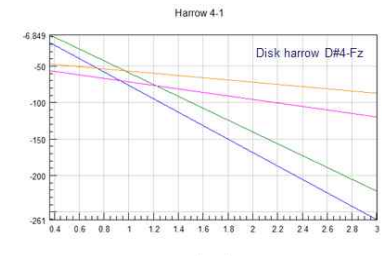
Marker	Title	FullEquation	PercentR Squared
—	Lab_harrow_u_04_u1_u2_Ck2_S1	y=48645x - 23030	99.2
—	Lab_harrow_u_04_u1_u2_Ck3_S2	y=110749x - 83879	99.84
—	Lab_harrow_u_04_u1_u2_Ck4_S3	y=134488x + 172215	99.99
—	Lab_harrow_u_04_u1_u2_Ck5_S4	y=-158454x + 122215	99.17

(a) Disk harrow D#4-Fx



Marker	Title	FullEquation	PercentR Squared
—	Lab_harrow_u_04_u1_u2_Ck2_S1	y=-78781x + 128916	99.89
—	Lab_harrow_u_04_u1_u2_Ck3_S2	y=24439x + 219712	99.89
—	Lab_harrow_u_04_u1_u2_Ck4_S3	y=232977x + 52654	97.97
—	Lab_harrow_u_04_u1_u2_Ck5_S4	y=833867x - 63998	99.3

(b) Disk harrow D#4-Fy



Marker	Title	FullEquation	PercentR Squared
—	Lab_harrow_u_04_u1_u2_Ck2_S1	y=-92344x + 157794	99.78
—	Lab_harrow_u_04_u1_u2_Ck3_S2	y=813147x + 223749	99.88
—	Lab_harrow_u_04_u1_u2_Ck4_S3	y=243722x + 473215	91.87
—	Lab_harrow_u_04_u1_u2_Ck5_S4	y=-153526x + 41631	78.54

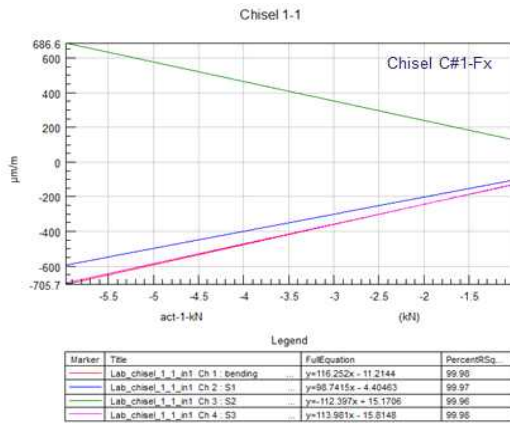
(c) Disk harrow D#4-Fz

<그림.2.61> Disk harrow D#4의 calibration factor 계산

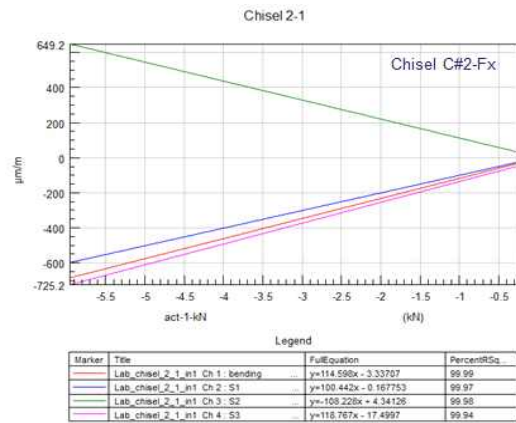
<표2.17> 디스크 해로우 시편의 Calibration factor

Specimen		Load case	Calibration factor ( $\mu \epsilon / \text{kN}$ )			
			S1	S2	S3	S4
Disk harrow	D#1	Fx	49.89	111.22	-204.81	-166.98
		Fy	-76.98	25.70	18.21	83.11
		Fz	-75.78	-72.89	-44.12	-35.84
	D#2	Fx	49.88	114.90	-207.19	-165.06
		Fy	-79.00	21.95	26.61	90.11
		Fz	-75.85	-75.31	-43.66	-34.90
	D#3	Fx	49.95	118.26	-203.44	-167.20
		Fy	-75.91	33.06	19.27	89.44
		Fz	-84.22	-77.13	-29.17	-16.64
	D#4	Fx	49.27	111.24	-195.10	-157.04
		Fy	-78.54	24.24	20.64	83.34
		Fz	-92.22	-81.20	-24.24	-15.25

㉞ 치즐



<그림2.62> Chisel C#1의 calibration factor 계산



<그림2.63> Chisel C#2의 calibration factor 계산

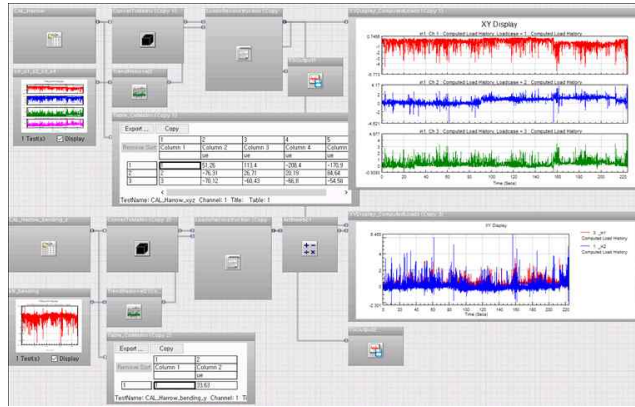
<표2.18> 치즐 시편의 Calibration factor

Specimen		Load case	Calibration factor ( $\mu \epsilon / \text{kN}$ )		
			S1	S2	S3
Chisel	C#1	Fx	99.80	-113.08	114.38
	C#2	Fx	100.34	-108.19	119.06

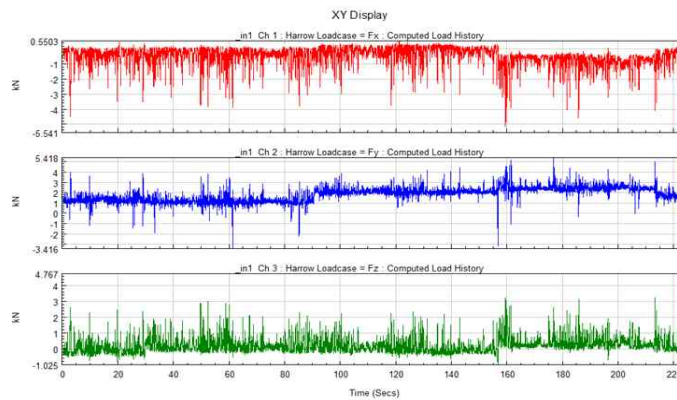
② Load Reconstruction

㉞ 디스크 해로우

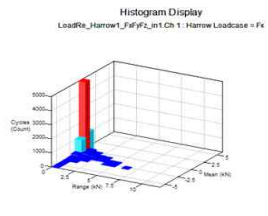
그림2.64는 그림2.51-그림2.54의 변형률 측정 데이터(Velocity : 14~16km/h)로부터 Calibration factor와 변형률 변환 행렬을 적용하여 디스크 해로우에 대한 하중이력으로 변환시켰다. 이 하중이력은 224초 동안에 디스크 해로우가 받는 대표하중으로 가정하였다.



<그림.2.64> 디스크 해로우의 Load reconstruction 계산(계속)

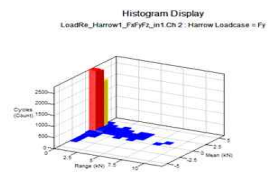


Disk harrow D#1-Fx



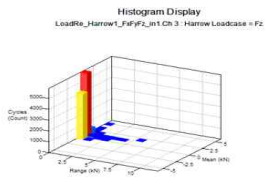
	0.375	1.125	1.875	2.625	3.375	4.125	4.875	5.625	6.375	7.125	7.875	8.625	9.375	10.125	10.875	11.625
5.625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.375	1354	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-0.375	5033	162	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1.125	1057	135	70	33	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1.875	160	37	2	6	12	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-2.625	38	6	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
-3.375	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4.125	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4.875	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-5.625	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Disk harrow D#1-Fy



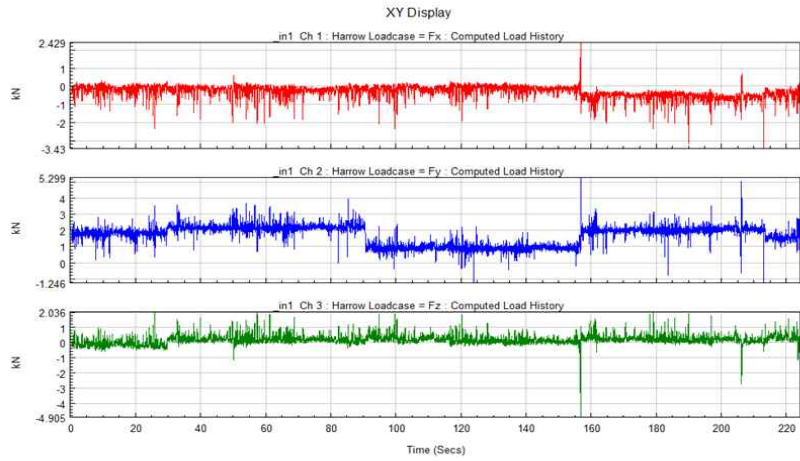
	0.375	1.125	1.875	2.625	3.375	4.125	4.875	5.625	6.375	7.125	7.875	8.625	9.375	10.125	10.875	11.625
5.625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.125	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.375	71	4	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.625	2158	90	24	8	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.875	2657	106	15	6	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.125	2796	129	20	6	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.375	53	1	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-0.375	37	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1.125	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1.875	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-2.625	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3.375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4.875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-5.625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Disk harrow D#1-Fz

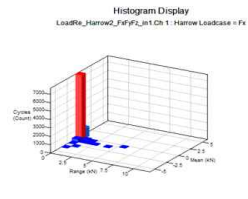


	0.375	1.125	1.875	2.625	3.375	4.125	4.875	5.625	6.375	7.125	7.875	8.625	9.375	10.125	10.875	11.625
5.625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.875	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.375	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.625	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.875	129	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.125	652	34	30	24	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.375	5937	198	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-0.375	4231	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1.875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-2.625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3.375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4.875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-5.625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(a) Disk harrow D#1

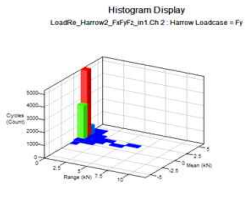


Disk harrow D#2-Fx



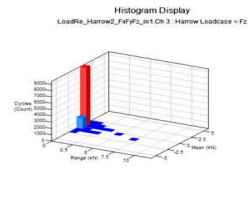
	0.375	1.125	1.875	2.625	3.375	4.125	4.875	5.625	6.375	7.125	7.875	8.625	9.375	10.125	10.875	11.625
5.625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.375	1183	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-0.375	7738	125	7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
-1.125	336	40	21	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1.875	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-2.625	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3.375	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4.875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-5.625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Disk harrow D#2-Fy



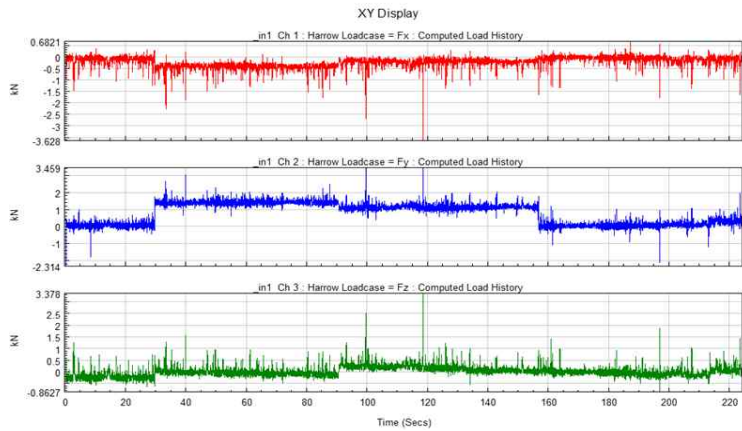
	0.375	1.125	1.875	2.625	3.375	4.125	4.875	5.625	6.375	7.125	7.875	8.625	9.375	10.125	10.875	11.625
5.625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.125	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.375	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.625	752	29	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.875	5396	104	17	12	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
1.125	2708	53	7	4	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.375	107	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-0.375	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1.875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-2.625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3.375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4.875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-5.625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Disk harrow D#2-Fz

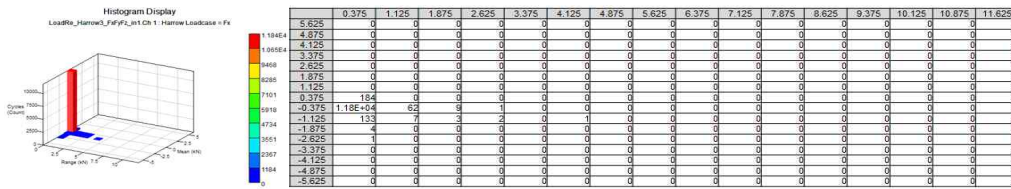


	0.375	1.125	1.875	2.625	3.375	4.125	4.875	5.625	6.375	7.125	7.875	8.625	9.375	10.125	10.875	11.625
5.625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.875	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.125	240	8	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.375	9468	137	9	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-0.375	1208	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1.125	5	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
-1.875	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-2.625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3.375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4.875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-5.625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

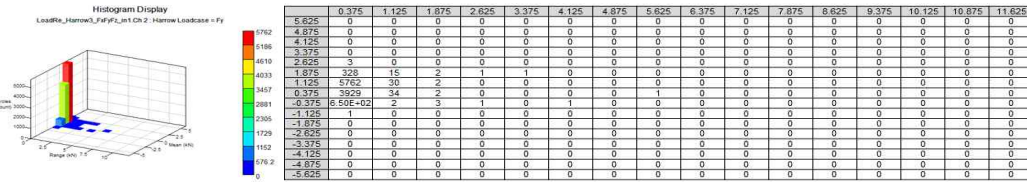
(b) Disk harrow D#2



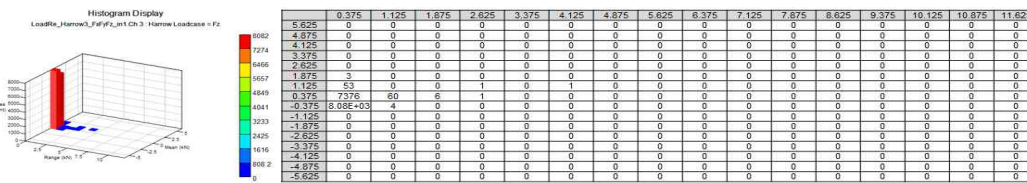
## Disk harrow D#3-Fx



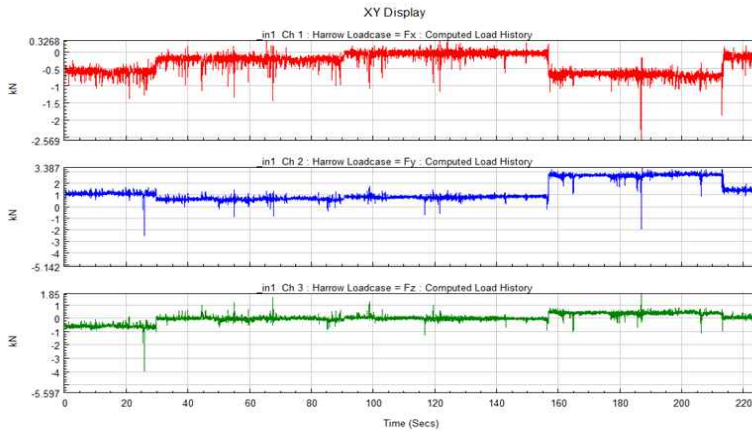
## Disk harrow D#3-Fy



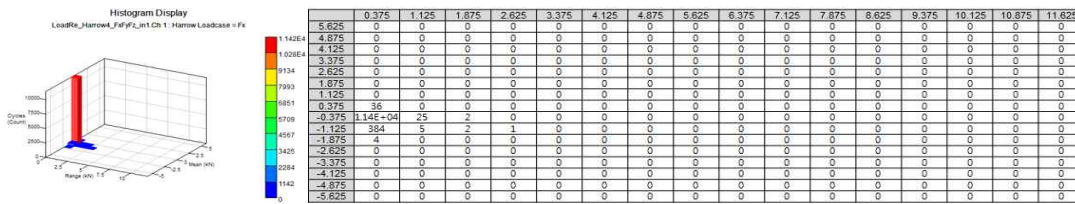
## Disk harrow D#3-Fz



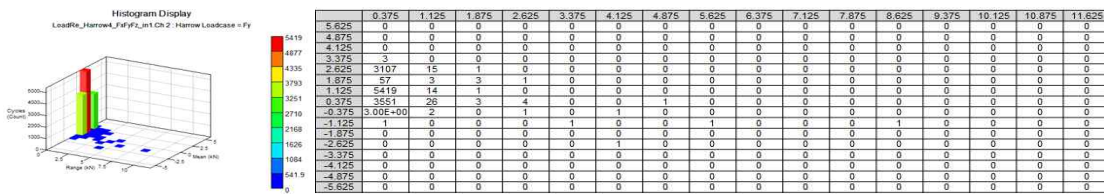
## (c) Disk harrow D#3



## Disk harrow D#4-Fx

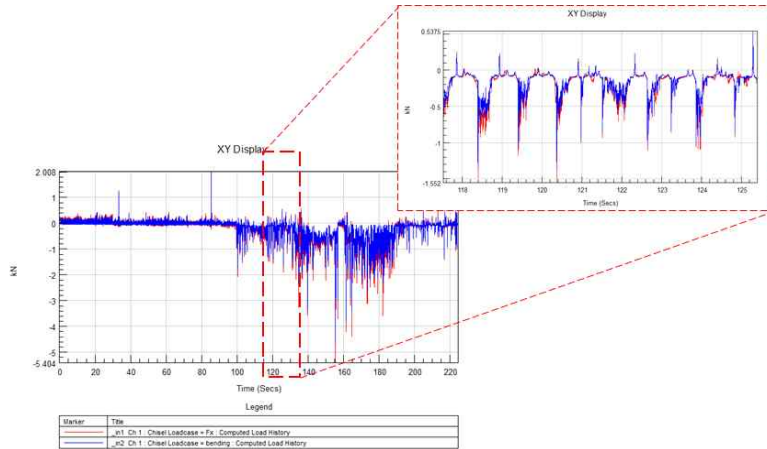


## Disk harrow D#4-Fy



## Disk harrow D#4-Fz





<그림2.66> 치즐의 하중이력선도와 굽힘하중이력선도 비교

(2)복합작업기 구성품 피로내구도 평가

(가) 피로내구도 평가방법

필드 테스트에서 측정된 메인 프레임의 변형률이력 데이터는 변동진폭의 불규칙한 데이터이므로 피로내구도 해석을 위하여 Rainflow cyclic counting method법을 활용하여 응력범위-반복수 매트릭스를 만들었다. 또한, 다음과 같은 Goodman식을 적용하여 피로강도에 영향을 주는 평균응력  $\sigma_m$  영향을 고려하였다.

$$\frac{\sigma_a}{S_n} + \frac{\sigma_m}{S_u} = 1 \quad (가)$$

여기서,  $S_n$ 은 응력비  $R(\sigma_{min}/\sigma_{max})=-1$ (평균응력  $\sigma_m=0$ 인 조건)의 등가응력진폭이며,  $S_u$ 는 재료의 인장강도이다. 메인 프레임의 피로손상도  $D$ 는 필드 테스트에서 얻어진 응력준위 ( $\sigma_m, \sigma_a$ )와 counting 빈도수  $n$ 의 분포에 대하여 다음과 같이 계산하였다.

- ①  $i$  번째 평균응력과 응력진폭 ( $\sigma_m, \sigma_a$ ) <sub>$i$</sub> 는 Goodman식을 활용하여 평균응력이 0( $R = -1$ )에 상당 응력진폭 ( $S_n$ ) <sub>$i$</sub> 으로 변환시킨다.
- ② S-N 선도에서 ( $S_n$ ) <sub>$i$</sub> 에 대한 피로수명  $N_i$ 를 찾는다.
- ③  $i$  번째 피로손상도  $D_i$ 는  $i$  번째 피로발생 빈도수  $n_i$ 와  $N_i$ 의 비( $D_i = n_i/N_i$ )로 계산하며, 피로손상은 선형으로 누적된다는 Miner 법칙을 따른다고 가정하였다.

$$D = \sum D_i = \sum \frac{n_i}{N_i} \quad (나)$$

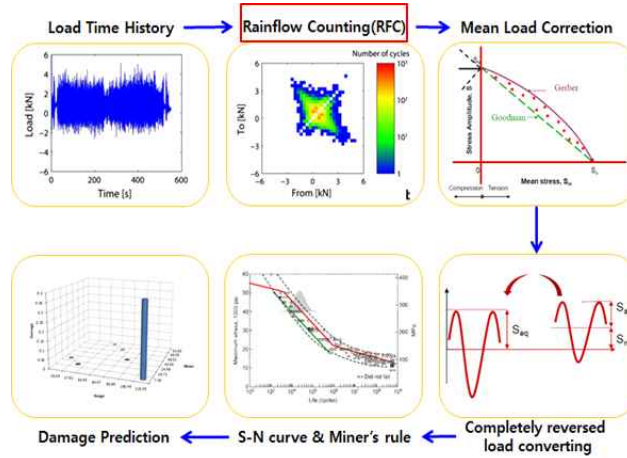
(나) 메인 프레임의 피로내구도 시험평가

■ 스트레인게이지 측정에 의한 피로내구도 평가

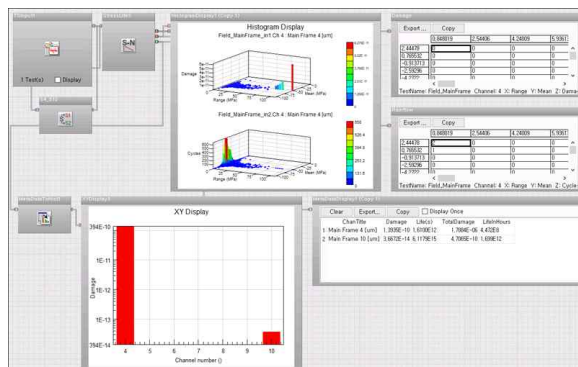
메인 프레임의 피로내구도 평가는 필드테스트에서 얻어진 변형률 측정데이터(S1~S10)를 기초로 하여 평가하였다. 그림2.68은 메인 프레임의 피로내구도 평가 프로세스를 보여준다. 메인 프레임의 재질은 일반구조용강재(인장강도 = 500 MPa)이다. 메인 프레임의 피로강도를 평가하기 위하여 사용된 S-N 선도는 그림2.3과 같다. 용접이음부의 경우 이는 BS 5400의 F2 및 G등급의 S-N 선도를 적용하였다.

표2.19는 필드테스트를 통해 스트레인게이지(S1~S10)에서 측정된 변형률 데이터를 기초로 하여, Rainflow cyclic counting method를 활용하여 계산된 응력범위와 평균응력에 대한

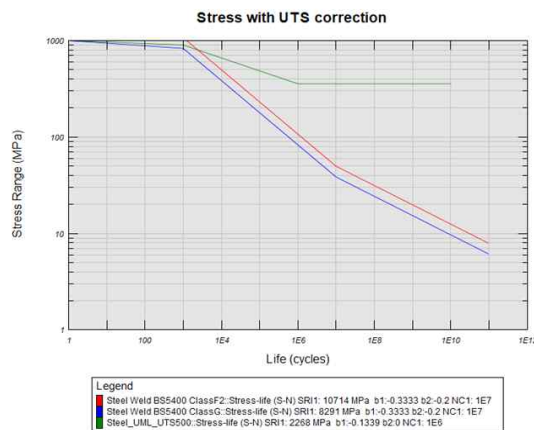




<그림2.67> 피로내구도 평가 방법



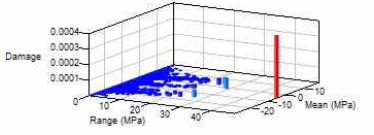
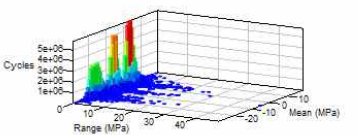
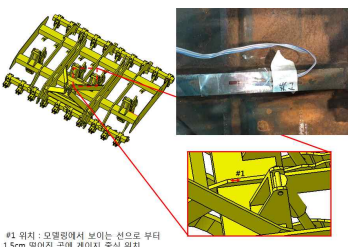
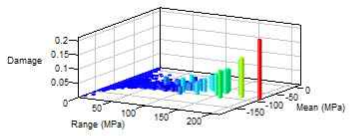
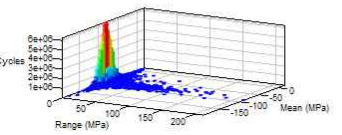
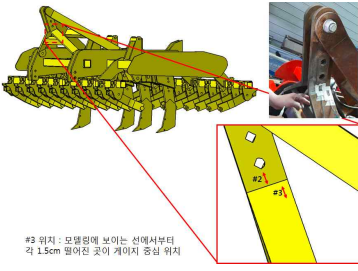
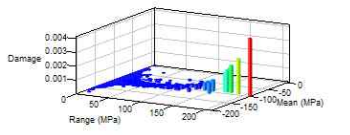
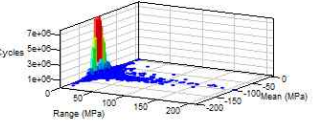
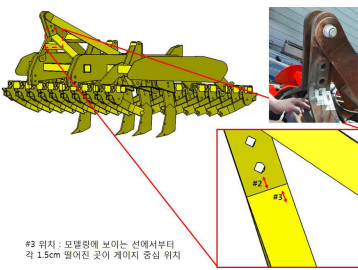
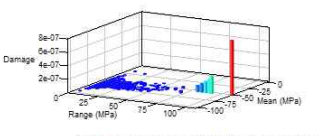
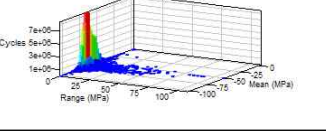
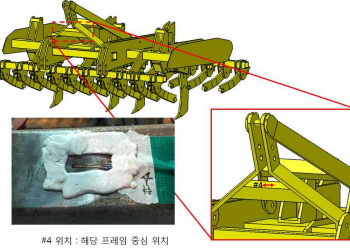
<그림2.68> 메인 프레임의 피로내구도 평가 프로세스

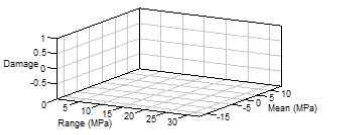
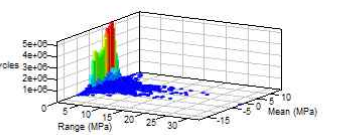
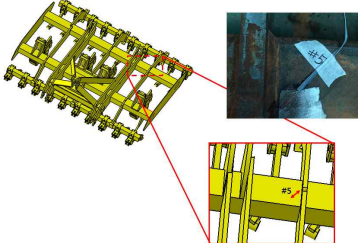
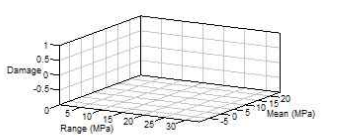
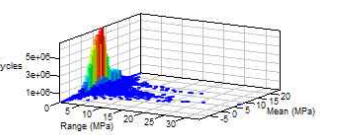
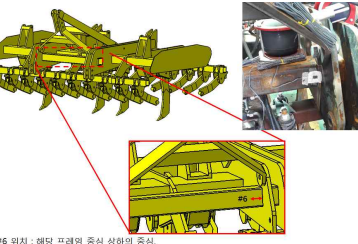
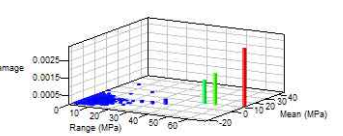
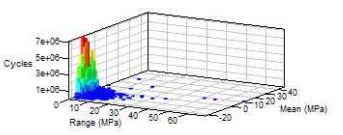
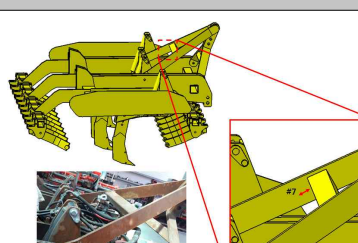
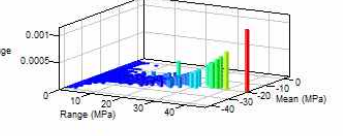
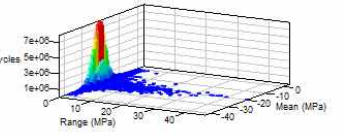
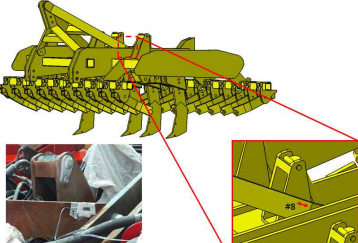


<그림2.69> 메인 프레임의 피로강도 평가에 사용된 S-N 선도

cycle 빈도수와 이로부터 S-N선도를 이용하여 계산한 피로손상도(fatigue damage) 계산 결과를 히스토그램으로 나타낸 그래프이다. 스트레인 게이지의 부착위치에 따라 공칭응력부, 응력집중부, 용접부로 나누어 평가하였다. 공칭응력부의 경우, 응력집중계수  $K_t$ 는 1.0을 적용하였으며, 용접부의 경우 용접이음부 형상 및 하중형태에 따라 BS 7608에 준하여 F2등급과 G등급을 적용하여 계산하였다.

<표2.19> 메인 프레임의 Cyclic counting 및 피로내구도 계산 결과

Gage No.	Cyclic counting & Fatigue damage	Gage Position & Comments
S1	<p>Histogram Display Field_MainFrame_in1.Ch 1 : Main Frame 1 [um]</p>  <p>Field_MainFrame_in2.Ch 1 : Main Frame 1 [um]</p> 	 <p>#1 위치 : 모뎀링에서 보이는 선으로 부터 1.5cm 떨어진 곳에 게이지 중심 위치</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 치즐 지지프레임 I</li> <li>- 응력집중부(Kt=3.0)</li> </ul>
S2	<p>Histogram Display CombineAllTests_in1.Ch 2 : Main Frame 2 [um]</p>  <p>CombineAllTests_in2.Ch 2 : Main Frame 2 [um]</p> 	 <p>#3 위치 : 모뎀링에 보이는 선에서부터 각 1.5cm 떨어진 곳에 게이지 중심 위치</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 3점 링크 연결 프레임</li> <li>- 용접부(BS7608 G등급)</li> </ul>
S3	<p>Histogram Display Field_MainFrame_in1.Ch 3 : Main Frame 3 [um]</p>  <p>Field_MainFrame_in2.Ch 3 : Main Frame 3 [um]</p> 	 <p>#3 위치 : 모뎀링에 보이는 선에서부터 각 1.5cm 떨어진 곳에 게이지 중심 위치</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 3점 링크 연결 프레임</li> <li>- 응력집중부(Kt=1.64)</li> </ul>
S4	<p>Histogram Display Field_MainFrame_in1.Ch 4 : Main Frame 4 [um]</p>  <p>Field_MainFrame_in2.Ch 4 : Main Frame 4 [um]</p> 	 <p>#4 위치 : 해당 프레임 중심 위치</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 3점 링크 연결 프레임</li> <li>- 공칭응력부(Kt=1.0)</li> </ul>

Gage No.	Cyclic counting & Fatigue damage	Gage Position & Comments
S5	<p>Histogram Display Field_MainFrame_in1.Ch 5 : Main Frame 5 [um]</p>  <p>Field_MainFrame_in2.Ch 5 : Main Frame 5 [um]</p> 	 <p>#5 위치 : 프레임과 45도</p> <p>- 치즐 지지프레임 II - 용접부(BS7608 F2등급)</p>
S6	<p>Histogram Display Field_MainFrame_in1.Ch 6 : Main Frame 6 [um]</p>  <p>Field_MainFrame_in2.Ch 6 : Main Frame 6 [um]</p> 	 <p>#6 위치 : 해당 프레임 중심 상하의 중심, 오른쪽 끝단으로부터 1.5cm 떨어진 곳에 게이지 중심 위치</p> <p>- 치즐 지지프레임 I - 용접부(BS7608 F2등급)</p>
Gage No.	Cyclic counting & Fatigue damage	Gage Position & Comments
S7	<p>Histogram Display Field_MainFrame_in1.Ch 7 : Main Frame 7 [um]</p>  <p>Field_MainFrame_in2.Ch 7 : Main Frame 7 [um]</p> 	 <p>#7 위치 : 해당 프레임의 중심, 위 프레임에서부터 1.5cm 떨어진 곳에 게이지 중심 위치</p> <p>- 3점 링크 연결 프레임 - 용접부(BS7608 F2등급)</p>
S8	<p>Histogram Display Field_MainFrame_in1.Ch 8 : Main Frame 8 [um]</p>  <p>Field_MainFrame_in2.Ch 8 : Main Frame 8 [um]</p> 	 <p>#8 위치 : 모뎀에 보이는 선에서부터 각 1.5cm 떨어진 곳에 게이지 중심 위치</p> <p>- 3점 링크 연결 프레임 - 응력집중부(Kt = 3.93)</p>

Gage No.	Cyclic counting & Fatigue damage	Gage Position & Comments
S9	<p>Histogram Display</p> <p>Field_MainFrame_in1.Ch 9 : Main Frame 9 [um]</p> <p>Field_MainFrame_in2.Ch 9 : Main Frame 9 [um]</p>	<p>#9 위치 : 모뎀링에 보이는 프레임의 상하 중심, 왼쪽 끝단에서 1.5cm 떨어진 곳이 게이지 중심 위치</p> <p>- 치즐 지지프레임 I - 용접부(BS7608 F2등급)</p>
S10	<p>Histogram Display</p> <p>Field_MainFrame_in1.Ch 10 : Main Frame 10 [um]</p> <p>Field_MainFrame_in2.Ch 10 : Main Frame 10 [um]</p>	<p>#10 위치 : 상체로는 메인 프레임과 연결되는 연결부와 디스크하우우의 연결부는 가까이 위치하지 않음</p> <p>- 디스크 해로우 지지 프레임 - 공칭응력부(Kt = 1.0)</p>

표2.20은 메인 프레임의 각 위치별로 계산된 피로 손상도(fatigue damage) 및 피로수명 결과이다. 표에서 가장 크게 계산된 피로 손상도는 S2 게이지 위치로서, 목표수명인 800시간을 기준으로 피로손상도를 계산하면  $2.16 \times 10^{-2}$ 며, 이를 피로수명으로 역산하면 37,100시간(목표 수명의 약 46배)의 계산결과를 가져온다.

<표2.20> 메인 프레임의 각 위치별로 계산된 피로 손상도 및 피로수명 결과

Gage No.	Damage <sup>*)</sup> (224s)	Total damage <sup>**)</sup> (800 hours)	Life in hours <sup>***)</sup>
S1	$9.61 \times 10^{-8}$	$1.23 \times 10^{-3}$	$6.48 \times 10^5$
S2	$1.72 \times 10^{-8}$	$2.21 \times 10^{-4}$	$3.61 \times 10^6$
<b>S3</b>	$1.68 \times 10^{-6}$	$2.16 \times 10^{-2}$	<b><math>3.71 \times 10^4</math></b>
S4	$1.39 \times 10^{-10}$	$1.79 \times 10^{-6}$	$4.47 \times 10^8$
S5	0	0	Infinite life
S6	0	0	Infinite life
S7	$5.66 \times 10^{-7}$	$3.97 \times 10^{-8}$	$1.10 \times 10^5$
S8	$9.61 \times 10^{-8}$	$1.23 \times 10^{-3}$	$6.48 \times 10^5$
S9	0	0	Infinite life
S10	$3.67 \times 10^{-14}$	$4.71 \times 10^{-10}$	$1.70 \times 10^{12}$

Note) Total damage<sup>\*\*)</sup> = Damage<sup>\*)</sup> x (800x3600)/224  
Life in hours<sup>\*\*\*)</sup> = 800/Total damage<sup>\*\*)</sup>

■ 6분력계를 이용한 작업하중 측정과 피로내구도 평가

그림2.70은 6분력계를 이용한 필드테스트의 대표적인 결과로서, 전 속도구간에서 6분력계

의 로드셀 a~f의 측정결과이다. 로드셀에서 측정된 하중신호는 다음 식에 대입하여 Fx(견인력 방향하중,  $P_h$ )과 Fy(수직력 방향하중,  $P_v$ )을 계산하였다(그림 1.10과 그림 1.11 참조).

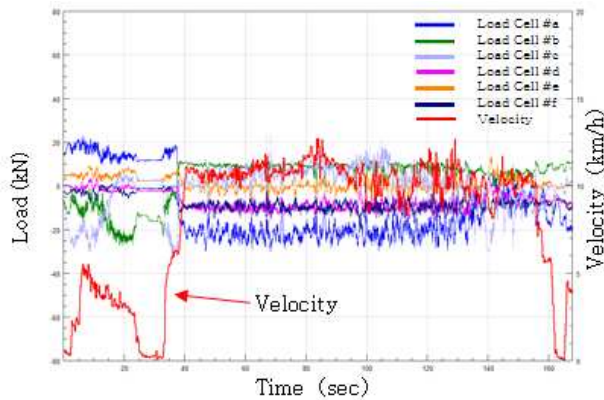
$$P_h = F_a + F_b + F_c$$

$$P_v = F_d \sin\theta - F_f \sin\theta$$

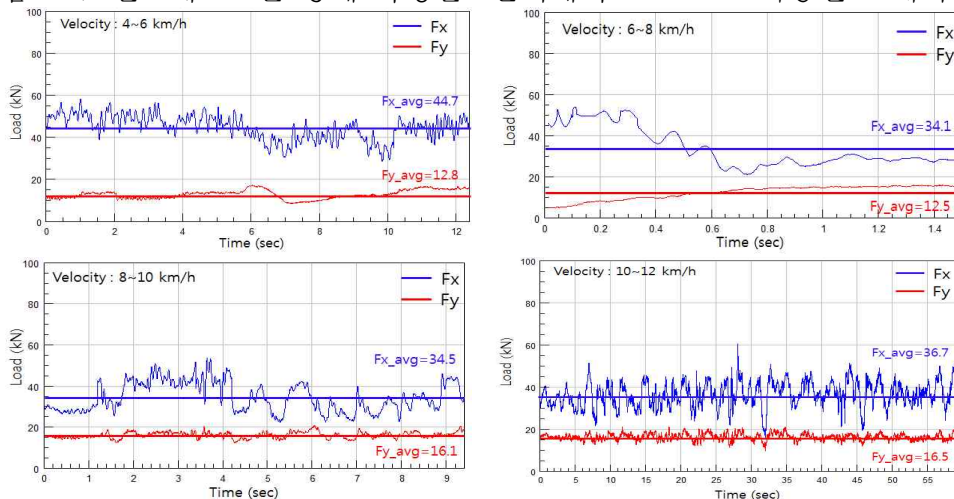
$$P_s = F_d \cos\theta + F_f \cos\theta - F_e$$

주행속도별 응답특성을 파악하기 위하여, 속도구간을 2 km/h 단위로 나누어 최고속도 12 km/h까지 총 4개 구간으로 측정데이터를 분류하였다. 6분력계가 벽에 고정되어 하중방향에 따라 압축과 인장결과가 나오던 정하중시험과 달리 필드시험에서는 트랙터의 속도, 작업기의 하중, 토양의 상태에 따라 압축, 인장이 불연속적으로 변동하였다. 또한 불규칙한 노면의 상태로 인해 측정데이터 곳곳에 피크 값이 발견되었다. 데이터 후처리과정을 통하여 이상신호로 판단되는 값들을 제거하였다.

속도를 2 km/h로 구간을 나누어 12 km/h 까지 4개 구간으로 측정데이터를 분류 하여 견인력과 수직력의 예상 하중을 비교하여 표2.21과 그림2.71에 나타내었다. 이때 예상하중과의 오차는 8.25 % ~ 30.5 %로 나타났다. Fx 값의 경우 4 km/h ~ 6 km/h, 6 ~ 8 km/h 구간은, 작업초기 구간으로서 토양의 마찰계수의 큰 영향을 받으며, 속도가 급격히 상승하면서 오차가 크게 나타난 것으로 판단되며 작업 마무리구간 에서도 속도가 급격히 줄어들면서 발생한 오차로 판단하였다.



<그림.2.70> 필드테스트를 통해 측정된 6분력계의 Load cell 하중신호 데이터



<그림.2.71> 견인력(Fx) 및 수직력(Fy)의 하중이력

<표2.21> 트랙터 속도별 평균 견인력(Fx)과 수직력(Fy) 계산

속도구분	견인력 Fx(kN)	수직력 Fy(kN)
예상하중	40	18
4 ~ 6 (km/h)	44.7	12.8
오차율 (%)	11.75	28.8
6 ~ 8 (km/h)	34.1	12.5
오차율 (%)	14.75	30.5
8 ~ 10 (km/h)	34.5	16.1
오차율 (%)	13.5	10.5
10 ~ 12 (km/h)	36.7	16.5
오차율 (%)	8.25	8.33

목표속도인 10 km/h ~ 12 km/h 구간에 안착한 이후에는 데이터가 비교적 안정적인 플로우를 보였으며 예상하중보다 작은 결과가 나온 원인은 토양의 습도, 경도와 같은 환경적 요인으로 판단하였다. Fy 값의 경우 로드셀 d가 압축을 받을 경우 로드셀 f는 인장, 로드셀 d가 인장을 받을 경우 로드셀 f는 압축을 받는 상대적인 값이 측정되어 비교적 안정적인 그래프를 얻었다.

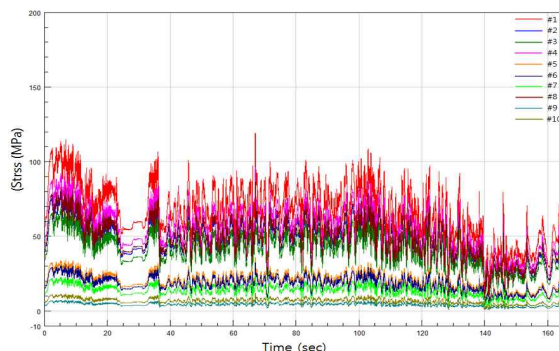
메인프레임에 대한 피로손상도 계산을 위하여 FE 해석결과에서 얻어진 10개 고응력 지점을 대상으로 피로손상도를 계산하였다. 6분력계로부터 측정된 로드셀의 하중을 견인력의 하중이력(load history)으로 계산하였다.

$$FEA_{Fx} : FEA_{result} = [Field]_{Fx} : [A]_{Fx}$$

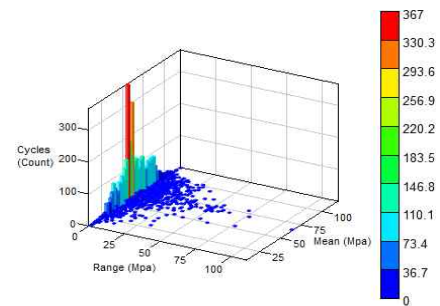
$$[A]_{Fx} = FEA_{result} \times \frac{[Field]_{Fx}}{FEA_{Fx}}$$

그림2.72는 165초 동안의 10개 고응력지점에서의 응력이력(stress history)선도이다. 그림 2.73은 Rainflow counting method를 활용하여 계산된 응력범위와 평균응력에 대한 cycle 빈도수와 이로부터 S-N선도를 이용하여 계산한 피로손상도(fatigue damage) 계산 결과를 히스토그램으로 나타낸 그래프이다.

표2.22는 메인프레임의 피로손상도(D) 계산값이며, 목표수명인 800시간에 대한 피로 손상도와 함께 나타내었다.



<그림2.72> 고응력부에 대해 계산된 응력이력



<그림2.73> Rainflow counting(#1 위치)

〈표2.22〉 메인 프레임의 각 위치별로 피로 손상도 계산결과

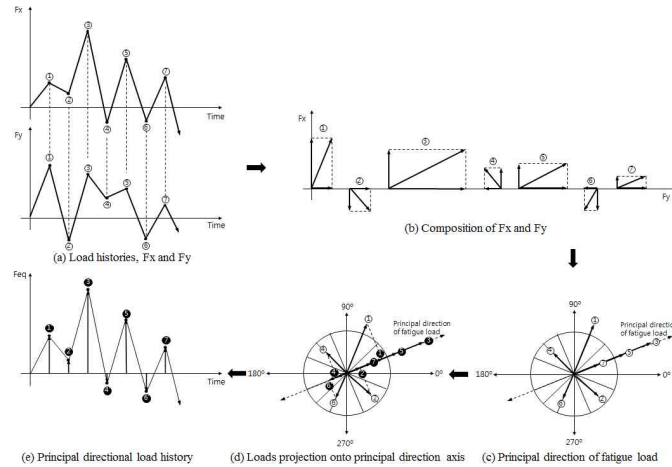
Positions	Damage (165s)	Total Damage (800hr)
#1	$4.8 \times 10^{-8}$	$8.38 \times 10^{-4}$
#2	$1.2 \times 10^{-9}$	$2.09 \times 10^{-5}$
#3	$5.2 \times 10^{-10}$	$9.08 \times 10^{-6}$
#4	$2.6 \times 10^{-9}$	$4.54 \times 10^{-5}$
#5	$1.9 \times 10^{-11}$	$3.32 \times 10^{-7}$
#6	$6.9 \times 10^{-12}$	$1.20 \times 10^{-7}$
#7	$1.4 \times 10^{-12}$	$2.44 \times 10^{-8}$
#8	$1.4 \times 10^{-9}$	$2.44 \times 10^{-5}$
#9	$4.1 \times 10^{-15}$	$7.20 \times 10^{-11}$
#10	$4.1 \times 10^{-14}$	$7.20 \times 10^{-10}$

(다) 디스크 해로우의 피로내구도 시험평가

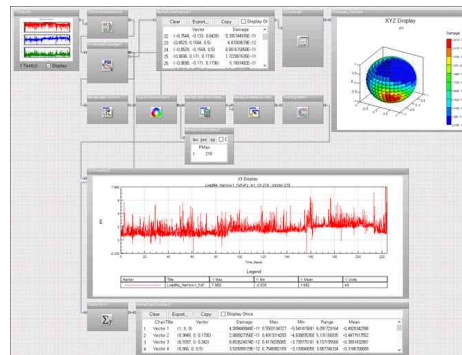
■ 디스크 해로우 PDI 분석

디스크 해로우는 x, y, z방향의 다축성분의 하중이 작용하며, 매 사이클마다 하중크기는 불규칙하게 변동하므로 시간에 따른 하중방향도 계속적으로 변동하게 된다. 시간에 따른 하중크기와 방향은 하중벡터의 합성을 통해 계산할 수 있다.

PDI(potential damage intensity) 분석은 주 피로손상 방향(principal direction of fatigue damage)을 분석하는 방법이다. 그림2.76(a)와 같은 Fx와 Fy의 하중이력을 가지는 경우, 매 사이클마다 Fx와 Fy성분의 벡터합성을 통해 그림2.76(b)와 같은 합성하중에 대한 크기와 방향을 구할 수 있다. 이 합성하중벡터를 그림2.76(c)와 같은 일정한 각도로 등분된 평면 위에 나타낼 수 있다. 이 때, 방향별로 작용하는 하중의 합을 모두 계산해서 가장 큰 값을 가지는 방향을 찾아서 피로하중의 주방향(principal direction of fatigue load)으로 결정하고, 이 방향에서 피로손상도(fatigue damage)도 가장 크게 발생한다고 가정하였다. 피로하중의 주방향이 결정되면, 그림2.76(d)와 같이 다른 방향의 하중벡터들을 주 피로하중방향 축(principal directional axis)에 투영(projection)시켜 그림2.76(e)와 같은 Fx와 Fy의 하중이력을 합성한 등가의 하중이력선도를 구할 수 있다. 그림2.74는 PDI(potential damage intensity) 분석 프로세스이다.



<그림2.74> 주 피로손상축의 투영을 통한 하중이력 계산방법



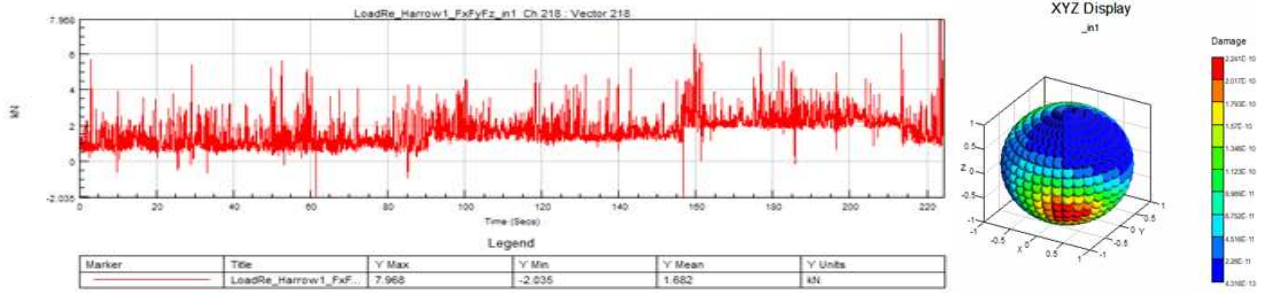
<그림2.75> PDI 분석 프로세스

디스크 해로우의  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  하중이력에 대하여 매 사이클마다 합성하중벡터의 크기와 방향을 계산하고, 이를 등간격의 각도로 등분한 3차원 공간상에 나타내었다. 3차원 공간상에 놓인 하중벡터를 각 방향별로 합산해서 합산하중이 가장 큰 방향을 피로하중 주방향으로 결정하였다. 표2.23은 디스크 해로우의 PDI 분석을 통해 얻어진 피로하중의 주방향을 나타내는 방향벡터와 방향각에 대한 계산결과를 보여준다. 그 다음, 다른 방향의 모든 하중벡터를 피로하중 주방향 축에 투영시켜 하중을 재배열시켜 그림2.75와 같은 등가하중에 대한 하중이력선도를 도출하였다. 이 방법은 매 사이클 마다 발생하는 서로 다른 방향의 하중 크기와 방향을 계산하여 피로하중이 가장 크게 작용하는 방향으로 피로손상이 누적되는 선형손상누적법(linear damage accumulation method)을 기초로 하였다. 디스크 해로우의 내구성능을 평가하기 위하여 피로하중 주방향으로 사용수명시간 동안 등가하중이력을 반복하중을 가할 경우, 디스크 해로우에 가장 큰 피로손상도를 유발시키는 시험조건이 될 수 있다.

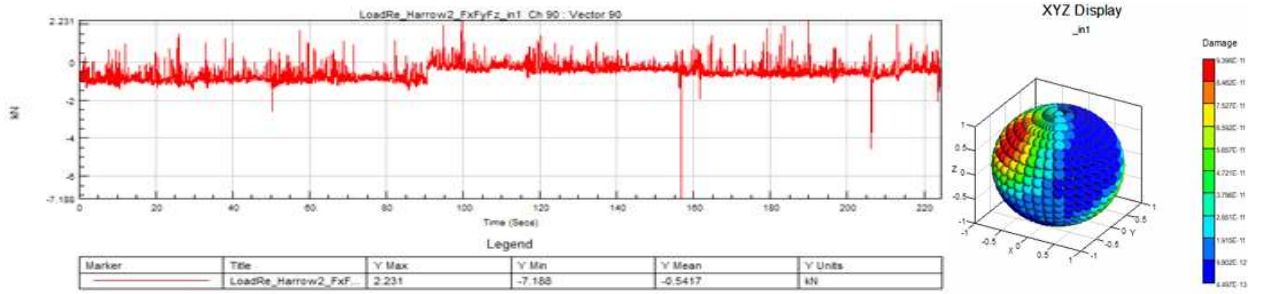
<표2.23> 디스크 해로우의 주 피로손상 방향

Disk harrow	Vector			Angle(degrees)		
	Vector x	Vector y	Vector z	$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$
D#1	-0.433	0.75	0.5	115.7	41.4	60.0
D#2	-0.5868	-0.4924	0.6428	125.9	119.5	50.0
D#3	-0.433	0.75	0.5	115.7	41.4	60.0
D#4	0.133	0.7544	0.6428	82.4	41.0	50.0

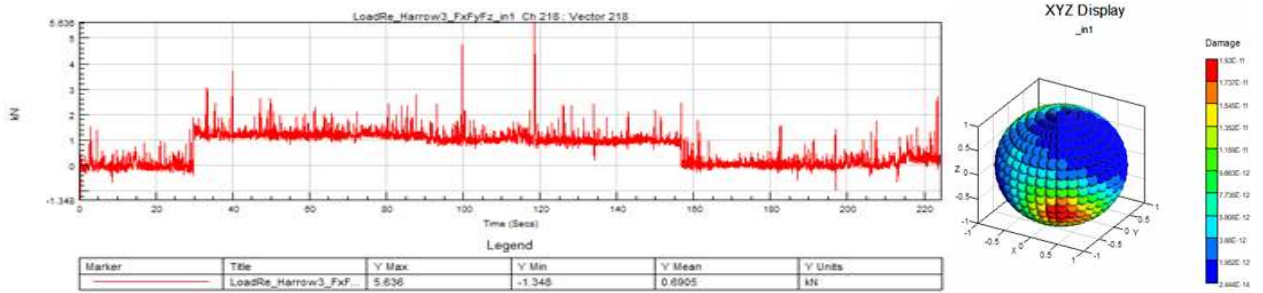




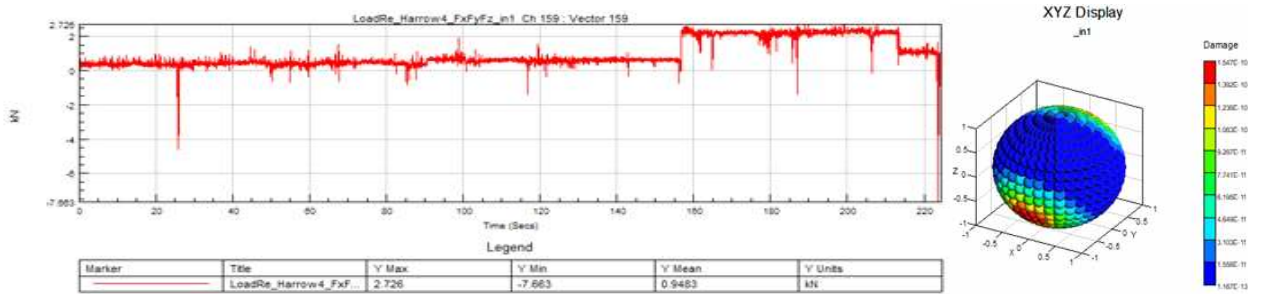
(a) Disk harrow D#1



(b) Disk harrow D#2



(c) Disk harrow D#3



(d) Disk harrow D#4

<그림2.76> 디스크 해로우의 합성 하중이력과 상대 피로손상도의 방향별 분포

■ 디스크 해로우의 피로시험조건 도출

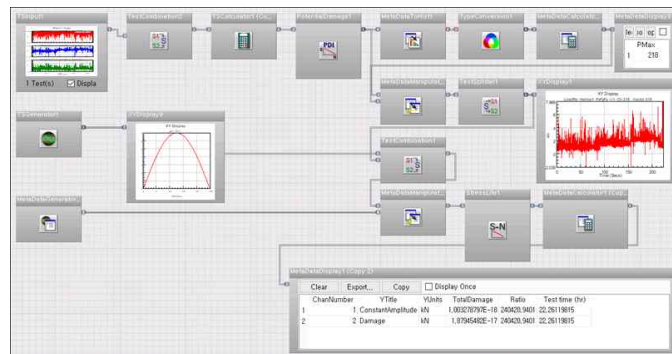
디스크 해로우의 피로시험조건을 도출하기 위하여 목표수명시간(800시간)과 동일한 등가 피로손상도를 갖는 일정진폭하중과 시험시간을 계산하였다. 피로시험의 하중주파수는 3 Hz로 설정하였다. 피로시험시간은 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$\text{시험시간[h]} = \frac{(\text{PD})_{\text{Disk}}}{(\text{CD})_{\text{Disk}}} \times \frac{800[\text{h}] \times 3600[\text{s/h}]}{224[\text{s}] / 3\text{Hz} / 3600[\text{s/h}]}$$

여기서,  $(\text{PD})_{\text{Disk}}$ 는 224초 동안에 디스크 해로우가 받는 피로손상도이며,  $(\text{CD})_{\text{Disk}}$ 는 디스크 해로우의 피로시험조건에 대한 피로손상도이다. 표.2.24는 디스크 해로우의 피로하중조건에 대한 시험시간 계산결과이다.

<표2.24> 디스크 해로우 피로하중조건에 대한 시험시간 계산결과

Disk harrow	하중구분	최대하중 (kN)	최소하중 (kN)	Total damage	시험시간 (hours)	No. of cycles	하중주파수 (Hz)
D#1	하중이력	7.97	-2.03	$1.88 \times 10^{-17}$	800	-	-
	피로시험	7	0	$1.00 \times 10^{-18}$	22.3	240,840	3
		6	0	$3.15 \times 10^{-19}$	71	766,800	3
	5	0	$7.99 \times 10^{-20}$	280	3,024,000	3	
D#2	하중이력	2.23	-7.18	$9.00 \times 10^{-18}$	800	-	-
	피로시험	7	0	$1.00 \times 10^{-18}$	10.7	115,560	3
D#3	하중이력	5.63	-1.35	$9.88 \times 10^{-19}$	800	-	-
	피로시험	7	0	$1.00 \times 10^{-18}$	1.2	12,960	3
D#4	하중이력	2.73	-7.66	$1.85 \times 10^{-17}$	800	-	-
	피로시험	7	0	$1.00 \times 10^{-18}$	21.9	236,520	3



<그림2.77> 디스크 해로우 피로하중조건 분석 프로세스

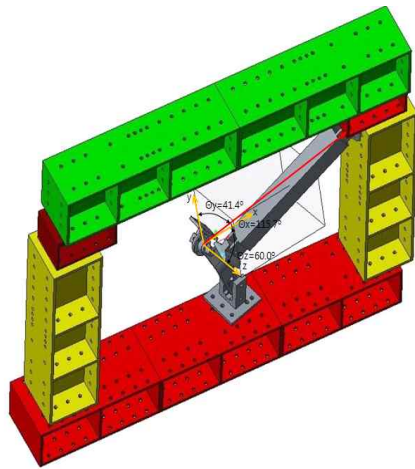
■ 디스크 해로우의 피로시험

① 시험장치

디스크 해로우의 피로시험은 총 2개의 시험체를 사용하였다. 피로하중을 가력하기 위하여 5톤 용량 유압가력기(hydraulic actuator, MTS)를 설치하였으며, 디스크 해로우의 하중가력 방향으로 향하도록 고정지그를 설계/제작하였다. 디스크 해로우의 피로시험조건은 표2.25와 같다. 그림2.78은 디스크 해로우의 피로시험 장면이다.

<표2.25> 디스크 해로우의 피로시험조건

시험하중(kN)		하중주파수 (Hz)	시험시간 (hours)	No. of cycles	하중가력방향(°)		
Max.	Min.				$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$
6	0	3	71	766,800	115.7	41.4	60.0



<그림2.78> 디스크 해로우 피로시험설치 개략도 및 피로시험장면

② 시험결과

디스크 해로우 피로시험이 완료된 후, 염료침투법(dye penetration test, PT)으로 균열검사를 실시하였다. 균열검사 실시결과, 두 시험체 모두 피로균열은 발견되지 않았다(그림2.79 참조). 따라서, 디스크 해로우 목표수명에 대한 피로내구성능이 충족됨을 확인 할 수 있다.



(a) Disk harrow Specimen #1



(b) Disk harrow Specimen #2

<그림2.79> 디스크 해로우의 피로시험 완료 후 균열검사 사진

(라) 치즐의 피로내구도 시험평가

■ 치즐의 피로시험조건 도출

치즐의 피로시험조건을 도출하기 위하여 목표수명시간(800시간)과 동일한 등가 피로손상도를 갖는 일정진폭하중과 시험시간을 계산하였다. 피로시험의 하중주파수는 3Hz로 설정하였다. 피로시험시간은 다음과 같은 식으로 계산하였다.

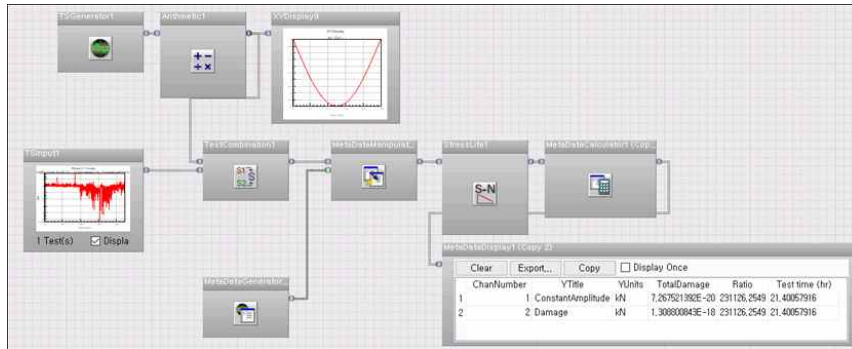
$$\text{시험시간[h]} = \frac{(\text{PD})_{\text{Chisel}}}{(\text{CD})_{\text{Chisel}}} \times \frac{(800[\text{h}] \times 3600[\text{s/h}]) / 224[\text{s}]}{3\text{Hz} / 3600[\text{s/h}]}$$

여기서,  $(\text{PD})_{\text{Chisel}}$ 는 224초 동안에 치즐이 받는 피로손상도이며,  $(\text{CD})_{\text{Chisel}}$ 는 치즐의 피로시

험조건에 대한 피로손상도이다. 표2.26은 치즐의 피로하중조건에 대한 시험시간 계산결과이다.

<표2.26> 치즐 피로하중조건에 대한 시험시간 계산결과

Disk harrow	하중구분	최대하중 (kN)	최소하중 (kN)	Total damage	시험시간 (hours)	No. of cycles	하중주파수 (Hz)
C#1	하중이력	1.85	-5.40	$1.31 \times 10^{-18}$	800	-	-
	피로시험	5	0	$7.27 \times 10^{-20}$	21.4	231,120	3



<그림2.80> 디스크 해로우 피로하중조건 분석 프로세스

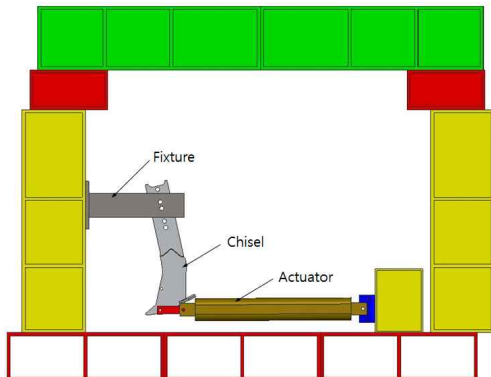
■ 치즐의 피로시험

① 시험장치

치즐 피로시험은 총 2개의 시험체를 사용하였다. 피로하중을 가력하기 위하여 5톤 용량 유압가력기(hydraulic actuator, MTS)를 설치하였으며, 치즐의 하중가력방향이 전후방향(Fx 방향)으로 가해지도록 고정지그를 설계/제작하였다. 치즐의 피로시험조건은 표2.27과 같다. 그림2.81은 치즐의 피로시험 장면이다.

<표2.27> 치즐의 피로시험조건

시험하중(kN)		하중주파수 (Hz)	시험시간 (hours)	No. of cycles	하중가력방향(°)		
Max.	Min.				$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$
5	0	3	21.4	231,120	0	90.0	90.0

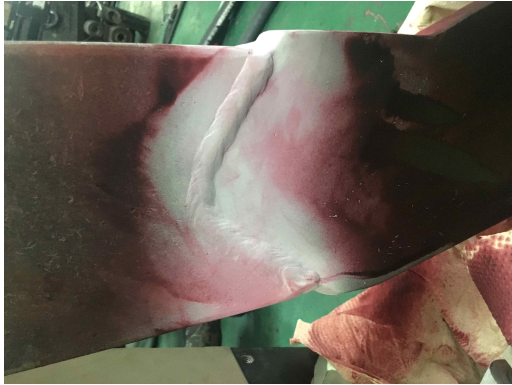


<그림2.81> 치즐 피로시험설치 개략도 및 피로시험장면

② 시험결과

치즐 피로시험은 2단계에 걸쳐 수행하였다. 100% 하중조건으로 피로시험을 수행하여 균

열발생이 없을 경우, 하중을 200%까지 증가시켜 추가적인 피로시험을 수행하였다. 치즐의 각 단계 피로시험이 완료된 후, 염료침투법(dye penetration test, PT)으로 균열검사를 실시하였다. 균열검사 실시결과, 두 시험체 모두 피로균열은 발견되지 않았다(그림2.82 참조). 따라서, 치즐의 목표수명에 대한 피로내구성능이 충족됨을 확인 할 수 있었다.



(a) Chisel Specimen #1



(b) Chisel Specimen #2

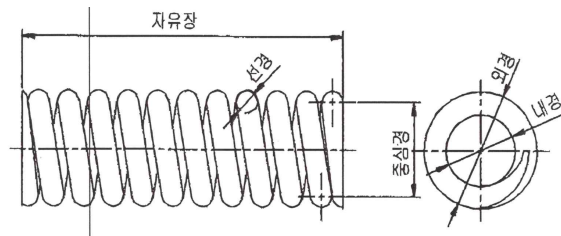
<그림2.82> 치즐의 피로시험 완료 후 균열검사 사진

(마) 디스크 해로우 스프링의 피로내구도 시험평가

■ 디스크 해로우 스프링

디스크 해로우 스프링은 선경 13 mm, 내경 49 mm, 외경 75mm, 자유장 150mm의 코일 스프링이다.

<표2.28> 디스크 해로우 스프링 사양



재질	HSW-3	1차 하중 (조립시)	길이[mm]	<b>130</b>
선경(d) [mm]	13.00		하중 [kgf]	533
중심경(Dm) [mm]	62.00	2차 하중 (최대작동시)	길이[mm]	<b>115</b>
외경 (Do) [mm]	75.00		하중 [kgf]	932
내경 (Di) [mm]	49.00	스프링상수(K) [kgf/mm]		26.6
총권수 [N]	6.50	피치 (Pi)		18.41
유효권수 [Na]	4.50	밀착높이(신단두께 1/2연마시)		84.5
무효권수각	1.00	직각도(°)		1.2
감긴방향	우방향	양끝형상		맞대끝 양단연마
자유장(L) [mm]	<b>150.0</b>	표면처리		분체도장

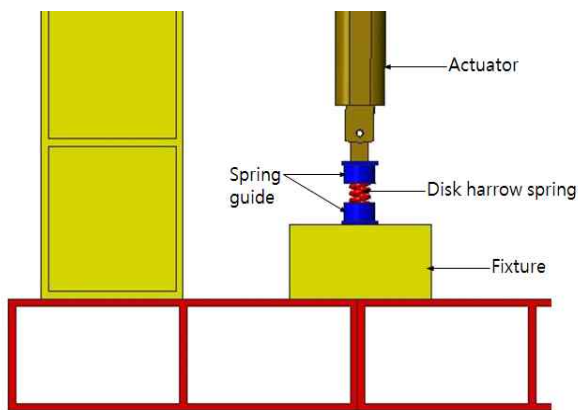
■ 시험장치

디스크 해로우 스프링의 피로시험은 총 2개의 시험체를 사용하였으며, 피로시험조건은 표 2.29와 같다. 피로하중을 가력하기 위하여 5톤 용량 유압가력기(hydraulic actuator, MTS)

를 설치하였다. 스프링의 상단부 및 하단부는 가이드를 설치하여 스프링의 이탈을 방지하였으며, 스프링 하단부를 고정지그에 설치고 상단부를 가력하였다. 피로시험조건은 디스크 해로우 스프링의 사용규격조건에서 제시하고 있는 최대 변위범위(115~130 mm)로 반복하중을 가하였다. 반복횟수는  $1 \times 10^6$  cycles이며, 하중주파수는 3 Hz로 수행하였다. 그림 2.83은 디스크 해로우 스프링의 피로시험 장면이다.

<표2.29> 디스크 해로우 스프링의 피로시험조건

시험변위(mm)		하중주파수 (Hz)	반복횟수 (cycles)
Max.	Min.		
115	130	3	$1 \times 10^6$



<그림2.83> 디스크 해로우 스프링의 피로시험장면

■ 시험결과

디스크 해로우 스프링의  $1 \times 10^6$  cycles 피로시험이 완료된 후, 염료침투법(dye penetration test, PT)으로 균열검사를 실시하였다. 균열검사 실시결과, 두 시험체 모두 피로균열은 발견되지 않았다(그림2.84 참조). 따라서, 디스크 해로우 스프링의 피로내구성능이 충족됨을 확인 할 수 있다.



(a) Disk harrow spring Specimen #1



(b) Disk harrow spring Specimen #2

<그림2.84> 디스크 해로우 스프링의 피로시험 완료 후 균열검사 사진

(바) 디스크 해로우 지지용 허브 베어링의 피로내구도 시험평가

■ 허브 베어링 회전방향 증가하중 도출

그림2.85(표1.11과 그림2.76 참조)는 Load reconstruction을 통해 디스크 해로우 중앙에 위치한 허브 베어링에 걸리는 주 데미지 방향의 하중이력을 계산한 결과이다. 이 하중이력은 변동하중으로써 허브 베어링 수명시험을 위하여 KS B ISO 6336-6에 제시된 다음과 같은 식을 이용하여 증가하중으로 변환시켰다.

$$F_{eq} = \left( \frac{n_1 F_1^p + n_2 F_2^p + \dots}{n_1 + n_2 + \dots} \right)^p \quad (다)$$

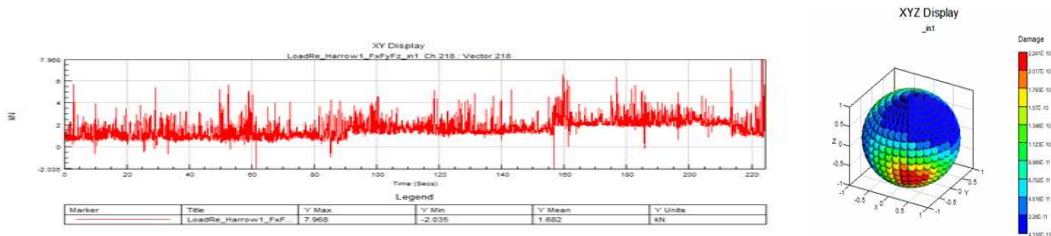
여기서,

$n_i$  : 구분범위 i에 대한 사이클 수

$F_i$  : 구분범위 i에 대한 하중

$p$  : Woehler-파손선의 기울기

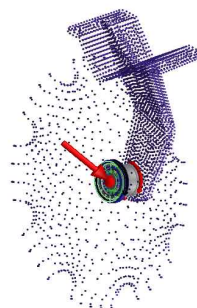
디스크해로우의 직경은 600 mm이며, 트랙터의 작업 속도는 15 km/h로 디스크해로우 속도로 계산을 하게 되면 디스크해로우 및 허브 베어링의 회전속도는 132.63 rpm가 된다. 허브 베어링의 회전속도와 하중 이력의 시간을 이용하여 사이클 수(n)을 계산하였다. Woehler-파손선의 기울기는 component마다 다르지만, Ball Bearing의 경우 일반적으로 3을 적용한다. 해당 값들을 위 식에 대입하여 계산하면, 2.23 kN의 증가 하중이 구해진다.



Vector X	Vector Y	Vector Z	$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$
-0.433	0.75	0.5	115.7	41.4	60.0

<그림2.85> Load reconstruction을 이용하여 구한 하중 이력

앞에서 계산한 증가 하중을 Load reconstruction을 이용하여 구한 주 데미지 방향의 각도를 이용하여 x, y, z축 힘으로 분리하였다. x축 -0.9673 kN, y축 1.6731 kN, z축 1.1153 kN를 허브 베어링 중앙에 인가하였고, 해석 결과 허브 베어링 회전방향의 증가 하중은 2.62 kN을 구하였다.



<그림2.86> 허브 베어링 하중 인가 방향

<표.2.30> 상당 하중, 입력 값, 회전방향 하중

Equivalent Force	Input, kN			Result
F_eq, kN	Fx, kN	Fy, kN	Fz, kN	ISO Equivalent Load, kN
2.2305	-0.9673	1.6731	1.1153	2.6193

■ 시험조건

허브 베어링 수명 검증을 위하여 목표 수명 800 hr 을 보장하기 위한 무고장 시험 시간을 산출하였다.

- 수명 분포 : 형상 모수( $\beta$ )가 2.0인 와이블 분포
- 보증 수명 : 800 hr
- 신뢰 수준 : 70 %
- 시료수 : 1개
- 불신뢰도 : 90 %
- 무고장 시험 시간

$$T_{ZFT} = B_p \cdot \left[ \frac{\ln(1-CL)}{n \cdot \ln(1-p)} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

$$= 800 \cdot \left[ \frac{\ln(1-0.6)}{1 \cdot \ln(1-0.1)} \right]^{\frac{1}{2.0}} = 2,704\text{시간}$$

여기에서  $T_{ZFT}$  : 무고장 시험 시간  
 $B_p$  : 보증 수명  
 $CL$  : 신뢰 수준(confidence level)  
 $n$  : 시험 중인 전체 아이템의 개수(시료수)  
 $p$  : 불신뢰도  
 $\beta$  : 형상 모수

허브 베어링 수명 시험 가속 모델에 적용하여 무고장 수명 조건과 동등한 가속 시험조건을 계산하였다. 허브 베어링 등가 속도는 133 rpm로 허브 베어링의 온도 등을 고려하여 200 rpm을 시험 회전속도로 선정하였다. 실제 허브 베어링에 부가되는 등가하중은 2.62 kN이나, 가속수명시험에 요구되는 디스크해로우 압 연결축에 6 kN의 정하중을 적용하였다. 이에 따른 총 가속 계수는 18.07로 목표시험시간은 150시간으로 계산되었다.

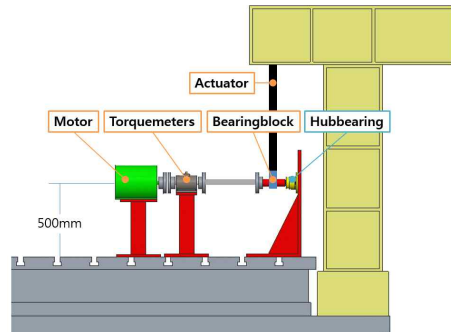
Loading Condition		
Life exponent for gear ball bearing	Equivalent input Force [N]	Equivalent input speed [rpm]
3	2619.30	133.0
Reliability Target & Zero Failure Test Time (ZFTT)		
$B_p$ design life [hrs]	Number of test sample	Shape parameter, $\beta$
800	1	2
Reliability [%]	Confidence level [%]	ZFTT [hrs]
90	70	2,704
Zero Failure Accelerated Test Time (ZFATT)		
Equivalent input torque [Nm]	Test input Force [N]	AF for torque
2619.30	6,000.00	12.02
Equivalent input speed [rpm]	Test input speed [rpm]	AF for speed
133.00	200.00	1.50
		Total AF
		18.07
		ZFATT [hrs]
		150

<그림.2.87> 무고장 수명 시험 시간 및 가속 수명시간 계산 결과

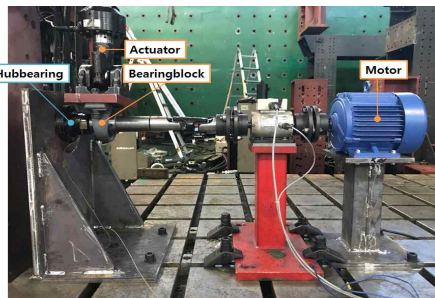
■ 시험장치



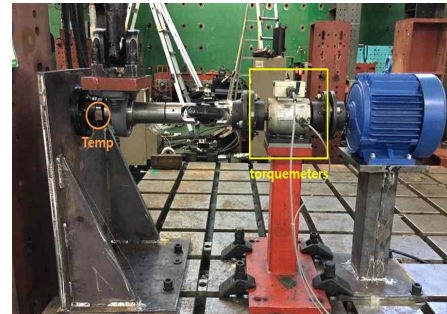
허브 베어링 수명 시험을 위하여 아래 개략도와 같이 시험 장치를 개발하였다. 실제 허브 베어링의 작동 조건은 내륜이 디스크해로우 압에 고정되고 외륜이 원판과 함께 회전을 하는 조건이지만 시험에서는 외륜을 고정하고 내륜을 회전하도록 설계하였다. 전기모터를 이용하여 허브 베어링의 속도를 제어하고 액추에이터를 이용하여 허브 베어링에 하중이 작용하도록 구성하였다. 그림2.89는 허브 베어링 수명 시험을 위한 장비의 구성과 센서 측정위치이며, 부가적인 시험장비 및 측정 센서의 주요사양은 표2.31에 나타내었다.



<그림2.88> 디스크 해로우 허브 베어링 시험 장치 구성 개략도



(a) 시험장치



(b) 센서 측정 위치

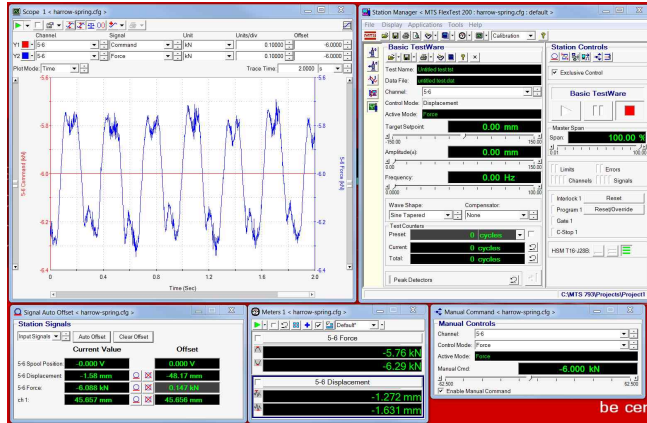
<그림2.89> 디스크 해로우 허브 베어링 수명시험 장비

<표2.31> 시험장비 구성

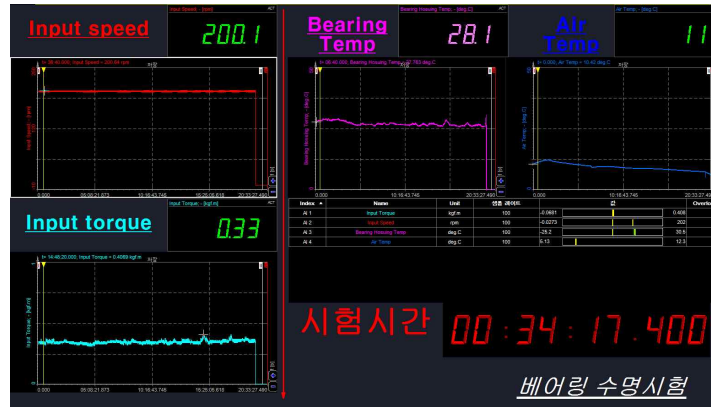
시험장비명	사양	개수
인버터	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ABB</li> <li>Model : ACS800-01-0016-5</li> <li>Input Voltage (Uin) : 380-500 V</li> <li>Output Power: 11 kW</li> <li>Output Power, Heavy-Duty Use: 7.5 kW</li> <li>Output Power, Light-Overload Use: 11 kW</li> <li>Output Power, Normal Use: 11 kW</li> </ul>	1
입력측 모터	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ HIGEN</li> <li>- Frame/kW/RPM : 112 S/2.2 kW/1,740 RPM</li> </ul>	1
입력 토크미터	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ S.HIMMELSTEIN 28003T(2-3)-NFZ</li> <li>- Max RPM/Torque range : 8500 RPM/2000 lbf-in</li> </ul>	1
데이터 계측장비	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ DEWE 43V &amp; DEWESoft</li> <li>- 16 input channels/ TC/RTD, DC input</li> </ul>	1
온도 센서	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Type/Number : K Chromega-Alomega/CO1-K</li> <li>- Maximum Temperature ℃</li> <li>Continuous:260/ 600 hr:315 / 10 hr:370</li> </ul>	2

■ 시험결과

허브 베어링 내구시험은 목표 시험시간 총 150시간을 수행하였다. 시험중 토크미터에서 측정된 토크는 0.2~0.6 kgf · m이며, 허브 베어링 표면에 부착한 온도센서의 최대 측정 온도범위는 28~30°C로 거의 시험중 거의 일정범위를 유지하였다. 외기온도는 9~12°C 범위이다. 시험이 완료된 후, 허브 베어링 외관검사를 실시한 결과, 육안검사에서 허브 베어링의 파손, 균열, 변형 등 외관상 손상이 없었으며(그림2.92 참조), 시험중 베어링의 이상 소음 없이 정상적으로 작동됨을 확인하였다.



<그림2.90> Actuator 하중 인가 프로그램 화면



<그림2.91> 디스크 해로우 허브 베어링 수명 시험 데이터 계측 화면

<표2.32> 디스크 해로우 허브 베어링 시험일지

베어링 수명시험						목표시간	150	1시간 초과
No.	시작시간	종료시간	누적시간(자동계산)			총시험시간	151	
			정방향	역방향	합계	시험 진행률	101%	
1	0:00	0:05	0:05		0:05			
2	0:05	17:06	17:01		17:06			
3	17:06	18:53	1:47		18:53			
4	18:53	100:00	81:07		100:00			
5	100:00	100:17	0:17		100:17			
6	100:17	106:47	6:30		106:47			
7	106:47	151:16	44:29		151:16			
특이 사항								



<그림2.92> 시험 종료후의 디스크 해로우 허브 베어링의 사진

(사) 복합작업기 구성품 시험절차서

■ 시험목적

복합작업기 주요 구성품에 대하여 피로하중시험을 실시하여 작업동안 주어진 수명 조건을 만족시킬 수 있는지 판단하는데 그 목적이 있다.

■ 시험개요

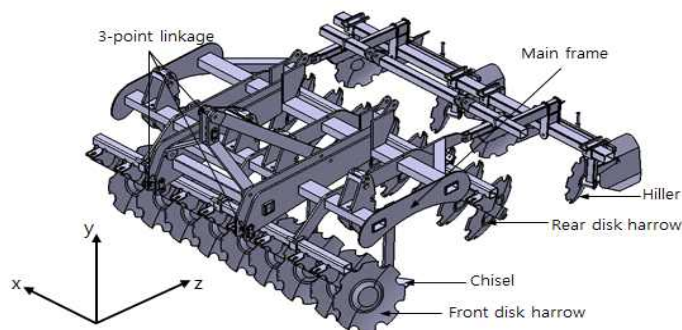
본 시험은 복합작업기가 트랙터에 장착되어 작업할 때 사용기간 동안 지속적으로 받게 되는 반복하중에 대한 안전성을 판단하는 시험이다. 복합작업기를 구성하는 주요 구성품은 다음과 같다.

- 디스크 해로우
- 치즐
- 디스크 해로우 스프링
- 디스크 해로우 허브 베어링

■ 시험절차 및 평가기준

① 좌표시스템

복합작업기의 좌표시스템은 그림2.93과 같다. 여기서, x축은 작업방향(전후방향), y축은 토양표면과 수직방향(상하방향), z 축은 이와 수직을 이루면서 토양표면에 수평으로 작용하는 방향(좌우방향)이다.



<그림2.93> 복합작업기의 좌표시스템

② 디스크 해로우 피로내구도 시험

㉓ 시험장비

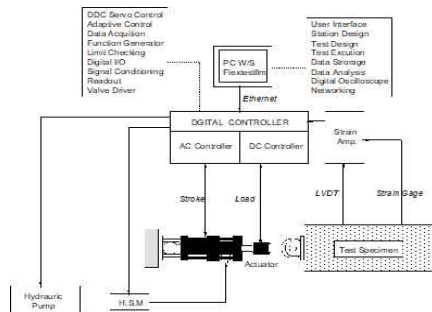
디스크 해로우 피로내구 시험에 사용되는 장비 목록은 표2.33과 같다.

<표2.33> 디스크 해로우 시험장비

번호	장비명	모델명	용량	수량
1	Data logger	UCAM 550A(Kyowa)	50 ch.	1
2	Scanning box	UCAM 550A(Kyowa)	50 ch.	1
3	유압서보 액츄에이터 및 컨트롤러	MTS	±50 kN	1
4	유압펌프(공압)	MTS		2
5	Load cell / Load indicator	MTS	±50 kN	1

본 시험에 사용된 시험장비의 개략적인 제어/측정 시스템의 구성도는 그림2.94에 보이는 바와 같다. 본 장에서는 이들 중 본 시험에 직접 이용된 시험장비에 대하여 기술한다. 하중장비 시스템은 미국 MTS사의 다목적 구조시험 장비로써 유압가력기(hydraulic actuator), 이들의 운동을 제어하는 디지털 제어기 및 동력원인 유압발생기(hydraulic power supply)로 구성된다. 원하는 물리적인 양을 Flextest 200 프로그램내의 디지털 함수 발생기나 computer의 D/A변환기를 통하여 아날로그 전압으로 변환하여 유압가력기 시스템 내에 입력함으로써 시험체에 하중 또는 변위를 가하게 된다. 유압가력기를 제어하는 디지털 제어기는 AC제어기, DC제어기 및 micro-console로 구성되어 있으며, AC 또는 DC 제어기에 의하여 결정된 입력신호를 유압가력기의 servo-valve에 보내어 유압가력기내로 유입되는 압력일정(210kg/cm<sup>2</sup>)인 유량을 조절함으로써 작용하중 또는 변위를 제어한다. 변위제어의 경우는 AC제어기에 의하여 이루어지며 하중제어의 경우는 DC제어기에 의하여 이루어지는데 두 가지 방식 모두 closed-loop제어방식으로 입력신호(command signal)와 회기신호(feed-back signal)사이의 차를 영(zero)으로 수렴시킴으로써 제어가 완료된다. 본 시험에서는 digital function generator로부터 발생하는 정현파형의 동적신호에 따르는 하중 제어방식을 적용하였다. 그림2.95는 DC 제어기의 모습이다.

데이터 취득 시스템은 KYOWA UCAM-550A 데이터 로거(data logger)와 USB-550 스캐닝 박스(scanning box)로 구성되어 있다. 이 시스템은 200 채널이상의 실시간 계측이 가능하다.



<그림2.94> 시험장비 제어/측정 시스템의 구성도



<그림2.95> FlexTest 200 제어기

㉔ 시험지그 설계

피로시험에 사용되는 지그는 실제 디스크 해로우에 작용하는 하중조건을 최대한 반영하여 설계한다. 그리고 디스크 해로우의 하중가력방향으로 향하도록 고정지그를 설계/제작한다.

㉕ 시험절차

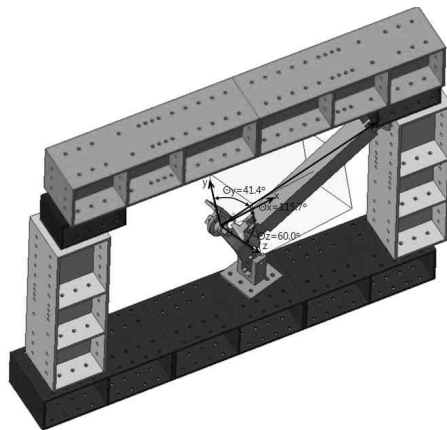
디스크 해로우의 피로시험조건은 표2.16과 같으며, 필드 테스트를 통해 얻어진 800시간기준의 하중조건이다. 0 ~ 6kN범위의 하중조건으로 이며, 71시간(766,800 cycle) 반복하며, 하중가력방향은 x축, y축, z축방향으로 각각 115.7°, 41.4°, 60.0°이다.

<표2.34> 디스크 해로우의 피로시험조건

시험하중(kN)		하중주파수 (Hz)	시험시간 (hours)	No. of cycles	하중가력방향(°)		
Max.	Min.				$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$
6	0	3	71	766,800	115.7	41.4	60.0

디스크 해로우의 피로시험방법은 다음과 같다.

- ① 하중의 기준 값을 잡기 위하여 가력기 load cell의 하중값을 0으로 초기화한다.
- ② 하중가력방향으로 피로시험하중을 요구시험시간(또는 반복횟수)동안 반복하중을 가한다.
- ③ 피로시험하중이 완료된 후, 염료침투법(dye penetration test, PT) 또는 이와 준하는 다른 비파괴방법으로 균열발생검사를 수행한다.



<그림2.96> 디스크해로우 시험장비

㉖ 평가기준

디스크 해로우의 피로시험 완료후, 균열검사에서 피로균열이 발생해서는 안 된다.

③ 치즐 피로내구도 시험

㉗ 시험장비

치즐 피로내구 시험에 사용되는 장비 목록은 디스크 해로우 장비와 동일하다.

㉔ 시험지그 설계

피로시험에 사용되는 지그는 실제 치즐에 작용하는 하중조건을 최대한 반영하여 설계한다. 치즐의 하중가력방향은 견인력의 x축방향으로 가력 지그 및 고정지그를 설계/제작한다.

㉔ 시험절차

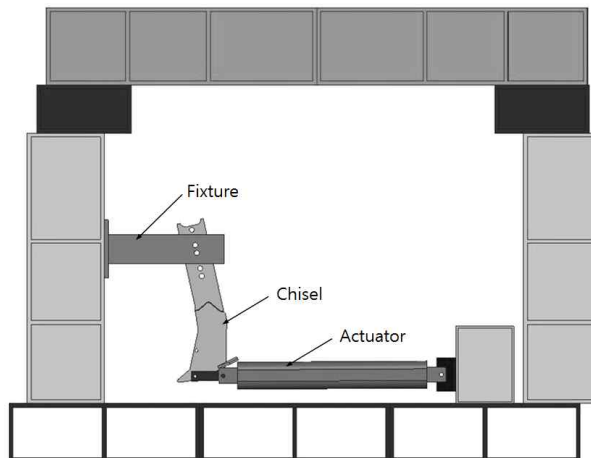
치즐의 피로시험조건은 표2.35와 같으며, 필드 테스트를 통해 얻어진 800시간 기준의 하중조건이다. 0 ~ 5kN범위의 하중조건으로 이며, 21시간(231,120 cycle) 반복하며, 하중가력 방향은 x축방향이다.

<표2.35> 치즐의 피로시험조건

시험하중(kN)		하중주파수 (Hz)	시험시간 (hours)	No. of cycles	하중가력방향(°)		
Max.	Min.				$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$
5	0	3	21.4	231,120	0	90.0	90.0

치즐의 피로시험방법은 다음과 같다.

- ① 하중의 기준 값을 잡기 위하여 가력기 load cell의 하중값을 0으로 초기화한다.
- ② 하중가력방향으로 피로시험하중을 요구시험시간(또는 반복횟수)동안 반복하중을 가한다.
- ③ 피로시험하중이 완료된 후, 염료침투법(dye penetration test, PT) 또는 이와 준하는 다른 비파괴방법으로 균열발생검사를 수행한다.



<그림2.97> 치즐 시험장비

㉕ 평가기준

치즐의 피로시험 완료후, 균열검사에서 피로균열이 발생해서는 안 된다.

④ 디스크 해로우 스프링의 피로내구도 시험

㉖ 시험장비

디스크 해로우 스프링의 피로내구시험에 사용되는 장비 목록은 표2.36과 같다.

<표2.36> 디스크 해로우 스프링 시험장비

번호	장비명	모델명	용량	수량
1	Data logger	UCAM 550A(Kyowa)	50 ch.	1
2	Scanning box	UCAM 550A(Kyowa)	50 ch.	1
3	유압서보 액츄에이터 및 컨트롤러	MTS	±25 kN	1
4	유압펌프(공압)	MTS		2
5	Load cell / Load indicator	MTS	±25 kN	1

㉔ 시험지그 설계

피로시험에 사용되는 지그는 실제 치즐에 작용하는 하중조건을 최대한 반영하여 설계한다. 디스크 해로우 스프링의 하중가력방향은 수직방향인 y축방향으로 가력 지그 및 고정 지그를 설계/제작한다. 디스크 해로우 스프링의 상단부 및 하단부는 가이드를 설치하여 스프링의 이탈을 방지하도록 하며, 스프링 하단부를 고정지그에 설치하고 상단부를 가력하도록 장비를 구성한다.

㉕ 시험절차

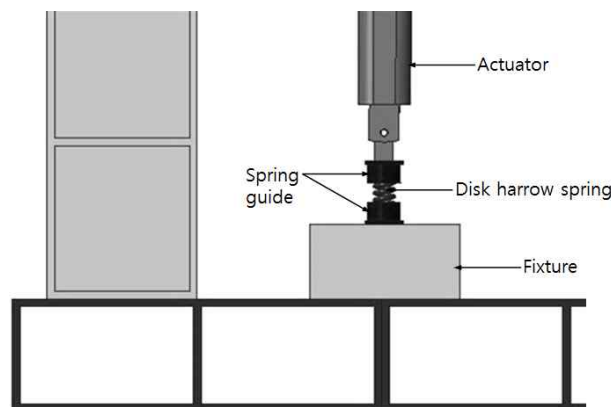
피로시험조건은 디스크 해로우 스프링의 사용규격조건에서 제시하고 있는 최대 변위범위 (115~130 mm)로 반복하중을 가한다. 반복횟수는  $1 \times 10^6$  cycles까지 수행한다.

<표2.37> 디스크 해로우 스프링의 피로시험조건

시험변위(mm)		하중주파수 (Hz)	반복횟수 (cycles)
Max.	Min.		
115	130	3	$1 \times 10^6$

디스크 해로우 스프링의 피로시험방법은 다음과 같다.

- ① 하중의 기준 값을 잡기 위하여 가력기 load cell의 하중값을 0으로 초기화한다.
- ② 하중가력방향으로 피로시험하중을 요구시험시간(또는 반복횟수)동안 반복하중을 가한다.
- ③ 피로시험하중이 완료된 후, 염료침투법(dye penetration test, PT) 또는 이와 준하는 다른 비파괴방법으로 균열발생검사를 수행한다.



<그림2.98> 디스크 해로우 스프링의 시험장비

㉔ 평가기준

디스크 해로우 스프링의 피로시험 완료후, 균열검사에서 피로균열이 발생해서는 안 된다.

⑤ 디스크 해로우 허브 베어링 시험

㉕ 등가하중계산

허브 베어링 수명 검증을 위하여 목표 수명 800 hr을 보장하기 위한 무고장 시험 시간을 산출방법은 다음과 같다.

- 수명 분포 : 형상 모수( $\beta$ )가 2.0인 와이블 분포
- 보증 수명 : 800 hr
- 신뢰 수준 : 70 %
- 시료수 : 1개
- 불신뢰도 : 90 %
- 무고장 시험 시간

$$T_{ZFT} = B_p \cdot \left[ \frac{\ln(1-CL)}{n \cdot \ln(1-p)} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

$$= 800 \cdot \left[ \frac{\ln(1-0.6)}{1 \cdot \ln(1-0.1)} \right]^{\frac{1}{2.0}} = 2,704\text{시간}$$

여기에서  $T_{ZFT}$  : 무고장 시험 시간

$B_p$  : 보증 수명

$CL$  : 신뢰 수준(confidence level)

$n$  : 시험 중인 전체 아이템의 개수(시료수)

$p$  : 불신뢰도

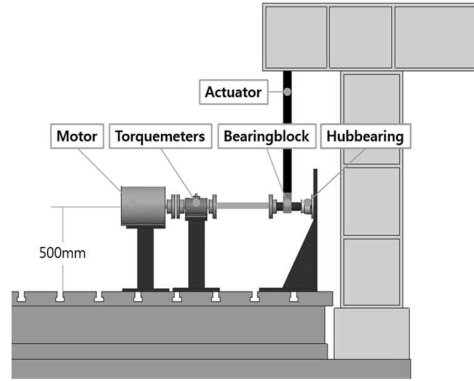
$\beta$  : 형상 모수

허브 베어링 수명시험은 가속모델에 적용하며, 무고장 수명 조건과 동등한 가속 시험조건을 계산한다. 가속수명시험을 위하여 허브 베어링 등가 속도는 133 rpm로 허브베어링의 온도 등을 고려하여 200 rpm을 시험 회전속도로 선정한다. 실제 베어링에 부가되는 등가하중은 2.62 kN이나, 가속수명시험에 요구되는 디스크해로우 암 연결축에 6 kN의 정하중을 적용한다. 이에 따른 총 가속 계수는 18.07로 목표시험시간은 150시간으로 한다.

㉖ 시험장비

실제 허브 베어링의 작동 조건은 내륜이 디스크해로우 암에 고정되고 외륜이 원판과 함께 회전을 하는 조건이지만 시험의 편의를 위하여 그림2.99와 같이 외륜을 고정하고 내륜을 회전하도록 설계한다. 전기모터를 이용하여 허브 베어링의 속도를 제어하고 액추에이터를 이용하여 허브 베어링에 하중이 작용하도록 구성한다. 디스크 해로우 허브베어링 시험에 사용되는 장비 목록은 표2.38과 같다.





<그림2.99> 디스크 해로우 허브 베어링의 시험장비

<표2.38> 디스크 해로우 허브 베어링 시험장비

번호	장비명	모델명	용량	수량
1	인버터	ABB	380-500 V	1
2	입력측 모터	HIGEN	2.2kW/1,740RPM	1
3	입력 토크미터	S.HIMMELSTEIN 28003T(2-3)-NFZ	8500RPM/ 2000 lbf-in	1
5	데이터 계측장비	DEWE 43V & DEWESoft	16 Input channels	2
6	온도 센서	K Chromega-Alomega	260 °C	1

㉔ 시험절차

디스크해로우 압 연결축에 6 kN의 정하중을 5톤 용량 유압가력기를 이용하여 정하중을 가한다. 허브 베어링의 회전속도는 200 rpm으로 하고, 목표시험시간은 150시간으로 한다.

<표2.39> 디스크 해로우 허브 베어링 시험조건

축하중(kN)	회전속도(rpm)	목표시간 (hours)
6.0	200	150

디스크 해로우 허브 베어링의 시험방법은 다음과 같다.

- ① 하중의 기준 값을 잡기 위하여 가력기 load cell의 하중값을 0으로 초기화한다.
- ② 가력기를 이용하여 디스크 해로우 압 연결축에 목표시간동안 정적하중을 가하면서, 허브 베어링을 정격 회전속도로 회전시킨다.
- ③ 시험이 완료된 후, 허브 베어링 외관검사를 수행한다.

㉕ 평가기준

디스크 해로우 허브 베어링 시험이 완료된 후, 육안검사서 베어링의 파손, 균열, 변형 등 외관상 손상이 없어야 한다.

○ 위탁 1 (경상대학교)

가. 연구개발 목표

- 시험포장 설계 재분석
- 포장시험

나. 1차년도 수행내역 및 결과

(1)연구개요

토양의 상태에 따른 작업기(디스크헬로우)에 미치는 물리적인 영향을 파악하고, 이러한 결과를 이용하여 디스크헬로우의 작업성능향상에 활용하고자 함. 이를 위해 토양조를 설치하여 다양한 형태의 토양조건과 작업속도를 활용하여 실험을 진행하였으며, 이를 통하여 기초 실험을 확립한 후, 본 개발장비에 적용하여 고추의 생육상태 및 토양 실증시험 최종적으로 개발 장비의 신뢰성을 확보하고자 함.

(2)시험포장 및 배토관련 연구동향 세부분석 및 전국 고추 주산단지 토양 특성 조사

(가) 시험 포장 및 배토 관련 연구동향 분석

- 시험 포장 및 배토 관련의 기초 이론 확립을 위해 연구 방법 및 동향 참고자료(보고서, 논문 등)를 사전 조사 하였음. 우선 노지재배의 주요 작업별 특징은 시비 및 이랑 만들기, 파종 시기, 육묘, 정식 등이 있는데, 실험에 필요한 배토 작업 자료를 위주로 조사를 하였음.

- 시비 및 이랑을 만들 시에는 정식 2주전 퇴비, 계분, 석회를 뿌린 후 깊이갈이를 하고 정식 1주전 기비 후 로터리 작업한 후, 두둑을 만듦. 이랑의 너비는 지역마다 조금씩 차이가 있지만 일반적으로는 1열재배는 90-100cm, 2열 재배는 150-160cm임. 재배 양식은 평 두둑, 둥근 두둑 재배로 이랑 및 식부 규격은 지역에 따라 차이가 많음.

- 심는 거리는 품종, 토양의 비옥도 수확기간 등에 따라 달라지는데 지역별, 재배 형태별 재배양식이 다양하여 각 조건에 따른 실험을 통해 표준재배 양식의 개발 보급이 필요할 것으로 판단됨.

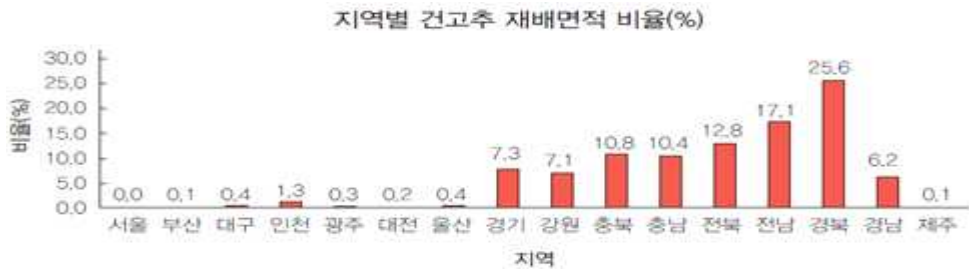
- 표1.1은 지역별 재배양식에 대해서 조사한 것임. 이랑 규격, 식부 규격, 비닐 피복 여부 등을 고려해 지역별로 규격을 나누어서 표시 하였고, 일반적으로 두둑폭은 광주, 고창, 화순과 같이 전라 지역에서 높은 편이었고, 나머지는 지역에 상관없이 다양한 규격을 나타낸 것을 알 수 있었음. 이처럼 각 지역별로 규격이 다른 현상에 대해 토양의 조건, 지역 기후 등을 고려해 재배 양식의 표준화 도입이 필요할 것으로 보임.

<표1.1> 지역별 고추 재배 양식

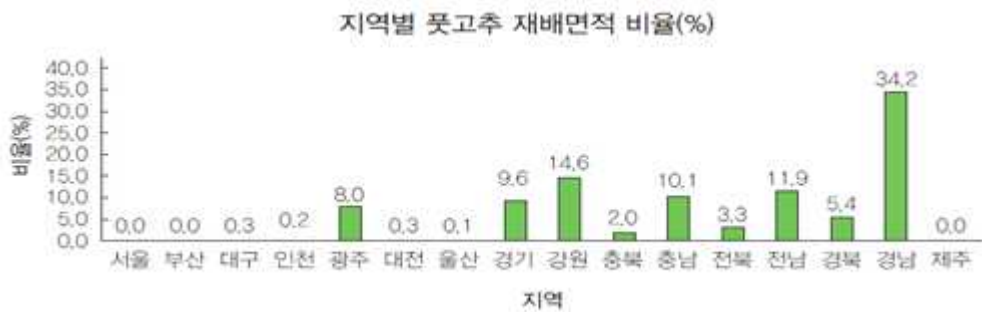
지역	이랑 규격(cm)				식부규격(cm)			비닐 피복 여부	비고
	두둑 형상	두둑 폭	두둑 높이	이랑 폭	식부 줄수	조건	주간		
광주	평두둑	100	30	160	1	-	50	무피복	하우스
화순	등근두둑	80	50	140	1	-	40	피복	노지
괴산	등근두둑	50	30	120	1	-	35	피복	
안동1	평두둑	76	16	150	2	35-40	25	피복	
안동2	등근두둑	50	25	140	2	30	40	피복	
고창	평두둑	100	10-15	130	2	40	36-45	피복	

■ 도표 1.1, 1.2, 1.3과 같이 전국 고추 주산단지에 대해 시. 도별 노지 건고추 및 시설 풋고추 재배 면적에 대해 나타낸 것임. 도표 1.1, 1.2와 같이 노지 건고추의 경우 재배면적은 경북, 전남, 전북, 충북, 충남, 경남 순이었고, 시설 풋고추는 경남, 강원, 전남, 경기, 광주 순으로 나타났음. 전체적으로 고추 주산단지의 재배 면적 비율은 경남, 경북이 가장 높은 것을 알 수 있었음.

<도표1.1> 지역별 노지 건고추 재배 면적



<도표1.2> 지역별 시설 풋고추 재배 면적.



〈도표1.3〉 시·도별 노지 건고추 및 시설 풋고추 재배 면적.

지역	건고추		풋고추	
	재배면적(ha)	비율(%)	재배면적(ha)	비율(%)
전국	42,574	100	4,814	100
서울	8	0.0	2	0.0
부산	58	0.1	2	0.0
대구	160	0.4	14	0.3
인천	552	1.3	8	0.2
광주	116	0.3	385	8.0
대전	92	0.2	13	0.3
울산	169	0.4	4	0.1
경기	3,129	7.3	461	9.6
강원	3,016	7.1	703	14.6
충북	4,588	10.8	95	2.0
충남	4,428	10.4	487	10.1
전북	5,432	12.8	160	3.3
전남	7,265	17.1	572	11.9
경북	10,896	25.6	261	5.4
경남	2,628	6.2	1,646	34.2
제주	37	0.1	1	0.0

(나) 전국 고추 주산단지의 토양 특성 조사

■ 표1.2는 지역별 토성 분포를 나타낸 것임. 전남지역은 사양토(SL)와 양토(L)가 52%, 식양토(CL)가 19% 이었으며, 전북지역은 사양토(SL)와 양토(L)가 75%이상을 차지 하였음. 경남 지역도 사양토(SL)와 양토(L)가 89%이상을 차지하였고, 경북지역은 사양토(SL), 미사질 양토(SiL) 및 양토(L)가 거의 대부분을 차지 하였으며, 충남지역은 사양토(SL)가 72%, 충북 지역은 사양토(SL)와 미사질 양토(SiL)가 68%, 강원도 지역은 양토(L)가 46%을 차지하였음.

〈표1.2〉 지역별 고추 주산단지의 토양 특성

작물	지역	Soil Texture								샘플 수
		S	SL	SiL	L	SiCL	CL	SiC	C	
고추	전남	1 (4.8)	5 (23.8)	2 (9.5)	6 (28.6)	2 (9.5)	4 (19.0)	1 (4.8)	-	21 (100)
	전북	1 (6.3)	7 (43.8)	1 (6.3)	5 (31.3)	1 (6.3)	1 (6.3)	-	-	16 (100)
	경남	-	3 (33.3)	-	5 (55.6)	1 (11.1)	-	-	-	9 (100)
	경북	-	10 (29.4)	10 (29.4)	14 (41.2)	-	-	-	-	34 (100)
	충남	-	13 (72.2)	1 (5.6)	3 (16.7)	-	-	-	1 (5.6)	18 (100)
	충북	1 (5.3)	7 (36.8)	6 (31.6)	2 (10.5)	-	1 (5.3)	2 (10.5)	-	19 (100)
	강원	-	1 (6.7)	2 (13.3)	7 (46.7)	1 (6.7)	2 (13.3)	2 (13.3)	-	15 (100)

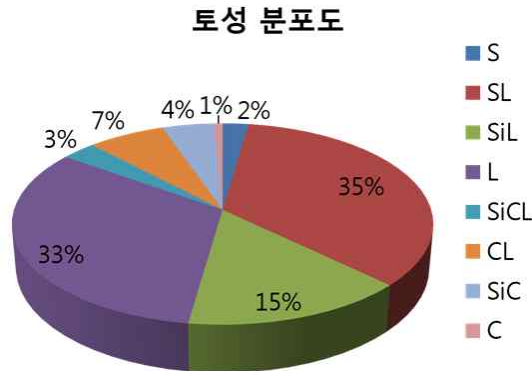
※ S : 사토, SL : 사양토, SiL : 미사질 양토, L : 양토, SiCL : 미사질 식양토,  
CL : 식양토, SiC : 미사질 식토, C : 식토

■ 표1.3, 도표1.4는 위에 표와 그림을 통해 전국 고추 주산단지의 토양의 특성 빈도를 나타낸 것임. 사양토(SL)와 양토(L)가 각각 34.9%와 32.6%를 차지하여 전체 132개 지점에서 89개 지점이 사양토와 양토로 나타났음. 앞에 서술한 두둑 형상 및 규격 자료와 전국 고추 주산단지의 토양 특성 자료를 참고하여 실내 실험 및 실증 포장 시험을 할 때 기초 자료로 활용하고자 함.

<표1.3> 고추 주산단지의 토성 빈도 분포

S	SL	SiL	L	SiCL	CL	SiC	C	샘플 수
3	46	20	43	4	9	6	1	132
(2.3)	(34.9)	(15.2)	(32.6)	(3.0)	(6.8)	(4.6)	(0.8)	(100)

<도표1.4> 고추 주산단지의 토성 분포도



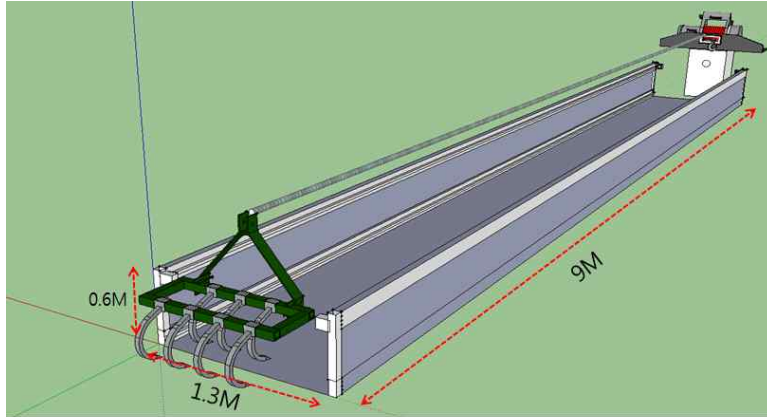
(3)실내 실험을 위한 Soil-bin 제작

(가) 실제 현장에서 토양의 조건을 바꾸고, 작업기의 특성을 바꾸기에는 어려움이 있다고 판단 되어 실제 현장적용을 감안한 시제품의 Scale-up 인자를 도출·적용하여 경상대학교 실험동 내에 위치한 곳에 Soil-bin을 제작 하였음. 그림1.1과 같이 초기 설계 그림은 재질은 판넬로 설정하였고, 가로, 세로, 높이 1300 \* 9000 \* 600 [mm]의 규격으로써, 흙 높이는 40cm (두둑 높이 : 30-35cm, (경운 깊이 15-20cm) + 10%)로 예상하여 구상하였으나, 실제 다수의 Harrow가 장착될 시 무게와 그러한 큰 무게를 토양 반력 등을 고려하여 끌 수 있는 힘이 부족하다고 판단하여 Soil-bin 제작 설계를 변경하였음.

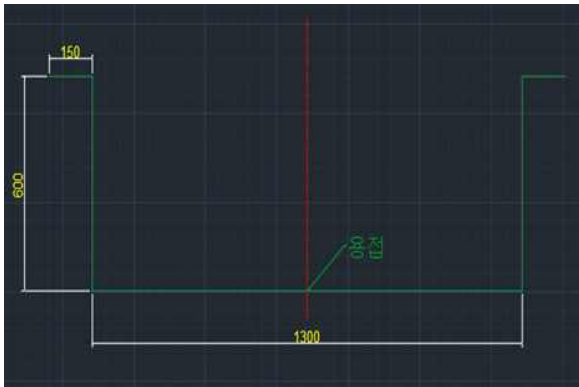
(나) 그림1.2와 같이 Channel을 이용해 Soil-bin을 설계하였음. 그림에서 보면 알 수 있듯이 U자 형태로 제작을 하고 양쪽에 절곡된 부분에 이송장치를 부착하여 Harrow를 구동시킬 계획을 하였음. Channel을 Soil-bin 규격에 맞게 절곡 및 용접을 실시하여 프레임을 제작 하였음.

(다) 그림1.3은 Soil-bin에 이송장치를 부착하여 설계한 그림임. 그림과 같이 각 pipe에 Disc Harrow를 연결하고 모터를 이용하여 실험 작업기를 구동하는 방식으로 제작하였음.

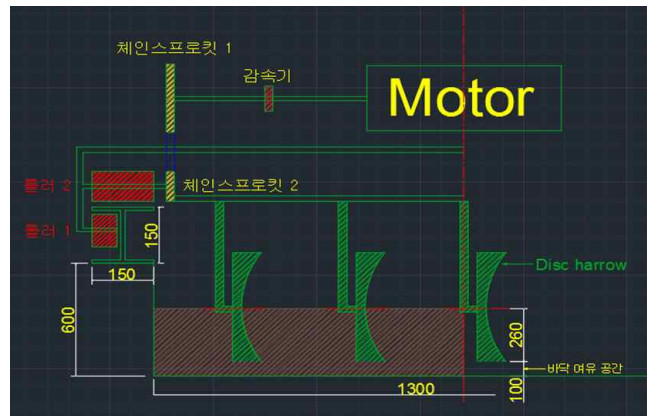
(라) 하지만 이송장치의 무게가 무겁다 보니 양쪽 Channel이 휘 수도 있는 상황을 고려하여 빈 공간에는 그림1.4와 같이 8인치 규격(390 \* 190 \* 190 [mm])의 시멘트 블록을 쌓아 이송장치가 내려 앉는 것을 방지하였음.



<그림1.1> Soil-bin 초기 구상 설계.



<그림1.2> Channel을 이용하여 Soil-bin 기초 프레임 설계.



<그림1.3> 이송장치를 부착한 Soil-bin 설계 도면.



<그림1.4> 시멘트 블록을 이용하여 Soil-bin 지지대 제작.

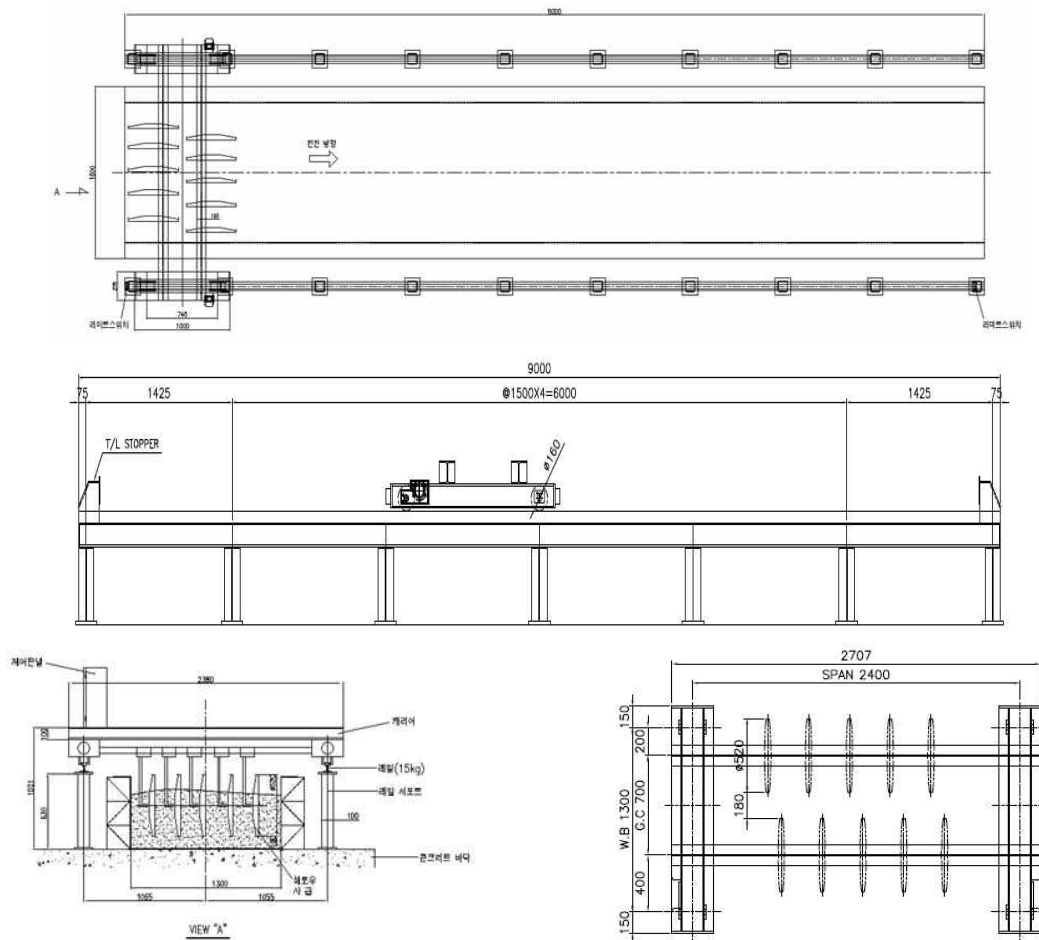
(마) 그림1.5는 Channel을 이용하여 Soil-bin 기초 프레임을 제작하여 경상대 실험동에 위치한 사진임. 앞에 설명했듯이 U자 모형에서 옆에 부분에 이송장치를 부착하고, 이송장치의 무게로 인해 지지대가 내려 앉는 것을 방지하고자 시멘트 블록으로 지지하였음.



<그림1.5> Channel을 이용하여 Soil-bin 기초 프레임 제작.

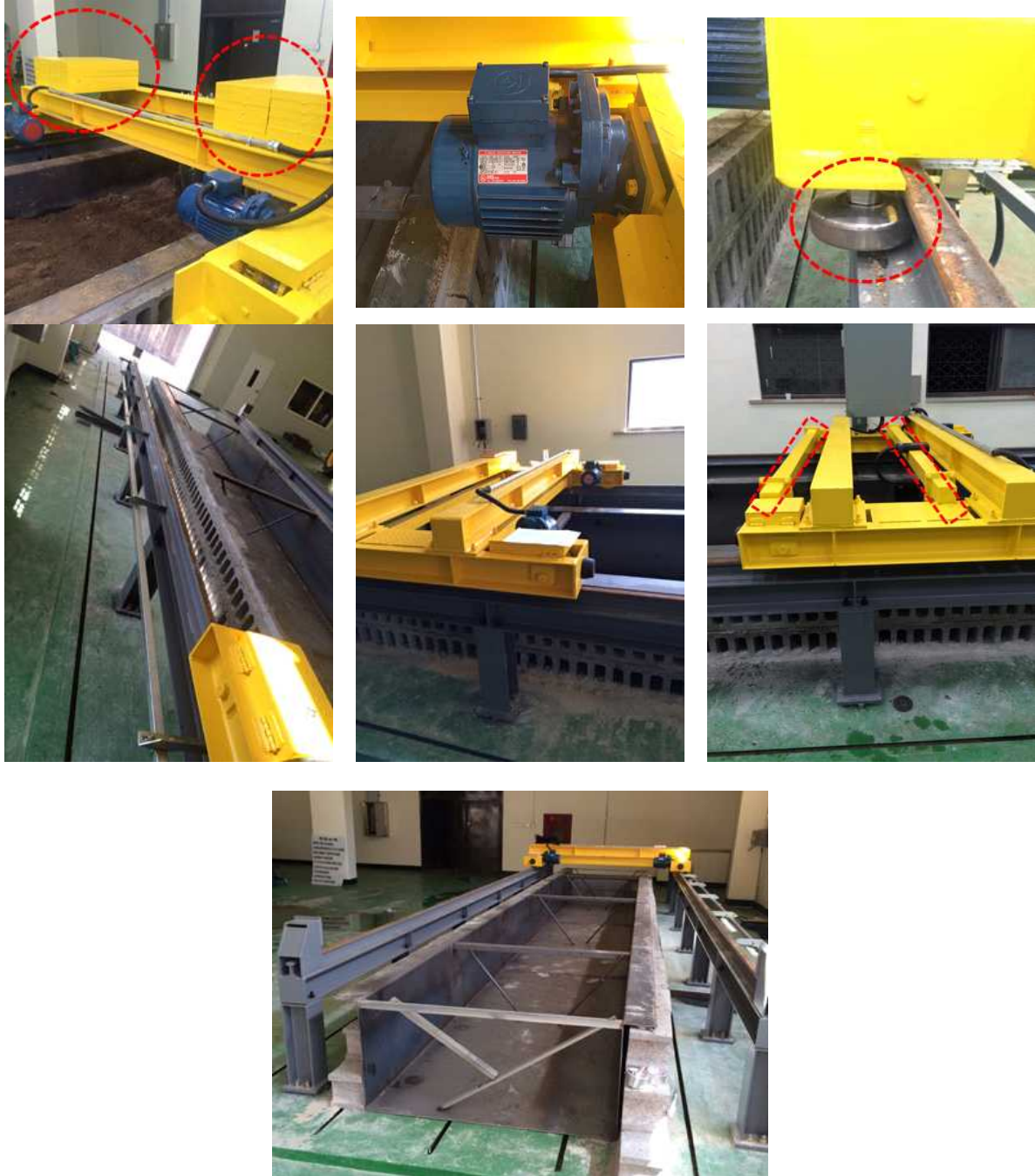


(바) 그림1.6은 Soil-bin 이송장치 기초 설계 도면임. Rail을 이용하여 장치가 이송될 수 있도록 설계 하였고, Rail Support를 통해 토양 반력으로 인해 장치가 들리면서 레일을 이탈하는 것을 방지 하였음. 운전 방식은 전진 후 자작하였음. 또한, Limit Switch를 통해 이송장치가 적정 위치를 지나게 되면 자동으로 멈추도록 하동정지 & 후진 후 자동 정지 식으로 1회 실험을 진행하고 다시 작업기를 원상 복귀 시키는 방식으로 진행함. 주행속도는 원하는 속도로 설정할 수 있으며, 4단 변속이 가능하게 하였음. 또한, Limit Switch를 통해 이송장치가 적정 위치를 지나게 되면 자동으로 멈추도록 하였음.



〈그림1.6〉 Soil-bin 이송장치 기초 설계 도면.

(사) 그림1.7은 경상대학교 실험동 내에 Soil-bin 이송장치를 설치한 사진임. 6번째 보이는 빨간색 점선으로 표시한 파이프에 Harrow를 두줄로 부착하여 구동시킴. 앞에 설명했듯이 설계도면과 같이 모터로 이송장치를 가동시키고, 레일과 레일 서포트를 통해 일직선의 경로로 이동할 수 있게 제작하였음.



〈그림1.7〉 실험동 내 Soil-bin 이송장치 제작사진.

(아) 그림1.8은 Soil-bin 이송장치의 인버터를 설치하여 4단 변속을 할 수 있도록 제작하였고, 속도는 실험하는 과정에서 임의로 설정이 가능함. 일정 구간이 지나게 되면 Limit Switch로 전진 후 자동정지 (정방향), 후진 후 자동정지 (역방향) 으로 설정하였고, 예기치 못한 위험한 상황을 대비해서 비상정지 버튼을 제작하여 실험을 진행하는데 있어서 안전하게 이행할 수 있도록 함.

(자) 또 한, 이송장치의 모터 출력값이 실제로 시중에 상용화 되고 있는 트랙터의 마력에 비해 낮기 때문에 토양을 Soil-bin 안에 넣고 Harrow를 부착한 후에 가동시켰을 때, 이송

장치의 힘이 토양의 반력을 이기지 못하고 기기가 들리는 경우가 발생할 수도 있음. 이러한 상황을 방지하고자 Rail Support에 경로가 이탈되지 않게 잡아주는 bracket을 부착하고, 이송장치 위에 무거운 철판을 올려두어 중량을 더했음.



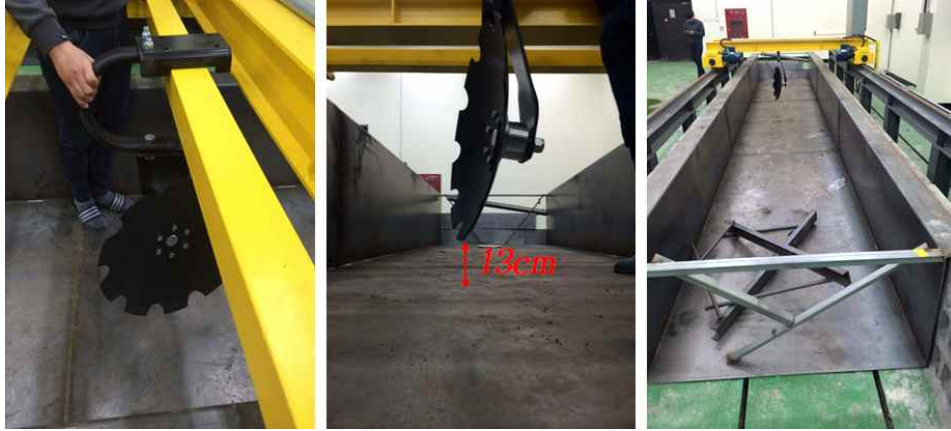
<그림 1.8> 실험동 내 Soil-bin 이송장치 속도 제어.

(차) 그림1.9는 Disc harrow 제작 사진을 나타낸 것임. 실제 작업기와 같이 앞줄과 뒷줄의 경운 방향을 달리 하여 조립하였고, 실험에 사용될 최대한의 개수를 고려하여 총 10개 제작함.

(카) 그림1.10은 Soil-bin 이송장치에 Disc Harrow를 부착한 사진임. Harrow를 각 pipe에 U자 볼트를 연결하여 부착하였고 13cm의 여유공간을 두었음. 또 한 Soil-bin 안에 최대 5개 Disc Harrow가 부착 가능하지만, 가동시키면 channel에 닿기 때문에 실험 진행 하는데 어려움이 있음. 따라서 한 줄에 최대 4개를 부착하여 실험을 계획함.



<그림1.9> Disc harrow 조립



<그림1.10> 이송장치에 Disc harrow 부착.

(타) 다음은 2016년 4월 15일 금요일 경상북도 안동시 예안면 인계리에 위치한 고추 주산 단지의 배토성 (두둑형상, 두둑 폭, 두둑 높이) 및 토양의 특성 (함수율)에 대해 조사하였음.

(파) 함수율은 그림1.11과 같이 농촌진흥청 홈페이지에 있는 토양 분석 동영상에서 내용을 참고하여 한 밭당 5개 지점에서 시료를 채취하여 분석하였고, 배토 관련해서도 마찬가지로 그림1.12와 같이 5개 지점에서 측정하여 평균을 내서 기초자료와 비교하였음.

(하) 안동시 인계리에 위치한 고추 주산단지는 대부분 둥근 두둑으로 1줄 재배로 정식하고 있었고, 두둑 폭은 평균 55.9cm로 농림부 보고서에 게시되었던 55cm - 60cm범위에 속해 있었으며 두둑 높이도 마찬가지로 21.8cm로 20cm - 25cm범위에 속해있었음.



<그림1.11> 함수율 측정 지점

(가2) 함수율은 그림1.13과 같이 5개 밭 5개 지점 총 25개 시료를 채취 후 한 시료당 3개로 총 75개의 샘플로 함수율을 측정하여 분석하였음. 함수율은 eq. 1과 같이 Dry Oven을 사용하여 105 ° C에서 48시간 건조 후 중량을 측정하였음.

$$\text{moisture content of soil} : \frac{W_b - W_a}{W_b} \quad (\text{Eq. 1})$$

Where,  $W_b$  : 건조 전 토양 중량,  $W_a$  : 건조 후 토양 중량



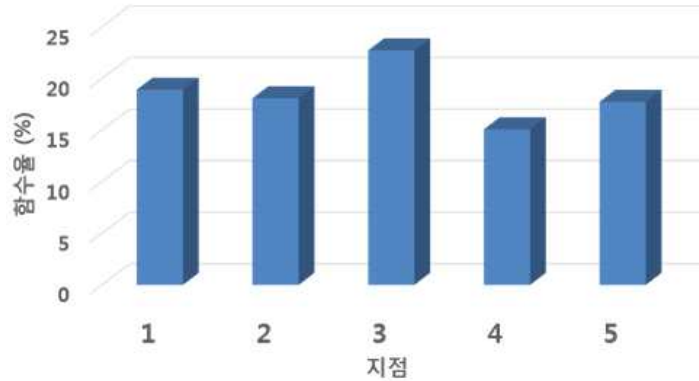
<그림1.12> 경북 안동 고추 주산단지 배토성 측정.

(나2) 함수율 측정 결과는 그림1.13과 같이 18.91%, 18.08%, 22.72%, 15.08%, 17.74% 로 밭흙(유기질토가 혼입되어 있는 흙)의 일반적인 함수율(비) : 19-24% (토질역학, Seo, 2010) 범위 안에 속해 있는 것을 알 수 있었음.



<그림1.13> 토양 함수율 샘플 측정.

밭 지점별 함수율



<그림1.14> 안동시 고추 주산단지 토양의 함수율 측정 결과 그래프.

(4)토양, 작업기의 특성에 따른 경운 작업 분석

(가) 토양의 형상 분석 실험

■ 실내실험을 위해 실험동에 제작된 Soil-bin과 기초 자료들을 활용하여 토양의 특성(함수율, 단위 중량), 작업기의 특성 (Disc harrow 간격, 작업 속도)에 따른 경운 작업이라는 주제를 가지고 첫 번째 실험을 진행하였음.

■ 표1.4는 실험에 설정된 독립 변수를 정리한 표임. 통계분석을 위해 함수율, 작업속도는 3가지 조건으로, 단위 중량은 일반적인 밭 흙 단위 중량(2.3kg/m<sup>3</sup>)을 기준으로 높을 때와 낮을 때로 구분 지었으며, Disc harrow의 간격은 3개일 때 (30cm), 2개일 때 (40cm)로 구분하여 실험을 진행하였음.

■ 함수율은 1300 \* 9000 \* 800의 Soil-bin 규격 안에 담겨있는 많은 양의 흙을 맞추기가 힘들기 때문에 평상시 때 흙, 물을 조금 넣었을 때, 많이 넣었을 때로 3가지로 구분하였음. 또 한 함수율 측정은 1가지 경우 당 5지점을 측정한 후, 평균으로 계산하여 그림1.15와 같이 14%, 24%, 29%로 측정되었음.

<표1.4> 실험에 설정된 독립 변수

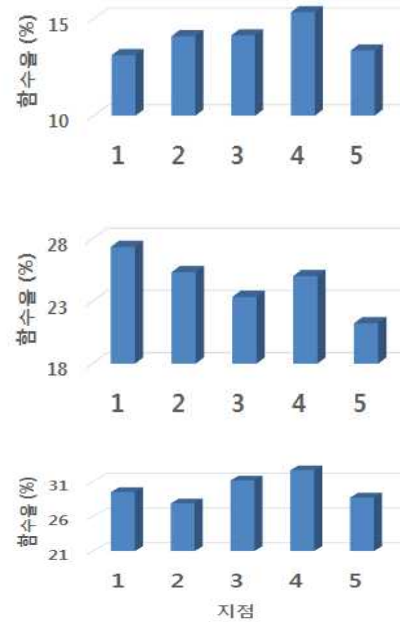
Classification	Independent Variable	Value		
Expt. 1	Moisture Content	15%	25%	30%
Expt. 2	Working Speed	0.2 m/s	0.4 m/s	0.6 m/s
Expt. 3	Unit Weight	2.3 over / less		
Expt. 4	The number of disk		I	II
	Front row :	3	3	2
	Back row :	3	3	2

건조전 중량	건조후 중량	함수량	건조 후 흡증량	함수율
95.262	84.56	10.702	81.511	13.1295163
57.466	50.74	6.726	47.691	14.1032899
51.323	45.34	5.983	42.291	14.1472181
72.202	63.003	9.199	59.954	15.34343
61.505	54.613	6.892	51.564	13.3659142
			average	14.0178737

건조전 중량	건조후 중량	함수량	건조 후 흡증량	함수율
129.917	102.65	27.267	99.601	27.37623116
149.447	119.851	29.596	116.802	25.33860722
80.63	65.94	14.69	62.891	23.35787315
88.601	71.473	17.128	68.424	25.03215246
106.381	88.277	18.104	85.228	21.2418454
			average	24.46934188

건조전 중량	건조후 중량	함수량	건조 후 흡증량	함수율
200.384	155.448	44.936	152.399	29.48575778
110.609	87.175	23.434	84.126	27.85583529
105.825	81.417	24.408	78.368	31.14536546
111.319	84.688	26.631	81.639	32.62043876
142.579	111.465	31.114	108.416	28.69871606
			average	29.96122267

밭 지점별 함수율



<그림1.15> Soil-bin 내 3가지 경우 토양의 함수율 측정 결과 그래프.

- 그림1.16은 작업기가 지나간 후, 토양의 형상에 대해 똑같은 지점에서 최고 높이와 최저 높이를 측정하여 높이 차를 계산한 후, Data를 바탕으로 최적의 조건을 찾아내고자 함.
- 이는 두 번째로 진행할 반전을 분석 실험 데이터에 기초자료로 활용하고, Disc harrow 가 심토의 흙을 표층으로 퍼올리면서 반전 작용을 분석 하고자 함.
- 표1.5는 총 36회의 실험 진행을 한 후, 빨간 테두리 안에 높이의 차를 정리하였고, 표 1.6-1.9는 결과표를 각 독립변수(함수율, 주행속도, 단위 중량, Disc harrow 간격) 별로 정리하여 나타내었음.



<그림1.16> 작업 후 토양의 최고, 최저 높이 측정.

<표1.5> 토양 형상 실험 높이의 차 결과.

Moisture content			14%			24%			29%		
Unit Weight	The number of disk	Working Speed [ m/s ]	0.2	0.4	0.6	0.2	0.4	0.6	0.2	0.4	0.6
			More than 2.3	I	Max H.	16.5	15.3	16.33	13.53	11.3	12.33
Min H.	10.17	9.1			9.87	7.6	4.33	6.73	7.7	5.3	7.2
Gap	6.3	6.2			6.46	5.93	6.97	6.1	5.67	6.8	3.3
More than 2.3	II	Max H.	14.2	13.15	16.75	11.9	13.75	15.1	11.15	9.65	10.25
		Min H.	10.75	11.15	11.1	9.25	7.55	7.25	5.05	5.05	5.55
		Gap	3.45	2	5.65	2.65	6.2	7.85	6.1	4.6	4.7
Less than 2.3	I	Max H.	17.33	17.57	17.93	14.77	13.87	12.37	13.43	14.23	11.8
		Min H.	7.33	7.97	9.4	6.53	6.3	4.57	4.33	5.53	4.8
		Gap	9.5	9.6	8.53	8.24	7.57	8.3	9.1	8.7	7
Less than 2.3	II	Max H.	16.25	13.05	19.3	15.5	13.9	15.05	10.2	9.95	12
		Min H.	9.45	7.28	10.05	7.8	9.05	9.25	5.45	5.85	4.75
		Gap	6.8	5.77	9.25	7.7	4.85	5.8	4.75	4.1	7.25

◆ Total of 36 times experiments

■ 표1.6은 함수율 별로 높이의 차 평균을 나타낸 표임. 함수율이 14%일 때 높이의 차 평균은 7.5cm, 24%일 때 6.51cm, 29%일 때 5.95cm로 측정 되었는데, 함수율이 높아질수록 최고, 최저 높이의 차는 줄어드는 추세를 보임. 이는 함수율이 증가하면서, 토양사이의 내부 점착력이 증가하면서 수직응력이 증가함에 따라 심토의 흠을 표층으로 많이 퍼올리지 못한 것으로 판단됨.

<표1.6> 토양의 형상 분석 실험 토양의 함수율 별 결과

Moisture content			14%			24%			29%		
Unit Weight	The number of disk	Working Speed [ m/s ]	0.2	0.4	0.6	0.2	0.4	0.6	0.2	0.4	0.6
			More than 2.3	I	Max H.	16.5	15.3	16.33	13.53	11.3	12.33
Min H.	10.17	9.1			9.87	7.6	4.33	6.73	7.7	5.3	7.2
Gap	6.3	6.2			6.46	5.93	6.97	6.1	5.67	6.8	3.3
More than 2.3	II	Max H.	14.2	13.15	16.75	11.9	13.75	15.1	11.15	9.65	10.25
		Min H.	10.75	11.15	11.1	9.25	7.55	7.25	5.05	5.05	5.55
		Gap	3.45	2	5.65	2.65	6.2	7.85	6.1	4.6	4.7
Less than 2.3	I	Max H.	17.33	17.57	17.93	14.77	13.87	12.37	13.43	14.23	11.8
		Min H.	7.33	7.97	9.4	6.53	6.3	4.57	4.33	5.53	4.8
		Gap	9.5	9.6	8.53	8.24	7.57	8.3	9.1	8.7	7
Less than 2.3	II	Max H.	16.25	13.05	19.3	15.5	13.9	15.05	10.2	9.95	12
		Min H.	9.45	7.28	10.05	7.8	9.05	9.25	5.45	5.85	4.75
		Gap	6.8	5.77	9.25	7.7	4.85	5.8	4.75	4.1	7.25

7.5cm

6.51cm

5.95cm

■ 표1.7은 작업속도 별 높이의 차 평균을 나타낸 표임. 작업속도가 일 때 6.31cm, 일 때 6.95cm, 일 때 7.18cm로 측정 되었고, 속도가 증가할수록 최고, 최저 높이의 차는 증가하는 추세를 보임. 이는 작업속도가 증가함에 따라 심토를 표층으로 많이 퍼올린 것으로 반전 작업이 더 잘 되었다는 것을 알 수 있었음.



<표1.7> 토양의 형상 분석 실험 작업속도 별 결과

Moisture content			14%			24%			29%		
Unit Weight	The number of disk	Working Speed [ m/s ]	0.2	0.4	0.6	0.2	0.4	0.6	0.2	0.4	0.6
		More than 2.3	I	Max H.	16.5	15.3	16.33	13.53	11.3	12.83	13.37
Min H.	10.17			9.1	9.87	7.6	4.33	6.73	7.7	5.3	7.2
Gap	6.3			6.2	6.46	5.93	6.97	6.1	5.67	6.8	3.3
II	Max H.		14.2	13.15	16.75	11.9	13.75	15.1	11.15	9.65	10.25
	Min H.		10.75	11.15	11.1	9.25	7.55	7.25	5.05	5.05	5.55
	Gap		3.45	7	5.65	2.65	6.2	7.85	6.1	4.6	4.7
Less than 2.3	I	Max H.	17.33	17.57	17.93	14.77	13.87	12.87	13.43	14.23	11.8
		Min H.	7.83	7.97	9.4	6.53	6.3	4.57	4.83	5.33	4.8
		Gap	9.5	9.6	8.53	8.24	7.57	8.3	8.6	8.7	7
	II	Max H.	16.25	16.05	19.8	15.5	13.9	15.05	10.2	9.95	12
		Min H.	9.45	7.28	10.05	7.8	9.05	9.25	5.45	5.85	4.75
		Gap	6.8	10.8	9.75	7.7	4.85	5.8	4.75	4.1	7.25

6.31cm

Moisture content			14%			24%			29%		
Unit Weight	The number of disk	Working Speed [ m/s ]	0.2	0.4	0.6	0.2	0.4	0.6	0.2	0.4	0.6
		More than 2.3	I	Max H.	16.5	15.3	16.33	13.53	11.3	12.83	13.37
Min H.	10.17			9.1	9.87	7.6	4.33	6.73	7.7	5.3	7.2
Gap	6.3			6.2	6.46	5.93	6.97	6.1	5.67	6.8	3.3
II	Max H.		14.2	13.15	16.75	11.9	13.75	15.1	11.15	9.65	10.25
	Min H.		10.75	11.15	11.1	9.25	7.55	7.25	5.05	5.05	5.55
	Gap		3.45	7	5.65	2.65	6.2	7.85	6.1	4.6	4.7
Less than 2.3	I	Max H.	17.33	17.57	17.93	14.77	13.87	12.87	13.43	14.23	11.8
		Min H.	7.83	7.97	9.4	6.53	6.3	4.57	4.83	5.33	4.8
		Gap	9.5	9.6	8.53	8.24	7.57	8.3	8.6	8.7	7
	II	Max H.	16.25	16.05	19.8	15.5	13.9	15.05	10.2	9.95	12
		Min H.	9.45	7.28	10.05	7.8	9.05	9.25	5.45	5.85	4.75
		Gap	6.8	10.8	9.75	7.7	4.85	5.8	4.75	4.1	7.25

6.95cm

Moisture content			14%			24%			29%		
Unit Weight	The number of disk	Working Speed [ m/s ]	0.2	0.4	0.6	0.2	0.4	0.6	0.2	0.4	0.6
		More than 2.3	I	Max H.	16.5	15.3	16.33	13.53	11.3	12.83	13.37
Min H.	10.17			9.1	9.87	7.6	4.33	6.73	7.7	5.3	7.2
Gap	6.3			6.2	6.46	5.93	6.97	6.1	5.67	6.8	3.3
II	Max H.		14.2	13.15	16.75	11.9	13.75	15.1	11.15	9.65	10.25
	Min H.		10.75	11.15	11.1	9.25	7.55	7.25	5.05	5.05	5.55
	Gap		3.45	7	5.65	2.65	6.2	7.85	6.1	4.6	4.7
Less than 2.3	I	Max H.	17.33	17.57	17.93	14.77	13.87	12.87	13.43	14.23	11.8
		Min H.	7.83	7.97	9.4	6.53	6.3	4.57	4.83	5.33	4.8
		Gap	9.5	9.6	8.53	8.24	7.57	8.3	8.6	8.7	7
	II	Max H.	16.25	16.05	19.8	15.5	13.9	15.05	10.2	9.95	12
		Min H.	9.45	7.28	10.05	7.8	9.05	9.25	5.45	5.85	4.75
		Gap	6.8	10.8	9.75	7.7	4.85	5.8	4.75	4.1	7.25

7.18cm

■ 표1.8은 토양의 단위 중량 별 높이의 차 평균을 나타낸 표임. 단위중량이 2.3 이상일 때 5.66cm, 이하일 때 7.65cm로 측정 되었고, 단위중량이 감소할수록 최고, 최저 높이의 차는 증가하는 추세를 보임. 이는 단위중량이 감소함에 따라 즉, 토양들 사이의 다짐도가 약해짐에 따라 심토를 표층으로 많이 퍼올린 것으로 반전 작업이 더 잘 되었다는 것을 알 수 있었음.

<표1.8> 토양의 형상 분석 실험 토양의 단위중량 별 결과

Moisture content			14%			20%			25%		
Working Speed [ m/s ]											
Unit Weight	The number of disk		0.2	0.4	0.6	0.2	0.4	0.6	0.2	0.4	0.6
More than 2.3	I	Max H.	16.5	15.3	16.33	13.53	11.3	12.33	13.37	12.1	10.5
		Min H.	10.17	9.1	9.87	7.6	4.33	6.73	7.7	5.3	7.2
		Gap	6.3	6.2	6.46	5.93	6.97	6.1	5.67	6.8	3.3
More than 2.3	II	Max H.	14.2	18.15	16.75	11.9	13.75	15.1	11.15	9.65	10.25
		Min H.	10.75	11.15	11.1	9.25	7.55	7.25	5.05	5.05	5.55
		Gap	3.45	7	5.65	2.65	6.2	7.85	6.1	4.6	4.7
Less than 2.3	I	Max H.	17.33	17.57	17.93	14.77	13.87	12.87	13.43	14.23	11.8
		Min H.	7.83	7.97	9.4	6.53	6.3	4.57	4.83	5.53	4.8
		Gap	9.5	9.6	8.53	8.24	7.57	8.3	8.6	8.7	7
Less than 2.3	II	Max H.	16.25	18.05	19.8	15.5	13.9	15.05	10.2	9.95	12
		Min H.	9.45	7.28	10.05	7.8	9.05	9.25	5.45	5.85	4.75
		Gap	6.8	10.8	9.75	7.7	4.85	5.8	4.75	4.1	7.25

5.66cm

7.65cm

■ 표1.9는 Disc harrow 사이 간격 별 높이의 차 평균을 나타낸 표임. I의 경우는 각 pipe의 앞 줄, 뒷 줄 각각 3개씩 30cm 간격으로 설치하였고, II의 경우는 각각 2개씩 40cm 간격으로 설치하였음. Disc harrow 간격이 30cm일 때 7.21, 40cm일 때 6.11cm로 측정 되었고, Disc harrow의 간격이 감소할수록 최고, 최저 높이의 차는 증가하는 추세를 보임. 이는 간격이 좁을수록 반전 작용이 더 우수하다는 것을 알 수 있음

■ 형상실험 독립변수 별로 정리한 표를 보면 알 수 있듯이 속도가 높을수록, 토양의 다짐도, 함수율이 낮을수록 Disc harrow의 간격이 좁을수록 반전작용이 더 우수 하다는 것을 알 수 있었음.

■ 하지만 실험 횟수와 독립변수들의 세분화가 적기 때문에 이러한 Data 만으로는 판단 짓기 어려움. 따라서 반복 실험과 변수들의 더 많은 세분화가 필요할 것으로 보임.

<표1.9> 토양의 형상 분석 실험 Disc harrow의 간격별 결과

Moisture content			14%			20%			25%		
Working Speed [ m/s ]											
Unit Weight	The number of disk		0.2	0.4	0.6	0.2	0.4	0.6	0.2	0.4	0.6
More than 2.3	I	Max H.	16.5	15.3	16.33	13.53	11.3	12.33	13.37	12.1	10.5
		Min H.	10.17	9.1	9.87	7.6	4.33	6.73	7.7	5.3	7.2
		Gap	6.3	6.2	6.46	5.93	6.97	6.1	5.67	6.8	3.3
More than 2.3	II	Max H.	14.2	18.15	16.75	11.9	13.75	15.1	11.15	9.65	10.25
		Min H.	10.75	11.15	11.1	9.25	7.55	7.25	5.05	5.05	5.55
		Gap	3.45	7	5.65	2.65	6.2	7.85	6.1	4.6	4.7
Less than 2.3	I	Max H.	17.33	17.57	17.93	14.77	13.87	12.87	13.43	14.23	11.8
		Min H.	7.83	7.97	9.4	6.53	6.3	4.57	4.83	5.53	4.8
		Gap	9.5	9.6	8.53	8.24	7.57	8.3	8.6	8.7	7
Less than 2.3	II	Max H.	16.25	18.05	19.8	15.5	13.9	15.05	10.2	9.95	12
		Min H.	9.45	7.28	10.05	7.8	9.05	9.25	5.45	5.85	4.75
		Gap	6.8	10.8	9.75	7.7	4.85	5.8	4.75	4.1	7.25

7.21cm

6.11cm

(나) 토양의 반전을 분석실험

■ 두 번째 실험으로 반전을 실험을 진행하였음. 반전율은 작업시 심층과 표층 토양의 혼합 정도를 나타내는 척도로써, 독립변수는 첫 번째 형상분석 실험과 동일하게 토양(함수율, 단위중량), 작업기(Disc harrow 간격, 작업 속도)의 특성 조건에 따라 작업을 분석하였음.

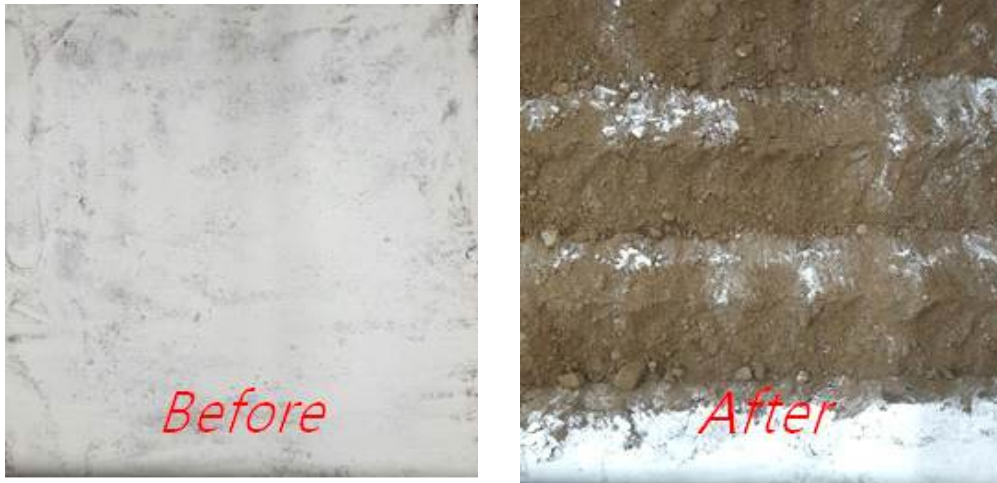
■ 실험 방법은 Disc harrow가 Disc Harrow가 작업하는 경로에 맞춰 100\*100[cm] 규격의 프레임을 제작하여 석회가루를 산포한 후에 그림1.17과 같이 전, 후 사진 비교를 위해 피사체와의 거리를 일정한 높이와 위치에 고정시켜 촬영하였으며 빛의 영향을 많이 받는

영상처리 분석을 위해서 야간에 실험을 진행하였음.

- 통계 분석을 위해 그림1.18과 같이 한 실험당 3번의 석회가루를 산포하여 실험하였음.
- 결과 분석은 Matlab을 이용한 영상처리 방식으로 경운 작업 전, 후 석회가루 분포도를 비교하여 반전율을 계산하였고, 계산식은 Eq. 2와 같음.

$$\epsilon_{versionRatio} : \frac{A_a - A_b}{A_a} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

Where,  $A_b$  : 작업 후 석회가루 면적( $m^2$ ),  $A_a$  : 작업 전 석회가루 면적( $m^2$ )



<그림1.17> 경운 작업 전, 후 석회가루 산포 사진 비교 분석.

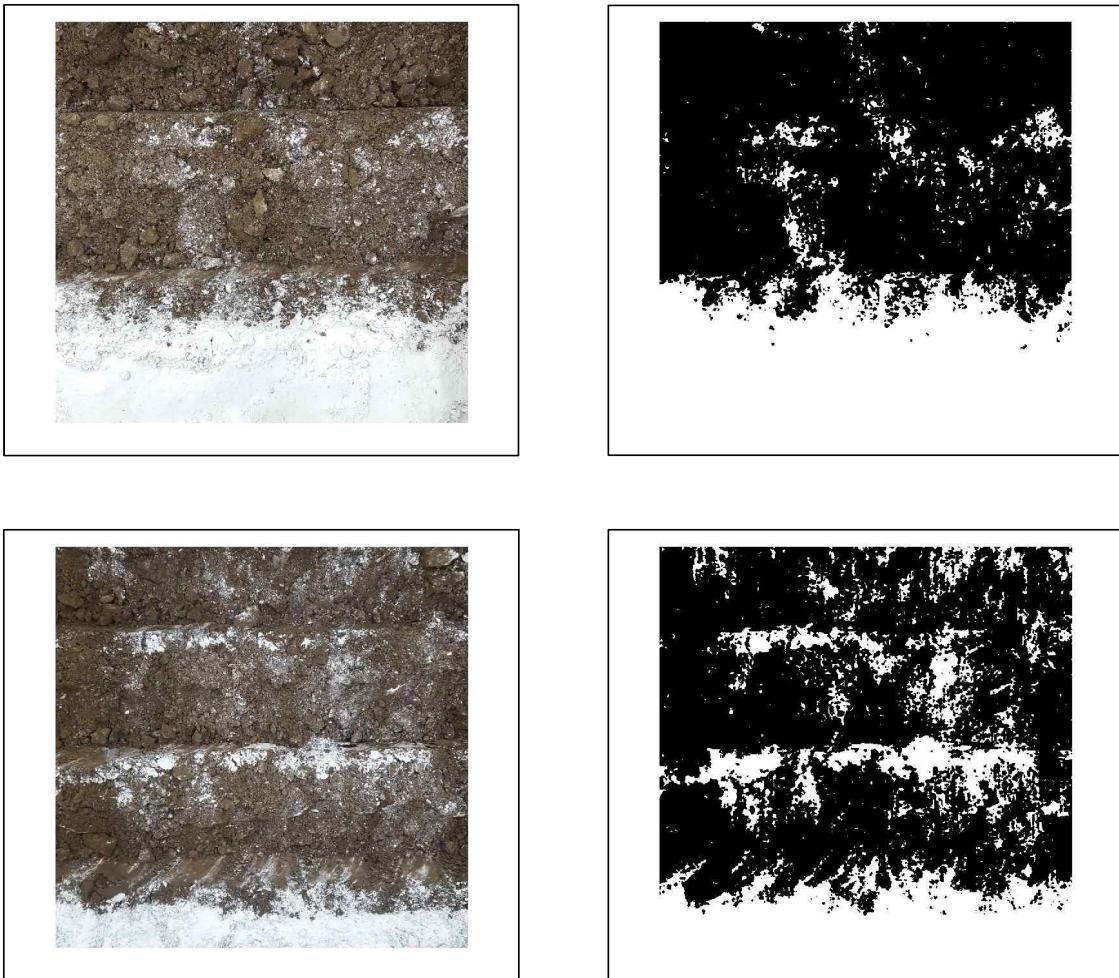


<그림1.18> 1회 실험당 3반복 산포.

■ 영상처리는 상용 공학 소프트웨어인 MATLAB 2012a를 이용하여 처리함. 영상처리 방법은 아래와 같음.

- ① 프로그램 내에 영상 불러오기
- ② RGB 색공간 포맷을 CIE L\*a\*b 색공간 포맷으로 변환
- ③ CIE L\*a\*b 색공간 중 a\* 채널 분리
- ④ CIE L\*a\*b 색공간의 a\* 채널을 사용한 이유는 색공간별 채널의 히스토그램을 분석한 결과 CIE L\*a\*b 색공간의 a\* 채널에서 석회가루와 토양의 분할성이 높았기 때문임.

- ⑤ Otsu's threshold를 이용하여 a\* 채널을 이진화 처리함 (0에서 255단계로 표현되는 픽셀 밝기 값을 검은색인 0과 흰색인 1로 변환하는 작업)
  - ⑥ Otsu's threshold를 사용한 이유는 다양한 광 조건에 강력한 적응성을 가지기 때문
  - ⑦ 과 분할 현상을 제거하기 위해 노이즈를 제거함
  - ⑧ 노이즈가 제거된 이진화 영상의 검은색의 픽셀 수와 흰색의 픽셀 수를 각각 계산함
  - ⑨ 각각의 픽셀수를 이용하여 반전율 (Inversion Ratio)을 계산함
- 위와 같이 분석법을 통해 그림1.19와 같이 작업 후 사진을 비교 분석하여 경운 작업 전 석회가루가 사라진 픽셀 수의 정도를 계산 하여 반전율을 나타냄. 표1.10은 실험 별로 Test의 숫자를 부여하여 독자가 이해하기 쉽도록 정리한 표이고, 표1.11은 실험 별 토양 및 석회가루의 픽셀수를 정리한 표임.



<그림1.19> 경운 작업 후 영상처리 분석 사진 비교.

<표1.10> 독립변수 별 실험 정리

Moisture Content [%]		15			25			30		
Working speed [m/s]		0.2	0.4	0.6	0.2	0.4	0.6	0.2	0.4	0.6
Unit Weight [kg/m <sup>3</sup> ]	Spacing of disk [cm]									
> 2.3	30	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3
	40	No.4	No.5	No.6	No.4	No.5	No.6	No.4	No.5	No.6
< 2.3	30	No.7	No.8	No.9	No.7	No.8	No.9	No.7	No.8	No.9
	40	No.10	No.11	No.12	No.10	No.11	No.12	No.10	No.11	No.12

<표1.11> 처리별 토양 및 석회가루의 픽셀 수(전체 픽셀 수 = 921600 pixels)

Test no.	repeat	15%		25%		30%	
		Soil	Lime	Soil	Lime	Soil	Lime
1	1	666215	255385	694468	227132	712993	208607
	2	727772	193828	760373	161227	702668	218932
	3	712405	209195	741931	179669	693277	228323
	mean	702130.7	219469.3	732257.3	189342.7	702979.3	218620.7
2	1	693133	228467	703353	218247	689599	232001
	2	784172	137428	753848	167752	718439	203161
	3	777598	144002	767592	154008	714237	207363
	mean	751634.3	169965.7	741597.7	180002.3	707425.0	214175.0
3	1	713163	208437	717961	203639	709343	212257
	2	796121	125479	786624	134976	712097	209503
	3	784303	137297	780042	141558	729027	192573
	mean	764529.0	157071.0	761542.3	160057.7	716822.3	204777.7
4	1	458990	462610	537412	384188	561118	360482
	2	549870	371730	565971	355629	541665	379935
	3	533142	388458	591429	330171	598482	323118
	mean	514000.7	407599.3	564937.3	356662.7	567088.3	354511.7
5	1	495365	426235	502438	419162	477993	443607
	2	560068	361532	542096	379504	529479	392121
	3	537311	384289	608079	313521	549166	372484
	mean	530914.7	390685.3	550871.0	370729.0	518879.3	402737.3
6	1	509725	411875	533705	387895	521907	399693
	2	563860	357740	562889	358711	565127	356473
	3	580645	340955	581532	340068	573466	348134
	mean	551410.0	370190.0	559375.3	362224.7	553500.0	368100.0
7	1	658331	263269	703225	218375	698776	222824
	2	730297	191303	753334	168266	768670	152930
	3	706433	215167	790580	131020	673016	248584
	mean	698353.7	223246.3	749046.3	172553.7	713487.3	208112.7
8	1	700148	221452	754115	167485	682364	239236
	2	737393	184207	801885	119715	759118	162482
	3	786651	134949	731152	190448	759485	162115
	mean	741397.3	180202.7	762384.0	159216.0	733655.7	187944.3
9	1	709294	212306	650243	271357	703341	218259
	2	773854	147746	725401	196199	712214	209386
	3	784508	137092	667604	253996	730951	190649
	mean	755885.3	165714.7	681082.7	240517.3	715502.0	206098.0
10	1	509725	411875	462453	459147	474265	447335
	2	563860	357740	575546	346054	562246	359354
	3	580645	340955	568360	353240	596949	324651
	mean	551410.0	370190.0	535453.0	386147.0	544486.7	377113.3

11	1	458648	462952	502173	419427	538052	383548
	2	484309	437291	566798	354802	576070	345530
	3	511632	409968	596905	324695	565793	355807
	mean	484863.0	436737.0	555292.0	366308.0	559971.7	361628.3
12	1	450171	471429	459160	462440	515429	406171
	2	487189	434411	610806	310794	589913	331687
	3	563641	357959	648245	273355	597596	324004
	mean	500333.7	421266.3	572737.0	348863.0	567646.0	353954.0

■ 표1.12, 1.13은 회당 3번 반전율을 평균내서 정리한 표임. 반전율을 함수율 별로 비교, 분석하였을 때는 25%일 때가 70.17%로 가장 높은 반전율을 보였으며 30%, 15% 순으로 측정되었음. 이는 일반적인 밭 흙 함수율 20-25% 범위를 보일 때 가장 효율적인 작업이 된다는 것을 알 수 있었음. 속도 별로 분석 하였을 때도 일반적으로 다수의 구간에서 속도가 빨라질수록 작업속도가 증가하는 것을 알 수 있었음. 하지만 몇몇 구간에서는 0.2 또는 0.4m/s일 때가 가장 반전율이 높았는데, 실험적 or 결과 분석과정에서 오류가 생겼을 가능성이 있음. 디스크 헤로우의 간격은 모든 구간에서 30cm일 때가 40cm일 때보다 반전율이 더 높은 것으로 측정되었음. 또 한 단위중량의 경우에는 토양의 단위중량이 일반적인 기준인 2.3[kg/m<sup>3</sup>] 보다 이상일 때 69.33%로 더 높은 반전율을 보였음. 2차년도에는 반복실험의 횟수를 늘리고 실험적 오차 및 더 세밀한 결과분석이 필요할 것으로 판단 됨.

<표1.12> 평균 픽셀 수를 이용한 처리별 토양 반전율 계산 결과

Test No.	Inversion Ratio [%]		
	15%	25%	30%
1	76	79	76
2	82	80	77
3	83	83	78
4	56	61	62
5	58	60	56
6	60	61	60
7	76	81	77
8	80	83	80
9	82	74	78
10	60	58	59
11	53	60	61
12	54	62	62
Mean	68.33 %	70.17 %	68.83 %

<표1.13> 결과 데이터 종합

Moisture Content [%]		15			25			30			Mean [%]
Working speed [m/s]		0.2	0.4	0.6	0.2	0.4	0.6	0.2	0.4	0.6	
Unit Weight [kg/m <sup>3</sup> ]	Spacing of disk [cm]										
> 2.3	30	76	82	83	79	80	83	76	77	78	69.33
	40	56	58	60	61	60	61	62	56	60	
< 2.3	30	76	80	82	81	83	74	70	80	78	68.5
	40	60	53	54	58	60	62	59	61	62	

(5)연구요약

고추 주산단지의 토양조건을 샘플조사하였으며, 보다 다양한 형태의 실험조건을 구비하여 디스크헬로우의 작업성능을 개선하고자 토양조를 설계제작하였다. 이를 통하여 작업기의 대표적인 작업성능인 반전율에 대한 연구를 수행하였으며, 영상처리를 통하여 반전율을 추정하는 연구를 최초로 수행하였다

또한 디스크해로우의 작업성능을 평가하기 위해서 작업속도, 토양함수율 등에 따른 작업의 결과를 측정분석하였으며, 2차년도의 정량적 해석을 위한 기초자료로 활용하였다.



다. 2차년도 수행내역 및 결과

(1) 토양 조건에 따른 헬로우 작업 (반전율, 파쇄율, 작업깊이)

(가) 연구 내용

기본적으로 헬로우에 의한 토양의 반전 및 파쇄는 경운, 정지 작업을 행하고자 하는 가장 큰 의미가 있기 때문에 보다 구체적인 반전에 대한 실험을 추가하였다.

따라서, 경운 및 정지작업은 농작업의 에너지 및 경영에도 많은 영향을 미친다. 따라서 이러한 농작업의 작업성능 등에 미치는 변수들간의 상관관계를 분석하는 것은 매우 중요하다. 그러므로 본 실험에서는 토양의 함수율에 따른 디스크헬로우 작업성능에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

이를 위해 토양의 함수율 조건 3수준(16.5%, 26.5%, 36.5%), 디스크 간격 3수준(20cm, 30cm, 40cm) 및 작업기 속도 3수준(0.2m/s, 0.3m/s, 0.4m/s)으로 설정하여 아래 표2.1과 같이 실험설계하여 실험을 진행하였다.

<표2.1> Experimental design

Moisture content (%)		16.5			26.5			36.5		
Machine speed (m/s)		0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4
Disc Spacing (cm)	20	T1	T2	T3	T10	T11	T12	T19	T20	T21
	30	T4	T5	T6	T13	T14	T15	T22	T23	T24
	40	T7	T8	T9	T16	T17	T18	T25	T26	T27

그리고, 그림2.1은 본 실험에 사용한 장치를 나열한 것이다. 먼저 실험을 위한 토양조 및 반전율의 자동해석을 위한 카메라, 다양한 실험 장치를 활용하여 실험을 진행하였다.



<그림2.1> Materials used for the experiment

이러한 실험설계를 통하여 위의 실험 장치를 이용하여 먼저 토양반전율(Soil inversion)을

측정하였다, 그리고, 토양의 파쇄율(Soil Clod breakage)을 측정하였으며. 마지막으로 토양의 작업깊이(Tillage cutting depth) 등의 측정하였다.

■ 반전율

토양 반전율은 경운작업 후, 기존의 토양이 상하부가 위치가 변한 상태를 의미하며, 이는 작물의 경작과정에서 식물의 뿌리 내림등에 꼭 필요한 작업중에 하나이다. 이를 정량화한 것이 반전율이며, 이것의 측정에 대해서는 물리적으로 정확하게 측정하는 것은 쉽지않다. 따라서 최근의 영상처리 기술의 이용하여 그 비율을 추정하고자 하였다.

토양의 반전비율의 측정을 위해서 실험을 위해 사용한 디스크 헬로우의 작업공간내의 토양 위층에 석회석 가루를 3반복으로 도포하여 작업전에는 흰색이 되도록 하였으며, 이를 작업전 영상으로 획득하였다. 이는 디스크간격 20cm, 30cm, 40cm 디스크 간격의 경우, 각각 70cmx180cm, 90cmx180cm, 130cmx180cm 영역을 사용하였다.

카메라는 포인트그레이(Model : FL2G-13S2M-C1394)을 사용하였으며, 렌즈의 초점거리는 8.0M로 픽셀의 위치가 일정하게 고정되도록 카메라를 시스템본체에 고정시켰다. 이렇게 카메라를 고정하여 석회석으로 도포된 토양표면을 촬영하였으며, 작업후에 같은 위치에서 같은 영상을 획득하였다.

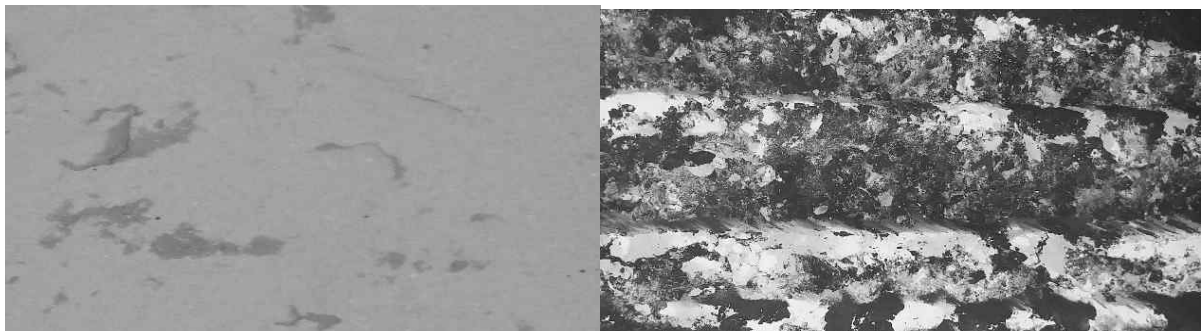
그림2.2는 카메라의 위치와 그림2.3은 작업을 위한 토양조의 작업상황을 나타낸 그림이다.



<그림2.2> Camera fixed for taking images

<그림2.3> Soil after disc harrow tillage

그림2.4는 카메라를 이용하여 작업전과 작업후의 그레이 영상을 나타낸 그림이다.

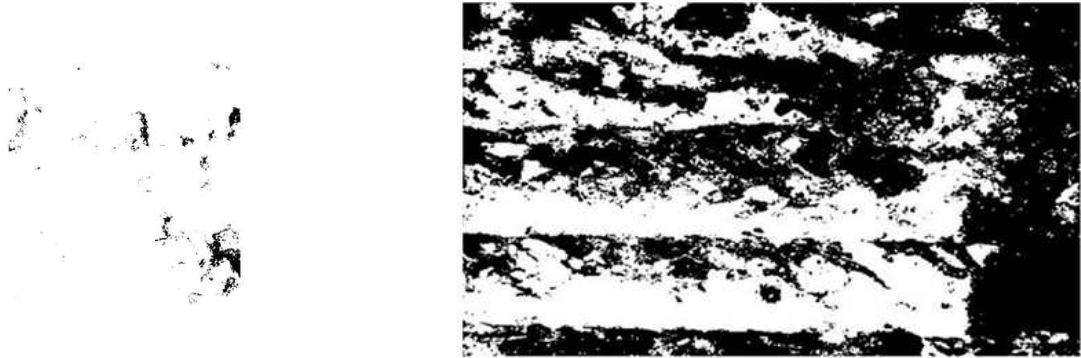


(a) grey Image of limed soil before tillage

(b) grey Image of limed soil after tillage

<그림2.4> Images captured by the camera before and after tillage for math lab processing

위의 영상을 이용하여 MATLAB 2017Ra을 이용하여 각각의 픽셀값에서 임계값을 정리하여 이진화하였다. 그림2.5는 이진화한 영상을 나타낸 그림이다.

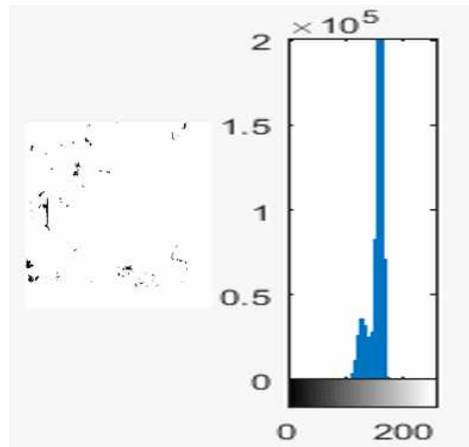


(a) Before tillage (Binarized Image)

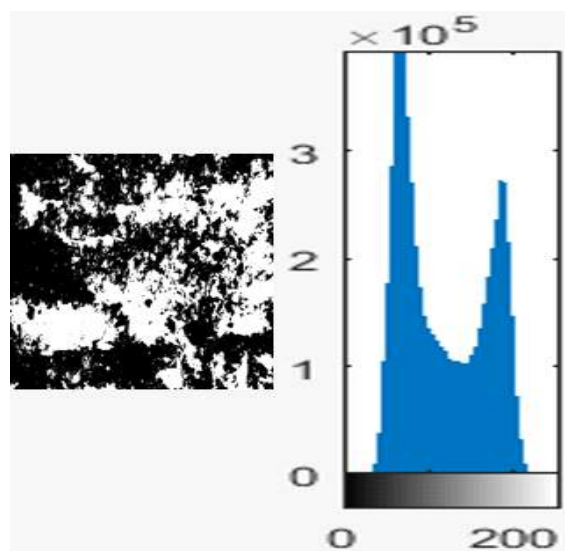
(b) After tillage (Binarized image)

<그림2.5> images of processes in soil inversion ratio determination

이렇게 획득한 영상은 이진화와 히스토그램을 이용하여 그림2.6과 같이 변환하여 처리하였다.



(a) Histogram of binarized image \_ before tillage



(b) Histogram of binarized image \_ after tillage

<그림2.6> images of processes in soil inversion ratio determination

이러한 결과를 이용하여 연산값을 아래 식 (1)과 같이 반전율을 계산하였다.

Soil Inversion Ratio (Ir)

$$Ir = \frac{Nwb - Nwa}{Nwb} \text{-----} \quad (가)$$

Nwa : 작업 전 그레이 수준 200이상 픽셀수

Nwb : 작업 후 그레이 수준 200이상 픽셀수

■ 파쇄율

실험에 이용한 토양을 실험전에 파쇄되기 전의 토양상태에서 덩어리가 포함된 토양을 가로세로 40cm\*40cm를 7cm깊이까지 취하여 일정용기에 넣어 25℃ ~ 32℃의 공기에서 24시간 건조시켰다.

건조된 토양(덩어리 포함)을 크기 20mmx20mm의 체(mush)에서 30초 동안 수동으로 체질하였다. 20mm체를 통과되지 않은 토양의 무게를 측정하였으며, 이를 이용하여 다음 식 (2)를 이용한 토양의 파쇄율을 측정하였다. (Lee et al (2003))

Soil clod breakage ratio (Sb)

$$Sb = \frac{Wf - Wb}{Wf} \text{-----} \quad (나)$$

Wf : 전체 토양 무게(kg)

Wb : 20mm체에 남은 무게(kg)

위와 같은 방법으로 토양의 파쇄율을 측정하였으며, 그림2.7은 파쇄율을 측정하기 위한 과정에서 헬로우에 의한 작업 전후의 토양상채를 나타낸 그림이다.



(a) Soil clods after tillage operation



(b) Soil clods greater than 20mm sieve mesh (>20mm)



(c) soil clods on sieve mesh



(d) Soil clods greater than 20mm sieve mesh (>20mm)

<그림2.7> Soil clods before and after sieving through 20mm x20mm sieve mesh

■ 작업깊이

작업깊이는 임의로 선택한 10지점에서 작업한 바닥의 최하단에서 표면까지의 높이를 작업깊이로 설정하였으며, 전체 지점에서 측정한 값의 평균을 이용하였다



(a) Tillage depth direction



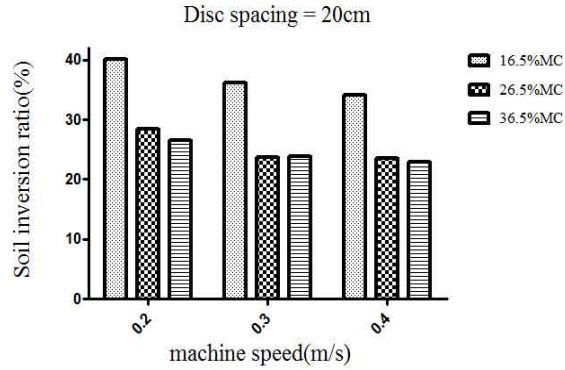
(b) Steel tape for measuring depth

<그림2.8> Images of tillage cutting depth

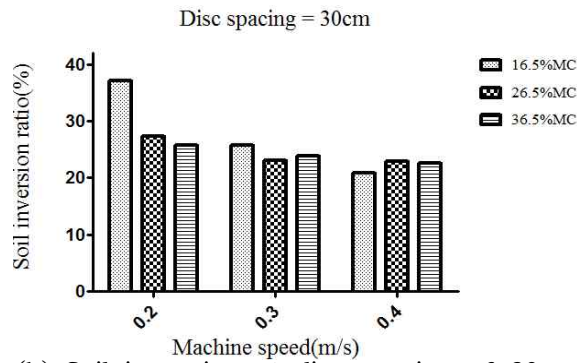
(나) 연구 결과

■ 반전율

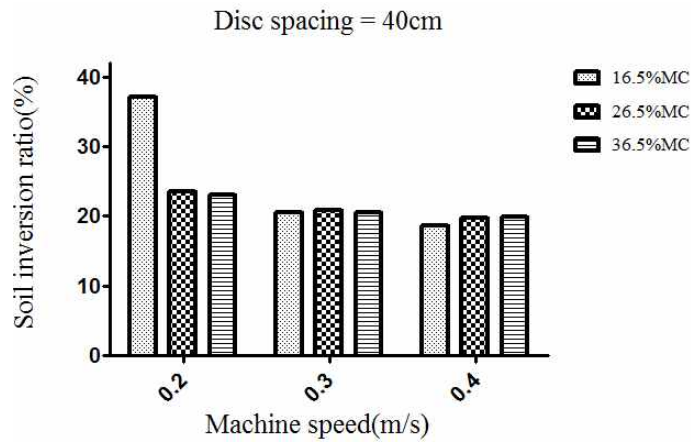
토양함수율, 작업속도 및 작업을 위한 디스크의 간격 등에 따른 반전율을 측정한 결과 다음과 같은 결과를 얻을수 있었다. 그림2.9는 작업속도에 따른 반전율을 나타낸 그림이다.



(a) Soil inversion at disc spacing of 20cm



(b) Soil inversion at disc spacing of 30cm



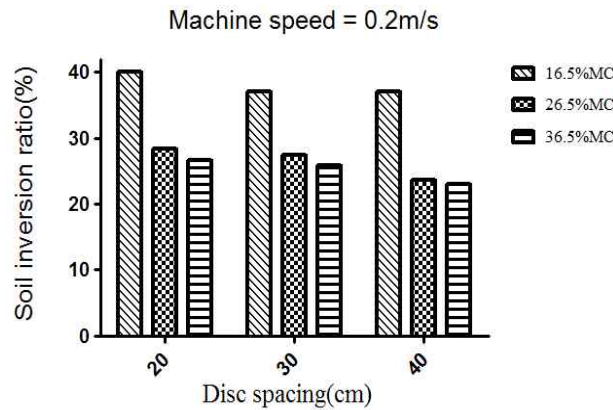
(c) Soil inversion at disc spacing of 40cm

<그림2.9> Soil inversion ratio at increasing machine speed at various constant disc spacing

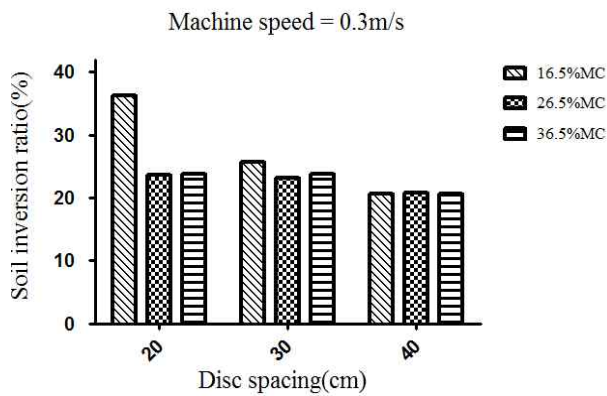
그 결과 작업속도가 증가함에 따라 반전율도 증가하는 것을 알 수 있었으며, 전체적으로는 작업속도가 0.2m/s에서 토양함수율이 16.5%일 때, 반전율이 상대적으로 높은 것을 알 수 있었다. 이는 상대적으로 저속에서 토양의 작업깊이가 7cm이상으로 작업이 진행되는 등의 영향인 것으로 판단된다.

또한 토양수분이 증가함에 따라 반전율에도 영향을 미치는 것을 알 수 있으며, 이러한 결과는 작업과정에서 토양함수율은 매우 중요한 요소인 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 토

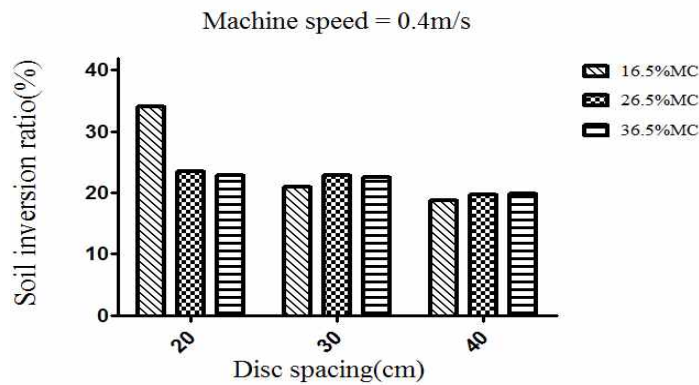
양함수율에 따른 작업과정에서 토양과의 상대적인 압력을 파악할 필요가 있다. 또한 그림 2.10은 작업을 위한 디스크의 간격에 따른 반전율을 비교하기 위해 나타낸 그림이다.



(a) Soil inversion at machine speed of 0.2m/s



(b) Soil inversion at machine speed of 0.3m/s



(c) Soil inversion at machine speed of 0.4m/s

<그림 2.10> Soil inversion ratio at increasing machine speed at various constant disc spacing

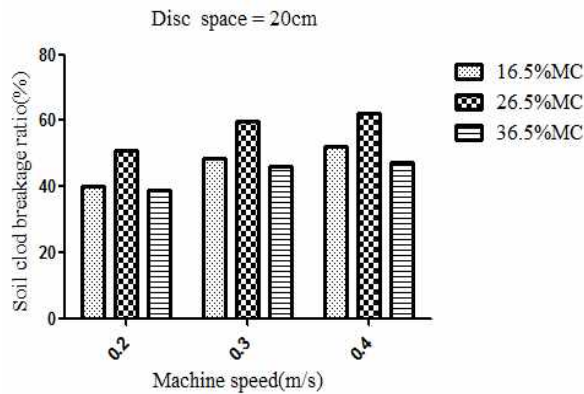
그 결과 디스크의 간격이 증가하면 반전율은 감소하는 것을 알 수 있었다. 이는 작업간격이 좁은 경우, 작업에 따른 상대적인 영향이 있는 것으로 판단되며, 반전율을 향상시키기 위해서는 상대적으로 20cm의 디스크 간격이 반전율을 높이는 데 효과가 있는 것으로 판단됩니다. 그러나 이러한 부분은 실제 작업에서는 작업에 따른 소요동력이 증가하기 때문에 다양한 상황을 고려하여 판단하여야 할 것으로 생각합니다. 따라서 본 실험을 보완하기

위해서 실험상황별로 작업과정에서 견인력 등을 측정할 필요가 있다.

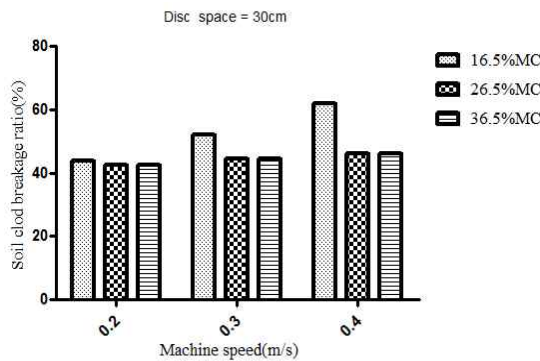
또한, 반전율이 가장 낮은 토양함수율은 모든 조건에서 36.5%가 가장 낮게 나타났으며, 이는 반전율은 토양의 함수율이 높은 상태에서는 불리한 것을 의미한다. 따라서 높은 함수율에서는 토양과 디스크 사이의 접촉력을 높여서 작업과정에서 에너지의 전달이 멀리까지 일어나지 않기 때문에 반전율이 낮은 것으로 판단된다.

■ 파쇄율

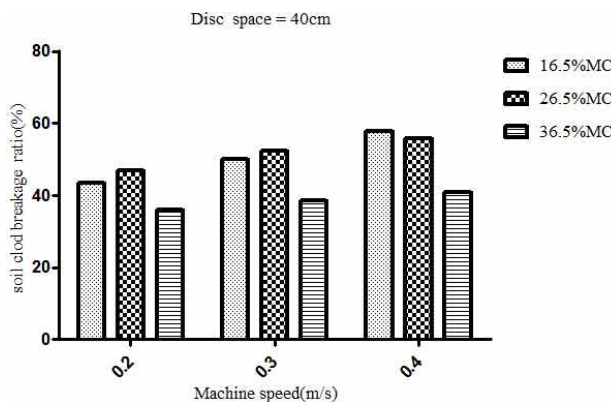
토양함수율, 작업속도 및 작업을 위한 디스크의 간격 등에 따른 토양의 파쇄율을 측정된 결과, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 먼저, 그림 1.11은 작업속도에 따른 파쇄율을 나타낸 그림이다.



(a) Soil clod breakage at disc spacing of 20cm



(b) Soil clod breakage at disc spacing of 30cm



(c) Soil clod breakage at disc spacing of 40cm

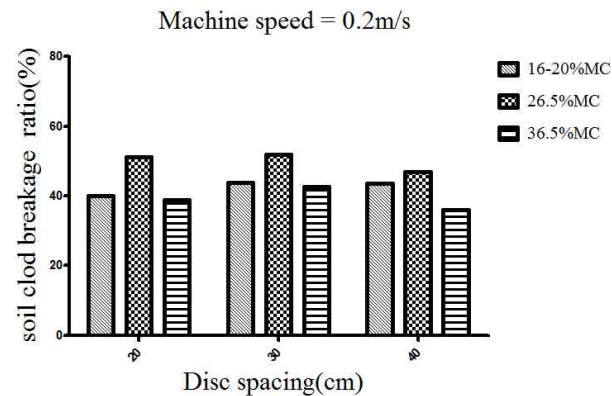
<그림2.11> Soil clod breakage ratio at increasing disc spacing at various constant disc spacing



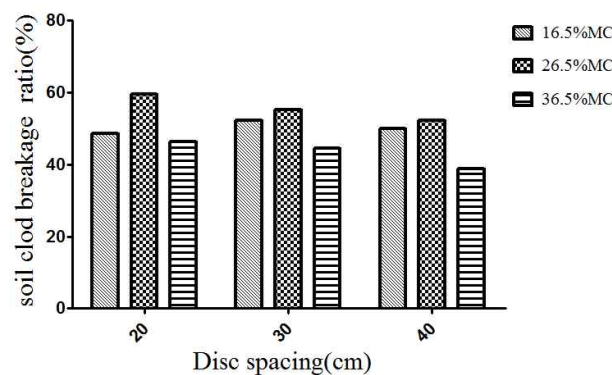
그 결과 토양함수율이 16.5%, 25.5%에서는 작업속도가 증가함에 따라 파쇄율도 증가하는 것을 알 수 있었으며, 36.5%에서는 상대적으로 감소하는 것을 알 수 있었다. 이는 상대적으로 높은 함수율에서는 파쇄율이 낮아진다는 것을 알 수 있다.

전체적으로는 작업속도가 하나의 중요한 요소로 판단되며, 이는 작업속도가 증가하면 파쇄율도 증가한다는 것을 알 수 있었다. 이는 앞서도 언급하였지만, 작업속도가 증가하면 상대적으로 작업에 따른 동력의 소요량과 동시에 판단할 필요가 있으며, 이를 위해서 작업상황에 따른 소요동력의 측정이 필요할 것으로 판단된다.

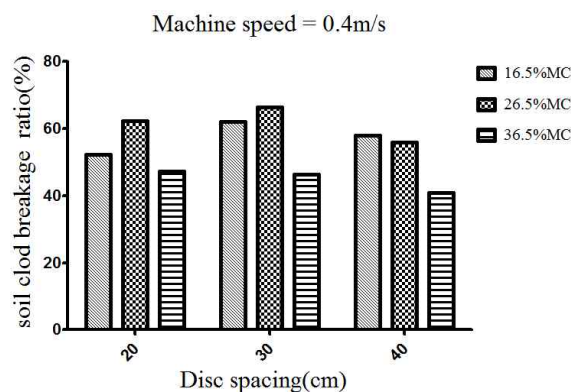
또한 그림2.12는 디스크의 간격에 따른 파쇄율을 측정된 결과를 나타낸 그림이다.



(a) Soil clod breakage at machine speed of 0.2m/s



(b) Soil clod breakage at machine speed of 0.3m/s



(c) Soil clod breakage at machine speed of 0.4m/s

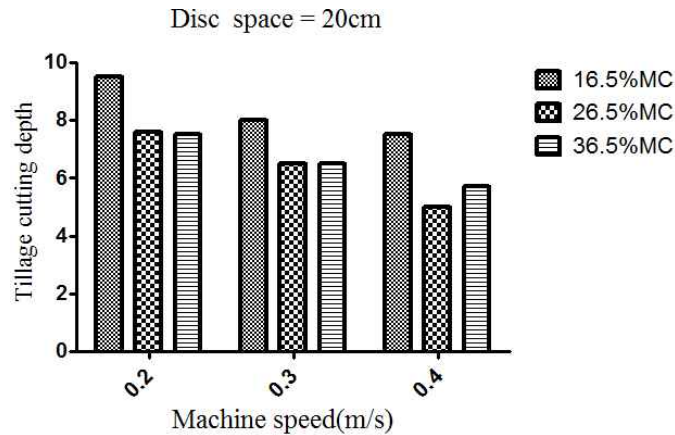
<그림2.12> Soil clod breakage ratio at increasing disc spacing at various constant disc spacing

그 결과 토양함수율이 25.5%에서 가장 높은 파쇄율을 나타냈으며, 35.6% 토양함수율, 작업간격 40cm에서 가장 파쇄율이 낮은 것을 알 수 있었다. 이는 앞서도 언급하였지만,

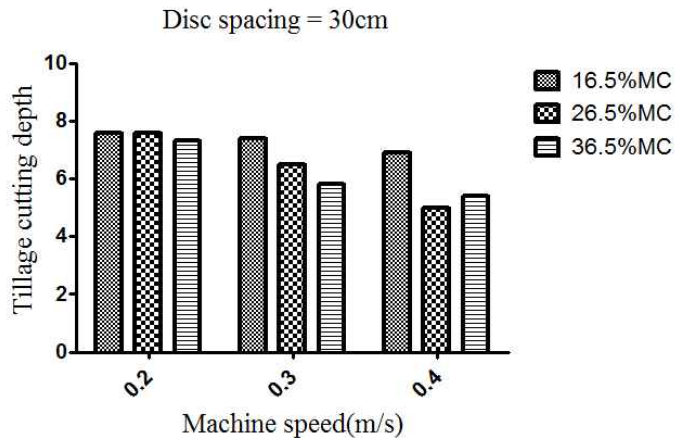
함수율이 높으면 토양이 작업기와의 접착력을 높이기 때문에 파쇄를 위한 에너지의 전달이 토양까지 전달되는 양이 상대적으로 적기 때문인 것으로 판단된다.

■ 작업깊이

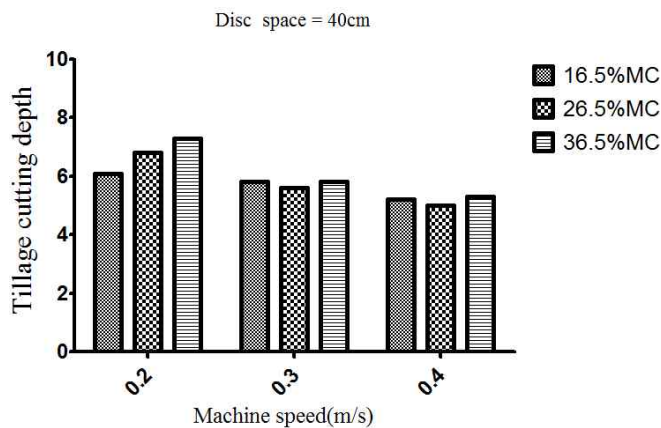
토양함수율, 작업속도 및 작업을 위한 디스크의 간격 등에 따른 토양내 작업깊이를 측정 한 결과, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 먼저, 그림2.13은 작업속도에 따른 깊이를 나타낸 그림이다.



(a) Cutting depth at disc spacing of 20cm



(b) Cutting depth at disc spacing of 30cm

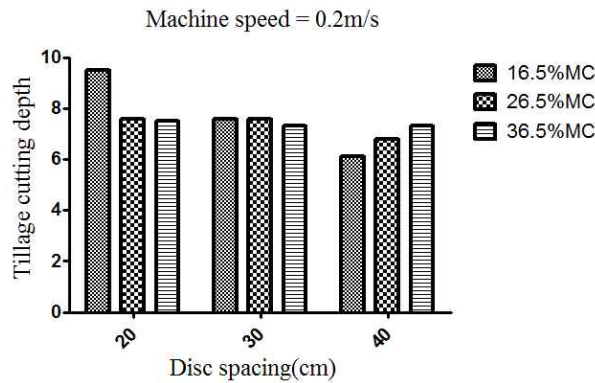


(c) Cutting depth at disc spacing of 40cm

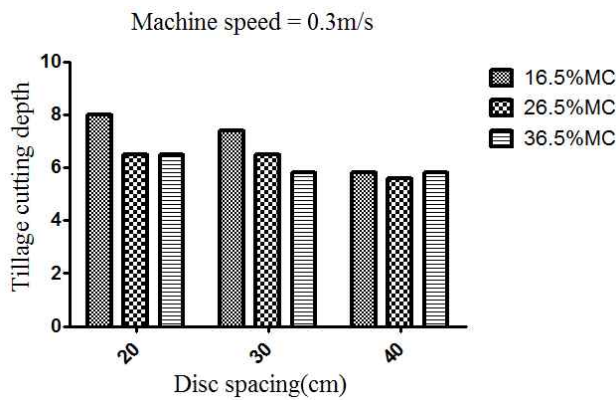
<그림2.13> Tillage cutting depth at increasing machine speed at various constant disc spacing

그 결과 전체적으로 작업속도와 디스크의 작업간격에 따른 작업깊이는 영향이 없는 것으로 판단되며, 이는 작업을 위한 작업기 즉, 헬로우의 위치에 영향을 받는 것으로 판단된다. 또한 상대적으로 오차 범위내에서는 차이를 살펴보면 작업속도 0.2m/s와 작업간격 20cm에서 상대적으로 작업의 깊이가 깊은 것으로 나타났다, 이는 고속에서는 상대적으로 작업기가 상승압을 받기 때문으로 해석된다.

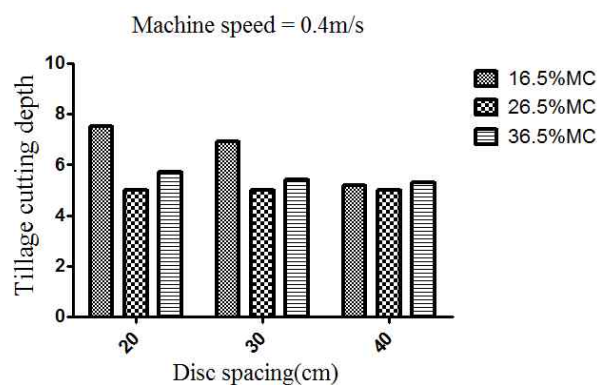
그림2.14는 작업속도에 따라서 작업깊이를 그래프로 나타낸 그림이다.



(a) Cutting depth at machine speed of 0.2m/s



(b) Cutting depth at machine speed of 0.3m/s



(c) Cutting depth at machine speed of 0.4m/s

<그림2.14> Tillage cutting depth at increasing disc spacing at various constant machine speed

그 결과 앞의 결과와 마찬가지로 함수율과 작업의 속도에 영향을 미치는 것을 알수 있었으며, 이는 작업에 필요한 소요동력과 같이 해석하는 것이보다 정확한 결과를 얻을수 있을 것으로 판단하여 다음장에 관련 실험결과를 정리하였다.

**참고문헌(References)**

1. Lee, K. S., Park, S. H., Park, W. Y., & Lee, C.S. (2003). Strip-tillage characteristics of rotary tiller blades for use in a dry land direct rice seeder. *Soil and Tillage Research*, 71: 25-32.

(2) 토양 조건에 따른 인장견인력

(가) 연구 내용

기본적으로 헬로우에 의한 토양의 반전 및 파쇄는 경운, 정지 작업을 행하고자 하는 가장 큰 의미가 있기 때문에 디스크헬로우의 상황 및 토양의 상태에 따른 견인력 등을 측정하였으며, 상황에 따라서 비교분석 하였다.

이는 앞의 실험에서도 언급하였듯이, 경운 및 정지작업은 농작업의 에너지 및 경영에도 많은 영향을 미친다. 따라서 이러한 농작업의 작업성능 등에 미치는 변수들 간의 상관관계를 분석하는 것은 매우 중요하다. 그러므로 본 실험에서는 토양의 함수율 등의 상태에 따른 디스크헬로우의 견인력을 측정하였다.

이를 위해 토양의 함수율 조건 3수준(5-15%, 25-35%, 40-50%) 및 작업속도 3수준(0.06m/s, 0.09m/s, 0.12m/s)으로 설정하여 아래 표2.1과 같이 실험설계하여 실험을 진행하였다. 이러한 인장견인력 실험은 에너지 요구량을 추정하는 가장 편리한 방법 중에 하나이다.

<표2.2> Experimental design

Ground speed (m/s) Soil Moisture Content(%)	Low Level (0.06)	Medium Level (0.09)	High Level (0.12)
Low Level (5-15)	Test 1	Test 4	Test 7
Medium Level (25-35)	Test 2	Test 5	Test 8
High Level (40-50)	Test 3	Test 6	Test 9

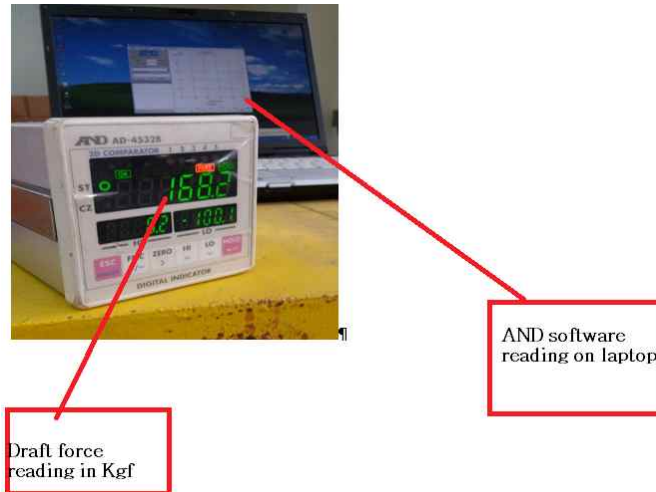
또한 그림2.15는 본 실험에 사용한 장치를 나열한 것이다. 먼저 실험을 위한 토양조를 포함하여, 스트링게이지, 로드셀 등의 다양한 실험 장치를 활용하여 실험을 진행하였다.



<그림2.15> Materials used for the experiment

이러한 실험설계를 통하여 위의 실험 장치를 이용하여 먼저 토양의 인장견인력을 측정하였다. 구체적으로 EWX 10000F를 이용하여 디스크헬로우를 연결하였으며, 견인력값은

Indicator에 의해서 나타나게 하였다. 이 과정에 중간에 Load cell를 부착하여 견인력이 측정되도록 하였으며, 견인을 위한 동력은 12V 배터리를 4개를 이용하였다. 그림2.16은 측정값을 표시하는 인디게이트를 나타낸 그림이며, 이는 인장력을 표시하게 하였다.



<그림2.16> AND Indicator with software on laptop

또한 그림2.17과 같이 토양조내에서 연결타이/로프 등을 이용하여 로드셀을 연결하였으며, 견인인장력을 측정할수 있도록 하였다. 이때, 로드셀에는 원치로브에 EWX10000F 원치를 연결하였다.



(a) Load cell hooked to test rig



(b) Test rig hooked to winch

<그림2.17> Connecting winch to test rig

(나) 분석 방법

견인력을 측정하기 위해서 윈치에 먼저 디스크헬로우가 장착되지 않은 상태에서 인장력을 측정하였으며, 이때, 로드셀과 인디게이트를 활용하여 견인력( $F_R$ )을 측정하였다. 디스크헬로우는 5개를 부착하였으며, 이때, 실험설계에서 설정한 일정한 속도로 견인력을 측

정하였다. 이때 디스크헬로우의 견인력은 아래 식(1)과 같이 나타내었으며, 이것은 인장견인력으로 설정하였다.

$$F_H = F_W - F_R \text{ ----- (가)}$$

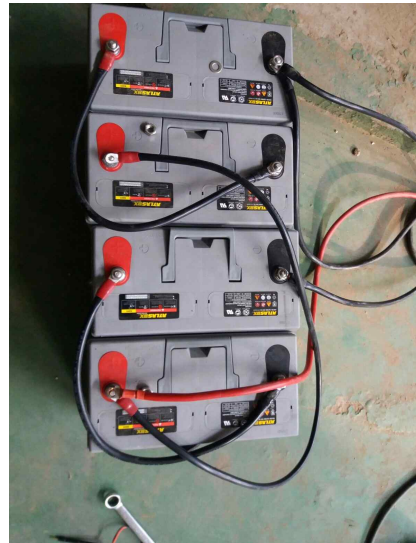
$F_H$  : 인장견인력

$F_W$  : 헬로우장착견인력

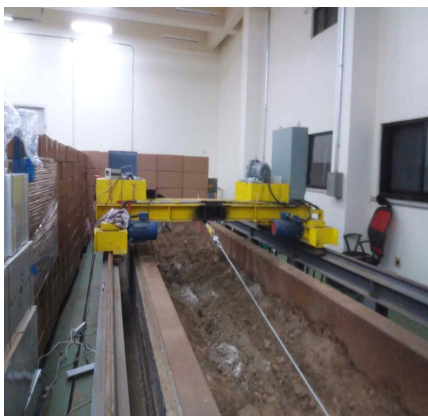
$F_R$  : 헬로우미장착견인력

각각의 실험은 앞절에서 언급한 실험설계에 따라 각각의 3반복 실험을 행하였다. 이때에는 토양의 함수율 조건을 각 수준별로 3단계로 처리하였다. 각각의 실험은 F1, F2, F3의 작업기의 속도를 변경하였다..

실험결과에 따른 분석은 토양함수율과 작업속도와의 상관관계를 One-way ANOVA로 분석하였다. 또한 예측을 위해서 각각의 토양함수율과 작업속도를 이용하여 회귀분석을 진행하였으며, 이를 통하여 궁극적으로 견인력을 예측하고자 하였다. 그림2.18은 이를 위해 사용한 실험장비 및 견인을 위한 동력을 나타낸 그림이다.



(a)12v batteries connected in series



(b)Draft force of test rig without disc harrow



(c) Draft force of test rig with harrow

<그림2.18> The photos of experimental setup

(다) 결과 및 고찰

표2.3은 위의 실험결과를 요약한 표이다. 각각 3단계의 함수율과 3단계의 작업속도를 고려한 견인인장력을 측정하였으며, 3 수준은 토양함수율도 각각 3단계로 차이를 두어서 측정하였다.

<표2.3> The results of draft force by each Tests

Force (N)	Draft Force (Newton)												
	0.06			0.09			0.12						
speed (m/s)	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>R1</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>R2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>R3</sub>	
Low Moisture Content (%)	5-7	739.4	743.3	738.4	740.4	681.6	637.4	676.7	665.2	1041.5	1047.4	1046.4	1045.2
	9-11	684.5	682.5	680.6	682.5	648.2	637.4	684.5	656.7	1071.8	1073.8	1053.2	1066.2
	13-15	593.3	615.9	641.4	616.9	728.6	708.1	710.0	715.6	1081.7	1092.5	1090.5	1088.2
Medium Moisture Content (%)	25-27	642.3	711.9	666.9	673.7	677.6	689.4	689.4	685.5	661	721.8	761.9	714.9
	29-31	763.9	797.3	813.9	791.7	1052.3	1067.9	1114.1	1078.1	831.6	846.3	939.5	872.5
	33-35	914.9	839.4	978.7	911.0	1195.4	1586.7	1400.4	1394.2	945.4	1122.9	1190.5	1086.3
High Moisture Content (%)	40-42	823.8	685.5	818.9	776.1	829.6	664.9	802.2	765.6	856.1	732.6	770.8	786.5
	44-46	973.8	986.5	1019.9	993.4	1145.4	1068.9	1113.7	1109.3	1117.9	1015.9	877.7	1003.8
	48-50	1115.9	1076.8	1093.4	1095.4	1396.5	1166.0	1251.3	1271.6	1417.1	1218.9	1056.2	1230.7

구체적으로는 아래와 같이 각각의 상황에 따른 실험결과를 나타내었다. 표2.4는 위의 실험결과를 평균인장력으로 표시하였다. 표2.4는 실험결과를 각각 견인속도를 기준으로 비교분석한 결과 그림2.19와 같이 나타났다.

그 결과, 0.06m/s의 속도로 견인하는 경우에는 토양함수율이 증가할수록 견인력이 증가하는 것을 알 수 있으며, 최고 견인력은 높은 수준은 토양함수율에서 약 1000N이상의 평균 견인력에서 나타났다. 그리고, 0.09m/s의 속도에서도 비슷한 경향이 나타났으며, 토양함수율이 중간단계 및 높은 수준에서는 거의 동일하게 나타났다. 또한 0.12m/s의 속도에서는 낮은 수준의 함수율과 높은 수준의 함수율에서 견인력이 비슷하게 나타났으며, 중간 수준의 함수율에서는 가장 낮은 견인력을 얻을수 있었다.

따라서, 일반적으로 토양함수율이 증가하면 인장견인력도 증가하는 것을 알수 있었다. 이는 일반적으로 토양의 상태가 함수율이 높으면 밀도가 높아지기 때문에 단위면적당 작업하여야 할 량이 많이 지기 때문에 오는 현상이라고 판단되며, 모든 작물의 이식이나 정식기를 기준으로 적당한 함수율 및 인장견인력을 적용할 필요가 있을 것으로 생각합니다.

Moisture Content	Speed m/s	Draft Force(Newton(N))		
		0.06	0.09	0.12
Low Moisture Content (%)	5-7	740.4	665.2	1045.2
	9-11	682.5	656.7	1066.2
	13-15	616.9	715.6	1088.2
Medium Moisture Content (%)	25-27	673.7	685.5	714.9
	29-31	791.7	1078.1	872.5
	33-35	911.0	1394.2	1086.3
High Moisture Content (%)	40-42	776.1	765.6	786.5
	44-46	993.4	1109.3	1003.8
	48-50	1095.4	1271.6	1230.7

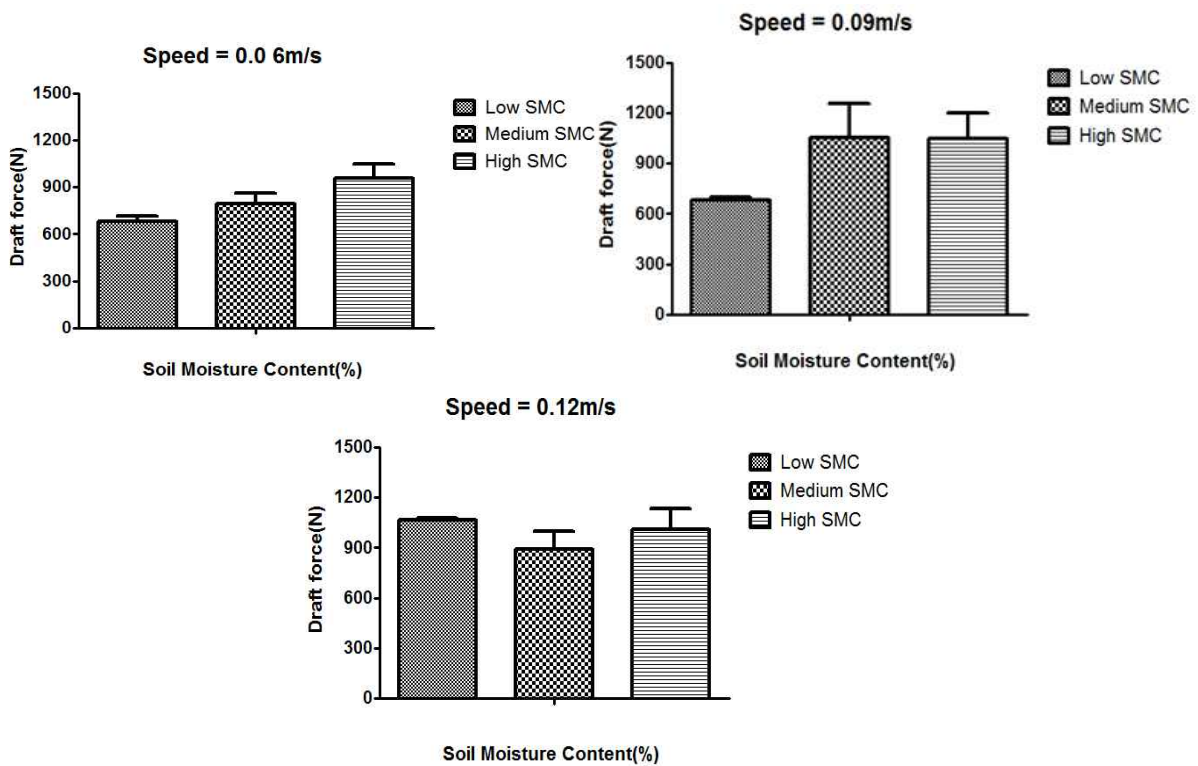
<그림2.19> The results of average draft force by each Tests

그림2.20은 함수율의 수준에 따른 작업속도의 영향을 나타낸 그래프이다. 여기서 살펴보

면, 일반적으로 함수율이 낮은 토양에서는 견인력의 증가가 작업속도에 직접비례하는 것을 알 수 있으며, 속도가 증가하면 견인력도 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 앞서도 언급하였듯이 작업속도가 증가하면, 단위면적당 디스크헬로우가 토양에 가해지는 힘이 상대적으로 증가하기 때문이다.

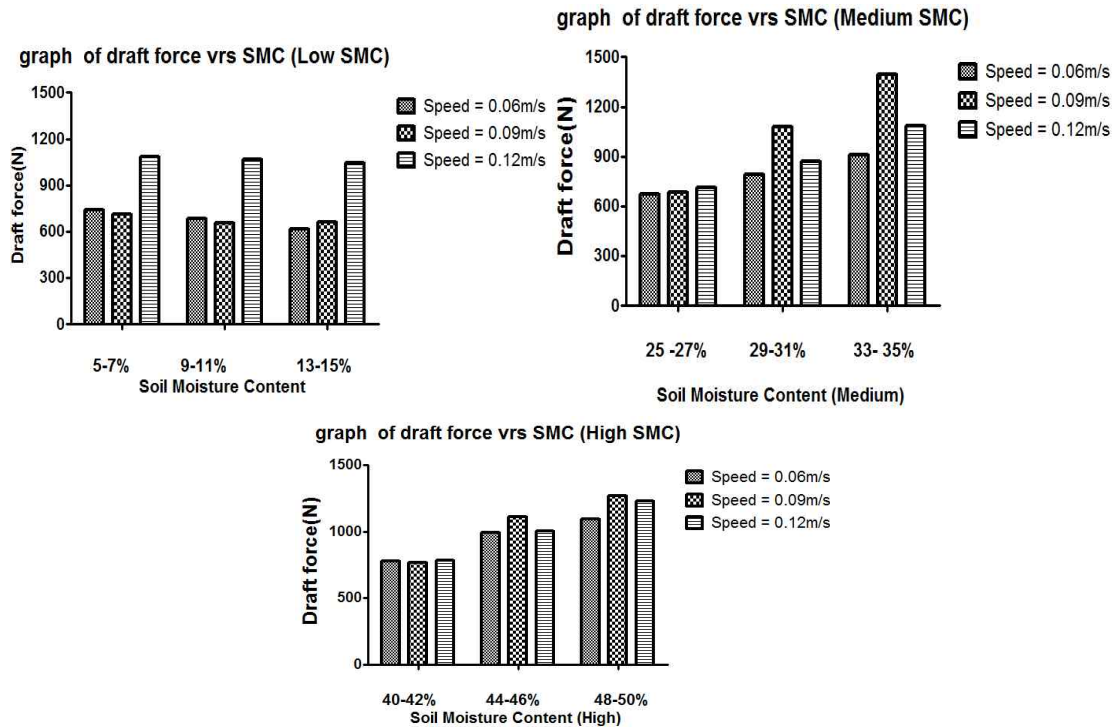
또한, 낮은 수준의 함수율에서는 0.06m/s와 0.09m/s에서 가장 낮은 견인력을 보였으며, 0.12m/s에서 가장 높은 견인력을 나타내었다. 중간수준의 토양함수율에서는 작업속도가 0.06m/s~0.09m/s에서는 증가하였다가 0.09m/s~0.12m/s에서는 감소하는 것을 알 수 있었다. 이는 중간수준의 작업속도에서 가장 높은 견인력을 요구하는 것으로 판단된다. 그리고, 높은 수준의 함수율에서는 중간수준의 함수율과 비슷한 경향을 나타내었다.

이러한 결과는 함수율이 중간수준 이상에서는 0.09m/s의 작업속도가 현재 실험에 사용하고 있는 실트계통의 토양에서 많은 토압을 받는다는 것을 알 수 있으며, 낮은 수준의 함수율에서는 0.12m/s에서 가장 높은 견인력을 나타내었다.



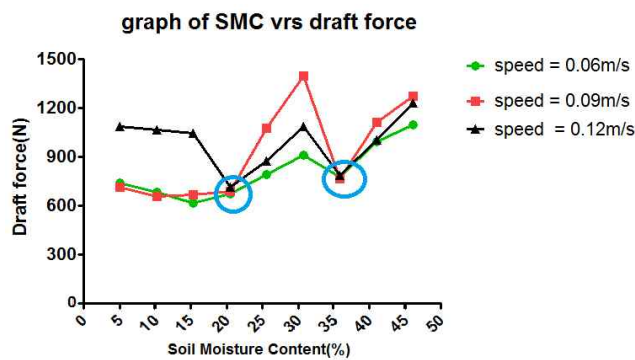
<그림2.20> Analysis of draft force based on soil moisture content (SMC)





<그림2.21> Analysis of draft force based on increasing speed

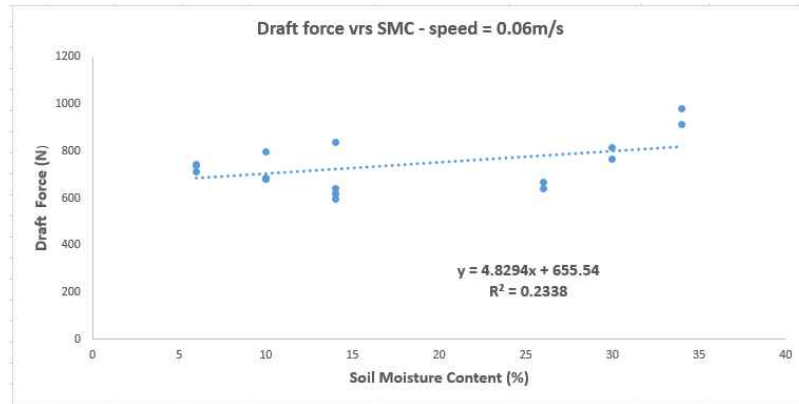
또한 그림2.22은 토양함수율과 견인력을 각각의 작업속도별로 최적화를 위해 나타낸 그림이다. 그림에서 나타난 것처럼 함수율이 약 22-24%인 경우, 견인력은 약 630N정도로 각각의 작업속도에서 나타났으며, 토양함수율이 약 35-36%에서는 약 660N의 견인력을 나타내는 것을 알 수 있었다. 이는 이러한 구간에서는 각각의 작업속도를 고려하더라도 견인력이 일정한 것을 알 수 있었으며, 이러한 결과를 이용하여 추후 디스크헬로우의 작업성능 개선에 활용이 가능할 것으로 판단된다.



<그림2.22> Analysis of the draft force to determine optimum moisture content for lower draft force

(라) 선형회귀모델

그림2.23은 토양함수율과 견인력에 대한 선형회귀식을 정리한 그림이다.



(a) Graph of draft force and SMC at speed of 0.06m/s

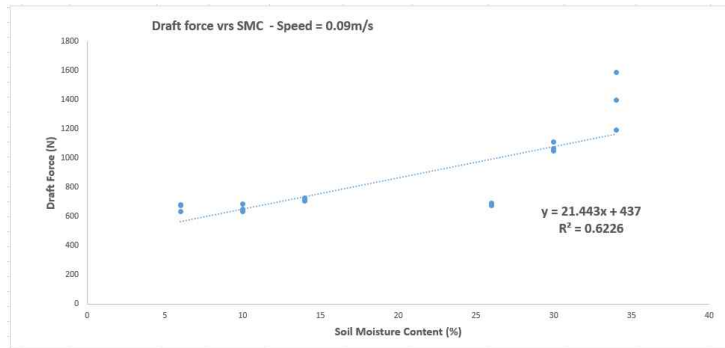
SUMMARY OUTPUT						
<b>Regression Statistics</b>						
Multiple R	0.483572749					
R Square	0.233842603					
Adjusted R Square	0.185957766					
Standard Error	9.263348662					
Observations	18					
<b>ANOVA</b>						
	df	SS	MS	F	Significance F	
Regression	1	419.0459449	419.0459	4.883437355	0.042035156	
Residual	16	1372.954055	85.80963			
Total	17	1792				
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	-18.97233864	16.27446845	-1.16577	0.260790961	-53.47267054	15.52799326
Y	0.048420734	0.021911321	2.20985	0.042035156	0.001970809	0.094870659

(b) Summary of regression analysis

<그림2.23> Regression analysis of draft force and SMC at speed of 0.06m/s

그림2.24는 작업속도가 0.09m/s의 실험조건에서 토양함수율과 견인력에 대한 선형회귀식을 정리한 그림이다.

Model (가) - SMC = (5-34)%



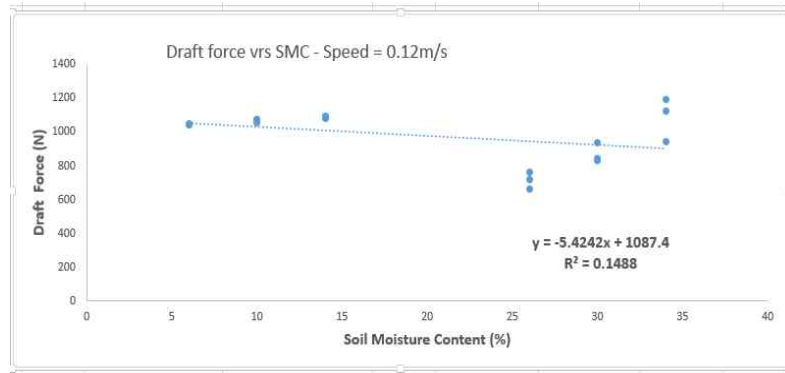
(a) Graph of draft force and SMC at speed of 0.09m/s

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.78903							
R Square	0.6225684							
Adjusted R Square	0.5989789							
Standard Error	6.8549422							
Observations	18							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	1	1240.15628	1240.156282	26.39178863	9.93218E-05			
Residual	16	751.843718	46.99023241					
Total	17	1992						
	<i>Coefficients</i>	<i>standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-5.13887	5.15325141	-0.997209199	0.33350627	-16.06327469	5.78553526	-16.06327469	5.78553526
Y	0.029033	0.00565142	5.137293902	9.93218E-05	0.017052528	0.041013475	0.017052528	0.041013475

(b) Summary of regression analysis

<그림2.24> Regression analysis of draft force and SMC at speed of 0.09m/s

또한 그림2.25는 작업속도가 0.12m/s의 실험조건에서 토양함수율과 견인력에 대한 선형회귀식을 정리한 그림이다.



(a) Graph of draft force vrs SMC at speed of 0.12m/s

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0.385700699							
R Square	0.148765029							
Adjusted R Square	0.095562844							
Standard Error	10.29459828							
Observations	18							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	1	296.3399	296.3399385	2.796220259	0.113924854			
Residual	16	1695.66	105.9787538					
Total	17	1992						
	Coefficients	Standard Err	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	46.84673152	16.23716	2.885158669	0.01076754	12.42549436	81.267969	12.42549436	81.26796869
Y	-0.027426186	0.016401	-1.672190258	0.113924854	-0.06219551	0.0073431	-0.062195505	0.007343133

(b) Summary of regression analysis

<그림2.25> Regression analysis of draft force and SMC at speed of 0.12m/s

그 결과, 각각의 작업속도에서 선형회귀모델을 구할수 있었지만, 중간단계의 속도에서는 비교적 높은 상관관계를 얻을수 있었다, 그러나, 낮은 속도 및 상대적으로 높은 작업속도에서는 상관관계가 낮은 것을 알수 있었다. 이는 Rashidi et al, 2013등의 의하면, 회귀모델의 신뢰성을 높이기 위해서 R-square 값과 P-value을 동시에 고려하여야하는데, R-제곱값은 높고, p-값은 낮아야하는데, 위의 실험결과는 상대적으로 높은 작업속도에서 p-값이 유의성이 있는 것으로 판단되었다. 각각의 위의 그림에서는 녹색으로 값을 표시하였다.

(마) 결론

디스크헬로우의 견인에 필요한 인장력은 토양의 함수율 뿐 만 아니라, 작업속도에도 영향이 있는 것을 알 수 있었다.

일반적으로 작업속도가 높으면 견인력이 증가하는 것을 알 수 있으며, 토양함수율이 상대적으로 높은 상태에서는 오히려, 작업속도가 0.12.m/s인 경우에 견인력이 낮게 나타났다. 또한, 현재 실험에 이용한 실트계 토양의 경우에는 토양함수율이 약 22-24%와 35-36%에서 작업속도와 크게 상관없이 최적은 견인력을 구할 수 있었다.

**참고문헌(Reference)**

1. Rashidi, M, Hamzeh F. L., Mehrdad S, B.Meisam M and Saeb T N (2013). Prediction of Disc Harrow Draft Force Based on Soil Moisture Content, Tillage Depth and Forward Speed. Middle-East Journal of Scientific Research 15 (2): 260-265, 2013

### (3) 디스크헤로우 작용 응력(토양반력)

#### (가) 연구 내용

토양의 형상, 반전을 실험과 마찬가지로 변수를 설정하여 그 변수에 맞춰 작업기에 작용하는 토양의 반력을 측정하고자 본 연구를 진행하였다. 이를 위해 토양에서 원판의 운동과 전달된 힘은 토양의 절삭, 파괴, 이동 및 반전은 물론 토양과 원판각의 마찰을 극복하는데 사용될 뿐만 아니라, 작업기의 소요동력, 설계 및 운행조건을 결정하는데 사용된다. 따라서, 원판에 작용하는 토양 반력은 그림3.1과 같이 종방향 분력  $R_x'$ , 횡방향 분력  $R_y'$ , 수직방향 분력  $R_z'$  으로 분해할 수 있으며, 이 토양 반력은 토양의 성질, 원판각, 작업 속도 등의 영향을 받는다. 토양의 반력을 측정함과 동시에 원판각을 결정함으로써 최적의 원판각 설계에 활용될 것으로 판단된다.

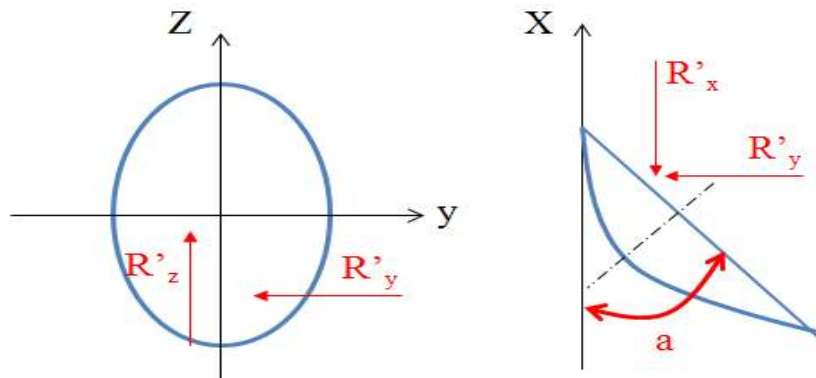
원판의 견인 저항  $R_x'$  에 의하여 결정되는 토양의 비저항  $K$ 는 가벼운 토양에서는 2~4  $N/cm^2$ , 무거운 토양에서는 4~8  $N/cm^2$ 으로 알려져 있으며, 원판각이 증가되면 토양의 비저항은 증가되고 평균적으로 원판각을 5° 증가시키면 비저항은 5-15% 증가한다. 이는 원판각이 증가함에 따라 토양 반전에 큰 힘이 요구되기 때문으로 판단된다. 견인 저항은 경운 속도에 따라 증가되고 천경에서 경운속도가 3.3 km/h에서 8.5 km/h로 증가되면 견인 저항은 약 16% 증가되며  $R_y'$  와  $R_z'$  의 크기는  $R_x'$  로부터 구할 수 있으며 Eq. 2-1과 같음

$$\begin{aligned} R_y &= nR_x' \\ R_z &= mR_x' \end{aligned} \quad \text{----- (Eq. 2-1)}$$

여기서,  $n$ 과  $m$ 을 변환 계수(Transformation coefficient)라고 하는데, 표3.1과 같다. 또한, 경심이 얕을수록  $n$ 값은 증가되나,  $m$ 값은 경심이 깊을수록 증가되며, 경운 속도가 증가되면  $m$ 값은 감소되나  $n$ 값은 변화되지 않는다. 따라서 디스크헤로우의 경우 원판이 연직 상태가 될수록  $R_z'$  가 감소하여 단단하고 마른 토양에서도 경운작업이 가능할 것으로 판단된다.

<표2.4> 변환계수의  $n$ 과  $m$ 의 값

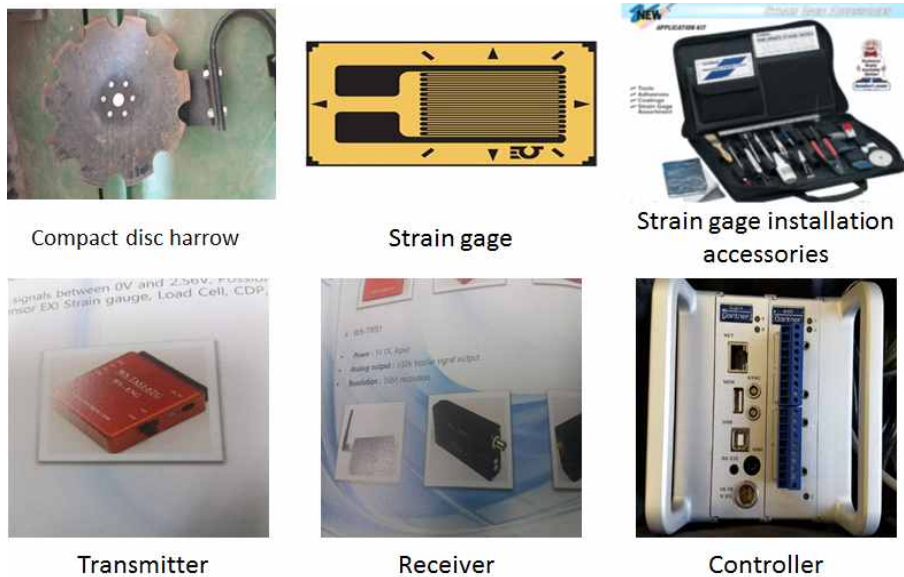
변환 계수	원판각			
	원판 헤로우		천경 원판 플라우	
	15°	20°	30°	38°
$n$	1.2 - 1.5	1.4 - 1.7	0.2 - 0.8	0.6 - 0.8
$m$	0.6 - 1.4	0.9 - 1.2	0.6 - 0.8	0.4 - 0.6



<그림2.26> 디스크해로우의 원판각 결정

(나) 디스크해로우 내 응력 측정 및 분석

본 실험에서는 디스크해로우 작업면에 작용하는 응력을 측정 및 해석하기 위해서 연구를 수행하였으며, 실험에 사용된 재료는 그림2.27과 같이 디스크 해로우(Disk harrow), 스트레인 게이지(Strain gage), 트랜스미터(Transmitter), 수신기(Receiver) 및 컨트롤러(Controller)로 구성하여 실험을 진행하였다.



<그림2.27> 응력 측정 및 해석 장비

위의 실험장치를 이용하여 스트레인 게이지는 부착 액세서리를 통해 그림2.28과 같은 디스크해로우 표면 작업면에 설치, 부착하였다.



<그림2.28> 디스크 해로우 내 스트레인 게이지 및 트랜스미터 부착

그림2.28과 같이 부착된 스트레인 게이지는 Gartner Telemetry 시스템(트랜스미터, 수신기 및 컨트롤러)과 연결되어 응력을 측정하였고, 응력 신호는 볼트 값(V)으로 변환하여 출력 되도록 하였다. 그림2.29는 응력신호 수집을 위한 개념도이다.

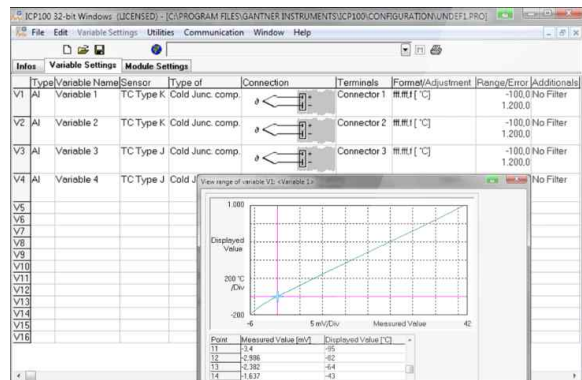


<그림2.29> 응력 신호 수집 개념도

응력 측정 및 분석을 위해 토양조(Soil-bin)에서 디스크해로우의 이송 속도는 약 0.2 m/s, 0.3 m/s, 0.4 m/s로 총 3개의 변수로 설정, 약 60s 동안 실험을 진행하였으며, 그림2.30은 응력측정을 위해 헬로우가 작업하는 과정을 나타낸 그림이다.

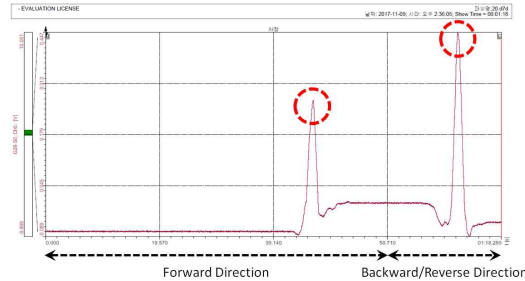


<그림2.30> 디스크 해로우 이송 작업



<그림2.31> 수집, 분석 프로그램 사진

그 결과, 그림2.32과 같이 디스크 해로우의 이송속도가 약 0.2 m/s 일 때, 정방향으로 이송 시, 디스크 해로우에서 측정된 응력 신호 값은 한 열에 약 0.2 V로 나타났으며, 역방향으로 이송 시, 디스크 해로우에서 측정된 응력 신호 값은 최고 약 0.5 V로 나타난 것을 알 수 있었다.



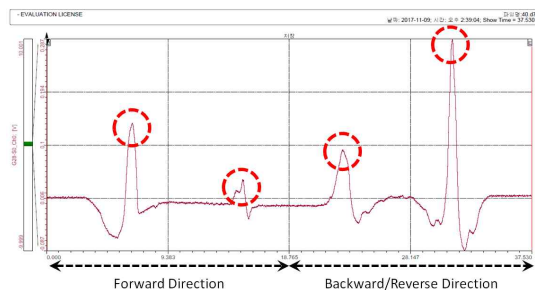
<그림2.32> 이송 속도가 약 0.2 m/s 일 때 응력 신호 값 측정

그림2.33은 디스크해로우의 이송 속도가 약 0.3 m/s 일 때, 정방향으로 이송 시, 디스크 해로우에서 측정된 응력 신호 값은 약 0.2 V, 역방향으로 이송 시 최고 약 0.4 V로 나타났으며, 이는 앞은 그림2.32과 같이 응력신호값이 0.2m/s와 0.3m/s에서 정방향 신호는 같은 값을 나타내는 것을 알 수 있었다. 이는 상대적으로 낮은 작업속도에서는 정방향으로 받는 응력은 속도에 영향을 많이 받지 않는다는 것을 알 수 있다.



<그림3.8> 이송 속도가 약 0.3 m/s 일 때 응력 신호 값 측정

또한 그림2.34는 이송 속도가 약 0.4 m/s 일 때, 정방향으로 이송 시, 디스크 해로우의 응력 신호 값은 첫 번째 사이클 내 회전 후 약 0.14 V로 측정되었으며, 그러나 두 번째 회전 후 약 0.008 V로 감소함을 알 수 있었다. 또한 역방향 이송 시, 첫 번째 사이클 내 회전 후 응력 신호 값은 약 0.09 V로 측정되었고, 두 번째 회전에서 최고 약 0.287 V까지 상승하는 것을 알 수 있었다. 이는 상대적으로 높은 작업속도에서는 다양한 구간에서 임계 신호값을 나타내는 것을 알 수 있으며, 앞은 속도에서와 마찬가지로 정방향보다는 역방향에서 약 2배의 응력값이 나타나는 것을 알 수 있었다.



<그림3.34> 이송 속도가 약 0.4 m/s 일 때 응력 신호 값 측정



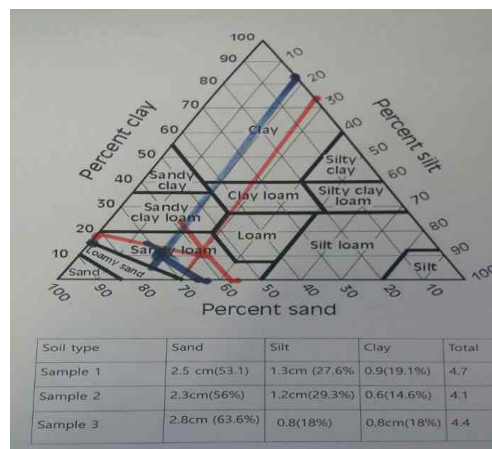
이러한 결과는 실험을 통해 디스크 해로우의 역방향 이송 시 더 많은 변형 값이 측정되는 것을 확인할 수 있었으며, 디스크 해로우의 이송 속도가 증가함에 따라 디스크 해로우 내 측정되는 응력 값은 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 정지마찰력에서 운동마찰력으로 변환 후에는 응력 값도 감소하는 것으로 판단된다. 따라서 본 실험 결과를 이용하여 디스크해로의 작업과정에서 해로우에 미치는 응력의 측정 및 분석이 가능하며, 추후 보다 다양한 측정에서의 응력해석을 통하여 작업효율을 개선하는데 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

#### (4) 토양분석

연구에 사용한 토양은 일반적으로 한국의 밭농업에서 사용하는 대표적인 토양으로 USDA 분류법에 의하여 분류한 결과를 표3.5와 같이 나타냈다. USDA토양 분류법은 삼각분류법을 기본으로 사용하고 있다. 그림3.35는 삼각분류법에 의해서 본 토양을 분류한 결과를 나타낸 그림이다. 그 결과 Sandy Loam Soil로 분류되었으며, 일반적인 우리나라의 토양으로 판단된다.

<표3.5> 토양분류

Soil Type (Mg/cm <sup>3</sup> )	Soil Constituents			Bulk density	
	Sand	Clay	Silt		
Sandy Loam	57.5	17.2	25.6	1.22	- 1.46



<그림3.35> Chat of soil triangle to determine soil texture constituents

Note: All experiments were performed in sandy loam soil with varying bulk density depending on the soil moisture content

### 3절. 연구개발 성과

#### ○ 최종결과

##### 가. 기술개발 최종결과

###### (1) 시제품 제작

- 본 연구에서 1차년도에는 주요 부품 재질 분석과 1차 시제품 제작을 목표로 하여 연구과제를 수행하였다. 주요 부품의 재질 및 인장 시험, 열처리 검사 시험을 통해 안전 기준치를 만족함을 확인하였고 이를 기반으로 1차 시제품을 제작하였다. 2차년도에는 1차년도에 제작된 무동력 디스크해로우 복합작업기의 필드테스트 및 성능평가를 통해 문제점 분석을 완료하였고 프레임, 치즐 모듈, 브라켓 등 3d모델링을 재설계하여 최적화 구조해석을 진행하였다. 이후 2차년도 시제품을 제작하여 필드시험과 구조해석, 강도해석을 집중적으로 실시하여 제품의 안전성을 확보하였다. 연구개발 이후에는 실증 데이터 분석을 통해 경량화를 지속적으로 시행할 예정이고, 고추 주산 농가와 일정을 협의하여 수요자 평가를 진행, 실제 제품을 사용하는 농민의 니즈나 요청 등을 제품에 반영할 예정이다.



<1차년도 개발 시제품>



<2차년도 개발 시제품>

(2) 세부연구개발 결과

연구 개발 항목	연구 개발 실적	진행 상황
<p>선진제품 작업특성분석 및 메커니즘 시스템 레이아웃설계</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 필드시험병행 구조시스템분석 개발방향 설정</li> <li>- 주요부 비접촉 3D모델링 경량화설계 모델 수립</li> <li>- 경제성 및 사업화분석을 위한 해외시장 분석</li> <li>- 시작품 3D 모델링 및 제작도면 작업</li> </ul>	<p>완료</p>
<p>스캐너를 이용한 역설계 모델링 및 구조해석</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 벤치마킹기계 구조해석을 통해 개발모델 설계분석</li> <li>- 메인프레임, 디스크, 치즐 모듈 구조해석 및 결과 설계보완</li> <li>- 최종시작품 모델링 및 설계신뢰성 검증</li> <li>- 견인부하장치개발 및 트랙터 작업속도 측정 및 실험</li> </ul>	<p>완료</p>
<p>주요부품 신뢰성 확보분석 및 시험평가 기술개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 견인력 계측장비(6분력계 설계제작 및 교정시험) 개발</li> <li>- 복합작업기 요소부품 피로내구도 해석 및 평가</li> <li>- 복합작업기 작업하중분석 및 시험하중도출</li> <li>- 복합작업기 구성품 시험절차서 개발 및 시험</li> </ul>	<p>완료</p>
<p>디스크모듈 및 치즐모듈 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 원판 재질 및 내마모성 시험</li> <li>- 러그 물성치 시험 및 열처리 시험</li> <li>- 디스크 모듈 성분 분석</li> <li>- 열처리 및 소재 분석 및 선정</li> </ul>	<p>완료</p>
<p>허브베어링 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 설계 및 시험용 시작품 제작</li> <li>- 내구성 확보를 위한 베어링 해석 모델링</li> <li>- 허브베어링하우징 시험분석</li> <li>- 축 열처리 검사 및 인장시험</li> </ul>	<p>완료</p>
<p>배토기 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내작물별 배토기 특성분석 및 개발배토기 특정</li> <li>- 배토기 설계 및 구조해석</li> <li>- 배토기 시작품제작 및 시험, 문제점분석 개선설계</li> <li>- 최종수정 배토기 제작 및 복합작업기 부착 테스트</li> </ul>	<p>완료</p>
<p>배토관련 연구동향 및 토양특성조사</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 배토연구동향세부분석 및 고추주산단지 토양특성조사</li> <li>- 토양특성 실내시험을 위한 Soil-bin제작 설치 시험</li> <li>- 토양조건에 따른 디스크해로우작업(반전율, 파쇄율,작업 깊이)분석</li> <li>- 디스크해로우 작용응력(토양반력)측정 및 분석 설계반영</li> </ul>	<p>완료</p>
<p>연구성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 특허 등록 1건, 출원 2건</li> <li>- 논문 3건 (4건 심사중)</li> <li>- 학술대회 발표 14건</li> <li>- 제작 시연회 및 농업기계 박람회 출품</li> <li>- 연구인력 6명 고용 (간접인력 15명)</li> <li>- 각종 공인인증 (시험성적서) 안전성 확보</li> </ul>	<p>완료</p>

## 나. 연구개발 최종결과

### (1) 정성적 결과

#### (가) 무동력 디스크해로우 복합작업기 개발

■ 원판해로우, 치즐쟁기, 배토기의 3가지 복합작업기로 구성되어 정식 전 잔여농작물 파쇄와 반전, 쇄토, 경운을 통해 기존 작업기에 비해 생산성이 높게 개발하였다. 원판디스크 모듈은 독립구조로 이루어져 있어 수리보수가 간편하고, 돌이 많고, 경토인 한국토양에서 부하가 차지 않도록 텐션 스프링을 개발하여 원판을 보호할 수 있도록 하였다. 15km/h 고속작업이 가능하여 기존 작업기 대비 5배 생산성이 향상이 예상되고, 복합작업기 구입비용도 절감되어 농가의 비용 절감 및 생산성 향상이 가능하다. 연구개발 이후에도 필드테스트 및 실증시험을 통해 data를 수집하여 최적화 설계를 통해 안전성이 확보되는 범위 내에 시제품 경량화를 시킬 수 있도록 연구할 예정이다.

#### (나) 두둑 폭 조절이 가능한 가변형 배토기 개발

■ 고추작물 기준, 2골 작업(작업 폭 2.4m)이 가능한 배토작업기로, 가변식 배토기로 개발하였다. 배토기 프레임 강도, 구조해석을 통해 설계하였으며, 필드시험을 통해 문제점을 파악한 후, 재설계를 진행하여 문제 사항을 해결하였다. 연구 개발 이후에는 두둑골을 형성을 2row에서 3row로 조절 가능한 배토기를 연구하여 고추 외의 다양한 작물에도 적용 가능한 배토기 연구를 진행 할 예정이다.

#### (다) 레이저 스캐닝을 이용한 제품역설계 모델링 최적화 설계 개발

■ 선진사양의 벤치마킹모델의 설계치수분석을 통한 개발사양 및 치수선정을 위하여 비접촉식 레이저스캐너 3차원스캐너와 역설계 전용프로그램을 이용하여 3D모델링을 수행한 후 주요부품과 프레임에 대한 치수검사와 구조해석을 수행하여 그 결과를 개발모델 설계에 반영하고 국내환경에 맞는 경량화 설계를 수행 개발기간을 현저히 단축시키고 설계오차를 최소화 할 수 있도록 지원하였다.

#### (라) 복합작업기 주요구성품의 신뢰성 확보를 위한 시험평가 기술개발

■ 디스크해로우 시작품의 주요구성품인 프레임, 디스크모듈구성품(디스크, 허브러그, 허브베어링, 스프링) 치즐모듈 등의 작업하중분석 및 시험하중 도출을 위하여 계측용 센서(6분력계)를 제작하고 하중분석을 위한 FE해석을 수행 각 부의 정하중 시험과 복합작업기 시작품과 각 구성품의 피로내구도를 시험평가 실시하여 작업동안 주어진 수명조건을 만족시킬 수 있는지 판단할 수 있는 시험 절차서를 개발하여 복합작업기가 트랙터에 장착되어 작업할 때 사용기간 동안 지속적으로 받게 되는 반복하중에 대한 안전성을 시험연구하고 판단한 결과 모든 구성품이 안전하다고 판단되었다.

#### (마) 토양분석에 따른 디스크해로우 경운작업분석 및 설계지원기술 개발

■ 토양의 상태에 따른 디스크해로우에 미치는 물리적인 영향을 파악하고 이러한 결과를 이용하여 작업기의 작업성능 향상에 활용하고자 고추주산단지의 토양특성을 조사하고 실내시험을 위한 Soil-bin을 제작하여 토양조건에 따른 해로우 작업(반전율, 쇄토율, 작업 깊이)을 반복 시험하여 해로우 디스크각도와 토양함수율에 따른 토양의 반전율, 쇄토율, 경심의 변화를 분석하여 그 결과값을 시작품제작설계에 반영하여 디스크 절입 각도와 작업

속도 운행조건을 결정하였다.

(바) 무동력 디스크헤로우 복합작업기 특허등록

■ 무동력 디스크헤로우 복합작업기는 ‘치즐 배토기 형식의 디스크헤로우’ 로 특허출원 을 하여 등록을 완료하였다.(제 10-1740377호) 디스크헤로우 메커니즘에 연동되는 치즐 쟁기, 원판 쟁기의 구조 및 동력 전달 등의 지식재산권을 확보하였다.

(사) 디스크헤로우 복합작업기 사업성 및 경제성 분석

■ 향후 사업성 및 경제성 분석을 통해 국내외 시장 분석 및 해외 수출 전략 분석을 완료하 였고, 해외 출장을 통한 해외 현지 수요와 애로사항을 파악하여 향후 디스크헤로우의 중 국 및 몽골에 수출 시 전략 방안으로 삼을 예정이다. 주요 메커니즘 분석 및 작업 능력, 사용조건을 고려한 구조해석을 실시하여 신뢰성 평가 결과 지표 분석을 완료하였으며 구 입비용 분석 및 생산성 분석으로 복합작업기의 성능 경제성 분석을 완료하였다.

(2) 정량적 결과

(가) 지식재산권

■ 특허출원 2건, 등록 1건

순	지식재산권 명칭	국명	출원			등록		
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호
1	치즐배토기 형식의 디스크헤로우	대한민국	그린맥스	2016. 09.27	10-2016-0123844	그린맥스	2017. 05.22	10-1740377
2	주행안전성이 향상된 무동력 디스크헤로우	대한민국	그린맥스	2017. 10.31	10-2017-0143720			



<특허증 제 10-1740377호>



<특허출원 10-2017-0143720>

(나) 논문기고 (8건)

① 전주대학교 3(건)

- ㉓ 이충호, 「3차원스캐닝과 역설계를 이용한 트랙터 복합작업기 치수 검사」 한국기계계가공학회지 vol116, no.03, pp45~53. 2017.06
- ㉔ 해석관련논문 1 ‘한국기계계가공학회
- ㉕ 해석관련논문 2 ‘한국기계계가공학회

② 한국기계연구원 3(건)

- ㉓ 한정우 문상곤 이근호 강대식, 「Experimental Method for Durability Evaluation of a Chisel Mounted on a Composite Working Implement」, Journal of Biosystems Engineering vol42. pp.251-257, 2017.12
- ㉔ 김응경 문상곤 오충만 한정우, 「6분력계를 이용한 복합작업기의 작업하중 측정과 피로 손상도 계산」, Journal of Agricultural Life and Environmental Sciences vol29. no.3. pp.225-236, 2017
- ㉕ 한정우 김응경 정훈형 박영준, 「발작업용 복합작업기의 작업하중분석에 관한 연구」, 대한기계학회논문집 A권, 제42권 제5호(2018년 5월 1일 게재 예정)

③ 경상대학교 2(건)

- ㉓ 정호준 김성식 조재민 강대식 김현태, 「토양, 작업기의 물리적 특성에 따른 경운 작업 분석」, 경상대학교 부속 농업생명과학연구원 (논문 심사중)
- ㉔ Frank Gyan Okyere 이민호 문병은 Waqas Qasim 조재민, 「Analysis of tillage operations with variable working machine parameters using a compact disc harrow」, 경상대학교 부속 농업생명과학연구원 (논문 심사중)



전주대학교 논문 일부



한국기계연구원 논문 일부  
<논문 증빙자료>



경상대학교 논문 일부

(다) 학술대회 발표 (14회)

① 전주대학교 8(회)

- ㉠ 이충호 이재환 김준희 채탁병, 「3차원스캐닝을 이용한 무동력 해로우 복합작업기 역설계」, 한국농업기계학회, <한국농업기계학회 학술발표논문집> 21권1호, 2016 pp.209-210
- ㉡ 이충호 채탁병 이재환 김준희 강대식, 「역설계를 이용한 트랙터 복합작업기 구조해석」, 한국기계가공학회 2016 추계학술대회, 2016.10.14.
- ㉢ 이충호 채탁병 이재환 김준희 조영태 강대식, 「3차원 스캐닝기술을 이용한 트랙터용 복합 작업기 설계」, 한국기계가공학회 2016 추계학술대회, 2016.10.14.
- ㉣ 이충호 이재환 김준희 채탁병 강대식, 「무동력 디스크해로우의 디스크 각도별 작용력과 치즐플라우에 대한 해석」, 한국농업기계학회, <한국농업기계학회 학술발표논문집> 21권2호, 2016 pp.107-107
- ㉤ 이충호 장지운 이인범 김현경, 「무동력 트랙터 복합작업기의 디스크 구조해석」, 한국농업기계학회, <한국농업기계학회 학술발표논문집> 22권1호, 2017 pp.85-85
- ㉥ 이충호 장지운 김현경 조영태 강대식, 「견인력에 따른 디스크해로우와 치즐의 부하하중」, 한국기계가공학회 2017 추계학술대회, 2017.10.20.
- ㉦ 이충호 장지운 김현경 강대식, 「고속 복합작업기의 외부하중에 따른 디스크 및 치즐쟁기의 구조해석」, 한국농업기계학회 2017 추계학술대회, 2017.10.27.
- ㉧ 이충호 장지운 김현경 강대식, 「트랙터용 무동력 복합작업기 경량화 설계모델링」, 한국농업기계학회 2017 추계학술대회, 2017.10.27.

② 한국기계연구원 (3회)

- ㉠ 강가에 신인경 박영준 한정우, 「무동력디스크해로우 방식의 경운과 배토 고효율 복합작업기의 치즐 및 디스크해로우의 구조적 안전성 해석」, 한국농업기계학회/한국정밀농업학회 2016 추계공동학술대회,
- ㉡ 신인경 박영준 강가에 한정우, 무동력 디스크해로우 작업기의 치즐 및 디스크해로우 암의 구조해석 및 스트레인 게이지 위치선정」, 한국농업기계학회 춘계학술대회, <한국농업기계학회/발농업기계개발연구센터 2017 춘계공동학술대회 초록집> 16pp, 2017.04.06.
- ㉢ 신인경 박영준 한정우, 「무동력 디스크해로우 작업기의 치즐 및 디스크해로우 암의 구조해석 및 스트레인 게이지 위치선정」, 한국농업기계학회 춘계학술대회, <한국농업기계학회/농업생산무인자동화연구센터2017추계공동학술대회> 1권 1호 pp.9, 2017.10.27.

③ 경상대학교 (3회)

- ㉠ 정호준 김성식 조재민 강대식, 「토양 및 작업기의 물리적 특성에 따른 경운 작업 분석」, 한국농업기계학회, <한국농업기계학회 학술발표논문집> 21권2호, 2016pp.17-17
- ㉡ 정호준, 「Analysis of tilling operation according to the physical form of soil & mechanical properties of the work machine」, GIGR2016, International Conference on Agricultural Engineering, The poster-ID number - 10.3-P197, 2016.06.18.
- ㉢ Frank Gyan Okyere 이민호 문병은 Waqas Qasim 조재민 김현대, 「Analysis of tillage operations with variable working machine parameters using a disc harrow」, 한국농업기계학회/농업생산무인자동화연구센터 2017 추계공동학술대회,

<한국농업기계학회/농업생산무인자동화연구센터 2017년 추계 공동학술대회 초록집>  
22권2호 pp.48-48, 2017.10.26.

(라) 인력양성 (교육지도86명)

① 국가공인 역설계 기능인력 양성과정(1차년도)

㉠ 교육기관 : 전주대학교 (자체교육)

㉡ 인증기관 : 3d시스템즈코리아, 한국직업능력개발원

㉢ 교육인원 : 48명

㉣ 교육시간 : 18시간

㉤ 취득인원 : 과제참여인력(이재환, 김준희, 채탁병)을 포함하여 총 7명 자격취득

② 국가공인 역설계 기능인력 양성과정(2차년도)

㉠ 교육기관 : 전주대학교 (자체교육)

㉡ 인증기관 : 3d시스템즈코리아, 한국직업능력개발원

㉢ 교육인원 : 30명

㉣ 교육시간 : 18시간

㉤ 취득인원 : 과제참여인력(장지운, 이인범, 김현경)을 포함하여 총 12명 자격취득

(마) 교육지도 (2건)

① 무동력 디스크헤로우 복합작업기 교육지도 및 시연실습

㉠ 교육기관 : (주)그린맥스 연구소, 농생명과학대 생물산업기계공학과

㉡ 장소 : 전북대학교 농생명과학대 부설 농장

㉢ 교육내용 : 무동력 디스크헤로우 복합작업기의 특징과 작동방법 교육

㉣ 교육날짜 : 2017년 11월 30일

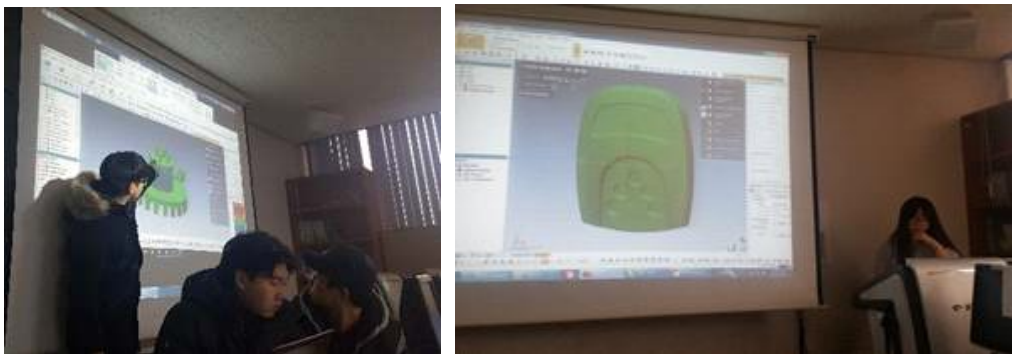
㉤ 교육인원 : 전북대학교 학생, 전주대학교 학생 총 8명 교육지도 완료



<무동력 디스크헤로우로 복합작업기 교육지도>



- ② 국가공인 역설계기능 민간자격취득 교육
- ㉠ 교육기관 : 전주대학교 공과대 기술융합디자인공학과
  - ㉡ 교육 개최횟수 : 9회
  - ㉢ 총 교육 시간 : 각 회당 18시간 내외
  - ㉣ 교육내용
    - 역설계 소개
    - 3d 스캐너 종류와 응용분야
    - 역설계 소프트웨어의 진화
    - 역설계 준비 과정
    - 역설계 실무 과정
    - 역설계 활용사례
  - ㉤ 교육인원 78명 (19명 자격증 취득)



<역설계 실기 교육>



<자격증 취득>

(바) 인력채용 (총21명\_연구직6명)

- 연구개발기간동안 연구인력 6명, 간접인력 15명으로 총 21명을 채용하였다.
- 연구인력 : 곽홍규 연구소장, 김홍곤 선임연구원, 박범준 연구원, 조연경 연구원,

김시은 연구원, 박철호 개발실장

4대 사회보험 사업장 가입자 명부					
사업장명	사업장주	가입일자	가입종류	가입금액	가입종류
1	한국농기계연구원	2016.09.30	국민연금	2016.09.30	2016.09.30
2	한국농기계연구원	2016.09.30	건강보험	2016.09.30	2016.09.30
3	한국농기계연구원	2016.09.30	직업연금	2016.09.30	2016.09.30
4	한국농기계연구원	2016.09.30	고용보험	2016.09.30	2016.09.30

4대 사회보험 사업장 가입자 명부					
사업장명	사업장주	가입일자	가입종류	가입금액	가입종류
1	한국농기계연구원	2016.09.30	국민연금	2016.09.30	2016.09.30
2	한국농기계연구원	2016.09.30	건강보험	2016.09.30	2016.09.30
3	한국농기계연구원	2016.09.30	직업연금	2016.09.30	2016.09.30
4	한국농기계연구원	2016.09.30	고용보험	2016.09.30	2016.09.30

<채용인력 증빙>

(사) 홍보전시 (2건)

- ① 무동력 디스크해로우 방식의 복합작업기 시작품 시연회
- ㉠ 장소 : 한국생산기술연구원 김제 첨단 농기계 지원센터
- ㉡ 참가 : 그린하이팜 외 협동기관 (한국기계연구원, 전주대학교, 경상대학교), 농민회, 농기계 신문 관계자 및 전북대학교 생물산업기계공학과 학부, 석사과정 학생
- ㉢ 일시 : 2016.09.30. 10:00~14:00
- ㉣ 내용 : 무동력디스크해로우 연구개발목적, 시작품 기계성능설명 및 작업시연회 후 농업관계자의 의견청취 및 향후 개선방향 논의



<복합작업기 시연회>



<한국농기계 신문 기사>

② 김제 농업박람회 출품

㉠ 장소 : 김제 벽골재 일원

㉡ 일시 : 2017.11.08.~11.10

㉢ 목적 : 실수요자 중심의 구매의견 수렴 및 상용화 전 희망농가 시험 순회연전시

㉣ 결과 : 경기 평택, 전남 함평, 무안, 강원 홍천 실농가의 연전시의뢰 받아 2018년 3월부터 시작품 순회 연전시 계획하고 그 결과를 반영하여 상용화 수정을 추진할 계획임.



<김제 농업기계 박람회 전시>

(아) 기타성과

① 그린맥스

㉠ 농림축산식품부장관 표창장 2017.04.04.

㉡ 산업통상자원부장관 표창장 2017.11.22.

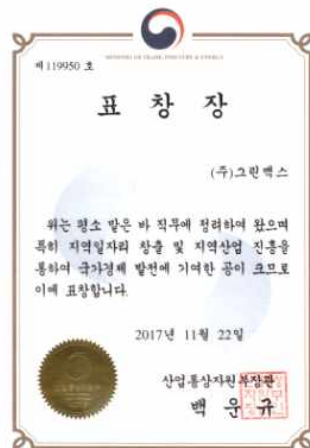
② 전주대학교

㉠ 한국농업기계학회 2017 추계학술대회 우수 논문발표상 수상 2017.10.27.

<트랙터용 무동력 복합작업기 경량화 설계모델링>



<농림축산식품부 표창장>



<산업통상자원부 표창장>



<우수 논문발표상>

다. 사업화성과 및 매출실적

(1) 사업화 성과

항목	세부항목			성 과
사업화 성과	매출액	개발제품	개발후 현재까지	0억원
			향후 3년간 매출	85.5억원
	시장 점유율	개발제품	개발후 현재까지	국내 : 0 % 국외 : 0 %
			향후 3년간 매출	국내 : 17 % 국외 : 0.2 %

(2) 사업화 계획 및 매출 실적

항 목	세 부 항 목		성 과		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)		2		
	소요예산(백만원)		1,500		
	예상 매출규모 (억원)		현재까지	3년후	5년후
				85.5	144
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년후	5년후
		국내		17	24
국외			0.2	0.4	
무역 수지 개선 효과	(단위: 억원)		현재	3년후	5년후
	수입대체(내수)			60	100
	수 출			27	54

## 4장. 목표달성도 및 관련분야 기여도

												코드번호		D-06					
<b>1절. 목표달성도</b>																			
○ 연구 성과목표 대비 실적																			
성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용 창출	투자유치		논문		학술 발표			정책 활용	홍보 전시	
												SCI	비SCI						
최종목표	2	0	0	0	0	1	0	0	3	0	1	0	6	0	1	0	0	1	0
실적	1차년도	1	0			0			17				0	7	0	1		1	
	2차년도	1	1			1			7				3 (5)	7	1	1		1	
달성율 (%)	100					100			100						100			100	
<b>가. 성과목표 부족사유</b>																			
(1) 기술인증 목표(1) 실적(0) 부족(1)																			
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 트랙터 부착작업기인 ‘무동력 디스크해로우 복합작업기’는 농림축산사업시행 지침서 「농기계구입지원」 및 한국농기계공업협동조합의 「정부지원대상모델등록처리기준」에 따라 자유화기종으로 분류되어 ‘자체검사 성적’으로 기술인증을 득한 것으로 인정되어 별도의 기술인증을 받을 필요가 없는 작업기임.</li> <li>■ 모델등록을 받아야 되는 목적은 제품을 상용화하여 판매 시 농림축산사업시행 지침에 의거한 ‘정부지원(융자)대상 농업기계 모델등록을 해야 실수요자인 농민이 작업기 구입 시 정부융자를 지원받을 수 있는 융자한도를 위한 기관등록임.</li> <li>■ 따라서 본 연구개발제품은 2018년 상반기 시작품 실농가 실증시험 및 내구성능테스트를 진행하면서 상용화 준비와 기술인증 모델등록을 수행하고자 함</li> </ul>																			
(2) 비SCI논문 목표(6) 실적(3) 부족(3)																			
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 비SCI 논문 실적(3편) 외에 게재예정 논문 1(편), 심사진행중인 논문 2(편)과 투고예정 2(편)</li> <li>■ 게재예정인 논문 1편(한국기계연구원)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 한정우 김응경 정훈형 박영준, 「밭작업용 복합작업기의 작업하중분석에 관한 연구」, 대한기계학회 A권, 제42권 제5호 2018.05.01. 게재예정</li> </ul> </li> <li>■ 심사진행 중인 논문 2편(경상대학교)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 정호준 김성식 조재민 강대식 김현태, 「토양, 작업기의 물리적 특성에 따른 경운작업 분</li> </ul> </li> </ul>																			

- 석」, 경상대학교 부속 농업생명과학연구원 (논문 심사중)
- Frank Gyan Okyere 이민호 문병은 Waqas Qasim 조재민, 「Analysis of tillage operations with variable working machine parameters using a compact disc harrow」, 경상대학교 부속 농업생명과학연구원 (논문 심사중)
- 투고예정 논문 2편(전주대학교)
  - 해석관련논문1 한국기계공학회 2017년 12월 투고예정
  - 해석관련논문2 한국기계공학회 2018년 2월 투고예정

○ 정량적 목표 대비 실적

항목	작업속도 (km/h)	작업 폭 (cm)	복합작업기 수량 (개)	경운 깊이 (cm)	소요동력 (Hp)	
정량적 목표	15 이상	250 이상	3	20 이상	90 이상	
실적	1차년도	15.49	251.8	3	20.3	95
	2차년도	15.60	255.0	3	20.8	95
결과	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	

가. 농촌진흥청 농업실용화재단 농업기계 검정기준(#47), 구조기준(#56) 쟁기의 검사기준에 따라 한국생산기술원 입회검사 시험을 실시한 결과이다.

나. 1, 2차년도 필드테스트 결과 정량적 목표를 만족하였다.

## 2절. 관련분야 기여도

○ 국내기술현황 대비 복합작업기 기여도

현재는 고효율 복합작업기인 무동력 디스크해로우가 국산화되어 있지 않고, 해외제품을 수입 판매하고 있다. 디스크해로우는 경운, 배토 작업이 가능하고 1번의 작업으로 심경토 양반전, 반전쇄토 및 정식 전 배토 작업이 가능한 복합작업기로서 3가지 작업기 구입비용 대비 약 1,200만원이 절감된다. (기존 작업기 2,192만원, 개발제품 추정가격 900만 원 대)

가. 경제적 측면

(1) 구입비용 경감

작업 폭	기존 작업기	개발 후 추정 판매가	절감액
(2.5M 90HP)	2,192만원	900만원	1,292만원

(2) 고추농가 경쟁력 향상 및 노동력 절감 (10,000㎡ 기준)

항목	기존 작업기	연구대상 작업기	절감 예시
작업 폭	2.5m		
트랙터 동력	90Hp		
작업속도	3km/h	15km/h	생산성5배증가
소요 작업시간	1시간20분*4회작업 = 5시간20분(320분)	40분 1회작업	8배빠름

필요작업기	3대	1대	관리비용절감
소요 작업인원	4인	1인	3명감축
소요 인건비	15만원 * 4명 = 60만원	15만원 * 1명 = 15만원	45만원절감
트랙터연료소요량 (4Km/L)	4리터	1리터	3리터절약
전체 기계 구입비용	2,192만원	약900만원	약1,292만원절감
소모성부품, 수리보수비용	약40만원	약10만원	약30만원절감

(3) 매출증가 수출증대

(단위 : 억 원)

년도	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년	합계
국내(대)	150	200	300	400	600	1,650
수출(대)	50	100	150	200	400	900
수량(대)	200	300	450	600	1,000	2,550
금액	18	27	40	54	90	229

- 본 연구과제 제품은 선진농업국의 제조사들이 선점하고 있으나 최근 경기침체 등으로 구매력이 저하되고 있어 가격 경쟁력 있는 제품을 출시한다면 수출에 많은 기여를 할 수 있을 것으로 판단됨
- 최근 개발도상국을 중심으로 농기계 구입 보조 사업이 시행되고 있고, 인도, 중국 등은 경제 발전으로 인해 선진 농업기계 구매력이 증가하고 있으나 고속작업이 가능한 복합작업기는 중국 제조기반이 없어 매년 수입이 증가, 구매력이 커지고 있고, 농지 경지생산면적을 확대하고 있는 점을 고려할 때, 본 연구개발제품의 개도국 및 인도, 몽고, 중국 등의 아시아 시장에서 수출유력 상품이 될 것으로 판단됨

나. 파급 효과

본 연구 과제를 응용하여 이와 유사한 용도의 원판디스크해로우 제품을 다양하게 개발함으로써 농가에 요구되는 작물 종류에 따른 다양한 복합작업기를 개발하여 새로운 부가가치를 창출 하는 파급 효과 발생 기대

다. 산업적 측면

- (1) 디스크해로우 제품 개발로 관련 기업 고용 창출 효과
- (2) 수출 증대로 국가 경쟁력 향상 및 무역 수지 개선 효과

라. 기술적 측면

- (1) 농업 선진국과 기술격차 대등
- (2) 주요 부품 소재 관련 원천기술로 관련 농기계 기술혁신 기반 마련
- (3) 핵심기술 공유와 핵심부품 전문기업 경쟁력 향상으로 중소기업 기술 향상
- (4) 국내 최초 국산화 기술 확보
- (5) 구동부 동역학 해석기술 확보 및 측정해석 기술 upgrade

## 5장. 연구결과의 활용계획

코드번호	D-07
------	------

### 1절. 활용계획

#### ○ 복합작업기 활용계획

##### 가. 복합형 작업기 추가연구 계획

본 연구개발과제 이후에도 지속적으로 다른 작물에도 적용 가능한 디스크해로우 기반의 연계복합기와 대형마력(150~200마력)에 적합한 6m 이상의 폴더형 디스크해로우를 연구 개발할 계획이다.

국내시장	국외시장
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구대상 작물 (고추) 외에 다른 작물에도 적용 가능한 배토기 복합 원판 디스크해로우 개발</li> <li>- 디스크해로우와 맥류파종기를 결합한 복합작업기 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 작업 폭 6m 수출용 고속 폴더형 디스크해로우 개발</li> <li>- 디스크 연결 구조 원천기술을 활용하여 아시아 및 아프리카 시장용 등 다양한 디스크해로우 복합작업기 개발</li> </ul>
	

##### 나. 사업화 추진방안

###### (1) 양산화 계획

항목	양산화 계획
----	--------

인력확보 계획	- 1차 사업 진행시 응용분야 확장 개발을 위한 연구인력 1명 채용				
	구분	추가 채용인원			확보방안
		2016년도	2017년도	2018년도	
	연구 개발직	1	1	1	농업작업기 개발
	사무·영업직	2	0	1	영업직 외
생산·일용직	1	5	3	조립 / 생산	
추가채용인원합계	4	6	5	신규 채용	



추가  
기자재  
설비  
도입계획

- 추가 설비 도입을 통한 제품 양산화 준비

기자재 및 시설명	규격	수량	용도	자금	제작처
부품가공	식	2	간이생산용	5,000	동사
제품 용접 지그	식	1	간이생산용	5,000	동사
전용 조립라인 설비	식	1	부품생산용	20,000	미정
설계 및 해석 프로그램	식	1	설계해석용	20,000	미정
제어기 TEST 장비	식	1	제품테스트	20,000	미정
기타 부품 외		1	기타	5,000	
계 (단위 : 천원)				75,000	

제품  
양산화  
계획

양산화 계획	2018 4Q	2019 1Q	2019 2Q	2019 3Q	2019 4Q	2020 1Q	2020 2Q
제품 개발 및 테스트							
제품 인증 및 생산시설							
생산인력 충원							
제품 판매 및 소비자 니즈 반영							
생산시설 추가 증설							

(2) 제품 마케팅 전략

항목

마케팅 전략 세부 내용

확산전략

- 제품 실증을 위한 평가, 인증 및 검증을 통한 제품등록 수행
- 농업기술센터(농기계 임대사업소) 교관 교육용 기계 10대 무상기증
- 지역별 주산지 중심 홍보용 및 농민 시연용
- 3년 무상 A/S 업계 최초로 실시 (소모품제외)

가격전략

- 고효율 디스크헤로우는 자체 기술 개발을 통한 **최초 국산화 제품**이라는 점에서 안전성이 확보되고, 작업속도 및 작업 성능이 우수하므로 모듈별 가격 정책으로 인지도를 확보해 나갈 계획임

유통전략

- 국내 시장규모 대비 제품 출시 이후 3년 이내 국내시장 10% 이상 점유를 목표로 유통 전략 수립
- 해외시장은 5년 이내 1% 점유율을 목표로 진행 예정임
- 국내 시장 점유율 5% 확보를 위해 현재 기존 거래처, 동양물산, LS엠트론, 국제 농기계, 아세아텍 및 국내 외국기업들과의 판매 MOU 체결 및 제품 개발 이후 시판 예정
- 해외영업은 국내 상위 3사의 해외 현지 파트너와의 파트너 계약을 체결



(3) 사업화 전략

구분	구체적인 내용
형태/규모	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 상용화 형태 : 국내 및 해외 수요처 판로 개척</li> <li>- 수요처 : 국내 수요처보다 해외 수요처 주요 판매처 예상 (몽고, 중국)</li> <li>- 예상 단가 : 8,000 (\$)</li> <li>- 개발 투입인력 및 기간 : 2018.01~2018.12</li> </ul>
상용화능력 자원보유	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해외 현지맞춤형 기계공급 협의에 따라 추진 2018년 몽골, 거산현 공급 예정</li> <li>- 해외 딜러망 활용 적극 교류로 지속적인 시장 확대 추진</li> <li>- 국내 발작물 협의회 홍보 및 농협 임대사업단 공급 예정</li> </ul>
상용화 계획일정	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2017년 중국 및 몽고 시장 조사 계획</li> <li>- 2017년 중국 거산 감자 시연회 방문 예정</li> </ul>

## 6장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등 안전조치 이행실적

코드번호

D-11

### 1절. 연구개발과제 보안관리 규정

구분	항목
보안관리 체계	○ 기관 내 보안관리 규정을 제정/적용하고 있다
	○ 보안관리 조직이 있으며, 자체 보안점검실시 등이 잘 운영되고 있다
	○ 보안교육을 정기적 (1회 이상/연)으로 실시하고 있다
	○ 보안 사고에 대한 방지대책 및 비상시 대응계획이 준비되어 있다
참여연구원 관리	○ 참여연구원에 대하여 보안서약서를 받았다
	○ 참여연구원에게 보안 관리의 중요성 등을 인식시키고 있다
	○ 주요 연구자료 및 성과물의 무단유출 방지대책을 수립하고 있다
연구개발 내용/결과 관리	○ 보안성 검토 방법 및 절차를 이행하고 있다
	○ 기술이전 관련 내부규정 및 절차를 준수하고 있다
	○ 연구시설 보안관련 내부규정 또는 지침을 이행하고 있다
연구시설 관리	○ 주요 시설에는 보안장비가 설치되어 있다
	○ 보호구역이 지정되어 있다
	○ 정보통신망 보안관련 내부규정 또는 지침이 구비되어 있다
	○ 보안관리 책임자의 승인 항목이 구분되어 있다
정보통신망 관리	○ 주요 데이터에 대해 백업을 실시하고 있다
	○ 개인용 정보통신 장비(노트북, USB메모리)에 대하여 인가/관리중이다
	○ 전산망 보호를 위한 HW 및 SW 등을 도입하여 적용하고 있다
	○ 직책, 임무별 열람 권한을 차등하여 부여하고 있다

## 7장. 연구개발과제의 대표적 연구실적

번 호	구분 (논문 /특허 /기타)	논문명/특허명/기 타	소속 기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국가	코드번호		D-12	
						Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/ 인용횟수 등)
1	특허	치즐 배토기 형식의 디스크해로우	(주)그린 맥스		대한민국		2017.05.22.	단독사사	
2	특허	주행안전성이 향상된 무동력 디스크해로우	(주)그린 맥스		대한민국		2017.10.31.	단독사사	
3	논문	3차원 스캐닝과 역설계를 이용한 트랙터 복합작업기 치수 검사	전주대 학교	제1저 자	한국기계가 공학회지		2017.06	단독사사	
4	논문	experimental method for durability evaluation of a chisel mounted on a composite working implement	한국기 계연구 원	제1저 자	Journal of biosystems engineering		2017.12	단독사사	
5	논문	6분력계를 이용한 복합작업기의 작업하중 측정과 피로손상도 계산	한국기 계연구 원	제1저 자	Journal of Agricultural life and environmen tal sciences		2017	단독사사	

## 8장. 참고문헌

	코드번호	D-14
1. Ahn, H.H. and Yi, C.S., “Flip-Flap Valve-Type Breakaway Coupling through Reverse Engineering” , J. of KSMPE, Vol.15 No.4, pp.16-22, 2016.		
2. Hur, J.H., Reverse design with 3D scanners, Inus Technology Co. Ltd., pp.33-45,2011.		
3. Jeon, E.C, Kim, S.Y., Han, M.S. and Kim, T.H., “The Study on Application of Reverse Engineering on Correction of a Product Error by Rapid Prototyping” , J. of KSMPE, Vol.6 No.4, pp.8-14, 2007.		
4. Jung, H.S., Park, S.J. and Yoo, J.H., “Analysis of Master Dimensional Shape Error Rate According to Reverse Engineering Technique” , J. of KSMTE, Vol.25 No.5, pp.393-399, 2016.		
5. Kim, T.G., Kim, T.H., Park, J.H. and Park, Y.C., “Selection and Verification of Press Forming Pipe Model using Pipefitting” , J. of KSMPE, Vol.14 No.3, pp.43-49, 2015.		
6. Lee, C. H., Lee, J. H., Kim, J. H., and Chae, T. B., “Reverse Design of Composite Working Implement of Unpowerd Harrow using 3D Scanner” , Proceeding of the Korean Society Agricultural Machinery Spring Conference, Vo.21, No. 1, pp. 209-210, 2016.		
7. Lee, C. H., Lee, J. H., Kim J. H., Chae, T. B., and Kang, D.S., “Structural analysis of multi-disk tractor implements using reverse design“, Proceeding of Korean Society of Manufacturing Process Engineers Autumn Conference, pp. 133-134, 2016.		
8. Lee, C. H., Lee, J. H., Kim, J. H., Chae, T. B., Cho, Y. T.,and Kang, D. S., “Reverse design of multi-disc tractor implements using 3D scanning technology“, Proceeding of Korean Society of Manufacturing Process Engineers Autumn Conference, pp. 201-202, 2016.		
9. Maeng, H.Y. and Park, S.W., “An Evaluation on the Accuracy of a 3D Scanning Device Using Spherical Coordinate Mechanisms” , J. of KSMTE, Vol.24 No.1, pp.1-6, 2015.		
10. Lee, C. H., Lee J. H., Kim J. H., and Chae, T. B., “Reverse Design of Composite Working Implement of Unpowerd Harrow using 3D Scanner” , Proceeding of the Korean Society Agricultural Machinery Spring Conference, Vo.21, No. 1, pp. 209-210, 2016.		
11. Lee, C. H., Lee, J. H., Kim J. H., Chae T. B., and Kang,D.S., “Structural analysis of multi-disk tractor implements using reverse design“, Proceeding of Korean Society of Manufacturing Process Engineers Autumn Conference, pp. 133-134, 2016		
12. Lee, C. H., Lee J. H., Kim J. H., Chae, T. B., Cho Y. T.,and Kang, D. S., “Reverse design of multi-disc tractor implements using 3D scanning technology“, Proceeding of Korean Society of Manufacturing Process Engineers Autumn Conference, pp. 201-202, 2016		
13. Lee, K. S., Park, S. H., Park, W. Y., & Lee, C.S. (2003). Strip-tillage characteristics of rotary tiller blades for use in a dry land direct rice seeder. <i>Soil and Tillage Research</i> ,		

71: 25-32.

14. Rashidi, M, Hamzeh F. L., Mehrdad S, B., Meisam M and Saeb T N (2013). Prediction of Disc Harrow Draft Force Based on Soil Moisture Content, Tillage Depth and Forward Speed. Middle-East Journal of Scientific Research 15 (2): 260-265, 2013

## 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.