

발간등록번호

11-1541000-000511-01

보안과제(), 일반과제(○) 과제번호 307006-03-2-CG000

농업인의 편의성 및 안전성을 위한 콤바인 캐빈 개발

(Development of combine cabin for farmer's safety and
convenience)

성균관대학교

농림수산식품자료실



0005807

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “농업인의 편의성 및 안전성을 위한 콤바인 캐빈 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2010 년 5 월 29 일

주관연구기관명 : 성균관대학교

주관연구책임자 : 최 창 현

세부연구책임자 : 문 정 환

협동연구책임자 : 이 경 숙

협동연구책임자 : 강 영 선

요 약 문

I. 제 목

농업인의 편의성 및 안전성을 위한 콤바인 캐빈 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

국내 농업분야는 농기계 구입자금 융자지원 등의 정부 사업에 의해 농업기계화가 활발히 이루어짐에 따라 1998년 이후 95% 이상의 기계화율을 나타낸다. 벼농사의 농업 기계화로 인하여 농가의 생산성은 크게 향상되었으나, 농기계에 의한 사고 예방 대책의 부족으로 경제적 손실을 초래하고 있다. 2004년 이후 3년간 농업인 안전공제 보상자료를 분석한 결과 농기계 재해 발생률은 3.47%로, 타산업 재해율 0.7%에 비해 약 5배 높게 나타났으며(소비자 안전본부 생활안전팀, 2009) 농기계로 인한 사고 유형 중 안전사고에 대한 사고율은 콤바인 91.7%, 경운기 58.5%, 트랙터 58.3%로 벼농사에 주로 사용되는 콤바인의 사고 예방과 안전성 확보에 대한 연구가 시급한 실정이다.

또한 2003년 노동부 산업재해 통계에 따르면, 국내 농업인구 중 20~40%는 농부증을 앓고 있으며 이 중 요통, 어깨 결림, 수족감각둔화 등의 근골격계 질환을 호소하는 농민은 81.9% 이상의 비율을 차지하고 있다. 근골격계 질환은 협소한 작업공간으로 인한 어색한 작업 자세, 무리한 힘의 사용, 반복적인 작업동작 등으로 인해 발생하는데, 특히 콤바인은 작업 공간이 협소하여 근골격계 질환 발생 가능성이 매우 높다.

작업 동작의 위험성을 예측하기 위해 산업안전 보건법에서는 작업 평가 도구를 이용한 평가를 권장하고 있으나 정성적인 방법이라는 한계점이 있어 농업인의 근골격계 모델 및 디지털 인체 모델 등과 같은 상용 평가 모델을 이용하여 정량적 결과를 도출할 필요가 있다.

이에 본 연구의 목적은 다음과 같다.

- 1) 시계성의 기준 및 평가 방법 제시를 통해 콤바인 수확 작업 시 필요한 시계성 확보
- 2) 농업인의 근골격 모델 개발을 통한 근골격계 질환의 정량적 예방 기준 제시
- 3) 인간공학 기반의 운전석 및 조작부의 개발을 통한 농업인의 편의성 개선
- 4) 콤바인 캐빈의 안전 설계 기술의 개발을 통한 안전성 확보

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

추진 년도	인체계측 및 안전성 기반의 캡 개발	작업자의 근골격 모델 및 운전석 개발	콤바인 작업환경 편의 성을 위한 인간공학적 조작부 개발	안전성 및 편의성을 위한 캐빈 제작
1차 년도	시스템 설계 및 요소부품 개발			
	-콤바인 캐빈의 최적 조망 범위 분석 -인체 계측 시스템 제작 -안전 캡 설계를 위 한 캡 모형 제작	-3차원 골격반응 실 험 및 DB 구축 -농업인의 근골격 모 델 구성 -인체 모델 기반형 운전석 설계	-콤바인 사용실태 및 작업분석 -인간공학 기법을 이 용한 페달 및 조작레 버 개발 -인간공학 기법을 이 용한 조작부 멤브레인 개발	-캐빈 시스템 설계 및 제작 -부대부품 개발
2차 년도	요소부품 개발 및 검증			
	-콤바인 캐빈의 최적 조망에 대한 인체공 학적 설계 -작업자의 인체 활동 계측 및 분석 -인간공학 기준을 적 용한 캡 제작	-농업인의 근골격 모 델 검증 -인체 모델 기반형 운전석 개발 -농업기계 기본 작동 동작에 대한 위험요소 규명	-인간공학 기법을 이 용한 레버 개발 -인간공학 기법을 이 용한 조작부 콘솔 개 발	-캐빈 시스템 설계 및 제작 -부대부품 개발 -구조해석을 이용한 3차원 분석 및 검증
3차 년도	부품 및 시스템의 실내외 성능평가			
	-콤바인 캐빈의 최적 조망 범위 기준 개발 -인간공학 기준을 적 용한 캡 개발 -안전성 기반형 캡의 효용성 검증 및 보완	-농업인의 근골격 모 델을 이용한 실험 결 과 분석 -인체 모델 기반형 운전석 성능 평가 및 수정·보완 -농업기계 기본 작동 동작의 근골격계 질환 예방 프로그램 개발	-인간공학 기법을 이 용한 조작부 검증 및 보완 -인간공학 기법을 이 용한 콘솔 검증 및 보 완 -콤바인 작업 안전 지침서 개발 -영농활용	-캐빈 시스템 검증 및 보완
농업인의 편의성 및 안전성을 위한 콤바인 캐빈 개발				

IV. 연구개발결과 및 활용계획

1. 콤바인 캐빈 개발 프로세스

농업인의 편의성 및 안전성 향상을 위한 콤바인 캐빈의 개발을 위하여 현재 농민들이 사용하는 캐빈형 콤바인의 문제점을 인간공학적으로 분석하고 캐빈의 개발 방향을 설정하였다. 설문 조사, 국내외 제품의 기능 분석, 운전자의 비디오 촬영 등을 이용하여 운전자의 작업 자세와 캐빈의 문제점을 분석하고, 시계성 평가 기술 및 근골격계 인체모형을 개발하였다. 개발된 콤바인 캐빈의 인간공학적 특성을 정량적으로 나타내기 위해 LMM, REBA 등을 이용하여 콤바인 운전자의 작업 자세를 분석하였다. 시계성 평가 기술을 개발하여 인체시야에 대한 정량적인 평가 방법을 제시하였고, 국내 농업인의 인체 정보를 이용한 근골격계 인체 모델을 개발하여 캐빈의 인간공학적 설계 및 성능 평가에 이용하였다. 콤바인 작업 분석, 인간공학적 성능 분석 결과를 기반으로 주요 단위장치와 부속장치를 설계하고 근골격계 인체 모델과 3D 카드 모델을 이용한 시뮬레이션을 통해 설계 단계에서 시제품의 성능을 분석하였다. 캐빈 프레임의 안전성 평가를 위하여 구조해석을 수행하고 프레임의 구조를 보강하였다. 개발된 단위장치 등을 통합하여 콤바인 캐빈의 시작기를 개발하였으며, 현장에서 수확작업을 수행하며 인간공학적인 성능을 평가하였다.

2. 콤바인 캐빈의 시계성 평가 기술 개발

콤바인 캐빈의 시계성 평가를 위해 인체시야에 대한 정량적 평가 기준을 제시하였으며, 이를 통해 캐빈 내부에서의 시계성 측정이 가능한 시계성 평가 시스템을 개발하였다. 또한 시계성 평가 프로그램을 개발하여 적정 눈위치를 제시하였다.

시계성 평가 기준은 기존의 인체시야 범위에 따른 정성적 평가 방법을 활용하여 정량화하였으며, 시계성 평가 시스템은 눈의 위치를 대신하는 레이저 포인터, 작업자의 시야 위치에 따라 이동이 가능한 스텝 모터, 시야의 회전각 측정을 위한 자이로 센서, 신호 측정을 위한 자료 수집 장치로 구성하였다.

시계성 평가는 수확작업 시 작업자의 시야 확보에 필요한 영역을 뷰포인트로 선정하여 현재 시판되고 있는 캐빈형 콤바인을 대상으로 다양한 작업 자세에 따라 수행하였다. 그 결과 대부분의 콤바인은 수확작업 시 이동 경로의 기준이 되는 분초간의 시야 확보가 어려웠으며, 서서 15° 기울인 자세에서 가장 우수한 시계성을 보였다.

눈위치 변경에 따른 시계성 평가 시 실험 횟수 및 노동력 낭비를 줄이기 위하여 눈위치와 뷰포인트 간의 위치 차이를 이용하여 평가점수를 산출하는 시계성 평가 프로그램을 개발하였다. 시계성 평가 프로그램은 시계성 평가 시스템으로 측정된 평가점수와 통계적으로 유사하여 세

부적인 눈위치 변경에 따른 시계성 평가가 가능한 것으로 판단된다. 눈위치를 일정 간격으로 변화시켜가며 시뮬레이션을 수행하여 얻은 적정 눈위치에서 모든 뷰포인트에 대한 시계성이 확보되어 캐빈형 콤바인의 눈위치 변경 시 시계성 개선이 가능함을 보였다.

시계성 평가 기술을 통하여 기존 콤바인 조작부의 개선 및 재배치가 필요함을 증명하였고 개발된 운전석의 시계성 향상을 검증하였다. 농업인의 체형을 기반으로 개발된 시계성 평가 기술은 타 농업기계의 시계성 평가에 활용될 수 있으며, 작업자의 체형을 고려한다면 자동차, 선박, 비행기 등 인간공학적인 설계가 필요한 모든 산업 분야에도 활용될 수 있다.

3. 농업인의 근골격계 모델 개발

국내 농업인의 인체 정보를 활용하여 농업인의 근골격계 모델을 개발하였다. 콤바인 작업에 따른 인체 궤적값을 도출하여 인체 모델을 구성한 후 보행 실험 및 들기 실험에 따른 무게 중심, 지면 반력, 근활성도, 요추 부위 관절 토크 값을 측정하고 인체 근골격 모델을 검증하였으며, 콤바인 작업 시 발생하는 주요 동작의 문제점 분석으로 근골격계 질환의 예방 기준을 제시하였다. 또한 완성된 근골격계 모델을 이용하여 개선된 브레이크 페달의 성능 평가를 수행하였다. 제조사에 따른 콤바인 페달의 위치를 분석한 후 동일한 조작력에 대한 각각의 페달 동작시 하지 관절에 작용하는 부하의 비교 평가를 통하여 개발된 페달의 효용성을 검증하였다. 이와 같은 근골격계 모델은 농업분야 뿐 아니라 인체 공학적 설계가 필요한 일반 산업 분야에 적용하여 작업에 따른 작업 부하를 감소시켜 근골격계 질환과 같은 산업 재해를 예방하는 동시에 인간공학적 평가 항목의 기준을 제시할 수 있다.

4. 인간공학 기반의 운전석 및 조작부 개발

인간공학 기반의 운전석 및 조작부 개발은 콤바인 작업자의 작업 분석 및 조작 반력을 측정 한 후 완성된 농업인의 인체 모델을 이용한 시뮬레이션 방법을 통해 개발되었다. 운전석은 작업 분석을 통해 도출된 문제점을 개선할 수 있도록 설계하였다. 3D 캐드 모델을 이용하여 시뮬레이션을 수행하고 시제품을 이용하여 현장 평가를 통해 성능을 평가하였다. 개발된 운전석은 개선된 작업 자세와 요추 부하 및 근피로의 감소, 그리고 균일한 체압 분포를 보여 편의성 및 안전성이 확보되었다.

조작부 중 콘솔의 그룹화 및 링크 분석을 통해 조작 장치들을 재배치하여 개선된 콘솔을 설계 및 제작하여 조작시간 및 오작동을 감소시키는 결과를 도출 하였다. 레버는 근전도 및 손압력 분포 분석을 이용하여 레버의 모양 및 노브의 형태에 따른 결과값을 비교 하여 조작력을 최소화 시키는 레버의 위치와 모양을 개발하였다. 브레이크 페달은 하지근의 근활성도를 분석하여 개선된 페달의 효과를 검증하였으며 페달의 링크부의 변화로 소음이 감소되었다.

운전석 및 조작부의 개발에 사용된 작업 분석 및 시뮬레이션 기술과 근활성도 및 압력 분포를 통한 검증 방법은 콤바인 뿐 아니라 캐빈을 장착한 트랙터 및 건설 차량, 항공기, 선박, 열차, 승용차 등에 적용가능하다. 설계와 동시에 검증이 이루어지는 과정으로 향후 제품 개발에 소요되는 시간과 비용을 줄이며 작업 편의성을 고려한 설계 기법을 제시할 수 있다.

5. 콤바인 캐빈의 안전 설계 기술 개발

콤바인 캐빈의 안전 설계를 위하여 설계단계에서 캐빈 프레임의 개선효과를 평가할 수 있는 기술을 개발하였다. 개선된 캐빈의 안전성을 위하여 프레임의 보강과 함께 출입문의 개폐 방식 변경, 캐빈의 내부 공간 확보, 탑승 손잡이 추가, 오름 발판의 구조 변경을 수행하여 편의성을 증대 하였으며 유한 요소 방법 중 모달해석 및 구조해석 방법을 사용하여 캐빈 프레임의 안전성을 검증하였다.

모달해석은 구조물의 고유진동 특성을 이용하여 안전성을 평가하는 방법으로 저주파 진동일 수록 강성에 좋지 않은 영향을 주게 된다. 모달해석의 결과 개선된 프레임은 기존 프레임에 비해 공진 주파수가 약 2배 이상의 값을 보여 높은 강성을 보였다. 구조해석은 구조물에 작용하는 하중에 대한 변형량을 비교하여 안전성을 평가하는 방법으로 프레임의 변형량은 운전자의 안전영역 유지에 영향을 줄 수 있어 구조물 해석에 중요한 요인이다. 개선된 프레임의 변형량은 기존 구조물에 비해 약 1/10로 감소하여 개선된 결과를 확인 하였다.

유한요소 방법을 이용한 구조물의 안전성 평가 기술을 이용하여 제품의 설계 과정에서 안전성을 평가 할 수 있는 안전 설계 기술을 개발하였다. 이와 같은 안전 설계 기술은 콤바인 뿐 아니라 캐빈을 사용하는 중장비와 건설장비 등에 적용 가능하며, 참여기업의 기술이전을 통하여 트랙터 및 콤바인 생산 시 적용할 예정이다.

V. 연구 성과

1. 지적재산권

구분	전문학술지*		학술대회	특허		인력양성	
	SCI	비SCI		출원	등록	석사	박사
건수	2	3	11	5	-	1	-

*SCI 1건, 비SCI 1건 투고예정

가. 전문학술지

■ 논문명 : 캐빈형 콤바인의 시계성 평가에 관한 연구

저 자 : 최창현, 김종덕, 김태형, 문정환, 김용주

학 술 지 : 바이오시스템공학 (학진등재)

발행년도 : 2009

■ 논문명 : 디지털 인체 모델을 이용한 콤바인 수확작업의 근골격계 상해요소 분석

저 자 : 김영진, 임용훈, 이경숙, 최창현, 문정환

학 술 지 : 바이오시스템공학 (학진등재)

발행년도 : 2010

■ 논문명 : A Joint Normalcy Index to evaluate patients with gait pathologies in the functional aspects of joint mobility

저 자 : 신기영, 문정환, 임용훈, 김윤수, 김효신, 한재웅, 최창현, 이경숙

학 술 지 : Journal of Mechanical Science and Technology (SCI)

발행년도 : 2010, 8월 게재

■ 논문명 : Biomechanical evaluation of combine harvest operator's lower limbs in pedal operation

저 자 : 임대섭, 문정환, 이경숙, 임용훈, 최창현

학 술 지 : Journal of Mechanical Science and Technology (SCI)

발행년도 : 2010, 8월 투고 예정

■ 논문명 : 근전도 분석 방법에 따른 콤바인 작업 자세 분석

저 자 : 구혜란, 문정환, 이경숙, 최창현

학 술 지 : 바이오시스템공학 (학진등재)

발행년도 : 2010, 8월 투고 예정

나. 학술대회

■ 논문명 : Development of a tele-monitoring system for troubleshooting combines

저 자 : 문용균, 문정환, 송유환, 이상식, 최창현, 이경숙, 김재홍

학술지 : The 2nd International Conference on Advanced Nondestructive Evaluation,
2007

■ 논문명 : 콤바인 작업의 인간공학적 분석

저 자 : 김영진, 문정환, 이상식, 임대섭

학술지 : 한국농업기계학회 2008 동계학술대회

■ 논문명 : 캐빈형 콤바인의 시계성 평가 시스템 개발

저 자 : 최창현, 김용주, 김태형, 문정환

학술지 : 한국농업기계학회 2008 하계학술대회

■ 논문명 : 표면전극을 이용한 팔꿈치의 근활성도 측정 시스템 개발 및 분석

저 자 : 우미나, 최창현, 김용주, 김태형, 문정환

학술지 : 한국농업기계학회 2009 동계학술대회

■ 논문명 : 콤바인 캐빈의 설계향상을 위한 사용자 요구분석

저 자 : 이경숙, 구혜란, 김효철, 김경란

학술지 : 대한인간공학회 2009 춘계학술대회

■ 논문명 : 콤바인 캐빈의 인간공학적 설계를 위한 작업분석

저 자 : 이경숙, 구혜란, 채혜선, 김경란

학술지 : 대한인간공학회 2009 춘계학술대회

■ 논문명 : 인체 모델과 콤바인 작업분석을 통한 콤바인 운전석 개발

저 자 : 김영진, 문정환

학술지 : 대한인간공학회 2009 춘계학술대회

■ 논문명 : 콤바인 작업의자 형태에 따른 농업인의 작업부담 평가

저 자 : 구혜란, 임대섭, 김영진, 이경숙, 김효철, 채혜선, 문정환

학술지 : 대한산업의학회 2009 43차 추계학술대회

- 논문명 : 캐빈형 콤바인 시계성 평가 프로그램 개발
 저 자 : 김종덕, 김용주, 우미나, 이대현, 최창현, 문정환
 학술지 : 한국농업기계학회 2010 동계학술대회

- 논문명 : 캐빈형 콤바인의 브레이크 페달 구조변경을 통한 소음감소 효과에 대한 연구
 저 자 : 구혜란, 이경숙, 김효철, 이상식, 문정환, 박원엽, 김대철, 이봉호
 학술지 : 한국농업기계학회 2010 동계학술대회

- 논문명 : Visibility Evaluation System for Cabin Type Combine
 저 자 : 김종덕, 최창현, 우미나, 김용주
 학술지 : International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture
 and Biosystems Engineering 2010

다. 국내 특허

- 특허명 : 콤바인 운전 제어 장치
 출원인 : 이경숙, 김효철, 구혜란, 김경란, 강영선, 김대철, 김수경, 남요상, 이봉호, 이관
 호, 최창현, 문정환, 임대섭
 출원번호 : 2009, 20-2009-0005139

- 특허명 : 브레이크 페달 조립체
 출원인 : 이경숙, 채혜선, 김효철, 김경란, 임대섭, 구혜란, 박원엽, 최창현, 문정환, 이상
 식, 강동훈, 김대철, 김수경
 출원번호 : 2009, 20-2009-0003749

- 특허명 : 인간공학적 콤바인용 시트
 출원인 : 문정환, 김영진, 최창현, 임대섭
 출원번호 : 2010, 10-2010-0058657

- 특허명 : 운전석 편의성 평가 방법
 출원인 : 문정환, 김영진, 최창현, 임대섭

출원번호 : 2010, 10-2010-0072322

■ 특 허 명 : 콤바인의 시계성 평가 방법

출 원 인 : 최창현, 김종덕, 김영진, 우미나

출원번호 : 2010, 10-2010-0067045

2. 인력양성효과

■ 석 사 : 1명(김종덕), 2010년 2월 졸업

기 관 : 성균관대학교 생명공학과

학위논문명 : 캐빈형 콤바인의 시계성 평가 시스템

3. 실용화 및 사업화

참여기업인 동양물산은 콤바인 프레임의 안전 설계의 기술을 실용화 및 사업화를 위하여 사내 내부의 제품 개발 절차에 따라 진행 하게 된다. 제품 개발 절차는 간략 적으로 고객/환경/제품 정보 수집 및 분석을 통한 상품기획, 개발 계획 작성, Concept 설계, 1차 설계검토, 설계, 2차 설계검토, 시제품 제작, 품평회, 생산원가 분석, 양산개발 승인, 양산 설계, 최종 품평회, 양산에 들어가는 과정으로 진행한다.

프레임의 안전 설계 기술을 적용하여 개발한 콤바인 프레임의 시제품은 2차례의 설계 검토 후 제작하여 최종 품평회 및 생산 원가 등의 분석을 통하여 양산 여부를 결정 하게 된다. 양산을 위한 이와 같은 과정은 약 2년이 소요 되고 실용화를 위한 1년의 기간을 고려한다면 신모델 콤바인의 기술 적용을 통한 실용화 까지는 약 3년이 기간이 소요 될 것으로 판단된다.

4. 교육 및 지도

기술 교육 및 지도를 위하여 콤바인 작업 안전 지침서를 제작 하였다. 완성된 지침서는 필요성, 개선 사항, 착안 사항의 3항목으로 구성 하였다. 3가지 항목 중 필요성은 콤바인 작업에 위한 안전 사항의 필요항목을 나타내었고 개선 사항은 부적절한 콤바인 작업의 개선 방법을 제시하였다. 마지막 착안 사항은 콤바인 작업 현장에 적용 가능한 운동 방법을 권고하였다. 이와 같은 순서로 구성한 콤바인 작업 안전 지침서는 전국 각 지역의 농업지도사에게 배포하여 각 농가의 교육 및 지도 사업을 지원할 예정이다. 또한 농업인 스스로 제시된 안전 작업 지침서의 내용을 기초로 본인의 잘못된 자세를 교정하고 근골격계 질환의 예방을 위한 운동을 수행 할 수 있도록 구성하여 자체적 교육도 가능하다.

SUMMARY

(영 문 요약 문)

I. Purpose and objectives

Farm mechanization was progressed continuously and agricultural mechanization rate was increased to 95% as governmental policy was established to support purchasing fund of farm machineries since 1998. As farm mechanization was progressed, the productivity of farming was increased. However, economical loss took place due to lack of prevention program of agricultural accidents in the field. According to the farm workers' compensation data of safety aid system, accident rate of farm operation is 3.47%, which is five times higher than that of other industries. The most accidents of combine occurs due to human error (66.7%), which is two time greater than those due to product-related factors.

About 20-40% of farmers suffer from various diseases. Among them, 81.9% of farmers suffer from low back pain, shoulder pain, or dullness of senses in hand/foot. Musculo-skeletal injuries were caused by uncomfortable postures in limited space, repeated operating postures for long time, and use of excessive forces. Many farmers may have to change their postures to operate combine, which may result in postural strain during harvesting. To prevent musculo-skeletal injuries for safe and economic operation of combine, assessment techniques are required to design the cabins. Several ergonomic evaluation tools such as RULA, REBA and OWAS, were recommend and used to predict the risk factors of musculo-skeletal injuries. These tools for working postures analysis were qualitative or discriminate evaluation. It is not easy to find the differences of the risk factors from the working postures. Modeling and simulation based on musculo-skeletal human model are required to analyze the risk factors quantitatively.

The purpose of this study was to develop ergonomic combine cabin using human model for farmer's safety and convenience. The primary objectives were as follows

(1) development of visibility evaluation system to enhance operator's visibility during

combine harvesting

(2) development of musculo-skeletal human model and proposing safety guidelines to prevent musculo-skeletal injuries for combine operation

(3) development of operator's seat and control panel to enhance convenience

(4) development of design technologies for combine cabin to improve operator's safety

II. Methods and results

1. Visibility evaluation system

To evaluate operator's visibility in the combine cabin, evaluation methods of visibilities and visibility evaluation system were developed. The simulation program for visibility evaluation was developed and used to improve operator's visibility in the combine cabin.

The visibility evaluation system was developed based on the quantitative evaluation. The conventional method was modified to assess operator's visibility quantitatively by assigning evaluation scores based on the areas of the fields of view regions. The visibility evaluation system consists of a laser pointer, stepping motors to control the direction of sight, gyro sensors to measure horizontal and vertical angles, and I/O interface to acquire the signals. The horizontal and vertical angles to the viewpoints were measured from the operators' eye positions, and compared with designed dimensions of the combine.

Five viewpoints of the combine were selected to evaluate the visibilities at different operator's postures. The results showed that the visibilities of the viewpoints were different significantly as the operator's postures changed. The divider of the combine was invisible due to blocking of the cabin frame at many postures. The posture of sitting with 15° tilt provided reasonable visibilities for combine operators. Most viewpoints of the combine were out of the stable gaze field of view region, therefore, operators should move their body or head to check the harvesting operation.

The computer simulation was conducted to determine the optimal eye positions in the cabin. The visibilities of viewpoints were computed as the eye positions were changed. The results showed that the optimal eye position was closed to the eye position for the best visibility of the divider. The visibility of the divider was

improved, but those of the other viewpoints were decreased at the recommended eye position. The visual information of the viewpoints could be acquired at the recommended eye position.

It was found that operator's seat, lever shape and length, display panel, and window size should be modified to enhance operator's visibility of the combine cabin. The results that the visibilities of prototype cabin was much improved for safety and convenience. Operator's visibility is important for efficient and safe operation of industrial machines in the field. Visibility evaluation system will be useful to determine design criteria such as proper window size, display panel, lever shape and length, and operator's seat of other industrial machines.

2. Musculo-skeletal human model

Musculo-skeletal human model was developed based on Korean anthropometric data. The movements of human body were traced as the operator's postures were changed. The human model was validated by comparing the experimental data of mass center, ground reacting force, muscle activation, and lumbar torque. The operator's postures were analyzed and the safety guidelines were proposed to prevent musculo-skeletal injuries for combine operation.

The musculo-skeletal human model was used to analyze the performance of the modified brake pedal. The positions of the brake pedals of several combines were analyzed. To evaluate the efficiency of the brake pedals, operator's ankle joint loads were measured and analyzed as each pedal was pushed at given acting force. The musculo-skeletal human model can be used in agricultural machinery and other industrial divisions in which the ergonomic design are required. The human model will be an useful tool to reduce worker's loads, to prevent industrial injuries, and to evaluate ergonomic factors of machines.

3. Operator's seat and control panel

Operator's seat and control panel were developed based on human engineering aspects. Operating processes and operating forces of combine were measured and analyzed. The simulation results using the musculo-skeletal human model were utilized to develop the operator's seat and the control panel.

The operator's seat was designed to solve the problems found from operating processes analysis. The computer simulation was conducted using the 3D CAD model and the musculo-skeletal human model. The performance of the prototype seat was tested in the field. The operator's postures were enhanced, lumbar torques and muscle fatigue were reduced, and body pressures were balanced uniformly. The operator's safety and convenience were improved when the prototype seat was used.

Consol of control panel was rearranged by grouping and link analysis of control buttons. The results showed that modified consol helps to reduce reaction time and human error for combine operation. Electromyography and palm pressure distribution were measured and analyzed as the shapes of levers and knobs were changed. The position and shape of lever were designed and manufactured to minimize the operating force. The efficiency of the modified brake pedal was evaluated by analyzing the muscle activation of low body. The noise was also decreased as the link of the brake pedal was changed.

To develop the operator's seat and the control panel, the operating process was analyzed, the CAD and the human model were used for the computer simulation, and they were evaluated by analyzing the muscle activation and the pressure distribution. Those methods can be applied to evaluate combines, tractors, industrial vehicles, ships, and automobiles. As system design and performance evaluation can be done simultaneously, cost and time for production development can be reduced. The design criteria can be determined easily by considering operator's convenience.

4. Cabin design technology for safety

The evaluation technology was developed to analyze the modification effects of cabin frame in design process for safety of combine cabin. The cabin frame was reinforced for safety. Opening and shutting method of door was changed, inner space of the cabin was enlarged, additional boarding handle was attached, boarding stepper was modified to improve the operator's convenience. Modal analysis and structure analysis from finite element methods were used to evaluate the safety of the cabin frame.

Modal analysis can be used to evaluate the safety based on characteristics of natural frequencies of structures. The strength of the frame is weaker as the natural frequency is lower. The results of modal analysis showed that the natural frequency

of the modified cabin frame was two times greater than that of the previous frame. It means the strength of the modified frame of the cabin was improved for safety.

Structure analysis is a method to evaluate the safety by analyzing the deformation of structure when the given loads were applied. The deformation of cabin frame is one of the important factors for operator's safety during field operation. The results of structure analysis showed that the deformation of modified frame was reduced to 1/10 of the deformation of previous frame.

The evaluation technologies using finite element method were developed to analyze the safety of the structures in design process. These technologies will be used useful to analyze the structural safety of combines, tractors, heavy industrial machines, and construction machines. These technologies will be transferred to the participating company, and used for the manufacturing process of combines and tractors.

CONTENTS

(영 문 목 차)

Chapter 1 Introduction	19
Section 1 Research background	19
Section 2 Purpose and objectives	26
Chapter 2 Present status of technology developments	28
Section 1 Status of technology developments in Korea	28
Section 2 Status of technology developments in foreign countries	29
Section 3 Status of registered patents	30
Chapter 3 Methods and results	32
Section 1 Survey and analysis of combine harvesting	32
Section 2 Design and development of ergonomic combine cabin	105
Section 3 Evaluation and performance analysis of developed combine cabin	157
Section 4 Summary and conclusion	283
Chapter 4 Achievements of goal and contribution	288
Section 1 Objectives and goal	288
Section 2 Contributions of related fields	291
Chapter 5 Achievements and application plans of research	295
Section 1 Achievements of research	295
Section 2 Plan of commercialization	306
Section 3 Plan of technology applications	308
Section 4 Applications to other areas and necessity of further works	310
Chapter 6 Technical information related to this study	316
Section 1 Publications	316
Section 2 Patents	319
Chapter 7 References	321
Appendix 1 Safety guideline for combine users	336
Appendix 2 Design of developed combine cabin	356
Appendix 3 Applying for patents and utility models	360

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	19
제 1 절	연구개발 필요성	19
제 2 절	연구개발 목표 및 범위	26
제 2 장	국내외 기술개발 현황	28
제 1 절	국내 기술개발 현황	28
제 2 절	국외 기술개발 현황	29
제 3 절	국내외 특허 현황	30
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과	32
제 1 절	콤바인 작업의 실태 조사 및 문제점 분석	32
제 2 절	인간공학적 캐빈의 설계 및 시작기 제작	105
제 3 절	시작기의 인간공학적 분석 및 성능평가	157
제 4 절	요약 및 결론	283
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	288
제 1 절	연도별 연구목표 및 달성도	288
제 2 절	관련분야 기여도	291
제 5 장	연구개발성과 및 성과활용 계획	295
제 1 절	연구개발 성과	295
제 2 절	산업화 추진 방안	306
제 3 절	교육, 지도 등 기술확산 방안	308
제 4 절	타분야 활용 및 추가연구 필요성	310
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	316
제 1 절	학술논문	316
제 2 절	관련특허	319
제 7 장	참고문헌	321
부록 1	콤바인 작업 안전 지침서	336
부록 2	콤바인 캐빈 최종 설계도면	356
부록 3	특허 및 실용 신안 출원	360

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발 필요성

1. 경제적 · 산업적 중요성

가. 콤바인 시장 환경 분석

(1) 국내 콤바인 시장의 위축으로 세계 시장 경쟁력 약화

국내 콤바인은 포장에서 작물의 예취, 반송, 탈곡 및 선별을 수행하는 자탈형 농업기계이다. 국내 콤바인 시장은 그림 1-1과 같이 1999년대 말에 농기계 과잉 공급으로 인하여 2000년 이후 급격히 축소화 되었으며(농림업 주요통계, 2004), 2003년에 접어들어 다시 수요의 증가로 인해 공급량이 증가세를 보였으나 그 폭은 작게 나타났다. 콤바인의 낮은 수요량은 수요 · 공급의 원칙에 따라 생산성 저하로 이어져 이윤 창출의 어려움으로 콤바인 사업을 포기하는 업체의 발생과 국내 순수 기술력 낙후를 가져온다. 국내 콤바인 시장 보호 및 경쟁력 확보를 위해 소비자 요구 및 구매성향 변화에 맞는 국내 순수 기술력 확보와 이를 위한 지원이 시급한 실정이다.

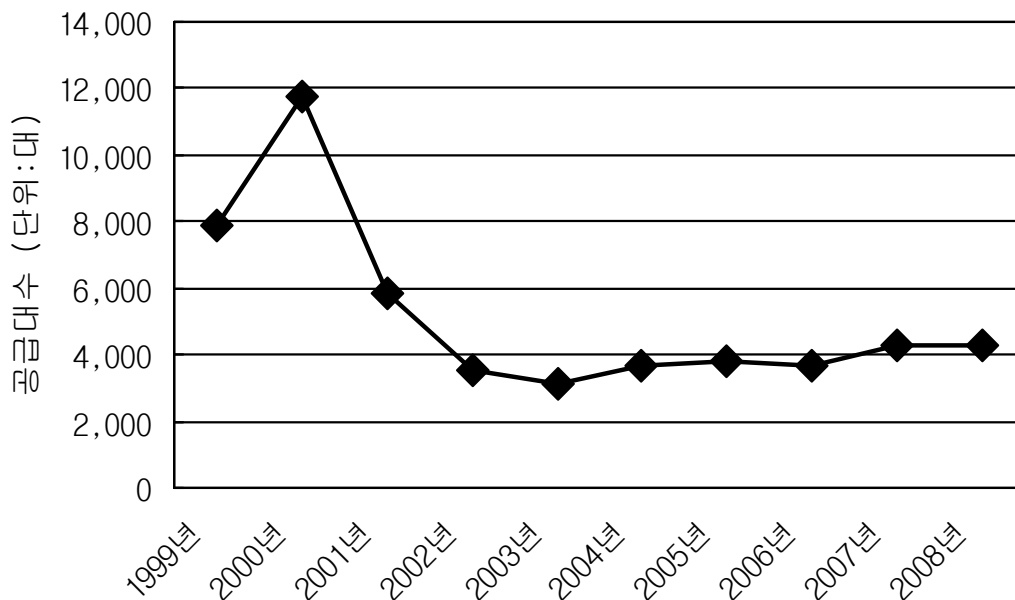


그림 1-1 정부자금지원에 의한 콤바인 공급 현황.

(자료 : 한국농업기계학회, 2009년 농업기계 연감)

(2) 해외 경쟁 업체의 국내 콤바인 시장 잠식

2008년 농기계의 수출입은 그림 1-2와 같이 트랙터의 경우 수입이 수출의 0.6배 정도로 나타난 것에 비해 콤바인의 경우 수입의 비율이 10.6배로 매우 높게 나타났다. 콤바인 수출실적의 경우에는 전년대비 90.3%로 전체 수출실적의 경우인 100.6%보다 다소 낮게 나타났으며 수입의 경우에는 전년대비 146%로 전체 수입실적, 전년대비 111.3%보다 상당히 높게 나타났다. 콤바인의 수입은 2007년에 전년대비 119%, 2008년에는 전년대비 146%로써 매년 증가세를 보이고 이를 통해 국내 시장에서 수입 콤바인의 판매 비중이 증가됨을 알 수 있다. 콤바인은 동아시아 지역을 중심으로 교역이 이루어지고 있으며 우리나라는 전체 수입 470,149대 중 223,115대(47%)를 일본에서 수입하고 있다. 5조식 이상의 해외 콤바인이 2003년부터 공급되기 시작하면서 이에 대한 수요가 늘어 수입물량도 급격히 증가하고 있는 추세이다.

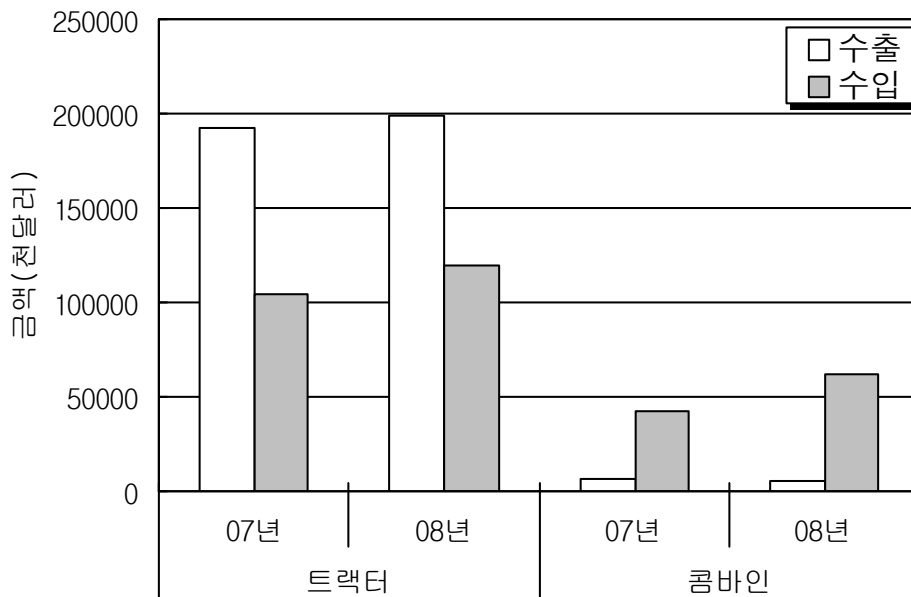


그림 1-2 콤바인 수·출입 현황.

(자료 : 한국농업기계학회, 2009년 농업기계 연감)

(3) 구매 성향의 변화에 따른 새로운 기술력 확보 필요

국내 경지이용은 표 1-1과 같이 농업 경지면적의 감소에도 불구하고 농가호수가 더 큰 폭으로 감소하여 농가호당 경지면적은 증가하였다. 이는 시장개방에 따라 농가인구와 농가호수 감소가 가속화됨에 따라 더 증가해 2019년 1.60ha까지 증가할 전망이다(한국농업기계학회, 2009년 농업기계 연감). 농가호당 경지면적의 증가로 농민의 작업량이 증가하여 한 번에 많은 처리가 가능한 대형 콤바인을 선호하게 된다.

표 1-1 경지이용 추이와 전망

구분	단위	2007년	2008년	2009년	2014년	2019년
경지면적	천ha	1,178.6	1,758.8	1,742.2	1,689.3	1,644.9
농가호당 경지면적	ha	1.45	1.45	1.46	1.52	1.60
농가인구당 경지면적	a	54.4	55.3	56.4	63.0	70.7
국민 1인당 경지면적	a	3.7	3.6	3.6	3.4	3.3
경지이용률	%	103.1	104.5	104.3	102.7	102.2

(자료 : 통계청, 한국농촌경제연구원 KASMO (Korea Agricultural Simulation Model))

표 1-2에서 제시한 연도별 콤바인 공급현황의 경우 5조식 콤바인은 2002년 공급이 시작되어 9배 이상의 급격한 상승을 보였으며 4조식 콤바인의 경우 약 26%의 증가를 나타낸 반면, 2조식과 3조식은 70% 이상 감소하였다. 그림 1-3과 같이 전체 콤바인 중 2, 3조식 콤바인의 비중은 감소하고 4조식 이상이 대부분의 비중을 차지하고 있는데 이는 최근 농가호당 경지면적 증가에 따른 작업량의 증가로 농업인들이 4조식 이상의 콤바인을 선호하기 때문으로 판단된다.

경영 규모별 적합한 콤바인의 규격은 3~5ha 경지면적에서 2조식, 10ha 수준에서 3조식, 20ha 이상의 수준에서 4조식 이상이 적합한 것으로 보고되고 있다(정필영, 2002). 콤바인의 농기계 이용지수는 표 1-3과 같이 타 농기계에 비해 높게 나타났으나, 수입물량의 증가로 콤바인의 가격이 해외 제조업체에 의해 결정되고 있어, 콤바인의 구매가 농가 가계의 부담을 가중시키고 있다.

표 1-2 연도별 콤바인 공급 현황

(단위: 대)

방식	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년
2조식	99	65	78	38	20	4
3조식	441	295	225	132	141	113
4조식	2645	2403	2688	3040	2918	3422
5조식	62	28	426	449	456	597

(자료 : 한국농업기계학회, 2009년 농업기계연감)

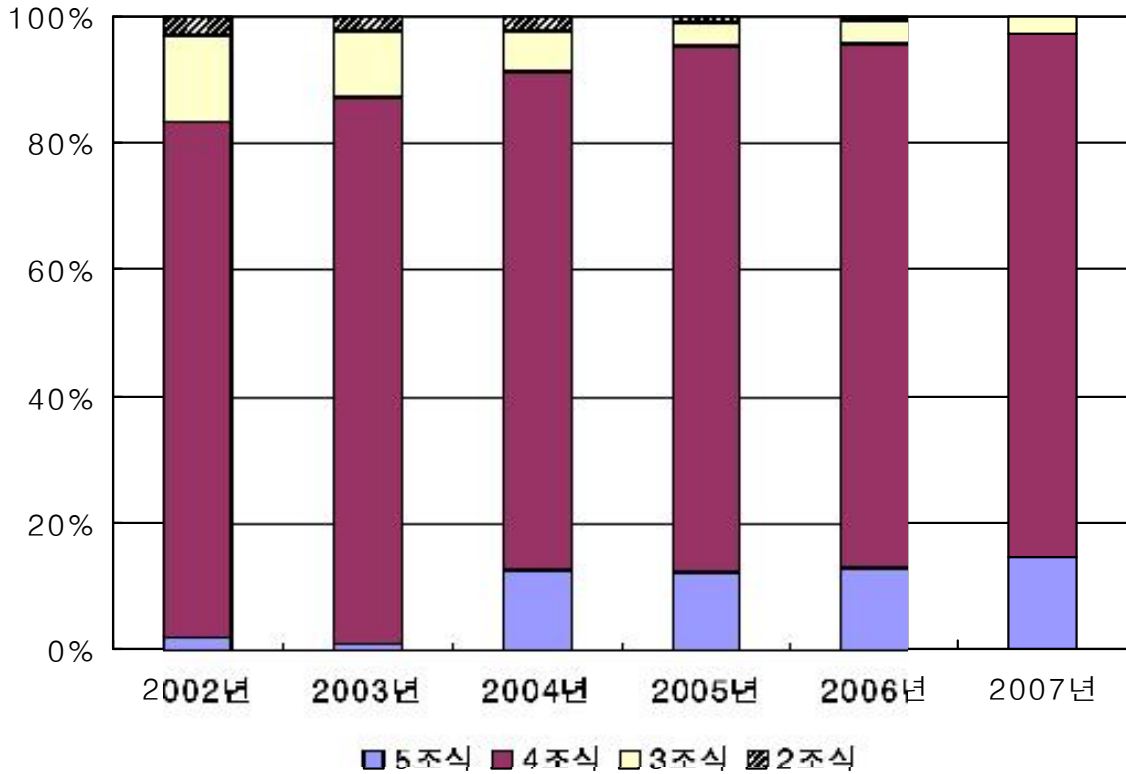


그림 1-3 콤바인 구매 성향 변화 추이.

표 1-3 농기계 이용지수

(단위: 원/대)

구 분	경운기	트랙터	이앙기	콤바인
이용지수	209	1,061	312	1,420

나. 기술개발의 중요성

세계 농기계 수출 시장에서 한국이 차지하는 비율은 미국 19%, 일본 3.5%, 중국 2%에도 훨씬 미치지 못하는 0.5%로 나타났다(한국농업기계학회, 2009년 농업기계연감). 콤바인의 경우에는 수출의 감소와 더불어 수입의 지속적인 증가로 인해 발생하는 자체 설계 기술력 저하와 가격 상승으로 농업인의 부담 가중이 우려된다. 또한 지속적인 수입을 통한 제품 공급은 국내 농기계 업체의 생존을 위협하는 요소로 판단되어 이를 해결하기 위한 기술 개발과 수출의 증대가 시급하다.

국내 콤바인은 아시아권 소수 국가만이 사용하기 때문에 시장의 규모화가 힘들다. 이러한 이유로 대형화 모델로 방향을 바꿔야하지만 일본 업체의 선점으로 인해 국내 업체가 참여하기에는 시장여건이 상당히 열악하다. 독자적인 기술 개발을 통해 시장경쟁력을 확보하지 못한다면 향후 콤바인 시장은 일본 등에 넘어갈 것으로 판단된다(한국농업기계학회, 2009년 농업기계연

감). 국내 순수 기술력을 통한 농기계의 개발만이 국내·외 시장에서 경쟁력을 확보할 수 있으며 주력 시장을 장악하고 있는 다국적 기업들과 경쟁하기 위해서는 기술 개발 및 해외시장 개척 노력과 더불어 정부의 지원이 필요하다(한국농업기계학회, 2009년 농업기계연감).

2. 연구개발의 필요성

가. 연구개발의 타당성 분석

(1) 콤바인 캐빈 선정 타당성 분석

본 연구는 농기계 중 상대적으로 안전사고율이 높은 콤바인의 안정성과 작업 효율 향상을 위하여 국내에서 사용 비중이 가장 높은 4조식 콤바인을 대상으로 인체 모델 기반 캐빈을 개발하는 것이다. 연구의 타당성은 표 1-4와 같다.

표 1-4 콤바인 캐빈 개발의 항목별 타당성 분석

항목	선정 타당성 분석 내용
콤바인	<ul style="list-style-type: none"> - 연구지원 규모가 트랙터 대비 적음 - 농기계 중 안전사고율이 가장 높음
캐빈	<ul style="list-style-type: none"> - 외부 위험으로부터 작업자의 안전을 보호하기 위한 필요한 요소 - 작업 시 기후, 기온 등 외부 환경에 의한 영향을 줄여 작업 효율의 향상을 가져옴
4조식	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 시장 판매율 1위 모델 - 참여기업 동양물산기업(주) 매출 비중 최대
인체 모델 기반의 설계	<ul style="list-style-type: none"> - 작업자의 안전성 정량화 및 측정 가능 - 기존의 정성적인 인간공학에서 탈피하여 객관적이고 합리적인 안전성과 편의성 데이터 확보 - 수입대체 및 수출시장의 차별화

나. 연구개발의 필요성

(1) 작업환경 개선 및 기계 안전성 부여

(가) 콤바인의 안전사고

농업 기계화를 통해 생산성 향상 및 생산 비용 절감 등 많은 이익을 창출했지만 기계 조종을 위해 농업인은 장시간 같은 자세를 유지하게 된다. 콤바인 작업의 경우 고온/저온에서 오는 스트레스, 악취와 분진, 소음과 진동 등의 열악한 작업환경에 의해 스트레스가 증가되며 장시

간 운전은 작업자의 육체 피로도 증가 및 집중력 저하를 가져오고 나아가 안전사고를 유발하게 된다. 농기계 안전사고 원인 중 운전자 부주의에 의한 사고율은 콤바인 91.7%, 경운기 58.5%, 트랙터 58.3%로 콤바인 작업기계의 안전성 확보가 시급하다(김학주 등, 1999). 또한 농기계 사고의 인적·물적 사고 중 콤바인의 인적 사고는 66.7%로, 물적 사고 33.3%의 2배 정도로 높게 나타나 안전장치 확보와 대책마련이 시급하다(국립농업과학원, 2008 농업기계 안전사고 실태).

(나) 노동 집중형 작업으로 인해 근골격계 통증 심화

국내 농업인의 20~40%의 농부중 환자 중 요통, 어깨 결림, 수족감각둔화 등의 근골격계 질환을 보이는 농민들은 81.9%로(노동부, 2003년 산업재해 통계) 높은 비중을 차지한다. 콤바인 수확작업의 경우 1일 평균 작업시간 9.26시간으로 다른 작업에 비해 노동력 집중도가 높다(황성만 등, 2000). 콤바인 작업과 근골격계 질환의 관련성 측정을 위해 벼 재배 작업자를 대상으로 축적피로징후 호소율을 측정하였고 그 결과 근골격계 질환을 유발하는 반복적이고 어색한 작업 자세를 취하는 못자리, 모내기 작업과 콤바인을 사용하는 벼 수확 작업에서 큰 차이가 없게 나타났다(안옥선, 2001). 이는 콤바인의 수확작업 중 노동 집중으로 근골격계 이상 징후를 유발하고 근골격계 질환을 가중시키는 것으로 판단된다.

충남 서부지역의 경우 콤바인 사용 연령층은 그림 1-4와 같이 40~50세가 42.6%, 50~60세가 27.8%로 40~60대는 20~30대에 비해 근 회복력이 떨어져 집중 노동형인 콤바인 운전시 근골격계 질환을 더욱 악화시킨다(황성만 등, 2000). 그러므로 고령화·여성화 되고 있는 농촌 현실을 반영한 인체 모델 기반의 안전성과 편의성을 고려한 콤바인 캐빈 설계가 필요하며 국내 체형 및 현실에 맞지 않는 수입형 콤바인을 농업인 인체 모델에 맞게 개발하고 내부의 상해 요인들을 추출하여 이를 제거함으로써 근골격계 질환을 예방한다.

(2) 수입대체 효과 및 새로운 제품의 수출 경쟁력 확보

세계 농기계 시장규모는 1500억 달러로 매년 4~5%씩 성장하고 있으며 국내 시장규모는 1997년 1조 2000억 원에서 매년 20~30%씩 감소하여 5년 만에 6천억 원으로 감소하였다(동양물산기업(주), 2004 사이버홍보실). 따라서 세계시장 규모에 맞는 수출 경쟁력을 확보해야 하며, 이를 위해 국내 기술력에 대한 지원이 필요하다.

콤바인의 경우 일본 완제품 수입의 증가로 국내 시장이 잠식되었으며 논농사 규모변화에 따라 농기계 수요가 대형·첨단 기종으로 변화하지만 새로운 모델의 개발은 부족한 실정이다(홍천군 농업기술센터, www.agrocenter.go.kr). 콤바인 캐빈은 농업기계 업체에서도 대규모의 투자와 기술이 뒷받침되는 대기업이 아니면 개발이 힘든 제품으로 현재 국내 설계기술은 벤치마

킹 수준이고, 100% 수입에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 기술력 및 모델 개발 부족으로 콤바인 시장의 경쟁에서 낙오되지 않기 위해서는 국가의 적극적인 지원을 통한 국내 업체의 독자적인 기술 개발로써 시장 경쟁력을 향상시켜야 한다.

한국과 일본의 농기계 제조회사당 연간 주요기종 출하대수 비교(한국/일본)에서 콤바인, 트랙터, 이앙기는 12.1, 6.3, 2.4로 콤바인이 가장 높으므로(한국농업기계학회, 2009년 농업기계연감) 트랙터 단일 위주의 수출 방향에서 새로운 제품인 캐빈형 콤바인의 수출 확대를 통하여 농업기계 기업의 다양한 제품군 개발에 이바지할 것으로 판단된다.

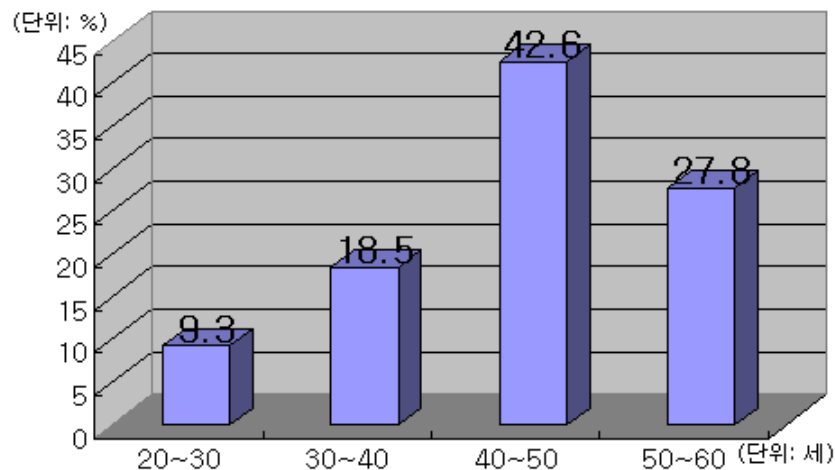


그림 1-4 콤바인 농가의 경영주 연령분포.

(3) 국내 현실에 맞는 설계기법의 설계 기술개발 필요

(가) 인체 모델에 의한 정량적이고 객관적인 자료를 기준으로 캐빈 재설계

농가호당 경지면적의 증가로 콤바인의 구매 형태가 점차 대형으로 변하고 있지만 미국에서 수입되고 있는 대형 콤바인 캐빈의 경우 서양인의 체형에 맞게 설계한 것이므로 우리 농촌 실정에 맞는 콤바인 캐빈의 개발이 필요하다. 국내의 콤바인 캐빈 설계기술은 벤치마킹 수준이며 완제품뿐만 아니라 부품 설계기술 역시 선진국에 비해 뒤떨어져 대부분 제품 생산 및 기술은 기술제휴에 의해 이루지는 실정이다.

콤바인 캐빈의 설계를 위해서는 정량적인 설계를 위한 인체 모델 개발, 인체의 안전을 위한 객관적인 데이터 및 기술력 획득, 인간공학기법을 이용한 정성적인 자료와 농업환경을 고려한 인체 모델의 연구가 필요하다. 그리고 개발된 인체 모델을 적용함으로써 국내 농업인의 체형에 맞는 설계가 가능하고 콤바인 작업으로 인한 인체 상해를 예측 및 예방하여 농업인의 안전성을 확보할 수 있다. 캐빈형 콤바인 개발 후에도 추가적으로 작업자가 작동법을 정확히 숙지할 수 있도록 주기적인 안전교육 실시가 필요할 것으로 판단된다.

제 2 절 연구개발 목표 및 범위

1. 연구개발 목표

국내 농업분야에서 농업기계화는 1998년 이후 농촌진흥청의 농기계 구입자금의 용자지원 등과 같은 정책에 의해 95%이상의 기계화율을 나타낸다. 특히 농업 분야 중 벼농사는 9월과 10월 사이에 집중적으로 수확 작업을 수행하는 작업 특성으로 인하여 농업기계화의 필요성이 대두 되었으며 2009년 기준 91%이상을 나타낸다.

벼농사의 기계화로 인하여 농가의 생산성은 크게 향상되었으나 농기계에 의한 사고 예방 대책의 부족으로 경제적 손실을 초래하고 있다. 2004년부터 3년간 농업인 안전공제 보상자료를 분석한 결과 농기계 재해 발생률은 3.47%로 타산업 재해율 0.7%에 비해 거의 5배에 이르는 것으로 나타났으며(소비자 안전본부 생활안전팀, 2009) 콤바인의 경우 사고 유형 중 인적 사고는 66.7%, 물적 사고 33.3%에 비해 2배 정도로 높게 나타나 안전장치 확보와 대책마련이 시급하다(국립농업과학원, 2008 농업기계 안전사고 실태).

또한, 우리나라 농업인 중 20~40%는 농부증을 앓고 있으며 이 중 요통, 어깨 결림, 수족감각둔화 등의 근골격계 질환을 보이는 농민은 81.9%이상의 비율을 차지하고 있다. 근골격계 질환은 협소한 작업공간으로 인해 발생하는 어색한 작업 자세, 무리한 힘의 사용, 반복적인 작업 동작 등에서 기인하는데, 콤바인의 경우 작업 공간이 매우 협소하며 각종 레버의 조작 시 큰 힘을 요구하여 근골격계 질환의 발생 가능성이 높아 작업자에게 불편요소로 작용할 수 있다.

이러한 작업 동작의 위험성을 예측하기 위하여 산업안전 보건법에는 작업 평가 도구를 이용하여 평가하기를 권장하고 있다. 하지만 이러한 평가 방법들은 정성적 평가 방법이라는 한계점을 갖고 있어 인체 모델링 및 디지털 인체 모델 등과 같은 상용 평가 모델을 이용하여 정량적 결과의 도출이 필요하다. 이에 본 연구의 목적은 인체 모델을 이용하여 농업인의 근골격계 질환을 예방할 수 있는 콤바인 캐빈을 개발하여 농업인의 안전성 및 편의성을 확보하는데 있다.

2. 연구개발 범위

가. 인체계측 및 안전성 기반의 캡 개발

- 콤바인 캐빈의 최적 조망 범위 기준 개발
- 농업인 체형에 적합한 캐빈 개발을 위한 인체 계측
- 인간공학 기준에 의거한 캡 개발

나. 작업자의 근골격 모델 및 조작석 개발

- 농업인의 근 모델 개발
- 농업인의 골격 모델 개발
- 인체 모델 기반형 조작석 개발
- 농업기계 기본 작동 동작에 대한 근골격계 질환 예방 기준 개발

다. 작업환경 편의성을 위한 인간공학적 조작부 개발

- 콤바인 사용실태 및 작업분석
- 인간공학 기법을 이용한 조작부 개발
- 인간공학 기법을 이용한 조작부 멤브레인 개발
- 콤바인 작업 안전 지침서 개발
- 영농활용

라. 안전성 및 편의성을 위한 캐빈 제작

- 캐빈 시스템 설계 및 제작
- 부대부품 개발
- 구조해석을 이용한 3차원 분석 및 검증

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

연구수행 기관	현 황
농촌진흥청	<ul style="list-style-type: none"> · 농작업장내 근골격계 질환 유해요인 조사 · 농업인 건강수준 및 직업성 질환 표준화 방안 연구 · 농업인의 운반작업 편의화를 위한 인간공학형 운반대차 개발 · 매년 농기계 관련 재해실태 조사 및 원인 분석 실시 · 농촌여성의 농기계 사용특성 연구 · 농작업 및 생활 안전관리 평가지표 개발을 통한 농기계 사고 예방 및 안전교육 실시 · 농작업장내 근골격계 질환 유해요인 조사 · 농기계 안전이용 콘텐츠 제작 및 농작업 재해 가상 체험 프로그램 개발
한국표준과학연구원	<ul style="list-style-type: none"> · 농용 트랙터의 진동 저감을 위한 시트 개발 · 트랙터 시트의 인간공학적 레이아웃 평가 및 설계 · 트랙터 시트의 안락성, 승차감, 피로감 평가 · 트랙터 시트 관련 인간공학적 설계 표준화안 정립
서울대학교	<ul style="list-style-type: none"> · 농용 트랙터의 안전캡 내부 소음 감소에 관한 연구 · 농용 트랙터의 동특성 시뮬레이션 - 좌석 진동 · 농용 트랙터용 운전자 좌석 진동 시험을 위한 1축 가진 시험기 개발 · 농용 트랙터의 승차진동 평가에 관한 연구
포항공대	<ul style="list-style-type: none"> · 인간공학적 작업부하 평가방법을 이용한 근골격계 부담작업 판정기준의 정확성 평가 · 가상 환경상의 정량적인 인간공학적 평가 방법 개발
(주) 삼우농기	<ul style="list-style-type: none"> · 일체형 콤파인 캐빈 개발 · 넓은 시야 확보, 유치창의 열림창을 크게 하여 외부 레버 쉽게 조작 · 에어컨, 외기흡입카본필터, 윈도우용 와이퍼, 오디오 등 장착
(주) 동양물산	<ul style="list-style-type: none"> · 농기계(트랙터)용 캐빈 개발 · 개폐식 선루프가 포함되어 통풍 가능
성균관대학교	<ul style="list-style-type: none"> · 콤파인 예취부의 실시간 고장진단 시스템 개발(2004~2007년)
(주) 청정산업	<ul style="list-style-type: none"> · 고하중용 캐빈 방진 마운트 개발(2009년부터 연구 진행중)
한국건설기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> · 인간공학적 도로 안전성 분석시스템 개발(2006년)
영진전문대학	<ul style="list-style-type: none"> · 농업용 트랙터 캐빈의 열악한 작업환경인 소음, 먼지, 비바람으로부터 운전자를 보호하고 작업에 필요한 편의 장치가 제공되는 캐빈 부품 설계(2009~2010년)
농업공학연구소	<ul style="list-style-type: none"> · 농업기계안전성 향상 기술 연구(2004~2005년)

제 2 절 국외 기술개발 현황

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황	
존디어社	<ul style="list-style-type: none"> · 프라운호퍼 연구소(Fraunhofer Institute for Industrial Engineering)와 가상현실을 적용한 인간공학형 트랙터 캐빈 연구 실시 	<ul style="list-style-type: none"> · 제품에 적용하여 판매 중 · 논문 발표 	
미국	오하이오 주립대	<ul style="list-style-type: none"> · 국립산업안전보건연구원(NIOSH)과 국립질병통제예방센터(CDC)의 지원을 받아, 가상 모의실험기술을 트랙터의 안전 교육 프로그램의 평가에 활용하는 연구를 대규모 과제로 진행 중에 있음 	<ul style="list-style-type: none"> · 트랙터용 인간공학형 캐빈 구조를 ASAE 표준으로 주도
프라운호퍼 연구소	<ul style="list-style-type: none"> · 가상현실을 이용한 인간공학형 디자인의 제품 연구(2000년) 	-	
유럽	영국, 프랑스, 독일 등	<ul style="list-style-type: none"> · 트랙터를 포함한 농업의 안전보건사업 수행 	-
일본	구보다社, 이세끼社, 안마社	<ul style="list-style-type: none"> · 농업기계 비용의 저감 대책, 고성능 농업기계 개발, 농작업의 안전 대책의 3대 정책 위주로 기술 개발 시행 	<ul style="list-style-type: none"> · 인간공학적 안전기준 및 장치 설계 방법 개발·보급

제 3 절 국내외 특허 현황

1. 특허 동향

가. 주요 특허 건수 조사

종 류	해외 특허	국내 특허	비고
콤바인 캐빈	전체 160건	전체 2건	
	JP: 155건, EP: 2건, UP: 3건	특허: 1, 디자인: 1	

※ JP: 일본특허, EP: 유럽특허, UP: 미국특허

나. 농업기계 캐빈 관련 국내 주요 특허 내용

기종	부문	특허명	대표 도면	출원인/IPC분류/처분
콤바인	캐빈 (특허)	농기계용 캐빈		동양물산기업 /출원
	캐빈 (디자인)	콤바인		구보다 /519980958081 /등록
트랙터	캐빈 (특허)	캐빈이 달린 트랙터		구보다 /3020050035385 /등록결정
		트랙터의 캐빈		구보다 /3020050035385 /등록
		농업용 트랙터의 캐빈		동양물산기업(주) /3019980003024 /등록
	캐빈 (디자인)	농업용 트랙터 캐빈		구보다 /3019890006007 /등록
		트랙터용 캐빈		(주)태화정공 /3019990001900 /등록
		트랙터용 캐빈		엘에스전선(주) /3019980018789 /등록

다. 농업기계 콤바인 캐빈 관련 해외 주요 특허 내용

국가	특허명	출원인/공보일자
유럽	Cabin for a motor vehicle, especially for a combine	Deere & Company /1982.12.01
미국	Fluorescent tube cabin lighting	Valeo Electronique /1996.09.24
일본	Driving part structure of combine	Kubota Ltd. /1990.01.26
	Cabin of combine	Iseki & Co. Ltd. /2004.07.02
	Cabin apparatus of combine harvester	Seirei Ind Co. Ltd. /2005.11.04
	Cabin of combine harvester	Mitsubishi agricult mach Co. Ltd. /2006.03.23
	Combine harvester	Yanmar Co. Ltd. /2005.05.19

2. 특허 분석 내용

- 미국 및 유럽에서는 한 개 회사가 원천특허를 보유하고 있음
- 일본에서는 다양한 특허가 출원되고 있으며, 농기계 4개社(구보다社, 안마社, 이세끼社, 미쓰비시社)가 특허를 보유하고 있음
- 일본회사인 구보다社가 콤바인뿐만 아니라 트랙터 캐빈에 대한 특허를 가장 많이 보유하고 있음
- 시장뿐만 아니라 특허마저 보호하지 못한다면 대형모델 위주로 보급되고 있는 우리나라 콤바인 시장은 일본 등에게 잠식당할 수 있음

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 콤팩트 작업의 실태 조사 및 문제점 분석

1. 국내외 콤팩트 비교

가. 국내외 콤팩트의 시계성 비교

기존 콤팩트 캐빈의 시계성 비교를 위해 국내 T社, 국외 I社, 국외 K社 등 6개社의 콤팩트에 대하여 라이트(light)와 미러(mirror) 및 유리창 등을 비교, 분석하였다. 먼저 라이트와 미러에 대한 콤팩트 캐빈의 조망을 비교한 결과 표 3-1과 같이 라이트는 평균 4.7개, 미러는 평균 2.2개로 나타났다. 라이트의 경우 국내 K社와 국외 K社가 6개로 가장 많이 장착하고 있었으며 미러의 경우 국외 I社가 4개로 가장 많이 장착하고 있었다. 그림 3-1~3-6과 같이 국내 제품(T社)과는 달리 국외에서 수입된 제품(Y社, I社, M社 등)들은 전방 차폐 영향을 최소화 하거나 라운드 형태의 유리창을 사용하여 운전자의 시계성을 향상시켰다.

표 3-1 제조사별 콤팩트 캐빈 외부의 라이트와 미러 개수

	라이트	미러
국내 T社	4개	1개
국내 K社	6개	2개
국외 Y社	4개	2개
국외 I社	5개	4개
국외 K社	6개	2개
국외 M社	3개	2개
평균	4.7개	2.2개



그림 3-1 국내 T社 콤바인의 캐빈 외부 형상.



그림 3-2 국내 K社 콤바인의 캐빈 외부 형상.



그림 3-3 국외 Y社 콤바인의 캐빈 외부 형상.



그림 3-4 국외 I社 콤바인의 캐빈 외부 형상.



그림 3-5 국외 K社 콤바인의 캐빈 외부 형상.



그림 3-6 국외 M社 콤바인의 캐빈 외부 형상.

제조사별 콤바인 캐빈의 후방 유리창 비율을 비교한 결과 표 3-2와 같이 국외 K社가 88%로 후방 시계성을 가장 많이 확보하고 있음을 알 수 있었고 국내 T社는 58%로 전체 평균 75.3%에 비해 크게 못 미치는 것으로 나타났다. 또한 그림 3-8(a)와 같이 앉은 자세에서는 분초간과 계기판이 차폐에 의해 가려져 선 자세로 콤바인 작업을 해야 한다는 단점이 있었다.

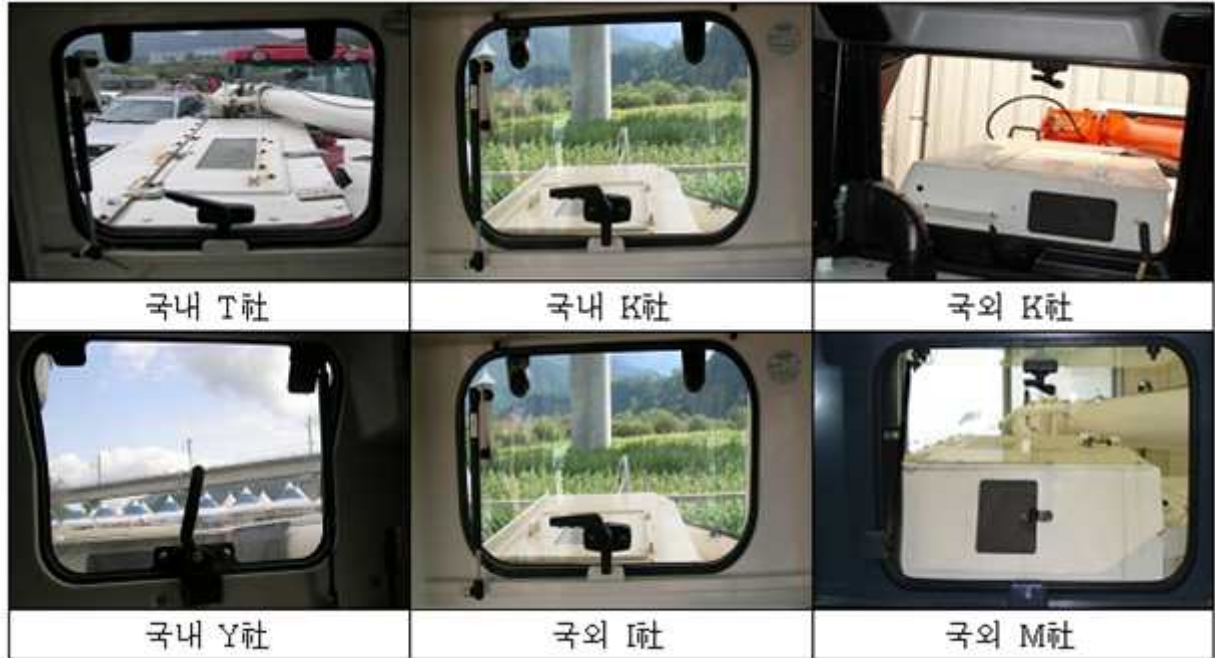


그림 3-7 제조사별 콤바인 캐빈의 후방 시야.

표 3-2 제조사별 콤바인 캐빈의 후방 유리창 비율

제조사	유리창 비율(유리창 면적/전체 패널 면적)
국내 T社	58%
국내 K社	74%
국외 Y社	74%
국외 I社	84%
국외 K社	88%
국외 M社	74%
평균	75.3%



(a) 앞은 자세

(b) 선 자세

그림 3-8 국내 T社 콤파인의 시야.

나. 국내외 콤파인의 주요장치 비교

(1) 국내 콤파인 작업 분석

(가) 비디오 촬영을 통한 동작 조사 및 분석

기존 콤파인을 이용한 작업 시 작업자가 행하는 동작의 문제점을 분석하기 위해 비디오 촬영을 통하여 작업 동작을 조사 및 분석하였다. 동작 분석을 위한 비디오 촬영은 전북 부안에서 이루어 졌으며, 피험자는 캐빈이 없는 T社 콤파인을 사용해 본 신체 건강한 성인남성 6명을 대상으로 하였다. 캐빈형 콤파인은 유리로 인해 빛이 반사되어 작업자의 행동을 관찰할 수 없기 때문에, 캐빈이 없는 콤파인을 대상으로 하였다. 비디오 촬영은 실내·외에서 진행하였는데, 실내 촬영으로 후면에서 관찰되는 작업자의 허리 및 손동작에 대해 분석하였고 실외 촬영으로 측면 작업 자세를 분석하였다. 작업동작은 시동을 거는 것을 시작으로 곡물통이 가득 차면 배출하는 것 까지를 한 주기로 하여 분석하였다.

예취 작업 중에는 예취날의 높이와 좌우방향을 조절하는 파워스티어링 레버, 기체의 전진 및 후진 기능을 하는 주변속 레버, 그리고 주행 속도를 조절하는 부변속 레버를 주로 사용하는데 후진 시에는 파워스티어링 레버와 주변속 레버를 동시에 조작한다. 표 3-3은 실내에서 촬영한 작업동작을 분석한 결과이고 표 3-4는 실외에서 촬영한 작업동작을 분석한 결과이다. 한 주기 동안의 작업시간은 예취의 경우 약 15분, 배출의 경우 약 5분으로 총 작업시간은 약 20분이다. 피험자 별로 작업시간이 차이 나는 것은 운행습관 및 숙련도가 다르고 운행 중에 발생하는 기계 결함 등에 따른 시간 지연 때문이다.

표 3-3의 실내 촬영 분석 결과 예취 작업 동안 피험자들의 상지는 왼쪽으로 회전되어 있음을 알 수 있다. 상지가 왼쪽으로 회전된 것은 예취 작업 동안 계속 잡고 작업하는 파워스티어링 레버와 주변속 레버의 위치가 피험자의 오른쪽 정면과 왼쪽 뒤에 각각 위치하고 있기 때문이다. 그리고 예취 작업 중에 허리를 오른쪽으로 회전과 동시에 굽히는데, 이것은 파워스티어

링 레버와 주변속 레버의 높이 차이에서 기인한다. 보통 콤바인 작업시간이 하루 평균 8시간임을 감안해보면 비틀린 자세가 장시간 지속되어 근골격계 질환이 발생할 수 있다. 따라서 예취 작업 중에 필요한 레버의 위치를 변경하거나 작업자가 수시로 작업 자세를 변경해야 할 필요가 있다. 주변속 레버를 조작할 때 나타나는 작업 자세에는 레버를 당기면서 앉았다가 일어나고, 밀면서 손바닥으로 치는 경우가 있었다. 주변속 레버를 조작할 때도 당길 때 잠시 앉았다 일어나거나 밀 때 손으로 치는 경우가 있었다. 피험자에 따라서는 레버의 손잡이인 노브를 잡는 방법도 다르게 나타났는데, 레버의 위치와 노브 형태에 따라 근활성도가 어떻게 변하는지 정량적으로 규명해 볼 필요가 있다.

실외촬영 영상분석 결과는 표 3-4와 같다. 피험자들은 분초간과 탈곡부를 보기 위해 정면 또는 측면으로 목을 숙이고 1분 당 약 10회 정도 짚 막힘 확인을 위해 목을 왼쪽 방향으로 회전시킨다. 목을 한 쪽 방향으로 장시간 반복적으로 회전하게 되면 목 부위에 근골격계 질환을 야기할 수 있다. 검불 등으로 인해 탈곡부에 짚 이동이 막히면 허리를 회전하면서 왼쪽으로 깊이 숙여 빼내는 동작을 볼 수 있었는데, 캐빈이 장착된 콤바인의 경우 상지가 왼쪽 창밖으로 나갈 수 있어야 함을 의미한다. 예취 작업 동안 후진 시 주변속 레버를 당길 때를 제외하고 분초간의 시야 확보를 위해 계속 서서 작업을 하였다. 장시간 서서 작업하는 것 또한 하지에 근골격계 질환을 유발할 수 있다. 곡물 배출 시에는 뒤를 돌아본 후 오거 작동을 위해 허리를 숙였는데 이 때의 불편한 자세를 보상하기 위해 한쪽 다리를 무릎 꿇어 의자에 올려놓는 특징도 보였다.

표 3-3 실내촬영 영상 분석

피험자	실내촬영 영상 분석	작업시간 예취+배출
피험자1	<ul style="list-style-type: none"> - 주변속 레버 조작 자세: 후진 시 의자에 앉음 ; 적은 힘으로 뒤로 당기기 위한 인체 기작 - 부변속 레버 조작 자세: 엔진회전 낮출 때 의자에 앉음 ; 적은 힘으로 뒤로 당기기 위한 인체 기작 	11분 + 5분
피험자2	<ul style="list-style-type: none"> - 예취 작업 자세: 왼쪽 어깨를 뒤쪽으로 회전함 ; 주변속 레버가 어깨의 위치보다 뒤쪽에 위치 - 주변속 레버 조작 자세: 후진 시 허리를 숙이고 상지 회전, 후진에서 전진 쪽으로 밀 때 손잡는 방식 달라짐 - 쥘 배출 자세: 오거 조절통 위에 손을 짚음 	11분 + 4분
피험자3	<ul style="list-style-type: none"> - 예취 작업 자세: 상지를 회전함 ; 오른손으로 잡는 파워스티어링과 왼손으로 잡는 주변속 레버의 위치로 인해 상체가 회전됨 - 주변속 레버 조작 자세: 방향 전환 시 속도 줄임, 상지 약 45° 회전 - 곡물통을 뒤쪽으로 댈 때 자세: 상지 회전 	16분 + 4분
피험자4	<ul style="list-style-type: none"> - 예취 작업 자세: 상지를 회전하고 오른쪽으로 외측굴곡 됨 ; 파워 스티어링과 주변속 레버의 높이차이로 인해 외측굴곡 발생 - 부변속 레버 조작 자세: 방향 전환 시 속도 줄임, 기본자세보다 허리는 더 굴곡되고, 상지는 더 회전됨 ; rpm 레버를 저속으로 변환할 때 뒤로 당겨야 할 거리가 멀어 발생됨 - 곡물 배출을 위해 후진 자세: 상지 회전 심함 	13분 + 7분
피험자5	<ul style="list-style-type: none"> - 예취 작업 자세: 오른팔은 펴고 왼팔은 구부림, 상지를 회전하고 오른쪽으로 외측굴곡 됨 ; 파워 스티어링의 길이가 팔 길이와 유사하여 발생 - 주변속, 부변속 레버 조작: 순간적으로 앉음, 손바닥으로 쳐서 미는 동작 ; 체중을 실거나 손에 가속도를 가함으로써 힘을 증대하여 레버를 작동시킴 	12분 + 7분
피험자6	<ul style="list-style-type: none"> - 주변속 레버 조작 자세: 방향 바꿀 때 앉아서 조작, 주변속 레버 잡을 때 손목을 90°로 꺾음 - 후진 시: 뒤를 보기 위해 상지 회전 ; 백미러가 필요함 - 쥘 배출 자세: 곡물통 쪽을 바라보고 서서 의자에 기댄 	8분 + 6분

표 3-4 실외촬영 영상 분석

피험자	실외촬영 영상 분석	작업시간 예취+배출
피험자1	<ul style="list-style-type: none"> - 왼쪽 돌아 봄: 6회/분 - 목을 약 25° 정도 숙임 - 측면 자세: 오른발 앞으로 왼발 뒤로 섬 - 방향 전환 시 앉음 	11분 + 5분
피험자2	<ul style="list-style-type: none"> - 왼쪽 돌아 봄: 15회/분 - 목을 45° 정도 숙임 - 예취부에 있는 검불 꺼냄: 작업 멈춘 후 콤바인에서 내린 후 꺼냄 ; 문을 통해 꺼낼 수 있도록 설계 요망 	11분 + 2분 35초
피험자3	<ul style="list-style-type: none"> - 왼쪽 돌아 봄: 12회/분 - 예취 작업 동안 계속 상지를 숙임 - 검불 꺼낼 때의 자세: 왼쪽으로 상지를 회전하여 숙이고 왼쪽에 걸린 검불 꺼냄 ; 왼쪽창문 상지 밖으로 나갈 수 있을 만큼 열려야 함 - 측면 자세: 왼쪽다리로 짚고 서고, 오른쪽다리는 앞으로 나와 있음(한 쪽으로 무게중심 쏠림, 계속 서서 작업) ; 왼쪽 레버가 피험자가 서 있는 위치보다 뒤에 있기 때문에 상지가 왼쪽으로 회전될 수밖에 없음 - 곡물 배출 자세: 한손으로 기대어 섬, 곡물통 쪽을 바라본 후 왼쪽 무 릎 꿇어 의자에 올림 - 곡물통 확인 자세: 의자에 기대거나 오른쪽 무릎 꿇어 의자에 올림 	16분 + 4분
피험자4	<ul style="list-style-type: none"> - 왼쪽 돌아봄: 3회/분 - 시선: 목을 앞으로 길게 빼고 숙여 작업 ; 항상 분초간을 보기 위함. 충분한 시야 확보 필요 함 - 무릎을 살짝 구부려 작업 - 가꿈 안전바를 잡음 - 부변속 조작 자세: 손으로 여러 번 쳐서 작동시킴 - 오거 자동선회 필요(초보자에게겐 힘들) 	13분 + 7분
피험자5	<ul style="list-style-type: none"> - 왼쪽 돌아 봄: 약 8회/분 - 방향 전환 자세: 약간 앉았다가 일어남, 의자에 앉으면서 허리를 앞으 로 숙임 ; 당기는 힘을 줄이고자하는 인체 메커니즘 - 곡물 배출 자세: 곡물통을 바라본 후 오거 확인 ; 다리를 의자에 기댐 	12분 + 7분
피험자6	<ul style="list-style-type: none"> - 왼쪽 돌아 봄: 12회/분 - 방향 전환 자세: 앉았다 일어남, 상지의 회전과 굴곡이 있음 - 검불을 빨 때의 자세: 상지를 왼쪽으로 돌림 ; 상지가 밖으로 나갈 수 있도록 창문 커야 함 - 서 있을 때 다리를 의자에 기댐 - 곡물 배출 자세: 손은 오거 조정하는 곳을 짚고 다리는 의자에 기대 어 오거 레버 작동 - 이동 중 자세: 계속 서서 운전함 	14분

(나) 비디오 촬영을 통한 조작 순서 분석

다음은 비디오 촬영을 통해 조작 순서를 분석한 내용으로, 동작 분석과 같은 방법으로 진행하였다. 작업은 작업 전 점검, 엔진 시동 켜기, 엔진 정지, 노상주행, 주차, 선회, 예취 작업, 곡물 배출로 나누었다. 작업 별로 작업 순서를 정의하였고 그림 3-9~3-14에 각각 작업 순서대로 번호를 부여하였다. 조작부 설계 시 필요한 중요 설계 요소를 추출하기 위해 각 부품별 사용횟수를 분석하였다.

① 작업 전

1. 오일게이지, 냉각수(예비탱크와 라디에이터 내 냉각수), 라디에이터 덮개망, 반사기 오염, 소음기 주변 먼지 확인
2. 운전석에서 메인스위치를 'ON'으로 하여 연료게이지, 램프, 경적음, 후진경고음, 계기판의 전구 체크 버튼, 센서체크 스위치 소리 확인

② 엔진 시동(그림 3-9)

1. 주변속 레버, 부변속 레버 '중립'
예취클러치스위치 '중립'
탈곡 클러치레버 '끊김'
2. 스톱레버 '중'
3. 메인 스위치 'ON'
4. 예열, 충전, 엔진오일램프 점등 확인
5. 예열램프 소등되면 메인 스위치를 '자동'
6. 충전램프, 엔진오일 램프의 소등 확인

③ 엔진 정지(그림 3-10)

1. 주변속 레버, 부변속 레버 '중립'
2. 예취, 탈곡 클러치 레버 '끊김'
3. 스톱레버 '저': 5~10분간 무부하 회전으로 냉기운전
4. 메인 스위치 'OFF'



그림 3-9 엔진 시동 시 작동 순서.

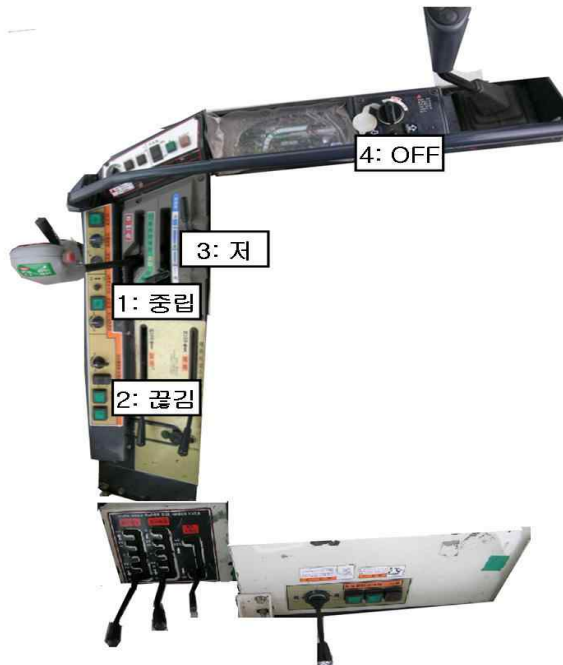


그림 3-10 엔진 정지 시 조작 순서.

④ 노상주행(그림 3-11)

1. 분초간 보호판을 붙임
2. 젓힘 가이드 접음
3. 작업기 절환레버를 절단으로 바꾸고 후방의 집속부를 접음
4. 엔진 시동(② 엔진 시동법 참고)
5. 예취부 올림(파워스티어링레버)
6. 주변속 레버 '중립'
7. 주변속 레버: 원하는 속도에 맞춤
8. 주변속 레버: 앞쪽으로 밀어 원하는 속도 조절

⑤ 주차(그림 3-12)

1. 주변속 레버 '중립'
2. 주차브레이크 페달 밟음
3. 주차브레이크 레버 밟음
4. 파워스티어링 레버 밟음(예취부를 지면까지 내림)
5. 메인스위치 'OFF'

⑥ 선회

1. 파워스티어링 레버: 예취부 올림
2. 파워스티어링 레버: 45° 선회
3. 주변속레버: 후진,
파워스티어링: 조맞춤
4. 파워스티어링 레버: 예취부 내림

⑦ 콤바인 작업(그림 3-13)

1. 작업기 절환레버로 절단/집속 선택
2. 탈곡통 회전수 선택(외부에서 선택)
3. 공급깊이 조절
4. 탈곡클러치 레버 '연결'
5. 예취클러치: '표준', '도복'
6. 스로틀레버: 엔진회전계의 바늘이 작업범위에 오도록 조절
총 범위: 0~30, 작업범위: 26

7. 풍량선택 레버, 선별판 조작 레버 맞춤
8. 배진량 조절레버: '표준'
9. 작업속도 선택
10. 파워스티어링 레버: 조 맞춤, 높이 맞춤
11. 공급 깊이 조절스위치: 이삭을 공급 깊이 지시마크에 맞추어 조절

⑧ 곡물 배출(그림 3-14)

1. 주변속레버 '중립'
2. 예취 중지
3. 부저정지 버튼
4. 배출레버: 좌선회시켜 배출위치에 맞춤
5. 오거 클러치스위치: 연결
6. 원위치 스위치



그림 3-11 노상주행 시 작동 순서.



그림 3-12 주차 시 작동 순서.

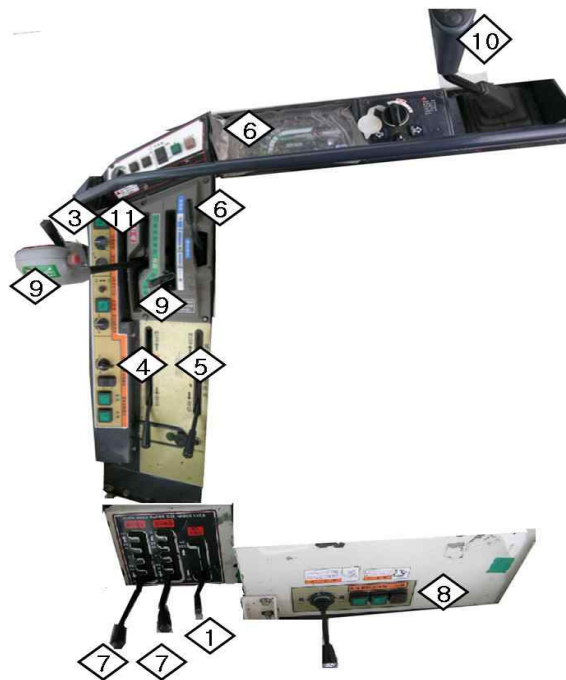


그림 3-13 콤바인 작업 시 조작 순서.



그림 3-14 곡물 배출 시 조작 순서.

조작부 제어 버튼 및 레버 사용횟수를 분석한 결과는 표 3-5와 같다. 작업 전과 작업준비를 위해 엔진시동을 걸 때 계기판을 가장 자주 보며 작업 전, 엔진시동 걸 때, 작업 끝난 후 엔진 정지 시, 노상 주행 시, 주차 시에 시동키를 1~2번 사용한다. 하지만 예취 작업 중에는 시동키를 사용하지 않는다. 탈곡 레버, 스로틀 레버, 주변속 레버, 부변속 레버, 예취 레버, 파워스티어링, 공급 깊이 버튼을 2번 이상 사용한다. 이 중 주변속 레버, 파워스티어링 레버는 예취, 선회 작업 동안 계속 손으로 잡고 있거나 수시로 조작하였다. 피험자 중 부변속 레버도 예취 작업 중 선회할 때마다 사용하는 경우도 있었다. 따라서 콘솔 개발 시 주변속 레버, 부변속 레버, 스로틀 레버, 파워스티어링과 공급 깊이 버튼, 계기판이 주요 설계 요소가 되어야 한다.

표 3-5 조작부 제어버튼 및 레버 조작 횟수

	작업 전	엔진시동	엔진정지	노상주행	주차	선회	작업	배출	합계
계기판	3	2							5
시동키	1	2	1	1	1				6
혼버튼	1								1
백부저								1	1
예취스위치		1							1
탈곡 레버		1	1				1		3
스로틀 레버		1	1				1		3
주변속 레버			1	1	1	1		1	5
부변속 레버			1	2					3
예취 레버			1				1		2
파워스티어링				1	1	4	1		7
브레이크 페달					1				1
브레이크 레버					1				1
절환 레버							1		1
공급 깊이 버튼							2		2
풍량선택							1		1
시브 레버							1		1
배진량 레버							1		1
배출 레버								1	1
오거 스위치								1	1
원위치 스위치								1	1

(다) LMM (Lumbar Motion Monitor)를 이용한 분석

본 연구에서는 예취작업(주행, 예취, 후진, 선회 포함)과 배출작업 동안 허리의 앞/뒤, 좌/우, 회전 총 3축 방향에 대한 최대, 최소 변화각을 측정하여, 콤바인 작업 환경의 근골격계 질환 유발 가능성을 알아보려고 하였다. 콤바인의 주 사용자가 남성이기 때문에 본 연구의 피험자는 신체 건강한 남성 농업인 6명을 대상으로 하였으며, 신체적 특징은 표 3-6과 같다.

표 3-6 피험자의 신체적 특징

연령	키(mm)	몸무게(kg)
46.2 ± 6.5	1710 ± 39.1	73.1 ± 10.1

(평균 ± 표준편차)

실험기기는 그림 3-15에서 보는 바와 같이 3차원 허리 변화각을 측정하는 LMM (NexGen Ergonomics Inc., Canada)을 이용하였다. 본 기기는 정자세로 섰을 때 교정(calibration)값을 0으로 하여, 상지를 오른쪽으로 숙이면 골반과 상지의 음의 상대각도 값, 왼쪽으로 숙이면 양의 상대각도 값이 측정되고, 앞쪽으로 숙이면 음의 상대각도 값, 뒤로 젖히면 양의 상대각도 값이 측정된다. 그리고 상지를 왼쪽으로 회전시키면 음의 각도 값, 오른쪽으로 회전시키면 양의 각도 값이 측정된다. 연령과 작업 자세로 인해 피험자마다 허리 굽은 정도가 다를 수 있으므로 LMM을 착용하여 정자세에서 0°로 교정한 후 작업 동안의 3축 방향에 대해 최대, 최소의 허리 변화각을 측정하였다.

실험 작업은 일반주행에서 시작하여 곡물통 경고음이 울리면 예취 작업을 끝내고 곡물통을 비우는 것 까지 2회 반복 측정하였다. 검불을 꺼내는 등의 실험 동작과 관련 없는 동작이 나타날 경우 다시 측정하였다. 평균 작업시간은 17분 2초(± 2분 5초)이다.



그림 3-15 LMM을 이용한 허리 회전각 측정.

실험 결과 값은 표 3-7과 같으며 작업동안의 최대, 최소 변화각의 결과 값을 6명의 평균값으로 나타내었다. 상지의 좌(+)/우(-) 각도 값을 종단면(lateral plane), 앞(-)/뒤(+)로 숙인 각도 값을 시상면(sagittal plane), 좌(-)/우(+)의 회전각도 값을 횡단면(transverse plane)이라고 표기하였다. 주행을 시작으로 하여 예취, 방향전환, 후진, 탈곡까지의 한 주기 동안 앞이나 뒤로 숙인

것 보다 좌/우로 굽히거나 회전하는 동작이 더 크다. 종단면에서는 오른쪽 보다 왼쪽으로 많이 허리를 굽혔고 시상면에서는 뒤보다 앞으로 많이 숙였으며, 횡단면에서는 오른쪽 보다 왼쪽으로 더 많이 회전하였다. 굽히거나 회전하는 각도, 속도가 클에 따라 허리에 작용하는 모멘트 값이 커지게 되는데, 이는 허리 부위에 근골격계 질환이 발생할 확률을 높인다. 따라서 콤바인 설계에서 상지 회전각과 좌/우로 허리가 굽혀지는 각도를 고려하여 설계할 필요가 있다.

표 3-7 예취 작업동안의 허리 변화각

(단위: °)

측정면	변화각		
	최대각	최소각	변화각
종단면	8.65 ± 0.83	-4.79 ± 1.8	13.44
시상면	1.95 ± 0.39	-3.59 ± 0.51	5.54
횡단면	5.79 ± 0.73	-8.97 ± 0.53	14.76

(평균 ± 표준편차)

(2) 국내의 콤바인 캐빈의 구조 비교

(가) 멤브레인 분석

조작부는 위치별로 의자를 기준으로 전면과 후면으로 나눌 수 있고, 구성품별로 레버 및 브레이크 페달과 버튼 및 다이얼로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 조작부를 위치별, 구성품별로 나누어 제조사에 따라 각 구성품의 형태와 위치, 개수, 특징들을 비교 분석하였다. 비교 분석을 위한 제조사는 국내 브랜드 2개 社, 국외 브랜드 4개 社로 총 6개 회사이다.

표 3-8은 제조사별 조작부 전체 모습과 전면부에 위치한 버튼 및 다이얼을 비교한 내용이다. 조작부는 의자를 기준으로 전면과 후면으로 나뉘고, 전면은 다시 정면과 좌측면으로 나뉜다. 후면의 경우 오거 조정 레버가 의자 뒤에 있는 형태와 의자 옆에 있는 두 가지 형태로 나뉜다.

전면부에 있는 버튼의 경우 국내 T社와 국외 I社가 각각 18개와 15개로 버튼 및 다이얼의 수가 가장 많으며, 국내 K社와 국외 M社가 각 10개씩으로 가장 적게 구성되어 있다. 버튼의 개수가 적으면, 배치 공간도 작게 소요되므로 작업자의 작업공간을 넓힐 수 있다. 국외 Y社의 경우 실제 11개로 구성되어 있지만, 4개의 버튼을 주변속 레버에 배치함으로써 조작부가 차지하는 공간을 줄였으므로 버튼 4개는 제외하였다. 특이사항으로는 국외 K社, 국외 Y社, 국외 M社의 푸쉬 버튼을 설계할 때, 조작부와 버튼의 이음부를 제거함으로써 기계 내부에 먼지가 들어가는 것을 예방하였다. 그리고 국외 I社는 조작부의 버튼이 있는 부분에 반투명 아크릴 덮개를 설치하여 옷깃이나 소매 등의 접촉에 의한 오작동을 예방할 수 있도록 설계하였다.

표 3-8 제조사별 조작부, 전면의 버튼 및 다이얼 비교



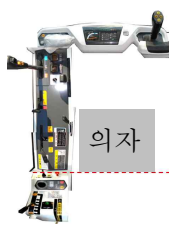


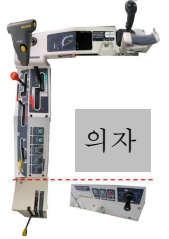
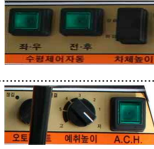





	국내T社	국내 K社	국외 K社	국외 Y社	국외 I社	국외 M社
조작부						
형태						
개수	18	10	11	7	15	10

표 3-9는 콘솔내의 계기판을 제조사별로 비교 분석한 표이다. 계기판은 크게 디지털 방식과 아날로그 방식으로 나뉜다. 디지털 방식은 국외 Y社가 채택하였고, 아날로그 방식은 국내 T社, 국내 K社, 국외 K社, 국외 M社가 채택하고 있다. 국외 I社의 경우 디지털 방식과 아날로그 방식을 동시에 채택하여 사용하고 있다. 과거 아날로그 방식의 계기판에서 디지털 방식으로 점차 변하고 있지만, 어떤 방식이 시각적, 인지적인 면에서 더 효과적인지는 아직 규명되지 않았다.

계기판은 작업 전 콤바인 점검할 때와 엔진 시동걸 때 가장 많이 보는 곳이므로 눈에 잘 보이는 곳에 배치하는 것이 중요하다. 의자에 앉아 계기판을 식별할 수 있는 영역은 정면을 향하여 바로 앉았을 때, 좌/우로 30~60°사이, 위로 30°, 아래로 40°이다(디자인 인간공학, 미진사). 따라서 콤바인 계기판은 정면에서 너무 왼쪽으로 치우치지 않은 국내 T社, 국외 K社, 국외 Y社, 국외 M社가 잘 배치되었다고 할 수 있다.

국내 T社는 계기판 안에 ‘엔진회전’이라는 안내글자를 표기하고 있다. 이는 콤바인을 처음 사용하는 사람에게는 유용한 정보가 될 수 있으나 기존 대다수의 사용자들에게는 불필요한 정보가 될 수 있다. 그리고 엔진회전정보를 주기위해 각 눈금에 숫자를 표기하는데 0, 10, 20, 30×100 또는 1, 2, 3×1000 또는 2000 등으로 표기한다. 0, 10, 20, 30×100은 1, 2, 3×1000으로 표기하는 것 보다 글자 정보가 더 많아 한 눈에 보기가 상대적으로 더 어렵다. 엔진 회전의 바늘이 계기판의 녹색영역에 다다르면 작업을 시작하는데, 녹색영역 안에 ‘작업’이라는 안내 글자를 명시하고 있는 국내 K社, 국외 K社, 국외 I社가 가장 잘 설계되어 있다.

표 3-9 제조사별 계기판 비교분석

	국내 T社	국내 K社	국외 K社	국외 Y社	국외 I社	국외 M社	
계기판							
위치							
	정면	측면	정면	정면	정면, 측면	정면	
경고내용	예열, 엔진오일, 충전, 수온, 곡물탱크, 감속기, 짚배출, 오거, 과속	콤바인 그림이 있고, 이상부위에 붉은색 불이 점등	부하: 1~5단, 곡물충만 2단계, 선회절환, 짚막힘, 2번, 엔진오일, 배터리, 수온, P	디지털 방식	디지털방식	-	
R	단계표시	0, 10, 20, 30 × 100RPM	숫자표시 없음	2000RPM	디지털 방식	0, 1, 2, 3 × 1000RPM	0, 1, 2, 3 × 1000RPM
P		엔진회전	표시 없음	표시 없음	"	표시 없음	표시 없음
M	정보	녹색 - 작업	빨: 주행금지 청록: 작업	녹색	"	녹색: 作業	녹색, 노란색

표 3-10은 전면의 브레이크 페달 및 레버를 제조사별로 비교 분석한 표이다. 브레이크 페달은 개구부 유무에 따라 두 가지 형태로 나눌 수 있다. 개구부란 채광, 환기, 통풍, 출입 등을 위하여 벽을 치지 않은 창이나 문을 통틀어 이르는 말이다. 개구부가 없는 국내 K社, 국외 Y社, 국외 M社의 경우 분진이나 소음 등에 강하고, 국내 T社, 국외 K社, 국외 I社는 개구부가 있어 분진이나 소음 등에 취약하다는 단점이 있다.

전면의 레버 위치는 다시 정면과 측면으로 나눌 수 있다. 정면에는 국외 Y社를 제외하고 파워스티어링 레버가 각 1개씩 있고 측면에는 제조사별로 3~5개로 구성되어 있다. 레버의 개수가 적은 것은 2개의 레버가 했던 기능을 하나의 레버로 결합했기 때문이다. 레버의 수가 적을수록 조작부가 차지하는 공간을 줄일 수 있고, 상대적으로 작업자의 공간을 넓힐 수 있다는 장점이 있다. 따라서 T社의 경우 레버의 개수가 가장 많아 작업자의 공간을 확보하기에 불리하다. 파워스티어링 레버의 경우 국외 Y社를 제외한 국외 콤바인은 손목받침이 있는 반면, 국내 콤바인은 손목받침이 없다. 기존 연구에서는 어깨나 목 부위의 부하를 낮추기 위해 손목받침을 장착하였으나, 효과가 없음을 증명하여 불필요한 설계요소라고 언급한 바 있다(Bart Visser et al., 2000).

표 3-10 제조사별 전면의 페달 및 레버 비교

		국내T社	국내 K社	국외 K社	국외 Y社	국외 I社	국외 M社
페달	형태						
	시작점	앞	왼쪽	왼쪽	왼쪽	앞	왼쪽
	개구부	있음	없음	있음	없음	있음	없음
레버	형태						
	손목 받침	×	×	○	-	○	○
	측면						
개수	5	4	4	3	4	4	

표 3-11은 후면의 레버 및 버튼을 제조사별로 비교 분석한 결과이다. 국내 T社와 국외 M社의 오거조절 버튼 및 레버는 의자 뒤에 위치하여 오거 조정 시 허리를 깊게 숙이거나 한쪽 무릎을 꿇어 의자위에 올려놓고 작업을 하게 된다. 작업 자세를 분석하는 도구인 REBA (Rapid Entire Body Assessment)를 이용하여 국내 T社의 오거 작동 시 농업인의 자세를 평가해 보면 자세 개선이 필요하다는 결과가 나온다.

표 3-11 제조사별 후면의 레버 및 버튼 비교

	국내T社	국내 K社	국외 K社	국외 Y社	국외 I社	국외 M社
<p>풍량 및 시브</p> <p>형태</p>						
<p>오거 조절</p>						
<p>오거 조절 위치</p>						
	의자 뒤	왼쪽 뒤	왼쪽 뒤	리모컨	왼쪽 뒤	의자 뒤

(나) 주요장치 분석

① 콤파인 캐빈의 출입문 개폐 방식 비교

콤파인의 출입문 개폐 방식은 그림 3-16과 같이 제조사에 따라 다양하게 나타났으며 출입문을 앞쪽으로 여는 방식, 출입문을 뒤쪽으로 여는 방식, 슬라이드로 여는 방식 등으로 나누어진다. 국내 T社, 국외 K社, 국내 D社는 출입문 개폐방향이 앞쪽이고 그 중에서도 국외 K社は 국내 T社와 국내 D社에 비해 출입문의 유리 면적을 넓게 하여 전방시야 확보에 탁월함을 보이고 있다. 국내 K社, 국외 Y社 및 M社は 출입문 여는 방식이 뒤쪽이고 특히 국외 M社は 슬라이드 방식이기 때문에 전방시야 확보가 탁월하다. 작업 중 전방부에 문제가 발생할 경우 출입문을 여는 방향이 앞쪽일 때 작업자는 문을 피해서 전방으로 접근하게 되지만 출입문을 여는 방향이 뒤쪽이면 운전석에서 내려 바로 전방으로 접근하는 것이 가능하여 작업자의 편의성이 확보된다.



(a) 국내 T社 (b) 국내 K社 (c) 국외 K社 (d) 국외 Y社 (e) 국내 D社 (f) 국외 M社
그림 3-16 콤바인 캐빈의 출입문 개폐 방식 비교.

② 브레이크 페달 방식 비교

국내·외 6개社의 브레이크 페달은 그림 3-17과 같이 매우 다양한 형태로 장착되어 있으며, 가장 큰 특징으로 브레이크 페달과 캐빈의 접촉 부위의 밀폐 여부를 들 수 있다. 브레이크 페달과 캐빈 부위를 밀폐시켜 연결하는 것은 작업 중에 발생하는 소음을 감소시키며, 작업 시 발생하는 먼지의 캐빈 내 유입을 차단할 수 있는 장점이 있다. 개구부가 없는 국내 K社, 국외 Y社, 국외 M社의 경우 분진이나 소음 등에 강하고, 국내 T社, 국외 K社, 국외 I社는 개구부가 있어 분진이나 소음 등에 취약하다는 단점이 있다.



(a) 국내 T社 (b) 국내 K社 (c) 국외 K社 (d) 국외 Y社 (e) 국내 D社 (f) 국외 M社
그림 3-17 콤바인 제조사별 브레이크 페달 비교.

③ 탑승 손잡이 위치 비교

콤바인은 일반인들이 자동차처럼 문을 열고 한 번에 탑승하기 어려운 구조이기 때문에 제조사들은 작업자가 접근하기 쉬운 곳에 탑승 손잡이를 설치한다. 각 제조사의 탑승 손잡이는 그림 3-18과 같으며, 국내 T社의 경우 탑승 시 좌측에 손잡이가 없는 대신 출입문과 운전석 앞쪽에 손잡이가 있어 이를 이용한 탑승이 가능하지만 탑승자가 앞쪽 방향으로 몸을 틀수밖에 없어 불편하다. K社(국내외), 국외 Y社의 경우 좌측과 운전석 앞쪽에 손잡이가 있어 몸을 틀지 않고도 바로 탑승이 가능하며, 특히 국외 K社는 손잡이가 캐빈의 내외에 다양하게 존재하여 선택의 폭이 넓어 탑승자가 편리하게 사용할 수 있다.



(a) 국내 T社 (b) 국내 K社 (c) 국외 K社 (d) 국외 Y社

그림 3-18 콤바인 제조사별 탑승 손잡이 비교.

④ 오름 발판 비교

콤바인의 경우 오름 발판은 승, 하차 시의 안전과 편의를 위하여 치수가 표준화되어 있다. 국제표준기구와 한국산업규격에서는 지상으로부터 가장 아래에 있는 오름 발판까지의 높이를 700mm로 권장하고 있다. 오름 발판은 진흙층이 쌓이지 않도록 설계되어야 하며 작업기에서 내릴 때 바로 아래에 있는 오름 발판의 바깥 모서리가 보이도록 경사지게 설계하는 것이 좋다. 또한 난간 또는 손잡이를 오름 발판의 양 옆에 설치하여 작업자가 항상 3군데 지점을 접촉할 수 있도록 설계되어야 한다.

그림 3-19는 콤바인 제조사별 오름 발판 높이를 비교한 것으로, 모든 제조사가 오름 발판의 첫번째 스텝을 다른 스텝에 비해 높게 설치하여 진흙층이 쌓이는 것을 방지하였다. 그러나 첫 번째 스텝을 너무 높게 설치하면 승차 시 캐빈에 쉽게 오르기가 어려울 수 있다. 국외 Y社, 국외 I社, 국외 M社は 콤바인 작업 시 오름 발판이 바닥에 닿는 것을 방지하기 위해 접이식으로 설계하였다.

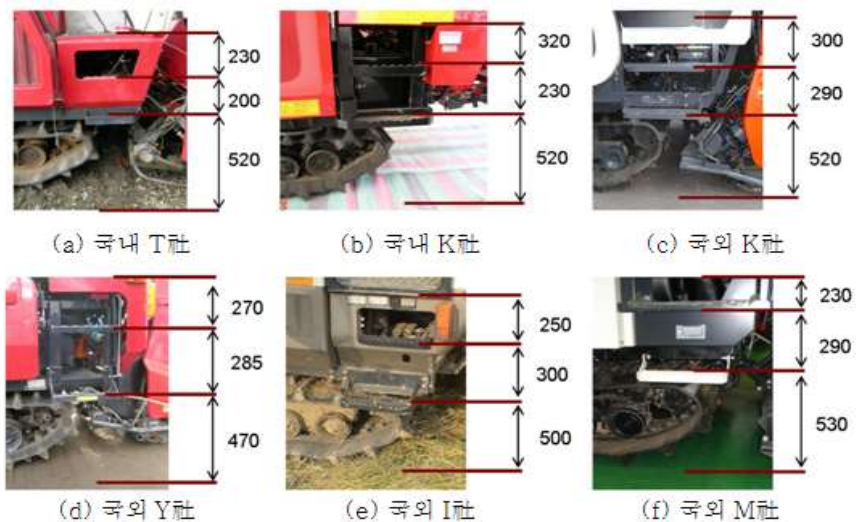


그림 3-19 콤바인 제조사별 오름 발판 높이 비교.

⑤ 부대부품 비교 및 리치평가

캐빈형 콤바인에는 운전자의 편의를 위해 냉방장치, 카세트, 전기장치 등의 부대부품이 포함되어 있다. 표 3-12와 같이 산업용 차량 및 승용차의 주요 부대부품을 비교한 결과 승용차가 가장 많은 부대 부품을 포함하고 있었으며, 캐빈형 콤바인은 실내·외등 스위치, 냉방장치, 테이프 카세트, 와이퍼 스위치 등 대부분 공통된 요소를 가지고 있었다.

실내 부대부품은 운전자의 인체 치수에 따른 인간공학적 평가를 수행함으로써 보다 능률적이고 안락한 콤바인 캐빈을 설계할 수 있다. 조작 레버, 브레이크 페달 뿐 아니라 콤바인 작업에 중요하며 빈번히 사용되는 실내 부대부품은 운전자가 편안한 작업 자세에서 쉽게 닿을 수 있는 리치 내에 있어야 한다. 따라서 캐빈 내의 부대부품에 대한 리치평가를 수행함으로써 각 구성요소들을 작업자가 편안한 자세에서 조작할 수 있는지를 평가할 수 있다. 만약 이를 만족하지 못할 경우에는 구성요소들의 위치를 변경하면서 리치평가를 수행하는 과정을 반복함으로써 편안한 자세에서 각 구성요소들을 조작할 수 있도록 설계할 수 있다. 본 연구에서는 ‘작업자의 체형 및 작업 자세 분석’을 참조하여, 에어컨, 와이퍼, 내부등, 라디오를 운전자가 자주 사용하는 부대부품으로 정의하였으며, 제조사별 콤바인 부대부품의 3차원 좌표에 따른 제조사별 콤바인의 리치평가를 수행 및 비교 분석하였다. 접근 가능한 운전영역의 구분은 그림 3-20과 같이 구분되며, 부대부품은 조종 가능 영역 이내에 위치하여야 한다. 제조사별 부대부품 및 3차원 좌표에서의 위치를 그림 3-21~3-32에 나타내었다.

표 3-12 차량 종류별 주요 부대 부품

차량 종류	주요 부대 부품
T社 캐빈형 콤바인	실내·외등 스위치, 냉방장치, 테이프 카세트, 와이퍼 스위치
J社 트랙터	실내·외등 스위치, 냉·난방장치, 테이프 카세트, 와이퍼 스위치, 온·냉장고
D社 토공 기계	실내·외등 스위치, 냉·난방장치, CD-ROM 카세트, 와이퍼 스위치
H社 승용차	실내·외등 스위치, 창문 스위치, 냉·난방장치, CD-ROM 카세트, 와이퍼 스위치, 창문 성에제거 스위치, 사이드 미러 스위치, 후방 카메라, 시거라이터

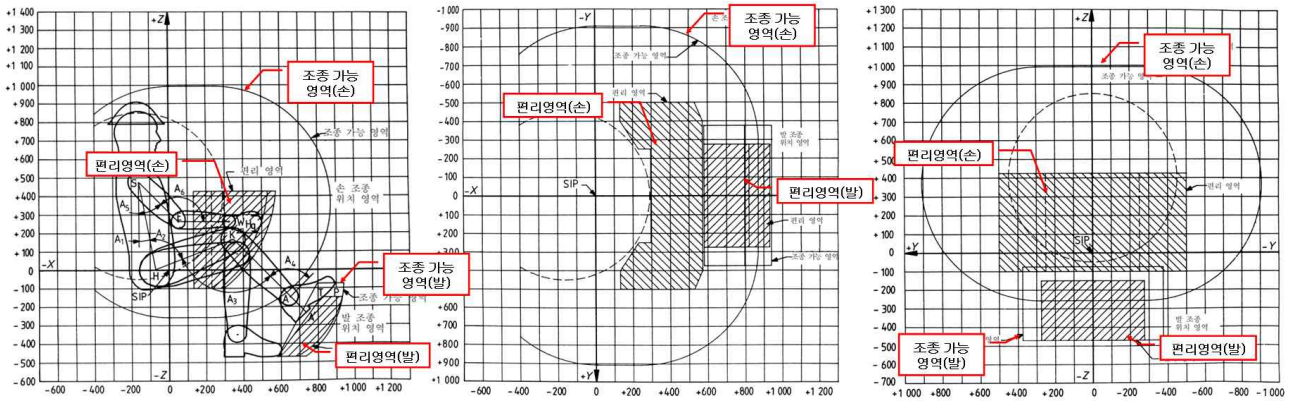


그림 3-20 접근 가능한 운전영역의 구분.



그림 3-21 T社 콤바인의 부대부품.

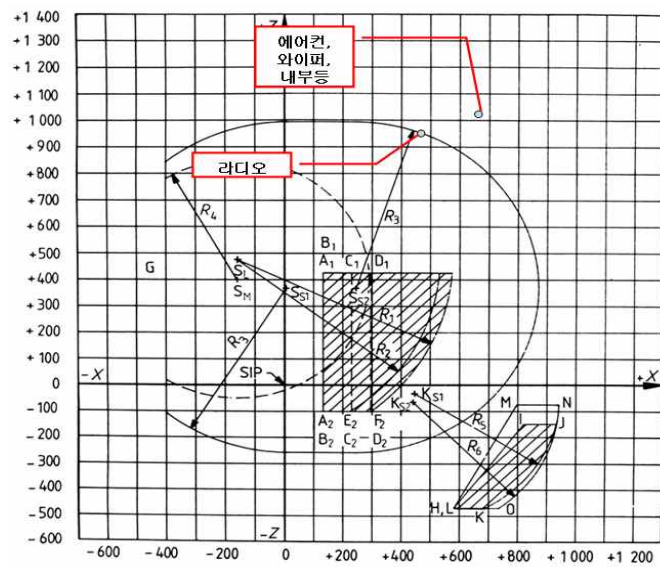


그림 3-22 T社 콤바인 부대부품의 위치 - 측면(단위 : mm).

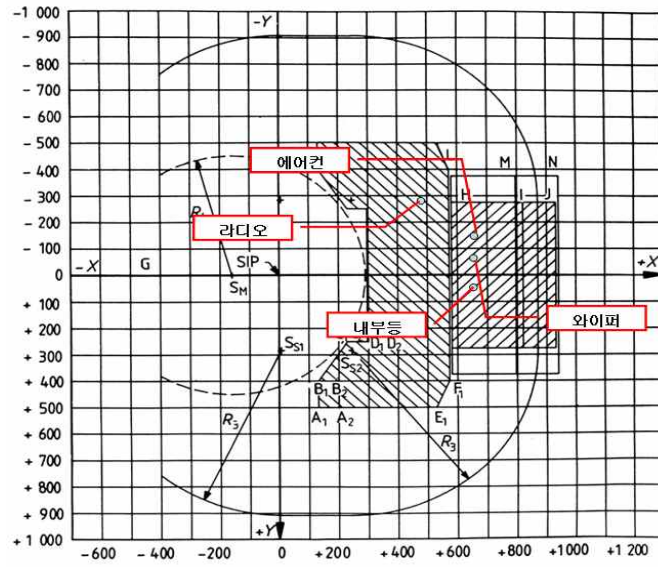


그림 3-23 T社 콤바인 부대부품의 위치 - 평면(단위 : mm).

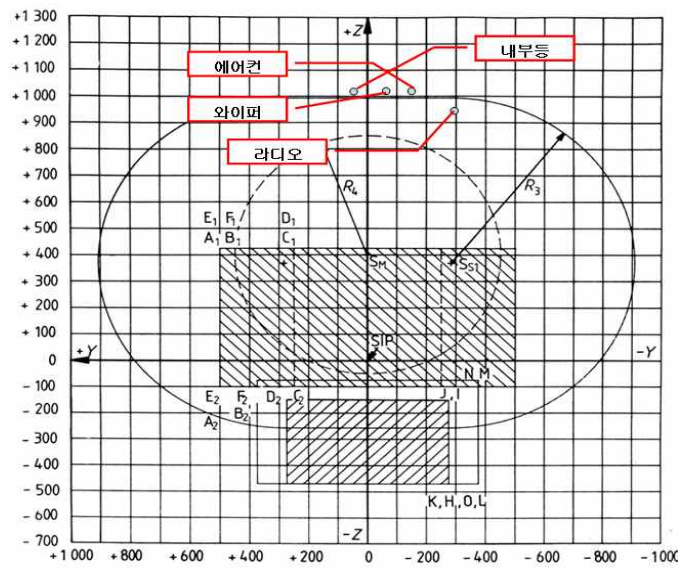


그림 3-24 T社 콤바인 부대부품의 위치 - 정면(단위 : mm).



그림 3-25 K社 콤바인의 부대부품.

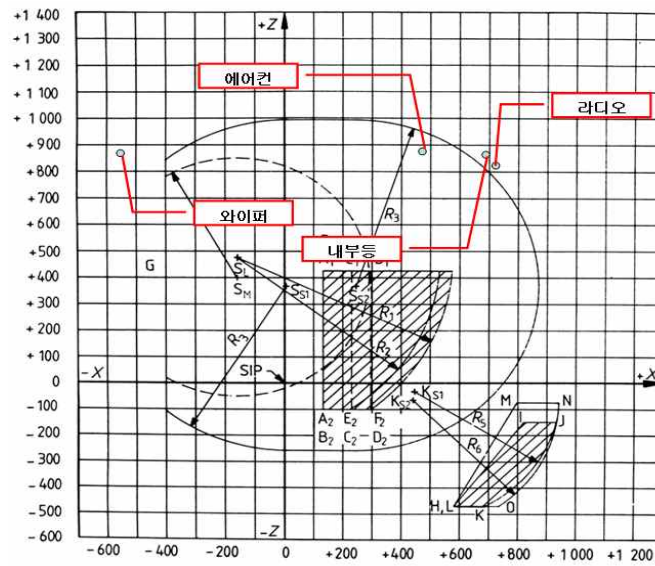


그림 3-26 K社 콤바인 부대부품의 위치 - 측면(단위 : mm).

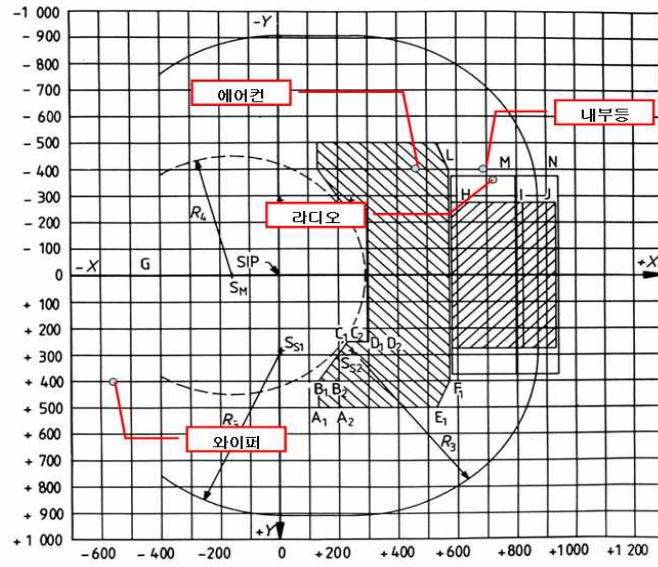


그림 3-27 K社 콤바인 부대부품의 위치 - 평면(단위 : mm).

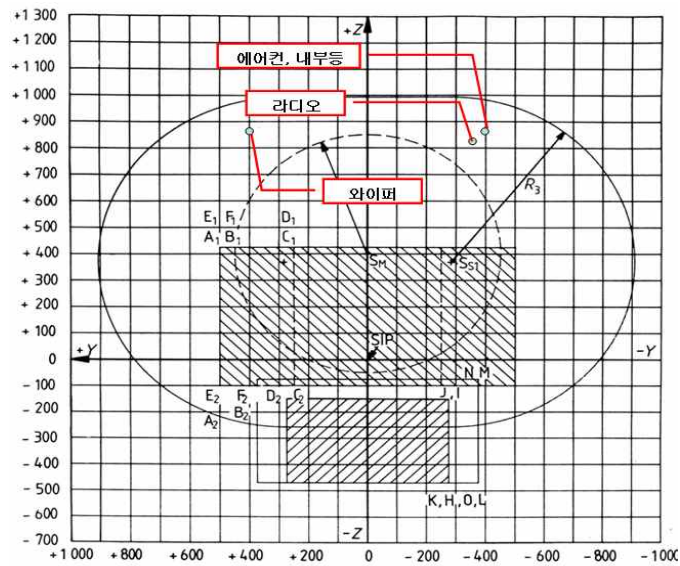


그림 3-28 K社 콤바인 부대부품의 위치 - 정면(단위 : mm).



그림 3-29 M社 콤바인의 부대부품.

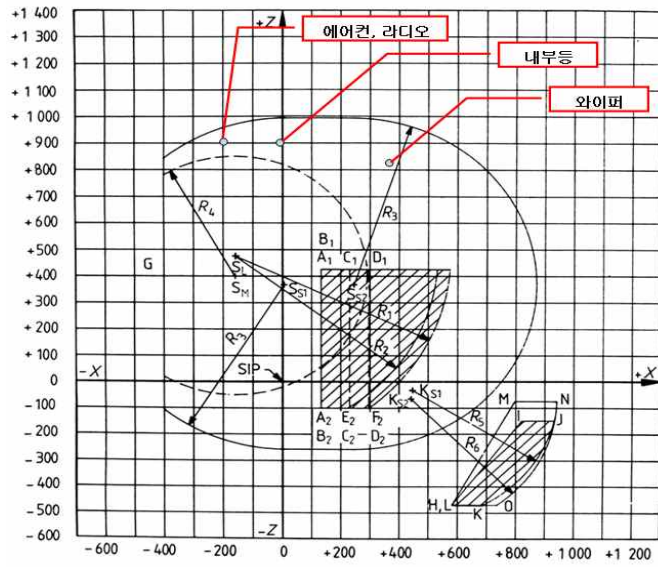


그림 3-30 M社 콤바인 부대부품의 위치 - 측면(단위 : mm).

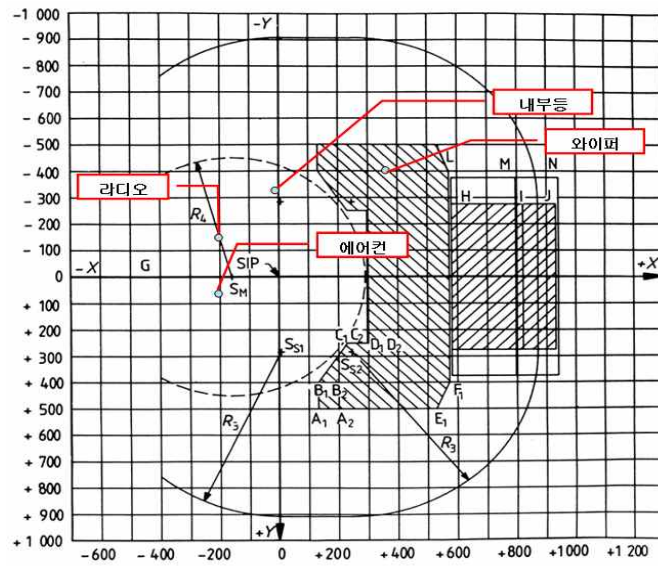


그림 3-31 M社 콤바인 부대부품의 위치 - 평면(단위 : mm).

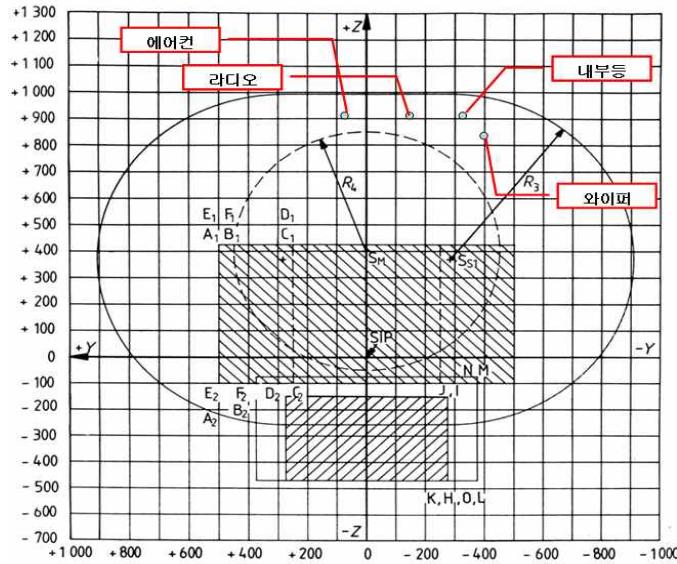


그림 3-32 M社 콤바인 부대부품의 위치 - 정면(단위 : mm).

제조사별 콤바인 부대부품의 리치평가를 수행한 결과 제조사에 따른 부대부품의 접근 가능한 운전영역은 표 3-13과 같이 나타났다. T社 콤바인은 라디오를 제외한 모든 부대부품이 조종 가능 영역을 제외한 영역에 위치하였으며, K社와 M社의 콤바인도 K社의 에어컨, M社의 와이퍼를 제외한 모든 부대 부품이 편리 영역 또는 조종 가능 영역을 제외한 영역에 위치하였다. 따라서 캐빈 내부 부대부품의 재배치를 통한 콤바인 작업의 효율성 향상이 필요할 것으로 판단되며, 향후 추가되는 부대부품에 대해서도 이러한 점을 고려한 장착이 필요할 것으로 판단된다.

표 3-13 제조사별 콤바인 부대부품의 리치평가 결과

	에어컨	라디오	와이퍼	내부등
T社	C	B	C	C
K社	B	C	C	C
M社	C	C	B	C

A : 편리 영역, B : 조종 가능 영역, C : A, B를 제외한 영역

2. 콤바인 사용자의 만족도 설문조사

가. 설문조사 방법

콤바인 캐빈의 문제점을 분석하고 향후 설계방향을 제시하기 위하여 국내 T社 5조식 캐빈형 콤바인을 직접 사용해 본 사용자들을 대상으로 설문조사를 수행하였다. 설문은 참여 의사를 밝

한 경기도 5명, 경상도 8명, 전라도 12명, 충청도 4명, 광주 3명으로 총 32명을 대상으로 하였다.

농기계 박람회, 현장 비디오 촬영, 메뉴얼 분석을 통해 콤바인 캐빈에 대한 정보를 수집하였고 핵심사항을 요약 및 정리하여 농작업 전문가 4명이 설문초안을 작성하였다. 설문 대상자 중 6명을 추출하여 사전조사를 실시한 후 초안 설문지를 재수정 하였다

설문 구성은 표 3-14에서 보는 바와 같이 응답자 특성을 포함한 51문항, 하위 질문 34문항을 포함하여 총 85문항이다. 설문지 중간에 동일한 내용에 다른 형태의 질문을 하여 응답의 일관성, 즉 신뢰도 검사를 하였다. 설문조사의 자료 분석은 SPSS (version 14.0, SPSS Inc., USA) 프로그램을 이용하여 빈도분석을 수행하였다. 사전조사는 2007년 11월 1일부터 12월 20일까지 실시하였으며 설문조사는 2008년 3월 3일부터 5월 17일까지 실시하였다.

표 3-14 설문 문항 구성

문항 분류	문항 수	하위문항수	합계	
작업 자세	5	3	8	
캐빈 사용 후 만족도	5	0	5	
캐빈 구성별 요구사항 및 만족도	캐빈의 프레임	3	9	12
	출입문/창문	9	9	18
	조작부	9	4	13
	레버 및 페달	5	4	9
	의자	6	4	10
	기타	6	1	7
응답자 특성	3	0	3	
총 문항 수	51	34	85	

나. 설문조사 결과 및 분석

(1) 응답자 특성

응답자의 연령은 30대가 9.4%, 40대가 46.9%, 50대가 37.5%, 60대가 6.3% 차지한다. 응답자를 임의 추출하였으나 주 연령층이 40~50대인 것은 농업인구의 연령층이 높아졌기 때문이다. 콤바인 운전기간은 10년 이상 30년 미만이 주를 이루었고 5년 미만이 9.7%, 5년~10년 9.7%, 10년~15년 16.1%, 15년~20년 19.4%, 20년~25년 22.6%, 25년~30년 12.9%, 30년 이상이 9.7%

이다. 콤바인 연평균 사용시간은 100시간 이상 250시간 미만의 사용자들이 주를 이루었고 100시간 미만은 6.3%, 100시간~150시간 40.6%, 150시간~200시간 12.5%, 200시간~250시간 31.3%, 250시간~300시간 3.1%, 300시간~350시간 3.1%, 400시간 이상이 3.1%를 차지하였다. 콤바인은 벼를 수확하는 기간인 9, 10월 달에만 사용하므로 약 2개월 사이에 100시간 이상 250시간 미만을 사용한다. 즉, 단기간에 집중적으로 사용하는 기계임을 알 수 있다. 오후 7시부터를 야간운전이라 했을 때, 연 평균 야간운전 시간은 야간작업을 전혀 하지 않거나 또는 1년에 15시간 미만으로 작업하는 응답자가 주를 이루었으며, 0시간 28.1%, 5시간 미만 12.5%, 5시간~10시간 18.8%, 10시간~15시간 15.6%, 15시간~20시간 6.3%, 20시간~25시간 6.3%, 30시간~35시간 6.3%, 40시간 이상 6.3%로 나타났다.

(2) 설문 응답 결과

단답형 결과는 결측치 1명을 제외한 31명의 빈도분석 결과이다(cronbach's Alpha $\alpha=0.867$). 그리고 설문 내용 및 응답은 캐빈 사용 시 나타나는 행동, 만족도 조사, 캐빈의 프레임, 출입문 및 창문, 조작부, 레버 및 브레이크페달, 의자, 기타로 총 8부분으로 나누었다. 추가 질문이 필요한 경우에 하위 문항으로 질문 하였으며, 설문 결과에 대한 표에 하위 문항을 '☞'로 표기하였다. 하위문항에 대한 응답률은 '예' 또는 '아니오'라고 대답한 사람에 대한 비율이다.

표 3-15는 콤바인 작업 할 때의 행동에 대한 질문과 응답이다. 서서 콤바인 작업 할 때, 안전바를 손으로 잡거나 안전바에 몸을 기대는 경우가 각각 59.4%, 35.5%로 서서 작업할 경우 안전바가 필요하다는 것을 의미한다. 응답자의 58.1%가 출입문에 있는 창문을 열어 몸을 밖으로 내지 않는다. 65.6%의 응답자가 뒤 창문을 열어 몸을 밖으로 내고, 곡물 통이 다 찼는지 확인하거나 곡물 통을 청소할 때 밖에 있는 사람과 의사소통할 경우에 밖으로 몸을 낸다. 48.4%의 응답자가 왼쪽 창문을 열어 몸을 밖으로 내는데, 탈곡부가 막히거나 수리가 필요한 경우이다. 출입문에 있는 창문과 뒤 창문, 그리고 왼쪽에 있는 창문으로 몸을 내미는 경우가 50% 내외이지만 내미는 경우가 있기 때문에 창문의 크기는 피험자의 상체가 나갈 수 있도록 설계되어야 한다.

표 3-15 작업 자세에 대한 질의 및 응답

	질 의	응 답
작업 자세	서서 안전바 손으로 잡나?	예: 59.4%, 아니오: 40.6%
	서서 안전바 몸으로 기대나?	예: 35.5%, 아니오: 64.5%
	출입문에 있는 창문 열어 몸을 밖으로 내는 경우가 있다?	예: 41.9% ☞어떤 때, 아니오: 58.1%
	☞어떤 때?	의사소통, 환기, 처음 한바퀴 돌 때
	뒤 창문 열어 몸을 밖으로 내는 경우가 있다?	예: 65.6% ☞어떤 때, 아니오: 34.4%
	☞어떤 때?	곡물통 확인, 탱크 청소, 밖에 있는 사람과 의사소통 시
	왼쪽 창문 열어 몸을 밖으로 내는 경우가 있다?	예: 48.4% ☞어떤 때, 아니오: 51.6%
☞어떤 때?	흙, 풀 등 겹친거 뺄 때, 수리 시, 나락이 못 밀고 나갈 때, 탈곡통 막혔을 때, 탈립상태 확인	

캐빈형 콤바인 사용 후 만족도 조사의 결과는 표 3-16과 같다. 캐빈형 콤바인 사용 후 캐빈에 대한 전체적인 만족도는 보통, 만족, 매우만족을 합하면 조사인원의 87.2%로 캐빈에 대한 만족도가 전체적으로 높았다. 하지만, 지금보다 더 안전하고 편안한 캐빈이 개발된다면 구매하겠다고 응답한 사람은 ‘보통’이 13.3%, ‘있음’이 40%, ‘매우 있음’이 33.3%로 응답자의 86.6%는 인간공학형 캐빈 개발이 필요하다고 응답하였다.

캐빈형 콤바인에서 사용자가 만족스러워한 부분은 먼지 차단 기능과 냉방 시설이다. 반면, 캐빈을 사용하면서 마음에 들지 않은 부분은 방음, 출입문, 먼지 들어옴, 시야의 순으로 나타났는데, 여기서 먼지 들어옴이란 기존 콤바인보다 캐빈형 콤바인이 먼지 차단 기능이 탁월하지만 여전히 완벽하게 차단이 되지 않음을 뜻한다. 사용자가 만족하는 캐빈 제작을 위해서는 방음, 출입문 개선, 먼지 차단, 시야 확보 등이 필요하다.

표 3-16 캐빈형 콤바인 사용 후 만족도 조사 결과

질 의	응 답
사용자의 만족도	매우 불만족: 3.2%, 불만족: 8.7%, 보통: 35.5%, 만족: 32.3%, 매우 만족: 19.4%
안전하고 편안한 캐빈 개발 시 구매의사	전혀없음: 3.3%, 없음: 6.7%, 보통: 13.3%, 있음: 40%, 매우 있음: 33.3%, 무응답: 3.3%
만족도 조사 사용 후 가장 마음에 드는 부분 (3개까지 복수응답)	바람이나 먼지를 막아준다: 62.6%, 냉방 시설: 16.1%, 기타: 6.5%, 출입문: 3.2%, 외형: 3.2%, 방음: 3.2%, 없음: 3.2%
사용 후 마음에 안 드는 부분(3개 까지 복수응답)	방음: 16.1%, 출입문: 12.9%, 먼지 들어옴: 12.9%, 없음: 12.9%, 시야: 9.7%, 기타의견: 9.7%, 창문: 6.5%, 백미러: 6.5%, 협소한 작업공간: 6.5%, 의자: 3.2, 에어컨: 3.2%
구매 시 가장 영향을 미치는 것	기계성능: 38.7%, 가격: 22.6%, 기타: 16.1%, 서비스: 6.5%, 브랜드: 6.5%, 캐빈장착여부: 3.2%, 영업사원과의 친밀도: 3.2%, 주위의 권유: 3.2%

표 3-17은 캐빈의 프레임과 출입문 및 창문에 대한 응답 결과이다. 캐빈 외형에 대한 선호도 조사에서는 직선형을 선호하였고, 직선형을 선호하는 이유를 주관식으로 물었을 때, 대다수의 응답자들이 대답을 하지 못하였다. 그리고 현재 직선형 캐빈을 사용하는 응답자들은 곡선형 캐빈을 보지 못한 경우가 대다수였기 때문에 선택을 하는데 있어 어려워했다. 특이할만한 점은 곡선형을 선택한 응답자 중 선택이유에 대한 응답으로 외관상 보기 좋기 때문이라고 응답한 것이다. 직선형을 선택한 응답자 중에는 외관에 대한 이유가 전혀 나오지 않았다.

현재 사용 중인 캐빈의 높이가 낮아서 작업할 때 적당한지에 대한 응답으로 지금 높이가 적당하다고 생각하는 응답자가 68.8%로 높다. 하지만 적당하지 않다고 한 응답자도 31.3%로 무시할 수 없다. 각 각의 응답에 대해 그렇게 대답한 이유(하위 질문)를 분석한 결과 키가 큰 사람이 서서 작업할 경우 머리에 닿는 경우가 있기 때문에 캐빈 내부의 높이는 높아야 하고, 주행 시 나뭇가지나 전기 줄에 걸릴 수 있으므로 지면으로부터의 캐빈 전체 높이는 낮아야 한다. 설문대상 콤바인의 경우 정면 오른쪽에 백미러 한 개가 장착되어 있다. 46.9%의 사용자가 백미러 개수가 적당하지 않다고 응답하였으며, 적당하지 않다는 응답자 중 40.6%가 백미러의 개수는 2개가 좋다고 하였고, 53.1%는 콤바인 작업 시 서서 작업을 하기 때문에 백미러 볼 일이 없으므로 개수는 상관없다고 응답하였다. 백미러는 후방시야를 확보하는 역할을 하므로 현재 보다 많이 장착할 필요가 있다. 그리고 설문 응답자들은 예취부의 시야확보가 되지 않아 서서 작업을 하기 때문에 백미러의 추가 장착이 필요 없다고 하였지만, 예취부의 충분한 시야 확보 후 앉아서 작업할 수 있다면, 후방시야를 확보할 수 있도록 백미러의 위치와 개수를 조절할 필요가 있다.

표 3-17 캐빈 프레임에 대한 설문내용 및 응답

질 의	응 답
캐빈 선택 모양	직선형: 43.8% ☐선택이유, 곡선형: 25% ☐선택이유, 무관: 28.2%, 기타: 3.1%
☐직선형 선택 이유	시야확보에 유리: 9.4%, 곡선형 본적 없음: 6.3%, 기타의견: 15.6%
☐곡선형선택이유	시야확보에 유리: 9.4%, 외관상 보기 좋음: 9.4%, 기타의견: 6.3%
앉아서 작업 시 프레임 높이 적당	예: 68.8% ☐이유, 아니오: 31.3% ☐어떠해야 하나
☐예를 선택한 이유	더 높으면 걸림: 16.7%, 서서 할 때도 있으므로 더 낮추면 안 됨: 16.7%, 더 높으면 보관할 때 힘들: 3.1%
프레임 ☐어떠해야 하나	더 높아야 한다: 40% ☐하위질문, 더 낮아야 한다: 60% ☐하위질문
☐높아야하는 이유	섰을 때 머리에 닿음: 12.5%
☐낮아야하는 이유	전선줄에 걸림 우려: 6.3%, 창고에 보관하기 어려움: 6.3%, 기타: 3.1%
백미러 개수는 적당한가?	예: 31.3%, 아니오: 46.9% ☐하위질문, 백미러 필요 없음: 21.9%
☐몇 개가 적당?	2개: 40.6%, 3개: 3.1%, 4개: 3.1%, 무관: 53.1%(콤바인 작업 시 서서 작업을 하기 때문에 백미러 볼 일이 없어 개수는 상관없음)
☐적당한 위치는?	좌측: 100%
☐적당한 크기는?	현재 크기: 20%, 지금 크기보다 더 크게: 80%

출입문은 보조손잡이와 여는 방식과 크기에 대해 질문하였고, 창문에 대해서는 크기와 여는 방식에 대해 질문하였다. 그 응답은 표 3-18에서 보는 바와 같다. 출입문을 열고 탑승할 때, 보조손잡이가 필요한가에 대해 90.6%의 응답자가 그렇다고 하였다. 응답자들의 콤바인 경우 탑승 보조손잡이가 없는 형태로 탑승 보조손잡이에 대한 필요성을 많은 응답자들이 느끼고 있다. 출입문 여는 방식이 편한지 불편한지에 대해 주관식으로 물어본 결과 53.1%의 응답자가 불편하다고 하였다. 현재 출입문의 문 여는 방향은 뒤에서 앞으로 열게 되어 있기 때문에 예취작업 중 예취부에 짚을 빠러 갈 때, 동선이 길어진다. 따라서 개선 방향을 문 여는 방향을 지금과 반대로 하거나, 슬라이딩 방식을 채택하는 것이 좋다고 응답하였다. 출입문 크기에 대해서는 대다수의 응답자들이 만족하였다.

창문은 출입문에 있는 작업자의 오른쪽 창문과, 탈곡부를 보기위한 왼쪽 창문, 그리고 곡물통을 확인하기 위한 뒤 창문으로, 총 3개로 구성되어 있다. 오른쪽과 왼쪽 창문의 크기에 대해서 대부분 만족하고 있었으나 뒤 창문의 경우 약 40%의 사용자들이 더 커야 한다고 응답하였

다. 곡물통에 곡물이 차게 되면 센서에 의해 경고음이 울리는데, 곡물통에 곡물이 한 쪽 방향으로만 쌓이면 곡물통이 가득 차지 않아도 경고음이 울릴 수 있다. 따라서 콤바인 작업자는 경고음이 울리면 뒤 창문을 열고 곡물통이 다 찼는지 확인을 한다. 뒤 창문의 크기는 콤바인 사용자의 상지 또는 얼굴이 창밖으로 나갈 수 있을 정도의 크기여야 한다. 창문을 여는 방식이 적당한가에 대한 질문에는 창문 위치에 상관없이 대다수의 응답자들이 만족하였다.

표 3-18 출입문과 창문에 대한 설문내용 및 응답

	질 의	응 답
출입문 /손잡이	보조손잡이 필요한가?	예: 90.6%, 아니오: 9.4%
	출입문 여는 방식은 어떤가?	편하다: 40.6%, 불편하다: 53.1% ☞어떤 점, 무관: 3.1%, 무응답: 3.1%
	☞어떤 점이?	여는 방향: 85.7%, 문고리 높음: 14.3%
	☞어떻게 개선해야 하나?	문 여는 방향을 반대로: 42.9%, 슬라이딩: 42.9%, 출입문 손잡이의 버튼을 없앴
	출입문 크기 적당?	예: 83.3%, 아니오: 16.7% ☞어떠해야 하나
	☞어떠해야 하나?	더 작아야한다: 100%
창문	오른쪽 창문 크기 적당?	예: 74.2%, 아니오: 25.8% ☞어떠해야 하나
	☞어떠해야 하나	더 커야함: 74.2%
	오른쪽 창문 여는 방식 적당?	예: 90.3%, 아니오: 6.5% ☞어떠해야 하나, 무관: 3.2%
	☞어떠해야 하나	몸이나 고개를 내밀 수 있게 여는 방식을 달리하여야 함
	뒤 창문 크기 적당?	예: 58.1%, 아니오: 38.7% ☞어떠해야 하나, 무관: 3.2%
	☞어떠해야 하나	더 커야한다: 100%
	뒤 창문 여는 방식 적당?	예: 80.6%, 아니오: 9.7% ☞적당한 방법, 무관: 3.2%, 무응답: 6.5%
	☞적당한 방법?	미달이: 3.2%, 여단이: 3.2%
	왼쪽 창문 크기 적당?	예: 87.1%, 아니오: 12.9% ☞어떠해야 하나
	☞어떠해야 하나?	더 커야한다: 100%
왼쪽 창문 여는 방식 적당?	예: 80.6%, 아니오: 19.4% ☞적당한 방법	
☞적당한 방법?	옆으로: 75%, 더 높이 올려야: 25%	

조작부에 대한 설문 내용은 조작부의 안내글자 크기, 계기판, 버튼에 관한 것으로 설문 결과는 표 3-19와 같다. 콘솔에 있는 안내 글자와 계기판에 있는 경고등 표시의 크기에 대해 약 80%의 농업인들이 지금 크기가 적당하다고 응답하였다. 계기판에서 가장 자주 보는 항목은 회전속도계, 연료계, 곡물탱크 순으로 나타났으며, 이것은 계기판에서 회전속도계가 중요 설계요

소임을 의미한다. 65.6%의 응답자가 계기판에 추가 되었으면 하는 항목이 없다고 응답하였지만, 25%의 응답자는 계기판에 추가항목을 필요로 했다. 현재 계기판에서 곡물통이 다 찼을 때 경고음이 2단계로 되어 있는데 좀 더 세부적으로 나누었으면 좋겠다고 하였다. 대부분 콘솔에 있는 버튼들은 작업하기 전에 한번 조정하면 작업 중에는 거의 조작할 일이 없기 때문에 버튼 작동이 어렵지 않다고 대다수가 응답하였다. 하지만 주로 사용하는 버튼 외에는 사용할 일이 없기 때문에 콤바인에서 비상공급깊이 조절 스위치를 찾아보라고 하였을 때 75%의 설문응답자가 찾지 못하였다.

작년 한 해 동안 사용하지 않았던 버튼이나 레버가 무엇인가를 묻는 질문에 대해서는 예취레버, 비상공급깊이조절 스위치, 곡물배출버튼 순으로 응답하였다. 가장 많이 사용하는 버튼 및 레버는 파워스티어링 레버, 주변속 레버, 부변속 레버였고, 특히 조작부에서는 버튼보다 레버를 주로 사용함을 알 수 있다.

표 3-19 조작부에 대한 설문내용 및 응답

	질 의	응	답
	콘솔 글자 크기 적당? ☞어떠해야 하나	예: 75%, 아니오: 21.9%	☞어떠해야 하나, 무관: 3.1% 작아야한다: 100%
	계기판 경고등 표시 크기 적당? ☞어떠해야 하나	예: 80.6% 아니오: 19.4%	☞어떠해야 하나 커야한다: 100%
	가장 많이 보는 항목?	1위: 회전속도계(rpm), 2위: 연료계, 3위: 곡물탱크, 4위: 고장, 5위: 쥘배출, 6위: 온도	
	계기판에 추가됐으면 하는 항목 있다? ☞어떤 항목? (복수응답)	예: 25%	☞어떤 항목, 아니오: 65.6%, 무응답: 9.4% 곡물단계표시: 50%, 기타: 100%
조작부	콘솔 내의 버튼을 누르기 힘들다? ☞무엇 때문? (복수응답)	예: 15.6%	☞무엇 때문, 아니오: 84.4% 수평제어 복잡함: 20%, 기름칠 할 때 자동이 아님: 20%, 버튼을 누르면 자동이 안 됨: 20%
	비상공급 깊이 조절스위치가 어떤 것인가?	못 찾음: 75%, 찾음: 25%	
	사용 안 해 본 것?	예취레버: 6.3%, 비상공급깊이조절: 3.2%, 곡물배출: 3.2%	
	가장 많이 사용하는 것?	파워스티어링: 12.4%, 주변속: 11.8%, 부변속: 9.8%, 오거리레버: 9.2%, 예취레버: 7.2%, 탈곡레버: 7.2%	
	없애도 되는 것? (복수응답)	없음: 65.6%, 예취레버, 예취높이 다이얼, 자동주유, ACH: 6.3%, 부저정지, 경적, 전조등, 전구체크, 센서체크스위치, ACF, 탈곡레버: 3.2%	

레버 및 페달에 대한 질문은 조작력과 위치에 대한 내용이고, 그 응답은 표 3-20과 같다. 파워스티어링은 대부분의 응답자들이 조작할 때 드는 힘의 크기가 적당하다고 응답하였다. 하지만 주변속 레버의 경우 적당하지 않게 느끼는 응답자는 46.9%이고, 특히 주변속 레버의 경우 62.5%의 응답자가 힘들다고 응답하여, 조작력을 약하게 조절하거나 조작할 때 힘이 덜 들도록 설계해할 필요가 있다.

의자 밑에 있는 레버는 의자 받침을 여는 레버로 예취작업 중에 조작하지 않는 레버이다. 그리고 서서 작업할 경우 이 레버로 인해 다리가 불편할 수 있으므로 레버의 위치를 다른 곳으로 옮길 필요성에 대해 물었다. 그 결과 대다수의 응답자들이 옮길 필요가 없다고 하였다.

표 3-20 레버 및 페달에 대한 설문내용과 응답

	질 의	응 답
레버	파워 스티어링 조작력 적당?	예: 71.9%, 아니오: 28.1% ☞어떠해야 하나
	☞어떠해야 하나?	부드러워야한다: 100%
	주변속 조작력 적당?	예: 53.1%, 아니오: 46.9% ☞어떠해야 하나
	☞어떠해야 하나?	부드러워야한다: 100%
	부변속 조작력 적당?	예: 35.5%, 아니오: 62.5% ☞어떠해야 하나
	☞어떠해야 하나?	부드러워야한다: 100%
	의자 밑 레버가 다른 곳에 있어야 한다?	예: 13.3%, 아니오: 80%, 모름: 3.3%, 무응답: 3.3%
페달	브레이크 조작력 적당?	예: 53.1%, 아니오: 46.9% ☞어떠해야 하나
	☞어떠해야 하나?	뽁뽁해야 한다: 33.3%, 부드러워야 한다: 66.7%

운전석의 위치, 추가 기능과 크기에 대한 설문 문항의 응답은 표 3-21과 같다. 우리나라의 경우 승용차의 운전석 위치는 콤바인의 운전석 위치와는 다르게 왼쪽에 있기 때문에 승용차를 운전하고 나서 콤바인을 운전하면 혼동이 될 수 있다. 그러나 콤바인 운전석의 위치에 대해 설문한 결과, 지금의 위치가 좋다고 80.6%가 응답하였다. 그리고 80.6%의 응답자 중 78.9%가 자가용 운전 후 콤바인을 운전하여도 혼동되지 않는다고 하였다.

응답자들이 사용하고 있는 콤바인의 운전석은 앞뒤 조절기능이 있고 높낮이 조절기능과 회전기능은 없다. 높낮이 조절기능은 78.1%가, 회전기능은 19.4%가 필요로 했다. 특히 58.3%의 응답자가 운전석의 높이를 적당하지 않게 느끼고 있어 운전석 높낮이 조절기능이 필요하다. 운전석의 앉는 면 크기는 75%의 응답자들이 적당하게 느끼고 있다.

표 3-21 의자에 대한 설문내용과 응답

	질 의	응 답
운전석	운전석 위치 왼쪽으로 옮겨야 한다?	예: 16.1%, 아니오: 80.6%, 무응답: 3.2%
	자가용 운전하나?	예: 93.5%, 아니오: 6.5%
	☞ 콤바인 운전과 혼동 되나?	예: 14.3%, 아니오: 78.9%, 무응답: 7.1%
	운전석의 높이는 적당?	예: 33.3%, 아니오: 58.3% ☞어떠해야 하나
	☞어떠해야 하나?	높아야: 57.1%, 낮아야: 42.9%, 무응답: 8.3%
	운전석에 높이 조절 기능 있어야함?	예: 78.1%, 아니오: 18.8%, 무응답: 3.1%
	운전석에 회전 기능 있어야한다?	예: 19.4%, 아니오: 77.4% ☞어떠해야 하나
	☞왜 필요 없나?	1: 비좁다, 2: 앉을 기회 거의 없음(서서함)
	운전석에 앉는 면의 크기 적당?	예: 75%, 아니오: 25% ☞어떠해야 하나
	☞어떠해야 하나?	더 커야함: 100%

경고음 크기와 방음, 그리고 야간작업 할 때 시야, 인체에서 불편한 곳, 사용상 불편한 점등에 대한 질문의 응답은 표 3-22와 같다. 응답자의 78.1%는 경고음 크기가 적당하다고 하였다. 방음은 59.4%가 적당하지 않다고 하여 방음이 더 필요함을 의미하고 있다. 야간작업을 하지 않는 26.7%의 응답자를 제외하고 53.3%의 응답자가 야간작업 시 시야확보가 잘 된다고 하였다. 콤바인 작업 후 아픈 부위를 묻는 질문에 복수응답을 한 결과 무릎, 어깨, 종아리, 허리 순으로 나타났다. 특히 무릎과 어깨가 차지하는 비율이 40%이상으로 이 부위에 통증 원인을 규명하고, 통증을 경감 시킬 수 있도록 설계해야 한다.

위에서 언급했던 내용을 제외하고 캐빈형 콤바인을 사용하면서 가장 불편했던 점은 라이트가 견고하지 않다는 것이다. 따라서 가장 개선이 시급한 부분은 소음과 분진, 출입문의 방향이다.

표 3-22 기타 질문에 대한 설문내용과 응답

질 의	응 답
경고음 크기 적당?	예: 78.1%, 아니오: 21.9%
방음이 적당?	예: 34.4%, 아니오: 59.4% ☞왜, 무관: 6.3%
☞왜?	깍깍 소리가 남, 작업 후 귀가 멍함, 이음부 사이에서 소리가 나는 등의 이유로 더 조용해야함(85.7%), 수입품이 좋다(14.3%)
야간 작업 시 잘 보인다	예: 53.3%, 아니오: 16.7%, 야간작업 안함: 26.7%, 무관: 3.3%
콤바인 작업 후 통증 부위	무릎: 46.2%, 어깨: 42.3%, 종아리: 23.1%, 허리: 15.4%, 목: 15.4, 팔꿈치: 11.5%, 아래 팔: 11.5%
기타	조작부 오른쪽으로, 출입문, 없음, 모름, 의자높이, 의자밑 레버, 문 잘 닫히게, 왼쪽 창문 여는 방식, 잡소리, 먼지, 탑 너비 넓히게, 에어컨청소 간편하게, 서서 작업시 머리에 닿지 않게, 시야확보, 뒤쪽시야확보, 불편함 못느낌, 라이트 자주 꺼짐, 계기판 빛반사로 잘 안보임, 의자가 딱딱함, 예취부커버 원터치로, 라지히터에 콤프레셔가 달려 있으면, 오거 끝에 자루를 묶을 때 전조등이 걸리적거리고 잘 떨어짐, 곡물차는 것 앞에서도 볼 수 있도록 등.
어떤 부분이 가장 불편한가?	1위: 소음, 분진방지, 2위: 출입문 여는 방향, 기타: 휴즈 들어가는 부분 잘 보이는 곳으로, 앞창문 열리도록, 앞 창문의 아래 부분도 브러쉬 필요, 오래 앉을 수 있게 의자폭신, 의자높이 조절 등
어떤 부분이 가장 개선이 시급한가?	

3. 콤바인 캐빈의 문제점 분석 및 개선 방향

가. 문제점 분석

(1) 시계성

국내외 콤바인 비교와 사용자의 만족도 설문조사 분석 결과를 통해 기존 콤바인 시계성의 문제점을 살펴보면 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째, 짐막힘이나 풀, 흙 등이 걸렸는지 확인하기 위해 왼쪽방향으로 고개를 회전하는 동작이 반복적으로 행하여졌다. 분당 10회 가량의 확인 행위는 그만큼 사용자가 중요시 여기는 부분이고 이에 대한 시야 확보가 잘 되지 않음을 의미한다. 둘째, 앉은 자세에서 분초간과 계기판이 차폐에 의해 가려진다는 점이다. 분초간과 계기판은 작업 중 콤바인의 상태를 수시로 확인하기 위해 필요하나, 차폐에 의해 가려져 있어 사용자들은 일어서서 운행을 하거나 목, 허리를 숙이는 등의 행동을 취하였다. 시야 확보가 잘 되지 않으면 콤바인 작업 중 돌발 상황 시 더 큰 사고를 유발할 수 있으며 부적절한 자세가 계속되어 근골격계 질환을 야기할 수 있다. 따라서 기존 콤바인의 시계성 개선을 통해 작업자의 안전성 및 편의성을 향상시킬 필요가 있다.

(2) 운전석

국내외 콤바인 비교와 사용자 만족도 설문조사 분석 결과 현재 콤바인 운전석은 크게 두 가지 문제점을 보인다. 첫째, 운전석의 좌석 높이가 너무 낮게 디자인 되어있다. 콤바인 수확 작업 특성상 예취날의 시야 확보가 매우 중요함에도 불구하고 운전자는 앉아서 예취날을 볼 수 없다. 이러한 이유로 대부분의 운전자는 수확 작업을 서서 수행한다. 이로써 각종 레버 및 페달 등의 조작을 위하여 허리를 굽힌 자세로 작업을 하게 되고, 다리에 체중이 집중되어 작업 피로를 더욱 크게 느끼게 된다. 둘째, 비좁은 공간에 운전석이 설치되어 있다. 콤바인 캐빈의 내구 공간이 협소하여 운전석의 사이즈가 매우 작고 그 외 조작 레버 작동 시에도 의도하지 않은 오작동이 발생할 가능성이 있다.

(3) 조작부

비디오 분석을 통한 작업분석, 제조사별 비교분석, 수용도 분석, 설문조사의 결과를 바탕으로 조작부와 레버의 문제점을 요약하면 아래와 같다.

- 콤바인 작업 시 조작부의 제어장치들 중 가장 자주 사용하는 것은 파워스티어링 레버, 주변속 레버, 부변속 레버인데, 이 중 조작력이 가장 적당하지 않은 것이 부변속 레버이다. 또한 부변속 레버를 당길 때, 작업자가 앉으면서 전체 하중을 이용하여 당기는 것을 볼 수 있다. 따라서 부변속 레버를 조작할 때 드는 힘이 적게 들도록 설계해야 한다.
- 레버 및 버튼의 개수가 타사와 비교했을 때 가장 많다. 레버 및 버튼의 개수를 줄이면 조작 장치들이 차지하는 공간을 좁힐 수 있고, 농업인의 작업공간을 넓힐 수 있다. 작업 공간을 넓히는 것은 캐빈 자체를 넓히는 것이 가장 좋으나, 콤바인 크기에 따라 캐빈의 크기도 한정될 수밖에 없다. 이 경우 레버 및 버튼의 개수를 줄여 조작공간을 좁히고, 작업공간을 늘려야 한다.
- 작업 중 계기판 중에서 엔진회전속도계를 가장 자주 확인하기 때문에 계기판 설계 시 엔진회전속도계를 한 눈에 볼 수 있고, 쉽게 볼 수 있도록 설계해야 한다.
- T社の 조작부 내에 버튼 또는 다이얼들이 많아 어떤 버튼이 어디에 위치하는지 알지는 못하지만, 불필요한 버튼이 없어 기능을 제거할 수 없으므로 한 눈에 알아보기 쉽도록 가독성을 높여 설계해야 한다.
- 브레이크 페달은 농업인들이 조작할 때 드는 힘이 적당하지 않아 조작력을 조절할 필요가 있으나 1년 중 사용횟수가 거의 없어 브레이크 페달로 인해 근골격계 질환이 생길 가능성은 거의 없다. 하지만 브레이크 페달이 개구부로 되어 있어 캐빈에서 발생하는 소음을 통과하게 한다. 따라서 브레이크 페달의 개구부를 차단하여 소음을 줄일 필요가 있다.

(4) 주요장치

캐빈형 콤파인의 주요 주요장치를 국내외 제조사별 모델에 따라 비교 분석한 결과 많은 차이점이 있었다. 먼저 출입문 개폐방식에서 3가지 방식으로 차이를 보였는데 앞으로 여는 방식은 출입문에 창문 비율을 높게 하지 않으면 전방 시야 확보에 어려움이 있었다. 또한 주요 작업이 캐빈 전방에서 이루어지는데 앞으로 여는 방식은 작업 중 문제가 생겼을 때 출입문을 우회하여 전방으로 접근해야 하는 문제가 있었다.

브레이크 페달 부분에서도 제조사별로 차이를 보였는데 그 중 주요한 문제부분이 페달과 캐빈 접촉부의 밀폐여부이다. 접촉부가 밀폐되지 않은 모델은 작업 중 발생하는 외부 소음이나 먼지가 캐빈 내에 유입되는 문제가 있었다.

캐빈형 콤파인은 탑승석의 위치가 일반 승용차에 비해 높기 때문에 탑승 손잡이와 오름 발판을 설치한다. 탑승 손잡이의 위치가 좋지 않으면 탑승 시 불편한 자세로 타야하는 문제가 있었다. 오름 발판의 경우 첫 번째 스텝을 너무 낮게 하면 작업 시 발판이 지면에 닿는 문제가 발생 할 수 있고 너무 높으면 탑승 시 불편함을 야기하는 문제가 있었다.

캐빈형 콤파인은 기존 콤파인과 달리 캐빈 내에 작업자의 편이를 위한 부대부품을 장착할 수 있는 장점이 있다. 하지만 콤파인을 제외한 다른 상업용 차량 및 승용차와 비교 했을 때 부족함이 있었다. 작업자의 편의성과 안전성을 향상시킬 수 있는 부대부품 개발이 필요하다.

나. 개선 방향

(1) 시계성

기존 콤파인 시계성의 문제점을 해결하여 작업자의 안전성과 편의성을 향상시키기 위해 전방 및 측면의 창문 크기, 측면 후사경 크기 및 위치의 조정이 필요하다. 창문의 크기는 캐빈의 안전성에 관련된 문제이기 때문에 정확한 근거에 의해 도출된 수치로 설계할 필요가 있다. 콤파인의 시계성에 대한 기준을 마련하고 그에 따라 운전자의 시계영역을 정량적인 방법으로 측정 및 분석하여 사용자의 요구와 캐빈의 안전성을 모두 만족할 수 있도록 창문의 크기를 결정하여야 한다. 또한 기존 콤파인에서 가장 확보하기 어려운 후방 시계성의 확보를 위해 후방 창문의 면적을 늘리고 자동차처럼 후방 카메라 등 보조 시야 확보 장치를 부착할 필요가 있다.

분초간과 계기판이 차폐에 의해 가려져 보이지 않는 것을 개선하기 위해 계기판의 위치를 재배치하거나 운전석의 높이, 위치 등을 변경하여 운전자의 시야를 확장할 필요가 있다. 계기판이나 레버 등 운전자가 주시하는 부분에 대한 평가를 통하여 운전석의 위치 및 높이, 조작부 배치 등을 최적화할 수 있다.

(2) 운전석

기존 콤바인 운전석의 문제점을 해결하여 작업자의 안전성과 편의성을 향상시키기 위해 운전석을 재 디자인 할 필요가 있다. 현재 운전석은 전, 후 이동 기능은 있으나 상, 하 높이 조절 기능이 없다는 문제점이 있다. 높이를 조절 기능을 추가하여 앉은 자세에서도 콤바인 예취날을 볼 수 있도록 설계해야 한다. 하지만 예취날의 시야 확보가 가능한 높이로 운전석을 높일 경우 운전자의 다리가 허공에 뜨게 되는 문제점이 있어 운전석의 높이를 조절 동시에 좌판 기울임 기능을 추가하여 몸을 운전석에 기대는 형태로 입식 자세를 유지하면서 작업을 수행할 수 있다. 이로써 콤바인 캐빈 내부의 비좁은 공간의 활용성을 높여 운전자의 체형에 적합하도록 운전석을 개선하여 작업 중 발생할 수 있는 오작동의 가능성을 줄일 수 있다.

(3) 조작부

앞서 언급된 문제점 및 요약내용을 바탕으로 본 연구에서는 아래와 같이 이상적인 개선 목표를 잡았고 그 중 업체와의 협의를 통해 실현가능한 것을 선택하였다.

- 콤바인 작업 시 조작부의 제어장치들 중 가장 자주 사용하는 것은 파워스티어링 레버, 주 변속 레버, 부변속 레버인데, 이 중 사용자가 조작할 때 드는 힘이 적당하지 않은 것은 부 변속 레버이다. 또한 부변속 레버를 당길 때, 작업자가 앉으면서 전체 하중을 이용하여 당기는 것을 볼 수 있다. 따라서 부변속 레버를 조작할 때 드는 힘이 적게 들도록 설계해야 한다.

■ 이상적인 개선안 및 현실 가능성 여부에 대한 회의 결과

① 부변속 레버의 조작 방식(예: 링크 방식에서 유압방식)을 변경하여 조작력을 낮춘다.

☞ 기술력 문제로 불가능하다.

② 부변속 레버의 내부 조작력을 변경할 수 없으므로, 작업자가 앉아서 작업 할 때, 가장 힘이 적게 드는 레버의 위치와 노브의 형태를 결정한다.

☞ 레버의 위치는 변경하지 않는 것이 좋으므로 레버 굽힘 각도를 설계변경 하고, 노브의 형태를 바꾸면 적용 가능하다.

- 레버 및 버튼의 개수가 타사와 비교했을 때 가장 많다. 레버 및 버튼의 개수를 줄이면 조작 장치들이 차지하는 공간을 줄일 수 있고, 농업인의 작업공간을 넓힐 수 있다. 작업 공간을 넓히는 것은 캐빈 자체를 넓히는 것이 가장 좋으나, 콤바인 크기에 따라 캐빈의 크기도 한정될 수밖에 없다. 이 경우 레버 및 버튼의 개수를 줄여 조작공간을 좁히고, 작업공간을 늘려야 한다.

■ 이상적인 개선안 및 현실 가능성 여부에 대한 회의 결과

① 캐빈 자체의 공간을 넓힌다.

☞ 최대 50mm까지 넓힐 수 있다.

② 레버의 개수를 줄이기 위해 예취레버와 탈곡레버의 기능을 하나로 결합한다.

☞ 추후에 가능한 하나 현재 개발 모델에 적용은 불가능하다.

③ 버튼의 개수를 줄이기 위해 혼, 부저 버튼을 결합 한다.

☞ 혼, 부저 버튼을 하나의 버튼으로 결합 가능하다.

- T社の 조작부 내에 버튼 또는 다이얼들이 많아 어떤 버튼이 어디에 위치하는지 알지는 못하지만, 불필요한 버튼이 없어 기능을 제거할 수 없으므로 한 눈에 알아보기 쉽도록 가독성을 높여 설계해야 한다.

■ 이상적인 개선안 및 현실 가능성 여부에 대한 회의 결과

① 조작부 버튼 부분의 인지도 및 기억력을 높이기 위해 버튼을 재배치한다.

☞ 조작부의 버튼 및 다이얼은 위치 이동이 가능하므로 버튼의 재배치가 가능하다.

② 작업 중 계기판 중에서 엔진회전속도계를 가장 자주 보므로 계기판 설계 시 엔진회전 속도계를 한 눈에 볼 수 있고, 쉽게 볼 수 있도록 설계해야 한다.

☞ 계기판 경고등의 크기나 디자인 변경은 불가능하나 안내글자 크기와 색상만 변경 가능하다.

③ 설문에서 조사한 바와 같이 곡물통 찰 때의 경고음을 2단계에서 더 세부적으로 나누는 기능을 추가 한다.

☞ 곡물통 찰 때 경고음을 2단계에서 더 세부적으로 나눌 수 없다.

- 브레이크 페달은 농업인들이 조작할 때 드는 힘이 적당하지 않아 조작력을 조절할 필요가 있으나 1년 중 사용횟수가 거의 없어 브레이크 페달로 인해 근골격계 질환이 생길 가능성은 거의 없다. 하지만 브레이크 페달이 개구부로 되어 있어 캐빈에서 발생하는 소음을 통과하게 한다. 따라서 브레이크 페달의 개구부를 차단하여 소음을 줄일 필요가 있다.

■ 이상적인 개선안 및 현실 가능성 여부에 대한 회의 결과

① 브레이크 페달의 조작력을 낮춘다.

☞ 유압시스템으로 변경하면 가능하나 개발비용 대비 사용횟수가 현저히 적어 개발에 의미가 없다.

② 소음이 들어올 수 있는 개구부를 차단하여 방음 효과를 높인다.

☞ 내부 설계변경을 통해 콤파인으로 돌출되는 부분을 하단에서 측면으로 변경함으로써 적용가능하다.

(4) 주요장치

작업자의 편의성과 안전성을 향상시키기 위해 주요장치의 개선 및 부대부품 개발이 필요하다. 우선 사용자 만족도 설문조사 결과 시급히 개선해야 할 사항에 2위로 답변이 많았던 출입문은 개폐방식을 뒤로 여는 방식으로 변경할 필요가 있다. 또한 탑승을 보조해주는 탑승 손잡이와 오름 발판에 대하여 작업 자세 분석과 ISO기준 등을 활용하여 최적의 위치와 최적의 높이로 설계할 필요가 있다. 오름 발판의 경우 탑승 시 편하게 낮아야 한다는 필요와 진흙층이 쌓이는 것을 방지하고 작업 중 지면에 닿지 않도록 높아야 한다는 필요를 둘 다 만족 시킬 수 있게 탑승 시 내릴 수 있고 작업 시 접어놓을 수 있도록 접이식 오름 발판 개발이 필요하다.

캐빈 내부의 부대부품에 대해서도 콤바인이 대부분 여름에 사용된다는 이유로 난방장치가 없으며 테이프 카세트를 사용하고 있어 최근 대부분의 음원이 CD-ROM으로 발매되는 것을 고려했을 때 교체가 필요하며, 콤바인 작업 시 한여름 낮에 대부분의 시간을 할애한다는 점을 고려할 때 콤바인에도 온·냉장고의 설치가 필요할 것으로 생각된다. 또한 승용차에 기본적으로 설치된 시거라이터를 콤바인에도 설치하여 각종 전기 부품의 전원 공급원으로 사용할 수 있게 하고 작업 시 눈부심을 방지하기 위해 승용차의 선바이저를 콤바인에도 장착할 필요가 있다.

4. 인간공학적 성능평가 방법

가. 시계성 및 작업 자세 분석

(1) 시계성 분석

(가) 조망 범위에 대한 설계 기준 조사 및 분석

인간공학적 설계란 인체의 구조 및 심리적 특징을 반영하여 제품을 설계하는 것으로 최근 다양한 분야에서 인간공학 중심의 안전하고 편리한 제품 개발을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 작업 환경이 열악한 농업 분야에서는 인간공학 중심의 농업기계 개발이 요구되고 있다.

콤바인은 수확 작업 시 먼지, 소음, 진동 등에 노출되어 있는 대표적인 농업기계로서 최근에는 쾌적하고 편리한 작업 환경을 제공하는 캐빈형 콤바인(cabin type combine)의 수요가 증가하고 있는 추세이다. 그러나 국내의 캐빈형 콤바인은 대부분 조작부와 캐빈을 별도로 제작하여 결합하는 방법을 사용하고 있어 인간공학적 요소가 결여되어 있다. 콤바인 캐빈의 인간공학적 설계를 위해서는 캐빈 내부에 필요한 거주공간을 제공하는 거주성, 콤바인에 장착된 레버, 브레이크 페달 등의 크기, 위치 등을 설정하는 조작성과 캐빈 외부 및 내부의 시계성, 안전하고 편리한 승하차 공간의 설정을 위한 승강성, 안전사고 시 운전자를 보호할 수 있는 안전성 등이 주요 검토사항으로 고려되어야 한다. 그 중 시계성은 콤바인의 작업 상태, 운전 상태 등을 운

전자의 시각각을 통해 받아들이는 정도이며 콤바인 작업 시 운전자는 대부분의 작업 정보를 눈을 통해 인식하므로 충분한 시계성 확보는 콤바인 캐빈 설계에 중요한 요인이다. 시계성은 콤바인 수확 작업 시 작업자의 자세뿐만 아니라 편의성과 안전성을 결정하는 중요한 요소로 국내 대부분의 콤바인 운전자는 시계 확보를 위해 기울인 상태나 일어선 상태 등으로 수확 작업을 수행하고 있어 이를 개선하기 위한 연구가 필요한 실정이다. 하지만 국내외의 콤바인의 시계성에 관한 연구 및 산업규격은 미비하여 콤바인의 최적 조망범위 기준 정립을 위해 농업용 트랙터 및 토공기계의 시계성에 대한 KS규격(ISO 동일)과 비교적 연구가 활발히 진행된 승용차의 시계성에 대한 연구를 참고하였다.

① 농업용 트랙터의 운전자 시야 영역(KS B ISO 5721)

농업용 트랙터의 운전자 시야 영역은 운전자의 눈위치에서 전방 시야 반원, 후방 시야 반원, 상방 시각, 차폐 영향의 요소로 한국산업규격에서 규정하고 있다.

㉠ 눈위치 - 그림 3-33과 같이 가상적으로 규정한 운전자의 눈위치.

㉡ 전방 시야 반원 - 그림 3-34와 같이 콤바인 아래이고 수직으로는 눈높이 아래인 수평 지면상의 한 점을 중심으로 그린 반원으로, 보통 주행 방향을 주시할 때 콤바인의 전방에 위치하고 반원의 지름은 콤바인의 종방향 중심 평면과 직교한다.

㉢ 후방 시야 반원 - 그림 3-35와 같이 콤바인 아래이고 수직으로는 눈높이 아래인 수평 지면상의 한 점을 중심으로 그린 반원으로, 보통 주행 방향을 주시할 때 콤바인의 후방에 위치하고 반원 지름은 콤바인의 종방향 중심 평면과 직교한다.

㉣ 상방 시각 - 아래쪽으로는 눈위치를 지나는 수평면에 의하여, 위쪽으로는 상방 시선 평면에 의하여 제한된 시각이다. 상방 시선 평면은 눈위치에서 차폐 영향을 유발하는 요소가 아닌 다른 차량 요소에 의하여 가려진 점을 향하는 시선을 포함한 평면이다.

㉤ 차폐 영향 - 그림 3-36과 같이 지붕 기둥 등과 같은 구조물 요소에 의하여 눈위치에서 보이지 않는 일부 시야 반원의 현을 말한다.

㉥ 농업용 트랙터의 운전자 시야 영역 측정 방법 - 눈위치를 선정하고 시야 반원에서 그림자를 찾을 수 있도록 지면에서 충분한 높이까지 쌓아올린 수직 벽면 또는 스크린에

서 2개의 광원이나 카메라를 이용하여 측정하고 차폐 영향은 수학적으로 결정할 수도 있다.

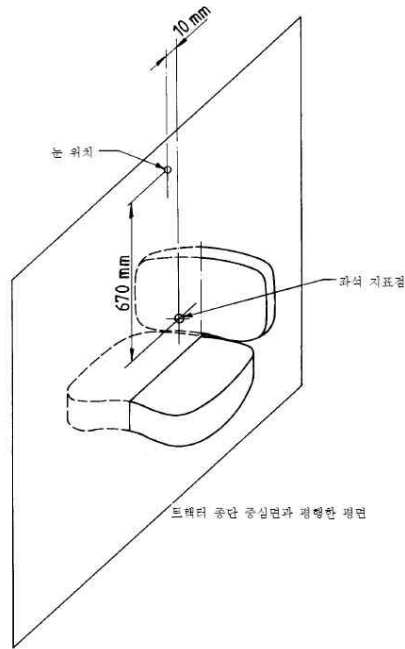


그림 3-33 농업용 트랙터의 눈위치 선정.

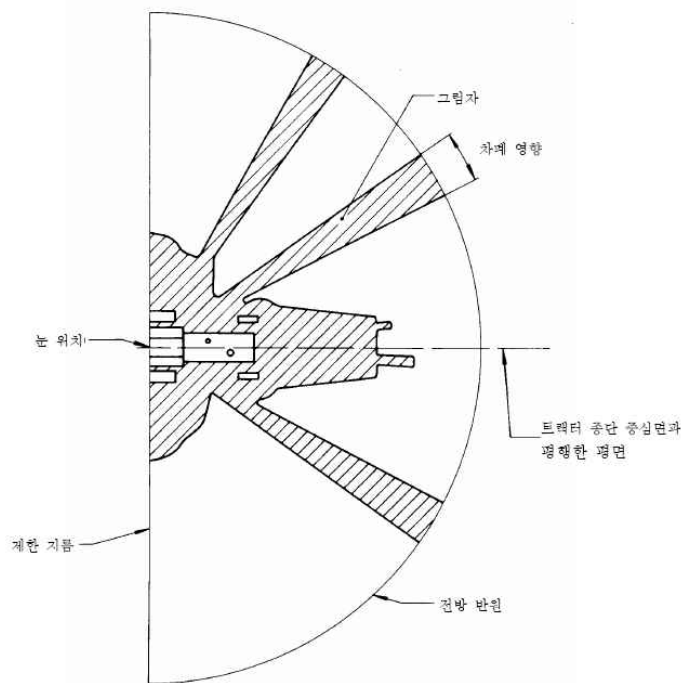


그림 3-34 농업용 트랙터의 전방 시야 반원.

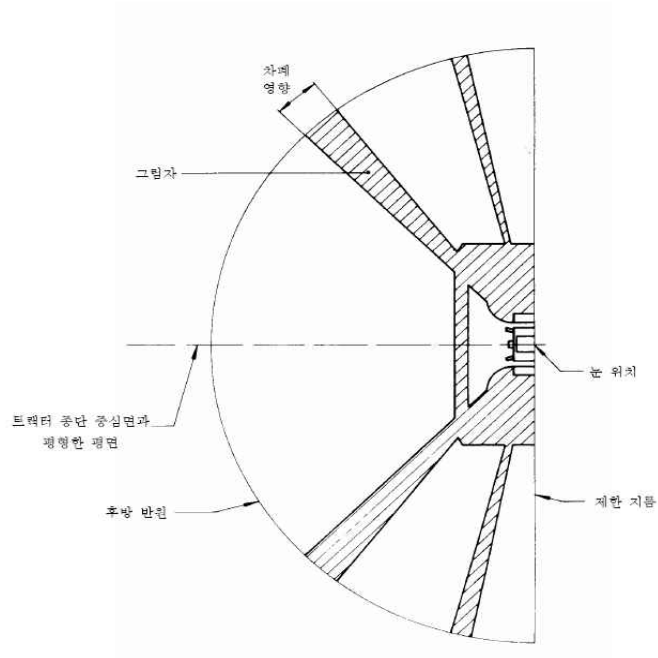


그림 3-35 농업용 트랙터의 후방 시야 반원.

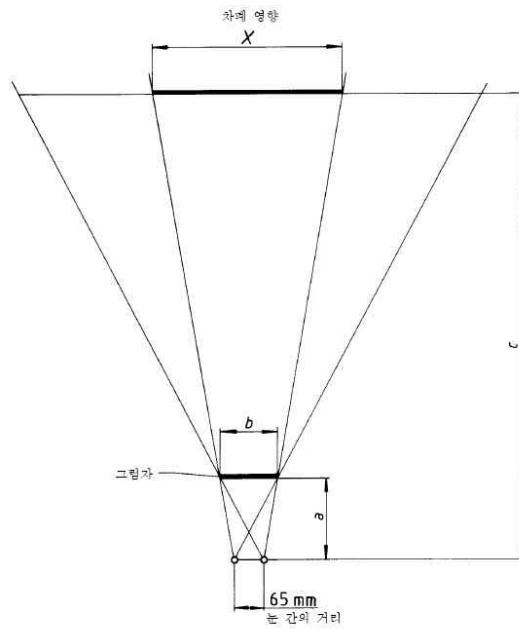


그림 3-36 차폐 영향.

② 토공 기계의 운전자 시계(KS F ISO 5006)

토공 기계의 운전자 시계는 운전자의 눈위치에서 전방 시계 영역, 전방 측면 시계 영역, 후방 시계 영역, 후방 측면 시계 영역, 차폐 영향의 요소로 한국산업규격에서 규정하고 있다.

- ㉔ 시험 중심점 - ISO 5353의 정의와 같이 좌석 지표점(Seat Index Point, SIP)의 위로 660mm, 아래로 20mm의 지점으로 전세계 남성 운전자의 50%에 해당하는 눈위치 지점이다(ISO 3411 참조). 가능한 시트 조절 범위는 그림 3-37과 같이 운전자 체구의 5~95% 범위에 해당한다.
- ㉕ 시계성 시험원 - 달리 명시하지 않는 경우에는 시험 중심점에서 수평 표면상의 반지름 12m의 원이다.
- ㉖ 전방 시계 영역 - 시계성 시험원의 부분 영역으로서 종축 평면을 2등분한 선분이 시험 중심점을 지나고 종축 평면과 9.5m의 수직 거리를 갖는 장비의 전방 영역이다.
- ㉗ 전방 측면 시계 영역 - 시계성 시험원의 부분 영역으로서 장비 전방의 측면 시계 영역(시험 중심점을 지나는 각 측방의 전방 시계 영역 경계선에서 가로 중심선까지)이다.
- ㉘ 후방 시계 영역 - 시계성 시험원의 부분 영역으로서 시험 중심점을 지나는 종축 평면상의 좌우측 45° 각도의 후방 시계 영역이다.
- ㉙ 후방 측면 시계 영역 - 시계성 시험원의 부분 영역으로서 후방 시계 영역과 전방 측면 시계이다.
- ㉚ 토공기계의 운전자 시계 측정 방법 - 눈위치를 선정하고 시야 반원에서 그림자를 찾을 수 있도록 지면에서 충분한 높이까지 쌓아올린 수직 벽면 또는 스크린에서 2개의 광원이나 카메라를 이용하여 측정하고 차폐 영향은 농업용 트랙터와 마찬가지로 수학적으로 결정할 수도 있다.

단위 : mm

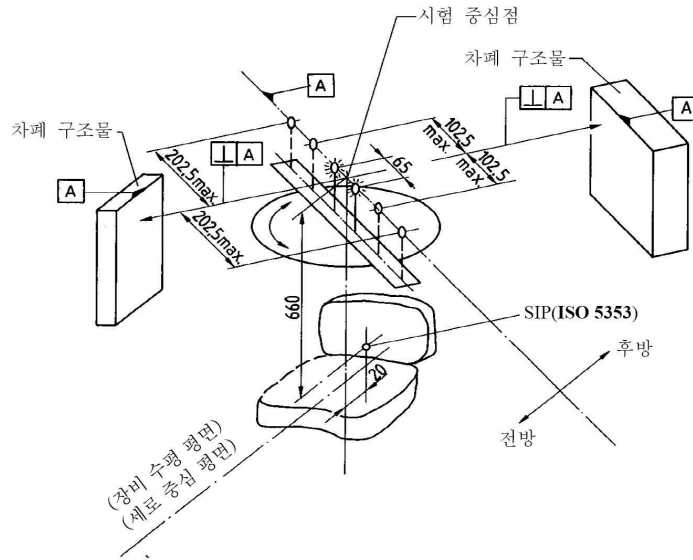


그림 3-37 토공 기계의 시험 중심점.

단위 : mm

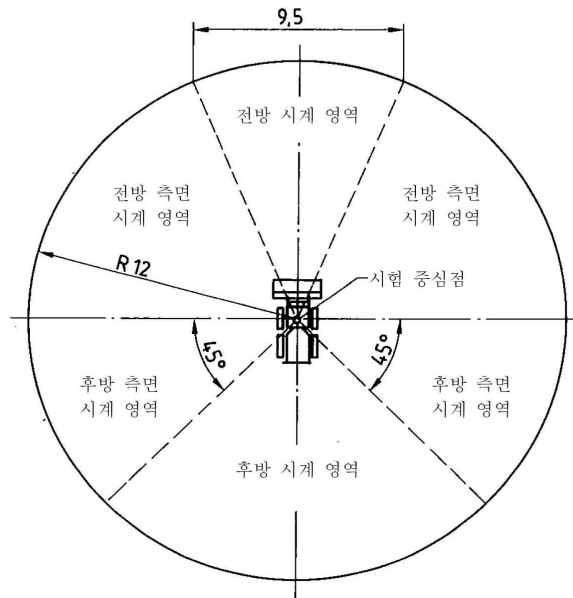


그림 3-38 토공 기계의 운전자 시계.

(나) 콤바인의 시계성 평가

앞서 살펴본 트랙터 및 토공기계의 운전자 시계는 한국산업규격에서 표 3-23과 같이 운전자의 눈위치에서 전방 시계 영역, 후방 시계 영역, 차폐 영향의 요소 등으로 규정하고 있다. 이러한 사항은 콤바인에도 큰 변경 없이 바로 적용될 수 있으나 분초간, 변속레버 등을 계속 주시하여야 하는 콤바인의 작업 특성상 농업인의 편의성을 위한 콤바인 시계성을 위해서는 새로운

기준의 도입이 필요하다.

표 3-23 산업 차량별 시계성 기준 요소

농업용 트랙터	토공 기계
전방 시야 반원, 후방 시야 반원, 상방 시각, 차폐 영향	전방 시계 영역, 전방 측면 시계 영역, 후방 시계 영역, 후방 측면 시계 영역, 차폐 영향

시계성에 관한 연구는 주로 자동차 관련 분야에서 활발히 진행되어 왔다. 최근 자동차의 시계성 개선에 관한 연구에서는 시계성 개선을 위해 직접시계(direct field of view)와 간접시계(mirror field of view) 등의 시계 요소를 측정하여 최적 눈위치를 결정하는데 이용할 수 있고(최재호, 1999), 세분화된 눈과 머리의 회전범위를 이용하여 시계영역을 구분한 후 승용차 내장 설계의 시계성을 정량적으로 평가할 수 있다고 보고하였다(류태범 등, 2004). 또한 미국의 FMVSS (Federal Motor-Vehicle Safety Standard), 유럽의 EEC (European Economy Community), 국내의 한국공업규격(Korean Industrial Standards, KS)에서 시계성과 관련하여 시계 영역, 차폐 등에 대한 기준을 정하고 있으며, 주로 뷰포인트(viewpoint)에 대한 시계성을 평가요소로 선정하고 있다. 뷰포인트는 승용차 내부에서 운전자가 바라보는 지점을 의미하는 것으로 주행 시 운전자가 자주 보는 조작부, 후사경, 계기판 등은 운전자의 안전성 및 편의성을 위한 중요한 뷰포인트라고 할 수 있다. 현재 뷰포인트를 이용한 승용차의 시계성은 인체 시야의 직진성을 고려하여 눈의 중심을 레이저 포인터로 대신하는 방법으로(Korean Agency for Technology and Standards, 2002) 중요한 뷰포인트에 대한 시야 확보 유무를 수작업으로 평가하고 있으며, 아직 시계성 평가시스템 개발에 관한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 농업인의 편의성을 위한 콤바인 캐빈 개발을 위해 승용차의 시계성 개선에 관한 연구를 참고하여 인체의 시야 범위를 분석하고 콤바인 작업 특성에 따른 뷰포인트를 정하여 콤바인 시계성 기준 정립 및 개선에 이용하고자 한다.

시각의 중요한 특성은 빛 에너지에 의해 시신경이 작용한다는 것이다. 따라서 우리가 시각적 표시장치의 정보를 얻기 위해서는 반드시 시각적 표시장치가 눈의 방향과 일치하여야 한다. 따라서 인체의 시야는 그림 3-39와 같이 최적 시야와 한계시각 등을 갖게 되고, 넓은 시야에서 많은 정보를 수용하려고 할 때는 안구뿐만 아니라 머리 부분을 회전시켜 그 정보 대상을 중심와상에서 고밀도로 처리한다. 망막 위치에 의한 정보 처리 능력의 차이와 정보 수용을 보조하는 운동 발생 상태에 따라 정보 수용 특성별로 시야를 구분하면 표 3-24와 같이 판별시야(perceptive field of view), 유효시야(effective field of view), 주시안정시야(stable gaze field

of view), 유도시야(induced field of view), 보조시야(auxiliary field of view)로 구분할 수 있다 (장성록, 2001; Hanson, 2000). 판별시야는 시력, 색 판별 등의 시각 기능이 뛰어나며, 정밀도가 높은 정보를 수용할 수 있는 범위, 유효시야는 안구운동만으로 정보를 주시하고 순간적으로 특정정보를 수용할 수 있는 범위, 주시안정시야는 머리 부분의 운동이 안구운동을 돕는 상태로 발생하며, 무리없이 주시가 가능한 범위, 유도시야는 제시된 정보의 존재를 판별할 수 있는 정도의 식별능력 밖에 없지만 인간의 공간좌표 감각에 영향을 미치는 범위, 보조시야는 정보 수용은 극도로 떨어지고 강력한 자극 등에 주시동작을 유발시키는 정도의 보조적 범위이다.

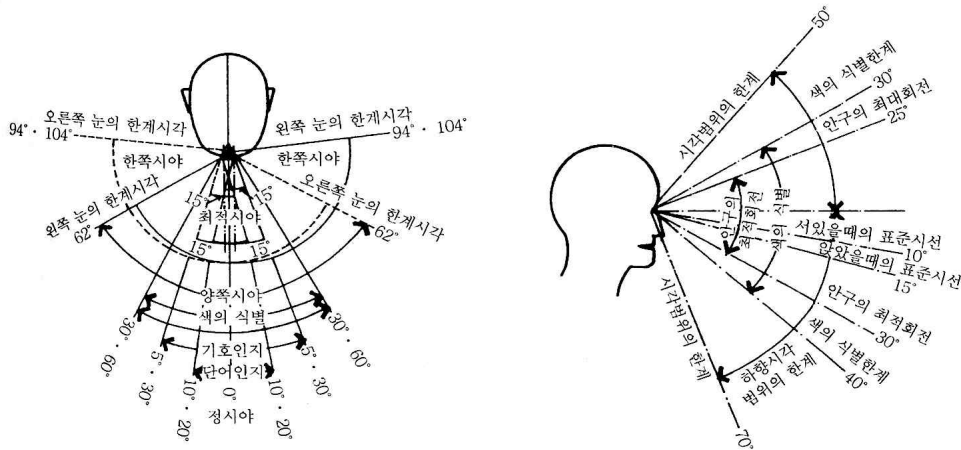


그림 3-39 인체 시야의 범위.

표 3-24 인체 시야 범위의 특성

(단위 : °)

시야 영역	수평각	수직각
판별시야	0	0
유효시야	-15~15	-12~8
주시안정시야	-30~-45	-25~-40
	30~45	-20~-30
유도시야	-15~-50	-12~-50
	15~50	8~35
보조시야	-50~-100	-50~-75
	50~100	35~50

(-) : left or down

(+) : right or up

(장, 2001; Nakaji et al., 2003)

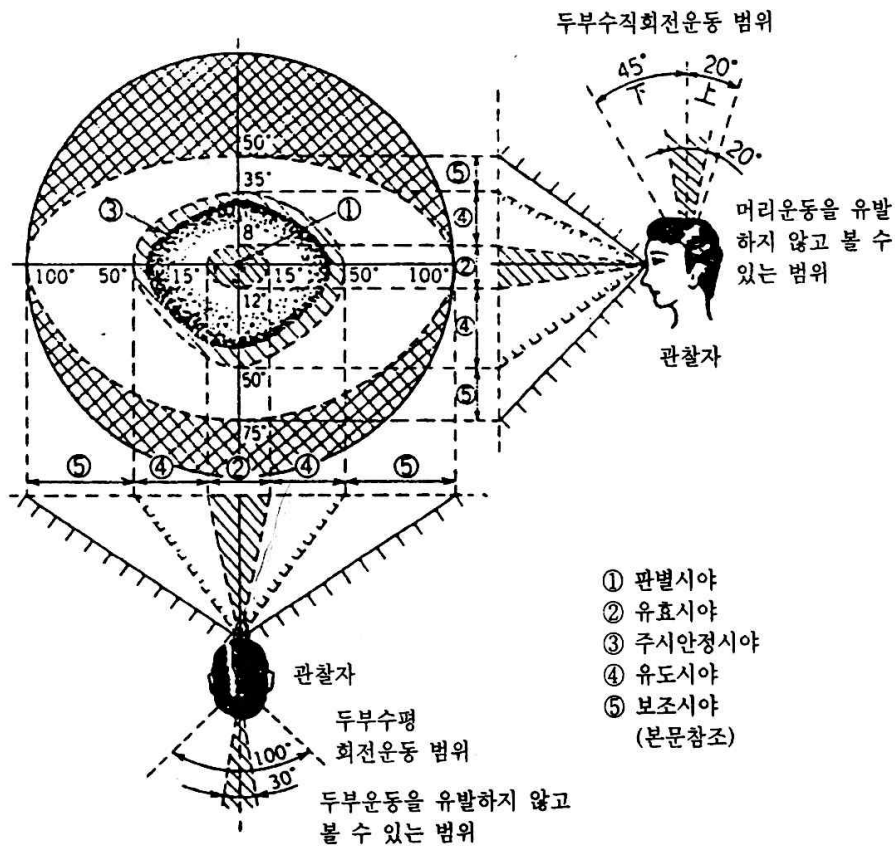


그림 3-40 인체 시야내의 정보수용 특성.

기존의 시계성 평가 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째, 정성적 방법으로 '보인다' 또는 '안보인다'의 판별만 가능하며, 절대적인 평가 결과의 도출이 어려워 뷰포인트별 비교가 불가능하다. 최근에 인체 시야의 정보수용 특성을 고려하여 인체 시야를 판별시야, 유효시야, 주시안정시야, 유도시야, 보조시야의 5가지 영역으로 나누어 세분화하였으며, 각 영역 사이에서 시계성의 정성적 비교가 가능하다. 두 번째로 정량적 방법이 있으며, 국내에서는 인체 시야의 정보수용 특성과는 차이가 있으나 인간공학적 기준에 따라 구분한 시야영역에 이산적 점수를 차등 할당하여 시계성을 평가하는 방법을 사용하고 있다. 각 뷰포인트별로 고유의 평가점수가 있어 수치적으로 결과를 표현할 수 있으며, 뷰포인트별 정량적 비교가 가능한 장점이 있다.

본 연구에서 캐빈형 콤파인의 시계성 평가를 하기 위해서는 정량적 시계성 평가 방법이 필요하였기 때문에 인체 시야의 정보수용 특성을 고려한 시계 영역에 점수를 할당하여 그림 3-41과 같은 시계성 평가 방법을 이용하였다. 기존의 시계성 평가 방법은 그림 3-42와 같이 두 뷰포인트 사이에 차이가 작음에도 평가점수가 상이하게 나타났으며, 두 뷰포인트 사이에 차이가 확연함에도 평가점수에서는 같은 점수로 나타나 명확한 시계성 평가가 어려운 단점이 있다. 따라서 캐빈형 콤파인의 뷰포인트의 세분화된 정량적 시계성 평가를 위해 평가 방법의 정량화

가 필요한 것으로 판단된다.

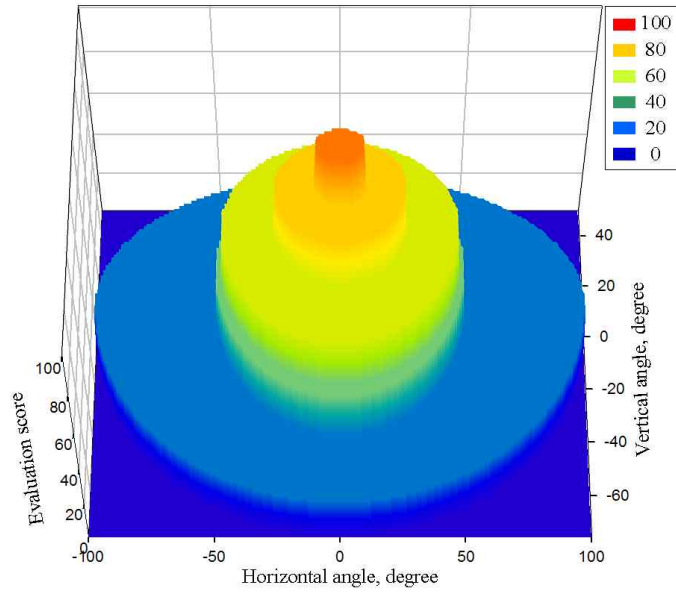


그림 3-41 인체 시야 특성을 고려한 기존의 정량적인 시계성 평가 방법.

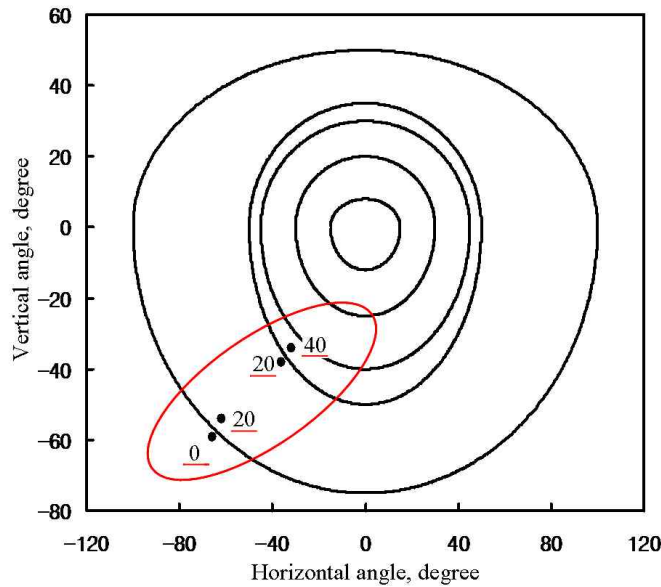


그림 3-42 기존 시계성 평가 방법의 문제점.

(2) 작업 자세 분석

작업 환경이 인체에 미치는 유해요인을 조사하기 위한 평가 도구에는 작업긴장도지수(Job Strain Index, JSI), NIOSH 들기작업지침(Revised NIOSH Lifting Equation), 밀기/당기기 위험 표(Snook Push/Pull Hazard Tables), RULA (Rapid Upper Limb Assessment), REBA (Rapid Entire Body Assessment), 국소진동노출기준(ACGIH Hand/Arm Vibration TLV), GM-UAW

유해요인체크리스트(GM-UAW Risk Factor Checklist), 워싱턴주 유해요인체크리스트(Washington State Appendix B), OWAS (Ovako Work Analysis System) 등이 있다. 이 중 OWAS, RULA, REBA는 근골격계 작업 자세를 평가하는데 가장 많이 이용되는 도구이다(한국산업안전공단, KOSHA CODE H-30-2008).

OWAS는 1977년 Karhu에 의해 개발되었고 철강업 분야와 같이 자세 변화가 심한 작업에서 유용하게 사용된다. RULA는 1993년 McAtamney에 의해 개발되었고 최초로 VDT (Visual Display Terminal) 증후군 평가에서 사용되었다. 이 평가도구는 조립 및 생산 작업, 재봉업, 관리업, 정비업, 육류가공업, 식료품 출납원, 전화 교환원 등과 같이 상지 동작이 많은 작업의 평가에 유용하게 쓰인다. REBA는 1998년 Hignett에 의해 개발되었으며, 간호사 업무 평가를 대상으로 최초 평가가 이루어졌다. REBA는 RULA에서 발전된 형태로, 보건의료를 비롯하여 다른 서비스 산업에서 예상하지 못한 작업 자세를 평가하기 위해 개발된 상·하지 평가 도구이다.

이 도구들은 대중성과 민감성의 두 가지 특징으로 구분된다. 작업 자세를 평가할 때, 문제가 되는 인체 부위에 대한 민감도가 높으면 여러 작업에 적용할 수 없다는 단점이 있고, 여러 산업분야의 작업 자세를 평가하는데 적용 가능하다면 민감도가 낮기 때문에 문제가 되는 신체 부위를 평가하기 어렵다(Hignett, S., 2000). 따라서 본 연구에서는 작업평가에 대한 민감도가 높고 한국산업안전공단에서 권고한 REBA를 이용하여 콤바인 개선 전과 후의 작업 자세를 평가하여 개선 정도를 나타내었다.

나. 농업인의 근골격 모델 개발

(1) 골격 모델

(가) ADAMS LifeMOD 인체 골격 모델링 구현방법

인체의 운동을 분석하기 위한 생체 역학적 접근은 그림 3-43과 같이 2가지 방법이 있다(Otten, 2003). 첫째, 순기구학적 접근방법은 관절이나 근육에 힘이나 EMG 신호를 입력하여, 인체의 운동학적 정보를 예측하기 위한 방법이다. 둘째, 역기구학적 접근방법은 인체의 운동학적 정보와 외력을 입력하여, 인체의 관절에 작용하는 힘이나 토크와 같은 운동역학적 정보를 예측하는 방법이다. 두 가지 모두 대표적인 방법이므로 연구의 목적이나 관심사항에 따라 선택하며, 많은 해석 프로그램들이 시판되고 있다.

인체 운동의 해석에는 주로 역기구학적인 방법이 사용된다. 역기구학적 방법에서 사용되는 인체 골격 모델은 강체이며, 측정되는 값은 변위와 지면반력이다. 지면반력을 알고 있으므로 발과 지면사이의 접촉을 구현할 필요가 없다. 역기구학적 방법은 쉽고 효율적인 방법이지만, 몇 가지 단점이 있는데 먼저 가속도를 얻기 위해서는 변위를 두차례 미분해야 하는데, 실험과정에서 발생하는 오차로 인해 계산된 가속도 값의 신뢰성에 문제가 생기게 된다. 또한 발의 수

직반력이 작용하는 위치의 선정에도 작은 변화가 큰 영향을 미쳐 정확한 예측이 어렵다. 이에 역기구학적 방법으로 측정된 운동의 해석에는 유효하지만 운동 예측은 불가능하다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 콤팩트 수확 작업 시 작업자의 생체 역학적 분석을 위해 인체 모델을 이용하여 기구학적 요인과 운동학적 요인들을 측정하고, 동역학 해석 프로그램인 ADAMS (version 2005, MSC Software, USA)를 이용하여 시뮬레이션 하였다. ADAMS는 기계 조립품의 복잡한 거동을 해석하기 위한 운동 시뮬레이션 제품으로, 물리적인 조립과 테스트없이 성능, 안전성, 안락감등을 가상으로 확인할 수 있도록 한다. 시뮬레이션 순서는 다음과 같다. 첫째, 피험자를 대상으로 인체계측 정보를 측정하였다. 그를 대상으로 지면반력을 측정하였다. 둘째, 인체 골격 모델의 검증에 위해 6대의 적외선 카메라를 이용하여 인체의 보행 궤적과 들기 동작 궤적을 추출하여 시뮬레이션에서 모델이 운동하게 될 모션에 관한 데이터를 획득하였다. 그리고 콤팩트 인을 이용한 수확 작업 시 작업자 관절 부하 평가를 위해 작업자의 레버 및 조향 레버 조작동작 궤적정보를 추출하였다. 셋째, ADAMS LifeMOD 상용 소프트웨어를 이용하여 인체 골격 모델과 족부 모델을 구성하였다. 보행 동작과 들기 동작 시뮬레이션 실험을 통해 구성된 골격 모델과 족부 모델의 신뢰성을 검증하였다. 보행동작에서는 지면반력, 무게중심, 관절각 및 관절력이 모델의 검증을 위하여 사용되었고, 들기 동작에서는 허리요추부의 관절모멘트가 인체 모델 검증을 위해 사용되었다.

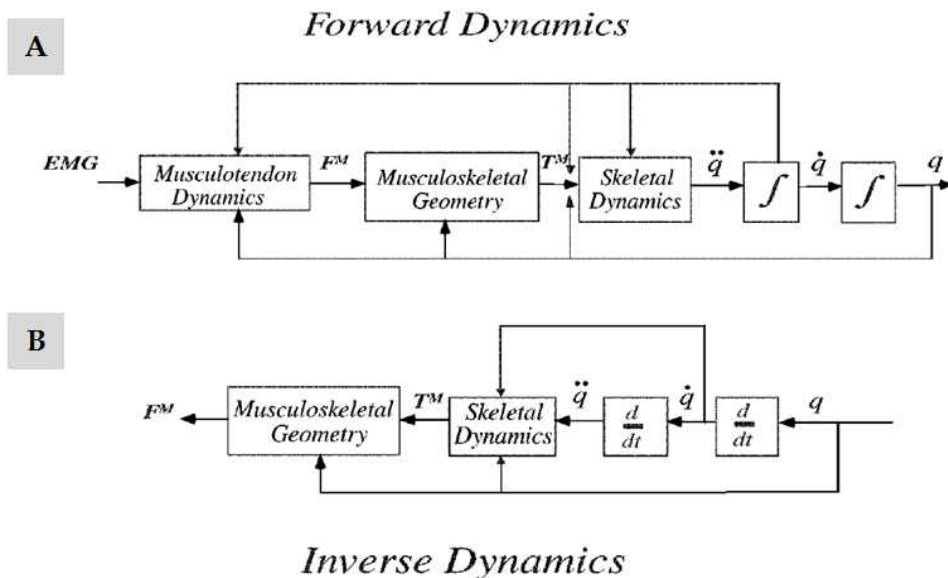


그림 3-43 인체 골격 모델링 방법(A: 순기구학적 방법, B: 역기구학적 방법).

발과 지면의 수직반력은 접촉 함수를 이용하여 모델링을 수행하였다. 발에 힘이 작용하게 되

는 지점과 지면과의 거리가 변수로 작용되며, 관계되는 함수는 강성계수 k , 감쇠계수 c 로 표현된다. 이 두 계수의 선정에 따라 계산되는 힘의 크기가 달라지므로 정확한 값의 선정이 요구된다. 실험과 시뮬레이션의 수직반력과 전방, 측방 반력 차이의 RMS 값, 상대 차이 값 및 상관계수를 평가인자로 설정하였다. 파라미터 규명을 통한 시뮬레이션의 결과는 지면반력이 나타내는 경향에 좀 더 근접하며, 수치값 역시 더욱 근접한 결과를 나타낸다. 실험과 시뮬레이션의 결과, 그리고 파라미터 규명과정을 거친 후의 시뮬레이션 결과를 비교한다.

ADAMS LifeMOD 골격 모델은 인체운동 캡처(capture)장비를 통해 획득한 인체관절의 운동학적 정보와 지면반력을 통해 구동되며, 그림 3-44와 같이 각 관절에서 발생하는 토크에 의해 인체 골격 모델이 관련되는 운동을 수행하게 된다. ADAMS LifeMOD 인체 골격 모델을 활용한 모델링 작업은 그림 3-45와 같이 5가지 과정을 거친다. 우선 인체 모델을 만들고 인체 모델의 초기 위치와 초기 동작자세, 그리고 지면과의 접촉을 갖는 환경을 만든다. 다음으로 Vicon 실험을 통해 얻은 각 변위를 입력하여 역기구학적 시뮬레이션을 수행한다. 마지막으로 시뮬레이션 값과 실험값을 비교하여 인체 골격 모델을 검증하게 된다.

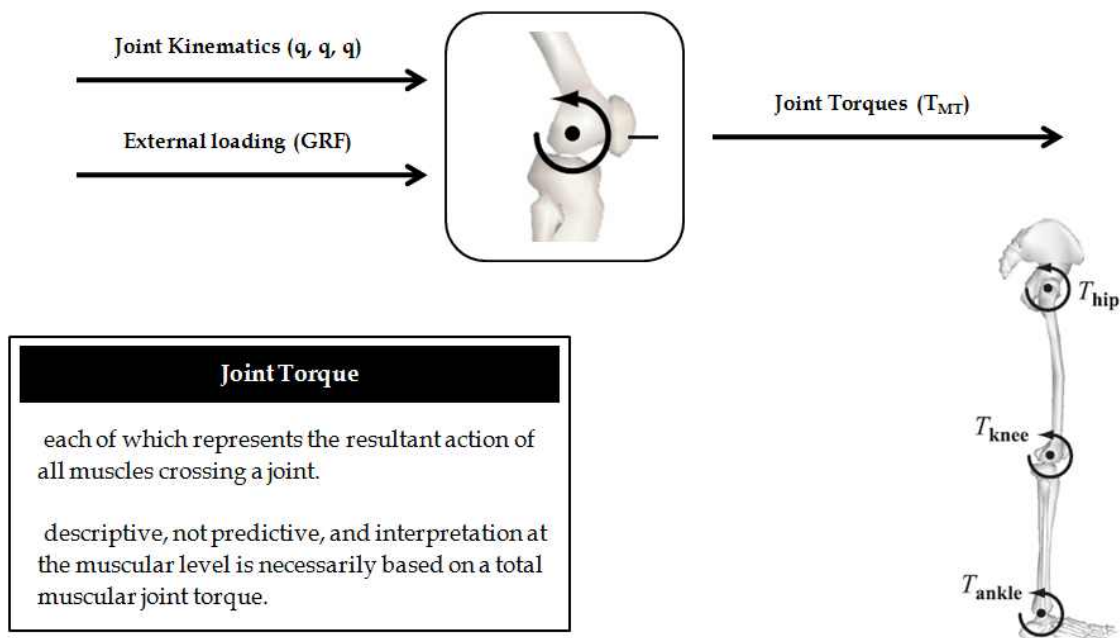


그림 3-44 ADAMS LifeMOD 골격 모델 구동원리.

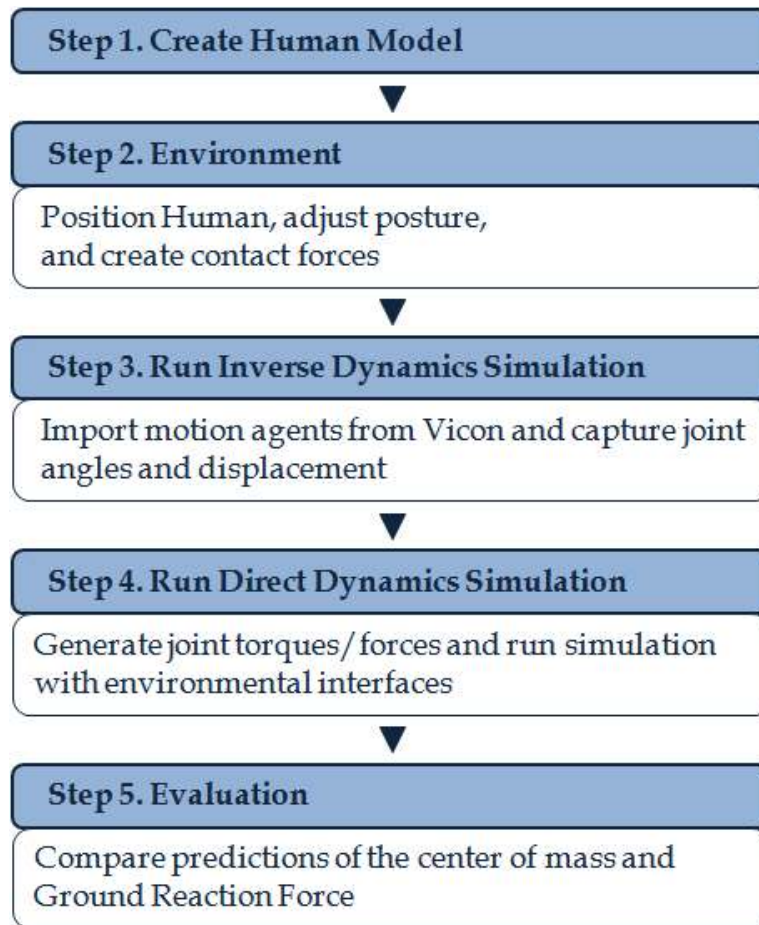


그림 3-45 5가지 과정에 대한 설명이 담긴 흐름도.

(나) ADAMS LifeMOD 족부 모델

발과 지면과의 접촉 모델은 그림 3-46과 같이 각각의 위치에서 스프링과 댐퍼로 구성된 스프링-댐퍼 모델로 구현된다. 3차원 힘 요소의 구성에서 지면과의 수직반력(Z 방향)에 해당하는 힘을 발생시키는 함수로 ADAMS에서 접촉을 해석할 때 사용하는 Impact 함수를 이용하여 반력을 발생시키도록 하였다.

인체 모델을 이용한 보행 시뮬레이션에서 Impact 함수 수식 3-1의 수직반력 F_z 는 발과 지면과의 접촉이 이루어지는 입각기($d_z < 0$)동안에는 발생시키고, 발이 지면과 떨어지는 유각기($d_z \geq 0$)동안에는 힘이 0이 된다. $MAX(0, -kd_z, -cv_z)$ 는 ADAMS에서 제공하는 함수로서 0과 $-kd_z, -cv_z$ 들 중 큰 값을 취하도록 하는 함수이다. 이는 발이 지면과 접촉 시 지면에 대해 약간의 침투(penetration)가 발생하는데, 이 침투가 발생하는 동안 발이 지면과의 수직방향에 대해서 정방향과 역방향으로 움직일 수 있으므로 역방향으로 발생하는 것을 방지하기 위함이다.

Parameter	Symbol
Spring Coefficient	k
Spring Exponent	e
Max Damping Coefficient	c_{max}
Max Damping Penetration	d_{max}
Friction Coefficient	μ

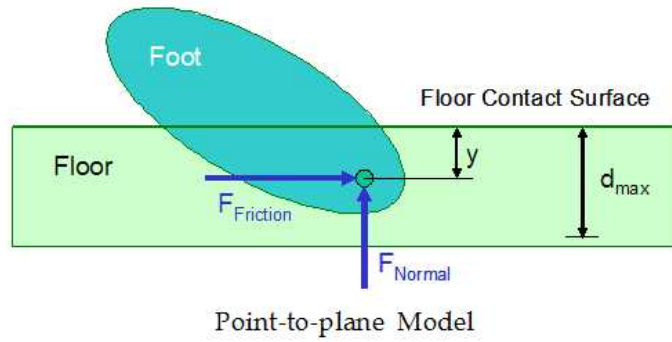


그림 3-46 발과 지면과의 접촉 모델.

$$F_z = \begin{cases} MAX(0, -kd_z - cv_z), & d_z < 0 (stance\ phase) \\ 0, & d_z \geq 0 (swing\ phase) \end{cases} \quad \text{수식 3-1}$$

d_z : 발에 3차원 힘 요소가 정의된 지점과 지면과의 수직방향 거리

v_z : 속도의 z 방향 성분(\dot{d}_z)

k : 발과 지면의 접촉에서 강성 값

c : 감쇠계수

함수의 구성은 스프링력과 감쇠력의 합으로 구성되어 있다. 강성은 정적상태에서 발생하는 침투깊이를 10mm라고 가정하고, 인체 골격 모델의 무게가 76kg이므로 75000N/m의 값을 선정하였다. 스프링력의 경우 침투 깊이에 비례하여 힘이 발생하므로 접촉이 시작되는 시점에서 d_z 가 0에서부터 계산되므로 갑자기 큰 힘이 발생하지 않는다. 그러나 감쇠력의 경우 접촉이 시작되어서 이미 v_z 가 값을 가지고 있으므로 갑자기 큰 힘이 발생하여 충격력으로 작용할 가능성이 있다. 이를 방지하기 위한 감쇠계수 c 는 수식 3-2와 같고 여기서 c_{max} 는 300Ns/m로 상수이다.

STEP 함수는 정해진 구간 내에서 함수 값이 변할 때 구간의 시작과 끝 부분을 부드럽게 이어주는 ADAMS에서 제공되는 함수이다. p_z 가 의미하는 것은 침투깊이로써 $p_z = MAX(0, -d_z)$ 로 구성된다. 이는 감쇠력의 경우에도 지면과 접촉이 이루어지지 않는 동안에는 힘이 발생하지 않도록 하기 위함이다. 함수에 쓰인 감쇠력은 2가지 조건하에서 발생여부와 크기가 결정된다. 감쇠력이 생기기 위한 조건으로는 침투가 발생해야 하는데 이때, 감쇠력의 크기를 결정하는 조건이 침투깊이다. 침투가 발생하는 시점에서 감쇠력이 생기기 시작하며 침투깊이가 일정크기 이상이면 고정된 상수 값을 가지게 된다. 이러한 조건부적인 특성을 가지는 c 값과 STEP 함수

에 의해서 침투깊이에 따라 서서히 증가하는 c값의 특성을 나타내었다.

$$c = \begin{cases} c_{\max} \cdot |STEP(p_z, 0, 0.01, 0, 300)|, p_z < 0.01 \\ c_{\max}, p_z \geq 0.01 \end{cases} \quad \text{수식 3-2}$$

감쇠력은 침투깊이에 비례하여 서서히 증가하다가 침투깊이가 10mm 이상이 되면 일정한 값 c_{\max} 를 가지도록 구성되어 있다. 진행 방향(X)과 횡 방향(Y)에 발생하는 힘은 마찰력이다. 마찰력은 정지 마찰만 고려하며 마찰력을 나타내는 수식 3-3과 같다. $v_x/|v_x|$ 항은 운동 방향에 따라 마찰력의 방향이 바뀌는 것을 나타낸다. 실제 보행운동에서 다체질 모델로 구성되는 발에 관한 연구가 이뤄지고 있으나, 본 연구에서는 6가지로 구분하여 하나의 물체로 구성하였다. 이것은 발의 기하학적 형상이 지면과 접촉을 이루는 것이 아니고 정의된 6개의 힘을 발생시키는 요소가 발의 접촉운동을 대신하기 때문이다. 오차 발생을 조금이라도 줄이기 위하여 힘을 발생시키는 6개 선정된 위치의 높이에 차이를 두었다. 선정된 6개의 위치는 그림 3-47과 같이 나타난다.

$$F_x = -c \cdot F_z \cdot \frac{v_x}{|v_x|} \quad \text{수식 3-3}$$

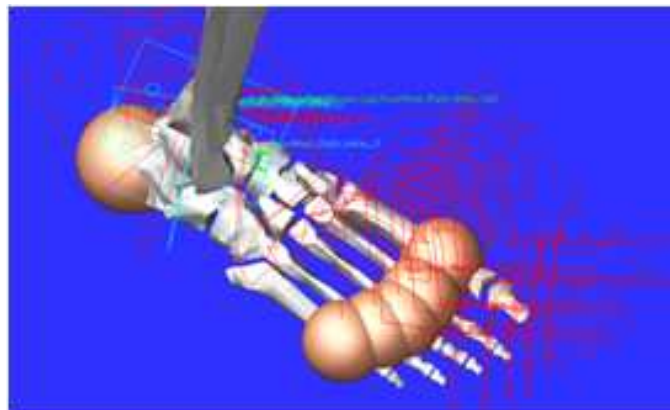


그림 3-47 족부 모델.

(다) 디지털 인체 골격 모델 검증

ADAMS 인체 골격 모델을 이용한 모의실험 연구는 인체 모델을 이용한 적용연구에 앞서서 인체분절을 구성하고 운동을 구현하여 인체 모델이 정확하고 신뢰성 있는 결과를 도출해 내는 지에 대한 유용성 검증 실험이 선행된다.

인체 모델에 대한 유용성 검증실험을 위해서는 평가인자와 평가방법에 대한 선택이 필요하다. 일반적으로 평가인자는 모델을 통해 예측하고 평가하고자 하는 인자를 선택하게 된다. 본 연구에서는 인체 모델을 이용하는 목적이 근골격계 질환이 가장 빈번히 발생하는 요추부 및 하지관절의 부하(관절각, 힘 및 모멘트)를 평가하기 위한 것이므로 요추부 L4/L5관절, 힙, 무릎, 발목에서의 관절각, 관절힘 및 관절 모멘트가 평가인자로 선정되었다. 평가방법으로는 대표적인 인체의 운동인 보행 동작과 요추부 상해관련 많은 연구가 진행된 들기 동작을 대상으로 인체 모델링에 관한 선행연구들이 사용한 방법 즉, 절대 값 차이, 상대 값 차이 및 상관도를 이용하였다(Gilchrist et al., 1997; Jung, 1997; Wojtyra, 1999; Pan, et al., 2004).

(라) 모델 검증을 위한 평가 인자 선정

① 생체 역학적 평가인자

㉞ 운동학적 정보(각운동, 무게중심)

인체운동의 가장 기본적인 정보는 인체의 각 관절에서의 각운동과 몸의 균형을 나타내 주는 인자인 무게중심이다. 본 연구에서는 상업적으로 널리 이용되는 Vicon社의 인체 골격 모델인 Plug-in Gait 모델과의 비교검증을 통해 유용성을 검증하였다. 이 Plug-in Gait 모델은 보행분석을 위한 인체 골격 모델로서 마커셋의 궤적 정보를 바탕으로 역기구학적 분석을 하여 전신의 무게중심 이동을 계산하여 준다. 각 분절 간의 상대운동은 관절의 각운동을 나타내며, 두 모델은 오일러 각을 이용하였다.

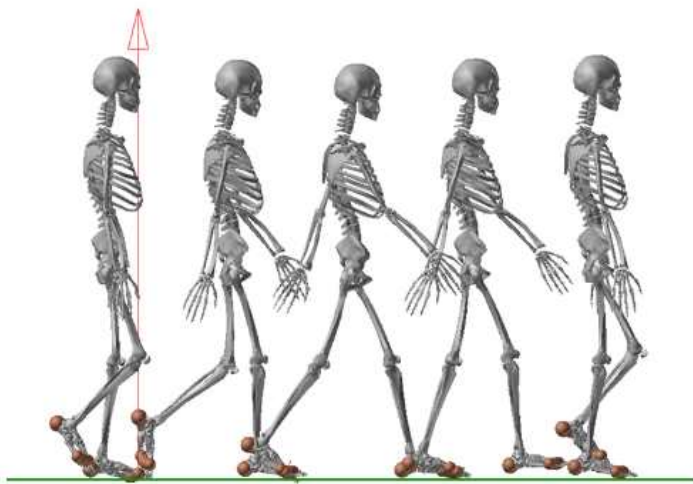
㉟ 운동역학적 정보(힘, 모멘트)

운동역학적 정보는 관절에서의 힘과 모멘트 값을 말하며, 관절에서의 부하를 평가하는데 중요한 인자중의 하나이다. 본 연구에서는 상업적으로 널리 이용되는 Vicon社의 인체 골격 모델인 Plug-in Gait 모델과의 비교검증을 통해 유용성을 검증하였다. 이 Plug-in Gait 모델은 그림 3-48(a)와 같은 보행분석을 위한 인체 골격 모델로, 마커셋의 궤적 정보를 바탕으로 역기구학적 분석을 하여 인체의 하지부위(힙, 무릎, 발목 등)의 힘과 모멘트를 계산하여 준다. 따라서 이미 검증받은 Plug-in Gait 모델과 ADAMS 인체 모델을 비교, 평가하였다.

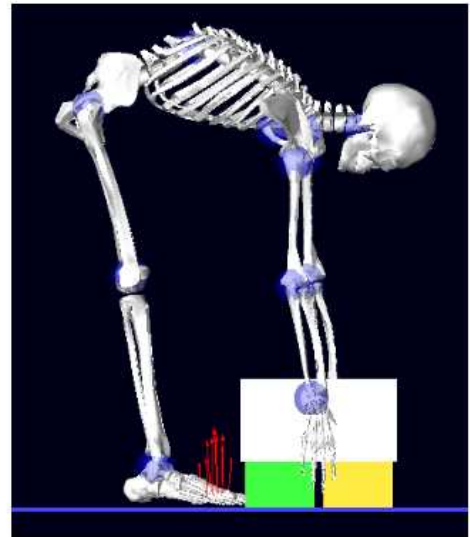
그리고 인체의 상해가 가장 많이 발생하는 부위인 허리 요추부의 부하인 모멘트에 대한 검증은 앞서 제시된 Plug-in Gait 모델을 통해 구할 수 없어서 문헌(Kingma et al., 1998)에 제시된 실험과 똑같이 시행하여 비교 검증하였다. 허리 요추부 부하평가에 대한 연구는 그림 3-48(b)의 들기 작업에 대해 많은 연구가 이뤄져 있고 실험에 대해 상세히 설명이 되어 있어 실험을 재현하기가 비교적 쉽다. 따라서 들기 작업을 통해 요추부 부하 비교 검증을 하였다.

지면반력의 경우는 그림 3-49와 같이 계측기를 통한 측정값과 ADAMS 인체 골격 모델의

족부 모델 예측치를 통해 비교 검증하였다. 인자는 모델을 검증하는데 필수적인 요소로 이용되며, 인체 골격 모델링 작업에서 중요하게 여겨지는 이유는 인체운동에 있어서 대표적인 외력이므로 이 값이 모델 내에서 잘못 예측되어 사용될 경우 모델의 분석결과에 큰 영향을 미쳐 정확성이 떨어지게 되기 때문이다.



(a) 보행분석

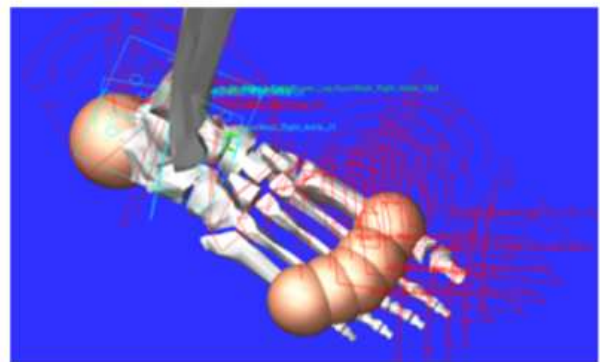


(b) 들기작업

그림 3-48 ADAMS 인체 골격 모델 검증에 이용된 작업유형.



(a) 지면반력기



(b) ADAMS 인체 모델의 족부모델

그림 3-49 지면반력 검증을 위한 지면 반력기 및 ADAMS 인체 골격 모델의 족부 모델.

② 모델 검증을 위한 평가 방법 선정

모델의 유용성을 검증하기 위해서는 적절한 평가인자 뿐만 아니라 평가방법의 선택 또한 중요하다. 평가방법으로는 대표적 인체 운동인 보행 동작과 요추부 상해와 관련하여 많은 연구가 진행된 들기 동작을 대상으로 선행연구(Gilchrist et al, 1997; Jung, 1997; Wojtyra, 1999, Pan

et al, 2004)에서 많이 사용한 방법, 즉 절대값 차이, 상대값 차이 및 상관도를 이용하였다.

절대값의 차이는 수식 3-4와 3-5를 통해 구한다. 이 방법은 평가인자가 가지는 물리적인 의미를 그대로 살린다는 장점이 있다. 즉 단위가 변하지 않음을 뜻한다. 하지만 다른 물리적 수치와의 비교는 어렵다. 지면반력의 수직력(vertical force)과 수평력(horizontal force)의 예를 통해 살펴보면, 일반적으로 정상인의 경우 수직력과 수평력은 8배 가량의 차이가 생기는데, 절대값의 차이를 비교한다면 수치가 비교적 큰 수직력에서 큰 차이가 생길 것이라 볼 수 있다. 따라서 서로 다른 피험자 간에 발생하는 수직력의 차이를 비교하는 것은 적합하지만 같은 피험자 내 다른 수치간의 비교를 하는 것은 무리가 있다. 수식 3-4의 경우 비교하는 수치가 서로 확연하게 구분되어 있어 기준이 되는 수치에서 계속 양의 값을 가지거나 음을 가지는 경우에 사용하기 적합하고, 비교 수치의 일관성이 없는 경우에는 수식 3-5와 같이 기준이 되는 수치에서 얼마나 떨어져 있는지를 판단하는 것이 더 나은 방법이다.

$$Absolute\ Difference = L_{LifeMOD} - L_{Vicon} \quad \text{수식 3-4}$$

$$Root\ Mean\ Square = \sqrt{\frac{\sum(L_{LifeMOD} - L_{Vicon})^2}{n}} \quad \text{수식 3-5}$$

상대적인 오차는 서로 다른 차원의 수치간의 상대적인 비교를 위해 적합하다. 하지만 비교하는 값이 너무 큰 값이나 작은 값을 가지는 경우 값이 갑자기 튀는 경우가 발생한다. 예를 들면, 수식 3-6의 분모는 비교 기준이 되는 값으로 이 수치가 작은 값을 가지면 비교 대상간의 차이에 상관없이 값이 갑자기 커져서 이 수치를 제거해야 하는 경우가 발생한다.

$$Relative\ Difference(\%) = \frac{L_{LifeMOD} - L_{Vicon}}{L_{Vicon}} \times 100 \quad \text{수식 3-6}$$

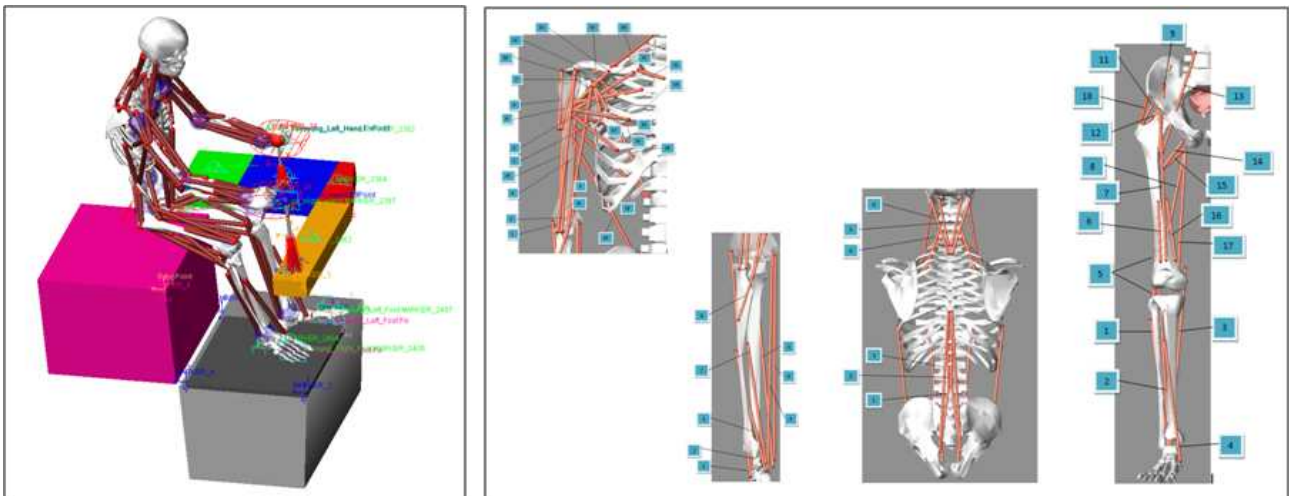
상관도 분석은 등간 척도에 의해 측정된 두 변인 간 상관관계의 정도를 측정하는데, 가장 널리 사용되는 방법으로 피어슨 값(r_{xy})은 이 수식 3-7과 같이 두 요소의 비율을 통해 두 집단이 공변할 수 있는 전체 값에서 실제로 공변한 값을 파악하여 상관관계를 분석한 것이다. 즉 두 변인 간의 패턴 유사성을 평가하는 방법이다.

$$r_{xy} = \frac{\sum x^*y}{\sum x^2 * \sum y^2} \quad \text{수식 3-7}$$

(2) 인체 근 모델

(가) 인체 근 모델 구성

콤바인을 이용한 수확 작업 시 작업자의 생체 역학적 분석과 근육 힘 예측 및 평가를 위해 동역학 해석 프로그램인 ADAMS를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 순서는 다음과 같다. 첫째, 피험자를 선정하고 지면반력을 측정하였다. 둘째, 인체 근 모델 검증에 위해 6대의 적외선 카메라를 이용하여 인체의 보행 궤적과 들기 동작 궤적을 획득한 후 그림 3-50(a)와 같이 시뮬레이션에서 모델의 모션에 관한 데이터를 획득하였다. 또한 콤바인 수확 작업 시 작업자 관절 부하 평가를 위해 작업자의 레버 및 조향 조이스틱 조작동작 궤적정보 및 근활성도를 나타내는 근전도 신호를 획득하였다. 마지막으로 이 데이터를 이용하여 ADAMS에서 인체를 모델링한 후 전신 모델(fullbody)로 설정하였다. 그림 3-50(b)는 ADAMS 근골격 모델에서 사용되는 근육을 나타낸다.



(a) ADAMS 근골격 모델

(b) ADAMS 인체 근 모델 상, 하지 근육군

그림 3-50 ADAMS 근골격 모델.

인체의 근육을 수학적으로 모델링하는 방법에는 두 가지 유형이 있다. 첫째는 근육의 활성 패턴, 즉 근육의 수축·이완을 기록한 후 이를 제어기를 통해 구현하는 방법이다. 이런 원리를 이용한 인체 모델로는 AnyBody (AnyBody Technology A/S, Aalborg, Denmark)가 있다. 둘째는 그림 3-51과 같이 Hill이 구현한 Hill-type 모델 수식을 이용하는 방법이다(Zajac, 1989). 이 유형은 순기구학적 방법을 이용한 운동 분석에 주로 쓰이는 방법으로 힘과 근육의 길이변화 및 속도변화 관계에 대한 함수를 이용한다(Delp and Loan, 2000). 전신 모델 및 상용프로그램 SIMM (Software for Interactive Musculoskeletal Modeling)에서 이 방법을 이용한다.

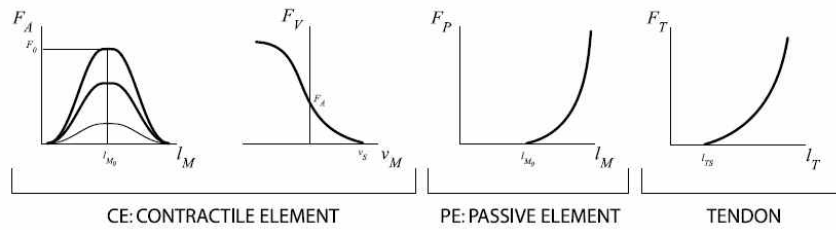
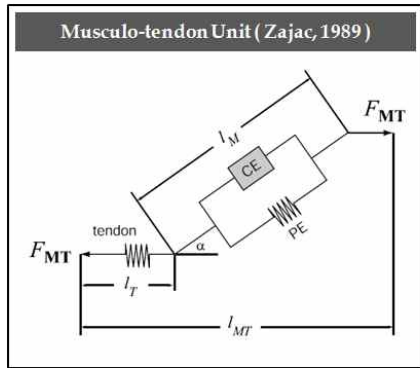


그림 3-51 Hill-Type 근 모델.

본 연구에서는 근육의 운동패턴을 이용한 첫번째 방법을 이용하였는데, 이는 계산하는 시간이 절약된다는 점과 ADAMS 인체 모델 내에서의 구현이 용이하다는 점을 고려하여 선택하였다. 이 방법은 최적 설계에 활용될 때도 유리한 점이 있어 널리 활용되고 있다(E. Pennestri et al, 2007). active muscle은 수식 3-8의 관계식을 갖는데, 이를 이용하여 정확한 인체 분절의 운동을 재현하기 위해 근육 모델은 생리학적 한계 범위 내에서 필요한 힘을 만든다. 인체 근 모델 내에 충분한 근육이 포함된다면, 계산된 근육의 힘이 생리학적인 근육 힘과 유사할 것이다. 근전도 정보가 사용가능하다면, 모델의 근육반응과 근전도 정보를 비교함으로써 근육 모델의 필터링 함수에 사용될 수 있다.

인체 근 모델 시뮬레이션을 위해, 두 단계의 과정이 수행된다. 첫 번째 단계는 근육이 수동적인 요소로 설정된다. 이 단계는 역기구학적인 과정으로 근육의 신전/이완이 기록된다. 이 근육 움직임 패턴은 인체 근 모델 운동을 구현하는데 사용된다. 두 번째 단계에서는 근육이 능동적인 요소로 설정되며, 시뮬레이션 과정 중에 수식 3-8과 같은 힘을 생성한다. 근육 작동장치 (actuator)는 역기구학적인 과정에 기록된 근육의 길이와 시뮬레이션 과정 중의 근육의 길이와의 오차의 차이를 최소화하는 힘을 생성한다.

$$F_1 = \begin{cases} F_{\max} & : \text{if } F_1 \geq F_{\max} \\ P_{\text{gain}}(L_{\text{desired}} - L_{\text{actual}}) + D_{\text{gain}}(L_{\text{desired}} - L_{\text{actual}}) & : \text{if } F_1 < F_{\max} \\ 0 & : \text{if } L_{\text{desired}} \geq L_{\text{actual}} \end{cases}$$

수식 3-8

$$F_i = F_{\text{filter}}(F_1), \text{ where } 0 \leq F_{\text{filter}} \leq 200\%$$

다. 주요장치의 성능평가 분석

(1) 운전석

(가) 시뮬레이션을 통한 성능평가

① 유한요소 분석

콤바인 운전석의 안전성 분석을 위하여 구조해석을 이용한 3차원 분석을 수행하였다. 이를 위해 본 연구에서는 상용프로그램인 ANSYS (version 11, ANSYS Inc., USA)을 이용하여 모델을 설계하였다. 유한 요소 분석(Finite Elements Method, FEM)은 운전석의 전체 면적을 세밀한 면적으로 나눈 후 각 셀에 작용하는 힘의 전달을 계산하여 개발될 운전석의 취약점을 도출하였다. 도출된 취약점은 추가 설계를 하여 보강할 수 있도록 한다.

② OWAS 분석

OWAS는 작업자들의 부적절한 자세를 평가하기 위해 개발된 대표적인 작업 자세 평가기법이다. 대표적인 작업을 비디오로 촬영하여 신체부위별로 정의된 자세기준에 따라 자세를 코드화하여 분석한다. 이렇게 분석자가 특별한 기구없이 관찰만으로 작업 자세를 분석하는 방법을 관찰적 작업 자세 평가기법이라고 하며, 이는 기구를 이용한 분석 방법에 비해 현장에서의 적용성이 뛰어난 장점이 있다. 분석 결과는 작업 자세의 개선이 필요한 시기에 의하여 개선의 불필요, 가까운 시기에 개선, 가능한 빠른 시기에 개선, 즉시 개선으로 분류된다.

제작된 운전석의 성능평가를 위하여 인체 모델 Jack (version 5.1, UGS, USA)을 이용하여 OWAS 분석 및 평가를 수행하였다. 비디오 촬영을 통하여 콤바인 작업을 파악한 후, 디자인된 3D CAD (Pro/ENGINEER Wildfire 3.0, PTC, USA)상의 운전석과 인체 모델을 이용하여 콤바인 작업을 시뮬레이션 함과 동시에 OWAS 분석을 수행하였다.

③ RULA 분석

RULA는 영국에서 개발된 방법으로 상체의 자세를 상완, 전완, 손목, 목, 체간의 각도와 뒤틀림의 정도 등에 의해 점수를 부여하여 개선의 필요도에 의해 4단계로 평가한다. 주로 상체분석 위주로 전신의 평가는 어렵지만 좀 더 상세한 상체의 작업 자세 분석이 필요한 실제 현장에서 빠르고 간편하게 평가할 수 있다.

제작된 운전석의 성능평가를 위하여 인체 모델을 이용하여 RULA 분석 및 평가를 수행하였

다. 비디오 촬영을 통하여 콤바인 작업을 파악한 후, 디자인된 3D CAD상의 운전석과 인체 모델을 이용하여 콤바인 작업을 시뮬레이션 함과 동시에 RULA 분석을 수행하였다

④ L4/L5(요추) 분석

2006년 노동부에서 발표한 자료에 따르면 산업재해 발생 현황을 분석한 결과 전체 업무상 질병자 중 요통과 관련된 질환자 수가 4618명으로 전체 업무상 질병자의 45.1%이며 작업관련성 질병자의 57.3%로 아주 높은 비율을 보인다. 요통의 발생 원인은 밀고 당기기, 운반, 적재 및 하역 등과 같이 다양하다. 이에 미국 질병통제관리국 산하 산업안전 보건연구원인 NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health)에서는 중량물 등기 작업에 대한 안전 지침을 마련하여 작업 수행 시 요추에 걸리는 힘(3400N)과 모멘트(1000N)의 한계 수치를 제시하고 있다(NIOSH, 1981).

(나) 실외 실험을 통한 성능평가 및 분석

① 근전도 분석

근전도 신호는 근육의 수축 시에 발생하는 전기적 신호이다. 인간의 골격근은 수많은 실과 같은 섬유로 이루어져 있다. 이러한 근육들이 수축되는 과정은 다음과 같다. 우선 뇌의 운동피질(motor cortex)에서 신경 임펄스열(impulse train)이 발생하여 척수를 통하여 각 운동단위에 연결된 신경에 연속적으로 전달된다. 그리고 신경 임펄스 열이 운동단위에 가해질 때 운동 단위열이라는 운동 활동 전위열(Motor Unit Action Potential Train, MUAPT)을 발생시키며, 이 활동 전위열의 시간에 대한 공간적 합이 근전도 신호를 이루게 된다. 이러한 근전도는 근질환의 진단 및 회복 과정의 추적 등에 임상적으로 쓰이고 있으며, 근육 활동, 피로의 인간공학적인 분석에도 쓰이고 있다.

② 체압 분포 분석

근전도나 주관적 평가 외에 운전자가 운전석에 느끼는 안락감에 대한 평가 방법으로 신체와 시트면 사이의 체압 분포를 많이 이용한다. 체압 분포 측정 기법은 운전석에 설치된 압력 센서의 배열을 통해 측정된 운전자의 체압 분포 데이터를 이용하는 방법으로 크게 정성적인 분석과 정량적인 분석이 행해진다. 정성적인 분석은 체압 분포의 패턴을 분석하는 방법으로 분포가 얼마나 균등하고 고르게 분포되어 있는 지를 분석하는 방법이다. 정량적인 분석은 일정 영역의 체압 값을 등판이나 좌판에서의 총 체압값으로 나누어 만든 비율을 이용하는 방법이다.

(2) 레버 및 브레이크 페달

(가) 근전도

근활성도는 두 개의 활동전극을 이용하여 근육이 수축할 때 발생하는 근전위차를 보는 것으로, 수축의 정도가 강해지면 근활성도는 높아지게 되고 이것이 오래 지속이 되면 근피로가 발생할 가능성이 높음을 의미한다. 따라서 근활성도 측정을 통해 콤바인 사용자들의 근피로 가능성을 유추해 보고 개발된 레버, 브레이크 페달을 사용할 때의 근활성도와 비교, 분석하여 레버, 브레이크 페달의 성능을 평가한다.

(나) 손압력 측정

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

동력을 이용한 손잡이의 크기와 모양은 사용자가 조정할 때 드는 힘에 영향을 미치기 때문에 손잡이의 모양과 크기가 손 크기에 맞아야 한다. 또한 손잡이의 반지름은 사용자의 손과 손가락이 닿는 면이 최대가 되도록 해야 하고 사용자가 쥘 수 있는 크기보다 커서는 안 된다. 예를 들면, 그림 3-52의 손잡이 중 손바닥 닿는 면적이 가장 넓기 때문에 (c)형이 가장 좋고, (b)와 (d)형은 상대적으로 좋지 않다. 접촉면을 넓게 해서 손바닥면의 단위면적에 걸리는 압력을 최소로 해야 한다(디자인 인간공학, 미진사).

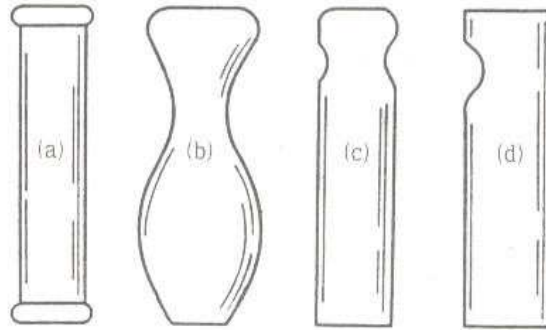


그림 3-52 손잡이 유형.

본 연구에서 사용한 손 압력센서는 $6 \times 16 \text{mm}^2$ 크기로 125개가 손가락 모양으로 연결되어 있어 장갑을 이용하여 손바닥에 센서를 끼우고 실험하였다. 레버를 당기고 밀면 125개의 센서에 가해지는 압력값이 측정된다. 따라서 손 압력센서를 이용하여 여러 모양의 노브를 밀고 당겼을 때, 손이 닿는 단위 면적당 걸리는 압력을 최소로 하는 것을 기준으로 하였다.

(다) 최대근력 측정

어떤 동작을 취한다는 것은 근육이 수축함으로써 발생된다. 그러므로 최대근력 측정은 국소 부위의 근육이 수축하여 특정 동작을 취할 때 다른 사람이 그 동작을 저지하기 위해 필요한 저항 값으로 측정된다. 동작을 저지할 때에는 압력센서가 있어 그 저항값을 N 또는 Kg으로 나타내는 계측 기기인 MMT (Muscle Manual Test)를 이용하여 최대근력을 측정한다. 그림 3-53처럼 팔을 위로 들어 올릴 때 다른 한 사람이 MMT를 손목부위에 대고 다른 한 손으로 어깨가 들리지 않도록 잡아주는 방식으로 최대근력이 측정된다.



그림 3-53 MMT 측정 모습.

본 연구에서는 레버를 당길 때 필요한 어깨 신전(shoulder extension), 페달을 밟을 때 나타

나는 발바닥 굴곡(plantar flexion) 동작에서 최대근력을 측정하였다. 조작력은 사용자의 최대근력 한계를 넘어서면 안 되기 때문에, 농업인의 어깨 신전동작과 발바닥 굴곡동작에서의 최대근력을 측정하고 이 결과 값을 레버 및 페달의 조작력과 비교하여 최대근력이 조작력 범위 안에 드는지를 평가하였다.

(라) 소음분석

원치 않는 소리 또는 귀에 거슬리는 소리로 정의되는 소음은 사람에게 신체적, 정신적, 사회적으로 영향을 끼쳐 쉽게 피로하게 만들고 일의 능률을 떨어뜨리며, 청력을 일시적 또는 영구적으로 잃게 만드는 원인이 된다(Brüel and Kjaer, 1986). 특히 크고 광범위한 기계를 사용하는 농업인에게 청력 손실율이 일반인보다 더 높게 나타난다(Williams, 2002).

Franklin(2006) 등은 농작업 환경에서 청력에 위협을 주는 요인들, 즉 기계의 연식, 캐빈 장착 여부, 캐빈의 문을 여닫는 정도, 라디오에 따라 소음 수준이 다르다는 것을 연구하였다. Sümer(2006)는 캐빈의 장착 형태에 따라 주파수별 음압레벨(Sound Pressure Level, SPL)을 측정하였다. 그 결과 캐빈이 없는 콤바인(without cab), 콤바인 제작 후 캐빈을 장착한 콤바인(mounted cab), 제작 시 캐빈을 장착한 콤바인(original cab) 중, 제작 시 캐빈을 장착된 콤바인이 고주파수에서 음압레벨이 가장 낮게 나타난다고 보고하였다. 여기서 음압레벨은 음이 전해졌을 때 매질 내의 압력 변화의 크기를 표시하는 방법으로, 기준 음압에 대한 비를 데시벨(decibel)로 나타낸 값을 말한다. 국내 콤바인의 경우 캐빈 소음의 감소를 위해 전달경로부분을 개선한 바 있다(김대철 등, 2007). 트랙터의 경우 유동호 등이(1995) 트랙터 캐빈 내부의 소음을 감소시키기 위해 캐빈 내부로 전달되는 소음의 크기와 방향을 파워스펙트럼 밀도 함수와 상호 스펙트럼 밀도 함수로 분석하여 소음원을 구명하였다.

국내 농가에 보급된 콤바인의 경우 캐빈 장착률이 점차 높아지고 있으나, 콤바인 제작 후 캐빈을 탑재하는 경우가 많아 그 내부에서 발생하는 소음이 어느 정도인지 파악이 어렵다. 또한 운전자 앞면 아랫부분에 브레이크 페달 장치로 인한 개구부가 있어 이로 인한 소음의 영향이 어느 정도인지 알 수 없는 실정이다.

따라서 국내 캐빈 장착형 콤바인 내부 음압레벨을 소음측정기(Brüel & Kjaer, 2260)로 측정하여 개구부가 있는 캐빈과 없는 캐빈을 비교, 평가하였다. 음압레벨은 1/3 옥타브 밴드 중심 주파수 31.5, 63, 125, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Hz에서 측정 후 분석하였다(ISO, 1997).

(3) 조작부

제어장치나 디스플레이를 포함하고 있는 시스템의 경우 사용성(usability)의 관점에서 평가되어야 한다. 사용성은 시스템이 사용하기 쉬운 정도, 즉 사용 용이성을 의미한다. 이것은 학습

용이성(learnability), 효율성(efficiency), 기억 용이성(memorability), 에러(error), 만족(satisfaction)의 요인을 포함한다(Nielson, 1993). 학습의 용이성은 시스템이 사용자가 배우기 쉬워야 하는 것을 의미하고 효율성은 고도의 생산성이 가능할 수 있도록 효율적이어야 한다는 것을 의미한다. 기억 용이성은 사용자가 일정 기간 사용하지 않았을 때 모든 것을 다시 배워야 할 필요 없이 기억하기 쉬워야 함을 의미한다. 에러는 사용자가 시스템을 사용하는 동안 낮은 에러율을 가져야 하고 만일 에러를 범했을 경우 쉽게 에러로부터 회복될 수 있도록 해야 하는 것을 의미한다. 만족은 사용자가 시스템을 사용할 때 주관적으로 만족할 수 있도록 사용하기 좋아야한다는 것을 의미한다(인간공학, 시그마프레스).

따라서 본 연구에서는 농업인과 끊임없는 상호작용을 하는 조작부 및 계기판에 대한 평가를 학습의 용이성, 기억 용이성, 에러, 만족요인에 대해 평가하였다. 또한 개발한 조작부의 사용 가능성을 판단하였다.

학습의 용이성에 대한 평가는 개발 전과 후의 조작부를 각각 5분간 교육 시킨 후, 임의로 작업동작을 요구하였을 때 정확히 시행하는데 시간이 얼마나 걸리는지를 평가하였다. 기억 용이성은 학습의 용이성 실험 후 1주일 뒤에 다시 같은 실험을 반복하였을 때, 수행의 정확도와 수행 시간을 측정하여 평가하였다. 에러는 학습의 용이성 실험 시 명령과 다른 동작을 수행하였을 때를 횟수로 표기하였다. 만족은 조작부의 개발 전과 후를 주관적으로 판단하게 하여 만족 정도를 점수화하였다.

(4) 캐빈 프레임의 구조 해석

설계단계에서 캐빈 프레임의 개선 효과를 평가하기 위해 유한요소법이 주로 사용된다. 유한요소법은 연속체인 구조물을 1차원인 막대, 2차원인 삼각형이나 사각형, 3차원인 중실체의 유한개의 요소로 분할하여 각기의 영역에 관하여 에너지 원리를 기초로 하는 근사해법에 기하여 계산을 해나가는 수치계산 방법이다. 이는 컴퓨터를 이용하여 많은 계산을 손쉽게 할 수 있는 좋은 방법으로 광범위하게 이용되고 있다.

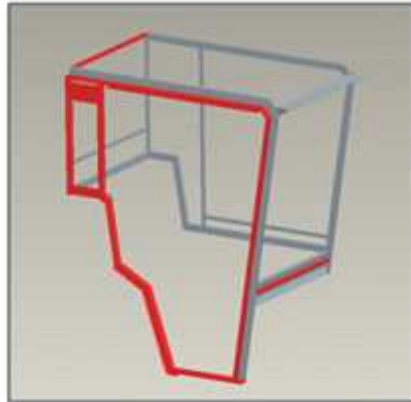
캐빈 프레임의 개선 효과를 평가하기 위해 유한요소 해석 중 모달해석 및 구조해석을 사용한다. 모달해석의 경우 구조물의 고유진동수를 얻기 위한 해석으로, 구조물의 고유진동수를 파악함으로써 가진원의 주파수와 구조물의 고유진동수를 피하도록 설계할 수 있다. 고유진동수가 가진원의 주파수에 근접할 때 공진이 발생하며, 구조물은 피로가 누적되고 큰 구조소음을 발생시켜 승차감을 떨어뜨린다. 구조해석의 경우 프레임의 강도가 얼마나 증가하는지를 정량적으로 평가하는 방법이다. 콤바인의 캐빈은 작업 여건상 수확물을 배출시키는 기능을 가지는 오거의 작동이 빈번하게 필요한데, 이 오거의 오작동이 발생할 경우 운전자의 안전에 위협을 가할 여지가 있다. 따라서 본 연구에서는 오거의 오작동에 대한 캐빈의 안전성을 검토하고 특히 운전

자를 보호하는 기능을 수행하는 지 확인하기 위해 변형량에 대한 해석을 실시하였다.

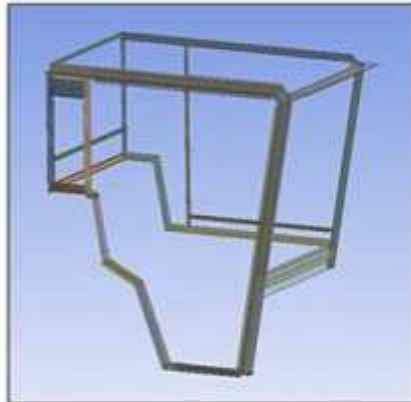
유한요소해석에 사용되는 프로그램에는 ANSYS와 Pro/Mechanica 등이 있는데 이 중 큰 구조물의 해석에 적합한 ANSYS를 이용하여 모달해석 및 구조해석을 통해 고유진동특성의 변화와 변형 측면의 강도증가를 해석하였다.

모달해석의 성능평가는 프레임 개선에 따른 고유진동 주파수의 증가량을 검토하였다. 일반적으로 사람이 불쾌하게 느끼는 진동은 100Hz 미만이며, 특히 저주파수일수록 더욱 좋지 않은 영향을 미친다. 따라서 프레임의 1차 모드 주파수 변화와 100Hz 이하에서 발생하는 진동 모드의 수를 계산하여 개선 여부를 평가하였다. 구조해석의 경우 일정한 하중에 의한 프레임의 변형량을 검토하였다. 트랙터의 경우 보호구조물의 평가방법이 OECD코드로 명시되어 있으나, 콤팩트 캐빈의 경우 별도지침이 없다. 따라서 동일한 하중에 의해 프레임의 변형량을 비교하여, 변형량이 감소할 때 구조물이 운전자의 안전영역을 침범할 가능성이 낮은 것으로 판단하였다.

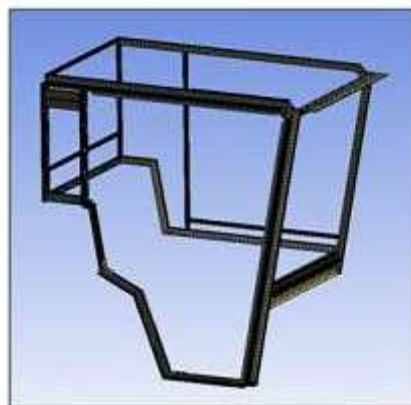
콤팩트 캐빈 프레임의 모델링은 Pro/ENGINEER를 이용하였다. 지오메트리와의 호환성을 위해 모델링한 캐빈 구조물을 step 파일로 변환 후 ANSYS의 Design modeler로 읽어 들인다. Design Modeler는 ANSYS와 CAD 프로그램의 모델링을 호환하며 유한요소를 위한 모델링 수정을 전문적으로 하는 프로그램이다. 유한요소해석을 위해 셸(shell) 요소를 이용하였다. 셸 요소는 구조물의 두께가 얇고 크기가 클 때 유용한 방법으로, 구조물의 중립면만 유한요소모델을 만들고 두께는 별도로 입력하여 해석하는 방법이다. 두께에 대한 유한요소모델을 생성하지 않기 때문에 계산시간이 빠르며 해석결과 또한 정확하다. 셸 요소를 만들기 위해 중립면(mid surface)을 생성해야 하는데 이 과정은 design modeler를 이용하였다. 생성된 중립면을 ANSYS로 불러들인 후 유한요소모델을 생성한다. 구조물간의 용접결합은 ANSYS의 Contact 알고리즘을 이용하여 결합하였다. 이와 같은 유한요소모델의 생성과정은 그림 3-54와 같이 CAD data를 중립면을 이용한 mid-surface 모델을 거쳐 유한요소 모델로 변환된다.



(a) CAD 모델링



(b) mid surface 모델링



(c) 유한요소모델

그림 3-54 유한요소모델 생성과정.

제 2 절 인간공학적 캐빈의 설계 및 시작기 제작

1. 운전석 개발

가. 운전석 분석 및 개념 설계

(1) 의자 조사 및 모양 설계

콤바인 작업의 특성에 맞춰 운전석을 디자인하기 위해 먼저 기존 의자의 모양과 기능을 조사하였다. 아래 표 3-25는 조사한 의자의 형태를 나타낸다. 의자 (1)은 치과에서 주로 사용하는 의자이다. 이 의자의 특징은 등받이가 존재하며 동시에 각도와 깊이 조절이 가능하다는 점이다. 또한 높이와 너비 각도 조절이 가능한 팔 받침대가 있어 치료 시 팔을 지지할 수 있도록 도와준다. 만약 환자의 위치가 의자의 높이보다 높거나 같을 경우 이 의자의 높이 조절 기능을 이용할 수 있으며 좌판의 회전 기능이 있어 치료 도구들을 가져올 때 등에 발생할 수 있는 허리의 비틀림을 해소시켜 준다. 특히 환자의 입을 들여다보는 과정에서 의사는 허리를 앞으로 숙이게 되는데 이때 몸을 지지하는, 즉 앞으로 기댄 상태를 지지하는 기능을 가지고 있어 인간공학적으로 디자인 된 의자라 할 수 있다.

의자 (2)는 가장 많은 기능을 보유하고 있는 의자로, 의자 (1)이 가진 기능 외에도 좌판의 경사 기능을 가지고 있어 필요 시 좌판을 기울일 수가 있다. 그 밖의 의자들 역시 여러 가지 특성이 있지만 특히 의자 (11)은 앉은 자세와 선 자세를 동시에 제공할 수 있다.

의자들의 특징을 비교해보면 표 3-26과 같다. 나열한 의자들은 등받이의 존재, 요추지지 여부, 팔받침 존재, 좌판의 조절, 앞쪽 기댄 기능, 선 자세 지지 기능에 따라 구별이 가능하였고 등받이가 존재한다면 각도, 높이, 깊이의 조절이 가능한가, 요추지지는 높이 및 깊이 조절이 가능한가, 팔받침의 경우 각도, 높이, 너비의 조절기능이 가능한가 등으로 나눌 수 있다. 특히 좌판의 경우는 높이 조절과 앞뒤 방향 이동 이외에 회전기능과 좌판의 경사여부로도 구분할 수 있었다. 조사된 의자들의 경우 대부분 등받이가 존재하였으나 각도, 높이, 깊이 조절 기능을 모두 가지고 있는 것은 의자 (2)와 (6) 뿐이었다.

콤바인 의자를 조사한 결과 조사된 모든 콤바인 좌석에서 등받이가 존재하였다. 하지만 콤바인 의자의 등받이는 각도, 높이 및 깊이의 조절이 되지 않고 명목상의 형상만을 갖추고 있을 뿐이었다. 특히 국내 콤바인의 경우 대부분의 작업 시 선 자세에서만 시야확보가 가능하며 주행 시에 앉아서 작업을 하더라도 몸을 앞으로 숙여야 하는 문제로 인하여 등받이는 유명무실한 상태이다. 또한 등받이를 이용한 요추를 어느 정도 지지할 수는 있지만 요추를 기댈 수 있는 정도로 완벽한 지지는 이뤄지지 못하고 있는 실정이다.

콤바인 좌석 중에서는 T社와 D社의 제품에서 팔 받침대를 볼 수 있었고 그 외의 콤바인은

팔 받침이 존재 하지 않았다. 국외 콤바인은 작업 시 팔을 앞쪽 레버 부위에 있는 받침대에 올려놓고 작업을 할 수 있도록 디자인 되어있어 팔받침이 필요치 않았다. 특히 국내 좌석이 모두 전후 이동 기능만을 제공하고 있는 반면에 국외 좌석은 상하 전후 이동의 기능까지 보유하고 있었다.

운전석의 모양 설계를 위하여 콤바인 작업의 특성을 파악한 후 조사한 기능들과의 연계 과정이 필요하다. 콤바인 작업을 위한 준비 단계를 보면 작업자가 콤바인에 탑승하여 엔진 회전수를 높이게 된다. 이때 콤바인 캐빈의 비좁은 내부 공간으로 인하여 탑승이 불편하다는 문제점이 있었다. 이를 해결하기 위하여 콤바인 좌석에 회전 기능을 부여하여 탑승시의 불편함을 해결할 수 있다. 탑승을 완료한 후 엔진 회전을 높이기 위하여 허리를 숙이고 비트는 문제점도 지적되었다. 이 문제점 역시 좌석에 회전 기능을 부여하여 허리를 비트는 작업을 방지하는 동시에 높이 조절 기능을 부여하여 허리의 숙임을 해결할 수 있다.

다음으로 벼를 자르는 예취 단계를 보면 작업자는 벼의 한쪽 끝과 분초간의 끝단을 정확히 맞추기 위하여 시선을 분초간 오른쪽 끝단에 고정시키고 주, 부변속 레버를 조작한다. 이때 주, 부변속 레버는 왼쪽에 위치하고 있어 예취 작업 동안에 허리가 비틀어진 상태로 작업을 하게 된다. 또한 확실한 시야 확보를 위하여 의자에 앉아서 작업을 하지 않고 서서 작업을 하고 있었다. 이에 시야 확보를 위한 상하 전후 이동 기능을 부여하고 선 작업 자세에서는 지지 기능을 부여하여 서서 작업을 하더라도 편안한 작업을 할 수 있도록 한다.

다음으로 벼의 한 면을 모두 예취한 후 다른 면으로 이동을 하기 위한 방향 전환 단계가 있다. 콤바인 작업자는 방향 전환 시에 레버 동작과 동시에 후방 시야 확보를 위하여 과도하게 허리를 비틀어 작업을 하는 것을 확인할 수 있다. 이런 작업은 좌석에 회전기능과 선 작업 지지 기능을 이용하여 방지 할 수 있다.

예취 작업 중 탈곡 통이 벼로 가득 차게 되면 벼를 배출하는 작업이 필요하다. 이때 콤바인 작업자는 빠른 작업을 위하여 콤바인을 트럭에 가져갈 때 후진 상태로 이동을 하게 된다. 방향 전환 단계에서도 언급했듯이 후진 시에는 후방시야를 확보하기 위하여 과도한 허리 비틀림이 발생하게 되어 허리에 무리를 줄 수 있고 추가적으로 좌석 뒤쪽에 있는 오거 컨트롤러를 조절하기 위하여 몸을 더욱 비트는 현상을 볼 수 있다. 이러한 문제점 역시 좌석의 회전과 선 작업 자세지지 기능을 이용하여 방지할 수 있다.

마지막으로 오거를 상하 전후, 좌우로 조절하여 벼를 준비된 자루에 정확히 붓기 위한 작업이 진행된다. 이때 오거 컨트롤러는 작업자와 너무 멀리 떨어져 있어 허리를 숙인 상태로 작업을 하게 된다. 이것은 허리에 많은 부담을 줄 수 있게 되는데 이때 의자의 선 자세 지지 기능에 회전 기능을 부여하여 오거 조절 시에도 편리한 작업을 가능하게 한다.

표 3-25 여러 가지 의자의 형태



(1) D1社



(2) S社



(3) I社



(4) O社



(5) D2社



(6) O2社



(7) S2社



(8) C社



(9) T2社



(10) S3社



(11) S4社



(12) 국내 K社
콤바인



(13) Y社 콤바인



(14) J社 존 트랙터



(15) D社 콤바인



(16) T社 콤바인



(17) F社 트랙터



(18) M社 콤바인

표 3-26 의자의 기능 비교

특징	조절	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
등받이	존재	○	○	○			○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	각도 조절	○	○	○			○				○			○				○	
	높이 조절		○	○			○			○	○								
	깊이 조절	○	○				○			○									
요추 지지	존재	○	○	○			○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	높이 조절		○	○			○			○	○								
	깊이 조절	○	○																
팔 받침	존재	○	○			○	○				○			○	○	○	○		
	각도 조절	○	○			○	○							○				○	
	높이 조절	○	○			○	○				○			○				○	
	너비 조절	○	○			○	○												
좌판	높이 조절	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				○	○
	이동 (앞뒤)		○				○						○	○	○	○	○	○	○
	회전	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○			○	
	윤곽	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○		○	○				○
	경사		○	○			○	○	○		○								
	경사 장력		○				○		○										
	앞쪽 기댐	○	○			○	○					○							
	선 자세 지지										○								

(2) 콤바인 운전석의 기능 선정

콤바인 작업자는 예취부의 분초간을 식별해야 한다는 이유 때문에 서서 작업을 할 수밖에 없는 상황이다. 따라서 이를 개선하기 위해서는 분초간을 식별할 수 있는 위치에서의 작업시야 확보와 몸을 지탱하여 주는 지지형태의 의자가 필요하다. 국제 규격 ISO 14738에서는 그림 3-55와 같이 pedestal stool, 즉 서서 작업을 하지만 엉덩이를 걸치는 형태의 운전석을 권장하고 있다. 이를 고려하여 신체에 부담을 최소화할 수 있도록 콤바인 운전석의 기능을 선정하고 설계에 반영하였다.

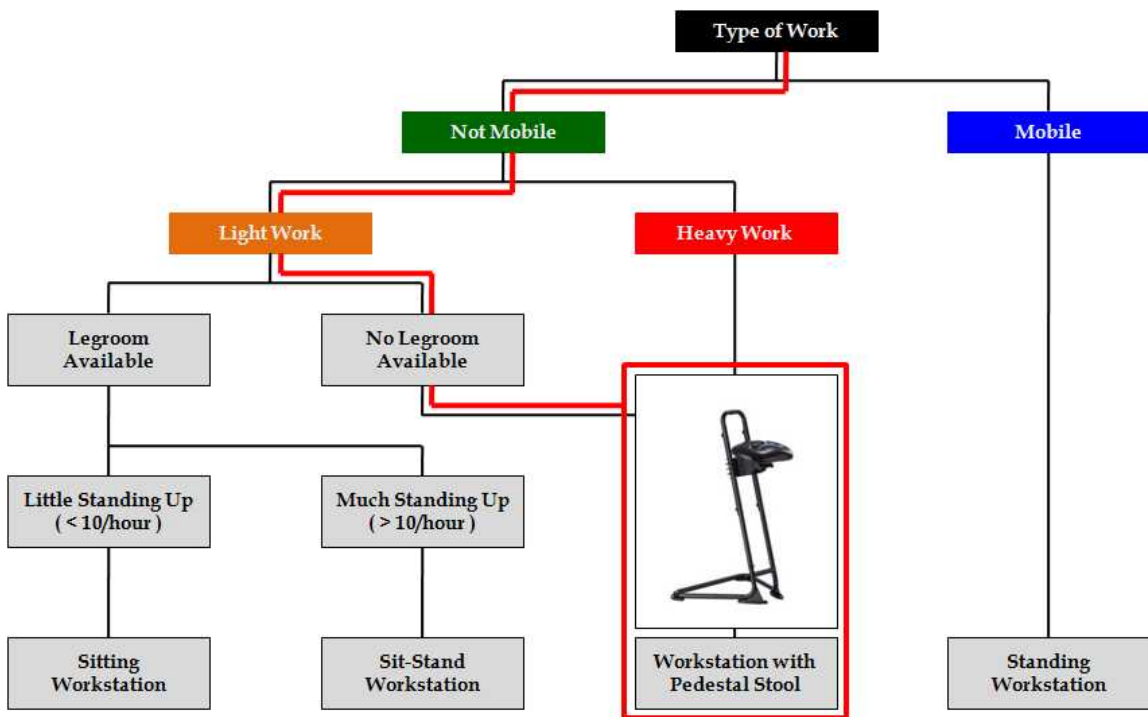


그림 3-55 ISO 14738.

나. 운전석, 팔걸이, 안전벨트 등의 설계 및 제작

(1) 운전석 설계 및 제작

조사한 의자의 모형 및 기능과 농업인의 인체 계측 데이터를 기반으로 운전석 모형을 제작하였다. 그림 3-56은 제안된 기능들을 추가하여 디자인 된 운전석의 설계 도면과 기능 구현 모습 및 콤바인에 장착된 모습이다. 설계 도면의 숫자 1~4는 표 3-27의 인체 계측 값을 의미하는데, 1번은 앉은 엉덩이 너비를 참고하여 작성하였고 2번은 가슴 너비와 겨드랑 두 벽 사이 길이를 참고하여 작성하였다. 3번은 엉덩이 무릎 수평 길이와 앉은 엉덩이 오금 수평길이 등을 참고로 하였으며 4번은 앉은 어깨 높이를 참고하여 작성하였다. 설계 도면의 a, b, c는 의자의 기능을 나타내고 있으며 이 기능의 작동 범위 역시 인체 계측 값을 기반으로 하였다. a는 앉은

엉덩이 무릎 수평길이와 콤바인 내부 공간 크기를 참고하여 디자인 한 의자의 회전 기능으로 콤바인 탑승 시와 엔진 회전수 증가 시 그리고 예취 시 몸을 자연스럽게 회전시켜 주어 과도한 허리 비틀림을 방지해준다. b는 앉은 키와 앉은 눈높이를 참고로 작성한 의자의 상하 이동 기능과 선 자세 지지 기능으로 작업자가 서서 작업할 시 편안한 자세를 유지하도록 지지해 주어 편안하게 콤바인 작업을 수행하도록 해 준다. c는 등받이의 각도 및 높이 조절 기능으로 앉은 어깨 높이를 참고하였으며 의자의 모양에 상관없이 항상 편안하게 등을 받쳐주는 기능을 한다.

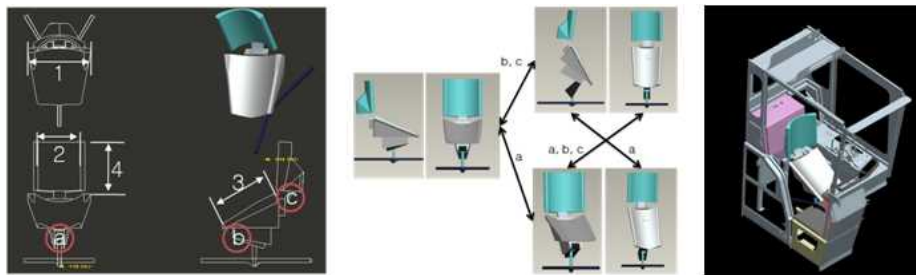


그림 3-56 의자의 설계도면 및 기능.

표 3-27 인체 계측 값

항목	치수(mm)	항목	치수(mm)
1) 앉은 키	900.5	6) 앉은 엉덩이 무릎 수평 길이	558.3
2) 앉은 눈높이	787.1	7) 앉은 엉덩이 오금 수평 길이	458.8
3) 앉은 어깨 높이	587.3	8) 앉은 오금 높이	386.6
4) 앉은 무릎 높이	495.4	9) 가슴너비	310.7
5) 앉은 엉덩이 너비	342.8	10) 겨드랑 두 벽 사이 길이	397.5

농업인의 체형에 맞는 콤바인 운전석의 사이즈를 결정하기 위하여 표 3-28의 수식을 이용하여 최적 사이즈를 도출하였다. 이때 필요한 앉은 오금 높이와 앉은 엉덩이 오금 수평길이, 앉은 엉덩이 너비, 앉은 어깨 높이는 콤바인을 주로 조작하는 농업인의 체형을 입력하며 그 값은 표 3-29와 같다. 표 3-28과 표 3-29를 이용하여 농업인의 체형에 알맞은 운전석 사이즈를 도출하였으며 그 값의 범위는 표 3-30과 같다. Seat Height (SH)의 경우 352.2mm에서 405.1mm가 적당하며 95%가 포함된 범위 내에서는 381.5mm에서 438mm 범위에 속하면 편안하다고 볼 수 있는 것이다.

표 3-28 운전석 사이즈 결정

항목	계산식	주석
Seat Height (SH)	$(P+20)\cos30 \leq SH \leq (P+20)\cos5$	P : 앉은 오금 높이
Seat Depth (SD)	$0.80PB \leq SD \leq 0.99PB$	PB : 앉은 엉덩이 오금 수평 길이
Seat width (SW)	$1.1H \leq SW \leq 1.30H$	H : 앉은 엉덩이 너비
Backrest Height (B)	$0.6S \leq B \leq 0.8S$	S : 앉은 어깨 높이

표 3-29 농업인 체형

(단위 : mm)

항목	평균	표준편차	최소값	최대값	95%
앉은 어깨 높이	587.73	27.43	491.00	671.00	633.00
앉은 팔꿈치 높이	256.06	24.21	155.00	342.00	294.50
앉은 무릎 높이	495.44	22.74	419.00	587.00	533.00
앉은 엉덩이 너비	342.84	20.26	284.00	413.00	376.50
앉은 엉덩이 오금 수평길이	458.80	26.16	360.00	560.00	501.00
앉은 오금 높이	386.62	20.57	320.00	464.00	420.50

표 3-30 최적 운전석 사이즈 범위

(단위 : mm)

항목	평균		최소값		최대값		95%	
Seat Height (SH)	352.2	405.1	294.5	338.7	419.2	482.2	381.5	438.8
Seat Depth (SD)	367.0	454.2	288.0	356.4	448.0	554.4	400.8	496.0
Seat width (SW)	377.1	445.7	312.4	369.2	454.3	536.9	414.2	489.5
Backrest Height (B)	352.6	470.2	294.6	392.8	402.6	536.8	379.8	506.4

이와 같이 최적 사이즈에 따라 목표한 기능을 갖는 운전석을 개발하는 것은 이상적인 해결 방안이 되겠지만 한정된 콤바인 캐빈 내에서 분초날이 보이도록 운전석이 조립되어야 한다는 제약조건이 있다. 현재 콤바인의 내부 사이즈는 그림 3-57에 나타나 있다. H는 콤바인 캐빈 바닥에서 의자를 부착하는 공간까지의 높이로 의자 조립부와 상하 이동거리를 포함하여 최소 150mm의 공간이 더 필요하여 농업인의 최대 최적 의자 높이(SH : 438.8mm)도 초과하는 높이가 된다. 또한 그림 3-58과 같이 콤바인 예취부 분초날이 시야에 들어오도록 설계가 되어야 하

는데, 현재 계산된 최적 높이는 콤바인 캐빈의 경우에는 적합하지 않은 설계가 된다. 이에 초기에 설계한 의자와 같이 설 수 있는 자세를 보조해주는 의자가 더욱 필요하게 되었으며 그 위치는 최적화와 시뮬레이션을 통해 도출되며 그 결과는 그림 3-59와 같다. BH는 등받이의 높이를 결정한다. 등받이가 높게 되면 뒤 창문의 시야를 가리게 되어 후진과 오거 작업에 방해가 된다. 따라서 의자 높이를 감안하여 등받이 크기도 조정되어야 하며 최적화와 시뮬레이션을 통하여 결정된다. D는 의자가 장착되는 공간의 깊이, W는 콤바인 의자가 장착될 너비로 이 역시 최적 사이즈로 구한 값으로는 공간이 부족하여 내부 공간의 크기를 고려하여 의자 사이즈를 디자인하였다.

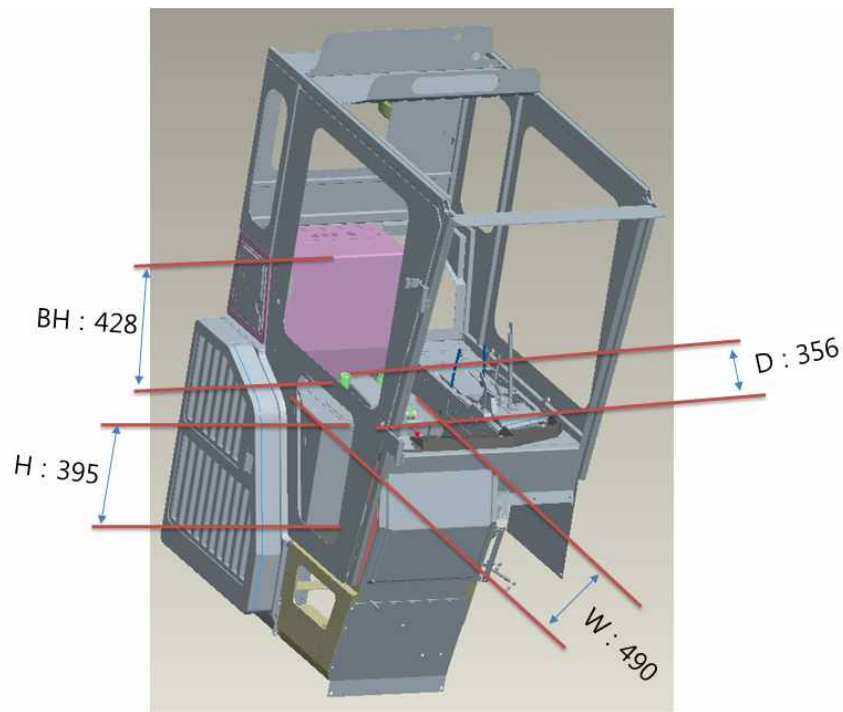


그림 3-57 캐빈 내부 공간.

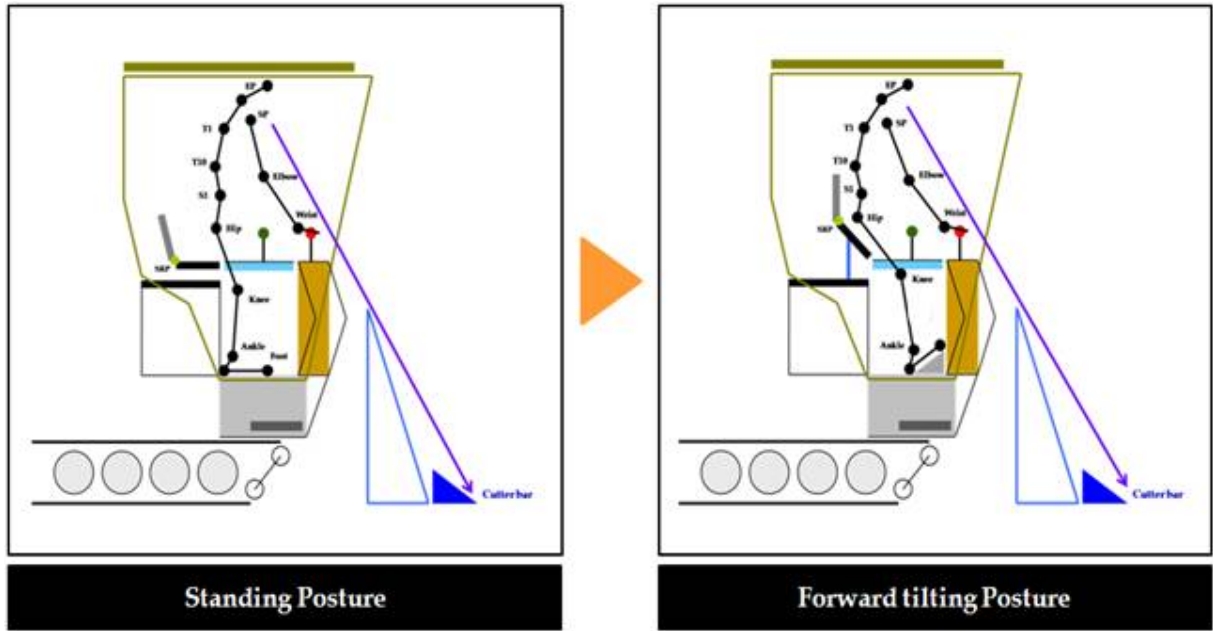


그림 3-58 콤바인 캐빈내 운전석 디자인.

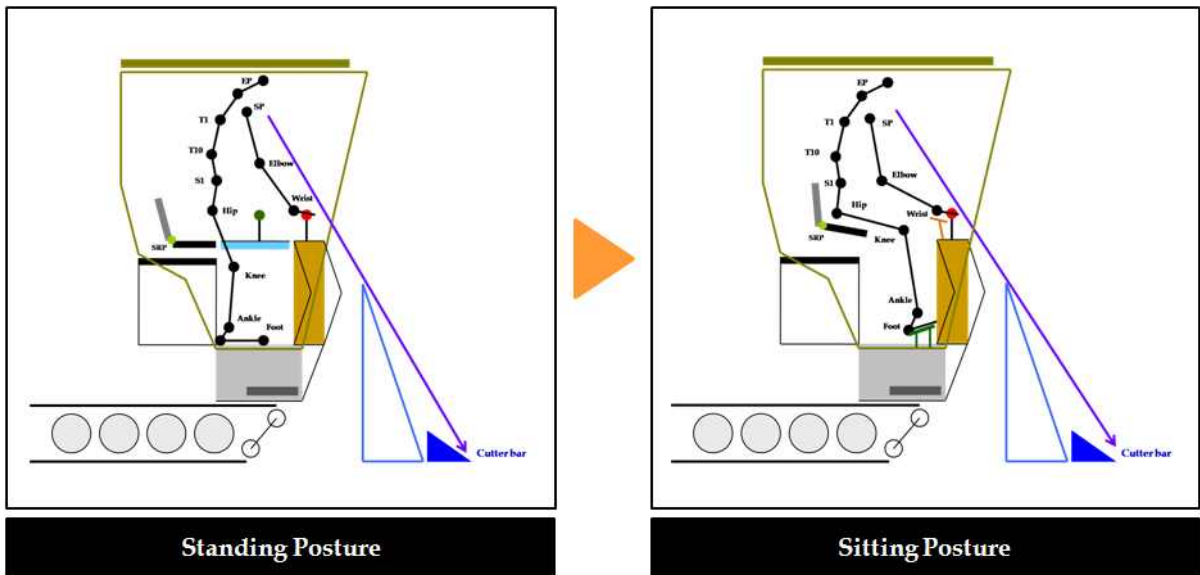


그림 3-59 이상적인 콤바인 캐빈내 운전석 위치 및 설계.

(가) 인체 모델을 활용한 운전석 최적설계

① 시뮬레이션 기술을 이용한 설계 및 평가 흐름도

컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 콤바인 운전석 설계는 그림 3-60과 같은 순서로 인체 모델 및 작업 공간 두 부분으로 나누어 연구를 수행하였다. 첫째는 콤바인 조작자를 대표하는 인체 모델을 구성하고, 설계된 의자 형태에 알맞은 작업 자세를 잡는 부분과 콤바인 작업공간을 구성하는 일이다. 이 부분은 콤바인의 기본적인 기능을 수행 할 수 있을 만큼 자세하게 구현하는 일이 중요하다. 그렇지 않으면 모의실험을 수행하는 연산시간이 길어질 뿐 아니라 문제가 발생

할 때 에러를 제거하는 작업에 많은 시간이 소비된다.

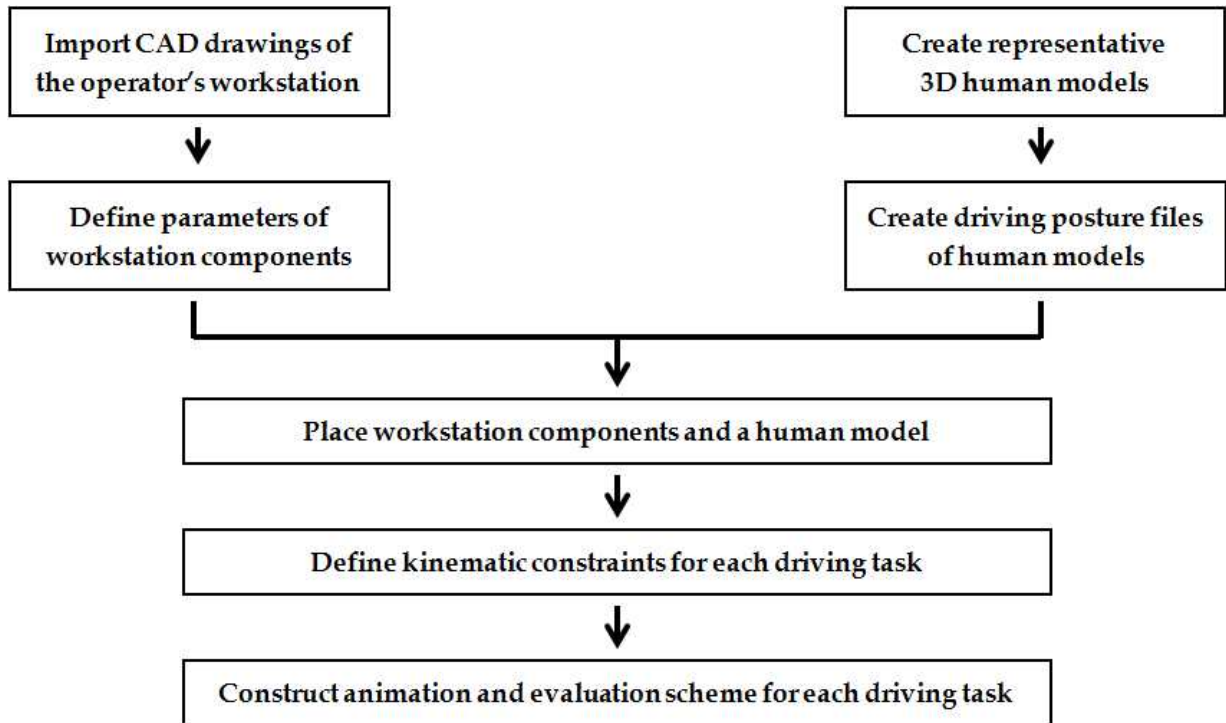


그림 3-60 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 콤바인 운전석 설계.

② 최적설계

콤바인 운전석에 대한 최적설계 흐름도는 그림 3-61과 같다. 콤바인 조작자는 40~60대 남성을 대표하는 인체 모델로 설정하였다. 콤바인 캐빈 내 조작공간은 일정한 수치로 고정하였고 콤바인의 천장높이와 레버의 위치는 설계를 위한 구속조건으로 설정하였다. 운전석 설계를 위한 설계변수로는 의자의 높이와 회전 각도를 선택하였다. 이 변수들은 여러 문헌에서 조작자의 불편도에 영향을 미치는 것으로 제시된 바 있다(정의승 등, 1993; Amditis et al., 2007).

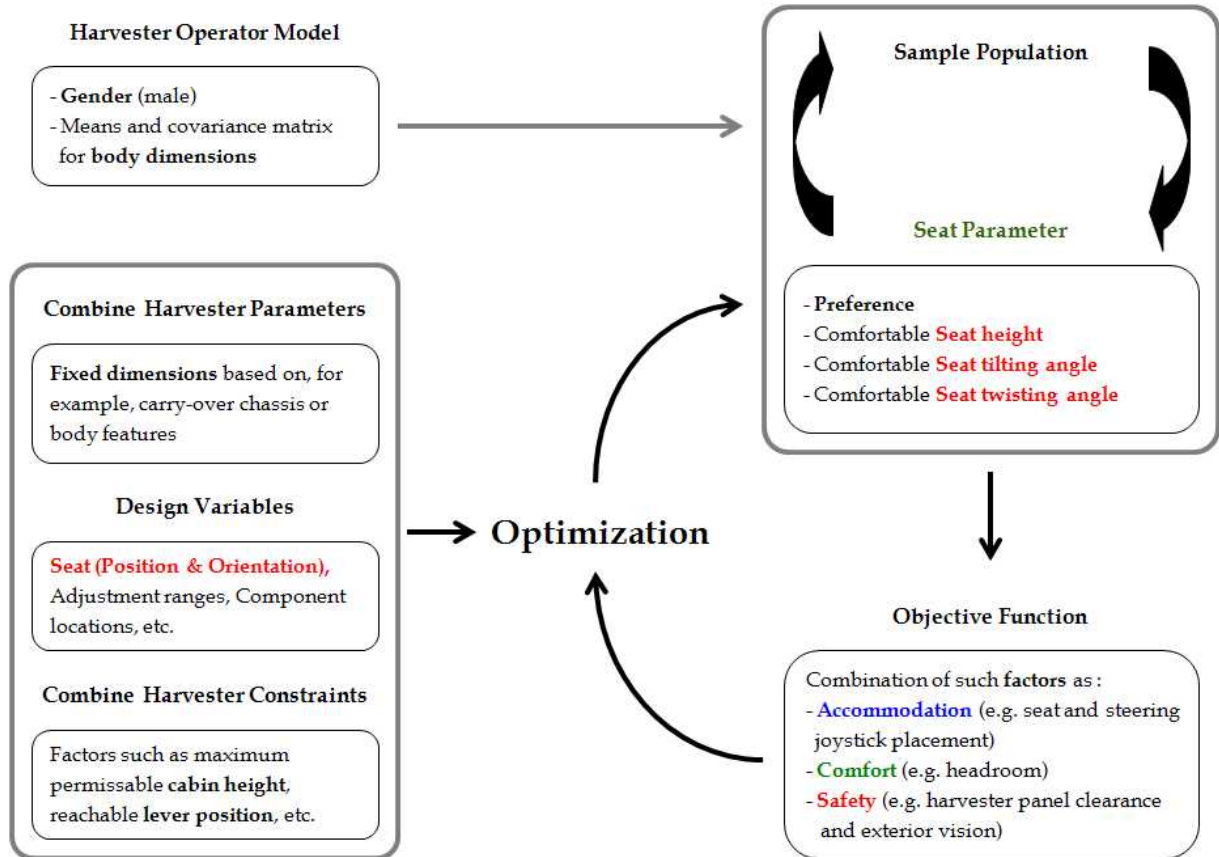


그림 3-61 콤바인 운전석 최적 설계 개요.

㉔ 목적함수

인체 모델을 활용한 수행능력 평가에는 크게 3가지 수식 함수가 있다. 첫째는 관절 운동 함수이다. 수식 3-9에서 w_i 는 양의 가중치 계수이다. 일반적으로 이들 값은 상대적인 값을 의미한다. 각각의 가중치 값은 나머지 다른 값보다 단지 상대적으로만 중요함을 뜻한다.

$$f_{jointDispl}(q) = \sum_{i=1}^n w_i (q_i - q_i^N)^2 \quad \text{수식 3-9}$$

수식 3-10은 포텐셜(potential) 에너지 함수이다. 예로 인체의 상체는 그림 3-62와 같이 기본적으로 6개(상부, 중부, 하부 몸통, 상완부, 하완부)의 집중질량으로 대표된다. 이들 질량의 높이는 수행하는 동작의 평가를 위한 평가요소를 제공한다. 수식 3-10에서 $(m_i g)^2$ 은 가중치를 뜻하고, $(\Delta h_i)^2$ 은 목적함수로 작용한다. $k=6$ 은 집중질량의 숫자를 뜻하는데, 이 경우 초기의 위치는 중립의 위치를 나타낸다. 수평방향의 운동의 경우, 목적함수로 부적절한 방법으로 판단된다. 이 함수를 직접적으로 이용하면 항상 앞으로 숙이는 경향이 나타난다. 이를 이용하여 포텐셜 에너지가 줄어들어 에너지 변화를 최소화한다.

$$f_{\Delta-Potential}(q) = \sum_{i=1}^k (m_i g)^2 (\Delta h_i)^2 \quad \text{수식 3-10}$$

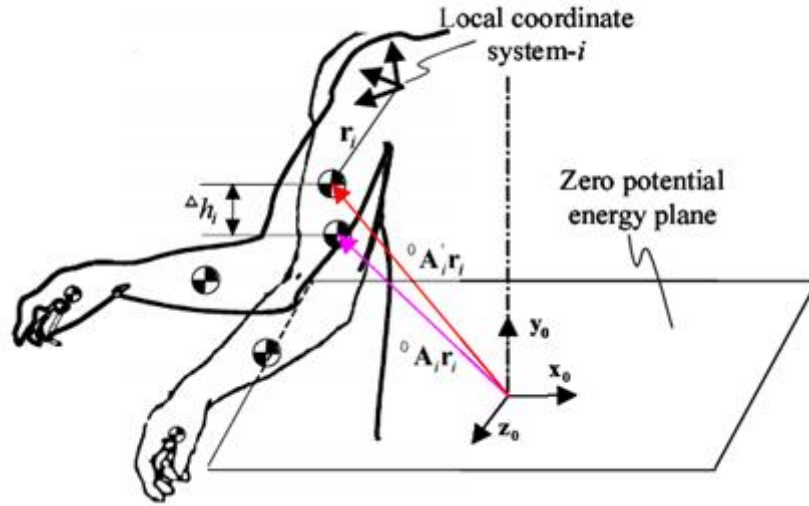


그림 3-62 상지의 포텐셜 에너지.

수식 3-11의 함수는 불편도 함수로 선호하는 관절의 움직임에 바탕을 둔 가중치 값을 부여하는 함수이다. 일반적으로 이 함수는 잘 작동하지만, 가끔 관절이 가동범위 밖으로 벗어나는 경우가 발생한다. 이는 관절의 불편도를 가중시키는 작용을 한다. 이 문제를 해결하기 위해 추가적인 식이 부가되었는데, 이는 관절이 가동 범위에 가까이 왔을 때 가중치를 부여하는 벌칙 함수식이다. 여기서, $(\Delta q_i^{norm})^2$ 은 관절 각각에서의 목적함수로 작용하고 그 값은 0에서 1사이의 값을 가진다. $G \times QU_i$ 는 상위 한계범위에 접근할 때의 벌칙함수 값이고 $G \times QL_i$ 는 하위 한계범위에 접근할 때의 벌칙함수 값이다. γ_i 는 가중치 값을 뜻한다.

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

$$QU_i = \left(0.5 \sin\left(\frac{5.0(q_i^U - q_i)}{q_i^U - q_i^L} + 1.571\right) + 1 \right)^{100} \quad \text{수식 3-11}$$

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

㉞ 설계변수

최적 설계의 설계변수로는 그림 3-63과 같이 의자의 높이와 의자 비틀림 각도를 설정하였다.

의자의 높이는 상하로 이동하는 것을 의미하며 비틀림 각도는 좌판이 의자의 축을 중심으로 회전하는 것을 의미한다. 콤바인 조작자가 예취부를 명확하게 보기 위해서 눈높이가 높아져야 하며, 주/부변속 레버가 조작자의 왼쪽에 위치하기 때문에 작업자의 허리가 비틀어진 자세로 작업을 한다. 이 두 가지 작업특성을 고려하여 두 가지 요인을 설계 변수로 설정하였다.

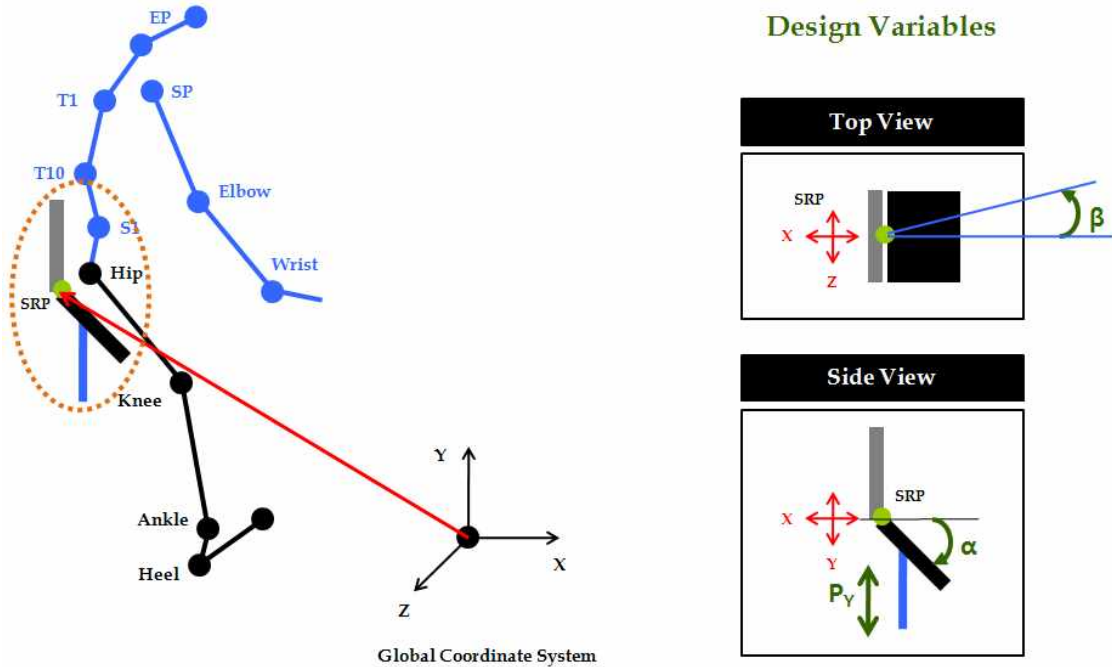


그림 3-63 최적설계의 의자 설계변수.

㉔ 구속방정식

콤바인 조작자가 주로 사용하는 레버는 조향 조이스틱과 주변속 레버 등이다. 이 레버류는 사용빈도가 높은 조작부로서 조작자가 항상 잡을 수 있도록 수식 3-12와 같은 방정식이 사용되었다. 조작자가 의자의 높이를 올리는 과정에서 머리가 천정에 닿지 않고, 일정간격을 유지시켜야 한다. 작업자의 머리와 천정과 일정 간격유지를 시켜주는 구속방정식이 필요하며, 이 조건은 수식 3-13과 같다. 그리고 콤바인 조작자를 대표하는 인체 모델은 관절 가동 범위 내에서 동작이 구현될 수 있도록 구속시켜두었다. 따라서 인체 모델은 수식 3-14의 조건을 만족해야 한다.

$$Distance = |X(q)^{end-effector} - X^{target\ point}| \leq \epsilon \quad \text{수식 3-12}$$

$$Distance = |X(q)^{head} - X^{inside\ roof}| \leq \epsilon \quad \text{수식 3-13}$$

$$q_i^L \leq q_i \leq q_i^U; i = 1, 2, \dots, DOF \quad \text{수식 3-14}$$

그림 3-64는 콤바인 조작자의 거리 구속 조건을 보이고 있다. 상체가 정면을 유지하는 경우와 왼쪽으로 회전된 모습을 보이고 있다. ADAMS 인체 모델 관절의 자유도 및 가동 범위는 표 3-31과 같다. 표에 나타난 분절은 상지와 하지로 허리를 중심으로 윗부분과 아래 부분을 의미한다. 17 자유도를 갖는 상지 중 목/흉부/요추는 각각 3개의 자유도로 $-40 \sim 40^\circ$ 만큼 움직임을 갖는다. 그 외 견갑골/어깨/팔꿈치/팔목은 2개의 자유도로 표에 나타난 데이터와 같이 다양한 이동 범위를 갖고 있다. 하지는 7 자유도를 보이고 있다. 그 중 힙/발목은 3개의 자유도로 $-70 \sim 70^\circ$ 이내에서 이동이 가능하였고 무릎은 오직 1자유도만을 갖고 시상면 방향으로 $-10 \sim 160^\circ$ 의 넓은 범위로 가동이 가능하다.

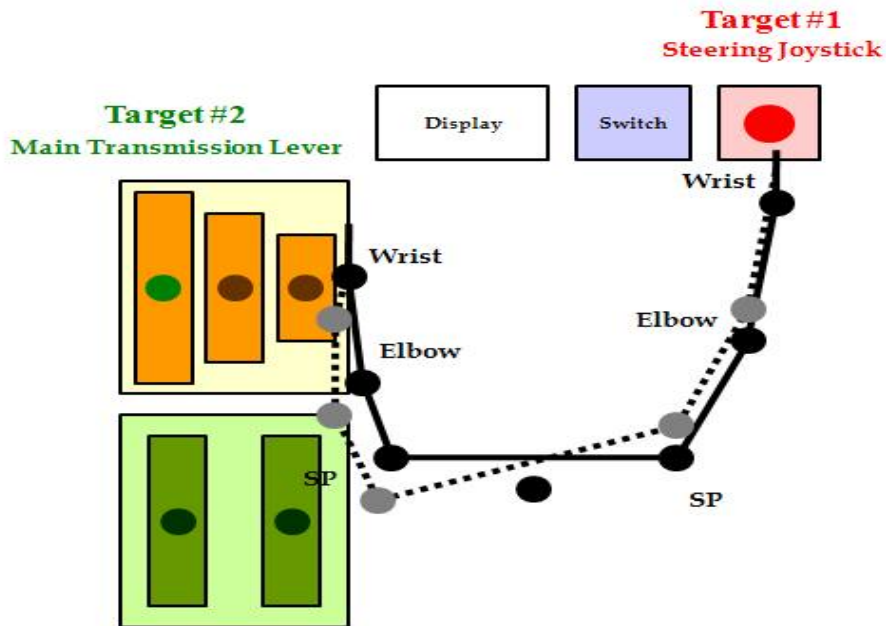


그림 3-64 콤바인 조작자의 거리 구속조건.

표 3-31 ADAMS LifeMOD 인체 모델 관절 가동범위

분절	관절(자유도)	분면	최대	최소
상지	목(3)	시상면	40	-40
		횡평면	40	-40
		전두면	40	-40
	흉부(3)	시상면	40	-40
		횡평면	40	-40
		전두면	40	-40
	요추(3)	시상면	40	-40
		횡평면	40	-40
		전두면	40	-40
	견갑골(2)	횡평면	25	-50
		전두면	35	-25
	어깨(2)	시상면	90	-175
		전두면	175	-90
	팔꿈치(2)	시상면	3	-150
		횡평면	90	-90
팔목(2)	시상면	50	-50	
	전두면	85	-85	
하지	hips(3)	시상면	50	-120
		횡평면	30	-30
		전두면	60	-60
	무릎(1)	시상면	160	-10
		시상면	70	-70
	발목(3)	횡평면	60	-60
		전두면	50	-50

③ 운전석 최적설계 결과

ADAMS 인체 모델을 활용한 운전석 최적설계 평가 시뮬레이션은 그림 3-65와 같다. 인체 모델은 오른손으로 조향 조이스틱을 조작하고 왼손으로는 주변속 레버를 당기는 작업을 설정하여 연구를 수행하였다. 작업자의 머리와 천장과의 거리가 10cm 이상 유지되도록 하였다. 최적설계를 위해 불편도 함수를 이용하여 평가한 의자설계 결과는 그림 3-66과 같다. 의자의 높이는 콤팩트 예취부의 분초간이 충분히 보일 수 있도록 운전석 바닥에서 92cm를 초기치로 상/하 10mm 사이에서, 운전석의 회전각은 0/7.5/15° 사이에서의 불편도를 평가하였고 93cm높이와 7.5° 회전 시 불편도가 0.397로 가장 낮은 값을 가졌다. 이는 바닥으로부터 92cm 높이에서 왼쪽으로 7.5° 회전된 자세가 가장 편안한 작업을 수행할 수 있는 최적의 자세를 의미한다.

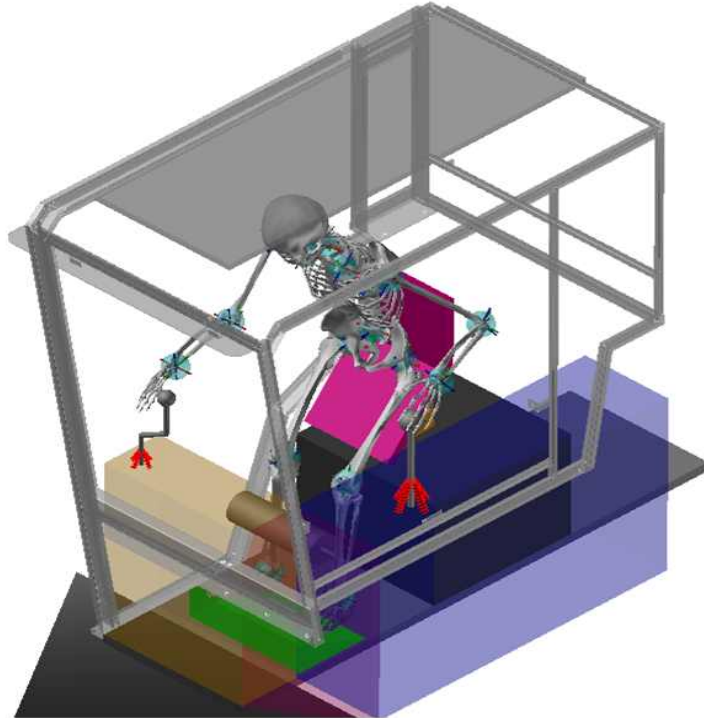


그림 3-65 운전석 최적설계를 위한 시뮬레이션 및 작업평가.

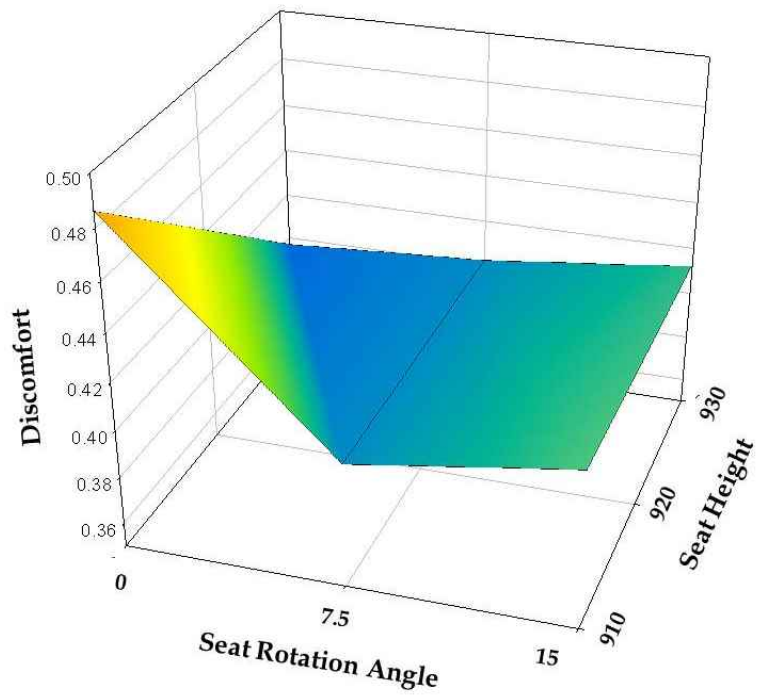
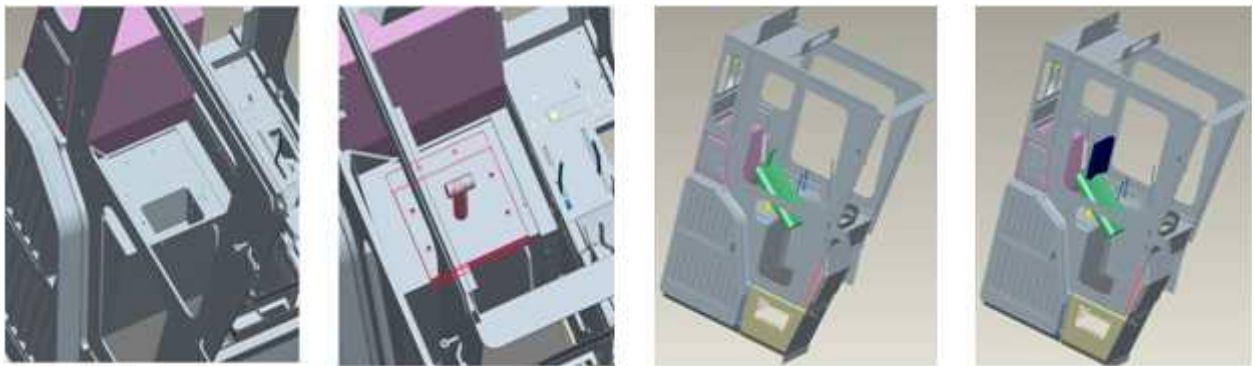


그림 3-66 설계변수에 따른 운전석 최적설계 평가 - 불편도 함수 이용.

④ Simulation을 위한 3D Design

현재 콤바인 캐빈의 3D 모델과 작업자의 인체 모델을 통합하여 가상의 공간상에서 그림 3-

67과 같이 운전석을 디자인할 수 있다. 그림 3-67(a)는 현재 판매되고 있는 콤바인 캐빈의 내부를 모델링 한 모습이다. 개발되는 운전석이 현재 제품과 이질감 없이 부착되기 위해서는 시제품 제작 단계에서부터 결합부위를 고려할 필요성이 있다. 이에 기존의 운전석이 부착되는 방식에 따라 조립될 수 있도록 디자인 하였다. 다음으로 운전자가 탑승하는 부위와 콤바인과의 연결부위를 나타내는 것이 그림 3-67(b)이다. 디자인된 운전석은 회전 및 상하 이동이 가능하도록 디자인 하였다. 그림 3-67(c)는 좌판이 조립된 모습이다. 이 좌판은 상하로 틸팅(tilting)이 되도록 설계가 되어 있으며 회전도 가능하다. 마지막으로 그림 3-67(d)는 등받이가 결합된 모습이다. 그림과 같이 뒤창문의 시야가 가려지지 않도록 디자인 하였으며 좌판에 틸팅에도 독립적으로 각도 조절이 되도록 설계하였다.



(a) 기존 콤바인 내부 (b) 연결 부위 (c) 운전석 (d) 등받이 장착 운전석

그림 3-67 3D 디자인 한 운전석.

그림 3-68과 같이 농업인의 인체 모델을 탑승시켜 운전자가 앉는 공간의 협소 여부, 부속부품의 리치, 작업자의 시야를 테스트하였다. 물론 이러한 작업들은 시제품이 완성된 후 계속해서 평가될 부분이지만, 시제품 제작 초기 단계에서부터 시뮬레이션을 통하여 작업 손실을 방지하기 위해 수행할 필요가 있다. 작업자의 머리와 눈동자를 조절하여 현재 작업자의 시야가 무엇을 보고 있는지 파악할 수 있는데, 이로써 제한된 현재 콤바인 캐빈 내부에서 제작될 운전석 시작기는 농업인의 모델에서 편안하게 작업을 수행할 수 있다.

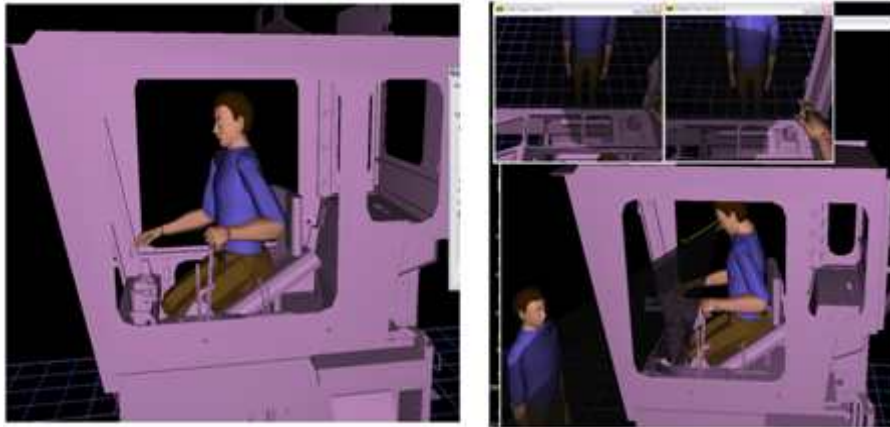


그림 3-68 시뮬레이션을 통한 운전석 평가.

(나) 운전석 제작

기본 연구와 시뮬레이션을 통해 얻은 자료를 이용하여 운전석 시작기를 제작하였다. 이 시작기는 차후 최적화를 통한 최적 자세에 따라 변경이 가능하도록 설계하였다. 그림 3-69는 운전석 기능 중 전후 이동 기능을 나타낸 도면과 제작사진이다. 본 운전석은 100mm 이동이 가능하도록 설계하여 체형에 따라 편한 자세를 유지할 수 있도록 하였다. 동시에 실내 효율성 검증 을 위한 실내 실험에서도 다양한 자세에 따른 실험이 가능하도록 설계한다.

그림 3-70은 운전석 좌판의 각도를 조절하는 메커니즘을 나타내고 있다. 개발된 운전석은 좌판이 틸트되어 평소 주행 작업에서는 일반 운전석과 같이 앉아서 주행을 하지만, 예취부 분조 날의 시야 확보가 필요한 작업과 같은 콤바인 작업 중에는 선자세로 작업이 가능하도록 기울기 조절이 가능하도록 설계 되어 있다. 기울임에 따라 고정을 할 수 있어 기존에 서서 작업하는 것보다 더욱 편하게 작업이 가능하다.

그림 3-71은 운전석 등받이 각도를 조절하는 메커니즘을 나타내고 있다. 개발된 운전석은 좌판이 틸트 되어 등받이가 고정되어 있다면 작업자가 앉을 공간을 침해받게 되므로 등받이를 뒤로 젖히는 기능이 필요하다. 또한 작업 시 등을 기대는 것이 작업자의 스트레스를 감소시켜 줄 수 있어 반드시 필요하다. 등받이 조절은 기어방식으로 손잡이 부분을 당긴 상태에서 원하는 위치에 고정시키는 방식이다.

그림 3-72는 운전석 높낮이 각도를 조절하는 메커니즘을 나타낸다. 콤바인은 예취부의 시야 확보가 중요한 요인이 된다. 따라서 농업인의 앉은키에 상관없이 최적화된 눈높이를 확보하기 위하여 높낮이 조절이 위아래로 100mm 조절이 가능하도록 하였다. 작업자가 엉덩이를 든 상태에서 손잡이를 누르면 의자가 올라오고 앉은 상태에서 누르면 의자 높이가 내려가게 되어있다. 또한 운전석은 회전 기능을 갖고 있어 작업 중 몸을 돌려야 하는 작업에서 몸이 아닌 운전석 전체를 회전시켜 편하고 안전하게 작업을 할 수 있도록 하였다. 회전 각도는 제한이 없지만

콤바인 공간상 30° 이내로 회전 가능하다.

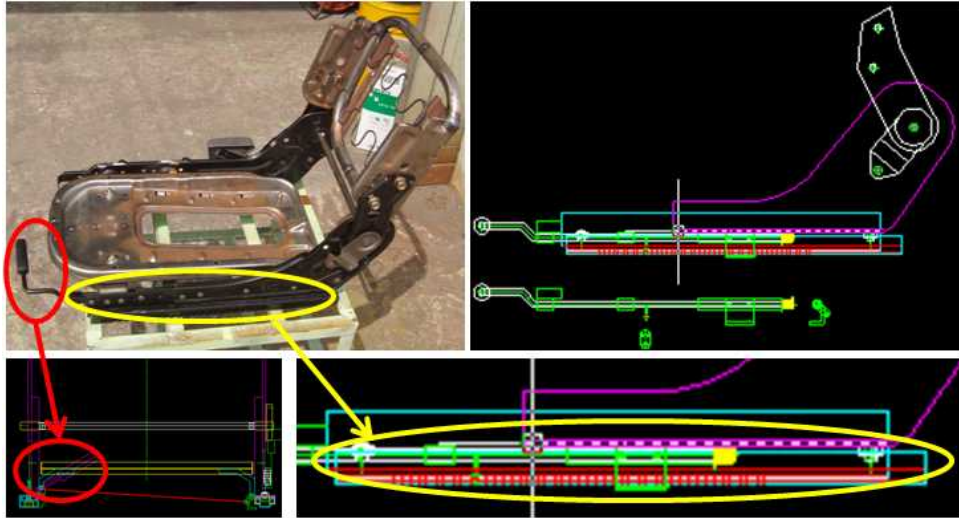


그림 3-69 전후 이동이 가능한 운전석 1차 시작기 제작.

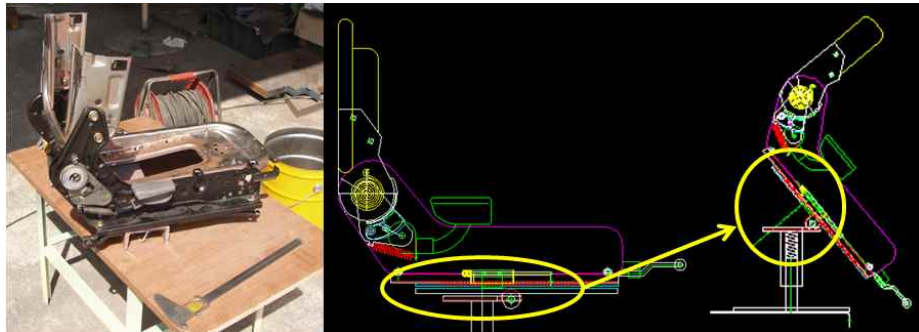


그림 3-70 기울기 조절이 가능한 운전석 1차 시작기 제작.

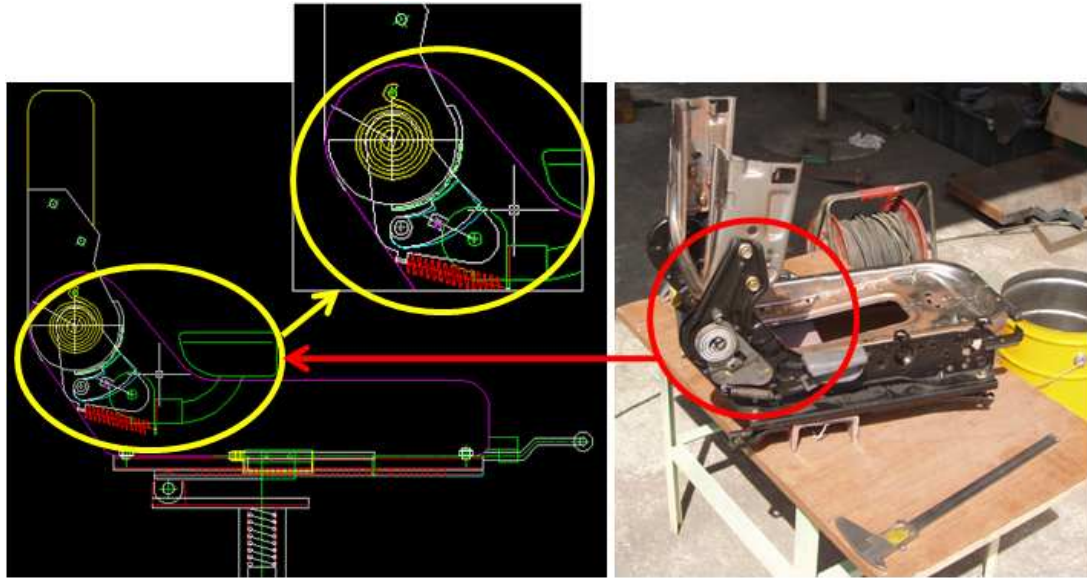


그림 3-71 운전석 제작(등받이 조절).

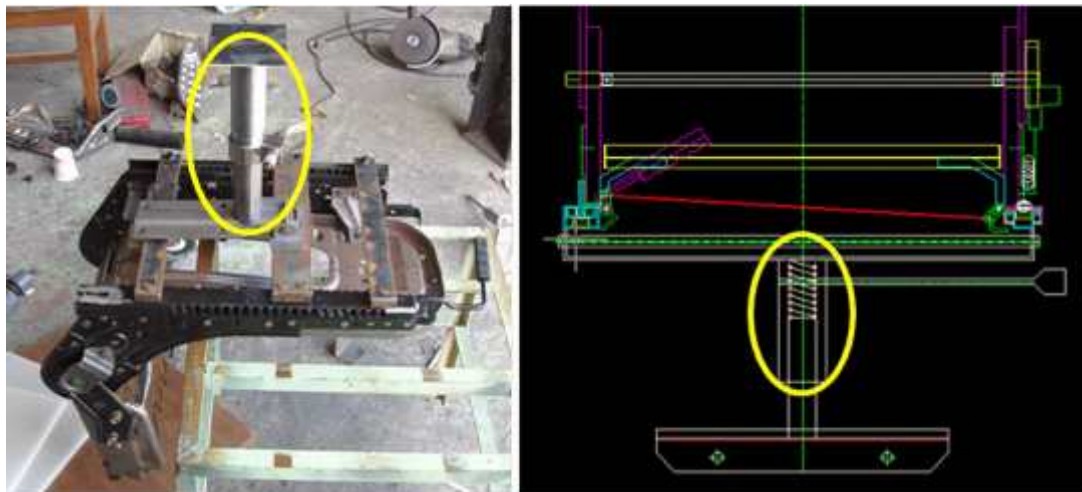


그림 3-72 운전석 1차 시작기 제작(높낮이 조절, 회전).

(2) 팔걸이 설계 및 제작

한국 산업 규격 KSB 6868에서는 운전자 좌석에 대한 치수와 요구 조건 및 조정 범위를 규정하며 팔걸이 장착의 경우 팔걸이의 치수도 제공한다. 그 규격에 따르는 팔걸이의 치수는 그림 3-73, 표 3-32와 같고 팔걸이 항목은 필요에 따라 장착할 수 있다. 이에 실제 콤파인에서 팔걸이의 필요성을 검토한 결과 콤파인은 운전석 옆쪽으로 탑승을 하며 주행 시와 콤파인 작업 시 왼팔은 주/부변속 레버에, 오른팔은 조향 레버에 올려놓고 작업을 하여 팔걸이가 오히려 작업에 방해를 주는 요인으로 부각되었다. 본 연구에서는 작업 편의성 및 안전성 개선을 위하여 콤파인 운전석의 팔걸이를 제거하였다.

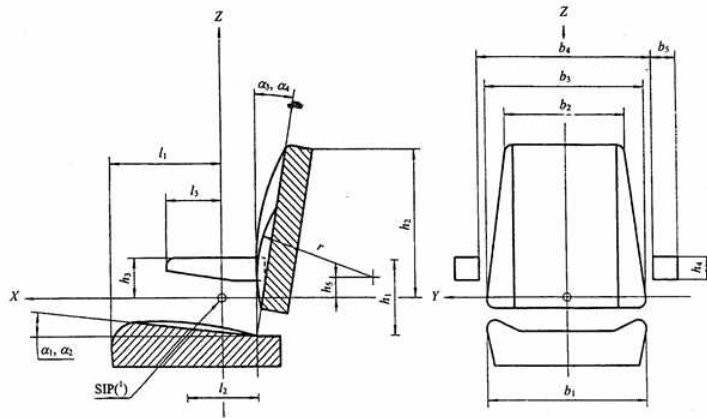


그림 3-73 KS규격에 따른 운전자 좌석의 팔걸이 규격.

표 3-32 팔걸이 치수(KSB 6868)

기호		치수(mm)		
		최소	보통	최대
h3	팔걸이 높이	95	140	160
l3	팔걸이 길이	90	140	190
b4	팔걸이 간 간격	450	500	550
b5	팔걸이 너비	50	75	-
h4	팔걸이 깊이	50	100	-

(3) 안전벨트 설계 및 제작

농업 기계용 좌석 벨트로는 미국 자동차 학회의 표준에 규정된 I 형(type 1)벨트를 사용하며 고정점 위치와 강도는 그림 3-74에 따라 설계하였다. 좌석 지표점을 기준으로 상향 45° 각도를 유지 하며 각 벨트의 고정 점은 운전석의 중심선을 기준으로 175~350mm 범위 안에 위치 할 수 있도록 그림 3-75와 같이 설계 후 제작하였다.

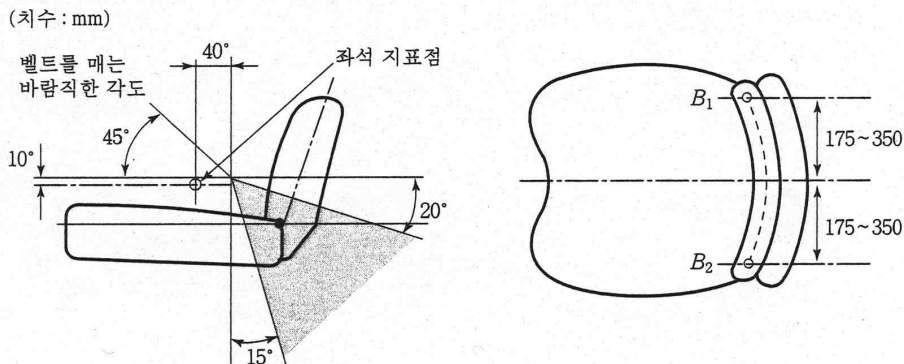


그림 3-74 좌석벨트 고정점의 위치.



그림 3-75 안전벨트 장착 모습.

다. 운전석 개선 및 보완

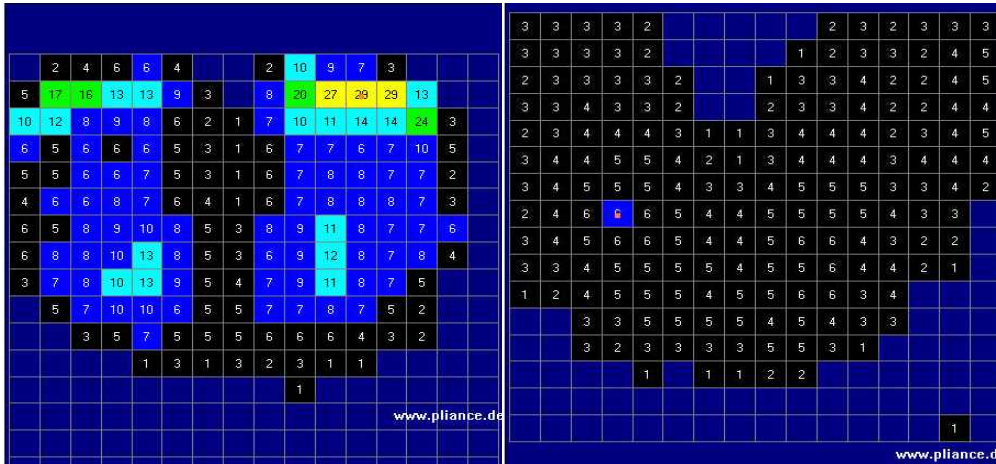
(1) 운전석 1차 시작기의 성능 분석

완성된 운전석 1차 시작기는 실내 실험을 통하여 효용성을 검증하였다. 시뮬레이션을 통한 테스트가 완료되고 최적화 계산을 이용해 최적 자세를 제시하였다. 그리고 실제 콤파인 캐빈 모형에 운전석을 부착한 후 근전도 및 체압 분포를 이용하여 각 근육에 작용하는 조작력과 좌판의 압력 분포를 분석하였다. 근전도 분석 결과 RMS 평균값은 표 3-33과 같이 개선된 결과를 나타내고 있었지만 체압 분포에서는 그림 3-76과 같이 허벅지 부분에 압력이 집중되는 것을 확인 하였다. 이는 1차 시작기 시트에 쿠션이 존재하지 않는 점과 좌판을 기울일 경우 작업자의 무게 중심이 앞으로 쏠리기 때문으로 파악된다.

표 3-33 RMS 평균/변화량 결과

		오른쪽 요추 근	왼쪽 요추 근	왼쪽 다리 근	왼쪽 장단지 근
Total Average RMS	Standing mean	30.479* (6.76)	32.42* (6.47)	17.99** (2.82)	35.12* (7.22)
	Seating mean	15.75* (2.97)	14.27* (2.39)	10.6** (2.05)	8.53* (1.03)
Average of RMS slope	Standing mean	0.28 (0.20)	-0.02*** (0.24)	-0.02*** (0.10)	-0.57*** (0.47)
	Seating mean	0.28 (0.23)	0.22*** (0.17)	0.28*** (0.21)	0.07*** (0.25)

*2.5%수준에서 유의, **5%수준에서 유의, ***10%수준에서 유의



(a) 1차 시작기

(b) 2차 시작기

그림 3-76 체압 분포 결과.

(2) 운전석의 보완

운전석의 2차 시작기는 운전자의 체압을 고르게 분포할 수 있도록 시트를 부착하고 그림 3-77과 같이 시트 앞부분에 높이 조절 기능을 추가하여 허벅지 아래 부분을 지지할 수 있도록 수정하였다. 이로써 그림 3-78과 같이 좌판의 기울어짐으로 인하여 운전자의 무게 중심이 앞으로 기울어지는 문제점을 해결하였다. 그 외에 등받이 조절 방식을 레버 타입이서 회전 방식으로 변경하여 등받이 각도 조절시 좀 더 세밀하게 조절 가능하도록 수정하였다.

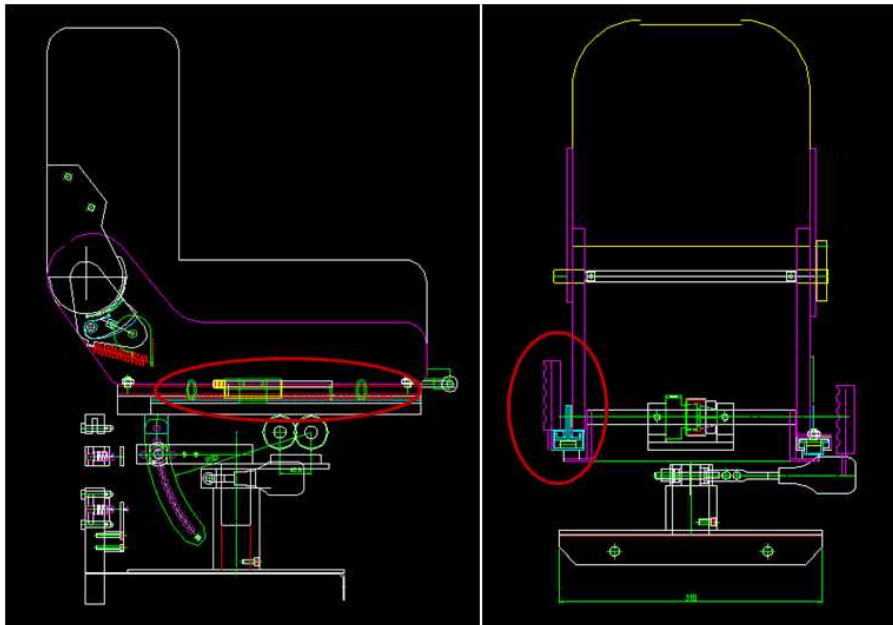


그림 3-77 2차 시작기 설계 도면.



(a) 1차 시작기



(b) 2차 시작기

그림 3-78 운전석 시작기 개발.

2. 레버 개발

가. 레버 분석 및 개념 설계

작업 동작분석결과 작업시간동안 주로 조작하는 레버는 주변속 레버, 파워스티어링 레버, 부변속 레버로 나타났고, 부변속 레버를 조작할 때 드는 힘이 적당인가에 대한 설문에서는 62.5%가 적당하지 않다고 응답하였으며 주변속 레버의 경우 46.9%가 적당하지 않다고 응답하였다. 따라서 레버 개발 시, 자주 사용되지만 조작력에 문제가 있는 부변속 레버를 조작할 때 힘이 적게 들도록 설계하는 것을 목표로 하였다. 구체적인 설계 목표는 첫째, 레버 내부의 조작력을 낮추고, 둘째, 최소의 힘이 들도록 레버의 손잡이인 노브를 설계하며, 셋째, 최소의 힘으로 조작할 수 있는 레버 형태를 찾는 것이지만 본 연구의 참여기관인 동양물산과의 협의 결과 내부 스프링력을 조절하는 것은 한계가 있어 필요한 만큼 조작력을 낮출 수 없고 유압방식으로 변경하는 것은 현실상 불가능하다고 판단되었다. 또한 레버의 위치를 변경하는 것 역시 어려움이 따르므로 부변속 레버 형태와 부변속 레버의 노브 부분만 설계 변경하여 최소의 힘으로 레버를 조작하는 것을 목표로 정하였다.

나. 레버의 설계 및 제작

사용될 노브는 시판되고 있는 것들 중, 대표적으로 사용되는 3종류를 선택한 후 손압력 센서로 단위면적당 가장 압력 값이 작은 것을 적정 노브로 채택하였다. 현재 시판되고 있는 노브 형태는 그림 3-79와 같이 크고 둥글며 납작한 형, 원기둥의 형태에서 손 모양에 맞추어 변형된

형, 손가락 모양이 없는 바(bar)형태의 원기둥형의 3가지로 분류된다. 이 중 각 분류형태를 대표할 수 있는 모양의 노브(그림 3-79)를 선정하여 손압력 실험을 실시한 결과 압력 분포의 면적과 단위 면적당 손압력 값이 가장 작은 노브는 그림 3-79의 (c)형태였으며 선행연구의 결과와 일치하였다. (b)형태의 경우 손가락 모양의 홈을 파서 접촉면을 더 넓혔으나 손 전체에 압력이 고르게 분포되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 레버 개발을 위해 그림 3-79 (c)형태의 노브를 사용하였다.



그림 3-79 상용되고 있는 레버분류 및 실험에 사용된 손잡이.

레버 설계를 위해 여러 형태의 레버를 제작한 후 비교, 평가하였다. 레버는 노브의 탈부착이 가능한 형태로 그림 3-80, 3-81과 같이 일직선 형태와 손잡이 부분이 하단으로부터 각각 50, 100, 150, 200mm 떨어진 형태이며 평가용 박스는 그림 3-82과 같이 제작된 레버의 종류 및 방향을 바꾸어 끼울 수 있도록 제작되었다. 실험은 앉은 자세와 선 자세별로 실시하였으며 2종류의 노브와 9수준의 레버 위치에 대해 총 36가지 수준에서 근활성도를 평가하였다. 노브는 손압력 평가를 통해 선정된 세로로 긴 바 형태와 부변속 레버에 장착된 가로로 긴 바 형태를 사용하였고 레버 위치 수준은 5종류 레버의 구부러진 방향을 좌/우로 놓아 인체 중심과의 거리가 각각 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550mm가 되게 하였다.

실험 결과 근활성도는 서서 레버를 밀고 당기는 경우 노브는 세로로 긴 바 형태에서, 레버는 인체 중심으로부터 200mm, 350mm, 500mm 떨어졌을 때 가장 낮게 나타났고, 앉아서 작업 할 경우 노브는 세로로 긴 바 형태에서, 레버는 인체 중심으로부터 150mm 떨어졌을 때 가장 낮게 나타났다.

그림 3-83는 각각 앉은 자세에 적합한 레버 및 노브(a), 선 자세에 적합한 레버 및 노브(b)

이때 본 과제의 시작기는 앞서서 작업하는 것을 목표로 하였기 때문에 그림 3-83(a)와 같이 가로로 긴 바 형태의 노브를 선택하였으며 인체 중심과의 거리가 150mm가 되도록 레버를 설치하였다.

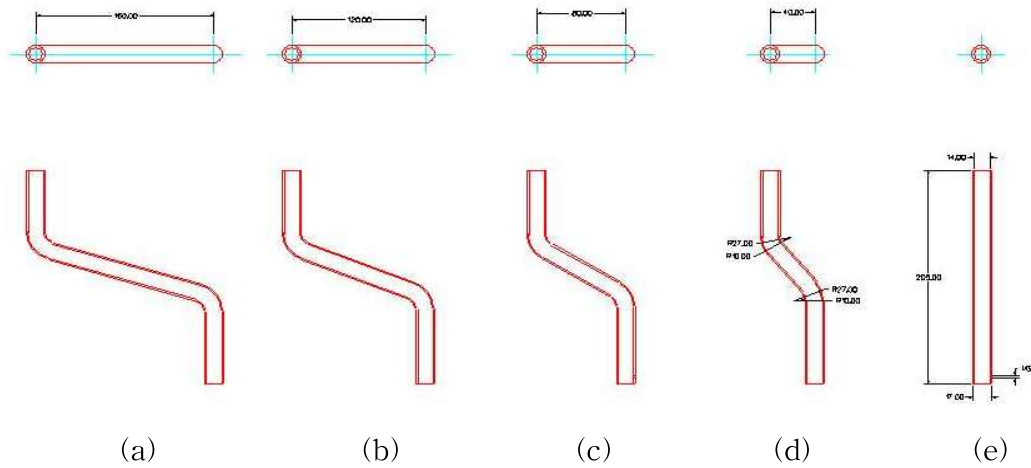


그림 3-80 각도별 레버 제작도.



그림 3-81 5가지 형태로 제작한 레버.

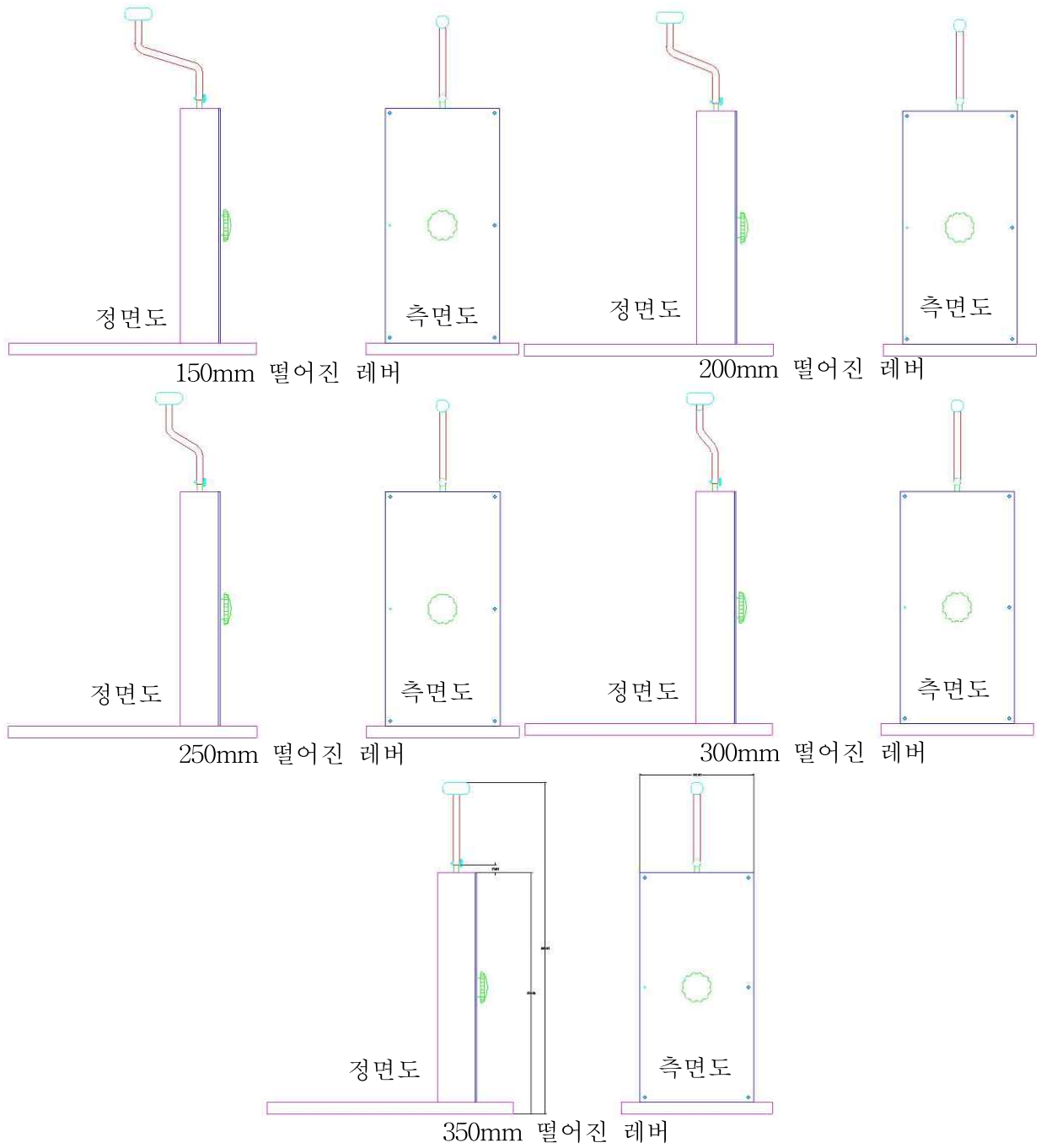
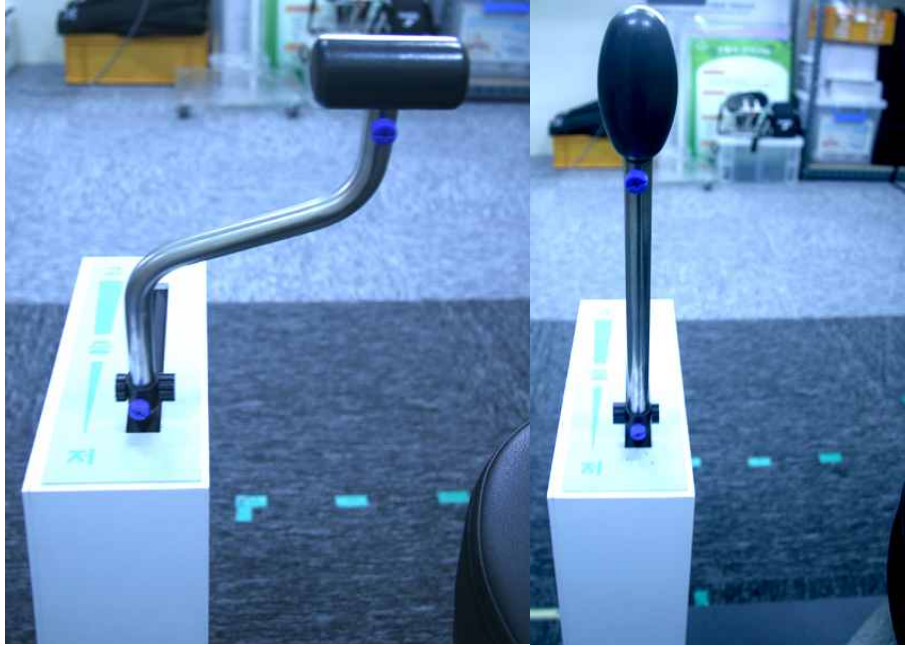


그림 3-82 평가용 제작 설계도면.



(a) 앉아서 작업할 때 (b) 서서 작업할 때
그림 3-83 자세에 따른 좋은 레버의 형태.

3. 브레이크 페달 개발

가. 브레이크 페달 분석 및 개념 설계

제조사별 비교분석과 설문조사결과 브레이크 페달의 문제점은 브레이크 페달을 밟기 위해 많은 힘이 필요하다는 것이다. 설계의 목표는 첫째, 브레이크 페달을 밟을 때 드는 힘인 조작력을 감소시키고 둘째, 브레이크 페달의 개구부로 들어오는 소음을 차단하기 위해 내부 링크를 변경하여 개구부를 차단시키는 것이다. 두 개의 설계 목표 중 브레이크 조작력을 감소시키는 것은 유압방식으로 변경하면 가능하나 제작 비용이 많이 든다는 단점이 있어 브레이크 페달의 개구부 차단을 통한 소음 감소를 최종 설계 목표로 하였다.

브레이크 페달의 개구부를 차단한 설계를 위하여 제조사별 브레이크 페달을 분석한 결과 국외 M社, 국외 Y社, 국내 K社가 옆 벽면을 통해 링크를 연결하여 개구부를 차단한 것을 알 수 있었다. 이 회사들의 브레이크 페달의 고정방식은 국외 M社의 경우 조립이 쉽고 소음이 적은 고가의 스플라인방식을 채택하였고, 국외 Y社와 K社는 저가의 문힘 키 홈 방식을 채택하고 있었다. 반면, 개구부가 있는 국내 T社는 고가이며 설계가 복잡한 기구방식을 채택하고 있기 때문에 본 연구에서는 Y社와 K社의 방식을 벤치마킹하여 설계하였다. 브레이크 페달의 링크를 분석하고 수학적 계산을 위한 기구학적 모델링한 후, 브레이크 페달의 개구부 차단을 위해 내부 링크를 변경하였고 브레이크 페달을 설계하였다.

나. 브레이크 페달의 설계 및 제작

브레이크 페달은 그림 3-84에서 보는 바와 같이 브레이크 페달, 고정플레이트를 포함한 브레이크 페달 결합부, 그리고 브레이크 페달암을 고정시키는 걸림부로 구성된다. 브레이크 페달 결합부는 내부 링크와 연결되는 회전축, 고정플레이트와 연결되는 스프링 및 와이어로 구성된다. 걸림부는 걸림홈과 스프링, 회전을 가능하게 하는 힌지축으로 구성된다.

브레이크 페달은 회전축인 원통형 결합부 즉, 고정파이프와 결합하여 콤바인 본체하단 벽면에 장착되어 승강 회전한다. 하지만 브레이크를 밟은 후 발을 떼었을 때, 스프링 복원력에 의해 갑작스런 회전이동을 제한하기 위해 스토퍼를 장착하였다. 브레이크 페달 암의 끝에 걸림부가 있어 다른 벽면에 장착된 고정후크에 걸리도록 한다. 즉, 브레이크 레버에 의해 회전된 힌지축의 복귀를 위하여 텐션 부재가 힌지축에 관통되게 장착되었다.

그림 3-85는 브레이크 페달을 제작하기 위한 3D CAD 설계도면으로 브레이크 페달부와 연결부를 각각 설계하여 조립한 모습이다. 그림 3-86은 설계도면을 이용하여 설계한 브레이크 페달을 시작기에 장착한 모습이다.

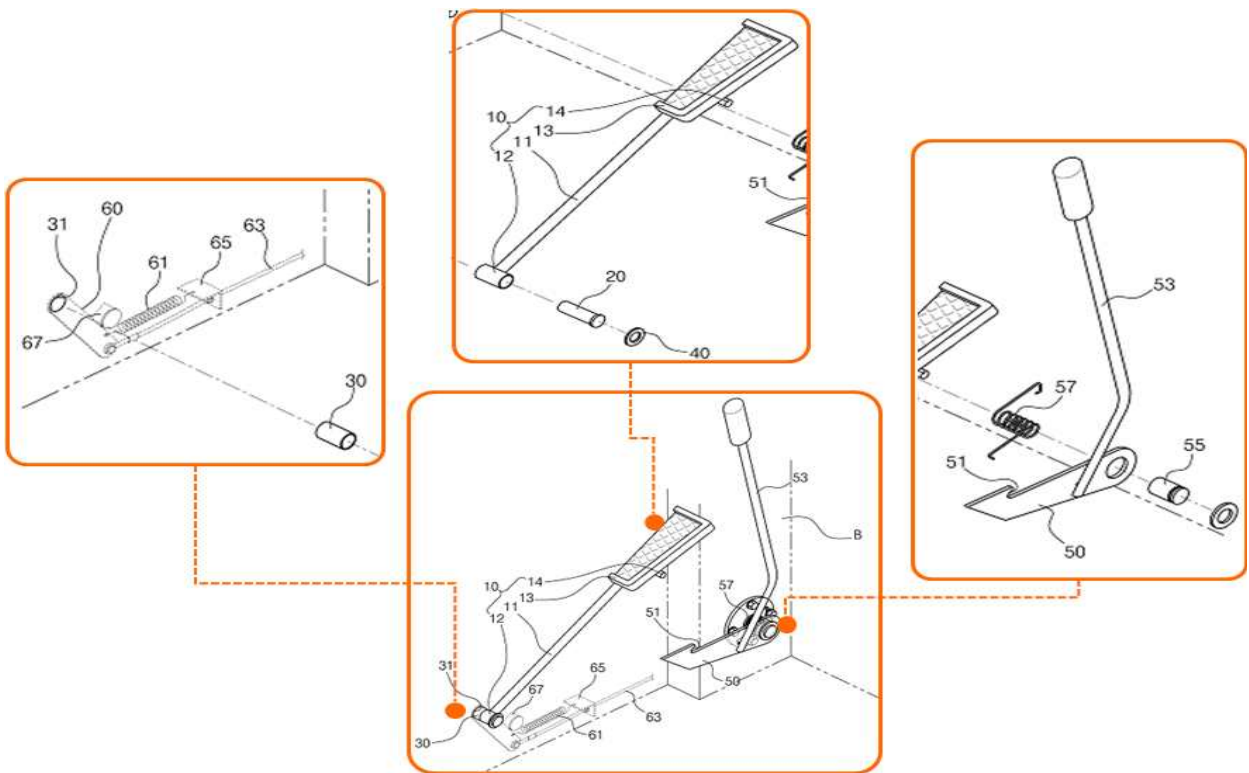


그림 3-84 브레이크 페달 조립체의 구성.

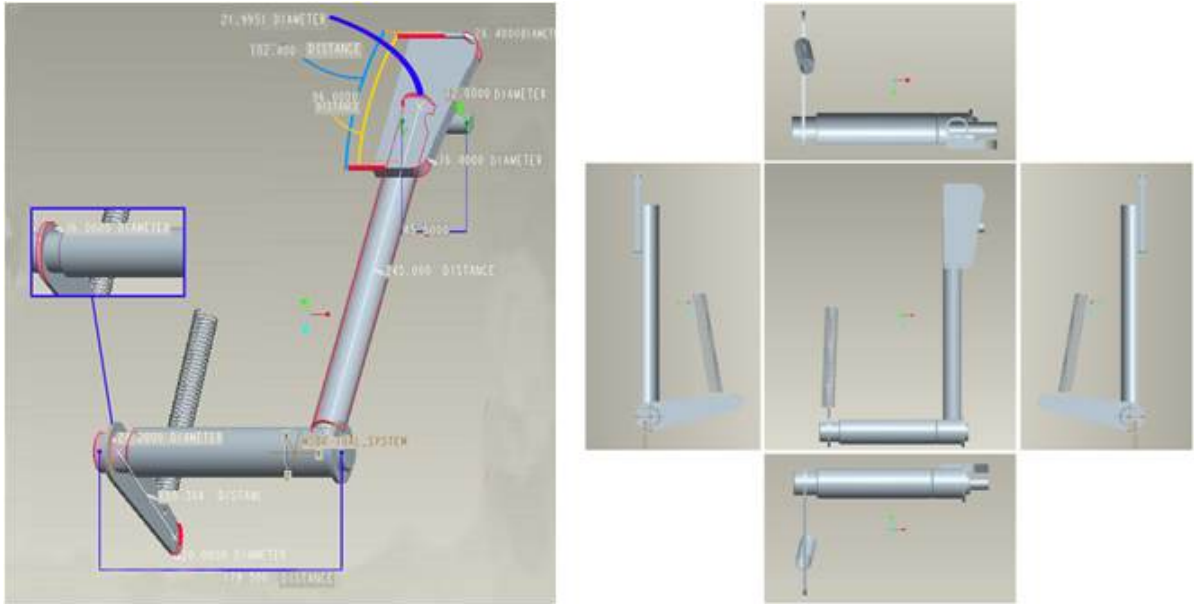


그림 3-85 3D CAD 설계도면.



그림 3-86 브레이크 페달 시작기.

4. 멤브레인/콘솔 개발

가. 멤브레인/콘솔 분석 및 개념 설계

멤브레인/콘솔 중 버튼 및 다이얼과 계기판을 중심으로 연구하였다. 설문조사 및 제조사별 비교분석 결과 기존 콤바인에서는 작업자가 버튼의 정확한 위치를 알지 못하였고, 버튼 및 다이얼의 개수가 많아 작업공간을 많이 차지하여 상대적으로 작업자의 작업 영역을 좁게 한다는 문제점이 있었다. 따라서 버튼 및 다이얼의 수를 줄이고, 배치 및 디자인을 다시 하여 쉽게 보

일 수 있도록 연구의 목표를 설정하였다.

조작부의 버튼 및 다이얼 등의 조작 장치 종류와 부착위치를 매뉴얼을 통하여 분석하였고 조작 장치들의 사용 순서 및 횟수를 매뉴얼과 비디오 영상을 이용하여 분석하였다. 그 결과 그림 3-87에서 보는바와 같이 주행, 예취, 배출, 주차 등의 작업별로 조종 장치들을 분류하였고 각 작업을 하기 위해 필요한 레버와 다이얼, 버튼이 어떤 것인지 구분하였다.

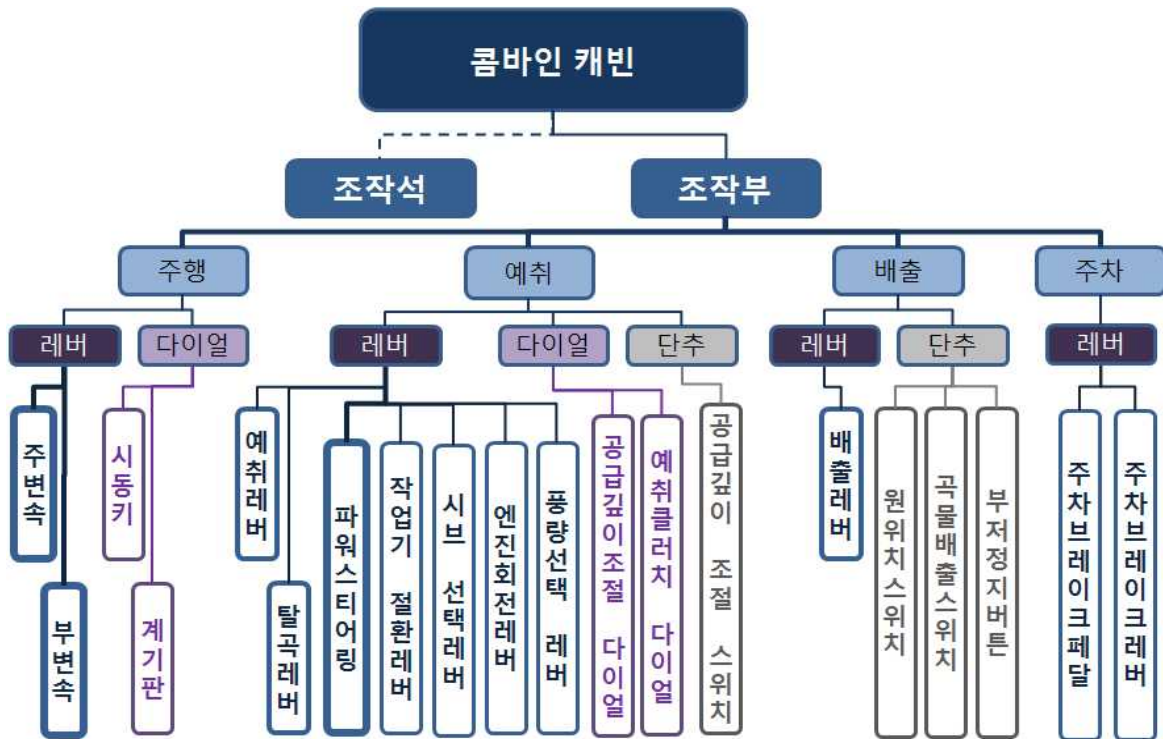


그림 3-87 콤바인 캐빈 조작부의 구성목록.

정리된 내용을 바탕으로 레버 및 버튼을 요소배열 원칙 중 사용 순서의 원리에 의해 배열하였다. 인간공학에서 요소배열의 원리를 살펴보면, 사용빈도가 잦은 것을 우선적으로 고려하는 사용빈도의 원리, 긴급한 상황에서 눈에 잘 보이는 10°~15°사이에 배열하는 중요도 원리, 작업 순서대로 동선을 배치하는 사용 순서의 원리, 같은 제조사끼리 배열하는 일관성의 원리, 동일 위치를 통한 제어장치-디스플레이 부합성 원리, 공간이 충분하고 배열 구성품이 많은 경우 사용되는 혼잡성-회피 원리, 같은 기능끼리 배열하는 기능적 집산화 원리 등이 있다. 이 중 기능적 집산화의 원리나 사용 순서의 원리가 더 중요하여 그림 3-88의 왼쪽에서 보는 바와 같이 비슷한 기능의 버튼 및 다이얼을 그룹화 하였다.

각 작업에 대해 ACH 버튼, 탈곡레버, 예취레버, 예취높이다이얼이 작업의 연관성이 있고 ACF 버튼과 공급깊이고정 버튼, 탈곡레버, 예취레버가 연관성이 있고 차체높이 제어 버튼, 전/

후 제어 버튼, 좌/우 제어 버튼, 탈곡레버가 연관성이 있고 오토리프트 버튼과 탈곡레버가 연관성이 있고 공급깊이스위치 버튼은 탈곡레버, 스토틀레버(RPM제어), 예취 클러치와 작업동작이 연결되며, 여기서 예취클러치는 탈곡레버와 스토틀레버가 연결되고 스토틀레버는 시브레버와 풍량 레버와 작업동작이 연결되며, 풍량을 조절하기 위해서는 주변속 레버와 작업동작이 연결된다. 그리고 탈곡레버는 예취레버, 부변속 레버, 주변속레버와 작업동선이 연결된다. 이것은 다시 레버를 중심으로 작업동작이 연결되는 버튼 및 다이얼을 정리하면 탈곡레버는 ACH 버튼, 공급깊이고정 버튼, 좌/우 제어 버튼, 예취클러치, 오토리프트 버튼과 작업동선이 연결되며, 예취 버튼은 예취높이 다이얼과 작업동작이 연결된다.

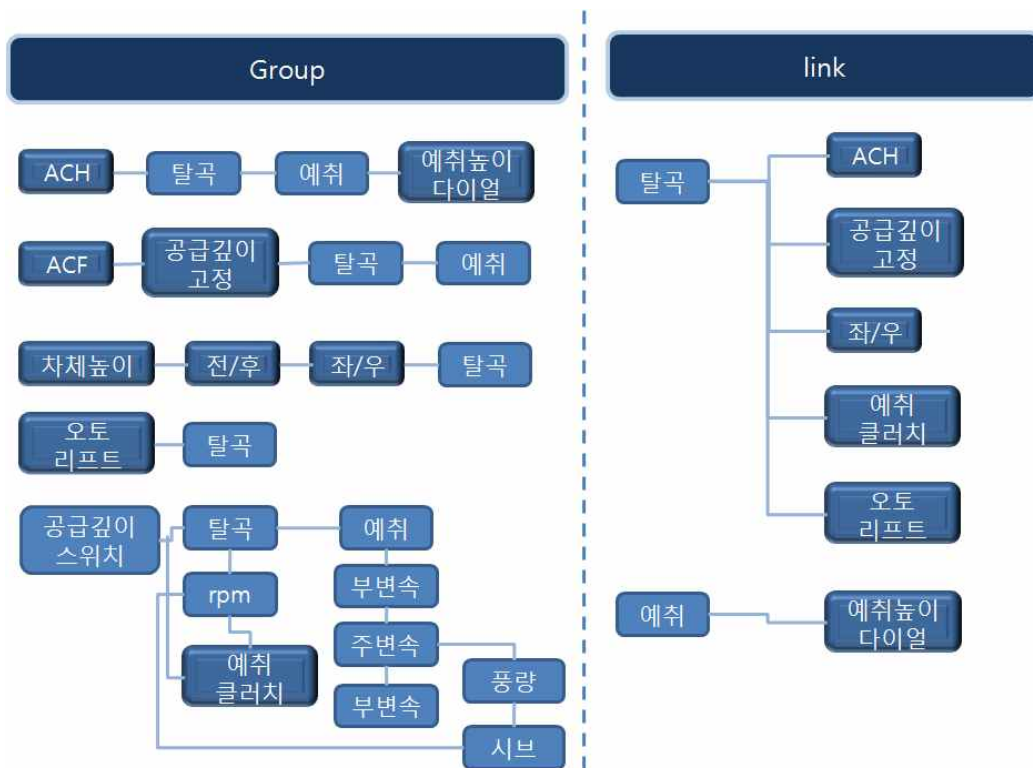


그림 3-88 조작부 구성품들의 그룹화(좌), 링크분석(우).

그림 3-89에서 보는바와 같이 링크 분석을 하여 가장 많이 사용되는 링크를 가장 짧은 동선으로 배치하였다. 링크 분석의 목적은 각 요소들 사이의 이동시간을 최소화하는 것이다. 링크의 두께는 두 요소 사이의 이동 시간 혹은 연결 강도를 나타낸다. 시동, 작업, 선회, 전진, 배출 작업에서 조작하는 조작 장치들은 연두색 선으로 연결하였고, 수평제를 할 때 필요한 조작 장치들은 분홍색 선으로 연결하였다. 오토리프트는 파란색 선, ACF는 보라색, ACH는 노란색, 센서체크는 주황색 선으로 연결하여 각 작업 동작이 어떤 조작 장치들과 연계성이 있는지 그리고 연결강도가 어떠한지를 알기 위해 링크 분석을 수행하였다.



그림 3-89 콤바인 캐빈 조작부의 링크분석.

나. 멤브레인/콘솔 설계 및 제작

그림 3-90에서 보는 바와 같이 조작부의 그룹화 및 링크분석을 통해 조장장치들을 재배치하였고 그 외 조작부의 인간공학 원리를 이용한 세부 개선사항은 다음과 같다. 버튼의 지름은 20mm로 하였고, 버튼 중심과 중심 사이 거리는 조작 시 간섭이 생기지 않도록 하기 위해 장갑을 낀 손가락 두께를 고려하여 25~30mm로 하였다. 안내글자 중 숫자 4는 꼭지점을 막히게 하였고, 가로 세로의 비율을 2:3으로 하였다. 버튼의 높이 변위는 3mm이상으로 하였고, 빛에 반사되어 글씨가 보이지 않는 것을 고려하여 전체적으로 무광택 처리를 하였다. 그리고 주황색은 비상시에 사용하는 색으로 인지하고 있기 때문에 비상공급깊이 버튼에만 사용하였다. 자동으로 작동되는 버튼들은 녹색으로 하여 자동버튼임을 쉽게 인지할 수 있도록 하였고, 그 외의 버튼들은 눈의 피로가 없는 파란색으로 하였다. 수평자동버튼의 경우 글자를 모르는 사람도 사용할 수 있도록 안내 글자 대신 그림으로 표현하였다.



그림 3-90 인간공학적으로 재배치된 멤브레인.

계기판은 그림 3-91에서 보는바와 같이 계기판 내 엔진회전계를 기존 원형이 아니었던 것을

가독성을 높이기 위해 반원형으로 하였고, 주 눈금선 사이에 보조 눈금선을 표시하였다. 계기의 지름은 50~70mm로 하였다. 숫자의 글자체는 고딕체로 하였고, 가로세로 비율을 2:3으로 하였다. 엔진 회전 표시에서 작업구간임을 알리는 녹색구간은 한 눈에 잘 보이도록 밝은 녹색으로 변경하였고, '작업'이라는 안내 글자를 삭제하였다. 계기판의 콤바인 작업동안 가장 많이 보는 곳으로써 계기판의 바탕에 있는 줄무늬를 삭제하고 바탕색을 변경하여 가시성을 높였다. 그리고 그림 3-91의 오른쪽에 보는바와 같이 버튼의 개수를 줄이기 위해 조명 버튼과 혼버튼을 결합하여 하나의 버튼으로 구성하였다.



그림 3-91 인간공학원리를 적용한 계기판 및 혼/부저/정지버튼.

조작부 개발은 크게 계기판, 조명등과 혼버튼의 결합부, 좌측의 조작장치부로 나누어 진행하였고 각 개발부분의 모습과 시작기에 장착한 전체 모습은 그림 3-92와 같다. 그림 3-93은 조작부 특허에 사용된 그림으로 계기판, 혼부저 버튼, 조작장치들로 구분하였으며, 그림에 표기된 번호는 특허에서 각 구성품들을 설명하기 위한 번호이다.

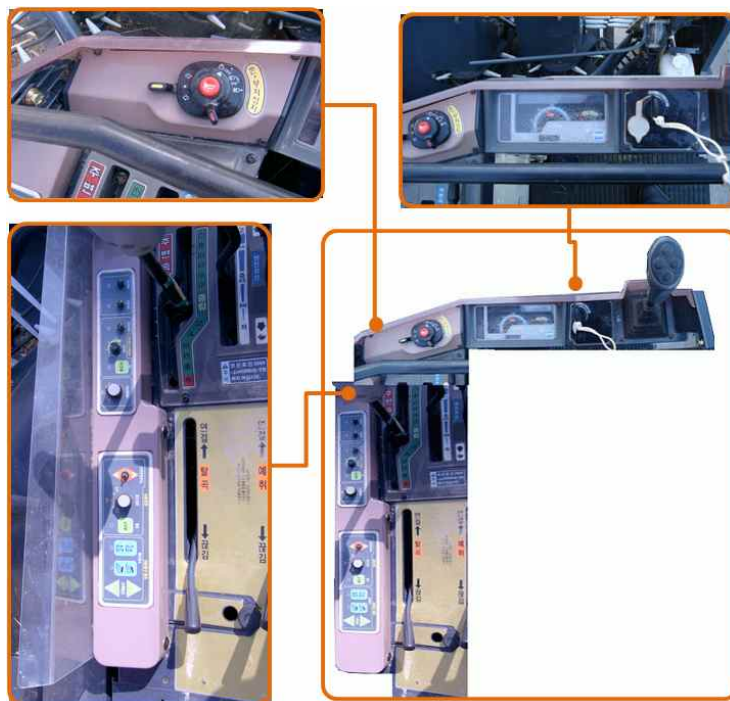


그림 3-92 기대에 장착한 콘솔(조작부 시작기).

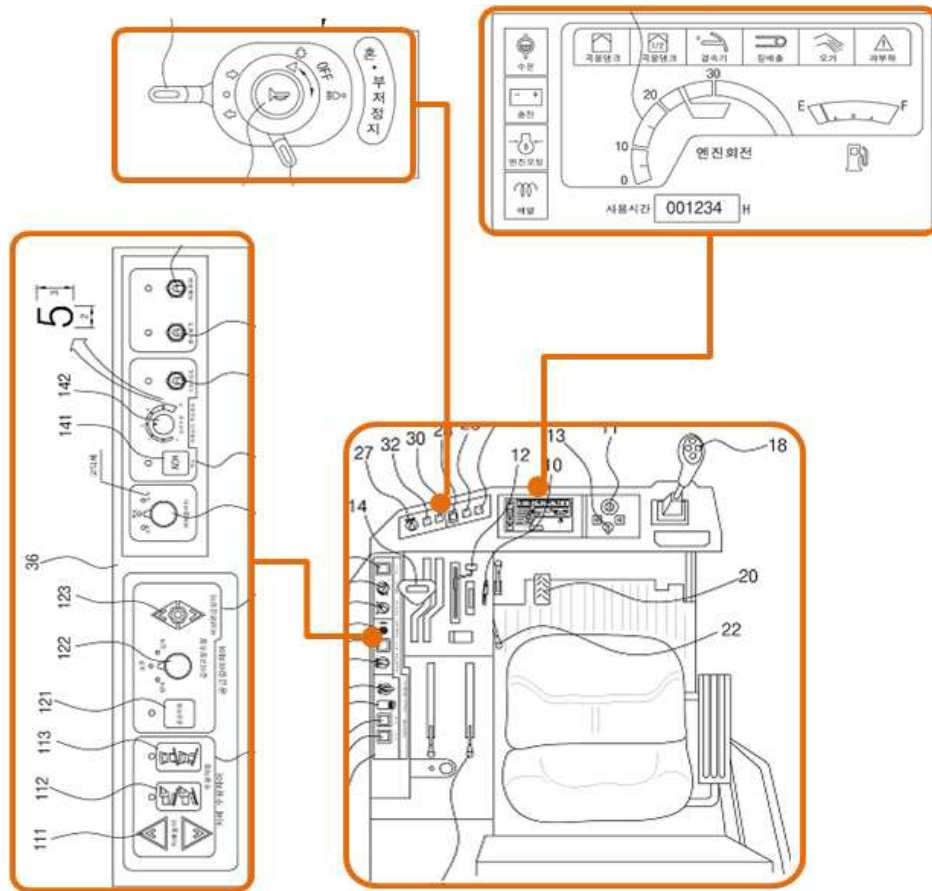
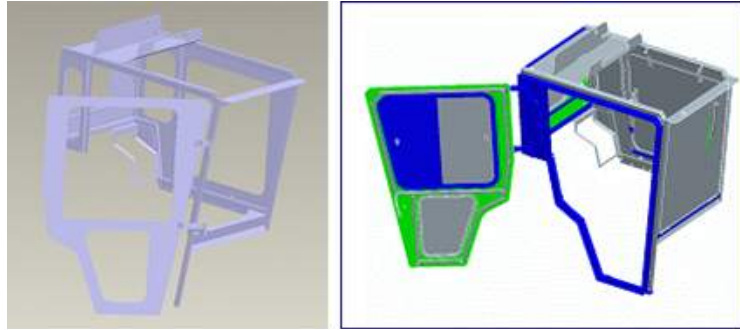


그림 3-93 개발한 조작부의 구성.

5. 부대부품 개발

가. 출입문 구조 변경

콤바인은 크게 예취부, 탈곡부, 주행부로 나눌 수 있다. 작업이 시작되면 작업자가 전방과 예취부를 주시하게 된다. 작업 시 곡물이 쓰러져 있거나, 많은 양이 한꺼번에 예취부로 투입되었을 때는 막힘 현상이 발생하게 되어 작업자는 급하게 앞 방향으로 가게 된다. 이 때 출입문을 여는 방향이 앞쪽이면 작업자가 문을 피해서 예취부 쪽으로 접근하게 되지만, 출입문 여는 방향이 뒤쪽이면 작업자가 바로 예취부 쪽으로 접근할 수 있게 된다. 또한 문을 연 상태에서 몸을 바깥쪽으로 빼 예취부를 보게 되는데, 출입문을 뒤쪽으로 여는 방식의 경우 시야가 확보되지만, 앞쪽으로 여는 방식의 경우 시야 확보가 되지 않아 불편하다. 따라서 콤바인의 출입문 여는 방향을 그림 3-94와 같이 뒤쪽방향으로 변경하였다.



(a) 변경 전 (b) 변경 후

그림 3-94 출입문의 설계 변경.

나. 부대부품 개발

운전자 편의를 위해 냉·난방장치, 온·냉장고, CD-ROM 카세트, 시거라이터 및 선바이저 등을 설계 및 개발하였다. 냉·난방장치와 온·냉장고는 대부분의 콤바인 작업이 한여름 낮에 이루어짐을 감안할 때 작업 효율 향상을 위한 필수 요소로, 개발된 제품의 설계도는 각각 그림 3-95, 3-96과 같다. 작업 중 음악 재생을 위한 장치로 기존의 테이프 카세트를 최근 음원에 맞게 CD-ROM 카세트로 교체하였으며 설계도는 그림 3-97과 같다. 또한 그림 3-98의 시거라이터를 개발하여 전기 공급원으로써 각종 전기 부품의 사용을 가능하게 하였으며, 그림 3-99와 같이 선바이저를 추가하여 작업 시 작업자의 눈부심을 방지하여 작업의 능률을 높였다.

운전자의 시계성의 향상을 위한 부대부품으로 그림 3-100과 같이 고정식 측면 거울을 채용하였으며, 브러쉬의 길이도 15.5인치에서 17인치로 확장하여 유리창의 아래 부분까지 먼지 등의 제거가 가능하도록 하였다. 또한 후방의 시야 확보가 매우 어려운 기존 콤바인의 단점 개선을 위하여 그림 3-101, 3-102와 같이 후방 카메라를 콤바인 후방 사각지대에 설치하여 운전자의 후방 시계 확보에 도움을 주고 안전사고를 예방할 수 있게 하였다.

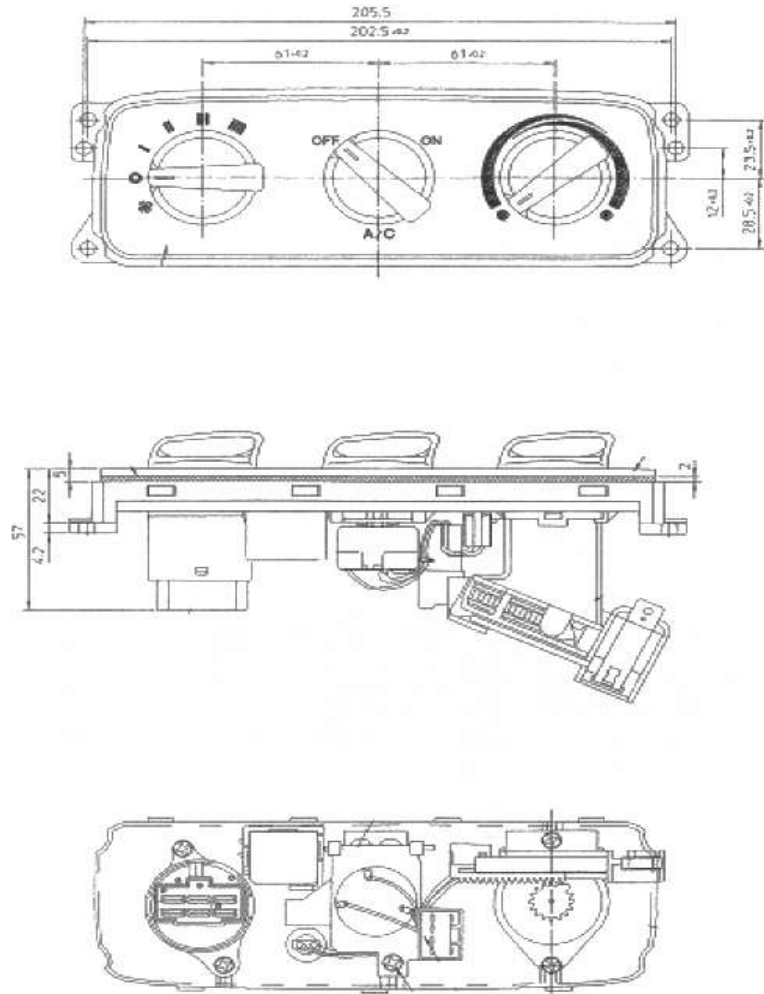


그림 3-95 냉·난방 장치의 설계도.

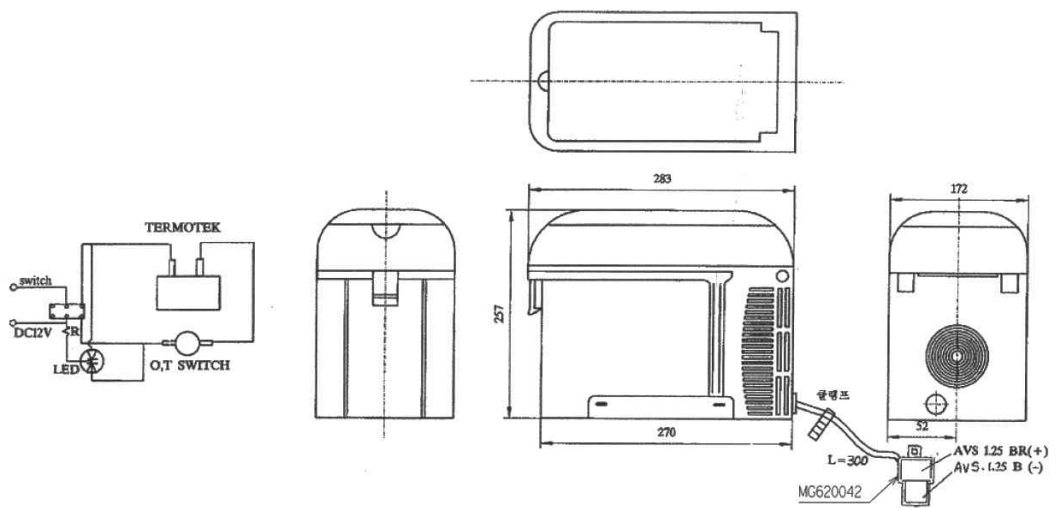


그림 3-96 온·냉장고의 설계도.

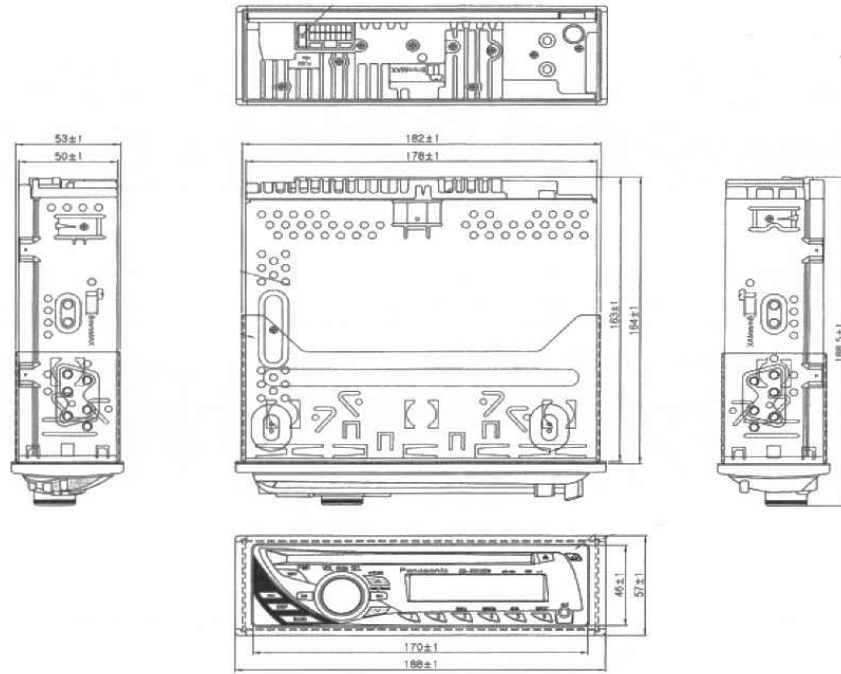


그림 3-97 CD-ROM 카세트의 설계도.

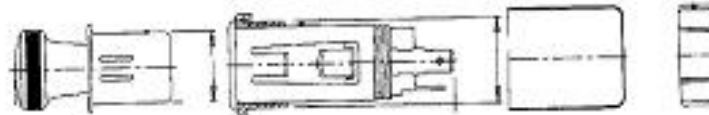


그림 3-98 시거라이터 설계도.

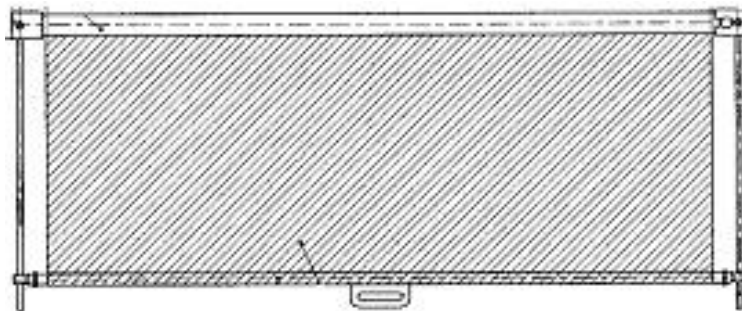


그림 3-99 선바이저 설계도.



그림 3-100 거울 및 브러쉬의 설계 변경.



그림 3-101 후방 카메라의 장착.

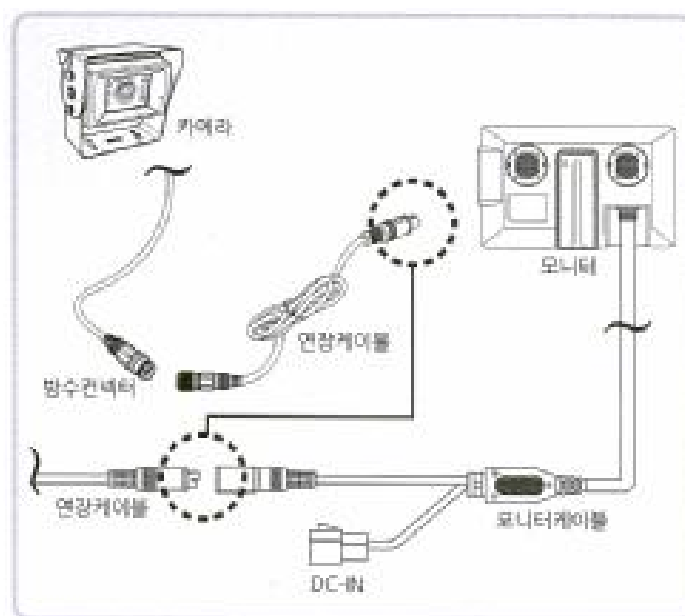


그림 3-102 후방 카메라의 연결.

6. 캐빈 프레임 구조해석

가. 유한요소 모델 설계

콤바인 캐빈의 안전성 분석을 위하여 구조해석을 이용한 3차원 분석이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 상용프로그램인 ANSYS를 이용하여 모델을 설계하였다. 유한 요소 분석프로그램 중 ANSYS는 구조, 열, 유체, 전자기력 등 다양한 해석이 가능하지만 정확한 해석과 시간 단축을 위해서는 알맞은 요소 형식(element type)을 설정하는 것이 중요하다. 유한 요소 분석을 위하여 필요한 물성치 값과 해석 조건을 표 3-34와 같이 나열하였다. 콤바인 프레임은 구조상의 특성에 맞게 요소 형식은 shell 구조로 수행하였으며, 그 중 가장 일반적으로 사용되는 shell 63 형식을 선택하였다. 물성치의 입력은 강철의 물성치를 사용하여 프아송비(poisson's ratio)와 탄성 계수를 결정하였다. 이때 강철의 탄성 계수로 $2.06 \times 10^{11} \text{N/m}^2$ 를 입력하였다. 노드 수는 기존 약 3,000개에서 8,000개로 증가되었는데 이는 정밀도를 높이기 위함과 구조물의 보강을 위해서이다.

표 3-34 유한요소 분석을 위한 물성치 및 해석 조건

	기존 프레임	변경 프레임
요소 형식 (element Type)	shell 63	shell 63
탄성 계수 (modulus of elasticity)	$2.06 \times 10^{11} \text{N/m}^2$	$2.06 \times 10^{11} \text{N/m}^2$
프아송비 (poisson's ratio)	0.3	0.3
노드 (node)	약 3000	약 8000
밀도 (density)	$7,850 \text{kg/m}^3$	$7,850 \text{kg/m}^3$

나. 유한요소를 분석을 통한 설계 검토 및 개선

그림 3-103은 기존 콤바인 프레임의 구조해석을 위해 설계된 모델을 나타내고 있다. 약 3,000여 개의 노드로 이루어져 있는 모델은 작용력에 대하여 얼마만큼의 힘을 받는지 노드별로 확인이 가능하여 현 프레임의 강도를 분석하는 적당한 방법이 된다. 자료를 분석하고 결과를 도출하는 과정이지만 각 프레임이 연결되지 않은 부위들이 존재하여 프레임의 안정성 확보를 위해 추가적인 프레임을 확보한 후 분석을 시행하도록 한다.

그림 3-104는 변경된 프레임 모델을 설계한 것이다. 그림에서도 알 수 있듯이 콤바인 캐빈의 모든 프레임이 서로 연결되어 있어 안정적인 형태를 취하고 있다. 설계된 프레임 모델을 이용

하여 여러 환경 변수들, 즉 압력의 크기, 방향, 결합 형태 등을 입력하여 강도를 분석한 후 부족한 부분을 보완, 변경하였다.

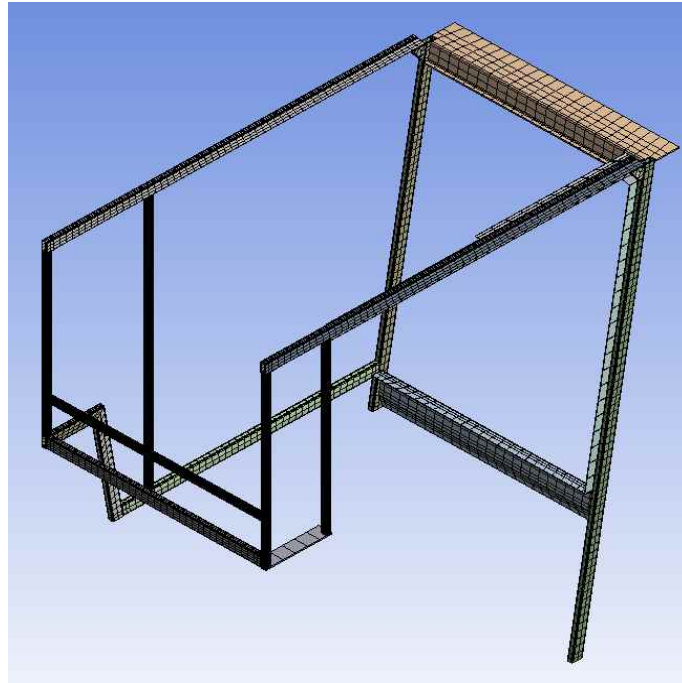


그림 3-103 기존 프레임의 모델 설계.



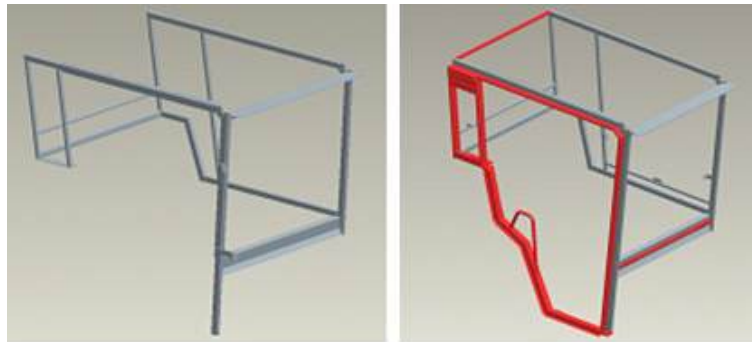
그림 3-104 변경 프레임의 모델 설계.

7. 시작기 설계 및 제작

가. 캐빈의 종합적 개념 설계

(1) 캐빈의 구조 보강을 통하여 안전성 확보

캐빈의 기본 골격인 프레임을 보강함으로써 캐빈은 전반적으로 안정감을 가지게 된다. 특히, 프레임과 직접 연결되어 있는 유리부와 출입문부가 보강되어 프레임 전체적으로 강성이 높아져서 진동 감소의 효과가 있다. 이는 콤바인 캐빈의 견고성을 높이는 방안이 되며, 만약에 있을 전복 사고 시에도 작업자의 안전성을 높일 수 있는 중요 요인이 된다. 따라서 본 연구에서는 그림 3-105와 같이 캐빈 프레임을 변경함으로써 구조 보강을 통해 안전성을 확보하였다.



(a) 변경 전

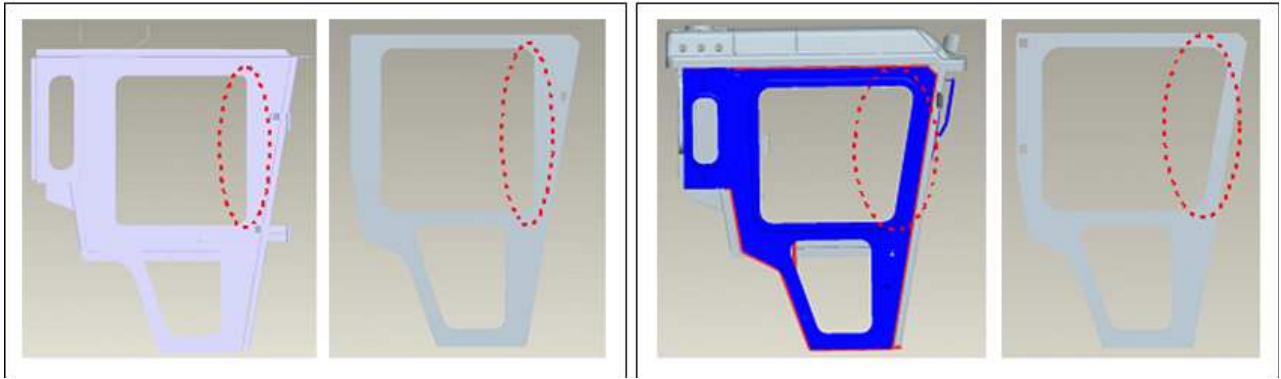
(b) 변경 후

그림 3-105 콤바인 캐빈 프레임의 설계 변경.

(2) 인체 모델 기반의 시계성 확보 및 창문 개발

(가) 작업자의 측방 시계성 확보

현재 콤바인 캐빈은 좌우 측방 창문의 유리 비중이 적어 사이드 미러를 볼 때나 곡물이 예취부를 지나 탈곡부로 가는 부분을 볼 때 차폐에 가려져 작업 중에 문을 열고 뒤를 돌아보거나 작업을 멈추고 콤바인에서 내려 봐야하는 문제점이 있었다. 따라서 콤바인의 시계성 확보를 위해 그림 3-106과 같이 각 창문의 유리 비중을 높여 시계성을 확보하였다. 그 결과 유리 면적은 변경 전 $629,413\text{mm}^2$ 에서 변경 후 $688,995\text{mm}^2$ 로 9.5% 증가하였다.



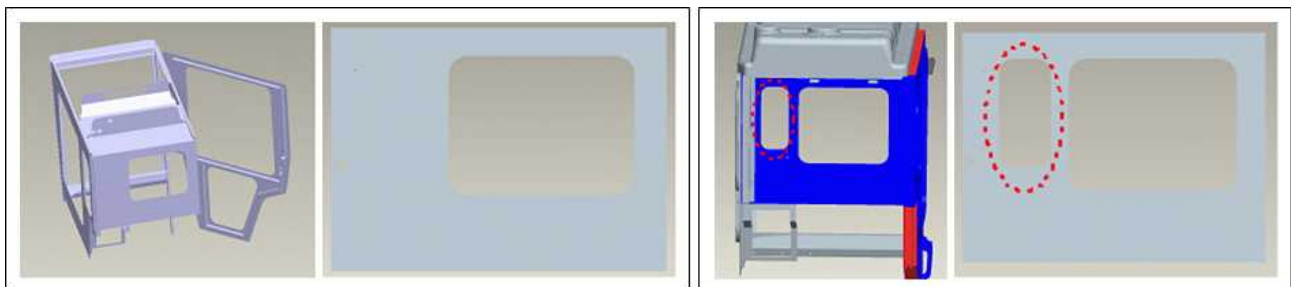
(a) 변경 전

(b) 변경 후

그림 3-106 캐빈 측방 영역의 설계 변경.

(나) 작업자의 후방 시계성 확보

콤바인 작업 중의 후방 시야는 탈곡된 곡물을 트럭에 옮겨 담기 위해 중요한 요인이 된다. 만약 후방 시야가 확보 되지 않는다면 문을 열고 머리를 캐빈 밖으로 내놓고 작업을 하게 되며, 이는 작업자의 신체에 큰 무리를 줄 수 있고 위험한 동작이 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 콤바인 캐빈 내에서 자세만 뒤로 돌아 오거 조절 및 배출 작업을 편안하게 진행할 수 있도록 하여야 한다. 본 연구에서는 그림 3-107과 같이 보조 창을 추가하여 후방 유리의 비중을 기존 176,334mm²에서 220,401mm²로 25% 증가되도록 하였다.



(a) 변경 전

(b) 변경 후

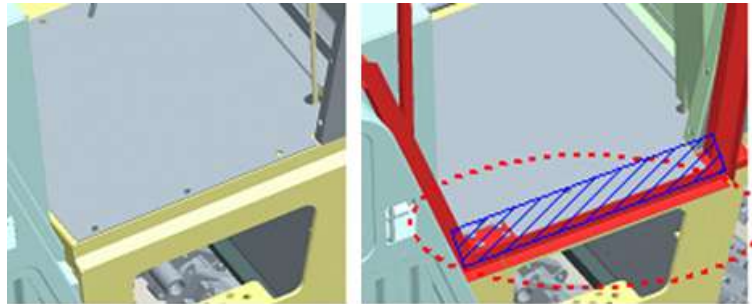
그림 3-107 캐빈 후방 영역의 설계 변경.

(3) 작업자의 각종 편의성 확보

(가) 작업자 공간 50mm 확보

현재 콤바인 캐빈의 내부 공간은 작업하기에 너무 협소하여 공간상에서 신체가 회전할 때 하지를 동반한 회전이 힘들어 상체만 회전해야하는 현상을 볼 수 있다. 이러한 작업 동작은 작업자의 허리에 부담을 주어 근골격계 질환을 유발할 수 있다. 본 연구에서는 작업 편의성을 향상시키기 위해 그림 3-108과 같이 50mm의 공간을 확보하였다. 50mm의 작업 공간 확보로 하

지의 회전과 콤바인 작업에 대한 편의성이 증대되었다.



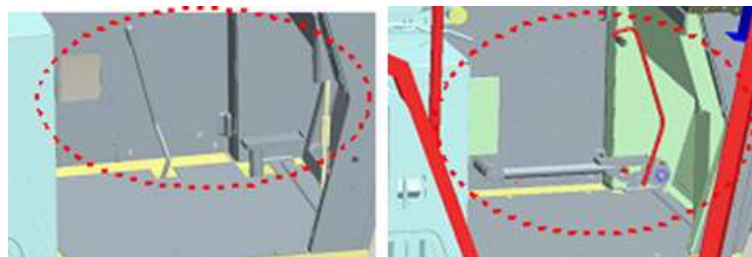
(a) 변경 전

(b) 변경 후

그림 3-108 작업 공간 확보를 위한 설계 변경.

(나) 브레이크 페달 변경

브레이크 페달 설계에서 중요한 요인 중 하나가 페달과 캐빈 접촉 부위의 밀폐 여부이다. 브레이크 페달과 캐빈 부위를 밀폐시켜 연결하는 것은 작업 중에 발생하는 소음을 감소시키며, 작업 시 발생하는 먼지가 캐빈 내 유입하는 것을 차단할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 그림 3-109와 같이 브레이크 페달과 캐빈의 접촉 부위를 밀폐시켜 연결하는 방식으로 브레이크 페달의 설계를 변경함으로써 소음 감소와 먼지의 유입을 차단하여 작업의 효율성을 증가시켰다.



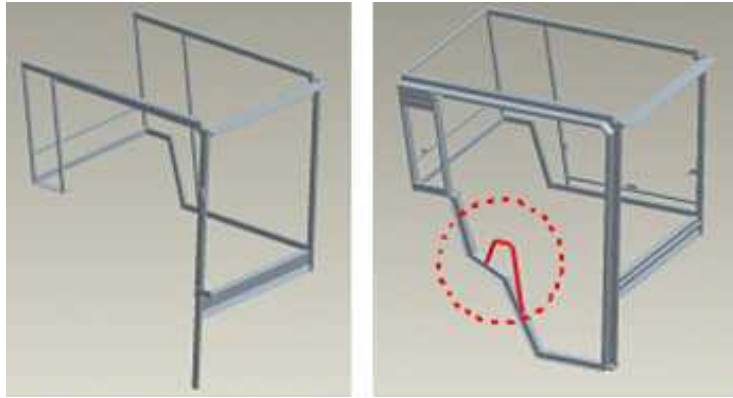
(a) 변경 전

(b) 변경 후

그림 3-109 브레이크 페달의 설계 변경.

(다) 탑승 손잡이 추가

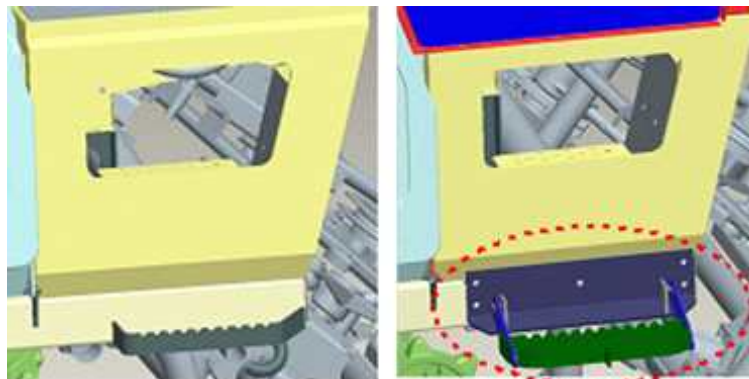
콤바인은 일반인들이 자동차처럼 문을 열고 한 번에 탑승하기 어려운 구조이기 때문에 작업자가 접근하기 쉬운 곳에 탑승 손잡이를 설치하여야 한다. 본 연구에서는 그림 3-110과 같이 설계 시 새로 고안된 손잡이를 추가하여 콤바인 작업자가 승차 시 좀 더 편리하게 탑승할 수 있도록 하였으며, 하차 시에도 몸을 지탱할 수 있어 혹시 발생할 수 있는 안전사고를 줄일 수 있도록 하였다.



(a) 변경 전 (b) 변경 후
그림 3-110 탑승 손잡이 추가.

(라) 오름 발판 변경

본 연구에서는 기존의 오름 발판을 그림 3-111과 같이 접이식으로 변경하고 한국산업규격을 고려하여 발판의 높이를 기존 높이에서 40mm 낮추어 변경 전과 비교하여 승하차 시 안전과 편의성을 향상시켰다.



(a) 변경 전 (b) 변경 후
그림 3-111 오름 발판의 설계 변경.

나. 개선된 콤팩트 캐빈의 제작 및 기본 설계 도면

디자인 변경으로 일부 구조가 변경되어 관련부의 설계 변경이 이루어졌다. 크게 변경이 된 부분은 루프, 프레임의 앞쪽이다. 특히 프레임의 앞쪽은 전면유리가 곡면으로 변경되었고 전면 유리의 좌우측이 작은 측면유리로 바뀌면서 에이필라가 삭제되는 형태로 바뀌었다. 앞의 랜더링 형상에 따라 프레임과 루프의 설계 변경이 반영된 설계가 이루어 졌다. 그림 3-112, 3-113 은 설계 변경된 전체 캐빈의 기본 조립도와 프레임 도면을 나타낸다.

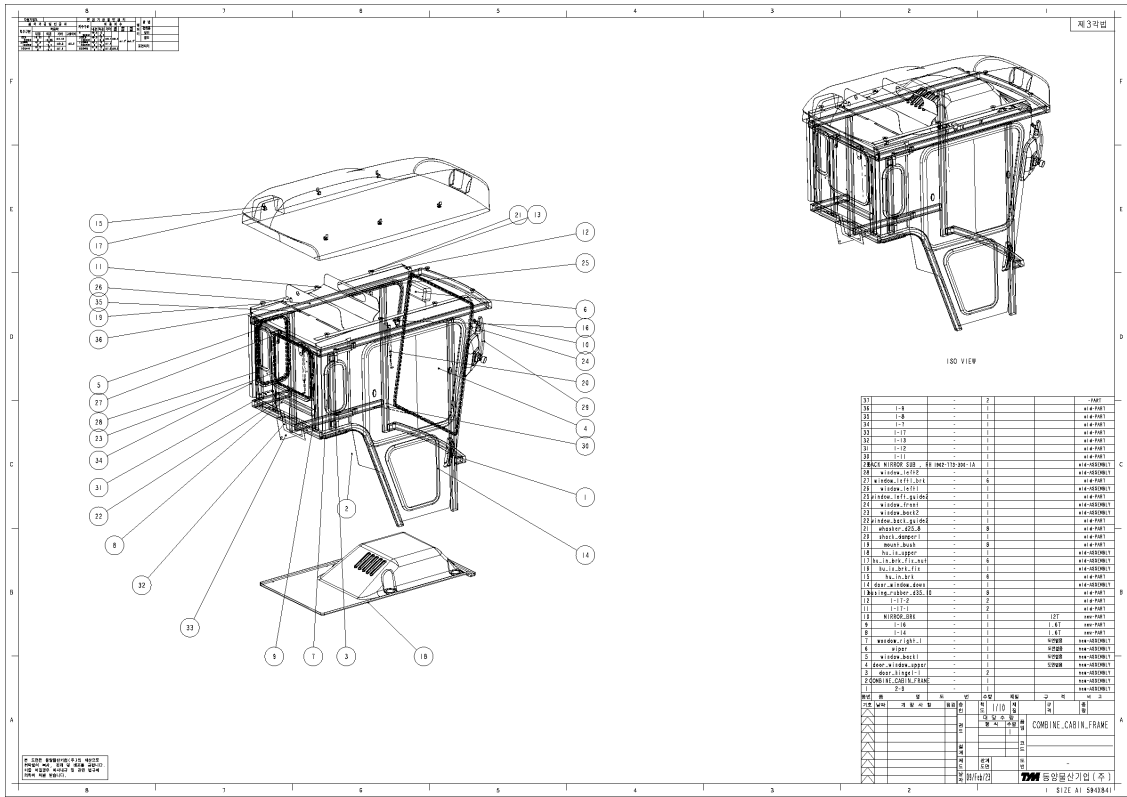


그림 3-112 캐빈의 전체 조립도.

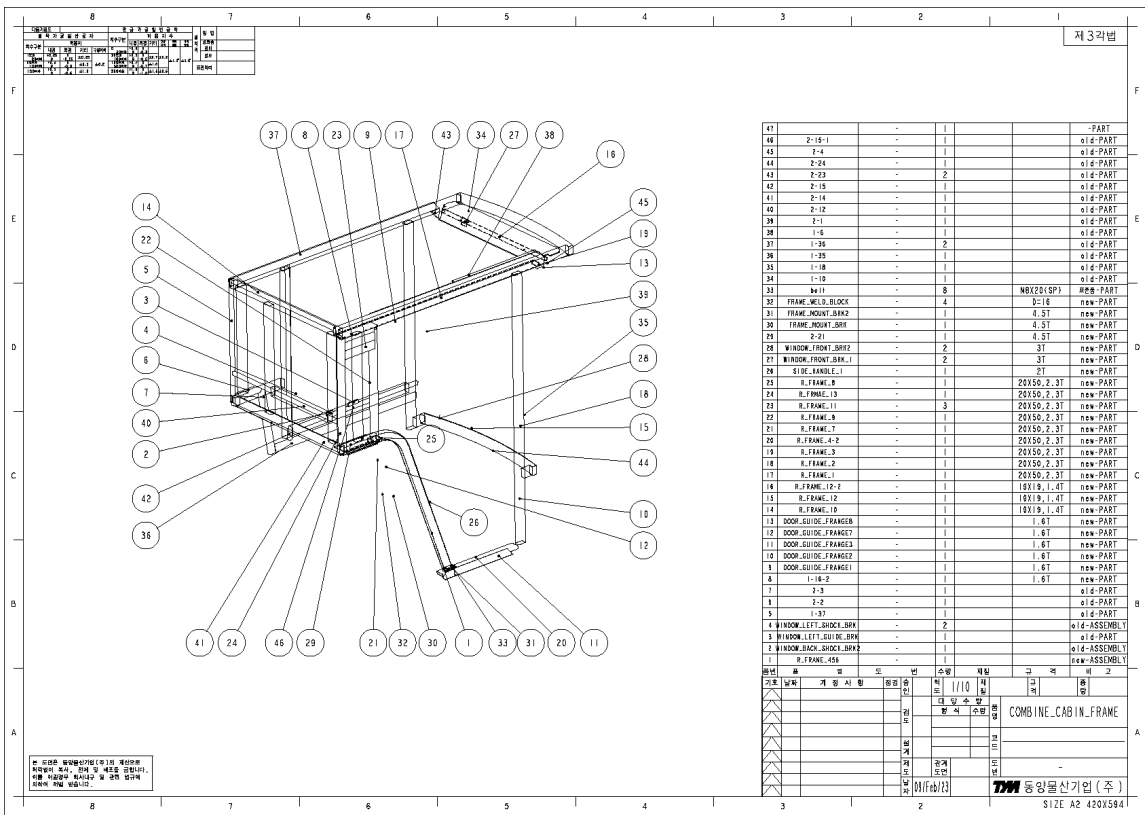


그림 3-113 캐빈 프레임 도면.

다. 캐빈의 외관 디자인 및 Mock up 제작

캐빈은 운전자가 거주하는 공간이며, 각종 운전 조작을 행하는 장소이다. 또한 전체의 외관을 결정하는 중요한 외관 디자인 요소이기도 하다. 따라서 운전자의 거주성, 운전 조작의 편의성과 수려한 외관 등에 영향을 미친다.

거주성에 영향을 미치는 요소로는 실내의 온도, 소음, 진동, 먼지의 유입차단 등이 있다. 이러한 요구 조건을 만족시키기 위해 캐빈 내부와 외부와의 효과적인 차단이 중요한 요건이 된다. 그러나 차단이 잘되었을 경우에는 실내의 열이 빠져나가지 못하는 문제가 발생하기 때문에 열의 배출을 위한 에어컨 장치가 필요하다.

운전 조작의 편의성에 영향을 미치는 요소로는 외부 작업부를 볼 수 있는 시계성, 각종 조작 장치에의 접근성, 조작 용이성 등이 영향을 미친다. 이에 대한 대비로는 조작부의 적절한 배치, 창문의 크기, 전면 유리의 크기 등이 중요한 요소가 된다. 전체 외관을 위해서는 기계와 어울리면서도 독특한 외관을 가질 수 있도록 고려하는 동시에, 앞서 요구되는 시야 등 작업성을 향상시킬 수 있는 방안을 고려하여야 한다.

이러한 요구 조건에 따라 콤파인 캐빈의 디자인을 수행할 때에는 운전자에 대한 배려로 인체공학적 디자인 개발에 중점을 두어야 한다. 이는 장시간 반복 운전 작업을 수행해야하는 사용자의 조작성 편의성 및 피로 감소 효과를 제공하여 작업능률을 향상할 수 있는 디자인 개발이 필요하다는 것을 의미한다. 이와 같은 요구 조건에 맞추어 각각의 부분에 대한 검토를 수행하여야 한다. 캐빈의 주요 구성부분은 운전자의 작업 시계를 확보해주는 전면 유리부, 캐빈의 구조를 지탱해주고 강성을 유지하는 캐빈 프레임, 운전자의 승하차를 위한 출입문, 에어컨을 수납하는 공간이면서 전체 외관의 분위기를 결정할 루프 등이다. 이러한 구성부분별로 사용 목적과 전체 외관의 조화를 이루는 디자인의 개발이 필요하다.

디자인 과정은 다음 그림 3-114, 3-115와 같은 과정을 거쳐 수행된다. 각각의 단계는 크게 2D 단계와 3D 단계로 나뉘어지는데, 2D 과정은 전체 검토(project review)부터 시작하여 아이디어 스케치(ideatin sketch), 내외장 랜더링(concept rendering), 1차 검토회의(presentation 1), 타당성 조사(feasibility study), 2차 검토회의(presentation 2)를 거치게 된다. 3D 과정은 클레이 모델을 제작하는 디지털 목업 검토(digital Mock-up review), 엔지니어링 검토(package review)를 거쳐, 3차 검토회의(presentation 3)를 통해 최종 디자인 시안이 선정된다. 그 후 실제 형상을 제작하는 목업 제작(hard Mock-up)을 거쳐 최종 검토(final Mock-up review)를 실시하여 디자인 안을 결정한다.

DESIGN PROCESS(2D)

PHASE 1. BASIC PACKAGE LAYOUT
PACKAGE DRAWING

PHASE 2. IDEATION SKETCH
ERGONOMIC STUDY, MATERIAL RESEARCH,

PHASE 3. CONCEPT RENDERING
EXTERIOR / INTERIOR

PHASE 4. PRESENTATION I

PHASE 5. FEASIBILITY STUDY
DESIGN REFINEMENT

PHASE 6. PRESENTATION II

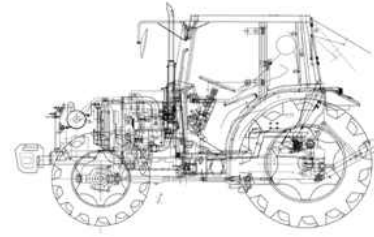


그림 3-114 디자인 과정 - 2D.

DESIGN PROCESS(3D)

PHASE 7. SOFT MOCK-UP
CLAY, FOAM

PHASE 8. REVIEW DESIGN INTENTION
ENGINEERING REVIEW
PACKAGE REVIEW

PHASE 9. PRESENTATION III

PHASE 10. HARD MOCK-UP
FRP, STEEL, ABS

PHASE 11. REVIEW PRODUCT

PHASE 12. FINAL PRESENTATION

PHASE 13. DATA DOCUMENTATION



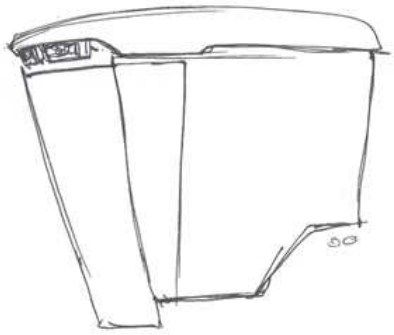
그림 3-115 디자인 과정 - 3D.

(1) 캐빈의 외관 설계

현재의 캐빈은 전체적으로 구형의 느낌을 주면서 친숙하지 못하고 시야 면에서도 전면과 측면 유리 사이에 존재하는 프레임의 영향으로 시야 확보에 불편함을 준다. 따라서 캐빈의 유리, 루프 등의 변경과 작업등의 추가, 전체 외관의 현대적 감각의 모던한 디자인이 필요하다. 사용자 중심의 인체공학적 디자인과 장기간 지속적으로 반복 작업하는 사용자의 피로 감소, 조작 편의성을 개선하여 작업능률을 향상시킬 수 있는 디자인 개발을 목표로 한다.

먼저 전방, 측면 및 후방부의 유리를 확장하고 작업부를 보는데 장애물이 없도록 배치하여 작업자의 작업시야환경을 개선하였다. 현대적 감각을 느끼도록 전면유리를 곡선처리 함으로써 전체적 이미지를 개선시키고 이에 적절한 루프의 형상을 채용함으로써 현대적 감각의 모던한 느낌을 제공하도록 하였다. 또한 전방 작업등의 추가와 위치 변경으로 시야 개선을 도모하고 측면 작업등을 캐빈 위쪽에 배치함으로써 전체 작업 상황 파악이 쉽도록 하였다. 캐빈 전체 형상은 곡선형으로 보이도록 하여 부드러운 이미지로 개선하였다.

그림 3-116은 초창기의 이미지 결정을 위한 아이디어 스케치를 보인다. 전면 유리창의 확장, 작업등 추가, 루프의 확장, 도어 형상의 단순화, 에이필라의 개선 등을 주안점으로 하였다. 또한 에어컨의 위치를 조정하여 루프 형상을 날렵한 형상으로 변경하고자 함을 알 수 있다. 그림 3-117은 개선된 디자인의 초기 시안 이미지를 보여주고 있다. 이 시안을 놓고 디자인 검토 회의가 개최되어 전반적인 디자인에 대한 검토가 이루어 졌다. 회의 결과 대체적인 구성은 시안을 유지하되 전면 유리를 곡면으로 변경하고, 뒤 창문의 넓이를 제작 요구 조건에 맞추어 약간 축소하는 등의 변경 사항에 대해 협의하였다. 그림 3-118은 협의에서 도출된 개선 사양을 반영한 최종 캐빈 디자인 결과로 최종 디자인된 캐빈을 기존의 본체에 적용한 모습을 나타낸 것이다. 디자인된 캐빈이 본체와 잘 어울리는지 확인해 볼 수 있도록 하였다.



- 전면 유리창의 확장
- 작업등 보강 & 위치조정
- Roof의 확장 최소한의 shade 확보
- Door의 형상 & hinge 구조 단순화
- A pillar의 개선

- A/C unit의 위치조정으로 Roof 디자인 변경
 - (1) Operator의 H/R 확장
 - (2) A/C의 Heat Balance 향상

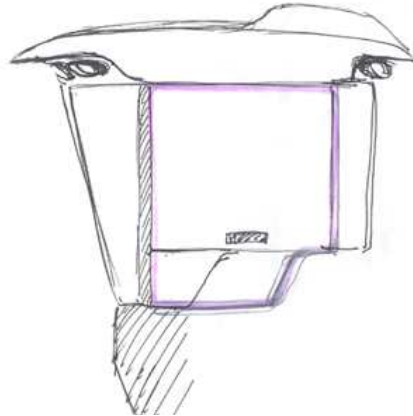


그림 3-116 캐빈 디자인의 아이디어 스케치.



그림 3-117 캐빈의 외관 디자인 시안.



그림 3-118 최종 디자인된 캐빈의 랜더링 모습.

(2) Mock-up 제작

(가) 캐빈 제작

그림 3-119는 디자인 형상을 하드 Mock-up을 통해 제작한 모습이다. 디자인 Mock-up 결과는 애초에 의도한 시야의 개선과 전체 형상의 현대적 감각 적용 등을 통해 전체 외관에서 상당한 개선을 보여주고 있다. 전면유리가 곡면으로 처리됨으로써 넓은 시야가 확보되었고 양 사이드의 프레임이 없어지고 유리로 대체되어 작업공간에 대한 시야 확보 또한 용이하도록 하였다. 전면 유리가 곡면으로 처리됨으로써 전체 형상이 유선형으로 보여서 현대적 감각이 발현되었다. 또한 작업등의 위치를 루프 아래쪽으로 이동시켜 작업공간에 대한 작업등의 투사가 효율적으로 이루어지고 전체적으로 디자인 포인트로 작용함으로써 이미지 개선에 기여하고 있다. 특히 루프의 형상을 기존에 비해 매우 세련된 형상으로 변경함으로써 앞면의 곡면유리와 더불어 미려한 외관을 갖게 되었다.



그림 3-119 제작된 캐빈의 모습.

(나) 캐빈 조립

제작된 캐빈 Mock-up을 본체에 조립하여 그림 3-120과 같이 전체 기대를 완성하였다. 전면 뿐만 아니라 양 측면, 특히 출입문이 전면 유리로 바뀌어 매우 시원한 느낌을 주는 것을 알 수 있다. 전체 형상에서는 바뀐 캐빈의 형상에 비해 예취부나 그레이인 탱크부, 특히 엔진룸 부위가 투박한 모습으로 약간의 불균형이 눈에 띄는 듯 보인다. 신 디자인에 적용을 위해서는 엔진룸 부위의 디자인 변경이 필요하다고 판단된다.



그림 3-120 완성된 콤바인의 모습.

제 3 절 시작기의 인간공학적 분석 및 성능평가

1. 콤바인의 시계성 평가

가. 시계성 평가 기준 및 평가 시스템 개발

(1) 시계성 평가 기준 개발

(가) 캐빈형 콤바인의 뷰포인트

캐빈형 콤바인의 시계성 평가를 위해서는 수확 작업 시 작업자의 시야 확보에 필요한 영역을 뷰포인트로 선정해야 한다. 본 연구에서는 콤바인 수확 작업 시 후사경 등의 거울을 사용하는 경우가 드물다고 판단하여 직접 시계만을 이용하여 시계성을 평가하였다. 캐빈형 콤바인의 뷰포인트는 그림 3-121과 같이 수확작업 시 시야 확보가 필수적인 분초간(divider), 예취 레버(reaper lever), 변속 레버(gearshift), 계기판(dashboard), 반송부(conveying part)의 한 지점을 뷰포인트로 선정하였다. 분초간은 수확하려는 벼의 경계를 구분함으로써 콤바인의 주행 방향을 결정하는 역할을 하고 예취 레버는 벼의 수확 상태에 따른 예취 높이를, 변속 레버는 콤바인의 작업 속도를 결정하는 역할을 하며, 작업자는 계기판과 반송부를 이용하여 콤바인의 작업 상태와 벼의 수확 상태를 확인해야 한다.

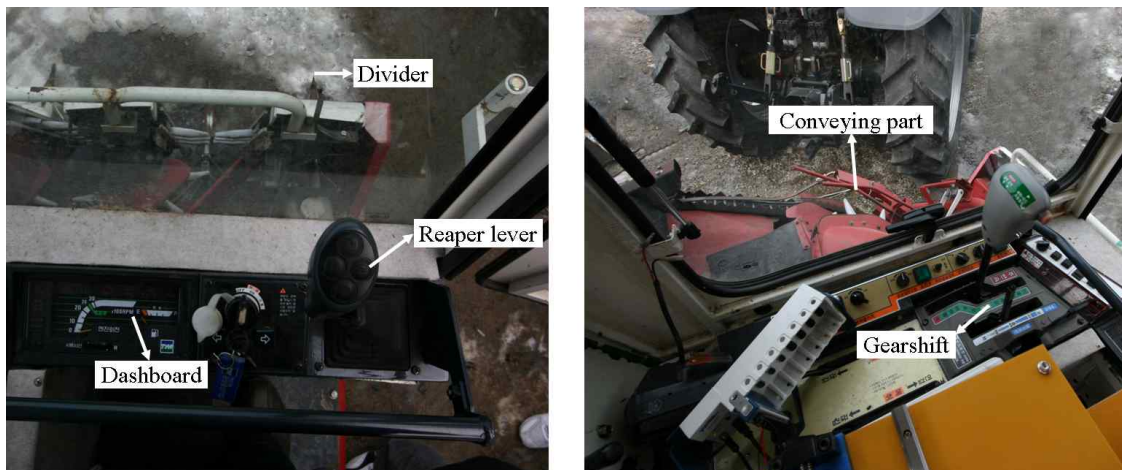


그림 3-121 캐빈형 콤바인의 주요 뷰포인트.

(나) 농업인의 체형과 자세에 따른 눈위치

캐빈형 콤바인의 시계성 평가를 위해 농업인의 신체적 특징을 반영하여 작업자의 눈위치를 선정하였다. 농업인의 신체적 특징은 국내 농업인 중 벼농사에 종사하는 농업인의 연령별 분포를 참고하여 수집하였다. 벼농사의 기계화율이 90% 이상 진행되었기 때문에(농림부, 2006), 벼농사를 짓는 남성 인구가 콤바인을 이용하여 수확을 한다고 가정하였다. 통계청(2008)에 따르

면 연령별 벼농사에 종사하는 남자 농업인의 인구 분포는 표 3-35와 같이 나타났으며, 45~69세의 인구가 50%이상을 차지하고 있음을 알 수 있다. 농업인의 인체 사이즈와 대한민국 남성의 인체 사이즈 측정값은 큰 차이가 없기 때문에, 한국인 인체치수조사의 결과를 이용하였다 (한국표준협회, 2005).

캐빈형 콤바인의 작업 시 작업자가 운전석에 앉아서 콤바인을 작동하는 것이 바람직하나, 수확작업을 할 때 주요 부분의 작동 상태를 확인하기 위하여 일어서거나 상체를 기울인 상태로 작업하는 경우가 발생한다. 따라서 작업자의 작업 자세는 캐빈형 콤바인 수확작업 시 작업자가 주로 취하는 자세인 앉은 자세, 앉아서 15° 기울인 자세, 일어난 자세, 일어서서 15° 기울인 자세로 선정하였다.

작업 자세에 따른 작업자 눈위치의 선정을 위해 농업인의 연령을 고려하여 머리두께와 앉은 자세 및 선 자세의 눈높이를 한국인 인체치수조사의 결과에서 수집하였다. 그 결과 표 3-36과 같이 45~69세인 남자 농업인의 평균 머리 두께는 17cm, 평균 눈높이는 앉은 자세에서 78cm, 선 자세에서 154cm로 조사되었다. 본 연구에서는 사람의 눈이 머리의 가장 앞부분에 있으며, 운전석에 앉은 상태 및 일어난 상태에서 기울인 자세의 회전축은 엉덩이로 동일하다고 가정하고, 그림 3-122와 같이 작업자의 작업 자세에 따른 눈의 위치를 설정하였다. 좌석 지표점인 좌석 중심을 기준으로 앉은 자세의 눈위치는 위로 78cm, 앞으로 17cm에 위치하며, 앉아서 15° 기울인 자세의 눈위치는 위로 71cm, 앞으로 36cm에 위치하였다. 선 자세의 눈위치는 좌석 중심을 기준으로 위로 99cm, 앞으로 53cm이며, 서서 15° 기울인 자세의 눈위치는 위로 92cm, 앞으로 72cm에 위치하였다.

표 3-35 연령별 농업인의 인구분포

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

(통계청, 2008)

표 3-36 농업인의 머리두께 및 눈높이

(unit : cm)

Item	No. subject	Avg.	S.D.	Min.	Max.	
Head length	541	17	2.25	14	22	
Eye height	at sitting	916	78	3.15	67	87
	at standing	916	154	5.45	136	171

(한국표준과학연구원, 2005)

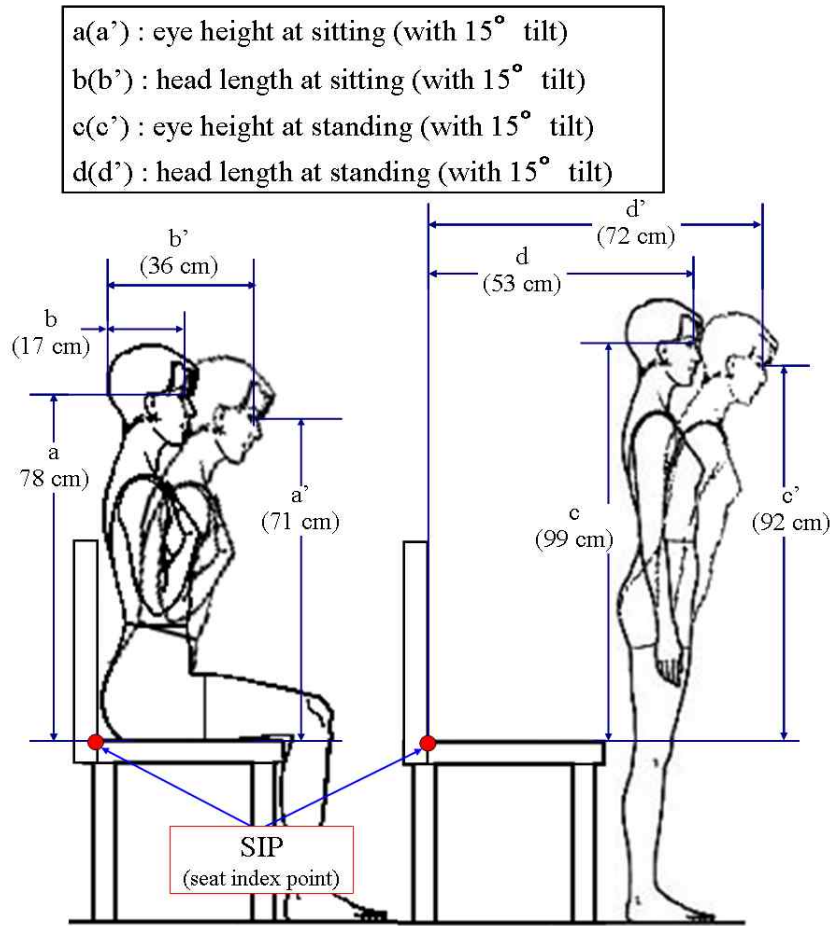


그림 3-122 작업자의 눈위치.

(다) 인체의 시야 범위에 따른 정량적 수치 제시

본 연구에서는 캐빈형 콤바인의 뷰포인트에 대한 시계성을 정량적으로 평가하기 위해 인체 시야의 정보수용 특성에 따른 시계 영역에 평가점수 부여 시 기존의 불연속인 평가점수 부여에 따른 문제점을 해결하고자 연속적으로 평가점수를 부여하였다. 인체 시야의 정보수용 특성에 따라 수직 및 수평 각도의 범위로 표시된 시계 영역은 그림 3-123과 같이 타원의 형태로 표시할 수 있다. 평가점수는 정보수용 특성이 가장 좋은 시야 중심에서 거리가 멀어질수록 낮은 평가점수를 갖도록 설정하였다. 판별시야를 100점, 보조시야의 외부 영역을 0점으로 설정하

였으며, 뷰포인트에 대한 평가점수는 수식 3-15와 같이 뷰포인트별로 측정되는 수직 및 수평 각도에 따라 뷰포인트가 포함된 타원의 면적을 구하여 보조시야 영역까지의 전체 타원 면적으로 나누어 뷰포인트에 대한 평가점수를 계산하였다.

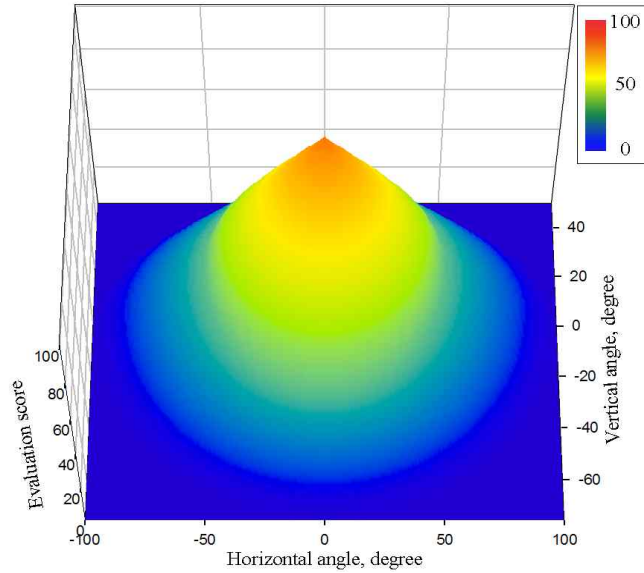


그림 3-123 인체 시야 특성에 따른 정량적 평가 방법.

$$(\text{Evaluation score of viewpoint}) = \left(1 - \frac{\text{Elliptic area of measured viewpoint}}{\text{Total area of auxiliary field of view}} \right) \times 100 \quad \text{수식 3-15}$$

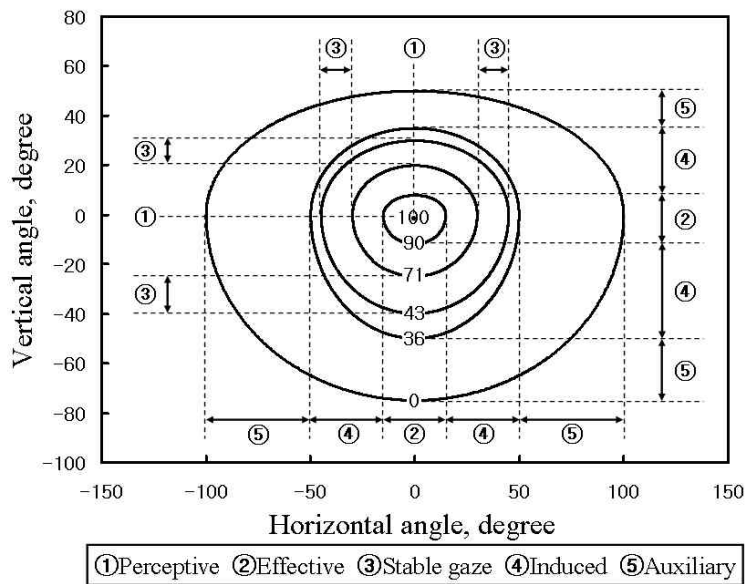


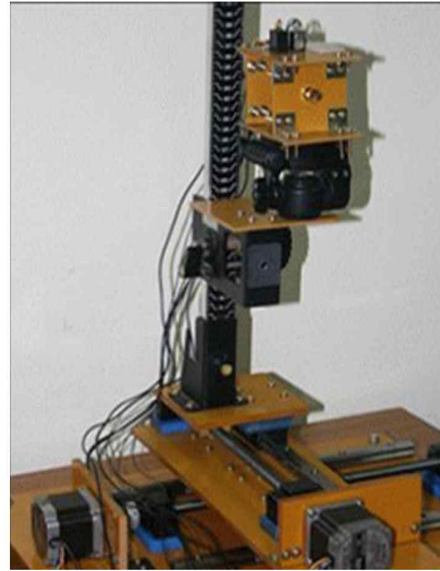
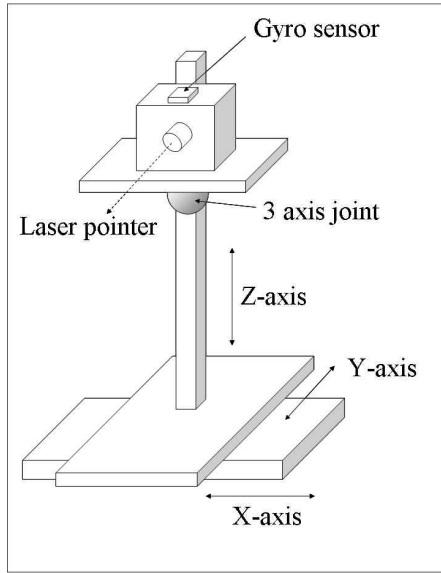
그림 3-124 인체 시야 범위의 특성에 따른 시계성 평가 점수.

(2) 시계성 평가 시스템 개발

캐빈형 콤바인 시계성의 정량적 평가는 인체의 눈위치에서 정면 방향을 기준으로 콤바인 뷰포인트의 수평과 수직 각도를 측정하여 평가점수를 산출한다. 캐빈형 콤바인의 시계성 평가 시스템은 그림 3-125와 같이 콤바인 캐빈 내에서 작업자의 눈위치에 따라 XYZ축 방향으로 이동이 가능하도록 3개의 스텝 모터, 눈위치에서 뷰포인트를 가리키기 위한 레이저 포인터, 안구 및 머리의 회전을 대신하는 3축 방향 조인트, 변경된 시야의 회전각 측정을 위한 3축 방향 자이로 센서를 이용하여 개발하였다. 시스템에 사용된 스텝 모터, 자이로 센서, 데이터 수집 장치의 제원은 표 3-37과 같다.

캐빈형 콤바인의 시계성 평가 시스템은 커플링과 연결이 용이한 스텝 모터(AK-24, Autonics, Korea)를 이용하여 스크루를 따라 눈위치 역할을 하는 레이저 포인터의 이동이 가능하도록 개발하였다. 캐빈형 콤바인의 내부와 작업자의 작업 자세에 따라 인체 시야의 위치가 변경되는 것을 고려하여 스텝 모터의 이동 거리는 XY축 방향으로 각각 30cm와 60cm로 선정하였으며, Z축 방향의 이동 거리는 콤바인 수확 작업 시 작업자가 일어선 상태로 작업하는 경우도 있으므로 앉은 상태에서 캐빈의 최고 높이까지의 시야 이동이 가능하도록 110cm로 선정하였다. 인체의 머리 및 안구의 회전은 3축 방향 조인트를 이용하여 조정하였으며, 이때 인체 시야의 중심이 변경되는 것을 측정하기 위해 $\pm 180^\circ$ 의 범위에서 3축 방향 회전각 측정이 가능한 자이로 센서(ENV-05G, Murata, Japan)를 사용하였다. 특정 위치에서 인체의 시야는 머리와 안구의 움직임에 따라 수직 및 수평 방향의 변화가 있으므로 자이로 센서의 상하(pitch) 및 좌우(yaw) 회전각을 측정하였다. 데이터 수집 장치는 자이로 센서를 이용하여 시야의 회전각 측정이 가능하도록 아날로그 입력모듈(NI-9205, National Instrument, USA)을 사용하였다.

시계성 평가에 필요한 수평, 수직 각도를 측정하기 위해 사용된 자이로 센서의 교정은 레이저 포인터가 수평 방향 $-100 \sim 100^\circ$, 수직 방향 $-80 \sim 80^\circ$ 범위에서 5° 간격으로 각도를 표시한 지점을 가리키도록 변화시키면서 전압의 변화를 측정하였다. 측정된 전압은 그림 3-126과 같이 실제 각도와 상관관계를 계산하여 교정하였으며, 결정계수는 수평 각도가 0.9993, 수직 각도가 0.9991로 나타나 시계성 평가 시스템에 사용이 가능함을 알 수 있다.



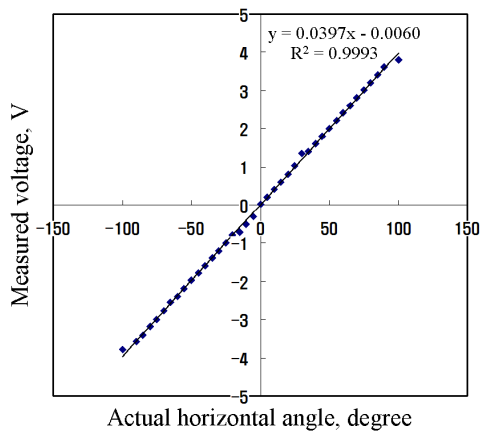
(a) 시스템 구성도

(b) 실제 시스템

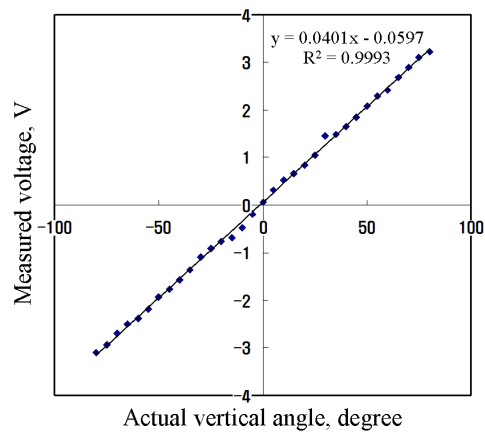
그림 3-125 캐빈형 콤팩트 시계성 평가 시스템.

표 3-37 캐빈형 콤팩트 시계성 평가 시스템의 사양

Item	Model	Specifications
Step Motor	NK266-02AT	<ul style="list-style-type: none"> • 3.6 input voltage • 1.8 degree/step resolution
Gyro Sensor	ENV-05G	<ul style="list-style-type: none"> • ± 180 degree measuring range • 0.1 degree resolution
Analog Input Module	NI 9205	<ul style="list-style-type: none"> • 16/32 analog inputs • 16-bit resolution, 50 kS/s sampling rate • ± 10 V programmable input ranges



(a) 수평각



(b) 수직각

그림 3-126 자이로센서의 교정 결과.

측정된 수평, 수직 각도는 정량화하여 개선한 시계성 평가 기준에 따라 시계성 평가점수를 산출하는데 사용되었으며, 평가 시스템의 제어, 신호 수집 및 보정, 평가점수 산출을 위한 캐빈형 콤바인의 시계성 평가 시스템의 운용 프로그램은 그림 3-127과 같이 제어 및 측정 프로그램인 LabVIEW (version 9.0, National Instrument, USA)를 사용하여 개발하였다. 스텝 모터는 레이저 포인터를 측정하기 위한 눈위치와 일치하도록 XYZ축 방향으로 조절이 가능하도록 제어하였다. 프로그램은 수평 각도와 수직 각도를 자이로 센서의 값을 받아 측정하여 저장이 가능하도록 개발하였다. 시계성 평가 결과는 측정된 수평, 수직 각도를 그래프에 표시하여 중심 와에서 떨어진 정도를 시각적으로 확인할 수 있게 하였으며, 시계성 평가점수를 표시하여 수치적으로 확인할 수 있도록 프로그램을 개발하였다.

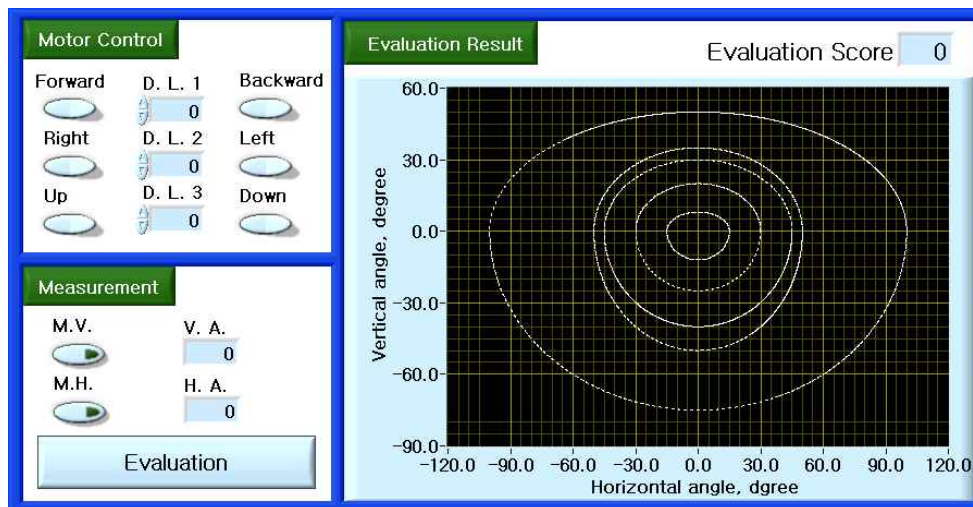


그림 3-127 시계성 평가 시스템의 운용 프로그램.

개발한 시계성 평가 시스템을 검증하기 위해 표 3-38과 같이 작업자의 눈위치에서 콤바인의 뷰포인트를 측정된 수평, 수직 각도를 콤바인의 설계도면과 비교·분석하였다. 콤바인은 현재 국내에서 판매중인 T社의 5조식 캐빈형 콤바인(C805G, Tong Yang Co., Korea)을 사용하였으며 실험은 분초간, 예취레버, 변속레버, 계기판, 반송부 5가지의 뷰포인트에 대해 수행하였다. 작업자의 눈위치는 45 ~ 69세인 농업인의 평균 체형을 고려하여 좌석 지표점을 기준으로 위로 78cm, 앞으로 17cm인 지점으로 선정하였다. 시계성 평가 시스템을 이용하여 수평, 수직 각도를 5회 반복 측정하였으며, 설계도면에서 계산한 수평, 수직 각도와 각각 쌍차 t-검정을 수행하였다. 쌍차 t-검정은 상용화된 통계분석 프로그램인 SAS (version 9.1, SAS Institute, USA)를 이용하여 유의수준 5%에서 수행하였다.

표 3-38 수직, 수평각 측정을 위한 실험

Input	Output	Analysis
<ul style="list-style-type: none"> • Experimental combine : domestic T 社 • Viewpoints : divider, reaper lever, gearshift, dashboard, conveying part • Eye point : at sitting straight 	<ul style="list-style-type: none"> • Horizontal angle (degree) • Vertical angle (degree) 	<ul style="list-style-type: none"> • Paired t-test with designed dimensions of drawings

개발된 캐빈형 콤바인의 시계성 평가 시스템을 검증하기 위해 T社 콤바인 뷰포인트의 수평, 수직 각도를 측정하여 설계도와 비교·분석한 결과는 표 3-39와 같다. 분초간의 경우 작업자가 앉은 상태에서는 설계도와 시계성 평가 시스템에서 차폐 때문에 측정이 불가능하여 비교항목에서 제외하였다. 예취레버는 설계도의 경우 수평, 수직 각도가 각각 9.8°와 -39.2°로 나타났으며, 시계성 평가 시스템의 경우 10.3°, -39.0°로 나타나 유의수준 5%에서 차이가 없는 것을 확인하였다. 변속레버는 설계도와 시계성 평가 시스템에서 수평 각도가 각각 -46.8°와 -47.1°로 나타났으며, 수직 각도가 각각 -45.1°, -45.2°로 나타나 유의한 차이가 없는 것을 알 수 있었다. 계기판은 설계도에서 수평 각도가 -9.8°, 수직 각도가 -53.7°로 나타났으며, 시계성 평가 시스템으로는 수평, 수직 각도가 각각 -10.3°, -54.2°로 측정되어 유의수준 5%에서 차이가 없는 것을 알 수 있었다. 반송부는 설계도와 시계성 평가 시스템에서 수평 각도가 각각 -63.4°와 -63.0°로 나타났으며, 수직 각도가 각각 -39.9°, -39.4°로 나타나 유의수준 5%에서 차이가 없는 것을 확인하였다. 시계성 평가 시스템으로 측정된 각 뷰포인트의 수평, 수직 각도가 설계도상의 실제 값과 통계적으로 유사한 것으로 나타나 개발된 시스템으로 캐빈형 콤바인의 시계성을 평가하기 위한 각도 측정이 가능한 것으로 판단된다.

표 3-39 시계성 평가 시스템을 이용한 뷰포인트의 각도 측정 결과

	Horizontal angle			Vertical angle		
	Actual value (°)	Measured value (°)	t-value	Actual value (°)	Measured value (°)	t-value
Divider	(0.0)	(0.0±0.00)	exclude	(0.0)	(0.0±0.00)	exclude
Reaper lever	9.8	10.3±0.76	2.21	-39.2	-39.0±0.50	1.48
Gearshift	-46.8	-47.1±0.48	-1.49	-45.1	-45.2±0.57	-0.32
Dashboard	-9.8	-10.3±0.57	-1.80	-53.7	-54.2±0.46	-2.62
Conveying part	-63.4	-63.0±0.65	2.18	-39.9	-39.4±0.59	0.68

나. 캐빈형 콤바인의 작업 자세별 시계성 평가

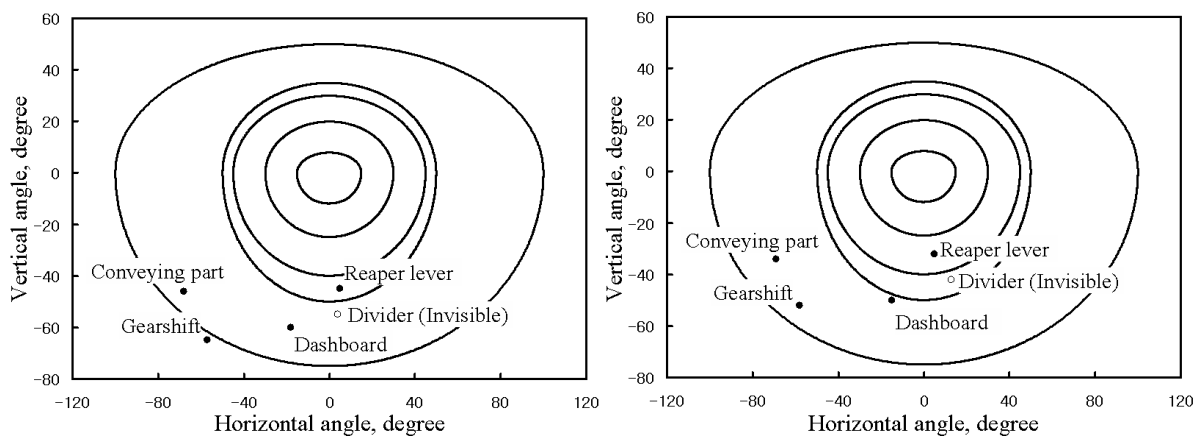
작업자의 작업 자세에 따른 캐빈형 콤바인의 시계성을 평가하기 위해 본 연구에서 개발한 시계성 평가 시스템으로 표 3-40과 같이 실험하여 비교·분석하였다. 콤바인은 국내 T사의 캐빈형 콤바인을 사용하였으며, 뷰포인트는 분초간, 예취레버, 변속레버, 계기판, 반송부로 선정하여 실험하였다. 실험 시 작업자의 눈위치는 45 ~ 69세인 농업인의 평균 체형을 고려하여 선정하였으며, 작업 자세는 바르게 앉은 자세, 앉아서 15° 기울인 자세, 바르게 선 자세, 서서 15° 기울인 자세로 선정하여 각 자세에서 각 뷰포인트에 대한 시계성 평가점수를 5회 반복 측정하였다. 측정된 시계성 평가점수로 콤바인의 작업 자세가 뷰포인트의 시계성에 미치는 영향을 분석하기 위해 통계분석 프로그램인 SAS를 이용하여 작업 자세를 인자로 하는 일원분산분석(one-way ANOVA)과 다중비교방법(multiple comparison)인 Duncan 방법으로 검정하였다.

표 3-40 작업자세에 따른 시계성 평가 실험

Input	Output	Analysis
<ul style="list-style-type: none"> • Experimental combine : domestic T 社 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluation score 	<ul style="list-style-type: none"> • One-way ANOVA • Duncan's multiple comparison
<ul style="list-style-type: none"> • Viewpoints : divider, reaper lever, gearshift, dashboard, conveying part 		
<ul style="list-style-type: none"> • Eye points : at standing straight & 15° tilt at sitting straight & 15° tilt 		

(1) 작업 자세에 따른 뷰포인트의 시계성

앉은 자세와 앉아서 15° 기울인 자세에서 콤바인 뷰포인트의 시계 영역은 그림 3-128과 같이 나타났다. 앉은 상태에서 예취 레버는 유도시야의 영역으로 가장 좋은 시계성을 보여주고 있으나, 변속 레버, 계기판, 반송부는 모두 보조시야의 영역에 위치하여 시야의 확보를 위해서는 몸 전체의 움직임이 필요함을 알 수 있다. 또한 분초간은 실제 보조시야의 영역에 있으나 차폐의 영향으로 콤바인 작업 시 앉은 자세에서는 분초간의 시야 확보가 어려움을 알 수 있다. 앉아서 15° 기울인 자세에서 뷰포인트의 시계 영역은 전체적으로 판별시야 영역에 가까워져 앉은 자세보다 양호한 시계성을 보여주고 있다. 예취 레버는 주시안정시야의 영역에 위치하여 앉은 상태에서 15° 기울이면 머리와 안구의 운동만으로 예취 레버의 시계성 확보가 가능하였으며, 분초간은 앉은 자세에서는 볼 수 없으나 유도 시야의 영역에 위치하여 캐빈 내부에서의 차폐를 제거하거나 프레임을 변형한다면 시계성이 확보될 수 있을 것으로 판단된다.

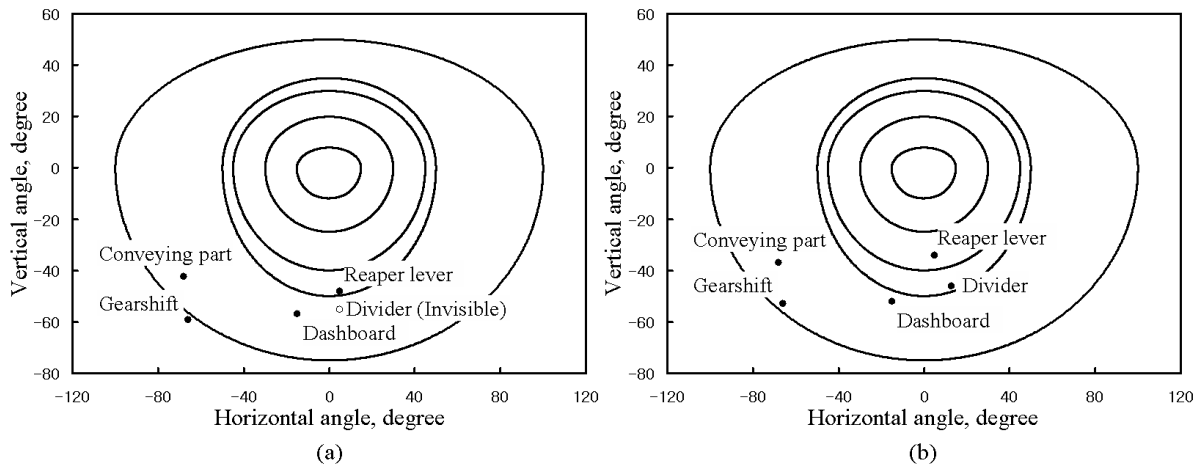


(a) 똑바로 앉은 자세

(b) 앉아서 15° 기울인 자세

그림 3-128 앉은 자세에서 콤바인 뷰포인트의 시계성 평가 결과.

그림 3-129은 일어난 자세와 일어서서 15° 기울인 자세에서 뷰포인트의 시계 영역을 나타내고 있다. 일어난 자세에서 뷰포인트의 시계 영역은 전체적으로 앉은 자세와 유사한 시계성을 보이고 있어 일어난 상태에서 콤바인 수확 작업을 수행하여도 분초간의 시야 확보가 어려움을 알 수 있다. 일어서서 15° 기울인 자세에서 뷰포인트의 시계 영역은 일어난 자세보다 관별시야 영역에 근접하여 양호한 시계성을 보여주고 있다. 전반적으로 앉아서 15° 기울인 자세와 유사한 시계성을 나타내고 있으나, 분초간은 유도 시야의 영역에 위치하여 시야 확보가 가능하므로 시계성이 향상되었음을 알 수 있다.



(a) 똑바로 선 자세

(b) 서서 15° 기울인 자세

그림 3-129 선 자세에서 콤바인 뷰포인트의 시계성 평가 결과.

(2) 작업 자세에 따른 뷰포인트의 정량적 평가

콤바인 작업 자세에 따른 뷰포인트의 정량적 평가 결과는 표 3-41과 같이 나타났으며, 각 뷰포인트별로 작업 자세에 따른 평균 평가점수는 다중비교방법인 Duncan 방법으로 비교하여 그 결과를 영문자로 표기하였다.

분초간은 앉은 자세와 앉아서 15° 기울인 자세에서 차폐에 의해 가려져 0점의 평가점수를 보이고 있으며, 일어서서 15° 기울인 자세의 평균 평가점수는 35.6점으로 나타나 다른 자세보다 시계성이 좋은 것을 알 수 있다. 예취레버의 평균 평가점수는 앉은 자세, 앉아서 15° 기울인 자세, 일어난 자세, 일어서서 15° 기울인 자세에서 각각 46.2점, 55.6점, 2.4점, 2.2점으로 나타났으며, 자세에 따라 유의한 차이를 보이고 있다. 앉아서 15° 기울인 자세에서 매우 높은 평가점수를 얻어 예취레버의 시계성이 매우 양호한 것을 알 수 있다.

변속레버의 평균 평가점수는 일어난 자세와 일어서서 15° 기울인 자세에서 모두 0점의 평가점수를 보이고 있으나, 앉은 자세에서 20.8점, 앉아서 15° 기울인 자세에서 17.2점으로 나타나 시계성이 확보되었음을 알 수 있다. 계기판의 평균 평가점수는 각각 28.6점, 38.8점, 0점, 1.2점

으로 나타나 자세에 따라 유의한 차이를 보이고 있으며, 앉아서 기울인 자세에서 가장 높은 평가점수를 나타내고 있어 계기판의 시계성이 비교적 양호함을 알 수 있다. 반송부의 평균 평가점수는 각각 14.8점, 17.8점, 0점, 0점으로 나타나 계기판보다 시계성이 저조함을 알 수 있다. 앉아서 기울인 자세가 가장 좋은 평가점수를 보이고 있으며, 앉은 자세와 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다.

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

표 3-41 작업자세에 따른 뷰포인트의 시계성 평가 결과

Posture	Sitting		Standing	
	Straight	15° tilt	Straight	15° tilt
Divider	(0.0±0.00 ^{C1})	(0.0±0.00 ^C)	17.6±0.89 ^B	35.6±0.55 ^A
Reaper lever	46.2±0.45 ^B	55.6±0.55 ^A	2.4±0.89 ^C	2.2±0.45 ^C
Gearshift	20.8±0.84 ^A	17.2±0.45 ^B	0.0±0.00 ^C	0.0±0.00 ^C
Dashboard	28.6±0.55 ^B	38.8±0.84 ^A	0.0±0.00 ^D	1.2±0.84 ^C
Conveying part	14.8±0.84 ^B	17.8±0.45 ^A	0.0±0.00 ^C	0.0±0.00 ^C
Average	22.1±0.30 ^B	25.9±0.23 ^A	4.0±0.32 ^D	7.8±0.14 ^C

¹⁾ Means with different superscript (A, B, C, D) in each row are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

다. 제조사별 기존 콤바인의 시계성 평가 및 분석

제조사별 콤바인 뷰포인트의 시계성을 평가하고 비교를 통한 장단점 분석 및 개선에 활용하고자 표 3-42와 같이 국내외 제조사별 콤바인의 시계성 평가를 수행하였다. K社와, M社 콤바인의 경우 캐빈의 구조상 서서 작업할 수 없도록 되어 있어 선 자세에서의 시계성 평가는 제외하였다.

표 3-42 캐빈형 콤바인의 시계성 평가 실험

Subject	Posture	Repetition	View-Point
Cabin type combine (K社, M社)	<ul style="list-style-type: none"> • Sitting Straight • Sitting 15° tilt 	5	Divider, Reaper lever, Gearshift, Dashboard, Conveying part

실험 결과 표 3-43과 같이 대체적으로 수입품인 K社와 M社の 시계성 점수가 국내 제품인 T社の 시계성 점수보다 높게 나타났다. 특히 콤바인 작업 시 가장 중요한 요소 중 하나인 분초간의 시계성에 대해서는 수입품은 앉아서도 시야 확보가 가능하기 때문에 국내 제품인 T社の 시계성 점수와 큰 차이가 났다. 이는 분초간의 시야 확보를 위해 그림 3-130과 같이 예취부의 위치 및 모양을 조정하여 차폐의 영향을 줄였기 때문으로 생각된다. 또한 K社の 제품에 대해 계기판이 그림 3-131과 같이 지나치게 왼쪽에 치우쳐 있어 앉아서 15° 기울인 자세에서의 시야 확보가 어려웠으며, K社와 M社 제품 모두 대부분 뷰포인트의 평가점수가 주시안정시야(43점)보다 낮은 수준으로 개선이 필요한 것으로 판단된다.

표 3-43 제조사별 콤바인 뷰포인트의 시계성 평가 결과 (N : 5)

Model	Posture (Sitting)	Divider	Reaper lever	Gearshift	Dashboard	Conveying part
K社	Straight	31	41	12	34	9
	15° tilt	45	43	6	0	18
M社	Straight	31	41	25	30	2
	15° tilt	43	38	12	34	15
Average		37.5	40.75	13.75	24.5	11



그림 3-130 앉아서 기울인 자세에서 K社(왼쪽)와 M社(오른쪽) 콤바인의 분초간 시야.



그림 3-131 K社(왼쪽)와 M社(오른쪽) 콤바인의 계기판.

라. 시작기의 시계성 평가

개발된 운전석을 장착한 캐빈형 콤바인의 작업 자세에 따른 시계성을 평가하기 위해 본 연구에서 개발한 시계성 평가 시스템으로 실험하여 비교·분석하였다. 콤바인은 국내 T사의 캐빈형 콤바인을 사용하였으며, 뷰포인트는 분초간, 예취레버, 변속레버, 계기판, 반송부로 선정하여 실험하였다. 실험 시 작업자의 눈위치는 45 ~ 69세인 농업인의 평균 체형을 고려하여 선정하였으며, 작업 자세는 바르게 앉은 자세, 앉아서 15° 기울인 자세, 바르게 선 자세, 서서 15° 기울인 자세로 선정하여 각 자세에서 각 뷰포인트에 대한 시계성 평가점수를 5회 반복 측정하였다. 측정된 시계성 평가점수로 콤바인의 작업 자세가 뷰포인트의 시계성에 미치는 영향을 분석하기 위해 통계분석 프로그램인 SAS를 이용하여 작업 자세를 인자로 하는 일원분산분석과 다중비교방법인 Duncan 방법으로 검정하였다.

(1) 1차 운전석

개발된 1차 운전석의 작업 자세에 따른 뷰포인트의 정량적 평가 결과는 표 3-44와 같이 나타났으며, 각 뷰포인트별로 작업 자세에 따른 평균 평가점수는 다중비교방법인 Duncan 방법으로 비교하여 그 결과를 영문자로 표기하였다.

분초간은 기존 모델과 마찬가지로 앉은 자세와 앉아서 15° 기울인 자세에서 차폐에 의해 가려져 0점의 평가점수를 보이고 있으며, 일어서서 15° 기울인 자세의 평균 평가점수는 37.6점으로 나타나 다른 자세보다 시계성이 좋은 것을 알 수 있었고 일어난 자세, 일어서서 15° 기울인 자세에서 기존 모델보다 시계성이 향상되었음을 알 수 있었다. 예취레버의 평균 평가점수는 앉은 자세, 앉아서 15° 기울인 자세, 일어난 자세, 일어서서 15° 기울인 자세에서 각각 47.6점, 58.0점, 2.8점, 3.4점으로 나타나 자세에 따라 유의한 차이를 보이고 있다. 변속레버의 경우 평균 평가점수가 기존 모델과 마찬가지로 일어난 자세와 일어서서 15° 기울인 자세에서 모두 0점을 보이고 있어 개선의 여지가 필요함을 알 수 있다. 앉은 자세와 앉아서 15° 기울인 자세에서는 22.2점, 18.0점으로 평가점수가 나타나 기존 모델보다 시계성이 약간 더 확보되었음을 알 수 있었다. 계기판의 경우 평균 평가점수가 각각 28.2점, 39.2점, 0점, 1.8점으로 나타나 자세에 따라 유의한 차이를 보이고 있으며 앉아서 15° 기울인 자세에서 가장 높은 평가점수를 나타내고 있어 계기판의 시계성이 비교적 양호함을 알 수 있다. 반송부의 평균 평가점수는 각각 15.2점, 20.6점, 0점, 0점으로 나타나 기존 모델보다 좋은 점수를 나타내지만 여전히 시계성이 저조함을 알 수 있었다.

본 연구에서 제작한 1차 운전석을 장착한 콤바인의 모든 뷰포인트의 평균 평가점수는 기존 모델에 비해 상승하였으나 여전히 주시안정시야영역(43점)보다 낮은 수준으로 평가되어 작업자가 안정된 작업 자세에서 주요 장치의 작동 상태를 확인하기 어려운 것을 알 수 있다. 뷰포인트의 시계성을 주시안정시야 수준으로 향상시키기 위해 운전석의 변경 및 개선이 필요할 것으로 판단된다.

표 3-44 개발된 1차 운전석에서의 작업 자세에 따른 시계성 평가 결과

Posture	Sitting		Standing	
	Straight	15° tilt	Straight	15° tilt
Divider	(0.0±0.00 ^{C1})	(0.0±0.00 ^C)	18.0±0.71 ^B	37.6±0.55 ^A
Reaper lever	47.6±0.55 ^B	58.0±0.71 ^A	2.8±0.45 ^C	3.4±0.55 ^C
Gearshift	22.2±0.45 ^A	18.0±0.71 ^B	0.0±0.00 ^C	0.0±0.00 ^C
Dashboard	28.2±0.45 ^B	39.2±0.45 ^A	0.0±0.00 ^D	1.8±0.45 ^C
Conveying part	15.2±0.45 ^B	20.6±0.55 ^A	0.0±0.00 ^C	0.0±0.00 ^C
Average	22.6±0.09 ^B	27.2±0.26 ^A	4.2±0.22 ^D	8.2±0.09 ^C

¹⁾ Means with different superscript (A, B, C, D) in each row are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

(2) 2차 운전석

개발된 2차 운전석의 작업 자세에 따른 뷰포인트의 정량적 평가 결과는 표 3-45와 같이 나타났으며, 각 뷰포인트별로 작업 자세에 따른 평균 평가점수는 다중비교방법인 Duncan 방법으로 비교하여 그 결과를 영문자로 표기하였다.

분초간은 앉은 자세와 앉아서 15° 기울인 자세에서 각각 37.2점, 44.8점으로 나타나 기존 모델과 1차 운전석에서는 차폐에 가려 보이지 않던 기존 모델과 1차 운전석에 비해 작업의 편의성이 향상되었음을 알 수 있다. 또한 일어선 자세와 일어서서 15° 기울인 자세에서 각각 67.0점(주시안정시야), 88.0점(유효시야)으로 나타나 비교적 쉽게 시계성을 확보할 수 있음을 알 수 있다. 예취레버의 경우 평균 평가점수가 각각 47.6점, 57.0점, 60.0점, 81.4점으로 나타나 일어선 자세와 일어서서 15° 기울인 자세에서 시계성이 크게 향상되었음을 알 수 있다. 변속레버의 평균 평가점수는 23.6점, 21.2점, 1.6점, 17.8점으로 나타나 앉은 자세에서 가장 좋은 평가점수를 보이고 있으며, 자세에 따라 유의한 차이를 보이고 있다. 계기판의 경우 평균 평가점수는 36.8점, 42.2점, 21.6점, 2.6점으로 나타나 앉아서 15° 기울인 자세에서 가장 좋은 평가점수를 보이고 있으며, 일어선 자세에서 0점을 보이던 기존 모델과 1차 운전석에 비해 시계성이 다소 향상되었음을 알 수 있다. 반송부의 경우 평균 평가점수가 20.0점, 20.6점, 0점, 4.6점으로 나타나 일어서서 15° 기울인 자세에서 시계성이 약간 향상되었으나 일어선 자세는 여전히 0점을 보여 개선이 여지가 남아있음을 알 수 있다.

본 연구에서 제작한 2차 운전석을 장착한 콤바인의 뷰포인트의 시계성을 평가한 결과 분초간과 예취레버의 평균 평가점수가 주시안정시야영역(43점)보다 높은 수준으로 평가되어 운전석 개발로 인하여 시계성이 상당히 향상되었음을 알 수 있었다. 변속레버와 계기판 및 반송부의 경우 여전히 주시안정시야영역보다 낮은 수준으로 평가되었으나 기존 모델과 K社, M社 및 1차 운전석에 비해 높은 평가점수를 얻어 시계성이 크게 향상되었음을 알 수 있었다.

표 3-45 개발된 2차 운전석에서의 작업 자세에 따른 시계성 평가 결과

Posture	Sitting		Standing	
	Straight	15° tilt	Straight	15° tilt
Divider	37.2±1.00 ^{D1)}	44.8±0.45 ^C	67.0±0.71 ^B	88.0±0.71 ^A
Reaper lever	47.6±0.55 ^D	57.0±0.71 ^C	60.0±0.71 ^B	81.4±0.55 ^A
Gearshift	23.6±0.55 ^A	21.2±0.45 ^B	1.6±0.55 ^D	17.8±0.84 ^C
Dashboard	36.8±0.84 ^B	42.2±0.45 ^A	21.6±0.55 ^C	2.6±0.55 ^D
Conveying part	20.0±0.71 ^A	20.6±0.55 ^A	0.0±0.00 ^C	4.6±0.55 ^B
Average	34.6±0.17 ^C	35.6±0.22 ^B	30.0±0.17 ^D	38.9±0.46 ^A

¹⁾ Means with different superscript (A, B, C, D) in each row are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

마. 시계성 평가 시뮬레이션 프로그램 개발

작업자의 눈위치 변경에 따른 시계성 평가를 위해 개발된 시계성 평가 시스템을 이용하는 것은 실험 회수 증가와 노동력 낭비 등의 어려움이 있기 때문에, 본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 눈위치 변경에 따른 시계성 평가가 가능한 시계성 평가 프로그램을 개발하였다. 시계성 평가점수 산출에 필요한 수평, 수직 각도는 눈위치와 뷰포인트 간의 위치 차이를 알면 시계성을 정량화된 수치로 산출할 수 있다. 캐빈형 콤바인에서 눈위치와 뷰포인트의 위치는 그림 3-132와 같이 좌석 지표점을 원점으로 하는 3차원 직교 좌표에 표현하였으며, 각 뷰포인트의 위치는 콤바인의 설계도면에서 좌표를 얻었다. 수평 각도는 수식 3-16과 같이 뷰포인트의 좌표(x_V, y_V, z_V)와 눈위치의 좌표(x_E, y_E, z_E)의 x 와 y 좌표값을 이용하여 표현할 수 있으며, 수직 각도는 뷰포인트와 눈위치의 좌표를 이용하여 수식 3-17과 같이 표현할 수 있다. 계산된 수평, 수직 각도는 본 연구에서 개선한 시계성 평가 방법에 따라 시계성 평가점수를 산

출하는데 사용되었다.

$$(Horizontal \angle) = ATAN2(x_V - x_E, y_V - y_E) \quad \text{수식 3-16}$$

$$(Vertical \angle) = ATAN2(z_V - z_E, \sqrt{(x_V - x_E)^2 + y_V - y_E)^2}) \quad \text{수식 3-17}$$

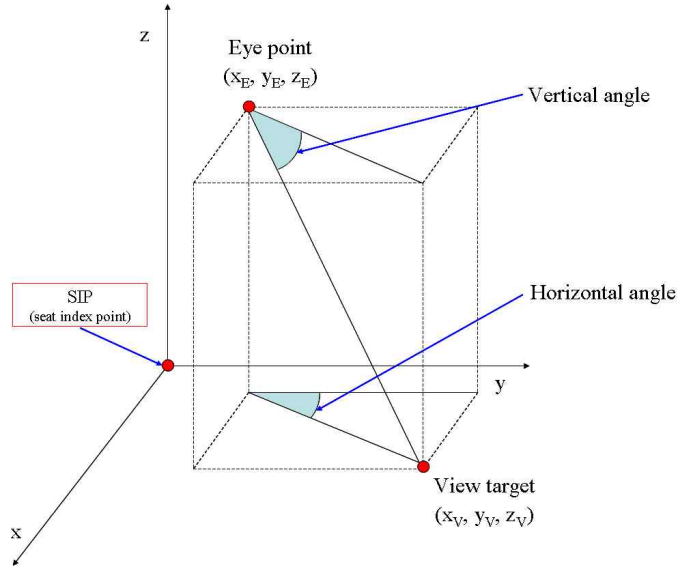


그림 3-132 시계성 평가 시 각도 계산.

시계성 평가 프로그램은 그림 3-133과 같이 앉은 자세, 앉아서 15° 기울인 자세, 선 자세, 서서 15° 기울인 자세 등의 작업 자세 선택이나 사용자 정의로 눈위치를 입력할 수 있도록 개발하였다. 프로그램은 뷰포인트별 평가점수와 평균 시계성 점수를 표시하도록 하였으며, 그래프에서 뷰포인트의 위치를 확인할 수 있도록 하였다. 시계성 평가 프로그램은 표시하도록 하였으며 시계성 평가 시스템과의 호환성을 고려하여 LabVIEW (version 9.0, National Instrument, USA)를 사용하여 개발하였다.

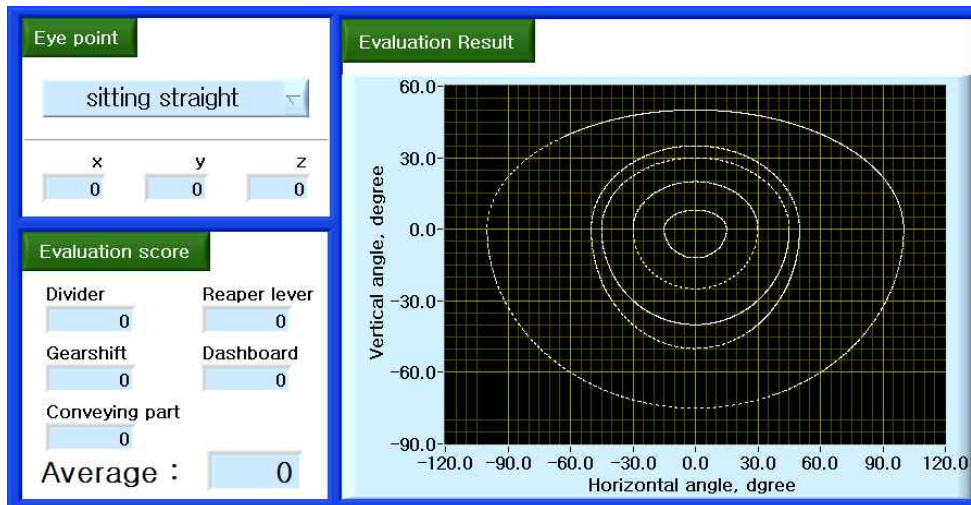


그림 3-133 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 시계성 평가 프로그램.

작업자의 눈위치 변화에 의한 시계성 평가를 위해 본 연구에서 개발한 시계성 평가 프로그램을 검증하기 위해 표 3-46과 같이 작업자의 자세별 눈위치에 따른 시뮬레이션 결과를 시계성 평가 시스템으로 평가한 시계성 평가점수와 비교·분석하였다. 시뮬레이션은 분초간, 예취레버, 변속레버, 계기판, 반송부 5가지의 뷰포인트에 대해 수행하였다. 작업자의 자세는 바르게 앉은 자세, 앉아서 15° 기울인 자세, 바르게 선 자세, 서서 15° 기울인 자세로 선정하였으며, 자세별 눈위치는 45 ~ 69세의 농업인의 평균 체형을 고려하여 선정하였다. 시뮬레이션에서 얻은 자세별 시계성 평가점수는 시계성 평가 시스템으로 평가한 시계성 점수와 각각 쌍차 t-검정을 수행하여 비교·분석하였다. 쌍차 t-검정은 유의수준 5%에서 상용화된 통계분석 프로그램인 SAS를 이용하여 수행하였다.

표 3-46 시계성 평가 프로그램 검증 실험 방법

Input	Output	Analysis
<ul style="list-style-type: none"> Experimental combine : domestic T 社 Viewpoints : divider, reaper lever, gearshift, dashboard, conveying part Eye points : at standing straight & 15°tilt at sitting straight & 15°tilt 	<ul style="list-style-type: none"> Predicted evaluation score 	<ul style="list-style-type: none"> Paired t-test with measured value

작업자의 눈위치 변경에 따른 시계성 평가를 위해 본 연구에서 개발한 시계성 평가 프로그램을 검증하기 위해 작업자의 자세별 눈위치에 따른 시뮬레이션 결과를 시계성 평가 시스템으로 측정된 결과와 비교·분석한 결과는 표 3-47과 같다. 앉은 자세와 앉아서 15° 기울인 자세의 경우 분초간이 보이지 않기 때문에 분석 시 제외하였으며, 시뮬레이션 결과와 시계성 평가 시스템으로 측정된 결과는 앉은 자세와 앉아서 15° 기울인 자세 모두 유의수준 5%에서 차이가 없는 것으로 나타났다. 선 자세와 서서 15° 기울인 자세의 경우는 시계성 평가 시뮬레이션 결과가 시계성 평가 시스템의 결과와 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 개발한 시계성 평가 프로그램이 캐빈형 콤바인의 시계성 평가 시스템과 동일한 결과를 나타내는 것을 확인할 수 있었으며, 개발된 프로그램을 이용하면 세부적인 눈위치 변경에 따른 시계성 평가가 가능할 것으로 판단된다.

표 3-47 시계성 평가 프로그램 검증 결과

Posture	Sitting				Standing			
	Straight		15°tilt		Straight		15°tilt	
	S ¹⁾	M ²⁾	S	M	S	M	S	M
Divider	(0) ^{E3)}	(0.0) ^E	(0) ^E	(0.0) ^E	18	17.6	35	35.6
Reaper lever	46	46.2	56	55.6	3	2.4	3	2.2
Gearshift	21	20.8	17	17.2	0	0.0	0	0.0
Dashboard	30	28.6	39	38.8	0	0.0	2	1.2
Conveying part	14	14.8	17	17.8	0	0.0	0	0.0

¹⁾ Simulation value

²⁾ Measured value with visibility evaluation system

³⁾ Excluded data

바. 시뮬레이션 프로그램을 이용한 운전자의 최적 눈위치

캐빈형 콤바인 작업자의 시계성 개선을 위해 시계성 평가 프로그램을 이용하여 세분화된 눈위치에서 시계성 평가를 수행하였다. 캐빈형 콤바인 작업자가 작업하기 편한 자세에 대한 눈위치 개선이 목적이기 때문에 기존의 앉아서 15° 기울인 자세, 선 자세, 서서 15° 기울인 자세를 제외하고 앉은 자세만 고려하여 시뮬레이션을 수행하였다. 대상 콤바인은 국내 T사의 캐빈형 콤바인으로 선정하였으며, 작업자의 눈위치는 콤바인의 캐빈 크기와 농업인의 신체 사이즈를

고려하여 좌석 지표점을 기준으로 좌우 -5~5cm, 전후 10~40cm, 상하 68~100cm로 제한하여 1cm 간격으로 변경하였다. 최적 눈위치는 콤바인의 뷰포인트인 분초간, 예취레버, 변속레버, 계기판, 반송부 각각의 시계성 평가점수가 가장 높은 눈위치로 선정하였으며, 이를 기반으로 캐빈형 콤바인 작업자의 적정 눈위치를 결정하였다.

캐빈형 콤바인 작업자의 편의성과 안전성을 증대시키고 시계성을 향상시키기 위해 작업자의 눈위치를 1cm 간격으로 변화시키면서 시계성 평가 시뮬레이션을 수행한 결과는 그림 3-134와 같다. 앉은 자세와 앉아서 15° 기울인 자세에서 차폐에 의해 보이지 않던 분초간의 경우는 눈위치가 높아져야 최적의 시야가 확보되었으며, 예취레버, 변속레버, 계기판, 반송부는 눈위치가 낮아졌을 때 시계성이 가장 양호하였다. 각 뷰포인트별 최적의 눈위치가 분산되어 나타남을 확인하였으며, 이는 캐빈 설계 시 시계성에 대한 부분의 반영이 미흡했기 때문으로 판단된다. 각 뷰포인트별 최적 눈위치를 기반으로 한 캐빈형 콤바인의 적정 눈위치는 뷰포인트 평가점수의 평균이 가장 높은 눈위치로 결정하였다. 적정 눈위치는 분초간의 최적 눈위치와 같은 것으로 나타났으며, 이는 눈위치에 따라 분초간의 시야 확보 차이가 크기 때문에 분초간의 시계성이 캐빈형 콤바인의 시계성에 비교적 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다.

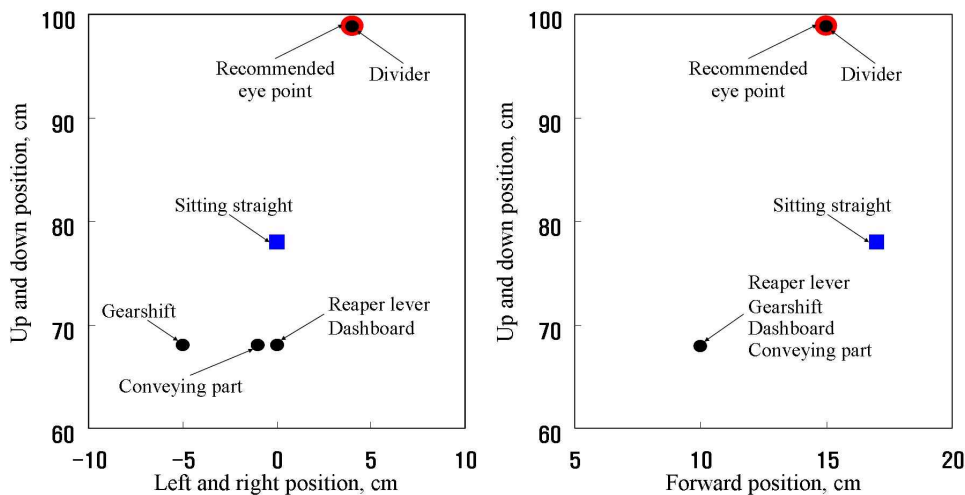


그림 3-134 시뮬레이션을 이용한 눈위치 개선 결과.

시뮬레이션에 의한 각 뷰포인트별 최적 눈위치와 시계성 평가점수는 표 3-48과 같이 나타났다. 캐빈형 콤바인의 뷰포인트별 최적 눈위치에서의 시계성 평가점수는 예취레버가 58점으로 가장 양호하였다. 그러나 나머지 분초간, 변속레버, 계기판, 반송부는 각각 27점, 35점, 39점, 20점으로 주시안정시야 영역(43점)보다 낮은 수준으로 평가되어 시계성 요소만으로 캐빈의 시계성을 최적으로 개선하는 것은 어려울 것으로 판단된다.

표 3-48 뷰포인트별 최적 눈위치(T社)

	x	y	z	Evaluation score
Divider	4	15	99	27
Reaper lever	0	10	68	58
Gearshift	-5	10	68	35
Dashboard	0	10	68	39
Conveying part	-1	10	68	20

적정 눈위치는 표 3-49와 같이 각 뷰포인트별 최적 눈위치를 기반으로 뷰포인트의 평균 시계성 평가점수가 가장 높은 눈위치를 캐빈형 콤바인의 적정 눈위치로 결정하였으며, 기존 앉은 자세의 시계성과 비교한 결과는 표 3-50과 같다. 시뮬레이션 결과 캐빈형 콤바인의 적정 눈위치는 (4, 15, 99)로 결정되었으며, 이때 각 뷰포인트별 평가점수는 분초간이 27점, 예취레버가 37점, 변속레버가 13점, 계기판이 22점, 반송부가 11점으로 나타났다. 기존 앉은 자세일 때의 경우 분초간은 차폐에 의해 보이지 않았으며, 예취레버는 46.2점, 변속레버는 20.8점, 계기판은 28.6점, 반송부는 14.8점이었기 때문에 분초간의 시계성은 향상되었으나 다른 뷰포인트는 오히려 약간 감소하였다. 그러나 시계성 평균 점수는 22.1점에서 22점으로 유사하게 나타났으나, 모든 뷰포인트에 대한 시계성이 확보되어 캐빈형 콤바인의 눈위치 변경에 따라 시계성을 개선하는 것이 가능함을 알 수 있다. 캐빈 설계 시 다수의 요소가 고려되어야 하기 때문에 눈위치 변경뿐만 아니라 운전석의 위치 변경이나 레버의 길이 조절 등과 연계된 연구가 지속된다면 시계성 개선에 도움이 될 것으로 판단된다.

표 3-49 캐빈형 콤바인에 대한 적정 눈위치(T社)

	Conventional	Recommended
	sitting straight	(x, y, z) =(4, 15, 99)
Divider	(0.0)	27
Reaper lever	46.2	37
Gearshift	20.8	13
Dashboard	28.6	22
Conveying part	14.8	11
Average	22.1	22

표 3-50 작업 자세에 따른 시계성 평가 결과

Posture	Sitting		Standing	
	Straight	15° tilt	Straight	15° tilt
Divider	(0.0±0.00 ^{C1)})	(0.0±0.00 ^C)	17.6±0.89 ^B	35.6±0.55 ^A
Reaper lever	46.2±0.45 ^B	55.6±0.55 ^A	2.4±0.89 ^C	2.2±0.45 ^C
Gearshift	20.8±0.84 ^A	17.2±0.45 ^B	0.0±0.00 ^C	0.0±0.00 ^C
Dashboard	28.6±0.55 ^B	38.8±0.84 ^A	0.0±0.00 ^D	1.2±0.84 ^C
Conveying part	14.8±0.84 ^B	17.8±0.45 ^A	0.0±0.00 ^C	0.0±0.00 ^C
Average	22.1±0.30 ^B	25.9±0.23 ^A	4.0±0.32 ^D	7.8±0.14 ^C

¹⁾ Means with different superscript (A, B, C, D) in each row are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

2. REBA를 이용한 작업 자세 분석

가. 분석 방법

T社의 콤바인과 본 연구에서 개발한 시작기를 이용하여 신체 건강한 성인 남성 5명에 대하여 벼 수확작업동안 비디오로 측면에서 촬영하였다. 촬영 후 작업 자세 영상을 예취, 방향전환, 후진, 곡물배출별로 정지 영상을 추출하고 정지 영상에 있는 피험자들의 관절각을 계측하여 그림 3-135의 평가표에 작업 자세에 대한 점수를 계산하였다.

그림 3-135의 평가표 중에서 <몸통, 목, 다리 평가>표와 <위팔, 아래팔, 손목 평가>표를 통해 각 신체 부위에 대한 자세점수를 계산하고 그 점수를 다시 Table A와 Table B에서 환산한다. 환산한 점수는 각각 손잡이 유무와 하중의 무게에 대해 점수를 부여한 후 Table C에서 다시 환산한다. 그 점수에 행동점수를 합산하여 최종점수를 획득하고, 이 최종점수를 이용하여 각 점수에 해당하는 조치수준으로 자세를 평가를 내린다.

계산한 최종점수는 표 3-51의 REBA의 평가표를 기준으로 조치수준과 위험지수를 평가한다. 최종 점수가 1점일 경우 위험지수는 ‘무시’이며 조치수준은 0으로 작업환경이 작업자에게 유해하지 않으므로 ‘조치 불필요’이고, 최종점수 2~3점일 경우 위험지수가 ‘낮음’으로 조치수준 1이고, 작업환경 개선이 ‘필요할지도 모름’이다. 최종점수 4~7점일 경우 위험지수는 ‘보통’으로 조치수준 2이고, 작업자가 본 환경에서 계속 작업할 경우 근골격계 질환이 생길 가능성이 있으므로 작업환경 개선이 ‘필요’하며, 최종점수 8~10점일 경우 ‘위험지수 높음’으로 조치수준은 3이고, 작업환경개선이 ‘곧 필요’하다. 최종점수 11~15점일 경우 위험지수는 ‘아주 높음’으로 조치수준 4이고, 작업자가 유해환경에 노출되어 있으므로 작업환경 개선이 ‘지금 즉시 필요’하다는 것을 의미한다.

표 3-51 REBA의 최종점수, 위험지수 및 조치수준

최종점수	위험지수	조치수준
1점	무시	0: 조치 불필요
2~3점	낮음	1: 필요할지도 모름
4~7점	보통	2: 필요
8~10점	높음	3: 곧 필요
11~15점	매우높음	4: 지금 즉시 필요

몸통, 목, 다리 평가				윗 팔, 아래팔, 손목 평가			
몸통	Movement	Score	Change score	윗팔 (Position)	Movement	Score	Change score
	속바로 선 자세	1			20° 뒤로 젖혀지거나 20° 정도 돌림	1	
	0°-20° 구부림	2			20° 이상 젖혀짐 20°-45°의 돌림	2	
	0°-20° 뒤로 젖힘	3			45°-90° 사이의 돌림	3	
	>20° 뒤로 젖힘	4		90° 이상의 돌림	4		
목	0°-20° 구부림	1	목이 비틀리거나 옆으로 숙일 시: +1	아래팔	60°-100° 사이의 돌림	1	추가 내용 없음
	>20° 구부림 또는 뒤로 젖힘	2			0°-60°의 돌림 100°이상의 돌림	2	
다리 (position)	두 다리가 모두 나란하거나 겹거나 앉아 있을 시	1	무릎이 30°-60° 사이로 구부러질 시: +1 60°이상 일 때: +2 (앉은 자세 제외)	손목	0°-15° 사이의 꺾임이나 돌림	1	손목이 비틀어질 시: +1
	발바닥이 한 발만 땅에 지지되어 있을 때	2			15° 이상의 꺾임이나 돌림	2	

몸통	목											
	1				2				3			
1	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

0	1	2	+1
< 5kg	5-10kg	>10kg	흉격 또는 갑작스런 힘의 사용

1	아래팔							
	1				2			
1	1	2	3	4	1	2	3	4
2	2	3	4	5	3	4	5	6
3	2	4	5	6	4	5	6	7
4	3	5	6	7	5	6	7	8
5	4	6	7	8	6	7	8	9

0 (good)	1 (Fair)	2 (Poor)	3 (Unacceptable)
무게 중심에 위치한 들림하고 고정된 적절한 손잡이가 되어 있는 경우	어느 정도 적절한 손잡이가 있는 경우가거나 대상으로 사용 가능한 경우	비록 들 수 는 있으나 손으로 들기에 적절하지 않고 손잡이가 있으나 부적절한 경우	손잡이가 없거나 위험한 형태의 손잡이가 있는 경우

Table A + 무게/힘 = score A =

Table B + 손잡이 = score B =

Score A	Score B											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

행동점수 +

+1: 허군데 이상 신체부위가 고정되어 있는 경우, 예를 들어 1분 이상 잡고 있다.
+1: 같은 범위에서 반복적인 작업을 하는 경우, 예를 들어 분당 4회 이상 반복하기 (건기는 포함되지 않음)
+1: 급하게 넓은 범위에서 변화되는 행동 또는 불안정한 하체의 자세

II

최종점수(REBA Score) =

그림 3-135 REBA 평가표.

나. 분석 결과

콤바인 작업 환경을 곡물 예취, 콤바인 방향 전환, 후진, 곡물 배출로 나누어 평가하였고, 결과는 표 3-52와 같다. T社 콤바인을 이용한 작업 자세 분석 결과 피험자 별로 콤바인을 운전하는 습관이 달라 최종점수 및 조치수준이 다르지만, 작업별로 나누어 봤을 때, 곡물 예취 시에는 최종점수 6~8점이고, 방향 전환 시에는 최종점수 7~9점, 후진 시에는 7~9점, 곡물 배출 시에는

8~9점으로 피험자별 최종 점수가 크게 차이가 나지는 않았다. 작업 자세별로 최종점수의 평균은 곡물 예취 작업 자세는 6.3점, 방향 전환 자세는 7.7점, 후진 작업 자세는 8.5점, 곡물 배출 작업 자세는 8.3점이다. 이 중 후진 작업 자세와 곡물 배출 작업 자세는 최종 점수 각 8.5와 8.3으로 위험지수가 '높음'이고, 작업환경의 개선이 곧 필요하다는 결과가 나왔다. 반면 시작기를 이용한 평가 결과는 곡물 예취 작업에서 최종점수 5~6점으로 평균 5.4점, 방향 전환 작업에서는 8~9점으로 평균 8.2점, 후진 작업에서 6~9점으로 평균 7.6점, 곡물 배출 작업에서 8~9점으로 평균 8.2로 나왔다. 이 중 방향 전환 할 때와 곡물 배출 할 때 위험지수가 '높음'으로 이 작업에서의 자세는 근골격계 질환을 일으킬 수 있는 자세이므로 작업환경 개선이 곧 필요하다.

T社の 콤팩트에서 후진 작업 할 때와 곡물 배출할 때 높은 위험지수가 나왔다. 앉아서 작업 할 수 있는 시작기의 경우 후진 자세는 좋아졌지만 방향전환 할 때는 더 나쁜 자세로 나왔다. T社の 콤팩트를 이용하여 방향 전환을 할 경우 주변속 레버를 뒤로 당기기 위해 상체를 비트는 자세를 취하게 된다. 마찬가지로 시작기를 이용하여 방향 전환을 할 경우 상체를 숙이고 비트는 자세를 취한다. 하지만, 시작기는 의자에 앉아 조정을 하기 때문에 행동의 제약이 있어 서서 작업하는 T社の 자세보다 허리를 5°이상 더 비틀게 되어 나쁜 점수가 나왔다. 추후에 의자 회전기능을 추가하여 인체 전체를 회전하게 하면 최종점수를 더 낮은 점수로 획득 할 것이다. 후진 할 때는 T社보다 더 좋은 자세 점수가 나와 후진 작업 자세에서 위험지수 '높음'에서 '보통'으로 개선하였다.

곡물배출 시에는 의자를 바라보고 서서 위자 뒤에 있는 레버 및 단추를 조작해야 하기 때문에 T社와 시작기를 이용하여 작업할 때, 점수의 차이가 없었다. 곡물 배출 작업을 할 때는 허리를 숙이거나 다리 한쪽을 의자에 올리고 상체를 숙여 작업하게 된다. 이 때 두 다리가 나란하지 않고, 상체를 20°~60°사이로 깊이 숙이고, 위팔을 50°이상 들어올리게 되는 동작을 취함으로써 근골격계 질환을 유발할 수 있는 자세가 되고, 위험지수가 '높음'이고, 조치수준 3이다.

표 3-52 작업별 근골격계 질환 평가의 최종점수

피험자	곡물 예취 시		방향 전환 시		후진 시		곡물 배출 시	
	T社	시작기	T社	시작기	T社	시작기	T社	시작기
피험자 1	8	6	7	8	8	6	8	9
피험자 2	6	6	7	8	7	8	9	8
피험자 3	6	5	7	8	9	8	8	7
피험자 4	6	5	9	9	9	7	8	8
피험자 5	6	5	9	8	9	9	9	9
평 균	6.3(2)	5.4(2)	7.7(2)	8.2(3)	8.5(3)	7.6(2)	8.3(3)	8.2(3)

* 괄호 안은 조치수준을 나타냄

3. 농업인의 근골격계 모델 개발

가. 모델 방향 설정 및 DB 구축

(1) 골격 모델의 방향 설정 및 DB 구축

인체 궤적 값과 ADAMS LifeMOD 골격 모델을 통한 인체 골격 모델의 DB를 구현하고 실제 콤바인 작업을 분석하여 어떠한 동작이 있는지를 구분하기 위하여 실제 콤바인 작업을 동영상으로 촬영하고 이를 분석하여 실제 작업에 참가한 실험 대상자들이 공통적으로 수행하는 동작들의 분류를 통해 표 3-53과 같이 콤바인 작업을 선별하였다. 즉 콤바인 작업에 따른 인체 움직임을 분류하였다.

표 3-53 콤바인 작업 구분

동작	주요 내용
1) 준비 단계	시동을 켜고 엔진회전을 높이는 과정
2) 예취 단계	실제 벼를 자르는 과정, 방향 조절이 주요 행동
3) 방향 전환 단계	다음 면의 예취를 위한 방향 전환, 전 후진으로 움직임 많음
4) 탈곡 단계	탈곡 통 만(滿)으로 배출을 위한 준비 과정, 후진과 동시작업
5) 오거 조절 단계	오거를 조절하여 벼를 배출하는 과정, 동작 다양

분류된 동작에 따라 실내 실험을 할 수 있도록 실험 장치를 구성하였다. 인체에 붙어 있는 광학 마커를 캡처할 수 있는 6대의 Vicon 社의 적외선 카메라를 이용하여 그림 3-136과 같이 Motion Capture System을 구성하였으며 이는 향후 인체 관절의 움직임을 캡처하기 위함이다. 현장 실험에서 사용된 콤팩트와 동일 기종인 콤팩트 모형을 준비하였고 피험자는 그림 3-137에서와 같이 35개의 광학 마커를 온몸에 붙인 상태로 콤팩트 모형에 탑승하여 콤팩트 작업을 모사한다. 이를 이용하여 표 3-54와 같이 궤적 값을 이용한 골격 모델 DB를 구성하였다.

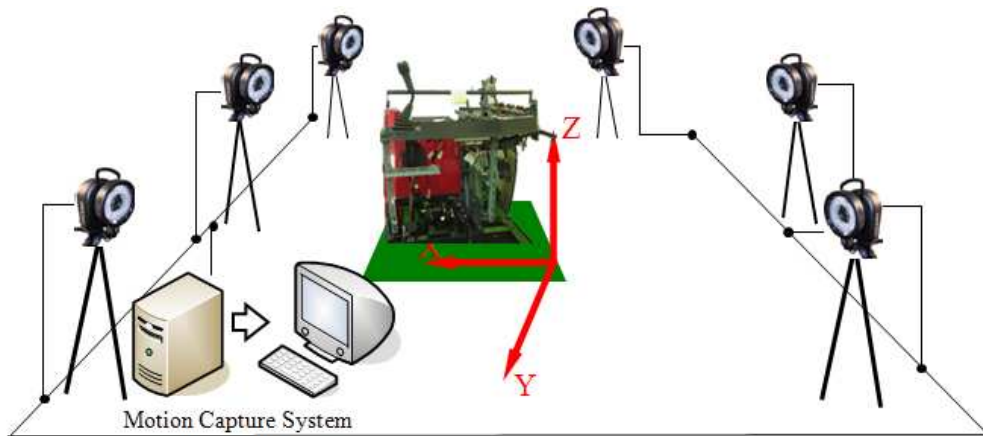


그림 3-136 실내 실험 환경.

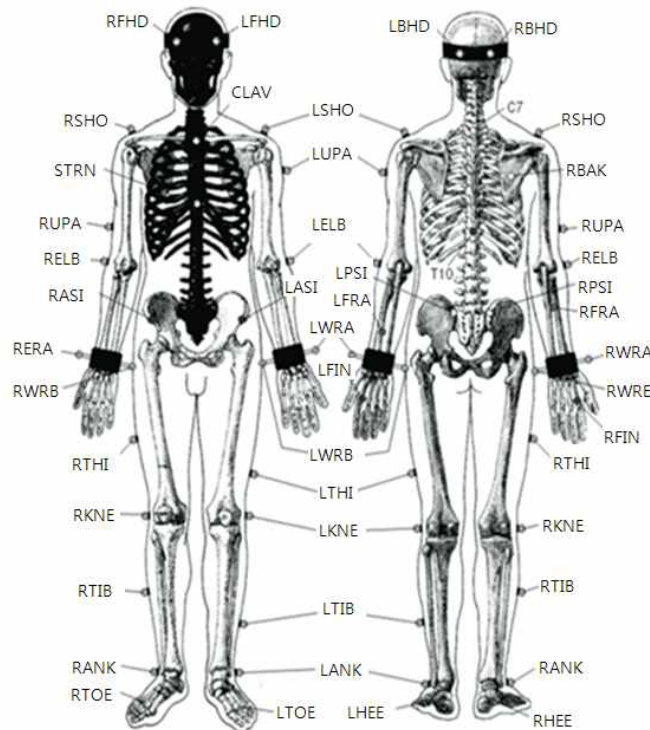
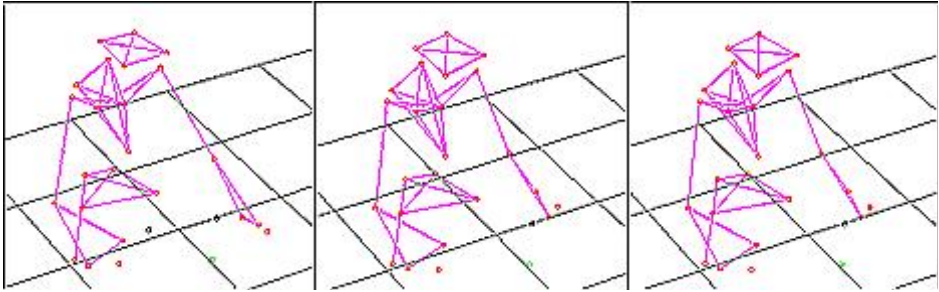
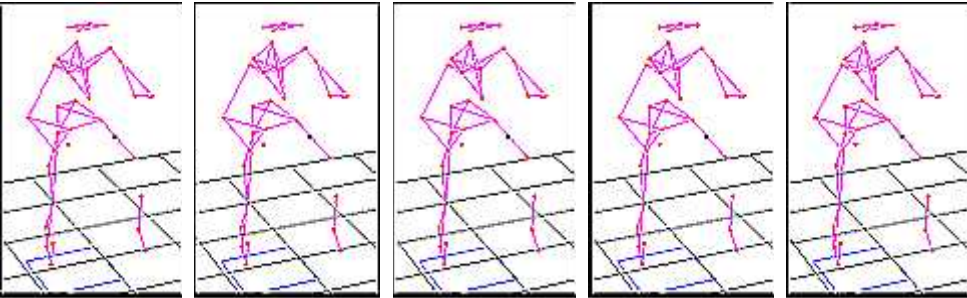
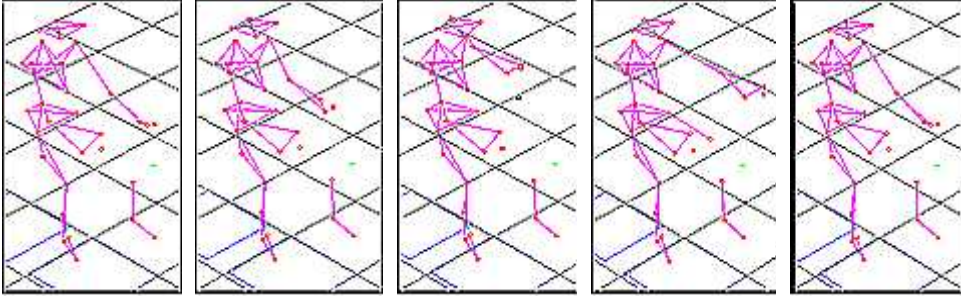
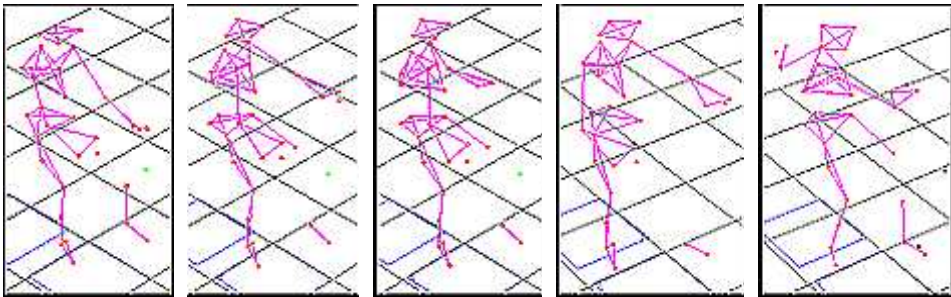
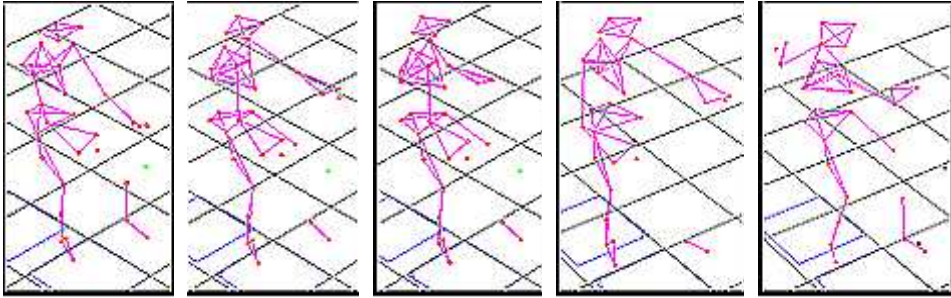


그림 3-137 광학 마커 부착 위치.

표 3-54 꺾적 값을 이용한 골격 모델 DB

동작	모션				
준비 단계					
예취 단계					
방향 전환					
탈곡 단계					
오거 조절					

(2) 근 모델의 방향 설정 및 DB 구축

인체의 근 중 인체 활동에 활용되는 근 118개가 ADAMS LifeMOD에 DB로 구성되어있다.

그림 3-138과 같이 인체를 움직이는 모든 근을 독립적으로 분석하여 인체 모델을 만들게 되면 많은 양의 시간과 돈을 소비하게 된다. 이에 콤바인 작업 분석에 필요한 근육을 선별하여 큰 영향을 미치지 않는 근은 존재하지 않는 근으로 가정한다. 즉, 꼭 필요한 근을 상하지 모두 포함하여 59개 선별하였다.



그림 3-138 인체의 근.

콤바인 작업 분석 결과 대부분의 동작은 팔을 이용한 다. 따라서 상지에서의 위팔과 아래팔을 사용할 수 있도록 하는 근육의 선정이 필요하고 레버를 잡는 동작을 위한 손과 손가락을 사용하는 근 그리고 페달을 밟고 앉아 서는 동작을 위한 다리의 근 시야 확보를 위해 고개를 돌리는 목의 근 마지막으로 허리를 회전시키거나 선 자세를 유지시켜 주는 몸통의 근에 대한 조사가 필요하다.

콤바인 작업에 사용되는 근육들 중 상지 근들을 선별하여 구분하였다. 우선 상지 중에서도 상박(upper arm)의 주요 근을 선별하였다. 표 3-55는 upper arm의 주요 근육 명칭과 부착되어 있는 끝단의 위치를 나타내고 있다. 먼저 상완 이두근(biceps brachii)은 어깨에서 아래 팔부분을 연결하는 근으로 팔꿈치 관절이 회전되어 있을 때 팔꿈치 관절의 가장 강력한 굴근으로 팔을 굽히고 안쪽으로 돌리는 역할을 한다. 다음으로 상완 요골근(brachioradialis)은 위팔과 아래팔을 연결하는 근으로 주관절 굴곡근으로 손목관절의 중립위 상태에서 수축력을 발휘한다. 소흉근(pectoralis minor)은 어깨에서 위팔을 연결하는 근으로 등쪽에 위치한 하부 승모근

(trapezius) 및 광배근(latissimus dorsi)과 협력하여 견갑골을 하방으로 당겨 고정시키는 역할을 한다. 대흉근(pectoralis major)은 어깨에서 위팔을 연결하는 근으로 흉부 앞면들 덮고 있는 편평하고 매우 강한 근육으로 상완골을 안쪽으로 들려주는 역할을 한다. 삼각근(deltoides)은 어깨에서 위팔을 연결하는 근으로 어깨 곡선을 만드는 근육으로 위팔을 모든 방향으로 움직이게 한다. 즉 전부 삼각근은 위팔을 전방으로 중부 삼각근은 수평으로 후부 삼각근은 후방으로 팔을 움직이도록 한다. 상완 이두근, 상완 요골근, 소흉근, 대흉근, 삼각근은 모두 레버 동작에 주로 사용된다. 상완 승모근은 어깨를 후방으로 끌어 당겨 위팔올림 내림 등의 동작을 하며, 광배근은 들어 올린 상완을 내리거나 후방으로 당기는 작용을 한다. 상완 승모근과 광배근은 레버 동작이나 후진 작업 시 팔을 어깨 뒤쪽으로 움직여야 될 경우 사용된다.

표 3-55 상박의 주요 근

Muscle	Attach Poximal	Attack Distal
biceps Brachii 2	scapular	lower_arm
brachioradialis	upper_arm	lower_arm
biseps brachii 1	scapular	lower_arm
triceps brachii 1	scapular	lower_arm
pectoralis minor 3	scapular	upper_arm
pectoralis minor 2	scapular	upper_arm
deltoideus 3	scapular	upper_arm
deltoideus 1	scapular	upper_arm
deltoideus 2	scapular	upper_arm
pectoralis major 1	upper_torso	upper_arm
pectoralis major 4	scapular	upper_arm
pectoralis major 5	scapular	upper_arm
trapezius 1	neck	scapular
trapezius 2	upper_torso	scapular
latissimus dorsi 1	upper_torso	upper_arm
pectoralis major 2	upper_torso	upper_arm
pectoralis major 3	upper_torso	upper_arm
trapezius 3	scapular	central_torso
latissimus dorsi 1	upper_arm	central_torso
latissimus dorsi 3	upper_arm	lower_torso
triceps brachii 2	upper_arm	lower_torso
pectoralis minor 1	scapular	upper_torso
triceps brachii 3	upper_arm	lower_arm

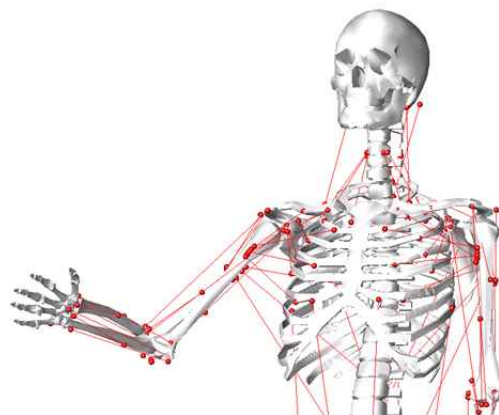


그림 3-139 상지의 주요 근

다음으로 상지(upper limb) 중 하박(lower arm) 주요 근육 선별하였다. 표 3-56은 lower arm의 주요 근육 명칭과 부착되어 있는 끝단의 위치를 나타낸다. 장요척수근신근(extensor carpi radialis longus)은 위팔과 손을 연결하는 근육으로 손의 펴, 벌림의 기능을 한다. 소지신근(extensor digiti minini)은 아래팔과 손을 연결하는 근육으로 5번째 손가락 즉 새끼손가락의 끝마디 뼈를 펴는 역할을 한다. 장무지 외전근(abductor pollicis longus)은 아래팔과 손을 연결하는 근육으로 첫째 손가락 허리뼈의 벌림 작용을 한다. 단요척수근신근(flexor carpi radialis)은 위팔과 손을 연결하는 근육으로 손가락의 굽 기능을 수행한다. 심지굴근(flexor dititorum profundus)은 아래팔에서 손을 연결하는 근육으로 손가락 2~5번째 끝마디 뼈의 굽힘 작용을 한다. 자쪽손목굽힘근(flexor carpi ulnaris)은 위 팔에서 손을 연결하는 근육으로 손목의 굽힘 모음 작용을 한다. 장모지굴근(flexor pollicus longus)은 위 팔과 손을 연결하는 근육으로 엄지 끝마디 뼈의 굽힘 작용을 한다. 원요침근(pronator tares)으로 아래팔의 옆침, 굽힘 작용을 한다.

표 3-56 하박의 주요 근육

Muscle	Attach Poximal	Attack Distal
extensor carpi radialis longus	upper_arm	hand
extenso digiti minini	lower_arm	hand
abductor pollicis longus	lower_arm	hand
flexor carpi radialis	upper_arm	hand
flexor dititorum profundus	lower_arm	hand
flexor carpi ulnaris	upper_arm	hand
flexor pollicus longus	upper_arm	hand
pronator tares	upper_arm	lower_arm

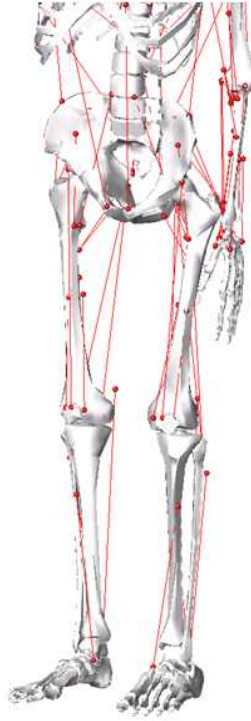


그림 3-140 하지의 근.

다음으로 표 3-57과 같이 인체 하지의 근 중 콤바인 작업에 사용되는 하지 근들을 선별하여 구분하였다. 넙치근(soleus)은 아래 다리와 발을 연결하는 근으로 발꿈치를 들어 올리는 작용을 한다. 페달 작업과 서있는 작업 시에 주로 사용된다. 비복근(gastronemius)은 윗다리와 발을 연결하는 근으로 걷거나 달리기 또는 뛰어오르는 동작에 중요한 역할을 하며, 서있는 작업과 페달 작업에 주로 사용된다. 전경골근(tibialis anterior)은 아래 다리와 발을 연결하는 근으로 발의 내전과 배측 굴곡 시에 주로 사용되며, 페달 작업 시에 주로 사용된다. 대퇴 이두근(biceps femors)으로 윗다리와 아래 다리를 연결하는 근으로 발을 피고 굽히는 작용을 한다. 의자에 앉거나 페달을 사용할 때 주로 사용된다. 외측광근(vastus lateralis)은 위아래 다리를 연결하는 근으로 무릎을 굽히는 작용을 한다. 의자에 앉거나 페달을 사용할 때 주로 사용된다. 대퇴 직근(rectus femoris)은 상체의 밑단에서 아래 다리를 연결하는 근으로 무릎을 펴거나 직립 상태를 유지할 때 사용되는 근이다. 선 작업과 페달 작업 그리고 앉았다 일어서는 작업 등에서 주로 사용된다. 장골근(iliacus)은 상체 밑단에서 윗다리를 연결하는 근으로 다리를 들어 올리거나 내리는 데 사용되는 근이다. 선 작업과 페달 작업 등에 주로 사용된다. 둔근(gluteus)은 상체 밑단에서 윗다리를 연결하는 근으로 하지를 뒤쪽으로 당기는 작용을 하고 하지를 고정시키며 몸을 바로 서게 하여 직립 자세를 유지하게 한다. 선 작업을 유지하는데 사용되는 주요 근이다. 대요근(psoas major)은 상체 중반에서 윗다리를 연결하는 근으로 대퇴를 앞으로 굽혀주는 동시에 대퇴를 바깥쪽으로 돌려주는 작용을 한다. 다리를 움직이는데 주로 사용된다.

내전근은 상체 밑단과 윗다리를 연결하는 근으로 다리를 몸 쪽으로 끌어당기는 역할을 하며 선 작업과 페달 작업 등에서 주로 사용된다. 내측광근은 윗다리과 아래 다리를 연결하는 근으로 무릎을 펴는 작용을 한다. 의자에서 일어나거나 페달 작업 그리고 선 작업 등에서 주로 사용된다. 반막양근(semiendinosus)은 상체 밑단과 아래 다리를 연결하는 근으로 무릎을 굽히는 작용을 한다. 의자에서 일어나거나 페달 작업 그리고 선 작업 등에 주로 사용된다.

표 3-57 하지의 주요 근

Muscle	Attach Poximal	Attack Distal
soleus	lower_leg	foot
gastronemius 2	upper_leg	foot
gastronemius 1	upper_leg	foot
tibialis anterior	lower_leg	foot
biceps femors 1	upper_leg	lower_leg
vastus lateralis	upper_leg	lower_leg
rectus femoris	lower_torso	lower_leg
biceps femors 2	lower_torso	lower_leg
llicus	lower_torso	upper_leg
gluteus medius 1	lower_torso	upper_leg
gluteus medius 2	lower_torso	upper_leg
gluteus maximus 2	lower_torso	upper_leg
psoas major	central_torso	upper_leg
gluteus maximus 1	lower_torso	upper_leg
adductor medialis	lower_torso	upper_leg
vastus medialis	upper_leg	lower_leg
semitendinosus	lower_torso	lower_leg

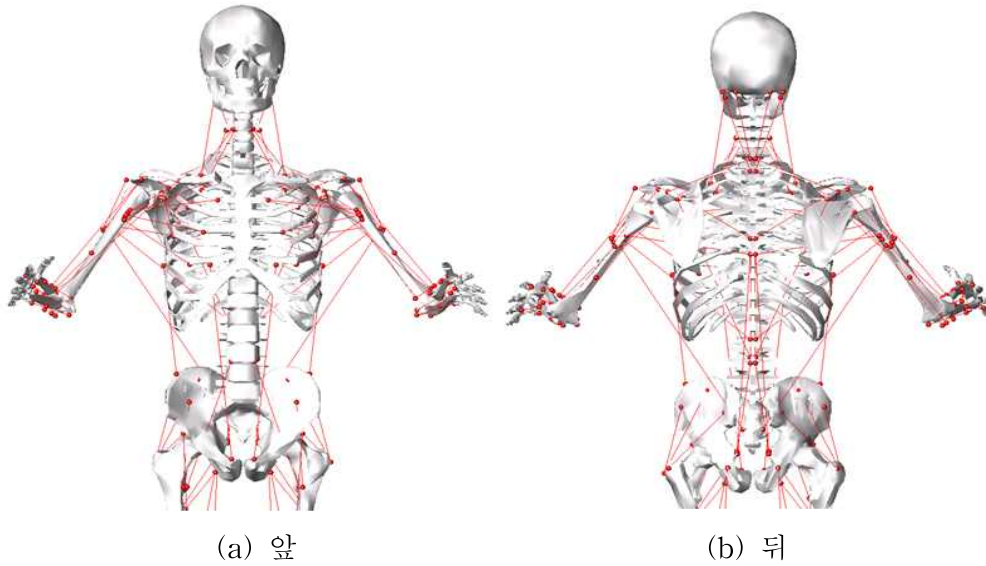


그림 3-141 목과 몸통의 근육.

마지막으로 표 3-58과 같은 앞쪽과 뒤쪽의 목과 몸통의 근육 중 콤파인 작업에 주로 사용되는 근육을 구분하였다. 복직근(rectus abdominus)은 몸통 앞쪽에서 윗부분과 아랫부분을 연결하는 근으로 사람의 복부를 이루고 있는 근육 중 하나이다. 척추를 앞으로 구부리거나 복합을 가할 때 작용하며 특히 콤파인 작업에서 상체를 숙이는 작업이 많은 것을 고려할 때 중요한 근육 중 하나이다. 외복사근(obliquus externus abdominal)은 몸통 앞쪽에서 윗부분과 아랫부분을 연결하는 근으로 사람의 복부를 이루고 있는 근육 중 하나이다. 척추가 돌아가도록 돌려주는 회전과 굴곡의 기능을 하여 콤파인 작업에서 상체를 회전시키는 작업이 많은 것을 고려할 때 중요한 근육 중 하나이다. 중사각근(scalenus medius)은 목과 몸통 앞쪽의 윗부분과 연결하는 근으로 목을 회전시키는 기능을 한다. 모든 동작에서 시야 확보를 위한 목의 움직임을 가지므로, 주요 근 중 하나이다. 전사각근(scalenus anterior)은 목과 몸통 앞쪽의 윗부분과 연결하는 근으로 목을 회전시키는 기능을 한다. 이 또한 모든 동작에서 시야 확보를 위한 목의 움직임을 가지므로 주요 근 중 하나이다. 흉쇄유돌근(sternocleidomastoideus)은 목과 어깨에 연결된 근으로 목을 움직이는 근육 중 하나로 볼 수 있다. 척추기립근(elector spinae)은 척추의 양옆을 따라 길게 뻗은 강한 근육으로 몸을 펴게 하는 기능을 한다. 직립상태 유지 및 상체의 회전과 펴는 동작 등에서 주요한 역할을 한다. 후사각근(scalenus posterior)은 목 뒤쪽에서 목과 상체에 연결된 근이다. 목을 회전시키는 기능을 한다. 경관상근(splenius cervicis)은 목 뒤쪽에서 목과 머리에 연결된 근으로 머리를 회전시키는 기능을 한다. 두관상근(splenius capitis)은 목 뒤쪽에서 목과 머리에 연결된 근으로 역시 머리를 회전시키는 기능을 한다.

표 3-58 목과 몸통의 주요 근

Muscle	Attach Proximal	Attach Distal
rectus abdominus	upper_torso	lower_torso
obliquus externus abdominal	upper_torso	lower_torso
scalenus medius	neck	upper_torso
scalenus anterior	neck	upper_torso
sternocleidomastoideus	head	scapular
elector spinae 2	central_torso	lower_torso
elector spinae 3	upper_torso	central_torso
elector spinae 1	upper_torso	lower_torso
scalenus posterior	neck	upper_torso
splenius cervicis	head	neck
splenius capitis	head	upper_torso

나. 인체 움직임에 따른 모델 구성

(1) 인체 움직임에 따른 골격 모델 구성

인체 궤적 값을 이용한 ADAMS LifeMOD를 이용하여 16개의 인체 분절을 가진 골격 모델을 구성한다. 먼저 Human Model을 생성한 후 Human의 위치와 자세 그리고 Contact Force를 지정해 준다. 이 때 생성된 인체 모델은 그림 3-142의 왼쪽 그림과 같다. 인체 모델은 머리, 목(상하), 상체(상중하), 고관절, 좌우의 팔(상하), 손(좌우), 좌우의 다리(상하), 발(좌우)의 분절을 갖게 된다. 이 모델은 17개의 관절을 갖고 있으며, 각 관절의 위치는 그림 3-142의 가운데 그림과 같다. 관절의 위치는 spine, upper and lower neck, thoracic, lumbar, arms, scapulars, shoulders, elbows, wrists, legs, hips, knees, ankles로 구성된다. 이렇게 16개의 분절과 17개의 관절로 구성된 인체 모델에 모션 캡처(motion capture) 시스템을 통해 계측된 마커의 궤적 값인 관절각과 위치 값을 입력하여 역기구학적 시뮬레이션을 실행시켜 인체 모델을 구현한다. 오른쪽 그림에 붙어 있는 노란색 공들은 앞에서 피험자의 몸에 붙인 광학 마커와 같은 위치로 인체 모델이 궤적에 따라 움직일 수 있도록 이끌어 준다.

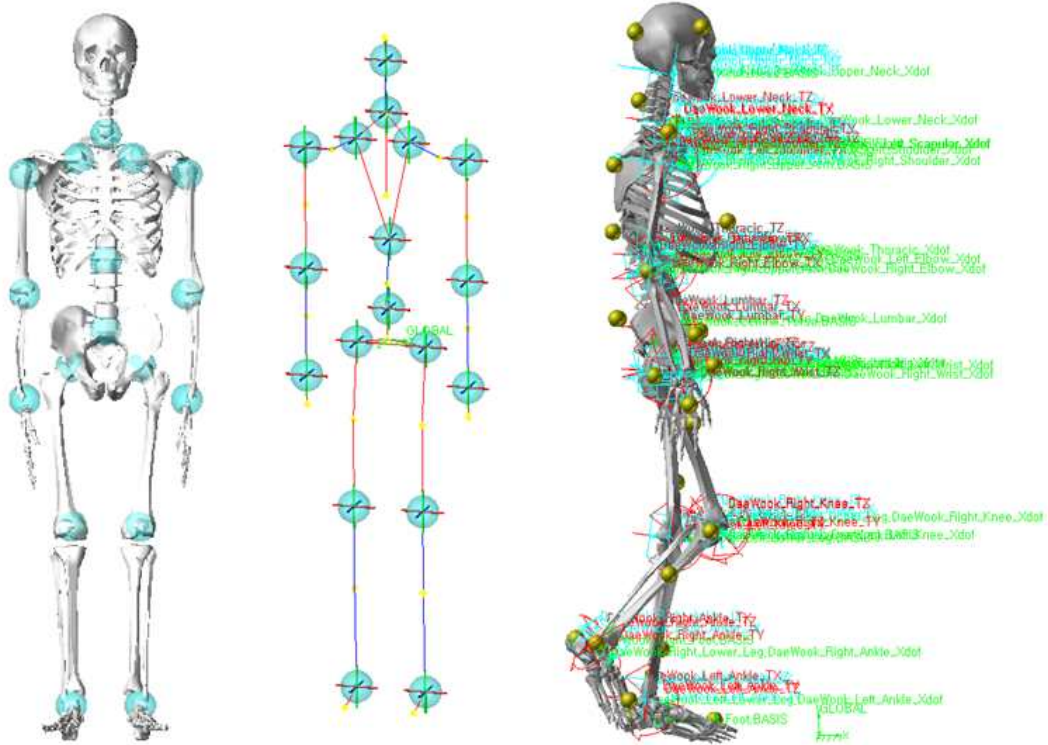


그림 3-142 골격 모델 구성 과정.

그림 3-143은 꺾적 값을 이용하여 구성된 모델을 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 콤팩트한 작업과 같은 동작을 구현할 수 있는 인체 모델을 구성하였으며, 그 때 허리에 걸리는 부하를 측정해 본 결과 그림 3-144와 같이 나타났다. 그림 3-144는 앉은 자세와 서있는 자세에서의 허리 부하를 측정된 것으로 왼쪽의 파란색 실선과 오른쪽은 파란색 일점쇄선은 앞으로 숙이는 동작을 의미한다. 앉은 작업과 선 작업 모두에서 몸을 앞으로 숙이는 작업이 존재하고 그 때에 허리에 걸리는 부하를 측정할 수 있었다. 빨간색 선은 허리의 회전 동작을 의미하는 것으로 앞선 것과 마찬가지로 두 작업 모두에서 몸을 회전시키는 작업이 존재하고 그 때에 허리에 걸리는 부하도 측정 가능하였다. 파란색 점선은 옆으로 숙이는 동작을 의미하며 마찬가지로 두 작업 모두에서 옆으로 숙이는 동작을 확인할 수 있었고, 그 때의 부하도 측정할 수 있었다.

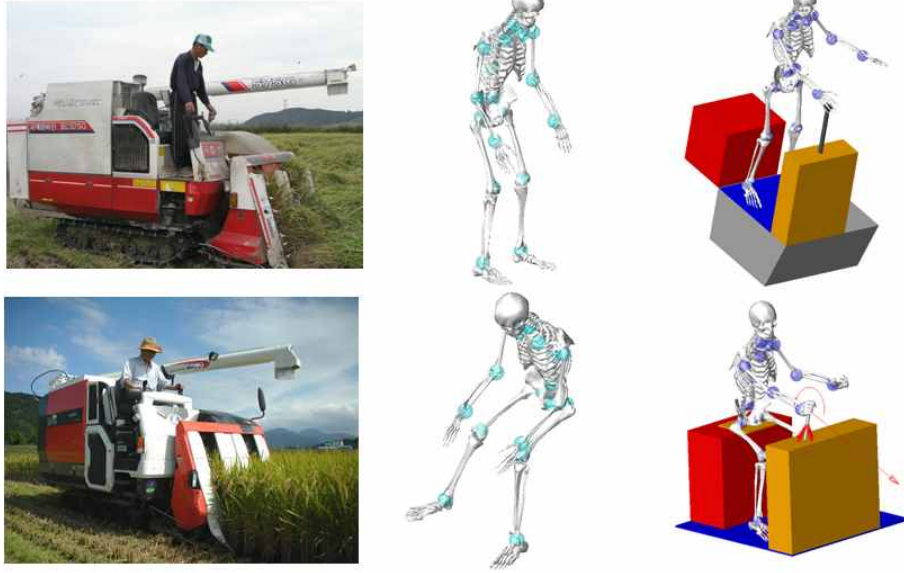


그림 3-143 꺾적 값을 이용한 골격 모델 프로세스.

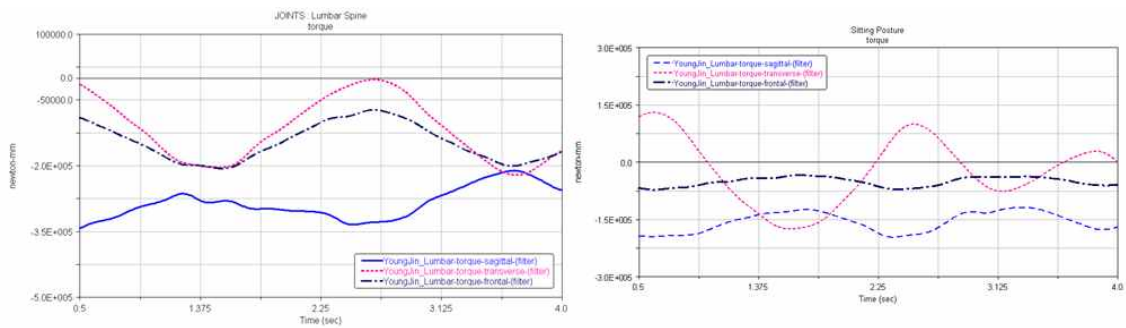


그림 3-144 앉은 자세와 선 자세의 허리 부하 결과.

(2) 인체 움직임에 따른 근 모델의 구성

콤바인 동작에 사용되는 근육을 완성된 골격 모델에 부착하였다. 골격 모델에 개발되고 있는 근 모델을 붙임으로써 그림 3-145와 같은 근골격 모델이 완성되었다. 이렇게 완성된 모델은 골격 모델과 같은 방법으로 시뮬레이션을 하여 그림 3-146과 같이 인체에 골격에 걸리는 부하뿐만 아니라 근육에 걸리는 부하도 측정할 수 있다.

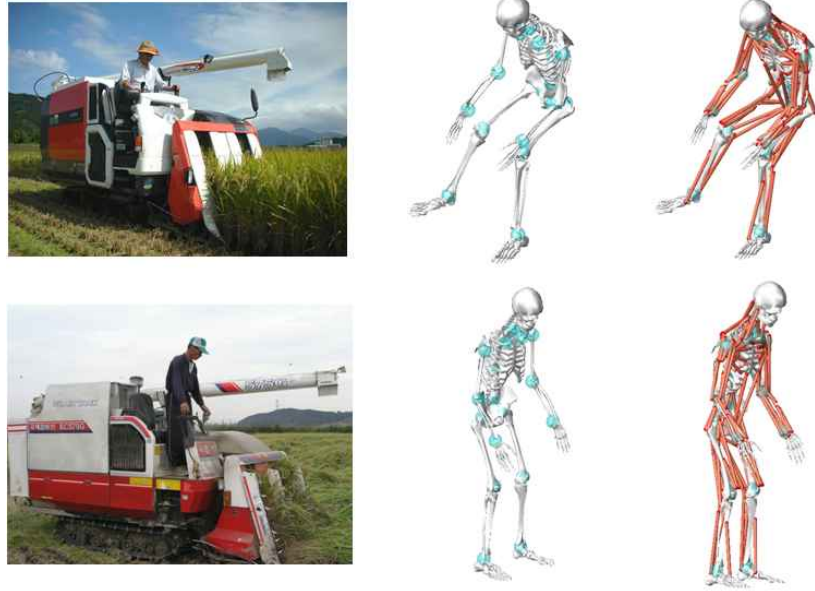


그림 3-145 근골격 모델.

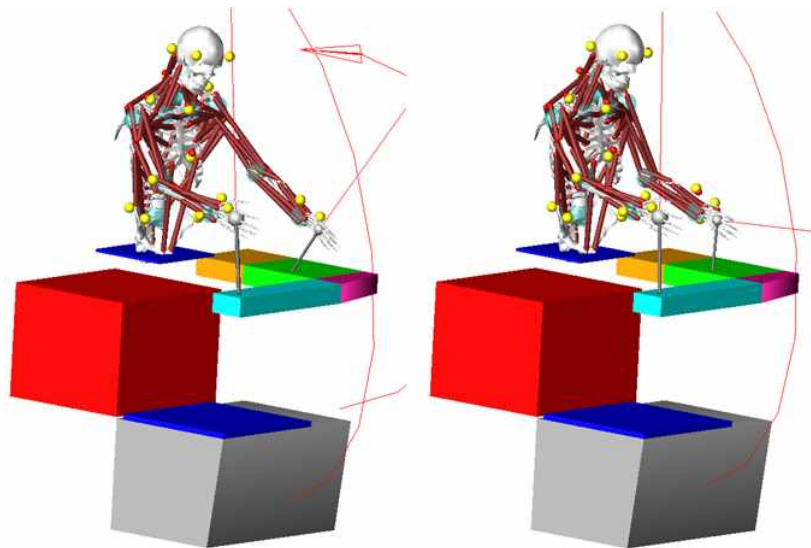


그림 3-146 근골격 모델의 콤바인 작업 모습.

완성된 근골격 모델을 이용하여 콤바인 작업을 수행하고 그 때 근육에 작용하는 근력을 분석한 결과는 아래 그림 3-147과 같다. 조사된 근육의 일부는 biceps brachii근으로, 그래프에서 파란색 실선을 나타낸다. 이 근육은 팔꿈치의 회전 동작에 작용하는 근으로 콤바인 동작에서 어깨의 회전이 크게 나타나지 않았다. deltoid근은 위팔을 모든 방향으로 움직이게 하는 근으로 위팔의 작용력이 약 175N 정도 작용하는 것을 볼 수 있다. trapezius근은 위팔 올림 내림 등의 동작을 하는 근육으로 오른팔 동작에서 최대 550N 정도 작용하여 큰 부하를 받고 있음을 볼 수 있다.

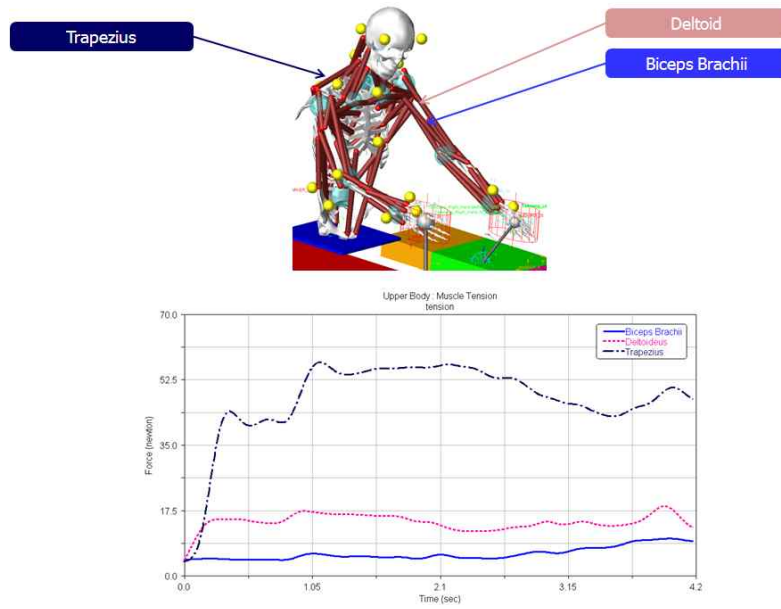


그림 3-147 콤바인 작업에 따른 근육의 작용력 측정 결과.

다. 인체 근골격계 모델 설계

(1) 인체 골격 모델 설계

(가) 인체계측 정보 DB 소개 및 인체 관절 모델

인체 골격 모델을 만드는 기초 과정은 신체분절(segment)을 구성하는 일이다. 인체계측 DB를 이용하여 19개 신체분절을 만들어낸다. 이 신체분절은 그림 3-148과 같이 머리, 목, 몸통 상부, 몸통 중부, 몸통 하부, 좌, 우 견갑부, 좌, 우 상완, 좌, 우 전완, 좌, 우 수지부, 좌, 우 대퇴부, 좌, 우 하퇴부, 좌, 우 족부로 구성된다.

인체의 모든 뼈들이 이 19개의 신체분절로 단순화되었으며, 분절 각각을 다시 여러 개의 세밀한 분절로 나눌 수 있다. 발의 경우는 여러 개의 뼈들로 구성이 되어 있고 이들 뼈는 인대나 건으로 연결 되어 있으나, 본 연구에서는 발을 하나의 분절로 설정하고, 지면과 발 사이의 접촉은 6개의 접촉타원체를 설정하여 모델링하였다.

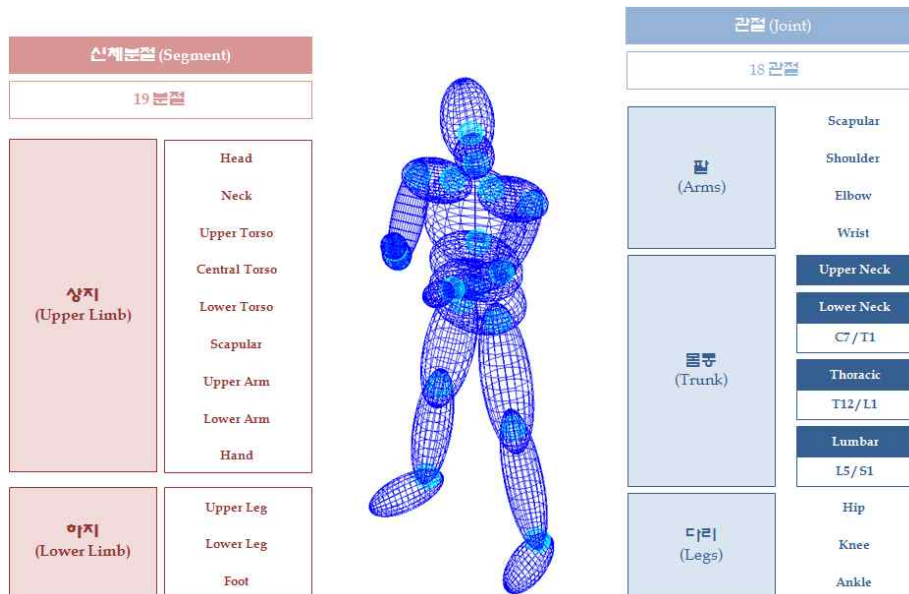


그림 3-148 신체분절 구성 및 모델 뼈대.

ADAMS LifeMOD 인체 골격 모델 모듈에서 인체를 구성하는 방법은 크게 3가지로 나뉜다. 첫 번째 방법은 2개의 내부 인체계측 DB (GEBOD와 people size)를 이용하여 신체분절을 구성하는 것이다. 두 번째 방법은 인체계측 정보에 대한 구체적인 정보가 담겨 있는 파일을 이용하여 구성하는 방식이다. 세 번째는 단순한 인체관절 위치정보를 이용하여 구성하는 방식이다.

GEBOD (GEnerator of BOdy Data) 인체계측 DB는 단순하게 피험자의 성별, 나이, 키 및 몸무게에 기준하여 신체분절을 구성한다. 입력정보에 따라 인체계측 인자가 결정되며, 필요에 따라 조정이 가능하다. 또한 DB는 인체 골격 모델을 만들거나 더미를 만드는데 쓰이는 정보를 포함한다. 이 정보에는 신체분절의 기하학적 정보, 질량 특성, 관절의 위치와 기계학적 특성이 포함된다. 신체계측 조사와 입체사진술을 이용한 정보를 적용하여 회귀방정식을 구하게 된다. GEBOD DB는 대화식 및 메뉴 구동방식의 프로그램이다. 사용자의 선택을 위해 7개 인체 골격 모델 유형이 있고, 선택에 따라 사용자는 피험자의 키, 몸무게, 나이 등을 입력하게 된다. 다른 방법은 그림 3-149와 같이 사용자의 32개의 기본 정보를 이용하여 만드는 것이다. 성인남성과 여성 피험자를 만드는 절차는 그림 3-150과 같다. 그림에서 사각형 모양의 상자는 데이터 세트를 말하며, 둥근 모양은 과정을 말하거나 신체 계측 정보를 제공할 회귀방정식을 나타낸다.

그림 3-149와 같이 32개의 인체 치수를 입력하여 질량과 관절 위치 등의 값을 구할 수 있다. GEBOD에 의한 모든 인체계측 정보는 각 신체분절의 지역좌표계를 기준으로 표기된다. 여기서 분절 지역좌표계는 분절의 무게중심에 좌표계의 원점을 둔다. 인체 골격 모델 중 몸이 서있는 자세에서 발가락은 아래를 향하고 더미를 기준으로 앞으로 향할 때 지역 좌표계의 양의 Z 방향은 아랫방향, 양의 X방향은 전방을 향한 방향, 양의 Y방향은 몸의 오른쪽 방향으로 정한

다. 회귀방정식은 성인 남성 및 여성의 메뉴옵션에서 이용된다. 알려진 계측정보를 바탕으로 잘 알려지지 않은 정보를 예측하기 위해 널리 쓰이는 방법이다. GEBOD DB 안에는 신체치수, 관절의 지역좌표계, 신체분절의 부피 및 주관성 모멘트를 예측하기 위한 4그룹의 회귀방정식이 있다. 각 그룹은 아이를 제외한 2개의 1차 회귀방정식을 가지고 있고 신장과 체중이 회귀방정식의 독립변수로 사용되었다. 아이에 대한 회귀방정식은 부가적인 독립변수로 나이가 고려되었다.

#	DIMENSION	#	DIMENSION
0	Weight	16	Hip Breadth, Standing
1	Standing Height	17	Shoulder to Elbow Length
2	Shoulder Height	18	Forearm-Hand Length
3	Armpit Height	19	Biceps Circumference
4	Waist Height	20	Elbow Circumference
5	Seated Height	21	Forearm Circumference
6	Head Length	22	Waist Circumference
7	Head Breadth	23	Knee Height, Seated
8	Head to Chin Height	24	Thigh Circumference
9	Neck Circumference	25	Upper Leg Circumference
10	Shoulder Breadth	26	Knee Circumference
11	Chest Depth	27	Calf Circumference
12	Chest Breadth	28	Ankle Circumference
13	Waist Depth	29	Ankle Height, Outside
14	Waist Breadth	30	Foot Breadth
15	Buttock Depth	31	Foot Length

그림 3-149 GEBOD DB의 인체계측 입력정보.

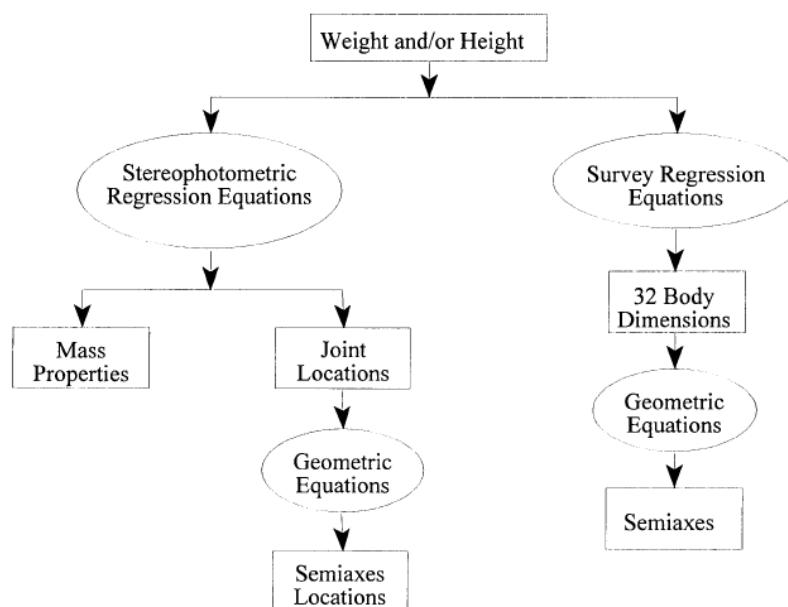
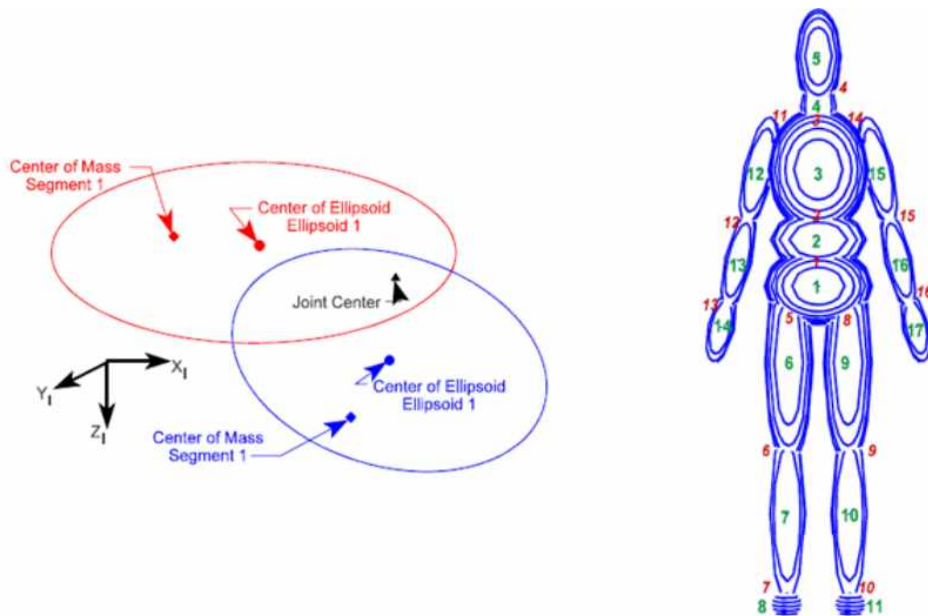


그림 3-150 성인 남성 및 여성 모델 구성을 위한 절차.

그림 3-151에서 인체 골격 모델의 구조와 외형은 접촉식 Semi-Axis 타원형과 관절의 위치로 결정된다. 이 접촉식 Semi-Axis 타원형은 각 신체분절(신체분절의 모양과 신체분절과 외부 환경과의 표면 상호관련성)과 관련이 있다. 관절은 신체분절을 연결하며, 회전운동이 일어날 수 있도록 피봇 점을 제공한다. 자유도에 따라 여러 유형의 관절(볼 조인트, 핀 조인트 및 오일러 조인트)이 존재하는데, 이러한 관절은 스프링 토크, 쿨롱 마찰력 및 점성 토크와 관련이 있다.

ADAMS LifeMOD 인체 골격 모델에서의 관절은 그림 3-151과 같이 인접한 두 개의 신체 분절 사이를 잇는데 사용되는 기구학적 구속이다. 이 관절은 하이브리드 3 층돌 더미에 이용되는 수동적이거나 역기구학적 분석이나 순기구학적 분석에 이용될 정보를 기록하는 학습적인 요소일 수 있다. 역동역학 시뮬레이션 과정동안 모델이 모션 캡처 정보에 의해 구동하는 동안 인체관절은 각운동 패턴을 학습한다. 학습한 이후 순동역학 시뮬레이션 과정동안 이 동작 패턴이 반복되고, 이때에는 관절이 액추에이터의 역할을 수행한다. 각 관절의 구조를 구체적으로 살펴보면 다음 그림 3-152와 같다.



Contact Ellipsoid Semi-Axis and Joint location

그림 3-151 인체 골격 모델의 분절 기하학적 형상 및 관절 위치.

JOINT LOCATIONS RELATIVE TO LOCAL REFERENCE AXIS SYSTEMS

JOINT	RELATIVE TO	LOCATION		
		X	Y	Z
Abdomen pelvis	pelvis	0.0	0.0	$(DD_1 - DD_5 - DD_4 - 0.1(DD_2 - DD_4)) / 2$
	abdomen	0.0	0.0	$(DD_2 - DD_4) / 10$
Thorax-abdomen	abdomen	0.0	0.0	$-(DD_2 - DD_4) / 10$
	thorax	0.0	0.0	$9(DD_2 - DD_4) / 20$
Neck-thorax	thorax	0.0	0.0	$-9(DD_2 - DD_4) / 20$
	neck	0.0	0.0	$(DD_1 - DD_8 - DD_2 - \frac{DD_9}{2}) / 2$
Head-neck	neck	0.0	0.0	$-(DD_1 - DD_8 - DD_2 - \frac{DD_9}{2}) / 2$
	head	0.0	0.0	$(DD_8 + \frac{DD_9}{2}) / 2$
Right hip	pelvis	0.0	$(DD_{16} - \frac{DD_{24}}{\pi}) / 2$	$(DD_4 - (DD_2 - DD_4) / 10 - DD_1 - DD_5 - \frac{DD_{24}}{\pi}) / 2$
	right thigh	0.0	0.0	$-(DD_1 - DD_5 - DD_{23} + \frac{DD_{26}}{\pi}) / 2$

그림 3-152 지역 좌표계에 대한 관절의 위치.

ADAMS LifeMOD 인체관절은 3축 힌지 조인트와 특별한 관절구현을 위한 이 3자유도 중의 하나인 관절 각각에 수동적인 혹은 능동적인 힘을 구성한다. 그림 3-153은 관절을 다양한 방법으로 나타낸 것으로, 관절에서의 타원형의 크기는 관절에 발생하는 토크에 비례한다. 가운데 그림은 관절의 자유도를 나타내고 오른쪽 그림은 각 자유도에 따른 해부학적 축을 나타낸다. 관절은 고정식, 자유식, 구동식, 훈련목적의 수동식, 하이브리드, 숙지된 운동 구동식으로 나뉜다. 하이브리드 3 층돌 더미모델은 암스트롱 우주공간 의학 연구실에서 측정된 강성계수와 제동계수 및 마찰계수를 이용한다. 비선형 강성계수는 인체 골격 모델의 18개 관절의 3 방향 회전 자유도에 각각 포함된다. 일반적인 관절 가동구간에서는 작은 강성계수를 나타내지만, 생물학적 한계 구간에 이를 경우 강성계수의 기울기는 급격해져 관절에 부상이 발생할 수 있다. 이 관절에서 발생하는 토크 값은 일반적으로 수동적인 반응으로 표현된다. 즉 갑작스런 충들로 인한 기구학적 반동에 대한 반응으로 여겨진다.

인체 골격 모델의 신체분절과 관절에 대한 정의가 이뤄지고 나면, 모델링에서 구현되는 작업의 동작을 인체 골격 모델에 적용한다. 구현하고자 하는 동작을 각 관절에 시간에 따른 각도변화를 부여하고, 몸의 균형을 유지하기 위해 몸통부에 궤적을 부여하는 것이다. 따라서 모델에 동작을 훈련시키는 역기구학적 시뮬레이션 과정이 필요하다. 그림 3-154와 같이 동작분석 장비를 이용해 동작의 궤적 값을 측정하고, 측정된 궤적값을 MOCAP 정보라 한다. 이 과정을 수행하기 위해서는 피험자 마커셋과 ADAMS 인체 골격 모델의 마커셋을 일치시키고, 운동분석 장비의 궤적을 ADAMS 모델이 잘 추종할 수 있도록 마커들을 스프링과 댐퍼로 묶어둔다. 이 값이 너무 높은 값으로 설정되면 인체 골격 모델의 동작이 많이 떨리게 되며, 상대적으로 적은

값을 주면 잘 추정하지 못해 마커간의 차이가 발생하여 원하는 동작을 구현하는데 문제가 생긴다. 이 수치는 매뉴얼에 제시된 값을 참조하였다.

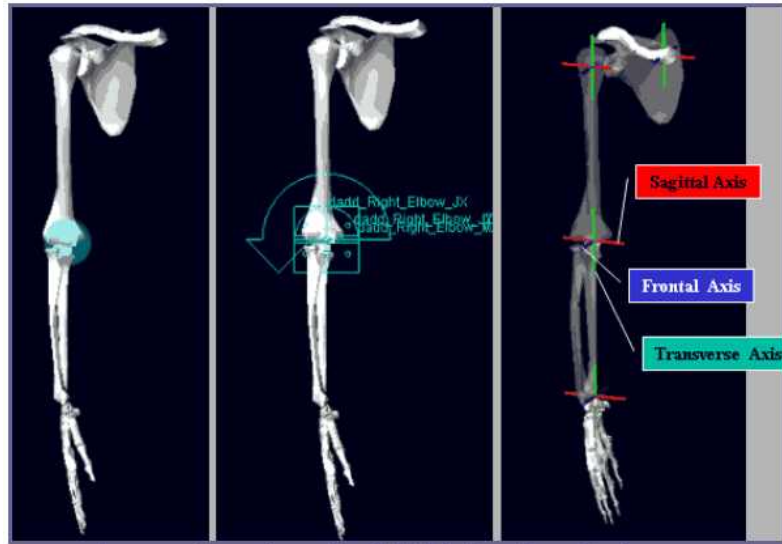


그림 3-153 ADAMS 인체 모델 관절.

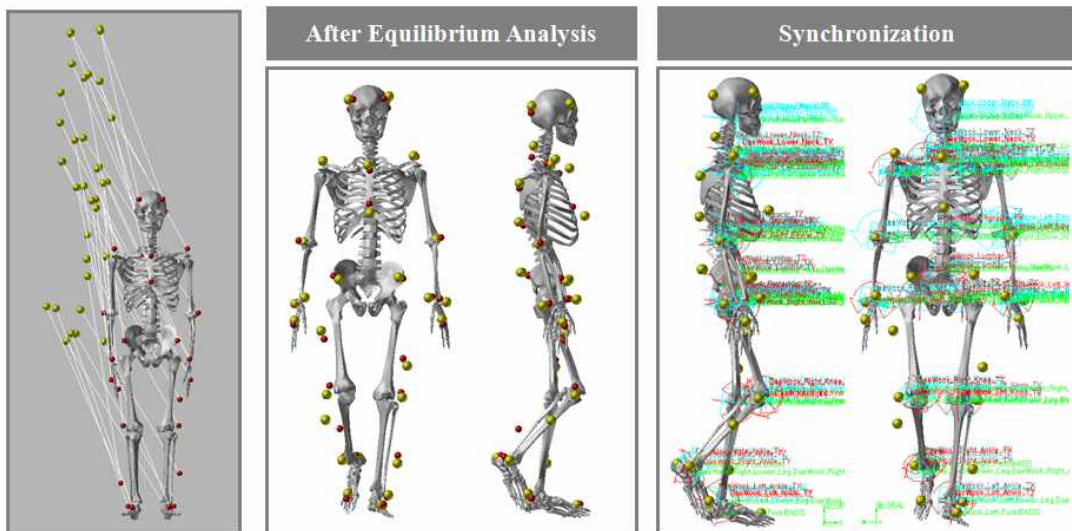


그림 3-154 마커셋 및 역동역학 시뮬레이션 과정.

동역학적 과정이 종료되면 각 관절의 궤적정보가 기록된다. 그림 3-155는 발목관절에서의 궤적 정보를 보여준다. 보행에서 인체 골격 모델의 균형유지를 위한 모션 트랙터의 궤적도 이 과정을 통해 기록된다. 순기구학적 과정은 전 과정에서 기록된 관절의 궤적을 추정하는 제어기가 각 관절에 위치하여, 기록된 값을 추종하게 된다. 그림 3-156과 같은 제어기가 모션 트랙터에 내장되어 같은 원리로 작동하며 제어기의 구조는 3-157과 같다.

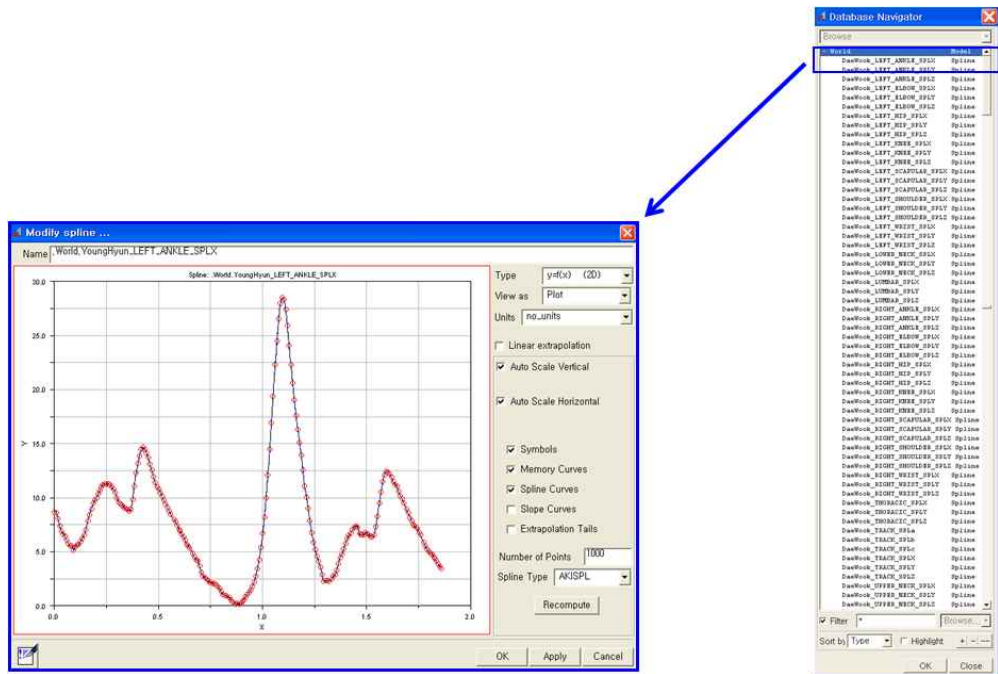


그림 3-155 기록된 관절에서의 궤적값(발목관절).

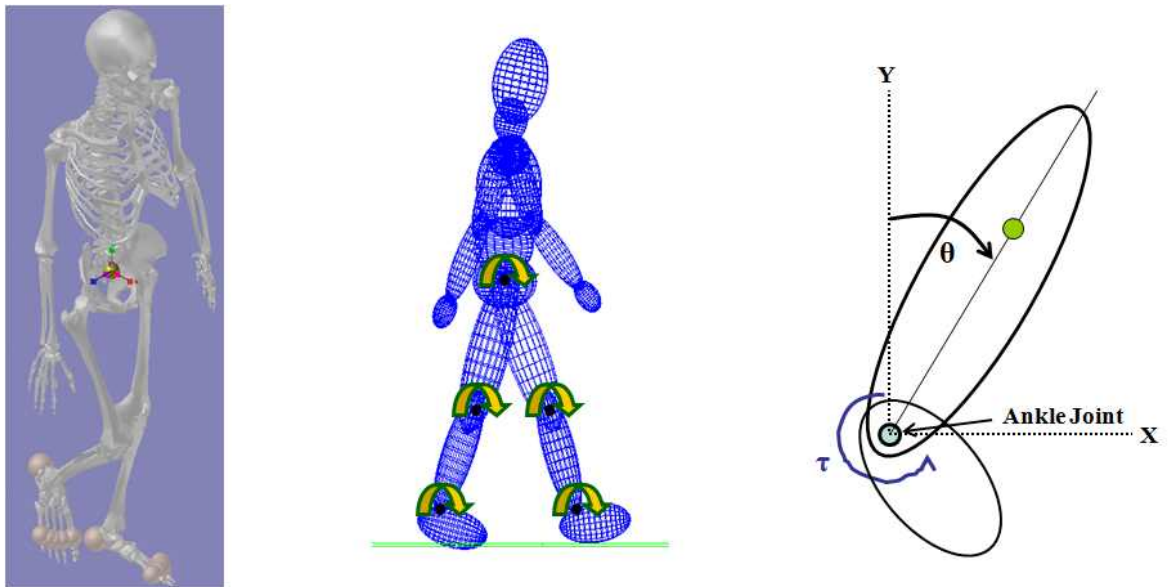


그림 3-156 순기구학적 과정을 통해 관절에서의 궤적값 추정(발목관절).

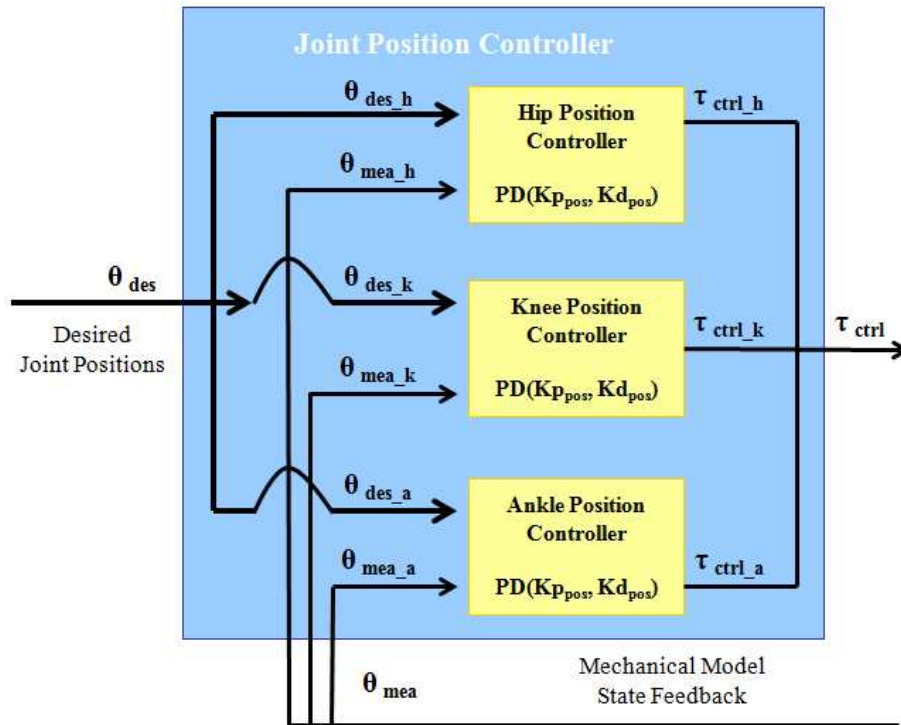


그림 3-157 궤적을 추정하기 위한 관절의 제어기 구조.

(2) 인체 근 모델 설계

완성된 근 모델의 스프링-댐퍼 근모델 구성은 그림 3-158과 같으며 Active Muscle은 식 3-18의 관계식을 갖는다. 근육의 구조는 근섬유 수축요소와 건이 직렬로 연결된 구조이다. 수축 요소는 우모각(α)만큼 기울어진 시 상태로 건과 연결되어 있으며, 작용근력의 방향은 건의 방향과 같다. 이러한 근육 모델의 수학적 구성은 기존 연구에서 제시된 몇 가지가 있다.

농업인의 인체 모델은 근육모델로 순 합력(net force) 접근방법을 사용한다. 이 방법을 사용하여, 정확한 인체 분절의 운동을 재현하기 위해 근육모델은 근육의 생리학적 한계 범위 내에서 필요한 힘을 만든다. 인체 모델 내에 충분한 근육이 포함된다고 가정하면, 계산된 근육의 힘이 생리학적인 근육의 힘과 유사할 것이다. 근전도 정보가 사용가능하다면, 모델의 근육반응과 근전도 정보와 비교함으로써 근육모델의 필터링 함수에 사용될 수 있다.

인체 모델 시뮬레이션을 위해, 두 단계의 과정이 수행된다. 첫 번째 단계는 근육이 수동적인 요소로 설정된다. 이 단계는 역기구학적인 과정으로 근육의 신전/이완 패턴($L_{desired}$)이 기록되며 근육 움직임 패턴은 인체 모델 운동을 구현하는데 사용된다. 두 번째 단계에서는 근육이 능동적인 요소로 설정되며, 시뮬레이션 과정 중에 수식 3-18과 같은 힘을 생성한다. 근육 작동장치는 역기구학적인 과정에 기록된 근육의 길이와 시뮬레이션 과정 중의 근육의 길이(L_{actual})와의 오차의 차이를 최소화하는 힘을 생성한다.

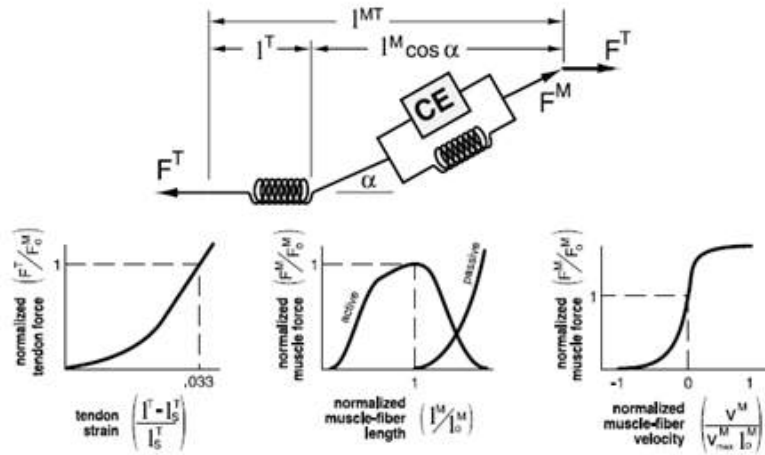


그림 3-158 스프링-댐퍼 근모델 구성.

$$F_1 = \begin{cases} F_{\max} & : \text{if } F_1 \geq F_{\max} \\ P_{\text{gain}}(L_{\text{desired}} - L_{\text{actual}}) + D_{\text{gain}}(\dot{L}_{\text{desired}} - \dot{L}_{\text{actual}}) & : \text{if } F_1 < F_{\max} \\ 0 & : \text{if } L_{\text{desired}} \geq L_{\text{actual}} \end{cases} \quad \text{수식 3-18}$$

$F_i = F_{\text{filter}}(F_1)$, where $0 \leq F_{\text{filter}} \leq 200\%$

P_{gain} : 비례제어 계수

D_{gain} : 미분제어 계수

F_1 : 근육 힘

F_{filter} : 근육 출력 힘 비율

라. 인체 근골격계 모델 검증

(1) 인체 골격 모델 검증

ADAMS LifeMOD 인체 골격 모델을 이용한 콤바인 수확 작업의 모델링을 위해 그림 3-159와 같은 모델링 대상에 대한 정의, 작업 모델링, 모델링 적용범위, 모델의 정확성, 모의실험 변수 및 결과에 대한 논의가 이루어져야 한다. 본 연구는 다음의 체크리스트를 통해 모델링 작업을 진행하였다.

ADAMS LifeMOD 생체 모델링 접근 (Modeling Approach)

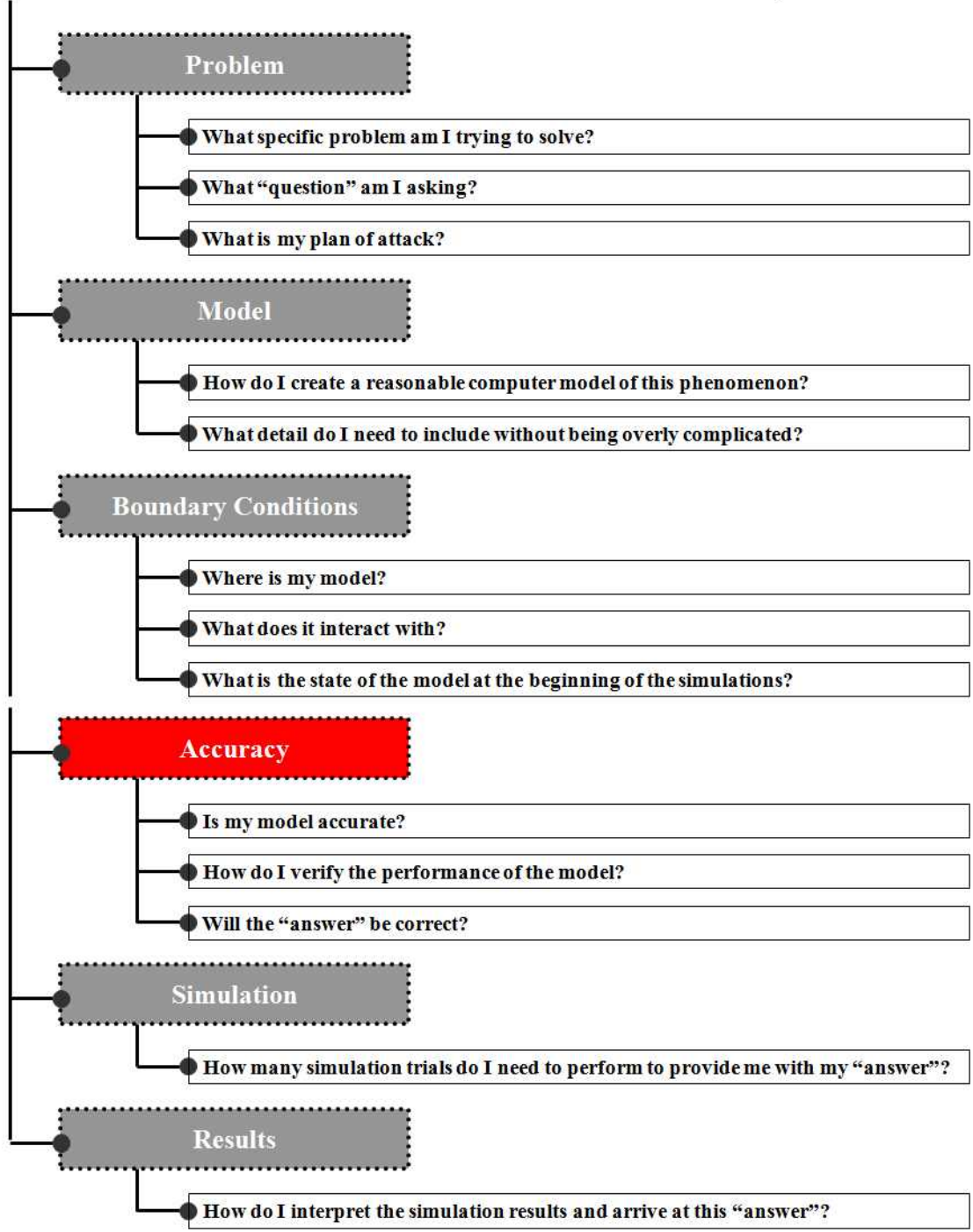


그림 3-159 ADAMS LifeMOD 인체 골격 모델링 체크리스트.

(가) 신체분절 및 관절을 이용한 인체 골격 모델 검증

① ADAMS LifeMOD 인체계측 DB 활용 정보

피험자의 신장, 체중 및 나이를 이용하여 신체분절을 구성하는 GEBOD 인체계측 DB를 이용하여 그림 3-160과 같이 인체 모델의 신체분절과 관절을 구성하였다. 관절의 강성계수, 제동계

수 값은 문헌을 참조하여 적용하였다. 인체 모델의 형태는 링크타입, 골격 및 타원형 신체분절 타입으로 표현된다. 신체분절을 이용한 모델링 목적에 따라 쓰이는 형태 또한 달라진다.

GEBOD 인체계측 DB를 이용하여, 구성된 인체계측 정보는 그림 3-161과 같다. 신장, 체중 및 나이를 통해 32개의 계측정보가 예측된다. 이 정보를 이용하여 관절의 위치, 신체분절 각각의 질량, 길이, 무게중심 및 관성모멘트를 구한다. 근육이 부착되는 위치 또한 각 분절의 지역 좌표계를 이용하여 표시된다.

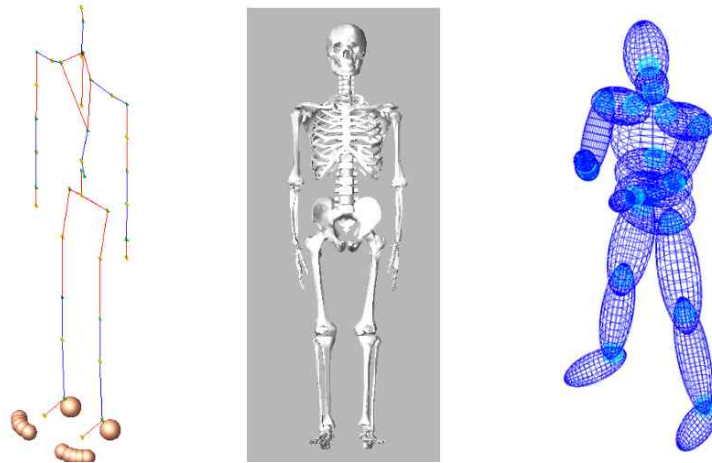


그림 3-160 GEBOD 인체계측 DB를 이용한 인체분절 및 관절 구성.

• Anthropometry (Body Segment)

Two internal Anthropometric DB	GEBOD, People Size
Import detailed segment description file	
Import a single joint location file	

• LifeMOD - Body Segment Measurement Table : In case of GEBOD Option.

: BODY MEASUREMENT TABLE (length data displayed in inches)

Male	Female	Child	Non-Human		Hands Gripping	Hands Open
항목	값	항목	값	항목	값	항목
Age (months)		Waist Depth		Left Knee Height Seated		
Weight (lbs)		Waist Breadth		Right Thigh Circumference		
Standing Height		Buttock Depth		Left Thigh Circumference		
Right Shoulder Height		Hip Breadth Standing		Right Upper Leg Circumference		
Left Shoulder Height		Right Shoulder To Elbow Length		Left Upper Leg Circumference		
Right Armpit Height		Left Shoulder To Elbow Length		Right Knee Circumference		
Left Armpit Height		Right Forearm Hand Length		Left Knee Circumference		
Waist Height		Left Forearm Hand Length		Right Calf Circumference		
Seated Height		Right Biceps Circumference		Left Calf Circumference		
Head Length		Left Biceps Circumference		Right Ankle Circumference		
Head Breadth		Right Elbow Circumference		Left Ankle Circumference		
Head To Chin Height		Left Elbow Circumference		Right Ankle Height Outside		
Neck Circumference		Right Forearm Circumference		Left Ankle Height Outside		
Shoulder Breadth		Left Forearm Circumference		Right Foot Breadth		
Chest Depth		Right Wrist Circumference		Left Foot Breadth		
Chest Breadth		Left Wrist Circumference		Right Foot Length		
		Right Knee Height Seated		Left Foot Length		

그림 3-161 GEBOD 인체계측 DB를 이용한 피험자 계측정보.

② ADAMS LifeMOD 인체관절 파라미터 및 수치 정보

문헌에 제시된 관절의 강성계수와 점성계수를 이용하여, 초기의 관절을 구성하고 이 계수를 조절하여 그림 3-163과 같이 적정 계수 값을 구하였다. 강성계수와 점성계수의 값에 따라 관절의 가동범위가 달라지는데, 계수 값이 큰 경우에는 정상적인 운동범위보다 작게 나타나며, 너무 작은 계수 값을 가지는 경우에는 매우 크게 운동범위가 나타난다.

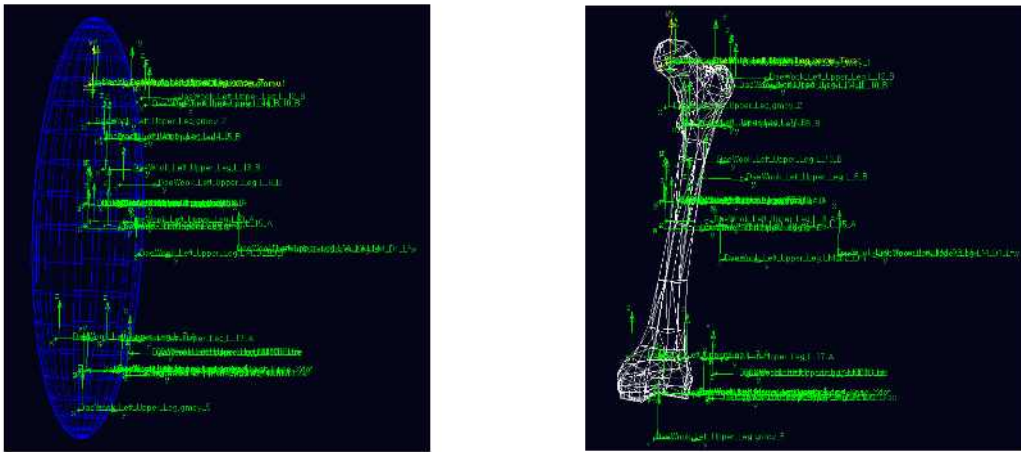


그림 3-162 근육의 부착위치(분절 지역좌표계 기준).

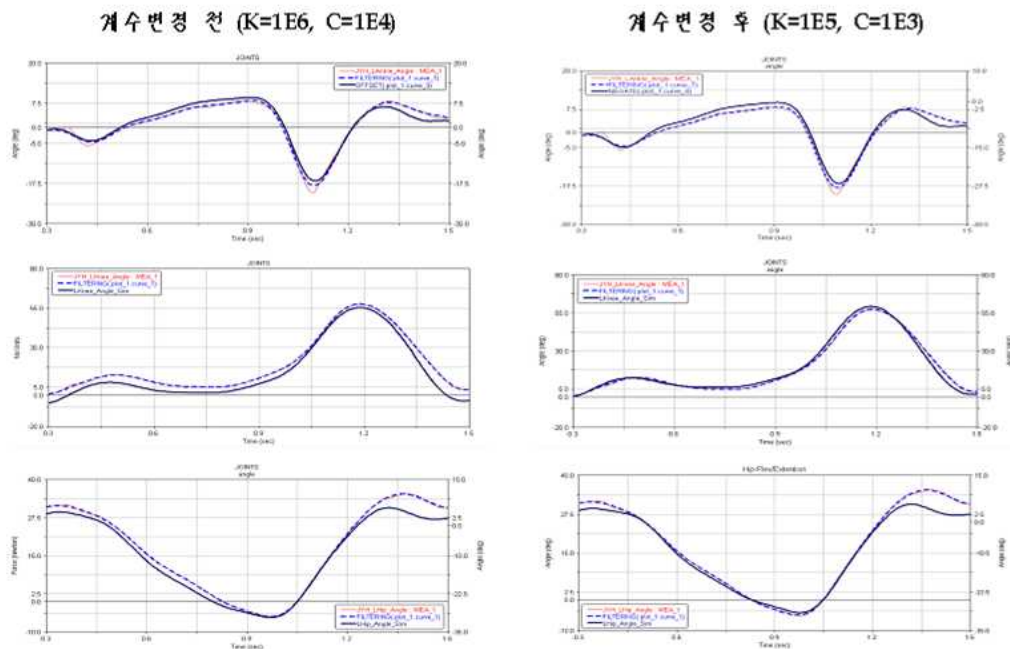


그림 3-163 적정 계수에 대한 결과.

③ ADAMS LifeMOD 족부모델(접촉모델)

그림 3-164와 같이 발과 지면과의 접촉은 6개의 구형과 지면과의 접촉 시 발생하는 침하되는 깊이와 침하속도에 따라 발생하는 Impact 함수로 수직력을 표현하였다. 본 연구에서는 문헌을 참조하여, 강성계수 k 값을 1000으로, 감쇠계수 c 값을 10으로 설정하였다.

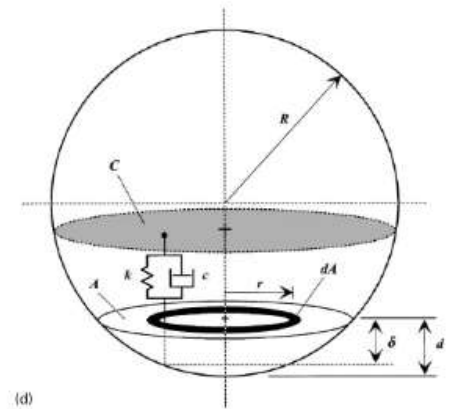
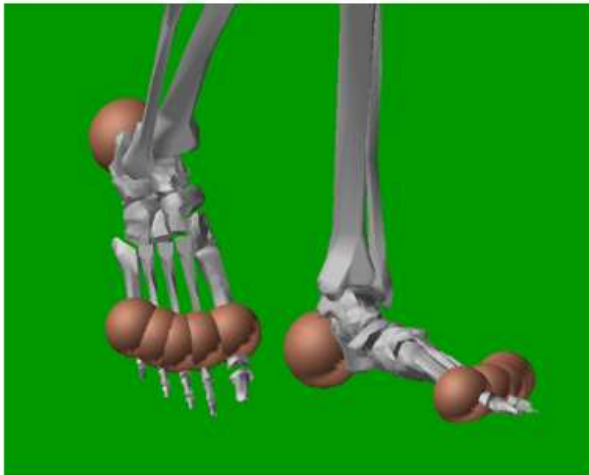


그림 3-164 족부접촉 모델.

(나) 보행분석과 들기실험을 통한 인체 골격 모델 검증

① 모델 검증을 위한 평가 인자 선정

상용 프로그램인 Vicon Plug-in Gait 모델을 이용한 보행분석 결과와 ADAMS LifeMOD 인체 모델을 통한 분석결과를 비교 평가하였다. 평가인자는 무게중심, 하지 부위(발목, 무릎, 고관절)의 관절각과 힘, 모멘트 값이다. 지면반력은 지면 반력기(AMTI, USA)를 통해 측정된 측정치와 ADAMS 족부모델을 통한 예측치를 비교 평가하였다.

② 보행분석 결과 및 비교 검증 그래프

구성된 인체 모델의 유용성을 검증하기 위해 보행을 선택하였다. 이 보행동작은 인체의 가장 보편적이고 일반적인 활동이다. 보행은 동적인 활동일 뿐 아니라 외부요인에 대해 능동적으로 적응해 나가는 인간의 보편적인 활동이기도 하다. 따라서 이에 대한 많은 연구들이 이뤄져 왔고, 많은 인체활동 정보들(관절각, 관절력, 관절모멘트 그리고 근육활동)이 DB화 되어있다.

ADAMS 골격모델을 구현하는 방법은 그림 3-165에서와 같이 각 관절에서의 운동범위가 트레이닝 과정에서 기록된 관절각 운동을 똑같이 추종해 나갈 수 있도록 각 관절에서의 제어기를 이용하는 방법이다. 보행의 주기는 지면반력기를 통해 왼발과 오른발 지면반력 측정값을 전·후로 한 3주기 정도로 선택하였고, 데이터의 손실을 막기 위해 5회 반복실험을 하였다. 가급적

이런 보행 중에 팔의 운동은 통제하였다.

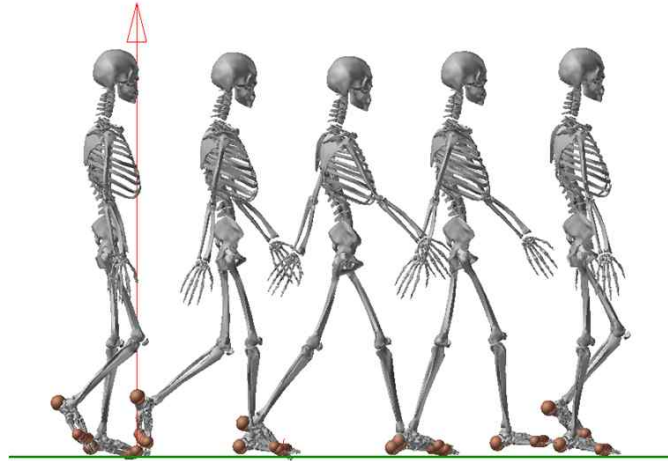


그림 3-165 보행분석 시뮬레이션 분석결과.

㉔ 무게중심 및 지면반력

인체의 무게중심은 인체의 균형 유지 활동을 나타내는 파라미터로 보행분석의 중요한 평가 인자이다. 본 연구에서도 검증된 인체 모델(Vicon Plugin-Gait)을 이용한 무게중심(COM) 궤적 값과 ADAMS 인체 모델 예측 궤적 값과의 X, Y, Z방향에서의 궤적 비교 평가를 통해 모델의 유용성을 평가하였다.

지면반력은 인체가 외부 환경과의 상호작용을 나타내는 중요한 인자이다. 특히 보행활동에서는 지면의 상태에 따라 지면반력이 달라지기 때문에 보행 수행능력이 달라질 수 있다. 여러 문헌에서 인체 모델의 유용성 검증을 위해 평가의 한 인자로 지면반력을 이용하고 있다. 평가방법은 그림 3-166과 같이 무게중심과 달리 지면반력을 지면반력판을 이용하여 직접 측정하는 다음 이를 족부 수학적 모델을 통해 예측된 결과와 비교 평가하였다.

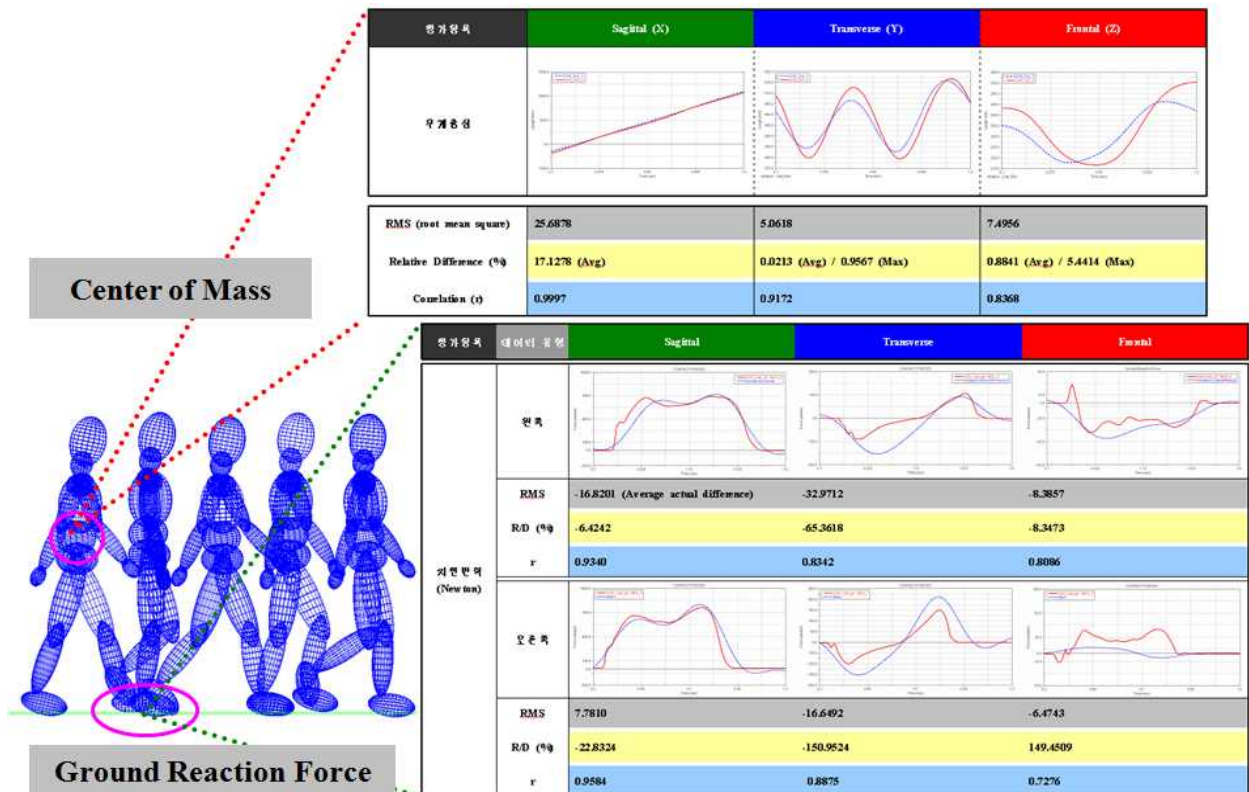


그림 3-166 무게중심과 지면반력을 이용한 검증 결과.

㉠ 발목관절의 관절각, 관절힘 및 관절토크

보행분석에서 분석하는 부위는 대부분 하지이며, 발목관절, 무릎관절, 고관절이다. 특히 발목관절은 인체가 외부 환경 즉 지면과의 상호작용이 직접 일어나는 부위로 보행시 충격이 직접적으로 들어오는 부위이다. 인체 모델의 유용성 검증을 하기 위해 각 관절에서의 기구학적 결과뿐만 아니라 운동역학적 결과도 비교 평가인자로 이용되어야 한다. 그림 3-167과 같이 기구학적 결과를 나타내는 관절각과 운동역학적인 결과를 나타내는 관절힘과 관절토크가 이용되었다.

㉡ 무릎관절의 관절각, 관절힘 및 관절토크

무릎관절은 하지부위의 관절 중 직선운동 뿐만 아니라 회전운동이 모두 이뤄지는 가장 복잡한 구조를 가진 부위이며, 근골격계 질환이 많이 발생하는 부위로 운동선수들의 경우 상해가 빈번히 발생하는 부위이기도 하다. 인체 모델을 이용한 관절부하 평가가 꼭 필요한 부위로 인식되고 있다. 무릎관절은 실질적으로 6자유도의 운동이 일어나는 부위이지만, 인체 모델링 작업 시 단순화시켜 3자유도를 가진 관절로 설정하였다(그림 3-168).

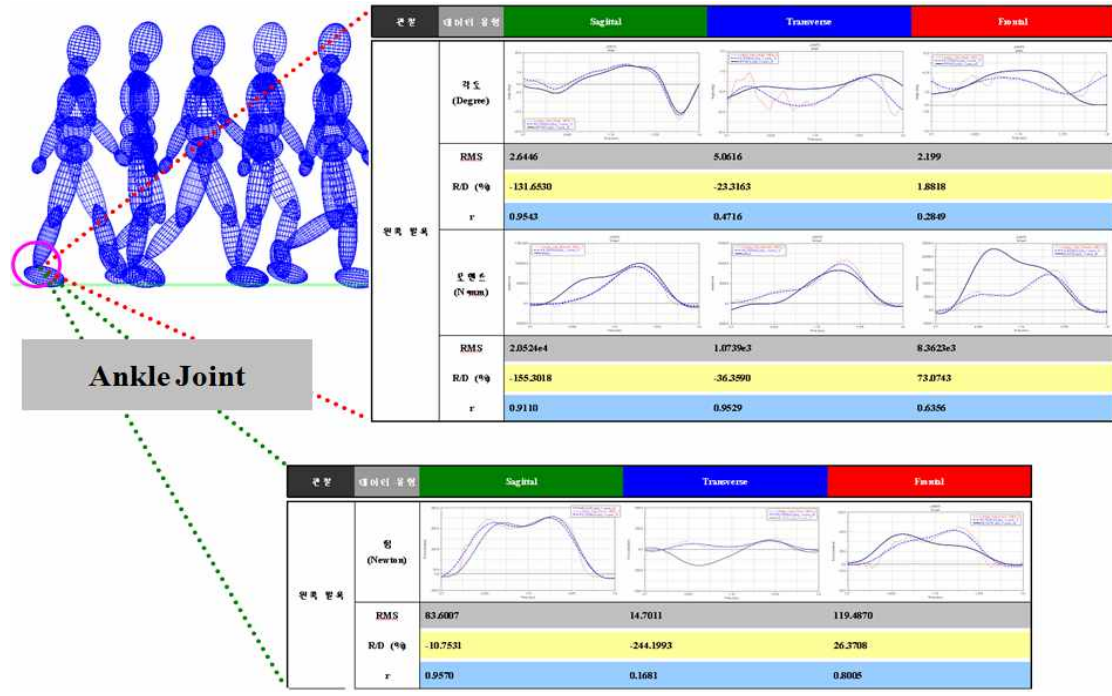


그림 3-167 발목관절의 정보를 이용한 검증 결과.

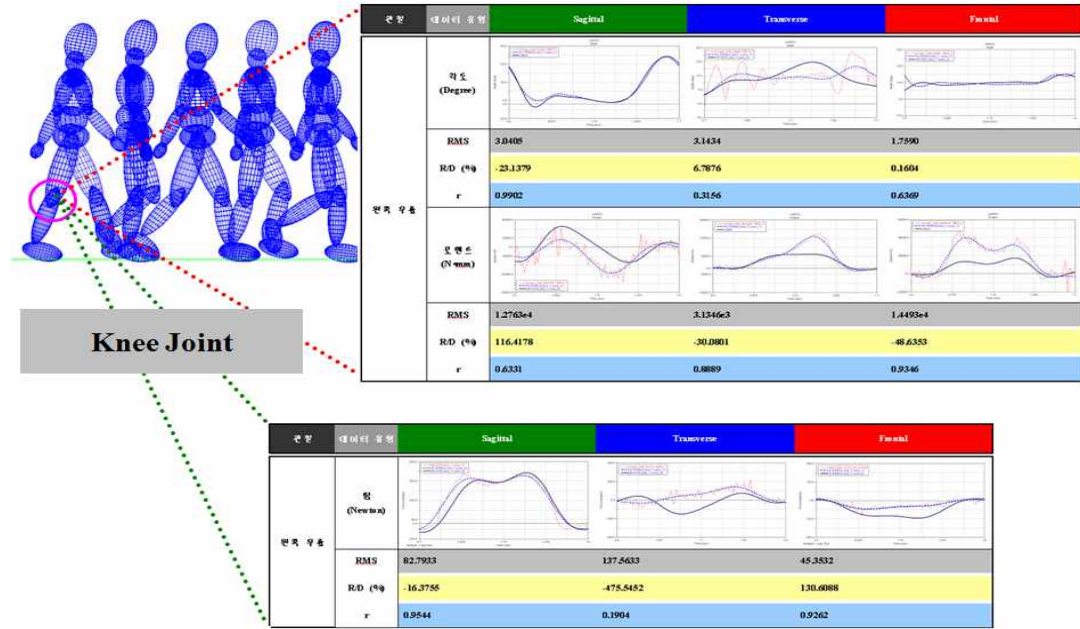


그림 3-168 무릎관절의 정보를 이용한 검증 결과.

㉔ 고관절의 관절각, 관절힘 및 관절토크

고관절은 가장 대표적인 볼, 소켓 관절로 3자유도를 가진 관절이다. 근골격계 질환이 발생하는 부위 중 서양인에게 빈번히 일어나는 부위로 인공관절 수술이 많이 이뤄지는 부위이다. 그러므로 정량적인 위험도 및 작업부하 평가가 필요한 부위이기도 하다. 보행 중에 발생하는

지면반력을 살펴보면, 상대위치 차이 값의 경우 왼쪽, 오른쪽 모두 10%이하의 값을 가지며, 생체 역학적 분석의 적당한 기준인 15%이내에 포함되었다(Wojtyra, 1999). 그림 3-169과 같이 절대위치 차이 값의 경우, 모든 값들이 문헌에 제시되어 있는 값보다 작은 값을 보였다(Gilchrist, 1997). 상관관계는 좌, 우 측방 수평력을 제외하고 모든 힘의 상관관계는 매우 높았다(정대연, 기초사회 통계학).

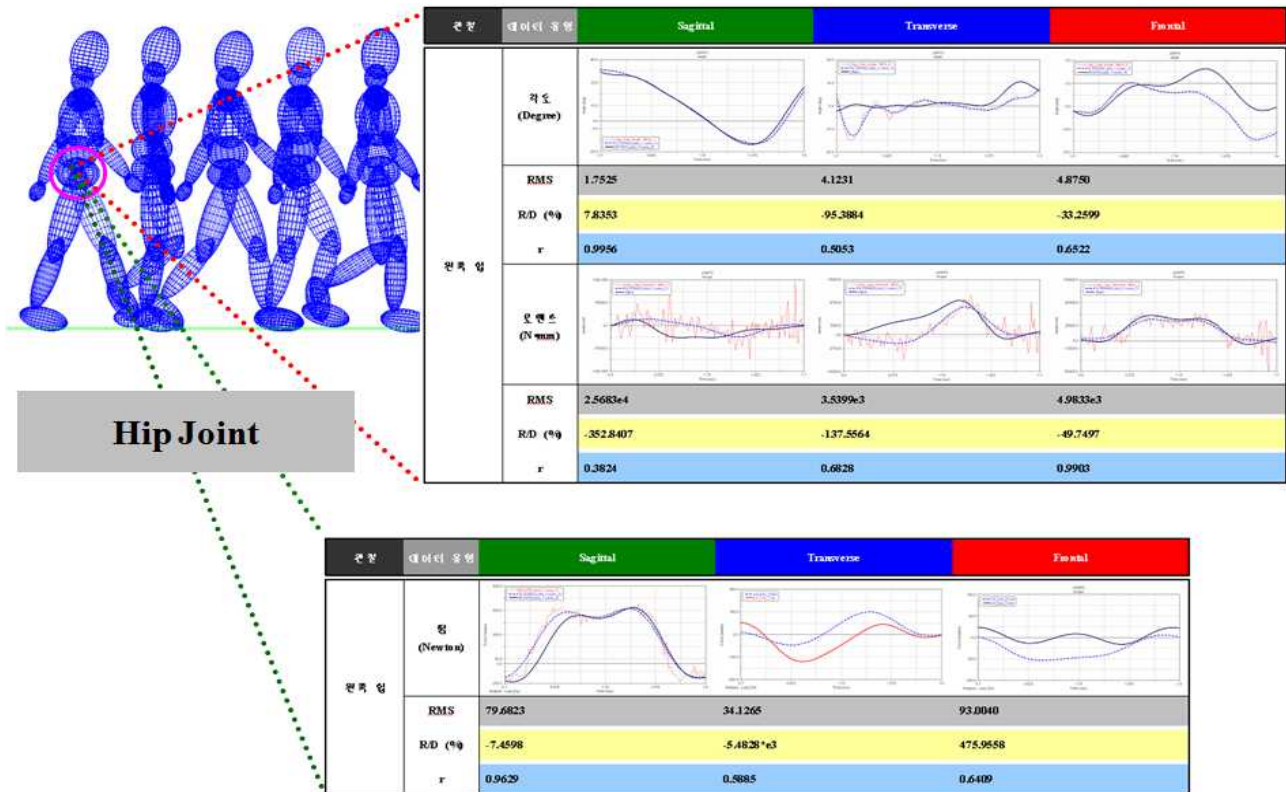


그림 3-169 고관절의 정보를 이용한 검증 결과.

표 3-60의 무게중심을 살펴보면, 상대위치 차이 값의 경우, 진행방향(X), 측면방향(Y) 및 상하방향(Z) 모두 10% 이하의 값을 가지며, 생체 역학적 분석의 적당한 기준인 15% 이내에 포함되었다. 절대 값의 차이도 문헌에 제시된 값보다 작은 값을 보였다. (Pan, et al., 2004) 상관관계 계수도 0.7 이상으로 상관관계가 높았다. (정대현, 기초사회 통계학)

표 3-61, 3-62의 기구학적 정보를 살펴보면, 상대위치 차이 값의 경우, 발목, 무릎, 고관절 모두 10% 이하의 값을 가지며, 생체 역학적 분석의 적당한 기준인 15% 이내에 포함되었다. 절대 값의 차이도 평균 5° 이하였다. 상관관계 계수는 0.9이상으로 상관관계가 매우 높았다.

표 3-59 보행 시 시뮬레이션 결과로부터 추출된 지면반력의 검증결과

Contents	Left Foot			Right Foot		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Relative Position Differences (%)	-2.49	-	-4.22	14.53	-	-1.42
Absolute Position Differences (N)	-6.62	-0.68	8.71	-0.97	2.39	10.74
Pearson's Correlation Coefficients	0.94	0.62	0.94	0.94	0.94	0.94

X : Forward-Backward, Y : Left-Right, Z : Upward-Downward

표 3-60 무게중심에 대한 검증 결과

	Absolute Difference			Relative Difference (%)			Correlation (r)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Average	-7.0635	-0.1834	-0.8771	3.1662	0.0379	0.1949	0.9990	0.7830	0.7392
SD	7.9434	6.2931	5.4983	2.5934	0.6611	2.4391	0.0017	0.1327	0.1722

표 3-61 각 관절의 기구학적 정보에 대한 검증 결과(왼쪽)

왼쪽	Absolute Difference			Relative Difference (%)			Correlation (r)		
	Ankle	Knee	Hip	Ankle	Knee	Hip	Ankle	Knee	Hip
Average	1.1655	0.0142	0.6236	-9.1692	0.6986	-1.9676	0.9738	0.9955	0.9917
SD	0.9505	1.3490	1.2673	3.9277	10.0401	5.3587	0.0245	0.0014	0.0069

표 3-62 각 관절의 기구학적 정보에 대한 검증 결과(오른쪽)

오른쪽	Absolute Difference			Relative Difference (%)			Correlation (r)		
	Ankle	Knee	Hip	Ankle	Knee	Hip	Ankle	Knee	Hip
Average	0.0339	-0.5427	-0.5551	1.2844	5.4749	-1.5234	0.9665	0.9946	0.9947
SD	0.8405	3.1791	1.7657	9.4505	11.5592	5.0780	0.0287	0.0014	0.0020

③ 들기 실험 결과 및 비교 검증 그래프

들기 실험은 요추부의 관절토크를 비교 평가하기 위해 수행되었다(그림 3-170). 들기 작업의 경우 요추부의 상해를 가장 빈번히 발생시키는 작업으로 많은 연구들이 되어왔으며, 그 결과들을 비교 평가하기에 적합한 실험이라 판단되어 수행하였고, 본 연구에서는 논문(Kingma, 1998)에 제시된 방법과 동일하게 수행하여 비교 평가하였다.

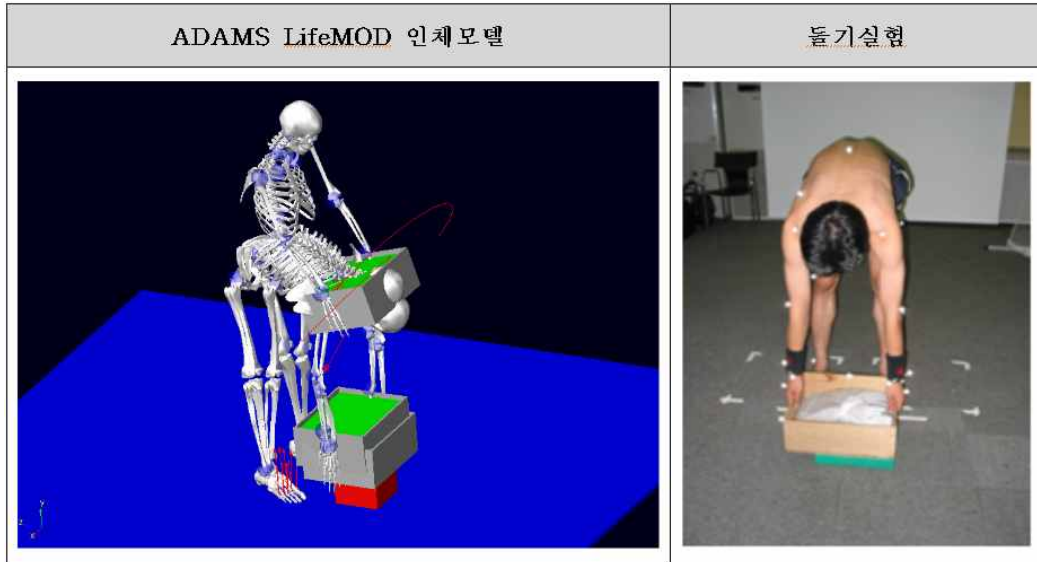


그림 3-170 들기 시뮬레이션 분석결과.

㉔ 지면반력(수직력)

지면 반력기를 통해 얻는 정보는 3방향의 힘으로, 크게 수직력과 수평력으로 분류된다. 들기 실험의 경우 두발을 지면에 지지한 상태에서 들기 작업을 수행하므로 수평력은 수직력에 비해 매우 작은 값을 가진다. 이에 수직력 값을 검증하였으며 그 결과는 그림 3-171와 같다. 이것은 실험값과 문헌(Kingma, 1998)에 나와있는 수직력 값을 일대일 대응시켜 나타낸 그래프로 두 선이 매우 유사한 패턴으로 작용하고 있는 것을 알 수 있다.

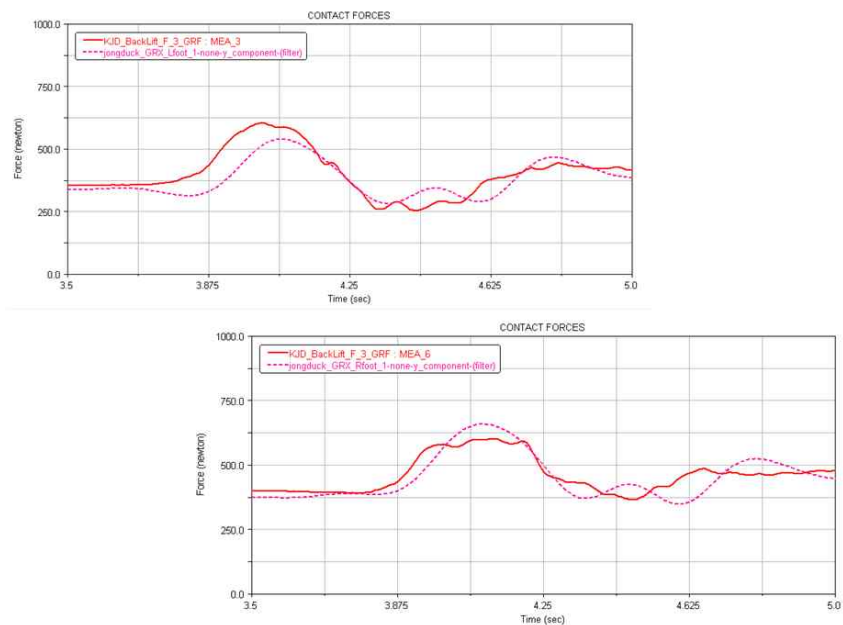


그림 3-171 계측기와 시뮬레이션과의 수직방향 지면반력 정보 비교결과.

㉞ 요추부 관절토크

인체 골격 모델을 통해 요추부 부하를 측정하기 위해서는 모델의 유용성 검증이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 들기 작업을 대상으로 하여 문헌에 제시되어 있는 방법 즉, 절대값 차이, 상대값 차이 그리고 상관계수를 통해 유용성을 검증하였다. 요추부 관절 토크값의 경우 그림 3-172과 같이 시뮬레이션 값과 지면 반력기를 통해 얻은 측정치와의 비교를 통하여 검증하였다. 표 3-63의 상대위치 차이 값의 경우, 왼쪽, 오른쪽 모두 10%이하의 값을 가지며, 생체 역학적 분석의 적당한 기준인 15%이내에 포함되었다.(Wojtyra, 1999) 절대위치 차이 값의 경우, 모든 값들이 문헌에 제시되어 있는 값보다 작은 값을 보였다(Gilchrist, 1997).

표 3-63 들기실험 시뮬레이션 결과로부터 추출된 지면반력의 검증결과

Contents	Left Foot			Right Foot		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Relative Position Differences (%)	-	-	3.36	-	-	8.36
Absolute Position Differences (N)	43.30	-15.13	38.43	-34.48	-6.28	-10.13
Pearson's Correlation Coefficients	0.79	0.68	0.89	0.84	0.94	0.93

X : Forward-Backward, Y : Left-Right, Z : Upward-Downward

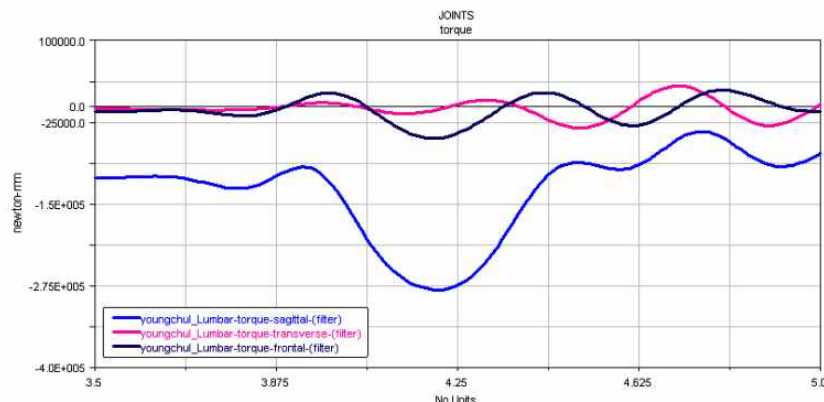
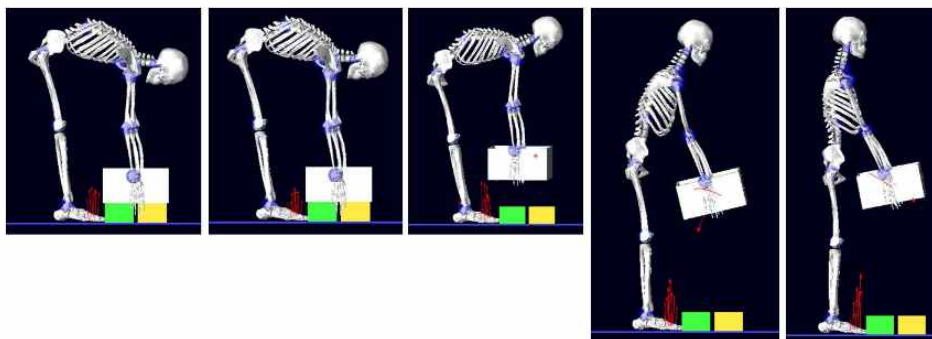


그림 3-172 요추부 관절의 토크 정보.

들기 실험에서는 중량물과의 거리, 높이, 시간 및 자세에 따라 달라지므로 문헌의 실험과 최대한 유사하게 해야한다. 요추부 토크 값은 최대값과 평균값을 구하여 문헌(Kingma et al., 1998)과 비교하였다. 비교 결과 그림 3-173에서 볼 수 있듯이 개발된 모델은 다른 모델(Kingma et al.)과 유사한 분포 범위를 보여 주고 있다.

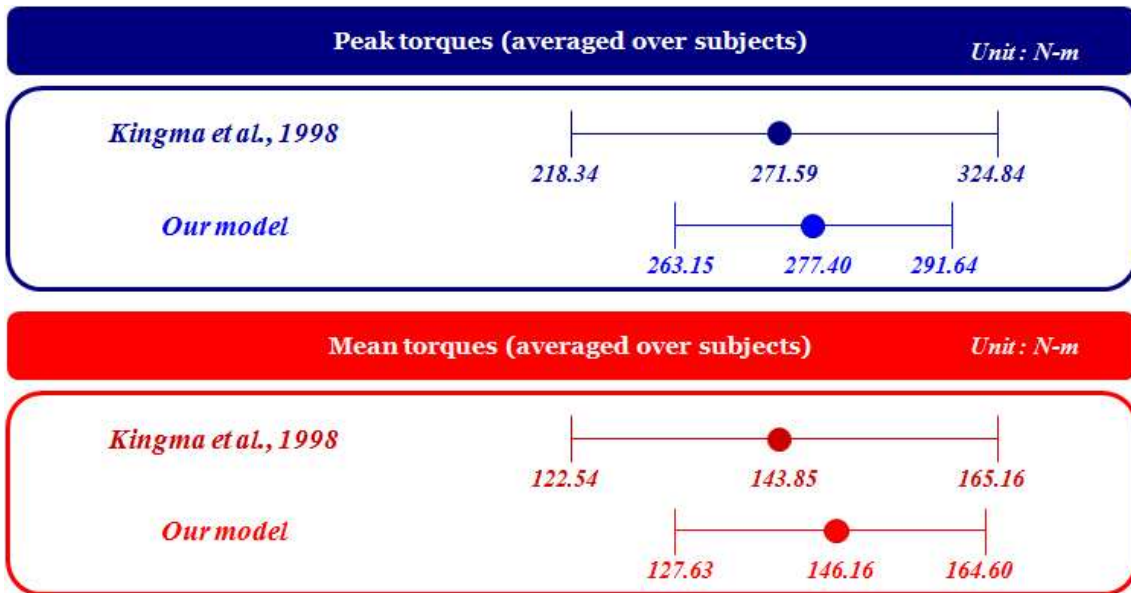


그림 3-173 선행 연구와의 요추부 관절 토크 비교결과.

(2) 인체 근 모델 검증

(가) 근 모델 검증방법

일반적으로 근육 힘에 대한 예측은 근육 부하나 근전도를 이용한 근활성 패턴을 비교함으로써 그 예측의 유용성이 평가되었다. 동작 시에 근육의 일시적인 특성이나 근발사 강도를 평가하는 것이 유용함에도 불구하고 그러한 비교는 계산된 근육힘의 크기의 유용성을 검증해 주지는 않는다. 예측된 근육힘에 대한 직접적인 검증은 실험적으로 계측된 건 힘(tendon force)을 비교함으로써 가능하다. 일반적으로 직접적인 비교는 1 또는 2 자유도를 가진 단순한 근골격 모델에 국한된다. 건 힘의 측정에는 힘 측정 장치를 관심대상인 건에 심는 임플란트 수술시에 동물을 대상으로 한 실험에서 수행된다. 복잡한 근골격 모델의 경우, 근육 힘의 검증은 관절력과 같은 간접적인 평가가 이뤄진다(Erdemir et al., 2007).

Pennestri et al (2007) 등은 조향핸들 조작작업 분석을 위해 근골격 모델을 이용하였다. 조향핸들의 각운동을 제어하여 인체 상지운동의 특징을 파악하고, 이 운동에 관련한 근육활동을 연구하였다. 이에 앞서 근골격 모델의 검증을 위해 근전도 실험을 병행하였다. 따라서, 본 연구는 근전도를 이용한 검증방법을 이용하여 근모델의 유용성을 검증하였다.

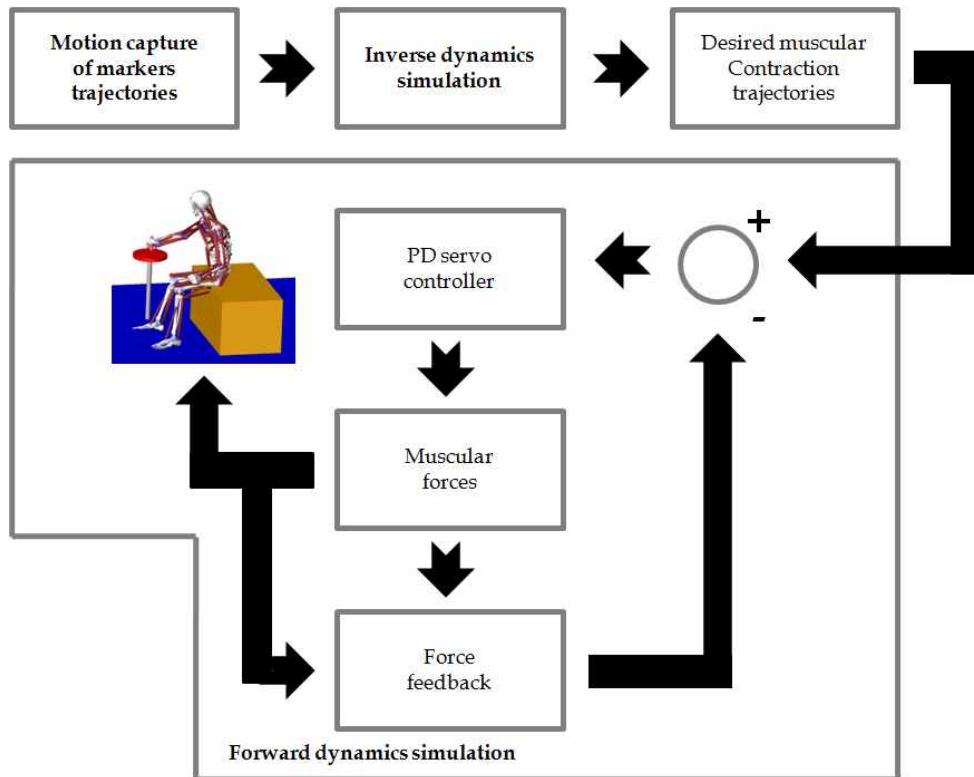


그림 3-174 ADAMS 근모델을 이용한 모의실험 구현방법 흐름도.

(나) 근모델 검증실험

검증실험에 사용된 실험장비는 VICON사의 MCam2 카메라 6대, VICON 460 System과 지면반력기 2대가 사용되었다(그림 3-176). Vicon 460 System은 각 카메라에서 얻은 2차원의 영상들을 3차원으로 구성하여 각 마커의 위치정보를 얻는 시스템이다. 지면반력기는 피험자가 지면으로부터 받는 반력을 측정하는 장치이다. 인체 근 활성 정보를 획득하기 위해 근전도계 (Mega6000, Mega Electronics Ltd., Finland) 3채널을 이용하였다(그림 3-175).



그림 3-175 근전도계.

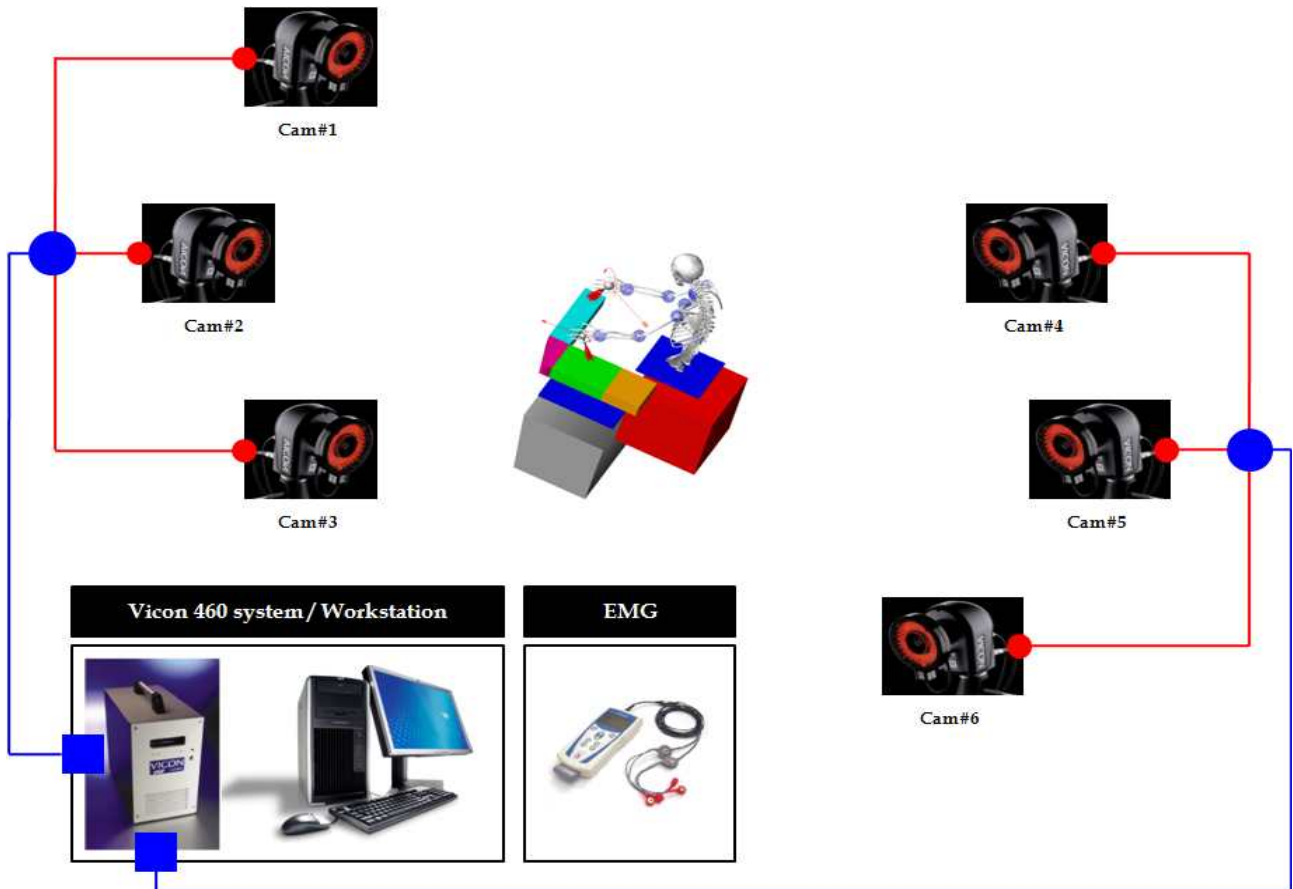


그림 3-176 ADAMS 근모델 검증을 위한 실험장치.

컴바인의 대부분의 동작은 팔을 이용한 동작으로 이루어져 있다. 상지에서의 위팔과 아래팔을 사용할 수 있도록 하는 근육의 선정이 필요하고, 레버를 잡는 동작을 위한 손과 손가락을 사용하는 근에 대한 연구가 필요하다. 상완 이두근은 어깨에서 아래 팔부분을 연결하는 근으로 팔꿈치 관절이 회외되어 있을 때 팔꿈치 관절의 가장 강력한 굴근으로 팔을 굽히고 안쪽으로 돌리는 역할을 한다. 즉 레버 조작과 같은 작업에 주로 사용되는 근으로 평가되었다. 상완 요골근은 위팔과 아래팔을 연결하는 근으로 주관절 굴곡근으로 손목관절의 중립위 상태에서 수축력을 발휘한다. 마찬가지로 레버 조작과 같은 손목 작업에 주로 사용된다. 상완 요골근은 팔과 팔뚝을 움직이고 회전시키는 기능을 한다. 앞서 조항 핸들 조작 작업을 평가한 논문 (Pennestri et al, 2007)을 참조한 결과, 본 실험에서는 상완 이두근, 상완 삼두근(Triceps brachii) 및 상완 요골근을 근모델의 검증 대상으로 선택하였다. 그림 3-177은 이 세 가지 근육의 위치를 나타내며 그림 3-178은 실험 모습을 보여주고 있다.

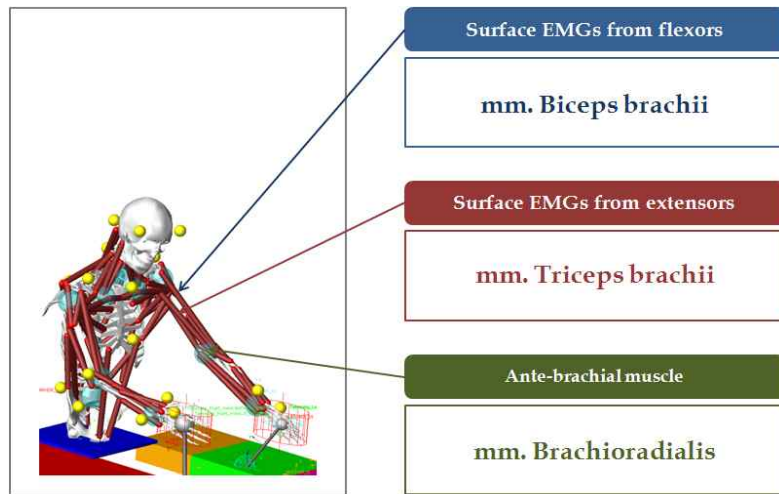


그림 3-177 근전도 부착위치.

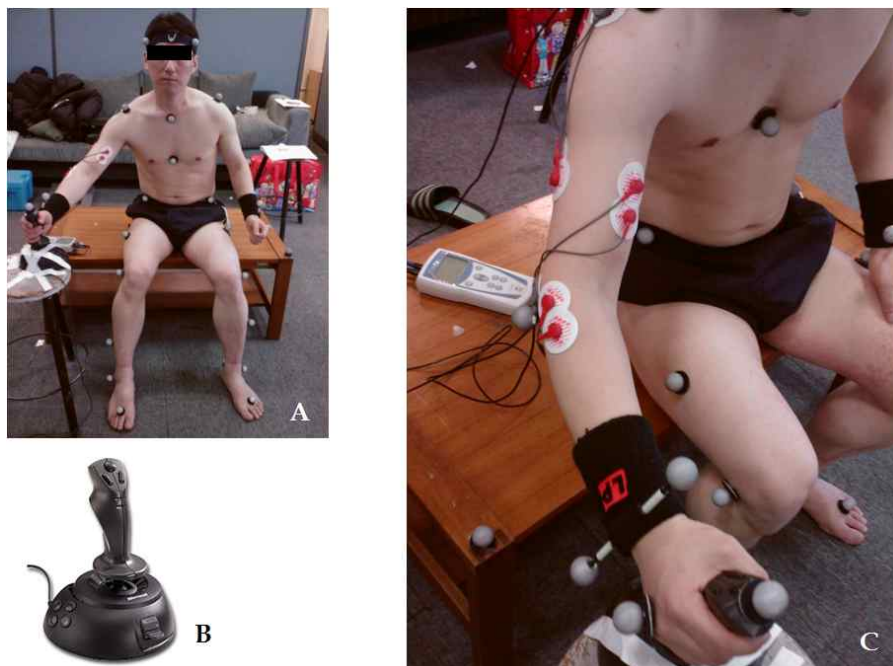


그림 3-178 피험자 및 근전도 실험장치(A:피험자, B:조이스틱, C:근전도 부착위치).

(다) 실험방법 및 분석

검증을 위한 실내 모의실험은 피험자가 조이스틱(Microsoft Sidewinder™)을 상/하/좌/우를 1초 간격으로 왕복 조작하도록 하여 총 8초 동안 이뤄지도록 하였으며, 3회 반복 실험하였다. 피험자는 피부에 광학마커를 부착하여 동작궤적을 획득함과 동시에 근전도 전극을 부착하여 근활성 정보도 함께 획득하였다. ADAMS 인체 모델을 이용한 모의실험 결과는 근전도 실험을 통한 결과와 비교 평가 되었다.

근육 각각에 3개의 전극을 부착하여 획득된 근전도 신호는 저역필터를 이용하여 스무딩되고, 최대 피크 값을 이용하여 신호를 정규화하였다. 비교대상인 모의 실험값을 구하기 위해

ADAMS 인체 모델을 이용한 근육힘의 값을 실험 시 발생한 최대 근육힘의 값으로 정규화하였다(그림 3-179).

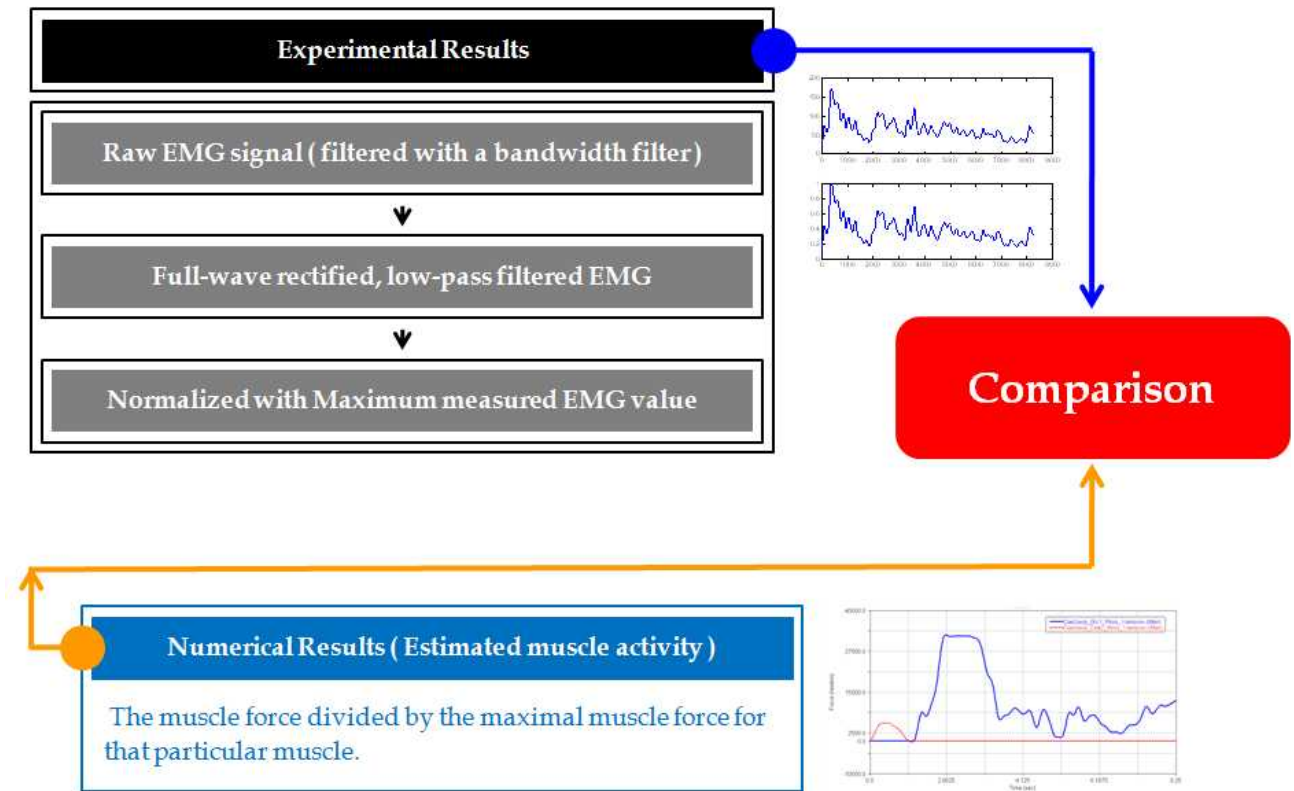


그림 3-179 실험을 통한 근전도 신호와 모의실험을 통해 얻은 근육힘 비교 평가 방법.

인체 근 모델을 통해 획득된 근육 활동 패턴과 실험을 통해 얻은 근육 활동 패턴은 피어슨 상관계수를 이용하여 평가되었다. 상관계수를 구하기 위한 수식 3-19는 다음과 같다.

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \quad \text{수식 3-19}$$

n: 총 데이터 개수

x, y : 각각 실험치와 모의실험 예측치 값

(라) 분석결과

그림 3-180은 실내 근전도 실험과 구축된 ADAMS 모의실험 환경을 나타내는 그림이다. B는 실내 실험 시 함께 획득된 운동계적 정보를 이용하여 구성된 ADAMS 근골격 모델을 나타낸다.

그림 3-181은 근활성 패턴에 관한 결과 그래프이다. 상완이두근과 상완삼두근의 활성 피크

값은 동시에 나타나는 것으로 관찰된다. 이는 두 근육에서의 근활성이 적절하게 나타남을 나타낸다. 상관계수는 이두근, 삼두근의 경우 각각 0.85, 0.51이었다. 하지만 상완요근 근육의 경우는 앞의 두 근육만큼 유사성을 보여주질 못하고 있다. 세 그래프의 Y축 값은 100% 최대값으로 정규화하여 동일한 기준으로 비교를 할 수 있도록 하였다. 그림 3-181(a), 3-181(c)에 나타난 상완이두근과 상완삼두근은 주동근과 길항근으로 조이스틱을 이용한 조향작업에 큰 활성도를 나타내고 있다. 근전도를 이용한 계측치와 근모델을 이용한 예측치가 유사한 패턴을 보여 모델의 유용성을 검증하였다. 그림 3-181(b)의 상완요근은 근전도를 이용한 계측치와 근모델을 이용한 예측치가 유사한 패턴을 보여주지 못했으며, 차후에 추가적인 모델의 유용성 검증이 필요하다.

(마) 근모델을 활용한 콤팩트 수확작업 적용

준비단계에서는 왼손이 주변속 레버를 당기는 작업으로 상완 이두근과 상완 삼두근이 길항 작용을 하는 것을 확인할 수 있었다. 레버를 후방으로 당기는 작업 시에는 상완 이두근 근육 힘보다는 상완 삼두근 근육힘이 더 컸다(그림 3-182).

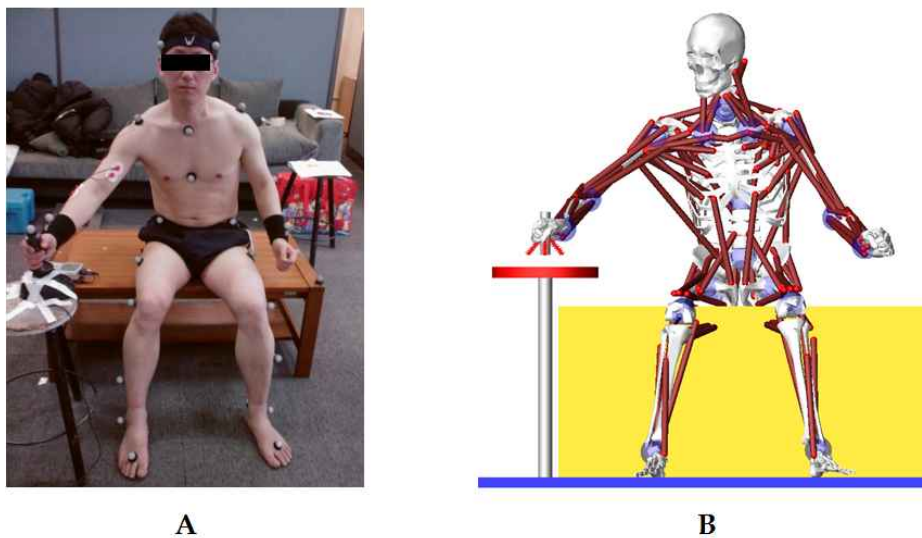
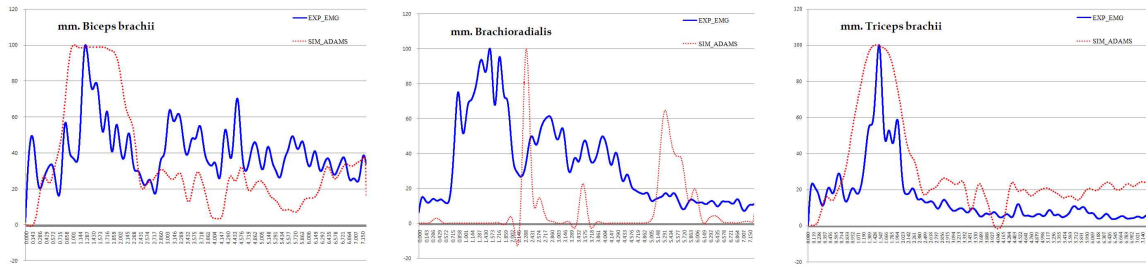


그림 3-180 근전도 실험 및 ADAMS 모의실험 환경 (A:근전도 및 동작실험, B:모의실험).



(a) 상완 이두근

(b) 상완 요골근

(c) 상완 삼두근

그림 3-181 인체 근모델 결과치와 실험치 비교평가.

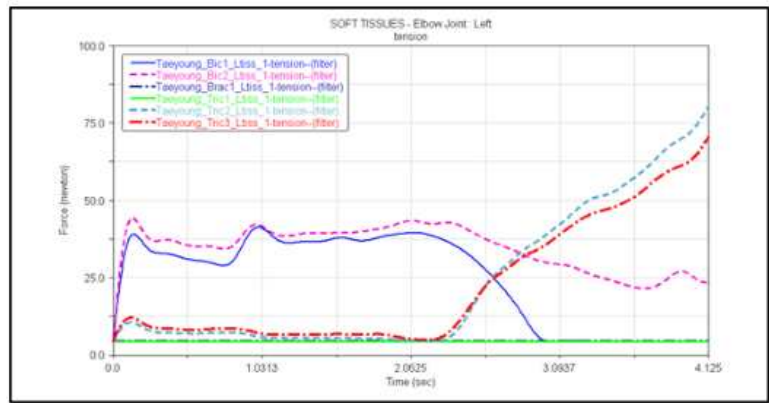
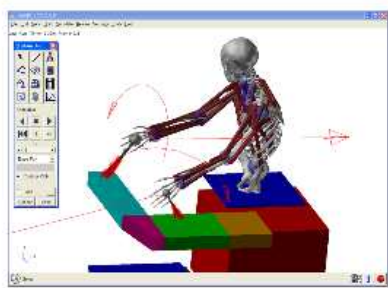


그림 3-182 인체 근골격 모델을 이용한 준비 단계 평가.

마. 인체 근골격계 모델을 이용한 3D 콤바인 통합환경 시뮬레이션

(1) 통합가상 시뮬레이션의 개념 및 환경 구축

(가) 통합가상 시뮬레이션 실험

① ADAMS View 가상 모의실험 환경으로의 ADAMS LifeMOD 인체 골격 모델통합

인체 골격 모델에 대한 구성과 검증작업이 끝나면, 콤바인 캐빈 운전석 및 조작부 CAD 모델과 모의작업 환경을 구성하여 통합하는 진행된다(그림 3-183). 모의환경은 작업이 이뤄지는 콤바인 캐빈으로 설정하였다. 이 과정에서는 인체 골격 모델과 콤바인 운전석 및 조작부의 접촉모델링 설정이 필요하다.

② 인체 3차원 콤바인 작업 DB를 활용한 조작자 작업부담 평가

㉠ 모의실험 환경 구축

콤바인 캐빈 내 운전석 및 조작부는 여러 기능에 따라 앞쪽과 왼쪽 측면부에 위치하고 있다. 이들을 간단하게 특징화하여 블록화하고, 비교적 동적인 모의실험의 연산에 방해가 되지 않을 만큼 단순화시킨다. 그림 3-184와 같이 콤바인 운전석을 기능화하고, 단순화시켜 9개의 부분으

로 분류하였다.

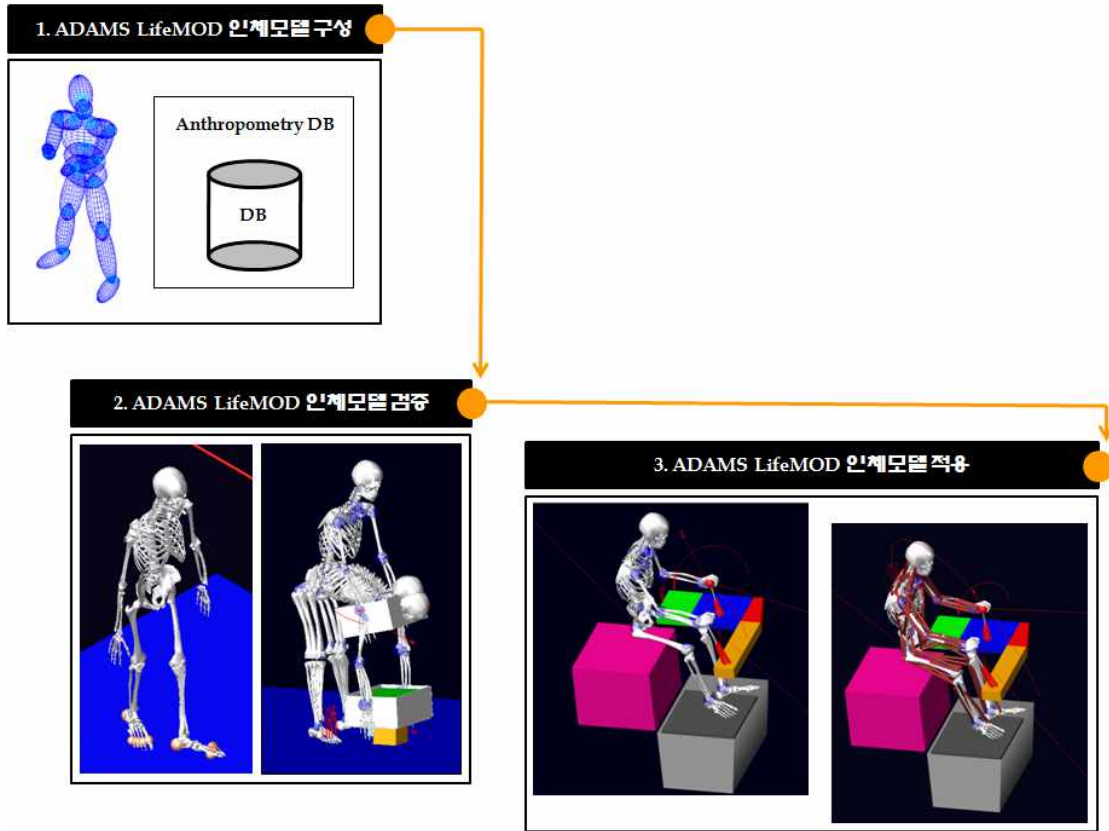


그림 3-183 ADAMS 인체 골격 모델을 이용한 인체 골격 모델 통합과정.

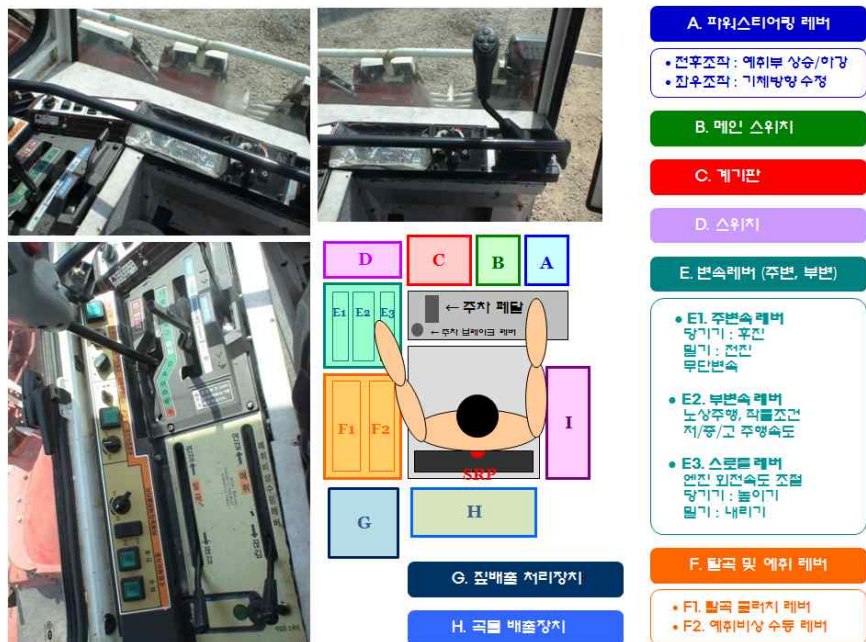


그림 3-184 콤바인 캐빈 내 운전석 및 조작부.

그림 3-185와 같이 ADAMS 인터페이스 상에 콤바인 운전석 및 조작부 DB를 구축하였고, 대표적으로 가장 빈번히 사용되는 조향 조이스틱부와 조향레버 부위의 연구에 집중하였다. 여기에 ADAMS 시뮬레이션 환경 내에 조향 조이스틱, 주변속 레버 및 부변속 레버와 같은 주요 레버 및 운전석 등을 DB화시켜 구성하였다. 레버의 조작력은 스프링-댐퍼 모델을 이용하여 모델링하였고, 탄성계수와 점성계수는 설계연구를 통해 적절한 값을 찾았다.

인체와 기계와의 인터페이스는 그림 3-186과 같이 크게 3종류의 접촉모델링 기법을 활용하여 모델링한다. 이 때 부싱(bushing), 접촉(contact) 및 고정(fix) 기법을 이용하는데, 기계와 인체와의 인터페이스 특징에 따라서 적절한 방식이 선택된다. 일반적으로 발의 경우는 동적인 동작 시에는 접촉모델이 사용되지만, 정적인 앉은 자세나 발이 땅에 닿아 있는 골프 스윙(swing) 시에는 부싱(bushing) 기법이 쓰인다. 이는 모델링하는 작업의 특성에 따라 설정 또한 달라질 수 있음을 나타낸다.

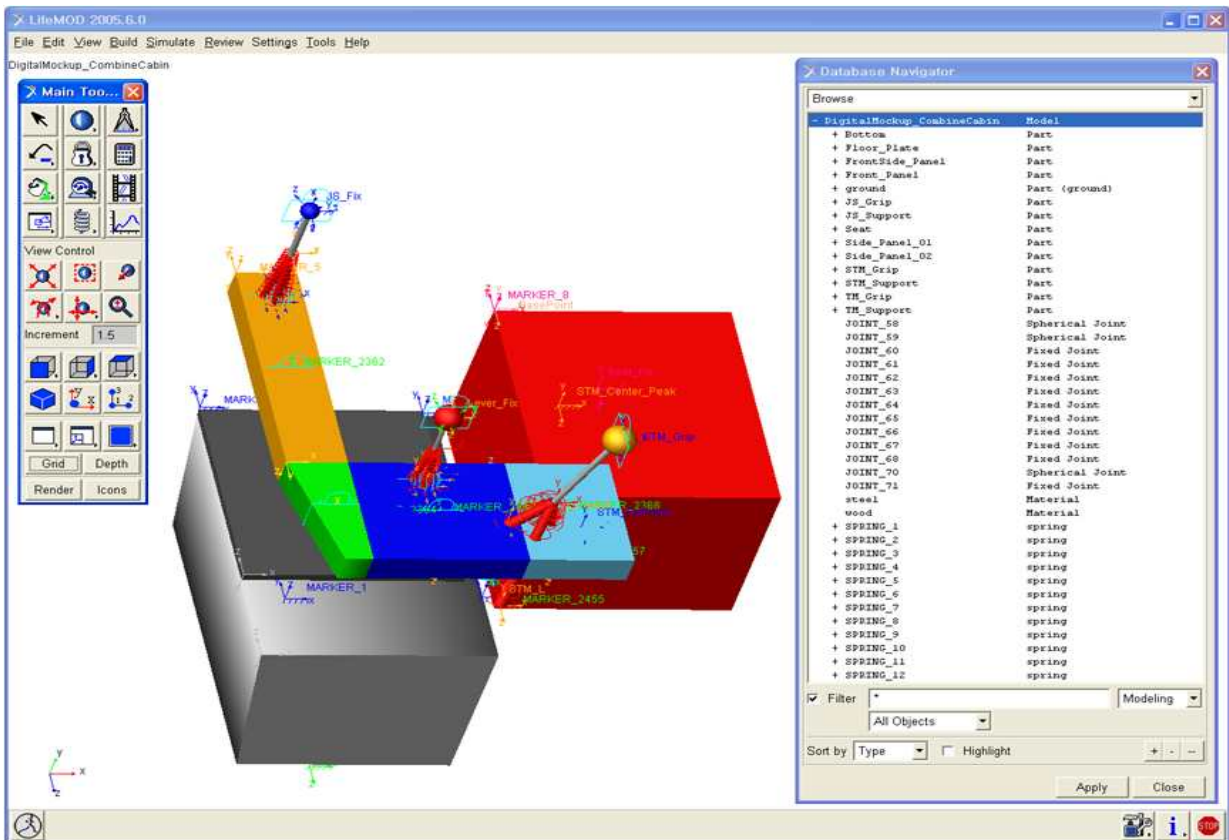


그림 3-185 콤바인 운전석 디지털 목업.

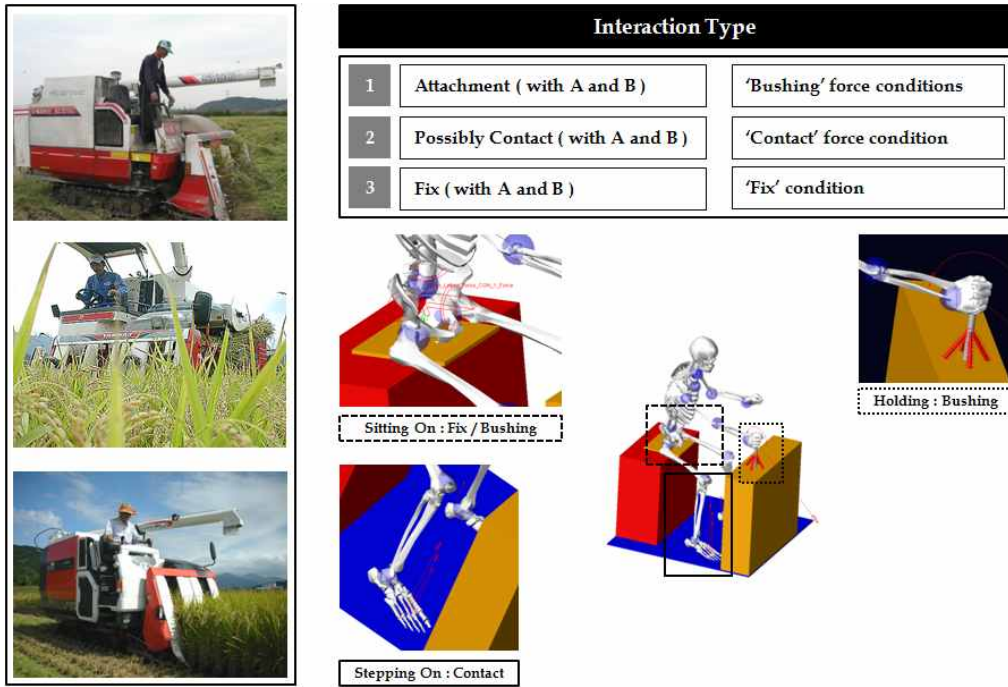


그림 3-186 ADAMS 인체 골격 모델, 기계 및 환경과의 인터페이스 기법 유형.

(2) 시뮬레이션 결과 분석

실내 모의실험 평가를 위해 비디오 촬영을 통한 기본동작 조사 및 분석 결과가 참조되었으며, 준비단계, 예취단계, 방향전환단계, 탈곡단계 및 오거 조절단계로 그림 3-187과 같이 총 5가지의 대표적인 작업유형으로 나누었다. 또한 작업 각각에 사용되는 조작부를 정리하여 모의 실험 시에 실제 실험환경과 최대한 비슷하게 조성하고, 실험 전 피험자 교육에 적극 활용하였다.

	Subtask	Contents	Controls
● Task #1	준비단계	시동을 켜고, 엔진 워밍업을 높이는 과정.	B E3
● Task #2	예취단계	벼를 자르는 과정, 진행 방향 조절이 주요 행동임.	A E12 P12
● Task #3	방향전환 단계	다음 면의 예취를 위한 방향 전환, 전, 후진으로 움직임 많음.	A E1
● Task #4	탈곡 단계	탈곡 통만으로 배출을 위한 준비 과정, 후진과 동시 작업	E1 G
● Task #5	오거 조절 단계	오거를 조절하여 벼를 배출하는 과정, 동작 다양함.	G

그림 3-187 실내 모의실험을 위한 콤바인 수확작업 유형.

(가) 준비단계

준비단계는 탑승 후 엔진 회전을 높이는 단계이다. 운전석에 앉아 엔진 회전을 상승시키기 위해 스톱 레버를 당기고, 오른손으로는 조향 조이스틱을 이용하는 작업이다. 그림 3-188은 허리를 숙여 레버를 당기는 작업 자세 시 허리에 작용하는 토크를 나타낸 그래프로, 허리의 굽힘 모멘트(파란색)가 다른 분면들 모멘트(측면 굽힘 모멘트(분홍색), 비틀림 모멘트(검정색))보다 커서 상대적으로 작업부하가 컸다.

(나) 방향전환 단계

방향전환 단계는 버의 한 면을 모두 예취한 후 다른 면으로 이동하는 것이다. 그림 3-189와 같이 콤파인 작업자는 방향 전환 시에 레버 동작과 동시에 후방 시야 확보를 위하여 과도하게 허리를 비틀어 작업을 한다. 모의실험은 크게 2개의 구역으로 분류하였다. 즉 전방 주시 단계와 후방 주시 단계로 구분하여 분석하였다.

(다) 전방주시단계

전방 주시 단계에서는 허리를 굽혀 주변속 레버를 당기는 작업과 조향 조이스틱을 동시에 조작한다. 따라서 그림 3-190과 같이 허리의 굽힘 모멘트(파란색)가 다른 분면들 모멘트(측면 굽힘 모멘트(분홍색), 비틀림 모멘트(검정색))보다 커서 상대적으로 작업부하가 컸다. 후방 주시 단계에서는 후방 시야 확보를 위하여 허리를 과도하게 비틀어 작업하여, 굽힘 모멘트뿐만 아니라 측방 굽힘 모멘트 및 비틀림 모멘트가 커서 작업부하가 컸다.

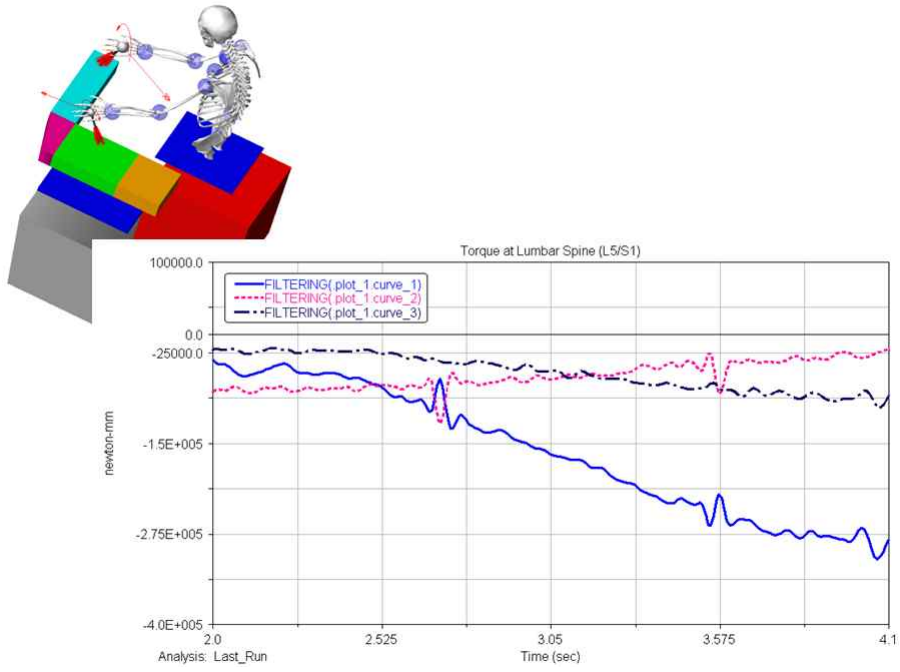


그림 3-188 실내 모의실험을 통한 준비단계 시뮬레이션 결과.

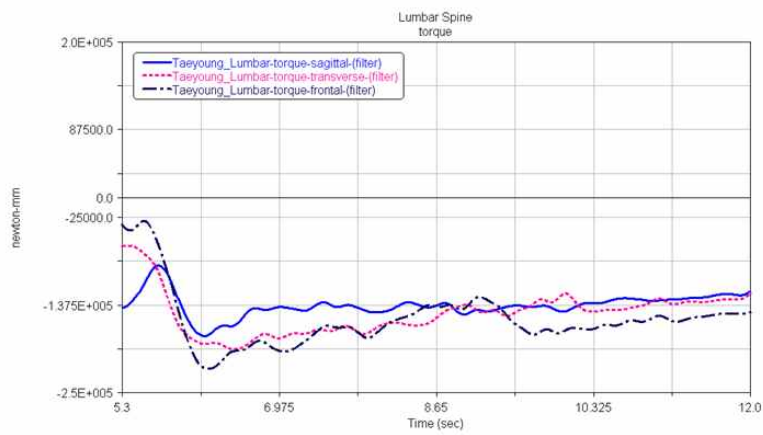
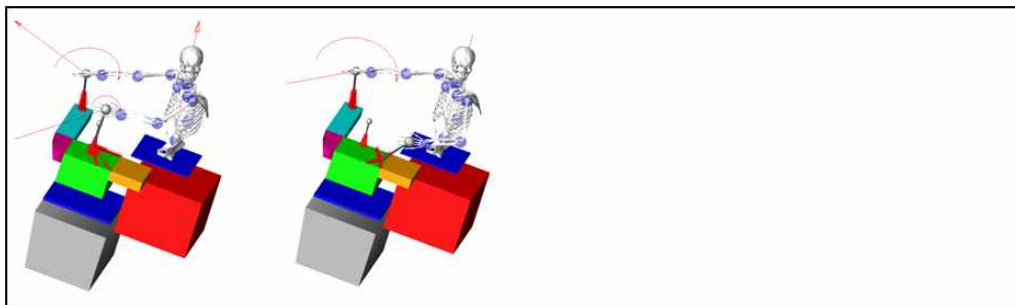


그림 3-189 실내 모의실험을 통한 방향 전환 시 후방 주시 단계 시뮬레이션 결과.

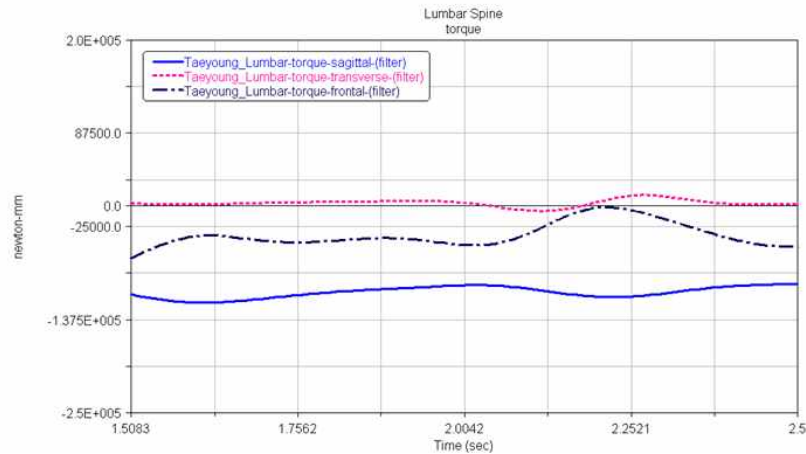
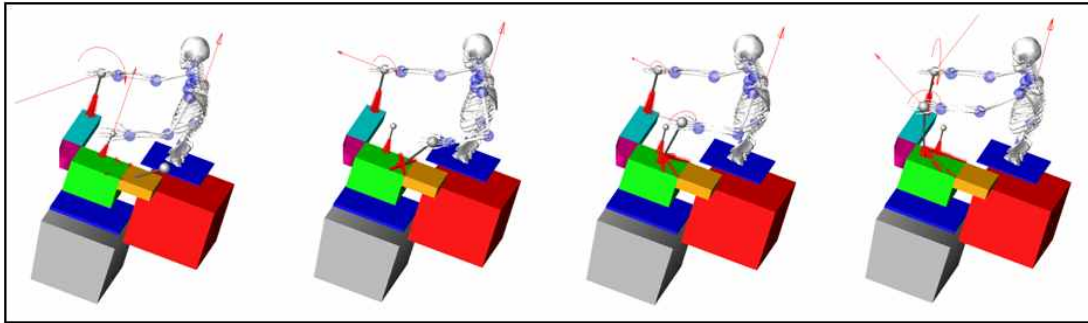


그림 3-190 실내 모의실험을 통한 전방 주시 단계 시뮬레이션 결과.

(라) 탈곡단계

탈곡 단계는 예취 작업 중 탈곡 통이 비로 가득 차게 되어 비를 배출하는 작업이 필요할 때 시행하는 단계로, 콤바인 작업자는 빠른 작업을 위하여 콤바인을 트럭에 가져갈 때 후진 상태로 이동을 하게 된다. 방향 전환 단계에서도 언급했듯이 후진 시에는 후방시야를 확보하기 위해 과도한 허리 비틀림이 발생하여 허리에 무리를 줄 수 있다.

모의실험은 크게 방향전환 단계와 후방 주시 단계로 구분하여 분석하였다. 방향전환 단계에서는 허리를 굽혀 주변속 레버를 당기는 작업과 조향 조이스틱을 동시에 조작한다. 이에 그림 3-191와 같이 허리의 굽힘 모멘트(파란색)가 다른 분면들 모멘트(측면 굽힘 모멘트(분홍색), 비틀림 모멘트(검정색))보다 커서 상대적으로 작업부하가 컸다. 후방 주시 단계에서는 후방 시야 확보를 위하여 허리를 과도하게 비틀어 작업하지만 한 손으로는 조향 레버를 잡고, 다른 한 손에는 부하가 걸리지 않아서, 굽힘 모멘트는 컸지만 측방 굽힘 모멘트 및 비틀림 모멘트는 상대적으로 크지는 않았고, 측방 굽힘 모멘트가 비틀림 모멘트보다 컸다. 따라서 후진 시에는 허리를 비트는 것보다는 측방으로 굽히는 부하가 큰 것으로 평가된다.

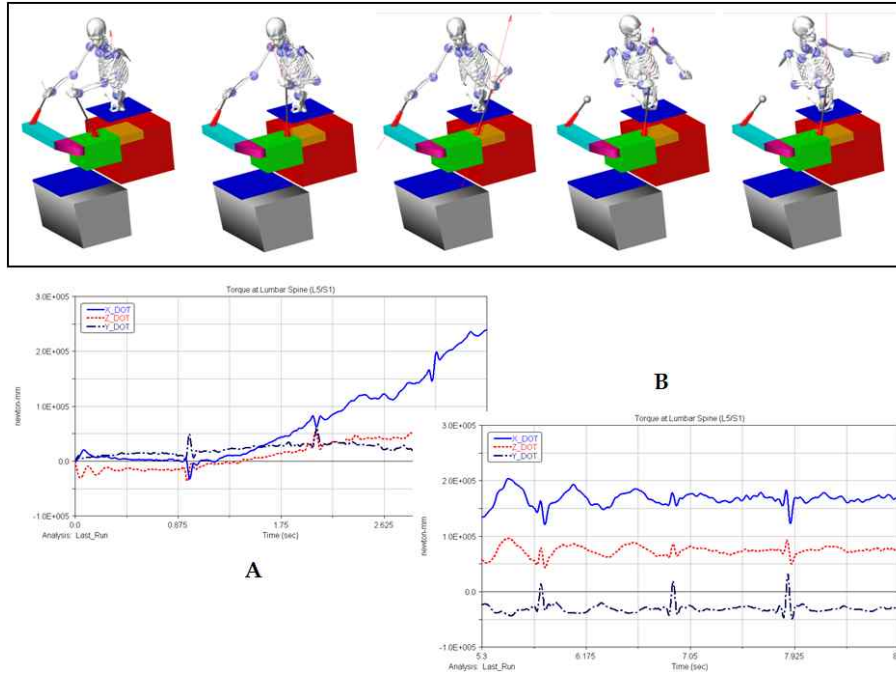


그림 3-191 실내 모의실험을 통한 탈곡 단계 시뮬레이션 결과 (A방향전환 B후진상태 주시)

5) 오거 조절 단계

이 단계는 오거를 상하 전후 좌우로 조절을 하여 벼를 준비된 자루에 정확히 붓기 위한 작업 단계이다. 허리를 숙여 멀리 떨어진 오거 레버를 당기는 작업 자세는 그림 3-192와 같이 허리의 굽힘 모멘트(파란색)가 다른 분면들 모멘트(측면 굽힘 모멘트(분홍색), 비틀림 모멘트(검정색))보다 크게 나타나 상대적으로 작업부하가 큰 것을 알 수 있다.

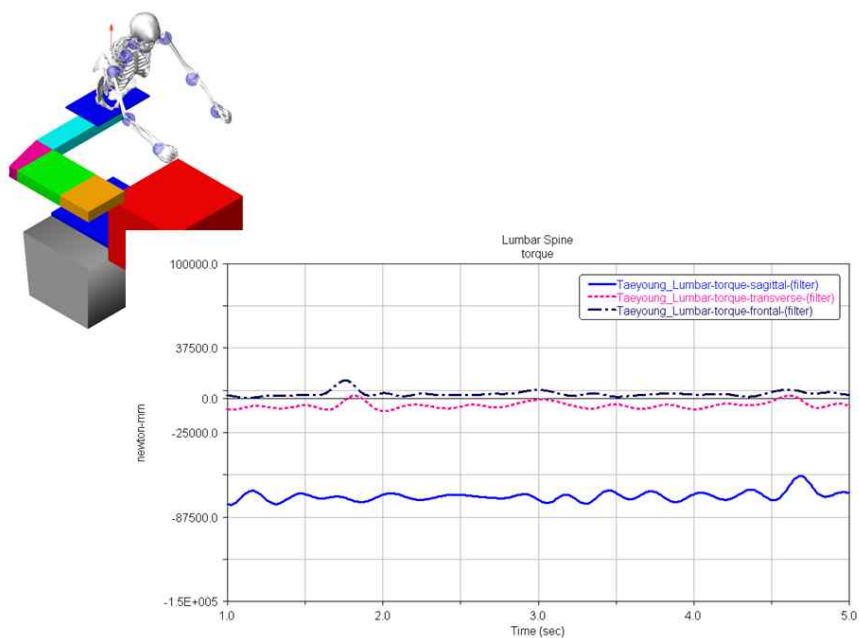


그림 3-192 실내 모의실험을 통한 오거 조절 단계 시뮬레이션 결과.

바. 성능평가를 위한 인체 근골격계 모델의 활용

농기계에서의 작업들은 조향핸들 조작, 후면 작업기와 부착기계 관찰 및 조작을 위한 뒷면 바라보기, 클러치 및 제동 브레이크 페달을 조작하기 위한 근력 발휘와 같은 신체에 부담을 주는 다양한 동작을 필요로 한다(C. R. Mehta and V. K. Tewari, 2000). 특히, 브레이크 페달조작은 작업 자세를 구속하여, 하지 근육의 피로와 불편함을 유발한다(Sanders and McCormick, 1993; J. Y. Kim and K. B. Seo, 2005). 브레이크 페달조작의 편의성에 관한 대부분의 선행연구들은 제동을 위한 반응시간 최소화 및 브레이크 페달을 조작하는 정적인 최대 힘에 연구의 초점을 맞춰 왔다(X.Wang et al., 2000). 이렇게 편안한 운전 자세에 관한 선행연구들은 정적인 조건에서 얻은 결과이므로 조작부를 다루는 동작과 같은 동적인 효과를 설명할 수 없다는 한계점이 있다(Ribouchon, 1991; Porter and Gyi, 1998). 또한 기존연구는 상대척도 및 설문지를 이용하여 주관적인 평가와 제품 및 작업공간의 설계인자간의 관련성을 찾는 연구들로 설계자에게 도움이 될 수 있지만 이들 주관적인 평가방법으로 철저하게 이해하는데 한계가 있다. Wang 등(2004)은 클러치 브레이크 페달 조작 작업 시 관절각, 근육힘 및 근육일(모멘트)과 같은 생체역학적 평가인자는 작업자의 불편도를 해석하는데 타당한 요소를 제공하고 클러치 브레이크 페달의 4가지의 설계인자들(좌석높이, 브레이크 페달 이동거리, 브레이크 페달저항 및 이동각도)의 영향을 주관적인 평가와 생체역학적 평가를 통해 상호 관련성이 높음을 보였다.

CAD 시스템 기반의 인체 모델을 이용한 평가방법은 다양한 작업 및 환경조건하에 특정 조작자의 자세 및 동작 모의실험을 통해 초기 제품설계 단계에서 인간-기계의 상호관계를 인간 공학적 평가가 가능하게 한다(X.Wang et al., 2000). 또한 이 방법은 물리적 목업을 이용한 실험 평가시 조작자의 관절 측정오차로 인한 문제점을 최소화시키며, 피험자 선택에 있어서도 비교적 용이한 면이 있어서 시간과 비용면에서 효과적인 방법으로 잘 이용되고 있다(Chung and Park, 2004).

따라서 본 연구의 목적은 농업인 체형을 고려한 인체 모델을 이용하여 (1) 현재 시판중인 국내의 콤바인의 브레이크 페달에 대한 조작자 하지관절의 근골격계 관련 생체역학적으로 분석하여 작업부담을 평가하고, (2) 본 연구에서 개발한 콤바인 브레이크 페달 메커니즘과 기존 사용되고 있는 제품을 생체역학적으로 비교 평가하는데 있다.

(1) 성능평가를 위한 인체 골격 모델의 활용

(가) 가상 모의실험 환경

① 인체 모델 구성

본 연구에서 이용될 인체 모델의 인체계측 정보는 표 3-64와 같다. 선행의 연구(Baek et al., 2008)에서 콤바인의 주요 조작자인 농업인 40~60대 남성의 인체계측 정보는 한국인 인체계측

DB의 결과와 유의한 차이가 없음을 밝혔다. 따라서 본 연구에서는 한국인 인체계측 DB (SizeKOREA, 2005)를 이용하여 5분위, 50분위 및 95분위 조작자를 구성하였다.

표 3-64 인체계측정보

Contents	Mean	SD	5 th percentile	50 th percentile	95 th percentile
Weight (kg)	69.63	9.35	54.70	69.20	85.45
Stature (mm)	1672.4	56.27	1580.5	1670.5	1765
Sitting Height (mm)	907.21	32.17	854.5	906.5	960.5

② 실험재료

본 연구의 가상 모의실험에서 평가된 브레이크 페달의 모양과 특성은 그림 3-194, 표 3-65와 같다. O, M, I 타입 브레이크 페달은 현재 시판중인 콤바인에서 사용 중이며 N타입의 경우, 새로 개발한 브레이크 페달이다. 브레이크 페달 조작 시 작업자에 영향을 미치는 설계인자들, 즉 좌석의 위치, 브레이크 페달의 이동거리, 브레이크 페달 조작력 등은 참고문헌(Wang et al., 2000; Wang et al., 2004)을 참고하였다.

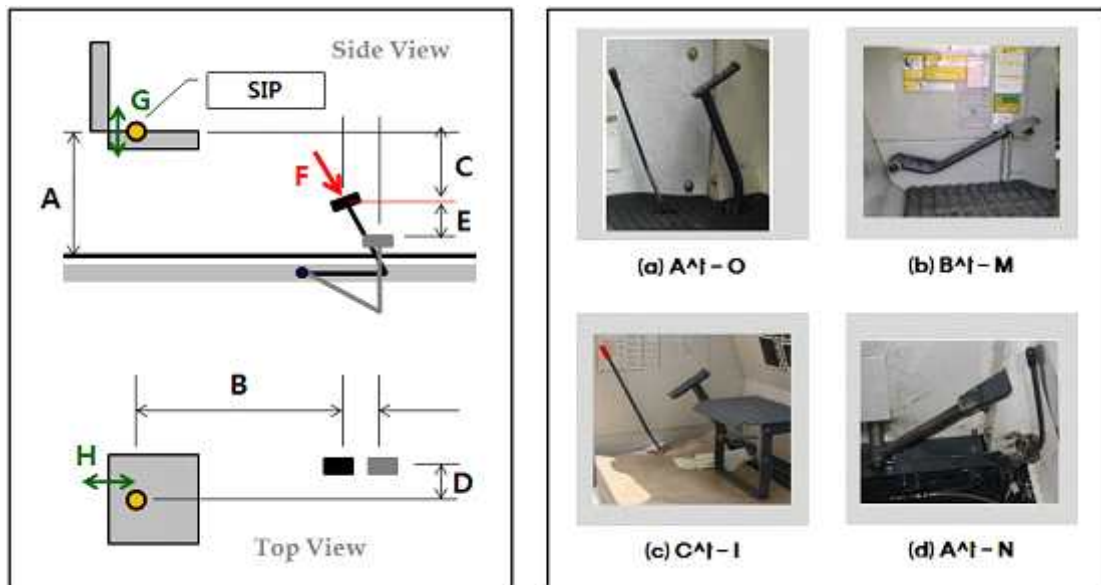


그림 3-193 평가된 브레이크 페달의 모양과 특성.

표 3-65 브레이크 페달 사양

Items	Contents	Combine Harvester's Pedal			
		A사-O	B사-M	C사-I	A사-N
A	좌석높이(mm)	550	580	550	550
B	전방수평거리(mm)	525	570	570	525
C	수직거리(mm)	330	430	330	420
D	측방수평거리(mm)	135	100	175	135
E	브레이크 페달 수직이동거리(mm)	150	100	150	70
F	브레이크 페달 조작력(N)	230	175	230	230
G	좌석 상/하방 조작범위(mm)	40	0	40	40
H	좌석 전/후방 조작범위(mm)	140	90	140	140

③ 통합 모의실험 시뮬레이션 환경구축

본 연구에서는 인체 모델을 활용한 브레이크 페달 조작 작업 시 작업자의 생체 역학적 분석을 위해, 동역학 해석 프로그램인 ADAMS를 이용하여 시뮬레이션하였다. 인체 모델은 한국인 인체계측정보 DB를 이용하여 5분위, 50분위 및 95분위 콤바인 조작자 인체 모델을 구성하였다. 인체 모델에 대한 검증은 선행연구(Lim et al., 2009)를 통해 제시되었다. 그림 3-194와 같은 과정으로 콤바인 캐빈 내 운전석 및 브레이크 페달 조작부 CAD모델과 인체 모델을 통합하여 모의환경을 구축하였다. 작업자의 오른쪽 발과 바닥면과의 접촉 형태 및 물리적 계수는 기존의 문헌(Pan et al., 2004)을 참조하여 접촉 힘을 설정하였다. 그리고 콤바인 브레이크 페달과 왼쪽 발과의 접촉 형태는 본 연구에 사용하는 소프트웨어에서 제공하는 Bushing 힘을 이용하여 고정하였다(Lee, 2006).

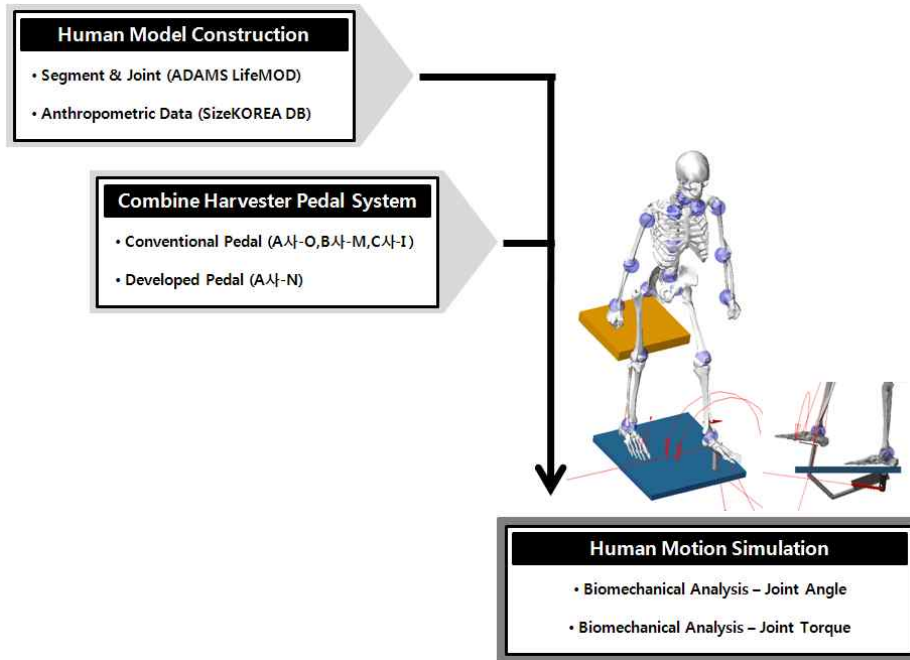


그림 3-194 통합 모의실험 시뮬레이션 환경구축.

(나) 통합 모의실험을 이용한 조작자 생체역학적 평가

구현된 인체 모델은 상용 소프트웨어인 BRG .LifeMOD (version 2005, Biomechanics Research Group, Inc., USA)를 이용하였다. 이 소프트웨어는 상용 다물체 동역학 해석 프로그램인 ADAMS에 기반하여 구동된다. ADAMS LifeMOD 인체 모델을 이용한 모의실험 연구는 모델을 구성하고, 운동을 구현하여, 그 인체 모델을 이용한 결과의 신뢰성을 검증하기 위해 유용성 평가를 진행한다. 본 연구는 선행연구를 통해 검증된 인체 모델을 이용하여, 콤바인 브레이크 페달 조작 작업 시 하지관절에 발생하는 관절각 변화, 관절 토크 및 기계일을 비교, 평가함으로써 생체역학적 분석을 수행하였다.

① 콤바인 브레이크 페달조작 작업의 생체역학적 평가 결과

㉞ 관절각을 이용한 관절 가동범위 평가

콤바인 4종류 브레이크 페달조작 작업시 조작자의 발목, 무릎, 고관절의 굴곡 및 신전 운동 (flexion/extension)은 그림 3-195과 표 3-66과 같다. 그림 3-195은 브레이크 페달조작 작업동안의 각 관절에서의 가동 범위를 나타낸 것으로, 신체부위별로 살펴보면 발목이 가장 큰 가동 범위를 보였고, 무릎, 고관절 순이었다. 그리고 회사 제품별로 살펴보면 A사의 O타입과 C사의 I타입이 가장 큰 가동범위를 보였고, 그 다음으로 B사의 M타입이었고, 새로 개발된 A사의 N타입이 가장 가동범위가 적었다. 또한 조작자의 체형별로 살펴보면, 5분위 즉 작은 체형의 작업자가 50분위 및 95분위 작업자보다 큰 관절 가동범위를 보였다. 관절의 가동범위는 신체불편

도를 평가하는 지표로 범위가 클수록, 중립각(neutral angle)에서 멀어질수록 불편도가 커진다 (A.M. Genaidy and W. Karwowski, 1993; D. Kee and W. Karwowski, 2001). 따라서 신체 하 지부위중 발목관절의 불편도가 가장 높고, 작은 체형의 조작자의 불편도가 높다. 그리고 새로 개발된 N타입 브레이크 페달은 조작자의 가동범위를 줄여줌으로써 불편도를 저감시켜주는 것으로 판단된다.

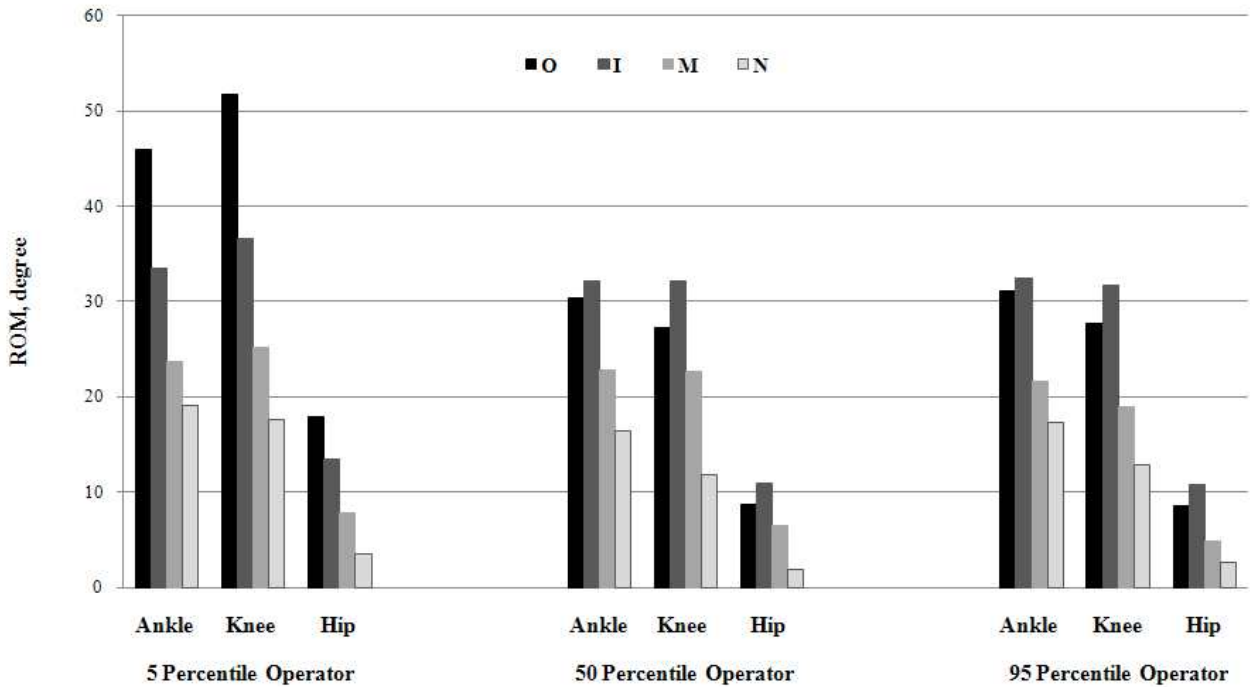


그림 3-195 브레이크 페달 작업 시 관절의 가동 범위.

표 3-66 브레이크 페달 작업 시 관절의 가동 범위

Joint Operator		Ankle				Knee				Hip			
		O	I	M	N	O	I	M	N	O	I	M	N
5 Percentile	Max	26	19	9	19	65	60	50	25	-47	-52	-44	-31
	Avg	1	1	-4	9	43	44	38	17	-57	-59	-48	-33
	Min	-20	-15	-15	0	13	23	25	7	-65	-65	-52	-35
50 Percentile	Max	0	9	3	11	65	58	50	23	-51	-49	-43	-28
	Avg	-15	-8	-9	3	52	44	40	17	-56	-55	-47	-29
	Min	-30	-23	-20	-5	38	26	27	11	-60	-60	-50	-30
95 Percentile	Max	4	12	-3	7	62	60	50	30	-46	-49	-40	-27
	Avg	-12	-4	-14	-1	49	46	41	24	-51	-55	-43	-29
	Min	-27	-20	-25	-10	34	28	31	17	-55	-60	-45	-30

㉔ 최대 관절모멘트를 통한 관절부담 평가

콤바인 4종류 브레이크 페달조작 작업 시 조작자의 발목, 무릎, 고관절에 발생하는 관절 최대 모멘트는 그림 3-196과 같다. 최대 모멘트를 신체부위별로 살펴보면 발목관절이 가장 큰 최대모멘트 값을 보였고, 무릎관절, 고관절 순이었다. 회사 제품별로 살펴보면 5분위, 50분위에 해당하는 조작자에게 A사 O타입과 B사 M타입이 가장 큰 모멘트 값을 보였고, 다음으로 C사 I타입이었으며 새로 개발된 A사 N타입의 최대 관절모멘트 값이 가장 작게 나타났다. 95분위 조작자에게는 A사 O타입과 C사 I타입이 가장 큰 모멘트 값을 보였고, 그 다음으로 각각 B사 M타입, 새로 개발된 A사 N타입 순이었다. 또한 조작자의 체형별로 살펴보면, 50분위 즉 평균 체형의 작업자가 5분위 및 95분위 작업자보다 작은 최대 관절모멘트 값을 보였다. 최대 관절모멘트는 근골격계 부위에 부가되는 기계학적 스트레스를 나타내는 지표(Hoozemans et al., 1998)중의 하나로 신체 각 관절이나 근육에 부가되는 부하를 평가하는 함으로써 근골격계 작업부담 및 근골격계 질환 유발 위험성을 평가하는데 이용된다. 따라서 신체 하지부위 중 발목관절의 근골격계 작업부담이 크고 작거나 큰 체형의 조작자의 근골격계 작업부담이 크다. 새로 개발된 N타입 브레이크 페달은 현저하게 근골격계 작업부담 및 근·골격계 질환 유발 위험성을 낮춰주는 것으로 판단된다.

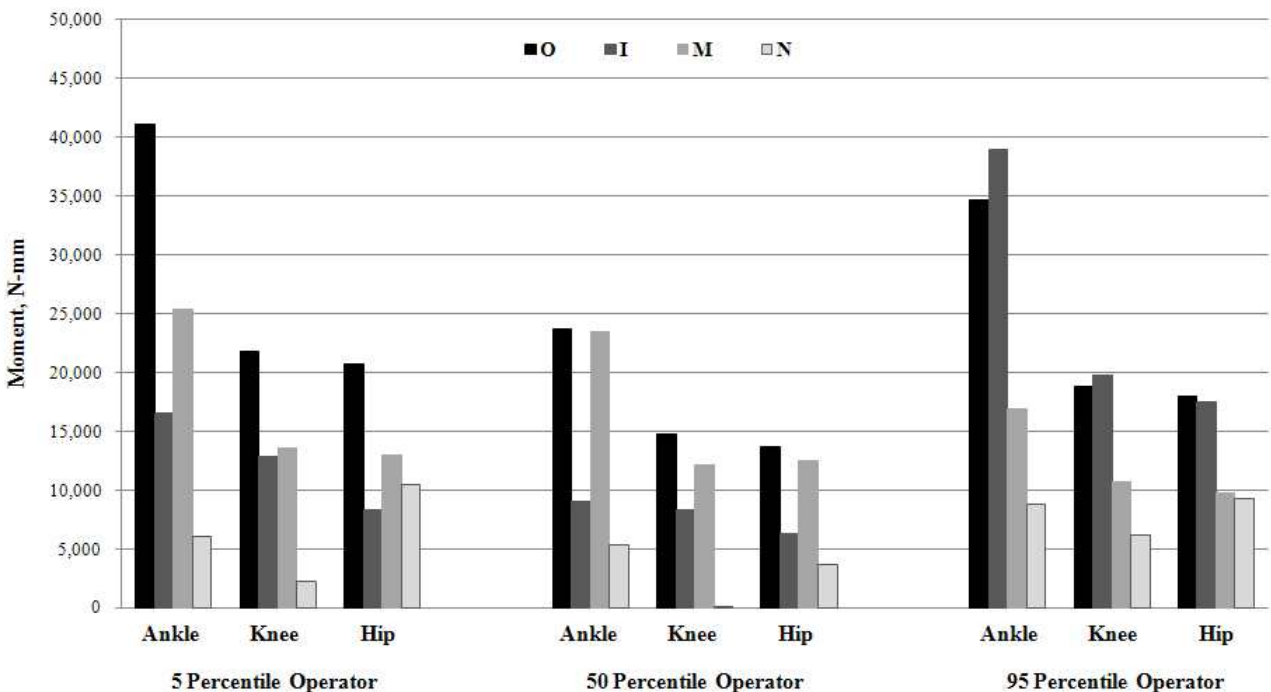


그림 3-196 페달 조작 시 하지 관절에 걸리는 모멘트.

㉕ 관절 일을 통한 편의성 평가

콤바인 4종류 브레이크 페달조작 작업 시 조작자의 발목, 무릎, 고관절의 관절 일(joint

work)은 그림 3-197과 같다. 그림 3-197은 브레이크 페달 조작 작업동안의 각 관절에서의 관절 일을 나타낸 것으로, 신체부위별로 살펴보면 발목관절이 가장 큰 관절 일을 하였고, 무릎관절, 고관절 순이었다. 회사 제품별로 살펴보면 A사 O타입이 가장 큰 관절 일을 보였고, 다음으로 C사 I타입, B사 M타입이었고, 새로 개발된 A사 N타입이 가장 적은 관절 일을 하였다. 조작자의 체형별로 살펴보면, 50분위 즉 평균 체형의 작업자가 5분위 및 95분위 작업자보다 작은 관절 일을 하였다. 관절 일은 모멘트와 각운동에 대한 일정시간동안의 적분값으로, Wang 등 (2000)이 브레이크 페달 클러치 조작과 같은 다리운동의 생체역학적 평가 시 브레이크 페달 설계 인자의 편의성 평가인자로 사용하여, 조작자의 편의성 평가 시 관절 모멘트보다 더 나은 평가인자라고 하였다. 또한 평가인자인 관절 일은 조작자의 편의성과 밀접한 관련이 있고, 최소 일의 원리(principle of minimum work)와 일치함을 보였다. 즉 브레이크 페달 접근 시 다리를 적게 들고, 브레이크 페달을 조작 시 적은 일과 모멘트 값을 보였음을 제시하였다. 새로 개발된 N타입 브레이크 페달은 조작자의 관절 가동범위와 관절모멘트를 줄여줌으로써 관절일을 줄이고 이를 통해 편의성을 향상시켜주는 것으로 판단된다.

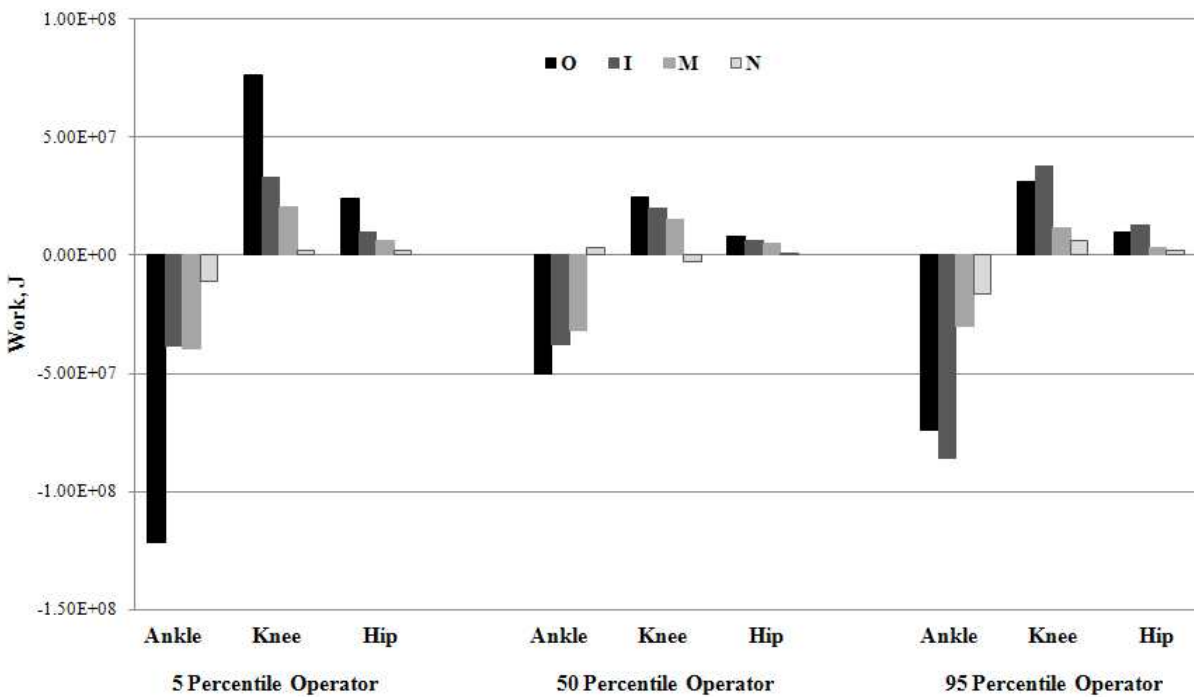


그림 3-197 브레이크 페달 조작 작업 동안의 관절 일.

(2) 성능평가를 위한 인체 근 모델의 활용

(가) 가상 모의실험 환경

① 인체 모델 구성

본 연구에서 이용된 인체계측 정보는 '인체 골격 모델 구성'에 이용된 정보(표 3-64)와 같다.

선행의 연구(Baek, et al., 2008)에서 콤바인의 주요 조작자인 농업인 40~60대 남성의 인체계측 정보는 한국인 인체계측 DB의 결과와 유의한 차이가 없음을 밝혔다. 따라서 본 연구에서는 한국인 인체계측 DB (SizeKOREA, 2005)를 이용하여 50분위 조작자를 구성하였다.

그림 3-198와 같이 브레이크 페달을 움직이는데 가장 빈번히 사용되는 하지의 4개 근육을 선정하여 근육의 움직임을 평가하였다. 선정된 근육은 하지 근육의 굽힘/펼 동작의 제어역할을 하는 앞정강근(tibialis anterior muscle), 장딴지근(gastrocnemius muscle), 넓다리곧은근(rectus femoris muscle), Hamstrings 부위 중 넓다리두갈래근(biceps femoris muscle)이다(김 등, 2005).

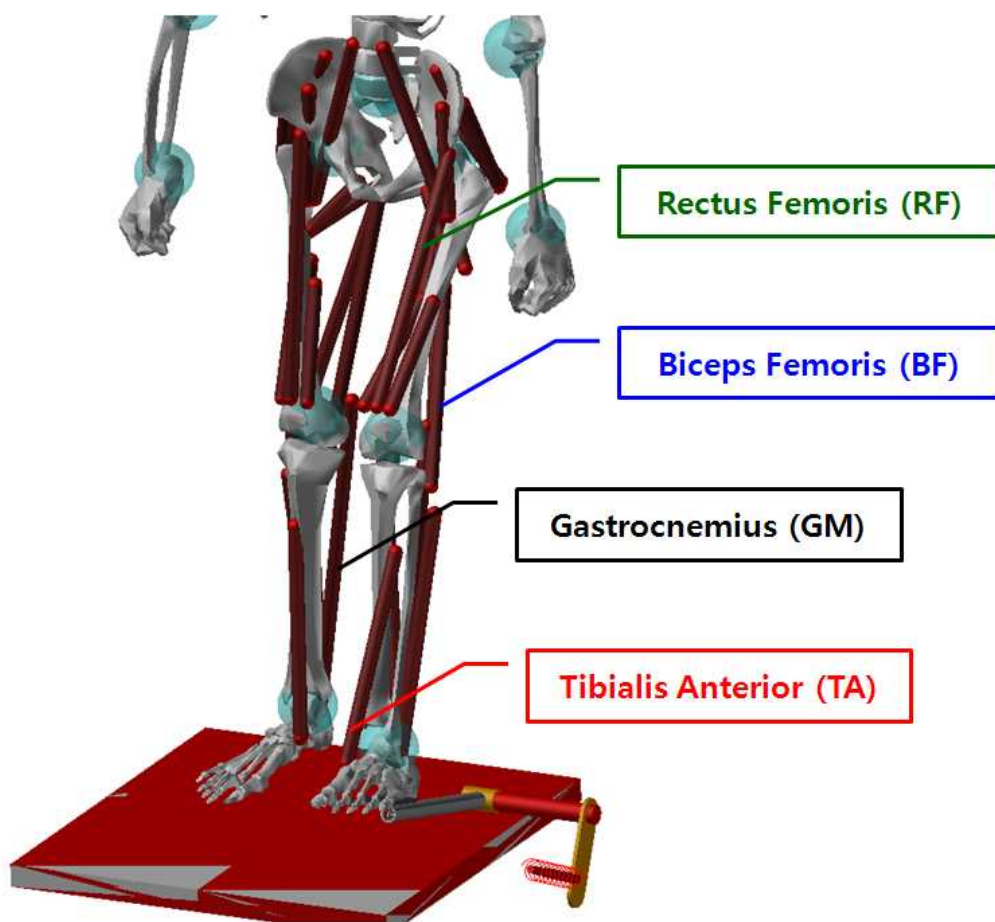


그림 3-198 하지 근육.

2) 실험재료

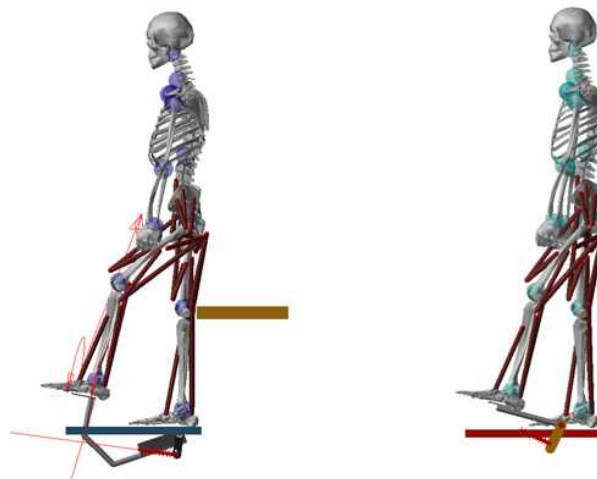
가상 모의실험에서 평가될 브레이크 페달의 모양과 특성은 그림 3-199와 같다. 대표적인 두 가지 브레이크 페달시스템을 대상으로 평가하였다.



그림 3-199 브레이크 페달 시스템.

3) 통합 모의실험 시뮬레이션 환경구축

인체 모델을 활용한 브레이크 페달 조작 작업 시 작업자의 생체 역학적 분석을 위해, 동역학 해석 프로그램인 ADAMS를 이용하여 시뮬레이션하였다. 인체 모델은 한국인 인체계측정보 DB를 이용하여 50분위 콤파인 조작자 인체 모델을 구성하였다. 인체 모델에 대한 검증은 선행 연구(Lim et al., 2009)를 통해 제시되었다. 그림 3-200과 같은 과정으로 콤파인 캐빈내 운전석 및 브레이크 페달 조작부 CAD 모델과 인체 모델을 통합하여 모의환경을 구축하였다.



(a) 구형

(b) 신형

그림 3-200 근모델을 이용한 브레이크 페달 조작 작업.

(나) 콤파인 브레이크 페달조작 작업의 생체역학적 평가 결과

2가지 종류의 브레이크 페달시스템을 비교한 결과는 그림 3-201, 표 3-67과 같다. N타입 브레이크 페달의 경우, 넓다리곧은근을 제외한 나머지 3근육의 초기 길이는 O타입 브레이크 페달에 비해 컸으나 근육의 길이변화는 모두 작았다. 따라서 N타입 브레이크 페달은 근육의 사용이 비교적 적고, 근육부담이 작을 것으로 판단된다.

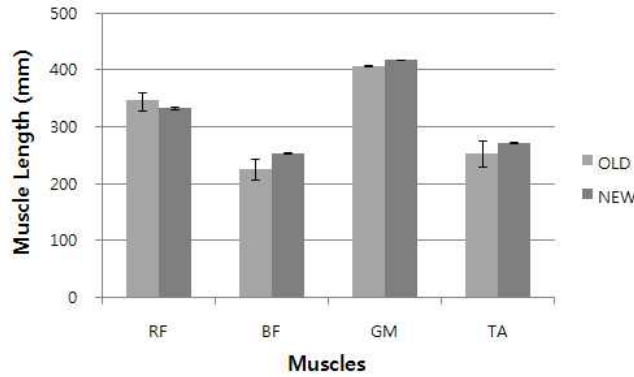


그림 3-201 브레이크 페달 조작 작업의 근육의 길이변화.

표 3-67 브레이크 페달 시스템에 따른 근육별 길이 변화

근육		Old	New
Left rectus femoris	Max	361.86	335.44
	Avg.	347.44	333.97
	Min	327.76	331.63
Left biceps femoris	Max	244.82	254.42
	Avg.	225.11	253.69
	Min	207.09	253.15
Left tibialis anterior	Max	408.63	418.32
	Avg.	407.17	418.24
	Min	406.80	418.12
Left gastrocnemius	Max	276.36	272.69
	Avg.	252.83	271.50
	Min	230.24	270.74

4. 주요장치의 성능평가

가. 운전석

(1) 시뮬레이션을 통한 성능평가

(가) 유한요소 분석

디자인 된 좌석은 유한 요소 분석 방법을 이용하여 weak point를 분석하였다. 개발된 운전석의 좌판에 약 30kPa의 압력을 적용하였을 때 발생하는 weak point를 분석하였고 그 때의 입력 값은 표 3-68과 같다. ①, ②는 좌판과 등받이로 폴리에틸렌의 물성치를 입력하였고 ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦은 강철의 물성치를 입력하였다. 탄성 계수는 각 재료의 대표 값으로 $1.1 \times 10^9 \text{Pa}$ 와

2.06×10¹¹Pa을 입력하였다. 그림 3-202는 유한 요소 분석을 통하여 압력이 가장 크게 집중되는 부분을 나타내고 있다. 표시된 Max 부분(연두색)에는 최소 4,931Pa에서 최대 5,917Pa의 압력이 분포하고 있다. 이는 의자의 다른 구성 요소(파란색)의 최대 압력인 3,628Pa에 비해 더 많은 압력이 집중되고 있음을 알 수 있다. 이에 운전석 시작기는 취약 부위의 보강을 위하여 좌판 후면 부위에 의자 상판을 지지하는 보를 추가하여 취약부위를 개선하였다.

표 3-68 유한 요소 특성

동작	적용 파트	
	①,②	③,④,⑤,⑥,⑦
물성치	Polyethylene	Steel
탄성 계수(young's modulus)	1.1×10 ⁹ Pa	2.06×10 ¹¹ Pa
푸아송 비	0.42	0.3
밀도	950kg/m ³	7,850kg/m ³

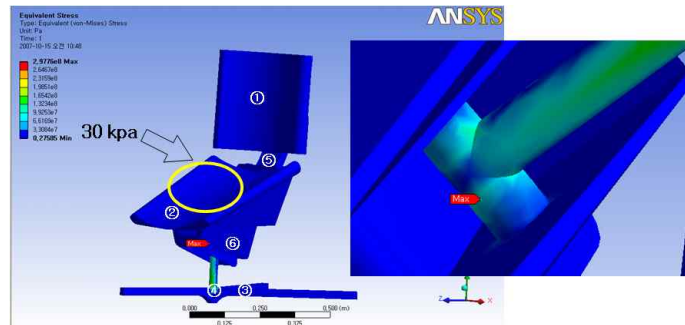


그림 3-202 유한 요소 분석.

(나) OWAS 분석

제작된 모형을 인간 공학적 평가 도구와 인체 모델을 이용하여 OWAS 분석 및 평가를 수행하였고 그 결과는 표 3-69와 같다. 콤바인 작업 모습을 비디오 촬영하여 콤바인 작업을 파악한 후 디자인된 3D 캐드 상의 운전석과 인체 모델을 이용하여 콤바인 작업을 시뮬레이션함과 동시에 인간공학적 기법을 이용하여 작업분석을 하였다. 이 방법은 인간공학적 분석으로 사람의 움직임에 따라 발생하는 인체 분절의 각도와 횡수 등을 점수화 하는 방법으로 실제 현장에서 빠르고 간편하게 평가를 할 수 있다는 장점으로 많이 사용되고 있다. 각각의 동작의 OWAS 분석 결과 모두에서 개선된 결과를 볼 수 있었다. 특히 예취 동작과 방향 전환 동작에서 개선된 효과를 볼 수 있었다.

표 3-69 OWAS 분석 결과

동작	OWAS(점)	
	현재	운전석 반영 후
준비	2	2
예취	2	1
방향전환	2	1
탈곡	2	2
오거	2	2

- OWAS : 근골격계에 약간 해를 끼치므로 가까운 시일 내에 작업 자세의 교정이 필요함(2점, 근골격계 유해), 근골격계에 해를 끼치지 않아 개선이 불필요 함(1점, 근골격계 무해)

(다) RULA 분석

제작된 모형을 인간 공학적 평가 도구와 인체 모델을 이용하여 RULA 분석 및 평가를 수행하였고 그 결과는 표 3-70과 같다. 콤바인 작업 모습을 비디오 촬영하여 콤바인 작업을 파악한 후 디자인된 3D 카드 상의 운전석과 인체 모델을 이용하여 콤바인 작업을 시뮬레이션 함과 동시에 인간공학적 기법을 이용하여 작업분석을 하였다. 이 방법은 인간공학적 분석으로 사람의 움직임에 따라 발생하는 인체 분절의 각도와 횡수 등을 점수화하는 방법으로 실제 현장에서 빠르고 간편하게 평가를 할 수 있다는 장점으로 많이 사용되고 있다.

각각의 동작의 RULA 분석 결과 모두에서 개선된 결과를 볼 수 있었다. 모든 동작에서 개선된 결과를 보여주며 특히 방향 전환 단계와 오거 동작에서 큰 개선을 볼 수 있었다. 이는 운전석의 회전 기능을 통한 허리의 비틀림 현상이 많이 감소될 결과로 고려된다.

표 3-70 RULA 분석 결과

동작	RULA (점)	
	현재	운전석 반영 후
준비	7	3
예취	4	3
방향전환	7	4
탈곡	6	3
오거	6	2

(라) L4/L5 분석

콤바인 작업 시 허리에 걸리는 부하를 표 3-71과 같이 인체 모델을 이용하여 측정하였고 그 측정 결과는 표 3-72와 같다. 표에 나와 있는 ‘현재’는 기존 운전석에서의 작업, ‘개선’은 디자인 된 운전석으로 작업하였을 때의 결과로써 허리(L4/L5)에 걸리는 부하와 모멘트가 많이 감소되었고 특히 모멘트 값은 X, Z의 값이 많이 감소되는 것을 볼 수 있다. X 값은 허리 숙임을 Z 값은 허리 비틀림을 의미하는 것으로, 새로 디자인 된 운전석을 이용하면 허리 숙임과 비틀림이 많이 감소됨을 확인할 수 있다.

표 3-71 시뮬레이션을 이용한 운전석 개선 전 후의 작업 비교











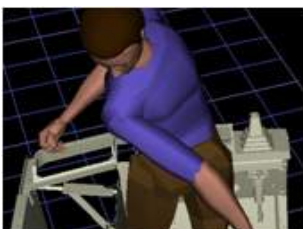




동작	현장 작업	현재 작업	운전석 적용
준비			
예취			
방향전환			
탈곡			
오거			

표 3-72 L4/L5의 부하와 모멘트 측정 결과

동작	L4/L5 부하	L4/L5 모멘트	
준비	현재		
	개선		
예취	현재		
	개선		
방향 전환	현재		
	개선		
탈곡	현재		
	개선		
오거	현재		
	개선		

(2) 실외 실험을 통한 성능평가 및 분석

(가) 근전도 분석

① 재료 및 방법

피험자는 근골격계 질환이 없는 20대 남성 6명으로, 이들의 신체적 특징은 표 3-73과 같고 모두 오른손잡이이다. 시판되고 있는 T社의 콤파인을 이용하여 기존의자와 개발·제작한 각도 조절형 의자를 엔진룸 위에 각 각 장착하여 실험하였다. T社의 콤파인 및 의자 제원은 표 3-74와 같다. 의자를 엔진룸에 장착할 수 있도록 나사구멍을 만들었고, 의자 뒤 레버를 이용하여 앉는 각도를 조절할 수 있도록 개발하였다. 제작한 의자 모양은 그림 3-203(b)와 같다.

실험 장치는 근활성도를 측정하기 위해 근전도계(Mega6000)을 이용하였다. 표면 근전도 신호는 근 수축의 신경근 활동을 전기적으로 표현한 것이고, 인체의 움직임에 대한 근육의 활동을 계측하고 데이터를 수집하는 장비이다. 신호의 진폭은 피로율을 분석하는데 사용되며 근피로 분석은 시간 영역에서 분석할 수 있다.

표 3-73 피험자 특징

성별	나이	키(mm)	몸무게(kg)
남자	29.1 ± 3.0	168.2 ± 3.7	66.3 ± 8.5

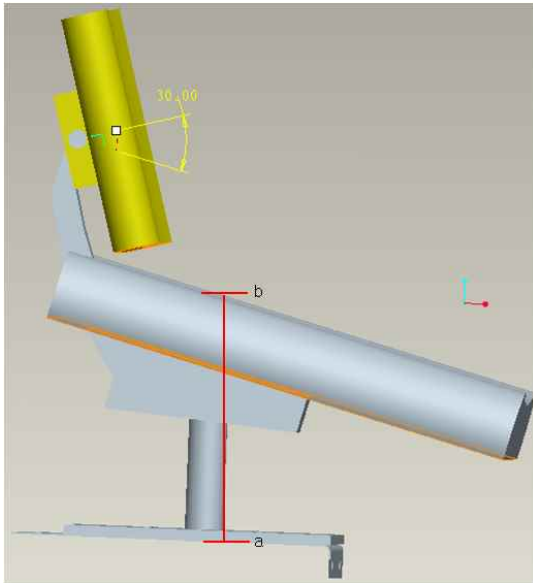
(평균 ± 표준편차)

표 3-74 콤파인 및 시제품의 제원

	장비	제원
T社 콤파인	Model	HU7000G
	Rated power/speed	68ps/2600rpm
	No. of cutting row	5
	Cutting width	1700mm
	Max. speed of cutting knife	1.5m/s
운전석 시제품	Dimension	310×335×150*
	Angle	-30°**
운전석 장착	Dimension	400×360×130
	Angle	0°**

* 가로×세로×높이(높이: 의자의 앉는 면의 기울기가 0°일 때, a~b까지의 거리, 그림 3-203(a) 참조)

**지면과 수평인 면을 기준으로 한 각도



(a) 3D CAD



(b) 실제 모습

그림 3-203 개발된 운전석.

표면 근전도는 피부에 의한 잡음을 없애기 위해 피부표면을 사포로 가볍게 문지르고, 알코올로 닦아낸 후 부착하였다. 부착위치는 장시간 서서 작업할 때 불편도가 높거나, 근골격계 질환 유발율이 높은 부위인 전방경골근(anterior tibial muscle), 장딴지근(lateral gastrocnemius muscle), 척추기립근(elector spinae muscle: L5)에 부착하였다. 척추기립근을 제외한 나머지 근은 왼쪽에 부착하였고, 그 위치는 그림 3-204과 같다. 전극간 거리는 25mm이고, 샘플링 주파수는 1,000Hz이며, 나이키스트 이론에 의거한 500Hz 저역 통과(low pass)필터를 사용하여 각 근전도에서 얻어지는 원신호(raw data)로부터 데이터를 분석하였다. 시간 영역의 분석에서 가장 신뢰할 수 있는 RMS (Root Mean Square) 값을 구하였다. 사용 소프트웨어는 Megawin (version 2.5, Megawin Technology, Taiwan)이다.

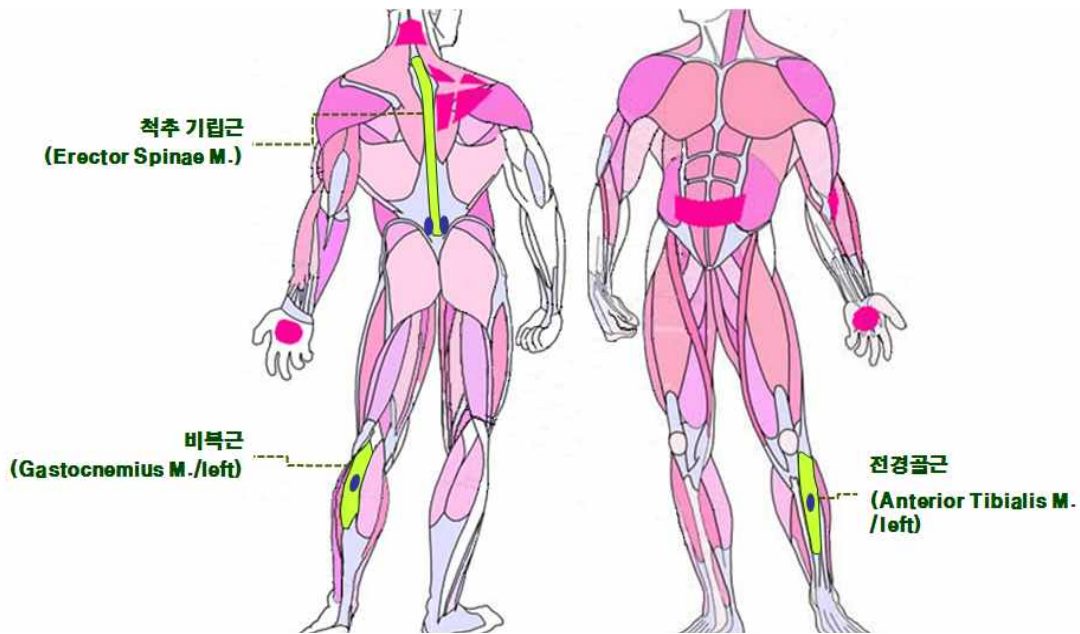


그림 3-204 EMG 전극 부착 위치.

실험환경은 본 기대에 장착되어 있는 콤바인에서 서서 실험을 하였고 근활성에 영향을 주지 않기 위해 30분 휴식 후 같은 모델의 기대에 개발·제작한 의자를 장착하여 앉아서 실험하였다. 의자 기울기는 모든 피험자들이 예취날을 볼 수 있는 각도인 30°를 기준으로 하였다. 실험 동작은 피험자가 콤바인의 정차 브레이크를 푸는 것을 시작으로 하여 곡물통을 두 번 비울 때까지 전진, 예취, 후진 및 선회, 곡물통 비움 등의 동작을 반복 시행하였다(그림 3-205). 그리고 마지막으로 정차 브레이크 페달을 밟는 것으로 실험동작을 마무리하였다. 피험자간의 근 활동 시간에 따른 차이를 주지 않기 위해 주행 속도는 일정하게 맞추었으나 피험자들의 오랜 운전 습관 때문에 약간씩 차이가 있었으며, 실험 시간은 평균 15분, 표준편차 ± 3.2 분이다. 통계분석을 위해 SAS를 이용하였고, 각 근육 부위별로 앉은 자세와 선 자세의 차이를 t-test로 검증하였다.



그림 3-205 개발된 운전석을 이용한 작업 과정.

② 분석 결과

RMS 값은 시간 영역에서 가장 신뢰할 수 있는 요소로써(Basmajian et. al., 1985), 피로(fatigue)와 선형적인 관계에 있다(Amedeo et. al., 2008). RMS 기울기와 힘은 신경근의 능률을 의미하므로 약한 근육은 기울기 값이 크다. 근육이 수축하는 동안 RMS 변화는 선형 추세선으로 분석할 수 있다. 즉, RMS 평균값은 근육을 수축 하기 위해 많은 운동단위가 동원된 것이고, RMS 변화율이 크면 클수록 근피로율이 크다는 것을 의미한다.

그림 4에서 검은색 그래프는 서서 작업할 때의 결과이고 회색 그래프는 30° 기울어진 의자에 앉아서 작업했을 때 결과이다. 그래프의 가로축은 왼쪽부터 오른쪽 척추 기립근 즉, 오른쪽 요추부위의 근(L5(R)), 왼쪽 척추 기립근 즉, 왼쪽 요추부의 근(L5(L)), 왼쪽 다리의 전방경골근(TA(L)), 장딴지근(GA(L))을 나타내었다.

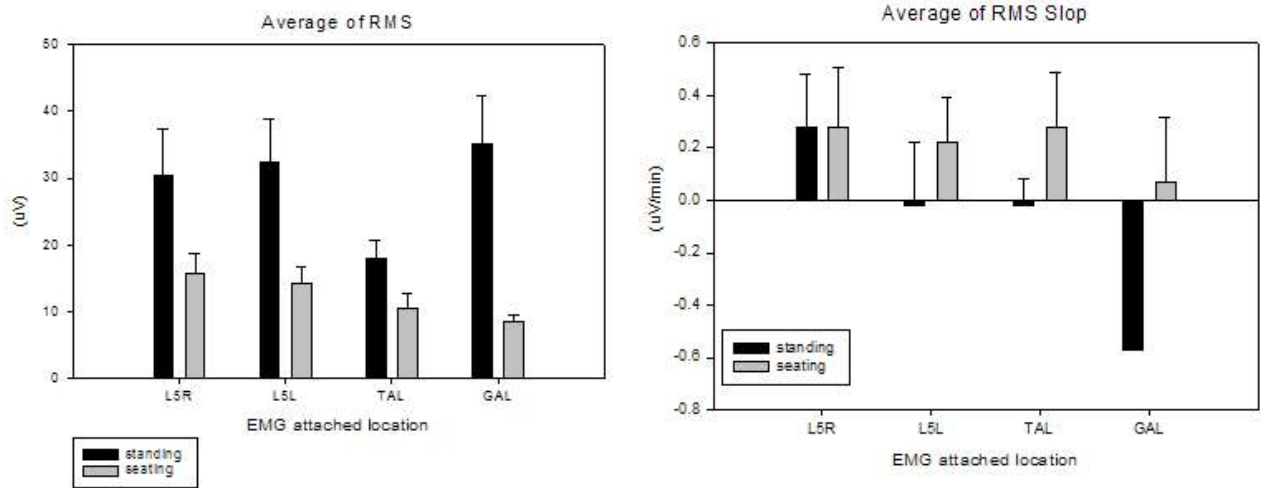
그림 3-206(a)는 전체 작업동안 각 근육별 RMS의 평균값으로, 근 전위차를 RMS로 계산하여 전체 작업시간에 대한 평균값을 세로축에 나타내었다. 그래프에서 보는 바와 같이 앉아서 작업할 때가 서서 작업할 때 보다 실험에서 평가된 모든 근육의 평균 RMS값이 유의하게 낮았다(표 3-75). 선 작업 자세는 앉아서 할 때 보다 허리와 다리의 근력을 더 요하게 된다. 그림 3-206(b)는 1분당 RMS의 평균 변화 값으로, 세로축 값은 분당 변하는 전위값(uV/min)을 나타낸다. 이 값이 양(+)이면 작업시간 동안 점차 근육의 운동단위가 증가했다는 의미이며, 이는 근 피로를 유발할 수 있는 요인이기도 하다. 음(-)의 방향이면 작업을 할 때 동원되는 근육의 운동단위의 수가 줄어드는 것을 의미한다. 그림 3-206(b)에서 보는 바와 같이 앉아서 작업 할 때 허리 및 다리근의 변화율이 양의 방향이고, 서서 작업할 때 오른쪽 허리근을 제외하고 음의 방향을 나타냈다. 그리고, 왼쪽의 척추기립근, 전방경골근, 장딴지근에서 유의성이 나타났다(표 3-75). 그림 3-206(a)와 3-206(b)의 결과에서 앉아서 작업할 때 시간이 지남에 따라 RMS값 즉, 피로율은 증가하지만 전체적인 RMS의 크기는 서서 작업할 때가 크게 나타났다.

작업동안의 근활성도(평균 RMS)는 앉아서 작업할 때보다 서서 작업할 때가 더 크다. RMS 값이 크다는 것은 서있는 자세를 유지하기 위해 근육이 큰 힘을 발휘했다는 것을 의미한다. 척추기립근의 경우 선 자세가 앉은 자세보다 값이 유의하게 크다. 특히 이 결과는 장시간 서서 작업을 하는 사람들이 허리관련 질환이 많이 발생한다는 역학연구의 결과를 뒷받침 해 주는 결과이다.

RMS 값의 변화율은 앉아서 작업할 때가 더 크게 나타났다. 앉아서 작업할 때 근피로가 조금씩 발생하고 있다는 것을 의미한다. 90° 의자에 앉은 자세, 12° 기울인 의자에 앉은 자세, 선 자세로 작업을 할 때 12° 기울인 의자에 앉아서 작업할 때 다리의 부피 변화와 둘레 변화가 컸다는 선행연구(Mandy R. et al., 2002)와 상관관계가 있을 것으로 사료된다.

앉은 자세가 RMS 평균값은 작으나, 시간에 따라 RMS 변화율이 큰 것은 시간이 지남에 따

라 선 자세보다 앉은 자세에서 근전위차가 크게 발생했기 때문이다. 선행연구에서 정적인 작업 자세는 하지근육의 RMS 변화율을 증가시켰고, 작업 공간을 돌아다니며 활동적인 작업을 할 때는 RMS 변화율이 감소하였다(Venkatash et. al., 2009). 본 실험에서는 서서 작업을 할 때, 다리를 바꾸어 짝다리를 짚기도 하고, 콤바인 작업공간에서 조금씩 활동을 한 반면, 앉아서 작업할 때는 하지의 활동이 거의 없었다. 따라서 앉아서 작업할 때 RMS 변화율이 증가한 것은 당연한 결과라 하겠다.



(a) RMS 평균 (b) RMS 평균 변화량

그림 3-206 개발된 운전석의 근전도 분석 결과.

표 3-75 RMS 평균/변화량 결과

		L5(R)	L5(L)	TA(L)	GA(L)
Total	Standing	30.479*	32.42*	17.99**	35.12*
	mean	(6.76)	(6.47)	(2.82)	(7.22)
Average	Seating	15.75*	14.27*	10.6**	8.53*
	mean	(2.97)	(2.39)	(2.05)	(1.03)
Average	Standing	0.28	-0.02***	-0.02***	-0.57***
	mean	(0.20)	(0.24)	(0.10)	(0.47)
of RMS	Seating	0.28	0.22***	0.28***	0.07***
	mean	(0.23)	(0.17)	(0.21)	(0.25)

*2.5%수준에서 유의, **5%수준에서 유의, ***10%수준에서 유의

(나) 체압 분포 분석

① 재료 및 방법

근골격계 질환이 없는 20대 남성 3명으로 이들의 신체적 특징은 표 3-76와 같다. 피험자는 표 3-78의 체압 분포를 측정할 수 있는 실험 장비를 이용하여 표 3-80의 작업 순서에 따라서

순차적으로 콤바인 작업을 3회 반복 수행하였다. 기존 콤바인과 새로 개발된 콤바인의 운전석의 비교 평가를 수행하기 위하여 동일한 방법으로 실험을 수행하였다. 기존 콤바인 운전석에 체압 분포를 측정할 수 있도록 매트를 설치한 후 블루투스 통신(50Hz)을 이용하여 데이터를 획득하게 된다.

피험자는 개발된 운전석과 기존의 운전석에서 브레이크 페달을 밟고 풀기를 시작으로 시동 켜는 동작, 탈곡 레버를 작동하는 동작, RPM 레버를 작동하는 동작, 주변속 레버를 작동하여 주행하는 동작, 그리고 마지막으로 예취레버를 작동하는 동작으로 구분하여 각 동작 시에 작업자와 운전석 사이에 걸리는 체압의 분포를 측정하였다.

표 3-76 피험자

Sex	Age	Height (mm)	Weight (kg)
Male	30.7 ± 4.5	174.7 ± 4.5	73.3 ± 7.6

(평균 ± 표준편차)

표 3-77 실험 장비


	Dimensions (mm)	150x100x40
	weight (g)	360
	number of sensors (max)	256 (1024)
	measurement frequency	20,000 sensors /second
	storage type	32 MB internal flash
	computer interface	fiber optic/ USB and Bluetooth TM
	operating system	Windows
	sync option	fiber optic/ TTL, in and out
	power supply	NiMH battery

표 3-78 체압 분포 분석 실험 순서 및 실험 모습

동작	개발 운전석	기존 운전석
브레이크 페달 밟고 풀기		
시동 켜기		
탈곡 레버		
RPM 증가		
주변속 증속		
예취 레버		
브레이크 페달 밟고 풀기		
시동 켜기		
탈곡 레버		
RPM 증가		
주변속 증속		
예취 레버		
브레이크 페달 밟고 풀기		
시동 켜기		
탈곡 레버		
RPM 증가		
주변속 증속		
예취 레버		

② 체압 분포 분석 결과

6가지 동작에 따라 작업자와 운전석 간의 체압 분포를 분석한 결과는 표 3-79와 같다. 분석 결과는 각 동작 수행 동안의 최대 압력을 나타내고 있다. 즉 동일한 면적에 동일한 체중을 갖고 있는 작업자가 동일한 작업을 수행하는 운전석에 걸리는 압력들을 분석한 결과 특정 부위에 압력이 높게 작용을 하고 있다는 것은 체중이 특정 부위에 집중되고 있음을 나타낸다. 체압이 고르게 분포 되지 않고 특정 부위에 압력이 집중되어 운전자는 압력이 집중되는 부위에 피로와 불편을 느끼게 된다. 기존의 운전석과 개발된 운전석의 체압 분포의 최대 압력을 분석한 결과 시동 켜기와 탈곡 레버 작동, 주변속 증속, 예취레버 작동 동작에서 유의한 결과를 얻을

수 있었으며 그 결과 최대 압력이 대체적으로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 기존 운전석에 비해 개발된 운전석에서 콤바인 동작 시 좀 더 고른 체압 분포를 보이고 있어, 편안하게 수확 작업을 수행할 수 있는 것으로 보인다.

표 3-79 기존 운전석과 개발된 운전석의 최대 압력 값 비교

		브레이크 페달 밟고 풀기	시동 켜기	탈곡 레버	RPM 증가	주변속 중속	예취 레버
개발 운전 석	1번 작업자	17.63	13.75*	28.63*	20.88	27.00*	14.50*
	2번 작업자	20.25	12.50*	27.83*	18.33	17.17*	13.00*
	3번 작업자	16.67	13.83*	34.58*	18.17	19.75*	19.67*
기존 운전 석	1번 작업자	16.00	16.33*	33.42*	15.50	23.17*	15.25*
	2번 작업자	22.75	20.25*	33.83*	18.42	31.58*	30.33*
	3번 작업자	27.92	22.50*	47.83*	25.50	33.00*	26.92*

*p<0.05

나. 레버

(1) 근전도 분석

(가) 재료 및 방법

시야 확보를 위해 서서 작업하는 T社の 콤바인과 앉아서 작업하는 시작기 콤바인의 개선효과를 평가하기 위해 1시간 동안 작업을 했을 때 어느 부위에서 근피로가 얼마나 발생하는지 분석하였다. 피험자는 신체 건강한 50대 남성 농업인 2명을 대상으로 하였다. 콤바인 작업은 1시간동안 실시하였으며, 평소에 작업하던 속도와 동작을 유지하였다.

실험장비는 그림 3-207의 근전도계(Mega6000)를 이용하였다. 근전도 부착위치는 그림 3-207과 같이 비골근(peroneus muscle), 비복근, 상완 요골근, 승모근의 왼쪽과 오른쪽에 각각 부착하였고 샘플링 주기는 1000Hz이다. 근전위 신호 분석은 푸리에 변환을 통하여 주파수 평면에서 표현된 근전도 신호의 전력 밀도 스펙트럼(power density spectrum)을 통해 주파수의 중간(median)값을 이용한다. 그러나 푸리에 변환은 시간에 따라 변하는 신호들의 주파수 성분을 관찰하는데 부적합하므로 본 연구에서는 시간 평면에 주파수를 표현하는 방법인 STFT (Short Time Fourier Transform)을 이용하여 결과를 도출하였고, 그 값을 이용하여 추세선을 그린 후 기울기 값을 1분당 변화율로 나타내었다.

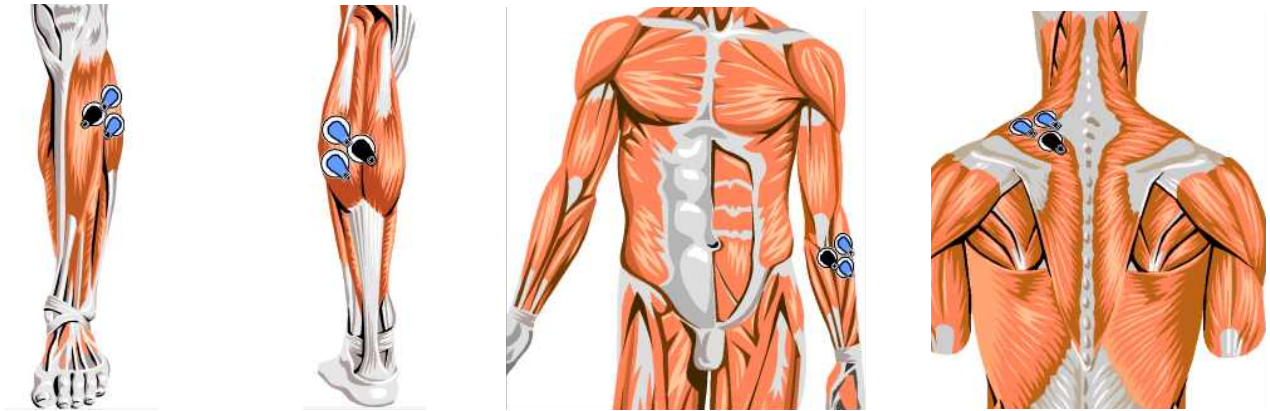


그림 3-207 근전도 부착위치(왼쪽부터 비골근, 비복근, 상완 요골근, 승모근).

(나) 분석 결과

그림 3-208과 그림 3-209는 STFT을 이용하여 시간에 따른 중간 주파수를 해석한 결과로 각 그래프는 위 좌측부터 왼쪽 비골근, 왼쪽 비복근, 왼쪽 상완 요골근, 왼쪽 승모근의 결과를, 아래 좌측부터 오른쪽 비골근, 오른쪽 비복근, 오른쪽 상완 요골근, 오른쪽 승모근의 근피로 결과를 보여주고 있다. 가로축은 시간(단위:초)을 나타내고, 세로축은 샘플링 주기에 대한 median power 주파수를 나타낸다. 그래프에서 추세선의 기울기가 양의 방향이면 근피로는 발생하지 않고 단지 근활성도가 높은 것이고, 음의 방향으로 기울면 근피로가 발생하는 것을 의미한다. 작은 힘을 발휘하거나 근피로가 발생하지 않을 때는 근육의 작은 운동단위가 탈분극하여 높은 주파수의 성질을 갖지만, 큰 힘을 발휘하거나 근육피로가 발생하면 젖산이 분비되기 시작하고 근육의 작은 운동 단위들이 큰 운동단위로 바뀌어 탈분극을 하게 된다. 그러므로 근피로가 발생하면 낮은 주파수의 값이 나온다. 추세선의 기울기가 음의 방향으로 크게 기울수록 근피로가 급격하게 발생한다는 것을 의미한다. 근피로를 평가할 때 절대적인 평가 기준은 없으며, 상대적인 평가를 한다.

그림 3-208은 T社 콤바인을 이용하여 서서 실험한 결과로 근피로의 변화율(추세선의 기울기 변화율)이 왼쪽 비골근 0.9%, 왼쪽 비복근 0.7%, 왼쪽 상완 요골근 -0.1%, 왼쪽 승모근 -1.5%, 오른쪽 비골근 0.0%, 오른쪽 비복근 0.5%, 오른쪽 상완 요골근 0.0%, 오른쪽 승모근 0.0%로 나타났다. 왼쪽 상완 요골근과 왼쪽 승모근 즉, 레버를 주로 사용할 때 작용하는 근육에서만 근피로가 발생하였다. 특히, 승모근에서는 기울기 값이 더 크게 나타나 콤바인 작업을 장시간 오래 지속했을 경우 근골격계 질환을 일으킬 수도 있음을 알 수 있다.

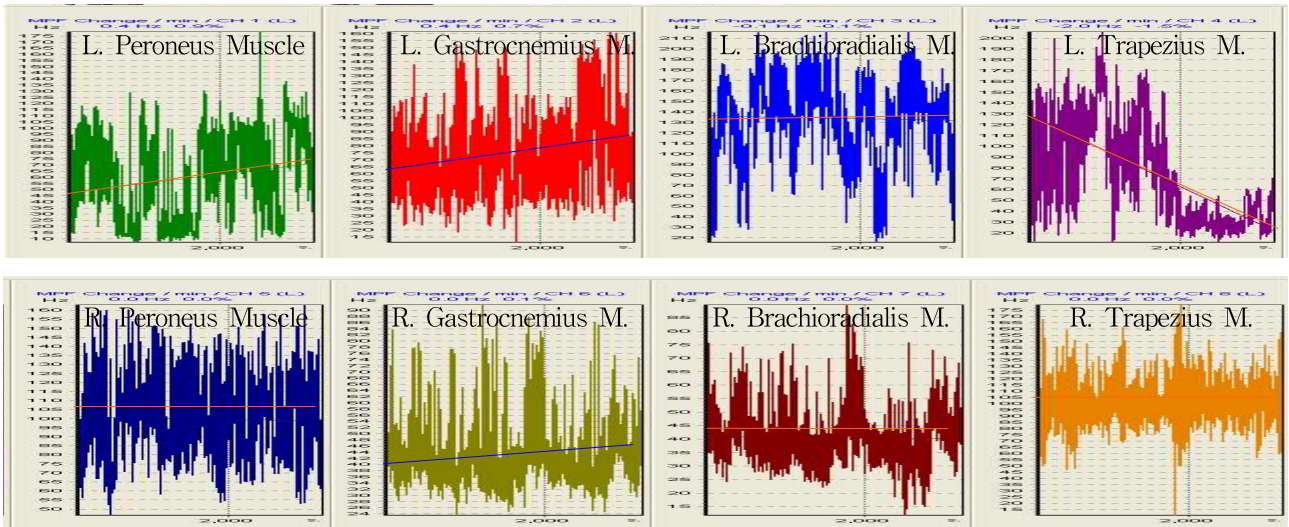


그림 3-208 T社 콤바인의 기어봉을 사용한 근피로도 결과(위 좌측부터: 왼쪽 비골근, 왼쪽 비복근, 왼쪽 상완 요골근, 왼쪽 승모근, 아래 좌측부터: 오른쪽 비골근, 오른쪽 비복근, 오른쪽 상완 요골근, 오른쪽 승모근).

그림 3-209는 시작기를 이용하여 앉아서 실험한 결과를 보여주고 있다. 추세선의 기울기 변화율은 왼쪽 비골근 0.1%, 왼쪽 비복근 0.1%, 왼쪽 상완 요골근 1.0%, 왼쪽 승모근 -0.2%, 오른쪽 비골근 0.2%, 오른쪽 비복근 0.5%, 오른쪽 상완 요골근 0.0%, 오른쪽 승모근 0.1%로 나타났다. 앉아서 작업한 시작기의 경우 왼쪽 승모근에서 근피로가 나타났다.

T社의 콤바인과 시작기를 이용하여 작업하였을 경우 둘 다 하지에서는 근피로가 발생하지 않았다. 서서 장시간 작업하면 근피로가 발생할 것으로 예상하였으나 근육을 수축하거나 힘든 동작을 하는 것이 아니기 때문에 하지에서는 근피로가 발생하지 않았다. 상지의 경우 T社의 콤바인을 이용했을 때, 레버를 조작하는 왼쪽 상완 요골근과 왼쪽 승모근에서 근피로가 발생하였고, 시작기를 이용하였을 때는 왼쪽 승모근에서만 근피로가 발생하였다. 승모근의 경우 T사를 이용하였을 때는 -1.5%의 기울기 변화율을 보이는 반면, 시작기를 이용하였을 때는 -0.2%로 기울기 변화율에서 큰 차이를 보인다. 즉, 시작기에서는 상완 요골근에서 근피로가 발생하지 않았고, 왼쪽 승모근에서는 근피로가 발생하였으나 기울기 값이 T社에 비해 현저히 낮게 나타났다. 본 연구 결과에서 보면, 서서 작업을 하는 경우와 앉아서 작업을 하는 경우에 레버와 인체 중심과의 거리가 차이가 나고, 인체 중심과 레버 사이의 거리는 근피로에 영향을 미치는 요인으로 보인다.

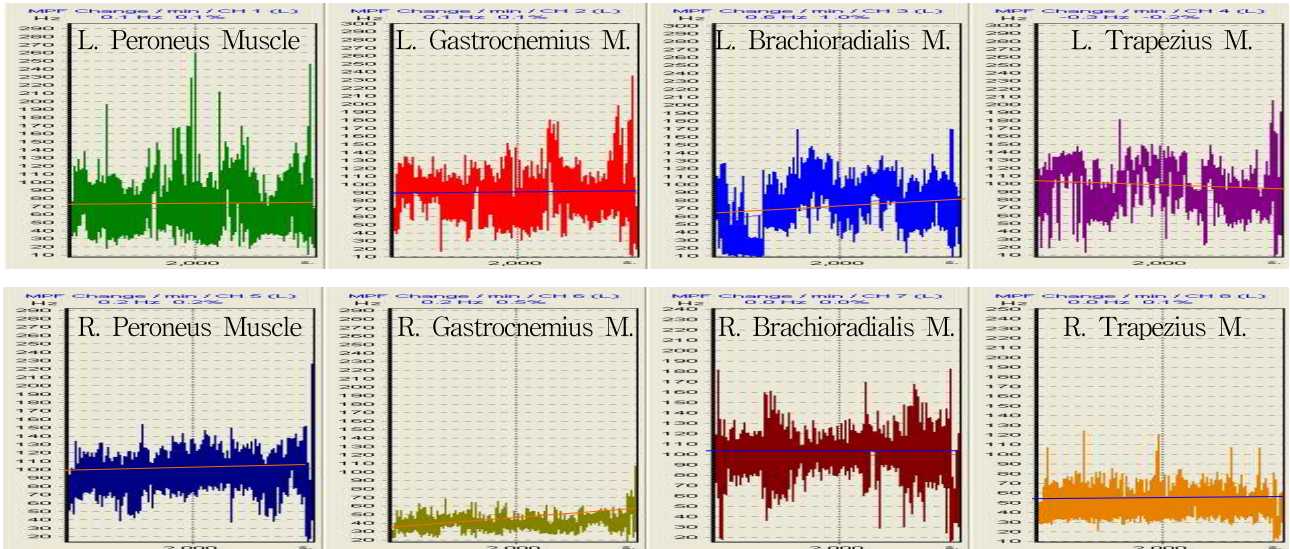


그림 3-209 시작기 기어봉을 이용한 근피로 결과(위 좌측부터: 왼쪽 비골근, 왼쪽 비복근, 왼쪽 상완 요골근, 왼쪽 승모근, 아래 좌측부터: 오른쪽 비골근, 오른쪽 비복근, 오른쪽 상완 요골근, 오른쪽 승모근).

(2) 손압력 분석

(가) 재료 및 방법

콤바인 부변속 레버에 적합한 노브 형태를 찾기 위해 3가지 형태의 노브를 이용하여 손 압력 분포 실험을 하였다. 실내실험을 위해 부변속 레버에 노브가 탈부착 가능하도록 제작하였다. 둥글고 납작한 형태의 노브, 길고 원기둥형의 노브, 길고 원기둥형이며 손가락 모양의 홈이 있는 노브 3가지 종류를 각각 장착하고, 앉은 자세에서 레버를 밀고 당길 때 손압력을 측정하였다.

피험자는 신체 건강한 30대 성인 남성 4명을 대상으로 하였다. 부변속 레버를 사용하는 왼손에 장갑을 이용하여 손압력 센서(Glove sensor, Novel Inc.)를 착용하였고(그림 3-210), 작업 동작은 노브를 가볍게 쥐고 레버를 당기고 미는 동작을 5회씩 반복하였다. 회당 5분씩 휴식시간을 주었으며, 당기는 속도는 메트로놈을 이용하여 1회/초의 속도로 작업하였다. 측정 샘플링 주기는 50Hz이다. 손 압력분포가 고르게 되고, 단위면적당 발생한 압력의 적분 값이 작은 것이 잘 설계된 것이므로 압력 분포와 단위면적당 발생한 압력의 적분 값을 이용하여 적정 노브를 선택하였다.



그림 3-210 실험에 사용한 손압력 센서 및 장착 모습.

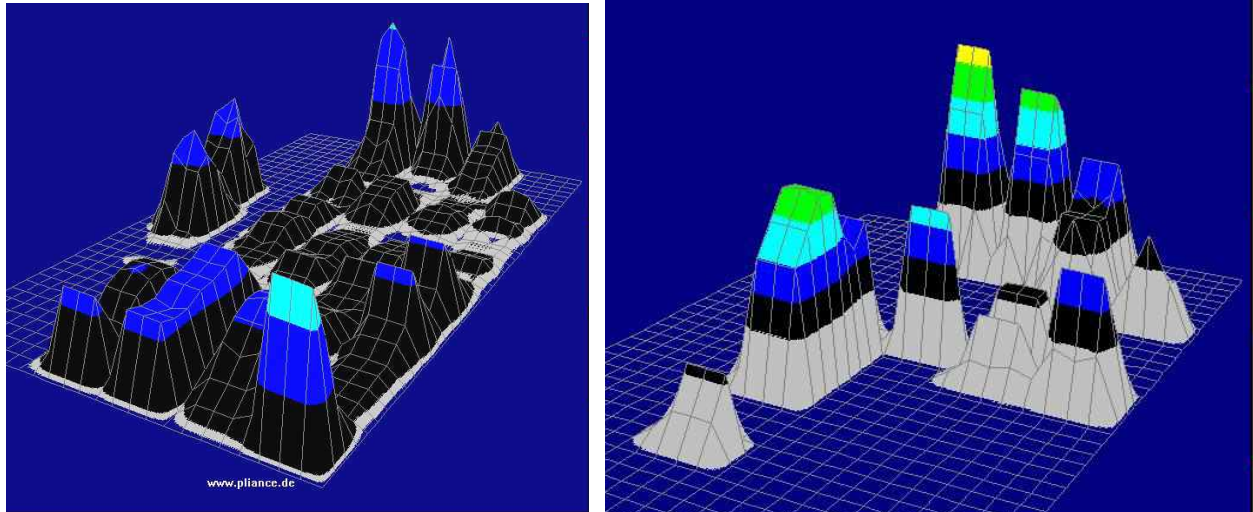
(나) 분석 결과

손압력 실험결과 둥글고 납작한 형태의 노브로 실험 하였을 경우 표 3-80과 같이 면압은 평균 507N (± 25 N), 길고 원기둥형이며 손가락 모양의 홈이 있는 노브의 면압은 499N (± 10 N), 길고 원기둥형의 노브의 면압은 609N (± 20 N)이다. 길고 원기둥 형태에 손가락 모양의 홈이 있는 노브는 다른 노브보다 접촉 면적이 넓고 고르게 분포되어 있고, 단위면적당 압력값이 가장 작아 손에 가해지는 압력이 세 개의 노브 중 가장 낮은 것을 알 수 있다. 그림 3-211은 레버 형태에 따른 손압력 측정 분포도를 보여주고 있으며, 압력이 높을수록 붉은 색을 띤다. 검은색은 손이 살짝 닿았을 때의 분포이며, 파란색에서 노란색으로 갈수록 높은 압력이다. 회색은 5N 이하, 검은색은 50N 이하, 파란색은 60N 이하, 하늘색은 70N이하, 연두색은 80N이하, 노란색은 100N이하, 빨간색은 100N이상의 압력을 받았을 때이다.

분석 결과 단위면적당 압력이 가장 작게 나온 손잡이의 형태는 원기둥형의 손가락모양의 홈이 있는 노브이다. 부변속 레버의 노브 설계 시 손바닥에 단위면적당 가해지는 압력을 작게 하기 위해 접촉면적 넓혀 설계해야 한다.

표 3-80 단위면적당 손압력 분석 결과

둥글고 납작한 형의 노브	원기둥형이며 손가락모양의 홈이 있는 노브	원기둥형의 노브
507N (± 25 N)	499N (± 10 N)	609N (± 20 N)



(a) 원기둥 형태에 손가락 모양이 있는 손잡이 (b) 둥글고 낮은 형태의 손잡이
그림 3-211 레버 형태에 따른 손압력 측정 분포의 예.

(3) 근전도 분석(실내 평가)

(가) 재료 및 방법

인체 중심에서 레버 노브의 위치에 따라 노브 형태와 작업 자세가 달라지면 근활성도가 어떻게 변하는지 측정하고, 작업 자세에 따라 근 활성도가 가장 낮게 나타나는 레버 노브의 위치와 형태를 제시하였다. 피험자는 신체 건강한 성인남성 4명을 대상으로 하였고, 신체 특징은 표 3-81과 같다.

인체 중심과 노브 사이의 간격에 따른 근활성도를 보기 위해 레버 간격을 50mm씩 달리하여 그림 3-212와 같이 레버에 각변화를 주었다. 즉, 인체 중심과 노브 사이의 간격은 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550mm이다. 그림 3-213에서 보는 바와 같이 조작력을 조절할 수 있도록 부변속 제어 상자를 자체 제작하여 레버의 조작력인 100N으로 조정하였다. 피험자마다 의자 위치를 조정하여 인체 중심과 노브 사이의 초기거리 150mm를 맞추어 고정한 후 레버 높이를 피험자의 팔꿈치 높이로 맞추었다. 레버를 밀고 당길 때, 근 수축 속도를 일정하게 유지하기 위해 메트로놈 속도를 1초에 1번 울리도록 설정하였고, 피험자는 박자에 익숙할 때까지 연습하였다. 평가는 실내에서 이루어졌고 그림 3-212와 같이 9가지의 레버 봉에 2가지의 노브를 각각 장착하여 앉아서 또는 서서 레버를 밀고 당겼다. 피험자들의 근활성도를 측정하기 위해 근전도 시스템(Noraxon TeleMyo 2400T G2, 8Ch system, Noraxon USA Inc.)을 이용하였다.

표 3-81 피험자 특징

Sex	Age	Height (mm)	Weight (kg)
Male	23.1 ± 2.1	174.8 ± 6.5	70.1 ± 8.5

(평균 ± 표준편차)

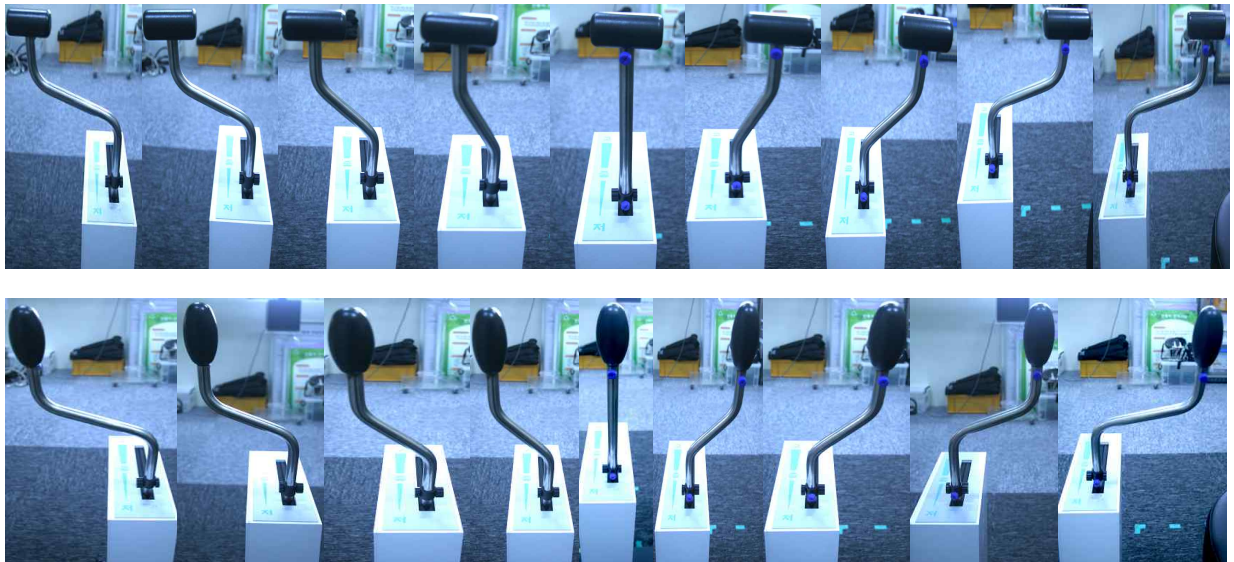


그림 3-212 실험에 사용한 평가용 레버(좌측부터 노브와 인체 중심과의 거리는 550, 500, 450, 400, 350, 300, 250, 200, 150mm).



그림 3-213 근활성도 측정 실내 실험 환경.

표면 근전도는 피부에 의한 잡음을 없애기 위해 피부표면을 사포로 가볍게 문지르고, 알코올로 닦아낸 후 부착하였다. 부착위치는 레버를 작동하는데 활동하는 근육이나 근골격계 질환 유발율이 높은 부위인(Kim et al., 1994) 왼쪽, 오른쪽 척추기립근(L5), 왼쪽, 오른쪽 상승모근, 왼쪽 어깨 삼각근 중앙, 왼쪽 지신근에 부착하였다. 척추기립근을 제외 한 나머지 근육은 왼쪽에 부착하였고, 그 위치는 그림 3-214와 같다. 전극간 거리는 25mm이고, 샘플링 주파수는 1,000 Hz이며, 나이키스트 이론에 의거한 500Hz 저역 통과(low pass)필터를 사용하여 각 근전도에서 얻어지는 원신호(raw data)로부터 데이터를 분석 하였다. 실험 및 분석 소프트웨어는 Noraxon EMG (TeleMyo 2400T G2, Noraxon U.S.A. Inc.)이다.

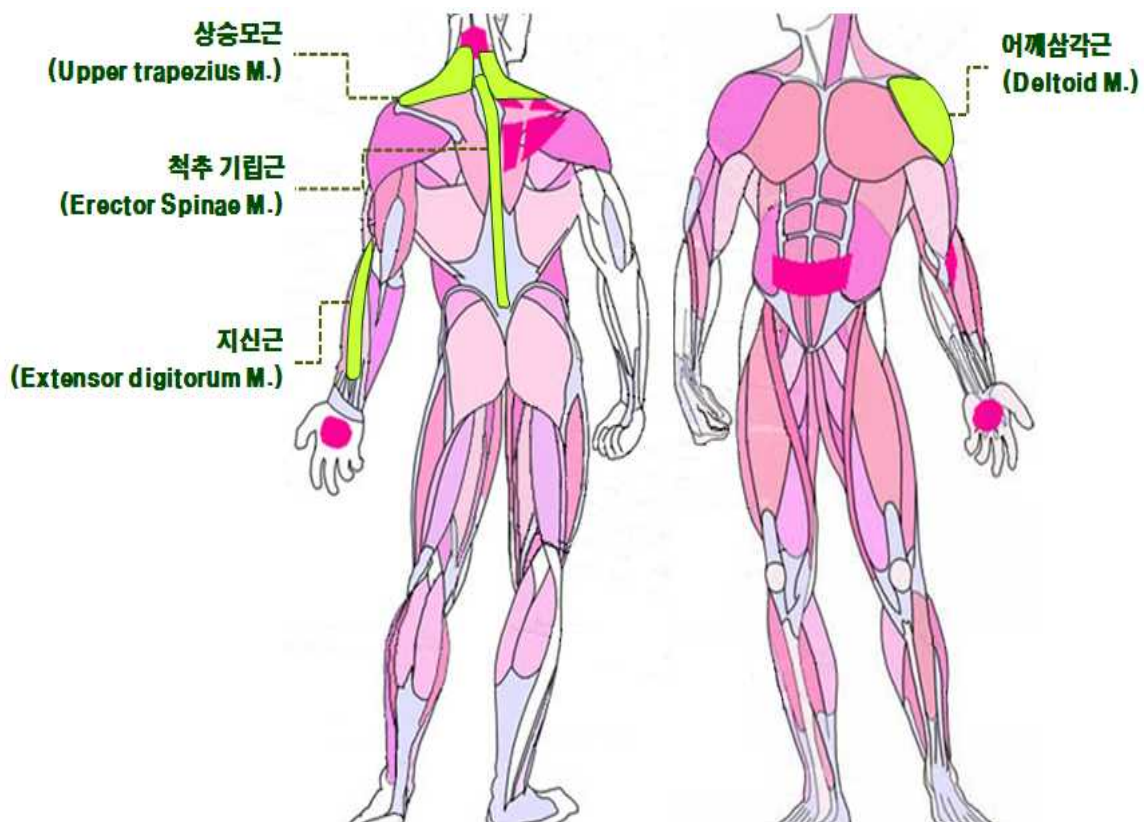


그림 3-214 근전도 부착위치.

(나) 평가 결과

앉아서 그리고 서서 레버를 작동시킬 때, 노브 형태에 따라 인체 중심과 노브 사이의 거리를 달리 하였을 때, 왼쪽 상승모근, 왼쪽 어깨 삼각근, 왼쪽 지신근, 왼쪽 척추 기립근, 오른쪽 상승모근, 오른쪽 척추 기립근의 근활성도는 그림 3-215, 3-216과 같다. 그래프의 가로축은 인체 중심과 노브 사이의 거리이고, 세로축은 피험자들의 평균 주파수(mean amplitude)를 나타낸다. 그래프 안의 검은색 막대는 가로형태의 노브를 이용한 실험 결과이고, 회색 막대는 세로형태의

노브를 이용한 실험 결과이다.

그림 3-215는 앉아서 실험한 결과이다. 앉아서 작업할 때, 왼쪽의 어깨 삼각근과 지신근, 상승모근의 활성도가 크게 나타난다. 그 중 왼쪽 어깨 삼각근에서 가장 큰 활성도를 보였다. 승모근, 삼각근, 지신근 중 어깨 삼각근에서 가장 큰 전위차가 있으며, 레버를 당기고 밀 때 가장 큰 역할을 한다는 것을 의미한다. 양쪽의 척추기립근과 오른쪽 상승모근에서는 근활성도가 거의 없다. 레버를 밀거나 당길 때 허리에 많은 힘이 들어갈 것으로 예상하였으나 허리 근육은 거의 사용되지 않았다.

가로 형태의 노브로 실험했을 때, 왼쪽 어깨삼각근의 근활성도는 노브의 거리가 150mm일 때 가장 낮았고, 왼쪽 지신근의 근활성도는 150, 300, 350, 400mm일 때 낮았다. 왼쪽의 상승모근의 근활성도는 노브의 거리가 150mm일 때 현저하게 낮은 것을 볼 수 있다. 왼쪽 어깨 삼각근, 왼쪽 지신근, 왼쪽 상승모근 모두 인체중심에서 노브가 150mm 떨어져 위치했을 때 근활성도가 가장 낮게 나타났다. 즉, 앉아서 레버를 밀고 당기는 작업을 할 때 가로 형태의 노브로 설계할 경우 인체 중심에서 150mm 떨어진 곳에 장착하면 조작력을 낮추지 않아도 근육을 많이 사용하지 않고 조작할 수 있다는 의미이다.

세로 형태의 노브로 실험했을 때, 왼쪽 어깨삼각근의 근활성도는 노브의 거리가 300, 400, 450, 500, 550mm일 때 낮고, 왼쪽 지신근의 근활성도는 300, 400mm일 때 낮았다. 왼쪽 상승모근의 경우 노브의 거리가 300, 350, 400, 500, 550mm일 때 낮았다. 앉아서 작업할 경우 세로 형태의 노브를 장착해야 한다면 노브의 위치는 사용자의 인체 중심에서 300, 400mm 떨어진 곳이면 작은 근육의 활동으로 같은 조작력의 레버를 조작할 수 있다.

그림 3-216은 서서 실험한 결과이다. 서서 실험할 때도 앉아서 실험할 때와 마찬가지로 왼쪽의 어깨 삼각근, 지신근, 상승모근의 활성도가 컸다. 어깨 삼각근의 경우 앉아서 작업할 때 보다 현저히 높은 근활성도를 보였다. 세로 형태의 노브보다 가로 형태의 노브로 레버를 작동시킬 때 더 큰 근활성도를 보였다. 양쪽 척추기립근과 오른쪽 상승모근은 근활성도가 거의 없으나 앉아서 작업할 때 보다는 크게 나타났다. 즉, 서서 레버를 조작하는 것이 앉아서 조작할 때 보다 더 큰 근활성을 보인다는 것을 알 수 있다. 콤바인 작업의 경우 시야를 확보하기 위해 서서 레버를 조작하게 되는데 장시간 서서 작업하게 되면 앉아서 작업하는 것보다 허리근에 좋지 않은 영향을 미친다.

가로 형태의 노브로 실험한 결과 왼쪽 어깨 삼각근에서는 노브와의 거리가 200, 300, 350, 400mm일 때 근활성도가 낮았고, 왼쪽 지신근에서는 300, 400mm일 때 왼쪽 상승모근에서는 노브와의 거리가 350mm일 때 근활성도가 낮게 나타났다. 왼쪽 어깨삼각근과 왼쪽 지신근, 왼쪽 상승모근에서 모두 낮은 활동도를 보이는 거리는 없지만 가장 큰 활성도를 보이는 왼쪽 어깨 삼각근의 근활성도를 낮추는데 의미가 있으므로 200, 300, 350mm에 장착하는 것이 좋다.

세로 형태의 노브로 실험한 결과 왼쪽 어깨 삼각근에서 200, 350, 500mm일 때 가장 낮은 활성도를 보였고, 왼쪽 지신근에서는 노브와의 거리가 350, 500mm일 때 낮은 활성도를 보였다. 그리고 왼쪽 상승모근의 경우 노브의 거리가 200, 350, 500mm 떨어져 있을 때 낮은 근활성도를 보였다. 세 근육이 공통적으로 낮은 근활성도를 보이는 위치는 인체 중심으로부터 350, 500mm 떨어진 곳이다. 즉, 앉아서 작업할 경우 세로 형태의 노브를 장착해야 한다면 그 위치는 인체 중심으로부터 350 또는 500mm 떨어진 곳에 하는 것이 좋다.

레버를 서서 조작하든지 앉아서 조작하든지 크게 차이는 없으나 앉아서 할 경우 레버를 조작하는 쪽의 어깨 삼각근활성도가 낮게 나타난다. 그리고 척추 기립근의 활성도도 낮게 나타난다. 서서 레버를 조작하는 것 보다 앉아서 조작하는 것이 근육에 힘을 크게 발휘하지 않고 조작할 수 있으며, 앉아서 조작할 경우 가로 형태의 노브를 장착하게 되면 인체 중심에서 150mm 떨어진 곳에 위치시키고, 세로 형태의 노브를 장착하게 되면 300 또는 400mm 떨어진 곳에 위치시켜야 한다는 의미이다. 150mm 떨어진 가로형 노브로 실험한 결과와 300 또는 400mm 떨어진 세로형 노브의 근활성도는 왼쪽 상승모근에서 차이를 보이며, 150mm 떨어진 가로형 노브가 낮은 활성도를 나타내고 있다. 부득이하게 서서 작업을 해야 하는 경우라면 가로 형태의 노브를 장착할 경우 200, 300, 350mm 떨어진 곳에 위치시키고, 세로 형태의 노브를 장착할 경우 350 또는 500mm 떨어진 곳에 위치시키는 것이 좋다. 따라서 본 연구에서는 콤팩트를 앉아서 작업 할 수 있도록 설계할 것이므로 부변속 레버에 각도를 주어 인체 중심과 150mm 떨어진 가로형 노브를 사용하는 것이 적합하다.

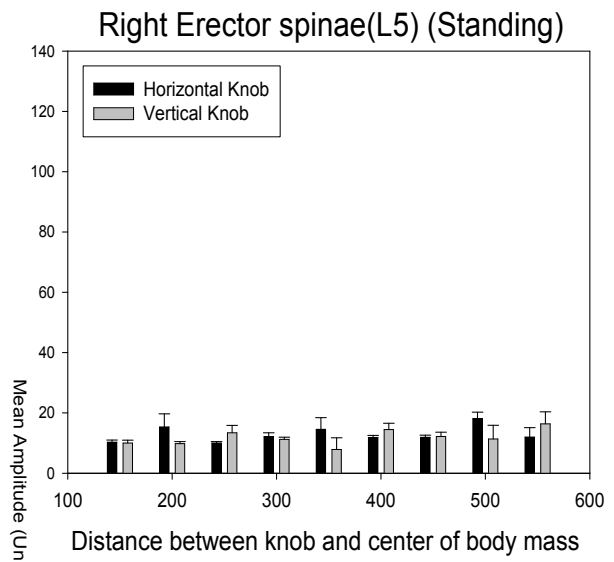
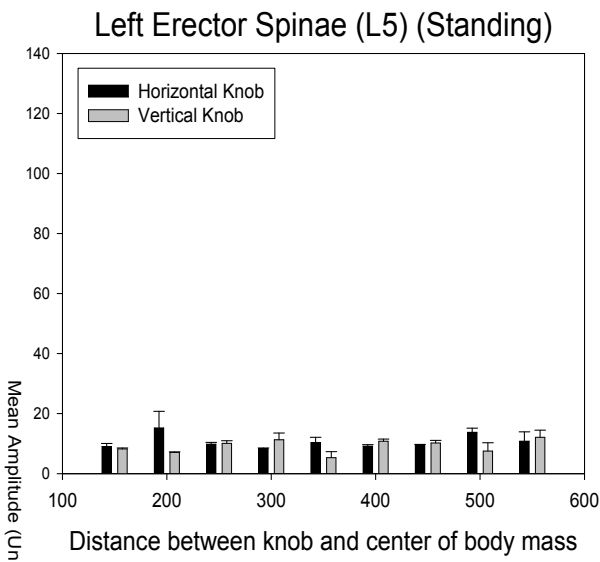
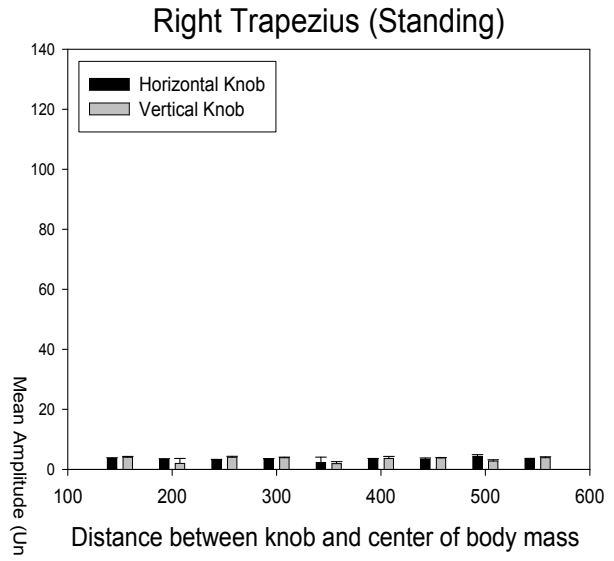
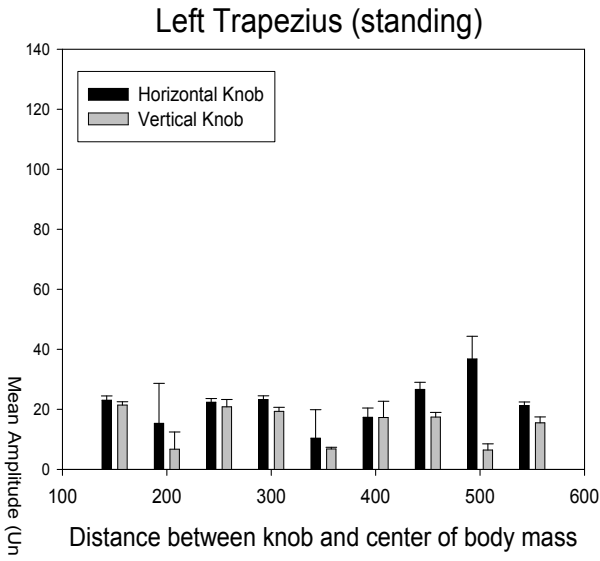
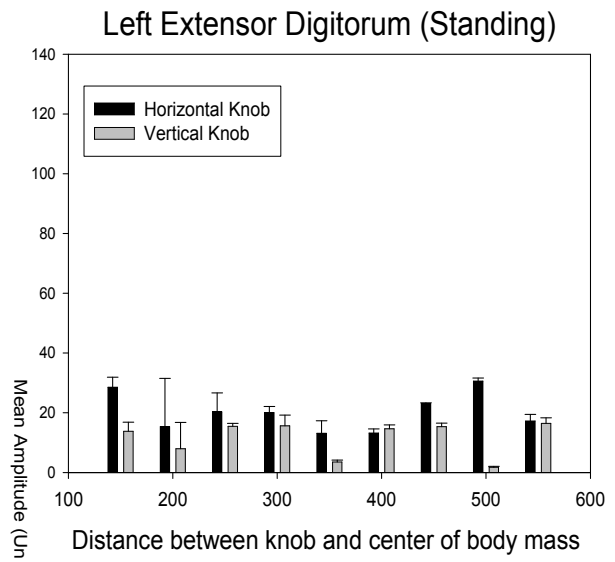
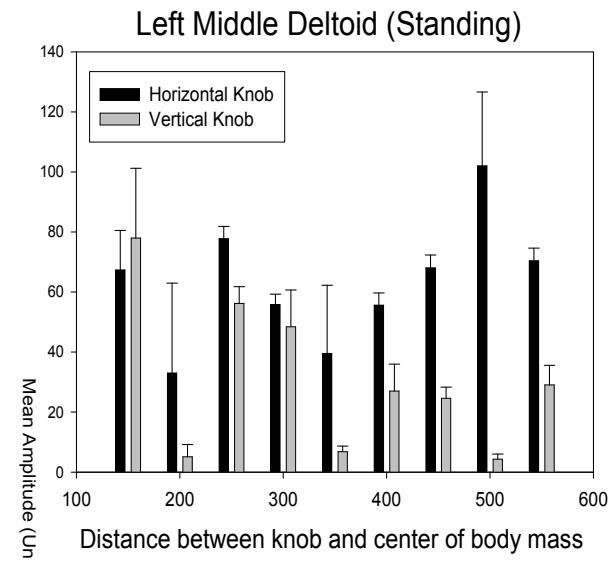


그림 3-215 앉아서 실험한 결과.

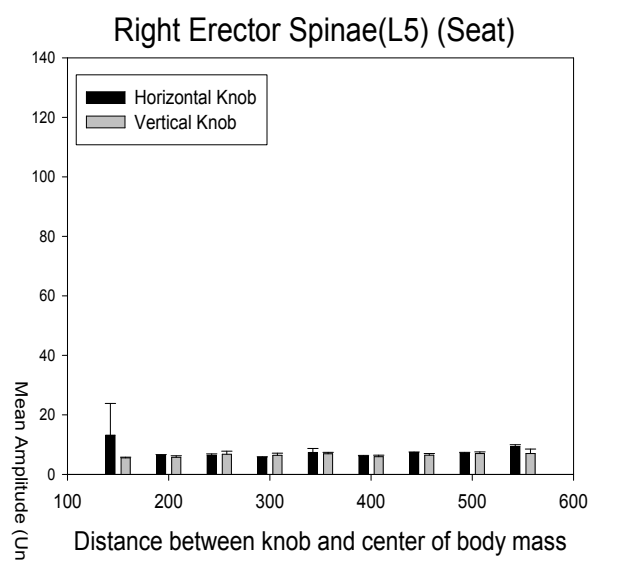
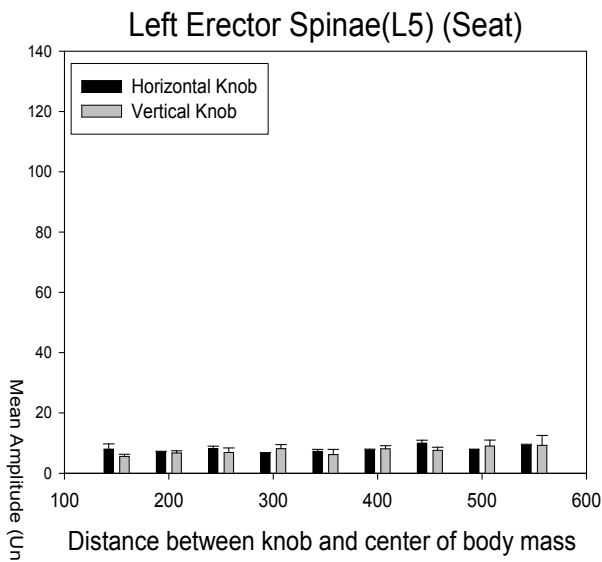
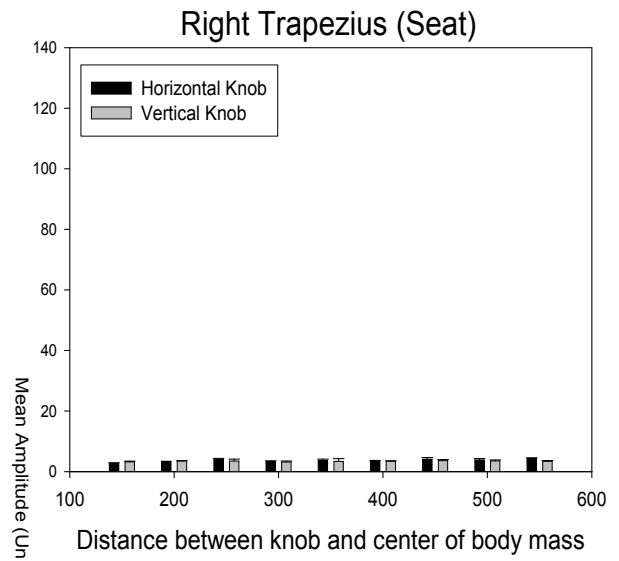
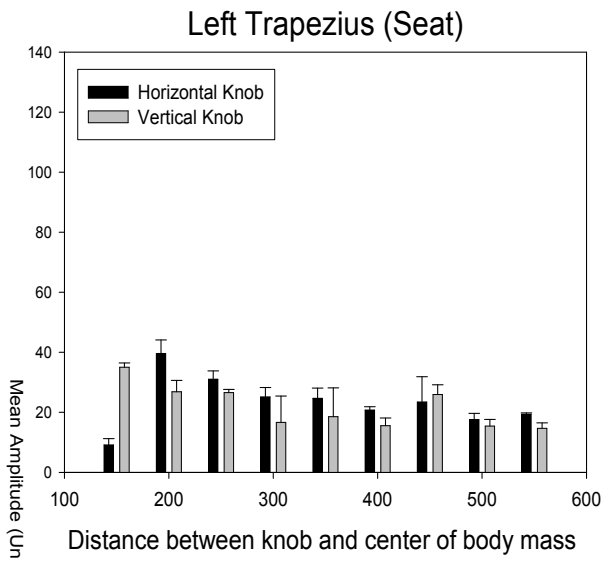
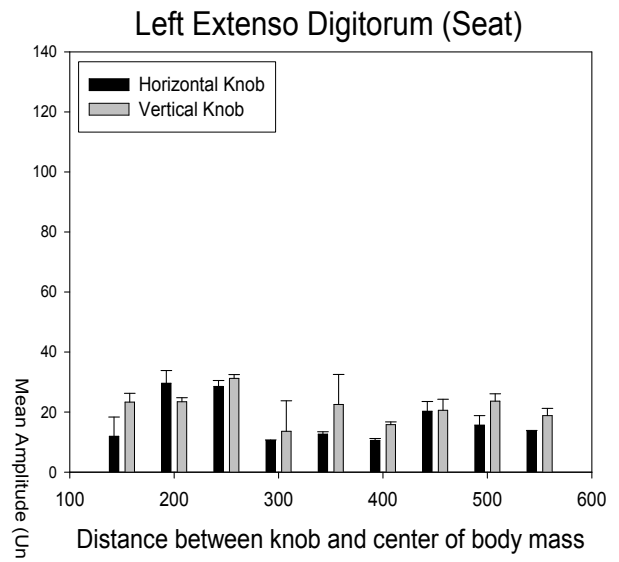
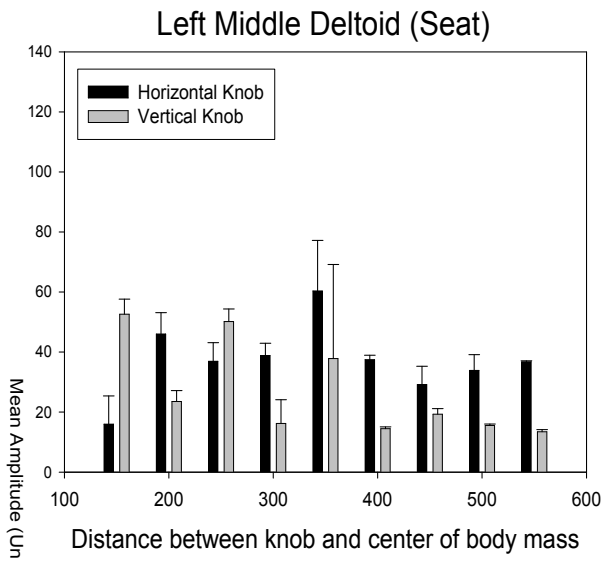


그림 3-216 서서 실험한 결과.

다. 브레이크 페달

(1) 근활성도 분석

브레이크 페달을 밟을 때 근활성도를 측정하여 페달을 밟을 때 사용되는 근육 중 어떠한 근육이 문제가 되는지 평가하기 위해 하지근에 근전도를 부착하여 평가하였다. 피험자는 3년 이내에 근골격계 질환으로 병력이 없는 23세의 신체 건강한 남성이며, 신장은 1753mm, 몸무게는 67kg이다. 페달을 밟을 때 발목이 바닥으로 꺾이며 발바닥 굴곡이 이루어지고 이때 사용되는 근육은 비복근과 가자미근(soleus muscle)이므로 이 부위에 근전도 시스템(Noraxon TeleMyo 2400T G2)을 부착하였다. 실험 동작은 브레이크 페달을 5회 반복하여 밟도록 설정하였다.

실험 결과는 그림 3-217과 같이 페달을 사용할 때 나타나는 전형적인 근전도 파형을 보이고 있다. 페달을 사용할 때 비복근의 활성도 크기는 가자미근의 근활성도 크기에 비해 2배의 활성도를 보이고 있다. 이는 페달을 이용할 때 비복근이 가자미근보다 더 큰 힘을 발휘하는 것을 의미하며, 근피로가 상대적으로 쉽게 발생할 수 있음을 의미한다. 본 연구에서는 브레이크 페달의 조작력을 변경하지 않아 브레이크 페달 개발 전/후를 비교 평가하지 않았지만, 향후 브레이크 페달을 최적화할 때, 비복근은 인체의 주요 요인이 된다.

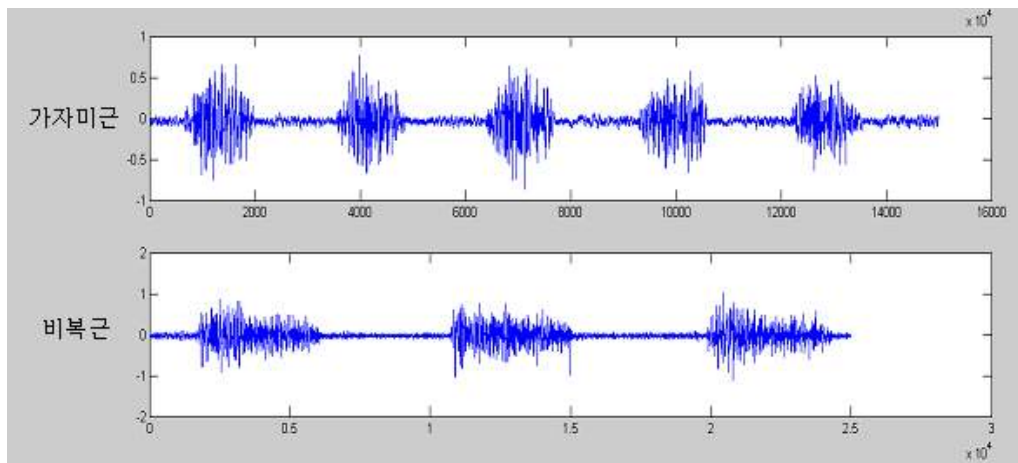


그림 3-217 가자미근과 비복근의 근활성도 측정.

(2) 최대근력 분석

레버를 당길 때 필요한 움직임인 팔을 벌리는 동작인 어깨 신전과 페달을 밟을 때 나타나는 발바닥 굴곡동작을 할 때 사용되는 근육들의 최대근력을 측정하여 콤바인의 레버 및 브레이크 페달의 조작력을 비교하고 각 조작력이 농업인들이 사용하기 적합한지 평가하였다.

최대근력을 측정하기 위해 MMT (NexGen Ergonomics Inc., Canada)를 이용하였다. 최대근력을 측정하는 방법은 그림 3-218과 같이 어깨 신전 동작에서의 최대근력 측정은 피험자가 편

평한 바닥에 누운 상태에서 상완부위를 들어 올리고 측정하는 사람이 MMT로 5초간 누른다. 발바닥 굴곡 동작에서의 최대근력 측정은 침대에 누운 상태에서 피험자는 최대의 힘을 발휘하여 발목을 펴고, 측정하는 사람은 발가락 부위를 MMT로 5초간 누른다. 측정 동안에 최대 압력값이 최대근력값이 된다. 3번 반복 측정했으며 측정 사이에 약 5분간 휴식시간을 주었다. 피험자는 신체 건강한 남성 농업인 12명을 대상으로 하였으며, 피험자들의 신체적 특징은 표 3-82와 같다.



shoulder extension



plantar flexion

그림 3-218 최대근력을 측정하는 실험 자세(좌: 어깨가 신전할 때의 최대근력 측정 자세, 우: 발바닥 굴곡이 일어날 때의 최대근력 측정 자세).

표 3-82 최대근력 측정 피험자 특징

Sex	Age	Height (mm)	Weight (kg)
Male	55.6 ± 15.9	174.8 ± 12.8	72.1 ± 11.5

(평균 ± 표준편차)

측정 결과는 표 3-83과 같다. 레버를 당길 때 나타나는 동작인 어깨 신전 시 최대근력은 219.52N (±94.08N)이고, 페달을 밟을 때 나타나는 동작인 발바닥 굴곡 시 최대근력은 238.14 N (±42.12N)이다. 레버 및 브레이크 페달의 조작력과 비교해보면 주변속 전방력인 111N은 농업인 최대근력의 50.7%에 해당하고, 브레이크 페달의 조작력은 230.3N으로 농업인의 평균 최대근력인 238.14의 90%에 해당한다. 주변속 및 브레이크 페달의 조작력은 농업인의 최대근력 안에 들어오지만, 팔 들어올릴 때 발휘되는 최대근력의 50%에 해당하는 힘을 발휘해야 레버를 조작할 수 있고, 발목을 바닥으로 꺾을 때 최대로 발휘 할 수 있는 힘의 90%를 발휘해야 브레이크 페달을 조작할 수 있는 것이다. 따라서 본 평가에서는 농업인의 최대근력이 조작력 범위 안에 들어오는 것을 검증하였다.

표 3-83 레버 및 브레이크 페달의 최대근력과 조작력

(단위 : N)

레버		브레이크 페달	
최대근력(어깨 신전)	최대 조작력	최대근력(발바닥 굴곡)	최대 조작력
219.52 ± 94.08	111	238.14 ± 43.12	230.3

(평균 ± 표준편차)

(3) 소음 분석

브레이크 페달의 개구부를 차단하여 차단 전과 후의 소음 정도를 비교 평가하였다. 국내 콤팩트를 대상으로 페달부분을 개선한 자체 제작 모델을 이용하여 소음을 측정하였고, 모델의 사양은 국내 생산기종으로 72PS 디젤 4기통 엔진에 5조식 콤팩트이다.

음압레벨과 소음도(sound level)는 브리엘앤드케아 소음측정기로 측정하였고, 배경 소음(background noise)은 콤팩트를 작동하지 않은 상태에서 측정하였다. 측정 소음도가 배경 소음보다 10dB 이상 크기 때문에, 배경 소음의 보정없이 측정하였다(ISO, 1995). 마이크로폰의 높이는 의자에 30~60대의 평균 눈높이(Size KOREA, 2005)로 설정하였고, 의자 중앙에서 왼쪽으로 200mm 떨어진 곳에 위치하여 삼각대로 고정시켰다(그림 3-219). 소음측정은 개방된 환경에서 실험하였으며 캐빈의 창문과 문을 모두 닫은 상태에서 정격 RPM으로 맞추어 정지 상태에서 3분간 5번 반복하여 측정하였다. 5번 측정한 것 중에 계측기의 이상으로 측정이 멈추거나 에러가 난 경우를 제외하여 총 3번 반복 측정한 값을 결과값으로 사용하였다. 음압레벨은 1/3 옥타브 밴드 중심주파수 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000Hz에서 측정하였다(ISO, 1997). 개구부 차단 전·후 효과를 비교하기 위해 주파수 별 분산(ANOVA)분석을 수행하였고, 주파수별 차이를 보기 위해 Duncan test를 수행하였다.

소음측정 결과는 표 3-84와 같으며, 중심 주파수별 평균 음압레벨로 나타내었다. 운전석 아래 개구부인 브레이크 페달부분을 변경 전과 변경 후를 비교 했을 때 63Hz, 125Hz, 8000Hz에서 유의한 차이가 있었다(p<0.05). 63Hz에서는 변경 전과 변경 후의 평균 음압레벨은 각각 56.2dB, 52.3dB, 125Hz에서는 각각 64.2dB, 52.3dB이고, 8000Hz에서는 각각 54.4dB, 52.0dB이다.

표 3-84 중심 주파수별 평균 음압레벨

	Sound pressure level at each frequency (dB)								
	31.5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	4KHz	8KHz
변경 전	29.9	56.2	64.2	78.2	76.3	76.4	77.2	65.1	54.4
변경 후	29.1	52.3	59.0	77.1	74.8	76.0	74.6	63.3	52.0

그림 3-220은 중심주파수별 음압레벨을 나타낸 것이다. 그래프의 가로축은 중심주파수를 나타내며 단위는 Hz이고, 세로축은 음압레벨로 단위는 dB이다. 중심주파수 250, 500, 1000Hz에서 음압레벨이 높게 나타났고, 31.5, 63, 125, 2000, 4000, 8000Hz에서는 상대적으로 낮게 나타났다. 63, 125, 8000Hz에서 개구부의 차단 전과 후는 유의한 차이를 보였으며, 변경 후 음압레벨이 낮아진 것을 알 수 있다. 그림 3-221은 주파수에 따라 사람이 느끼는 소리의 강도가 어떻게 다른지 보여주는 그림으로 125Hz와 8000Hz의 음압레벨은 실제 사람이 느끼는 음압정도가 다르게 나타났다. 125Hz에서 64.2dB은 실제로 100~115dB의 크기로 느끼고, 59.0dB는 90~100dB로 느낀다. 8000Hz에서 54.4dB는 사람 귀에는 90~100dB로 느끼고, 52.0dB는 80~90dB로 느낀다.

개선 전과 개선 후의 소음측정 결과값을 비교했을 때 개구부를 차단한 시작기는 63, 125, 8000Hz에서 음압레벨이 감소하였으며, 특히 125Hz와 8000Hz에서 사람이 느끼는 음압의 크기를 낮추었다는 점에서 개구부 차단은 소음 감소에 효과가 있다고 할 수 있다.



그림 3-219 소음 계측 환경 및 계측기 장착 위치.



그림 3-220 중심 주파수별 음압레벨.

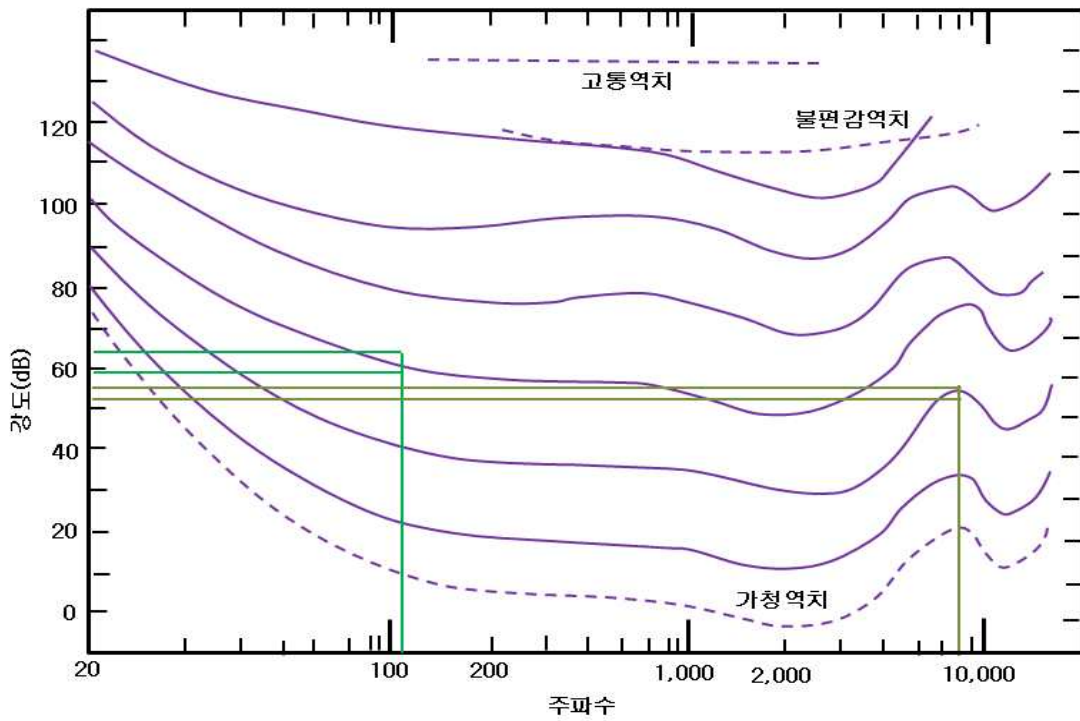


그림 3-221 주파수와 소리 강도에 따른 동일한 소리크기 감각곡선.

라. 조작기구

조작 기구란 운전자가 직접 차량을 구동하는 부분을 의미하며, 주로 조향, 브레이크, 변속 장치 등으로 구성된다. 조향장치는 직접 스티어링 휠(Steering wheel)의 조작으로 조작력을 조향

기어와 링크에 전달하는 부분으로 조작기구에는 스티어링 휠, 스티어링 축, 칼럼(column)등으로 구성되어 있으며, 조작 기구의 동작을 링크 기구가 전달하여 좌우바퀴를 동작시키게 된다. 브레이크는 차량의 운동 부분의 속도를 감소 혹은 정지시키는 기계 장치로 운동에너지를 마찰에 의한 열에너지로 바꾸는 마찰 브레이크, 전기에너지로 바꾸는 전자 브레이크 등이 있다. 변속 장치는 작업 속도 및 주행 속도를 변경하는 부분으로 콤파인에는 주로 원동축의 회전속도를 일정하게 유지한 상태로 종동축에 임의의 회전을 주도할 수 있는 무단변속기가 사용된다.

국내 콤파인의 조작 기구에 관한 연구는 미비한 실정이며, 산업규격(KS)도 없어 주로 차량이나 농업기계와 가장 유사한 토공기계 및 건설기계를 참조하고 있다. 토공기계에서는 운전자의 조작을 위해 필요한 사항을 KS B ISO 10968에 손, 손가락, 또는 발로 작동하는 조종 장치는 상호 조종 위치 또는 상호 움직임에 간섭이 없어야 한다고 명시하고 있으며, 가장 우선이 되어야 하는 것은 조작부의 배치 및 방법은 운전자의 안전과 인간 공학을 우선해야 한다고 하고 있다. 조작 기구는 일반적으로 운전자가 자주 또는 연속적으로 조종하는 주 조정 장치, 운전자가 장비의 적합한 기능이 필요할 때 간헐적으로 조종하는 보조 조정 장치, 특정 작업을 하는 실질적 작동 장치로 구성되며, 현재 연구 중인 4조식 콤파인의 조작 기구에 대한 분류는 표 3-85과 같다.

표 3-85 일반적인 콤파인 조작 기구의 분류

조작 기구	명칭	기능
주 조정 장치	- 엑셀 레버	- 엔진의 회전 속도 조절
	- 예취 레버	- 예취부의 상하 높이 조절
	- 주변속 레버	- 작업 속도의 결정
	- 브레이크 페달	- 작업 및 정지
보조 조정 장치	- 탈곡 레버	- 탈곡부의 작동
	- 짚배출 레버	- 짚의 절단 및 결속 상태 결정
	- 인기 변속 레버	- 인기러그의 작동 상태 결정
	- 부 변속 레버	- 작업 상태에 따른 속도 결정
	- 탈곡 깊이 조절 장치	- 탈곡부 입력 깊이 조절
	- 주차 브레이크	- 작업 정지 및 멈춤
실질적 작동 장치	- 클린 시프트 레버	- 탈곡부의 속도 조절
	- 오거 배출 레버	- 탱크에 수확물을 배출

콤파인의 조작 기구는 주로 작업을 위한 레버와 브레이크 등을 위한 브레이크 페달로 구성

되며, 레버와 브레이크 페달의 설치 요인은 운전자와의 위치, 각도, 거리, 조작력, 마찰력 등이 있다. 콤팩트 레버 및 브레이크 페달의 설치 요인에 관한 기준은 아직까지 없으며, 토공기계 조작 기구의 위치, 작동, 조작력에 관한 기준은 다음과 같다.

(1) 조작 기구의 위치

- (가) 조작 레버, 브레이크 페달, 핸들, 손잡이, 인체 및 기타 장비 사과의 거리는 인접한 조작 기구를 건드리지 않으면서 의도한 대로 운전할 수 있도록 충분히 떨어져야 한다.
- (나) 조작 기구, 링크 등의 동력 공급은 예측할 수 있는 외력, 즉 손이나 발로 최대 힘 또는 장비 흔들림에 의해 손상되거나 위험한 위치로 움직이지 않도록 배치해야 한다.
- (다) 150N 이상 조작력을 갖는 손 또는 손가락으로 조종하는 장치는 근접된 다른 부품들로부터 최소 25mm의 자유거리를 두어야 한다.
- (라) 자주 사용하는 브레이크 페달의 표면은 미끄럼 방지용 재질로 되어있어야 한다.

(2) 조작 기구의 작동

- (가) 중립 위치에 관련한 조작 기구의 작동은 일반적으로 동작 방향과 같아야 한다.
- (나) 동일한 조작 기구가 2개 이상의 배열을 가질 때에는 시각적 경고나 연결음으로 확실한 식별이 가능하도록 해야 한다.
- (다) 모든 조작 기구는 운전자가 장비나 그 장비의 기능적 조작이 순간적으로 멈출 수 있는 중립상태로의 복귀가 가능해야 한다.
- (라) 동력 공급원이나 엔진의 시동 또는 정지 중에 위험한 움직임이 없어야 한다.

(3) 조작력 분석

조작력은 일반적으로 표 3-86과 같이 최대 조작력을 넘지 않아야 하며, 모든 장비는 최대 조작력 보다 적은 힘으로 즉, 최소 조작력으로 작동이 가능하도록 설계되어야 한다.

표 3-86 일반적인 콤바인 조작 기구의 분류

작동 인체	조작 기구	최대 조작력(N)
손	전/후진 레버	230
	측면 레버	100
	상부 방향 제동 레버	400
발	브레이크 페달	450
	중심에 피벗이 있는 발판	230
발가락	브레이크 페달	90
손가락	레버 또는 스위치	20

조작 기구는 조작 기구의 식별 혹은 편의성을 고려한 배치와 가급적 최소한의 힘이 요구되도록 설계되어야 한다. 그러므로 본 연구에서는 주로 조작 기구의 배치 및 설계 변경에 따른 조작력을 분석하여 최적의 위치를 선정하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 콤바인 조작 기구 중 대부분을 차지하고 있는 레버 및 브레이크 페달의 조작력에 영향을 미치는 운전자와의 상대적인 위치(거리), 각도 등의 인자에 따른 조작력을 측정하고 분석하였다. 그림 3-222와 같이 콤바인 대부분의 조작 기구인 브레이크 페달 및 레버의 링크를 분석하고 수학적 계산을 위한 기구학적 모델링과 시뮬레이션 모델을 개발한 후, 시뮬레이션을 통한 실험을 기반으로 실내 실험 장치를 제작하고 검증하여 최적 설계 인자를 기준으로 시작품을 개발하는 방법으로 수행되었다.

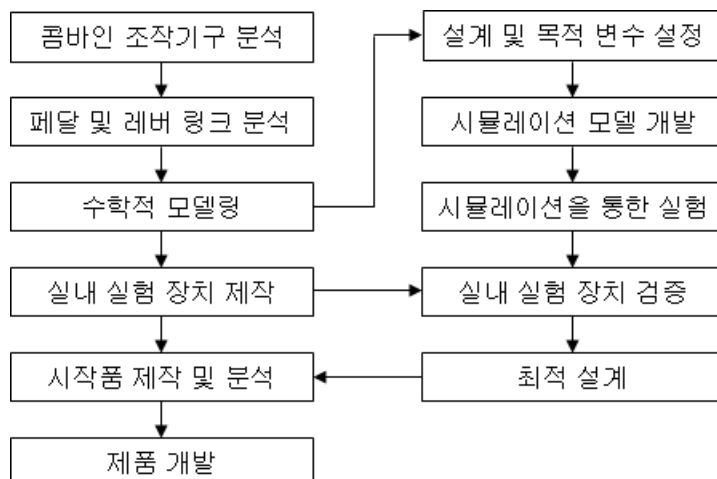


그림 3-222 조작 기구 장치의 최적 설계 과정.

브레이크 페달과 레버에 영향을 미치는 각각의 변수가 조작력에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 실제 조작력을 알아야 하므로 본 연구에서는 그림 3-223과 같은 조작력 측정 장치를 이용하여 현재 사용 중인 콤바인의 여러 가지 레버 및 브레이크 페달의 작동을 위한 조작력을 측정하였다. 조작력 측정장치는 표 3-87과 같이 최소 0-50pound (22kg)에서 최대 0-300pound (136kg)까지의 조작력 측정 범위를 가지고 있으며, 정밀도는 0.5-1.0 pound로 정밀한 브레이크 페달 및 레버의 조작력 측정이 가능한 장점이 있다.

콤바인 브레이크 페달 및 레버의 조작력 측정은 곡물 배출 레버, 탈곡 깊이 레버, 예취작동 및 멈춤 레버, 주변속 레버, 부변속 레버, 조향 및 예취 높이 작동 레버, 브레이크 페달에 대하여 각각 5회 반복 측정하였다.



그림 3-223 조작력 측정 장치.

표 3-87 조작력 측정 장치의 사양

Items	mode	Specification
Range	Low	0-50pound (22kg)
	High	0-300pound (136kg)
Accuracy	High	± 1.0
	Low	± 0.5
Resolution	High	0.4
	Low	0.1

콤바인 곡물배출 레버(그림 3-224)의 좌선회, 우선회, 상승, 하강에 따른 각각의 평균 조작력은 표 3-88과 같이 14.3N, 14.7N, 18.0N, 13.5N으로 측정되었으며, 모두 손가락 작동을 위한 ISO 기준인 20.0N보다 작게 나타났다.



그림 3-224 곡물배출 레버의 조작력 측정.

표 3-88 곡물배출 레버의 조작력 측정 결과

(단위 : N)

곡물배출 레버	ISO 기준	좌선회		우선회		상승		하강	
	20.0	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차
		14.3	0.88	14.7	0.00	18.0	2.66	13.5	1.07

콤바인 탈곡깊이 레버 그림 3-225의 전방 조작력은 평균 8.04N으로 손가락 작동을 위한 ISO 기준인 20.0N 보다 작게 나타났으며, 손으로 작동하는 측면 레버인 예취멈춤 레버의 평균 조작력은 전방, 후방 각각 43.5N, 29.6N으로 측정되어 손으로 작동하기 위한 ISO 기준인 100N 보다 작게 나타났다.

손으로 작동하는 주변속, 부변속 레버의 평균 조작력은 각각 전방 111N, 후방 104N과 전방 108N, 후방 62.7N으로 측정 되어 모두 ISO 규격인 230 N 보다 작게 나타났다. 조향 및 예취 레버의 전후좌우에 대한 각각의 평균 조작력은 32.7N, 36.8N, 18.3N, 16.7N으로 측정되어 ISO 규격인 230N을 초과하지 않았다. 페달의 조작력은 평균 230.3N으로 측정되어 발로 작동하는 페달의

ISO 규격인 450N을 초과하지 않았다.

현재 상용화된 콤바인의 페달 및 레버는 모두 ISO 규격을 초과하지 않았으나 현재 본 연구에서 적용한 기준은 토공기계의 규격이며, 현재 국내 농업인이 노인 및 부녀가 대부분인 현실을 고려할 때 농업기계에 적합한 ISO 규격이 필요한 실정이다. 그러므로 현재 농업인의 인체 특징을 고려하여 조작력의 ISO 규격을 선정하고 측정된 조작력을 분석하여 인체공학적인 조작부를 설계하는 것이 필요하다.



그림 3-225 예취, 탈곡, 변속 레버의 조작력 측정.



그림 3-226 조향 및 예취높이 레버의 조작력 측정.

표 3-89 예취, 탈곡, 변속 레버의 조작력 측정 결과

(단위 : N)

탈곡깊이 레버	ISO 기준	전방			
	20.0	평균	표준편차		
		8.04	0.82		
주변속 레버	ISO 기준	전방		후방	
	230	평균	표준편차	평균	표준편차
		111	10.9	104	2.46
부변속 레버	ISO 기준	전방		후방	
	230	평균	표준편차	평균	표준편차
		108	12.5	62.7	4.65
예취멈춤 레버	ISO 기준	전방		후방	
	100	평균	표준편차	평균	표준편차
		43.5	3.07	29.6	4.62

표 3-90 조향 및 예취높이 레버의 조작력 결과

(단위 : N)

예취높이 레버	ISO 기준	좌		우	
	100	평균	표준편차	평균	표준편차
		32.7	4.0	36.8	1.8
조향 레버	ISO 기준	전		후	
	100	평균	표준편차	평균	표준편차
		18.3	1.9	16.7	2.0



그림 3-227 콤바인 브레이크 페달의 조작력 측정.

표 3-91 콤바인 브레이크 페달의 조작력 측정 결과

(단위 : N)

브레이크 페달	ISO 기준		
	450	평균	표준편차
		230.3	19.9

마. 멤브레인 콘솔

(1) 콘솔 구성부의 링크 분석

조작부의 시작기를 평가하기 위하여 동작시간을 예측할 수 있는 Fitts의 법칙을 사용하여 레버와 버튼을 사용하는데 걸리는 시간을 Matlab으로 프로그래밍하여 계산하였다. Fitts의 법칙은 그림 3-228과 같이 버튼의 넓이가 넓을수록 거리가 가까울수록 작업 동작을 하는 속도가 빠르거나 정확하다는 것을 의미한다.

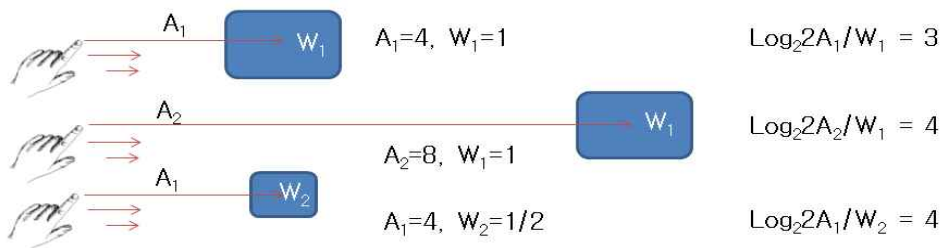


그림 3-228 Fitts의 법칙을 이용한 예.

수식 3-20에서 MT는 동작 시간, A는 동작이 시작되는 출발점에서 버튼 사이의 거리를 나

타내는 동작의 진폭, W 는 버튼의 너비 혹은 버튼을 누를 때 요구되는 정확성의 정도를 나타낸다. 여기서 $\log_2(2A/W)$ 는 동작의 난이도 지수(index of difficulty)이다. 동작의 진폭인 각 레버와 버튼 중심 사이의 거리는 설계도면을 통해 획득하였고, 버튼 및 다이얼의 너비는 실측을 통해 획득하였다.

$$MT = a + b \log_2(2A/W) \quad \text{수식 3-20}$$

난이도 지수의 절대 값이 크면 클수록 버튼을 누르기가 어렵고 실수로 다른 것을 누를 확률이 높다는 것을 의미한다. 작업동작이 시작되는 지점에서 버튼에 이르는 거리가 두 배씩 증가할 때마다 동작 시간도 일정한 양으로 증가하게 된다. 동작의 정확성이 두 배씩 증가할 때마다 두 지점 사이의 거리가 변하지 않는 한 동작 시간은 일정한 양으로 증가한다. 이것이 포인팅하는 동작의 속도-정확성 교환관계이다. 이 법칙은 손을 사용하여 표적까지 도달하는 신체적 동작을 설명하는 데 잘 적용된다. 또한 이 모델은 발을 특정한 페달로 이동시키는 것과 같은 비교적 세밀함을 요구하지 않는 동작들이나 현미경을 보면서 조립하거나 조작하는 것과 같이 매우 세밀함을 요구하는 동작들에도 적용이 가능하다.

표 3-92는 탈곡레버와 좌/우, 전/후 제어 버튼, 공급깊이 버튼, 오토리프트, ACH를 사용하였을 때 작업 난이도와 동작 시간을 나타내고 있다. 개선된 콘솔은 탈곡레버에서 좌/우 수평제어 버튼, 전/후 수평제어, 예취클러치, 공급깊이버튼, 오토리프트, ACH 버튼을 누르는데 걸리는 동작시간이 최소 0.1초에서 최대 0.7초까지 단축되었다. 좌/우 버튼은 크기가 커지고, ACH 버튼과 오토리프트는 탈곡레버와의 이동거리가 짧아짐으로써 동작시간을 줄일 수 있었다. 콤바인 작업이 빠른 동작을 요구하거나 섬세한 동작을 요구하는 작업이 아니기 때문에 0.7초의 시간 단축이 큰 차이가 없을 수 있으나 작업 준비 시간은 벼 수확량과 반비례하기 때문에 의미가 있다.

본 연구에서는 사용의 빈도수가 높은 레버와 버튼의 연계성이 있는 제어장치들을 분석하여 동선을 짧게 하여 불필요한 동작들을 제거하였고, 실제로 작업 준비 시간인 동작시간을 줄여 효율성을 향상하였다.

표 3-92 Fitts의 법칙을 이용한 작업 난이도 지수 및 동작시간

	기존 콤바인		개선된 콤바인
	난이도 지수	동작시간(s)	동작시간(s)
탈곡레버-좌/우	-0.41235	0.8	0.6
탈곡레버-전/후	-0.81578	0.6	0.5
탈곡레버-차체높이	-1.22854	0.4	0.4
탈곡레버-예취클러치	-1.40736	0.4	0.3
탈곡레버-공급깊이	-0.67542	0.6	0.5
탈곡레버-오토리프트	0.347155	1.3	0.8
탈곡레버-ACH	0.596983	1.5	0.8

(2) 콘솔의 편의성 및 식별성 분석

① 재료 및 방법

계기판, 여러 버튼 및 다이얼을 포함하는 조작부에 대한 평가를 하기 위해 사용성 검증을 수행하였다. 사용성 검증 요소는 학습의 용이성, 기억 용이성, 에러, 만족 요인 등이 있고, 실험을 통해 이 요소들을 검증하였다. 학습의 용이성에 대한 평가는 개발 전과 후의 조작부를 버튼의 이름과 기능에 대해 5분간 학습 시킨 후 임의로 작업 동작을 요구한 후 정확한 동작 및 걸린 시간을 측정하였다. 임의 작업 동작은 5가지로 부변속레버 조작, 좌/우 수평제어버튼 조작, ACH버튼 조작, 예취 다이얼 조작, 비상공급깊이 조절 스위치 조작이다. 피험자는 정면을 보고 있다가 임의의 작업에 대해 요구를 받으면 조작부를 보고 찾았고, 찾은 후에는 다시 정면을 보는 동작을 수행하였다.

기억의 용이성과 에러는 위한 평가는 실험 후 1주일 뒤에 사전 교육없이 같은 실험을 반복하였고, 이 때는 수행 동작의 정확도와 시간을 측정하였다. 에러는 학습의 용이성 실험 시 명령과 다른 동작을 수행하였을 때를 횟수로 표기하였다. 만족요인은 조작부의 개발한 부분에 대해 개발 전과 후를 주관적인 판단을 하게 하고 만족 정도를 5점 척도로 평가하였다. 개발 부분은 버튼, 계기판, 혼/부저 정지 버튼으로 나누어 평가하였고, 세부적으로 색상, 디자인, 전체적인 느낌으로 나누어 점수화하였다. 피험자는 이전에 정신 질환이 없었던, 신체 건강한 성인 남성 6명을 대상으로 하였고 피험자들의 특징은 표 3-93과 같다.

표 3-93 피험자 특징(조작부 편의성 측정)

Sex	Age	Height (mm)	Weight (kg)
Male	23.1 ± 2.5	173.9 ± 3.8	69.9 ± 13.5

(평균 ± 표준편차)

② 분석 결과

학습의 용이성, 기억의 용이성, 에러를 평가하기 위하여 요구받은 동작을 수행하는 시간을 측정하였고, 그 결과는 표 3-94와 같다. 학습의 용이성 평가에 있어, 임의의 동작을 요구하고 수행시간을 확인한 결과 부변속레버, 좌/우 수평제어 버튼, ACH버튼, 예취 다이얼, 비상공급깊이 스위치를 찾을 동안 걸리는 시간은 기존 콤바인의 경우 평균 1.52초로 최소 0.9초에서 최대 2.3초까지 걸렸다. 이 중 좌/우 수평제어 버튼을 누르는데 가장 오래 걸렸다. 시작기의 경우 평균 1.1초로 최소 0.8초에서 최대 1.4초가 소요됐다. 가장 시간이 오래 걸린 동작은 비상공급깊이 조절 스위치의 조작이었다. 학습의 용이성 평가에서 시작기를 조작하는데 평균 0.38초 더 빨리 찾는 것으로 나타났다.

기억의 용이성 평가의 경우 1차 실험 때와는 다르게 시작기는 0.18초 기존 콤바인은 0.3초 더 느리게 나와 작업 평균 시간 1.28초, 1.8초로 각각 측정되었다. 시작기는 요구작업 수행시간이 기존 콤바인보다 0.12초 더 빠르게 나타나 시간이 흘러도 기존 콤바인을 기억하는 것보다 더 쉽게 기억하였다. 작업 중 실수 횟수도 시작기의 경우 4번이지만, 기존 콤바인은 6번으로 두 번의 실수가 있었다. 따라서 시작기의 조작부는 기존 콤바인보다 오래, 쉽게 기억되고 실수도 적게 나와 사용성에 있어 더 효과적이라는 것이 검증되었다.

표 3-95는 조작부의 주관적 만족도 결과이다. 버튼 및 다이얼의 색상, 디자인, 전체적인 디자인 느낌에 대한 만족도는 각 항목에 대해 기존 콤바인 3점 시작기 4점으로 시작기에 대한 만족도가 더 높게 나타났다. 계기판의 경우 디자인에 대해 시작기가 2점 더 높고, 전체적인 느낌에 대한 만족도 역시 시작기가 1점이 더 높았다. 혼/부저 정지버튼의 경우 색상, 디자인, 전체적인 느낌 모두 시작기가 기존 콤바인 보다 1점씩 더 높게 나왔다. 따라서 시작기의 버튼 및 다이얼, 계기판, 혼/부저 정지버튼이 색상, 디자인, 전체적인 느낌 면에서 만족도가 높게 나타나 만족도 평가에서도 시작기가 더 우수하게 평가되었다.

표 3-94 학습의 용이성과 기억의 용이성, 에러 평가를 위한 작업 동작 수행 시간

		학습의 용이성 평가 (1차 실험)	기억의 용이성 평가 (1주일 뒤 2차 실험)	실수 횟수
부변속레버 조작	기존 콤바인	0.9 s	1.1 s	0
	시작기	0.8 s	1.2 s	1
좌/우수평제어버튼 조작	기존 콤바인	2.3 s	2.8 s	0
	시작기	1.2 s	1.5 s	0
ACH 버튼 조작	기존 콤바인	1.1 s	1.5 s	3
	시작기	0.9 s	0.9 s	1
예취 다이얼 조작	기존 콤바인	1.5 s	1.5 s	2
	시작기	1.2 s	1.3 s	2
비상공급깊이 조절 스위치 조작	기존 콤바인	1.8 s	2.1 s	1
	시작기	1.4 s	1.5 s	0

표 3-95 조작부의 주관적 만족도

		평가 점수	
		기존 콤바인	시작기
버튼 및 다이얼	색상	3	4
	디자인	3	4
	전체적인 느낌	3	4
계기관	색상	3	3
	디자인	2	4
	전체적인 느낌	2	3
혼/부저 정지 버튼	색상	2	3
	디자인	3	4
	전체적인 느낌	3	4

사. 캐빈 프레임의 안전성 평가

(1) 진동 분석

개발된 유한요소모델을 이용하여 모달해석을 수행하고 각 모드에 따른 고유주파수를 분석하였다. 구조물의 고유주파수가 가진주파수와 일치할 경우 공진이 발생하여 진폭이 증가하며 이와 더불어 큰 구조소음을 발생시킬 수 있다. 일반적으로 사람에게 불쾌하게 느끼는 진동은 1~100Hz이며, 특히 저주파 진동일수록 사람에게 더욱 좋지 않은 영향을 끼친다. 구조해석결과 기

존과 개선사양을 비교하면, 우선 기존 캐빈은 1~100Hz에서 공진주파수가 5개의 모드가 발생하고, 개선된 사양은 3개의 모드가 발생하였다. 첫 번째 모드를 비교하면 주파수가 기존 사양 24.6Hz에서 40.4Hz로 높아짐으로서 진동특성이 개선됨을 알 수 있다.

해석 결과를 분석해보면 90Hz이하의 주파수 개수가 5개에서 3개로 줄었다는 것을 알 수 있다. 이것은 구조적으로 저주파 진동에 대한 강성이 좋아졌다는 것을 의미한다. 또한 가장 문제가 될 수 있는 1차 모드의 주파수가 24.6Hz에서 40.4Hz로 높아져서 탈곡부 등에서 발생하는 저주파 진동에 대한 공진 위험이 감소하여 진동 특성이 개선된 상태임을 알 수 있다.

표 3-96 모달 해석 결과

	기존 모델(Hz)	개선 모델(Hz)
1st mode	24.6	40.4
2nd mode	27.2	51.1
3th mode	37.9	84.1
4th mode	47.5	-
5th mode	83.1	-

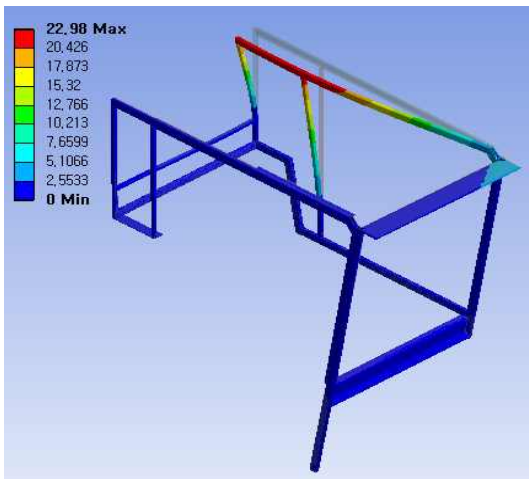


그림 3-229 개선전 모달해석 1차모드 형상.

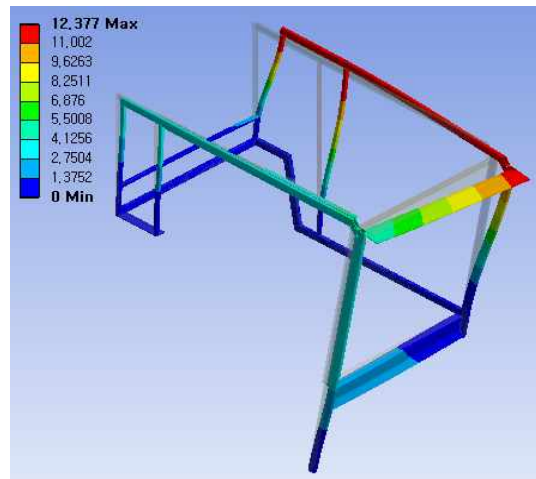


그림 3-230 개선전 모달해석 2차모드 형상.

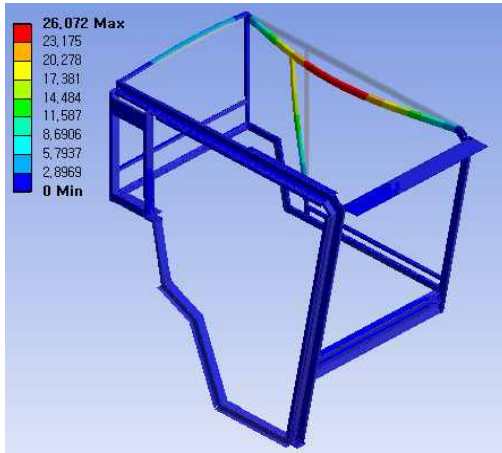


그림 3-231 개선후 모달해석 1차모드
형상.

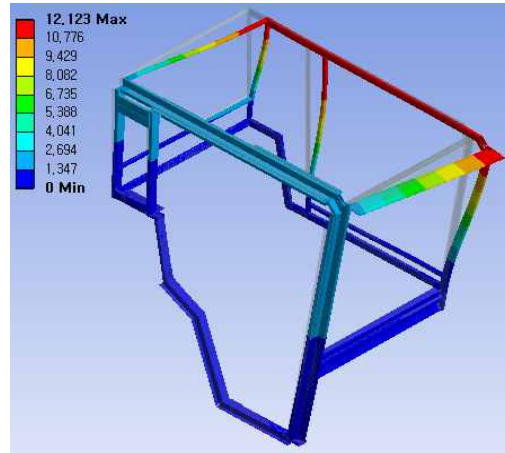


그림 3-232 개선후 모달해석 2차모드
형상.

(2) 충격 분석

캐빈 구조물의 프레임을 보강함으로써 강도의 증가를 정량적으로 평가하였다. 콤바인 운전시 발생할 수 있는 오거의 오작동 사고를 대비하여 캐빈의 강도를 증가시킬 경우 운전자의 부상을 줄일 수 있다. 그러나 트랙터와는 달리 콤바인 캐빈은 강도가 어느 정도일 때 안전할 수 있는가를 판단하는 시험규격이나 법적 지침이 없다. 따라서 본 연구에서는 동일한 하중을 적용하여 변위를 관찰한 후 상대적인 강도증가량을 평가하였다. 오거의 오작동으로 캐빈에 부딪히는 사고 시 발생할 수 있는 구조물 측방으로부터의 하중을 가한 후 변형량을 비교하였다. 프레임의 변형량은 운전자의 안전영역 유지에 영향을 줄 수 있으므로 캐빈 구조물 해석에서는 중요한 인자이다. 구조 해석한 결과 기존 구조물은 20.6mm의 변형이 발생하였으며, 프레임 보강 후 변형량은 2.17mm로 감소하였다. 단순히 변형량을 비교할 경우 개선 후 변형량이 개선 전의 1/10수준으로 크게 감소함을 알 수 있다.

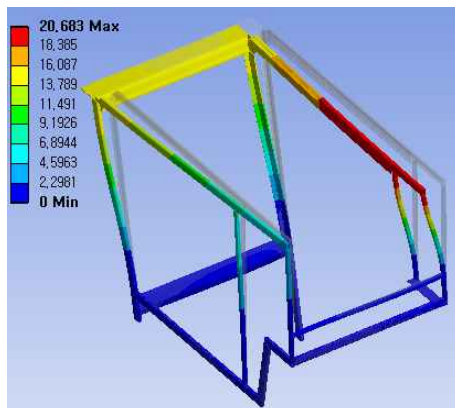


그림 3-233 개선전 구조물
변형량 해석결과.

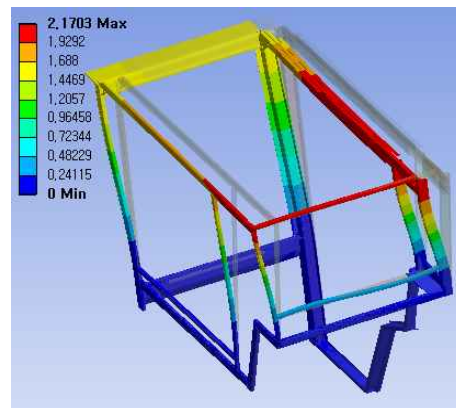


그림 3-234 개선후 구조물
변형량 해석결과.

제 4 절 요약 및 결론

1. 콤바인 캐빈의 인간공학적 분석

표 3-97 콤바인 캐빈의 인간공학적 평가 항목

평가 대상	주요 개선 사항	평가 방법	개선 결과
콘솔	접근성	수용도 분석	5% tile의 농업인을 대상으로 했을 때는 최소 작업영역에, 95% tile의 농업인을 대상으로 했을 때는 최대 작업영역에 콘솔이 배치되어 접근성 향상
	편의성	링크분석	같은 기능의 구성품끼리 그룹화하여 가장 많이 사용되는 부품의 링크가 매우 짧게 나타났고, 이동거리가 짧아짐에 따라 동작시간이 줄어들어 작업의 편의성 향상
뷰포인트	시계성	시계성 평가 시스템	분초간, 예취레버, 변속레버, 계기판, 반송부를 뷰포인트로 선정한 후 시계성 평가 시스템을 이용하여 정량적인 시계성 평가가 가능하도록 함
레버/페달	편의성	ISO기준/조작력평가	브레이크 페달은 개구부를 차단하여 소음을 감소하였고, 레버는 근전도를 이용하여 근활성도가 가장 낮은 레버 및 노브의 형태를 결정함
부대부품	접근성	리치평가	제조사별 부대부품의 리치평가 수행 결과를 토대로 부대부품이 편리 영역 또는 조종 가능 영역에 위치하도록 장착함
	편의성	유무	각종 전기장치를 사용가능하게 하는 시거라이터와 작업자의 눈부심을 방지하는 선바이저, 사각지역인 콤바인 후방 시야를 위한 후방 카메라를 개발하여 편의성 향상
출입문	이동성	ISO기준/편의성(동선)	출입문의 여는 방향을 뒤쪽방향으로 변경하여 시야를 확보하였고 예취부 접근을 용이하게 이동성 향상
발판	편의성	ISO기준	발판의 높이를 40mm 낮추어 승하차시 편의성 향상
	안전성	ISO기준	발판을 접이식으로 변경함으로써 작업 시 바닥에 닿는 것을 방지하여 안전성 향상

	시계성	시계성 평가 시스템	1차 및 2차 운전석 시작기에 대한 시계성 평가를 수행한 결과 국내 T社, 국외 K社 및 M社에 비해 시계성이 향상됨
운전석	접근성	농업인 인체 모델	농업인의 인체 정보를 이용한 인체 모델을 완성하여 운전석을 개발 및 평가 하여 모든 작업자가 운전석 앉아하는 동안의 접근성 향상
	편의성	요추(L4/L5) 분석/근전도 분석	작업자의 요추에 걸리는 힘과 모멘트, 그 외 근육에 걸리는 부하 분석, 인체 분절 각을 이용한 편의성 분석을 통한 편의성 향상
	시계성	시계성 평가 시스템	좌우측 측방 창문의 유리 비중을 높여 사이드 미러와 예취부를 지나 탈곡부로 가는 시야를 확보하였고, 후방 유리비중을 25% 증가하도록 하여 후방 시계성 향상
프레임	편의성	ISO기준/사이즈	50mm의 작업 공간 확보로 하지의 회전과 콤팩인 작업에 대한 편의성이 증대되었고, 탑승 손잡이를 추가하여 승하차시 편의성 향상
	안전성	FEM 분석	저주파 진동에 대한 공진 위험이 적어져서 진동 특성이 개선되었고, 변형량을 비교할 경우 개선 후 변형량이 개선 전의 1/10수준으로 크게 감소
안전벨트	안전성	유무	농업 기계용 좌석 벨트로서 미국 자동차 학회의 표준에 규정된 I형(type 1)벨트를 사용하여 제작
소음	안전성	ISO기준	8000Hz에서의 음압레벨이 54.4dB에서 52.0dB로 낮아졌는데 이는 사람의 귀에서 90~100dB의 소음이 80~90dB로 낮아진 효과로 ISO기준인 90dB 이하의 소음 정도를 만족
진동	안전성	ISO기준	90Hz이하의 주파수 개수가 5개에서 3개로 줄어 저주파 진동에 대한 강성이 좋아졌고, 1차 모드의 주파수가 24.6Hz에서 40.4Hz로 높아져서 탈곡부 등에서 발생하는 저주파 진동에 대한 공진 위험이 감소하여 진동 특성이 개선

2. 캐빈의 이상적 설계 및 개선 방향

가. 운전석

국내 농업인의 인체 치수에 적합하도록 콤바인 운전석의 치수를 최적화하였으나 콤바인 캐빈 내 공간이 매우 협소하여 최적값에 비하여 작게 설계된 한계점이 있다. 개발된 운전석의 기능으로 사용된 상/하, 전/후, 회전, 좌판 기울임, 등받이 기울임, 좌판 상/하 높이 조절 기능이 모두 기계식으로 되어 운전자의 편의에 맞게 조절하는 데 있어 불편함이 발생할 수 있다. 이에 추후에는 콤바인 캐빈의 내부의 크기를 넓혀 농업인의 인체 치수에 가장 최적화된 운전석을 적용하며 운전석의 각종 기능을 전자식 제어로 개발하여 편의성 및 안전성을 증대 할 수 있을 것으로 기대된다.

나. 레버/브레이크 페달

레버를 조작하는 방식을 유압으로 변경하면 조작력을 감소시킬 수 있으나, 제작비가 많이 든다는 단점이 있어 적용할 수 없었기 때문에 레버의 설계 방향을 최소의 힘으로 조작할 수 있도록 변경하여 개발하였다. 향후 레버의 설계를 링크가 아닌 유압방식으로 변경하면 적은 힘으로 조작할 수 있는 이상적인 형태의 레버가 될 수 있다.

페달 역시 링크가 아닌 유압방식으로 변경하면 적은 힘으로 조작할 수 있으나 거의 사용을 하지 않으므로 큰 의미가 없다. 따라서 브레이크 페달의 링크 구조를 변경하여 개구부를 차단하고, 소음을 감소시키는 것을 목표로 하였다. 분석 결과 그림 3-235와 같이 국외 콤바인의 성능과 비교하였을 때 뒤지지 않는 결과를 보여 해외 수준에 도달하였다는 것을 알 수 있다. 특히, 고주파수대에서 상대적으로 낮은 음압의 결과가 나타났다. 향후 연구에서는 콤바인 브레이크 페달의 적정 위치를 선정하고 유압방식으로 변경하여 조작력을 낮출 필요가 있다.

다. 멤브레인/콘솔

조작부에 대한 접근성을 향상시키기 위하여 콘솔 구성부를 그룹화한 후 링크분석을 통해 개선을 검증하였다. 그러나 캐빈 내 공간이 협소하여 배치에 한계가 있어 향후 공간 확보에 대한 연구가 이루어진 후 콘솔 구성부 배치를 최적화 한다면 조작부에 대한 접근성을 향상시킬 수 있다. 공간 확보는 작업자가 편하게 팔을 뻗는 범위 안에서 이루어져야 한다. 그림 3-236과 같이 국외 I社 및 K社의 경우 예취작업 시 자주 사용하지 않는 제어 버튼들을 좌측과 정면 사이에 배치함으로써 측면의 조작부 공간을 줄여 상대적으로 조작공간을 넓혔다.

계기판의 경우 그림 3-237과 같이 LCD 형태로 바뀌고 있다. LCD 계기판의 경우 작업에 대한 안내를 문자로 나타낼 수 있어 알아보기 쉽고 하나의 모니터에 여러 가지 기호를 나타낼 수 있어 계기판에 추가기능 삽입 시 설계비용이 따로 들지 않아 비용절감의 효과가 있으므로 추후 연구 시 계기판에 대한 편의성 향상을 기대할 수 있다.

라. 프레임 결합 방식

본 연구에서 제작된 콤바인 캐빈은 각종 장치의 배치와 운전자의 시야 개선 등 인간공학적 측면에서 뛰어난 성과를 보였으나 여전히 개선의 여지는 남아있다. 그림 3-238(a)는 국외 I社에서 최근 개발한 콤바인 캐빈이다. 제작된 캐빈과 디자인 측면에서 별 차이가 없어 선진적인 디자인으로 개발되었음을 알 수 있다. 그러나 그림 3-238(b)에서 보듯이 I社 신형 콤바인 캐빈의 가장 큰 특징은 정비성 향상을 위한 캐빈부 열림 구조라고 할 수 있다. 캐빈 전체가 왼쪽으로 열림으로써 캐빈 아래쪽에 위치한 엔진 및 각종 유압부품에 대한 정비와 점검이 쉽게 가능한 구조로 되어 있다. 특히 이 제품은 캐빈부의 열림이 유압 작동에 의해 이루어짐으로써 손쉬운 정비가 가능하도록 되어 있다. 국외 Y社 신형 콤바인의 경우도 캐빈이 열리는 구조를 가지고 있다. 캐빈이 앞으로 숙여지면 그 밑에 있는 엔진 등에 접근하기가 쉬워져 정비성이 향상된다. 본 연구에서 개발된 콤바인 캐빈 구조도 추후 연구를 통해 정비성 향상 방안을 추가하는 것이 필요하다.



(a) 캐빈 정면 모습



(b) 캐빈부 측면 모습

그림 3-238 국외 I社 콤바인 캐빈 구조.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연도별 연구목표 및 달성도

구분	세부연구개발 목표		평가의 착안점 및 기준	달성도
1차 년도 (2008)	1세부	콤바인 캐빈의 최적 조망 범위 기준	조사 및 기준설정	100%
		작업자의 체형 및 작업 자세 분석	조사 및 현장검증	100%
		인간공학 기준을 적용한 캡 개발	설계도면	100%
	2세부	농업인의 근모델 개발	설계 및 구성	100%
		농업인의 골격모델 개발	설계 및 구성	100%
		인체 모델 기반형 조작석 개발	설계도면	100%
	협동 1 국립농업과학원	콤바인 사용실태 및 작업분석	조사 및 분석	100%
		인간공학 기법을 이용한 페달 및 조작레버 개발	설계도면	100%
		인간공학 기법을 이용한 조작부 멤브레인 개발	설계도면	100%
	협동 2 동양물산(주)	캐빈 시스템 설계 및 제작	설계도면	100%
부대부품 개발		설계도면	100%	

2차 년도 (2009)	1세부	콤바인 캐빈의 최적 조망 범위 기준 개발	분석 및 설계	100%
		작업자의 체형 및 작업 자세 분석	실험 및 분석	100%
		인간공학 기준을 적용한 캡 개발	시작기 제작	100%
	2세부	농업인의 근 모델 개발	구성 및 검증	100%
		농업인의 골격모델 개발	구성 및 검증	100%
		인체 모델 기반형 조작석 개발	시작기 제작	100%
		농업기계 기본 작동 동작에 대한 근골격계 질환 예방 기준 개발	분석 및 구성	100%
	협동 1 국립농업과학원	인간공학 기법을 이용한 레버 개발	시작기 제작	100%
		인간공학 기법을 이용한 조작부 콘솔 개발	시작기 제작	100%
	협동 2 동양물산(주)	캐빈 시스템 설계 및 제작	시작기 제작	100%
		부대부품 개발	시작기 제작	100%
		구조해석을 이용한 3차원 분석 및 검증	설계도면	100%

3차 년도 (2010)	1세부	콤바인 캐빈의 최적 조망 범위 기준 개발	기준서	100%
		인간공학 기준을 적용한 캡 개발	평가 및 변경도면	100%
	2세부	농업인의 근 모델 개발	검증	100%
		농업인의 골격모델 개발	검증	100%
		인체 모델 기반형 조작석 개발	평가 및 변경도면	100%
		농업기계 기본 작동 동작에 대한 근골격계 질환 예방 기준 개발	예방기준서	100%
	협동 1 국립농업과학원	인간공학 기법을 이용한 조작부 개발	평가 및 변경도면	100%
		인간공학 기법을 이용한 콘솔 개발	평가 및 변경도면	100%
		콤바인 작업 안전 지침서 개발 및 영농활용	지침서 발행 및 배포	90%
	협동 2 동양물산(주)	캐빈 시스템 설계 및 제작	조립 및 검증	100%
최종 평가	1세부	인체계측 및 안전성 기반의 캡 개발	캡 개발	100%
	2세부	작업자의 근골격모델 및 조작석 개발	조작석 개발	100%
	협동 1 국립농업과학원	작업환경 편의성을 위한 인간공학적 조작부 개발	조작부 개발	100%
	협동 2 동양물산(주)	안전성 및 편의성을 위한 캐빈 제작	캐빈 개발	100%

제 2 절 관련분야 기여도

1. 콤바인 캐빈의 시계성 평가 기술 개발

콤바인 캐빈의 시계성 평가를 위해 인체시야에 대한 정량적 평가 기준을 제시하였으며, 이를 통해 캐빈 내부에서의 시계성 측정이 가능한 시계성 평가 시스템을 개발하였다. 또한 시계성 평가 프로그램을 개발하여 적정 눈위치를 제시하였다. 농업인의 체형을 기반으로 개발된 시계성 평가 기술은 작업자의 체형을 고려한다면 인간공학적인 설계가 필요한 모든 산업 분야에서 조작용, 운전석, 부대부품 등의 시계성 평가에 기여할 수 있으며 시계성 평가 프로그램은 최적화된 눈위치를 제시할 수 있어 창의 크기나 후방 시야를 위한 거울의 위치 및 크기, 조작용, 운전석 등의 설계에 기여할 수 있다. 자세한 설명은 다음과 같다.

가. 콤바인의 시계성 평가 기준

캐빈형 콤바인의 뷰포인트에 대한 세분화된 정량적 시계성 평가를 위해 인체 시야의 정보수용 특성에 따른 시계 영역에 평가점수 부여 시 기존의 불연속적인 평가점수 부여에 따른 문제점을 해결하고자 연속적으로 평가점수를 부여하였다. 평가점수는 정보수용 특성이 가장 좋은 시야 중심에서 거리가 멀어질수록 낮은 평가점수를 갖도록 설정하였다. 농업인의 평균 체형을 기반으로 개발된 시계성 평가 기준은 콤바인 이외의 농업기계의 시계성 평가에 기여할 수 있으며, 작업자의 체형을 고려한다면 자동차, 선박, 비행기 등 인간공학적인 설계가 필요한 모든 산업 분야에도 기여할 수 있다.

나. 시계성 평가 시스템

캐빈형 콤바인 시계성의 정량적 평가는 눈위치에서 정면 방향을 기준으로 뷰포인트의 수평, 수직 각도를 측정하여 평가점수를 산출한다. 개발된 시계성 평가 시스템은 콤바인 캐빈 내에서 작업자의 눈위치에 따라 XYZ축 방향으로 이동이 가능하도록 구성되었다. 시계성 평가 시스템으로 측정된 각 뷰포인트의 수평, 수직 각도가 설계도상의 실제 값과 통계적으로 유사한 것으로 나타나 개발된 시스템으로 캐빈형 콤바인의 시계성을 평가하기 위한 각도 측정이 가능한 것으로 판단된다. 시계성 평가 시스템은 캐빈형 콤바인에 국한되지 않고 인간공학적인 설계가 필요한 모든 산업 분야에서 조작용, 운전석, 부대부품 등의 시계성을 평가하는데 기여할 수 있다.

다. 시계성 평가 프로그램

경우에 따라 작업자의 눈위치 변경에 따른 시계성 평가를 위해 시계성 평가 시스템을 이용하는 것은 실험 회수 증가와 노동력 낭비 등의 어려움이 있을 수 있기 때문에 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 눈위치 변경에 따른 시계성 평가가 가능한 시계성 평가 프로그램을 개발하였다. 시계성 평가점수 산출에 필요한 수평, 수직 각도는 눈위치와 뷰포인트 간의 위치 차이를 알면 시계성을 정량화된 수치로 산출할 수 있다. 시계성 평가 프로그램은 앉은 자세, 앉아서 15° 기울인 자세, 선 자세, 서서 15° 기울인 자세 등의 작업 자세 선택이나 사용자 정의로 눈위치를 입력할 수 있도록 개발되었다. 프로그램은 뷰포인트별 평가점수와 평균 시계성 점수를 표시하도록 하였으며, 그래프에서 뷰포인트의 위치를 확인할 수 있도록 하였다. 시계성 평가 프로그램을 통해 최적화된 눈위치를 제시할 수 있어 창의 크기나 후방 시야를 위한 거울의 위치 및 크기, 조작부, 운전석 등의 설계에 기여할 수 있다.

2. 농업인의 근골격계 모델 개발

국내 농업인의 인체 정보를 활용하여 농업인의 근골격 모델을 개발하였으며, 콤바인 작업 시 발행하는 주요 동작의 문제점 분석으로 근골격계 질환의 예방 기준을 제시하였다. 근골격계 모델은 농업분야 뿐 아니라 인체공학적인 설계가 필요한 일반 산업 분야에 기여하여 작업에 따른 작업 부하를 감소시켜 근골격계 질환과 같은 산업 재해를 예방하는 동시에 인간공학적 평가 항목의 기준 제시에 기여할 수 있다. 자세한 설명은 다음과 같다.

가. 농업인의 근골격 모델

국내 농업인의 체형을 고려하여 근골격 모델을 개발함으로써 조작 레버와 운전석, 시계성, 편의성 등의 부대부품 및 인간공학적 요소를 평가할 때 피험자나 Mock-up의 제작 없이 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 설계 및 검증할 수 있도록 하였다. 농업인뿐 아니라 타분야 작업자의 체형을 고려하여 근골격 모델을 개발할 수 있어 농업기계 분야는 물론 인체공학적 설계가 필요한 사업 분야에서 부대부품 및 인간공학적 요소 평가 시 시간과 자원을 감소시켜 이익 창출에 기여할 수 있다.

나. 근골격계 질환 예방 및 작업 안전 지침서

콤바인을 이용한 수확 작업 시 농민의 잘못된 동작으로 인하여 발생할 수 있는 근골격계 질환을 예방하기 위하여 동작의 문제점 및 개선 방향, 근골격계 질환의 예방에 대하여 작업 안전 지침서를 제작 및 배포할 예정이다. 농민들이 이해하기 쉽게 제작하여 콤바인 뿐 아니라 트랙터 등의 농업기계를 사용할 때 근골격계 질환을 예방할 수 있도록 권고할 수 있다. 또한 직접 콤바인 동작을 수행하지 않아도 각 동작이 인체 관절에 미치는 영향을 가상으로 판단할 수 있

도록 근골격계 질환 예방 프로그램을 개발하였다. 근골격계 질환의 경우 농업분야 뿐만 아니라 오랜 시간 같은 동작을 반복하는 모든 산업에서 발생하므로 개발된 근골격계 예방 프로그램을 이용하면 각 산업 종사자가 해당 작업의 부담여부를 판단할 수 있어 근골격계 질환 예방에 기여할 수 있다.

3. 인간공학 기반의 운전석 및 조작부 개발

인간공학 기반의 운전석 및 조작부 개발은 콤바인 작업자의 작업 분석 및 조작 반력을 측정 한 후 완성된 농업인의 인체 모델을 이용한 시뮬레이션 방법을 통해 개발되었다. 운전석 및 조작부의 개발에 사용된 작업 분석 및 시뮬레이션 기술과 근활성도 및 압력 분포를 통한 검증 방법은 콤바인 뿐 아니라 캐빈을 장착한 트랙터 및 건설 차량, 항공기, 선박, 열차, 승용차 등에 기여할 수 있으며, 설계와 동시에 검증이 이루어지는 과정으로 향후 제품 개발에 소요되는 시간과 비용을 줄이며 작업 편의성을 고려한 설계 기법을 제시할 수 있다. 자세한 설명은 다음과 같다.

가. 콤바인 운전석

콤바인 운전석의 개발에 앞서 운전자의 작업 형태를 분석한 후 인체 근골격 모델을 이용하여 기존 운전석의 문제점을 도출하였다. 도출된 문제점을 개선하기 위해 인간공학적인 운전석을 개발하였고 운전석의 검증은 근골격 모델 및 상용 디지털 모델을 이용하였다. 운전석 1차 시작기를 개발하여 현장 검증한 후 개선 및 보완하여 최종 운전석을 제작하였다. 운전자의 체형을 고려한 운전석 개발 기술은 농업기계, 자동차, 중장비 등의 운전석 개발에도 기여할 수 있으며 운전석 개발 시 프로세스가 간소화해짐으로써 개발에 소요되는 시간과 비용을 감소시키는데 기여할 수 있다.

나. 콘솔

콘솔의 경우 레버의 사용빈도와 상호연계성을 고려하여 조작부의 여러 제어장치 스위치를 같은 기능끼리 묶고 재배치함으로써 조작시간 및 휴먼에러를 감소시키는 효과를 검증하였다. 또한 안내 글자 특성 등을 인간공학 일반원칙을 적용함으로써 가독성을 향상시키는 효과도 검증하였다. 따라서 같은 기능끼리의 묶음 배치나 가독성을 높인 글자 등은 승용기계뿐만 아니라 제어단추가 많고 버튼을 실수로 눌렀을 경우 큰 사고가 발생할 수 있는 원자력발전소 등의 콘솔 설계에 기여할 수 있다.

다. 브레이크 페달

브레이크 페달의 경우 아랫면으로 연결되는 링크 부분을 측면으로 연결함으로써 발판부분의 구멍으로부터 들어오는 소음을 막을 수 있는 효과를 얻었다. 따라서 본 링크 구성을 트랙터, 버스, 일반 승용차 등 다양한 분야의 승용기계에 적용하여 소음감소 효과를 볼 수 있다. 또한 브레이크 페달뿐만 아니라 가속 페달 등의 일반 페달 분야에도 기여할 수 있다.

라. 레버

노브 형태에 따라 레버가 어느 위치에 있어야 가장 적은 힘으로 작동시킬 수 있는지를 정량적으로 평가하여 레버의 위치를 찾아냈다. 이는 콤파인에만 적용되는 것이 아니라 앞서서 레버를 조작하고 조작력이 큰 기계를 다루는 산업 분야에 레버를 적은 힘으로 조작할 수 있도록 응용할 수 있다. 특히, 반복적으로 레버를 밀고 당기는 경우에 더욱 효과를 볼 수 있어 근골격계 질환 유발 감소에 기여할 수 있다.

4. 콤파인 캐빈의 안전 설계 기술 개발

캐빈 설계 과정에서 사용된 각종 기술은 캐빈을 사용하는 트랙터 등의 다른 농기계 분야에도 적용 가능하며 캐빈을 장착하는 중장비(지게차, 포클레인, 불도저 등) 등의 다른 산업기계에 도 적용이 가능하다. 특히 에어컨, 후방 카메라 등 개발된 부대부품은 캐빈이 있는 다른 농기계와 중장비에 폭넓게 사용이 가능한 부분이다.

캐빈의 디자인 설계는 최근 디자인 중시 추세를 감안할 경우 사람이 사용하는 모든 기계에 적용이 가능한 기술이며, 농기계 분야에 앞서서 디자인 분야의 중요성을 인지한 분야에서 차용해온 기술이라고 할 수 있다. 따라서 아직까지 디자인의 중요성을 인식하지 못한 분야에 대해 적용할 필요가 있다.

캐빈의 구조 해석에 사용된 유한요소 해석은 범용적인 기술로, 기계의 강도 해석이나 진동에 대한 검토에 필수적으로 사용되는 기술이다. 따라서 본 연구에서 적용한 기술은 타분야로 광범위하게 확산 및 적용할 수 있는 기술이라고 할 수 있다.

제 5 장 연구개발성과 및 성과활용 계획

제 1 절 연구개발 성과

1. 지적재산권

구분	전문학술지*		학술대회	특허		인력양성	
	SCI	비SCI		출원	등록	석사	박사
건수	2	3	11	5	-	1	-

*SCI 1건, 비SCI 1건 투고예정

가. 전문학술지

■ 논문명 : 캐빈형 콤바인의 시계성 평가에 관한 연구

저 자 : 최창현, 김종덕, 김태형, 문정환, 김용주

학 술 지 : 바이오시스템공학 (학진등재)

발행년도 : 2009, 34(2)

The purpose of this study was to develop a visibility evaluation system for cabin type combine. Human's field of view was classified five levels (perceptive, effective, stable gaze, induced, and auxiliary) depending on rotation of human's head and eye. Divider, reaper lever, gearshift, dashboard, and conveying part were considered as major viewpoints of combine. Visibilities of combine was evaluated quantitatively by using the viewpoints and the human's field of view levels. The visibility evaluation system for cabin type combine was consisted of a laser pointer, stepping motors to control the direction of view, gyro sensors to measure horizontal and vertical angle, and I/O interface to acquire the signals. The tests were conducted with different postures ('sitting straight', 'sitting with 15° tilt', 'standing straight', and 'standing with 15° tilt'). The LSD (least significant difference) multiple comparison tests showed that the visibilities of viewpoints were different significantly as the operator's postures were changed. The results showed that the posture at standing with 15° tilt provided the best visibility for operators. The divider of the

combine was invisible due to blocking with the cabin frame at many postures. The reaper lever showed good visibilities at the postures of sitting or standing with 15° tilt. The gearshift, the dashboard, and the conveying part had reasonable visibilities at the posture of sitting with 15° tilt. However, most viewpoints of the combine were out of the stable gaze field of view level. The modifications of the combine design will be required to enhance the visibility during harvesting operation for farmers' safety and convenience.

■ 논문명 : 디지털 인체 모델을 이용한 콤바인 수확작업의 근골격계 상해요소 분석

저자 : 김영진, 임용훈, 이경숙, 최창현, 문정환

학술지 : 바이오시스템공학 (학진등재)

발행년도 : 2010, 35(3)

The purpose of this study was to analyze musculoskeletal injuries in combine harvesting work using a digital human model. In order to analyze problems in combine harvesting work, the operations were broken into 5 processes, and then we performed ergonomic and biomechanical analyses such as RULA test, comfort assessment and joint kinetic analysis for the each process. As a result, there was a clear need to change the combine work environment, as the RULA score ranged from 4 to 7. In addition, we could find two major musculoskeletal injury factors which were the standing posture with upperbody forward tilting and the inappropriate location of operating levers.

■ 논문명 : A Joint Normalcy Index to evaluate patients with gait pathologies in the functional aspects of joint mobility

저자 : 신기영, 문정환, 임용훈, 김윤수, 김효신, 한재웅, 최창현, 이경숙

학술지 : Journal of Mechanical Science and Technology (SCI)

발행년도 : 2010, 8월 게재

Gait analysis using 3D motion capture systems provides joint kinematic and kinetic analysis results such as joint relative angles and moments that can be use to evaluate the degrees of pathological gait patterns. However, the complex data produced using these 3D motion capture systems can only analyzed by experts, because the gait analysis is highly coupled to the kinematics of each joint. Therefore, several previous studies using gait analysis have relied on the data compression technique to represent gait deviation from the average normal profiles as a single value. Even though it is important to evaluate gait

pathologies at the joint level, all these previous studies have just used a single value to evaluate the pathological gait pattern. Using just one variable for evaluation of a gait is limited in terms of determining which joint movement patterns are getting better during rehabilitation. Therefore, in this study, a method suitable for evaluating gait deviation during a gait was developed to provide three indices for the hip, knee and ankle joints. In addition, to validate the proposed method in clinical cases, experimental tests were conducted on thirty six normal walkers and six patients with cerebral palsy. Furthermore, to validate the proposed method in regards to rehabilitation, experimental tests were conducted on three classified walking groups with imposed ankle equinus constraints. The JNI for the hip joint, knee joint and ankle were $8.78(\pm 3.70)$, $2.92(\pm 3.25)$ and $8.79(\pm 4.38)$, respectively, in the normal walking group. However, these values were significantly different for the pathological walking group with cerebral palsy. The JNI of the hip joint, knee joint and ankle joint were $203.73(\pm 171.59)$, $81.23(\pm 52.13)$ and $248.39(\pm 149.99)$, respectively, for this group. There were also differences between any two of the three classified groups with imposed ankle equinus constraints. In particular, the JNI of the ankle joint was statistically different at the $p < 0.01$ level and this parameter clearly increased as the degree of the imposed ankle equinus was increased. These results demonstrate that the proposed JNI can be used as a scalar factor to evaluate the angular deviation of each joint in normal and patient groups. In addition, this approach can be adapted to evaluate rehabilitation and pre/post surgery.

나. 학술대회

■ 논문명 : Development of a tele-monitoring system for troubleshooting combines

저 자 : 문용균, 문정환, 송유환, 이상식, 최창현, 이경숙, 김재홍

학술지 : The 2nd International Conference on Advanced Nondestructive Evaluation,
2007

The combine is a large, complex agricultural machine prone to frequent breakdowns. Combine troubles can cause a great deal of damage to farmers if the combine breaks down during harvest season. Therefore, many researchers have designed and implemented automatic troubleshooting systems. Previous systems were limited by the fact that they were not connected to a network monitoring system. Hence, farmers and technicians were

not able to diagnose combine malfunctions from remote. To improve this automatic troubleshooting system, monitoring systems developed for other application areas were difficult to apply directly as agricultural machines are operated outdoors, and each machine needs to have both mobility and stability. Thus, the objective of this study was to develop a tele-monitoring system for troubleshooting any mechanical breakdowns of a combine. We have designed a gateway and a sensor system to implement such a system. We also described the process of development and the results of the performance test. According to the results of the performance test, the developed a tele-monitoring system operated in a steady-state. The CPU share was consistently recorded within 100%, and we noted no outbreak of memory leakage in this test, hence, the result indicated that the gateway and the server was functioning in stable status. We believe that the implementation of these methods and results will help researchers design and develop new network systems for exchanging agricultural information remotely.

■ 논문명 : 콤바인 작업의 인간공학적 분석

저 자 : 김영진, 문정환, 이상식, 임대섭

학술지 : 한국농업기계학회 2008 동계학술대회

현재 콤바인의 작업 동작의 경우 단기간의 작업에서는 몸에 큰 부하를 주지 않는다. 하지만 콤바인 작업의 대부분의 자세에서 몸이 왼쪽으로 기울고 몸이 숙여 다소 불편한 자세를 보이고 있으며, 이러한 동작 역시 장시간동안 진행 할 경우에는 작업자의 건강에 치명적 손상을 끼칠 수가 있다(노동부, 2004). 콤바인과 같이 하루 9시간 이상 근무하는 작업자에게는 더 치명적인 결과를 유발 할 수가 있다. 그러므로 좀 더 편안하게 작업할 수 있는 작업 방법을 고안하여 조작 메커니즘을 변형시키거나 인간공학적인 조작부를 개발하여 장시간의 운행에도 불편함을 줄이고 편안한 작업을 할 수 있도록 하는 콤바인에 대한 연구가 필요하다.

■ 논문명 : 캐빈형 콤바인의 시계성 평가 시스템 개발

저 자 : 최창현, 김용주, 김태형, 문정환

학술지 : 한국농업기계학회 2008 하계학술대회

본 연구는 농업인의 편의성을 위한 인간공학적 콤바인 캐빈 개발의 기초 연구로써 농업인의 인체 치수 및 인체의 시야 영역에 따른 시계성 평가 점수를 할당하고 콤바인의 정량적 시계성 평가 시스템을 개발하여 콤바인의 작업 자세에 따른 시계성을 평가하였으며 주요결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 캐빈형 콤바인의 시계성 수준을 정량적으로 평가하기 위해 시야 영역 특성에 따른 연속적인 점수를 할당하여 콤바인 뷰포인트(분초간, 예취레버, 변속레버, 계기판, 탈곡부 입구)의 시계성 평가에 활용하였다. 콤바인의 시계성 평가 시스템은 콤바인 캐빈 내에서 눈위치를 맞추기 위한 눈위치 제어 모듈, 눈위치에서 뷰포인트를 정확히 가리키기 위한 레이저포인터와 회전축, 수평, 수직 각도 측정을 위한 각도 데이터 수집 모듈로 구성하였다.

(2) 농업인의 평균 체형에 대한 자료를 바탕으로 콤바인 캐빈 내에서의 눈위치를 선정하고 4가지의 콤바인 작업 자세(‘앉아서 곧게 편 자세’, ‘앉아서 15° 기울인 자세’, ‘서서 곧게 편 자세’, ‘서서 15° 기울인 자세’)에 따른 뷰포인트(분초간, 예취레버, 변속레버, 계기판, 탈곡부 입구)의 시계성 평가를 수행하였다. 실험은 T사의 캐빈형 콤바인에 대해 5회 반복 실시하였으며, 실험 결과 자세에 따른 뷰포인트의 시계성 평가 점수는 대부분 유의한 것으로 나타났고 분초간은 ‘서서 15° 기울인 자세’를 제외하고는 캐빈의 차폐에 가려 측정이 불가능 하였다. 대부분의 뷰포인트가 주시안정시야(43점) 범위의 바깥에 위치하여 전체적으로 시계성의 개선이 필요하며, 특히 분초간의 시계성 개선이 시급한 것으로 판단된다.

■ 논문명 : 표면전극을 이용한 팔꿈치의 근활성도 측정 시스템 개발 및 분석

저 자 : 우미나, 최창현, 김용주, 김태형, 문정환

학술지 : 한국농업기계학회 2009 동계학술대회

본 연구는 근전도 측정 시스템의 보급과 생산비 절감을 위한 기초 연구로서 표면전극과 데이터 수집 장치를 이용하여 근활성도를 측정할 수 있는 저가의 시스템을 개발 및 성능평가를 하고 팔꿈치 부하에 따른 성별 및 좌우 근육 활성도의 분석을 수행하였다. 표면전극과 데이터 수집 장치를 이용하여 개발된 근활성도 측정 시스템과 상용화된 근전도 측정 장비의 RMS값을 측정하여 상관도를 분석한 결과 0.95의 높은 상관관계를 보이고 있어 개발된 근활성도 측정 시스템의 뛰어난 성능을 보이고 있음을 확인하였다. 본 연구에서 개발된 근활성도 측정 시스템으로 팔꿈치 부하에 따른 성별 및 좌우 근육 활성도의 분석을 수행한 결과, 부하에 따른 근활성도의 구분이 가능하였으며, 성별, 좌우 팔 근육의 차이는 없는 것을 확인할 수 있었다. 개발된 시스템의 보안을 위해 다양하고 많은 피험자를 대상으로 추가 실험을 하고 부하 수준을 늘려서 실험하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 또한 수집된 신호의 노이즈 제거에 대한 필터 설계에 관한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

■ 논문명 : 콤바인 캐빈의 설계향상을 위한 사용자 요구분석

저 자 : 이경숙, 구혜란, 김효철, 김경란

학술지 : 대한인간공학회 2009 춘계학술대회

본 연구는 농업인을 위한 콤바인 캐빈 설계를 위해 사용자 요구분석을 실시 하였다. 조사 모집단은 전국 7개 도시의 T社 5조식 캐빈 콤바인 사용자로 하였으며, 2단 집락추출법을 이용하여 표본을 추출하였다. 조사대상 인원은 면접거절을 제외한 32명을 대상으로 하였으며, 조사는 심층면접으로 진행되었다. 조사내용은 콤바인 캐빈의 만족도 조사, 콤바인 캐빈의 프레임, 출입문/창문, 제어부, 레버, 의자, 브레이크 페달의 설계상의 요구에 대한 조사로 크게 7가지로 나누었고, 각 항목에 대해 다시 1~10개의 개별항목으로 나누었다. 그리고 설문에서 빠진 내용을 보충하기 위해 하위 질문을 포함하였다. 본 연구를 통해 콤바인 캐빈의 설계 시 고려해야 할 사항을 제안하였다.

■ 논문명 : 콤바인 캐빈의 인간공학적 설계를 위한 작업분석

저 자 : 이경숙, 구혜란, 채혜선, 김경란

학술지 : 대한인간공학회 2009 춘계학술대회

본 연구는 콤바인 캐빈의 인간공학적 설계를 위해 작업분석을 하였다. 연구방법은 정성적 분석을 위해 비디오 촬영 후 작업 자세를 분석(REBA) 하였고, 정량적 분석을 위해 3DSSP를 이용한 허리부하 정도, 작업 동안의 허리각도 측정, 3D CAD프로그램을 이용한 작업공간 분석, 그리고 농업인 하완 및 하퇴부의 최대근력과 레버 및 페달의 조작력을 비교 하였다. 본 연구를 통해 현 콤바인 캐빈의 문제점을 제시하고, 향후 콤바인 캐빈 설계 시 고려해야 할 부분을 제시하였다.

■ 논문명 : 인체 모델과 콤바인 작업분석을 통한 콤바인 운전석 개발

저 자 : 김영진, 문정환

학술지 : 대한인간공학회 2009 춘계학술대회

산업재해 통계에 따르면 2006년 농업에서의 산업재해 발생 빈도 중 74%이상이 작업과 관련된 작업 재해로서 높은 비중을 차지하고 있어 산업뿐 아니라 농업에서도 작업관련 재해 발생 빈도가 큰 비중을 차지하고 있다(노동부, 2006). 특히 콤바인의 경우 9월 과 10월에 작업이 집중적으로 진행이 되며 이중 수확 가능 일은 평균 84.11%인 약 50일 만이 작업이 가능한 것으로 조사 되었다. 이는 타 작업과 비교해 잘못된 작업으로 인한 근골격계질환 발생가능성이 큰 것으로 고려된다. 이에 본 논문에서는 실제적인 콤바인 작업의 작업 분석을 통한 농업인의 인체 모델을 완성하고 인체에 걸리는 부하를 (정량적, 정석적 방법 이용)분석하여 부하가 걸리는 작업을 추출하였다. 새로 디자인하는 운전석은 이러한 동작이 콤바인 작업 중에 발생하는 부하를 감소 시켜 준다. 이를 검증하기 위하여 다시 한번 작업 부하를 측정하여 기존의 부하 량과 비교 평가 하였다.

■ 논문명 : 콤바인 작업의자 형태에 따른 농업인의 작업부담 평가

저 자 : 구혜란, 임대섭, 김영진, 이경숙, 김효철, 채혜선, 문정환

학술지 : 대한산업의학회 2009 43차 추계학술대회

본 연구에서는 같은 작업동작에 대해 정성적 분석과 정량적 분석을 하여 근골격계질환 위험 정도를 평가하였다. 콤바인 작업 자세 평가에 있어 전신을 이용한 작업에 적합한 REBA의 경우 허리의 축회전 동작이 있는 후진, 후진 선회, 오거조절 시에 앉아서 작업하는 것이 작업자에게 문제가 있는 작업동작으로 나왔고, 근전도 분석에서도 앉아서 작업할 때 척추기립근에서 Force Increase가 증가하게 나타났다.

■ 논문명 : 캐빈형 콤바인 시계성 평가 프로그램 개발

저 자 : 김종덕, 김용주, 우미나, 이대현, 최창현, 문정환

학술지 : 한국농업기계학회 2010 동계학술대회

캐빈형 콤바인 작업자의 각 조망대상별 최적 눈위치와 캐빈형 콤바인의 적정 눈위치 선정을 위해 작업자의 눈위치를 1cm씩 변화시키면서 시뮬레이션 한 결과, 분초간의 경우는 눈위치가 기존의 앉은 자세보다 높을 때, 예취레버, 변속레버, 계기판, 반송부는 눈위치가 낮을 때 각각 최적의 시야를 확보할 수 있었다. 적정 눈위치는 분초간의 최적 눈위치와 동일하게 나타났으며, 앉은 자세에서의 기존 시계성보다 분초간만 향상되고 나머지 조망대상의 평가점수는 오히려 저하되었다. 그러나 모든 조망대상에 대한 시계성이 확보되어 캐빈형 콤바인의 눈위치 변경에 따른 시계성 개선의 가능성을 확인하였으며, 다른 캐빈 설계 요소와 연계된 연구가 수행된다면 캐빈형 콤바인의 시계성을 향상시키는데 도움이 될 것으로 판단된다.

■ 논문명 : 캐빈형 콤바인의 브레이크 페달 구조변경을 통한 소음감소 효과에 대한 연구

저 자 : 구혜란, 이경숙, 김효철, 이상식, 문정환, 박원엽, 김대철, 이봉호

학술지 : 한국농업기계학회 2010 동계학술대회

본 연구에서는 콤바인 제작 후 장착한 캐빈 내부 소음을 측정하였고, 소음원 중 하나인 다리 아래 부분의 개구부 즉, 브레이크 페달부분의 개구부를 차단하여 방음 효과를 알아보았다.

- 1) 중심주파수 250~2000Hz 대역의 음압레벨이 높게 나타났다.
- 2) 개구부를 차단하기 전과 후의 효과는 중심주파수 63Hz, 125Hz, 8000Hz에서 음압레벨이 유의한 차가 있다.
- 3) 특히, 중심주파수 125Hz와 8000Hz에서는 개선 전과 개선 후에 실제로 사람이 느끼는 음압레벨은 각각 100~115dB과 90~100dB, 90~100dB과 80~90dB로서 개구부의 차단 효과가 있는

것으로 나타났다.

4) 그리고 8000Hz는 사람이 가장 듣기 싫어하는 주파수로 이 때의 음압을 낮췄다는 것에 중요한 의미가 있다.

■ 논문명 : Visibility Evaluation System for Cabin Type Combine

저 자 : 김종덕, 최창현, 우미나, 김용주

학술지 : International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering 2010

This study was conducted to develop a visibility evaluation system for cabin type combine. The visibility evaluation system was developed based on the quantitative evaluation. The visibility evaluation system for cabin type combine consists of a laser pointer, stepping motors to control the direction of sight, gyro sensors to measure horizontal and vertical angles, and I/O interface to acquire the signals. The horizontal and vertical angles to the viewpoints were measured from the operators' eye positions, and compared with designed dimensions of the combine. Experimental tests were conducted at different operator's postures. Five viewpoints of the combine such as the divider, the reaper lever, the gearshift, the dashboard, and the conveying part were selected to evaluate the visibilities. The multiple comparison tests showed that the visibilities of the viewpoints were different significantly as the operator's postures changed. The divider of the combine was invisible due to blocking of the cabin frame at many postures. Most viewpoints of the combine were out of the stable gaze field of view region, therefore, operators should move their body or head to check the harvesting operation. The visibilities of combine viewpoints should be improved greater than those in the stable gaze field of view level. The simulation program for visibility evaluation of combine was developed and used to improve operator's visibility in the combine cabin. To determine the optimal eye positions in the cabin, the visibilities of viewpoints were computed as the eye positions were changed. The results showed that the eye positions for the best visibility of each viewpoint were scattered in the cabin. The optimal eye position closed to the eye position for the best visibility of the divider. The visual information of the viewpoints could be acquired at the recommended eye position. The visibility of the divider was improved, but those of the other viewpoints were decreased at the recommended eye position. To enhance operator's visibility of cabin type combine, other cabin design factors such as operator's seat, lever

shape and length, dashboard position, and the cabin frame, should be considered.

다. 국내 특허(내용은 부록 참조)

■ 특 허 명 : 콤바인 운전 제어 장치

출 원 인 : 이경숙, 김호철, 구혜란, 김경란, 강영선, 김대철, 김수경, 남요상, 이봉호, 이관호, 최창현, 문정환, 임대섭

출원번호 : 2009, 20-2009-0005139

■ 특 허 명 : 브레이크 페달 조립체

출 원 인 : 이경숙, 채혜선, 김호철, 김경란, 임대섭, 구혜란, 박원엽, 최창현, 문정환, 이상식, 강동훈, 김대철, 김수경

출원번호 : 2009, 20-2009-0003749

■ 특 허 명 : 인간공학적 콤바인용 시트

출 원 인 : 문정환, 김영진, 최창현, 임대섭

출원번호 : 2010, 10-2010-0058657

■ 특 허 명 : 운전석 편의성 평가 방법

출 원 인 : 문정환, 김영진, 최창현, 임대섭

출원번호 : 2010, 10-2010-0072322

■ 특 허 명 : 콤바인의 시계성 평가 방법

출 원 인 : 최창현, 김종덕, 김영진, 우미나

출원번호 : 2010, 10-2010-0067045

2. 인력양성효과

■ 논 문 명 : 캐빈형 콤바인의 시계성 평가 시스템

■ 석 사 : 1명(김종덕), 2010년 2월 졸업

학위논문명 : 캐빈형 콤바인의 시계성 평가 시스템

This study was conducted to develop a visibility evaluation system for cabin type

combine. Most conventional methods for visibility evaluations used the discriminate evaluation. The visibility evaluation system was developed based on the quantitative evaluation. Experimental tests were conducted at different operator's postures. The simulation program for visibility evaluation of combine was developed and used to improve operator's visibility in the combine cabin.

1) The conventional method for visibility evaluation was qualitative or discriminate evaluation. It is not easy to find the differences of the visibilities of the view targets. The conventional method was modified to evaluate operator's visibility quantitatively by assigning evaluation scores based on the areas of the fields of view.

2) The visibility evaluation system for cabin type combine consists of a laser pointer, stepping motors to control the direction of view, gyro sensors to measure horizontal and vertical angle, and I/O interface to acquire the signals. The horizontal and vertical angles to the view targets were measured from the operators' eye points, and compared with designed dimensions of the combine. The results showed that the system could measure geometric dimensions accurately for visibility evaluation of cabin type combine.

3) Experimental tests were conducted at different operator's postures. Five view targets of the combine such as the divider, the reaper lever, the gearshift, the dashboard, and the conveying part were selected to evaluate the visibilities. The Duncan's multiple comparison tests showed that the visibilities of the view targets were different significantly as the operator's postures changed. The cabin frame blocked out the field of views of the combine operators at many postures. The divider of the combine was invisible due to blocking of the cabin frame at many postures. The results showed that the posture of standing with 15° tilt provided the best visibility for operators with averaged evaluation score of 35.6. The averaged evaluation score of the gearshift was 20.8 at the posture of sitting with straight, and those of the reaper lever, the dashboard, and the conveying part were 55.6, 38.8 and 17.8 at the posture of sitting with 15° tilt, respectively. The posture of sitting with 15° tilt provided reasonable visibilities for combine operators. However, most view targets of the combine were out of the stable gaze field of view level. Modifications of the combine design will be required to improve the visibility during harvesting operation for farmers' safety and convenience.

4) The simulation program for visibility evaluation of combine was developed to determine operators' visibilities as their eye points were changed in the combine cabin. Simulations

were conducted at the different postures, and the visibilities of four view targets of the combine were compared with experimental data. The results showed that there were no difference between simulation outputs and experimental data with 95% confidence limits.

5) The simulation program was used to improve operator's visibility in the combine cabin. To determine the optimal eye point in the cabin, the visibilities of view targets were computed as the eye points were changed with 1 cm interval. The results showed that the eye points for the best visibility of each view target were scattered in the cabin. It seems that the visibility was not considered when the combine cabin was designed. The results show that the optimal eye point in the cabin was very closed to the eye points for the best visibility of the divider. The visibility of the divider was more improved at the optimal eye point, but those of other view targets were not changed. To enhance operator's visibility of cabin type combine, other cabin design factors such as operator's seat, lever shape and length, dashboard position, and the cabin frame, should be considered.

제 2 절 산업화 추진 방안

국내외에 소비자들은 제품을 구매하는 데 있어서 기능뿐만 아니라 사용상의 편의성과 안전성을 주된 선택 항목으로 생각하고 있어 편의성과 안전성은 사치가 아닌 필수 항목으로 자리 잡고 있다(Kolich and Taboun, 2004).

국내에 생산되는 대부분의 콤팩트는 캐빈이 없는 형태로 제작되어 전복 등과 같은 사고 시에 작업자의 안전을 보호해주지 못하고 있다. 이에 반해 캐빈형 콤팩트는 소음 및 진동을 감소시켜 장시간 운행하는 콤팩트 운전자들에게 안전과 편안함을 제공한다. 이러한 캐빈형 콤팩트의 장점으로 비싼 가격에도 불구하고 국외의 캐빈형 콤팩트 제품을 더 선호하고 있다.

국내 일부 제조사 및 판매사들은 이러한 시장 요구에 따라 캐빈형 콤팩트를 출시하고 있지만, 대부분 일반 콤팩트에 단순히 캐빈을 부착하였거나 수입산 제품을 자신들의 상표로 바꿔 판매하고 있다. 특히 단순히 캐빈을 부착한 콤팩트는 안전 설계에 대한 연구가 부족하고 소음 및 진동, 좁은 작업 공간, 시야 확보의 어려움 등의 단점이 있다. 이로 인하여 운전자는 예취날의 시야 확보를 위하여 좁은 공간에서 불편한 동작으로 장시간 선 자세로 반복적인 작업을 수행하게 된다. 이러한 작업 환경은 운전자에게 매우 불편함을 주고, 심한 경우 근골격계 질환을 유발할 위험이 있다. 하지만 불편함 혹은 근골격계 질환의 가능성을 객관적으로 평가하기 위해서는 인체 모델과 같은 정량적 평가 방법이 필요하다.

즉 콤팩트 캐빈에 대한 세계적 추세는 안전성 및 편의성을 고려한 방향으로 진행되고 있는 반면 국내에서는 많은 연구가 진행되지 않고 있다. 이에 본 연구는 콤팩트 캐빈 프레임의 유한요소 분석을 통하여 프레임을 보강함으로써 안전성을 증대시켰으며, 편의성의 정량적 분석이 가능한 인체 모델을 이용하여 운전석 및 시계성을 개선한 콤팩트 캐빈을 설계하였다.

특히, 콤팩트 캐빈의 안전 설계 기술은 그림 5-1과 같은 참여기업인 동양물산기업의 실용화를 위한 타당성 검토 절차를 거쳐 신 모델 콤팩트에 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 제품설계를 위한 주요 프로세스는 상품기획, 개발 계획 작성, Concept 설계, 1차 설계검토, 설계, 2차 설계검토, 시제품 제작, 품평회, 생산원가 분석 등으로 사업화는 약 2년의 기술 이전 소요 시간 및 1년의 실용화 예상 시기를 포함하여 3년 정도의 기간이 소요될 것으로 판단된다.

<제품개발 절차>

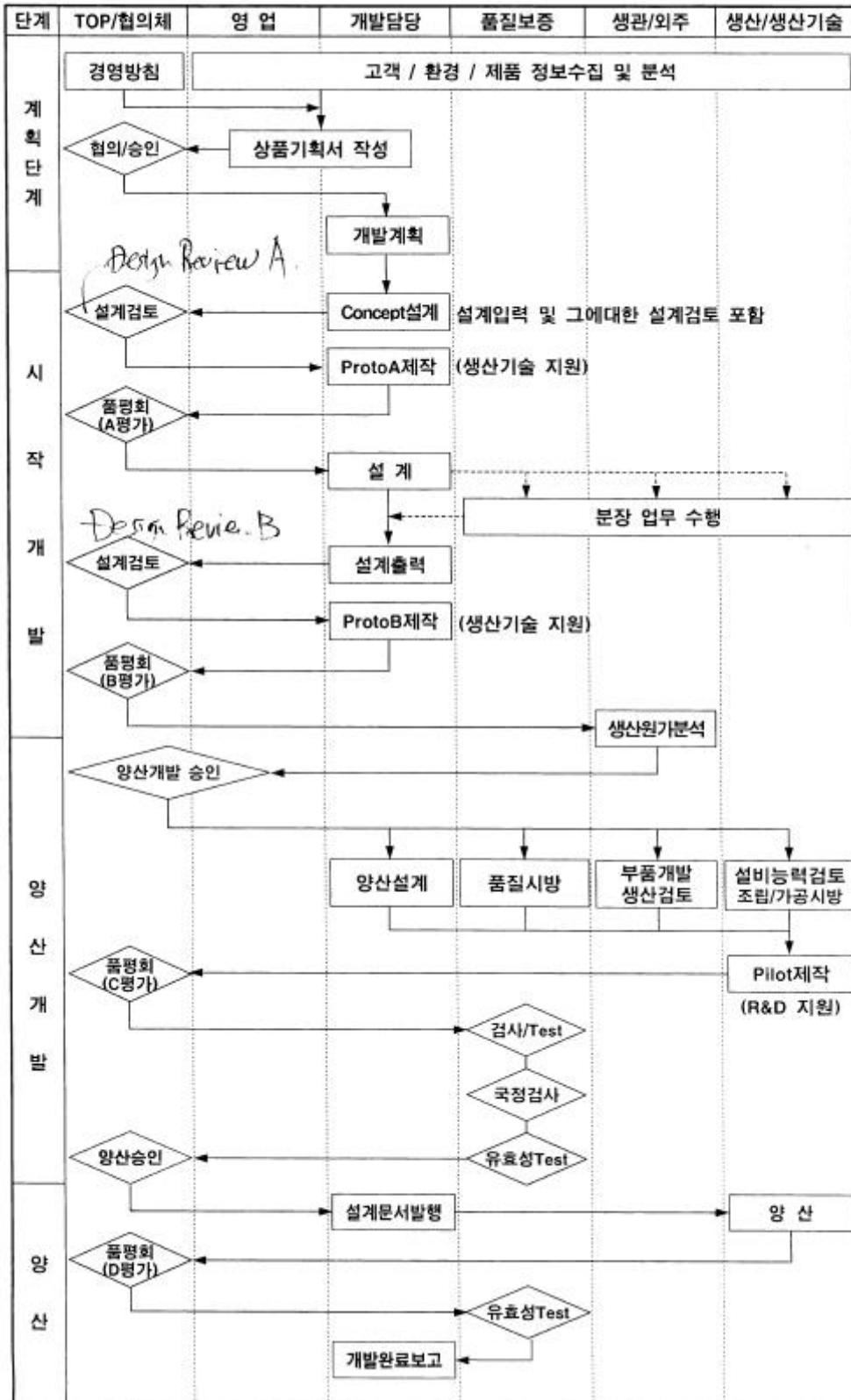


그림 5-1 제품 개발 프로세스.

제 3 절 교육, 지도 등 기술확산 방안

활 용 제 목	콤바인 작업 안전 지침서 활용계획					
활 용 분 야	농업공학					
활용내용요약	콤바인 작업 할 때 지켜야 할 안전사항과 콤바인 구매 선택 시 선택 포인트를 알리고, 콤바인 작업 후 불편한 부위를 개선할 수 있는 운동법과 휴식 시간을 알려준다.					
연 구 과 제	농업인의 편의성 및 안전성을 위한 콤바인 캐빈 개발					
세 부 과 제	작업환경 편의성을 위한 인간공학적 조작부 개발					
구 분 분야	산업공학	작목	벼, 보리	색인어	콤바인 안전	

기존에 발행된 지침서에는 장미, 과수, 양돈농가 등 작업 환경별 지침서가 있으며 콤바인의 경우에는 주로 인적, 물적 사고에 대한 내용만 다루고 있다. 콤바인 작업의 안전성을 확보하기 위해 안전사고 내용 이외에도 콤바인 작업을 수행하면서 발생할 수 있는 근골격계 질환 등 자세가 인체에 미치는 영향 및 안전사항에 관한 내용도 필요하다.

제작된 지침서는 표 5-1과 같이 필요성, 개선사항 및 착안사항으로 구성되었으며, 각 항목에 대해 구체적인 내용을 제시하였다. 항목에 대한 내용으로 그림 5-2와 같이 질환을 유발할 수 있는 자세를 제시하여 작업 자세의 문제점과 그에 따른 질환 유발을 언급하고, 추가적으로 적합한 자세에 대해 권고함으로써 올바른 자세로 작업이 가능하도록 하였다. 또한 지침서 배포 시 적정 작업시간 계산법을 교육함으로써 피로 누적 감소 및 농작업 효율을 높일 수 있다.

결론적으로 콤바인 작업 안전 지침서에는 콤바인 작업 시 근골격계 질환을 예방 할 수 있는 작업 자세 및 작업 시간 등에 대한 내용이 포함되어 있으며, 농가 혹은 작목반단위로 활용이 가능하여 근골격계 질환 등의 질환을 감소와 농업인들의 안전의식을 고취시킬 수 있다고 판단 된다.

표 5-1 콤바인 안전사항 지침

구성	내용구성
필요성	콤바인 작업에 대한 안전사항의 필요성 부각
개선사항	부적절한 콤바인 작업 환경 개선 방법을 인간공학적으로 제시
착안사항	콤바인 작업 현장에서 가능한 개선방법이나 운동법 및 작업시간 제시
특이사항	
<ul style="list-style-type: none"> ● 콤바인 작업 시 피로했던 이유를 작업공간, 작업 자세, 시계성, 콘트롤 박스로 나누어 설명함 ● 콤바인 작업 중 피로할 때 할 수 있는 운동법 제시 ● 하루 적정 작업시간 제시 	

■ 예취 작업을 위한 준비 자세

- 근골격계 질환 유발 가능성이 있는 작업 자세
 - 일어서서 작업을 하게 되면, 허리를 깊게 숙이거나 비트는 자세로 인해 허리통증을 유발할 수 있습니다.
 - 또한, 시동을 켜기 위해 목 또는 허리를 과도하게 굽히는데, 이는 목 근육에 통증을 일으킬 수 있고, 신체 움직임을 둔하게 할 수 있습니다.



■ 권고사항

- 예취 작업 준비 시에 가능한 좌석에 앉아서 하시기 바랍니다.
- 작업 전에 의자 높이와 앞뒤 간격을 조절하여 분초간, 예취 레버, 변속 레버, 계기판, 반송부의 시야를 확보하는 것이 중요합니다.



그림 5-2 지침서 예시.

제 4 절 타분야 활용 및 추가연구 필요성

1. 타분야 활용

가. 제품 개발 프로세스의 활용

본 연구에서 사용된 제품 설계 및 개발 프로세스는 설계와 분석이 동시에 이루어져 제품 개발에 소요되는 시간과 비용을 줄일 수 있다. 기술 동향 분석, 설문 조사, 관련 제품의 비교 결과 등을 이용하여 개발할 제품의 특성을 분석하고 설계 및 개발 방향을 설정할 수 있다. 특성 분석 결과를 바탕으로 사용자의 작업 환경을 분석하고 인간공학적 성능 분석 방법을 설정한다. 사용자의 작업 환경, 인간공학적 성능 분석 결과를 기반으로 주요 단위장치 등을 설계하고, 근골격계 인체 모델과 3D 캐드 모델을 이용한 시뮬레이션을 통해 설계 단계에서 시제품의 성능을 분석하며, 현장 실증 실험을 통해 개발된 시제품의 성능을 평가한다. 캐빈의 개발에 이용된 제품 개발 프로세스는 인체 모델을 이용하여 설계 단계에서 시제품의 성능을 분석할 수 있으므로 개발 기간 및 비용을 줄일 수 있으며, 농업기계 분야는 물론 현장 실험이 필요한 제품의 개발에 적극 활용될 수 있다.

나. 콤바인 캐빈의 시계성 평가 기술 개발

콤바인 캐빈의 시계성 평가를 위해 인체시야에 대한 정량적 평가 기준을 제시하였으며, 이를 통해 캐빈 내부에서의 시계성 측정이 가능한 시계성 평가 시스템을 개발하였다. 또한 시계성 평가 프로그램을 개발하여 적정 눈위치를 제시하였다. 농업인의 체형을 기반으로 개발된 시계성 평가 기술은 작업자의 체형을 고려한다면 인간공학적인 설계가 필요한 모든 산업 분야에서 조작부, 운전석, 부대부품 등의 시계성 평가에 활용될 수 있으며 시계성 평가 프로그램은 최적화된 눈위치를 제시할 수 있어 창의 크기나 후방 시야를 위한 거울의 위치 및 크기, 조작부, 운전석 등의 설계에 활용될 수 있다. 자세한 설명은 다음과 같다.

(1) 콤바인의 시계성 평가 기준

캐빈형 콤바인의 뷰포인트에 대한 세분화된 정량적 시계성 평가를 위해 인체 시야의 정보수용 특성에 따른 시계 영역에 평가점수 부여 시 기존의 불연속적인 평가점수 부여에 따른 문제점을 해결하고자 연속적으로 평가점수를 부여하였다. 평가점수는 정보수용 특성이 가장 좋은 시야 중심에서 거리가 멀어질수록 낮은 평가점수를 갖도록 설정하였다. 농업인의 평균 체형을 기반으로 개발된 시계성 평가 기준은 콤바인 이외의 농업기계의 시계성 평가에 활용될 수 있으며, 작업자의 체형을 고려한다면 자동차, 선박, 비행기 등 인간공학적인 설계가 필요한 모든

산업 분야에서도 활용할 수 있다.

(2) 시계성 평가 시스템

캐빈형 콤바인 시계성의 정량적 평가는 눈위치에서 정면 방향을 기준으로 뷰포인트의 수평, 수직 각도를 측정하여 평가점수를 산출한다. 개발된 시계성 평가 시스템은 콤바인 캐빈 내에서 작업자의 눈위치에 따라 XYZ축 방향으로 이동이 가능하도록 구성되었다. 시계성 평가 시스템으로 측정된 각 뷰포인트의 수평, 수직 각도가 설계도상의 실제 값과 통계적으로 유사한 것으로 나타나 개발된 시스템으로 캐빈형 콤바인의 시계성을 평가하기 위한 각도 측정이 가능한 것으로 판단된다. 시계성 평가 시스템은 캐빈형 콤바인에 국한되지 않고 인간공학적인 설계가 필요한 모든 산업 분야에서 조작부, 운전석, 부대부품 등의 시계성을 평가하는데 활용될 수 있다.

(3) 시계성 평가 프로그램

경우에 따라 작업자의 눈위치 변경에 따른 시계성 평가를 위해 시계성 평가 시스템을 이용하는 것은 실험 회수 증가와 노동력 낭비 등의 어려움이 있을 수 있기 때문에 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 눈위치 변경에 따른 시계성 평가가 가능한 시계성 평가 프로그램을 개발하였다. 시계성 평가점수 산출에 필요한 수평, 수직 각도는 눈위치와 뷰포인트 간의 위치 차이를 알면 시계성을 정량화된 수치로 산출할 수 있다. 시계성 평가 프로그램은 앉은 자세, 앉아서 15° 기울인 자세, 선 자세, 서서 15° 기울인 자세 등의 작업 자세 선택이나 사용자 정의로 눈위치를 입력할 수 있도록 개발되었다. 프로그램은 뷰포인트별 평가점수와 평균 시계성 점수를 표시하도록 하였으며, 그래프에서 뷰포인트의 위치를 확인할 수 있도록 하였다. 시계성 평가 프로그램은 최적화된 눈위치를 제시할 수 있어 창 크기나 후방 시야를 위한 거울의 위치 및 크기, 조작부, 운전석 등의 설계에 활용될 수 있다.

다. 농업인의 근골격계 모델 개발

국내 농업인의 인체 정보를 활용하여 농업인의 근골격계 모델을 개발하였으며, 콤바인 작업 시 발행하는 주요 동작의 문제점 분석으로 근골격계 질환의 예방 기준을 제시하였다. 근골격계 모델은 농업분야 뿐 아니라 인체공학적인 설계가 필요한 일반 산업 분야에 활용되어 작업에 따른 작업 부하를 감소시켜 근골격계 질환과 같은 산업 재해를 예방하는 동시에 인간공학적인 평가 항목의 기준 제시에 활용될 수 있다. 자세한 설명은 다음과 같다.

(1) 농업인의 근골격계 모델

국내 농업인의 체형을 고려하여 근골격 모델을 개발함으로써 조작 레버와 운전석, 시계성, 편의성 등의 부대부품 및 인간공학적 요소를 평가할 때 피험자나 Mock-up의 제작 없이 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 설계 및 검증할 수 있도록 하였다. 농업인뿐 아니라 타분야 작업자의 체형을 고려하면 근골격 모델을 개발할 수 있어 농업기계분야 뿐만 아니라 인체공학적 설계가 필요한 사업 분야에서 부대부품 및 인간공학적 요소 평가 시 시간과 자원을 감소시켜 이익 창출에 활용할 수 있다.

(2) 근골격계 질환 예방 및 작업 안전 지침서

콤바인을 이용한 수확 작업 시 농민의 잘못된 동작으로 인하여 발생할 수 있는 근골격계 질환을 예방하기 위하여 동작의 문제점 및 개선 방향, 근골격계 질환의 예방에 대하여 작업 안전 지침서를 제작 및 배포할 예정이다. 농민들이 이해하기 쉽게 제작하여 콤바인 뿐 아니라 트랙터 등의 농업기계를 사용할 때 근골격계 질환을 예방할 수 있도록 권고할 수 있다. 또한 직접 콤바인 동작을 수행하지 않아도 각 동작이 인체 관절에 미치는 영향을 가상으로 판단할 수 있도록 근골격계 질환 예방 프로그램을 개발하였다. 근골격계 질환의 경우 농업분야 뿐만 아니라 오랜 시간 같은 동작을 반복하는 모든 산업에서 발생하므로 개발된 근골격계 예방 프로그램을 이용하면 각 산업 종사자가 해당 작업의 부담여부를 판단할 수 있어 근골격계 질환 예방에 활용될 수 있다.

라. 인간공학 기반의 운전석 및 조작부 개발

인간공학 기반의 운전석 및 조작부 개발은 콤바인 작업자의 작업 분석 및 조작 반력을 측정 한 후 완성된 농업인의 인체 모델을 이용한 시뮬레이션 방법을 통해 개발되었다. 운전석 및 조작부의 개발에 사용된 작업 분석 및 시뮬레이션 기술과 근활성도 및 압력 분포를 통한 검증 방법은 콤바인 뿐 아니라 캐빈을 장착한 트랙터 및 건설 차량, 항공기, 선박, 열차, 승용차 등에 활용할 수 있으며, 설계와 동시에 검증이 이루어지는 과정으로 향후 제품 개발에 소요되는 시간과 비용을 줄이며 작업 편의성을 고려한 설계 기법을 제시할 수 있다. 자세한 설명은 다음과 같다.

(1) 콤바인 운전석

콤바인 운전석의 개발에 앞서 운전자의 작업 형태를 분석한 후 인체 근골격 모델을 이용하여 기존 운전석의 문제점을 도출하였다. 도출된 문제점을 개선하기 위해 인간공학적인 운전석을 개발하였고 운전석의 검증은 근골격 모델 및 상용 디지털 모델을 이용하였다. 운전석 1차 시작기를 개발하여 현장 검증한 후 개선 및 보완하여 최종 운전석을 제작하였다. 운전자의 체

형을 고려한 운전석 개발 기술은 농업기계, 자동차, 중장비 등의 운전석 개발에도 활용할 수 있으며 운전석 개발 시 프로세스가 간소화해짐으로써 개발에 소요되는 시간과 비용을 감소시키는데 활용할 수 있다.

(2) 콘솔

콘솔의 경우 레버의 사용빈도와 상호연계성을 고려하여 조작부의 여러 제어장치 스위치를 같은 기능끼리 묶고 재배치함으로써 조작시간 및 휴먼에러를 감소시키는 효과를 검증하였다. 또한 안내 글자 특성 등을 인간공학 일반원칙을 적용함으로써 가독성을 향상시키는 효과도 검증하였다. 따라서 같은 기능끼리의 묶음 배치나 가독성을 높인 글자 등은 승용기계뿐만 아니라 제어단추가 많고 버튼을 실수로 눌렀을 경우 큰 사고가 발생할 수 있는 원자력발전소 등의 콘솔 설계에 활용할 수 있다.

(3) 브레이크 페달

브레이크 페달의 경우 아랫면으로 연결되는 링크 부분을 측면으로 연결함으로써 발판부분의 구멍으로부터 들어오는 소음을 막을 수 있는 효과를 얻었다. 따라서 본 링크 구성을 트랙터, 버스, 일반 승용차 등 다양한 분야의 승용기계에 적용하여 소음감소 효과를 볼 수 있다. 또한 브레이크 페달뿐만 아니라 가속 페달 등의 일반 페달 분야에도 활용할 수 있다.

(4) 레버

노브 형태에 따라 레버가 어느 위치에 있어야 가장 적은 힘으로 작동시킬 수 있는지를 정량적으로 평가하여 레버의 위치를 찾아냈다. 이는 콤파인에만 적용되는 것이 아니라 앞서서 레버를 조작하고 조작력이 큰 기계를 다루는 산업 분야에 레버를 적은 힘으로 조작할 수 있도록 응용할 수 있다. 특히, 반복적으로 레버를 밀고 당기는 경우에 더욱 효과를 볼 수 있어 근골격계 질환 유발 감소에 활용할 수 있다.

마. 콤파인 캐빈의 안전 설계 기술 개발

캐빈 설계 과정에서 사용된 각종 기술은 캐빈을 사용하는 트랙터 등의 다른 농기계 분야에도 적용 가능하며 캐빈을 장착하는 중장비(지게차, 포클레인, 불도저 등) 등의 다른 산업기계에도 적용이 가능하다. 특히 에어컨, 후방 카메라 등 개발된 부대부품은 캐빈이 있는 다른 농기계와 중장비에 폭넓게 사용이 가능한 부분이다.

캐빈의 디자인 설계는 최근 디자인 중시 추세를 감안할 경우 사람이 사용하는 모든 기계에 적용이 가능한 기술이며, 농기계 분야에 앞서서 디자인 분야의 중요성을 인지한 분야에서 차용

해은 기술이라고 할 수 있다. 따라서 아직까지 디자인의 중요성을 인식하지 못한 분야에 대해 적용할 필요가 있다.

캐빈의 구조 해석에 사용된 유한요소 해석은 범용적인 기술로, 기계의 강도 해석이나 진동에 대한 검토에 필수적으로 사용되는 기술이다. 따라서 본 연구에서 적용한 기술은 타분야로 광범위하게 확산 및 적용할 수 있는 기술이라고 할 수 있다.

2. 추가연구 필요성

가. 콤바인 캐빈의 시계성 평가 기술 개발

캐빈형 콤바인 시계성의 정량적 평가는 눈위치에서 정면 방향을 기준으로 뷰포인트의 수평, 수직 각도를 측정하여 평가점수를 산출한다. 개발된 시계성 평가 시스템은 콤바인 캐빈 내에서 작업자의 눈위치에 따라 XYZ축 방향으로 이동이 가능하도록 구성되었다. 개발된 시계성 평가 시스템을 검증하기 위해 작업자의 눈위치에서 콤바인의 뷰포인트를 측정된 수평, 수직 각도를 콤바인의 설계도면과 비교·분석하였다. 시계성 평가 시스템으로 측정된 각 뷰포인트의 수평, 수직 각도가 설계도상의 실제 값과 통계적으로 유사한 것으로 나타나 개발된 시스템으로 캐빈형 콤바인의 시계성을 평가하기 위한 각도 측정이 가능한 것으로 판단된다. 추후에는 시계성 평가 시스템의 객관성을 좀 더 확보하기 위하여 다양한 종류의 콤바인에 대한 검증과 반복 실험을 통한 검증이 필요할 것으로 판단된다.

나. 농업인의 근골격계 모델 개발

본 연구에서는 근골격계 모델을 국내 농업인에 국한하여 개발하였지만 외국 농업인의 인체 치수를 기반으로 근골격계 모델을 개발하면 농기계 수출에도 도움을 줄 수 있다. 또한, 농업분야에만 국한할 것이 아니라 국내 타산업에서 회사원 및 어린이 등 특화된 근골격계 모델의 개발을 진행한다면 인간공학적 설계와 편의성 증대에 기여할 수 있다.

개발된 근골격계 질환 예방 프로그램은 직접 콤바인 동작을 수행하지 않아도 각 동작이 인체 관절에 미치는 영향을 가상으로 판단할 수 있으나 광학 장비를 이용하여 인체의 움직임을 측정하고 상용 소프트웨어를 이용하여 주어진 인체 관절의 XYZ축을 기준으로 한 수치 데이터가 입력되어야 하기 때문에 복잡하고 다루기 어렵다는 단점이 있다. 추후에는 특정 장비와 프로그램이 없어도 예방 프로그램만으로 동작의 문제점을 분석하여 근골격계 질환을 예방할 수 있도록 추가 연구가 필요하다.

다. 인간공학 기반의 운전석 및 조작용 개발

국내 농업인의 인체 치수에 적합하도록 치수를 최적화하여 운전석을 개발하였으나 운전석이

장착되는 콤바인 캐빈의 크기가 너무 협소하여 최적 치수보다 작게 운전석을 디자인 할 수 밖에 없었다. 개발된 운전석은 기존 운전석에 비해 허리숙임과 비틀림 동작이 감소되고 고른 체압분포를 나타내어 개선되었음을 알 수 있었으나 최적 치수로 운전석을 제작하면 좀 더 향상된 결과를 얻을 것으로 기대된다. 이에 콤바인 캐빈의 실내를 크게 하여 최적화된 치수의 운전석을 개발할 수 있도록 추가 연구가 필요하다.

조작부 중 레버와 페달의 경우, 유압으로 변경하면 조작력을 좀 더 낮출 수 있었으나 유압방식은 제작비가 많이 들기 때문에 향후 생산에 어려움이 있어 적용할 수 없었다. 향후에는 낮은 제작비로 조작력을 더 크게 감소시키는 방안에 대한 추가 연구가 필요하다. 콘솔의 경우 캐빈 내 공간이 협소하여 배치에 한계가 있었으나 향후 공간 확보에 대한 연구가 이루어진 후 콘솔 구성부를 최적화한다면 접근성을 더욱 향상시킬 수 있다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 1 절 학술논문

- Barron, P. J., P. M. O. Owende, K. P. McDonnell, and S. M. Ward. 2005. A method for assessment of degradation of task visibility from operator cabins of field machines. *International Journal of Industrial Ergonomics* 35: 665-673.
 - 기존의 그림자-광원법과 유사한 성능을 보이면서, 작업 시야 범위를 맵핑할 수 있는 광원-조도 센서법을 제시하였으며, 캐빈형 작업기 작업자의 시계성 평가에 적용이 가능할 것이라고 보고하였다. 그러나 주변 환경에 대한 전체적인 조망 범위에 관한 것으로 본 연구의 특정 뷰포인트에 대한 시계성 평가와는 차이를 보이고 있다.

- Chang, J. H. 2007. An approach using photogrammetry and an ergonomic CAD system to evaluate mismatches between operational demands of agricultural tractors and physical and visual capabilities of youth drivers. University of California PhD thesis.
 - 사진측량기법과 인간공학적 CAD 시스템을 이용한 농업용 트랙터의 시계성 평가 시 아동과 성인의 인체 사이즈를 고려하여 모델을 개발하였다. 미국인의 체형을 고려한 시계성 평가로 국내 농업인의 체형과 차이가 있기 때문에 국내 농업인의 체형을 고려한 국내 실정에 맞는 시계성에 관한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

- Christopher R. R., P. M. Bush, W. Karwowski and S. K. Durrani. 2010. Occupational postural activity and lower extremity discomfort: A review. *International Journal of Industrial Ergonomics* 40(3):247-256.
 - 작업환경에서 작업자의 신체적 불편함을 최소화하기 위한 문헌의 평가를 제공한다. 작업에서의 불편함은 조인트 포지션, 전체 혹은 부분적 몸의 자세, 작업 활동에 근거한다. 문헌을 기본으로 활동자세 가이드라인은 불편함을 극히 최소화하고 그 한계점을 요약하여 제공한다.

- Fai T. C., F. Delbressin and M. Rauterberg. 2007. Vehicle seat design: state of the art and recent development. *World Engineering Congress* 51-61.
 - 시트는 차량의 가장 중요한 요소이고 전문적인 운전자가 가장 많은 시간을 보내는 장소이

다. 승객보다 운전자가 느끼는 피로감이 더 크며, 차량 seating system은 운전자를 위해 개선되어야 한다. 이 논문에서는 최근 차량 시트의 기술 개발을 각기 다른 타입의 차량에 적용하고자 한다.

- Hanson. 2000. Computerized tools for human simulation and ergonomic evaluation of car interiors. Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings 4:836-839.
 - 자동차의 시계성과 접근성, 안정성 등의 인간공학적 평가를 위해 ANNIE-Ergoman, JACK, RAMSIS 세 개의 툴을 이용하여 인체를 시뮬레이션 하였다. 세 개의 툴은 초기 설계 단계에서 자동차 내부 인테리어의 발전 가능성을 비교 제시하였다. 이 논문은 툴 사용자의 인간공학적 평가의 통찰력을 요구 하고 있고, 인간 공학 평가 방법의 향상과 시뮬레이션과 인체 공학적인 평가 방법 간의 통합도 필요로 한다.
- Jang, H. K. 2005. Design guideline for the improvement of dynamic comfort of a vehicle seat and its application. International Journal of Automotive Technology 6(4):383-390.
 - 이 논문에서는 차량 시트의 동적 안락성의 개선과 평가에서의 문제점을 조사하여 평가방법을 제안한다. 설계 가이드라인은 보다 넓은 범위에서의 공진, 특히 10-18Hz의 진동전달의 향상을 목적으로 한다. 인체의 특성을 고려한 시트는 동적 안락감을 향상시키며, 11%만의 진동전달을 보여준다.
- Jung, E. S., Y. T. Shin and D. H. Kee. 2000. Generation of visual fields for ergonomic design and evaluation. International Journal of Industrial Ergonomics 26(4):445-456.
 - 시야에 영향을 미칠 여러 요인 중에서 산업 환경에 직접 적용할 수 있는 좀 더 실적인 시각 영역을 얻기 위해 시각 영역의 크기에 배경 조건이 미치는 효과를 조사하였다. 실험 변수에 의한 대조 크기, 대상의 밀집도, 최고점들은 $\alpha=0.01$ 일 때 시각 영역의 크기에 가장 큰 영향을 준다는 것을 보여준다. 시각영역의 크기를 고정된 시야와 눈의 움직임으로 확인 가능한 영역, 머리와 눈을 움직여 확인 가능한 영역 세 가지 형태로 구분하였다.
- Lin, F., Z. Crowther and M. Makhsous. 2004. Reducing Whole-body vibration of vehicle drivers with a new sitting concept. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc 7:5111-5114.
 - 시트백에서 요추부분의 쿠션을 돌출시키면 운전자의 몸 전체에 전달되는 진동을 줄이는데 효과적이라는 정량적 실험을 했다. 새로운 시트 설계는 몸에 전달되는 진동의 해로운 진

폭과 접촉압력을 줄여주며, 보통의 척추곡률을 회복시켜주어 개선된 자세를 촉진시켜준다.

- Navricios, D., V. Karabatsou, K. Alexopoulos, M. Pappas, P. Gogos and G. Chryssolouris. 2006. An approach to human motion analysis and modelling. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 36(11):979-989.
- 이 논문은 실험적 접근방법의 통계학적 디자인에 실험적 모션 데이터 분석에 사용되는 휴먼 모션 모델링에 대해 말하고 있다. 분산분석은 모션방향에 영향을 주는 인체 측정 파라미터의 영향력계수 결정을 한다. 자동차의 다른 인체 측정학적 특징을 가진 다양한 주체의 편한 모션에 대해 수집되고 분석되어져 왔다. 이 일의 목표는 인체 측정학 데이터를 입력했을 때 현실적인 편한 모션을 예측할 수 있는 반 경험적인 모델을 개발하는 것이다. 모델의 출력 데이터는 모션 궤적이거나 중요한 신체 분절의 관절각이다. 이 모션 궤적과 신체 분절의 관절각은 인간공학 평가를 산출하는 동안 디지털 휴먼 모델을 다루기 위한 휴먼 모델링 소프트웨어 틀에 포함될 수 있다.

제 2 절 관련특허

- Ito, Mitsuhiro. Uenuma, Kenya. and Iwao, Keijiro. 2004. Visibility adjusting method and apparatus of vehicle. US-0916594.
 - 시계성 향상을 위하여 운전자의 전방 시계에 영향을 줄 수 있는 돌출부를 차량의 중앙과 운전자의 중심에서 벗어나게 배치하는 방법에 관한 발명

- Janssen, L., K. R. Deutenbach, H. J. Luckoff and K. Warnecke. 1978. Vehicle rear window arrangement. US-0926855.
 - 차량의 후방 유리 배치에 관한 발명으로 수직에서부터 90°까지 각도 중에서 시계성을 향상시키고 공기 저항을 줄일 수 있는 최적 각도 및 구조를 제시

- Nakaji, Y., S. Kitazaki, K. Kato, S. Hijikata and A. Hirao. 2001. Display apparatus and method for automotive vehicle. US-0987260.
 - 승용차의 디스플레이 이미지를 차량의 앞쪽에 투영할 수 있는 장치를 개발 과정에서 시계 영역에 따른 인체 시야의 정보수용 특성을 고려하였다. 인체 시야를 망막 위치에 의한 정보 처리 능력의 차이와 정보수용을 보조하는 운동 발생 상태에 따라 정보수용 특성별로 구분한 것이며, 판별시야, 유효시야, 주시안정시야, 유도시야, 보조시야로 나누었다.

- Richards, J. D. and Berg, G. M. 2004. Work vehicle cab screen. US-0985091.
 - 작업용 기계의 옆 창측의 시계성과 안전성에 관한 발명으로 보강 구조물은 안전성은 높여 주지만 시계성은 낮추기 때문에 이 둘을 최적화 할 수 있는 방안을 제시

- Stauffer, D. B. and Strong R. W. 2000. Combine harvester cab layout for visibility, serviceability and space. US-0617084.
 - 콤바인 캐빈의 시계성을 위하여 앞면에 둥근 유리를 사용하였고, 측에 의해 회전하는 양측 문에도 둥근 유리를 사용하였다.

- Weisser Hubert. 1997. Method for measuring visibility from a moving vehicle. US-0972692.
 - 광학-전자 카메라로 찍은 이미지의 밝기 변화에 따라 궤적을 정의하여 선택하는 방법으로

움직이는 차량의 시계성을 측정하는 방법

- Yoshida, Kazuhiro. 2003. Windshield fixing structure for reducing dead visibility angle produced by front pillar. US-0474098.
- 자동차의 앞유리를 고정하는 구조물에 의해서 운전자의 시계가 차단되는 dead angle을 줄이기 위해 구조물의 형태를 변경하였다.

제 7 장 참고문헌

1. Amditis, A., K. Pagle, M. Tsogas, E. Bekiaris, M. Panou, H. T. Veste, T. Bellet, S. Boverie, M. Kutila and G. Markkula. 2007. A real time platform for estimating the driver - vehicle - environment state in AIDE integrated project. In: 14th World Congress on ITS Proceedings, Beijing, China.
2. Amedeo, T., N. Francesco, S. Erik, C. Gianfranco, M. Roberto and M. Luca. 2008. Assessment of force and fatigue in isometric contractions of the upper trapezius muscle by surface EMG signal and perceived exertion scale. *Gait & Posture* 28(2):179-186.
3. Baek, Y. J., K. S. Lee, K. S. Hwang, K. R. Kim and H. C. Kim. 2008. Characteristics of the Somatotypes of Korean Farmer. *Journal of Korean Society of Clothing and Textiles* 32(3):431-442.
4. Barron, P. J., P. M. O. Owende, K. P. McDonnell, and S. M. Ward. 2005. A method for assessment of degradation of task visibility from operator cabins of field machines. *International Journal of Industrial Ergonomics* 35(7): 665-673.
5. Basmajian, J. V. AND C. J. D. Luca. 1985. *Muscles Alive: Their Functions Revealed by Electromyography*. Baltimore. Williams & Wilkins. London.
4. Brüel and Kjaer. 1986. *Noise Control Principles and Practise*. pp.2-13. Denmark.
5. Chaffin, D. B. 2007. *Human Motion Simulation for Vehicle and Workplace Design*. *Hunan Factors and Ergonomics in Manufacturing*. 17(5):475-484.
6. Chang, J. H. 2007. An approach using photogrammetry and an ergonomic CAD system to evaluate mismatches between operational demands of agricultural tractors and physical and visual capabilities of youth drivers. University of California PhD thesis.

7. Chester, M. R., M. J. Rys and S. A. Konz. 2002. Leg swelling, comfort and fatigue when sitting, standing, and sit/standing. *International Journal of Industrial Ergonomics* 29(5):289-296.
8. Christopher D. Wickens, John D. Lee, Yili Liu, Sallie E. Gordon Becker. 2008. 인간공학. 시그마프레스.
9. Christopher R. R., P. M. Bush, W. Karwowski and S. K. Durrani. 2010. Occupational postural activity and lower extremity discomfort: A review. *International Journal of Industrial Ergonomics* 40(3):247-256.
10. Chung, S. J. and M. Y. Park. 2004. Three-dimensional analysis of a driver-passenger vehicle interface. *International Journal of Human Factors in Manufacturing* 14(3):269-284.
11. Ciara, M. O., K. T. Susannah, J. O. Mark and L. V. Christopher. 2007. Automatic detection of gait events using Kinematic data. *Gait & Posture* 25:469-474.
12. Dirk, R. 1997. Some problems concerning the lever arm length in torque metrology. *Measurement* 20(1):23-32.
13. Pennestrì, E., R. Stefanelli, P.P. Valentini, L. Vita. 2007. Virtual musculo-skeletal model for the biomechanical analysis of the upper limb. *Journal of Biomechanics* 40:1350-1361.
14. Erdemir, A., M. Scott, H. Walter and A. J. van den Bogert. 2007. Model-based estimation of muscle forces exerted during movements. *Clinical Biomechanics* 22(2):131 - 154.
15. Fai, T. C., F. Delbressin and M. Rauterberg. 2007. Vehicle seat design: state of the art and recent development. *World Engineering Congress* 51-61.
16. Franklin, R. C., J. Depczynski, K. Challinor, W. Williams and L. J. Fragar. 2006. Factors

Affecting Farm Noise During Common Agricultural Activities. *Journal of Agricultural Safety and Health* 12(2):117-125.

17. Genaidy, A. M. and Karwowski. 1993. The effects of neutral posture deviations on perceived joint discomfort ratings in sitting and standing postures. *Ergonomics* 36(7):785-792.
18. Giacomini, J. and S. Gallo. 2003. In-vehicle vibration study of child safety seats. *Ergonomics* 46(15):1500 - 1512.
19. Gilchrist, L. A. and D. A. Winter. 1997. A multi-segment computer simulation of normal human gait. *IEEE Transaction on Rehabilitation Engineering* 5(4):290-299.
20. Gironimo, G. D. and S. Patalano. 2008. Re-design of a railway locomotive in virtual environment for ergonomic requirements. *Int J Interact Des Manuf.* 2:47-57.
21. Hanson. 2000. Computerized tools for human simulation and ergonomic evaluation of car interiors. *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings* 4:836-839.
22. Heimes, F. and H. H. Nagel. 2002. Towards Active Machine-Vision-Based Driver Assistance for Urban Areas. *International journal of computer vision* 50(1):5-34.
23. Heriberto, B. V., M. S. Tarek, D. Nancy and S. Sam. 2006. Questionnaires vs observational and direct measurements: a systematic review. *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 7(3):261-284.
24. Hignett, S. and L. McAtamney. 2000. Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics* 31:201-205.
25. Hoozemans, M. J. M., A. J. van der Beek, M. H. W. Fringsdresen and L. H. V. van der Woude. 1998. Pushing and pulling in relation to musculoskeletal disorders: a review

of risk factors. *Ergonomics* 41(6):757-781.

26. Jang, H. K. 2005. Design guideline for the improvement of dynamic comfort of a vehicle seat and its application. *International Journal of Automotive Technology* 6(4):383-390.
27. Jung, D. H. 1997. *Basic Statistics*. Bach-san Seo-dang. Seoul.
28. Janowitz, I. L., M. Gillen, G. Ryan, D. Rempel, L. Trupin, L. Swig, K. Mullen, R. Rugulies and P. D. Blanc. 2006. Measuring the physical demands of work in hospital settings: Design and implementation of an ergonomics assessment. *Applied Ergonomics* 37(5):641 - 658.
29. Jung, E. S., Y. T. Shin, D. H. Kee. 2000. Generation of visual fields for ergonomic design and evaluation. *International Journal of Industrial Ergonomics* 26:445-456.
30. Karaseitanidis I., A. Amditis, H. Patel, S. Sharples, E. Bekiaris, A. Bullinger and J. Tromp. 2006. Evaluation of virtual reality products and applications from individual, organizational and societal perspectives—The “VIEW” case study. *International Journal of Human-Computer Studies* 64(3):251 - 266.
31. Kee, D. and W. Karwowski. 2001. The boundaries for joint angles of isocomfort for sitting and standing males based on perceived comfort of static joint postures. *Ergonomics* 44(6):614-648.
32. Kim, C. K. and Y. T. 1994. Wang, Reaction Force and EMG Analyses of Wheelchair Transferring. *Journal of sport and leisure studies* 2(1):159-166.
33. Kim, J. Y. and K. B. Seo. 2005. The Effect of the Heel Rest on the Lower Leg Muscle Activity and Fatigue During Repetitive Pedaling. *Journal of the Ergonomics Society of Korea* 24(4):55-62.

34. Kingma, I., M. P. de Looze, J. H. van Dieën, H. M. Toussaint, M. A. Adams and C. T. Baten. 1998. When is a lifting movement too asymmetric to identify low-back loading by 2-D analysis?. *Ergonomics* 41(10):1453-1461.
35. Kolich and Taboun. 2004. Automobile seat comfort prediction: statistical model vs. artificial neural network. *Applied Ergonomics* 35(3):275-284.
36. Lee, K. 2006. CAD system for human-centered design. *Computer-Aided Design & Applications* 3(5):615-628.
37. Li, C. and D. Zhou. 2004. Evaluation of multiple active lever-type tuned mass dampers for structures under ground acceleration. *Engineering Structures* 26(3):303-317.
38. Lim, D. S., K. S. Lee, A. R. Choi, Y. J. Kim and J. H. Mun. 2009. Bio-mechanical Analysis on the Lower Back using Human Model during Pushing the Manual Vehicles. *J. of Biosystems Eng.* 34(4):286-294.
39. Lin F., Z. Crowther and M. Makhsous. 2004. Reducing Whole-body vibration of vehicle drivers with a new sitting concept. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 7:5111-5114.
40. Marras, W. S. and K. G. Davis. 1998. Spine loading during asymmetric lifting using one versus two hands. *Ergonomics* 41(6):817-834.
41. Mayton, a., D. Ambrose and C. Jobes. 2003. Ergonomic and existing seat designs compared on underground mine haulage vehicles. *Industrial Ergonomics* 5:1256-1260.
42. Mehta, C. R., L. P. Gite, S. C. Pharade, J. Majumder and M. M. Pandey. 2008. Review of anthropometric considerations for tractor seat design. *International Journal of Industrial Ergonomics* 38:546-554.
43. Mehta, C. R. and V. K. Tewari. 2000. Seating discomfort for tractor operators—a critical review. *International Journal of Industrial Ergonomics* 25(6):661 - 674.

44. Nakaji, Y., S. Kitazaki, K. Kato, S. Hijikata, and A. Hirao. 2003. Display apparatus and method for automotive vehicle. US patent No: 6, 556, 134.
45. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Department of Health and Human Services. 1981. Work practices guide for manual lifting.
46. Navricios, D., V. Karabatsou, K. Alexopoulos, M. Pappas, P. Gogos and G. Chryssolouris. 2006. An approach to human motion analysis and modelling. *International Journal of Industrial Ergonomics* 36(11):979-989.
47. Nielson, J. 1993. Usability engineering, Academic Press Professional. Cambridge.
48. Otten, E. 2003. Inverse and forward dynamics: models of multi-body systems. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 358(1437):1493-1500.
49. Pan, C. S., K. M. Miller, S. Chiou and J. Z. Wu. 2004. Evaluation of a computer-simulation model for human ambulation on stilts. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology* 4(3):283-303.
50. Porter, J. M. and D. E. Gyi. 1998. Exploring the optimum posture for driver comfort. *International Journal of Vehicle Design* 19(3):255-266.
51. Raschke, U., B. J. Martin and D. B. Chaffin. 1996. Distributed moment histogram: a neurophysiology based method of agonist and antagonist trunk muscle activity prediction. *Journal of Biomechanics* 29(12):1587-1596.
52. Ribouchon, S. 1991. Confort postural du conducteur assis: étude des situations de confort optimal and des situations observees sous contrainte de hauteur d'assise. Thèse de doctorat. Université de Paris-Sud.
53. Robert, G. R., S. M. William, and A. L. Steven. 2002. Biomechanical aspects of

work-related musculoskeletal disorders. *Issues in Ergon* 2(2): 153-217.

54. Sagot, J. C., V. Gouin and S. Gomes. 2003. Ergonomics in product design: safety factor. *Safety Science* 41:137 - 154.
55. Sanders, M. S. and J. McCormick. 1993. *Human Factors in Engineering and Design*, 7th Edition. pp.355. McGraw-Hill. New York.
56. Santos, J., N. Merat, S. Mouta, K. Brookhuis, D. D. Waard. 2005. The interaction between driving and in-vehicle information systems: Comparison of results from laboratory, simulator and real-world studies. *Transportation Research Part F Traffic Psychology and Behaviour* 8(2):135-146.
57. Sümera, S. K., S. M. Sayb, F. Egec and A. Sabanci. 2006. Noise exposed of the operators of combine harvesters with and without a cab. *Applied Ergonomics* 37(6):749-756.
58. Tichauer, E. 1967. Ergonomics: The state of the art. *American Industrial Hygiene Association Journal* 28(2):105-116.
59. Venkatesh, B., K. Adalarasua and R. Regulapati. 2009. Comparing dynamic and stationary standing postures in an assembly task. *International Journal of Industrial Ergonomics* 30(5):649-654.
60. Venkatesh Balasubramanian BE, PhD and Srinivasan Jayaraman BE, MTecha, 2009, Surface EMG based muscle activity analysis for aerobic cyclist 13(1):34-42.
61. Visser, B., E. Korte, I. van der Kraan and P. Kuijer. 2000. The Effect of Arm and Wrist Supports on the load of the upper extremity during VDU work. *Clinical Biomechanics* 15(1):S35-S38.
62. Wang, X., B. Lebreton-Gadegbeku and L. Bouzon. 2004. Biomechanical evaluation of the

comfort of automobile clutch pedal operation. *International Journal of Industrial Ergonomics* 34(3):209 - 221.

63. Wang, X., J. P. Verriest, B. Lebreton-Gadegbeku, Y. Tessier and J. Trasbot. 2000. Experimental investigation and biomechanical analysis of lower limb movements for clutch pedal operation. *ERGONOMICS* 43(9):1405-1429.
64. Williams, W., L. Forby-Atkinson, S. Purdy, and G. Gartshore. 2002. Hearing loss and the farming community. *Journal of Occupational Health and Safety* 18(2):181-186.
65. Wojtyra, M. 1999. Dynamical simulation of human walking. *Proceedings of Tenth World Congress on the Theory of Machines and Mechanisms*. Oulu, Finland, pp.1853-1858.
66. Zajac, F. E. 1989. Muscle and tendon: properties, models, scaling, and application to biomechanics and motor control. *Critical Reviews in Biomedical Engineering* 17(4):359 - 411.
67. 강창용. 2004. 농기계사고의 경제·사회적 비용 추계. *농촌경제* 27(1):1-20.
68. 구상, 김호용. 1998. 차량의 실내공간 구성요소의 고찰. *대구효성가톨릭대학교 연구논문집* 57(2):263-270.
69. 권오채, 이상기, 조영석, 박정철, 정기효, 유희천, 한성호. 2007. 천장 크레인 운전 작업부하 평가모델 개발. *대한인간공학회* 26(2):45-59.
70. 기도형, 박기현. 2005. 작업 자세 평가 기법 OWAS, RULA, REBA 비교. *한국안전학회지* 2(2):127-132.
71. 김관수, 박창근, 김경욱, 김병갑. 2006. 트랙터, 콤바인, 이앙기의 수요함수 추정. *바이오시스 템공학* 31(3):194-202.
72. 김규상, 홍창우, 이동경. 2008. 피혁제조 공정 중 토글 작업에서 요통과 관련된 요추 부하의

생체역학적 분석과 개선 방안. 한국산업위생학회지 18(3):239-247

73. 김대철, 정충길, 남요상, 한중수, 강영선. 2007. 콤바인 캐빈소음저감 연구-전달경로부분의 개선. 한국농업기계학회 2007 하계 학술대회 논문집 12(2):89-95.
74. 김상헌, 제임스 엠 그레고리, 신범수. 2004. 콤바인 최적화 모델-산업과 교육연계 프로그램 농업과학연구 15:79-84.
75. 김영진, 임대섭, 이상식, 문정환. 2008. 콤바인 작업의 인간공학적 분석. 한국농업기계학회 동계학술대회 논문집 13(1):60-64.
76. 김유창. 1995. 자동차 브레이크 페달 배치의 인간공학적 설계. 한국산업안전기술지 10(3):106-109.
77. 김유창, 정현욱, 장성록. 2005. 정적인 자세에서 근전도를 이용한 목 근육의 작업부하 평가. 한국안전학회지 20(4):148-153
78. 김재정, 하용수, 김용철. 1997. 그림자 계산을 이용한 운전자의 시계성 해석. 한국자동차공학회논문집 5(5):123-131.
79. 김정훈, 박동운, 이정한, 김명규, 유완석. 2002. 시트 진동을 고려한 차량의 승차감 분석. 한국자동차공학회 춘추계 학술대회 논문집 993-938.
80. 김철수, 김기동, 조기현, 이정택, 김진현. 2003. 콤바인 곡물 포대 자동이송장치 개발. 한국 농업기계학회지 28(6):491-496.
81. 김충련. 1996. SAS라는 통계상자. 데이터리서치.
82. 김학주, 김병갑, 신승엽, 이용복. 1999. 농업기계 안전사고실태 조사연구. 한국농업기계학회 동계 학술대회 논문집 4(1):158-166.
83. 김호중, 박영준, 심성보, 김경옥. 2007. 콤바인 전처리부의 소음 분석과 감소 방안. 바이오시

스텝공학 32(3):153-159.

84. 노동부. 2003. 산업재해 통계.
85. 농림부. 2008. 농림업 주요통계.
86. 농림부. 2006. 농업기계 보유현황 6-9.
87. 농업진흥청 국립농업과학원. 2008. 농업기계 안전사고 실태.
88. 동양물산기업(주). 2004. 사이버홍보실.
89. 류관희. 2004. 트랙터공학. 문운당.
90. 류태범, 신승우, 유희천. 2004. 자동차 내장 설계의 정량적 시계성 평가 시스템 개발. 한국경영과학회 춘계학술대회 논문집 659-662.
91. 류태범, 정인준, 유희천, 김광재. 2003. 가상환경상의 인간공학적 제품 설계를 위한 인체 모델군 생성기법 개발 및 적용. 한국산업공학회지, 16:144-148.
92. 문용균, 송유환, 신기영, 이상식, 최창현, 문정환. 2007. 콤바인 원격 모니터링을 위한 게이트웨이 설계 및 개발. 바이오시스템공학 32(3):197-205.
93. 박국무, 류태범, 기도형, 정민근. 2006. 인간공학적 작업부하 평가방법을 이용한 근골격계 부담작업 판정기준의 정확성 평가. 대한인간공학회지 25(2):119-123.
94. 박장운, 정기효, 이원섭, 강병길, 엄주호, 이정효, 박세권, 유희천. Digital Human Simulation을 통한 인간공학적 헬리콥터 조종실 설계 평가 방법 개발. 대한인간공학회 학술대회논문집 271-275.
95. 박재희, 광원택. 2006. 근골격계 부담작업 평가에서 개별장면의 대표값들과 전문가판정 결과 간의 비교. 대한인간공학회지 25(2):205-210.

96. 서승록, 우승완. 2000. 근전도분석에 의한 VDT작업의 누적외상에 관한 연구. 경영과학연구 9:1-12.
97. 성내경. 1997. 실험설계와 분석. 자유아카데미.
98. 소비자안전본부 생활안전팀. 2009. 안전취약 계층 보호를 위한 농업기계 안전실태 조사.
99. 손 권, 이희태. 1996. 인체 모델을 이용한 중장비 운전실 설계용 CAD 프로그램. 대한기계학회논문집 20(11):3525-3537.
100. 송도의. 2003. 제품하역기 운전실의 인간공학적 설계에 관한 연구. 한국경영과학회 학술대회 논문집 1:87-91.
101. 신문균, 박기중, 박경진. 2003. 후방추돌시 목상해를 고려한 승객거동해석 및 좌석설계. 한국자동차공학회논문집 7(9):182-194.
102. 신승우. 2004. 인체 모델을 이용한 자동차 내장 설계의 시계성 평가 시스템 개발. 포항공과대학교 석사학위논문.
103. 안옥선. 2001. 작목별 농작업 환경과 농업인의 작업부담에 관한 연구. 서울대학교 박사학위 논문.
104. 유동호, 김경욱, 김성대, 김재열. 1995. 농용 트랙터의 안전캡 내부 소음 감소에 관한 사례 연구. 한국자동차공학회 1995년 학술강연초록집 pp.7-108.
105. 이광석, 최창현. 2001. 콤바인 무인주행기술의 경제적 가치평가. 한국농업기계학회지 26(4):363-370.
106. 이부윤, 이현우. 2006. 시험 규격을 고려한 자동차 페달 압의 구조해석과 위상최적화. 한국마린엔지니어링학회지 30(5):562-571.

107. 이상기, 이민정, 조영석, 권오채, 박정철, 유희천, 한성호. Digital human simulation을 통한 overhead crane의 인간공학적 설계 개선 및 평가. 대한인간공학회 춘계학술대회 논문집 57-60.
108. 이상식, 문정환, 박원엽, 이충호, 이규승, 황현. 2004. 콤팩트 차체의 유압 수평제어 장치에 관한 연구. 바이오시스템공학 29(5):425-432.
109. 이상훈, 오수익, 김상범, 김현영. 2002. 승객 안전도 향상을 위한 일체형 의자 설계 최적화. 한국자동차공학회 춘계학술대회 논문집 661-667.
110. 이윤환, 신응수. 1998. 후방 충돌시 승객 안전성 향상을 위한 앞좌석 설계에 관한 연구. 대한기계학회 춘추학술대회 논문집 595-600.
111. 이장무, 염영하, 성명호, 신승훈. 1986. 차량용 시트의 설계품질 향상을 위한 안전공학 및 인간공학에 관한 연구. 자동차공학회지 8(3):55-67.
112. 이준배, 우장명. 2001. 농기계의 적정 예비품 보유를 위한 마코브 재고관리모델 분석. 농업경제연구 42(3):23-45.
113. 이진각, 손영태. 2001. 운전자의 시야를 고려한 사각 교차로의 교차각 평가에 관한 연구. 산업기술연구소논문집 20:393-398.
114. 이철희, 하영호. 2001. 헤드램프의 시계성 평가를 위한 야간도로 영상 재현 알고리즘. 한국전자공학회논문지 38(6):32-41.
115. 이호웅. 1994. 실험통계학. 선진문화사.
116. 임연웅. 2000. 디자인 인간공학. 미진사.
117. 장성록. 2001. 인간공학. 다솜출판사.
118. 장성록. 2007. Digital Human Simulation을 이용한 근골격계질환 예방에 관한 연구-조선

업을 대상으로-. 한국안전학회지 22(3):81-87.

119. 장원석, 김성민, 강승호, 김남현. 2009. 대퇴근활성에 대한 자전거 운동 시 근전도와 슬관절 각도와와의 상관관계 연구. 한국전자공학회논문지 46:77-83.
120. 장한기, 김승환, 정승태, 전석진. 2001. 안락성 향상을 위한 시트의 동특성 개선. 한국자동차공학회 추계 학술대회 논문집 730-736.
121. 전용욱, 차두원, 박범. 2001. 차량의 변속형태에 의한 페달 위치에 따른 운전자세 비교 및 감성차이 분석 연구. 한국감성과학회지 4(1):53-60.
122. 정경진, 김경익, 이찬규, 남성원. 1993. 승용차 실내의 VENTILATION에 관한 연구. 고향논집 12:117-131.
123. 정민근, 최경임, 송영웅, 이인석, 이명수, 임중호. 1997. 정비작업에 대한 인체역학적 부하 및 작업자세 평가. 대한인간공학회지. 16(3):49-60.
124. 정의승, 한성호, 최재호, 강동석, 안정희, 신용탁. 1993. 고속전철 객실의자의 인간공학적 설계를 위한 체계적 접근 방법. Journal of the Ergonomics Society of Korea 12(2):15-28
125. 정필영. 2002. 농기계 이용 실태 분석. 최고농업경영자과정 논문집 8:392-397.
126. 조휘창, 박인송, 김영은. 2004. 국내생산차량의 시트 머리구속장치 평가에 관한 연구. 한국자동차공학회논문집 12(1):99-105.
127. 채성호. 2006. OWAS수법을 이용한 경량철골벽 설치작업의 작업부하 분석. 대한건축학회 22:155-162
128. 최재호. 1999. 승용차의 시계 요소 조사 및 개선 방향. 생산기술연구소 논문집 2:19-29.
129. 최종백, 정창주, 조성인. 1995. 콤팩트 버수확 작업의 작업가능일수율 분석. 한국농업기계학회지 20(1):36-46.

130. 최종섭, Eiji Inoue. 2001. 스펙트럼 해석에 의한 자탈형 콤바인의 진동 특성 고찰. 한국농업기계학회지 26(1):11-20.
131. 최진봉, 구락조, 정명철, 박범. 2006. 다양한 인체치수에 따른 산업차량의 핸들과 페달 위치에 관한 연구. 산업경영시스템학회지 29(4):1-7.
132. 최창현, 김용주, 김종혁, 문정환. 2007. 콤바인 예취부 고장진단을 위한 예취 칼날부의 진단 시스템 개발(1)-진동 및 부하 신호 분석-. 바이오시스템공학 32(3): 190-196.
133. 통계청. 2008. 연령별 농가인구.
134. 하철원, 김종혁. 2002. 전방 십자 인대 손상 환자에서 KT 2000 슬관절계, Cybex 등속성 근력검사 및 Lysholm 점수간의 상관관계 분석. 대한슬관절학회지 14(2):173-179.
135. 한국농업기계학회. 2009. 농업기계연감.
136. 한국농촌경제연구원. 2008. Korea Agricultural Simulation Model (KAMSO).
137. 한국표준협회. 1999. 건설 중장비-운전자 좌석 치수와 요구 조건 KS B 6868.
138. 한국표준협회. 2002. 농업용 트랙터-운전자 시야 영역. 한국산업규격. KS B ISO 5721.
139. 한국표준협회. 2002. 농업용 트랙터-운전자 좌석 치수. KS B ISO 4253.
140. 한국표준협회. 2002. 농업용 트랙터-좌석벨트 고정 KS B ISO 3776.
141. 한국표준협회. 2002. 도로차량-가시력-운전자 눈위치에 대한 아일립스의 설정 방법. 한국산업규격 KS R ISO 4513.
142. 한국표준협회. 2002. 승용차-운전자의 직접 시계 시험. 한국산업규격. KS R ISO 7397.

143. 한국표준협회. 2003. 건설 기계용 운전석. 한국산업규격 KS B 6839.
144. 한국표준협회. 2003. 토공기계-감시기와 후사경의 시야범위. 한국산업규격 KS B ISO 14401.
145. 한국표준협회. 2003. 토공기계-운전자 시계. 한국산업규격 KS F ISO 5006.
146. 한국표준협회. 2004. 인간공학적 설계를 위한 인체 측정. 한국산업규격 KS A 7004.
147. 한국표준협회. 2004. 토공기계-치수 및 기호의 정의. 한국산업규격. KS B ISO 6746 1.
148. 한국표준협회. 2005. 5차 인체 치수조사. Size Korea.
149. 한국표준협회. 2005. 토공기계, 트랙터와 농업 및 임업용 기계-좌석 기준점. 한국산업규격. KS B ISO 5353.
150. 황성만, 이승기, 권순홍, 유선대, 2000, 충남서부지역의 콤바인 이용 및 구입 성향조사, 자원과학연구논문집 8.

부록 1

콤바인 작업 안전 지침서

목차

1. 콤바인 작업 시 안전과 건강 지키기
2. 콤바인 작업 할 때 피로한데 무엇이 문제인가요? 그리고 어떻게 하는 것이 좋은가요?
 - ① 작업 공간
 - ② 작업 자세
 - ③ 시계성
 - ④ 콘트롤 박스 (조작부)
3. 작업 중 피로하면 할 수 있는 운동은 없을까요?
4. 하루 작업 중 얼마나 쉬어야 피로가 덜 쌓일까요?

1. 콤바인 작업 시 안전과 건강 지키기



콤바인 작업 할 때나 콤바인 작업 후에 어깨, 팔, 다리 등이 쭈시고 아프셨죠? 원래 아픈 부위였다고요? 아닙니다! 근골격계 질환일 가능성도 있습니다. 같은 작업 동작을 반복하거나 무거운 물체를 계속 들거나 또는 불편한 자세로 작업을 계속 하게 되면 근육, 신경, 관절 등에 통증이 오는데, 이 통증이 지속되면 근골격계 질환의 원인이 될 수도 있습니다. 콤바인 작업

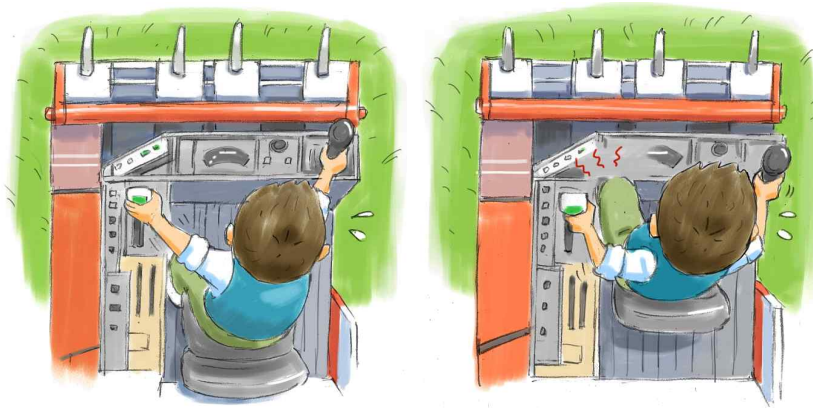
할 때도 한 가지 자세로 오랜 시간 작업을 하고, 불편한 자세로 작업을 하게 되어 근골격계 질환의 발병 가능성이 있습니다. 하지만, 작업 자세와 작업환경에 조금만 신경을 쓰게 되면 좀 더 편하게 일을 할 수도 있습니다. 자! 그럼 어떻게 하면 근골격계 질환을 예방할 수 있는지 알아보도록 합시다.

우선 콤바인 작업 공간의 크기가 어떠한지 알아보고, 둘째, 근골격계 질환에서 탈출할 수 있는 작업 자세는 어떠한 자세인지 알아보겠습니다. 그리고 콤바인 작업 할 때, 예취날을 보기 위해 많이 힘드셨죠? 그 이유를 알아보고, 어떻게 하는 것이 바람직한지도 알아보겠습니다. 넷째, 탈곡 및 예취 레버, 주변속 레버, 각종 스위치 등이 있는 콘트롤 박스에 대해 알아보도록 하겠습니다. 마지막으로 작업하는 동안 얼마나 쉬는 시간을 가져야 하는 지에 대한 계산법과 쉬는 시간에 활용할 수 있는 맨손체조법에 대해서도 설명해 드리겠습니다.

2. 콤바인 작업 할 때 피로한데 무엇이 문제인가요? 그리고 어떻게 하는 것이 좋은가요?

① 작업 공간

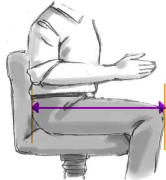
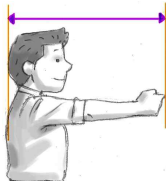
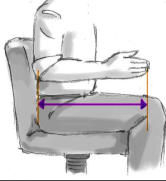
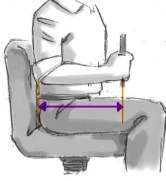
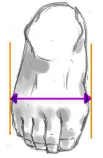
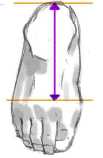
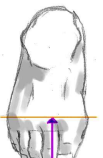

- 작업 연령과 작업공간의 관계
 - 우리나라에서 콤바인을 사용하는 주 사용 층은 40~60代의 남성 입니다.
 - 이 사람들의 신체 사이즈는 우리나라 성인 남성보다 약 1.6% 작습니다.
(출처: Size Korea)
 - 작은 사람이 너무 큰 작업공간에서 작업을 하게 되면 불편한 작업 자세를 취하게 됩니다.


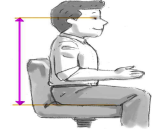
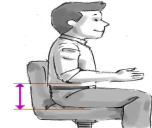
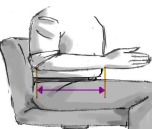
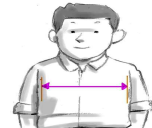
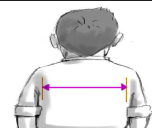
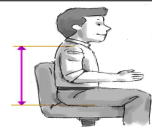


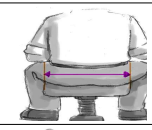
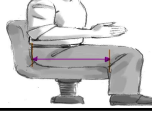


- 향후 개선 방향
 - 연령에 따라 인체 치수가 달라집니다.
 - 작업공간의 크기도 작업자의 연령을 고려하여 인체 치수에 맞게 설계가 되어야 합니다.
 - 작업공간의 크기를 농업인 인체 치수에 맞게 조절하는 것은 큰 옷을 줄이고, 작은 옷을 늘리는 것과 같은 이치입니다.



표 A-2 대한민국 남성의 40~69세의 인체 측정치수 (단위 : mm)

설계 시 고려되는 부분	인체 치수 항목	평균 (표준편차)	최대 최소값
조작부의 다리 공간	 앞은 엉덩이 수평 길이	558.35 (±21.17)	452 ~ 660
	 벽면 앞으로 뻗은 주먹 수평 길이	689.85 (±41.33)	558 ~ 868
조작부 위치 및 공간	 팔꿈치 손끝 수평 길이	441.41 (±18.43)	376 ~ 502
	 팔꿈치 주먹 수평 길이	319.96 (±15.79)	256 ~ 410
	 발너비	100.54 (±4.9)	86 ~ 138
브레이크 페달의 위치와 크기를 결정	 발중심점하축 길이	172.44 (±7.43)	150 ~ 197
	 발중심점상축 길이	73.25 (±5.51)	56 ~ 93
	 발직선 길이	250.14 (±10.27)	222 ~ 286

설계시 고려되는 부분	인체 치수 항목	평균 (표준편차)	최대 최소값
조작석에 탑승시 천정높이	 앞은 키	900.57 (±33.53)	774 ~ 1004
조작성에 탑승시 높이(시야)	 앞은 눈높이	787.16 (±32.16)	666 ~ 896
의자 팔 받침대 높이 및 길이	 앞은 팔꿈치 높이	256.06 (±24.21)	155 ~ 342
	 아래팔 수평 길이	261.52 (±12.98)	214 ~ 307
의자 등 받침대 높이 및 넓이	 가슴너비	310.72 (±20.91)	247 ~ 378
	 겨드랑이 벽 사이길이	397.55 (±26.5)	308 ~ 482
의자 높이	 앞은 어깨 높이	1172 (±587.73)	27.43 ~ 671
	 앞은 무릎 높이	495.44 (±22.74)	419 ~ 587
의자 넓이	 앞은 오금 높이	386.62 (±20.57)	320 ~ 464
	 앞은 엉덩이 너비	342.84 (±20.26)	284 ~ 413
의자 넓이	 앞은 엉덩이 오금 수평 길이	458.8 (±26.16)	360 ~ 560

[인체 치수 출처: Size Korea]

② 작업 자세

다음은 예취 작업동안 어떠한 자세가 여러분들을 불편하게 만들었는지 알아보고(근골격계 질환 유발 가능성이 있는 작업 자세), 개선 방향을 제시했습니다. 예취 작업을 위한 준비 자세, 예취 작업 중 직진 자세, 예취 작업 중 방향 전환 자세, 탈곡 준비 자세, 오거 작동 자세로 나누어 살펴보도록 하겠습니다.

■ 예취 작업을 위한 준비 자세

- 근골격계 질환 유발 가능성이 있는 작업 자세
 - 일어서서 작업을 하게 되면, 허리를 깊게 숙이거나 비트는 자세로 인해 허리통증을 유발할 수 있습니다.
 - 또한, 시동을 켜기 위해 목 또는 허리를 과도하게 굽히는데, 이는 목 근육에 통증을 일으킬 수 있고, 신체 움직임을 둔하게 할 수 있습니다.



- 권고사항
 - 예취 작업 준비 시에 가능한 좌석에 앉아서 하시기 바랍니다.
 - 작업 전에 의자 높이와 앞뒤 간격을 조절하여 분초간, 예취 레버, 변속 레버, 계기판, 반송부의 시야를 확보하는 것이 중요합니다.



■ 예취 작업 중 직진 자세

- 근골격계 질환 유발 가능성이 있는 작업 자세
 - 예취 작업에서 분초간을 보기 위해 목을 반복적 또는 지속적으로 숙이게 되는데, 이는 목 근육 통증과 움직임 둔화시킬 수 있습니다.
 - 또한, 작업공간이 좁아 작업 자세가 불편할 수 있는데, 불편한 자세가 오랜 시간 유지되면 불편한 인체 부위에 피로가 발생할 수 있습니다.
 - 과도한 작업 시간은 피로를 쌓이게 하는 원인입니다.
 - 레버를 당기거나 밀 때 힘이 들면, 팔, 어깨 근육 및 관절의 통증을 유발 할 수 있습니다.



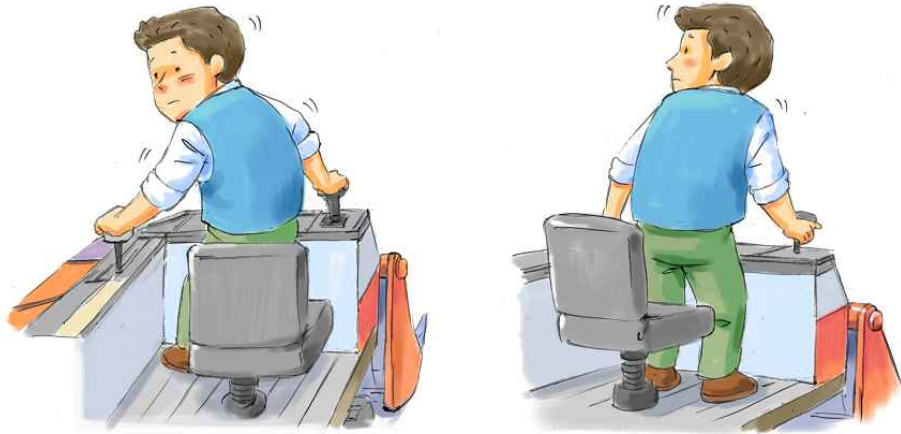
▪ 권고사항

- 수확 작업 동안에는 상체를 정면으로 향하도록 합니다.
- 수확 작업 동안 가능한 일어나서 작업 하지 않도록 합니다.
- 레버를 조작 할 때는 레버를 몸과 가까이 하여 조작합니다.



■ 예취 작업 중 방향 전환 자세

- 근골격계 질환 유발 가능성이 있는 작업 자세
 - 방향 전환 시에 후방시야를 확보하기 위하여 허리를 과도하게 비트는 자세는 허리 통증을 유발 할 수 있습니다.
 - 불편하고 움직임 없는 자세가 장시간 지속되거나 반복되면 근육에 피로가 누적됩니다.



▪ 권고사항

- 방향 전환 시에 후방 시야는 불편한 자세를 줄이기 위해 가능한 사이드 미러를 이용하여 확보합니다.
- 방향 전환 시에도 레버를 적은 힘으로 당기기 위해 가능한 운전석에 앉아서 작업을 수행합니다.



■ 탈곡 준비 자세

- 근골격계 질환 유발 가능성이 있는 작업 자세
 - 탈곡을 하기 위해 오거를 조정할 경우 허리를 숙이고 비틀게 되는데, 이는 허리통증을 유발 할 수 있습니다.
 - 이러한 불편자세를 오랫동안 유지하게 되면 근육에 피로가 누적될 수 있습니다.



- 권고사항
 - 곡물 배출 시에는 콤바인을 수확 차량 주변에 완전히 주차 시킨 후 몸을 완전하게 돌아서서 탈곡 레버를 조작합니다.



■ 오거 작동 자세

- 근골격계 질환 유발 가능성이 있는 작업 자세
 - 오거의 제어 장치들이 의자 뒤쪽에 있으므로 허리가 비틀리고 숙여지는데, 이 자세는 허리통증의 원인이 될 수 있습니다.
 - 의자로 인해 팔을 멀리 뻗게 되는데, 어깨, 목, 허리, 무릎, 발에 부담이 될 수 있습니다.
 - 이러한 불편한 자세가 반복되면 근육에 피로가 누적될 수 있습니다.



- 권고사항
 - 오거 레버 조작과 다른 여러 작업을 가능한 동시에 수행하지 않습니다.
 - 오거 작업은 몸을 완전히 돌아서서 조작해야 합니다.
 - 오거 레버와 최대한 가까이 접근하여 작업을 수행합니다.



③ 시계성

시계성이란 콤바인을 작업할 때 주시하여야 할 부분들이 시야에 정확히 들어오는 정도를 말합니다. 운전자는 대부분의 작업 정보를 눈을 통해 인식하기 때문에 시계성 확보는 굉장히 중요합니다. 거울과 후방 유리창을 이용하여 시계성을 확보할 수 있고, 야간작업의 경우에는 라이트를 이용하여 시계성을 확보할 수 있습니다. 그럼 시계성을 확보할 수 있는 라이트와 거울, 그리고 후방 유리창의 크기가 각 제조사별로 어떻게 다른지 표 A-2에서 볼 수 있습니다.

표 A-2 콤바인 제조사별 라이트와 거울의 개수, 후방 유리창 비율

	라이트	거울	후방 유리창 비율
국내 T社	4개	1개	58%
국내 K社	6개	2개	74%
국외 Y社	4개	2개	74%
국외 I社	5개	4개	84%
국외 K社	6개	2개	88%
국외 M社	3개	2개	74%
평균	4.7개	2.2개	75.3%

*후방 유리창 비율 : 전체 후방 면적 중 유리창 면적이 차지하는 비율

수확작업 시 콤바인의 시야 확보가 필수적인 분초간, 예취 레버, 변속 레버, 계기판, 반송부를 작업자의 시야 확보에 필요한 영역(뷰포인트)으로 선정하였을 때 작업 자세에 따라 잘 보이는 정도가 달라집니다. 분초간, 예취 레버, 변속 레버, 계기판, 반송부의 시야를 확보 할 경우, 어떤 자세가 시야 확보에 유리한지 알아보겠습니다.



분초간 시야 확보 시 15° 기울인 자세가 가장 유리합니다.



에취레버 시야 확보 시 앉아서 15° 기울인 자세가 가장 유리합니다.



주변속레버 시야 확보 시 똑바로 앉은 자세가 가장 유리합니다.



계기판 시야 확보 시 앉아서 15° 기울인 자세가 가장 유리합니다.



반송부 시야 확보 시 앉아서서 15° 기울인 자세가 가장 유리합니다.

- 요약

시야 확보를 위해 상체를 15° 이상 기울이면 근육에 무리가 있을 수도 있습니다. 분초간이나 예취레버, 계기판, 반송부의 경우 15° 정도만 기울여도 잘 보이므로 그 이상 기울이지 마시기 바랍니다.

④ 콘트롤 박스(조작부)

콘트롤 박스에 있는 버튼들은 다양한 환경에서 작업을 편리하고 신속하게 할 수 있도록 도와주는 기능을 합니다. 하지만, 대부분 단추의 기능에 관심조차 없는 경우가 많을 것입니다. 왜냐하면 습관적으로 작동을 하는 경우도 있고, 버튼이 너무 복잡하게 배열되어 있기 때문일 것입니다. 콘트롤 박스의 단추와 레버 및 기타 구성품의 배열과 디자인만 적절하게 되어 있더라도 작업의 속도와 일의 능률을 향상 시킬 수 있습니다.

그렇다면 어떻게 배치하고 디자인을 하는 것이 좋은지 살펴보도록 하겠습니다.

- 제어버튼이 많을 경우, 가능한 같은 기능을 하는 버튼끼리 그룹화하게 되면 한 눈에 보기도 쉽고, 기억하기도 쉽습니다.
- 또한, 그림으로 제어 단추의 기능을 표기하게 되면, 언어에 상관없이 버튼 기능을 쉽게 식별할 수 있습니다.



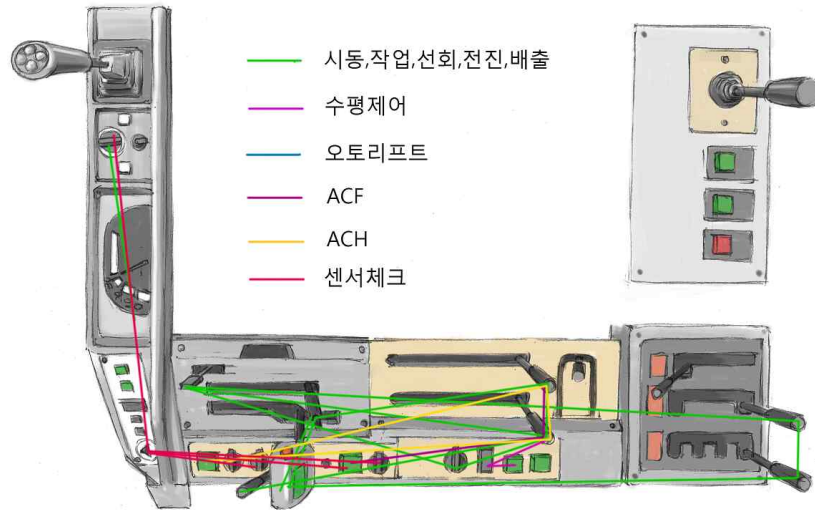
<바람직한 조작부 적용 사례>

- 안내 글자의 크기는 가로:세로의 비율이 1.2:1로 되도록 하고, 숫자는 직선으로 표기하여 한눈에 알아보기 쉽도록 합니다.
- 손가락의 간섭거리를 고려하여 버튼 사이의 거리를 25~30mm로 유지하는 것이 바람직합니다.
- 숫자 4의 경우 꼭지점은 막히게 표기하고 안내숫자의 가로와 세로 비율은 2:3으로 합니다.



<인간공학적 설계의 예시>

- 버튼과 레버 및 기타 구성품 사이의 작업동선을 가능한 최소화합니다.
- 레버와 제어 버튼의 작업관련 정도와 동선을 파악하고 동작시간을 예측하여 동선을 가장 짧게 배열합니다.



3. 작업 중 피로하면 할 수 있는 운동은 없을까요?

콤파인 작업 중 아픈 부위가 있으면 아래와 같이 의자에 앉아 잠시 동안 운동해 보세요. 통증 부위의 운동을 매일 10분씩 꾸준히 해 주시면 아픈 부위의 통증이 덜 하실 겁니다.

[목]



허리를 반듯하게 펴고 목을 천천히 앞으로
목을 뒤로 젖힙니다. 숙입니다.



오른쪽으로 목을 한
바퀴 돌립니다.



앞의 동작을 반복하며
왼쪽으로도 목을
한바퀴 돌립니다.



※ 동작을 반복 실시한다.

[팔]



각지를 끼고 5초간 두 각지를 낀 채 팔을 팔을 앞으로 뻗습니다. 안으로 굽힙니다.



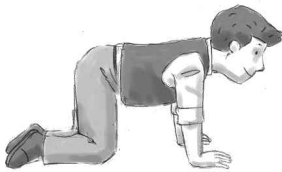
각지 낀 두 팔을 5초간 위로 뻗습니다.



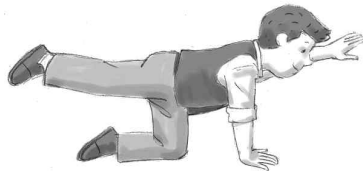
바른 자세를 취한 후 어깨위로 손을 올려 손목을 4회 털어줍니다.
※ 동작을 반복 실시한다.



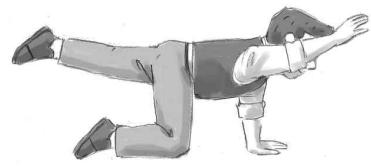
[허리]



엎드린 자세에서 척추를 곧게 유지하며 무릎은 골반 아래, 손목은 어깨 아래 위치시킵니다.



가볍게 엎갈린 쪽 팔, 다리를 들어 올립니다.



5초간 자세를 유지하고 천천히 반대쪽 팔, 다리로 변경합니다.

※ 동작을 10회 반복 실시한다.

[무릎]



두 손으로 오른쪽 무릎을 감싸 오른쪽다리를 굽혀 들었다가 내립니다.



좌측 동작을 10회 반복하고 바른 자세를 취한다.



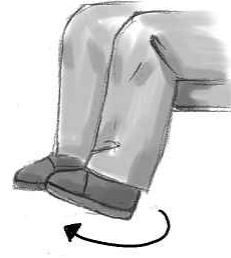
천천히 오른쪽 다리를 펴면서 올렸다가 내리기를 10회 반복합니다.

※ 같은 방법으로 왼쪽다리를 실시한다.

[발목]



허리를 반듯하게 펴고 의자에 앉아 왼발을 천천히 오른쪽으로 돌립니다.



반대로 왼발을 천천히 왼쪽으로 돌립니다.

※ 오른발 6회, 왼발 6회 반복

*참조 :건강길라잡이(www.hp.go.kr),자세건강증진 연구소(www.iposture.net)

4. 하루 작업 중 얼마나 쉬어야 피로가 덜 쌓일까요?

- 권장 휴식 시간

자신의 작업 시간을 체계적으로 기록하여 작업한 시간만큼 점수화 합니다. 쉬는 시간은 평균 60분 작업에 10분 휴식을 기준으로 하며, 총 작업시간점수에서 쉬는 시간 점수를 빼줍니다.

<이용방법>

- 본인의 작업 시간을 분 단위로 적어주시기 바랍니다. (70분, 120분 등)
- 점수는 10분당 1점으로 체크합니다.
- 매일 체크한 점수를 모두 더하여 한계 점수와 비교 합니다.

	월	화	수	목	금	토	일
작업 시간							
점수							
작업 시간							
점수							
작업 시간							
점수							
...							

작업 시간	한계 점수
1 시간 이하 작업	6 점
1시간 이상 2 시간 이하 작업	11 점
2시간 이상 3 시간 이하 작업	16 점
3시간 이상 4 시간 이하 작업	21 점
4시간 이상 5 시간 이하 작업	26 점
5시간 이상 6 시간 이하 작업	31 점
6시간 이상 7 시간 이하 작업	36 점
7시간 이상 8 시간 이하 작업	41 점
8시간 이상 9 시간 이하 작업	46 점
9시간 이상 10 시간 이하 작업	51 점
10시간 이상 11 시간 이하 작업	56 점
11시간 이상 12 시간 이하 작업	61 점

예) 9월 24일 **화요일** 홍길동 씨는 오늘
아침 6시부터 오후 5시까지 수확 작업을
진행 하였습니다.

- ① 6시~8시(작업), 8시~9시(새참),
9시~11시(작업), 11시~12시(점심),
12시~3시(작업), 3시~3시30분(휴식),
3시30분~5시(작업)일 경우 아래 표와 같이
시간대별 **작업시간**과, 그에 해당하는 **점수**를 기입합니다.



	월	화	수	설명
작업 시간		120분			오전 6시~8시 작업
점수		12점			120분: 12점
작업 시간		120분			오전 9시~11시 작업
점수		12점			120분: 12점
작업 시간		180분			오후 12시~3시 작업
점수		18점			180분: 18점
작업 시간		90분			오후 3시 30분~5시 작업
점수		9점			90분: 9점

② 표의 맨 하단에 **총 점수**를 계산합니다.

	월	화	수	설명
작업 시간		120분			오전 6시~8시 작업
점수		12점			120분: 12점
작업 시간		120분			오전 9시~11시 작업
점수		12점			120분: 12점
작업 시간		180분			오후 12시~3시 작업
점수		18점			180분: 18점
작업 시간		90분			오후 3시 30분~5시 작업
점수		9점			90분: 9점
총 점수		51점			

③ 매일의 작업시간 점수를 모두 더하여 각 작업시간에 해당하는 한계 점수와 비교합니다. 홍길동 씨는 6시부터 오후 5시까지 11시간(660분)의 작업을 수행 하였고 그 중 2시간 30분(150분)의 휴식시간을 가졌습니다.

④ 하루에 10시간 초과 11시간 이하 작업하므로 한계점수표에서 비교해 보았을 때 ②에서 구해진 점수 51점이 한계점수 **56점**을 초과 하지 않았으므로 홍길동씨는 적당한 휴식을 취하며 작업을 하였다고 할 수 있습니다.

작업 시간	한계 점수
6시간 초과 7 시간 이하 작업	36 점
7시간 초과 8 시간 이하 작업	41 점
8시간 초과 9 시간 이하 작업	46 점
9시간 초과 10 시간 이하 작업	51 점
10시간 초과 11 시간 이하 작업	56 점
11시간 초과 12 시간 이하 작업	61 점

- ⑤ 만약, 홍길동씨의 점수가 **57점**이 나왔다면, 한계 점수를 1점 넘겼으므로 이를 넘기지 않게 하려면 1점에 해당하는 10분의 휴식시간을 더 가지면 됩니다.

부록 2

콤바인 캐빈 최종 설계도면

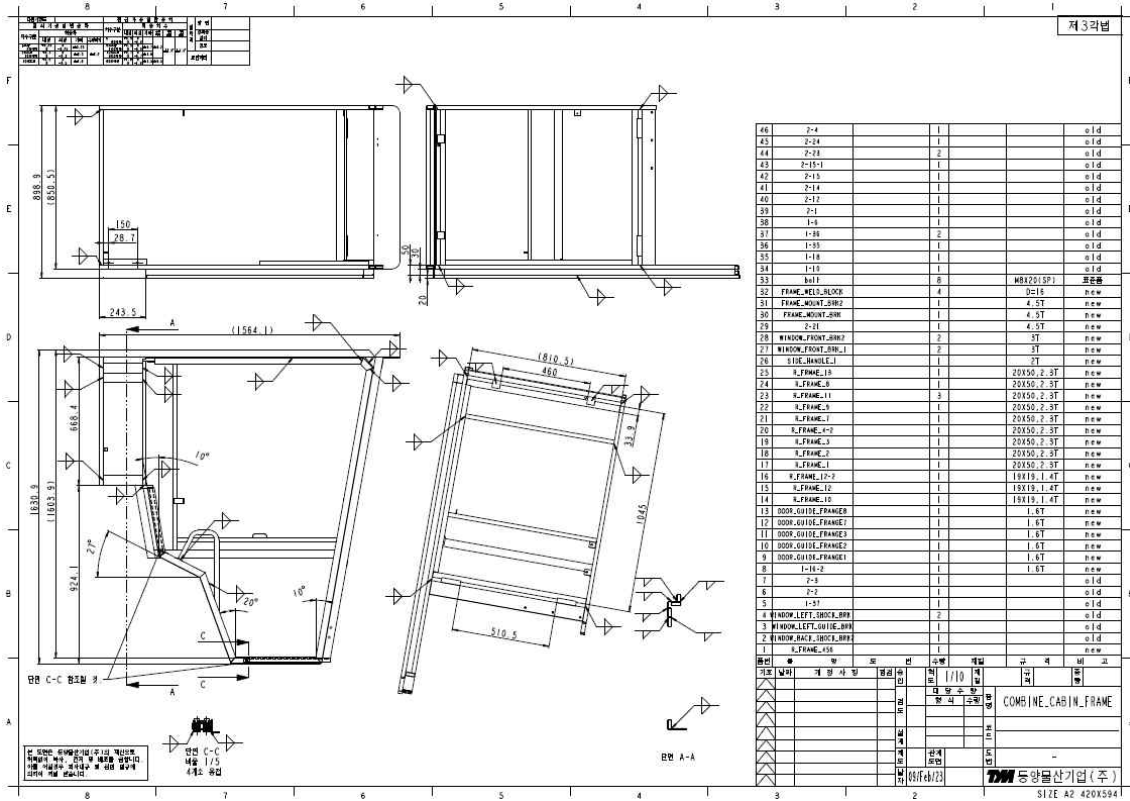


그림 B-1 캐빈 프레임 COMP 도면.

