

디지털 인체 모델을 이용한 콤바인 수확 작업의 근골격계 상해요소 분석

김영진 임용훈 이경숙 최창현 문정환

The Analysis of Risk for Musculoskeletal Injuries in Combine Harvesting Operation Using a Digital Human Model

Y. J. Kim Y. H. Rim K. S. Lee C. H. Choi J. H. Mun

Abstract

The purpose of this study is to analyze musculoskeletal injuries in combine harvesting operation using a digital human model. In order to analyze problems in combine harvesting operation, the operations were broken into 5 work processes and then we preformed 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 operating environment, as the RULA score ranged from 4 to 7. In addition, we could find two major musculoskeletal injury factors which are the standing posture with upperbody forward tilting and inappropriate location of operating levers.

Keywords : Combine operation, Musculoskeletal Injury, Digital human model, Biomechanics, Ergonomics

1. 서론

국내 농업분야에서 농업기계화는 1998년 이후 95% 이상 진행되었고, 벼농사의 기계화는 2009년을 기준으로 91% 이상의 높은 비율을 나타내고 있다(Rural Development Administration, 2009a and 2009b). 또한, 농촌진흥청 국립농업과학원에서는 농기계종합정보시스템을 구축하여 농기계 구입자금의 융자지원을 통하여 농업기계화를 촉진시키고 있는 실정이다. 그러나 국내 산업재해 통계에 따르면 농업에서의 작업재해의 발생빈도는 전체 농작업의 74% 이상을 차지하고 있으며 그 중 잘못된 농업기계의 이용에 따른 근골격계 질환의 발생빈도는 농업기계화의 촉진에 따라 높아질 것으로 예상된다(Ministry of Labor, 2006).

농기계 작업재해의 위험성이 높아짐에 따라 국내에서도 관련 연구에 대한 필요성이 증대되고 있다. 따라서 국내에서는

이와 관련하여 근골격계 질환 예방을 위한 연구를 산업안전 보건법에 포함하였으며 빠르고 간단하게 작업의 위험성을 판단할 수 있는 RULA(Rapid Upper Limb Assessment), REBA (Rapid Entire Body Assessment), OWAS(Ovako Working-posture Analysis System)등의 작업 분석 평가 도구의 사용을 권장하고 있다(KOSHA code H-30). 하지만 OWAS, REBA, RULA 등과 같은 인간공학적 체크리스트를 이용한 평가방법은 평가자에 따라 결과의 차이를 두드러지게 나타나며, 정성적 평가 방법이라는 한계점이 제시되고 있다(Park and Kwak, 2006)

정성적 분석법의 한계점을 극복하기 위하여 Chung 등 (1997)은 정비 작업자의 작업 부하 평가를 위하여 인간공학 적 체크리스트를 이용하는 평가방법 이외에 요추관절(L4/L5 joint)의 부하를 측정하였고, Kwon 등(2007)은 천장 크레인 운전 작업의 부하를 평가하기 위하여 인간공학 적 분석도구 (Jack)를 이용하여 작업자의 신체 부위별 움직임 분석하고 이

This study was supported by Technology Development Program for Agricultural and Forestry, Ministry for Agricultural, Forestry and Fisheries, Republic of Korea (S-2009-0523-200). The article was submitted for publication on 2010-04-12, reviewed on 2010-04-28, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2010-05-25. The authors are Young Jin Kim, Researcher, KSAM member, Yong Hoon Rim, Researcher, KSAM member, Kyoung Sook Lee, Researcher, KSAM member, Chang Hyoun Choi, KSAM member, Professor, and Joung Hwan Mun, KSAM member, Associate Professor, Dept. of Biomechatronics Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea. Corresponding author: J. H. Mun, Associate Professor, Dept. of Biomechatronics Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746, Korea; Tel: +82-31-299-4820; Fax: +82-31-299-4825; E-mail: <jmun@skku.ac.kr>.

를 기반으로 운전 작업의 편의성 평가모델을 개발하였다. 또한 Chang(2007)은 인체 모델링 및 시뮬레이션 기술을 이용하여 근골격계 질환에 대한 위험 요소를 최소화 하는 연구를 수행 하였으며, Chaffin(2007)은 Jack, 3DSSPP와 같은 디지털 인체 모델 프로그램의 인간공학적인 분석 및 설계의 효용성을 강조 하였다.

이러한 산업장비 및 농작업과 관련된 다양한 인간공학적인 그리고 생체역학적 접근은 농작업 및 산업장비의 편의성 증가 및 근골격계 질환의 예방에 크게 기여하고 있다. 하지만 앞서 언급한 바와 같이 국내에서 최근 농업기계화 촉진 정책에 따라 부각되고 있는 농기계 작업에서 근골격계 질환에 대한 연구는 미진한 실정이다. 특히, Choi 등(1995)에 따르면 농작물 수확에 사용되는 콤바인은 9월과 10월 사이에 중점적으로 이루어질 뿐만 아니라 기상 등의 이유로 수확 가능일은 평균 약50일로 집중되고 있다고 보고되었다. 따라서 단기간에 집중된 작업을 필요로 하는 콤바인은 1일 평균 작업 시간이 9시간이 넘는 집중 노동의 형태를 보이고 있어 타 작업에 비해 재해 발생 가능성이 매우 큰 것으로 고려되고 있다.

본 연구는 단기간에 집중노동으로 인하여 근골격계 상해의 발생 요인이 높은 콤바인 수확작업의 문제점을 진단하고 이를 통한 개선안을 도출하기 위한 사전연구로서 콤바인 수확작업의 작업 단계별 세분화 및 인간공학 체크리스트와 생체역학적 분석을 통한 평가결과를 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 콤바인 작업분석 및 조작반력(Operating reaction force) 분석

콤바인 작업분석 및 조작반력 분석은 인간공학 및 생체역학적 분석을 위한 기초데이터 확보를 위하여 실시되었다. 콤바인 작업분석에서 사용된 캠코더 촬영을 통하여 디지털 인체모델에 입력데이터로 사용될 작업자의 동작 데이터를 확보하였으며, 각 작업레버 조작 시 발생하는 조작반력 분석을 통해 디지털 인체모델의 양 손에 작용하는 외력(External force) 데이터를 획득하였다.

콤바인 수확 동작의 작업분석 및 조작반력 분석을 위해 콤바인 운전경력이 평균 11.2 ± 4.5(년)인 능숙한 농작업자 6명을 선정하여 동일 기종의 콤바인으로 수확작업을 각 7회씩 측정하였다. 실험에 사용된 콤바인(D社) 및 조작반력 분석을 위하여 사용된 장치의 세부제원은 각 표 1, 2와 같다.

콤바인 작업분석 및 조작반력 분석을 위하여 수확작업 동작을 D社에서 제시하는 작업 매뉴얼에 따라 5단계로 정의하였으며, 5단계에 대한 세부사항은 다음과 같다. 제 1단계는 준비단계로 시동을 켜고 rpm 레버를 이용하여 엔진 회전수

Table 1 Specification of the combine

Item	Specification
Model	HU7000G
Rated power/speed	68ps/2,600 rpm
No. of cutting row	5 rows
Cutting width	1,7000 mm
Maximum speed of cutting knife	1.5 m/s

Table 2 Specification of Lafayette manual muscle test system

Item	Specification
Range	0-136.1 kilograms high range / 0-22.6 kilograms low range
Accuracy	±1% both range
Resolution	0.2 kilograms high range / 0.1 kilograms low range

를 2000 rpm 이상으로 높이는 동작이다. 제 2단계는 예취단계로서 예취 칼날의 위치를 조향 레버로 조절하여 벼를 자르는 과정이다. 제 3단계는 방향전환단계로서 벼의 한쪽 면의 수확이 완료되면 다른 면의 벼를 수확하기 위하여 주변속 레버, 부변속 레버, 조향 레버를 이용하여 콤바인의 방향을 변화시키는 과정이다. 제 4단계는 탈곡단계로서 예취 과정 중 탈곡통이 가득 차면 콤바인을 수확 차량으로 후진 이동하는 과정이다. 마지막 5단계는 오거조절단계로서 오거 레버를 이용하여 탈곡통 안의 벼를 수확차량으로 배출 하는 과정이다. 이와 같은 작업의 5단계를 기준으로 다음과 같이 작업분석 및 조작반력 측정을 수행하였다.

작업분석을 위하여 2대의 캠코더를 이용한 작업자의 모습을 촬영을 하였다. 제1 캠코더를 이용하여 수확 작업 중 가장 많은 움직임이 나타나는 두 손을 측정할 수 있는 후방촬영을 실시하였고 제2 캠코더를 이용하여 전체적인 작업자의 움직임을 측정할 수 있는 측면촬영을 실시하였다. 조작반력 테스트를 위하여 표 2의 Lafayette Manual muscle test system을 각 조작레버의 작업수평(작업자가 레버를 당기는 방향에 수평이 되는 위치) 방향으로 설치하였다. 작업자는 조작 레버를 Lafayette Manual muscle장치를 부착한 상태로 작업을 수행하게 되면 Lafayette Manual muscle은 레버 작동 중 가장 높은 값의 조작반력을 측정 한다. 이를 통하여 작업자가 레버를 당기는 조작반력을 측정하였다.

나. 콤바인 작업의 인간공학 및 생체역학적 분석

콤바인 수확의 주요 5단계 동작들의 인간공학 및 생체역학적 분석을 위해서 모션캡처 장비를 이용한 운동분석을 통하여 인간공학적인 분석을 수행하였다. 또한, 운동분석 결과와 조작반력 테스트 결과를 이용하여 생체역학적 분석을 수행하였다.

인간공학적인 분석을 위하여 주로 작업부하가 많이 나타나는 상지의 문제점을 파악하기 위하여 RULA(Rapid UpperLimb Assessment) 테스트를 수행하였으며, 이를 통해 5단계의 작업 중 가장 문제가 많이 나타나는 작업을 파악하였다. RULA의 분석 방법은 작업 동작을 분석하여 1~7점의 위험 점수를 부과하여 작업의 위험 정도를 나타낼 수 있다. 그 다음으로 입식 자세로 작업이 지속되는 콤바인 작업의 특성상 문제점이 가장 많이 드러나는 요추(L4/L5)부의 생체역학적 분석을 실시하였다. 마지막으로 레버위치 등 패널의 구성에 의하여 발생하는 문제점을 추출하기 위하여 Grandjean(1980)에 의하여 제안된 편의성 테스트를 실시하여 생체역학적으로 편리하게 가동할 수 있는 각도 범위 내에서 작업을 수행하는 기여부를 판단한다. 이와 같은 편의성 테스트 결과들을 바탕으로 콤바인 작업의 근골격계 상해 위험요소를 분석하였다.

3차원 좌표 값으로 도출하기 위해 사용된 콤바인과 동일한

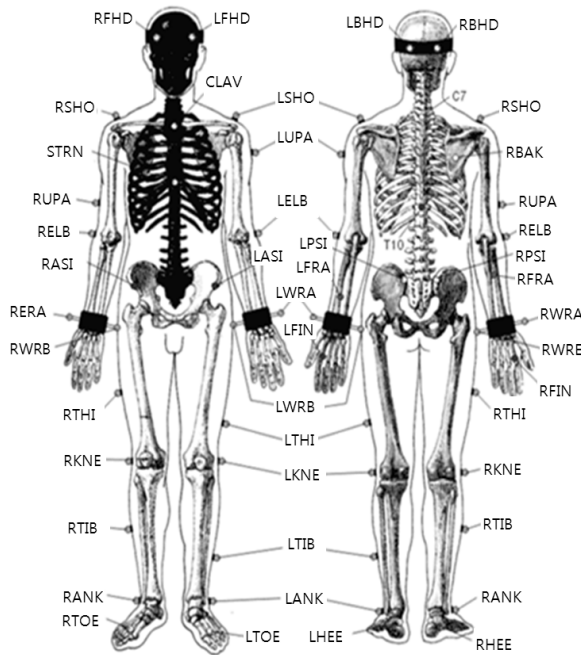


Fig. 1 The location of markers attached.

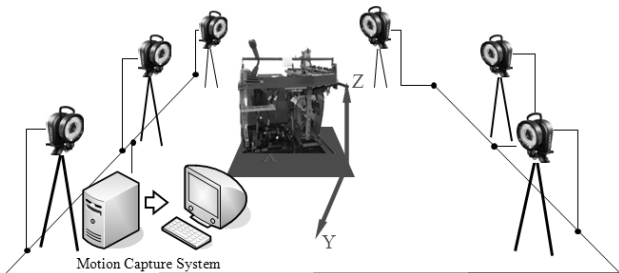


Fig. 2 Motion capture system and the combine mockup.

모양의 Mockup을 이용하여 운동 분석을 실시하였다. 운동 분석을 위하여 Vicon(社)의 Motion Capture Camera(Oxford Metrics Ltd., Oxford, England, 6대)와 데이터 수집 장치, 그리고 콤바인 Mockup을 이용하였다. 피 실험자는 모션 캡처 시스템 내에서 그림 1과 같이 해부학적 경계에 35개의 광학 마커를 붙인 후 콤바인 5단계의 동작을 수행 하였다. 피 실험자 간의 오프셋 변위차를 무시하기 위해 정적상태(Static)의 데이터로 정규화 한 후 7 Hz의 저역 4차 butterworth 필터를 이용하여 노이즈를 제거하여 35개의 좌표 값을 도출 하였다(O'Connor et al., 2007). 도출된 좌표 값을 이용하여 각 관절이 변위 각을 도출 하고 표 3의 정의(Porter and Gyi, 1998)에 따라 디지털 인체 모델의 입력 값으로 사용 하였다.

실험 중 측정된 콤바인의 조작반력과 각 관절의 변위 각은 UGS사의 상용화 솔루션인 Jack 프로그램(Version5.1)에 입력하여 시뮬레이션 하였으며, 시뮬레이션 결과를 이용하여 RULA, 요추(L4/L5)부위에 걸리는 힘과 모멘트 그리고 콤바인 수확 작업의 편의성 평가를 바탕으로 콤바인 수확 작업의 근골격계 상해 요소를 분석하였다. 특히, 요추의 힘과 모멘트 그리고 작업의 편의성 평가에서는 각 해부학적 평면(시상면, 관상면, 횡단면)을 기준으로 값을 비교 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 콤바인 작업분석 및 조작반력 분석 결과

콤바인 작업분석결과는 표 4와 같이 나타났다. 표 4에서 각 단계별로 나타난 각 실험자의 자세는 각 작업이 시작되는 최초 동작에서 포착(Capture)하였으며, 실험자간의 동작이 유사한 것으로 나타났다. 표 5는 각 작업 단계별로 사용되는 조작레버의 작업반력을 측정된 결과를 나타내고 있으며, 연구에서 사용된 콤바인의 조작력은 ISO 규격에서 제시하고 있는 조작반력의 상한선을 넘지 않는 것으로 나타나 단순 레버조작을 통한 근골격계질환의 유발 가능성은 낮은 것으로 판단된다. 하지만, 과도하게 불편한 작업자의 자세에 따라서는 규격하의 조작반력이 작업자의 기타 관절 및 근육에 피로를 유발할 수 있으므로 실험결과를 바탕으로 인간공학 및 생체역학적 작업분석을 실시하였다.

나. 콤바인 작업의 인간공학 및 생체역학적 분석결과











1) RULA 분석결과

디지털 인체 모델을 이용하여 콤바인 수확 동작에 따른 RULA의 평가 결과는 표 6과 같다. RULA의 평가 결과는 일부 작업을 제외하고 5점에서 7점 사이에 분포하고 있는 것으로 나타나 대부분의 콤바인 수확작업에서의 작업개선의 필요성이 있는 것으로 나타났다. 이중 예취작업을 제외한 준비동

Table 3 Definition of each joint angle in the digital human model (Porter and Gyi, 1998)

Item	Definition
Head Flexion	The angle between vertical and a line connecting the base of the neck and the auditory canal.
Head Lateral	Tilt of the head sagittal plane from vertical.
Head Rotation	Rotation of the head from straight forward with respect to the torso.
Upper Arm flexion	The angle between the torso long axis (connecting the center of the hips with the center of the shoulders), and the sagittal plane projection of the line connecting the acromion with the lateral epicondyle.
Upper Arm Elevation	The angle between the torso long axis and the frontal plane projection of the line connecting the acromion with the lateral epicondyle.
Humeral Rotation	The rotation about the long axis of the upper arm from the neutral posture.
Elbow included	The angle between a line from the acromion to the lateral epicondyle and a line from the ulnar styloid to the lateral epicondyle.
Forearm Twist	The deviation of the wrist from neutral about the forearm long axis.
Wrist Ulnar Deviation	The angle between the long axis of the hand and the long axis of the forearm.
Wrist Flexion	The angle between the long axis of the hand and the long axis of the forearm.
Trunk-thigh angle	The angle between a line from the acromion to the greater trochanter and a line from the lateral condyle to the greater trochanter.
Leg Splay	The rotation about the long axis of the thigh from the neutral posture
Thigh Rotation	The rotation about the long axis of the thigh from the neutral posture.
Knee included	The angle between a line from the greater trochanter to the lateral condyle and a line from the lateral malleolus and lateral condyle.
Foot Calf included	The angle between a line from the lateral condyle to the lateral malleolus and a line parallel with the foot.

Table 4 Working motions in the combine harvest operation

	Prepare	Harvest	Redirection	Thresh	Auger
Camcorder1					
Camcorder2					

작, 방향전환동작, 탈곡동작, 오거조절동작은 6명의 실험자에서 모두 5이상의 높은 점수를 나타내 빠른 작업 개선을 요구 되는 것으로 분석되었다.

2) 요추(L4/L5) 힘, 모멘트 분석 결과

그림 3-4는 작업자의 재해 중 가장 많은 부분을 차지하는 요추(Kim et al., 2002)에 작용하는 힘과 모멘트를 나타내고 있다. 이중 그림 3은 요추(L4/L5) 부위에 작용하는 힘을 압축력(Compression force)과 전후방 전단력(AP Shear force), 그리고 측방 전단력(Lateral Shear force)의 기준으로 나타내었다.

분석결과 요추부에 작용하는 압축력은 NIOSH에서 권고하는 3400 N에 비해 적은 값을 보이지만 콤바인 수확 동작에서 가장 큰 비중을 차지하였으며, 전후방 전단력과 측방 전단력은 NIOSH에서 권고하는 1000 N에 비해 적은 값을 나타냈다(NIOSH, 1981).

요추부의 압축력과 전/후방 전단력은 각각 준비동작(2418.8

± 88.9 ; 612.9 ± 53.9), 방향전환동작(1784.7 ± 296.2 ; 441.8 ± 123.3)과 오거조절동작(1349.1 ± 222.0 ; 238.7 ± 92.7)에서 기타 작업에 비하여 큰 값으로 나타났으며, 관절 모멘트 역시 준비동작, 방향전환과 오거조절동작에서 기타 작업에 비하여 큰 값으로 나타났다. 특히 관절 모멘트에서는 상체의 굽힘 운동에 따라 발생하는 시상면상의 모멘트 값이 큰 것으로 나타났다. 이러한 문제점은 예취 날의 시야확보를 위한 입식 자세에서 과도한 굽힘 운동에 의해 발생하는 것으로 판단된다.

3) 편의성 분석 결과

편의성 테스트는 Grandjean(1980)에 제안된 편의성 분석 방법을 이용하여 수행되었다. 편의성 분석방법은 인체의 각 관절별로 편의성이 유지되는 최저 각도와 최고 각도를 이용하는 방법으로 기준영역인 최저 각도와 최고 각도 내에 작업 자세가 포함되면 편의성이 있으며, 기준영역에 포함되지 않을 경우 편의성이 없는 것으로 판단한다. 6명의 작업에 대한

Table 5 Reaction forces in each lever operation (Unit: N)

Operating process	Lever type	Operating reaction forces Mean (\pm SD)	ISO* standard (Maximum operating reaction force)
Prepare	RPM Lever	55.9 (\pm 3.1)	230
Harvest	Harvest Lever	39.2 (\pm 3.84)	230
Redirection	Main-Shift Lever	68.6 (\pm 5.26)	230
	Sub-Shift Lever	103.9 (\pm 14.8)	230
	Steering Lever	51.1 (\pm 2.9)	100
Thresh	Thresh Lever	103.9 (\pm 12.26)	230
Auger	Auger Lever	15.1 (\pm 1.36)	20

*ISO Standard 5010

Table 6 Results of RULA assessment of combine harvest operation

	RULA (score)					
	Subject 1	Subject 2	Subject 3	Subject 4	Subject 5	Subject 6
Prepare	6	6	6	6	6	6
Harvest	3	6	4	6	4	6
Redirection	5	4	5	5	5	4
Thresh	6	7	7	6	6	6
Auger	6	6	6	6	6	7

** RULA score and action.

- 1-2: Posture acceptable if not maintained or long periods.
- 3-4: Further investigation needed. Changes may be required.
- 5-6: Investigation and changes are required soon.
- 7: Investigation and changes are required immediately.

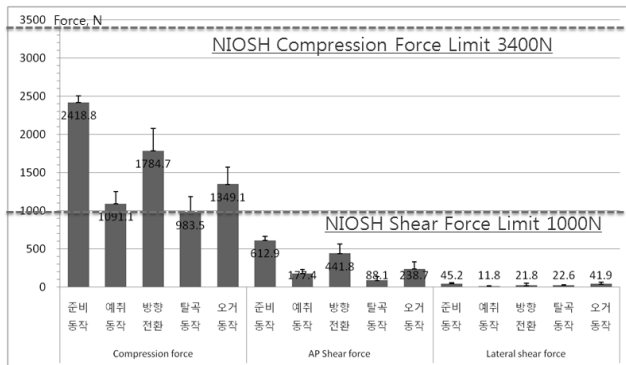


Fig. 3 Lumbar (L4/L5) force.

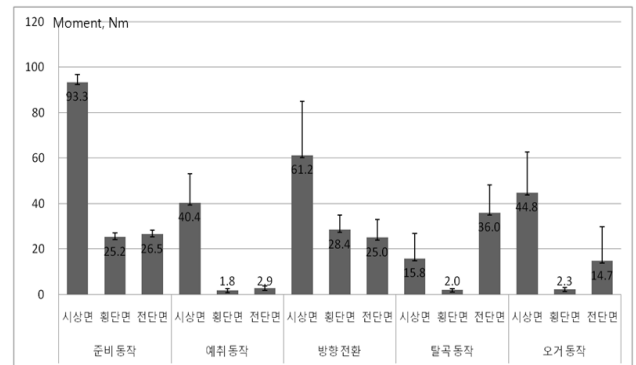


Fig. 4 Lumbar (L4/L5) moment.

편의성 평가 결과로 목 굽힘은 준비 동작과 오거 동작에서 불편함을 나타냈다. 준비 동작에서는 입식 상태로 왼쪽 허벅지 부위에 위치한 rpm 레버를 조작하기 위하여 목을 과도하게 굽혔고, 오거 동작에서는 상단에 위치한 오거를 보기위해 목을 펴는 동작을 확인하였다. 오른팔 굽힘·펴는 방향 전환 단계에서 불편함을 나타냈다.

왼팔 굽힘·펴는 경우 예취 동작, 방향 전환, 탈곡 동작 오거 동작에서 불편함을 보이고 있다. 예취 동작과, 방향 전환, 탈곡 동작 시 작업자의 왼쪽 팔은 주변속 레버와 부변속 레버를 조작하며 전방 시야의 확보를 위하여 입식 상태로 몸을 앞으로 숙여 작업 한다. 이러한 작업자세로 인하여 주/부변속 레버가 작업자 뒤로 위치하게 되어 과도하게 팔이 굽혀지는

것을 확인 하였다. 오거 동작에서는 작업자와 오거 레버와의 간격이 멀어 왼쪽 팔이 기준 이상으로 펴지고 있었다. 오른쪽 팔꿈치 굽힘 각도는 오거 동작에서 불편함을 보이고 있다. 입식 자세로 작업하는 오거 작업은 작업자에 비해 탈곡 레버가 너무 낮게 위치하여 팔꿈치가 과도하게 펴지고 있다. 왼쪽 팔꿈치 굽힘은 작업자에 차이가 있지만 탈곡을 제외한 모든 동작에서 불편함을 보이고 있다. 주/부변속 레버와 오거 레버를 조작할 때 왼쪽 팔꿈치가 기준 이상으로 굽혀지는 것을 확인 하였다. 몸과 대퇴부, 양쪽 무릎 굽힘은 전 동작에서 모든 작업자가 불편을 느끼고 있다. 이는 편의성의 기준이 낮아서 조작할 때 편안함을 느끼게 되어 있다. 하지만 현재 콤바인 수확 작업은 모든 동작이 입식 작업을 함으로써 하지 대부분에

Table 7 Results of comfort assessment of combine harvesting motion

Joint position	Result of comfort assessment											
	Standard		Prepare		Harvest		Redirection		Thresh		Auger	
	Min	Max	Com.	Dis.	Com.	Dis.	Com.	Dis.	Com.	Dis.	Com.	Dis.
Head Flexion	-10	26		○	○			○		○		○
Upper Right Arm flexion	19	75	○		○			□	○		○	
Upper Left Arm flexion	19	75	○			□		○		○		△
Right Elbow included	86	164	○		○			○		○		□
Left Elbow included	86	164	△			□	△			○		□
Trunk-Right thigh angle	90	115		○	○			○		○		○
Trunk-Left thigh angle	90	115		○	○			○		○		○
Right Knee included	99	138		○	○			○		○		○
Left Knee included	99	138		○	○			○		○		○
Right Foot Calf included	80	113	○		○			○		○		○
Left Foot Calf included	80	113		○	○			○		○		○

**Standard of Mark

Com. : Comfort , Dis. : Discomfort

○: 6 subject, □: 4~5 subject, △: 3 subject

Table 8 Musculoskeletal injury factors in combine harvest operation

Joint position	Discomfort	Injury elements
Head and Lumbar	Prepare	Standing position rpm lever (low position)
	Auger	Auger lever (high position)
Upper Right Arm	Redirection	Standing position (for real view) Steering lever position
Upper Left Arm	Harvest	Standing position (for Devider view) Shift lever position
	Redirection	Standing position (for real view)
	Thresh	Standing position (for real view)
	Auger	Auger lever position
Right Elbow	Auger	Thresh lever position (low position)
Left Elbow	Prepare	Standing position rpm lever (low position)
	Harvest	Standing position (for Devider view) Shift lever position
	Redirection	Standing position (for real view) Shift lever position
	Auger	Auger lever position
Trunk-Right/Left thigh angle	All	Standing position
	All	Standing position
Right/Left Knee	All	Standing position
	All	Standing position
Right Foot Calf	Thresh	Body rotation (for real view)
Left Foot Calf	Prepare	rpm lever (low position)

서 불편함이 발생한 것으로 판단된다. 오른쪽 발 굽힘은 탈곡 동작에서 모든 작업자에게서 불편함을 보인다. 후방 시야 확보를 위해 몸을 왼쪽으로 회전하여 왼손으로 오거 레버를 조작할 때 몸을 지탱하고 있는 오른쪽 발목에 부담을 주는 것으로 분석 된다. 왼쪽 발 굽힘은 준비 동작에서 모든 작업자에게서 불편함을 보인다. 이는 왼쪽 하단에 위치한 rpm 레버를 조작하기 위하여 목과 상체를 숙이면서 왼쪽 발목이 굽혀

지는 것으로 판단된다.

4) 콤바인 수확 작업의 근골격계 상해요소

앞서 언급한 바와 같이 위의 세 가지 결과를 바탕으로 콤바인 작업 중 발생할 수 있는 근골격계 상해요소를 분석한 결과는 표 8과 같다. 대부분의 관절에서 발생할 수 있는 상해요소는 입식 작업(Standing operation) 자세에 의하여 유발되

는 것으로 파악되었다. 특히, 레버의 낮은 위치와 거리는 목 및 요추를 포함한 상지 관절의 과도한 움직임을 야기하였으며, 하지관절의 굽힘 운동에 의한 불편함도 입식 작업 자세에 의하여 유발되는 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

단기간에 집중된 작업을 필요로 하는 콤바인 작업의 근골격계질환 발생 요인을 정량적으로 평가하고 이를 통한 개선안을 도출하기 위한 사전연구로 수행되었다. 따라서 콤바인 수확작업을 작업 단계별로 세분화하였으며 각 작업 단계에서 나타나는 작업동작을 바탕으로 인간공학적 체크리스트 및 생체역학적 분석을 수행하였다. 이를 통해 도출된 RULA 평가, 요추(L4/L5)부하 평가 및 편의성 평가는 다음과 같이 정리할 수 있다.

- (1) RULA 평가 결과 5단계의 콤바인 수확단계에서 4점에서 7점 사이 점수를 나타냈으며, 이 중 예취작업을 제외한 준비동작, 방향전환동작, 탈곡동작, 오거조절동작은 6명의 실험자에서 모두 5이상의 높은 점수를 나타내 빠른 작업 개선을 요구되는 것으로 분석되었다.
- (2) 입식 자세로 장시간 작업하는 콤바인 작업의 특성을 고려하여 요추(L4/L5)의 부하를 평가하기 위하여 힘과 모멘트를 시뮬레이션을 통하여 측정하였다. 그 결과 콤바인 수확 동작 중 준비 동작, 방향전환동작 그리고 오거조절동작에서 기타 작업에 비하여 높은 힘과 모멘트를 나타내었다. 물론, NIOSH에서 권장하는 3400 N (압축력), 1000 N(전단력)의 기준을 넘지 않았으나, 콤바인 수확 동작이 입식 자세로 장시간 지속되는 요추부의 굽힘 운동/회전운동 특성을 가지고 있기 때문에 작업시간의 누적에 따라 치명적인 근골격계 상해요소로 작용할 것으로 판단된다.
- (3) 편의성 평가 결과를 좌/우측 팔꿈치 및 좌/우측 발목을 제외한 대부분의 신체부위에서 불편도가 큰 것으로 평가되었다. 이러한 불편도의 과도한 발생은 콤바인 작업자가 예취 날의 시야를 확보하기 위하여 입식 자세에서 몸을 전방으로 기울여 작업을 함으로 발생하였다. 특히, 몸을 전방으로 기울여 입식 자세는 조작 레버들을 상대적으로 낮게 위치시키며 조작자의 몸통비틀기 및 굴곡현상을 동시에 유발하는 것으로 파악된다.

단일 수확작업만으로 콤바인 작업이 작업자에게 치명적인 부하를 주진 않는 것으로 나타났다. 하지만 단일 작업의 수확 동작이 장시간 진행될 경우 작업자의 근골격계에 치명적 손상을 끼칠 수 있다고 보고하고 있다(Ministry of Labor, 2006).

따라서 하루 9시간 이상 입식 자세로 지속적인 작업이 이루어지는 콤바인 작업의 경우 상대적으로 부하가 많이 걸리는 목 및 허리 굽힘과 좌/후 팔꿈치에서 근골격계 질환의 발생이 급격하게 나타날 수 있는 가능성을 가지고 있다고 판단된다. 또한 작업 단계별로 평가할 경우, 예취작업을 제외한 전 작업에서의 준비동작, 방향전환 및 오거작업에서 발생하는 몸통의 뒤틀림, 낮은 레버위치 그리고 예취 날의 확인을 위한 입식 자세는 근골격계 질환의 유발 가능성이 큰 것으로 조사되었다. 따라서 이러한 연구결과를 바탕으로 요추의 부하감소, 어깨 및 목에서 발생하는 과도한 운동을 감소시키기 위한 콤바인의 조작석과 조작부에 대한 연구가 이루어져야 할 필요성이 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. Chaffin, D. B. 2007. Human Motion Simulation for Vehicle and Workplace Design. *Human Factors and Ergonomics in manufacturing*. 17(5):475-484.
2. Chang, S. R.. 2007. A study for prevention of musculoskeletal disorders using digital human simulation in the shipbuilding industry. *Journal of the KOSOS* 22(3)81-87.
3. Choi, J. B., C. J. Chung and S. I. Cho. 1995. Analysis of the percentages of possible working days for combine rice harvesting. *Korean Society for Agricultural Machinery* 20(1): 36-46.
4. Chung, M. K., K. I. Choi, Y. W. Song, I. S. Lee, M. S. Lee and J. H. Lim. 1997. Biomechanical and postural analysis of machine repair tasks with relatively high complaints of low back pain. *Journal of the Ergonomics Society of Korea* 16(3): 49-60.
5. Grandjean, E. 1980. *Sitting Posture of Car Drivers from the Point of View of Ergonomics*. (Part 1)20-213. London.
6. Kim, D. S., S. H. Yang and I. S. Lee. 2002. Work-posture Evaluation and management plan for manufactured workers. *Journal of the Korean Institute of Plant Engineering* 7(4): 105-123.
7. Kwon, O. C., S. K. Lee, Y. S. Cho, J. C. Park, K. H. Jung, H. C. You and S. H. Han. 2007. Development of a workload assessment model for overhead crane operation. *Journal of the ergonomics Society of Korea* 26(2):45-59.
8. Ministry of Labor. 2006. *Industrial Accident Research Overview*. 11806(4):216. Gwacheon, Korea.
9. O'Connor, C. M., S. K. Thorpe, M. J. O'Malley and C. L. Vaughan. 2007. Automatic detection of gait events using kinematic data. *Gate and Posture* 25:469-474.
10. Park, J. H. and W. T. Kwak. 2006. Comparison of the

- representative values of the sampled work scenes with the expert's judgment in the MSD workload evaluation. *Journal of the Ergonomics Society of Korea* 25(2):205-210.
11. Porter, M. J. and D. E. Gyi. 1998. Exploring the optimum posture for driver comfort. *International Journal of Vehicle Design* 19(3):255-266.
 12. Rural Development Administration. 2009a. Agricultural Machinery Possession. 31000-51137-26-33:6-9. RDA, Suwon, Korea.
 13. Rural Development Administration. 2009b. Farm Mechanization Project. RDA, Suwon, Korea.