

피혁제조 공정 중 토글 작업에서 요통과 관련된 요추 부하의 생체역학적 분석과 개선 방안

김규상^{1*} · 홍창우² · 이동경³

¹한국산업안전공단 산업안전보건연구원 · ²농촌진흥청 농촌지원국

³한국산업안전공단 산업안전교육원

Biomechanical Analysis on Dynamic Back Loading Related with Low Back Disorders with Toggle Tasks in Leather Industry

Kyoo Sang Kim^{1*} · Chang-Woo Hong² · Dong Kyung Lee³

¹Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

²Rural Living Division, Rural Development Administration

³Occupational Safety Training Institute, KOSHA

Low back disorders (LBDs) have been the most common musculoskeletal problem in Korean workplaces. It affects many workers, and is associated with high costs to many companies as well as the individual, which can negatively influence even the quality of life of workers. The evaluation of low back disorder risk associated with manual materials handling tasks can be performed using variety of ergonomic assessment tools such as National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Revised Lifting Equation (NLE), the Washington Administrative Code 296-62-0517 (WAC), the Snook Tables etc. But most of these tools provide limited information for choosing the most appropriate assessment method for a particular job and in finding out advantage and disadvantage of the methods, and few have been assessed for their predictive ability. The focus of this study was to evaluate spinal loads in real time with lifting and pulling heavy cow leathers in variety of postures. Data for estimating mean trunk motions were collected as employees did their work at the job site, using the Lumbar Motion Monitor. Eight employees (2 males, 6 females) were selected in this study, in which the load weight and the

vertical start and destination heights of the activity remained constant throughout the task. Variance components (three dimensional spaces) of mean trunk kinematic measures were estimated in a hierarchical design. They were used to compute velocity and acceleration of multiple employees performing the same task and to repetitive movements within a task. Therefore, a results of this study could be used as a quantitative, objective measure to design the workplace so that the risk of occupationally related low back disorder should be minimized.

Key Words : Low back disorders, Manual materials handling tasks, Ergonomic assessment tools, Lumbar Motion Monitor, Trunk kinematic measures

접수일 : 2008년 2월 9일, 채택일 : 2008년 9월 11일

* 교신저자 : 김규상 (인천광역시 부평구 구산동 34-4 산업안전보건연구원 직업병연구센터,
Tel: 032-510-0823, Fax: 032-518-0862, E-mail: kobawoo@kosha.net)

I. 서론

현대의 고도 산업사회에서 자동화와 기계화는 산업 현장에 급속한 변화를 가져왔으며, 생산현장의 많은 부분들이 이러한 변화로 인하여 인간의 역할 중 상당한 부분이 기계나 로봇에 의해 대체되고 있다. 그러나 서비스업이나 제조업 및 물류산업의 상당 부분은 여전히 작업자의 육체적 노동에 의해서 작업이 이루어지고 있으며, 아직도 많은 부분에서 물체를 짊어지고 운반하거나 들고 운반하는 인력 운반 작업(Manual Materials Handling, MMH)은 필수적이다. 특히 비교적 규모가 작은 제조업이나 가공업에서 많은 인력 운반 작업은 자동화 설비비용 등의 경제적인 조건과 공간 제약 등과 같은 실제적인 상황들이 제약조건으로 작용하고 있기 때문에 상대적으로 자동화가 어려운 실정이다. 건설 및 제조 산업의 작업분야에서 아직 인간의 육체노동에 많이 의존하고 있어, 이에 따른 산업 재해 발생의 위험성과 이로 인한 생산성 저하 및 고비용이 발생하고 있다.

우리나라 노동부가 발표한 2006년도 산업재해 발생현황을 분석한 결과에 의하면 전체 업무상 질병자수는 10,235명이며, 이중 작업관련성 질환자수는 총 8,061명이고, 이중 뇌심혈관계질환이 1,607명, 신체부담 작업관련 질환이 1,615명, 요통이 4,618명, 기타 질환자가 221명이었다(노동부, 2006). 요통이 전체 업무상 질병자의 45.1%이며, 작업관련성 질병자의 57.3%로 아주 높은 비율을 보이고 있다.

미국의 경우에도 520만명의 재해자 중 24.2%가 허리 부상의 영향을 받고 있으며, 이러한 허리 부상은 작업자들의 장기결근의 주요한 원인이 되고 있다(BLS, 2004). 미국의 직업성 요통의 연간 유병률은 13-46%에 이르고 있고(Svensson 등, 1989), 발생률은 2-3%를 보고하고 있으며, 산업재해 중 요통이 차지하는 점유율은 12-23%였다(Krause 등, 1998). NIOSH(National Institute for Occupation Safety and Health, 1986)의 보고에서도 하중을 들거나 운반 시에 상해를 당하는 경우가 약 45%로서 주요 근골격계 문제로 나타났다고 보고하였다.

산업 현장에서의 요통 발생의 원인은 다양하나 밀고 당기기, 운반, 적재 및 하역 등과 같은 인력 운반 작업이 중요한 원인이다. 국내·외적으로 인력 운반 작업에 대해 다양한 인간공학적인 연구가 이루어져 왔다.

미국, 캐나다를 비롯한 선진국에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 작업방법에 따른 하중의 제한치, 작업장의 환경 설정, 그리고 작업자의 선정에 대한 인간공학적인 연구가 일찍부터 수행되어 왔다. NIOSH는 중량물 들기 작업에 대한 안전지침을 1981년도에 만들었고, 1991년도에 다시 개정하여 MMH 작업이 상해 없이 안전하게 이루어지도록 연구하고

있다.

의학적인 관점에서 X-ray나 CT scan, MRI 등과 같은 영상을 이용하는 기법들이 요통에서 척추의 해부학적인 문제를 진단하는데 주로 사용되고 있으나 요통 원인의 복잡성으로 인해 이러한 방법들은 분명한 해부학적 원인을 갖고 있는 12% 내지 15% 정도의 요통환자에게만 유용하다는 것이 보고되었다(Bigos 등, 1990). 따라서 중량물 취급과 관련한 요통의 기존의 영상기법에서 발견하지 못했던 허리의 기능적인 면을 측정하여 그 상해의 정도를 판별해내는 방법들로 개발된 허리동작의 범위(range of motion)(Keeley 등, 1986), 허리의 근력(Triano와 Schultz, 1987), 지구력(Morrissey와 Liou, 1984; Jorgensen와 Nicolaisen, 1992) 등을 정량적으로 측정하는 방법이 소개되었으며, 이러한 방법들은 비교적 신뢰도가 높은 기법으로 평가되었다. 특히 Marras 등(1992)이 허리 동작의 각도, 속도 및 가속도와 같은 운동학적(kinematic) 변수들을 측정하여 정상인과 요통 환자간의 통계적 차이의 유의성을 밝히고 진단기법의 도구로서의 활용 가능성을 입증하였다.

본 연구에서는 허리와 골반의 회전 시 발생하는 운동학적 변수와 허리와 골반의 움직임의 상관관계를 정량적으로 측정할 수 있는 오하이오 주립대학의 BioDynamics Lab에서 개발된 LMM(Lumbar Motion Monitor)을 이용하여 실제 작업현장에서 수행되고 있는 인력 운반 작업에서 작업자가 상체나 요추에 무리한 동작을 사용하고 있는지의 여부, 상체 및 요추의 동적인 동작에 대한 운동학적 수치의 정량화, 작업 중 동작 범위에 대한 측정, 분석 및 진단 기능을 수행하였다. 이 연구는 일 피혁제품제조 사업장의 토글 공정에서 존재하는 요부의 근골격계질환 위험성을 분석하고, 작업환경 개선을 도출하여 근골격계질환의 예방을 물론 생산성 향상과 작업자의 작업 만족도 향상에 목적을 두고 실시하였다. 본 연구에서 수행된 결과들은 향후 인력작업에서 요통과 관련된 작업관련성 근골격계 질환에 대한 예방대책을 수립하는데 도움이 될 것이다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

연구 대상 사업장은 피혁제품을 생산하는 사업장으로서 작업공정은 크게 준비, 유성, 염색, 쇄빙, 건조, 밀링, 토글, 연마, 도장, 검사, 출하 및 운반하는 과정으로 되어 있다.

본 연구 대상 근로자는 특수 도구를 사용하여 인력으로 작업하는 T-공정 작업자 50명 중 8명(남자 2명, 여자 6명)을 대상으로 하였다. T-공정에는 가죽 1/2장과 1장의 작업에 따라

서 작업자의 그룹 배치가 이루어져 있으며, 가죽 1/2장에는 4인 1조로 주로 여성 근로자, 1장에는 통상 6인 1조로 남자 근로자 4인과 여성 근로자 2인으로 구성되어 작업을 수행하였다. 여기서 T-공정 작업은 적재 대차에서 젖은 피혁을 작업대 위에 펼쳐 놓고, 특수 제작된 집게(토글, toggle)를 이용하여 피혁을 집어서 신전 고정하는 작업이며, 이 작업을 매일 8시간 이상 10-15년간 수행하였다.

2. 연구방법

피혁제조업은 제품의 특성상 자동화에 한계가 있어 많은 작업자들의 인력작업에 의존하여 제품이 생산되고 있다. 작업 현황을 파악하기 위하여 각 부서를 현장 방문하여 작업관련 내용과 현장의 작업 흐름을 파악하였으며, 이를 토대로 작업자의 작업 내용을 구체적으로 평가할 수 있도록 세부적인 작업 촬영, 설문조사 및 생체역학적 측정을 실시하였다. 또한 작업 측정을 토대로 작업 방법 및 작업 환경, 작업 도구에 대한 분석과 인간공학적인 측면에서의 위험성 평가 등이 이루어졌으며, 최종적으로 작업 측정 및 분석 내용을 바탕으로 도출된 작업에 관한 세부적인 개선안을 도출하였다.

본 연구에서는 측정 가능하였던 중량물 취급 작업공정인 토글공정을 선정하여 실제 작업공정에서 작업자들의 작업 형태, 작업 내용, 신체적 특성 등을 실측하였으며, LMM(Fig. 1)을 이용하여 생체역학적 측정 및 분석을 수행하였다. 토글 공정에서 취급하는 중량물인 젖은 가죽의 무게는 종류에 따라 다르나 최소 6 kg(1/2장) - 최대 20 kg(1장)이었으며, 전체 토글공정 작업 사이클은 24초/cycle(1/2장), 57초/cycle(1장)이었다. 실험대상 작업자별로 30분 동안 LMM 측정과 동시에 동영상 촬영을 병행하였다. 다음 그림 2와 3은 LMM을 이용하여 토글공정에 대한 여자와 남자 작업자의 실험장면을 보여주는 샘플작업을 나타내고 있다(Fig. 2, Fig. 3)

본 연구에 사용되어진 실험도구는 오하이오 주립대학의 BioDynamics Lab에서 개발된 LMM으로 상체(trunk: spine+pelvis) 또는 요추(lumbar spine)의 동적인(dynamic) 동작을 운동학적 측정 변수인 들기 빈도(lift rate), 굽힘 동작(sagittal motion), 좌우 굽힘 동작(lateral motion), 뒤틀림 동작(twisting motion)에 대한 각도(degree), 각속도(degree/sec), 각가속도(degree/sec²) 등을 정량적으로 측정 분석하였다.

LMM을 이용한 측정과 분석은 BALLET Software(Fig. 4)를 사용하여 실험된 연구 대상자들의 허리 동작 움직임의 방향

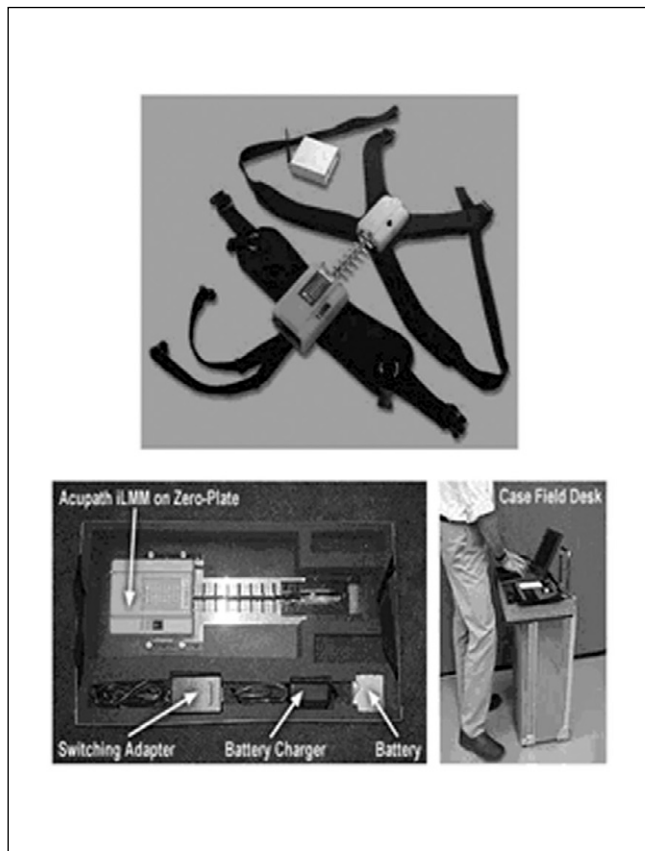


Fig. 1. LMM equipment set

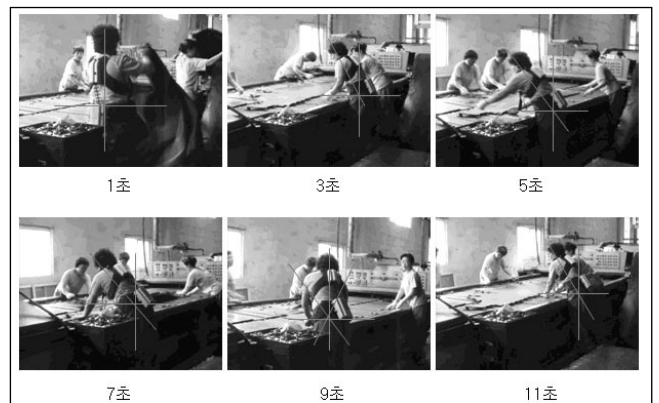


Fig. 2. Toggle tasks (1/2 leather, 4 workers)

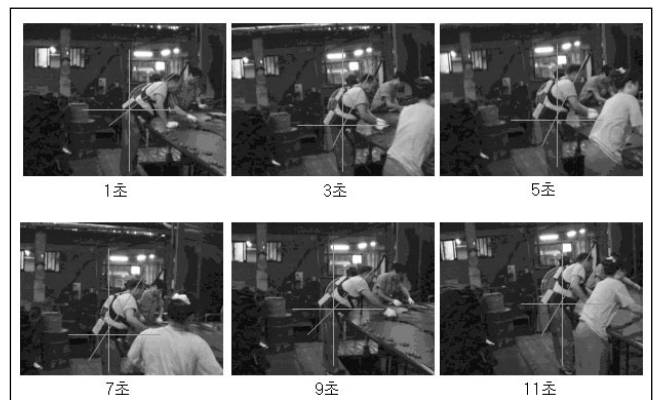


Fig. 3. Toggle tasks (1 leather, 6 workers)

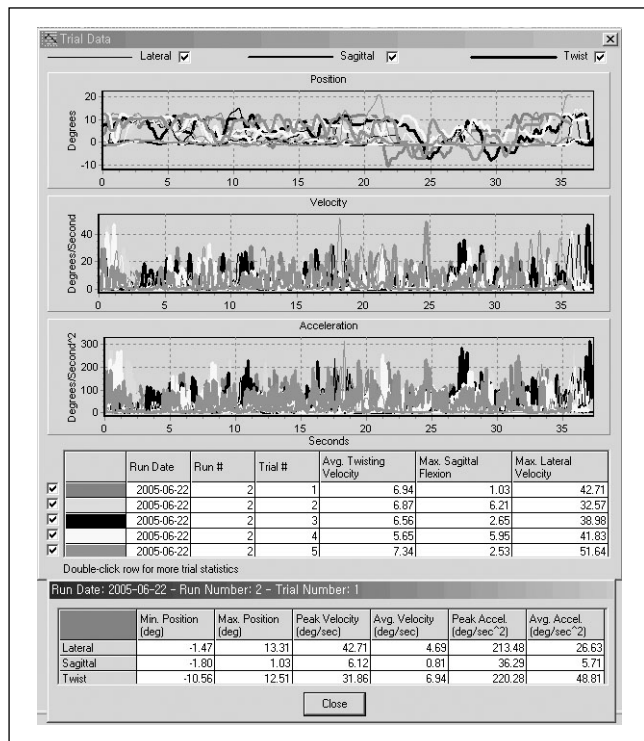


Fig. 4. BALLET software

에 따른 각도, 각속도, 각가속도의 최대값 및 평균값, 허리 동작 움직임의 방향에 따른 각도, 각속도, 각가속도의 크기와 위험노출 시간, 요부 질환(Low Back Disorders, LBD) 위험 모델에 따른 위험 정도를 평가하였다. 실제 작업현장에서 LMM 장비를 착용하여 측정된 전방(sagittal flexion)과 측면 구부리기(lateral flexion), 몸통 비틀기(twisting) 동작들의 속도, 들기 빈도 및 대상물의 무게와 척추로부터의 최대 수평거리의 곱으로 구해진 최대 모멘트(maximum moment)의 5가지 요소들을 이용하여(Marras 등, 1993) 본 연구 대상자들이 수행하고 있는 토글공정에 대하여 상체나 요추에 무리한 동작을 사용하고 있는지의 여부를 판단할 수 있는 요부질환 위험 분석을 수행하였다. 요부질환 위험율(LBD risk probability)은 특정 작업에 따라서 구해진 확률값으로서 해당 작업이 200,000 시간당(또는 100명/년 근로자) 12건 이상의 요부질환 발생률을 보이는 작업을 의미하며, 평가 결과의 의미로는 통상 70% 이상일 경우에 고위험군(high risk group), 30% 이상일 때는 중등도 위험군(medium risk group), 30% 미만인 경우는 저위험군(low risk group)으로 해석될 수 있다(Marras 등, 2000). 그리고 측정된 인체 데이터와 분석된 자료들은 SPSS 12.0을 이용하여 변수들 간의 통계적 유의성 검정과 분석을 수행하였다.

Table 1. Statistics of test subjects physical characteristics

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	M1	M2	Mean		p-value
									Female	Male	
Age(yrs)	42	51	44	53	42	45	52	50	46.2	51.0	0.221
Working period(yrs)	6	11	8	12	7	10	15	12	9.0	13.5	0.046
Weight(kg)	63	57	67	69	50	53	74	65	59.8	69.5	0.165
Stature(cm)	157	159	161	154	153	154	167	173	156.3	170.1	0.003
Shoulder height(cm)	127	132	130	124	122	122	141	137	126.2	139.0	0.008
Elbow height(cm)	98	102	102	95	94	95	101	102	97.7	101.5	0.206
Left iliac height(cm)	75	83	88	82	84	81	94	91	81.7	92.5	0.036
Right iliac height(cm)	71	81	87	81	83	82	93	92	80.8	92.5	0.026
Upper leg length(cm)	37	40	42	33	30	33	35	40	35.8	37.5	0.633
Lower leg length(cm)	53	46	45	42	46	49	53	58	46.8	55.5	0.029
Upper arm length(cm)	27	31	29	28	26	26	30	32	27.8	31.0	0.083
Lower arm length(cm)	35	43	33	33	35	35	44	41	35.7	42.5	0.043
Trunk length(cm)	50	60	47	43	46	51	51	63	49.5	57.0	0.201
Trunk circumference(cm)	78	74	76	81	72	73	91	88	75.7	89.5	0.002
Iliac breadth(cm)	33	29	29	28	25	29	32	31	28.8	31.5	0.215
Iliac depth(cm)	20	16	20	18	15	17	22	19	17.7	20.5	0.145
Xiphoid breadth(cm)	32	33	34	33	31	31	37	32	32.3	34.5	0.035
Xiphoid depth(cm)	23	20	23	24	18	19	21	19	21.2	20.0	0.564

III. 연구결과

1. 연구대상자의 일반적/신체적 특성

연구대상자는 여자가 6명, 남자가 2명으로, 평균 연령은 여자가 46.2세, 남자가 51세, 평균 키는 여자가 156.3cm, 남자가 170cm, 평균 체중은 여자가 59.8kg, 남자가 69.5kg이었다. 인체측정 항목에 따른 근무기간, 신장(stature), 어깨 높이(shoulder height), 왼쪽 장골 높이(left iliac height), 오른쪽 장골 높이(right iliac height), 하부 다리 길이(lower leg length), 하부 팔 길이(lower arm length), 몸통 둘레(trunk circumference), 검상너비(xiphoid breadth)에서 남자 작업자의 측정값이 여자 작업자보다 유의하게 높은 수치를 나타내었다(Table 1).

2. 연구대상자의 운동학적 측정 및 요부질환 위험

표 2는 남녀 연구 대상자에 대한 상체 또는 요추의 동작을 운동학적 측정 변수인 들기 빈도, 굽힘 동작, 좌우 굽힘 동작, 뒤틀림 동작에 대한 각도, 각속도, 각가속도에 대한 주요 수치를 통계적으로 정량화시킨 결과를 보여주고 있다.

토글작업에서 들기 빈도는 여성이 71.67회/시간, 남성이

71.50회/시간이었으며, 뒤틀림 동작에 대한 평균 속도는 여성이 5.82°/초, 남성이 2.07°/초로 나타났으며, 최대 굽힘 동작의 각도는 여성이 2.02°, 남성이 -0.56°이었으며, 좌우 굽힘 동작에 대한 최대 속도는 여성이 58.79°/초, 남성이 31.91°/초, 최대 모멘트는 여성이 10.67Nm, 남성이 96.50Nm이었고, 요부질환의 위험률은 여성이 37.33%, 남성이 45.50%로 평가되었다. 그리고 이러한 운동학적 측정변수들에 대한 t-test 결과 들기 빈도를 제외하고 남녀 작업자 간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.05$).

전체 토글공정에서 요부질환 위험율(LBD risk probability)은 각 개별적인 운동학적 측정변수인 5개 요소의 평균값으로 여성은 37%((71%+48%+6%+5%+56%)/5=37%)이고, 남성은 46%((71%+17%+98%+1%+43%)/5=46%)로서 남성이 여성보다 조금 높은 경향을 보였으나, 두 그룹 모두 요부질환 위험 가능성이 30% 이상으로서 중등도 위험군에 해당하였다(Table 2, Fig. 5, Fig 6).

IV. 고 찰

인력 운반 작업에 대해 국내 · 외적으로 많은 연구가 진행

Table 2. Statistics of main measuring variables in all subjects

Trunk motion factors	F1	F2	F3	F4	F5	F6	M1	M2	Mean		p-value
									Female	Male	
Lift rate(trials/hour)	68	72	75	74	70	71	70	73	71.67	71.50	0.938
Avg. twisting velocity(Deg/sec)	6.67	6.88	6.57	4.97	5.62	4.19	1.71	2.43	5.82	2.07	0.004
Max. moment(Nm)	10	12	6	9	13	14	95	98	10.67	96.50	0.000
Max. sagittal flexion(Degrees)	3.67	1.42	2.32	1.74	1.30	1.64	-0.33	-0.78	2.02	-0.56	0.008
Max. lateral velocity(Deg/sec)	53.26	62.71	57.84	65.79	54.53	58.61	29.57	34.25	58.79	31.91	0.000
LBD risk probability(%)	35	40	42	37	36	34	45	46	37.33	45.50	0.012

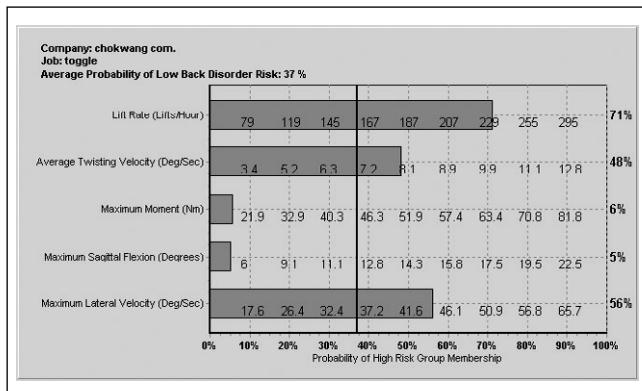


Fig. 5. Risk value chart for toggle job of females

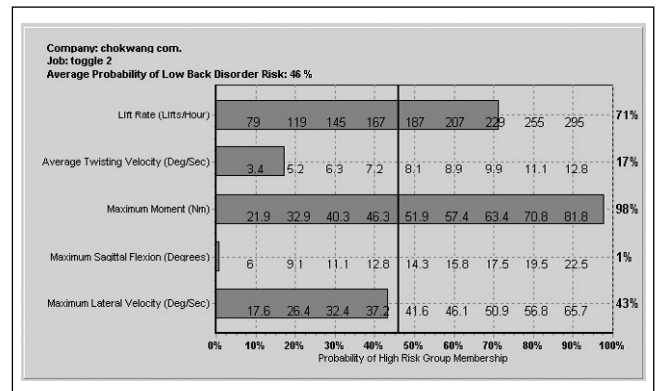


Fig. 6. Risk value chart for toggle job of males

되었는데, Wu(1997)는 심물리학적 혹은 정신물리학적 방법을 사용하여 최대허용중량(MAWL)을 결정하고 심박수와 운동자각도(RPE)와 비교하였으며, Balogun 등(1986)은 짐을 이고 운반하는데 있어서 머리에 이고 운반하는 방법, 어깨에 메고 운반하는 방법의 각각에 대한 유형에서 작업자의 신진대사의 효율성과 인식 수용성의 결정에 관한 연구를 수행하였으며, Winsman 등(1976)과 Soule과 Goldman(1969)은 물체의 운반 시 신체의 중심에 맞게 운반하는 것이 매우 효과적이고, 운반의 유형이 운반량에 영향을 주므로 무거운 물체를 운반 시 부하의 위치 선택이 중요하다고 보고하였으며, Morissey와 Liou(1988)는 정신물리학적 방법을 이용하여 운반 작업에서의 작업자의 최대허용하중을 예측하였으며, 그 밖에 Grieco(1986), Shon과 Marsh(1987), Chaffin과 Page(1994)는 비효율적인 물체운반은 신체의 불균형을 초래하여 상해를 유발시키기 때문에 작업환경의 인간공학적 설계와 지도가 필요하다고 보고하였다. 국내에서도 최대 허용작업 중량의 결정에 대한 인간공학적 접근방법들의 비교 연구(김홍기, 1995), 다양한 중량물 운반 유형에서의 최대허용하중에 대한 비교 평가(서치원, 1994), 작업장에서의 요통재해 발생 원인과 인간공학적 대책에 관한 연구(서승록과 임완희, 1999), 허리의 비틀림 동작 시 근육의 활동 및 발휘근력에 관한 연구(박현진, 2001), 중량물 수인양에서의 최대허용중량 결정에 관한 연구(이종권 등, 1997) 등이 수행되었다.

본 연구에서는 LMM을 이용하여 일 피혁제조사업장의 토크공정의 인력 운반 작업에 대한 운동학적 측정과 요부의 근 골격계질환의 위험을 분석하였다. 분석 결과 여자 작업자와 남자 작업자의 인체측정 항목에 따른 신장(stature), 어깨 높이(shoulder height), 왼쪽 장골 높이(left iliac height), 오른쪽 장골 높이(right iliac height), 하부 다리 길이(lower leg length), 하부 팔 길이(lower arm length), 몸통 둘레(trunk circumference), 김상너비(xiphoid breadth) 측정값의 유의한 차이는 작업환경, 작업방법 및 작업 도구 설계 시에 작업자별 인체 특성을 고려하는 것이 필수적임을 말해준다. 이것은 전반적으로 여성이 남성에 비해 신체적/생리적 지수가 작아서, 토크작업 특성상 젖은 피혁을 들어 올리고 내리는 과정에서 뒤틀림 동작과 좌우 굽힘 동작이 남성보다 더 많이 발생하기 때문에 높은 수치를 나타내고 있었다. 특히 한 장짜리 피혁을 올리고 내리는 작업에서 남성 위주의 작업이 많이 이루어지기 때문에 최대 모멘트 값에서는 여성보다 아주 높게 평가되었다. 따라서 현 토크공정에서 주요 문제가 되고 있는 작업자들의 뒤틀림 동작, 좌우 굽힘 동작과 같은 부자연스러운 자세를 유발하고 있는 위험인자들을 신속히 제거하여야 할 필요성이 있는 것으로 평가되었다.

전체 토크공정에서 요부질환 위험율이 여성은 37%이고,

남성은 46%로서 남성이 여성보다 조금 높은 경향을 보였으나, 두 그룹 모두 요부질환 위험 가능성이 30% 이상으로서 중등도 위험군에 해당하였다. 여성의 경우에는 평균 뒤틀림 동작 속도와 최대 좌우 굽힘 동작 속도에서 남성보다 더 높은 비율을 보였으나, 최대 모멘트값에서는 남성이 여성보다 훨씬 높은 비율을 보여주었다. 이것은 남성이 여성보다 작업 환경에서 더 무거운 피혁을 올리고 내리는 중량물 반복 작업에 기인한 것으로 판단된다.

실제 작업현장에서 LMM 장비를 착용하여 측정된 들기 빈도(lift rate, lifts/hour), 평균 뒤틀림 각속도(average twisting velocity, deg/sec), 최대 모멘트(maximum moment, ft/lbs), 최대 전방 구부리기(maximum sagittal flexion, degrees)와 최대 측면 각속도(maximum lateral velocity, deg/sec)의 5가지 요소로부터 환산된 요부질환 위험율(LBD risk probability; 특정 작업에 따라서 구해진 확률값으로서 해당 작업이 200,000시간당(또는 100명/년 근로자) 12건 이상의 요부질환 발생률)은 위험의 정도(70% 이상일 경우에 고위험군, 30% 이상일 때는 중등도 위험군, 30% 미만인 경우는 저위험군)를 파악할 뿐만 아니라 요부의 어떠한 동적인 동작에 대한 개선방안을 제시하여 그 위험을 저감하는데 유용하게 활용될 수 있다(Marras 등, 2000).

이처럼 LMM을 통한 요부질환 위험율을 적용한 본 연구조사 대상인 토크공정에서 여성 작업자들의 경우에는 들기 빈도 외에 뒤틀림 동작과 좌우 굽힘 동작의 위험요인들이 향후 요통 발생을 일으킬 수 있는 주요 요인이 되기 때문에 관련 요인들을 감소시키고 관리하는 것이 효과적인 예방대책이 될 수가 있을 것이다. 또한 남성 작업자의 경우에는 최대 모멘트와 좌우 굽힘 동작에서 향후 요통 발생을 유발할 수가 있기 때문에, 중량물 취급 관리와 대책, 그리고 작업환경 및 작업방법 등에 대한 구체적인 조사와 예방대책이 필요할 것으로 평가되었다. 이에 대해 구체적으로 고찰하면 다음과 같다.

본 연구조사 대상인 토크공정의 들기 빈도(lift rate)는 전체 위험 요인들에 영향을 미치기 때문에 이 비율을 감소시키는 것이 중요하다. 현재 여성 작업자와 남성 작업자의 들기 빈도값에 거의 차이가 없어 동일한 중량물 취급에 따른 신체적, 생리학적 영향을 줄 수가 있다. 이에 대한 대책으로는 남녀 비율에 따른 작업의 재배치를 통해 여성 작업자의 들기 빈도를 감소시키거나, 현 공정에 잉여 작업자를 투입하여 전체적인 들기 빈도를 감소시키는 방법이나, 시간별 또는 주별 작업 전환을 통하여 들기 빈도에 따른 생체역학적 부담을 경감시키는 방법 등을 통해서 현재 남녀 작업자의 들기 빈도 지수 71 정도를 30 이하로 낮추는 방안이 필요하다. 이를 통하여 요부질환 위험율이 30% 미만인 저위험군으로 관리할

수 있기 때문이다.

몸통비틀기 동작 속도(*twisting velocity*)는 부적절한 작업환경으로 인해 작업자의 허리, 엉덩이, 다리 및 발 등의 움직임이 불편하면 더 높은 결과를 발생하게 된다. 이 연구에서도 여성 작업자가 남성 작업자보다 더 높은 결과값을 나타내고 있었으며, 그 이유는 고정된 작업환경에서 남녀 인체치수를 고려하지 않은 작업대, 적재대차 등으로 위험요소는 더욱 가중된다고 볼 수가 있다. 이에 대한 방안으로는 작업 시 보다 중립된 자세(*neutral posture*)를 유지하기 위해 취급 작업 대상물을 정상 작업영역으로 이동(투입 및 적재 대차 공간 확보) 시키거나, 작업자에게 맞는 작업 발판을 이용하여 부적절한 작업 높이를 없애고, 향후 작업대 재설계시 작업자의 인체치수를 고려한 높이와 폭을 감안하여, 조절식으로 설계하는 방안이 필요하다.

취급하는 작업 대상물과 신체의 이동 거리, 그리고 대상물의 중량에 따라서 작업자가 받은 외부적 모멘트(*maximum moment*)는 크게 달라진다. 본 연구에서 조사된 토글공정에서도 남성 작업자가 여성 작업자보다 훨씬 높은 모멘트값($96 > 10$)을 나타내고 있는데, 이는 다양한 중량의 피혁제품을 취급하는 과정에서 무거운 가죽들은 대부분 남성 위주의 작업이 주를 이루고 있기 때문이다. 이에 대한 개선방안으로는 현재 다양한 피혁 제품의 중량을 모두 정확히 파악하여, 당일 중량물 취급 작업 시 1인 작업자가 수행하는 작업을 한 명이 보조하여 작업자 1인에게 부과되는 들고 내리는 작업부하를 경감시켜 주며, 피혁 제품은 특성상 들고 내리는 작업시 커플링(*coupling*)이 매우 좋지 않기 때문에 가벼운 피혁이라도 2인 1조의 작업이 수행되도록 하는 방안이 필요하다.

최대 굽힘 동작각도(*sagittal flexion*)의 감소는 작업자가 인력 운반 작업시, 상체의 자세를 최대한 수직상태로 유지하도록 하는 것이 필요하다. 조사된 토글공정에서는 여성 작업자가 남성 작업자보다 더 높은 굽힘 각도를 보여주고 있으며, 이는 고정된 토글작업대 위에 남성 작업자보다 신체적 치수가 작은 여성 작업자들이 토글집게로 반복적으로 피혁을 신전 고정하는 작업을 수행하기 때문이다. 이에 대한 개선방안으로는 현재 몸통 굴곡을 유발시키는 주요 원인이 되는 토글 작업대의 높이와 폭을 작업자의 인체치수를 고려하여 설계하는 방안이 필요하고, 필요시 다양한 길이와 높이를 조절할 수 있는 작업 발판의 제작도 고려해 볼 수가 있다. 그리고 몸통 굴곡의 작업부하를 증가시키고 있는 토글집게의 인간공학설계(수공구의 형태, 길이, 폭 및 재질 등)도 고려해야 할 필요가 있다.

좌우 굽힘 동작 속도(*lateral velocity*)의 증가는 인력 운반 작업 시, 작업자로 하여금 몸통 회전을 증가시키고, 작업자세의 불균형을 초래하게 만든다. 본 조사대상인 토글공정에서

도 여성 작업자가 남성 작업자보다 더 빠른 몸통 회전 동작을 수행하는 것($58 > 31$)으로 평가되었으며, 이는 많은 여성 작업자들이 반장짜리 피혁 토글공정에서 투입과 적재 대차로부터 가죽을 들고 내리는 반복적인 몸통 회전 작업이 남성 작업자보다 빈번하게 이루어지기 때문이다. 이에 대한 인간공학적 개선방안으로는 작업자 등 뒤에 위치해 있는 투입과 적재 대차의 위치를 최소한 작업자 몸통 가까이 정면에 위치하도록 작업환경을 재설계(*redesign*)할 필요성이 있으며, 현재 사용 중인 투입과 적재 대차는 작업 진행에 따라서 작업자의 몸통 회전과 각도를 더욱 부자연스럽게 만드는 주요 원인이기 때문에, 작업 중량과 작업량에 따른 높이 조절식 대차로 변경하고, 피혁 제품의 특성상 넓은 작업영역(피혁원단 취급)을 고려한 대차의 설계가 더욱 필요한 것으로 조사되었다.

V. 요약 및 결론

일반적으로 산업 현장에서 발생하는 대부분의 근골격계 상해의 주요 원인은 인력 운반 작업에 의한 것으로 작업은 주로 들어올리기(*lifting*), 운반(*carrying*), 내려놓기(*lowering*), 밀기/당기기(*pushing/pulling*) 등에 의하여 목적물을 한 곳에서 다른 곳으로 이동시키는 작업의 형태로 표현할 수 있다. 중량물 운반 작업의 개선과 상해를 줄이기 위한 많은 연구 결과(작업특성, 부하특성, 환경 특성 등)가 발표되었지만, 선행연구의 대부분은 인력작업 시 최대허용중량의 파악이나 작업에 영향을 미치는 요인에 대한 평가로 진행되어 왔기 때문에 실제적인 산업현장에서 결과를 활용하는 데는 한계가 있었다.

이에 본 연구에서는 실제 산업현장에서 작업 중인 작업자를 대상으로 간단한 장비의 작용과 측정, 분석을 통하여 실시간으로 작업자의 상체 또는 요추의 동작을 운동학적 수치로 정량화하여 자료를 제공하였으며, 또한 상체와 요추에 무리한 동작을 사용하고 있는지의 판단 여부를 LMM을 이용한 요부질환 위험모델(*LBD risk model*)로 산출하여 제공하였다. 그리고 분석된 자료를 이용하여 중량물 취급에 따른 인간공학적 개선대책을 수립하여 요통과 관련된 작업관련성 근골격계질환에 대한 예방대책을 수립하는데 도움이 될 수 있도록 하였으며, 이에 대한 주요 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 연구대상자의 성별에 따라 신체계측(키, 어깨 높이, 장골 높이, 다리길이, 팔길이, 몸통둘레, 검상너비 등)에서 유의한 차이를 보여 인력 운반 작업과 관련한 작업환경, 작업방법 및 작업 도구 설계 시에 작업자별 인체 특성을 고려하는 것이 필요하다.

2. 토글작업의 상체 또는 요추의 동작에 대한 운동학적 측정 변수(들기빈도, 굽힘 동작, 좌우 굽힘 동작, 뒤틀림 동작에 대한 각도, 각속도, 각가속도)에 대한 측정 결과 들기빈도를 제외하고 남녀 작업자 간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 이것은 전반적으로 여성이 남성에 비해 신체적/생리적 지수가 작아서, 토글작업 특성상 젖은 피혁을 들어 올리고 내리는 과정에서 뒤틀림 동작과 좌우 굽힘 동작이 남성보다 더 많이 발생하였기 때문에 높은 수치를 나타내고 있었다. 따라서 현 토글공정에서 주요 문제가 되고 있는 작업자들의 뒤틀림 동작, 좌우 굽힘 동작과 같은 부자연스러운 자세를 유발하고 있는 위험인자들을 신속히 제거하여야 할 필요성이 있는 것으로 평가되었다.

3. 토글작업의 실제 작업현장에서 LMM 장비를 착용하여 측정된 전방과 측면 구부리기, 몸통비틀기 동작들의 속도와 들기 빈도 및 대상물의 무게와 척추로부터의 최대 수평거리의 곱으로 구해진 최대 모멘트의 5가지 요소들을 이용하여 토글공정에 대하여 상체나 요추에 무리한 동작을 사용하고 있는지의 여부를 판단할 수 있는 요부질환 위험 분석을 수행한 결과, 위험률은 여성이 37%, 남성이 46%로 평가되어 두 그룹 모두가 요부질환 위험 가능성이 30% 이상으로서 중등도 위험군에 해당하였다. 여성의 경우에는 평균 뒤틀림 동작 속도와 최대 좌우 굽힘 동작 속도에서 남성보다 더 높은 비율을 보였으나, 최대 모멘트값에서는 남성이 여성보다 훨씬 높은 비율을 보여주었다. 이것은 남성이 여성보다 작업환경에서 더 무거운 피혁을 올리고 내리는 중량물 반복 작업에 기인한 것으로 판단된다.

이상의 결과는 우리나라 기업들의 다양한 산업현장에서 인력 운반 작업으로 인한 요통과 관련된 작업관련성 근골격계질환에 대한 예방대책을 수립하는데 도움이 될 것이다. 그리고 향후 다양한 작업형태에 따른 작업형태에 따른 요추의 운동학적 정보나 요부질환의 위험분석 등에 대한 국내 자료를 더 많이 수집하고 분석하여 산업현장에서 실제적인 자료로 이용될 수 있도록 많은 연구가 필요할 것이다.

REFERENCES

- 김흥기. 최대 허용작업중량의 결정에 대한 인간공학적 접근 방법들의 비교 연구. 대한인간공학회지 1995;14(1):91-96.
- 노동부. 2006년도 산업재해현황분석. 노동부, 2007.
- 박현진. 허리의 비틀림 동작 시 근육의 활동 및 발회근력에 관한 연구. 부산대학교 석사학위 논문, 2001.
- 서승록, 임완희. 작업장에서의 요통재해 발생 원인과 인간공학 적 대책에 관한 연구. 경영과학연구 1999;8:1-11.
- 서치원. 다양한 중량물운반 유형에서의 최대허용하중에 대한 비교 평가. 홍익대학교 석사학위 논문, 1994.
- 이종권, 남현우, 박재민. 중량물 수인양에서의 최대허용중량 결정에 관한 연구. 대한설비관리학회지 1997;2(2):69-83.
- Balogun JA, Robertson RJ, Goss FL, Edwards MA, Cox RC, Metz KF. Metabolic and perceptual responses while carrying external loads on the head and by yoke. *Ergonomics* 1986;29(12):1623-1635.
- Bigos SJ, Battie MC, Nordin M, Spengler DM, Guy DP. Industrial low back pain. The lumbar spine. In Weinstein JN & Wiesel SW, Philadelphia, W. B. Saunders, 846-871, 1990.
- Bureau of Labor Statistics. Number of nonfatal occupational injuries and illnesses involving days away from work by event or exposure leading to injury or illness and selected parts of body affected by injury or illness. Table R32, 1998.
- Chaffin DB, Page GB. Postural effects on biomechanical and psychophysical wight-lifting limits. *Ergonomics* 1994;37(4):663-676.
- Grieco A. Sitting posture: an old problem and a new one. *Ergonomics* 1986;29(3):345-362.
- Jorgensen K, Nicolaisen T. Isometric trunk extensor endurance in young females. *J Biomech* 1992;25(7):695.
- Keeley J, Mayer TG, Cox R, Gatchel RJ, Mooney V. Quantification of lumbar function. Part 5: Reliability of range-of-motion measures in the sagittal plane and an in vivo torso rotation measurement technique. *Spine* 1986;11(1):31-35.
- Marras WS, Allread WG, Burr DL, Fathallah FA. Prospective validation of a low-back disorder risk model and assessment of ergonomic interventions associated with manual materials handling tasks. *Ergonomics* 2000;43(11):1866-1886.
- Marras WS, Fathallah FA, Miller RJ, Davis SW, Mirka GA. Accuracy of a three-dimensional lumbar motion monitor for recording dynamic trunk motion characteristics. *Int J Ind Ergon* 1992;9(1):75-87.
- Marras WS, Lavender SA, Leurgans SE, Rajulu SL, Allread WG, Fathallah FA, Ferguson SA. The role of dynamic three-dimensional trunk motion in occupationally related low back disorders. *Spine* 1993;18(5):617-628.
- Morrissey SJ, Liou YH. Maximum acceptable weights in load carriage. *Ergonomics* 1988;31(2):217-226.
- Morrissey SJ, Liou YH. Metabolic costs of load carriage with different container sizes. *Ergonomics* 1984;27(8):847-853.
- National Institute for Occupational Safety and Health. Work Practice Guide for Manual Lifting: NIOSH Technical Report. US

- Department of Health and Human Services, 1986.
- National Institute for Occupational Safety and Health. Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation. DHHS(NIOSH) Publication No.1-52, 1991.
- Shon F, Marsh RE. Designing safety health construction. Research and practice symposium, 1987.
- Soule R, Goldman RF. Energy costs of loads carried on the head, hands or feet. J Appl Physiol 1969;27:687-690.
- Wu SP. Maximum acceptable weight of lift by Chinese experienced male manual handlers. Appl Ergon 1997;28(4):237-244.
- Triano JJ, Schultz AB. Correlation of objective measure of trunk motion and muscle function with low-back disability ratings. Spine 1987;12(6):561-565.
- Winsman FR, Goldman RF. Method for evaluation of load carriage systems. Perceptual Motor Skills 1976;43:1211-1218.