

생체역학적 분석을 이용한 냉동창고 출하작업의 누적 외상성 장애 위험성에 관한 연구

정 경 무*, 장 성 록**

*부경대학교 산업대학원 안전공학과, **부경대학교 산업시스템·안전공학부

1. 서 론

현대사회의 과학기술 발전은 반세기 전만하여도 거의 상상할 수 없을 정도로 빠른 속도로 발전하고 있으며, 이에 맞추어 생산시스템도 자동화되어가고 있는 추세이다. 그러나 아직도 생산작업의 약 1/3 정도가 사람의 인력에 의해 수행되고 있으며¹⁾, 이에 따라 많은 산업재해도 발생하고 있다. 우리나라의 1993년부터 1996년까지의 산업재해 현황을 보면, 재해율은 감소추세를 보이고 있지만 산업재해 보상금과 간접 손실액을 합한 총 경제적 손실액은 오히려 증가추세를 보이고 있다. 또한 그 액수도 1996년에는 6조 7천억원에 달해 천문학적 수치를 보이고 있는 실정이다²⁾. 우리나라의 산업안전에 대한 관심은 주로 육안으로 관찰할 수 있는 외적인손실 -사람의 외상이나 경제적 손실- 에만 초점을 맞추어 왔으며, 밖으로 잘 드러나지 않는 허리의 통증이나 누적 외상성 장애(Cumulative Trauma Disorders : 이하 CTD)와 같이 한번의 외적인 충격에 의해 일어나는 것이 아니라 반복적인 충격의 누적으로 일어나는 질병에 대해서는 관심을 두지 않고 있다. 이것은 이러한 질병이 직업과 관련되어 발생하였는지를 규명하기 어렵고, 작업장 밖에서도 발생할 수 있고, 근로자가 신분상의 불이익을 두려워하여 잘 밝히지 않는 등의 여러 가지 이유때문이라 생각된다. 이러한 CTD로 인한 산업재해가 1994년(미국)에는 제조업체의 산업재해의 35%를 차지하고 있으며, 지난 10년간의 통계를 볼 때 계속적인 급격한 증가 추세를 보이고 있다³⁾. 따라서 산업화의 진전, 작업환경 및 노동의 질(quality)에 대한 관심이 높아지고 있는 사회적 추세이며, 자동화, 정보화, 작업 특성의 변화, human-computer interface의 증가, 근로자의 고령화 등 산업의 구조 변화에 따라 가까운 장래에 우리 나라에서도 CTD가 산업재해의 주요 문제로 부각될 것이므로 이러한 질병에 대해서 많은 관심을 기울여야 할 것이다.

위에서 언급한 손상 누적성 장애의 일종이라 할 수 있는 요통재해가 우리 나라 전체 산업재해의 약 15%를 차지하고 있는 것으로 조사되었으며⁴⁾, 우리 나라에서도 장기간의 누적성 장애로 나타나는 사무작업의 요통재해가 발생하고 있다. 또한 CTD는 1960년부터 국제노동기구(ILO)에서 산업재해로 인정받고 있는 중요한 산업재해의 하나이며, 우리 나라에서도 1996년에 산업재해로 인정한 사례가 있다. 요통재해의 주요원인이 되는 인력운반작업(Manual Material Handling : MMH)은 지난 수 십년간 인간공학의 주요 관심 분야였으며, 국

제적으로는 물론 우리 나라에서도 인력운반작업의 지침과 같은 많은 연구 실적들이 발표되어 있다⁵⁾⁶⁾⁷⁾. 또한, 작업 중 척추에 걸리는 부하역력과 척추기립근의 근전도분석을 통하여 작업강도 및 작업 지속에 따른 피로의 영향에 대한 연구도 이루어졌다⁸⁾. 이러한 연구를 바탕으로 제한된 공간에서 한정된 작업자세로 작업하여야하는 냉동창고의 작업환경하에서의 제품 출하작업에 종사하는 근로자를 대상으로 CTD평가설문서로 현황을 파악하고, 작업자세 분석을 통한 생체역학적 분석으로 누적외상성장애의 위험성을 평가하는데 그목적이 있다.

2. 연구 내용

2.1 설문서에 의한 통증부위와 CTD예상 신체 부위.

설문서는 Vern Putz - Anderson이 개발한 것을 이용하여 들기(lifting)작업이 많이 이루어지는 냉동창고 작업 종사자를 대상으로 실시하였다⁶⁾. 설문서의 결과는 표 1, 2와 같다.

표 1 설문 결과

	통증 여부	전원 등의 통증 여부	어깨의 통증여부		통증 으로 인한 수면 방해	통증의 발생 시간				통증 으로 인한 생활 장애	치료 여부	아래병명의치료여부			수술 여부	직무 수행 을 위한 반복 작업 여부
			왼쪽	오른쪽		오전	오후	저녁	아간			손목병 (CTS)	신경질 낭종	건염		
응답 자수	8/47	12/47	12/47	14/47	3/47	1/47	6/47	5/47	7/47	1/47	5/47	0/47	0/47	2/47	13/47	30/47
%	17.02	25.53	25.53	29.79	6.38	2.13	12.77	10.64	14.89	2.13	10.64	0	0	4.26	27.66	63.83

표 2 CTD 예상 신체 부위

신체부위	응답자 수	응답비율(%)	신체부위	응답자 수	응답비율(%)
견관절	15/47	31.91	구관절	2/47	4.26
숄개골	5/47	10.64	고관절	1/47	2.13
요추	5/47	10.64	경추	1/47	2.13
수근중수관절	4/47	8.51	슬관절	1/47	2.13
상지지골	3/47	6.38			

표에서 보는 바와 같이 어깨의 오른쪽과 왼쪽에 통증을 느끼는 작업자는 거의 동일한 수준인데 이는 양쪽의 신체를 동시에 사용하므로 나타날 수 있는 결과라고 사료되며 통증의 시간이 오후시간과 저녁시간인 것은 계속 작업이 진행 중일때는 근육과 신경의 긴장에 의한 신체적 망각현상으로 휴식이 진행되면서 CTD의 발견이 예견될수 있다.

2.2 생체역학적 분석

생체역학적 분석은 외부적으로 적용되어지는 힘의 상호작용으로부터 야기되는 신체내 근골격근계의 힘의 분포를 예상하기 위해 신체작용에 있어 공학적 개념을 체계적으로 응용한 것이다. Biomechanical Model은 손으로 기구를 취급할 동안 이러한 내적힘의 형태와 크기를 예상할 수 있게 한다. 이렇게 예측되어진 힘은 특별한 중량과 관련된 생역학적 스트레스와 미리 결정된 조직의 내성한계와 비교를 할 수 있다.

팔근육의 moment가 팔에 작용되는 힘의 모멘트와 신체부위의 중량moment보다 훨씬 작을 경우 외부의 작은 힘에도 큰 근육, 건, 인대, 관절이 힘에 대해 반작용을 한다. 반면에 근육들은 짧아지면서 큰 움직임을 만들 수 있다. 골격근 구조에 대한 개념은 근골격계 부상의 생역학에 있어 매우 중요하다.

어떤 자세로 물건을 취급할 때 근육, 인대와 관절표면에 큰 역학적 하중이 생길 수 있다. Biomechanical Model은 높은 강도의 과도한 힘의 사용과 같은 stress를 유발시키는 지침 제공하는데 이용되지만 최근의 연구들은 반복적으로 물건을 드는일에 관한 평가에 있어 Biomechanical Model의 사용을 위한 지침을 제공해주는 것으로 작업의 자세에 관한 분석을 다음과 같이 하였다.

작업의 개요.

: 냉동 탑차에 적재된 얼음과자 제품을 창고로 입고하거나 창고에 입고된 제품을 냉동탑차로 옮겨 실는 작업으로 2인이 1조로 작업을 실시한다.

- o. 적재 차량 : 8 톤 냉동 탑차.
- o. 적재함의 크기 (작업 가능 반경) : 높이 191cm, 길이 698cm, 너비 225cm.
- o. 실험제품의 크기 및 무게 : 35.0×25.5×13.5 cm, 2.95kg(1회 작업시 3개씩 들)
- o. 작업자의 바닥에서 허리까지의 길이 : 95cm.
- o. 제품의 적재위치에서 가장 먼 거리 : 165cm.
- o. 제품의 적재위치에서 가장 가까운 거리 : 90cm.
- o. 제품의 적재 높이 : 135cm.
- o. 1파렛트의 제품을 적재하는 횟수 : 1인 각 21회.
- o. 1대당 파렛트의 개수 : 20개.
- o. 1일 평균 작업 차량 댓수 : 약 25대.

작업 방법.

: 작업은 냉동탑차에 적재된 제품을 파렛트 위로 옮기는 작업으로 적재된 제품의 높이와 파렛트 적재 정도에 따라 다르다. 본 연구에서는 작업시점과 종점을 각각 3점으로 하였다. 즉, 제품이 최상단, 중간, 최하단에 적재된 것으로 가정하고 파렛트에 적재될때에도 최상단, 중간, 최하단에 적재시키는 것으로 가정하였다.

Static Sagittal Plane Model

9가지 작업방법에 대하여 생체 역학적 분석을 실시하였다. 작업자체는 연속적이거나, 작업시작부터 적재시킬 때 까지 전과정을 7동작으로 구분하였다. 생체 역학 분석을 위하여 9개 작업을 비디오로 찍어서 7동작의 정지화면에서 각 관절의 각도를 측정하였다. 표 3은 각각의 9가지 작업방법에 대하여 7부분의 동작으로 나누어 각 작업동작의 부위별 지면과의 각도를 측정된 것으로 작업 동작의 부하(moment)를 산출하는데 필요한 입력자료이다. 표 3에서 측정된 각도를 기준으로 Biomechanical Model에 입력하여 그림 1과 같은 결과를 구하였다.

표 3 동작별 측정 각도.

		천경-1	천경-2	천경-3	중간-1	중간-2	중간-3	바닥-1	바닥-2	바닥-3
P O S T U R E	Neck	64	60	60	32	5	8	-20	0	-42
	Shoulder	50	24	72	95	107	109	117	117	112
	Elbow	-59	-23	10	50	80	76	50	97	98
	Wrist	-31	-54	-12	28	58	55	20	58	90
	Hip	88	72	95	27	31	28	0	-5	-40
	Knee	84	99	86	89	95	98	105	95	79
	Ankle	63	71	96	74	89	85	81	92	100

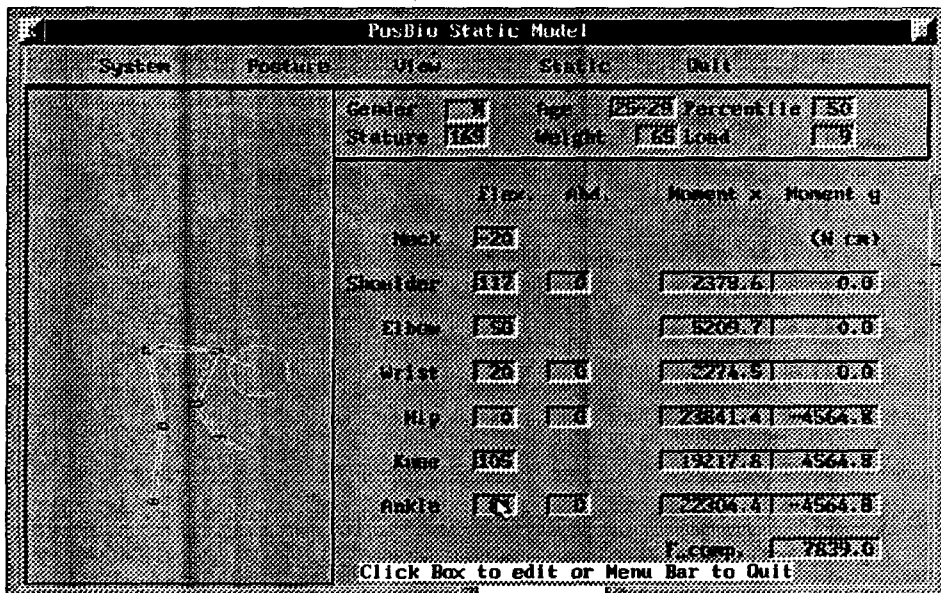


그림 1. 탑차내의 바닥부에서 파레트의 하단부까지의 옮기는 작업의 첫 번째 동작에 대한 생체 역학적 분석에.

표 4 작업 동작에 따른 신체 부위별 모멘트 값(작업 시작시)

		천정-1	천정-2	천정-3	중간-1	중간-2	중간-3	바닥-1	바닥-2	바닥-3
		Moment X	Moment X	Moment X	Moment X	Moment X	Moment X	Moment X	Moment X	Moment X
P O S T U R E 1	Shoulder	8367.3	11238.3	8698.6	4532.4	173.8	412.4	2378.6	-2183.5	-2971.6
	Elbow	4358.8	5541.3	6771.5	5075.9	1997.1	2442.7	5209.7	647.7	-635.5
	Wrist	2006.9	1338.0	2274.5	2140.7	1204.2	1338.0	2274.5	1204.2	0.0
	Hip	12644.6	19694.2	11890.1	23749.6	20230.2	20759.7	23841.4	19753.4	13672.5
	Knee	14511.9	16899.6	13136.3	24061.4	18673.2	18273.5	19217.8	18196.4	17081.2
	Ankle	23469.7	23323.5	11073.8	29500.1	19705.9	19993.2	22304.4	17507.8	13654.9
	F_comp	4402.4	6645.1	3987.0	7777.5	6569.4	6887.5	7839.0	6309.0	4527.7

표 4는 각 작업 방법에 대하여 작업 시작시 각 관절에 부과되는 모멘트를 정리한 것이다. 이상과 같은 연구의 결과로 보아 냉동창고의 출하작업시 작업 동작에 따라 신체 각부위에 걸리는 moment값의 많은 부분이 신체중의 하체부위에 많이 작용을 하고 있으며 특히 허리, hip 및 무릎에 큰 모멘트가 작용을 하는 것으로 보아 이러한 작업은 CTD의 결과를 초래할수 있는 명백한 근거가 될 수 있다.

3. 연구결과에 대한 기여도, 기대효과 및 활용방안

제품 창고 운용에서 화물의 취급시 작업공간의 협소로 인하여 상당한 부분이 인력에 의해 이루어지고 있으므로 근골격계질환에 이환될 가능성이 매우 높다. 이는 현대인의 허리힘 저하와 척추의 과도한 부하로 인해서 발생하는 근골격계 문제, 빈번한 인력 취급활동의 반복성, 불안정한 자세에서의 하중 취급 및 몸통 회전 등에 기인하는 것이다.

따라서 이를 역학조사, 생체역학적 분석, 근육활동의 분석을 통하여 개선 대상을 추출하여 도구 및 설비의 개선과 작업/휴식 시간의 설정 등 작업 방법의 재설계가 이루어야 할 것으로 사료된다.

이와 더불어 다음과 같은 관리적 방안이 제시될 것이다.

- 신규작업자의 lifting교육 및 능력 향상
- warming up program의 개발
- 근로자의 근력 및 지구력 test
- 사용도구의 인간공학적 개선

4. 참고 문헌

- 1) 김상호, 정민근 “반복적인 들어올리기 작업에서 작업자세와 시간이 근력 변화에 미치는 영향”, 추계 산업공학회 논문집, pp 450-457. 1994.
- 2) 노동부, “96년 산업재해 통계”, 1997.
- 3) National Safety Council, “Accident Facts”, 1995.
- 4) 기도형, 정민근, “산업재해 보상에서의 요통재해 조사 및 분석”, ‘94 추계 산업공학회 논문집, pp 443-449, 1994.
- 5) Marras, W. S. and Mirka, G. A. , “Trunk Strength during Symmetric trunk motion”, Human Factors, Vol 31, pp 667-677, 1981.
- 6) Putz-Anderson, V. , “Cumulative Trauma Disorders”, Taylor & Francis , London , 1992.
- 7) Waters, T. R. , Putz-Anderson, V, Garg, A. and Fine L. J. , “Revised NIO - SH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks” , Ergonomics, Vol 36. pp 749-776, 1993.
- 8) 장성록 “L5/S1에 걸리는 부하염력과 척추기립근 근전도의 상관관계 분석”, 한국산업안전학회지, 제10권 제4호, pp 103-108, 1995.