

工學碩士 學位論文

가전업계에서의 근골격계질환 예방관리 프로그램
개발·운영에 관한 연구

A Study on the Musculoskeletal Disorders
Prevention Program in Electronics Industry

指導教授：張 聖 祿

이 論文을 金 慶 大 學 校 大 學 院 安 全 工 學 科 提 出 함



釜 慶 大 學 校 大 學 院

安 全 工 學 科

孫 椿 奇

孫椿奇의 工學碩士 學位論文을 認准함

2004年 12月 23日

主 審 工學博士 權 五 憲



委 員 工學博士 崔 載 旭



委 員 工學博士 張 聖 祿



목 차

1. 서 론	1
1. 1 연구 필요성	2
1. 2 연구 목적	2
1. 2 연구 방법	2
2. 설문 및 증상조사	4
2. 1 작업형태 분석 결과	5
2. 2 작업강도 분석 결과	6
2. 3 작업이 힘든 원인 분석 결과	7
2. 4 작업조절 가능성 분석 결과	8
2. 5 상해사고 치료 이력 분석 결과	9
2. 6 신체부위별 통증 강도	10
2. 7 유소견자/요주의자 추정	11
3. 유해요인 조사 및 작업평가	12
3. 1 유해요인조사의 목적 및 시기	12
3. 2 유해요인조사 절차 및 방법	15
3. 3 시범라인 유해요인조사 및 작업평가 결과	18

4. 개선 방안	20
4. 1 대차 개선	22
4. 2 이동거리 개선	23
4. 3 중량물 취급 개선	24
4. 4 작업 자세 개선	24
4. 5 치공구 개선	25
4. 6 작업피로도 개선	26
5. 결론	27
6. 참고문헌	30
부록 A	33
부록 B	42
Abstract	53

표 목 차

Table 2. 1 사업부별 설문지 회수 부수	4
Table 2. 2 사업부별 기본 사항	4
Table 2. 3 현재 수행하고 있는 작업 형태(중복 허용)	5
Table 2. 4 작업강도 분석 결과	6
Table 2. 5 현재 작업이 힘든 원인(중복 허용)	7
Table 2. 6 작업조절 가능성 분석 결과	8
Table 2. 7 작업 외 상해사고 치료 이력 분석 결과	9
Table 2. 8 중간통증 이상 신체부위(중복 허용)	10
Table 2. 9 유소견자/요주의자 추정 비율	11
Table 3. 1 유해요인 분류	17
Table 3. 2 유해요인조사 사업부별 현황	18
Table 3. 3 사업부별 분석 결과	19
Table 4. 1 개선 항목별 개선 방안	22
Table 5. 1 사업부별 개선 전/후 비교	28
Table A. 1 들기 빈도 결정을 위한 표	36
Table A. 2 결합계수 결정을 위한 표	37

Table A. 3 NLE 작업분석표	41
Table B. 1 그룹 A의 작업부하 지수	45
Table B. 2 그룹 B의 작업부하 지수	47
Table B. 3 그룹 A의 종합 부하 수치(Score A)	49
Table B. 4 그룹 B의 종합 부하 수치(Score B)	50
Table B. 5 근육 부하와 힘 부하	50
Table B. 6 총괄적인 부하(Grand Score)	51
Table B. 7 실제의 작업부하 수준(Action Level)	51

그 립 목 차

Fig. 1. 1 연구순서 Flow	3
Fig. 3. 1 유해요인조사 추진절차 및 내용	15
Fig. 3. 2 유해요인조사 및 개선 Flow	16
Fig. 4. 1 사업장에서의 근골격계질환 예방관리 Process	21
Fig. 4. 2 대차 개선	23
Fig. 4. 3 부품 이동거리 개선	23
Fig. 4. 4 중량물 취급방법 개선	24
Fig. 4. 5 작업자세 개선	25
Fig. 4. 6 치공구 개선	25
Fig. 4. 7 작업발판 개선	26
Fig. B. 1 상완의 부하지수	46
Fig. B. 2 전완의 부하지수	46
Fig. B. 3 손목의 부하지수	47
Fig. B. 4 목의 부하지수	48
Fig. B. 5 상체의 부하지수	48
Fig. B. 6 RULA를 이용하여 작업부하를 구하는 절차	52

1. 서론

1. 1 연구 필요성

최근 노동부가 발표한 2003년도 산업재해 통계에서 2003년도 업무상 질병자 수는 9,130명으로 전년도 5,417명에 비해 3,713명(68.5%)이 증가하였으며 이 중에서 작업관련성질병은 2003년에 7,225명으로 전년도 4,066명보다 3,159명(77.7%)이 증가하였다. 전체 업무상 질병자의 증가분이 작업관련성질병에서 발생했음을 보여준다¹⁾.

작업관련성 질병 중 뇌·심혈관 질환자는 2,358명으로 전년도 2,056명보다 302명(14.7%)이 증가하였고 신체부담작업으로 인한 질환(경건완장해 등)은 2,906명으로 전년도 1,167명보다 1,739명(149.0%)이 증가하였으며, 요통은 1,626명으로 전년도 660명보다 966명(146.4%) 증가하였다¹⁾.

이러한 작업관련성질환은 가전제품을 조립, 제조하는 업계의 특성중 하나인 단순 반복적인 작업과 중량물 취급하는 작업에 의하여 발생할 수 있는 질환으로써 향후 지속적인 Issue로 대두 될 것이다.

따라서 이러한 작업관련성질환을 사전에 예방하기 위해서는 작업관련성 근골격계질환 예방관리 프로그램의 개발, 운영이 필요할 것으로 사료된다.

1. 2 연구 목적

본 연구는 A사의 인간공학프로그램의 개발/운영과 작업 및 공정에 따른 근골격계질환의 유해요인조사 및 작업장 개선을 통하여 작업관련성 근골격계질환의 예방과 기업의 생산성 향상, 작업자의 만족도 향상을 목적으로 한다. 또한 근골격계질환 관련 작업환경 개선과 근골격계질환 예방 프로그램의 실시 및 2003년 7월에 시행된 근골격계질환의 예방에 관한 규칙²⁾에서 중요한 요소인 작업 위험성 평가와 밀접한 관련이 있기 때문에 안전하고 쾌적한 작업환경 조성과 정부 규제를 사전에 예방하기 위한 중요한 자료로 활용할 수 있다.

1. 3 연구 방법

전체적인 흐름을 통해 연구 방법을 설명하면 다음과 같다. 우선 작업관련성 근골격계질환 예방을 위한 유해요인 조사 및 작업환경개선 프로그램을 시행하기 위해 우선적으로 현장조사와 작업자 면담을 실시하여 유해요인 기본 조사표를 작성하고, 근골격계질환 증상조사표를 통한 설문조사를 병행하였다. 여기서 도출된 유해요인들을 작업 자세 및 방법, 공구 및 기기설비 분석, 기기배치 및 공장 전체적인 layout 분석 등을 통해 작업분석을 실시하였다.

인간공학적 작업분석에 사용된 Tool로는 RULA, NIOSH LIFTING EQUATION을 사용하였다. 작업 환경 개선 선정기준은 인간공학적 Tool 분석 결과 위험도, 유해요인 기본 조사표상의 점수, 근골격계질환 증상조사표, 개선의 난이도, 개선 후의 효과 등을 고려하여 개선우선순위작업을 선정 한 후 현장 계/반장과 작업자 및 생산기술 그룹과의 토의를 거쳐 개선안을 도출하고 현장에 적용을 하게 된다. 본 연구의 순서는 Fig. 1. 1과 같다.

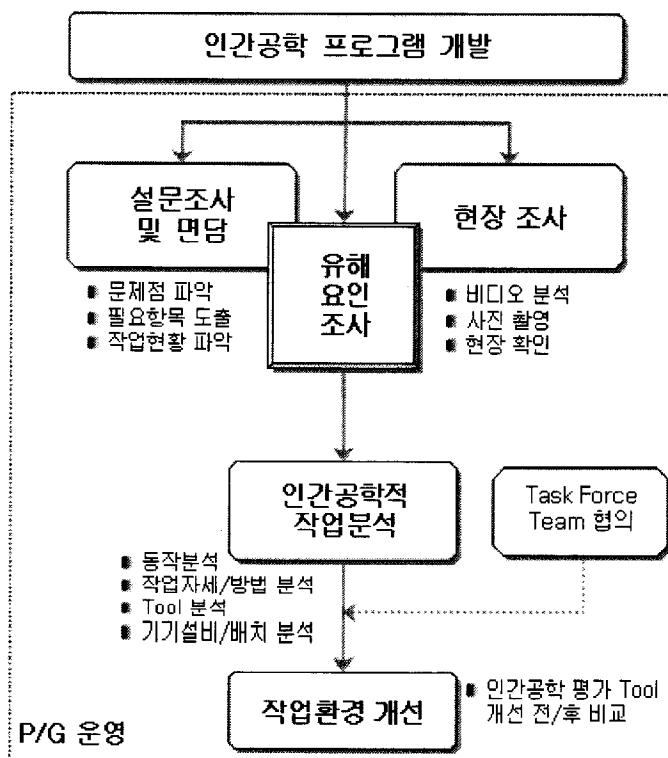


Fig. 1. 1 연구순서 Flow

2. 설문 및 증상조사

A사의 근로자 1,000명에 대해 근골격계질환 관련하여 설문을 실시한 결과 741명이 회수되었다. 설문지는 근골격계질환 관련 결과를 얻기 위해 구성하였으며, 유소견자 판별은 NIOSH 기준 및 한국산업안전공단의 작업관련 근골격계질환의 증상 및 위험요인 평가지침을 따랐다^{3~5)}. A사의 A1 사업부, A2 사업부, A3 사업부 및 B1 사업부에 대하여 사업부별로 설문을 배포하고 회수한 부수는 다음의 Table 2. 1과 같다.

Table 2. 1 사업부별 설문지 회수 부수

사업부 명	A1	A2	A3	B1	합계
회수 부수	189	346	16	190	741

회수한 사업부별 설문의 기본 사항을 분석하면 다음의 Table 2. 2와 같다.

Table 2. 2 사업부별 기본 사항

사업부 명	평균연령	평균근무경력(년)	평균 현재직무기간(년)
A1	33.2	3.4	0.9
A2	28.6	3.4	1.4
A3	29.2	5.7	1.8
B1	30.9	10.4	1.6
전체	30.5	5.7	1.4

2. 1 작업형태 분석 결과

현재 수행하고 있는 작업 형태에 대한 응답결과는 Table 2. 3과 같다. 장시간 서서하는 작업이 86.23%로 가장 높았으며 팔, 손/손목, 손가락을 사용하는 잦은 반복적인 움직임이 있는 작업이 74.01%, 허리를 구부리고 하는 작업이 55.06%로 나타났다.

Table 2. 3 현재 수행하고 있는 작업 형태(중복 허용)

순번	작업 형태	응답자 수(명)	비율(%)	비고
1	장시간 서서 하는 작업	639	86.23	
2	팔, 손/손목, 손가락을 사용하는 잦은 반복적인 움직임이 있는 작업	541	74.01	
3	허리를 구부리고 하는 작업	408	55.06	
4	팔이나 손을 길게 뻗어서 하는 작업	381	51.42	
5	중량물을 들어 올리는 작업	299	40.35	
6	목을 구부리거나 비틀어서 하는 작업	255	34.41	
7	팔이 어깨 높이나 그 위에서 하는 작업	255	34.41	
8	허리를 비틀어서 하는 작업	239	32.25	
9	중량물을 밀거나 당기는 작업	234	31.58	
10	몸을 앞으로 기울여서 하는 작업	483	65.18	

2. 2 작업강도 분석 결과

현재 수행하고 있는 작업에서 느끼는 작업강도에 대한 응답 결과는 Table 2. 4와 같다. 분석 결과 “매우 힘들다”고 응답한 비율이 8.8%, “약간 힘들다”가 41.5%, “견딜 만 하다”가 46.1%, “전혀 힘들지 않다”가 3.6%로 나타났다. 특히, B1 사업부에서 “매우 힘들다”는 응답비율이 11.4%로 가장 많이 나타났으며 이는 중량물 취급공정 작업을 하는 작업자의 수가 타 사업부보다 많기 때문이었다.

Table 2. 4 작업강도 분석 결과

사업부	전혀 힘들지 않다		견딜 만 하다		약간 힘들다		매우 힘들다	
	선택 수 (명)	점유율 (%)	선택 수 (명)	점유율 (%)	선택 수 (명)	점유율 (%)	선택 수 (명)	점유율 (%)
A1	5	2.7	96	52.5	71	38.8	11	6.0
A2	10	2.9	150	44.2	149	43.8	31	9.1
A3	0	0	6	40.0	8	53.3	1	6.7
B1	11	5.9	81	43.8	72	38.9	21	11.4
전체	26	3.6	333	46.1	300	41.5	64	8.8

※ A1 사업부(6부), A2 사업부(6부), A3 사업부(1부), B1 사업부(5부) 미 체크.

2. 3 작업이 힘든 원인 분석 결과

현재 수행하고 있는 작업이 힘든 원인에 대한 응답 결과는 Table 2. 5와 같다. 분석 결과 “업무량이 많음”이 34.6%, “작업이 힘들”이 24.2%로 나타났다.

작업이 힘든 원인으로는 생산시간의 단축으로 시간당 작업량이 과거보다 늘어났으며 신입사원들이 작업에 익숙하지 않아 작업자체가 힘든 것으로 나타났다. 사업부별로는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 2. 5 현재 작업이 힘든 원인(중복 허용)

원인		전체	사업부			
			A1	A2	A3	B1
전혀 힘들지 않음	선택수(명)	92	32	33	1	26
	점유율(%)	14.1	22.6	10.3	7.7	14.5
육체적 질병	선택수(명)	17	3	11	1	2
	점유율(%)	2.6	2.1	3.4	7.7	1.1
업무량이 많음	선택수(명)	226	49	111	4	62
	점유율(%)	34.6	34.5	34.7	30.8	34.6
작업이 힘들	선택수(명)	158	30	76	3	49
	점유율(%)	24.2	21.1	23.8	23.0	27.4
업무에 대한 불만족	선택수(명)	47	5	30	2	10
	점유율(%)	7.2	3.5	9.4	15.4	5.6
기타	선택수(명)	114	23	59	2	30
	점유율(%)	17.4	16.2	18.4	15.4	16.8

2. 4 작업조절 가능성 분석 결과

작업 중 피로가 쌓이거나 힘이 들 때 작업량이나 속도를 스스로 조절할 수 있는지에 대한 응답 결과는 Table 2. 6과 같다. 작업조절을 “거의 조절할 수 없다”가 51.5%, “조금은 조절할 수 있다”가 37.5%로 나타나 대부분의 작업자가 작업을 스스로 조절하기 힘든 것으로 나타났다.

“작업을 거의 조절할 수 없다”라는 응답이 B1 사업부가 타 사업부에 비해 낮은 원인으로서는 B1 사업부의 경우에는 가공작업을 위한 서브작업이 많기 때문에 작업량에 대한 조절이 가능한 것으로 나타났다.

Table 2. 6 작업조절 가능성 분석 결과

사업부	피로가 쌓이거나 힘이 들더라도 거의 조절할 수 없다		피로가 쌓이거나 힘이 들 때 조금은 조절할 수 있다		피로가 쌓이거나 힘이 들 때 필요에 따라 적절히 조절할 수 있다	
	선택수(명)	점유율(%)	선택수(명)	점유율(%)	선택수(명)	점유율(%)
A1	93	55.7	52	31.1	22	13.2
A2	183	56.5	121	37.3	20	6.2
A3	9	69.2	2	15.4	2	15.4
B1	66	37	81	45.6	31	17.4
전체	351	51.5	256	37.5	75	11.0

2. 5 상해사고 치료 이력 분석 결과

과거에 운동(취미활동 등) 중 혹은 작업관련성외의 사고로(교통사고, 넘어짐, 추락 등) 인해 손/손가락/손목, 팔/팔꿈치, 어깨, 목, 허리, 무릎, 눈, 발/발목 부위를 다쳐 치료받은 경험이 있는 지에 대한 응답 결과는 Table 2. 7과 같다. 업무와 관련 없는 치료경험자가 34.5%로 나타났다.

비록 작업 외의 사고이지만 향후 작업관련성질환으로 이완될 수 있는 경향성을 나타내고 있기 때문에 치료 이력을 가진 작업자에 대해서는 추적관리가 필요할 것이다.

Table 2. 7 작업 외 상해사고 치료 이력 분석 결과

구분	예		아니오	
	선택수(명)	점유율(%)	선택수(명)	점유율(%)
A1	43	25.4	126	74.6
A2	121	39.5	185	60.5
A3	7	50.0	7	50.0
B1	56	33.1	113	66.9
전체	227	34.5	431	65.5

※ A1 사업부(20부), A2 사업부(40부), A3 사업부(2부), B1 사업부(21부) 미 체크.

2. 6 신체부위별 통증 강도

자각증상에 의한 중간통증 이상의 신체부위별 통증강도에 대한 설문 분석 결과는 Table 2. 8과 같다.

어깨 부위가 26.3%로 가장 높게 나타났으며, 손/손목/손가락 부위가 25.2%, 허리 부위가 21.3%의 순으로 나타나 작업 특성이 상지를 사용하는 작업에 의한 것으로 분석되었으며 사업부별로 큰 차이를 보이지는 않았다.

Table 2. 8 중간통증 이상 신체부위(중복 허용)

구분	목		무릎		어깨		팔/팔꿈치		손/손목/ 손가락		허리		발/발목	
	선택수 (명)	점유율 (%)	선택수 (명)	점유율 (%)	선택수 (명)	점유율 (%)	선택수 (명)	점유율 (%)	선택수 (명)	점유율 (%)	선택수 (명)	점유율 (%)	선택수 (명)	점유율 (%)
A1	29	15.3	21	11.1	43	22.8	15	7.9	24	12.7	14	7.4	12	6.3
A2	105	30.3	46	13.3	100	28.9	41	11.8	85	24.6	52	15.0	62	17.9
A3	4	25.0	1	6.3	4	25.0	2	12.5	1	6.3	2	12.5	3	18.8
B1	37	19.5	7	3.7	48	25.3	19	10.0	37	19.5	18	9.5	19	10.0
전체	175	23.6	75	10.1	195	26.3	77	10.4	147	19.8	86	11.6	96	13.0

2. 7 유소견자/요주의자 추정

작업자의 자각증상 응답에서 통증 강도, 통증주기, 통증 지속기간 등을 분석하여 각 부위에 통증이 전혀 없거나 약한 통증을 느끼는 자를 “정상자”로 판단하며, 신체 부위 중 한 부위 이상 중간통증을 호소하고, 1달에 1번 이상 통증이 발생하며, 한번 통증이 발생하면 1주일 이상 지속되는 경우를 “요주의자”로 추정한다. 특히 1달에 1번 이상 통증이 발생하며, 한번 통증이 발생하면 1주일 이상 지속되고 자각증상이 심한 통증이나 매우 심한 통증을 호소하여 요양이 필요할 정도의 근골격계질환을 앓고 있을 가능성이 높은 사람들을 “유소견자”로 추정한다(NIOSH, 한국산업안전공단 기준).

A사의 근골격계질환 유소견자/요주의자 추정 비율은 Table 2. 9와 같다(7개 신체부위 중 1부위 이상 자각증상 응답).

유소견자 추정 대상자가 48명(6.5%), 요주의자 추정 대상자가 35명(4.7%)로 나타났으며 이는 선행연구⁶⁾에서 국내 전자산업에서의 유소견자 비율이 20%라는 연구 보고서에 비하면 낮은 수준이며 그 원인으로는 근속년수가 짧기 때문인 것으로 사료된다.

Table 2. 9 유소견자/요주의자 추정 비율

구분	유소견자 추정		요주의자 추정		정상 추정	
	인원(명)	비율(%)	인원(명)	비율(%)	인원(명)	비율(%)
A1	5	2.6	9	4.8	175	92.6
A2	32	9.2	22	6.4	292	84.4
A3	0	0.0	0	0.0	16	100.0
B1	11	5.8	4	2.1	175	92.1
전체	48	6.5	35	4.7	658	88.8

3. 유해요인 조사 및 작업평가

3. 1 유해요인조사의 목적 및 시기

2002년 12월 30일산업안전보건법 제 24조(보건상의 조치) 제1항 제5호를 신설하여 사업주에게 보건상의 조치로 근골격계질환 예방의무를 부과하였다(2003년 7월 1일 시행).

산업안전보건법 제24조(보건상의 조치) 제2항의 규정에 의하여 사업주의 구체적인 조치의무는 “산업보건기준에관한규칙”에서 정하도록 하였고, 이에 따라 유해요인조사, 작업환경개선, 의학적 조치, 유해성 주지 및 근골격계질환 예방관리 프로그램의 수립·시행을 규정하는 산업보건기준에 관한 규칙 제9장(근골격계부담 작업으로 인한 건강장해의 예방)이 신설되었다. 또한, 노동부고시 제2003-24호에서는 근골격계 부담작업의 범위를 총 11개 항목으로 규정하여 고시하였다^{7~9)}.

근골격계 부담 작업 11개 항목은 다음과 같다.

- ① 근골격계 부담 작업 제 1호 : 하루에 4시간 이상 집중적으로 자료입력 등을 위해 키보드 또는 마우스를 조작하는 작업
- ② 근골격계 부담 작업 제 2호 : 하루에 총 2시간 이상 목, 어깨, 팔꿈치, 손목 또는 손을 사용하여 같은 동작을 반복하는 작업
- ③ 근골격계 부담 작업 제 3호 : 하루에 총 2시간 이상 머리 위에 손이 있거나, 팔꿈치가 어깨 위에 있거나, 팔꿈치를 몸통으로부터 들거나, 팔꿈치를 몸통 뒤쪽에 위치하도록 하는 상태에서 이루어지는 작업

- ④ 근골격계 부담 작업 제 4호 : 지지되지 않은 상태이거나 임의로 자세를 바꿀 수 없는 조건에서, 하루에 총 2시간 이상 목이나 허리를 구부리거나 트는 상태에서 이루어지는 작업
- ⑤ 근골격계 부담 작업 제 5호 : 하루에 총 2시간 이상 쪼그리고 앉거나 무릎을 굽힌 자세에서 이루어지는 작업
- ⑥ 근골격계 부담 작업 제 6호 : 하루에 총 2시간 이상 지지되지 않은 상태에서 1kg 이상의 물건을 한손의 손가락으로 집어 옮기거나, 2kg 이상에 상응하는 힘을 가하여 한손의 손가락으로 물건을 쥐는 작업
- ⑦ 근골격계 부담 작업 제 7호 : 하루에 총 2시간 이상 지지되지 않은 상태에서 4.5kg 이상의 물건을 한 손으로 들거나 동일한 힘으로 쥐는 작업
- ⑧ 근골격계 부담 작업 제 8호 : 하루에 10회 이상 25kg 이상의 물체를 드는 작업
- ⑨ 근골격계 부담 작업 제 9호 : 하루에 25회 이상 10kg 이상의 물체를 무릎 아래에서 들거나, 어깨 위에서 들거나, 팔을 뻗은 상태에서 드는 작업
- ⑩ 근골격계 부담 작업 제 10호 : 하루에 총 2시간 이상, 분당 2회 이상 4.5kg 이상의 물체를 드는 작업
- ⑪ 근골격계 부담 작업 제 11호 : 하루에 총 2시간 이상, 시간당 10회 이상 손 또는 무릎을 사용하여 반복적으로 충격을 가하는 작업

근골격계 부담 작업에 근로자를 종사하도록 하는 사업장들은 산업보건기준에 관한 규칙 9장에 의하여 3년마다 유해요인 조사를 정기적으로 실시하게 되어 있으며, 법규 시행에 따른 최초 유해요인 조사를 2004년 6월말까지 실시하게 되어 있다.

유해요인 조사 시기는 매 3년 이내에 정기적으로 실시하는 것을 원칙으로 하며 다음 각 호에서 정하는 경우 수시로 실시하여야 한다.

(가) 산업안전보건법에 의한 임시건강진단 등에서 근골격계질환자가 발생하였거나 산업재해보상보험법에 의한 근골격계질환자가 발생한 경우

(나) 근골격계 부담 작업에 해당하는 새로운 작업·설비를 도입한 경우

(다) 근골격계 부담 작업에 해당하는 업무의 양과 작업공정 등 작업환경을 변경한 경우

A사의 작업장에 존재하는 작업 및 공정의 근골격계질환 관련 위험성을 분석하고 이에 따라 작업환경 개선안을 도출하여 근골격계질환의 예방은 물론 생산성 향상과 작업자의 작업 만족도 향상에 목적을 두고 유해요인 조사를 실시하였다.

3. 2 유해요인조사 절차 및 방법

유해요인조사는 작업장을 대상으로 작업자의 작업 방법에 대한 정밀분석을 통하여 근골격계질환과 관련한 작업 위험 요인 및 불안전 행동 요소들을 파악하고 이들을 토대로 작업자의 안전과 편리함을 확보하면서 생산성을 향상시키는 인간공학적 작업환경 개선안을 도출하고자 하는데 목적이 있다¹⁰⁾.

Fig. 3. 1은 유해요인조사 추진 절차 및 내용을 나타내고 있다.

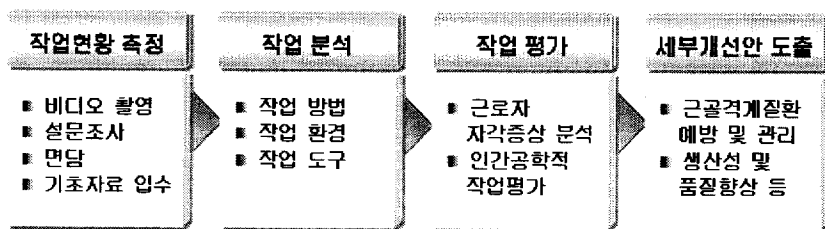


Fig. 3. 1 유해요인조사 추진절차 및 내용

유해요인조사 추진에 앞서 A사에 TF팀을 구성하였고, 유해요인조사표와 RULA, NLE 분석에 대한 교육을 실시하였다. 추후 TF팀은 전사 확산을 위한 유해요인조사 및 작업평가를 수행하였다. 최종적으로 작업 분석 및 분석 내용을 바탕으로 공정에 관한 세부 개선안을 제시하였다.

다음의 Fig. 3. 2는 A사의 유해요인조사 및 개선에 대한 flow를 나타내고 있다.

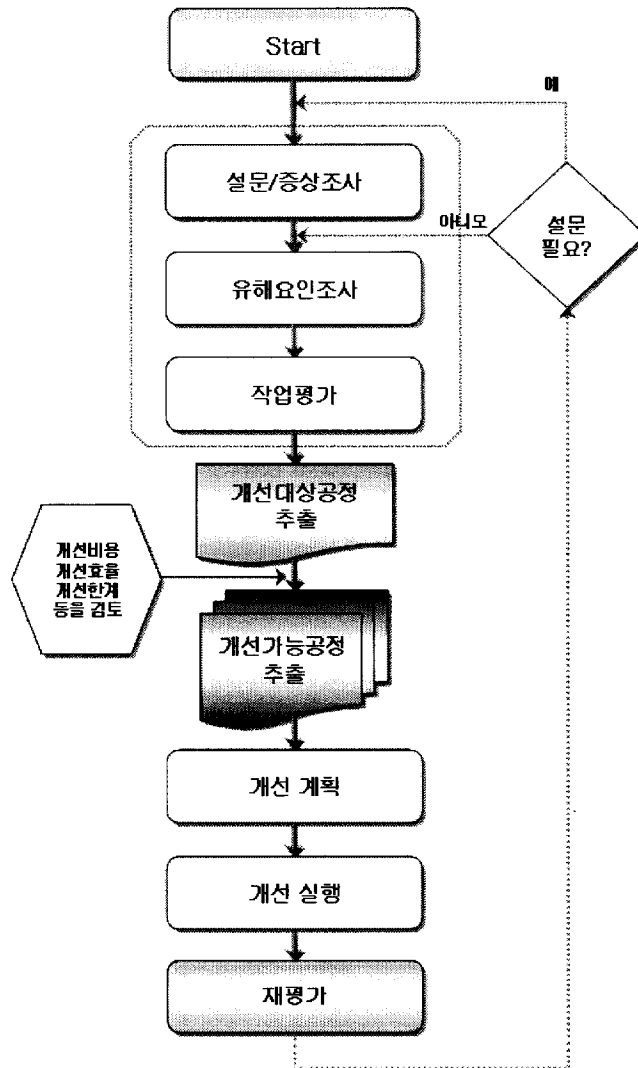


Fig. 3. 2 유해요인조사 및 개선 flow

근골격계 부담 작업의 유해요인을 작업방법, 작업 자세 및 작업환경으로 인해 근골격계에 부담을 줄 수 있는 반복성, 부자연스런 또는 취하기 어려운 자세, 과도한 힘, 접촉스트레스, 진동 등으로 구분하여 조사하도록 하고 있으며 유해요인에 대한 설명은 다음의 Table 3. 1과 같다^{11~13)}.

Table 3. 1 유해요인 분류

유해 요인	내용 설명
반복성	같은 근육, 힘줄 또는 관절을 사용하여 동일한 유형의 동작을 되풀이해서 수행함.  
부자연스러운/ 취하기 어려운 자세	반복적이거나 지속적인 팔을 뻗음, 비틀, 구부림, 머리 위 작업, 무릎을 꿇음, 쪼그림, 고정 자세를 유지함, 손가락으로 집기 등.     
과도한 힘	작업을 수행하기 위해 근육을 과도하게 사용함   
접촉 스트레스	작업대 모서리, 키보드, 작업공구, 가위사용 등으로 인해 손목, 손바닥, 팔 등이 지속적으로 눌리거나 손바닥 또는 무릎 등을 사용하여 반복적으로 물체에 압력을 가함으로써 해당신체부위가 충격을 받게 되는 것 
진동	지속적이거나 높은 강도의 손-팔 또는 몸 전체의 진동  
기타	극심한 저온 또는 고온, 너무 밝거나 어두운 조명

3. 3 시범라인 유해요인조사 및 작업평가 결과

A사의 작업장에 존재하는 작업 및 공정의 근골격계질환 관련 위험성을 분석하고 이에 따라 작업환경 개선안을 도출하여 근골격계질환의 예방은 물론 생산성 향상과 작업자의 작업 만족도 향상에 목적을 두고 유해요인 조사¹⁰⁾를 실시하였다.

A사의 유해요인 조사건수는 총 554건으로 각 공정에 대해 RULA 분석¹⁴⁾과 중량물 취급 작업의 경우 NLE 분석¹⁵⁾을 실시하였다. 유해요인 조사 결과 즉시 개선, 개선필요, 안전의 3개 그룹으로 분류하여 개선우선순위를 부여하였다. 사업부별 현황은 Table 3. 2와 같다.

Table 3. 2 유해요인조사 사업부별 현황

구분	유해요인 조사 건수	개선 필요	안전
A1 사업부	164	37	127
A2 사업부	298	121	177
A3 사업부	17	3	14
B1 사업부	75	11	64
전체	554	172	382

A사에서는 유해요인조사 결과(작업부하×작업빈도)가 12점 이상인 경우 개선이 필요한 공정으로 분류한다.

사업부별 시범라인에 대한 유해요인 조사결과를 바탕으로 각 공정별 작업평가를 실시하였다.

각 사업부별 RULA 및 NLE 평가결과에 따른 평균 점수와 LI 값을 다음의 Table 3. 3에 나타내었다. 사업부별로 살펴보면 A1 사업부는 RULA 분석결과 4.66점, NLE 분석결과 LI 값이 시점과 종점에서 각각 1.34와 1.17로 나타났으며, A2 사업부는 RULA 분석결과 5.42점, NLE 분석결과 LI 값이 시점과 종점에서 각각 1.74와 2.18로 나타났다. A3 사업부에서는 RULA 분석결과 5.18점, NLE 분석결과 LI 값이 시점과 종점에서 각각 2.88과 2.93으로 나타났으며, B1 사업부는 RULA 분석결과 4.63점, NLE 분석결과 LI 값이 시점과 종점에서 각각 2.88과 2.93으로 나타났다. 전체 시범라인에서는 RULA 분석결과 4.96점, NLE 분석결과 LI 값이 시점과 종점에서 각각 2.32와 2.41로 나타나 총 554개 공정 중 즉시개선 85개, 개선필요 229개, 안전한 공정 240개로 분류되었다.

Table 3. 3 사업부별 분석 결과

구분	RULA (점)	NLE LI		즉시 개선 (공정수)	개선 필요 (공정수)	안전한 (공정수)
		시점	종점			
A1 사업부	4.66	1.34	1.17	13	60	91
A2 사업부	5.42	1.74	2.18	68	136	94
A3 사업부	5.18	3.33	2.83	1	8	8
B1 사업부	4.63	2.88	2.93	3	25	47
전체	4.96	2.32	2.41	85	229	240

RULA 평가결과 즉시개선, 개선필요, 안전으로 나누는 기준은 다음과 같다.

- 즉시 개선 : RULA 평가 결과 7점
- 개선 필요 : RULA 평가 결과 5 ~ 6점
- 안 전 : RULA 평가 결과 1 ~ 4점

NLE 평가결과 즉시개선, 개선필요, 안전으로 나누는 기준은 다음과 같다.

- 즉시 개선 : NLE 평가결과 LI값 3 이상
- 개선 필요 : NLE 평가결과 LI값 1 ~ 3
- 안전 : NLE 평가결과 LI값 1 이하

※ LI값이 3 이상이면 인력으로 작업을 해서는 안 됨(자동화 필요)

4. 개선 방안

작업 스트레스를 평가하여 각각의 작업요소와 대응시킨 인간공학 원리를 응용한 공학적 해결방안(작업 자세 및 작업방법, 인력운반, 수공구, 부재의 취급, 환경조건)을 통하여 근골격계질환의 위험성을 최소화하도록 하였다. 먼저 작업자의 육체적 스트레스 중 상체부분에 가해진 작업 스트레스는 작업 자세 및 방법, 수공구, 부재의 취급, 인력운반, 환경조건에 대한 인간공학적 해결방안을 이용하고, 하체부분에 받는 작업 스트레스는 작업 자세 및 방법, 인력운반에 대한 인간공학적 해결방안을 이용하여 스트레스를 최소화하였다. 또한, 척추부분에 받는 작업 스트레스는 인력운반, 작업 자세 및 작업방법, 부재의 취급, 운반구, 환경조건에 대한 인간공학적 해결방안을 이용하여 근골격계질환의 위험성을 최소화하도록 하였다. 근골격계질환의 위험성을 공학적 해결방안으로 최소화하지 못할 경우 관리적 해결방안(작업 확대, 작업교대, 작업휴식 반복주기, 교육, 스트레칭)을 통하여 근골격계질환의 위험성을 최소화하도록 추진하여야 할 것으로 사료된다^{17,18)}. 또

한 지속적인 예방관리를 위해서는 체계적인 근골격계질환 예방 프로세스를 정립하여 운영하여야 하며 프로세스는 Fig. 4. 1과 같다.

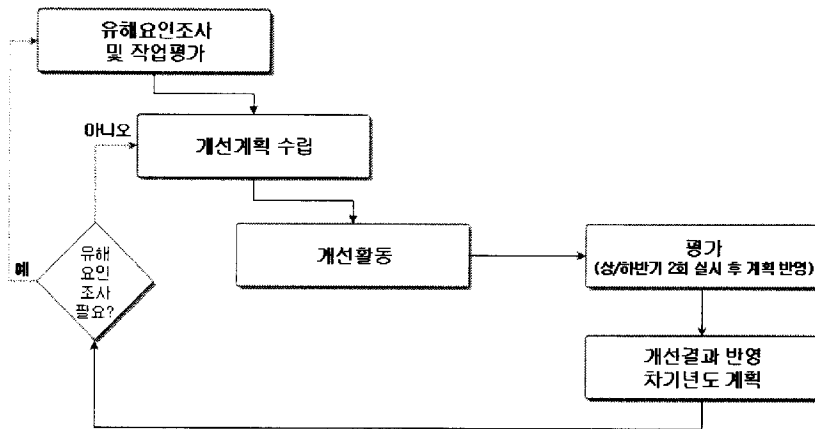


Fig. 4. 1 사업장에서의 근골격계질환 예방관리 Process

유해요인조사 결과를 바탕으로 각 공정별 작업 평가를 실시하여 개선안을 도출하였다.

본 연구에서 사용된 인간공학적 개선방안을 간단히 분류하면, 공학적 해결방안으로는 운반용 대차 개선, 각종 치공구 개선, 작업대 및 부품 적치대 개선, 작업방법 및 작업환경 재설계 등으로 나눌 수 있다. 이러한 재설계는 작업대의 높이를 조절할 수 있으며, 신체 부위를 중립으로 유지할 수 있고, 반복, 진동, 힘 그리고 환경적인 요소를 줄일 수가 있다.

주요 개선 내용은 대차, 이동거리, 중량물 취급, 작업 자세, 치공구 및 작업시간의 6가지로 선정되었다. 각 개선 항목에 대한 개선방향은 다음의 Table 4. 1과 같다.

Table 4. 1 개선 항목별 개선 방안

개선 항목	개선 Point	인간공학적 개선방안
대차	높이 크기	높이 조절용 Lift 설치 대차 크기 최적화
이동거리	부품위치	부품 적재 위치변경 이동거리 최소화
중량물	중량물 무게	Air Balance 설치 이동거리 최소화 취급 부품의 무게 경량화 자동화
작업자세	비틀림 자세	부품 적재위치 및 방법 변경 자동화
치공구	작업 편리성 / 효율성	치공구 개선(망치/롱로우즈/Jig 등)
작업시간	피로도 감소	피로예방 Mat 설치 교대작업

4. 1 대차 개선

컨베이어에 부품을 공급하는 작업으로 부품의 무게는 적으나 작업횟수가 일일평균 300회 이상 반복됨으로서 작업자의 허리 및 어깨에 부담을 미칠 수 있는 작업이었으며 작업평가를 실시한 결과 RULA 점수 6점으로 위험한 공정이었다. 개선방법으로는 컨베이어 측면에 Lift를 설치하여 작업자가 허리를 굽히지 않고 작업할 수 있도록 하여 작업자의 허리와 어깨에 발생한 부하를 줄여줌으로서 근골격계질환의 발생 위험성을 경감하였다. 개선 전후 그림을 다음의 Fig. 4. 2에 나타내었다.

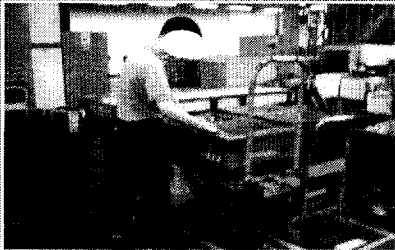
	개 선 전	개 선 후
사 진		
평가	RULA : 6점	RULA : 4점

Fig. 4. 2 대차 개선

4. 2 이동거리 개선

작업자가 뒤편에 놓여있는 부품을 들고 100도 이상 회전하여 제품에 장착하는 작업으로서 회전 시 발생하는 허리의 비틀림 및 부품의 이동거리를 개선한 사례이다. 반복적으로 발생하는 허리의 비틀림으로 인하여 불편을 호소하였으며 RULA 평가결과 5점으로 개선이 필요한 것으로 나타났다. 개선 전후 그림을 다음의 Fig. 4. 3에 나타내었다.

	개 선 전	개 선 후
사 진		
평가	RULA : 5점	RULA : 4점

Fig. 4. 3 부품 이동거리 개선

4. 3 중량물 취급 개선

부품의 조립 후 완성품을 팔레트에 적재하는 공정으로서 컴프레서의 무게가 30Kg 이상의 중량물 취급 작업이며 RULA 평가결과 7점, NLE 평가결과 들기 작업의 한계를 초과하여 즉시 개선이 필요한 작업으로 나타났다. 따라서 에어 밸런스를 설치하여 작업자 어깨와 허리의 부담을 경감시킨 사례이다. 개선 전 후 그림을 다음의 Fig. 4. 4에 나타내었다.

	개 선 전	개 선 후
사 진		
평가	RULA : 7점, LI : 3	RULA : 4점, LI : 1

Fig. 4. 4 중량물 취급방법 개선

4. 4 작업 자세 개선

컨베이어로 공급되는 부품을 가공설비에 인력으로 재공급하는 작업으로서 반복적인 부품의 공급 및 작업자의 어깨에 부하가 많이 가중되어 자동 공급용 대차를 제작, 설치함으로서 인력 작업을 없앴 사례이다. 개선 전후 그림을 다음의 Fig. 4. 5에 나타내었다.

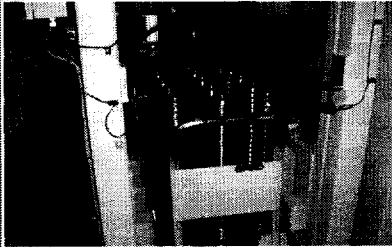
	개 선 전	개 선 후
사 진		
평가	RULA : 5점	RULA : 4점

Fig. 4. 5 작업자세 개선

4. 5 치공구 개선

컴프레서에 부품을 조립하는 작업으로 조립작업 시 공간의 부족으로 인하여 조그만 부품을 장착할 때 손가락 및 손목에 접촉 스트레스 및 손목의 비틀림이 발생하여 개선 반 및 작업자의 공동 참여하에 자체적으로 수공구를 제작하여 사용함으로써 손가락의 접촉 스트레스 및 손목 비틀림을 경감시킨 사례이다. 개선 전후 그림을 다음의 Fig. 4. 6에 나타내었다.

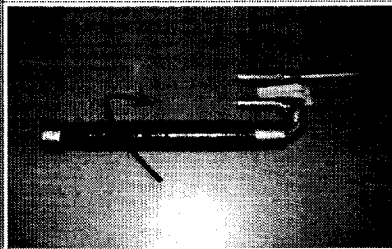
	개 선 전	개 선 후
사 진		
평가	RULA : 6점	RULA : 4점

Fig. 4. 6 치공구 개선

4. 6 작업피로도 개선

전자회사의 대표적인 작업방법이 Standing 작업으로 하루 8시간 이상 작업하는 형태이다. 주로 작업자의 다리 부분에 피로가 누적되며 쉽게 피로해지는 특징이 있다. 피로예방 Mat를 설치함으로서 작업자의 피로를 경감시킨 사례이다. 개선 전후 그림을 다음의 Fig. 4. 7에 나타내었다.

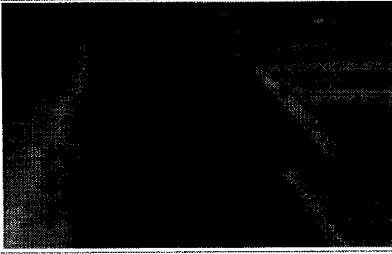
	개 선 전	개 선 후
사 진		
평가	작업피로도 감소	

Fig. 4. 7 작업발판 개선

5. 결론

설문 및 증상조사 결과에서 총 회수된 설문지 741부를 대상으로 분석한 결과 약 6.5%(48명)가 근골격계질환으로 이환될 가능성이 있는 것으로 나타났다. 따라서 향후 A사는 근골격계질환에 의한 직접, 간접적인 손실이 발생할 가능성이 있으며, 이에 대한 적극적인 대책과 근골격계질환 예방관리 프로그램에 의한 체계적이고 효율적인 관리가 필요할 것으로 판단된다.

인간공학적 작업환경 분석 등을 통한 A사의 전체 작업공정 중 사업부별 Sampling한 총 554개 공정을 유해요인작업으로 선정하여 집중 개선하였다. 장비/설비적 측면, 작업장 조건과 환경적 요인, 보조도구, 관리적 요인, 작업자 요인 등을 포함하여 작업장 개선을 실시하였다.

사업부별로 살펴보면, A1 사업부의 경우는 작업점의 높이와 부품의 적재방법 및 위치, 중량물 취급 및 수공구 사용 등에서 유해요인이 나타나 작업개선 시 작업이나 부품취급 등이 정상 작업역(comfort zone) 내에서 이루어지도록 하였다. A2 사업부의 경우 전반적으로 제품 모델에 따른 작업점의 위치가 다양하게 나타나 그로 인한 작업자세의 문제가 가장 큰 유해요인으로 나타났으며 작업개선에서도 다양한 접근방법을 통해 해결하였다. A3 사업부의 경우는 대부분이 경량의 부품을 취급하고 있어 중량물 취급에 대한 유해요인은 드러나지 않았으

나, 잦은 모델 교체가 발생하고, 작업속도가 빠르다는 문제점이 있었다. 작업개선은 주로 부품대의 위치와 작업방법 변경 등으로 이루어 졌다. B1 사업부의 경우는 A사의 전 사업부에서 위험성이 가장 큰 것으로 나타났으며, 주로 중량물을 인력으로 운반하거나 취급하는 것이 문제가 되어 중량물 취급방법 및 취급시 정상 작업역(comfort zone)에서 작업이 이루어지도록 개선하였다.

A사의 사업부별 개선 전, 후 작업평가 결과를 Table 5. 1에 나타내었다. A사의 개선 실시에 따른 인간공학적 평가 결과, RULA분석은 개선 전 평균 4.96점에서 개선 후 평균 3.71점으로 감소하였으며, NLE 결과 LI 값이 시점에서는 개선 전 2.32에서 개선 후 0.75로, 종점에서는 개선 전 2.41에서 개선 후 0.71로 낮아져 전체적인 위험작업들이 저 위험작업으로 전환되었다.

Table 5. 1 사업부별 개선 전/후 비교

구분	RULA		NLE(kg)			
			개선 전		개선 후	
	개선 전	개선 후	시점	종점	시점	종점
A1 사업부	4.66	3.47	1.34	1.17	0.14	0.14
A2 사업부	5.42	4.06	1.74	2.18	0.89	0.58
A3 사업부	5.18	4.00	3.33	2.83	1.11	0.80
B1 사업부	4.63	3.44	2.88	2.93	0.87	1.33
전체	4.96	3.71	2.32	2.41	0.75	0.71

현재 국내에서는 근골격계질환과 관련한 규제가 점점 더 강화가 되고 있으며 이로 인한 문제점이 다양하게 나타날 것으로 추정하며, 그 영향 또한 크다. 따라서 작업자 면담 및 증상조사에서부터 인간공학프로그램 및 의학적 관리 프로그램까지 사전, 사후 대응이 필요하다^{19~23)}. 이를 추진하기 위해서는 사내에 전문성과 의욕을 가진 인력을 양성하기 위해 설계 및 공정개선 담당자와 작업자를 대상으로 인간공학 전문교육을 년 1회 이상 실시하도록 하여야 한다. 또한 근골격계질환의 증상 호소자에 대한 의학적 관리를 통한 사전예방활동과 작업 공정 개선 등 종합적인 대책을 마련하여야 할 것이다.

향후 A사의 경우 현재 운영 중인 부속위원회의 활성화 및 인간공학적 문제점에 대한 공정개선을 지속적으로 실시하고 그 결과를 평가, 검토해 나가야 할 것이다. 또한 사내규정이나 규칙 등 기본적인 구조는 구성되어 있지만 본 연구에서 제시한 작업관련성 근골격계질환 예방관리 프로그램을 바탕으로 설계, 생산, 설비보수 등 전 사업영역에 대한 인간공학적 기준(ergonomic guideline)을 개발하고, 이에 대한 시스템적 운영이 필요할 것이다.

6. 참고문헌

1. 노동부, 2003 산업재해 분석, 2004
2. 노동부, 산업보건기준에관한규칙, 2003
3. NIOSH, Elements of Ergonomics Program, 1997
4. 한국산업안전공단, 근골격계질환 예방을 위한 OSHA Ergonomic Program, 2000
5. Occupational Safety and Health Administration, OSHA Draft Ergonomic Standard, 1996
6. OSHIRI, A study on the WMSDs in electric & electronics industry, 2001
7. 한국산업안전공단, 작업관련 근골격계질환의 증상 및 위험요인 평가지침 (H-28-2002), 2002
8. 한국산업안전공단, 근골격계부담작업 유해요인 조사지침 (H-30-2003), 2003
9. 노동부, 근골격계부담작업의 범위, 2003
10. 노동부, 근골격계질환 예방업무 편람, 2004
11. Karwowski Waldemar, S. M. William, Occupational Ergonomics; Engineering and Administrative Controls, CRC Press, 2003
12. Putz-Anderson Vern, Cumulative trauma disorders ; A manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs, Taylor & Francis, 1994

13. 박희석, 이윤근, 임상혁. 단순반복작업에 관한 인간공학적 연구 - 제조업에서
발생하는 누적외상성 질환의 인간공학적 요인 파악 및 예방대책 개발, 산업안전
보건연구원, 1997
14. McAtamney, L. & E.N. Corlett, RULA: a survey method for the
investigation of work-related upper limb disorders, Applied Ergonomics,
24(2) 91-99, 1993
15. Waters Thomas R, Vern Putz-Anderson, Arun Garg, APPLICATIONS MANUAL
FOR THE REVISED NIOSH LIFTING EQUATIONS, Cincinnati, OH:
DHHS(NIOSH) Publication NO. 94-110, 1994
16. Karwowski Waldemar, William S. Marras, Occupational Ergonomics; Design and
Managament of Work Systems, CRC Press, 2003
17. Karwowski Waldemar, William S. Marras, Occupational Ergonomics; Principles of
Work Design, CRC Press, 2003
18. Munck-Ulfsfält Ulla, Annki Falck, Anette Forsberg, Christer Dahlin,
Anders Eriksson, Corporate ergonomics programme at Volvo Car
Corporation, Applied Ergonomics 34, pp17-22, 2003
19. Joseph Bradley S, Corporate ergonomics programme at Ford Motor
Company, Applied Ergonomics 34, pp23-28, 2003
20. Moreau M, Corporate ergonomics programme at automobiles
Peugeot-Sochaux, Applied Ergonomics 34, pp 29-34, 2003

21. Butler Maria P, Corporate ergonomics programme at Scottish & Newcastle, Applied Ergonomics 34, pp 35-38, 2003
22. Smyth Joanne, Corporate ergonomics programme at BCM Airdrie, Applied Ergonomics 34, pp 39-43, 2003

부록 A. 중량물 들기 작업 분석(NLE; NIOSH Lifting Equation)

가) 개요

본 기준은 중량물을 취급하는 작업에 대한 요통 예방을 목적으로 작업 평가와 작업 설계를 지원하기 위해서 만들어진 것이다.

중량물을 취급하는 작업에 의해 수반되는 건강 장애를 막기 위한 기준은 여러 나라에서 설정되어 있지만, 그 대부분이 최대 취급 중량과 두 손 취급 회수 또는 두 손의 총 취급 회수 또는 두 손의 총 취급 중량 등만을 규정하고 있을 정도이다. 이것에 비해 본 기준은 취급 중량과 취급 회수뿐만 아니라, 중량물 취급 위치·인양 거리·신체의 비틀기·중량물 들기 쉬움 정도 등 여러 요인을 고려하고 있으며, 보다 정밀한 작업 평가·작업 설계에 이용할 수 있게 되어 있다. 본 기준은 중량물 취급에 관한 생리학·정신물리학·생체역학·병리학의 각 분야에서의 연구 성과를 통합한 결과이다.

나) 변수 설명

NLE 분석에 사용되는 각각의 변수에 대한 상세 설명은 다음과 같다.

①. HM (Horizontal Multiplier, 수평계수)

수평거리를 권장무게한계에 고려하기 위한 계수를 말한다.

발의 위치에서 물건을 보관유지하고 있는 손의 위치까지의 수평거리로부터 아래 식을 이용해 구한다.

$$\begin{aligned} \text{HM} &= 1 && (H \leq 25\text{cm}) \\ &= 25 / H && (25\text{cm} \sim 63\text{cm}) \end{aligned}$$

수평위치(H)는 발의 위치에서 보관 유지하고 있는 손의 위치까지의 수평거리로써 발의 위치는 발목의 위치로 하고, 발의 전후로 교차하고 있는 경우는 좌우 발목의 위치의 중점을 다리 위치로 한다. 손의 위치는 중앙의 위치로 하고, 좌우의 손 위치가 다른 경우는 좌우 손 위치의 중점을 이용한다.

②. VM (Vertical Multiplier, 수직계수)

작업자와 물체 사이의 수직거리를 권장무게한계를 고려하기 위한 계수를 말한다. 수직위치(V)는 지면으로부터 중량물을 보관유지하고 있는 손 위치까지의 수직 거리이며, 수직계수는 다음의 식을 이용해 구한다.

$$\text{VM} = 1 - (0.003 * |V - 75|) (0 \leq V \leq 175\text{cm}) = 0 (V > 175\text{cm})$$

③. DM (Distance Multiplier, 거리계수)

중량물을 이동시킨 수직거리(D)를 균장무제한계에 고려하기 위한 계수를 말한다.

중량물을 들고 내리는 수직 방향의 이동 거리의 절대치(D, Vertical Travel Distance, 수직이동거리. 단위:cm)로부터 다음의 식을 이용해 구한다. 수직이동 거리(D)는 중량물의 이동전 원래 지점과 이동지점의 위치에서의 수직 위치 V의 차의 절대치이다.

$$\begin{aligned} \text{DM} &= 1 && (D \leq 25\text{cm}) \\ &= 0.82 + 4.5/D && (24\text{cm} \sim 175\text{cm}) \end{aligned}$$

④. AM (Asymmetric Multiplier, 비대칭성계수)

중량물이 몸의 정면에서 몇 도 어긋난 위치에 있는지 나타내는 각도 A로부터 아래 식을 이용해 구한다.

$$\begin{aligned} \text{AM} &= 1 - 0.0032 * A && (0 \leq A \leq 135^\circ) \\ &= 0 && (A > 135^\circ) \end{aligned}$$

⑤. FM (Frequency Multiplier, 빈도 계수)

들기 빈도 F(Lifting Frequency, 회/분), 작업 시간 LD(Lifting Duration), 수직위치 V(vertical location)로부터 다음의 Table A. 1을 이용해 결정한다.

Table A. 1 들기 빈도 결정을 위한 표

빈도 F (회/분)	작업 시간 LD (Lifting Duration)					
	LD ≤ 1시간		1시간 < LD ≤ 2시간		2시간 ≤ LD	
	V < 75cm	V ≥ 75cm	V < 75cm	V ≥ 75cm	V < 75cm	V ≥ 75cm
< 0.2	1.00	1.00	0.95	0.95	0.85	0.85
0.5	0.97	0.97	0.92	0.92	0.81	0.81
1	0.94	0.94	0.88	0.88	0.75	0.75
2	0.91	0.91	0.84	0.84	0.65	0.65
3	0.88	0.88	0.79	0.79	0.55	0.55
4	0.84	0.84	0.72	0.72	0.45	0.45
5	0.80	0.80	0.60	0.60	0.35	0.35
6	0.75	0.75	0.50	0.50	0.27	0.27
7	0.70	0.70	0.42	0.42	0.22	0.22
8	0.60	0.60	0.35	0.35	0.18	0.18
9	0.52	0.52	0.30	0.30	0.00	0.15
10	0.45	0.45	0.26	0.26	0.00	0.13
11	0.41	0.41	0.00	0.23	0.00	0.00
12	0.37	0.37	0.00	0.21	0.00	0.00
13	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00
>15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

⑥. CM (Coupling Multiplier, 결합계수)

물체를 들 때에 미끄러지거나 떨어지지 않도록 손잡이 등이 좋은지를
권장 무게 한계에 반영한 것이다.

결합 형태와 수직위치(Vertical Location)로부터 다음의 Table A. 2를
이용하여 결정한다.

Table A. 2 결합계수 결정을 위한 표

결합 타입	수직 위치 V	
	V < 75cm	V ≥ 75cm
*양호(Good)	1.00	1.00
**보통(Fair)	0.95	1.00
***불량(Poor)	0.90	0.90

*양호(Good) : 손잡이가 들기 적당하게 위치한 경우

손잡이는 없지만 들기 쉽고 편하게 들 수 있는 부분이 존재할 경우

**보통(Fair) : 손잡이나 잡을 수 있는 부분이 있으며 적당하게 위치하
지는 않았지만 손목의 각도를 90도 정도 유지 할 수 있을 경우

***불량(Poor) : 손잡이나 잡을 수 있는 부분이 없거나 불편한 경우,
끝 부분이 날카로운 경우

다) 분석 절차

Table A. 3의 NLE 작업분석 표를 이용하여 분석하도록 한다.

이를 세부적으로 설명하면 다음과 같다.

단계 1. 작업변수를 측정하고 기록한다.

대상물 무게		손의 위치				이동 거리	각도		빈도 회/분	작업 시간	손잡이 형태
		이동 전		이동 후			이동 전	이동 후			
평균	최대	H1	V1	H2	V2	D	A1	A2	F	LD	C

각 변수는 본문내용을 참고하여 정확한 수치를 넣도록 한다.

이동전과 이동 후는 작업분할 시 시작되는 순간과 끝나는 순간 (대상을 기준으로 한다)까지로 하여 작업내용을 상세히 기록하도록 한다.

단계 2. Step 1에서 기록한 작업변수를 이용하여 RWL

(Recommended Weight Limit)을 구한다.

RWL	=	LC	×	HM	×	VM	×	DM	×	AM	×	FM	×	CM	=	RWL값	나값
이동 전																	
이동 후																	

변수를 정확하게 기입한다.

LC(Load Constant : 부하상수)는 23kg을 사용한다.

그 외의 변수는 0~1의 값을 가지므로 RWL은 23kg을 넘을 수 없다.

단계 3. Step 2에서 구한 RWL 값을 이용하여 LI(Lifting Index)를 구한다.

$$LI = \frac{L}{RWL}$$

여기서 L은 실제 대상물의 하중이 된다.

단계 4. Step 2, 3에서의 결과를 토대로 결과표를 작성한다.

단계 4-1. RWL과 LI 수치를 기입한다.

RWL	이동 전		LI	$\frac{\text{평균부게}}{RWL} = \text{---} =$	
	이동 후				

LI를 구할 때의 RWL은 이동 전·후 가운데 낮은 값을 사용한다.

단계 4-2. 위험순위(개선우선순위) 항목을 기입한다.

위험순위 (개선우선순위)	순위	1	2	3	4	5	6
	이동 전						
	이동 후						

위험순위라 함은 HM, VM, DM, AM, FM, CM 중에서 가장 작은 순서로 기입한다.

단계 4-3. 최종평가 항목을 기입한다.

최종평가	$LI \leq 1$	$1 < LI \leq 3$	$LI > 3$
	특별한 개선 불필요	관리적 개선대책 필요	공학적 작업개선 반드시 필요

단계 4-4. 개선사항을 기입한다.

개선사항	
------	--

개선사항은 현장을 고려하여 실질적인 개선효과가 나타나도록 한다.

평가결과에 따른 우선순위는 현장 상황에 따라 Brain Storming을 거쳐 변경이 되도록 한다.

단계 5

LI 지수가 1.0 이상이 되면 재설계하는 것이 바람직하며, 실제적으로는 30% 이상인 1.3을 넘지 않도록 하여야 한다.

이상의 NLE 작업분석과정을 아래 Table A. 3에 나타내었다.

Table A. 3 NLE 작업분석표

부서명							
공정명							
분석자							
날짜							
자료입력 및 분석	입력자료 분석결과						
RWL	이동 전			LI	$\frac{\text{평균무게}}{RWL*} =$		
	이동 후						
위험순위** (개선우선순 위)	순위	1	2	3	4	5	6
	이동 전						
	이동 후						
최종평가	LI ≤ 1		1 < LI ≤ 3		LI > 3		
	특별한 개선 불필요		관리적 개선 대책 필요		공학적 작업개선 반드시 필요		
개선방향							
* RWL : 이동 전 · 후를 비교하여 적은 값을 기입 ** 위험순위 : HM, VM, DM, AM, FM, CM 중에서 가장 작은 순서 기입 (위 : 이동 전, 아래 : 이동 후)							

부록 B. 인체상지 위험도 평가(RULA; Rapid Upper Limbs Analysis)

가) 개요

RULA는 어깨, 팔목, 손목, 목 등 상지에 초점을 맞추어서 작업자세로 인한 작업부하를 쉽고 빠르게 평가하기 위해 만들어진 기법이다⁵⁾. 이 기법의 목적에는 크게 다음 두 가지가 있다. 첫째, RULA는 나쁜 작업 자세로 인한 상지의 장애를 안고 있는 작업자의 비율이 어느 정도인지를 쉽고 빠르게 파악하는 방법을 제시하기 위해 만들어졌다. 둘째, RULA는 근육의 피로에 영향을 주는 인자들인 작업 자세나 정적인 또는 반복적인 작업 여부, 작업을 수행하는데 필요한 힘의 크기 등 작업으로 인한 근육 부하를 평가하기 위해 만들어졌다.

RULA의 장점은 우선 다른 특별한 장비가 필요 없이 단지 펜과 종이만 가지고도 쉽게 작업 부하를 평가할 수 있다는 것이다. 또한, 제한된 작업 공간에서도 작업자들에게 작업에 방해를 주지 않고 평가를 할 수 있기 때문에 보다 정확한 결과를 얻을 수 있고, 평가 시 특별한 기술이 필요 없기 때문에 누구나 약간의 교육만으로도 평가자가 될 수 있다. 그러나 동시에 다음과 같은 한계점도 가지고 있다. 우선, 자세분류별 부하 수준을 결정할 때 기존의 논문 등 문헌 고찰만을 바탕으로 하고 있기 때문에 근거가 미약하다. 게다가, 상지의 분석에만 초점을 맞추고 있기 때문에 전신의 작업 자세 분석에는 한계를 가지고 있다. 예로, 쪼그려 앉은 작업 자세와 같은 경우에는 작업자세 분석이 힘들다. 그

리고 분석 결과에 있어서도 총괄적인 작업부하 수준이 7개의 항목(Category)으로만 나누어져 있고 최종적인 분석 결과도 정성적으로 이루어지므로 작업 자세 간의 정량적인 비교가 어렵다,

RULA에서는 단위 시간당 동작의 횟수가 많아지거나 근력이 필요한 정적인 작업이 많아질수록, 또 보다 큰 힘이 요구되거나 나쁜 작업자세가 많을수록 작업 부하가 증가할 것으로 가정하고 있다. 자세분류별 부하 수준을 평가할 때 작업 부하에 영향을 주는 인자들은 매우 많지만, 특히 RULA가 평가하는 작업 부하 인자는 다음과 같다.

- 동작의 횟수 (number of movement)
- 정적인 근육작업 (static muscle work)
- 힘 (force)
- 작업 자세 (work posture)

나) 분석 절차

RULA를 이용해서 작업 부하를 평가하는 과정은 크게 3 단계로 나뉘어진다. 첫 번째는 작업 자세를 관찰해 기록하는 단계이고, 두 번째는 기록한 작업 자세로부터 포괄적인 값을 결정하는 단계이며, 세 번째는 이 값들을 바탕으로 작업 부하 수준(Action Level)을 결정하는 단계이다.

제 1 단계 : 작업 자세의 기록

평가를 좀 더 쉽게 하기 위해 신체를 그룹 A와 그룹 B 부분으로 나누어 측정한다. 그룹 A와 그룹 B에 속하는 신체 부위는 다음과 같다.

- 그룹 A : 상완(Upper Arm), 전완(Lower Arm), 손목(Wrist)
- 그룹 B : 목(Neck), 상체(Trunk), 다리(Legs)

평가를 할 때에는 각 부위별로 미리 주어진 코드 체계(Coding System) 중 그 자세에 적절한 코드를 기입하는 방법을 이용한다. 이 때, 신체의 각 부위별로 주어진 코드 체계는 기존의 연구 논문들이나 관련 저서들을 통해서 결정되었는데, 보통 숫자 1은 그 자세의 위험 인자(Risk Factor)가 최소일 때 채택된다. 만약 작업 자세가 신체에 더 많은 부하를 줘서 위험 인자가 증가하면 더 높은 수치가 채택된다.

①. 그룹 A

그룹 A에 해당하는 신체 부위의 코드 체계를 다음의 Table B. 1에 나타내었다.

Table B. 1 그룹 A의 작업부하 지수

신체 부위	지수	작업 자세 설명
상완 (Fig. B. 1)	1	상완이 몸통 전후 20°이내에 있을 때 (20°굴절 - 20°신전)
	2	상완이 뒤쪽으로 20°이상 혹은 앞쪽으로 20°-45°에 있을 때 (20°이상 신전, 20°- 45°이상 굴절)
	3	상완이 앞쪽으로 45°- 90°사이에 있을 때 (45°- 90°굴절)
	4	상완이 앞쪽으로 90°이상 있을 때 (90°이상 굴절)
	+1	어깨가 올려져 있거나 상완이 비틀려져 있을 때(외전)
	-1	몸을 기대고 있거나 다른 도구가 팔의 무게를 지탱하고 있을 때
전완 (Fig. B. 2)	1	전완이 앞쪽으로 60°-100°사이에 있을 때 (60°-100°굴절)
	2	전완이 앞쪽으로 0°-60°혹은 앞쪽으로 100°이상에 있을 때 (0°-60°굴절 혹은 100°이상 굴절)
	+1	팔이 몸통 중심으로 엇갈려서 작업하거나 양어깨 넓이 이상으로 벌려서 작업을 할 때
손목 (Fig. B. 3)	1	손목이 자연스러운 위치에 있을 때 (중립 자세)
	2	손목이 각각 위쪽으로 0°-15°올려져 있거나 0°-15°내려져 있을 때 (0°-15°신전 혹은 0°-15°굴절)
	3	손목이 15°이상 올려져 있거나 15°이상 내려져 있을 때 (15°이상 신전 혹은 15°이상 굴절)
	+1	손목이 요골편향/척골편향(radial/ulnar deviation)일 때
손목 비틀림	1	손목의 비틀림이 어느 적절한 범위에 있을 때
	2	손목이 비틀림이 거의 한계 직전까지 일 때

상완의 부하지수는 다음의 Fig. B. 1과 같다.

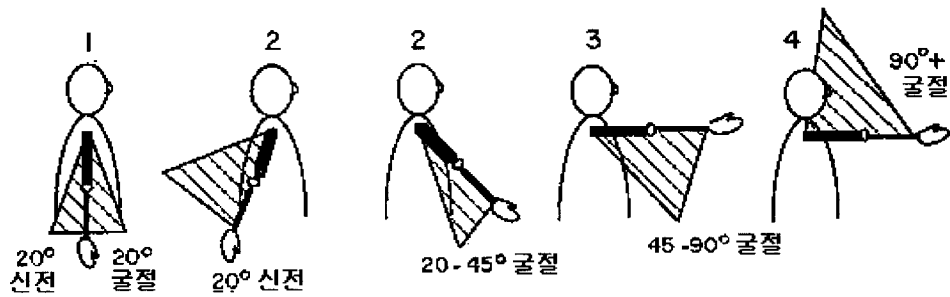


Fig. B. 1 상완의 부하지수

전완의 부하지수는 다음의 Fig. B. 2와 같다.

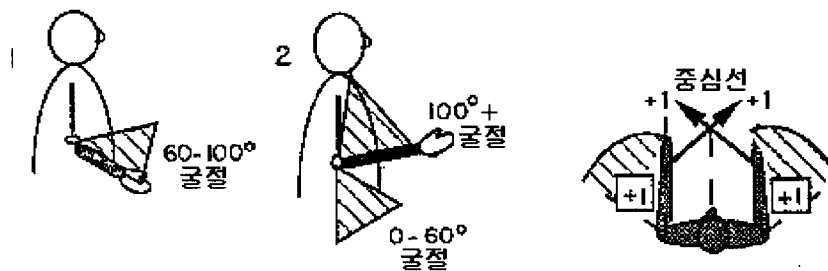


Fig B. 2 전완의 부하지수

손목의 부하지수는 다음의 Fig. B. 3과 같다.

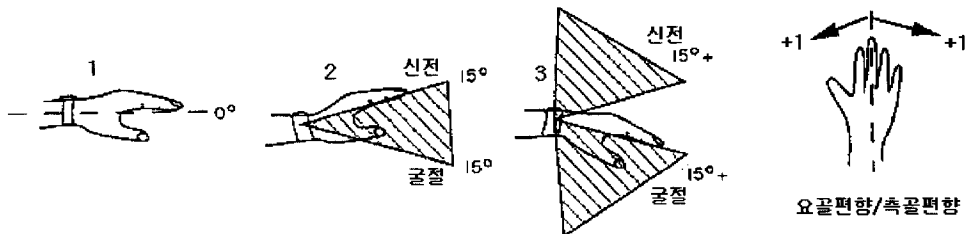


Fig. B. 3 손목의 부하지수

나. 그룹 B

마찬가지로 그룹 B에 해당하는 신체부위의 부하지수는 다음의 Table B. 2에 나타내었다.

Table B. 2 그룹 B의 작업부하 지수

신체 부위	지수	작업 자세 설명
목 (Fig. B. 4)	1	목이 앞으로 0°- 10°구부러져 있을 때 (0°- 10°굴절)
	2	목이 앞으로 10°- 20°구부러져 있을 때 (10°- 20°굴절)
	3	목이 앞으로 20°이상 구부러져 있을 때 (20°이상 굴절)
	4	목이 뒤쪽으로 구부러져 있을 때 (신전일 때)
	+1	목이 회전되어 있거나 옆으로 구부러져 있을 때
상체 (Fig. B. 5)	1	앉아 있을 때 상체가 잘 지지될 때
	2	상체가 앞으로 0°-20°구부러져 있을 때 (0°-20°굴절)
	3	상체가 앞으로 20°-60°구부러져 있을 때 (20°-60°굴절)
	4	상체가 60°이상 구부러져 있을 때 (60°이상 굴절)
	+1	상체가 회전되어 있거나 옆으로 구부러져 있을 때
다리	1	체중이 고르게 분포되도록 앉아 있는 경우 다리와 발이 잘 지탱될 때, 혹은 서 있는 경우 체중이 골고루 양다리에 분포되고 충분히 움직일 공간이 주어질 경우
	2	다리와 발이 잘 지지되지 못하고 체중 분포도 균형을 이루지 못할 때

목의 부하지수는 다음의 Fig. B. 4와 같다.

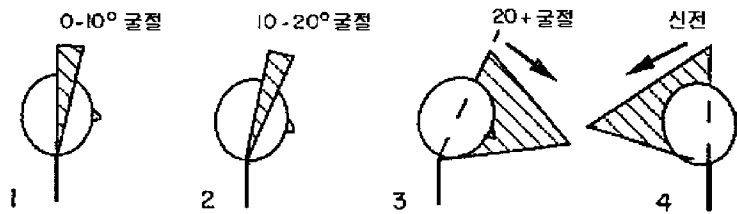


Fig. B. 4 목의 부하지수

상체의 부하지수는 다음의 Fig. B. 5와 같다.

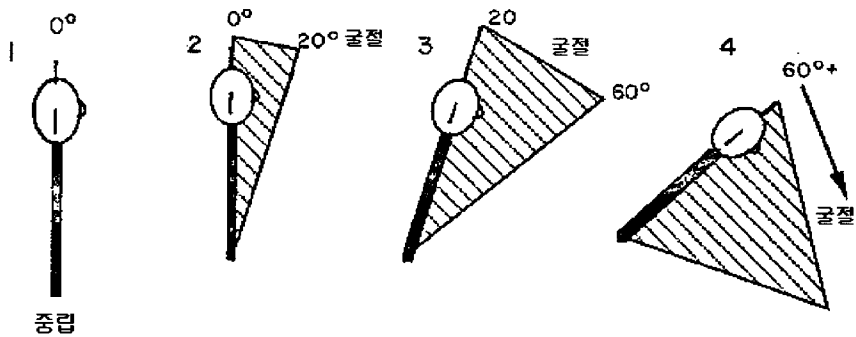


Fig. B. 5 상체의 부하지수

제 2단계 : 작업 자세 번호의 조합(Grouping)

위에서 구한 각각의 값들은 개개의 신체 부위의 부하 수준을 나타내기 때문에 이것들을 통합적으로 하나의 수치로 나타낼 수 있는 시스템이 필요하다. 그룹 A와 그룹 B 각각에 대한 종합적인 작업 부하 수치는 각각 다음의 Table B. 3 ~ 4와 같다. 이 때, 그룹 A의 종합 작업 부하 수치는 Score A, 그룹 B의 종합 부하 수치는 Score B라고 부른다.

Table B. 3 그룹 A의 종합 부하 수치 (Score A)

Score A		손목							
상완	전완	1		2		3		4	
		손목 비틀림		손목 비틀림		손목 비틀림		손목 비틀림	
		1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	3	4	4
2	1	2	3	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
	2	4	4	4	4	4	5	5	5
	3	4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	7	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	8	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

Table B. 4 그룹 B의 종합 부하 수치 (Score B)

Score B	상체											
목	1		2		3		4		5		6	
	다리		다리		다리		다리		다리		다리	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

위에서 그룹 A, 그룹 B별로 각각 Score A, Score B를 구하고, 여기에 근육에 과도하게 걸리는 부하(Muscle use score)와 지속적이고 반복적으로 발휘해야 하는 힘에 의한 부하(Force score)까지 고려하여 각각 Score C, Score D를 구할 수 있다. 이 때, 근육부하점수(muscle use score)와 힘부하점수(force score)는 다음의 Table B. 5에 나타내었다.

Table B. 5 근육 부하와 힘 부하

	지수	작업 자세 설명
근육부하점수 (muscle use score)	1	주로 정적인 상태로 1분 이상 들고 있거나, 1분에 4회 이상 반복될 때
힘부하점수 (Force score)	0	힘을 줄 필요가 없거나 2kg 미만의 힘을 간간히 줄 때
	1	2-10kg의 힘을 간간히 줄 때
	2	2-10kg의 힘을 정적인 상태로 계속 주거나 반복적으로 힘을 줄 때
	3	10kg 이상의 힘을 정적인 상태로 계속 주거나 반복적으로 힘을 줄 때 또는 갑작스럽게 힘을 주어서 무리가 올 때

Score C = Score A + muscle use and force scores for group A

Score D = Score B + muscle use and force scores for group B

제 3 단계 : 총괄적인 작업 부하 결정

마지막인 세 번째 단계에서는 앞서 구한 Score C와 Score D를 결합하여 전체적인 작업 부하 수준을 결정하는 하나의 총괄적인 부하(Grand score)를 산출한다. 총괄적인 값은 아래의 Table B. 6을 이용하여 구한다.

Table B. 6 총괄적인 부하 (Grand Score)

		Score D (neck, trunk, leg)						
Score C (upper limb)		1	2	3	4	5	6	7+
	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	5	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8+	5	5	6	7	7	7	7

위의 Table B. 6에서 구한 총괄적인 값을 이용하여 실제로 작업 부하가 어느 정도인지 다음의 Table B. 7의 네 단계로 구분할 수 있다.

Table B. 7 실제의 작업부하 수준 (Action Level)

Grand Score	작업 부하수준 (Action Level)	설명
1	1	작업이 오랫동안 지속적으로 그리고, 반복적으로만 행해지지 않는다면 작업 자세가 별 문제가 없음을 나타낸다.
2		
3	2	작업 자세에 대한 추가적인 연구가 필요하고 작업 자세를 바꾸는 게 낫다는 것을 나타낸다.
4		
5	3	작업 자세를 되도록 빨리 바꾸는 게 낫다는 것을 나타낸다.
6		
7	4	작업 자세를 즉각 바꾸어야 한다는 것을 나타낸다.

즉, 작업 부하수준이 커질수록 그 작업을 수행하는 작업 자세에 문제가 많아서 결국 작업자에게 장애를 가져올 위험성이 커진다는 것을 뜻한다.

비록, 인간의 몸은 복잡하고 적응성이 크기 때문에 이와 같은 단순한 하나의 수치로 모든 것을 결정하는 것은 다소 부적절하지만, RULA가 제시하는 값은 작업 자세에 따른 부하를 나타내는 하나의 지침(Guideline)은 될 수 있다.

지금까지의 단계를 전체적으로 살펴보면 아래의 Fig. B. 6과 같다.

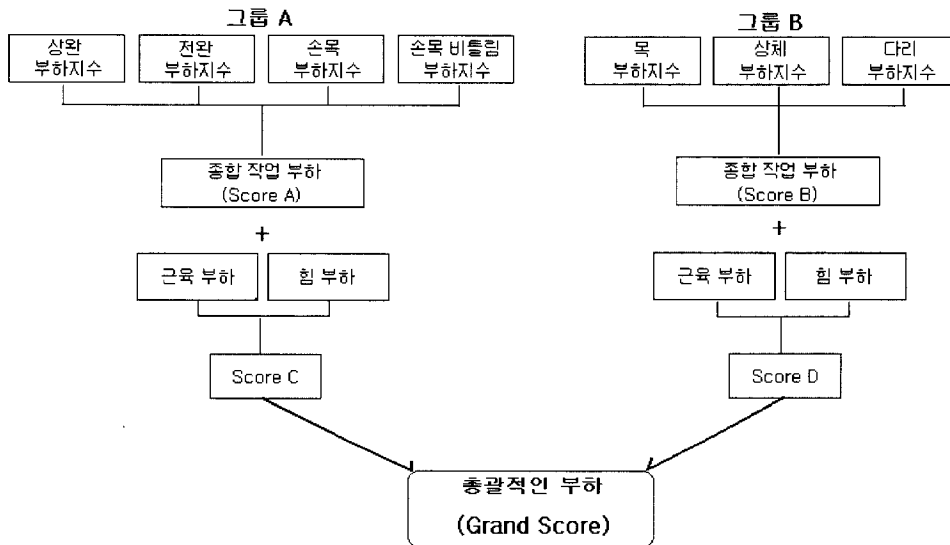


Fig. B. 6 RULA를 이용하여 작업부하를 구하는 절차

A Study on the Musculoskeletal Disorders Prevention Program in Electronics Industry

Choon-Kee Son

*Department of Safety Engineering, Graduate School.
Pukyong National University*

Abstract

The purpose of this paper is to investigate risk factors and ergonomically improve the electronic industry for prevention of work-related musculoskeletal disorders, enhancement of productivity, and worker's satisfaction. We executed questionnaire survey, ergonomic risk factors investigation of manufacturing lines and ergonomic intervention of work methods, workplace and hand tools. The results of the questionnaire showed that 6.5 % of repliers were positive in WMSDs symptom survey. In ergonomic evaluation, the analysis methods such as RULA and NIOSH lifting equation were used and 554 processes in the lines were evaluated to be potentially hazardous. We

ergonomically improved the processes to reduce potential WMSDs hazards :
manual material handling, carts, work tables, transport methods, working
posture and hand tool.

감사의 글

대학원 과정에서부터 본 논문이 완성되기까지 부족한점이 많았던 저에게 아낌없는 지도편달과 각별한 관심으로 아껴주신 장성록 지도교수님께 깊은 감사를 드립니다. 아울러 바쁘신 와중에도 본 논문을 심사하시며 세심한 검토와 많은 가르침을 주신 권오현 교수님, 최재욱 교수님께도 깊은 감사를 드리며, 학문에 대한 열정과 최선의 노력을 다하는 길을 가르쳐 주신 목연수 교수님, 이내우 교수님, 이동훈 교수님, 박외철 교수님께 머리 숙여 감사드립니다.

대학원 과정을 무사히 마칠 수 있도록 물심양면으로 지원해 주신 제정곤 부장님, 직장생활에서 격려와 배려를 아끼지 않으신 회사 동료들, 본 연구수행과정에 많은 도움을 주신 환경안전감시단과 저에게 “안전”의 길을 일깨워주신 분께 깊은 감사를 드립니다.

또한 연구를 위해 많은 도움을 준 배동철 선생 및 인간공학 실험실 후배들에게 감사의 뜻을 전합니다.

직장생활과 학문을 병행하면서 힘들어 할 때마다 변함없는 사랑과 믿음으로 내조한 아내 전숙배와 사랑하는 아들 승현, 딸 유진이와 모든 가족들에게 이 작은 결실이 기쁨과 보람이 되길 바라며, 저에게 용기와 희망을 주신 모든 분들께 이 논문을 작은 보답으로 올립니다.

2005년 1월

손 춘 기