

# 자동차 조립공정에 대한 작업자세 평가도구의 비교\*

서 승 록

대구대학교 자동차·산업·기계공학부

## Comparison of Evaluation Tools of Work Posture in Automobiles Assembly Process

Seung-Lock Seo

School of Automotive, Industrial & Mechanical Engineering, Daegu University, Daegu, 712-714

### ABSTRACT

Awkward work postures in workshop highly affect on work-related musculoskeletal disorders(WMSDs). Especially, in automobiles assembly process, these awkward work postures of workers may cause serious injury and illness. This study is to compare the performance among the evaluation tools which can measure the work-loads caused by the awkward work postures in automobiles assemble process. RULA, REBA and TVAL(Toyota Verification of Assembly Line) are used as the evaluation tools. The 85 jobs selected in the automobiles assembly process are applied to the three tools and their performances are analyzed after the evaluation of the work-load in each job. Through various measures of performance such as statistical test, DUNCAN test, regression test etc., the tendencies and characteristics among them are analyzed in detail.

Keyword: Work posture, Work-related musculoskeletal disorders, RULA, REBA, TVAL

### 1. 서 론

2002년 개정된 산업안전보건법의 직업성 근골격계질환(Work-related musculoskeletal disorders: WMSDs) 예방활동은 작업자의 건강을 위한 사업주의 의무사항으로서 산업재해 예방 조치 중 하나의 활동이다. 근골격계질환 발생은 작업자의 신체적, 심리적 부담의 유발과 생산성의 감소와 보상비용의 증가 등의 경제적인 손실을 가져오게 된다(Chaffin 등, 1999). 근골격계질환으로 인한 노동력상실의 경제적인 손실은 선진국 GDP의 약 5% 정도로 나타나고 있으며(WHO, 1997), 미국 노동부 산하 노동통계청(BLS:

Bureau of Labor Statistics, 2001, <http://www.bls.gov>)의 자료에 의하면 작업관련 근골격계질환은 1993년 이후 매년 전체 작업관련 질환 중 62% 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 우리나라에서도 최근 직업성 근골격계질환자가 증가하고 있으며, 이를 예방하기 위한 조치사항이 필요한 시점이다. 최근 2005년도 노동부 자료(노동부, 2005)에 의하면 업무상질환자가 총 7495명 중 신체부담작업 및 요통 등 근골격계질환관련은 38.7%인 2901명을 차지하고 있다.

새로운 산업구조와 변화된 사회환경으로 인해 급증하고 있는 근골격계질환은 특정한 신체부위의 반복작업과 불편하고 부자연스러운 작업자세, 강한 노동강도, 작업시 요구되는 과도한 힘, 불충분한 휴식, 추운 작업환경, 손과 팔 부위에

\*본 연구는 2005년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임.

교신저자: 서승록

주 소: 712-714 경북 경산시 진량읍 내리리 15번지, 전화: 053-850-6543, E-mail: seosl@daegu.ac.kr

작용하는 과도한 진동 등이 원인이 된다(Putz-Anderson, 1988). 특히, 자동차산업의 경우는 높은 근골격계질환 유발 작업형태 중 하나로 알려져 있는데, 이는 평행한 공정흐름(parallel flow)으로 인한 빈번한 부적절한 자세의 유발, 중량물 취급, 반복작업 등의 작업특성(Engstrom 등, 1999)으로 대표적인 노동집약형 산업이기 때문이다(OSHA, 2000). Brogmus 등(1996)에 의하면 미국의 경우, 자동차 조립업종에서 직업성 요통을 제외한 상지에 발생하는 작업관련성 근골격계질환의 건수는 전체 작업관련 부상 및 질환 중에 약 15%를 차지한다고 보고하고 있다.

근골격계질환의 다양한 원인 중 부적절한 자세에 대한 유해도 평가는 고가의 장비활용에 대한 부담을 줄일 수 있고, 작업의 방해를 최소화하는 장점으로 관찰적 기법을 보편적으로 사용하게 되는데, 대표적인 작업자세 평가 기법은 OWAS(Karhu et al., 1977), RULA(McAtamney and Corlett, 1993), REBA(Hignett and McAtamney, 2000) 등이 있다. OWAS 기법은 간단한 작업자세 분류체계를 사용하고 있으며, 이용이 간편하여 다양한 분야에 적용하고 있다. RULA는 어깨, 팔, 손목 등 상지와 목, 허리 등의 상체자세에 초점이 있으며, OWAS에 비해 작업자세를 세밀하게 분류하고 있다. REBA는 RULA의 적용한계를 보완하기 위하여 후속 개발된 도구로서, RULA와 비슷한 분류체계를 가지고 있으나 하지의 자세와 일부 자세의 부하지수를 변경한 형태이다. 이와 같은 분석도구를 이용하여 작업자세에 대한 작업부하를 분석하고 있다.

그러나, 분석도구의 개발시 고려한 제약조건이 다양한 산업분야에 일반적으로 적용하기에는 다소 무리가 있으며, 자동차 조립공정에서의 작업 또한 기존의 작업자세 평가 기법에서 분류하지 않은 작업자세가 나타난다. 이러한 필요성에 의해 TOYOTA에서는 자동차 조립작업에 있어서 특성을 고려한 조립공정의 인간공학적 평가시스템(TVAL: TOYOTA verification of assembly line)을 도입함으로써 작업환경 및 작업자세의 개선을 꾀하고 있다(Iritani, 1997).

이에, 본 연구에서는 자동차 조립공정에서의 작업자세에 대하여 기존의 널리 사용되는 RULA, REBA와 자동차 공장의 조립작업의 특성을 고려하여 개발된 TVAL간 작업자세의 유해도 분석결과, 즉 부하수준의 비교 분석을 통하여 이들 기법들간의 작업자세 부하 평가 특성을 파악하고자 한다.

## 2. 연구방법

연구대상으로 하는 A자동차 공장의 작업은 프레스, 차체, 도장, 의장, 보전, 품질관리, 그리고 생산관리 측면으로 구성

되며, 작업 공정 수는 의장파트가 전체 작업에서 평균 61.1%이며, 작업자가 직접적으로 조립하는 작업 대부분을 차지하고 있다. 프레스, 차체, 품질관리, 그리고 생산관리에 속한 작업들은 작업자 1인 이상 취급해야할 중량물 작업이 많아 중량물 취급을 위한 운반용 보조도구를 도입하는 등의 근골격계질환 예방 관련 개선 조치가 있는데 비해, 의장파트의 조립작업은 일반 조립작업으로 구성되어 있기 때문에 관련 조치가 미흡한 상황이다. 작업자세에 대한 근골격계질환 발생은 의장파트의 작업에서 내부적으로 근골격계질환 의심자 및 호소자의 발생이 가장 많이 발생하고 있기 때문에, 본 연구에서는 조립작업 중 의장파트의 사시, 트림, 파이널 공정을 대상으로 하였으며, 최종 대상 작업수는 85개이다.

대상작업에 대하여 RULA, REBA, TVAL 세 기법을 적용하여, 부하를 평가한 뒤 비교 분석하는 순으로 하였다. 평가 대상작업에 대한 분석은 다수의 전문가그룹에 의해서 관찰 및 비디오 판독을 통하여 분석되고, 결과는 현장의 작업자와 생산기술팀 및 안전담당자와의 panel 토의를 거쳐 최종확정하고, 각 평가 기법간 결과는 통계적인 검증을 통해서 그 경향과 특성을 분석하였다.

RULA와 REBA의 경우는 부하수준을 각각 7단계(RULA Score), 15단계(REBA Score)로 정의하고 있으며, 부하수준은 조치수준(Action level; 4 level, 5 level)으로 관리한다. 반면에 TVAL의 경우는 상부동작점, 자세중량점이 30점을 기준으로 유해도를 판단한다.

TVAL의 상부동작점은 팔동작점, 공구보유력점, 손작업점, 그리고 부품중량점의 합으로 판단하며, 자세중량점은 작업자세점과 중량점의 합으로 판단한다. 팔동작점은 작업시 상지(팔)의 상하, 좌우, 전후 동작과 손목, 팔뚝, 굽힘 비틀림 등의 동작이 신체의 상반신에 미치는 피로 정도를 평가하는데, 자동차 조립작업의 특정 자세에 대하여 그림 1과 같은 판단 기준을 가진다. 공구보유력점은 공구 무게, 공구인장력에 의한 파지력 등이 공구사용시 신체상부에 주는 부담(조작력점)과 공구이동시 주는 부담(이동력점)을 평가하며, 손작업점은 부품을 손을 이용하여 집거나 눌러서 삽입할 때 손목의 굽힘, 팔의 비틀림 등이 신체의 상부에 미치는 부담을 평가하고, 부품중량점은 부품을 다루는 과정에서 부품의 중량이 신체의 상부에 미치는 부담 또는, Torque 작업 등과 같이 힘을 요하는 작업이 신체의 상부에 미치는 부담을 평가한다.

자세중량점의 작업자세점은 무리한 작업 또는 부 자연스런 작업자세가 신체의 허리부분에 미치는 신체부담을 평가하는 것으로서 주로 하지에 대한 평가를 하며 그림 2와 같은 자세로 이루어져 있다. 중량점은 중량의 부품(5kg 이상)을 이동하는 과정에서 중량에 대한 저항이 신체의 허리나 다리에 미치는 신체부담을 평가하는 것이다.

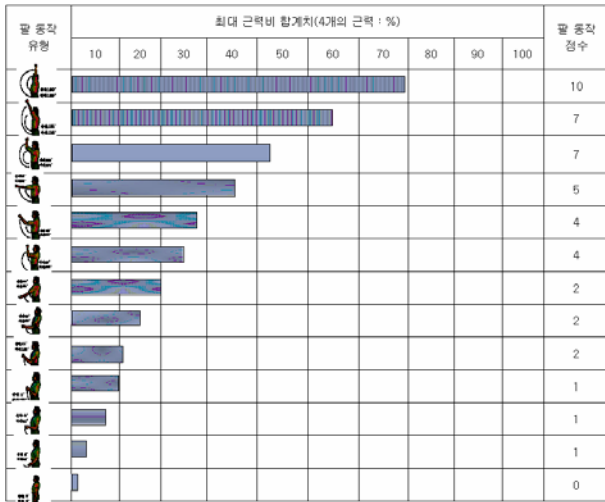


그림 1. TVAL 팔동작점의 부하 판단기준

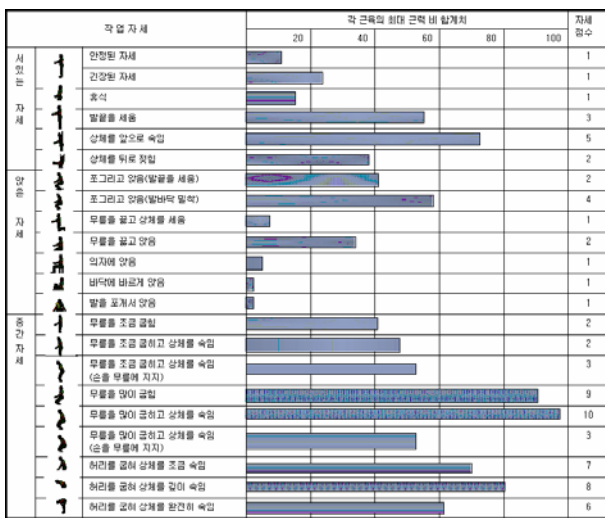


그림 2. TVAL 자세작업점의 부하 판단기준

### 3. 결 과

#### 3.1 RULA, REBA action level에 대한 결과

표 1은 선정된 85개 작업에 대하여 RULA와 REBA Tool의 조치수준(RULAA, REBAA)에 대하여 RULA Score (RULAS), REBA Score(REBAS), TVAL Score 상부동작점(TVALU), 자세중량점(TVALL)의 결과 값을 나타낸 것이다. RULAS는 평균  $6.01 \pm 1.26$ , REBAS는 평균  $6.84 \pm 2.61$ , TVALU는 평균  $29.19 \pm 17.84$ , 그리고 TVALL은 평균  $19.29 \pm 15.36$ 을 나타내고 있다.

RULAA와 RULAS의 결과에서는 조치수준간 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다( $F=507.871, p=0.000$ ). DUNCAN test에 의한 사후분석에서도 조치수준간 그룹화가 되는 것으로 나타났다. RULAA와 REBAS간의 결과에서도 통계적으로 차이가 있는 것으로 나타났다( $F=13.793, p=0.000$ ). DUNCAN test에 의한 사후분석에서도 조치수준간 그룹화가 되는 것으로 나타났다. RULAA와 TVALU간의 결과에서도 통계적으로 차이가 있는 것으로 나타났다( $F=5.469, p=0.006$ ). DUNCAN test에 의한 사후분석에서는 조치수준 2, 3이 같은 그룹으로 그룹화가 되는 것으로 나타났다. RULAA와 TVALL과는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

REBAA와 RULAS의 결과에서는 조치수준간 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다( $F=6.797, p=0.000$ ). DUNCAN test에 의한 사후분석에서도 조치수준 1과 나머지 조치수준 2, 3, 4로 그룹화가 되는 것으로 나타났다. REBAA와 REBAS간의 결과에서도 통계적으로 차이가 있

표 1. RULA, REBA 조치수준(Action Level) 결과

	AC	RULAA	평균	표준 편차	REBAA	평균	표준 편차
RULAS	0	-	-	-	0	0	0
	1	0	0	0	4	4.25	1.89
	2	13	3.62	0.51	42	5.71	1.29
	3	28	5.57	0.5	30	6.43	0.9
	4	44	7	0	9	6.78	0.67
합계	85	6.01	1.26	85	6.01	1.26	
REBAS	0	-	-	-	0	0	0
	1	0	0	0	4	2.5	0.58
	2	13	4.31	1.6	42	4.98	1.18
	3	28	6.29	2	30	8.73	0.87
	4	44	7.93	2.6	9	11.11	0.33
합계	85	6.84	2.61	85	6.84	2.61	
TVALU	0	-	-	-	0	0	0
	1	0	0	0	4	26.37	8.1
	2	13	21.39	9.32	42	27.34	16.82
	3	28	23.65	13.51	30	29.71	14.02
	4	44	35.02	20.24	9	37.35	32.52
합계	85	29.19	17.84	85	29.19	17.84	
TVALL	0	-	-	-	0	0	0
	1	0	0	0	4	11.54	4.26
	2	13	14.73	9.4	42	15.78	10.14
	3	28	17.73	11.05	30	23.21	18.48
	4	44	21.63	18.67	9	26.05	22.68
합계	85	19.29	15.39	85	19.29	15.4	

는 것으로 나타났다( $F=164.867, p=0.000$ ). DUNCAN test에 의한 사후분석에서도 조치수준간 그룹화가 되는 것으로 나타났다. REBAA과 TVALU간, TVALL간의 결과는 통계적으로는 유의한 차이를 보이지 않았다.

대상작업의 전반적인 유해도 평가 결과에 대한 경향은 그림 3과 그림 4와 같다. 그림 3은 RULA, REBA, TVAL Tool의 score에 대한 raw 데이터 분포에 대한 정리이다. RULAS는 REBAS에 비해 과도하게 높게 평가되었으며, TVALL은 TVALU에 비해 상대적으로 낮게 평가되었다.

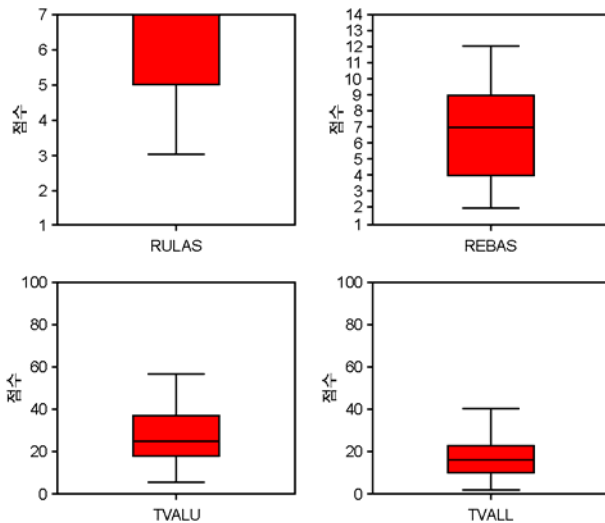


그림 3. RULAS, REBAS, TVALU, TVALL 결과

그림 4은 RULAA와 REBAA에 대한 교차분석 결과 내용으로서, 평가대상 85개 공정을 대상으로 조치수준간 빈도수를 나타낸 것이다. RULAA의 조치수준 3, 4에 해당하는 빈도 수가 REBAA의 조치수준 3, 4의 빈도 수에 비해 상대적으로 높게 나타났으며, 교차분석 결과를 통해서 RULA가 REBA에 비해 유해도를 높게 평가하는 것으로 판단되었다.

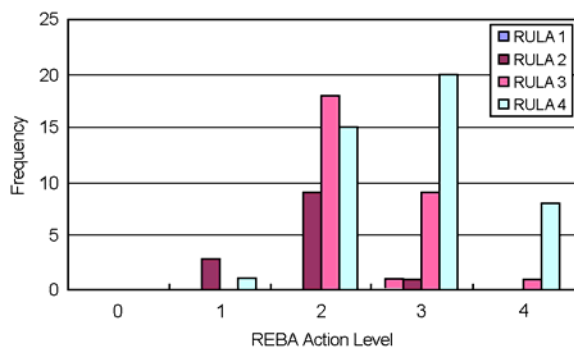


그림 4. RULA vs REBA 조치수준 결과

### 3.2 기법간 비교

85개 작업에 대하여 RULAS, RULAA, REBAS, REBAA, TVALU, 그리고 TVALL 간의 상관관계를 분석하였다. 표 2는 피어슨 상관관계계수와 통계적 검정결과를 나타내고 있다. 각 기법간 부하수준은 모두 양의 상관을 보였으며 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

표 2. 상관관계 분석

	RULAS (Score)	RULAA	REBAS (Score)	REBAA	TVALU (Upper)	TVALL (Low)
RULAS (Score)	1	0.957*	0.475*	0.423*	0.299*	0.185
RULAA		1	0.501*	0.451*	0.324*	0.17
REBAS (Score)			1	0.919*	0.167	0.291*
REBAA				1	0.155	0.279*
TVALU (Upper)					1	0.567*
TVALL (Low)						1

\*Statistically Significant at  $\alpha=0.05$

표 2에서 RULAS는 RULAA과 상관계수 값이 0.957로 가장 높은 것으로 나타났으며, REBAS, REBAA, TVALU순으로 높은 것으로 나타났다. 그러나 TVALL과는 통계적으로 유의하지 않았다. RULAA의 경우도 TVALL과는 통계적 유의차가 나타나지 않았으며, REBAS, REBAA, TVALU순으로 상관계수가 높은 것으로 나타났다. REBAS는 REBAA와 0.919로서 높은 상관계수 값을 나타내었으며, TVALL과 통계적으로 유의하게 나타났지만 TVALU와는 통계적으로 유의하지 않았다. REBAA도 TVALL과 통계적으로 유의한 관계를 나타내었지만 TVALU와는 통계적으로 유의하지 않았다. TVALU는 TVALL과 통계적으로 유의한 상관관계를 나타내는 것으로 나타났다.

표 3은 RULAS, REBAS, TVALU, TVALL에 대한 회귀 분석 결과인데 상관계수인 R은 0.532~0.608로 나타났으며, 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. RULAS를 종속변수로 한 회귀식에서는 TVALL이 유효하지 않은 변수로 나타났으며, REBAS를 종속변수로 한 회귀식에서는 TVALU가 유효하지 않은 변수로 나타나 회귀모형 변수에서 제거되었다.

## 4. 토의 및 결론

일반적으로 RULA가 REBA에 비해서 상대적으로 높은 조

표 3. RULAS, REBAS, TVALU, TVALL의 회귀분석 결과

	R	R2	F value	P value	회귀 모델
RULAS	0.532	0.283	10.663	0	RULAS=4.087 + 0.221REBAS + 0.02TVALU
REBAS	0.528	0.279	10.436	0	REBAS=0.706 + 0.960RULAS + 0.04724TVALL
TVALU	0.608	0.307	15.832	0	TVALU=0.713 + 3.556RULAS + 0.641TVALL
TVALL	0.606	0.367	15.683	0	TVALL=0.694 + 1.439REBAS + 0.479TVALU

치수준을 가지며(기도형과 박기현; 2005, 이인석 외; 2003), 본 연구에서도 마찬가지로의 결과를 보이고 있다. 이인석 외 (2003)의 연구에서는 RULA Tool이 과도하게 분석하는 자세는 팔을 어깨 높이 이상으로 유지하며 손목을 뒤로 젖히는 동작, 허리를 90° 정도 굽히고 팔을 어깨 높이로 들고 작업하는 경우이다. 본 연구에서도 RULA가 REBA에 비해 과도하게 분석한 작업은 장착이나 체결작업 등에서 부품의 삽입이나 체결시 팔 동작이 어깨위로 올라가며 손목의 비틀림이 있고, 목이나 허리를 굽히는 작업자세의 경우로 나타났다.

RULAA 결과는 RULAS와 REBAS 결과 간에는 상호 일관된 경향을 나타내었으며, TVALU 결과는 RULA의 조치수준 2, 3을 잘 구분하지 못하는 것으로 나타났으며, TVALL 결과는 RULAA과는 통계적으로 유의하지 않은 결과를 보였다. REBA는 REBAS와 상호 일관된 적합한 결과를 보였으며, RULAS 결과는 REBA의 조치수준의 높은 수준(2, 3, 4)에서 민감도가 떨어지는 것으로 나타났다. REBA와 TVALU, TVALL간에는 통계적으로 유의하지 않았다.

상관관계 결과에서 RULAS와 REBAS는 각각의 평가도구의 조치수준인 RULAA와 REBA에서 상관관계 계수 값이 0.957, 0.919로 높은 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. RULAS와 RULAA는 TVALU와 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, REBAS와 REBA는 TVALL과 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 이는 평가도구 특성, 즉 RULA Tool은 상부동작에 대한 평가에 대한 기준이 세분화되어 있는 반면 하지에 대한 평가기준이 상대적으로 적으며, REBA Tool은 하지동작에 대한 평가기준이 RULA Tool에 비해 상대적으로 세밀한 기준을 가지고 있기 때문이다. 또한 TVAL Tool의 팔동작점에 대한 세부평가기준을 가지는 TVALU는 RULA Tool과 상관관계가 있으며, 작업자세에 대한 세부평가기준을 가지는 TVALL는 REBA Tool과 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

회귀분석 결과에서도 RULAS는 TVALU이 적합한 선형 결과를 나타내었으며, 반면에 REBAS는 TVALL과 적합한 선형결과를 나타내었다. 또한 TVALU와 TVALL과의 관계에서도 적합한 선형관계를 보이고 있다. 즉, 이와 같은 결과는 평가도구의 활용성에 기인하는 것을 보여준다.

TVALU이 TVALL에 비해 상대적으로 유해도를 높게 평

가하는 경향은 상부동작점이 자세작업점에 비해 상부작업자세인 팔동작점 이외에 공구보유력점, 손작업점, 부품중량점 등 유해요인 평가에 고려하는 factor가 많으며, 최종 유해도는 이런 factor의 결합으로 나타나기 때문으로 판단된다.

전반적으로 TVAL의 결과에서 유해도가 높게 나타난 작업은, 대부분 작업시간이 긴 경우가 많았으며, 이는 TVAL Tool이 공구보유력점, 손작업점, 부품중량점, 그리고 중량점에서 시간이 고려되기 때문이다. 결국, UPH(unit per hours)에 따라서 유해도가 결정되는 경향이 있기 때문에 UPH의 결정에서 작업관리 측면에서의 표준작업시간과 휴식시간의 과학적 관리가 요구된다. 근골격계질환의 작업장적 관리는 작업, 휴식시간의 적용 뿐 아니라 자동화율도 고려되어야 한다. 대상 자동차 조립공장의 자동화율은 대부분이 프레스(67%), 차체(100%), 도장(55%) 부서에 집중되었고 현실적으로 자동화에 한계가 많은 의장 부서의 자동화율(4%)은 여전히 낮은 상태이다. 이러한 이유로 노동자의 높은 비율을 차지하고 있는 의장라인에서의 근골격계질환 발생 가능성이 높게 나타나게 된다.

근골격계질환 예방을 위한 작업장적 대책방안의 수립시에는 유해도 평가시 영향을 주었던 작업장적 요소 즉, 작업라인의 자동화율, 작업시간 및 휴식시간 등 작업관리적 측면을 고려하는 것이 바람직하다. 뿐 만 아니라, 본 연구에서 사용하였던 평가 Tool을 통하여 평가할 수 없는 특수한 작업자세(갈판을 위해 앉아서 작업하는 자세 등)가 여전히 존재하고, 중량물, 반복, 지속시간 등의 평가 특성상의 제한이 존재하기 때문에 작업장에서의 유해도 평가는 기존의 체크리스트식의 점검방식과 더불어 생리학적, 심물리학적 접근방법을 통하여 보완할 필요가 있고, 더 나아가 작업장 특성에 맞는 평가 Tool 및 관리 항목 및 절차를 개발할 필요가 있다.

### 참고 문헌

Brogmus, G. E., Sorock, G. S. and Webster, B. S., Recent trends in work-related cumulative trauma disorders of the upper extremities in the United States: An evaluation of possible reasons, *Journal of Occupational & Environmental Medicine*, 38(4), pp401-411, 1996.

- Chaffin, D. B., Anderson, G. B. J. and Martin, B. J., Occupational Biomechanics(3rd Ed.), John Wiley & Sons, New York, 1999.
- Engstrom, T., Hanse, J. J. and Kadefors, R., Musculoskeletal symptoms due to technical preconditions in long cycle time work in an automobile assembly plant: a study of prevalence and relation to psychosocial factors and physical exposure, *Applied Ergonomics*, 30, pp443-453, 1999.
- Hignett, S. & McAtammy, L., Rapid Entire Body Assessment(REBA), *Applied Ergonomics*, 31, pp201-205, 2000.  
<http://www.bls.gov/>
- Iritani, T., Koide, I. and Sugimoto, Y., Strategy for health and safety management at an automobile company from the prevention of low back pain to Toyota's Verification of Assembly Line(TVAL), *Industrial Health*, 35(2), pp249-258, 1997.
- Karhu, O., et al., Correcting Working Postures in Industry: A practical method for analysis, *Applied Ergonomics*, 8(4), pp199-201, 1977.
- McAtamney, L. & Corlett, E. N., RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomics*, 24(2), pp91-99, 1993.
- OSHA, Ergonomics Program: Final Rule(29 CFR Part 1910), Dept. of Labor, Occupational Safety and Health Administration, Federal Register, 65(220), 2000.

- Putz-Anderson, V., Cumulative trauma disorders: A manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs, Taylor & Francis: London, 1988.
- World Health Organization(WHO), Health and environment in sustainable development: Five years after the earth summit, Geneva, 1997.
- 기도형, 박기현, 작업자세 평가 기법 OWAS, RULA, REBA 비교, *한국안전학회지*, 20(2), pp127-132, 2005.
- 노동부, 산업재해 분석, 2005.
- 이인석, 정민근, 최경임, 지각불편도를 이용한 관찰적 작업자세 평가 기법의 비교, *대한인간공학학회지*, 22(1), pp43-56, 2003.

---

### ● 저자 소개 ●

❖ 서 승 록 ❖ seosl@daegu.ac.kr

현 재: 대구대학교 자동차, 산업, 기계공학부 교수  
관심분야: 근골격계질환, 재활 및 고령화분야

---

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2006년 04월 13일

논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2006년 08월 10일

논문게재승인일 (Date Accepted) : 2006년 08월 14일