

자동차 조립공정에서의 작업자세 특성 Posture Characteristics in Automobile Assembly Tasks

김상호*, 정민근**, 기도형***, 이인석**

*금오공과대학교 산업공학과, **포항공과대학교 산업공학과, ***계명대학교 산업공학과

Abstract

Many researchers have reported that poor body postures are associated with pains or symptoms of musculoskeletal disorders. Therefore, the ergonomic evaluation of postural stresses as well as biomechanical stresses is important when a job such as automobile assembly tasks involves highly repetitive and/or prolonged poor body postures.

A macropostural classification schema was developed to characterise various body postures occurring in automobile assembly tasks in the study. To specify a postural code and stress level to each body posture, perceived joint discomforts were subjectively evaluated in the lab experiments for the full range of motion in five human body joints. Based on the results, a postural classification scheme was developed where the full range of motion in each body joint was classified into several codes representing different stress levels.

The automobile tasks were clustered into 12 types based on the result walk-in-surveillance and the possible posture codes for each task type are defined. I was exposed that the poor postural problems in automobile assembly tasks were concerned in most part with arms, trunk and neck. Application of the developed schema to seven operations in automobile assembly tasks showed that the schema can be used as a tool to identify the operations and tasks involving highly stressful body postures. The schema can also be utilised as a basis to prioritise the candidate assembly operations for redesign of work methods.

1. 서론

부적절한 작업자세는 중량물 취급에 못지 않게 작업자의 작업부하를 높일 뿐만 아니라, 생산성 저하의 요인으로 작용한다. 작업자세와 직업성 근골격계 질환(work-related musculoskeletal disorders)의 연관성은 많은 연구자들에 의해 보고되고 있다([1]). 생산성 향상과 작업자의 안전 보장을 위해 부적절한 작업자세를 구분하고, 이들이 인체에 미치는 영향을 정량적으로 평가함으로써 작업을 개선하는 것이 필요하다.

작업자세를 평가하기 위한 연구는 van Wely(1970)가 부적절한 작업자세와 이것이 인체에 미치는 영향을 보고한 이래로 많은 연구자들에 의해 이루어져 왔다. 이러한 작업자세 평가 방법 중 가장 많이 이용된 방법은 관찰적 평가기법으로 이는 실제 현장에 적용이 용이한 기법이다. 관찰적 평가기법은 작업자세를 정의하기 위한 작업자세 분류체계를 이용해, 단속적 혹은 연속적으로 작업자세를 기록하는 방법으로, 기록된 작업자세는 작업부하 평가 체계를 통해 평가가 이루어지게 된다. 이러한 작업자세 평가 기법 중 대표적인 것으로

OWAS[5], PATH[6]등이 있는데, 이 기법들은 특히 작업자세를 단순하고 크게 정의하는 **macropostural classification**을 이용하고 있다[4]. 기존의 작업자세 평가기법들은 작업자세의 작업부하를 정략적으로 평가하는 것이 미비한 상태로, 주로 다른 연구자의 연구 결과를 바탕으로 한 평가 체계를 제시하고 있다.

본 연구에서는 작업자세 분류체계와 각 작업자세의 작업부하를 실험 결과를 통해 제시하였다. 또한, 자동차 조립공정의 작업자세 특성을 작업자세 분류체계를 바탕으로 분석하였다.

2. 연구 방법

작업자세의 주관적 불편도 평가

본 연구에서는 각 어깨, 목, 손목, 허리, 무릎 등 5개 관절에서 각도의 변화에 따라 주관적 불편도를 측정하는 실험을 수행하였다. 실험은 과거에 근골격계 질환을 경험한 적이 없는 19명의 남자 대학생을 대상으로 했으며, 이들은 평균 연령 25.4(±2.7)세, 평균 신장 171.9(±6.0)cm, 평균 체중 67.1(±7.0)kg 이다. 각 관절의 자유도별 각도 변화는 관절의 운동범위(rang of motion)의 백분율을 기준으로 피실험자마다 정하였다. 피실험자는 1분 동안 자세를 유지한 후 주관적 불편도를 평가하였으며, 관절, 자유도, 자세각도는 무작위 순서에 의해 진행되었다.

주관적 불편도는 심물리학 연구에서 보편적으로 이용되고 있는 **magnitude estimation** 기법을 이용했으며, 피실험자가 스스로 기준을 정해 평가하는 **free modulus** 방식을 채택하였다. 주관적 불편도 평가 결과 데이터는 최소-최대값 표준화(**min-max standardisation**)를 통해 표준화했으며, 기하평균을 이용해 분석하였다.

자동차 조립 공정 분석

자동차 조립공정은 다양한 부품을 도장된 차체에 조립 또는 부착하여 완성차를 만드는 차량 생산의 최종 공정으로, 전체 공정의 1/3 이 수작업으로 이루어져 노동집약적이며, 차량실내나 차량아래에서 이루어지는 작업이 많아 다른 제조공정에 비하여 부적절한 자세를 많이 유발한다. 본 연구에서는 자동차 조립공정의 특성을 분석하기 위하여 각 공정별로 작업자세, 작업대치수, 작업위치 및 방법 등을 관찰 분석하였으며, 비디오 카메라로 작업장면을 촬영하였다.

관찰 분석과 작업자들과의 면담을 통해 상대적으로 높은 작업부하 특성을 가진 7개의 공정을 선정하여, 작업장면을 비디오로 촬영하였다. 선정된 공정은 헤드라이닝 장착작업, 크래시 패드 장착 작업, 프론트 시트 장착 작업, 프론트 도어 장착작업, 프론트 범퍼 장착 작업, 머플러 장착 작업, 그리고 액슬 장착 작업이다.

3. 결과 및 논의

작업자세 분류체계

실험을 통해 측정된 각 관절의 각도에 따른 불편도를 이용하여 각 관절의 작업자세를 분류하였다. 즉, 각 관절의 자유도별로 Tukey 검정을 수행하여, 불편도에 따라 관절의 자세 각도를 나누는 것이다. 이러한 분석 결과와 기존의 보고되고 있는 유사 연구를 바탕으로 표 1과 같이 작업자세를 분류하였다. 이 분류체계는 **macropostural classification**을 기반으로 한 것으로, 시상면(**sagittal plane**)에서의 관절 운동을 주 대상으로 하였다. 이는 분류체계를 현장 작업장에 적용하기 쉽도록 하기 위한 것으로, 굴절 및 신전 등의 운동이 관찰하기에 유리하기 때문이다. 굴절 및 신전 이외에 불편도에 영향을 많이 끼칠 수 있으며, 작업 중에 쉽게 발생할 수 있는 운동에 대해서는 보정 요소(**adjusting factor**)로 분류체계에 포함시켰다. 이러한 보정 요소로는 **lateral bending, twisting,**

unbalanced 등의 자세가 있다. 이러한 자세들은 독립적으로 발생하지 않고 굴절 및 신전 등의 자세와 동시에 발생해 작업부하에 영향을 미칠 것으로 기대된다.

각 관절의 작업부하 지수는 실험에서 측정된

불편도를 기준으로 한 것으로, 가장 적은 불편도의 배수로 정하였다. 즉, 예로서 표 1의 팔에서 Arm Elevation은 Neutral에 비해 3배만큼 부하가 크다고 할 수 있다.

표 1. 작업자세 분류체계

Body Segment	Code	Posture Description	Range of Motion	Level
Arms	N	Neutral	0 - 45 °	1
	AE	Arm Elevation	45 - 100 °	3
	MSE	Moderate Shoulder Elevation	100 - 145 °	5
	SSE	Severe Shoulder Elevation	> 145 °	8
Hands	N	Neutral	0 - 20 °	2
	MFE	Moderate Flexion / Extension	20 - 60 °	3
	SFE	Severe Flexion / Extension	> 60 °	5
Trunk	N	Neutral	0 - 30 °	1
	1FF	Forward Flexion in 1 st Level	30 - 60 °	3
	2FF	Forward Flexion in 2 nd Level	60 - 90 °	6
	3FF	Forward Flexion in 3 rd Level	> 90 °	9
	1E	Extension in 1 st Level	10 - 25 °	4
	2E	Extension in 2 nd Level	> 25 °	8
	LBT*	Lateral Bending / Twisting	> 30 °	+3
Legs	N	Neutral	135 - 180 °	1
	HSq	Half Squat	90 - 135 °	4
	Sq	Squat	< 90 °	7
	PS	Seated on Proper Seat		1
	IS	Seated on Improper Seat		3
	U*	Unbalanced		+3
Neck	N	Neutral	0 - 20 °	1
	MFE	Moderate Flexion / Extension	20 - 50 °	3
	SFE	Severe Flexion / Extension	> 50 °	5
	1LBT*	Lateral Bending / Twisting in 1 st Level	30 - 45 °	+2
	2LBT*	Lateral Bending / Twisting in 2 nd Level	> 45 °	+3

*Adjusting Factors (Add to the stress level of other codes when it occurs simultaneously with those codes)

자동차 조립공정의 작업 특성

자동차 조립공정에 대한 관찰 분석 결과 자동차 조립공정의 작업을 작업자의 작업 위치와 작업 내용을 기준으로 12개 형태로 분류하였다. 그림 1은 분류된 12개 작업 유형과 각 유형에 따른 가능 작업자세를 나타내고 있다. 작업 유형은 크게 차량 내부에서의 작업과 외부에서의 작업으로 분류되며, 이들은 다시 작업 대상물의 위치에 따라 나뉘게 된다. 각 작업 유형에서 관절별로 발생 가능한 작업 자세는 그림 1에서 검은 색으로 칠해진 부분으로, 각 관절별 자세의 조합으로 작업자세가 정해진다.

그림 1에서 팔과 목의 불편한 자세는 주로 차량 내부에서의 작업과 차량 밑에서 하는 작업 유형에서 많이 발생하는 것을 알 수 있다. 작업 대상물이 어깨보다 위에 있는 경우에 팔을 높이 들거나, 목을 뒤로 젖히는 자세가 많이 나온다. 다리의 경우에는 차 안에 들어가서 작업을 하는 경우에만 불편도가 클 것으로 기대되며, 그 외의 작업 유형에서는 문제가 되지 않는다. 차 안에 들어가 작업하는 경우에 쪼그린 자세, 한 쪽으로 기울인 자세가 많다. 허리의 경우에는 차량 내부와 외부의 경우 모두 허리를 숙이는 자세가 많이 나오는데, 특히 차량 내부 바닥이나, 엔진룸을 대상으로 하는 작업의 경우가 그렇다. 또한, 차량 내부의 천장이나 차량 밑에서 작업하는 경우에는 허리를 뒤로 젖히는 자세가 많아 부하가 클 것으로 기대된다. 이러한 결과로부터, 자동차 조립공정에서는 팔, 허리, 목의 자세가 특히 부하가 크며, 차량 내부에서 작업하는 경우에 그 정도가 더 큰 것을 알 수 있다.

표 2는 선정된 7개 작업을 대상으로 작업유형을 분류하고, 작업자세 특성을 분석한 결과이다. 작업자세 특성은 5초 간격으로

샘플링하여 분석하였다. 표에서 다루는 차 내부 작업인 헤드라이닝 작업과 크래시패드 작업을 제외한 작업에서 Neutral 자세를 보이고 있으며, 손목은 대부분 Neutral 자세를 보이고 있다. 이와 대조적으로 허리와 목의 자세는 상대적으로 불편한 자세가 많은 것을 알 수 있다. 차량내부 작업인 헤드라이닝 작업의 경우에는 각 관절의 자세들이 모두 비중립적인 자세가 매우 높은 비율을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이는 그림 1에서 나타내고 있는 결과에 상응하는 것이다.

본 연구에서는 기존 연구 결과와 실험을 통해 얻은 결과를 바탕으로 작업자세 분류체계를 제시하였으며, 각 관절의 자세에 대한 작업부하 지수를 설정하였다. 또한, 이 작업자세 분류체계를 바탕으로 자동차 조립공정에 대한 관찰 분석을 통해 작업 자세 특성을 분석하였다. 분석된 결과는 작업자세로 인한 작업부하를 낮출 수 있는 작업 개선의 기본 자료로 이용될 수 있으며, 이를 위해서는 작업자세가 인체에 미치는 영향에 대한 충분한 연구가 계속 진행될 필요가 있다.

References

- [1] Grandjean and W. Hunting, Ergonomics of Postures - Review of Various Problems of Standing and Sitting Postures, *Applied Ergonomics* 8 (1977) 135-140.
- [2] Armstrong, Upper-Extremity Posture: Definition, Measurement and Control. In: N. Corlett et al. (ed.), *The Ergonomics of Working Postures*. ISBN 0 85066 338 5. Taylor & Francis, London and Philadelphia, 1986, pp.59-73.
- [3] Aaras et al., Postural Angles as an Indicator of Postural Load and Muscular Injury in Occupational Work Situations, *Ergonomics* 31 (1988), 915-933.
- [4] Genaidy et al., Postural Stress Analysis in Industry, *Applied Ergonomics* 25 (1994), 77-87.

[5] Kharu et al., Observing Working Postures in Industry: Examples of OWAS Application, *Applied Ergonomics* 12 (1981) 13-17.

Approach to Ergonomic Job Analysis for Construction and Other Non-repetitive Work, *Applied Ergonomics* 27 (1996) 177-187.

[6] Buchholz et al., PATH: A Work Sampling-based

Task Type (by position)		Arms			Hands			Trunk						Legs					Neck							
Operator	Work-in-Process	N	A	M	S	N	M	S	1	2	3	1	2	L	N	H	S	P	I	U	N	M	S	1	2	
		E	S	S	E	E	E	E	F	F	F	E	E	B	S	q	S	S	S	U	E	E	E	B	B	
Indoor	Floor																									
	Ceiling																									
	Dashboard																									
Side-the-door	Interior																									
	Floor																									
	Ceiling																									
	Dashboard																									
Side-the-door	Side Body																									
	Front Body																									
	Rear Body																									
Front / Rear	Front Body																									
	Rear Body																									
Beneath	Under Body																									

그림 1. 자동차 조립공정에서 발생 가능한 작업자세

표 2.7 개 작업의 작업자세 특성

Name of Assembly	Task Type (by Position)		Most Frequent Body Posture (%)				
	Operator	Work-in-Process	Arms	Hands	Trunk	Legs	Neck
Headlining	Indoor	Ceiling	MSE (71)	WFE (42)	1E (28)	IS (64)	MFE (50)
Crash Pad	Indoor	Dash Board	AE (50)	N (61)	MFF+LB (46)	IS (61)	N+1LB (42)
Front Seat	Side-the-door	Floor	N (78)	N (61)	2FF (78)	N (69)	N (74)
Front Door	Side-the-door	Side Body	N (60)	N (80)	2FF (30)	N (80)	N+1LB(50)
Front Bumper	Front / Rear	Front Body	N (84)	N (60)	1FF (40)	N (76)	N (48)
Muffler	Beneath	Under Body	MSE (39)	N (67)	N (83)	N (91)	MFE (37)
Axle	Beneath	Under Body	AE (37)	N (57)	N (94)	N (100)	N (73)