JESK J Ergon Soc Korea 2025; 44(3): 369-378
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2025.44.3.369
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Analysis of Factors Affecting Musculoskeletal Pain among Metal and Mechanical Equipment Manufacturing Workers

Seung Ho Lee[1], Byung Yong Jeong[2]

[1]First Value Company, Seoul 02580
[2]Industrial and Systems Engineering, Hansung University, Seoul 02876

금속 및 기계장비 제조업 근로자들의 근골격계 통증에 영향을 미치는 요인 분석

이승호[1], 정병용[2]

[1]퍼스트밸류
[2]한성대학교 산업시스템공학부

Corresponding Author
Byung Yong Jeong
Industrial and Systems Engineering,
Hansung University, Seoul 02876
Email : byjeong@hansung.ac.kr

Received : May 02, 2025
Revised : May 11, 2025
Accepted : May 19, 2025

Copyright@2025 by The Human Factors & Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: This study aims to analyze the factors affecting musculoskeletal pain (back pain, upper limb pain, or lower limb pain) by comprehensively considering the characteristics of production workers and exposure to hazards in the metal and mechanical equipment manufacturing industry.

Background: The metal and machinery manufacturing industry has the highest incidence of musculoskeletal disorders among manufacturing industries.

Method: This study utilized data from the 6th Korea Workers' Compensation Survey (KWCS). Out of the raw data comprising 50,538 workers, information relevant to the metal manufacturing industry, the metal processing product manufacturing industry, and the other machinery and equipment manufacturing industry was filtered to select a total of 434 workers as research subjects.

Results: Factors affecting back pain were age group (p=0.019), noise (p=0.023), and fumes and dust (p=0.018). When workers are 60 years of age or older, the likelihood of complaining of back pain is 2.286 times higher than when workers are under 40. When exposed to fumes and dust for more than 4 hours, the likelihood of complaining of back pain is 2.228 times higher than when exposed for less than 2 hours. Factors affecting upper limb pain included gender (p<0.001), vibration (p = 0.034), handling heavy objects (p<0.001), and repetitive motions (p=0.016). Women were 4.152 times more likely to complain of upper limb pain than men. Workers exposed to heavy object handling tasks for 2 to 4 hours were 3.118 times more likely to complain of upper limb pain than when exposed for less than 2 hours. In addition, when exposed for 4 hours or more, the likelihood was 2.244 times higher than when exposed for less than 2 hours. Factors affecting lower limb pain include gender (p=0.003), age (p=0.010), and high temperatures (p=0.015). Women are 3.013 times more likely to report lower limb pain than men. Workers over 60 years are 4.622 times more likely to report lower limb pain than those under 40 years.

Conclusion: Factors affecting back and lower limb pain include, in addition to gender and age, biochemical hazards such as noise, fumes/dust, as well as vibration and

high temperatures. Upper limb pain is affected by gender, ergonomic hazards, and vibration.

Application: The results can serve as foundational data for improving working conditions and addressing musculoskeletal pain issues in the metal and mechanical equipment manufacturing industry.

Keywords: Back pain, Lower limb pain, Upper limb pain, Logistic regression analysis

1. Introduction

금속 및 기계장비 제조업은 자동차, 항공우주, 반도체 등 산업분야에 필수적인 부품과 장비를 제공하며, 필요한 기술 인력과 노동자를 고용함으로써 국가의 전반적인 경제 성장에 기여하고 있으며, 제조업 기반의 뿌리기술과 밀접한 관련이 있다(Seo and Seo, 2022). 뿌리기술은 크게 기반 공정기술, 소재 다원화 공정기술, 지능화 공정기술로 분류 되며, 기반 공정기술과 소재 다원화 공정기술은 금속 제조업을 포함하며, 지능화 공정기술은 기계장비 제조업을 포함한다(Korea National Ppuri Industry Center, 2023).

근골격계질환은 작업 관련성 질환 중 가장 흔하며, 불편한 자세, 반복 동작, 과도한 힘 등으로 인해 근골격계부위에 이상 감각 혹은 통증이 나타나는 질병으로, 작업의 질 저하, 노동력 감소, 산재보상에 따른 비용 증가 등을 초래할 수 있다(Bang et al., 2011; Jeong, 2010; Oh et al., 2011). 산업안전보건법에서는 사업주에게 근골격계질환 예방의무를 부과하는 등 예방활동을 펼치고 있으나, 금속 및 기계장비 제조업에서는 여전히 근골격계질환이 발생하고 있는 실정이다. 2023년 산업재해현황 분석 자료에 의하면 질병 요양재해 발생자의 비율은 전체 산업 내에서 제조업이 37.3%로 나타났으며, 금속 및 기계장비 제조업이 제조업 내에서는 47.9%를 점유하여 가장 높게 나타났다(Ministry of Employment and Labor, 2024).

근골격계질환 관련 연구는 산재보험으로 인정된 요양재해 질병자를 대상으로 한 분석과 근골격계 관련 주관적인 통증을 대상으로 한 분석으로 분류된다. 산재보험으로 인정된 요양재해 질병자를 대상으로 한 연구로는 자동차부품제조산업에서의 질병자를 대상으로 한 연구(Yang et al., 2017), 중량물 취급유형에 따른 근골격계질환에 관한 연구(Yang et al., 2020), 조선업종 고령 근로자를 대상으로 한 연구(You and Jeong, 2020), 조선업종 근로자를 대상으로 한 목, 어깨, 팔꿈치, 허리, 무릎의 근골격계질환에 대한 연구(Kim et al., 2022b) 등이 있다. 근골격계 관련 주관적인 통증과 관련된 연구로는 사무직종을 대상으로 한 연구(Jeong et al., 2015), 자동차부품회사의 근골격계 통증에 영향을 미치는 요인에 관한 연구(Kim et al., 2022a), 간호직종의 근골격계 통증에 관한 영향요인에 관한 연구(Kim and Jeong, 2024), 식료품제조 근로자의 근골격계 통증 요인에 관한 연구(Kim et al., 2025) 등이 있다.

금속 및 기계장비 제조업의 생산직 근로자들은 상지 근육통을 호소하는 비율이 31.4%로 가장 높게 나타났으며, 하지 근육통(18.4%), 요통(13.4%) 순으로 나타났다(Lee et al., 2022). 그러나, 금속 및 기계장비 제조업에서 발생하는 다양한 유해요인과 근골격계질환 간의 전반적인 관계를 종합적으로 분석하여 근골격계질환에 영향을 미치는 주요 요인을 도출하는 연구는 부족한 상황이다. 따라서, 본 연구에서는 금속 및 기계장비 제조업에 종사하는 생산직 근로자의 특성과 유해요인노출 등을 종합적으로 고려하여 근골격계 통증에 미치는 영향요인에 대해서 분석하고자 한다.

2. Method

2.1 Data collection and research variables

본 연구는 안전보건공단 산업안전보건연구원에서 주관한 제6차 근로환경조사 자료를 이용하여 수행되었다(OSHRI, 2021). 연구대상자는 원시 자료에서 한국표준산업분류(Statistics Korea, 2017a)의 1차 금속 제조업, 금속 가공제품 제조업, 기타 기계 및 장비 제조업에 해당하는 자료를 필터를 이용하여 추출한 뒤, 한국표준직업분류(Statistics Korea, 2017b)에서 생산직 근로자에 해당하는 기능원 및 관련 기능 종사자, 장치·기계 조작 및 조립 종사자, 단순노무 종사자에 해당되는 자료를 택하여, 총 434명을 연구대상자로 선정하였다.

연구변수는 근로환경조사 설문지(OSHRI, 2021)에서 근로자관련 특성, 유해요인노출 특성, 근골격계 통증여부 특성으로 구성되었다. 근로자관련 특성은 남녀, 연령, 교육수준, 주당 근무시간, 근속연수, 고용형태, 교대근무, 사업장 규모로 구성되었다. 유해요인노출 특성은 물리적, 생·화학적, 인간공학적 위험요인에 대한 노출수준으로 구성되었다(OSHRI, 2021). 노출수준은 2시간 미만, 2시간 이상 4시간 미만, 4시간 이상의 3가지 등급으로 분류 하였다(Park et al., 2023). 근골격계 통증 특성은 요통(허리통증), 상지 근육통, 하지 근육통에 대한 통증여부로 구분하였다.

2.2 Data analysis

본 연구는 이항 로지스틱 회귀분석을 활용하여 하 생산직 근로자의 근골격계 통증에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 유해요인에 대한 설문 문항의 신뢰도를 확보하기 위해서, 물리적 위험요인, 생·화학적 위험요인, 인간공학적 위험요인에 대한 신뢰성 분석을 실시하였으며, 그 결과 인간공학적 위험요인 변수의 좌식 자세 문항이 삭제되었다.

근골격계 통증인 요통, 상지 근육통, 하지 근육통을 종속변수로 하고, 근골격계 통증에 영향을 미치는 주요 요인을 도출하기 위해 독립변수로는 남녀, 연령대, 교육수준, 주당 근무시간, 사업장 규모, 근속연수, 고용형태, 교대근무, 물리적 위험요인(진동, 소음, 고온, 저온), 생·화학적 위험요인(흄 및 먼지, 증기, 화학물질 접촉, 담배연기, 감염), 인간공학적 위험요인(부적절한 자세, 중량물 취급, 입식 자세, 반복 동작)으로 구성하였다. 통계분석에 이용된 통계패키지는 SPSS 27.0이 이용되었다. 입력 방법은 뒤로: Wald 방법을 사용하였으며, 종속변수의 설명력은 Nagelkerke 값을 이용하였다. 변수에 대한 적합도 검정은 Hosmer와 Lemeshow 검정을 이용하였으며, 유의확률이 0.05 이상이면 적합하다고 판단하였다. 또한 예측의 정확성은 50% 이상이면 적합하다고 판단하였다.

3. Results

3.1 Factors affecting back pain

Table 1은 요통을 종속변수로 하여 이항 로지스틱 회귀분석을 수행한 결과이다. 모형의 설명력은 Nagelkerke value=0.127, 적합도는 χ^2=6.454, significant value=0.596으로 나타나 적합한 것으로 나타났다. 예측의 정확성은 76.3%로 나타나 이항 회귀분석모형이 요통을 잘 설명하는 것으로 나타났다.

요통에 영향을 주는 요인은 연령대(p=0.019), 소음노출정도(p=0.023), 흄 및 먼지노출정도(p=0.018)로 나타났다. 연령측면에서는 근로자의 연령이 60세 이상일 경우 40세 미만의 근로자보다 요통을 호소할 가능성이 2.286배 높아지는 것으로 나타났다. 흄 및 먼지노출정도 측면에서는 하루에 4시간 이상 노출 될 경우 2시간 미만으로 노출되는 경우 보다 요통을 호소할 가능성이 2.228배 높아지는 것으로 나타났다. 금속 및 기계장비 제조업에서 요통에 영향을 미치는 주요 원인에 물리적 요인인 소음의 노출정도와 생화학적 요인인 흄 및 먼지노출의 정도가 주요 요인에 들어간 것이 특이점으로 나타났다.

Table 1. Result of the logistic regression on back pain

Variables		N	%	B	p-value	Exp (B)	95% CI	
							Lower	Upper
Gender								
	Male (ref)	380	27.6%					
	Female	54	55.6%	0.646	0.056	1.909	0.985	3.700
Ages (years)					0.019*			
	< 40 (ref)	129	19.4%					
	40~49	118	16.9%	-0.315	0.356	0.730	0.374	1.425

Table 1. Result of the logistic regression on back pain (Continued)

Variables		N	%	B	*p*-value	Exp (B)	95% CI	
							Lower	Upper
	50~59	124	27.4%	0.204	0.519	1.227	0.659	2.284
	≧ 60	63	41.3%	0.827	0.022*	2.286	1.125	4.644
Noise (hours)					0.023*			
	< 2 (ref)	195	21.0%					
	2~4	83	13.3%	-0.753	0.051	0.471	0.221	1.002
	≧ 4	156	34.0%	0.306	0.270	1.358	0.789	2.338
Fumes, dust (hours)					0.018*			
	< 2 (ref)	189	16.4%					
	2~4	77	26.0%	0.636	0.067	1.890	0.957	3.732
	≧ 4	168	32.1%	0.801	0.006*	2.228	1.263	3.930
Constant				-1.830	<0.001*	0.160		

*significant at 0.05, % = Proportion of reported upper limb pain, ref = Reference variable, CI = Confidence interval

3.2 Factors affecting upper limb pain

Table 2는 상지 근육통을 종속변수로 한 이항 로지스틱 회귀분석 결과이다. 모형의 설명력 검정(Nagelkerke value=0.199)과 모형의 적합도 검정(χ^2=9.118, significant value=0.332)의 결과는 적합한 것으로 나타났다. 모형의 타당성 분석 결과는 작업자관련 요인과 유해요인노출정도 변수들에 의해 상지 근육통이 잘 설명되고 있음을 나타내며, 예측의 정확성은 72.6%로 나타났다.

상지 근육통에 영향을 주는 요인은 성별(p<0.001), 인간공학적 요인인 중량물 취급시간(p<0.001)과 반복동작 노출시간(p=0.016), 물리적 유해요인인 진동노출시간(p=0.034)으로 나타났다. 성별측면에서 여성은 남성보다 상지 근육통을 호소할 가능성이 4.152배 높은 것으로 나타났다. 중량물 취급작업에 노출되는 시간측면에서는 중량물 취급작업에 2시간 이상 4시간 미만 노출되는 경우엔 2시간 미만 노출되는 경우보다 상지 근육통을 호소할 가능성이 3.118배 높아지는 것으로 나타났다. 또한, 4시간 이상 중량물 취급작업에 노출되는 경우는 2시간 미만 노출되는 경우 보다 2.244배 높아지는 것으로 나타났다. 진동노출시간 측면에서는 진동에 노출되는 시간이 2시간 미만 노출되는 경우는 2시간 이상 4시간 미만 노출되는 경우보다 상지 근육통을 호소할 가능성이 3.067배 높아지는 것으로 나타났다. 반복동작 작업에 노출되는 시간측면에서는 2시간 미만 노출되는 경우엔 2시간 이상 4시간 미만 노출되는 경우보다 상지 근육통을 호소할 가능성이 2.646배 높은 것으로 나타났다. 중량물 취급이 많은 금속 및 기계장비 제조업 근로자들의 상지 근육통은 주로 성별과 인간공학적 요인인 중량물 취급작업의 노출시간에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다. 진동이나 반복작업시간에 노출시간이 2시간 미만인 경우가 2시간 이상인 경우보다 더 호소도가 높은 것은 진동이나 단순반복작업에 적게 노출되는 경우에는 상대적으로 더 힘들게 여겨지는 중량물 취급작업에 더 노출되기 때문인 것으로 유추할 수 있다.

Table 2. Result of the logistic regression on upper limb pain

Variables		N	%	B	*p*-value	Exp (B)	95% CI	
							Lower	Upper
Gender								
	Male (ref)	380	27.6%					

Table 2. Result of the logistic regression on upper limb pain (Continued)

Variables		N	%	B	*p*-value	Exp (B)	95% CI	
							Lower	Upper
	Female	54	55.6%	1.423	<0.001*	4.152	2.177	7.916
Work experience (yrs)					0.076			
	≦ 3 (ref)	141	22.0%					
	4~9	138	35.5%	0.680	0.032*	1.974	1.060	3.676
	≧ 10	155	35.5%	0.648	0.044*	1.911	1.017	3.589
Vibration (hrs)					0.034*			
	< 2 (ref)	100	34.0%					
	2~4	67	16.4%	-1.119	0.010*	0.326	0.139	0.769
	≧ 4	267	33.7%	-0.484	0.114	0.616	0.338	1.122
High temperature (hrs)					0.087			
	< 2 (ref)	275	26.9%					
	2~4	48	25.0%	0.081	0.840	1.084	0.495	2.372
	≧ 4	111	44.1%	0.613	0.029	1.845	1.065	3.197
Heavy loads handling (hrs)					<0.001*			
	< 2 (ref)	206	22.3%					
	2~4	139	39.6%	1.137	<0.001*	3.118	1.798	5.406
	≧ 4	89	38.2%	0.808	0.011*	2.244	1.207	4.171
Repetitive motion (hrs)					0.016*			
	< 2 (ref)	83	22.9%					
	2~4	62	16.1%	-0.974	0.043*	0.378	0.147	0.972
	≧ 4	289	36.7%	0.188	0.559	1.207	0.642	2.269
Constant				-1.848	<0.001*	0.158		

*significant at 0.05, % = Proportion of reported upper limb pain, ref = Reference variable, CI = Confidence interval

3.3 Factors affecting lower limb pain

Table 3은 작업자관련 요인과 유해요인노출정도 변수들에 의해 상지 근육통을 종속변수로 하여 이항 로지스틱 회귀분석을 수행한 결과이다. 모형의 설명력은 Nagelkerke value=0.174, 모형의 적합도는 χ^2=6.898, significant value=0.548로 나타나 적합한 것으로 나타났으며, 예측의 정확성은 85.9%로 나타났다.

하지 근육통에 영향을 주는 요인은 성별(p=0.003), 연령(p=0.010)과 물리적 요인인 고온(p=0.015)으로 나타났다. 성별측면에서 보면 여성은 남성보다 하지 근육통을 호소할 가능성이 3.013배 높아지는 것으로 나타났다. 연령측면에서는 근로자의 연령이 60세 이상이면 40세 미만의 근로자보다 하지 근육통을 호소할 가능성이 4.622배 높아지는 것으로 나타났다. 금속 및 기계장비 제조업 근로자들의 하지 근육통은 작업자 특성과 물리적 요인인 고온과 관련되어 있는 것이 특징으로 나타났다.

Table 3. Result of the logistic regression on lower limb pain

Variables		N	%	B	*p*-value	Exp (B)	95% CI	
							Lower	Upper
Gender								
	Male (ref)	380	27.6%					
	Female	54	55.6%	1.103	0.003*	3.013	1.444	6.284
Ages (yrs)					0.010*			
	< 40 (ref)	129	22.5%					
	40~49	118	28.0%	0.491	0.285	1.634	0.665	4.018
	50~59	124	35.5%	0.787	0.071	2.196	0.935	5.160
	≧ 60	63	46.0%	1.531	0.001*	4.622	1.823	11.716
Vibration (hrs)					0.095			
	< 2 (ref)	100	11.0%					
	2~4	67	6.0%	-0.680	0.287	0.506	0.145	1.770
	≧ 4	267	18.0%	0.515	0.208	1.673	0.751	3.729
High temperature (hrs)					0.015*			
	< 2 (ref)	275	12.0%					
	2~4	48	4.2%	-1.447	0.063	0.235	0.051	1.079
	≧ 4	111	25.2%	0.590	0.075	1.803	0.942	3.453
Constant				-3.014	<0.001*	0.049		

*significant at 0.05, % = Proportion of reported upper limb pain, ref = Reference variable, CI = Confidence interval

4. Discussion and Conclusion

본 연구는 금속 및 기계장비 제조업에 종사하는 생산직 근로자의 근골격계 통증관련에 영향을 미치는 요인을 도출하기 위해 제6차 근로환경조사의 설문 자료를 이용하여 이항 로지스틱 회귀분석을 실시하였다.

연구 결과에 따르면 요통에 영향을 미치는 요인은 연령과 소음, 흄 및 먼지로 나타났다. 60세 이상 근로자의 요통 호소율은 41.3%로 높게 나타났으며, 60세 이상은 40세 미만의 근로자보다 요통을 호소할 가능성이 2.286배 높은 것으로 나타났다. 이는 철강업체 고령 근로자의 근골격계 증상의 유병률이 요통, 상지 근육통, 하지 근육통으로 나타난 것과(Choi et al., 2009) 같은 연구 결과를 보여주고 있다. 또한 흄 및 먼지에 4시간 이상 노출될 경우 2시간 미만 노출될 경우 보다 요통 가능성이 2.228배 높게 나타났다. 철강 주조업에서 발생하는 폐렴, 기관지염, 진폐증, 중금속 중독, 소음성 난청, 심혈관계 및 근골격계질환은 광물성 분진, 금속성 흄과 연계된 화학물질 등에서 발생하는 유해인자가 영향을 미친다는 연구 결과와(Pi and Kim, 2003) 유사하다. 반면, 인간공학적 위험요인인 중량물 취급이 요통의 주요 원인으로 나타났다는 연구 결과(Park and Lee, 2009)와는 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한 건설업에서는 요통에 영향을 미치는 요인으로 연령, 고용형태, 진동, 부적절한 자세, 중량물 취급으로 나타나(Park et al., 2023) 본 연구의 결과와는 차이가 있었다. 금속 및 기계장비 제조업에서는 타 산업과는 달리 물리적 유해요인과 생·화학적 위험요인이 요통에 영향을 미치는 특징이 있는 것으로 나타났다.

상지 근육통에 영향을 미치는 요인은 남녀, 진동, 중량물 취급, 반복 동작으로 나타났다. 여성의 상지 근육통 호소율은 55.6%로 나타

났으며, 여성이 남성보다 상지 근육통을 호소할 가능성이 4.152배 높게 나타났다. 이는 여성이 근골격계질환을 대체로 과다하게 호소하고, 통증에 취약하다는 연구와 일치한다(Kim et al., 2009). 중량물 취급작업에 2시간 미만 노출되는 경우보다 2시간 이상 4시간 미만 노출되는 경우는 3.118배 상지 근육통을 호소할 가능성이 높게 나타났으며, 4시간 이상 노출되는 경우는 2.244배 높게 나타났다. 금속 및 기계장비 제조업에 종사하는 생산직 근로자는 다른 업종에 비해 인력작업의 비중이 높은 편이며, 근골격계질환이 타 업종에 비해 높게 나타났다는(Cho, 2009) 연구 결과와 일치하였다. 진동은 2시간 미만 노출될 경우 2시간 이상 4시간 미만 노출되는 경우보다 상지 근육통을 호소할 가능성이 3.067배 높게 나타났다. 반면, 상지 근육통에 영향을 주는 진동은 노출시간이 경과하면서 호소 가능성이 줄어 드는 경향이 나타났다. Park and Lim (2000)의 연구에 의하면 한 2시간 이상 전동공구 작업자에서 그렇지 않은 작업자보다 수지진동 증후군 증상 호소율이 2.21배 높게 나왔으며, 이는 증상 호소자들이 건강한 작업자만 있는 건강한 작업자 효과(healthy worker effect)가 작용한 것으로 판단된다. 또한, 진동에 노출이 되면 일시적인 감각 손상이 발생한다는 연구 결과(Kume et al., 1984; Radwin et al., 1989)를 종합적으로 비교해 봤을 때, 건강한 작업자 및 통증에 익숙해진 호소자들의 주관적인 설문 결과가 영향을 미쳤다고 유추해 볼 수 있다. 진동수준은 공구의 크기와 무게, 공구의 구동 메커니즘에 따라 달라지며, 공구에서 발생하는 진동이 작업자의 손과 팔에 전이되는 양은 공구를 쥐는 악력과 공구의 무게에 비례한다(Sakurai and Matoba, 1986; Park and Lim, 2000)는 연구 결과와 건강한 작업자 효과를 포함하여 추후 객관적인 측정 자료를 통해 진동과 상지 근육통과의 연구가 필요하다. 반복 동작 또한 노출시간이 경과하면서 상지 근육통 호소 가능성이 줄어드는 경향을 나타냈다. 반복적인 허리 굴곡 작업에서 긴 작업-휴식 주기가 짧은 작업-휴식 주기보다 작업자의 허리에 더 큰 부담을 줄 수 있다는 연구 결과와 짧은 주기의 휴식이 피로를 최소화할 수 있다(Shieh and Chen, 1997; Balci and Aghazadeh, 2003; Lee et al., 2008)는 연구의 결과로 보았을 때, 지속적인 반복 동작이 아니라 작업 중 제품을 이동하거나 기계에 부품을 공급하는 등 짧은 작업-휴식주기가 포함된 작업일 가능성과 주관적인 설문 결과가 영향을 미쳤다고 유추해 볼 수 있다.

하지 근육통에 영향을 주는 요인은 남녀, 연령으로 나타났다. 여성이 남성보다 하지 근육통을 호소할 가능성이 3.013배 높은 것으로 나타났다. 근로자의 연령이 60세 이상일 경우 40세 미만의 근로자보다 하지 근육통을 호소할 가능성이 4.622배 높은 것으로 나타났다. 금속 및 기계장비 제조업 근로자들의 하지 근육통은 작업자 특성인 성별과 연령에 관련되어 있는 것이 특징으로 나타났지만, 이는 소음과 고온환경에서 주로 중량물 취급작업을 많이 하는 업종의 특성을 반영하고 있다고 유추할 수 있다. 즉, 신체 능력이 남자에 비해 떨어지는 여성 근로자나 젊은 작업자보다 떨어지는 고령작업자는 같은 작업환경에서 일을 하더라도 적응능력이 떨어져 통증 가능성이 높아지는 것으로 유추할 수 있다.

본 연구는 금속 및 기계장비 제조업을 대상으로 분석하여 전체 사업장에 일반화 시키기에는 한계가 있으며, 근로환경조사를 바탕으로 표준화된 설문지를 이용한 면접조사 결과를 분석한 것이므로 유해요인에 대한 노출수준을 직접 작업현장에서 측정한 결과와 비교할 때 정밀도가 떨어지는 한계를 지니고 있다. 또한, 유해요인의 노출강도와 노출시간을 모두 고려하지 않고 설문지 특성상 유해요인 노출시간만을 고려한 한계가 있다. 이러한 한계에도 불구하고 본 연구는 금속 및 기계장비 제조업에서 발생하는 근골격계 통증문제를 종합적으로 영향요인을 고려하여 주요한 영향요인을 도출했다는데 의미가 있다.

Acknowledgment

This research was financially supported by Hansung University. The authors are grateful to the Occupational Safety and Health Research Institute (OSHRI) and the Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA) for providing the raw data from the KWCS.

References

Balci, R. and Aghazadeh, F., The effect of work-rest schedules and type of task on the discomfort and performance of VDT users, *Ergonomics*, 46(5), 455-465, 2003.

Bang, Y.W., Im, H.J., Kwon, Y.J., Cho, S.S., Lee, T.K., Yoon, I.K. and Ju, Y.S., The Effect of Socio-Economic Factors on Occupational Injuries in Korea: A Time Series Analysis, *Korean Journal of Occupational Environmental Medicine*, 23(4), 397-406, 2011.

Cho, M.S., A Study on facility improvement plan of metal product companies for reducing the musculoskeletal disorders risk factors, *Journal of The Korean Institute of Plant Engineering*, 14(4), 27-34, 2009.

Choi, W.J., Kang, Y.J., Kim, J.Y. and Han, S.H., Symptom prevalence of musculoskeletal disorders and the effects of prior acute injury among aging male steelworkers, *Journal of Occupational Health*, 51, 273-282, 2009.

Jeong, B.Y., Ergonomics' role for preventing musculoskeletal disorders. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29, 393-404, 2010.

Jeong, B.Y., Shin, D.S. and Park, M.H., A study on office environment satisfaction and worker's subjective symptoms, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 34(3), 223-234, 2015.

Kim, J.W., Jeong, B.Y. and Park, M.H., A study on the factors influencing overall fatigue and musculoskeletal pains in automobile manufacturing production workers, *Applied Sciences*, 12, 3528, 2022a.

Kim, J.W., Lee, D.K. and Jeong, B.Y., Comparison of exposure time to hazards between pain complainants and non-complainants among food manufacturing production workers, and factors influencing musculoskeletal pain, *Applied Sciences*, 15, 4366, 2025.

Kim, W.J., Park, H.J., and Jeong, B.Y., A cross-sectional descriptive study of musculoskeletal disorders (MSDs) of male shipbuilding workers and factors associated with the neck, shoulder, elbow, low back, or knee MSDs, *Applied Sciences*, 12, 3346, 2022b.

Kim, W.J. and Jeong, B.Y., Exposure time to work-related hazards and factors affecting musculoskeletal pain in nurses, *Applied Sciences*, 14, 2468, 2024.

Kim, K.S., Hong, C.W., Lee, D.K. and Jeong, B.Y., Factors Affecting Musculoskeletal Symptoms of Manufacturing Workers, *Journal of Korean Society Occupational and Environmental Hygiene*, 19(4), 390-402, 2009.

Korea National Ppuri Industry Center, Ppuri industry white paper, 2023. https://www.kpic.re.kr/html/?pmode=reference (retrieved May 17, 2025).

Kume, Y., Maeda, S. and Hashimoto, F., Effect of localized vibration in work environment on organic functions at fingertip for surface roughness, *Human Factors Association of Canada*, 457-461, 1984.

Lee, I.S., Haslam, R. and Song, Y.W., Comparison of different work/rest schedules of a repetitive upper-limb task based on perceived discomfort and heart rate, *Journal of the Korean Society of Safety*, 23(5), 119-124, 2008.

Lee, S.H., Jeong, B.Y. and Park, M.H., Analysis of occupational hazards, health problems, and job satisfaction of workers in the metal material, parts, and equipment industries according to working hours, *Journal of the Korean Society of Safety*, 41(2), 63-75, 2022.

Ministry of Employment and Labor, 2023 Industrial Accident Analysis, 2024. https://www.moel.go.kr/policy/policydata/view.do?bbs_seq=20241201548 (retrieved May 17, 2025).

Oh, I.H., Yoon, S.J., Seo, H.Y., Kim, E.J. and Kim, Y.A., The economic burden of musculoskeletal disease in Korea: a cross sectional study, *BMC Musculoskeletal Disorders*, 12, 157, 2011.

OSHRI (Occupational Safety and Health Research Institute), The Sixth Korean Working Conditions Survey, 2021. https://oshri.kosha.or.kr/oshri/researchField/workingEnvironmentSurvey.do (retrieved May 17, 2025).

Park, H.J., Jeong, B.Y. and Park, M.H., Comparison of Exposure Time to Hazard Factors and Health Problems among Office, Craft and Elementary Construction Workers, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 42(2), 149-162, 2023.

Park, H.S. and Lim, S.H., An investigation of the symptom prevalence of hand-arm vibration syndrome among the workers using powered hand tools, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 19(3), 93-107, 2000.

Park, J. and Lee, N., First Korean Working Conditions Survey: a comparison between South Korea and EU countries, *Industrial Health*, 47(1), 50-54, 2009.

Pi, Y.G. and Kim, H.U., Current Status of Environmental Hazards of Iron and Steel Foundry Operations in Korea, *Journal of Korean Society of Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*, 13(2), 99-106, 2003.

Radwin, R.G., VanBergeijk, E. and Armstrong, T.J., Muscle response to pneumatic hand tool torque reaction forces, *Ergonomics*, 32(6), 655-674, 1989.

Sakurai, T. and Matoba, T., Peripheral nerve responses to hand-arm vibration, *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 12(4), 432-434, 1986.

Seo, S.Y. and Seo, J.H., The Effect of Technology Innovation Competence and Technology Commercialization Competence of Ppuri Industry Corporations on Management Performance, *Journal of CEO and Management Studies*, 25(2), 251-269, 2022.

Shieh, K.K. and Chen, M.T., Effects of screen color combination, work-break schedule, and workpace on VDT viewing distance, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20(1), 11-18, 1997.

Statistics Korea, Korean standard industrial classification (KSIC), 2017a. http://kssc.kostat.go.kr/ksscNew_web/ekssc/main/main.do# (retrieved May 17, 2025).

Statistics Korea, Korean standard classification of occupations (KSCO), 2017b. http://kssc.kostat.go.kr/ksscNew_web/ekssc/main/main.do# (retrieved May 17, 2025).

Yang, S.T., Jeong, B.Y. and Park, M.H., Characteristics of occupational injuries in the automobile parts manufacturing industry, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 36, 231-244, 2017.

Yang, S.T., Park, M.H. and Jeong, B.Y., Types of manual materials handling (MMH) and occupational incidents and musculoskeletal disorders (MSDs) in motor vehicle parts manufacturing (MVPM) industry, *International Journal Industrial Ergonomics*, 77, 102954, 2020.

You, W.S. and Jeong, B.Y., Work-related accidents and illnesses of older shipbuilding workers. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 39, 205-211, 2020.

Author listings

Seung Ho Lee: blueoreo@gmail.com
Highest degree: PhD, Department of Industrial and Management Engineering, Hansung University
Position title: Owner, First Value Company
Areas of interest: Ergonomics, Safety and Health Management, Universal Safety & Design

Byung Yong Jeong: byjeong@hansung.ac.kr
Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, KAIST
Position title: Professor, Industrial and Systems Engineering, Hansung University
Areas of interest: Ergonomics, Safety and Health Management, Universal Safety & Design