JESK J Ergon Soc Korea 2025; 44(6): 949-955
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2025.44.6.949
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

The Effect of Grip Strength on Physical Workload in Manual Material Handling Tasks

Nakyeong Kim[1], Yuchang Kim[2]

[1]Korea Occupational Safety & Health Agency (KOSHA), Ulsan, 44429
[2]Dong-eui University, Department of Ergonomics, Busan, 47340

인력 운반 작업에서 악력이 육체 부하에 미치는 영향에 관한 연구

김나경[1], 김유창[2]

[1]한국산업안전보건공단
[2]동의대학교 인간공학과

Corresponding Author
Yuchang Kim
Dong-eui University, Department of Ergonomics, Busan, 47340
Email : yckim@deu.ac.kr

Received : November 19, 2025
Revised : November 20, 2025
Accepted : December 03, 2025

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

Objective: The purpose of this research was to analyze the effect of grip strength on subjective physical workload according to the weight of objects and working posture in manual material handling tasks.

Background: Studies related to the prevention of musculoskeletal diseases in Korea were concentrated on the analysis of the correlation between weight, force, and muscle. In most work sites, many tasks involve movements such as gripping objects, applying force, or using hand tools. However, studies investigating the relationship between worker's grip strength and their physical workload during such movements were insufficient.

Method: 24 participants who predominantly used their right hand during work were selected. The grip strength of the subjects was measured. Subsequently, subjective physical workload was assessed using Borg's CR-10 Scale in a randomized experimental order. ANOVA was performed to analyze the effect of the grip strength on physical workload

Results: ANOVA showed that both the weight of objects and the posture had statistically significant effect on subjective physical workload. The weight of objects statistically affected on Borg's CR-10 Scale values in both posture A (posture using the front arm) and B (posture with the arms extended to the maximum). However, grip strength showed a significant effect on subjective physical workload only in posture B, which required higher physical demand, while no significant effect was observed in posture A.

Conclusion: Grip strength was associated with an increased subjective physical workload only under high-load condition during manual material handling tasks. In contrast, under lower workload conditions, grip strength dose not exert a significant influence.

Application: The results of these studies were thought to contribute to the prevention of musculoskeletal disorders for workers in actual industrial sites who hold objects in their hands or frequently use hand tools, and can be used as basic data for future research related to grip strength.

Keywords: Musculoskeletal disorders, Musculoskeletal burdened work, Grip strength, Subjective physical workload, Manual material handling tasks

1. Introduction

현재 제조업이나 건설업의 많은 작업이 자동화됨에도 불구하고, 조립, 용접 등의 작업은 여전히 작업자의 수공구 작업에 의해 의존하고 있으며, 작업 부하, 방법 등이 부적절하여 작업자에게 과도한 육체적 부하를 유발하고 있다(Park and Kim, 2016). 이처럼 반복적인 동작, 부적절한 자세, 무리한 힘의 사용 등에 의해 작업 관련성 질환인 근골격계질환(Work-related Musculoskeletal Disorders; WMSDs)으로 이어진다(Lee and Kim, 2020).

작업 관련성 근골격계질환(Work-related Musculoskeletal Disorders; WMSDs)이란 반복적이고 누적되는 특정한 일 또는 동작과 연관되어 신체의 일부를 무리하게 사용하면서 나타나는 질환으로 신경, 근육, 인대, 관절 등에 문제가 생겨, 통증과 이상 감각, 마비 등의 증상이 나타나는 질환들을 총칭하여 말한다(Jeong, 2010). 근골격계질환에 대한 용어는 누적외상성 질환(Cumulative Trauma Disorders, CTDs) 또는 반복성 긴장 상해(Repetitive Strain Injuries, RSI)로도 불린다(Kim et al., 2010). 근골격계질환의 발생 원인으로는 부자연스러운 자세 또는 취하기 어려운 자세(Awkward postures), 반복성(Repetition), 과도한 힘(Forceful exertions), 정적인 자세(Static posture), 진동(Vibration), 접촉 스트레스(Contact stress), 온도(Temperature), 작업 지속시간(Duration), 불충분한 휴식 등 작업 특성 요인과 생활습관과 취미, 과거 병력, 신체조건 등의 개인적인 특성 그리고 사회 심리적 요인(직무스트레스 등)의 영향으로 발생하게 된다(Kong et al., 2010).

생산기술의 발달로 현대 국내 산업현장은 빠른 속도로 자동화되었지만, 하지만, 여전히 많은 산업 부분에서는 인간의 육체적 힘을 동력원으로 하는 육체노동이 수행되고 있는 것이 현실이다(Lee and Kim, 2020). 근골격계질환은 각 사업장 문제를 넘어서 사회적 문제로 대두되었다(Jung et al., 2008). 최근 10년간 국내 작업 관련성 근골격계질환(Work-related Musculoskeletal Disorders; WMSDs)의 발생 현황을 살펴보면, 2015년부터 2017년까지는 증가와 감소를 반복하다가 2020년 9,601건부터 2024년 16,267건까지 급격히 증가하였다. 특히 큰 증가 폭을 보인 2024년부터는 근골격계질환이 작업 관련성 질병의 약 91% 이상을 차지한다(Korea Ministry of Employment and Labor, 2015-2024). 근골격계질환의 발생은 결국 생산관련 비용을 발생 또는 증가시키는 것은 물론 산재보상비 지출의 증가로 경제적 및 사회적 측면의 문제점이 대두되고 있다(Shin and Kim, 2019).

국내 제조업, 건설업종의 많은 작업은 그라인더 작업 등 수공구 작업에 의존하고 있으며, 수공구의 사용은 어깨나 팔 등에 정적인 자세, 과도한 힘 등으로 인해 근골격계질환으로 이어질 수 있다. 또한, 근골격계질환은 하지보다 상지에서 더 많이 발생하는 것으로 알려져 있고, 작업자의 최대 악력을 초과하는 과도한 힘을 요구하는 작업 등은 상지 근골격계질환의 주요 원인으로 알려져 있다(Park and Kim, 2016).

국내 상지 작업과 관련된 선행연구로는 팔을 어깨 위로 올리는 작업 자세에서의 작업 부하 평가(Choi and Kim, 2020), 직업성 근골격계질환의 발생 현황과 특성(Kim et al., 2010) 등 근골격계질환 예방을 위한 중량물, 힘, 근육의 상관관계 분석에 관한 연구들이 이루어져 왔다. 실제 작업 현장에서는 손으로 쥐고 힘을 쓰거나 수공구를 사용하는 동작이 빈번히 일어나고 있으며(Park and Kim, 2016), 중량물 취급 시 어깨 부하 평가에 대한 연구(Lee et al., 2020), 중공업 근로자의 악력 특성 분석(Park and Kim, 2016) 등 악력 측정 시 기초 자료로 활용될 수 있는 연구가 진행되기도 하였으나, 이와 관련된 작업자의 악력 및 육체 부하에 관한 연구는 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구는 물체를 취급하는 정적 작업을 대상으로 선정하고, 악력이 무게와 자세에 따른 주관적 육체 부하에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 본 연구는 수공구를 취급하는 작업이 많은 한국 산업현장의 인간공학적 작업설계를 위한 기초 자료를 제시하고자 한다.

2. Method

2.1 Participants

본 연구의 실험 참여자는 과거 오른팔, 손목, 오른손 등에 근골격계 관련 질환의 경험이 없고, 생활 및 작업 시 주 사용 손이 오른손인 20대·30대 남자 대학생, 대학원생 및 직장인 24명을 선정하였다. 평균 연령은 28.9세이고, 오른손 평균 악력은 475.6N, 팔꿈치 높이는 110.3cm이다.

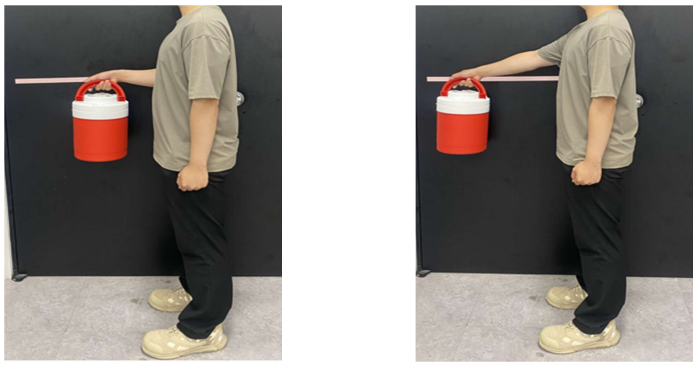
2.2 Method

본 실험에서 선정한 독립변수와 종속변수는 Table 1과 같다. 독립변수는 작업 자세(A: 앞팔을 사용한 자세, B: 팔을 최대로 뻗은 자세), 중량물의 무게(1.5kg, 3kg, 4.5kg)과 악력 세기에 따른 집단(악력 상위 50%, 하위 50%)으로 선정하였으며, 종속변수는 주관적 육체 부하 평가의 Borg's Scale 값으로 선정하였다.

Table 1. Independent variable and dependent variable

Division	Contents
Independent variable	Posture - Posture A: Using the front arm - B: With the arms extended to the maximum extended to the maximum
	Weight - 1.5kg, 3kg, 4.5kg
	Group according to grip strength - The top 50% of grip strength, The bottom 50% of grip strength
Dependent variable	Scale value of subjective physical workload (Borg's CR-10 Scale)

악력이 육체 부하에서 미치는 영향을 확인하기 위해 실험 참여자의 오른손 악력을 측정하였다. 악력 측정은 스프링의 탄성력을 이용하는 기계식 장비인 Smedley dynamometer를 사용하였다. 악력 측정 시 자세는 선 자세로 양발을 약 10cm 벌리고, 악력계의 숫자판



A: Using the front arm

B: With the arms extended to the maximum

Figure 1. Experimental posture

이 몸 바깥쪽을 향하도록 하였다. 측정 전 악력계의 폭은 손가락 둘째 마디가 직각이 되도록 조절하여 잡게 하였다. 측정 동안 어깨 관절은 몸통에 붙여 내전시키고, 팔꿈치 관절은 완전히 신전한 상태에서 전완 및 손목은 중립 자세를 유지하도록 지시했으며, 상체가 구부러지지 않도록 하였다. 측정은 참여자당 총 3회 실시하였고, 1회 측정 후 2분의 휴식 시간을 제공했으며, 3회 측정값 중 최댓값을 최종 최대 악력 값으로 설정하여 분석에 사용하였다.

실험은 2가지의 작업 자세(A: 앞팔을 사용한 자세, B: 팔을 최대로 뻗은 자세)와 3가지 중량물의 무게(1.5kg, 3kg, 4.5kg)를 랜덤으로 선정하여 실시하였으며, Figure 1과 같이 다리를 편하게 펴고 팔꿈치 높이에서 두 가지 작업 자세에서 중량물을 들고 1분간 자세를 유지하였다. 실험 간 2분의 휴식 시간을 부여하였으며, 실험 참여자는 휴식 시간에 주관적 육체 부하 평가(Borg's Scale)를 실시하였다.

2.3 Analysis method

실험 참여자들의 주관적 육체 부하의 평가 데이터를 사용하여 악력에 따른 영향을 알아보기 위해 Minitab 17 프로그램을 활용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 통계량의 유의 수준은 0.05로 설정하였으며, p-value 값이 유의 수준 이하일 때 통계적으로 의미가 있다.

3. Result on Each Condition

3.1 Posture, weight of objects

주관적 육체 부하를 나타내는 Borg's Scale의 위험 분류기준은 Table 2와 같으며, 작업 자세와 중량물의 무게에 따른 주관적 육체 부하 평가값의 평균과 표준편차는 Table 3와 같다. 주관적 육체 부하 평가값에 대한 반복이 없는 이원배치 분산분석 결과, 자세와 중량물의 무게의 주 효과는 통계적으로 각각 유의한 것으로 나타났다(p<0.05). 이를 통해, 주관적 육체 부하 평가값(Borg's Scale 값)은 중량물의 무게가 증가할수록, 자세는 팔을 최대로 뻗은 자세에서 Borg's Scale 값이 크게 나타났음을 의미한다.

Table 2. Risk level classification criteria for Borg's scale scores

Borg's scale score	Risk level
< 3	Safe
≥ 3	Dangerous
≥ 5	High-risk

Table 3. Physical workload by posture, weight of objects Average (SD)

Weight* \ Posture*	Posture A	Posture B	Average
1.5kg	0.90 (0.64)	3.04 (1.12)	1.97 (0.88)
3kg	2.94 (1.22)	5.90 (1.64)	4.42 (1.43)
4.5kg	4.88 (1.71)	8.56 (1.34)	6.72 (1.53)
Average	2.91 (1.19)	5.83 (1.37)	

*p<.05, □ : Safe, □ : Dangerous, ■ : High-risk

3.2 Grip strength, weight of objects, and posture

악력 세기에 따른 집단, 중량물의 무게와 작업 자세에 따른 주관적 육체 부하 평가값의 평균과 표준편차는 각각 Table 4, Table 5와 같다. 주관적 육체 부하 평가값에 대한 분산분석 결과, 악력 세기 집단, 무게, 자세는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다(p<0.05). 이를 통해, 주관적 육체 부하 평가값(Borg's Scale 값)은 악력 세기 하위 50%의 실험 대상자들이 상위 50%보다 크다고 나타나며, 자세는 팔을 최대로 뻗은 자세에서, 무게는 증가할수록, Borg's Scale 값이 크게 나타났음을 의미한다.

3.3 Grip strength and weight of objects in the posture A

자세 A에서의 악력 세기에 따른 집단, 중량물의 무게에 따른 분산분석 결과, 주관적 육체 부하 평가값의 평균과 표준편차는 Table 4와 같다. 주관적 육체 부하 평가값의 분산분석 결과 무게의 주 효과는 통계적으로 유의한 것으로 나타났으나(p<0.05), 악력 세기에 따른 집단은 유의하지 않은 것으로(p>0.05) 나타났다. 이를 통해, 자세 A에서 주관적 육체 부하 평가값(Borg's Scale 값)은 중량물의 무게가 증가할수록 Borg's Scale 값이 크게 나타났음을 의미한다. 즉, 자세 A에서는 악력의 크기가 주관적 육체 부하에 영향을 주지 않았다.

Table 4. Physical workload by grip strength and weight of objects in the posture A — Average (SD)

Weight* \ Grip strength*	The top 50%	The bottom 50%	Average
1.5kg	0.83 (0.58)	0.96 (0.72)	0.90 (0.65)
3kg	2.63 (1.09)	3.25 (1.31)	2.94 (1.20)
4.5kg	4.83 (1.91)	4.92 (1.58)	4.88 (1.75)
Average	2.76 (1.19)	3.04 (1.20)	

*p<.05, ☐ : Safe, ☐ : Dangerous, ☐ : High-risk

3.4 Grip strength and weight of objects in the posture B

자세 B에서의 악력 세기에 따른 집단, 중량물의 무게에 따른 주관적 육체 부하 평가값의 평균과 표준편차는 Table 5와 같다. 주관적 육체 부하 평가값에 대한 분산분석 결과, 악력 세기에 따른 집단과 무게의 주 효과는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다(p<0.05). 이를 통해, 주관적 육체 부하 평가값(Borg's Scale 값)은 악력 세기 하위 50%의 실험 대상자들이 상위 50%보다 높게 나타났다. 또한, 중량물의 무게가 증가할수록 Borg's Scale 값이 크게 나타난다고 판단할 수 있다. 이처럼 팔을 뻗거나, 중량물의 무게가 증가하는 등 작업 부하가 심한 작업일수록, 악력이 상대적으로 약한 집단(하위 50%)가 강한 집단(상위 50%)보다 평가값이 크게 나타났음을 의미한다.

Table 5. Physical workload by grip strength, weight of objects in the posture B — Average (SD)

Weight* \ Grip strength*	The top 50%	The bottom 50%	Average
1.5kg	3.00 (1.07)	3.08 (1.22)	3.04 (1.15)
3kg	5.42 (1.28)	6.38 (1.87)	5.90 (1.58)
4.5kg	8.08 (1.43)	9.04 (1.10)	8.56 (1.27)
Average	5.50 (1.26)	6.17 (1.40)	

*p<.05, ☐ : Safe, ☐ : Dangerous, ☐ : High-risk

4. Conclusion

본 연구는 물체를 취급하는 상지 작업에서 작업자의 악력이 육체 부하에 미치는 영향을 파악하기 위해 실험을 실시하였다. 본 연구의 중요 결과는 다음과 같다.

본 연구 결과, 물체를 취급하는 상지 작업에서 주관적 육체 부하(Borg's Scale)는 중량물의 무게, 작업 자세, 작업자의 악력에 영향을 받는 것으로 나타났다. 구체적으로, 중량물의 무게가 증가할수록, 자세는 팔을 최대로 뻗는 고강도 작업일수록, 악력은 약할수록 주관적 육체 부하가 증가하였다. 특히, 악력의 영향은 팔을 최대로 뻗는 자세 등의 작업 부하가 큰 자세에서만 유의하게 나타났으며, 작업 부하가 작은 자세에서는 유의한 영향이 관찰되지 않았다. 이는 고강도 작업에서 작업자의 악력이 주관적 육체 부하에 중요한 역할을 함을 시사한다.

이를 바탕으로, 작업 현장에서 적용할 수 있는 실질적 안전 기준을 다음과 같이 제안할 수 있다.

첫째, 중량물의 무게가 증가할수록 주관적 육체 부하도 점진적으로 상승하므로, 중량물의 무게 관리는 작업자의 근골격계 부담 예방의 기본이다.

둘째, 팔을 최대한 뻗어 물체를 운반하는 작업 부하가 큰 작업에서는 작업자의 악력이 주관적 육체 부하에 영향을 미치는 요인으로 작용하므로, 충분한 악력 확보 또는 악력이 약한 작업자의 보조 도구 활용, 작업 강도 조절 등이 필요하다.

특히 본 연구의 결과를 바탕으로 "악력과 작업 부하간 맞춤형 위험 기준"을 제시할 수 있다. 예를 들어, 앞팔을 사용하는 등 작업 부하가 작은 작업에서 악력 세기 하위 50%의 작업자들은 중량 3kg 이상의 작업 시 '위험'군에 해당함을 고려해야 한다. 반면, 악력 세기 상위 50%의 작업자의 경우도 4.5kg 이상의 상지 작업에 대해서는 '위험'군으로 관리가 필요하다. 반면 팔을 최대한 뻗은 작업 부하가 큰 작업에서는 두 그룹 모두 1.5kg부터는 '위험'군, 3kg는 '고위험'군으로 분류된다. 이는 현장 작업자의 선별, 배치 및 교육, 작업 보조 도구 활용 등 실질적 근골격계 부담 작업 관리 방안 수립 시 활용될 수 있다.

결론적으로, 물체를 취급하는 상지 작업에서 작업 부하가 작을 때에는 주관적 육체 부하에 대한 악력의 영향이 미미하지만, 작업 부하가 큰 작업에서는 작업자의 악력이 주관적 육체 부하와 관련된 위험 수준 결정에 중요한 변수임이 드러났다. 현장에서는 작업 강도 및 작업 자세, 작업자의 악력 등을 종합적으로 평가해 근골격계질환 예방 방안을 수립하는 것이 필요하다.

본 연구 결과는 손에 물체를 쥐거나, 수공구를 빈번하게 사용하는 실제 산업현장의 작업자들에 대한 근골격계질환 예방에 기여할 수 있을 것으로 생각되며, 추후 악력과 관련된 연구의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 본 연구의 피실험체가 주로 20~30대 대학원생 및 사무직 직장인으로 구성된 점을 감안하여 후속 연구에서는 다양한 연령대와 직업군으로 확대하여 다양한 산업현장 작업자들을 대상으로 진행할 필요가 있다. 이러한 연구를 통해 악력 관련 연구의 적용 범위를 확장하고, 근골격계질환 예방을 위한 작업 환경 개선 및 기준 마련에 실질적으로 이바지할 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgement

This Work was supported by Dong-eui University Foundation Grant (2021).

References

Choi, W.S. and Kim, Y.C., A Study on Assessment of Physical Workload in the Posture of Raising the Arm Above the Shoulder, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 39(4), 333-343, 2020.

Jeong, B.Y., Ergonomics' Role for Preventing Musculoskeletal Disorders, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(4), 393-

404, 2010.

Jung, K.H., Kim, Y.C., Kang, D.M. and Kim, J.W., Study of the Relation Between Work-Related Musculoskeletal Disorders · Psychiatric Disorders and Job Stress in Train Drivers, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 27(1), 1-7, 2008.

Kim, K.S., Park, J.K. and Kim, D.S., Status and Characteristics of Occurrence of Work-related Musculoskeletal Disorders, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(4), 405-422, 2010.

Kong, Y.K., Sohn, S.T. and Han, J.G., A Review Study for Grip Strengths of Hand, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(5), 715-725, 2010.

Korea Ministry of Employment and Labor, Industrial accident analysis, 2015-2024.

Lee, H.J., Kim, Y.C. and Im, Y.J., A Study on the Evaluation of the Load on the Shoulder in Manual Materials Handling Tasks, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 39(5), 475-485, 2020.

Lee, S.W. and Kim, Y.C., A Study on the Effectiveness of Reporting System about Risk Factors Analysis for Preventing the Musculoskeletal Disorders, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 39(4), 365-371, 2020.

Park, K.H. and Kim, Y.C., An Analysis of Grip Strength of Heavy Industry Workers, *Journal of the Korean Society of Safety*, 31(1), 81-86, 2016.

Shin, D.U. and Kim, Y.C., A Study on the Working Conditions and the Musculoskeletal Disorders of Workers of Design Department in Heavy Industry, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 38(3), 151-159, 2019.

Author listings

Nakyeong Kim: knaky@kosha.or.kr
Highest degree: M.S., Department of Ergonomics, Dong-eui University
Position title: Manager, Korea Occupational Safety & Health Agency (KOSHA)
Areas of interest: Safety and Health, WMSDs, Human Error

Yuchang Kim: yckim@deu.ac.kr
Highest degree: PhD, KAIST
Position title: Professor, Department of Ergonomics, Dong-eui University
Areas of interest: Safety and Health, WMSDs, Human Error