JESK J Ergon Soc Korea 2020; 39(5): 475-485
http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2020.39.5.475
http://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

A Study on the Evaluation of the Load on the Shoulder in Manual Materials Handling Tasks

Hyunjae Lee[1], Yuchang Kim[2], Youngjae Im[2]

[1]Dong-eui University, Department of Chemical & Environmental & Industrial Engineering, Busan, 47340
[2]Dong-eui University, Department of Human · System Design Engineering, Busan, 47340

중량물 취급 시 어깨 부하 평가에 대한 연구

이현재[1], 김유창[2], 임영재[2]

[1]동의대학교 화학 · 환경 · 산업공학과
[2]동의대학교 인간 · 시스템디자인공학과

Corresponding Author
Yuchang Kim
Dong-eui University, Department of Human · System Design Engineering, Busan, 47340
Email : yckim@deu.ac.kr

Received : August 06, 2020
Revised : August 12, 2020
Accepted : August 26, 2020

Copyright@2020 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: The purpose of this study is to analyze the load on the shoulder in Manual Materials Handling (MMH).

Background: According to the Korea Occupational Safety and Health Agency's statistics on industrial injuries, Among the musculoskeletal patients in 2019, about 73.1% of patients were found to have physical pain due to the Manual Materials Handling (MMH) work process. In Korea, foreign evaluation criteria of materials handling have been employed without modification. Although a number of studies have been conducted on the degree of load on the lumbar spine (L5/S1) in materials handling, the research on the shoulder load is insufficient.

Method: This study used the anthropometry data in the 1st, 50th and, 99th percentiles of Korean males aged 20 to 45. Also, 3D Static Strength Prediction Program (3DSSPP) software was used to analyze the load on the shoulder in materials handling.

Results: The results of this study showed that as the horizontal distance between the worker and the center of the material increases, the load on the shoulder increases. Also, as the vertical distance increases, the load on the shoulder increases.

Conclusion: The loads on the shoulder for 99th percentile male was relatively greater than those for 1st and 50th percentile male in the outstretched arm posture.

Application: These results can be used as the basic data for the research of materials handling guidelines of the shoulder that considers physical characteristics for Koreans.

Keywords: MMH, 3DSSPP, Shoulder, Material

1. Introduction

현대 산업 사회는 기계화, 자동화와 같은 생산기술의 발달로 생산 현장은 물론 일상생활에서도 작업의 효율과 작업 방법의 편리성 등 많은 부분들이 향상되고 있다. 하지만, 여전히 많은 산업 부분에서는 인간의 육체적 힘을 동력원으로 하는 육체노동이 수행되고

있는 것이 현실이며, 작업 방법이 지나치게 부적절하여 작업자에게 과도한 육체적 부하를 유발시키고 있다. 이는 작업성 질환으로 이어지고 있으며, 대표적인 예가 바로 작업 관련성 근골격계질환(Work-related Musculoskeletal Disorders, WMSDs)이다(Mun, 2010).

근골격계질환이란 과도한 근육 사용, 반복적인 작업 동작 등으로 인한 극히 미세한 근육이나 조직의 손상이 누적되어 나타나는 기능적 장애로서 허리, 목, 어깨, 팔, 손목 등의 부위에 주로 나타나는 질환이다(Kim et al., 2010). 근골격계질환은 작업자에게 육체적·정신적 고통을 가중시키며, 생산성 감소 등의 경제적 손실을 야기하기 때문에(Chaffin et al., 1999) 대한민국의 전 산업에 걸쳐 문제가 되고 있다. Figure 1과 같이 대한민국의 근골격계질환 발생현황을 살펴보면, 2010년부터 2017년까지 증가와 감소를 반복하다가 2018년에는 6,715건, 2019년에는 9,440건으로 급격하게 증가하였다.

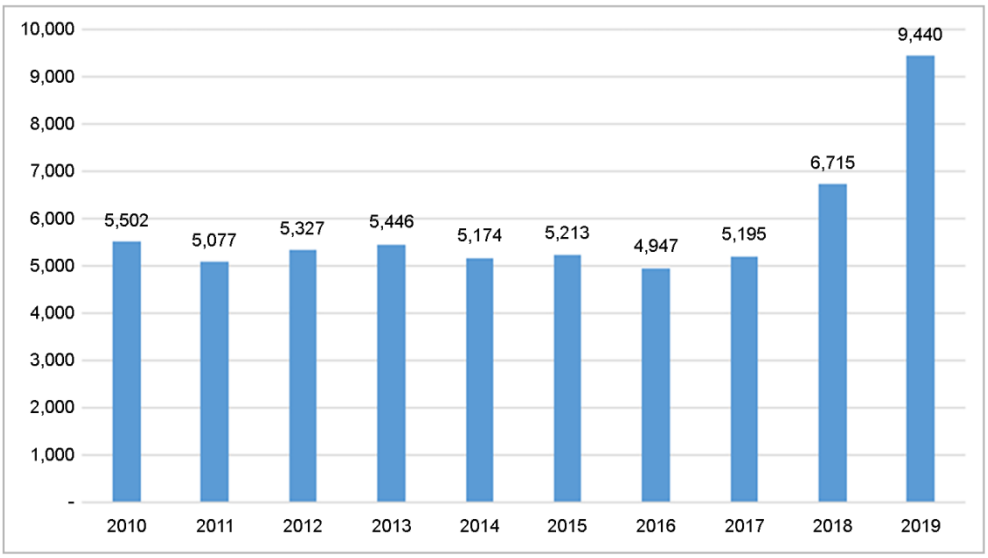

Figure 1. Occurrence status of WMSDs in Korea

한국산업안전보건공단(Korea Occupational Safety and Health Agency, KOSHA)의 산업재해통계 자료를 살펴 보면, 2019년에 발생한 업무상질병자 중 근골격계질환자가 62.1% 비율을 차지하고 있다. 또한, 2019년에 발생한 근골격계질환자 중 73.1%가 인력에 의한 중량물 취급(Manual Materials Handling, MMH) 작업으로 인한 신체적 고통을 호소하고 있는 것으로 조사되고 있다(KOSHA, 2019). 인력에 의한 중량물 취급 작업 중 허리와 어깨 등 신체에 부담을 주는 대표적인 작업은 크게 중량물 들기(Lifting), 내리기(Lowering), 밀기(Pushing), 당기기(Pulling), 운반하기(Carrying), 들고 있기(Holding), 붙잡고 있기(Restraining), 던지기(Tossing) 작업 등을 들 수 있다.

특히, 제조업이나 건설업종 등에서는 많은 작업들이 자동화됨에도 불구하고, 여전히 인력으로 중량물을 취급하는 작업이 많아 대한민국의 산업안전보건 분야에서 해결해야 할 가장 큰 문제로 지적되고 있다(Choi, 2018). 인력에 의한 중량물 취급 작업은 허리뿐만 아니라 어깨에도 과도한 신체적 부하를 야기시키고 있으며, 작업자가 중량물을 빈번하게 취급할 경우, 어깨의 회전근에 통증을 유발하는 회전근 건염이 발병될 수 있다(Park, 2006). 또한, 작업자세 평가와 관련된 연구를 살펴보면 어깨 부위에 발생하는 근골격계질환 발병률은 다른 신체 부위들에 비해 상대적으로 높은 것으로 보고되고 있다(Westgaard and Aaraas, 1984).

인력에 의한 중량물 취급 작업으로 발생하는 근골격계질환을 예방하기 위해서는 해당 작업의 유해·위험성에 대한 객관적이고 용이한 평가 방법이 필요하다. 이에 미국, 영국, 국제표준화기구(ISO), 유럽연합(EU) 등에서는 각 나라에 적합한 중량물 취급 작업에 대한 평가기준을 마련하여 적용하고 있지만 대한민국의 경우, 적절한 평가기준이 없어 외국의 중량물 취급 평가기준을 수정 없이 그대로 적용하고 있는 실정이다(Kim et al., 1993). 또한, 인력으로 중량물을 취급하는 작업 시 허리에 발생하는 부하에 대한 연구는 많이 이루어지

고 있지만, 어깨 부하에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 어깨 부하는 RULA와 같은 분석 방법을 이용하여 주로 자세와 반복성에 대한 평가가 이루어지고 있다.

본 연구는 생체역학적 분석 도구(3D Static Strength Prediction Program, 3DSSPP)를 활용하여 인력으로 중량물 취급 시 어깨에 발생하는 부하와 어깨 부하 평가 가이드라인 개발에 필요한 기초 자료를 제시하고자 한다.

2. Method

2.1 Subjects

인력으로 중량물 취급 시 어깨에 발생하는 부하를 분석하기 위해 Table 1과 같이 국가기술표준원(Korean Agency for Technology and Standards, KATS) 통계 자료를 이용하여 한국인 20~45세 남성의 1분위, 50분위, 99분위 평균 인체계측 치수 데이터를 수집하였다.

Table 1. Anthropometric dimension data for Korean males (Age: 20~45 years) from 7th Size Korea (2015)

	1st Percentile	50th Percentile	99th Percentile
Height (cm)	160.7	173.1	186.7
Weight (kg)	51.1	72.8	106.1
Arm length (cm)	52.0	59.1	65.5
Upper arm length (cm)	29.5	34.0	37.9
Lower arm length (cm)	22.6	25.1	27.6
Shoulder height (cm)	128.5	140.2	153.4
Elbow height (cm)	97.4	106.1	116.5
knuckle height (cm)	69.6	77.6	85.9
Knee height (cm)	39.4	45.3	50.9

2.2 Experimental design

본 연구는 한국인 1분위, 50분위, 99분위 남성이 영국 보건안전청(UK HSE) 중량물 취급 가이드라인에 제시된 범위에 맞게 중량물을 취급할 경우, 어깨에 발생하는 부하를 분석하였다. 단, 분석 시 다리는 Locking Mode 상태로 다리를 곧게 편 자세를 유지하였다. 그 이유는 다리를 고정시키지 않고 분석할 경우, 무릎이나 발목 등 다리에 부하가 분산되어 어깨에 발생하는 부하를 정확하게 파악하기 어렵기 때문이다.

영국 보건안전청에서 제시하는 중량물 취급 가이드라인은 Figure 2와 같이 머리 높이, 어깨 높이, 팔꿈치 높이, 주먹 높이, 정강이 높이 중 어깨 높이, 팔꿈치 높이, 주먹 높이로 선정하였다. 이와 같이 분석 범위를 선정한 이유는 Figure 3과 같이 어깨 높이 이상, 무릎 높이 이하에서는 중량물을 취급하거나 적재하기 곤란하므로 작업빈도가 높고, 권장적재 높이인 어깨 높이, 팔꿈치 높이, 주먹 높이로 분석 범위를 선정하였다.

분석 시 팔을 굽힌 자세는 국가기술표준원(KATS) 통계 자료에서 수집된 인체계측 치수 데이터 중 아래팔 길이 치수 데이터를 적용하였으며, 팔을 편 자세는 팔 길이 치수 데이터를 적용하였다.

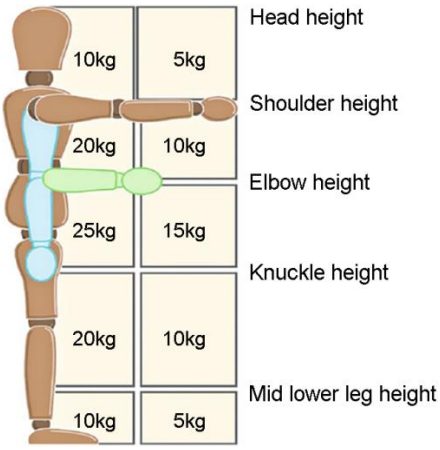

Figure 2. Materials handling guideline in the HSE

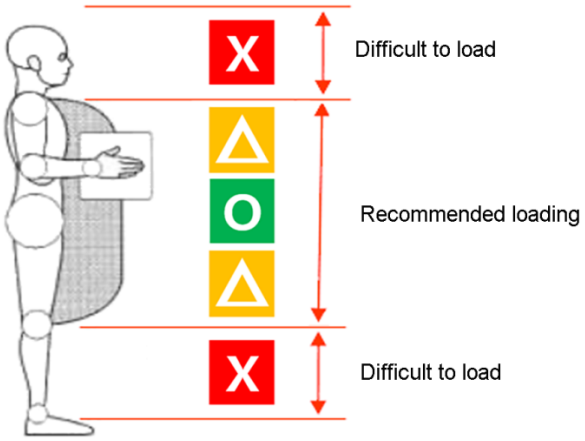

Figure 3. Correct materials handling and loading method in the KOSHA

본 연구에서 선정한 독립변수와 종속변수는 Table 2와 같다. 독립변수는 영국 보건안전청 중량물 취급 가이드라인에 제시된 자세(팔을 굽힌 자세, 팔을 편 자세), 신체 범위(어깨 높이, 팔꿈치 높이, 주먹 높이), 중량물의 무게(5kg, 10kg, 15kg, 20kg, 25kg)로 선정하였다. 종속변수는 어깨의 Percent of population capable 값으로 선정하였으며, 해당 분석 값은 중량물 취급 시 작업자가 수용 가능한 범위를 나타낸다. 다시 말해, 수치가 클수록 작업 부하가 낮아 작업이 안전함을 의미한다.

Table 2. Independent and dependent variable used in this study

Variable		Level
Independent variable	Posture	Bent arm posture, Outstretched arm posture
	Physical range	Shoulder height, Elbow height, Knuckle height
	Weight of material	5kg, 10kg, 15kg, 20kg, 25kg
Dependent variable		Shoulder percent of population capable (%)

2.3 Data analysis

본 연구는 University of Michigan에서 개발한 3DSSPP 4.0 프로그램을 사용하여 영국 보건안전청에서 제시하는 중량물 취급 가이드라인에 한국인 1분위, 50분위, 99분위 남성의 평균 인체계측 치수 데이터를 적용하여 어깨에 발생하는 Percent of population capable을 분석하였다. 프로그램 분석의 주요 입력 변수는 인체계측 치수와 중량물의 무게이며, 출력 변수로는 어깨에 발생하는 Percent of population capable이다. Figure 4는 50분위 남성의 팔꿈치 높이에서 팔을 굽힌 자세와 편 자세를 3D views of the human model로 나타낸 예시이다.

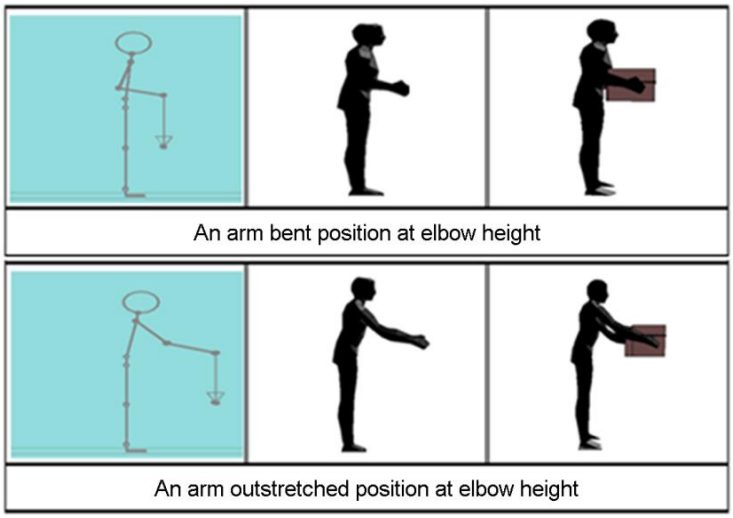

Figure 4. 3D views of the human model by using 3DSSPP

3. Results

3.1 Classification on risk level

어깨 Percent of population capable의 분석 결과를 바탕으로 위험수준을 4단계로 분류하였으며, 위험수준은 Kim (2012)의 연구에서 사용된 분류기준을 사용하였다.

어깨 Percent of population capable 값이 95% 이상일 경우에는 안전, 90% 이상~95% 미만일 경우에는 주의, 85% 이상~90% 미만일 경우에는 위험, 85% 미만일 경우에는 고위험수준으로 분류하였다. Table 3은 어깨 Percent of population capable의 위험수준을 안전, 주

Table 3. Criteria on risk level of shoulder percent of population capable

Shoulder percent of population capable (%)	Risk level
95% or more	Safe
90% or more~less than 95%	Caution
85% or more~less than 90%	Risk
Less than 85%	High risk

의, 위험, 고위험의 4단계로 분류하여 나타내었다.

3.2 Analysis results of the 1st percentile males' shoulder load

Table 4와 같이 영국 보건안전청에서 제시하는 중량물 취급 가이드라인에 한국인 1분위 남성의 평균 인체계측 치수 데이터를 적용하여 어깨에 발생하는 부하의 정도를 분석한 결과는 다음과 같다.

어깨 높이에서 중량물을 취급할 경우, 팔을 굽힌 자세에서는 20kg 이상의 중량물을 취급할 때 어깨에 발생하는 부하의 정도가 주의 수준으로 분석되었으며, 25kg 이상의 중량물을 취급할 경우, 고위험으로 분석되었다. 팔을 편 자세에서는 20kg 이상의 중량물을 취급할 경우, 고위험으로 분석되었다.

팔꿈치 높이에서 중량물을 취급할 경우, 팔을 굽힌 자세에서는 중량물을 25kg까지 취급하여도 어깨에 발생하는 부하의 정도가 안전한 것으로 분석되었다. 팔을 편 자세에서는 20kg 이상의 중량물을 취급할 경우, 위험한 것으로 분석되었으며, 25kg 이상의 중량물을 취급할 경우, 고위험으로 분석되었다.

주먹 높이에서 중량물을 취급할 경우, 팔을 굽힌 자세와 편 자세 모두 중량물을 25kg까지 취급하여도 어깨에 발생하는 부하의 정도가 안전한 것으로 분석되었다.

Table 4. Results of the 1st percentile males' shoulder percent of population capable (Unit: %)

1st Percentile		Posture	5kg	10kg	15kg	20kg	25kg
Shoulder height	Bent arm posture		100	99	98	94	81
	Outstretched arm posture		99	99	95	84	63
Elbow height	Bent arm posture		100	99	99	99	99
	Outstretched arm posture		99	99	96	89	73
Knuckle height	Bent arm posture		100	100	100	99	99
	Outstretched arm posture		100	99	99	98	97

: Caution, : Risk, : High risk

3.3 Analysis results of the 50th percentile males' shoulder load

Table 5와 같이 영국 보건안전청에서 제시하는 중량물 취급 가이드라인에 한국인 50분위 남성의 평균 인체계측 치수 데이터를 적용하여 어깨에 발생하는 부하의 정도를 분석한 결과는 다음과 같다.

어깨 높이에서 중량물을 취급할 경우, 팔을 굽힌 자세에서는 25kg 이상의 중량물을 취급할 때 어깨에 발생하는 부하의 정도가 주의수준으로 분석되었다. 팔을 편 자세에서는 15kg 이상의 중량물을 취급할 경우, 위험한 것으로 분석되었으며, 20kg 이상의 중량물을 취급할 경우, 고위험으로 분석되었다.

팔꿈치 높이에서 중량물을 취급할 경우, 팔을 굽힌 자세에서는 중량물을 25kg까지 취급하여도 어깨에 발생하는 부하의 정도가 안전한 것으로 분석되었다. 팔을 편 자세에서는 15kg 이상의 중량물을 취급할 경우, 주의수준으로 분석되었으며, 20kg 이상의 중량물을 취급할 경우, 고위험으로 분석되었다.

주먹 높이에서 중량물을 취급할 경우, 팔을 굽힌 자세에서는 중량물을 25kg까지 취급하여도 어깨에 발생하는 부하의 정도가 안전한 것으로 분석되었다. 팔을 편 자세에서는 25kg 이상의 중량물을 취급할 경우, 주의수준으로 분석되었다.

Table 5. Results of the 50th percentile males' shoulder percent of population capable (Unit: %)

50th Percentile		Posture	5kg	10kg	15kg	20kg	25kg
Shoulder height	Bent arm posture		100	99	99	97	92
	Outstretched arm posture		99	97	87	64	35
Elbow height	Bent arm posture		100	99	99	99	99
	Outstretched arm posture		99	98	93	79	54
Knuckle height	Bent arm posture		100	100	99	99	99
	Outstretched arm posture		99	99	98	96	90

: Caution, : Risk, : High risk

3.4 Analysis results of the 99th percentile males' shoulder load

Table 6과 같이 영국 보건안전청에서 제시하는 중량물 취급 가이드라인에 한국인 99분위 남성의 평균 인체계측 치수 데이터를 적용하여 어깨에 발생하는 부하의 정도를 분석한 결과는 다음과 같다.

어깨 높이에서 중량물을 취급할 경우, 팔을 굽힌 자세에서는 20kg 이상의 중량물을 취급할 때 어깨에 발생하는 부하의 정도가 주의수준으로 분석되었으며, 25kg 이상의 중량물을 취급할 경우에는 고위험으로 분석되었다. 팔을 편 자세에서는 10kg 이상의 중량물을 취급할 경우, 주의수준으로 분석되었으며, 15kg 이상의 중량물을 취급할 경우, 고위험으로 분석되었다.

팔꿈치 높이에서 중량물을 취급할 경우, 팔을 굽힌 자세에서는 중량물을 25kg까지 취급하여도 어깨에 발생하는 부하의 정도가 안전한 것으로 분석되었다. 팔을 편 자세에서는 15kg 이상의 중량물을 취급할 경우, 고위험으로 분석되었다.

주먹 높이에서 중량물을 취급할 경우, 팔을 굽힌 자세에서는 중량물을 25kg까지 취급하여도 어깨에 발생하는 부하의 정도가 안전한 것으로 분석되었다. 팔을 편 자세에서는 20kg 이상의 중량물을 취급할 경우, 주의수준으로 분석되었으며, 25kg 이상의 중량물을 취급할 경우, 고위험으로 분석되었다.

Table 6. Results of the 99th percentile males' shoulder percent of population capable (Unit: %)

99th Percentile		Posture	5kg	10kg	15kg	20kg	25kg
Shoulder height	Bent arm posture		99	99	98	93	81
	Outstretched arm posture		98	92	71	39	13
Elbow height	Bent arm posture		100	99	99	99	99
	Outstretched arm posture		99	95	82	56	26
Knuckle height	Bent arm posture		100	100	99	99	99
	Outstretched arm posture		99	99	97	91	79

: Caution, ■: High risk

4. Conclusion

본 연구는 인력으로 중량물 취급 시 어깨에 발생하는 부하를 분석하기 위해 한국인 1분위, 50분위, 99분위 남성의 평균 인체계측 치수 데이터를 영국 보건안전청 중량물 취급 가이드라인에 적용하여 생체역학적 분석을 실시하였다. 3DSSPP를 이용한 분석을 통해 도출된 어깨 Percent of population capable 결과를 바탕으로 위험수준을 결정하고, 어깨에 발생하는 부하를 파악하였다. 본 연구의 주요 결론은 다음과 같다.

(1) 어깨에 발생하는 부하를 분석한 결과, 중량물을 취급할 경우에는 Lee (2011)의 연구와 같이 작업자와 중량물 중심과의 수평 거리가 멀수록 어깨에 발생하는 부하가 증가하는 것으로 나타났다. 또한 팔을 편 자세에서 중량물을 취급하는 경우, 어깨에 발생하는 부하의 정도는 1분위 남성보다 50분위, 99분위 남성이 더 크게 나타났다.

Figure 5는 50분위 남성이 팔꿈치 높이에서 25kg의 중량물을 취급할 경우, 작업자와 중량물 중심과의 수평 거리에 따른 어깨에 발생하는 부하를 비교 분석한 예시이다. 작업자와 중량물 중심과의 수평 거리가 25.1cm인 경우에는 어깨 Percent of population capable이 99%로 어깨에 발생하는 부하의 정도가 안전한 것으로 분석되었다. 반면, 수평 거리가 59.1cm인 경우에는 Percent of population capable이 54%로 고위험으로 분석되었다.

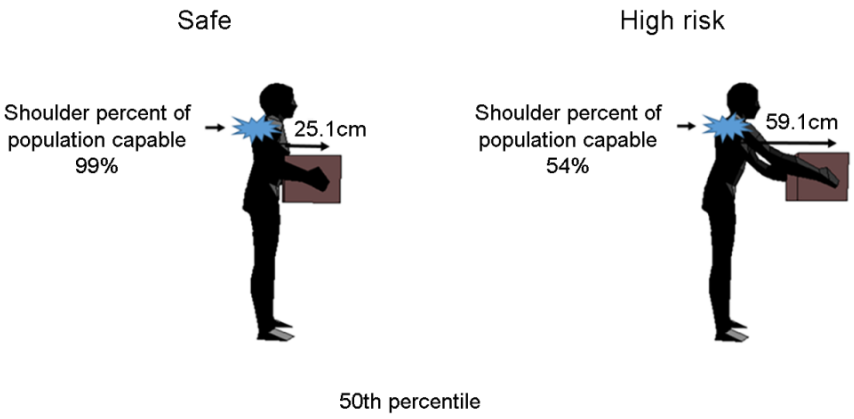

Figure 5. Load on the shoulder according to horizontal distance between worker and material

(2) 어깨 높이에서 중량물을 취급할 경우, 팔꿈치 높이와 주먹 높이보다 어깨에 발생하는 부하의 정도가 높게 나타났다. 이는 중량물을 취급하는 위치에 따라 신체에 미치는 영향에 관한 연구(Lee, 2011)의 내용과 같이 중량물을 취급할 경우, 중량물을 취급하는 수직 거리가 높을수록 어깨에 발생하는 부하가 증가하는 것으로 나타났다.

Figure 6은 50분위 남성이 주먹 높이와 어깨 높이에서 20kg 중량물을 취급할 경우, 수직 거리에 따른 어깨에 발생하는 부하를 비교 분석한 예시이다. 50분위 남성의 주먹 높이인 77.6cm에서 중량물을 취급할 경우, 어깨 Percent of population capable이 96%로 어깨에 발생하는 부하의 정도가 안전한 것으로 분석되었다. 반면, 50분위 남성의 어깨 높이인 140.2cm에서 중량물을 취급할 경우에는 어깨 Percent of population capable이 64%로 고위험으로 분석되었다.

본 연구에서 사용된 3차원 정적근력 예측프로그램(3DSSPP)은 정적인 자세에서 각 신체의 부하 정도를 예측하여 평가하는 방법으로써, 작업의 빈도를 고려하지 않은 관점에서 나타나는 결과이기 때문에 향후 연구에서는 생리학적, 심물리학적 분석 등을 통해 본 연구의 결과를 검증하는 연구가 진행될 필요가 있다. 본 연구가 진행되기 이전에는 인력으로 중량물을 취급하는 작업 시 허리에 발생하는 부하에 대한 연구는 많이 이루어지고 있지만, 어깨에 발생하는 부하에 대한 연구는 미흡한 실정이었다. 이를 감안할 때, 본 연구의 결과

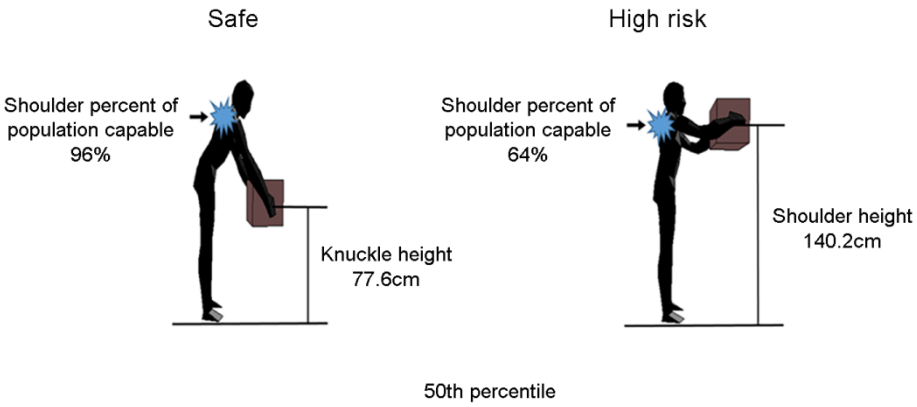

Figure 6. Load on the shoulder according to vertical distance of material

는 한국인의 신체적 특성을 고려한 중량물 취급 가이드라인 개발 연구에 대한 기초 자료로 활용될 수 있다. 또한, 중량물 취급 시 어깨 부하 평가에 대한 가이드라인 제시로 근골격계질환 작업 관련성을 평가하는데 도움이 될 것이다.

References

Chaffin, D.B., Andersson, G.B.J. and Martin, B.J., *Occupational Biomechanics*, John Wiley & Sons Inc, 1999.

Choi, W.S., A study on assessment of physical workload in upper arm posture, *Dong-Eui University*, Master thesis, 2018.

Health and Safety Executive, *Manual Handling Operations Regulation*, 1992.

Kim, D.S., Development of New Method for Whole-Body Working Posture: K-OWAS, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 31(1), 165-170, 2012.

Kim, G.S., Park, J.G. 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.

Kim, Y.C., Lee, G.S., Jeon, Y.H. and Park, B., A Study on the Application of NIOSH Guideline in Korea, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 2(1), 88-99, 1993.

Korea Occupational Safety and Health Agency, Analysis of Industrial Accidents, 2019.

Lee, M.H., A Study for the Effects of Lifting Position, Age and Gender on Maximum Lifting Strength, *Incheon National University*, Master thesis, 2011.

Mun, M.G., A Study for the Applicability of NIOSH Lifting Guideline on Korean Population, *Incheon National University*, Doctoral dissertation, 2010.

Park, G.M., Perceived discomfort of shoulder and elbow postures with external loads, *Pohang University of Science and Technology*, Master thesis, 2006.

Size Korea Home Page, http://sizekorea.kats.go.kr (retrieved January 1, 2020).

Westgaard, R.H. and Aaraas, A., Postural muscle strain as a causal factor in the development of musculoskeletal illnesses, *Applied Ergonomics*, 15(3), 162-174, 1984.

Author listings

Hyunjae Lee: yomo21@naver.com
Highest degree: M.S., Department of Chemical & Environmental & Industrial Engineering, Dong-eui University
Position title: M.S., Department of Chemical & Environmental & Industrial Engineering, Dong-eui University
Areas of interest: Ergonomics, Industrial safety and health, Musculoskeletal disorders

Yuchang Kim: yckim@deu.ac.kr
Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, KAIST
Position title: Professor, Department of Human·System Design Engineering, Dong-eui University
Areas of interest: Ergonomics, Musculoskeletal disorders, Job Stress, Human Error

Youngjae Im: ergoim@deu.ac.kr
Highest degree: PhD, Department of Industrial Management Engineering, Korea University
Position title: Assistant Professor, Department of Human·System Design Engineering, Dong-eui University
Areas of interest: Human-computer Interaction, Product Development, Usability Evaluation