

외륜 수레 손잡이 설계 변수의 변화에 따른 밀기, 들기, 회전 힘 평가

송영웅[†] · 김경아 · 이호철^{*}

대구가톨릭대학교 산업보건학과, ^{*}대구가톨릭대학교 기계자동차공학부
(2011. 11. 22. 접수 / 2012. 2. 20. 채택)

Evaluation of the Pushing, Lifting and Twisting Forces According to the Handle Design Variables of the Single-Wheel Barrows

Young Woong Song[†] · Kyoung Ah Kim · Ho Cheol Lee^{*}

Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu

^{*}School of Mechanical and Automotive Engineering, Catholic University of Daegu

(Received November 22, 2011 / Accepted February 20, 2012)

Abstract : This study evaluated three forces (lifting, pushing and twisting) required to maneuver the single-wheel barrows according to handle height, width, horizontal angle and vertical angle. The four independent variables were varied in two levels. Handle height was varied in two levels : 'knuckle height (KH)' and 'KH + 0.1 × stature'. The two handle widths were '1.5 × shoulder width (SW)' and '1.75 × SW'. Two angles of 0° and 15° were used for horizontal and vertical angles. The 24 factorial design was used in the experiment. Twelve healthy male students (undergraduate and graduate) participated in the experiment. Subjects exerted three forces (pushing, lifting, and twisting clockwise) in each experimental condition. The order of 16 treatment conditions was determined randomly. Results showed that the effects of the four factors were different according to three forces. While lifting and twisting forces were higher in 'knuckle height', the pushing force was higher in 'KH + 0.1 × stature' (p < 0.05). Lifting and pushing forces showed higher values in the horizontal angle 0° than in 15°. Handle width and vertical angle showed no statistically significant main effects on three forces (p > 0.05). Results of this study could be used as basic data for the ergonomic design of handle variables of one- or two-wheel barrows.

Key Words : single wheel barrow design, pushing, lifting and twisting, effects of handle width, height and horizontal / vertical angle

1. 서론

작업관련성 근골격계질환은 막대한 보상 비용과 치료 비용을 발생시키고, 생산성 저하를 포함하여 육체적 정신적 고통을 동반하기 때문에 개발도상국과 선진국 모두에서 문제가 되고 있다¹⁾. 우리나라의 경우 2010년도(2009년도, 2008년도)에 사고성 요통을 제외한 근골격계질환 (신체부담작업 및 작업관련성 요통)으로 산재보상지급이 된 인원은 모두 3,580명 (3,750명, 3,302명)으로 전체 업무상 질병자의 45.9% (43.0%, 33.9%)를 차지하여 최근 3년 동안 지속적으로 증가하는 추세를 보이고 있다²⁻⁴⁾. 산재 보상금의 경우도 매년 지속적으로 증가하고 있으며, 2010년도에는 3조 5000억원 이상이 지급되었다²⁾. 미국의 경

우 전체 작업자의 2% 정도가 매년 근골격계질환으로 고통을 받고 있으며, 이것은 전체 작업자 보상 비용의 1/3을 차지하고 있는 수준이다⁵⁾.

제조업, 서비스업 등에서 빈번히 일어나고 있는 들기/내리기/밀기/당기기/운반과 같은 인력 취급 작업(manual materials handling)은 근골격계질환의 잠재적인 위험 요소로 알려져 있다⁶⁻⁸⁾. 인력 취급 작업으로 인한 근골격계질환의 위험을 줄이기 위해 다양한 운반 도구의 사용이 권장되고 있으며⁹⁾, 산업 현장에서 카트 및 사륜 혹은 이륜 수레 등이 많이 사용되고 있다. 외국에서는 밀기, 당기기 방식의 사륜 운반 도구¹⁰⁻¹²⁾ 및 이륜 운반도구에 대한 연구^{13,14)} 등이 활발히 이루어져왔다.

우리나라 산업 현장 및 농작업에 많이 사용되고 있는 이륜 및 외륜 수레는 외국의 사륜 및 이륜과 달리 손잡이 종축이 전후 방향으로 놓여져 있고,

[†] To whom correspondence should be addressed.
songyw@scu.ac.kr

손잡이 높이도 고정되어 있지 않고 작업자의 신장 및 작업 자세에 따라 달라지는 특징이 있다.

우리나라에서 사용되고 있는 이륜 및 외륜 수레의 손잡이 높이, 간격, 수평 각도 등은 편차가 매우 큰 것으로 조사되었고¹⁵⁾, 이것은 표준 설계 가이드라인이 없으므로 제조업체마다 각각 전문가적인 판단에 의해 제작되기 때문에 판단된다. 이륜 및 외륜 수레 손잡이의 간격, 수평 및 수직 각도를 인간공학적으로 설계하기 위해서는 이러한 손잡이 관련 변수의 변화에 따라 작업자가 최대에 발휘할 수 있는 힘에 대한 데이터가 필요하다. 손잡이 높이, 간격, 수평 각도를 변화시키며 외륜 수레 운전에 요구되는 힘을 측정한 김경아 등 (2011)의 연구¹⁶⁾를 보면, 이러한 손잡이 변수의 영향이 미는 힘, 드는 힘, 회전 힘 등 발휘 힘에 따라 다르게 나타났다. 본 연구에서는 기존 연구에서 고려하지 않은 손잡이 수직 각도를 포함하여 손잡이 설계 변수들(높이, 간격, 수평 각도, 수직 각도)이 외륜 수레 운전에 요구되는 힘인 드는 힘, 미는 힘, 회전 힘(전두면에서의 시계방향 회전 힘)에 미치는 영향을 평가하여 인간공학적 설계를 위한 기초 데이터를 확충하는 것을 목표로 하였다.

2. 연구 방법

2.1. 피 실험자

근골격계질환 경험이 없는 건강한 20대 남자 대학생 및 대학원생 12명이 실험에 참가하였으며, 피 실험자의 나이 평균은 23.3 ± 1.6 세, 신장 평균은 175.6 ± 4.8 cm, 몸무게 평균은 71.9 ± 10.4 kg 이었다. 또한, 주먹 높이 평균은 78.0 ± 4.0 cm, 어깨 너비 평균은 42.4 ± 1.1 cm이었다. 참가자는 모두 오른손잡이였다.

2.2. 실험 계획

독립 변수는 손잡이 높이, 간격, 수평 각도, 수직 각도였으며, 모두 2 수준으로서 2^4 factorial design을 사용하였다. 다음 Table 1에는 4개 독립변수의 처리 조건이 제시되어 있다.

손잡이 높이는 바닥면에서 손잡이 중심까지의 높이로 정의하였고, 손잡이 간격은 두 손잡이 중심 간의 거리로 정의하였다. 또한, 손잡이 수평 각도는 수평면에서 손잡이가 좌/우 바깥쪽으로 벌어진 각도로 정의하였고, 수직 각도는 수평면에서 위쪽으로 굽혀진 각도로 정의하였다(Fig. 1).

Table 1에 제시된 손잡이 변수들의 2개 수준은

Table 1. Description of the factor levels of the four independent variables

Factor name	No.	Description
Height	2	Knuckle height (KH) KH +0.1×Stature
Width	2	1.5×Shoulder width (SW) 1.75×SW
Horizontal Angle	2	0° 15°
Vertical Angle	2	0° 15°

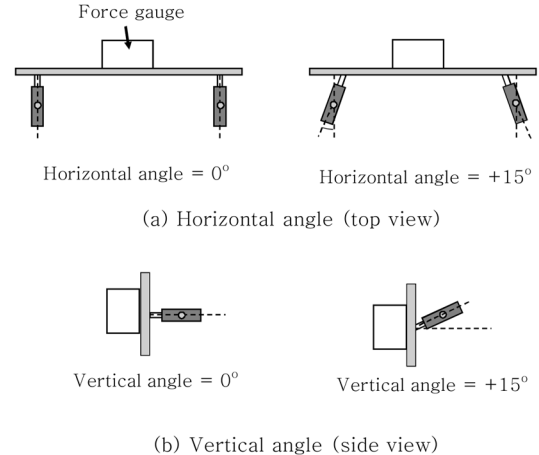


Fig. 1. Description of horizontal and vertical angles.

김경아 등의 연구 (2011)에서 고려하지 못한 범위로 확장해서 결정하였으며, 손잡이 수직 각도는 새롭게 추가된 변수이다. 손잡이 높이는 작업자가 외륜 수레를 운전할 때 대부분 팔을 아래로 늘어뜨린 상태에서 팔꿈치를 약간 굽혀서 든 자세이기 때문에 ‘주먹 높이’ (팔꿈치를 편 자세)와 ‘주먹 높이 + 0.1 × 신장’ (팔꿈치를 약간 굽혀 든 자세)로 정하였다. 손잡이 간격의 경우, 김경아 등의 연구 (2011)에서는 ‘어깨 너비’, ‘1.25 × 어깨너비’, ‘1.5 × 어깨너비’의 3 수준으로 변화시켰으며, 손잡이 간격이 커질수록 회전 힘이 지속적으로 커지는 경향을 보였으므로, 더 큰 간격의 영향을 평가하기 위해 손잡이 간격을 ‘1.5 × 어깨너비’와 ‘1.75 × 어깨너비’로 정하였다. 기존 외륜 수레 28종 실측 연구¹⁵⁾에서 손잡이 간격 평균이 55.3 cm 이고 최대 간격이 65.0 cm로 조사되었으며, 본 연구에서의 ‘1.75 × 어깨너비’는 이 범위를 포함하는 수준이다.

손잡이 수평 각도의 경우, 기존 28종 외륜 수레의 실측 조사 연구 결과¹⁵⁾ 수평 각도 평균이 10.5°이고 표준편차가 5.6° 이었던 것을 감안하여 본 연구에서는 0°와 15°로 결정하였다. 수직 각도는 외륜 수

레를 운전할 때 작업자가 외륜 수레를 드는 정도 및 작업자의 키에 따라 달라지므로, 수평 각도와 각이 0°와 15°로 변화시켰다.

2.3. 실험 장비

힘 측정은 Dacell(주)의 MC49-3B 3축 로드 셀을 이용하였으며, 3축 로드셀은 손잡이 높이/간격/수평 각도/수직 각도를 조절할 수 있도록 설계된 알루미늄 프레임 (Fig. 2)에 장착하였다.

2.4 실험 방법

피 실험자에게 실험 내용에 대한 개략적인 설명을 한 후, 키, 몸무게, 어깨너비, 주먹 높이를 측정하였다. 이후, 힘 측정 장치에서 들기, 밀기, 회전 힘을 발휘하는 요령을 설명하고 연습을 하여 힘 발휘에 익숙해지도록 하였다. 들기 힘과 밀기 힘은 Fig. 2와 같은 자세에서 위로 드는 힘과 앞으로 미는 힘을 발휘하도록 하였으며, 회전 힘은 시계방향으로 회전시키는 힘으로, 왼손으로는 들고, 오른손으로는 누르는 힘을 발휘하도록 하였다.

힘 발휘는 1초 정도 힘을 서서히 증가 시켜서 최대에 이르도록 한 후 3초간 유지하도록 하였다. 16개 실험 조건의 제시 순서는 무작위로 하였으며, 각 실험 조건 사이에는 최소 2분의 휴식시간을 주었다. 힘 발휘 시 발의 위치는 오른발 복숭아뼈가 손잡이 중심 아래에 위치하고, 왼발은 뒤로 빼어 오른발 뒤꿈치에 왼발 앞부분이 오도록 하였으며, 간격은 어깨너비로 벌리도록 한 자세를 사용하였다(Fig. 2 참조). 인체 측정 및 실험 준비를 포함하여 전체 실험 시간은 약 2시간 정도가 소요되었다.

2.5. 데이터 분석

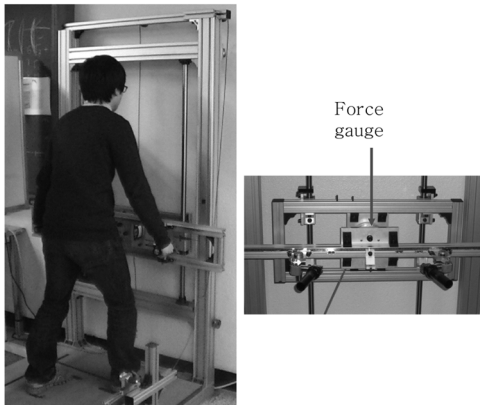


Fig. 2. Force gauge and handle configuration.

측정된 힘 데이터는 초기 1초 이후에 안정된 구간 (약 2~3초)의 rms 평균을 구하였다. 손잡이 변수가 드는 힘, 미는 힘, 회전 힘 각각에 미치는 영향 평가를 위해 분산분석을 실시하였으며, 분석에는 SPSS 12.0 소프트웨어를 사용하였다. 분산 분석 시에는 피 실험자 요인을 변량 인자로 지정하여 분석하였다.

3. 연구 결과

3.1 드는 힘 결과

드는 힘의 전체 평균은 435.9 N 이었으며 16개 실험 조건에서의 드는 힘 평균값이 다음 Table 2에 제시되어 있다.

4가지 독립변수가 드는 힘 평균에 미치는 영향 유무를 파악하기 위해 분산분석을 실시하였으며, 다음 Table 3에 분산분석 결과가 2차 교호작용 까지만 제시되어 있다.

드는 힘에는 손잡이 높이와 수평 각도의 주 효과가 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다 (p<0.05), 교호작용은 모두 유의하지 않은 것으로 평가되었다 (p>0.05). 다음 Fig. 3에는 손잡이 높이와 수평 각도가 드는 힘 평균에 미치는 주 효과가 제시되어 있다.

‘주먹 높이’에서 드는 힘 평균은 526.6 N로서 ‘주먹높이+0.1x신장 높이’ (345.1 N)보다 더 큰 힘

Table 2. Average values (± S.D.) of the lifting forces according to the experimental conditions

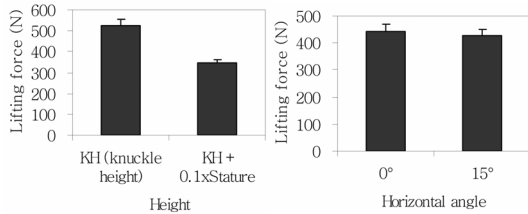
Height	Experimental condition			Lifting force (N)
	Width	Horizontal angle	Vertical angle	
K	1.5 × S	0°	0°	563.1 ± 330.3
			15°	539.5 ± 295.3
		15°	0°	510.6 ± 223.5
			15°	513.2 ± 291.8
	1.75 × S	0°	539.2 ± 246.1	
		15°	535.2 ± 293.8	
K + 0.1 × H	1.5 × S	0°	0°	323.2 ± 148.5
			15°	328.8 ± 139.4
		15°	0°	339.9 ± 155.6
			15°	345.6 ± 201.8
	1.75 × S	0°	370.4 ± 165.8	
		15°	353.9 ± 170.4	
			0°	353.3 ± 162.2
			15°	345.9 ± 181.2

K: knuckle height H: stature, S: shoulder width

Table 3. ANOVA results of the lifting forces

Source	df	SS	MS	F	p
H (Height)	1	1580992.1	1580992.1	26.132	0.0003**
W (Width)	1	1597.9	1597.9	0.143	0.7123
HA (Horizontal angle)	1	13221.9	13221.9	5.667	0.0365*
VA (Vertical angle)	1	1232.7	1232.7	0.331	0.5765
H*W	1	11861.4	11861.4	2.862	0.1188
H*HA	1	16775.8	16775.8	2.186	0.1673
W*HA	1	1330.9	1330.9	0.215	0.6522
H*VA	1	168.6	168.6	0.122	0.7338
W*VA	1	331.5	331.5	0.065	0.8029
HA*VA	1	1001.5	1001.5	0.162	0.6949

* : p<0.05, ** : p<0.01



(a) Main effect of the handle height (b) Main effect of the horizontal angle
Fig. 3. Main effects of handle height (a) and horizontal angle (b) on the lifting force (mean ± standard error).

Table 4. Average values(± S.D.) of the pushing forces according to the experimental conditions

Height	Experimental condition			Pushing force (N)
	Width	Horizontal angle	Vertical angle	
K	1.5 × S	0°	0°	156.3 ± 47.1
			15°	152.8 ± 39.7
		15°	0°	148.1 ± 37.8
			15°	149.7 ± 43.2
	1.75 × S	0°	164.6 ± 45.5	
		15°	154.8 ± 44.2	
K + 0.1 × H	1.5 × S	0°	0°	157.0 ± 38.4
			15°	158.9 ± 27.4
		15°	0°	155.3 ± 38.4
			15°	153.0 ± 45.4
	1.75 × S	0°	174.7 ± 44.6	
		15°	166.8 ± 37.1	
		0°	162.9 ± 46.1	
		15°	156.4 ± 37.5	

K: knuckle height H: stature, S: shoulder width

이 발휘되었으며, 수평각도 0°(444.2 N)에서 15°(427.6 N) 보다 더 큰 힘이 나타났다.

3.2. 미는 힘 결과

미는 힘의 전체 평균 값은 152.5 N이었으며, 다음 Table 4에 16개 실험 조건에서의 미는 힘 평균 값이 정리되어 있다.

미는 힘 평균값에 대한 분산분석 결과가 다음 Table 5에 제시되어 있다. 주 효과 중에서는 수평 각도만 유의수준 0.05에서 유의하였으며 (p < 0.01), 교호작용 중에서는 높이와 간격의 2차 교호작용만 유의한 것으로 나타났다 (p = 0.022). 나머지 2차 및 고차 교호작용들은 모두 유의하지 않았다 (p > 0.05).

다음 Fig. 4에는 수평 각도의 주효과가 제시되어 있다. 수평 각도의 주효과를 보면, 0° (160.7N)에서 15°(152.1N) 보다 더 큰 힘이 발휘되었다.

다음 Fig. 5에는 손잡이 높이와 간격의 교호작용이 제시되어 있다. 손잡이 간격이 '1.5*어깨너비'에서 '1.75*어깨너비'로 넓어짐에 따라 미는 힘 평균이 증가하는 경향이 '주먹높이'에서보다 '주먹높이 + 0.1*신장 높이'에서 더 크게 나타났다.

Table 5. ANOVA results of the pushing forces

Source	df	SS	MS	F	p
H (Height)	1	2946.16	2946.16	4.466	0.058
W (Width)	1	1120.49	1120.49	2.138	0.171
HA (Horizontal angle)	1	3617.557	3617.55	11.722	0.005**
VA (Vertical angle)	1	996.73	996.73	3.636	0.082
H*W	1	568.89	568.89	7.050	0.021*
H*HA	1	25.17	25.175	0.089	0.769
W*HA	1	763.06	763.06	1.000	0.338
H*VA	1	121.09	121.09	0.606	0.452
W*VA	1	759.38	759.38	2.438	0.146
HA*VA	1	0.9389	0.9389	0.003	0.953

* : p < 0.05, ** : p < 0.01

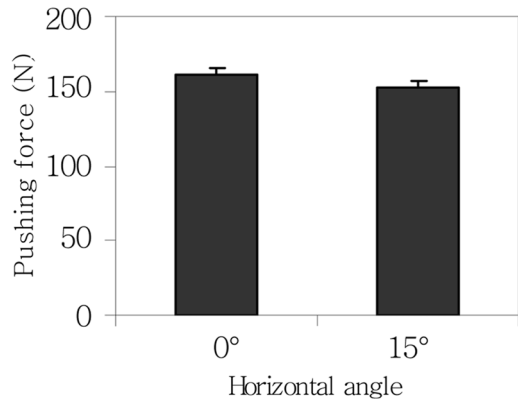


Fig. 4. Main effect of the horizontal angle on the pushing force (mean ± standard error).

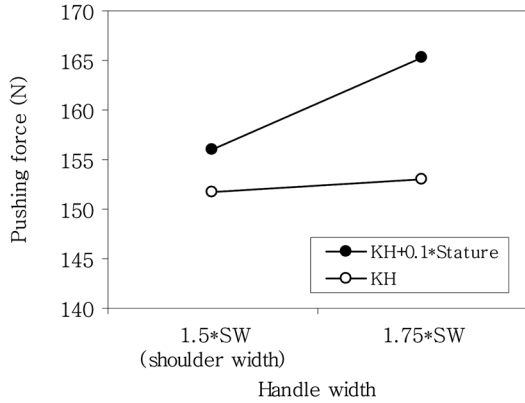


Fig. 5. Two-way interaction effect of Handle width and handle height on the pushing force.

3.3. 회전 힘 결과

회전 힘의 전체 평균 값은 79.1 Nm이었으며, 다음 Table 6에 16개 실험 조건에서의 회전 힘 평균 값이 정리되어 있다.

회전 힘에 대한 분산분석 결과가 다음 Table 7에 제시되어 있다. 회전 힘에 유의수준 0.05에서 유의한 영향을 미치는 것으로 나타난 요인은 높이 주효과 ($p < 0.05$) 와 높이, 간격, 수직각도의 3차 교호작용이었다 ($p < 0.01$). 간격과 수평각도의 2차 교호작용은 유의수준 0.1에서 유의한 것으로 나타났다($p = 0.08$).

Table 6. Average values(± S.D.) of the twisting forces according to the experimental conditions

Height	Experimental condition			Twisting force (Nm)
	Width	Horizontal angle	Vertical angle	
K	1.5 × S	0°	0°	87.7 ± 36.7
			15°	77.4 ± 27.2
		15°	0°	80.0 ± 27.0
			15°	83.5 ± 36.2
	1.75 × S	0°	0°	86.8 ± 28.5
			15°	92.3 ± 33.7
		15°	0°	78.3 ± 20.9
			15°	83.6 ± 29.3
K + 0.1 × H	1.5 × S	0°	0°	68.4 ± 27.1
			15°	73.5 ± 20.6
		15°	0°	78.2 ± 23.9
			15°	78.1 ± 27.2
	1.75 × S	0°	0°	80.7 ± 32.4
			15°	72.8 ± 24.5
		15°	0°	72.2 ± 28.2
			15°	72.8 ± 20.1

K: knuckle height H: stature, S: shoulder width

높이의 주효과를 보면, ‘주먹 높이’에서 회전 힘 평균은 83.7 Nm로서 ‘주먹높이 + 0.1x신장 높이’(74.5 Nm)보다 더 큰 힘이 발휘되었다.

수평각도와 손잡이 간격의 교호작용은 다음 Fig. 6에 제시되어 있다. 수평각도가 0°에서는 ‘1.75 × 어깨너비’에서 ‘1.5 × 어깨너비’ 보다 더 큰 회전힘이 발휘되었으나, 수평각도가 15°에서는 ‘1.5 × 어깨너비’에서 더 큰 회전 힘이 발휘되었다.

4. 토 의

본 연구에서는 외륜 운반차를 운용하기 위해서 동원되는 드는 힘, 미는 힘과 회전 힘을 손수레 설계 변수 중에서 손잡이 높이, 간격, 수평각도 및 수직 각도를 달리하면서 측정하였다.

우선 손잡이 높이의 효과를 보면, 주먹 높이와 무릎 높이 사이를 변화시킨 기존 연구¹⁶⁾에서는 유의 수준 0.05에서 손잡이 높이의 영향이 3가지 힘에 미

Table 7. ANOVA results of the pushing forces

Source	df	SS	MS	F	p
H (Height)	1	4491.509	4491.509	9.230	0.011*
W (Width)	1	232.342	232.342	0.339	0.571
HA (Horizontal angle)	1	207.706	207.706	1.637	0.226
VA (Vertical angle)	1	32.710	32.7109	0.191	0.670
H*W	1	25.146	25.146	0.438	0.521
H*HA	1	312.142	312.142	2.258	0.160
W*HA	1	846.007	846.007	3.680	0.081
H*VA	1	0.000	0.000	0.000	0.999
W*VA	1	0.000	0.000	0.000	0.999
HA*VA	1	329.159	329.159	2.580	0.136
H*W*VA	1	994.529	994.529	10.298	0.008**

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$

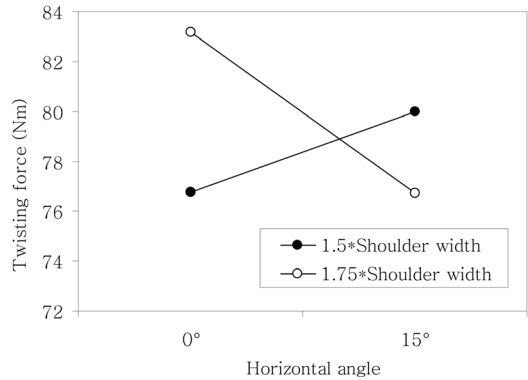


Fig. 6. Two-way interaction effect of horizontal angle and handle width on the twisting force.

치는 영향이 모두 통계적으로 유의하지 않게 나타났으며, 유의수준 0.1에서는 미는 힘에 미치는 영향만 유의하게 평가되었다. 본 연구에서는 ‘주먹 높이’와 ‘주먹높이+0.1×신장’으로 변화시킨 손잡이 높이의 효과는 3가지 힘에서 다르게 나타났다. 즉, 드는 힘과 회전 힘은 ‘주먹 높이’에서 더 큰 힘이 나타났으며 ($p < 0.05$), 미는 힘은 ‘주먹높이+0.1×신장’에서 더 큰 힘이 발휘되었다($p < 0.1$). 김경아 등 (2011)의 연구 결과와 본 연구 결과를 종합하여 비교하기 위해, 김경아 등 (2011)의 연구 결과와 본 연구 결과를 같이 다음 Fig. 7에 표시하였다. 이 때, 김경아 등 (2011)의 연구의 ‘주먹 높이’에서의 힘과 본 연구의 ‘주먹 높이’에서의 힘을 동일하도록 보정하는 승수를 사용하여 김경아 등 (2011)의 힘을 보정하여 표시하였다.

이러한 손잡이 높이의 효과 차이는 손잡이 높이에 따른 팔꿈치 각도에 따른 효과라고 판단된다. 즉, ‘주먹 높이’에서는 팔꿈치 각도가 180°로 편 자세가 되며, 이렇게 팔을 편 자세에서 드는 힘과 회전 힘의 경우 발휘되는 힘이 손잡이에 더 효과적으로 전달될 수 있었다. 한편, ‘주먹높이+0.1×신장’ 높이에서는 팔꿈치를 약간 굽힌 자세가 되고 어깨 조인트와 손의 거리가 가까워져 미는 힘에 따른 어깨 조인트에서의 외부 모멘트 (부하)가 작아짐에 따라 더 큰 힘을 발휘할 수 있었다고 사료된다. 또한, 이두박근 등의 팔꿈치 굴곡을 일으키는 근육들이 팔꿈치를 약간 굽힌 자세에서 중립 길이에 더 가까워짐에 따라 팔꿈치를 완전히 편 자세에서 보다 더 큰 등척성 힘을 발휘할 수 있었다고 해석된다. 한편, 김경아 등 (2011)의 연구¹⁶⁾에서 고려한 주먹 높이와 무릎 높이의 경우 모두 팔을 편 자세가 됨에 따라 3가지 힘에 미치는 영향이 작았다고 할 수 있다.

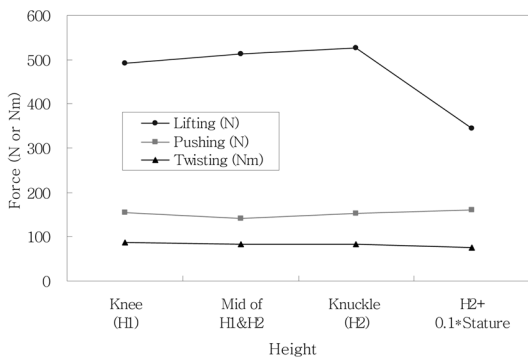


Fig. 7. The effect of the handle height on three forces incorporating the data of Kim et al. (2011).

손잡이 간격의 경우 김경아 등(2011)의 연구¹⁶⁾에서는 어깨너비와 어깨너비의 1.25배 및 1.5배로 변화시켰으며, 본 연구에서는 ‘1.5 × 어깨너비’ 및 ‘1.75 × 어깨너비’로 변화시켰다. 어깨너비 ~ 어깨 너비의 1.5배까지 변화시킨 기존 연구¹⁶⁾에서는 드는 힘과 미는 힘은 차이가 없었으며($p > 0.05$), 손잡이 간격이 넓어짐에 따라 회전 힘만 증가하는 경향을 보였다 ($p < 0.05$). 본 연구에서도 ‘1.5 × 어깨너비’와 ‘1.75 × 어깨너비’에서 드는 힘과 미는 힘은 차이가 없었으며, 회전 힘 또한 차이가 없는 것으로 평가되었다($p > 0.05$). 다음 Fig. 8에는 김경아 등 (2011)의 연구와 본 연구 결과를 종합하여 손잡이 간격에 따른 미는 힘을 표시하였다. 이때에는, 두 연구 결과 중 어깨너비의 1.5 배 힘이 같이 되도록 김경아 등 (2011)의 결과를 보정하여 표시하였다.

어깨 너비에서 어깨너비의 1.5배까지 손잡이 간격이 커짐에 따라 모멘트 암 벡터가 커져서 최종적으로 발휘되는 회전 모멘트가 커지게 되지만, 손잡이 간격이 어깨 너비의 1.75배가 되면 모멘트 암 벡터는 커지지만 팔이 벌어짐에 따라 최대로 발휘할 수 있는 힘이 감소하여 최종적인 회전 모멘트의 증가는 이루어지지 않았다고 할 수 있다.

손잡이의 수평각도 효과를 보면, 0°에서 15°보다 더 큰 드는 힘과 미는 힘이 발휘되었다($p < 0.05$). 0°와 10°를 비교한 연구¹⁶⁾에서도 0°에서 더 큰 미는 힘이 나타났다. 수평각도 10°와 15°에서는 발휘된 힘이 좌/우 방향으로 분산되는 효과¹⁷⁾로 인해 0°에서보다 실제 미는 힘은 작아 졌다고 해석된다. 다음 Fig. 9에는 김경아 등 (2011)의 연구와 본 연구 결과를 종합하여 수평각도에 따른 드는 힘과 미는 힘을 표시하였다. 이때에는, 두 연구 결과 중 0°에서의

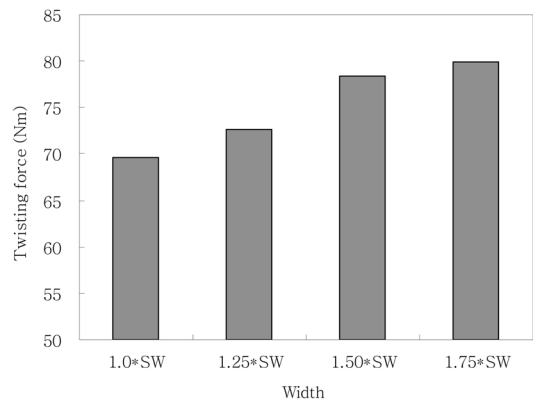


Fig. 8. The effect of the handle width on twisting force incorporating the data of Kim et al. (2011).

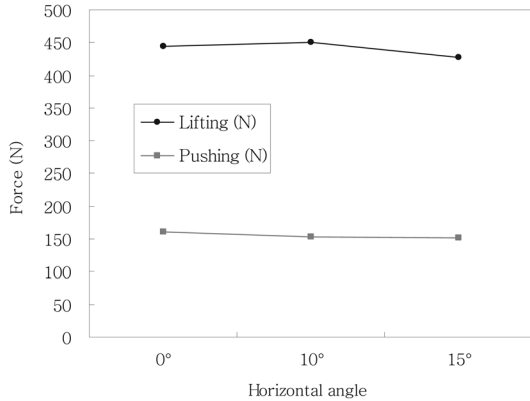


Fig. 9. The effect of horizontal angle on lifting and pushing forces incorporating the data of Kim et al. (2011).

힘이 같이 되도록 김경아 등 (2011)의 결과를 보정하여 표시하였다.

0°와 15°로 변화시킨 손잡이 수직 각도는 3가지 힘에 미치는 영향이 거의 없는 것으로 평가되었으며 ($p>0.05$), 단지 손잡이 높이, 간격과의 3차 교호작용만 미는 힘에서 유의한 것으로 평가되었다($p<0.05$). 손잡이 수직각도는 손잡이 높이 변수와 마찬가지로 작업자의 신장 및 팔꿈치 굴곡 각도에 따라 변하게 되지만, 현재까지 외륜 수레 운전 작업에서의 작업 자세 및 외륜 수레 손잡이 수직 각도에 대한 연구가 미비하므로, 이와 관련한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 손잡이 수직 각도를 포함하여, 손잡이 높이, 간격, 수평 각도를 변화시키면서, 외륜 수레 운전에서 필요한 힘인 드는 힘, 미는 힘 및 회전 힘을 측정하였다. 0°와 15°로 변화시킨 손잡이 수직 각도는 3가지 힘에 영향을 미치지 않는 것으로 평가되었다. 손잡이 간격 변수도 2가지 실험 조건 (어깨 너비의 1.5배와 1.75배)에서 3가지 힘 차이는 없는 것으로 평가되었다. 한편, 손잡이 높이의 경우 드는 힘과 회전 힘은 ‘주먹 높이’에서 더 큰 힘이 발휘되었으며, 미는 힘은 ‘주먹높이+0.1×신장’에서 더 큰 힘이 발휘되었다. 손잡이 수평각도의 경우 0°에서 15°보다 더 큰 드는 힘과 미는 힘이 발휘되었다. 본 연구 결과와 김경아 등(2011)의 연구 결과를 종합할 때, 손잡이 너비는 어깨 너비의 1.5배, 수평 각도는 0°가 추천된다. 이상의 연구 결과는 외륜 운반차 손잡이 변수를 결정할 때 참고자료로 활용될 수

있을 것으로 기대된다.

감사의 글 : 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2011-0003841)

참고문헌

- 1) A.Choobineh, G. Sani and M. Rohani, "Perceived demands and musculoskeletal symptoms among employees of an Iranian petrochemical industry", *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 39, pp. 766~770, 2009.
- 2) “2010년도 산업재해현황분석”, 한국산업안전공단, 2011.
- 3) “2009년도 산업재해현황분석”, 한국산업안전공단, 2010.
- 4) “2008년도 산업재해현황분석”, 한국산업안전공단, 2009.
- 5) J. Faucett, M. Garry, D. Nadler and D. Ettare, “A test of two training interventions to prevent work-related musculoskeletal disorders of the upper extremity”, *Applied Ergonomics*, Vol 33, pp. 337~347, 2002.
- 6) D. Roffey, E. Wai, P. Bishop, B. Kwon and S. Dagenais, “Causal assessment of workplace manual handling or assisting patients and low back pain: results of a systematic review”, *The Spine Journal*, Vol. 10. pp. 639~651, 2010.
- 7) J. Kuiper, A. Burdorf, J. Verbeek, M. Frings-Dresen, A. van der Beek, E. Viikari-Juntura, “Epidemiologic evidence on manual materials handling as a risk factor for back disorders:a systematic review”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Volume 24, pp. 389~404, 1999.
- 8) O. Okunribido, M. Magnusson, M. Pope, “Delivery drivers and low-back pain: A study of the exposures to posture demands, manual materials handling and whole-body vibration”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Volume 36, pp. 265~273, 2006.
- 9) Cal/OSHA, “Ergonomic guidelines for manual material handling”, California Department of Industrial Relations, 2007.
- 10) U. Glitsch, H.J. Ottersbach, R. Ellegast, K. Schaub, G. Franz and M. Jäger, “Physical Workload of Flight Attendants when Pushing and Pulling Trolleys aboard Aircraft”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 37, pp. 84~854, 2007.

- 11) B. Das, J. Wimpee and B. Das, "Ergonomics Evaluation and Redesign of a Hospital Meal Cart", *Applied Ergonomics*, Vol. 33, pp. 309~318, 2002.
- 12) C.L. Lin, M.S. Chen, Y.L. Wei and M.J.J. Wand, "The Evaluation of Force Exertions and Muscle Activities when Operating a Manual Guided Vehicle", *Applied Ergonomics*, Vol. 41, pp. 313~318, 2010.
- 13) O.O. Okunribido and C.M. Haslegrave, "Effect of Handle Design for Cylinder Trolleys", *Applied Ergonomics*, Vol. 30, pp. 407~419, 1999.
- 14) B. Laursen and B. Schibye, "The Effect of Different Surfaces on Biomechanical Loading of Shoulder and Lumbar Spine during Pushing and Pulling of Two-Wheeled Containers", *Applied Ergonomics*, Vol. 33, pp. 167~174, 2002.
- 15) 김경아, 송영웅, 이호철, "외륜운반차 설계변수조사에 근거한 근력측정시스템 설계", 2010년 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, 2010.
- 16) 김경아, 이호철, 송영웅, "손잡이 간격, 높이, 수평각도가 손수레 운전에 필요한 밀기, 들기, 회전 힘에 미치는 영향", *한국안전학회지*, 제26권, pp. 58~64, 2011.
- 17) M.P. de Looze, K. van Greuningen, J. Rebel, I. Kingma and P.P.F.M. Kuijer, "Force Direction and Physical Load in Dynamic Pushing and Pulling", *Ergonomics*, Vol. 43, pp. 377390, 2000.