

손잡이 너비, 높이, 수평 각도가 손수레 운전에 필요한 밀기, 들기, 회전 힘에 미치는 영향

김경아 · 이호철* · 송영웅†

대구가톨릭대학교 산업보건학과 · *대구가톨릭대학교 기계자동차공학부
(2010. 12. 20. 접수 / 2011. 2. 1. 채택)

Effects of the Handle Width, Height and Horizontal Angle on the Pushing, Lifting and Twisting Forces Required for the Handling of Barrows

Kyoung Ah Kim · Ho Cheol Lee* · Young Woong Song†

Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu

*School of Mechanical and Automotive Engineering, Catholic University of Daegu

(Received December 20, 2010 / Accepted February 1, 2011)

Abstract : This study evaluated the effects of the handle width(shoulder width, 1.25×shoulder width, 1.5×shoulder width), height(3 levels : knee, medium, knuckle) and horizontal angle(0°, 10°) on the pushing, lifting, and twisting strengths which were required for carrying single or two wheel barrows. Twelve healthy college students(male) participated in the experiment. In each experimental condition(3×3×2=18), the subjects exerted three forces(pushing, lifting, and twisting clockwise). The experimental conditions and three forces were tested in random order, and a minimum 2 minutes of rest was provided between exertions. Results showed that the mean and maximum pushing forces showed greater values when the horizontal angle was 0° than 10°(p=0.016). However, the three independent variables had no statistically significant effects on the lifting forces(p>0.1). The mean and maximum twisting forces increased as the handle width became larger(p<0.05). Also, there was a marginal effect of the horizontal angle(p=0.065) on the twisting force. From the results of this study, the horizontal angle of 0° and the wider handle width were suggested for the design of single-wheel barrows.

Key Words : ergonomic design of barrows, evaluation of muscle strength, forces of pushing, lifting and twisting, effects of handle width, height and horizontal angle

1. 서론

농업을 포함하여, 제조업, 서비스업 등 다양한 산업체에서 들기/내리기/밀기/당기기/운반과 같은 인력 취급 작업(manual materials handling)이 빈번히 일어나고 있다¹⁾. 이러한 인력 취급 작업은 근골격계질환의 잠재적인 위험 요소로 알려져 있으며^{2,3)}, 근골격계질환에서 큰 비중을 차지하고 있다⁴⁾.

인력 취급 작업으로 인한 근골격계질환을 예방하기 위해 카트, 트럭, 수레 등의 다양한 인력취급도구들이 사용되고 있다. 외국에서는 밀기, 당기기 방식의 운반 도구에 대한 연구가 많이 이루어졌다. 즉, 항공기 카트에 대한 연구⁵⁾, 병원에서 사용되는 배

식용 카트에 대한 연구⁶⁾, TFT-LCD 공장에서 사용되는 인력 유도 운반차 연구⁷⁾, 이륜 운반도구에 대한 연구^{8,9)} 등이 이루어졌으며, 이들 연구에 대한 광범위한 조사 연구¹⁰⁾도 있다.

이러한 운반 도구의 사용은 에너지 소비 측면에서 효율적이라는 연구¹¹⁾도 있지만, 비행기 승무원, 병원 작업자, 식음료 산업 등에서 운반 도구 사용으로 인해 여전히 통증을 느끼거나 상해를 입는 작업자들이 있다는 보고도 있다¹⁰⁾. 그 이유로는 운반 도구의 잘못된 사용을 포함하여 잘못 디자인된 운반도구의 사용 등이 있다.

외국 연구에서 주로 다루어온 사륜이나 이륜의 카트는 손잡이가 허리에서 어깨 높이의 중간 정도에 위치하며, 손잡이 방향이 좌우 방향으로 놓여져 있다. 그러나 우리나라에서 많이 사용되고 있는 이

† To whom correspondence should be addressed.
songyw@cu.ac.kr

륜 및 외륜 수레는 손잡이 종축이 전후 방향으로 놓여져 있고, 손잡이 높이도 고정되어 있지 않다. 또한, 4륜 수레의 경우 밀기 당기기 힘이 주된 힘인 반면, 외륜 수레의 경우에는 들기/밀기/회전 힘이 모두 동원되는 차이점이 있다.

우리나라에서는 근래에 이륜 및 외륜 수레의 인간공학학적 설계를 위한 연구가 이루어지고 있으며, 사용자 요구 및 작업 분석에 의한 외륜 수레 설계 연구^{12,13)}, 인체모델 시뮬레이션 방식을 이용한 인간공학학적 운반 수레 설계¹⁴⁾ 등이 있다. 그러나 외륜 수레 손잡이 설계에서 중요한 요소인 손잡이 너비(좌우 손잡이 간격), 각도, 바퀴 위치, 적재함 형태 등이 외륜 수레 운전에 요구되는 밀기, 들기, 회전 힘에 미치는 영향에 대한 실험적 연구는 아직 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 손잡이 설계에서 중요한 요소인 손잡이너비, 수평각도와 함께 손잡이 높이가 밀기, 들기, 회전 힘에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1. 피 실험자

본 실험에는 건강한 20대 남자 12명이 실험에 참가하였다. 피 실험자의 나이 평균은 23.1±3.7세, 신장 평균은 172.6±4.9 cm, 몸무게 평균은 69.2±13.1 kg이었다. 참가자는 모두 오른손을 주로 사용한다고 응답하였다.

2.2. 실험 계획

독립 변수로는 손잡이 높이, 손잡이 너비, 손잡이 수평 각도로 하였다. 손잡이 높이는 선 자세에서의 주먹 높이, 무릎 높이, 주먹 높이와 무릎 높이의 중간 위치 3가지로 변화시켰으며, 손잡이 너비는 피 실험자의 어깨 너비(W_s), $1.25 \times W_s$, $1.5 \times W_s$ 의 3 수준으로 변화시켰다. 손잡이 수평 각도는 0도와 10도의 2 수준으로 변화시켰다. Fig. 1에서 처럼 0도는 수평면 상에서 좌우 손잡이 종축이 나란히 위치한 경우이고, 10도는 손잡이 종축이 수평면 상에서 바깥쪽으로 10도씩 벌어지도록 하였다. 피 실험자의 어깨너비 평균은 380.0 ± 22.5 mm, 주먹높이 평균은 770.2 ± 29.3 mm, 무릎높이 평균은 497.8 ± 34.2 였다. 종속 변수는 외륜 수레 운전에 필요한 드는 힘, 미는 힘, 회전 힘(시계 방향) 3가지를 측정하였다. 회전 힘은 시계방향으로 회전시키는 힘으로, 왼손으로는 들고, 오른손으로는 누르는 힘

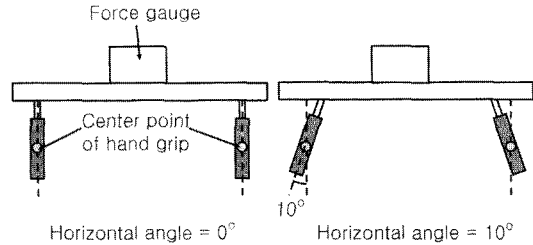


Fig. 1. Illustration of horizontal angle (top view).

을 발휘하도록 하였다. 총 18가지 실험 조건($3 \times 3 \times 2$)을 모두 한 번씩 무작위 순서로 실험하였으며, 3가지 종속 변수 측정 순서도 무작위로 결정하였다.

2.3. 실험 장비

실험에는 손잡이 높이/너비/각도를 조절할 수 있는 알루미늄 프레임 사용하였다(Fig. 2). 힘 측정은 Dacell(주)의 MC49-3B 3축 로드 셀을 이용하여 500 Hz로 측정하였으며, 100 ms 동안의 rms를 구하여 분석에 사용하였다.

2.4. 실험 방법

피 실험자가 도착하면 먼저 실험 내용에 대한 설명을 한 다음 키, 몸무게, 어깨너비, 주먹 높이, 무릎 높이를 측정하였다. 이후, 힘 측정 장치에서 들기, 밀기, 회전 힘을 발휘하는 요령을 설명하고 연습을 하여 힘 발휘에 익숙해지도록 하였다.

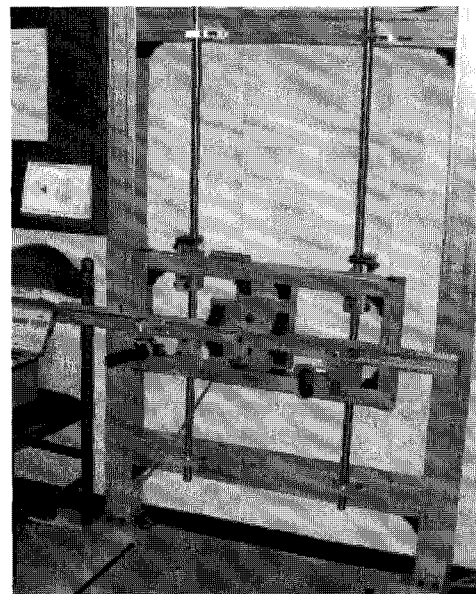


Fig. 2. Aluminium frame used in the experiment.

실험 시 발의 위치를 결정하기 위해 40 kg이 든 외륜 수레를 5 m 거리에서 3회 전진 운전하도록 하였으며, 익숙해진 다음 외륜 수레를 전진 시키는 중에 오른 발이 앞쪽에 있으면서 두 발이 바닥에 모두 닿았을 때의 발 위치를 결정하여 실험 시에도 그대로 유지하도록 하였다. 실험 시 손의 위치에 따른 발의 앞 뒤 위치는 오른발의 안쪽 복숭아뼈 위치에 손잡이가 위치하도록 하였다.

힘 발휘는 1초 정도 힘을 서서히 증가 시켜서 최대에 이르도록 한 후 3초간 유지하도록 하였다. 각 실험 조건 사이에 손잡이 너비와 각도 등의 실험 조건 변경을 하였으며 약 2분의 휴식시간을 주었으며, 피 실험자가 요구할 경우 더 많은 휴식시간을 주었다.

2.5. 데이터 분석

힘 데이터 분석에서는 초기 1초 이후에 안정된 구간(약 2~3초)의 rms 평균(mean)과 함께, 순간 최대 힘(maximum)를 각각 구하였다. 3가지 힘에 대해서 손잡이 높이, 너비와 수평각도가 미치는 영향 평가를 위해 분산분석을 실시하였으며, 분석에는 SPSS12.0 소프트웨어를 사용하였다.

3. 연구 결과

3.1. 미는 힘 결과

18개 실험 조건에서 미는 힘의 평균과 최대 값이 다음 Table 1에 정리되어 있다. 미는 힘 평균의 전체 평균은 185.5 N이었으며, 최대 값의 전체 평균은 205.5 N이었다.

미는 힘의 평균에 대해서 높이, 너비, 각도를 독립 변수로 하여 ANOVA 분석을 수행하였으며(Table 2 참조), 수평 각도의 주 효과는 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의한 영향을 미쳤으며($p=0.016$), 손잡이 높이는 유의수준 0.1에서 유의하였다($p=0.076$). 손잡이 너비 주 효과와 교호작용은 모두 유의하지 않았다($p>0.1$). 한편, 최대 미는 힘에 대한 분산분석 결과에서는, 높이($p=0.061$)와 수평 각도($p=0.094$)가 유의수준 0.1에서 유의하였으며, 나머지 주 효과와 교호작용은 모두 유의하지 않았다($p>0.1$).

다음 Fig. 3에는 손잡이 높이가 미는 힘 평균과 최대 값에 미치는 영향을 나타내고 있다. 주먹높이와 무릎 높이에서 평균과 최대 힘이 높게 나타났으며, 중간 높이에서 가장 작은 힘이 발휘되었다.

Table 1. Average values(\pm S.D.) of the mean and maximum pushing forces according to the experimental conditions

Experimental condition			Mean (N)	Maximum (N)
Height	Width	Angle (degree)		
Knuckle	Ws*	0	202.6 \pm 43.3	225.6 \pm 43.7
		10	189.8 \pm 50.6	217.9 \pm 52.7
	1.25×Ws	0	187.7 \pm 48.6	206.2 \pm 55.0
		10	179.0 \pm 56.5	203.4 \pm 54.1
	1.5×Ws	0	193.3 \pm 54.8	214.4 \pm 61.3
		10	183.3 \pm 66.3	207.4 \pm 62.0
Middle	Ws	0	174.6 \pm 53.0	198.3 \pm 50.2
		10	172.8 \pm 50.8	188.6 \pm 52.9
	1.25×Ws	0	186.2 \pm 53.2	206.5 \pm 59.1
		10	175.9 \pm 50.5	195.6 \pm 50.7
	1.5×Ws	0	183.5 \pm 76.7	196.3 \pm 76.0
		10	159.5 \pm 33.8	186.3 \pm 39.1
Knee	Ws	0	200.0 \pm 53.6	214.3 \pm 51.0
		10	193.7 \pm 49.1	212.6 \pm 49.1
	1.25×Ws	0	192.7 \pm 50.6	206.4 \pm 51.5
		10	181.9 \pm 48.1	200.0 \pm 52.6
	1.5×Ws	0	191.8 \pm 53.0	206.2 \pm 51.6
		10	189.8 \pm 46.9	212.9 \pm 52.1

*: Shoulder width

Table 2. ANOVA results of the mean pushing forces

Source	df	SS	MS	F	p
Height (H)	2	5532.4	2.906	2.906	0.076*
Width (W)	2	654.0	1.005	1.005	0.382
Angle (A)	1	4996.8	8.065	8.065	0.016**
H×W	4	757.7	0.897	0.897	0.474
H×A	2	157.6	0.211	0.211	0.811
W×A	2	110.9	0.158	0.158	0.855
H×W×A	4	388.8	0.620	0.620	0.651

*: $p<0.1$, **: $p<0.05$

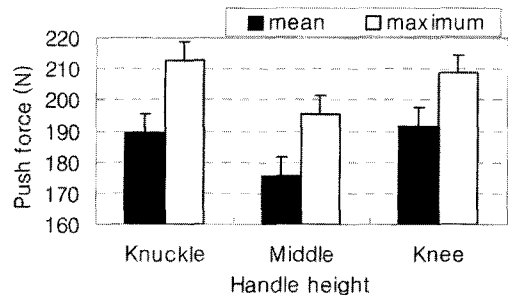


Fig. 3. Main effect of the handle height on the mean and maximum push forces.

수평 각도가 미는 힘 평균과 최대 힘에 미치는 영향을 보면, 0도에서는 평균이 190.3 N, 최대값이

Table 3. Average values(± S.D.) of the mean and maximum lifting forces according to the experimental conditions

Experimental condition			Mean (N)	Maximum (N)
Height	Width	Angle (degree)		
Knuckle	Ws*	0	477.7±160.1	526.5±145.2
		10	508.7±228.5	561.7±233.3
	1.25×Ws	0	518.0±185.8	577.1±191.5
		10	441.5±144.4	542.2±203.4
	1.5×Ws	0	501.0±147.4	548.4±152.0
		10	518.6±163.0	564.1±170.0
Middle	Ws	0	490.0±163.0	552.7±183.8
		10	502.1±165.1	537.8±156.6
	1.25×Ws	0	444.3±145.7	508.8±145.4
		10	473.5±155.2	542.7±165.5
	1.5×Ws	0	476.0±164.5	521.3±162.3
		10	501.4±141.1	552.1±152.2
Knee	Ws	0	444.8±146.1	497.3±151.0
		10	466.8±151.7	506.1±152.7
	1.25×Ws	0	469.8±137.4	511.8±159.0
		10	457.6±140.7	502.7±156.0
	1.5×Ws	0	458.8±132.4	508.1±153.4
		10	468.5±135.8	508.6±148.6

*: Shoulder width

208.2 N으로, 10도의 평균(180.6 N)과 최대값(202.7 N)보다 더 큰 값을 나타냈다.

3.2. 드는 힘 결과

드는 힘의 평균과 최대값이 18개 실험조건에 대해서 Table 3에 제시되어 있다. 드는 힘 평균의 전체 평균은 478.8 N이었으며, 최대값의 전체 평균은 531.7 N이었다.

손잡이 높이, 너비, 각도가 드는 힘 평균에 미치는 영향을 ANOVA로 분석한 결과, 모든 주 효과와 교호작용이 유의하지 않은 것으로 나타났다(p>0.1). 또한, 최대 드는 힘에 대한 ANOVA 분석결과에서도 모두 유의하지 않은 것으로 나타났다(p>0.1).

3.3. 회전 힘 결과

18가지 실험조건에서의 회전 힘이 다음 Table 4에 제시되어 있다. 평균 회전 힘의 전체 평균은 85.1 Nm, 최대값의 전체 평균은 96.5 Nm였다.

회전 힘의 평균에 대해서 높이, 너비, 각도를 독립 변수로 하여 ANOVA 분석을 수행한 결과, 주 효과 중에서는 손잡이 너비가 통계적으로 유의하였으며(p<0.01), 교호작용 중에서는 너비와 각도의

Table 4. Average values(± S.D.) of the mean and maximum twisting forces according to the experimental conditions

Experimental condition			Mean (Nm)	Maximum (Nm)
Height	Width	Angle (degree)		
Knuckle	Ws*	0	77.6±25.2	86.9±25.2
		10	82.7±24.8	92.6±28.4
	1.25×Ws	0	82.9±29.4	93.6±30.9
		10	77.1±29.2	96.8±33.3
	1.5×Ws	0	91.1±29.8	100.3±32.0
		10	92.6±27.9	106.2±27.5
Middle	Ws	0	75.0±19.0	82.5±21.2
		10	81.6±23.4	89.3±24.5
	1.25×Ws	0	83.5±30.6	94.7±33.8
		10	86.7±33.4	98.2±36.5
	1.5×Ws	0	85.5±29.5	98.9±30.2
		10	89.0±34.9	100.8±35.7
Knee	Ws	0	79.6±29.9	88.9±27.4
		10	86.4±27.3	96.1±27.8
	1.25×Ws	0	87.7±33.2	99.3±32.6
		10	86.7±30.2	99.2±33.2
	1.5×Ws	0	89.4±32.9	102.0±32.6
		10	96.7±27.1	111.2±32.2

*: Shoulder width

2차 교호작용만 유의 수준 0.1에서 유의하였으며(p=0.058), 나머지 교호작용은 유의하지 않았다. 한편, 최대 회전 힘에 대한 ANOVA 분석 결과에서는 손잡이 너비(p=0.001)와 손잡이 각도(p=0.065)가 유의수준 0.1에서 유의하였으며, 나머지 효과는 유의하지 않게 나타났다(p>0.1).

다음 Fig. 4에는 손잡이 너비가 회전 힘 평균과 최대 값에 미치는 영향이 나타나 있으며, 손잡이 너비가 넓을수록 더 큰 힘을 내는 것으로 평가되었다.

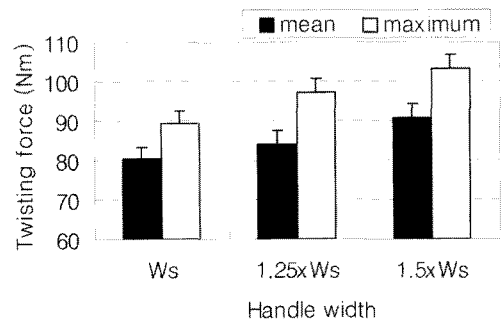


Fig. 4. Main effect of the handle width on the mean and maximum twisting forces.

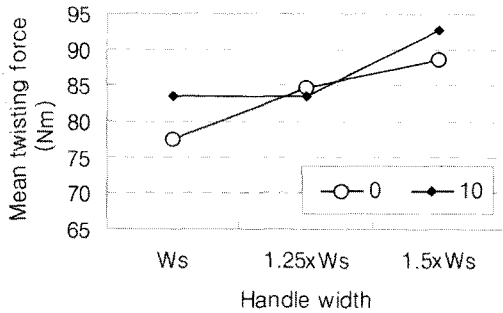


Fig. 5. Interaction effect of the handle width and handle angle on the mean twisting force.

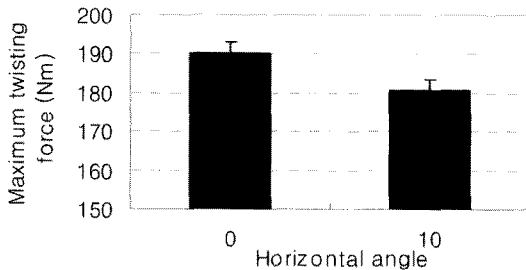


Fig. 6. Main effect of the horizontal angle on the maximum twisting force.

회전 힘 평균에 미치는 손잡이 너비와 수평 각도의 교호작용이 Fig. 5에 제시되어 있으며, 어깨 너비와 어깨너비의 1.5배 너비에서는 10도에서 더 큰 평균 힘을 나타냈으나, 어깨너비의 1.25배 너비에서는 그 크기가 비슷하였다.

그러나 최대 회전 힘에 미치는 수평각도의 영향 (Fig. 6)을 보면, 최대 힘은 수평각도가 0도에서 10도보다 더 큰 값을 나타냄을 알 수 있다.

4. 토 의

본 연구에서 측정된 미는 힘의 전체 평균은 185.5 N이었으며, 이것은 기술표준원 보고서¹⁵⁾에서의 미는 힘 평균(20대 93명 측정, 가슴 높이 미는 힘 평균 : 316.4 N, 허리 높이 미는 힘 평균 : 365.2 N)의 약 59%(가슴 높이)와 51%(허리 높이)에 해당하는 값이다. 이것은 손잡이 높이 차이와 함께, 팔꿈치 각도, 발의 자세 및 손잡이 방향 차이인 것으로 분석된다. 본 연구에서는 팔꿈치를 대부분 편 상태였던 반면, 기술표준원 자료는 팔꿈치를 약 90도 정도 구부린 자세에서 측정되었다. 발의 자세는 본 연구에서는 외륜 수레를 운반할 때의 보폭 및 좌우 너비를 사용하였으나, 기술표준원 연구에서는 자유 자세를 사용하였다. 또한, 기술표준원 자료에서

는 손잡이 종축이 상하 방향으로 위치되었으나, 본 연구에서는 외륜 수레 손잡이처럼 전후 방향으로 위치되었다. 외국인을 대상으로 손잡이 높이를 달리하며 미는 힘을 측정한 연구에서도 본 연구보다 더 큰 값이 보고되었다^{16,17)}. 기술표준원 연구를 포함하여 이들 연구와 본 연구와의 차이점은 손잡이 방향, 높이, 손잡이 수평 위치, 팔과 다리의 자세 및 다리 고정 여부에서 차이가 나며, 차후, 이들 차이에 대한 보다 자세한 검증 연구가 필요한 것으로 판단된다.

들기 힘의 경우 전체 평균은 478.8 N으로서, 주먹 높이와 팔꿈치 높이에서 들기 힘을 측정한 Kim (2007)¹⁸⁾의 연구 결과에서 주먹높이(801.0 N) 보다 낮은 값을 나타냈지만, 팔꿈치 높이(399.7 N)에 비해서는 큰 값을 나타냈다. 한편, 손잡이 형태를 달리하며 3가지 자세에서 들기 힘을 측정한 Seong et al.(2002)의 연구¹⁹⁾와 비교하면, 팔을 편 자세에서의 들기 힘(보통 손잡이 : 473.2 N)은 본 연구와 비슷한 값을 나타냈다. 외국인의 데이터와 비교하면, 미시간 대학에서 1,141명을 대상으로 손잡이를 39 cm 높이에 위치시키고, 허리를 숙인 자세에서 측정된 값(평균=480 N)²⁰⁾과는 비슷한 값을 보이지만, 다른 손잡이 위치와 자세에서의 값들과는 다르게 나타났다. 본 연구에서는 다리 자세를 앞뒤로 벌린 자세였지만, 기존 연구에서는 다리를 보통 어깨 너비로 평행하게 벌린 상태에서 측정하였다.

손잡이 수평 각도는 미는 힘 평균($p < 0.05$), 최대 값($p < 0.1$)과 회전 힘 최대값($p < 0.1$)에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 미는 힘과 회전 힘 최대값은 0도에서 더 큰 힘이 나타났으며, 이것은 힘의 방향이 바뀌게 되는 효과라고 사료된다. 즉, Kuijer et al.(2000)의 연구²¹⁾에 의하면 손잡이 높이와 발휘되는 힘의 크기에 따라 실제 발휘되는 힘의 방향이 달라지게 된다. 이 효과와 마찬가지로, 수평 각도가 0도에서 10도로 바깥쪽으로 벌어지게 되면 힘의 방향이 미는 방향에서 좌/우 방향으로 분산된 결과라고 예측된다.

한편, 회전 힘 평균에서는 그 효과가 손잡이 너비에 따라 다르게 나타났다. 손잡이 좌우 너비가 어깨 너비의 1.25배에서는 0도와 10도 차이가 거의 없었으나, 어깨너비와 어깨 너비의 1.5배 너비에서는 10도가 0도보다 더 큰 최대 회전 힘을 내는 것으로 나타났다. 그러나 회전 힘 평균에 미치는 너비와 각도의 교호작용은 p 값이 0.058로서 보다 추가적인 연구가 요구된다. 유의 수준 0.05에서는 손

잡이 수평각도가 미치는 힘 평균에만 유의한 영향을 미치고, 10도보다 0도에서 평균이 더 크므로, 보완 연구 결과가 제시될 때까지 수평각도는 0도가 추천된다.

손잡이 높이는 유의수준 0.05에서는 3가지 힘에 영향을 미치지 않았지만, 유의 수준 0.1에서는 밀기 힘에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 손잡이 높이는 본 연구에서 기초 자료로서 높이를 달리하며 측정하였지만, 실제 외륜 운반차 사용 시에는 작업자들에 의해 운전 시 높이가 결정되므로 실용적 의미는 없다고 할 수 있다.

손잡이 너비는 회전 힘에만 통계적으로 유의한 영향을 미쳤으며, 손잡이 너비가 커짐에 따라 더 큰 회전 힘이 측정되었다. 이것은 모멘트 암이 커짐에 따른 당연한 결과라고 판단된다. 현재 사용되고 있는 외륜 운반차의 손잡이 너비는 약 46 cm~65 cm에 분포하고 있는데²²⁾, 회전 힘 기준에서는 65cm가 적절하다고 할 수 있다.

본 연구의 한계점으로는 20대 남자 대학생 및 대학원생을 대상으로 측정하였다는 점이다. 다양한 연령 및 직업군을 대상으로 한 측정이 필요하다. 또한, 본 연구에서는 적절한 실험 규모를 유지하기 위해 손잡이 수직 각도는 달리하지 않았지만, 실제 사용 중인 외륜 수레의 수직 각도가 상당한 차이를 보이므로 수직 각도가 근력에 미치는 영향에 대한 평가도 필요하다. 또한, 본 연구에서는 외륜 수레를 전진 시키는 중의 발의 자세(오른발이 앞쪽에 위치하고 왼발이 뒤쪽에 위치)에서 3가지 힘을 측정하였는데, 작업 특성에 따라 다른 작업자세를 취할 수 있을 것이다. 따라서, 발을 나란히 놓은 자세 및 왼발이 전진된 자세 등 다양한 작업 자세에서의 연구가 필요하다.

5. 결론

본 연구에서는 손잡이 너비, 높이, 수평각도에 따라 외륜 운반 수레 운전에서 동원되는 힘인 들기, 밀기, 회전 힘(시계방향)을 측정하였다. 본 연구에서 고려한 3가지 독립변수(손잡이 높이, 너비, 수평각도)가 미치는 힘, 드는 힘, 회전 힘에 미치는 영향은 힘의 종류에 따라 다른 것으로 나타났다. 즉, 손잡이 높이는 미치는 힘 평균과 최대값에만 유의한 영향을 미쳤으며, 손잡이 너비는 회전 힘에서만 차이가 나타났다. 또한, 수평 각도는 미치는 힘과 회전 힘에 유의한 영향을 미쳤다. 본 연구 결과에 근거

하여 외륜 운반차 손잡이를 설계할 때의 시사점은 다음과 같다. 우선, 손잡이 너비는 넓을수록 회전 힘이 크게 나타나므로, 현재 제품화한 외륜 운반차 설계 치수에서는 가장 넓은 65 cm가 추천된다. 또한, 손잡이의 수평 각도는 0도에서 미치는 힘이 10도에서보다 크게 나타났으므로, 0도가 추천된다. 이상의 결과는 보다 다양한 연령대와 많은 피 실험자를 대상으로 보완 연구가 이루어지면 외륜 수레 손잡이 설계에서 중요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글 : 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0016950).

참고문헌

- 1) S. Kumar, "Development of Predictive Equations for Lifting Strengths", *Applied Ergonomics*, Vol. 26, pp. 327~341, 1995.
- 2) W.E. Hoogendoorn, M.N.M. van Poppel, P.M. Borgers, B.W. Koes and L.M. Bouter, "Physical Load during Work and Leisure Time as Risk Factors for Back Pain", *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, Vol. 25, pp. 387~403, 1999.
- 3) J.I. Kuiper, A., Burdorf, J.H.A.M. Verbeek, M.H.W. Frings-Dresen, A.J. van der Beek and E. Viikari-Juntura, "Epidemiological Evidence on Manual Materials Handling as a Risk Factor for Back Disorders: a Systematic Review", *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 24, pp. 389~404, 1999.
- 4) M.J.M. Hoozemans, A., van der Beek, M.H.W., Frings-Dresen, F.J.H. van Duk and L.H.V. van der Woude, "Pushing and Pulling in Relation to Musculoskeletal Disorders: a Review of Risk Factors", *Ergonomics*, Vol. 41, pp. 757~781, 1998.
- 5) 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.
- 6) B. Das, J. Wimpee and B. Das, "Ergonomics Evaluation and Redesign of a Hospital Meal Cart", *Applied Ergonomics*, Vol. 33, pp. 309~318, 2002.
- 7) 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.
- 8) O.O. Okunribido and C.M. Haslegrave, “Effect of Handle Design for Cylinder Trolleys”, *Applied Ergonomics*, Vol. 30, pp. 407~419, 1999.
 - 9) 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.
 - 10) M.C. Jung, J.M. Haight, A. Freivalds, “Pushing and Pulling Carts and Two-Wheeled Hand Trucks”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 35, pp. 79~89, 2005.
 - 11) S.R. Datta, B.B. Chatterjee and B.N. Roy, “The Energy Cost of Pulling Handcarts(‘thela’)", *Ergonomics*, Vol. 26, pp. 461~464.
 - 12) S.S. Lee, Y.H. Kim, A.R. Choi and J.H. Mun, “A Study on Ergonomics Design of Wheelbarrow for Melon Farm on Protected Horticulture”, *Journal of Biosystems Engineering*, Vol. 33, pp. 157~166, 2008.
 - 13) Y.H. Kim, “Development of an Ergonomics Vehicle for Melon Farm”, Sungkyunkwan University M.S. thesis, 2007.
 - 14) Rural Development Administration, “Development of an Electronic Vehicle for Chamwoae of Protected Cultivation using Agricultural Ergonomics”, Rural Development Administration Technical Report, 2008.
 - 15) Korean Agency for Technology and Standards, “Report of the Muscle Strength Measurement Project for Korean People”, Ministry of Knowledge Economy, Korean Agency for Technology and Standards, 2007.
 - 16) S. Kumar, “Upper Body Push-Pull Strength of Normal Young Adults in Sagittal Plane at Three Heights”, *Int. J. of Industrial Ergonomics*, Vol. 15, pp. 427~436, 1995.
 - 17) A.D.J. Pinder, A.T. Wilkinson and D.W. Grieve, “Omnidirectional Assessment of One-Handed Manual Strength at Three Handle Heights”, *Clinical Biomechanics*, Vol. 10, pp. 59~66, 1995.
 - 18) H.K. Kim, “Comparison of Muscle Strength for One-hand and Two-hands Lifting Activity”, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol. 26, pp. 34~44, 2007.
 - 19) C.H. Seong, D.C. Bae and S.R. Chang, “The Effects of the Posture and Handle Types on the MVC in the Box Lifting Tasks”, *Proceedings of the Korean Society of Safety 2002 Winter Meeting*, pp. 371~376, 2002.
 - 20) D.B. Chaffin, G.B.J. Andersson, and B.J. Martin, “Occupational Biomechanics”, 3rd Edition. New York: John Wiley & Sons Inc., 1999.
 - 21) M.P. de Looze, K. van Greuningen, J. Rebel, I. Kingma and P.P.F.M. Kuijter, “Force Direction and Physical Load in Dynamic Pushing and Pulling”, *Ergonomics*, Vol. 43, pp. 377~390, 2000.
 - 22) K.A. Kim, H.C. Lee and Y.W. Song, “Development of the Static Muscle Strength Measurement System based on the Survey Results of the Single-Wheel Barrow”, CD Proceedings of the KIIE 2010 Fall Meeting, 2010.