

4륜 운반차 수직형 손잡이에서 인간공학적 최적 높이 및 간격 결정

송영웅*

*대구가톨릭대학교 산업보건학과

Ergonomic Optimization of the Handle Height and Distance for the Two-Vertical Type Handles of the 4-Wheel Cart

Young Woong Song*

*Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu

Abstract

Among various manual materials handling tasks, pushing/pulling was known to be one of the risk factors for the low back and shoulder musculoskeletal disorders (MSDs). This study was conducted to find out an optimal solution set of the handle height and distance for 4-wheel cart with two vertical handles. Ten male college students participated in the pushing force measurement experiment. The face-centered cube design, one of the central composite designs, was applied for the experiment, and the isometric voluntary pushing force was measured in 9 treatment conditions. The second order response surface model was predicted by using the pushing strength as a response variable, and the handle height and distance as independent factors. According to the 2nd order response model, the handle height and distance showed nonlinear relationship with the isometric pushing strength. To maximize the 2nd order response model (pushing force), the handle height and distance were optimized. The optimal handle height was 'xyphoid process height - stature', and the optimal handle distance was '1.25*shoulder width'. When calculated using the anthropometric data of the subjects of this study, the optimal handle height was 115.4 ± 3.4 cm, slightly higher than the elbow height, and the handle distance was 52.9 ± 2.3 cm.

Keyword : 4 Wheel Cart, Handle Height and Distance, Response Surface Design, Cart Handle Design

1. 서론

우리나라의 작업관련성 근골격계질환 발생 현황을 살펴보면, 2011년도에 근골격계질환자 수(신체부담작업 + 요통)는 4,885명으로 전체 업무상 질병자 (직업병 및 작업관련성질환)의 67%를 차지하고 있으며, 사고성 요통을 제외하더라도 2,329명으로 전체의 32.1%를 차지하는 것으로 보고되었다[1]. 작업관련성 근골격계질환의

여러 가지 위험 요인 중에서, 밀기와 당기기(pushing and pulling)는 요통의 잠재적인 위험요인일 수 있으며 [2], 또한 어깨 통증[3], 생리적인 부하[4]의 위험 요인이라고 보고되었다. 그러나, 다른 신체 부위의 근골격계 질환과의 연관성을 입증하는 증거는 부족한 상태이다[5]. 다양한 산업 및 서비스 업종의 현장에서 카트나 손수레 등의 사용 증가로 인해 밀기와 당기기 활동은 자주 일어나고 있다.

† 이 논문은 2012년 대구가톨릭대학교 교비해외파견 연구지원금에 의한 것임

† Corresponding Author : Young-Woong Song, 13-13 Hayang-ro, Hayang-eup, Gyeongsan-si, Gyeongbuk, Korea 712-702

Received October 20, 2013; Revision Received December 9, 2013; Accepted December 9, 2013.

한 운송 회사에서 31명의 작업자의 작업을 조사한 결과, 수행되는 인력 취급 작업의 약 50% 정도가 밀기 혹은 당기기 조작을 요구하는 것으로 나타났고, 이것은 들기와 내리기 작업 형태보다 자주 일어나는 것으로 분석되었다[6]. 8개 회사 및 기관에서 인력보조 운반도구를 사용하는 90명의 작업자를 조사한 연구결과를 보면, 카트의 90% 이상이 하루에 한번 이상 밀어지고 있고, 또한 30% 정도가 하루에 10번 이상 밀어진다고 조사되었다[7].

이러한 밀기와 당기기 작업에서 근골격계질환의 문제점을 해결하고, 적절한 작업 조건을 찾기 위한 연구가 많이 이루어져 왔다. Mack et al. (1995)은 인력 운반 도구의 사용성에 미치는 다양한 요인을 4가지로 구분하여 정리하였다[7]. 우선 디자인 요인으로는 상부구조(superstructure), 바퀴, 손잡이, 선반, 브레이크 요인이 포함되고, 환경 요인으로는 바닥, 장애물, 기울기, 계단, 유지보수가, 작업자 요인에는 나이, 성, 인체측정치, 근력이, 작업요인으로는 적재하중, 움직임의 방향, 작동 단계(motion phases), 빈도, 거리, 속도, 동료작업자가 포함된다. 이러한 요인들은 총체적으로 인력 운반 도구의 사용성에 영향을 주게 되는데, 사용성(usability)에는 자세, 힘 발휘, 생리적 요구도, 심물리학적 인지, 효율성, 회전성(steerability), 안정성(stability), 안전성(safety)이 있다.

이러한 여러 가지 요인들이 사용성에 미치는 영향이 여러 연구자들에 의해서 연구되어지고 있다. 예를 들면, 바퀴의 회전여부가 밀기 당기기 힘에 미치는 영향 연구[8], 취급 하중이 생리적 부하에 미치는 영향 연구[9], 바닥의 마찰력이 최대 허용 수평 밀기 힘에 미치는 연구[10] 등이 있다.

디자인 요소 중에서 손잡이는 작업자와의 직접적인 인터페이스가 일어나는 중요한 요인으로서, 특히 손잡이 높이에 대한 연구가 많이 수행되어져 왔다. Al-Eisawi et al. (1999)의 연구에 의하면, 손잡이 높이는 카트를 정적 상태에서 움직이도록 하는 초기 힘 발휘력에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 손잡이 높이에 따라 수평 방향으로의 최대 미는 힘과 당기는 힘이 달라지며[11,12], 손잡이 높이에 따라 허리와 어깨에 미치는 인체역학적인 부하가 다른 것으로 평가되었다[13,14]. 이러한 기존 연구 결과들은 손잡이 높이가 카트 디자인 및 밀기 작업에서의 손 위치 결정에서 아주 중요한 디자인 요소라는 것을 확증한다고 할 수 있다.

손잡이 높이에 비교하면, 손잡이 간의 간격에 관한 연구는 상대적으로 적었다고 할 수 있다. Das et al. (2002)은 95 퍼센타일 남자와 여자의 팔꿈치-팔꿈치 간격을 고려하여 카트의 두 손잡이 사이는 47.8 cm 떨어

져야 한다고 제안하였다[15]. Jansen et al. (2002)은 56.5 cm와 62.0 cm 간격의 카트를 비교하는 연구를 수행하였으며, 기계학적인 관점에서 어깨 너비를 추천하였다[16]. 한편 Lin et al. (2012)은 손잡이 간격이 정적 밀기 힘에 미치는 영향을 실험하였으며, 손잡이 간격의 주효과는 통계적으로 유의하지 않았으며, 다만 성별 요인과의 교호작용만 유의한 것으로 보고하였다[17]. 그러나, 이 연구는 앉은 자세에서 팔꿈치 높이에서 수행 되었으므로, 선 자세 및 다른 높이에 적용하기에는 어렵다고 판단된다.

4륜 카트에서의 손잡이 형태는 주로 수평형과 수직형이 사용되고 있다. 수평형 손잡이는 하나의 긴 막대가 수평으로 설치되어 있어서 손 간격을 작업자가 임의로 설정할 수 있는 장점이 있으나, 손잡이 높이는 고정되는 것이 일반적이다. 반면, 수직형 손잡이는 두 개의 손잡이가 수직으로 달려 있어서 두 손잡이 간의 간격은 고정되지만, 손잡이 높이는 다소 자유롭게 잡기가 가능하다는 장점이 있다. 병원 카트 연구에서 Das et al. (2002)는 전완의 중립 자세를 위해 수직형 손잡이를 추천하였으며[15], 앉은 자세에서 미는 힘을 연구한 Lin et al. (2012)의 연구[17]에서도 정적 미는 힘 관점에서 수평형 보다 수직형을 추천하였다. 한편, 선 자세에서는 수직형보다 수평형 손잡이에서 더 큰 힘이 발휘된다는 보고도 있다[18].

현재로서는, 발휘 힘, 허리 및 어깨 부하, 생리학적 부하 등의 다양한 기준에서 어떤 높이와, 간격, 손잡이 형태가 최적의 값인지는 확실하지 않다고 할 수 있다 [5]. 따라서, 본 연구에서는 수직형 손잡이에서 정적 미는 힘을 최대로 할 수 있는 손잡이 높이 및 간격의 최적값을 찾고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 피실험자

근골격계질환 경험이 없는 10명의 건강한 남자 대학원 및 대학생이 실험에 참가하였다. 피실험자의 평균 나이는 23.7 ± 1.8 세였으며, 몸무게, 신장, 명치 높이, 팔꿈치 높이, 주먹 높이, 어깨 너비 인체측정치가 다음 <Table 1>에 제시되어 있다.

<Table 1> Summary of anthropometric measurement

Item	Mean	S.D.	Min	Max
Age(year)	23.7	1.8	21.0	27.0
Weight(kg)	74.6	16.5	57.5	112.4
Stature(cm)	178.7	4.5	169.3	183.5
Xyphoid process height (cm)	124.6	3.6	117.2	129.3
Elbow height(cm)	110.5	3.3	106.1	118.7
Knuckle height(cm)	79.9	3.6	75	85.6
Shoulder width(cm)	42.3	1.8	39.4	44.8

2.2 실험 변수 및 실험 계획

정적 최대 밀기 실험에서 독립변수는 손잡이 높이 및 손잡이 간격이었으며, 손잡이 높이는 바닥에서 손잡이 중심까지의 거리이며, 손잡이 간격은 두 손잡이 중심 간의 수평 거리로 정의하였다. 종속변수는 최대 밀기 힘이었으며, 정적 자세에서 수평 방향으로 미는 힘의 최대 값으로 정의되었다.

본 연구의 목적은 정적 밀기 힘을 최대로 할 수 있는 손잡이 높이 및 간격의 최적값을 찾는 것으로, 최적값 결정을 위해 반응 표면 방법론(response surface methodology)을 사용하였다. 반응 표면 방법론을 적용하기 위해서는 최대 밀기 힘을 종속변수로 하고, 손잡이 높이 및 간격을 독립변수로 하는 2차 반응 표면 식 혹은 2차 함수를 도출하는 것이 필요하다. 2차 반응 표면 식을 도출하기 위해, 실험 계획법으로 central composite design의 한 종류인 face-centered cube 계획법을 사용하였다. Face-centered cube 계획법은 효과적인 2차 반응 표면 식을 도출할 수 있는 계획법으로 알려져 있다[19].

다음 <Table 2>에는 본 연구에서 사용된 face-centered cube 계획법의 처리 조건이 코드 값과 실제 적용 값으로 정리되어 있다.

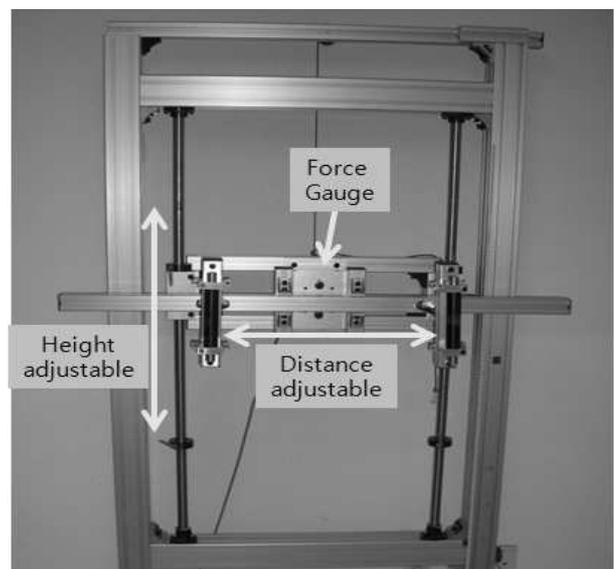
<Table 2> Treatment conditions in coded values and actual values

Treatment number	Height		Distance		
	Code	Actual value	Code	Actual value	
1	Factorial points	+1	XPH+0.15 ST	+1	1.50SW
2		+1	XPH+0.15 ST	-1	1.00SW
3		-1	XPH-0.15 ST	+1	1.50SW
4		-1	XPH-0.15 ST	-1	1.00SW
5	Axial points	+1	XPH+0.15 ST	0	1.25SW
6		-1	XPH-0.15 ST	0	1.25SW
7		0	XPH	+1	1.50SW
8		0	XPH	-1	1.00SW
9	Center point	0	XPH	0	1.25SW

XPH : xyphoid process height, ST : stature, SW : shoulder width

2.3 실험 장치

손잡이 높이 및 너비를 변화시키며 정적 최대 미는 힘을 측정하기 위해 알루미늄 프레임에 이용하여 실험 장치를 다음 <Figure 1>과 같이 구성하였다. 힘 측정은 Dacell(주)의 MC49-3B 로드셀을 이용하였다.



<Figure 1> Experimental setup

2.4 실험 방법

피실험자가 도착하면, 실험 내용에 대한 개략적인 설명을 하고, 키, 몸무게, 어깨너비, 주먹 높이 등의 인체 측정을 실시하였다. 이후, 힘 측정 장치에서 밀기 힘을 발휘하는 요령을 설명하고 연습 세션을 가졌다. 밀기 힘은 수평방향으로 미는 힘을 서서히 증가시키고, 1초 정도 후에 최대에 이르도록 한 후 3 초간 유지하도록 하였다. 미는 힘 발휘 자세는 고개를 숙이지 않고 앞을 본 상태에서, 오른쪽 다리 중심은 손잡이 바로 아래에 놓고, 왼쪽 다리는 뒤로 빼서 왼쪽 다리 앞꿈치가 오른쪽 다리 뒤꿈치에 오도록 하였다. 다리 사이 간격은 어깨너비 정도로 편하게 벌리도록 하였다. 본 실험에서 실험 조건의 순서는 무작위로 하였으며, 각 조건에서 2 번 반복 하였다. 실험 조건 사이에는 최소 2분의 휴식 시간을 주어 피로가 누적되지 않도록 하였으며, 피실험자가 원하면 더 긴 휴식시간을 주도록 하였다.

2.5 데이터 분석 및 최적화 방법

측정된 미는 힘 데이터는 초기 1초 이후에 안정된 구간 (약 2~3초)의 root mean square 값을 구하여 분석에 사용하였다. 각 처리 조건에서 2회 반복 값의 평균을 구하여 그 조건에서의 미는 힘으로 결정하였다.

피실험자간의 미는 힘 변동 효과를 최소화하기위해, 각 피실험자 별로 중앙점(center point)에서의 미는 힘 평균을 100%로 하여, 각 실험 조건 미는 힘을 표준화하였다.

이후, 표준화된 미는 힘(%)을 종속변수로 하고, 손잡이 높이 및 간격 변수의 1차항 및 2차항 (제곱 및 교호 작용)을 독립변수로 하는 2차 반응 모델을 구하였다. 이 2차 반응 모델을 최대화하는 것을 목적 함수로 사용하여 비선형 최적화 기법을 적용하여 손잡이 높이 및 간격의 최적값을 구하였다. 2차 반응 모델 및 최적화 분석은 Design Expert 7 프로그램을 사용하여 수행하였다.

3. 결과

3.1 실험 조건별 미는 힘

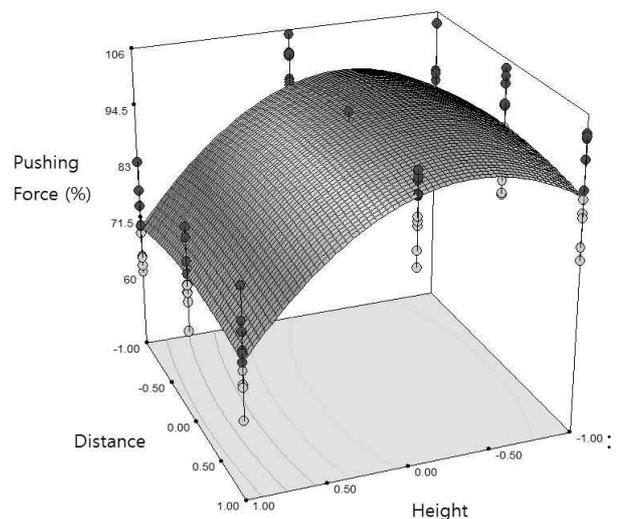
실험 조건별 미는 힘과 표준화된 미는 힘이 다음 <Table 3>에 제시되어 있다. 전체 평균은 246.3 ± 67.8 N 이었으며, 각 실험 조건별로 미는 힘이 큰 차이를 나타냈다. 즉, 가장 큰 힘을 나타낸 실험 조건(center point)에서의 평균 힘은 가장 작은 힘을 나타낸 실험

조건(조건 2: 높이 = +1, 너비 = -1)에서의 평균 힘의 1.45배 큰 것으로 나타났다.

<Table 3> Average pushing forces and normalized pushing forces according to different treatment conditions

Treatment condition			Pushing force(N)		Normalized force(%)	
No.	Height	Distance	Average	S.D.	Average	S.D.
1	+1	+1	206.0	67.8	72.2	7.0
2	+1	-1	198.5	67.8	69.3	7.4
3	-1	+1	261.9	71.8	92.2	9.0
4	-1	-1	257.0	83.9	90.0	6.1
5	+1	0	206.8	66.8	72.6	6.1
6	-1	0	260.9	76.9	91.9	10.0
7	0	+1	269.9	101.1	93.4	5.8
8	0	-1	272.2	100.7	95.4	8.7
9	0	0	287.4	97.1	100.0	0.0
Total			246.3	84.9	86.2	13.0

다음 <Figure 2>에는 손잡이 높이와 간격에 따른 미는 힘의 분포가 제시되어 있다.



<Figure 2> Pushing force response surface according to the handle height and distance

3.2 반응 표면 모델 도출

표준화된 미는 힘을 종속변수로 사용하여 손잡이 높이와 간격을 독립변수로 하는 2차 반응 표면 모델(회귀식)을 도출하였으며, 요인 선택 방법은 stepwise selection method를 사용하였다. 최종적으로 +1, 0, -1로 코딩된 독립변수에 대하여 아래의 식이 적합한 것으로 결정되었다. 여기에서 H는 손잡이 높이(height), D는 손잡이 간의 간격(distance)이었다.

$$\text{Force} = 98.10 - 10.01 * H - 14.92 * H^2 - 2.76 * D^2 \quad (1)$$

이 모델의 R²=0.7148, Adjusted R²=0.7048이며, 분산 분석결과 모델의 p-value 가 0.001보다 작아서 통계적으로 유의한 모델로 평가되었다(Table 4).

<Table 4> Summary of ANOVA for model

Spurce	SS	df	MS	F	p
Model	10611.68	3	3537.23	71.83	<0.0001
H	6007.42	1	6007.42	122.00	<0.0001
H ²	4452.22	1	4452.22	90.42	<0.0001
D ²	152.4	1	152.4	3.09	0.0824
Residual	4234.74	86	49.24		

3.3 최적화 결과

위에서 도출된 2차 반응 표면 모델을 최대화하는 목적함수를 사용하여 손잡이 높이와 간격의 최적 값을 구하였다. 적용된 최적화 모델은 다음과 같다.

$$\text{Maximize } F = 98.10 - 10.01 * H - 14.92 * H^2 - 2.76 * D^2 \quad (2)$$

$$\text{Subject to } -1 < H < +1 \quad (3)$$

$$-1 < D < +1 \quad (4)$$

where F : pushing force
 H : handle height
 D : handle distance

최종적으로 도출된 최적화 값은 손잡이 높이는 -0.34, 손잡이 간격은 0.0 이었다. 즉 (H = -0.34, D = 0.0) 조건에서 정적 미는 힘이 최대가 되는 것으로 나타났다. 이 값을 실제 값으로 환산하면, 손잡이 높이는 (명치높이 - 0.051*신장)이고, 손잡이 간격은 1.25*어깨너비였다.

4. 토 의

모든 실험 조건과 피실험자의 미는 힘 전체 평균은 246.3 ± 67.8 이었으며, Warwick et al. (1980)[11]의 연구에서 보고된 어깨 높이에서 미는 힘 평균(292 N)과 무릎 높이에서의 미는 힘 212 N과 비슷한 수준이었다. 또한, 인도의 농업인을 대상으로 측정된 Tiwari et al. (2010)의 연구에서도 미는 힘 평균이 본 연구와 비슷한 253.8 N인 것으로 보고하였다[19]. 또한, 최대 자의적 미는 힘을 보고한 다른 연구에서와 마찬가지로, 본 연구에서의 미는 힘 결과도 실험 조건과 피실험자에 따라 큰 변동을 나타내었다.

2차 반응 표면 모델에서 손잡이 높이와 손잡이 간격의 제공항 계수는 0이 아닌 음수의 값인 -14.92 (손잡이 높이)와 -2.76(손잡이 간격)이었다. 이것은 손잡이 높이와 손잡이 간격이 미는 힘과 선형적 관계가 아닌 비선형적 관계를 가지며, 그 모양이 포물선 형태라는 것을 의미한다. 다른 연구에서도 손잡이 높이와 미는 힘과의 비선형 관계를 보여주는 결과가 보고되었다[20]. 또한, 심물리학적 최대 허용 밀기 힘도 손잡이 높이와 비선형적 관계를 가진다고 조사되었다[5]. 한편, 본 연구에서 나타난 손잡이 간격과 미는 힘과의 비선형 관계와 비슷한 결과를 보인 기존 연구는 찾기 어려웠다. 이것은 손잡이 높이에 비해 손잡이 너비의 효과를 조사한 연구가 많지 않기 때문인 것으로 판단된다.

손잡이 높이의 최적 값은 '명치 높이 - 0.051*신장'으로 결정되었다. 피실험자의 인체 측정치에 대입해 보면 평균 높이가 115.4 ± 3.4 cm (최소 = 108.6 cm, 최대 = 120.0 cm) 로서 팔꿈치 높이 평균인 110.5 cm(최소 = 102.9 cm, 최대 = 115.9 cm)보다 약간 높은 수준이었다. 이것은 낮은 높이 및 높은 높이에 비해, 중간 높이(100 cm)에서 등척적 밀기 최대 힘이 높게 나타났다고 보고한 Kumar (1995)의 연구[20], 요추 부하 측면에서 100 cm 높이를 추천한 Lee et al. (1991)의 연구[13], 그리고 중립적이고 편안한 자세를 위해 94 cm와 115.3 cm 를 추천한 Das et al. (2002)의 연구[15]와 유사한 결과라고 할 수 있다.

손잡이 간격의 최적값은 '1.25*어깨너비'로 결정되었으며, 피실험자의 인체측정치를 대입하면 52.9 ± 2.3 cm (최소 = 49.3 cm, 최대 = 56.0 cm) 였다. 31 cm 와 48.6 cm 의 손잡이 간격에서 미는 힘을 측정한 Lin et al. (2012)의 연구[17]에서는 넓은 간격에서 더 큰 미는 힘이 나왔다고 보고되었다. 이 연구를 제외하고 실험적으로 손잡이 간격에 따른 미는 힘을 조사한 연구는 없는 실정이다. 한편, Das et al. (2002)의 연구에서는 팔

꿈치-팔꿈치 간격을 고려하여 47.8 cm를 추천하였으며, Jansen et al.(2002)의 연구에서는 기계학적인 관점에서 어깨 너비를 추천하였다.

본 연구에서는 정적 밀기힘을 최대로 할 수 있는 수직형 손잡이 높이와 손잡이 간격의 최적해를 찾고자 하였다. 그러나, 남자 대학생 피실험자를 사용하여 결과를 도출하였으므로, 산업현장의 작업자와 여성을 대상으로 조사한 결과와 비교하는 것이 요구된다. 또한, 허리 및 어깨에서의 부하, 당기기 힘, 혹은 주관적 불편도 등의 다양한 기준을 종합적으로 고려한 최적해 도출이 추후 요구된다고 할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 4륜 카트를 작동하기 위해 요구되는 밀기 힘을 기준으로 수직형 손잡이의 최적 높이와 손잡이 간격을 반응 표면 방법론을 사용하여 결정하였다. 도출된 2차 반응 표면 모델을 보면, 손잡이 높이와 간격은 미는 힘과 비선형 관계를 나타내었다. 도출된 최적해 조건은 손잡이 높이는 '명치높이 - 0.051*신장'이고, 손잡이 간격은 '1.25*어깨너비'였다. 여기에서 도출된 결과는 4륜 운반차의 손잡이 설계나, 작업에서 밀기 힘이 주로 요구되는 경우의 손 높이나 너비 설계에 활용되어, 밀기와 관련된 근골격계질환의 위험성을 낮출 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 여성이나 현장 작업자를 대상으로 하고, 어깨 및 허리 부하나 주관적 불편도와 같은 다양한 기준을 이용한 연구가 필요하다고 판단된다.

6. References

- [1] Ministry of Employment and Labor (2012), "Statistics of the Industrial Accident in 2011." Korean Ministry of Employment and Labor
- [2] Plouvier, S., Renahy, E., Chastang, J.F., Bonenfant, S., Leclerc, A.(2008), "Biomechanical strains and low back disorders: quantifying the effects of the number of years of exposure on various types of pain." *Occupational Environmental Medicine*, 65:268-274
- [3] Harkness, E.F., Macfarlane, G.J., Nahit, E.S., Silman, A.J., McBeth, J.(2003), "Mechanical and psychosocial factors predict new onset shoulder pain; a prospective cohort study of newly employed workers." *Occupational Environmental Medicine*, 6:850-857
- [4] Garcin, M., Cravic, J.Y., Vandewalle, H., Monod, H.(1996), "Physiological strains while pushing or hauling." *European Journal of Applied Physiology*, 72:478-482
- [5] Garg A, Waters T, Kapellusch J, Karwowski W.(2012), "Psychophysical basis for maximum pushing and pulling forces: A review and recommendations." *International Journal of Industrial Ergonomics*, In Press, Corrected Proof, Available online 11 October 2012
- [6] Baril-Gingras, G., Lortie, M.(1995), "The handling of objects other than boxes: univariate analysis of handling techniques in large transport company." *Ergonomics*, 38:905-925
- [7] Mack, K., Haslegrave, C.M., Gray, M.I.(1995), "Usability of manual handling aids for transporting materials." *Applied Ergonomics*, 26: 353-364
- [8] Al-Eisawi, K.W., Kerk, C.J., Congleton, J.J., Amendola, A.A., Jenkins, O.C., Gaines, W.G.(1999), "Factors affecting minimum push and pull forces of manual carts." *Applied Ergonomics* 30:235 - 245
- [9] Van der Beek, A.J., Kluver, B.D.R., Frings-Dresen, M.H.W., Hoozemans, M.J.M.(2000), "Gender differences in exerted forces and physiological load during pushing and pulling of wheeled cages by postal workers." *Ergonomics*, 42:269 - 281
- [10] Ciriello, V.M., McGorry, R.W., Martin, S.E., 2001. Maximum acceptable horizontal and vertical forces of dynamic pushing on high and low coefficient of friction floors. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 27:1 - 8
- [11] Warwick, D., Novak, G., Schultz, A., Berkson, M.(1980), "Maximum voluntary strengths of male adults in some lifting, pushing and pulling activities." *Ergonomics*, 23:49-54
- [12] Chaffin, D.B., Anderson, G.B.J., Martin, B.J.(1999), "Occupational Biomechanics", third ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [13] Lee, K.S., Chaffin, D.B., Herrin, G.D., Waiker, A.M.(1991), "Effect of handle height on lower-back loading in cart pushing and pulling." *Applied Ergonomics*, 22:117-123
- [14] Hoozemans, M.J.M., Kuijer, P.P.F.M., Knigma, I., van Dieen, J.H., de Vries, W.H.D., van der Woude, L.H.V., Veeger, D.J., van der Beek,

- A.J. Frings- Dresen, M.H.W.(2004), "Mechanical loading of the low back and shoulders during pushing and pulling activities.", *Ergonomics*, 47: 1-18
- [15] Das, B., Wimpee, J., Das, B.(2002), "Ergonomics evaluation and redesign of a hospital meal cart.", *Applied Ergonomics*, 33:309-318
- [16] Jansen, J.P., Hoozemans, M.J.M., van der Beek, A.J., Frings-Dresen, M.H.W. (2002), "Evaluation of ergonomic adjustments of catering carts to reduce external pushing forces.", *Applied Ergonomics*, 33:117-127
- [17] Lin J.H., McGorry R.W., Chang, C.C. (2012), "Effects of handle orientation and between-handle distance on bi-manual isometric push strength.", *Applied Ergonomics*, 43:664-670
- [18] Okunribido, O.O., Haslegrave, C.M. (2008), "Ready steady push - a study of the role of arm posture in manual exertions.", *Ergonomics* 51: 192-216
- [19] Tiwari, P.S., Gite, L.P., Majumder, J., Pharade, S.C., Singh, V.V.(2010), "Push/ pull strength of agricultural workers in central India.", *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40:1-7
- [20] Kumar, S.(1995), "Upper body push- pull strength of normal young adults in sagittal plane at three heights.", *International Journal of Industrial Ergonomics*, 15:427-436

저 자 소 개

송 영 응



포항공과대학교 산업공학과를 졸업하고, 포항공과대학교 대학원에서 석, 박사학위를 취득하였다. 현재 대구가톨릭대학교 산업보건학과에서 부교수로 재직 중이며, 관심분야는 근골격계질환 관리 및 위험요인 평가, 인체역학 모델, 근육 생리학, 문자 가독성 등임.

주소: 경북 경산시 하양읍 대구가톨릭대학교 산업보건학과