Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 29, No. 5 pp.819-829, October 2010 DOI:10.5143/JESK.2010.29.5.819

한손 수동물자취급에 관한 문헌 조사

모승민 · 곽종선 · 정명철

아주대학교 산업정보시스템공학부

Literature Review on One-Handed Manual Material Handling

Seung-Min Mo, Jongseon Kwag, Myung-Chul Jung

Department of Industrial and Information Systems Engineering, Ajou University, Suwon, 443-749

ABSTRACT

By referring thirty-seven previous studies on manual material handling (MMH), this paper analyzed guidelines and main factors of one-handed tasks. The previous studies concerned main factors of distance, weight, frequency, posture, gender, age, training, direction of force, height of the force exerted, and object shape and size. Based on these factors, the criteria used to understand one-handed tasks were objective measures of maximum strength, reaction force, etc., psychophysical measures of maximum acceptable frequency and weight, etc., and physiological measures of oxygen uptake, heart rate, electromyography, etc. An allowance threshold model regarding quantitative and objective fatigue and workload would be suggested for future research. This study would be expected that it serve to establish and Korean recommendations of one-handed tasks.

Keywords: One-handed handling, Manual material handling, Guideline, Risk factor, Musculoskeletal disorder

1. 서 론

오늘날 세계적으로 산업사회는 기업의 자동설계, 생산 설비의 관리, 품질 검사 등 각종 생산과 관련되어 인력으로 행하던 모든 일에 대하여 상당 부분이 자동화가 이루어졌으며, 앞으로도 생산 공정에서 자동화가 더욱 가속화 될 것이다. 하지만 생산직 및 제조업에 근로하는 작업자들은 아직까지 반복적인 중량물 취급 및 원자재 운반, 수동 조립 등 인간의 근력을 필요로 하는 수동물자취급(manual material handling)에 의존하고 있는 실정이다. 미국의 경우, 통계적으로 전체 근골격계 질환자들 중 52%가 수동물자취급으로 인하여 질환이 유발되었으며, 손실비용이 높은 항목으로 보고되었다(Chaffin, 1994; Leamon and Murphy, 1994; Murphy and Courtney, 1996). 우리나라도 노동부의 2007년 산업재해현황분석 결과에 따르면 작업관련성 근골격계 질환자수는 전체 업무상 질병자수의 67.3%를 차지하고 있으며 전년도 대비해 23.9% 증가하였다(노동부, 2008). 이러한 근골격계 질환 대부분이 반복적인 동작이나 과다한 동작을 요구하는 수동물자취급에 의해서 발생하게 되며, 우리나라도 선진국처럼 근골격계 질환자의 발생이 꾸준히 늘어날 것으로 예상된다.

1981년 미국의 산업안전보건원(NIOSH)에서는 수동물자취급과 관련하여 근골격계 질환을 예방하기 위한 유해요인 평가와 관련된 연구들이 진행되었으며, 양손을 사용하는 중량물 취급작업에 대하여 최대 허용 기준치를 제안하였다. Kumar(1994)는 근골격계 질환을 유발시키는 요인들로서 중량, 동작, 노출시간을 고려하여 안전 여유를 산출하는

*이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2010-0002800).
교신저자 정명철
주 소: 443-749 경기도 수원시 영통구 원천동 산 5, 전화: 031-219-2981, E-mail: mcjung@ajou.ac.kr

개념적 모델을 제시하였다. 이와 비슷하게 Tanaka and McGlothin(1993)의 연구에서는 반복적인 수동 작업으로 유발될 수 있는 손목의 근골격계 질환 방지와 관련하여 손목의 편향 각도, 반복성, 근력을 주요인으로 허용한계와 위험한계의 경계를 나타내는 개념적 역치 모델을 제시하였다.

수동물자취급에 대한 선행 연구를 살펴보면 몸 전체를 기반으로 수직 들기/내리기나 수평 밀기/당기기 작업을 고려하였으며, 양손 사용을 기준으로 하고 있다. Ayoub and McDaniel(1974)은 손잡이 높이와 발의 위치에 따른 입식 자세에서의 밀기, 당기기 작업 시 발휘할 수 있는 힘을 산출하여 최적의 힘을 발휘할 수 있는 자세에 대한 연구를 하였으며, Yates et al.(1980)의 연구에서는 허리신전, 어깨 각도, 팔꿈치 각도, 그립 형태, 이동거리의 인자를 고려하여 양손으로 들기 작업 시 각 자세에서의 최대 정적 들기 근력의 변화를 분석하였다. Zhu and Zhang(1990)은 미국이나 유럽에서 수행된 연구들은 서양인에 비하여 상대적으로 신장이나 골격이 작은 중국인들에게 적용하기에는 모순이 있다고 가정하여 들기 자세와 빈도수에 따른 최대수용중량 및 최대수용작업부하를 정신물리학적 측면으로 산정하여 기존 연구들에서 제시한 수용한계의 상한치보다 낮게 파악되었다. Ciriello(2005)는 여성 근로자를 대상으로 들기/내리기 작업의 최대수용중량을 정신물리학적 측면으로 분석하여 내리기 작업 시 거리, 초기 높이, 물체의 크기는 최대수용중량 변화에 유의하지 않게 파악되었으며, 들기 작업 시 크기가 큰 박스에 따른 최대수용중량 또한 유의하지 않았다. 윤훈용(2004)은 정신물리학적인 방법을 사용하여 작업빈도수와 비대칭 각도에 따른 들기 작업을 평가하여, 최대허용중량은 작업빈도수가 증가할수록, 허리의 비대칭 각도가 증가할수록 감소한다고 보고하였다. 또한 이와 비슷하게 윤훈용(2006)의 연구에서는 작업빈도수, 작업 각도, 들어 올리는 범위의 인자들을 고려하여 다양한 조건 하에서 들기 작업을 실시하여 최대허용중량, 심장 박동수, 산소 소모량, 주관적 불편도를 측정하였다. 이에 따라 최대허용중량은 빈도의 변화에 영향을 받으며, 빈도가 증가할수록 허용중량은 감소하는 것으로 파악되었다.

인간공학적 정밀 평가도구 중 들기 작업에 대한 적정한계중량을 제시하는 개정된 들기 작업 공식인 NLE(Revised NIOSH Lifting Equation)는 작업자가 양손으로 중량물을 취급할 때, 수평/수직 거리, 허리 비틀림 각도, 손잡이 등의 인자를 고려하여 해당 환경에서의 적절한 권장한계무게를 산출할 수 있으며, Snook's Table은 인력운반 작업에서 안전 한계값을 결정하는 방법으로서 들기/내리기, 밀기/당기기, 운반 작업에 대한 중량물 취급 지침을 제시하였다(Waters et al., 1993; Snook and Ciriello, 1991). 들기, 밀기, 당기기, 운반 등의 수동물자취급작업 관련 지침이 제시되어 있는 Mital et al.(1993)의 문헌은 성별을 고려하여 각 자세에 따른 거리, 중량, 물체 크기, 사용하는 손에 대하여 최대수용빈도 및 중량, 권장한계힘을 백분위수로 제시하였으며 또한 두 사람의 협동 들기 작업도 함께 고려한 최대수용중량까지 제시되어 있다.

이와 같이 양손을 기반으로 대칭적으로 이루어지는 작업에 대한 수동물자취급 관련 연구는 국내 · 외에서 활발하게 이루어지고 있지만 한손의 근력만을 사용한 들기 작업(김홍기 2007; Garg 1983; Forthergill et al., 1991)이나 한손 운반(Carrying) 작업에 대하여 연구된 사례(Mital and Manivasagan, 1983)는 상대적으로 미흡한 편이다. 실제 산업현장에서는 양손을 동시에 사용하는 대칭적인 작업을 수행하기보다는 한손만을 사용하여 다양한 작업을 수행하는 경우가 빈번하게 발생한다. 작업자들은 작업 시 다루어야 하는 물체의 중량이나, 작동해야 하는 기계의 모양, 작업의 효율성으로 인해 부득이하게 한손의 근력만을 이용하여 작업을 해야 하는 경우가 필요하게 된다(Marras and Davis, 1998). 따라서 양손을 사용하는 작업 자세 못지 않게 한손의 근력을 사용하는 작업 자세 또한 매우 중요하게 된다. 간혹 앞서 언급한 가이드라인을 한손 작업 평가를 위하여 양손 작업 지침의 1/2의 허용한계를 적용시켜 평가하는 경우가 있지만 이러한 적용 방식은 양손을 사용할 경우에는 한손으로 발휘할 수 있는 근력의 합보다 더 적은 힘이 발생될 수 있으므로 무리가 있다(Chaffin et al., 1983; Lee, 2004). 또한 한손과 양손 모두 사용하였을 경우를 비교하였을 때 허리의 사용, 왼손과 오른손의 근력 차이로 인한 오류가 발생할 수 있으며 운동학적으로 동작 범위와 속도 및 가속도가 양손과 한손 동작에 따른 차이가 발생하므로 이를 단순히 사용하는 손의 차이로 간주하면 무리가 따른다(Allread et al., 1996).

이는 현재 국내 기업들이 유해요인조사를 실시할 때와 한손 동작이 빈번히 발생하는 작업의 부하를 정량적으로 판단하고자 할 때 어려움을 겪는 요인이 되고 있다. 또한 기존의 연구들은 모두 한국인 체형이 아닌 외국인 체형을 기준으로 힘, 신장, 팔 등의 사이즈에 대하여 최대수용빈도/중량 등을 제시하므로 서양인에 비해 상대적으로 체구가 작은 한국인에게 적용하는데 무리가 따른다.

따라서 본 연구를 통하여 보조장치를 사용하지 않고 인간의 근력에 의존한 한손 수동물자취급을 중심으로 국내 · 외 관련 문헌들을 조사하여 실제 산업현장에서 발생하고 있는 한손 작업에 영향을 미치는 주요 인자들의 특성을 조사 및 분석하며, 한손 수동물자취급 관련 연구들의 흐름 및 동향을 파악하여 앞으로 진행되어야 할 연구의 방향을 제시하고자 한다. 본 연구를 토대로 한손 작업에 대한 정보를 체계적으로 구축하는 초석이 될 것이며, 나아가 산업현장에서 한국

인에게 적용 가능한 한손 작업 가이드라인 수립에 기초자료로 사용될 것으로 기대한다.

2. 한손 수동물자취급 관련 가이드라인

본 절은 한손만을 사용하여 이루어지는 작업에 대하여 한계중량이나 한계 빈도 등을 제시하고 있는 가이드라인에 대하여 국외 관련 문헌들을 조사 및 분석하여 한손 작업에 영향을 미치는 주요한 인자들을 파악하고, 추후 한국인을 고려한 한손 작업의 가이드라인 연구에 활용하고자 하였다.

2.1 Mital, 1985

Mital(1985)의 연구는 선행 연구로 수행된 3편의 한손 작업 관련 연구(Garg and Saxena, 1982; Mital and Asfour, 1983; Mital and Manivasagan, 1983)들의 결과를 통합 및 분석하여 과도한 피로(excessive fatigue)를 방지하기 위하여 생리적, 정신물리학적 측면으로 몇 가지 권고사항들을 제시하였으며 다음과 같다.

1) 지속적인 한손 들기 작업 시 심장 박동수는 분당 약 90회까지 수용 가능하다.
2) 지속적인 한손 운반 작업 시 심장 박동수는 분당 약 100회까지 수용 가능하다(양손 작업 동일).
3) 한손 작업 시 주관적 불편도(RPE scale)는 12(between "fairly light" and "somewhat hard") 정도가 도출됨이 적절하다.
4) 한손 작업 시 들기 빈도는 해당 작업자의 4분 동안 최대 수용빈도의 50%를 초과하는 것은 부적절하다.
5) 한손 들기 작업 시 피로를 유발시키지 않는 최대 중량으로서 4.5~5.5kg이 적절하다.
6) 91.5m 거리의 한손 운반 작업에서 남성의 경우 9.95kg, 여성의 경우 7.1kg을 초과하는 것은 부적절하다.

이와 같이 한손 수동물자취급에 대한 권고사항들은 3가지 선행 연구를 참고하였으며, 상대적으로 적은 인원의 청년층 피실험자를 대상으로 실험을 실시하여 도출된 결과이다. 따라서 이는 잠정적으로 제시한 것이며, 추후 다양한 연령대와 성별도 함께 고려한 다수의 피실험자를 바탕으로 검증이 필요할 것이라고 보고하였다.

2.2 Mital et al., 1993

Mital et al.(1993)의 문헌은 수동물자취급과 관련된 동작들을 총괄하여 고려되는 인자들, 들기/내리기, 밀기, 당기기 등의 권장한계중량 및 빈도, 여유율 산정, 보조도구 등의 내용을 소개하고 있다. 특히 한손으로 수행하는 동작도 고려하였으며, 성별에 따른 들기, 밀기, 당기기, 운반의 가이드라인을 제시하고 있다.

1) 한손 들기: 한손으로 중량물을 드는 경우 양손 중 더 강한손의 사용을 권고하였으며, 수평면을 기준으로 들기 작업의 최대수용빈도를 자세, 거리, 중량 인자에 따라 백분위수(90%, 75%, 50%, 25%, 10%)로 제시하였다. 거리와 중량이 증가할수록 최대수용빈도는 감소하며, 입식보다 좌식 자세의 수용빈도가 약간 낮았다. 또한 수직면을 기준으로 간헐적으로 발생하는 들기 작업 시, 남성은 9kg(입식), 8kg(좌식)을 초과하지 않고, 여성은 6kg을 초과하지 않을 것을 권장하였다.
2) 한손 밀기: 입식 자세에서 수평면을 기준으로 한손으로 발휘하는 밀기 힘은 성별에 따라 각각 16kg(남), 11kg(여)을 초과하지 않을 것을 권장하였으며, 반복적으로 수행할 경우 30% 감소할 것으로 권고하였다.
3) 한손 당기기: 입식 자세에서 한손으로 발휘하는 당기기 힘은 성별에 따라 각각 15kg(남), 10kg(여)을 초과하지 않을 것을 권장하였으며, 반복적으로 수행할 경우 마찬가지로 30% 감소할 것으로 권고하였다.
4) 한손 운반: 한손을 사용하여 중량물을 운반할 때 성별과 거리(30.48, 60.96, 91.44m)에 따른 권고중량을 백분위수로 제시하였으며, 빈번하게 수행할 경우 제시된 권고중량의 30%를 감소시킬 것으로 제안하였다. 백분위수 50%를 기준으로 거리가 증가할수록 권고중량은 낮아지며, 남성이 여성에 비해 약 2.5kg의 중량을 더 수용할 수 있다고 보고하였다.

2.3 Sesek et al., 2003

대칭적인 양손 들기 작업에 대하여 적정한계중량을 제시하는 들기 작업식인 NLE는 몇 가지 제한점이 있다. 들기 외 다른 수동물자취급인 밀기, 당기기, 운반 작업은 총 작업량의 10%를 초과하지 않으며, 최소한의 에너지 소비량을 요한다는 가정 하에 들기 작업만을 평가 가능하며 들기와 내리기 동작은 동일한 위험성으로 간주한다. 또한 가장 취약한 점으로 한손 들기 작업에는 적용하기 어렵다는 단점이 존재한다. 하지만 실제 산업현장에서는 양손 들기 작업 못지 않게 한손 들기 작업도 빈번하게 발생하고 있기 때문에

NLE로서 평가하기 위한 대안으로 최적의 조건(분당 0.2회 이하 빈도로 허리의 비틀림 없이 정면으로 들기 작업 시 수평거리 15cm, 수직 위치 75cm, 수직이동거리 25cm 이하, 손잡이 상태 양호)에서 들기지수에 사용되는 권장한계무게인 23kg을 11.5kg(23kg/2)으로 간주하여 평가하기도 한다.

Sesek et al.(2003)의 연구는 이러한 개념이 실제 작업자들의 요통 호소율과 관련하여 정확한 예측이 가능한지를 평가하였다. 각 작업에 대하여 들기지수(1.0, 3.0)를 변화시켜 왼손이나 오른손의 최대 들기지수, 최대 평균 들기지수 및 빈도 가중 평균을 고려하여 작업자의 요추 부위 관련 상해와의 교차비, 민감도, 특이도를 분석한 결과 들기지수가 1.0일 때 민감도(0.76)와 특이도(0.40)는 비슷하였으며 들기지수를 3.0으로 변경 시 약간의 차이점을 보여주었다, 이러한 결과를 토대로 Sesek et al.(2003)의 연구에서 제안한 Simplified NLE는 한손을 사용하거나 또는 비대칭적으로 발생하는 양손 들기 작업에 대하여 현장에서 사용하기 쉽고 빠르게 변경한 방법이다. 하지만 간략하게 사용하기 위하여 거리, 허리 비틀림, 손잡이 계수를 고려하지 않았기 때문에 세밀한 측정이 불가능하다는 단점이 존재한다.

3. 선행 연구

본 연구는 한손 작업을 고려하여 수동물자취급 관련 키워드로 OJOSE(Online Journal Search Engine)와 Journal Database Search Engine을 사용하여 총 33편의 국내 · 외 문헌들을 대상으로 빈번하게 고려되는 인자에 따라 분석하였다. 선행 연구에서 사용된 각 독립변수를 기준으로 분류한 후 분석하였으며, 양손을 고려하였지만 한손 동작도 추가된 연구도 모두 포함하였다. 1장의 서론 부분에서 언급한 양손 수동물자취급 관련 연구에서는 빈도, 중량, 거리, 손잡이 높이, 힘의 방향, 관절의 굽힘/비틀림 각도 등의 인자들이 주로 고려되었으며, 이러한 인자들은 마찬가지로 한손 수동물자취급을 평가하기 위하여 주요한 인자로 고려되곤 한다.

본 연구에서 분류된 한손 작업에 영향을 미치는 인자들은 총 10가지였으며, 이는 다음과 같다. 거리, 중량, 빈도 그리고 자세 등이 가장 빈번하게 고려되었으며, 이 외에도 성별, 연령, 훈련, 물체의 형상, 힘의 사용 방향, 근력 발휘 위치가 있었다.

일반적으로, 이러한 인자들을 바탕으로 수동물자취급을 파악하기 위하여 Mital et al.(1993)의 문헌에서는 역학적(epidemiological), 생체역학적(biomechanical), 정신물리학적(psychophysical), 생리학적(physiological) 접근법이 존재한다고 보고하였다. 하지만 한손 수동물자취급을 파악하기 위하여 사용된 접근법으로서 역학적 데이터를 분석한 연구는 검색하기 어려웠다. 따라서 본 연구에서 분석된 문헌에서는 생체역학적 척도로서 최대 모멘트 및 반력, 전단 응력 등의 종속변수들이 있었으며, 정신물리학적 접근 방법으로 결정되는 들기 및 운반 작업에서의 최대수용빈도, 중량, 거리, 최대수용작업부하, 설문에 근거한 주관적 불편도 등의 종속변수들이 있었다. 마지막으로 생리적인 척도로서 산소 소비량, 심장 박동수, 혈압 그리고 근육의 생리적 신호인 근전도가 있었다.

3.1 거리(distance)

양손 작업과 마찬가지로 한손 작업에서 해당 물체를 옮기는 거리가 증가함에 따라 일반적으로 생리적인 피로도가 일정하게 증가하며, 최대수용중량 및 빈도는 일정하게 감소하는 것으로 나타났다.

기존 선행 연구는 수평면을 기준으로 한손을 사용한 반복적인 들기 작업에 대하여 정신물리학적 측면으로 최대수용빈도를 파악하여, 가까운 이동거리(38.1cm)가 먼 이동거리(63.5cm)에 비해서 최대수용빈도가 더 높게 나타났으며(Garg and Saxena, 1982; Mital and Asfour, 1983), 동적으로 중량물을 드는 동작이 포함된 작업에 비해 정적으로 오직 버티기 동작만 취할 시, 약 26%의 근력을 더 발휘할 수 있었다(Garg et al., 2005). 또한 Garg(1983)의 연구에서는 한손 들기 작업 시, 이동거리 인자에 대하여 거리가 증가함에 따라 생리적 지수인 산소 소비량, 혈압, 심장 박동수도 함께 증가하는 것으로 분석되었다. 수평면을 기준으로 손을 뻗친 거리에 따른 등속성 당기기 힘을 파악한 연구에서는 거리가 증가함에 따라 당기기 근력도 유의하게 증가하는 것으로 나타났다(Mital and Faard, 1990). Mital and Manivasagan(1983)의 연구에서는 작업자가 고정된 한 자리가 아닌 한손을 사용하여 이동하는 운반 작업과 관련하여 남성 · 여성 모두 운반거리가 증가함에 따라 추정된 수용중량 및 실제 허용중량의 감소가 유의한 것으로 나타났다. MacKinnon and Vaughan(2005)은 정면에 부착된 손잡이와의 거리에 따른 한손 당기기 작업을 수행할 경우, 거리가 늘어남에 따라 허리의 관성력과 휨 모멘트가 증대되어 척추 부위 근육의 근활성도(%MVC)는 증가하는 반면 어깨 부위 근육의 근활성도는 감소하는 결과를 보여주었다. 이에 따라 발의 움직임이 제한된 경우 신장의 25% 거리가 당기기 근력의 최적화된 거리로 제안하였다.

3.2 중량(weight)

일반적으로 기존의 선행 연구들의 실험에서는 반복적인 한손 작업에서 다루는 물체의 중량이 증가함에 따라 생리적인 피로도, 주관적인 불편도 등이 함께 증가하며, 최대수용빈도는 감소하는 것으로 나타났다.

Cook et al.(1990)의 연구에서는 바닥면에 위치한 중량물 상자에 대하여 양손 및 한손을 이용한 들기 작업 시, 물체의 중량 변화에 따라 근전도(RMS)와 반력을 파악하여, 양손뿐만 아니라 한손을 사용할 때에도 중량의 증가에 대하여 척추 부위의 근전도 신호와 반력의 증가가 유의하게 파악되었다. Jäger et al.(1991)는 생체역학적 모델을 도입하여 한손 벽돌쌓기 작업에서 벽돌 무게(0, 5, 10kg) 변화에 따른 요추 L5/S1 부위의 모멘트와 전단/압축 응력을 비교하여 무게가 증가함에 따라 부하도 함께 증가하는 것으로 분석되었다. Allread et al.(1996)는 3.4, 6.8, 10.2kg 중량에 따른 요추 부위의 운동학적 데이터를 분석하여, 한손이 지지되지 않은 한손 들기 작업은 양손과 비교하여 상대적으로 동작 범위와 측면/회전 속도가 증가하여 더 높은 요통 유발 위험성이 존재한다고 보고하였다. Garg and Hegmann (2003)은 머리 위에서 짧은 주기의 한손 작업에 대하여 중량과 팔의 자세 변화에 따른 최대수용빈도를 결정하는 연구를 수행하여, 최대수용빈도는 자세보다 중량이 미치는 영향이 크며 작업장에서 사용하는 수공구의 중량을 1.81kg 이하로 제한할 것을 권장하였다. 이와 비슷한 작업을 고려한 Garg et al.(2006)은 자동차 공장의 조립라인에서 발생하는 부품 소재와 수공구를 함께 취급하는 조합 동작을 인용하여 중량의 변화에 따른 주관적 불편도, 피로도, 고통도를 분석하여, 각 종속변수에 대하여 적절한 수용 정도를 제안하였다.

또한 김홍기(2007)는 작업부하로서 중량에 따라 왼손, 오른손 그리고 양손을 사용한 경우 동적최대근력의 변화는 유의한 차이가 있었던 것으로 파악되었으며, 취급하는 중량물의 무게를 각 피실험자 최대악력의 25%, 30%, 50%로 설정한 연구에서는 25%와 50% 최대하 운반 작업에서는 남성과 여성 모두 심장 박동수에는 유의한 차이가 없었다. 하지만 30%에서는 여성보다 남성의 작업 지속시간이 유의하게 높았다(Kilbom et al., 1992).

Strasser et al.(1989) 연구에서는 반복적인 한손 작업 시 물체의 중량 증가에 따라 근긴장도가 증가하며 오직 근전도 신호의 동적 요소에 영향을 미친다고 하였다. 이와 비슷한 실험을 수행한 Strasser and Müller(1999)는 수평면을 기준으로 반복적인 한손 작업에서 중량과 방향 인자를 독립변수로 hand−arm−shoulder system을 고려한 팔의 8부위 근육의 근전도 데이터를 정적 및 동적 성분으로 분석하였다. 이 결과 일반적으로 외력은 근전도 신호에서 정적 성분에 결정적인 영향을 미치지 않지만 동적 성분에는 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 또한 가벼운 중량물인 1kg은 간혹 90°, 150° 방향에서 최대발휘근력의 30%까지 발휘하였으며, 이는 순수한 팔의 움직임만을 고려할 때 방향이라는 인자가 고려되어야 한다고 하였다.

3.3 빈도(frequency)

주기적으로 수행되는 작업에 대하여 "얼마나 자주 반복하는가?" 또는 작업량을 나타내기도 하는 작업빈도는 작업자가 수용 가능한 한계중량과 반비례적 관계로서 빈도가 높아질수록 수용 가능한 중량의 범위는 상대적으로 감소하게 된다. 또한 반복적인 한손 작업의 평가를 위한 실험에서 사용되는 작업빈도의 범위는 관련 문헌에 따라 약간씩 차이가 있었지만 실제 산업현장에서 적용되고 있는 작업 속도를 기준으로 분류(간헐적, 보통, 빠름)하기도 하였다.

윤훈용(1997)은 한손과 양손을 사용한 연속적인 운반 작업에서 일정하게 제시되는 빈도의 변화에 따라 정신물리학적으로 최대수용중량을 분석하여 선형회귀모형으로서 한계중량의 수용 능력 예측 모델을 연구한 바 있다. 이 연구에서는 간헐적으로 한 번 행하는 작업주기인 0.2회/min에서부터 보통 빈도인 1회/min와 매우 빈번하게 반복하는 6회/min까지의 빈도 범위를 사용하였으며, 빈도가 증가할수록 예측 모델에서의 최대수용중량은 감소하는 것으로 나타났다. 이와 동일한 빈도의 범위로 연구를 수행한 Yoon and Smith(1999)도 최대수용중량, 심장 박동수, 주관적 불편도, 작업시간을 측정하여 빈도가 증가할수록 최대수용중량은 감소하는 결과가 나타났다.

Garg(1983)의 연구에서는 실험 시작 전에 각 피실험자들의 한손 들기 작업의 최대빈도를 측정하여 실제 실험에서는 최대빈도의 33%, 50%에 해당하는 빈도 수준으로 결정하여, 산소 소비량과 심장 박동수, 혈압, 근전도, 주관적 불편도의 변화가 모두 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

Kothiyal and Kayis(2001)는 좌식 자세에서 수평 방향의 반복적인 한손 들기 작업에서 1, 2kg의 중량과 10, 20회/min의 빈도 변화에 따른 팔 부위 상완이두근, 상완삼두근, 전면삼각근, 중면삼각근, 후면삼각근의 근활성도(RMS)를 비교하여 중량의 변화에 비하여 상대적으로 빈도의 변화가 근육 긴장에 더 큰 영향을 미친다고 하였다. 이와는 다르게 Strasser et al.(1989)는 좌식 자세에서의 반복적인 한손 들기 작업에서 근활성도에 미치는 영향은 빈도보다 중량의 인자가 높게 나타났으며, 중량의 증가는 근전도 신호의 정적 요소에 크게 관여하여 등장성 근수축을 일으키는 주요한 원인이라고 파악하였다. 근활성도에 대하여 중량과 빈도의 영향이 상반된 결과로 분석된 원인은 두 연구에서 고려한 중

량과 빈도 인자들의 수준 차이 때문이라 예상된다.

3.4 자세(posture)

일반적으로 반복적인 한손 작업은 입식 자세와는 다르게 팔의 근력뿐만 아니라 부가적으로 허리와 다리의 근력을 함께 발휘할 수 있게 된다. 또한 어깨 및 허리의 각도 변화에 따라 작업자가 수용할 수 있는 한계 능력 및 근골격계 질환의 위험 노출 수준이 변화하게 된다. 작업장 레이아웃 설계 측면에서 좌식 자세가 입식 자세보다 심장 박동수를 포함한 생리적인 피로도는 적지만, 이는 좌식 자세가 입식 자세보다 더 높은 최대수용빈도를 가질 수 있다는 의미는 아닌 것으로 나타났다.

Chaffin et al.(1983)은 입식 자세에서 발의 위치에 따른 정적 당기기/밀기 근력은 양발이 대칭적으로 위치한 경우 밀기가 더 높은 근력을 발휘하지만 통계적으로 유의한 차이는 없었으며, 양발이 비대칭적으로 위치한 경우 남성의 경우만 통계적으로 유의하게 분석되었다. 앞서 보고한 Allread et al.(1996)의 연구에서는 허리의 0°, 45°, 90°, 135° 비대칭 각도에 따라 운동학적 데이터와 수평 모멘트를 기준으로 한손과 양손 들기 작업의 위험 노출을 확률적으로 표현하여, 비대칭 각도가 증가할수록 위험도도 증가하며 한손이 양손에 비해 위험도가 약간 높았다. 또한 운동학적 측면으로 MacKinnon(2001)은 입식 자세에서 발의 위치 및 손잡이 높이에 따른 자세에 대하여 한손 당기기 작업을 수행하여, 최대의 힘을 발휘하는 시간(%cycle)과 속도(m/s)는 자세의 변화에 따라 유의한 차이가 있다고 보고하였다. Garg and Hegmann(2003)은 어깨와 팔꿈치의 굽힘 각도에 따른 팔의 자세에 따른 여성 작업자의 최대수용빈도를 결정하는 연구를 수행하여 어깨 60°, 팔꿈치 90°의 자세에서 가장 높은 최대수용빈도를 나타냈다. 이와 비슷하게 Garg et al.(2005)의 연구에서도 다양한 팔의 자세에 따른 최대 발휘 근력의 차이를 분석하여, 어깨 90°, 팔꿈치 120°의 굽힘 자세에서 가장 낮은 근력을 발휘하므로 인간공학적 측면에서 가능한 이러한 자세는 지양할 것으로 제안하였다.

생체역학 측면으로 Kingma and Dieën(2004)은 양손 들기 작업과 한 팔이 지지된 한손 들기 작업을 수행하는 경우, 허리의 굽힘 각도는 감소하는 반면, 측면 굽힘과 비틀림 각도는 증가하였다. 이에 따라 지지된 한손 들기 작업은 척추부위(L5/S1)의 부하를 감소시켜 모멘트와 전단 응력, 압축 응력의 감소효과를 보여주었다. 또한 입식 자세에서 어깨 부위 상완와관절의 기하학적인 데이터와 관상면을 기준으로 어깨의 외전 각도(5°, 10°, …, 30°) 변화에 따른 정적 한손 당기기 근력 사이의 상관 관계를 파악한 연구에서는 25°의 외전 각도에서 가장 높은 당기기 근력을 발휘하였다(Gielo-Perczak, 2004).

3.5 성별(gender)

한손 수동물자취급작업에 대한 기존 연구들에서는 일반적으로 신체 특성상 남성이 여성보다 높은 근력을 발휘하는 결과를 보여주었다.

한손을 사용하여 일정한 속력(4km/h)으로 중량물을 운반하는 작업에서는 남성과 비교하여 여성의 심장 박동수 변화가 눈에 띄게 변화하지만, 혈압은 성별에 따라 큰 차이를 나타내지 않았다(Kilbom et al., 1992). Forthergill(1991)의 연구에서는 4사분면의 그래프를 사용하여 근력 발휘 방향과 손잡이에 따라 성별 간 각 방향에서의 최대발휘 힘의 차이를 분석하여, 1m 손잡이 높이에서는 당기기/누르기의 3사분면을 제외하고 대부분 근력 발휘 방향에서 여성보다 남성 피실험자가 높은 근력을 발휘하는 것으로 나타났다. 이와 마찬가지로 Mital and Manivasagan(1983)의 연구에서도 한손 운반 작업에서 평균적으로 남성 피실험자들의 수용운반중량은 약 9.95kg, 여성 피실험자들의 수용운반중량은 약 7.1kg이었으며, 남성이 여성보다 약 40% 가량의 중량물을 더 운반할 수 있는 능력으로 분석되기도 하였다. Garg et al.(1988)의 잔디깎기 기계 사용자의 동적 및 정적 당기기 근력의 차이를 분석하는 연구에서 성별간의 근력 차는 유의하게 분석되었으며, 평균적으로 여성의 당기기 근력은 남성이 발휘하는 근력의 약 61~63%를 발휘한다고 하였다. 이와 비슷하게 Bäckman et al.(1995)의 연구에서도 팔꿈치 굽힘, 무릎 폄, 어깨 외전 등의 등척성 근력을 측정하여 평균적으로 여성은 남성 근력의 약 70%를 발휘하는 것으로 파악되었다.

3.6 연령(age)

인간은 연령이 증가함에 다라 신체의 감각, 인지, 운동 등의 생체적인 기능들이 감퇴하게 되며, 근육의 노화로 인하여 근력도 함께 감소하게 된다. 이는 운동, 훈련 등으로 근력의 감퇴 속도를 보완할 수 있으나 일반적으로 연령의 증가에 따라 발휘할 수 있는 근력이나 수용 능력은 감소하게 된다.

Gall and Parkhouse(2004)의 연구는 전선공을 피실험자로 선정하여 청년, 중년, 노년 3가지 연령 그룹에 따른 들기/당기기 근력 및 악력 그리고 생리적인 신진대사량(VO_2 max)을 분석하였다. 당기기 근력에 대하여 청년층과 노년층 사이에 근력의 감소가 유의한 차이를 보였으며, 편안한 자세의 오른손 악력의 감소는 청년층과 비교하여 중년, 노년 그룹 모두 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 신진대

사량의 감소 또한 모든 그룹간의 유의한 차이가 있었다. Bäckman et al.(1995)의 연구에서도 17~70세의 연령 그룹에 따라 각 자세에 따른 등척성 근력을 분석하여 일반적으로 청년층이 노년층에 비하여 높은 근력을 발휘한다고 보고하였다. Garg et al.(1988)은 14세부터 71세 연령의 피실험자들을 대상으로 연령에 따라 동적 당기기 근력을 측정한 결과 그룹간의 당기기 근력은 유의한 차이가 있었으며, 21~34세의 그룹이 가장 높은 힘을, 14~20세의 그룹이 가장 낮은 힘을 발휘하였다.

3.7 훈련(training)

작업자가 일정한 동작을 수행함에 앞서 해당 동작을 수행한 경험의 유무에 따라 수용할 수 있는 빈도가 변화할 수 있다. 일반적으로 산업현장에서 해당 분야에서 오랜 기간 동안 작업을 진행해온 숙련공들은 경험적으로 습득한 작업의 노하우와 작업 시 빈번히 사용되는 근력의 강화로 인하여 초보 작업자보다 높은 수용한계를 나타내기도 한다.

Mital and Asfour(1983)의 실험에서는 반복적인 한손 들기 작업에서 훈련에 따른 최대수용빈도의 변화는 평균적으로 남성의 경우 7.23%, 여성의 경우 8.57%까지 증가하는 것으로 나타났으며 훈련으로 인한 최대수용빈도가 증가되는 범위는 남성과 여성이 일치하지는 않는 것으로 파악되었다.

3.8 근력 발휘 방향(direction of the force exerted)

근력의 발휘 방향은 산업현장에서 빈번히 발생하는 전후, 상하, 좌우 방향(XYZ) 총 6가지 방향에 대하여 3차원 공간에 따른 3축 방향이 모두 고려될 수 있다.

Wilkinson et al.(1995)은 입식 자세에서 정적인 한손 당기기 힘에 대하여 3축의 모든 방향을 고려하였으며, Warwick et al.(1980)의 연구에서는 수직 들기/내리기, 앞쪽 밀기, 뒤쪽 당기기, 우측 밀기, 좌측 밀기 총 6가지의 방향을 고려하여, 양손을 함께 사용할 때와 한손을 독립적으로 사용할 때 평균적으로 발휘할 수 있는 힘을 측정하였다. 이 결과 평균적으로 내리기 방향으로 발휘할 수 있는 최대 근력이 그 외의 5방향보다 다소 높은 힘을 발휘할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 다른 연구에서는 팔꿈치 높이에서는 위쪽으로 미는 정적 근력이 아래쪽으로 당기는 정적 근력보다 높았으며, 어깨 높이에서는 반대의 결과가 나타났다(Badi and Boushaala, 2008). 사용하는 손(한손, 양손)에 따른 정적 당기기/밀기 힘을 파악한 연구에서는 양손을 사용한 경우에 당기기/밀기 힘의 증가가 유의하게 분석되었으며, 당기기 힘에 비하여 밀기 힘의 증가가 매우 크게 발생한 것으로 분석되었다(Chaffin et al., 1983).

앞서 보고한 Kothiyal and Kayis(2001)의 연구에서는 중량 및 빈도와 함께 피실험자의 관상면을 기준으로 시점에 따른 어깨 관절의 내전 각도 변화에 따라 상완이두근, 상완삼두근, 전면삼각근, 중면삼각근, 후면삼각근의 근활성도(RMS)를 분석하여, 중량과 빈도에 상관없이 90°에서 가장 높은 근활성도가 나타난 반면 45°에서 가장 낮은 근활성도가 나타났다. 이에 따라 인간공학적인 좌식 작업대 설계 및 작업장 레이아웃에 적용할 수 있다고 하였다. 이와 유사한 실험을 수행한 연구에서는 반복적인 한손 작업에서 작업자 정면을 기준으로 어깨 내/외전 각도(10~250°)를 고려하여 팔 부위의 근전도 데이터와 주관적 불편도 평가를 기반으로 150°의 각도는 부적절하며, 이상적인 어깨의 내전 각도는 30°로 보고하였다(Strasser et al., 1989; Strasser and Müller, 1999). 하지만 Mital and Faard(1990)의 연구에서는 수평면을 기준으로 좌/입식 자세에 따른 팔을 뻗친 방향(어깨 내/외전 각도)에 다른 등속성 당기기 힘에 대하여 90°에서 두 자세 모두 가장 높은 힘을 발휘하며, 반대로 0°에서는 가장 낮은 힘을 발휘한다고 하였다.

3.9 근력 발휘 높이(height of the force exerted)

힘을 발생하는 초기 위치에 따라 최대로 발휘할 수 있는 근력의 변화가 발생하게 된다. 일반적으로 근력을 발휘하는 위치가 지면에서부터 멀어짐에 따라 몸 전체 자세가 기립하여 허리 및 하지로 발휘할 수 있는 근력의 사용이 제한되기 때문에 최대 및 평균 근력은 점차 감소된다. 또한 지면에서 가까운 높이일수록 허리 관절의 굽힘이 증대되어 요추 부위의 부하가 증가되는 것으로 보고되었다.

김홍기(2007)는 근력을 발휘하는 위치로서 손가락 관절 높이와 팔꿈치 높이에 따라 왼손/오른손, 양손의 최대 정적 근력을 비교하는 연구를 진행하였다. 이 결과 근력 발휘 위치에 따라 최대 정적 근력의 변화가 유의하게 나타났으며, 왼손과 오른손 간의 근력 차이는 유의하지 않게 나타났다. 이와 비슷하게 Lee (2004)의 연구에서는 지면으로부터 고정된 손잡이를 당겨 높이에 따른 정적 근력의 변화를 분석하였다. 이에 따라 근력을 발휘하는 위치가 지면에서부터 멀어짐에 따라 105cm까지는 양손 및 한손으로 발휘할 수 있는 최대 정적 근력이 감소하는 것으로 나타났다.

0.5, 1.0, 1.5m의 손잡이 높이에 따른 정적 당기기 근력의 차이를 분석하는 연구에서는 1.0m 높이의 손잡이에서 자신 체중의 43%에 달하는 가장 높은 힘을 발휘할 수 있는 것으로 보고되었다(Wilkinson et al., 1995). Chaffin et al.(1983)도 손잡이 높이에 의해 밀기와 당기기 힘은 남성의 경우 높이 증가에 따라 감소하는 유의한 차이가 있었으

며, 여성의 경우도 힘의 감소가 발생하지만 그 차이가 남성보다 적으며 통계적으로도 유의하지는 않게 분석되었다. Garg et al.(1988)는 잔디 깎기 기계의 시동 장치 위치에 따른 동적 한손 당기기 근력을 파악한 결과, 최대 동적 당기기 근력을 발휘하는 위치는 허리의 근력까지 함께 사용할 수 있는 위치인 기계 엔진에 손잡이가 위치한 경우였으며 반대로 왼쪽에 손잡이가 위치한 경우에는 최소의 근력을 발휘하였다. Jäger et al.(1991)은 한손 벽돌 들기 작업에서 지면으로부터 높이가 증가함에 따라 허리 관절의 굽힘 각도가 감소하여 요추 부위의 압축 응력이 감소하였다. 또한 Badi and Boushaala(2008)의 연구에서는 수직 방향 밀기의 경우 약 8~21%, 당기기의 경우 약 42% 근력이 팔꿈치 높이보다 어깨 높이에서 더 높은 정적 근력을 발휘할 수 있다고 보고되었다.

3.10 물체의 형상 및 크기(object shape and size)

실제 산업현장의 수동물자취급 시 사용되는 물체의 형상은 원기둥, 직사각형, 작은 오각형 모양 등 매우 다양한 모양들이 사용되고 있다. 인간공학적으로 물체 모서리 부분을 둥글게 처리하여 접촉스트레스를 줄이는 것으로서 작업자들이 느끼는 부하를 감소시킬 수 있으며, 작업자들이 다루는 물체의 부피가 증가함에 따라 중량의 증가가 발생하는 것은 아니지만 수동물자취급 시, 물체의 크기로 인해 동작에 제약이 발생할 수 있으므로 심리적인 요인도 함께 작용하여 작업자가 느끼는 부하가 증가될 수 있다.

플라스틱 양동이, 양철 양동이, 직사각형 모양 및 크기를 고려하여 한손 운반 작업 시 수용중량 및 주관적인 불편도를 분석한 연구에서는 남성과 여성 모두 물체의 모양과 크기가 증가할수록 수용 가능한 중량은 유의하게 감소하였으며, 몸 전체 주관적인 불편도는 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었지만 팔만의 주관적인 불편도는 물체의 크기가 증가함에 따라 불편도도 증가하는 것으로 파악되었다(Mital and Manivasagan, 1983).

4. 토 의

본 연구는 한손 수동물자취급을 고려하여 한손 작업에 대하여 한계 중량이나 한계 빈도 등을 제시하고 있는 가이드라인과 함께 한손 사용을 고려하여 수행된 선행 연구들을 인자에 따라 분류하여 분석하였다.

기존 연구에서 한손 수동물자취급에 대하여 권고한 사항들은 중량물을 취급할 때는 가급적이면 주로 사용하는 강한 손을 사용해야 하며 작업자의 피로를 유발시키지 않기 위한 적정 들기중량은 4.5~5.5kg이다. 또한 남성이 여성에 비하여 상대적으로 권고중량이 약간 높았으며, 반복적인 동작일 경우 30% 감소할 것으로 권장하였다.

현재까지 제시되거나 수행된 선행 연구들을 살펴본 결과, 한손 수동물자취급에 영향을 미치는 인자들은 거리, 중량, 빈도, 자세, 성별, 연령, 훈련, 근력 발휘 방향, 근력 발휘 높이, 물체의 형상 및 크기로서 총 10가지의 인자들이 있었으며, 해당 인자들은 한손 작업에 대하여 제시하는 가이드라인에서 고려되는 인자들과도 상응하였다.

거리, 중량, 빈도의 인자들을 한손 수동물자취급에서 주위험 요소로 다룬 연구들이 많았다. 예상하였듯이 인자들의 수준이 증가할수록 작업자의 생리적인 피로도와 주관적 불편도는 증가하였으며, 최대수용한계 능력은 감소하는 것으로 파악되었다. 이 외에 고려된 인자들 중 자세는 작업의 형태나, 취급하는 물건의 위치, 작업장 레이아웃 등에 의해 영향을 받는 인자로서 주로 입/좌식의 작업부하 차이, 허리, 어깨, 팔의 굽힘 및 비틀림 각도에 따른 운동학적 데이터(속도, 가속도)를 분석하여, 좌식 자세가 생리적인 피로도는 적지만 더 높은 수용빈도를 의미하지 않는 것으로 보고되었다. 또한 성별에 따라서는 일반적으로 신체특성상 남성이 여성보다 높은 근력을 발휘하여 최대수용중량 및 빈도가 높은 것으로 나타났으며, 훈련으로 인해 수용한계가 증가되는 범위는 남성이 여성보다 약간 높은 효과를 보여주었다. 연령이 증가할수록 생리적 대사량과 발휘하는 근력은 감소하는 것으로 나타났으며 주로 20대 이상의 청년층이 가장 높은 힘을 발휘하는 것으로 파악되었다. 반복적인 한손 들기 작업은 훈련으로 인해 작업자의 최대수용빈도가 높아질 수 있는 것으로 파악되었지만, 일정한 범위까지는 훈련의 효과가 있는 것으로 나타났다. 근력을 발휘하는 방향은 3차원 공간의 모든 방향이 고려될 수 있으며 중력의 영향으로 수직 내리기 방향의 근력이 다소 높은 힘을 발휘하는 것으로 파악되었다. 또한 작업자의 횡단면을 기준으로 어깨의 내전 각도는 약 30~45°가 이상적이며, 90°에서 가장 높은 당기기 힘을 발휘할 수 있었다. 일반적으로 근력을 발휘하는 높이가 지면에서부터 증가함에 따라 몸 전체의 자세가 기립하여 발휘할 수 있는 정적 수직 당기기 근력은 점차 감소하며 1m의 높이에서 가장 높은 수평 당기기 근력을 발휘할 수 있었다. 작업자들이 다루는 물체의 모양과 크기가 증가할수록 수용 가능한 중량은 감소하였으며 팔의 주관적 불편도도 증가하는 것으로 파악되었다.

추가적으로 본 연구에서 분류한 인자 외에도 일반적으로 수동물자취급에서 작업자에게 영향을 끼칠 수 있는 인자로서 인체측정학 치수, 육체적 조건, 정적/동적 움직임, 손잡이 상태, 온도, 작업 환경, 보호장구, 작업시간 등의 인자들

이 고려되기도 하지만, 본 연구에서는 한손 수동물자취급 관련 선행 연구들을 기준으로 분석하여 따로 포함하지 않았다.

본 연구를 통하여 현재까지 수행된 국내 · 외 한손 수동물자취급 관련 선행 연구들이 제시한 권고사항과 주요한 인자들을 분석할 수 있었으며 수행된 연구의 동향을 파악할 수 있었다. 한손 수동물자취급 관련 연구들은 양손과 비교하여 현재까지 상대적으로 소수의 연구들만이 진행되어 온 실정이며 연구의 규모도 크지 않아 양손을 주 요소로서 부가적으로 한손도 고려하는 제한적인 연구들만이 진행되어 왔다. 이는 인간의 좌우 대칭적인 신체 특성상 상대적으로 대칭적인 양손 동작과 비교하여 비대칭적인 한손 동작은 신체의 균형이 일정하지 않아 기저면의 불규칙한 변화로 인하여 생체역학적으로 각 관절에서 발생되는 모멘트, 반력, 우력, 응력 등의 변화가 수시로 발생하기 때문에 예측하는데 무리가 따르기 때문인 것으로 여겨진다. 또한 상식적으로 한손 보다는 양손을 사용하여 물체를 취급하는 방식이 높은 근력을 발휘할 수 있으므로 상대적으로 한손 수동물자취급 관련 연구가 미흡한 것으로 여겨진다.

본 연구에서 분석한 Mital et al.(1993)의 문헌에서 한손 수동물자취급의 가이드라인 및 몇 가지 권고사항들이 제시되어 있다. 하지만 이는 문헌에 자세히 기술되지는 않았지만 아마도 90년대 초반까지의 한손 작업을 포함한 수동물자취급 관련 선행 연구들을 바탕으로 작성된 것으로 여겨지며, 이 당시 대부분의 연구들은 하루 8시간을 기준으로 해당 조건의 작업을 수행한다는 가정하에 수용한계 능력을 측정하는 정신물리학적 데이터와 주관적 불편도를 기반으로 수행된 연구들이다. 이러한 데이터는 작업자가 정성적으로 느끼는 주관적인 요소와 작업자 개개인의 심리적인 상태에 따라 크게 좌우되는 요소로서 정량적이며 객관적인 데이터와 비교하여 신뢰성이 다소 떨어지게 된다. 실제로 이러한 문제점과 관련하여 수행된 Mital(1983)의 연구에서는 정신물리학적인 접근법으로 최대수용한계를 평가하는 방법은 8시간을 기준으로 평가하는 방법보다 과대 평가된다고 보고하였다.

최근에 한손 수동물자취급 관련 연구들은 정신물리학적 방법과 함께 생체역학적으로도 접근하여 팔꿈치, 어깨, 허리의 굴곡/신전, 내전/외전, 비틀림 각도에 따른 발휘 근력 및 모멘트를 분석한 연구가 이루어졌다. 이는 과거 수행된 정신물리학적 방법과 비교하여 상대적으로 객관적인 운동학적 데이터의 산출이 가능하지만 일정한 가이드라인을 권고하기에는 개인 편차 및 신체의 내 · 외부적 요소에 의한 편차가 크게 작용하기 때문에 어려움이 따르게 된다.

따라서 추후에는 정신물리학 척도뿐만 아니라 생체역학적 척도도 함께 적절히 조합하여 본 연구에서 제시한 한손 수동물자취급에 영향을 미치는 인자들을 함께 고려하여 한손 동작에 대하여 좀 더 다양한 연구가 이루어져야 할 것이며, 추가적으로 Garg et al.(2006)과 같이 다양한 주관적 종속변수와 근전도 신호도 함께 고려하여 근육의 국부 피로도 및 에너지 분석을 반영하는 한손 동작의 연구도 필요할 것이다.

현재 작업장에서 한손 물자취급에 대하여 여러 가지 위험요소가 존재하지만 추후 직업성 근골격계 질환 방지를 위한 가이드라인을 제시할 때 실제 산업현장이나 기업에서 누구나 사용하기 쉽고 편리한 방법을 제시해야 하기 때문에 한손 작업에 영향을 미치는 다양한 인자들 중 가장 중요한 인자들을 타당하게 선별하여 주요한 인자들만을 고려한 집중적인 연구를 진행해야 할 것이다. 이러한 주요 인자들로서 과거의 Kumar(1994)와 Tanaka et al.(1993)의 개념적 안전한계 모델이 아닌 정량적이며 객관적인 피로도 및 작업부하를 바탕으로 허용한계 모델을 제시하는 연구를 진행해야 할 것이다. 이는 국내의 기업들이 유해요인조사를 실시할 때 겪는 어려움을 해결할 수 있으며 매년 증가되고 있는 근골격계 질환자들을 감소시킬 수 있을 것으로 예상한다.

나아가 본 연구에서 진행한 문헌 조사를 바탕으로 한손 수동물자취급 연구가 활발하게 진행되기를 기대하며 다양한 연구로 인한 체계적인 정보 축적으로 신뢰성 높은 데이터베이스를 구축하여 한국인에게 적용 가능한 한손을 사용한 수동물자취급에 특화된 가이드라인 개발에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

참고 문헌

김홍기, 한손 들기 작업과 양 손 들기 작업의 근력 능력 비교 연구, *대한인간공학회지*, 26(2), 35-44, 2007.

노동부, 산업재해현황분석, 노동부, 2008.

윤훈용, 대칭과 비대칭 들기 작업에서의 인체심리학적 연구, *한국산업위생학회지*, 14(1), 33-40, 2004.

윤훈용, 여러 가지 들기 작업에서의 인체심리학적 · 생리학적 연구, *대한인간공학회지*, 25(2), 11-21, 2006.

윤훈용, 한손 연속 작업의 심리육체학적 모델링, *대한인간공학회 학술대회논문집*, 1, 95-99, 1997.

Allread, W. G., Marras, W. S. and Parnianpour, M., Trunk kinematics of one-handed lifting, and the effects of asymmetry and load weight, *Ergonomics*, 39(2), 322-334, 1996.

Ayoub, M. M. and McDaniel J. W., Effects of operator stance on pushing and pulling tasks, *American Institute of Industrial Engineering Transactions*, 6(3), 185-195, 1974.

Bäckman, E., Johansson, V., Häger, B., Sjöblom, P. and Henriksson, K. G., Isometric muscle strength and muscular endurance in normal persons aged between 17 and 70 years, *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 27(2), 109-117, 1995.

Badi, T. H. and Boushaala, A. A., Effect of one-handed pushing and pulling

strength at different handle heights in vertical direction, *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, 30, 1042-1045, 2008.

Chaffin, D. B., Andres, R. O. and Garg, A., Volitional postures during maximal push/pull exertions in the sagittal plane, *Human Factors*, 25(5), 541-550, 1983.

Chaffin, D. B., Computerized biomechanical models for high exertion manual jobs, *Proceedings of The 3rd Pan Pacific Conference on Occupational Ergonomics*, 1-15, 1994.

Ciriello, V. M., The effects of box size, vertical distance, and height on lowering tasks for female industrial workers, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(9), 857-863, 2005.

Cook, T. M., Mann, S. and Lovested, G. E., Dynamic comparison of the two-hand stoop and assisted one-hand lift methods, *Journal of Safety Research*, 21(2), 53-59, 1990.

Forthergill, D. M., Grieve, D. W. and Pheasant, S. T., Human strength capabilities during maximum voluntary exertions in the fore and aft plane, *Ergonomics*, 34(5), 563-573, 1991.

Gall, B. and Parkhous, W., Changes in physical capacity as a function of age in heavy manual work, *Ergonomics*, 47(6), 671-687, 2004.

Garg, A. and Hegmann, K. T., Maximum acceptable frequencies for females performing one handed short-cycle overhead work, *In: Proceedings of the XVth triennial Congress of the International Ergonomics Association and the Seventh Joint Conference of Ergonomics Society of Korea/Japan Ergonomics Society*, 1-4, 2003.

Garg, A. and Saxena, U., Maximum frequency acceptable to female workers for one-handed lifts in the horizontal plane, *Ergonomics*, 25(9), 839-853, 1982.

Garg, A., Funke, S. and Janisch, D., One-handed dynamic pulling strength with special application to lawn mowers, *Ergonomics*, 31(8), 1139 -1153, 1988.

Garg, A., Hegmann, K. T. and Kapellusch, J., Maximum one-handed shoulder strength for overhead work as a function of shoulder posture in females, *Occupational Ergonomics*, 5(3), 131-140, 2005.

Garg, A., Hegmann, K. T. and Kapellusch, J., Short-cycle overhead work and shoulder girdle muscle fatigue, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36(6), 581-597, 2006.

Garg, A., Physiological responses to one-handed lift in the horizontal plane by female workers, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 44(3), 190-200, 1983.

Gielo-Perczak, K., Maximum one-handed pull force and its relation to shoulder geometry, *Occupational Ergonomics*, 4(3), 149-155, 2004.

Jäger, M., Luttmann, A. and Laurig, W., Lumbar load during one-handed bricklaying, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 8(3), 261-277, 1991.

Kilbom, Å., Hägg, G. M. and Käll, C., One-handed load carrying - cardiovascular, muscular and subjective indices of endurance and fatigue, *European Journal of Applied Physiology*, 65(1), 52-58, 1992.

Kingma, I. and van Dieën, J. H., Lifting over an obstacle: effects of one-handed lifting and hand support on trunk kinematics and low back loading, *Journal of Biomechanics*, 37(2), 249-255, 2004.

Kothiyal, K. and Kayis, B., Workplace layout seated manual handling tasks: an electromyography study, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 27(1), 19-32, 2001.

Kumar, S., A conceptual model of overexertion, safety, and risk of injury in occupational settings, *Human Factors*, 36(2), 197-209, 1994.

Leamon, T. and Murphy, P. L., Ergonomics losses in the workplace: their reality, *Advances in Industrial Ergonomics and Safety VI*, 1(5), 81-89, 1994.

Lee, T. H., Static lifting strengths at different exertion heights, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 34(4), 263-269, 2004.

MacKinnon, S. N. and Vaughan, C. L., Effect of the reach distance on the execution of one-handed submaximal pull forces, *Occupational Ergonomics*, 5(3), 161-172, 2005.

MacKinnon, S. N., Magnitudes and temporal sequencing of load kinematics and kinetics for single-handed pulls, *Journal of the Ergonomics Society of South Africa*, 13(1), 25-32, 2001.

Marras, W. S. and Davis, D. G., Spine loading during asymmetric lifting using one versus two hands, *Ergonomics*, 41(6), 817-834, 1998.

Mital, A. and Asfour, S. S., Maximum frequencies acceptable to males for one-handed horizontal lifting in the sagittal plane, *Human Factors*, 25(5), 563-571, 1983.

Mital, A. and Faard, H. F., Effects of sitting and standing, reach distance, and arm orientation on isokinetic pull strengths in the horizontal plane, *Industrial Journal of Industrial Ergonomics*, 6(3), 241-248, 1990.

Mital, A. and Manivasagan, I., Subjective estimates of one-handed carrying tasks, *Applied Ergonomics*, 14(4), 265-269, 1983.

Mital, A., Nicholson, A. D. and Ayoub, M. M., *A guide to manual materials handling*, Taylor & Francis, 1993.

Mital, A., Preliminary guidelines for designing one-handed material handling tasks, *Journal of Occupational Accidents*, 7(1), 33-40, 1985.

Mital, A., The psychophysical approach in manual lifting - a verification study, *Human Factors*, 25(5), 485-491, 1983.

Murphy, P. L. and Courtney T. K., Low back pain disability: relative costs by antecedent and industry group, *American Journal of Industrial Medicine*, 37(5), 558-571, 1996.

Sesek, R., Gilkey, D., Drinkaus, P., Blowick, D. S. and Herron, R., Evaluation and quantification of manual material handling risk factors, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 9(3), 271-287, 2003.

Snook, S. H. and Ciriello, V. M., The design of manual handling tasks: revised of maximum acceptable weights and forces, *Ergonomics*, 34(9), 1197-1213, 1991.

Strasser, H., Keller, E., Müller, K. W. and Ernst, J., Local muscular strain dependent on the direction of horizontal arm movements, *Ergonomics*, 32(7), 899-910, 1989.

Strasser, H. and Müller, K. W., Favorable movements of the hand-arm system in the horizontal plane assessed by electromyographic investigations and subjective rating, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 23(4), 339-347, 1999.

Tanaka, S. and McGlothlin, J. D., A conceptual quantitative model for prevention of work-related carpal tunnel syndrome(CTS), *International Journal of Industrial Ergonomics*, 11(3), 181-193, 1993.

Warwick, D., Novak, G. and Schultz, A., Maximum voluntary strengths of male adults in some lifting, pushing and pulling activities, *Ergonomics*, 23(1), 49-54, 1980.

Waters, T. R., Putz-Anderson, V., Garg, A. and Fine, L. J., Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks, *Ergonomic*s, 36(7), 749-776, 1993.

Wilkinson, A. T., Pinder, A. D. J. and Grieve, D. W., Relationships between one-handed force exertions in all directions and their associated postures, *Clinical Biomechanics*, 10(1), 21-28, 1995.

Yates, J. W., Kamon, E., Rodgers, S. H. and Champney, P. C., Static lifting strength and maximal isometric voluntary contractions of back, arm and shoulder muscles, *Ergonomics*, 23(1), 37-47, 1980.

Yoon, H. and Smith, J. L., Psychophysical and physiological study of one-handed and two-handed combined tasks, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24(1), 49-60, 1999.

Zhu, Z. and Zhang, Z., Maximum acceptable repetitive lifting workload by Chinese subjects, *Ergonomics*, 33(7), 875-884, 1990.

저자 소개

모 승 민 msmergo@ajou.ac.kr
아주대학교 산업공학과 석사
현 재: 아주대학교 산업공학과 박사과정
관심분야: 인간공학, 작업설계, 수동물자취급, 근전도

곽 종 선 jskwag@enterpriz.net
한양대학교 산업공학과 석사
현 재: 아주대학교 산업공학과 박사과정
관심분야: 생체신호처리, 작업설계, 인간공학, 제품 개발

정 명 철 mcjung@ajou.ac.kr
펜실베니아주립대학교 산업공학과 박사
현 재: 아주대학교 산업정보시스템공학부 부교수
관심분야: 작업설계, 인간공학, 제품개발

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2010년 01월 26일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2010년 06월 15일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2010년 06월 16일