

음료 운반 등짐 작업의 생리적 작업부하 평가

정민근¹ · 이유정² · 이인석¹

¹포항공과대학교 산업공학과 / ²포항공과대학교 환경공학부

Physiological workload evaluation for the backpack carrying tasks of the soft drink beverage delivery job

Min-Keun Chung¹ · Yuejung Lee² · In-Seok Lee¹

The soft drink deliveries are made for a broad line of soft drink products by using a hand truck and the backpack mode of carriage. The workers usually deliver the beverages by backpack mode of carriage, because they feel safe with such a carrying method in stairways. In this study, the physiological workload of backpack carrying was investigated, especially focused on the effects of weight of load and carrying by the stairway. A laboratory experiment was conducted to measure heart rate and oxygen uptake during backpack carrying tasks, and an ergonomic guideline was proposed for such type of task based on the results of the experiment. Eight healthy male subjects performed the backpack carrying of 40 kg and 60 kg, (1) on the level ground, (2) upstairs and (3) downstairs. The result showed that the stairways caused the increased physiological cost, and that a carrying load of 60 kg required significantly higher physiological cost as compared to carrying 40 kg. Although backpack carrying has some advantages in the biomechanical aspect, it should be advised to carry a load of less than 40 kg, since the task requires a very high physiological cost. During backpack carrying, it is also recommended for a delivery person to make more trips with a light load rather than to make less trips with a heavier load at one trip.

1. 서론

음료 산업은 식품 산업 중 매출액 규모 면에서 매우 큰 비중을 차지하는 산업이다. 1997년 한해 동안에 우리 나라에서 소비된 음료 제품은 (주류 제품을 포함하여) 65억 리터이며, 이는 국민 1인당 한해 동안 약 163 리터의 음료를 소비한 것에 해당하는 양이다(통계청, 1998). 음료 운반 작업은 생산된 음료 제품들도 · 소매 상점으로 운송 및 운반하는 작업으로 대부분 인력에 의해 작업이 이루어지고 있다. 1997년 음료 운반업 종사자는 약 20,000 명으로, 운반 작업자 1인당 1년에 약 326,000 리터의 음료 제품을 운반한 셈이며, 이는 1인당 1일 평균 약 1,086 리터 (약 1,100 kg)에 이르는 양이다. 음료 산업은 계절에 따라 생산량이 크게 영향을 받는 대표적인 산업으로, 1997년 한해 동안 생산된 전체 음료 제품 중 약 38%가 5월 ~ 8월에 소비된 것으로 나타나고 있다. 따라서, 음료 소비량이 급격히 증가하는 여름철에는 운반 작업자 1인당 취급해야 하는 작업량이 상대적

으로 더 늘어나 1일 평균 1,200 kg 이상일 것으로 추정되고 있다.

음료 운반 작업은 전형적인 인력운반(manual materials handling, MMH) 작업으로 들기, 내리기, 밀기, 당기기, 나르기 등 모든 형태의 인력작업이 나타난다. 운송트럭에서 음료 상자를 내리는 과정에서 들기, 내리기 작업이 필요하며, 손수레에 상자를 담아 운반하는 과정에서는 밀기, 당기기 작업이 필요하다. 그리고, 손수레를 이용하기 어려운 경우에는 음료 상자를 몸 앞쪽으로 들거나 등짐을 진 채로 나르는 작업을 하게 된다. 많은 선행 연구에 의하면 그러한 작업을 수행하는 작업자들은 요통(back pain), 염좌(strain/sprain) 등의 직업성 근골격계 질환 유발의 위험이 매우 높다(Ayoub and Mital, 1989). 또한, 음료 운반 및 창고의 수하물 취급 작업자들에게 직업성 요통이 유발될 위험이 상대적으로 높은 것으로 보고되고 있으며(Ljungberg *et al.*, 1989; Wright and Haslam, 1999), 미국의 경우에 음료 산업의 재해율과 발병율이 다른 산업에 비해서 매우 높은 것으로 보고되고 있다(Bureau of Labor Statistics, 1995; NIOSH, 1996).

우리 나라의 음료 운반 작업자들은 종종 음료 상자를 등에

그림 1. 음료 운반 작업에서 등짐 작업의 예.

지는 방식으로 운반작업을 수행하고 있다. <그림 1>은 이러한 작업 방법의 한 예로, 작업자들은 별도의 등짐용 운반 도구 없이 몸을 앞으로 약간 굽혀 등으로 음료 상자를 받치고 양손으로 지지한 채 운반한다. 이 방법은 무겁고 부피가 큰 음료 상자를 손수레와 같은 별도의 도구 없이도 상대적으로 쉽게 운반할 수 있기 때문에 운반 작업자들에게 선호되는 것으로 보인다. 특히, 우리 나라에서는 많은 도·소매상이 지하나 2층 이상에 위치하고 있어서 운반 작업자들이 계단을 통과해 음료를 운반해야 하는 경우가 많으며, 길이 좁아서 손수레를 이용하기가 부적절한 곳도 많기 때문에 작업자들이 어쩔 수 없이 등짐 운반 방법을 이용하는 경우도 빈번하다. 등짐 운반 방법은 또한 계단이나 좁은 길에서 작업자의 시야를 방해하지 않기 때문에 유리한 면도 있다.

운반 작업은 물건을 드는 방식에 따라 몸 앞으로 들어 운반하기, 등짐 지기, 어깨에 매고 나르기, 몸의 좌우 측면으로 들어 나르기 등 다양하다. 기존의 여러 연구에서는 등짐 형태의 운반 방법을 포함한 다양한 운반 방법들을 생리학적 혹은 인체역학적 부하 측면에서 비교하고 있다(Legg and Mahanty, 1985; Cook and Neumann, 1987; Legg et al., 1992). Cook과 Neumann (1987)은 등짐 형태의 운반이 몸 앞이나 측면으로 하중을 들고 운반하는 것보다 요추 부위의 근육 동원이 적다는 것을 보이고 있다. Legg 등(1992)은 어깨에 짐을 지고 가는 것보다 등짐을 지는 경우에 심박수나 산소소비량이 더 낮은 것을 보이고 있다. 정민근 등(1998)은 60 kg의 하중을 등에 지고 있을 때 요추의 L5/S1 디스크 압력을 예측하였는데, 압력이 NIOSH의 Action Limit인 3,400 N 보다 낮은 것으로 보고하고 있다(Waters et al., 1993). 이들 연구에 의하면 등짐 운반은 다른 형태의 운반 방법보다 생리학적 혹은 인체역학적으로 유리한 점을 가지고 있다고 할 수 있다.

또한 등짐 운반 방법은 Legg와 Mahanty (1985)가 제시하고 있는 운반 방법에 대한 안전 지침에 의하면 적절한 운반 작업 방법이라 할 수 있다. Legg와 Mahanty는 운반 작업시에 하중을 가능한 한 몸의 무게 중심에 가깝게 해서 안정성과 효율성을 높

이도록 제안하고 있다. 특히, 하중을 신체 일부의 소근육군에 의지해 운반하기보다는 대근육군을 최적화 동원하여 하중을 지지해 운반하는 것이 바람직하다고 제안하고 있다. 등과 팔을 이용해 하중을 몸의 무게 중심에 가까이 하고 안정성을 높인 등짐 작업 방법은 이러한 지침에 근거해서도 적절한 작업 방법이라 할 수 있다.

그러나, 이들 기존 연구의 결과를 그대로 적용해 우리 나라의 음료 운반 등짐 작업자들에게 작업 지침을 제안하기에는 몇 가지 고려해야 할 사항이 있다. 첫째, 많은 연구들이 등짐 방법과 다른 운반 방법간의 부하를 비교하고자 하는 목적에서 이루어졌기 때문에 하중의 차이에 따른 영향은 별로 고려되지 않았다. 따라서, 대부분의 연구 결과가 우리 나라의 음료 운반 작업자들의 1회 운반 작업 하중보다 가벼운 하중을 대상으로 한 실험 연구에 기반하고 있다. 우리 나라의 음료 운반 작업자들은 등짐 운반 작업시 1회 평균 53.4 kg의 하중을 지고 나르는 것으로 나타나고 있다(정민근 등, 1998). 그러나, Cook과 Neumann(1987)의 연구에서는 피실험자 체중의 10%와 20%를 등짐 운반의 하중으로 이용하였으며, Legg 등(1992)은 26 kg의 하중을 대상으로 하였다.

둘째, 기존의 연구에서는 평지에서서의 운반에만 초점을 맞추고 있으며, 계단에서의 등짐 작업에 대한 생리적 부하에 대한 연구는 부족하다. 운반 작업방법을 비교한 연구들이 모두 평지 혹은 5% 이내의 낮은 경사에서의 운반을 대상으로 하고 있다(Legg and Mahanty, 1985; Cook and Neumann, 1987; Legg et al., 1992). 그러나, 우리 나라의 음료 운반 작업에서는 등짐 운반 작업을 해야 하는 많은 경우가 계단을 통한 운반을 수반하고 있다.

셋째, 기존 연구에서의 등짐 운반은 이 연구에서 초점을 두고 있는 우리 나라의 음료 운반 작업에서의 등짐 운반과 다른 점이 있다. 이들 연구에서의 등짐 운반은 하중을 배낭(backpack)과 같은 운반 도구에 담아 어깨에 매고 운반하는 것을 의미하며, 경우에 따라서는 별도의 지지대 혹은 틀(frame)이 이용된 경우도 있다. 따라서, 이 경우에는 팔을 이용하여 하중을 지지하지 않고 운반 작업을 수행하게 된다. 그러나, 이 연구에서 대상으로 하고 있는 우리 나라 음료 운반 작업에서의 등짐 운반은 <그림 1>과 같이 배낭이나 지지대를 이용하지 않고 등과 팔만으로 음료 상자를 지지해 운반하는 것을 의미한다. 이러한 방법은 배낭이나 지지대를 이용하는 방법에 비해 생리학적 부하량과 인체역학적 부하량이 다를 것으로 추정된다. 음료 운반 작업자들이 작업하는 동안에 심박수를 측정된 결과에 의하면 등짐 운반시 평균 심박수는 138 bpm으로 생리학적 부하가 큰 것으로 보고되고 있다(정민근 등, 1998).

기존의 연구 결과를 바탕으로 하면 전술한 바와 같이 배낭이나 지지대를 이용하여 하중을 등에 지는 것이 생리학적 및 인체역학적으로 유리한 운반 방법이라 할 수 있다. 그러나 우리 나라의 음료 운반 작업자들은 별도의 도구를 사용하지 않은 채 등과 팔만으로 중량물을 지지해 계단으로 운반 작업을 빈번히 수행하고 있다. 이러한 작업 방법 및 작업 환경은 등짐

운반 작업의 작업부하를 증가시키는 요인으로 작용할 수 있을 것으로 예측되며, 결과적으로 음료 운반 작업자들에게 직업성 근골격계 질환이 발생할 가능성을 높게 된다. 따라서, 음료 운반 작업의 작업 부하를 낮추기 위해서는 등짐 작업 방법과 같은 위험 요인이 충분히 고려된 인간공학적 작업 지침이 제시될 필요가 있다.

이 연구에서는 운반 하중과 운반 경로에 초점을 맞추어 우리나라의 음료 등짐 운반 작업을 모사한 실험을 통하여 작업자의 생리학적 부하를 측정하였다. 생리학적 부하량은 심박수(heart rate)와 산소소비량(oxygen uptake)을 측정하여 평가하였으며, 실험 결과를 바탕으로 음료 운반 작업시 등짐 작업에 대한 인간공학적 작업 안전 지침을 제안하였다.

2. 연구 방법

2.1 피실험자

이 연구에서는 8명의 건강한 20~30대 남자 작업자들이 등짐 운반 작업의 생리학적 부하를 측정하는 실험에 참여하였다. 이들은 등짐 운반 작업을 비롯한 다양한 인력운반을 수반하는 작업의 작업자들로서 근골격계 질환을 경험한 적이 없으며, 건강한 상태였다. 피실험자들의 신체 조건은 평균 연령 29.4(±3.7)세, 평균 신장 170.0(±3.7) cm, 평균 체중 66.8(±7.0) kg 이다.

이 실험에 앞서 피실험자들의 휴식상태에서의 심박수와 최대 산소소비량을 측정하였다. 피실험자들의 평균 심박수와 최대 산소소비량은 각각 82.4(±16.7) bpm, 2.93(±0.23) l/min이었다.

2.2 독립 변수

실험의 독립 변수는 등짐 운반작업의 하중과 경로 조건이다. 하중은 40 kg과 60 kg 두 조건을 대상으로 하였는데, 이는 음료 운반 작업자들은 1회 등짐 운반 작업시 평균 하중인 53.44 kg을 기준으로 약 10 kg 내외로 한 것이다. 등짐 운반의 경로는 평지 운반, 계단 오르기, 계단 내려가기 등 세 조건으로 하였다. 이는 서론에서 기술한 바와 같이 등짐 운반 작업이 계단 오르기, 내려가기 등에서 많이 발생하기 때문에 이로 인한 작업 부하에의 영향을 평가하기 위함이다. 세 조건의 거리는 모두 50 m로 같게 설정하였으며, 계단 오르기와 내려가기는 평지 10 m, 계단 40 m로 구성하였다(〈표 1〉). 계단 오르기와 내려가기는 동일한 계단에서 실험을 수행하였으며, 계단의 경사는 63%이다.

실험의 두 요인인 하중과 경로에 의한 6개 실험 조건(하중 2 수준 × 경로 3 수준) 중 60 kg 하중을 계단 오르기와 내려가기 조건에서 등짐 운반하는 것은 피실험자들의 안전상 제외하였다. 두 조건을 제외한 나머지 실험 조건은 1) 평지에서 40 kg 등

표 1. 실험 조건

실험 조건	거리(m)		하중(kg)	운반 횟수(회)	총 하중(kg)
	평지	계단			
40 kg/평지	50	—	40	8	320
60 kg/평지	50	—	60	5	300
40 kg/계단내려가기	10	40	40	8	320
40 kg/계단오르기	10	40	40	8	320

짐 운반하기(40 kg/평지), 2) 평지에서 60 kg 등짐 운반하기(60 kg/평지), 3) 40 kg 하중을 계단 오르기로 등짐 운반하기(40 kg/계단 오르기), 4) 40 kg 하중을 계단 내려가기로 등짐 운반하기(40 kg/계단 내려가기) 등이다. 등짐 운반 횟수는 총 운반 하중을 네 조건 모두 유사하게 하기 위하여 40 kg 중량의 경우에는 8회(40 kg × 8회 = 320 kg), 60 kg 중량의 경우에는 5회(60 kg × 5회 = 300 kg)로 설정하였다(〈표 1〉). 총 운반 중량은 현장 작업장을 대상으로 한 조사 결과를 바탕으로 설정한 것으로서, 조사 결과 운반 작업자가 소매점, 유통 센터 등의 한 장소에서 운반하는 중량이 약 300 kg인 것으로 나타났다(정민근 등, 1998).

2.3 실험 방법 및 측정 변수

이 실험은 모든 피실험자들이 네 가지 실험 조건에서 등짐 운반 작업을 수행하는 within-subject design 으로 설계되었다. 피실험자들은 40 kg과 60 kg 중량의 모래주머니가 든 종이 상자를 운반하는 작업을 수행했으며, 종이 상자의 크기는 일반적인 음료 상자의 크기와 같은 27 cm × 27 cm × 40 cm 였다. 운반 시점과 종점에는 운반물을 등에 지고 내리는 작업을 보조하기 위한 75 cm 높이의 작업대를 설치하였으며, 피실험자는 시작점에 있는 작업대 위의 종이 상자를 등점으로 지고 정해진 경로를 통해 운반한 후 종점의 작업대 위에 내려놓는 작업을 수행하였다(〈그림 2〉). 운반물은 시작점에서 피실험자가 등에 지기에 적절한 곳에 위치하도록 해서 피실험자가 운반물을 등에 지기 위해 별도의 작업을 수행하지 않도록 하였으며, 종점에서는 피실험자가 운반물을 정해진 작업대 위에 내려놓기만 하도록 하였다. 운반물을 운반한 후에 피실험자는 자유롭게 걸어서 시작점으로 돌아오도록 하였다. 운반 속도와 되 돌아오는 보행 속도는 제어하지 않았는데, 이는 현장의 작업을 최대한 모사하기 위하여 위한 것이다. 이러한 운반 작업을 60 kg 하중의 조건에서는 5회, 40 kg 하중의 조건에서는 8회 반복하였으며, 실험 시간은 각 실험 조건별로 약 15분 가량 소요되었다. 피실험자는 각 실험 조건 사이에 1시간 이상 휴식을 취할 수 있도록 하였으며, 하루에 4 조건의 실험을 모두 수행하였다. 실험은 4명씩 이틀에 걸쳐 수행되었으며, 각 피실험자는 Latin Square Method에 의해 정해진 실험 순서에 따라 작업을 수

그림 2. 평지와 계단에서 등짐 운반하는 실험 장면.

행하였다.

피실험자가 등짐 운반 작업을 수행하는 동안 심박수와 산소 소비량을 10초 간격으로 측정하였다. 실험장비는 독일 Biodex 사의 MetaMax 생리신호 측정 시스템을 이용했다. 이 장비는 측정된 생리 신호의 무선 송출 및 저장이 가능하며, 피실험자는 부피 10 cm×10 cm×20 cm, 중량 약 1 kg의 무선 데이터 송출기를 몸에 부착하고, 브라운 마스크(brown mask)를 얼굴에 써야 한다. 일반적으로 데이터 송출기는 등에 매는 것이 일반적이지만, 이 실험의 특성상 이것을 피실험자 가슴에 부착하였으며, 이는 피실험자의 행동 및 시야에 불편함을 주지 않았다. <그림 2>는 피실험자가 평지 및 계단에서 등짐 운반 실험을 하고 있는 장면이다.

2.4 데이터 처리 및 분석

심박수와 산소소비량은 각 조건별로 마지막 2회의 운반 작업시 측정된 값을 생리적 작업 부하 분석에 이용하였다. 즉, 운반 작업을 8회 수행한 '40 kg/평지', '40 kg / 계단 오르기', '40 kg/계단 내려가기' 조건에서는 7번째와 8번째 운반시 측정된 값을, 5회 운반한 '60 kg/평지' 조건에서는 4번째와 5번째 운반시 측정된 값을 분석하였다. 이는 작업 초기의 변동이 큰 심박수를 제외하여 작업 조건에 따른 생리적 부하의 차이를 반영하기 위함이다.

각 조건간의 심박수와 산소소비량은 분산 분석을 통해 비교하였으며, 통계 분석 프로그램인 SAS 6.12를 이용하였다(SAS, 1996).

3. 결과

분산 분석 결과 심박수와 산소소비량 모두 실험 조건에 따라 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(p < 0.001). 분산 분석 후, 각 조건 간의 심박수와 산소소비량을 비교하기 위하여 Tukey's multiple comparison test를 수행하였으며, 이 결과는 <그림 3>~

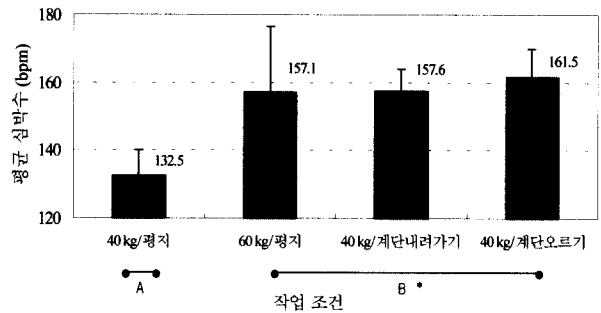


그림 3. 작업 조건별 평균 심박수 및 Tukey's multiple comparison 결과 (*유의수준 $\alpha = 0.05$ 에서 유의함).

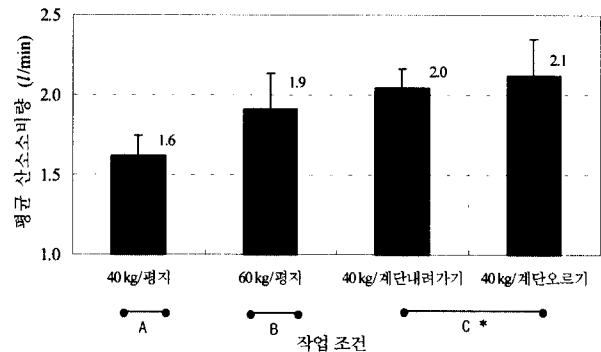


그림 4. 작업 조건별 평균 산소소비량 및 Tukey's multiple comparison 결과 (*유의수준 $\alpha = 0.05$ 에서 유의함).

<그림 5>에 제시하였다.

<그림 3>은 평균 심박수를 비교한 그래프이다. '40 kg/계단 내려가기'와 '40 kg/계단 오르기'에서 평균 심박수는 각각 161.48 bpm, 157.62 bpm으로 '40 kg/평지'에서의 평균 심박수 132.47 bpm보다 크게 나타나 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($\alpha = 0.05$). '60 kg/평지'에서의 평균 심박수(157.12 bpm)도 '40 kg/평지'에서보다 유의한 차이를 보이며 증가한 것으로 나타났다($\alpha = 0.05$). '60 kg/평지'에서의 심박수는 '40 kg/계단 오르기', '40 kg/계단 내려가기' 조건에서보다 적은 것으로 나

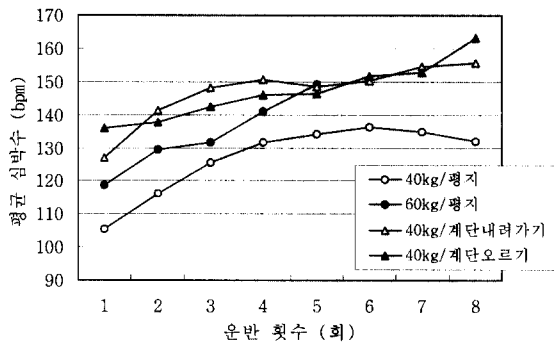


그림 5. 운반 횟수에 따른 평균 심박수.

타났지만, 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다. Tukey's multiple comparison test 결과 <그림 3>에서와 같이 실험 조건별로 평균 심박수가 A, B 두 그룹으로 나뉘어졌다.

<그림 4>는 산소소비량의 평균을 나타낸 그림이다. '40 kg/계단 내려가기'와 '40 kg/계단 오르기' 조건에서의 평균 산소소비량은 각각 2.05 l/min, 2.12 l/min으로 '40 kg/平地'의 1.62 l/min, '60 kg/平地'의 1.91 l/min 보다 높았으며, 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($\alpha = 0.05$). '60 kg/平地'에서의 평균 산소소비량은 '40 kg/平地'에서보다 통계적으로 유의한 차이를 보이며 높은 값을 보였다 ($\alpha = 0.05$). '40 kg/계단 오르기'와 '40 kg/계단 내려가기' 조건에서는 심박수와 마찬가지로 평균 산소소비량이 유의한 차이를 보이지 않았다. Tukey's multiple comparison test 결과 <그림 4>에서와 같이 실험 조건별로 평균 산소소비량이 A, B, C 세 그룹으로 나뉘어졌다.

<그림 5>는 각 운반 횟수 별 심박수의 평균을 나타낸 그림이다. 네 조건 모두 운반 횟수가 증가할수록 평균 심박수가 증가하는 것을 알 수 있다. '40 kg/계단 오르기'와 '40 kg/계단 내려가기' 조건에서는 평균 심박수가 164 bpm과 156 bpm 까지 증가하였다. '60 kg/平地'에서는 149 bpm까지 증가했으며, '40 kg/平地'에서는 136 bpm까지 증가했다가 마지막에는 약간 감소하는 경향을 보였다. '60 kg/平地'에서의 마지막 운반시 평균 심박수는 '40 kg/계단 오르기', '40 kg/계단 내려가기' 조건에서 5, 6회째 평균 심박수와 거의 유사한 값을 보이고 있다.

4. 토의

40 kg 하중에 대해 등짐을 지고 계단을 통해 운반하는 것은 평지에서 같은 중량을 운반할 때보다는 물론 더 무거운 60 kg 하중을 운반할 때보다도 생리학적 작업 부하가 더 큰 것으로 나타났다. 계단에서의 40 kg 하중 등짐 운반은 60 kg의 하중을 평지에서 운반할 때보다도 평균 산소소비량이 유의한 차이를 보이며 높은 것으로 나타났다. 한편, 40 kg 하중에 대해 계단을 오를 때의 심박수나 산소소비량이 계단을 내려갈 때 보다 높은 것으로 나타났지만, 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다.

계단을 오르거나 내려가는 작업은 평지에서보다 생리적으로 매우 높은 에너지 소비를 요구하고 있다. 40 kg 등짐을 지고 계단을 오를 때와 내려올 때 마지막 2회 작업의 평균 심박수가 161.48 bpm, 157.62 bpm 이었는데(<그림 3>), 이는 매우 높은 생리적 부하량을 요구하는 것을 의미한다. 평지에서 40 kg 운반시 평균 심박수가 132.47 bpm 인 것에 비교하면 계단에 의한 생리적 부하의 증가 효과가 매우 크다는 것을 알 수 있다.

40 kg 하중을 계단을 통해 운반하는 것이 60 kg 하중을 평지에서 운반하는 것에 비해 생리적 부하량이 더 크거나 비슷한 것으로 나타났다. 심박수의 경우에는 유의한 차이는 보이지 않았지만 40 kg 하중을 계단 오르거나 내려가기로 운반하는 것이 60 kg 하중을 운반하는 것에 크게 나타났으며, 산소소비량의 경우에는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 이 결과로부터 계단을 통한 운반이 생리학적으로 부하에 미치는 영향과 하중의 증가에 의한 영향을 절대 비교하는 것은 어려우나, 계단에 의한 영향이 하중의 증가에 의한 영향보다 절대 과소 평가될 수 없음을 나타낸다고 할 수 있다.

일반적으로 작업자들이 등짐 작업으로 음료 상자를 운반할 때는 운반 경로에 계단이 있거나 길이 좁아서 손수레를 사용할 수 없는 경우가 많다. 따라서, 작업자들은 인체역학적 이점과 시야 확보 측면에서 등짐 운반 방법을 선호하지만, 계단을 오르내리는 것이 결과적으로 생리적 작업부하를 높이는 역할을 하고 있으므로 이를 고려하여 1회 운반 하중을 평지에서의 하중보다 낮추고 연속적인 운반 횟수도 가능한 줄이도록 하는 것이 바람직하다. 이 연구의 실험 결과에서는 계단에서의 등짐 운반 시에는 1회 운반 하중을 40 kg보다 적게 하고, 연속적으로 2~3회 운반 작업을 수행한 후에는 적절한 휴식을 취하는 것이 바람직하다.

계단을 오르는 것과 내려가는 것은 통계적으로 차이가 나타나지는 않았지만, 오를 때의 에너지 소비가 더 큰 것으로 나타났다. 계단을 오르는 것이 중력에 반대되는 방향으로 하중을 운반하는 것이기 때문에 절대적으로 더 많은 에너지 소비를 요구하는 것이지만, 내려갈 때는 작업자가 중량물을 등에 지고 있기 때문에 상대적으로 더 조심해서 계단을 내려오게 되므로 올라갈 때와 마찬가지로 높은 생리적인 부하를 요구하는 것으로 보인다. 따라서, 계단에서의 등짐 작업은 오르기와 내리기에 상관없이 계단으로 인한 생리적 부하 증가 영향을 고려해야만 한다.

평지에서의 운반 작업에서 같은 작업량의 경우 60 kg 등짐 운반의 경우에 40 kg 등짐 운반보다 평균 심박수와 평균 산소소비량이 유의한 차이를 보이며 높은 것으로 나타나 생리학적 작업부하가 더 큰 것을 알 수 있다. 총 운반 하중을 같도록 하기 위하여 60 kg 운반의 경우에는 5회, 40 kg 운반의 경우에는 8회에 걸쳐 운반 작업을 수행하였기 때문에 두 작업조건 간에 총 작업량은 거의 같다고 할 수 있다. 일반적으로 인력운반 작업에서 총 작업량이 같은 경우에 1회 취급 작업물의 무게를 크게 하고 반복횟수를 줄이고자 하는 것은 주요 관절에서의 인체역

표 2. 심박수에 따른 작업부하량

Workload Level	AIHA (1971)	Grandjean (1988)	Åstrand and Rodahl (1986), Kroemer <i>et al.</i> (1994)
쉬움 (Light work)	75~100	<100	<90
보통임 (Medium work)	100~125	100~125	90~110
힘듦 (Heavy work)	125~150	125~150	110~130
매우 힘들 (Very heavy work)	150~180	150~175	130~150
극도로 힘들 (Extremely heavy work)	>180	>175	150~170

학적 부하를 높이더라도 반복으로 인한 생리학적 부하의 증가를 줄이기 위해 작업자들이 선호한다. 그러나, 이 연구에서 대상으로 한 40 kg과 60 kg 하중 조건에서, 반복을 줄이기 위해 1회에 60 kg의 하중을 등짐 운반하는 것은 매번 40 kg 하중을 운반하는 것에 비해 생리적 부하량이 오히려 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 단시간의 과도한 중량물의 취급으로 인해 인체역학적 부하는 물론 에너지 소비량이 증가함으로 인해 나타난 현상으로 보인다.

40 kg 하중과 60 kg 하중의 등짐 운반은 계단에서의 작업은 물론 평지에서 작업도 작업자에게 매우 큰 작업부하를 요구하는 것으로 나타났다. Brouha(1967)에 의하면 8시간 작업하는 경우에는 평균 심박수가 110 bpm 이상 되면 작업자에게 피로가 누적될 위험이 있기 때문에, 이를 넘지 않도록 하는 것이 바람직하다. 40 kg 하중과 60 kg 하중의 등짐운반은 마지막 2회 작업의 경우에는 평균 심박수가 132.47~161.48 bpm 정도로 높은 값을 보였으며, 전체 작업 주기 중에도 대부분 110 bpm 보다 높은 심박수 평균값을 나타내고 있다. 이러한 결과는 등짐 운반 작업자들이 8시간 작업을 수행하기도 전에 쉽게 피로해질 수 있음을 의미한다.

<표 2>는 심박수를 기준으로 작업부하를 정의하고 있는 기존 연구 결과이다. Åstrand와 Rodahl (1986)과 Kroemer 등(1994)에 의하면, 130 bpm 이상의 심박수를 요구하는 작업은 5개 분류 중 두번째로 힘든 작업인 ‘매우 힘들(very heavy work)’으로 분류될 수 있는데, 이 실험에서의 등짐작업은 모두 이에 해당하는 것으로 나타났다. 특히, 계단에서의 40 kg 등짐 운반과 평지에서의 60 kg 등짐 운반은 <그림 5>에서 나타난 바와 같이 운반 주기의 후반부에서는 150 bpm 이상의 심박수를 보여, 가장 힘든 작업으로 분류되는 ‘극도로 힘들(extremely heavy work)’에 해당하는 것으로 나타났다. 표 2에 제시된 작업부하 정의는 20~30대의 건강한 보통의 남자 작업자가 8시간 작업을 수행하는 것을 가정하고 있다. ‘매우 힘든’ 작업으로 분류되는 경우에는 작업 중 산소 부족(oxygen deficit)이 증가하며, 간헐적인 휴

식 혹은 작업을 완전히 멈추는 등의 적절한 조치가 필요하다 (Kroemer *et al.*, 1994). 이러한 분류에 해당하는 음료 등짐 운반 작업은 8시간 동안 작업이 계속되는 것이 아니고 작업자가 작업 일정을 조절해 휴식을 취할 수 있기는 하지만, 순간적으로 높은 생리적 부하를 요구하는 이러한 작업은 전체 음료 운송 및 운반 작업의 작업부하를 높일 것으로 보인다.

5. 결론

이 연구에서는 우리 나라의 음료운반 작업자들이 종종 이용하고 있는 등짐 운반 작업의 생리학적 부하를 실험을 통해 평가하였다. 실험에서는 현장의 작업자들이 운반하는 평균 중량의 10 kg 내외인 40 kg, 60 kg과 일반적 운반 경로인 계단과 평지에서의 운반작업을 대상으로 하였으며, 8명의 인력운반 작업자들이 실험에 참여하였다.

음료 등짐 운반 작업은 별도의 운반 도구의 도움 없이 이용할 수 있으며, 인체역학적 측면 등에서 여러 이점이 있지만, 40 kg 이상의 음료 상자를 운반하는 것은 생리적으로 매우 높은 부하량을 요구하기 때문에 1회 운반 하중을 40 kg 이하로 하는 것이 바람직하다. 특히, 계단이 있는 경로에서 등짐 운반을 하는 경우에는 계단으로 인한 생리적 부하량 증가를 고려하여 1회 운반 하중을 이보다 더 낮추도록 하는 것이 좋다. 그리고, 1회 운반 시 무거운 하중을 운반해 운반 횟수를 줄이는 것보다는 가벼운 하중을 더 여러 번에 걸쳐 등짐 운반하는 것이 더 바람직한 것으로 나타났다. 운반 횟수에 관해서는 가능한 휴식 없이 연속해서 운반하는 것을 지양하고, 2~3회 운반 후에는 적절히 휴식을 취한 후 운반 작업을 계속하는 것이 생리학적 부하 측면에서 바람직하다.

참고문헌

- 정민근, 이관석, 한정수 (1998), *요통재해 예방을 위한 안전작업설계 기술 개발* KOSEF Research Report (95-0200-08-01-3), 한국과학재단.
- 통계청 (1998), 국내통계 DB, 통계정보시스템(KOSIS), <http://www.nso.go.kr>.
- Åstrand, P. O. and Rodahl, K. (1986), *Textbook of work physiology: physiological bases of exercise* (3rd ed.), McGraw-Hill, New York.
- American Industrial Hygiene Association (AIHA) (1971), *Ergonomics guide to assessment of metabolic and cardiac costs of physical work*, Akron, OH: AIMA.
- Ayoub, M.M. and Mital, A. (1989), *Manual Materials Handling*, Taylor & Francis Ltd., London.
- Brouha, L. (1967), *Physiology in Industry* (2nd ed.), Pergamon Press, New York.
- Cook, T. M., Neumann, D. A. (1987), The effects of load placement on the EMG activity of the low back muscles during load carrying by men and women, *Ergonomics*, 30(10), 1413-1423.
- Grandjean, E. (1988), *Fitting the task to the man* (4th ed.), Taylor & Francis Ltd., London.

- Kroemer, K. H. E., Kroemer, H. B. and Kroemer-Elbert K. E. (1994), *Ergonomics: How to design for ease & efficiency*, Prentice Hall, Inc., New Jersey.
- Legg, S. J. and Mahanty, A. (1985), Comparison of five modes of a load close to the trunk, *Ergonomics*, 28(12), 1653-1660.
- Legg, S. J., Ramsey, T. and Knowles, D. J. (1992), The metabolic cost of backpack and shoulder load carriage, *Ergonomics*, 35(9), 1063-1068.
- Ljungberg, A. S., Kilbom, A. and Hagg, G. M. (1989), Occupational lifting by nursing aides and warehouse workers, *Ergonomics*, 32(1), 59-78.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (1996), *Ergonomic interventions for the soft drink beverage delivery industry*, U.S. Department of Health and Human Services, NIOSH publication No. 96-109.
- SAS User's Guide: Statistics, Version 6.12 (1996), SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Waters, T. R., Putz-Anderson, V., Garg, A. and Fine, L. J. (1993), Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks, *Ergonomics*, 36(7), 749-776.
- Wright, E. J. and Haslam, R. A. (1999), Manual handling risks and controls in a soft drinks distribution centre, *Applied Ergonomics*, 30(4), 311-318.