효율적 인력물자 운반용 적·하화대의 개발 및 활용

황춘수 · 장통일 · 임현교†
충북대학교 공과대학 안전공학과
(2003. 4. 8. 접수 / 2003. 6. 10. 채택)

Development and Application of a Loading / Unloading Device for Effective Material Handling

Chun-Su Hwang · Tong-Il Jang · Hyeon-Kyo Lim†
Department of Safety Engineering, Chungbuk National University
(Received April 8, 2003 / Accepted June 10, 2003)

Abstract : In recent years, the Korean Army made use of fork-lifters or conveyors when loading and/or unloading military material in order to prevent accidents and to promote efficiency of military material handling activities. However, in troops smaller than battalions, manual material handling activities are still committed for many reasons.
In this thesis, a brand new loading/unloading device for efficient military material handling for manual workers was developed, and its validation study was conducted through objective assessment based on electromyography, subjective assessment based on Body-Map technique developed by Corlett and Bishop, and finally work performance comparison. The results of EMG analysis showed that muscular workload improved by 24% when using the device compared to manual work without the device, and complain of each body part was remarkably reduced.
In addition, remarkable effectiveness enhancement was observed in the work performance.
Consequently, it could be concluded that ergonomic devices like one developed in this research should be studied further in the ergonomic sense as well as in the economical sense.
Key Words : manual material handling, low back pain, push/pull, lift, EMG.

1. 서 론

요통재해는 작업활동과 관련하여 발생하는 산업재해의 한 부분을 차지하는 질병으로, 작업자의 순간적인 실수에 기인하기보다는 올바르지 못한 작업자세나 인간의 능력한계를 고려하지 않은 작업부하, 잘못된 작업공간에 그 원인이 있다[1-4]. 이 때문에 육군(陸軍)에서도 장비 또는 물자의 차량 적재시에는 통상적으로 2인이 들어 올리게 하고 있다. 이 때 적재함까지의 높이와 적재하고자 하는 물체의 무게, 그리고 크기에 따라 근력 소모의 차이가 크며, 숙달되지 않은 병사들이 장비 또는 물자를 들어올리고 내릴 때에는 떨어뜨리는 사고가 발생하여 작업자가 부상을 당하는 경우가 있다.

†To whom correspondence should be addressed.
hklim@cbucc.chungbuk.ac.kr

최근 육군에서는 이와 같은 인력물자운반시의 안전사고의 발생을 감소시키고, 보다 효율적인 물자운반을 위하여 사단급 이상부대에서는 지게차, 컨베이어 벨트 등의 도구가 활용되고 있다. 그러나, 적·하화 장소의 여건에 따라서는 이와 같은 장비를 활용할 수 없는 곳도 있기 때문에, 보병 연대급 이하에서는 대부분의 경우 장비 또는 물자를 손으로 들어올리거나 내리는 실정이다.

본 연구에서는 군에서 일상적으로 수행되고 있는 장비나 물자의 운반시 들어올리는 동작 대신에, 인체의 부담이 경감되는 동시에 군의 실정에 맞는 동작으로 개선시킬 수 있는 적·하화대를 개발하고, 이에 대한 생리학적인 평가 및 주관적인 평가와 효율성 측정 및 검증으로 그 타당성을 입증함으로써, 안전한 조건에서의 작업여건 조성과 활용 방안을 제시하고자 하였다.

2. 연구배경

육군에서는 긴박한 상황 발생시 신속한 대처를 위하여 지휘소 및 치중대 물자를 차량에 적재하여 훈련지역으로 이동하게 된다.

이 때 장비 및 물자는 1~2명의 인원이 차량에 적재 또는 하화하게 되는데, 이와 관련된 전반적인 문제점들을 나열하면 아래와 같다.

첫째, 인력물자운반작업 전반에 걸쳐 적재 높이나 적재 중량에 대한 기준이 제시되어 있지 않다.

현재 20kg이 넘는 부품상자나 제품상자를 어깨높이 이상으로 적재하는 경우가 많은데, 이것은 처음 들어올릴 때 순간적으로 발휘해야 하는 근력과, 높게 적재할 때 허리에 가해지는 압축력에 기인하여 요통재해를 유발시킬 위험성이 크다.

둘째, 차량 적재함 높이가 차량별로 서로 상이하다.

현재 군에서 사용되고 있는 차량들의 적재함의 높이는 낮게는 93cm에서 높게는 129cm까지로 다양하다. 적절하지 못한 높이는 작업자에게 불안전한 자세를 취하게 하고 필요 이상으로 근력을 소모하게 할 수 있다.

더욱이 육군에서의 포장단위는 장비와 물자의 종류에 따라 다양하며, 특성상 포장박스를 분할하여 포장할 수 없을 뿐만 아니라, 오히려 중요 품목의 누락예방과 즉시 사용이 가능하도록 여러 품목을 통합함으로써 셋트(set)화를 하고 있는 추세이다.

셋째, 물건을 차량에 물건을 적재하는 경우 안전상 꼭 필요한 정면 시야의 확보가 어려운 경우가 많다.

이러한 문제는 높이가 높은 차량의 적재함에 대형 적재물이나 부피가 큰 적재물을 혼자서 적재할 때 작업자의 시야 전면을 가리는 적재물에 해당한다.

3. 적 · 하화대의 개발 및 제작

3.1. 설계요소

이론적인 관련자료를 검토한 결과, 차량에 물자를 적재시 들어올리는 방법보다는 경사판을 활용하는 새로운 적재방법을 고안하였다. 즉, 보다 쉽고, 안전하게 밀어 올릴 수 있는 보조물을 제작하여 작업 방법을 개선할 수 있도록 하였는데, 이러한 적 · 하화대의 개발에 있어서 다음과 같은 요소들을 고려하였다.

첫째, 작업방법에 있어서, 도수 운반에 의한 물자를 차량에 적재하고 내리는 작업에서 발생할 수 있는 상해 가능성을 해소할 수 있는 선행연구 결과를 검토하여 적 · 하화대의 설계요소에 반영하였다.

둘째, 중량에 있어서 물자를 인력으로 차량의 적재함에 적재하고 내릴 때, 군에서 보유하고 있는 많은 물자 중에서 소총박스를 기준으로 2인이 작업할 때, 개인에게 부가되는 중량을 고려하여 설계요소에 반영하였다.

셋째, 적재높이와 허용중량에 있어서 육군에서 보유하고 있는 차량 중에서 화물을 운반할 수 있는 2.5톤 차량과 5/4톤 차량의 적재함까지의 높이를 고려하였으며, 선행 연구자들의 허용한계중량을 설계요소에 반영하였다.

3.1.1. 작업방법

연대급 이하의 부대에서 일상적으로 장비나 물자를 인력 운반을 통하여 차량에 적재하게 됨에 따라 인체의 부담을 경감시킬 수 있는 동작으로 개선시킬 수 있는 보조물을 제작하여 작업 방법을 개선하였다. 즉, 드는 작업의 경우 작업자 체중의 60%를 들 수 있는 반면, 미는 작업의 경우 작업자의 체중의 80%까지 들 수 있으므로, 밀기 작업이 20%이상의 힘을 더 발휘 할 수 있다는 데 착안하였다. 밀기 작업시 마찰 요소를 최소화하기 위하여 도르래를 활용하였으며, 적재와 하화작업이 동시에 가능하도록 설계하였다.

3.1.2. 중량 기준

군(軍)에서는 긴박한 상황에서 신속하고 안전한 장비 및 물자의 이동이 무엇보다도 중요하다. 그러나 기존의 장비 및 물자를 임의로 가볍게 할 수는 없으므로, 설계시 고려된 중량요소는 연대급 이하에서 일반적으로 가장 많이 보유하고 있는 포장박스의 무게와 가장 무거운 박스의 무게였다. 즉, 127.9kg과 67.5kg의 박스를 적재하는 경우, 2인이 작업을 한다 해도 1인당 취급중량은 최소 33.75kg 이며, 이것을 육군 병사들의 평균 연령, 운반거리, 기간편성, 부대의 완전편성을 위한 Time-Table 상의 작업빈도 등을 고려하여 외국의 기준과 비교하여 보면 Table 1과 같은 결과를 얻을 수 있다.

즉, 일본의 기준과 비교하였을 때, 약 18.75kg정도를 초과하고 있으며, ILO의 기준과 비교해도 약 9kg을 초과하고 있다는 것을 알 수 있다.

Table 1. Comparison of the weight of a rifle box with the MMH standards in Japan and ILO

		Recommended weight(kg)	Required load(kg)	Remark (kg)
Age	· 19~35 (JIS)	15	33.75	+ 18.75
	· 20~35 (ILO)	24.5		+ 9
Carrying distance	· 2~10m (ILO)	14		+ 19.7
Frequency of Work	· frequent (ILO)	30		+ 3.7

Table 2. Permissible weight according to the lifting height

Lifting height (cm)	Permissible Weight (kg)
30	66.0
60	57.0
90	31.8

그러므로 현재의 박스 중량으로는, 어떠한 형태의 들기 작업에도 적절치 못한 것으로 판단되었다.

3.1.3. 적재 높이

총기 박스의 운반 높이기준은 육군에서 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 차량을 기준으로 하였다. 이 경우 차량의 적재함 높이는 각각 129cm (2.5 ton)와 93cm(5/4ton)이다.

더욱이 일반적으로, 신체적 부담을 최소화할 수 있는 방법으로써, 들어올리는 높이에 따른 허용중량 기준은 Table 2와 같다[7].

이 기준에 따르면, 군(車)차량의 적재 높이를 고려하였을 때, 인력으로 들어올릴 수 있는 허용한계 중량은 31.8kg미만이어야 한다. 또한, 보병연대에서 가장 무거운 127.9kg의 포장박스를 2명이 들어올리는 경우, 한 사람의 작업자에게 부과되는 무게는 약 64kg정도로서 허용높이는 대략 30cm정도가 된다.

따라서 차량의 높이에 따라 적재대의 높낮이가 조절이 가능하도록 설계하였다.

이를 고려하여 경사판을 이용한 활차식 적재대를 개발, 제작하였다. 특히, 인력으로 들어올리는 높이의 요소를 30±5cm정도로 설계하여, 들어올리는 작업에 의하여 작업자가 부담하여야 하는 신체적 부하를 최소화하고자 하였으며, 작업 전체 공정 중에서 약 30cm만을 들어 올린 후, 약 1m정도는 밀어 올리는 작업으로 작업방법을 변경할 수 있도록 하였다.

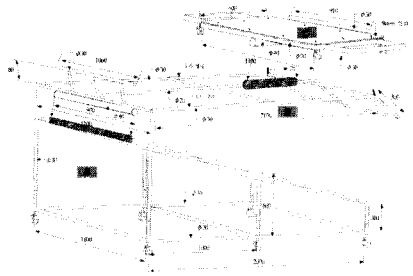


Fig. 1. Exploded views of a loading / unloading device

3.2. 제작 및 설계도

적재대의 구조는 Fig. 1에서와 같이 크게 기본 경사판(밀어 올리기용 : A부분), 경사각 조절판(내리기용 : B부분), 활동부(적재물 운반용 활차 : C부분)으로 나누어 제작하였다.

먼저 A부분의 기본 경사판 제작은 차량의 높이에 따라 높이를 조절할 수 있도록 상하 조작이 가능한 접이식 우산대와 같이 제작하였으며, 차량의 높이와 일치하게 되면 핀으로 고정할 수 있도록 제작하였다.

두 번째 B부분의 경사각 조절판은 물건을 내릴 때 사용할 수 있도록 첫 번째 구조물에 40Φ강관을 이용하여 지렛대와 같이 상하로 움직일 수 있도록 연결부를 제작하였다. 그리고, 30Φ강관을 사용하여 제작한 기본 구조에 적재물의 무게중심 유지와 C부분의 탈선을 예방할 수 있도록 20Φ강관을 설치하였고, 적재물 운반용 활차가 원활하게 움직일 수 있도록 "∧"자의 앵글을 기본 30Φ강관 위에 덧씌워 용접하였다. 그리고 하단부 손잡이에 30cm 길이의 손잡이를 지면방향으로 부착하여 인력으로 들어올리는 높이를 최소화할 수 있게 하였다.

세 번째 C부분은 활동부이며, 물건을 적재하여 원활하게 차량까지 적재하고 내릴 수 있도록 도르래를 부착하여 마찰 계수를 최소화하였으며, 좌·우측에는 2사람이 활동부를 밀어 올릴 수 있도록 손잡이를 부착하였다.

4. 실험 및 평가

개발된 적·하화대의 유효성 및 효과를 검증하고 평가하기 위하여 본 연구에서는 세 가지 방법이 이용되었다.

먼저, 생리학적으로 들기작업에 의한 개발전과 개발후의 근육에 미치는 영향 및 부담정도를 평가

하기 위하여 근전도(Electromyogram ; EMG)를 이용하였으며, 주관적 평가로서는 Corlett과 Bishop에 의하여 개발된 바디 맵(Body-Map)이 이용되었다[10]. 마지막으로 작업 수행도(Work Performance)를 평가하였으며, 실제 작업을 실시하는 병사들로 하여금 평가하도록 하였다.

4.1. 대상작업

실험은 기존의 적재방법인 들어올리기와 내리기 및 제안된 적재대를 이용하여 밀어 올리고, 내리는 작업의 모두 네 가지 방법에 대하여 각각 3회씩 반복 실시하였다.

4.2. 생리학적 평가

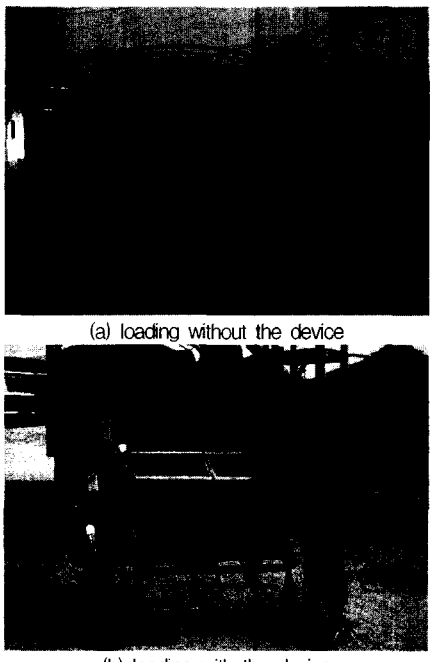
4.1.1. 실험방법

실험기기로는 Laxtha에서 개발된 TeleScan EMG 시스템이 이용되었다.

전극은 척추기립근과 외복사근, 그리고 복직근에 부착하였으며, 전극은 Ag-AgCl electrode를 사용하였고, 1024Hz로 샘플링하였다[8].

본 실험에 참가한 3명의 피실험자로는 육체적으로 건강하고 과거에 허리 상해를 경험하지 않은 1개 대대원의 평균 신장과 체중을 고려하여 선정되었으며, 각 피실험자에게는 실험중 발생 가능성이 있는 위험요소에 관해서 미리 전달하고 본 실험에 들어가기 전에 예비실험을 하였다.

피실험자는 매 실험시 차량의 왼쪽에서 작업하도록 하였다. Fig. 2는 작업하는 모습을 나타낸다.



(a) loading without the device

(b) loading with the device

Fig. 2. Working feature of subjects

4.1.2. 실험결과

Fig. 3은 작업방법에 따른 RMS EMG의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 적·하화대를 이용한 밀어올리기의 작업이 발휘근력이 작다는 것을 알 수 있다.

또한 Fig. 4는 이 때의 각 부위별 근육의 활동도를 나타낸 것이다. 도수운반 들어올리기의 경우에는 네 부위의 근육이 모두 작업에 사용되지만, 적·하화대를 이용한 경우에는 좌측 척추기립근과 복사근의 사용이 현저하게 증가한다는 것을 알 수 있다. Fig. 4에서의 결과를 고려하면, 도수운반에 의한 들어올리기의 경우에는 모든 근육이 중량물의 적재에 사용이 되고, 그 발휘근력 또한 높다는 것을 알 수 있다.

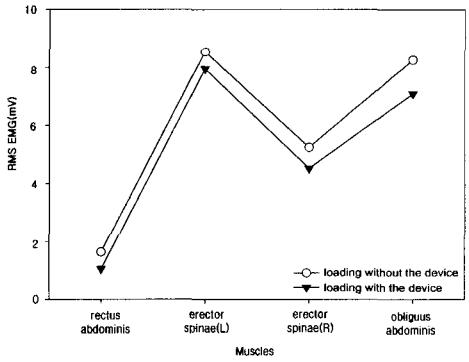


Fig. 3. Comparison of RMS EMG's (loading task)

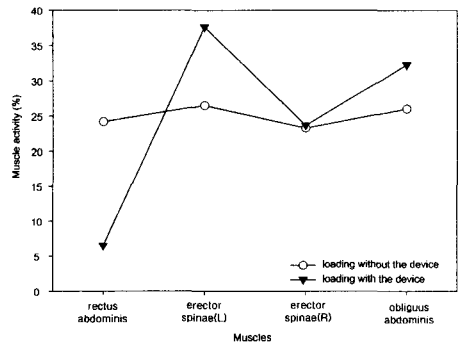


Fig. 4. Comparison of muscle activities (loading task)

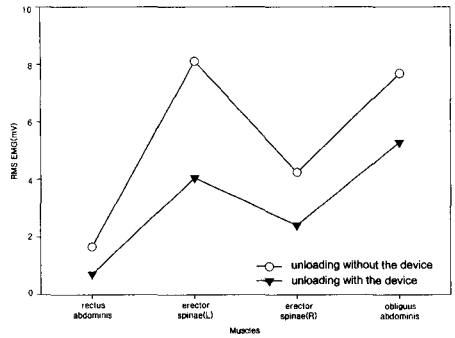


Fig. 5. Comparison of RMS EMG's (unloading task)

그러나, 적·하화대를 이용한 밀어올리기의 경우에는 좌측 척추기립근과 복사근의 활동도가 높지만, 발휘근력은 도수운반의 경우보다 평균 약 24% 정도 감소하기 때문에, 이 경우가 적재방법으로는 더 우수할 것으로 판단된다.

Fig. 5는 내리기 작업의 방법에 따른 RMS EMG의 값의 변화를 나타낸 것이다. 보는 바와 같이 도수운반과 적·하화대를 이용한 작업사이의 RMS EMG의 값에 많은 차이가 있다는 것을 알 수 있다. 즉, 이러한 결과는 내리기 작업의 경우에 있어서, 적·하화대를 이용한 작업이 도수운반에 의한 작업보다 발휘근력에 있어서 현저한 감소가 발생한다는 사실을 시사한다.

4.3. 주관적 평가

4.3.1. 평가방법

작업부하에 대한 주관적 평가는 Corlett과 Bishop에 의하여 개발된 바디맵(Body Map)을 이용하였다.

이에 따라, 25개로 나누어진 각 신체부위에 대하여 불편함의 수준을 '아주 편안한 상태'의 0부터 '참을 수 없을 정도'의 10까지 모두 11등급으로 나누어 작업 전후에 표시하도록 하였다.

4.3.2. 평가결과

적·하화대와 도수운반으로 67.5kg의 박스를 2인이 2.5톤 차량에 적재했을 때 신체 부위별 불편함의 정도가 현저하게 줄어든 곳은 Fig. 6에서 보는 바와 같이 왼쪽 아래팔과 왼손, 왼쪽 종아리, 오른쪽 어깨와 오른쪽 위팔, 오른쪽 손목, 허리 등이며, 목과 엉덩이, 왼쪽 종아리, 등, 오른쪽 어깨와 팔꿈치, 손과 무릎, 종아리와 발목 등에는 전혀 불편함을 느끼지 않았다.

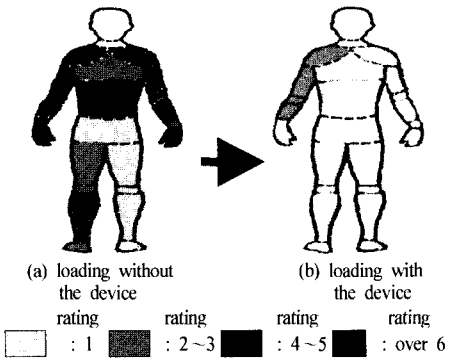


Fig. 6. Variation of complain intensity in each body part after loading task using the device

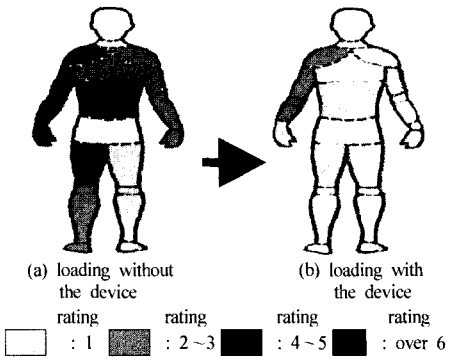


Fig. 7. Variation of complain intensity in each body part after the unloading task using the device

한편, 67.5kg의 박스를 2.5톤 차량으로부터 내릴 때 불편함의 정도가 현저하게 줄어든 부위는 왼쪽은 어깨와 위팔 팔꿈치, 아래팔과 손목, 손 등이었으며, 오른쪽은 허리부분의 불편함이 크게 감소하였다. 그리고 엉덩이와 목은 두 작업에서 거의 영향이 없었다. Fig. 7은 이러한 결과를 나타낸다.

4.4. 작업수행도 평가

4.4.1. 평가방법

작업수행도 측정 및 평가를 위해서는 앞에서 수행한 실험을 총 10명에 대하여 반복적으로 평가하였다.

이 때 적재량은 2.5톤의 차량에는 1.7톤의 물자를 적재하였고, 5/4톤의 차량에는 0.6톤을 적재토록 하였고, 두 경우 모두에 대하여 적화·하화 각각 반복하였다.

4.4.2. 평가결과

평가결과 적·하화대를 사용하기 전과 사용후의

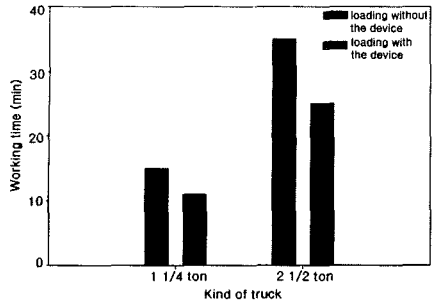


Fig. 8. Working time required for each truck in loading task

작업시간을 차량 종류별로 비교하여 보면 5/4톤 차량은 약 4분 정도가 감소하였고, 2.5톤은 약 10분 정도 작업시간이 감소하였다. 이 결과를 그림으로 나타낸 것이 Fig. 8이다.

작업수행도의 측면에서 적·하화대를 사용할 때와 사용하지 않을 때를 비교하여 보면, 적·하화대를 사용할 때 작업시간이 5/4톤 차량의 경우 4분이 단축되었다. 한편 2.5톤의 경우에는 10분 정도의 시간이 단축되는 효과가 있었으며, 편성인원면에 있어서도 3명을 감소시킬 수 있었다. 이것은 전시를 가정할 경우 적·하화대를 활용한다면 노무자의 30%를 절약할 수 있을 것으로 기대된다는 점에서 매우 중요하다. 이보다 더 중요한 것은 요통재해 위험에 노출될 수 있는 인력을 감소시키고 아울러 작업자가 안전한 환경에서 작업을 함으로써 비전투 손실을 예방할 수 있다는 점이다.

결과적으로 개발된 적·하화대를 사용하는 것이 신체에 부담을 감소시킬 수 있고, 시간과 인원을 절약할 수 있으므로 비용 면에서도 적·하화대를 이용한 작업방법이 우수한 방법이라고 판단된다.

앞으로 군(軍)에서 물자와 장비를 개발하거나, 민수용 장비를 구매 또는 외국으로부터 도입하는 모든 군수품에 대해서는 인간공학적 설계평가 및 안전공학적 평가의 도입이 절대적으로 필요하다고 판단된다.

5. 결 론

이상의 적·하화대 개발 및 평가를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 객관적 평가결과인 근전도 측정에서 도수운반과 적·하화대를 이용한 적재 및 내리기 작업에서 RMS EMG 값이 통계적으로 유의한 결과를 보였다. 즉, 적·하화대를 이용한 작업에서 적은 양의 발휘근력으로 작업이 가능하여, 생리학적 면에서 효과가 있는 것으로 판단되었다.

둘째, 주관적 평가결과 왼쪽 전완의 경우 5.5 이상의 불편함이 감소하였고, 허리의 경우 4.3 정도의 불편함이 감소를 하는 등 확실한 효과가 관측되었다.

셋째, 작업 수행도 면에서 기존의 Time-Table 상의 인원을 10명에서 3명으로 줄일 수 있었다. 또한 2.5톤 차량에 1.7톤의 치장박스를 적재하는 데 기존의 35분에서 25분 이하로 작업시간을 단축할 수 있었으며, 이를 비용으로 환산할 경우 상당한 금액이 절약되는 효과가 있을 것으로 판단된다.

이상과 같은 결과를 종합하여 볼 때, 적·하화대는 기존의 작업방법에 비하여 생산성을 향상시키고 작업자의 신체적 부담을 경감시키는 방법임이 확인되어, 본 연구 및 개발결과를 육군 및 산업현장에서 물자를 적재하고 내리는 데 보조기구로 활용한다면, 작업자들에게 야기되는 인력물자 운반의 문제를 해결하는 데 도움이 될 것으로 판단된다.

참고문헌

1) Ayoub, M.M. and McDaniel, J.W., "Effects of operator stance on pushing and pulling tasks," Transactions of the American of Industrial Engineers, Vol. 6, pp. 185-195, 1974.
2) Chaffin, D.B., Andersson, R.O. and Garg, A., "Volitional postures during maximal push/pull exertions in the sagital plane," Human Factors, Vol. 25, No. 5, pp. 541-550, 1983.
3) Chung, M.K., "Studies of isometric hand pushing and pulling in volitional posture," Unpublished Ph.D. thesis, The University of Michigan, 1989.
4) Kumar, S. and Mital, A., "Margin of safety for the human back: a probable consensus based on published studies," Ergonomics, Vol. 35, No. 7, pp. 769-781, 1992.
5) 한국산업안전공단, 전문가를 위한 인간공학, 1999.
6) Waters, T.R., Putz-Anderson, V., Garg, A. and Fine, L.J., "Revised NIOSH regulation for the design and evaluation of manual tasks," Ergonomics, Vol. 36, pp. 749-776, 1993.
7) 박경수, 인간공학, 영지문화사, p. 556, 1999.
8) 고한우, 디지털 생체신호처리, 麗文閣, 1997.

9) 최재남, "경사면에서의 밀고 당기는 직무시 작업자의 배복근력에 대한 근전도 연구," 충북대학교 대학원, 석사학위논문, 1994.

10) Corlett, E.N. and Bishop, R.P., "A technique for assessing postural discomfort," Ergonomics, Vol. 19, No. 2, pp. 175-182, 1976.