

# 견인곡사포용 이동대차형 포탄 이송장치의 인간공학적 적합성 검증

박성호<sup>†</sup>

국방과학연구소

## Ergonomic Verification of Suitability of the 4-Wheeled Hand Cart to Transfer a Projectile for Towed Howitzer

Sung Ho Park

Agency for Defense Development

The purpose of this study is to investigate the ergonomic verification of suitability of the 4-wheeled hand cart to prevent musculoskeletal problems in the firing test range. Because of the increasing amount of firing test, the needs to develop a projectile transferring device such as 4-wheeled hand cart has been increased. For the 4-wheeled hand cart, the lifting and carrying activity in the manual handling method were transformed to pushing activity. The risk of low back pain for lifting and carrying the projectile by manual was estimated by NLE and 3D SSPP. On the other hand, the risk for pushing the 4-wheeled hand cart was estimated by psychophysical and biomechanical method such as Mital's equation, Snook's table and 3D SSPP. It was shown that the 4-wheeled hand cart reduced the risk of low back pain drastically with higher efficiency and design compatibility.

**Keywords:** Musculoskeletal Problems, 4-Wheeled Hand Cart, NLE, 3D SSPP, Mital's Equation, Snook's Table

### 1. 서론

인력물자취급(MMH) 과정에서 발생 가능한 요통, 협착, 낙하, 충돌 등의 재해 중 요통이 가장 빈번하다(KISA, 2010). 산업현장에서 중량물의 이동은 필수적이며 일반적으로 고중량물은 지게차 또는 크레인과 같은 장비를 사용하며 저중량물은 인력 또는 보조장치를 이용한다. 저중량물의 이동작업을 위한 보조장치는 바퀴, 롤러, 슬라이더 등의 기계요소를 이용한 인력저감 장치로 카트나 손수레와 같은 이동형과 고정형으로 구분된다. 이러한 인력저감 장치들은 대부분 인력에 의한 들기와 운반 작업을 밀기 또는 당기기 작업으로 변환시켜 인체 근골격계에 작용하는 부하를 최소화하는 데 목적이 있다. 하지만 여전히 밀기와 당기기는 요통의 잠재적 위험요인이므로(Kwon and Kim, 2012) 인력저감 장치를 작동시킬 때 허리 등 인체 관

절에 작용하는 부하를 최소화하기 위한 장치의 최적구조와 최적 작업자세가 꾸준히 연구되어 왔다(Lee *et al.*, 1991; Kumar, 1995; Al-Eisawi *et al.*, 1999; Das *et al.*, 2002)

산업현장과 마찬가지로 야전포병에서 사격훈련 시 포탄의 이송작업은 필수적이다. 포탄을 견인곡사포에 장전하기 위하여 야전포병에서 전통적으로 적용해오던 이송방식은 1인이 포탄을 들어 어깨에 메고 이동하거나 2인이 탄 트레이에 포탄을 올려 들고 이동하는 방식이었다. 국방과학연구소 종합시험장(이하 사격시험장)에서도 야전포병과 마찬가지로 포탄을 1인이 어깨에 메고 이동하는 방식으로 사격시험을 수행하여 왔다.

사격시험장에서는 방산 업체가 로트 단위로 생산한 포탄의 품질 적합성 또는 탄약고에 장기 저장된 포탄의 신뢰성을 평가하기 위한 사격시험이 연중 수행되고 있다. 사격시험장에서 사격시험은 해상 안전구역 내 어선의 조업 또는 통과, 기상조

<sup>†</sup> 연락처 : 박성호, 32143 충남 태안군 태안읍 태안우체국 사서함1호, Tel : 041-671-2214, Fax : 041-673-1122, E-mail : redfox7089@naver.com  
2015년 11월 15일 접수; 2016년 2월 24일 1차 수정본 접수; 2016년 4월 17일 2차 수정본 접수; 2016년 4월 25일 게재 확정.

건, 공역통제, 화포 또는 계측장비의 고장 등의 다양한 이유로 지연 또는 중단될 수 있다. 포탄의 품질 적합성 또는 신뢰성은 로트 단위로 채취된 수십 발의 샘플에 대한 사격시험으로 평가하며 시험 환경과 조건이 동일하게 유지되어야 한다.

다양한 시험 지연 또는 중단 요인들과 동일 조건에서 사격 시험이 당일 완료되어야 하는 제약은 시험요원들의 신체적, 심리적 부담으로 인한 사고성 요통의 발생 가능성을 높인다. 게다가 시험 물량은 연말로 갈수록 급격하게 증가하는 경향을 가지고 있기 때문에 일일 사격시험 발수의 증가로 인한 시험요원들의 피로 누적으로 비사고성 요통의 발생 가능성도 증가하게 된다. 사격시험장에서는 2009년도부터 급격한 시험물량의 증가가 예상되는 K9용 포탄의 사격시험을 적기에 수행하기 위하여 고정형 K9 포탄 이송장치를 개발하였다. 그 결과로 일일 시험가능 발수 및 지속수행 일수가 3배 이상 증가하여 시험 업무의 효율과 안전성이 대폭 향상되었다(Park and Lee, 2015).

155mm 견인곡사포탄 시험 물량은 <Figure 1>과 같이 2007년도에 평균 26발/일에서 2014년도에 평균 37발/일로 증가해왔다. 포탄 사격시험 시 발사간격은 탄도학적 성능에 영향을 주기 때문에 동일하게 유지되어야 하며 사격시험은 평균 1발/2분의 발사간격으로 1시간 이상 반복하여 수행한다. 이는 고용노동부 고시(KMEL, 2014)에 따라 근골격계 부담작업에 해당하며 한쪽 어깨에 43kg 중량의 포탄을 메고 이동하는 작업은 작업자세의 좌우 불균형에 의한 요추의 축회전 수반으로 요통에 의한 재해를 유발할 수 있다. 사격시험장에서 155mm K9 고정포에서는 포탄이 화포에 인접하여 운용되나 견인곡사포에서는 10m 이상의 거리에서 포탄 운반이 필요하다. 게다가 견인곡사포의 수시 재방열과 장전높이의 증가로 고정형 K9용 포탄 이송장치의 활용이 불가능하므로 견인곡사포용 포탄 이송장치의 개발이 필요하게 되었다.

2014년도에 견인곡사포용 포탄 이송장치를 개발하였으며 <Figure 2>와 <Figure 3>은 각각 이동대와 포탄 적재대이다. 포탄 적재대에 있는 폴리아세탈 코폴리머(POM) 재질의 판(마찰계수 : 0.15) 위에 43kg 중량의 포탄을 놓히고 최대 6.5kgf의 힘으로 밀어 이동대차의 탄 트레이에 올린다. 이동대차는 인

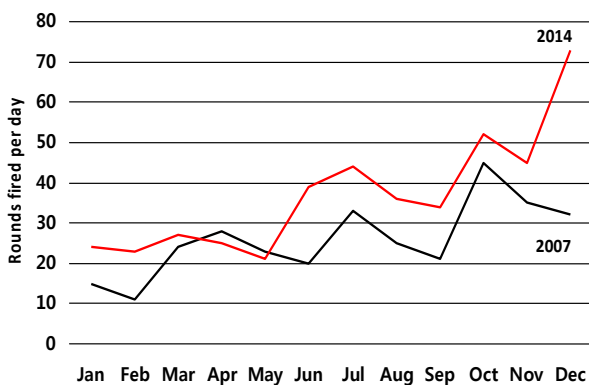


Figure 1. Comparison of Average Rounds Fired Per Day

력에 의한 밀기 작업으로 화포의 포미까지 이동하며 배터리로 작동하는 유압 구동장치로 화포의 장전높이까지 탄 트레이를 상승시켜 포탄 장전을 대기시킨다.

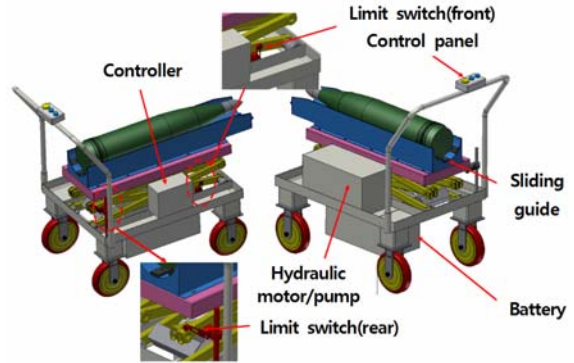


Figure 2. Schematic View of 4-Wheeled Hand Cart

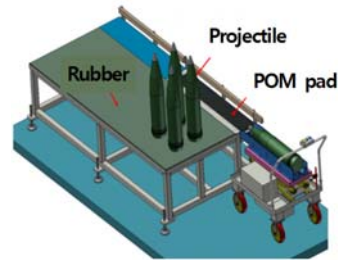


Figure 3. Loading Table

포탄의 인력운반 작업과 관련하여 육군 탄약관리병을 대상으로 재해 발생 빈도를 분석한 연구(Kim, 2001)가 있다. 포탄의 인력운반과 유사한 작업 자세로서 가방의 한손 들기 작업이 요추 부위에 미치는 영향(Kim, 2011; Kim, 2014)과 가방 하중의 크기와 방식이 척추의 정적 자세에 미치는 영향(Park et al., 2011) 등이 연구되었다. 한편 이동대차의 밀기 및 당기기 작업과 관련하여 작업위치와 손잡이 형태에 따른 밀기능력(Moon and Kim, 2006), 국내 시판중인 이동대차의 인간공학적 설계 적합성(Kwon and Kim, 2012), 전완자세가 밀고 당기는 힘에 미치는 영향(Woo and Lee, 2013) 등이 연구되었다. 하지만 사격시험장에서 포탄 사격시험 또는 야전포병의 포탄 사격훈련 시 포탄 이송작업이 인체 근골격계에 미치는 영향 또는 작업방법의 개선과 관련한 학술적 연구는 찾아보기 어렵다.

본 연구의 대상인 이동대차형 포탄 이송장치는 바닥이 평탄하고 포탄 적재대와 화포가 고정된 위치에 견고하게 설치된 사격시험장에서 운용하도록 설계되었다. 따라서 노면이 불균일하며 임의의 환경에 화포가 설치, 운용되어야 하는 야전포병의 사격훈련에 본 이송장치를 활용하기에는 부적절하다. 본 연구는 사격시험장에서 포탄 적재대로부터 견인곡사포로 포탄을 이송할 때 작업자의 근골격계 부담을 저감하기 위하여 개발한 이동대차형 포탄 이송장치의 인간공학적 적합성을 검증한 결과이다. 포탄 이송작업은 동적작업이지만 정적작업 자

세로 가정하여 인체 부담 정도를 계산하였으며 그 결과의 유효성을 입증하였다. 인체 부담 정도의 개선효과를 입증하기 위하여 인력에 의한 포탄 이송작업에 대하여 NIOSH의 들기 작업 공식과 생체역학 기반 모델인 3D SSPP를 이용하였으며, 이송장치를 이용한 방법에 대하여 Mital의 정신물리학적 평가식과 Snook의 심물리학적 평가표 그리고 3D SSPP를 이용하여 작업부하를 평가하였다. 작업공정과 소요시간 분석으로 이송장치의 작업효율 개선도를 비교하였으며 산업규격 및 인간공학적인 권고사항에 기반하여 포탄 이송장치의 설계 타당성을 확인하였다.

## 2. 연구 대상 및 방법

### 2.1 연구 대상


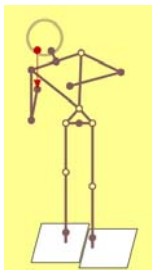

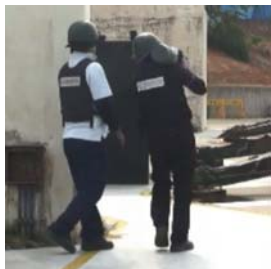
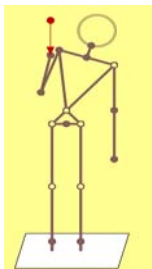
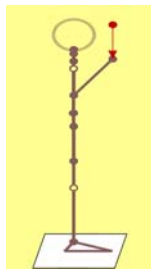

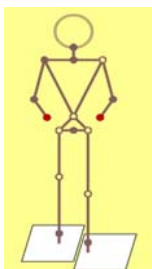

포탄이송 작업을 수행하는 시험요원은 12명으로 전원 남성이며 체중과 허리높이의 평균(표준편차)은 각각 74.2kg(11.1kg), 102.8cm(5.0cm)이다. 체중은 67%인 20~35세가 62~86kg, 8%인 35~40세가 75kg, 8%인 40대가 75kg 그리고 17%인 50대가 58~65kg이다. 30대 초반의 인원 비율이 가장 크며 인체치수가 모두 달라 30~34세의 한국인 인체치수 평균값을 자세 분석에 활

용하였다. 2010년도 제6차 한국인 인체치수 조사 자료에 의한 연령 30~34세 남성의 주요 인체치수의 평균(표준편차)은 키 1,724.43mm(56.12mm), 어깨 높이 1,394.44mm(50.66mm), 허리 높이 1,040mm(43.68mm), 위팔 길이 336.25mm(17.17mm) 그리고 아래팔 길이 268.57mm(15.39mm)이며 체중은 71.3kg(10.79 kg)이다(KATS, 2010).

<Table 1>은 인력에 의한 포탄 이송작업의 두 가지 대표적 작업자세인 포탄의 들기 및 이송작업과 포탄 이송장치를 이용한 밀기작업에 대한 작업자세, 인체 관절도 그리고 상체와 하체의 주요 관절 각도를 기술하고 있다. 인력에 의한 포탄 이송작업은 중량 43kg의 155mm 포탄을 64cm 높이의 포탄 적재대로부터 들어 어깨에 메고 화포까지 이동하는 작업이다. 포탄 이송장치는 높이 조정장치가 부착된 이동대차로 작업자는 포탄 1발을 포탄 적재대로부터 이송장치의 탄 트레이 위로 밀어 적재하여 직경 30mm의 수평 손잡이 바를 잡고 평균 4.3kgf(최대 6.8kgf)의 힘으로 화포까지 11m의 거리를 이동시킨다.

포탄 이송장치의 크기는 길이 800mm×폭 600mm×높이(손잡이) 966mm이며 자체중량은 120kg이다. 손잡이 높이는 가변형으로 900mm에서 1,200mm까지 조절이 가능하다. 탄 트레이는 바닥면으로부터 최소 744mm에서 최대 1,720mm까지 포신의 장전높이로 배터리 구동 유압작동 기구로 조절이 가능하

Table 1. Work Postures and Body Segment Diagrams

Work	Posture	Front view	Side view	Description
Manual lifting				Lateral flexion of upper body to the left(22°), Flexion of upper body(30°)
Manual carrying				Lateral flexion to the right(18°)
Pushing hand cart				Flexion of upper body(11°), Flexion of head(37°), Flexion of forearm (44°), Flexion of lower arm(36°)

다. 바퀴는 8인치 중하중용 캐스터(직경 203mm, 폭 51mm)이며 최대 적재중량이 500kg인 우레탄 재질로 전방은 고정형, 후방은 회전형이다.

2.2 포탄 이송작업 단계

<Figure 4>(a)~<Figure 4>(f)는 인력에 의한 포탄 이송방법의 작업단계이다. 보조 작업자가 포탄을 적재대의 끝단으로 옮기고 포탄을 눕히면(a) 주 작업자는 왼손으로 포탄의 끝부분을 잡고 오른손으로 포탄의 무게중심을 받쳐 들어 올리며 보조 작업자는 낙하로 인한 재해를 방지하기 위하여 바닥부를 잡아준다(b). 이때 주작업자는 무릎을 굽히고 상완을 몸에 붙이고 상체를 숙여 어깨까지 포탄의 이동거리가 최소화되도록 한다. 주작업자는 포탄을 어깨 위에 올리고 서서(c) 화포의 포미까지 이동을 하여(d) 포미 입구에 포탄을 걸치면 사수가 포강내로 밀어 넣는다(e). 마지막으로 장전봉을 포탄의 하부에 위치시켜(f) 장전봉을 힘껏 밀어 포탄을 장전한다.

<Figure 4>(g)~<Figure 4>(l)은 이송장치를 이용한 포탄 이송방법의 작업단계이다. 보조 작업자는 적재대에서 포탄을 잡고(g) POM 재질의 가이드에서 눕힌 후(h) 포탄을 밀어 이송장치의 탄 트레이에 올려놓는다(i). 주 작업자는 이동대차를 당겨서 1.55m 후진 후 이동경로를 따라 화포의 포미 입구까지 11.10m의 거리를 밀어 이동시킨다(j). 이동이 완료되면 손잡이에 부착된 상승스위치를 눌러 탄 트레이를 올린다(k). 이 때 리밋 스위치로 설정된 높이까지 자동으로 상승하거나 원하는 높이까지 조절이 가능하다. 마지막으로 장전봉을 포탄의 하부에 위치시켜(l) 장전봉을 힘껏 밀어 포탄을 장전한다.

2.3 측정 및 분석 방법

포탄 이송작업의 인간공학적인 분석을 위하여 각 작업 과정을 캠코더로 촬영하고 작업부하 분석에 필요한 길이와 각도를 줄자와 고니오미터로 측정하였다. 전술한 바와 같이 인체치수는 한국인 인체치수 조사 자료를 활용하였으며, 주요 관절의 각도는 시험요원 12명의 작업자세를 측정한 평균값을 적용하였다. 포탄 적재대에서 이송장치의 탄 트레이까지 포탄의 밀기

작업과 이송장치를 밀고 이동할 때 소요되는 부하는 분해능 10g의 전자저울에 의한 당김력을 초기 1초 이후 약 2~3초의 안정된 구간에서의 평균 힘과 순간 최대 힘으로서 측정하였다.

인력에 의한 포탄 이송작업의 주요 작업유형은 들기와 운반으로 NIOSH의 들기 작업 공식(NLE)과 3D SSPP ver. 5.0.9를 이용하여 자세부하를 평가하였다. 3D SSPP(3D Static Strength Prediction Program)는 관절부하를 예측하기 위한 생체역학 모델로 미국 미시건 대학 인간공학센터에서 개발한 정적 부하 예측 프로그램이다. 3D SSPP를 이용하여 요추(L5/S1 디스크)에 작용하는 압착력을 예측함으로써 요통발병 위험성을 평가할 수 있다(Kim et al., 2010). 이송장치를 이용한 포탄 이송작업의 주요 작업유형은 밀기로 유럽 산업규격, Mital의 정신물리학적 모델식, Snook and Ciriello의 심물리학적 모델표 그리고 3D SSPP로 자세부하를 평가하였다.

NLE는 식 (1)의 허용 중량 한계(RWL)와 식 (2)의 들기 지수로 표현된다(Waters et al., 1994). 식 (1)에서 HM, VM, DM, AM, FM 그리고 CM은 작업자세 또는 조건과 관련한 승수(multiplier)이며 식 (2)에서 L은 작업 중량(kg)이다.

$$RWL(kg) = 23 \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM \quad (1)$$

$$LI = L/RWL \quad (2)$$

인체의 L5/S1 디스크에 작용하는 압착력은 NLE에서 행동한계와 최대 허용 한계의 기준이 되며 요통 발생여부를 판별할 수 있다(Herrin et al., 1986). NLE의 생체역학적 기준은 행동한계 3,400N, 최대 허용 한계 6,400N으로 압착력이 3,400N 이내에서 안전, 3,400~6,400N은 개선 필요 그리고 6,400N초과 시 위험으로 판정한다. L5/S1 디스크에 작용하는 압착력이 4,500N을 초과할 경우 요통 발병률이 10% 이상 증가한다고 알려져 있으며(Chaffin and Park, 1986), L5/S1 디스크에 작용하는 압착력이 3,400N 이상, 밀기 작업에서 발의 마찰계수가 0.4를 초과할 때 위험이 잠재한다고 여겨진다(Chaffin, 1995).

Resnick과 Chaffin은 요추에 작용하는 압착력이 3,400N을 초과하지 않도록 이동대차의 적재중량이 225kg을 초과하지 않을 것을 권고하고 있다(Resnick and Chaffin, 1995). 유럽 산업규격(BS EN 1005-3 : 2002)에서는 남자의 경우 밀기 작업 시 작업

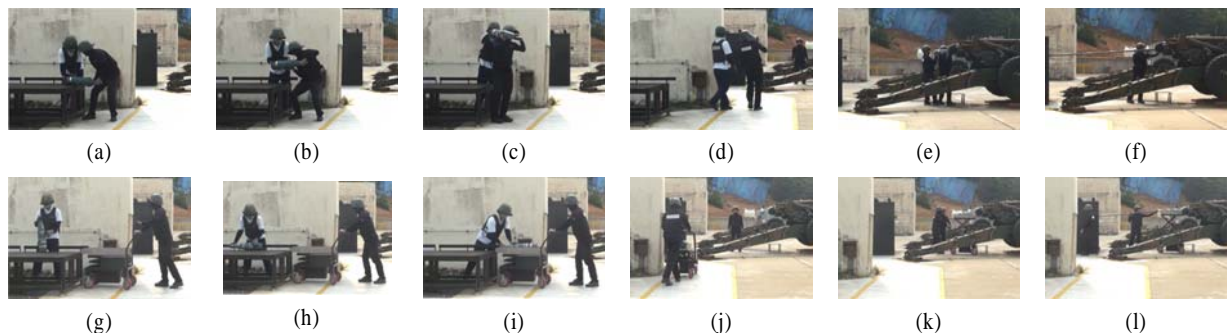


Figure 4. Operation Sequence for Manual Transfer Method(a~f) and Using Hand Cart(g~l)

시간 0.05분 이하, 작업주기 0.2회/분 이하, 작업부하 최대 200N (20.4kgf) 이하 그리고 화물을 적재한 이동대차의 총중량이 200 kg 초과 또는 옥외 사용 시 바퀴직경은 200mm 이상일 것을 규정하고 있다(Ferreira *et al.*, 2004).

Mital은 밀기/당기기 능력을 예측하는 정신물리학적 모델을 제시하였으며 식 (3)은 남성 작업자의 밀기 능력이다(Mital, 1983). 식 (3)에서 밀기 능력(PC)은 kgf의 단위로 표현되며 HD는 밀기 작업을 수행한 수평거리(m), F는 밀기작업의 주기(회/분)이다.

$$PC = 17.29 - 0.166 \times HD - 11.45 \times F + 0.0013 \times (HD^2) + 5.60 \times (F^2) + 0.001 \times (1/F) + 0.047 \times HD \times F \quad (3)$$

Snook와 Ciriello는 들기, 내리기, 밀기, 당기기 그리고 운반 작업에 대한 성별 최대허용부하를 결정하는 표를 제시하였다. 인력물자취급 시 최대 허용 중량을 Snook의 표에서 75% 이상으로 설계할 때 요통발생의 위험이 현저히 낮아진다(Snook and Ciriello, 1991).

### 3. 자세부하평가 결과

#### 3.1 NLE에 의한 자세부하평가

<Table 2>는 인력에 의한 포탄 들기 작업을 NLE로 분석하기 위한 각 작업 변수의 측정값과 계수값이다. 수직위치는 포탄 적재대의 높이, 이동거리는 수직위치에서 주작업자의 어깨 높이까지의 거리이다. 몸을 비틀지 않고 수직으로 이동시키므로 비대칭각도는 0°이다. 들기 빈도는 0.50회/분이며 작업 지속시간은 평균 1~2시간이다. 회전체인 포탄의 앞부분을 잡는 왼손과 무게중심을 들어 올리는 오른손은 포탄을 적절히 잡을 수 있으므로 커플링 상태는 좋다(Fair). 식 (1)과 식 (2)로부터 허용 중량 한계는 8.95kg, 들기 지수는 4.80으로 3.0을 초과하므로 위험한 작업으로 평가되었다.

**Table 2.** Observed Values and Multipliers for the NLE of Projectile Lifting Work

Task variables	Measure		Multipliers	Values
Load(kg)	43		-	-
Location of the hands(cm)	Horizontal	46	HM	0.543
	Vertical	64	VM	0.967
Travel distance of the load(cm)	65.4		DM	0.848
Asymmetry angle(°)	0		AM	1.000
Lifting frequency (lifts/min)	0.50		FM	0.92
Lifting duration(hours)	> 1 but ≤ 2			
Coupling	Fair		CM	0.95

#### 3.2 3D SSPP에 의한 자세부하평가

<Table 3>은 인력에 의한 들기 작업과 운반 작업 그리고 이동장치를 이용한 밀기 작업에 대하여 3D SSPP로 인체의 주요 관절에 작용하는 부하를 계산한 결과이다.

인력에 의한 포탄 들기 작업 시 L5/S1 디스크에 작용하는 압착력은 4,542N(전단력 555N)으로 예상되었다. L5/S1 디스크와 더불어 요통이 많이 발생하는 부위인 L4/L5 디스크에 발생하는 압착력은 5,557N(전단력 147N)으로 모두 행동한계 3,400N을 초과하므로 요통 발병 가능성이 매우 높다. Kee는 병원 환자 운반 업무의 작업 부하 분석에 NLE에 의한 들기 지수와 L5/S1 디스크 압착력과의 관계를 회귀분석으로 식 (4)와 같이 제시하였다(Kee, 2006).


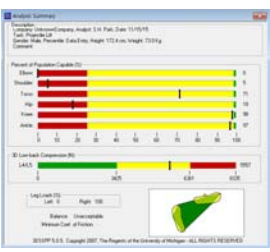




$$C = 2209.3 + 635.4 \times LI \quad (4)$$

인력에 의한 포탄 들기 작업 시 3D SSPP로 예상된 L5/S1에 작용하는 압착력(C)이 4,542N이므로 식 (4)에서 들기 지수(LI)는 3.67이다. NLE 계산으로 예측된 들기 지수는 4.80으로 식 (4)에서 계산된 들기 지수보다 크다. 반면에, 3D SSPP는 가속도 및 운동량에 의한 관성적 부하를 고려하지 않으므로 동적 작업에 대한 예측결과는 과소평가 된다. Chaffin은 동적작업은 정적작업 분석 결과에 비하여 평균 +30%의 예측오차가 있다고 하였다(Chaffin, 1995). 앞에서 3D SSPP로 예측된 4,542N에 +30%가 더해진 5,904.6N의 부하가 L5/S1에 작용한다고 할 때 식 (4)의 관계로 부터 들기 지수는 5.82로 계산되어 NLE 계산으로 예측된 들기 지수보다 큰 값이다. NLE는 동작의 제약이 없고 무게중심이 고정되어 있는 작업과 같이 비교적 원만한 환경에서 이루어지는 들기작업에 적용이 가능하다(Kee, 2006). 따라서 인력에 의한 포탄 들기작업에 대하여 NLE로 계산된 들기 지수는 실제보다 과소평가 되었다고 볼 수 있기 때문에 식 (4)는 NLE에 의한 들기 지수와 L5/S1 디스크 압착력과의 관계를 잘 반영하고 있다고 볼 수 있다. 이상의 결과로 부터 인력에 의한 포탄 들기 작업은 들기 지수 3.0을 초과하고 L5/S1에 작용하는 압착력이 4,500N을 초과하므로 요통 유발 가능성이 크므로 개선이 필요하다.

인력에 의한 포탄 운반 작업 시 L5/S1에 작용하는 압착력은 1,995N(전단력 500N)로 행동한계 3,400N 미만이며 L4/L5에 작용하는 압착력은 1,960N(전단력 284N)으로 위험 수준은 아니다. 반면에, 포탄 운반과 유사한 작업인 가방을 한쪽 어깨에 메는 자세는 요추의 측방기울기와 축회전각 변화 그리고 흉추의 전방 기울기의 변화를 일으키므로 한쪽 어깨에 메는 가방의 무게는 체중의 10~20%가 적절하다(Park *et al.*, 2011). 이 연구 결과를 참고할 때 체중 72.99kg의 작업자가 한쪽 어깨에 포탄을 메고 이동하는 작업의 권장 중량은 7.30~14.60kg이며 포탄 중량 43kg의 17~34%에 해당하므로 요추에 부담을 줄 수 있다.

양손을 이용하여 이동대차를 최대 6.8kgf의 힘으로 밀기 작업

**Table 3. Biomechanical Analysis Results from 3D SSPP**

Work	Posture	Analysis summary		
Manual lifting				
			Percent of population capable(%)	
			Elbow 0	Hip 18
Manual carrying				
			Percent of population capable(%)	
			Elbow 33	Hip 97
Pushing hand cart				
			Percent of population capable(%)	
			Elbow 100	Hip 85

할 때 L5/S1에 작용하는 압착력은 1,098N(전단력 193N), L4/L5에 작용하는 압착력은 1,034N(전단력 106N)이다. 평균 4.3kgf의 힘으로 밀기 작업할 때 L5/S1에 작용하는 압착력은 1,076N(전단력 212N)으로 행동한계 3,400N 미만이다. 발의 밸런스는 수용할 만하며 마찰계수는 0.059로 0.4 미만이므로 요통의 발병 위험이 없는 안전한 작업으로 볼 수 있다.

**3.3 산업규격, Mital식 및 Snook표에 의한 자세부하평가**

이동대차의 적재중량은 163kg으로 225kg을 초과하지 않으므로 Resnick과 Chaffin의 권고사항을 만족하고 있다. 이동대차를 이용한 포탄 이송방법은 밀기 작업으로 작업부하는 평균 4.3kgf(최대 6.8kgf), 이동대차의 바퀴직경은 203mm로 유럽 산업규격의 최대 허용부하인 20.4kgf를 초과하지 않고 옥외 사용시 최소 허용 바퀴직경인 200mm를 초과하고 있어 유럽 산업규격을 만족하고 있다.

Mital의 정신물리학적 모델인 식 (3)에서 밀기작업 수행거리(HD)는 11m, 작업주기(F)는 0.50회/분을 적용하면 밀기 능력(PC)은 11.56kgf로 계산된다. 이동대차형 포탄 이송장치의 운용에 소요되는 작업부하는 평균 4.3kgf(최대 6.8kgf)로 Mital의 식에 의한 밀기 능력을 초과하지 않으므로 적절하다.

Snook의 표에서 남성이 바닥면에서 손잡이까지의 높이가 96.6cm, 이동거리가 11m, 작업주기가 2분당 1회인 밀기 작업을

수행할 경우 최대 허용 이송중량을 최초 하중과 지속 하중에 대하여 보간법으로 예측하였다. 최초 하중은 90% tile 범위의 작업자에 대하여 22kgf, 10%tile의 작업자에 대하여 50kgf이며, 지속 하중은 90% tile 범위의 작업자에 대하여 13kgf, 10% tile의 작업자에 대하여 31kgf이다. 따라서 심물리학적 측면에서 이동대차형 포탄 이송장치의 운용에 소요되는 작업부하인 평균 4.3kgf(최대 6.8kgf)는 Snook의 표에 의한 최대 허용 이송중량을 초과하지 않으므로 적절하다.

**4. 분석 및 고찰**

**4.1 공정수 및 작업 소요시간 비교**

12명의 시험요원 중 인력에 의한 포탄 이송작업에 숙련된 요원 1명과 이송장치의 운용에 숙련된 요원 1명을 선발하여 <Table 4>와 같이 각 이송방법에 따른 작업공정과 소요 작업시간을 비교하였다. 이송작업은 20회 반복하였으며 1회 작업 후 2분의 휴식시간을 가졌다.

인력에 의한 포탄 이송작업은 포탄을 적재대의 끝으로 옮기는 작업이 8.15초, 포탄을 눕히고 어깨에 완전하게 올려 올려서는 작업이 4.40초, 포탄을 어깨에 메고 포미로 이동하는 작업이 11.06초, 장전 작업에 10.80초로 총 소요시간은 평균 33.41

초(표준편차 3.92초)이다. 반면에, 이송장치에 의한 포탄 이송 작업은 포탄을 놓치고 이동대차의 탄 트레이에 위치시키는 작업에 3.68초, 이동대차를 1.55m 당겨 방향을 전환한 후 11.10m 밀기 작업에 16.04초, 스위치 조작으로 탄 트레이를 상승시키는 작업에 6.17초, 장전 작업에 8.20초로 총 소요시간은 평균 33.67초(표준편차 1.42초)이다. 인력에 의한 이송방식에 비해 이동대차에 의한 이송방식의 평균 총 작업 소요시간은 근소한 차이로 길지만 편차는 상대적으로 작다.

Table 4. Comparison of Work Processes and Tact Time

Manual handling		Using 4-wheeled hand cart		
Work processes	Tact time(sec)	Work processes	Tact time(sec)	
Move	8.15(2.12)	Move	Lay down	1.54(0.27)
			Push	2.14(0.30)
Lift	4.40(1.32)	Carry	Pull	3.56(0.93)
			Push	12.48(0.52)
Carry	11.06(1.03)	Lift	6.17(0.19)	
Load	10.80(0.96)	Load	8.20(0.74)	

<Figure 5>는 반복 작업에 따른 작업 소요시간의 추이를 보여준다. 인력에 의한 이송방법은 약 10회의 반복 작업 후 소요시간이 증가하는 경향을 보이나 이송장치에 의한 이송방법은 소요시간이 균일하게 유지되고 있음을 알 수 있다. 인력에 의한 포탄 이송작업의 반복 수행에 의한 신체 피로 누적이 원인으로 보이며 20회/일 이상의 사격시험 수행 시 또는 며칠간 사격시험이 반복될 때 이러한 경향이 심화되어 시험요원 운용의 효율성 및 안전성 저하로 이어질 것으로 예상된다.

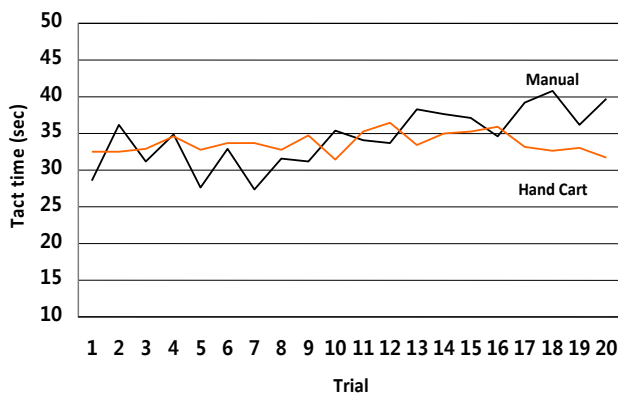


Figure 5. Total Tact Time for Repetitive Work

4.2 포탄 이송장치 설계의 타당성

포탄 이송장치는 최소의 인력부담으로 운용되어야 하며 작업공정 추가의 최소화로 작업시간 증가에 따른 업무효율이 저하되지 않아야 한다. 특히 포탄을 이송장치에 올리는 작업과

화포의 포미에 장전이 용이하도록 탄 트레이를 상승시키는 작업이 신속하고 안전하게 이루어지도록 설계하는 것이 관건이다. 이송장치는 야외 운용으로 온도, 습도, 먼지 등 환경조건과 포탄사격에 의한 폭압에 상시 노출되므로 오동작의 방지를 위하여 전자부품의 사용을 최소화하여야 한다. 이동대차는 국내 또는 국외 산업규격과 인간공학적 권고사항을 만족하여야 하며 밀기작업 시 전도 가능성이 없어야 한다. 이동대차의 손잡이 등 운용자의 힘이 직접 작용하는 부분은 운용자의 인체치수가 다양함에도 불구하고 최적의 작업자세로 운용할 수 있어야 한다.

위와 같은 설계 기준을 바탕으로 다음과 같이 설계의 타당성을 검증하였다. 효율성 측면에서 제 4.1절에 분석한 바와 같이 세부적으로는 2단계의 공정수가 추가되었으나 총 작업소요시간은 큰 증가가 없으며 반복된 작업에도 소요시간의 편차가 크지 않다. 본 이송장치는 10m 이상 원거리에서 운용하여야 하며 이송장치의 탄 트레이 높이를 신속하고 정확하게 조절할 필요성이 있다. 따라서 배터리에 의한 구동장치의 운용이 필수적이며 이로 인한 자체 중량 증가로 작동기구를 최대한 경량화 설계하였다.

이송장치는 이동대차로서 적재중량, 작업부하, 바퀴선정 등 유럽규격과 권고사항을 만족시키고 있다. 손잡이 높이가 최대 1,200mm 이고 6.8kgf의 힘으로 이동대차를 밀기작업 할 때 앞바퀴에 작용하는 모멘트는 79.9Nm이다. 총 중량이 163kg이고 이동대차의 길이가 600mm이므로 앞바퀴에서 총 중량에 의한 모멘트는 479.2Nm이다. 따라서 밀기작업에 의한 이동대차의 전도 가능성은 희박하다.

국내 시판중인 이동대차의 평균 손잡이 높이는 923mm이나 (Kwon and Kim, 2012) 작업자들의 다양한 신체조건과 한국인 30~34세 남성의 평균 팔꿈치 높이가 1,040mm(KATS, 2010)임을 감안하여 966mm를 기본으로 900mm~1,200mm의 가변형으로 설계하였다. 이동대차의 밀기작업 시 적정 손잡이 높이와 관련하여 오추 부하 측면에서 1,090mm의 높이를 추천한 Lee et al.의 연구(Lee et al., 1991), 중간높이인 100cm에서 등척 밀기 최대 힘이 가장 높게 발생한다는 Kumar의 연구(Kumar, 1995), 팔꿈치 높이를 적정 높이로 추천한 Al-Eisawi et al.의 연구(Al-Eisawi et al., 1999) 그리고 병원식사 카트에 대하여 94~115.3 cm의 손잡이 높이를 제시한 Das et al.의 연구(Das et al., 2002) 결과로 볼 때 손잡이 높이는 적절하다고 판단된다.

5. 결론

본 연구는 사격시험장에서 견인곡사포용 포탄의 이송방법을 이동대차로 개선한 결과를 기술하였다. 포탄을 어깨로 들어 올리는 작업과 어깨에 올려둔 상태로 이동하는 작업 그리고 이동대차형 이송장치를 밀고 이동하는 작업을 자세부하평가 방법으로 분석하였다. 이송장치의 효율성과 설계 타당성을 확

인하기 위하여 작업 공정수와 작업소요 시간을 분석하였으며 이동대차의 전도 가능성과 적정 손잡이 높이를 확인하였다.

인력에 의한 포탄 이송방법은 NLE과 3D SSPP의 분석 결과 요통의 발병 위험이 높은 작업으로 평가되었다. 이동대차형 포탄 이송장치에 의한 운반작업은 Mital의 수식, Snook와 Ciriello의 표 그리고 3D SSPP에 의한 분석결과로 요통 발병 가능성이 작고 작업부하가 적절하므로 개선효과가 입증되었다고 판단된다. 이동대차의 운용은 인력에 의한 방법과 작업 소요시간의 차이가 거의 없으며 인체의 피로누적이 적기 때문에 반복 작업에 있어서 비교적 균일한 작업시간이 소요된다. 이동대차의 전도 가능성은 희박하며 손잡이 높이는 가변형으로 각종 유사 선행 연구결과와 부합하므로 이송장치의 설계는 타당하다.

## 참고문헌

- Al-Eisawi, K. W., Kerk, C. J., Congleton, J. J., Amendola, A. A., Jenkins, O. C., and Gaines, W. G. (1999), The effect of handle height and cart load on the initial hand forces in cart pushing and pulling, *Ergonomics*, **42**(8), 1099-1113.
- BS EN 1005-3 (2002), *Safety of machinery*, Human physical performance, Recommended force limits for machinery operation, British Standards Institution.
- Chaffin, D. B. (1995), Biomechanical computer model for manual materials handling, *IE Magazine*, **2**(1), 46-51.
- Chaffin, D. B. and Park, K. S. (1986), A longitudinal study of low-back pain as associated with occupational weight lifting factors, *American Industrial Hygiene Association Journal*, **47**, 322-330.
- Das, B., Wimpee, J., and Das, B. (2002), Ergonomics evaluation and re-design of a hospital meal cart, *Applied Ergonomics*, **33**, 309-318.
- Ferreira, J. J., Boocock, M. G., and Gray, M. I. (2004), *Review of the risks associated with pushing and pulling heavy loads*, Research Report 228, HSE, UK.
- Herrin, G. G., Jariedi, M., and Anderson, C. K. (1986), Prediction of over-exertion injuries using biomechanical and psychophysical models, *American Industrial Hygiene Association Journal*, **47**(6), 322-330.
- KATS (2010), The 6<sup>th</sup> Korean Anthropometric Survey, <http://sizekorea.kats.go.kr/>.
- Kee, D. H. (2006), Application of NIOSH lifting equation to analysis of workload for patients transferring, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, **25**(2), 43-50.
- Kim, H. K. (2011), Comparison of compressive forces on low back (L5/S1) for one-hand lifting and two-hands lifting activity, *Journal of Ergonomics Society of Korea*, **30**(5), 597-603.
- Kim, H. K. (2014), Comparison of biomechanical stress on low back(L5/S1) for one-hand lifting and lowering activity, *J. Soc. Korea Ind. Syst. Eng.*, **37**(4), 72-81.
- Kim, J. Y., Park, J. S., and Cho, Y. J. (2010), Biomechanical measuring techniques for evaluation of workload, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, **29**(4), 445-453.
- Kim, S. Y. (2001), *A study on the safety of manual ammunition handling*, Master's thesis, Kyunggi University, Suwon, Korea.
- Korea Industrial Safety Association (2010), Safety of Manual Materials Handling Tasks, *The Safety Technology*, **153**, 64-68.
- Korea Ministry of Employment and Labor (2014), *MSD-related risky work criterion*.
- 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.
- Kwon, B. H. and Kim, H. W. (2012), Ergonomic evaluation for 4-wheeled hand carts with the pushing and pulling tasks, *Proceedings of the Ergonomics Society of Korea*, 178-183.
- Mital, A. (1983), Generalised model structure for evaluating/designing manual handling material handling jobs, *International Journal of Production Research*, **21**, 401-412.
- Lee, K. S., Chaffin, D. B., Herrin, G. D., and Waikar, A. M. (1991), Effect of handle height on lower-back loading in cart pushing and pulling, *Applied Ergonomics*, **22**(2), 117-123.
- Moon, M. K. and Kim, C. H. (2006), A study for the measure and application of maximum push strengths for Korean male/female at different working positions and handle types, *Proceedings of the Ergonomics Society of Korea*, 177-180.
- Park, S. H. and Lee, H. S. (2015), Development of Projectile Transfer System to Prevent Musculoskeletal Problems, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **41**(6), 551-558.
- Park, Y. H., Kim, Y. K., and Kim, Y. H. (2011), Alteration of the static posture of spine under different types and amounts of loading, *Journal of Biomechanical Engineering Research*, **32**, 230-236.
- Resnick, M. L. and Chaffin, D. B. (1995), An ergonomic evaluation of handle height and load in maximal and submaximal cart pushing, *Applied Ergonomics*, **26**, 173-178.
- Snook, S. H. and Ciriello, V. M. (1991), The design of manual handling tasks : revised tables of maximum acceptable weights and forces, *Ergonomics*, **34**(9), 1197-1213.
- Waters, T. R., Anderson, V. P., and Garg, A. (1994), *Applications manual for the revised NIOSH Lifting Equation*, U.S. National Institute for Occupational Safety and Health.
- Woo, D. P. and Lee, D. C. (2013), A study on the push and pull strength for the design of cart handle, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, **32**(4), 405-411.