

근골격계 질환 예방을 위한 포탄 이송장치의 개발

박성호[†] · 이해석

국방과학연구소

Development of Projectile Transfer System to Prevent Musculoskeletal Problems

Sung Ho Park · Hae Suk Lee

Agency for Defense Development

The purpose of this paper is to investigate the development of mechanical projectile transfer system to prevent musculoskeletal problems in the firing test range. Prior to 2010, the projectile has been transferred from the worktable to the loading device of 155mm K9 fixed-type artillery by manual. Because the amount of firing test has been increased drastically since 2010, two types of mechanical projectile transfer system were developed to prevent musculoskeletal problems. The NIOSH lift equation and the working posture assessment system such as OWAS, RULA and REBA were used to evaluate the appropriacy of working weight and posture by manual transfer of projectile. The configuration and operation procedure of projectile transfer systems which were developed to improve work efficacy and to reduce the burden of manual transferring were described. The improvements were assessed by the number of processes, the tact time and the working posture assessment for operation of this system by comparing to the manual transfer of projectile.

Keywords: Musculoskeletal disorders, Recommended weight limit, Work posture, Ergonomic improvement, Transfer unit, Firing test range

1. 서론

근골격계 질환은 반복적인 동작, 부적절한 작업자세, 무리한 힘의 사용 등의 요인에 의하여 발생하는 건강장애로서 목, 어깨, 허리, 상지 및 하지의 신경과 근육 및 그 주변 신체조직 등에 나타나는 다양한 질환을 통칭한다. 근골격계 질환 유소견자는 통증의 빈도, 지속시간, 강도의 세 가지 요인으로 판정한다(Kee *et al.*, 2008).

국내에서 업무상 질병으로서 근골격계 질환이 가지는 특징으로 상지 질환보다 요통 질환자가 훨씬 높은 비율을 보이며, 급격한 힘이 돌발적으로 작용하여 발생하는 사고성 요통이 일정 기간을 거쳐 반복 동작 또는 부적합한 자세 등에 기인하는 비 사고성 요통보다 높은 비율이다. 요통발생의 주요 원인은 중량물의 취급(들기, 운반 등)이며 돌발적 또는 점진적으로 발생한다.

다. 돌발적 요통 발생에는 초과 중량물 취급율이, 점진적 요통 발생에는 요추 압력과 분당 중량물 취급 회수가 관련이 있다 (Kim *et al.*, 2010).

방산업체에서 로트(LOT) 단위로 생산되는 포탄은 공인된 시설, 장비 및 시험요원을 보유하고 있는 국방과학연구소 종합 시험장(이하 사격시험장)에서 사격시험으로 품질을 확인하고 있다. 1998년도에 155mm 자주포 K9이 국내 독자기술로 개발된 이래로 방산업체에서 생산된 무장 및 탄약의 품질확인 시험이 사격시험장에서 계속되고 있다. 사격시험장에서는 <Figure 1>과 같이 야전에서 운용되는 K9 자주포의 형태와는 달리 시험목적에 적합하게 포탄을 발사하는 무장부분을 분리하여 고정포가에 설치한 고정포 형태로 운용하고 있다. 야전에서 운용하고 있는 K9 자주포는 중량 46kg에 이르는 포탄의 장전과정이 자동화되어 있으나 사격시험장에서는 <Figure 2>와 같이

[†] 연락저자 : 박성호, 32143 충남 태안군 태안읍 태안우체국 사서함1호, Tel : 041-671-2216, Fax : 041-673-1122,
E-mail : redfox7089@naver.com

2015년 5월 24일 접수; 2015년 8월 15일 수정본 접수; 2015년 10월 3일 게재 확정.

테이블 형태의 포탄적재대에서 K9 고정포의 장전장치까지 인력에 의존하여 포탄을 이송해 왔다. 포탄 이송작업은 들기 위주의 작업으로 사격시험에 있어서 인체 근력에 가장 많은 부담을 주는 작업이다. 하지만 이제까지 야전포병의 포탄 사격 훈련이 근골격계 질환에 미치는 영향과 관련한 이중정 등의 연구를 제외하고는 관련 분야에서의 연구가 이루어 지지 않았다(Lee and Jeong, 2001).



Figure 1. 155mm K9 fixed-type artillery



Figure 2. Manual transfer of projectile

탄착지가 해상인 사격시험장에서 안전구역 내 어선의 조업 또는 통과 시 사격시험은 대기상태가 된다. <Figure 3>은 해상 탄착지내 월별, 시간대별 어선의 유입 척수이다. 주요 어종에 대한 급어기인 6~7월을 제외하고 연말로 갈수록 어선수가 증가하며 오후에 비하여 오전에 2배 이상의 어선이 탄착지 내로 유입되고 있다. 사격시험은 동일한 시험조건에서 수행되어야 하므로 중단됨 없이 완료되어야 한다. 실제로는 15:00 이후에 원활한 사격시험의 수행이 가능하며 해상 탄착지내 어선의 분포 이외에 기상조건, 공역(airspace)의 통제, 화포 또는 계측장비의 고장 등이 사격시험의 가능 여부에 영향을 주는 요인이다. 이러한 요인들의 복합적인 작용으로 당일 사격시험의 완료를 위하여 신체적 부담을 감수하고 업무에 임하게 될 경우 사고성 요통의 발생 가능성이 커지게 된다. 게다가 연중 시험물량이 하반기에 급격히 증가하며 이로 인한 일일 사격시험

발수의 증가는 피로 누적을 가중시켜 비사고성 요통의 발생 가능성을 높인다.

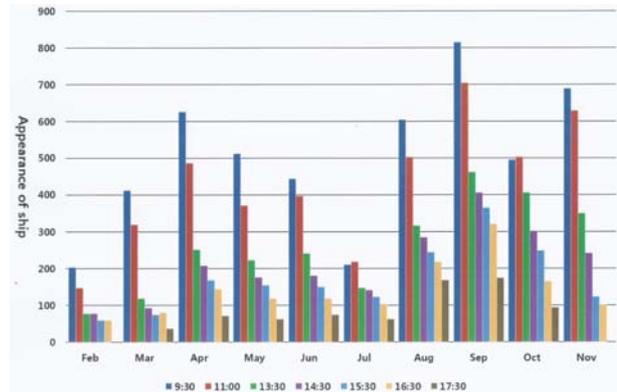


Figure 3. Appearance of ship in the marine shooting range

고용노동부 고시에 의하면 하루에 10회 이상 25kg 이상의 물체를 드는 작업은 근골격계 부담작업에 해당한다(KMEL, 2014). 155mm K9용 포탄 사격시험은 이송장치의 개발, 운용 이전인 2005년도부터 2009년도까지 5개년 동안 일일 평균 사격발수가 8.9발에서 시험물량의 증가로 2014년도에 일일 평균 19.1발, 2015년도에 27.2발로 대폭 증가하였다. 2009년도부터 이러한 시험물량의 증가에 대비하기 위하여 인력에 의한 포탄 이송방법의 근골격계 유해성 여부를 분석하고 이를 해결하고자 이송장치를 개발하게 되었다.

본 논문은 사격시험장에서 운용중인 155mm K9 고정포에서 사격시험 시 인력에 의존한 포탄 이송작업이 근골격계 부담작업에 해당하는지 여부를 확인하였다. 근골격계 질환의 예방과 업무 효율 향상 그리고 사격시험 안전의 확보를 위하여 개발된 기계적 이송장치의 운용방법을 기술하고 그 효과를 공정수, 작업속도 그리고 인간공학적 측면에서의 개선효과로 분석하였다.

2. 연구대상 및 분석방법

2.1 연구대상

155mm K9 고정포에서 사격시험 시 중량 46kg의 포탄을 포탄적재대에서 고정포의 장전장치까지 인력에 의존한 이송방법이 인체의 근골격계에 미치는 영향을 분석하였으며 이를 개선하고자 개발한 2종의 기계식 이송장치의 운용방법과 개선효과에 대하여 기술하였다.

포탄 이송작업을 수행하고 있는 시험요원의 신체적 특징은 다음과 같다. 전원 남성이며, 체중과 허리 높이의 평균(표준편차)은 각각 74.2kg(11.1kg), 102.8cm(5.0cm)이다. 연령대별 체중은 20~35세(67%)가 62~86kg(98kg 1명 제외), 35~40세(8%)가 75kg, 40대(8%)가 75kg, 그리고 50대(17%)가 58~65kg이다. 중량

물 취급 가이드라인에 의한 적정중량은 만 18세 이상 남성은 체중의 1/2이하, 20~35세를 기준(100%)하여 35~40세는 95%, 40대는 88%, 50대는 85%이다(Kee et al. 2008). 적정중량이 35 kg이며 포탄 중량이 46 kg이므로 적정중량을 초과한다.

시험요원의 75%가 40세 미만의 20~30대이며, 50대 이상인 17%를 제외한 83%의 시험요원이 근속기간 2년 미만의 경력자이다. 김현호 등은 산업재해 중 근골격계 질환 요인 특성 분석으로 장기 근속자의 경우 비사고성 요통, 단기 근속자의 경우 사고성 요통의 발병 비율이 높다고 보았다(Kim et al., 2008). 즉 2년 미만의 경력자들로 구성된 현 시험요원은 중량물 취급 경험 및 요령의 부족으로 포탄 취급 시 사고성 요통의 발생 확률이 높다.

포탄 이송작업은 중량 46kg의 155mm 포탄 43발을 1발/3분의 간격으로 2m 이송거리 내에서 2시간/일을 평균 수행하는 작업이다. 포탄적재대의 높이는 장전장치와 유사한 71 cm로 작업자들의 평균 허리 높이 102.8cm보다 30cm정도 낮기 때문에 포탄의 들기 작업 시 허리를 굽어야 하며 약 17°로 기울어진 장전장치에 포탄을 안착 시 근력의 미세조정이 필요하므로 허리에 많은 하중이 가해지게 된다.

2.2 분석방법

인력에 의한 포탄 이송작업이 인체의 근골격계에 미치는 영향을 평가하기 위하여 NIOSH의 들기 작업 공식을 적용하여 권장 중량 한계(RWL)와 들기 작업 지수(LI)를 계산하였으며 OWAS, RULA 그리고 REBA의 세 가지 자세 부하 평가 방법을 적용하였다. 일일 작업시간과 취급중량 그리고 작업간격은 이송장치가 개발되기 이전인 2008년도 연간 155mm K9용 포탄 사격시험의 평균을 적용하였다.

포탄 이송장치의 개발 효과를 입증하기 위하여 전자저울(분해능 10g)에 의한 당김력 측정으로 이송장치의 운용 시 인력부담의 정도를 계산하였으며, 포탄을 포탄적재대 상에서의 동일한 위치로 부터 장전장치로 안착시킬 때까지의 작업을 촬영한 동영상의 분석으로 인력 및 이송장치에서의 인력부담 공정수와 총 작업 소요시간을 비교하였다. 이송장치는 인력에 의한 들기 작업이 없으므로 NIOSH의 들기 작업 공식을 적용하지 않고 OWAS, RULA, REBA의 세 가지 부하 평가 방법만을 적용하여 인력에 의한 포탄 이송방법과 그 결과를 비교하였다.

3. 인력에 의한 이송작업의 인간공학적 평가

3.1 작업대상 및 환경

인력에 의한 이송작업은 이송장치를 개발하기 이전인 2008년도에 평균적으로 다음과 같이 기술할 수 있다. 1인당 1일 취급중량은 1,978kg(46kg×43발), 1일 취급시간은 2시간/일, 작업 간격은 1발/3분, 그리고 이송거리는 2m 이내이다. 작업면은 콘크리

트 포장이며 포탄 적재대의 높이는 장전장치와 유사한 높이인 71cm이다. <Figure 2>와 같이 주요 작업형태는 들기이며 90°이상 몸통을 비트는 자세가 필요하다. 약 17°로 기울어진 장전장치에 포탄을 안착 시 포탄에 충격이 가해지지 않도록 근력의 미세조정이 요구된다.

3.2 NIOSH의 들기 작업 공식에 의한 평가

미국 질병통제관리국 산하 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)은 들기 작업의 위험성을 정량적으로 평가하기 위한 방법을 들기 작업 공식으로 제시하였다(Waters et al., 1994).

들기 작업 공식을 적용하여 작업자가 들기 작업 시 요통 유발의 위험성 증가 없이 실제 작업 시간 동안 들을 수 있는 무게의 한계인 식 (1)의 권장 중량 한계(RWL)와 실제 중량(L)과 권장 중량 한계의 비인 식 (2)의 들기 작업 지수(LI)를 계산하였다.

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

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

<Table 1>은 NIOSH가 제시한 들기 작업 공식을 적용하기 위한 각 작업 변수의 측정값과 계수값이다. 포탄 이송 작업은 안전을 위하여 미세조정이 필요하므로 시점과 종점에서 모두 권장 중량 한계와 들기 작업 지수를 계산하여 부하가 큰 쪽을 선택하였다.

작업자는 <Figure 2>와 같이 높이 71cm의 포탄적재대에서 포탄을 허리높이까지 들어 최대한 몸에 밀착하여 장전장치까지 이송시킨다. 수직높이의 시점은 포탄적재대의 높이로, 종점은 작업자들의 평균 허리 높이로 설정하였다. 작업빈도와 작업시간은 각각 1회/3분, 2시간/일을 적용하였으며 이송장치 개발 이전인 2008년도 연평균 값이다. 커플링은 손잡이는 없으나 손가락 위를 90° 굴곡한 자세로 물체를 질 수 있다고 판단되어 보통(Fair)으로 분류하였다.

<Table 1>의 계수값과 식 (1)로 부터 권장 중량 한계를 계산하면 작업 시점에서 14.92kg, 종점에서 8.99kg이다. 따라서 들기 작업 지수는 실제 중량(L) 46kg에 대하여 작업 시점에서 3.08, 종점에서 5.12로 3.0을 초과하므로 인력에 의한 포탄 이송작업은 근골격계 질환 발병의 위험이 매우 크다.

3.3 자세 부하 평가

OWAS(Karhu et al., 1977), RULA(McAtamney and Corlett, 1993), REBA(Hignett and McAtamney, 2000)의 방법으로 자세부하를 평가하였다. OWAS의 적용으로 행동 범주는 4로 즉시 개선이 요구되는 부하가 매우 큰 자세(extremely harmful)로 평가되었다. RULA의 적용으로 최종점수는 7점, 행동 범주는 4단계인 즉각적인 개선이 필요한(investigate and implement change) 자세

Table 1. Observed values and multipliers for each variable of the NIOSH lift equation

Task variables	Measure		Multipliers	Values	
				Origin	Dest.
Load(kg)	46		-	-	-
Location of the hands(cm)	Horizontal	Origin	35	Horizontal multiplier(HM)	0.714
		Dest.	35		
	Vertical	Origin	70	Vertical multiplier(VM)	0.985
		Dest.	103		
Travel distance of the load(cm)	28		Distance multiplier(DM)	0.981	
Asymmetry angle(°)	Origin	0	Asymmetric multiplier(AM)	1.000	0.648
	Destination	110			
Lifting frequency(lifts/min)	0.33		Frequency multiplier(FM)	0.99	
Work duration(hours)	2~8				
Coupling	Fair		Coupling multiplier(CM)	0.95	

로 평가되었다. REBA의 적용으로 최종 점수는 4점, 행동 범주는 2단계인 개선을 요하는(medium risk, further investigation, change soon) 작업으로 평가되었다. 일반적으로 OWAS와 REBA가 RULA에 비하여 과소평가되는 경향이 있다고 보고되고 있으며(Kee *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2001), 포탄의 이송작업도 REBA는 OWAS와 RULA에 비하여 중간이하의 낮은 등급으로 과소평가하고 있다. 신체부위별 자세평가 점수는 <Table 1>과 같다.

포탄의 중량이 자세 부하 평가 결과에 미치는 영향은 다음과 같다. OWAS의 경우 포탄의 중량이 10~20kg일 때 3등급으로 가능한 빨리 개선이 필요한(distinctly harmful) 작업, 중량이 10kg 미만의 경우 2등급으로 조만간 개선이 필요한(slightly harmful) 작업으로 평가된다. RULA의 경우 중량 2~10kg(반복적)일 때 5점(3등급)으로 가능한 빨리 개선이 필요한(further investigation, change soon) 작업으로 평가되며 간헐적인 작업일 경우 4점(2등급)으로 관찰 후 개선이 필요한(further investigation, change may be needed) 자세로 평가된다. REBA의 경우 중량 5~10kg일 때 3점(1등급)으로 위험수준이 낮음(low risk, change may be needed)으로 평가된다.

인력에 의한 155mm 포탄 이송작업은 개선이 요구되는 위험한 자세이며 포탄 중량은 자세 부하 평가 결과에 큰 영향을 준다. 작업자세의 개선이 한계를 가지고 있으며 포탄의 중량 변경은 불가능하므로 기계적 보조기구에 의한 인간공학적 측면에서의 개선 필요성이 크다.

4. 포탄 이송장치의 개발

4.1 설계 기본 방향

중량물의 이송방법으로 산업체에서 일반적으로 활용하고 있는 컨베이어 시스템 또는 로봇시스템을 고려해 볼 수 있다(Chung and Yun, 2015, Lee and Bae, 2012). 하지만 작업경로가

짧고 이송 중 포탄의 낙하 또는 충격을 완전히 배제하여 작업의 효율성과 안전성을 동시에 해결하여야 하므로 별도의 전용장치 개발이 필요하다. 포탄 이송장치는 최소의 인력부담으로 운용되어야 하며 이송과정 중 포탄의 낙하에 의한 충격, 전자기력이 신관에 영향 그리고 사격시험 시 폭발에 의한 이송장치의 오작동 등이 철저히 배제되어야 한다. 또한 그 결과로 작업공정의 추가에 따른 업무 효율이 저하되지 않아야 한다. 이를 위하여 작업경로의 고정, 외부 동력 사용의 최소화, 포탄의 자중과 스프링, 댐퍼 등의 기구학적 조합 그리고 베어링, 롤러 등을 활용한 이송장치의 구현이 필요하다.

4.2 호이스트형 이송장치

<Figure 4>는 호이스트형 이송장치의 개념도로서 155mm K9 고정포의 우측, 포탄적재대의 전방에 설치되어 있다. 포탄적재대상에서 포탄을 인력으로 눕히고 와이어로프 인양식 호이스트의 중단에 부착된 <Figure 5>의 자석 리프트 또는 <Figure 6>의 공압 집게를 이용하여 포탄을 잡는다. 공압 집게는 활성신관이, 자석 리프트는 비활성 신관이 포탄에 결합된 경우에 사용한다. 활성 신관은 신관이 작동할 수 있는 상태를 의미하며 자기장이 신관의 기능에 영향을 주므로 공압 집게를 사용한다.

포탄을 잡은 후 호이스트를 상승시키고 이송장치의 회전축을 따라 시계방향으로 90° 회전시켜 <Figure 7>과 같이 장전장치로 위치시킨다. 이송장치의 회전축은 인력으로 회전이 용이하도록 내부에 베어링이, 외부에 롤러가이드가 부착되어 있다. 포탄을 장전장치로 위치시킨 후 호이스트를 하강시키고 자석 리프트 또는 공압 집게를 작동시켜 포탄을 장전장치에 안착시킨다. 포탄의 안착 후 작업자는 호이스트를 상승시키고 이송장치를 초기 위치로 회전한 후 하강시켜 연속된 사격시험의 수행을 위하여 대기 중인 포탄의 이송을 준비한다.

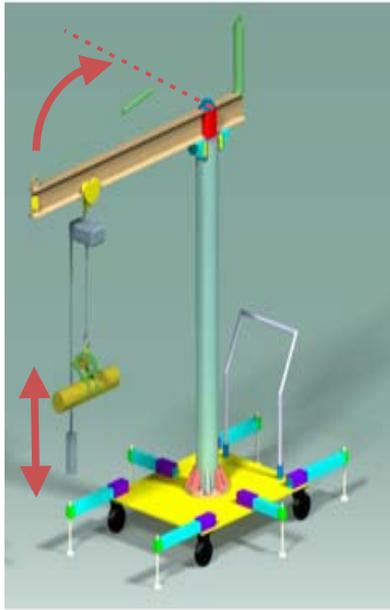


Figure 4. Schematic view of hoist-type transfer system



Figure 5. Magnetic grip



Figure 6. Pneumatic grip



Figure 7. Laying on the loading device by hoist-type transfer system

호이스트형 이송장치는 들기 작업을 기계화하여 인력 부담을 경감시켰으나 자석 리프트의 불완전한 부착 또는 공압 집게의 이상 작동 시 포탄 이송 중 낙하 가능성이 있다. 게다가 포탄을 놓히고 잡기, 호이스트의 회전, 상승, 하강 등 단위 작업공정의 증가로 작업의 시간과 복잡도가 증가하는 문제가 발생하여 테이블 일체형 이송장치를 개발하게 되었다.

4.3 테이블 일체형 이송장치

테이블 일체형 이송장치는 <Figure 8>과 같으며 <Figure 9>는 테이블 일체형 이송장치의 운용 단계이다. <Figure 9>와 같

은 작업단계로 우선 작업자는 포탄적재대에 위치한 포탄을 (a)와 같이 롤러 조립체상에서 (b)의 탄 트레이까지 밀어 이송시킨다. (c)와 같이 탄 트레이를 살짝 밀면 포탄의 자중으로 장전장치와 동일한 약 10°의 각도로 눕어진다. 탄 트레이의 하부 회전중심에는 <Figure 8>(b)와 같이 실린더와 스프링이 미끄럼바 안내대와 탄 트레이에 결합되어 탄 트레이가 자중에 의하여 회전하는 속도를 조절할 수 있다. 미끄럼바 안내대에 부착된 충격완화장치는 탄 트레이와 미끄럼바 안내대 간의 충격을 완화시킨다.

작업자는 <Figure 9>(d)와 같이 탄 트레이의 손잡이를 좌측으로 당겨 미끄럼바, 미끄럼바 안내대 그리고 탄 트레이를 고

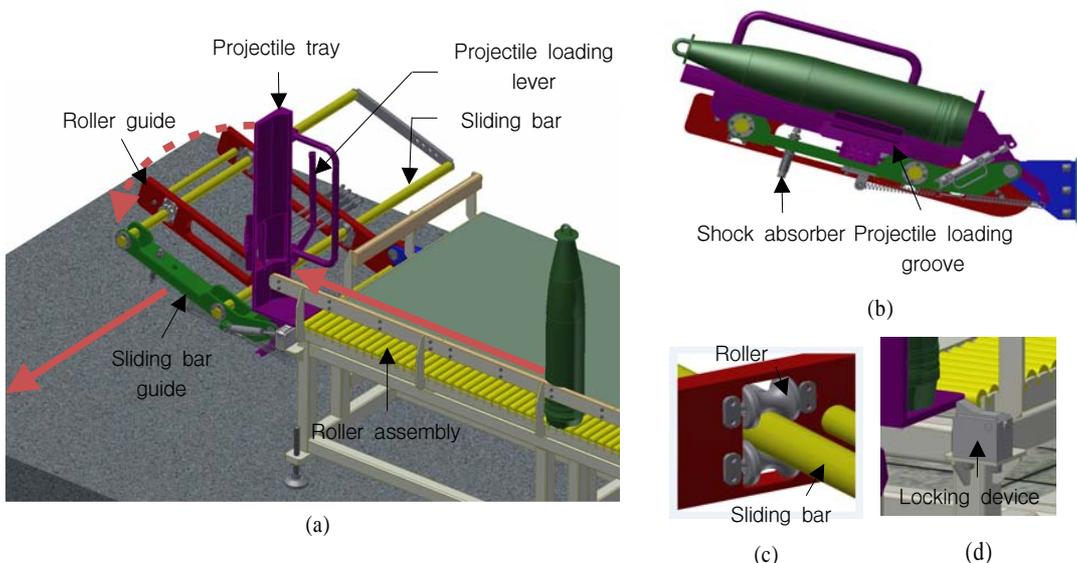


Figure 8. Schematic view of table-attached transfer system

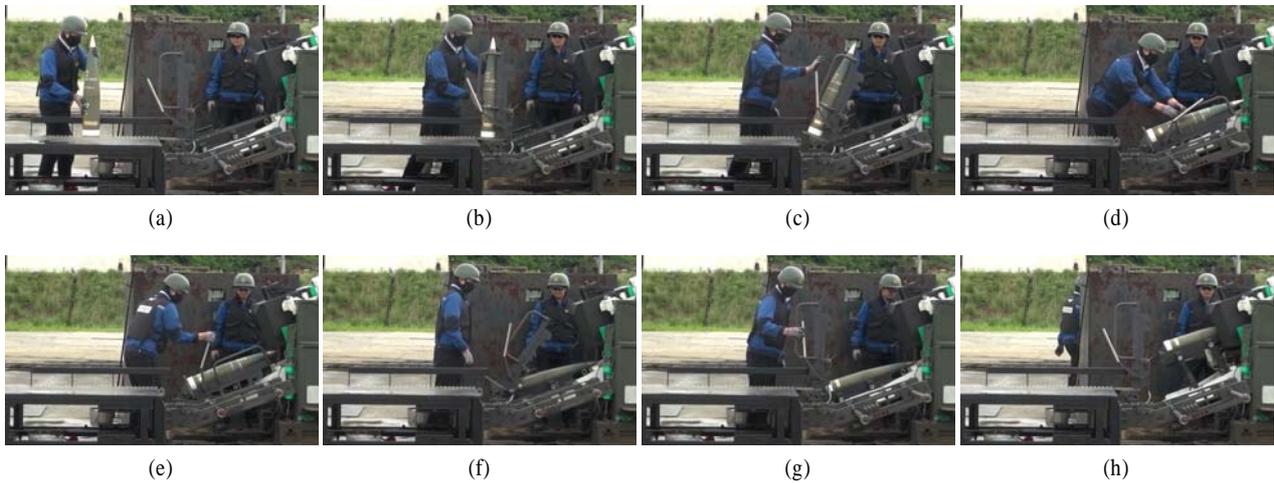


Figure 9. Operation sequence for transferring projectile by using the table-attached transfer system

정포의 장전장치 우측으로 이동시킨다. 이때 <Figure 8>(c)와 같이 롤러가이드의 롤러에 의하여 미끄럼 바의 이동 시 구름 접촉으로 작은 힘으로도 작동하게 된다. 작업자가 <Figure 9>(e)와 같이 포탄적재 레버를 잡아당기면 탄 트레이 하부에 위치한 V자형의 포탄적재 홈이 회전하여 포탄이 장전장치에 안착되며 포탄적재 홈은 스프링에 의하여 복원된다. 포탄적재 홈은 포탄의 이송 시 탄 트레이로부터 낙하를 방지한다.

포탄이 장전장치에 안착되면 탄 트레이는 <Figure 9>(f)와 같이 하부에 미끄럼 바 안내대와 연결된 스프링에 의하여 지면과 수직으로 복원된다. 작업자는 (g)와 같이 연속된 사격시험의 수행을 위하여 탄 트레이를 우측으로 밀어 초기 위치로 복귀시킨다. 초기 위치로 복귀된 탄 트레이는 사격 시 발생하는 충격진동으로 초기 위치를 벗어나지 않도록 <Figure 8>(d)와 같이 멈춤장치로 고정된다. 마지막으로 사수는 (h)와 같이 장전장치를 작동시켜 포탄을 장전한다.

5. 효과 분석

5.1 공정수 및 작업속도 비교

<Table 2>는 이송방법에 따른 공정수 및 작업시간 비교 결과로 여기서 공정수는 인력이 투입되는 공정을 의미한다. 호이스트형 이송장치는 모든 단위공정에서 인력이 투입되고 있으나

테이블 일체형 이송장치는 포탄을 놓히는 공정과 포탄을 장전장치에 안착시키는 공정이 기계요소로 이루어지므로 <Table 2>에서 소요 공정수로 식별하지 않았다.

작업시간은 포탄적재대 상에서 포탄을 이송시키는 시점으로부터 포탄을 장전장치에 안착시키는 시점까지 소요된 시간으로 각 이송방법별 비디오 분석으로 측정하였다. 포탄의 최초 위치는 포탄적재대 상에서 이송장치와 가장 멀리 떨어진 곳으로 동일하게 설정하였다.

호이스트형 이송장치는 인력에 의한 이송방식에 비하여 공정수와 작업시간이 2배 이상 증가되었음을 보여주고 있다. 반면에 테이블 일체형 이송장치는 인력에 의한 이송방식과 공정수가 동일하고 작업시간이 유사하다.

5.2 인체 작용 부하

테이블 일체형 이송장치에서 포탄의 이송작업은 롤러 조립체 상에서의 이송작업과 미끄럼 바를 이용한 이송작업으로 구분할 수 있다. 수평 구름면에서 밀기 또는 당기기 작업 시 작용하는 부하는 구름 마찰력(rolling friction)이며 전자저울을 이용하여 당김력을 측정하였다.

롤러 조립체 상에서 이송작업은 밀기 작업으로, 1.2m 길이의 롤러 조립체를 0.35m/s의 속도로 중량 46kg의 포탄 이송 시 평균 부하는 0.36kg중(최대 1.25kg중)이다. 미끄럼 바를 이용한 이송작업은 당기기 작업으로, 0.5m의 거리를 0.33m/s의 속도로

Table 2. Comparison of the number of processes and tact time among transfer methods

Transfer methods	Tact time(sec)	# of processes	Work processes
Manual	11.01	4	Move(on the table) → Lift → Twist the body → Lay down
Hoist-type transfer unit	38.78	7	Move(on the table) → Hoist up → Hold → Lift → Swing the hoist → Hoist down → Release(Lay down)
Table-attached transfer unit	11.79	4	Slide(on the table) → Push the tray → Pull the tray → Pull the lever(Lay down)

중량 123kg의 미끄럼 바(탄 트레이 및 포탄 중량 포함) 이송 시 부하는 평균 1.52kg 중(최대 2.84kg 중)이다.

최대 부하는 롤러 조립체 상에서 이송 시 이송 초기에, 미끄럼 바를 이용한 이송 시 이송이 종료되는 시점에서 발생하였다. 이송이 진행될수록 미끄럼 바에 작용하는 모멘트가 커지며 롤러에 수직으로 작용하는 힘이 증가함에 따라 구름 마찰력이 증가하기 때문이라고 판단된다.

5.3 자세 부하 평가

테이블 일체형 이송장치의 롤러 조립체 상에서의 이송작업과 미끄럼 바를 이용한 이송작업에 대하여 실시한 자세 부하 평가 결과는 <Table 3>과 같다.

평균 부하 0.36kg 중이 작용하는 롤러 조립체 상에서의 이송작업에 대하여 OWAS에서 행동범주는 1등급으로 안전한 작업(acceptable), RULA에서 최종 점수는 2점으로 행동범주는 1단계인 수용 가능한 작업(acceptable) 그리고 REBA에서 최종점수는 1점으로 행동범주는 0단계인 개선의 필요가 없는 작업(negligible)으로 평가되었다.

평균 부하 1.52kg 중이 작용하는 미끄럼 바를 이용한 이송작업에 대하여 OWAS에서 행동범주는 2등급으로 지속적인 관찰을 요하는 작업(slightly harmful), RULA에서 최종 점수는 3점으로 행동범주는 2단계인 지속적으로 추적 관찰을 요하는(further investigation, change may be needed) 작업 그리고 REBA에서 최종점수는 2점으로 행동범주는 1단계인 위험수준이 낮음(low risk, change may be needed)으로 평가되었다.

<Table 3>에서 이송장치를 이용하는 방법은 인력에 의한 방법에 비하여 허리와 다리에 작용하는 부하가 개선되었으며 작용 하중에 의한 점수가 크게 낮아졌다. 테이블 일체형 이송장치의 롤러 조립체 상에서 운용 시에는 다리에 작용하는 부하

가 크며 미끄럼 바의 운용 시에는 허리와 몸통에 미치는 영향이 상대적으로 크다.

테이블 일체형 이송장치의 운용은 개선이 필요하지 않거나 관찰을 요하는 정도 수준의 자세 부하로 평가되었으며 이는 인력에 의한 46kg 중량의 포탄 들기 작업을 0.36kg 중의 하중에 의한 밀기 작업으로 그리고 인력에 의한 운반작업을 1.52kg중의 하중에 의한 당기기 작업으로 개선하였기 때문이다. 인력 부담을 획기적으로 감소시킴으로써 근골격계 질환의 발생 가능성이 현저히 저하되었다고 평가할 수 있다.

6. 결론

본 연구를 통하여 사격시험장에서 155mm K9 고정포 사격시험 시 시험요원의 근골격계 질환을 예방하기 위하여 개발된 이송장치의 운용과 그 효과를 분석하였다.

NIOSH의 들기 공식과 OWAS, RULA, REBA의 자세 부하 평가 방법을 적용한 결과 인력에 의한 이송작업은 근골격계 질환 유발 가능성이 있으며 포탄의 중량이 가장 큰 요인임을 확인하였다.

인력이 투입되는 공정수와 작업시간을 비교한 결과 테이블 일체형 이송장치는 인력에 의한 방식과 유사한 정도의 공정수와 작업시간이 소요된다. 들기가 주요 작업인 인력에 의한 포탄 이송방법에서 밀기 또는 당기기가 주요 작업인 테이블 일체형 이송장치를 포탄 중량의 약 3~4%에 해당하는 힘으로 운용함으로써 근골격계 질환 발생 가능성을 현저히 낮추었음을 입증하였다.

포탄 이송장치의 최종 형태인 테이블 일체형 이송장치는 별도의 동력을 사용하지 않고 자중과 기구학적 기계요소의 조합으로 제작하였기 때문에 시험 업무의 효율과 안전성을 대폭 향상시켰다.

Table 3. Assessment of working posture for two transfer methods

		Manual Transfer			Table-attached type transfer unit					
					On the roller assembly			By the Sliding bar		
		OWAS	RULA	REBA	OWAS	RULA	REBA	OWAS	RULA	REBA
Arms	Upper arm	1	1	1	1	1	1	1	2	2
	Lower arm		2	1		1	1		1	
	Wrist		2	1		3	2		1	1
	Wrist twist		1	0		1	0		1	0
Neck		-	2	1	-	2	1	-	1	1
Back		4	-	-	1	-	-	4	-	-
Trunk		-	1	1	-	1	1	-	3	3
Legs		4	2	1	7	1	1	2	1	1
Handle		-	-	1	-	-	0	-	-	0
Force or Load		3	3	2	1	0	0	1	0	0
Scores		4	7	4	1	2	1	2	3	2

참고문헌

- Chung, D. K. and Yun, W. Y. (2015), A Case Study on Productivity Improvement for Conveyor Assembly Production Line in Medium and Small-Sized Manufacturing Factories, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **41**(2), 209-219.
- Hignett, S. and McAtamney, L. (2000), Rapid Entire Body Assessment (REBA), *Applied Ergonomics*, **31**, 201-205.
- Karhu, O., Jansi, P., and Kuorinka, I. (1977), Correcting Working Postures in Industry : A Practical Method for Analysis, *Applied Ergonomics*, **8**(4), 199-201.
- Ko, D. S. (2012), Relations between Self-reported Symptoms of Industrial Worker's Work-related Musculoskeletal Disorders and Psychosocial Factors, *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, **7**(6), 1463-1469.
- Korea Ministry of Employment and Labor (2014), MSD-related risky work criterion.
- Kee, D. H., Lee, K. T., Park, J. H., and Choi, K. L. (2008), *Ergonomics for Occupational Safety and Human Manager*, Hankyungsa, Seoul, Korea.
- Kim, H. H., Park, H. J., Park, K. H., Kim, W., Yoo, C. Y., Kim, J. H., and Park, J. S. (2009), An Analysis of Characteristics of Musculoskeletal Disorders Risk Factors, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, **28**(3), 17-25.
- Kim, I. A., Bae, K. J., Kwon, S. C., and Song, J. C. (2010), Work-related Musculoskeletal Disorders and Psychosocial Factors, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, **29**(4), 465-471.
- Kim, K. S., Park, J. K., and Kim, D. S. (2010), Status and Characteristics of Occurrence of Work-related Musculoskeletal Disorders, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, **29**(4), 405-422.
- Lee, J. J. and Jeong, J. H. (2001), Assessment of Job related Factors as Determinants of Incidence of Hemiated Lumbar Disk, *Annals of Occupational and Environmental Medicine*, **13**(1), 31-43.
- Lee, Y. C. and Bae, H. R. (2012), The Methodologies of Digital Engineering Applications to Manufacturing Collaborations in Automotive Industries, *Journal of the IE Interfaces*, **25**(1), 87-95.
- McAtamney, L. and Corelett, N. (1993), RULA : A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomics*, **24**, 91-99.
- 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*.