

근골격계 질환 예방을 위한 견인곡사포 고각조정 방법의 개선

박성호[†]

국방과학연구소

Improvement of Firing Elevation Driving Method for Towed Howitzer to Prevent Musculoskeletal Problems

Sung Ho Park

Agency for Defense Development

The purpose of this study is to improve the firing elevation driving method for towed howitzer to prevent the musculoskeletal disorders. To adjust the firing elevation, it is required to rotate the hand wheel and this work has been done manually in the firing test range as the same method as field artillery troops. In the firing test range, the motor-driven firing elevation adjustment device was developed to improve the working efficiency and safety. These were compared by using posture classification scheme of RULA and REBA. It was measured elapsed time to investigate the improved operational efficiency. The optimal posture of upper body to operate the hand wheel for field artillery troops was proposed.

Keywords: Musculoskeletal, RULA, REBA, Firing Elevation, Roller Chain System

1. 서론

근골격계 질환은 부적절한 작업자세, 반복동작, 과도한 힘 등의 요인으로 인한 근골격계 근육 및 조직에 미세한 손상이 누적되어 기능 장애의 형태로 나타나며 가장 많이 발생하고 있는 질환은 요통이다(Kim *et al.*, 2010). 외국의 경우 견관절통이 요통 다음으로 빈번하게 발생하고 있으며 오히려 요통보다 유병률이 높다는 연구 결과도 있다(Park and Seo, 2008). 견관절통은 정확한 진단과 적절한 치료시기가 매우 중요하며 부적절한 치료에 장기 노출 시 치료 적기를 놓치기 쉽다. 하지만 대중적 치료에 의존하는 경우가 많으며, 업무관련성의 입증도 어려워 직업성 근골격계 질환으로 인정받기 어려운 측면이 있어 작업공정의 개선 또는 보조기구의 제작 등에 의한 예방에 관심을 갖기가 어렵다.

미국 온타리오주 보건안전회의가 펴낸 근골격계 질환 예방 가이드라인에 의하면 동일하거나 유사한 신체부위가 충분한 휴식 없이 연속적으로 사용될 경우 작업강도가 작거나 작업자

세가 불편하지 않더라도 근육의 피로 누적으로 상해의 가능성이 있다(OHSCO, 2007). 단순 반복 작업의 지속적인 수행은 근육 피로도를 누적시켜 누적 외상성 질환(CTDs), 반복성 긴장장애(RSI) 및 경견완 증후군 등의 원인이 되며 작업공정 또는 환경의 개선이 요구된다. 이러한 질환들은 주로 상체부위에 나타나는 것이 특징이다(Seo *et al.*, 2001).

국방과학연구소 종합시험장(이하 사격시험장)은 공인된 시설, 장비 및 시험요원을 보유하고 있으며 방산업체에서 로트(LOT) 단위로 생산한 포탄의 품질을 사격시험으로 평가하여 왔다. 견인곡사포에서 사격시험 시 일반적으로 수평에 가까운 각도에서 포탄을 장전하며 요구 사거리에 도달할 수 있는 고각(firing elevation)으로 조정하여야 한다. 이제까지는 야전포병과 동일하게 견인곡사포의 고저 손바퀴를 수동으로 회전시켜 고각을 조정해 왔다. 따라서 고각조정을 위한 고저 손바퀴 회전 작업을 급격하게 반복 수행할 경우 견관절통은 물론 사고성, 비사고성 요통을 포함한 근골격계 질환의 유발가능성이 높아진다. 고저 손바퀴의 조작은 일반적으로 어깨 근육으로만

[†] 연락저자 : 박성호, 32143 충남 태안군 태안읍 태안우체국 사서함1호, Tel : 041-671-2214, Fax : 041-673-1122,
E-mail : redfox7089@naver.com

수행된다고 여겨질 수 있으나 팔과 어깨는 몸통과 견갑골에 의해 그 기능이 결정되며 팔 동작은 몸통이나 하지에 고정 또는 협응하여야 운동이 가능하다(Jung, 2006).

본 연구를 수행한 사격시험장은 탄착지가 해상으로 사격시험 시 안전구역 내 어선의 통과 또는 조업으로 수시로 대기상태가 된다. 2014년도 2월~11월 기간 중 시간대별 해상 사격장내로 유입한 어선수를 확인해 보면, <Figure 1>에서 유입된 어선수의 월간 비율이 연말로 갈수록 증가하며 <Figure 2>에서 시간대별 어선 유입 비율이 오전에 많음을 알 수 있다. 이와 같은 해상사격장 여건과 강우, 해무 등의 기상조건, 공역(airspace)의 통제, 계측장비의 고장, 타 사격시험과의 중복 등 다양한 요인은 사격시험의 수행을 지연 또는 불가능하게 한다. 게다가 포탄 사격시험은 생산 로트에 대한 샘플링 시험으로 당일 사격시험이 완료되어야 하므로 시간제한에 따른 신체적 부담을 감수할 가능성이 있게 된다. 연말로 갈수록 사격시험 물량도 증가하는 경향을 가지고 있기 때문에 반복적, 집중적인 업무의 수행은 피로 누적에 의한 근골격계 질환의 발생 가능성을 높인다.

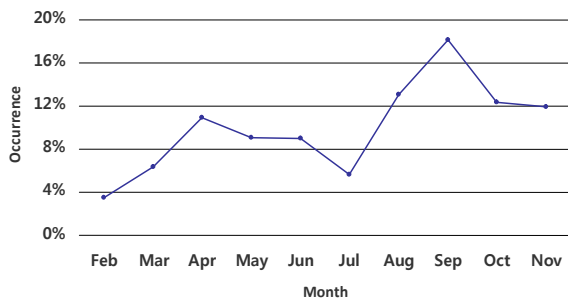


Figure 1. Annual Occurrence of Fishing Boats

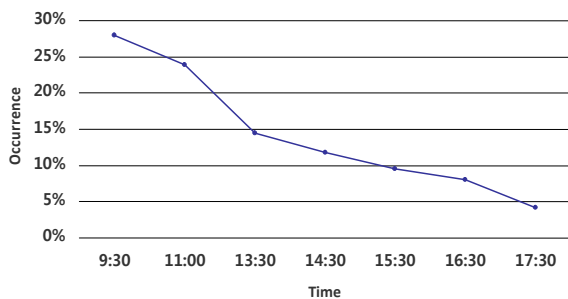


Figure 2. Daily Occurrence of Fishing Boats

손바퀴(hand wheel)의 조작에 따른 근골격계 질환과 관련한 연구는 주로 차량 운전자의 안락성 및 피로도에 관하여 이루어져 왔다(Choi et al., 2006; Choi, 2008; Son, 2004; Song, 2005; Yadav et al., 2007). 야전포병이 포탄사격 훈련 중 겪을 수 있는 근골격계 질환과 관련한 조사 또는 연구는 이루어지지 않았거나 발표되지 않아 현황을 파악하기가 어렵다. 포탄의 사격시험 시 사격고각의 조절은 필수적이며 이때 어깨 근육은 물론 몸을 지지하기 위한 부하가 팔과 몸통(허리 포함)에도 전달되므로 수동조작에 의한 고각조정 방법의 개선 필요성이 제기되었다.

본 논문에서 사격시험장에서 견인곡사포의 고각조정 작업을 인력에 의존하여 수행하는 방법이 근골격계 부담작업에 해당하는지 여부를 자세부하평가 방법으로 확인하였다. 근골격계 질환의 발생을 예방하고 업무 효율을 향상시키기 위하여 모터 구동식 고각조정 장치를 설계, 개발하였으며 그 결과와 운용에 따른 효과 그리고 적정 작업 자세를 논하였다.

2. 연구대상 및 실험방법

2.1 연구대상

본 연구의 대상은 <Figure 3>과 같은 155mm 견인곡사포의 고각조정 장치이다. 고저장치는 아크-피니온(Arc and Pinion) 기어 및 평치차로 구성되어 있으며, 고각 조정 시 역전방지기구를 작동시키기 위하여 제동 손잡이를 잡아당긴 채로 고저 손바퀴를 회전시켜 고각을 상승 또는 하강시킨다. 따라서 장전 고각과 사격고각의 차이가 클수록 고저 손바퀴의 많은 회전이 요구된다. 고각은 고저 손바퀴 1회전 당 10.3mil의 각도로 변화하며 1mil은 1회전을 6,400으로 나눈 각도에 해당한다. 예를 들어 수평인 0mil(0°)에서 포탄을 장전 후 800mil(45°)의 사격고각으로 조정 시 고저 손바퀴를 약 78회 회전시켜야 한다.



Figure 3. 155mm Towed Howitzer

고저 손바퀴의 반경은 181mm이며 포탄 사격 시 화포의 상하반동에 의한 충격 완화 기능을 하는 잭(jack)을 올렸을 때 지면에서 130cm에 회전중심이 위치하고 있다. 고저 손바퀴의 회전 토크는 약 46.7kg의 포탄이 장전되었을 때 어떠한 고각에서도 포신의 상하 구동 시 120kgf·cm 이하가 되도록 국방규격서에 규정되어 있으며 반경이 18.1cm이므로 회전에 필요한 힘은 6.6kgf 이하이다.

2.2 실험방법

본 연구에서 모터 구동식 고각조정 장치를 개발하였다. 기존의 수동조작 방식과 모터구동 방식에 대한 자세부하 평가를 위하여 제동 손잡이를 잡아당기는 힘, 고저 손바퀴를 회전시

키는 힘을 분해능 10g의 전자저울을 사용하여 당김력으로 측정하였다. 모터구동 방식의 운용에 따른 개선효과를 확인하기 위하여 고각 0mil에서 300mil로 수동조작 방식으로 10회 반복 조정하였으며 1시간의 휴식 후 마찬가지로 고각 0mil에서 800mil로 10회 반복 조정하여 소요시간을 초시계로 측정하였다. 실제 사격시험 수행 시 고각조정 작업 간격을 고려하여 매회 작업 후 1분의 휴식시간을 가졌다.

모터구동 방식으로도 고각 0mil에서 300mil과 800mil로 조정 시 소요되는 시간을 각각 10회씩 반복하였으며 별도의 휴식시간을 가지지는 않았다. 이때 요구된 고각으로 조정이 완료되었음은 고각 측정 기구인 상한의(quadrant)를 사용하지 않고 고저 손바퀴를 요구된 고각으로 조정하는데 필요한 회전수 만큼 회전시켰을 때로 보았다. 고저 손바퀴는 고각 0mil에서 300mil로 조정 시 29회, 800mil로 조정 시 78회 회전시켜야 한다.

3. 모터 구동식 고각 조정장치의 개발

3.1 조정장치의 설계

고저 손바퀴를 모터의 힘으로 회전시키기 위하여 0.4kW의 동력을 전달하는 롤러 체인 전동장치를 <Table 1>과 같이 설계하였다.

중동 스프로킷의 분당 회전수는 80rpm, 롤러 체인의 안전계수는 8.00이며 축간거리는 317mm이다. 중동 스프로킷의 토크는 485.0kgf · cm(47.5N · m)로 고저 손바퀴로 전달되는 고저 전류기의 회전 토크는 국방 규격서에서 120kgf · cm 이하로 요구되므로 롤러 체인에 의한 모터 구동식 고각 조절장치는 중동 스프로킷의 원활한 구동을 보장한다.

3.2 조정장치의 구조

<Figure 4>는 모터 구동식 고각 조정장치의 설치 전, 후의 모습이다. 고저 손바퀴의 크기는 기존과 동일하며 고각의 미세 조정이 필요한 경우 수동으로 운용이 가능하다. 게다가 모터 구동식 롤러 체인 시스템이 고저 손바퀴의 연장된 축에 연결

되므로 기존의 휠로 쉽게 교체할 수 있으며 화포의 기본적인 성능에 미치는 영향은 없다.

Table 1. Design of Motor-Drive Firing Elevation Adjustment Device

		Driving side	Driven side
Sprocket	Number of teeth	12	20
	Diameter of pitch circle(mm)	49.1	81.2
	Revolutions per minute(rpm)	133	80
	Torque(kgf · cm)	291.0	485.0
Motor	Output torque(kgf · cm)	19.4	-
	Gear ratio	15:1	-
	Max. r.p.m.(rpm)	2,000	-
Chain	Chain No.	#40	
	Breaking load(kN)	14.2	
	Average velocity(m/s)	0.34	
	Transmission force(N)	1,184	
	Max. transmission force(N)	1,776	
	Safety factor	8.00	
	Number of links	66	
	Wheelbase(mm)	317	

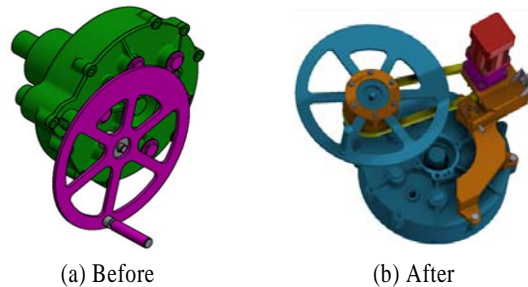
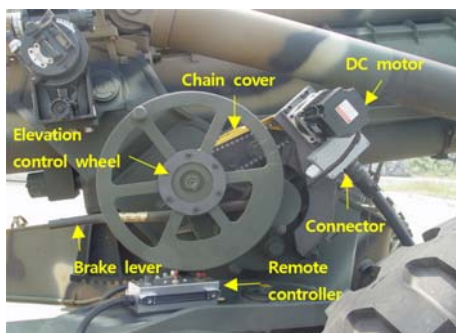


Figure 4. Modification of Firing Elevation Wheel Driving Method

<Figure 5>는 모터 구동식 고각 조정장치가 화포에 장착된 모습이다. 고저 손바퀴의 축이 롤러 체인으로 연결된 DC 모터



(a) Front view



(b) Side view

Figure 5. Detailed View of Motor-Driven Firing Elevation Adjustment Device

의 회전력으로 회전한다. 모터 결합체는 고저 손바퀴의 축으로부터 317mm의 위치에 구동 스프로킷 휠의 중심이 위치한다.

제동 손잡이를 왼팔로 잡아당긴 후 <Figure 6>의 리모컨을 조작하여 구동 모터를 작동시킨다. 리모컨은 비상정지, 상승/하강 그리고 속도조절 기능을 가지고 있으며 모터의 회전방향과 속도를 조절한다. 속도조절 스위치를 이용하면 고각을 초기에 빠른 속도로 조정한 후 감속시켜 미세하게 조정할 수 있다. 모터구동 전원은 교환방식 전원공급 장치(SMPS)를 통하여 전환된 24V 직류 전원 또는 배터리 전원을 직접 사용할 수 있어서 외부전원이 공급되지 않는 야전에서도 24V 배터리로 운용이 가능하다.



Figure 6. Remote Controller

원되지 않도록 유지하는데 필요한 힘은 3.9kgf로 측정되었다. 수동조작 방식에서 오른팔로 고저 손바퀴를 회전시키는데 필요한 힘은 최소 3.5kgf이며, 원활한 회전 시 8.3~11.5kgf 정도로 측정되었다. 손잡이를 잡아당기는 각도와 회전시키는 속도에 따라 달라진다.



Figure 7. Manual Manipulation of Firing Elevation Wheel

4. 효과 분석

4.1 작업자세 분석

고각조정 작업을 수행하고 있는 시험요원의 신체적 특징으로 전원 20~35세의 남성이며 근속기간은 3~13년으로 80% 이상이 포병출신으로 작업의 숙련도는 높다. 신장과 체중의 평균(표준편차)은 각각 172.8cm(3.9cm), 71.7kg(7.7kg)이다.

<Figure 7>은 수동조작 방식에 의한 고각조정 자세이다. 제동 손잡이를 잡아당기고 회전 작업을 시작하기 위한 최초 전체 자세와 손잡이가 고저 손바퀴의 하단과 상단을 지날 때 팔의 각도와 손목의 자세를 확인할 수 있다. 왼팔의 경우 위팔은 60°, 아래팔은 관상면과 35°의 자세로 요구되는 사격고각에 도달할 때까지 제동 손잡이를 잡아당기는 작업을 한다. 오른팔의 경우 위팔은 앞으로 60~100°, 아래팔은 관상면과 14~35°의 범위에서 고저 손바퀴를 회전시키는 작업을 한다. 고저 손바퀴를 원활하게 작동시킬 수 있도록 손잡이에는 축방향으로 회전이 가능한 원통형관이 결합되어 있다.

<Figure 8>은 모터구동 방식에 의한 고각조정 자세이다. 왼팔의 경우 위팔은 80°, 아래팔은 관상면과 18°의 자세로 요구되는 사격고각에 도달할 때까지 제동 손잡이를 잡아당긴다. 오른팔의 경우 위팔은 22°, 아래팔은 관상면과 53°의 자세로 리모컨의 상승/하강 스위치를 조작한다. 리모컨 조작을 위하여 오른팔이 몸 안쪽을 교차하고 있으며 몸통이 비틀어 지지 않은 좌로 향하여 선 자세이다. 왼팔로 제동 손잡이를 잡아당기는 힘은 수동조작 방식과 동일하다.

수동조작 및 모터구동 방식에서 왼팔로 제동 손잡이를 잡아당기는 힘은 최대 23.8kgf까지 증가하며 완전히 잡아당기고 복



Figure 8. Motor-Driven Manipulation of Firing Elevation Wheel

4.2 자세부하평가

고각 조정작업은 주로 상체운동이므로 <Table 2>와 같이 RULA(Rapid Upper Limb Assessment)와 REBA(Rapid Entire Body Assessment)의 자세부하평가 방법을 적용하였다. 각 항목별로 왼팔(L)과 오른팔(R)로 나누어 평가하였으며 각각에 대하여 수동조작 방식과 모터구동 방식으로 구분하였다.

왼팔에 의한 수동조작 방식과 모터구동 방식은 RULA와 REBA 평가에서 각각 4점, 2점으로 조치등급 2단계(지속적 관심), 1단계(위험 낮음)로 동일하게 평가되어 제동 손잡이를 잡아당기는 작업은 위험성이 크지 않다. 오른팔에 의한 수동조작 방식은 고저 손바퀴의 회전에 따른 상완과 전완의 자세와 상관없이 RULA 평가에서 7점, 4단계(즉시 개선)로, REBA 평가에서 5점, 2단계(위험 보통)로 평가되어 개선이 필요하다. 오른팔에 의한 모터구동 방식은 RULA 평가에서 4점, 2단계(지

속적 관심)로, REBA 평가에서 1점, 1단계(위험 낮음)로 평가되어 위험성이 크게 낮아졌다고 볼 수 있다. 일반적으로 REBA는 RULA에 비하여 과소평가하는 경향이 있다고 보고되고 있으며(Kee and Park, 2005) 본 연구에서도 동일한 경향을 보이고 있다.

Table 2. Assessment and Comparison of Working Posture

		RULA		REBA		
		Manual	Motor-driven	Manual	Motor-driven	
Arms	Upper arm	L	3	3	3	3
		R	5	2	4	2
	Lower arm	L	2	2	2	2
		R	3	3	2	2
	Wrist	L	1	1	1	1
		R	2	2	1	1
	Wrist twist	L	1	1	N/A	N/A
		R	1	1	N/A	N/A
Trunk	L	1	1	1	1	
	R	1	1	1	1	
Neck	L	1	1	1	1	
	R	1	1	1	1	
Legs	L	1	1	1	1	
	R	1	1	1	1	
Handle	L	N/A	N/A	0	0	
	R	N/A	N/A	0	0	
Force or Load	L	2	2	0	0	
	R	4	0	2	0	
Scores	L	4	4	2	2	
	R	7	3	5	1	

수동조작 방식에 의한 고저 손바퀴 회전 작업은 제동 손잡이를 잡아당기는 작업에 비하여 모든 평가 항목에서 점수가 동일하거나 크다. 차이는 작업 방식에 관계없이 동일한 자세로 자세부하 평가 점수에 큰 영향을 주지 않는다. 실제로는 제동 손잡이를 잡아당길 때와 고저 손잡이를 회전시킬 때 몸을 지지하기 위한 부하가 발과 허리에 가해지나 RULA와 REBA에서 고려되지 않기 때문에 실제로 가해지는 작업부하는 평가 결과보다 더 클 것으로 판단된다. 자세부하 평가결과는 위팔과 아래팔의 자세와 작업부하에 주로 영향을 받고 있으며, 위팔의 자세와 작업부하의 감소가 수동조작 방식의 근골격계 질환 위험성을 낮추고 있음을 알 수 있다.

4.3 작업의 효율성

<Figure 9>와 <Figure 10>은 각각 고각 0mil에서 300mil과 800mil로 수동 조정할 때 소요된 시간이다. 고각 300mil로 조정

시 평균 15.51초(112.67rpm), 표준편차 0.55초이며 고각 800mil로 조정 시 평균 53.15초(87.61rpm), 표준편차 1.94초로 측정되었다. 모터구동 방식으로 고각 300mil로 조정 시 19.17초(91.16rpm), 표준편차 0.25초이며 고각 800mil로 조정 시 50.37초(92.52rpm), 표준편차 0.29초로 측정되었다.

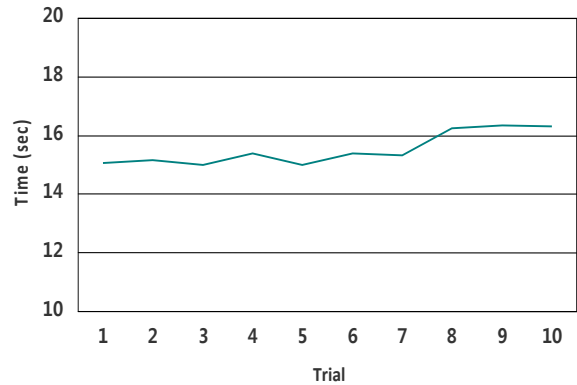


Figure 9. Manual Adjustment Time to 300mil

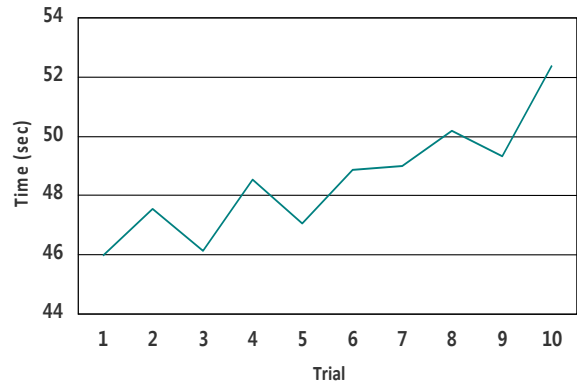


Figure 10. Manual Adjustment Time to 800mil

수동조작 방식은 낮은 고각에서 작업속도가 모터구동 방식보다 오히려 빠를 수 있다. 하지만 작업이 반복될수록 그리고 높은 고각으로 조정할수록 조작속도가 저하된다. 본 실험에서는 10회만 시도하였으나 부가적인 실험을 계속할수록 피로도 누적으로 소요시간이 급격하게 증가할 것으로 예상된다.

사격장시험장에서 사격고각의 조정은 모든 시험요원이 포탄을 장전하고 안전지대로 대피한 후에 수행되는 작업으로 사격시험 수행을 위한 마지막 단계이다. 사격시험장에서 안전지대는 시험요원의 안전을 확보하기 위하여 발사진지 주변에 설치된 철근콘크리트 구조물의 후방지역이다. 고각조정 작업이 완료되면 사수는 방아근을 활용하여 안전지대에서 화포를 원격 격발한다. 따라서 모터 구동식 고각조정장치를 현재 개발 중인 디지털 고각계(quadrant)와 공압 또는 전자기력을 활용한 원격격발장치와 연동하여 활용한다면 포탄 장전 후 고각 조정과 격발을 안전지대에서 할 수 있으므로 작업 효율을 더욱 향상시킬 수 있다.

4.3 최적 작업자세 제안

자세부하평가에 가장 큰 영향을 주는 요인은 위팔과 아래팔의 자세점수이다. 따라서 다음과 같이 수동조작 시 운용자의 신체조건을 고려한 받침대의 설치 또는 모터 구동식 고각조정 장치의 리모컨 위치의 적절한 선정 등 추가 개선사항이 있다고 판단된다. 위팔이 $-20^{\circ} \sim 20^{\circ}$, 아래팔이 $60^{\circ} \sim 100^{\circ}$ 그리고 팔이 몸 안쪽을 교차하지 않도록 작업자세가 설정되도록 한다면 RULA 평가에서 2점, 1단계(양호)로, REBA 평가에서 1점, 0단계(무시)로 평가될 것이다.

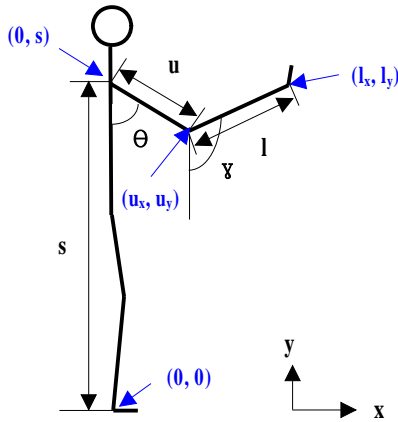


Figure 11. Link-Joint Biomechanical Model

<Figure 11>은 인체 근골격계를 간략화한 그림으로 어깨 높이 (s), 위팔 길이(u), 아래팔 길이(l), 위팔의 각도(θ) 그리고 아래팔이 관상면과 이루는 각도(γ)로부터 식 (1)과 식 (2)와 같이 각각 팔꿈치와 손목의 좌표값을 계산할 수 있다. 좌표계의 원점(0,0)은 발바닥의 안쪽 중앙이며 똑바로 선 자세이므로 어깨의 좌표값은 (0, s)이다.

$$u_x = u \sin \theta \quad (1)$$

$$u_y = s - u \cos \theta$$

$$l_x = u_x + l \sin \gamma = u \sin \theta + l \sin \gamma \quad (2)$$

$$l_y = u_y + l \cos \gamma = s - u \cos \theta + l \cos \gamma$$

<Figure 12>는 위팔이 $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 까지 5° 씩 증가하고 각각에 대하여 아래팔이 $60^{\circ} \sim 100^{\circ}$ 까지 10° 씩 증가할 때 식 (1)과 식 (2)로 계산한 팔꿈치와 손목의 위치이다. 팔이 몸 안쪽을 교차하지 않으며 몸통 바깥으로 벌어지지도 않는다고 가정하여 2차원 상에서 계산하였다. 어깨 높이와 위팔 길이 및 아래팔 길이는 한국인 인체치수 조사(6차) 자료에서 30대 초반(30~34세) 남성의 표준 치수 자료를 참고하여 평균값을 적용하였다. 키는 평균 1724.43mm(표준편차 56.12mm), 어깨 높이는 평균 1394.44mm(표준편차 50.66mm), 위팔 길이는 평균 336.25mm(표준편차 17.17mm) 그리고 아래팔 길이는 평균 268.57mm(표준편차 15.39mm)이다.

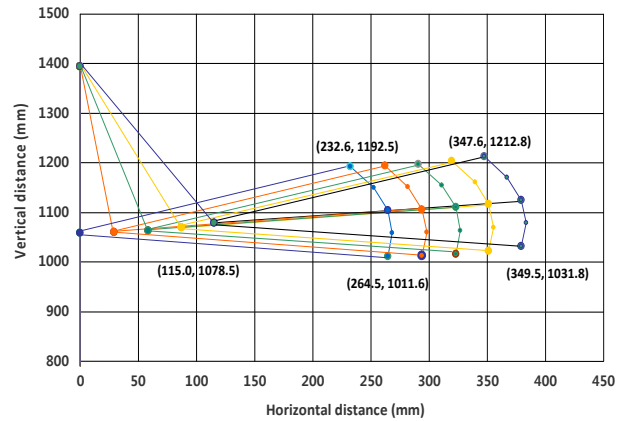


Figure 12. Joint Trajectory Due to Changes in Upper Body Posture

<Figure 12>에서 아래팔의 각도가 60° 일 때와 100° 일 때 손목의 위치는 위팔의 각도와 상관없이 181mm이다. 고저 손바퀴의 반경이 181mm이므로 팔꿈치의 높이가 고저 손바퀴의 회전중심에 위치하는 것이 가장 적합하다고 판단된다. 고저 손바퀴 회전중심의 높이는 지면으로부터 1,300mm이며 한국인 인체치수 조사 결과 30~34세 남성의 굽힌 팔꿈치 높이는 평균 1,053.28mm(표준편차 41.25mm)이므로 평균 247mm 높이의 받침대를 활용한다면 고저 손바퀴의 회전 중심에 팔꿈치가 위치하게 될 것이다. 야전포병에서와 같이 모터 구동식 고각조정 장치가 장착되지 않은 화포에서 고저 손바퀴의 수동 조정 작업 시 고려해 볼 사항이다.

5. 결론

RULA와 REBA의 자세부하평가 결과로 수동조작에 의한 고각 조정 작업은 근골격계 질환의 유발 가능성이 있으며 하체보다 상체의 자세가 위험성이 크다. 왼팔에 의한 당기기 작업은 위험도가 낮으며 오른팔에 의한 회전 작업은 개선이 필요하다. 위팔과 아래팔의 자세와 작업부하는 고저 손바퀴 회전 작업의 위험성이 높은 주요 원인으로 모터구동 방식은 작업자세 변화와 작업부하의 경감으로 위험도가 크게 낮아졌다. 수동조작 방식은 요구된 설정 고각이 클수록 반복 작업 시 작업속도가 저하되며 모터구동 방식으로 개선되었음을 확인하였다.

모터 구동식 고각조정장치는 탈착이 가능하여 수동조작 방식으로도 운용이 가능하며 디지털 고각계 및 원격격발장치와 연동하여 활용한다면 안전지대에서 원격으로 고각 조정 및 격발이 가능하여 사격시험의 안전도를 증대시킬 수 있다. 고저 손바퀴의 회전 중심에 팔꿈치가 위치하도록 받침대를 위치시킨다면 더욱 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구를 통하여 제작된 모터구동 방식 고각조정장치는 사격시험장에서 운용을 목적으로 개발되었으나 야전포병에서도 충분히 활용 가능하다. 손바퀴를 활용한 기기조작 작업은 산업체에서 빈번하게 활용되며 손바퀴의 크기와 손바퀴를 조

작하는 회전중심은 근골격계 질환의 유발 가능성을 경감시킬 수 있는 주요 요인이다. 본 논문에서는 최적 작업자세를 선정하기 위하여 인체 관절의 기하학적 관계를 이용하였으나 추후에는 근전도 측정과 같은 직접적이고 정량적인 방법을 활용하여 연구결과의 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- Choi, C. B., Koo, L. J., Jung, M. C., and Park, P. (2006), A study about steering wheel and pedal position of industrial vehicle by the various body dimensions, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, **29**(4), 1-7.
- Choi, H. J. (2008), *A study of the variation of muscle fatigue by the auxiliary equipment of steering in forklift*, Master's thesis, Daegu University, Kyungsan, Korea.
- Jung, D. C. (2006), Preventive exercises for preventing shoulder injuries, *Health and Sports Medicine, Official Journal of KACEP*, **8**(2), 103-112.
- KATS (2010), Body Dimension's on the Korean(6th), <http://sizekorea.kats.go.kr/>.
- Kee, D. H. and Park, K. H. (2005), Comparison of posture classification schemes of OWAS, RULA and REBA, *Journal of the KOSOS*, **20**(2), 127-132.
- 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.
- Kim, Y. H. and Tak, T. O. (2011), Biomechanical analysis of arm motion during steering using motion analysis technique, *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, **35**(11), 1391-1398.
- Occupational Health and Safety Council of Ontario(OHSCO) (2007), Part 1 : MSD Prevention Guideline for Ontario.
- Park, J. Y. and Seo, J. B. (2008), Visiting pattern of outpatient clinics and concordance of diagnosis in rotator cuff disorder, *J. Korean Orthop. Assoc.*, **43**, 187-192.
- Seo, S. L. and Im, W. H. (2001), The EMG measurement of simple and iterative worker's muscle fatigue, *Journal of the Korea Industrial Information System Society*, **6**(3), 79-86.
- Seo, S. L. and Im, W. H. (2001), The CTD evaluation of simple and iterative task through the improvement of working conditions, *Journal of the Korea Industrial Information System Society*, **6**(4), 12-21.
- Son, J. S. (2004), *Analysis of driving posture and pedal placement for the various body dimensions of forklift driver*, Master's thesis, Ajou University, Suwon, Korea
- Song, J. H. (2005), *The Study of Recovery Time for Muscle Fatigue following Simple Repetitive Works*, Master's thesis, Daegu University, Kyungsan, Korea.
- Yadav, R., Prasad, N., and Pund, S. (2007), *Design guidelines for tractor workplace based on Indian anthropometry*, Agriculture Ergonomics Dev. Conference(AEDec), Kaula Lumpur, Malaysia.