

## 화약류발파작업이 근골격계에 영향을 미치는 자세평가분석

이정훈<sup>1)</sup>, 안명석<sup>2)</sup>

### Anlysis on the Influence of Work-related Musculoskeletal Disorders in Explosive Blasting Performance

Jung-Hoon Lee and Myung-Seog Ahn

**Abstract :** Explosive blasting performance is composed of charging, tamping and connecting performance, which need lots of power and time. Thus, operator's inconvenience and muscle load are increased by their pose. Then it's unavoidable for one to make a human error. As a result, blasting accidents and disasters of explosives may happen. So we need to have systematic study. According to their pose's changing, we have OWAS, RULA, REBA, OSHA, ISI, NLE, TVAV, BLUE-X. In this article, OWAS, RULA, REBA have been evaluated. As a result of this research, it is shown that work-related musculoskeletal disorders are related to the second accident's happening.

**Key words :** muscle load, human error, blasting accident

초록 : 화약류발파작업 가운데 장약, 전색, 결선작업은 많은 힘과 시간이 소요되어 작업자 세에 따른 작업자의 불편도와 근부담이 증가하게 된다. 따라서 작업상 인적오류를 유발할 가능성이 높아진다. 이러한 원인은 작업자로 하여금 중요한 작업을 누락시키거나 근도반응을 일으켜 결국 사고와 재해로 연결되므로 이에 대한 체계적 연구가 요구된다.

화약발파작업에서 자세의 변화에 따라 발생할 수 있는 위험요인분석에는 OWAS, RULA, REBA, OSHA, JSI, NLE, TVAV, BLUE-X가 있으나 본 연구에서는 OWAS, RULA, REBA 기법으로 평가하고 분석하였다. 그결과 근골격계질환과 2차사고의 발생개연성이 큰 것으로 분석되었다.

핵심어 : 근부담, 인적오류, 사고, 개연성

#### 1. 서 론

화약류에 의한 사고는 막대한 에너지의 분출로 인하여(김재극, 1998) 다른 재해에 비해 인적·물적손실이 매우 크다. 그러나 건설·토목현장에서의 대책수립은 전 근대적인 방법으로 관리되고 있으며, 안전시설 또한 형식적이고, 작업자에 대한 인적오류(human error)도 무시되어 동일한 종류의 재해가 반복해서 발생되고 있다(안명석, 1987).

대부분의 화학공단 및 기타 작업에서 자동화 기술과 제어 기술의 발전에도 불구하고 위험평가와 제어 시스템평가는 기계적인 결합에 초점을 맞추

고 있으며, 인적오류에 대한 문제는 거의 다루고 있지 않다.

대형사고의 원인들 가운데 인적오류에 의한 결과가 사고의 원인이 되는 것이 50%-80%에 이르며, 산업재해에서 발생하는 인적오류는 재해발생비율의 88%정도라고 하였다(Heinrich, 1959). 또한 Sanders and Shaw(1988)는 338건의 지하건설 굴착상해 사례분석에서 재해의 50%정도는 인적오류가 재해의 주원인이라고 하였다(총포·화약안전기술협회).

화약류발파작업 가운데 장약(裝藥)·전색(填塞) 및 결선(結線)작업은 많은 힘과 시간이 소요되어 작업자세에 따른 작업자의 불편도와 근(筋) 부담이 증가하게 된다. 따라서 작업상 인적오류를 유발할 가능성이 높아진다. 이러한 원인은 작업자로 하여금 중요한 작업을 누락시키거나 근도(近道)반응을

1) 대구대학교 자동차·산업·기계공학부 겸임교수  
2) 동서대학교 응용생명공학부 겸임교수  
접수일 : 2005년 3월 17일

일으켜 결국 사고와 재해로 연결되므로 이에 대한 체계적 연구가 요구된다.

화약류발파작업의 일부는 반복적으로 과도한 힘을 사용하므로 인적오류의 유발 가능성이 높다. 작업자세의 변화에 따라 발생할 수 있는 위험요인 분석에는 OWAS, RULA, REBA, OSHA, JSI, NLE,

TVAL, BLUE-X가 있으나, 본 연구에서는 OWAS(Ovako working posture analysis system), RULA(Rapid upper limb assessment), REBA (Rapid entire body assessment)기법으로 분석하였다(정병용, 2003).

Table 1. The application of dangerous primary factor's analysis

분석법	평가 부위	위험 요인	적용업종	비고
OWAS	허리, 상지	작업자세가 자주 바뀌는 자세, 힘(허리), 노출시간이 짧거나 긴 경우	철강업 건설업 등	작업자세, 작업유지시간 고려가능 정밀 분석에 취약함
RULA	손목 아래팔, 목 팔꿈치 어깨 몸통	작업자세, 힘 반복성, 정적동작 작업대, 공구	조립업 생산업 정비업 건설업 치과의 등	상지와 상체자세 측정 용이 평가 미흡하여 REBA와 병행사용
REBA	손목 아래팔, 팔꿈치 어깨, 목 몸통, 허리 다리, 무릎	반복성 부자연스러운 자세 취하기 어려운 자세 과도한 힘	간호사 가정부 식료업 치과의 건설업 등	RULA의 보완 작업물의 무게 고려
OSHA	손,손목 전완 어깨 목	작업자세, 힘 반복성, 진동 신체압박, 작업속도 저은, 노출시간	조립업 냉동업 등	.
BRIEF	손,손목, 팔꿈치 어깨, 목 허리, 다리	작업자세, 힘 반복성, 정적동작	생산업 조립업 등	.
JSI	손가락 손목	반복성 부자연스러운 자세 취하기어려운 자세 과도한 힘	제조업 검사업 재봉업 포장업 등	상지말단에만 국한 됨
ANSI	손,손목, 팔꿈치 어깨, 목 허리, 다리	작업자세, 힘 반복성, 진동 신체압박, 작업속도 노출시간	제조업 검사업 등	.
NLE	허리	반복성 부자연스러운 자세 취하기 어려운 자세 과도한 힘	중량물취급 업 배달업 등	들기작업에 대한 전문적 평가 가능
TVAL	팔 다리, 허리	반복성 작업 정적작업 전신작업	자동차 조립업	도요다자동차에서 고안되어 자동차조립라인에 적용
BLUE-X	어깨, 팔 허리, 다리 손, 손목	부자연스러운 자세 과도한 힘	제조업 건축업 조선업	국내 현장에 적합하도록 고안 다소 복잡한 단점

## 2. 위험요인 분석법

위험요인 분석기법들은 많으나 이러한 기법들이 작업현장에서 활용이 가능하기 위해서는 보다 쉽고 정량적 평가가 가능해서 작업장 관리에 이용될 수 있어야 한다. 위험요인 분석에 사용되고 있는 평가기법들을 정리하면 Table 1과 같다. 이 중 화약류발파작업과 같은 건설현장에서 비교적 많이 적용되고 있는 기법들에 대한 설명은 다음과 같다.

### 2.1 OWAS(Ovako working-posture analysis system)

핀란드에서 Karhu 등(1997)이 개발한 OWAS 방법은 상지, 허리, 하지, 중량 작업의 4가지 인자를 가지고 작업 자세를 평가한 후 교차 체크(Cross-check)한 값을 표에서 찾도록 고안되었다. 그 결과 최종 점수가 Class 1에 해당되면 문제가 없는 작업자세, Class 2에 해당하면 근 시일 내에 재조사가 필요한 작업, Class 3은 가능한 한 조기에 개선이 필요한 작업, Class 4는 즉시 개선이 필요한 작업으로 종합적인 판단을 하도록 되어 있다(Karhu et al, 1997).

### 2.2 RULA(Rapid upper limb assessment)

McAtamney와 Corlett(1993)에 의해 인간공학 전문가가 평가하도록 개발되었는데 주로 팔(상완 및 전완), 손목, 목, 몸통(허리), 다리 부위에 대해 각각의 기준에서 정한 값을 표에서 찾고 그런 다음, 근육의 사용 정도와 사용빈도를 정해진 표에서 찾아 점수를 더하여 최종적인 값을 산출하도록 되어 있다.

이 방법은 주로 작업 자세의 위험성을 정량적으로 평가하여 그 결과 최종 평가 점수가 1-2점은 적절한 작업, 3-4점은 추적관찰 필요, 5-6점은 작업 전환 고려, 7점은 즉시 작업 전환 필요 등으로 구분하여 사후 관리 기준을 제시할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 RULA는 OWAS와 마찬가지로 작업자세를 주로 평가하는 도구인데 주로 컴퓨터를 장시간 사용하는 업종이나 의류업종의 작업자세를 평가하기 위한 도구로 개발되었기 때문에 상지(팔, 어깨, 손목)과 상체의 자세를 측정하기 용이하도록 개발되었다. 따라서 하지에 대한 평가가 다른 평가 도구들에 비해 미흡한 평가도구이므로, 하지의 자세에 대한 평가를 위해서 REBA, BLUE-X등과 같은 평가도구와 병행해서 사용해야 하는 번거로움

이 있다. 또한 원래 인간공학 전문가가 평가하도록 설계되어 있기 때문에 평가과정이 너무 난해하다는 단점도 있다.

### 2.3 REBA(Rapid entire body assessment)

Hignett과 McAtamney(2000)이 유해인자에 대한 개인작업자의 노출 정도를 평가하기 위한 목적으로 개발하였으며 특히 상지작업을 중심으로 분석할 수 있는 기법이다. RULA와 비교하여 간호사 등과 같이 예측이 힘든 다양한 자세에서 이루어지는 서비스업에서의 전체적인 신체에 대한 부담 정도와 유해인자에의 노출 정도를 분석할 수 있다. REBA의 평가표는 크게 각 신체부위별 작업자세를 나타내는 그림과 4개의 배점표로 구성되어 있다. 평가대상이 되는 주요 작업요소로는 반복성, 정적 작업, 힘, 작업자세, 연속작업시간 등이 고려되어 지게 된다. 평가방법은 크게 신체부위별로 A와 B 그룹으로 나누어지면 A, B의 각 그룹별로 작업자세 그리고 근육과 힘에 대한 평가로 이루어진다. 평가의 결과는 1에서 15점 사이의 총점으로 나타내어지며 점수에 따라 5개의 조치단계(Action level)로 분류 되어진다(Hignett & McAtamney, 2000).

화약류발파작업은 주로 건설현장에서의 작업이므로 작업자세가 자주 바뀌는 경우가 많고 하지에 비해 상지에 대한 사용빈도가 많다. 특히 근 부담에 무리가 되는 장악·전색작업은 손, 손목, 어깨, 아래팔, 팔꿈치 및 몸통의 사용이 대부분이므로 이에 대한 평가는 OWAS, RULA, REBA 기법이 적용된다.

## 3. 위험요인 분석

### 3.1 화약류발파작업의 일부 위험요인 분석의 예

일반적으로 비정형작업에서 위험요인을 분석하기 위한 방법으로 발파현장 Video촬영을 하고 Work sampling을 통해 구성작업 비율을 구하여 이를 기준으로 평가하는 방법이 있다(정병용, 2003).

그러나 화약류발파작업은 모든 발파현장에서 천공에서부터 발파작업까지의 과정이 비교적 통일되어 있고, 각 작업의 형태가 비슷하다. 그러므로 화약류발파작업에서 위험요인을 분석하기 위해서 발파작업현장을 Video로 촬영한 후 이를 바탕으로



항측정 작업에서는 허리는 앞으로 굽히는 작업이 경우 및 10kg이하의 하중 및 힘을 사용하는 경우 많았으며, 팔은 양쪽 팔이 어깨보다 아래쪽에 있는 가 전체를 차지하였다.

Table 2. The body a part's rate in the blasting performance(OWAS) (단위:%)

신체부위	점수	작업		
		장약 · 전색	결선 · 도통 · 저항측정	경계원배치 · 발파
허리	1	19.30	20.00	0.00
	2	38.60	80.00	100.00
	3	17.54	0.00	0.00
	4	24.56	0.00	0.00
팔	1	80.70	100.00	100.00
	2	15.79	0.00	0.00
	3	3.51	0.00	0.00
다리	1	8.77	20.00	0.00
	2	19.30	0.00	0.00
	3	33.33	20.00	66.67
	4	38.60	20.00	33.33
	5	0.00	0.00	0.00
	6	0.00	40.00	0.00
	7	0.00	0.00	0.00
하중/힘 사용	1	89.47	100.00	100.00
	2	0.00	0.00	0.00
	3	10.53	0.00	0.00

Table 3. The method of performance's standard follow by evaluation techniques(blasting field) (단위:%)

조치수준	I			II			III			IV		
작업 평가기법	장약 · 전색	결선 · 도통 · 저항측 정	경계원 배치 · 발파	장약 · 전색	결선 · 도통 · 저항측 정	경계원 배치 · 발파	장약 · 전색	결선 · 도통 · 저항측 정	경계원 배치 · 발파	장약 · 전색	결선 · 도통 · 저항측 정	경계원 배치 · 발파
OWAS	21.05	20.00	0.00	42.11	60.00	100.00	31.58	20.00	0.00	5.26	0.00	0.00
RULA	0.00	0.00	0.00	16.67	60.00	66.67	24.07	40.00	33.33	59.26	0.00	0.00
REBA	1.90	60.00	0.00	25.93	40.00	100.00	53.70	0.00	0.00	18.52	0.00	0.00

또한 다리의 경우 이동하는 경우가 다른 작업에 비해 높은 비율을 차지하였다. 경계원배치·발파 작업시에는 허리는 앞으로 굽히는 경우, 팔은 양팔이 어깨보다 아래쪽에 있는 경우, 다리는 양쪽 무릎이 구부러진 상태 그리고 하중 및 힘은 10kg이하를 사용하는 경우가 월등히 높았다.

Table 3은 장약·전색작업, 결선·도통·저항측정작업 및 경계원배치·발파작업시 각 조치수준에 대한 비율이다.

장약·전색작업은 OWAS 기법에서는 조치수준 II에 해당하는 비율이 42.11%로 나타났으며, 조치수준III에 해당하는 비율이 31.58%로 나타났으나,

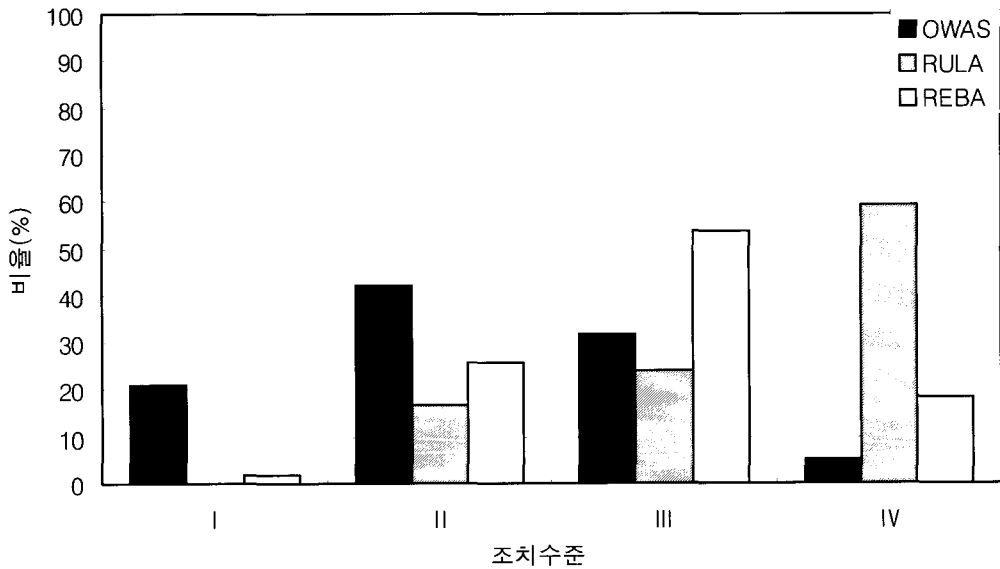


Fig. 2. Evaluation techniques's standard rate of the charging and tamping performance.

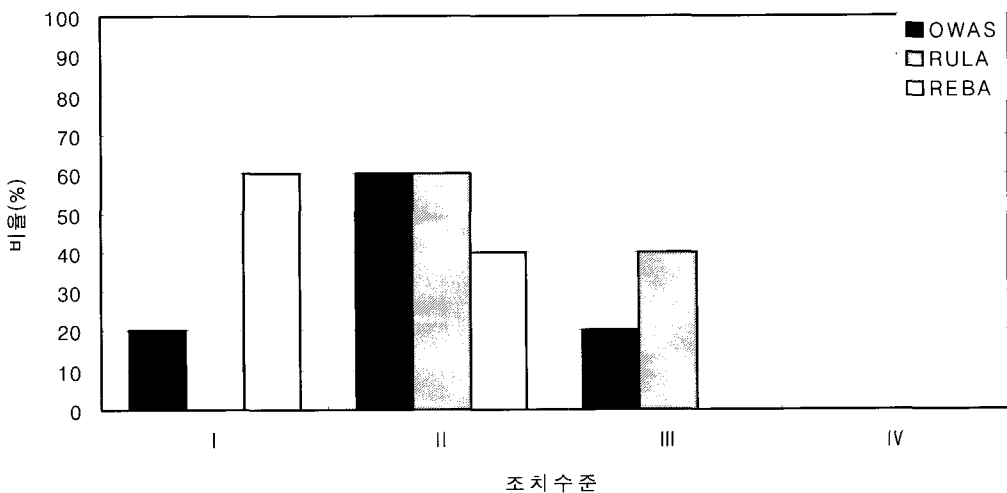


Fig. 3. Evaluation techniques's standard rate of the connecting and resistance measuring performance.

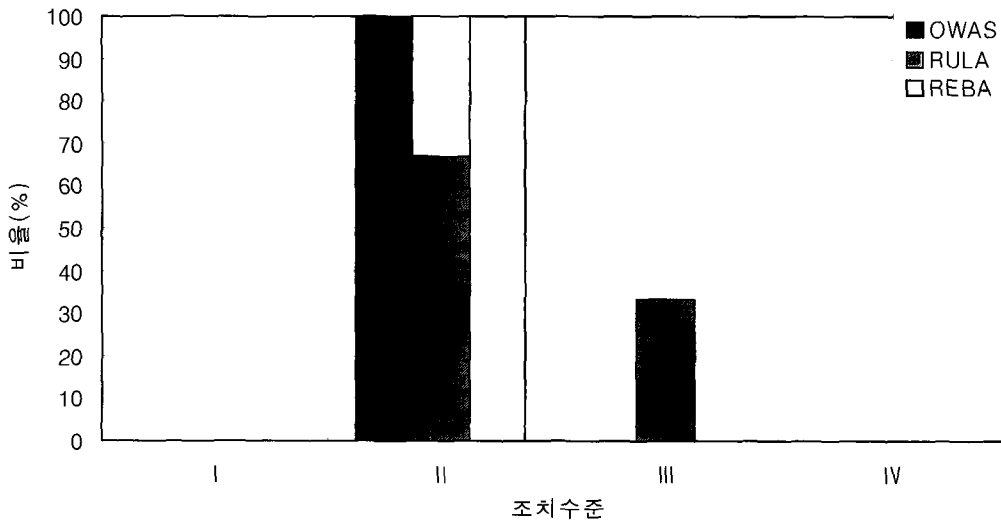


Fig. 4. Evaluation techniques' standard rate of the blasting performance.

RULA 기법에서는 조치수준Ⅲ 이상에 해당하는 비율이 83.33%, REBA 기법에서는 조치수준Ⅲ 이상에 해당하는 비율이 72.22%로 나타났다.

이것은 장약·전색작업에 대한 위험요소가 크다는 것을 나타내며, 가능한 빠른 개선이 필요하거나 즉각적인 개선이 필요하다는 것을 의미한다.

결선·도통·저항측정 작업에서는 OWAS 기법에서는 60.00%가 조치수준Ⅱ로 평가 되었으며, RULA 기법에서는 조치수준Ⅱ가 60.00%, REBA 기법에서는 조치수준Ⅰ이 60.00%, 조치수준Ⅱ가 40.00%로 나타났다. 대부분의 평가기법에서 결선·도통·저항측정 작업은 조치수준이 Ⅱ이하로써 이것은 조만간 개선을 필요로 하고 있음으로 해석할 수 있다.

경계원배치·발파작업에서는 OWAS 및 REBA 기법에서는 조치수준Ⅱ가 전체를 차지하였으며, RULA 기법에서는 조치수준Ⅱ가 66.67%로써 앞의 결선·도통·저항측정 작업과 같은 조만간 개선을 필요로 하는 작업으로 평가되었다.

이상 위험요인 분석 중 가장 높은 조치수준 순으로 화약류발파작업을 나열하면 장약·전색작업, 결선·도통·저항측정작업, 경계원배치·발파작업이다.

#### 4. 결 론

화약작업별 위험요인 분석에서 장약·전색작업의 OWAS, RULA, REBA에 따른 조치수준은 Ⅲ이상에 해당하는 비율이 각각 36.84%, 83.33%, 72.22%로 나타나 가능한 빠른 개선 및 즉각적인 개선을 필요로 하였다. 결선·도통·저항측정작업 및 경계원배치·발파작업에서는 대부분의 분석기법에서 조치수준이 Ⅱ이하의 비율이 많아 조만간 개선을 요하는 작업군으로 분류할 수 있었다. 이상의 결과를 나타낸 것이 Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4이다. 이런 결과는 장약·전색작업이 건설현장에서의 작업이므로 바닥이 고르지 못하거나 경사면에서와 같이 불규칙한 위치에 의한 천공에 작업자의 몸을 무리하게 지탱하며 작업함으로써 나타나는 제 현상이라 판단된다.

화약류발파작업에 적용될 수 있는 위험요인 분석기법인 OWAS, RULA, REBA 분석에서는 장약·전색작업의 대부분 요소작업이 조치수준 Ⅲ이상으로 나타나 조만간 작업개선을 필요로 하거나, 즉각 작업개선을 필요로 하는 작업으로 분석되었다. 이는 장약·전색작업이 화약류발파작업 중 가장 힘든 작업이므로 작업자세의 부담이 정교하게 진행되어야 하는 화약류발파작업에 근도반응과 생

락작업을 일으켜 결국 인적오류를 발생시킬 수 있다는 결과이다.

이상의 결과와 같이 화약류발파작업에서 특정 작업을 오래 방치할 경우 화약류발파작업현장의 작업자들에게 근육 부담을 증가시켜 근 피로에 의한 근 골격계질환 및 2차적 사고와 재해를 일으킬 수 있는 개연성이 커 인적 손실뿐 아니라 물적 손실을 초래할 가능성이 큰 것으로 판단되므로 이에 대한 향후 연구가 필요하다.

### 참고문헌

1. 김재극, 1998, 산업화약과 발파공학, 서울대학교 출판부, 서울, pp. 50.
2. 안명석, 1987, 화약산업의 재해분석 및 안전 대책에 관한 연구, 동아대학교 경영대 K-학원 석사학위논문.
3. 충포·화약안전기술협회, 1988~1997 발파사고 재해자료, 충포·화약안전기술협회
4. 정병용(2003), 작업 분석 및 관리, 서울.
5. Heinrich, H., 1959, Industrial Accident Prevention(4th ed), McGraw-Hill, New York.
6. Hignett, S. and L. McAtamney, 2000, Rapid Entire Body Assessment(REBA), Applied Ergonomics, Vol. 31, pp. 201-205.
7. Karhu, O., P. Kansi, and I. Kuorinka, 1977, Correcting Working Posture in Industry: A Practical method for analysis, Applied Ergonomics, Vol. 8, No. 4, pp. 199-201.
8. McAtamney, L. and N. Corlett, 1993, RULA: a survey method for the investigation of word -related upper limb disorders, Applied Ergonomics, Vol. 24, No. 2, pp. 91-99.
9. Sanders, M. and B. Shaw, 1988, Research to Determine the Contribution of System Factors in the Occurence of Underground Injury Accidents, Bureau of Mines, Pittsburgh.



이 정 훈  
대구대학교 자동차·산업·기계공학부 겸임교수  
파워발파전문학원(www.kisa.co.kr) 원장



안 명 석  
동서대학교 응용생명공학부 겸임교수  
E-mail : amspeoff@chol.com

---