

연삭작업시 작업자세와 작업시간에 따른 근전도 분석에 관한 연구

배동철 · 장성록[†]

부경대학교 공과대학 안전공학과
(2001. 1. 13. 접수 / 2001. 2. 23. 채택)

An EMG Analysis Study of Grinding Work by Posture and Working Time

Dong-Chul Bae · Seong-Rok Chang[†]

Department of Safety Engineering, Pukyong National University
(Received January 13, 2001 / Accepted February 23, 2001)

Abstract : Posture of the upper limbs in field works is known to be an important risk factor associated with CTD(Cumulative Trauma Disorders). In particular, uncomfortable posture and highly repetitive works in shipbuilding industry(for instance, sand blasting, grinding and blast painting, etc) made workers exposed to a great risk of injuries. The purpose of this paper is to analyze recruitment pattern of the muscles according to posture(joint angle displacement) during grinding. In this study, EMG signals of pectoralis major, latissimus dorsi, and posterior deltoid muscle were measured and analyzed from FlexComp EMG solution. And subjective ratings of perceived exertion were made using Borg's CR-10 rating scale.

Key Words : EMG, muscle fatigue, pectoralis major, teres major, latissimus dorsi muscle, subjective ratings of perceived exertion

1. 서 론

1994년 미국의 통계자료에 따르면 누적외상성 장애(cumulative trauma disorders; 이하 CTD)에 의한 산업재해가 제조업체 전체 산업재해의 35%를 차지하고 있으며, 지난 10년간의 통계를 볼 때 매년 급격한 증가추세에 있다¹⁾.

국내에서는 노동부에서 집계한 1999년 자료에 의하면 산업재해 보상에 따른 경제적 손실액은 총 6조 37백억원에 이르는 것으로 조사되었으며, CTD로 인한 재해자 수가 190명으로 조사되었다. 또한 재해 손실도 매년 증가되는 추세이다²⁾. 국내 조선소의 산업재해로 인한 자체 손실비용도 매년 증가되고 있지만, 산업재해에 대한 인식은 아직까지 주로 육안으로 드러나는 일회성 사고에 치중하고 있는 실정이다. 따라서, 산업화의 진전, 작업환경 및 노동의 질에 대한 관심이 높아지고 있는 사회적 추세와 자

동화, 정보화, 작업특성 변화, human-computer interface의 증가, 근로자의 고령화 등 산업의 전반적인 구조 변화로 인해 조만간 국내에서도 CTD에 의한 산업재해가 주요 문제로 부각될 것으로 사료된다³⁾.

선박제조업은 타 제조업과 달리 아직까지 인력을 요하는 인력물자취급(manual material handling ; 이하 MMH)작업이 높은 비중을 차지한다. 이러한 MMH 작업에는 여러 가지가 있지만 그 중에서 대부분의 공정에서 일어나고 있는 연삭작업은 특성상 과도한 작업범위, 과부하, 반복동작 등이 일어나게 된다. 이러한 작업특성으로 인해 지속적인 피로누적과 통증이 지속되면 만성적인 근골격계 장애나 CTD등과 같은 직업병으로 발전하게 된다⁴⁻⁶⁾.

따라서, 본 연구에서는 공압식 그라인더를 사용하는 연삭작업에서 상지의 각도와 작업시간이 동원되는 근육의 피로도에 미치는 영향을 분석함으로써, 관절각도 변화에 의한 영향을 근육 생리학적 측면에서 평가하고, 연삭작업의 방법 개선 및 작업방법 설계에 관한 기초자료를 제시하고자 한다.

[†]To whom correspondence should be addressed.
srchang@pknu.ac.kr

II. 실험 방법

2.1. 피실험자

피실험자는 건관절의 근육 및 신경계통에 질환 및 부상을 경험한 적이 없는 성인 남성 5명으로 구성하였다. 선정된 피실험자가 실험을 수행하기 전, 각각의 인체특성을 측정하고, 실험내용과 실험기기 및 측정방법을 사전에 설명하여 실험에 대한 이해도를 높이고, 실험실시에 따른 심리적 부담감을 해소시킨 후 실험을 수행하였다. 피실험자의 인체 특성은 평균연령 24.2세, 평균신장 171.8cm, 평균체중 64.2kg이다.

2.2. 실험 기기

2.2.1. FlexComp EMG Solution)

측정대상 근육의 EMG 신호를 검출하기 위하여 Thought Tech사에서 개발하여 보급한 FlexComp EMG solution을 이용하였다. 이 기기는 기존의 EMG Multiplexor와 A/D Converter를 포함한 것으로서 모니터를 통해 파형 및 digital data로 실시간 검색할 수 있다. 이 시스템에 사용된 software는 FlexComp 1.05b로, 입력부(encoder)에서 입력된 신호를 처리하여 검색 가능한 실시간 파형 형태로 나타낸다. 또한 digital 자료의 file형태로 저장, RMS(root mean square) 파형 분석, 주파수 분석 등이 가능하다.

2.2.2. 공압식 그라인더

본 실험에서 사용된 공압식 그라인더는 국내 D 조선사에서 실제 사용하고 있는 모델가운데 하나인 DAG-180P를 선택하였다.

세부사양은 그라인더 규격 7", 최대 RPM 7600, 중량 3.52kg, 표준공기압 6.0kg/cm²이다.

2.3. 실험 대상 근육

본 실험의 대상 근육은 Table 1에 제시한 건관절 신전시 주동근과 부동근 중 대흉근, 활배근, 삼각근을 선택하였다.

Table 1. Objective muscles of experiment

	Muscle
주동근	<ul style="list-style-type: none"> • 대흉근(Pectoralis Major) • 활배근(Latissimus Dorsi)
부동근	<ul style="list-style-type: none"> • 삼각근(Posterior Deltoid)

Table 2. Experiment Joint Angle [unit : °]

Exp. No	Exp. I	Exp. II	Exp. III	Exp. IV	Exp.V
Shoulder	60	60	90	90	120
Elbow	60	90	90	120	120

주동근 중에서 대원근은 심층근으로서 본 실험에 사용된 표면전극(surface electrode)으로는 전기적 신호를 감지할 수 없으므로 제외하였다. 그리고, 부동근 중에서 기존의 여러 연구에서 건관절 운동의 신전에 관여하는 주요근육으로 연구된 삼각근을 본 실험에서 채택하였다^{7~10}.

실험시작 30분 전에 선택된 각 근육에 Ag- AgCl 전극을 3개(positive, negative, reference electrode)씩 부착하여 에이징을 실시하였다.

2.4. 실험 변수

2.4.1. 작업 변수

작업변수는 조선소에서 연삭작업시 빈번히 일어나는 근수축 자세를 기준으로 견-주관절 각도를 Table 2와 같이 구분하였다.

2.4.2. 측정 변수

본 실험에서는 실험조건에 주어진 견-주관절 각도에서의 등장성 수축시 요구되는 작업하중을 3초 이상 유지하지 못할 때까지 근수축 지속시간과 지속시간 동안의 각 동원근육의 EMG 진폭을 측정하였다. 또한 실험종료 후 각 실험에 대한 주관적 평가를 위해 Borg's CR-10 ratings scale을 이용하였다^{11,12}.

2.5. 실험 절차

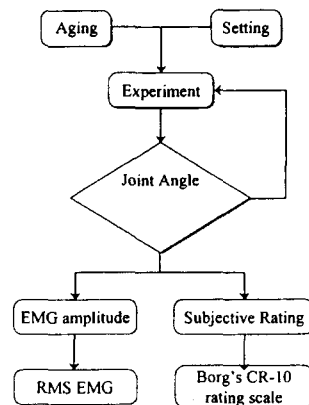


Fig. 1. Experimental Procedure

지속적 등장성 수축시 동원되는 각 근육의 EMG 진폭을 측정하기 위한 절차는 Fig. 1과 같다.

III. 실험결과

3.1. 견-주관절 각도 변화에 따른 근수축 지속시간

견-주관절 각도 변화에 따른 근 수축 지속시간의 평균 및 표준편차는 아래의 Table 3과 같다.

근수축 지속시간은 견관절과 주관절 각도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. Table 3의 실험 결과를 보면 Exp. V의 각도(120-120)에서 지속시간이 가장 짧게 나타났다

3.2. 주관적 평가

실험전에 전달한 Borg's CR-10 rating scale paper를 실험종료 후 피실험자가 직접 체크하도록 한다. 각 피실험자가 기입한 평가지를 5가지 실험자세에 따라 분석한 결과는 Fig. 3과 같다.

Fig. 2에서 나타난 경향을 보면 Exp. IV와 Exp. V의 실험조건에서 주관적평가 결과가 크게 증가되었으며, 이 두 실험조건이 피실험자 모두에게 힘든 작업이었음을 알 수 있다. 특히, Exp. V는 피실험자

Table 3. Endurance time to fatigue [unit : sec]

	Exp. I	Exp. II	Exp. III	Exp. IV	Exp. V
SDH	163	120	108	74	60
HSI	166	127	102	72	56
PSW	157	103	95	67	52
CDJ	182	117	99	67	54
SCH	179	131	107	72	63
Mean ± S.D	169.4 ± 10.7	119.6 ± 10.8	102.2 ± 5.5	70.4 ± 3.2	57.0 ± 4.5

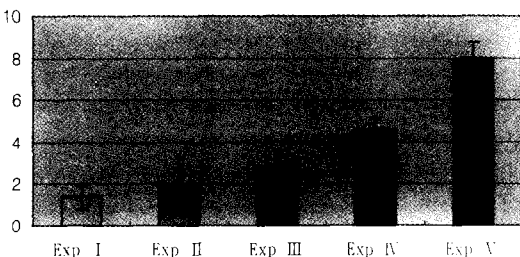


Fig. 2. Result of subjective ratings of perceived exertion

전원이 아주 힘든 작업(very strong)이었다고 응답했으므로 실제 현장에서 이러한 실험조건이 발생해서는 안되는 극단적인 자세라 할 수 있다

3.3. 근전도 분석

실험에 앞서 데이터 처리를 위해 channel setting을 다음과 같이 실시하였다. 우선, 상용 전기기기에 의한 noise를 제거하기 위해 60Hz 주파수 필터링을 실시하고, RMS 신호의 신뢰도를 높이기 위해 low pass filter를 사용하였다. A/D변환을 위한 sampling rate는 초당 2096으로 하였고, 이를 평균하여 근전도 변화를 분석하였다. Fig. 3은 Exp. I의 실험조건으로 피실험자의 EMG 진폭을 측정된 결과이다.

Table 4는 각 실험결과를 초기수치, 종료 수치, 그리고 상승률로 나타낸 것이다.

Exp. I에서 초기수치 159.95 μ V가 종료시 290.47 μ V로 81.60%의 증가를 보인 대흉근이 Exp. II에서는 125.7%, Exp. III에서는 134.54%, Exp. IV에서는 143.24%, Exp. V에서는 79.20%의 증가를 보였다. 대흉근의 역할은 Exp. I~IV까지는 증가하였지만 Exp. V에서는 오히려 감소되었다. 이는 대흉근이 극단적인 실험조건에서는 역할이 감소하였음을 말해준다.

활배근은 Exp. I~III까지와 비교해 보면 Exp. IV, V에서는 그 역할이 점차 감소하고 있음을 알 수 있다. 대흉근과 같이 주동근의 역할을 하는 활배근은 Exp. I, II, III의 경우 그 역할이 크지만 관절각도가 Exp. IV, V로 극단적인 조건이 되면 그 역할이 오히려 감소되었다.

삼각근의 변화는 주동근과는 대조적으로 Exp. III~V에서 보는바와 같이 관절각도가 증가함에 따라 오히려 그 역할이 증대됨을 볼 수 있다. 견-주관절을 이용한 들기작업에 있어서 각도변화가 커짐에 따라 주동근의 역할은 줄어들고 오히려 부동근인

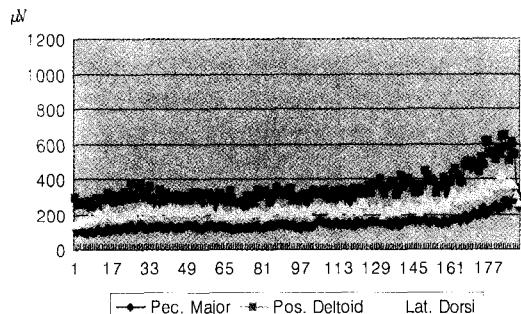


Fig. 3. RMS EMG signal variation of Exp. I

Table 4. RMS.EMG signal variation of muscles

		대흉근	활배근	삼각근
Exp. I	초기 수치(μV)	159.95	184.80	244.06
	종료 수치(μV)	290.47	363.19	442.75
	상승률(%)	81.60	96.53	81.41
Exp. II	초기 수치(μV)	214.16	289.85	249.45
	종료 수치(μV)	483.36	611.19	532.87
	상승률(%)	125.70	110.86	113.62
Exp. III	초기 수치(μV)	217.75	362.57	419.75
	종료 수치(μV)	510.70	717.89	660.99
	상승률(%)	134.54	98.00	57.47
Exp. IV	초기 수치(μV)	219.20	442.54	472.99
	종료 수치(μV)	533.18	652.33	778.80
	상승률(%)	143.24	47.41	64.65
Exp. V	초기 수치(μV)	410.43	339.37	498.27
	종료 수치(μV)	735.50	560.43	852.56
	상승률(%)	79.20	65.14	71.11

Table 5. T-Test result of Pectoralis Major Muscle

	Exp. I	Exp. II	Exp. III	Exp. IV	Exp. V
Exp I	-	0.0000	0.0000	0.0000	0.0060
Exp II	0.0000	-	0.1040	0.00130	0.0000
Exp III	0.0000	0.1040	-	0.0040	0.0000
Exp IV	0.0000	0.0013	0.0040	-	0.0000
Exp V	0.0060	0.0000	0.0000	0.0000	-

삼각근에 더 많은 부하가 걸림을 알 수 있다. 결국 각도가 증가함에 따라 견관절에 더 큰 모멘트가 걸리는 것을 의미하며, 그로 인해 견관절에 다양한 형태의 근골격계장애가 발생할 위험이 있다.

각 근육별로 실험간 2-sample T-test를 실시하였다.

대흉근의 활동 정도의 차이가 실험조건 II와 III의 경우($P=0.104$)를 제외한 모든 실험 수준간에서 유의수준($P<0.01$)을 만족하는 것으로 나타났다.

활배근은 실험조건 III과 V의 경우($P=0.8$)를 제외한 모든 실험수준 간에서 유의수준($P<0.01$)을 만족하였으며, 삼각근은 모든 실험 수준간에서 유의수준($P<0.01$)을 만족하는 것으로 나타났다.

IV. 결론 및 토의

상지의 각도변화에 따른 근육피로도를 RMS.EMG 진폭변화와 근수축 지속시간, 주관적 평가를 통하여 분석한 결과를 토대로 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 상지의 각도가 증가함에 따라 근수축 지속시간은 감소했으며, RMS.EMG 진폭은 증가하였다. 이는 곧 근육의 수축시 각도 증가에 따라 피로누적이 선형적으로 증가되었음을 의미한다.

2. 작업부하에 따른 주관적 평가결과 각 실험조건에 대해 평균값이 1.4, 2.0, 2.8, 4.6, 8.0으로 나타났으며, ANOVA 분석결과 실험조건과의 유의성 검증에서 유의한 것으로 나타났다($p<0.05$).

3. 근수축 지속시간 변화를 통해 살펴보면 Exp. I ~ Exp. IV까지는 견-주관절 신전운동시 대흉근, 활배근 및 삼각근이 모두 사용되지만 Exp. V의 실험 조건에서는 대흉근의 역할이 감소되었으며 활배근과 삼각근의 역할은 증대되었다.

실제 작업자가 작업장에서 작업을 할 때에는 움직임이 지속적으로 이루어지는 동적작업(dynamic task)이나, 본 실험에서는 정적작업(static task)으로 설계되었다. 따라서 작업자세의 변화와 작업특성 등 자세변화에 따른 피로누적의 영향도 고찰해 볼 필요가 있다. 또한 본 연구에서는 표면전극(surface electrode)을 사용하기 때문에 표층근(positive muscle)만을 대상으로 하였다.

본 연구에서는 견-주관절 신전시 동원되는 근육 중 3개의 근육만을 대상으로 했지만, 실제로는 심층근 등 많은 근육이 동원되며 각각의 작용 또한 다르다. 따라서 견-주관절 신전 운동시 근육의 피로와 통증을 줄이고, CTID를 예방하기 위해서는 작업특성 및 자세에 따른 타 동원근육과 피로현상에 대한 연구도 필요할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- 1) National Safety Council, Accident Facts, 1995.
- 2) 노동부, 1999년 노동재해 통계, 2000.
- 3) 장성록, 근골격계 장애 분석을 위한 설문지조사에 관한 연구, 한국산업안전학회지, Vol. 14, No. 2, pp. 148~154, 1999.
- 4) Hernerts, P. and Kadefors, R., A Study of Painful Shoulder in Welders, Acta Orthopaedica Scandinavica, Vol. 47. pp. 381~387, 1976.
- 5) Hernerts, P. and Kadefors, R., Andersson, G. and Petersen, I., Shoulder Pain in Industry; an Epidemiological Study on Welders, Acta Orthopaedica Scandinavica, Vol. 52, pp. 381~387, 1981.
- 6) 장성록, Andris Freivalds, 장기간의 작업으로 인한 손상 누적성 장애에 관한 연구, 한국산업안

- 전학회지, Vol. 12, No. 4, pp. 153~160, 1997.
- 7) Herman. V., Changes in surface EMG signals of shoulder and neck muscles during sustained effort, Ph.d thesis K. U. Leuven, 1996.
 - 8) Feng, Y., W. Grooten., P. Wretenberg and U. P. Arborelius, Effects of Arm Support on Shoulder and Arm Muscle Activity During Sedentary Work, *Ergonomics* 40(8), pp. 834~848, 1997
 - 9) Hermans, V., Arthur J. Spaepen and Marc Wouters, Recovery of muscular effort after a sustained sub-maximal task, *Advances in Occupational Ergonomics and Safety*, SKumar (Ed.), IOS press, pp. 230~233, 1998.
 - 10) Garcia. D. T., Ling Wong, Jeffrey E. Fernandez, and Ramesh K. Agarwal, The effect of arm supports on muscle activity in shoulder and neck muscles, *Advances in Occupational Ergonomics and Safety*, S. Kumar(Ed.), IOS press, pp. 483~486, 1998.
 - 11) Chang, S. R, S. Park and A. Freivalds, Ergonomic Evaluation of the Effects of Handle Types on Garden Tools, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 24, pp. 99~105, 1999
 - 12) Borg, G., Psychophysical Scaling with Applications in Physical Work and Perception of Exertion, *Scandinavian Journal of Work, Environment, and Health*, Vol. 16, No. 1, pp. 55~58, 1990.