

VDT 작업환경에서 작업시간이 근피로에 미치는 영향

한 정 수

한성대학교 산업시스템공학부 안전과학기술연구소
(1998. 5. 15. 접수 / 1999. 4. 2. 채택)

The Effect of Working Hour on Muscle Fatigue in Visual Display Workplace

Jung-Soo Han

Department of Mechanical Systems Engineering, HanSung University

(Received May 15, 1998 / Accepted April 2, 1999)

Abstract : Occupational cumulative traumas (CTDs) are becoming one of leading ailments in industrialized world^(1,2). The degree of muscle fatigue is important parameter to understand cause of occupational cumulative trauma disorders. To quantify degree of muscle fatigue, muscle EMG activity was measured during isometric and dynamic contractions(repetitive concentric/eccentric muscle contraction) and its analyzed data, such as RMS, median frequency, and median power were compared when the muscle was fresh and exhausted. When muscle become fatigue, it was observed that median frequency decreased and median power and RMS increased. However, based on overall prolonged observation, median frequency increased and median power and RMS decreased. Therefore it was concluded that shifting patterns of RMS, median frequency, and median power values can be used as parameter to evaluate degree of muscle fatigue even in dynamic muscle contraction.

I. 서 론

근전도 신호는 현재까지 근육의 힘의 예측, 근 골격계 질환 환자^{3~6)}의 근육 반응여부 등을 알아보는데 주로 사용되었다. 그러나 최근 이러한 근전도 신호의 다양한 응용 연구⁷⁾가 진행되어지고 있으며 신호자체의 통계적 성질을 파악해 내어 수학적 모델^{8,9)}을 제시하고, 나아가 근전도 신호형태의 정량화를 위한 근전도 지수를 추출해 내는 작업은 작업안전 및 응용분야의 학문적인 발달을 위해서 필히 해결되어야 하는 과제라고 하겠다. 근전도 신호를 해석함에 있어서 운동 특성에 따른 근육의 수축을 통해 근육 활동의 유·무, 근육의 활동 양 등을 기초로 하여 작업 시간과 밀접한 관계를 갖는 근육의 피로 정도를 근육 수축의 근전도 최대치 및 근전도의 분석을

통하여 나오는 중간주파수의 변화 등을 관찰함으로써 분석해 왔다. 즉 근육의 피로가 축적됨에 따라 근전도의 최대치의 증가 현상 과 중간주파수의 감소현상 등과 같은 신호의 천이 양상을 기준으로 근육의 피로 정도를 결정하였다^{10,11)}.

Lindstrom(1974) 등은 근육의 수축에 대해 근전도 신호를 분석하여 중간 주파수의 천이 정도를 구해주고 스펙트럼 분석(Spectrum Analysis) 기법을 이용하여 근육의 활동 양을 산정 하는데 주로 쓰여왔다¹³⁾. Basmajian와 DeLuca (1985) 등에 의하면 주파수의 해석에 있어서 근전도를 통해 평균주파수(Mean Frequency)와 중간 주파수(Median Frequency)를 구할 수 있으나 인체와 근전도 신호간의 밴드 폭(bandwidth)과 관계하여 고주파수 간섭의 영향에 대하여 민감성(sensitivity)이 적은 중간주파수(Median Frequency)를 이용하여 분석하여 왔다¹⁰⁾.

본 연구에서는 중간주파수, Power Spectrum,

RMS(Root Mean Square)^{12,13)} 등의 근전도 매개변수를 관찰, 그 경향을 분석하여 근전도 특성을 규명함으로써, 실제 VDT 작업환경에서 (Visual Display Workplace) 작업자의 시간별 피로도의 정량화를 목표로 하고 있다. 이를 위하여, 근육의 반복적인 수축과 이완 운동 시의 근전도 신호, 즉 중간주파수, Power Spectrum, RMS 등의 수치의 이동 성향을 이용하여 피로도를 측정하며, 작업자의 시간별 피로도를 가시화 함으로써 작업시간별 근육 피로도 양상을 관찰 관찰하였다. 또한, 실험결과에 적용으로 근전도의 특성치인 근육수축 지수의 정량화를 토대로 작업자의 시간대별 작업 시간 재조정 및 전체 작업 시간 설계에 이용되며, 또한 피로의 정도가 가장 크게 나타나는 특정한 근육을 확인함으로써 근골격계의 누적외상질환으로의 진행을 사전에 예방할 수 있다. 본 연구에서는 피로도의 정량화를 위해 측정되어진 중간주파수, Power Spectrum, RMS 수치들은 휴식 후 나타나는 수치들과의 통계학적 분석으로 상호간에 차이가 있는지를 일원배치법(One-way ANOVA)을 이용하여 분석하였다.

II. 실험 방법 및 내용

가. 피실험자 및 실험군

근육 및 신경계통의 질병을 앓은 경험이 없는 여자 6인의 신체 건강한 사람을 대상으로 하였으며, 실험의 종류는 크게 세 종류로 나누어 시험하였고 관찰되어진 근육은 VDT 작업자가 작업 시 주요하게 사용되어지는 근육의 4부위를 선정하여 표면전극 선정 위치, 신경분포, 착점(着點)을 나타내었다. 근육부위로는 수근관절을 움직이는 주요 전박부신전근 (Forearm Flexor), 전박부굴곡근(Forearm Extensor)과 어깨 관절을 움직이는 상위승모근(Trapezius Upper)과 중위승모근(Trapezius Middle)으로 정하였다. 선정된 근육들의 컴퓨터 키보드 타이핑에 요구되어지는 반복 수축과 이완 운동 시의 근전도를 측정하도록 하였고, 타이핑시 피실험자의 자세는 등과 의자 사이의 15° 각도를 유지하였다. 주관절(Elbow Joint)의 각도는 각각 90°로 정하고 주관절의 위치 변화에 따른 피로도 지수들의 변화를 관찰하였다. 또한 VDT 작업장에서 주로 행하여지는 활동의 모사 실험을 위하여 한글과 컴퓨터에서 제

공하는 한뢰TM 타자 2.0 소프트웨어를 사용하였다. 피실험자의 분당 타수, 정확한 타수율(Correct Typing Ratio) 등 제반 실험에 임하기 전에 실제 직업성 누적에 관한 실험이므로 타이핑 글자는 위에서의 타자 연습프로그램 중 한가지를 선택하여 실험중 계속해서 타이핑하도록 하였다(피 실험자를 선정시, 글수 350타 중에 정타수 320타 이상, 분당 빠르기 288타 이상으로 하였고 평균 정확도를 90%로 정하여 선정하였다). 근전도 시험에 앞서서 피실험자 에게 근육 수축 운동에 대한 내용과 본 연구의 실험 목적, 필요성, 기기 및 측정 순서, 방법 등을 설명하여 본 연구에 대한 이해를 높이고 심리적 부담을 덜어 주도록 노력하였다.

나. 실험 절차 와 해석 방법

실험 시간은 VDT 작업자의 근무 시간을 모사하기 위하여 실험은 오전 8시부터 시작하고 50분 근무, 10분 휴식하는 과정을 통하여 오후 12시부터 오후 1시까지 점심, 식사 후 오후 1시부터 5시까지 작업을 하면서 실시하였으며, 매시간 30분 후와 50분 후, 10분 휴식 후 정시에 10초 동안 근전도를 측정하였다. 또한, 작업장의 작업 집중도는 실제 근전도 측정 시간이 매우 짧고 정해진 프로그램의 단어를 타이핑하므로 매 실험당 근전도 측정을 위하여 Noraxon 2000 EMG 측정장비를 이용한 표면전극을 이용하였다. 표면전극을 부착하기 위하여 피부 각 부위의 과도한 체모를 제거하였으며, 표피 지방을 제거하기 위하여 사포를 사용하여 피부를 가볍게 문지른 후 알코올로 피부를 청결하게 하였다. 또한 표면전극과 피부와의 온도차에 대한 보상을 위하여 표면전극 착용후 한시간 정도의 숙성시간을 가졌다. 근전도 측정 시에는 작업자가 작업의 중단 없이 계속하여 키보드타이핑을 실제작업과 동일하게 실시하였다.

실험에서 얻어지는 각각의 근육들의 근전도로 부터 근육 수축의 전체 수축 시간, 최대 수축 정도(μV), 중간 주파수와 Median Power, RMS의 수치들이 시간별로 어떻게 변화하는가를 해석하였다. 중간 주파수 해석에 있어서 효과적인 스펙트럼분석을 위하여 표본주파수를 1024 Hz로 사용하였으며, FFT (Fast Fourier Transform) Length를 1024 Hz로 하여 분석 Resolution을 1 Hz를 유지하도록 하였다.

III. 결 과

본 연구에서는 작업자의 키보드 타이핑작업 시인 근육의 활동과 휴식에 따른 근육의 수축양상 시의 근육의 시간별 피로도 지수들의 변화 특성을 고찰하기 위하여 작업 중의(작업시작 후 매 30분과 50분) 근육의 활동과 매 시간 주어지는 휴식 후의 근육의 근전도가 측정되었으며, 측정된 근전도의 수치를 통하여 분석되어진 피로

도 지수들인 IEMG, 중간주파수, Median Power, Peak EMG, RMS EMG 등이 상호 비교되었다. 또한 피로도 지수들에 따른 근육별 통계적 유의에 따른 분석 수치가 Table 1과 2에 나타나 있다.

IEMG (Integrated Area of EMG) : IEMG의 평균과 분산 수치는 신전근($10.1 \pm 6.7\mu V$, Range: 3.8~30.4 μV), 굴곡근($18.1 \pm 10.1\mu V$, Range:6.7~43.8 μV), 중위승모근($13.2 \pm 8.8\mu V$, Range:2.1~32 μV), 상위승모근($12.3 \pm 8.2\mu V$, Range:3.5~36.1 μV)으로

($p > 0.05$)

Table 1. Statistical Significant Difference between Muscles

IEMG					Median Frequency					Median Power				
	굴곡근	신전근	중승모	상승모		굴곡근	신전근	중승모	상승모		굴곡근	신전근	중승모	상승모
굴곡근	-	○	○	○	굴곡근	-	○	#	#	굴곡근	-	#	○	○
신전근	-	-	○	#	신전근	-	-	#	#	신전근	-	-	#	#
중승모	-	-	-	○	중승모	-	-	-	#	중승모	-	-	-	○
상승모	-	-	-	-	상승모	-	-	-	#	상승모	-	-	-	-
Peak EMG					R.M.S.					Statistical Significant Difference was checked with $P < 0.05$. # : Statistical significant difference was found. ○ : No statistical significant difference was found.				
	굴곡근	신전근	중승모	상승모		굴곡근	신전근	중승모	상승모					
굴곡근	-	#	○	○	굴곡근	-	#	○	○					
신전근	-	-	#	#	신전근	-	-	#	#					
중승모	-	-	-	○	중승모	-	-	-	○					
상승모	-	-	-	-	상승모	-	-	-	-					

Table 2. Statistical Significant Difference Range between Keyboard Typing Activities after 30 and 50 Minutes and Right after Resting

		8시	9시	10시	11시	12시	중식	1시	2시	3시	4시
신전근	IEMG		←			(P < 0.3)					
	Median Frequency		←			(P < 0.07)		(P < 0.37)	←		
	Median Power										
	Peak EMG						(P < 0.22)	←			
	R.M.S.						(P < 0.1)	←			
굴곡근	IEMG		←			(P < 0.23)					
	Median Frequency		←			(P < 0.08)	(P < 0.03)	←	(P < 0.17)	←	
	Median Power										
	Peak EMG										
	R.M.S.					(P < 0.45)	(P < 0.09)	←			
중위승모근	IEMG						(P < 0.04)	←			
	Median Frequency		←			(P < 0.1)					
	Median Power								(P < 0.24)	←	
	Peak EMG	←				(P < 0.13)			(P < 0.24)	←	
	R.M.S.						(P < 0.45)	←			
상위승모근	IEMG		←			(P < 0.27)	(P < 0.24)	←			
	Median Frequency		←				(P < 0.13)	←			
	Median Power										
	Peak EMG		←			(P < 0.5)					
	R.M.S.		←			(P < 0.5)	(P < 0.32)	←			

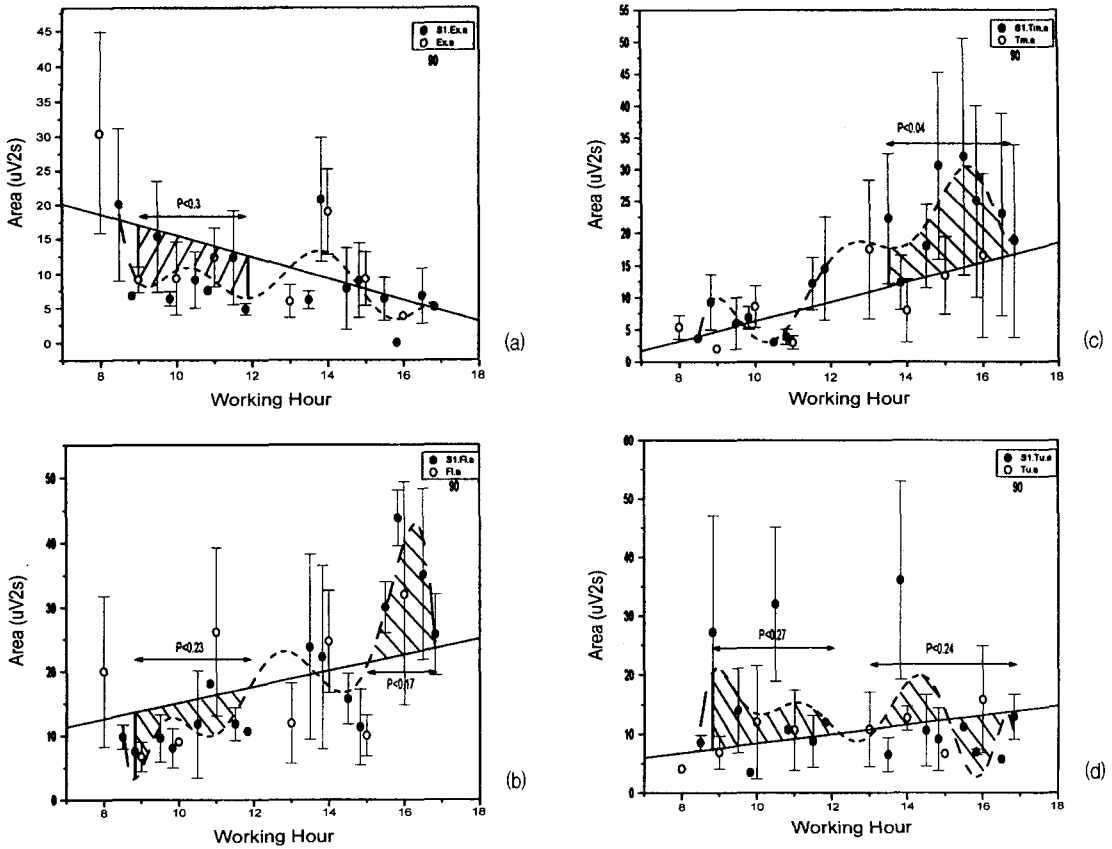


Fig. 1. Statistically significant different working hour (shaded area) in IEMG between after resting (line) and during working (dotted line)

나타났으며, 근육들 상호간의 통계학적 차이는 굴곡근과 상위승모근 사이에서 나타났다. Fig. 1에서는 근육별 IEMG의 수치가 휴식 후의 활동과 작업 30, 50분 후의 활동들이 나타나 있다. 근육 중 중위승모근을 보면 점심식사 후 오후 1시부터 재개되어진 작업에서 1시 30분 이후부터 IEMG의 증가가 확연하게 나타났다(Fig. 1(c)). 굴곡근도 오후 3시 이후부터 IEMG의 증가가 있었다(Fig. 1(b)).

Median Frequency : 중간주파수의 평균과 분산 수치는 신전근($64.0 \pm 4.0\text{Hz}$, Range: 46.8 ~ 72Hz), 굴곡근($65.7 \pm 6.0\text{Hz}$, Range : 56.9 ~ 78.7Hz), 중위승모근($43.6 \pm 3.2\text{Hz}$, Range : 39 ~ 52Hz), 상위승모근($40.4 \pm 5.4\text{Hz}$, Range: 32 ~ 52.5Hz)으로 나타났으며 근육들 상호간의 통계학적 차이는 신전근과 굴곡근의 관계만을 제외한 모든 근육간의 사이에서 나타났다. Fig. 2에서 근육의 중간주파수의 변화가 나타나 있다. 굴곡근은 작업 개시 후 1시

간 30분 후인 오전 9시 30분부터 오전·오후 작업 종료까지 피로 양상을 꾸준히 보여주고 있다 (Fig. 2(b)). 중위승모근 역시 오전 9시 30분부터 오전 작업 종료까지 피로의 양상을 보이고 있으나, 오후 근무시간에서는 특이할만한 피로도의 증가를 보이지 않고 있다(Fig. 2(c)). 이에 반해 상위승모근은 오후 근무시작 30분 후인 1시 30분부터 작업 종료시까지 피로도의 증가 현상을 보이고 있다(Fig. 2(d)).

Median Power : Median Power의 평균과 분산 수치는 신전근($3.6 \pm 3.1E10 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$, Range: 1.1 ~ 13.8E¹⁰ $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$), 굴곡근($8.1 \pm 4.9 E^{10} \mu\text{V}^2/\text{Hz}$, Range: 0.2 ~ 17.2E¹⁰ $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$), 중위승모근($3.1 \pm 3.3E^{10} \mu\text{V}^2/\text{Hz}$, Range: 0.7 ~ 15.3E¹⁰ $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$), 상위승모근($3.2 \pm 1.5E^{10} \mu\text{V}^2/\text{Hz}$, Range : 0.5 ~ 6.5E¹⁰ $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)으로 나타났으며, 근육들 상호간의 통계학적 차이는 신전근과 굴곡근 사이, 신전근과 중위승모근, 신전근과 상위승모근 사이에서 나

VDT 작업환경에서 작업시간이 근피로에 미치는 영향

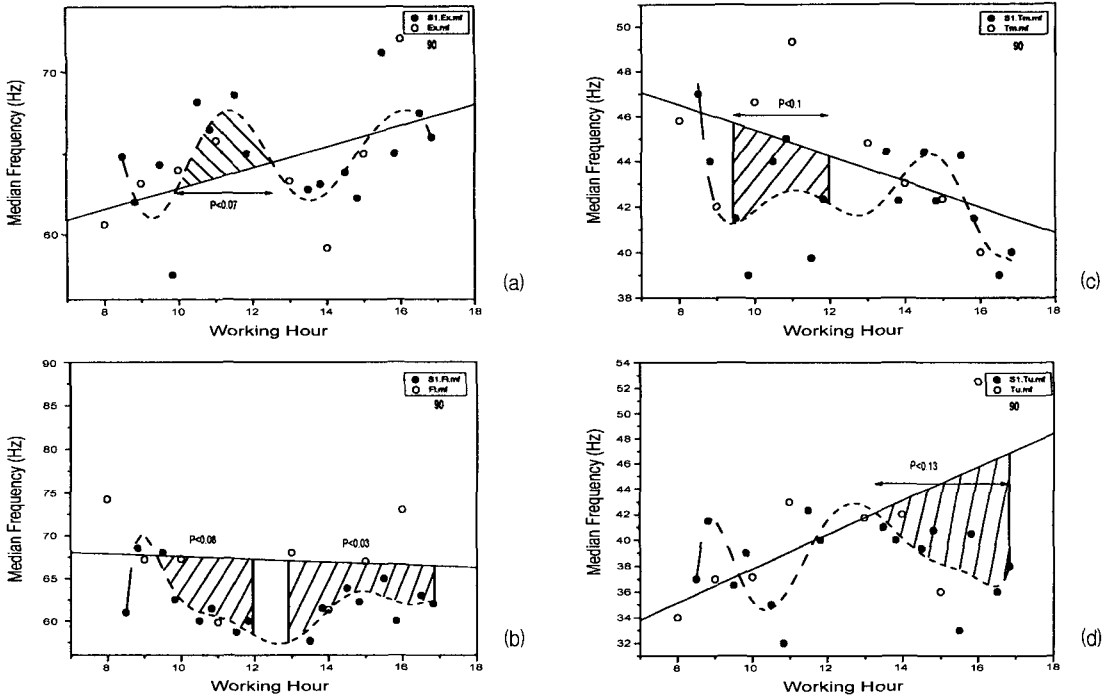


Fig. 2. Statistically significant different working hour (shaded area) in median frequency between after resting (line) and during working (dotted line)

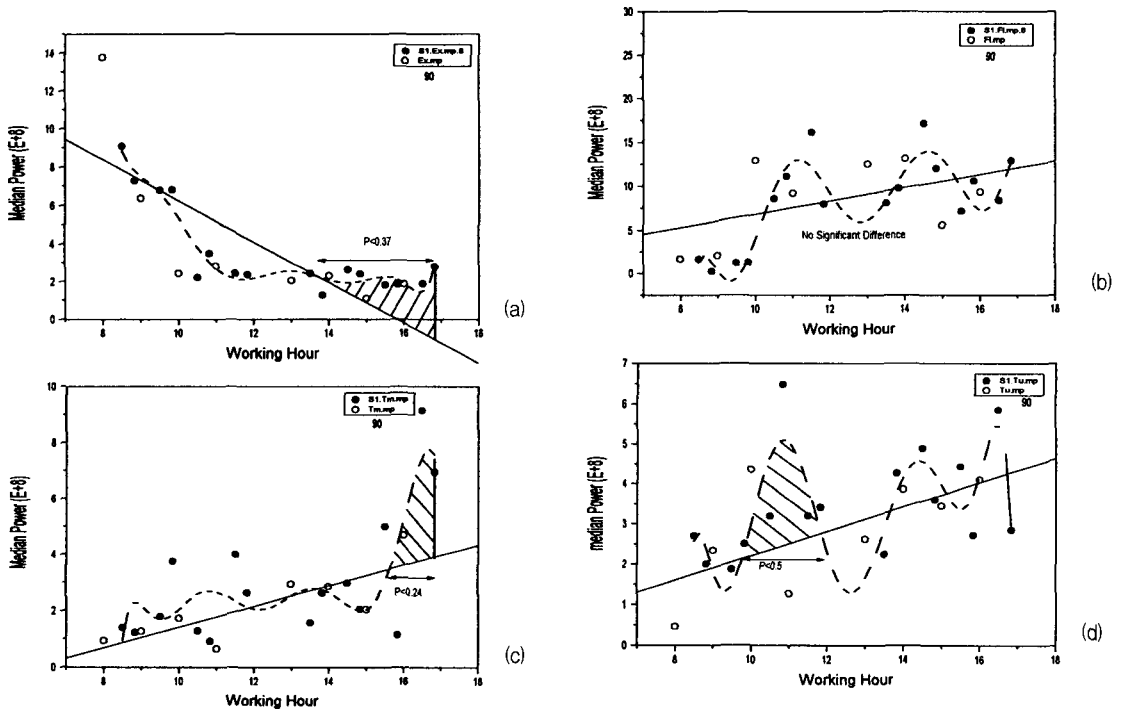


Fig. 3. Statistically significant different working hour (shaded area) in median power between after resting (line) and during working (dotted line)

타났다. Fig. 3에서 근육의 Median Power의 변화가 나타나 있다. 신전근은 주로 오후 2시 이후부터 피로 양상을 보여 주고 있으며(Fig. 3(a)), 중위승모근 역시 오후 3시 30분 이후부터 작업 종료 시까지 피로 양상을 보이고 있다(Fig. 3(c)).

Peak EMG : Peak EMG의 평균과 분산 수치는 신전근($110.1 \pm 28.8 \mu V$, Range : $68 \sim 184 \mu V$), 굴곡근($152 \pm 51.1 \mu V$, Range : $70 \sim 224 \mu V$), 중위승모근($106.6 \pm 49.1 \mu V$, Range: $45 \sim 231.4 \mu V$), 상위승모근($97.7 \pm 24.1 \mu V$, Range: $37 \sim 132 \mu V$)으로 나타났으며, 근육들 상호간의 통계학적 차이는 굴곡근과 신전근 사이, 신전근과 중위 승모근, 신전근과 상위승모근 사이에서 나타났다. 변화의 형태가 나타나 있다. Fig. 8에 근육의 Peak EMG의 신전근은 오후 작업 시작 후인 오후 1시부터 작업 종료 시까지 수치 감소 현상을 보였으나(Fig. 4(a)), 중위승모근은 오전 8시 30분 이후부터 12시까지 또한, 오후 3시 이후부터 수치의 증가 현상을 보였다(Fig. 4(c)).

비슷한 양상으로 상위승모근은 8시 30분부터 오후 1시, 오후 작업시작 후인 오후 1시부터 3시 30분까지 수치의 증가 현상을 보였다(Fig. 4(d)).

Root Mean Square (RMS) EMG : RMS EMG의 평균과 분산 수치는 신전근($26.5 \pm 8.8 \mu V$, Range: $12.2 \sim 49.9 \mu V$), 굴곡근($38.9 \pm 17.2 \mu V$, Range : $9.4 \sim 83 \mu V$), 중위승모근($24.4 \pm 8.5 \mu V$, Range : $13.8 \sim 45.4 \mu V$), 상위승모근($27.2 \pm 12.4 \mu V$, Range : $4.3 \sim 60 \mu V$)으로 나타났으며, 근육들 상호간의 통계학적 차이는 굴곡근과 신전근 사이, 신전근과 중위승모근, 신전근과 상위승모근 사이에서 나타났다. Fig. 5에 근육의 RMS EMG의 변화의 형태가 나타나 있다. 신전근은 오후 작업 시작 직후부터 작업 종료 시까지 수치의 증가 현상을(Fig. 5(a)), 굴곡근에서는 오전 10시부터 오전 작업 종료 전까지(Fig. 5(b)) 오후 1시 30분부터 작업 종료 시까지 수치의 감소 현상을 보였으며 중위승모근은 오후 1시 이후부터 작업 종료시까지 수치의

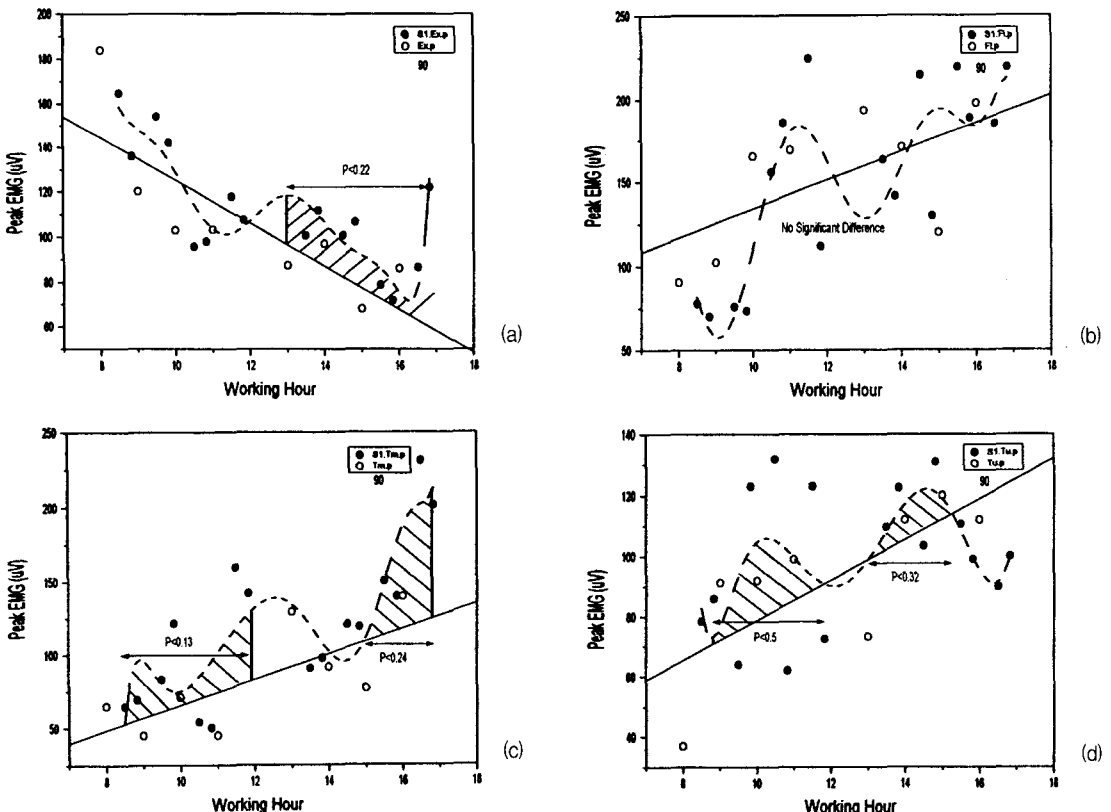


Fig. 4. Statistically significant different working hour (shaded area) in peak EMG between after resting (line) and during working (dotted line)

VDT 작업환경에서 작업시간이 근피로에 미치는 영향

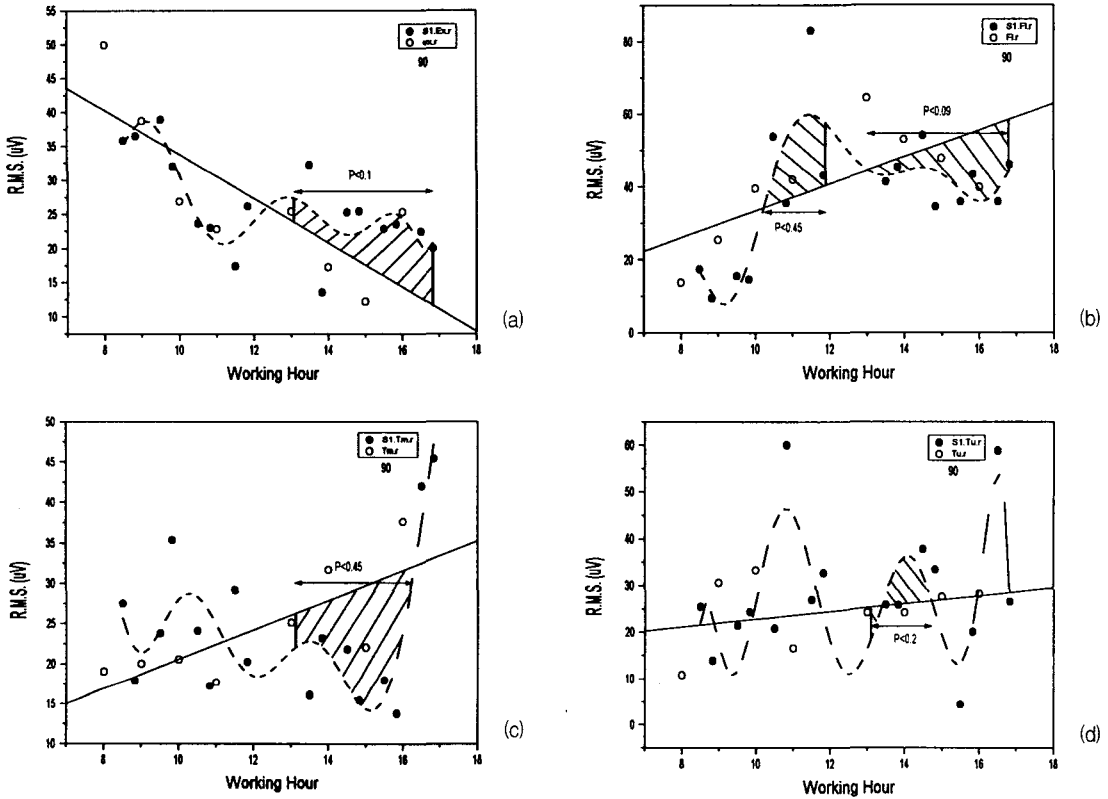


Fig. 5. Statistically Significant Difference in R.M.S between Resting and Working

감소 현상을 보였다(Fig. 5(c)).

IV. 결론

VDT작업장에서 시간별 근피로도의 측정은 개인별 신체능력, 작업습관, 근육의 발달 정도, 작업량 등으로 인하여 근전도의 측정 및 해석만으로는 판단하기 쉬운 일이 아니다. 그러나 본 연구에서는 객관적이며 정량적인 수치인 근피로도의 지수를 제공함으로써 근피로도의 양상을 밝힐 수 있었다. 본 연구는 작업 시간대별 근피로도 지수들의 발달 양상을 정량적으로 나타낼 수 있는 데에 그 특징과 의미를 부여할 수 있겠다.

본 연구의 결과로서 작업 시간대별 근육의 피로도는 오전 작업 시작 후 2시간이 경과한 10시 경부터 오전 작업 종료 시간인 오후 12까지 근육의 피로도가 증가되었으며, 오후 작업 시간대로는 주로 1시 이후 작업시간에 피로도가 전반적으로 증가하는 모습을 보이나, 2시 이후의 작

업시간에 더욱 집중적으로 나타나는 것을 보여 주고 있다. 그러므로 오전, 오후 작업시간을 통하여 작업 개시 후 2시간 이후부터는 작업자가 근육 피로에 의한 근골격계의 질환을 일으킬 수 있는 위험 요소에 노출되어 있다고 할 수 있으며, 각 사업장의 특성에 적합한 오후 시간대의 작업 시간의 설계가 주의 깊게 책정되어야 할 것이다.

감사의 글 : 본 연구는 1999학년도 한성대학교 교내연구비 지원 과제임.

참고문헌

- 1) Myers M., Withers P., Johnson J. Program of the national institute for occupational safety and health. DHHS publication No. 84~107, Washington, D.C. : U.S. Government Printing Office, 1984.
- 2) BLS (Buereau of National Affairs) Occupational

- injuries and illness in the United States by industry, Bulletin 2366, Washington D.C. U.S. Government Printing Office, 1990.
- 3) Feldman R. G., Goldman R., Keyserling W. M. "Peripheral nerve extrapment syndromes and ergonomics factors, Am J. Ind. Med, pp. 661 ~ 668, 1983.
 - 4) Frederick L. Cumulative trauma disorder, AAOHN, pp. 113 ~ 116, 1992.
 - 5) Herberts, P., Kadefors A. A study of painful shoulder in welders, Acta Ortho Scan., pp. 481 ~ 487, 1976.
 - 6) Smith E., Sonstegard D., Anderson W. Carpal tunnel syndrome contribution of flexor tendons, Arch. Phys. Med. Rehab., pp. 379 ~ 385, 1977.
 - 7) Loeb, G, and Gans C. Special purpose analysis, Electromyography for Experimentalists, The University of Chicago Press, Chicago, pp. 255 ~ 257, 1986.
 - 8) Mirka G, and Marras W. A stochastic model of trunk muscle coactivation during trunk bending, Spine, pp. 1396 ~ 1409, 1993.
 - 9) An K, Kwak B., Chao, E., Morrey B. Determination of muscle and joint forces : A new technique to solve the indeterminate problem. J. of Biomechanical Engineering, pp. 364 ~ 367, 1984.
 - 10) Basmajian JV, DeLuca CJ Muscle Alive: Their Functions Revealed by Electromyography, ed 5. Baltimore, MD, Williams & Wilkins, p. 205, 1985.
 - 11) Stulen F., C. J., De Luca. Frequency parameters of the myoelectric signal as a measure of muscle condition velocity. IEEE Tras. Biomed. Eng. 28, pp. 512 ~ 523, 1981.
 - 12) Milner-Brown HS, Stein RB The relation between the surface electromyogram and muscular force. J Physiol (London), pp. 246:549 ~ 569, 1975.
 - 13) Lindstrom L, Petersen I Power spectra of myoelectric signals: Motor activity and muscle fatigue. In Stalberg E, Young RR(eds): Neurology: I. Clinical Neurophysiology. Stoneham, MA, Butterworth Publishers, pp. 66 ~ 87, 1981.