

위보기 작업 시 EMG를 이용한 목 근육의 부하 평가

이관석[†] · 박주원

홍익대학교 산업공학과

(2011. 11. 24. 접수 / 2012. 2. 1. 채택)

A Study of Loadings of Neck Muscles when Bent Backward

Kwan Suk Lee[†] · Ju Won Park

Department of Industrial Engineering, Hongik University

(Received November 24, 2011 / Accepted February 1, 2012)

Abstract : Workers who work with his neck bent backward in the standing posture have often complained of their musculoskeletal stress. The objective of this study was to find how much stress there was for workers who worked with their neck bent backward. The subjective evaluation and electromyography(EMG) were used to check the level of the stress. It was found that all subjects felt extreme pain after working with the neck bent backward and alternating 1 minute work and 0.5 minute rest for 30 minutes. The EMG level(amplitude) of neck muscles increased 80 percent on the average and the center frequency of EMG shifted to the lower frequency level which indicated fatigue of neck muscles. Thus, the intervention of this musculoskeletal stress is strongly recommended.

Key Words : EMG, sternocleidomastoideus, trapezius, musculoskeletal stress

1. 서론

우리나라에서는 지금까지의 산업발전이 자동차, 철강, 섬유, 조선, 신발 등 노동집약형 산업에 많이 의존해 왔는데, 이러한 유형의 산업발전의 결과로 급속한 경제 성장을 가져온 반면, 다양한 원인에 의한 잦은 산업재해 발생을 기인하였다. 산업재해는 작업자의 실수나 생산 설비의 오작동 등에 의한 순간적인 사고에 기인하는 경우도 많지만, 최근에는 부적절한 작업환경 및 작업방법으로 인한 과도한 작업부하가 작업자에게 누적되어 발생하는 요통, VDT 증후군과 같은 근골격계 질환으로 인한 요양신청이 급격히 증가하고 있다, 이 질환은 특정한 신체부위의 반복 작업과 불편하고 부자연스러운 작업 자세, 강한 노동 강도, 과도한 힘, 불충분한휴식, 진동 등이 원인이 되어 목, 어깨, 팔꿈치, 손목, 손가락, 허리, 무릎, 등 주로 관절부위를 중심으로 근육과 혈관, 신경 등에 미세한 손상이 생겨 결국 통증과 감각 이상을 호소하는 만성적인 건강장해다.

산업재해는 IMF 이후 높은 증가세를 보이고 있으며, 요통을 포함한 직업성 근골격계 질환으로 산재

처리된 작업자는 Fig. 1에 보이는 바와 같이 2007년 7723명, 2008년 6703명으로 2007년 이후로는 감소하는 추세¹⁾이나, 환자로 치료되지 않은 유사환자를 고려하면, 국내에서 근골격계 질환을 앓고 있는 노동자는 연간 4·5만 명 정도로 추정되며, 근골격계 질환 환자마다 29,732,408원의 비용이 들어간다고 보고되었다.

그러나 실제 회사에 보고되는 비용은 이러한 질환에서 회복되기까지 휴가에 대한 보상급여를 포함

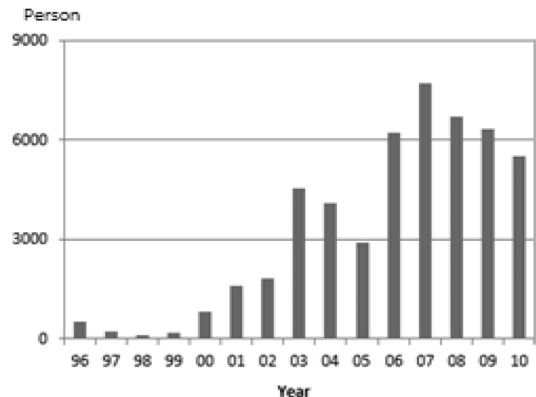


Fig. 1. The number of musculoskeletal patient in korean Industry.

[†] To whom correspondence should be addressed. kslee@hongik.ac.kr

하면 8배 이상 되었다. 근골격계 질환은 기업의 입장에서 더 이상 간과할 수 없을 만큼 매년 엄청난 비용손실을 초래하고 있다.

이러한 문제 때문에 선진국에서는 근골격계 질환을 줄이려는 연구가 농장작업²⁾, 환자돌보기³⁾, 치과작업⁴⁾, 등 다양한 직업형태에서 활발히 진행되어 왔다. 우리나라에서도 2003년에 근골격계 질환에 관한 산업안전보건법이 시행된 후에 근골격계 질환에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다^{5,6)}. 근골격계 질환을 많이 일으키는 작업 중에 위보기 작업이 있는데 자동차 조립이나 정비, 천장의 페인트칠이나 도배, 농업에서 과수 작업 등 여러 분야에 걸쳐 이러한 작업이 많다. 특히 차체 밑에서 품질검사를 하는 작업은 작업자가 대상물을 주시하기 위하여 목을 정적인 자세로 유지하고 있다. 이것은 지속적으로 목의 근육이 수축상태를 유지하는 것을 의미하며, 시간의 경과에 따라 근육에 피로가 누적됨에 따라 심각한 증상으로 발전하게 된다. 하지만 목을 뒤로 젖히는 작업을 하는 직업에서 목 근육의 피로의 누적을 객관적으로 EMG를 측정하여 평가한 연구는 거의 없다.

목과 관련된 최근의 연구로는 천장크레인 운전 작업부하에 대한 연구⁷⁾, 정적인 자세에서 목의 주관적 부하 평가⁸⁾, 과수작업자의 근골격계 질환예방을 위한 연구⁹⁾, 등이 있다.

Kim and Chung⁸⁾에 의하면 천장크레인 운전 작업부하에 대한 연구⁷⁾는 산업현장에서 가장 많이 사용하는 천장크레인의 운전실에서 밑을 보고 작업하는 작업자세가 근골격계 질환을 유발하는 점을 설문과 인간공학적 평가기법인 OWAS, RULA, REBA, QEC 등을 사용하여 분석한 것이다. 정적인 자세에서 목의 주관적 부하 평가⁸⁾는 목의 4가지 관절동작인 굴곡(flexion), 신전(extension), 회전(rotation), 옆으로 굽힘(lateral bending)으로 분류하여 근골격계 부담 평가 관련 식에서 각 자세별로 피실험자가 느끼는 주관적 부하를 Borg's CR-10 Scale 사용하여 분석하였다. 목 젖힘 각도에 관해서는 Kim and Chung⁸⁾의 연구에서는 근골격계 부담 평가 관련 식에서 0도, 20도, 40도, 60도를 많이 사용한다고 정하였으나 주관적 부하만 연구하였고 실험시간이 1분이어서 실제 작업 시 시간에 따른 부하의 정도는 연구되지 않았다. 또한 천장크레인 운전 작업부하에 대한 연구⁷⁾와 정적인 자세에서 목의 주관적 부하 평가⁸⁾ 연구 둘 다 EMG와 같이 정밀한 객관적 평가 도구를 이용하지는 않았다.



Fig. 2. Scene of underbody work at a car service center.

과수 작업자의 연구⁹⁾는 EMG를 측정하였으나 자동차 조립이나 정비에서와 같이 머리 위에 있는 작업을 측정한 것이 아니라 작업자의 전면부에서 신장 높이 수준에서의 작업을 하는 자세이기 때문에 자동차 조립이나 정비 또는 천장의 페인트칠이나 도배와 같이 머리를 많이 뒤로 젖혀서 하는 작업의 피로도를 알기에는 미흡하다.

따라서 본 연구는 작업 시 스트레스를 유발하는 항목을 체크하여 차체 밑에서 일하는 작업자의 목을 45도 이상 뒤로 젖힌 작업자세가 목 부위에 근골격계 질환을 발생시킬 가능성이 높은지를 평가하고, EMG를 통하여 근육의 활동을 분석하여 객관적으로 얼마만큼의 부하가 걸리는지 알아보고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상

연구대상자는 9명의 건강한 남자대학생으로 상지와 하지에 신경계 및 근골격계의 병리학적 소견이 없는 24.67 ± 0.47 세로 키 177.4 ± 1.44 cm 체중 71.0 ± 2.01 kg의 지원자로 선정하였다. 피실험자를 남성으로만 한정된 이유는 이 작업을 하는 여성작업자가 없기 때문에 남성을 대상으로 실험을 진행하는 것이 적합할 것으로 생각하였기 때문이다.

2.2. 실험변수

근골격계 질환에 관한 연구는 작업자들이 불편해하는 스트레스의 원인과 수준을 찾거나 더 나아가 원인을 없애거나 경감할 수 있는 방법을 찾는 것이다. 위보기 작업은 목의 젖힘과 팔의 올림에 의하여 몸에 육체적 부하가 많아지게 된다. 사전 실험에 의하

여 목의 젖힘은 목 근육에, 그리고 팔의 올림은 어깨 근육에 부하를 주는 것으로 나타났다. 본 논문에서는 우선 목 젖힘에 의한 부하의 정도를 알아보는 것을 연구하였다. 따라서 실험 변수는 시간과 목 근육의 부하였다. 목 근육의 부하에는 목 젖힘의 각도도 영향을 주니⁸⁾ 본 연구가 연구 대상으로 정한 자동차 하체 작업의 경우 현장 조사 결과 대부분의 작업자들이 45도 근처의 각도를 취하고 있어 45도로 고정하였다.

2.3. 실험방법

목과 목을 지탱하는 어깨에 발생하는 피로도를 평가하기 위하여 머리와 목을 움직이는 근육으로 가장 중요한 흉쇄유돌근(Sternocleidomastoideus)과 승모근(Trapezius)이 분석의 대상이 되었다. 이외에도 머리와 목을 움직이는 많은 근육들이 있으나, 대부분 심층근이거나 Surface electrode를 사용하기 어려운 이유로 인하여 분석대상에서 제외하였다.

2.3.1. EMG 측정

피실험자의 EMG를 Normalize하기 위해 일반적으로는 MVC(Maximum Voluntary Contraction)를 측정하고 이때의 EMG를 측정하여 휴식시의 EMG 값과 비교하여 EMG를 Normalize하는 것이 이용된다. 하지만 목이 부상당하기 쉬운 신체 부위이고 일반적으로 목의 MVC에 관한 연구는 없기 때문에 예비 실험에서 피 실험자들이 수용하는 목 근력을 알아본 결과 이마에서 잡아당길 수 있는 근력이 2.5 kg이었다. 따라서 실험 시작 전에 Fig. 4와 같이 Force Gauge를 이용하여 머리를 뒤로 당길 때의 EMG와 목 근육이 내는 힘을 0-2.5 kg 사이에서 0.5 kg 씩을 구간으로 하여 EMG Amplitude를 측정하였다. 목의 7번째 경추 위치에서 피 실험자의 이마까지가 평균 20 cm이므로 목이 받는 최대 모멘트는 0.5 kg·M가 되었다. 이 자료로 Linear Regression 식을 만든

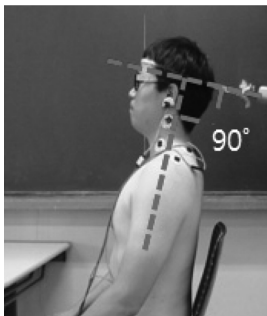


Fig. 3. Setting of a calibration experiment.



Fig. 4. Resting posture.

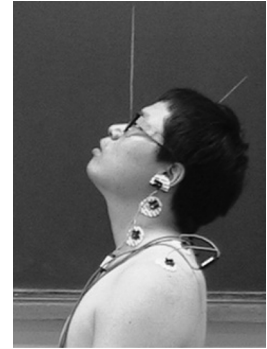


Fig. 5. Posture when neck bent backward.

후에 dl 식을 이용하여 실제 실험의 EMG 자료를 치환시켰다.

따라서 작업자 별 Normalized EMG는 아래의 식과 같다.

Normalized_j

$$= \frac{\text{측정된 } EMG_j}{\text{피실험자 } i \text{ 별 Regression식 상의 } EMG_i}$$

i : 피 실험자

j : 시간대

자동차 공장의 경우 대부분 생산라인이 흐름생산이고, 본 연구에서 실험하고자 하는 작업에서 다음 작업물이 넘어오는데 걸리는 시간인 Cycle Time이 1분 30초이고, 작업자가 실제 작업하는 시간은 보통 1분 정도이기 때문에 1분 30초를 한 사이클로 정하고 1분은 45도 각도로 목을 뒤로 젖힌 자세를 취하며, 30초는 휴식을 취하는 방식으로 실험을 하였다.

EMG 측정은 Myo Trace 400을 사용하여 측정하였으며, Sampling Rate는 1000 Hz였다. 피 실험자의 자세가 일정한 각도를 유지하도록 지속적으로 관찰했다. 예비실험 시 피 실험자가 더 이상 실험을 진행하기 힘들다고 하는 시간이 40분임을 감안하여 총 실험시간은 33분으로 정하여, 1분 30초마다 15초를 Sampling window로 정하여 측정하였다.

2.3.2. 주관적 부하

실험 전 피 실험자에게 Borg's CR-10 scale에 대한 교육을 실시하였고, 실험 중에 피 실험자가 매 사이클의 끝에 휴식을 취할 때 Borg's CR-10 scale에 대하여 주관적 부하를 정하도록 하였다.

Table 1. Borg's category-ratio scale

	최대(Maximal)
10	극도로 아픔(Extreme pain)
9	
8	
7	매우 아픔(Very strong pain)
6	
5	아픔(Strong pain)
4	
3	보통(Moderate)
2	약간 아픔(Weak pain)
1	매우 약간 아픔(Very weak pain)
0.5	극도로 약간 아픔(Extremely weak pain)
0	전혀 무감각(Nothing at all)

3. 연구 결과

본 실험의 결과는 주관적 불편도와 객관적 불편도인 근전도 실험의 결과로 나누어 기술하였다. 두 실험 모두 평균에 대한 통계적인 분석방법은 SAS 9.1 for Windows와 Microsoft Excel2010을 이용하여 분석을 실시하였다.

3.1. 주관적 불편도

피 실험자들의 Borg's CR-10 scale의 주관적 불편도가 Fig. 5에 나타나 있다. 피 실험자들은 시간이 지남에 따라서, 주관적 부하가 선형으로 증가하는 형태를 보였다. 피 실험자들은 실험의 30분을 넘긴 시점(평균 8.11 = 매우 강함)에서는 처음(평균 1.56 = 약함)보다 극심한 피로도와 통증을 호소하였다. ANOVA 분석 결과 증가 추세가 유의한 것($F = 2882.46$, $p < 0.01$)으로 나타났으며 따라서 시간과 주관적 불편도는 상관관계가 매우 높은 것($R^2 = 0.936$)으로 나타났다.

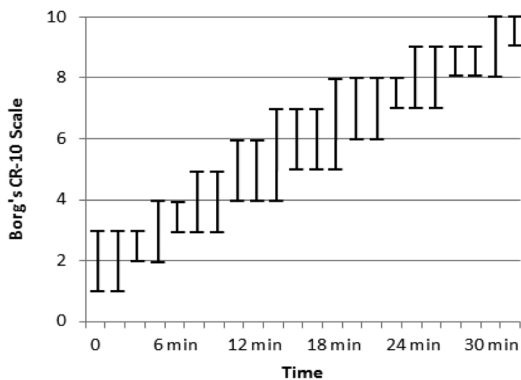


Fig. 6. Subjective evaluation over time.

Table 2. ANOVA analysis of subjective evaluations

	DF	S.S	M.S	F	p-Value
Regression	1	1161.53	1161.53	2882.46	0.00
Residual	196	78.98	0.40		
Total	197	1240.51			

3.2. EMG 분석

목을 뒤로 젖혔을 때의 EMG Amplitude 값을, 0~2.5 kg, 0.5 kg 간격으로 부하를 주어 Linear Regression 식으로 만들어 Calibration한 후 이 결과를 바탕으로 전 피 실험자의 EMG 측정치를 목의 부하로 지표화 하였다.

3.2.1. 목 근육

Fig. 7과 8은 지표화된 EMG Amplitude의 시간에 따른 추세를 보이고 있다. 두 목 근육 전부 시간에 따라 Amplitude가 0분일 때 보다 33분일 때 왼쪽은 70.6%, 오른쪽은 116.5% 증가하는 추세를 보이고 있다. ANOVA 분석을 한 결과 두 근육 모두 F-Value가 유의수준 0.05보다 매우 작으므로, 유의함을 알 수 있다($F = 27.57$, $p < 0.01$ 과 $F = 49.38$, $p < 0.01$). 또한 증가 Slope를 검증한 결과(가설: Slope $\beta_1 = 0$) 귀무가설이 부정되었으므로 시간이 지남에 따라 목 근육에 더 큰 부하가 걸린다는 것이 증명되었다.

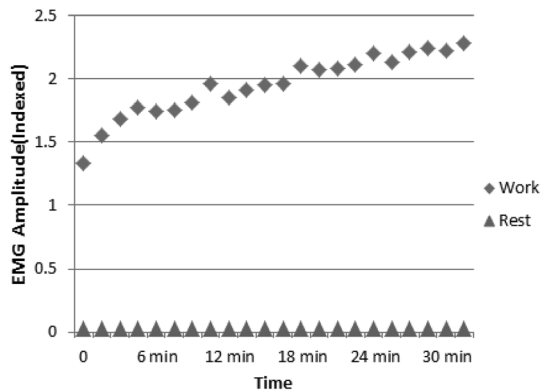


Fig. 7. EMG amplitude of left sternocleidomastoideus.

Table 3. ANOVA analysis of normalized EMG amplitude of left sternocleidomastoideus

	DF	S.S	M.S	F	p-Value
Regression	1	10.36	10.36	27.57	0.00
Residual	196	73.67	0.38		
Total	197	84.03			

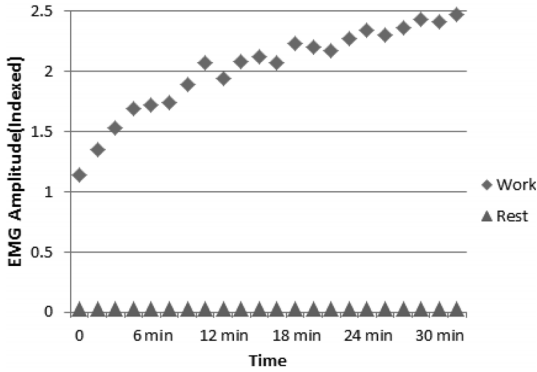


Fig. 8. EMG amplitude of right sternocleidomastoideus.

Table 4. ANOVA analysis of normalized EMG amplitude of right sternocleidomastoideus

	DF	S.S	M.S	F	p-Value
Regression	1	22.18	22.18	49.38	0.00
Residual	196	88.03	0.45		
Total	197	110.20			

33분의 실험 이후에 종료 시점에서의 목에 주는 피로도는 좌우 목 근육 둘 다 목을 뒤에서 2.5 kg의 힘으로 잡아 당길 시의 부하에 근접하였다.

Fig. 9와 10은 두 목 근육 EMG의 Center Fre-

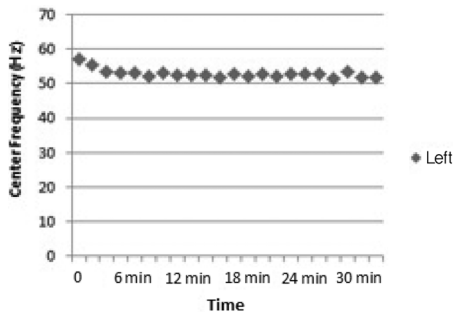


Fig. 9. Center frequency of EMG's of Left sternocleidomastoideus.

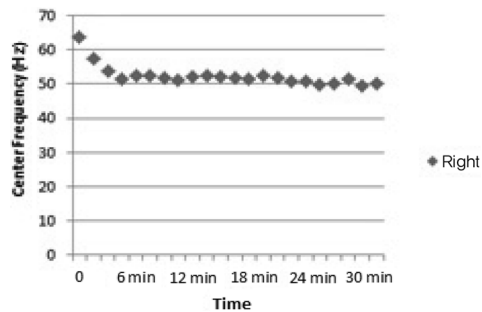


Fig. 10. Center frequency of EMG's of right sternocleidomastoideus.

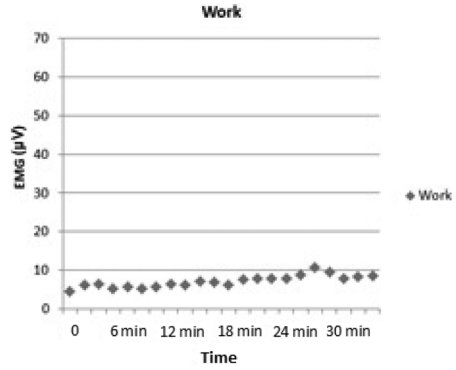


Fig. 11. EMG of left trapezius.

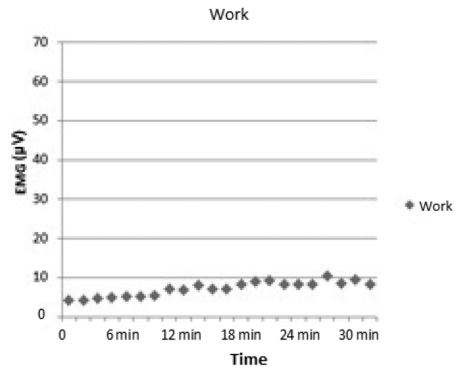


Fig. 12. EMG of right trapezius.

quency 값의 시간에 따른 추세를 보이고 있다. 흉쇄유돌근(좌)의 Center Frequency는 처음 측정시 보다 마지막 측정 시에 9.8% 감소하였다. 흉쇄유돌근(우)의 Center Frequency는 21.4% 감소하는 것을 알 수 있다. 이것을 통해 시간이 지남에 따라 목 근육에 피로가 누적되는 것을 알 수 있다.

3.2.2. 어깨 근육

Fig. 11~12는 승모근의 EMG값의 시간에 따른 추세를 보여주고 있다. 이 근육의 EMG는 변화가 없어 Normalize 하지 못한 값이다. 위를 보는 작업자세가 목 근육뿐만 아니라 승모근에도 영향을 줄 것이라는 가정 하에 승모근의 EMG도 측정하였으나, 목은 뒤로 젖히고 팔은 내려놓은 작업 자세로 근전도를 측정하였기 때문에, 목을 지탱하는 흉쇄유돌근에 비하여 팔의 움직임을 담당하는 승모근의 근전도의 변화가 거의 없음을 알 수 있다.

4. 토의 및 결론

자동차 조립작업이나 농작업에서 위보기 작업이

많다. 이에 따라 자동차 조립 작업자들이나 농업인들이 목의 근골격계 질환 증세를 많이 호소하고 있다.

본 연구에서는 위보기 작업의 육체적 부담을 알아보기 위하여 정적인 자세에서 45도로 각도로 목을 젖히고 있는 실험을 하였다. 근육의 근전도를 측정하여 사전에 EMG 값을 Calibration한 Data를 이용하여 육체적 부하(kg)로 지표화하여, 시간이 지남에 따라 얼마나 피로가 누적되는지 평가하고, 동시에 주관적 불편도의 경향을 분석하였다.

본 연구 결과에 따라 위보기 작업에 의한 부하는 시간이 지남에 따라 계속 증가하며 실험시간이 30분이 경과한 후에는 목이 0.5 kg·M의 Moment를 낼 때와 같은 육체적 부하를 받고 있는 것으로 나타났다. 또한 30분의 실험 후에는 목 근육 EMG의 Center Frequency가 왼 목은 9.8%, 오른 목은 21.4% 감소하는 것을 볼 때 피로도가 커진다는 것을 알 수 있었다.

실험시간 30분 후에 피 실험자가 느끼는 주관적 불편도도 처음의 평균 1.56(약간 아픔)에서 8.11(매우 아픔) 이상으로 증가한 것을 보면 극심한 피로를 느끼는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과를 볼 때 위보기 작업은 근골격계 질환을 초래할 수 있다고 보인다. 실제로 실험 시 30분 이상 경과 후에는 피 실험자들이 고통 때문에 실험을 계속할 수 없다고 보고하였고 실험 후 10시간 경과 후에도 목 근육의 피로와 경직을 보고하였다.

이에 따라 위보기 작업은 시간을 조정하든지 목 지지대와 같은 것을 제공하여 작업을 개선하여야 할 것이다. 또한 본 연구에서는 목의 젖힘에 의한 육체적 부하만 연구하였지만 위보기 작업은 작업점이 어깨보다 높은 경우가 대부분이라 팔의 올림에 의한 어깨의 피로도도 상당할 것으로 보이므로 이에 대한 연구를 계속 할 예정이다.

감사의 글 : 이 논문은 2009년도 홍익대학교 교내 연구비에 의하여 지원되었음.

참고문헌

- 1) 노동부, 산업재해현황통계자료, 2006~2010.
- 2) Scutter, S., K. S. Turker, and R. Hall, "Headaches and neck pain in farmers", *The Australian Journal of Rural Health*, Vol. 5, pp. 2-5, 1997.
- 3) Josephson, M., M. Lagerstorm, M. Hagberg, and E. Waigaeus Hjelm, "Musculoskeletal symptoms and job strain among nursing personal: a study over a three year period", *Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 54, pp. 681-685, 1997.
- 4) Finsen, L., H. Christensen, and M. Bakke, "Musculoskeletal disorders among dentist and variation in dental work", *Applied Ergonomics*, Vol. 29, pp. 119-125, 1998.
- 5) 설진곤, 강동목, 이수일, 김영기, "작업관련 근골격계 목 증상과 물리적 위험요인의 양-반응관계", *대한산업의대한산업의학회지* Vol. 19 No. 2, pp. 145~155, 2007.
- 6) 정현욱, "정적인 자세에서 목 근육의 작업부하 평가", *동의대학교 대학원 석사논문, 산업공학과*, 2002.
- 7) 권오채, 이상기, 조영석, 박정철, 정기효, 유희천, 한성호, "천장 크레인 운전 작업부하 평가모델 개발", *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol. 26, pp. 45-59, 2007.
- 8) 김유창, 정현욱, "정적인 자세에서 목의 주관적 부하 평가", *IE Interfaces*, Vol. 16, pp. 222-228, 2003.
- 9) 황경숙, 이경숙, 김효철, 채혜선, 김창한, "과수작업자의 근골격계 질환예방을 위한 연구", 2010년도 동계 학술대회 연제집, 한국산업위생학회, 2010.