

Development and Evaluation of the Neck Supporter for Preventing Neck-related MSDs

Yong-Ku Kong, Jun-Goo Han

Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746

ABSTRACT

Many WMSDs(work-related-musculoskeletal disorders) have been reported in diverse industries and have also attracted much attention in recent years. Neck-related MSD is generally known as one of common WMSDs, especially it happens to workers who are working at the automobile assembly plants and/or shipyards. The awkward posture is considered as a main cause of neck-related MSDs. A neck supporter was developed to prevent neck-related MSDs, and 10 males were recruited to evaluate the newly developed neck supporter by measuring subjective discomfort ratings of whole body, shoulder, neck and neck-muscle activities. Muscle activities from four neck muscle groups(left/right sternocleidomastoid and upper/middle trapezius) were measured while simulating an automobile assembly task. Results showed that the neck supporter help to significantly improve subjective discomfort for whole-body, shoulder as well as neck body parts. The analyses of muscular activities also showed that the activities of left/right sternocleidomastoid muscles were statistically decreased with the neck supporter in this study. The muscle activities of upper/middle trapezius in case of wearing the neck supporter were not significantly different with the muscle activities in case of no-wearing the neck supporter. Overall findings verified that the neck supporter might help to prevent neck-related MSDs based on the current study.

Keywords: Neck-related MSDs, Neck supporter, Subjective discomfort rating, Muscular activity

1. 서 론

작업관련성 근골격계질환(Work-related musculoskeletal disorders, WMSDs)은 오늘날 다양한 직종의 주요 관심사이다. 노동부의 2008년 산업재해 통계자료에 따르면 근골격계질환자는 1998년 124명, 2002년 1,827명, 그리고 2007년에는 7,723명으로 점점 증가하고 있는 추세이며, 특히 2007년의 근골격계질환은 전체 업무상 질병에서 차지하는 비율의 67.3%나 되었다. 근골격계질환은 산업재해 보상 비용과 생산성 감소 등의 경제적 손실을 야기하며, 근골격계질환에 노출된 작업자와 가족은 물리적, 정신적 고통을 겪고 있다(김규상 외, 2006). 이러한 가운데 노동부에서 제정한 3년 주기의 근골격계질환 유해요인 조사의 의무화 등은 근

골격계질환의 사회적 관심을 반영하고 있다.

작업관련성 근골격계질환 중 목 질환은 허리나 어깨보다는 적지만 팔/팔꿈치, 손/손목 부위 보다는 빈번히 발생하는 흔한 작업관련성 근골격계질환으로 알려져 있다(Van den Heuvel 외, 2006). 특히 목 관련 근골격계질환은 자동차 조립 작업자, 조선소 근로자에서 많이 나타난다. Ohlsson 외(1989)는 자동차 조립 작업자들의 근골격계 자각 증상을 조사한 결과 목 질환이 39%로 가장 높다고 보고하였고, 김재영 외(1999)는 자동차의 크기가 작업자보다 훨씬 커서 작업 시 작업자가 차의 위치에 자세를 억지로 맞추어야 하기 때문에 목의 질환이 많이 발생한다고 하였다. 또한 목 질환은 농업 현장에서도 나타나는데, 목을 뒤로 젖히거나 어깨 위로 팔을 들고 반복적인 순지르기, 전지 작업이 많은 과수 작업에서 목 부위의 고위험 노출과 증상 유병률이 높게

나타났다(류현철 외, 2008).

이와 관련하여 목 자세에 대한 선행연구를 보면, 손경일 외(2007)는 자동차 조립 작업 시 작업방향 및 작업자세의 변화에 따른 최대작업빈도에 관한 연구에서 정면을 기준으로 윗 방향 작업을 실시할 때, 전체 작업 중 최대작업빈도가 23.65%까지 감소한다고 보고하였다. 또한 D. Sood 외(2007)는 머리 위 작업(overhead work)의 높이가 높을수록 주관적 불편도는 증가하고 작업성과는 떨어진다고 보고하였다. 김종은 외(2003)는 목 질환이 많은 이유는 목을 젖히거나 비틀면서 작업을 하는 등 목의 자세가 대부분 인간공학적으로 부적절하기 때문이라고 보고하며, 목에 관련된 부적절한 작업자세를 수정하기 위한 방안을 마련하여야 한다고 하였다. 또한 최정화 외(1999)는 한국의 농작업 환경과 인체부담에 관한 연구에서 배와 포도의 수확 시 고개를 뒤로 젖히는 동작은 목 부위에 큰 부담을 주므로 목을 지지해 줄 수 있는 목 지지대의 개발이 필요하다고 보고하였다.

선행연구에 따르면 목 질환은 목 젖힘 등 부적절한 자세가 큰 원인이며, 이를 개선하기 위한 방안이 마련될 필요가 있는 것으로 보인다. 이에 본 연구에서는 목을 젖히고 작업을 하는 작업자를 위해 고개를 지지할 수 있는 목 지지대를 개발하고자 한다. 또한 개발한 목 지지대를 평가하기 위해 실험을 실시하여 지지대 착용 전과 후의 머리 위 작업 관련 근 활성도와 주관적 불편도를 분석하는 연구도 실시하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 목 지지대 설계

실험에 앞서 산업 현장이나 농업 현장에서 머리 위 작업 시 착용에 의한 불편함이 없으며 목의 불편함이 감소할 수 있는 목 지지대의 설계가 필요하였다. 이상적인 장비를 설계하기 위하여 목 지지대를 목 지지 부분, 목 지지대와 몸과의 연결 부분, 체격 차에 대비한 높이 조절 기능으로 세분화하여 디자인 구상을 진행하였다. 각 부분마다 적절한 대안을 선정하여 비교 평가 후 최종적으로 목 지지대 부분은 Y자 형태의 프레임과 스프링을 이용한 유연성 있는 목 지지대 구조를 설계하고, 목과 직접적으로 접촉하는 부분은 메모리 폼을 사용하여 장비 착용으로 인해 발생할 수 있는 목의 불편도를 경감시키고자 하였다. 설계한 목 지지대 부분과 몸과의 연결은 접촉면을 최소화 할 수 있는 엑스반도를 개선하여 가슴 부위와 어깨 부위를 감싸는 형태로 구상하였다. 또한 사용자의 서로 다른 체격을 고려하여 목이 지지되는 부분은 엑스반도와 본체가 연결된 부분에서 높이를 조절할

수 있도록 설계하였다.

생산 현장이나 농업 현장 작업자의 체격 차이를 고려하여 목 지지대로 인한 작업 방해를 방지하기 위한 방안은 사이즈코리아의 한국인 신체 치수 자료를 이용한 설계로 이루어졌으며, 나이 20~70세까지의 한국인의 최대 좌우측 목 벌림 각도, 최대 눈살-귀구슬 수평 길이, 최대 목뿔 범위, 최대 머리 수직 길이, 그리고 목뒤 등뼈 겨드랑이 수준 길이를 조사하였다.

목 지지부 너비는 최대 좌측 목 벌림 각도와 최대 우측 목 벌림 각도가 각각 106° 와 105° 임을 감안하여 목을 돌렸을 때 머리 중심점으로부터 좌측과 우측 길이가 최대가 되는 최대 눈살-귀구슬 수평 길이(126mm)와 여유공간을 반영하여 260mm로 정하였다. 또한 목 지지부 깊이는 최대 목뿔 범위가 100° 임을 감안하여 목을 젖혔을 때 뒷머리 부분이 최대로 내려오는 최대 머리 수직 길이의 \sin 값(48mm), 목 접촉부의 반경(50mm), 그리고 여유공간을 반영하여 113mm로 정하였다(그림 1-(a)). 그리고 높이 조절은 한국인의 70% 이상이 분포하여 있는 목뒤 등뼈 겨드랑이 수준 길이(146~199mm)를 반영하여 50mm를 10mm 간격으로 조절할 수 있게 설계하였다.

목 지지대는 SolidWorks 2007을 사용하여 설계하였고, 그림 1의 (a), (b), 그리고 (c)는 설계 도면을 보여준다. 시제품은 3D프린터인 Stratasys의 Dimension sst1200을 통하여 제작하였다. 그림 1-(d)는 본 연구에서 제안하고 평가를 위한 실험에 사용한 시제품을 보여준다.

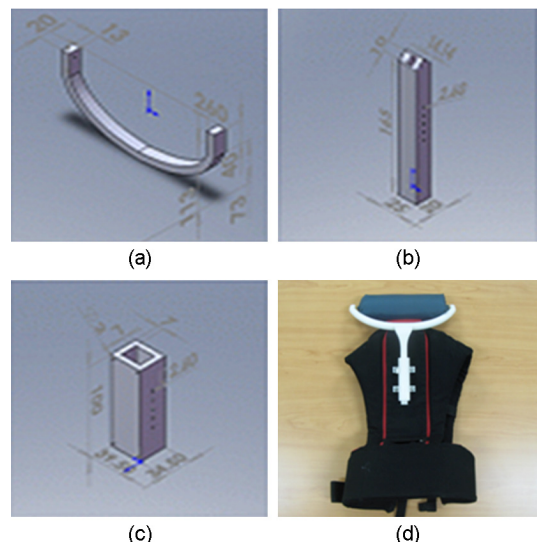


그림 1. Prototype design

[(a) 목 지지부, (b) 높이 조절부, (c) 몸통부, (d) 시제품]

2.2 실험장비

근 활성도를 측정하기 위하여 사용한 근전도 시스템은 Noraxon 사의 무선 근전도 시스템인 DTS system이며, 근 활성도 데이터(1,024Hz sampling rate)의 수집은 Myo-Research XP Master를 사용하였다.

2.3 피실험자

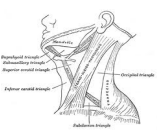
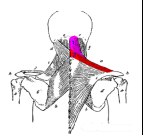
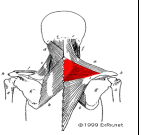

본 연구의 피실험자 선정은 상지 관련 근골격질환의 경험이 없는 10명의 대학 재학생인 남학생으로 하였다. 실험에 참여한 피실험자의 평균 나이는 25.1세(23~26세), 평균 키는 174.6cm(168~181cm)이었으며, 평균 몸무게는 66.7kg(58~77kg)이었다.

2.4 실험방법

본 연구는 목 받침대의 착용유무에 따른 근 활성도의 변화와 사용자의 주관적 불편도를 측정하기 위하여 독립변수를 목 받침대의 착용유무와 4가지 근육으로 선정하였고, 종속변수를 피실험자의 각 신체 부위와 전신에 대한 주관적 불편도, 각 근육의 근전도 실효값(root mean square, RMS)으로 두어 이를 분석하였다.

실험을 위하여 선정된 4가지 근육은 좌/우 흉쇄유돌근(sternocleidomastoid), 상부/중부 승모근(upper/middle trapezius muscle)으로, 흉쇄유돌근은 목을 뒤로 젖힐 때 머리의 무게를 지지해 주는 역할을 수행하며, 승모근은 머리 위 작업 시 주로 쓰이는 근육 중 하나이다(Sherman, 2003). 표 1은 선정된 근육들과 근전도 센서들의 부착 위치를 보여 준다.

표 1. 각 근육의 위치(참조: ©1999 ExRx.net)와 근전도 센서 부착 위치

흉쇄유돌근 (좌/우)	상부 승모근	중부 승모근	근전도 센서 부착
			

실험 과업은 자동차 제조 현장의 볼트/너트 조립 작업과 같은 머리 위 작업을 선정하였다. 작업장 설계는 피실험자의 키에 따른 오차를 줄이기 위하여 피실험자의 키보다 20cm 높은 높이에 5개의 볼트/너트 조립을 하는 작업대를 구성하였다.

실험에 앞서 실험자는 피실험자에게 본 실험의 목적과 절차에 대하여 충분한 설명을 하고, 실험 순서에 의한 오차를 줄이기 위하여 임의 순서로 각 과업 순서를 정하였다. 실험 설명 후 목과 어깨 근육의 근 활성도를 비교하기 위하여 4개의 근전도 센서를 각 근육에 부착하였다.

실험을 통한 데이터는 근 활성도의 최대값과 휴식 시 발생하는 근 활성도의 값으로 정규화 하여 데이터를 수집분석하였다. 근 활성도 최대값은 각 근육에 대하여 5초간 3회 측정하였으며, 3회의 평균 근 활성도 중 가장 높은 값을 채택하였다. 또한 각 측정 간 2분의 휴식시간을 두었는데, 이는 근육 사용의 실험에서 최소한 2분간의 휴식시간을 줌으로써 근육의 피로를 줄일 수 있다는 보고에 근거하였다(Chaffin, 1991).

피실험자는 각 작업마다 1분 동안, 총 5분간 볼트/너트 조립 작업을 수행하였고(그림 2), 실험 수행 후 근육의 피로도 회복을 위하여 20분간의 휴식시간을 가졌다. 20분간의 휴식시간 동안 피실험자는 주관적인 불편도 평가를 Borg의 CR10 scale(Borg, 1970)을 이용하여 수행하였다. 실험 중의 각 근육별 근 활성도 데이터는 MyoResearch XP Master를 통하여 수집하고 MyoResearch XP Master Edition을 이용하여 장비 착용 전후에서의 4개 근육들의 근 활성도를 각각 분석하였다.



그림 2. 실험자세[좌: 착용 전, 우: 착용 후]

2.5 분석방법

실험에 사용한 근전도 측정도구는 좌측과 우측의 흉쇄유돌근, 상부와 중부의 승모근의 작업시간에 따른 근 활성도 데이터를 출력하여 실효값으로 변환한다. 데이터는 최대 자발적 수축시(Maximum Voluntary Contraction, MVC) 출력되는 값과 휴식 시 출력되는 값을 이용하여 정규화하고 이 값을 토대로 장비 착용 전과 후의 평균값 차이를 분석하였다.

피실험자의 장비 착용 전후의 주관적 불편도를 평가하기 위한 척도는 Borg의 CR10 scale을 사용하였고, 이를 통해 피실험자의 어깨, 목, 그리고 몸 전체에 대한 불편도를 조사하였다. 결과분석은 SPSS를 이용하였으며 통계적 유의수준은 모든 검정에서 $\alpha=0.05$ 로 분석하였다.

3. 결 과

3.1 주관적 불편도 평가

실험을 통한 피실험자의 주관적 불편도 평가에서 목 지지대의 착용 전과 후의 몸 전체, 어깨, 그리고 목의 요인들에 대한 분산분석을 수행한 결과는 모두 통계적으로 유의한 차이를 보여 몸 전체, 어깨, 그리고 목의 착용 후의 주관적 불편도가 감소함을 알 수 있다. 목 지지대 착용 전의 응답 평균은 몸 전체 6.9점, 어깨 7.6점, 그리고 목 7.6점으로 모두 7점 정도이며 이는 Borg의 CR10 scale에서 매우 불편한 수준이다. 그리고 몸 전체보다는 어깨와 목의 불편도가 좀 더 높음을 알 수 있다. 반면 목 지지대 착용 후의 응답 평균은 착용 전 보다 크게 감소하여 몸 전체 3.2점, 어깨 4.6점, 그리고 목 3점으로 모두 3~5점 정도이며 이는 Borg의 CR10 scale에서 보통 수준이다. 특히 목의 경우 주관적 불편도가 60% 가량 감소하여 가장 많은 감소를 보였다. 그림 3은 각 부위에 대한 목 지지대의 착용 전과 후의 각 부위에 대한 주관적 불편도 평가 결과를 보여준다.

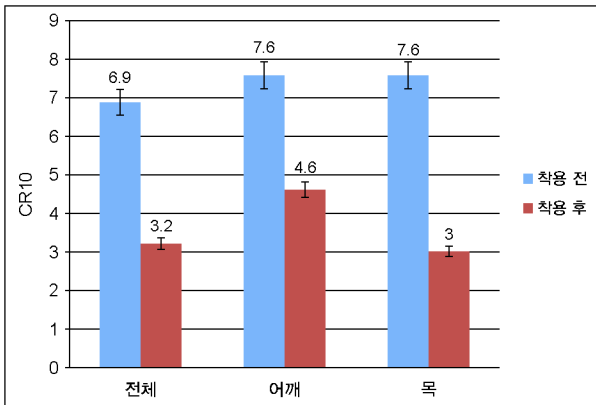


그림 3. 착용 전과 후의 주관적 불편도

3.2 근 활성화 측정

실험을 통한 피실험자의 근 활성화 측정에서, 목 지지대의 착용 전과 후의 좌/우 흉쇄유돌근, 상부/중부 승모근의

요인들에 대한 분산분석을 수행한 결과는 좌흉쇄유돌근($p=0.001$)과 우흉쇄유돌근($p=0.004$)이 통계적으로 유의한 차이를 보여, 상기 두 근육에 대한 목 지지대의 착용 후 근 활성화도가 감소함을 알 수 있다. 좌흉쇄유돌근의 근 활성화도는 21.05%에서 7.31%로 약 65%의 감소를 확인할 수 있으며, 우흉쇄유돌근의 근 활성화도는 17.63%에서 7.27%로 약 59%의 감소를 확인할 수 있다. 또한 우흉쇄유돌근과 좌흉쇄유돌근의 근 활성화도 비율의 차가 목 지지대 착용 전 3.42%에서 착용 후 0.04%로 감소하여 비대칭적인 근 활성화도가 균형을 맞추었다.

다만, 상부 승모근($p=0.205$)과 중부 승모근($p=0.853$)에 대한 결과는 유의한 차이를 보이지 않아, 상기 두 근육에 대한 목 지지대의 착용 전과 착용 후 근 활성화도의 변화가 없음을 알 수 있다. 그림 4는 목 지지대의 착용 전과 후의 좌/우 흉쇄유돌근, 상부/중부 승모근에 대한 근 활성화도 측정 결과를 %MVC로 보여준다.

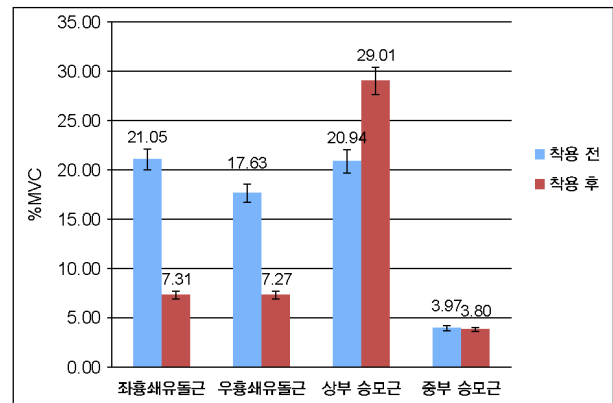


그림 4. 착용 전과 후의 %MVC 근 활성화도

3.3 주관적 불편도와 근 활성화도의 상관관계

보조 도구의 착용 전과 후 각각의 주관적 불편도와 근 활성화도의 상관분석 결과는 착용 전과 후의 경우 목의 불편도와 좌흉쇄유돌근의 활성화도($p=0.001$), 목의 불편도와 우흉쇄유돌근의 활성화도($p=0.004$)가 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다. 반면에 상부/중부 승모근의 경우, 목의 불편도와 상관분석 결과 p -value가 각각 0.850, 0.593으로 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다.

그밖에 4개의 근육과 어깨의 불편도, 4개의 근육과 전체의 불편도와의 상관분석 결과 모든 경우에서 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다(표 2).

표 2. 전체, 목 불편도와 근 활성도의 상관분석

상관관계		상관계수 (<i>p</i> -value)
불편도	근육	
전체 불편도	좌흉쇄유돌근	0.111
	우흉쇄유돌근	0.475
	상부 승모근	0.726
	중부 승모근	0.176
어깨 불편도	좌흉쇄유돌근	0.245
	우흉쇄유돌근	0.910
	상부 승모근	0.452
	중부 승모근	0.805

4. 토론 및 결론

본 논문에서는 머리 위 작업을 많이 하는 작업자를 위한 목 지지대를 설계하여 제작하고, 착용 전과 후의 근 활성도와 주관적 불편도를 비교하는 연구를 수행하였다.

우선 목 지지대 착용 전과 후의 네 가지 근육의 근 활성도를 비교해본 결과, 좌/우 흉쇄유돌근의 근 활성도는 착용 후 유의하게 감소하였다. 이는 목 지지대가 목이 과도하게 뒤로 젖혀지는 것을 방지하는 흉쇄유돌근의 기능을 어느 정도 보완하기 때문이다. 그러므로 장시간 머리 위 작업을 수행할 때 목 지지대를 착용하면 흉쇄유돌근의 과도한 사용을 방지하여 근골격계질환을 예방하는 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대한다. 또한 좌우 비대칭적으로 사용되던 흉쇄유돌근이 목 지지대 착용 후 균형을 맞추었는데, 이를 통해 목 지지대를 이용하여 부적절한 작업자세를 보정하는 효과를 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

반면에 상부/중부 승모근은 착용 전과 후의 근 활성도에 대해 통계적 유의성을 확인할 수 없었다. 중부 승모근의 경우, 착용 전과 후의 근 활성도 차이가 거의 없으며 측정값도 작게 나와 머리 위 작업을 하는데 큰 영향을 미치지 않는 근육으로 나타났다. 상부 승모근의 경우는 통계적 유의성은 없었지만 오히려 착용 후의 근 활성도가 더 높게 나왔다. 이 문제에 관해서는 단지 작업자가 목 지지대를 단단하게 착용하면서 어깨끈이 상부 승모근 부위를 압박했기 때문인지, 아니면 머리를 지지해 주는 과정에서 머리의 무게가 어깨로 실린 것인지를 알아보기 위한 연구가 필요하다고 할 수 있을 것이다.

다음으로 목 지지대 착용 전과 후의 주관적 불편도를 어깨, 목, 그리고 몸 전체의 세 가지로 나누어 조사하였는데,

세 경우 모두 불편도가 착용 후에 유의하게 감소하였다. 직무 스트레스가 근골격계질환의 위험인자로 작용한다는 선행 연구를 고려했을 때 목 지지대는 작업자의 직무 스트레스를 줄여주어 근골격계질환을 예방하는 데 도움을 줄 것이다 (김중은 외, 2003).

끝으로 목 지지대 착용 전과 후의 세 가지의 주관적 불편도와 4개 근육들의 근 활성도를 상관분석을 하였는데, 목의 불편도만이 좌/우 흉쇄유돌근의 활성도와 유의하게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 이는 목을 지지해 줌으로서 좌/우 흉쇄유돌근의 활성도가 낮아져 주관적 불편도가 떨어진 것으로 보인다.

본 연구의 가장 큰 한계점은 목 지지대를 설계하면서 목 이외의 다른 근육들을 보호해줄 수 있는 요소를 함께 고려하지 못한 것이다. Sherman(2003)은 머리 위 작업 시 주로 쓰이는 근육 중 하나가 승모근이라고 보고하였는데, 본 연구에서는 승모근의 근 활성도를 감소시키지 못하였다. 뿐만 아니라 5분간 실험을 진행하면서 피실험자들은 팔의 통증을 호소하였다. 따라서 향후 연구에서는 목 지지대가 팔의 부하에 미치는 영향에 대한 연구와 목 지지뿐만 아니라 어깨와 팔까지 함께 지지해줄 수 있는 복합적인 보호도구의 개발이 필요해 보인다.

한편, 작업자가 이러한 보호도구를 착용하는 방법에 대해서도 심층적인 연구가 필요하다. 본 연구에서는 엑스밴드 형태로 상지에 착용하도록 하였는데, 이로 인해 상부 승모근에 압박이 가해지거나 머리의 무게가 상부 승모근에 실렸을 가능성을 배제할 수 없다. 그러므로 향후 연구를 통해 새로운 착용방법을 고안할 필요가 있을 것이다.

이러한 한계점에도 불구하고 본 연구에서는 목 지지대를 개발하여 흉쇄유돌근의 근 활성도를 줄이고, 부적절한 작업 자세를 보정하며, 작업자의 주관적 불편도의 감소를 가져왔다는 점에서 의의를 찾을 수 있다. 향후 본 연구의 결과를 기초로 하여 머리 위 작업 시 목, 팔, 어깨의 근육을 모두 보호해줄 수 있는 복합적인 보호도구의 개발이 이루어지기를 기대한다.

Acknowledgements

본 논문은 농촌진흥청 농업과학기술개발 공동연구사업 (Agenda 4-8-24, 2010)의 지원을 받아 수행되었음.

References

- 김규상, 김유창, 홍창우, 중소기업 제조업체의 근골격계질환 예방을 위한 인간공학적 작업자세 분석연구, 대한인간공학회 추계 학술대회 논문집, 123-126, 2006.
- 김재영, 최재욱, 김해준, 자동차 조립작업자들에서 상지 근골격계의 인간공학적 작업 평가(Rapid Upper Limb Assessment) 결과와 자각 증상과의 연관성, 예방의학회지, 32(1), 48-59, 1999.
- 김종은, 강동복, 신용철, 손미아, 김정원, 안진홍, 김영기, 문덕환, 일개 조선소 근로자들의 근골격계 증상의 위험인자, 대한산업의학회지, 15(4), 401-410, 2003.
- 류현철, 이수진, 이재훈, 이경숙, 농작업 관련 인간공학적 위험요인 노출률, 대한 산업의학회 추계학술대회 논문집, 402-403, 2008.
- 박현진, 2007년 산업재해 현황, 노동부 산업안전보건국, 2008.
- 손경일, 김철홍, 배순덕, 자동차 조립 작업시 작업방향 및 작업자세의 변화에 따른 최대작업빈도에 관한 연구, 대한인간공학회 추계 학술대회 논문집, 100-105, 2007.
- 최정화, 안옥선, 황경숙, 한국의 농작업환경과 인체부담에 관한 연구(III), 한국농촌생활과학회지, 10(2), 85-100, 1999.
- Deepti, Sood., Maury A. Nussbaum. and Kris Hager., Fatigue during prolonged intermittent overhead work: reliability of measures and effects of working height, Ergonomics, 50(4), 497-513, 2007.
- Ohlsson, K., Attewell, R. and Skerfving, S., Self-reported symptoms in the neck and upper limbs of female assembly workers. Scand J work Environ Health, 15(1), 75-80, 1989.
- Sherman, Kim., An evaluation of fatigue and performance changes during intermittent overhead work, unpublished master dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2003.

- Van den Heuvel, S. G., Van der Beek, A. J., Blatterk, B. M. and Bongers, P. M., Do work-related physical factors predict neck and upper limb symptoms in office workers? Int Arch Occup Environ Health, 79(7), 585-592, 2006.

Author listings

Yong-ku Kong: ykong@skku.edu

Highest degree: PhD, Industry Engineering, the Pennsylvania State University

Position title: Professor, Systems Management Engineering, the University of Sungkyunkwan

Areas of interest: Ergonomic Product Design, Musculoskeletal

Jun-goo Han: babby2002@skku.edu

Highest degree: B.S, Industry & Management Engineering, the University of Namseoul

Position title: M.S, Industry Engineering, the University of Sungkyunkwan

Areas of interest: Ergonomic Product Design, Musculoskeletal

Date Received : 2010-08-05

Date Revised : 2010-12-01

Date Accepted : 2010-12-06