



상지 작업에서 상지 관절의 최대 수용 반복 빈도수(MAF) 분석



Ergonomic Design Technology Lab

권오채, 정기효, 유희천

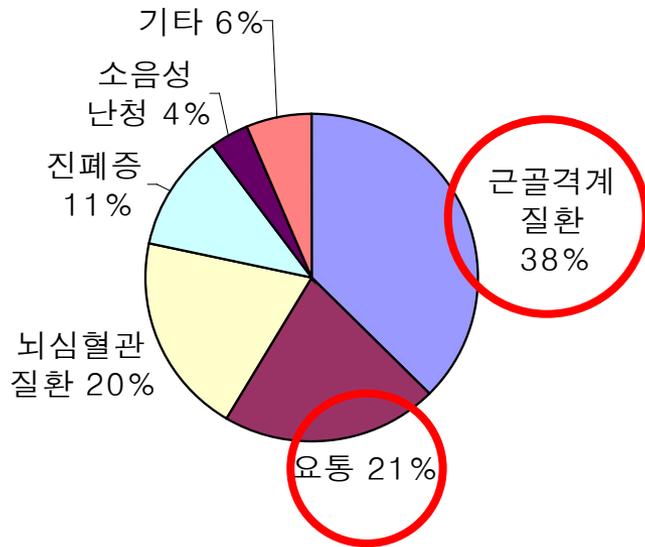
포항공과대학교 기계산업공학부
인간공학 설계기술 연구실

목 차

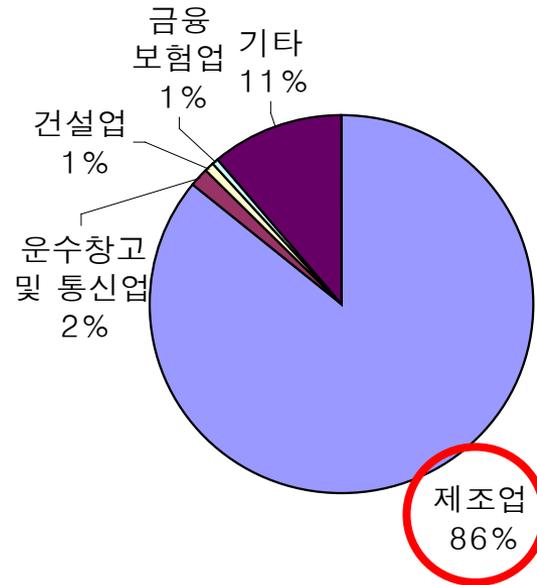
- 연구 배경
- 연구 목적
- **MAF** 측정 실험
- 실험 결과 분석
- 결론

근골격계 질환 발생 현황

전체 업무상 질병 (7,740건)



근골격계 질환 (2,906건)



2003년 국내 근골격계질환 발생 현황 (KOSHA, 2004)

상지 작업의 반복성

- 과도한 힘, 부자연스러운 자세와 더불어 상지 근골격계 질환의 주요 유해 요인 (NIOSH, 1997; Putz-Anderson, 1988)
- 다른 유해 요인과 독립적으로도 상지 근골격계 질환에 영향 초래 (Colombini, 1998; Silverstein et al., 1987)

Body part <i>Risk factor</i>	Strong evidence (+++)	Evidence (++)	Insufficient evidence (+/?)	Evidence of no effect (-)
Shoulder				
<i>Posture</i>		●		
<i>Force</i>			●	
<i>Repetition</i>		●		
<i>Vibration</i>			●	
Elbow				
<i>Repetition</i>			●	
<i>Force</i>		●		
<i>Posture</i>			●	
<i>Combination</i>	●			
Hand/wrist				
Carpal tunnel syndrome				
<i>Repetition</i>		●		
<i>Force</i>		●		
<i>Posture</i>			●	
<i>Vibration</i>		●		
<i>Combination</i>	●			
Tendinitis				
<i>Repetition</i>		●		
<i>Force</i>		●		
<i>Posture</i>		●		
<i>Combination</i>	●			

Source: NIOSH (1997)





반복성 연구의 문제점

1. 반복성 기준 일관성 부족

- 예) 손목/손의 반복성 기준
 - Li and Buckle (1998): 10~20회/분
 - McAtamney and Corlett (1993): 4회/분

2. 객관적 근거 미흡

- 예) RULA and REBA: 4회/분

3. 상지 관절별 반복성 기준 제공 미흡

- 예) Silverstein et al. (1986): 작업 주기의 반복

4. 자세, 힘의 요인에 대한 명시 미흡

➡ 실험을 통한 상지 관절별 반복성 기준 설정 연구 필요



연구 목적

- 심물리학적 방법을 이용하여 8시간 작업에 적합한 최대 수용 반복 빈도수(maximum acceptable frequency; MAF)를 파악
 - 1. 상지 작업에 사용되는 상지 관절(어깨, 팔꿈치, 손목, 엄지손가락)별 MAF 파악
 - 2. 상지 관절별 사용되는 힘(low and high)에 따른 MAF 변화 파악
 - 3. MAF로 작업을 수행하는 동안의 생리적/심리적 변화량을 분석하기 위한 심박수 변화량(work pulse)과 주관적 불편도(rating of perceived exertion; RPE) 분석

연구 방법

□ 피실험자: 20대 남성 17명 (연령: 25 ± 1.32 세)

- 상지 근골격계 질환 병력이 없음

□ 실험 설계: 상지 관절과 힘의 two-factor (4×2) within-subject design

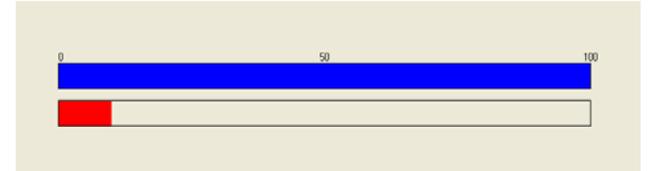
힘	상지 관절			
	어깨	팔꿈치	손목	검지손가락
Low	4 kg	4 kg	4 kg	1 kg
High	1 kg	1 kg	1 kg	0.25 kg
동작범위	50~90°	90~120°	0~20°	-

- 상지 관절별 moderate한 범위 내에서 동작 반복
- 임의의 순서로 하루에 한 작업씩 8일 동안 수행

MAF 측정 방법

□ MAF 실험 환경

- Beep와 color 막대를 표시하는 computer
- 초기 작업 빈도수는 random하게 제공
- 힘 수준은 아령과 NK pinch dynamometer 사용



□ MAF 측정

- 30분 작업 중 처음 25분 동안 작업 빈도수 조정
- 8시간 작업에 적합한 작업 빈도수 선정
- 마지막 5분 동안의 작업 빈도수를 최대 수용 반복 빈도수(MAF)로 정의



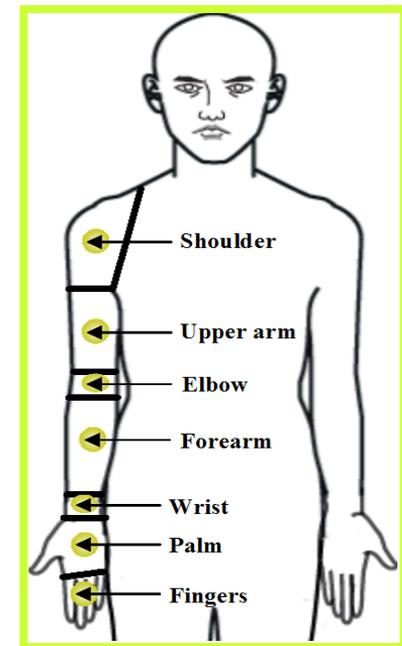
Work pulse 및 RPE 측정 방법

□ 심박수 변화량

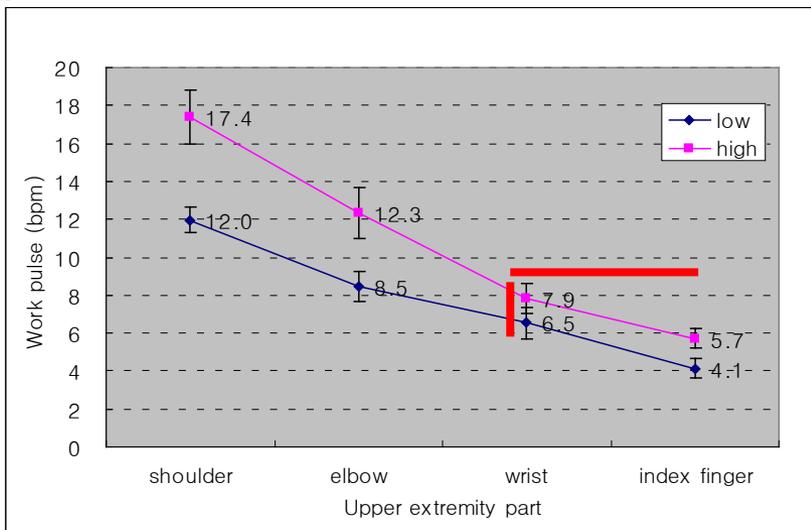
- Polar Accurex Plus™ system (POLAR®)
- 휴식 및 작업 동안 2회 측정
 - 휴식 심박수: 작업 전 휴식 동안 측정
 - 작업 심박수: 작업 중 마지막 1분 동안 측정

□ 주관적 불편도 (RPE)

- Borg CR-10 scale (Borg, 1998)
- 작업 종료 직후 평가
- 어깨, 상완, 팔꿈치, 전완, 팔꿈치, 손목, 손바닥, 손가락의 7개 상지 부위



Work pulse 결과 분석



	상지 관절			
	어깨	팔꿈치	손목	검지손가락
힘	Low	Low	Low	Low
	High	High	High	High

힘	상지 관절			
High	어깨	팔꿈치	손목	검지손가락
Low	어깨	팔꿈치	손목	검지손가락

- ❑ ANOVA 결과: 상지관절, 힘, 및 상지관절 x 힘에서 유의 ($\alpha= 0.05$)
- ❑ Simple effect 분석 결과: 손목 관절에서 힘은 유의하지 않음
- ❑ SNK 분석 결과: 높은 힘에서 손목과 검지손가락은 유의하지 않음
- ➡ 평균 work pulse (bpm)는 어깨(14.7), 팔꿈치(10.4), 손목(7.2), 검지 손가락(4.9)로 작업시 움직이는 부위가 작을수록 유의하게 감소
- ➡ 높은 힘에서 work pulse가 유의하게 증가

RPE 결과 분석

□ ANOVA 결과

- 모든 상지 부위에서 상지 관절에 대해 유의
- 상완과 팔꿈치를 제외한 모든 부위에서 힘에 대해 유의
- 상지관절 x 힘은 어느 부위에서도 유의하지 않음

□ SNK 결과

- 부위별 영향을 주는 상지 관절 구분

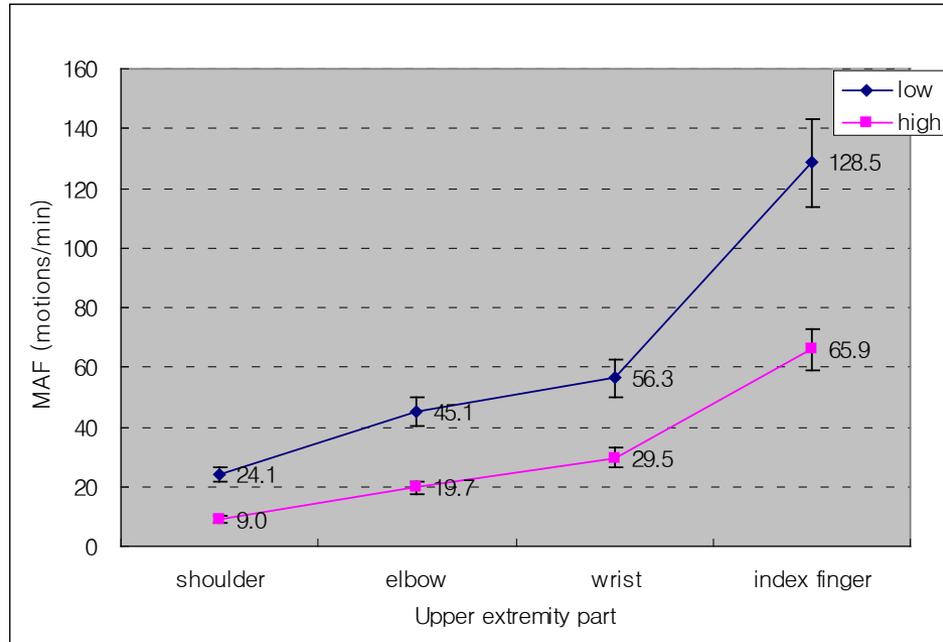
➔ Level 1(very weak)~ level 3 (moderate)의 범위

➔ 상지 관절 유형에 따라 최대 불편 부위가 다름

- 어깨 (어깨 부위), 팔꿈치 (전완 부위), 손목 (손목 부위), 검지 손가락 (손가락 부위)
- 최대 불편 부위에 의해 작업 수준 결정

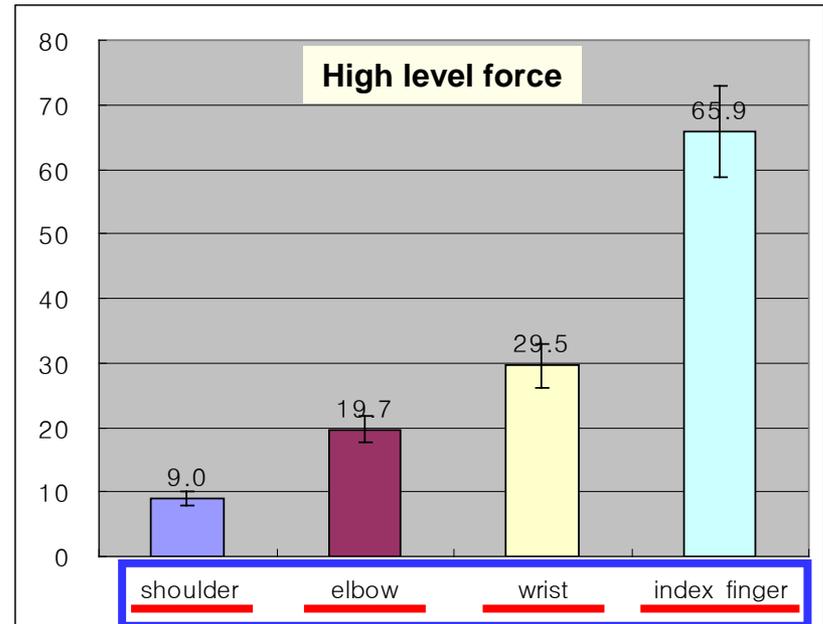
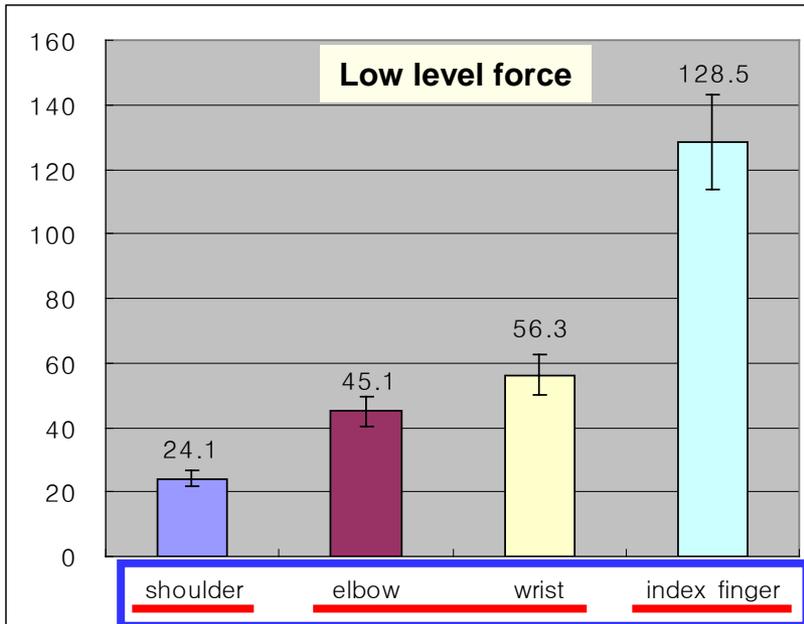
➔ 상지 작업에서의 RPE 허용 기준으로 level 3 (moderate)

MAF 결과 분석



- ❑ ANOVA 결과: 상지 관절, 힘, 및 상지관절 x 힘에서 유의 ($\alpha= 0.05$)
- ❑ Simple effect 분석 결과: 모든 상지 관절에 대한 힘과 힘에 대한 상지 관절이 모두 유의
- ➡ 모든 상지 관절의 높은 힘에서 **MAF**가 유의하게 감소

MAF 결과 분석 (계속)



- SNK 결과: 낮은 힘에서 팔꿈치와 손목간은 유의하지 않음
 - Kilbom (1994)의 어깨, 팔꿈치, 손목, 손가락의 순으로 반복성 수준이 감소한다는 지적과 유사한 경향
- ➔ 평균 MAF가 어깨(16.6), 팔꿈치(32.4), 손목(42.9), 검지손가락(97.2 회) 순으로 증가 ⇒ 1: 2: 2.5: 6의 비

결론

□ MAF

- 상지 관절별로 다른 반복성 기준 수립이 필요
 - 어깨(16.6 회), 팔꿈치(32.4 회), 손목(42.9 회), 검지 손가락(97.2 회)로 1: 2: 2.5: 6의 비율

□ Work pulse

- 상지 관절별로 작업부하에 대한 다른 생리적 허용기준이 필요
 - 어깨(14.7 bpm), 팔꿈치(10.4 bpm), 손목(7.2 bpm), 검지 손가락(4.9 bpm)

□ RPE

1. Level 1 (very weak) ~ level 3 (moderate)의 범위
2. 상지 작업에서의 RPE 허용 기준: level 3 (moderate)
 - Klein and Fernandez (1997): level 3 (moderate)
 - Putz-Anderson and Galinsky (1993): level 4 (somewhat strong)



Q & A

