Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol.22, No.3 pp.75-91, August 2003

수작업의 반복성 평가 방법 조사*

A Survey of Repetitiveness Assessment Methodologies for Hand-Intensive Tasks

권 오 채**, 유 희 천***

ABSTRACT

Evaluation of repetitiveness for hand-intensive tasks is essential to determine the level of risk for upper-extremity musculoskeletal disorders at the workplace. Many measures and methods have been introduced for repetitiveness assessment; however, our understanding of the differences among these measures and methods is lacking. The present study compared the repetitiveness measures and measurement/analysis methods to help practitioners apply the proper repetitiveness assessment methodology in the workplace. By reviewing 51 studies of repetitiveness assessment, measures and corresponding measurement/analysis methods were surveyed. Of the repetitiveness measures, two types of dimensions (frequency and time) and corresponding types of analysis scopes were identified. According to the dimensional and analysis-scope types, the repetitiveness measures were categorized and then the surveyed studies were counted for each measure. It is identified that frequency measures have used 2.7 times higher than time measures and the frequency of wrist motions has been most frequently used in repetitiveness assessment. Furthermore, the measurement methods were categorized into objective and subjective methods, and the analysis methods into statistical and spectral methods. Lastly, eight factors (accuracy, reliability, sensitivity, efficiency, ease of use, applicability, interference, and robustness) were listed to be considered in selecting the appropriate assessment methodology.

Keyword: Hand-intensive task, upper-extremity musculoskeletal disorders, repetitiveness, measures, measurement method, analysis method

* 본 연구는 2002년도 포항공과대학교 자체연구비에 의하여 수행되었음.
** 포항공과대학교 기계산업공학부
연락처: (790-784) 경북 포항시 남구 효자동 산31 포항공과대학교 기계산업공학부 권오채
TEL: 054-279-8246 FAX: 054-279-2870 E-mail: coke@postech.ac.kr
*** 포항공과대학교 기계산업공학부

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

1. 서 론

수작업이란 산업 현장과 일상생활에서 손으로 행해지는 작업을 의미하는데, 산업 현장에서의 수작업으로 인한 피해 사례는 산업의 자동화에도 불구하고 여전히 많은 실정이다. 미국의 경우, 2001년 전체 산업에서의 질병 및 상해 발생률이 100명당 5.7건인데 반해, 수작업이 주를 이루는 제조업과 건설업에서는 각각 8.1건과 7.9건으로 상대적으로 높은 실정이며, 전체 작업장 질병의 65%에 해당하는 216,400건이 반복적인 수작업과 관련이 있다(BLS, 2002). 또한, 국내의 경우 1999년 산업재해통계에 따르면, 수작업이 주를 이루는 제조업과 건설업에서의 사고율이 전체산업사고율의 약 90%를 차지하고 있으며, 특히 손가락, 손목, 팔 등의 상지와 관련된 근골격계 질환은 전체 질환 중 40%를 차지하고 있다(한국산업안전공단, 2002).

수작업의 주기적인 성질을 나타내는 반복성은 수작업으로 인해 손가락, 손목, 팔 등 상지에 발생하는 근골격계 질환의 주요 원인들 중 하나이다. 반복성의 문제는 과다한 힘의 사용이나 부자연스러운 관절의 움직임 등의 문제들과 더불어 수작업의 위험한 요인으로 알려져 있다(Putz-Anderson, 1988; NIOSH, 1997). 반복성의 문제는 다른 위험 요인과 독립적으로도 상지의 질환에 심각한 영향을 끼칠 수 있는 것으로 알려져 있다(Colombini, 1998; Silverstein et al., 1987). 예를 들어, Latko et al.(1999)에 의하면 반복성의 문제가 상지의 힘줄이나 신경 질환들과 연관이 있다고 하였으며, NIOSH(1997)에서는 반복성과 carpal tunnel syndrome(CTS)간에 밀접한 인과관계가 있다고 기술하였다. 그리고, Kuorinka and Forcier(1995)는 상지의 반복적인 움직임이 cumulative trauma disorders(CTDs)를 발생시키는 가장 중요한 위험 요인이라고 주장하였다. CTS의 경우, 반복성으로 인한 질병의 발생 원인으로는 정중 신경(median nerve)에 압력을 증가시켜 손목에 위치한 건낭(tendon sheath)으로부터 활액(synovial fluid)이 과다하게 발생하여 손목구조에 영향을 주는 것이 있다(Colombini, 1998; Drury, 1987; Putz-Anderson, 1988).

수작업의 반복성에 관한 연구는 지금까지 많이 수행되어 왔음에도 불구하고, 반복성 평가에 사용된 척도나 방법에 대한 고찰은 부족한 실정이다. 즉, 반복성 연구에서 사용되는 평가 척도나 측정/분석 방법들에 대한 명확한 적용 기준이 없을 뿐만 아니라, 사용된 평가척도로 인한 반복성의 결과에서도 일관성이 존재하지 않는다. 예를 들어, 산업현장에서 수행되는 작업들의 보통에 해당하는 반복성 수준으로 Carey and Gallwey(2002)와 Yen and Radwin(2000)은 분당 10~20회를, Hansson et al.(2000)은 분당 17~32회를 제시하고 있다. 따라서, 수작업 반복성 평가를 위해서는 평가방법에 대한 체계적인 분류와 관련 적용 기준 등이 수립되어야 한다.

본 연구에서는 기존의 수작업 반복성 평가 연구들을 조사하여 반복성의 평가에 사용된 방법들을 비교·분석하였다. 세부적으로, 본 연구는 반복성의 정의 및 구분 기준들을 비교하

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

고, 기존 연구에서 사용된 수작업의 반복성 평가 척도에 대한 속성을 분석하여 이들 척도의 분류체계를 구축하였으며, 반복성의 측정 및 분석에 사용되는 방법들을 정리하였다. 또한, 측정 방법의 선정 시 고려되어야 하는 요소들을 파악하였다. 본 연구의 결과는 수작업의 반복성 평가 시 사용할 척도와 측정 및 분석 방법의 선정 시 활용될 수 있다.

2. 반복성 정의 및 구분 기준

반복성이란 동일한 작업이나 동작이 반복적으로 수행되는 정도를 의미하는 것으로 기존 연구에서 사용된 반복성의 기술적 정의들은 표 1과 같이 크게 관절 운동(joint motion), 몸 동작(body movement), 힘 적용(force exertion)의 세 가지로 구분된다. 관절 운동의 경우에는 반복성의 평가를 위해 단위 시간당 특정 관절의 빈도수에 근거하였으며, 몸 동작의 경우에는 단위 시간당 정의된 특정 동작의 빈도수를 이용하였고, 힘 적용의 경우에는 특정 힘의 기준을 초과하는 횟수가 기준으로 사용되었다

수작업의 반복성을 평가할 때 사용된 반복성의 구분 기준들은 표 2에 정리되었는데, 이는 반복성 구분 기준이 사용하는 척도에 따라 서로 다르다는 것을 보여준다. 반복성의 구분 기준이란 수작업의 반복성 정도에 대한 높고 낮음을 판단할 수 있는 기준을 의미한다. 표 2에서 사용된 척도 유형은 크게 주기 시간(cycle time)과 관절 운동(joint motion)으로 분류된다. 먼저, 주기 시간을 이용한 척도 유형에는 작업 주기 시간(work cycle time)과 근본적 작업 주기 시간(fundamental work cycle time)이 있다. Silverstein et al.(1986)은 작업 주기시간이 30초보다 작거나 작업 주기시간 중 동일한 동작이 50% 이상일 때를 반복성이 높은 작업이라 하였고, 작업주기 시간이 30초보다 크고 작업주기시

표1. 반복성의 기술적 정의 - 상지 수작업

구분	출처	정의
관절 운동 (joint motion)	Malchaire et al. (1996)	손목의 중심위치(0°)로부터 한계위치(편향에서는 최대변위의 50% 이상, 굴곡/신전에서는 최대변위의 60% 이상)로의 분당 움직임의 횟수
	Coury et al. (2000)	일정시간 동안 손목 관절이 5°이상 변화하는 횟수
	Spieholz et al. (2001)	분당 정의된 각변위의 각도(굴곡/신전 30°, 요골편향 10°, 척골편향 15°, 내전/외전 45°)를 지나 중심위치(0°)로 돌아오는 움직임의 횟수
몸 동작 (body movement)	Genaidy et al. (1993)	일정시간 동안의 움직임 횟수나 작업 활동 횟수
	Colombini (1998)	단위 시간당 정의되어진 기술적 동작(technical action)의 수행 횟수
힘 적용 (force exertion)	Malchaire et al. (1997)	힘의 평균 수용 한계점(mean acceptable contraction; 15% MVC*) 이상에 달하는 분당 횟수

*: Maximum voluntary contraction

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

간 중 동일한 동작이 50% 미만일 때를 반복성이 낮은 작업이라 정의하였다. Hansson et al.(1996)은 근본적(fundamental) 작업주기 시간의 정도에 따라 2초 미만, 2~5초, 5~10초, 10초 이상의 4가지로 반복성 정도를 구분하였다.

관절 운동에 근거한 척도 유형에는 관절 운동의 횟수(number of joint motions)와 mean power frequency(MPF)가 있다. 산업현장에서 손동작의 반복성을 평가할 때 사용하는 관절 운동 횟수의 보통에 해당하는 기준으로는 Carey and Gallwey(2002)와 Yen and Radwin(2000)이제안한 분당 10~20회, 또는 Lin et al.(1997)이 제시한 4~15회가 주로 사용된다. Hansson et al.(2000)은 반복성의 평가 방법으로 mean power frequency(MPF)를 사용하였는데, 그 값이 0.28~0.53Hz(분당 17~32회)에 해당하는 작업을 보통의 반복성 수준에 해당하는 작업으로 분류하였다. 마지막으로, Wick(1994)은 손동작의 움직임 횟수가 교대(shift)당 7,600~12,000 회일 때 또는 시간당 1,500~2,000회일 때, 그리고 년간 200,000~300,000 개의 부품을 생산할 때를 보통의 반복적인 작업이라 정의하였다

표2. 반복성의 구분 기준 - 상지 수작업

구분		척도	기준	출처
높은반복성 (high repetitiveness)	주기 시간 (cycle time)	작업 (work)	CT[1]< 30s or same motions for CT > 50%	Silverstein et al. (1986)
		근본적 작업 (fundamental work)	FCT[2]< 2s	Hansson et al. (1996)
	관절동작 (joint motion)	횟수 (number)	NM[3]> 20 motions/min	Carey and Gallwey (2002) Yen and Radwin (2000)
		MPF[4]	MPF > 0.53Hz	Hansson et al. (2000)
보통 반복성 (moderate repetitiveness)	주기 시간 (cycle time)	근본적 작업 (fundamental work)	2s < FCT< 10s	Hansson et al. (1996)
	관절 동작 (joint motion)	횟수 (number)	10 motions/min < NM < 20 motions/min	Carey and Gallwey (2002) Yen and Radwin (2000)
		MPF	0.28Hz < MPF < 0.53Hz	Hansson et al. (2000)
낮은 반복성 (low repetitiveness)	주기 시간 (cycle time)	작업 (work)	30s < CT < 2min and same motions for CT < 50%	Rodgers (1986) Silverstein et al. (1986)
		근본적 작업 (fundamental work)	10s < FCT < 30s	Hansson et al. (1996) Konz (1990)
	관절 동작 (joint motion)	횟수 (number)	NM < 10 motions/min	Carey and Gallwey (2002) Yen and Radwin (2000)
		MPF	MPF < 0.28Hz	Hansson et al. (2000)

(Notes) [1]Cycle time; [2]Fundamental cycle time; [3]Number of motions; [4]Mean power frequency

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

3. 반복성 평가 척도

반복성의 평가 척도라 함은 반복성을 정량적으로 평가함에 있어 기준이 되는 요소를 의미하며, 기존 연구에서는 평가 척도들이 다양하게 사용되었다. 이들 평가 척도들의 예로는 작업 시간(Babski-Reeves and Crumtpon-Young, 2002; Juul- Kristensen et al., 2001; Ketola et al., 2001)과 손목 관절의 사용 횟수(Carey and Gallway, 2002; Spieholz et al., 2001; Hansson et al., 2000) 등이 있다.

본 연구에서는 수작업의 반복성 평가 척도를 추출하기 위하여 51개의 상지 수작업에 대한 반복성 연구가 조사되었다. 문헌 조사를 위해 사용된 학술 데이터베이스(database)로는 ScienceDirect(www.sciencedirect.com)와Ingenta Select(www.ingenta.com)가 주로 사용되었으며, 부가적으로 MEDLINE (www4.infotrieve.com/newmedline/search.asp)이 이용되었다. 각 학술 데이터베이스에서 문헌 검색을 위해 사용된 키워드(keyword)는 반복을 의미하는 단어(repetitiveness, repetition, repetitive, repetitious)와 손과 손목을 포함한 상지를 의미하는 단어(hand, wrist, finger, elbow, shoulder, forearm, arm, manual, upper extremity, upper limb) 그리고, 작업을 의미하는 단어(task, work, job, motion,

표3. 반복성의 평가 척도 분류

대분류	소분류	척도
시간(Time)	작업 주기(work cycle) 시간	전반적(overall) 작업 주기 시간
		근본적(fundamental) 작업 주기 시간
	휴식(rest) 시간	작업 내(within task) 휴식 시간
		작업 간(between tasks) 휴식 시간
	작업/휴식 시간(W/R) 비율 (ratio)	전반적(overall) 작업/휴식 시간 비율
		근본적(fundamental) 작업/휴식 시간 비율
빈도수 (frequency)	작업 주기(work cycle) 빈도수	전반적(overall) 작업 주기 빈도수
		근본적(fundamental) 작업 주기 빈도수
	몸 동작(body movement) 빈도수	손가락(finger) 동작 빈도수
		손과 손목(hand and wrist) 동작 빈도수
		손과 팔(hand and arm) 동작 빈도수
	관절 운동(joint motion) 빈도수	손가락(finger) 관절운동 빈도수
		손목(wrist) 관절운동 빈도수
		팔꿈치(elbow) 관절운동 빈도수
		어깨(shoulder) 관절운동 빈도수
	힘 적용(force exertion) 빈도수	Power 힘 적용 빈도수
		Pinch 힘 적용 빈도수

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

movement)들의 조합으로 만들어졌다. 검색된 논문들은 초록(abstract)을 통하여 검색의 도에 적합한 수작업의 반복성을 평가한 논문들만을 선별하였다.

추출된 반복성 평가 척도들은 차원(dimension)과 분석 대상(analysis scope)을 기준으로 하여 표 3과 같이 분류되었다. 먼저, 평가 척도들은 차원 측면에서 시간(time)과 빈도수(frequency)로 대분되는데, 시간에 근거한 반복성 평가 척도의 개념은 하나의 작업이나 동작 수행에 걸리는 시간의 길이를 의미하며, 빈도수에 근거한 개념은 단위 시간당 발생한 작업이나 동작 등의 횟수를 의미한다.

시간 관련 척도들은 적용된 분석 대상의 유형에 따라 작업 주기(work cycle) 시간, 휴식(rest) 시간, 그리고 작업/휴식 시간의 비율(W/R ratio)이 있다. 작업 시간의 평가 척도 중 작업 주기 시간은 반복적인 작업을 평가하는데 기본이 되는 중요한 모수이며(Silverstein et al., 1986), 근본적 작업 주기 시간도 유용한 반복성의 척도가 될 수 있다. 이 때, 근본적 작업주기라는 것은 작업 주기 내에 존재하고 있는 작은 단위의 작업 주기를 말하는 것으로, 분석 상황을 고려하여 분석가의 판단에 따라 유동적으로 정의되는 것이 특징이다. 예를 들어, 트레일러(trailer) 조립 작업에서는 차체 조립, 문 부착, 가스장치 조정 등의 작업 주기가 있고, 각각의 작업 주기에는 나사 조립 작업, 드릴링(drilling) 작업, 스테플링(stapling) 작업, 접합(gluing) 작업, 들기(lifting) 작업 등의 근본적 작업 주기가 있다(Hakkanen et al., 1997). 마지막으로, Christensen et al.(2000)은 작업 주기와 관련된 시간과 더불어 작업/휴식시간의 패턴(pattern)이 중요하다고 하였으며, Fisher et al.(1993)은 작업/휴식시간의 최적 수준은 반복적인 동작으로 인한 질병을 최소화 시키면서 생산성을 최대화 시키는 수준에서 결정되어야 한다고 제안하였다.

반면, 빈도수 관련 척도들은 사용된 분석 대상의 유형에 따라 작업 주기 횟수, 몸 동작(body movement) 횟수, 관절 운동(joint motion) 횟수, 힘 적용(force exertion) 횟수로 구성되었다. 몸 동작의 경우에는 평가하고자 하는 상지 부위에 따라 손가락, 손과 손목, 손과 팔의 세 가지 부문으로 구분하여 적용할 수 있으며, 관절 운동의 경우에도 평가하고자 하는 상지 관절에 따라 손가락, 손목, 팔꿈치, 어깨의 네 가지 부문으로 나누어 적용할 수 있다. 특히, 관절 운동의 경우에는 각 관절의 움직임 방향(예: 손목의 굴곡/신전과 요골/척골 편향)에 따라 각기 다르게 사용할 수 있다. 마지막으로, 힘 적용의 경우에는 power 힘과 pinch 힘으로 구분하여 사용할 수 있다. 빈도수와 관련된 모든 척도들은 대부분 단순한 움직임이나 힘 적용을 구분하여 사용하지만, Drury(1987)는 CTS에 직접적인 영향을 미치는 힘 적용과 부자연스러운 자세가 결합된 요인만을 고려하여 반복성을 평가하여야 한다고 제안하였다.

표 4에서는 표 3의 반복성 평가 척도 분류에 근거하여 최근 5년간 발표된 31개 논문들의 반복성 평가 척도 적용 현황을 정리하였다. 표 4에서의 결과로 볼 때 빈도수 척도(41번)가 시간 척도(15번)에 비해 2.7배 이

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

표4. 반복성 평가 척도 적용 현황 (1997~2002년 수작업 반복성 연구)

척도			실험실 연구 (# studies)		현장 연구 (# studies)	
시간	작업 주기 시간	전반적	CD, SP	(2)	BK, KR, LW-2, TF, JB-2, YT-1	(6)
		근본적				
	휴식 시간	작업 내			LW-1, LW-2, YT-2	(3)
		작업 간	CD	(1)		
	작업/휴식 시간 비율	전반적	CD	(1)	CH1	(1)
		근본적			LW-2	(1)
	소계			(4)		(11)
빈도수	작업 주기 빈도수	전반적	CD	(1)	YT-1	(1)
		근본적	CD	(1)	HM	(1)
	몸 동작 빈도수	손가락				
		손과 손목	AT, LT, SP	(3)	LW-1, LW-2, JB-2	(3)
		손과 팔			BK, JB-2	(2)
	관절 운동 빈도수	손가락	YM-1, YM-2	(2)		
		손목	CE, CV, LM-1, LM-2, LM-3, SE, SP, YM-1	(8)	CH2, HG1, HG2, JB-1, JB-2, MJ, MR, SM, YT-1, YT-2	(10)
		팔꿈치			YT-1, YT-2	(2)
		어깨			YT-1, YT-2	(2)
	힘 적용 빈도수	Power	CV, PJ	(2)	LW-2, MJ	(2)
		Pinch	KM	(1)		
	소계			(18)		(23)
합계				(22)		(34)

AT: Armstrong et al. (2002)
BK: Babski-Reeves and Crumtpon-Young (2002)
CD: Colombini (1998)
CE: Carey and Gallwey (2002)
CH1: Christensen et al. (2000)
CH2: Coury et al. (2000)
CV: Ciriello et al. (2001)
HG1: Hansson et al. (2000)
HG2: Hägg et al. (1997)
HM: Hakkanen et al. (1997)
JB-1: Juul-Kristensen et al. (2002)
JB-2: Juul-Kristensen et al. (2001)
KM: Klein and Fernandez (1997)
KR: Ketola et al. (2001)
LM-1: Lin and Radwin (1998a)
LM-2: Lin and Radwin (1998b)
LM-3: Lin et al. (1997)
LT: Leskinen et al. (1997)
LW-1: Latko et al. (1999)
LW-2: Latko et al. (1997)
MJ: Malchaire et al. (1997)
MR: Marklin and Monroe (1998)
PJ: Potvin et al. (2000)
SE: Serina et al. (1999)
SM: Stal et al. (1999)
SP: Spieholz et al. (2001)
TF: Treveltan and Haslam (2001)
YM-1: Yun and Kwon (2002)
YM-2: Yun et al. (2002)
YT-1: Yen and Radwin (2000)
YT-2: Yen and Radwin (1999)

상 많이 사용되었으며, 반복성 평가 척도 중 손목관절운동의 빈도수를 이용한 연구가 전체 연구 중 32%를 차지하고 있다.

4. 반복성 측정 및 분석 방법

반복성의 측정 방법이란 반복성 평가에 기준이 되는 평가 척도의 측정을 위한 방법을 의미하며, 분석 방법은 측정된 값을 반복성 대표값으로 전환하는 방법을 의미하는데, 기존의 반복성 연구에 사용된 측정 및 분석 방법들에는 여러 가지가 있다. 예를 들어, 스톱워치(Babski-Reeves and Crumtpon-

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

Young, 2002; Ketola et al., 2001)나 비디오(Juul-Kristensen et al., 2001; Spieholz et al., 2001), electroginiometer(Carey and Gallway, 2002; Hansson et al., 2000), visual analogue scale(VAS; Armstrong et al., 2002; Carey and Gallwey, 2002; Latko et al., 1999, 1997) 등이 반복성을 측정할 때 주로 사용되는 방법들이며, 분석 방법으로는 통계적인 방법과 스펙트럴(spectral) 분석 방법(Juul-Kristensen et al., 2001; Hansson et al., 2000 Yen and Radwin, 2000, 1999)이 있다. 반복성의 측정 및 분석 방법에 관한 조사를 위한 기존 문헌으로는 반복성의 평가 척도 조사에 사용된 문헌이 이용되었다. 검색된 문헌을 통해 반복성의 평가 척도와 유사한 방법으로 반복성 평가에 사용된 모든 측정 방법과 분석 방법들을 추출하였다.

결과적으로 추출된 측정 방법들은 표 5와 같이 객관적(objective) 측정법과 주관적(subjective) 측정법으로 분류되었다. 반복성의 객관적인 측정 방법 중 electrogoniometer는 반복적인 작업에서 관절 각도를 측정하는 장비이다. Moore et al.(1991)은 electrogoniometer가 손목의 움직임을 기록하는 동안 장비의 긴 축으로 인해 최대 11%의 cross-talk문제가 있었다고 주장하였으나, Coury et al.(2000)은 이러한 오류(error)는 랜덤(random)화 되어지므로 정확한 각도값 비교가 필요하지 않은 반복성 연구에는 문제가 되지 않는다고 반박하였다. 더욱이 Coury et al.(2000)은 cross-talk이 각도 측정에 영향을 준다는 보고는 많았지만 반복 빈도수 측정에 영향을 준다는 연구 결과는 없었다고 하였다. 또 다른 객관적 측정 방법으로, Malchaire et al.(1997)은 electromyography(EMG)를 사용해 측정된 근육 활동 신호를 분석하여 힘 적용 횟수를 산출하였다. 이에 반해 주관적으로 관찰하는 측정 방법은 상대적으로 비용이 적게 들고 융통성과 일반성이 있으며, 특히 훈련된 관찰자의 경우에는 정확성과 정밀성도 무난하다는 장점을 가지고 있다(Vander-Beek and Frings-Dresen, 1998; Winkel and Mathiassen, 1994). 하지만, 주관적 방법은 결과의 신뢰성과 타당성에 문제가 있을 수 있다. 그림 1은 측정 방법의 주관적 측정법 중에서 반복성 평가에 주로 사용되는 visual analogue scale(VAS)의 한 예를 나타낸 것이다. 객관적 그리고 주관적 측정 방법들간의 비교에 있어 Juul-Kristensen et al.(2001)은 기준점(reference position)과 측정 변수의 차이로 직접적인 비교는 불가능하다고 하였으나, Spielholz et al.(2001)은 상지의 반복성 측정방법으로 주관적 평가, 관찰적 방법, 직접 측정법의 세 가지로 분류하여 비교한 후 직접 측정법이 신뢰성 측면에서 가장 유의하게 좋다는 결과를 보였다고 보고했다.

반복성의 정량적인 평가를 위해 측정된 결과들은 평균과 표준편차 등과 같은 통계적(statistical) 방법으로 분석하는 경우가 대부분이지만, 스펙트럴 분석을 이용한 경우도 있다. Radwin and Lin(1993)은 시간 상에서 측정된 관절 각도 데이터(data)를 주파수(frequency) 상의 power 데이터로 변환시키는 스펙트럴 분석을 통해 반복성을 정량화하

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

였다. 그리고, 스펙트럴 분석을 이용하여 반복성의 일반적인 척도로 많이 사용되는 mean power frequency (MPF)는 주파수 성분의 power로 결정되는 가중치가 고려된 주파수 가중 평균을 의미하는데, Hansson et al.(1996)에 따르면 관찰만으로 반복성을 정의하기 힘들거나 불가능한 작업 또는 내용이 복잡하거나 동작이 불규칙한 관절 운동에 적용할 수 있으나, 그 처리과정이 복잡하다는 문제점이 있다.

표5. 반복성 척도의 대표적인 측정방법

구 분	설 명	예
객관적 방법	측정 장비를 이용하여 객관적으로 반복성을 측정하는 방법	Stopwatch, video, electrogoniometer, electromyography (EMG)
주관적 방법	여러 가지 범주나 일정한 비율구간 내에서의 특정 값을 선정하는 방법	Rating index (RI), checklist, questionnaire, visual analogue scale (VAS)

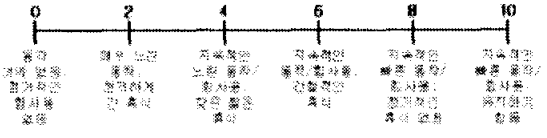

그림1. Visual analogue scale(VAS)의 예 (Latko et al., 1999)

5. 측정 방법 선정 시 고려요소

실험 연구나 현장 적용 시 반복성의 평가에 사용되는 측정 방법은 평가 목적에 따라 선택적으로 사용되어야 한다. 본 연구에서는 반복성 측정에 사용되는 측정 방법들의 선정 시 고려되어야 하는 요소들을 파악하기 위해 우선 기존의 인간 공학 및 작업 관리 문헌에서 제시하고 있는 항목들을 조사하였다. 기존 문헌에서 조사된 측정 방법 선정 시 고려되어야 할 요소들로는 표 6에 나타난 바와 같이 간섭성(interference), 강건성(robustness), 민감성(sensitivity), 사용 용이성(ease of use), 신뢰성(reliability), 적용 범위(applicability), 정확성(accuracy), 효율성(efficiency)이 있다. 그러나, 8개의 항목 중, 실제 사용 시에는 필요에 따라 선별적으로 사용될 수 있을 것이다.

6. 토 의

본 연구에서는 수작업의 반복성 평가 연구에 사용되는 반복성의 정의 및 구분 기준, 평가 척도, 측정 및 분석 방법, 그리고 측정 방법 선정 시 고려해야 할 요소들을 정리하였다. 기존 수작업 연구 비교를 통해, 반복성 정의와 구분기준의 설정에 있어 일관성이 결여되어 있음이 파악되었는데, 이는 수작업의반복성에 대한 체계적인 이해가 미흡하기 때문이라 사려된다. 또한, 다양한 유형 의 평가 척도 제공은 평가 상황에 따라 적합한 척도를 선별적으로 사용할 수 있다는 긍정적인 측면도 있지만, 상이한 척도를 사용한 연구 결과들은 비교가 힘들다는 부정적인 측면도 있다. 따라서, 본 연구에서는 평가 척도의 분류체계를 구축하여, 기존의 다양한 척도가 갖는 선별적인 사용에 대한 장점을 유지하고 차원

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

표6. 측정 방법 선정 시 고려 요소

항 목	설 명	출 처
간섭성 (interference)	결과값이 측정 장비가 수행하는 작업에 얼마나 영향을 받는가의 정도	Keyserling and Budnick (1987)
강건성 (robustness)	결과값이 측정 환경에 얼마나 영향을 받는가의 정도	Andersson et al. (1996)
민감성 (sensitivity)	측정한 결과값이 얼마나 상세 단위까지 나올 수 있는가의 정도	Chaffin et al. (1999), Petersson et al. (2000), Wilson and Corlett (1995)
사용 용이성 (ease of use)	실험준비에서 실험/분석에 이르기까지 실험자나 피실험자가 사용하기에 얼마나 쉬운가의 정도	Forsman et al. (1999)
신뢰성 (reliability)	반복적으로 측정한 결과값들이 얼마나 일관성이 있는가의 정도	Norkin and White (1995), Spielholz et al. (2001), Wilson and Corlett (1995)
적용 범위 (applicability)	사용 방법이 얼마나 다양한 적용 분야에 사용될 수 있는가의 정도	Melloy et al. (2000)
정확성 (accuracy)	정량적인 결과값이 얼마나 정확할 수 있는가의 정도	Chaffin et al. (1999), Salvendy (1986), Wilson and Corlett (1995), Yen and Radwin (2000)
효율성 (efficiency)	결과값을 얻기까지 어느 정도의 시간이 필요한가의 정도	Salvendy (1986)

(dimension) 간의 상호 변환을 가능하게 함으로서 척도간 비교가 힘들다는 단점을 보완할 수 있도록 하였다.

본 연구에서 정립된 평가 척도의 분류체계는 기존의 51개 상지 수작업에 대한 반복성 연구를 조사/분석하여 사용된 평가 척도들을 파악하고 근본적인 속성을 중심으로 구분하였으며, 평가척도들간의 상호 비교·분석이 될 수 있음을 제시하였다. 분류체계의 대분류에 해당하는 시간(time)과 빈도수(frequency) 차원 중 시간 차원의 개념은 하나의 작업이나 동작 등에 걸리는 시간의 길이를 의미하고, 빈도수 차원의 개념은 단위시간당 발생한 작업이나 동작 등의 횟수를 의미한다. 즉, 시간(time)과 빈도수(frequency) 차원은 서로 역함수의 관계가 성립하며 결과값의 상호 변환도 가능하다. 따라서, 본 분류체계는 추후 반복성 연구의 평가 척도 선정에 있어 일관성 있는 결과를 도출하기 위한 기준으로 사용될 수 있을 것이다.

반복성 평가를 위한 시간과 빈도수 차원의 척도들 중 빈도수에 해당하는 척도가 기존 연구에서 상대적으로 많이 사용되고 있다. 실제로 시간차원 척도에 비해 빈도수차원의 척도가 반복성으로 인한 CTS의 발병률을 예측하기에 상대적으로 정확하다고 하는 연구결과도 있었다(Babski-Reeves and Crumtpon-Young, 2002; Juul-Kristensen et al., 2001; Kilbom, 1994). 그러나, 연구의 목적이나 현장의 상황에 따라서는 시간차원의 척도가 빈도수차원의 척도보다 유용하게 사용될 수 있으므로 추가적인 연구가 필요하다.

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

마지막으로, 반복성의 평가 척도 선정 및 반복성의 구분 기준 설정 시 수작업의 특성이 반영되어야 할 것이다. 예를 들어, 빈도수 차원에서 관절의 운동 항목 중에는 손가락 운동, 손목 운동, 팔꿈치 운동과 어깨 운동이 있는데, 손가락의 운동 빈도는 손목의 운동 빈도보다 상대적으로 많을 때, 그리고 손목의 운동 빈도는 팔꿈치나 어깨의 운동 빈도보다 상대적으로 많을 때 질환을 유발하는 가능성이 커지게 되므로 반복성 구분 기준값들이 상대적으로 높아야만 한다(Kilbom, 1994). 또한, 많은 연구가 손목의 반복성을 평가하였지만, Juul-Kristensen et al.(2001) 과 Chiang et al.(1993)은 수작업 특성을 고려하여 손목이 아닌 상지 전체(손과 팔)의 움직임에 대한 반복성을 평가하였다. 이와 더불어, 많은 연구가 작업에 주로 사용되는 손의 반복성을 평가하였지만, 일부 연구들(Juul-Kristensen et al., 2001; Hansson et al., 2000, Coury et al., 2000, Stal et al., 1999, Malchaire et al., 1997)은 양손을 모두 분석하였는데, 이는 수동적인 손목의 움직임(예: 지속적인 신전상태의 반복)도 근골격계 질환의 원인이 되기 때문이다(Luchetti et al., 1998).

7. 결 론

본 연구에서는 수작업의 반복성 평가에 사용되는 반복성의 정의 및 구분 기준을 정리하고, 반복성 평가 척도들과 측정 및 분석 방법들을 분석·분류하였으며, 측정 방법 선정 시 고려하여야 할 요소들을 제시하였다. 반복성 평가 척도들은 크게 시간과 빈도수 측면에서, 세부적으로는 척도들의 분석 대상의 유형에 따라 분류되었다. 반복성 척도의 분류 체계를 기준으로 하여 반복성을 정의한 후 최근 5년간의 발표된 논문들을 분석한 결과, 반복성 평가 시 빈도수 차원의 척도들이 시간 차원의 척도들에 비해 2.7배 정도로 많이 사용되고 있었으며, 반복성 평가 연구에서 사용된 다양한 척도 중 손목 운동의 횟수가 32%로 가장 많이 사용되고 있었다. 관련된 측정 방법들은 주관적 측정법과 객관적 측정법으로 구분되었으며, 분석 방법들은 통계적 분석법과 스펙트럴(spectral) 분석법으로 구분되었다. 마지막으로, 실험연구나 현장연구에서 반복성 측정 방법 선정 시에 고려하여야 할 간섭성(interference), 강건성(robustness), 민감성(sensitivity), 사용 용이성(ease of use), 신뢰성(reliability), 적용 범위(applicability), 정확성(accuracy), 효율성(efficiency)의 요소들이 제시되었다.

참고 문헌

한국산업안전공단(KOSHA). (2002). 산업재해통계. Retrieved September 2, 2002, from http://www.kosha.or.kr/.

Andersson, A., Nordgren, B., and Hall, J. (1996).Measurements of movements during highly repetitive industrial work. *Applied Ergonomics*, 27, 343-344.

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

Armstrong, T.J., Marshall, M.M., Martin, B.J., Foulke, J.A., Grieshaber, C., and Malone G. (2002).Exposure to forceful exertions and vibration in a foundry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 30, 163-179.

Babski-Reeves, K.L., and Crumtpon-Young, L.L. (2002).Comparisons of measures for quantifying repetition in predicting carpal tunnel syndrome. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 30, 1-6.

Bureau of Labor Statistics (BLS). (2002). *Workplace Injuries and Illnesses in 2001.* Retrieved December 24, 2002, from http://www.bls.gov/.

Carey, E.L. and Gallway, T.J. (2002). Effects of wrist posture, pace and exertion on discomfort. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 29, 85-94.

Chaffin, D.B., Andersson, G.B.J., and Martin, B.J. (1999). *Occupational Biomechanics* (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons.

Chiang, H., Ko, Y., Chen, S., Yu, H., Wu, T., and Chang, P. (1993). Prevalence of shoulder and upper-limb disorders among workers in the fish-processing industry. *Scandinavian Journal of Work,* Environment and Health, 19 (2), 126-131.

Christensen, H., Sogaard, K., Pilegaard, M., and Olsen, H. (2000).. The importance of the work/rest pattern as a risk factor in repetitive monotonous work. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25, 367-373.

Ciriello, V.M., Snook, S.H., Webster, B.S., and Dempsey, P. (2001). Psychophysical study of six hand movements. *Ergonomics*, 44 (10), 922-936.

Colombini, D. (1998). An observa- tional method for classifying exposure to repetitive movements of the upper limbs. *Ergonomics*, 41 (9), 1261-1289.

Coury, H.J.C.G., Leo, J.A., and Kumar, S. (2000). Effectsof progressive levels of industrial automation on force and repetitive movements of the wrist. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25, 587-595.

Drury, C. (1987). A biomechanical evaluation of the repetitive motion injury potential of industrial jobs. *Seminars in Occupational Medicine*, 2 (1), 41-49.

Fisher, D.L., Andres, R.O., Airth, D., and Smith, S.S. (1993). Repetitive motion disorders: the design of optimal rate-rest profiles. *Human Factors*,

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

35 (2), 283-304.

Forsman, M., Sandsj, L., and Kadefors, R. (1999). Synchronized exposure and image presentation: Analysis of digital EMG and video recordings of work sequences. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24 (3), 261-272.

Genaidy, A.A.M., Al-Shedi, A., and Shell, R.L. (1993). Ergonomic risk assessment: preliminary guidelines for analysis of repetition, force and posture. *Journal of Ergology*, 22, 45-55.

Hagg, G.M., ster, J., and Bystrm, S. (1997). Forearm muscular load and wrist angle among automobile assembly line workers in relation to symptoms. *Applied Ergonomics*, 28 (1), 41-47.

Hakkanen, M., Viikari-Juntura, E., and Takala, E.P. (1997).Effects of changes in work methods on musculoskeletal load: An intervention study in the trailer assembly. *Applied Ergonomics*, 28 (2), 99-108.

Hansson, G.A., Balogh, I., Ohlsson, K., Palsson, B., Rylander, L., and Skerfving, S. (2000).Impact of physical exposure on neck and upper limb disorders in female workers. *Applied Ergonomics*, 31, 301-310.

Hansson, G.A., Balogh, I., Ohlsson, K., Rylander, L., and Skerfving, S. (1996). Goniometer measure- ment and computer analysis of wrist angles and movement applied to occupational repetitive work. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 6 (1), 23-35.

Juul-kristensen, B., Fallentin, N., Hansson, G.A., Madeleine, P., Andersen, J.H., and Ekdahl, C. (2002).Physical workload during manual and mechanical deboning of poultry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 29, 107-115.

Juul-kristensen, B., Hansson, G.A., Fallentin, N., Andersen, J.H., and Ekdahl, C. (2001). Assessment of work postures and movements using a video-based observation method and direct technical measurements. *Applied Ergono- mics*, 32, 517-524.

Ketola, P., Toivonen, R., and Viikari-Juntura, E. (2001). Interobserver repeatability and validity of an observation method to assess physical loads imposed on the upper extremities. *Ergonomics*,44 (2), 119-131.

Keyserling, W.M., and Budnick, P.M. (1987). Non-invasive measurement of three dimensional joint angles: Development and evaluation of a

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

computer-aided system for measuring working postures. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1, 251-263.

Kilbom, A. (1994). Repetitive work of the upper extremities: Part I Guidelines for the practitioner, Part II The scientific basis (knowledge base) for the guide. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 14, 51-86.

Klein, M.G., and Fernandez, J.E. (1997). The effect of posture, duration, and force on pinching frequency. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20 (4), 267-275.

Konz, S. (1990). Work Design: *Industrial Ergonomics* (2nd ed.). Columbus: Grid Pub.

Kuorinka, I., and Forcier, L. (1995). *Work-related Musculoskeletal Disorders (WMSDs): A reference Book for Prevention*. London: Taylor & Francis.

Latko, W., Armstrong, T., Foulke, J., Herrin, G., Rabourn, R., and Ulin, S. (1997). Development and evaluation of an observational method for assessing repetition in hand tasks. American *Industrial Hygiene Association Journal*, 58 (4), 278-285.

Latko, W., Armstrong, T., Franzblau, A., Ulin, S., Werner, R., and Albers, J. (1999). A cross-sectional study of the relationship musculoskeletal disorders. *American Journal of Industrial Medicine*, 36, 248-259.

Leskinen, T., Hall, C., Rauas, S., Ulin, S., Tonnes, M., Viikari-Juntura, E , and Takala, E.P. (1997). Validation of portable ergonomic observation (PEO) method using optoelectronic and video recordings. *Applied Ergonomics*, 28 (2), 75-83.

Lin, M.L., and Radwin, R.G. (1998a). Agreement between a frequency-weighted filter for continuous biomechanical measurements of repetitive wrist flexion against a load and published psychophysical data. *Ergonomics*, 41 (4), 459-475.

Lin, M.L., and Radwin, R.G. (1998b). Validation of a frequency-weighted filter continuous biomechanical stress in repetitive wrist flexion task against a load. *Ergonomics*, 41 (4), 476-484.

Lin, M.L., Radwin, R.G., and Snook, S.H. (1997). A single metric for quantifying biomechanical stress in repetitive motions and exertions. *Ergonomics*, 40 (5), 543-558.

Luchetti, R., Schoenhuber, R., and Nathan, P. (1998). Correlation of segmental carpal tunnel pressures

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

with changes in hand and wrist positions in patients with carpal tunnel syndrome and controls. *Journal of Hand Surgery* (B), 23 (5), 598-602.

Malchaire, J.B., Cock, N.A., Piette, A., Dutra-Leao, R., Lara, M., and Amaral, F. (1997). Relationship between work constraints and the development of musculoskeletal disorders of the wrist: A prospective study. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 19, 471-482.

Malchaire, J.B., Cock, N.A., and Robert, A.R. (1996). Prevalence of musculoskeletal disorders at the wrist as a function of angles, forces, repetitiveness and movement velocities. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 22, 176-181.

Marklin, R.W., and Monroe, J.F. (1998).Quantitative biomechanical analysis of wrist motion in bone-trimming jobs in the meat packing industry. *Ergonomics*, 41 (2), 227-237.

Melloy, B.J., Harris, J.M., and Gramopadhye, A.K. (2000). Predicting the accuracy of visual search performance in the structural inspection of aircraft. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 26, 277-283.

Moore, A., Wells, R., and Ranney, D. (1991). Quantifying exposure in occupational manual tasks with cumulative trauma disorder potential. *Ergonomics*, 34 (12), 1433-1453.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (1997). *Musculoskeletal Disorders (MSDs) and Workplace Factors: A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck, Upper Extremity, and Low Back* (2nd printing).Cincinnati: U.S. Department of Health and Human Services (DHHS).

Norkin, C.C., and White, D.J. (1995). *Measurement of joint motion.* Philadelphia:F.A. Davis Company.

Petersson, N. F., Mathiassen, S. E., Bjring, G., and Winkel, J. (2000). The accuracy of self-rating of exposure to repetitive work. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25 (3), 239-246.

Potvin, J.R., Chiang, J., Mckean, C., and Stephens, A. (2000). A psychophysical study to determine acceptable limits for repetitive hand impact severity during automotive trim installation. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 26,

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

625-637.

Putz-Anderson, V. (1988). Cumulative Trauma Disorders: *A manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs*. New York: Taylor & Francis.

Radwin, R.G., and Lin, M.L. (1993). An analytical method for characterizing repetitive motion and postural stress using spectral analysis. *Ergonomics*, 36 (4), 379-389.

Rodgers, S. (1986). *Ergonomic Design for People at Work*. New York: Van Nostrand Reinhold.

Salvendy, G. (1987). *Handbook of Human Factors*. New York: John Wiley & Sons.

Serina, E.R., Tal, R., and Rempel, D. (1999). Wrist and forearm postures and motions during typing. *Ergonomics*, 42 (7), 938-951.

Silverstein, B.A., Fine, L.J., and Armstrong, T.J. (1986). Hand wrist cumulative trauma disorders in industry. *British Journal of Industrial Medicine*, 43, 779-784.

Silverstein, B.A., Fine, L.J., and Armstrong, T.J. (1987). Occupational factors and carpal tunnel syndrome. *American Journal of Industrial Medicine*, 11, 343-358.

Spieholz, P., Silverstein, B., Morgan, M., Checkoway, H., and Kaufman, J. (2001).Comparison of self-report, video observation and direct measurement methods for upper extremity musculoskeletal disorder physical risk factors. *Ergonomics*, 44 (6), 588-613.

Stal, M., Hansson, G.A., and Moritz, U. (1999). Wrist positions and movements as possible risk factors during machine milking. *Applied Ergonomics*, 30, 527-533.

Treveltan, F.C., and Haslam, R.A. (2001). Musculoskeletal disorders in a handmade brick manufacturing plant. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 27, 43-55.

Vander-Beek, A.J., and Frings-Dresen, M.H.W. (1998). Assessment of mechnical exposure in ergonomic epidemiology. *Occupational and Environmental Medicine*, 55, 291-299.

Wick, J. (1994). Force and frequency: how much is too much? In F. Aghazadeh (Ed.), *Advances in Occupational Ergonomics and Safety VI* (pp. 521-525), IOS Press.

Wilson, J.R., and Corlett, E.N. (1995). Evaluation of Human Work: *A practical ergonomics methodology*(2nd ed.). Bristol: Taylor & Francis.

Winkel, J., and Mathiassen, S.E.

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

(1994).Assessment of physical workload in epidemiologic studies: concepts, issues and operational considerations. *Ergonomics*, 37, 979-988.

Yen, Y.T., and Radwin, R.G. (1999). Automated job analysis using upper extremity biomechanical data and template matching. International Journal of Industrial *Ergonomics*, 25, 19-28.

Yen, Y.T., and Radwin, R.G. (2000).Comparison between using spectral analysis of electrogoniometer data and observational analysis to quantify repetitive motion and ergonomic changes in cyclical industrial work. *Ergonomics*, 43 (1), 106-132.

Yun, M.H., Eoh, H.J., and Cho, J. (2002). A two-dimensional dynamic finger modeling for the analysis of repetitive finger flexion and extension. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 29, 231-248.

Yun, M.H., and Kwon, O. (2001).Evaluation of manual workload in repetitive wrist and finger motions: Comparison of frequency-weighted filtering, EMG and subjective rating. *Asian Journal of Ergonomics*, 2 (2), 73-88.

저자 소개

◈ 권오채

1997년 성균관대학교 산업공학과 학사
1999년 포항공과대학교 산업공학과 석사
현재 포항공과대학교 산업공학과 박사과정
관심분야: 산업인간공학, 상지근골격계 질환, 생체공학

◈ 유희천

1988년 서울대학교 산업공학과 학사
1990년 서울대학교 산업공학과 석사
1999년 미국 펜실바니아 주립대학교 산업공학과 박사
1999년~2002년 미국 위치타 대학교 산업공학과 조교수
현재 포항공과대학교 산업공학과 조교수
관심분야: 가상환경상 인간공학 설계기술, 제품설계, 상지근골격계 질환, 산업인간공학

논문접수일 (Date Received): 2003/05/28
논문게재승인일(Date Accepted): 2003/07/14

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.