

관절 동작에 따른 동작 반복 및 외부 부하 영향에 관한 연구

기도형*

*계명대학교 산업공학과

Effects of Motion Repetition and External Load Depending on Joint Motions

Dohyung Kee*

*Department of Industrial Engineering, Keimyung University

Abstract

This study aims to empirically investigate effects of motion repetition and external load according to joint motion on discomfort through an experiment. Eighteen college students (female: 9; male: 9) participated in an experiment measuring perceived discomfort using the Borg CR10. Joint(wrist, elbow, shoulder and trunk) motion, its repetition and external load were adopted as independent variables. The results showed that all three independent variables were statistically significant on discomfort. Participants' sex also significantly affected discomfort obtained in the experiment. While the interactions of joint motion and repetition, and joint motion and external load were not significant at $\alpha = 0.05$, that of motion repetition and external load was significant. Based on the experimental results, four regression equations by the joints involved were presented, which could be used as a tool for evaluating postural loads by the joints. It may be postulated that based on the results of this study, scoring systems of RULA and REBA, and those of OWAS and REBA underestimates effects of motion repetition and external load, respectively. It is expected that the results of this study will be used as a basic data for developing an observational method properly reflecting the effects of motion repetition and external load.

Keywords : Joint motion, Motion repetition, External load, Discomfort

1. 서론

특정 유해 요인에 노출되어 발생하는 많은 직업병과 달리 근골격계질환은 여러 요인이 복합적으로 작용하는 질환이다. 많은 연구들은 물리적, 사회심리적/조직적 및 개인적 요인으로 근골격계질환 유발 요인을 나누고 있다 [1]. 작업과 직접적으로 관련된 것으로 볼 수 있는 물리적 요인으로는 부자연스러운 자세, 중량물 취급, 동작 반복, 진동, 정적 자세, 극한 온도 등을 들 수 있다. 현재까지 관련 연구 및 개발된 근골격계질환 유발 요인 정량화 도구는 자세, 외부 부하에 집중되어져 왔으며 [2], 동작 반복의 영향에 대한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다.

동작 반복이 CTD(cumulative trauma disorders) 발

병에 유의한 영향을 미치고, 큰 힘을 내는 동작 반복은 CTD 발병률을 증가시키는 것으로 알려져 있다. 또한, 동작 반복은 다른 요인과 독립적으로 상지 관련 근골격계질환 발병에 영향을 미칠 수 있다 [3,4,5]. Kuorinka and Forcier(1995)는 상지 반복 동작이 근골격계질환을 유발하는 가장 중요한 위험 요인이라고 주장하였으나[6], 동작 반복의 영향에 대한 연구는 적은 편이다.

Carey and Gallwey((2002)는 힘 발휘 횟수는 손목 동작 불편도에 유의한 영향을 미치지 않음을 밝혔다 [7]. Kee (2004)는 분당 5-30회 어깨, 팔꿈치 동작 반복이 지각 불편도에 영향을 미침을 보고하였다 [8]. Kee (2004, 2006)는 분당 10-30회 손목 동작 반복이 남성에게는 유의하지 않았으나, 여성에게는 유의한 영향을 미친

†Corresponding Author : Dohyung Kee, Department of Industrial Engineering, Keimyung University, 1095 Dalgubeol-Daero, Dalseo-Gu, Daegu, E-mail: dhkee@kmu.ac.kr

Received May 25, 2023; Revision June 12, 2023; Accepted June 22, 2023

것으로 성별로 상반된 결과를 제시하였다 [2,8].

현재까지 동작 반복 연구는 팔, 손 동작을 대상으로 이루어져 왔으며, 산업 현장 작업에서 관찰되는 몸통 동작은 다루어지지 않았다. 따라서, 본 연구에서는 동작 반복 및 외부 부하가 몸통, 팔 및 손을 포함한 동작에 미치는 영향을 실험을 통하여 알아보고자 한다. 큰 힘 발휘가 동작 반복 영향의 크기에 유의함을 보인 기존 연구 결과 [3,4,5]를 따라 동작 반복과 함께 외부 부하를 독립변수로 추가하였다.

2. 연구방법

2.1 실험 참가자

관절 동작, 동작 반복 및 외부 부하에 따른 지각 불편도를 측정하는 실험에는 과거 근골격계질환 병력이 없는 남녀 대학생 각 9명, 총 18명이 참가하였다. 모든 실험자에게는 실험 참여 수당을 지급하였으며 인적 정보는 다음과 같다: 연령 - 21.1 ± 1.43 세 (남: 21.2 ± 1.86 세; 여: 20.9 ± 0.93 세); 신장 - 168.5 ± 10.23 cm (남: 177.6 ± 3.24 cm; 여: 159.5 ± 5.33 cm); 체중 - 65.4 ± 15.82 kg (남: 79.7 ± 8.05 kg; 여: 51.1 ± 2.85 cm)

2.2 실험 계획

실험에서 관절 동작, 동작 반복 및 외부 부하를 독립변수로 하였고, 독립변수 조합에 따른 지각 불편도를 종속변수로 하였다. 관절 동작에는 몸통, 어깨, 팔꿈치, 손목 동작 등 작업에서 일반적으로 사용되는 관절 동작을 포함하도록 하였다. 관절 동작 수준은 <Table 1>에 나와 있으며, 동작 수준은 산업 현장 작업에서 흔히 사용되고 실험에서 각도 구분이 쉬운 각도로 정하였다. 다양한 관절 동작이 있을 수 있으나 본 연구에서는 실험 크기를 고려하여 시상면 상에서 일어나는 굴곡 동작만을 실험 대상으로 하였다.

동작 반복 수준은 6회/분, 12회/분으로 하였으며 이는 전 연구들에서 사용한 실험 수준 혹은 연구 결과를 참조하여 결정하였다 [7,8,9,10]. 외부 부하는 0, 2 kg 두 수준을 사용하였으며, 예비 실험에서 실험 참여자들이 견딜 수 있는 정도 및 산업 현장에서 사용되는 수공구 무게를 고려하여 선정하였다. 외부 부하는 아령으로 하였다. 동작 반복 시간은 Carey and Gallwey((2002) 연구의 실험 프로토콜을 따라 5분으로 하였다 [7]. 각 실험 처치 수행 후 불편도는 Borg CR10으로 측정하였다.

<Table 1> Dependent and independent variables

Joint motion	Flexion angle(°)	Repetition (times/m)	External load (kg)
Wrist	30	6, 12	0, 2
Elbow	135		
Shoulder	60		
Trunk	45		

2.3 실험 절차

실험 전에 실험 참가자에게 실험 목적, 내용, 실험 중 발생 가능 위험성 등을 먼저 설명하고 실험 참여 동의를 받았다. 관절 동작 측정을 위하여 실험 참여자는 동작에 지장이 없는 편한 복장, 특히 상의는 반소매 간편복을 착용하도록 하였다. 실험자는 실험 참여자에게 관절 동작 측정을 위한 기준점(손목: 손목 가쪽점; 팔꿈치: 팔꿈치 가쪽점; 어깨: 어깨점; 몸통: 엉덩뼈 능선점)에 마크를 부착하고, 중립자세를 취하게 하였다. 중립 자세는 빠르게 선 자세에서 위팔은 자연스럽게 수직 하방으로 늘어뜨리고 팔꿈치는 90° 굴곡하고 아래팔과 손은 일직선이 되는 자세이다. 어깨 굴곡 동작 실험 시에는 팔꿈치 굴곡을 0°로 하였다.

각 관절 동작 중점을 철제봉으로 표시하여 실험 참여자가 관절 동작 반복 시 정확한 지점까지 동작을 취하도록 하였다. 관절 동작 반복 간에는 중량물을 실험 참여자 앞에 있는 간이 테이블 위에 올려놓도록 하였다. 관절 동작 반복 시점은 정해진 시점에 ‘삐’ 소리를 내는 소프트웨어로 실험 참여자에게 알렸다. 모든 실험 처치는 무작위 순서로 제시되었으며, 실험 처치 간 5분 이상 휴식 시간을 부여하였다. 실험은 2일에 나누어 실시하였으며 실험 전 2-3개 자세에 대한 연습을 한 후 본 실험을 수행하도록 하였으며, 실험은 참여자별로 약 3-3.5 시간 정도 소요되었다.

3. 결과

3.1 분산분석

관절 동작, 동작 반복 및 외부 부하가 불편도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 분산분석을 실시하였다 (<Table 2>). 관절 동작, 동작 반복 및 외부 부하 등 모든 독립변수는 유의수준 1%에서 불편도에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 실험에 참여한 실험 참여자 성별도 유의수준 1%에서 유의한 것으로 분석되었다. 동작 반복과 외부

부하 간 교호작용은 유의수준 5%에서의 통계적으로 유의하였으나, 관절 동작과 동작 반복, 관절 동작과 외부 부하 간 교호작용은 유의하지 않은 것으로 분석되었다.

<Table 2> ANOVA results

Source	DF	Mean square	Pr > F
Joint motion(M)	3	19.52	< 0.01
Motion repetition (R)	1	58.83	< 0.01
External load(L)	1	493.65	< 0.01
Sex	1	82.50	< 0.01
M*R	3	0.74	>0.10
M*L	3	1.81	>0.10
R*L	1	7.61	< 0.05

3.2 독립변수 영향

독립변수의 불편도에 대한 정량적 영향은 SNK (Student -Newman Keuls) 검정을 통하여 분석하였다. 관절 동작의 영향에 대한 SNK 검정 결과는 <Figure 1>에 제시되어 있다. 관절 동작의 불편도에 대한 영향은 유의수준 5%에서 팔꿈치, 손목과 어깨, 그리고 몸통 등 세 그룹으로 나뉘어졌다.

동작 반복, 외부 부하 및 성별은 ANOVA에서보인 유의성과 같이 SNK 검정에서도 두 수준이 별도의 그룹으로 분리되었다.

3.3 회귀분석

관절 동작별로 ANOVA에서 유의한 변수를 독립변수로, 불편도를 종속변수로 하는 회귀분석을 실시하였다 (<Table 3>). 네 개 회귀분석 모델 모두 유의수준 1%에서 유의하였고 R²는 59% 이상을 보였다.

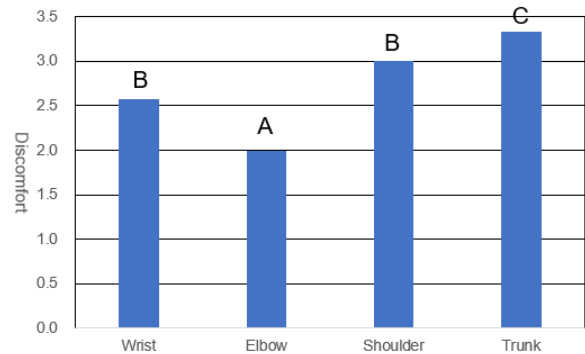
<Table 3> Regression equations

Joint motion	Equation	R ² (%)
Wrist	Discomfort = 0.674 + 0.008*Repetition(times/m) + 0.854*sex (male: 0 female: 1) + 0.348*External load(kg) + 0.106*Repetition*External load	59.9
Elbow	Discomfort = -0.753 + 0.120*Repetition + 0.707*sex + 0.454*External load + 0.092*Repetition*External load	62.2
Shoulder	Discomfort = -1.341 + 0.172*Repetition + 2.219*sex + 1.519*External load + 0.016*Repetition*External load	73.9

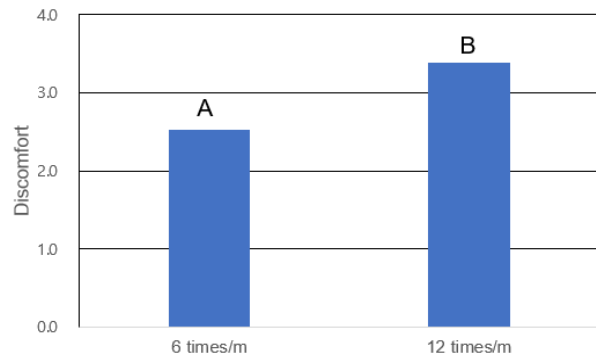
Joint motion	Equation	R ² (%)
Trunk	Discomfort = 0.043 + 0.133*Repetition + 0.919*sex + 1.244*External load + 0.036*Repetition*External load	67.0

4. 토의 및 결론

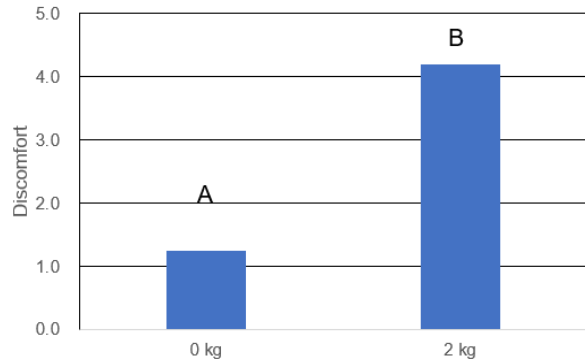
본 연구에서는 관절 동작에 따른 동작 반복 및 외부 부하의 영향을 실험을 통하여 알아보았다. ANOVA 분석에서 관절 동작, 동작 반복 및 외부 부하가 불편도에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 팔 및 손목 동작 반복이 불편도에 유의한 영향을 미친다는 기존 연구 결과와 일치한다 [11,12]. 손목 동작 회귀식에서 동작



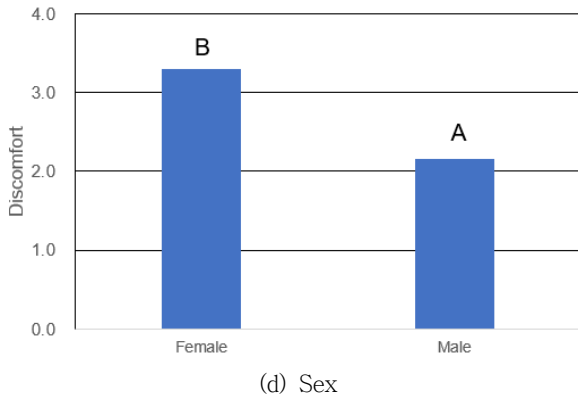
(a) Joint motion



(b) Motion repetition



(c) External load



[Figure 1] Effects of independent variables

반복 변수에 대한 계수가 0.008로 매우 작아 동작 반복의 영향이 크지 않은 것으로 추정할 수 있으며, 이는 힘 발휘 횟수는 손목 동작 불편도에 유의하지 않다는 Carey and Gallwey (2002)의 연구 결과와 유사한 결과라 할 수 있다 [7]. 또한, 본 연구 결과는 불편도에 외부 부하의 유의성을 보고한 연구와도 같은 경향을 보였다 [2,11,12].

본 연구의 실험 결과를 바탕으로 제시된 회귀식 (<Table 3>)은 R^2 값이 모두 약 60% 이상을 보여 실험 자료 설명 정도가 낮지 않은 것으로 판단된다. 제시된 회귀식은 작업 시 동원된 신체 부위 또는 관절 동작별로 자세 부하(postural load)를 평가하고, 이에 근거하여 작업을 개선하는 도구로 사용 가능하다. 예를 들어, 어깨 동작에서 반복 12회/분, 외부 부하 2 kg, 여성 작업자일 경우 회귀식을 이용하여 계산한 불편도 점수는 6.36이 된다. 개선 기준을 Borg CR10 점수 5점(strong(heavy))으로 정하면, 위 동작은 개선이 요구된다. 동작 반복 정도 및 외부 부하 크기를 줄이면 개선 기준점 이하로 불편도 점수를 낮출 수 있다.

우리나라에서 가장 많이 사용되고 있는 자세 부하 평가 기법인 OWAS, RULA, REBA 중 OWAS는 동작 반복 요소 반영 기능이 없다 [13,14,15]. RULA와 REBA는 동작 반복이 분당 4회 이상인가 아닌가에 따라서 동작 반복 효과를 고려하고 있다. 이러한 동작 반복 효과의 반영은 관절 동작에 관계없이 두 수준(6회/분, 12회/분)의 동작 반복이 불편도에 유의한 영향을 미치고 있음을 보인 본 연구의 결과에 비추어볼 때, 동작 효과를 바르게 반영하고 있다고 하기 어렵다. 반면, 동원된 신체부위에 관계없이 같은 점수를 부여하는 것은, 본 연구에서 관절 동작과 동작 반복의 교호작용이 유의하지 않아 타당성이 있을 것으로 추정된다.

본 연구에서 외부 부하(0, 2.0 kg)가 불편도에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타나, OWAS(<10 kg; 10-20 kg, >20 kg) 및 REBA(<5 kg, 5-10 kg, >10 kg)의 외

부 부하 분류 체계는 본 연구에서 채택한 외부 부하 두 수준이 모두 한 그룹에 속하게 되어 외부 부하 영향을 과소 평가한다고 할 수 있다. 반면, RULA(<2 kg, 2-10 kg, >10 kg) 분류 체계는 본 연구의 외부 부하 변수 범위 내에서는 타당성이 있을 것으로 판단된다. OWAS, RULA 및 REBA에서는 외부 부하를 다른 평가 요인과 독립적으로 평가하고 있으나, 본 연구에서 외부 부하와 동작 반복 교호작용이 유의하게 나타나 자세 부하 평가 시 이 두 요소를 동시에 고려하는 방법이 요구된다.

또한, 독립변수에 따른 불편도가 성별에 따라 유의한 차이를 보여, 자세 부하 평가 시 성별 요소가 고려되면 좀 더 정확하게 부하가 평가될 것으로 추정된다. 이상의 주장은 본 연구에서 측정된 주관적 지각 불편도에 기반하고 있으나 불편도가 자세 부하의 유효한 척도이고, 불편도를 최소화하면 근골격계질환 예방에 기여할 수 있다는 기존 연구[16,17,18]에 의해 뒷받침된다 할 수 있다.

이상의 결과는 우리나라를 포함하여 전세계적으로 가장 많이 사용되고 있는 OWAS, RULA, REBA [19,20]와 같은 자세 부하 평가 기법의 개선 방향을 제시하고, 그 개선의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 즉, 외부 부하 분류를 좀 더 세분화하고 동작 반복에 따라 그 영향을 달리 반영할 수 있다. 또한, 작업자 성별에 따라 부하 평가에 차이를 둘 수도 있다.

본 연구는 관절 동작에 따른 동작 반복의 유의성을 검증하기 위하여 작업에 자주 사용되는 손목, 팔꿈치, 어깨, 몸통 동작을 포함하였으나, 실험 크기 문제로 관절 동작, 반복 및 외부 부하 수준을 제한하였다. 즉, 각 관절 동작 수준은 1개, 반복 및 외부 부하는 2개 수준으로 하였다. 본 연구에서 관절 동작과 동작 반복의 교호작용이 유의하지 않았으나, 이는 본 연구에서 사용한 독립변수 수준의 범위(예: 외부 부하 0, 2kg) 및 수(예: 외부 부하 2 수준)의 한계에 영향을 받았을 수 있을 것으로 추정된다. 따라서, 관절 동작에 따른 동작 반복 및 외부 부하 영향을 좀 더 세밀하게 파악하기 위해서는 본 연구에서 채택한 독립변수의 수준을 확장한 연구가 요망된다.

5. References

- [1] G. C. David(2005), "Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders." Occupational Medicine, 55:190-199.
- [2] D. Kee(2006), "Psychophysical load for females depending on arm posture, repetition of wrist motion

- and external load.” *Journal of the KOSOS*, 21(3): 122-126.
- [3] D. Colombini(1998), “An observational method for classifying exposure to repetitive movements of the upper limbs.” *Ergonomics*, 41(9):1261-1289.
- [4] O. C. Kwon, H. C. You(2003), “A survey of repetitiveness assessment methodologies for hand-intensive tasks.” *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 22(3):75-91.
- [5] B. A. Silverstein, L. J. Fine, T. J. Armstrong(1986), “Hand wrist cumulative trauma disorders in industry.” *British Journal of Industrial Medicine*, 43:779-784.
- [6] I. Kuorinka, L. Forcier(1995), *Work-related musculoskeletal disorders (WMSDs): A reference book for prevention*. Taylor and Francis, London.
- [7] E. J. Carey, T. J. Gallwey(2002), “Effects of wrist posture, pace and exertion on discomfort.” *Applied Ergonomics*, 29:85-94.
- [8] M. L. Lin, R. G. Radwin, S. H. Snook(1997), “A single metric for quantifying biomechanical stress in repetitive motions and exertions.” *Ergonomics*, 40:543-558.
- [9] T. Y. Yen, R. G. Radwin(2002), “Comparison between using spectral analysis of electrogoniometer data and observational analysis to quantify repetitive motion and ergonomic changes in cyclical industrial work.” *Ergonomics*, 43:106-132.
- [10] P. Kilbom(1994), “Repetitive work of the upper extremity: Part I-Guidelines for the practitioner.” *International Journal of Industrial Ergonomics*, 14:51-57.
- [11] D. Kee(2004), “Psychophysical stress of arm motions at varying external load and repetition.” *IE Interfaces*, 17(2):218-225.
- [12] D. Kee(2004), “Psychophysical stress depending on repetition of wrist motion and external load.” *Journal of the KOSOS*, 19(4):123-128.
- [13] O. Karhu, P. Kansi, I. Kuorinka(1977), “Correcting working postures in industry: A practical method for analysis.” *Applied Ergonomics*, 8(4):199-201.
- [14] L. McAtamney, E. N. Corlett(1993), “RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders.” *Applied Ergonomics*, 24(2):91-99.
- [15] S. Hignett, L. McAtamney(2000), “Rapid Entire Body Assessment (REBA).” *Applied Ergonomics*, 31:201-205.
- [16] E. N. Corlett, R. P. Bishop(1976), “A technique for assessing postural discomfort.” *Ergonomics*, 19(2):175-182.
- [17] E. N. Corlett, J. Manenica(1980), “The effects and measurement of working postures.” *Applied Ergonomics*, 11(1):7-16.
- [18] J. Dul, M. Douwes, P. Smitt(1994), “Ergonomic guidelines for the prevention of discomfort of static postures can be based on endurance data.” *Ergonomics*, 37:807-815.
- [19] B. D. Lowe, P. G. Dempsey, E. M. Jones(2019), “Ergonomics assessment methods used by ergonomics professionals.” *Applied Ergonomics*, 81:102882.
- [20] M. Gómez-Galán, D. J. Callejón-Ferre, J. Pérez-Alonso, M. Díaz-Pérez, J. A. Carrillo-Castillo(2020), “Musculoskeletal risks: RULA bibliometric review.” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17:4354.

저자 소개



기 도 형

서울대학교 산업공학과에서 학, 석사학위를 취득하고, POSTECH 대학원에서 박사학위를 취득하였다. 인간공학기술사이고 현재 계명대학교 공과대학 산업공학과 교수로 재직 중이며, 관심분야는 시스템안전, 자세부하측정, 근골격계질환 예방 등이다.