

## 작업 현장에서 육체적 작업 강도를 평가하는 도구로서 Borg's Scale과 심박 수의 비교

김병훈<sup>1</sup> · 박지영<sup>1</sup> · 탁상우<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>EHS 이음 과학기술인 협동조합, <sup>2</sup>서울대학교 보건환경연구소

### Comparison between Heart Rates and Borg's Scale as a Tool to Evaluate Physical Workload

Byoung Hoon Kim<sup>1</sup> · Ji Young Park<sup>1</sup> · Sangwoo Tak<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>EHS Eeum Scientists and Professionals Coop

<sup>2</sup>Institute of Health and Environment, Seoul National University

#### ABSTRACT

**Objectives:** To examine the associations of borg's scale with actual heart rates of workers and energy consumption during their physical work.

**Methods:** A total of 72 workers performing physical activities in postal service, ceramic manufacturing, and metal manufacturing participated in heart rate measurement for 1 work shift using the activity meter(A360) and responded to a borg's scale questionnaire.

**Results:** In consistent with previous findings, we presented high correlation between borg's scale and energy consumption measures among workers performing physical activities( $r=0.89$ ) while post-work average heart rate showed nearly no correlation with post-work borg's scale ( $r=0.09$ ). We proposed a set of adjustments when using borg's scale to estimate physical workload for those workers engaged in physical activities during the majority of their work shift.

**Conclusions:** Our findings suggest that a caution should be paid to when using Borg's scale to estimate heart rates during physical activities as well as energy consumption as the product of heart rate measurements.

**Key words:** Borg's scale, energy expenditure, rest heart rate, work heart rate, workload

## I. 서 론


육체적 작업강도가 높을수록 작업자들은 많은 휴식시간을 필요로 한다. 국제노동기구 (International Labour Organization, ILO)는 작업에 따른 휴식 여유율을 제안하였고(Freivalds, 2014), Wu & Wang(2002)은 상대심박지수를 이용해 적정 작업 시간을 권고하였으며(Wu & Wang, 2002), 미국 국립직업안전보건연구원(National Institute of Occupational Safety & Health, NIOSH)는 8시간 계속 작업 시에는 남성 5


kcal/min, 여성은 3.5 kcal/min 초과 하지 않도록 권고하였다(NIOSH, 1981). Murrell(1965)은 에너지 소비량에 근거하여 적정 휴식 시간을 제안하는 등 힘든 작업에 대해 노동자를 보호하기 위한 다양한 연구가 수행되었다(Jung & Lee, 2009; Park et al., 2010). 강도가 높은 육체적 작업은 다양한 건강상의 영향을 미치며, 나이가 육체적 작업의 강도와 노동시간이 길수록 흡연력과 음주를 증가시켜 결과적으로 뇌심혈관계 질환을 야기한다(Mizoue, et al., 2006; Virtanen, et. al., 2015). 이러한 이유로 육체적 피로도의 주원인인 작업


\*Corresponding author: Sangwoo Tak, Tel: 02-880-2802, E-mail: taksw@snu.ac.kr

Institute of Health and Environment, Seoul National University, #604, bldg 221, 1 Gwanak-ro, Gwanak gu, Seoul 08826

Received: June 10, 2019, Revised: July 15, 2019, Accepted: August 20, 2019

 Byoung Hoon Kim <http://orcid.org/0000-0002-5782-5340>

 Ji Young Park <http://orcid.org/0000-0003-0098-812X>

 Sangwoo Tak <http://orcid.org/0000-0002-3576-4524>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

강도와 노동시간 및 휴식 시간 등을 적절하게 조절하는 행정적, 기술적 대책들이 사업장에서 필요하다(Kang, et al., 2006). 작업자의 육체적 강도는 주로 심박동수와 에너지소비량 그리고 산소소비량을 측정하거나, 작업자의 주관적 피로도를 측정하여 평가한다(Jung & Lee, 2009; Park et al., 2010). 전자의 경우 기기를 이용한 객관적 데이터를 산출할 수 있다는 장점이 있는 반면 기기를 작업자에게 장착해야 하는 등, 작업방해나 경제성에 대한 고려가 필요하며 수집된 데이터를 해석하는데 따른 오류 등의 단점이 있다. Borg's Scale은 운동 강도를 평가하는데 가장 단순한 방법이다(Spiridon & Kamran, 2004). 즉, 6-20점의 척도를 이용해서 육체적 피로도를 평가하고, 측정된 Borg's Scale에 10을 곱해서 심박 수 지표로도 사용하고 있다(Borg, 1967; Freivalds, 2014). 이러한 이유로 Borg's Scale은 작업 부하를 측정하는데 사용된다. 하지만 Borg's Scale의 가정과는 달리 운동의 강도 증가에 따라 피로도는 직선하지 않고, 오히려 젖산의 전환점에 접근했을 때 피로감이 급격하게 증가한다. 이런 이유로 연령과 성, 그리고 노동시간에 따라 피로도에 대한 기준이 다르게 적용되어야 한다(Lee & Jung, 2016). 또한, Borg's Scale과 심박수의 높은 상관계수는 에르고미터 등을 이용한 실험실에서 주로 평가되었기 때문에 장시간 육체노동에 종사하는 작업자에게 바로 적용하는 데에는 한계가 있다. Mary et al.(1989)은 Borg's Scale을 이용하여 심박수를 추정하는 것에 주의를 기울일 것을 요구한다(Gillach et al., 1989). 본 연구의 목적은 육체노동에 종사하는 작업자들의 작업 전 후 borg's scale과 평균 심박수 그리고 에너지소비량과의 관계를 분석하여 육체적 작업 강도를 추정할 때 심박수를 사용하는 것의 기술적 타당성을 확인하고, 몇 가지 다른 육체적 작업환경에서의 borg's scale과 심박수 간의 수리적 관계를 관찰하는데 있다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 연구 대상

본 연구는 경남 지역에서 집배 노동자, 도기 제조 노동자, 자동차 부품 제조업 노동자를 대상으로 실시하였고, 총 72명의 남성 노동자들이 자발적으로 연구조사에 참여하였다.

### 2. 연구 방법

조사는 2018년 5월경 시작하여 2019년 5월 30일까지 진행되었다. 조사는 1년에 걸쳐 이루어졌지만 대부분의 조사는 봄(5월에서 6월 사이)과 가을(10월에서 11월 사이)에 이루어져 계절적 요소는 별도로 고려하지 않았다. 조사 당일에 대상 노동자들에게 borg's scale (6-20) 설문지를 배포하고 자가 기입하도록 하였다. 설문지는 하루 총 근무 시간, 작업 전 borg's scale, 작업 후 borg's scale 측정 등을 포함하였다. 심박동 측정을 위해 참여 노동자들이 출근 후 사전에 개인 정보가 담긴 활동량기기(Polar A 360)를 착용하도록 하였다. 최소 10분에서 최대 30분까지 휴식을 취하게 한 후 작업자들에게 현재의 상태를 borg's scale 설문지에 기입하도록 하였고, 기기에 표시된 심박 수를 확인하였다. 당일 점심시간에는 특별한 활동을 하지 말 것을 요청하고 운동 여부를 확인하였다. 작업 종료 후 노동자들에게서 기기를 끄고 수거한 뒤 현재 상태에 대해 가지고 있던 borg's scale 설문지에 기입하도록 하였다. 해당 데이터는 당일 컴퓨터에 저장하였다. 참여 노동자들의 연령(years), 신장(cm), 몸무게(kg) 등 인적 특성에 대한 기술적 분석을 실시하였다. Polar A 360을 통해 심박수(bits/min)와 에너지 소비량(kcal/min)을 수집하여 일평균을 산출하여 분석하였고, 수집된 심박 수의 분포는 최소값과 최대값으로 관찰하였다. borg's scale은 최저 60점에서 최대 200점까지 표시하여, 심박 수 일평균과 에너지소모량 간의 상관관계를 Pearson 방법으로 관찰하였다. 심박 수 일평균과 에너지 소모량과의 간의 관계를 ordinary linear regression을 사용하여 관찰하였다.

## III. 연구결과

### 1. 조사 대상자들의 특성

조사 참여자들의 평균 연령은 40.2세( $\pm 9.0$  SD)로 제조노동자군 연령이 35.5세( $\pm 8.8$  SD)로 가장 적은 연령분포를 보였다. 대상자들의 평균 몸무게는 70.1 kg( $\pm 9.3$  SD)이었으며, 금속제조노동자군은 평균몸무게(71.6 kg $\pm 10.0$  SD)가 가장 높았으나 통계적으로 유의미하지 않았다. 평균 키는 172.8 cm( $\pm 5.8$  SD)로 금속제조노동자군의 키가 174.4 cm( $\pm 5.7$  SD)로 다른 직군보다 큰 것으로 나타났다. 평균 작업 시간은 집

**Table 1.** Demographic characteristics of participants by occupational group (n=72)

Variables	Postal worker (n*=19)		Ceramic manufacturing worker (n*=18)		Metal manufacturing worker (n*=35)		Total (n*=72)
	Mean±SD <sup>†</sup>	Range (min, max)	Mean±SD <sup>†</sup>	Range (min, max)	Mean±SD <sup>†</sup>	Range (min, max)	Mean±SD <sup>†</sup>
age (years)	44.5(6.5)	37, 59	45.1(7.2)	30, 58	35.5(8.8)	24, 58	40.2(9.0)
weight (kg)	68.1(6.4)	59, 80	71.5(10.3)	57, 88	71.6(10.0)	50, 90	70.1(9.3)
height (cm)	171.0(4.0)	161, 176	171.4(6.8)	160, 181	174.4(5.7)	158, 182	172.8(5.8)
work hour per shift (hours)	10.6(1.8)	8, 15	9.6(0.7)	8, 10	8.7(1.2)	8, 12	9.5(1.5)

\* n : Number of persons † Mean±S.D. : Arithmetic mean±Standard Deviation

배 노동자군이 가장 긴 10.8시간(± 1.8 SD)으로 전체 평균 작업 시간인 9.5(± 1.5 SD)시간 보다 약 1시간 더 많게 조사되었다.

자군이 가장 높게 나타났다. 노동시간이 긴 집단(9시간 이상)에서 borg's scale 평균 점수가 높게 나타났지만 통계적으로는 유의미하지 않았다(Table 2).

## 2. 작업 전후의 borg's scale

### 1) 작업별 작업 전후의 borg's scale

작업 전 작업자가 느끼는 주관적 피로도 척도인 borg's scale은 평균 88.1(± 19.8 SD)이었고, 작업 후 borg's scale의 평균은 151.1(± 28.8 SD)이었다. 직업 군별로 확인해 보면, 작업 전의 경우 집배 노동자군이 104.0로 가장 높았으나 작업 전후의 차이에 있어서는 도기계조 노동자군이 가장 높은 것으로 조사되었다. 또한 작업군간의 작업 전 borg's scale의 차이는 통계적으로 유의미 하였고, 작업 후에도 마찬가지였다(p<0.05). 작업 후에 확인한 borg's scale 측정치도 도기계조 노동

### 2) 연령별 작업 전후의 borg's scale

연령을 30세 미만, 30-40세 미만, 40-50세 미만, 50세 이상으로 구분하여 작업 전 후의 borg's scale을 확인한 결과 연령간의 작업 전 borg's scale의 차이는 통계적으로 유의미 하였고, 작업 후에도 마찬가지였다.(p<0.05)

## 3. 작업 전후의 심박수

### 1) 작업별 작업 전후의 심박수

작업 전 작업자의 안정 시 심박 수는 평균 70.1 beats/min(± 6.3 SD)으로 집배 노동자군의 경우 65.4 beats/min(± 4.1 SD), 도기계조노동자군은 70.6 beats/

**Table 2.** Distributions of borg's scale (pre- and post-) by occupational group (n=72)

Borg's scale	Postal worker (n*=19)		Ceramic manufacturing worker (n*=18)		Metal manufacturing worker (n*=35)		Total (n*=72)
	Mean±SD <sup>†</sup>	Range (min, max)	Mean±SD <sup>†</sup>	Range (min, max)	Mean±SD <sup>†</sup>	Range (min, max)	Mean±SD <sup>†</sup>
Pre-work	104.0(26.7)	70, 150	86.6(11.9)	70, 110	82.5(18.5)	60, 120	88.1(19.8)
Post-work	173.1(23.3)	130, 200	166.5(15.3)	140, 180	138.6(26.5)	90, 180	151.1(28.8)
Difference (post - pre)	77.5(21.2)	40, 100	81.5(23.6)	40, 110	63.3(32.1)	0, 120	70.4(29.1)

\* n : Number of persons † Mean±S.D. : Arithmetic mean±Standard Deviation

**Table 3.** Distributions of borg's scale (pre- and post-) by age group (n=72)

Borg's scale	under the age of 29	30-40	40-49	50 over
	Mean±SD <sup>†</sup>	Mean±SD <sup>†</sup>	Mean±SD <sup>†</sup>	Mean±SD <sup>†</sup>
Pre-work	97.5(17.1)	83.8(15.0)	80.67(13.4)	101.7(27.6)
Post-work	127.0(25.0)	151.7(27.0)	151.7(25.2)	169.6(26.8)

\* n : Number of persons † Mean±S.D. : Arithmetic mean±Standard Deviation

**Table 4.** Distribution of heart rate measurements (pre- and post-) by occupational group (n=72)

Heart rate (beats/min)	Postal worker (n*=19)		Ceramic manufacturing worker (n*=18)		Metal manufacturing worker (n*=35)		Total (n*=72)
	Mean±SD <sup>†</sup>	Range (min, max)	Mean±SD <sup>†</sup>	Range (min, max)	Mean±SD <sup>†</sup>	Range (min, max)	Mean±SD <sup>†</sup>
Pre-work average	65.4(4.1)	58, 74	70.6(4.3)	65, 83	72.5(6.2)	63, 87	70.1(6.0)
Post-work average	106.2(7.4)	95, 120	100.9(9.6)	86, 116	104.8(8.6)	90, 126	104.2(8.5)
Difference (post - pre)	40.8(7.8)	29, 57	30.3(7.8)	21, 45	32.3(9.5)	15, 60	34.1(9.5)

\* n : Number of persons † Mean±S.D. : Arithmetic mean±Standard Deviation

**Table 5.** Distribution of heart rate measurements (pre- and post-) by age group (n=72)

Heart rate (beats/min)	under the age of 29	30-40	40-49	50 over
	Mean±SD <sup>†</sup>	Mean±SD <sup>†</sup>	Mean±SD <sup>†</sup>	Mean±SD <sup>†</sup>
Pre-work average	69.6(5.7)	72.5(6.9)	67.6(5.2)	69.8(4.0)
Post-work average	102.0(7.2)	107.2(8.2)	100.4(9.9)	105.2(6.0)

\* n : Number of persons † Mean±S.D. : Arithmetic mean±Standard Deviation

min(± 4.3 SD), 금속제조노동자군은 72.5 beats/min(± 6.2 SD)이었고, 통계적으로 유의미한 차이를 보였다(p<0.05). 작업 후의 평균 심박수는 104.2 beats/min(± 8.5 SD)으로 집배노동자군의 경우 106.2 beats/min(± 7.4 SD) 도기제조노동자군은 100.9 beats/min(± 9.6 SD), 금속제조노동자군은 104.8 beats/min(± 8.6 SD)으로 통계적으로 유의미한 차이는 보이지 않았다(p>0.05). 심박수의 사전-사후 비교치의 평균은 집배 노동자군이 가장 높게 조사되었다.

2) 연령별 작업 전후의 심박수

연령간의 작업 전 심박 수의 차이는 통계적으로 유의미 하였고, 작업 후의 경우도 마찬가지였다(p>0.05).

4. 작업 후 에너지 소비량

작업 후 작업자의 에너지 소비량의 평균은 5.7 Kcal/min (± 1.5SD), 금속제조노동자군은 6.1 Kcal/min(± 1.5SD)로 제일 높았고, 집배노동자군은 5.9 Kcal/min(± 1.3SD) 도기제조노동자군은 5.0 Kcal/min(± 1.7SD)이었고, 통계적으로 유의미한 차이를 보였다(p<0.05).

5. 에너지소비량과 작업 후 심박 수 및 borg's scale

에너지 소비량과 작업 후 평균 심박 수의 상관관계는 0.89로 매우 높았으나, 작업 후 borg's scale과 에너지 소비량은 상관관계수가 0.09로 매우 낮게 확인되었다(p>0.05). 작업 후 borg's scale은 작업 후 평균 심박 수와도 낮은 상관관계를 보였다.

**Table 6.** Comparison of Energy Consumption

Energy Consumption (Kcal/min)	Postal worker (n*=19)		Ceramic manufacturing worker (n*=18)		Metal manufacturing worker (n*=35)		Total (n*=72)
	Mean±SD <sup>†</sup>	Range (min, max)	Mean±SD <sup>†</sup>	Range (min, max)	Mean±SD <sup>†</sup>	Range (min, max)	Mean±SD <sup>†</sup>
	5.9 (1.3)	4.0, 8.6	5.0 (1.7)	2.9, 7.9	6.1 (1.5)	3.3, 9.3	5.7 (1.5)

\* n : Number of persons † Mean±S.D. : Arithmetic mean±Standard Deviation

**Table 7.** Pearson Correlations between energy consumption and post-work measurements

	Post-work average heart rate	Post-work borg's scale
Energy Consumption (Kcal/min)	0.891	0.093

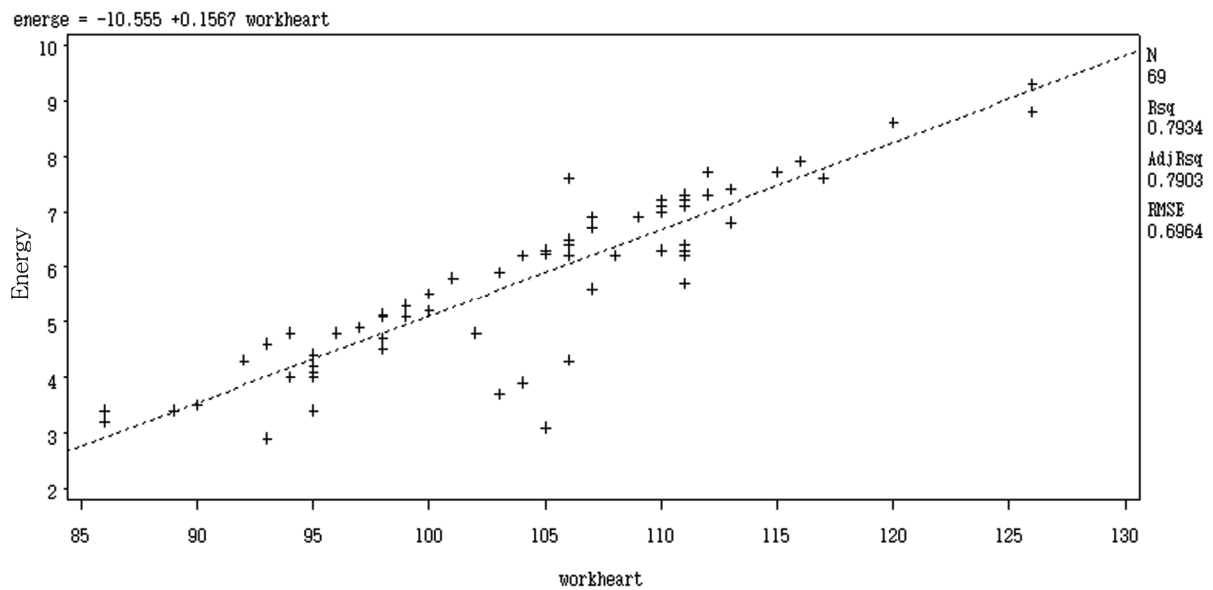


Figure 1. Scatter-plot and estimated regression coefficient between energy consumption and post-work heart rates

작업 후 심박수 측정치와 에너지소모량의 관계는 상관계수도 높고 R-square 값도 0.7934로 모델 적합도가 높게 나타났다(Figure 1). 에너지 소비량과 작업 후 평균 심박 수와의 관계는 다음처럼 추정 가능하다.

$$\text{Energy consumption (Kcal/min)} = -10.555 + 0.1567 * \text{Post-work heart rate (beat/min)} - (\text{가})$$

#### IV. 고 찰

본 연구는 우편물 배달, 도자기 제조, 자동차 부품 제조 등, 형태와 성격이 매우 다른 작업들을 수행하는 작업자들을 대상으로 하였다. 육체적 노동을 수행한 이들 작업자들이 보고한 borg's scale은 작업 후 심박 수와 불일치하는 것이 뚜렷이 확인되었으며, 연령의 경우 작업 전후 borg's scales과 작업 전 심박 수는 차이를 보이고 있지만, 작업 후 심박 수 차이는 통계적 차이를 보이지 않고 있다. 기존 방식처럼 borg's scale에 10배수를 적용하여 심박 수를 추정한다고 했을 때, 이들 작업자들의 borg's scale은 자신의 실제 평균 심박 수 보다 훨씬 높게 평가한 것이며, 이는 육체적 노동을 수행하는 작업자들에게서 에너지 소비량(혹은 심박 수)를 이용하여 노동강도를 측정할 때는 실제보다 저평가 될 가능성이 있는 것으로 의심된다. 이렇게 다른 작업들을 수행하는 작업자들을 대상으로 작업 후 피로도를 측정하고자

할 때는 객관적 측정기구를 사용하는 것이 바람직하다. 따라서 연속적으로 심박동을 측정하고 체온과 호흡의 변화를 고려하여 에너지 소모량을 측정하는 것이 보다 객관적 평가가 되겠지만, 이를 많은 수의 작업자를 대상으로 실시하는 것은 효율성 측면에서 고려해야 할 부분이 많다. 이런 경우, 작업 직후에 borg's scale을 사용하여 작업 후 피로도를 측정하여 육체적 작업의 강도를 대체 측정하는 방법이 있다. borg's scale은 역학연구에서 많은 수의 참여자를 대상으로 작업 후 피로도를 측정하여 노동강도의 영향을 분석하는데 사용될 수 있고, 집단 간 혹은 개인의 육체적 강도를 비교하는데 용이하게끔 고안된 도구이다. 하지만, 주관적 피로도를 측정하기 위한 척도로 사용하는 borg's scale은 제한된 실험실 조건에서 만들어진 것이다. 또한 나이든 사람이 운동 자극에 대한 인식이 젊은 사람보다 더 높을 경향이 있다(Bar-Or, 1977). 같은 조건으로 실험하더라도 성인과 어린이 사이에서의 borg's scale 측정 불일치 등이 보고된 것처럼 이 도구의 사용에 있어서 주의가 필요하다(Gillach et al., 1989).

본 연구에서도 borg's scale이 반드시 에너지 소모량과 높은 상관관계를 보이지 않은 것에 대해 두 가지 측면의 고찰이 가능하다. “첫째, 에너지 소모량을 객관적으로 측정하였다 하여도, 작업자 개인이 느끼는 주관적 피로도, 혹은 인지된 노동강도(perceived work intensity)는 매우 다를 수 있다. 이는 작업자 개인이 생리학적으로 노동

강도에 적응(adaptation) 하는 수준을 반영하는 것이고, 따라서, 인지된 노동강도 자체가 이미 노동강도의 객관적 측정(objective measurement)으로 평가되어야 할 것이다.” 즉, 기계적으로 측정된 에너지 소모량을 노동강도의 총괄적 평가로 등치하거나, 측정된 주관적 피로도의 생리학, 역학적 함의를 간과하는 오류를 범하지 말아야 할 것이다.

둘째, 에너지 소모량으로 평가되지 않는 노동강도의 특성이 있을 수 있다. 즉, 갑작스럽게 힘을 주어야 하는 작업(physical exertion), 혹은 매우 느리지만 정밀하게 수행해야 하는 작업 등, 심박수와 에너지 소모량으로 측정이 불가능한 작업의 성격과 형태가 있을 수 있다. 이렇게, 동질적이지 않은 작업을 수행하는 직업군에서 노동강도를 측정하는 것은 단순히 에너지 소모량의 평가만으로는 부족할 수밖에 없다. 이런 경우, 개별 인지도(individual perception)를 평가에 반영하는 것은 인과관계의 도식화에서 발생할 수 있는 측정의 불확정성(uncertainty)을 최소화 시키고, 인과관계의 설명모형을 좀 더 일반화할 수 있도록 돕는 장점이 있다. 이런 이유로, borg's scale을 에너지 소모량의 대체측정치(proxy measure)로 사용하는 것은 바람직하지 않은 것이다. 나아가, borg's scale을 이용해서 심박 수를 추정하는 것도 지양하여야 한다. 육체노동을 수행하는 대부분의 작업자들은 보통 하루 8시간 이상 작업을 하기 때문에 장시간 연속적으로 급격한 힘을 사용하는 일은 극히 드물다. 즉, 급격한 힘을 짧은 시간동안 사용할 때의 측정된 심박 수와 borg's scale의 상관성은 결코 장시간동안 다양한 육체적 업무를 수행하는 작업자들에게 동일하게 적용될 수 없다. 본 연구에서 확인한 낮은 상관계수는 이를 뒷받침하는 결과라 판단된다.

심박 수에 기반한 에너지 소모량 평가도 완전히 일치하지 않고, 약 80% 정도만 설명되는 것은 작업의 특징, 작업자의 생리학적 차이 혹은 심리적 상태 등이 반영되지 않았기 때문이라 여겨진다. 따라서 실제 산소소모량의 직접 측정이 어려운 환경에서 육체적 작업 강도를 측정하는 도구로 에너지 소비량을 대체하여 borg's scale을 활용할 수 있을 것이다. 다만, 이런 경우에도 borg's scale과 작업피로도 간의 상관성에 영향을 주는 요소들에 대한 좀 더 과학적인 탐구가 필요할 것으로 보인다. 육체적 피로도의 측정지표로 borg's scale을 사용하는 역학연구를 수행한다면, 노출평가 방법으로 사용되기 위한 다양한 사전 노출변이에 대한 연구가 필

요하다. 예를들어, 육체노동자가 보고하는 borg's scale의 일별 노출변이(between days variability) 혹은 작업자간 변이(between individual variability), 작업군간의 변이(between group variability), 온습도 등을 포함한 작업환경 및 계절적 요소 등에 대한 세심한 사전연구가 가능할 것이다. 본 연구는 육체적 노동자만을 대상으로 진행된 만큼 그 연구결과와 의미를 광범위한 노동인구에 적용하기에는 무리가 있다. 참여한 작업자의 수가 적고 하루분의 작업을 대상으로 측정되었기 때문에 대표성을 갖는다고 보기에는 무리가 있다. 하지만, 작업자군 간의 비교를 하고, Borg's scale의 상관관계를 분석하기에는 통계적으로 충분한 검정력을 갖는 것으로 판단되었다.

## References

- Andris Freivalds, Benjamin W. Niebel. *Niebel's Methods, Standards, and Work Design*(13th edition), 2014; p 149-152 (ISBN-13 9791156159575)
- Bar-Or, O. Age-related changes in exercise perception. In: *Physical Work and Effort*, G. Borg (Ed.). Oxford: Pergamon Press, 1977, pp. 255-266.
- Borg G. *Physical performance and perceived exertion*. Lund: Gleerup 1962
- Borg G, Linderholm H. Perceived exertion and pulse rate during graded exercise in various age groups. *Journal of Internal Medicine*, 1967.181(S472):194-206 (<http://doi.org/10.1111/j.0954-6820.1967.tb12626.x>)
- Chen YL, Chen CC, et al. Relationships of Borg's RPE 6--20 Scale and heart Rate in Dynamic and Static Exercises among A Sample of Young Taiwanese Men. *Perceptual and Motor Skills*, 2013, 117, 3, 971-982 (<http://doi.org/10.2466/03.08.PMS.117x32z6>)
- Jung BY, Lee DG. *Modern Ergonomics*. 2009; p 269-273 (ISBN-13 9791186378083)
- Lee O, Jung JW, Validity of Borg's Category Ratio 10 Scale during Maximal-graded Exercise Testing. *Exerc Sci* 2016; 25(2): 92-99 (<https://doi.org/10.15857/ksep.2016.25.2.92>)
- Mizoue T, Fujino Y, Yamato H, Tokunaga S, Kubo T, Reijula K. Overtime work, cigarette consumption, and addiction to cigarette among workers subject to mild smoking restrictions. *Ind Health*, 2006, 44(2):244-9 (<http://doi.org/10.2486/indhealth.44.244>)
- Mary C. Gillach, James F. Sallis. et al. The Relationship between Perceived Exertion and Heart Rate in Children and Adults. *Pediatric Exercise Science*,

- 1989, 1 (4):360-368 (<https://doi.org/10.1123/pes.1.4.360>)
- Park JH, GI DH, LEE GT, CHOE GL. Ergonomics for Occupational Safety and Health Managers. 2011; p. 286-287 (ISBN-13 9788993292275)
- Spiridon G Karavatas, Kamran Tavakol. Concurrent validity of rating of perceived exertion in african-american young adults, employing heart rate as the standard. The Internet Journal of Allied Health Sciences and Practices. 2005, 3(1)
- Thomas f. birk, Mraianne Mossing. Relationship of Perceived Exertion to Heart Rate and Ventilation in Active Teenagers With Cerebral Palsy. Adapted Physical Activity Quarterly, 1988, 5: 154-164 (<https://doi.org/10.1123/apaq.5.2.154>)
- Virtanen M, Jokela M, Nyberg ST, et al. Long working hours and alcohol use: systematic review and meta-analysis of published studies and unpublished individual participant data. BMJ 2015;350:g7772 (<http://doi.org/10.1136/bmj.g7772>)
- Woo JH, Kang DM, Shin YC, Kim MO, Son MJ et al, Energy Expenditure of Male Blue Collar Workers. Korean Industrial Hygiene Association Journal, 2006, 16(2): 183-192
- Wu HC1, Wang MJ. Relationship between maximum acceptable work time and physical workload. Ergonomics, 2002;45(4):280-9 (<http://doi.org/10.1080/00140130210123499>)

**<저자정보>**

김병훈(정책 이사), 박지영(사무국장),  
탁상우(기술이사, 책임연구원)