Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 31, No. 3 pp.445-453, June 2012 http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2012.31.3.445

Evaluation of Postural Load during Liquid Weight Measurement Process Using Ratio of Exposure Time

Sung Koon Lee, Peom Park

Department of Industrial Engineering, Ajou University, Suwon, South Korea, 443-749

ABSTRACT

Objective: The aim of this paper was to prove that if the risk level in combined tasks was improved through evaluation of postural load of liquid weight measurement process, the workload level and ratio of exposure time would be changed, and the time of process would be seen concurrently. **Background:** According to results of epidemiological studies conducted by Korea Occupational Safety & Health Agency, 122 musculoskeletal disorders occurred during 1992 to 2008, in which manufacturing industry covers 96(78.7%) of total. However, this is an insufficient level and only occupies 39% based on the South Korea's manufacturing standard industrial classification(246 industries). **Method:** Firstly, the number of batches weighed on one day(460min) was investigated based on the work performed and Weight measured weekly. VCR recording was taken based on the level of liquid ingredients prescribed for 1batch using the Camcorder. After dividing a 356 sec video into 1 sec using the screen capture function in Gom player, the job classification was performed by analyzing the change of working postures, which revealed 148 working postures. Time measurement was decided by time of the postures was being maintained. Then, the REBA analysis was performed for the working postures. The ratio of Exposure time was calculated based on the measurement time and REBA Score. In addition, the recommendations were designed and implementation was carried out for the working postures with REBA Score higher than 3. Finally, after the intervention, REBA measurement, time measurement, and ratio of exposure time were calculated for the comparison of works before and after improvement. **Results:** The number of work elements was decreased by 30.4% from 148 to 103 after improvement. The results of time measurement showed that the time was reduced by 46.3% from 356 sec to 191 sec. And the ratio of exposure time was also improved by 52.1% from 0% to 52.1% after improvement. **Conclusion:** The reduction of time was found to improve the productivity of management. Furthermore, because the reduction of ratio of exposure time and the improvement of workload level are the improvement of discomfort, it would contribute to the improvement of the worker's psychological working posture. **Application:** These results would contribute to musculoskeletal disease prevention and management performance. Further studies for other industries would be needed based on this case study.

Keywords: Ratio of exposure time, REBA, Weight measurement task, Improvement of postural workload

1. Introduction

1990년 이후 근골격계질환을 예방하기 위하여 정부와 학회, 연구기관에서 역학조사, 작업자세 평가, 작업부하 개선 등을 보고하고 있다. 또한 Kim et al.(2010)은 한국산업안전보건공단 직업병연구센터에서 조사한 역학조사 내용을 근거로 우리나라에서 운영되고 있는 직업성 질환 조사 체계에

Corresponding Author: Sung Koon Lee. Department of Industrial Engineering, Ajou University, Suwon, South Korea, 443-749.
E-mail: cellsg_lee@yahoo.co.kr

Copyright@2012 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462 http://www.esk.or.kr). All right reserved.
ⓒ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.

서 역학적 특성과 근골격계질환의 주요 현황을 기술하였다. 근골격계질환의 전년 대비 증감률은 2006년에 114.8%로 증가하였다. 2007년은 23.9%, 2008년은 −12.8%, 2009년은 −7.4%로 감소하는 것으로 보고되고 있으나, 업무상 질병 대비 근골격계질환의 점유율은 2006년에서 2009년까지 60~70%을 점유하고 있고 매년 2~6%씩 증가하는 추세이다(Kim et al., 2010). 1992년부터 2008년까지 근골격계질환 역학조사를 실시한 건수는 122건으로 그 중 제조업이 96건으로 80%을 차지하였다(Kim et al., 2010). 국내에서 제조업을 대상으로 근골격계질환을 연구한 업종들은 VDT 작업, 자동차 조립, 육류/어류가공, 목재소, 자동차정비, 시계조립, 전동공구 작업, 전기/전자 제조, 용접봉제조, 조선업 생산직, 철강제조, 피혁제조 토클작업, 신발제조, 포장작업, 전자레인지조립, 콘돔생산직, 자동차부품, 자동차엔진조립, 항공정비 등이다(Kim et al., 2010). 그러나 한국 표준산업 분류표 기준의 246업종의 다양한 제조업종에 비하면 이보다 더 많은 작업을 대상으로 연구 및 개선이 필요하다.

근골격계질환은 신체의 각 체절에 가해지는 힘, 압력, 정적부하, 작업수행 시의 자세와 반복 정도, 진동과 열, 추위 등의 작업환경 요인과 조직 내에서 직위 등의 작업관련 요인, 신체조건과 질병 등의 개인 요인이 복합적으로 작용하는 것으로 밝혀졌다(Macleod, 1999). 우리나라에서는 작업에 종사한 기간과 시간, 작업량과 강도, 작업자세와 속도, 반복작업, 힘이 필요한 작업 등으로 특정 신체부위의 질환을 대상으로 연구하고 있다(Kim et al., 2010). 이러한 다양한 요인들 중에 작업자세는 근골격계질환과 높은 상관 관계가 있다고 보고하였다(Bernard, 1997).

작업자세 평가는 현장에서 쉽게 사용할 수 있는 관찰적 작업자세 평가로 REBA(Hignett and Mcatamney, 2000), RULA(Mcatamney and Corlett, 1993), OWAS(Karhu et al., 1977)가 많이 사용되고 있다. 또한 Brown and Li (2003)의 연구는 31가지(플라스틱 접시제조 외 30가지) 작업을 반복적 작업과 수작업, 정적이거나 동적 환경 하에서의 작업, 그리고 서있는 자세, 앉은 자세의 작업으로 분류하였다. 이를 등, 어깨/팔, 손목/손, 목의 최대 노출 정도 X_{max} (인력작업: 176, 비 인력작업: 162)에 비하여 얼마나 노출되었는지를 비율로 산정하여 RULA의 Risk Level과 비교하였다. Park et al.(2006)의 연구에서는 작업시간과 단위작업부하에 따른 연속작업의 정신물리학적 자세부하를 평가하였다. 이 연구는 불편도에 미치는 작업부하수준, 복합작업부하, 시간과 노출비율의 요소들을 이용하여 모델을 산정하였다. 노출비율은 REBA의 Action Level을 사용하여 Brown and Li(2003)가 연구한 QEC의 노출비율 산정 방식의 개념을 적용하였다. 연구결과 작업시간은 노출비율과 같이 불편도를 가감시키는 요인임을 확인하였다. 또한, 작업부하수준도 노출비율과 같이 불편도에 영향을 준다고 보고하였다(Park et al., 2006). 이는 작업부하수준과 노출비율에 따라 불편도가 변화되는 것을 나타낸다. Jeong(2007)의 연구에서는 연속작업에 대한 인간공학적 평가도구를 사용할 경우 작업장면의 표본 추출방법과 어떻게 대표 값을 선정하느냐에 따라 결과의 차이가 있다는 점을 제시하였다. 이를 보완하기 위한 방법으로 노출수준의 평가와 관리의 필요성을 권고하였다.

따라서 본 연구는 화장품 산업의 원료칭량, 제조, 충진, 포장공정 중 액상원료를 칭량하는 연속작업을 대상으로 수행하였다. 작업분석결과 위험수준 3 이상에 대한 노출시간의 비율을 이용하여 작업자세 부하 개선을 통해 연속작업에서 REBA Score 8(Risk Level 3) 이상을 개선하면 작업부하수준, 노출시간 비율과 작업시간도 변화됨을 보이는 것이다.

2. Method

2.1 Procedure

연구절차는 현상조사, VCR 촬영, 작업분류 및 시간측정, REBA 측정 및 노출시간 비율계산, 개선방향 도출 및 작업자세 개선, 개선 전, 후 비교 분석을 통해 검증하는 순서로 실시하였다(Figure 1). 현상조사에서는 화장품 산업에서 A사의 원료칭량 공정 중 액상원료를 칭량하는 작업을 선정하여 주간 칭량실적을 근거로 1일(460분) 기준의 칭량 batch 수를 조사하였다. VCR 촬영은 1batch에 처방된 액체원료 칭량작업을 기준으로 Camcorder을 사용하였다. 작업분류 및 시간 측정은 촬영된 동영상을 곰 플레이어의 화면 캡처 기능을 사용하여 1초단위로 작업자세를 선정하였다(Shin and Jeong, 2008). 작업분류는 작업자세가 변화하는 시점을 기준으로 분류하였고 시간측정은 자세가 유지되는 시간을 측정하였다. 다음으로 분류된 자세를 기준으로 REBA 측정은 Score A, Score B, Score C, REBA Score 순으로 실시하였다(Hignett and McAtamney, 2000). 기존 연구에서는 위험수준만 고려하였지만, 본 연구에서는 노출시간을 고려하고자 REBA 위험수준에 따른 노출시간을 곱하여 노출시간 비율을 산정하였다. 또한 Score가 높은 작업자세를 도출하여 개선안을 구상하고 개선실시를 수행하였다. 다음은 개선 후 작업을 대상으로 REBA 측정, 시간측정, 노출시간 비율을 산출하여 개선 전, 후를 비교하였다.

2.2 Field research

원료칭량 공정은 화장품 산업에 있어서 제품 내용물의 특성과 성분을 결정하는 중요한 공정이다. 원료칭량 공정은 내

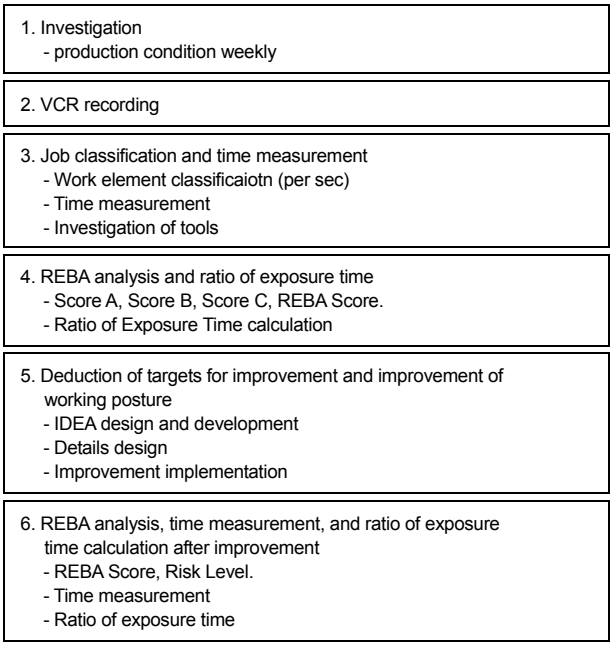


Figure 1. Process for improving postural load

Table 1. Average number of weight measurement per batch (Unit: The number of raw materials)

State	Liquid		Solid
Classification of contents	Oil	Extract	Wax
Number of raw material	384	455	714
Daily average number of weight measurement	96	114	179
Number of weight measurement per batch	2.0	2.4	3.8
Note	4.4 > 3.8		

Table 2. Average Weight of per raw material

State	Liquid		Solid
Classification of contents	Oil	Extract	Wax
Total weight(Kg)	3,907	4,502	3,462
Daily average of weight(Kg)	977	1,126	866
weight measurement per batch(Kg)	21	24	18
Average Weight of per raw material(Kg)	10.5	12.0	4.8

용물을 제조하기 위한 첫 번째 공정으로 준비작업의 특성을 가지고 있다. 이 작업은 액상원료와 고상원료를 칭량하는 작업으로 분류된다. 작업장은 원료의 교차오염방지를 위해 분리되어 있다. 또한 작업자도 작업장 영역에서 작업을 수행하므로 고상과 액상원료를 순차적으로 칭량작업을 수행하는 것을 피하는 환경이다. 즉, 칭량작업은 액상칭량과 고상칭량 담당으로 분류되어 작업을 수행하고 있다. 칭량작업 계획은 주간단위 계획으로 1일 단위의 확정, 예정을 기준으로 실시되며 긴급제조에 대한 칭량작업도 수행하고 있다. 현상조사 결과 4일간의 총 제조실적은 189batch로 1일 평균 47.25 batch의 작업을 수행하였다. 원료칭량은 2인으로 액상원료 1인, 고상원료 1인이 작업을 수행하였다. 1batch 원료 개수와 칭량 횟수는 1:1이므로 평균 1일 칭량 횟수는 원료 개수와 동일하다. Table 1과 같이 칭량원료를 액상과 고상으로 분류하여 1batch 당 칭량 횟수를 분석한 결과는 액상 원료 칭량이 고상 원료칭량 보다 그 수가 많다. 또한, 원료 1개당 평균 칭량무게는 Table 2와 같이 고상원료는 4.8Kg이고, 액상원료는 오일이 10.5Kg, 추출물이 12.0Kg으로 분석되었다. 따라서 본 연구의 대상작업은 칭량 횟수와 무게가 큰 액상 원료칭량을 대상으로 추진하였다.

2.3 VCR recording

VCR 촬영은 액상 칭량작업 공정을 대상으로 5회를 실시하였다. 촬영 전 감독자와 현장사원에게 작업내용을 촬영하는 목적과 주의사항을 다음과 같이 설명하였다. 촬영 목적은 작업자세에서 발생하는 작업부담요인을 개선하기 위한 것이며 이를 위해 일상 작업과 동일하게 작업방법과 수행 속도를 유지해 줄 것을 설명하였다(Whang, 1987). 촬영은 batch 단위의 칭량작업을 기준으로 순간 끊김이 없이 수행하였다(Barnes, 1980). 촬영순서는 칭량 처방서 확인, 칭량용기 준비, 칭량용기 청소, 칭량원료 확인, 원료 투입과 확인, 칭량용기 운반 및 적재, 드럼교환 순서로 촬영하였다(Park et al., 1996). 이중 정형화된 작업을 수행하는 작업내용은 3회가 촬영되었다.

2.4 Work analysis and time measurement

3회에 걸쳐 촬영된 칭량공정의 시간은 평균 358.7초이고 표준편차는 9.29였다. 이중 평균시간과의 편차가 작은 356초 촬영공정을 재생하여 작업분석 및 시간관측을 실시하였다. 작업분석 방법은 1초 간격으로 켑처한 사진을 통해 작업자세를 분석하였다. Whang(1987)은 요소작업을 다음과 같이 6가지로 분류할 것을 권고하고 있다. 측정 가능한 최소시간으로 분류할 것, 사람요소와 기계요소로 분류할 것, 작업특성으로 분류할 것, 규칙적 요소와 불규칙적 요소로 분류할 것, 시점과 종점으로 분류할 것, 연합작업은 단독작업으로 분류할 것으로 권고하는 내용으로 실시하였다. 이와 더불어 작업을 수행하는 자세가 변화되는 기준을 추가하여 분류하였다. Figure 2는 분석한 내용의 일부를 제시한 것이다.

W/E No	Work elements / No(pictures)
25	Moving right hand to grab the pump motor switch. /46
26	Using the right hand to turn on the switch to start insert of the contents, while gun in the left hand pointing to barrel. /47
27	Inserting the contents while left hand was holding the gun and right hand was holding the hose /48 /49
28	Extending right hand to the location of the switch while maintaining the left hand in the same condition /50
29	Using right hand to hold and move the pump to check the status of remaining, while inserting the contents and maintaining the left hand in the same condition. /51 /52 /53 /54
30	Detecting that the contents of the drum has been exhausted and turning off the pump switch. /55 /56

Figure 2. Examples of job classification and working posture

요소작업의 시간분석은 작업자세의 변화가 시작되어 다른 자세로 변화가 시작하기 전까지의 켑처한 사진 장수에 1초를 곱하여 산출하였다. 이와 같은 방법으로 1batch의 칭량된 액상원료는 평균 4종이었다. 요소작업 수는 총 148개로 분석되었다. 액상원료의 칭량작업에서 사용한 도구는 원료를 토출하는 건, 칭량용기, 용기대차, 드럼, 드럼대차, 내용물 전동 펌프, 작업실적을 기록하는 터치 스크린과 자판 등으로 구성되어 있다.

2.5 REBA analysis and ratio of exposure time calculation

액상 칭량작업은 상체와 하지를 전부 사용하고 동시에 보행을 하는 작업이 포함되어 있으므로 REBA을 사용하였다 (Hignett and McAtamney, 2000). REBA 측정은 요소작업으로 분석한 총 148개의 작업자세를 측정하였다. 노출시간 비율은 식 1과 같이 REBA Score 8(Risk Level 3) 이상인 요소작업에 대해 REBA Score와 시간을 곱한(REBA $Score_i \times T_i$) 값을 REBA Score가 1부터 15까지의 모든 요소작업에 대해 REBA Score와 시간을 곱한 값으로 나누어 산출하였다.

Ratio of Exposure Time =

$$\frac{\sum_{i=8}^{15}(\text{REBA score}_i \times \text{Work Element Time}_i)}{\sum_{i=1}^{15}(\text{REBA score}_i \times \text{Work Element Time}_i)} \times 100 \quad (1)$$

2.6 Element work selection and working posture improvement

개선할 요소작업의 도출은 REBA의 Risk Level이 High에 해당하는 REBA Score 8 이상의 요소작업으로 하였다. 작업자세는 Score A(허리, 목, 다리, 취급 무게), Score B(어깨, 팔꿈치, 손목, 손잡이), Activity Score에서 점수가 높게 평가된 부분을 개선하였다. Idea 도출은 Barnes(1980)와 Whang(1987)이 제시한 ECCS(Eliminate, Combine, Change, Simplify)와 ECRS(Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify)를 따랐다. 작업개선 아이디어 구상은 작업수행 시 취급되는 도구와 작업대 등을 일정비율로 축소하여 스케치를 하였다. 동시에 REBA Score가 높게 평가 되는 요인을 제거할 수 있는 작업방법과 자세를 구상하였다. 이를 바탕으로 새로운 도구와 작업방법을 설계한 후 개선을 실시하였다.

3. Results

3.1 Working posture before improvement

3.1.1 Result of REBA analysis

작업자세의 변화 시점을 기준으로 분류한 요소작업은 총 148개이다. REBA 분석을 실시한 결과, Figure 3과 같이 분석되었다. REBA Score 11 이상의 작업은 8가지로 주로 액체원료가 담긴 드럼통 취급작업과 수동펌프를 옮기는 작업

으로 나타났다. 이 작업자세의 발생 요인은 바닥과 드럼 중량으로 인한 마찰력이었고, 모터펌프의 긴 파이프를 드럼에 조립하기 위한 자세였다. 또한 REBA Score 8~10의 작업은 46가지로 주로 드럼통을 정 위치에 조정하는 작업, 사각 Can 통의 원료를 따르기 위해 취급하는 작업, 칭량용기 통 안을 닦는 작업, 노즐 건을 이용하여 내용물을 투입하는 작업, 대차 취급작업, 바 코드 스캐닝과 스위치를 조작하는 작업으로 분석되었다. 이들 작업자세는 대부분이 작업수행을 위해 허리를 굽히고 실시하는 작업으로 나타났다.

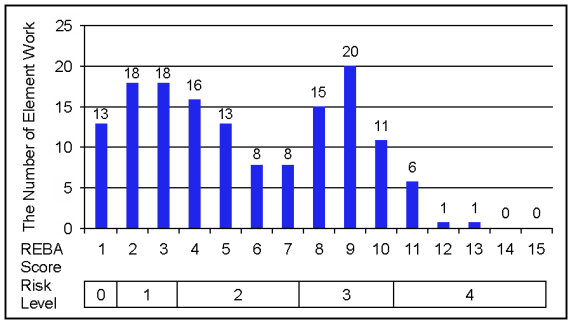


Figure 3. Number of work elements per REBA Score

3.1.2 The time measurement of REBA Score

측정된 총 148개의 요소작업에 대하여 REBA Score 별 시간측정을 실시하여 Figure 4와 같이 분석되었다. 시간측정은 작업자세가 변하는 시점과 종점 사이에서 1초 단위로 캡처한 사진의 수를 세는 방법으로 실시하였다. 이 시간은 동일자세의 유지시간을 의미한다. Risk Level 3~4의 REBA Score는 8점이 30초, 9점이 47초, 10점이 19초, 11점이 9초, 12점은 2초, 13점은 1초가 분석되었다. 이는 전체 작업시간의 356초 중 108초이며 점유율은 30.3%로 분석되었다. 요소작업내용은 REBA 분석결과에서 분석된 내용과 동일하게 실시하였다.

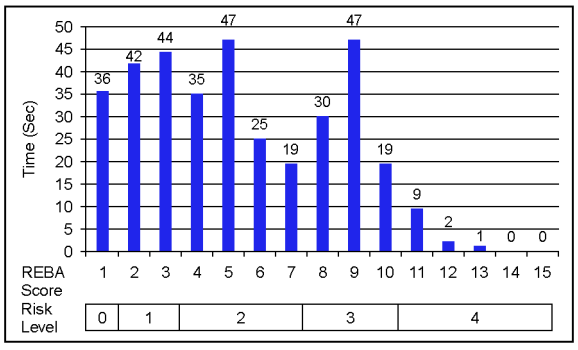


Figure 4. The time measurement of REBA Score

3.1.3 Ratio of exposure time calculation

1batch 작업을 148개의 요소작업으로 분류한 기준을 바탕으로 측정한 시간과 REBA Score의 Data을 사용하여 식 1을 기반으로 다음과 같이 산출되었다. REBA Score 8(Risk Level 3) 이상인 요소작업에 대한 REBA Score와 시간을 곱한 값은 989(= 30 × 8 + 47 × 9 + … 0 × 15)로 산출되었다. 또한 REBA Score가 0부터 15까지의 모든 요소작업에 대해 REBA Score와 시간을 곱한 값은 1899(= 36 × 1 + 42 × 2 + … 0 × 15)로 REBA Score 8 이상인 노출시간 비율은 52.1%으로 산정되었다.

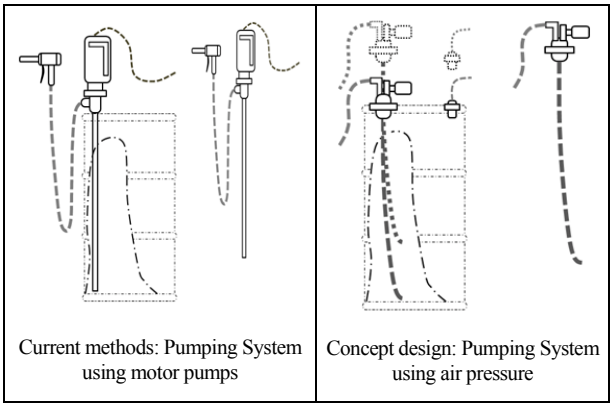
3.2 Working posture improvement for work elements

작업개선은 Risk Level 4, 3의 작업자세를 대상으로 실시하였다. REBA Score 11 이상의 작업들은 Figure 5와 같이 모터펌프를 옮기고, 드럼통을 취급하는 작업들이었다. 이 작업자세의 발생원인은 수동펌프에 달려있는 1.2m의 파이프를 드럼통에 넣거나 빼는 자세이고, 대차에서 적치대 위의 드럼통을 교환하는 작업자세로 나타났다.

Working posture for moving the motor pump	Working posture for handling the drum to exchange	Working posture for positioning the drum

Figure 5. Working postures higher than REBA Score 11 (Risk Level 4)

이 작업자세는 왼손은 건을 잡고 오른 손으로 모터펌프를 잡아 들어올리는 과정에서 발생하였다. 어깨를 중심으로 위팔의 각도가 90° 이상으로 올리고 아래팔은 위팔의 수직선에서 100° 이상을 유지한 후 손목은 15° 이상의 꺾임 상태에서 비틀림이 발생하는 자세이다. 이 작업방법의 자세를 삭제(Eliminate)하기 위하여 Figure 6과 같이 공기압력을 사용하는 Pumping System을 구상설계 후 적용하여 작업방법을 변경시켰다. 또한 압력 안전밸브도 설치하였다. 그 결과 펌프무게의 경량화(3Kg 이하)로 손목의 굽힘이나 비틀림의 발생을 예방할 수 있었다. 또한 드럼통 내부의 파이프를 유연호스로 변경한 결과는 어깨를 중심으로 위팔의 각도를 20~45° 사이에서 아래팔은 60~100° 사이를 유지하는 작업자세로 변경할 수 있었다.

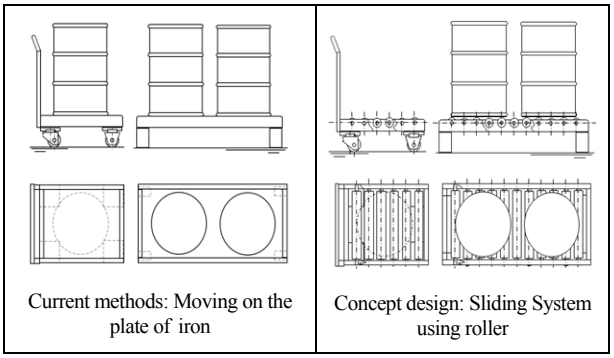


Current methods: Pumping System using motor pumps

Concept design: Pumping System using air pressure

Figure 6. Concept design for pumping System

드럼통을 교환 시 무게는 원료가 가득 있을 경우 180~200Kg이며 드럼 통의 무게는 18~20Kg이다. 이 드럼을 이동시키는 작업자세들은 허리를 20~60° 사이, 또는 60° 이상으로 굽힘과 동시에 비틀림이, 목은 0~20° 사이에서 옆으로 비틀림이, 다리는 30~60° 사이에서 10Kg 이상의 무게를 움직이기 위한 갑작스런 힘이 필요하였다. 위팔은 45~90° 사이, 아래팔은 0~60° 사이, 손목은 비틀림 상태이고, 손잡이가 없고 불안한 상태의 작업자세이다. 이를 개선하기 위한 아이디어는 Figure 7과 같이 대차와 적재대의 높이를 동일하게 하고, 드럼통 바닥에서 발생하는 마찰력을 제거하기 위해 Roller을 설치하였다. 그 결과 허리는 0~20° 사이, 목의 비틀림은 발생이 안되었고, 다리는 걷거나 선 자세이며, 위팔은 20~40° 사이, 위팔은 10~100° 사이, 손목은 −15~15° 사이의 자세로 드럼통 끝 단을 자연스럽게 미는 작업자세로 개선되었다.

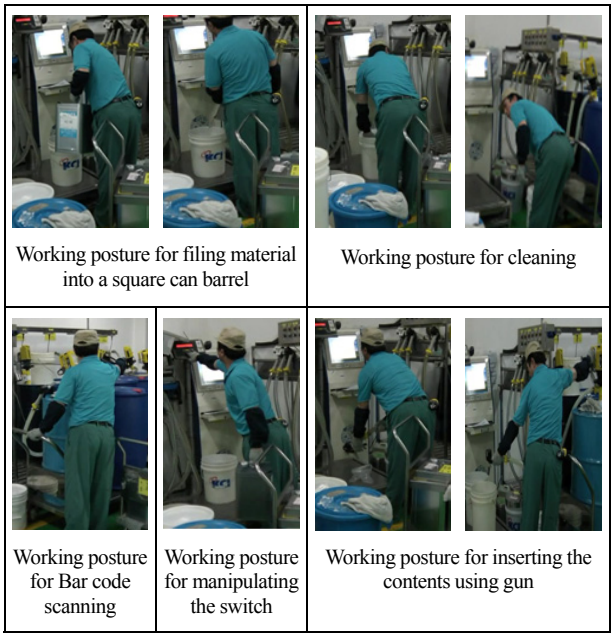


Current methods: Moving on the plate of iron

Concept design: Sliding System using roller

Figure 7. Concept design for Sliding System

REBA Score 8~10 이상의 작업자세들은 연료를 칭량통에 토출시켜 칭량하는 작업과 통을 세정 및 소독하는 준비작업에서 나타났다. 이 작업자세들은 Figure 8과 같다.



Working posture for filing material into a square can barrel

Working posture for cleaning

Working posture for Bar code scanning

Working posture for manipulating the switch

Working posture for inserting the contents using gun

Figure 8. Working postures with REBA Score 8~10, Risk Level 3

이 작업들은 사각 Can 통(20~30Kg)의 원료를 따르는 작업, 노즐 건으로 내용물을 토출하는 작업, 바 코드를 스캐닝 하는 작업, 스위치를 조작하는 작업들이다. 이 작업자세들은 허리를 20~60° 사이 또는 60° 이상 굽히고, 무릎은 30~60° 굽힘이 발생하며, 10Kg 이상을 들기 위해 순간적인 힘이 필요하였다. 팔은 45~90° 사이에서 위팔이 벌어지거나 어깨 들림이 필요하고, 아래팔은 0~60° 또는 100° 이상이며, 손목은 15° 이상 들리거나 꺾임이 발생하는 자세로 손잡이를 이용하지만 자세는 불안한 자세들이었다. 이 자세들은 각각의 포장단위가 상이한 원료를 개별로 수동 칭량하는 방법에서 기인된 것이었다. 1차 개선은 입고단위 표준화를 위해 원료 공급회사와 협의하여 드럼 통으로 포장단위를 변경하였다. 다음으로 Figure 6에서 구상설계 안을 기반으로 원료량을 수동으로 제어하는 방법을 전산에 등록된 칭량 Data을 사용하여 자동제어 방법으로 구상설계 하였다. 또한, 각 원료단위로 사용하던 수동노즐 9개의 건을 1개 장소에 설치하여 자동으로 요구량을 동시에 토출시킬 수 있도록 Figure 9와 같이 개선하였다.

칭량 통의 세정 및 소독을 위한 작업도 이 작업자세가 발생하는 요인을 삭제하는 방향으로 아이디어를 구상하였다. 작업이 발생하는 요인은 칭량 통의 보관방법에서 나타났다. 칭량 통 내부를 세척 후 건조되지 않은 상태에서 겹쳐 쌓은

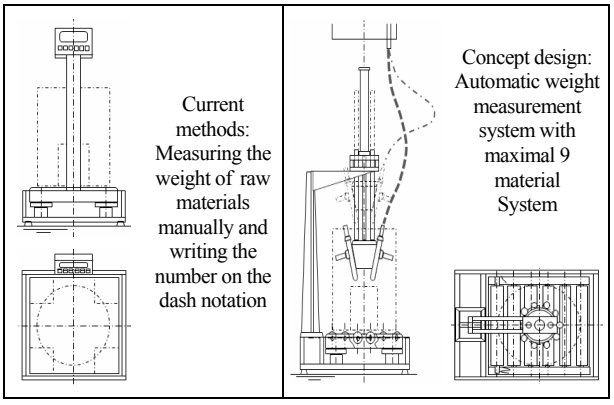


Figure 9. Concept design of Automatic Weight measurement System initiative

상태이다. 이는 대기중의 오염원이 내려 앉을 수 있도록 입구를 위로 보관하고 있었다.

그 결과, 칭량 통을 매번 사용 전에 세정과 소독작업을 실시하여야 했다. 이 보관방법을 Figure 10과 같은 방법으로 칭량 통을 겹쳐서 적재하되 통을 엎어 놓는 방법을 구상하였다. 또한 통 입구가 바닥에 직접 닿지 않도록 스테인리스 재질의 메쉬 망을 사용하여 개선하였다. 이 결과 작업자세는 허리는 똑바로 서거나 0~20° 사이, 목은 0~20° 사이, 발은 걷거나 두발 중신으로 선 자세이며 취급하는 무게는 5Kg 미만으로 나타났다. 또한 팔과 손의 자세도 위팔은 −20~20° 사이, 아래팔은 60~100° 사이이고, 손목은 −15~15° 사이로 손잡이는 적절한 손잡이나 손잡이였으며 자세는 안전한 자세로 변화되었다.

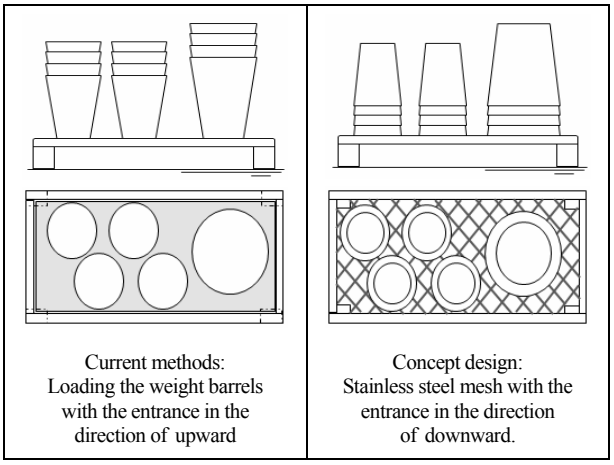


Figure 10. The improvement of keeping method

3.3 Working posture after improvement

개선 후 동일 제형과 Batch의 칭량작업을 촬영하고 요소작업의 자세분석을 실시한 결과는 총103개로 분석되었다. 이를 대상으로 작업개선 전과 같은 방법으로 REBA 측정, 시간측정, 노출비율을 다음과 같이 산출하였다.

3.3.1 Result of REBA analysis

개선 후 액상칭량 공정에 대해 작업분석을 실시한 결과는 총 103개의 요소작업으로 분류되었다. 이 요소작업에 대하여 REBA 분석을 실시한 결과 Figure 11과 같이 분석되었다. REBA Score 8 이상의 요소작업은 제거되었고 REBA Score 4~7의 요소작업은 다소 증가되었음을 알 수 있다. 이는 개선 전의 148개 요소작업 수 보다 30.4%가 감소되었다.

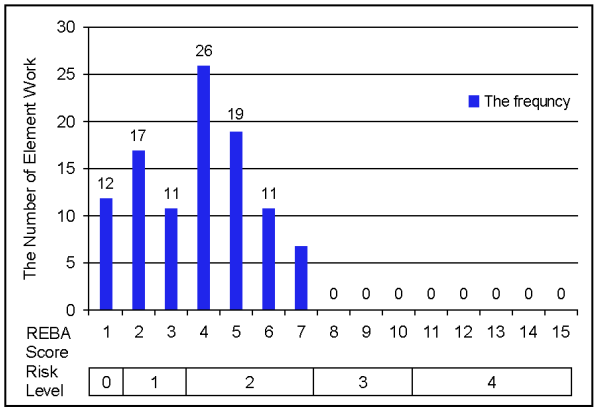


Figure 11. Number of work elements per REBA Score after improvement

3.3.2 The time measurement of REBA Score

총 103개의 요소작업에 대하여 REBA Score 별 시간측정의 결과는 Figure 12와 같이 분석되었다. Risk Level 3~4의 요소작업들이 대부분 삭제를 통한 개선 대책이므로 이에 해당하는 작업시간은 0이 되었다. 요소작업의 총 시간은 191초로 나타났으며 개선 전의 총 시간 356초보다 46.3%가 단축된 시간이다. 또한 REBA Score 8 이상인 요소작업시간 108초(점유율, 30.3%)는 제거된 것으로 나타났다.

3.3.3 Ratio of exposure time calculation

노출비율은 개선 후 103개의 요소작업으로 분류한 기준으로 측정한 시간과 REBA Score Data을 사용하여 식 1을 기반으로 다음과 같이 산출하였다. REBA Score 8 이상인

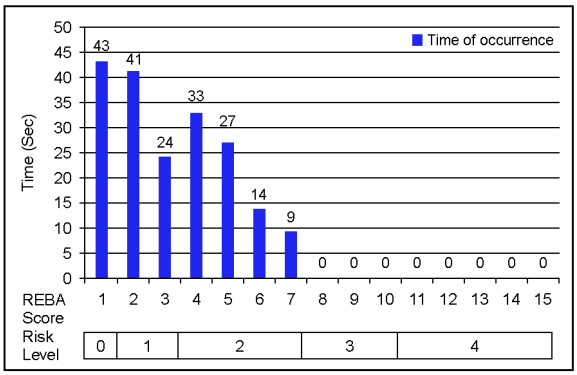


Figure 12. The time measurement of REBA Score after improvement

요소작업에 대한 REBA Score와 시간을 곱한 값은 0(= 0 × 8 + 0 × 9 + … 0 × 15)으로 산출되었다. 또한 REBA Score가 0부터 15까지의 모든 요소작업에 대해 REBA Score와 시간을 곱한 값은 611(= 43 × 1 + 41 × 2 + … 0 × 15)로 산정되었다. 식 1을 사용하여 REBA Score 8 이상인 노출시간 비율은 0%으로 산정되었다. 이는 REBA Score 8 이상인 노출시간 비율이 개선 전 보다 52.1%가 개선된 것으로 나타났다.

4. Discussion and Conclusion

본 연구는 칭량작업을 대상으로 REBA Score와 작업자세의 변화 시점을 기준으로 분류한 요소작업의 시간을 기초로 REBA Score 8 이상의 노출시간 비율을 사용하여 작업자세 부하 개선 전 후의 결과를 비교하였다. 개선 전 작업방법에 대하여 1초 단위로 캡처한 자세가 변화하는 시점으로 분류하였다. 이 작업자세를 기준으로 REBA 분석을 실시하였다. 동일한 작업자세를 1개의 요소작업으로 분석한 결과는 148개였다. 이 중에 REBA Score 8 이상, Risk Level 3과 4의 요소작업을 대상으로 개선을 실시하였다. 그 결과, 개선 후는 103개로 개선 전의 요소작업 수 보다 30.4%가 감소되었다. 요소작업 별 시간측정의 결과는 개선 전의 총 시간 356초에서 191초로 46.3%가 단축되었다. 또한 REBA Score 8 이상의 노출시간 비율도 개선 전 52.1%에서 개선 후 0%로 52.1%가 개선되었다. 이는 Risk Level 3~4의 REBA Score는 8점 이상인 요소작업자세를 Barnes(1980), Whang(1987)이 권고하는 ECCS(Eliminate, Combine, Change, Simplify), ECRS(Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) 중 E(Eliminate)를 아이디어 구상의 기초를 둔 결과라 할 수 있다. 또한 구체적인 구상설계를 위해 개선 대상의 요소작업자세 부담이 발생하는 요인을 명확히 하여 근본적인 대안을 찾을 수 있었다. 또한 개선 후 작업방법은 1인 1대 칭량작업에서 1인 2대 칭량작업으로 변경하였다.

본 연구는 현장을 중심으로 실시한 결과로 심 · 물리학적 조사를 할 수 있는 작업인원수(1명)가 부족하여 불편도에 대한 설문조사는 실시하지 못하였다. 그러나 Park et al.(2006)의 연구결과에서 제시한 불편도의 모델에서 독립변수로 사용된 3가지 중 REBA 평가기법을 사용한 작업부하 수준, 시간×노출비율이 포함되어 있다. 이는 REBA Score 8 이상(Risk Level 3, 4)의 요소작업을 REBA Score 7 이하로 개선하거나 시간을 감소시키면 불편도가 감소하는 것을 알 수 있다. Sul et al.(2007)의 목에 대한 작업관련 근골격계 증상과 물리적 위험요인간의 관계에서는 물리적 위험요인의 독립변수 13가지 중 작업자세의 노출시간이 포함되어 있다. 노출시간 수준은 1시간 미만, 1에서 4시간까지, 4시간 초과로 조사되었다. 연구결과는 높은 물리적 요인과 작업 노출시간이 4시간 초과일 때는 교차비가 3.43, 높은 물리적 요인과 작업 노출시간이 1시간 미만까지의 교차비가 1.92, 낮은 물리적 요인과 작업 노출시간이 1에서 4시간까지는 교차비가 0.63이었다. 이 연구의 결과에서도 노출시간이 물리적요인과 상호작용하여 목에 대한 작업관련 근골격계 질환이 증가 한다고 하였다. 본 연구의 결과도 작업부하 수준이 높은 Risk Level 3과 4의 노출시간 비율을 개선한 결과이므로 유사한 효과를 기대할 수 있다. Lee et al.(2002)의 심물리학적 방법을 이용한 다양한 하지자세의 부하 평가 연구에서 1분간 정적인 자세에서 연구한 결과이므로 현장에서 작업자가 느끼는 결과와 비교할 필요가 있다고 하였다. 지금까지 작업자세의 평가 연구들은 단위작업을 기준으로 유해작업자세에 대해 단위작업 중 최대부하(Cho, 2009), 작업부하의 평균으로 불안전한 작업자세를 평가하거나 개선하는데 중점을 두었다. 그러나 본 논문은 Risk Level 3과 4을 개선한 결과, 요소작업 수와 시간이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 현장에서 근무하는 사원들에게 작업수행 시 불안전한 작업자세의 예방, 불편도를 감소시킴과 동시에 칭량공정 시간을 단축하여 생산성 향상에 기여하는 것으로 나타났다. 이는 사업계획에서 향후 물량 증가에 따른 잔업 및 인원 증가를 배제시킬 수 있는 대책에도 기여 할 수 있을 것이다.

본 논문의 연구 결과는 REBA Score 8 이상의 노출시간 비율을 이용하여 칭량공정의 작업자세에서 Risk Level 3과 4을 개선하면 작업부하수준과 노출비율이 변화됨과 동시에 작업시간도 단축되고, 작업자의 심리적 불편도가 낮아짐을 보인 것이다. 따라서, 이 결과는 근골격계질환 예방과 경영성과에 기여 할 것이다. 추후 본 연구사례를 바탕으로 타업종에 대하여 지속적인 적용 사례 연구가 필요하다.

References

Barnes, R. M., *Motion and Time Study Design and Measurement of Work*, 7th ed., Wiley, 1980.

Bernard, B., Musculoskeletal disorders and workplace factors: A critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, low back, *US Department of Health and Human Services*, Publication No, pp97-141, 1997.

Brown, R. and Li, G., The development of action levels for the 'Quick Exposure Check' (QEC) system, Contemporary Ergonomics, (ed. P.T. McCabe), London: Taylor & Francis, 41-46, 2003.

Cho, M. S., A Study on Facility Improvement Plan of Metal Product Companies for Reducing the Musculoskeletal Disorders Risk Factors, *Journal of the Korean Institute of Plant Engineering*, 14(4), 27-34, 2009.

Hignett, S. and McAtamney, L., Rapid Entire Body Assessment (REBA), *Applied Ergonomics*, 31(2), 201-205, 2000.

Jeong, B. Y., Risk Factors Analysis System: Current Issues and Future Directions, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 26(2), 123-129, 2007.

Karhu, O., Kansi, P. and Kuorinka, I., Correcting working posture in industry: A practical method for analysis, *Applied Ergonomics*, 8(4), 199-201, 1977.

Kim, K. S., Park, J. K. and Kim, D. S., Status and Characteristics of Occurrence of Work-related Musculoskeletal Disorders, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(4), 405-422, 2010.

Lee, I. S., Jung, M. K. and Kee, D. H., Evaluation of Postural Load of Varying Leg Postures Using the Psychophysical scaling, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 21(4), 47-65, 2002.

Macleod, D., *The office ergonomics kit*, lewis Publisher, New York, 1999.

Mcatamney, L. and Corlett, E. N., RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomics*, 24(2), 91-99, 1993.

Park, J. K., Park, S. J. and Jung, E. S., Psychophysical Evaluation of Postural Stresses for Combined Task at Varying Working Time and Workload of Single Tasks, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 25(1), 7-16, 2006.

Park, D. B.. Lee, S. K., Jang, H. G. and Go, S. B., *IE work measurement and improvement technology to field reform practice*, Korea Management Association Consulting Publishers, 1996.

Shin, C. K. and Jeong, B. Y., Comparison of Task Assessment Results between Work Sampling Scenes and Extreme Task Scenes, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 27(3), 53-60, 2008.

Sul, J. G. Kang, D. M., Lee, S. I. and Kim, Y. K., Dose-Response Relationships between Work-Related Musculoskeletal Neck Symptom and Physical Risk Factors (2 year follow-up study), Korean J Occup Environ Med, 19(2), 145-155, 2007.

Whang, A., *Theory of Work Management*, Youngji Publishers, 1987.

Author listings

Sung Koon Lee: cellsg_lee@yahoo.co.kr

Highest degree: Ph.D. Department of Industrial Engineering, Ajou University

Position title: Ph.D. Department of Industrial Engineering, Ajou University

Areas of interest: Ergonomics, Work Design

Peom Park: ppark@ajou.ac.kr

Highest degree: IOWA State Univ. HCI

Position title: Professor, Department of Industrial Engineering, Ajou University

Areas of interest: Ergonomics, HCI

Date Received : 2012-01-12

Date Revised : 2012-05-10

Date Accepted : 2012-05-11