# Revised NIOSH Lifting Equation의 현장 적용

기 도형*, 정 민근**, 임 종호**

* 계명대학교 산업공학과
** 포항공과대학교 산업공학과

## ABSTRACT

A local manufacturing company in which low back pain(LBP) complaints were frequently reported was selected, and regularly performed lifting tasks were investigated using questionnaires and the 1991 NIOSH lifting guide. Among several processes of manufacture in the company, three processes -forming, heating and packing- were studied, where most of tasks were performed through manual materials handling(MMH). Questionnaire surveys showed that anthropometric data such as stature, weight and somatotype did not affect and weight of load influenced significantly the incidence of LBP, and workers who experienced LBP was older than the inexperienced. In addition, safety education conducted at the company was found to be ineffective in preventing LBP injuries. Lifting indexes(LI) was ranged from 0.86 to 17.0 with an average of 4.49, which revealed that tasks performing in the selected factory were in danger of LBP, and should be ergonomically redesigned. The critical factor reducing LI was found to be the horizontal component in all three processes, and most of weight of load was heavier than load constant(23kg) of the 1991 NIOSH lifting equation in heating process and packing.

## I. 서 론

1991년의 NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health)의 조사에 의하면 미국의 일반적인 작업장에서 행해지는 작업 중 약 1/3이 인력운반작업(Manual Materials Handling MMH) 작업으로 이루어지고 있음을 보이고 있다[4]. 미국보다 자동화의 정도가 뒤진 우리나라에서는 구체적인 통계자료는 없지만 이 보다 더 많은 부분이 MMH 작업으로 이루어질 것으로 추정된다. MMH 작업은 최근까지 수십여년간 인간공학분야와 이와 관련된 여러분야에서 많은 관심과 연구가 진행되어 온 분야이다. 이는 MMH 작업시 과도한 중량물의 취급, 작업과정에서 반복적으로 발생하는 몸통(trunk)의 비틀림(Twisting), 구부림(Bending)등이 요통(Low back pain:LBP)을 유발하는 주원인으로 알려져 있기 때문이다[2]. 따라서 본 연구에서는 요통 재해다발 업종에 대한 세부적인 작업현황 조사를 위하여 포항지역의 작업장을 한 곳 선정하여, 요통재해에 관한 설문지 조사 및 Revised NIOSH Lifting Guideline과의 비교를 통하여 인력운반(Manual materials handling:MMH) 작업의 현황과 문제점을 파악하고, 그 개선방향을 제시하고자 한다. 선정된 회사에서 '85년부터 '93년까지 88건의 안전사고가 발생하였는 데, 이 중 요통재해가 25건으로 전체의 약 28%나 차지하여 요통재해 빈발업체라 할 수 있다. 이는 포항지역의 '92년과 '93년 요통재해 평균 발생율 13%를 크게 넘는 수치를 보이고 있

할 수 있다.

표 2. 요결 공정과 요출 공정의 작업장 정보

| 작업번호 | 손의 위치(") | | | | 수직이동 | 비대칭 정도(°) | | Coupling |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 원점 | | 목적지 | | 거리(") | 원점 | 목적지 | |
| | H | V | H | V | D | A | A | |
| 1 | 26.0 | 50.4 | 15.4 | 0 | 5.6 | 100 | 130 | fair |
| 2 | 20.1 | 38.2 | 15.4 | 0 | 5.9 | 100 | 130 | fair |
| 3 | 14.2 | 28.4 | 15.4 | 0 | 15.9 | 100 | 130 | fair |

다른 작업에서도 CLI가 1.0을 초과하고 있서, 위험한 요소를 내포하고 있는 작업으로 볼 수 있다. 작업물의 중량이 10.0kg인 작업은 작업 1에서 개선된 대안의 작업장을 따를 경우 작업 회수는 분당 1회, 작업 지속 시간은 2시간 이내로 하여야 안전한 작업이 된다. 그리고 작업물의 중량이 25kg 이상인 작업은 위와 같은 대안으로는 안전한 작업으로 재설계가 불가능하므로 자동화나 다른 기계적 보조장치를 도입하는 등의 새로운 대안을 모색하여야 한다.

## IV. 결론 및 추후 연구방향

요통재해의 발생은 신장, 체중, 체형 등의 인체측정치에는 큰 영향을 받지 않으며, 작업 대상물의 중량이 중요한 역할을 하는 것으로 나타났다. 요통 경험자의 대부분은 의사의 검진을 받는 것으로 나타나, 요통의 심각성에 대한 인식수준은 높은 것으로 나타났다. 검진 결과는 근골격계 이상보다는 신경계통의 이상이 많은 비중을 차지하는 것으로 분석되었다.

Revised NIOSH lifting guideline과의 비교, 분석에서는 CLI 값이 0.86에서 17.0까지로 나타나, 1991 NIOSH lifting equation의 LI가 약간 Overestimate한다는 사실[3]을 인정하드리도 공정 전반의 작업 내용이 요통 발생의 위험 요소를 안고 있다고 할 수 있다.

추후 실제 작업장에 대한 정확한 위험 요인의 파악을 위해서는 작업 조건에 대해 생체역학적(Biomechanical) 분석과 생리학적(Physiological) 분석이 요구된다.

## 참고문헌


[1] 기 도형, 정 민근, 산업재해보상에서의 요통재해 조사 및 분석, 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, 1994.

[2] Cook, T. M., and Neumann, D. A., 1987, The effects of load placement on the EMG activity of the low back muscle during load carrying by men and women, Ergonomics, 30, 1413-1423.

[3] Karwowski, W., and Brokaw, N., "Implicatons of the proposed revisions in a draft Revised NIOSH lifting guide(1991) for job redesign : a field study, Proc. of the Human Factors and Ergonomics society 36th annual meeting, pp. 659-663, 1992.

[4] NIOSH, "Work practice guide for manual lifting", DHHS(NIOSH) Publication, 1981.

[5] NIOSH, "Proposed national strategies for the prevention of leading work-related diseases and injuries-musculoskeletal injuries", DDHS(NIOSH) Publication, pp. 89-129, 1986.

작업 1은 6 kg의 벽돌을 8시간 동안 분당 1회 벽돌을 성형한 다음 Pallet에 쌓는 작업이며, CLI 값은 2.0으로 위험한 작업으로 분석되었다. 작업개선 방법으로는 작업장 자체의 개선은 많은 시간과 비용이 소요되므로, 현재의 작업방법을 개선하면 수평거리를 약 30cm, 비대칭의 정도는 약 90°, 그리고 작업시간을 2시간으로 하면 CLI값이 0.66으로 감소하여 안전한 작업으로 재설계 된다.

나머지 13개의 작업에 대한 CLI값은 0.86에서 8.8까지 분포하여 한 작업을 제외하고는 대부분 요통재해를 비롯한 근골격계(Musculoskeltal system)에 산업재해를 입을 가능성이 높은 위험한 작업으로 분석되었다. 작업 1과 12를 제외한 나머지 작업에 대한 대안을 고려할 때, 작업 1 분석시에 개선된 작업장 정보 -즉, 손의 위치의 수평거리는 30cm(11.8"), 비대칭 정도는 90°- 와 작업시간(2시간)은 그대로 따르기로 한다. 위와 같은 작업장에 대해 여러가지의 작업회수에 CLI 값을 계산하여보면, 2.5 kg까지의 물체는 분당 3회까지의 CLI가 1.0 이내에 들며, 4회이상을작업하면 Frequency multiplier가 0.0이 되어 CLI가 무한대가 된다. 7.5kg까지의 물체는 분당 2회,

표 1. 성형 공정의 작업장 정보

| 작업번호 | 손의 위치(") | | | | 수직이동 | 비대칭 정도(°) | | Coupling |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 원점 | | 목적지 | | 거리(") | 원점 | 목적지 | |
| | H | V | H | V | D | A | A | |
| 1 | 23.6 | 26.4 | 35.4 | 32.0 | 5.6 | 100 | 130 | fair |
| 2 | 23.6 | 26.4 | 29.5 | 20.5 | 5.9 | 100 | 130 | fair |
| 3 | 23.6 | 26.4 | 23.6 | 10.6 | 15.9 | 100 | 130 | fair |

10kg 물체는 분당 0.5회 이내로 작업을 하여야 안전한 것으로 분석되었으며, 12kg의 물체를 작업은 분당 0.2회(시간당 12회) 정도의 작업을 하면 대체로 안전한 것으로 분석되었다. 벽돌의 무게가 25 kg과 40 kg이 되는 두 작업은 CLI 값을 1.0이내로 줄일 수 없으므로, 이 두 작업에 대해서는 기계 보조물을 사용하든지 혹은 현재 추진하고 있는 자동화로 작업을 대체하여야 한다.

### 3.2 요결 및 요출 공정

요결 공정은 성형공정에서 만들어진 내화벽돌을 고온의 가열로에서 굽는 공정으로, 성형공정에서 Carter에 실려 나온 벽돌을 가열로에 넣을 수 있는 Pallet에 벽돌을 올려 쌓는 공정이다. 요출공정은 요결공정에서 Rail위의 Pallet로 실려 나온 벽돌을 출하를 위하여 Packing하는 과정으로 약 132cm 높이로 벽돌을 3단으로 다른 Pallet에 내려 쌓는 공정이다. 요결 공정과 요출 공정의 작업장 정보는 표 2에 나와 있다. 여기서는 5개 작업에 대해서 분석을 하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

작업 1은 14kg의 내화벽돌을 분당 0.3회씩 3단 높이로 쌓고(요결 공정), 내리는(요출 공정) 작업을 8시간 동안 수행하는 작업이며, CLI가 3.3으로 1.0을 초과하여, 산업재해의 위험을 내포하고 있음을 보이고 있다. 작업 재설계에 있어 NIOSH lifting guideline에서는 발을 한 두발짝 떼는 것은 허용하므로, 이를 이용하여 수평거리를 모두 25cm 이내로 유지하고, 작업지속 시간을 2시간 이내로 줄인다. 이렇게 작업을 재설계하면, CLI가 1.16으로 대체로 안전한 작업으로 판정

### 2.3 안전교육 상태

설문지의 안전교육에 관한 항목에는 작업안전분석, 안전교육, 요통예방을 위한 허리운동, 작업시에 보조장치 사용 여부를 묻는 항목이 포함되었으나, 모든 항목에 대해서 요통 경험자군과 무경험자군에서 차이를 보이지 않았다.

## III. NIOSH Lifting Guideline과의 비교

미국의 NIOSH(National Institute of Occupational Safety and Health)에서는 1981년에 Lifting Guideline을 발표하여 인양작업(Lifting task)에 있어서 Action Limit(AL)과 Maximum Permissible Limit(MPL)을 제시하였다[4]. 1991년에 이를 개정한 Revised NIOSH Lifting Guideline를 발표하여 1981년 Guideline의 AL과 MPL의 개념을 대신하는 RWL(Recommended Weight Limit)과 LI (Lifting Index)를 제시하였다[5]. Revised NIOSH lifting equation에서 RWL을 계산하는 식은 다음과 같다.

RWL = LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM

| | Metric | U.S. Customary |
|---|---|---|
| 여기서 LC = Load Constant = | 23 kg | 51 lb |
| HM = Horizontal Multiplier = | (25/H) | (10/H) |
| VM = Vertical Multiplier = | 1-(.003\|V-75\|) | 1-(.0075\|V-30\|) |
| DM = Distance Multiplier = | .82 + (4.5/D) | .82 + (1.8/D) |
| AM = Asymmetric Multiplier = | 1 - (.0032A) | 1 - (.0032A) |
| FM = Frequency Multiplier = | From table | From table |
| CM = Coupling Multiplier = | From table | From table |

그리고 LI는 다음과 같이 계산한다.

$$LI = \frac{\text{Load Weight}}{\text{Recommended Weight Limit}} = \frac{L}{RWL}$$

위의 식으로 계산된 RWL과 LI는 각 작업의 위험요소를 파악하고, 그 위험의 정도를 평가하는 데 사용되어진다. 이것을 계산하는 과정은 크게 두 가지 -Single Task, Multiple Task- 로 나누어진다. 본 연구에서 다루고자 하는 작업은 한 가지의 작업으로만 이루어지는 것이 아니라 한 작업자가 여러가지의 작업을 수행하므로 Multiple Task에 해당된다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 설문지 조사에서 작업 회수와 작업 시간 항목에 응답한 성형공정의 14개, 요출, 요결 공정의 5개의 작업에 대해 Revised NIOSH guideline을 적용하기로 한다.

### 3.1 성형공정

성형공정은 분쇄된 원료로 내화벽돌의 형상을 만드는 공정으로, Revised NIOSH lifting guideline에서 Multiple Task에 필요한 성형공정의 작업정보는 표 1에 나와 있다. 각 작업별로 변하는 내용은 작업물의 무게, 작업회수와 작업 지속 시간이며, 이들의 값에 따라 각 작업에서의 CLI값이 계산된다. 성형 공정에서는 14개의 작업을 분석하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

다[1]. 내화벽돌의 생산공정중 성형(Forming process), 요결(Heating process), 요출(Packing) 공정에서 주로 MMH 활동이 이루어지고 있으며, 요통재해도 이 공정들에서 보고되고 있다.

## II. 설문지 조사

작업현장에서의 요통재해에 대한 현황을 파악하기 위하여 일차로 설문지 조사를 수행하였으며, 설문지에는 일반적인 요통재해 설문지에 포함되는 인적사항, 작업관련사항, 요통관련 사항과 안전교육 상태에 대한 질문을 포함하고 있다.

### 2.1 인적사항 및 작업관련 사항

37매의 설문지 중 요통 경험 유무 항목에 요통을 경험한 것으로 응답한 것이 26매였다. 본 연구에서 다루고자하는 성형, 요결과 요출 공정의 부서별 요통 경험자는 요출 공정이 12명, 성형 공정 11명, 그리고 요결 공정에서 3명으로 나타났다.

요통경험 유무에 응답한 37매 중 11매가 요통을 경험하지 않은 것으로 나타났으며, 요통경험자가 무경험자에 비하여 연령은 4세 가량 높게, 물체 무게는 약 18 kg이 무거운 것으로, 그리고 신장과 체중에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

교대근무(3교대, 2교대, 교대근무 없음) 형태에 따른 요통재해 경험 현황은 요통 경험자군에는 2교대가 전체의 24건으로 96%를 차지하고, 반면에 무경험자군에서는 6건으로 67%, 3교대가 33%를 차지하고 있다.

들어올리기, 운반하기, 밀기, 당기기와 내리기 등의 수행직무와 선자세, 앉은 자세, 무릎 구부림, 허리 구부림 등의 작업 자세에서는 요통 경험자군과 무경험자군에서 주목할만한 특성을 나타내지 않았다. 요통재해 경험자군에서 허리 비틀림을 요구하는 작업이 전체의 21건으로 81%를 차지하고 있다. 그리고 요통재해 경험자군에서 무경험자군에 비해 상대적으로 허리 비틀림을 요구하는 작업의 비중이 높게 나타났다(81% 대 64%).

### 2.2 요통 관련 사항

처음으로 요통을 경험한 연령을 보면 직업을 가지게 되는 20대 중반부터 40대 중반까지가 전체의 약 81%(27건 중에서 22건)를 차지하여, 요통재해는 이 시기에 가장 많이 발생함을 보이고 있다. 요통의 발생 장소로는 직장이 전체 27건 중 25건(약 93%)으로 거의 전부를 차지하고 있으며, 퇴근 후 집에서 발생한 것도 2건이 보고되고 있다.

요통경험자 27명의 평균 근속 기간은 5.9년, 최고 기간은 11년(표준 편차 2.9년)으로 제조업의 현장에서 발생하는 요통재해는 건설업체의 급성 요통과는 달리 만성 요통의 비율이 높게 나타났다. 요통 경험자가 스스로 생각하는 요통원인에는 물건 들어올리기, 허리 구부림, 허리 비틈, 갑작스런 허리 운동 등 허리를 포함하는 동작이 많이 포함되어 있는 것으로 분석되었다.

요통경험자 27명 중 23명(85%)이 의사의 검진을 받아 대부분의 요통경험자가 의사의 검진을 받고 있음을 보였다. 그 검진 결과는 일반적인 예상과는 달리 근골격계통의 이상(6건:26%)보다는 신경계통이상(17건:74%)이 많은 것으로 나타났다.