

다단적재작업에 대한 NIOSH 들기작업 지침의 적용

박재희

한경대학교 안전공학과

1. 서론

NIOSH 들기작업 수식(NIOSH lifting equation)은 1981 년대 처음 발표되고, 1994 년 개정된 이후, 들기/내리기 작업에 있어 가장 널리 사용되고 있는 인간공학적 작업분석 평가 도구이다(Waters, Putz-Anderson, and Garg, 1994). Ciriello 와 Snook (1999)는 미국에서 13 년동안 2,442 곳에서의 수동물자취급작업(Manual Materiel Handling Task)을 조사하여, 이 중에 들기/내리기 작업에 대해서는 NIOSH 들기작업 수식을 적용해 그 위험도를 평가 한 바 있다.

우리나라에서도 산업현장의 들기작업 평가에 있어서 NIOSH 들기작업 수식은 가장 널리 사용되고 있는 방법이다(기도형, 정민근, 1995; Lee, Park, and Chun, 1996). 한국 산업안전공단도 근골격계질환 유해요인 조사 지침, KOSHA code H-30 에 NIOSH 들기작업 수식을 들기/내리기 작업을 위한 평가도구로 추천하고 있다(한국산업안전공단 2003).

이렇게 NIOSH 들기작업 수식이 널리 사용되는 이유는 다양한 작업변수를 고려하고 있어 결과의 신뢰성이 매우 높다는 점 외에 배우기가 쉽고 현장 적용이 용이하다는 점에 있다. 산업현장의 조사자들은 대상 작업을 관찰 시 단순히 손의 수평위치(H), 수직 위치(V), 이동거리(D), 비대칭각도(A), 작업빈도(F), 작업시간(T), 커플링(C) 등만을 조사한다면, NIOSH 단순들기 작업 수식에 대입해 작업의 위험도를 쉽게 계산하고 평가할 수 있다. 그러나 적용이 쉽다는 이러한 장점은 단순들기 작업일 때 국한된다. 작업 내용 중 작업변수들이 일정한 값을 가지지 않는 복합들기 작업에 대해서는 그 적용절차가 복잡해 산업현장의 조사자들이 이해하기도 쉽지 않고 적용도 매우 어렵다.

그러나 현실의 많은 들기/내리기 작업은 단순들기 작업보다는 복합들기 작업이 훨씬 많다. 컨베이어 벨트에서 생산된 제품을 팔레트 위에 다단으로 적재하는 작업은 산업현장에서 흔히 볼 수 있는 작업인데 복합들기 작업의 일례이다. 이 작업의 경우 작업물의 중점에서의 수직위치(V) 값이 들기 작업 중 여러 개의 값을 갖게 되어 단순들기 작업의 수식을 적용할 수가 없다. 이런 경우에는 복합들기 작업의 수식과 방법을 적용해야 하나 산업현장의 조사자들에게 그것은 쉽지 않다.

따라서 대안으로 이러한 다단적재 복합들기 작업을 단순들기 작업으로 단순화시켜 계산하는 방법이 고려될 수 있다. 만약에 다단적재 작업에서 계속 변화하는 들기작업의 높이에 대해 이를 하나의 등가를 갖는 고정된 높이로 변환해줄 수 있다면, 이는 단순들

기 작업에 대한 계산으로 들기작업 지수를 구할 수 있게 된다. 본 연구는 이러한 문제를 해결하고자, 다단적재 복합들기 작업을 단순들기 작업으로 변환하는 방법을 제안하였다.

2. 방법

2.1 대상작업

본 연구에서 제안하는 방법을 적용할 수 있는 대상 작업으로는 시점에서 일정한 높이에 있는 작업대상물을 종점에서 다단 적재하거나, 반대로 시점에서 다단 적재되어 있는 작업대상물을 종점에서 일정한 높이에 내려 놓는 작업만을 대상으로 했다. 그리고 각 작업변수들의 값은 다음과 같은 범위 내에서 조작하였다.

첫째, 작업 시 작업자의 자세 중, 손의 수평 위치는 시점은 30cm, 종점은 45cm 로 가정했다. 이는 컨베이어에서 팔레트로 제품을 적재하는 경우의 손의 위치를 감안한 것이다. 시점의 손의 수직위치는 들기 작업에서 최적위치인 75cm 로 고정시켰다.

둘째, 몸통의 비대칭 각도는 0 도로 제한했고 커플링(손잡이)은 보통으로 설정했다. 작업시간도 1 시간 이내인 경우로 고정시켰다.

셋째, 작업변수들 중 무게와 작업빈도는 그 값이 변화되는 모수(parameter)로 설정했다. 가변되는 작업대상물의 무게는 5, 10, 15, 20, 25, 30kg 6 단계로 변화시켰으며, 작업빈도는 분당 1, 2, 4, 6, 8 회로 변화를 주었다. 작업대상물의 높이도 20, 30, 40, 60cm 로 변화를 주었다. 따라서 총 분석대상 작업의 수는 120 개(무게 6 x 빈도 5 x 높이 4) 가 되었다.

2.2 분석방법

복합들기 작업을 단순들기 작업으로 변환시키는 모형을 찾아내기 위한 분석절차는 다음과 같이 수행했다.

첫째, 복합들기 작업에서의 CLI 값 계산 - 앞에서 제시한 120 개의 복합들기 대상 작업에 대해 차례로 복합들기 작업 NIOSH 들기 작업 수식을 적용해 CLI(Cumulative Lifting Index) 값을 계산하였다.

둘째, 단순들기 작업에서의 LI 값 계산 -무게 5,10,15,20,25,30 kg, 빈도 1,2,4,6,8 회/분, 고정된 손의 수직 위치 0,30,60,75,90,120,150cm 수준에 대한조합인 210 개의 단순들기 작업에 대해서도 LI 값을 계산하였다.

셋째, 복합들기와 단순들기의 LI가 일치하는 수직 높이 결정 -각 작업물의 무게와 작업 빈도 조건에 대해 단순들기 작업의 LI 와 복합들기 작업의 CLI 가 일치하는

수직 높이를 구하였다. 이때 단순들기 작업의 LI 값 변화는 2차 회귀식으로 모형화 한 후 이를 복합들기 작업의 상수 값과 일치하는 수직 높이를 구해 이를 각각 V1, V2 라고 하였다.

넷째, 수직높이 예측 회귀분석 모형 결정 - V1, V2 각각에 대해 작업물의 무게 (L)와 작업빈도(F)를 이용한 회귀분석을 실시해 V1 과 V2를 예측할 수 있도록 하는 회귀모형을 구하였다.

이러한 분석과정에서 NIOSH 들기 수식에서의 LI 값 계산의 편의와 정확성을 위해 Excel VBA 프로그램을 작성해 분석 과정에 활용하였다.

3. 결 과

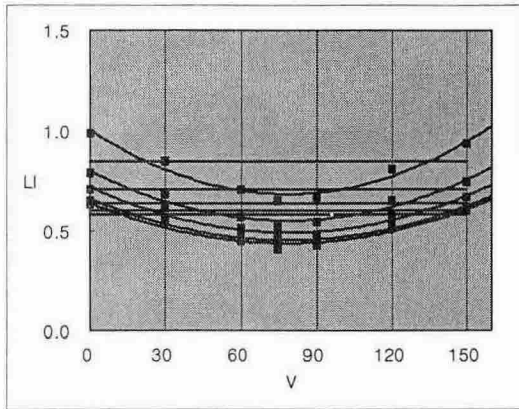
3.1 단순들기작업과복합들기작업비교

본 연구의 대상이 된 120 개의 복합들기 작업에 대해 LI 값을 계산한 결과 단차 (20,30,40,60cm) 에 상관없이 LI 값은 일정하게 나오는 것으로 나타났다. 따라서 복합들기 작업에서 계산된 30 개의 상수 값들을 각각의 무게 별로 나누어 그림 1 에 나타내었다.

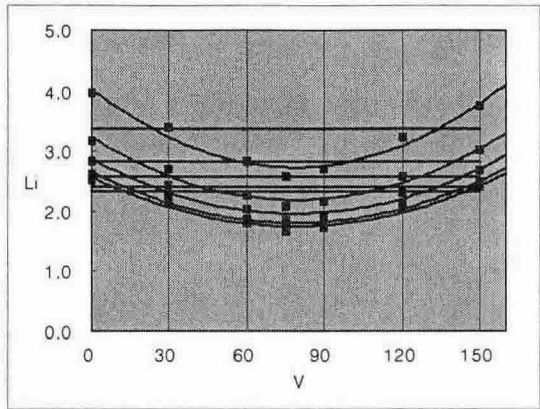
여기에 210 개 조건의 단순들기 작업에 대해서도 LI 값을 계산해 역시 무게 별로 나누어 그림 1 에 점으로 표시하였다. 여기서 단순들기 작업의 LI 값은 손의 수직 위치에 대한 2 차 함수로 표현되는 것을 알 수 있다. 이에 2차 회귀식에 의해 각 무게와 빈도 조건에 대한 2차식을 구하였다. 여기서 곡선(단순들기 작업)과 직선(복합들기 작업) 만나는 점이 바로 변환을 위한 수직 위치가 된다.

여기서 경향을 살펴보면 우선 대상물의 무게와 작업빈도가 증가할수록 LI 값이 증가하는 당연한 결과를 확인 할 수 있다. 또 단순들기 작업에서 구한 LI 와 복합들기 작업에서 구한 CLI 값의 변화를 살펴보면, 손의 수직위치가 75cm 중앙에 가까울수록 단순들기작업으로 변환해 추정한 LI 값이 CLI 값에 비해 현격하게 낮게 평가된다는 것을 알 수 있다. 반대로 중앙에서 상단방향, 혹은 하단방향으로 멀어질수록 LI 와 CLI 값이 비교적 일치한다는 것을 알 수 있다.

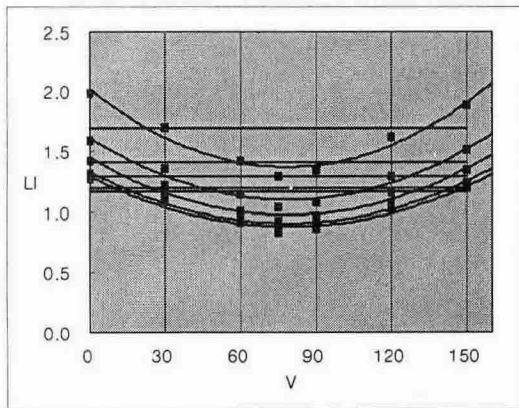
그러나 그 일치되는 점은 작업빈도와 무게에 의해 변화될 수 있다. 빈도가 낮고 중량물의 무게가 작을수록 (즉, CLI 값이 작을수록), 일치되는 수직위치점은 높아지는 방향으로 움직인다. 반대로 빈도가 높고 중량물의 무게가 무거울수록 일치되는 수직위치점은 중앙값 방향으로 가까워지는 경향이 있다.



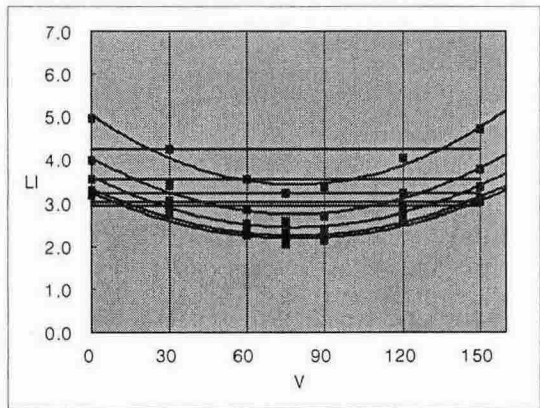
(1) $L=5\text{kg}$



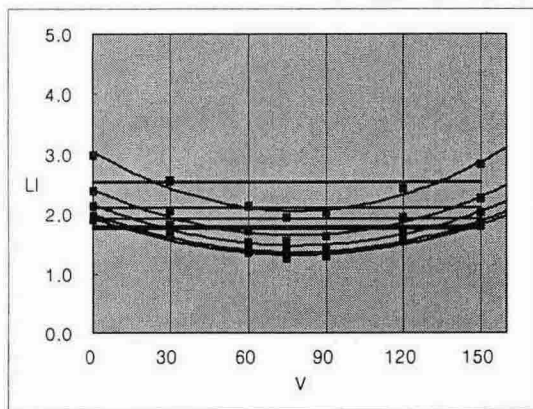
(4) $L=20\text{kg}$



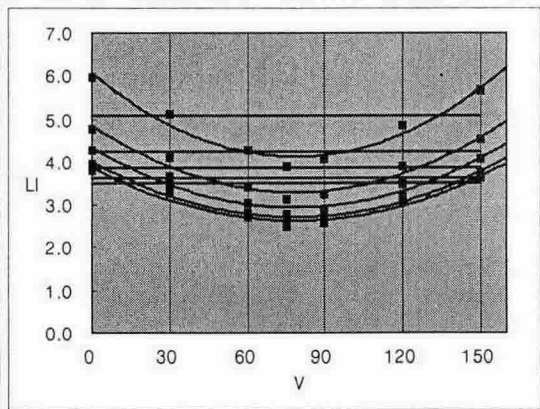
(2) $L=10\text{kg}$



(5) $L=25\text{kg}$



(3) $L=15\text{kg}$



(6) $L=30\text{kg}$

그림 1. 단순들기와 복합들기의 LI 가 일치하는 손의 수직높이

3.2 다단적재 복합들기작업의 변환모형

그림 3으로부터 단순들기 작업의 LI와 복합들기 작업의 CLI 값이 일치하는 수직 높이를 찾은 결과를 요약해 그림으로 나타내면 그림2, 그림 3과 같다.

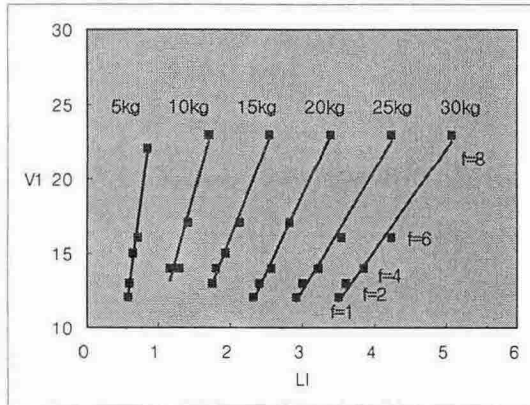


그림 2. 복합과 단순들이가 일치하는 수직높이(하방향)

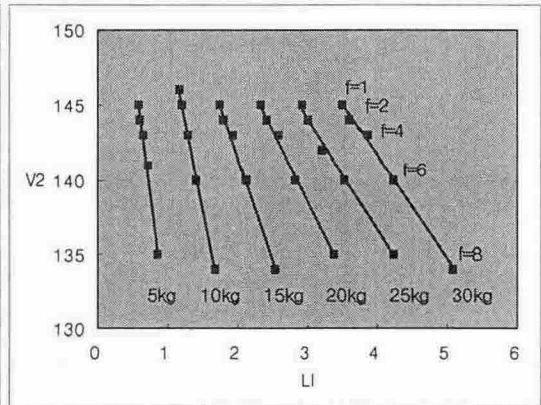


그림 3. 복합들이와 단순들이가 일치하는 수직높이(상방향)

30 개의 데이터에 대해 75cm 기준으로 하방향(V1)과 상방향(V2)에 대해 각각 회귀분석을 실시하였다. 회귀식의 입력변수로는 LI, F(빈도), L(무게) 등을 고려할 수 있지만 LI 값은 미리 알수 없는 값이기에 회귀분석의 입력변수로는 빈도(F)와 무게(L)만 고려했다. 회귀분석은 단계별 입력(Step by step)방법에 의해서 수행되었다. 결과 민감도가 떨어지는무게(L)은 제외되고 회귀식에는 빈도(F)만 포함되었다.

회귀분석 결과에 의하면 다단적재 복합들이 작업은 작업빈도의 정도에 따라 다음과 같은 단순들이 작업으로 변환해 구할 수 있다.

$$V1=10.23 +1.35F \quad (R^2=0.98), \quad V2=147.37 -1.43F \quad (R^2=0.98)$$

4. 사례적용

본 연구에서 개발한 변환 모형을 이용해, 실제 산업현장의 다단 적재작업에 대한 적용을 해보았다. 사례 1은 완성된 제품을 박스에 다단적재 하는 작업이다. 제품의 무게는 8kg 이고 팔레트(높이 15cm) 위에 제품을 5단 적재한다. 1단의 높이는 20cm 이다. 작업빈도는 분당 5 회이다. 사례 2는 컨베이어 벨트를 타고 오는 완성된 제품 박스를 팔레트(높이 15cm) 위에 7단 적재하는 작업이다. 박스의 높이는 20cm 이고

작업빈도는 분당 3회이다.

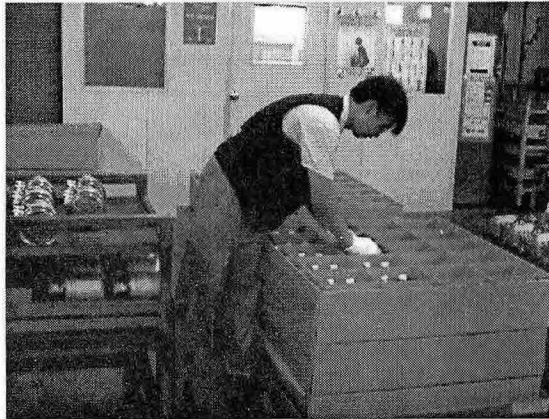


그림 4. 사례1-제품 다단적재 작업



그림 5. 사례2- 박스 다단적재 작업

표 1. 다단적재작업에 대한 적용 사례

	무게	수평위치	수직높이	빈도	LI
복합들기 작업1	8kg	시점 45cm 종점 45cm	시점 75cm 종점 15, 35, 55, 75, 95cm (5단)	단별 1회/분 총 5회/분	1.07
변환된 단순들기	8kg	시점 45cm 종점 45cm	시점 75cm 종점 $V1=10.23+1.35 \times 5=16.98\text{cm}$	5회/분	1.09
변환된 단순들기	8kg	시점 45cm 종점 45cm	시점 75cm 종점 $V2=147.37-1.43 \times 5=140.22\text{cm}$	5회/분	1.09
복합들기 작업2	12kg	시점 30cm 종점 45cm	시점 75cm 종점 15,35,55,75,95,115,135 (7단)	단별 0.43회/분 총 3회/분	0.99
변환된 단순들기	12kg	시점 30cm 종점 45cm	시점 75cm 종점 $V1=10.23+1.35 \times 3=14.28\text{cm}$	빈도 3회/분	1.02
변환된 단순들기	12kg	시점 30cm 종점 45cm	시점 75cm 종점 $V2=147.37-1.43 \times 3=143.08\text{cm}$	빈도 3회/분	0.99

이 두 사례에 대해서 각각 복합들기 작업 방법을 이용해서 계산한 LI 값과 본 연구에서 제시한 변환된 단순들기 작업 모형에 대해 NIOSH 들기작업 수식을 적용하여 계산한 LI 값을 비교하여 표 1에 각각 제시하였다. 결과를 비교해보면 두 사례 모두에 대해 원 복합들기 다단적재 작업과 변환된 단순들기 작업 모형 간의 LI 값 차이는 0.03 이하로 매우 낮게 나타났다.

본 연구에서 제시한 모형은 이처럼 오차가 적고 현장에서 매우 쉽게 적용해 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 아직 다양한 작업 조건의 변수들 중 많은 변수들은 고정시키고 제약을 많이 두어, 여기서 제시한 모형도 아직 충분한 일반성을 못 갖추

고 있는 것도 사실이다. 추후연구로 본 연구에서 변화를 주지 못한 다양한 조건들의 변수들도 감안한 더 포괄적인 탐색이 요청된다.

참고문헌

- [1] Ciriello, V.M. and Snook, S.H.,(1999), "Survey of manual handling tasks", International Journal of Industrial Ergonomics, 23 149-156.
- [2] Lee K.S., Park H.S., and Chun Y.H.(1996), "Validity of the revised NIOSH weight limit in a Korean young male population: a psychophysical approach ", International Journal of Industrial Ergonomics, 18(2-3):181-186.
- [3] Waters, T.R. Putz-Anderson, V. and Garg(1994)., A., Application manual for the revised NIOSH lifting equation, NIOSH,
- [4] 기도형, 정민근(1995), "벽돌제조과정에서의 들기작업에 대한 Revised NIOSH Lifting Equation의 현장 적용", 산업공학, 8(4),:155-167.
- [5] 한국산업안전공단(2003), 근골격계질환 유해요인 조사 지침, KOSHA code H-30.