

선박용 엔진 제조업 들기작업의 인간공학적 위험 평가를 위한 세 가지 방법 비교

김선자 · 신용철[†] · 김부욱 · 김현동 · 우지훈¹ · 강동묵¹ · 이현석

¹인제대학교 보건안전공학과 · ²부산대학교 의과대학 예방 및 산업의학교실

Comparison of Three Methods Assessing the Ergonomic Risks of Manual Lifting Tasks at Ship Engine Manufacturing Facilities

Sun Ja Kim · Yong Chul Shin[†] · Boo Wook Kim · Hyun Dong Kim · Ji Hoon Woo¹
Dongmug Kang¹ · Hyun Seok Lee

¹Department of Occupational Health and Safety Engineering, Inje University ·
²Department of Preventive and Occupational Medicine, Pusan National University

A variety of ergonomic assessment methods of lifting tasks known as a major cause of work-related lower back pain have been used. But there is a limited information in choosing the most appropriate assessment method for a particular job and in finding out strengths and weakness of the methods. The purpose of this study was to assess and compare the ergonomic risks of lifting tasks in a marine diesel engine production industry by three lifting ergonomic assessment tools widely used: the National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH) Revised Lifting Equation(NLE), the Washington Administrative Code 296-62-0517(WAC), and the Snook Tables. Lifting index(weight of load/Recommended Weight Limit) of NLE(L_{NLE}) was above 1 at 34 tasks(75.6%) of a total number of 45 lifting tasks. LI of WAC(L_{WAC}) was above 1 at 11 tasks(24.4 %). LI of Snook Table(L_{Snook}) was above 1 at

29 tasks(64.4%). Thus, LI was high in orders of L_{NLE} > L_{Snook} > L_{WAC}. There were significantly high correlations among three LIs(p<0.01). The correlation coefficients between L_{NLE} and the other three LIs(L_{WAC} and L_{Snook}) were r=0.93 and r=0.88, respectively. The linear regression equations were $y = 0.444x + 0.11$ (r=0.93) between L_{NLE} and L_{WAC}, $y = 0.93x + 0.008$ (r=0.88) between L_{NLE} and L_{Snook}. The LI values by WAC was significantly lower than those by the other tools. The compared features, strength and limitation among these tools were described in this paper.

Key Words : Musculoskeletal disorders, Ergonomic risk of lifting task, Snook Table, NIOSH Lifting Equation, WAC

접수일 : 2005년 4월 27일, 채택일 : 2005년 7월 25일

† 교신저자: 신용철 (경남 김해시 어방동 607번지 인제대학교 보건안전공학과

Tel : 055-320-3676, Fax : 055-320-3676, E-mail : yeshin@inje.ac.kr)

I. 서론

2004년도 우리나라 산업재해 현황을 보면 전체 업무상 질병자수는 9183명이다. 이중 작업관련성 질병자수는 총 6691명이며 이 중 뇌심혈관계질환 2285명, 신체부담작업관련 질환 2953명, 요통 1159명, 기타 질환자 294명이었다(노동부, 2005). 요통이 전체 업무상 질병자의 12.6%, 작업관련성 질병자의 17.3%로 비교적 높은 비율을 보이고 있다.

산업 현장에서의 요통발생의 원인은 다양하나 밀고 당기기, 운반, 적재 또는 하역 등과 같은 물자취급 작업이 중요한 원인이다. 국내외적으로 물자취급 작업에 대해 다양한 인간공학적 평가 방법들이 이용되고 있다. 그러나 이들 방법이 평가 또는 검증은 개별적으로 실시되었고 평가 방법들의 장·단점을 비교한 연구와 적용하고자 하는 특정 현장에 적합한 평가 방법을 선택하는 데 필요한 정보는 매우 부족한 실정이다.

지금까지 널리 이용되어 왔던 들기 평가 방법으로는 National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH)의 Revised Lifting Equation(NLE)(NIOSH, 1994), Washington Administrative Code 296-62-051714(WAC)(Washington State, 2000) 및 Snook Tables(Snook and Ciriello, 1991; Ciriello, 2001)을 들 수 있다.

NLE는 중량물을 취급하는 작업에 의한 요통 예방을 목적으로 작업평가와 작업설계를 위해 중량물의 취급위치, 인양거리, 몸통의 비틀기, 중량물 들기 쉬움 정도, 작업빈도 및 시간등의 인자를 고려한다. NLE는 중량물 취급시 근로자와 대상물의 수평위치, 수직위치, 수직이동거리, 작업빈도계수, 비틀림 각도계수, 손잡이 형태를 고려하여 근로자가 들기 적절한 부품의 권고 무게(Recommended Weight Limit, RWL)를 산정하게 된다. RWL은 건강한 근로자가 그 작업조건에서 작

업을 최대 8시간 계속해도 재해가 발생하지 않을 중량을 의미한다. 들기 지수(Lifting Index, LI)는 실제 무게가 권고무게를 몇 배를 초과하는지를 나타내는 것으로 LI가 1보다 크면 요통의 발생 가능성이 높은 것이고 반대로 1보다 작은 경우는 요통의 발생 가능성이 낮은 것으로 판정한다. LI가 1보다 크면 일부 근로자에게서, 3을 초과하는 경우 대부분의 근로자에게서 들기 작업과 관련된 요통 발생 위험이 높은 것으로 알려져 있다. 그러므로 LI가 1이하가 되도록 작업을 설계 또는 재설계할 필요가 있다(Thomas et al., 1999).

WAC은 들기 작업시의 중량물, 작업 빈도와 자세를 분석하는 방법을 프로그램화한 것으로, NLE를 근거하여 만들어졌으며 NLE의 비틀림 각도와 이동거리 손잡이에 대한 부분은 제외하고 활용하기에 간편하게 구성되어있다. 부품이 놓인 위치에 따라 4개의 수직영역과 3개의 수평영역을 이용하여 12개의 작업 영역으로 나누어진다. WAC의 권고 무게는 들기 작업시간 및 빈도, 수평·수직영역, 비틀림 각도로써 결정되어진다. WAC은 가장 적합한 조건에서 권고 무게가 41kg으로 NLE의 23kg에 비해 1.7~2배정도 높게 정해져 있다. 이는 NLE가 75%의 여성과 99% 남성을 보호하기 위해 최적의 작업 조건에서 무게 RWL 즉, 최대 권고 무게를 23kg, LI = 1을 허용기준으로 사용하고 있는 반면 WAC의 경우는 여러 연구(Wang et al., 1998; Waters et al., 1999)를 통해 LI가 1.7~2.0이상의 범위에서 요통이 실제로 증가한다는 것이 밝혀졌기 때문에 이에 기초하여 권고 무게를 41kg으로 정하게 되었다.

Snook Tables(Snook and Ciriello, 1991; Ciriello, 2001; Wu, 2003; Thomas et al., 1998; Richard and Marklin, 1999)는 광범위한 직무로부터 근로자의 작업능력을 평가하기 위해 들기 작업뿐 만 아

니라 전반적인 수동물자취급 작업 분석에 사용되고 있다. Snook Tables의 변수로서 들기 작업시의 부품을 놓여 있는 수평·수직영역, 들기 빈도, 이동거리, 중량물 무게가 사용된다. Snook Tables의 Design goals(maximum acceptable weight of load of 75% women, MAWL75%)는 전체 인구를 기준으로 75% 여성과 99%의 남성이 들 수 있는 중량물의 최대 허용무게(maximum acceptable weight of load, MAWL)로 정하고 있다. 이 무게는 대부분의 근로자에게 건강상의 영향을 미치지 않는 것으로 보고 있다. Snook Tables는 근로자들이 과로나 불안하지 않고, 몹시 지친다든가, 허약해진다든가, 흥분한다든가, 숨이 찬다든가 하는 것 없이 즉, 건강상의 문제없이 작업을 계속할 수 있는 최대 작업부하(kg · m/min, maximum acceptable weight of load, MAWL)를 남성과 여성 인구의 10, 25, 50, 75 및 90%에서의 MAWL를 구해 요통 발생을 낮게 관리하는 것이 목적이며, MAWL를 어떤 경우라도 초과해서는 안 된다.

본 연구에서는 위의 세 방법을 현장 들기 작업에 적용하여 그 평가결과를 비교하고 각 평가 방법들의 장·단점을 파악하고자 한다. 이 연구 결과는 특정 현장에 적합한 들기 작업 평가 방법 선정시 88건 정보를 제공하고 향후 국내 실정에 맞는 들기 평가 방법을 개발하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

II. 연구방법

1. 연구대상

연구 대상 들기작업 평가도구는 널리 사용되고 있는 세 방법, 즉 NLE, WAC 및 Snook Tables이다. 선박용 대형 디젤엔진 생산업체에서 이루어지는 들기 작업을 대상으로 이 세 가지

도구를 적용한 결과를 서로 비교하였다. 대상 사업장은 빈도가 낮지만 무게가 무거운 부품을 취급하고 있었다. 엔진 생산 주기가 15-30일 단위이기 때문에 들기 작업은 몇 개의 부서

를 제외 하고는 간헐적이면서 집중적으로 이루어지고 있었다. 주요 공정 은 세척, 조립, 연삭, 선삭 및 가공 등이었고, 근로자가 작업량을 스스로 조절할 수 있었다. 연구대상 들기 작

업의 수는 전체 7기 공장 13개 부서에서 이루어지고 있는 45개의 들기 작업이었다. 취급 부품의 무게는 다양하나 이들 중 5kg이상이고 가장 많이 취급되는 무게를 드는 작업을 대

Table 2. Ergonomic risk evaluation results of all manual lifting tasks by three assessment tools

No.	Handling parts	Weight	NLE		WAC		Snook Table	
			RWL ^a	LI _{NLE} ^b	RWL _{WAC} ^c	LI _{WAC} ^d	MAWL _{75%} ^e	LI _{Snook} ^f
1	Face-cutter	25.0	19.0	1.3	31.7	0.8	16.0	1.6
2	Boring bar	19.5	13.3	1.5	31.5	0.6	13.0	1.5
3	LFT NR3	35.2	18.1	1.9	40.9	0.9	14.0	2.5
4	20V 538	26.8	17.6	1.5	40.6	0.7	12.0	2.2
5	Lina disk	18.6	7.2	2.6	17.2	1.1	11.0	1.7
6	Cylinder	27.0	13.6	2.0	31.8	0.9	13.0	2.1
7	Disk	19.0	14.2	1.3	31.7	0.6	13.0	1.5
8	Foke road	12.2	11.2	1.1	18.2	0.7	12.0	1.0
9	Con-road	24.2	11.2	2.2	18.1	1.3	12.0	2.0
10	356 Con-road	5.2	11.2	0.5	17.9	0.3	12.0	0.4
11	Raina	18.0	13.1	1.4	18.2	1.0	12.0	1.5
12	Con -road	14.0	9.7	1.4	18.2	0.8	13.0	1.1
13	Injection pump	8.4	11.4	0.7	22.7	0.4	15.0	0.6
14	Boring bar	25.0	9.2	2.7	18.1	1.4	12.0	2.1
15	MV871	12.0	13.0	0.9	25.0	0.5	13.0	0.9
16	MV538	18.0	14.3	1.3	25.0	0.7	13.0	1.4
17	Raina	11.4	7.7	1.5	18.1	0.6	12.0	1.0
18	871 MVC	12.0	10.3	1.2	18.2	0.7	13.0	0.9
19	Air filter tool	20.0	12.3	1.6	18.2	1.1	13.0	1.5
20	MTU 506	10.0	8.3	1.2	15.4	0.7	9.0	1.1
21	MTU 506-1	8.0	8.5	0.9	15.4	0.5	9.0	0.9
22	Raina	11.4	10.8	1.1	17.3	0.7	12.0	1.0
23	956 Con-road	24.4	7.0	3.5	16.3	1.5	6.0	4.1
24	Cover	9.8	10.8	0.9	15.6	0.6	10.0	1.0
25	Oil tank	33.0	11.6	2.8	21.4	1.5	11.0	3.0
26	T-cutter	12.0	11.3	1.1	18.2	0.7	15.0	0.8
27	Face -cutter	18.0	11.3	1.6	18.2	1.0	15.0	1.2
28	6NSD	9.6	11.6	0.8	19.2	0.5	12.0	0.8
29	Header	15.8	12.4	1.3	26.8	0.6	15.0	1.1
30	Con-road	7.0	9.8	0.7	19.4	0.4	12.0	0.6
31	Cyclone block	11.4	9.7	1.2	18.1	0.6	15.0	0.8
32	Air filter tool	27.0	14.1	1.9	31.8	0.9	13.0	2.1
33	Cover	10.0	12.8	0.8	25.0	0.4	12.0	0.8
34	200 \varnothing Boring bar	27.0	10.4	2.6	22.7	1.2	15.0	1.8
35	100 \varnothing Boring bar	18.0	18.2	1.0	31.6	0.6	15.0	1.2
36	300 \varnothing Boring bar	30.0	12.7	2.4	25.0	1.2	15.0	2.0
37	NT 023	32.0	14.2	2.3	31.7	1.0	15.0	2.1
38	Face-cutter	27.0	13.2	2.1	40.9	0.7	12.0	2.3
39	Cooling jacket	12.0	10.5	1.1	22.6	0.5	9.9	1.2
40	Jig	8.0	7.6	1.1	15.7	0.5	11.9	0.7
41	Bave gear	23.5	11.1	2.1	22.6	1.0	15.0	1.6
42	Main bearing start	9.0	12.3	0.7	23.7	0.4	10.9	0.8
43	NR20R	29.0	8.7	3.3	15.9	1.8	10.0	2.9
44	Turbin wheel 20R	8.0	9.3	0.9	15.4	0.5	13.2	0.6
45	NR24S	16.6	8.5	2.0	18.0	0.9	13.0	1.3

^aRecommended Weight Limit, ^bNLE Lifting Index, ^cWAC Recommended Weight Limit,

^dWAC Lifting Index, ^eWomen's 75% Maximum Acceptable Weight of Load,

^fSnook Table Lifting Index

상으로 평가하였다. 본 대상 사업장의 특성상 들기 작업이 매일 있지 않고 15일에서 30일 주기로 간헐적이면서 집중적으로 있기 때문에 현장에서 측정한 자료와 근로자와의 상담을 통해 1일 8시간을 기준으로 평균 들기 작업시간과 빈도를 산출하였다.

2. 변수의 측정

개별 작업을 평가하기 위해 변수가 가장 많이 필요한 NLE를 중심으로 현장조사를 실시하였고, 정밀분석을 위해 비디오 촬영도 병행하였다. 조사 항목은 부품의 무게, 수평·수직 위치, 비틀림 각도, 작업빈도, 들기 작업시간, 손잡이 형태 등이었다. 부품의 무게는 이동식 전자저울을 사용하였고, 수평·수직 거리는 5m 줄자를 사용하여 측정하였다.

3. 들기 작업 간 비교를 위한 자료의 변환 또는 지표

측정된 변수를 바탕으로 각 평가 방법을 이용하여 45개의 개별 들기 작업에 대한 각각의 권고 허용무게 또는 허용기준을 구하고 취급물체의 무게를 나눈 값, 즉 LI를 산출하였다.

Snook Tables의 경우는 결과 값이 10, 25, 50, 75 및 90%의 전체 인구 대비 남성과 여성이 들 수 있는 MAWL로 권고 되는데 본 연구에서는 평가 방법들 간의 비교를 위해 Snook Tables의 75%의 여성이 들 수 있는 무게(MAWL_{75%})를 이용하였다. 즉, Snook Table의 MAWL_{75%}에 NLE의 LI 개념을 적용하여 MAWL_{75%}에 실제 취급부품 무게를 나누어 LI_{Snook}로 나타내었다. NLE의 평가 기준과 같이 1을 기준으로 초과 여부를 판정하였다. WAC과 NLE도 구별하기 위해 LI_{WAC}과 LI_{NLE}로 나타내었다.

들기 작업 평가시의 두 위치 즉, 이동 전후와 각각의 권고 허용무게 또는 허용기준 및 LI를 산출할 수 있

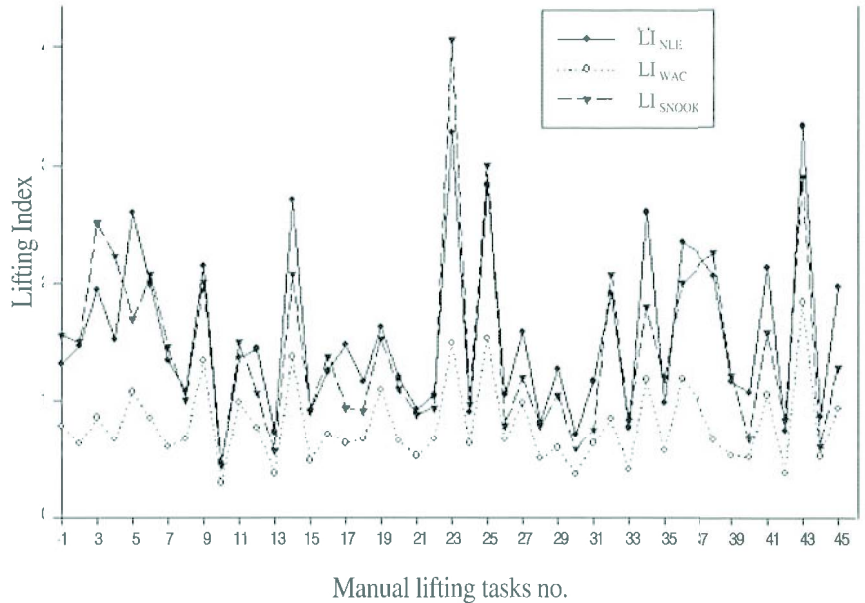


Fig. 1. LI_{NLE}, LI_{WAC} and LI_{Snook} for all manual lifting tasks.

는데 본 연구에서는 3가지 평가 방법 모두 들기 시점만을 고려하여 각 작업별로 결과를 산출하였다. 평가 방법들의 결과 비교 및 상관관계 검토를 위해 NLE의 제한 조건에 해당하는 작업은 제외하였다.

4. 들기 작업 평가 결과 간 차이 비교

들기 평가 방법들 간의 통계적 차이가 있는지를 알아보기 위해 세 가지 도구에 대해 일원배치 분산분석(Analysis of variance, ANOVA)을 실시하였으며, Duncan 검정에 의한 사후분석을 실시하였다.

5. 평가 결과간 상관관계 및 회귀분석

각 평가 방법들의 LI를 이용하여 상관분석 및 회귀분석을 통해 평가 방법들 간의 상관성을 비교·분석하였다. 들기 작업 평가 방법들의 상관관계를 비교하기 위해 NLE를 기준으로 WAC 및 Snook Tables에 대해 상관분석을 실시하였다. NLE를 비교 기준으로 설정한 이유는 국내외적으로 현장에 적용해본 선행 연구(Walters et

al., 1993; 권은혜, 1997; Thomas et al., 1998; Waters et al., 1998; Richard and Marklin, 1999; Thomas et al., 1999; 박현진, 2001; Dempsey et al., 2001)가 많고, 11가지 제한 조건에도 불구하고 타당도와 신뢰도가 인정된 평가 방법이기 때문이다. 특히 요통과 LINLE와는 유의한 상관관계가 있는 것으로 밝혀져 있다(Waters et al., 1993; 박현진, 2001).

6. 자료 처리 및 통계분석

본 연구의 자료는 통계분석 프로그램인 SPSS for Windows Release 10.07(SPSS Inc.)을 이용하여 기술통계량, 상관·회귀분석을 수행하였고, 평가 방법들 간의 차이를 알아보기 위해 ANOVA 및 Duncan 검정에 의한 사후분석을 실시하였다. Sigma plot 8.02, EXCEL 2002를 이용하여 그래프 및 자료 처리를 하였다.

III. 결 과

1. 세가지 평가도구에 의해 산출된 LI 분포 비교

각 평가도구에 의한 45개 들기 작

Table 3. Summary of evaluation results for all manual lifting tasks(n=45)

Load weight	Recommended or Permissible weight			Lifting Index		
	RWL ^a	RWL _{WAC} ^b	MAWL _{75%} ^c	LI _{NLE} ^d	LI _{WAC} ^e	LI _{Snook} ^f
17.8±8.2g	11.7±2.8	22.8±7.2	12.6±2.0	1.6±0.7	0.8±0.4	1.4±0.8
(5.2-35.2)h	(7.2-19.0)	(15.4-40.9)	(6.0-16.0)	(0.5-3.3)	(0.3-1.8)	(0.4-4.1)

^aRecommended Weight Limit, ^bWAC Recommended Weight Limit, ^cWomen's 75% Maximum Acceptable Weight of Load, ^dNLE Lifting Index, ^eWAC Lifting Index, ^fSnook Table Lifting Index, ^gMean±standard deviation, ^hRange

업에 대한 인간공학 위험 평가 결과는 Table 2 및 Fig. 1과 같다.

Table 2 및 Fig. 1에서 보듯이 세 가지 도구에 의한 값 중 LI_{WAC}가 다른 두 가지 값보다 현저하게 낮은 것을 알 수 있다. LI_{NLE}와 LI_{Snook}의 경우, 24개 작업에서는 LI_{NLE}가 LI_{Snook} 보다 높았고 15개 작업에서는 LI_{Snook}가 LI_{NLE} 보다 높았다. 전반적으로 LI_{NLE}가 LI_{Snook} 보다 높은 경향을 보이고 있다.

전체 45개 들기 작업중 LI_{NLE}의 경우 34개(75.6%) 작업이 1을 초과하였고 11개(24.4%)가 2를 초과하였다. LI_{WAC} 경우 11개(24.4%)작업이 1을 초과하였고 2를 초과하는 작업은 없었다. LI_{Snook} 경우 1을 초과하는 작업이 29개(64.4%)이고, 2를 초과하는 작업은 12개(26.7%)로 나타났다.

Table 3은 45개의 들기 작업을 대상으로 산출된 3가지 평가 방법의 권고 무게와 LI의 평균과 범위를 나타낸 것이다.

전체 작업의 NLE에 의한 RWL 평균은 11.7±2.8kg으로 가장 작았고 따라서 LI_{NLE}는 1.6±0.7로 가장 컸다. NLE는 측정변수가 다른 평가 방법에 비해 많아 근로자의 작업조건을 더 많이 반영한다. 따라서 많은 차이를 보이는 것은 아니지만 다른 평가 방법 보다 엄격하고 안전한 기준을 제시하고 있음을 볼 수 있었다.

세 가지 도구에 의한 평가결과(LI)

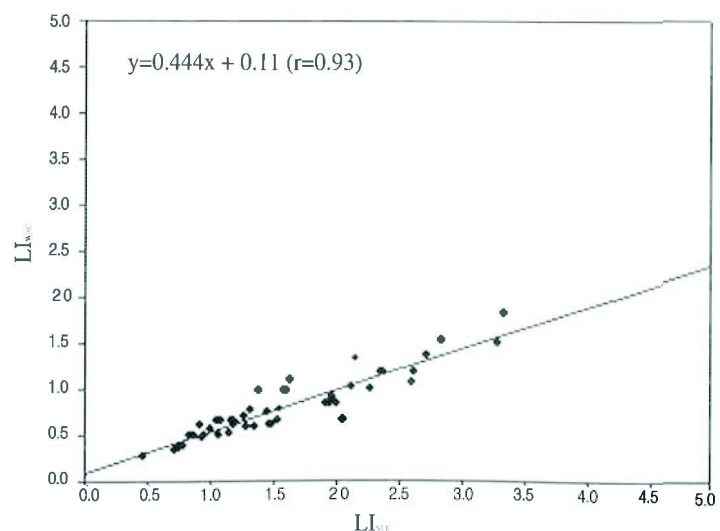
간의 차이를 ANOVA으로 검증한 결과 차이가 있는 것으로 나타났고 (p<0.01), Duncan 검정에 의한 사후분석 결과 WAC을 제외한 NLE, Snook Tables 을 동일집단군으로 묶을 수 있었다 (p<0.01). LI_{WAC}이 동일집단군으로 묶일

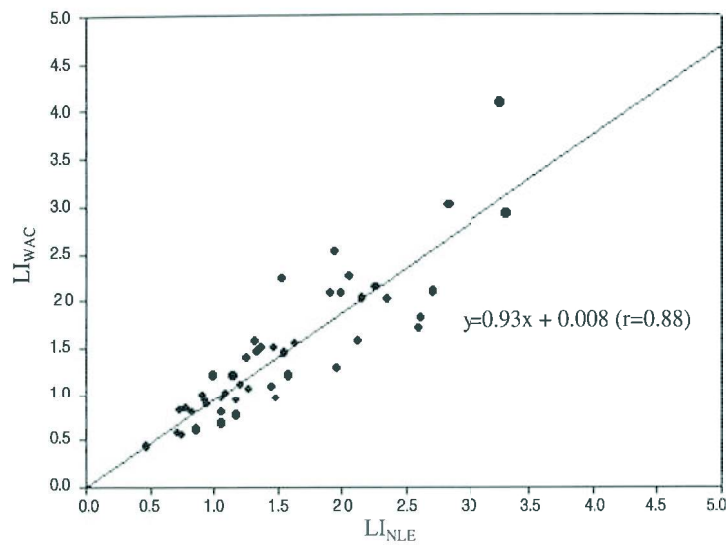
수 없는 이유는 다른 평가 방법과 달리 실제적인 요통발생의 위험을 나타냄으로써 LI_{NLE} 보다 1.7-2.0배 정도 결과 값이 낮게 평가되기 때문이었다.

Table 4. Correlation coefficients among LI_{NLE}, LI_{WAC} and LI_{Snook}

	LI _{NLE} ^a	LI _{WAC} ^b	LI _{Snook} ^c
LI _{NLE}	1.00		
LI _{WAC}	0.93**	1.00	
LI _{Snook}	0.88**	0.82**	1.00

** p<0.01, ^aNLE Lifting Index, ^bWAC Lifting Index, ^cSnook Table Lifting Index

Fig. 2. Regression analysis between LI_{NLE} and LI_{WAC}.

Fig. 3. Regression analysis between LI_{NLE} and LI_{Snook} .

2. 도구에 따른 평가결과간 상관 및 회귀 분석

각 들기 평가 도구에 의한 평가결과 간의 상관관계를 알아보기 위해 NLE를 기준으로 상관분석을 실시하였으며 그 결과는 Table 4와 같다. LI_{NLE} 와 LI_{WAC} 의 상관계수는 0.93으로 가장 높게 나타났다($p < 0.01$). LI_{NLE} 와 LI_{Snook} 의 상관계수는 0.88, LI_{Snook} 와 LI_{WAC} 의 상관계수는 0.82로 나타났다. 세 가지 평가도구 매우 유의한 상관관계가 있음을 알 수 있었다($p < 0.01$).

LI_{NLE} 를 독립변수로 두고 LI_{WAC} , LI_{Snook} 를 종속 변수로 하여 선형 회귀 분석

Table 5. Comparison of factors included in the manual lifting assessment tools

Factors	Lifting assessment tools		
	NLE	WAC	Snook Tables
Horizontal location(H)	<ul style="list-style-type: none"> Horizontal location $HM=25/H$ $(H=25-63\text{cm})$ 	<ul style="list-style-type: none"> Horizontal zone 1) 0-18cm 2) 18-30cm 3) >30cm 	<ul style="list-style-type: none"> Horizontal zone 1) 0-17cm 2) 17-25cm 3) 25-34cm
Vertical location(V)	<ul style="list-style-type: none"> Vertical location $VM = 1 - (0.003 \times V - 75)$ $(0\text{cm} \leq V \leq 175\text{cm})$ $(VM=0, \text{ when } V > 175\text{cm})$ 	<ul style="list-style-type: none"> Vertical zone 1) Above shoulder 2) Waist to shoulder 3) Knee to waist 4) Below knee 	<ul style="list-style-type: none"> Vertical zone 1) Above shoulder (above 138cm) 2) Knuckle to shoulder (between 74-138cm) 3) Floor to knuckle (below 74cm)
Frequency(F)	<ul style="list-style-type: none"> lifts/min 	<ul style="list-style-type: none"> 1 lift/2-5min 1 lift/min 2-3 lifts/min 4-5 lifts/min 6-7 lifts/min 8-9 lifts/min ≥ 10 lifts/min 	<ul style="list-style-type: none"> 1 lift/8hr 1 lift/30min 1 lift/5min 1 lift/2min 1 lift/1min 1 lift/14sec 1 lift/9sec 1 lift/5sec
Lifting duration(LD)	<ul style="list-style-type: none"> $LD \leq 1\text{ hr}$ $1\text{ hr} < LD \leq 2\text{ hr}$ $2\text{ hr} < LD < 8\text{ hr}$ 	<ul style="list-style-type: none"> $LD \leq 1\text{ hr}$ $1\text{ hr} < LD \leq 2\text{ hr}$ $LD > 2\text{ hr}$ 	×
Vertical travel distance	<ul style="list-style-type: none"> $DM=1(D \leq 25)$ $=0.82+4.5/D$ $(25-175\text{cm})$ 	×	<ul style="list-style-type: none"> $D < 25$ $25 \leq D < 51$ $51 \leq D < 76$
Asymmetric angle(A)	<ul style="list-style-type: none"> $AM=1-0.0032 \times A$ $(0 \leq A \leq 135^\circ)$ $(AM=0, \text{ when } A > 135^\circ)$ 	<ul style="list-style-type: none"> $A \geq 45^\circ = 0.85$ Otherwise circle=1.0 	×
Hand-to-container coupling	<ul style="list-style-type: none"> Coupling type good fair poor 	×	×

Table 6. Strengths and limitations of the manual lifting assessment methods

Assessment methods	Strengths	Limitations
NLE	<ul style="list-style-type: none"> • Easy to use, wide range of criteria • Economical • Because of used factor variously, NLE is safe more than different assessment methods, It reflects a field. • Lifting task's problem and improvement looking for easily • Horizontal location: From mid-point of ankles. • NLE is base on the Snook Table • NLE can of Maximum weigh that acceptable to 75% of the female and 99 % of the male population • Maximum acceptable weight 23 kg 	<ul style="list-style-type: none"> • Applies only to lifting • Requires many assumptions • NLE does not apply lifting task limitations. • Difficult to use in the field
WAC	<ul style="list-style-type: none"> • WAC is based on the NLE • WAC more simply by dividing it into 4 vertical zones and 3 horizontal zones for the location of the lifting. • Horizontal zone: from of foot's end • Easy to use, economical • Maximum acceptable weight 41 kg 	<ul style="list-style-type: none"> • The Recommended weight limit is presented the same weight in definite condition when vertical zones and Horizontal Zone is fixed. • The NLE uses a Lifting Index of 1.0 to protect 75% of women and 99% of men. But WAC lifting calculator is based on a Lifting Index between 1.7 and 2.0, so it is not the same.
Snook Table	<ul style="list-style-type: none"> • Easy to use • Provide population estimates of worker capacities • Applicable to wide range of MMH actives • Horizontal zone: from front of body • Distributions of maximum weigh that acceptable to 10, 25, 50, 75, 90 % of the male and female population 	<ul style="list-style-type: none"> • May over estimate or underestimate demands for infrequent or highly repetitive activities • Based on what worker will accept, not what is safe

을 실시한 결과는 Fig. 2 및 Fig. 3과 같다. LI_{NLE} 와 LI_{WAC} 의 회귀식은 $y = 0.444x + 0.11$ ($r=0.93$), LI_{NLE} 와 LI_{Snook} 의 회귀식은 $y = 0.93x + 0.008$ ($r=0.88$)로 나타났다.

IV. 고 찰

본 연구에서 제시한 세 가지 평가 방법들은 들기 작업을 평가하기 위해 만들어졌지만 근거 기준이 다르고 만들어진 목적이 달라서 평가 방법들 간의 상관성을 비교할 수는 있지만

어떤 평가 방법이 좋고 나쁨을 비교할 수는 없는 문제이다.

본 연구결과, WAC에 의한 LI_{WAC} 는 다른 두 방법에 의한 LI_{NLE} 와 LI_{Snook} 와 유의한 차이가 있었다. LI_{NLE} 와 LI_{Snook} 의 경우 몇 개 작업을 제외한 대부분의 작업에서는 유사한 결과를 보이고 있었고 평균 LI는 유의한 차이가 없었다. LI_{NLE} 와 LI_{Snook} 를 개별적으로 비교해 보면 24개 작업에서는 LI_{NLE} 가 LI_{Snook} 보다 높았고 15개 작업에서는 LI_{Snook} 가 LI_{NLE} 보다 높았다.

LI_{Snook} 가 LI_{NLE} 보다 높게 나온 15개

작업은 중량물과 작업자 사이의 거리가 멀고 어깨 위 작업이면서 이동거리가 70cm 이상이였다. 따라서 이러한 작업조건에서는 LI_{Snook} 값이 LI_{NLE} 값보다 높게 산출되는 것으로 보인다.

NLE의 경우 중량물과 작업자간의 거리가 25cm 이하인 경우와 이동거리가 25cm 이하인 경우는 들기 작업시 계수를 1로 둠으로써 이 요인의 영향을 무시하고 있으나 Snook Tables의 경우 중량물과 작업자와의 거리를 17, 25 및 38cm로 나누어 놓았기 때문에 25cm 이하의 거리에서는 LI_{Snook} 값

이 높게 나타나는 경향이 있다. 특히 Table 2의 23번 작업의 경우는 어깨 위 작업이면서 중량물과 작업자 사이의 거리가 멀고 이동거리 또한 120cm로, 이 조건은 Snook Tables에서는 최악의 조건에 해당하므로 LI_{NLE} 에 비해 매우 높은 위험도를 나타낸 것으로 판단된다.

물건이 놓여 있는 높이가 무릎 위 어깨 아래의 작업에서는 LI_{NLE} 가 높게 나타났는데, 이러한 결과는 Snook Tables의 경우 다리 아래 작업에 대해 허용무게를 높게 제시한 반면 NLE는 허리 높이의 작업이 편하다고 보고 권고 무게를 높게 설정한 것과 관련이 있다.

Table 5은 각각의 평가 방법에 사용되는 변수를 차이를 보여주고 있다.

Table 5에서 보듯이 같은 들기 작업을 평가 하는 방법이지만 고려되는 변수들은 차이를 보이고 있다. 공통적으로 가장 중요한 변수인 들기 빈도, 중량물과 작업자간의 수평·수직 거리 및 작업시간이 포함된다. 수평·수직거리는 NLE의 경우는 수치로 계산되어 지지만 다른 평가 방법에서는 영역으로 표시된다. 특히 수평거리의 기준점에 있어 끝점은 손의 위치로 동일하지만 시작점은 NLE는 발목의 중간위치(from mid-point of ankles)이고, WAC의 경우 발끝, Snook Tables의 경우는 몸의 위치에서 시작된다.

Table 6은 이들 평가 방법의 장·단점을 비교해 놓은 것이다. 각 방법의 장·단점을 포함한 특징을 살펴보면 다음과 같다.

NLE는 Snook Tables을 바탕으로 만들어 졌으며 고려되는 변수들이 수평·수직거리, 이동거리, 빈도, 작업시간, 비틀림 각도 및 손잡이 계수 등의 6 가지이다. 특히 다른 평가 방법에서는 수직·수평거리가 영역(zone)으로 나누어지는데 비해 NLE는 측정수치에 따라 계산하여 평가해 줄

으로써 좀더 정확한 작업 조건을 반영한다고 볼 수 있다. WAC은 NLE를 근거로 만들어졌으며 NLE가 변수가 많고 사용이 번거로움을 고려하여 중량물, 빈도가 높고, 부적합한 자세시의 들기 작업을 평가하기 위해 NLE의 장점을 활용하여 좀더 간편하고 쉽게 현장에서 적용이 가능하도록 만들어졌다. 고려되는 변수는 수평·수직거리, 작업시간 및 빈도, 비틀림 각도이다.

WAC은 NLE와 같은 제한 조건은 없으며 표로 구성되어있고 수평·수직 거리가 범위 즉, 영역으로 주어짐으로써 일정 조건에선 RWL(WAC)이 같아지는 결과가 나타난다.

NLE가 75%의 여성과 99% 남성을 보호하기 위해 RWL를 23kg으로 정하고 LI1을 기준으로 사용하고 있는 데 비해, WAC의 경우는 여러 연구(Wang et al., 1998; Waters, 1999)를 통해 LI가 1.7~2.0 범위에서 요통이 증가한다는 것이 밝혀졌기 때문에 이를 기초로 최대 허용기준을 41kg으로 정하였다. 이를 근거로 LIWAC의 결과가 다른 평가 방법과 유의한 차이를 나타내고 있음을 알 수 있었다. 즉, 결과만을 비교한다면 다른 평가 방법에 비해 약 2배 정도 차이가 나는 것으로 나타나지만 실제적으로는 근거 기준이 다르기 때문에 위험정도를 평가할 때는 이점을 고려하여 판단해야 할 것이다(Wang et al., 1998; Waters, 1999; Washington State, 2000).

이를 바탕으로 현장 조사를 할 때는 NLE를 가장 안전한 권고치로 제시하고 이 기준에 다른 평가 방법을 보완하여 실제적인 위험정도를 나타내는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

Snook Tables은 거의 모든 들기 작업의 기준이 될 만큼 방대한 정보를 제공한다. 들기 평가 방법 중 가장 오래되었으며 들기 작업뿐 만 아니라 MMH 전반적인 작업에 사용 할 수

있는 평가 방법이다. 고려되는 변수는 수평·수직거리, 빈도, 이동거리이고, 결과는 10, 25, 50, 75 및 90%의 남자가 들 수 있는 최대 허용 무게에 대한 정보를 제공해 준다. Snook Tables은 작업장의 전반적인 평가에 유용하게 사용될 수 있고, 어떤 작업 조건에서 최대로 들 수 있는 MAWL을 산출하는데 용이하다.

지금까지 고찰한 평가방법들은 서로 다른 근거와 실험 결과를 토대로 만들어졌고, 일부의 평가 방법들은 다른 평가 방법의 장점만을 가지고 만들어졌기 때문에 올바르게 현장 특성을 파악한 후에 그 특성에 맞는 평가 방법을 적절하게 사용하는 것이 무엇보다 중요하다고 하겠다.

MMH 작업에 대한 국내의 정확한 통계자료는 없지만 국내 작업 여건상 외국에 비해 더 많을 것으로 추정되며 작업환경과 근로자의 신체조건 등이 또한 다를 것이라 판단된다(김대성, 1999). 그럼에도 불구하고 외국의 기준을 그대로 이용하고 있어 실제적으로 그 기준을 국내 산업현장의 근로자에게 적용하기는 동서양의 신체 조건, 정신적 조건과 작업환경 등이 상이하기 때문에 합리적이지 않다. 이러한 점을 고려하여 국내에서도 MMH 작업의 최대 허용중량결정에 대한 연구(이종권, 1993; 이종권 등, 1997)가 이루어지긴 하였으나 아직 미흡한 실정이므로 각 평가 방법의 장·단점을 바탕으로 한국인의 생리적·생체 역학적 특성에 대한 실험을 통해 외국의 Snook Tables과 같은 기준 데이터를 구축하고 기준에 사용하고 있는 평가 방법들을 검토시켜 국내 현실에 맞는 평가 방법을 개발하는 것이 필요하다.

V. 결 론

본 연구는 선박용 대형 디젤엔진

생산 사업장을 대상으로 45개 들기 작업에 대해 NLE, WAC 및 Snook Table의 3가지 들기 평가 방법을 이용하여 위험성을 평가한 결과를 비교하고 각 평가도구의 장단점을 포함한 특징을 고찰하였다. 본 연구에서 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 전체 45개 들기 작업 중 NLE에 의한 들기지수(Lifting Index, LI = 물체무게/권고무게) LI(LI_{NLE})의 경우 34개 (75.6%) 작업이 1을 초과하였고 11개 (24.4%)작업이 2를 초과하였다.

WAC에 의한 LI(LI_{WAC})의 경우 11개 (24.4%)작업이 1을 초과하였고 2를 초과하는 작업은 없었다. Snook Table에 의한 LI(LI_{Snook})의 경우 1을 초과하는 작업이 29개(64.4%)이고, 2를 초과하는 작업은 12개(26.7%)로 나타났다. 이와 같이 LI_{NLE} > LI_{Snook} > LI_{WAC} 순이었고 LI_{NLE}가 가장 엄격한 것으로 나타났다.

2. LI_{NLE}와 다른 평가 방법들 간의 상관관계는 유의하게 높게 나타났다. LI_{NLE}와 LI_{WAC}의 상관계수(r)는 0.93으로 가장 높았고($p < 0.01$), LI_{NLE}와 LI_{Snook}의 상관계수는 0.88($p < 0.01$) 나타났다 ($p < 0.01$). LI_{NLE}와 LI_{WAC}의 회귀식은 $y = 0.444x + 0.11$ ($r = 0.93$), LI_{NLE}와 LI_{Snook}의 회귀식은 $y = 0.93x + 0.008$ ($r = 0.88$)이었다.

3. ANOVA 결과 세 가지 평가 방법 간에는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.01$).

Duncan 검정에 의한 사후분석을 실시한 결과 WAC만 동일집단군으로 묶일 수 없었다. WAC의 경우 다른 평가 방법과는 달리 실제적으로 요통 발생을 일으킬 수 있는 LI를 제시하기 때문에 다른 도구에 비해 유의하게 낮은 LI_{WAC} 값을 산출한 것으로 판단된다. NLE와 Snook Tables의 경우 서로 간에 측정변수와 평가방법은 다르지만 산출된 LI 값은 유의한 차이를 보이지 않았다.

4. 세 가지 평가방법은 연구결과에 제시한 바와 같이 서로 장점과 한계

점이 있으므로 이를 충분히 파악한 후 적용대상 작업의 특성, 사용자의 특성, 조사 목적 등에 가장 부합하는 방법을 선정하여 사용하여야 할 것이다

REFERENCES

- 김재성, 양성환, 이동경, 오정룡, 최정근. 근로자세에 대한 인간공학 적 평가 방법들의 비교. 대한인간공학회 1999;293-299
- 권은혜. 자동차 조립부서 Manual Lifting 작업에 관한 인간공학 적 연구. 서울대보건대학원 석사학위 논문, 1997.
- 노동부. 2004년도 산업재해 현황. 노동부, 2005.
- 박현진. 허리의 비틀림 동작시 근육의 활동 및 발휘근력에 관한 연구. 부산대학교 석사 학위논문, 2001
- 이관형, 박정선, 이경용 등. 작업관련성 요통발생 실태에 관한 조사 연구-작업관련성 요통을 중심으로. 한국산업안전공단 산업보건 연구원, 1996.
- 이종권. 퍼지모형을 이용한 손운반 작업의 최대허용중량 결정 방법에 관한 연구. 동아대학교 박사 학위 논문, 1993.
- 이종권, 남현우, 박재민. 중량물 수인양에서의 최대허용중량 결정에 관한 연구. 한국기계공학회 1997;2(2):69-83
- Cirello VM. The effects of box size, vertical distance, and height on lowering tasks. International Journal of Industrial Ergonomics 2001;28(2): 61-67
- Dempsey PG., Burdorf A, Fathallah FA. et al. Influence of measurement accuracy on the 1991 NIOSH equation. Applied Ergonomics 2001;32(3):9-99
- National Institute for Occupational Safety and Health : A Work Practice Guide for Manual Lifting, DHHS(NIOSH) Publication No.31-122, NIOSH, Cincinnati, Ohio, 1981.
- National Institute for Occupational Safety and Health : Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation. DHHS(NIOSH) Publication No.1-52, NIOSH, Cincinnati, Ohio, 1994.
- Richard W, Marklin JF. Four assessment methods of ergonomics Interventions : case study at an electric utility's warehouse system. American Industrial Hygiene Association Journal 1999;60(6):777-784
- Snook SH and Ciriello VM. The design of manual handling tasks: revised tables of maximum acceptable weights and forces. Ergonomics 1991;34(9):1197-1213
- Thomas R, Vem PA, Sherry B. Methods for assessing the physical demands of manual lifting: A review and case study from warehousing. American Industrial Hygiene Association Journal 1998(6);59:871-881
- Thomas R, Waters TR, Sherry L et al. Evaluation of the revised NIOSH lifting equation. Spine 1999;24(4):386-395
- Wang M-J, Garg A, Chang Y-C et al. The relationship between low back discomfort ratings and the NIOSH lifting index. Human Factors 1998;40:509-515
- Washington State. WAC 296-62-05174 Appendix B: Criteria for analyzing and reducing WMSD hazards for employers who choose the specific performance approach-heavy, frequent or awkward lifting. Washington State Department of Labor and Industries, 2000(available

- from <http://www.lni.wa.gov/wisha>)
- Waters TR, Putz-Anderson V, Garg A et al. Revised NIOSH lifting equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics* 1993;36(7):749-776
- Waters TR, Baron SL and Kemmlert K. Accuracy of measurements for the revised NIOSH lifting equation. *Applied Ergonomics* 1998;29(6):433-438
- Waters TR, Baron SL, Piacitelli LA et al. Evaluation of the revised NIOSH lifting equation. *Spine* 1999;24:386-395
- Wu S-P. Maximum acceptable weight for asymmetric lifting of Chinese females. *Applied Ergonomics* 2003;34(4):215-224