작업점에 따른 한국인의 들기능력 변화에 관한 연구

권영일 · 배동철 · 장성록
부경대학교 안전공학과

1. 서 론

급격한 산업의 발달로 대부분의 산업현장이 자동화가 이루어져 있다 하더라도 아직 우리나라에서 대기업은 물론 중소기업에 이르기까지 완전 자동화는 이루어지지 않고 있는 실정이다. 국내 전체 사업장 3,187,916개 중 3,157,160개 사업장이 50인 미만인 사업장으로 전체의 99%가 중소규모로 나타나 향후로도 들기작업, 앞 · 뒤 · 옆으로 옮기기 등의 인력 운반작업은 계속 될 것으로 사료된다[1]. 특히 이중에서 사고의 대부분이 물건을 들고 내릴 때 발생되기 때문에 상당히 중요한 부분을 차지하고 있다[2,3].

최근 노동부에서 집계한 과거 3년간(2001년~2003년) 산업재해 발생현황 통계자료의 재해자 및 근골격계 질환자를 살펴보면 Table 1과 같다[4].

Table 1 산업재해 발생현황(노동부 발간자료)

구 분	사업장수	근로자수	재해자수	재해율 (%)	손실액(백만) (산재보상금)	근골격계질환 (신체부담,요통)	점유율(%) (근골/재해자)
2001	909,461	10,581,186	81,434	0.77	1,744,539	1,634	2.00
2002	1,002,263	10,571,279	81,911	0.77	2,020,335	1,827	2.23
2003	1,006,549	10,599,345	94,924	0.90	2,481,814	4,532	4.77

이러한 인력운반작업에 대해 미국, 일본, ILO에서는 각기 중량물 및 인력운반 권장기준을 내놓고 있으나 우리나라는 NIOSH(미국국립산업안전보건연구원)의 기준을 그대로 적용하고 있다. 그러나 NIOSH 기준 자체는 보통속도로 양손으로 들어 올릴 것, 물체 가로길이가 75cm이하로 좌우대칭이어서, 양손에 잡기 좋은 중량물일 것, 물체를 들어올릴 때에는 자연스런 자세를 유지할 것, 바닥 및 신발은 미끄럽지 않아야 하며, 적정 온습도를 유지할 것 등으로 여러 가지 제약이 따른다. 이러한 가정을 고려하여 NIOSH에서는 두 가지 권고기준인 AL(Action Limit)과 MPL(Maximum Permissible Limit)을 설정하여 사용하고 있다[5]. 현재 사용하고 있는 NIOSH lifting equation(NLE)의 수평/수직계수를 한국인의 체형 등 신체 조건을 고려하여 근력변화에 대한 기준을 재설계할 필요성이 있다. 각 변수에서의 최대근력을 측정하고 실제 적용되고 있는 NIOSH 기준과의 비교를 통해 보다 효과적인 적용이 이루어지도록 하는 데에 본 연구의 목적이 있다.

2. 실험설계 및 실험방법

본 연구에서는 남자 대학생 30명을 피실험자로 선정하여 기존 NIOSH 기준에서 사용되는 계수 중 수평, 수직계수만을 고려하여 거리기준 변화에 따른 최대근력을 측정하였다. 자세제어를 위해 팔 힘만을 사용하도록 통제하였다. 피실험자들의 인체측정 결과는 다음의 Table 2와 같다.

Table 2. 피실험자 인체측정 결과

구분	연령 (Year)	신장 (cm)	체중 (kg)	발목 높이 (cm)	무릎 높이 (cm)	허리 높이 (cm)	팔꿈치 높이 (cm)	어깨 높이 (cm)	상완 길이 (cm)	전완 길이 (cm)
Ave.	25.3	175.49	69.08	10.1	50.43	100.3	111.27	145.2	33.7	29
SD	0.7	4.66	7.51	0.88	2.36	2.94	3.22	4.44	3.38	1.26

실험기기는 근력측정을 위한 digital dynamometer와 측정센서 및 실험대로 구성되며 실험변수 중 수직거리는 각 피실험자의 인체측정 결과에 따라 발목, 무릎, 허리, 팔꿈치, 어깨, 머리 높이에서 실시하였다. 기존 문헌에서는 수직거리를 10cm, 45cm, 75cm, 105cm, 140cm로 구분하였으나 피실험자별로 신체치수가 상이하므로 각 피실험자별 인체측정 data를 이용하였다[6]. 수평거리는 기존 문헌에서는 25.4cm, 38.1cm, 50.8cm 3가지로 분류하여 실험하였으나, 본 연구에서는 최대근력의 감소경향을 보기 위해 실험점인 센서 부착위치에서 30~80cm를 10cm 단위로 구획하도록 설계하였다[7]. 실험대는 자체 제작하였다. 자체 제작한 실험대는 다음의 Fig. 1과 같다.

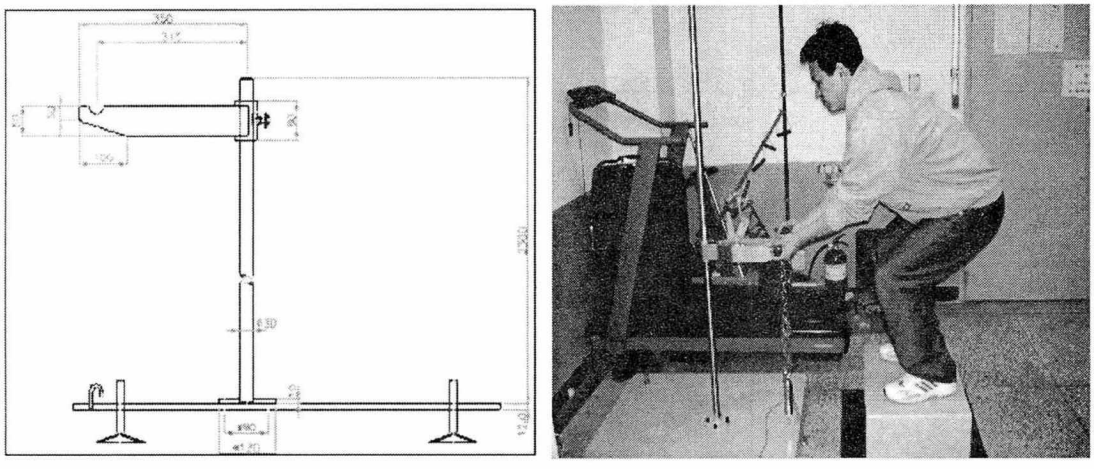

Fig. 1 실험기기 구성

3. 실험 결과

3.1 수직, 수평거리에 따른 최대근력 측정 결과

수직거리를 각 피실험자의 발목, 무릎, 허리, 팔꿈치, 어깨 및 머리 높이로 변화, 수평거리를 30cm~80cm까지 10cm 단위로 변화시켜 최대근력을 측정한 결과는 다음의 Table 3과 같다. 80cm 거리에서는 인체의 기능적 도달한계로 인하여 측정에 실패하였다.

Table 3. 수직, 수평거리별 최대근력(평균±표준편차)

(단위 : kg)

수평거리 / 수직거리	30cm	40cm	50cm	60cm	70cm	80cm
발목높이	23.33±4.02	16.33±2.84	11.77±1.87	4.77±4.34	-	-
무릎높이	25.53±4.60	19.47±2.93	12.83±3.23	8.93±2.16	8.00±1.25	-
허리높이	25.10±4.68	18.23±4.75	13.93±3.71	9.07±1.70	7.58±0.84	-
팔꿈치높이	22.93±5.32	17.97±5.48	13.33±3.92	9.37±1.83	7.15±1.95	-
어깨높이	22.57±4.67	15.97±4.62	10.90±2.20	7.68±1.79	7.83±2.32	-
머리높이	18.10±4.59	12.60±3.59	9.07±1.73	6.44±1.24	-	-

수평거리에 따른 수직거리별 최대근력 감소경향을 살펴보면 발목높이에서는 수평거리 30cm일때를 기준으로 각각 70.00%(40cm), 50.45%(50cm), 20.45%(60cm)로 감소하였으며 무릎높이에서는 76.26%(40cm), 50.25%(50cm), 34.98%(60cm), 31.34%(70cm)로 감소하였다. 허리높이에서는 72.63%(40cm), 55.50%(50cm), 36.14%(60cm), 30.2%(70cm), 팔꿈치높이에서는 78.37%(40cm), 58.13%(50cm), 40.86%(60cm), 31.18%(70cm), 어깨높이에서는 70.76%(40cm), 48.29%(50cm), 34.03%(60cm), 34.69%(70cm), 머리높이에서는 69.61%(40cm), 50.11%(50cm), 35.58%(60cm)로 각각 감소하는 경향을 보였다.

수직거리에 따른 수평거리별 최대근력 감소경향을 살펴보면 수평거리 30cm에서는 발목높이를 기준으로 각각 109.43%(무릎높이), 107.59%(허리높이), 98.29%(팔꿈치높이), 96.74%(어깨높이), 77.58%(머리높이)로 증감이 나타났으며, 40cm에서는 119.23%(무릎높이), 111.64%(허리높이), 110.04%(팔꿈치높이), 97.80%(어깨높이), 77.16%(머리높이)로 증감이 나타났다. 50cm에서는 109.01%(무릎높이), 118.35%(허리높이), 113.25%(팔꿈치높이), 92.61%(어깨높이), 77.06%(머리높이), 60cm에서는 187.21%(무릎높이), 190.15%(허리높이), 196.44%(팔꿈치높이), 150.31%(어깨높이), 135.01%(머리높이)로 증감이 나타났다. 70cm에서는 발목높이에서 피실험자 1명만이 실험이 이루어져 무릎높이를 기준으로 94.75%(허리높이), 89.38%(팔꿈치높이), 97.88%(어깨높이)의 감소경향을 보였다. 80cm에서는 자세유지가 불가능하여 30명의 피실험자 모두가 측정에 실패하였다.

수평거리에 따른 수직거리별 최대근력의 변화와 수직거리에 따른 수평거리별 최대근력의 변화를 다음의 Fig. 2, 3에 나타내었다.

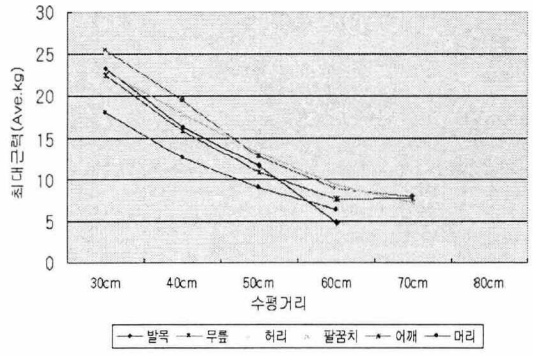

Fig. 2 수평거리에 따른 수직거리별 최대근력 변화

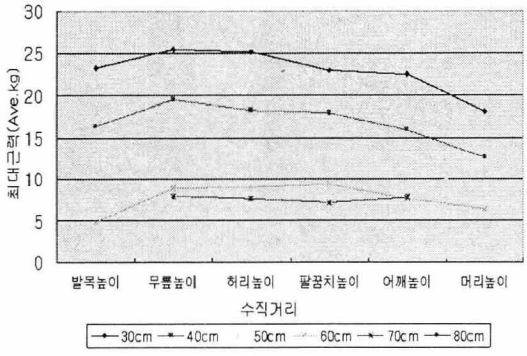

Fig. 3 수직거리에 따른 수평거리별 최대근력 변화

3.2 분석결과

Table 4는 통계프로그램인 SPSS Release 12.0을 사용하여 최대근력에 대한 수직거리와 수평거리의 영향을 분산분석(Analysis of Variance; ANOVA)을 통하여 나타낸 결과이다.

Table 4. 최대근력의 ANOVA 분석 결과

	제 III 유형 제곱합	DF	Mean Square	F	Sig.	부분 에타 제곱
수정 모형	24649.861(a)	29	849.995	67.947	.000*	.737
절편	12963.877	1	12963.877	1036.304	.000*	.596
수직거리	1373.508	5	274.702	21.959	.000*	.135
수평거리	19723.259	5	3944.652	315.327	.000*	.692
수직거리 * 수평거리	315.943	19	16.629	1.329	.157	.035
오차	8794.333	703	12.510			
합계	195710.000	733				
수정 합계	33444.194	732				

(* : $p<0.01$)

분산분석 결과 수직거리와 수평거리는 최대근력에 대해 유의함($p<0.01$)을 인수 있었다.

4. 결론 및 제언

본 연구에서는 인력물자취급시에 발생할 수 있는 위험성을 평가하기 위한 NLE의 계수 중 수직계수와 수평계수에 따른 최대근력의 변화를 살펴보았다. 이를 위해 수직계수 및 수평계수를 각각 6가지로 설정하여 36가지 조합에 대해 실험한 결과 근력의 변화가 선형적으로 나타났으며, 수직거리보다 수평거리의 증가에 따른 감소경향이 뚜렷하게 나타났다. 따라서 수평거리를 줄이는 것이 위험성 저감에 보다 효과적이라 하겠다.

다음의 Fig. 4, 5는 NLE의 수직계수와 수평계수를 통해 권장무게한계(RWL : Recommended Weight Limi) 값을 구한 결과와 실험을 통해 나타난 최대근력의 경향과 비교한 것이다. 수평거리는 팔꿈치 높이를 기준으로 하였으며 수직거리는 수평거리 30cm를 기준으로 하였다.

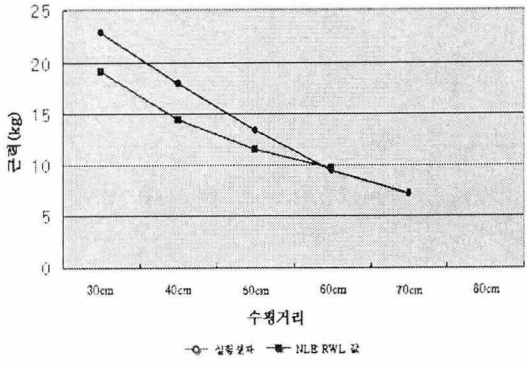

Fig. 4 수평거리에 따른 NLE RWL과 실험결과 최대근력의 감소경향 비교

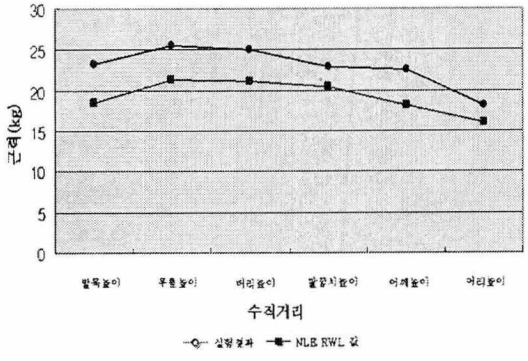

Fig. 5 수직거리에 따른 NLE RWL과 실험결과 최대근력의 감소경향 비교

NLE에서는 수평거리가 63cm를 초과한 경우 한계상황으로 보고 수평계수 HM을 0으로 처리하나 실험결과 60~70cm 사이에서는 최대근력의 변화가 거의 나타나지 않았으며, 80cm에서 인체의 기능적 도달한계로 인해 실험이 실패한 것으로 나타났다. 따라서 수평거리에 따른 권고하중에 대해서는 한계치를 재조정할 필요가 있을 것으로 사료된다. 수직거리에 따른 최대근력의 변화는 NLE의 수직계수 변화에 따른 권고하중과 유사한 형태를 취하는 것으로 나타났다.

본 연구는 NLE에서 정하고 있는 다른 계수들에 대한 영향을 추가 연구를 통해 분석하여 한국인의 특성을 반영한 표준개발의 기초연구가 될 것으로 사료된다.

참고문헌

1) 통계청, 전국산업체 기초조사 통계, 2004
2) A.M. Genaidy, K.M. Bafna, E. Delgado and A. Mhidze, An ergonomic study for the control of upper extrimity cumulative trauma disorder in manufacturing industry, Advanced in Industrial Ergonomics and Safety Ⅱ, pp 245-250, 1990
3) E. Grandjean, Fitting the task to the man 4th ed., Taylor & Fancis Ltd., 1988
4) 노동부, 2001-2003 산업재해분석, 2004
5) T.R. Waters, V. Putz-Anderson and A. Garg, Applications manual for the revised NIOSH lifting equation, Cincinati, OH: DHHS(NIOSH), 1994
6) L. Tzu-Hsien, Static lifting strengths at different exertion heights, International Journal of Industrial Ergonomics, Vol 34, pp 263-269, 2004
7) 양성환, 김종인, 최정화, 박범, 갈원모, 수평거리에 따른 요배근력과 척추기립근의 근전도 변화, Journal of the Korean Institute of Plant Engineering, Vol 6, No. 1, Mar 2001