

# 정확도 요구와 작업자 성격 유형이 들기 작업 부담도에 미치는 영향



이 성 대  
(대한산업안전협회)

## 1. 서 론

오늘날 생산 기술의 발달과 자동화의 보급으로 인간의 육체적 노동을 통하여 이루어지던 많은 작업들이 기계나 동력 기구를 이용하여 수행되고 있다. 그러나 아직도 대부분의 작업현장에서는 작업자의 근력을 매개로 한 작업이 높은 비율을 차지하고 있다. 인력운반(Manual Materials Handling : 이하 MMH) 작업은 기계나 동력기구의 도움 없이 작업자의 근력을 이용하여 작업물을 원하는 위치까지 이동시키는 작업으로 근육을 매개로 하는 대표적인 작업이다. MMH 작업 시 행해지는 동작형태로는 들기(lifting), 내리기(lowering), 밀기(pushing), 당기기(pulling), 운반하기(carrying), 들고 있기(holding) 등이 있다.

MMH 작업은 과거 40 여 년간 인간공학을 비롯한 여러 관련분야에서 끊임 없이 연구되어온 주제로서, 산업 현장에서 발생하는 일반적인 동작들의 30% 정도가 이러한 형태를 포함하고 있는 것으로 알려져 있다. 이렇게 폭 넓게 사용되고 있는 MMH 작업은 작업 시 과도한 중량물의 취급이나 작업과정에서 발생하는 반복적인 뒤틀림으로 인해 요통(Low-Back Pain : 이하 LBP)이나 누적

성외상질환(Cumulative Trauma Disorder : 이하CTD)과 같은 근골격계질환(Musculoskeletal Disorder)을 유발하게 된다. 특히 동일한 동작이 오랜 시간동안 지속되는 단순반복 작업에 대해서는 LBP나 CTD와 같은 근골격계질환의 위험성이 높게 보고 되고 있다.

이러한 이유로 미국의 경우 NIOSH에서 물건을 들어올리는 작업에 대한 안전기준을 1981년에 제정하였고, 1991년에는 이를 수정 보완하여 “Revised NIOSH Lifting Equation“을 발표하였다. 또한 OSHA에서는 근골격계질환을 예방하기 위한 10 가지 최대 우선 과제를 분류하였다. 최근에는 인간공학자, 생리학자, 생체역학자, 심리학자 등이 작업의 위험요소를 최소화하기 위한 계속적인 연구를 수행하고 있는 상황이다.

본 연구의 주제가 되고 있는 반복적인 들기 작업의 특징은 단순반복 작업이 지속적으로 일어나며, 이러한 작업이 작업자의 근골격계질환에 큰 영향을 미친다는 것이다. 또한 근골격계질환은 단순반복 작업에 의하여 기계적 스트레스가 신체에 누적되어 목, 어깨, 팔, 팔꿈치, 손목, 손 등의 신경, 건(tendon), 근육 및 그 주변조직에 나타나는

질환으로 정의되고 있다.

근골격계질환의 원인으로 파악된 주요 작업 요인으로는 반복동작, 작업지속시간, 작업자세, 과도한 중량 등이 있으며, 그 밖에도 반복주기, 작업환경, 작업방법, 사용도구 등도 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. 반복동작은 관절을 중심으로 이루어지는 동적인 동작으로 주기적인 근육의 수축을 요구하게 된다. 국제노동기구(ILO)에서는 작업 반복 주기가 10초(0.17분) 이하인 경우 근육의 피로를 유발하게 되므로 휴식이 필요하며, 작업주기가 짧을수록 회복시간이 더욱 길어진다고 보고하였다.

이러한 단순반복 작업은 그 지속시간이 짧은 경우 신체 근육 조직에는 극히 미세한 손상만을 발생시키기 때문에 우리 몸의 자연치유능력으로 회복되어 정상적인 동작에는 전혀 문제가 발생하지 않으나, 1 시간에 수백 번 또는 수천 번 발생하는 경우 자연 치유능력이 손상된 부위를 완전히 회복시키지 못하게 된다. 더 나아가서 이런 손상이 6개월 이상 지속되는 경우 복원 불가능한 상태까지 갈 수 있으며, 무거운 중량물을 가지고 작업하거나 불안정한 작업자세로 반복적인 작업을 한다면 근골격계질환의 발생 빈도가 증가한다.

반복적인 들기(MMH) 작업시 작업설계와 직무 배치에 관련된 기존의 많은 연구들에서는 작업자 성격유형과 정확도 요구를 고려하거나, 이들 간 교호작용에 대한 분석의 연구가 부족한 실정이다. 본 연구는 무게, 정확도 요구, 그리고 작업자의 성격유형을 고려하여 작업부하의 변화를 분석하는데 목적이 있다. 작업부하는 사용 근육에 대한 EMG 측정값을 분석하는 객관적 평가와 작업자가 생각하는 무게를 자유롭게 평가하여 그 순위에 대해 분석하는 주관적 평가를 사용한다. 객관적인 평가에서는 기존의 연구에서 밝혀진 정확도와 성격유형이 반복적인 들기 작업에 대해서 어떠한 영향을 미치는지를 평가하고, 각 무게에 따라 성격유형과 정확도의 교호작용이 어떻게 변화 하는지

를 밝힌다. 또한 주관적 평가 결과에 대해서도 동일한 분석을 실시하며, 주관적 평가 결과와 객관적 평가 결과를 비교하여 두 평가 방법간의 관계를 밝히고자 한다.

## 2. 이론적 배경

Milerad & Ericson은 정확도의 요구가 자세의 안정화 기능을 수행하는 주동근에 유의한 영향을 미친다고 하였다. 이 결과는 반복적인 들기 작업에 관한 연구에서 지금까지 고려된 유의한 요인 외에도, 정확도가 사용 근육의 작업부하에 영향을 준다는 증거를 제시해 준다고 할 수 있다.

그러나 객관적인 신체 각 부위의 작업부하(EMG)와 작업자가 주관적으로 느끼는 작업부하에는 차이가 있을 수 있다. 실제 직업병은 직무 스트레스에 의해서도 발생하게 되는데, 스트레스를 경험하는 정도의 차이를 설명할 수 있는 요인들 중 하나가 개인의 성격유형이다. 성격유형을 A유형(Type A)과 B유형(Type B)으로 나눌 수 있는데, 이러한 성격유형이 직무 스트레스를 경험하는 정도와 밀접한 관련이 있다. A 유형의 사람들은 걸음걸이나 말이 빠르고, 야심이 많고, 시간적 강박관념에 사로잡혀 한꺼번에 여러 가지 일을 하려고 하고, 할 일이 있으면 빨리 처리하게 된다. 반면에 B 유형의 사람들은 야심도 많고 열심히 일도 하지만 마음의 여유를 가지며 조금하게 생각하지 않고 주로 작업의 질에 관심을 갖게 된다.

이러한 특성을 고려할 때, 동일한 작업환경에서 작업을 수행한다 할지라도 작업자 개인의 성격유형에 따라 실질적 무게를 다르게 느끼게 될 것이고, 이러한 성격차이의 영향이 객관적인 작업부하와 주관적인 작업부하에 영향을 줄 수 있을 것으로 예측된다.

인력 운반 작업에서 작업자의 능력을 산출하기 위한 학문적 접근방법으로 생리학적, 물리학적, 생체역학적 접근방법이 주로 이용되고 있다.

MMH작업을 설계함에 있어서 생리학적 접근방법의 목적은 근골격계질환의 원인이 되는 육체적

## 안전논단

피로의 가속화를 피하는 것이다. 이러한 피로는 특정 근육이나 근육 그룹에 영향을 미칠 수 있고, 또는 작업을 유지하는데 이용하는 Aerobic Capacity의 감소에 의해 몸 전체에 영향을 미칠 수 있다. 주로 비 반복적인 들기에 적용하는 생체 역학적 접근방법과는 달리, 생리학적 접근방법은 반복적인 들기에도 적용 가능하다.

중량물 취급 권장기준을 국제노동기구(ILO), 한국, 미국, 일본의 기준을 살펴보면 국제 노동기구(ILO)〈표 1〉과 미국〈표 3〉이 유사한 기준을 사용하고 있고, 한국〈표 2〉과 일본〈표 4〉은 연령별 성별 허용기준이 같다. 또한 일본노동성 재해의학연구소〈표 5〉기준이 우리나라에서 그대로 사용되고 있다.

〈표 1〉 국제노동기구(ILO)

연령	최고무게(kg)	
	남	여
14~16	14.6	9.8
16~18	18.5	11.7
18~20	22.6	13.7
20~35	24.5	14.6
35~50	20.6	12.7
50 이상	13.6	9.8

〈표 2〉 한국 (화물의 무게 = 부피×화물의 비중)

작업형태	성별	연령별 허용권장기준(kg)			
		18세이하	19~35	35~50	51세이상
일시작업 (2회/hour)	남	25	30	27	25
	여	17	20	17	15
계속작업 (3회/hour)	남	12	15	13	10
	여	8	10	8	5

〈표 3〉 미국

성별	연령	연령별 허용기준(kg)					
		14~16	16~18	18~20	20~35	35~50	50이상
남		15	19	23	25	20	16
여		10	12	14	15	13	10

〈표 4〉 일본

작업 형태	성별	연령별 허용기준(kg)			
		18세이하	19~35세	36~50세	51세이상
일시 작업	남	25	30	27	25
	여	17	20	17	15
계속 작업	남	12	15	13	10
	여	8	10	8	5

〈표 5〉 일본 노동성 재해의학연구소

구분	내용	기준
취급 중량	한 계	<ul style="list-style-type: none"> <li>단독작업은 30kg 이하로 한다.</li> <li>장기간 작업은 체중의 40%한도 내로 한다.</li> </ul>
시간	작업량	<ul style="list-style-type: none"> <li>연속작업은 20분 이내로 한다.</li> <li>운반거리는 2km 이내로(4m×500회) 한다.</li> <li>1일인이 1500kg 이내 (30kg×50회) 한다.</li> </ul>
휴식	조건	<ul style="list-style-type: none"> <li>등받이가 있는 의자를 이용한다.</li> </ul>
체조	작업전	<ul style="list-style-type: none"> <li>허리부분을 중심으로 한 체조를 실시한다.</li> <li>음악을 이용한다.</li> </ul>
적성	건강진단	<ul style="list-style-type: none"> <li>운동기능 검사를 실시한다.</li> </ul>

## 3. 실험방법

### 3.1 피 실험자의 선정 및 실험계획

피 실험자는 건강한 남자 대학생 12명으로, 평균 연령 24.6세(20~28), 평균 신장 175cm(165~187), 평균 체중 69.3kg(61~78)이었다.

실험에 사용된 독립인자는 각각 ① 성격유형, ② 정확도 요구, ③ 무게로 이 중 성격유형은 블록 인자로 Between-Subject Factor이고, 정확도 요구와 무게 인자는 Within-Subject Factor로 전체 실험이 Mixed Within-Subject Design의 형태를 취하였다.

〈표 6〉 인자별 수준 조합

구분	성격유형(A)				
	Type A(A1)		Type B(A2)		
정확도 요구(B)	없음(B1)		있음(B2)		
무게(C)	5kg(C1)	A1B1C1	A1B2C1	A2B1C1	A2B2C1
	10kg(C2)	A1B1C2	A1B2C2	A2B1C2	A2B2C2
	15kg(C3)	A1B1C3	A1B2C3	A2B1C3	A2B2C3

실험 순서에 의한 영향을 없애기 위해 각 블록에 배치된 피 실험자는 두 개의 모수인자의 수준 조합(6=2×3)을 랜덤한 순서로 수행하였다.

무게, 정확도 요구, 성격유형이 근육 활동에 미치는 영향에 대한 분석이라는 연구 목적에 따라 세운 가설은 다음과 같다.

- (1) 성격유형이 근육 활동에 영향을 미친다.

$$NEMGi1kl \neq NEMGi2kl$$

- (2) 정확도가 근육 활동에 영향을 미친다.

$$NEMGi1kl \neq NEMGi2kl$$

- (3) 성격유형, 정확도, 무게 사이에 근육활동에 대한 교호작용이 존재한다.

### 3.2 실험 장비 및 측정근육

들기 작업에 동원되는 상완, 어깨, 그리고 허리 등의 신체 부위에서 측정근육을 선정하였으며, 선정된 근육은 우측의 상완이두근(Biceps Brachii : BB), 상완삼두근(Triceps : TR), 삼각근(Deltoid : DR), 그리고 척추기립근(Erecto Spinae : ER)이고 각 선정 근육 부위에 표면전극 1 Channel을 부착하여 근전도를 측정하였다.

EMG가 비교적 오랫동안 사용되어 왔음에도 불구하고 전극의 최적 부착위치에 대해 언급한 문헌이나 정보는 적다. 어떤 연구자들은 가장 쉽게 자극 받는 부위(운동 위치)의 근육에 부착하면 최대 크기의 전위를 얻게 된다고 하였다. 그러나 Basmajian & DeLuca에 의하면 이러한 위치에서 최대 크기의 전위를 나타내지 않으며, 해당 위치에서 1cm 정도의 간격을 띄워서 측정할 것을 권하고 있다. 일반적으로는 특정 해부학적 위치에 전극을 부착하게 된다. 이와 같은 내용을 고려한 각 근육별 전극 부착 위치는 다음과 같다.

상완이두근 장두는 견갑골 관절상결절에서 단두는 오쇄돌기에 부착, 기시하여 요골의 이두근 용기에 부착된 근육으로 전완의 굴곡 운동, 전완의 회외운동, 상완골의 근소한 상승, 상완골의 굴곡 운동 등의 작용을 한다. 이두근 용기 중 가장 두터운 곳에 전극을 부착하였다.

상완 삼두근은 상완골 요골신결절 아래에서 기시하여 주두돌기로 부착되어 있는 근육으로 전완의 신전과 어깨 관절의 신전을 돕는다. 앞드려 팔을 외전시킨 자세에서 상완골 내측 상과에서 세 손가락 너비 근위부에 전극을 부착하였다.

삼각근은 견봉에서 기시하여 상완골 삼각근 용기에 부착된 근육으로, 삼각근 전체 근육을 이용하여 순수 외전하며, 바로 누워 팔을 붙힌 자세에서, 견봉과 삼각근 돌기 사이의 중앙점에 부착하였다.

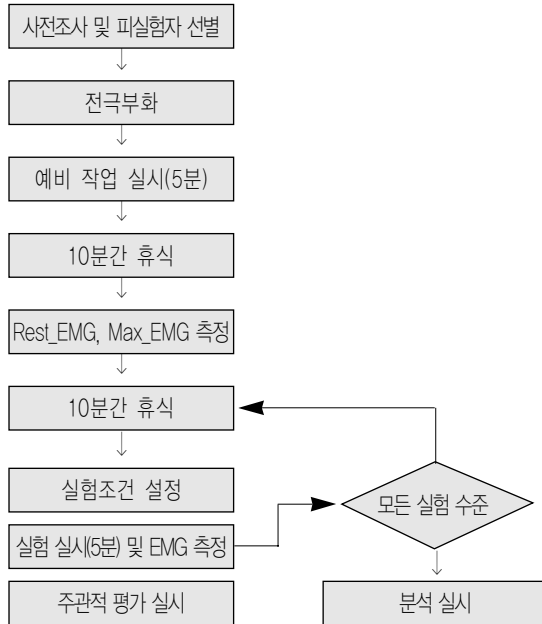
척추기립근은 장골의 후능, 천골의 뒷면 하부, 하부 7개 늑골각의 내측 가장 자리, 모든 요추와 하부 4개의 흉추의 척추돌기, 모든 흉추의 횡단 돌기에서 기시하여, 늑골 각 (늑골이 굽어져서 우각을 이룬 부분), 모든 척추의 횡단 돌기에 부착된 근육으로 척추의 신전과 머리를 뒤로 젖히는 작용을 한다.

본 연구에 적합하도록 실험대를 제작하여 실험을 수행하였으며, 근전도 측정을 위하여 표면전극(Surface Electrodes)을 사용하는 미국 Noraxon사의 EMG 시스템을 사용하였다.

들기 작업에 동원되는 상완, 어깨, 그리고 허리 등의 신체 부위에서 측정근육을 선정하였으며, 선정된 근육은 우측의 상완이두근(Biceps Brachii : BB), 상완삼두근(Triceps : TR), 삼각근(Deltoid : DR), 그리고 척추기립근(Erector Spinae : ER)이고 각 선정 근육 부위에 표면전극 1 Channel씩을 부착하여 근전도를 측정하였다.

### 3.3 실험 진행 절차

전체적인 실험 진행 절차를 <그림 1>에 도식적으로 나타냈다. 개별 근육으로부터 측정된 EMG 값들에 대한 NEMG를 구하고 이 값을 각 수준 조합에 대한 결과 값으로 비교 사용한다. 각 수준 조합에 대한 개별 근육의 NEMG는 다음의 식을 이용하여 산출하였다.



〈그림 1〉 실험도

$$NEM(i,j,k,\ell) = \frac{EMG(i,j,k,\ell) - EMG_{rest}(\ell)}{EMG_{Max}(\ell) - EMG_{rest}(\ell)}$$

- i = 성격유형 = 1, 2
- j = 정확도 요구수준 = 1, 2
- k = 무게수준 = 1, 2, 3
- ℓ = 측정근육 = 1, 2, 3, 4

Normalized 된 개별 근육의 NEMG 값들을 모두 합하여 TNEMG를 구하고, 이 값을 각 수준 조합에 대한 결과값으로 비교 사용한다.

$$TNEMG(i,j,r) = \sum \neq MG(i,j,r,\ell)$$

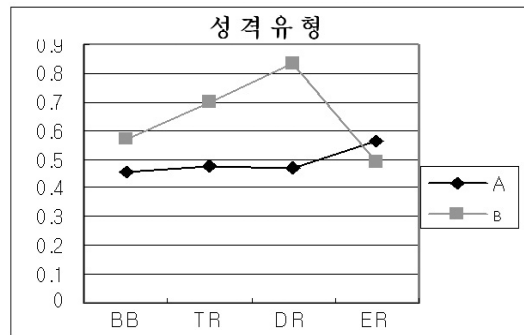
## 4. 실험결과 및 토의

### 4.1 성격유형과 근육활동

객관적 분석 결과 모든 근육에 대해서 성격유형이 근육활동에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. A형 성격은 팔 근육인 상완이두근(BB), 상완삼두근(TR), 삼각근(DR)의 활용도가 낮고 허리 근육인 척추기립근(ER)의 활용도가 높게 나타났

다. 반면 B형 성격은 팔 근육의 활용도가 허리 근육의 활용도보다 높게 나타났다. 즉, 단순반복 들기 작업 시 성격이 조급한 편인 A형 성격이, 느긋한 편인 B형 성격보다 허리에 부담을 더 받는다는 것을 확인할 수 있었다.

MMH 작업에 있어 요통으로 인한 상해가 가장 많이 발생하고 있다. 물론 NEMG값은 순간적인 근육의 부하에 대한 측정값이기는 하지만, 반복 작업에서 빈도수가 높을 경우 누적 피로로 인한 재해가 발생할 우려가 높다. 본 연구 결과를 통해 알 수 있듯이, MMH 작업에 대해서는 성격이 급한 작업자보다는 성격이 온순하고 느긋한 작업자를 배치하는 것이 근골격계질환, 특히 요통으로 인한 질환 예방에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.



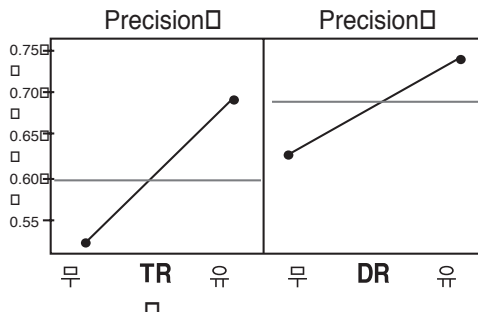
〈그림 2〉 성격유형에 따른 각 근육별 NEMG값의 변화

### 4.2 정확도와 근육활동

객관적 분석결과 정확도의 요구수준이 상완삼두근(TR)과 삼각근(DR)의 근육활동에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다(P=0.000, P=0.000).

들기 작업에 있어 상완이두근(BB)과 척추기립근(ER)은 주동근이되고, 상완삼두근(TR)과 삼각근(DR)은 길항근으로서 정확도 요구수준이 길항근에 유의한 영향을 미침을 알 수 있다. 정확도가 요구될 때 근육의 활용도가 높게 나타남으로써 작업장에서는 정확도가 요구되는 작업이 그렇지 않

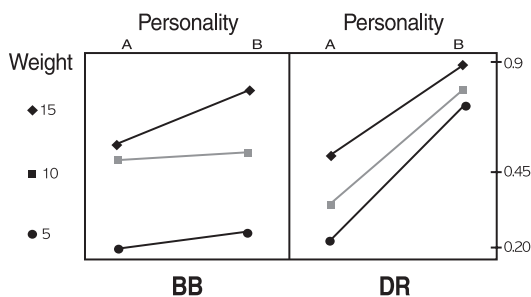
은 작업에 비해 작업자에게 보다 큰 부하를 발생 시킴을 확인할 수 있었다.



〈그림 3〉 정확도 유무에 따른 TR과 DR의 NEMG값 변화

#### 4.3 성격유형, 정확도, 무게 사이의 교호작용에 의한 근육활동 변화

개별 근육의 NEMG값 분석결과 상완이두근(BB)과 삼각근(DR)이 무게와 성격유형 사이의 교호작용에 의한 영향이 유의한 것으로 나타났다(P=0.000, P=0.000). TNEMG값 분석결과에서도 무게와 성격유형 사이의 교호작용이 유의한 영향을 미친다는 결과가 나왔다(P=0.000). 이것은 TNEMG값이 개별 근육의 NEMG값의 합으로써 상완이두근(BB)과 삼각근(DR)의 영향으로 인한 결과로 분석된다. 그 외의 다른 교호작용에 의한 영향은 모두 유의하지 않은 것으로 나타났다.



〈그림 4〉 무게-성격유형 간의 교호작용에 의한 BB와 DR의 NEMG값의 변화

MMH 작업에서 무게, 성격유형, 정확도 요구 수준에 의한 교호작용의 영향이 크지 않으므로, MMH 작업 설계 시 교호작용 효과에 대한 반영은 크게 고려하지 않아도 무방할 것이다.

### 5. 결론 및 향후 연구과제

반복적인 들기 작업에서 인간의 근력에 영향을 주는 요인들을 살펴보면, 이들 요인들은 독립적으로 작용하는 것이 아니며, 상호 작용을 통해 그 영향이 증가되기도 하고 감소되기도 한다.

일반적인 MMH 작업에서는 작업물의 무게를 중심으로 작업부하에 대한 평가가 이루어지고 있으나, 본 연구를 통해 확인된 바와 같이 작업자의 성격유형과 정확도 요구수준과 같은 부가적 영향인자들을 함께 고려할 필요성이 있다고 생각한다. 본 연구결과를 통해 MMH 작업 설계 시 정확도 요구가 있는 경우에는 그렇지 않은 경우에 비해 작업물의 무게를 낮추어야 함을 확인하였다. 또한, 요통발생을 줄이기 위해서는 작업자의 성격을 고려할 필요가 있음도 확인하였다. 본 연구결과는 작업 설계와 직무배치 등에 활용할 수 있는 보다 능률적이고 안전한 MMH Guide Line을 개발하는 과정에서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 작업자의 성격유형과 정확도 요구수준만을 고려한 실험을 실시하였다. 하지만 실제 작업장에서는 이것 외에도 여러 가지 요인들이 있고, 그런 요인들이 근육활동에 미치는 영향에 대해서도 연구되어야 할 것이다.

