

요통재해의 위험요인분석모형의 개발

이남식, 신찬수, 김호성*

한성대학교 산업시스템공학부
성균과대학교 산업공학과*

1. 서론

본 논문은 인력운반작업(Manual Materials Handling)과 관련된 위험요인을 파악하여 안전한 작업을 설계할 수 있는 기준을 설정하는 것을 목표로 하고 있으며, 이러한 목표를 달성하기 위하여 운수유통업을 중심으로 현장에서의 인력운반 작업에 대한 실증적인 조사를 실시하여 기존에 알려진 인력운반의 위험요인 이외에 작업자들의 행동적인 위험요인이나 그 밖에 그간 고려되지 못하였던 실질적인 위험인자들을 밝혀내고자 하였으며 최근에 들어 인력운반에 있어 새로운 위험평가 기법으로 사용되고 있는 LMM(Lumbar Motion Monitor)을 가능하게 할 수 있는 electrogoniometric system을 구성하여 새로운 방법으로 인력운반의 위험성을 평가 하고자 하였다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 요통재해의 위험요인에 대한 조사

직업성 상해중에서 요통(LBD, low back disorder)이 차지하는 비중은 미국의 경우 전체 상해의 약 20%와 산재보상액의 약 40%를 차지하고 있으며 우리나라에서도 구로공단지역의 조사에서 밝혀진 바에 의하면 약 8~10%의 재해건수와 4~6%의 보상액을 차지하고 있다.

특히 들기(lifting) 작업은 요통의 발생에 가장 큰 기여를 하고 있다고 알려지고 있으며 [Bigos et al. 1986, Spengler et al. 1986], 들기와 운반에 의한 요통재해가 전체의 50~75%에 달한다고 보고하고 있다. 우리나라의 구로지역에서는 들기에 의한 요통재해가 23.8%로 가장 빈번하게 나타났고, 운반 또한 17.5%로 중요한 원인이 되고 있다. Videman 등 [1990] 은 사체부검을 통하여 육체적으로 과중한 인력운반의 경력과 가진 경우 척추의 퇴화 (degeneration) 정도가 높은 상관관계가 있음을 입증하였으며 따라서 과중한 인력운반은 직업성 요통에 중요한 원인이 되고 있음을 시사하고 있다. 요통재해의 위험요인은 다양하게 분류 할 수 있겠으나 Marras [1995] 는 다음과 같이 분류하고 있다.

1) 나르는 무게

직업성 요통과 관련하여 작업강도(work intensity)는 가장 먼저 손꼽히는 원인으로 알려져 있으며 특히 생체역학적인 측면에서 척추에 부과되는 압축력이 6800N 이상일 경우 요통의 확률이 2배 높아 질 수 있다고 보고되고 있으며 [Herrin et al. 1986] 이와같은 생체역학적인 기준을 근거로 NIOSH (National Institute of Occupational

Safety and Health) 에서는 인력운반에 관한 권고기준을 마련하였으며 척추디스크에 걸리는 압축력 (compression force) 을 증가시키는 들기조건과 압축력의 증가로 인한 요통재해의 가능성을 예측할 수 있도록 하고 있다. 3400N의 압축력 (AL) 을 유발시키는 작업조건은 안전한 것으로 평가되며 반면에 6400N 이상의 압축력은 위험한 작업상태로 평가되도록 만들어졌다.

작업부하와 유병률 사이의 관계를 밝히고자하는 역학적 조사가 많이 이루어졌다. 그러나 작업강도는 요통재해의 원인을 설명하는 일부분에 지나지 않으며 역학적 조사에서 작업부하와 유병률 사이에 뚜렷한 관계를 밝히지 못하였다는 보고도 다수 있다. 이는 작업부하 이외에도 요통재해를 일으킬 수 있는 수많은 다른 요인들이 복합적으로 작용함으로써 나타난 결과라고도 해석할 수 있다.

2) 정적인 자세 (static work posture)

앞으로 숙인자세나 앉은자세와 같이 장시간에 걸쳐 정적인 상태를 유지하는 경우에는 자세를 자주 바꾸는 경우보다 요통재해를 입을 확률이 커지게 된다고 보고되고 있다 [Magora 1973]. 즉 고정된 몸통의 자세 (trunk position)는 요통재해의 위험요인의 하나가 되고 있으며 동일한 작업부하에 대하여 요통재해를 일으킬 가능성을 증가 시킨다.

그러나 Biogs [1986] 에 의하면 정적인 요소외에도 동적인 요소가 있는데, 동적인 들기가 척추에 주는 부하가 정적인 자세가 발생시키는 부하보다 3배가량 크다고 보고하고 있다.

3) 잦은 몸통의 숙임 (bending) 또는 비틀림 (twisting)

미노동성 [1982]의 보고에 따르면 요통재해의 56%는 앞으로 숙인자세와 연관되어 있으며, 33%는 비틀린 자세와 연관을 가지고 있다고 한다. 작업물과 작업자 사이의 위치적인 이유 때문에 숙인 자세나 몸을 회전 시켜 물건을 들거나 운반하는 경우가 많이 발생하게 된다 [Snook 1982, Troup et al. 1970].

4) 복합적인 인력운반작업

실제적인 인력운반에서는 단순한 들기 외에도 밀기 (pushing), 끌기 (pulling), 운반 (carrying), 내리기 (lowering) 등 다양한 형태의 동작을 포함하고 있어 이들이 복합적으로 요통재해의 위험요인을 제공하고 있다. 들기와 몸통의비틀림 (twisting) [Kelsey et al. 1984], 측면굽힘 (lateral bending)과 몸통의 비틀림 (twisting) [Magora 1970], 갑작스런 부하 (sudden loading) [Magora 1973] 등의 연구에서 복합적인 요인이 작용할 경우 요통재해의 위험이 훨씬 커지는 것으로 보고되고 있다.

5) 반복작업

Putz-Anderson [1988] 은 작업주기가 30초 보다 짧은 인력운반 작업에서의 누적외상성 질환에 대한 위험성을 보고하였으며 요추부에 대하여 반복적으로 하중을 가함으로써 피로파괴가 어떻게 발생하는가에 대한 연구도 다수 있어 반복 또한 중요한 요통재해의 원인으로 거론되고 있다.

그간의 연구에서 이상과 같은 다섯가지의 위험요인들이 요통재해의 위험성을 증가시키는 요인으로 반복적으로 지적되고 있다. 그러나 이러한 위험요인들에 얼마나 노출되는 것이 요통재해를 일으키며 또 이러한 요인들이 복합적으로 작용했을때 요통재해의 위

험이 얼마나 증가되는지에 대한 정량적인 평가가 불가능 하였다.

뿐만 아니라 이제까지의 요통재해에 대한 위험요인의 평가에서는 동역학적인 요인에 대한 고려가 미흡하였다. 즉 몸통이동속도가 증가 될수록 (즉 들기속도가 증가될수록) 몸통의 근활동도와 복강내압 (intra-abdominal pressure), 척추부하 (spine loading)를 증가시키는 것으로 나타나고 있고 compressive loading 보다 shear, torsional loading이 더 큰 위험의 요인이 되기도 한다고 알려지고 있다 [Marras and Sommerich 1991].

따라서 Marras등 [1995]은 요통재해의 위험평가에 관한 정량적인 모형을 개발하기 위하여 3축 potentiometer를 이용한 LMM (lumbar Motion Monitor)을 개발하여 인력 운반 등의 수작업에서의 몸통의 움직임과 관련된 동역학적인 특성 (biodynamic characteristics) 을 측정하였다 (그림 1). 이를 이용하여 새로운 위험평가모델 (LBD risk model) 을 제시하고 있는데 (표 1), 여기에는 5가지의 몸통의 동적인 동작요인을 포함하고 있는데 다음과 같다.

- Lift rate (Lifts/hour)
- Average Twisting Velocity (deg/sec)
- Maximum Moment (Nm)
- Maximum Sagittal Flexion (degrees)
- Maximum Lateral Velocity (deg/sec)

또한 OSHA 200 log를 분석하여 현장의 상태를 low, medium, 및 high risk로 분류한 뒤 실제 각 현장에서의 LMM작용을 통한 자료수집을 실시하여 요통재해의 위험을 평가할 수 있는 모형을 개발 하였다.

Logistic regression을 이용하여 각각의 요인들의 요통재해 위험을 확률적으로 묘사하였다 (표 1).

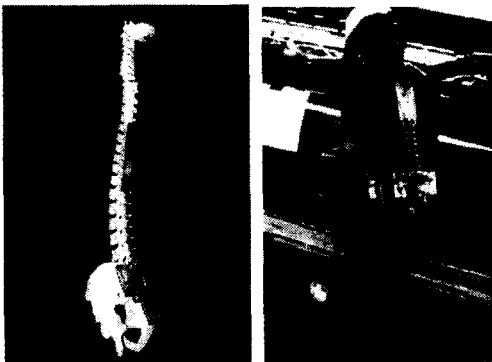


그림 1. LMM과 이를 착용하고 작업중인 작업자의 모습

12.8	46	85.2	117	147	176	208	247	306	Lift rate (Lifts/hour)
0.4	1.3	2.4	3.3	4.2	5.0	6.0	7.1	8.7	Average Twisting Velocity (deg/sec)
2.5	9.0	16.6	22.8	28.6	34.6	40.6	48.2	59.7	Maximum Moment (Nm)
0.7	3.4	4.4	6.0	7.5	9.0	10.7	12.7	15.7	Maximum Sagittal Flexion (degrees)
1.8	6.3	11.7	16.7	20.1	24.2	28.6	34.0	42.1	Maximum Lateral Velocity (deg/sec)
0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%									
Probability of High Risk Group Membership									

표 1. 요통위험에 대한 다섯가지 요인에 대한 확률적인 평가

이러한 모형은 기존의 정역학적인 관점에서의 위험평가모형인 NIOSH의 Guideline에 비하여 연구의 대상으로 삼았던 현장의 자료에서 4배나 더 정확하게 요통재해를 예

측할 수 있었으며 역학적인 관점에서의 odds ratio는 11배를 나타냄으로써 요통재해에 대한 보다 정량적인 평가의 가능성을 시사하고 있다.

2.2 요통재해의 위험요인 분석을 위한 LMM (Lumbar Motion Monitor) 의 구성 및 활용

이미 Marras 등에 의한 LMM이나 IsoTrack과 같이 상용화된 LMM이 있으나 Marras등이 개발한 LMM은 실험실에서 제작된 prototype 으로 생산이 되지 않으며 IsoTrack은 가격이 고가이고 (US \$ 35,000) flexion/extension 이나 lateral bending은 측정하나 torsion은 측정하지 못하는 단점이 있다.

1) LMM 시스템의 구성

본 연구에서는 요추부위의 동작에 대한 동역학적인 측정을 경제적으로 수행하기 위하여 electronic goniometer를 이용하여 LMM을 구성하고자 시도하였다. 본 연구에 사용된 측정시스템은 Penny+Giles 社의 stain gauge type의 electrogoniometer (1 flexion/extension+lateral bending, 1 torsion)와 amplifier 및 signal conditioner에 해당되는 Angle display unit, A/D converter, data acquisition and charting software로 구성되어 있다. [그림 2]



그림 2. Electrogoniometric system for LMM

2) 시스템 calibration

실제 현장 실험을 위한 실험 장비의 운용에 있어서, 무엇보다도 중요한 data acquisition을 통하여 들어오는 전기적인 신호에 대한 calibration이다. 실험 장비 제조업체에서 제공하는 일반적 calibration data sheet을 제공하지만, 실제 실험에서는 electrogoniometer의 전기 신호를 amplifier (Angle display unit)을 통하여 증폭 시킨 analog 신호를, Keithly 8 channel Das-1202 이용 Digital 신호로 변환 시킨 후 (A/D converter) computer hard disk에 data를 저장한다. Digital 신호를 computer에 받아들이기 위한, data acquisition software로는 LabTech Notebook을 사용하였다. 그러므로 위에서 언급한 것과 같이, 다양한 실험 장치를 통하여 수집되는 전기 신호들의 정확한 해석을 위하여는 전체 system의 calibration이 무엇보다도 중요하겠다고 하겠다.

이를 위해, 척추의 운동동작의 측정에 쓰여질 실험 장비들의 calibration을 각각 수행하였으며, 또한 flexioble goniometer 갖고 있는 2개의 자유도에 (flexion/extension and lateral bending motion) 대하여, 개별적으로 calibration을 수행하였다.

Calibration을 통하여 실제적인 flexion/extension 및 lateral bending의 각도와 측정된 voltage output사이에는 선형적인 관계를 얻을 수 있었으며 높은 r^2 ($r^2 = 0.953$)를 보이고 있다. 본 연구에서, 수행되어진 calibration 을 통하여 얻어진 상관관계는 [그림 3]과 같다. 그에 따르는 2개의 자유도의 따른 실제 동작 측정값이 실제 시간상에 나

타나는, 예는 [그림 4]에 자세히 나타나 있다. Data sampling은 120 Hz 가지 가능하며 실제 몸통의 움직임 보다 충분히 빠르므로 속도나 각속도의 측정에 충분하다.

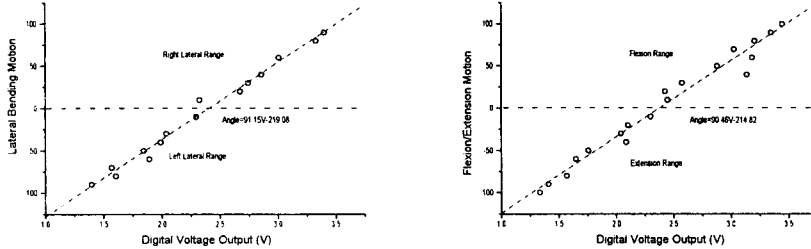


그림 3. 수행되어진 calibration을 통하여 얻어진 상관관계

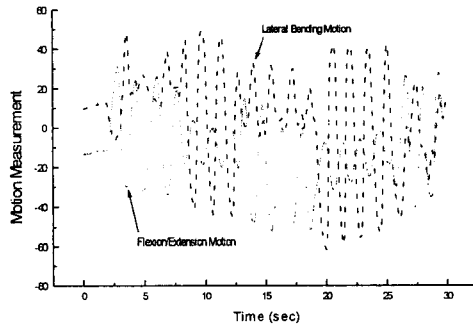


그림 4. 실제 시간상에 나타나는 2개의 자유도에 따른 실제 동작 측정값

특히 이 시스템의 장점은 resolution 이 높고 가볍기 때문에 허리에 부담을 주지 않고 착용이 가능하다 또한 별도의 data storage device를 부착할 경우 현장에서 바로 몸통움직임의 자료를 수집할 수 있으며 수집된 자료를 후에 computer와 연결하여 분석할 수 있어 편리하다.

3) LMM의 활용

LMM은 앞에서 살펴본 바와 같이 요통재해의 위험을 보다 정확하게 평가하기 위한 중요한 정보를 제공하여 줄 뿐만 아니라 요통재해자의 재활정도를 판정하는데도 사용될 수 있다. [그림 5]에서 보는 바와 같이 요통재해 후 9개월후에는 활동범위는 거의 회복이 되지만 아직도 동작이 원활하지 않음을 보여주고 있어 완전한 회복이 일어나지 않았음을 보여주고 있다.

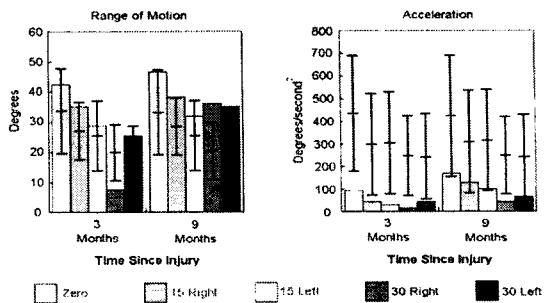


그림 5. 요통발생후 3개월 및 6개월에 있어 range of motion과 acceleration의 비교

3. 결론

본 연구에서는 인력운반작업(Manual Materials Handling)과 관련된 위험요인을 파악하여 안전한 작업을 설계할 수 있는 기준을 마련하고자 하였다. 이를 위해서 다음의 3가지의 연구가 수행되었다. 첫번째로 Marras[1995]의 요통재해 위험요인에 대한 분석모형의 고찰과 동력학적인 요소를 가미한 요통재해 위험예측모형을 사용하고 있는 덴마크의 요통위험모형에 대한 조사 및 정리가 이루어졌다. 두번째로 청량음료 유통업을 중심으로한 인력운반작업에 대한 위험요인의 실증적인 조사를 통해서 행동적인 위험요인을 파악할 수 있는 Data를 얻을 수 있었다. 세번째로 요통재해의 위험을 보다 정확하게 평가하기 위한 중요한 정보를 제공하여 줄 뿐만 아니라 요통재해자의 재활정도를 판정하는데도 사용될 수 있는 LMM(Lumbar Motion Monitor)을 활용하여 연구목적 달성에 사용하였다.

4. 참고문헌

- [1] Christensen, H, Pedersen M.B., and Sjogaard G., 1995, A national cross-sectional study in the Danish wood and furniture industry on working postures and manual materials handling, *Ergonomics*, Vol 38, No. 4, 793-805
- [2] HERRIN, G. A., JARAIEDI, M., AND ANDERSON, C. K., 1986 Prediction of overexertion injuries using biomechanical and psychophysical models. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 47, 322-300.
- [3] MAGORA, A., 1973, Investigation of the relation between low back pain and occupation , 4. Physical requirements: Bending, rotation and sudden maximal effort. *Scand. J. Rehab. Med.*, 5, 186-190.
- [4] MARRAS, W. S., and SOMMERICH, C. M., 1991A, A three dimensional motion model of loads on the lumbar spine, Part I: Model structure. *Human Factors*, 33, 139-137.
- [5] PUTZ-ANDERSON, V., 1988, *Cumulative Trauma Disorders: A Manual for Musculoskeletal Diseases of the Upper Limbs*(Taylor and Francis, Philadelphia).
- [6] SNOOK, S. H., 1982, Low back pain in industry, in A. A. White and S. L. Gordon(eds), *Symposium on Idiopathic Low Back Pain*(Mosby, St. Louis).
- [7] TROUP, J. d., and EDWARDS, F. C., 1985, *Manual Handling and lifting*(H.M.S. O., London).
- [8] TROUP, J. D., ROANTREE, W. B., and ARCHIBALD, R. M., 1970, survey of cases of lumbar spinal disability. A methodological study. *Med. Officers' Broadsheet*. National Coal Board.
- [9] US DEPARTMENT OF LABOR 1989, *Back Injuries - Nation's Number One Workplace Safety Problem*, Fact Sheet No. OSHA 89-09(Government Printing Office, Washington, DC).
- [10] VIDEMAN, T., NURMINEN, M., and TROUP, J. D., 1990, Lumbar spinal pathology in cadaveric material in relation to history of back pain, occupation, and physical loading. *Spine*, 15, 728-740.