

가 1) * 1) * 2) ‡
가 1) 2)

The Construction of Job Exposure Matrix

Hyeon Woo Yim · Youngman Roh · Won Chul Lee[‡]

*Catholic Industrial Medical Center, Department of Preventive Medicine, College of Medicine,
The Catholic University of Korea*

The types of exposure data needed in an industry-based study depend on the diseases of interest and the study design to be used. The best situation occurs when we have quantified personal exposure estimates for the agents of interest, the least informative case occurs when we have only knowledge of the fact of employment in a plant, industry, or trade where exposure probability is high. Exposure information for most industry-based studies falls somewhere between these two extremes.

Job exposure matrices(JEM) are designed to link information on occupation with information on exposure to specific workplace hazards. Some forms of systematic error or bias may be less likely to occur in studies that utilize job-exposure matrices to indirectly infer exposures from job titles than in studies that assess exposures by asking

subjects about their past exposure. JEM can be used effectively in industry-based studies for historic cohort studies, case-control study to assist with the retrospective assessment of occupational exposures among workers whose individual exposure histories are unavailable.

JEM generally consist of a computerized database that links information about job categories and likely exposures. These two major axes may be stratified by calendar time.

This article reviews the design of JEM in support of industry-based studies. Specific matrices may find broader applicability along with the increasing availability of detailed hygienic data.

Key Words : Job exposure matrices(JEM), Industry-based Study

I. 가 (Seixas Sheppard, 1996).

가 가 (Seixas , 1993),

* 1997 가가
: 2001 5 7 , : 2001 8 22 가
‡ : (505 가 가
Tel : 02-590-1233, Fax : 02-536-4048, E-mail : leewc@cmc.cuk.ac.kr

된 자원 또는 기술적 한계로 인하여 이용할 수 없거나 또는 존재하지 않는 경우가 허다하다. 따라서 노출수준을 대개 다른 자료로부터 간접적으로 추론하여야 한다.

노출 평가를 위한 최상의 상태는 관심 있는 유해인자에 대하여 개인별로 계량화된 노출 값을 갖고 있을 때이고, 노출 값의 추정 방법에서 가장 가치가 적은 정보는 노출확률이 높은 공장, 산업 또는 직업에 고용된 사실에 대한 여부만을 갖고 있을 때이다. 대부분의 산업보건연구에서 노출정보는 두 극단사이에 존재하게 된다. 최근 유사노출군 설정 방법과 대표치 추정을 위한 통계방법들이 소개되면서 전향적으로는 이러한 노출 값의 계산이 가능해지고 있다(Mulhausen과 Damiano, 1998). 그러나 후향적 노출 평가에서는 순수하게 노출 평가를 목적으로 조사되지 않은 자료들을 수집하여 노출을 추정해야 하기 때문에 사실상 계량화된 개인 노출 값을 얻기는 매우 어렵다.

직업에 따른 질병과의 연관성 연구에서 Reed와 Harcourt(1941)가 노출 평가를 위해 최초로 직무-노출매트릭스 방법을 소개하였으나 크게 관심을 끌지 못하다가, Hoar 등(1980)와 Partanen 등(1985)이 직업적 유해인자의 영향에 대한 역학연구에서 노출 평가 방법으로 직무-노출매트릭스를 사용한 이후, 직무-노출매트릭스가 노출 평가방법으로 많이 이용되고 있다.

노출평가에서 직무-노출매트릭스가 가지는 가장 큰 이점으로는 차별적 정보편의가 없다는 것이다. 직업적으로 노출되는 유해인자를 인터뷰에 의해 조사하는 경우 차별적인 응답자 편견과 조사자 편견이 생길 수 있다. 그러나 직업력을 조사하는 경우 유해인자에 대한 노출 자체를 직접적으로 물어보는 것이 아니기 때문에 응답자 편견과 조사가 편견은 감소할 것이고, 환자군과 대조군에서 노출의 오분류가 동등하게 일어나게 될 것이다. 따라서 비차별적인 오분류가 일어나게 될 것이다. 두 번째 이점은 경제적이다는 것이다. 연구대상자의 직업력만으로 직업성 노출평가가 가능하며 이러한 직업력은 행정자료 혹은 설문지를 통해 쉽게 얻을 수

있기 때문이다.

우리나라에서는 직업적 유해인자의 영향에 대한 역학연구에서 직무-노출매트릭스를 이용하여 노출평가를 시도한 연구는 아직 보고되지 않았다. 현재 외국에서 직업성 역학연구에서 노출평가를 위해 보편적으로 사용되고 있는 직무-노출매트릭스의 특징, 구분, 설계 방법을 고찰함으로써 향후 직업성 역학연구를 수행할 때 직무-노출매트릭스를 통한 노출평가에 도움이 되고, 최근 작업장 노출 평가에서 유사노출군 설정을 통한 전향적 노출 평가의 설계에 도움을 주고자 한다.

II. 직업성 역학 연구에서의 노출 평가

질병의 원인을 알아보기 위한 연구에서 과거 노출을 평가할 때 노출변수를 다음과 같은 방법으로 할당할 수 있다(Stewart PA, 1991). 직업성 역학의 초기단계에서는 직업성 노출과 만성질환과의 인과관계를 조사할 때 고용여부로 노출을 평가하였다. 그리고 직업적 노출과 질병의 발생 혹은 사망과의 양-반응 관계를 조사할 때는 고용기간을 조사하였다. 또한 직무를 저(low), 중(medium), 고(high)노출등급으로 할당하여 양-반응 관계를 알아보았으며 이는 노출 값의 반정량적 평가이었다. 그러나 이 방법은 각각의 노출등급사이의 양적인 차이를 만족스럽게 알지 못한다는 제한점이 있었다. 마지막으로 노출 값을 수량적으로 추정하는 정량적 평가가 있다. 이러한 정량적 평가는 산업위생모니터링에서 사용하는 단위의 값으로 할당할 수 있으므로 가장 이상적인 접근법이라 할 수 있다. 그러나 대부분의 작업장 유해수준을 평가할 때 노출수준을 계산하기에 충분한 모니터링 자료를 확보하지 못하는 경우가 허다하다. 따라서 직무-노출매트릭스에서 각각의 방(cell)에 노출수준을 정할 때 종종 산업위생전문가의 판단이 필요하며 이는 또한 오분류를 초래 할 수 있다. 그러나 정량적 평가는 다른 방법에 비하여 양-반응 연관성을 발견하고, 연구

의 검정력을 증가시키게 된다.

노출평가에 있어 정량적 평가를 통하여 노출 수준을 점추정 해야되는 이유로는 첫째, 직무간에 상대적 노출 수준을 고려할 수 있으며, 둘째, 단위(예, ppm)에 친숙하며, 셋째, 절단점을 변경하여 그룹화를 다시 시도할 수 있으며, 넷째, 반정량적 군의 할당방법에 대한 기술보다는 정량적 추정치 산정 평가 방법에 대한 기술이 더 용이하고, 다섯째, 양적인 추정치를 근거로 소수의 군으로 할당할 수 있기 때문이다.

정량적 평가는 용량에 대한 측정의 민감도를 높여 더 면밀히 추정하기 때문에 다른 방법보다 더 적절한 평가 방법이다. 만성질환에 대한 후향적 연구에서는 개인별 노출 모니터링 자료가 충분하지 않은 경우가 많다. 따라서 개인별 노출에 대한 추정보다는 직무나 직업명에 근거하여 노출을 추정하게 된다. 후향적 자료의 경우에는 저노출 직무에 대한 자료보다는 고노출 직무에 대한 자료가 더 많이 존재한다. 결손 자료를 보완하고 노출 수준을 추정하기 위하여 정성적 정보를 이용하기도 한다. 일부 연구자는 정성적 자료를 이용하여 노출 수준을 추정할 때 오류가 있을 수 있고, 결국에는 오분류를 일으킨다고 지적하였다. 그러나 정량적 접근법이 오분류를 일으켰는가의 여부가 중요한 것이 아니라, 다른 접근방법에 비하여 오분류의 크기가 더 큰가를 판단하는 것이 더 중요하다.

III. 직무-노출매트릭스란?

근로자들에게 발생한 어떤 질병이 직업과 관련되어 불가피하게 노출되는 유해물질에 의한 영향인지를 밝히는 연구를 수행하고자 할 때, 근로자는 자신이 수행하는 작업과 관련하여 어떤 물질에 노출되었는지 정확히 모르는 경우가 많다.

최근 작업장에서 발생하는 각종 암, 만성 중독증들의 경우 과거 노출 혹은 장기간의 노출이 문제가 되는데 과거에 수행한 작업에서 어떤 물질에 노출되었는가를 연구대상자에게서 직접 얻기는 무척 어렵

			가				
		3					
1983 Hoar	Hoar가						가
					(3)		
	가		가		Pannet(1985)		
	5						
			가	가	(registrar General's classifications of occupations and industries)	3	
	18					, 4	
				가		669	
	4		가			49	
	15,000		가				
					Cocco Dosemeci(1999)		24

표 3 직무-노출매트릭스의 구분에 따른 특징

			가
1.			
2.		가) (
3.			()
4.			
5.		(,)	가
6.			
7.		가	가 가

개 주를 대상으로 1984-1992년에 사망한 450만 명의 사망진단서 자료를 수집하여 연구를 하였다. 미국은 1984년 이후 사망진단서에 직업명과 산업 명을 코딩하도록 의무화하였으며, 이러한 코딩 작업이 가능하게 된 것은 1980년도 직업 및 산업에 대한 미국조사목록(U.S. census list of occupations and industries)에 근거한 직무별 코딩이 제공되었기 때문이다. Cocco와 Dosemeci는 석면 노출과 암 사망과의 관련성에 대하여 연구하였으며 2개의 축으로 형성된 방에 노출 값을 다음과 같이 추정하였다. 첫 번째는 노출 강도를 추정(노출 없음=0, 저=1, 중=2, 고=3)하였고, 두 번째는 노출 가능성(노출 없음=0, 저=1, 중=2, 고=3)을 추정하였다. 직업과 산업 각각에 대하여 노출 강도와 노출 가능성을 추정한 후 만약 산업에 따른 구분은 노출에 영향을 미치지 않고, 직업 그 자체로 노출이 결정되는 경우에는 직업에서 추정된 값을 제공하였다. 이러한 경우는 예를 들어 절연공같은 경우이었다. 노출이 직업과 산업의 구분에 의해 결정되는 경우 직업과 산업에서 추정된 값을 서로 곱하여 결정하였다. 그리고 이러한 최종점수를 4개의 군으로 범주화(무=0, 저=1-2, 중=4, 고=6)하여 노출수준을 결정하였다.

위에서 본바와 같이 직무 축과 유해인자 축에 의해 이루어진 방에는 노출 값이 할당되는데 일반적으로 일반 인구집단을 대상으로 한 직무-노출매트릭스의 경우에는 단순하게는 노출 여부만을 넣거나, 노

출 강도와 노출 가능성에 대한 값이 넣어 지기도 한다(그림 1).

2. 특정 연구 혹은 가설 설정을 위한 직무-노출매트릭스

특정 연구를 위한 직무-노출매트릭스는 어떤 특정 연구, 특히 환자-대조군 연구를 통하여 유해물질이 어떤 질병과의 연관성을 알아보기 위하여 설계된다. 환자-대조군 연구의 경우 연구 방법론상의 단점으로 노출변수에서의 정보편의가 가장 문제가 된다. 따라서 직업과 관련되어 발생한 역학연구의 경우 직무-노출매트릭스를 통한 노출 변수 설정이 보편화되고 있다. Vaughan(1986)은 서부 워싱턴주에서 발생한 인후, 부비동, 그리고 비강에서 발생한 암과 직업상 포름알데하이드 노출과의 연관성에 대한 연구에서 직무-노출매트릭스를 통한 노출변수 값을 할당하였다. 각 방에 할당된 노출 값은 노출의 가능성(가능성없음, 가능성이 비교적 낮음, 가능성 있음)을 정하고 가능성 있음의 경우 노출강도를 두 가지(저, 고)로 나누어 종합점수를 산출하였다. 각 직무에 대한 포름알데하이드 평가는 보고된 작업환경측정자료 및 NOHS 1970-1972 자료에 근거하여 설정하였다. 그리고 연구대상자의 직업력은 전화 면담방식을 취하였으며 생애 직업력을 조사하였다.

비슷한 연구개념으로 가설 설정을 위한 연구에서 직무-노출매트릭스를 설정하

기도 한다. 이 경우 일반인구 중심의 직무-노출매트릭스와 다른 점은 유해인자에서 연구 수행이전에 아직 암유발물질로 인지되지 않은 여러 개의 물질을 대상으로 설계하며, 대상 질환도 각종 암을 대상으로 하여 어떤 유해인자가 특정 암과 통계적 연관성이 있는지에 대한 힌트를 얻기 위한 것이다. 일반 인구 중심의 직무-노출매트릭스와 구별되는 다른 또 하나의 특징은 특정 연구 대상 군을 설정하여 연구하기 때문에 생애 근무력을 조사할 수 있으며, 가능하다면 연구대상자별로 각 직무에 들어갈 날짜와 종료 날짜를 조사하여 유해인자에 대한 노출수준을 구분할 수 있다(표 3).

직무-노출매트릭스의 구조를 보면 특정 연구를 위한 직무-노출매트릭스의 경우와 가설 생성을 위한 직무-노출매트릭스는 방에 들어가는 정보 수준과 생애 노출력을 조사한다는 점에서 유사하나, 특정 연구를 위한 직무-노출매트릭스의 경우 대개 한 개의 유해인자와 한 개의 질병과의 관계를 보아 인과관계를 살펴본다는 점에서 차이가 있다. 어떻게 보면 가설생성을 위한 직무-노출매트릭스의 조그마한 형태가 특정 연구를 위한 직무-노출매트릭스일 것이다.

또한 최근에는 작업장에 대한 전반적인 직무를 분석하고 유해인자를 파악하여 노출 수준 및 노출 가능성에 대한 매트릭스를 체계적으로 구축하는 노력이 이루어지고 있으며(Siber 등, 1991) 이러한 직무-노출매트릭스는 산업별로 유해인자의 노출 평가시 유용하게 사용될 것이다.

3. 특정산업 혹은 사업장을 위한 직무-노출매트릭스

1985년 Partanen은 핀란드의 목재 근로자에서 발생한 호흡기 암에 대한 환자-대조군 연구를 수행하였다. 포름알데하이드 및 기타 관련 물질의 노출 추정을 위해 직무-노출매트릭스를 이용하였다. 특정 산업 혹은 사업장을 위한 직무-노출매트릭스의 경우에는 특정 사업장을 대상으로 직무-노출매트릭스가 설계되기 때문에 다

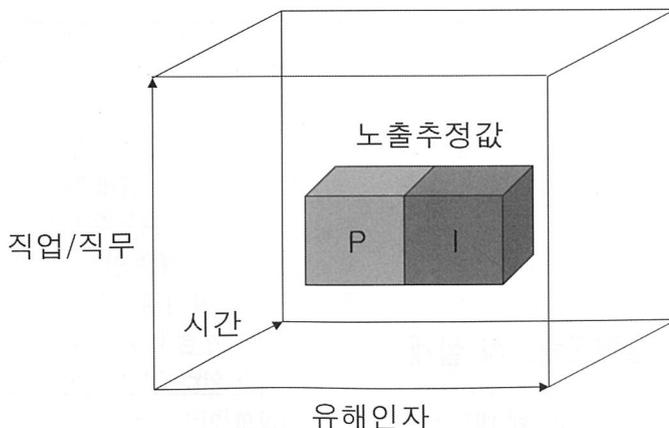


그림 1. 직무-노출매트릭스(LRTM)의 모델. P: 노출가능성, I: 노출강도

- Pukkala E, Savonen E. Formaldehyde exposure and respiratory and related cancer: A case-reference study among Finnish woodworkers: *Scandinavian Journal of Work Environmental and Health* 11:409-415:1985
- Plato N, Gustavsson P, Krantz S. Assessment of Past Exposure to Man-Made Vitreous Fibers in the Swedish Prefabricated House Industry: *American Journal of Industrial Medicine*, 32:349-354:1997
- Reed JV, Harcourt AK. *The Essentials of Occupational Diseases*. Baltimore: CC Thomas, 1941
- Seixas NS, Robin TG, Becker M. A Novel Approach to the Characterization of Cumulative Exposure for the Study of Chronic Occupational Disease: *American Journal of Epidemiology* 137(4): 463-471:1993
- Seixas NS, Checkoway H. Exposure assessment in Industry specific Retrospective occupational epidemiology Studies: *Occupational and Environmental Medicine* 52:625-633:1995
- Seixas NS, Sheppard L. Maximizing Accuracy and Precision Individual and Grouped exposure Assessments: *Scandinavian Journal of Work Environmental and Health* 22:94-101:1996
- Seixas NS, Heyer NJ, Welp EA, Checkoway H. Quantification of Historical Dust Exposures in the diatomaceous Earth Industry: *Analysis Occupational Hygiene* 41(5):591-604:1997
- Sieber WK, Sundin DS, Frazier TM, Robinson CF. Development, Use, and Availability of a Job Exposure Matrix Based on National Occupational Hazard Survey Data: *American Journal of Industrial Medicine*, 20:163-1714:1991
- Stewart PA, Zey JN, Homing R, Herrick RF, Dosemeci M, Zaebs D, Pottern LM. Exposure Assessment for a Study of Workers Exposed to Acrylonitrile. : Evaluation of Exposure Assessment Methods: *Applied Occupational Environmental Hygiene* 11(11):1312-1321: 1991
- Vaughan TL, Strader C, Davis S, Daling JR. Formaldehyde and cancers of the pharynx, sinus and nasal cavity. I. Occupational exposures. *Int J Cancer* 38:677-683,1986