

실내 공기오염물질의 역학조사 방법 및 사례

이 종 태 | 한양대학교 대학원 보건관리학과
부교수

E-Mail : jlee@hanyang.ac.kr

인간의 건강 혹은 질병에 영향을 줄 수 있는 환경적 요인의 범위와 특성을 연구하는 것을 기본 목적으로 삼고 있는 환경보건 연구 분야는 다른 학문에 비하여 광범위한 것이 특징이다. 광범위하다는 것은 구체적으로 다양한 형태의 환경요인을 연구대상으로 삼고 있기 때문인데, 직접적인 병리효과를 일으키는 화학물질이나 방사선, 병원성 미생물을 포함하여 주거환경이나 교통수단 및 토지이용 등과 같은 광범위한 영역의 물리·사회적 요인까지를 포함할 정도로 환경보건 연구 대상범위가 매우 넓다는 것이다. 물론 인간의 건강상태를 악화시키거나 혹은 질병을 유발하는데 있어서 이러한 환경적 요인 이외에도 매우 다양한 요인들이 작용하게 된다. 예를 들어 식중독이나 후천성 면역 결핍증(소위 AIDS)과 같은 질병의 원인이 되는 병원성 미생물의 감염여부, 적절한 영양소 섭취와 관련된 식이습관, 의료기관의 질적 수준 및 개인 생활습관, 유전적 감수성 등 수 많은 요인들의 조건에 의하여 개인 건강 수준이 결정되게 되는 것이다.

그러나 최근 의료수준의 발달과 전국민 의료보험제 실시, 항생제 개발, 사회생활 수준 향상으로 인한 개인 생활습관의 친건강화 경향과 풍부한 식이 섭취 기회로 인하여 개인의 건강수준을 결정하는 주변 여건들이 개선된 것이 사실이다. 이렇게 변화된 여건에도 불구하고 천식이나 일부 만성 질환의

증가 배경에는 환경오염으로 인한 환경적 요인이 상대적으로 중요한 것으로 제기되고 있다.

이렇게 환경요인이 과거에 비하여 더 중요한 건강요인으로 고려되는 이유는 우선 환경오염 특성 및 생활양식의 변화를 들 수 있다. 예를 들어 빠른 산업화 과정에서 배출되는 환경오염물질의 다양화와 그로 인한 오염물질의 공간적 분포 특성 변화 등이 과거의 환경오염 특성과 비교할 때 예측하기 어려울 정도로 복잡하다는 것이다. 또한 인구학적 관점에서 점차 고령화 사회로 귀착된다는 점은 기존의 외부 환경적 자극에 민감한 인구집단의 규모가 커짐을 뜻한다. 이는 환경오염에 대한 우리사회의 부담을 점점 크게 하는 요인이 된다. 한편 미량물질 분석 기법이나 생체지표 등의 개발로 인하여 환경오염 측정 기법이 상당히 개선되면서 환경오염과 건강과의 상관관계를 어느 정도 밝힐 수 있게 된 점도 환경의 중요성을 인식하게 되는 요인이 된다. 한편 편의성과 에너지 활용의 효율을 높이기 위한 주거환경의 변화는 현대인의 실내 환경 거주 시간 등을 고려하였을 때 주요한 환경요인으로 대두될 수 있으며, 실제로 최근 환경보건학적으로 관심을 받고 있는 알러지성 피부염 및 천식 발작 등이 실내 환경의 질적 수준과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려지고 있다.

이렇듯 환경오염의 중요성이 부각되고 있는 시점

에도 우리나라의 경우 여전히 환경오염에 대한 실태조사 및 발생원 관리 수준에서 머무르고 있으며, 이것을 인체영향과 연결하려는 생각이 부족하다는 점에서 환경에 대한 인식 제고가 필요한 시점이다. 과거의 예에서 알 수 있듯이 환경오염으로 인한 피해는 치명적이었으며 정상적인 상태로 회복하는데 오랜 시간과 많은 비용이 소요되었음을 알 수 있다. 따라서 환경을 바라보는 시각은 피해 발생 이전 예방적 차원의 조치가 필수적이라는 관점에서 오염 저감을 위한 최대한의 노력을 기울여야 할 것이다.

따라서 실내 공기오염물질에 대한 적절한 건강위해 평가가 이루어져야 관리안 수립 또는 대책마련이 용이할 것이며, 이러한 위해평가는 가능하다면 역학적 연구방법론을 적용하여 이루어지는 것이 타당할 것이다. 실제로 역학(Epidemiology)은 인구 집단을 대상으로 건강상태 또는 질병발생에 대한 결정인자와 이들의 분포특성을 과학적 방법론에 의거하여 연구하는 학문이다. 특히 역학적 연구결과는 궁극적으로 공중보건학적 관점의 건강문제를 통제하거나 예방하는데 적용되게 된다. 이는 역학의 영어표현인 'Epidemiology'의 어원이 그리스어인 epi(upon: ~에 대한), demos(the people: 인구집단), logos(to study: 연구하다)의 합성어라는 분석에서 보다 명확히 이해될 수 있다. 본고에서는 이러한 역학분야가 환경보건학적 견지에서 어떤 위치를 차지하고 있는지를 살핌과 동시에 역학적 기본 개념을 소개한다.

1. 환경보건분야에서 역학연구

최근 환경역학 분야는 환경오염의 중요성이 증가하는 것과 더불어 빠르게 발전하고 있는 학문분야의 하나이다. 지금까지 환경오염에 대한 인체위해 평가는 주로 독성학적 평가에 의하여 이루어졌으

며, 연구 수행의 어려움과 재정상의 어려움으로 이러한 독성학적 평가를 확인하거나 지지할만한 타당한 역학적 자료는 매우 드문 형편이다. 그러나 공중보건학적 입장에서 역학적 연구 결과의 활용과 지지는 환경오염 관리와 저감수립에 매우 중요하기 때문에 이를 인식한 선진국에서는 환경역학 연구수행과 관련한 관심과 재정투자가 증대되고 있는 실정이다. 예를 들어 세계보건기구(이하 WHO) 부속기관 중의 하나인 유럽국가들의 환경보건센터(European Centre for Environmental and Health, 이하 ECEH)는 환경역학 연구의 우선순위를 제안하기 위한 전문가 공개토론회인 국제 워크샵인 Setting Priorities in Environmental Epidemiology를 ECEH 로마지부 주체로 1993년 개최하여 실제로 유용한 역학적 자료를 발굴하고 이를 토대로 우선순위를 제안하고 있다. 실제로 환경문제에 대한 연구 우선순위를 결정하는데 고려되었던 사항은 표 1에서 제시되고 있는 바와 같이 인체영향의 정도(health effects), 오염물질에 대한 인체노출 조건들(exposure conditions) 그리고 마지막으로 실제 역학연구 수행 가능성 등이었다. 하지만 우선순위 결정은 처음 두 가지 조건들, 즉 공중보건학적 관점에 의하여 주로 이루어졌으며, 이에 의하여 높은 우선순위가 결정되는 경우에 한하여 역학연구 수행의 가능성이 검토되도록 하였다.

환경보건 연구의 궁극적인 목적은 환경오염물질의 환경 중 기준안을 제시하여 일반인의 건강을 보호하고 질병발생을 예방함으로써 삶의 질적 향상을 이루는 것이다. 따라서 적절한 환경기준안을 제시하는 것이 환경보건학 연구에서 매우 중요한 부분을 차지하게 되며, 이는 구체적으로 소위 “위해성 평가”라는 객관적 방법에 의하여 이루어지고 있다. 1983년 미국의 국립과학원(National Academy of Sciences)은 위해성 평가를 “일반인 혹은 특정한

표 1. 환경역학 연구의 우선순위 결정을 위한 판단기준

판 단 기 준	내 용
노출조건(Exposure)	
노출 빈도 혹은 규모(Frequency of occurrence)	노출인구 집단의 규모(노출인구수, 노출인구율) 노출분포의 광역화
노출수준(Level of exposure)	노출수준의 생물학적 연관성
노출경향(Trends in exposure)	노출수준과 강도의 시간적 증감
인체영향(Health effects)	
위해영향(Harmful effects)	인체위해 가능성에 대한 실험실 자료 유무 생물학적 근거
가용한 인체영향 증거(Available evidence in humans)	확정되지 않은 역학연구 평가 용량-반응 관련 자료의 불확실성
개인적 민감성(Individual susceptibility)	민감군에 대한 효과 판정 가능성 다른 위험요인들과 교호작용 가능성
문제의 심각성(Severity of problem)	사망률과 유병율, 장애정도와 피해비용

인구집단이 유해한 물질 혹은 위험한 상황에 노출 되는 경우 발생할 수 있는 건강장애를 사실에 바탕을 두고(factual base) 평가하는 것”으로 정의하고 있다. 그러나 실제로 위해성 평가를 수행하는데 있어서 많은 경우 불확실성을 내포한 자료를 활용하게 되기 때문에 개념적으로 위해성 평가를 수행하는 조건에 “사실에 바탕에 두었다”는 의미로 인하여 위해성 평가의 유용성에 대한 의구심이 확산되고 있다. 위해성 평가를 수행하는 방법은 미국의 환경보호청에서 제시하고 있는 바와 같이 네 가지 단계에 의하여 이루어지고 있으며, 구체적인 내용은 1986년 발간된 책자에 있다(U.S. EPA, 1986).

특히 계량적 위해성 평가는 주로 실험동물을 이용한 자료가 활용되고 있다. 예를 들면 동물실험의 경우 노출 수준의 평가와 강도의 조절이 가능하고 실험동물종의 선택 가능성 등으로 인하여 소위 “혼란편견”으로부터 역학연구에 비하여 자유로울 수

있다는 점이 강조되기 때문이다. 그러나 실제에 있어서는 역학연구 자료가 갖는 장점이 단점에 비하여 훨씬 크다는 점을 간과할 수 없다(Hertz-Picciotto, 1995).

구체적으로 동물자료를 이용할 경우 이종간 차이에서 기인하는 불확실성의 크기는 역학연구가 내재한 불확실성의 크기에 비하여 크다(Hertz and Smith, 1988). 이종간의 차이는 흡수율이나 대사기전의 차이, 이로 인한 독성물질의 유독화율 심지어 비교하고자 하는 기관 혹은 장기가 사람에게는 없는 경우 등으로 많은 차이를 나타내게 하는 것이다. 역학연구 자료를 이용하는 또 다른 장점은 도출된 용량-반응 관계식이 현실과 가깝다는 점으로 소위 “외삽”범위가 동물실험 자료에 비하여 적다는 것이다. 세 번째 장점으로 꼽을 수 있는 것은 질병발생의 민감도에서, 역학연구결과가 동물실험결과에 비하여 일반적이라는 점이다.

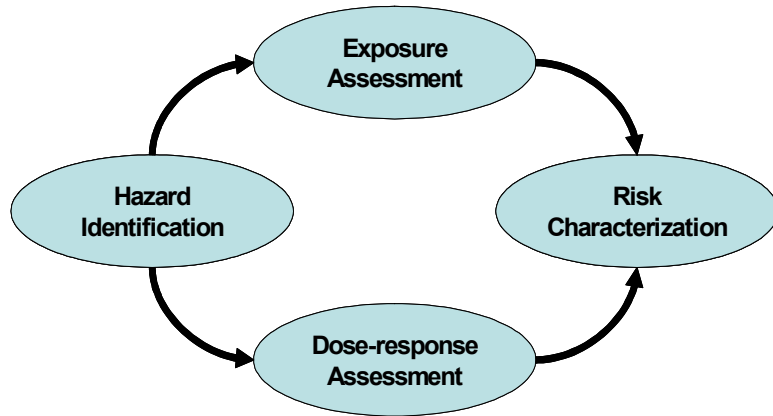


그림 1. 위해성평가 4단계

계량적 위해성 평가란 건강위해와 관련된 과학적 자료들과 환경정책 및 관리 사이를 연결하는 고리의 역할을 하는 것이라고 할 수 있다. 따라서 합리적이고 타당한 위해성 평가를 수행하기 위해서 선택되어야 하는 문제는 과학적으로 타당한 자료의 확보이다. 대부분의 경우 여전히 위해성평가를 수행하는데 여러 가지 불확실성이 내재하고 있는 것이 현실이기 때문에 기본적인 자료가 갖는 가정이나 방법론에 대한 재평가가 주변 과학기술 수준의 발달과 더불어 지속적으로 이루어져야 한다. 특히 보다 신뢰성 있고 타당한 자료 확보를 통하여 기존 평가 결과를 모니터링하고 재평가할 필요가 있는 것이다. 이를 위하여 역학연구는 위해성 평가가 가능하도록 노출 수준을 세분화하고 계량화할 필요가 있으며, 최근 많은 관심을 받고 있는 분자생물학 분야를 적절히 활용하여 질병발생 기전 및 발생을 정확히 측정하여 전반적인 역학 연구 결과의 오류수준을 낮추도록 하여야 할 것이다.

2. 역학적 개념과 방법론

역학적 개념은 히포크라테스 시대부터 언급되어

온 분야라고 할 수 있다. 히포크라테스는 그의 저서인 'Air, Waters and Places'에서 자연에 존재하는 외적 요인으로 인한 건강영향을 언급하고 있으며, 흔히 이 시기부터 역학적 개념이 형상화되어 온 것으로 이해하고 있다. 오늘날 역학은 질병 중심의 관점에서 분류되기도 하고 질병요인에 의하여 나누어지기도 한다. 그러나 히포크라테스의 언급을 빌지 않더라도 초기 역학은 많은 부분 오늘날의 '환경역학'에서 다루는 자연적 외적 요인에 큰 관심을 가지고 있다는 점은 시사할 만 하다. 이후 19세기에 이르러 오늘날의 모습과 같은 역학적 연구 개념이 정립되는데 대표적인 예가 John Snow의 연구 사례이다.

인도지역에 발생된 유행성 콜레라가 유럽지역으로 전파되면서 1831년 영국에서만 적어도 60,000명의 사상자가 발생하게 되었으며, 이 후 Snow는 1849년과 1854년에 있었던 콜레라 유행의 양상을 오염된 상수 사용과의 상관관계를 비교하여 제시하였다. 표 2에서와 같이 1849년과 1854년에 있었던 발병양상을 보면 Southwark와 Vauxhall Company에서 공급하는 상수를 사용한 가정의 경우 큰 차이

표 2. 1849년과 1854년 런던지역의 콜레라 사망자와 상수공급 회사

Districts with water supplied by	Number of deaths attributed to cholera	
	1849	1854
Southwark and Vauxhall Company	2261	2458
Lambeth Company	162	37
Both companies	3905	2547

를 보이고 있지 않으나, Lambeth Company에서 공급하는 상수를 사용한 가정의 경우 1854년의 경우 크게 감소하였던 것을 알 수 있다.

1849년 당시 런던에 상수를 공급하는 회사는 세 곳으로 런던 시내를 가로지르는 템즈강을 상수원으로 사용하였다. 그런데 1854년의 유행양상을 보면 Lambeth Company에서 공급하는 상수를 사용하는 가정의 경우 나머지 회사의 상수를 사용하는 가정에 비하여 질병 발생율이 약 20배 가량 낮은 것으로 파악되었다(표 3). 1849년과 1854년의 차이는 급격한 인구이동의 변화가 없었으나 Lambeth Company의 경우 상수원을 템즈강의 상류쪽으로 이동시켰다는 점이다. 이러한 관찰로 부터 Snow는 콜레라 유행과 오염된 상수원, 즉 런던 시내에서 배출되는 오수의 상관관계를 지적하고 이에 대한 대책을 통하여 콜레라 유행을 적절히 통제할 수 있었다.

이러한 관찰은 Snow 당시 콜레라 발병의 원인균

이 규명되지 않은 시점이지만 매우 적절한 결론을 도출함으로써 효과적인 질병 통제안이 수립되게 되었다.

역학연구는 연구대상과 목적, 자료수집 방법 및 자료 질적 수준 등에 따라 다양한 형태로 분류된다. 그림 2에 나타낸 바와 같이 역학 연구는 우선 실험 연구와 관찰연구로 구분된다. 이러한 구분은 연구자가 연구조건, 즉 연구 참여자 선정 및 실험조건 등을 통제할 수 있는가에 따라 이루어진다. 따라서 실험 역학 연구는 신약 혹은 치료기법 등의 개발과정에서 수행되는 임상역학 연구(clinical trials)가 대표적이라 할 수 있다. 이에 반하여 대부분의 역학 연구는 관찰연구의 형태를 띠고 있다. 이는 연구자가 연구조건을 수정할 수 없어 일상적 생활 활동을 보장하는 한도에서 연구를 수행하게 되는 것이다. 또한 자료의 질적 수준에 따라 기술적 역학연구(descriptive study)와 분석적 역학연구(analytic study)로 구분된다. 손쉽게 설명하자면 여기서 자료의 질적 수준이란 연구 분석을 위한 자료의 수준이 개인 수준까지 분별되는 지에 대한 것으로 평가할 수 있다. 기술적 역학연구의 경우는 개인 수준의 자료가 얻어지지 않고 특정 인구집단에 대한 대표값 혹은 지역특성을 나타내는 단일 지표 정도만으로 연구를 수행하는 경우이다. 예를 들면 환경오염으로 인한 주민 건강영향을 평가하는 경우 환경오염이 심각한 지역사회와 비교적 청정한 지역사회를 선택하고 특정 환경오염에 대한 지역간 평균 오염도

표 3. 런던지역의 콜레라 사망률(1854년 7월 8일부터 8월 26일까지)과 상수 공급회사의 상관관계

Districts with water supplied by	Population 1851	Deaths from cholera	Cholera death rate per 1000 population
Southwark and Vauxhall Company	167,654	844	5.0
Lambeth Company	19,133	18	0.9
Both companies	300,149	652	2.2

와 지역 주민의 평균 사망률 혹은 유병율을 비교해 보는 경우 이는 기술적 역학 연구라 할 수 있다.

지역사회	오염도	사망률(혹은 유병율)
A (오염지역)	높음	높음
B (비오염지역)	낮음	낮음

이 경우 오염지역의 높은 사망률이 환경오염으로 기인된 것인지에 대한 확증적인 결론을 제시하기에는 어려움이 있는데 소위 “생태학적 오류(ecological fallacy)”의 가능성 때문이다. 그러나 기존의 자료를 활용하고 감시체계 자료로서의 활용, 새로운 연구가설 제안 등의 목적으로 기술적 역학 연구 수행의 가치가 있다.

이러한 분류 이외에도 연구대상에 따라 구분되기도 하는데 주로 위험요인 특성에 맞추어 환경역학, 분자역학, 산업역학, 대기오염역학 등으로 나누거나 암역학, 심혈관질환 역학, 전염병 역학과 같이 질병 종류에 따라 나누어지기도 한다.

역학연구는 이렇게 자료의 질적 수준에 따라 구분되기도 하지만 자료수집 방법에 따라 그 종류를 나누기도 한다. 위에서 언급한 바와 같이 역학 연구 설계는 분석하고자 하는 자료의 형태와 질적 수준에 의하여 구분되는데, 어느 것이든 궁극적으로 인과 관계를 규명하는 것을 목표로 하기 때문에 각 연구설계 특성에 따라 인과 관계 규명의 한계가 나타나게 되는 것이다. 인과관계를 입증하는데 가장 중요하고 선행적으로 확인되어야 할 것이 시간적 선후성(temporality)인 것은 Hill의 언급과 같다. 이러한 점에서 역학 연구를 수행할 때 수집되는 정보의 방향성(directionality)은 인과관계를 규명하는데 있어서의 중요성과 더불어 역학 연구를 구분짓는 또 다른 중요한 한 축이 된다. 즉 자료 수집에

연구대상자의 위험요인 유무조건에 따라 선정기준을 정하는 방법(코호트 연구, cohort study)과 질병 혹은 건강조건에 따른 선정기준을 적용하여 대상자를 선정하는 방법(환자-대조군 연구, case-control study)으로 구분할 수 있다. 또한 연구 대상자 선정의 기준으로 두 가지 조건을 동시에 고려하는 경우를 단면적 연구(cross-sectional study)라고 한다. 흔히 코호트 연구 설계는 인과관계를 확정하는 방향성에서 일치하는 장점을 갖고 있으나, 환자-대조군 연구와 단면적 연구의 경우는 그렇지 않기 때문에 이를 확정하기 위한 추가적인 노력이 필요하거나 어떤 경우 불가능한 경우도 있다.

3. 역학 연구 결과의 이해 및 해석

기본적으로 역학 연구 수행의 최종목표는 특정 질환 발생의 인과적 요인을 밝혀 그 질병 발생을 통제하거나 예방하는데 필요한 기본 정보를 제공하기 위한 것이다. 역학 연구결과를 해석하고 이해하는데 검토하여야 할 사항은 크게 두 가지로서 연구결과 값의 크기(magnitude)와 신뢰도(precision)이다. 역학적 연구결과 값이란 보통 위험도(risk 혹은 rate)로 표현하는데, 측정하고자 하는 변수의 특성에 따라 사망률(mortality)과 유병율(prevalence), 발생률(incidence) 등 다양한 형태로 나타내고 있다. 이러한 결과 값은 각 특성에 따라 산출되는 방식과 의미가 다양하지만 기본적인 성격은 위험한 정도의 크기를 의미한다고 할 수 있다. 위험도는 흔히 잠재적인 위험요인의 유무에 따라 구분하여 산출한 뒤에 위험요인을 갖고 있는 집단과 그렇지 않은 집단에서의 위험도를 비교하여 제시하는데 이 때 사용되는 것이 비교위해도 혹은 상대위해도(relative risks)이고 두 위험도의 비(ratio)로서 나타내는 상대 위험도를 risk ratio 혹은 rates ratio라고 표현

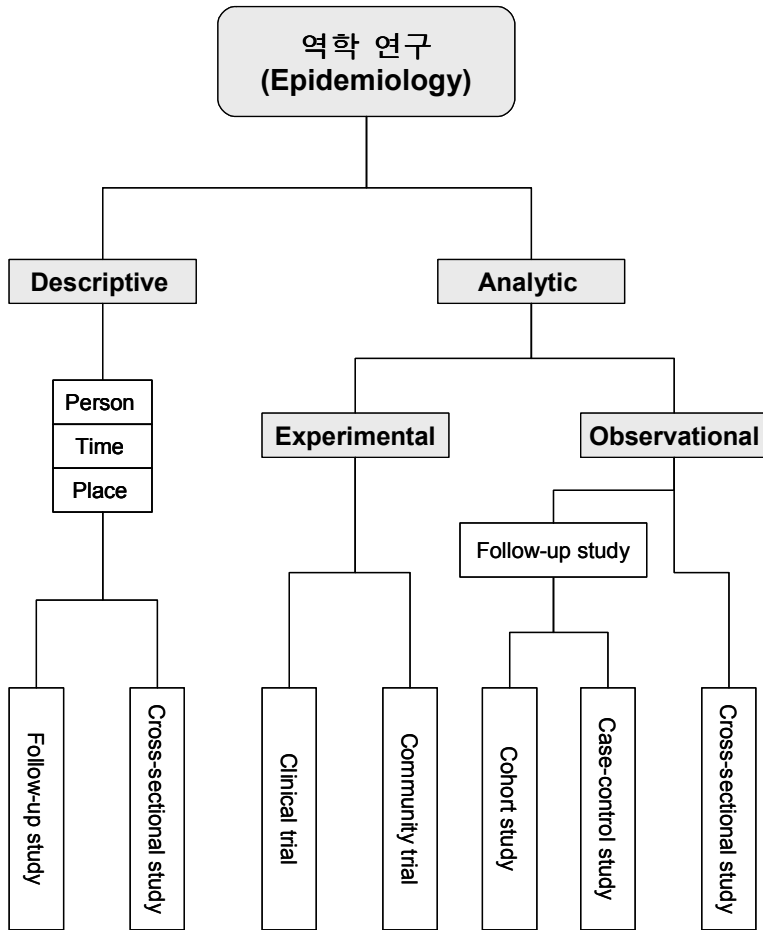


그림 2. 역학 연구의 분류

한다.

비교 위해도는 보통 위험요인에 노출된 인구집단에서의 위해도와 노출되지 않은 인구집단의 위해도를 비교하게 되는데

$$RR = \frac{Risk \in \textit{exposed}}{Risk \in \textit{nonexposed}}$$

여기서 RR은 비교 위해도(혹은 상대위해도,

relative risks)이고 Risk는 노출(혹은 비노출) 인구집단에서 질병(혹은 사망)에 걸릴 확률적 의미이다. 따라서 RR이 1 보다 큰 경우는 노출인구 집단에서의 질병(혹은 사망) 발생율이 그렇지 않은 인구집단에 비하여 크다는 의미로서 노출요인이 질병(혹은 사망) 발생을 일으키는 요인일 가능성을 제시하고 있는 것이며, 그 반대로 RR이 1보다 작은 경우는 노출요인이 질병(혹은 사망) 발생의 저하와

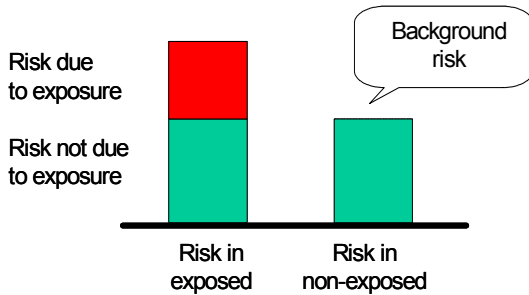


그림 3. Risk in exposed and nonexposed group

위해도 값이 1을 기준으로 훨씬 크거나 작은 경우 역학적 의미에서 연구 결과는 “중요한(important)” 것으로 해석된다. 여기서 중요하다라는 것은 노출요인이 질병(혹은 사망) 발생에 중요한 역할을 한다는 의미로서 인과관계를 규명하는데 주요한 고려요인이 된다. 두 번째로 고려되는 부분은 연구결과의 신뢰성과 관련되는 것으로서 보통 “유의성(significance)”이라는 것으로 표현하기도 하며, 보통 p-value로 제시하며 사전에 정해진 유의 수준(보통 통념적인 유의수준은 5%, $\alpha=0.05$)보다 적은 경우(즉 $p\text{-value} < \alpha$)인 결과를 “유의하다”라고 하며 그렇지 않은 경우를 유의하지 않다고 한다.

따라서 역학적 연구 결과 해석은 보통 다음과 같이 네 가지 경우로 나타낼 수 있다.

- ① 중요하고 유의한 연구 결과
(important and significant)
 - ② 중요하지만 유의하지 않은 연구 결과
(important and non-significant)
 - ③ 중요하진 않지만 유의한 연구 결과
(unimportant and significant)
 - ④ 중요하지도 유의하지도 않은 연구 결과
(unimportant and non-significant)
- 이 때 제한된 연구 인력과 예산으로 시급히 수행

되어야 할 연구 분야를 선택하여야 한다면 보건학적으로 매우 중요한 연구 결과이지만 통계적으로 유의하지 않은 결과인 두 번째 경우이다. 보통 통계적 유의성은 표본 수와 관련되어 있는 경우가 대부분으로 적절한 예산의 배정과 연구 참여자 및 분석대상인 생체시료 확대 등으로 보완할 수 있는 사항이다. 첫 번째와 세 번째의 경우는 연구결과가 어느 정도 확정된 것으로 별도의 연구수행이 시급히 요구되는 분야가 아님을 뜻한다.

위에서 언급한 내용에서 역학적 연구 결과는 보통 위해도로 나타내며 이는 연구 결과의 타당성(validity)과 직접적으로 연결되어 있다. 흔히 이 타당성과 신뢰성은 서로 보완하는 관계에 있으나 타당성의 확보가 신뢰성 확보에 우선하여야 한다는 것이 정설로 되어있다.

따라서 질병과 대상 위험요인과의 인과성을 밝히는 작업이 역학연구에서 매우 중요한 부분이 된다. 흔히 두 가지 서로 다른 요인들의 상관관계(association 혹은 relationship)와 인과관계(causation)는 역학적으로 명확히 구분되어야 할 내용이다. 이와 관련하여 1965년 Hill이 제시한 기준에 의하여 선택된 두 요인의 상관관계가 인과성인 지를 판단하는 기준을 다음과 같이 제시하였다.

Hill에 의하여 제안된 기준들은 시간적 선후관계를 나타내는 시간성(temporality)을 제외하고는 어떤 것도 인과성을 확정하기 위한 필요-충분조건은 아님을 명확히 할 필요가 있다. 그러나 이러한 관점에 대하여 실험실적 연구에 보다 친숙한 과학자로부터 이에 대한 많은 비판이 있어왔다. 한편 Hill의 입장과 마찬가지로 과학적 증거나 지식이란 것이 많은 경우 새로운 과학적 방법 혹은 도구의 개발에 따라 항상 가변적일 수 있다는 점을 인식하고 현재 우리가 속한 사회의 과학적 연구의 불완전성을 전제로 인과성을 평가할 필요가 있다. 특히 역학연구

기 준	내 용
Strength(강도)	상관관계의 강도(상대위험도)는? 강도가 클수록 인과적 관계일 가능성이 크다
Consistency(일관성)	상관성이 다른 인구집단, 다른 지역, 상이한 환경 및 시대에도 일관되고 반복적으로 관측되는가? 일관성이 큰 상관관계일수록 인과적 관계일 가능성이 크다
Specificity(특이성)	상관성이 특정 직업군이나 특정 지역 혹은 특정 위험요인에 한정되는가?
Temporality(시간성)	상관관계인 두 요인의 발생에서 시간적 선후관계를 명확히 구분지을 수 있는가?
Biological gradient (용량-반응 관계)	용량-반응 관계가 존재하는가?
Plausibility(생물학적 기전)	생물학적으로 이해 또는 설명 가능한 현상인가?
Coherence(조리성)	원인과 결과 판단이 일반적으로 알려진 자연현상 혹은 상식과 상충하지 않는가?
Experiment(실험적 증거)	실험실적 증거가 있는가?
Analogy(유사관계)	이미 인과성이 확정된 유사한 방법 혹은 유사한 현상이 있는가?

의 궁극적 목표인 질병통제 및 예방을 통한 공중보건 정립의 관점에서 지나치게 엄격한 인과성 판단의 적용은 자칫 예상하지 못했던 치명적인 결과를 나타낼 수 있다. 이와 관련하여 우리는 지금까지 콜레라 유행에 대한 적절한 관찰과 통제안 제시, 흡연과 폐암에 대한 역학적 연구결과들이 인과적 추론에 대한 제한적 판단근거에 의해 이루어진 것이 아님을 알 수 있다. 결국 인과적 추론이란 한시적인 결론으로서 현존하는 지식수준에 근거한 것으로 계속하여 개선되고 개정되는 지적 수준들을 고려하여야 할 것이다. 단지 우리는 인과적 관계가 없다는 확실한 근거가 없는 한 불완전한 결론에 대해서는 공중보건 측면에서 유연해질 필요가 있는 것이다.

타당성이란 연구 결과가 모집단에서의 결과, 혹은 참값에 얼마나 근사하느냐에 대한 것으로 보통 편견 혹은 편이(bias)로 나타낸다. 이에 비하여 신뢰성은 연구 결과의 재현성과 연관된 것으로 보통

의 경우 표본수와 직접적인 관계가 있다. 다시 말하면 신뢰성이 부족한 연구 결과(즉 통계적으로 유의하지 않은 연구 결과)가 반드시 타당성이 떨어지는 결과(biased results)라고 할 수 없으며, 동시에 신뢰성이 있는 연구 결과(통계적으로 유의한 연구 결과)가 반드시 타당한 연구 결과(unbiased results)를 의미하는 것은 아니다.

타당성에 영향을 미치는 요인은 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 적절한 연구 참여자 선정이 이루어지지 않았을 때 발생할 수 있는 선택편견(selection bias), 자료의 측정 혹은 평가시 잘못된 정보가 입력되거나 측정되는 경우 발생하는 정보편견(information bias, 혹은 measurement errors), 마지막으로 두 요인간의 관계를 평가하는데 제삼의 변수(혹은 요인)에 의하여 결과가 왜곡되는 혼란편견(confounding bias)이다. 따라서 연구 결과의 타당성은 언급한 이 세 가지 범주에 의하여 영향을 받게 되어 있다. 그

에 반하여 연구 결과의 신뢰성은 흔히 표본 수 크기와 직접적인 관련이 있는 것으로 적절한 표본수를 확보한 경우라면 유의한 연구결과를 확보할 수 있다.

환경역학 연구에서 중요한 bias는 주로 노출평가의 불확실성에서 발생하는 정보편견이다. 이는 환경역학 연구에서 주로 연구대상으로 삼고 있는 위험 요인이 일반 환경 중에 존재하는 환경오염물질들이 대부분인데 이러한 오염물질에 대한 일반인의 노출량을 적절하게 평가하기가 매우 어렵다. 그 이유는 첫째로 환경오염물질의 특성상 대부분의 경우 미량으로 환경 중에 존재하고 있기 때문에 측정과 분석에 어려움이 있으며 이렇게 미량의 오염물질의 인체노출량을 평가하는 도구가 거의 없기 때문이다. 두 번째는 많은 환경오염물질은 환경매체(대기, 수계, 토양)간에 이동하고 있고 특정한 오염물질의 인체노출이란 결국 호흡, 섭취, 접촉 등의 복합적 수단을 통하여 이루어지기 때문에 타당한 노출량을 평가하는데 어려움이 있다. 이와 같이 환경역학 연구에서 정확한 노출평가를 수행하기가 매우 어렵게 되어 있어서 정보편견의 가능성을 배제

할 수 없게 된다. 그럼에도 불구하고 역학연구 결과의 유용성이 매우 강조되고 있는 시점에서 연구자는 정보편견을 줄이기 위한 최선의 노력을 기울여야 하며 동시에 위해성 평가가 정량적으로 가능할 수 있도록 계량적인 노출평가가 이루어질 수 있도록 하여야 할 것이다.

- 참고문헌 -

1. Hertz-P, Smith AH, Epidemiologic input to environmental risk assessment, Arch Environ Health 43, 124, 1988.
2. Hertz-Picciotto, I., Epidemiology and quantitative risk assessment: A bridge from science to policy, Amer J Pub Health 85, 484, 1995.
3. Hill, AB, The environment and disease: Association or causation?, Proc Royal Soc Med 58, 295-300, 1965.
4. U.S. EPA, Guidelines for cancer risk assessment, Fed Register, 51, 33992, 1986.