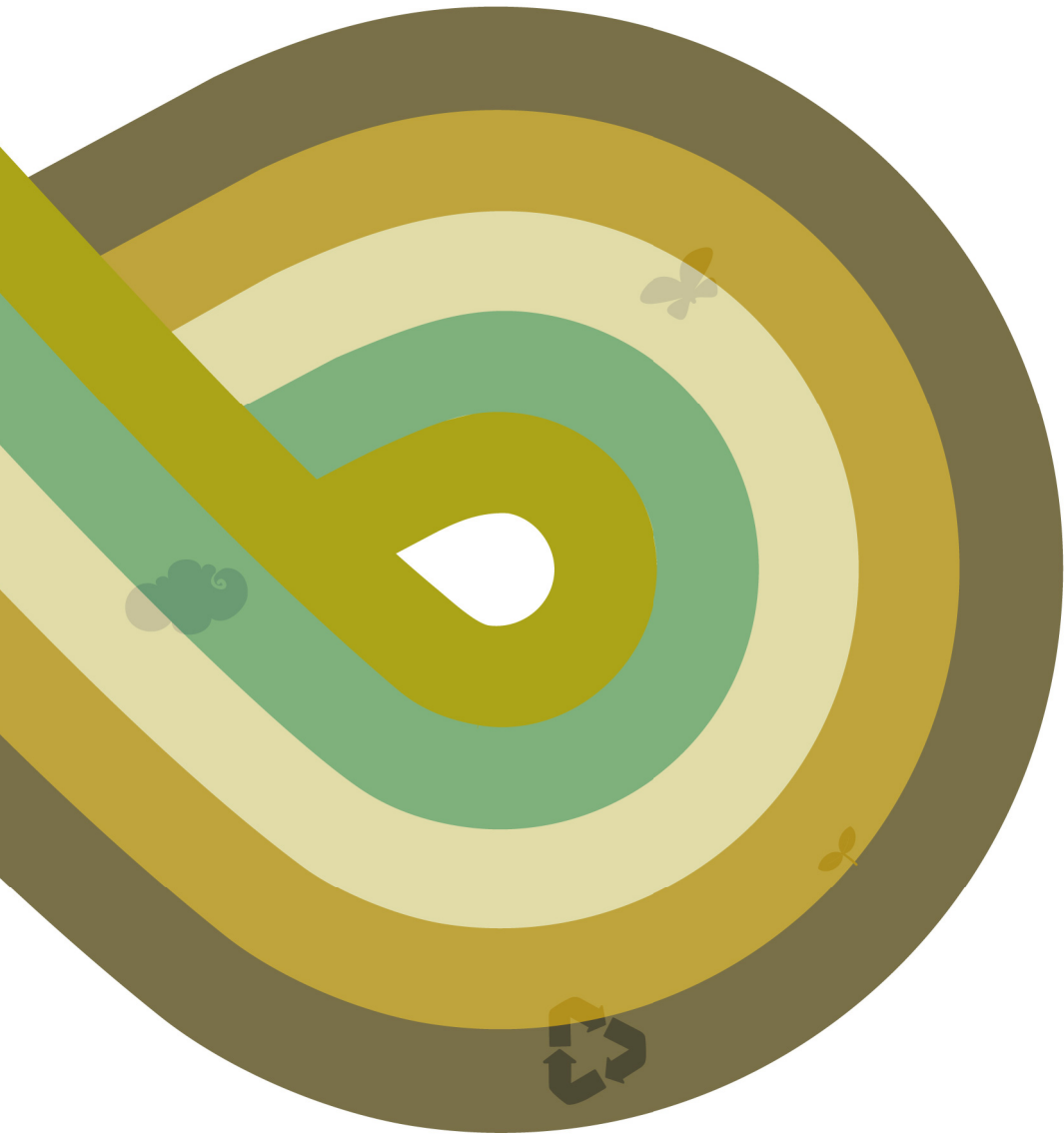


# 빅데이터를 이용한 대기오염의 건강영향 평가 및 피해비용 추정

안소은 외



## 연구진

총괄 책임자	안소은 (한국환경정책·평가연구원 연구위원; 1장, 2장, 5장)
건강영향 평가 부문책임자	배현주 (한국환경정책·평가연구원 연구위원; 3장)
피해비용 추정 부문책임자	곽소윤 (한국환경정책·평가연구원 부연구위원; 4장)
연구참여자	임연희 (서울대학교 의과대학 교수) 김명희 (울지대학교 보건과학대학 교수) 김진산 (한국환경정책·평가연구원 연구원)

## 연구자문위원 (가나다 순)

권호장 (단국대학교 의과대학 교수)
공성용 (한국환경정책·평가연구원 선임연구위원)
박충희 (국립환경연구원 환경연구관)
신용승 (한국환경정책·평가연구원 연구위원)
엄영숙 (전북대학교 경제학부 교수)
정영호 (한국보건사회연구원 연구위원)
하중식 (한국환경정책·평가연구원 부연구위원)

© 2015 한국환경정책·평가연구원

---

**발행인** 박광국  
**발행처** 한국환경정책·평가연구원  
세종특별자치시 시청대로 370 세종국책연구단지  
B동(과학·인프라동) (우편번호) 30147  
전화 044)415-7777 팩스 044)415-7799  
<http://www.kei.re.kr>

**인쇄** 2015년 12월 26일  
**발행** 2015년 12월 31일  
**등록** 제17-254호(1998년 1월 30일)  
**ISBN** 979-11-5980-014-6 93530

---

이 보고서를 인용 및 활용 시 아래와 같이 출처 표시해 주십시오.  
안소은 외. 2015. 「빅데이터를 이용한 대기오염의 건강영향 평가 및 피해비용 추정」. 한국환경정책·평가연구원.

---

값 5,000원

# 서 언

세계보건기구(WHO)는 2012년 기준 대기오염으로 인한 조기사망이 700만 명에 이르는 것으로 추정하고 대기오염을 환경부문 질병부담의 가장 큰 요인으로 보고한 바 있습니다. 대기오염으로 인한 건강영향은 오염물질에 대한 노출정도에 따라 급성과 만성영향으로 구분할 수 있으며, 특히 장기간 노출에 따른 만성 건강영향은 대규모 인구집단을 대상으로 한 코호트 자료를 필요로 합니다. 한편 대기오염으로 인한 건강영향 평가는 물리적 영향평가를 넘어 피해비용 추정을 통한 사회적 비용 산정으로 연계되어야 관련정책의 사전 또는 사후 평가로 이어질 수 있습니다. 본 연구는 코호트 연구를 통하여 대기오염으로 인한 건강영향의 정량적 평가를 개선하고, 그 결과에 기반한 피해비용 추정을 통하여 관련 정책 평가의 기반을 마련하고자 하는 목적으로 기획되었습니다. 특히 최근 활용 가능하게 된 빅데이터인 국민건강보험공단의 표본코호트DB를 활용하여 대기오염으로 인한 만성 건강영향 평가체계를 개선하고, 건강영향 평가결과의 특성을 고려하여 적절한 경제성분석 방법으로 연계하고자 합니다.

본 연구는 안소은 박사가 총괄책임을 맡아서 수행하였고, 배현주 박사가 건강영향 평가 부문을, 곽소윤 박사가 피해비용 추정 부문을 맡아 진행해 주셨습니다. 서울대학교 임연희 교수와 을지대학교 김명희 교수가 외부 연구진으로 참여해 주셨으며 김진산 연구원이 자료수집에 도움을 주었습니다. 연구진으로 수고해 주신 모든 분들께 감사의 말씀을 드립니다. 또한 바쁘신 와중에도 자문을 통해 연구에 도움을 주신 권호장, 공성용, 박충희, 신용승, 엄영숙, 정영호, 하종식 박사께도 진심으로 고마움을 전합니다. 또한 자료를 제공해 주신 국민건강보험공단에 감사드립니다.

2015년 12월

한국환경정책·평가연구원

원장 박 광 국

※ 일러두기

자료출처가 명시되지 않은 표, 그림은 본 연구의 결과임을 밝혀둡니다.

# 국문 요약

대기오염은 환경부문 질병부담의 가장 큰 요인이다. 본 연구는 최근 활용 가능하게 된 국민건강보험공단의 표본코호트DB를 기반으로 대기오염으로 인한 건강영향의 정량적 평가, 특히 만성 건강영향 평가체계를 개선하고 질병비용(COI) 및 통계적생명가치(VSL)로의 연계를 통한 사회적 비용추정을 일차적 목표로 하고 있다.

본 연구는 3년 과제로 기획되었으며 연구내용은 크게 표본코호트DB를 활용한 대기오염의 건강영향 평가, 건강영향의 사회적 비용추정, 건강영향·경제성 통합분석 및 정책평가 분석 틀 구축으로 구분된다. 연구진행은 각 부문 간의 순차적 접근보다는 병렬적 접근을 취하여 부문 간 피드백을 도모하는 방향으로 추진하였다.

이러한 맥락에서 1차년도(2015)는 대기오염으로 인한 호흡기계 만성 건강영향 평가와 호흡기계 질병비용 산정을 위한 표본코호트DB 자료가공 및 분석을 병행하여 진행하였다. 먼저 건강영향은 대기오염으로 인한 호흡기계 질환 신규입원과 반복입원위험을 중심으로 평가하였다. 질병비용(COI)은 동일한 질병군에 대하여 의료비용, 교통비용, 간병비용, 생산성 손실비용 등을 산출하였다. 또한 건강영향 평가와 질병비용(COI) 산출의 분석단위를 동일한 무진료기간을 적용한 에피소드로 묶어줌으로써 향후 건강영향 평가와 질병비용(COI)의 연계가 가능하도록 설계하였다.

대기오염의 호흡기계 신규입원 발생위험을 생존분석한 결과, 미세먼지(PM<sub>10</sub>), 이산화황(SO<sub>2</sub>), 오존(O<sub>3</sub>)의 경우, 대기오염의 장기노출 농도 증가는 호흡기계 신규입원위험을 유의하게 높였다. 이산화질소(NO<sub>2</sub>)와 오존(O<sub>3</sub>)으로 인한 호흡기계 신규입원위험은 전국에 비해 서울지역에서 높았으며, 65세 이상 연령집단의 경우 미세먼지(PM<sub>10</sub>)의 영향을 전체 연령에 비해 더 많이 받는 것으로 나타났다. 시계열 패널자료를 구축하여 대기오염으로 인한 재입원위험을 반복측정분석한 평가결과, 65세 이상 연령집단에서 미세먼지(PM<sub>10</sub>), 일산화탄소(CO), 오존(O<sub>3</sub>), 이산화황(SO<sub>2</sub>)이 증가할수록 입원증가와 유의한

연관성을 보였다.

한편 질병비용(COI) 항목별 산출결과(약제비용 제외)를 요약하면, 2002년도 기준, 호흡기계 질환 입원 에피소드당 질병비용 합계는 총 178만 원으로 이 중 의료비용이 47%, 생산성 손실비용이 36%를 차지하는 것으로 나타났다. 2013년 기준, 입원 에피소드당 질병비용 합계는 총 377만 원으로 이 중 의료비용이 51%, 생산성 손실비용이 33%를 차지하는 것으로 나타났다.

본 연구는 표본코호트DB를 활용하여 대기오염의 만성 건강영향과 질병비용을 다각적으로 분석할 수 있는 기반을 구축하였다. 특히 건강영향 평가 부문에서는 입원 에피소드 가공 또는 시계열 패널자료 구축 등을 통하여 데이터를 분석목적에 적합하도록 가공하여 사용하였다. 또한 대기오염으로 인한 호흡기계 질환 신규입원위험과 호흡기계 질환 재입원 위험을 추정함으로써, 기존에 미흡했던 만성 건강영향 평가결과를 제시했다는 점에 의의를 찾을 수 있다. 향후 지속적으로 모형을 개선하는 노력이 필요할 것이다. 질병비용(COI) 추정은 건강영향 평가와의 연계를 위하여 호흡기계 질환 에피소드별로 항목별 비용을 추정하였다는 점이 기존 연구와 차별화된다. 향후 약제비용이 추가되어야 하고 생산성 손실을 포함한 시간 기회비용 추정을 위해 사용된 원자료 등에 대한 추가 검토가 필요하며 이러한 이슈들은 2차년도에 지속적으로 개선해 나갈 예정이다.

주제어: 코호트연구, 대기오염, 건강영향, 피해비용, 통합연구

# | 차례 |

제1장 · 서론 .....	1
1. 연구배경 및 목적 .....	1
2. 연구내용 및 범위 .....	2
3. 표본코호트DB의 성격 및 구조 .....	4
제2장 · 대기오염의 건강영향 및 경제성 통합분석 사례연구 .....	7
1. 통합분석 절차 및 방법론 .....	7
가. 유럽위원회(EC)의 ExternE .....	7
나. 미국환경청(EPA)의 대기청정법 편익/비용분석 .....	10
2. 통합분석 사례연구 .....	13
가. 유럽 사례연구 .....	13
나. 미국 사례연구 .....	16
다. 국내 사례연구 .....	20
제3장 · 대기오염의 건강영향 평가 .....	25
1. 표본코호트DB를 이용한 대기오염의 건강영향 평가 .....	25
2. 대기오염으로 인한 건강영향 평가 분석범위 및 분석자료 .....	25
가. 분석범위 및 건강영향 범위 .....	25
나. 분석자료 및 가공자료 .....	26
3. 대기오염으로 인한 건강영향 평가 분석방법 .....	27
가. 표본코호트 자료의 생존분석 .....	27
나. 시계열 패널자료의 반복측정 분석 .....	28

4. 대기오염으로 인한 건강영향 평가결과 .....	29
가. 시도별 대기오염 농도 .....	29
나. 연도별 대기오염물질 농도 .....	30
다. 호흡기계 입원환자 자료 .....	33
라. 대기오염의 장기노출로 인한 호흡기계 신규입원영향 분석결과 .....	36
마. 대기오염의 호흡기계 재입원에 대한 시계열 패널의 반복측정 분석결과 .....	37
5. 대기오염으로 인한 건강영향 평가 요약 및 시사점 .....	39
<b>제4장 · 질병비용 추정 .....</b>	<b>41</b>
1. 질병비용 국내 사례연구 검토 .....	41
2. 질병비용 방법론 .....	43
3. 질병비용 산출 .....	46
가. 분석대상 및 범위 .....	46
나. 세부 항목별 비용 도출 .....	47
4. 질병비용 분석결과 및 시사점 .....	51
가. 의료비용 .....	51
나. 교통비용 .....	53
다. 간병비용 .....	54
라. 생산성 손실비용 .....	55
마. 항목별 비용산출 종합 .....	56
바. 시사점 .....	57
<b>제5장 · 결론 .....</b>	<b>59</b>
1. 호흡기계 재입원위험-질병비용 통합(예비분석) .....	59
2. 1차년도 연구결과 요약 및 시사점 .....	60



3. 향후 연구계획 .....	62
참고문헌 .....	65
부록 · 동반질환지수 개발 .....	69
Abstract .....	79

## | 표 차례 |

<표 2-1> 통합분석 사례연구 1: EC(2005) .....	14
<표 2-2> 통합분석 사례연구 2: OECD(2015) .....	15
<표 2-3> 통합분석 사례연구 3: EPA(2011) .....	17
<표 2-4> 통합분석 사례연구 4: EPA(2013) .....	18
<표 2-5> 통합분석 사례연구 5: Dokins(2004) .....	19
<표 2-6> 통합분석 사례연구 6: 환경부(2003) .....	21
<표 2-7> 통합분석 사례연구 7: 경기개발연구원(2003) .....	22
<표 2-8> 통합분석 사례연구 8: 환경부(2007) .....	23
<표 2-9> 통합분석 사례연구 9: 국립환경과학원(2012) .....	24
<표 3-1> 시도별 대기오염 농도 .....	30
<표 3-2> 2007~2013년 미세먼지 및 오존 농도 .....	31
<표 3-3> 2007~2013년 이산화질소 및 이산화황 농도 .....	31
<표 3-4> 2007~2013년 일산화탄소 농도 및 기온 .....	32
<표 3-5> 2007~2013년 호흡기계 신규입원 일별 에피소드 .....	34
<표 3-6> 시도별 호흡기계 입원발생 건수 및 발생분율 .....	35
<표 3-7> 시계열 패널자료의 기초통계량 .....	36
<표 3-8> 대기오염의 장기노출로 인한 호흡기계 신규입원영향 .....	37
<표 3-9> 대기오염으로 인한 65세 이상 연령집단의 호흡기계 재입원 영향 ...	38
<표 4-1> 질병비용 연구의 분석측면과 비용유형 .....	42
<표 4-2> 질병비용 국내 연구사례 .....	42
<표 4-3> 질병비용 세부 항목 .....	45
<표 4-4> 연도별 건강보험환자 건강보험 보장률 .....	48

<표 4-5> 입원의 교통비 및 자가차량 비율 .....	48
<표 4-6> 교통수단별 사적비용 및 대중교통 대비 자가용의 사적비용 비율 ...	49
<표 4-7> 간병인 이용비율 및 간병비용 .....	50
<표 4-8> 호흡기계 입원 에피소드의 의료비용 .....	51
<표 4-9> 호흡기계 입원 에피소드의 비급여본인부담금 비용 .....	52
<표 4-10> 호흡기계 입원 에피소드의 총 의료비용 .....	53
<표 4-11> 호흡기계 입원 에피소드의 교통비용 .....	54
<표 4-12> 호흡기계 입원 에피소드의 간병비용 .....	55
<표 4-13> 호흡기계 입원 에피소드의 생산성 손실비용 .....	56
<표 4-14> 호흡기계 입원 항목별 비용 종합(에피소드 기준) .....	57

# | 그림차례 |

<그림 1-1> 연차별 주요 연구내용 및 추진체계 .....	4
<그림 1-2> 표본코호트DB 설계 .....	5
<그림 1-3> 표본코호트DB 구성 .....	6
<그림 2-1> ExternE의 대기오염 영향경로분석 단계 .....	8
<그림 2-2> EPA(2011) 대기오염의 건강영향 및 경제성 분석절차 .....	10
<그림 2-3> EPA의 건강편익 산정절차 .....	12
<그림 3-1> 일별 입원 청구 건수 .....	27
<그림 3-2> 분석대상 호흡기계 입원환자 추출 .....	33
<그림 4-1> 질병비용 분석절차 및 단계별 주요내용 .....	43
<그림 4-2> 질병비용 산출을 위한 표본코호트DB 가공 과정 .....	47
<그림 5-1> 건강영향·경제성 통합평가를 위한 요구 정보 .....	59
<그림 5-2> 건강영향·경제성 통합평가 예비분석 결과 .....	60
<그림 5-3> 부문별 향후 연구계획 .....	63

# | 제1장 · 서론 |

## 1. 연구배경 및 목적

대기오염은 환경부문 질병부담의 가장 큰 요인이다. 세계보건기구(World Health Organization, WHO)는 2012년 기준 대기오염과 관련된 조기사망이 700만 명에 이르는 것으로 보고하고 있는데, 이는 전체 사망자의 1/8에 해당하는 수치이기도 하다(WHO, 2014a). 대기오염은 다양한 사망원인과 연관되지만, 특히 심혈관계 및 뇌혈관계 질환 사망과 관련이 큰 것으로 보고되고 있으며, 실외 대기오염과 실내 공기오염이 심혈관계 질환 사망률의 80%와 60%를 각각 차지하는 것으로 추정된다(WHO, 2014b).

대기오염으로 인한 건강영향은 오염물질에 대한 노출정도에 따라 급성과 만성영향으로 구분할 수 있는데, 만성 건강영향을 평가하기 위해서는 대규모 인구집단을 대상으로 한 코호트(cohort) 자료를 필요로 한다. 우리나라의 경우 코호트 자료의 미흡으로 대기오염의 급성 건강영향에 초점을 맞추어 연구가 진행되어 왔으며, 만성 건강영향에 대한 연구는 제한적이다.

그러나 최근 빅데이터 분석 및 활용에 대한 사회적 관심이 높아지면서 상황이 달라지고 있다. 빅데이터에 대한 사회적 요구에 부응하기 위하여 국민건강보험공단에서도 전 국민을 대상으로 표본 추출한 100만 명에 대해 표본코호트DB를 구축하고 2014년부터 자료제공 서비스를 시작하였다.<sup>1)</sup> 이제 국내에서도 대기오염으로 인한 만성 건강영향 분석기반이 갖추어진 셈이다.

한편 대기오염으로 인한 건강영향 평가는 물리적 영향평가를 넘어 피해비용 추정을 통한 사회적 비용산정으로 연계되어야 관련정책의 사전(ex-ante) 또는 사후(ex-post) 평가로 이어질 수 있다. 유럽위원회(EC)는 1991년 시작된 ExternE 사업을 통하여 대기오염

1) 국민건강보험공단은 전 국민을 대상으로 표본 추출한 100만 명을 대상으로 9년 동안의 건강자료와 의료이용 자료가 포함된 표본코호트DB를 구축하고 이의 활용도를 검증하기 위해 2013년 시범 연구사업을 진행하였으며, 시범사업의 결과를 반영하여 표본코호트DB 자료제공 서비스를 시작하였다(<http://nhiss.nhis.or.kr>).

-건강영향-사회적 비용추정을 연계한 통합분석을 지속적으로 추진하여 왔으며, 부문별 결과보고서를 1995~1999년까지 순차적으로 발간하였다. 또한 사업의 최종보고서는 2004년, 방법론 업데이트 보고서는 2005년에 발간하였다. 미국은 1990 대기청정법개정안(Clean Air Act Amendments, CAAA)에 근거하여 개정안 시행으로 인한 사회적 비용과 편익을 추정하여 정기적으로 보고하는 것을 법적 의무로 규정하고 있으며, 2011년 3번째 보고서를 발간하였다(EPA, 2011).

우리나라의 경우, 「수도권대기환경개선에관한특별법」에 의한 대기질 개선정책에 대한 경제성 평가가 수행된 바 있고(환경부, 2003; 경기개발연구원, 2003), 미세먼지(PM<sub>10</sub>)와 오존(O<sub>3</sub>)이 심폐질환과 호흡기질환에 미치는 건강영향을 기반으로 질병비용(Cost Of Illness, COI)과 통계적생명가치(Value of Statistical Life, VSL)를 활용하여 비용을 추정한 바 있다(환경부, 2007). 또한 기후변화로 인한 대기오염물질 농도변화와 건강피해를 예측한 바 있다(국립환경과학원, 2012). 그러나 이러한 연구들은 대기오염으로 인한 건강영향 평가에서 지역적으로 한정되거나, 특정 오염물질에 제한되어 있거나, 인구학적/사회경제학적 요인의 반영이 미흡하여, 이에 근거한 피해비용 추정결과를 정책적으로 활용하기에는 제한적인 측면이 있어왔다.

이러한 배경 아래 본 연구는 표본코호트DB를 활용하여 대기오염으로 인한 건강영향의 정량적 평가를 개선하고, 그 결과에 기반한 피해비용 추정을 통하여 관련 정책평가의 기반을 마련하고자 하는 목적으로 기획되었다. 특히 최근 활용 가능하게 된 빅데이터인 표본코호트DB를 활용하여 대기오염으로 인한 만성 건강영향 평가체계를 개선하고, 건강영향 평가결과의 특성을 고려하여 적절한 경제성분석 방법으로 연계하는 작업에 중점을 두고자 한다.

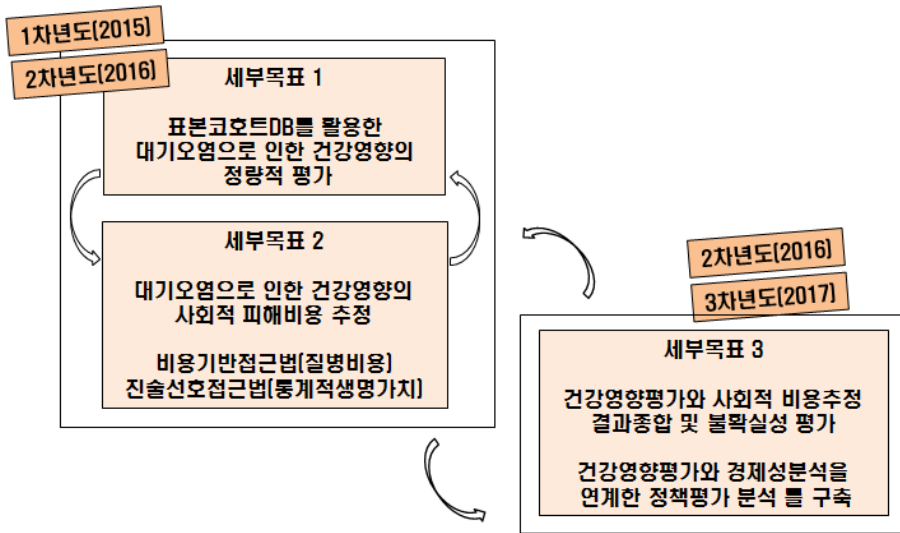
## 2. 연구내용 및 범위

본 연구는 3년 과제로 기획되었으며, 크게 표본코호트DB를 활용한 대기오염의 건강영향 평가, 건강영향의 사회적 비용산정, 건강영향 평가와 피해비용 추정을 연계한 통합분석

및 정책평가 분석 틀 구축으로 구분되어 진행된다. 부문별 주요 연구내용은 다음과 같고, 연차별 연구추진 체계는 <그림 1-1>과 같다.

- 대기오염으로 인한 건강영향 및 경제성 통합분석 사례검토
  - 대기오염으로 인한 건강영향의 경제성분석 지침 검토
  - 대기오염으로 인한 건강영향·경제성 통합분석 사례연구 검토
- 표본코호트DB를 활용한 대기오염의 건강영향 정량적 평가
  - 대기오염의 장기노출로 인한 만성 건강영향 평가
  - 대기오염물질(PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>) 대상
  - 생존회귀분석, 반복측정분석
- 건강영향 평가를 기반으로 한 사회적 피해비용 추정
  - 사망률(mortality)과 유병률(morbidity) 대상 경제성분석 방법론 검토
  - 비용기반접근법(질병비용), 진술선호접근법(통계적생명가치) 적용
  - 건강영향 평가/경제성분석 결과종합 및 불확실성 검토
- 건강영향 평가와 경제성 분석을 연계한 정책평가 분석 틀 구축
  - 관련 정책의 사전/사후 평가를 위한 시나리오 개발
  - 건강영향 평가와 경제성 분석결과의 통합 분석 틀 구축 및 사례연구

본 연구는 연구추진에 있어 건강영향 평가, 피해비용 추정, 통합 정책평가 분석 틀 구축을 순차적으로 진행하는 것보다는 동시에 병행하여 진행하고 부문 간 피드백을 통하여 각 분석모듈의 개선을 도모하고자 한다. 경제성분석은 1차년도(2015) 질병비용(COI)을 시작으로 2차년도 통계적생명가치(VSL) 추정으로 적용을 확대할 예정이다. 각 방법론의 적용 역시 당해 연도에 한정되는 것이 아니라 3년에 걸쳐 지속적으로 개선하는 방향으로 진행하고자 한다.



〈그림 1-1〉 연차별 주요 연구내용 및 추진체계

### 3. 표본코호트DB의 성격 및 구조<sup>2)</sup>

본 연구에서 빅데이터란 국민건강보험공단의 표본코호트DB를 의미한다. 본 절에서는 분석에 앞서 표본코호트DB의 성격과 구조를 정리함으로써 분석자료에 대한 이해도를 높이고자 한다.

표본코호트DB는 국민건강보험공단의 ‘국민건강정보DB’에 기반하고 있다. 국민건강정보DB는 국민의 질병예방과 건강증진, 보건의료정책 수립, 의료 질 향상에 필요한 정보생산을 위해 구축된 DB로 건강보험 및 의료급여권자 전체에 대한 진료명세서와 진료내역, 상병내역, 처방전내역 등에 대한 정보를 포함하고 있다. 국민보험공단에 의하면 표본코호트DB는 ‘국민건강정보DB로부터 전 국민 약 4,600만 명의 2.2%에 해당하는 100만 명에 대해 2002~2013년 동안의 자격 및 소득정보, 병·의원 이용내역 및 건강검진결과, 영양기

2) 본 절의 내용은 2015년 국민보험공단 표본코호트DB 교육 설명자료에 기반하여 연구진이 재구성한 내용임을 밝혀두며, 보다 자세한 내용은 <http://nhiss.nhis.or.kr>을 참고하기 바란다.



관 정보와 통계청의 사망원인 정보를 결합하여 코호트(cohort) 형식<sup>3)</sup>으로 구축한 개인 식별이 불가능한 연구용 DB'로 정의된다.<sup>4)</sup>

표본코호트DB는 설문조사를 통한 자료수집이 아닌 모집단인 국민건강정보DB로부터 직접 표본을 추출하였기 때문에 비표본오차(non-sampling error)는 발생하지 않는 장점이 있다. 표본추출방법으로는 모집단의 성별, 연령 등의 인구학적 특성과 소득분위 대표성을 유지하도록 비례배분에 의한 층화무작위추출법을 적용하였다(그림 1-2 참조). 성별(2), 연령(18), 소득수준(41)을 층화변수로 총 1,476개의 층이 도출되었고, 최종 표본수는 1,025,340명이다. 이는 모집단의 2.2%에 해당하는 수치이다(이준영 외, 2015).

구분	세부내용
추출 방식	- 사람 중심의 표본코호트(2002년말 가입자 자격기준)
층화 방법	- 성별(2), 연령(18), 소득수준(41)을 층화변수로 1,476개층 구성
표본 수	- 전 국민 중 약 100만 명
	- 층별 비례배분을 적용해 최종 결정된 2002년 표본크기는 1,025,340명임 (이는 모집단 인원수(약 4,600만명) 대비 2.2%에 해당함)
	$n = \left( Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{B} \right)^2 = \left( 1.96 \times \frac{866735.7}{339176.2 \times 0.005} \right)^2 = 1,003,448$ <p style="text-align: right; font-size: small;">신뢰수준 95% B=오차 한계, 평균 층의표비의 0.5%</p>
	- 연도별로 100만 명의 표본 수를 유지하기 위해 2002년의 표본 코호트 크기를 1,003,448명에서 1,025,340 명으로 수정 [표본 추출률 2.0% → 2.2%]

자료: 국민건강보험공단(2015), 이준영 외(2015)에서 재구성.

〈그림 1-2〉 표본코호트DB 설계

- 3) 일반적으로 코호트(cohort)는 특정 성격을 공유하거나 특정 사건(event)을 특정 기간 공유한 대상 집단으로 정의된다(Wikipedia, 2015.6.12).
- 4) 표본코호트DB는 2002년~2010년 기간 동안 자료가 1차로 구축되었고, 이후 2011~2013년 자료가 추가되어 2015년 현재 12년(2002~2013) 간의 자료가 제공되고 있다.

표본코호트DB는 자격DB, 진료DB, 건강검진DB, 영양기관DB 4개의 세부DB로 구성되어 있다. 자격DB는 성별, 연령, 지역, 가입자 구분, 소득분위 등 대상자의 사회·경제적 변수로, 진료DB는 상병, 진료과목, 요양개시일자, 요양기관정보, 내원일수, 심사결정금액 등을 포함한 요양급여청구 관련자료, 건강검진DB는 건강검진 주요결과 및 문진에 의한 생활습관/행태자료, 영양기관DB는 영양기관의 종별, 설립구분 및 시설 관련자료로 구성되어 있다(그림 1-3 참조).

기준		2002년 자격 대상자 (약 100만명)
연도		2002-2013년(12년)
내용	자격DB	- 대상: 건강보험가입자 및 의료급여수급권자 (외국인 제외) - 변수: 성별, 연령, 지역, 가입자 구분, 소득분위 등 대상자의 사회경제적 변수 및 장애, 사망관련 총 14개
	진료DB	- 내용: 건강보험 청구자료로 대상자가 의료기관에 방문하여 의료기관으로 부터 요양급여가 청구된 자료 - 구성: 상병기호, 진료과목, 요양개시일자, 요양기관정보, 내원일수, 심사결정금액, 처방내역 등
	건강검진DB	- 내용: 건강검진 주요결과 및 문진에 의한 생활습관 및 행태관련 자료 - 구성: 2002~2008년, 2009~2013년 건강검진 DB 별도 구성 (2009년 검진제도 개편으로 주요 검진항목 및 문진항목 변경) - 2002~2008년 37개 변수; 2009~2013년 41개 변수
	요양기관DB	- 내용: 영양기관의 종별, 설립구분별, 지역(시도)별 현황 및 시설, 장비, 인력 관련 자료 - 구성: 총 10개 변수로 구성됨

자료: 국민건강보험공단(2015), 이준영 외(2015)에서 재구성.

〈그림 1-3〉 표본코호트DB 구성

# 1 제2장 · 대기오염의 건강영향 및 경제성 통합분석 사례연구 1

## 1. 통합분석 절차 및 방법론

본 절에서는 유럽위원회(EC) ExternE 사업의 방법론(EC, 2005)과 미국환경청(EPA)의 대기청정법개정안(CAAA) 편익/비용분석 방법론(EPA, 2011)을 중심으로 대기오염으로 인한 건강영향의 사회적 편익/비용 추정절차와 방법론을 소개하고 비교·분석해보고자 한다.

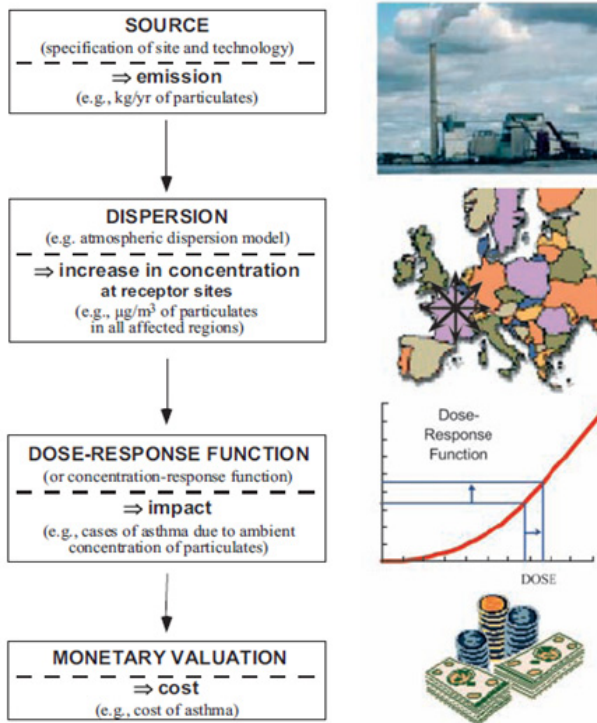
### 가. 유럽위원회(EC)의 ExternE<sup>5)</sup>

ExternE 사업은 에너지 소비, 교통, 산업, 농업을 포함한 인간활동이 환경과 건강에 미치는 외부효과의 정량적 측정과 화폐화를 목적으로 기획되었다. ExternE 방법론은 다양한 척도로 표현된 영향을 동일한 척도 즉, 화폐로 전환하는 분석 틀을 제공하며 일반적으로 다음과 같은 순서로 진행된다.

- 1단계: 분석대상(정책, 사업, 또는 환경교란 인자를 포괄하는 개념)의 정의 및 적용 시나리오 개발; 주요 영향항목/범위 확인; 관련 외부효과 검토
- 2단계: 분석대상으로 인한 예상 물리적 영향의 측정; 일반적으로 물리적 영향의 측정은 분석대상이 존재할 경우와 존재하지 않을 경우의 시나리오를 적용하고 그 결과의 차이, 즉 분석대상 유무(有無)로 인한 영향의 변화량으로 측정함
- 3단계: 외부비용을 계산하기 위한 물리적 영향의 화폐화
- 4단계: 불확실성 평가/민감도 분석
- 5단계: 결과 종합 및 결론 도출

5) EC(2005)에서 연구진이 재구성한 내용임을 밝혀둔다(<http://externe.info>).

ExternE는 외부효과를 크게 환경영향, 기후변화영향, 사고/재해 3범주로 구분하는데, 환경영향이란 (오염)물질 또는 에너지(소음, 방사선, 열 등)가 대기, 토양, 물과 같은 환경 매체로 방출되었을 경우의 영향을 의미하며 영향경로분석(impact pathway analysis)을 사용하여 분석하는 것이 일반적이다. 대기오염으로 인한 건강영향의 편익/비용분석도 이 범주에 해당한다. 대기오염으로 인한 영향경로분석은 <그림 2-1>과 같은 단계를 거쳐 진행된다.



자료: EC(2005).

<그림 2-1> ExternE의 대기오염 영향경로분석 단계

- 배출(emission): 대상지와 기술(technology)에 차별화된 오염물질 배출량 추정
- 확산(dispersion): 영향 지역의 오염물질 농도증가 추정
- 영향(impact): 노출-반응함수, 농도-반응함수, 용량-반응함수 등을 활용한 오염물질  
에의 노출로 인한 물리적 영향 측정
- 비용(cost): 측정된 물리적 영향의 화폐화

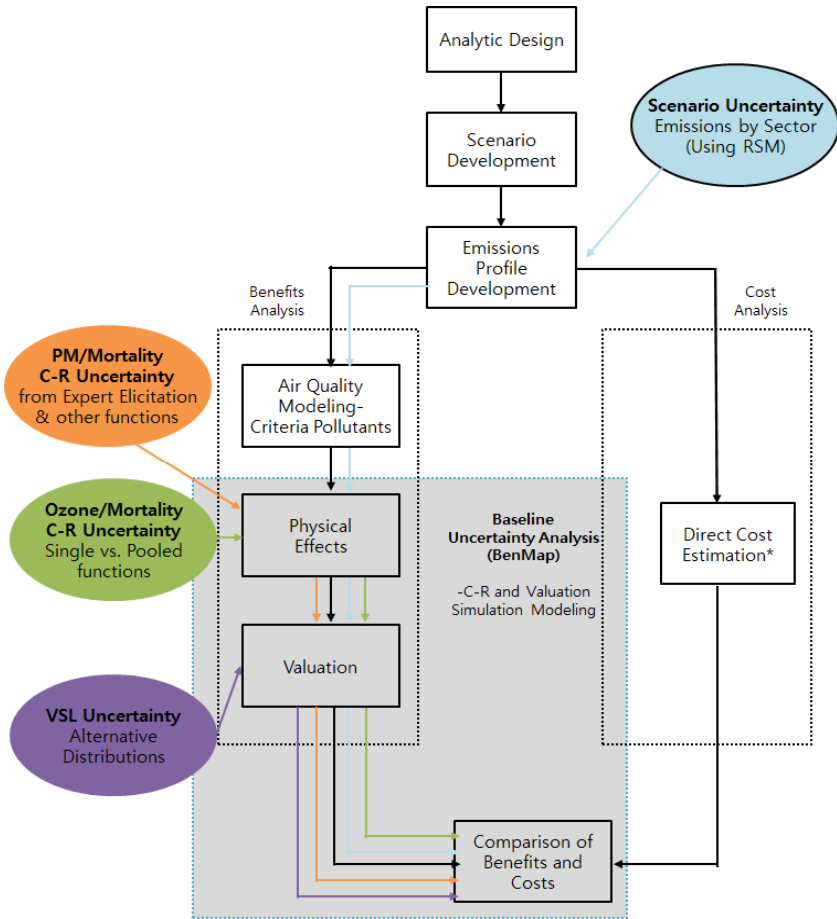
ExternE의 영향경로분석은 물리적 영향의 측정과 화폐화를 요구하고 있다. 물리적 영향 측정은 매체 또는 영향 특성에 따라 노출-반응함수(exposure-response function), 농도-반응함수(concentration-response function), 용량-반응함수(dose-response function) 등을 사용하여 오염물질에의 노출로 인한 누적평가 크기 측정을 원칙으로 하고 있다. 화폐화는 물리적 영향의 종결점(endpoint)에 전통적인 비시장재화 가치추정(non-market valuation) 기법 적용을 원칙으로 한다. 또한 물리적 영향에 대한 정보의 신뢰성이 낮은 경우 해당 항목을 분석에서 제외하는 것보다는 대안으로서 편익이전의 활용을 권고하고 있다.

건강부문 물리적 영향의 대표적 종결점으로는 사망률(mortality)과 유병률(morbidity)을 들 수 있다. ExternE의 사망률과 관련된 피해비용은 조기사망으로 인한 통계적생명가치(VSL)<sup>6)</sup> 또는 기대수명손실(loss of life expectancy)을 활용하여 추정한다. 유럽지역의 정책분석을 위해 통상적으로 사용되고 있는 통계적생명가치(VSL)의 범위는 1~5백 만 €인데, 이는 다양한 사례연구 결과를 종합하여 도출한 값이다. ExternE는 구간 평균값인 3백 만€를 사용하고 있다. 한편 기대수명손실 추정은 연간수명가치(Value of a Life Year, VOLY)의 추정을 전제로 하고 있는데, 통계적생명가치(VSL) 연구에 비해 상대적으로 최근에야 본격적인 연구가 진행되고 있다. ExternE는 프랑스 사례연구(Desaigues *et al.*, 2004)에 근거하여 50,000€/VOLY를 적용하고 있다.

6) 통계적생명가치(VSL)의 정의는 ‘조기사망위험을 회피하기 위한 지불의사액(Willingness to Pay, WTP)’임에도 불구하고 용어가 전달하는 의미상 ‘인간생명 가치’로 잘못 이해되는 측면이 있어 때로는 의사소통, 특히 경제학 이외의 영역으로부터 오해를 유발하기도 한다.

### 나. 미국환경청(EPA)의 대기청정법 편익/비용분석<sup>7)</sup>

서론에서 언급한 바와 같이 미국은 1990 대기청정법개정안(CAAA)에 근거하여 개정안 이행에 따른 사회적 비용과 편익을 정기적으로 추정하여 보고하는 것을 법적 의무로 규정하고 있다. EPA(2011)의 대기오염-건강영향-경제성분석은 <그림 2-2>와 같이 진행된다.



자료: EPA(2011).

<그림 2-2> EPA(2011) 대기오염의 건강영향 및 경제성 분석절차

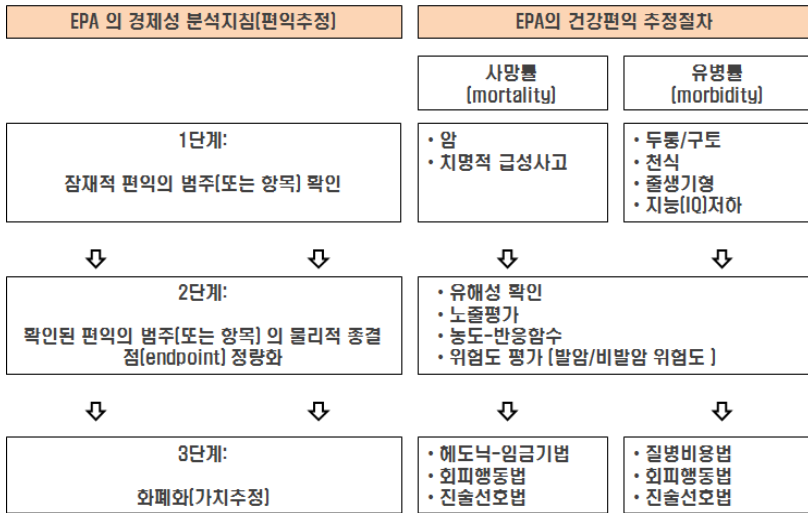
7) EPA(2010), EPA(2011)에서 연구진이 재구성한 내용임을 밝혀둔다.

먼저 분석 틀 설계, 시나리오 개발, 배출량 추정이 선행된다. 그림에서 분석 틀 설계, 시나리오 개발, 배출량 추정은 순차적으로 진행되는 것처럼 표현되고 있으나, 실질적으로는 지속적인 상호 피드백을 통하여 맞물려 진행된다. 분석의 핵심 가정(key assumptions)과 범위를 명확히 하고 이를 시나리오 개발에 반영하는 작업이 요구되며, 이는 부문별 배출량 추정에 전제가 된다.

시나리오는 기본적으로 대기청정법개정안(CAAA)의 유무(有無)로 이분되며, 분석 기간 또는 개정안 도입 전후(前後)를 고려하여 세분된다. 주어진 시나리오는 배출량 모델링으로 연계되며, 부문별 배출량 추정단계에서 주요 대기오염 물질(PM, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, VOCs)의 확인과 각 오염물질별로 배출량이 높은 부문을 확인하는 작업이 이루어진다. 배출량 모델링 결과는 편익분석과 비용분석에 동시에 적용되므로 분석의 일치성 차원에서 중요하다.

이후 분석은 편익분석과 비용분석으로 구분되어 병렬적으로 진행된다. 비용분석은 시나리오의 직접적인 이행비용을 추정하는 작업으로 요약되며, 편익분석은 시나리오에 근거한 대기질 모델링, 건강영향 평가, 편익추정 순으로 진행된다. 분석결과는 비용편익분석을 포함한 종합평가로 이어진다.

<그림 2-3>은 EPA의 환경정책 경제성분석일반지침(EPA, 2010)과 건강편익 절차(EPA, 2011)를 대비하여 구성한 내용이다. 경제성분석일반지침(EPA, 2010)에 의하면 분석절차는 잠재적 편익 범주(또는 항목)의 확인, 각 편익 범주(또는 항목)의 물리적 종결점(endpoint) 정량화, 가치추정(화폐화)의 3단계로 제시되고 있으며, 이에 건강편익 추정 절차를 사망률과 유병률로 구분하여 대응시키고 있다. 건강영향 평가는 대기오염물질 노출 평가, 오염물질 노출로 인한 사망률/유병률과의 상관관계를 나타내는 농도-반응함수 추정으로 구분된다. 사망률 감소로 인한 편익추정은 대부분 개인의 소득-위험도 교환비용(income-risk trade-off)에 근거하고 있는데, 대표적으로 해도닉임금 기법, 회피행동법, 진술선호법(예: 통계적생명가치(VSL))이 적용된다. 유병률 관련 대표적인 추정기법으로는 진술선호법, 회피비용법, 질병비용법(COI) 등이 있다.



자료: EPA(2010), EPA(2011)에서 저자 재구성.

〈그림 2-3〉 EPA의 건강편익 산정절차

EPA(2011)는 대기청정법개정안으로 인한 사회적 편익/비용 추정 보고서 시리즈의 3번째 보고서에 해당하는데, 불확실성 관련 이슈를 보다 심도 있게 다루고자 한 것이 이전 보고서와 차별화되는 점이다. 즉, 〈그림 2-2〉에서와 같이 시나리오 개발, 미세먼지 사망률 관련 농도-반응함수, 오존 사망률 관련 농도-반응함수, 통계적생명가치(VSL)를 포함하여 최소한 4가지 측면의 불확실성 요인을 검토하고 이를 농도-반응함수와 가치추정 연계 시뮬레이션 프로그램인 BenMap에 반영하여 분석한다.

종합하면, ExternE와 EPA(2011)는 사업의 목적 즉, 전자가 외부효과 즉 비용추정에 목적을 둔다면 후자는 대기청정법개선안(CAAA)의 포괄적 비용편익분석에 목적을 둔다는 점에서 차별화된다고 볼 수 있다. 그러나 분석절차 측면에서 모두 배출량 추정-대기질 모델링-건강영향평가-가치추정-종합분석으로 이어지는 유사한 절차를 취하고 있으며, 건강영향 평가 부문은 농도-반응함수를, 가치추정 부문은 통계적생명가치(VSL)를 주요 방법론으로 적용하는 점에서 유사하다고 볼 수 있다.



## 2. 통합분석 사례연구

앞 절에서 ExternE와 EPA(2011)를 대상으로 분석절차와 방법론을 위주로 정리하였다. 본 절에서는 대기오염-건강영향-경제성 통합분석 연구사례를 유럽, 미국, 국내로 구분하고 주요 결과를 요약하여 소개하고자 한다.

### 가. 유럽 사례연구

EC(2005)의 ExternE 사업은 다양한 인간활동이 환경과 건강에 미치는 외부효과와의 정량적 측정과 화폐화를 목적으로 기획되었다. 사업에서 다루고 있는 주요 영향은 인간건강(사망률), 인간건강(유병률), 건축구조물, 작물, 지구온난화, 어메니티, 생태계를 포함한 7개 범주이다. 사업의 핵심은 건강영향(사망률, 유병률)이다. EC(2005)는 방법론 및 분석에 필요한 핵심정보의 표준화를 통하여 회원국이 분석에 활용할 수 있도록 하고 있는데, 건강영향 관련해서는 통계적생명가치(VSL), 연간수명가치(VOLY), 질병비용(COI; 외래, 입원) 등이 대표적이다(표 2-1 참조).

OECD(2015)는 세계보건기구(WHO) 유럽회원국 53개 국가를 대상으로 실외 대기오염/실내 공기오염으로 인한 건강영향의 경제적 비용을 추정하여 발표하였다. 사망률 증가로 인한 피해비용은 통계적생명가치(VSL; 기준단위가치 300만 달러(2005))를 적용하였고, 유병률 관련 피해비용은 방법론이 표준화되어 있지 않아 사망률 증가로 인한 총 피해비용의 10%를 가정하였다. 보고서에 의하면 2010년 기준, 세계보건기구(WHO) 유럽회원국의 대기오염 조기사망 총 피해비용은 1조 4,314억 달러, 유병률 포함 총 피해비용은 1조 5,746억 달러에 이르는 것으로 추정되었다(표 2-2 참조).

〈표 2-1〉 통합분석 사례연구 1: EC(2005)

제목	Externalities of Energy																																	
연구목표	에너지 소비, 교통, 산업, 농업과 같은 경제활동으로 인한 대기오염물질 배출이 환경과 건강에 미치는 외부효과의 정량적 측정과 화폐화																																	
연구범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 오염물질: PM<sub>(10, 2.5)</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub></li> <li>- 건강영향: 만성천식, 기침, 사망률과 유병률</li> <li>- 부가적인 영향: 작물생산성 감소, 지구온난화, 어메니티의 변화, 소음, 건축구조물 노후화, 산성화 및 부영양화(생태계 영향)</li> <li>- 시공간적 범위: 유럽지역을 중심으로 확인된 영향에 대한 피해비용 산정</li> </ul>																																	
방법론	영향경로분석, 통계적생명가치(VSL), 연간수명가치(VOLY), 질병비용(COI)																																	
주요 연구결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 사망률:</li> <li>- 조건부가치측정법(CVM)을 활용한 사망위험도 감소에 대한 지불의사액(WTP)으로부터 도출한 연간수명가치(VOLY)</li> </ul> <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th colspan="3">연간수명가치(VOLY) 권고 추정치 (€, 2000년 기준)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>하한값</td> <td>중위값</td> <td>상한값</td> </tr> <tr> <td>27,240</td> <td>50,000</td> <td>225,000</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 보상임금법(compensating wage method)으로부터 도출한 통계적생명가치(VSL) 사례연구 대표값</li> </ul> <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th colspan="2">통계적생명가치(VSL) (€, 2000년 기준)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>보수적 평균값</td> <td>5,000,000</td> </tr> <tr> <td>가중평균값</td> <td>6,500,000</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유병률: 질병비용(COI) 추정치</li> </ul> <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th>건강영향 종결점(end-point)</th> <th>권고 단위가치(평균값) (€, 2000년 기준)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>병원 입원</td> <td>2,000/입원</td> </tr> <tr> <td>호흡기 질환으로 인한 응급실 방문</td> <td>670/1회</td> </tr> <tr> <td>천식(외래)</td> <td>53/1회</td> </tr> <tr> <td>호흡기 증상(외래)</td> <td>75/1회</td> </tr> <tr> <td>호흡기 질환 억제비용</td> <td>1/일</td> </tr> <tr> <td>질환으로 인한 중요 행위 제한</td> <td>130/일</td> </tr> <tr> <td>질환으로 인한 대수롭지 않은 행위 제한</td> <td>38/일</td> </tr> <tr> <td>근무(작업) 손실</td> <td>82/일</td> </tr> </tbody> </table> <p>주) 질병비용(COI)에는 질환으로 인한 건강보험 및 개인비용(간병비용 등)을 포함한 자원비용(resource costs), 생산성 손실로 인한 기회비용 및 여가손실 비용, 심리적 고통 등을 포함한 불편비용 등이 포함됨</p>	연간수명가치(VOLY) 권고 추정치 (€, 2000년 기준)			하한값	중위값	상한값	27,240	50,000	225,000	통계적생명가치(VSL) (€, 2000년 기준)		보수적 평균값	5,000,000	가중평균값	6,500,000	건강영향 종결점(end-point)	권고 단위가치(평균값) (€, 2000년 기준)	병원 입원	2,000/입원	호흡기 질환으로 인한 응급실 방문	670/1회	천식(외래)	53/1회	호흡기 증상(외래)	75/1회	호흡기 질환 억제비용	1/일	질환으로 인한 중요 행위 제한	130/일	질환으로 인한 대수롭지 않은 행위 제한	38/일	근무(작업) 손실	82/일
	연간수명가치(VOLY) 권고 추정치 (€, 2000년 기준)																																	
	하한값	중위값	상한값																															
	27,240	50,000	225,000																															
	통계적생명가치(VSL) (€, 2000년 기준)																																	
보수적 평균값	5,000,000																																	
가중평균값	6,500,000																																	
건강영향 종결점(end-point)	권고 단위가치(평균값) (€, 2000년 기준)																																	
병원 입원	2,000/입원																																	
호흡기 질환으로 인한 응급실 방문	670/1회																																	
천식(외래)	53/1회																																	
호흡기 증상(외래)	75/1회																																	
호흡기 질환 억제비용	1/일																																	
질환으로 인한 중요 행위 제한	130/일																																	
질환으로 인한 대수롭지 않은 행위 제한	38/일																																	
근무(작업) 손실	82/일																																	
출처	IPA, 2005. "ExternE Externalities of Energy Methodology 2005 Update". Directorate-General for Research Sustainable Energy Systems, European Commission. <a href="http://www.externe.info/externe_d7/?q=node/46">http://www.externe.info/externe_d7/?q=node/46</a>																																	
비고	핵심정보의 표준화를 통하여 회원국이 분석에 활용할 수 있게 함																																	

〈표 2-2〉 통합분석 사례연구 2: OECD(2015)

제목	Economic cost of the health impact of air pollution in Europe						
연구목표	세계보건기구(WHO) 유럽회원국 53개 국가를 대상으로 실외 대기오염/실내 공기오염으로 인한 건강영향의 경제적 비용 추정						
연구범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 오염물질: PM(가장 큰 요인으로 판단), O<sub>3</sub></li> <li>- 건강영향: 사망률, 유병률</li> <li>- 분석자료: 세계보건기구(WHO)의 2000, 2008, 2012 글로벌질병부담(global burden of disease), 질병부담(burden of disease) 자료; OECD의 2012, 2014 보고서 활용</li> </ul>						
방법론	통계적생명가치(VSL), 연간수명가치(VOLY)						
주요 연구결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 통계적생명가치(VSL)를 활용하여 실외 대기오염/실내 공기오염으로 인한 건강영향의 경제적 비용을 추정</li> <li>- 통계적생명가치(VSL)는 기준가치 300만\$(2005년 기준)에 국가 간 구매력과 일인당 GDP 차이를 고려하여 조정 후 사용함</li> <li>- 유럽회원국 53개국의 실외 대기오염/실내 공기오염으로 인한 조기사망의 경제적 비용은 각각 1조 5,746억, 1조 4,314억 달러로 추정됨; PM<sub>10</sub>으로 인한 조기사망 총비용이 전체비용의 80%를 차지함</li> </ul>						
		조기사망(명)		통계적 생명가치 (VSL)	조기사망으로 인한 총비용(2010; 백만\$)		
		대기오염 (PM)	실내공기질		대기오염 (PM)	대기오염 + 실내공기질	
		독일	41,581	-	3.48	144,715	144,715
		폴란드	24,729	23,816	2.10	51,870	101,826
		러시아	94,558	24,894	2.40	225,975	285,467
		...					
		합계	498,538	164,231		1,156,118	1,431,499
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2005, 2010 WHO 유럽회원국의 대기오염으로 인한 건강영향의 경제적 총비용</li> <li>- 유병률 증가로 인한 비용은 표준화된 방법론 부재로 조기사망 비용의 10%를 가정함</li> </ul>					
		유럽 지역 전체의 합계		비용(US\$, 백만)			
			2005	2010			
	APMP로 인한 건강영향의 경제적 총비용 (조기사망 + 유병률)		≈	≈			
			1,107,945	1,271,730			
	APMP + HAP로 인한 건강영향의 경제적 총비용 (조기사망 + 유병률)		≈	≈			
			1,384,794	1,574,649			
	APMP: 입자상 물질에 의한 대기오염(ambient particulate matter pollution) HAP: 실내공기질 오염(household air pollution)						
출처	OECD. 2015. "Economic cost of the health impact of air pollution in Europe"						
비고	PM을 주 오염물질로 분석하였고 WHO 유럽회원국에 한정함						

## 나. 미국 사례연구

EPA(2011)는 1990 대기청정법개정안(CAAA) 이행에 따른 포괄적 비용편익분석 결과를 보고하고 있다. 분석기간 1990~2020년과 개정안(CAAA) 유무(有無)의 조합을 통하여 다양한 시나리오 분석을 하였다. 분석결과 2020년 기준, 개정안(CAAA) 총 이행비용 평균값은 650억 달러/년(2006\$)으로, 총 편익 평균값은 2조 달러/년으로 추정되었다. 이 중 건강편익은 1조 9,000억 달러/년으로 총 편익의 95%에 이르며, 미세먼지(PM) 농도 감소에 따른 조기사망률 감소에 의한 건강편익은 1조 7,000억 달러/년으로 총 편익의 85%에 해당한다(표 2-3 참조).

EPA(2013)는 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)와 초미세먼지전구체(NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>)를 대상으로 17개 부문별 단위배출량 편익추정치(\$/ton)를 사망률 감소와 관련된 건강편익을 기반으로 산출하여 보고하였다. 방법론은 경제성분석일반지침(EPA, 2010)과 대기청정법개정안(CAAA) 비용편익분석(EPA, 2011)에서 제시한 표준화된 절차 즉, 배출량-농도모델링, 건강영향평가-가치추정을 적용하였다. 보고서는 부문별 단위배출량 편익추정치(\$/ton)를 사망률과 유병률 감소에 따른 가치로 정의하고 다양한 할인율(3%, 7%)과 연도(2016, 2020, 2025년)를 기준으로 추정치를 산출하였다. 예를 들어 2020년, 3% 할인율 기준, 항공 및 선박운항 부문의 편익 추정치는 PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> 각각 48만, 17만, 1만 4,000 달러/ton(2010\$)에 해당한다(표 2-4 참조).

한편 기술한 바와 같이 대기청정법개정안(CAAA) 이행에 따른 총 편익은 건강편익이 압도적인 비중을 차지하고 있으며, 건강편익은 조기사망률 감소로 인한 편익이 절대적이다. 따라서 편익산출의 기반이 되는 통계적생명가치(VSL)는 매우 중요한 단위가치라 할 수 있다. EPA는 1990년 통계적생명가치(VSL) 기준추정치로 480만 달러를 사용할 것을 권고한 이후로 통계적생명가치(VSL) 관련연구를 지속적으로 진행하고 기준추정치를 개선하여 왔다. 이러한 노력의 일부로 진행된 연구 중의 하나가 Dockins et al.(2004)이다(표 2-5 참조). 현재 경제성분석일반지침(EPA, 2010)에서 권고하고 있는 통계적생명가치(VSL) 기준추정치는 2006년 기준 740만 달러이다.

〈표 2-3〉 통합분석 사례연구 3: EPA(2011)

제목	The Benefits and Costs of the Clean Air Act from 1990 to 2020					
연구목표	대기청정법개정안(CAAA)의 포괄적 비용편익분석					
연구범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 오염물질: PM, O<sub>3</sub>, VOC, SO<sub>2</sub>, CO</li> <li>- 건강영향: 사망률, 유병률</li> <li>- 분석기간 1990~2020년과 대기청정법개정안(CAAA) 유무(有無)의 조합을 통하여 다양한 시나리오 분석 실시</li> </ul>					
방법론	통계적생명가치(VSL), BenMAP, 비용편익분석					
주요 연구결과	- 대기청정법개정안(CAAA)의 포괄적 비용편익분석 결과					
			편익/비용(백만\$; 2006 기준)			
	구분		2000	2010	2020	
	직접비용(A)		20,000	53,000	65,000	
	직접 편익	건강영향	PM 사망률	710,000	1,200,000	1,700,000
			PM 유병률	27,000	46,000	68,000
			오존 사망률	10,000	33,000	55,000
			오존 유병률	420	1,300	2,100
		건강영향 소계(B)	≈747,000	≈1,247,000	≈1,870,000	
	기타영향	차량	3,300	8,600	19,000	
		거주지 건물피해	11,000	25,000	48,000	
		농업/임업 생산성	1,000	5,500	11,000	
		물질적 손해액	58	93	110	
		생태계영향	6.9	7.5	8.2	
	기타 영향(C)		≈15,000	≈39,000	≈78,000	
편익합계(D)		770,000	1,300,000	2,000,000		
순 편익(D-A)		750,000	1,200,000	1,900,000		
편익/비용(D/A)		39/1	25/1	31/1		
<p>A): 대기청정법개정안(CAAA)의 직접 이행비용          B): 건강영향 편익 산출 시 통계적생명가치(VSL) 740만 달러(2006\$)과 질병비용(COI) 사용          B), C): 건강영향과 기타 영향은 세부항목이 일부 누락되어 소계가 항목의 합과 일치하지 않음; 따라서 대략치로 이해하는 것이 적절함</p> <p>- 건강편익이 총편익의 95%에 해당하며, 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 조기사망 감소로 인한 편익이 총편익의 85%에 해당함          - 2000, 2010, 2020 분석연도 모두 총편익이 총비용보다 압도적으로 높은 것으로 추정되어 대기청정법개정안(CAAA)의 효과성을 검증함</p>						
출처	U.S. Environmental Protection Agency Office of Air and Radiation. 2011. "The Benefits and Costs of the Clean Air Act from 1990 to 2020".					

〈표 2-4〉 통합분석 사례연구 4: EPA(2013)

제목	Estimating the Benefit per Ton of Reducing PM <sub>2.5</sub> Precursors from 17 Sectors																																																		
연구목표	산업부문별 오염물질 배출현황을 확인하고 건강에 미치는 영향과 경제적 비용을 산출																																																		
연구범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 오염물질: PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, VOC, NH<sub>3</sub></li> <li>- 건강영향: 사망률, 유병률 증가</li> <li>- 분석자료: Krewski et al.(2009), Lepeule et al.(2012)을 참조, 경제성분석일반기침(EPA 2010) 자료 이용</li> </ul>																																																		
방법론	배출량-농도 모델링, 통계적생명가치(VSL), 건강영향평가(HIA), BenMAP																																																		
주요 연구결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 소득변화에 따른 통계적생명가치(VSL)</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">연도</th> <th rowspan="2">통계적생명가치(VSL) (백만\$, 2000년 기준)</th> <th colspan="3">소득증가를 반영한 통계적생명가치(VSL)</th> </tr> <tr> <th>2016</th> <th>2020</th> <th>2024</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2000</td> <td>6.3</td> <td>7.3</td> <td>7.6</td> <td>7.8</td> </tr> <tr> <td>2006</td> <td>7.4</td> <td>8.6</td> <td>8.9</td> <td>9.1</td> </tr> <tr> <td>2011</td> <td>8.2</td> <td>9.6</td> <td>9.9</td> <td>10.1</td> </tr> <tr> <td>2012</td> <td>8.4</td> <td>9.8</td> <td>10.1</td> <td>10.4</td> </tr> </tbody> </table>				연도	통계적생명가치(VSL) (백만\$, 2000년 기준)	소득증가를 반영한 통계적생명가치(VSL)			2016	2020	2024	2000	6.3	7.3	7.6	7.8	2006	7.4	8.6	8.9	9.1	2011	8.2	9.6	9.9	10.1	2012	8.4	9.8	10.1	10.4																			
	연도	통계적생명가치(VSL) (백만\$, 2000년 기준)	소득증가를 반영한 통계적생명가치(VSL)																																																
			2016	2020	2024																																														
2000	6.3	7.3	7.6	7.8																																															
2006	7.4	8.6	8.9	9.1																																															
2011	8.2	9.6	9.9	10.1																																															
2012	8.4	9.8	10.1	10.4																																															
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2020 주요 산업부문 오염물질 배출량 톤당 예상 건강편익</li> <li>; 건강편익은 회피 사망률 영향/유병률 영향에 대한 가치추정치의 합으로 산출됨</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">산업부문</th> <th colspan="3">Lepeule et al.(2012) 추정치 사용 (3% 할인율; 2010\$ 기준)</th> </tr> <tr> <th>PM<sub>2.5</sub></th> <th>SO<sub>2</sub></th> <th>NO<sub>x</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Air craft, locomotives and marine vessels</td> <td>570,000</td> <td>210,000</td> <td>16,000</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Coke ovens</td> <td>1,100,000</td> <td>120,000</td> <td>24,000</td> </tr> <tr> <td>Electricity arc furnaces</td> <td>1,000,000</td> <td>190,000</td> <td>22,000</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Integrated iron and steel facilities</td> <td>1,100,000</td> <td>200,000</td> <td>31,000</td> </tr> <tr> <td>Iron and steel facilities</td> <td>1,200,000</td> <td>940,000</td> <td>39,000</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Residential wood combustion</td> <td>860,000</td> <td>230,000</td> <td>31,000</td> </tr> <tr> <td>Taconite mines</td> <td>190,000</td> <td>78,000</td> <td>14,000</td> </tr> </tbody> </table>					산업부문	Lepeule et al.(2012) 추정치 사용 (3% 할인율; 2010\$ 기준)			PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Air craft, locomotives and marine vessels	570,000	210,000	16,000	...				Coke ovens	1,100,000	120,000	24,000	Electricity arc furnaces	1,000,000	190,000	22,000	...				Integrated iron and steel facilities	1,100,000	200,000	31,000	Iron and steel facilities	1,200,000	940,000	39,000	...				Residential wood combustion	860,000	230,000	31,000	Taconite mines	190,000	78,000	14,000
산업부문	Lepeule et al.(2012) 추정치 사용 (3% 할인율; 2010\$ 기준)																																																		
	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>																																																
Air craft, locomotives and marine vessels	570,000	210,000	16,000																																																
...																																																			
Coke ovens	1,100,000	120,000	24,000																																																
Electricity arc furnaces	1,000,000	190,000	22,000																																																
...																																																			
Integrated iron and steel facilities	1,100,000	200,000	31,000																																																
Iron and steel facilities	1,200,000	940,000	39,000																																																
...																																																			
Residential wood combustion	860,000	230,000	31,000																																																
Taconite mines	190,000	78,000	14,000																																																
출처	U.S. EPA office of air and radiation, office of air quality planning and standards research triangle park, NC27711. 2013. "Estimating the Benefit per Ton of Reducing PM <sub>2.5</sub> Precursors from 17 Sectors"																																																		

〈표 2-5〉 통합분석 사례연구 5: Dokins(2004)

제목	Value of Statistical Life Analysis and Environmental Policy: A White Paper																				
연구목표	경제성분석일반지침(EPA, 2000)의 업데이트를 위하여 사망위험 회피에 대한 가치분석 사례 연구를 검토하고 종합 분석함																				
연구범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 건강영향: 사망위험(Mortality Risk) 혹은 사망률 증가</li> <li>- 분석범위: 1997년도부터 2004년도까지의 관련 사례연구를 확인하고 주요결과와 방법론을 정리함; 경제성분석일반지침(EPA, 2010) 참조</li> </ul>																				
방법론	통계적생명가치(VSL), 조건부가치측정법(Contingent Valuation, CV), 헤도닉임금(Hedonic Wage, HW), GDP, OLS																				
주요 연구결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>- EPA는 1999년 이후 620만 달러(2002년 기준)를 통계적생명가치(VSL)의 기준 원 단위로 사용할 것을 권고함; 권고한 기준 원 단위는 26개의 헤도닉임금법(HW) 및 조건부가치측정법(CV) 사례연구로부터 도출된 값임</li> <li>- 본 연구는 통계적생명가치(VSL)의 기준 원 단위의 업데이트를 위해 헤도닉임금(HW), 조건부가치측정법(CV), 회피행위 등 차별화된 방법론을 사용하여 도출한 통계적생명가치(VSL)에 대한 개별 사례연구를 검토함; 또한 해당 사례연구를 대상으로 메타분석을 적용한 연구를 정리하여 제시함</li> <li>- Kochi, Hubbell and Kramer(2003)는 베이지안 접근법을 사용하여 조건부가치측정법(CV)과 헤도닉임금(HW)을 대상으로 메타분석을 적용</li> <li>- Viscusi and Aldy(2003)는 헤도닉임금(HW) 사례연구를 대상으로 메타분석을 적용</li> <li>- 통계적생명가치(VSL) 메타분석 연구의 주요 결과</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">메타분석 사례연구</th> <th colspan="2">통계적생명가치(VSL) (백만\$; 2000\$ 기준)</th> </tr> <tr> <th>구분</th> <th>평균(95% 신뢰구간)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Kochi, Hubbell and Kramer (2003)</td> <td>전체(pooled)</td> <td>5.4(3.0~7.8)</td> </tr> <tr> <td>조건부가치측정법(CV)</td> <td>2.8(1.5~4.1)</td> </tr> <tr> <td>헤도닉임금(HW)</td> <td>9.4(4.7~14.1)</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Viscusi and Aldy(2003)</td> <td>OLS 1</td> <td>5.5(3.8~8.1)</td> </tr> <tr> <td>OLS 2</td> <td>5.8(4.1~8.3)</td> </tr> <tr> <td>OLS 3</td> <td>6.9(3.1~16.2)</td> </tr> </tbody> </table> <p>OLS 1: Log(VSL)를 종속변수로 평균사망 위험을 독립변수로 하여 추정          OLS 2: OLS 1의 식에 평균사망 위험을 추가한 식          OLS 3: 전체 변수식</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 본 연구결과를 기반으로 정책분석을 위한 통계적생명가치(VSL) 활용 시 유의점을 정리하여 제시함</li> </ul>		메타분석 사례연구	통계적생명가치(VSL) (백만\$; 2000\$ 기준)		구분	평균(95% 신뢰구간)	Kochi, Hubbell and Kramer (2003)	전체(pooled)	5.4(3.0~7.8)	조건부가치측정법(CV)	2.8(1.5~4.1)	헤도닉임금(HW)	9.4(4.7~14.1)	Viscusi and Aldy(2003)	OLS 1	5.5(3.8~8.1)	OLS 2	5.8(4.1~8.3)	OLS 3	6.9(3.1~16.2)
메타분석 사례연구	통계적생명가치(VSL) (백만\$; 2000\$ 기준)																				
	구분	평균(95% 신뢰구간)																			
Kochi, Hubbell and Kramer (2003)	전체(pooled)	5.4(3.0~7.8)																			
	조건부가치측정법(CV)	2.8(1.5~4.1)																			
	헤도닉임금(HW)	9.4(4.7~14.1)																			
Viscusi and Aldy(2003)	OLS 1	5.5(3.8~8.1)																			
	OLS 2	5.8(4.1~8.3)																			
	OLS 3	6.9(3.1~16.2)																			
출처	Chris Dockins, Kelly Maguire, Nathalie Simon, Melonie Sullivan, 2004. "Value of Statistical Life Analysis and Environmental Policy: A White Paper". U.S. EPA.																				

## 다. 국내 사례연구

국내 건강편익 산정 사례연구는 「수도권대기환경개선에관한특별법」에 근거한 수도권 대기질 개선정책 도입에 따른 경제성분석(환경부, 2003; 경기개발연구원, 2003; 환경부, 2007)과 기후변화로 인한 대기오염물질 및 건강영향 분석(국립환경과학원, 2012)으로 구분하여 소개하고자 한다.

먼저 환경부(2003)는 「수도권대기질개선특별대책」 20개 프로그램에 투입되는 직접비용과 예상편익을 대상으로 경제성을 평가하였으며, 오염물질별 대기오염의 사회적 한계비용 추정치로 UNEP(1998)와 EC(2002)를 활용하였다. 이 중 대부분이 조기사망으로 인한 비용에 해당한다(표 2-6 참조). 경기개발연구원(2003)은 「수도권대기환경개선에관한특별법」에 근거하여 대기오염물질 총량관리제와 환경세제가 도입될 경우 서울, 인천, 경기 수도권 지역의 편익과 비용을 산출하였다. 환경부 대기오염 측정자료 중 가장 낮은 수준의 오염도를 기준선으로 하였을 경우 경기도 전체 피해액은 1조 2천억~4조 5천억 원으로 추정되었으며, 이는 PM으로 인한 조기사망과 CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>로 인한 입원 건강영향을 포괄하며, 지역내총생산 대비 1.2~4.3%에 해당하는 수치이다(표 2-7 참조). 환경부(2007)는 EPA와의 공동연구를 통해 한국형 BenMap을 구축하고 「수도권 대기질 개선 특별대책」으로 인한 건강편익을 산정한 바 있다(표 2-8 참조).

국립환경과학원(2012)은 기후변화 시나리오에 따른 여름철 기온 상승으로 인한 초과 사망자 수와, 온도변화에 따른 PM<sub>10</sub> 농도변화를 예측하고 그로 인한 질환발생과 사회적 비용을 추정하였다. 초과사망 비용은 편익이전을 활용한 통계적생명가치(VSL)를 적용하였고, 질환발생 비용은 입원으로 인한 질병비용(COI)을 적용하여 산출하였다. 2020년 기준 건강비용은 고온인 날 8억 5,900만 원과 그렇지 않은 날 153억 5000만 원으로 총합계 162억 원에 이르는 것으로 추정되었다(표 2-9 참고).



〈표 2-6〉 통합분석 사례연구 6: 환경부(2003)

제목	수도권 대기질 개선 특별대책에 대한 경제성 평가																																																																
연구목표	수도권 대기질 개선 특별대책 20개 프로그램에 투입되는 직접비용과 예상 편익을 대상으로 비용편익분석을 통한 경제성을 평가하고 개선 방안 제시																																																																
연구범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 오염물질: O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, VOC, HC</li> <li>- 건강영향: 조기사망, 호흡기질환 사망,</li> <li>- 분석자료: 2002년 수도권 오염물질 배출량, 2000, 2007, 2012년 오염물질 배출전망, 서울과 경기도 환경예산 및 대기예산 추이, 특별대책사업 적용 시 자동차별 오염물질 삭감량</li> </ul>																																																																
방법론	순현재가치(NPV), 비용편익분석																																																																
주요 연구결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2001~2002년 전국 기준, 오염물질 별 배출현황을 보면 SO<sub>2</sub> 배출량의 14.8%, PM<sub>10</sub>의 19.2%, NO<sub>x</sub>의 31.0%, VOC의 22.4%, CO의 42.6%가 수도권에서 배출되는 것으로 확인됨</li> <li>- 오염물질별 대기오염의 사회적 한계비용 추정치로 UNEP(1998)과 EC(2002)를 활용</li> </ul>																																																																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>오염물질</th> <th>UNEP(원/kg)</th> <th>EC(원/kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>먼지</td> <td>28,583</td> <td>301,940</td> </tr> <tr> <td>SO<sub>2</sub></td> <td>9,834</td> <td>57,960</td> </tr> <tr> <td>NO<sub>x</sub></td> <td>8,755</td> <td>4,850</td> </tr> <tr> <td>VOC</td> <td>8,456</td> <td>2,425</td> </tr> <tr> <td>CO</td> <td>7,276</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>					오염물질	UNEP(원/kg)	EC(원/kg)	먼지	28,583	301,940	SO <sub>2</sub>	9,834	57,960	NO <sub>x</sub>	8,755	4,850	VOC	8,456	2,425	CO	7,276	0																																										
	오염물질	UNEP(원/kg)	EC(원/kg)																																																														
	먼지	28,583	301,940																																																														
	SO <sub>2</sub>	9,834	57,960																																																														
NO <sub>x</sub>	8,755	4,850																																																															
VOC	8,456	2,425																																																															
CO	7,276	0																																																															
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수도권 대기질 개선 특별대책 20개 프로그램에 대한 비용편익분석</li> </ul>																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">각종 대책</th> <th colspan="2">대기오염 사회적 비용 UNEP자료 적용한 경우</th> <th colspan="2">대기오염 사회적 비용 EC자료 적용한 경우</th> </tr> <tr> <th>NPV (백만 원)</th> <th>B/C비율</th> <th>NPV (백만 원)</th> <th>B/C비율</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>자동차 배출허용기준 강화</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1) 일반제작차</td> <td>1,420,085</td> <td>2.70</td> <td>1,601,458</td> <td>2.92</td> </tr> <tr> <td>2) 건설기계</td> <td>399,168</td> <td>4.05</td> <td>735,439</td> <td>6.63</td> </tr> <tr> <td>3) 이륜차</td> <td>473,933</td> <td>2.62</td> <td>-232,877</td> <td>0.21</td> </tr> <tr> <td>저공해자동차 보급</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4) 전기하이브리드차</td> <td>-338,245</td> <td>0.65</td> <td>-322,337</td> <td>0.67</td> </tr> <tr> <td>5) 전기자동차</td> <td>-172,589</td> <td>0.59</td> <td>-174,992</td> <td>0.59</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>친환경적 에너지관리</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>19) 지역난방 보급확대</td> <td>394,209</td> <td>∞</td> <td>573,238</td> <td>∞</td> </tr> <tr> <td>20) 청정연료 및 저황유 보급확대</td> <td>54,662</td> <td>1.27</td> <td>1,287,364</td> <td>7.49</td> </tr> </tbody> </table>		각종 대책	대기오염 사회적 비용 UNEP자료 적용한 경우		대기오염 사회적 비용 EC자료 적용한 경우		NPV (백만 원)	B/C비율	NPV (백만 원)	B/C비율	자동차 배출허용기준 강화					1) 일반제작차	1,420,085	2.70	1,601,458	2.92	2) 건설기계	399,168	4.05	735,439	6.63	3) 이륜차	473,933	2.62	-232,877	0.21	저공해자동차 보급					4) 전기하이브리드차	-338,245	0.65	-322,337	0.67	5) 전기자동차	-172,589	0.59	-174,992	0.59	...					친환경적 에너지관리					19) 지역난방 보급확대	394,209	∞	573,238	∞	20) 청정연료 및 저황유 보급확대	54,662	1.27	1,287,364	7.49
각종 대책	대기오염 사회적 비용 UNEP자료 적용한 경우		대기오염 사회적 비용 EC자료 적용한 경우																																																														
	NPV (백만 원)	B/C비율	NPV (백만 원)	B/C비율																																																													
자동차 배출허용기준 강화																																																																	
1) 일반제작차	1,420,085	2.70	1,601,458	2.92																																																													
2) 건설기계	399,168	4.05	735,439	6.63																																																													
3) 이륜차	473,933	2.62	-232,877	0.21																																																													
저공해자동차 보급																																																																	
4) 전기하이브리드차	-338,245	0.65	-322,337	0.67																																																													
5) 전기자동차	-172,589	0.59	-174,992	0.59																																																													
...																																																																	
친환경적 에너지관리																																																																	
19) 지역난방 보급확대	394,209	∞	573,238	∞																																																													
20) 청정연료 및 저황유 보급확대	54,662	1.27	1,287,364	7.49																																																													
출처	환경부. 2003. “수도권 대기질개선 특별대책에 대한 경제성평가.” 환경정책·평가연구원.																																																																
비고																																																																	

〈표 2-7〉 통합분석 사례연구 7: 경기개발연구원(2003)

제목	경기도지역 대기오염의 사회적 비용 추정 및 적정 수준 달성 방안																																												
연구목표	「수도권 대기환경 개선에 관한 특별법」(2002)에 따라 대기오염물질에 대한 총량관리제와 환경세제를 도입할 경우 서울, 인천, 경기 수도권 지역의 편익과 비용 산출																																												
연구범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 오염물질: SOx, CO, HC, PM, O<sub>3</sub>, NOx</li> <li>- 건강영향: 조기사망, 호흡기질환, 만성기관지염, 급성기관지염, 출혈성 심부전증, 천식</li> <li>- 시공간적 범위: 수도권 지역(서울, 인천, 경기) 측정망별 오염도 분포 측정</li> <li>- 분석자료: 경기개발연구원 대기오염물질 배출량 자료, 환경부 대기오염 측정망 자료, 인구센서스3000, EPA보고서(1997) 등 사용</li> </ul>																																												
방법론	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 공간계량경제모형을 이용하여 오염도와 배출량, 오염도와 지역특성변수와의 관계 분석</li> <li>- 선행연구에서 제시된 추정치를 활용한 가치이전 기법 적용; 대기오염에 따른 건강 피해건수 및 피해액 산출, 현시선호방법, 진술선호방법, 회피행위모형 사용</li> </ul>																																												
주요연구결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시나리오 1(환경부의 대기오염 측정자료 중 가장 낮은 수준의 오염도를 기준선으로 할 경우) 적용 시 미세먼지(PM)로 인한 피해건수</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>조기사망 (건수)</th> <th>호흡기질환 (병원진료/건)</th> <th>만성기관지염 (건/년)</th> <th>급성기관지염 (건/년)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>경기</td> <td>4,854</td> <td>2,332~5,664</td> <td>3,373</td> <td>599,078</td> </tr> <tr> <td>서울</td> <td>5,426</td> <td>2,627~6,379</td> <td>3,800</td> <td>519,793</td> </tr> <tr> <td>인천</td> <td>847</td> <td>444~1,078</td> <td>635</td> <td>104,525</td> </tr> </tbody> </table>				구분	조기사망 (건수)	호흡기질환 (병원진료/건)	만성기관지염 (건/년)	급성기관지염 (건/년)	경기	4,854	2,332~5,664	3,373	599,078	서울	5,426	2,627~6,379	3,800	519,793	인천	847	444~1,078	635	104,525																					
	구분	조기사망 (건수)	호흡기질환 (병원진료/건)	만성기관지염 (건/년)	급성기관지염 (건/년)																																								
	경기	4,854	2,332~5,664	3,373	599,078																																								
	서울	5,426	2,627~6,379	3,800	519,793																																								
	인천	847	444~1,078	635	104,525																																								
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 건강피해액 추정을 위한 단위가치</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>종류</th> <th>단위가치</th> <th>출처</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>조기사망</td> <td>1억 8천만 원~8억 6천만 원/건</td> <td>염영숙(1998)</td> </tr> <tr> <td>급성호흡기질환</td> <td>33,440원/건</td> <td>신영철(2002)</td> </tr> </tbody> </table>				종류	단위가치	출처	조기사망	1억 8천만 원~8억 6천만 원/건	염영숙(1998)	급성호흡기질환	33,440원/건	신영철(2002)																																	
종류	단위가치	출처																																											
조기사망	1억 8천만 원~8억 6천만 원/건	염영숙(1998)																																											
급성호흡기질환	33,440원/건	신영철(2002)																																											
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수도권 대기환경 개선에 관한 특별법 도입에 따른 수도권 지역의 영향분석 결과</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">오염물질</th> <th colspan="3">시나리오1 기준 지역별 피해액(단위: 백만 원):</th> </tr> <tr> <th>서울</th> <th>인천</th> <th>경기도</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">PM</td> <td>최소</td> <td>1,360,077</td> <td>217,112</td> <td>1,218,550</td> </tr> <tr> <td>최대</td> <td>5,058,303</td> <td>794,560</td> <td>4,526,754</td> </tr> <tr> <td colspan="2">O<sub>3</sub></td> <td>7.69</td> <td>2.22</td> <td>44</td> </tr> <tr> <td colspan="2">CO</td> <td>43.55</td> <td>7.12</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td colspan="2">NO<sub>2</sub></td> <td>13</td> <td>3</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td colspan="2">합계(최소, 최대)</td> <td>1,374,324~ 5,064,207</td> <td>219,520~ 795,558</td> <td>1,218,611~ 4,526,816</td> </tr> <tr> <td colspan="2">지역총생산대비 비율(%)</td> <td>1.4~5.2</td> <td>1.0~3.8</td> <td>1.2~4.3</td> </tr> </tbody> </table>				오염물질		시나리오1 기준 지역별 피해액(단위: 백만 원):			서울	인천	경기도	PM	최소	1,360,077	217,112	1,218,550	최대	5,058,303	794,560	4,526,754	O <sub>3</sub>		7.69	2.22	44	CO		43.55	7.12	8	NO <sub>2</sub>		13	3	10	합계(최소, 최대)		1,374,324~ 5,064,207	219,520~ 795,558	1,218,611~ 4,526,816	지역총생산대비 비율(%)		1.4~5.2	1.0~3.8	1.2~4.3
오염물질		시나리오1 기준 지역별 피해액(단위: 백만 원):																																											
		서울	인천	경기도																																									
PM	최소	1,360,077	217,112	1,218,550																																									
	최대	5,058,303	794,560	4,526,754																																									
O <sub>3</sub>		7.69	2.22	44																																									
CO		43.55	7.12	8																																									
NO <sub>2</sub>		13	3	10																																									
합계(최소, 최대)		1,374,324~ 5,064,207	219,520~ 795,558	1,218,611~ 4,526,816																																									
지역총생산대비 비율(%)		1.4~5.2	1.0~3.8	1.2~4.3																																									
출처	경기개발연구원. 2003. “경기도지역 대기오염의 사회적 비용추정 및 적정수준 달성방안”.																																												

〈표 2-8〉 통합분석 사례연구 8: 환경부(2007)

제목	환경오염 저감정책의 건강편익산정 모형확립 및 적용연구					
연구목표	2005년 환경부와 미국 EPA(와)의 공동연구로 진행된 “제3차 통합환경전략(IES)연구”를 수행하는 과정에서 도입된 BenMAP을 우리나라 실정에 맞게 보완하여 한국형 BenMAP을 구축하고 현재(2007년도 기준) 시행 중인 대기질 개선 관련 정책으로 기대되는 건강편익을 추정					
연구범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 오염물질: PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub></li> <li>- 건강영향: 일별사망위험, 일별천식위험 증가</li> <li>- 시공간적 범위: 서울, 인천. 경기도 지역을 대상으로 오염원과 건강영향 측정</li> </ul>					
방법론	진술선호법(통계적생명가치(VSL), 인적자본접근법, 편익이전법, 질병비용(COI), BenMAP					
주요연구결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>- BenMAP에 적용한 건강편익 산정을 위한 단위가치 추정치</li> <li>- 선택실험법에 근거한 통계적생명가치(VSL)는 47억, 편익이전에 근거한 통계적생명가치(VSL)는 25억 원으로 산정됨</li> </ul>					
	구분		연령구분	통계적생명가치(VSL)(원)		
	선택실험법		전체연령	4,791,000,000		
	EPA(1997, 1999) 편익이전		전체연령	2,503,962,053		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 농도개선에 따른 서울, 인천, 경기도 지역의 65세 이상 조기사망 감소 수는 각각 1,700명, 342명, 1,117명(평균)으로 추정됨</li> <li>- 선택실험법으로부터의 통계적생명가치(VSL)를 적용하였을 경우, 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 농도개선에 따른 서울, 인천, 경기도 지역의 65세 이상 건강편익은 각각 8조 1,000억, 1조 6,000억, 5조 3,000억(평균값 기준)으로 추정됨</li> <li>- EPA(1999)로부터 편익이전을 적용하였을 경우, 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 농도개선에 따른 서울, 인천, 경기도 지역의 65세 이상 건강편익은 각각 4조 8,000억, 2조 6,000억 원(평균값 기준)으로 추정됨</li> </ul>					
			건강편익 추정결과(백만 원)			
			서울	인천	경기 (해당 지역)	합계
	조기사망 (명)	평균	1,700	342	1,117	3,159
		95% 하한값	652	131	426	1,209
		95% 상한값	3,283	659	2,146	6,088
선택실험법	평균	8,151,475	1,638,325	5,339,772	15,129,574	
	95% 하한값	2,696,838	542,657	1,769,997	5,009,492	
	95% 상한값	17,672,040	3,548,867	11,560,817	32,781,726	
편익이전	평균	4,018,540	807,667	2,632,417	7,458,624	
	95% 하한값	226,618	45,571	148,583	420,773	
	95% 상한값	10,269,750	2,063,040	6,721,756	19,054,546	
출처	환경부. 2007. “환경오염 저감정책의 건강편익산정 모형확립 및 적용”. 한국환경정책·평가연구원					

〈표 2-9〉 통합분석 사례연구 9: 국립환경과학원(2012)

제목	기후변화에 의한 대기오염 및 건강영향 연구(Ⅱ)																																																																													
연구목표	기후변화에 의한 대기오염물질의 농도변화 및 건강피해 발생 정도를 평가·예측하고, 민감·취약집단을 중심으로 건강피해를 저감·예방하기 위한 방안 마련																																																																													
연구범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 오염물질: PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub></li> <li>- 건강영향: 초과사망자 수 증가, 심혈관계 관련 질환 입원위험 증가</li> <li>- 시공간적 범위: 2008년부터 2100년까지 서울시를 대상으로 기후변화에 따른 여름철 기온 상승으로 인한 초과사망자 수 분석, 대상 인구집단은 65세 이상 연령집단</li> </ul>																																																																													
방법론	통계적생명가치(VSL), 질병비용(COI), 델파이 조사, 계층분석방법, 예산배분법																																																																													
주요 연구결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기후변화 시나리오에 따른 여름철 기온 상승으로 인한 초과 사망자 수와 온도변화에 따른 PM<sub>10</sub> 농도변화를 예측하고 건강영향과 사회적 비용을 추정</li> <li>- 기후변화 관련 질병비용(COI)(2011 기준) 및 통계적생명가치(VSL) 단위가치</li> </ul>																																																																													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>항목</th> <th>심혈관계 질환(원)</th> <th>호흡기계 질환(원)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">질병비용(COI) (원: 2011 기준)</td> <td>직접의료비용</td> <td>5,284,087</td> <td>1,081,231</td> </tr> <tr> <td>비의료 직접비용</td> <td>188,568</td> <td>21,630</td> </tr> <tr> <td>환자본인기회비용</td> <td>807,955</td> <td>558,493</td> </tr> <tr> <td>합계</td> <td>6,280,610</td> <td>1,661,354</td> </tr> <tr> <td>통계적생명가치(VSL; 원)</td> <td>조승헌·신영철(2008)</td> <td colspan="2">466,000,000 (339,000,000~594,000,000)</td> </tr> </tbody> </table>					구분	항목	심혈관계 질환(원)	호흡기계 질환(원)	질병비용(COI) (원: 2011 기준)	직접의료비용	5,284,087	1,081,231	비의료 직접비용	188,568	21,630	환자본인기회비용	807,955	558,493	합계	6,280,610	1,661,354	통계적생명가치(VSL; 원)	조승헌·신영철(2008)	466,000,000 (339,000,000~594,000,000)																																																					
	구분	항목	심혈관계 질환(원)	호흡기계 질환(원)																																																																										
	질병비용(COI) (원: 2011 기준)	직접의료비용	5,284,087	1,081,231																																																																										
		비의료 직접비용	188,568	21,630																																																																										
		환자본인기회비용	807,955	558,493																																																																										
		합계	6,280,610	1,661,354																																																																										
	통계적생명가치(VSL; 원)	조승헌·신영철(2008)	466,000,000 (339,000,000~594,000,000)																																																																											
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기후변화 관련 입원 및 조기사망으로 인한 비용추정(통계적생명가치(VSL) 기준값 적용)</li> </ul>																																																																													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">연도</th> <th rowspan="2">구분</th> <th colspan="2">2020(백만 원)</th> <th colspan="2">2050(백만 원)</th> </tr> <tr> <th>여름철 고온인 날</th> <th>여름철 고온 아닌 날</th> <th>여름철 고온인 날</th> <th>여름철 고온 아닌 날</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">심혈관계 관련질환 입원</td> <td>입원비용</td> <td>245</td> <td>0</td> <td>810</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>95% 하한</td> <td>38</td> <td>0</td> <td>126</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>95% 상한</td> <td>452</td> <td>0</td> <td>1,501</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">호흡기계 관련질환 입원</td> <td>입원비용</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>24</td> <td>224</td> </tr> <tr> <td>95% 하한</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>95% 상한</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>51</td> <td>452</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">조기사망 (기준값)</td> <td>사망비용</td> <td>614</td> <td>15,350</td> <td>20,876</td> <td>6,754</td> </tr> <tr> <td>95% 하한</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>12,894</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>95% 상한</td> <td>614</td> <td>28,858</td> <td>28,244</td> <td>14,122</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">건강비용 총합계</td> <td>합계</td> <td>859</td> <td>15,350</td> <td>21,710</td> <td>6,978</td> </tr> <tr> <td>95% 하한</td> <td>38</td> <td>0</td> <td>13,020</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>95% 상한</td> <td>1,006</td> <td>28,858</td> <td>29,796</td> <td>14,574</td> </tr> </tbody> </table>					연도	구분	2020(백만 원)		2050(백만 원)		여름철 고온인 날	여름철 고온 아닌 날	여름철 고온인 날	여름철 고온 아닌 날	심혈관계 관련질환 입원	입원비용	245	0	810	0	95% 하한	38	0	126	0	95% 상한	452	0	1,501	0	호흡기계 관련질환 입원	입원비용	0	0	24	224	95% 하한	0	0	0	0	95% 상한	0	0	51	452	조기사망 (기준값)	사망비용	614	15,350	20,876	6,754	95% 하한	0	0	12,894	0	95% 상한	614	28,858	28,244	14,122	건강비용 총합계	합계	859	15,350	21,710	6,978	95% 하한	38	0	13,020	0	95% 상한	1,006	28,858	29,796
연도	구분	2020(백만 원)		2050(백만 원)																																																																										
		여름철 고온인 날	여름철 고온 아닌 날	여름철 고온인 날	여름철 고온 아닌 날																																																																									
심혈관계 관련질환 입원	입원비용	245	0	810	0																																																																									
	95% 하한	38	0	126	0																																																																									
	95% 상한	452	0	1,501	0																																																																									
호흡기계 관련질환 입원	입원비용	0	0	24	224																																																																									
	95% 하한	0	0	0	0																																																																									
	95% 상한	0	0	51	452																																																																									
조기사망 (기준값)	사망비용	614	15,350	20,876	6,754																																																																									
	95% 하한	0	0	12,894	0																																																																									
	95% 상한	614	28,858	28,244	14,122																																																																									
건강비용 총합계	합계	859	15,350	21,710	6,978																																																																									
	95% 하한	38	0	13,020	0																																																																									
	95% 상한	1,006	28,858	29,796	14,574																																																																									
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2020년 기준 건강비용은 고온인 날 8억 5,900만 원과 그렇지 않은 날 153억 5,000만 원으로 총합계 162억 원에 이르는 것으로 추정됨</li> </ul>																																																																														
출처	국립환경과학원. 2012. “기후변화에 의한 대기오염 및 건강영향 연구(Ⅱ).” 한국환경정책·평가연구원.																																																																													

# | 제3장 · 대기오염의 건강영향 평가 |

## 1. 표본코호트DB를 이용한 대기오염의 건강영향 평가

대기오염으로 인한 건강영향은 대기오염의 노출정도에 따라 급성영향과 만성영향으로 나누어진다. 즉, 대기오염의 단기간 농도변화에 따른 건강영향을 평가하는 것이 급성영향 연구이고, 대기오염에 지속적으로 장기간 노출되었을 때의 건강영향을 평가하는 것이 만성영향 연구이다.<sup>8)</sup>

이종태(2001) 등은 대기오염의 만성영향을 대기오염에 지속적이고 반복적으로 노출되었을 때 나타나는 누적건강영향 또는 급성영향이 반복적으로 발생하여 궁극적으로 주요한 만성질환으로 이환되는 경우로 정의하였다.<sup>9)</sup> 대기오염의 만성영향을 평가하는 연구는 급성영향 연구에 비하여 장기간의 대기오염 노출을 고려하여 분석대상자의 건강영향을 평가하는 것이다.

본 장의 목적은 표본코호트DB를 이용하여 생존분석과 반복측정분석을 이용하여 대기오염과 호흡기계 신규입원 및 대기오염과 호흡기계 재입원 영향과의 관련성을 정량적으로 평가하였다.

## 2. 대기오염으로 인한 건강영향 평가 분석범위 및 분석자료

### 가. 분석범위 및 건강영향 범위

시간적 분석범위는 2002~2013년이고, 지역적 분석범위는 전국을 대상으로 하였으며, 건강영향은 호흡기계 관련질환 신규입원과 호흡기계 관련질환 재입원영향을 분석하였다.

본 연구에서는 첫째, 생존분석방법을 적용하여 호흡기계 신규입원위험에 대한 대기오염의 만성영향을 평가하였다. 둘째, 대기오염으로 인한 호흡기계 재입원위험을 평가하기

8) 이종태 외(2001), pp.119-126 참조.

9) 이종태 외(2001), pp.119-126 참조.

위하여 코호트 자료를 시계열 패널자료로 구축하여 반복측정분석을 실시하였다.

## 나. 분석자료 및 가공자료

본 연구에서는 대기오염의 장기노출에 의한 건강영향을 평가하기 위하여 대기오염 자료, 기상 자료, 국민건강보험공단의 표본코호트DB를 가공하였다.

첫째, 대기오염의 장기노출을 평가하기 위하여 국립환경과학원의 국가 대기 측정망의 모니터링 자료를 이용하였다. 2014년 12월 말 기준 전국에서 총 257개의 대기 측정망이 운영되고 있으며, 1시간 간격으로 대기오염물질의 농도를 측정하고 있다. 대기오염의 장기노출을 파악하기 위해서 전국 시군구를 대상으로 월별 대기오염 농도를 산정하였다. 전국 대기오염 측정망 자료를 크리깅(krigging)하고, 이것을 전국 시군구별로 추출하여 대기오염 노출 값으로 사용하였다.

둘째, 기온자료는 기상청의 기상대 측정자료를 이용하였다. 기상청은 전국에서 76개 기상대를 운영하고 있으며, 기온과 습도를 1시간 간격으로 측정하고 있다. 기온과 습도자료의 일별 24개 관측값을 이용하여 월별 대푯값으로 계산하였다.

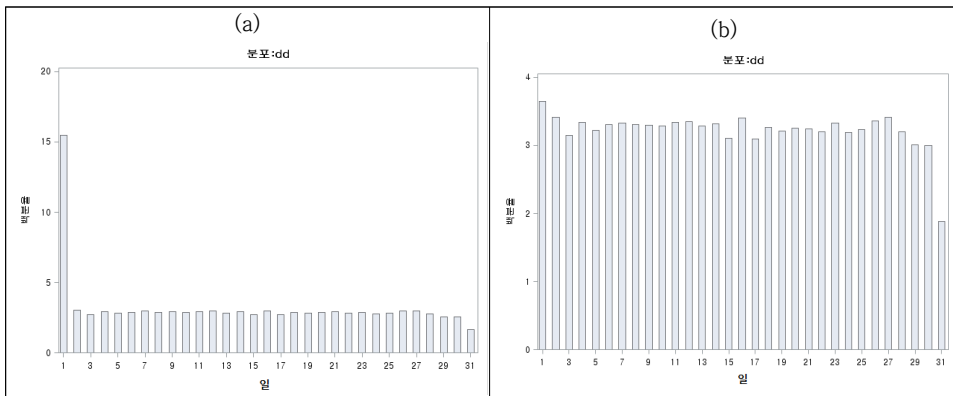
셋째, 건강영향 자료는 국민건강보험공단의 표본코호트DB를 사용하였다. 분석대상 건강영향은 국제질병분류코드(International Statistical Classification of Disease, 10th Revision, ICD-10 code)가 J00-J99인 호흡기계 질환으로 하였고, 진료형태가 입원인 것으로 한정하였다.

표본코호트DB는 건강보험 청구자료를 기반으로 한 것으로 대기오염의 건강영향을 평가하기 위해서는 표본코호트DB를 진료에피소드 형태로 가공하여야 한다. 김재용(2003)이 정의한 진료에피소드는 ‘질환의 발생부터 종료(사망, 치료 종료, 회복 등)’까지를 하나의 사건으로 측정하는 단위로, 진료에피소드는 질환과 환자를 중심으로 지표를 산출하는 것이다.<sup>10)</sup> 즉, 건강보험 청구자료의 시스템 특성상 매월 초에 청구 건이 많아지므로 보다 정확

10) 김재용(2003), p.26 참조.

한 청구일자를 파악하기 위하여, 대상환자가 특정 질환으로 병원을 방문하고 그 이후 진료 시점까지의 기간을 하나의 사건으로 묶은 것이 진료에피소드이다.<sup>11)</sup>

본 연구에서는 호흡기계 질환으로 인한 최초 입원 후 재입원까지의 시간이 2일 이하인 경우는 1개의 에피소드로 간주하였다. 입원 에피소드 가공 전후의 일별 입원 청구 건수는 <그림 3-1>과 같다. 입원 원자료에서는 월초에 청구 건이 15% 이상을 차지하나 <그림 3-1(a) 참조> 에피소드를 정리한 후에는 균등한 분포를 보였다(그림 3-1(b) 참조).



자료: 국민건강보험공단 표본코호트DB를 활용하여 저자 작성.

<그림 3-1> 일별 입원 청구 건수

### 3. 대기오염으로 인한 건강영향 평가 분석방법

#### 가. 표본코호트 자료의 생존분석

대기오염의 장기노출로 인한 건강한 사람의 호흡기계 신규 입원위험을 평가하기 위하여 생존분석을 실시하였다. 대기오염의 건강영향위험을 추정하기 위하여 Cox proportional-hazard model을 적용하였다.<sup>12)</sup> 상대위험도는 기준 군 대비 노출 군의 위험

11) 김록영 외(2013), pp.151-161 참조.

비를 추정하여 산출하며, 개인의 위험비는 다음과 같이 산정한다.<sup>13)</sup>

$$\lambda_i(t) = \lambda_0(t) \exp(X_i\beta + \text{confounders})$$

여기서,  $\lambda_0(t)$  = 시간 t에서의 기본 위험(hazard)

$X_i$  = 평균 장기노출

$\beta$  = 상대위험계수

본 연구에서는 대기오염의 건강영향에 영향을 줄 수 있는 잠재적인 혼란변수를 보정하기 위하여, 분석모형에서 성별, 연도, 개인의 소득수준, 지역의 사회경제적 수준, 기온 등의 요소들을 보정하였다.

#### 나. 시계열 패널자료의 반복측정 분석

환경역학연구에서 시계열자료 분석방법은 가장 많이 쓰이고 있는 방법이다. 인구집단의 일별 환경변수와 해당일의 건강결과변수(예, 사망 및 입원자 수)를 회귀모형에서 평가하는 방법이다. 시계열 분석에서는 일별 환경변수뿐만 아니라 계절성 등을 보정한다. 주로 많이 쓰이고 있는 통계방법은 Generalized Additive Model(GAM)이다. 시계열분석방법은 일별 환경에 의한 건강의 변화를 관찰할 수 있는 반면, 개인의 특성을 고려할 수 없고 반복측정된 개인자료에서는 개인 내의 상관성을 고려할 수 없는 단점이 있다.

반복측정분석방법은 임상 및 코호트 연구에서 많이 쓰이는 방법이다. 반복측정자료에서는 상위집단에 속한 하위집단이 존재하고 상위집단 간의 차이(between)와 상위집단 내에서 차이(within)를 고려하는 분석이다. 반복측정자료의 분석방법은 상위집단을 임의(Random)로 설정하여 영향을 평가하는 혼합모형(Mixed effect model)과 상위집단 내의 공분산성을 고려한 일반회귀모형방법이 있다.

12) Francesca Dominici et al.(2003), pp.243-276 참조.

13) Francesca Dominici et al.(2003), pp.243-276 참조.



여러 가지 건강변수 중에서 사망은 일회성인 반면에 병원입원이나 외래방문은 반복성을 가지고 있다. 따라서 이러한 반복적 행위에 대해서 시계열 분석방법을 적용하면 개인 내의 상관성을 간과하게 되고, 반복측정분석방법을 이용하면 모든 건강변수가 의료행위자이기 때문에 대조군이 없게 된다. 따라서 전체집단에서 일정한 시간별로 개인의 반복측정자료를 구축하여 다양한 개인 및 시간별 요소들을 포함하고 대조군을 설정할 수 있는 시계열 패널자료를 구축하였다.

대기오염의 장기노출로 인한 호흡기계 재입원위험을 평가하기 위하여 반복측정분석을 실시하였다. 개인 내에서의 반복된 시간은 일별, 연월별, 연도별로 구축할 수 있으며, 본 연구에서는 연월별 시계열 형태로 각 개인별로 자료를 구축하였다. 또한 성별, 연도, 개인의 소득수준, 재정자립도, 기온 등을 보정하고 반복측정분석을 실시하였다.

#### 4. 대기오염으로 인한 건강영향 평가결과

본 장에서는 2007년부터 2013년까지 표본코호트DB를 이용하여 대기오염의 장기노출에 의한 호흡기계 입원영향을 정량적으로 평가하였다.

##### 가. 시도별 대기오염 농도

2007년부터 2013년까지 전체 연구 기간 동안 전국 시도별 대기오염물질의 농도는 <표 3-1>과 같다. 미세먼지(PM<sub>10</sub>)의 평균농도는 인천시(53.93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 경기도(53.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 서울시(50.59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 순으로 높았으며, 오존(O<sub>3</sub>)의 평균농도는 제주도(40.73ppb), 경상남도(35.93ppb), 전라남도(35.21ppb) 순으로 높았다. 이산화질소(NO<sub>2</sub>)의 평균농도는 서울시(34.03ppb), 경기도(30.50ppb), 인천시(30.37ppb) 순으로 높았으며, 이산화황(SO<sub>2</sub>)의 평균농도는 울산시(7.68ppb), 인천시(7.32ppb) 순으로 높았다. 일산화탄소(CO)의 평균농도는 강원도(7.14ppb), 인천시(6.78ppb), 충청북도(6.74ppb) 순으로 높았다.

〈표 3-1〉 시도별 대기오염 농도

시도	미세먼지 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		오존 (ppb)		이산화질소 (ppb)		이산화황 (ppb)		일산화탄소 (ppb)	
	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차
서울	50.59	14.69	29.27	14.94	34.03	6.80	5.48	1.65	6.54	2.02
부산	47.41	10.24	33.29	11.30	21.69	3.88	6.04	1.06	4.52	0.91
대구	48.43	12.26	34.09	15.71	23.21	6.46	5.08	1.82	5.95	1.44
인천	53.93	13.46	30.83	12.92	30.37	6.92	7.32	1.81	6.78	2.10
광주	42.99	11.44	33.03	13.57	19.28	5.22	4.17	1.14	5.62	1.69
대전	46.30	12.70	31.78	14.82	21.09	5.82	4.36	1.81	6.19	2.17
울산	48.97	11.40	32.88	12.56	23.07	3.76	7.68	1.97	5.51	1.48
경기도	53.34	13.99	31.18	15.66	30.50	7.65	5.62	1.84	6.64	2.11
강원도	48.27	13.94	34.50	13.59	19.35	5.10	5.60	3.16	7.14	2.63
충청북도	49.76	14.27	33.17	15.35	21.56	5.98	5.18	2.71	6.74	2.83
충청남도	47.32	12.67	32.69	14.02	18.88	5.17	4.56	1.41	6.04	1.76
전라북도	46.78	11.94	32.33	12.91	16.46	4.52	4.40	1.16	5.44	1.50
전라남도	40.11	10.93	35.21	12.13	17.05	4.27	5.13	1.55	5.65	1.56
경상북도	47.00	11.77	34.58	13.80	19.89	5.36	5.53	2.43	6.42	2.14
경상남도	45.18	10.26	35.93	13.10	18.97	4.33	5.22	1.31	5.20	1.46
제주도	37.00	10.74	40.73	9.26	11.71	2.78	3.87	1.42	4.65	1.33
전체	48.23	13.25	32.92	14.12	23.36	8.34	5.40	1.99	6.08	2.05

자료: 국립환경과학원, 저자 재구성.

#### 나. 연도별 대기오염물질 농도

2007년부터 2013년까지 전국의 연도별 대기오염 농도는 <표 3-2>~<표 3-4>와 같다. 미세먼지( $\text{PM}_{10}$ )의 평균농도는  $48.23\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 2007년 최고농도치인  $49.52\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 2012년  $44.47\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 감소하는 추세를 나타내었다. 전체 연구 기간 동안 미세먼지( $\text{PM}_{10}$ ) 농도범위는 최소값  $18\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 최대값  $91.50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 상당히 크게 나타났다. 오존( $\text{O}_3$ )의 연평균 농도는 32.92ppb이었고, 2007년 가장 낮은 23.71ppb를 기록한 반면 2013년 45.53ppb로 가장 높은 것으로 나타났다. 특히 오존( $\text{O}_3$ )은 다른 대기오염물질과 달리 지속적으로 농도가 증가하는 추세를 나타내었다.

〈표 3-2〉 2007~2013년 미세먼지 및 오존 농도

연도	미세먼지( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					오존(ppb)				
	평균	최소	25%	75%	최대	평균	최소	25%	75%	최대
2007	49.52	18.00	37.35	61.20	91.50	23.71	8.00	16.85	30.10	49.20
2008	48.26	21.20	38.60	57.00	86.40	24.97	7.80	18.70	31.20	48.20
2009	48.12	20.40	39.10	55.30	83.40	26.64	8.20	18.90	33.40	55.80
2010	49.33	23.00	38.70	58.55	91.10	24.63	8.80	18.70	29.70	49.30
2011	49.46	25.30	36.80	59.95	91.50	41.33	18.10	32.00	48.55	71.90
2012	44.47	19.40	35.90	52.80	86.10	43.63	17.50	32.20	51.30	80.90
2013	48.46	27.80	38.10	58.10	85.50	45.53	17.10	35.60	55.10	80.70
전체	48.23	18.00	37.70	57.20	91.50	32.92	7.80	22.20	41.80	80.90

자료: 국립환경과학원, 저자 재구성.

〈표 3-3〉 2007~2013년 이산화질소 및 이산화황 농도

연도	이산화질소(ppb)					이산화황(ppb)				
	평균	최소	25%	75%	최대	평균	최소	25%	75%	최대
2007	24.42	3.90	17.40	29.30	49.20	6.26	2.30	4.30	7.60	19.50
2008	24.10	7.10	17.10	28.90	49.10	5.83	2.40	4.20	7.10	15.00
2009	23.95	8.10	18.30	28.65	47.10	5.31	2.30	3.90	6.20	15.80
2010	23.35	5.20	17.30	28.70	46.60	5.04	2.00	3.70	6.10	15.50
2011	23.10	7.80	16.90	28.15	51.30	4.98	1.70	3.70	6.10	11.60
2012	22.01	8.30	16.90	26.20	42.90	5.09	1.50	3.70	6.10	14.30
2013	22.62	4.70	16.40	28.10	47.20	5.26	1.70	3.85	6.40	13.30
전체	23.36	3.90	17.20	28.30	51.30	5.40	1.50	3.90	6.50	19.50

자료: 국립환경과학원, 저자 재구성.

전체 연구 기간 동안 이산화질소( $\text{NO}_2$ )의 연평균 농도는 23.36ppb이었으며, 2007년 24.42ppb에서 지속적으로 감소하여 2013년 22.62ppb를 나타내었다. 이산화황( $\text{SO}_2$ )의 연평균 농도는 5.40ppb이며, 전체농도 범위는 1.50ppb에서 19.50ppb 범위이었다. 일산화탄소(CO)의 연평균농도는 6.08ppb이며, 다른 대기오염물질과 달리 일정한 농도수준을 유지하고 있었다. 전국 기온의 연평균은  $12.14^\circ\text{C}$ 이었으며, 일정한 수준을 유지하다가 2012, 2013년에 다소 감소하였다.

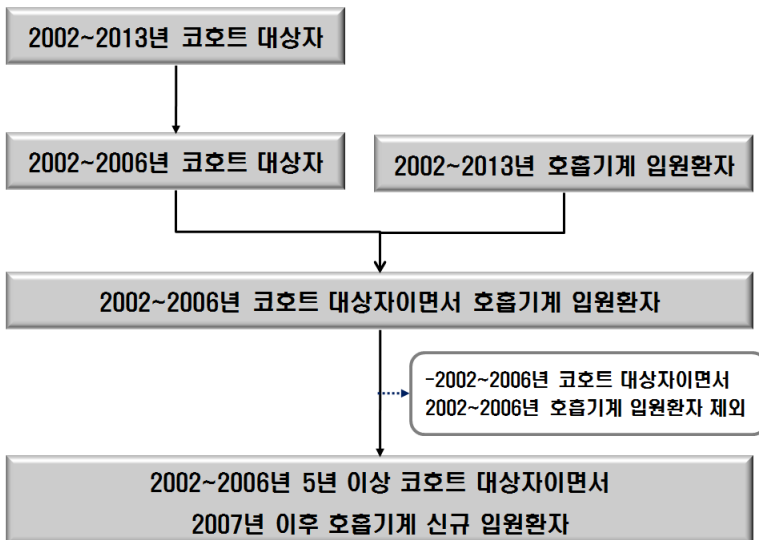
〈표 3-4〉 2007~2013년 일산화탄소 농도 및 기온

연도	일산화탄소(ppb)					기온(°C)				
	평균	최소	25%	75%	최대	평균	최소	25%	75%	최대
2007	6.15	2.60	4.60	7.30	18.10	12.26	-12.24	3.90	21.42	28.09
2008	5.70	2.50	4.50	6.70	12.20	12.96	-5.31	4.99	21.57	27.55
2009	5.41	3.00	4.30	6.10	15.20	12.55	-6.64	4.02	21.00	27.63
2010	5.13	2.80	4.00	5.90	11.90	12.50	-7.27	4.98	21.33	26.31
2011	6.77	3.10	5.10	7.80	17.00	12.13	-8.95	3.58	21.98	27.82
2012	6.63	3.20	5.10	7.70	15.50	11.81	-12.24	3.08	21.36	26.29
2013	6.78	3.30	5.10	7.90	17.50	11.71	-8.50	2.58	20.86	27.47
전체	6.08	2.50	4.60	7.10	18.10	12.14	-8.88	3.64	21.53	28.09

자료: 국립환경과학원, 기상청, 저자 재구성.

#### 다. 호흡기계 입원환자 자료

대기오염의 장기노출로 인한 호흡기계 입원영향을 분석하기 위하여 호흡기계 신규 입원 환자 자료를 구축하였다. 본 연구에서는 호흡기계 신규 입원환자 자료를 구축하기 위하여 <그림 3-2>와 같이 표본코호트DB에서 2002년부터 2013년 코호트 대상자인 1,125,691명 중에서 2002~2006년 동안 5년 동안 코호트 대상자인 945,747명의 자격자료를 추출하였다. 또한 코호트 대상자 자격자료와 2002~2013년 호흡기계로 입원한 경험이 있는 143,498명의 진료자료를 연결하여 2002~2006년 코호트 대상자이면서 호흡기계로 입원한 환자 103,093명의 자료를 구축하였다. 이들 자료에서 2002~2006년 동안 호흡기계로 입원한 경험이 있는 환자 41,255명을 제외하여 최종적으로 2002~2006년 5년 동안 코호트 대상자이면서 2007~2013년에 새로이 호흡기계 입원이 발생한 환자 61,838명을 분석 대상으로 선정하였다.



<그림 3-2> 분석대상 호흡기계 입원환자 추출

2007~2013년 동안 호흡기계 입원이 처음 발생한 신규환자 입원 에피소드의 연도별 추세는 <표 3-5>와 같다. 연구 기간 동안 호흡기계 신규입원 에피소드의 일별 평균값은 24.15건이었으며, 호흡기계 신규입원 에피소드는 2007년 가장 낮은 22.76건이었고, 2012년 가장 높은 26.30건으로 연도별로 큰 차이를 보이지 않았다.

<표 3-5> 2007~2013년 호흡기계 신규입원 일별 에피소드

연도	평균	표준편차	최소	최대
2007	22.76	9.53	3	54
2008	23.21	10.22	3	65
2009	24.67	10.25	3	58
2010	23.01	10.19	5	69
2011	25.88	10.50	6	79
2012	26.30	12.96	3	81
2013	23.20	10.42	4	67
전체	24.15	10.71	3	81

자료: 국민건강보험공단 표본코호트DB를 활용하여 저자 작성.

시계열 패널자료는 2002년부터 2013년까지 자격자료가 있는 대상자 중에서 2002년에 65세 이상 연령이고, 2007년 이후 대기오염 자료가 있는 58,686명을 대상으로 시계열 패널자료를 구축하였다. 시계열 패널자료의 연구대상자 중에서 입원을 한 번이라도 한 환자는 11,956명이었고, 연구대상기간 중 총 호흡기계 입원발생 건수는 17,875건이었다.

2007년 이후 7개 광역시와 9개 도별 호흡기계 입원발생 건수와 호흡기계 입원발생 분율은 <표 3-6>과 같다. 지역별로 살펴보면 호흡기계 입원발생 건수는 경기도 지역에서 가장 높았으며, 서울, 경상남도, 전라남도 순으로 높았다. 하지만 호흡기계 입원발생 분율은 전라남도가 가장 높았으며(0.62%), 경상남도(0.58%), 전라북도(0.56%) 순으로 높게 나타났다.

〈표 3-6〉 시도별 호흡기계 입원발생 건수 및 발생분율

시도	호흡기계 입원 발생		호흡기계 입원 비발생		호흡기계 입원 발생분율(%)
	빈도	백분율(%)	빈도	백분율(%)	
서울	2,394	13.39	712,904	17.78	0.33
부산	1,210	6.77	267,681	6.68	0.45
대구	715	4.00	180,316	4.50	0.39
인천	713	3.99	183,202	4.57	0.39
광주	510	2.85	97,208	2.42	0.52
대전	402	2.25	104,125	2.60	0.38
울산	352	1.97	69,815	1.74	0.50
경기도	2,915	16.31	786,660	19.62	0.37
강원도	792	4.43	149,946	3.74	0.53
충청북도	773	4.32	149,891	3.74	0.51
충청남도	1,100	6.15	236,367	5.89	0.46
전라북도	1,134	6.34	200,048	4.99	0.56
전라남도	1,580	8.84	252,024	6.28	0.62
경상북도	1,481	8.29	292,875	7.30	0.50
경상남도	1,629	9.11	277,991	6.93	0.58
제주도	175	0.98	49,102	1.22	0.36

자료: 국민건강보험공단 표본코호트DB를 활용하여 저자 작성.

2002년부터 2006년까지 호흡기계 질환을 앓지 않은 코호트에서 2002년 기준 65세 이상의 연령집단 58,686명을 대상으로 한 시계열 패널자료의 기초통계량은 <표 3-7>과 같다. 대상 인구집단을 성별로 나누어 살펴보면 남자는 36.3%를 차지하였고, 85세 이상인 고령자는 10.7%에 해당하였다. 또한 소득분위가 6단계인 참여자는 54.2%를 차지하여 과반수를 넘었으며, 6단계 미만인 자는 19,210명으로 32.7%를 차지하였다. 대기오염의 건강영향 평가 분석에서 지역의 사회경제적 수준은 지역별로 인구 천 명당 의료종사자 수와 재정자립도 자료를 사용하였다. 지역별로 인구 천 명당 의료종사자 수는 평균 2.4명이었으며, 재정자립도는 평균 35.8%였다.

〈표 3-7〉 시계열 패널자료의 기초통계량

	변수명	빈도	백분율(%)
성별	남	21,302	36.3
	여	37,384	63.7
연령	70~74세	26,561	45.3
	75~79세	16,677	28.4
	80~84세	9,176	15.6
	85세+	6,272	10.7
소득분위	< 6	19,210	32.7
	6	31,777	54.2
	> 6	7,699	13.1

#### 라. 대기오염의 장기노출로 인한 호흡기계 신규입원영향 분석결과

2002~2006년 기간 동안 호흡기계 입원을 하지 않은 대상자를 중심으로 2007년부터 2013년까지 대기오염으로 인한 호흡기계 신규입원위험에 대하여 생존분석을 실시하였다. 생존분석에서 성별, 연령, 개인의 소득수준, 거주지역의 사회경제적 수준 등을 보정하였다.

대기오염의 장기노출로 인한 호흡기계 신규입원위험에 대한 분석결과는 〈표 3-8〉과 같다. 미세먼지(PM<sub>10</sub>)의 경우 전국에서 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 농도 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가에 따라 호흡기계 신규입원위험을 8.11%(95% CI: 3.96~12.43%) 높였으며, 서울시에서는 호흡기계 신규입원위험을 6.85%(95% CI: 1.01~13.04%) 높였다. 특히 65세 이상 인구집단에서 미세먼지(PM<sub>10</sub>)의 호흡기계 신규입원위험은 16.61%(95% CI: 4.06~30.68%)로 전체 연령에 비해 미세먼지(PM<sub>10</sub>)의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

이산화질소(NO<sub>2</sub>) 농도가 10ppb 증가 시 전국에서 호흡기계 신규입원위험을 6.43%(95% CI: -1.32~14.89%) 높였으며, 특히 서울지역에서 이산화질소(NO<sub>2</sub>)의 호흡기계 신규입원위험을 18.29%(95% CI: 4.20~34.29%) 높였다.

이산화황(SO<sub>2</sub>)의 경우 호흡기계 신규입원위험을 유의하게 높였으며, 이산화황(SO<sub>2</sub>) 농도 10ppb 증가에 따라 호흡기계 신규입원위험을 100.25%(95% CI: 44.95~179.66%) 높였다.



오존(O<sub>3</sub>)의 경우 호흡기계 신규입원위험을 유의하게 높였으며, 오존(O<sub>3</sub>) 농도 10ppb 증가에 따라 호흡기계 신규입원위험을 11.99%(95% CI: 5.78~18.56%) 높였고, 서울시에서는 호흡기계 신규입원위험을 18.13%(95% CI: 8.26~28.89%) 높여서 전국에 비해 서울지역에서 오존의 영향이 더 큰 것으로 나타났다.

〈표 3-8〉 대기오염의 장기노출로 인한 호흡기계 신규입원영향

(단위: 대기오염농도의 10단위 증가 시 호흡기계 신규입원 발생위험 백분율)

구분	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	O <sub>3</sub>
전국	8.11 (3.96~12.43)	6.43 (-1.32~14.89)	100.25 (44.95~179.66)	-10.57 (-35.72~24.43)	11.99 (5.78~18.56)
서울	6.85 (1.01~13.04)	18.29 (4.20~34.29)	108.97 (27.37~242.84)	-13.79 (-46.30~38.39)	18.13 (8.26~28.89)
65세 이상	16.61 (4.06~30.68)	-1.87 (-20.64~21.33)	86.47 (-24.46~360.28)	-34.25 (-73.67~64.19)	19.46 (1.15~41.09)
15세 미만	13.67 (0.25~28.88)	26.93 (-1.83~64.12)	112.55 (-13.23~420.65)	167.38 (-13.03~722.01)	13.42 (-8.26~40.21)

#### 마. 대기오염의 호흡기계 재입원에 대한 시계열 패널의 반복측정 분석결과

2002년부터 2006년도까지 호흡기계 입원을 하지 않았던 65세 노인의 호흡기계 재입원과 대기오염과의 연관성을 분석한 결과는 〈표 3-9〉와 같다. NO<sub>2</sub>을 제외한 4개의 대기오염 물질은 유의하게 호흡기계 입원 발생을 증가시키는 것으로 나타났다.

미세먼지(PM<sub>10</sub>)는 1~6개월의 평균농도 10 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 증가에 따라 호흡기계 재입원이 유의하게 증가하였다. 예를 들면, 호흡기계 재입원위험은 1개월의 평균농도에서 3.46% 증가하였으며 6개월의 평균농도에서 6.29% 증가하였다.

이산화황(SO<sub>2</sub>)은 2~6개월 평균농도 증가가 호흡기계 재입원위험 증가와 유의한 관련성을 보였으며, 2개월 평균농도 증가가 호흡기계 재입원위험을 14.68% 증가시켰으며, 6개월 평균농도는 40.64% 재입원위험을 증가시켰다.

일산화탄소(CO)는 3~6개월 평균농도 증가에서 호흡기계 재입원위험이 유의하게 증가하였으며, 3개월 평균농도는 21.41%, 6개월 평균농도는 37.58% 재입원위험을 증가시켰다.

오존(O<sub>3</sub>)은 1~5개월 평균농도 증가에서 호흡기계 재입원이 유의하게 증가하였으며, 1개월 평균농도가 8.76% 입원위험을 증가시킨 반면, 5개월 평균농도에서는 2.94% 재입원위험을 증가시켰다. 4개의 오염물질이 호흡기계 재입원과 양의 관계를 보인 반면, NO<sub>2</sub>는 음의 관계를 보였다.

〈표 3-9〉 대기오염으로 인한 65세 이상 연령집단의 호흡기계 재입원 영향

(단위: 대기오염농도의 10단위 증가 시 호흡기계 입원위험 백분율)

기간	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	O <sub>3</sub>
1개월	3.46 (2.25~4.68)	-10.06 (-12.66~-7.37)	5.13 (-5.62~17.09)	-9.97 (-19.48~0.67)	8.76 (7.28~10.27)
2개월	4.60 (3.18~6.05)	-9.79 (-12.66~-6.91)	14.68 (3.17~27.49)	2.74 (-9.02~16.01)	9.09 (7.28~11.03)
3개월	5.23 (3.80~6.69)	-7.13 (-10.00~-4.17)	23.24 (11.30~36.47)	21.41 (8.15~36.29)	8.87 (6.55~11.24)
4개월	5.65 (4.21~7.11)	-4.30 (-7.08~-1.45)	30.47 (18.06~44.19)	33.91 (20.23~49.15)	6.29 (3.62~9.03)
5개월	5.87 (4.22~7.54)	-3.05 (-5.86~-0.16)	36.34 (22.89~51.27)	37.99 (24.13~53.39)	2.94 (0.35~5.60)
6개월	6.29 (4.43~8.18)	-3.15 (-5.96~-0.26)	40.64 (25.52~57.57)	37.58 (23.03~53.84)	-0.30 (-2.62~2.07)
12개월	1.51 (-1.82~4.95)	-14.53 (-17.82~-11.11)	-12.10 (-28.45~7.98)	-28.32 (-41.20~-12.63)	5.44 (1.79~9.23)

## 5. 대기오염으로 인한 건강영향 평가 요약 및 시사점

본 연구는 국민건강보험공단의 국민건강정보 데이터베이스를 이용한 표본코호트DB를 이용하여 대기오염의 장기노출로 인한 건강영향을 단계별로 평가하였다.

첫째, 대기오염으로 인한 호흡기계 신규입원위험을 분석하기 위하여 생존분석방법을 적용하여 만성영향을 평가하였다. 미세먼지(PM<sub>10</sub>), 이산화황(SO<sub>2</sub>), 오존(O<sub>3</sub>)의 경우, 대기오염의 장기노출 농도 증가는 호흡기계 신규입원 발생위험을 유의하게 높였다. 이산화질소(NO<sub>2</sub>)와 오존(O<sub>3</sub>)으로 인한 호흡기계 신규입원 발생위험은 전국에 비해 서울지역에서 높았으며, 65세 이상 연령집단의 경우 미세먼지(PM<sub>10</sub>)의 영향을 전체 연령에 비해 더 많이 받는 것으로 나타났다.

둘째, 대기오염으로 인한 호흡기계 입원의 반복위험을 평가하기 위하여 시계열 패널자료를 구축하여 반복측정분석을 실시하였다. 65세 이상 노인을 대상으로 시계열 패널자료를 구축하여 분석한 결과 미세먼지(PM<sub>10</sub>), 이산화황(SO<sub>2</sub>), 일산화탄소(CO), 오존(O<sub>3</sub>)가 증가할수록 호흡기계 입원증가와 유의한 연관성을 보였다.

본 연구에서는 표본코호트DB를 이용하여 대기오염의 건강영향을 다각적인 측면에서 평가하였다. 즉, 대기오염으로 인한 건강한 사람의 신규질환 발생위험, 대기오염으로 인한 기존질환의 악화에 대하여 분석하였다.

향후 대기오염의 장기노출로 인한 건강영향을 보다 정확하게 평가하기 위해서는 다음의 연구들이 추진되어야 할 것이다.

첫째, 대기오염의 건강영향 분석모형을 개선하는 것이다. 본 연구에서는 생존분석과 반복측정분석에서 성별, 연령, 개인의 소득수준, 거주지역의 사회경제적 수준 등을 보정하였다. 본 연구의 분석모형에서 추가적으로 대기오염의 건강영향에 영향을 주는 요인을 보정하여 분석모형을 개선할 필요가 있다.

둘째, 분석대상 건강영향을 확장하고 세분화하여 다양한 대기오염의 건강영향을 살펴보아야 한다. 본 연구에서는 대기오염의 건강영향 대상질환을 호흡기계 입원으로 한정하였으나, 향후에는 심혈관계 질환 등과 같이 대기오염과 관련 있는 질환으로 확장하고, 호흡기계

질환 중 천식, 만성폐쇄성폐질환 등 세분화하여 대기오염의 장기노출에 대한 건강영향 평가가 필요하다.

셋째, 대기오염의 건강영향은 인구학적, 사회경제적 요소에 따라 차이가 있으므로, 인구학적, 사회경제적 요소를 고려하여 대기오염으로 인한 건강영향을 평가하여야 한다.

마지막으로 본 연구에서는 대기오염 노출 값을 산출하기 위하여 대기오염 모니터링 지점의 농도값을 크리깅하여 시도별 농도자료를 구축하였다. 대기오염의 장기노출에 의한 건강영향 평가에서 대기오염 농도자료는 상당히 중요한 요소로서 향후보다 정확한 대기오염 노출 값을 추정하기 위한 연구들이 병행되어야 할 것이다.

## | 제4장 · 질병비용 추정 |

### 1. 질병비용 국내 사례연구 검토

질병으로 인한 사회경제적 손실을 추정하기 위해 적용된 방법은 크게 두 가지 접근법으로 나누어 볼 수 있다(보건복지부, 2014). 질병으로 인해 지출된 비용과 상실된 미래 소득의 규모를 통해 추정하는 인적자본 접근법과 질병과 관련된 가상의 상황에 대한 지불 의사를 설문을 통해 추정하는 지불의사접근법이 그것이다. 본 절에서는 인적자본 접근법에 근거하여 질병비용을 추정하고 활용한 연구들을 중심으로 고찰하였다. 질병비용의 추정은 보건의료 분야에서 특정 요인으로 인해 발생할 수 있는 질병부담을 산출하고 그 결과를 의사소통의 수단으로 활용하거나 정책이나 프로그램의 효과를 확인하는 데에 널리 적용되어왔다. 세부적으로는 특정 요인으로 인한 질병비용을 직접 추정한 연구들과 방법론 적용 과정의 일관적 기준 마련에 대한 연구들로 분류된다.

이태진 외(2011), 한국보건의료연구원(2011)에서는 국내에서 수행된 질병비용 연구의 비용 산출방법에 대한 체계적인 고찰을 시도하고 국내 연구자를 대상으로 인터뷰를 실시하여, 비용 산출 과정의 주요 쟁점을 파악하고 각각 세부 비용 항목별로 산출방법을 제시하였다. 비용 산출 시 분석관점을 구분하여 관점에 따른 비용항목을 제시하고 세부 항목에 대한 검토결과를 확인한 것이 특징적이며 그 결과는 <표 4-1>에 정리된 바와 같다.

전상일(1999), EC(2005), 환경부(2007), 국립환경과학원(2012)의 연구에서는 각 대상 질병에 대한 1인당 질병비용을 도출하였다. 그리고 건강보험정책연구원(2014)에서는 2008년부터 2012년을 분석대상 연도로 삼고 20대 대분류 질병군, 5대 진료비상위 만성질병군, 4대 중증질병군, 5대 사망원인, 298개 질병군 각각에 대해 질병비용을 도출하고 비교하였다. 본 연구에서는 다양한 분류기준에 의한 질병군에 대해 시점, 산출방법 등을 동일하게 유지하고 질병비용을 도출함으로써 연구결과 간의 직접적 비교를 가능하게 하고 시계열적 추세를 용이하게 파악할 수 있도록 했다는 점이 특징적이다(표 4-2 참조).

〈표 4-1〉 질병비용 연구의 분석측면과 비용유형

분석측면		비용의 유형	예시
사회적 측면	공적 관점	직접비용 (보건의료체계 외)	-사회복지사업(가정방문도우미 등) -이전비용(장애수당) -특수교육
		직접비용 (보건의료체계)	-약물, 의료기기 -의료서비스 -입원서비스 -응급실 방문 -외래서비스 -재활서비스
		직접비용 (환자본인부담)	-본인부담(약물, 치과치료, 보조기구 등) -교통비용 -간병비용 -민간보험으로부터 받은 혜택
		환자 및 가족의 시간비용	-치료 및 이동 소요시간 -환자 및 가족의 무급 노동의 손실시간
		생산성 손실비용	-노동능력의 감소, 생산성 손실

자료: 이태진 외(2011)에서 재구성.

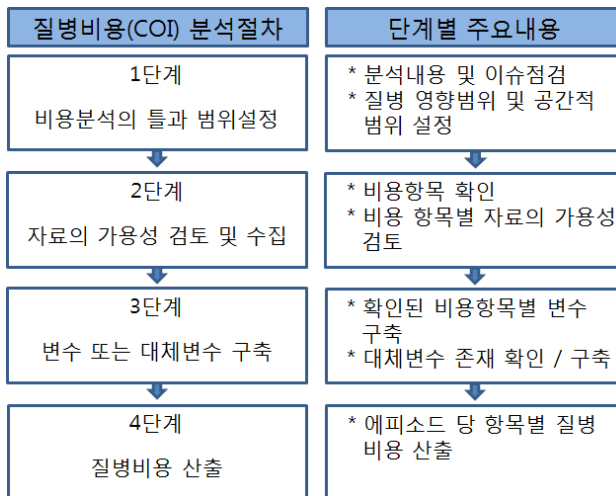
〈표 4-2〉 질병비용 국내 연구사례

저자	대상 질병	도출된 비용
전상일(1999)	천식, 신부전증	질환 건당 1인당 약 18만 원
EC(2005)	호흡기질환	질환 건당 1인당 약 51만 원
환경부/한국환경정책·평가연구원 (2007)	호흡기질환, 심혈관질환	질환 건당 1인당 약 200만 원
국립환경과학원(2012)	호흡기질환, 심혈관질환	질환 건당 약 400만 원
건강보험정책연구원(2014)	20대 대분류 질병군, 5대 진료비상위 만성질환군, 4대 중증질환군, 5대 사망원인, 298개 질병군	전체 질병의 사회경제적 총비용 120조 6,532억 원(2012년 기준)
보건복지부(2014)	기후변화로 인한 심혈관계질환	7,073억 원(2011년 기준)

보건복지부(2014)에서는 기후변화로 인한 건강영향을 평가하고, 건강영향으로 인한 경제적 손실을 비용으로 산출하고자 하였다. 경제적 손실을 산정하기 위해 폭염, 재난, 오존, 감염병, 자외선 등 위험요인에 따른 주요 질병을 확인하고 질병비용을 추정하고자 국민건강보험심사평가원의 질병별 요양비용 자료를 활용하여 직접비와 간접비를 산출하였다. 국내 기후변화로 인한 건강영향의 경제적 손실은 2011년 기준으로 총 8,914억 원으로 나타났고, 심혈관계질환에 의한 경제적 부담이 7,073억 원으로 가장 높게 나타났으며 기상재해로 인한 경제적 손실이 1,265억 원, 설사질환이 506억 원이었다.

## 2. 질병비용 방법론

질병비용분석방법론(Cost of Illness Method, COI)은 질병의 사회경제적 비용을 파악함으로써 특정질환이나 건강 관련 행동이 국가 및 개인에 미치는 영향을 확인한다. 그 결과는 정책의 우선순위를 결정하거나 특정 예방 또는 치료 프로그램의 정당성을 확인하는데 활용되기도 하고 나아가 경제성분석 과정에서 활용된다. 방법론의 적용 절차는 <그림 4-1>과 같다.



<그림 4-1> 질병비용 분석절차 및 단계별 주요내용

질병비용분석방법론 적용의 1단계는 비용분석의 틀과 범위를 설정하는 것이다. 도출하고자 하는 질병과 관련된 이슈를 점검하고 질병의 영향범위 및 공간적 범위를 확인한다. 기존 연구사례를 통해 살펴보면, 질병비용 도출 시의 분석관점은 크게 사회적 관점, 보건의료체계관점, 보험자 관점으로 나누어볼 수 있는데, 일반적으로 사회적 관점이 권고되어 왔다. 사회적 관점에서는 비용 산정 시 효과의 수혜자나 예산의 출처와 관계없이 사회 전체적 관점에서 후생변화를 고려한다.

본 연구에서도 질병으로 인해 발생하는 포괄적인 비용항목을 다루고자 하므로 사회적 관점을 채택한다. 따라서 의료서비스를 받기 위해 지출한 비용 이외에 생산성 손실 비용도 고려한다. 한편, 시간비용의 산출 시에 인적자본의 범위에 대한 관점을 협의 관점과 광의 관점으로 나누어볼 수 있다. 협의 관점에서는 의료이용에 따른 시간 비용을 산출할 때에 유급근무시간에서 발생한 시간적 손실만을 고려하지만, 광의의 관점에서는 모든 인구집단에서 발생한 의료 이용에 소요된 시간을 고려한다. 본 연구에서는 광의의 관점에서 비용을 고찰한다.

2단계에서는 비용분석을 위한 자료의 가용성을 검토하고 필요한 자료들을 수집한다. 가용한 자료들을 토대로 직접 및 간접비용에 포함할 항목을 설정하게 되는데 일반적으로 직접비용의 세부 항목으로는 환자 또는 가족이 직접 지불하는 입원, 외래, 약물치료 관련 비용, 환자와 가족의 교통비 등이 고려된다. 간접비용의 항목으로는 환자 또는 가족이 질병의 치료를 위해 할애하는 시간으로 인해 발생하는 생산성 감소, 장기진료로 인한 휴직 등에서 발생하는 소득 감소 등이 주로 포함된다.

3단계에서는 앞서 선정한 항목들에 대한 변수 또는 대체변수를 구축한다. 항목과 연관성이 높은 자료원이 존재하는 경우에는 그 자료를 직접 활용하고, 해당 항목에 대한 직접적인 자료원이 존재하지 않는 경우에는 상관관계가 높은 대체변수가 존재하는지 여부를 검토한 후 가능한 범위에서 대체변수를 구축한다.

4단계에서는 각 항목에 대한 질병비용을 산출한다. 구축한 변수들에 대한 단가 정보와 환자 수 정보 또는 입·내원 일수 정보를 결합하여 항목별 질병비용을 산출하고 합계를



구한다. 기술한 분석절차에 따라 본 연구에서 도출할 비용항목을 정리하면 <표 4-3>과 같다.

<표 4-3> 질병비용 세부 항목

구분	항목
의료비용	입원비용
	외래비용
	약제비용
교통비용	
간병비용(시간비용)	
생산성 손실비용(이환비용)	

질병비용의 세부항목은 크게 의료비용, 교통비용, 간병비용, 생산성 손실비용으로 나누어지며, 의료비용은 입원비용과 외래비용, 약제비용으로 나누어볼 수 있다. 의료비용으로 구분한 입원 및 외래 진료비와 약제비용은 산출방법이 유사하다. 건강보험심사평가원 청구 자료를 활용하거나 건강보험공단의 보험청구자료를 주로 활용하는 방법이 널리 활용되고 있다. 이와 같은 자료를 통해 의료비용을 산출할 때에는 비급여비용에 대한 고려가 추가적으로 필요하다. 연구자들이 주로 사용하는 방법으로는 국민건강보험공단에서 발표하는 건강보험환자 진료비 실태조사 결과를 활용하여 비급여본인부담률의 고려를 통해 비급여 비용을 포함시키는 것을 들 수 있다.

교통비용은 환자 및 보호자가 질병을 치료하는 과정에서 의료기관 방문을 위해 교통수단을 활용할 때 발생하는 모든 비용을 의미한다. 즉, 외래 또는 입원 등의 진료를 받기 위해 지출한 왕복교통비용을 산출하는데 기존 연구들은 국민건강영양조사의 자료를 활용하거나 한국의료패널의 조사결과를 사용하였다.

간병비용은 유급간병인의 고용을 위해 지불한 비용 또는 환자의 가족 및 친척들이 간병을 위해 소요한 시간이나 임금손실을 의미한다. 간병비용의 도출을 위해 유급간병인의 고용여부, 유급간병인에게 지불한 비용, 유급간병인 대신 가족 및 친척이 간병을 한 경우에

는 이들의 시간가치에 대한 정보가 필요하다. 기존 설문 조사 자료를 활용하거나 직접조사 또는 평균임금 등의 정보를 활용하여 산출한다.

생산성 손실비용은 질병 이환으로 인해 환자가 노동능력을 상실하거나 일부 감소하였을 경우 이로 인한 손실비용을 산출한다. 질병으로 인한 조기사망으로 경제적 생산성이 상실되는 경우에도 생산성 손실비용에 포함될 수 있으나 본 연구에서는 이환비용만을 생산성 손실비용으로 도출하고자 한다.

### 3. 질병비용 산출

#### 가. 분석대상 및 범위

대기오염으로 인한 경제적 비용을 산정하기 위하여 질병비용분석방법론을 적용하고자 한다. 제3장에서 도출된 대기오염에 의한 질병발생 위험도 산출결과에 기반을 두어 경제적 비용을 산정할 수 있도록 본 절에서는 각 항목별 비용을 도출한다. 따라서 질병비용 산출은 호흡기계 질환으로 한정되며, 건강영향 평가 위험도 분석단위가 에피소드 기준으로 진행되므로, 세부 항목별 질병비용 정보도 에피소드 단위로 도출하는 것을 원칙으로 하였다. 건강영향평가 단계에서와 마찬가지로 <그림 4-2>와 같은 표본코호트DB를 가공하는 과정을 거쳤다.



〈그림 4-2〉 질병비용 산출을 위한 표본코호트DB 가공 과정

건강영향 분석결과가 입원 에피소드 단위로 도출되므로 의료비용의 경우 세부 항목 중 입원비용에 국한하여 산출한다. 입원 에피소드의 무진료기간은 건강영향 평가와 동일하게 2일로 설정하였고, 요양개시일자와 퇴원일자 등을 고려하여 에피소드를 도출하였다.

#### 나. 세부 항목별 비용 도출

입원비용의 산출을 위해 표본코호트DB 자료의 진료상세자료 중에서 심결요양급여비용 총액을 이용하였으며, 에피소드 산출 기준에 따라 심결요양급여비용총액을 가공하였다. 한편, 비급여본인부담금 부분을 반영하기 위하여 국민건강보험공단에서 발표하는 건강보험환자 진료비 실태조사 결과를 활용하였다. 다음 <표 4-4>는 연도별 건강보험 보장률을 보여주고 있다. 연도별 건강보험 보장률을 활용하여 전체 진료비 대비 비급여본인부담금 비율 도출이 가능하고, 표본코호트DB 자료를 통해 산출한 에피소드당 평균 입원비용에 적용하여 비급여본인부담금 부분을 반영할 수 있다.

〈표 4-4〉 연도별 건강보험환자 건강보험 보장률

구분(%)	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년
건강보험 보장률	64.5	65.0	62.6	65.0	63.6	63.0	62.5
법정본인 부담률	22.1	21.3	21.9	21.3	20.6	20.0	20.3
비급여 본인부담률	13.4	13.7	15.5	13.7	15.8	17.0	17.2

주: 건강보험 보장률은 전체 의료비\* 중 건강보험공단\*\*에서 부담하는 급여비가 차지하는 비율을 나타냄.

\* 일반 매약비, 성형, 미용목적의 보철비, 건강증진 목적의 칩약비 등 제외.

\*\* 의료급여, 산업재해, 자동차보험 등 건강보험 외 제외.

자료: 건강보험정책연구.

교통비용을 도출하기 위해서는 단위당 교통비용에 대한 정보가 필요하다. 본 연구에서는 한국보건사회연구원과 국민건강보험공단에서 제공하는 한국의료패널 연간데이터(2008~2012) 중 가장 최근 자료인 2012년 정보를 활용하였다. 한국의료패널에서는 외래 또는 입원으로 요양기관을 방문할 때에 사용한 교통수단, 교통시간, 교통비에 대해 묻고 있다. 교통비의 경우, 도보나 자전거 등 추가적인 비용이 발생하지 않은 경우와 자가차량을 이용한 경우를 제외하고 편도 교통비를 묻고 있다. 따라서 자가차량을 이용한 경우의 교통비를 별도로 산정하기 위해 자가차량 비율도 함께 살펴보았다. 응답결과는 〈표 4-5〉에 제시되어 있다. 입원의 경우, 자가차량을 이용하는 비율은 평균 46.54%, 대중교통을 이용할 때의 평균 편도 교통비는 3,302원으로 나타났다.

〈표 4-5〉 입원의 교통비 및 자가차량 비율

연도	교통비(편도: 원)	자가차량 비율
2008	3,414.56	47.90%
2009	3,614.27	47.46%
2010	2,521.66	44.10%
2011	3,133.36	45.83%
2012	3,826.25	47.42%
평균	3,302.02	46.54%

자료: 한국의료패널.

자가차량을 이용한 경우의 교통비를 산정하기 위하여 한국운수산업연구원의 「2011년도 교통수단별 운행비용 비교·분석 연구」의 결과를 활용하였다. 이 보고서에서는 각 교통수단을 이용함으로써 얻을 수 있는 편익을 고려한 종합적인 비교를 통해 교통수단별 효율성을 검토하고자 자가용승용차, 버스, 택시, 철도를 이용함으로써 발생하는 사적비용 및 사회적 비용을 산정하였다. 사적비용의 경우, 자가용승용차, 시내버스, 시외버스, 고속버스, 택시, 도시철도, 일반철도, 고속철도 각각에 대해 동일한 구도와 기준 하에서 인건비, 복리후생비, 감가상각비, 보험료, 기타경비를 포함하는 고정비용과 유류비, 정비관리비, 수수료를 포함하는 가변비용을 도출하였다. 본 연구에서는 이 보고서의 결과를 활용하여 <표 4-6>에 제시된 바와 같이 자가용 이외의 교통수단으로 설정한 대중교통 대비 자가용의 사적비용 비율을 도출하여 활용하였다.

<표 4-6> 교통수단별 사적비용 및 대중교통 대비 자가용의 사적비용 비율

	인-km당 사적비용(원)	비율 도출을 위한 평균 사적비용(원)	비율
자가용	759.7	759.7	3.42 (=759.7/222.0)
시내버스	174.9	222.0	
시외버스	92.5		
고속버스	66.8		
도시철도	123.2		
일반철도	142.2		
고속철도	61.2		
택시	893.3		

자료: 한국운수산업연구원(2013).

간병비용의 산출은 간병비용 발생에 대한 가정 및 간병비용에 대한 자료와 간병인을 활용하는 비율에 대한 정보가 필요하다. 본 연구에서는 입원의 경우에만 간병비용이 발생하는 것으로 가정하였고, 인적자본에 대한 광의의 관점에서 입원으로 요양기관을 방문하여 간병하는 사람이 있었던 경우에는 모두 간병비용이 발생하는 것으로 가정하였다. 한국의료

패널 연간데이터(2008~2012) 중 가장 최근 자료인 2012년의 정보를 활용한다. 한국의료패널에서는 입원기간 동안 간병하는 사람이 있었는지, 있었다면 동거가족, 비동거가족/친인척, 이웃 또는 친구, 무급간병인, 유급간병인, 기타 중 누구였고 유급간병인인 경우에는 하루 평균 비용이 어느 수준이었는지에 대해 묻고 있다. 입원기간의 간병인 유무에 대한 비율 정보와 유급간병인의 하루 평균비용 정보는 <표 4-7>과 같다. 유급간병인 이외의 사람이 간병한 경우에도 유급간병인의 비용으로 간주하여 산정하였다. 간병인 이용 비율의 평균은 68%이었고, 일일 간병비용 평균은 5만 1,449원(소비자물가지수를 활용하여 2012년 평균값을 2010년 기준 가격으로 환산한 수치에 해당함)으로 나타났다.

<표 4-7> 간병인 이용비율 및 간병비용

연도	간병인 이용 비율	일일 간병비용 평균
2008	-	51,727.61
2009	-	51,856.06
2010	70.17	53,004.26
2011	66.92	48,782.36
2012	67.77	51,551.40
평균	68.29	51,384.34

자료: 한국의료패널.

생산성 손실비용의 도출을 위해서 입원일수 및 일평균 임금의 정보가 필요하다. 입원일수는 앞서 의료비용의 도출과정에서 산출한 입원에 대한 연도별 발생 건수 및 에피소드 가공 결과를 활용하고, 일평균 임금은 고용노동부의 「2014 고용형태별 근로실태조사보고서」의 일평균 임금 정보를 활용하였다.

#### 4. 질병비용 분석결과 및 시사점

##### 가. 의료비용

표본코호트DB의 진료 상세자료 중 심결요양급여비용 총액을 사용하여 2002년부터 2013년까지의 각 연도별 입원비용을 산출하였다. 입원 에피소드의 도출을 위해 건강영향 평가와 동일하게 무진료기간을 2일로 적용하였다. 2002년부터 2013년까지 호흡기계 입원 에피소드에 대한 연도별 에피소드 발생 건수, 에피소드의 총금액, 에피소드당 평균금액, 총 입·내원일수, 에피소드당 입원 일수는 <표 4-8>과 같다.

<표 4-8> 호흡기계 입원 에피소드의 의료비용

연도	호흡기계 입원 에피소드				
	건수	총금액	평균	총 입·내원일 수	에피소드당 입원일수
2002	9,218	6,737,108,020	730,864	70,830	7.68
2003	11,056	9,976,510,270	902,362	92,873	8.40
2004	12,688	12,137,156,590	956,585	108,261	8.53
2005	15,156	15,192,189,870	1,002,388	135,568	8.94
2006	16,471	18,969,103,010	1,151,667	158,311	9.61
2007	17,825	22,627,886,120	1,269,447	179,759	10.08
2008	19,495	25,264,326,400	1,295,939	193,110	9.91
2009	21,619	27,866,440,600	1,288,979	201,841	9.34
2010	23,255	30,225,250,330	1,299,731	224,332	9.65
2011	25,528	37,895,829,980	1,484,481	280,070	10.97
2012	27,888	40,817,433,040	1,463,620	292,720	10.50
2013	26,705	42,144,084,130	1,578,135	293,516	10.99
전체	226,904	289,853,318,360	1,277,427	2,231,191	9.83

자료: 국민건강보험공단 표본코호트DB, 연구진 분석결과.

2002년부터 2013년 사이의 호흡기계 입원 에피소드는 총 226,904건이 발생하였으며, 호흡기계 입원 에피소드의 심결요양급여비용총액 합계는 약 2,899억 원에 이르고 따라서 입원 에피소드당 평균비용은 약 128만 원에 해당한다.

표본코호트DB 자료를 이용해 산출된 입원에피소드당 의료비용에 전체진료비 대비 비급여 본인부담금 비율을 고려하여 비급여 본인부담금을 도출하였다. 전체진료비 대비 비급여 본인부담금 비율을 계산하기 위해 <표 4-4>에 제시된 연도별 비율을 활용하되, 자료가 존재하지 않는 2002년에서 2005년의 비급여 본인부담률은 2006년의 값을 적용하였다. 2002년에서 2013년의 비급여 본인부담금은 <표 4-9>와 같다. 연구 기간 동안의 호흡기계 입원 에피소드의 평균 비급여 본인부담금은 약 22만 원으로 나타났다. 급여/비급여 부담금을 포괄한 연도별 총 의료비용은 <표 4-10>과 같다.

<표 4-9> 호흡기계 입원 에피소드의 비급여본인부담금 비용

연도	호흡기계 입원 에피소드		
	평균	전체진료비 대비 비급여본인부담금 비율	비급여본인부담금
2002	730,864	0.155 (= 13.4/86.6)	113,090
2003	902,362	0.155 (= 13.4/86.6)	139,626
2004	956,585	0.155 (= 13.4/86.6)	148,017
2005	1,002,388	0.155 (= 13.4/86.6)	155,104
2006	1,151,667	0.155 (= 13.4/86.6)	178,203
2007	1,269,447	0.159 (= 13.7/86.3)	201,523
2008	1,295,939	0.183 (= 15.5/84.5)	237,717
2009	1,288,979	0.159 (= 13.7/86.3)	204,624
2010	1,299,731	0.188 (= 15.8/84.2)	243,893
2011	1,484,481	0.205 (= 17.0/83.0)	304,050
2012	1,463,620	0.208 (= 17.2/82.8)	304,037
2013	1,578,135	0.220 (= 18.0/82.0)	346,420
전체	1,277,427	0.175	222,944

자료: 국민건강보험공단 표본코호트DB, 연구진 분석결과.



〈표 4-10〉 호흡기계 입원 에피소드의 총 의료비용

연도	호흡기계 입원 에피소드		
	평균 비용 (비급여 본인부담금 제외)	비급여본인부담금	합계
2002	730,864	113,090	843,954
2003	902,362	139,626	1,041,988
2004	956,585	148,017	1,104,602
2005	1,002,388	155,104	1,157,492
2006	1,151,667	178,203	1,329,870
2007	1,269,447	201,523	1,470,970
2008	1,295,939	237,717	1,533,656
2009	1,288,979	204,624	1,493,603
2010	1,299,731	243,893	1,543,624
2011	1,484,481	304,050	1,788,531
2012	1,463,620	304,037	1,767,657
2013	1,578,135	346,420	1,924,555
전체	1,277,427	222,944	1,500,371

자료: 국민건강보험공단 표본코호트DB, 연구진 분석결과.

## 나. 교통비용

한국의료패널의 교통비 자료와 자가차량 이용비율을 활용하고, 한국운수산업연구원의 연구결과를 활용하여 도출한 대중교통 대비 자가용의 사적비용 비율인 3.42를 활용하여 교통비용을 산정하였다. 입원의 경우, 자가차량 이외의 교통수단을 이용하는 경우 2012년 기준 왕복 교통비는 7,652원으로 나타났고, 대중교통 대비 자가용 사적비용 비율을 고려하여 환산한 자가차량의 2012년 기준 왕복 교통비는 26,185원이었다. 2012년 기준 입원 1회당 교통비용 단가 산정식은  $52.58\% \times \text{입원 1회당 왕복 교통비}(7,652.5\text{원}) + 47.42\% \times \text{입원 1회당 자가차량 이용 시의 왕복 교통비}(26,185.7\text{원})$ 이며, 이러한 과정을 통해 도출한 입원 1회당 2012년 기준 왕복 교통비용 단가는 16,441원으로 나타났다. 소비자물가지수를 활용하여 2012년 평균값을 각 연도별 입원 1회당 교통비용 단가로 환산하고 이에 각 연도별 에피소드당 입원일수를 곱해주면 연도별 에피소드당 왕복 교통비를 구할 수 있고

이 값에 연도별 입원 에피소드 건수를 곱해주면 연도별 총 교통비가 도출되며 결과는 <표 4-11>에 제시되어 있다.

<표 4-11> 호흡기계 입원 에피소드의 교통비용

연도	호흡기계 입원 에피소드			
	건수	에피소드당 입원일수	에피소드당 교통비 (왕복)	총 교통비
2002	9,218	7.68	92,879	856,154,972
2003	11,056	8.40	105,156	1,162,599,458
2004	12,688	8.53	110,618	1,403,515,218
2005	15,156	8.94	119,128	1,805,499,613
2006	16,471	9.61	130,926	2,156,486,828
2007	17,825	10.08	140,810	2,509,937,449
2008	19,495	9.91	144,906	2,824,944,042
2009	21,619	9.34	140,337	3,033,939,064
2010	23,255	9.65	149,280	3,471,515,557
2011	25,528	10.97	176,488	4,505,388,194
2012	27,888	10.50	172,630	4,814,305,804
2013	26,705	10.99	183,049	4,888,329,211

자료: 국민건강보험공단 표본코호트DB, 한국의료패널, 연구진 분석결과.

#### 다. 간병비용

한국의료패널의 간병비 자료와 간병인 이용비율을 활용하였으며, 산출 식으로 에피소드 건수×에피소드당 입원일수×간병인 이용률×일일 평균 간병비용을 활용하여 도출한 간병비용은 <표 4-12>에 제시되어 있다.

〈표 4-12〉 호흡기계 입원 에피소드의 간병비용

연도	호흡기계 입원 에피소드				
	건수	에피소드당 입원일수	간병인 이용률 (%)	에피소드당 간병비	총 간병비
2002	9,218	7.68	67.77	197,362	1,819,281,732
2003	11,056	8.40	67.77	223,450	2,470,459,233
2004	12,688	8.53	67.77	235,056	2,982,391,833
2005	15,156	8.94	67.77	253,140	3,836,586,332
2006	16,471	9.61	67.77	278,211	4,582,414,657
2007	17,825	10.08	67.77	299,213	5,333,477,581
2008	19,495	9.91	67.77	307,917	6,002,849,086
2009	21,619	9.34	67.77	298,208	6,446,951,891
2010	23,255	9.65	67.77	317,213	7,376,777,619
2011	25,528	10.97	67.77	375,027	9,573,699,512
2012	27,888	10.50	67.77	366,829	10,230,132,265
2013	26,705	10.99	67.77	388,969	10,387,427,891

자료: 국민건강보험공단 표본코호트DB, 한국의료패널, 연구진 분석결과.

한국의료패널에서 도출된 2012년 기준 일일 평균 간병비용 5만 1,551원에 간병인 이용률을 곱하여 단가를 도출하고 이에 연도별 소비자 물가지수 및 연도별 에피소드당 입원일수를 고려하여 각 연도별 에피소드당 간병비를 도출했다.

#### 라. 생산성 손실비용

생산성 손실비용은 고용노동부의 일평균 임금 자료를 활용하되 산출 식으로 (입원 에피소드 건수 × 에피소드당 입원일수) × 일평균 임금을 활용하여 도출하였으며 〈표 4-13〉에 도출결과가 제시되어 있다.

〈표 4-13〉 호흡기계 입원 에피소드의 생산성 손실비용

연도	호흡기계 입원 에피소드			
	건수	에피소드당 입원일수	에피소드당 생산성 손실액	총 생산성 손실액
2002	9,218	7.68	644,585	5,941,785,250
2003	11,056	8.40	729,788	8,068,534,948
2004	12,688	8.53	767,695	9,740,509,948
2005	15,156	8.94	826,756	12,530,314,398
2006	16,471	9.61	908,639	14,966,194,263
2007	17,825	10.08	977,233	17,419,170,364
2008	19,495	9.91	1,005,660	19,605,341,786
2009	21,619	9.34	973,948	21,055,784,260
2010	23,255	9.65	1,036,018	24,092,600,769
2011	25,528	10.97	1,224,842	31,267,761,093
2012	27,888	10.50	1,198,066	33,411,674,476
2013	26,705	10.99	1,270,376	33,925,402,950

자료: 국민건강보험공단 표본코호트DB, 고용노동부(2014), 연구진 분석결과.

고용노동부 「2014 고용형태별 근로실태조사 보고서」에 제시된 전체 근로자의 월급여액 235.3만 원을 총 근로일수 20.1로 나누어 일평균 임금을 도출하였고, 산출 식에 따라 에피소드당 입원일수를 곱하여 각 에피소드당 생산성 손실액을 구하였다. 이후, 연도별 입원 에피소드 건수를 곱하여 연도별 총 생산성 손실액을 도출하였다.

#### 마. 항목별 비용산출 종합

에피소드 기준, 항목별 비용산출 결과(약제비용 제외)를 2002, 2013년에 대하여 정리 요약하면 〈표 4-14〉와 같다. 2002년도 기준, 입원 에피소드당 총 질병비용 합계는 178만 원으로 이 중 약제비용을 제외한 의료비용이 47%, 생산성 손실 비용이 36%를 차지하는 것으로 나타났다.

〈표 4-14〉 호흡기계 입원 항목별 비용 종합(에피소드 기준)

구분		호흡기계 입원 에피소드	
		2002(원/에피소드)	2013(원/에피소드)
의료비용(A)	급여	730,864	1,578,135
	비급여	113,090	346,420
	약제		
교통비용(B)		92,879	183,049
간병비용(C)		197,362	388,969
생산성 손실(D)		644,585	1,270,376
합계(E)		1,778,780	3,766,949
총비용 대비 비율			
A/E		0.474	0.511
(A+B)/E		0.163	0.152
D/E		0.362	0.337

주: 약제비용은 추후 도출 예정임.

2013년 기준, 입원 에피소드당 총 질병비용 합계는 377만 원으로 이 중 약제비용을 제외한 의료비용이 51%, 생산성 손실 비용이 33%를 차지하는 것으로 나타났다.

## 바. 시사점

본 절에서는 호흡기계 입원 에피소드당 의료비용, 교통비용, 간병비용, 생산성 손실비용을 산정하였다. 의료비용의 도출을 위해 표본코호트DB 자료의 진료상세자료 중에서 심결요양급여비용총액을 사용하였고 건강보험정책연구원(2014)의 연도별 건강보험 보장률 정보를 활용하였다. 교통비용 및 간병비용의 단위당 비용 및 비율 정보는 한국의료패널의 2012년도 값을 활용하였고, 한국운수산업연구원(2013)의 연구결과를 통해 단위당 교통비용을 현실성 있게 도출하고자 하였다. 또한 생산성 손실비용은 고용노동부(2014)의 자료를 통해 산정하였다.

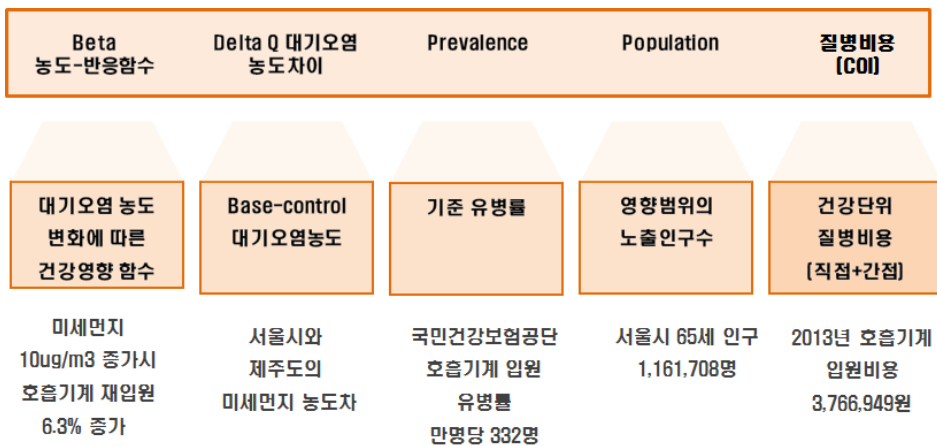
질병비용분석방법의 경우, 세부 비용 항목의 선정, 변수 선택, 단가 설정 등의 방법론 활용과정에서 연구자의 판단이 연구결과에 영향을 미칠 여지가 존재한다. 따라서 활용에 일관된 기준을 가지고 주의를 기울일 필요가 있다. 본 절의 결과는 선행연구의 적용절차 및 단가정보 선정 과정을 면밀히 검토하여 본 연구에 적합한 기준을 세운 후 도출되었다. 사회적 관점에서 포괄적인 비용항목을 다루고자 하였으며, 시간비용 산정에서는 광의 관점에서 모든 인구집단에서 발생한 시간적 손실을 고려하고자 하였다. 약제비용에 대한 에피소드 단위 비용은 추후 도출할 예정이다. 에피소드 단위로 비용을 도출하기 위해 제3장의 건강영향 도출과정과 동일한 기준을 적용하였으나, 데이터 처리 과정에서 추가로 고려된 조건들이 상이하여 에피소드 수에 차이가 있을 수 있다는 점을 밝혀둔다.

한편, 의료비용 산정 시 주상병 및 부상병을 고려하고 특이치를 염두에 두어 처리하거나, 광의 관점 및 협의 관점 또는 선택 가능한 단가들에 대해서 시나리오를 구성하여 비용을 도출해봄으로써 본 연구결과의 활용도를 높일 수 있다. 2차년도에는 이와 같은 질병비용 도출 과정의 정교화를 통해 좀 더 현실을 반영하는 단위당 질병비용의 도출가능성에 대해 확인하고 대기오염에 의한 질병발생 위험도 산출결과와 연계하여 경제적 비용을 산정하고자 한다. 또한 본 절에서 사용된 인적자본 접근법 이외에 지불의사 접근법에 근거하여 관련 비용을 도출해보고자 한다.

# | 제5장 · 결 론 |

## 1. 호흡기계 재입원위험·질병비용 통합(예비분석)

본 절에서는 건강영향·경제성 통합평가 예시로 제3장의 호흡기계 반복입원 영향과 제4장의 호흡기계 에피소드당 질병비용을 연계한다. 예비분석 시나리오로 2013년 서울시 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 농도(43~55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )를 제주도 수준(40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )으로 개선할 경우로 가정하고, 서울시 65세 이상 인구집단을 분석대상으로 한다. 분석에 요구되는 정보는 <그림 5-1>의 상단부와 같고, 예비분석에 사용된 해당 정보는 하단부와 같다. 즉, 통합평가를 위해서는 대기오염물질 농도변화에 따른 건강영향 함수, 대기오염물질의 농도차, 기준 유병률, 대기오염 농도에 노출되는 인구수, 단위 질병비용이 요구된다. 해당 정보는 65세 이상 농도-반응함수로부터 추정된 65세 이상 호흡기계 질환 재입원 위험도(미세먼지 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가 시 호흡기계 입원 6.3% 증가), 2013년 기준 서울시와 제주도의 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 농도차, 호흡기계 입원 기준 유병률, 서울시 65세 이상 인구 1,161,708명, 호흡기계 에피소드당 질병비용 376만 6,949원이다.



<그림 5-1> 건강영향·경제성 통합평가를 위한 요구 정보

예비분석 결과는 <그림 5-2>와 같다. 2013년 서울시 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 농도를 제주도 수준으로 개선하였을 경우, 서울시 65세 이상 호흡기계 질환 재입원 에피소드는 1,787건 (95% 신뢰구간: 1,260~2,320건)이 감소하는 것으로 추정되었고, 에피소드당 질병비용을 반영하여 산출된 건강편익은 67억 원(95% 신뢰구간: 47~87억 원)으로 추정되었다. 이는 역으로 미세먼지(PM<sub>10</sub>)의 농도 개선이 이루어지지 않았을 경우의 피해비용으로 해석 가능하다. 건강영향·경제성 통합평가 예비분석은 편익추정을 통한 정책적 시사점 도출 보다는 건강영향 평가와 질병비용 산정이 어떠한 형태로 연계되는지 예시하는 데 목적이 있다.

시나리오	
대상 인구집단	2013년 서울시 65세 이상 연령집단
건강영향	호흡기계 재입원
기준농도	2013년 서울시의 PM10 농도(43~55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
시나리오 농도	2013년 제주도의 PM10 농도 수준 달성(40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
추정 결과	
호흡기계 입원 에피소드 감소	1,787건 [95% CI : 1,260 ~ 2,320건]
호흡기계 입원 에피소드 감소로 인한 건강편익	6,732백만원 [95% CI : 4,746 ~ 8,739백만원]

X 3,766,949  
[질병비용: 원/입원에피소드]

<그림 5-2> 건강영향·경제성 통합평가 예비분석 결과

## 2. 1차년도 연구결과 요약 및 시사점

대기오염은 환경부문 질병부담의 가장 큰 요인이다. 본 연구는 최근 활용 가능하게 된 국민건강보험공단의 표본코호트DB를 기반으로 대기오염으로 인한 건강영향의 정량적 평가, 특히 만성 건강영향 평가체계를 개선하고 질병비용(COI) 및 통계적생명가치(VSL)로의 연계를 통한 사회적 비용추정을 일차적 목표로 하고 있다.



본 연구는 3년 과제로 기획되었으며 연구내용은 크게 표본코호트DB를 활용한 대기오염의 건강영향 평가, 건강영향의 사회적 비용추정, 건강영향·경제성 통합평가 및 정책평가 분석 틀 구축으로 구분된다. 연구진행은 각 부문 간의 순차적 접근보다는 병렬적 접근을 취하여 부문 간 피드백을 도모하는 방향으로 설계하였다.

이러한 맥락에서 1차년도(2015)는 대기오염으로 인한 호흡기계 만성 건강영향 분석을 위한 표본코호트DB 자료가공 및 분석, 호흡기계 질병비용 산정을 위한 표본코호트DB 자료가공 및 분석을 병행하여 진행하였다. 먼저 건강영향은 대기오염으로 인한 호흡기계 질환 신규입원과 반복입원위험을 중심으로 평가하였다. 질병비용(COI)은 동일한 질병군에 대하여 의료비용, 교통비용, 간병비용, 생산성 손실비용 등을 산출하였다. 또한 건강영향 평가와 질병비용(COI) 산출의 분석단위를 동일한 무진료기간을 적용한 에피소드로 묶어줌으로써 향후 건강영향 평가와 질병비용(COI)의 연계가 가능하도록 설계하였다.

대기오염의 호흡기계 신규입원위험을 생존분석한 결과, 미세먼지(PM<sub>10</sub>), 이산화황(SO<sub>2</sub>), 오존(O<sub>3</sub>)의 경우, 대기오염의 장기노출 농도 증가는 호흡기계 신규입원위험을 유의하게 높였다. 이산화질소(NO<sub>2</sub>)와 오존(O<sub>3</sub>)으로 인한 호흡기계 신규입원위험은 전국에 비해 서울지역에서 높았으며, 65세 이상 연령집단의 경우 미세먼지(PM<sub>10</sub>)의 영향을 전체 연령에 비해 더 많이 받는 것으로 나타났다. 시계열 패널자료를 구축하여 대기오염으로 인한 재입원위험을 반복측정 분석한 평가결과, 65세 이상 연령집단에서 미세먼지(PM<sub>10</sub>), 일산화탄소(CO), 오존(O<sub>3</sub>), 이산화황(SO<sub>2</sub>)이 증가할수록 입원증가와 유의한 연관성을 보였다.

한편 질병비용(COI) 항목별 산출결과(약제비용 제외)를 요약하면, 2002년도 기준, 입원 에피소드당 총 질병비용 합계는 178만 원으로 이 중 의료비용이 47%, 생산성 손실비용이 36%를 차지하는 것으로 나타났다. 2013년 기준, 입원 에피소드당 총 질병비용 합계는 377만 원으로 이 중 의료비용이 51%, 생산성 손실비용이 33%를 차지하는 것으로 나타났다.

본 연구는 표본코호트DB를 활용하여 대기오염의 만성 건강영향과 질병비용을 다각적으로 분석할 수 있는 기반을 구축하였다. 특히 건강영향 평가 부문에서는 입원 에피소드

가공 또는 시계열 패널자료 구축 등을 통하여 데이터를 분석목적에 적합하도록 가공하여 사용하였다. 또한 대기오염으로 인한 호흡기계 질환 신규입원위험과 호흡기계 질환 재입원 위험을 추정함으로써, 기존에 미흡했던 만성 건강영향 평가결과를 제시했다는 점에 의의를 찾을 수 있다. 향후 지속적으로 모형을 개선하는 노력이 필요할 것이다. 질병비용 추정은 건강영향 평가와의 연계를 위하여 입원 에피소드별로 항목별 비용을 추정하였다는 점이 기존 연구와 차별화된다. 향후 약제비용이 추가되어야 하고 생산성 손실을 포함한 시간의 기회비용 추정을 위해 사용된 원자료 등에 대한 추가 검토가 필요한 상황이다. 이러한 이슈들은 2차년도 연구내용에 포함하여 추가적인 분석을 진행할 예정이다.

### 3. 향후 연구계획

앞서 언급한 바와 같이 본 연구는 표본코호트DB를 활용한 대기오염의 건강영향 평가, 건강영향의 사회적 비용추정, 건강영향·경제성 통합평가 및 정책평가 분석 틀 구축의 3개 부문이 병렬적으로 진행된다(그림 5-3 참조).

2차년도 건강영향 평가는 1차년도 결과를 기반으로 만성 건강영향 분석모형을 개선하고 분석대상 범위를 확장시킬 예정이다. 사회적 비용추정은 1차년도 질병비용(COI) 세부항목 추정절차를 개선하고 원자료를 포함한 단위정보를 보완할 예정이며 이와 함께 진술선호법을 활용한 통계적생명가치(VSL) 추정을 병행하여 추진할 계획이다.

건강영향·경제성 통합평가 부문 2차년도 계획은 통합 사례연구 진행과 정책평가 분석 틀 구축으로 구분될 수 있다. 먼저 1차년도 건강영향 평가결과와 질병비용(COI) 추정결과를 통합하는 사례연구 진행을 통하여 2부문 간의 연결고리 강화와 함께 불확실성 및 민감도 분석방법을 고민할 예정이다. 정책평가 분석 틀 부문은 향후 정책평가를 위해 활용 가능한 시나리오를 검토·개발하고, 이를 건강영향 평가에 피드백하여 통합하는 방안을 구체화할 예정이다.



〈그림 5-3〉 부문별 향후 연구계획



## | 참고문헌 |

<국문자료>

- 건강보험정책연구원. 2014. 「2013년도 건강보험환자 진료비 실태조사」.
- 건강보험정책연구원. 2014. 「건강보장정책 우선순위 설정을 위한 주요 질병의 사회경제적 비용 분석」.
- 경기개발연구원. 2003. 「경기도지역 대기오염의 사회적 비용 추정 및 적정 수준 달성방안」.
- 고용노동부. 2014. 「2014 고용형태별 근로실태조사보고서」.
- 국립환경과학원. 2012. 「기후변화에 의한 대기오염 및 건강영향 연구(Ⅱ)」. 한국환경정책·평가연구원
- 국민건강보험공단. 2015. 「정책·학술 연구지원을 위한 2015년 표본연구DB 활용 교육」.
- 김록영 외. 2013. “입원 환자 표본 개발에 관한 연구: 국민건강보험 청구자료를 중심으로”. 「보건행정학회지」 23(2): 151-161.
- 김재용. 2003. 「의약분업 시행 전후의 의원 외래서비스 소비량 변화: 주요 질병군의 진료에피소드와 지속성 평가」. 서울대학교 박사학위 논문. p.26, pp.28-29.
- 보건복지부. 2014. 「기후변화로 인한 건강피해 부담 및 사회경제적 영향평가 관련 연구」.
- 이종태, 김호. 2001. “대기오염의 건강 영향 평가를 위한 역학연구 설계 및 방법론”. 「예방의학회지」 34(2): 119-126.
- 이준영, 김기환, 이지성. 2015. “국민건강정보 데이터베이스를 이용한 표본 코호트 DB 구축”. 「표본 코호트DB 자료설명 워크숍」 설명자료. 국민건강보험공단.
- 이태진 외. 2011. 「보건의료분야에서 비용 산출방법」. 한국보건의료연구원.
- 전상일. 1999. 「서울시 대기오염이 건강에 미치는 영향과 질병비용에 관한 연구」. 서울대학교 박사학위 논문.
- 한국보건사회연구원. 국민건강보험공단 한국의료패널 연간데이터(2008~2012).
- 한국보건의료연구원. 2011. 「보건의료분야에서 비용 산출방법」.
- 한국운수산업연구원. 「2011년도 교통수단별 운행비용 비교·분석 연구」.
- 환경부. 2003. 「수도권 대기질개선 특별대책에 대한 경제성 평가」. 한국환경정책·평가연구원

환경부. 2007. 「환경오염 저감정책의 건강편익산정 모형확립 및 적용연구」. 한국환경정책·평가 연구원

<영문자료>

Desaigues B et al. 2004. Monetary Valuation of Air Pollution Mortality: Current Practice, Research Needs, and Lessons from a Contingent Valuation. Universite de Strasbourg, Strasbourg, Alsace, France.

Dockins et al. 2004. “Value of Statistical Life Analysis and Environmental Policy: A White Paper”. USEPA.

European Commission. 2002. “BeTa Version E1.02a Benefits Table Database: Estimates of the Marginal External Costs of Air Pollution in Europe”. netcen.

European Commission. 2005. ExternE-Externalities of Energy: Methodology 2005 Update. Directorate-General for Research Sustainable Energy Systems. European Commission [http://www.externe.info/externe\\_d7/? q=node/46](http://www.externe.info/externe_d7/?q=node/46). EUR 21951.

European Commission. 2005. ExternE-Externalities of Energy: Methodology 2005 Update. Directorate-General for Research Sustainable Energy Systems. European Commission [http://www.externe.info/externe\\_d7/? q=node/46](http://www.externe.info/externe_d7/?q=node/46). EUR 21951.

Francesca, Dominici, L. Sheppard, and M. Clyde. 2003. “Health Effects of Air Pollution: A Statistical Review”. *International Statistical Review*, 7(2): 243-276.

OECD. 2015. Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth.

U.S. Environmental Protection Agency. 2010. Guidelines for preparing economic analysis. National Center for Environmental Economic, Office of Policy, USEPA.

U.S. Environmental Protection Agency. 2011. The benefits and costs of the clean air act from 1990 to 2020. Triangle Park NC: USEPA, Office of Air and Radiation.

- U.S. Environmental Protection Agency. 2013. Estimating the Benefit per Ton of Reducing PM<sub>2.5</sub> Precursors from 17 Sectors. Triangle Park NC: USEPA, Office of Air and Radiation. NC27711.
- UNEP. 1998. Economics of Greenhouse Gas Limitations: The Indirect Costs and Benefits of Greenhouse Limitations.
- WHO. 2014a. 7 million premature deaths annually linked to air pollution. Media Centre news release. <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/> [2014. 10. 30, 2015. 4. 2].
- WHO. 2014b. Burden of disease from household air pollution for 2012. Summary of results. [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/FINAL\\_HAP\\_AAP\\_BoD\\_24\\_March2014.pdf](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/FINAL_HAP_AAP_BoD_24_March2014.pdf) [2014. 10. 30].





## 〈부록〉 동반질환지수 개발

### 1. 개요

본 연구는 우리나라 노인의 호흡기계 입원환자를 대상으로 그에 맞는 새로운 동반질환지수를 개발하고 기존 Charlson 동반질환지수(Comorbidity index)와의 비교를 통하여 적합성을 평가하고자 한다. Charlson 동반질환지수는 간편성과 사용의 용이성으로 임상 및 역학연구에서 가장 많이 활용되고 있다.<sup>14)</sup> 반면 Charlson 지수는 진보된 의료상황을 반영하지 못한다는 점과 연구대상 및 질환에 따라 질병의 상호작용으로 인해 각기 다른 위중도를 보인다는 점에서 한계점이 있다. 이러한 한계점과 함께 과대하게 부여되는 점수체계는 유의한 통계적 결과산출에 호의적이라는 지적이 있었다.<sup>15)16)</sup> 이러한 이유로 현재까지 암, 심혈관계, 고혈압, 말기신부전, 그 외 입원 및 급성질환 등 특정질환을 가진 환자들에서 새로운 동반질환지수들이 개발되어 오고 있다.<sup>17)18)19)</sup>

이에 본 연구에서는 취약그룹인 노인에서의 호흡기계 입원환자를 모집단으로 하여 우리나라 실정에 맞는 새로운 동반질환지수를 개발하고자 한다(이하 새로운 지수는 호흡기 질환 동반질환지수(mCCI-IRD, Modified Charlson Comorbidity Index for Incident Respiratory Disease로 지칭함). 또한 기존의 Charlson 동반질환지수와 호흡기 질환 동반질환지수(mCCI-IRD)의 비교를 통하여 호흡기계 입원 노인에서의 새로운 지수 사용의 적합성을 평가하고자 한다.

14) Mary E. Charlson et al.(1987), pp.373-383.

15) van Manen JG et al.(2002), pp.82-89.

16) Hemmelgarn BR et al.(2003), pp.125-132.

17) Radovanovic D et al.(2014), pp.288-294.

18) Frenkel WJ et al.(2014), pp.342-346.

19) Wu PH et al.(2013), e61930.

## 2. 분석방법

### 가. 자료구축 및 질환정의

- 목적: 65세 이상 노인의 호흡기계 입원에서의 새로운 동반질환지수 개발 및 Charlson 동반질환지수와의 비교
- 대상자수: 11,960명의 호흡기계 입원자 수(국제질병사인 분류코드 J00-J98)
- 연구 기간: 2007년 1월 1일~2013년 12월 31일
- 동반질환 정의: 국제질병사인 분류코드에 의한 16개 동반질환 코딩 알고리즘 사용(Medicare, 2005)(부록 표 1 참조). 본 연구의 연구대상인 만성폐질환(Chronic pulmonary disease)은 제외
- 검증자료: 3,760명의 호흡기계 입원자 수(심근경색, 뇌혈관질환, 치매, 중등도 이상 신장질환, 중등도 이상 간질환이 있는 사람 제외)

### 나. 통계분석

- 새로운 동반질환지수: 연령, 성, 15개 질환을 동시에 보정한 콕스비례위험모형(Cox proportional hazard model)사용. AIDS는 발생 건수가 3명으로 분석에서 제외함.
- 가중치 산출: 통계적 유의성을 가진 가장 낮은 위험비(Hazard Ratio, HR)를 분모로 하여 상대적 위험비 산출. 소수점 이하 삭제.<sup>20)21)</sup>
- 성능평가: 용량반응곡선(Receiver Operating Characteristic Curve, ROC)<sup>22)</sup> 및 순재분류향상값(continuous Net Reclassification Improvement, cNRI)<sup>23)</sup>을 통하여 지수의 타당도 평가.

---

20) Hemmelgarn BR et al.(2003), pp.125-132.

21) Cerqueira DC et al.(2014), pp.728-735.

22) Harrell FE Jr. et al.(1996), pp.361-387.

23) Pencina MJ. et al.(2008), pp.157-172.

〈부록 표 1〉 국제질병사인 분류표(ICD-10 code)에 의한 동반질환 정의

동반질환(Comorbidities)	국제질병사인 분류(ICD-10)
심근경색 (Myocardial infarction)	I21.x, I22.x, I25.2
울혈성심부전 (Congestive heart failure)	I09.9, I11.0, I13.0, I13.2, I25.5, I42.0, I42.5-I42.9, I43.x, I50.x, P29.0
말초혈관질 (Peripheral vascular disease)	I70.x, I71.x, I73.1, I73.8, I73.9, I77.1, I79.0, I79.2, K55.1, K55.8, K55.9, Z95.8, Z95.9
뇌혈관질환 (Cerebrovascular disease)	G45.x, G46.x, H34.0, I60.x-I69.x
치매(Dementia)	F00.x-F03.x, F05.1, G30.x, G31.1
만성폐질환 (Chronic pulmonary disease)	I27.8, I27.9, J40.x-J47.x, J60.x-J67.x, J68.4, J70.1, J70.3
결합조직질환 (Connective tissue disease)	M05.x, M06.x, M31.5, M32.x-M34.x, M35.1, M35.3, M36.0
소화궤양(Ulcer disease)	K25.x-K28.x
경도의 간질환 (Mild liver disease)	B18.x, K70.0-K70.3, K70.9, K71.3-K71.5, K71.7, K73.x, K74.x, K76.0, K76.2-K76.4, K76.8, K76.9, Z94.4
합병증 없는 당뇨(Diabetes)	E10.0, E10.1, E10.6, E10.8, E10.9, E11.0, E11.1, E11.6, E11.8, E11.9, E12.0, E12.1, E12.6, E12.8, E12.9, E13.0, E13.1, E13.6, E13.8, E13.9, E14.0, E14.1, E14.6, E14.8, E14.9
말초기관 손상된 당뇨 (Diabetes with end-organ damage)	E10.2-E10.5, E10.7, E11.2-E11.5, E11.7, E12.2-E12.5, E12.7, E13.2-E13.5, E13.7, E14.2-E14.5, E14.7
반신마비(Hemiplegia)	G04.1, G11.4, G80.1, G80.2, G81.x, G82.x, G83.0-G83.4, G83.9
신장질환(중등도 이상 신장질환) (Renal disease)	I12.0, I13.1, N03.2-N03.7, N05.2- N05.7, N18.x, N19.x, N25.0, Z49.0- Z49.2, Z94.0, Z99.2
비전이성 고형암(Any tumor) (백혈병(leukemia), 림프종(lymphoma) 포함)	C00.x-C26.x, C30.x-C34.x, C37.x-C41.x, C43.x, C45.x-C58.x, C60.x-C76.x, C81.x-C85.x, C88.x, C90.x-C97.x
중등도 이상 간질환 (Moderate to severe liver disease)	I85.0, I85.9, I86.4, I98.2, K70.4, K71.1, K72.1, K72.9, K76.5, K76.6, K76.7
전이성 고형암 (Metastatic solid tumor)	C77.x-C80.x
후천성 면역결핍 증후군 (AIDS/HIV)	B20.x- B22.x, B24.x

자료: Hude Quan et al.(2005), "Coding Algorithms for Defining Comorbidities in ICD-9-CM and ICD-10 Administrative Data", *Medicare*, 43(11).

### 3. 결과

#### 가. 기초통계량

2002년 기준, 65세 이상의 호흡기계 입원환자는 총 11,960명이었고, 이 중 남자는 5,234명이었다(43.76%). 2013까지 총 7개년에 걸쳐 균일한 환자 발생을 보이며, 이 중 사망자는 3,346명으로 약 28%를 보인다. 추적 기간의 평균은 약 30개월이고(SD, 27.4), 중앙값은 23개월로 나타났다(IQR, 52.1). 전체 연구대상자 중 443명(3.7%)이 호흡기계 질환 외에는 다른 동반질환이 없었으며, 소화궤양(Ulcer disease)이 7,062명으로 약 60%의 유병률을 보였고, 그다음 뇌혈관 질환(Cerebrovascular disease)이 51.4%로 나타났다. 가장 낮은 유병률은 AIDS와 전이성 고형암(Metastatic solid tumor)으로 각각 0.03%, 6.07%를 보였다(부록 표 2 참조).

〈부록 표 2〉 동반질환지수 자료의 기초통계량

동반질환(Comorbidity)	N = 11,960	%
무동반질환(No comorbidity)	443	3.70
소화궤양(Ulcer disease)	7,062	59.05
말초혈관질환(Peripheral vascular disease)	4,008	33.51
경도의 간질환(Mild liver disease)	3,724	31.14
심근경색(Myocardial infarct)	934	7.81
결합조직질환(Connective tissue disease)	2,114	17.68
울혈성심부전(Congestive heart failure)	3,621	30.28
합병증 없는 당뇨(Diabetes)	4,353	36.4
말초기관 손상된 당뇨 (Diabetes with end-organ damage)	2,494	20.85
반신마비(Hemiplegia)	1,172	9.8
뇌혈관질환(Cerebrovascular disease)	6,149	51.41
치매(Dementia)	4,246	35.5
중등도 이상 신장질환(Moderate or severe renal disease)	760	6.35
비전이성 고형암(Any tumor, 백혈병, 림프종 포함)	2,533	21.18
중등도 이상 간질환(Moderate to severe liver disease)	172	1.44
전이성 고형암(Metastatic solid tumor)	726	6.07
후천성 면역결핍 증후군(AIDS)	3	0.03

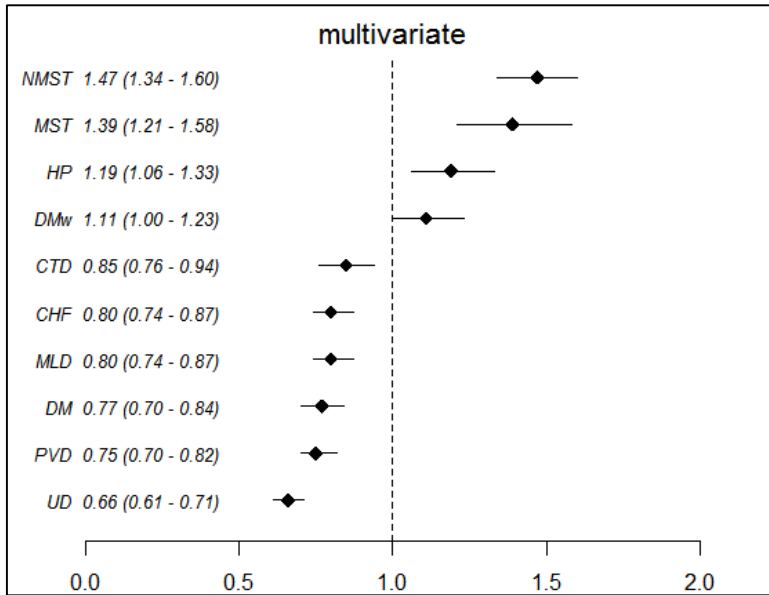
### 나. 호흡기 질환 동반질환지수(mCCI-IRD) 개발

연령, 성 및 15개 동반질환을 동시에 보정한 생존분석결과는 <부록 표 3>과 같다(표본 수=11,960). AIDS는 유병률이 매우 낮아 분석에서 제외되었다. 생존분석결과, 5개 질환은(심근경색, 뇌혈관질환, 치매, 중등도 이상 신장질환, 중등도 이상 간질환) 통계적 유의성이 나타나지 않아 동반질환지수(mCCI-IRD) 개발에서 고려되지 않았다. 총 10개 질환 중 소화궤양(Ulcer disease)이 가장 낮은 위험비를 보였으며(HR, 0.66; P-value, < 0.001), 그다음 말초혈관질환, 합병증 없는 당뇨, 경도의 간질환, 울혈성 심부전, 결합조직 질환, 말초기관 손상된 당뇨, 반신마비, 전이성 고형암, 그리고 비전이성 고형암 순이었다(부록 그림 1 참조). 소화궤양을 기준으로 하여 소수점을 절단한 가중치는 <부록 표 3>과 같다.

〈부록 표 3〉 호흡기 질환 동반질환 지수산출 결과

변수		위험비 (95% 신뢰구간) <sup>1</sup>	유의확률 (P-value)	베타계수 ( $\beta$ -coefficient)	가중치
연령	70~74세	Ref			
	75~79세	1.25(1.10 - 1.42)	0.001		
	80~84세	1.62(1.42 - 1.84)	<0.001		
	85세 이상	2.78(2.45 - 3.16)	<0.001		
성	여자 vs. 남자	0.76(0.71 - 0.82)	<0.001		
	소화궤양	0.66(0.61 - 0.71)	<0.001	-0.417	1
동반질환 (Comorbidity)	말초혈관질환	0.75(0.70 - 0.82)	<0.001	-0.282	1
	합병증 없는 당뇨병	0.77(0.70 - 0.84)	<0.001	-0.264	1
	경도의 간질환	0.80(0.74 - 0.87)	<0.001	-0.221	1
	울혈성심부전	0.80(0.74 - 0.87)	<0.001	-0.218	1
	결합조직질환	0.85(0.76 - 0.94)	0.001	-0.168	1
	말초기관 손상된 당뇨병	1.11(1.00 - 1.23)	0.060	0.101	2
	반신마비	1.19(1.06 - 1.33)	0.003	0.172	2
	전이성 고형암	1.39(1.21 - 1.58)	<0.001	0.327	2
	비전이성 고형암	1.47(1.34 - 1.60)	<0.001	0.382	2
	심근경색	1.08(0.95 - 1.23)	0.237		
	뇌혈관질환	1.01(0.94 - 1.09)	0.814		
	치매	0.95(0.89 - 1.03)	0.217		
	중등도 이상 신장질환	1.10(0.95 - 1.26)	0.210		
	중등도 이상 간질환	1.09(0.81 - 1.47)	0.578		
	후천성면역결핍증후군 (AIDS)				

주 1) 연령, 성, 모든 동반질환을 보정함(표본 수=11,960).



〈부록 그림 1〉 동반질환별 위험비(Hazard ratio)와 신뢰구간

#### 다. Charlson의 동반질환지수와 호흡기질환 동반질환지수(mCCI-IRD) 비교

본 연구에서 개발된 호흡기 질환자에서의 동반질환 가중치 지수인 mCCI-IRD와 Charlson의 가중치 지수를 비교하였다(부록 표 4). 5개 질환은 제외한 총 10개 질환을 비교한 결과 대체적으로 유사한 가중치를 보였다. 그러나 전이성 고형암(Metastatic solid tumor)은 Charlson 동반질환지수에 의하면 6의 가중치를 보인 반면, 본 연구에서는 2의 가중치가 산출되었다. 일부 위중한 질환들, 즉, 심근경색, 뇌혈관질환, 치매, 중등도 이상 신장질환, 그리고 중등도 이상 간질환이 제외되어 비교에 있어 한계점이 있다.

〈부록 표 4〉 Charlson의 동반질환지수와 호흡기 질환  
동반질환지수(mCCI-IRD) 비교

동반질환(Comorbidity)	Charlson 동반질환지수 (가중치)	호흡기 질환 동반질환지수 (가중치)
소화궤양(Ulcer disease)	1	1
말초혈관질환(Peripheral vascular disease)	1	1
합병증 없는 당뇨(Diabetes)	1	1
경도의 간질환(Mild liver disease)	1	1
울혈성심부전(Congestive heart failure)	1	1
결합조직질환(Connective tissue disease)	1	1
말초기관 손상된 당뇨 (Diabetes with end-organ damage)	2	2
반신마비(Hemiplegia)	2	2
전이성고형암(Metastatic solid tumor)	6	2
비전이성 고형암(Any tumor)	2	2

자료: 저자 작성 & Charlson ME et al (1987), *A New Method of Classifying Prognostic Comorbidity in Longitudinal Studies: Development and Validation*, J Chron Dis, 40(5).

#### 라. 호흡기 질환 동반질환지수(mCCI-IRD)의 성능평가

용량반응곡선(ROC)에 의한 c 통계량을 보면, Charlson 동반질환지수는 0.48(신뢰구간, 0.46-0.50), 호흡기 질환 동반질환지수(mCCI-IRD)는 0.53(신뢰구간, 0.51-0.55)으로 호흡기 질환 동반질환지수가 통계적으로 유의하게 높았다. 순 재분류 향상값(cNRI)은 단변량 분석에서 Charlson 동반질환지수에 비해 호흡기 질환 동반질환지수가 약 7%(신뢰구간, 0~14.1)의 향상도를 보였으며 통계적으로 유의했다. 발생군(Event group)과 비발생군(Non-event group) 모두에서 설명력의 향상을 보였다. 그러나 성과 연령을 보정한 다변량 분석에서의 순 재분류 향상값(cNRI)은 통계적으로 유의하지 않았다(부록 표 5 참조).



〈부록 표 5〉 호흡기 질환 동반질환지수(mCCI-IRD)의 성능평가(Model performance)

		C 통계량 (95% 신뢰구간)	유의확률 (p-value)	순재분류향상값 (cNRI(%), 95% 신뢰구간)	유의확률 (p-value)
단변량 분석	Charlson 동반질환지수	0.48 (0.46-0.50)			
	호흡기 질환 동반질환지수	0.53 (0.51-0.55)	0.02	7.0 (0.00-14.1)	0.05
	발생군 (Event group)			3.5 (-2.5-9.4)	0.26
	비발생군 (Non-event group)			3.5 (-0.2-7.3)	0.07
다변량 분석	Charlson 동반질환지수	0.66 (0.64-0.67)			
	호흡기 질환 동반질환지수	0.65 (0.63-0.67)	0.002	-4.6 (-11.4-2.2)	0.19
	발생군 (Event group)			25.8 (20.0-31.6)	<0.001
	비발생군 (Non-event group)			-30.4 (-34.0--26.8)	<0.001

주: 순 재분류 향상값(continuous net reclassification improvement, cNRI); 호흡기 질환 동반질환지수(modified Charlson comorbidity index for incident respiratory patients, mCCI-IRD); 다변량 분석: 성, 연령 보정.

## 참고문헌

- Cerqueira, D. C. et al. 2014. "A predictive model of progression of CKD to ESRD in a predialysis pediatric interdisciplinary program". *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*: CJN, 9(4): 728-735.
- Charlson ME. et al. 1987. "A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: development and validation". *Journal of chronic disease*, 40(5): 373-383.
- Frenkel WJ. et al. 2014. "Validation of the Charlson Comorbidity Index in acutely hospitalized elderly adults: a prospective cohort study". *Journal of the American Geriatrics Society*, 62(2): 342-346.

- Harrell FE Jr., Lee KL, Mark DB. 1996. "Multivariable prognostic models: issues in developing models, evaluating assumptions and adequacy, and measuring and reducing errors". *Statistics in medicine*, 15(4): 361-387.
- Hemmelgarn BR, et al. 2003. "Adapting the Charlson Comorbidity Index for use in patients with ESRD". *American journal of kidney diseases*, 42(1): 125-132.
- Hude Quan et al. 2005. "Coding Algorithms for Defining Comorbidities in ICD-9-CM and ICD-10 Administrative Data", *Medicare*, 43(11).
- Pencina MJ, et al. 2008. "Evaluating the added predictive ability of a new marker: from area under the ROC curve to reclassification and beyond". *Statistics in medicine*, 27(2): 157-172.
- Radovanovic D, et al. 2014. "Validity of Charlson Comorbidity Index in patients hospitalised with acute coronary syndrome. Insights from the nationwide AMIS Plus registry 2002~2012". *Heart*, 100(4): 288-294.
- Shoukri, M. M. and M. A. Chaudhary. 2007. *Analysis of correlated data with SAS and R*, 3rd edn. Chapman & Hall/CRC.
- van Manen JG et al. 2002. "How to adjust for comorbidity in survival studies in ESRD patients: a comparison of different indices". *American journal of kidney diseases*, 40(1): 82-89.
- Wu PH, et al. 2013. "Predicting mortality of incident dialysis patients in Taiwan—a longitudinal population-based study". *PLoS One*, 8(4): e61930.

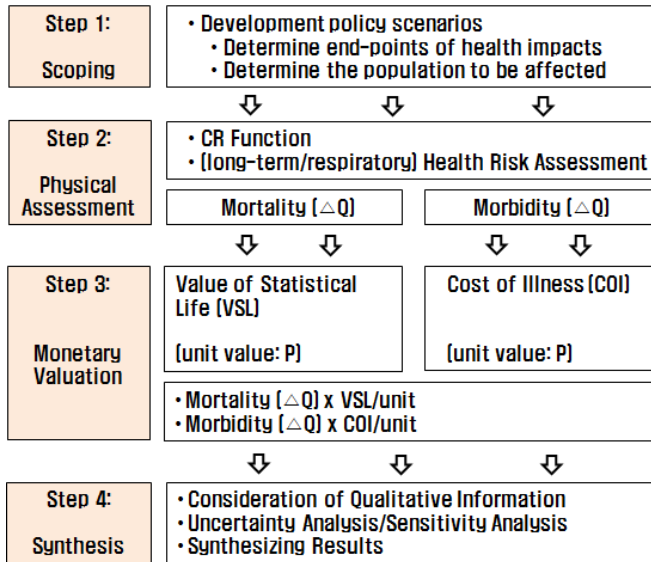
# Abstract

## **Assessment of Human Health Effects of Air-Pollution Using Cohort DB and Estimation of Economic Costs in Korea (I)**

This study aims to assess the long-term effects of air-pollution on human health using cohort DB provided by the National Health Insurance Service and to estimate its economic costs in Korea. The ultimate goal is to construct a policy-evaluation framework based on the results from the assessment of health effects and economic costs.

An integrated policy assessment framework is composed of 4 steps as illustrated in Figure 1. Step 1 is scoping stage where the policy scenarios are developed, which includes determining the end-points of health effects and population to be affected. Step 2 is health risk assessment. Our focus is the long-term effects of exposures to 5 major air pollutants – PM<sub>10</sub>, CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> – on respiratory diseases. The health risks are evaluated by estimating concentration-response (CR) functions. Individual CR functions are estimated depending on air-pollutants, provinces, and age groups. The results of health risks are presented in terms of the changes in mortality and morbidity associated with policy scenarios. Step 3 is monetary valuation of human health effects. Monetary valuation begins with estimating unit-values for health end-points which are mortality and morbidity in our cases. The unit values for mortality and morbidity are estimated with value of statistical life (VSL) and cost of illness (COI), respectively. The total economic costs are calculated, in turn, by multiplying the changes in mortality and morbidity by

corresponding unit values. The final step is synthesis. In this step, uncertainty issues are considered and sensitivity analyses are conducted. In addition, qualitative information which cannot be incorporated in the procedure is specified for further consideration in the assessment.



<Figure 1> Integrated Assessment Framework of the Study

Although the proposed policy-evaluation framework is explained as a step-by-step procedure, working operation of the project is rather parallel and emphasizes the importance of feedbacks between the steps.

Three-year project begins with cleaning and re-constructing cohort DB for the assessment of long-term health effects from exposure to 5 selected air-pollutants. The first-year (2015) preliminary results show that the health risks, measured by new hospital admissions of respiratory diseases using the time-varying survival analysis, are statistically higher in Seoul than nation-wide for all of the 5 pollutants and higher for the age group 15 and younger than the pooled group for CO, NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub>. In addition the health risks, measured by repetitive hospital admissions of respiratory diseases using panel data, are relatively higher for the age group 65 and older than the pooled group for

PM<sub>10</sub>, CO, O<sub>3</sub>, and SO<sub>2</sub>.

The COI for the respiratory diseases are calculated by including direct medical expenditures covered by insurance and individuals, personal out-of-pocket expenses such as transportation costs and costs of employing nursing services, and opportunity costs associated with lost productivity due to the illness. The main data sources are the cohort DB provided by the National Health Insurance Service and the Korea Health Panel Survey. In 2013, the total COI is estimated as 3,766 thousand won per hospital-admission episode of respiratory diseases where direct medical expenditures, personal out-of-pocket expenses, and opportunity costs associated with lost productivity comprise 51.1%, 15.2%, and 33.7%, respectively.

Based on the preliminary results, study is planned to continue in the second year (2016) to refine the assessment of health effects by incorporating demographic and socio-economic variables in estimating CR functions. Estimation of VSL in Korean context using the stated preference method will be added to the economic analysis.

Keywords: Cohort Study, Air pollution, Health Effect, Economic Cost, Integrated Assessment

| 저자 약력 |

**안소은**

미국 노스캐롤라이나 주립대학 박사  
한국환경정책·평가연구원 연구위원(현)  
E-mail : seahn@kei.re.kr

**배현주**

서울대학교 환경보건학 박사  
한국환경정책·평가연구원 연구위원(현)  
E-mail : hjbae@kei.re.kr

**곽소윤**

고려대학교 경제학 박사  
한국환경정책·평가연구원 부연구위원(현)  
E-mail : sykwak@kei.re.kr

**임연희**

서울대학교 보건대학원 보건학 박사  
서울대학교 의과대학 의학연구원 연구부교수(현)  
E-mail: yhl6600@snu.ac.kr

**김명희**

서울대학교 보건대학원 보건학 박사  
울지대학교 보건과학대학 조교수(현)  
E-mail : mhee0327@gmail.com

**김진산**

고려대학교 경제학 석사  
한국환경정책·평가연구원 연구원(현)  
E-mail : kimjinsan21@hanmail.net