

## 지역주민 환경오염 노출수준 및 생체지표 모니터링 방법에 대한 연구 -울산지역을 중심으로-

이종태<sup>†</sup> · 조용성 · 손지영 · 이정원 · 이승준 · 정영희\* · 김대선\* · 유승도\* · 안승철\*

한양대학교 일반대학원 보건학과, \*국립환경과학원 환경건강연구부

(2008. 6. 9. 접수/2008. 6. 12. 수정/2008. 6. 19. 채택)

## A Study of Monitoring Method on Exposure Level and Biomarkers of Environmental Pollutants -Focused on Ulsan Industrial Complex Area-

Jong-Tae Lee<sup>†</sup> · Yong-Sung Cho · Ji-Young Son · Joung-Won Lee · Seung-Jun Lee ·  
Young-Hee Chung\* · Dae-Seon Kim\* · Seung-Do Yu\* · Seungchul Ahn\*

Department of Public Health, Hanyang University

\*Environmental Health Research Department, National Institute of Environmental Research

(Received June 9, 2008/Revised June 12, 2008/Accepted June 19, 2008)

### ABSTRACT

Since 2003, the National Institute of Environmental Research (NIER) of Korea has been conducting "The monitoring study on exposure level and biomarkers of environmental pollutants" in the Ulsan industrial complex with the goals to establish a surveillance system for residents, to evaluate the health effects associated with chronic exposure to environmental pollutants and to develop the environmental health indicators in Ulsan industrial complex. This program consists of three phases an initial or foundation phase in which the program is developed, made operational and extended to the community, followed by an evaluation and accountability assessment of the surveillance system and finally an improvement in the quality of life and the maintenance of good health for Ulsan residents. In the period 2003 to 2008, the study program developed the surveillance system which will be used for the full-length survey. All participants in this study were contacted at a presentation meeting for residents, introduced to the objectives and protocols of the survey, and asked to participate. Informed consent was obtained from each participant. The study is now underway and includes questionnaires, health examinations and the analysis/collection/banking of bio-sample such as blood and urine. To date 828 subjects have participated and already 588 subjects have been followed up. We are committed to complete health examinations and to arrange storage of biosample for all participants. During the current year, we will analyze metals (Pb in blood and Cd, inorganic As and Hg in urine) in 1,972 samples and VOCs (11 species) and PAHs (18 species) in 300 samples (blood sample). Moreover, the summary of the first step and the further preparation of the second step are currently underway. In this article, we introduce the study and its protocols and the distribution and size of the study participants. In conclusion, this survey will be continuously conducted on the established cohort and will enable the identification of relationship between environmental pollutant exposures and the health status of residents in Ulsan industrial complex.

**Keywords:** Ulsan industrial complex, monitoring, surveillance system, questionnaire, health examination, biosample

### I. 서 론

환경오염으로 인한 건강피해의 규모를 추정하는 것

은 크게 단기노출과 장기노출로 인한 영향을 모두 고려하여야 하는데, 그 동안 우리나라에서 이루어진 환경보건 연구가 예산 등의 이유로 단기간(3년 이내) 연구사업으로 진행된 까닭에 환경오염의 장기노출로 인한 건강피해 규모를 파악할 수 없었다.<sup>1,2)</sup> 단기노출로 인한 건강피해는 특정 환경오염물질이 우리 국민에게 영향을 주는 전체 건강피해의 일부분일 수밖에 없으

<sup>†</sup>Corresponding author : Department of Public Health, Graduate School of Hanyang University, Hanyang University  
Tel: 82-2-2220-0248, Fax: 82-2-2298-0248  
E-mail : jlee@hanyang.ac.kr

며, 국가차원의 환경관리안 수립을 위해서는 환경오염의 장·단기 노출 피해를 모두 고려하여야 할 필요가 대두되었다.

외국의 경우, 환경오염의 만성영향을 평가하기 위한 대표적인 코호트 연구로는 미국 하버드 대학의 연구팀이 미국 내 6대 도시를 대상으로 수행한 연구를 들 수 있는데, 이 연구는 "Six-cities study"라고도 많이 알려져 있다. 이 연구에서는 미국의 6개 도시에 거주하고 있는 주민 8,111명을 14~16년간 관찰하여, 나이, 성별, 흡연력 등 개인적 위험인자를 통제한 상태에서 대기오염과 사망간의 관계를 분석하였다. 이 연구에서는 대기먼지 오염이 높은 도시일수록 사망률이 높게 나타났으며 오염이 가장 심했던 도시는 오염이 가장 낮았던 도시에 비해 사망 위험이 26% 증가하는 것으로 나타났다. 사망원인 중에는 특히 폐암과 심폐질환이 미세먼진과 관련성이 높게 나타났다.<sup>3)</sup> 이 연구의 반향은 매우 커서 그 이후에 수행된 많은 연구들이 미세먼지에 초점을 맞추어 이루어졌고, 미국의 환경보호청에서 1997년 대기환경 기준을 강화시키는 계기가 되는 등 정책 입안에 결정적인 기여를 하였다. 두 번째 코호트 연구는 미국 암학회 암 예방프로그램에 등록된 55만명을 1982년부터 1989년까지 추적 조사하여 대기오염과의 관련성을 조사(ACS study)하였다. 이 연구 역시 나이, 성별, 인종, 흡연력 등 사망에 영향을 미칠 수 있는 인자를 통제하였다. 이 연구에서는 가장 오염이 심한 도시가 오염이 적은 도시에 비해 사망률이 17% 증가하는 것으로 나타났으며, 6대도시 연구에 비하면 위험이 낮게 나타났으나 여전히 통계적으로 유의한 수치인 것으로 조사되었다.<sup>4)</sup> 세 번째 코호트 연구는 캘리포니아에 거주하고 있는 6,000 여명의 예수재림과 신자들을 대상으로 수행된 연구이다. 연구대상은 모두 성인이었고 종교적 이유로 전혀 흡연을 하지 않는 사람들이었다. 남성의 전체 사망, 호흡기계 사망, 폐암으로 인한 사망은 PM<sub>10</sub> 노출과 관련이 있는 것으로 나타났다.<sup>5)</sup> 위의 세 연구의 결과들은 서로 다른 사람들을 대상으로 서로 다른 기간에 걸쳐 조사한 것으로 연구마다 약간의 차이가 있지만 전체적으로 볼 때 환경오염이 심한 지역에 오랫동안 살면 사망할 위험이 커진다는 것을 보여준 결과라 할 수 있다. 이 밖에 추적조사는 아니지만 전 국민 단위의 환경 및 생체 노출수준을 조사한 독일의 GerES(Germany Environmental Survey), 미국의 NHANES(National Health and Nutrition Examination Survey), 유럽의 EXPOLIS(Air Pollution Exposure Distributions of Adult Urban Populations in Europe) 연구 등이 있다.<sup>6-8)</sup>

한편, 우리나라에서는 공단지역을 중심으로 환경오염에 의한 건강피해 여부에 대한 논란이 계속되고 있는 상황임에도, 아직 공기, 물, 토양 등 매질별 오염도의 모니터링에 그치고 있을 뿐, 환경오염의 수용체인 사람을 중심으로 환경오염 노출에 따른 건강영향을 평가하기 위한 모니터링 사업이 수행되지 못하고 있었다. 따라서 수용체 중심의 조사결과에 기초한 환경오염 관리 대책을 수립하고, 공단지역 주민의 환경오염에 의한 건강피해를 예방하기 위해서는 환경 오염에 의한 건강피해가 우려되는 주요 공단지역의 주민을 대상으로 유해 환경오염물질의 노출상태와 건강영향을 지속적, 체계적으로 감시, 평가할 수 있는 기반을 구축할 필요성이 제기되었다. 이러한 필요성에 의해 지난 2003년부터 우리나라 환경부 국립환경과학원에서는 환경오염의 수용체적 관점에서의 관리안 도출을 위하여 지역주민의 환경오염 노출수준에 따른 건강영향의 타당한 크기를 추정하기 위한 장기 연구사업을 추진하게 되었다. 이 연구사업은 20년간의 장기 추적조사를 목적으로 울산지역 주민을 시작으로 시화·반월, 광양, 포항 등 공단지역 거주자를 대상으로 코호트를 구축하여 건강검진, 생체시료분석, 환경오염도 조사 등을 통하여 건강영향 감시 및 생체지표 모니터링을 실시해 오고 있으며, 장기 사업 수행을 원활히 하기 위한 지속적인 기반구축이 이루어지고 있다.<sup>9-12)</sup>

이들 공단지역 중 본 연구의 대상지역인 울산공단지역은 우리나라 경제개발의 상징적 도시로서 1960년대부터 정부 주도로 추진된 중화학공업 육성정책에 따라 조성되어 석유화학, 비철금속, 조선, 자동차 등 다양한 오염물질을 대량으로 배출하는 대형공장이 밀집되어 있고, 주거지역이 인접하여 있기 때문에 해륙풍을 따라서 공단에서 배출된 환경오염물질이 주거지역으로 이동하여 고농도를 발생함으로써 그동안 많은 민원이 끊이지 않고 제기되어 오고 있는 지역이다. 그 동안 국가에서는 이러한 울산지역의 환경오염 문제를 해결하고자 울산산단을 환경정책기본법에 의해 특별대책지역으로 지정하는 등 많은 노력을 기울여 왔음에도 불구하고 지역주민들은 환경오염에 의한 건강영향을 여전히 호소하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내 대표적인 공단지역인 울산지역을 대상으로 지역 환경오염에 의한 지역주민의 건강피해가 우려되는 다양한 환경오염물질의 노출상태를 지속적으로 모니터링함과 동시에 지역주민의 건강상태를 확인함으로써 환경보건학적 측면에서의 과학적이고 타당성이 확보되는 근거자료를 제시함을 목표로 사업이 진행되고 있으며, 본 고에서는 전체 20년 장기사업 중 기반구축 단계인 1단계 사업에

대한 연구설계 및 현재까지의 진행사항을 소개하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구설계

본 연구사업은 20년간의 장기추적조사를 위하여 3단계로 구성되었으며, 1단계 감시체계 기반구축 단계가 종료되고 향후 2단계(감시체계 운용 및 확대) 및 3단계(감시체계 평가 및 효과) 사업이 진행됨에 따라 도출될 수 있는 장기적 목적하에 설계되었다(Fig. 1). 본 연구의 최종목적은 국내 대표적인 공업지역인 울산지역을 대상으로 지역 환경오염에 의한 지역주민의 건강피해가 우려되는 다양한 환경오염물질의 노출상태를 지속적으로 모니터링함과 동시에 지역주민의 건강상태를 확인함으로써 환경보건학적 측면에서의 과학적이고 타당성이 확보되는 근거자료를 제시함을 목표로 하고 있다. 이렇게 제시된 과학적 결과는 향후 국가 정책에 적극 활용될 수 있으며, 이러한 일련의 결과로서 궁극적으로는 울산지역 주민의 삶의 질 향상에 이바지함을 목적으로 하였다. 따라서 이러한 목적을 달성하기 위하여

울산지역의 주민을 대상으로 유해환경오염물질의 노출상태와 건강영향을 지속적·체계적으로 감시·평가하고 구축된 코호트와 신규코호트를 대상으로 추적조사를 통한 환경오염 노출현황 및 건강수준을 파악하며 최종적으로는 환경오염 노출 장기 모니터링과 인체영향의 상관성 규명을 위한 통합자료 틀을 구축하고 상관성 분석 결과를 제시함을 목적으로 설계되었다.

### 2. 연구추진체계

본 연구사업은 크게 건강영향조사팀, 생체지표분석팀, 그리고 D/B 구축 및 통합관리팀으로 구성되었으며, 전체적인 연구추진체계는 다음과 같다(Fig. 2). 주관기관인 한양대학교 보건학과는 본 연구사업을 총괄 기획하며, 구체적으로는 건강영향조사팀과 D/B 구축 및 통합관리팀의 역할을 담당한다. 건강영향조사팀으로서의 역할은 주민 코호트를 구축·운영·확대하며, 기존 감시체계와의 연계성 확보 및 관리를 담당한다. 또한 감시 코호트 운용 시 수집될 정보의 내용과 수준을 검토하고 코호트 조사 매뉴얼을 작성·관리한다. D/B 구축 및 통합관리팀으로서의 역할은 모든 자료에 대한 통계적 처리 및 D/B 관리를 주업무로 수행하고 있다. 또

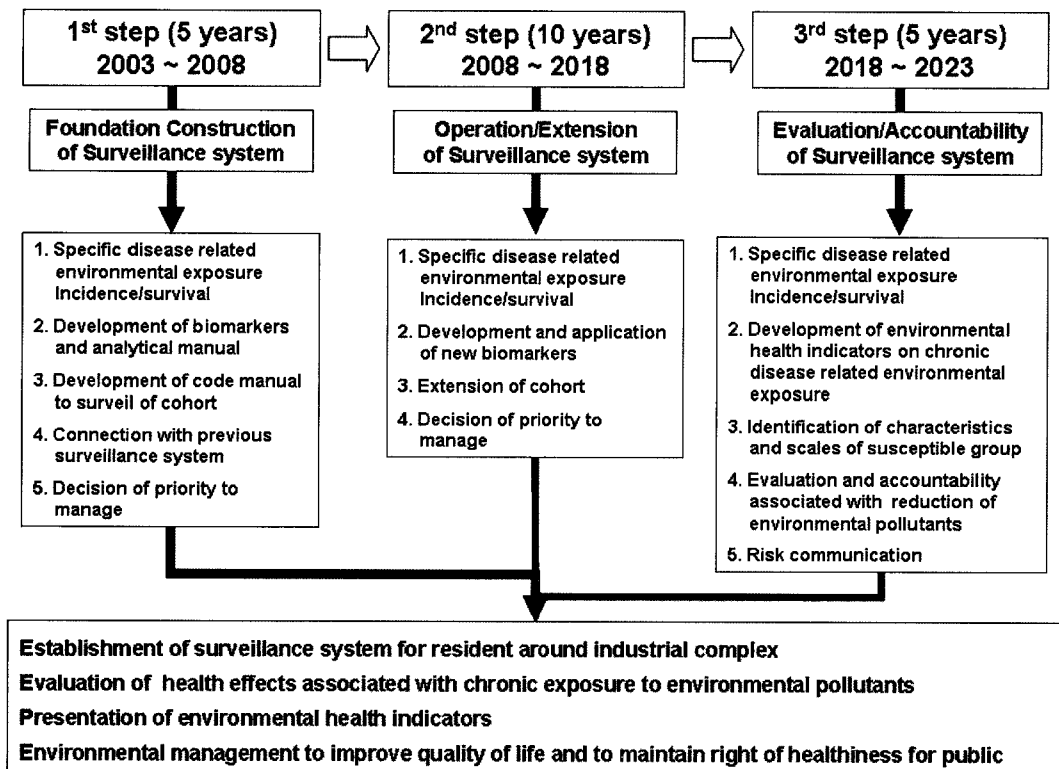


Fig. 1. The expected results by study step and final goals during 2003 to 2023.

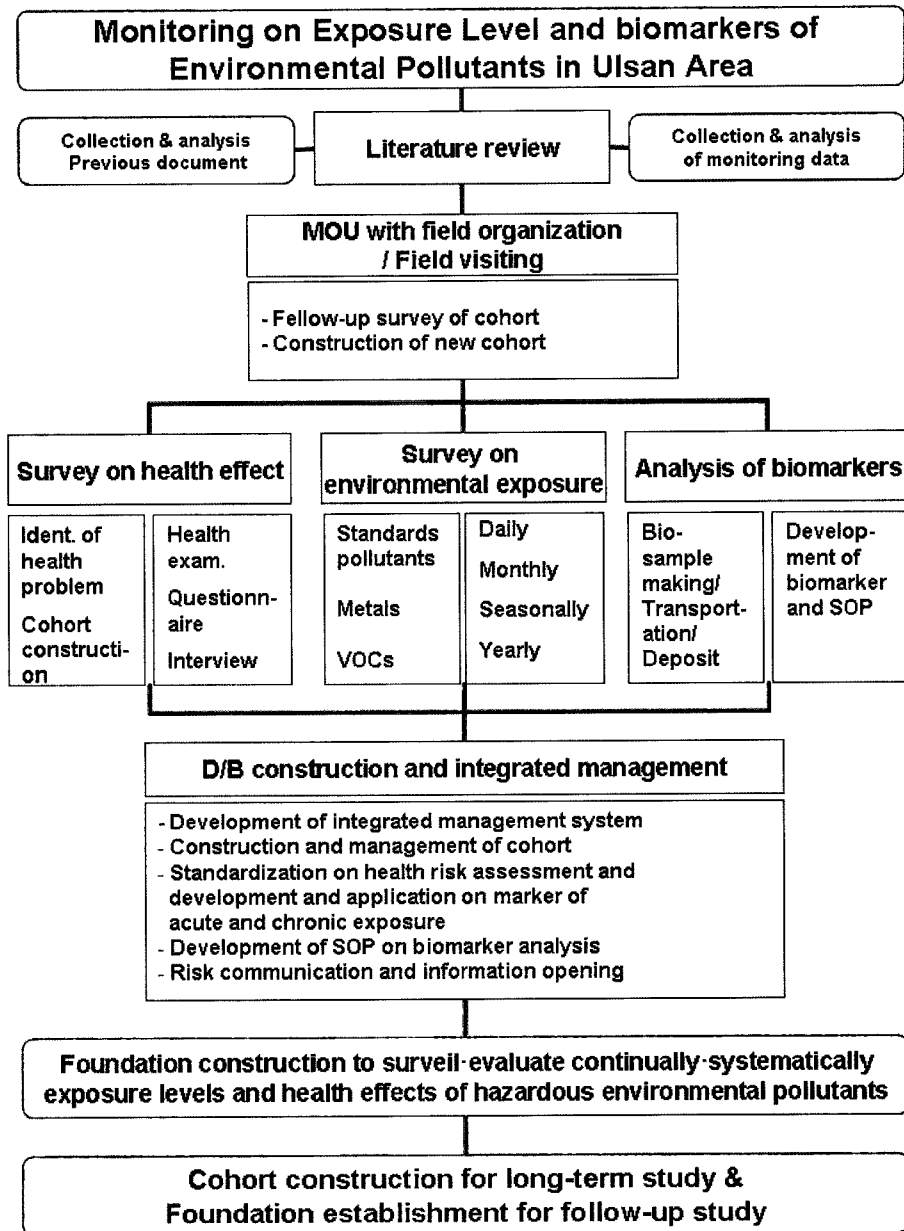


Fig. 2. The drive forward system of this study.

한 기존 감시체계에서 운영되는 자료를 분석하고 본 연구결과와 연계할 수 있는 방안을 검토·분석한다. 위탁연구기관인 한국과학기술연구원은 생체시료 분석 및 환경유해오염물질을 분석하는 업무를 맡고 있으며, 구체적으로 오염노출평가팀으로서의 역할로는 한양대학교에서 측정된 개인노출평가 시료를 분석하고, 특정 오염물질에 대해서는 시·공간적 변이성을 파악함과 동시에 환경시료에 대한 노출평가 기법을 표준화하는 역

할을 담당하고 있다. 또한, 가장 주도적인 역할을 하고 있는 생체지표분석팀에서는 장·단기 노출지표를 발굴하고 그 지표를 활용하는 방안을 제시하며, 소변 및 혈액 등 울산 주민 생체시료에 대한 분석 표준 매뉴얼을 작성함과 동시에 생체시료 분석에 관한 인증기관화를 위한 노력을 수행한다. 마지막으로 울산대학교 의과대학 및 울산광역시 건강관리협회는 본 연구사업에서 수행되는 모든 건강검진을 수행하여 그 결과를 활용하는

업무를 수행하고 있다. 건강영향조사팀에서는 주민 코호트 구축을 위한 업무를 한양대학교와 연계하여 수행하며, 건강검진 결과에서 도출된 결과를 토대로 건강지표를 개발하는 역할을 수행한다. 또한 작성된 코호트 조사 매뉴얼을 지속적으로 관리하고 수정하는 역할을 수행한다.

**3. 연구대상지역 선정방법**

본 사업의 대상지역은 안정적인 코호트 참여 주민 확보를 기본으로 하여 향후 지속적인 추적 관찰에 참여할 점진 기관과 코호트 간의 접근성 및 환경오염도 평가 지역과의 일치 상황을 고려하여 선정하였다. 이 때 중요한 고려 사항은 주민참여가 지속적이고 꾸준히 이루어져야 하기 때문에 지역 주민의 참여의식 수준과 지역사회가 갖추고 있는 기반들, 즉 환경측정 및 분석 수준, 병의원 시설, 지방자치 단체가 갖고 있는 환경의식 수준 등이 매우 중요하게 된다.

울산광역시 지역 중 20년간 장기적이고 지속적인 코호트 확보를 위해 코호트의 관리 접근성이 용이하면서 지역의 특색을 대표할 수 있는 지역으로 석유화학단지 주변 지역(4 km 반경)을 중심으로 남구와 울주군을 노출지역으로 구분하였고, 동구, 북구 및 중구 지역을 비

교지역으로 선정하도록 하였다(Fig. 3). 차후 2단계에서는 이들을 더욱 세분화하여 노출지역 및 비교지역 거주자로 구분할 예정이다.

이러한 대상지역에 대한 구분은 석유화학단지를 주요오염생원으로 고려하여 이루어진 것이지만 현재 도시 대기오염 수준과 자동차를 비롯한 발생원 특성을 고려할 때 적절하지 않은 구분일 수도 있다. 이에 대한 본 연구에서의 대안은 참여 연구자들에 대한 지속적인 환경오염 노출 수준을 모니터링 함으로써 개별 참여자에 대한 경시적 정보를 확보하여 개인 내 비교(within-personal comparison)가 가능하도록 한 것이다.

**4. 연구대상자 선정 및 추적조사 방법**

환경오염 물질에 대한 장·단기 노출 영향을 정확하게 평가하기 위해서는 장기간의 추적조사를 필요로 하는 코호트 연구를 수행하는 것과 환경오염 노출로 인한 급·만성 건강영향 평가를 위한 시스템 구축이 중요하다. 또한 환경오염 정도가 서로 다른 연구대상 지역을 선정한 후에 해당 지역 주민들을 대상으로 사망 및 상병에 영향을 미칠 수 있는 나이, 성별, 흡연을 등 다양한 특성을 미리 조사하고 몇 년 또는 십년에 걸쳐 사망 및 상병 양상을 추적 조사하여 사전에 조사한 여

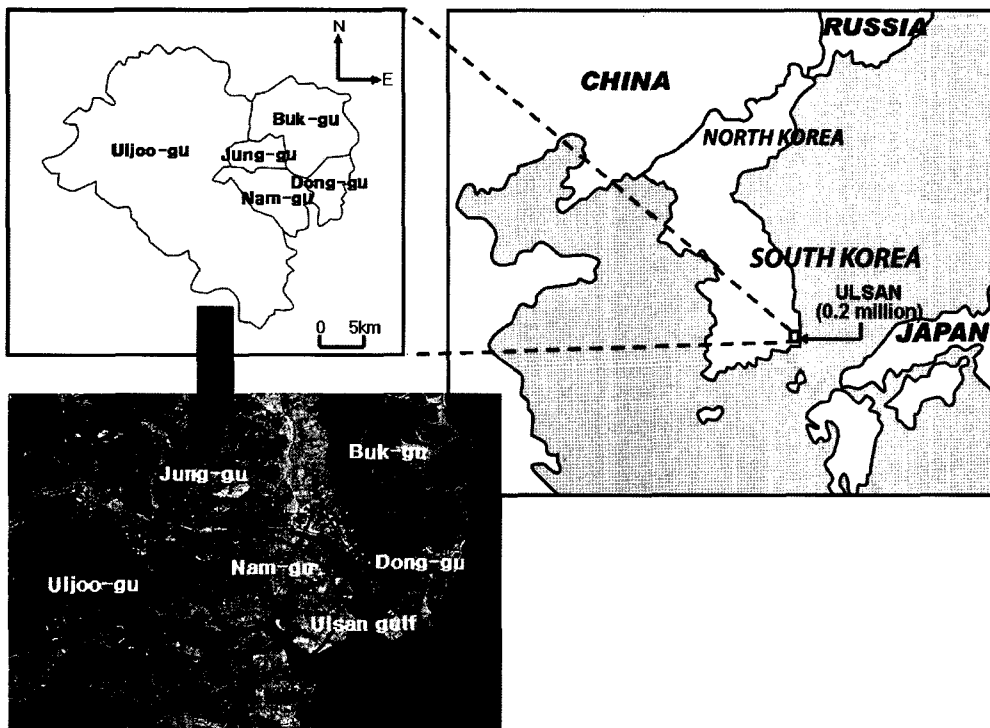


Fig. 3. Location of study area in Ulsan industrial complex.

러 가지 특성을 통제한 상태에서 지역 간 사망률·상병률을 비교함으로써 환경오염이 사망에 미치는 영향을 평가하게 되는 것이다. 따라서 지역 특성을 고려한 코호트 기반 수렵이 매우 중요하다.

이에 본 연구에서는 적정 코호트 수와 대상지역을 선정 후 선정된 지역의 주민을 대상으로 각 차년도 사업수행시점에서 울산광역시 각 동사무소 및 면사무소에서 주민 설명회를 개최하였다. 주민 설명회를 통해 참여 의사를 밝힌 주민에 대해서는 개별 전화면접을 통해 본 사업의 취지와 참여자의 역할 등에 대한 설명을 하였으며, 최종적인 동의와 함께 검진 일정을 확정하였다. 또한 추적조사의 경우 임의로 채용한 추적관리자로 하여금 개별 전화를 통해 추적조사의 동의여부를 확인 하였으며, 동의한 추적자들에게 대해서는 검진 일정을 확정하였다. 한편, 구축된 신규 및 추적 코호트에 대한 건강 수준과 환경오염 노출평가를 위한 지속적이고 정기적인 추적관찰 및 장기 코호트 운영을 위한 코드 매뉴얼 작성하였다.

### 5. 설문조사 방법

설문조사는 연구참여자들의 시간상의 제약점으로 인하여 건강검진 당일에 연구참여자에게 반송봉투가 함께 동봉된 설문지를 전달하여 1주일내로 반송하도록 하

**Table 1.** Contents of questionnaire investigated in this study

Contents	Number of question
	87
Title of questionnaire	0
Description of registration method for questionnaire	0
Subject characteristics	10
Demographic characteristics : Height, weight, education level and so on.	7
Life habit : Smoking, drinking, exercise and so on.	9
History of disease and medication	4
Status of environmental exposure : Residential environment	12
Status of environmental exposure : Atmospheric environment	5
Status of environmental exposure : Occupational environment	5
Intake habit	7
Time-activity pattern	12
History of women : Pregnancy, delivery, menstruation and so on.	11
Simple questionnaire at current day : Smoking, drinking, intake and so on.	5

는 방법과 직접 면접을 통해 당일 바로 완성하는 방법을 병행하였다. 직접 면접을 통해 작성시에는 약 20분 정도 소요되었다. 설문지는 국립환경과학원에서 ‘환경보건자료 통합관리 시스템 개발’ 사업에서 도출한 표준화된 설문지(Table 1)를 이용하였다.

### 6. 건강검진 방법

건강검진은 본 연구사업에 참여하기를 동의한 추적자 및 주민설명회를 통해 본 사업에 참여하겠다고 신청한 신규 참여자를 대상으로 수행되었으며, 모든 검진 참여자들에 대해서는 본 연구의 목적 및 참여자가 희망할 경우에는 그만둘 수 있다는 내용의 동의서를 받았으며 생체시료 채취 및 보관에 관한 동의도 함께 받았다. 검진은 울산대학병원이 주체가 되어 수행되었으며, 2007년 8월 이후에는 울산대학병원의 검진예약관계로 울산광역시 건강관리협회에 의해 수행되었다.

검사항목은 20세 미만과 이상으로 구분하여 항목을 달리하여 수행하였다. 건강검진 일반항목의 경우에는 신장, 체중, 시력, 청력, 혈압을 측정하였으며, 추가항목에서는 혈액검사(혈색소, 적혈구 수, 백혈구 수, 적혈구 용적치), 소변검사, 간염항원, 흉부방사선촬영, 심전도 검사를 수행하였다. 특히, 20세 이상의 경우에는 연령에 따른 질환 양태를 관찰하기 위하여 콜레스테롤, 중성지방, 알파피토프로테인, 간기능검사, 폐기능검사를 추가로 실시하였다. 검사항목 중 대기오염과 가장 관련이 높은 폐기능을 관찰하기 위하여 폐기능의 지표로 가장 널리 사용되는 노력성 폐활량(FVC), 1초간 노력성 폐활량(FEV1)을 측정하였다(Table 2).

### 7. 생체시료 분석 방법

모든 연구참여자들에게 대해서는 건강검진 시 향후 장기적인 환경오염으로 인한 건강영향을 평가하고 개인별 특이 질환 발생 시 개인의 환경오염노출수준을 평가하기 위하여 장기간의 보관 목적으로 생체시료(혈액 및 요)를 채취하였다. 혈액시료는 총 20 ml를 채취하여 건강검진 분석용으로 5 ml를 사용하였고, 나머지 시료 중 2 ml tube(heparin tube) 3 set은 국립환경과학원 보관용으로 송부하였고 1 ml tube(heparin tube) 6 set은 생체시료내 환경오염물질 분석용으로 생체시료 분석팀(한국과학기술연구원)으로 보내어 분석하였다. 요 시료는 50~100 ml를 채취하여 건강검진 분석용으로 10 ml를 사용하였고, 나머지 시료 중 15 ml tube (conical tube) 3 set을 생체시료 분석팀(한국과학기술연구원)으로 보내어 분석하도록 하고 이 중 15 ml tube 2 set을 다시 국립환경과학원으로 보내어 보관하도록 하였다.

**Table 2.** Contents of health examination investigated in this study

Classification by age	Contents of health examination
Under 20 years old	Height, weight, visual power, blood pressure, blood test(hemoglobin, red blood cell count, white blood cell count, hematocrit, blood urea nitrogen, mean corpuscular volume, mean corpuscular hemoglobin, mean corpuscular hemoglobin concentration, percentage of white blood cell, and platelets), urine test(urine glucose, urine protein, urine pH, urine occult blood), and test of liver function(AST, ALT, <i>r</i> -GTP), hepatitis antigen, and X-ray scanning
More than 20 years old	Height, weight, visual power, blood pressure, waist circumference, blood test(hemoglobin, red blood cell count, white blood cell count, hematocrit, blood urea nitrogen, mean corpuscular volume, mean corpuscular hemoglobin, mean corpuscular hemoglobin concentration, percentage of white blood cell, and platelets), urine test(urine glucose, urine protein, urine pH, urine occult blood), and test of liver function(AST, ALT, <i>r</i> -GTP), hepatitis antigen, X-ray scanning, uric acid, body fat, electrocardiogram, cholesterol, triglyceride, HDL-cholesterol, emptying blood glucose, and pulmonary function(FVC, FEV <sub>1</sub> , FEV <sub>1</sub> /FVC %)

이러한 생체시료의 보관은 앞서 제시한 바와 같이 향후 코호트의 환경노출수준을 평가하고 추적관찰 하는데 있어서 용이성을 확보할 것이다. 구체적인 분석방법은 다음과 같다.

#### 1) 중금속

전 처리된 시료용액으로부터 납(Pb)과 카드뮴(Cd)을 분석하기 위해 사용된 AAS는 Varian사의 SpectrAA-800이며, 무기비소(As)는 Perkinelmer사의 Analyst 800을 사용하였다. 수은(Hg) 분석은 DMA는 Milestone사의 DMA-80을 사용하였다.

#### 2) 휘발성 유기화합물

Headspace 법의 최적 추출조건을 확립하였으며 GC/MS/SIM법을 사용하여 분석하였으며, 분석 대상물질로는 vinyl chloride, 1,3-butadiene, chloroform, benzene, trichloroethylene, toluene, tetrachloroethylene, ethylbenzene, *o*/m/*p*-xylene 총 11종을 분석하였다.

#### 3) 비휘발성 유기화합물

Headspace를 이용한 고체상미량추출법(SPME; solid-phase micro extraction)과 GC/MSD(gas chromatography/mass selective detector) 방법을 사용하였으며, 분석 대상물질로는 다환방향족 탄화수소류 18종과 피시비류 4종 등 총 22종이다. 각 조사대상물질은 다음과 같다.

#### 다환방향족 탄화수소류(PAHs) : (18종)

Naphthalene, Pyrene, Benzo(a)pyrene  
Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene  
Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene,  
Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b)fluoranthene  
Benzo(k)fluoranthene, Benzo(e)pyrene, Perylene  
Indeno(1,2,3-cd)pyrene, Dibenz(a,h)anthracene, Benzo

(g,h,i)perylene

피시비류(PCBs) : (4종)

PCB-118 (2,3',4,4',5-Pentachlorobiphenyl)  
PCB-138 (2,2',3,4,4',5'-hexachlorobiphenyl)  
PCB-153 (2,2',4,4',5,5'-hexachlorobiphenyl)  
PCB-180 (2,2',3,4,4',5,5'-heptachlorobiphenyl)

### III. 연구결과 및 고찰

Table 3은 지난 2003년부터 2008년 현재까지 울산광역시 지역주민을 대상으로 진행되고 있는 연구참여자와 현황과 각 연구참여자들에게서 수집된 생체시료(혈액 및 요 시료)에 대한 현황 및 현재 분석되었거나 분석되고 있는 생체시료 중 유해물질(중금속, VOCs, PAHs, PCBs) 분석 현황을 나타낸 것이다. 1차년도부터 4차년도까지는 매년 신규 연구참여자와 추적자를 운영·관리하였으며 최종적으로 현재 3,828명의 연구참여자를 확보하였으며, 이 중 혈액 시료의 경우 1,000명(26.1%)의 시료에 대해 분석이 완료되었으며, 요 시료의 경우에는 500명(13.1%)이 분석완료된 상태이다. 또한 5차년도에는 추가적인 연구참여자와 확보 대신에 지난 1차년도~4차년도 사업까지에서 분석되지 못한 생체시료내 유해물질을 분석하고 있으며, 5차년도 사업이 완료되면 혈액 및 요 시료 중 유해물질 분석이 각각 2,972명(77.6%) 및 2,472명(64.6%)이 분석완료될 것이다. 한편, 생체시료 중 유해물질 분석항목은 매년 당해연도 상황 및 주민요구에 따라 국립환경과학원과 협의하에 일부 변경되었다.

Table 4는 지난 4년간 2회에 걸쳐 연구참여자에게 대한 추적조사 결과에 대한 연령별·성별·지역별 현황을 나타낸 것이다. 1차년도 연구참여자가 992명에 대해 3차년도에 추적조사한 결과 353명이 추적되어 35.3%의 추적율을 나타내었으며, 2차년도 연구참여자가

**Table 3.** The characteristics of participants and analyzed sample by year order during 2003 to 2008

Order by year	Number of participant	Number of analyzed sample		Number of analyzed sample by year order and contents of biosample								
				Metals		VOCs		PAHs		PCBs		
		Blood	Urine	Blood	Urine	Blood	Urine	Blood	Urine	Blood	Urine	
1 <sup>st</sup>	992	50	50	50(1 <sup>st</sup> ) 500(2 <sup>nd</sup> )	50(1 <sup>st</sup> )	50(1 <sup>st</sup> ) 500(2 <sup>nd</sup> )	50(1 <sup>st</sup> )	50(1 <sup>st</sup> ) 500(2 <sup>nd</sup> )	50(1 <sup>st</sup> )	50(1 <sup>st</sup> ) 500(2 <sup>nd</sup> )	50(1 <sup>st</sup> )	50(1 <sup>st</sup> )
2 <sup>nd</sup>	564	500	-	150(3 <sup>rd</sup> )	150(3 <sup>rd</sup> )	150(3 <sup>rd</sup> )	150(3 <sup>rd</sup> )	150(3 <sup>rd</sup> )	150(3 <sup>rd</sup> )	150(3 <sup>rd</sup> )	150(3 <sup>rd</sup> )	150(3 <sup>rd</sup> )
3 <sup>rd</sup>	1,270	150	150	150(4 <sup>th</sup> ) 1,120(5 <sup>th</sup> )	150(4 <sup>th</sup> ) 1,120(5 <sup>th</sup> )	150(4 <sup>th</sup> ) 150(5 <sup>th</sup> )	-	150(4 <sup>th</sup> ) 150(5 <sup>th</sup> )	-	150(4 <sup>th</sup> ) -	150(4 <sup>th</sup> )	-
4 <sup>st</sup>	1,002	300	300	150(4 <sup>th</sup> ) 852(5 <sup>th</sup> )	150(4 <sup>th</sup> ) 852(5 <sup>th</sup> )	150(4 <sup>th</sup> ) 150(5 <sup>th</sup> )	-	150(4 <sup>th</sup> ) 150(5 <sup>th</sup> )	-	150(4 <sup>th</sup> ) -	150(4 <sup>th</sup> )	-
5 <sup>st</sup> (on going)	-	1,972	1,972	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	3,828	2,972	2,472	2,972	2,472	1,300	200	1,300	200	1,000	200	

In 1<sup>st</sup> year survey, Pb, Hg, Cr, As, Cd, VOCs(12 species), PAHs(2 species), and PCBs(12 species) in blood sample and Pb, Hg, Cr, As, Cd, VOCs(12 species), PAHs(2 species), and PCBs(12 species) in urine sample were analyzed. In 2<sup>nd</sup> year survey, Pb, Hg, Cr, As, Cd, VOCs(8 species), PAHs(2 species), and PCBs(12 species) in blood sample were analyzed. In 3<sup>rd</sup> year survey, Pb, Hg, Cr, inorganic As, Cd, VOCs(10 species), PAHs(2 species), and PCBs(12 species) in blood sample and Pb, Hg, Cr, inorganic As, Cd, VOCs(10 species), PAHs(2 species), and PCBs(12 species) in urine sample were analyzed. In 4<sup>st</sup> year survey, Pb, Hg, VOCs(11 species), PAHs(18 species), and PCBs(4 species) in blood sample and Cd, inorganic As, and Hg in urine sample were analyzed. In 5<sup>st</sup> year survey, Pb, VOCs(11 species), and PAHs(18 species) in blood sample and Cd, inorganic As, Hg, and cotinine in urine sample will be analyzed.

**Table 4.** The status of participants who was follow-up by age categories during first year and second year

Age(year)	Number of follow-up subjects in 3 <sup>rd</sup> year for 1 <sup>st</sup> year participants			Number of follow-up subjects in 4 <sup>th</sup> year for 2 <sup>st</sup> year participants			Number of total follow-up subjects		
	Male	Female	Total	Male	Female	Total	Male	Female	Total
	Exposure / Compare	Exposure / Compare		Exposure / Compare	Exposure / Compare		Exposure / Compare	Exposure / Compare	
Less than 10	0 / 1	2 / 1	2 / 2	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 1	2 / 1	2 / 2
10~19	50 / 20	38 / 21	88 / 41	41 / 41	43 / 27	84 / 68	91 / 61	81 / 48	172 / 109
20~29	3 / 3	7 / 5	10 / 7	1 / 0	1 / 0	2 / 0	4 / 2	8 / 5	12 / 7
30~39	5 / 2	26 / 11	31 / 13	3 / 1	4 / 0	7 / 1	8 / 3	30 / 11	38 / 14
40~49	11 / 3	45 / 22	56 / 25	1 / 0	8 / 8	9 / 8	12 / 3	53 / 30	65 / 33
50~59	10 / 2	23 / 18	33 / 20	2 / 0	12 / 0	14 / 0	12 / 2	35 / 18	47 / 20
60~69	5 / 3	3 / 4	8 / 7	8 / 1	20 / 0	28 / 1	13 / 4	23 / 4	36 / 8
More than 70	3 / 0	4 / 3	7 / 3	7 / 0	6 / 0	13 / 0	10 / 0	10 / 3	20 / 3
Sub total	87 / 33	148 / 85	235 / 118	63 / 43	94 / 35	157 / 78	150 / 76	242 / 120	392 / 196
Total (Follow-up rate)	120	233	353 (35.6%)	106	129	235 (41.7%)	226	362	588 (37.8%)

564명에 대해 4차년도에 추적조사한 결과 235명이 추적되어 41.7%의 추적율을 나타내어 다소 증가한 추적율을 나타내었다. 최종적으로 1,556명의 연구참여자 중 588명이 추적되어 37.8%의 추적율을 나타내었다. 전체 추적조사결과에서 남자는 582명 중 226명(38.8%), 여자는 974명 중 362명(37.2%)으로 나타나 남녀 성분비율에 따른 추적율은 비슷하게 나타났다. 한편 노출지역과 비교지역으로 구분하여 추

적율을 비교하면 공단은 1,019명 중 392명으로 38.5%를 나타낸 반면, 비교지역은 537명 중 196명으로 36.57%를 나타내어공단지역이 좀더 높은 추적율을 나타내었다. 연령별로는 초·중·고등학교에 재학중인 학생층에서 가장 높은 추적율을 나타내었다. 한편, 본 연구사업에서 가장 핵심적이며 중요한 요소인 코호트 추적율이 비교적 낮게 나타나 향후 이에 대한 구체적이고 적극적인 대안 마련이 필요하다고



판단되며, 그 대안으로 생각되어지는 것으로서 최초 자원을 모집할시 장기적으로 조사에 참여할 의사가 있는 주민을 대상으로 코호트를 구축하여야 하며, 이 코호트를 추적·관리할 수 있는 전산시스템 구축이 필요하다고 판단된다. 또한, 인구이동 등에 따른 조사 대상자의 탈락이 문제가 될 수 있으므로 탈락자와 유사한 조건을 가진 주민으로 대상자를 보충하는 방법과 만약 이 방법을 사용할 경우 탈락자는 별도로 추적하여 새롭게 코호트에 등록되는 주민과의 건강 및 생활환경 등의 차이점을 분석하는 것이 필요하다고 판단된다.

한편 현재 수행중인 5차년도 사업에서는 지난 1차년도~4차년도 사업까지에서 분석되지 못한 생체시료내 유해물질을 분석과 더불어 축적된 자료(건강검진, 설문조사, 환경오염 및 노출수준, 생체지표 등의 결과)에 대한 종합분석이 이루어지고 있다. 구체적인 내용으로는 각 조사 결과에 대한 연차별 기술통계분석, 추적조사자에 대한 건강상태 및 건강영향 분석, 환경오염물질 노출수준에 따른 건강상태 비교 및 지역 환경수준과 생체내 환경오염물질 농도수준간의 상관분석을 통한 건강영향 인자 확인 등이 분석되고 있다. 또한, 종합분석 결과를 토대로 향후 2단계 사업에 대한 구체적인 연구가설 확립하고, 울산지역의 환경오염 특성에 따른 건강검진 항목 및 생체시료 중 환경오염물질 분석 항목을 재설정하여 보다 특이적인 사안에 대한 조사가 이루어지도록 할 것이며, 더불어 설정된 연구가설에 따른 접근방안 및 장기적 추진 체계 확립을 수립할 예정이다. 이러한 결과는 향후 국가 정책에 적극 활용될 수 있으며, 이러한 일련의 결과로서 궁극적으로는 울산지역 주민의 삶의 질 향상에 이바지할 것으로 기대된다.

한편, 본 연구사업에서 가장 핵심적이며 중요한 요소인 코호트 추적율(2차년도 연구참여자에 대한 4차년도 추적율)의 경우 1차년도 연구참여자를 3차년도에 추적한 비율인 35.6%에 비해 다소 높은 41.7%의 추적율을 나타내었다. 그러나 이러한 증가된 추적율도 외국에서 수행된 추적율에 비해서는 비교적 낮게 나타나 향후 이에 대한 구체적이고 적극적인 대안 마련이 필요하다고 판단된다. 그 대안으로서 최초 연구참여자를 모집할시 장기적으로 조사에 참여할 의사가 있는 주민을 대상으로 코호트를 구축하여야 하며, 이 코호트를 추적·관리할 수 있는 전산시스템 구축이 필요하다고 판단된다. 또한, 인구이동 등에 따른 조사대상자의 탈락이 문제가 될 수 있으므로 탈락자와 유사한 조건을 가진 주민으로 대상자를 보충하는 방법과 만약 이 방법을 사용할 경우 탈락자는 별도로 추적하여 새롭게 코호트에 등록되는 주

민과의 건강 및 생활환경 등의 차이점을 분석하는 것이 필요하다고 판단된다. 한편, 낮은 추적율에도 불구하고 추적자에 대한 인구특성은 기존 코호트와 비슷한 연령, 성별 특성을 보이고 있어서 결과의 타당성을 확보하는데 큰 어려움은 없을 것으로 판단된다. 또한 연구참여를 유도하기 위한 수단으로 제시한 참여자들에 대한 건강검진은 현재 정부에서 수행하고 있는 무료건강검진과 중복되어 인센티브로서의 역할을 수행하는데 한계점을 드러내었다. 따라서 향후 연구에서는 이러한 중복된 건강검진을 최소화하고 교통비와 같은 실질적인 인센티브제도를 도입하는 것이 높은 추적율 및 주민 참여율을 높이는 방안이라고 생각되어진다.

지금까지 환경문제를 바라보는 우리의 인식은 주로 오염발생원 혹은 오염농도 중심의 개념으로서 이루어져 있었다. 이로 인하여 최근 환경오염의 질적 변화에 대하여 적절한 대응책을 마련하여 제시하는데 한계를 드러내게 되었으며, 현대 산업구조 변화의 신속성과 복잡성을 고려할 때 환경오염 관리에 대한 발생원적 접근 방식의 한계를 나타내게 되었다. 따라서 이러한 한계점을 극복하기 위해서는 적극적인 페러다임의 변화가 불가피하게 요구되고 있는 실정이다. 실제로 최근 수십 년간 우리 주변의 환경오염 농도는 각 분야에 있어서 현저히 낮아지고 있는 것으로 평가되고 있으며 동시에 다양한 형태의 환경오염 물질이 새로이 합성되고 배출되고 있는 형편이다.<sup>13)</sup>

한편 국가 경제가 일정 수준에 도달하게 되는 경우 삶의 질적 향상과 유지에 대한 국민적 요구가 증대하게 되며, 이는 오늘날과 같이 인터넷 등 언론환경의 일 변화 및 접근성 증가에 힘입어 국민 개개인이 접하게 되는 환경보건학적 정보의 양 증가와 밀접한 연관성을 맺고 있다. 이로 인하여 환경문제와 건강위해성에 대한 일반인의 인식과 인지 정도가 과거에 비하여 매우 높은 수준이며 이러한 여건에 따라 환경정책을 입안하는데 있어서 이러한 주변 여건을 소홀히 할 수 없는 형편이 되고 있다.

이러한 주변 여건 변화에 적절하게 대응하고 본래 환경문제와 인간생존의 밀접성을 고려할 때 환경문제를 환경오염 발생원 중심의 사고 영역에서 인간 중심의 소위 '수용체' 중심으로의 획기적인 페러다임 변화가 요구 되는 것이다. 이에 환경문제에 대한 수용체적 접근 방식은 궁극적으로 인체 건강영향을 최소화하는 방향으로 이루어져야 하며 이는 '사전주의적 원칙(precautionary principle)'에 따라야 한다는 것을 가정하고 있다.

사전주의적 원칙이란 구체적으로 확실한 과학적 증

거가 제시되고 있지 않더라도 공중보건학적 위험 가능성이 존재한다는 의심이 드는 경우 예방적 차원의 대책수립과 관리가 수행되어야 한다는 것이다.<sup>14)</sup> 이러한 “사전주의적 원칙”은 기본적으로 환경보건 분야에서 포괄적으로 적용되어야 하는 근본적 바탕이다. 이를 위하여 환경보건 연구는 다양한 분야에서의 접근을 통하여 환경오염에 대한 위해 가능성을 제기할 수 있어야 하며, 더 나아가 정량적인 위해도 평가를 통하여 그 오염물질에 대한 관리안 또는 정책수립이 가능한 실증적이고 정책적으로 활용 가능한 것이어야 할 것이다. 이 때 위해 가능성을 제기하기 위해서는 환경의학, 환경역학, 독성학, 생리학, 환경분석 및 환경공학 등 매우 다양한 분야의 연구결과를 활용할 수 있다. 이렇게 다양한 분야의 연구결과 중에서 가장 큰 관심과 영향을 미칠 수 있는 것이 과학적 타당성이 뒷받침되는 환경역학적 연구 결과일 것이다.

환경역학적 연구 결과는 임상 및 실험 연구 등 다른 분야에서의 결과와 비교할 때 측정치의 대표성 부분의 불확실성이 적다는 장점이 있다. 특히 동물실험 혹은 실험실 연구결과와 비교할 때 적용되는 환경오염물질의 농도 수준이나 서로 다른 중간 차이 등에서 오는 불확실성이 적은 것이 장점이다. 또한 동물실험이나 실험실 연구의 경우 연구자에 의하여 통제된 환경에서 연구결과를 평가하게 되는 반면, 환경역학 연구의 경우 연구 대상자의 일상생활이나 노출유형에 대한 통제 혹은 관리 없이 일상적이고 정상적인 생활을 유지하면서 연구결과가 평가되는 까닭에 연구결과를 적용하는데 있어서의 대표성 확보 측면에서 더 타당하다는 장점이 있다.

지금까지 열거한 바와 같이, 환경오염과 국민 건강간의 관련성을 규명하기 위해서는 본 연구사업과 같이 장기적인 추적조사에 기반하여 수용체 중심의 관점에서 환경오염에 대한 장·단기 노출영향 및 급·만성적인 건강영향을 일관된 절차를 통해 모니터링하고 그러한 방법의 일환으로 지역주민에 대한 지속적인 환경 및 건강 모니터링을 수행하고 생체시료 확보·분석 및 환경오염에 관한 통합적 관리를 위한 실증적인 환경역학 연구가 반드시 수반되어야 할 것으로 판단된다.

#### IV. 결 론

연구는 국내 대표적인 공단지역인 울산지역을 대상으로 지역 환경오염에 의한 지역주민의 건강피해가 우려되는 다양한 환경오염물질의 노출상태를 지속적으로 모니터링함과 동시에 지역주민의 건강상태를 확인함으로

서 환경보건학적 측면에서의 과학적이고 타당성이 확보되는 근거자료를 제시함을 목표로 사업이 진행되고 있으며, 본 고에서는 전체 20년 장기사업 중 기반구축 단계인 1단계 사업에 대한 연구설계 및 현재까지의 진행사항을 소개하고자 하였다. 본 연구사업은 20년간의 장기추적조사를 위하여 3단계로 구성되었으며, 1단계 감시체계 기반구축 단계가 종료되고 향후 2단계(감시체계 운용 및 확대) 및 3단계(감시체계 평가 및 효과) 사업이 진행됨에 따라 도출될 수 있는 장기적 목적하에 설계되었으며, 크게 건강영향조사팀, 생체지표분석팀, 그리고 D/B 구축 및 통합관리팀으로 구성되었다. 또한, 지난 2003년부터 2008년 현재까지 울산광역시 지역주민을 대상으로 총 3,828명의 연구참여자를 확보하였다. 이 중 혈액 및 요 시료가 각각 1,000명(26.1%)과 500명(13.1%)이 분석완료된 상태이며, 5차년도 사업이 완료되면 혈액 및 요 시료 중 유해물질 분석이 각각 2,972명(77.6%) 및 2,472명(64.6%)이 분석완료될 것이다. 또한 지난 4년간 2회에 걸친 추적조사 결과, 총 1,556명의 연구참여자 중 588명이 추적되어 37.8%의 비교적 낮은 추적율을 나타내었으나 성별, 지역별, 연령별 추적율의 차이는 미비한 것으로 나타나 추적전략에는 문제가 없으나 추적을 상승을 위한 노력이 더 필요할 것으로 분석되었다. 결론적으로, 환경오염과 국민 건강간의 관련성을 규명하기 위해서는 본 연구사업과 같이 장기적인 추적조사에 기반하여 수용체 중심의 관점에서 환경오염에 대한 장·단기 노출영향 및 급·만성적인 건강영향을 일관된 절차를 통해 모니터링하고 그러한 방법의 일환으로 지역주민에 대한 지속적인 환경 및 건강 모니터링을 수행하고 생체시료 확보·분석 및 환경오염에 관한 통합적 관리를 위한 실증적인 환경역학 연구가 반드시 수반되어야 할 것으로 판단되며, 이러한 결과는 향후 국가 정책에 적극 활용될 수 있으며, 이러한 일련의 결과로서 궁극적으로는 울산지역 주민의 삶의 질 향상에 이바지할 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 환경부 국립환경과학원 “환경보건조사연구사업”으로 지원받은 과제임.

#### 참고문헌

1. Cho, Y. S., Lee, J. T., Son, J. Y. and Kim, Y. S. : A meta-analysis of air pollution in relation to daily mortality in seven major cities of Korea, 1998-2001. *Korean Journal of Environmental Health*, 32(4), 304-

- 315, 2006.
2. Yu, S. D., Cha, J. H., Kim, D. S. and Lee, J. T. : Effects of fine particles on pulmonary function of elementary school children in Ulsan. *Korean Journal of Environmental Health*, **33**(5), 365-371, 2007.
  3. Dockery, D. W., Pope, D. A., Xu, X., Spengler, J. D., Ware, J. H., Fay, M. E., Ferris, B. G. and Speizer, F. E. : An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *The New England Journal of Medicine*, **329**, 1753-1759, 1993.
  4. Pope III, C. A., Thun, M. J., Namboodiri, M. M., Dockery, D. W., Evans, J. S., Speizer, F. E. and Heath Jr, C. W. : Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **151**, 669-674, 1995.
  5. Abbey, D. E., Nishino, N., McDonnell, W. F., Burchette, R. J., Knutsen, S. F., Beeson, W. L. and Yang, J. X. : Long-term inhalable particles and other air pollutants related to mortality in nonsmokers. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **159**, 373-382, 1999.
  6. Schulz, C., Conrad, A., Becker, K., Kolossa-Gehring, M., Seiwert, M. and Seifert, B. : Twenty years of the German Environmental Survey (GerES) : Human biomonitoring - Temporal and Spatial (West Germany/East Germany) differences in population exposure. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, **210**, 271-297, 2007.
  7. Whitmore, R. W., Byron, M. Z., Clayton, C. A., Thomas, K. W., Zelon, H. S., Pellizzari, E. D., Liroy, P. J. and Quackenboss, J. J. : Sampling design, response rates, and analysis weights for the National Human Exposure Assessment Survey (NHEXAS) in EPA Region 5. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, **9**, 369-380, 1999.
  8. Jantunen, M. J., Hänninen, O., Katsouyanni, K., Knöppel, H., Kuenzli, N., Lebret, E., Maroni, M., Saarela, K., Sram, R. and Zmirou, D. : Air pollution exposure in European cities : the "EXPOLIS" study. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, **8**, 495-518, 1998.
  9. Monitoring study on exposure level and biomarkers of environmental pollutants (Ulsan, 4th year). 2007. NIER.
  10. Monitoring study on exposure level and health effects of environmental pollutants (Sihwa-Panwol, 2nd year). 2007. NIER.
  11. Monitoring study on exposure level and biomarkers of environmental pollutants (Kwangyang, 1st year). 2007. NIER.
  12. Monitoring study on exposure level and biomarkers of environmental pollutants (Pohang, 1st year). 2007. NIER.
  13. 2007 Environmental Statistics Yearbook. 2007. MOE.
  14. Horton, R. : The new public health of risk and radical engagement. *Lancet*, **352**, 251-252, 1998.