

연구용역
최종 보고서

제2차 통합환경전략(IES) 연구

2004. 11

연구기관
한국환경정책·평가연구원

환경부

제 출 문

환경부장관 귀하

본 보고서를 용역과제인
『제2차 통합환경전략(IES) 연구』의 최종보고서로 제출합니다.

2004년 11월

연 구 기 관: 한국환경정책·평가연구원

연구 책임자: 강상인 한국환경정책·평가연구원 연구위원

연구 참여자: 전성우 한국환경정책·평가연구원 연구위원

추장민 한국환경정책·평가연구원 책임연구원

이태정 라이다텍 책임연구원

김재준 한국환경정책·평가연구원 연구원

배현주 한국환경정책·평가연구원 연구원

한국환경정책·평가연구원

원장 윤서성

<요약문>

최근 들어 온실가스 감축의무 부담의 파급효과에 대한 연구는 경제적인 영역 뿐 아니라 환경과 보건 등 사회적인 측면을 포괄하는 방향으로 확장되고 있다. 지구차원의 대기환경에 영향을 주는 물질인 CO₂와 국지적 대기오염 물질들인 PM, SO_x, NO_x 등을 함께 분석함으로써 대기오염 저감정책과 지구온난화 방지대책의 상호 연계성에 많은 관심을 보이고 있다. 그 간 기후변화 대응 방안을 고심해 온 연구자들은 대기오염 물질의 배출량이 에너지 사용량과 직접 연관되어 있다는 점에 주목하여, 에너지 사용량 조절, 에너지 다소비 부문에 대한 조세 부과, 기술혁신을 통한 에너지 효율 향상 등 다양한 저감정책 수단의 도입에 따른 온실가스 저감 효과와 에너지 사용제약에 따른 경제적 파급효과를 분석하였다. 최근 이들 연구자들은 위에 언급한 온실가스 저감정책 수단들이 궁극적으로는 경제 내의 화석 에너지 소비를 제한함으로써 여타 대기오염 물질의 저감에도 기여한다는 점에 주목하고 있으며, 지구적 대기오염물질과 지역적 대기오염물질을 연계하여 대기오염 저감이 기후, 환경, 건강에 미치는 영향을 사회 경제적 측면에서 종합적으로 분석하는 통합연구가 활발하게 이루어지고 있다

본 연구는 위의 접근방식과 병행하여 우리나라에서 고려되고 있는 온실가스 및 대기오염 저감정책의 파급효과를 통합적으로 파악할 수 있는 정량적 통합분석 도구를 개발하고자 하는 중기 연구프로젝트의 일부분으로 수행된 것이다. 경제활동이 집중되어 있는 수도권의 인구, 대기환경, 건강에 대한 DB구축을 연구 목표로 진행된 이번 연구는 온실가스 저감 및 대기오염 대책의 시너지효과를 위한 정부 정책효과와의 비교분석 방법론 구축이라는 보다 포괄적인 연구개발 목적을 위해 활용될 것이다.

본원에서 수행하여 지난 2000년 종결된 1차 통합환경전략(IES) 연구결과에 대한 평가과정에서 우리나라 환경부와 미국 환경청은 온실가스 및 대기오염 저감 정책의 효과, 건강 영향, 경제적 편익 등을 체계적으로 분석할 수 있는 정책분석 모형이 필요하다는 데 인식을 같이 하고, 기후정책과 대기정책의 효과를 동시에 분석하는 통합분석모형 개발을 목적으로 제2차 통합환경전략 연구를 추진하는데 합의하였다.

2003년 이후 본격적으로 미국의 EPA 및 NREL과 논의가 진행되어온 IES Korea Phase II는 서울 및 수도권 지역을 대상으로 온실가스 및 지역적 대기오염물질 통제를 위한 정책의 잠재적 비용 및 편익을 평가할 수 있는 분석 틀을 개발하고, 대기오염 저감의 편익추정이 가능한 한국형 모형을 개발하는 것을 최종적인 목적으로 하여 추진 중에 있다. 이러한 IES Korea Phase II 연구와 병행하여 진행된 본 과업에서는 미국 환경청이 운용중인 통합분석 모형 가운데 한국형 정책분석에 적합한 통합모형을 선별하고, 통합분석에 필요한 우리나라의 수도권 인구, 대기질, 건강 관련 DB를 구축하는 것을 주요 연구목적으로 수행하였다.

선정 모형에 대한 검토 결과 APHEBA 모형은 통계자료의 요구량이 적고 분석모형 구축의 유연성 측면에서 장점이 있으나 기본 프로그램인 Analytica에 대한 사전 지식 및 모형 운용에 상당한 전문성이 요구되어 정책 결정자들의 모형활용이 어렵다는 단점이 있다. 따라서

일련의 DB구축작업이 완료되었을 때 윈도우 베이스로 작성된 BenMap의 활용도가 높기 때문에 한국형 모형에 유용할 것으로 평가되었다.

당초 한국형 통합분석 모형개발 작업은 미국 NREL과 KEI 간의 공동연구 과제로 환경부의 위탁연구로 진행된 본 연구와 병행하여 진행될 예정이었으나, 미국 측 사정으로 한국형 BenMap 모형의 기본이 될 BenMap International Version의 미국 내 개발 작업이 지연됨에 따라 본 연구과제의 범위에서 제외되었으며, 본 연구과제에 이어 진행될 후속 연구과제 범위에 포함되어 수행될 예정이다.

한국형 통합분석 모형에 사용될 통계자료인 수도권의 시군구 및 그리드별 인구(성별 연령별 식별자료 포함), 미세먼지와 질소화합물을 포함한 지자체 및 그리드별 대기오염 수준, 대기오염에 관련이 있을 것으로 예상되는 질병으로 인한 상병 자료에 대한 자료를 구축하였다.

인구자료는 수도권을 일정 해상도의 그리드(3km×3km)로 구분하고 각 그리드별로 특정시점(기준년-2001년)의 성별, 연령별 인구분포 자료를 작성하였으며, 향후 정책분석 대상기간의 예상 인구분포의 추정치가 추가로 고려되어야 한다. 대기오염자료는 수도권의 대기오염 측정망을 통해 수집된 오염도자료를 객관분석법을 통해 그리드별 농도로 전환시키는 작업을 진행하였으며, 대기모델링을 통한 대기오염 배출량과 농도의 상관관계에 대한 연구와 모델링 자료는 수도권 총량관리제와 같이 향후 정책 분석이 이루어지는 시점에 추가로 작성될 것이다. 질병자료의 경우 2001년 시점의 총 78개 수도권 시군구 행정구역 별 대기오염에 관련된 상병자료를 우선 구축하였으며, 구축된 상병자료는 사망자료와 함께 향후 대기오염이 건강에 미치는 영향의 정량분석 수행 시 농도-반응함수(Concentration-Response Function)를 추정하는 데 종속변수로 활용된다. 본 연구에서는 이들 농도-반응함수에 대한 개별 추정작업을 다루지 않았다.

본 연구를 통해 작성된 DB 이외의 통계자료 가운데 대기오염 저감에 따른 건강편익의 경제적 이익을 계산하는데 사용되는 경제적 가치평가 계수들에 대해서는 제1차 통합환경전략 연구에서 얻어진 자료와 여타 선행연구들에서 사용된 추정값들이 활용될 수 있으므로 이들 경제적 가치에 대한 별도의 추정작업은 제2차 환경전략연구 범위에서 제외되었다.

향후 통합분석모형 구축을 위한 추가적인 작업을 위해서 현 자료에 대한 보완 및 미래 분석기간의 자료 구축을 위한 추가적인 가정이 요구된다. 예측자료는 정책 시나리오 구축 및 시나리오 비교분석을 통한 저감수단 또는 정책 적용의 비용-편익 분석을 수행함에 기준이 될 수 있으므로 상당히 중요하다.

세부 자료별로 향후 계획을 정리해보면, 인구자료는 분석대상 기간 동안의 성장률을 반영한 예측치 값이 필요할 것이며 이에 대한 신뢰성 있는 가정을 바탕으로 구축되어야 할 것이다. 대기자료는 수도권 배출총량 및 관리계획(SAQMP)에 기초하여 대기모델링을 수행해야 할 것이며, 이를 토대로 대기 질 시나리오 구축이 가능할 것이다. 대기 배출량 및 농도 자료는 정책분석과 연계할 수 있는 IES-Korea II의 가장 중요한 부분이라고 할 수 있다. 그러므로 모델링 전문가에 의한 작업진행이 필수적이다. 보건자료는 대기오염과의 연계분석을 위해 구

축되므로 상관관계를 규명하는 모수 추정이 우선적으로 수행되어야 할 것이다. 또한 보건자료 구축부분에서 밝힌 사망 및 상병에 대한 연간 자료가 추가적으로 요구된다. 그리고 최종적인 대기오염의 건강편익 추정을 위해서 건강효과의 경제적 가치추정 작업이 추가로 수행될 수 있으며 향후 선정모형의 사용이 가시화 되었을 때 모형 운용자의 기술적 발전을 위한 교육훈련 참여는 필수적 사항이라고 할 수 있다. 이러한 보완 및 추가 작업계획과 더불어 본 연구에서 수행한 각 분야의 기술적인 자료 구축작업 등은 대기오염의 사회적 편익 분석모형 구축이라는 IES Korea II의 목표를 완수하고 한국의 정책분석모형으로 발전시키기 위한 중요한 토대가 될 것으로 사료된다.

<제목 차례>

<요약문>	i
I. 서론	1
1. 연구배경	1
2. 연구목적 및 선행연구와의 관계	2
3. 연구진행경과	3
II. 선행연구 성과 및 통합분석모형 비교	6
1. 선행연구 성과	6
1.1 통합환경전략(1차)연구	6
1.2 IES-INDIA 프로젝트	9
1.2.1 연구목적	9
1.2.2 자료구성	9
1.2.3 분석방법	9
1.2.4 분석결과	11
2. 통합분석 모형	12
2.1 BenMap	12
2.2 APHEBA	22
2.3 평가 결과	23
III. 수도권 통합분석 자료구축	25
1. 수도권의 지리 인문	25
1.1 수도권의 지리적 특성	25
1.2 수도권 산업분포	28
2. 통합 분석 자료구축	30
2.1. 인구자료	30
2.1.1 수도권 인구분포	30
2.1.2 인구자료 구축	31
2.2 대기 질 자료구축	41
2.2.1 수도권 대기질 현황	41
2.2.2 통합분석 자료현황	47
2.2.3 구축 방법론	52
2.2.4 기준년(2001년) 자료구축 결과	54
2.2.5 향후과제	55

2.3 보건자료구축	57
2.3.1 목적	57
2.3.2 자료설명	57
2.3.3 자료구축결과	60
2.3.4 향후과제	77
3. 대기오염과 건강의 상관관계 및 경제적 가치평가	78
3.1 대기오염의 건강효과 분석	78
3.2 경제적 가치평가	83
IV. 결론 및 향후과제	84
참고문헌	87
부록 #1. Draft discussion with EPA: Korea IES phase II	89
부록 #2. 경기·인천 시군구별 보건통계 도표	99

<표차례>

<표 II-1> Economic Benefit per GHG emission avoided	8
<표 II-2> 인도 IES 자료 및 기본가정	10
<표 II-3> 인도 IES 시나리오 분석	11
<표 II-4> 대기 질 모형의 자료 구조(예)	20
<표 II-5> Monitor Data File Format	21
<표 III-1> 수도권 지역내 총생산(GRDP) 변화추이	28
<표 III-2> 수도권 대기오염배출시설 현황(2002년)	29
<표 III-3> 수도권 일반현황(2001년)	31
<표 III-4> 2001년 수도권 지역 오염원별 배출량	42
<표 III-5> 2001년 수도권 지역 배출원 대분류별 배출량	44
<표 III-6> 2001년 수도권 지역 배출원 대분류별 기여율	45
<표 III-7> 2001년 수도권 지역 오염물질별 배출량	46
<표 III-8> 2001년도 수도권 지역별 오염물질별 배출기여율	46
<표 III-9> 자동측정망 제원	49
<표 III-10> CAPSS의 배출원 구분 및 조사 내용	51
<표 III-11> 대기오염도 구축 영역의 해상도와 영역크기	54

<표 III-12> 3단 상병기호 및 그 명칭	59
<표 III-13> 상대적 위험도(RR: Relative Risk)의 예	79
<표 III-14> 대기오염의 건강효과에 대한 선행연구	81
<표 III-15> 주요선행연구의 추정함수 및 추정값	82
<표 III-16> Value of Statistical Life: VSL	83

<그림 차례>

<그림 II-1> 분석방법론 개관	7
<그림 II-2> BenMap Flow Diagram	13
<그림 II-3> APHEBA's form and flow	22
<그림 III-1> 대기환경규제지역을 포함한 수도권의 시군 지역	26
<그림 III-2> 수도권 총 인구분포	32
<그림 III-3> 남·여 인구분포	33
<그림 III-4> 연령별 인구분포	40
<그림 III-5> 수도권 지역 상시 자동측정망 위치	48
<그림 III-6> 2001년 NO ₂ 의 시계열 농도 분석	55
<그림 III-7> 2001년 PM ₁₀ 의 시계열 농도 분석	56
<그림 III-8> 서울의 일별 환자 생건수	61
<그림 III-9> 상병별 발생건수	69
[부록 그림2-1] 경기도 시군구 상병기호별 발생건수(3월~5월간)	99
[부록 그림2-2] 경기도 시군구 일자별 환자발생건수(3월~5월)	114
[부록 그림2-3] 인천 시군 상병기호별 발생건수(3월~5월)	128
[부록 그림2-4] 인천 시군 일자별 환자발생건수(3월~5월)	131

I. 서론

1. 연구배경

화석연료의 사용은 중요한 온실가스 배출원인으로 평균기온의 상승과 함께 기상이변을 초래하며, 부수적인 대기오염을 유발하는 등 지구 대기 환경 악화를 가속화시키고 있다. 이에 선진국은 1990년 배출량 대비 평균 5.2%의 감축을 목표로 정한 1997년 교토의정서(Kyoto Protocol)에 합의한 이후 다양한 연구개발 노력을 지속해오고 있으며, 온실가스 배출 비중이 큰 개발도상국의 감축의무 참여문제에 대한 논의도 가시화되고 있다.

최근 들어 온실가스 감축의무 부담의 파급효과에 대한 연구는 경제적인 영역 뿐 아니라 환경과 보건 등 사회적인 측면을 포괄하는 방향으로 확장되고 있다¹⁾. 지구차원의 대기오염 물질인 CO₂와 국지적 대기오염 물질들인 PM, SO_x, NO_x 등을 함께 분석함으로써 대기오염 저감정책과 지구온난화 방지대책의 상호 연계성에 많은 관심을 보이고 있다²⁾. 그간 기후변화 대응 방안을 고심해 온 연구자들은 대기오염 물질의 배출량이 에너지 사용량과 직접 연관되어 있다는 점에 주목하여, 에너지 사용량 조절, 에너지 다소비 부문에 대한 조세부과, 기술혁신을 통한 에너지 효율 향상 등 다양한 저감정책 수단의 도입에 따른 온실가스 저감 효과와 에너지 사용제약에 따른 경제적 파급효과를 분석하였다. 최근 이들 연구자들은 위에 언급한 온실가스 저감정책 수단들이 궁극적으로는 경제 내의 화석 에너지 소비를 제한함으로써 여타 대기오염 물질의 저감에도 기여한다는 점에 주목하고 있으며, 지구적 대기오염물질과 지역적 대기오염물질을 연계하여 대기오염 저감이 기후, 환경, 건강에 미치는 영향을 사회 경제적 측면에서 종합적으로 분석하는 통합연구가 활발하게 이루어지고 있다³⁾.

환경과 경제, 보건과 사회적 측면을 통합적으로 다루는 연구 경향은 21세기 국제사회의 주된 관심사로 등장한 지속가능 발전과도 밀접하게 연계되어 있다. 1992년 지구환경정상회의에서 채택된 리우선언과 그 실천 계획인 Agenda 21의 이행을 촉진하기 위해 개최된 2002년 남아프리카 공화국 요하네스버그에서의 지속가능발전을 위한 세계정상회의(World Summit on Sustainable Development)는 Agenda 21의 제6장에서 명시된 WEHAB(Water, Energy, Health, Agriculture, Biodiversity) Initiative를 강조 하면서, UN시스템에 의한 보건과 환경의 통합적 접근모형으로써 건강영향평가(HIA: Health Impact Assessment)와 환경영향평가(EIA: Environmental Impact Assessment)를 통합적으로 다뤄야할 필요성을 제기한 바 있다⁴⁾.

1) '탄소세 부과가 서울의 경제·환경·건강에 미치는 효과', 김의준 외, 자원·환경경제연구 11권 1호, 2002.

2) 'Transferability of air pollution control Health benefits estimates from the US to Developing Countries', Chestnut, et al, American Journal of Agricultural Economics, Vol. 79 Issue5. 1999.

3) 'The Health Benefit of Controlling Carbon Emission in China', Garbaccio et al, MA02138, Kennedy School of Government Harvard University, Cambridge, Feb, 2000.

4) '한국에서의 지속성 구현을 위한 건강영향평가 도입방안', 김임순 외.

지역적 대기오염 물질이 환경 및 사회 경제에 미치는 파급효과에 대한 연구는 주로 개개의 대기오염 물질이 인체 건강에 미치는 효과와 그로 인한 경제적 손실에 대한 추정을 통해 분석된다. 보건학적인 관점에서 대기오염은 인체 건강에 직접적이고 지속적인 영향을 미치며, 오염에 노출되는 대상 인구가 가장 광범위하다는 점에서 수질오염이나 폐기물오염, 식품오염에 비해 상대적으로 중요한 의미를 지닌다.

대기오염이 인체에 미치는 영향은 보건학적 측면에서 뿐만 아니라 경제적 측면에서도 매우 중요하다. 대기오염은 인체에 질병이라는 생물학적 피해를 입힘으로써, 질병과 관련된 비용을 유발하는 비경제행위(diseconomy)이다. 대기오염은 질병치료를 위한 직접적인 경제적 비용 외에도 치료 과정에서 다양한 시간비용을 유발하며, 치료 후에도 후유 장애로 인해 노동생산성을 소실시키거나 저하시킬 수 있고, 환자 자신은 물론 환자가족에게도 상당한 정신적 고통을 유발하는 등 후생의 감소와 삶의 질 저하의 원인이 된다.

대기오염으로 인한 유·무형의 피해는 결국 사회가 지불해야 하는 사회적 비용이고, 이를 사전에 예방할 경우, 이들 피해 복구를 위한 비용이 보다 생산적인 분야에 투입될 수 있는 재원이라는 점에서 중요한 경제적 의미를 갖고 있다⁵⁾. 이 같은 이유로 대기오염이 건강에 미치는 효과에 대한 분석을 통해 온실가스 혹은 대기오염 저감정책의 부수적 편익들을 파악하는 것은 정책적으로 유용한 접근방법이 되며, 최근 경제와 환경 및 보건을 포괄하여 연구하고자 하는 다수 연구자들의 노력도 점차 확대되고 있다.

2. 연구목적 및 선행연구와의 관계

본 연구는 이 같은 문제의식에서 출발하여 우리나라에서 고려되고 있는 온실가스 및 대기오염 저감정책의 파급효과를 통합적으로 파악할 수 있는 정량적 통합분석 도구를 개발하고자 하는 중기 연구프로젝트의 일부분으로 수행된 것이다. 경제활동이 집중되어 있는 수도권 인구의 대기환경, 건강에 대한 DB구축을 연구 목표로 진행된 이번 연구는 온실가스 저감 및 대기오염 대책의 시너지효과를 위한 정부 정책효과의 비교분석 방법론 구축이라는 보다 포괄적인 연구개발 목적을 위해 활용될 것이다.

본 연구에 선행하여 KEI는 지난 1999-2001년간 우리나라 환경부와 미국 환경청 간의 환경협력 프로그램에 참여하여 미국 국립재생에너지연구원(NREL: National Renewable Energy Laboratory)과 공동으로 "온실가스저감의 부수적 편익에 관한 연구(Ancillary Benefits due to Greenhouse Gas Mitigation, 2000 to 2020)"를 수행한 바 있다. 제1차 통합환경전략(Integrated Environmental Strategy) 연구는 미국 환경청이 개도국의 환경경제 통합 분석능력을 지원하고 지구차원의 온실가스 배출저감을 위한 국제협력 활동을 강화할 목적으로

5) 'Impact of air pollution on Health and its cost of illness of Seoul', 전상일, 서울대학교 보건대학원 박사학위 논문. 1999.

1998년에 시작한 국제통합분석프로그램(ICAP: International Co-control Analysis Program)의 일부이다. 2001년 미국 환경청은 환경정책 결정에 있어서 통합적 접근방식의 이점을 보다 강조하기 위해 '국제통합조정프로그램'을 '통합환경전략'이란 명칭으로 수정하였으며, 현재 미국 국립재생에너지연구원이 동 프로그램의 미국 측 주관 연구기관 기능을 수행하고 있다.

제1차 통합환경전략 연구진은 온실가스 저감의 부수적 건강편익 효과를 규명하기 위하여 2001년에서 2020년에 이르는 기간을 대상으로 온실가스저감 시나리오를 작성하고, 시나리오별 부수적 대기오염저감 효과를 수도권을 중심으로 추정한 다음, 그에 따른 건강과급 효과와 경제적 비용을 추정한 결과를 도출하고, 이를 관련 전문가회의 등을 통해 국제사회에 소개한 바 있다.

1차 연구결과에 대한 평가과정에서 우리나라 환경부와 미국 환경청은 온실가스 및 대기오염 저감 정책의 효과, 건강 영향, 경제적 편익 등을 체계적으로 분석할 수 있는 정책분석 모형이 필요하다는 데 인식을 같이하고, 기후정책과 대기정책의 효과를 동시에 분석하는 통합 분석모형 개발을 목적으로 제2차 통합환경전략 연구를 추진하는데 합의하였다.

3. 연구진행경과

논의 과정에서 우리나라 환경부와 미국 환경청은 한국형 통합분석모형 개발을 위한 연구 소요 예산의 공동부담원칙과 KEI와 NREL의 공동작업 일정을 포함한 제2차 통합환경전략 연구 일정을 작성하였으며, 후속 연구에서는 제2차 통합환경전략 연구에서 개발된 분석모형을 수도권의 대기관리계획(SAQMP: Seoul Air Quality Management Plan)이 고려중인 다양한 대기정책에 적용하여 각 정책의 건강과 경제적 편익을 분석하고 그 결과를 최적 정책조합 도출에 이용토록 한다는 추가적인 협력사항에 대해서도 이해를 같이 하였다.⁶⁾

제2차 통합환경전략 연구에서 수행할 세부 연구과제로는 기존에 미국 환경청이 운용중인 통합분석모형 가운데 한국형 정책분석에 적합한 통합모형을 선별하고, 통합분석에 필요한 우리나라의 수도권 인구, 대기질, 건강 관련 DB를 구축하며, 이를 토대로 한국형 통합분석모형을 작성하는 작업이 제시되었다.

연구 참여기관 간의 역할 분담에 있어서 한국형 정책분석에 적합한 통합모형 선별작업은 KEI와 NREL의 공동 전문가회의를 통해 진행하고, 통합분석에 필요한 우리나라의 수도권 인구, 대기질, 건강 관련 DB를 구축작업은 NREL이 제시한 통계자료 목록(data request)을 토대로 KEI가 수행하며, 한국형 통합정책분석모형 작성은 KEI 관련 연구진의 참여하에 NREL이 담당하기로 정하였다.

6) 2004년 5-6월 간 진행된 환경부와 EPA, KEI, NREL 간의 협의과정에서 합의되었으며, 합의결과는 "Statement of Work, Korea IES: Development of Air Pollution Health Benefits Assessment Model for Korea, July 26, 2004"로 정리됨.

그 간의 연구진행 경과를 요약하면, 먼저 한국형 정책분석에 적합한 통합모형 선별작업과 관련하여 미국 환경청이 운용하고 있는 대기오염의 건강효과 통합분석모형 가운데 BenMap(Environmental Benefit Mapping and Analysis Program)모형과 APHEBA(Air Pollution Health Effects Benefits Analysis)모형을 검토하였다. APHEBA 모형이 통계자료의 요구량이 적고 및 분석모형 구축의 유연성 측면에서 에 장점이 있으나 Analytica 프로그램에 대한 사전 지식 및 응용을 위한 모형 운용에 상당한 전문성이 요구되어 정책 결정자들의 모형활용이 어렵다는 점을 고려하여, 일련의 DB구축작업이 완료되었을 때 윈도우 베이스로 작성되어 정책분석에의 모형 활용도가 높은 BenMap이 한국형 모형에 유용할 것으로 KEI와 NREL의 공동전문가회의에서 평가되었다.

당초 한국형 통합분석 모형개발 작업은 미국 NREL과 KEI 간의 공동연구 과제로 환경부의 위탁연구로 진행된 본 연구와 병행하여 진행될 예정이었으나, 한국형 BenMap 모형의 기본이 될 BenMap International Version의 미국 내 개발 작업이 미국 측 사정으로 지연됨에 따라 본 연구과제의 범위에서 제외되었으며, 본 연구과제에 이어 진행될 후속 연구과제 범위에 포함되어 수행될 예정이다.

본 연구의 주요 내용인 한국형 통합분석 모형에 사용될 통계자료로는 수도권의 지자체 및 그리드별 인구(성별 연령별 식별자료 포함), 미세먼지와 질소화합물을 포함한 지자체 및 그리드별 대기오염 수준, 대기오염에 관련이 있을 것으로 예상되는 질병으로 인한 사망 및 상병 자료 등이 있다. 먼저 인구자료는 수도권을 3km×3km 그리드로 구분하고 각 그리드별로 2001년도의 성별, 연령별 인구분포 자료를 작성하였으며, 향후 정책분석 대상기간의 예상 인구분포의 추정치가 고려된다. 대기오염자료는 우선 수도권의 대기오염 측정망을 통해 수집된 오염도자료를 객관분석법을 통해 그리드별 농도로 전환시키는 작업을 진행하였으며, 대기모델링을 통한 대기오염 배출량과 농도의 상관관계에 대한 연구와 모델링 자료는 수도권 총량관리제와 같이 향후 정책 분석이 이루어지는 시점에 작성될 예정이다. 사망 및 질병자료의 경우 특정시점의 행정구역 별 대기오염에 관련된 상병자료를 우선 구축하였으며, 사망 및 상병자료는 향후 대기오염이 건강에 미치는 영향의 정량분석 과정에서 농도-반응함수(Concentration-Response Function)을 추정하는 데 종속변수로 활용된다. 본 연구에서는 이들 농도-반응함수에 대한 개별 추정작업을 다루지 않는다. 농도-반응함수에서 얻어지는 상대위험도는 대기오염으로 인한 추가적 건강피해와 그 경제적 비용을 추정하는데 이용된다.

본 연구를 통해 작성된 DB 이외의 통계자료 가운데 대기오염 저감과 그 건강편익에 따른 경제적 이익을 계산하는데 사용되는 경제적 가치평가 계수들에 대해서는 제1차 통합환경전략 연구에서 얻어진 자료와 여타 선행연구들에서 사용된 통계수치들이 활용될 수 있으나, 이들 경제적 가치에 대한 별도의 추정작업은 제2차 환경전략연구 범위에서 제외되었다.

당초에 설정된 이번 연구의 범위에는 한국형 통합분석모형의 벤치마킹 대상을 선정하고, 모형에 필요한 통계자료를 구축하며, 이를 기존의 조사연구 자료와 함께 분석하여 정량적인 정책 효과분석이 가능한 한국모형을 작성하는 작업이 포함되어 있으나, 한국모형을 작성하는

작업이 미국 환경청과 주관연구기관의 사정으로 지연되어 본 연구에서는 한국정책 분석에 적합한 통합모형에 대한 검토와 분석에 필요한 통계 DB 구축 작업만이 다루어졌다. 한국형 통합분석모형 개발 작업은 본 연구 종료이후 진행될 KEI와 NREL 간의 위탁연구 계약을 통해 추진될 예정이다.

본고의 제2장에는 제1차 통합환경전략연구 성과에 대한 평가와 BenMap, APHEBA 등 선진 통합분석 모형의 우리나라 정책현실에 대한 적합성 비교결과를 정리하였다. 제3장에서는 수도권 대기관리 정책에 대한 통합분석에 사용될 인구, 대기질, 건강 관련 DB 작성 결과를 실었으며, 제4장에서는 본 연구결과의 후속작업 관련 활용방안을 정리하였다.

II. 선행연구 성과 및 통합분석모형 비교

1. 선행연구 성과

1.1 통합환경전략(1차기)연구

앞서 언급한 것처럼 1차 연구(1999-2001년)의 주요 연구목적은 온실가스 저감으로 얻을 수 있는 부수적 환경편익-건강효과를 정량적으로 추정해 보고, 이러한 효과를 정책입안자 및 이해관계자들에게 홍보하는 것이었다.

동 연구는 크게 온실가스 저감 시나리오, 대기 모델링을 이용한 분석, 건강효과 분석, 경제적 가치추정으로 구성되어 있다. 인체건강에 영향을 주는 대기오염물질로 PM₁₀, Ozone, SOx 등을 고려하였으며 주로 PM₁₀이 건강에 미치는 효과와 그 경제적 비용을 분석하였다. 건강편익을 추정하기 위한 방법론적 접근방식은 먼저 오염 배출 시나리오를 설정하고 그 파급효과를 추정해 나가는 상향식 접근방식(Bottom-up approach)을 취했으며, 환경경제모형을 이용한 오염과 경제활동의 관계 분석 부분은 배제되었다. 분석 대상에 포함된 오염물질별, 대상 질병별 세부 분석을 수행하고 그 결과를 종합하여 최종적인 편익을 추정하였다.

이 같은 분석 절차는 5단계로 진행되었다. 첫째로 온실가스 저감 시나리오를 작성하였다. 동 연구에서는 목표연도의 에너지 사용량을 기준 시나리오 대비 5%, 10%, 15% 줄이는 경우가 분석 시나리오 2, 3, 4에서 다루졌으며, 제조업 부문의 미세먼지 배출 효율성 증가 및 천연가스 버스로의 단계적 대체(2000-10%, 2005-75%, 2020-100%) 정책을 조합한 경우는 시나리오 1로 설정되었다.

두 번째로 대기오염물질 배출량 및 농도에 대한 추정이 이루어 졌는데, 대상 지역으로 서울과 인천을 포함한 경기도가 선정되었으며, 분석 대상 대기오염 물질로는 PM₁₀과 TSP(Total Suspended Particulate)가 고려되었다. 배출량으로는 연료소비량과 도로의 먼지발생량이 고려되었으며, 그 결과 대기오염물질 배출량은 경제부문의 연료소비자료 및 자동차대수에 의존하여 계산되었다. 대기오염 농도는 UR-BAT(Urban Branching Atmospheric Trajectory)모형으로 계산하였다. 대기오염물질 농도를 예측할 때는 다음과 같은 가정을 하였다. PM₁₀의 기준농도(Background concentration)는 20 μ g/m³로 가정하고 1995년 자료를 기준년도로 삼았다. 에너지 정책효과가 반영되지 않는 한 에너지 사용패턴은 분석대상 기간(2000년-2020년) 동안 변하지 아니한다는 가정이 채택되었고, 지역의 차량 등록대수는 연간 원류가격 증가율이 4%이고 연간 경제성장률이 최소 2%에 이른다는 가정도 추가 되었다.

세 번째로 건강효과는 대기오염물질 농도 변화에 따른 상병발생 건수 또는 조기 사망자수

7) 'Ancillary Benefits due to GreenHouseGas Mitigation, 2000 to 2020 - The International Co-Control Analysis Program for Korea' S.H, Joh, Y.M Nam, S.G, Shim, J.H, Sung, Y.C, Shin.

를 이용하여 추정하였다. 농도와 건강상의 관계(CR: Concentration-Response)함수 추정은 포아송 회귀모형을 사용하였으며, 연간 초과 발생건수는 다음의 관계에 의해 추정되었다.

$$\text{Annual Excess Occurrence} = (RR - 1) \times Pol_i \times B_a \times Pop_i$$

RR - 상대적 위험도

Pol_i - i 지역의 농도 변화

B_a - 기준 시나리오의 사망률 변화

Pop_i - i 의 인구

대기오염 저감에 따른 환경편익의 계량화 작업은 가상가치 추정법을 사용하였으며, 가치추정을 위해 서울에 거주하는 40세~79세 표본인구 997개의 샘플을 설문조사하여 대기오염물질의 위험 회피에 대한 지불의사액(WTP: Willingness to Pay)을 계산하였다. 전체적인 방법과 및 분석과정은 다음의 그림II-1로 정리할 수 있다.

	[Output]	[DB]	[Methodology]
Mitigation	S1~S4	MOCIE	Bottom-up
Emission	156Grid	ICAP	GHG,NIER, EPA
Concentration	156Grid		UR-BAT
Health	C-R function, Prevalence	NSO,NIH,ME, KMA	GAM, RPM
Valuation	COI, WTP	NHIC	GIS, CVM(mortality) OC(Morbidity)

Note: S1~S4(scenarios), MOCIE(Ministry of Commerce, Industry, and Energy), ICAP(International Co-control Analysis Program), NIER(National Institute of Environmental Research), EPA(US Environmental Protection Agency), UR-BAT (Urban Branching Atmospheric Trajectory), C-R Function(Concentration Response), NSO(National Statistical Office), NIH(National Institute of Health), ME(Ministry of Environment), KMA(Korean Medical Association), GAM(Generalized Additive Model), RPM(Rubust Possion Regression), COI(Cost of Illness), WTP(Willingness To Pay), NHIC(National Health Insurance Corporation), GIS(Geographic Information System), CVM(Contingent Valuation Method). OC(Opportunity Cost)

<그림 II-1> 분석방법론 개관

분석결과 온실가스 저감 시나리오에 따른 조기 사망자수는 목표연도(2020년)에 시나리오에 따라 약 19.2~57.6명 범위에서 감소하는 것으로 나타났다. 이를 경제적 가치로 계량화 하면 2020년에 탄소저감 톤 당 6.8~10.4 US\$의 편익이 발생하는 것으로 계산되었다⁸⁾.

이 같은 제1차 통합환경전략 연구는 상향식 모형을 이용한 단계적 접근법을 사용하여, 정책입안자들에게 대기오염 저감정책의 중요성을 부각시켰다. 그러나 통합적인 접근방식을 적용하지 않아 각 모형 별 분리된 작업이 진행되었으며, 보건에 대한 분석도 사망자수와 일부 질병군에 대한 분석만 이루어져 발생하는 편익이 상대적으로 낮게 나타났을 가능성을 배제할 수 없다는 평가를 받았다. 또한 대기오염물질 배출량을 측정함에 있어서 실질자료를 바탕으로 분석 시나리오를 구축하지 않고 경제부문의 에너지 사용량 규제를 적용하였기에 현실적으로 대기오염관리 정책을 시행하는데 따르는 경제적 측면을 적절히 반영하지 못했다는 아쉬움을 안고 있다. 이러한 시나리오는 향후 대기정책의 파급효과에 대한 분석 작업에서 주지해야 할 교훈으로 인식되었다.

<표 II-1> Economic Benefit per GHG emission avoided

\$/ton if carbon avoided	2000	2010	2020
Scenario1	6.2	14.4	10.4
Scenario2	7.5	6.9	6.8

8) 아래 표 II-1 참조

1.2 IES-INDIA 프로젝트

1.2.1 연구목적

최근 인도의 IES 건강효과분석 프로그램은 10개의 자치시로 구성되어 약 1850km²를 포함하는 하이데라바드 도시개발지역(Hyderabad Urban Development Area: HUDA)을 분석대상으로 수행되었다. 동 분석은 대기질 모델링에 활용 가능한 2차적인 자료를 기초로하여 하이데라바드 지역 대기오염의 건강효과 추정기법을 개발하는 데 그 목적이 있다. 그리고 추가적으로 분석 가능한 모든 건강효과 및 사회후생 영향을 확인하고 미래시점의 평가를 위한 연구 수요 및 결측자료를 식별해 내는 것을 부수적 목적으로 수행되었다.

1.2.2 자료구성

인도의 IES 연구에서는 호흡기 질환 및 조사망과 밀접하게 연관된 미세먼지(Particulate Matters-PM10)를 대상으로 건강효과를 분석하였다. 총 10개의 자치시에 대해 인구의 연령별 구성은 0~17세 그룹, 18~64그룹, 65세 이상그룹, 그리고 전체연령그룹 등 4개를 대상으로 하였다. 건강자료는 사망률자료, 심혈계질환, 호흡기질환, 천식 등의 발병으로 인한 병원 방문 자료, 내원일수 자료, 외래환자 방문건수 등의 자료가 사용되었다.

1.2.3 분석방법

1.2.3.1 건강효과 추정

PM10 노출과 관련한 건강효과 추정에는 두 가지 접근방식이 사용되었는데, 첫 번째는 건강위험평가 접근방식이고 두 번째는 대기오염농도의 단위 증가에 따른 사망률 및 발병률의 % 증가를 계산하는 방식이 적용되었다.

대기오염과 건강효과를 연계한 연구에서는 포아송 회귀형태의 상대위험 모형에 기초한 분석이 주를 이루고 있다. 인도의 연구에서는 주어진 농도 C 수준에서의 건강효과 초과 발생 건수를 다음과 같이 계산하였다.

$$Effect(C) = \exp(\beta \times (C - C_0)) \times R_0 \times Pop$$

β : C-R 함수의 기울기

C, C_0 : 각각 정책 시나리오 및 기준 시나리오의 대기농도수준

R_0 : 농도 C_0 수준에서의 상대적인 위험 발생률

Pop: 노출된 인구

상기 방법을 이용한 대기오염의 건강효과 분석을 위해 인도 연구에서는 APHEBA 모형을 사용하였다. APHEBA 모형은 특별히 건강효과의 통합적 추정이 용이하고 간단한 입력방식으로 모듈을 활용할 수 있다는 장점이 있으나 GIS기반의 세부단위 분석은 불가능하다.

C-R 함수의 β 값은 메타분석에서 추정된 결과를 사용하였다. 그러나 미래시점의 예측치 추정을 위해 장기적인 사망률에 대한 C-R함수는 지난 20년간의 연평균자료를 사용하였다. 또한 장기적 C-R 함수는 선형형태임을 가정하였는데, 즉 인구가 지속적으로 증가한다면 장기 노출율에 대한 과대 추정의 결과를 예상하게 된다.

BAU(Business As Usual) 년도는 2001, 2011, 2021로 고정된 시나리오를 구축하였고, 표 II-3과 같은 4개의 통제 시나리오(Control scenarios)를 적용하여 비교분석을 수행하였다.

다음의 표 II-2는 인도 IES 프로젝트의 자료출처 및 건강효과 분석 시 사용된 가정들을 요약하여 보여주고 있다.

<표 II-2> 인도 IES 자료 및 기본가정

Parameter	Time and Geographical Resolution	Observations
Demographic Data		
Population	For 2001, 2011 and 2021 for each municipality	
Health Data		
Mortality Rate (All cause, CVD, RSP)	For 2001 only For each municipality	Rates extrapolated for other years
Incidence Rate for Hospital admissions(CVD, RSP, COPD, Asthma) and Outpatient visits	For 2001 only For each municipality	Rates extrapolated for other years
Incidence Rate for morbidity points	USA data only	Rates extrapolated for other years and locations
Average length of stay for hospital admissions(CVD, RSP, COPD, Asthma)	For 2001 only For the whole area	Rates extrapolated for other years and locations
C-R for short term exposure mortality	HEI meta analysis from Asian studies	
C-R for long term exposure mortality	USA data	
C-R for morbidity endpoints	USA data	
Economics data		
VSL	USA data transferred using PCI	
Human Capital Approach	Computed for Hyderabad	
Unit value for morbidity endpoints	USA data transferred using PCI	

자료: Health Effect Analysis for the IES-INDIA Project, April, 2004.

<표 II-3> 인도 IES 시나리오 분석

Scenarios	Definition
Base Case	BAU for years 2001, 2011, 2021
Control 1 (C1)	Alternative - Transport - Bus Transit Mitigation Scenario
Control 2 (C2)	Combined Industrial(NG+BG) Mitigation Scenario
Control 3 (C3)	Industrial(Fuel Additives) Mitigation Scenario
Control 4 (C4)	Industrial Control Mitigation Scenario

자료: Health Effect Analysis for the IES-INDIA Project

1.2.3.2 경제적 가치화

대기오염의 건강효과에 대한 경제적 가치 추정을 위해 인도 IES에서는 HCM(Human Capital Approach), WTP(Willingness To Pay), COI(Cost Of Illness), BT(Benefit Transfer) 등의 방법들을 사용하였다.

HCA는 사망률(Mortality)의 가치화에 사용되었는데, 조기사망의 가치는 평균나이의 기대 미래소득의 할인가치로 추정된 생애가치추정(VSL: Value of Statistical Life) 방식을 사용하였다. IES-INDIA의 VSL자료는 평균수명이 62.5세이고, 평균연령을 27.5로 하여 계산하였다. 그리고 연간할인율 5%를 적용한 연평균 임금은 357.55US\$로 규정하였다.

인도에서는 아직까지 지불의사액(WTP)에 대한 연구가 이루어지지 않은 관계로 미국의 WTP 가치를 구매력 평가지수(PPP) 및 1인당 소득 비율로 환산하여 적용하였다. 특히 사망 위험 저감의 가치는 미국의 경상가치를 소득탄력성에 따라 달리하여 환산가치를 구하였다.

COI는 발병률의 가치화에 사용되었는데 직접비용(의료비)과 간접비용(근무일수 상실 등)으로 구분하여 계산하였다.

1.2.4 분석결과

인도 IES 프로젝트의 결과는 시나리오별 대기농도 변화, 건강효과 변화, 경제적 가치추정 등으로 구분된다. 하이데라바드 지역의 대기농도는 기준 시나리오 대비 2011년 시점에 연간 0(C2, C3, C4)~160(C1) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 줄어드는 것으로 나타났다. 2021년에는 510 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 감소하였다. 또한 건강효과 중 단기 사망률은 기준 시나리오 대비 1,286(C1, 2011년)~5,686(C1, 2021년)명이 감소하는 것으로 나타났다. 이를 경제적 가치로 환산한 결과, C1 시나리오로 저감되는 조사망(장기적 사망률 적용)의 가치 범위는 112.13 US\$(2011년) ~ 1,208 US\$(2021년)로 추정되었다.

2. 통합분석 모형

2.1 BenMap

BenMap(The Environmental Benefits Mapping and Analysis Program)은 대기질의 변화에 대한 표준화된 건강편익 분석을 수행할 목적으로 미국 환경청이 개발한 윈도우 기반의 정책 지원 프로그램이다. 사용자는 원하는 분석을 위한 투입자료를 다양한 모델링 옵션으로부터 선택하고 해당 분석 절차를 생성하여 원하는 분석결과를 도출할 수 있다.

본 모형은 부정적인 건강효과의 저감정도를 추정하고 그 경제적 가치를 추정할 뿐만 아니라, 대기 질과 대기오염에 노출된 인구 변화(Population exposure)⁹⁾에 대한 결과도 도출할 수 있다. BenMap은 또한 시나리오 분석, 건강효과, 가치추정, 기타 투입요소에 대한 민감도 분석을 수행할 수 있도록 설계되어 있다.

인구의 대기오염에 대한 노출을 계산하기 위해서 BenMap은 대기오염 모니터링 자료, 대기 모델링 자료, 인구센서스 자료, 인구 예측치(Population Projection) 등 다양한 자료원을 이용한다. 이러한 자료들은 특정연도 및 특정 대기오염 시나리오에 따른 인구노출을 추정할 수 있도록 구성되어 있다.

대부분의 분석은 두개의 다른 시나리오¹⁰⁾를 적용하고 그들 간 노출인구 변화를 추정하는 방식으로 진행된다. 이러한 대기오염에 대한 노출인구 변화를 이용하여 BenMap은 그와 관련된 건강효과 변화를 계산하고 경제적인 가치를 추정한다. 이러한 일련의 추정과정에서 연구자는 EPA에서 제공하는 다양한 표준함수들을 활용할 수 있으며, 연구자의 분석목적에 따라 유연한 선택을 할 수 있다는 장점이 있다.

다음 그림 II-2는 BenMap에서의 추정과정을 간략히 보여주고 있는데, 노출 인구수, 건강효과, 경제적 가치추정에 이어지는 일련의 분석 과정을 도식화한 것이다.

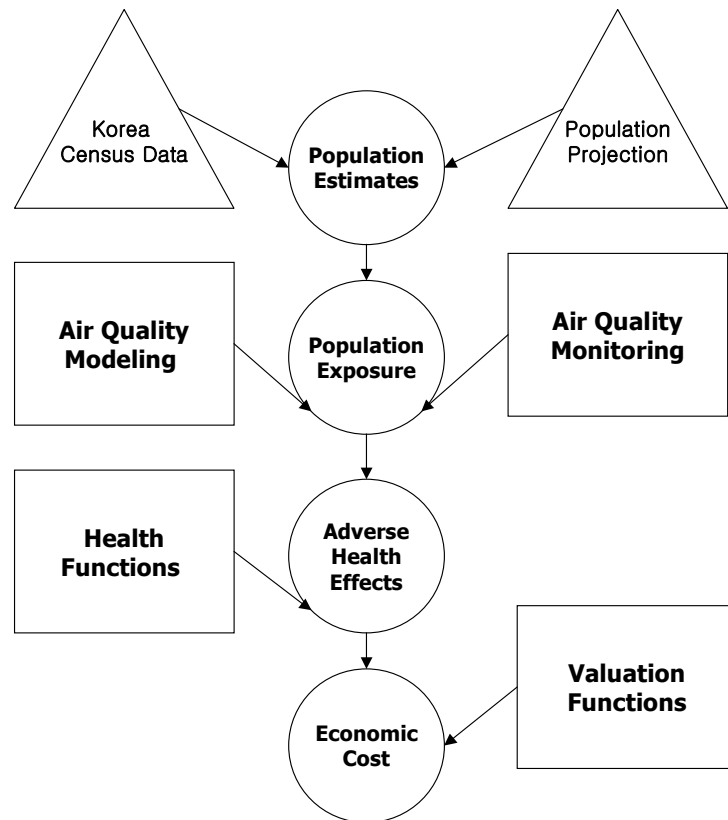
그림 II-2에서 삼각형안의 값은 인구센서스 자료와 인구 예측 값이며, BenMap 모형에 기본적으로 필요한 자료이다.

사각형은 분석자가 분석목적에 따라 선택할 수 있는 내용을 보여주는데 자체적인 대기 모델링 과정은 담고 있지 않으며, 외부에서 행해진 모델링 결과치와 관측치가 투입변수로 활용된다.

원형은 이러한 자료를 바탕으로 시행된 분석 결과치들을 나타내고 있다.

9) BenMap에서는 Population exposure를 인구집단의 평균적인 대기오염 수준에 대한 노출정도로 나타내고 있음.

10) 예) 기준 시나리오, 정책 시나리오



<그림 II-2> BenMap Flow Diagram

BenMap 모형은 정책분석가, 학자들, 의사결정자들을 포함한 다양한 이해관계자가 각자의 분석목적에 맞는 정량분석 결과를 얻을 수 있으며, 그 숙련도에 따라 자료를 새롭게 가공·생성하는 것이 가능하다. 또한 건강효과 및 경제적 가치추정 함수를 개발하고 응용할 수도 있으며, 또한 단순하게 표준화된 함수를 사용하여 비교분석작업을 수행할 수 있다는 점에서 쉬운 접근성을 특징으로 갖고 있다.

2.1.1 용어와 파일 형태

BenMap은 자료의 유형과 그 처리 프로세스에서 관용적으로 사용되는 정해진 프로그램 용어 및 확장자를 이용하고 있다. 그러므로 이 모형을 효과적으로 이용하기 위해서는 이들 언어와 파일 형태를 숙지할 필요가 있다. 다음은 BenMap이 사용되는 일반적인 용어들이다.

2.1.1.1 용어

통합(Aggregation)

시·군·구 및 국가(nation) 수준의 행정구역별 그리드와 위·경도를 이용한 격자 단위의 그리드(grid cell: 격자단위)를 통합하는 작업

APV 파일(Aggregation, Pooling, and Valuation file)

APV파일에는 Aggregation 수준, pooling 옵션, 그리고 분석에 사용되는 가치평가 방법 등이 저장된다. 연구자는 발생률 추정치에 대한 aggregation 수준을 결정할 수 있으며, 발생률 추정값을 집계하는 방법, 그리고 가치평가를 이용하는 데 있어 가치평가 추정치를 집계하고 aggregation 수준을 설정할 수 있다. APV파일은 모두 'apv' 확장자를 쓴다. APV파일로부터 도출된 결과는 "apvr" 확장자로 나타나고 두 가지 모두 Configuration results폴더에 저장된다.

Air Quality Grid

대기 질 Grid는 대기오염 자료를 포함한다. BenMap은 하나의 대기질 grid 자료를 base 시나리오로 이용하며, 여러 control 시나리오가 작성될 수 있다. 모형에서는 건강에 미치는 영향을 발생건수의 차이로 예측하며 기준 및 정책 시나리오간의 차이가 계산된다.

Air Quality Metric

대기오염 측정의 전형적인 기준이다. PM은 대기 질 모니터에 의해 일일단위로 측정되며, 세 가지 Metric, 즉 일일평균, 연평균, 연중 하루의 중간값 평균 등이 사용된다. 오존(ozone)은 시간단위로 측정되므로 측정방법은 하루 중 특정한 때 - 5시간(오전 10시부터 오후3시), 8시간(오전 9시부터 오후5시), 12시간(오전 8시부터 오후8시) - 의 평균값뿐만 아니라, 하루 중 가장 높은 시간대의 측정을 포함한다.

Binning

data를 낮은 값에서부터 높은 값까지 정렬함으로써 자료를 요약하는 과정으로, 사전에 정의된 그룹으로 구분하고 각 그룹별 평균값 또는 중간값으로 대표값을 선택한다.

CAMx(Comprehensive Air Quality Model with Extension):

CAMx는 오존(ozone)수준을 추정하는데 사용되는 대기질 모형이다. grid cell 단위는 12km

×12km 이다.

CMAQ(Community Multi-Scale Air Quality)

최신 대기질 모델은 오존을 포함한 여타 오염물질 뿐만 아니라 미립자 수준의 모델링도 가능하게 하며, grid 크기는 약 36km×36km 이다.

Configuration

CR 함수와 모형의 옵션 등을 설정하기 위해 BenMap에 의해 생성되는 파일로 건강효과를 추정하는데 사용된다. 이렇게 구성된 Configurations는 'cfg' 확장자를 가지고 Configurations folder에 저장된다.

C-R (Concentration-Response) 함수

C-R함수는 대기오염의 노출변화와 연관한 건강효과를 계산한다. 전형적인 CR 함수는 대기 질 Metric, 오염물질, 나이, 인종 및 민족계열, 그리고 부정적 건강효과의 발생률 등의 투입요소를 갖는다.

Cost of illness(COI)

질병치료에 소요되는 모든 비용은 직접적인 의료비와 질병으로 인한 수익감소를 포함한다. 건강효과로부터 고통 및 고통을 회피하려는 가치 등이 제외되어 있어 건강피해비용을 일반적으로 저평가하는 것으로 알려져 있다.

Endpoint

특정한 부정적 건강효과의 집합을 의미하는 Endpoint는 Endpoint 그룹의 부분집합이다. 예를 들어 사망률(Mortality)이라는 endpoint 그룹 내에는 사망률, long term, All cause와 mortality, longterm, Cardiopulmonary(심폐)와 같은 사망원인에 대한 endpoint가 존재하는 방식이다. endpoint 그룹이 단지 한 개의 endpoint를 가지는 경우에 같은 이름이 사용된다.

Fixed Effects Pooling

Fixed Effects Pooling은 둘 또는 그 이상의 (Latin hypercube로 대표되는) 분포를 하나의

새로운 분포로 결합하는데 이용된다. Pooling을 위한 가중치는 편차를 역으로 가중하는 방식으로 생성하는데 즉, 더 적은 편차를 가진 분포에 대해 더 가중치를 주고 편차가 큰 분포에 대해서는 가중치를 덜 주는 방식이다.

Fixed Effects Pooling에서는 다양한 연구들에서 추정된 모수(Parameter)들 간의 차이는 샘플링 에러의 결과라는 기본가정을 전제한다. 추정값의 확실성은 그 추정치의 편차에 반영되어 편차가 클수록 추정값의 신뢰도는 더 떨어진다고 할 수 있다. 이러한 가정으로부터 편차의 역 비율을 고려하여 각 추정치를 가중하는 것이다.

Grid cell

대기 질 모형 내에 공간적 구성요소, 또는 지리학적 단위 중 하나인 Grid로서, 예를 들면, REMSAD 모형은 약 36km×36km 단위의 grid cell로 구성되어 있다.

Endpoint Group

Endpoint Group은 조기사망(premature mortality), 만성기관지염, 입원과 같은 건강효과의 폭넓은 그룹들로 대표된다. 조기사망과 만성기관지염과 같은 구별된 건강효과 발생건수를 합치는 것은 논리적으로 모순이므로 BenMap에서는 주어진 Endpoint Group내에서 발생하는 건강효과들만의 결합이 허용된다.

Incidence Rate(발생률)

발생률은 연간 개인의 부정적인 건강효과 평균 발생수를 나타낸다. 일일 발생율 자료가 요구되는 C-R함수에 대해, 연간 발생률은 365로 나누어야 한다¹¹⁾.

Interpolation

Interpolation은 하나 또는 그 이상의 주변 대기질 모니터링을 통해 관찰되지 않은 지역의 대기 질 수준을 추정하는 과정이라 할 수 있다. BenMap은 두 가지 형태의 Interpolation과정을 사용한다. 하나는 간단하게 가장 가까운 곳의 모니터 자료를 선택하는 것이고, 다른 하나는 Voronoi Neighbor Averaging이라고 불리는 기술을 이용하는 것이다¹²⁾.

11) BenMap의 incidence rate 자료는 BenMap 매뉴얼 부록 E(Appendix E)에 수록되어 있다.

12) Appendix C, BenMap Manual

Latin hypercube

Latin hypercube는 C-R 계수와 같은 주어진 분포 하에서 특정 백분위를 사용하여 생성되는 점들을 샘플링하는 작업이다. 이러한 작업은 계산시간을 절약함과 동시에 분포를 반영하기 위해 설계된 간단한 방법이다. 예를 들면, 20개의 Latin hypercube 관찰치(points)를 사용할 때 BenMap은 분포로부터 2.5th, 7.5th, 12.5th.....97.5th 등의 점들을 사용한다. 이러한 Latin hypercube point는 각기 다른 C-R 함수의 결과치를 결합할 때, 또한 발생률 추정에 대한 신뢰구간을 나타내는 데 사용된다.¹³⁾

Latin hypercube 샘플링은 몬테카를로(Monte Carlo) 방법과 비교대상으로 최근 발전한 기술이나 더 작은 표본을 가지고 수행한다는 장점이 있다. 일반적으로 Latin hypercube 샘플링을 이용하여 얻은 약 1000개의 표본을 활용한 분석이 몬테카를로 방법을 사용해 추출한 약 5000개의 표본을 이용한 분석과 비교 가능한 결과를 도출하는 것으로 알려져 있다. 이러한 샘플링 방법을 사용하기 위해서는 일반적으로 투입변수에 대한 분포를 사전에 알고 있어야 한다. 만일 이러한 정보가 없을 경우 종종 정규분포 또는 truncated 정규분포라고 가정한 후 활용된다.

Modeling

대기질 모델을 이용하여 대기오염 수준을 추정하는 방법.

Monitoring¹⁴⁾

실질적인 대기오염 농도의 측정 수단.

Point mode

Configuration 정의할 때 연구자는 Point mode에서 부정적 건강효과를 추정하거나 Latin Hypercube 방법을 이용할 수 있다. Point mode는 단순히 BenMap이 C-R함수 계수의 평균값을 사용하는 것을 의미한다.

Population Exposure versus Personal Exposure

13) BenMap Manual 6장 및 7장 참조

14) appendix A는 BenMap에 사용되는 모니터링 자료에 대해 설명하고 있다. 미국 환경국이 이 모니터링에 관련된 자료뿐만 아니라 대기 질 시스템에도 이용할 수 있는 자료를 가지고 있다.

인구 노출(or ambient exposure)은 grid cell 단위로 측정된 평균적인 대기오염 수준을 말한다. 이에 반해 개별 노출은 고속도로, 실내, 그리고 실외와 같은 각기 다른 환경에서 하루 중 개인이 직면한 노출정도를 다루는 방식으로 BenMap에서는 인구노출만을 취급한다.

Random Effects Pooling

Random Effects Pooling 모형은 고정효과모형(Fixed Effects Model)에 대한 대안책이고, 고정효과모형처럼 다른 연구들로부터 추정된 모수가 한 개의 기준 모수에 대한 각기 다른 추정값 이라기보다는 각기 다른 모수의 추정값이 될 수 있는 가능성을 두고 있다.

Relative Risk-RR

RR은 전형적으로 대기오염 수준의 증가에 따른 부정적 건강효과에 대한 위험도 변화를 평가하는 데 사용된다. 더 세부적으로는 RR은 낮은 대기오염수준에서의 질병발생 위험도에 대한 높은 오염수준에서의 질병발생 위험도 비율을 나타낸다. 여기서 위험도는 개인이 질병에 걸릴 확률로 이해될 수 있다.

REMSAD(Regulatory Model System for Aerosols and Deposition)

대기질 모형은 오존을 포함한 여타 오염물질 뿐만 아니라 PM의 오염도를 계산할 수 있으며, Grid cell 단위는 $36\text{km} \times 36\text{km}$ 이다.

Subjective Weighting

Subjective Weights는 연구자로 하여금 두개 또는 그 이상의 결과를 합칠 때 그 목적에 따라 원하는 가중치를 구체화 할 수 있다. 이때 가중값은 하나로 합쳐져야만 하고 그렇지 않을 경우 BenMap은 프로그램에서 통상적으로 가중치 값을 정규화 한다.

UAM-V(Urban Airshed Monitoring - Variable grid)

오존 수준을 측정하는 대기 질 모형의 Grid cell 단위는 $12\text{km} \times 12\text{km}$ 이다.

VNA(Voronoi Neighbor Averaging)

VNA는 관찰되지 않는 위치에서의 대기 질 모니터링 자료를 예측하기 위해 BenMap에서

사용되는 알고리즘(Algorithm)이다. BenMap은 우선적으로 인구자료 grid cell의 중심을 둘러싼 모니터링 지역을 정의하고, 모니터링 값의 가중평균값을 거리의 역수값으로 취한다¹⁵⁾.

WTP(Willingness to Pay)

WTP는 개인의 재화에 대한 지불의사로 여기서는 질병위험 저감에 대한 개인의 지불의사를 나타낸다. 일반적으로 경제학자들은 위험저감 가치의 적합한 척도로써 환경의 질 개선에 대한 개별 지불의사를 보는 경향이 있다. 이러한 개선을 포기하는데 따르는 보상의 수락의사도 또한 가치척도가 된다. 그러나 WTP가 일반적으로 더 잘 활용되고 전통적인 편익의 척도로써 고려되고 있으며, 이익에 대한 보다 쉽고 신중한 측정 수단으로 여겨진다.

2.1.1.2 파일유형

대기오염에 대한 인구노출을 측정하기 위해서 BenMap은 외부적으로 형성된 모형과 모니터 자료파일에 의존한다. 모델 파일에는 REMSAD , UAM-V, CAMx,, CMAQ 4가지가 있다. 다음 표II-4는 각 모델의 범위를 요약하고 BenMap에 입력되는 모델파일의 형식을 묘사하고 있다¹⁶⁾.

15) 자세한 내용은 BenMap Manual 의 부록 C 참조

16) BenMap Manual Chapter 4 에서는 이러한 파일이 어떻게 사용되는지 세세한 설명이 수록되어 있다.

<표 II-4> 대기 질 모형의 자료 구조(예)

모형	오염물질 ^a	모형범위 및 자료의 구조 ^b
REMSAD	PM2.5, PM10, PMC	<u>Modeling Domain</u> REMSAD는 경도의 1/2, 위도의 1/3, 또는 36km×36km 단위의 grid cell을 가지고 있다. 모델링의 범위는 미국 전체를 뒤덮는 총 10,080개의 Grid cell을 포함하는 경도 126~-60, 경도 24~52까지 확장한다. <u>Data file</u> 연간 자료 하나가 있는데, 첫째 줄은 자료 설명이고 두 번째 줄은 변수명(Variable Name)을 나타낸다: 열, 행, 그리고 1월 1일에서 12월 29일까지 총 364개의 (12월 30,31일이 빠진 것에 주의) 변수 존재. 다음 라인에는 변수명과 똑같은 순서로 실제 자료가 기입된다. 각각의 행렬 조합은 자료의 한 라인이 된다.
CAMx and UAM-V	Ozone	<u>Modeling Domain</u> CAMx 와 UAM-V는 경도의 1/6, 위도의 1/9, 또는 약 12km×12km 단위의 grid cell을 갖는다. BenMap은 미 대륙의 플로리다 텍사스 남단을 예외로 하고 모든 미국대륙을 뒤덮는 경도 127~-67, 위도52 ~26의 총 84,280개의 grid cell 범위를 가정한다. 그러나 모델러는 종종 미국을 동쪽과 서쪽으로 구분하여 동쪽은 경도 -99~-67, 위도 26~47, 서쪽을 경도 -127~99, 위도 26~52로 그 범위를 나누기도 한다. 각 모형범위의 끝부분에서는 자료가 없는 세 개의 cell이 인접하여 몇몇의 인구밀집 지역들은 모형화가 안되었다. 동쪽 범위에서 전형적으로 모형화 되는 실제지역은 경도 98.5~-67.5, 위도 26.33~47.67로 뻗어 있으며, 서쪽은 경도-126.5 ~ 99.5, 위도 26.33~51.67에 걸쳐있다. <u>Data file</u> CAMx와 UAM-V 모형자료는 통상적으로 일단위 관측치를 갖는 복합파일로부터 작성한다. 날짜 변수의 숫자는 각각의 영역에 대해 사용될 수 있는데, 다수의 EPA 분석에서 동쪽지역에 대해서는 30일, 서쪽지역은 19일이 사용되었다. 이러한 자료는 Tool 메뉴에서 접근가능한 "CAMx/UAM-V Model file creator"와 결합된다. Tool에 대한 입력자료는 동쪽에서 1개 이상, 서쪽에서 1개 이상이며, BenMap에서는 동쪽영역에서 192열 및 189행의 자료를 가지고, 서쪽영역은 168행과 234열을 가지는 것으로 인식한다.
CMAQ ^c	PM2.5, PM10, PMC	<u>Modeling Domain</u> CMAQ의 모형 영역은 미국 대륙 전체를 포함한다. 각각의 grid cell 단위는 대략 REMSAD와 유사하다. <u>Data file</u> CMAQ는 REMSAD와 동일한 자료구조를 갖는다.

- a. 각기 다른 모형 형태는 특정 오염물질 분석에 제한되어 있음을 주의. 현재까지 BenMap은 PM에 대해서는 REMSAD와 CMAQ 모형자료를, 오존에 대해서는 CAMx와 UAM-V 모형자료를 사용할 수 있도록 제한되어 있음.
- b. 모형자료는 공간제약이 없음(space-delimited)
- c. BenMap는 관측치 수를 364로 하고 다음 규칙에 따라 자료를 저장함: 첫 91개 관측치는 90 이하로 저장된다.(전형적인 REMSAD/CMAQ 자료가 2월 29일에 대한 관측치를 포함하고 있음). 다음 91개 관측치는 91부터 저장된다.(유일한 변화는 결측치가 존재할 때임). 다음 92개의 값은 92까지 저장된다. 마지막 90개는 92까지 저장된다.(12월 30, 31일은 관측치가 없음)
- d. 자료: BenMap User's Manual Ch1, Exhibit 1-1.

표 II-5는 모니터 자료를 불러오기 위한 형태에 대한 내용을 보여주고 있다.

<표 II-5> Monitor Data File Format

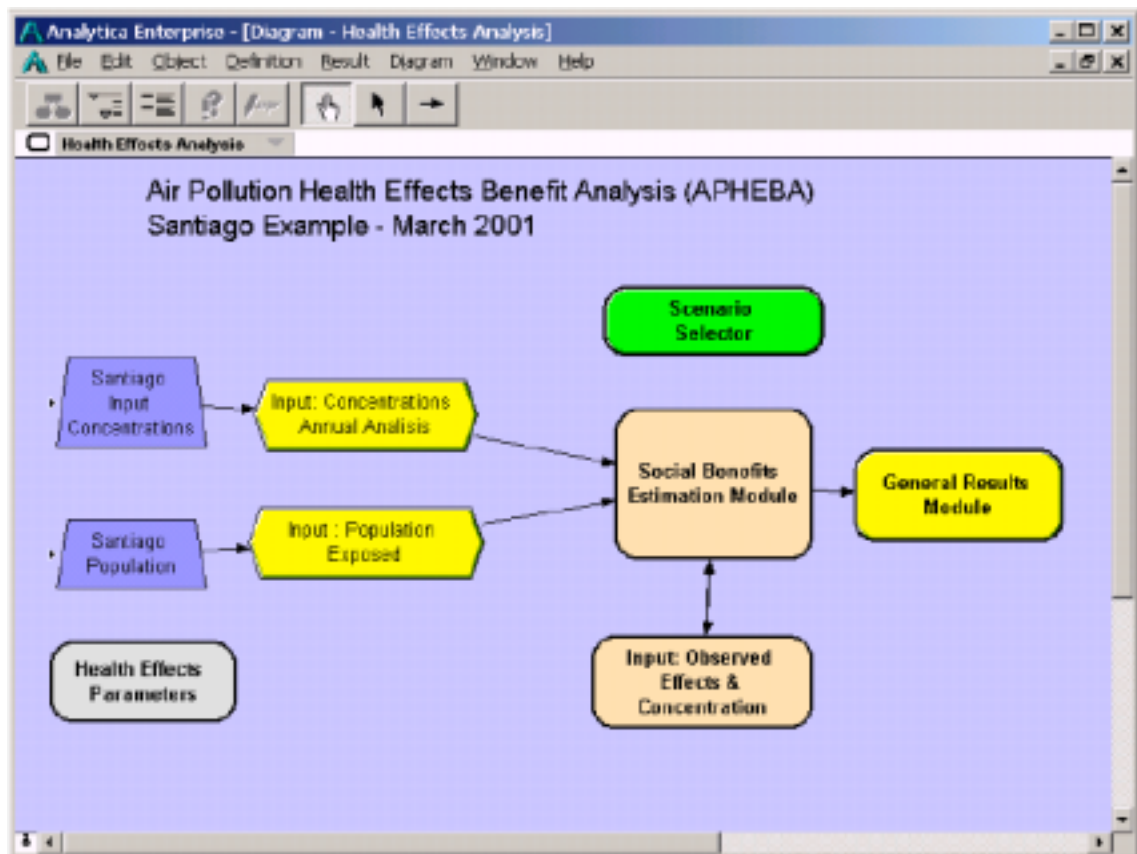
변수 ^a	BenMap ^b 에서의 필요여부(y/n)	설명
year	y	모니터 자료의 연도에 주어지는 4단위 변수
Monitor ID	y	모니터 ID는 character-15: state FIPS(2char), country FIPS(3char), site ID(4char), pollutant parameter(5char), POC code(1char)
latitude	y	위도는 decimal degree로 되어야 한다.
longitude	y	경도는 decimal degree로 되어야 한다.(미국의 경우 경도가 음의 부호를 가짐에 주의)
method	n	(측정)방법론 은 모니터 자료를 수집하는 접근법을 정의한다. 예를 들면, PM2.5에 대한 Federal Reference Method는 116-120, 그리고 123 코드를 포함한다.
land use	n	관측지역 1/4 마일 이내의 효과적인 토지사용 범주
location setting	n	관측지역 내의 환경상태 묘사
probe location	n	샘플링 조사 위치 정의
monitor objective	n	모니터에 의한 대기 질 측정 사유 정의
sample frequency	n	관측치 간 시간차
sample values	y	365일 PM 값 또는 8,760시간간 오존값

a. 모니터 자료는 EPA의 AQS로부터 활용가능. 각각의 모니터와 측정방법론은 표본값의 대표성을 나타내고, 자료셋의 한 라인을 차지하게 된다. BenMap에서는 연구자가 원하는 방법을 선택하도록 하고, 모니터 ID가 자료의 한 라인에 들어가도록 균등분배된다. 모니터 ID에 대해 만일 한개 이상의 토지사용이나, 위치설정, 조사위치, 모니터 목적, 그리고 표본 빈도등이 있는 경우에 "ZZ" 값으로 변수를 표기한다. 이것은 특정 모니터 ID 변수가 한개 이상의 값을 가짐을 의미한다.

b. 연도, 모니터 ID, 위도, 경도, 그리고 표본 값 들은 BenMap 함수에서 필수적이다. 다시말해, 여타 변수들은 반드시 필요한 것은 아니다. 연구자는 특정 방법을 사용하여 자료를 정리할 수 있으나, 필수적인 것은 아니다. 사실상 몇 개의 결측치는 발생할 수 있고 종종 있는 경우이다. 위 표에서 N으로 표기된 것은 현재 BenMap에서 사용되지 않으며, 향후 버전에서 모형의 유연화를 위해 추가될 것으로 알려졌다.

2.2 APHEBA

APHEBA(Air Pollution Health Effects Benefits Analysis) 모형은 주어진 위치와 시간에 대한 대기오염물질 농도 변화와 관련된 사회적 편익을 추정하도록 설계된 통합평가모형이라 할 수 있다. APHEBA 모형은 윈도우 기반의 Analytica 프로그램을 이용하여 작성되었으며 기본적인 구조는 다음 그림 II-3과 같다.



<그림 II-3> APHEBA's form and flow¹⁷⁾

예제로 작성된 위 모형은 윈도우 기반의 Analytica 프로그램에 의해 구축되었다. 상기 모형은 각 node 별로 마우스 클릭을 통해 간단히 편집할 수 있으며, 분석자의 의도에 따라 input parameter를 변환할 수 있다.

APHEBA의 주요 모듈은 대기노출 모듈(Exposure module), 건강효과 모듈(Health Effects Module), 그리고 가치평가 모듈(Valuation module)의 세 부분으로 구성되고 또한 분석자의 목적에 따라 설계되는 시나리오 선택 모듈(Scenario Selection Module)을 포함하고 있다.

17) APHEBA User's Guide - Draft, NREL(National Renewable Energy Laboratory)

또한 위 그림 내의 input 인자는 농도(input Concentration)와 인구(Population)이다. 이러한 변수들은 표 또는 다른 변수들과의 함수관계로 나타나며, 편집이 가능하다.

먼저 시나리오를 선택할 때 분석자는 분석대상 오염물질을 선택하고, 분석대상 기간, 그리고 기준 시나리오와 구분되는 여러 가지 시나리오를 작성할 수 있다. 건강효과 추정 모형에서는 대기오염으로 인한 급성 호흡기 질환 및 천식 환자수를 추정하고, 가치평가 모형에서는 사회적 편익(비용)을 계산한다.

Analytica를 이용한 APHEBA 모형의 장점은 다양하고 편리한 index 기능을 가지고 있다는 점이다. 또한 그 결과를 확인할 때 분석자의 원하는 관계를 click만으로 쉽게 확인할 수 있다. Analytica를 실행(run)하기 전에 사용자는 결과를 얻는 데 필요한 몇 가지 옵션을 선택할 수 있다. 즉 표본 크기에 따라 Analytica로 하여금 어떻게 확률 분포를 추정하고 반복계산(Iteration) 방식은 어떠한 것을 선택해야 하는지 결정해야 한다¹⁸⁾. Analytica에서 제공하는 기본적인 표본추출 방식(Sampling)은 세 가지로 Monte Carlo Simulation, Median Latin hypercube, Random Latin hypercube 방법 등이 제공된다.

2.3 평가 결과

제2차 통합환경전략 연구 목적인 대기오염의 건강편익분석 및 모형개발이라는 관점에서 BenMap 및 APHEBA 모형 모두 적합한 정량분석 수단으로 활용될 수 있는 것으로 판단된다. BenMap은 건강편익 평가에 있어서 GIS 기준의 격자단위를 활용할 수 있으므로 지역단위를 세분한 모형구축에 장점이 있으며, 대기분포모형, C-R 함수 등을 외부모듈에 추가할 경우 활용도 측면에서 상당한 유연성을 가진 것으로 보인다. 또한 방대한 자료를 바탕으로 일 단 모형이 구축되면 별도의 전문적인 훈련 없이도 건강편익 뿐 아니라, 인구, 대기, 경제적 비용 등과 연관된 다양한 분석시나리오를 정책 담당자가 직접 설정하여 분석할 수 있다는 잇점이 있다.

APHEBA 모형은 선행연구-인도 IES 프로젝트- 에서 확인한 바와 같이 대기오염의 건강편익분석에 특화된 모형으로 세부모형을 연구자가 직접 설계하거나 변경하여 활용할 수 있다는 점이 장점이다. 또한 자료의 형태 및 범위도 BenMap에 비해 상대적으로 간단한 구조를 갖고 있어 자료구축에 소요되는 시간이 단축될 수 있다. 다만 모형의 모듈이 전문적인 시뮬레이션 프로그램(Analytica 프로그램) 위에 작동되도록 되어있어, 동 프로그램에 대한 사전

18) Analytica 프로그램의 Result menu에서 Uncertainty Setup box에서 표본의 크기 및 반복계산방식을 선택할 수 있다. BenMap과 마찬가지로 표본의 크기가 크고 정밀한 계산을 위해 더 높은 컴퓨터 사양이 요구된다.

전문지식 습득이 필수적이고, 정책시나리오 분석을 위한 의사결정자의 모형활용 용이성 측면에서 볼 때 BenMap 보다 어렵다고 할 수 있다.

BenMap International Version이 아직 완성되지 않은 단계에서 성급한 판단이 될 수도 있으나, 이상의 평가결과를 종합하면 한국형 대기오염의 건강평가 모형 구축에는 BenMap이 향후 정책분석 응용도 면에서 더욱 활용도가 높을 것으로 판단되며, 이는 다음과 같은 판단에 따른 것이다. 먼저 본 과업에서 구축하는 한국형 모형이 단지 일회성 활용에 그치지 않고 향후 다양한 대기 및 환경정책 분석에 응용되어야 한다는 점을 고려할 때, 보다 정밀한 자료를 이용하여 다양한 정책 시나리오를 손쉽게 분석할 수 있는 모형이 필수적이라는 점이다. 둘째로는 건강영향에 대한 평가 이 외에 대기 및 환경정책 분석에 활용될 환경경제통합분석 모듈과의 연계성에 있어서도 BenMap은 보다 확장된 유연성을 제공한다. 셋째, 우리나라 현실에 맞는 GIS 기반의 기존 통계자료의 활용도를 제고하는 측면에서도 BenMap¹⁹⁾이 보다 적합한 분석 모형이 될 수 있다는 점이다. 향후 수도권 대기관리 계획과 관련하여 구체적인 대기정책의 파급효과를 분석하는 데 있어서 제1차 IES 연구에서와 같은 수도권 전체에 대한 분석뿐만 아니라 지자체 수준의 세부 지역단위 분석이 필요한 시점에서 보다 세밀한 DB 활용이 가능한 분석모형의 선택이 필요하다는 점에는 이견이 없을 것이다.

현재 미국 환경청과 BenMap International Version을 본 연구의 후속 연구에 이용하는 문제에 대한 협의가 진행 중에 있으며, 향후 미국이 제공할 BenMap International Version에 대한 교육 및 기술지원 작업이 본 과제의 후속 사업으로 진행될 예정에 있다.

본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 대기오염의 건강편익효과 분석을 위한 한국형 분석 모형으로 BenMap을 우선하고 소요 자료에 대한 DB구축을 진행하였다. 본고의 3장에서는 현재 작업이 완료된 GIS기반의 인구 및 대기자료, 그리고 건강자료 추출을 위한 프로그램과 자료 구축문제를 다루었으며, C-R 함수 및 대기분포모형 등과 같은 기술적 부문에 대한 조사 분석을 진행하였다.

19) 실제 BenMap에서도 Aggregated 된 결과를 도출할 수 있음. 이것은 세부 단위가 결합하여 집계한 결과로써 전체효과만을 추정한 1차 연구결과와도 비교 가능할 것으로 예상됨.

III. 수도권 통합분석 자료구축

1. 수도권의 지리 인문

1.1 수도권의 지리적 특성²⁰⁾

수도권은 25개 구로 구성된 서울시, 10개 군·구로 이루어진 인천시, 31개 시·군으로 이루어진 경기도를 포함한다(그림 III-1 참조). 수도권 전 지역은 동경 126° 29' ~ 128°, 북위 37° ~ 38° 20' 사이에 위치하며, TM 좌표로는 TMX 130~280(km), TMY 380~530(km) 사이에 위치하고 있다. 수도권 지역은 동서방향 × 남북방향 거리가 100km × 100km로 한 도시의 특정 오염원이 10시간 이내에 수도권 전체에 영향을 줄 수 있는 크기로서 각 시·도간에 인접도시 등의 위치적 특성 파악이 중요한 것으로 평가된다. 수도권 지역의 위치적 특성은 대부분의 도시들이 서울을 중심으로 동서남북 방향으로 위치하고 있다. 수도권을 서울을 중심으로 동, 서, 남, 북 지역으로 분할할 경우, 북부에 파주시, 고양시, 양주시, 의정부시, 동두천시, 남양주시가 위치하며, 남부에는 광명시, 시흥시, 안양시, 과천시, 성남시, 의왕시, 광주시, 군포시, 안산시, 수원시, 화성시, 용인시, 오산시 및 평택시 등이 위치하고 서부에는 인천시, 김포시, 부천시, 동부에는 하남시, 구리시 등이 위치하고 있다.

수도권 지역 중 서울시는 한반도 서측 중앙부에 위치하며 현재 행정구역면적은 605km²로서 동서간 거리는 36.8km이고, 남북간 거리는 30.3km로서, 특히 도시 중심부의 동서방향으로는 한강이 흐르고 있으며, 도심부 지역에는 남산이 위치하고 있다. 또한 북쪽에는 북한산의 지맥인 북악산과 그에 연한 인왕산이 위치하고 있으며, 남쪽으로는 관악산이 멀리 북한산과 서로 대하고 있다. 이외에도 도봉산, 우면산, 불암산 등의 크고 작은 26개 산이 도시 외곽을 둘러싸고 있을 뿐만 아니라, 북한산 ~ 관악산간 많은 구릉과 산악이 산재하여 토지의 기복이 심한 전형적인 분지형태를 이루고 있다. 인천시의 지리적 위치는 대략 동경 126° 37', 북위 37° 28'에 해당되는데 이는 한반도의 한가운데이며 황해에 접하여 있고 한강의 하류에 위치하고 있다.

20) 수도권지역 배출총량제 추진방향, KEI 내부자료 참조



<그림 III-1> 대기환경규제지역을 포함한 수도권의 시군 지역

인천시의 행정구역 면적은 2002년 말 현재 986.45km²에 이르고 있으며, 8구 2군 1읍 19면 117동에 달하고 있다. 인천의 산지는 마식령산맥과 광주산맥에서 이어져 오고 있으며, 마니산(469m)과 계양산(395m), 삼각산(343m) 등 10여개의 산을 제외하고는 해발 300m이내의 구릉성산지이며, 따라서 큰 하천의 발달도 없다. 한강으로 유입하는 하천은 굴포천, 청천천, 계산천 등이 있고, 황해로 유입하는 하천으로는 북쪽의 시천천, 공촌천과 남쪽의 승기천, 만수천, 장수천, 운연천 등이 있으며, 굴포천(11.50km)을 제외하면 승기천(6.20km), 검단천(6.74km)등 대부분 유로가 10km미만이다.

경기도는 대략 동경 126° 30' ~ 128°, 북위 37° ~ 38° 30' 사이에 위치하며 TM좌표로는 TMX 130~280(km), TMY 380~530(km) 사이에 걸쳐 있다. 경기도의 면적은 전국토의 약 10%인 10,184km²이며 북쪽으로는 86km의 휴전선에 서쪽으로는 332km의 해안선에 접해 있으며, 동쪽으로는 강원도, 남쪽으로는 충청도와 인접해 있고 그 중앙에는 서울이 위치하고 있다. 또한 동쪽에서 서쪽으로 흐르는 한강에 의해 남, 북 지역으로 나뉘어져 한강수계 이북으로는 산간지역이, 한강수계 이남지역에는 평야지대가 펼쳐져 있다.

수도권의 지형 특성을 살펴보면, 서울을 중심으로 동쪽의 높은 산지와 서쪽의 낮은 평야, 북쪽과 남쪽의 산재된 구릉지로 이루어진 복잡지형을 나타낸다. 산지와 구릉지 사이의 낮은

지대를 따라 도시가 위치하며, 지형고도를 중심으로 크게 지역 구분하면, 북부 구릉지와 계곡 사이의 경기 북서권, 높은 산지로 이루어진 경기 동부권, 서해에 인접한 평지에 경기 서해권, 서울권, 서울 남쪽의 평지와 낮은 구릉지로 이루어진 경기 남서부권, 높은 구릉지로 이루어진 경기 남동부권으로 구분된다.

이러한 지형적 특성에 의해 북서풍에서 남서풍 계열의 종관 바람장과 바다와 산악에 의한 해륙풍과 산곡풍으로 이루어진 복잡한 풍계에 의해 대기오염물질의 순환이 복잡한 양상으로 나타나는 것으로 알려져 있다. 또한 기상조건에 따라 주변지역으로 확산되어 대기오염물질의 지역간 부하율이 크게 나타나기도 하고, 경우에 따라 배출 오염물질이 해륙풍 순환계 또는 계곡에 갇히어 고농도 에피소드가 발생할 가능성도 있다.

서울시는 서울시 표고 및 경사도의 경우 약 80% 정도가 표고 100m 이하이며, 15° 미만의 경사도를 가진 면적은 92%인 것으로 나타나고 있다. 이러한 분석결과는 서울시 토지이용 밀도가 매우 높으며, 고밀도 개발로 대기오염물질이 집중 배출되고 북동쪽 산악지형으로 인한 정체 가능성으로 대기질 악화의 간접요인이 될 수 있음을 시사하고 있다.

인천시는 표고 50m이하가 87.7%로 대부분 저지대로 이루어졌으며, 경사도 20%미만이 89.3%로 대체적으로 완만한 지형을 형성하고 있다. 북측의 계양산(396m)을 중심으로 한 표고 50~400m의 구릉지와 동남측의 철마산(205m) 및 관모산(299m)을 줄기로 한 50~200m의 구릉지가 인천의 산세를 형성하고 있으며, 계양산과 철마산, 약사산으로 이어지는 소산맥이 인천시가지와 부평을 분리하는 양상을 보이고 있다. 영종·용유지역은 영종도 중앙부의 백운산(255m)을 중심으로 비교적 낮은 구릉지로 형성되어 있으며, 해안부는 경사가 완만하고 수심이 얕으며 간만의 차가 심하다. 검단면 지역은 평야가 잘 발달된 지역으로 표고 20m이하가 전체면적의 53%를 차지하고 있으며, 가현산(216m), 장릉산(150m)이 북측과 동측에 걸쳐 연봉을 이루고 있다.

전반적인 경기도의 지리적 특징을 보면 서쪽은 바다와 접해 지표 고도값이 낮은 반면 동쪽은 강원도와 인접하여 대부분 산악지형으로서 높은 고도값을 가진다. 수원시의 지형은 시내중심부가 낮은 반면 주위는 산으로 둘러싸인 분지형태로서 남쪽을 제외하고는 오염물의 이동이 평지보다는 자유롭지 못할 것으로 보이며, 부천시의 경우 대부분 낮은 고도값을 보이나 서쪽과 남쪽이 북쪽과 동쪽에 비해 높은 고도값을 보인다. 시흥시와 안산시는 서쪽으로 서해를 접하고 시화공단과 반월공단이 서쪽에 있어 낮 시간의 해풍에 의해 대기오염물질이 시 중심부로 이동될 것으로 예측되며, 동쪽의 고도값이 비교적 높은 관계로 이동된 오염물질들이 장시간 머무를 수 있을 것으로 예상된다. 군포시의 경우 북서편의 수리산에 의해 남동쪽으로 낮아지는 경사를 보이며 의왕시는 대각선 방향으로 길게 뻗어 있으며 고도값이 다른 지역에 비해 높다. 하남시는 북쪽과 남쪽에 높은 산이 위치하고 있으며 구리시는 전체적인 크기가 작고 서울 등 대도시와 이웃하여 인근 도시로부터의 영향이 클 것으로 예상된다. 의정부시의 주위에는 높은 산들이 위치하여 전체적인 고도값이 높았으며, 고양시는 도시면적으로 볼 때 비교적 큰 도시이고 30m 내외의 고도값을 보인다.

1.2 수도권 산업분포

관련 연구결과에 따르면, 수도권 지역의 지역내 총생산이 전국에서 차지하는 비중은 '95년 46.69%에서 '02년 48.79%로 꾸준히 증가해왔다. 이 가운데 경기도 지역의 경우는 연평균 증가율이 10.95% 대로 급성장하였으며, 전국의 23.89%인 123조 규모의 지역총생산액을 기록하고 있다. 경기도에는 삼성, 현대, LG 등 대규모 업체의 핵심 사업장이 위치하고 있으며, 다수의 소비자와 경제활동 인구를 가진 거대시장이 존재한다. 경기도의 수도권 지역 내 총생산 증가 기여도는 절대적이며, 수도권 경제의 견인차 역할을 하고 있는 것으로 분석된다.

<표 III-1> 수도권 지역내 총생산(GRDP) 변화추이

(단위: 백만원('95년 기준년가격))

구분	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	연평균 증가율
전국	357,722,460	387,505,852	406,621,977	376,716,652	425,345,189	465,487,901	486,416,276	517,255,882	5.58%
수도권 (비중)	163,440,854 (45.69%)	175,585,871 (45.31%)	182,931,962 (44.99%)	170,455,465 (45.25%)	197,698,340 (46.48%)	223,266,542 (47.96%)	232,763,066 (47.85%)	252,394,115 (48.79%)	6.63%
서울시	84,598,728	90,518,428	91,336,107	83,006,320	90,894,721	97,056,745	99,268,549	106,351,605	3.50%
인천시	18,007,029	19,018,292	19,457,807	16,727,897	19,251,386	20,896,916	21,506,822	22,421,485	3.53%
경기도	60,835,097	66,049,151	72,138,048	70,721,248	87,552,233	105,312,881	111,987,695	123,621,025	10.95%

자료: 통계청(KOSIS), 시도별/경제활동별 지역내총생산, 수도권지역 배출 총량관리제 추진방안(2004, 환경부)에서 인용

대기환경의 주요 문제가 되는 대기오염물질 배출시설을 살펴보면, 전국에서 수도권이 차지하는 대기오염배출시설이 17,306개소로 나타났으며 전국의 40.89%를 차지한다. 이 가운데 규모가 영세한 업체(5종)가 차지하는 비중은 43.33%로 매우 크게 나타났다. 이는 수도권 지역은 산업단지개발의 과다한 억제로 개별입지의 소규모 개발이 늘어난 때문으로 파악되며, 산업단지 조성이 서해안지역으로 집중됨에 따라 서울근교지역의 과밀현상이 심화될 가능성과 함께 대기부문 오염관리에도 어려움이 더해질 것으로 예상되고 있다.

1990년대의 에너지이용 현황을 살펴보면, 연료부문에서 석탄류, 특히 무연탄의 사용량이 감소한 반면 LNG 및 LPG의 사용량이 증가하였으며, 유류의 경우에는 완만한 증가세를 보여 주었다. 이 같은 에너지 이용구조의 변화는 SO₂ 배출량을 단기간에 크게 감소시키는데 기여한 것으로 평가되고 있다.

<표 III-2> 수도권 대기오염배출시설 현황(2002년)

(단위: 개소)

구분	전국	수도권 (비중)		서울	인천	경기
총계	42,323	17,306	(40.89%)	1,094	3,605	12,607
1종	648	168	(25.93%)	15	53	100
2종	1,188	337	(28.37%)	7	68	262
3종	1,171	334	(28.52%)	12	68	254
4종	5,011	1,601	(31.95%)	43	374	1,184
5종	34,305	14,866	(43.33%)	1,017	3,042	10,807

자료: 환경부, 「환경통계연감2003」, p462

2001년 기준 수도권의 도로연장은 21,573km로 전국의 24%에 해당한다. 서울의 경우 도로 포장율이 100%에 가까우나 경기지역의 포장율은 83%로 낮은 상태임을 알 수 있다. 자동차 등록대수에 있어 전국적으로 증가추세를 보이고 있으며 그 중에서도 승용차의 증가세가 두드러진다. 전국적으로 수도권에서 차지하는 비중이 약 45% 이고, 그 가운데 특히 경기도의 자동차부문 소계의 증가율이 약 47%로 매우 높게 나타나 경기도 지역의 경우 교통량의 증가에 비해 도로포장율이 미흡함을 알 수 있다.

2. 통합 분석 자료구축

통합환경관리시스템(IES)은 경제와 환경, 보건 분야의 상호 유기적인 영향관계를 분석하기 위한 시스템으로 다양한 대기오염 정책 수립 시 대기오염도 변화와 오염도 변화에 따른 인체에 미치는 건강상의 피해를 예측할 수 있는 통합 시스템을 말한다. 본 시스템의 활용을 위해서는 인구, 보건, 대기오염도, 오염배출량, 기상자료 등 기본적인 자료 구축이 요구된다.

2.1. 인구자료

2.1.1 수도권 인구분포

전 국토 면적의 11.8%를 차지하는 수도권의 면적은 11,700 km²로 서울 5.2%, 인천 8.2%, 경기 86.6%로 구성되어 있다. 수도권의 인구증가추이를 보면²¹⁾, 연평균 인구증가율이 '81~'91년에 3.33%였던 것이 '91~'96년에는 1.97%, '96~'01년에 1.35%로 그 증가세가 둔화되었다. 그러나 전국대비 점유율에 있어 '91년 43.1%에서 '01년에는 46.6%로 점점 높아져 수도권의 인구집중현상이 심각한 것으로 나타났다.

김수철 외(2003)에 나타난 수도권의 인구변화 추이 분석한 결과에 의하면, '80년대에는 수도권 남부지역에 있는 서울시 인접도시의 인구가 급속히 증가한 데 비해 '90년대에는 서울을 중심으로 반경 20~30km에 위치한 도시의 인구증가율이 높게 나타났다. 이는 '80년대 높은 증가율을 보였던 서울의 인구는 감소하고 인접 경기지역의 인구는 증가하여 수도권의 광역화와 인구의 평면확산이 일어나고 있음을 보여주는 것으로 해석되었다. 수도권 지역의 인구 급성장 도시지역으로는 30~100만명 수준의 인구를 가진 안산, 시흥, 용인, 의정부, 남양주 등과 10~30만명 규모의 군포, 광주, 김포, 양주, 오산 등이 있다.

이 가운데 서울은 인구 밀도가 km²당 17,062인에 달하는 초과밀 지역으로 분류된다. 서울 지역의 인구밀도는 전국의 35배에 이르며 이 가운데 동대문구, 동작구, 양천구의 인구밀도가 25,000명/km² 이상으로 특히 높게 나타난다. 지역별 인구는 관악구, 강서구, 강남구, 노원구, 송파구가 50만명 이상이며, 20만명 이하인 지역은 종로구와 중구이다.

21) 수도권 교통체계 개편을 위한 장기구상 및 추진전략, 김수철, 유정훈, 김혜자. 2003, 경기개발연구원

<표 III-3> 수도권 일반현황(2001년)

구분	단위	전국	수도권			
			총계	서울	인천	경기
면적	km ²	99,852.0	11,700.5	605.5	958.0	10,137.0
인구	천명	48,289	22,525	10,331	2,582	9,612
인구밀도	인/km ²	483	1,925	17,062	2,634	948
지역총생산액	십억원	561,789	251,220	114,153	25,513	111,554
총 사업체수	개소	3,051,482	1,381,566	725,569	147,081	508,916
종사자수	명	14,336,604	7,175,802	3,878,833	699,233	2,597,736
제조업체수	개소	331,762	170,079	76,017	20,507	73,555
자동차대수	천대	12,914	5,983	2,550	697	2,736

자료: 통계청, 「한국통계연감」, 2002., 수도권지역 배출총량관리제 추진방안(2004, 환경부)에서 재인용

인천지역의 인구밀도는 2,656.5명/km² 으로 전국 인구밀도의 약 6배가 되며, 인천지역에서도 남구와 부평구가 높게 나타났다. 이는 두 지역의 주거지역 비율이 타 지역에 비해서 매우 높기 때문이다. 또한 남동구와 계양구의 경우는 인구밀도에 비해 아파트수가 많이 나타났다. 건설되는 주택에서 아파트 위주로 공급계획이 수립되어 향후 아파트의 비율이 높아질 것이 예상되며 또한 서구, 중구, 연수구에 대규모 개발계획이 있어 상당한 인구증가가 예상되고 있다. 경기지역의 인구밀도는 915.6명/km² 으로 전국 인구밀도의 약 2배이며, 부천시의 경우 14,595.9명/km²으로 매우 높게 나타났다. 그리고 일산 신도시 건설로 고양시의 아파트와 주택, 가구수가 다른 지역에 비해 많이 나타났다.

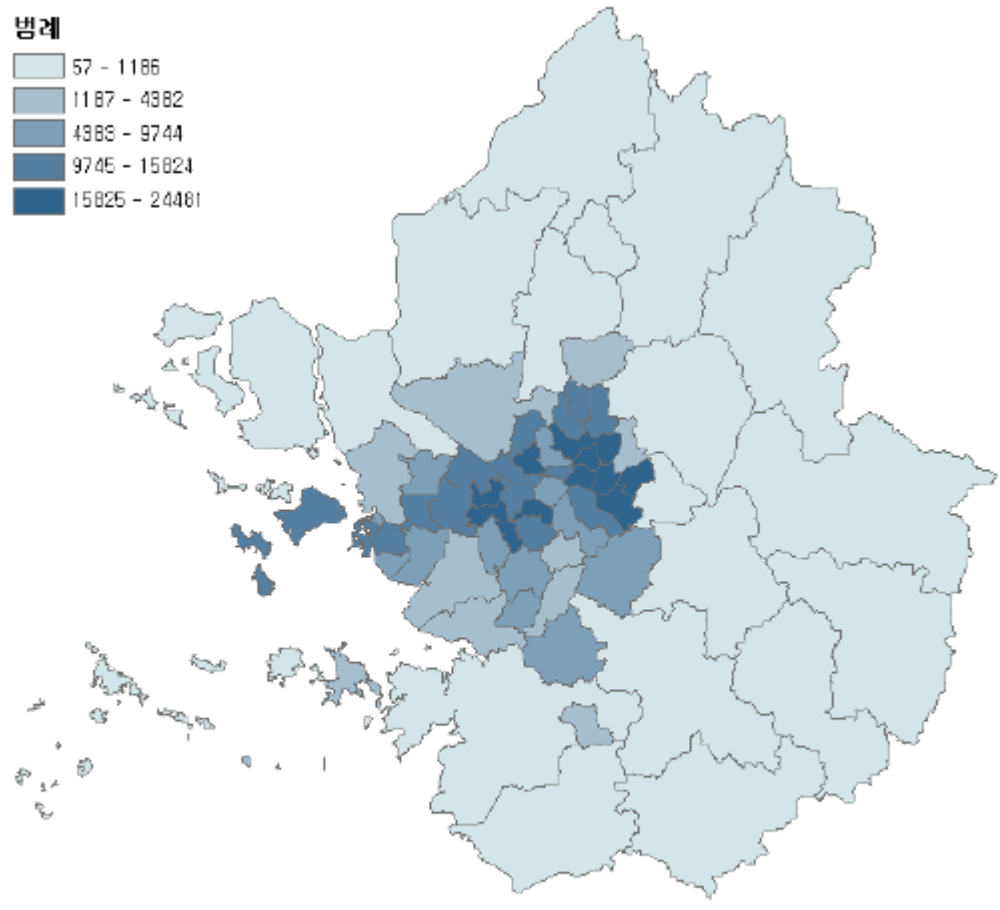
2.1.2 인구자료 구축

본 연구에 사용된 인구자료는 수도권 범위의 인구센서스(2000)로부터 경기도는 31개 시군, 서울은 25개 구자료, 인천은 총 10개의 구와 군의 자료를 추출하여 작성하였다. 또한 수도권 지역을 3km×3km 격자단위(grid cell)로 나누어 GIS(Geological Information System) 자료형태로 구축하였다. 또한 원자료는 성별, 연령별로 구분하여 구축되었는데 연령은 총 14개 영역으로 나누었다. 다음의 그림 III-2부터 그림 III-4는 총 수도권 인구분포, 성별분포, 그리고 연령대별 분포를 보여주고 있다.

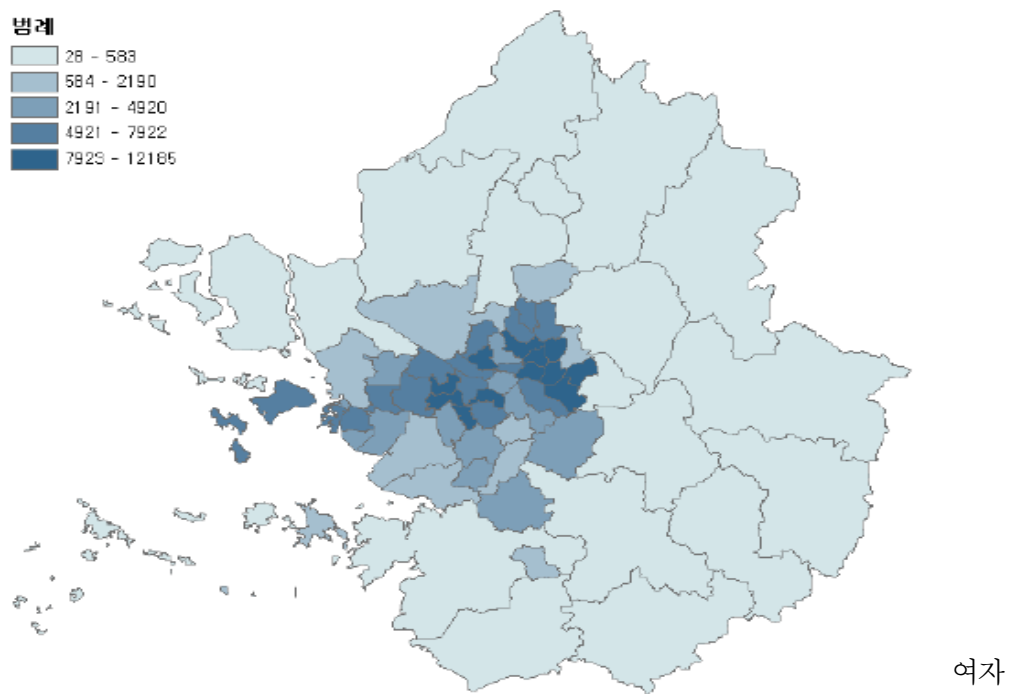
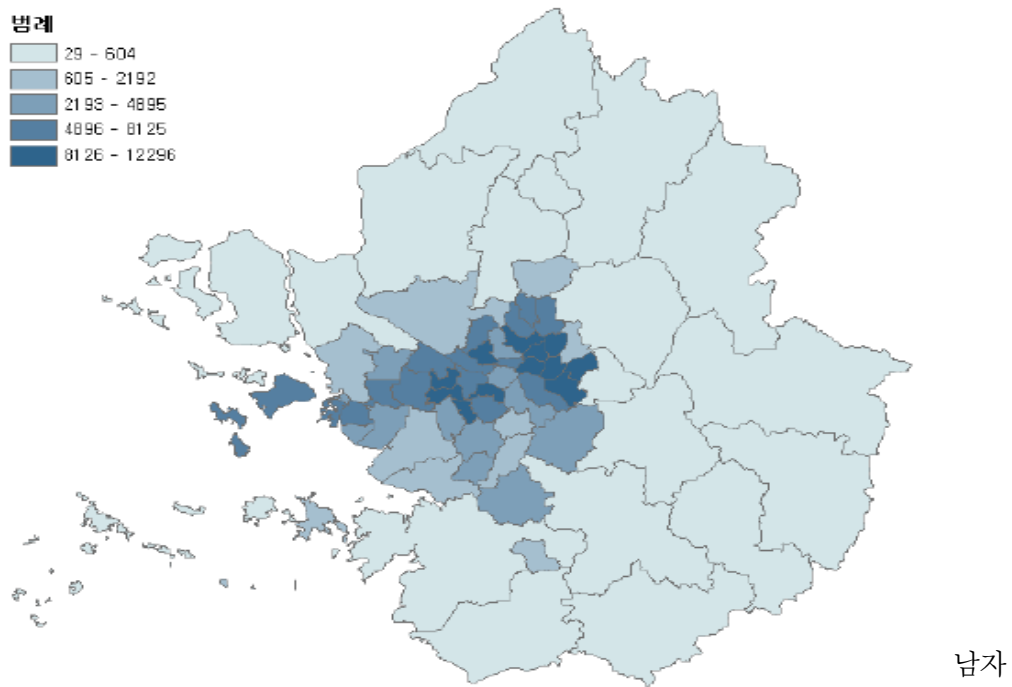
인구분포를 살펴보면 65세 이상의 노년층은 성남 및 고양시 등 신도시에 가장 많이 주거하고 있으며, 10세 이하의 어린이 및 영아들은 수원, 고양, 성남, 부천시의 순으로 많이 주거하는 것으로 나타났다.

서울시 내에서 10세 미만의 최대 거주지는 노원구이며, 다음으로 송파, 강서, 양천 순으로 어

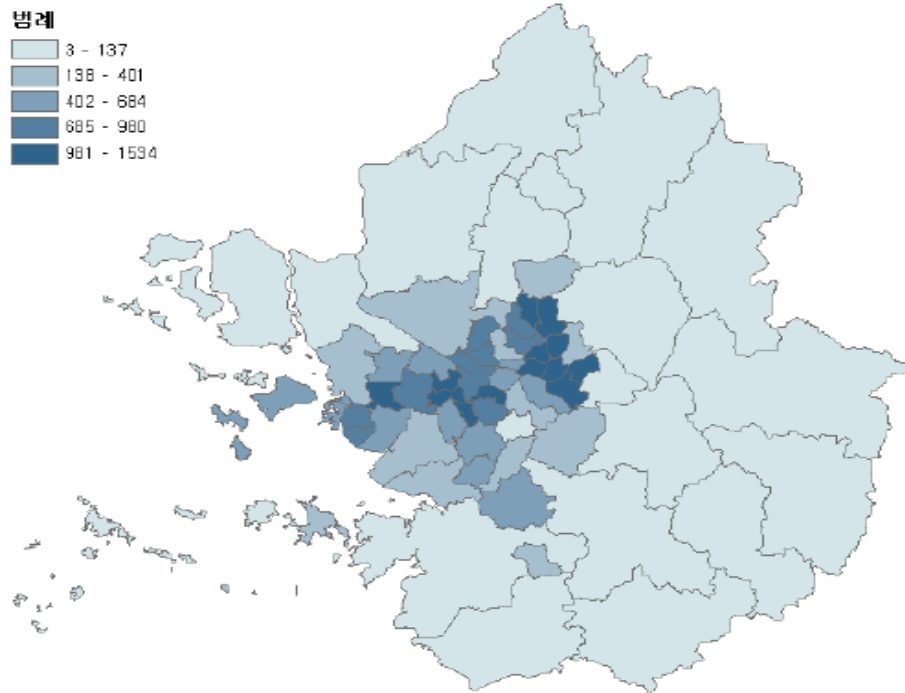
린이 및 영아의 거주가 많았다. 노원구는 65세 이상 노인들의 최대 거주지역이기도 하다. 또한 성북, 은평구 등도 노인거주자 비율이 높은 것으로 나타났다.



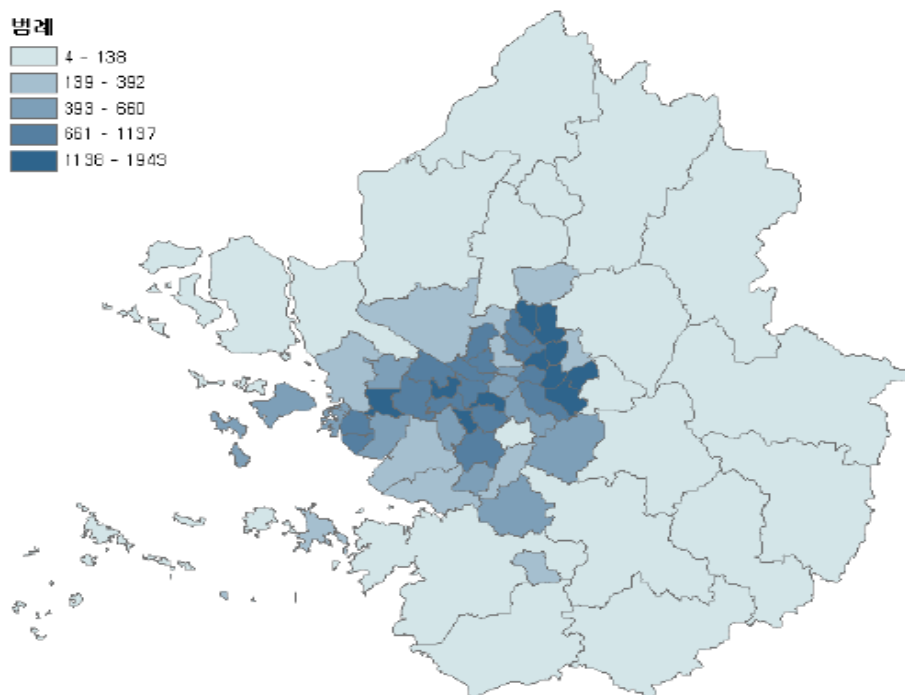
<그림 III-2> 수도권 총 인구분포



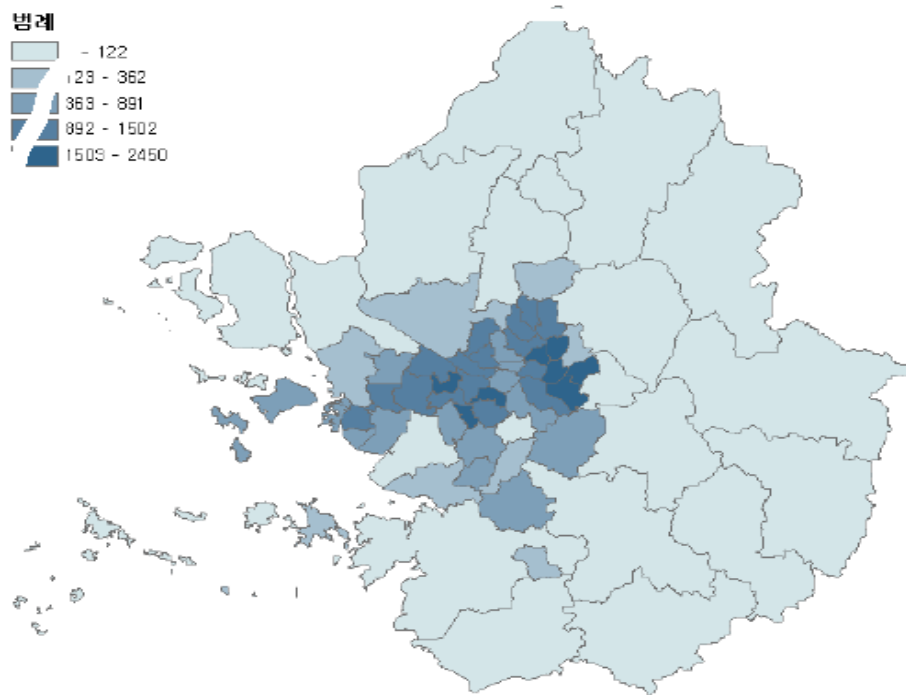
<그림 III-3> 남·여 인구분포



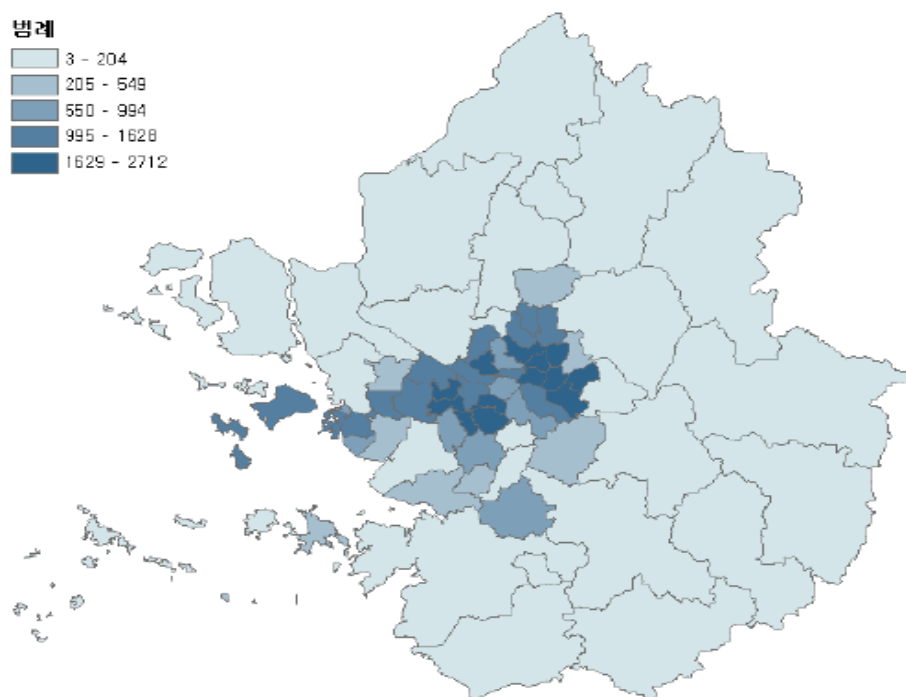
9세이하



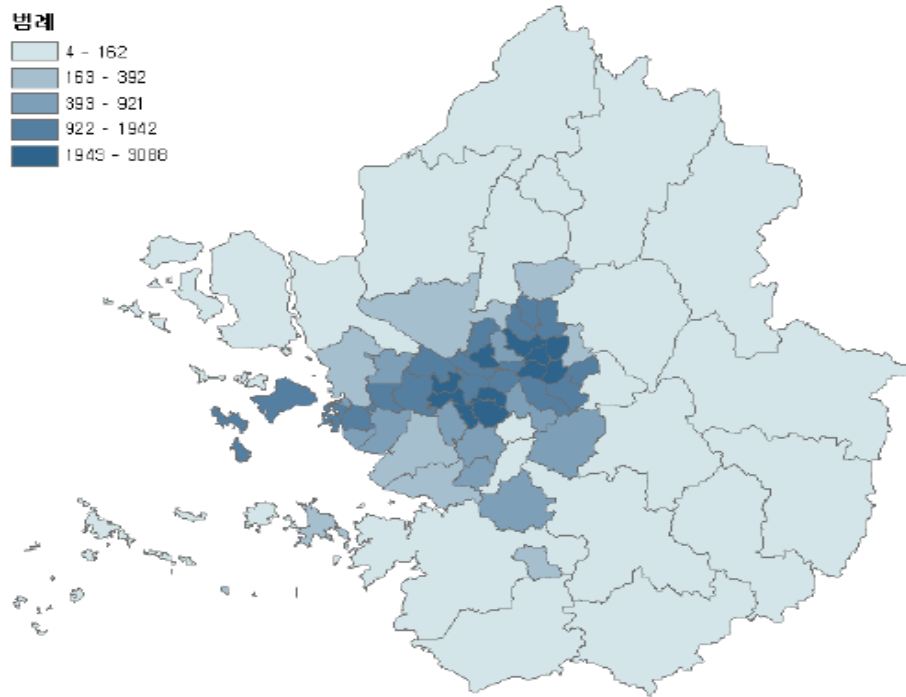
10~14세



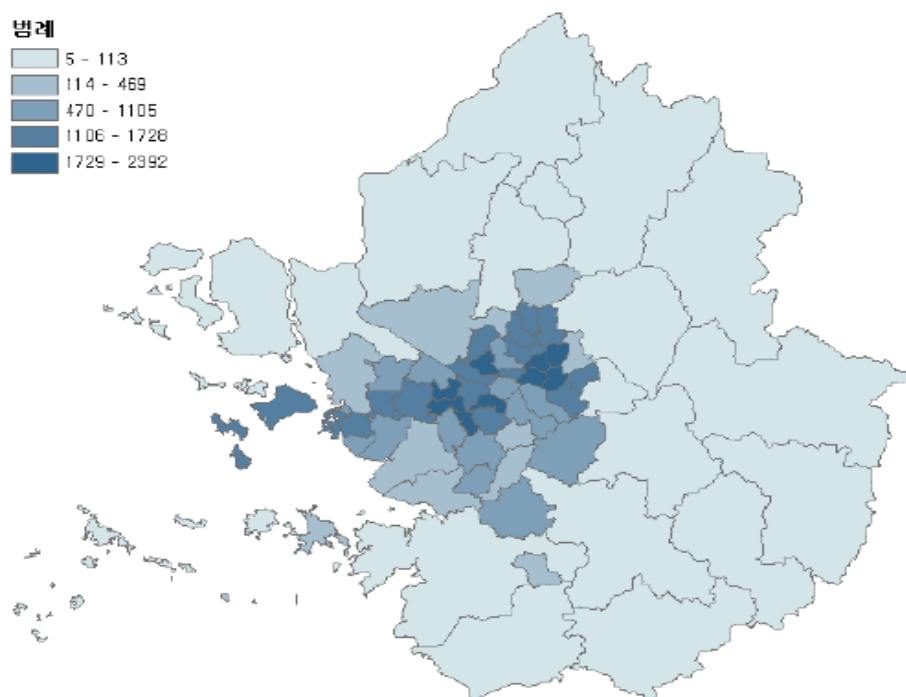
15~19세



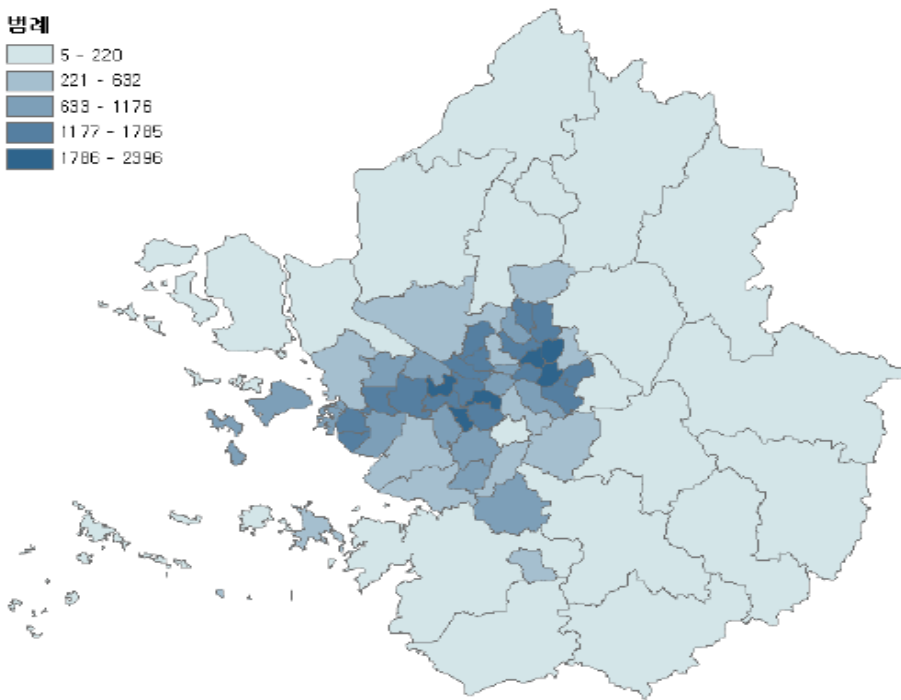
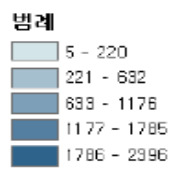
20~24세



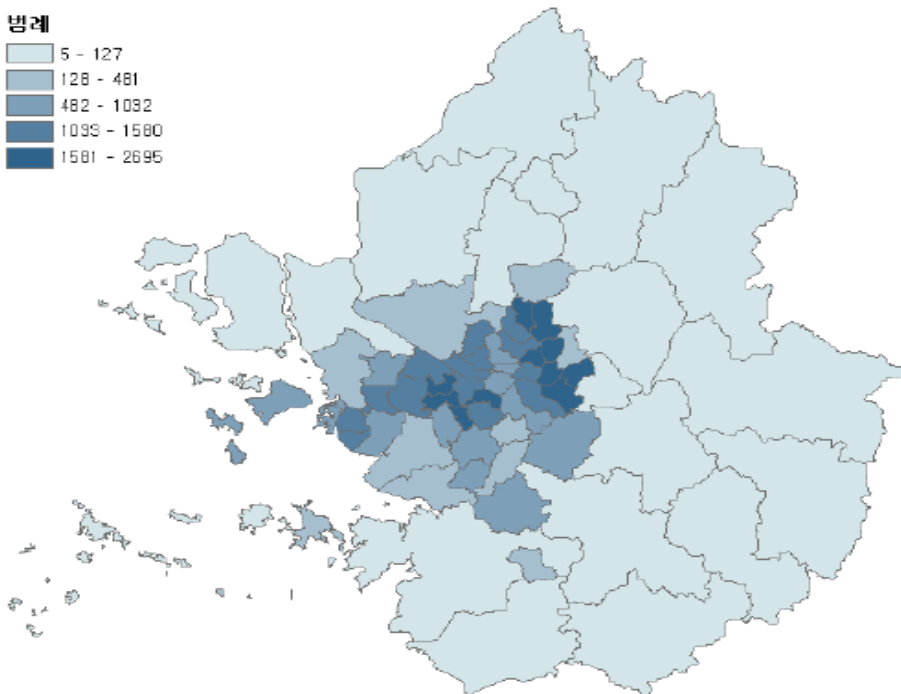
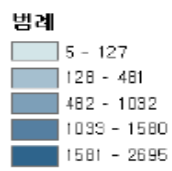
25~29세



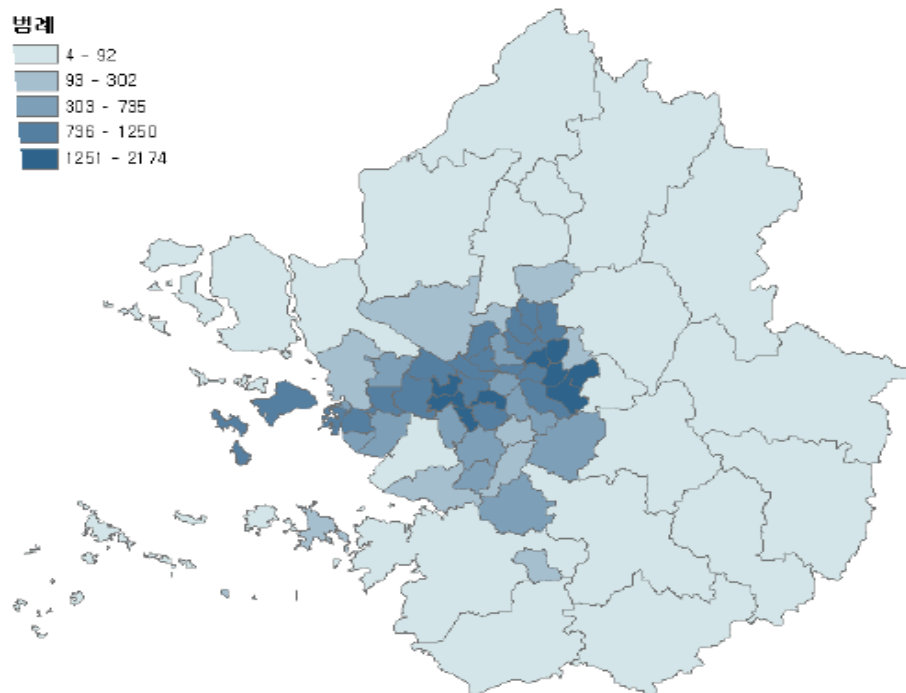
30~34세



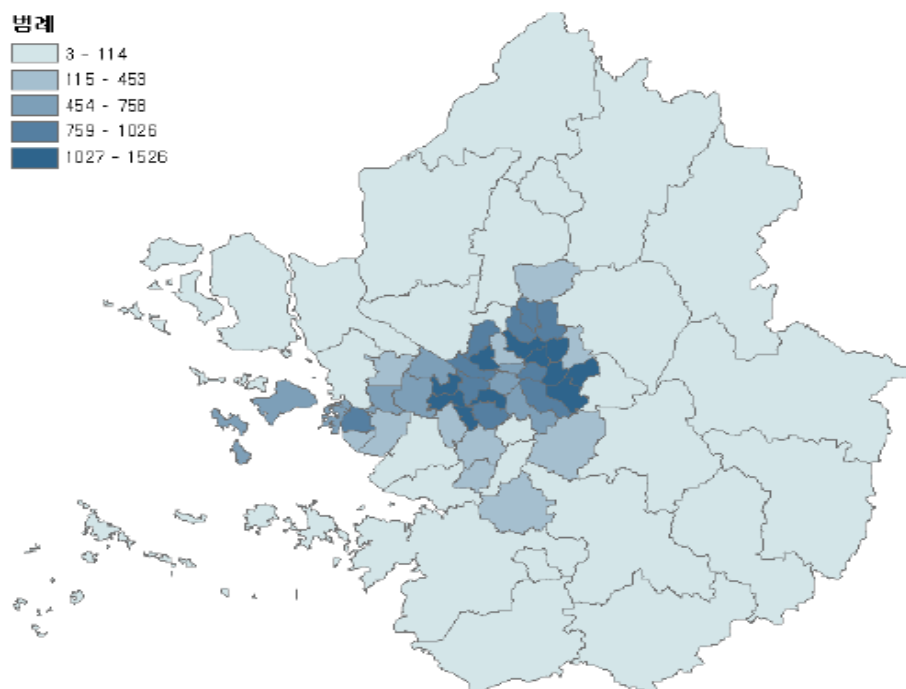
35~39세



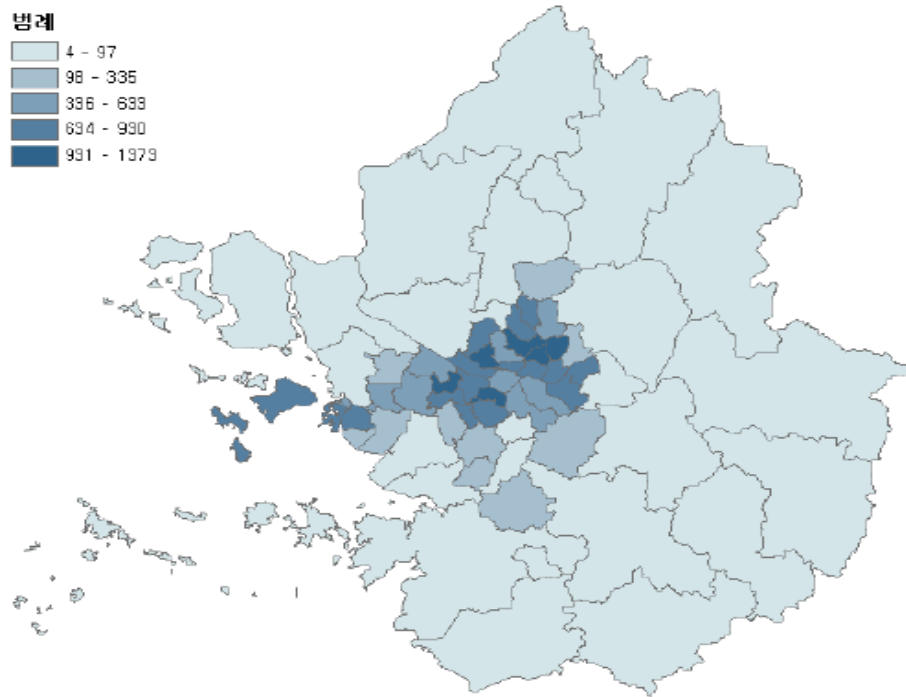
40~44세



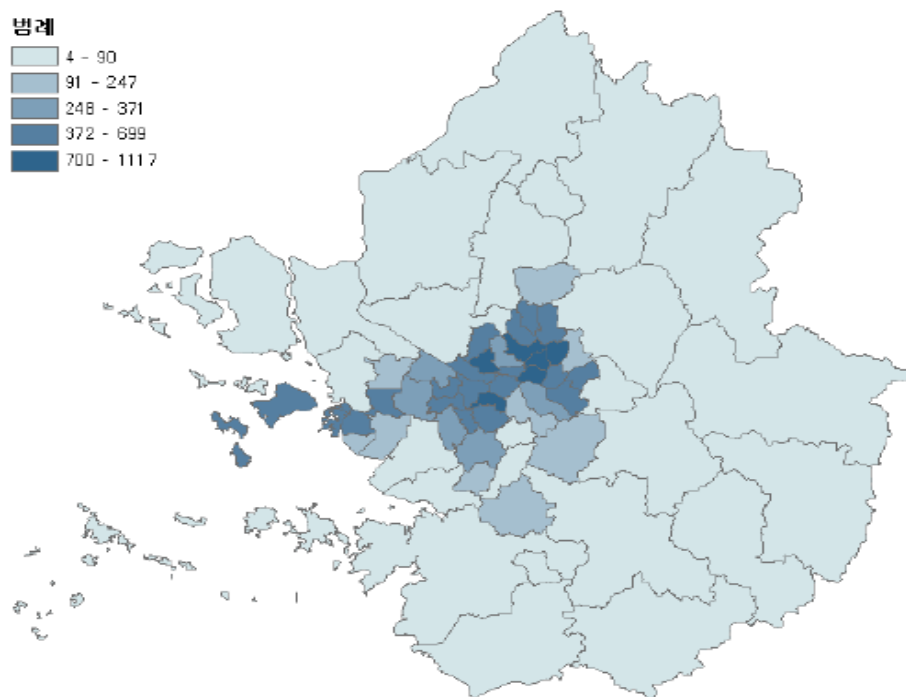
45~49세



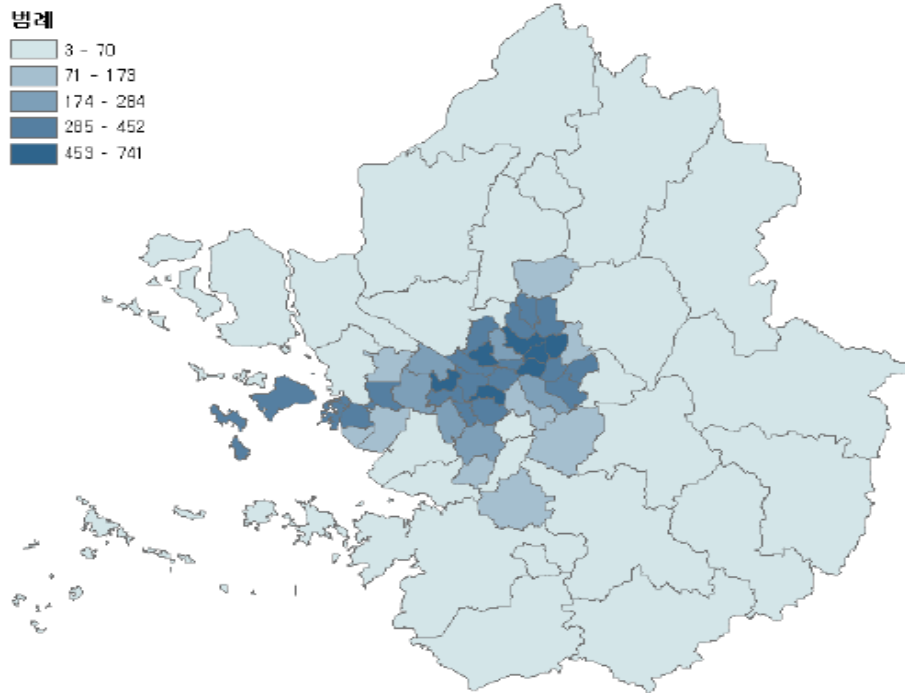
50~54세



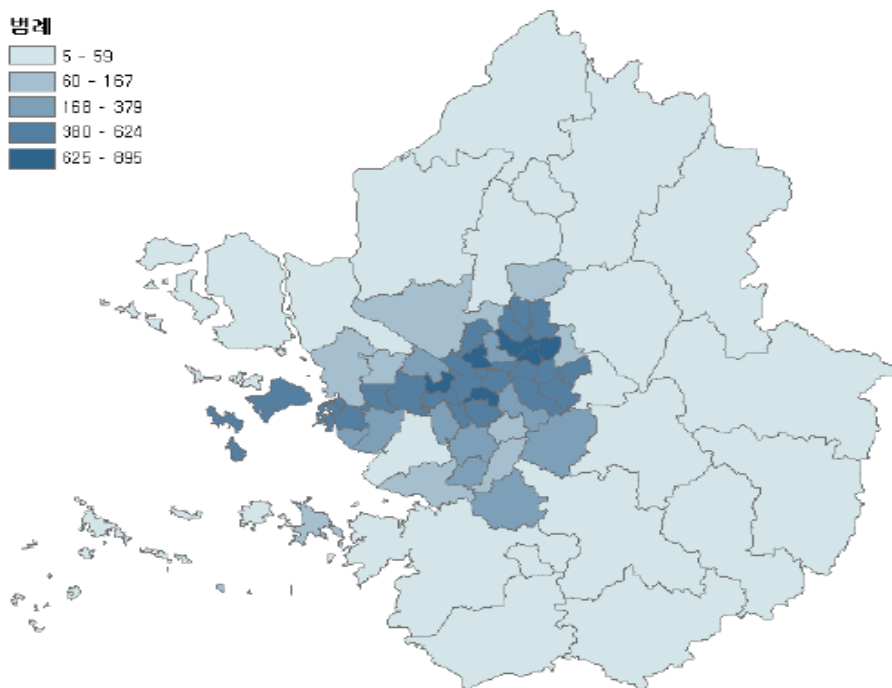
55~59세



60~64세



65~69세



70세이상

<그림 III-4> 연령별 인구분포

2.2 대기 질 자료구축

환경정책의 결과 그리고 건강 피해와의 상관분석을 위해 대기오염도 자료는 가장 중요한 기초 자료라 할 수 있다. 또한 대기오염도 자료는 현행 오염도 자료뿐만 아니라 미래의 다양한 환경정책 수립 시 효과분석을 위한 미래 오염도 추정 자료도 필요하다.

2.2.1 수도권 대기 질 현황

일반적으로 대기오염 배출원의 구분 및 정의에 있어서, 배출원은 크게 인위적 배출원(anthropogenic source)과 자연 배출원(natural source)으로 나누어진다.

인위적인 배출원은 특성에 따라 고정오염원(stationary source)과 이동오염원(mobile source)으로 분류되며, 고정오염원은 점오염원(point source)과 면오염원(area source)으로 구분된다. 점오염원은 발전소, 대형 산업 및 소각시설 등과 같이 배출 규모가 큰 오염원으로서 단일 배출원으로 관리가 용이한 것을 말하며, 면오염원은 배출규모가 작은 소형 오염원으로 개별적인 조사 및 관리가 어려워 일정 면적당 발생하는 배출량으로 관리하는 것이 편리한 오염원을 말한다. 면오염원은 점오염원에서 제외된 소형 고정 배출원으로서 주거, 상업, 산업 등의 부문에서 연료 연소에 의해 배출되는 것이 가장 큰 부분을 차지한다. 농업부문은 면오염원으로 분류되며 CAPSS에서는 2001년 신규로 추가된 부문으로 가축의 분뇨관리 및 비료 사용으로 인한 암모니아 배출량을 평가하고 있으며, 이 외에도 기타의 면오염원으로 VOC(Volatile Organic Compound : 휘발성 유기화합물)를 배출하는 여러 가지 오염원이 있는데, 주유소, 저장시설, 용제사용시설, 도장도색시설, 도로포장, 매립지, 각종 소비용품, 세탁소, 인쇄소 등을 들 수 있다. 이동오염원은 도로이동오염원과 비도로이동 오염으로 구분되며, 자동차, 철도차량, 항공기, 선박, 농기계, 건설기계 등 움직이는 배출원에 의하여 오염물질이 배출되는 형태를 말한다.

자연오염원은 일반적으로 식생에 의한 배출, 습지나 토양에서의 배출, 산불 등을 들 수 있으며, 자연배출원은 식생의 대사활동에 의해 VOC를 배출하여 오존 및 미세먼지 생성 등 광화학 기작에 중요한 역할을 한다. 자연배출원은 인간에 의한 제어가 불가능하나 대기오염도 평가 시 자연오염원의 영향도 상당히 크기 때문에 고려해야 한다. CAPSS에서는 자연오염원의 배출량 산정 시 습지 및 수체에 의한 배출량은 평가하지 않았으며, 동물에 의한 배출량은 암모니아에 대해서만 배출량을 산정하였다. 배출원 분류체계는 중분류까지 CORINAIR 분류체계를 따르지만, 식생종류에 따른 소분류 체계는 우리나라 현존식생도에서 제공하는 수종에 따라 구분된다.

CAPSS 배출원 분류체계는 배출원 특성에 따라 구분한 것으로 유럽 EEA (European Environment Agency)의 CORINAIR 체계와 국내 현실을 고려하여 국내 배출원 분류체계를

설정하고 있다. 배출원은 대-중-소-세분류 4단계 분류체계로 구성되었으며, 대분류체계는 총 11개의 분류체계를 갖는다.²²⁾ CAPSS에서 사용한 부문별 배출원 분류체계는 기본적으로는 중분류까지 CORINAIR의 분류 체계를 따랐으며(도로 이동오염원의 경우 제외) 소분류의 경우 우리나라에서 배출시설 및 부문별 특성을 고려하여 분류하고 있다.

배출량 산정방법은 배출원 고려 방식에 따라 TDA(Top Down Approach)와 BUA(Bottom Up Approach)으로 나눌 수 있다. BUA 방식은 대형배출시설에 이용되는 방법으로 배출시설 각각에 대하여 배출량을 평가하는 방법이고 TDA는 점오염원 외에 배출원 추적이 불가능한 오염원에 대하여 배출계수 및 할당지수를 이용하여 배출량을 산정하는 접근 방법으로 총배출량을 산출하고 이를 적절하게 분할하여 배출목록을 작성하는 방법이다. TDA는 그 수가 많아서 전수조사가 불가능한 가정난방, 소규모 상업시설, 자동차등에 대표적으로 적용되며 대기정책지원시스템에서는 배출원 중심의 평가방법에 따라 배출계수법을 적용하여 배출량을 평가한다. 1~3종 배출업소, 공공발전시설, 지역난방시설, 석유정제시설, 소각시설, 매립시설 등에 대하여는 BUA를 적용하며, 가정난방시설, 도로이동오염원, 비도로이동오염원, 자연배출원 등에 대해서는 TDA를 적용한다. 대기정책지원시스템에서 사용 중인 배출량 산정방법은 배출원 분류체계에 따라 정리되어있다. 에너지 사용에 의한 배출량은 동일한 방법론에 의해 배출계수 및 자료에 따라 산정되는 등 크게 배출원 대분류에 따라 동일하게 적용된다.

대기보전정책수립지원시스템(CAPSS: Clean Air Policy Support System)의 2001년 자료를 이용하여 얻어진 수도권 지역의 오염원별 오염물질 배출량 현황은 표 III-4와 같다.

<표 III-4> 2001년 수도권 지역 오염원별 배출량

(단위: 톤/년)

구분	SOx	NOx	PM10	TSP	VOC	CO	NH ₃
점	52,632	74,878	2,395	3,636	29,606	15,911	2,346
면	15,211	35,309	919	1,373	181,459	18,872	35,431
도로	2,950	171,260	10,746	10,746	56,782	328,877	4,676
비도로	6,639	51,239	2,035	2,188	5,513	15,384	138
총합	77,432	332,686	16,095	17,943	273,360	379,044	42,591

주: 본 표에서는 자연배출원 중 식생에 의한 VOC, NH₃ 제외, 도로비산 제외, 수도권지역 배출총량제 추진방안(2004, 환경부)

오염원별, 지역별 오염물질 배출량을 세분하여 정리한 표 III-5, III-6에 따르면, SOx는 총배출량 77,432톤/년 중 제조업연소가 36.9%, 발전 부문이 포함된 에너지 산업연소 부문이

22) 대기보전정책수립지원시스템(3차) 최종보고서, 2003.08

24.5%의 높은 배출비율을 보이고 있으며, 비산업 연소 19.6% 순으로 배출비율을 보였다. 지역별로 서울시는 SO_x의 배출량 10,398톤/년 중 상업, 주거용 시설 등이 포함되는 비산업연소가 68.6%로 매우 높은 배출량을 보였으며, 인천시와 경기도는 각각 SO_x 총배출량 16,393톤/년 중 제조업연소가 47.0%, 50,641톤/년 중 38.9%의 높은 비율을 보였다. 인천시의 경우는 비도로 오염원에 의한 비율이 22.2%로 다른 지역과 비교하여 우위를 보였는데 이는 해상에서의 선박에 의한 영향으로 분석되었다.

수도권 전지역의 NO_x의 총배출량은 332,686톤/년으로 도로 이동오염원이 51.5%의 높은 배출비율을 보이고 있으며, 비도로 이동오염 15.4%, 에너지 산업연소 12.4%의 배출비율을 나타내었다. 지역별로 서울시는 NO_x의 배출량 98,187톤/년 중 도로 이동오염원이 63.8% 매우 높은 배출량을 보였으며, 인천시의 경우 총 NO_x 배출량 60,699톤/년 중 도로이동오염원 33.6%, 에너지 산업연소가 23.8%로 높은 비율을 보였다. 비도로 이동오염원에 의한 비율 역시 18.1% 높은 비율을 보였으며, 경기도의 NO_x 배출량은 173,799톤/년으로 도로이동오염원의 비율이 50.8%로 가장 높은 비율을 차지하였다.

PM₁₀의 경우 총배출량 16,095톤/년 중 도로 이동오염원 66.8%, 비도로 이동오염원 12.6%, 제조업연소 10.1% 순의 배출비율을 보였다. 지역별로는 서울시가 PM₁₀ 총 배출량 4,408톤/년 중 76.7%로 도로이동오염원이 매우 높은 비율을 차지하였다.

VOC는 오존 및 미세먼지의 전구물질로 매우 중요한 역할을 하며, 수도권 지역의 주요 오염물질의 관리를 위해 VOC의 배출량 현황 파악은 매우 중요하다. 수도권 지역의 인위적 VOC 배출량은 273,360톤/년으로 유기용제사용에 의한 배출량 비율이 61.5%로 높은 비율을 보였다. 다음으로 도로이동오염원이 20.8%의 배출 기여율을 보였다. 서울시의 VOC는 총 배출량 88,538톤/년 중 60.8%가 유기용제 사용에 의한 것으로 분석되었다. 도로 이동오염원도 31.4%의 높은 기여율을 보였다. 인천의 경우 산업시설이 집중되어 있는 지역으로 VOC 총배출량 54,168톤/년 중 생산공정에 의한 배출비율이 24.8%로 유기용제 사용에 의한 비율 49.0% 다음으로 높은 비율을 차지하였다. 경기도는 VOC 배출량이 130,654톤/년으로 유기용제 사용에 의한 배출비율이 67.2%로 높은 비율을 차지하였다.

<표 III-5> 2001년 수도권 지역 배출원 대분류별 배출량

(단위: 톤/년)

대분류	시·도	SOx	NOx	PM10	TSP	VOC	CO	NH ₃
에너지 산업 연소	서울시	673	1,261	18	22	97	652	31
	인천시	1,142	14,446	131	147	681	4,970	173
	경기도	17,118	25,382	350	482	742	4,690	330
	소계	18,933	41,089	498	652	1,520	10,312	534
비산업 연소	서울시	7,134	17,014	428	628	821	10,829	372
	인천시	1,759	4,077	60	86	161	908	106
	경기도	6,318	14,218	432	659	517	7,135	334
	소계	15,211	35,309	919	1,373	1,500	18,872	812
제조업 연소	서울시	1,124	1,535	10	14	55	355	22
	인천시	7,700	7,543	569	864	202	1,120	104
	경기도	19,710	12,951	1,049	1,583	398	2,351	183
	소계	28,534	22,028	1,628	2,461	655	3,827	308
생산공정	인천시	1,779	2,758	120	221	13,458	890	1,500
	경기도	2,781	3,309	122	170	1,796	76	4
	소계	4,560	6,067	242	391	15,254	966	1,504
에너지수송 및 저장	서울시	-	-	-	-	3,671	-	-
	인천시	-	-	-	-	1,692	-	-
	경기도	-	-	-	-	6,369	-	-
	소계	-	-	-	-	11,732	-	-
유기용제 사용	서울시	-	-	-	-	53,835	-	-
	인천시	-	-	-	-	26,534	-	-
	경기도	-	-	-	-	87,858	-	-
	소계	-	-	-	-	168,227	-	-
도로이동 오염원	서울시	1,064	62,618	3,383	3,383	27,829	162,938	1,840
	인천시	349	20,365	1,353	1,353	7,356	41,058	462
	경기도	1,537	88,278	6,010	6,010	21,597	124,882	2,374
	소계	2,950	171,260	10,746	10,746	56,782	328,877	4,676
비도로이동 오염원	서울시	278	15,068	566	566	1,774	4,916	43
	인천시	3,636	10,988	353	445	875	3,034	22
	경기도	2,725	25,183	1,116	1,177	2,863	7,434	73
	소계	6,639	51,239	2,035	2,188	5,513	15,384	138
폐기물처리	서울시	124	692	3	18	455	158	
	인천시	29	523	2	11	3,208	43	
	경기도	451	4,478	19	103	8,513	605	
	소계	604	5,694	25	132	12,177	806	
농업	서울시							26
	인천시							1,580
	경기도							33,013
	소계							34,619
총 합 계		77,432	332,686	16,095	17,943	273,360	379,044	42,591

자료: CAPSS 시스템 제공

<표 III-6> 2001년 수도권 지역 배출원 대분류별 기여율

(단위: %)

대분류	SOx	NOx	PM10	TSP	VOC	CO	NH ₃
에너지산업 연소	24.5	12.4	3.1	3.6	0.6	2.7	1.3
비산업 연소	19.6	10.6	5.7	7.7	0.5	5.0	1.9
제조업 연소	36.9	6.6	10.1	13.7	0.2	1.0	0.7
생산공정	5.9	1.8	1.5	2.2	5.6	0.3	3.5
에너지수송 및 저장	-	-	-	-	4.3	-	-
유기용제 사용	-	-	-	-	61.5	-	-
도로이동오염원	3.8	51.5	66.8	59.9	20.8	86.8	11.0
비도로이동오염원	8.6	15.4	12.6	12.2	2.0	4.1	0.3
폐기물처리	0.8	1.7	0.2	0.7	4.5	0.2	0.0
농업	-	-	-	-	-	-	81.3

주 1) 도로 이동오염원의 TSP, PM10은 자동차 주행으로 인한 비산먼지 및 타이어 마모 배출량이 제외된 합계

2) VOC와 NH₃는 자연배출량이 제외된 합계

출처: 수도권 배출총량제 추진방안(2004, 환경부)

이를 다시 서울시, 인천시, 경기도의 지역배출량 및 배출 기여율로 정리한 <표 III-7~8>에 따르면 SOx는 수도권 연간 총배출량 77,432톤 중 경기도 65.4%, 인천시 21.2%의 배출기여율을 보였으며, NOx는 연간 총배출량 332,686톤 중 경기도가 52.2%의 배출 기여율을 보였고, 다음으로 서울시가 29.5%, 인천시가 18.2% 기여율을 보였다. PM10의 경우 연간 도로비산을 제외한 경우 연간 총배출량 16,095톤 중 경기지역이 56.5%로 높은 배출 기여율을 보였다. CO의 경우 서울이 47.4%, 경기 38.8%, 인천 13.7% 순으로 배출 기여율을 보였으며, 이는 CO의 배출량이 대부분 도로 이동오염원의 영향으로 교통량이 많은 서울시가 높은 배출 기여율이 보였다. VOC 배출량은 경기도 40.8%, 서울시 27.6% 등의 배출 기여율을 보였으며 경기도의 경우 높은 비율의 유기용제 사용의 영향으로 분석되었다²³⁾.

서울시, 인천시, 경기도의 각 시군구 지역별 배출량을 분석한 결과 서울시는 SOx 총배출량 10,398톤/년 중 강남구가 배출기여율 47%를 높은 비율을 보였으며 이는 강남구에 연료소비량이 많은 대형 빌딩 등이 위치한 결과로 분석되었다. 주로 이동오염원에 의해 배출되는 NOx는 NOx 총배출량 98,187 톤/년 중 강남구가 8.7%로 기여율이 가장 높았으나 서울시 전지역이 기여율 10% 미만의 유사한 분포를 보였다. 강남구에 집중되어 있는 배출량의 영향은 서울시 동남부 지역의 오염도를 가중시키는 인자로 고려된다.

23) 삼성SDS, 2003. 「대기보전 정책수립 지원시스템 (3차)」

인천시의 SOx 총배출량 16,393톤/년으로 구별로 남구, 서구, 중구에서 많이 배출되는 것으로 산정되었다. 인천시 남구는 제조업연소에 의한 SOx의 배출량이 전체 인천시 배출량의 27%를 차지하는 사업장밀집지역으로 오염도 역시 인천시의 다른 지역보다 높은 것으로 평가된다. 인천시 NOx는 총배출량 60,699톤/년 중 인천발전소가 위치한 서구에서 35.5%로 가장 많이 배출되는 것으로 분석되었다. 도로비산을 제외한 총 PM10 배출량은 2,588톤/년으로 구별로 남구, 서구, 남동구 순으로 나타났다. 경기도내 SOx의 총배출량은 50,641톤/년으로 도시 중에서는 평택시의 배출 기여율이 32.3%로 가장 많았는데, 이는 평택화력발전소의 배출량이 많기 때문으로 분석되었다. 다음으로 안산시가 17.3%로 높은 기여율을 보였는데 안산시는 안산, 반월공단에 위치하고 있는 많은 배출업소에 의한 영향으로 분석되었다. NOx의 배출량 역시 평택시가 경기도 총배출량 173,799톤/년 중 11.8%로 높은 기여율을 보였다. 제조업 연소부문에 있어서는 공단 등이 위치한 안산시가 가장 높았으며 양주시·도 제조업부문에서의 높은 배출기여율을 기록하였다. 제조업연소에 의한 배출량은 에너지연소와 같은 대형시설에서 배출되는 오염물질이 주변지역에 영향을 미치는 것과는 달리 근접지역에 영향을 주는 원인이 될 수 있다.

<표 III-7> 2001년 수도권 지역 오염물질별 배출량

(단위: 톤/년)

구분	SOx	NOx	PM10	TSP	VOC	CO	NH ₃
서울시	10,398	98,187	4,408	4,632	88,538	179,847	2,334
인천시	16,393	60,699	2,588	3,128	54,168	52,023	3,947
경기도	50,641	173,799	9,098	10,183	130,654	147,174	36,310
전체	77,432	332,685	16,094	17,943	273,360	379,044	42,591

자료: 수도권 배출총량제 추진방안(2004, 환경부)

<표 III-8> 2001년도 수도권 지역별 오염물질별 배출기여율

(단위: %)

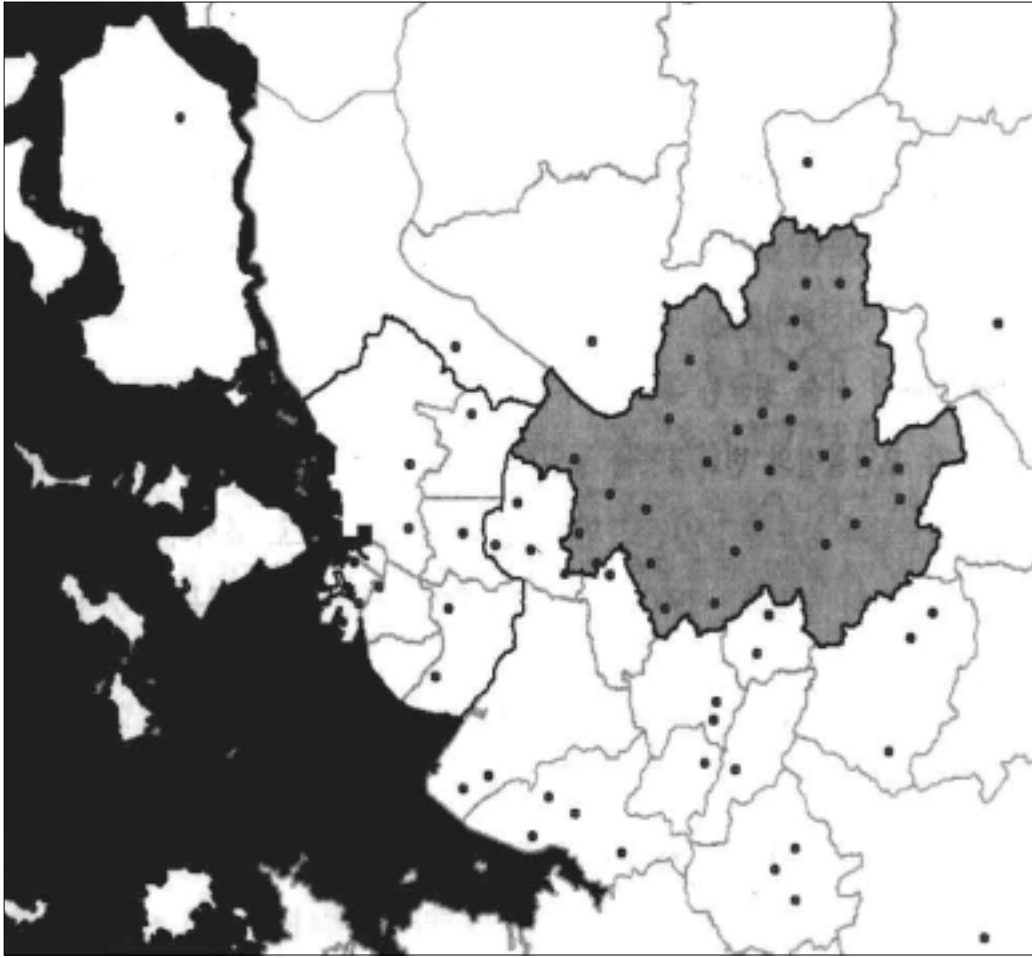
구분	SOx	NOx	PM10	TSP	VOC	CO	NH ₃
서울시	13.4	29.5	27.4	25.8	32.4	47.5	5.5
인천시	21.2	18.3	16.1	17.4	19.8	13.7	9.3
경기도	65.4	52.2	56.5	56.8	47.8	38.8	85.2
전체	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

자료: 수도권 배출총량제 추진방안(2004, 환경부)

2.2.2 통합분석 자료현황

제2차 IES 연구에서는 2001년도를 기준년도로 대기오염도 자료를 구축한다. 기상 및 환경정책의 반영 효과를 분석하기 위한 미래년도의 대기 오염도 자료는 차기 년도 연구에서 구축하고자 한다. 본 시스템의 공간적인 자료구축범위는 서울시, 인천시, 경기도를 포함하는 수도권지역을 대상으로 하며, 자료 해상도는 $3\text{km} \times 3\text{km}$ 로 구축하고자 한다. 수도권은 25개 구로 구성된 서울시, 10개 군·구로 이루어진 인천시, 31개 시·군으로 이루어진 경기도를 포함한다. 수도권 전 지역은 동경 $126^{\circ} 29' \sim 128^{\circ}$, 북위 $37^{\circ} \sim 38^{\circ} 20'$ 사이에 위치하며, TM 좌표로는 TMX 130~280(km), TMY 380~530(km) 사이에 위치하고 있다. 구축 대상 물질은 NO_2 와 PM_{10} 으로 한다. NO_2 는 시정거리 감소에 영향을 미치며 2차 반응에 의해 오존과 미세먼지를 증가시키는 점을 고려하였으며, 미세먼지는 시정거리 감소의 직접적인 원인을 제공하며 환경기준 설정 항목 중 인체유해성이 가장 큰 점을 고려하여 그 대상으로 선정하였다.

통합환경전략을 위한 통합시스템 운영에 필요한 자료로는 현행 대기오염도 자료뿐만 아니라 미래 환경정책 반영에 의한 오염도 예측시 필요한 배출량 자료 및 기상자료가 필요하다. 현재 운영되고 있는 대기오염도 자료는 자동 측정망 자료를 활용할 수 있다. 수도권 지역 내 대기오염도를 상시측정하기 위해 설치·운영되고 있는 측정망은 모두 80개소로 서울시의 경우 시청앞 지점을 비롯하여 27개소가 운영 중에 있으며, 인천시에는 경인지방환경청 관할 자동측정소 3개소 및 인천시 관할 자동 측정소 7개 등 총 10개소가 운영 중에 있다 (2002년 기준). 경기도의 자동측정망은 1984년 안양시 안양동에 환경부가 설치한 것을 시작으로 하여 19개시 43개소에 자동측정소가 운영 중에 있다. <그림 III-5>와 <표 III-9>는 측정망의 운영내역과 측정지점의 위치를 나타낸 것이며, 측정오염물질은 대기환경기준 설정항목인 SO_2 , NO_2 , PM_{10} , CO, O_3 , Pb 등 총 6개 대기환경기준물질이다.



<그림 III-5> 수도권 지역 상시 자동측정망 위치

<표 III-9> 자동측정망 제원

도시	측정소명	TM 좌표 (m)		관리청	용도지역
		가로	세로		
서울시	시청앞	197868	451606	한강유역환경청	상업
	이화동	199850	452750	한강유역환경청	주거
	면목동	206660	454115	한강유역환경청	주거
	신설동	202078	452262	한강유역환경청	주거
	불광동	193987	456566	한강유역환경청	주거
	마포	195328	449353	한강유역환경청	주거
	문래동	190337	445935	한강유역환경청	준공업
	사당동	197670	443050	한강유역환경청	주거
	신림동	195954	439387	한강유역환경청	주거
	대치동	204930	443540	한강유역환경청	주거
	잠실동	207338	444941	한강유역환경청	주거
	시흥동	191970	439000	한강유역환경청	주거
	천호동	210850	448800	한강유역환경청	주거
	번동	202540	459210	한강유역환경청	주거
	길음동	202338	456083	한강유역환경청	주거
	한남동	200490	448720	한강유역환경청	주거
	구의동	208150	449280	한강유역환경청	녹지
	성수동	204870	449810	한강유역환경청	상업
	방학동	203450	461840	한강유역환경청	주거
	남가좌동	192320	452400	한강유역환경청	주거
	구로동	190720	442200	한강유역환경청	준공업
	반포동	199530	444790	한강유역환경청	주거
	화곡동	184560	449570	한강유역환경청	주거
	방이동	210990	446700	한강유역환경청	녹지
	신정동	187400	447000	한강유역환경청	주거
	상계동	206180	461900	한강유역환경청	주거
	궁동	184950	444350	한강유역환경청	주거
인천시	신흥동	167150	439400	인천시	상업
	만석동	166850	442350	인천시	준공업
	구월동	174414	438952	경인지방환경청	주거
	숭의동	168759	440502	경인지방환경청	주거
	부평동	175550	444270	경인지방환경청	상업
	연희동	171250	449150	인천시	상업
	석남동	171200	444700	인천시	주거
	계양동	176330	452700	인천시	주거
	논현동	173300	434180	인천시	공업
	송해면	152700	473600	인천시	주거

<계속>

도시	측정소명	TM 좌표 (m)		관리청	용도지역
		가로	세로		
수원시	권선동	202504	417950	한강유역환경청	상업
	신평동	200824	420257	한강유역환경청	상업
	우만동	202430	421800	경기도보건환경연구원	주거
	영통동	207090	417200	한강유역환경청	주거
안양시	안양동	193082	482907	한강유역환경청	상업
	부림동	196100	432400	지자체	주거
	호계동	195831	431041	한강유역환경청	주거
성남시	단대동	213657	438607	한강유역환경청	주거
	성남동	211810	436888	한강유역환경청	상업
	신기동	210100	428850	지자체	주거
의정부시	의정부동	203557	470401	한강유역환경청	주거
	의정부1동	203557	470401	지자체	-
광명시	철산동	187460	441405	한강유역환경청	상업
	광명3동	186317	442148	지자체	주거
안산시	고잔동	184544	424243	한강유역환경청	상업
	원시동	181187	422651	한강유역환경청	공업
	본오동	188390	421470	지자체	주거
	원곡동	182400	425500	지자체	주거
	부곡동	187693	425900	지자체	주거
	대부동	163375	415600	지자체	주거
평택시	신평동	208207	387614	한강유역환경청	주거
과천시	별양동	199414	435766	한강유역환경청	주거
	과천동	200300	438500	한강유역환경청	주거
구리시	수택동	212022	455235	한강유역환경청	주거
	동구동	212211	457620	지자체	녹지
의왕시	오전동	197599	427505	한강유역환경청	주거
고양시	행신동	185970	457900	지자체	주거
군포시	당동	195090	428000	지자체	주거
	산본동	194150	428850	지자체	-
시흥시	정왕동	177620	427037	한강유역환경청	주거
	시화공단	175600	426100	지자체	공업
	대야동	181271	438181	지자체	-
남양주시	금곡동	219000	459000	한강유역환경청	주거
용인시	김량장동	217800	415300	한강유역환경청	주거
김포시	사우동	175000	457500	한강유역환경청	주거
	고촌면	179742	455941	지자체	-
	통진면	163989	465520	지자체	-
부천시	십곡동	180972	443103	한강유역환경청	주거
	내동	179906	446492	한강유역환경청	주거
	상1동	178150	443500	지자체	주거
	원종동	182880	447160	지자체	주거
오산시	오산동	206290	406319	지자체	산림
하남시	신장동	180972	443103	지자체	상업

주: 경기도 일부지역 용도지역 정보 미등록

자료: 대기환경연보, 2003년, 환경부

2.2.2.1 수도권 지역 배출량 자료 현황

미래 대기오염도 변화를 예측하기 위해서는 현행 배출량 자료를 이용하여 다양한 환경정책 반영시 배출량 변화에 따른 오염도 변화를 분석하게 된다. 따라서 차기 년도에 미래 오염도 변화를 예측하기 위한 시스템 구축 시 배출량 자료 DB가 필요하다. 지역 대기오염물질의 배출특성을 분석하기 위한 배출량자료는 환경부의 대기보전정책수립지원시스템(CAPSS: Clean Air Policy Support System)에 전국을 대상으로 구축되어 있다. CAPSS에 구축된 배출량 자료는 현재 1999년부터 2002년까지 구축되어 있다²⁴⁾. CAPSS에 구축된 대상 배출원 및 오염물질 항목, 시공간적 해상도는 <표 III-10>과 같다. 본 연구에서는 미래 대기오염도 예측을 위한 수도권 지역 배출량자료는 환경부의 대기보전정책수립지원시스템의 2001년 자료를 사용하고자 한다.

<표 III-10> CAPSS의 배출원 구분 및 조사 내용

구 분	조사 내용
대 상 배출원	점배출원 : 대형 연료연소 (에너지산업연소, 비산업 연소, 제조업연소) 대형 생산공정 대형 소각시설
	면배출원 : 소형 연료연소 (상업 및 공공시설, 주거용 시설, 제조업연소) 소형 생산공정 소형 소각시설 비산먼지(도로) 농업
	도로이동 배출원 : 승용차, 택시, 승합차, 버스, 화물차, 특수차, 이륜차
	비도로이동배출원 : 철도차량, 항공기, 선박, 농기계, 건설장비
	자연오염원
시간적 해상도	연평균, 월 단위
공간적 해상도	점오염원 : TM좌표, 행정구역(도, 시, 군, 구) 단위 면오염원 : 1×1km격자 단위, 행정구역(도, 시, 군, 구) 단위 이동오염원 : 1×1km격자 단위, 행정구역(도, 시, 군, 구) 단위 자연오염원 : 1×1km격자 단위, 행정구역(도, 시, 군, 구) 단위
대상연도	2001년
대 상 오염물질	기준물질 : SO _x , NO _x , CO, TSP, PM ₁₀ 기 타 : 비산먼지, VOC, NH ₃

24) 대기보전정책수립지원시스템(3차) 최종보고서, 2003.08

2.2.2.2 기상자료 현황

미래 대기오염도는 배출량 변화에 따른 오염도 변화를 예측하게 된다. 이때 대기 오염도 자료는 기상모델 및 대기확산 모델을 이용하여 예측하게 된다. 대기확산모델링시스템의 정확도/신뢰도는 기상자료에 따라서 크게 좌우된다. 일반적으로 대기확산모델링 시 입력 기상자료에 포함된 불확실성이 크면 확산모델결과도 큰 불확실성을 보이기 때문에 가능한 한 신뢰도가 높은 기상자료를 생산하여 대기확산모델의 신뢰도를 높이는 것이 중요하다. 기상청은 어느 정도 신뢰도가 높은 지상/상층 관측자료와 등격자의 수치모델자료를 주기적으로 생산·제공하므로 이러한 자료들을 이용하면 이상적(ideal) 기상조건을 사용할 때보다 모델결과의 신뢰도를 높일 수 있을 것으로 판단된다. 기상청 지역예보시스템(RDAPS)의 분석자료는 수평해상도 30 km, 시간해상도 12시간의 격자자료로 3차원의 바람, 온도, 습도, 강수량 자료를 제공하므로 기상모델링시스템의 입력자료로 사용한다. 본 연구에서는 사용 가능한 수치모델자료와 대상지역 지형정보자료를 이용하여 기상자료를 생산하는 기상모델시스템을 구축하여 기상자료를 생산할 수 있다

2.2.3 구축 방법론

2.2.3.1 현행 자료 구축 방법

제2차 통합환경전략(IES) 연구에서는 기준년도인 2001년의 일변자료(daily data)를 기초로 하여 오염도 자료를 구축하였다. 지역적 범위는 수도권으로 하여 3km × 3km 격자단위(grid cell)로 하여 NO₂와 PM₁₀의 대기오염도 자료를 생산하였다. 현재 대기오염도 측정 자료는 측정소 지점별 1시간 단위로 집계되고 있다.

격자단위 대기 오염도 생산방법은 크게 2가지로 분류될 수 있다. 첫 번째는 객관분석법으로 지점별 농도 측정자료를 내·외삽법(interpolation & extrapolation)을 이용하여 격자점 자료로 환산하는 방식이다. 본 방법은 계산시간이 적게 소요되며 계산방법이 단순하다는 장점이 있다. 환산에 필요한 가중치 산정은 통상거리에 따른 가중치 부여와 배출량에 따른 가중치 부여 방법이 이용된다. 각자 장·단점이 존재하는데 통상거리에 따른 가중치 부여방법은 측정자료가 많은 지역의 경우 우수한 결과를 보이나 측정자료가 없는 지역은 왜곡될 가능성이 높다. 배출량에 따라 가중치를 부여한 경우는 배출량 분포와 유사한 분포가 될 것이며, 대기확산 및 화학반응을 고려하지 못한다는 단점이 있다.

두 번째는 대기확산모델링 결과를 활용하는 방법이다. 모델링 방법은 현재 간단한 모델부터 화학반응이 고려되는 매우 복잡한 모델이 존재한다. 단순한 모델방법인 Gaussian 모델은 매우 빠른 계산시간으로 관심 대상이 되는 전기간의 모델링을 수행할 수 있으나 화학반응을 고려할 수 없으며 신뢰도가 낮은 단점을 가지고 있다. 화학반응이 고려되는 3차원

Eulerian 격자 모델인 CMAQ 또는 CAMx의 경우 매우 복잡하며 장기간의 계산시간이 요구된다. 이러한 방법은 4차원 기상예보모델과 3차원 확산 및 화학반응모델의 결과를 활용하는 것으로 신뢰도가 높으나 장시간의 모델링 계산시간과 고효율의 장비가 요구된다.

제2차 통합환경전략 연구에서는 첫 번째 방법인 객관분석법의 거리에 따른 가중치를 이용하여 각 격자점의 오염도를 산출하였다.

2.2.3.2 미래 자료 구축 방법

기후 및 대기정책 효과분석에서는 정책이 시행되지 않는 상태에서 미래시점에 대한 격자별 예측농도와 정책 시행 후의 격자별 예측농도 자료가 구축되어야 한다. 이러한 미래 자료의 구축은 에너지 이용계획, 산업전망, 관련 오염배출량 추정치 등을 이용한 대기모델링을 활용하게 되며, 전체 배출량에 대한 추계치로부터 격자점 단위의 대기오염도를 추정한다.

격자점 대기오염도 추정은 여러 가지 방법을 적용할 수 있으며 한 예로 다음과 같은 방법에 따라 진행될 수 있다. 수도권 격자점 단위별 대기오염 예측은 먼저 시도단위인 수도권 배출량 전망자료를 작성하는 것으로부터 출발한다. 이어 지점별, 오염원별 대기오염 기여도 자료 및 배출량 증감 시나리오별 모델링 결과를 이용하여 최종 격자별 대기오염 농도의 예측치가 산정된다.

격자 단위의 배출량은 시도 단위의 배출량 전망 자료를 각 격자점으로 배분하여 구해진다. 이때 기준년 배출량 자료 증감율을 곱하여 격자점 단위 배출량 자료를 생산하고 월간 배출량 배분은 기준년의 월간 배출량 배분 지수를 사용하여 월간 배출전망치를 산출하게 된다.

격자단위의 대기오염농도 예측치는 아래의 계산식과 같은 linear roll back 방법으로 모델로부터 산정된 오염원별 기여도에 배출량 증감비율을 곱하는 원리로 구해진다. 미래 배출량 변화에 따른 대기질 예측을 위해서 적용된 선형롤백(linear roll back) 방법은 미국 AQMP25)에서 사용한 방법이다. 선형롤백 방법은 단순히 배출량 변화에 대한 오염농도를 예측하는 방법이 아니라 먼저 각 오염원별 배출량을 일정한 수준으로 저감한 후 화학반응을 고려한 복잡한 모델링 결과를 토대로 배출원별 오염물질별 배출량변화에 따른 오염도변화를 예측하기 때문에 배출량 시나리오에 따른 오염농도 증가/저감 효과를 분석할 수 있다.

25) 1997, 2003 Air Quality Management Plan, South Coast Air Quality Management District, 1997, 2003

$$Cf(j) = (Cp(j) - Cb(j)) * ratio(i, j) * \frac{Ef(i, j)}{Ep(i, j)} + Cb(j)$$

$Cf(j)$: future concentration of j pollutant

$Cp(j)$: present concentration of j pollutant

$Cb(j)$: background concentration of j pollutant

$ratio(i, j)$: 배출량 100% 저감시 농도 저감 기여율

$Ef(i, j)$: future emissions of j pollutants from i source

$Ep(i, j)$: present emissions of j pollutants from i source

2.2.4 기준년(2001년) 자료구축 결과

본 연구에서는 2001년 수도권 자동 측정망 자료를 활용하였다. 본 자료의 시간해상도는 24시간 평균의 일별자료로 하였다. 현재 대기 오염도 측정 자료는 측정소 지점별 1시간 단위로 집계되고 있으며 일평균 산출은 유효측정율 75% 이상인 날을 대상으로 통계처리하였다. <그림 III-6~7>은 서울시, 인천시, 경기도의 측정망 지점 중 일부 오염우심 지역에 대한 NO_2 와 PM_{10} 의 일별 평균오염농도 분석결과이다. PM_{10} 의 경우 공통적으로 황사기간에는 고농도의 PM_{10} 이 발생하는 것으로 분석되었다. 현행 PM_{10} 연평균 환경기준은 $70\mu g/m^3$ 이며 NO_2 는 50ppb이다. 24시간 환경기준은 PM_{10} 은 $150\mu g/m^3$ 이며 NO_2 는 80ppb이다. 24시간기준은 측정자료 중 99퍼센타일 값이 환경기준을 초과할 경우 환경기준을 초과지역으로 분류된다.

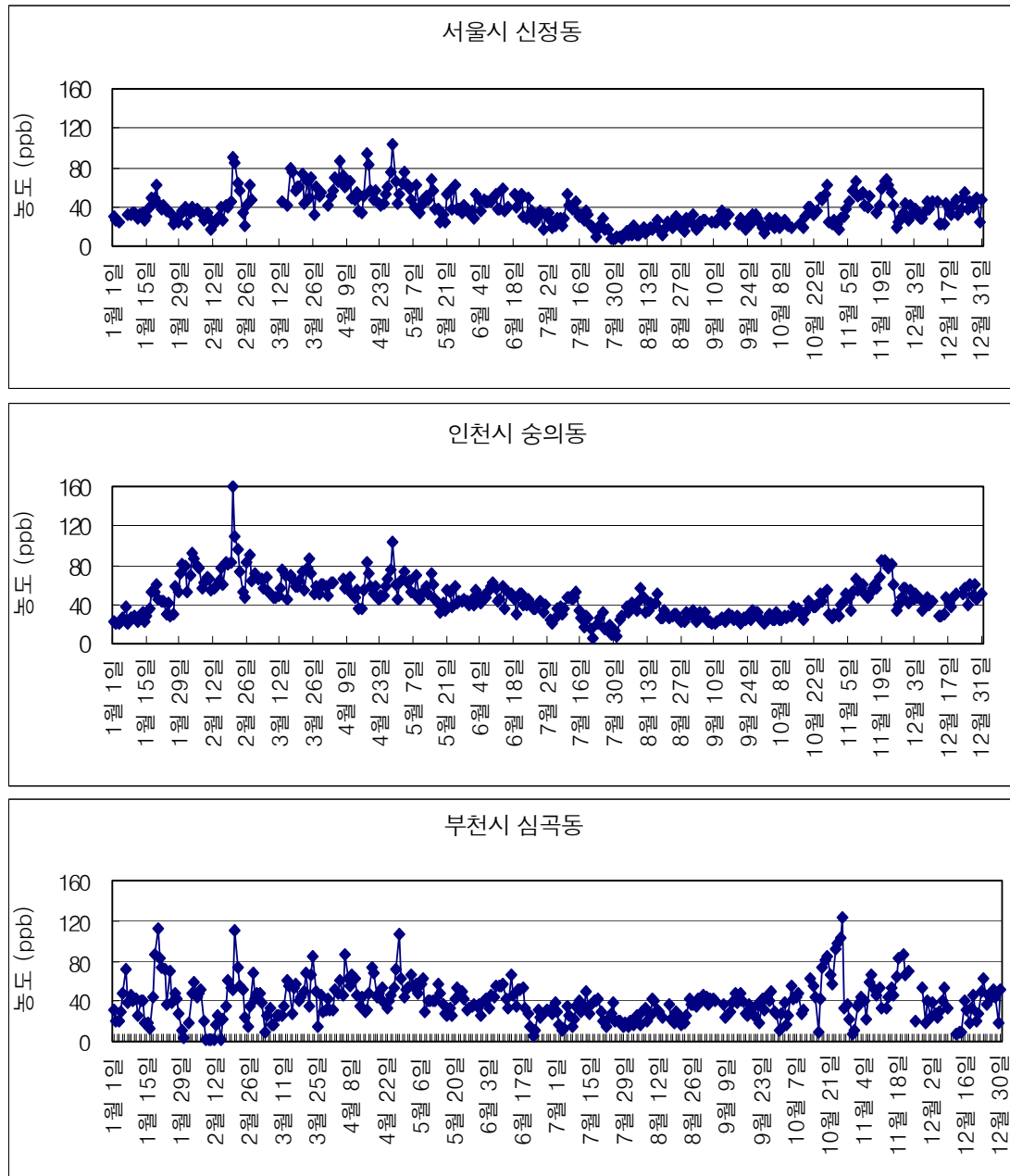
격자자료는 거리 가중치를 고려한 객관분석방법을 통하여 자료를 생산하였다. 2001년에 운영된 68개의 지점의 수도권 측정망 자료를 활용하여 $3km \times 3km$ 격자자료를 생산하였다. 구축 자료의 좌표계는 UTM을 사용하였다. <표 III-11>은 대기오염도 구축영역의 격자원점 및 격자수이다.

<표 III-11> 대기오염도 구축 영역의 해상도와 영역크기

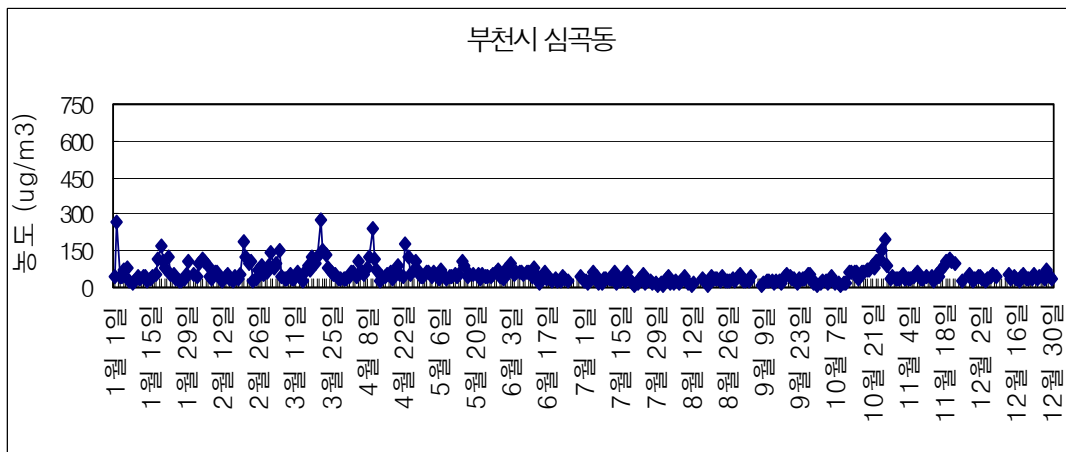
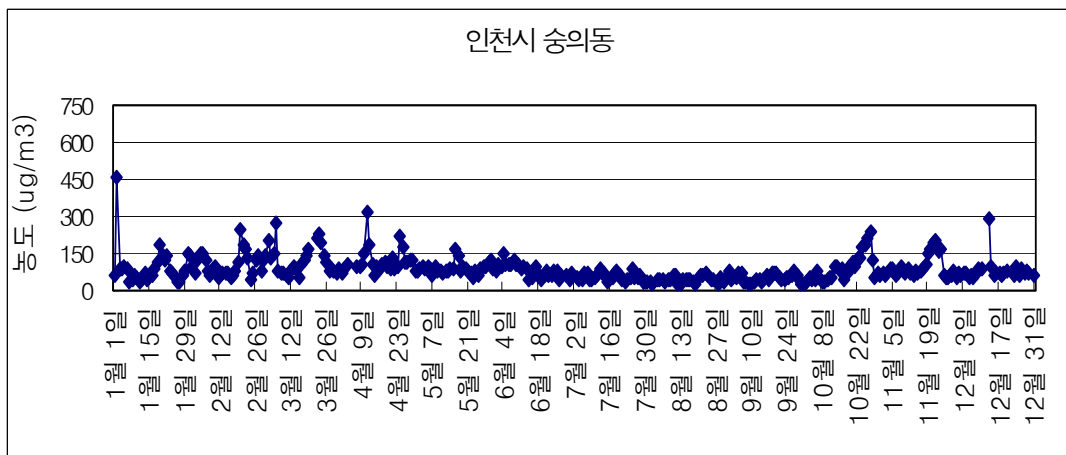
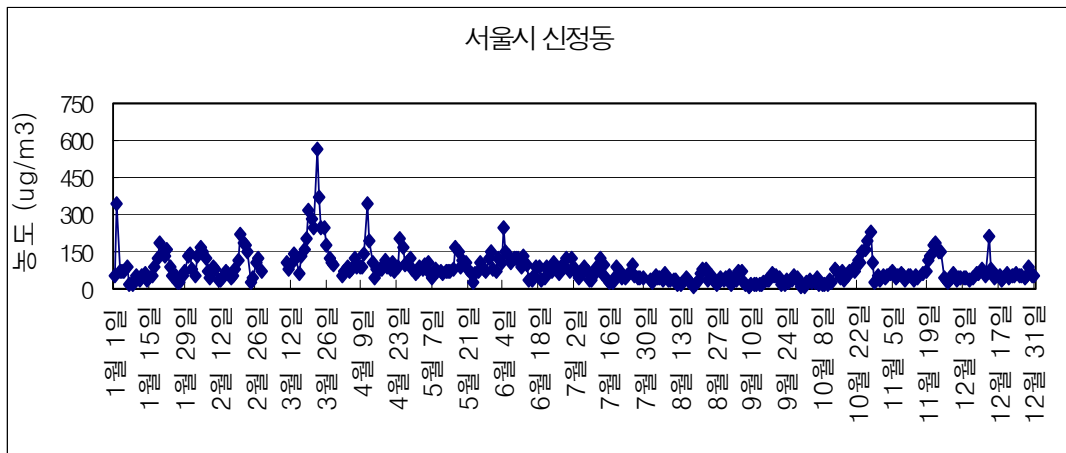
구축 범위	해상도(km)	격자수		격자원점(km)	
		X	Y	UTM(X)	UTM(X)
수도권 지역	$3km \times 3km$	41	51	245,000	4,060,000

2.2.5 향후과제

본 연구에서는 2001년 수도권 자동 측정망 자료를 활용하여 객관분석방법을 통한 격자자료를 생산하였다. 본 자료는 후속 연구 작업에서 C_R 함수의 추정에 사용된다. 또한 기후 및 대기 환경정책의 실효성 등을 분석하기 위해서는 미래 대기오염도 자료 구축이 요구된다. 미래 자료구축은 앞 절에서 설명한 방법을 적용할 수 있다.



<그림 III-6> 2001년 NO₂의 시계열 농도 분석



<그림 III-7> 2001년 PM₁₀의 시계열 농도 분석

2.3 보건자료구축

2.3.1 목적

제2차 통합환경전략(IES) 연구는 대기오염의 건강편익효과 분석을 위한 필수자료 구축을 목적으로 하는 바, 앞서 진행한 인구 및 대기자료 외에 필수적으로 보건자료 구축이 요구된다. 건강편익 추정모형은 선행연구에서도 살펴보았듯이, 대기오염 농도와 건강상의 효과 간에 상관관계를 규명하고 다양한 지구적, 지역적 오염물질의 저감수단을 적용했을 때의 편익 또는 비용을 추정하게 된다. 그러므로 대기 농도와 건강효과의 상관관계 규명을 위한 적절한 보건 자료를 구축하는 것이 필요하다.

또한 본 자료의 구축으로 연령별, 성별 건강효과 분석이 이루어 질 수 있으며, 대기오염과 저감 시나리오에 따른 사회적인 비용 감소분 추정이 가능할 것이다.

2.3.2 자료설명

보건자료는 본 연구의 분석대상 대기오염물질과 밀접한 관련이 있는 것으로 나타난 상병 자료를 위주로 구축하였다. 지난해 수행된 황사에 관한 선행연구²⁶⁾에서는 보건자료를 활용한 정량적인 추세를 관찰하였는데 미세먼지(PM₁₀)의 농도가 비 황사기 보다 크게 높아져 호흡기 질환 등 국민건강에 유해한 요인으로 파악되었다.

본 연구에서는 작년에 활용된 DB를 기초로 세부 질병별 일일 자료를 작성한다. 보험심사평가원에서 제공된 동 자료의 변수는 총 14개 항목으로 구분되어 있다.

2.3.2.1 자료구축 범위

제1차 IES연구에서는 수도권을 대상으로 건강편익을 추정하였으나, 격자단위로 세분화한 자료를 활용하지 않았다. 또한 지불의사액, 설문조사 등을 이용한 추정방식을 활용하여 온실가스 저감의 부수적인 건강편익을 계산하였다. 본 과업에서 구축한 자료는 서울-25, 인천-10, 경기-51 등 총 개 시군구를 대상으로 하고 있으며 이 중 요양개시일 자료가 없는 경기도의 8 개 시군구 자료를 제하고 총 78개 지역의 자료가 구축되었다. 본 자료는 2001년 3월~5월의 요양개시일에 한해 제공되며, 향후 연간자료 구축을 위해서 보험심사평가원에 연간 자료의 정식요청을 통해 동일하게 구축될 수 있음을 밝혀둔다. 본 자료를 이용한 선행연구에서는 황사와의 관련성 규명을 위해 황사 현상이 빈번히 발생하는 3월에서 5월간의 요양개시일 자료를 이용하였으며, 수도권 및 지역 전체단위로 구축되었다. 본 연구에서는 지역을 서울, 인천,

26) '동북아 황사피해분석 및 피해저감을 위한 지역 협력방안 I', 추장민 외, KEI 2003 Re-01 연구보고서, 2003.

경기도로 한정해 추출하였고, 이를 총 78개 시군구 자료로 세분화하여 작성하였다.

본 연구는 앞서 구축한 자료와의 호환을 위해 수도권을 행정구역별 총 78개 지역으로 세분화하였고, 비용자료를 활용한 편익추정이 가능하다는 점에서 선행연구보다 활용도가 높고 정밀한 추정이 가능하다는 차이점이 있다.

2.3.2.2 변수설명

본 연구에서 활용가능한 원자료의 변수는 총 14개로 구분되며 아래와 같다.

변수명

- 1) 심사년월
- 2) 요양개시일자
- 3) 수진자 연령
- 4) 성별구분
- 5) 3단 상병기호
- 6) 서식구분코드
- 7) 명세서 건수
- 8) 내원일수
- 9) 심결요양급여비용총액
- 10) 심결보험자 부담금
- 11) 심결본인 부담금
- 12) 종별코드
- 13) 시도코드
- 14) 지역코드

심사년월은 심사 개시일을 나타낸다. 심사년월에 정리된 자료이므로 실제 병원방문 날짜에 대한 기록은 요양개시일자 변수를 통해 확인할 수 있다. 수진자 연령은 병원에 방문한 개인의 연령으로, 0세의 경우 개월수 단위까지 나타나 있다.

상병기호는 ICD 10단위 코드로 총 39종의 질병정보가 수록되어 있다. 본 연구의 보건자료는 대기오염의 건강효과와 밀접하게 관련되어 분석대상이 될 수 있는 급성기관지염 및 관련 질병, 천식 및 관련질환, 심혈관계 및 관련질환 등에 대한 일일 발생건수 자료를 구축하고 이를 성별, 나이별, 그리고 지역구 별 구축하기로 한다.

본 연구에서는 황사와 관련한 상병에 대해서만 자료가 존재하므로 기존의 건강효과분석 연구에서 검증된 상병자료가 추가될 필요성이 있다. 다음의 <표 III-12>는 상병기호 및 그 기호의 구체적 병명을 보여주고 있다.

<표 III-12> 3단 상병기호 및 그 명칭

3단 상병기호	3단 상병기호 명칭
AH10	(양방)결막염
AH11	(양방)결막의 기타장애
AH13	(양방)달리 분류된 질환에서의 결막의 장애
AH16	(양방)각막염
AI21	(양방)급성 심근경색증
AI22	(양방)속발성 심근경색증
AI23	(양방)급성 심근경색증에 의한 특정 현재 합병증
AI24	(양방)기타 급성 허혈성 심장질환
AI25	(양방)만성 허혈성 심장병
AI50	(양방)심장기능상실(심부전)
AI63	(양방)뇌경색증
AJ00	(양방)급성 코인두염(감기)
AJ01	(양방)급성 굴염
AJ02	(양방)급성 인두염
AJ03	(양방)급성 편도염
AJ04	(양방)급성 후두염 및 기관염
AJ05	(양방)급성 폐쇄성 후두염[크루프] 및 후두개염
AJ06	(양방)다발성 및 상세불명 부위의 급성 상기도 감염
AJ20	(양방)급성 기관지염
AJ21	(양방)급성 세기관지염
AJ22	(양방)상세불명의 급성 하기도 감염
AJ30	(양방)혈관운동성 및 알레르기성 비염
AJ31	(양방)만성비염. 코인두염 및 인두염
AJ32	(양방)만성 굴염
AJ33	(양방)코의 폴립
AJ34	(양방)코 및 코옆굴의 기타 장애
AJ35	(양방)편도 및 아데노이드의 만성 질환
AJ36	(양방)편도주의 고름집(농양)
AJ37	(양방)만성 후두염 및 후두기관염
AJ38	(양방)달리 분류되지 않은 성대 및 후두의 질환
AJ39	(양방)상기도의 기타 질환
AJ40	(양방)급성인지 만성인지 명시되지 않은 기관지염
AJ41	(양방)단순성 및 점액농성 만성 기관지염
AJ42	(양방)상세불명의 만성 기관지염
AJ43	(양방)폐기종
AJ44	(양방)기타 만성 폐쇄성 폐질환
AJ45	(양방)천식
AJ46	(양방)천식지속 상태
AJ47	(양방)기관지 확장증

지역은 본 16개 도 및 광역, 특별시 자료로 크게 나누어지고, 세부 시군구 자료까지 활용할 수 있다. 본 연구에서 구축한 지역변수 자료는 인구자료와 마찬가지로 서울, 인천 그리고 경기도의 시군구단위 세부자료를 작성하였다. 서울은 25개 구, 경기도는 51개 시군구, 인천은 10개의 시군 자료를 추출하였는데 3월~5월까지 환자건수가 없는 경기도의 8개 지역²⁷⁾은 결측값이므로 실제 자료로는 존재하지 않아서 총 78개의 지역자료로 구분된다.

서식구분코드는 총 19개의 병원분류²⁸⁾로 나뉘어 저서 환자가 방문한 병원을 구분할 수 있다. 내원일수는 그 환자의 병원 방문일 수 또는 입원일 수를 나타낸다. 비용은 보험 부담금 및 개인부담금 그리고 둘을 합한 총 비용 자료로 구분된다. 이러한 총액 및 본인, 보험자 부담금은 건강효과의 직접비용 자료로써 활용할 수 있을 것이다.

2.3.3 자료구축결과

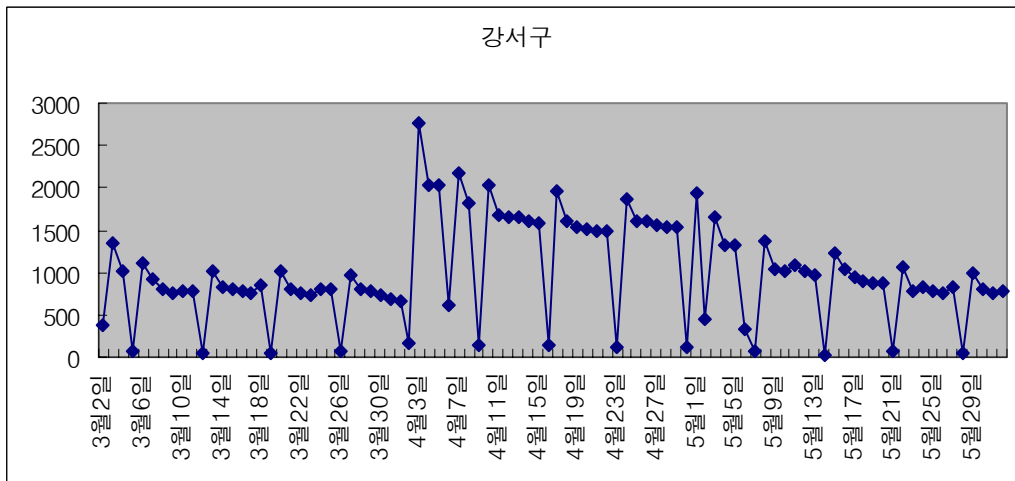
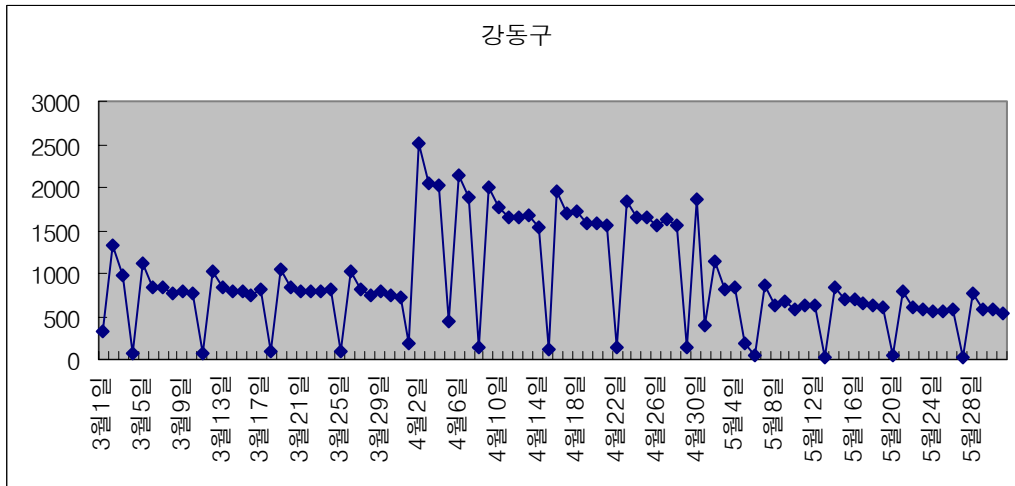
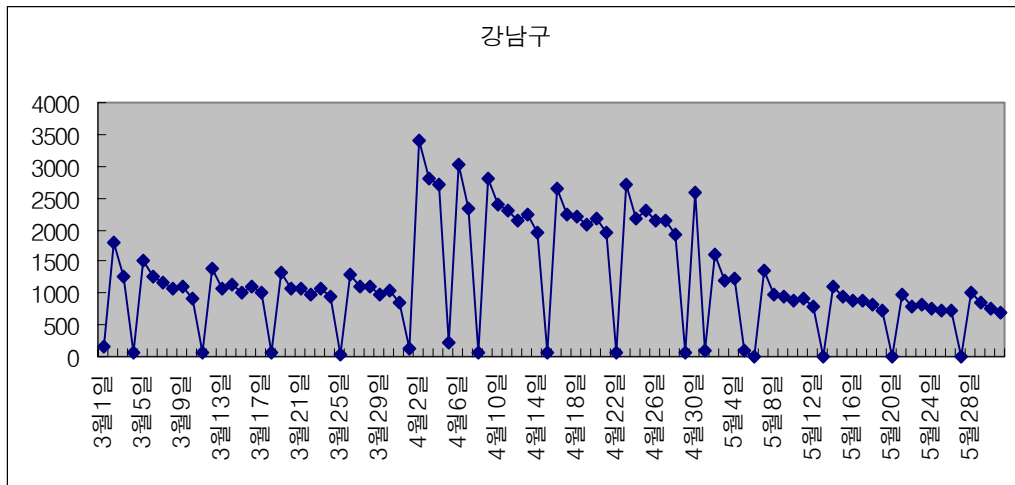
90일간 시계열 자료의 구축 결과로부터 수도권 시군구 지역별 환자 발생건수 자료 및 상병구분별 건수통계자료를 작성하였으며, 총 보험급여 및 개별 비용에 대한 자료가 구축되었다. 다음의 그림 III-8, 9는 3~5월간 서울시 지역의 환자 발생건수와 상병별 건수를 보여주고 있다.

경기도는 총 43개 시군구 지역에 대한 발생건수 통계치를 도표로 작성해 보았으며, 인천은 10개 시군구자료로부터 환자발생건수 및 상병별 합계치를 작성하였다²⁹⁾.

27) 경기도 - 강화군, 광주군, 용진군, 파주군, 화성군, 송탄시, 수원시, 안양시 등 8개 지역, 수원시 및 안양시는 구 단위 자료를 추출하였으며, 시로 분류된 코드에는 실제 값이 존재하지 않았음.

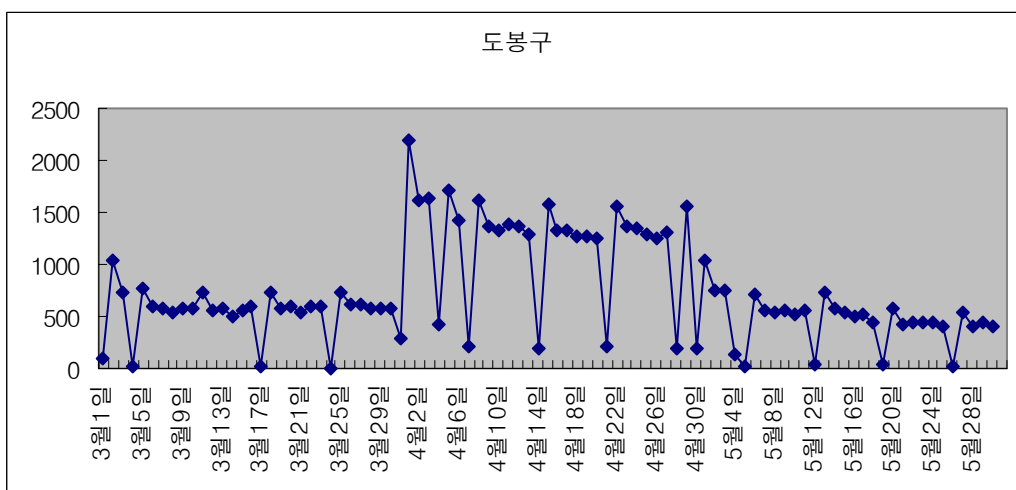
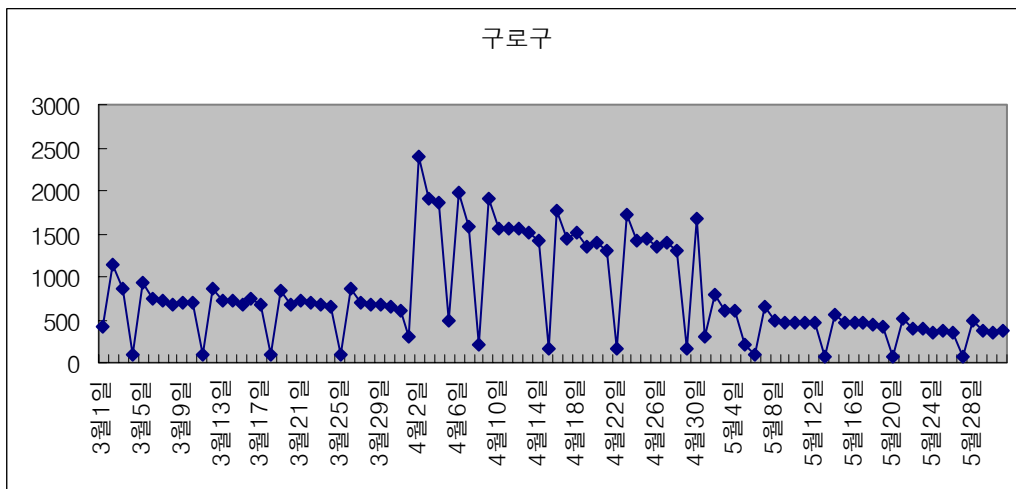
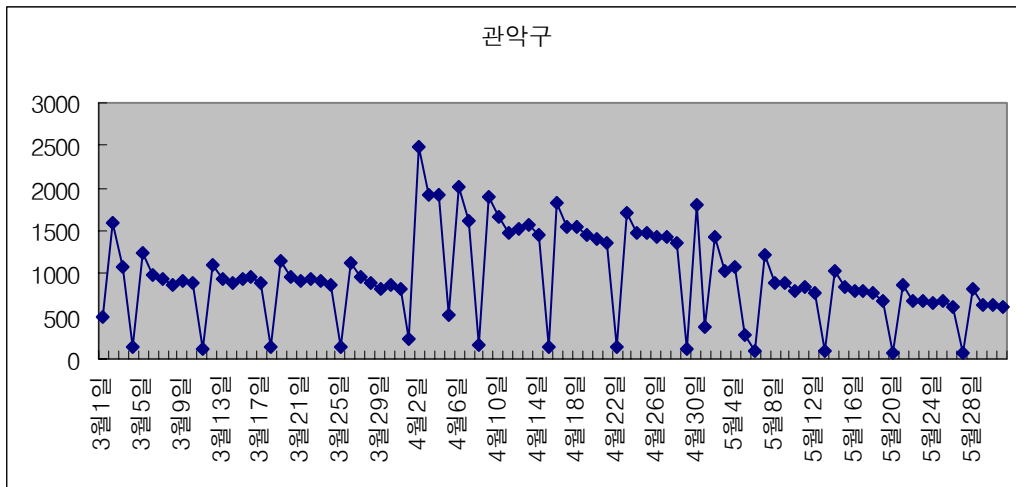
28) 의과입원, 의과외래, 치과입원, 치과외래, 조산원 입원, 보건기관입원의과, 보건기관입원한방, 보건기관외래의과, 보건기관외래치과, 보건기관외래한방, 정신과 낮병동, 정신과입원, 정신과외래, 한방입원, 한방외래, 직접조세, 처방조제, 조산원외래 등 총 19개로 분류

29) 부록#2 의 그림2-1,2,3,4 참조

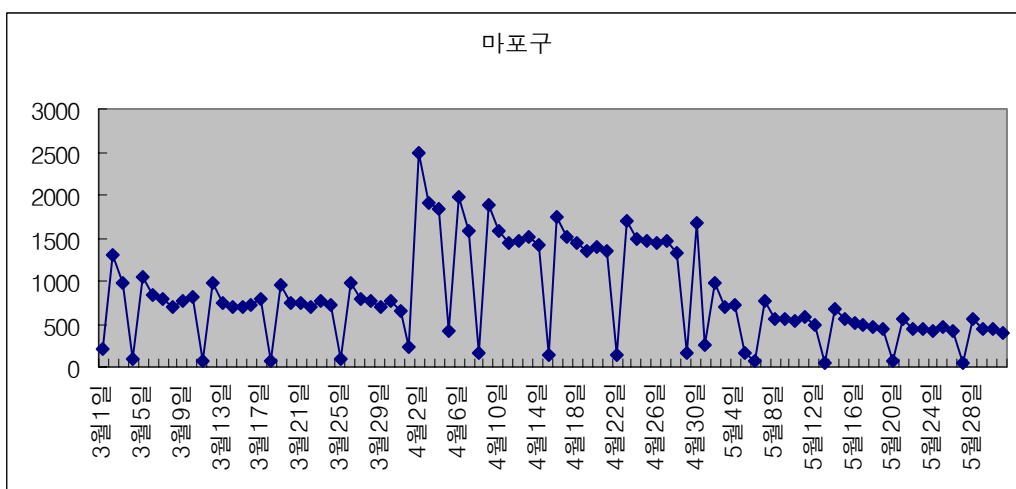
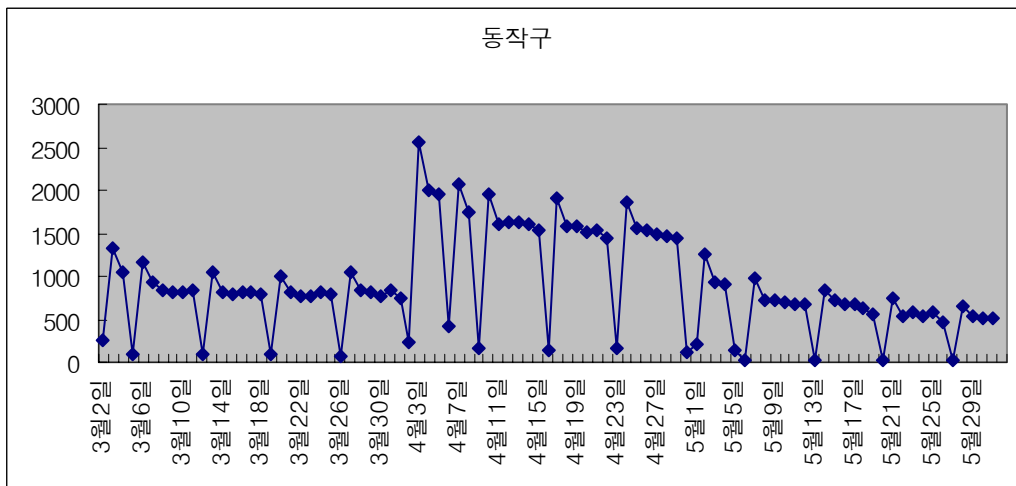
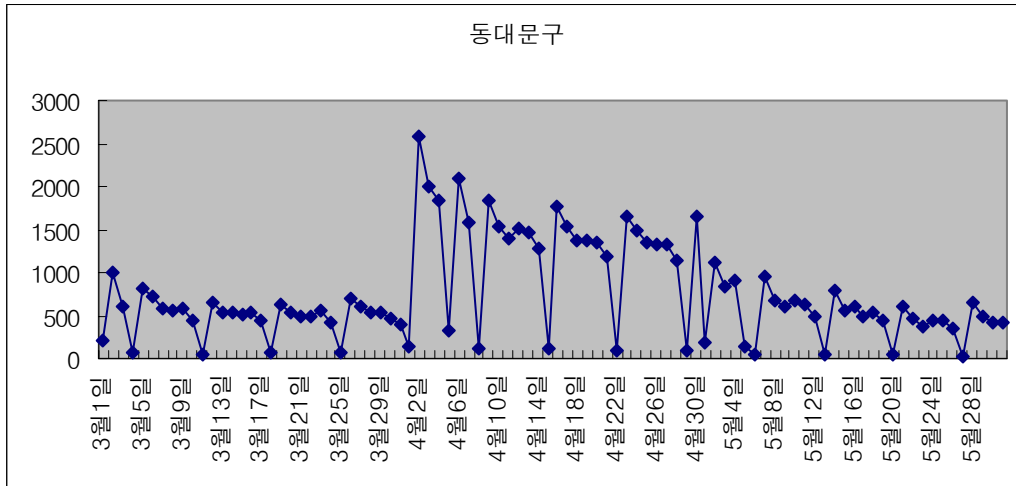


〈그림 III-8〉 서울의 일별 환자 생건수

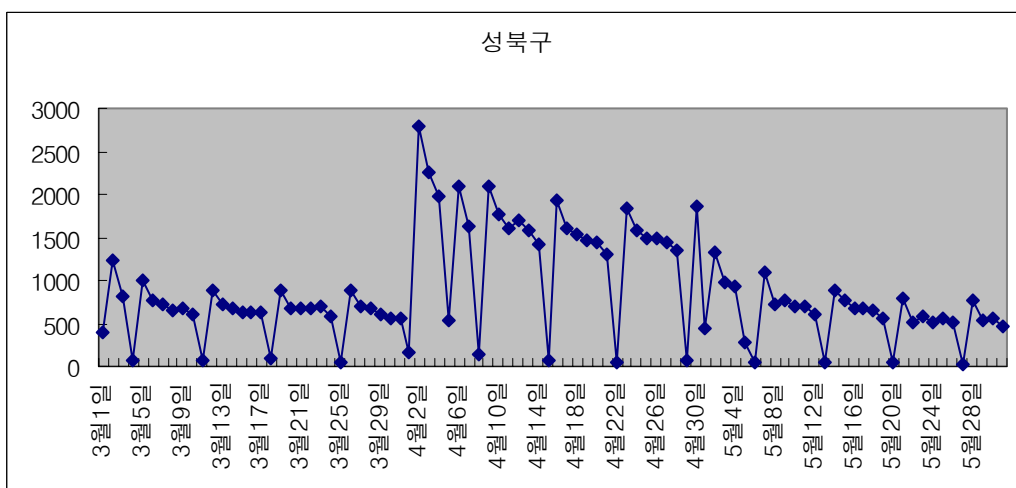
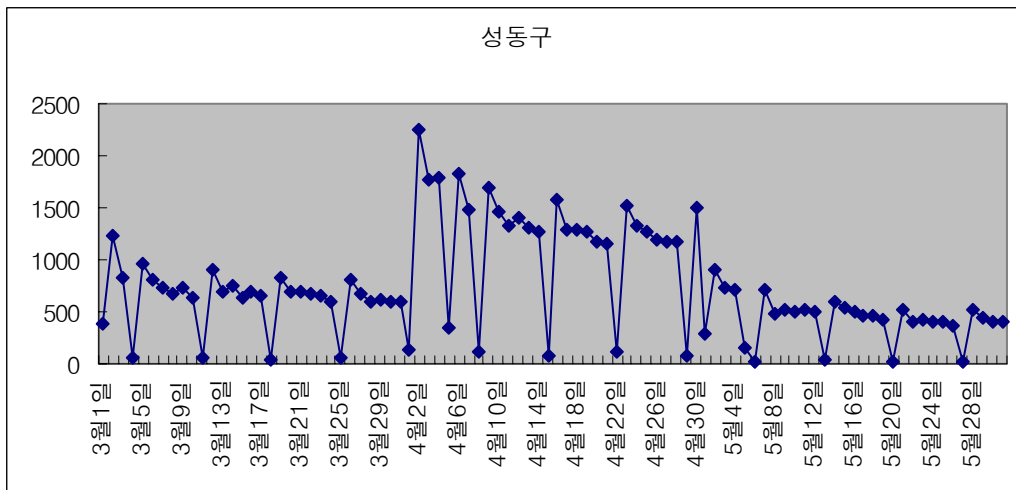
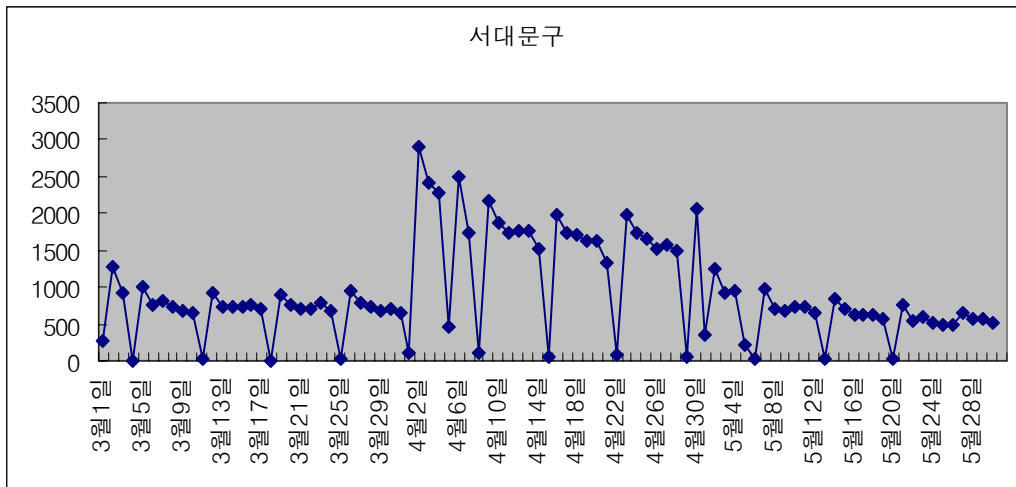
<그림 III-8 > 계속



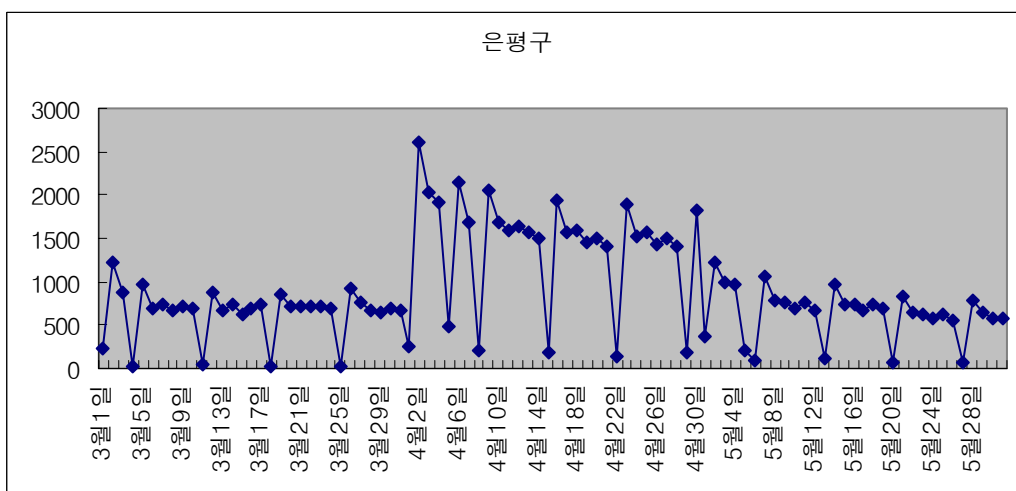
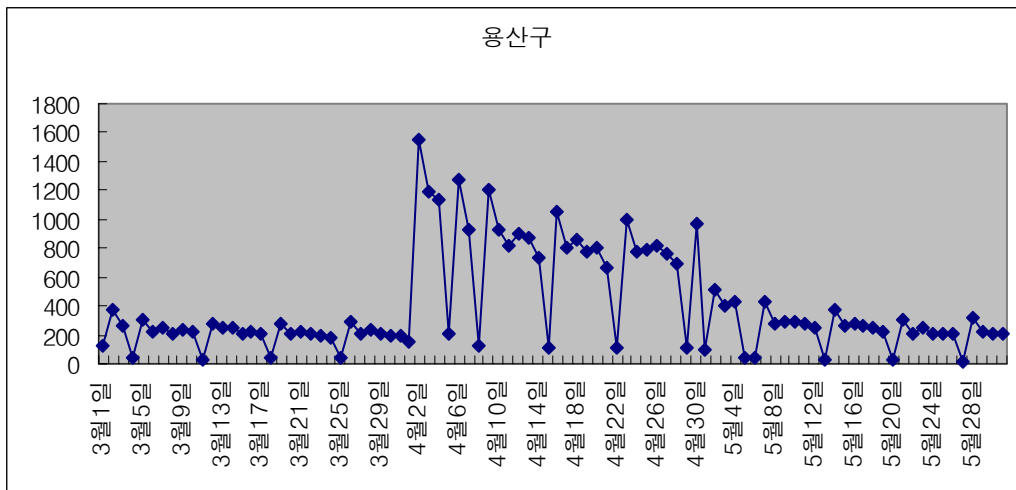
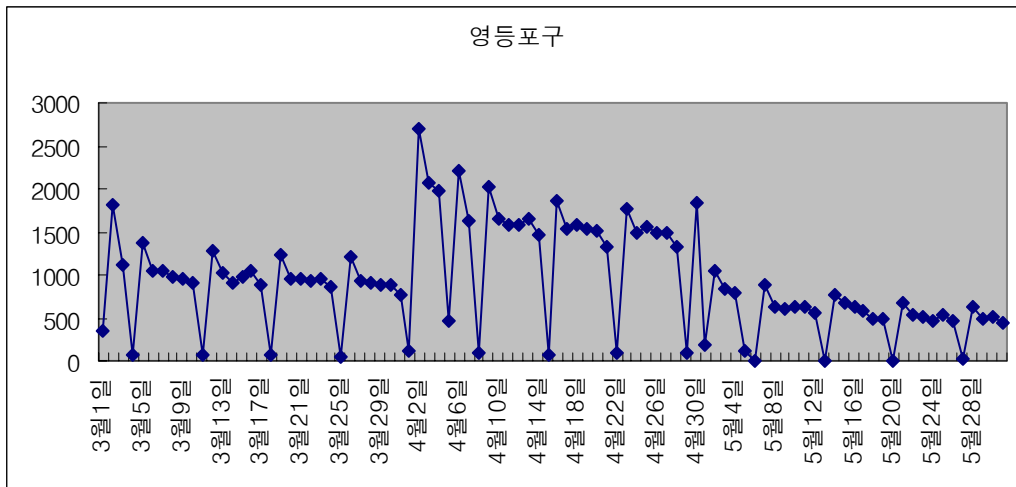
<그림 III-8 > 계속



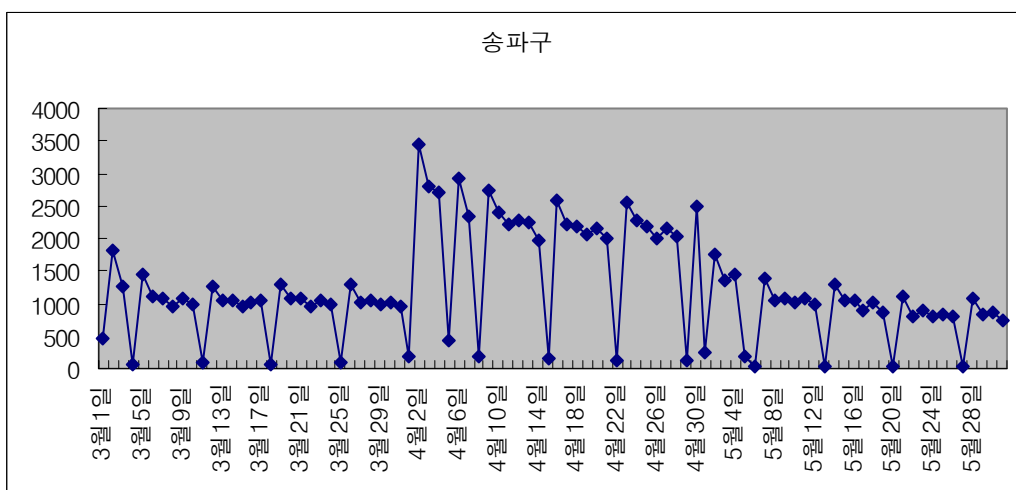
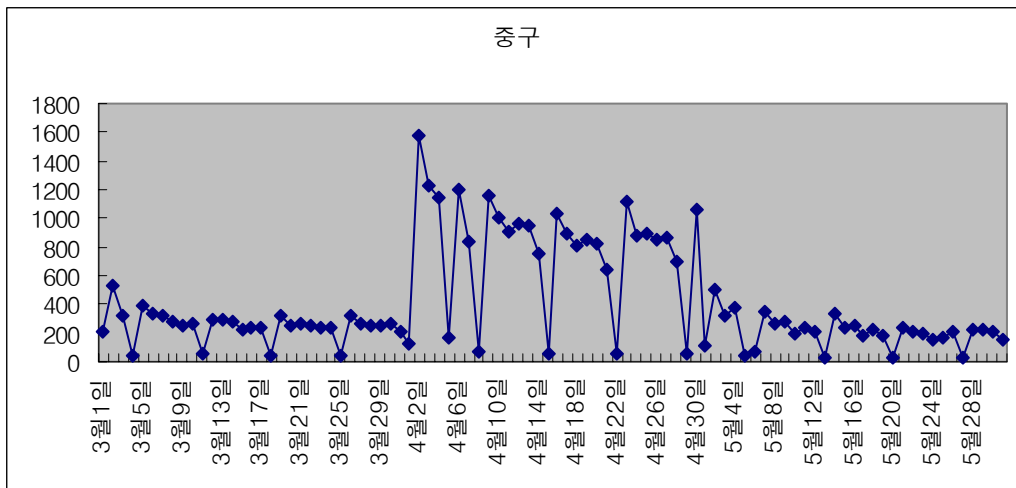
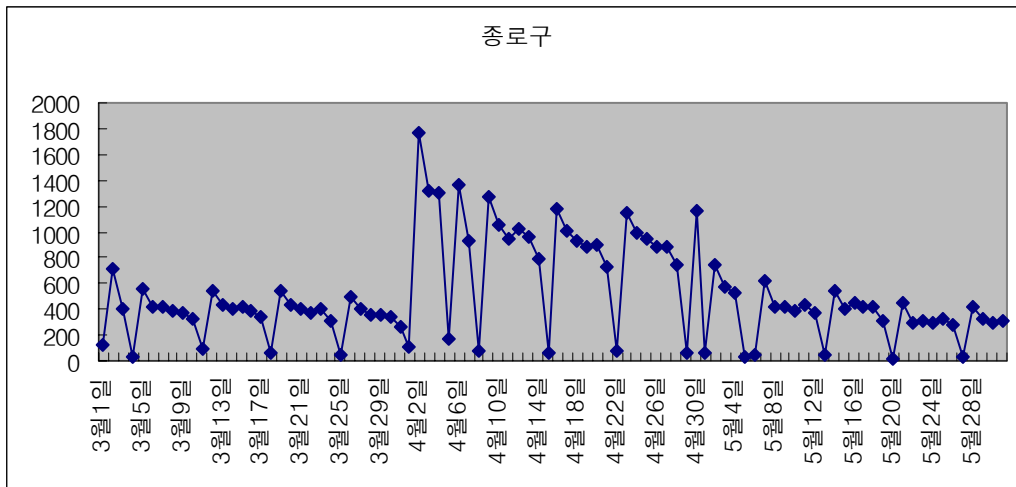
<그림 III-8 > 계속



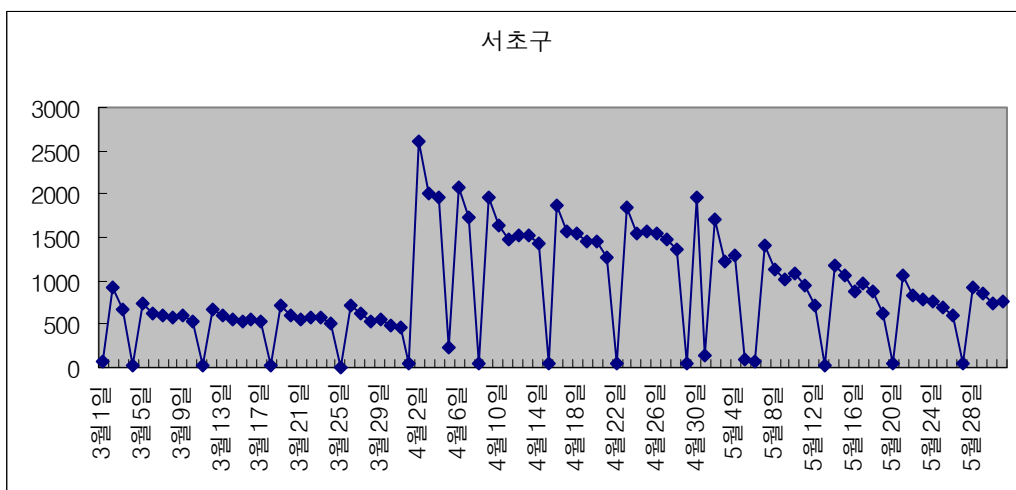
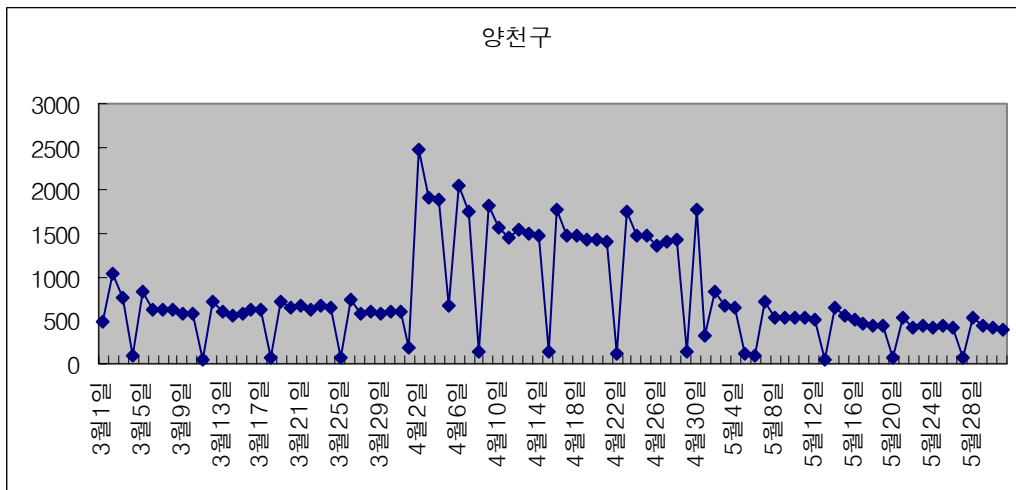
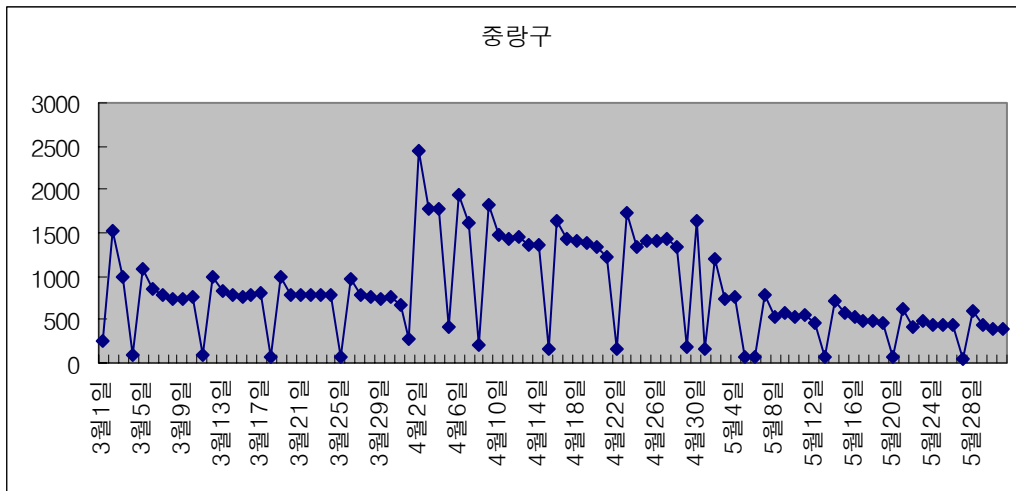
<그림 III-8 > 계속



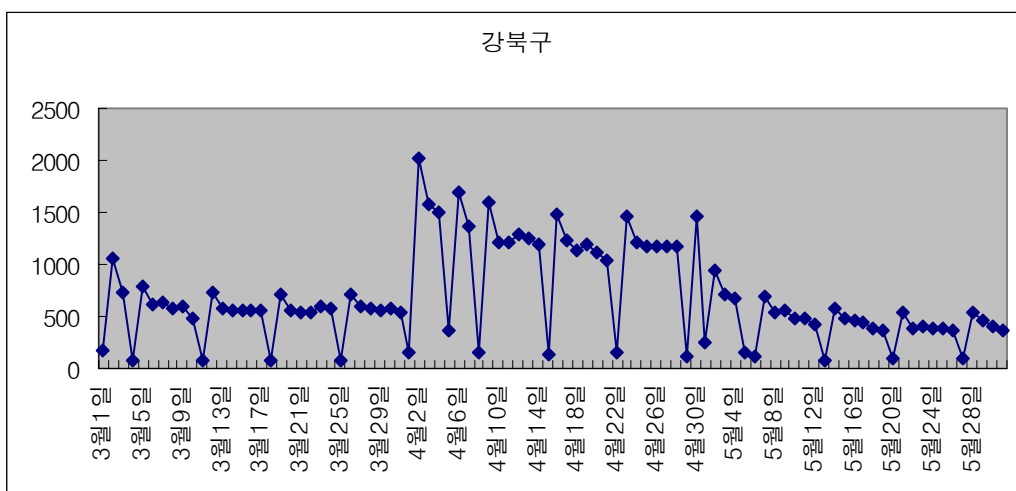
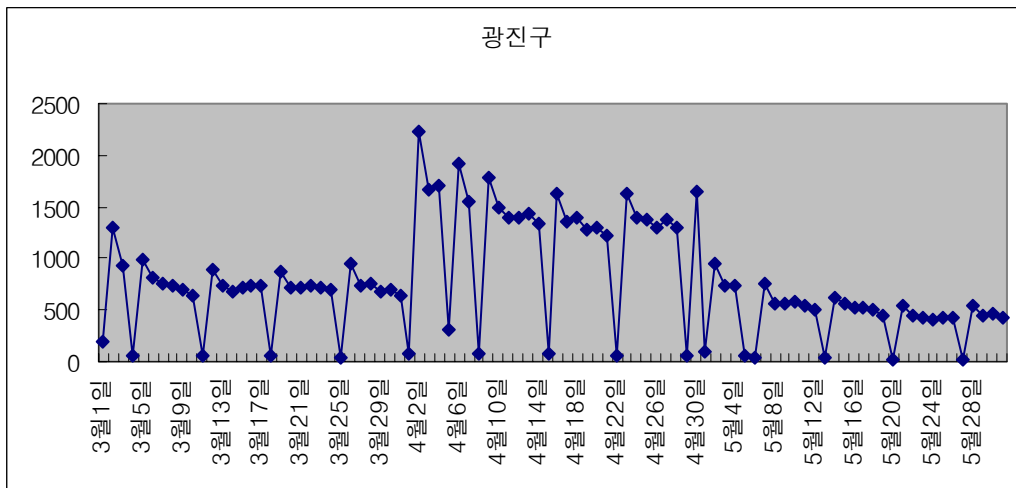
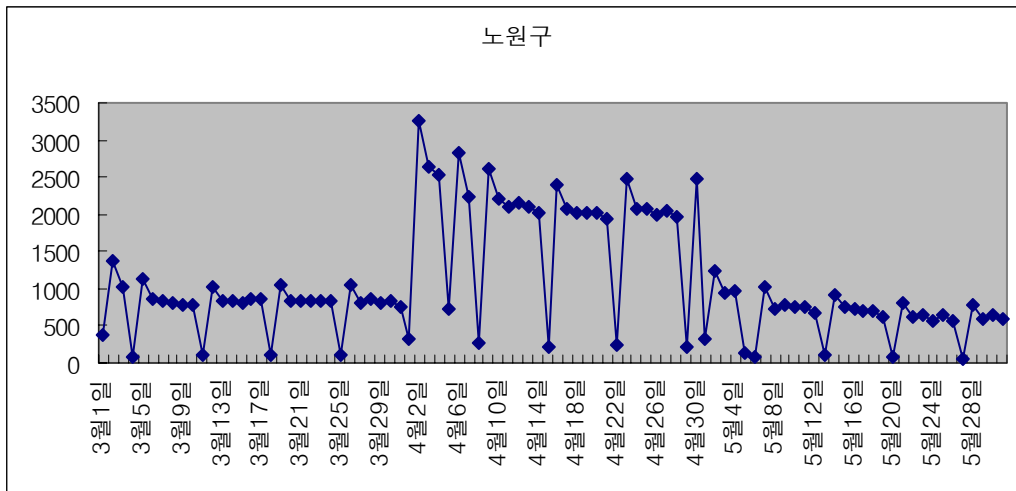
<그림 III-8 > 계속

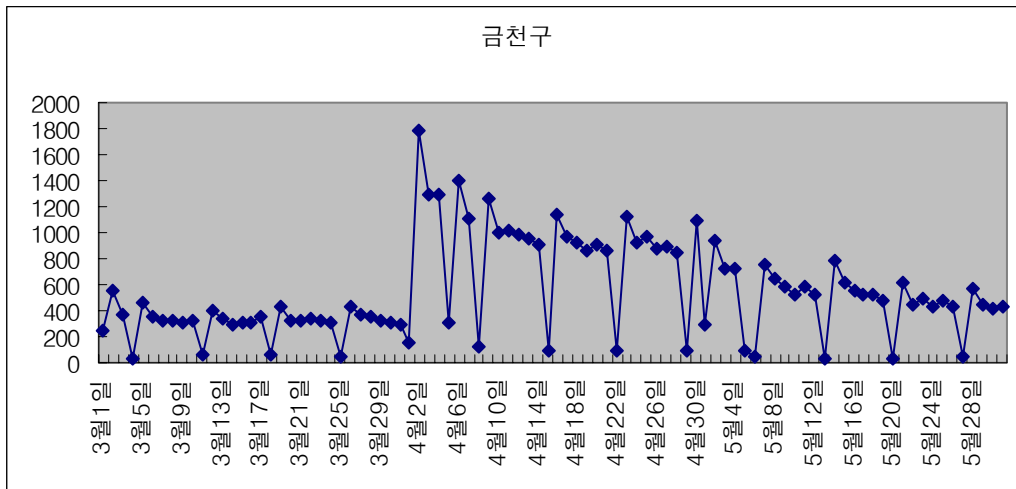


<그림 III-8 > 계속



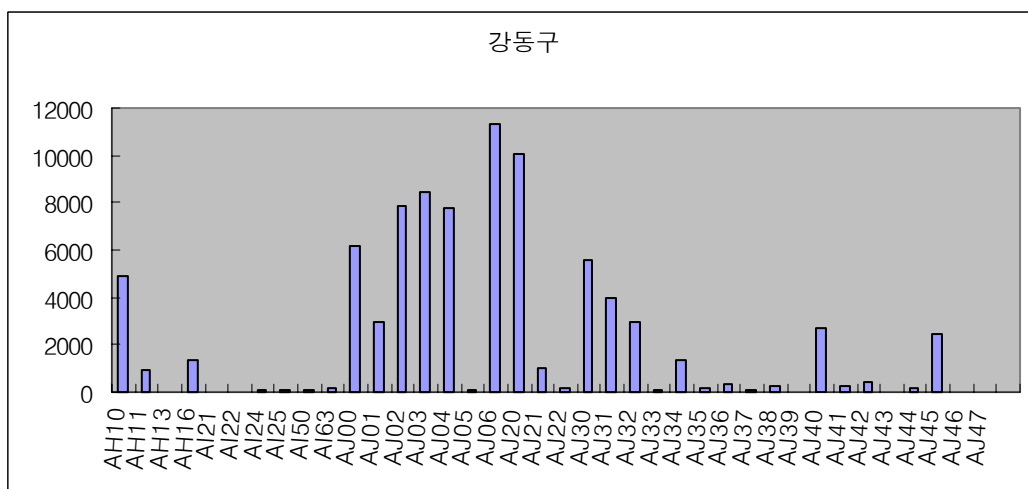
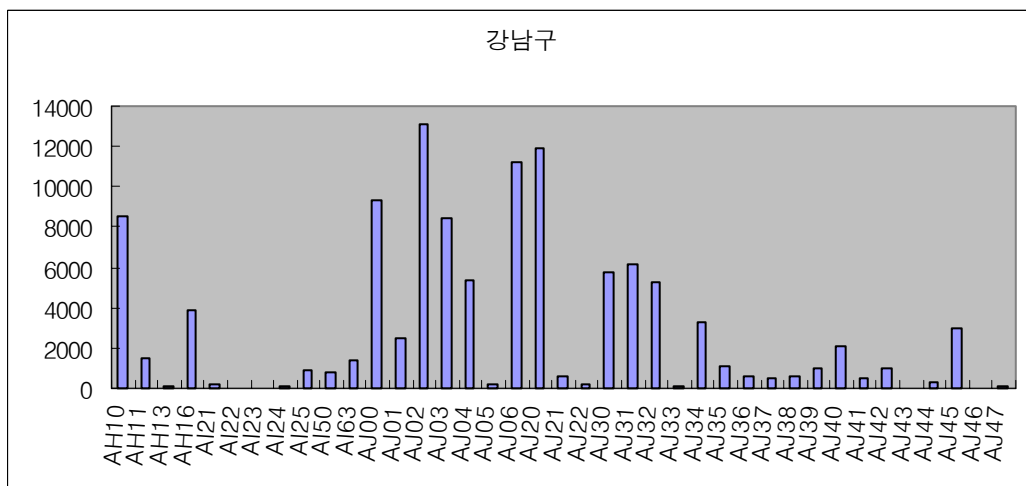
<그림 III-8 > 계속



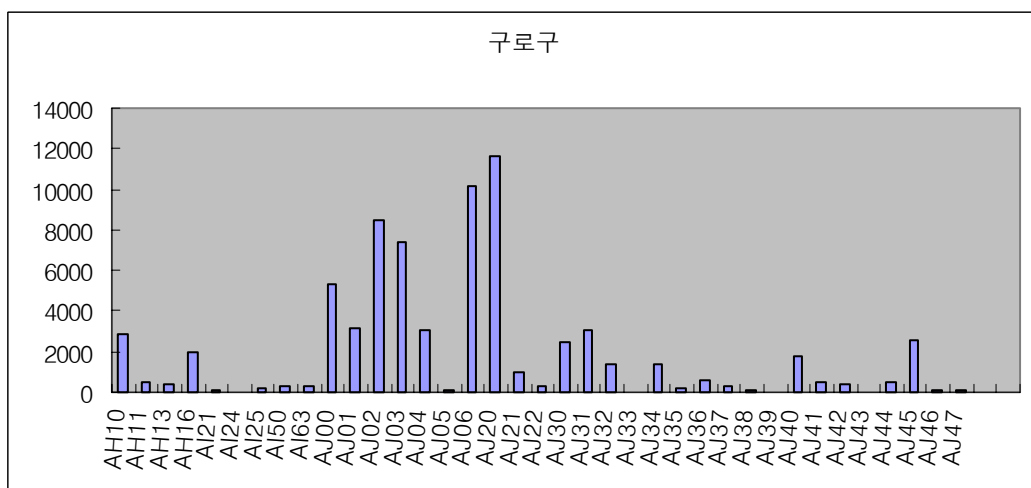
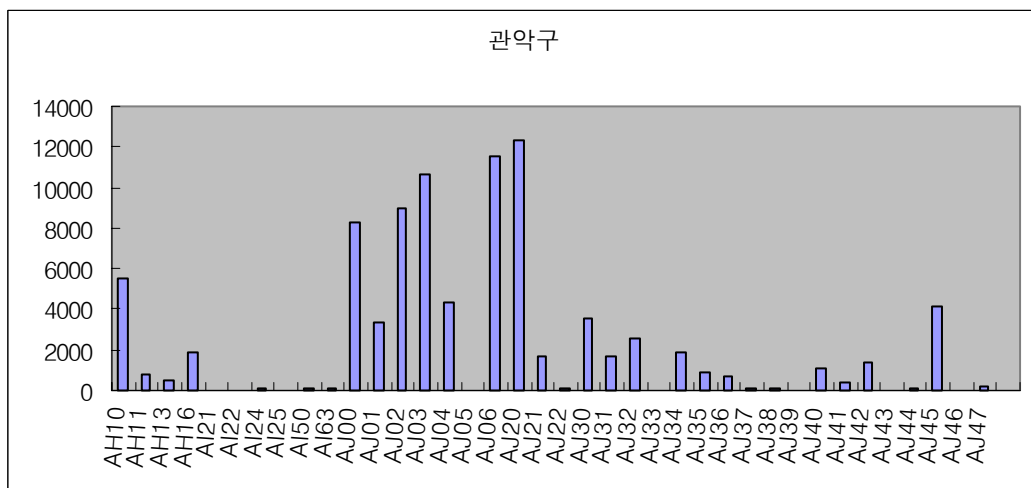
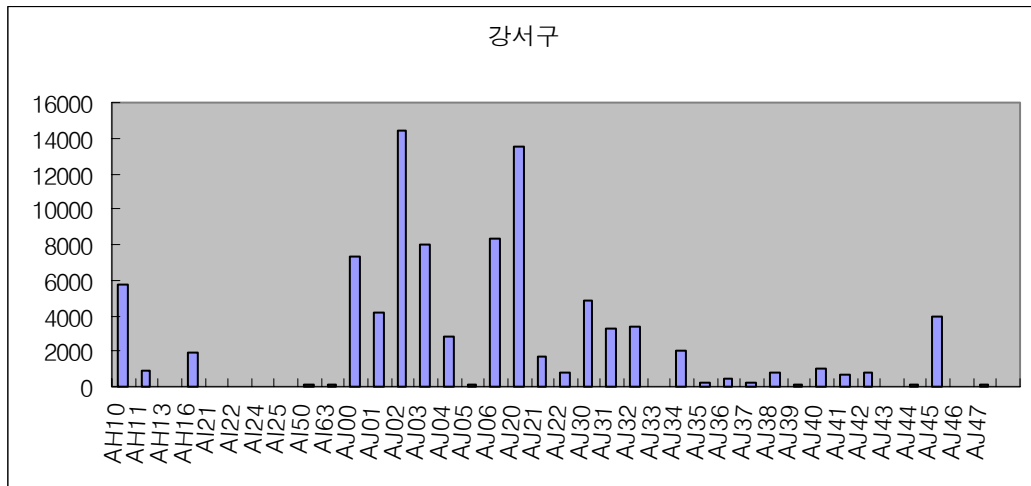


<그림 III-8> 서울의 일별 환자 발생건수 끝.

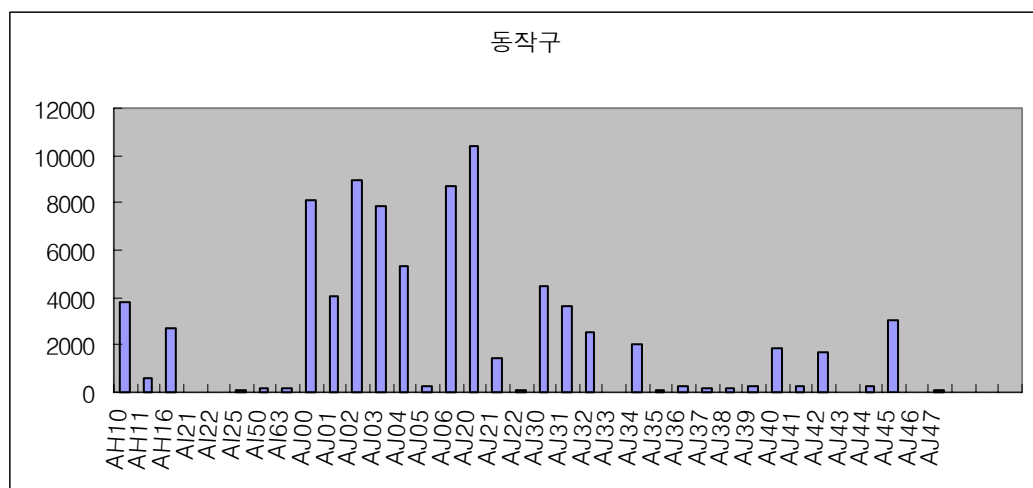
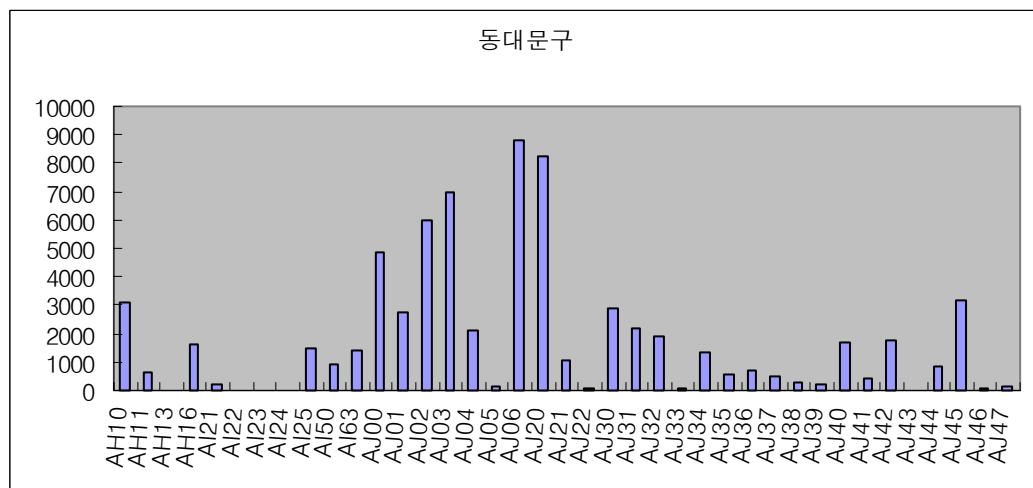
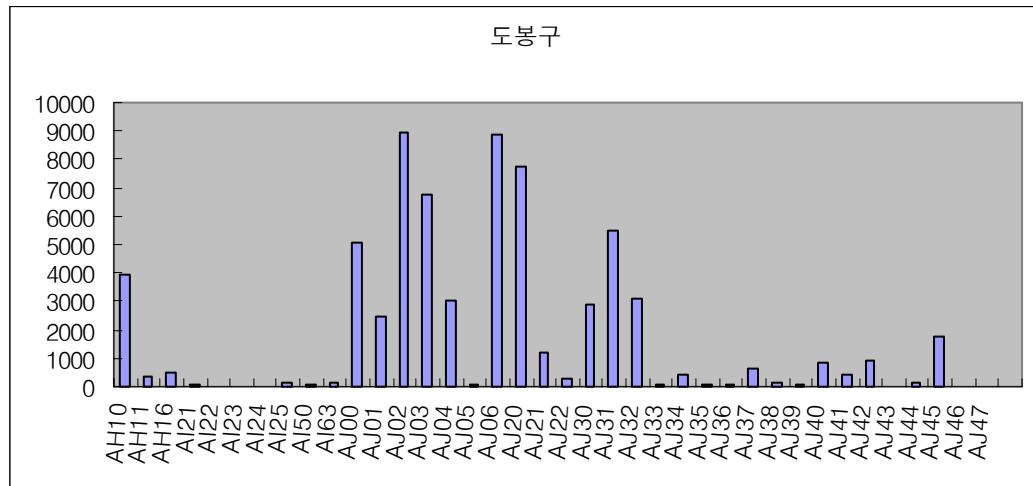
<그림 III-9> 상병별 발생건수



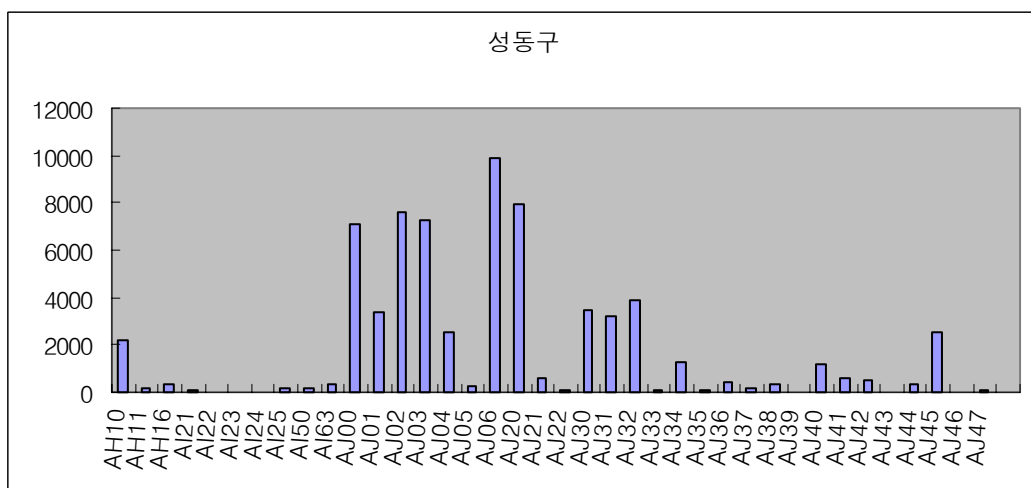
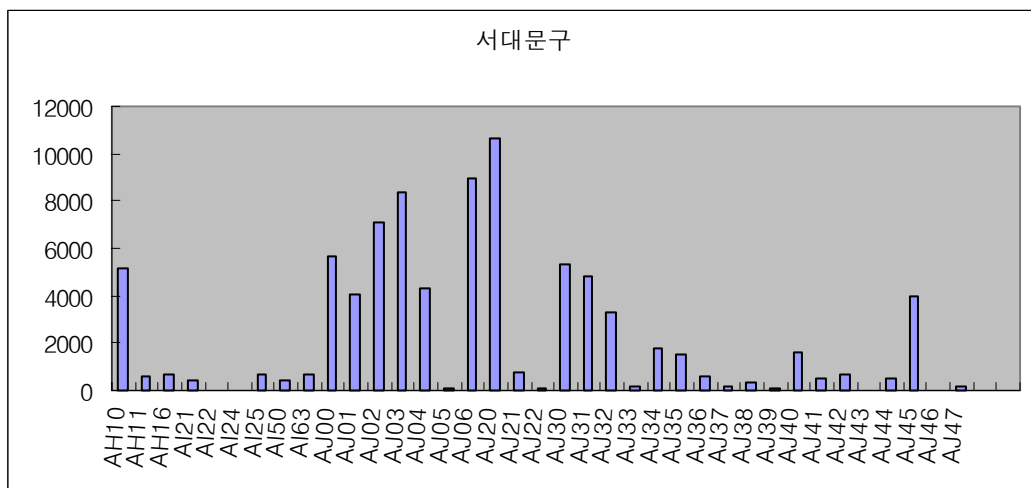
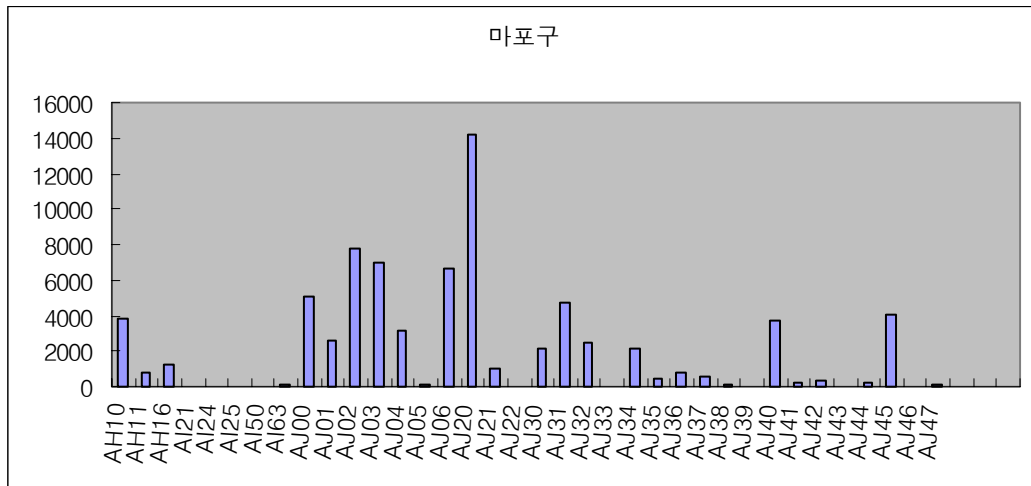
<그림 III-9> 계속



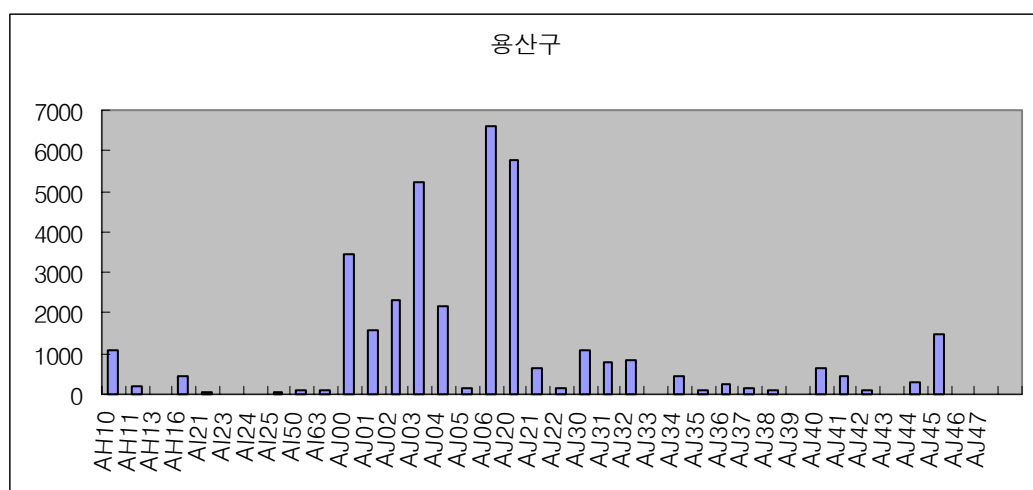
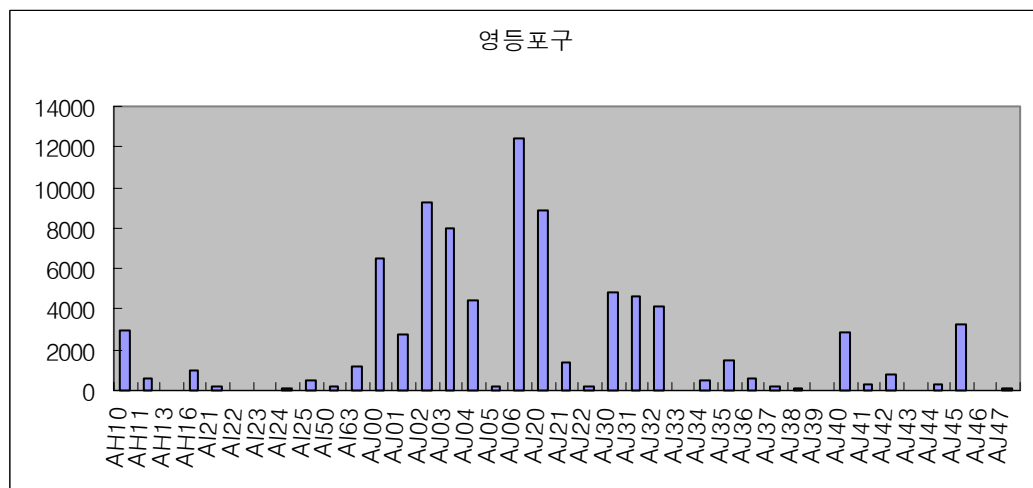
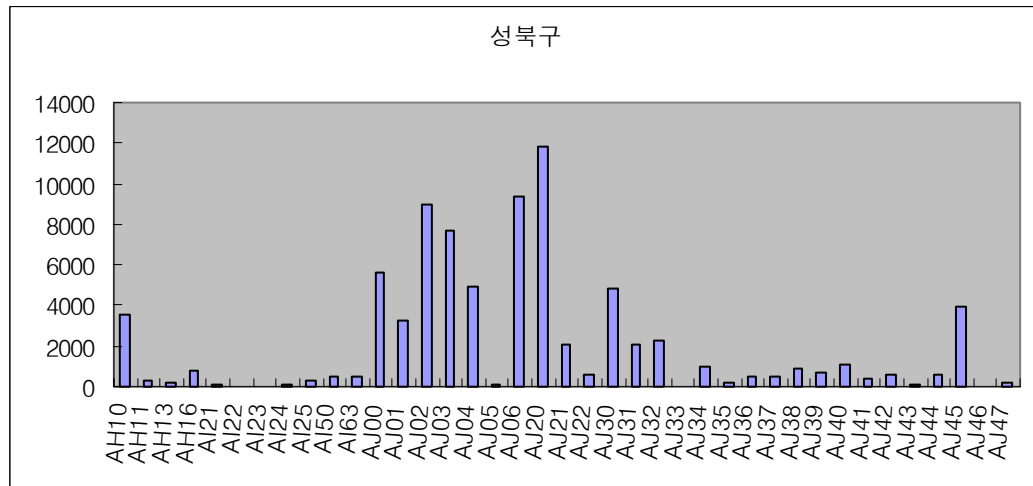
<그림 III-9> 계속



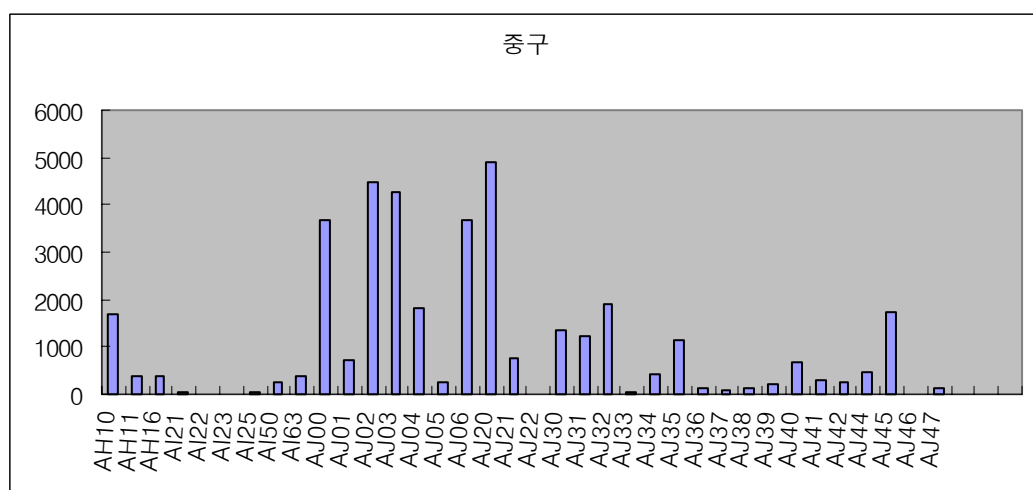
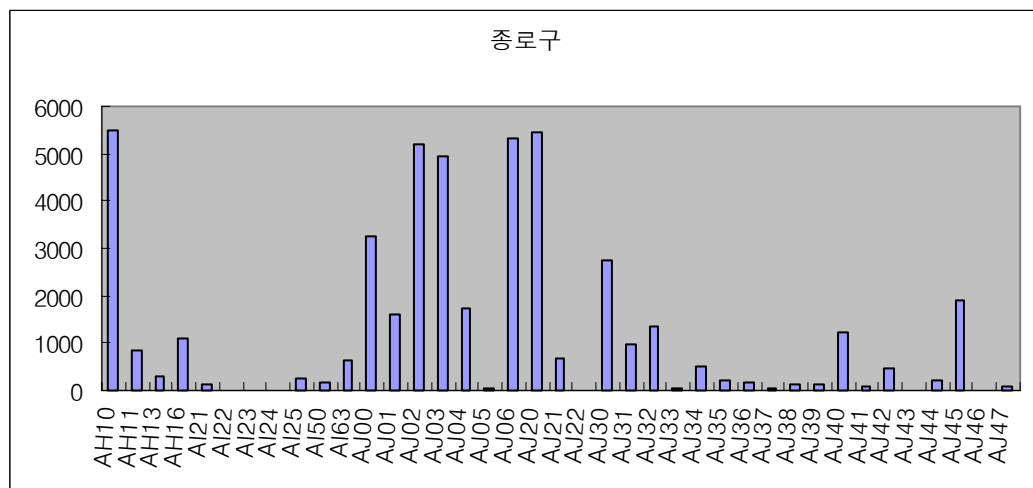
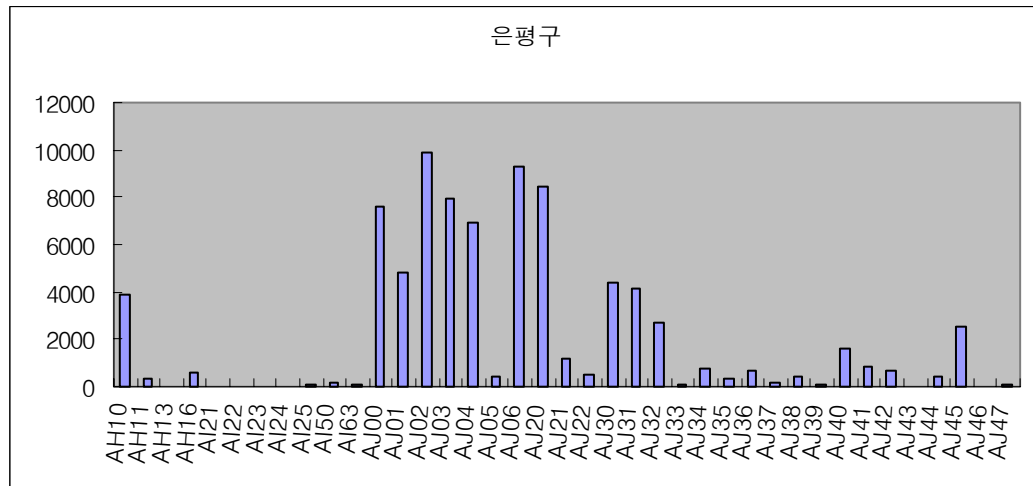
<그림 III-9> 계속



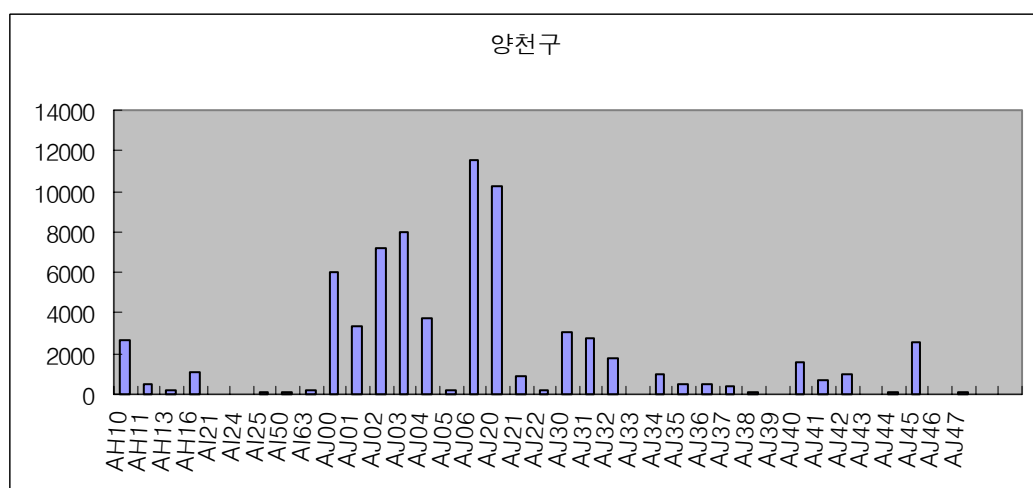
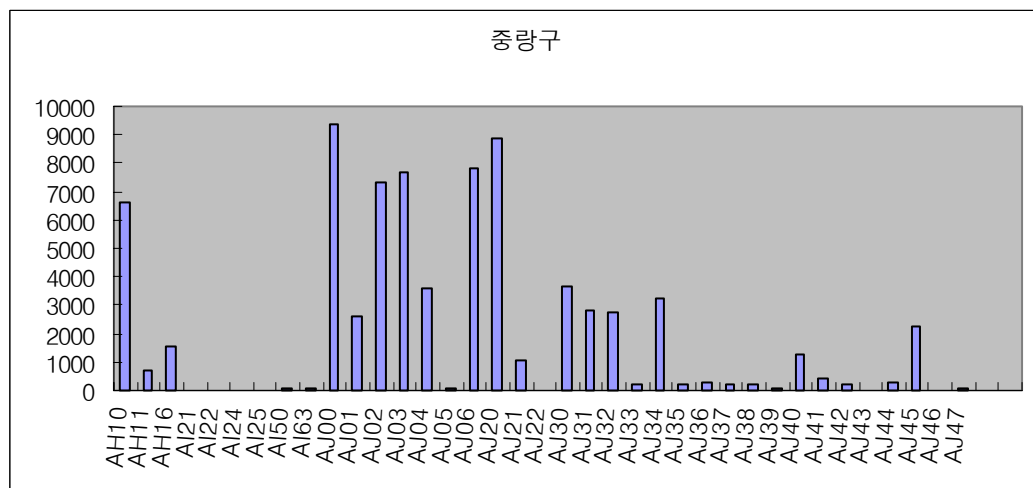
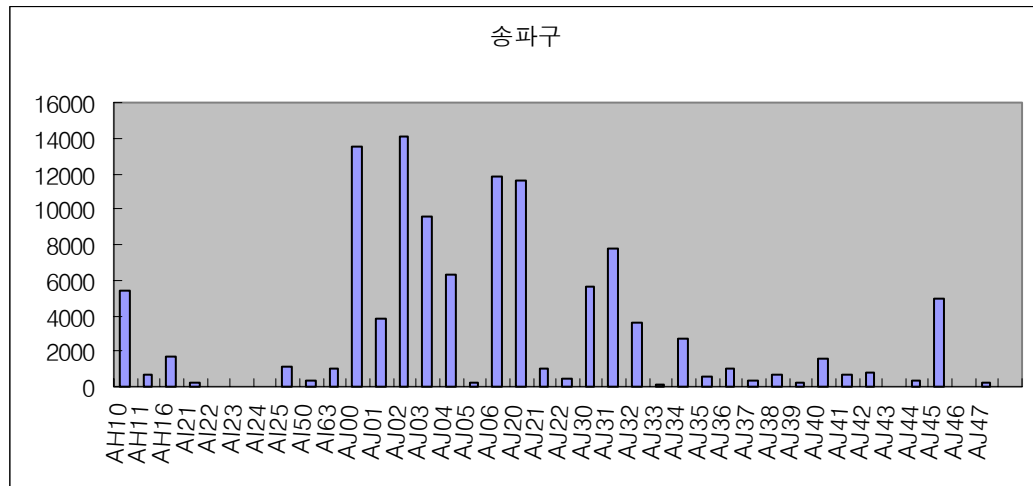
<그림 III-9> 계속



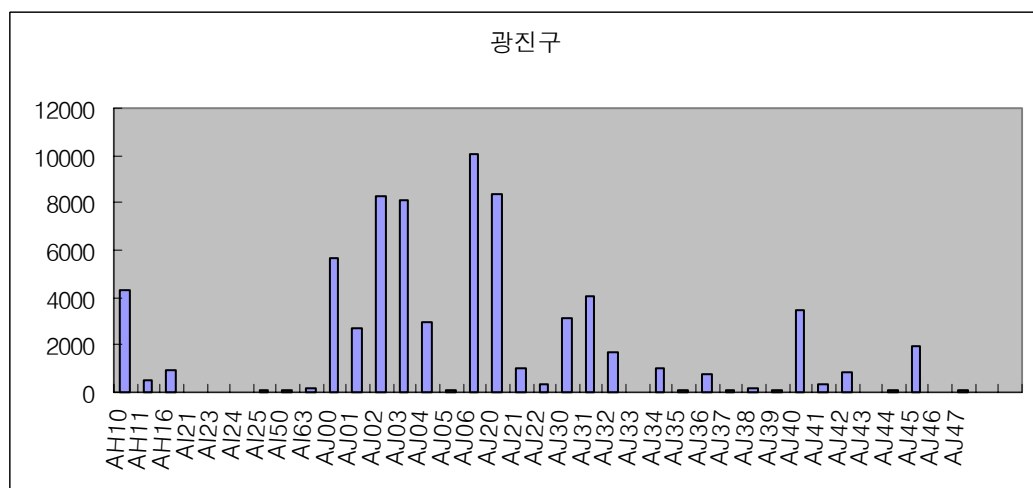
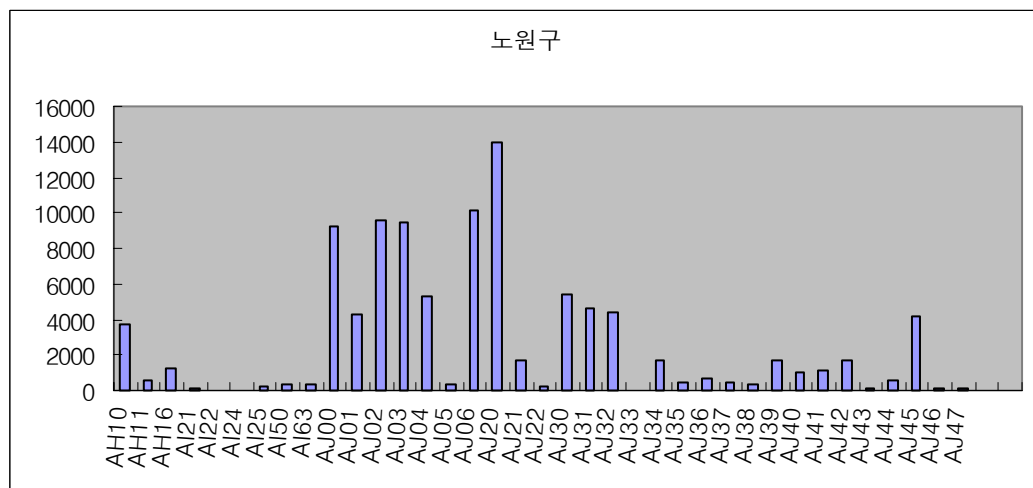
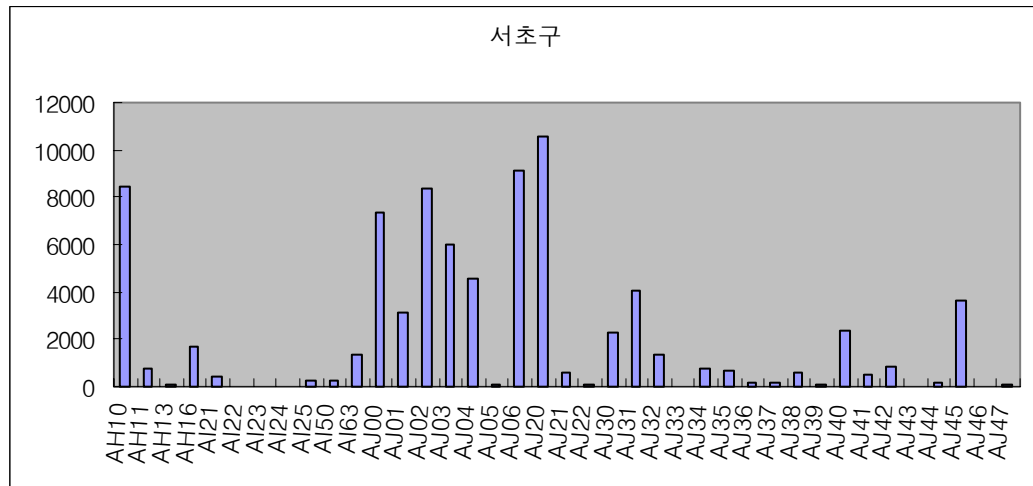
<그림 III-9> 계속

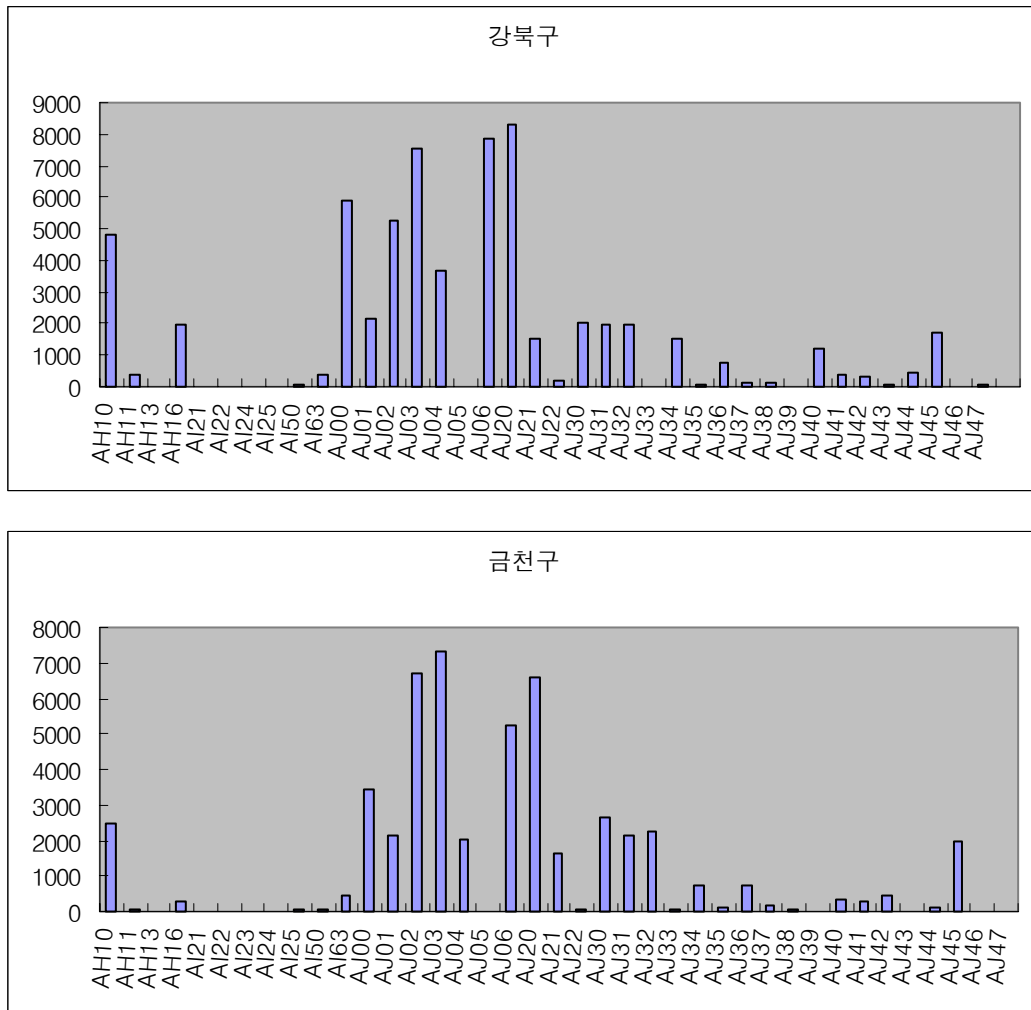


<그림 III-9> 계속



<그림 III-9> 계속





<그림 III-9> 상병별 발생건수 끝.

2.3.4 향후과제

보험심사평가원에서 제공한 자료에 의하면 개별 방문건수에 대한 연간 시계열 자료의 구축이 가능하다. 그러나 본 연구에서는 본원에서 수행한 황사관련 연구 자료를 이용해 세부 행정구역별 개량 자료를 만들었을 뿐 연간 관측치에 대한 DB는 자료획득 미비로 구축하지 않았다. IES Korea Phase II에서 활용할 DB구축을 위해서는 관련기관에 정식요청을 통한 연간자료의 획득이 우선시 되어야 할 것이다.

또한 국립통계청에서 제공하는 사망률(Mortality)자료 획득이 필수적이다. 기존 연구들에 의하면 대기오염의 건강편익 가치를 추정 시 조사사망자 건수의 감소가 편익의 대부분을 차지하는 것으로 나타나며³⁰⁾ 대기오염과 조기 사망과의 정량적 관계 수립이 통합연구의 한 부분

30) 1차 IES 연구 및 IES-INDIA 연구결과 참조

을 차지하고 있으므로 중요하게 다뤄져야 할 것이다.

본 연구의 자료에 포함된 상병자료는 주로 PM과 밀접하게 관련된 사항 위주로 구성되어 있다. 그러나 기타 지역적 대기오염물질은 이 외에도 많은 병 발생의 원인으로 판명되고 있으므로 상병기호를 추가할 필요성이 있다. 특히 기타 호흡부전(AJ96), 기타 호흡기 질환(AJ99), 그리고 심혈관계 질환(AI20~28) 등은 대기오염과의 상관관계를 규명하는 보건학 분야에서 항시 다루어지는 상병자료 이므로 추후 보완할 필요가 있다.

3. 대기오염과 건강의 상관관계 및 경제적 가치평가

3.1 대기오염의 건강효과 분석

대기오염이 인체건강에 미치는 효과에 대한 정량분석은 1990년대 이후 활발히 진행되고 있다. 선행연구에서는 크게 2개의 주제로 구분할 수 있는데 앞 절에서 언급한 대기오염의 상대적 위험도(RR: Relative Risk)에 대한 정량적 분석과 대기오염농도와 특정 질병 및 사망률과의 함수관계를 추정하는 모형으로 나눌 수 있다. 또한 이러한 관계를 통해 대기오염으로 인한 사회적 비용을 추정하는 연구도 이루어지고 있다.

대기오염과 사망률에 대한 관계를 정량적으로 분석하기 위해 권호장³¹⁾은 1991년부터 1995년까지 서울시의 사망자료와 대기오염자료를 이용하였다. 동 연구에서는 장기적인 추세변동과 계절변동, 기상요인, 요일, 그리고 1994년 여름의 무더위 영향 등 영향을 미칠 수 있는 교란요인들을 보정한 상태에서 대기오염물질과 사망자 수와의 관련성 평가를 위해 General additive Poisson Model을 사용하였다. 개별오염물질을 기본모델에 포함시켰을 때 오존과 이산화질소는 하루 전날의 사망자 수와 가장 관련성이 높았고(오존 RR: 1.06, 이산화질소 RR: 1.07), 총 부유분진과 아황산가스는 전날의 농도가 가장 관련성이 높았다. 이러한 관련성은 분석대상 인구를 65세 이상의 노령인구로 한정하였을 때 더욱 크게 나타났고, 65세 미만에서는 모든 대기오염물질에서 통계적 유의성이 보이지 않았다.

또한 사망사인을 호흡기 질환으로 한정하였을 때 위의 네 가지 오염물질 모두 RR이 크게 증가하였으며, 심혈관계 질환에서는 오존과 이산화질소의 RR이 크게 증가하고 총 부유분진과 아황산가스는 전체 사망자를 대상으로 하였을 때와 비교하여 별 차이를 나타내지 않았다. 시계열(times series) 분석결과 서울시 대기오염은 사망자 수 증가와 관련성을 나타냈으며, 오염물질 중 오존과의 상관관계가 가장 두드러진 것으로 평가하였다.

상기 연구는 대기오염의 인체 건강효과 분석에 대해 이전 연구에서 보여주지 못한 교란변수 통제를 포함한 시계열 분석을 시도하여 정량적 평가를 하였다는데 큰 의의가 있다고 할

31) '서울시의 대기오염과 일병사망의 관련성에 대한 시계열적 연구', 권호장, 서울대학교 대학원 의예과 박사학위 논문, 1998.

수 있다.

시계열을 고려하는 대부분의 건강효과 분석 모형에서는 일별 사망자 수나 내원환자수 등의 분포가 시간의 흐름 속에서 드물게 나타나기 때문에 포아송 분포를 가정한 회귀분석모형(Possion Regression Model)을 사용한다. 또한 시계열 분석에서 우선적으로 고려해야 될 변수로 계절변동 요인 등이 필수적이며, 평균기온, 상대습도, 요일, 인플루엔자 유행 등 대기오염의 건강효과를 파악하는 데 중요한 교란요인으로 인식하여 변수로 포함되고 있다. 이러한 독립변수들과 사망률, 입원률 등의 관계는 선형이 아닌 경우가 일반적이므로 이를 조정하기 위해 GAM(General Additive Model) 분석기법 등의 통계적 방법이 유용하게 쓰이고 있다.

대부분의 보건평가 모형에서 상대적 위험도는 대기오염에 노출이 안 된 사람의 발병(또는 사망률) 대비 노출된 사람의 사망률로써 계산된다. 예를 들면 다음의 표1-2와 같이 대기오염에 노출되지 않은 사람이 총 20명인데 이중 발병한 사람이 10명이고 대기오염에 노출된 사람이 총 30명인데 이들 중 20명이 발병 또는 사망하였다고 하자. 그렇다면 오염에 노출된 사람이 오염에 노출이 안 된 사람에 대한 상대적인 위험도는 다음과 같다.

<표 III-13> 상대적 위험도(RR: Relative Risk)의 예

구분	발병	발병안함	총계
대기오염 노출집단	20	10	30
대기오염 비 노출집단	10	10	20

$$RR = \frac{\frac{20}{30}}{\frac{10}{20}} \approx 1.3$$

위와 같은 상대적 위험도는 다음과 같은 포아송 회귀함수에서 기대되는 발병건수에 Log 형태를 취한 종속변수의 의미와 상응한다.

GAM이 포함된 포아송 GAM 모형은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\text{Log}[E(Y)] = \sum_i S_i(X_i)$$

위 식에서 S_i 는 각 독립변수 X_i 의 평활(Smoothing)함수³²⁾ 형태를 나타내고 있다. 독립변수

32) 일반적으로 Non parametric smoothing 기법은 설명변수와 종속변수의 함수관계가 명확하지 않을 때(주로

에 특정 대기오염물질 농도가 포함되어 있다면 이때 추정된 계수는 i 대기오염물질 농도가 한 단위 증가할 때 발병건수(종속변수)의 상대적 변화율이 얼마나 될 것인가를 추정하게 된다. 즉 이러한 변화율이 오염농도 변화에 대해 양의 효과이면 오염증가에 따라 특정 건강영향집단(사망 또는 발병의 Endpoint)이 증가 하고 그 단위 증가(Unit increase)가 얼마나 될 것인가 예측하게 된다.

표 III-14에서는 보건 분야에서 최근 수행된 대기오염의 건강효과분석 논문들을 정리하였으며, 표 III-15에서는 주요 추정함수식과 추정 값들을 보여주고 있다. 이들 자료는 한국형 통합 분석모형에 투입될 대기오염과 건강영향의 상관관계에 대한 파라미터값으로 활용될 수 있을 것이다.³³⁾

선형적 관계를 가정하기 힘든 경우) 유용하며, 보건학의 포아송 회귀모형에서 추세 및 계정조정을 위해 특정한 기법(Loess smoother-locally-weighted running line smother)들이 널리 사용되고 있다. BenMap 에서도 실제 대기오염농도 관측치가 존재하지 않는 지역의 인구노출을 추정하는 알고리즘(VNA: Voronoi Neighbor Averaging)을 사용하는데, 이 경우도 가장 이웃한 지역의 값으로 그 지역의 농도를 임의로 결정하거나 또는 중심으로부터 대기오염농도 결측지 중심까지의 거리의 역수를 가중치로 하는 차별화를 통해 결측 지역의 값을 추정하는 방식이 내재되어 있다.

33) 대기오염과 상병자료를 이용한 C-R function의 독자적인 추정은 기후 및 대기정책의 실질적 파급효과를 비교분석할 후속 연구과정의 일부로 추진될 예정이며, 본 연구에서는 별도 추정작업을 실시하지 않는다.

<표 III-14> 대기오염의 건강효과에 대한 선행연구

논문제목	저자	연도
서울지역 대기오염이 호흡기계질환 수진건수에 미치는 단기영향에 관한 연구	임종환, 이종태, 김동기, 신동천, 노재훈	1998
울산시의 대기 중 분진과 일별 사망에 대한 연구(1991-1994년)	이종태, 이성임, 신동천, 정용	1998
메타분석 방법을 적용한 서울시 대기오염과 조기사망의 상관성 연구(1991-1995년)	이종태, Douglas W. Dockery, 김춘배, 지선하, 정용	1999
서울시의 대기오염과 일별 사망자 수의 관련성에 대한 시계열적 연구	권호장, 조수현	1999
Air pollution and Respiratory Hospital Admissions for the Elderly in Seoul	박성균, 구정완, 김복호, 김호,이용욱	2000
대기오염과 천식발작의 관련성에 관한 시계열적 연구	주영수, 조수현	2001
1994년 하절기의 심혈관계 및 호흡기계 초기사망	성주현, 김호, 조수현	2001
메타분석을 적용한 대기오염과 소아 천식 관련 입원의 상관성 평가연구	조용성, 김호, 이종태, 현연주, 김윤신	2001
장애에 따른 상실생존년수를 활용한 대기중 총먼지와 아황산가스가 심혈관계질환에 미치는 영향측정	윤석준, 하범만, 강종원, 권호장	2002
서울시 대기오염과 일별 사망의 상관성에 관한 시계열적 연구	조용성, 이종태, 김윤신, 홍승철, 김호, 하은희, 박혜숙, 이보은	2003
Air pollution and daily mortality in Seoul and Ulsan, Korea	이종태, 신동천,정용	1999
Reanalysis of the effects of air pollution on daily mortality in Seoul, Korea	이종태, Joel Schwartz	1999
PM10 Exposure, Gaseous Pollutants, and Daily Mortality in Incheon, South Korea	홍은철, 임종환, 하은희, David C. Christiani	1999
Air pollution and daily mortality in Seven Major Cities of Korea, 1991-1997	이종태, 김호, 홍은철, 권호장, Joel Schwartz, David C. Christiani	2000
Outdoor air pollutants derives from industrial processes may be causally related to the development of asthma in children	김윤근, 백도명, 고영일, 조상현, 조인성, 민경복, 김유영	2001
Is air pollution a risk factor for Low Birth Weight in Seoul?	하은희, 홍연철, 이보은 등	2001
Effects of ambient air pollution on daily mortality in a Cohort of patients with Congestive Heart Failure	권호장, 조수현, gredrik Nyberg, Goran Pershagen	2001
Air pollution a new risk factor in Ischemic stroke Mortality	홍은철, 이종태, 김호, 권호장	2002
Association of air pollution with school absenteeism due to illness	박혜숙, 이보은, 하은희, 이종태, 김호, 홍은철	2002
Effects of air pollutants on Acute Stroke Mortality	홍은철, 이종태, 김호, 하은희, Joel Schwartz, David C.Christiani	2002
Effects of the Asian Dust Events on Daily Mortality in Seoul, Korea	권호장, 호수현, 전영신, Frederic Lagarde, Goran Pershagen	2002
Air pollution and Asthma among children in Seoul, Korea	이종태, 김호,홍은철 등	2002
Infant susceptibility of mortality fo air pollution in Seoul, South Korea	하은희, 이종태, 김호, 홍은철	2003
Epidemiologic evidence of a relationship between airway hyperresponsiveness and exposure to polluted air	장안수, Yeum CH, Son MH	2003
대기오염에 의한 폐암 및 만성폐색성호흡기질환	성주현, 조수현, 강대희, 유근영	1997
대구시의 대기오염이 일별 사망에 미치는 영향(1993-1997)	이미영, 이충원, 서석권	2000
대기오염과 천식증상에 의한 응급실내원과의 연관성에 관한 환자교차연구	임형준, 이상윤, 윤기정, 주영수, 강대희, 조수현	2000
서울지역 대기오염이 호흡기계질환에 미치는 단기영향에 관한 환자교차연구	이영주, 이종태, 주영수, 신동천, 임형준, 조수현	2001

<표 III-15> 주요선행연구의 추정함수 및 추정값

Endpoint	Pollutant	Author	Year	Function	Beta
mortality	O3	권호장	1999	$\text{Log}(\text{expected no. of death}) = \text{lo}(\text{temp_lag2}) + \text{lo}(\text{rh_lag2}) + \text{lo}(\text{date}) + \text{daywk2} - \text{daywk7} + \text{hw} + \text{pollutant}$	0.00056
mortality	TSP	권호장	1999	$\text{Log}(\text{expected no. of death}) = \text{lo}(\text{temp_lag2}) + \text{lo}(\text{rh_lag2}) + \text{lo}(\text{date}) + \text{daywk2} - \text{daywk8} + \text{hw} + \text{pollutant}$	0.00019
mortality	NO2	권호장	1999	$\text{Log}(\text{expected no. of death}) = \text{lo}(\text{temp_lag2}) + \text{lo}(\text{rh_lag2}) + \text{lo}(\text{date}) + \text{daywk2} - \text{daywk9} + \text{hw} + \text{pollutant}$	0.00067
mortality	SO2	권호장	1999	$\text{Log}(\text{expected no. of death}) = \text{lo}(\text{temp_lag2}) + \text{lo}(\text{rh_lag2}) + \text{lo}(\text{date}) + \text{daywk2} - \text{daywk10} + \text{hw} + \text{pollutant}$	0.00049
mortality	O3	권호장	1999	$\text{Log}(\text{expected no. of death}) = \text{lo}(\text{temp_lag2}) + \text{lo}(\text{rh_lag2}) + \text{lo}(\text{date}) + \text{daywk2} - \text{daywk11} + \text{hw} + \text{pollutant}$	0.00051
mortality	O3	권호장	1999	$\text{Log}(\text{expected no. of death}) = \text{lo}(\text{temp_lag2}) + \text{lo}(\text{rh_lag2}) + \text{lo}(\text{date}) + \text{daywk2} - \text{daywk12} + \text{hw} + \text{pollutant}$	0.00047
mortality	O3	권호장	1999	$\text{Log}(\text{expected no. of death}) = \text{lo}(\text{temp_lag2}) + \text{lo}(\text{rh_lag2}) + \text{lo}(\text{date}) + \text{daywk2} - \text{daywk13} + \text{hw} + \text{pollutant}$	0.00057
mortality	TSP	권호장	1999	$\text{Log}(\text{expected no. of death}) = \text{lo}(\text{temp_lag2}) + \text{lo}(\text{rh_lag2}) + \text{lo}(\text{date}) + \text{daywk2} - \text{daywk14} + \text{hw} + \text{pollutant}$	0.00019
mortality	TSP	권호장	1999	$\text{Log}(\text{expected no. of death}) = \text{lo}(\text{temp_lag2}) + \text{lo}(\text{rh_lag2}) + \text{lo}(\text{date}) + \text{daywk2} - \text{daywk15} + \text{hw} + \text{pollutant}$	0.00020
mortality	TSP	권호장	1999	$\text{Log}(\text{expected no. of death}) = \text{lo}(\text{temp_lag2}) + \text{lo}(\text{rh_lag2}) + \text{lo}(\text{date}) + \text{daywk2} - \text{daywk16} + \text{hw} + \text{pollutant}$	0.00018
mortality	O3	조용성	2003	$\ln E(\text{daily death count}) = S(\text{date}) + S(\text{air temperature}) + S(\text{humidity}) + D(\text{day of the week}) + \text{각 오염물질농도}$	RR1.013
mortality	PM10	조용성	2003	$\ln E(\text{daily death count}) = S(\text{date}) + S(\text{air temperature}) + S(\text{humidity}) + D(\text{day of the week}) + \text{각 오염물질농도}$	RR1.013
mortality	NO2	조용성	2003	$\ln E(\text{daily death count}) = S(\text{date}) + S(\text{air temperature}) + S(\text{humidity}) + D(\text{day of the week}) + \text{각 오염물질농도}$	RR1.029
mortality	SO2	조용성	2003	$\ln E(\text{daily death count}) = S(\text{date}) + S(\text{air temperature}) + S(\text{humidity}) + D(\text{day of the week}) + \text{각 오염물질농도}$	RR1.033
mortality	CO	조용성	2003	$\ln E(\text{daily death count}) = S(\text{date}) + S(\text{air temperature}) + S(\text{humidity}) + D(\text{day of the week}) + \text{각 오염물질농도}$	RR1.028
mortality	SO2	이미영	2000	$\text{Log}(\text{일별 사망 기대수}) = \text{intercept} + \text{loess}(\text{온도}:\text{lag2}) + \text{loess}(\text{상대습도}:\text{lag4}) + \text{loess}(\text{풍속}:\text{lag1}) + \text{년도에 대한 더미변수} + \text{월에 대한 더미변수} + \text{요일에 대한 더미변수} + \text{휴일에 대한 더미변수}$	RR1.09
mortality	NO2	이미영	2000	$\text{Log}(\text{일별 사망 기대수}) = \text{intercept} + \text{loess}(\text{온도}:\text{lag2}) + \text{loess}(\text{상대습도}:\text{lag4}) + \text{loess}(\text{풍속}:\text{lag2}) + \text{년도에 대한 더미변수} + \text{월에 대한 더미변수} + \text{요일에 대한 더미변수} + \text{휴일에 대한 더미변수}$	RR1.02
mortality	O3	이미영	2000	$\text{Log}(\text{일별 사망 기대수}) = \text{intercept} + \text{loess}(\text{온도}:\text{lag2}) + \text{loess}(\text{상대습도}:\text{lag4}) + \text{loess}(\text{풍속}:\text{lag3}) + \text{년도에 대한 더미변수} + \text{월에 대한 더미변수} + \text{요일에 대한 더미변수} + \text{휴일에 대한 더미변수}$	RR1.02
mortality	CO	이미영	2000	$\text{Log}(\text{일별 사망 기대수}) = \text{intercept} + \text{loess}(\text{온도}:\text{lag2}) + \text{loess}(\text{상대습도}:\text{lag4}) + \text{loess}(\text{풍속}:\text{lag4}) + \text{년도에 대한 더미변수} + \text{월에 대한 더미변수} + \text{요일에 대한 더미변수} + \text{휴일에 대한 더미변수}$	RR1.03
mortality	TSP	이미영	2000	$\text{Log}(\text{일별 사망 기대수}) = \text{intercept} + \text{loess}(\text{온도}:\text{lag2}) + \text{loess}(\text{상대습도}:\text{lag4}) + \text{loess}(\text{풍속}:\text{lag5}) + \text{년도에 대한 더미변수} + \text{월에 대한 더미변수} + \text{요일에 대한 더미변수} + \text{휴일에 대한 더미변수}$	RR0.97

3.2 경제적 가치평가

Cost of illness(COI)-Morbidity

대기오염의 건강효과를 정량적으로 파악하기 위해 앞서 언급한 보건자료를 활용할 경우 경제적 피해 중 대기오염과 밀접한 관련이 있는 질병의 치료와 그에 따른 비용이 그 분석대상이 될 수 있을 것이다. 이러한 질병비용 분석 방법(COI)는 건강가치 추정의 한 기법으로 특정한 질병의 치료에 지출되는 비용을 산출하는 방법이라 할 수 있다.

이러한 비용은 종종 직접비용과 간접비용으로 나뉘는데 직접비용은 의료서비스를 이용하면서 발생한 일체의 치료비용을 말하며, 의료보험 급여 진료비와 비급여 진료비로 구분된다.

간접비용은 환자가 질병의 발생 및 악화로 인해 입원이나 외래진료 서비스를 받는 과정에서 필수적으로 동반되는 진료비 외 비용을 말하며 기존 연구에서는 임금상실비용, 환자의 병원방문 시간비용-기회비용, 왕래비용, 간병인 비용, 기타 부대비용 등을 고려하였다. 외래의 경우 환자의 병원방문 시간비용, 진료대기 시간비용, 그리고 병원방문 교통비용 등을 포함할 수 있다. 기회비용 산출 시 입원과 외래에 대하여 월 임금 및 근무시간을 구분하여 임금상실을 계산한다.³⁴⁾

Mortality

이러한 발병(Morbidity)과 관련된 가치추정이 통상적인 COI기법으로 이루어지는 반면 사망률과 관련된 가치는 가상가치추정법(CVM: Contingent Valuation Method) 또는 인적자본 접근법(Human Capital Approach), 그리고 기존의 연구결과를 활용하는 편익가치 이전(benefit transfer) 방법 등을 들 수 있다. 다음의 표 III-16은 제1차 IES 연구에서 추정한 생애가치를 보여주고 있다.

<표 III-16> Value of Statistical Life: VSL

		VSL(M Kwon)	VSL (M US\$)	Reference
Human Capital Approach		283.3	0.25	Average remaining expected life time between 40 and 79: 27.5years Per capita GDP: 10.3(M Kwon)
Transferred Value		1,685.5	1.45	range values; 246.1 ~ 5,066.6(M Kwon)
CVM	Current Risk	999.6	0.87	range values; 407.4 ~ 1,972.8(M Kwon)
	Future Risk	543.4	0.87	range values; 358.0 ~ 824.7(M Kwon)

34) 전상일, 1999, 앞의 논문.

본 연구에서 구축한 보건자료를 활용하면 기본적으로 질병자료에 대한 전체 보험료 비용 및 개인별 직접진료비 계산이 가능하다. 간접비용과 관련해서는 대기오염의 건강효과를 경제적 가치화한 연구를 활용하여 계산하거나, 자체적인 추정작업을 거쳐 가치화에 활용할 필요성이 있다. 향후 정책분석과 연계를 위해 보다 정확한 발병 및 사망가치의 추정기법을 조사 분석하고 정량적 추정에 적용해야 할 것이다.

IV. 결론 및 향후과제

2000년 종결된 제1차 IES연구는 수도권 지역(서울, 인천, 경기) 전체를 대상으로 한 온실가스 저감의 부수적 건강편익 가치를 추정한 것이다. 1차 연구 결과는 통합적 환경정책 평가의 필요성에 대한 관심을 불러일으키며, 정책기관과 연구기관간의 통합분석 모형 개발 논의로 이어졌다.

1차 연구결과에 대한 평가과정에서 우리나라 환경부와 미국 환경청은 온실가스 및 대기오염 저감 정책의 효과, 건강 영향, 경제적 편익 등을 체계적으로 분석할 수 있는 정책분석 모형이 필요하다는 데 인식을 같이하고, 기후정책과 대기정책의 효과를 동시에 분석하는 통합 분석모형 개발을 목적으로 제2차 통합환경전략 연구를 추진하는데 합의하였다.

본 연구는 수도권 지역의 구체적인 대기관련정책(SAQMP)과 관련한 지역환경 및 지구적 환경문제를 동시에 다룰 수 있는 대기오염의 건강효과에 대해 조사·분석을 수행하고 한국형 모형개발을 위한 통계자료를 구축할 목적으로 진행되었다.

미국 환경청 및 국립재생에너지연구소와 공동으로 진행하고 있는 제2차 통합환경전략연구(IES Korea Phase II)는 서울 및 수도권 지역을 대상으로 온실가스 및 지역적 대기오염물질 저감 정책의 잠재적 비용편익을 추정할 수 있는 정량분석 틀을 개발하고, 이를 활용하여 수도권 대기질 관리 계획에 나타난 개별 정책 수단의 대기오염 저감 편익을 계산하는 것을 연구 목적으로 한다. 이를 위해 한국환경정책·평가연구원과 미국 국립재생에너지연구소가 공동연구기관으로 참여하여 모델 운용에 필요한 DB 구축과 한국형 분석모형의 개발 및 이를 활용한 정책효과 분석을 추진하고 있으나, 미국 환경청과 국립재생에너지연구소의 사정으로 한국형 분석모형의 토대가 될 BenMap International Version의 개발이 지연되어 한국형 모형 개발에 관한 한국환경정책·평가연구원과 미국 국립재생에너지연구소의 공동연구 부분이 본 연구에 반영될 수 없었다.

따라서 IES Korea Phase II 연구프로젝트의 일부분으로 추진된 본 과업에서는 미국 환경청이 운용중인 통합분석 모형들을 비교 분석하여 한국형 정책분석에 적합한 통합모형을 선별하고, 통합분석에 필요한 우리나라의 수도권 인구, 대기질, 건강 관련 DB를 구축하는 것을 주요 내용으로 삼았다.

연구결과를 요약하면, 먼저 한국형 정책분석에 적합한 통합모형을 선별작업과 관련하여 대기오염의 건강효과 통합분석 모형으로 미국 환경청이 운용하고 있는 모형 가운데 BenMap(Environmental Benefit Mapping and Analysis Program) 모형과 APHEBA(Air Pollution Health Effects Benefits Analysis)모형을 검토하였다.

선정 모형에 대한 검토 결과 APHEBA 모형은 통계자료의 요구량이 적고 분석모형 조건의 변경 등 모형구축의 유연성 측면에서 장점이 있으나 동 모형의 운용에 기초가 되는 프로그램인 Analytica에 대한 사전 지식이 필요하고 이를 응용한 분석모형 운용에 상당한 전문성이 요구되어 정책 결정자들의 모형활용이 어렵다는 단점이 있었다. 따라서 본 고는 일련의 DB 구축작업이 선행되었을 때 정책결정자들의 모형 접근도가 상대적으로 용이한 BenMap이 한국형 모형에 유용할 것으로 판단하였다.

앞서 언급한 바와 같이 BenMap을 토대로 한 한국형 통합분석 모형개발 작업은 미국측 사정으로 본 연구과제의 범위에서 제외되었으며, 본 연구과제에 이어 진행될 후속 연구과제 범위에 포함되어 수행될 예정이다.

다음으로 한국형 통합분석 모형에 사용될 통계자료인 수도권의 지자체 및 그리드별 인구(성별, 연령별, 식별자료 포함), 미세먼지와 질소화합물을 포함한 지자체 및 그리드별 대기오염 수준, 대기오염에 관련이 있는 것으로 알려진 질병으로 인한 상병 자료 등에 대한 자료를 구축하였다.

먼저 인구자료는 수도권을 일정 해상도의 그리드로 구분하고 각 그리드별로 특정시점의 성별, 연령별 인구분포 자료를 작성하였으며, 향후 정책분석 대상기간의 예상 인구분포의 추정치가 고려될 것이다. 대기오염자료는 우선 수도권의 대기오염 측정망을 통해 수집된 오염도자료를 객관분석법을 통해 그리드별 농도로 전환시키는 작업을 진행하였으며, 대기모델링을 통한 대기오염 배출량과 농도의 상관관계에 대한 연구와 모델링 자료는 수도권 총량관리제와 같이 향후 정책 분석이 이루어지는 시점에 작성될 예정이다. 질병자료의 경우 특정시점의 총 78개 수도권 시군구 행정구역 별 대기오염에 관련된 상병자료를 우선 구축하였으며, 사망자료를 포함하여 향후 대기오염이 건강에 미치는 영향의 정량분석 수행 시 농도-반응함수(Concentration-Response Function)을 추정하는 데 종속변수로 활용된다. 본 연구에서는 이들 농도-반응함수에 대한 개별 추정작업을 다루지 않았다.

본 연구를 통해 작성된 DB 이외의 통계자료 가운데 대기오염 저감과 그 건강편익에 따른 경제적 이익을 계산하는데 사용되는 경제적 가치평가 계수들에 대해서는 제1차 통합환경전략 연구에서 얻어진 자료와 여타 선행연구들에서 사용된 추정값³⁵⁾들이 활용될 수 있으나, 이들 경제적 가치에 대한 별도의 추정작업은 제2차 환경전략연구 범위에서 제외되었다.

향후 통합분석모형 구축을 위한 추가적인 작업을 위해서 현 자료에 대한 보완 및 미래 분석기간의 자료 구축을 위한 추가적인 가정이 요구된다. 예측자료는 정책 시나리오 구축 및

35) 본문 <표 III-14, 15> 참조

시나리오 비교분석을 통한 저감수단 또는 정책 적용의 비용-편익 분석을 수행에 기준이 될 수 있으므로 상당히 중요하다.

세부 자료별로 향후 계획을 정리해보면, 인구자료는 분석대상 기간 간 성장률을 반영한 예측치 값이 필요할 것이며 이에 대한 신뢰성 있는 가정을 바탕으로 구축되어야 할 것이다. 대기자료는 수도권 배출총량 및 관리계획(SAQMP)에 기초하여 대기모델링을 수행해야 할 것이며, 이를 토대로 대기 질 시나리오 구축이 가능할 것이다. 대기 배출량 및 농도 자료는 정책 분석과 연계할 수 있는 IES-Korea II의 가장 중요한 부분이라고 할 수 있으며, 동 연구의 상당부분을 차지한다. 그러므로 모델링 전문가에 의한 작업진행이 필수적으로 요구된다. 보건자료는 대기오염과의 연계분석을 위해 구축되므로 상관관계를 규명하는 모수 추정이 우선적으로 수행되어야 할 것이다. 또한 앞서 보건자료 구축부분에서 밝힌 대로 사망 및 상병에 대한 연간 자료가 추가적으로 요구된다. 그리고 최종적인 대기오염의 건강편익 추정을 위해서 건강효과의 경제적 가치추정 작업이 추가로 수행될 수 있으며, 끝으로 향후 선정모형의 사용이 가시화 되었을 때 구축된 DB를 활용한 모형 운용자의 기술적 발전을 위한 교육훈련 진행은 본 과제의 목표를 완수하고 한국형 모형으로 발전시키기 위한 중요한 과정이 될 것으로 사료된다.

참고문헌

- 권호장, 1998, '서울시의 대기오염과 일병사망의 관련성에 대한 시계열적 연구', 서울대학교 대학원 의예과 박사학위 논문.
- 김수철, 유정훈, 김혜자, 2003, 수도권 교통체계 개편을 위한 장기구상 및 추진전략, 경기개발연구원.
- 김용건 외, 2004, 수도권 배출총량제 추진방안 수립, 환경부 (Unpublished).
- 김임순, 김윤신, 김대선, 서용석, 최원욱, 한상욱, 2003, '한국에서의 지속성 구현을 위한 건강영향평가 도입방안'.
- 김의준, 김재준, 신성휘, 조장형, 2002, '탄소세 부과가 서울의 경제·환경·건강에 미치는 효과', 자원·환경경제연구 11권 1호.
- 전상일, 1999, 'Impact of air pollution on Health and its cost of illness of Seoul', 서울대학교 보건대학원 박사학위 논문.
- 삼성SDS, 2003, 대기보전 정책수립 지원시스템.
- 조승헌, 1999, '지구온난화 저감의 환경편익 분석', KEI 99 RE12, 한국환경정책평가연구원
- 조용성, 이종태 외, 2003, '서울시 대기오염과 일별 사망의 상관성에 관한 시계열적 연구 (1998~2001)', 한국대기환경학회지 제 19 권. 제 6 호. pp625-637.
- 주영수, 조수현, 2001, '대기오염과 천식발작의 관련성에 관한 시계열적 연구', 예방의학회지 제 34권 제1호, p 61-72.
- 추장민, 정희성, 강광규, 유난미, 김미숙, 2003, '동북아지역의 황사피해 분석 및 피해저감을 위한 지역협력방안 I', KEI 2003 RE-01, 한국환경정책평가연구원
- 통계청, 2002, 한국통계연감.
- 환경부, 2003, 대기환경연보

환경부, 2003, 환경통계연감.

Abt Associates Inc, 2003, *BenMap User's Manual*.

Chestnut, et al, 1999, 'Transferability of air pollution control Health benefits estimates from the US to Developing Countries', *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 79 Issue5.

Chong Won Kim, Tim T. Phipps, and Luc Anselin, 2003, 'Measuring the benefits of air quality improvement: a spatial hedonic approach', *Journal of Environmental Economics and Management* 45(2003) p24-39, ACADEMIC PRESS.

Garbaccio et al, Feb. 2000, 'The Health Benefit of Controlling Carbon Emission in China', MA02138, Kennedy School of Government Harvard University, Cambridge.

Institute of Health Systems, 2003, Health Effects Analysis for the IES-INDIA Project, HACA Bhavan, Hyderabad.

Kenneth L. Judd, 2003, *Numerical Method in Economics*, MIT Press.

Markandya, 1999, 'The general Framework for Cost Assessment for Climate Change', Department of Economics and International Development, University of Bath, UK.

NREL, 2003., *APHEBA User's Guide - Draft*.

S.H, Joh, Y.M Nam, S.G, Shim, J.H, Sung, Y.C, Shin., 2001., 'Ancillary Benefits due to GreenHouseGas Mitigation, 2000 to 2020 - The International Co-Control Analysis Program for Korea' Korea Environmental Institute.

ZhongXiang Zhang, Henk Folmer, 1998, 'Economic Modelling approaches to cost estimates for the control of carbon dioxide emissions', *Energy Economics* 20(1998), Elsevier Science.

부록 #1. Draft discussion with EPA: Korea IES phase II

Draft Discussion with USEPA and NREL

**통합 환경 전략에 관한 공동연구 논의 (MOE, KEI, USEPA, NREL,)
IES Korea- Phase II.**

논의문 작성 목적

본 논의문은 보다 세부적인 기술적 단계에 관해 2004년4월에 EPA와 MOE 사이에 체결된 협정서 (the letter of understanding)와 US EPA가 KEI로 보낸 통합 환경 전략에 관한 IES Korea 공동연구 프로젝트 논의내용을 보완할 의도로 작성되어졌다. 동 내용은 현재까지 미국의 프로젝트 추진팀과 국내 정부관계자, KEI 연구진과의 논의과정을 정리한 문서이며 프로젝트 활동을 위한 구체적인 작업계획서의 기초가 될 수 있다.

주요 논의사안은 IES Korea Phase II 프로젝트의 세부적 단계, 활동, 작업, 최종생산물에 관해 US-EPA(Environmental Protection Agency)와 NREL(National Research of Environmental Laboratory)이 작성한 주요 스케줄에 대한 내용을 포함한다. 이러한 논의를 통해 각 관련기관 간 세부적 작업진행에 기초로써 활용되기를 기대한다.

과업의 배경과 근거

ISE Korea 공동연구프로젝트의 첫 번째 연구는 2000년에 종료되었다. 동 프로젝트에서는 서울 수도권을 대상으로 대기 오염의 건강효과에 대해 다양한 시나리오를 적용하여 GHG(GreenHouse Gas: 온실가스) 저감의 사회적 편익을 정량화 시키는 보고서를 산출하였다. 1차연구 최종 보고서는 2000년 8월 정부관계자 입회 회의에서 관련분야 이해관계자들에 게 설명되어졌으며, 더하여 기후변화와 대기 질과 관련된 통합 전략에 한국 정책입안자들을 대상으로 한 한국과 미국의 합동 설명회가 2002년 11월에 개최되었다. 본 회의에서는 1999년부터 2001년까지 서울을 대상으로 한 IES분석 결과를 포함하여 KEI가 한국에서 CO₂, SO₂, NO_x, PM₁₀을 줄이기 위한 국가적인 저감 프로그램의 편익을 평가하고, 연료세 및 탄소세 등의 도입으로 인한 에너지 사용의 경감으로부터 얻을 수 있는 건강상의 편익을 평가하기 위한 연산가능 일반균형모델 (CGE model ; computable general equilibrium model) 개발하기 위해 노력하고 있음을 밝혔다.

또한 상기 회의에서는 IES 프로그램에 의해 개발된 통합적 정책분석이 대기질, 공공보건, 온실가스 저감목적에 응용됨으로써, 정책입안자들로 하여금 저감정책의 부수적이고, 상호 공통적인 편익을 평가하고 더 잘 이해하는데 유용한 도구로써 활용될 수 있다고 결론지었다.

이러한 논의를 거쳐 현재까지 수행된 정책 및 향후 시행정책의 평가를 위한 특정 분석방

법과 좀 더 기술적인 발전을 응용한 방법론을 이용해 정부관계자를 위한 통합분석 접근방식의 연구안들이 제안되기도 하였다.

그 결과 US EPA, 환경부(MOE), NREL, KEI 간 지속된 논의에서는 서울 대기질 관리 계획(SAQMP: Seoul Air Quality Management Plan)분석에 초점을 맞춘 IES 프로젝트의 제2단계 개발에 초점 두고 다음을 주요 프로젝트 주요 목적으로 수립하였다.

- ▶ 대기 오염의 건강효과와 SAQMP에 포함된 GHG 저감의 편익 추정, 잠재적 비용분석
- ▶ 포괄적인 대기오염의 건강편익 추정에 있어서, 미래시점의 편익 추정기법 연구 및 분석
- ▶ 우선적인 편익추정기법의 선정
- ▶ 정부관계자 및 관련 사람들에게 결과유포 및 홍보
- ▶ 가장 효율적인 측정방법 개발 및 연구 수행을 위한 지원전략 제안

상기의 주요 목적을 바탕으로 IES Korea Phase II는 관련 연구기관 및 정부기관 간의 논의를 거쳐 세부과제 계획을 수립하기위해 노력하였다.

연구목적

IES Korea 2단계 프로젝트의 주 목표는 수도권지역과 관련한 지역환경 및 지구적 환경문제 등을 동시에 다룰 수 있는 새로운 전략, 정책, 방법들을 식별, 개발, 이행하는 데 있다. 세부 프로젝트의 목표는 다음과 같다.

- ▶ 서울 대도시 지역을 대상으로 한 온실가스 및 지역적 대기오염물질의 통제를 위한 정책의 잠재적 비용 및 편익 평가를 수행하는 정책분석 틀 개발
- ▶ 대기오염 저감의 편익추정모형 개발
- ▶ 지역의 대기 질 증진 및 온실가스 저감에 대해 정책입안자의 의사결정을 지원할 수 있도록 서울 및 수도권 지역의 특정 정책 및 조취에 대해 분석, 평가, 인지할 수 있는 적용모형 개발
- ▶ 온실가스 및 대기오염물질 저감조치의 이행을 위해 관련 단체 및 이해관계자들에게 정책분석 틀 및 방법론, 연구결과 등을 설명
- ▶ SAQMP(seoul air quality management plan) 분석에 의해 확인된 유력한 저감시나리오

를 포함한 통합분석 방법론을 이용한 이행계획 개발

▶ 다양한 시나리오 분석 수행

세부연구활동

IES Korea 프로젝트는 다음 4개의 영역으로 구분된다.

◎ 연구 착수

착수과업은 EPA 및 NREL 전문가가 참석한 회의를 포함한 자문활동 등으로 구성된다. 즉, 능력배양, 교육훈련, 그리고 모형개발 필요성 등과 합치하도록 세밀한 작업계획을 수립하고 KEI의 기술적 지원을 충족시키도록 계획을 세우고 NREL과의 구체적 계약을 위한 작업계획을 수립한다.

◎ 에너지 저감 시나리오 개발

대기오염과 GHG 저감 시나리오 개발을 위한 방법과 모형을 정의한다. 중요한 저감 방식 및 분석기술을 정의한다. 그리고 적용가능한 주요 가정을 포함하는 기준 시나리오와 정책시나리오를 수립한다. 기준년과 향후 고려할 수 있는 분석대상 기간을 설정하고 저감방식 및 비용추정을 위한 방법론을 규정한다.

◎ 대기오염 저감의 편익분석 시나리오

분석 방법론을 정의하고 분석에서 사용되어지는 대기분포(확산)모델(Air dispersion model)을 설명한다. 분석대상 오염물질 정의 및 오염배출 인벤토리 개발을 위한 과정을 논의한다. 기준년 및 미래년도에 대해 수도권 대도시 지역자료를 수집 및 분석한다. 대기 질 저감 시나리오를 개발한다. 건강효과 분석을 위한 농도-반응(Concentration-Response: C-R)관계를 연구·검토하고, 대기오염의 건강효과 추정모형과 방법론을 설명한다. 건강효과의 경제적 가치 추정을 실시하고 시나리오 및 저감수단에 대한 비용-편익분석을 실시한다. 다양한 기준 및 정책시나리오들을 개발하고 우선순위를 부여해본다.

◎ 보고회 및 설명회

과업의 보고회 및 설명회를 개최한다.

저감 시나리오 보고서, 대기질 분석 보고서, 도시의 건강영향 보고서, 비용-편익분석 보고서 등을 포함한 정책분석 보고서 등 최종 프로젝트 보고서를 작성하고 이해관계자들에게 연구결과 배포를 위한 최종 설명회를 개최한다.

1. 연구 착수

본 작업은 모든 당사자 간의 프로젝트에 대한 일반적인 이해와 세부적 작업계획을 위해 서로 협력하고 NREL과 KEI간 계약 체결을 통해 필요한 기술적 도움에 대한 계획을 마무리 하는데 초점이 맞추어 질 것이다.

1.1 사전 프로젝트 자문 활동

사전 프로젝트 자문 회의는 2004년 5월과 6월에 USEPA, NREL, MOE, KEI가 함께 프로젝트에 관해 논의한 회의를 포함한다. 동 회의의 목적은 세부적인 작업계획이 개발될 수 있도록 그 범위, 목표, 목적, 활동, 그리고 기대성과 등에 대해 공통적인 결론 및 이해에 이르는 것이었다. 또한 기초통계, 경제분석, 건강효과 평가, 에너지소비자료, 대기 질 및 GHG 배출 자료 등의 필수DB구축을 위한 방법에 대해 구체적으로 논의하였다. 동 회의들을 통한 기술적 지원 필요성에 대해 논의하고 성공적인 과업수행을 위한 요소들에 대해 논의한다. 또한 참여연구진 구성에 대해서 구체적인 결론을 도출한다.

1.1.1 작업계획 개발

작업계획은 여러 전문가에게 통합분석기업에 대한 공통의 비전을 제공할 수 있는 가이드 역할을 할 것이다. 이 작업계획은 원하는 과업의 결과들과 정책 분석을 완료한느 데 필요한 기술적 분석단계에 대한 분명한 인식을 하고 연구진 모두가 작업의 방향과 목표에 대한 합의를 이루도록 해야 할 것이다.

KEI와 NREL은 세부적인 작업계획을 개발하기 위해 협동할 것이며, 동 작업계획은 다음의 주요 구성요소를 포함해야 한다.

- 1) 목표, 우선순위, IES분석을 위한 필수사항 규정 및 명시
- 2) 주요부문 분석을 수행할 작업팀 구성 및 그 책임 및 능력 설명
- 3) 에너지 배출 기준 시나리오 및 대체 시나리오 개발을 위한 방법론 및 그 과정
- 4) 분석의 범위, 배출 인벤토리, 대기확산모형, 관련 오염물질 등을 포함하는 대기 질 시나리오 분석 방법론 및 그 과정
- 5) 건강효과 분석을 위한 방법론 및 그 분석과정
- 6) 분석결과 및 최종결과물 제시
- 7) 과업 일정
- 9) 구체적 작업활동 내역과 작업일정 달성을 위한 기술적 수요에 대한 내용

더하여, 동 작업 계획은 다음의 제도적, 정책적 이슈들을 다루기 위해 수립되어야 할 것이

다.

▶ SAQMP와의 통합

- ▶ 분석 결과를 통합하고 국내 의사 결정자들에게 중요사항 등의 정보 제공을 위한 절차 수립 - 이러한 과정을 위해 최소 1회 이상의 공개설명회 및 보고회가 시행되어야 할 것임. 그 외에 관공서를 위한 간략 브리핑 및 분석결과 설명회 등이 필요하고, 수도권의 대기 질 관리 및 기후변화 정책과업 등에 대한 응용 등을 포함할 수 있음.
- ▶ 주요 이행수단-동 작업 계획은 분석결과 확인된 주요 이행수단을 추진할 수 있도록 하는 과정 설명.

2. 에너지 및 대기오염 저감 시나리오 개발

본 작업의 목적은 프로젝트의 적용을 위한 기준 시나리오와 여러 가지 대안적인 배출저감 시나리오를 개발하는 데 있다. 시나리오 적용에 있어서 최대한 확장 가능하도록 이루어져야 하며, 선별된 새로운 시나리오 개발보다는 기존의 적합한 저감 시나리오 및 SAQMP로부터의 정보반영 및 그 정교화를 목적으로 이루어지는 것이 타당할 것이다. 또한 정책입안자들에게 이러한 방식적용 시 기대비용 및 대기오염의 건강편익에 관한 정보 제공을 위해 개별 분석수단을 확정해야 할 것이다. 기준 시나리오의 정보는 대부분 SAQMP로부터 수립할 수 있다.

2.1 저감 시나리오 방법론 개발 및 개량

시나리오 방법론 개발을 위한 첫번째 단계는 기준 시나리오 및 예측치를 검토하는 것과 그것들이 어떻게 정의되고 적용될 수 있는지 결정·검토하는 것이다. 이러한 저감수단은 확장분석을 위해 선택될 수 있는 저감 시나리오와 특정 저감조치들이 SAQMP에서 대기오염 감소를 위해 수립한 효율적인 방식으로부터 도출될 수 있을 것이다.

지역적 대기오염물질과 GHG를 동시에 저감할 수 있는 통합된 추정방식의 효과 또한 고려해야 한다. 이러한 저감수단으로는 발전소 효율성 증대, 천연가스로의 연료대체, 에너지 효율성 증가, 운송방식 향상, 재생에너지 사용 향상 등이 포함될 수 있다. 그리고 2010년, 2020년, 2030년 등의 미래년도에 대한 배출량 추정 시나리오가 요구된다. 시나리오의 범위는 적극적인 배출저감 정책에서부터 그 정책의 적합한 이행경로에 이르기까지 설정될 필요가 있으며, 더하여 특정 이행수단의 배출저감효과 분석기법 또한 개발될 수 있을 것이다.

2.2 저감 시나리오의 개발 및 개량

보완기술, 비용, 시장정보 등은 잠재적인 저감기술의 보급 가속화 및 이행추정비용 추정을

위해 수집될 필요가 있다. 이러한 새로운 정보를 이용하여 기준시나리오 및 정책 시나리오가 검토되고 개량되어야 한다. 시나리오 및 본 과업의 주요 저감 수단에 대해서는 국가내의 전문가, 이해관계자를 포함한 정책입안자들과 함께 논의해야 할 것이다. 이러한 검토과정은 SAQMP의 목표 및 정책기대와 일치하도록 고안되어야 하며, 의견 수렴에 기초하여 수정 및 확정될 것이다.

결과물/예상 결과

- ▶ SAQMP 또는 본 과업의 여타 결정사항으로부터 저감시나리오의 활용, 채택, 정교화를 위한 방법론 개발
- ▶ 기준 시나리오와 다수의 대체 시나리오가 동 과업 또는 기타 연구로부터 채택·응용되어 발전할 수 있으며 국내외 전문가, 정책입안자 등의 시나리오 검토과정 필요.
- ▶ SAQMP 또는 GHGs 저감수단들로부터 도출된 주요 저감방식의 잠재적인 배출저감효과 추정

3. 대기 오염 건강편익 분석 시나리오

본 작업의 주요 결과는 기준 대기오염 수준의 저감결과 건강효과의 변화를 추정하는 것이며, 또한 건강편익의 경제적 가치도 평가할 것이다. 본 편익분석 시나리오는 저감 정책이 이행된 단기적 편익 실현 시점에 대해 우선적으로 이루어 질 수 있다.

3.1 분석 방법론 정의

대기오염의 건강편익효과 분석을 위한 첫번째 단계는 분석 방법론을 정의하는 것이다. 동 작업은 일반적인 체계 및 분석 범위는 과업이 정의되는 착수단계에서 시작되어야한다. 본 부분의 주요 논점으로 다음의 사항을 포함한다.

- ▶ 건강효과 분석을 위한 주요 오염물질 선택
- ▶ 대기오염물질 농도 산출을 위한 대기확산모형 선택
- ▶ 분석 범위 및 정의
- ▶ 필수 자료 및 자료출처

3.2 주요 자료의 수집 및 분석

건강편익분석에 있어서 다음 단계는 주요 자료를 모으고 분석하는 것이 될 것이다.

KEI는 필요에 따라 국제분석팀의 기술적 지원 및 가이드를 받을 수 있으며, 건강효과 평가에 있어서 다음과 같이 세부적으로 열거된 분석요소에 의존한다.

- ▶ 대기질 자료
- ▶ 배출량 자료
- ▶ 배출 인벤토리 자료
- ▶ 배출량 변화 예측치
- ▶ 대기질 변화 예측치
- ▶ 대기질 예측 모델(대기확산-분포 모형)
- ▶ 인구통계 자료
- ▶ 사망, 상병 등 발생률 자료
- ▶ 인구통계 예측치와 건강효과의 추정
- ▶ 대기질의 변화와 건강 효과 변화 사이에 함수적 관계

본 작업에서는 필수정보 획득 및 자료구축, 그리고 전망치 추정을 위한 방법론을 규정하는데 대부분의 노력이 집중될 것이며, 또한 분석의 활용도를 높이기 위해서는 수도권 및 국가 전체의 실측자료가 분석 대상이 될 것이다.

기존의 대기오염 모니터링 자료는 본 연구의 핵심자료를 제공할 것이며, 기존의 배출 인벤토리 및 오염배출 부문으로부터 대기 질과 건강과의 관계에 대한 세부적인 정보가 추가적으로 획득되고 개발되어야 한다.

3.3 대기오염 농도에 관한 시나리오 개발

자료구축에 이어 연구진은 저감 방식에 기초하여 대기질과 관련한 시나리오를 개발해야 한다. 이를 위해 본 작업에서는 적합한 대기확산 모형 또는 방법론을 활용할 것이며, 기술효과 및 정책효과 등을 직접적으로 비교할 수 있는 시나리오 구축이 필수적이다. 또한 주요 분석결과의 검토를 위해 국내외 전문가들과의 사전검토작업이 진행되어야 할 것이며, 그 이후 최종적인 의견이 반영된 대기질 시나리오가 구축될 것이다.

구축한 자료를 더욱 정교히 하고 발전시키기 위해서 정책변화 효과를 유효하게 평가하는데 바탕이 될 수 있는 현 대기질 자료출처 및 구성에 대한 이해가 필요하다. 즉 신뢰할만한 예측치 추정을 위해 최대한의 활용가능한 기존 배출원 자료를 수집해야 할 것이며, 또한 대기질 측면에서 어떠한 요소들이 영향을 미치는지 확인하기 위해 추정값을 구성요소 별로 분해(disaggregation) 하는 과정이 필요할 것이다.

3.4 농도-반응 간 관계 검토 및 개량

배출량과 대기질 시나리오 개발노력과 병행하여 연구팀은 대기오염의 건강효과 분석에 필요한 농도-반응 관계를 검토하기 위해 보건분야 전문가들과의 긴밀한 작업이 필요하다. 현재까지 대기오염과 건강효과 관계에 대한 연구는 중국, 인도, 태국, 필리핀, 칠레, 브라질, 한국 등 대부분 개발도상국가에서 수행되어오고 있다. 이러한 연구들은 정책분석 응용에 유용한 농도-반응 관계 정보를 포함하고 있다. 즉 대기 농도와 건강효과간의 관계에 대한 역학적 연구 등을 들 수 있는데, 이러한 관계는 오염물질의 동시적 발생, 미세입자의 구성, 그리고 기상조건 등과 같은 지역의 환경조건에 크게 의존한다. 따라서 지역범위의 농도-반응 관계에 대한 정보가 활용가능할 것이다. 그러나 대기오염이 부정적인 건강효과를 발생시킨다고 확인된 경우 그 효과 추정에 있어서 분석의 불확실성이 도입될 수 있다. 그러므로 이와 같은 정보를 활용한 분석이 수행될 때 활용정보에 대한 좀 더 명확한 확인과정이 필요하고, 상기 국가별로 수행된 건강효과에 대한 연구들을 참고하여 수행할 필요가 있다.

3.5 수도권을 대상으로 한 대기 오염 건강편익 모형의 개발

본 작업은 한국의 건강편익 평가모형의 최종버전 개발을 목표로 한다. 개발된 모형은 BenMap 한국버전 또는 APHEBA 한국 버전이 될 것이며, 연구진 중 최소 한명 이상이 대기오염의 건강효과 분석 및 가치화 모형 구축을 위한 교육훈련에 참가할 필요가 있다.

교육훈련의 목적은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- ▶ 대기 오염의 건강효과 분석에 관한 방법론과 접근방식에 대한 연구진 대상의 교육훈련 지원
- ▶ 건강편익 평가모형에 관한 실제적/실용적 훈련 제공
- ▶ 한국에서의 대기오염의 건강효과 및 가치화 분석을 위한 모형개발 및 분석작업 수행

3.6 대기 질 시나리오의 건강 효과 분석

다양한 대기 질 시나리오에서 기인한 기대 건강효과 분석은 필요에 따라 기술 지원과 더불어 개별국가(country)의 연구진에 의해 수행된다. 분석을 위하여 선택되어진 특정 오염물질 별로 다음의 건강효과에 대한 발생률 변화에 대해 평가가 이루어질 것이다.

- ▶ 급성(단기 노출) 조사망*
- ▶ 만성(장기 노출) 사망
- ▶ 유아 조사망*

- ▶ 자궁내의 치명사*
- ▶ 만성 호흡기 질환의 발전
- ▶ 병원 방문건수*
- ▶ 노동생산성과 작업근무 손실일*
- ▶ 천식의 심화

위의 건강효과는 개발 국가에서 수행된 역학 연구에서 나온 농도-반응 관계의 활용할 수 있다. 여타 효과를 위한 농도-반응 관계는 개발 국가별(불특정) 자료가 이용 가능하다. 본 연구는 특정한 저감 정책이 수행되었을 때 줄어드는 발생건수 뿐만 아니라 저감정책 없이 기대되는 미래의 건강효과 발생을 평가하고 그 결과를 산출할 수 있다.

3.7 건강효과의 경제적 가치

KIE는 건강영향의 기대가치에 대한 평가방법을 개발한다. 저감 시나리오 수행으로부터 기인된 건강효과의 경제적 가치는 국내외 연구진이 함께 수행할 것이다. 본 연구는 결과는 대기오염의 건강편익분석 모형으로 창출될 것이며, 한국의 주요자료 외에 국제적인 분석자료가 모형에 투입될 필요가 있다.

3.8 정책분석-비용 편익 분석과 시나리오 우선순위 선정

저감수단에 대한 시나리오 분석을 수행하고 비용 및 편익을 추정해 본다. 또한 기준 시나리오에 대한 정책시나리오의 저감 수단별 우선순위를 선정해 본다.

결과물/기대효과

- ▶ 모형개발 및 발전능력 향상, 대기 질 분석, 건강효과 분석, 건강효과의 경제적 가치화 분석 및 방법론
- ▶ 기준 시나리오, 저감수단에 기초한 대기 질 시나리오 작성
- ▶ 국가별 조건 또는 국가의 특정 자료를 적용한 C-R 관계 설정
- ▶ 대기 질 시나리오 분석 결과, 그리고 건강편익 분석 및 수집자료 요약 등이 포함된 보고서 작성 - 국제적 검토 및 배포가능

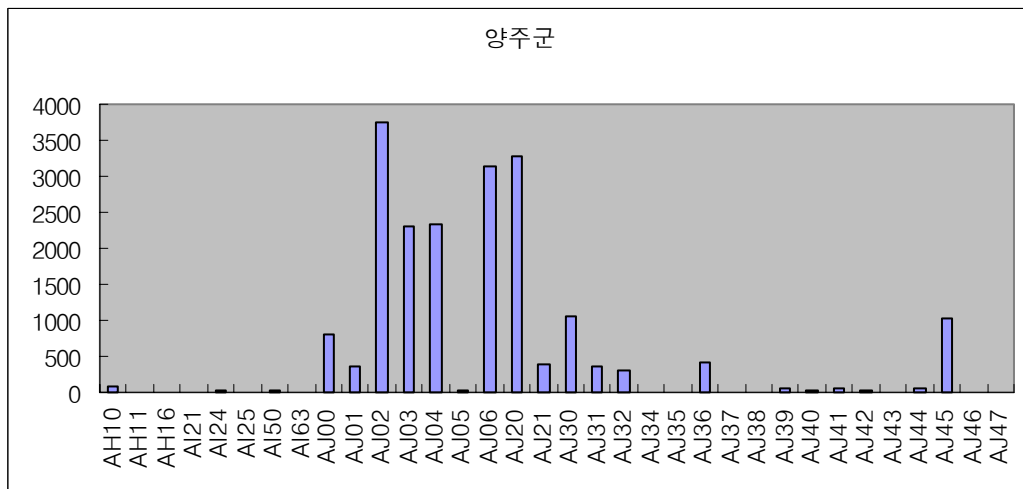
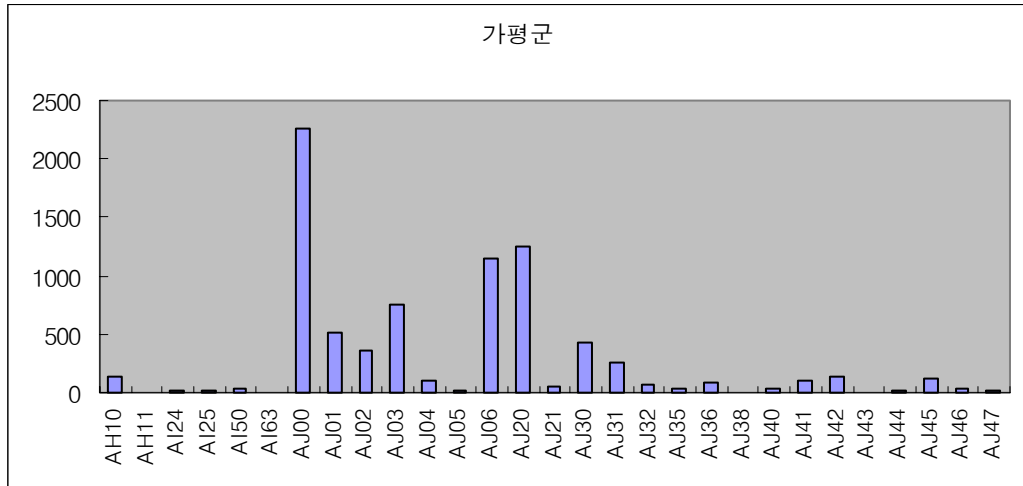
4. 보고서와 설명회

본 연구결과를 설명하고 홍보하기 위한 방법에 대한 논의가 진행되어야 할 것이다. 최종보고서 내용을 정책입안자들에게 요약 배포하고 최종 발표한다. 또한 정책분석에의 유용성 확

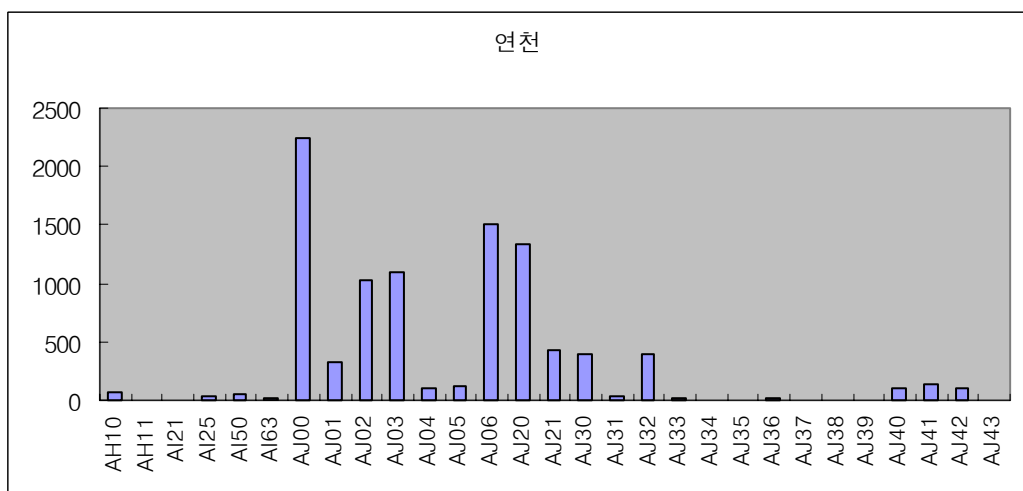
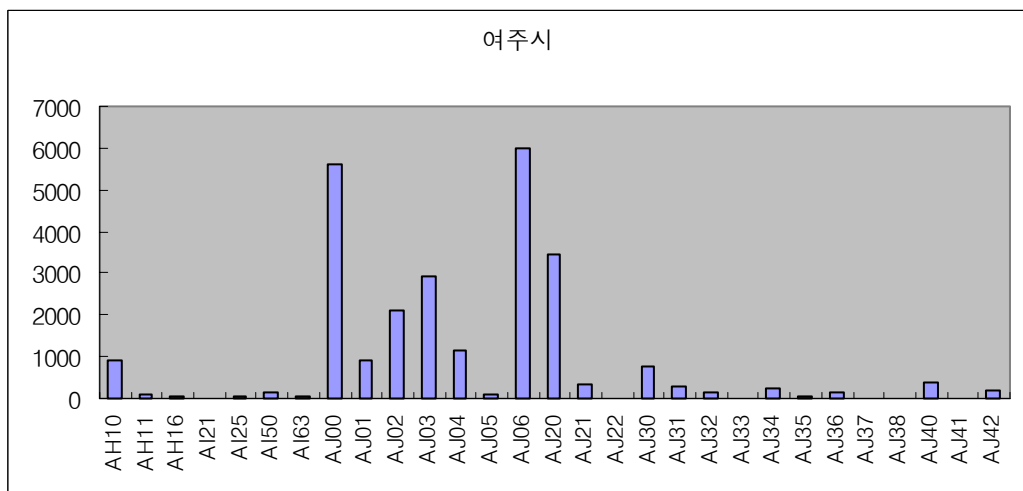
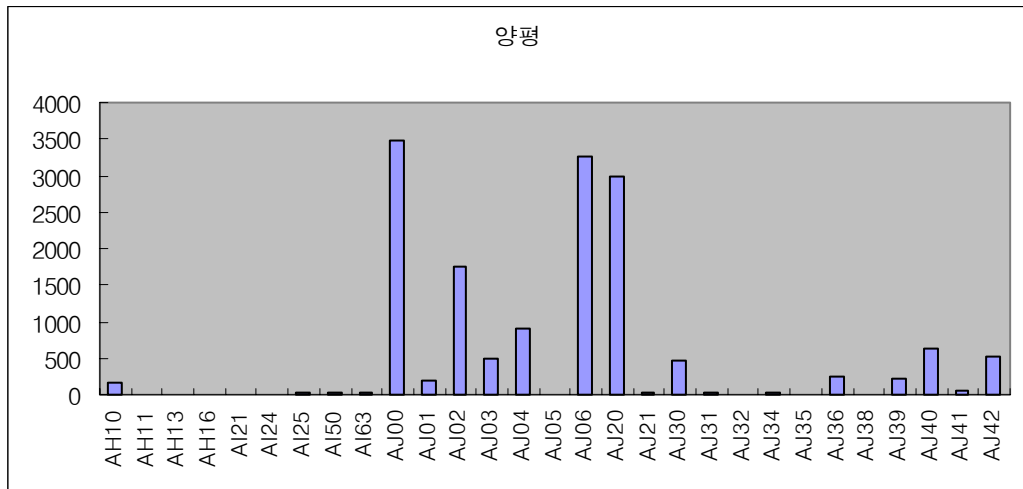
보를 위해 검토의견을 수렴하고 반영할 수 있다.

부록 #2. 경기 · 인천 시군구별 보건통계 도표

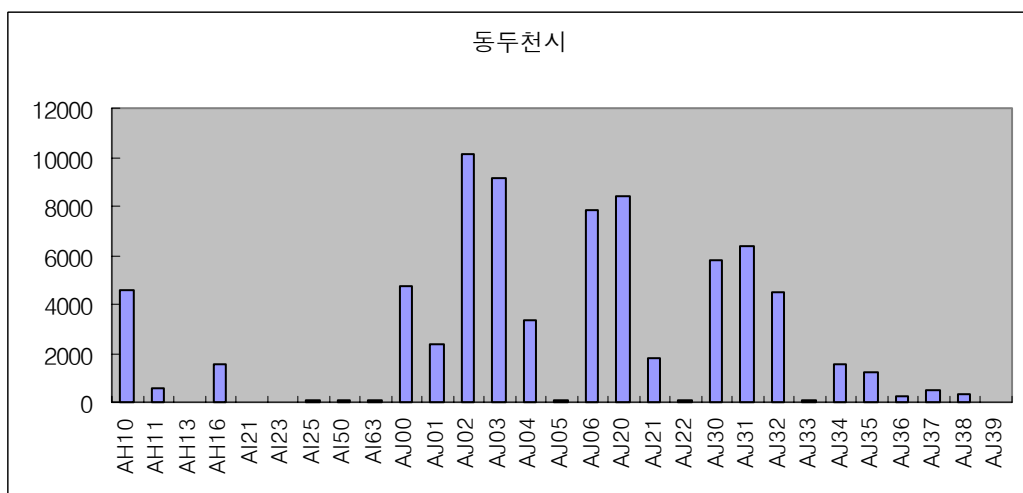
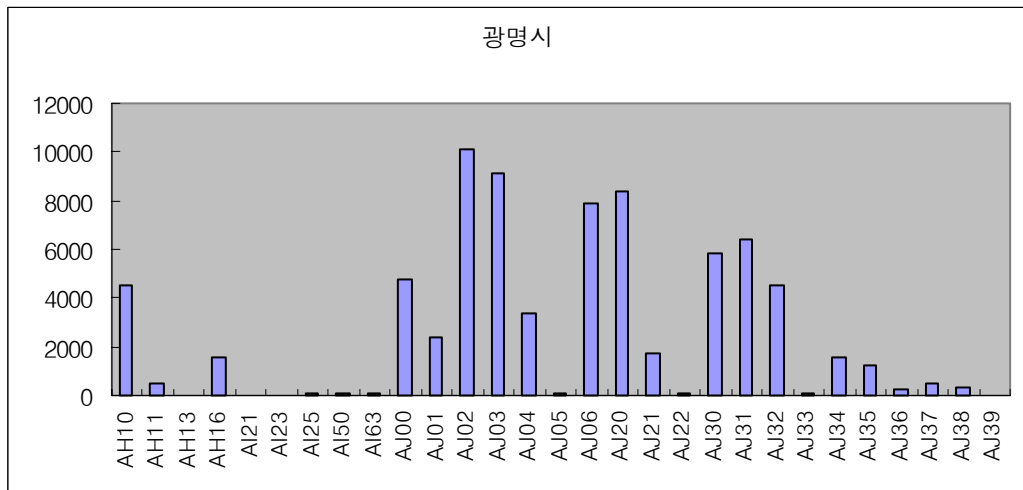
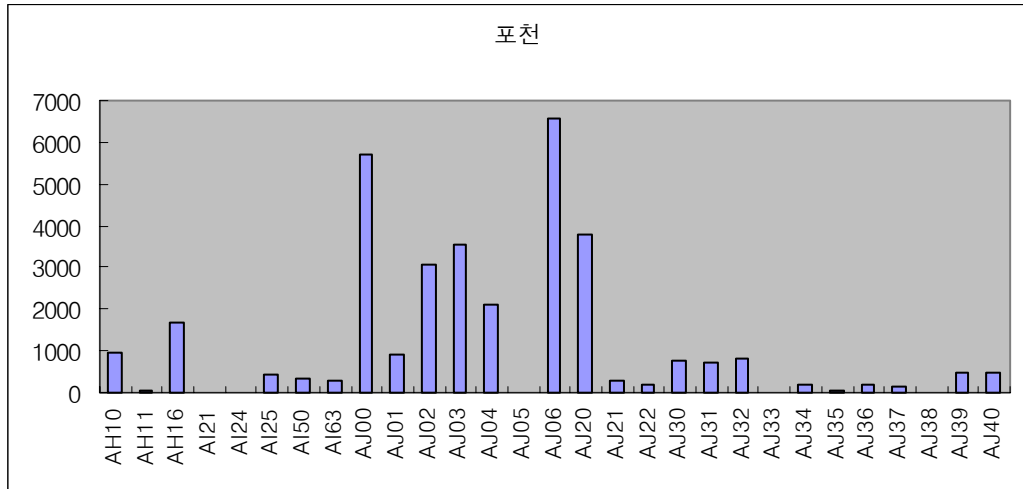
[부록 그림2-1] 경기도 시군구 상병기호별 발생건수(3월~5월간)



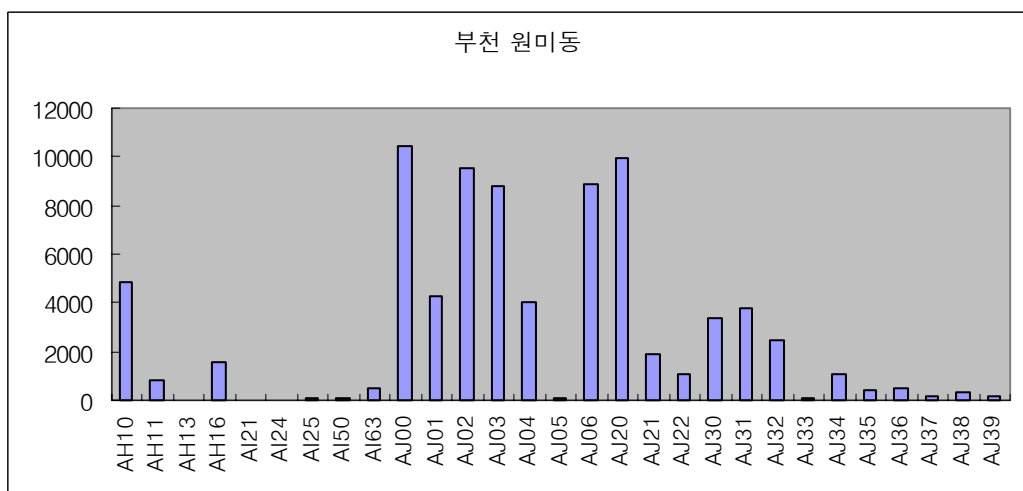
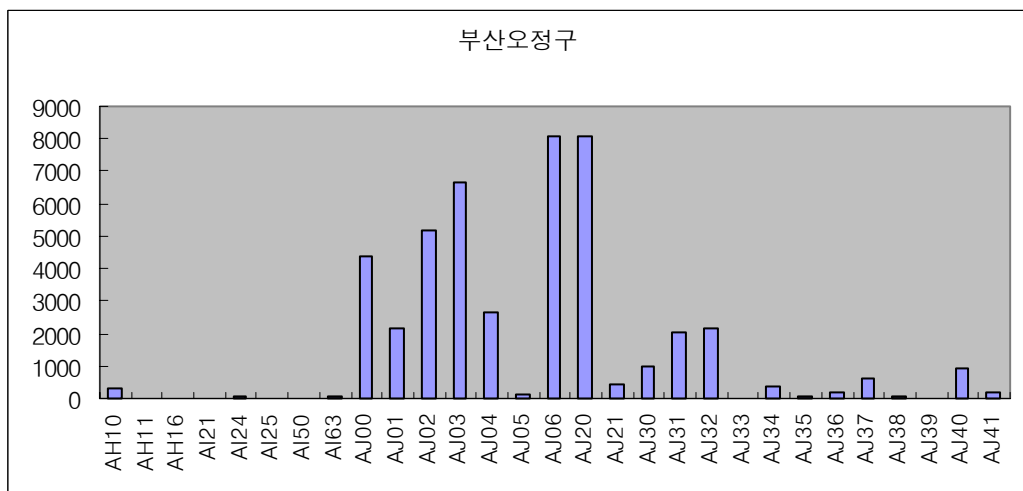
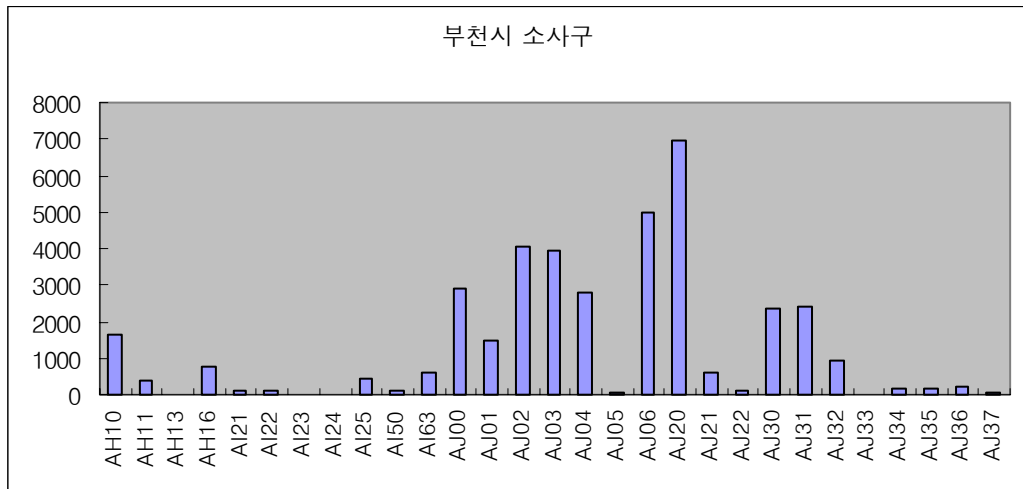
[부록 그림2-1] 계속



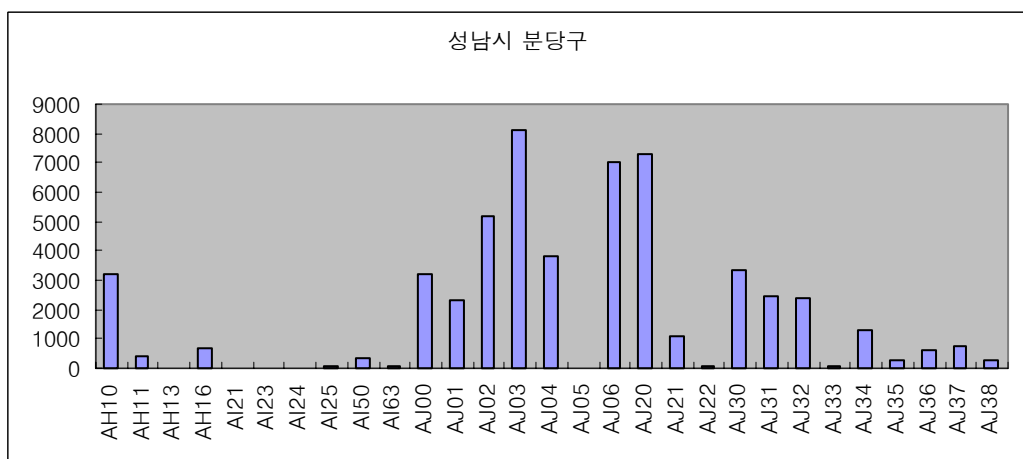
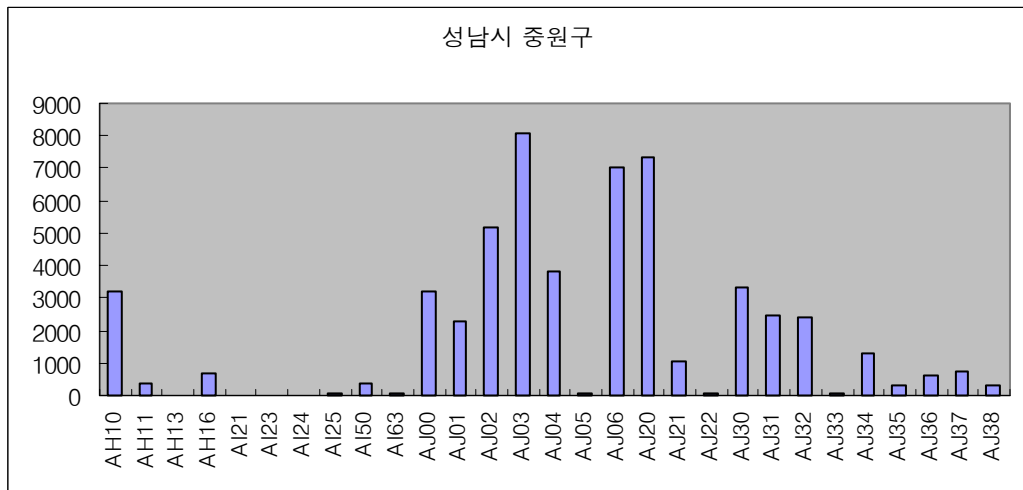
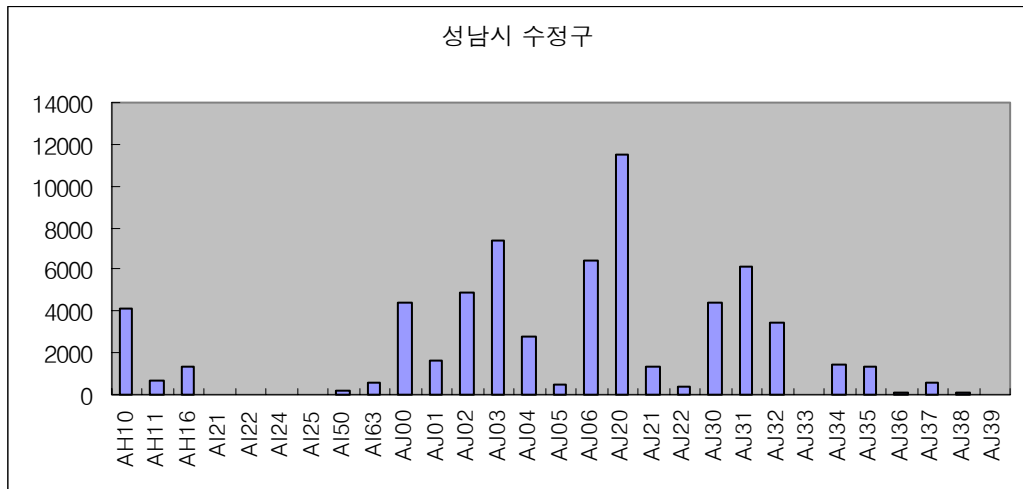
[부록 그림2-1] 계속



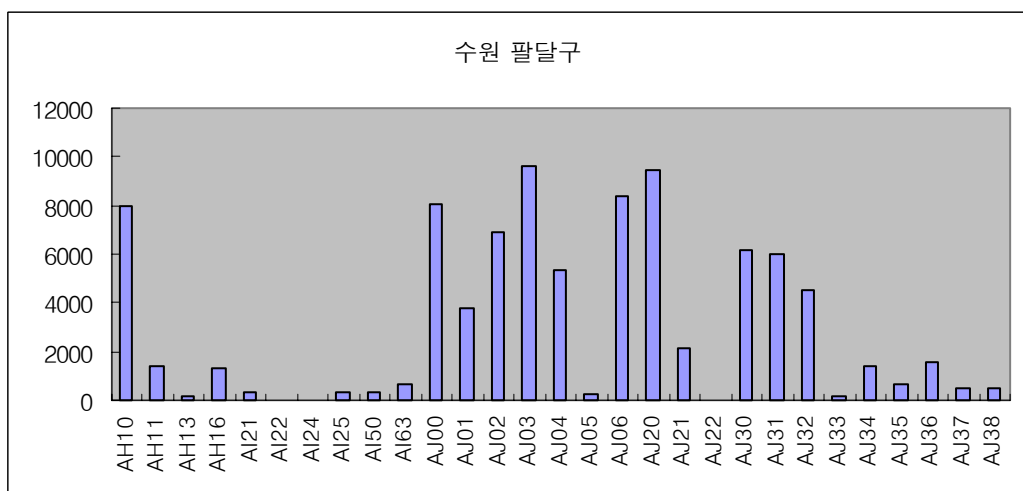
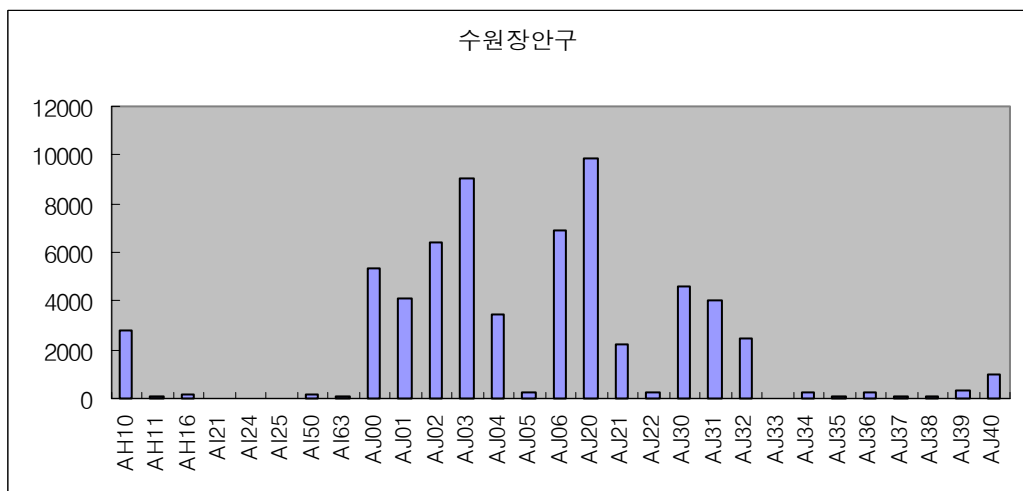
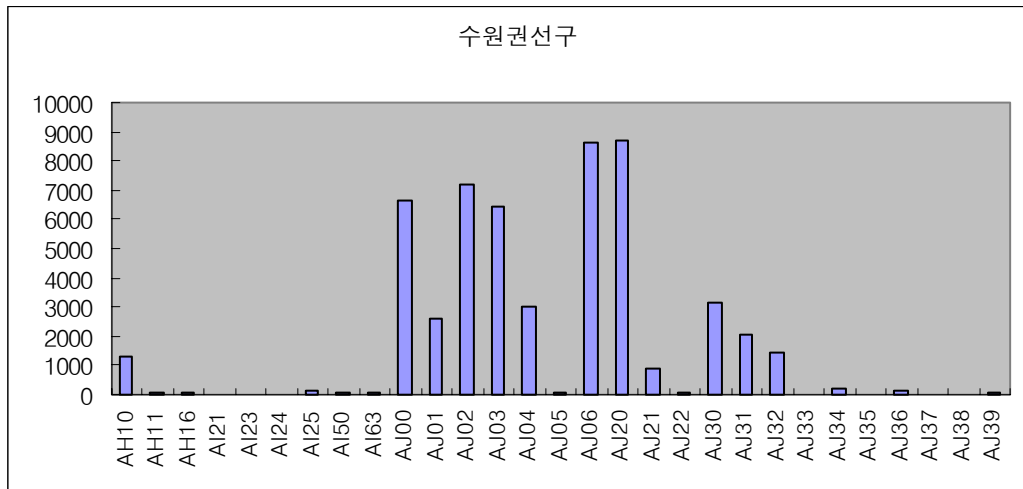
[부록 그림2-1] 계속



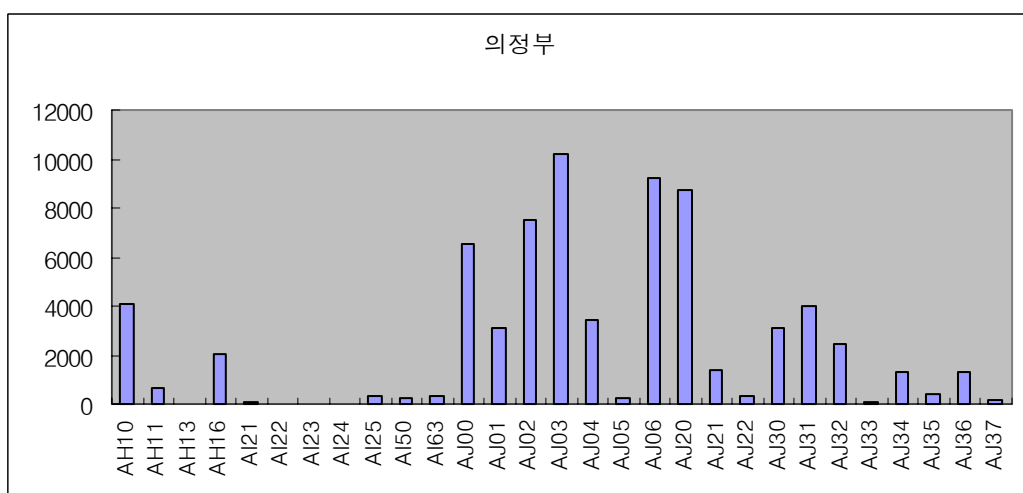
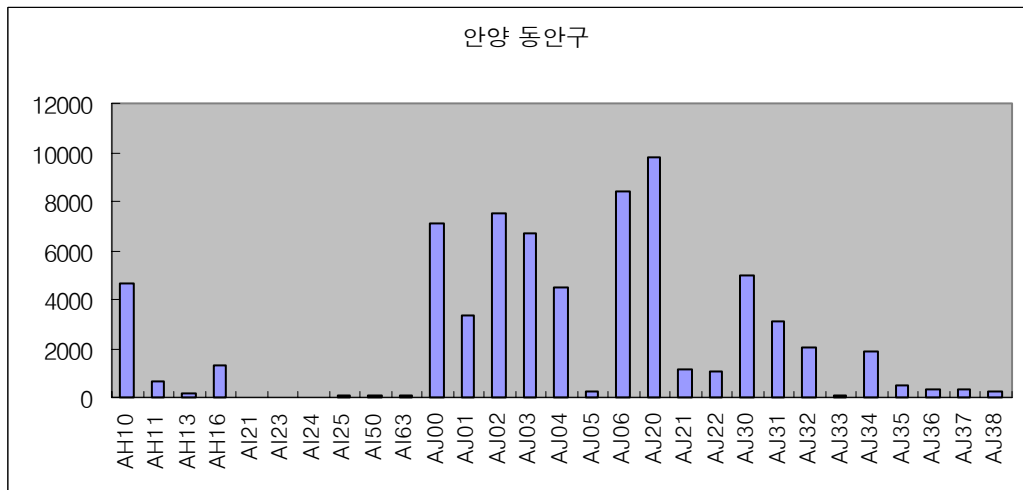
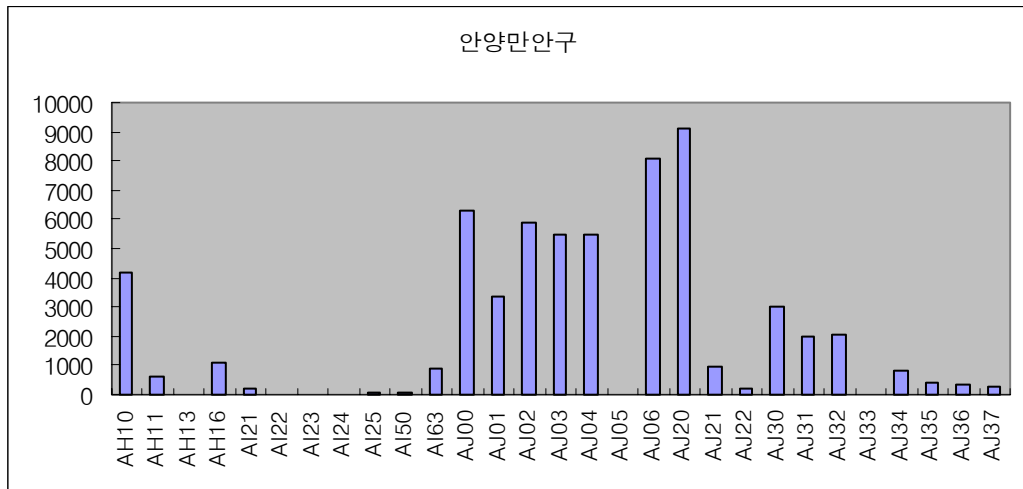
[부록그림2-1]계속



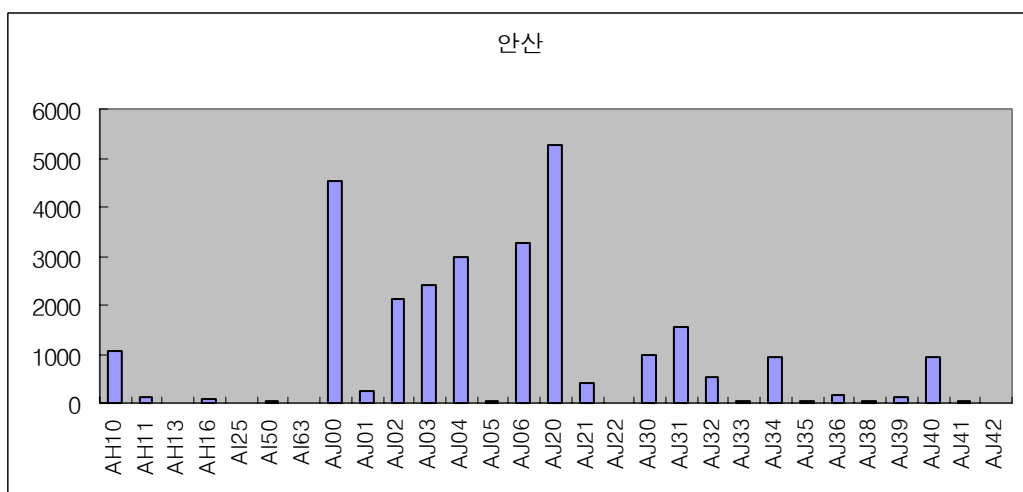
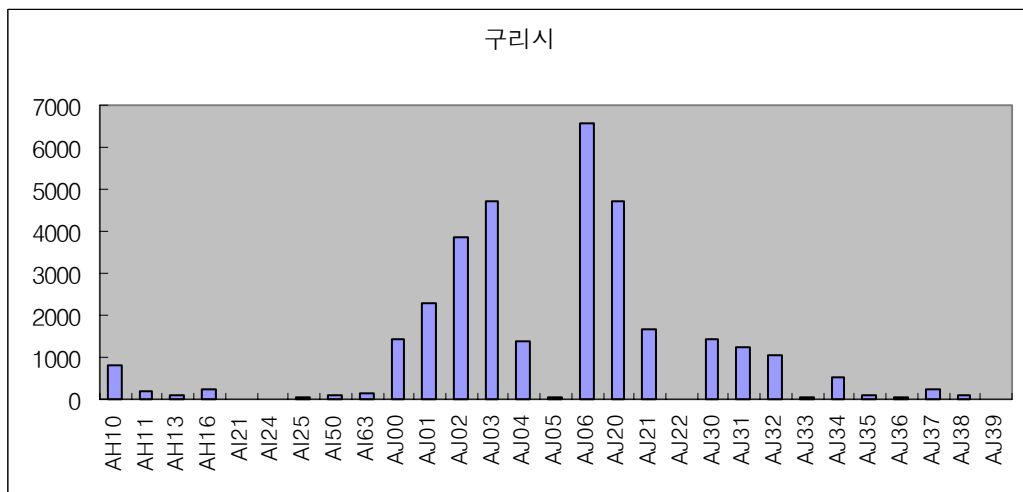
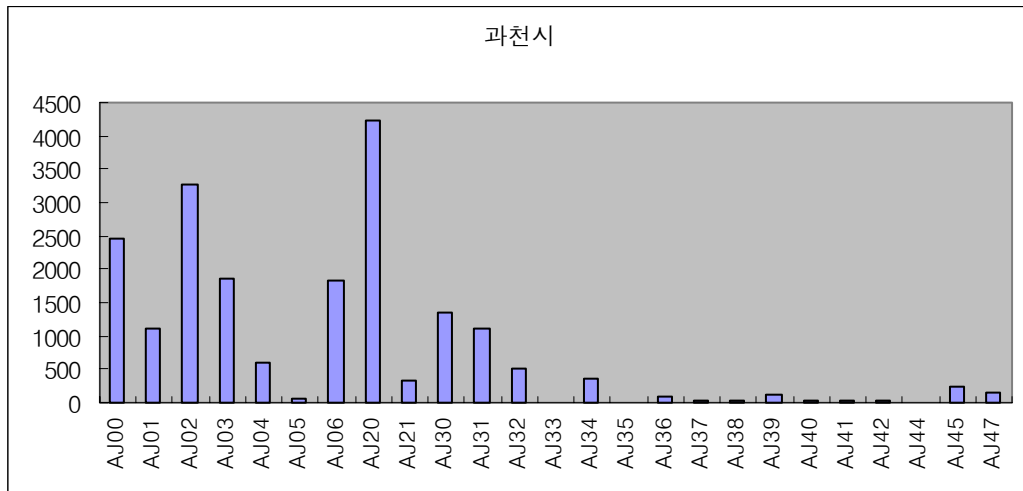
[부록 그림2-1] 계속



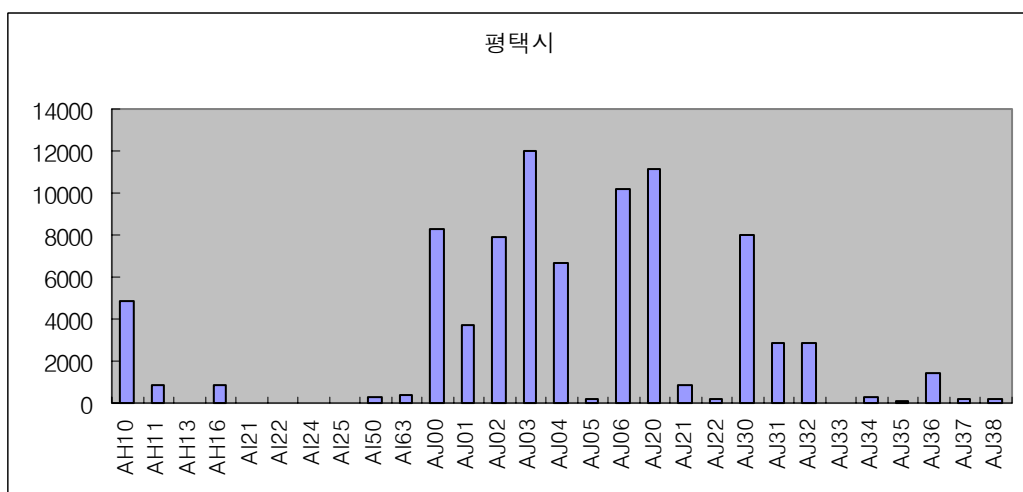
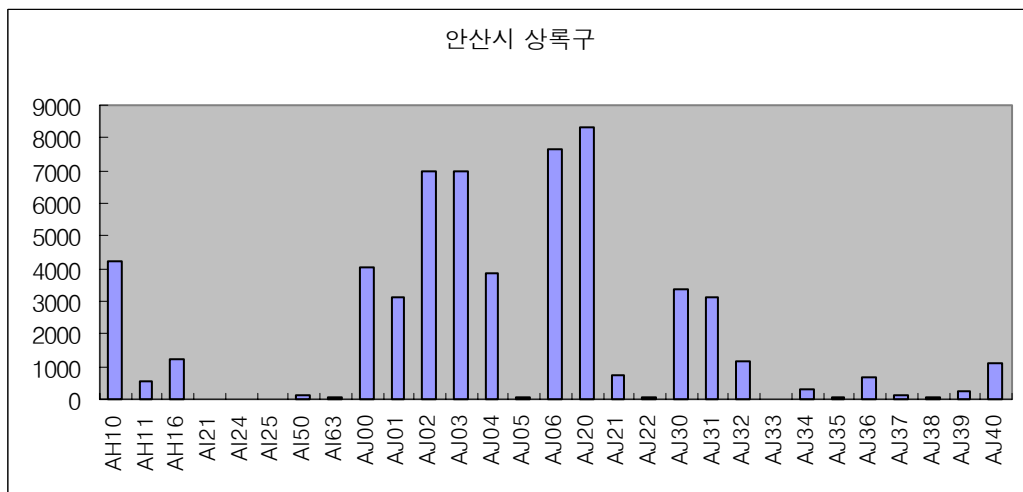
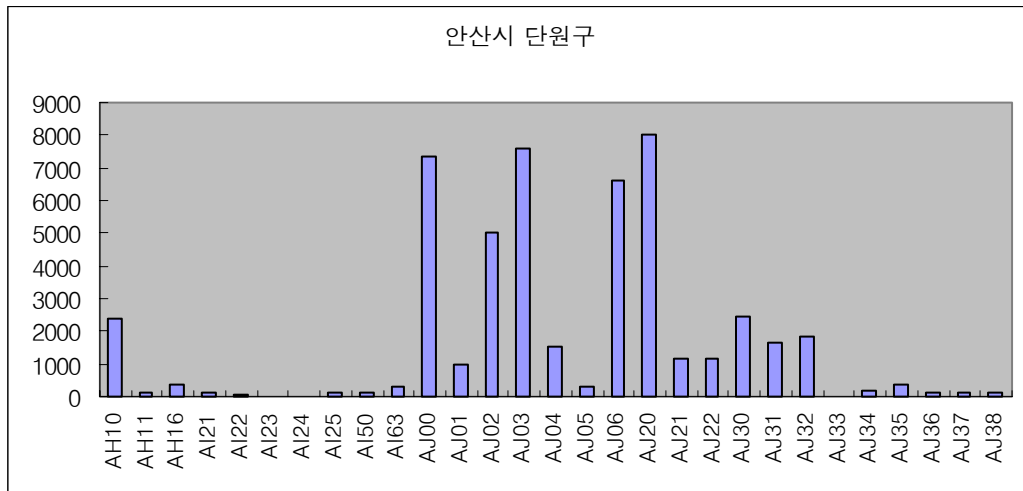
[부록 그림2-1] 계속



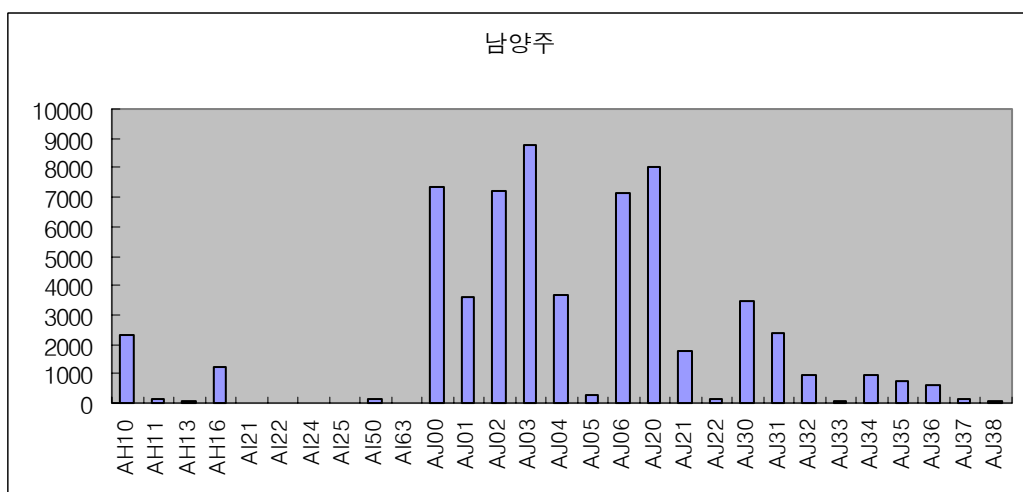
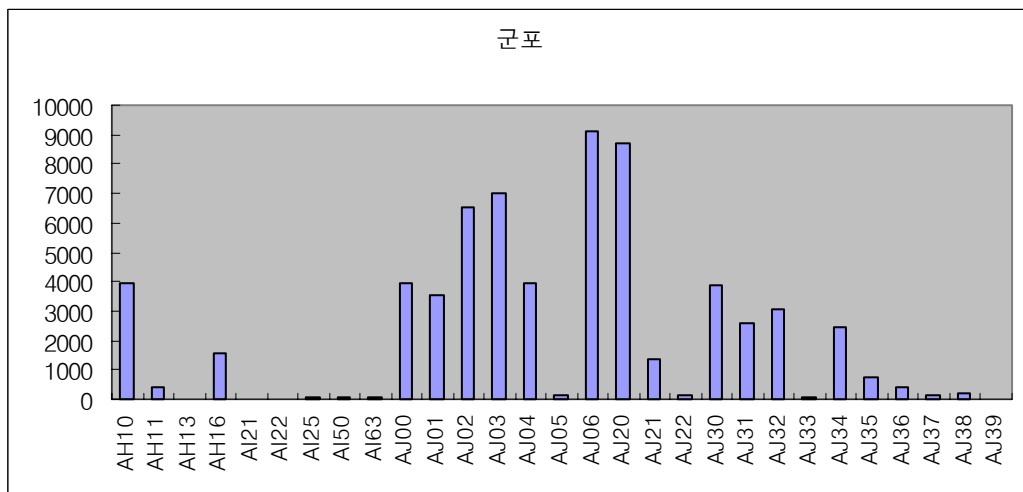
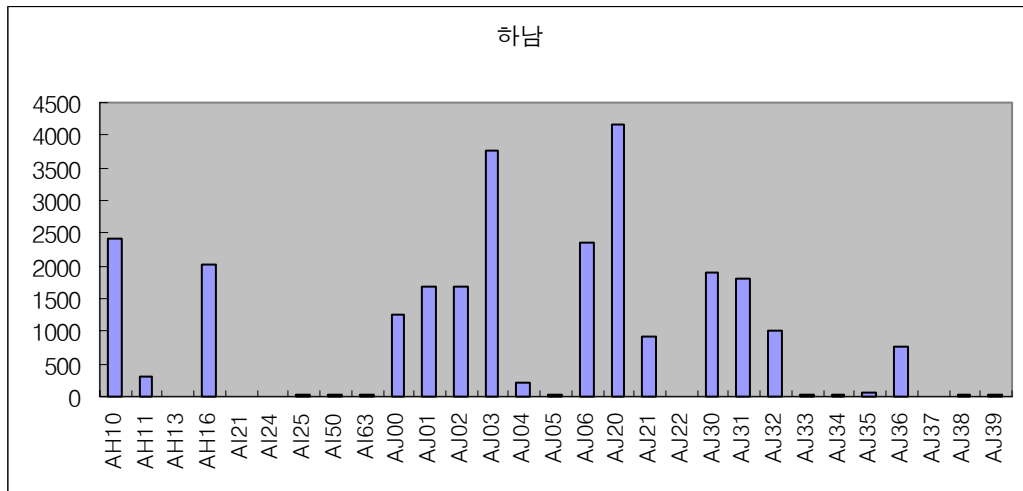
[부록 그림2-1] 계속



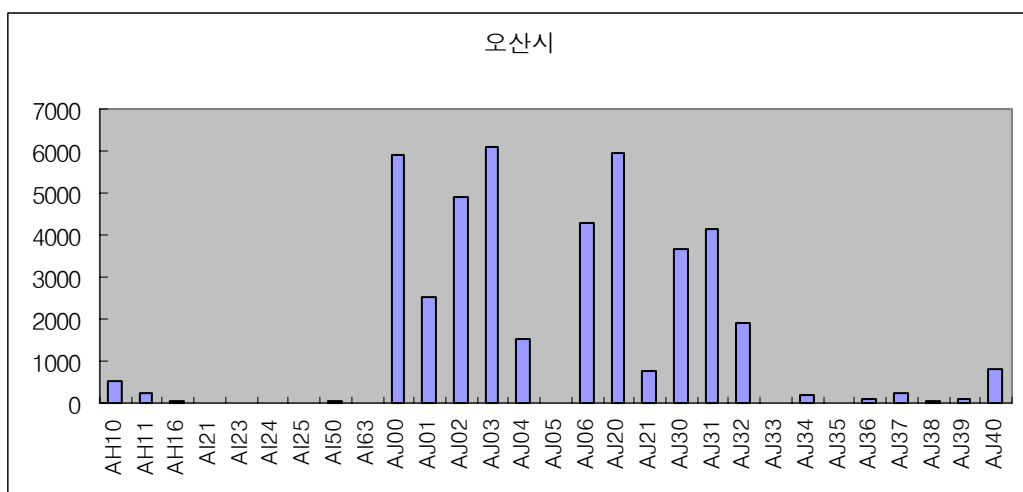
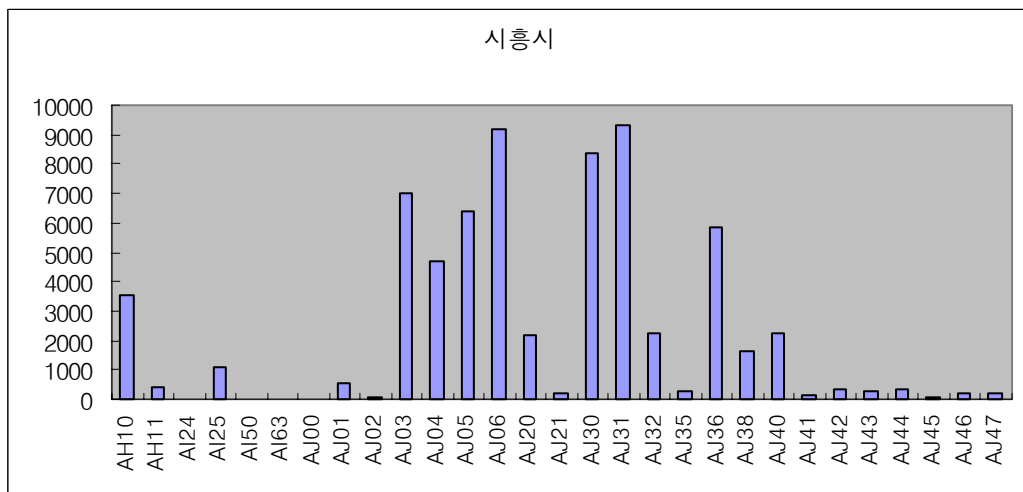
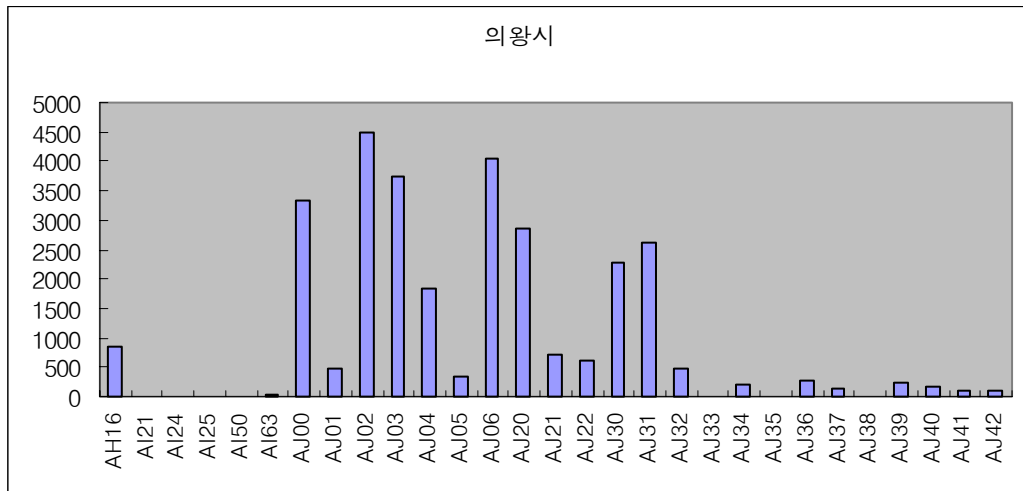
[부록 그림2-1] 계속



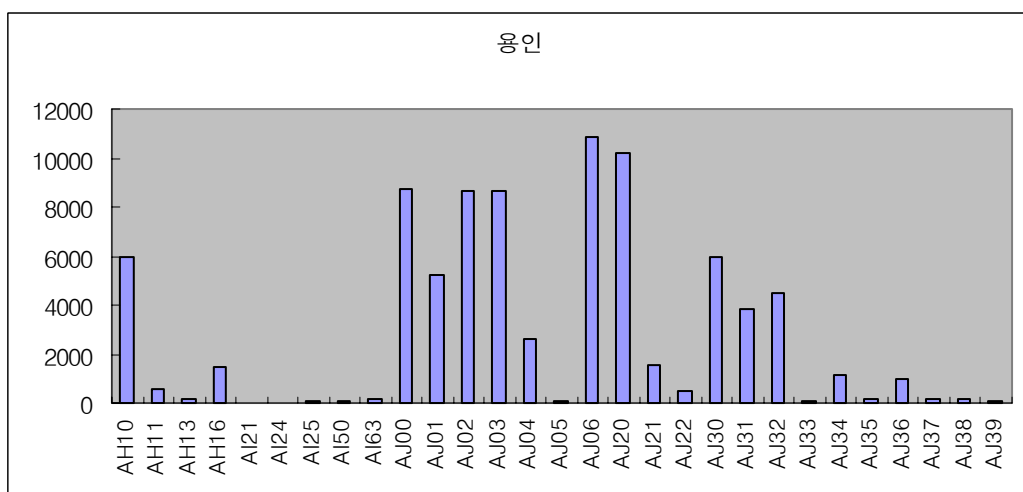
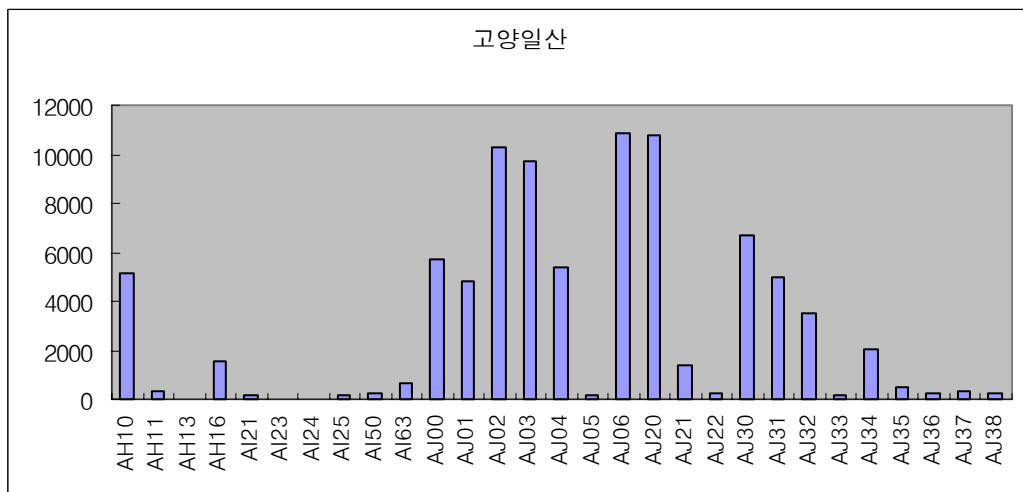
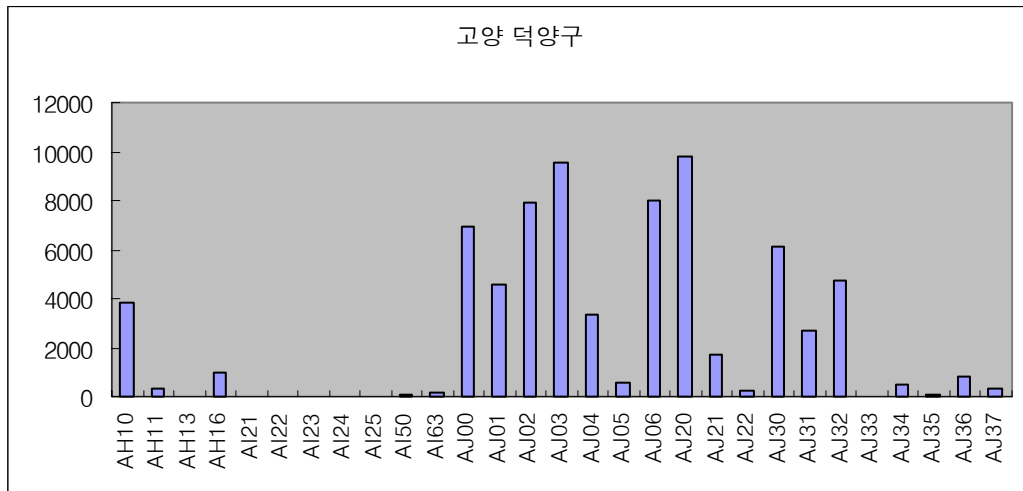
[부록 그림2-1] 계속



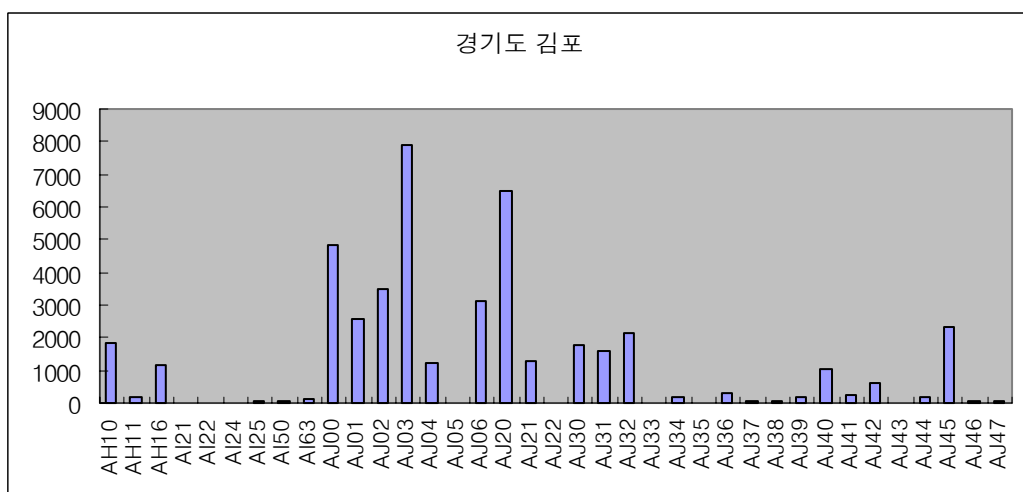
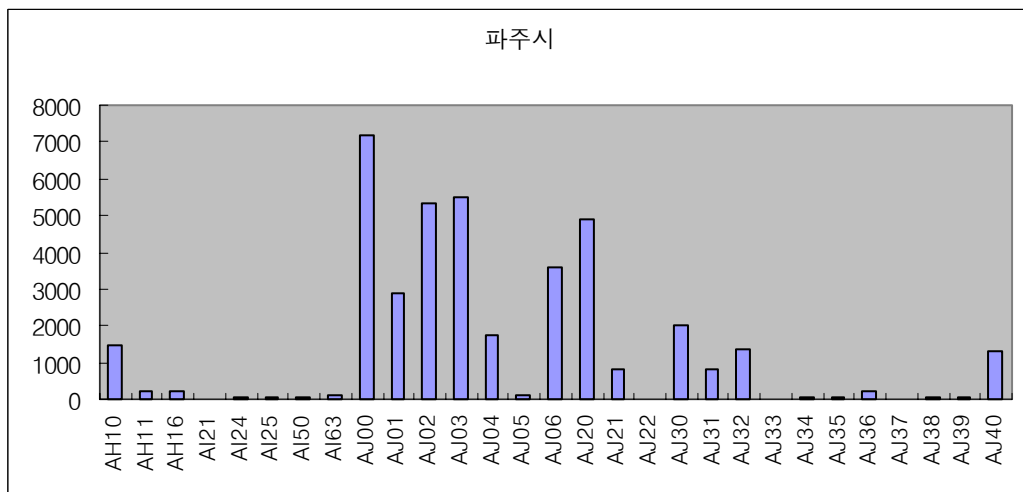
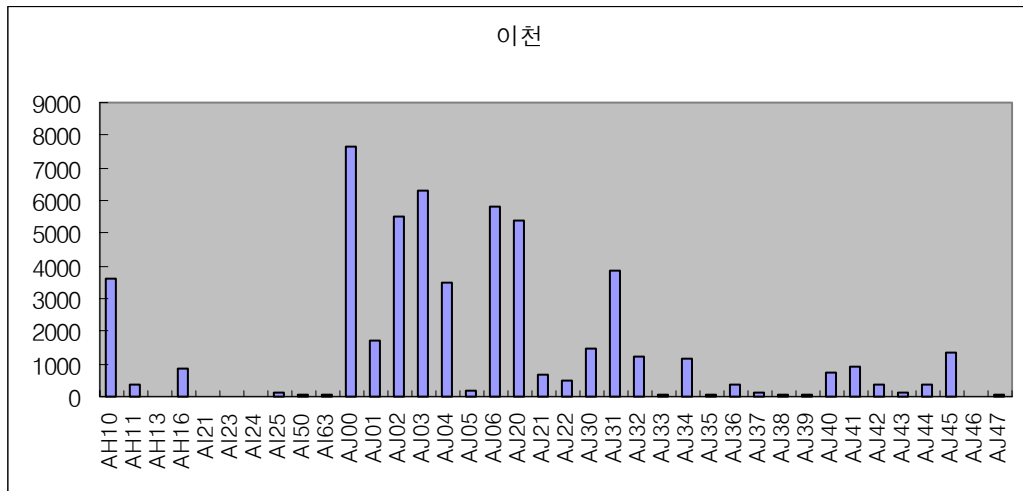
[부록 그림2-1] 계속



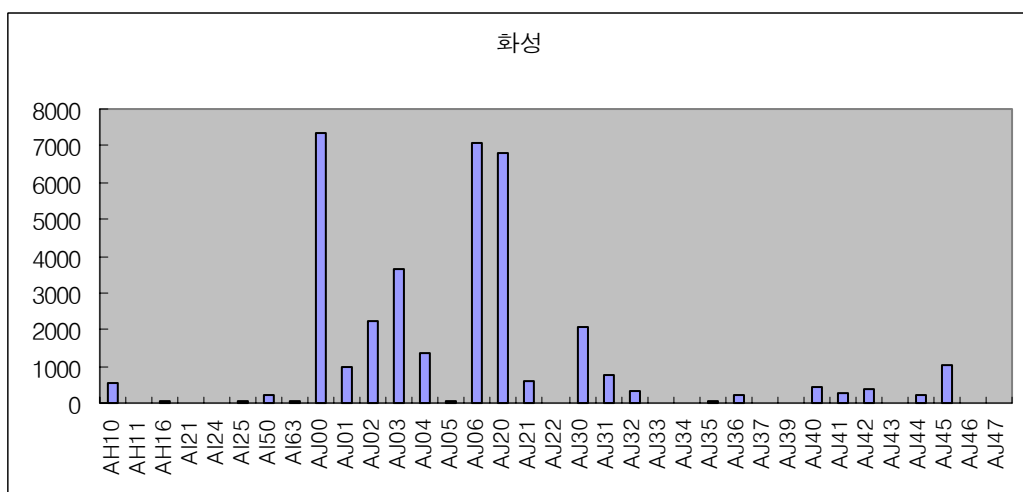
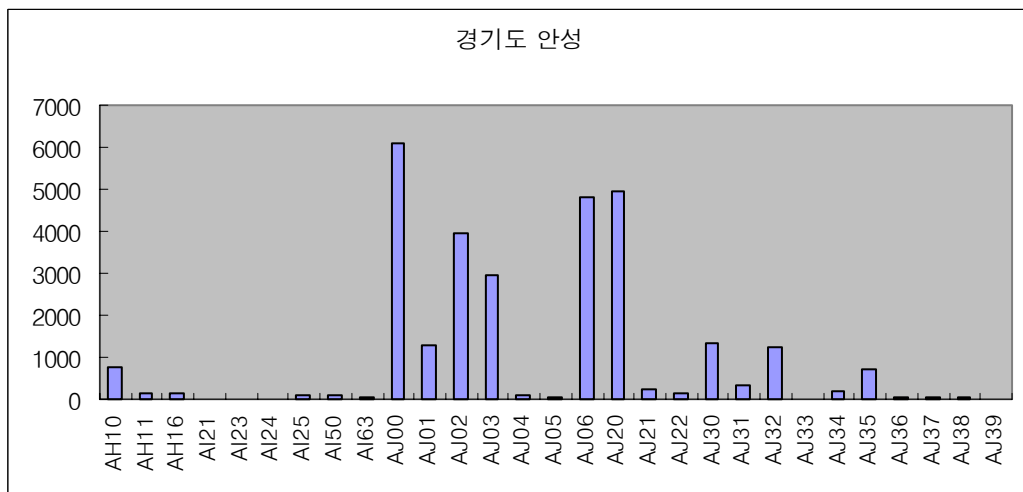
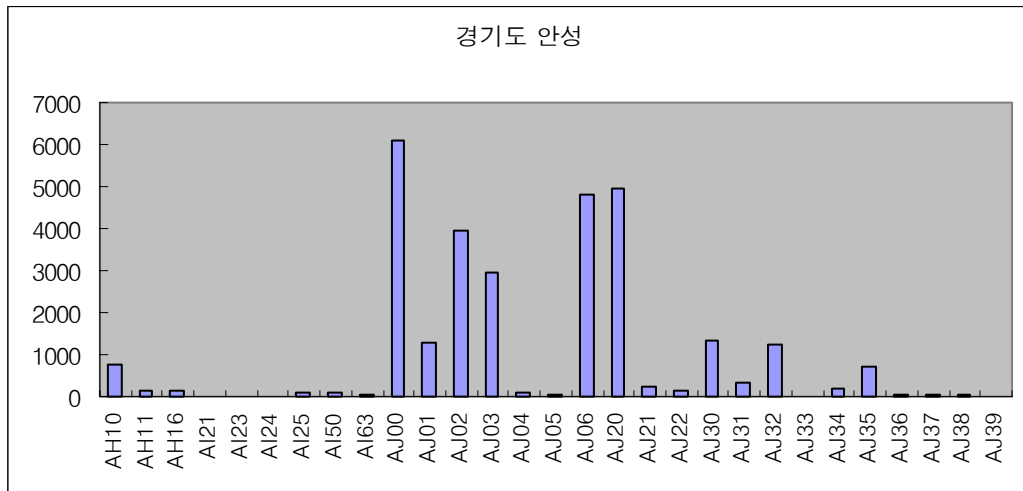
[부록 그림2-1] 계속

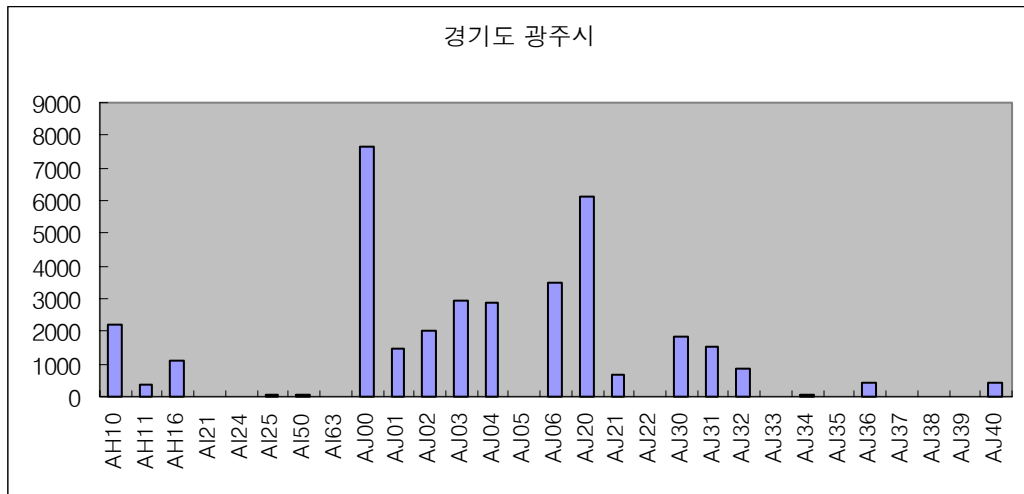


[부록 그림2-1] 계속



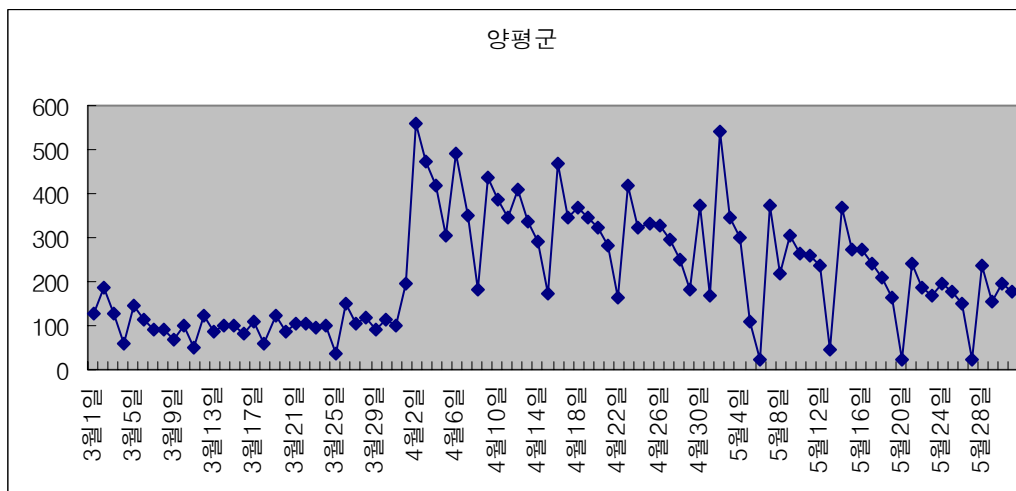
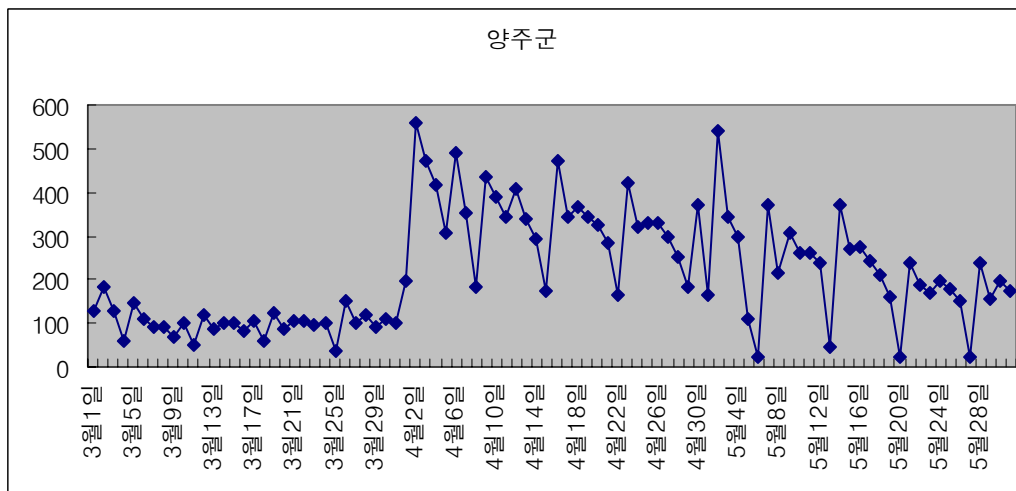
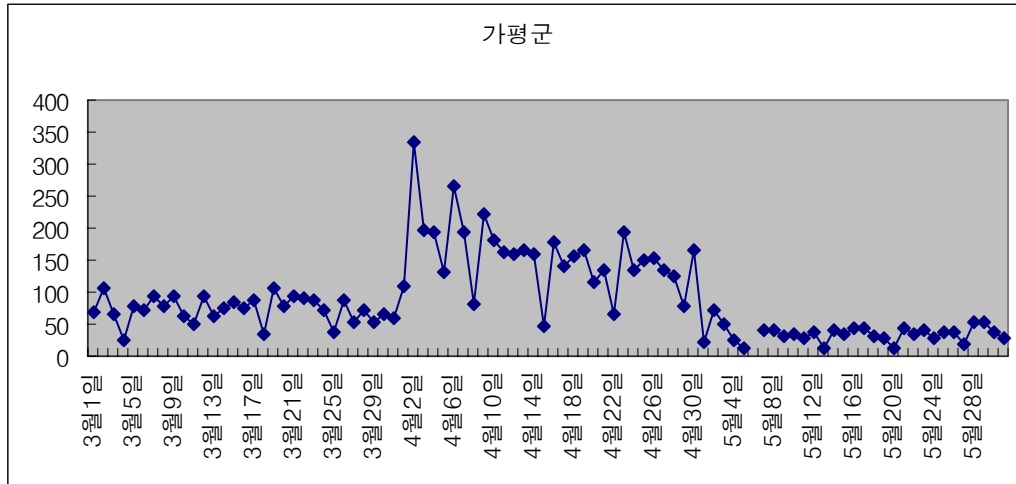
[부록 그림2-1] 계속



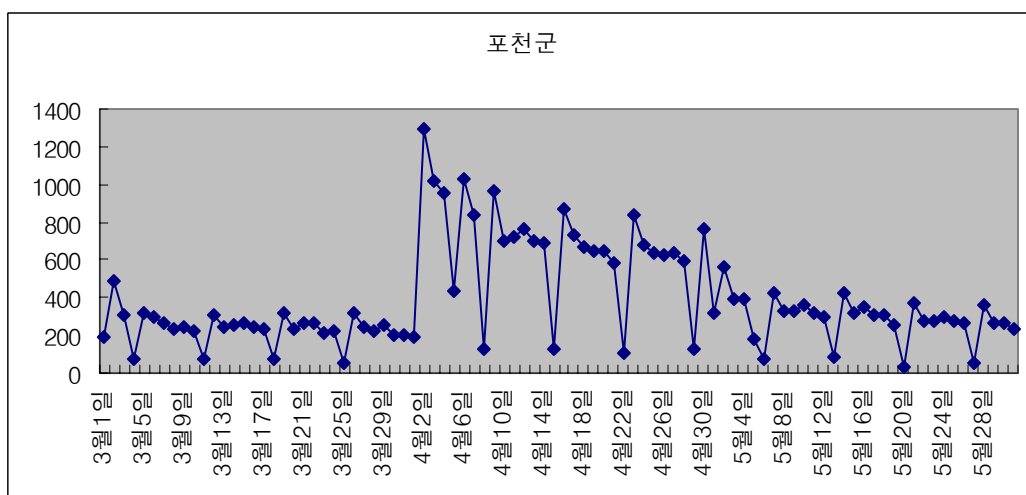
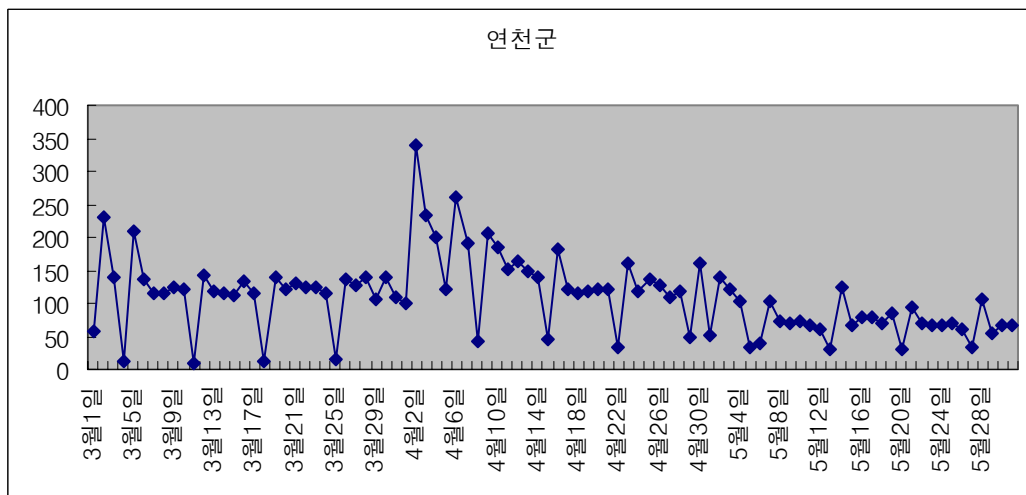
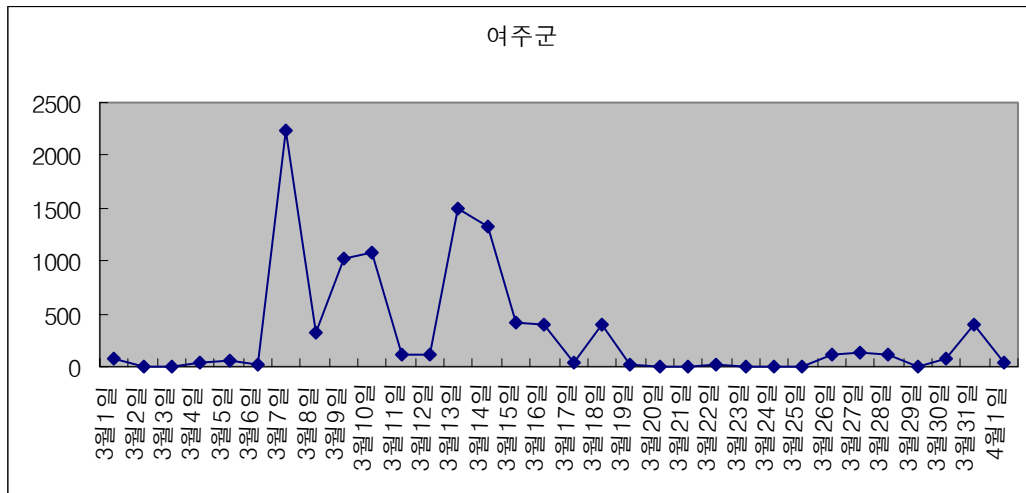


[부록 그림2-1] 끝.

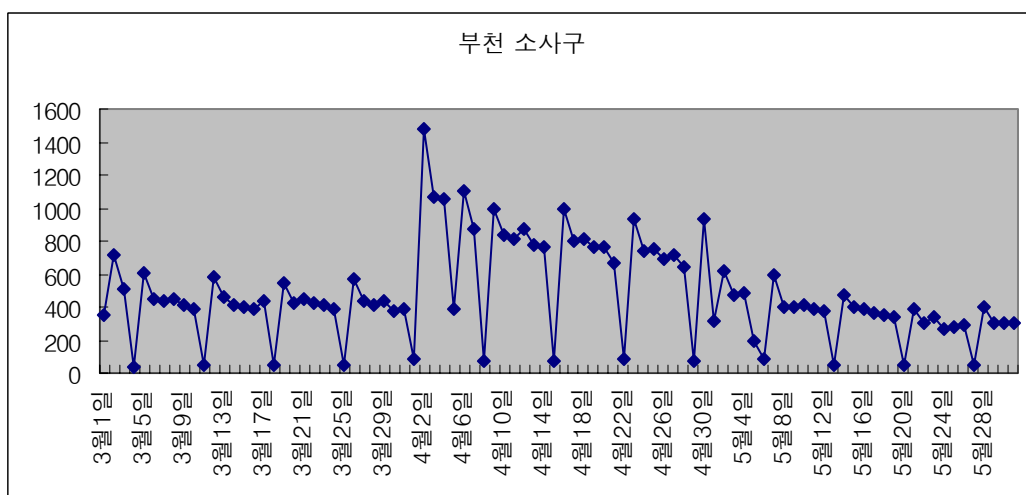
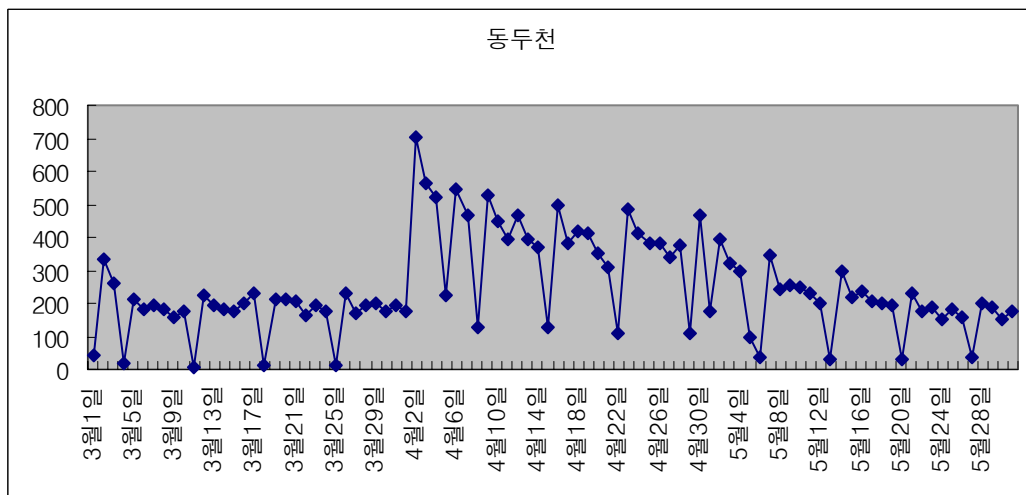
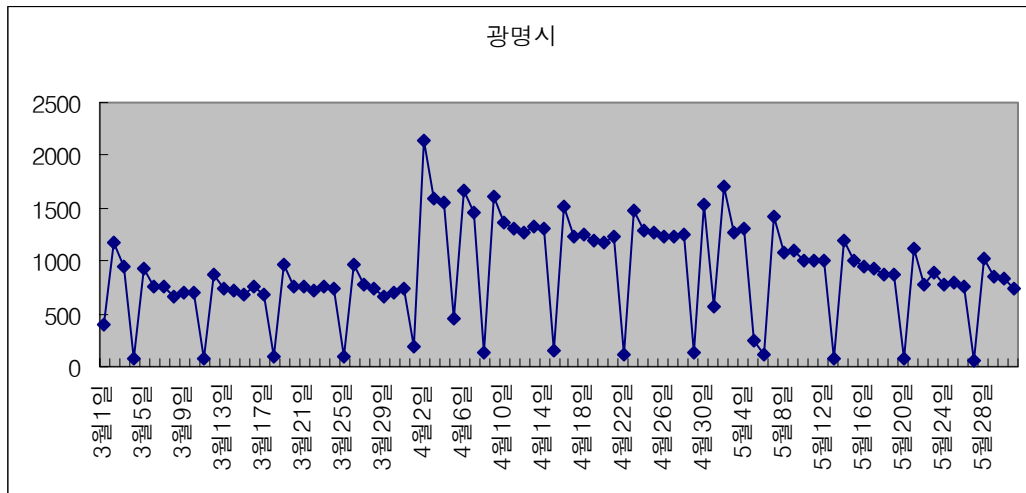
[부록 그림2-2] 경기도 시군구 일자별 환자발생건수(3월~5월)



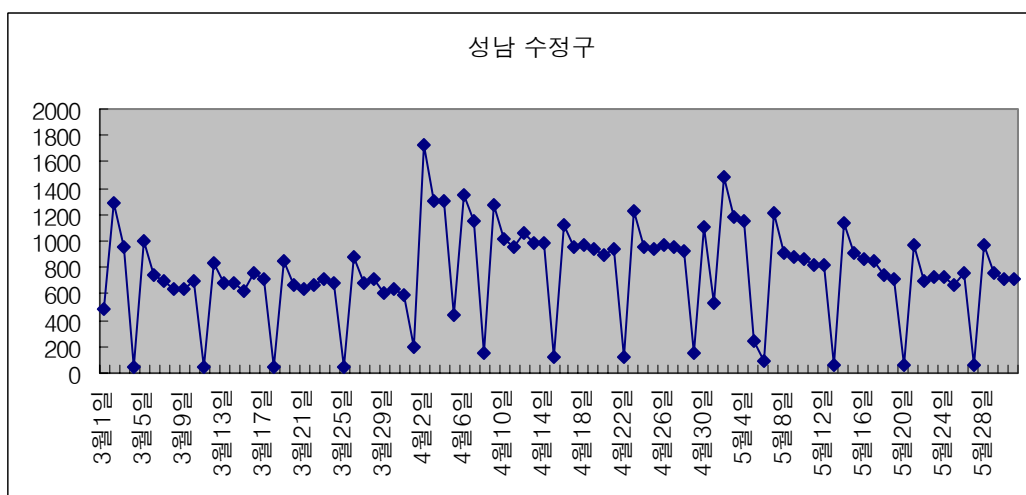
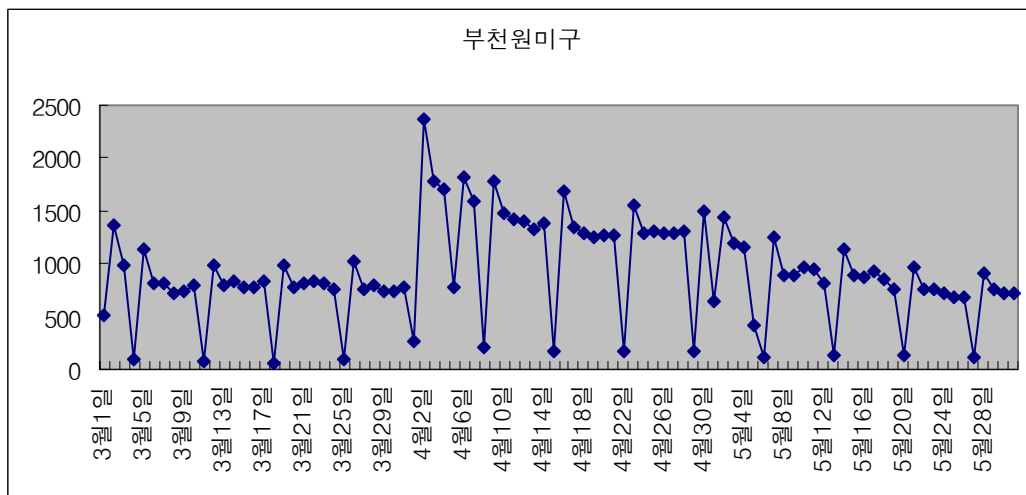
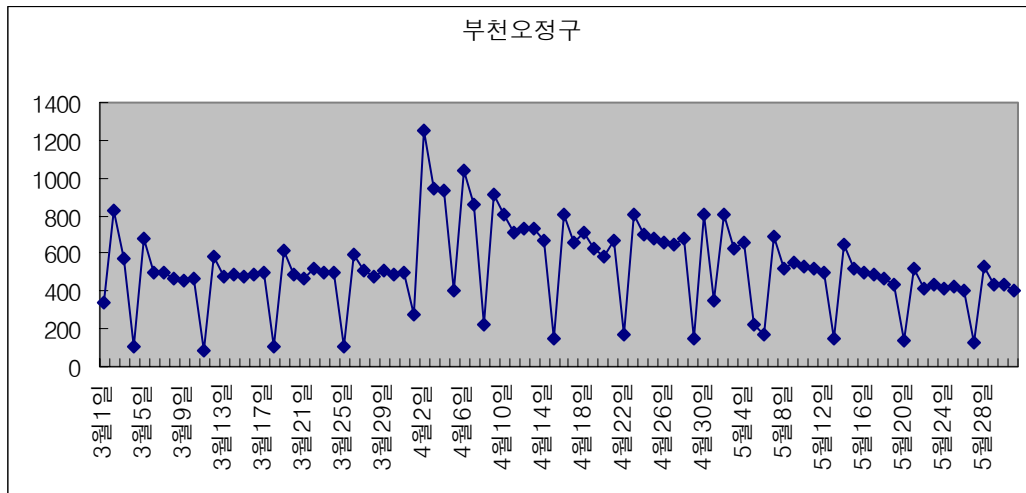
[부록 그림2-2] 계속



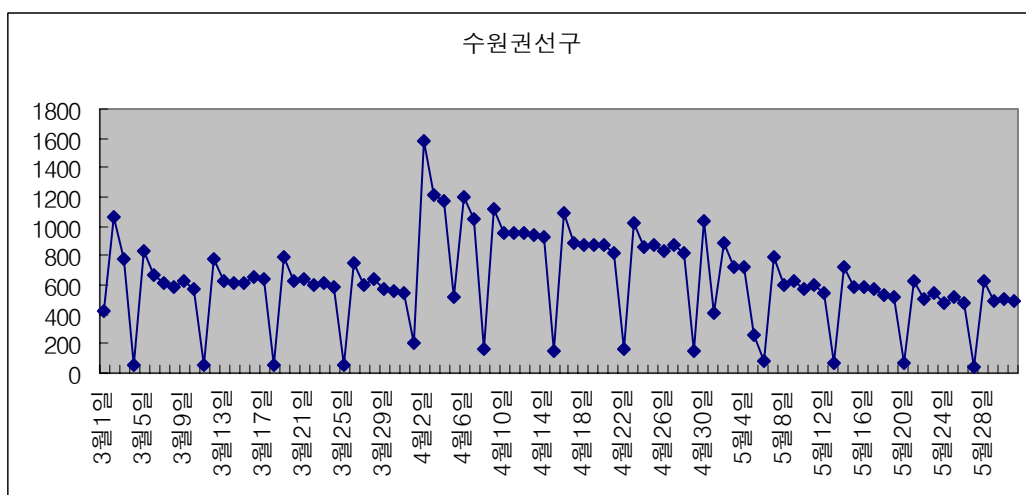
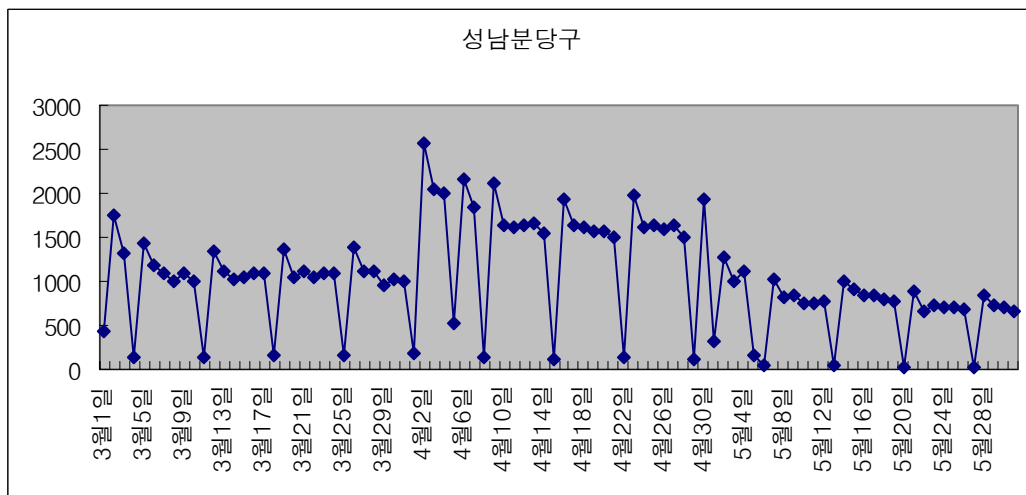
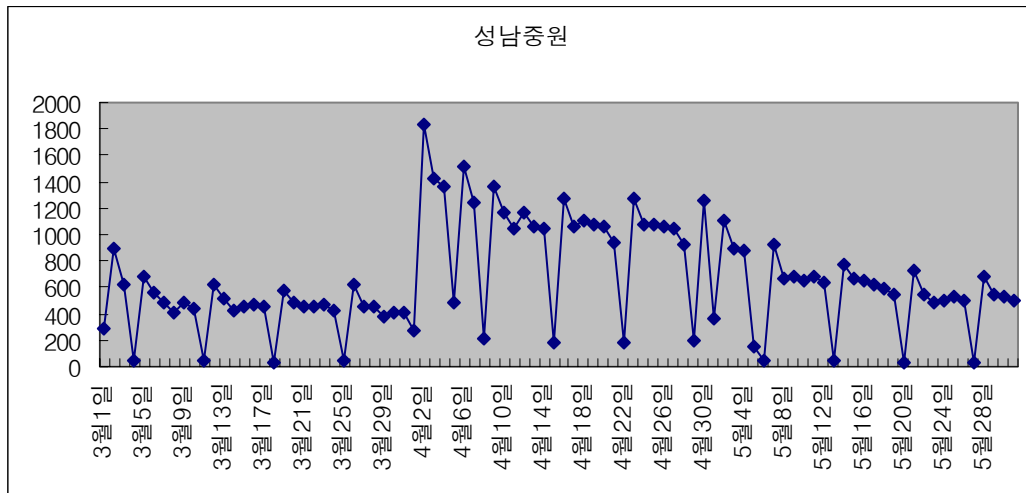
[부록 그림2-2] 계속



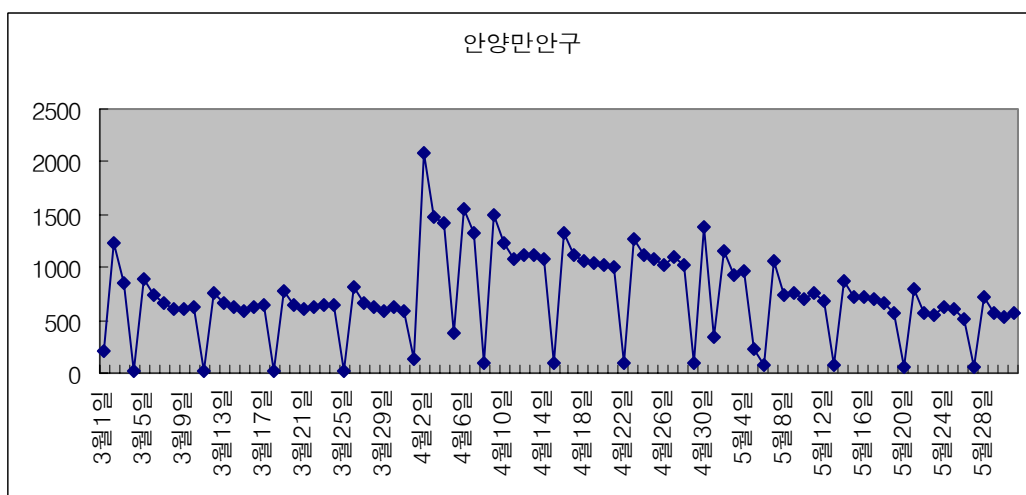
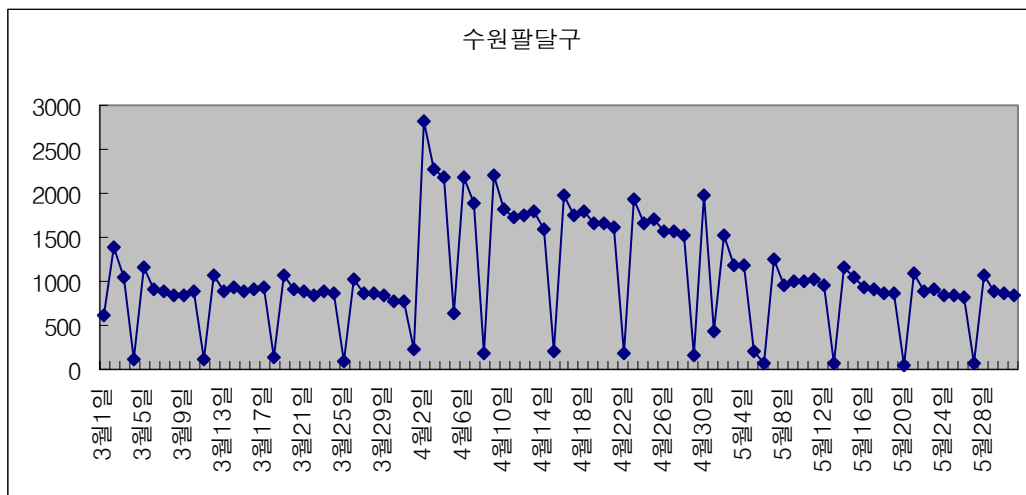
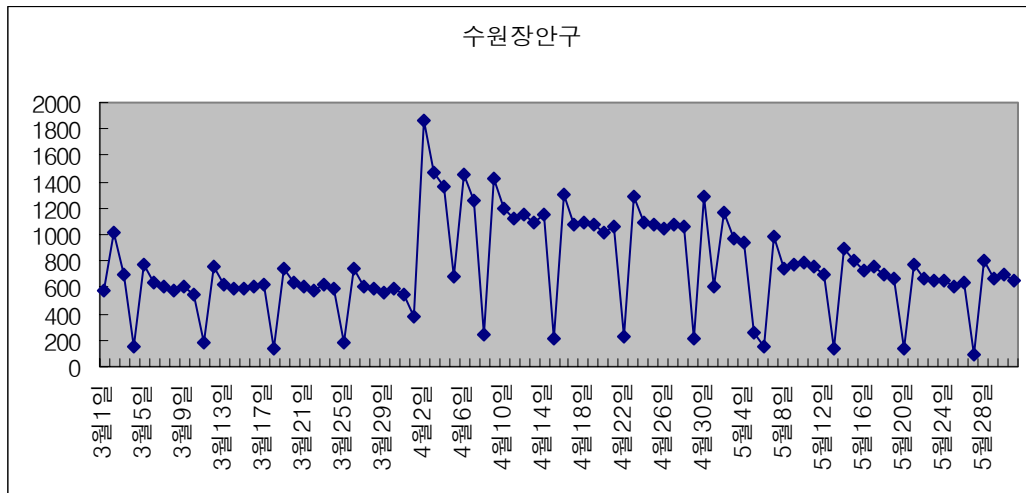
[부록 그림2-2] 계속



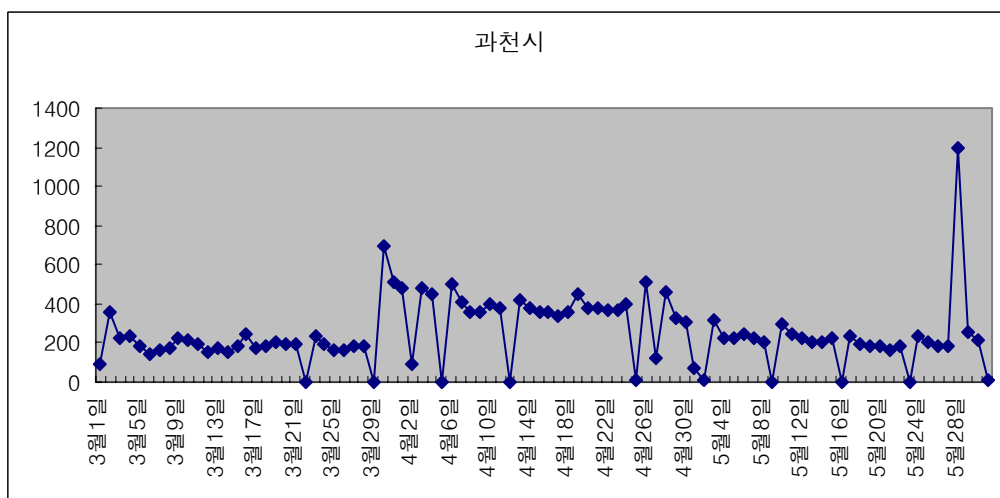
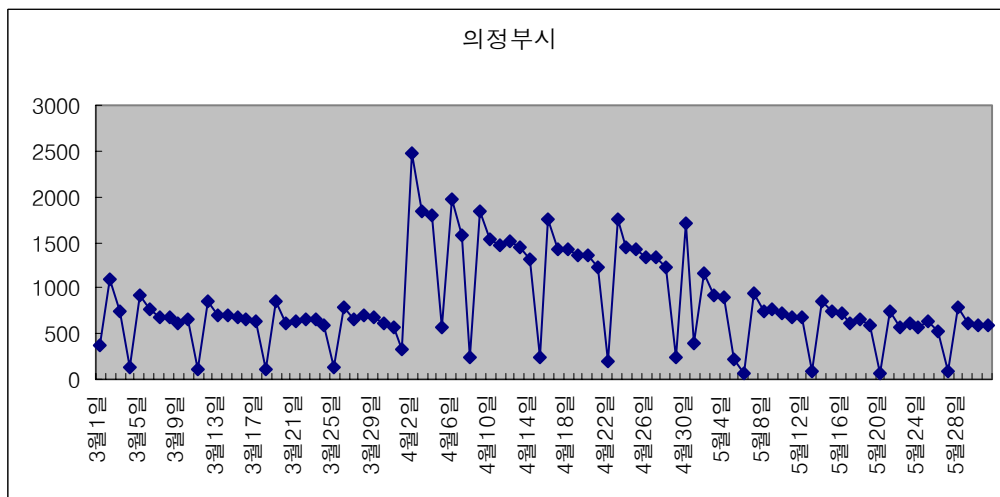
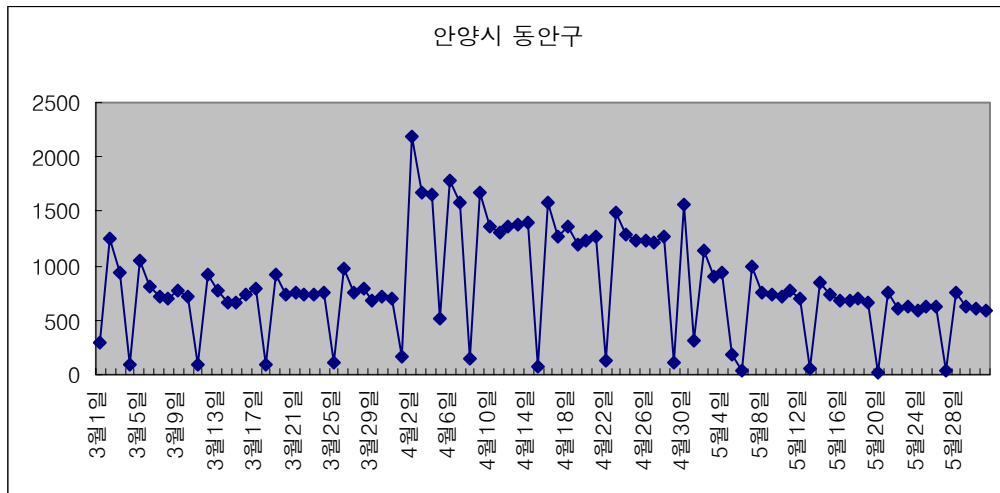
[부록 그림2-2] 계속



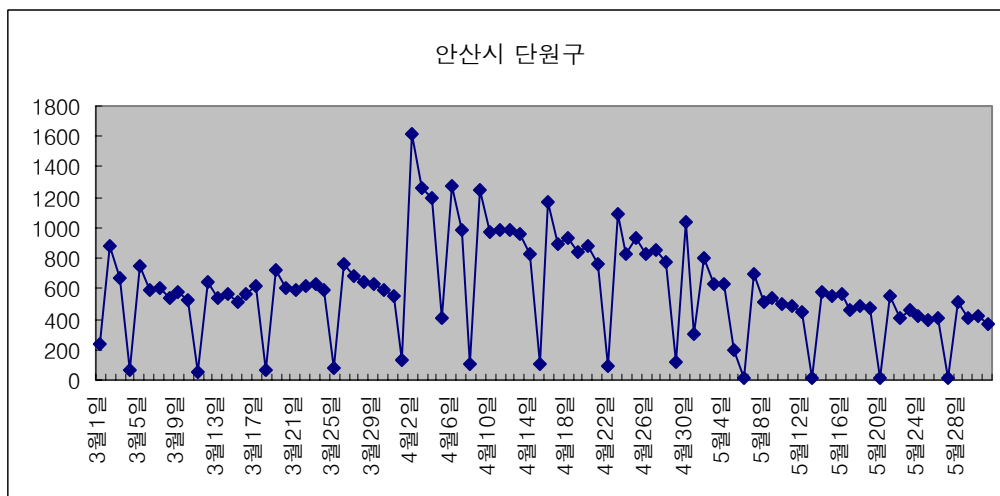
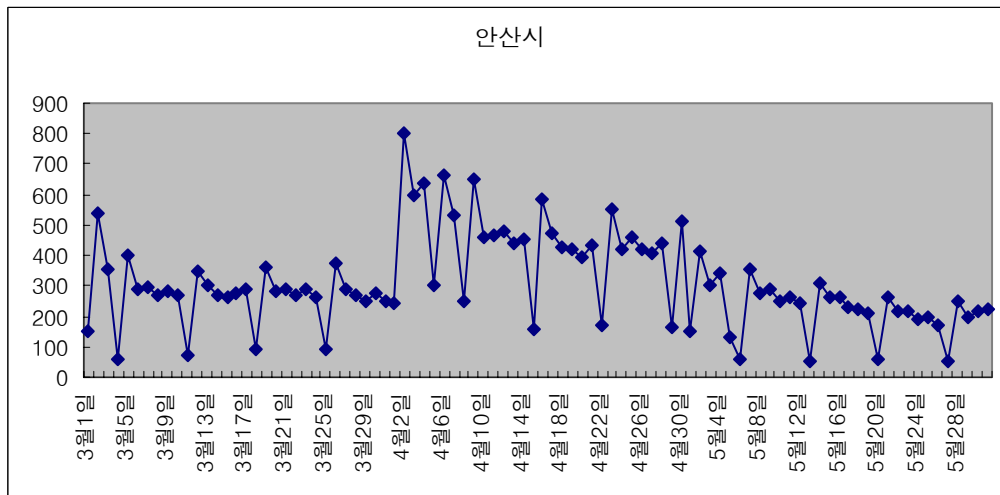
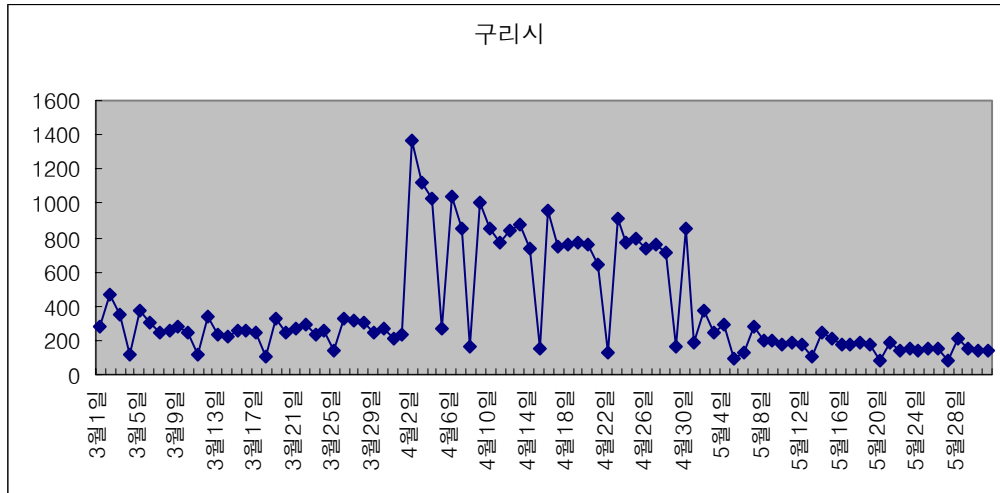
[부록 그림2-2] 계속



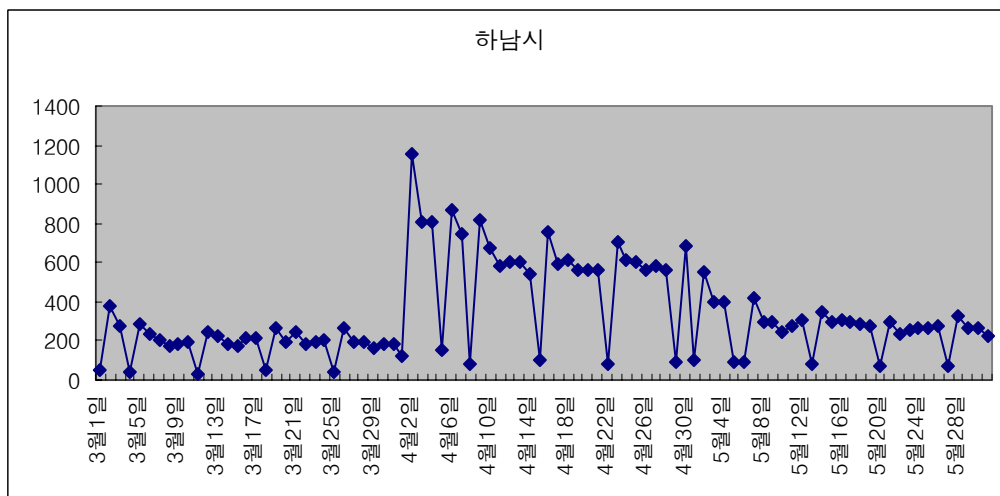
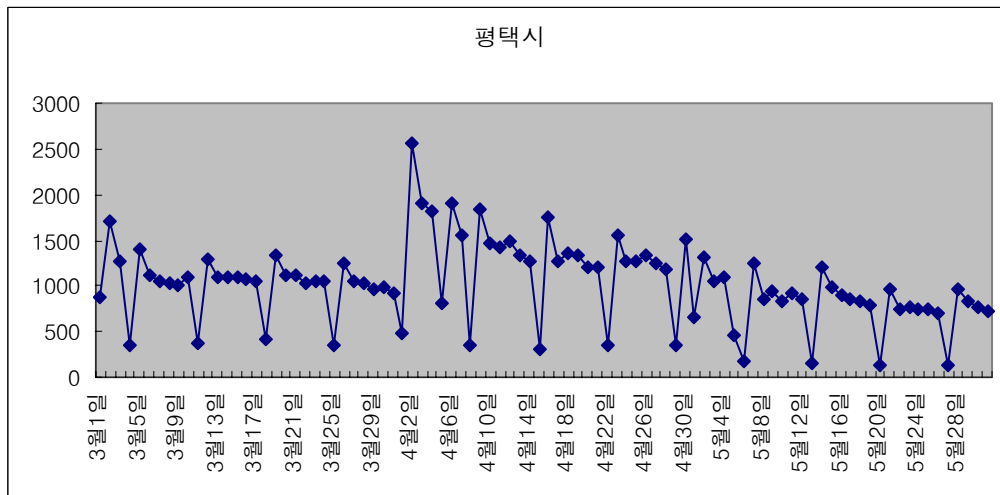
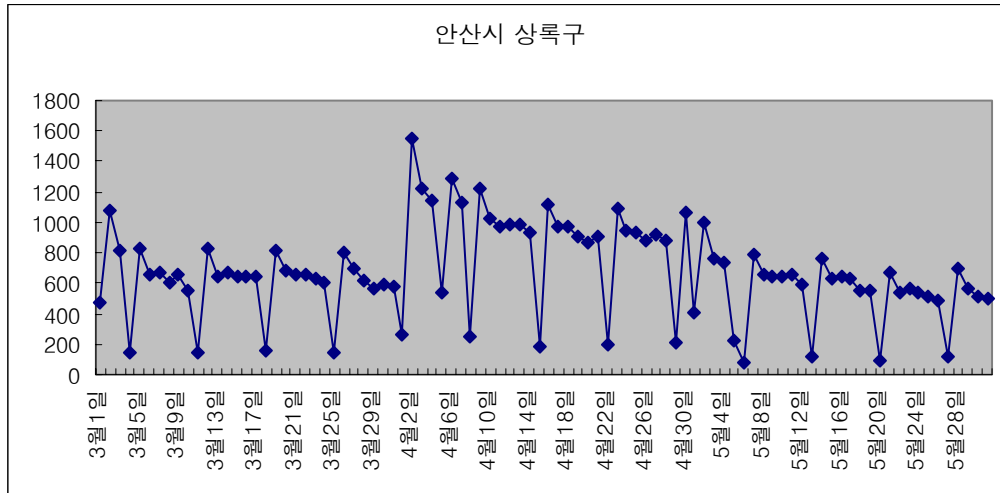
[부록 그림2-2] 계속



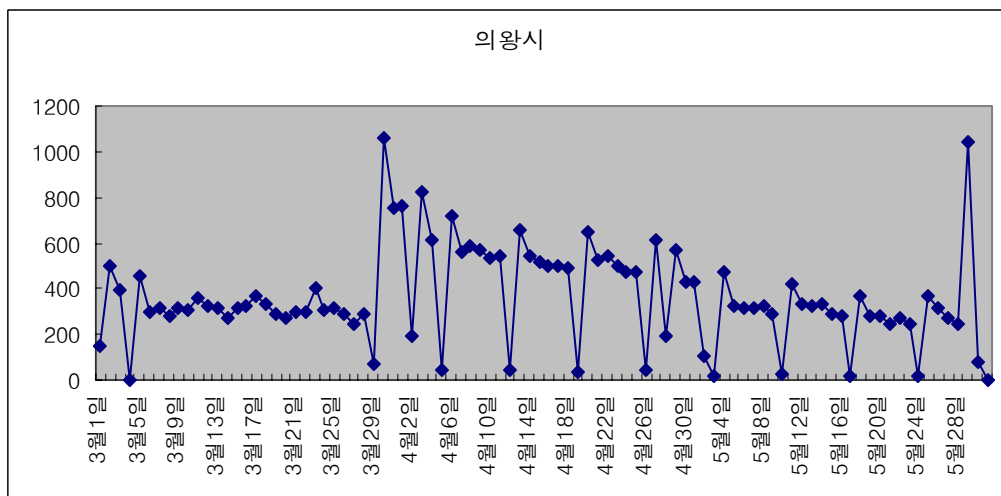
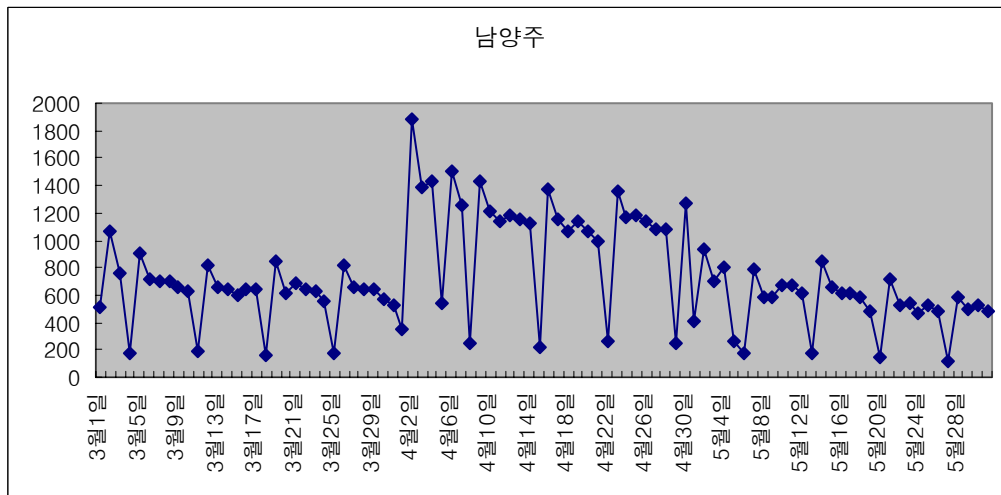
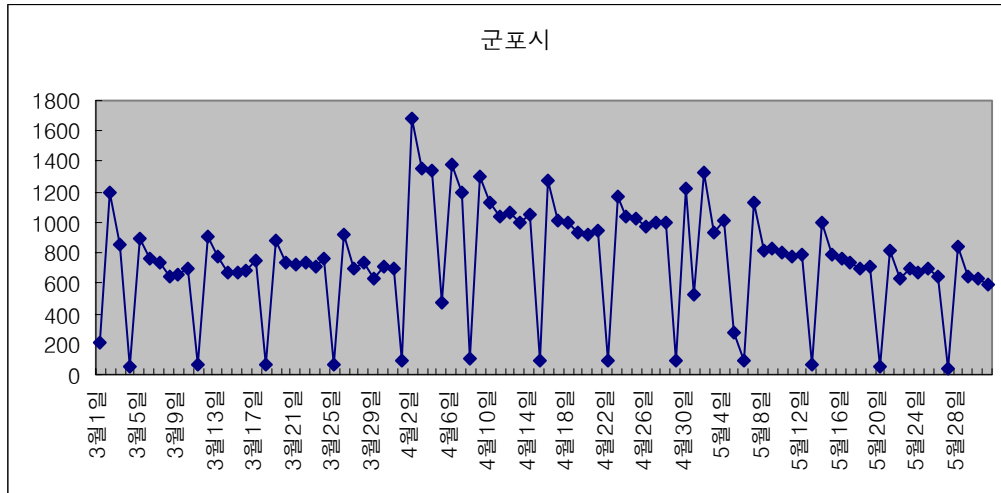
[부록 그림2-2] 계속



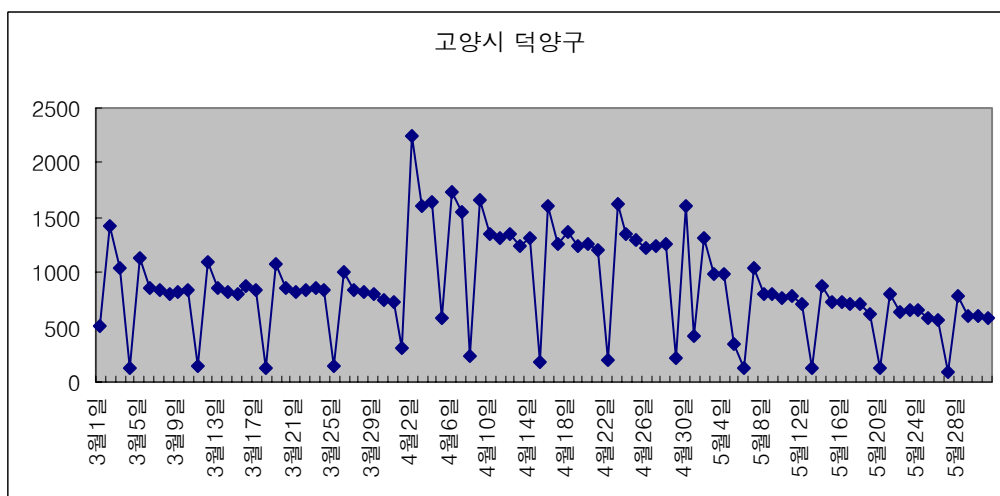
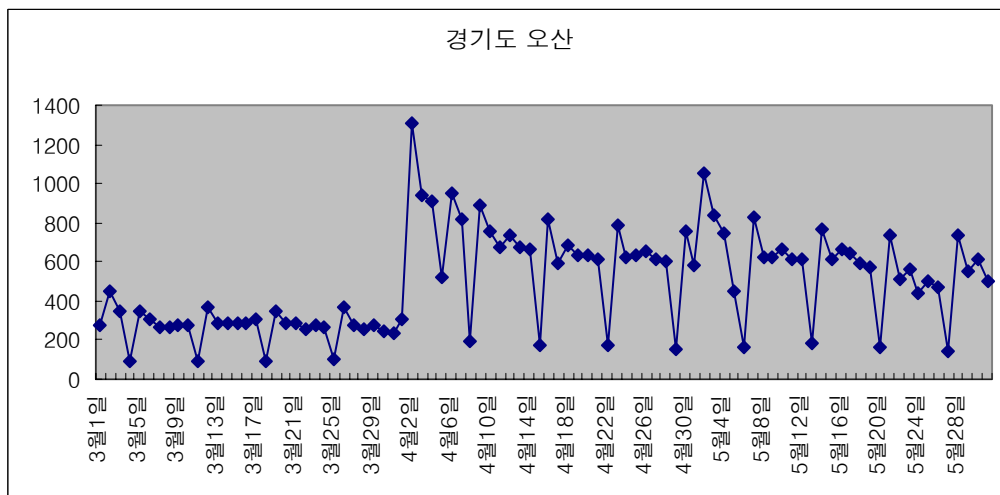
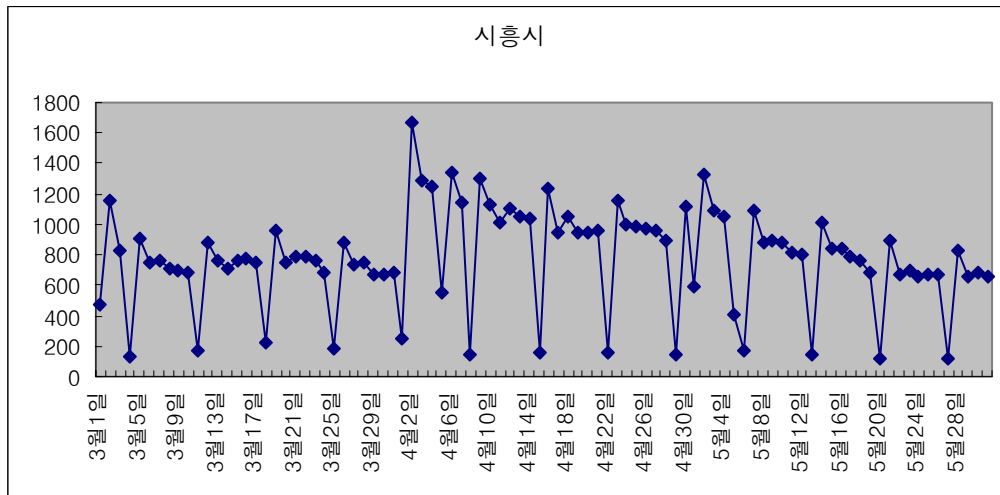
[부록 그림2-2] 계속



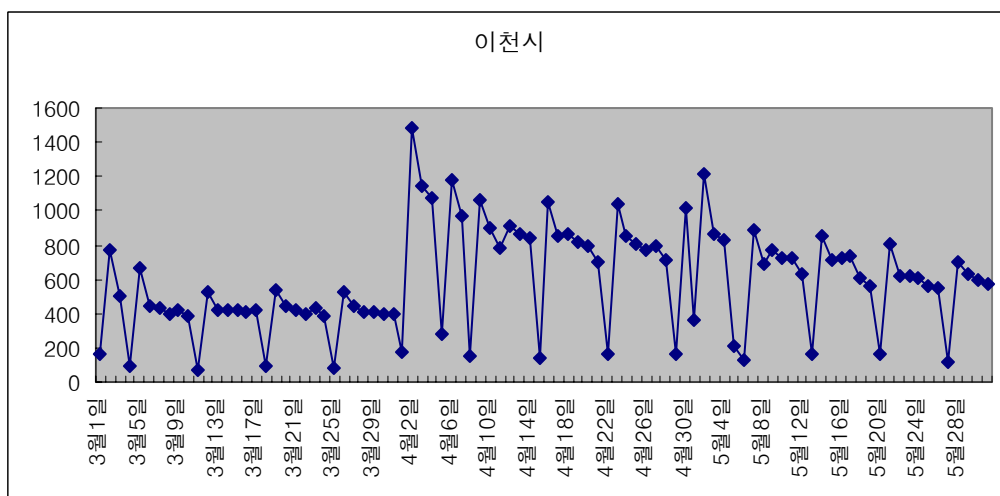
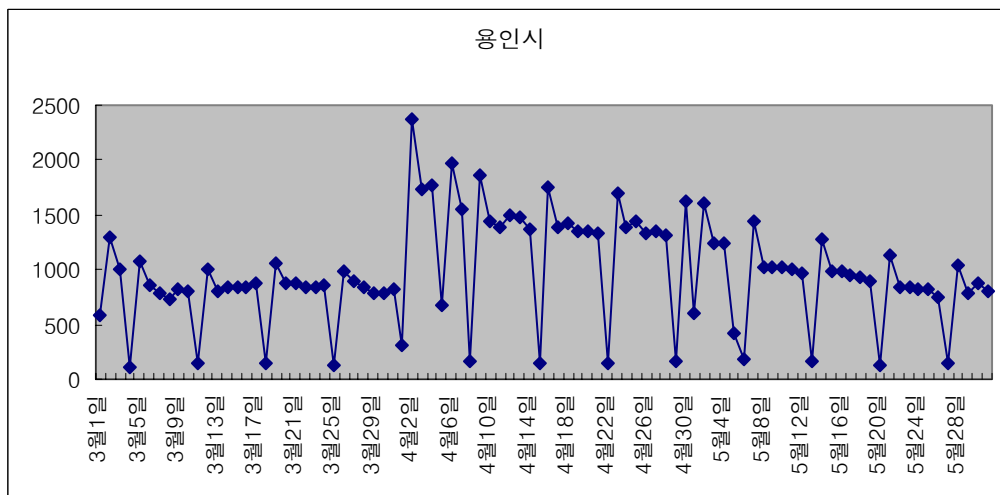
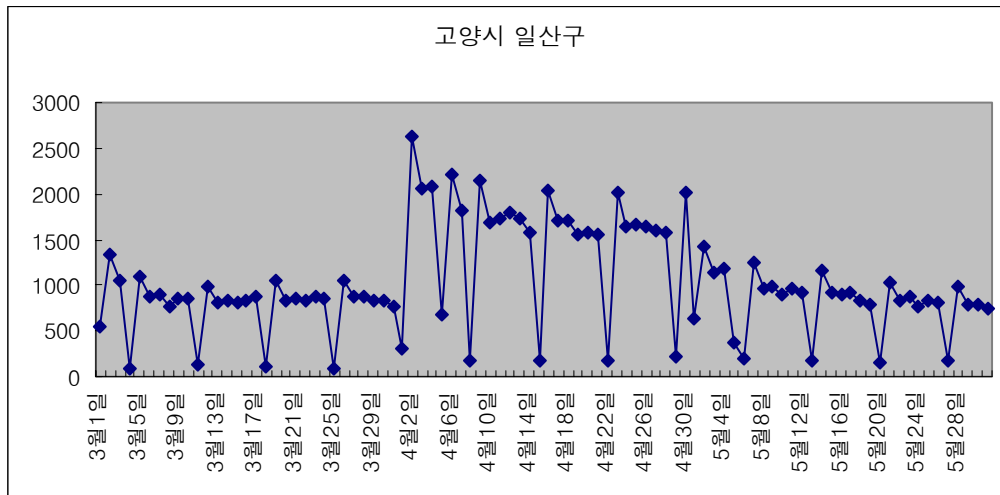
[부록 그림2-2] 계속



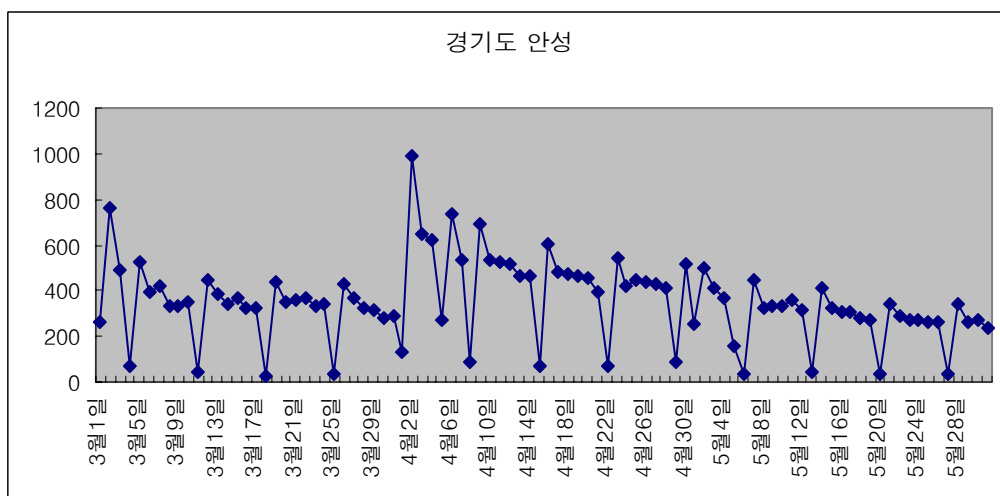
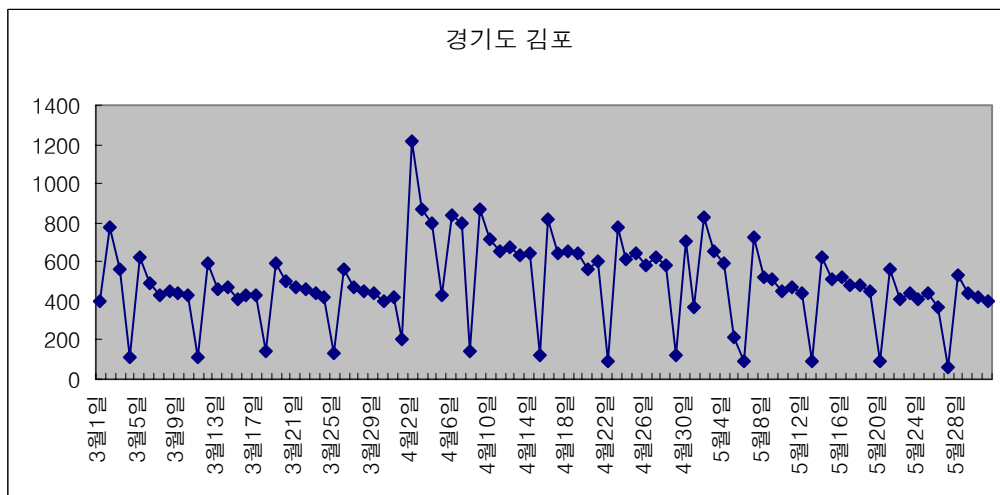
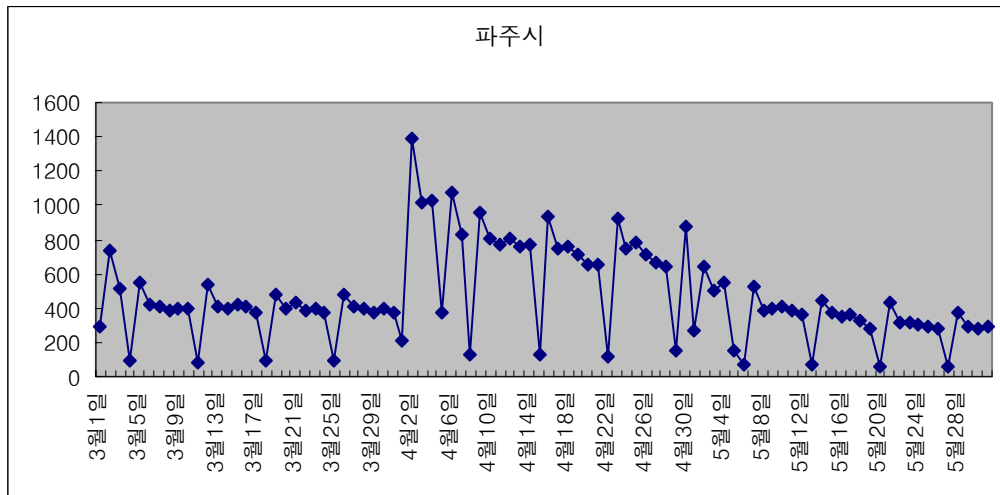
[부록 그림2-2] 계속

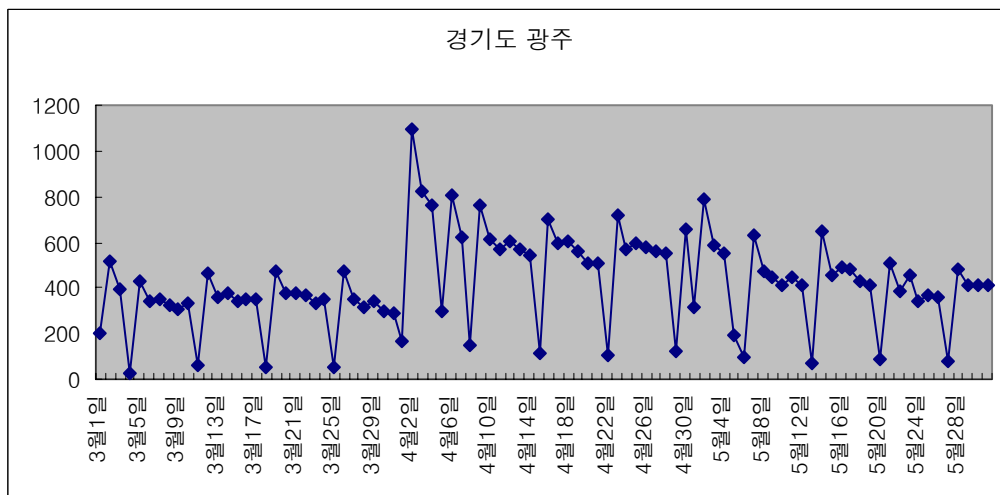
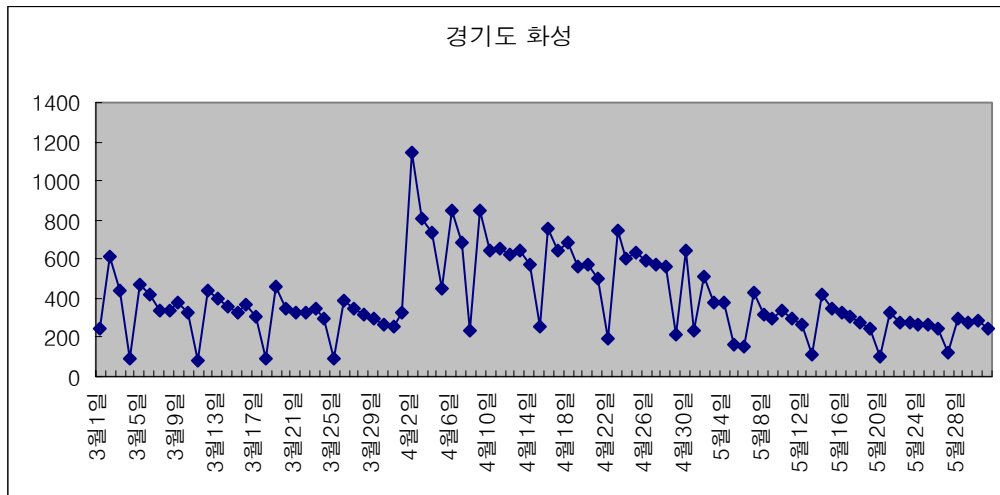


[부록 그림2-2] 계속



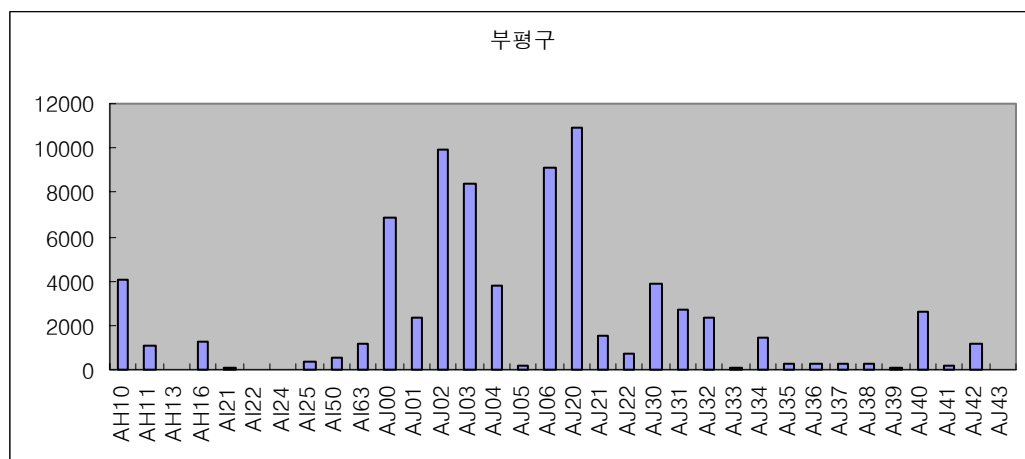
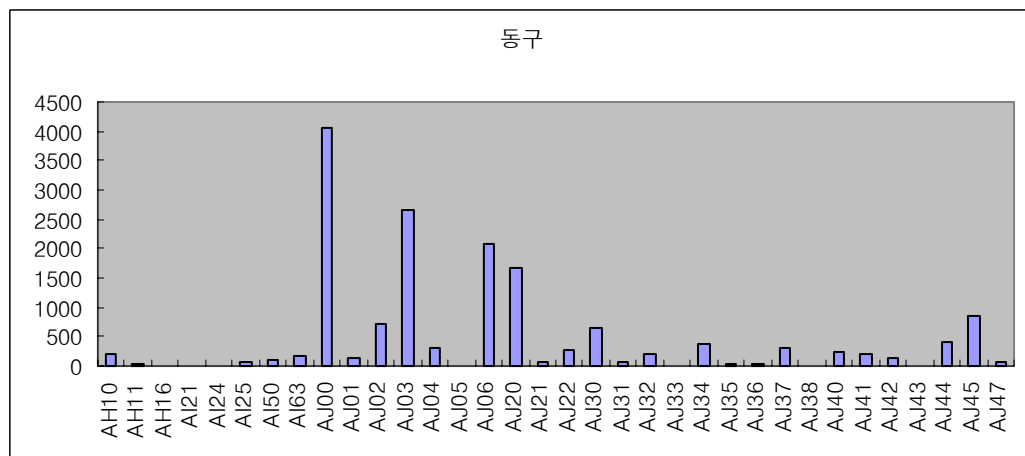
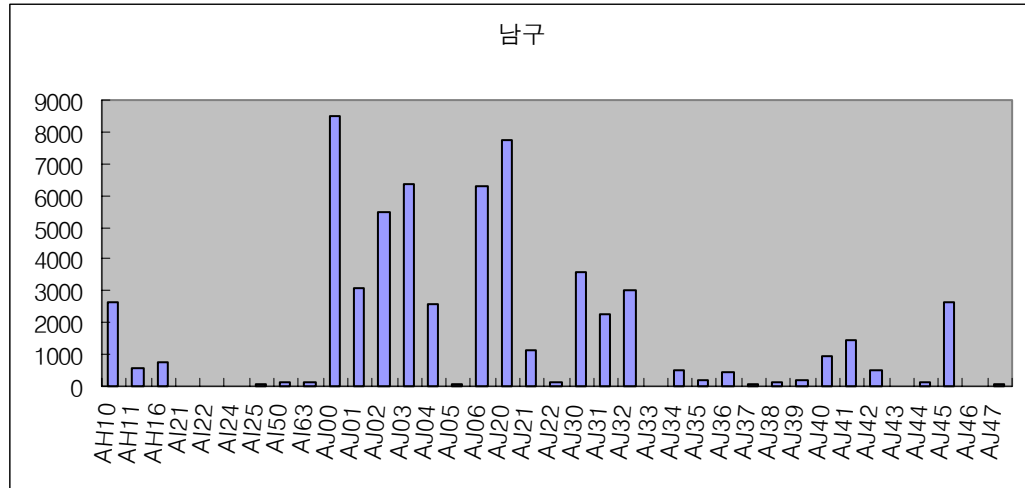
[부록 그림2-2] 계속



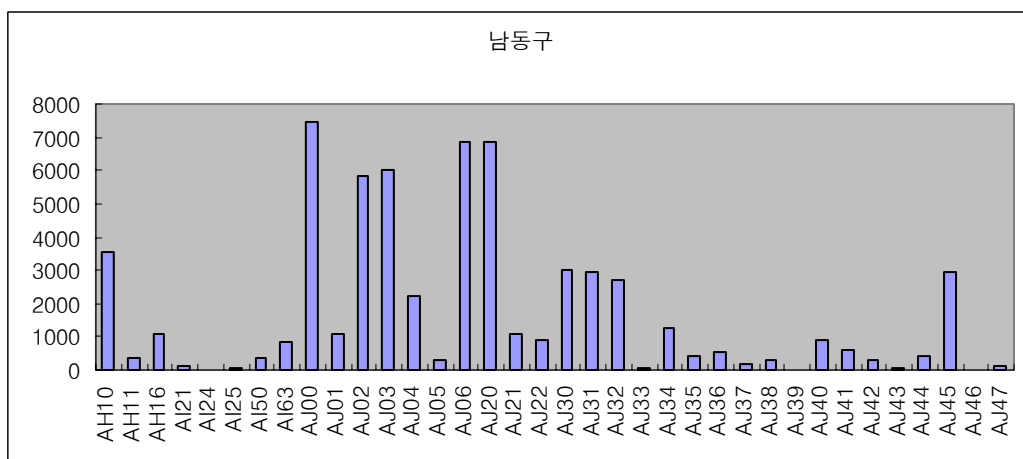
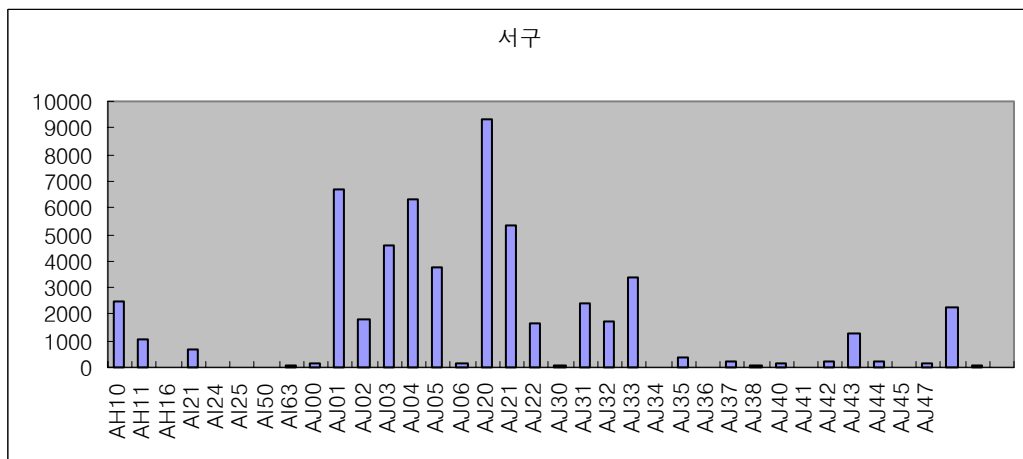
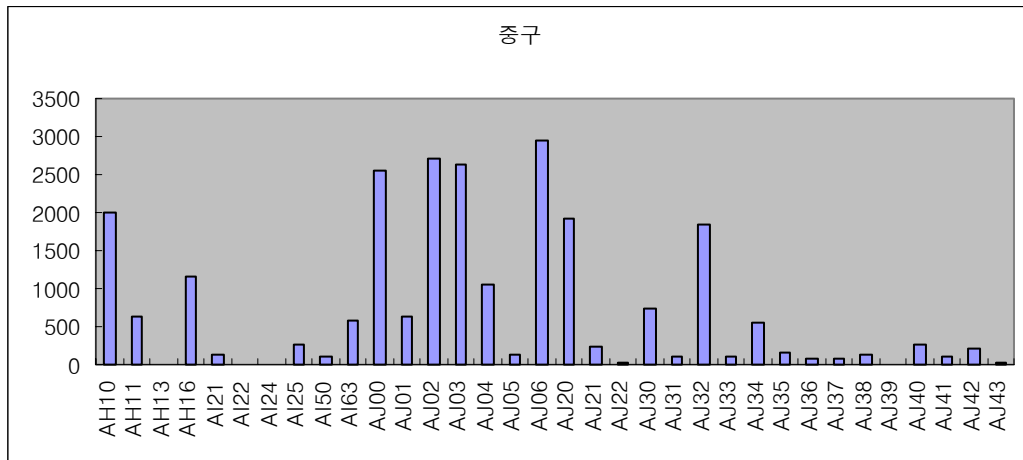


[부록 그림2-2] 끝.

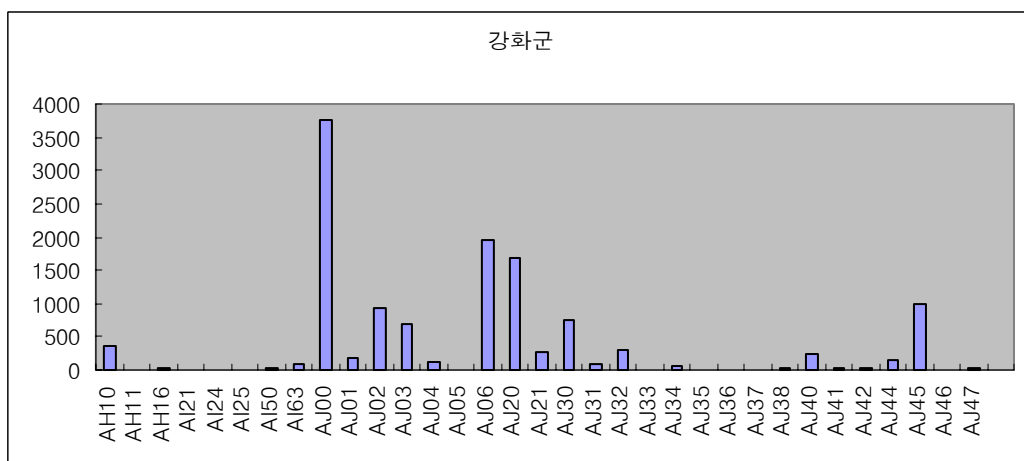
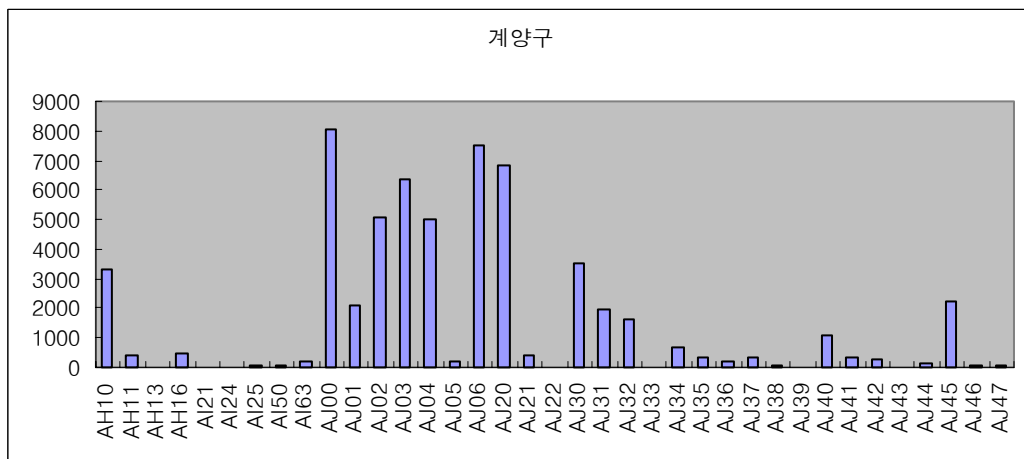
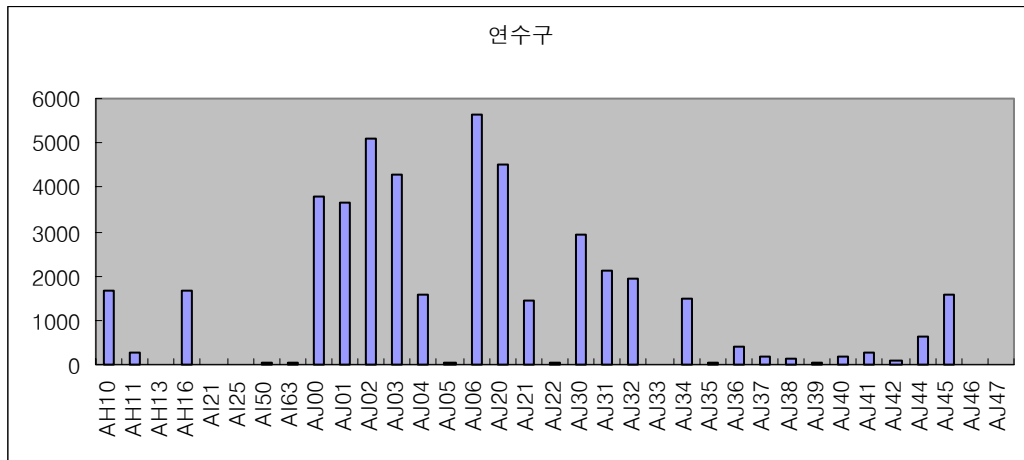
[부록 그림2-3] 인천 시군 상병기호별 발생건수(3월~5월)

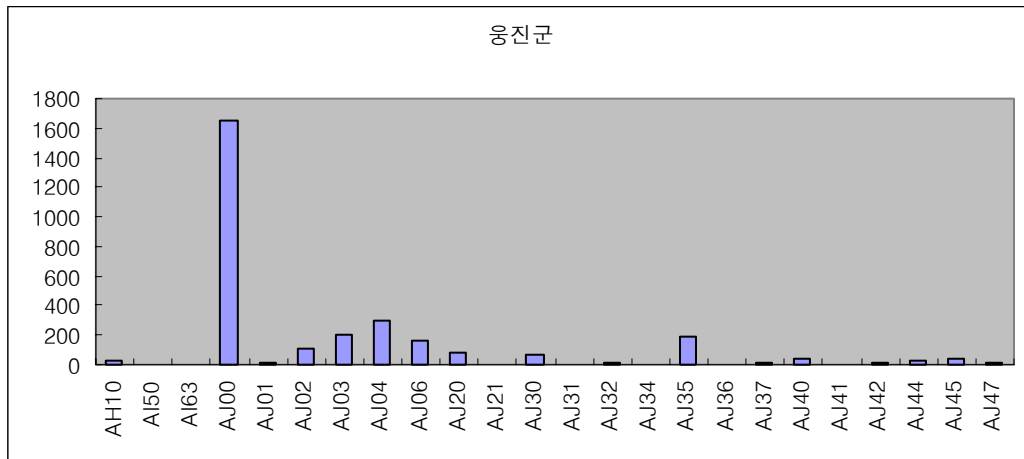


[부록 그림2-3] 계속



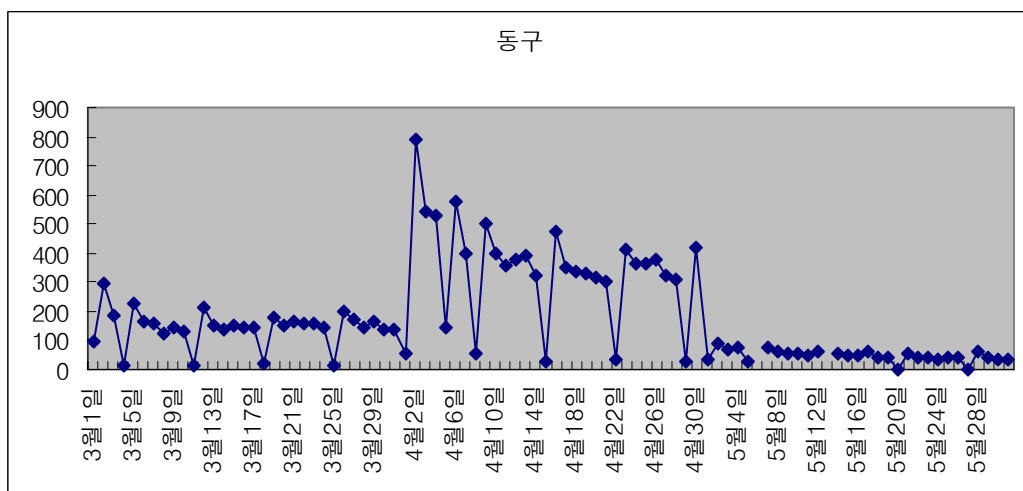
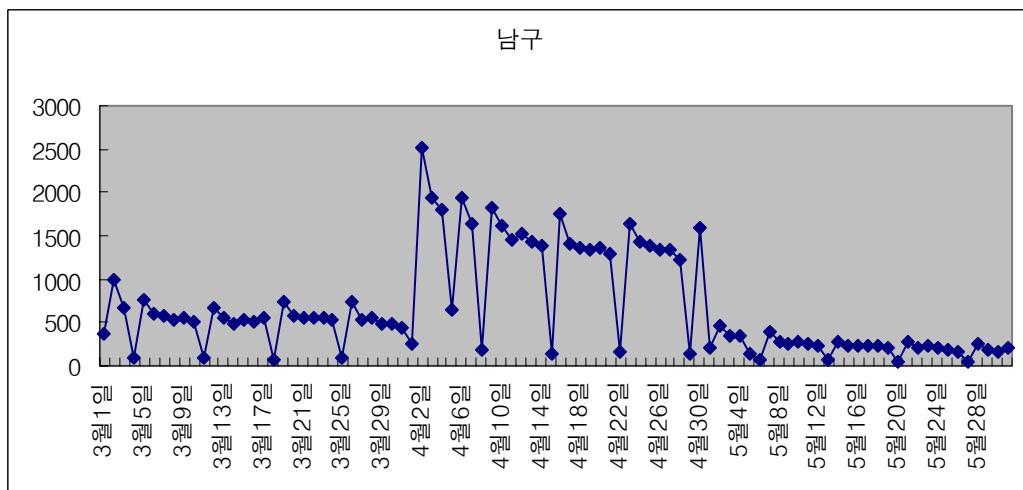
[부록 그림2-3] 계속



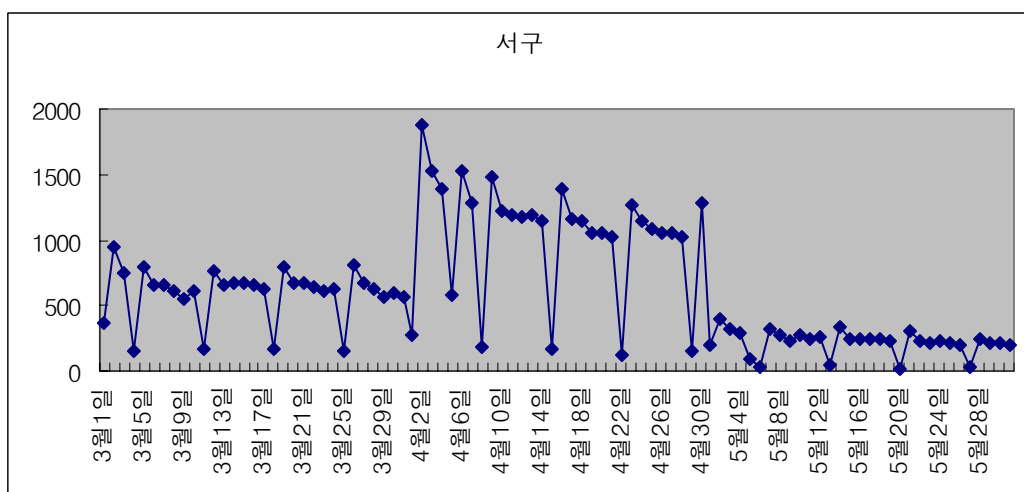
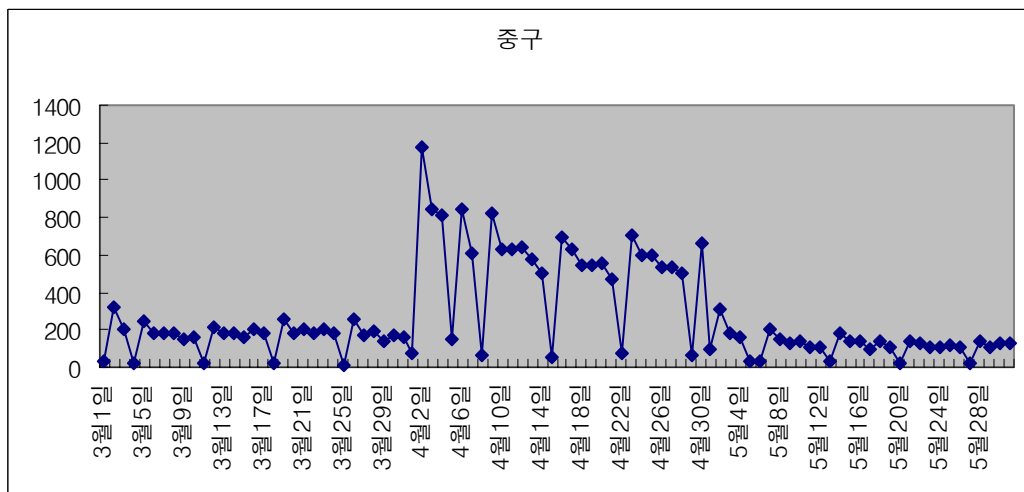
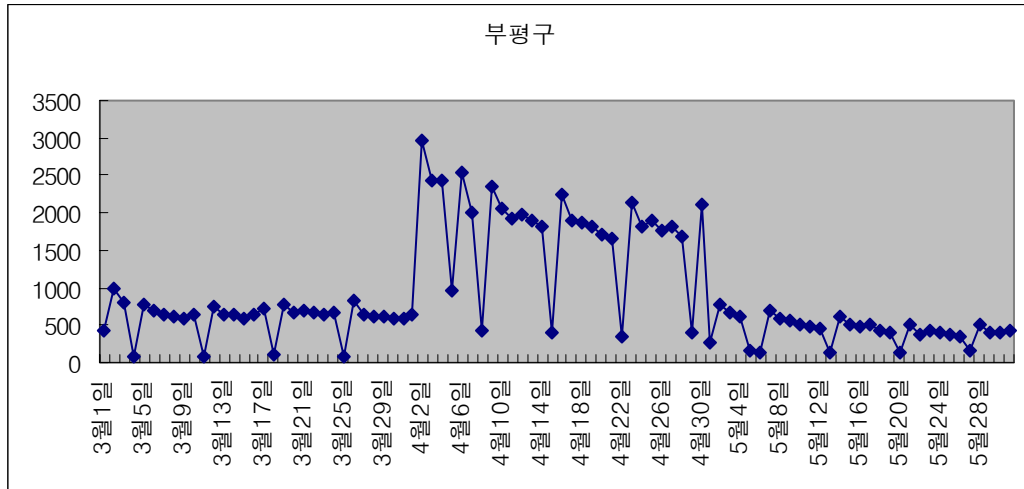


[부록 그림2-3] 끝.

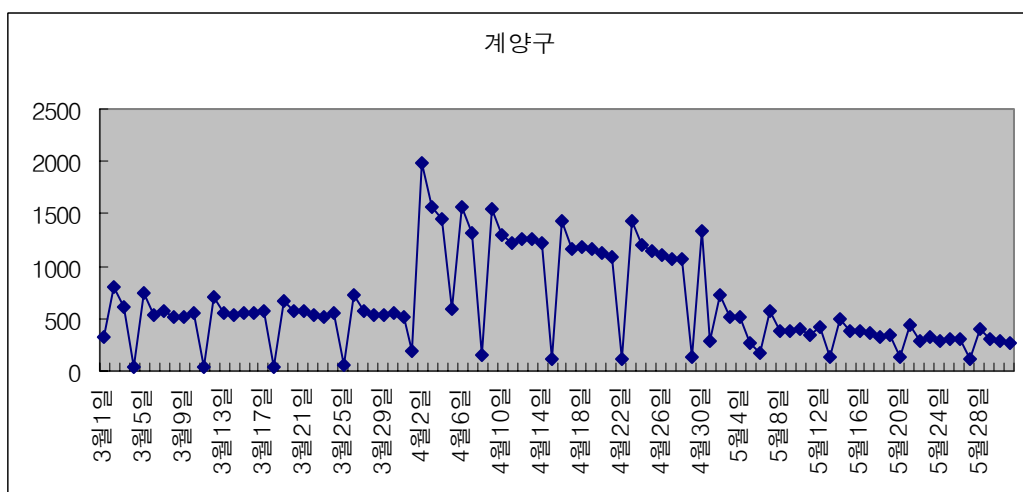
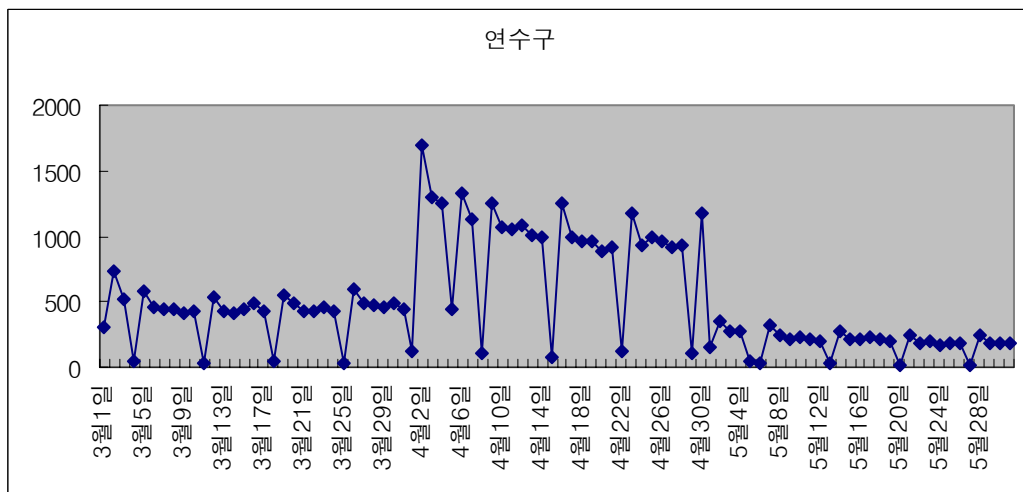
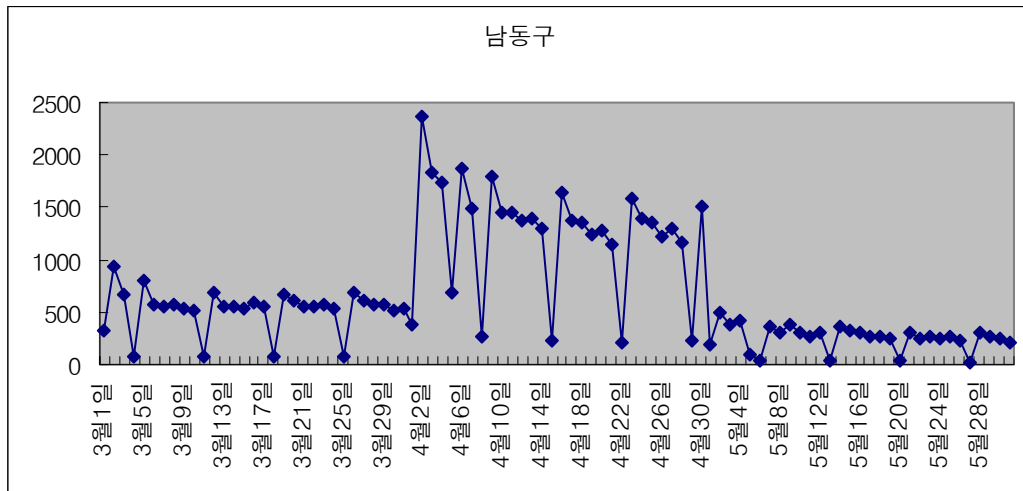
[부록 그림2-4] 인천 시군 일자별 환자발생건수(3월~5월)

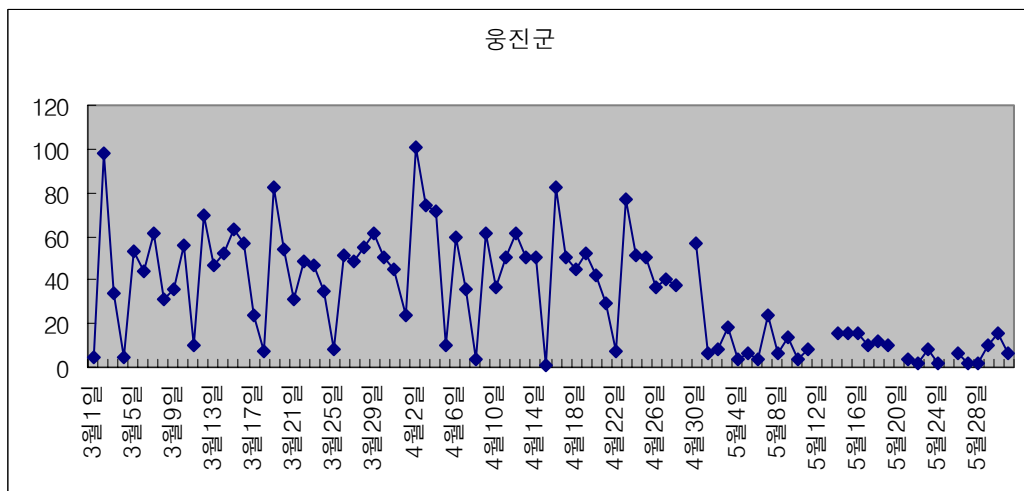
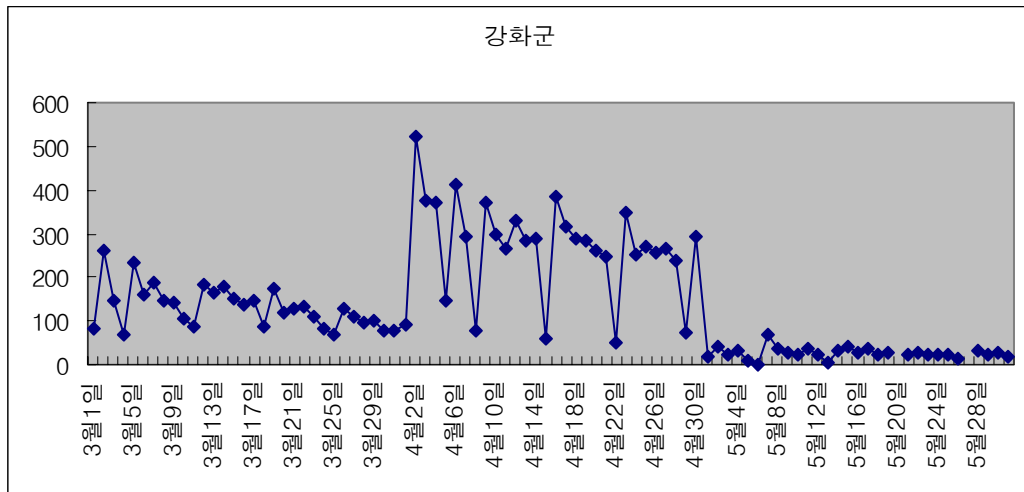


[부록 그림2-4] 계속



[부록 그림2-4] 계속





[부록 그림2-4] 끝.