

## 대기환경영향평가 현황 및 향후 과제

### A Status of Atmospheric Environmental Impact Assessment and Future Prospects

구윤서<sup>1),\*</sup> · 최대련<sup>1)</sup> · 김성태<sup>1),2)</sup> · 이범구<sup>1),2)</sup> · 유정민<sup>1)</sup>

이승훈<sup>1)</sup> · 정창용<sup>1),3)</sup> · 임정대<sup>1),4)</sup>

<sup>1)</sup>안양대학교 환경에너지공학과, <sup>2)</sup>(주)에니텍, <sup>3)</sup>(주)서영 엔지니어링, <sup>4)</sup>(주)경동 엔지니어링  
(2013년 9월 30일 접수, 2013년 10월 11일 수정, 2013년 10월 11일 채택)

Youn-Seo Koo<sup>1),\*</sup>, Dae-Ryun Choi<sup>1)</sup>, Sung-Tae Kim<sup>1),2)</sup>, Beom-Ku Lee<sup>1),2)</sup>,  
Jung-Min Yu<sup>1)</sup>, Seung-Hoon Lee<sup>1)</sup>, Chang-Yong Cheong<sup>1),3)</sup> and Jeong-Dae Lim<sup>1),4)</sup>

<sup>1)</sup>*Department of Environmental & Energy Engineering, Anyang University*

<sup>2)</sup>*Enitech Co. Ltd.*, <sup>3)</sup>*Seyeong Engineering Co. Ltd.*

<sup>4)</sup>*Kyongdong Engineering Co. Ltd.*

(Received 30 September 2013, revised 11 October 2013, accepted 11 October 2013)

### Abstract

The current status of atmospheric environmental impact assessment (EIA) has been summarized and future prospective for effective and accurate atmospheric EIA has been proposed by reviewing available papers and reports for the atmospheric EIA. The number of reports for the EIA in the EIA support system which is operated by the Korean Environmental Institute have been dramatically decreased from 282 reports in 2008 to 113 reports in 2012 during recent five years. This is partially due to simplification of the EIA procedure, the contraction of the public development and economic recession.

We analyzed details of the EIA report to review how actual atmospheric EIA has preformed according to the EIA guidelines from the Korean Ministry of Environment. The 264 reports of EIA published in 2011 and 2012 had been reviewed especially focusing on the atmospheric evaluation items such as meteorology, air quality measurement and modeling, odor measurement and modeling, wind corridor in urban planning, and climate change. In overall sense, the atmospheric EIA has been performed quite well by abiding the guidelines except for local meteorological data measurement, permit standard for air quality and wind corridor. The new approaches to improve the procedure of atmospheric EIA and to reflect future of national air quality standard of PM<sub>2.5</sub> have been proposed. The guidelines on how to evaluate the wind corridor, to implement atmospheric EIA for PM<sub>2.5</sub> permit, and how to acquire local meteorological data by combining local measurement and model prediction are required for the effective and future oriented atmospheric EIA.

**Key words** : Atmospheric environment, Impact assessment, Dispersion model, Air quality, Wind corridor, Permit

\*Corresponding author.

Tel : +82-(0)31-467-0893, E-mail : [koo@anyang.ac.kr](mailto:koo@anyang.ac.kr)

## 1. 서 론

사업의 시행으로 인하여 환경에 미치는 해로운 영향을 예측·분석하여 사전 예방적인 차원에서 환경용량을 고려한 지속가능한 개발을 위해서 1977년도부터 환경보전법에서 사전협의 방식으로 환경영향평가제도가 도입되었다. 1991년에는 환경정책기본법 제정으로 환경영향평가 사업이 대폭 확대되었고, 그 후에 여러 단계의 법률적 변화를 거치면서 최종적으로 2008년에 현재의 환경영향평가법이 제정되어 시행되고 있다. 현재 환경영향평가는 도시개발, 산업단지, 에너지 개발 등의 17개 사업 분야의 76개 개발 사업에 대해서 대기환경, 수질환경, 토지환경, 자연생태환경, 생활환경 및 사회경제 부문에 대해서 시행되고 있다.

대기환경에서는 기상, 대기, 악취 및 온실가스가 주요 평가 항목이다. 환경부는 그동안 환경영향평가에서 공정성과 효율성을 제고하기 위해서 다수의 지침서 및 보고서를 발행하였다. 사업유형별 평가서 작성을 위한 환경영향평가서 작성 가이드라인(Ministry of Environment, 2009a)에서 기상, 대기 및 악취의 평가 항목별로 평가를 수행하고, 보고서를 작성하는 방법이 자세히 기술되어 있다. 온실가스는 별도로 온실가스 항목 환경영향평가지침(Ministry of Environment, 2013a)에 의해서 평가가 시행되고 있다. 환경영향예측모델 활용지침 마련을 위한 연구(Ministry of Environment, 2007b)에서는 대기환경영향평가에서 예측모델의 적용현황, 적용 시 문제점 및 개선방안을 제시하였고, 환경영향예측모델 사용안내서(Ministry of Environment, 2009b)에서는 대기환경영향평가서 작성 시 사용하는 예측모델의 정확도를 향상시키기 위한 사업 유형 및 지역 특성에 맞는 모델 선정 및 운용 방법에 대해서 자세히 제시하고 있다. 또한 환경영향평가 시 대기확산모델 적용에 관한 연구(Moon *et al.*, 2006)에서는 기존에 시행된 환경영향평가에서 대기확산모델 사용 현황을 파악하고 개선방안을 제시하여 대기환경영향 평가에서 매우 중요한 사항인 모델링의 신뢰성을 확보하기 위한 노력을 하였다.

본 기고에서는 현재 국내에서 시행되고 있는 대기환경영향평가에 대해서 기존에 환경부 및 KEI(Korea Environment Institute)에서 제시한 방법을 준용하여

실제 평가가 시행되고 있는지에 대해서 기 제출된 환경영향평가보고서를 중심으로 대기환경영향평가의 현황을 점검하고, 향후 보다 선진화된 대기환경평가를 위한 방향을 제시하고자 한다.

## 2. 대기환경영향 평가 지침 요약

앞에서 언급된 환경부 지침서 및 보고서 등을 활용하여 현재 대기환경영향평가 지침을 항목별로 요약 정리하면 다음과 같다.

### 2.1 기상

기상 항목은 사업의 시행으로 인한 기상의 변화 정도를 예측하고 이를 저감하기 위한 대책을 수립하기 위하여 필요한 항목이고, 또한 대기질 및 악취의 영향을 정량적으로 예측하는 데 필요한 모델링의 입력 자료로 활용된다. 세부 항목은 기온, 풍향, 풍속, 습도, 강수량, 일사량, 적설량, 운량, 대기안정도, 및 대기 혼합고(상층기상을 측정할 경우)를 측정, 분석 및 평가한다. 최근 10년간 기존 자료에 대한 조사를 실시하되, 기존 조사자료가 사업지역의 기상현황 등을 충분히 반영하지 못할 경우, 또는 산업단지, 발전소, 소각장 등과 같은 대규모 점오염원과 같이 기상조건에 따른 대기오염물질의 영향 변화가 큰 사업의 경우에는 1년간 현지 기상조사를 병행한다. 기존자료는 사업지구 인근에 위치한 기상관측소, AWS(Automatic Weather System), 사업지구 인근 지역에서 기 협의한 환경영향평가서 내 기상측정 자료 등의 최근 기상자료를 의미한다. 현지조사에 의한 부지기상은 AWS를 사용하여 최소 1년간 부지기상을 측정하고, 고층기상은 계절별 최소 5일 이상, 일 4회 이상 상층기상을 측정하고 혼합고를 산정한다.

사업시행으로 인한 기상의 변화가 예상되는 사업의 경우 예측항목은 국지기상 변화, 그리고 지역적 변화가 발생하는 지역의 기상특성 변화, 그리고 사업시행으로 인한 토지이용 변화에 따른 기상특성 변동량을 예측한다.

### 2.2 대기질

사업의 시행으로 인한 영향을 최소화하기 위한 대책을 수립하기 위해서 대기질을 측정하고 예측한다.

대상항목은 사업의 종류, 규모 및 지역의 환경적 특성을 고려하여 대기질에 미치는 영향을 적절히 파악할 수 있도록 영향예상지역에서 기준대기오염물질의 현황 농도를 중심으로 조사하고, 국가 및 지역 환경기준 준수여부, 상위 대기개선대책 등을 고려하여 현황을 분석한다. 대기환경기준 항목 이외에도 사업특성에 따라 기타 오염물질의 농도를 조사할 필요가 있을 경우에는 필요한 항목을 선택하여 조사한다. 사업의 시행으로 인해 대기질 농도가 변화될 것으로 예상되는 범위를 포함하는 지역을 대상으로 조사하고, 시간적 범위는 대기질의 계절적 특성 변화를 파악할 수 있도록 조사한다. 대기질 현황 조사는 사업지구 인근 지역에서 운영 중인 대기오염자동측정망 자료나 기 협의된 환경영향평가서 내 대기질 현황농도 측정 자료, 기타 연구논문 또는 보고서 등에 수록된 기존 자료 조사와 현지조사를 병행한다. 현지조사는 일반적으로 최소 2계절 이상, 계절별 3일 이상 조사를 원칙으로 하되 사업의 특성, 규모, 위치 등을 고려하여 조정할 수 있다. 단, 발전소, 소각장, 매립장과 대기오염물질 배출업종이 집중된 산업단지 등은 최소 4계절, 계절별 7일 이상, 매시간별로 측정하는 것이 바람직하다.

대기질 예측항목은 현황조사 항목과 사업시행으로 인하여 대기질에 영향을 미칠 것으로 예상되는 물질로 한다. 공사 시와 운영 시에 발생할 수 있는 대기오염물질의 발생량을 산정하여 적정 모델을 활용한 대기확산모델링을 수행하고 사업지구 내·외 예상시설 및 지역 등에 미치는 영향을 정량적으로 산출한다. 대기질 영향예측 시 적용하는 확산모델은 대규모 점오염원 개발사업인 경우는 라그랑지안 모델인 CALPUFF 등을 사용하고, 대기질 항목이 주요 항목으로 설정되는 개발사업인 경우는 가우시안플럼 모델인 AERMOD 등을 사용하며, VOC 등이 주요 배출원인 개발 사업은 오일러리안 모델인 CMAQ, CAMx 등을 적용하고, 그 외 사업은 ISCST3 등을 적용하여 예측한다. 예측결과는 현황치를 배경농도로 하고 대상사업의 실시예 따른 기여도를 가산하는 방법을 사용하고 대기오염물질별로 최대착지지점 및 농도, 평가기준(환경기준 등)의 기준시간(연간, 24시간, 8시간, 1시간)의 예측농도를 표로 작성하여 평가기준과 비교·기술한다. 예측결과를 바탕으로 국가(지역)환경기준과의 비교, 현황농도 대비 증가 비율(%) 등을

검토하여 사업시행으로 인한 대기질 영향을 평가한다. 평가결과를 토대로 사업으로 인한 대기질 영향을 최소화하기 위한 저감 방안을 구체적으로 수립 제시하고, 저감방안에 따른 대기질에 미치는 영향을 평가한다.

### 2.3 악취

악취는 대표적인 감각공해의 일종으로서 대기 중에 나쁜 냄새를 가지는 물질들이 포함되어 있어 사람들의 후각에 불쾌감이나 짜증을 불러일으키며 나아가 사람들의 건강에도 좋지 않은 영향을 미친다. 또한 악취는 그 지역에 대한 인식을 나쁘게 해 지가 하락의 한 원인으로도 작용하여 민원의 대상으로도 작용한다. 환경영향평가대상사업 중 산업단지 조성이나 폐기물처리시설 설치, 하수처리장 건설 등이 대표적인 악취유발사업으로 볼 수 있다. 환경영향평가에서 악취 항목은 악취 영향을 야기할 수 있는 사업으로부터 발생하는 악취 영향 정도를 예측하고 이를 최소화하기 위한 대책을 수립한다. 사업지구 내·외 지역에 위치하고 있는 악취배출시설을 확인하고, 악취배출시설이 있을 경우 악취발생원, 악취물질, 악취강도(희석배수) 등을 조사한다.

악취 영향은 당해 사업 자체가 악취를 유발하여 주변지역에 피해를 입히는 경우와 당해 사업자체는 악취를 발생하지 않지만 기존의 주변시설물에서 배출되는 악취로 인한 영향을 받을 수 있는 경우가 있다. 악취 현황조사는 이 중 두 번째 경우에 주로 해당되며 첫 번째 경우는 기존 시설의 확장 등의 경우에 한하여 적용한다. 사업지구 인근에 악취유발시설이 없는 경우에는 악취가 없음을 간략히 서술한다. 조사범위는 대상사업의 시행으로 인한 악취농도가 변화될 것으로 예상되는 범위를 포함하는 지역으로서 기상, 지형, 기존 발생원, 주택 밀집도, 토지이용 실태 등을 고려하여 설정한다. 조사지점별로 조사된 악취현황을 기술하고 표 등을 이용하여 정리한다. 영향예측은 당해 사업의 시행으로 인하여 발생하는 악취물질농도 또는 복합악취농도 등으로 한다. 기존의 악취배출시설의 악취가 당해 사업에 미치는 영향도 포함한다. 예측범위는 사업지구내·외 지역의 지형적 현황 등을 고려하여 악취물질이 확산될 수 있는 범위로 한다. 시간적 범위는 운영 시로 하고 악취발생량이 최고가 되는 시점을 포함한다. 영향예측은 대상사업 운

영 시 발생할 수 있는 악취물질의 종류와 발생량을 산정하여 적정 모델을 활용한 확산모델링을 수행하여 사업지구 내 · 외 주거지역, 학교, 어린이집 등에 미치는 영향을 정량적으로 산출한다. 예측결과를 바탕으로 배출허용기준과의 비교 등을 검토하여 사업시행으로 인한 악취영향을 평가한다. 평가결과를 토대로 사업으로 인한 악취영향을 최소화하기 위한 방안을 구체적으로 수립 제시하고 저감방안 수립 후 사업으로 인해 악취에 미치는 영향을 평가한다. 사후환경영향조사는 악취 저감대책의 적정 시행여부를 확인하고 필요시 추가적인 대책을 수립할 수 있도록 조사 계획을 수립한다.

## 2.4 바람길

도시의 개발 대상사업 (택지개발이나 신도시 건설)의 경우에 사업시행으로 인한 토지이용 변화에 따른 기상특성변화 및 바람길 확보 방안 등을 평가해서 검토하는 경우가 있으나 이에 대한 구체적인 평가지침은 아직까지 제시되지 않고 있으며, 이와 관련한 연구논문 (Korea Environment Institute, 2006)만 있는 실정이다.

## 2.5 온실가스

환경영향평가에서 온실가스 항목은 2008년에 환경영향평가법 시행령이 개정되면서 검토항목이 추가되었으며, 2010년부터 시행되었다. 기본원칙은 사업의 시행으로 인한 온실가스 배출 영향을 평가하고, 이를 최소화할 수 있는 방안을 수립하는 것으로 배출량, 감축목표, 저감방안에 따른 감축효과를 등을 제시한다.

현황조사는 사업지구내 온실가스의 배출원 현황 및 배출량을 분석 · 제시, 산림 및 녹지 등 사업지구내 온실가스 흡수원 및 흡수량을 분석 · 제시, 온실가스 저감 관련법령 및 관할지자체의 온실가스 감축목표 설정 유무 등을 파악한다.

온실가스 배출영향 예측은 공사 시와 운영 시로 구분하여 제시하되, 운영 시는 사후환경영향조사 완료 시점까지의 배출량을 예측 제시한다. 예측방법은 지자체 온실가스 배출량 산정지침 (Korea Environment Corporation, 2010), IPCC 가이드라인 또는 국가 고유 배출계수, 유사사례에서 제시된 방법론 등을 활용하여 산정하며, 예측에 사용된 자료는 그 출처를 구체

적으로 제시한다.

온실가스 저감목표의 설정은 사업특성별 저감 잠재량을 등을 고려하여 사업자가 자율적으로 설정하되, 국가 또는 지자체 온실가스 감축목표 등과의 연계성을 고려하여 설정한다. 설정된 저감목표 달성을 위하여 녹지확충, 자원순환, 에너지사용 저감 및 효율향상 등의 저감대책을 수립하되, 둘 이상의 대안을 설정하여 과학적 · 객관적으로 분석하여 최종안을 선정한다.

사후관리계획 수립에는 저감대책 이해여부 점검계획, 저감효과 모니터링 방법 등을 제시하고, 당초 설정된 저감목표의 달성이 어려운 경우에 대비한 조치 계획을 반영하여 제시한다.

## 3. 대기환경영향 평가 현황 분석

환경영향평가 정보처리시스템 (<http://www.eiass.go.kr>)에서 최근 5년간 수행되어 정부에 의해서 협의가 마무리된 분야별 사업건수를 정리하여 그림 1에 나타내었다. 산업단지개발이 총 264건으로 가장 높은 비중을 차지하고 있고, 체육시설 건설 146건, 도로 건설 144건, 도시계획이 133건 순으로 높게 나타났다. 연도별로 2009년도에 309건으로 최대 평가 합의가 진행되었으나, 2012년도는 113건으로 급격히 감소하고 있다. 이와 같이 영향평가 협의수가 감소하는 것은 전반적으로 공공 개발사업 축소와 평가의 간략화에 기인하는 것으로 판단된다.

환경영향평가가 수행된 사업을 분야별로 정리하고, 환경영향평가 정보처리시스템에서 평가서가 공개되어 열람이 가능한 사업을 대상으로 대기환경영향평가에서 중요 항목인 기상, 대기질 측정 및 모델링을 중심으로 현황을 분석하였다. 평가보고서를 검토하는 데 많은 시간이 필요하기 때문에 평가사업 중에서 자료 조사에 대기환경평가가 중요한 도시계획, 산업단지개발, 에너지개발, 도로건설 및 폐기물처리 시설건설 등을 중심으로 기상 및 대기질 측정, 대기 모델링, 악취, 온실가스, 바람길 등의 평가 항목에 대해서 중점 검토하였다.

### 3.1 부지 기상

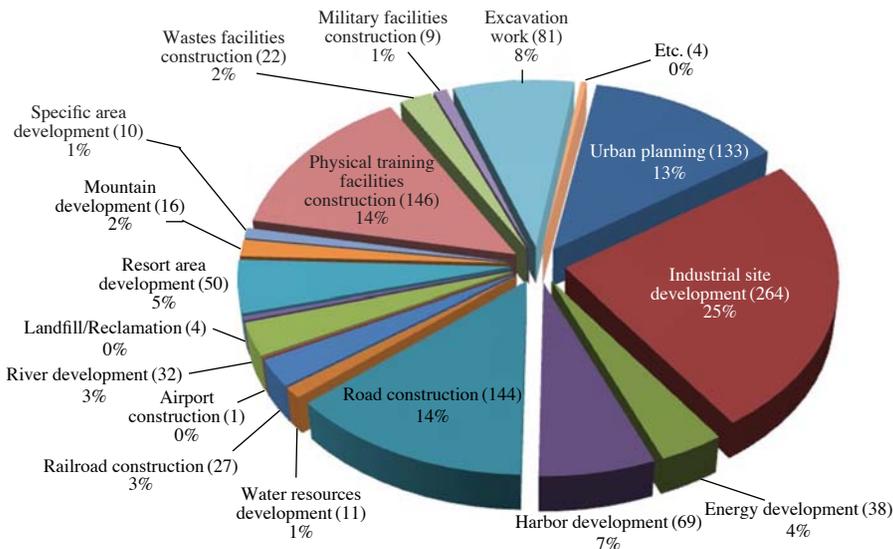
사업시행에 의한 기상 변화 및 대기환경을 예측하

**Table 1. Statistics on the number of fields of EIA's reports approved by the government from 2008 to 2012.**

Field	Year					Sum
	2008	2009	2010	2011	2012	
Urban planning	31	48	33	9	12	133
Industrial site development	55	79	72	27	31	264
Energy development	11	8	3	7	9	38
Harbor development	18	14	17	7	13	69
Road construction	47	42	23	22	10	144
Water resources development	0	2	1	7	1	11
Railroad construction	4	10	6	6	1	27
Airport construction	0	1	0	0	0	1
River development	1	13	9	6	3	32
Landfill/Reclamation	1	1	1	1	0	4
Resort area development	17	12	9	4	8	50
Mountain development	6	2	2	2	4	16
Specific area development	5	2	3	0	0	10
Physical training facilities construction	49	44	32	12	9	146
Wastes facilities construction	8	5	5	2	2	22
Military facilities construction	5	2	1	1	0	9
Excavation work	24	18	19	10	10	81
Etc.	0	0	2	2	0	4
Yearly sum	282	303	238	125	113	1061

는데 있어서 기상 항목은 매우 중요한 항목이고, 기상의 변동성에 의해서 확률적 유의성을 확보하기 위해서 최근 10년간 기존 자료를 분석하고, 대규모 사업인 경우에는 AWS를 활용하여 1년간 현지 기상조사를 실시하는 것이 지침이다. 실제 대상 사업별로 기상측정에 대해서 표 2에 정리하였다.

도시계획에서는 지표 및 고층기상 측정이 전혀 이루어지지 않고, 도로 건설에서는 제한적으로 측정이 이루어지고 있다. 산업단지개발에서는 지표기상은 약 50% 정도가 3개월 이상 측정하고 있으나, 고층기상은 45건 중에서 5건에 대해서만 측정하고 있다. 한편 발전소 등의 에너지 개발과 소각장 등의 폐기물처리 시설 건설에서는 거의 모든 경우에 지표 및 고층기상을 측정하고 있다. 그러나 총 평가 107건 중에서 지표기상을 12개월, 그리고 고층기상은 4개월 이상 측정하는 경우는 7건으로 매우 제한적임을 알 수 있다. 기상이 대기평가에서 매우 중요한 인자임에도 불구하고 부지 기상관측자료 확보율 낮은 것은 앞으로 개선해야 할 사항이다. 국내에서 지형이 복잡하고, 수역과 인접한 지역이 많기 때문에 기상청에서 운영하고 있는 기상관측자료가 모든 부지의 기상을 대표할 수 없기 때문에 사업부지에서 기상관측이 필요한 경우가 다수 발생한다. 그러나 부지기상을 관측에 의해서 모두 확보하는 것은 비용과 시간상의 문제가 될



**Fig. 1. Statistics on field percentage of EIA's reports approved by the government from 2008 to 2012.**

**Table 2. Statistics on the number of surface and upper air measurements in major atmospheric EIA reported from 2011 to 2012.**

	Total number of EIA	Surface weather measurement				Upper air measurement			
		No measurement	Less than 3 month	4~11 months	More than 1 year	No measurement	Less than 1 time	2~3 times	More than 4 times
Urban planning	17	17	0	0	0	10	1	6	10
Industrial site development	46	20	11	14	1	8	2	31	13
Energy development	15	3	0	3	9	12	0	1	14
Road construction	26	25	0	1	0	7	2	12	12
Waste facilities construction	3	0	0	0	3	2	0	0	3
Total	107	65	11	18	13	39	5	50	52

**Table 3. Statistics on the number of air quality measurements in major atmospheric EIA reported from 2011 to 2012.**

	No measurement	Less than 1 time	2~3 times	More than 4 times	Total number of EIA
Urban planning	10	1	6	10	17
Industrial site development	8	2	31	13	46
Energy development	12	0	1	14	15
Road construction	7	2	12	12	26
Waste facilities construction	2	0	0	3	3
Total	39	5	50	52	107

수 있기 때문에 부지기상자료를 보다 효율적으로 확보하기 위한 방안 모색이 필요하다. 부지기상자료를 기상모델링에 의해서 확보하는 방법에 대해서는 4장에서 보다 자세히 기술하였다.

### 3.2 대기질 측정 자료

사업 부지의 대기현황을 파악하기 위해서는 대상 지역의 특성을 반영한 대기질을 측정해야 한다. 대기질 현황조사는 기존 자료 조사와 현지조사를 병행하되, 현지조사는 사업 규모 및 특성에 따라서 조정할 수 있다. 대기오염물질 배출사업인 경우에는 최소 4 계절, 계절별 7일 이상, 매시간별로 측정하는 것이 환경부 지침이다. 사업부지에서 대기질을 측정하거나 인근 대기측정망 자료를 통상 활용하고 있다. 총 평가 107건 중에서 주변 측정망자료만 사용한 경우가 39건, 그리고 4계절을 측정한 경우가 52건으로 조사되었다. 사업부지 대기질을 확보하는 경우가 약 50%이고, 대부분의 사업에서 인근 측정망자료와 부지 측정자료를 병행하여 배경농도를 산정하는 것으로 파

악되었다.

### 3.3 대기확산모델링

대기질 평가에서 가장 중요한 항목이 대기확산모델링에 의한 사업시행 시 공사 및 운영에 따른 장래 대기질 예측이다. 대기확산모델링의 불확실성에도 불구하고 대기확산모델은 실측을 대신하여 사업에 따른 대기질에 미치는 영향을 상세히 예측 평가할 수 있기 때문에 대기환경영향평가에서 매우 중요한 도구이다. 시대에 따라서 확산이론이 과학적으로 진보된 결과를 반영하면서 모델링 방법이 개선되면서 발전해 왔다.

국내 대기환경영향 평가 초반기인 1990년대는 단기모델을 위주로 설명하면 그림 2에 나타낸 바와 같이 TEM (Texas Episode Model)이 65% 이상 적용되었다. 환경부 환경영향예측모델 활용지침 마련을 위한 연구 (Ministry of Environment, 2009b)에 의하면 “2000년대 이후 17개 분야 189개의 환경영향평가서”에 대해 공사 시 및 운영 시 대기예측모델을 적용한

진수를 분석한 결과(그림 3), 공사 시에는 ISCST3 모델이 주로 사용(86.5%)되고, 기타 PLUME Eq., TEM-8, PEM-2, VALLEY, ISCST2, SCREEN2, AIR MASTER, ISCLT3가 일부 사용되고 있다. 운영 시에는 점·면사업인 경우 ISCST3 모델 49.3%, 도로건설인 경우 CALINE3가 주로 사용(21.8%)되고 기타 KDM, TCM-2, ISCLT2, ISCLT3, KSCREEN, SCREEN3, CALINE4, C-E Model, HIWAY-2, CMAQ이 일부 사용되고 있다. 결과적으로 2000년대 초중반에는 주로 ISC3 모델이 사용되었다.

한편, 최근 대기환경영향평가에서 모델링에 의한 평가가 중요한 사업을 중심으로 모델 적용 현황을 조사한 결과를 운영 시와 공사 시로 구분하여 표 4에 정리하였다. 주로 적용되고 있는 모델링 AERMOD이고, 일부 대기 배출량과 영향권이 큰 산업단지개발, 발전소 및 소각장 시설평가에는 CALPUFF이 적용되고 있다. 또한 산업단지개발과 에너지 개발에서는 주변 지역 오존 및 2차 생성 미세먼지에 많은 영향을 미치기 때문에 화학수송모델인 CMAQ을 적용하고 있고,

선오염원 평가에서는 주로 미국 EPA 도로모델인 CALINE 3,4를 사용하고 있다.

이는 최근 미국 EPA에서 모델에 대한 적용 동향과 일치하는 것이다. 미국에서는 미국기상학회와 미국 EPA가 공동 개발한 AERMOD를 규제모델(regulatory model)로 ISC 모델을 대체하여 공식적인 모델로 우선 사용을 추천하고 있다. AERMOD는 ISC 단점인 수평 및 수직 연기확산계수가 고도에 따라서 일정하다는 가정을 보완하여 개선하였고, 또한 복잡지형에 대해서 확산을 개선한 모델이다(US EPA, 1998a, b, c). Moon *et al.* (2006)의 연구에 의하면 AERMOD가 ISC 보다 지형적인 영향을 잘 반영하고 있는 것을 알 수 있으며, Jeong (2011a, b)는 AERMOD를 활용하여 악취물질의 확산 및 거주 지역에 미치는 영향을 평가하였다.

최근 2년간 국내 대기영향평가에서 AERMOD의 사용은 도시개발과 사업단지 개발 부분에서 공사 및 운영 시 대부분 적용되고 있다. 도시개발인 경우, 용인 모현(왕산) 지방의 도시개발(Yongin Mohyun Wangsan Urban Development Project Association, 2011) 및 천안북부지구 지방의 도시개발(Cheonan-si, 2011), 진천교송지구 도시개발(Daemyung-Suan Ltd., 2012) 등의 사업에서 대기오염물질이 주위 거주나 사업지구에 미치는 영향 및 대기환경기준의 초과횟수 등에 대한 평가에 AERMOD가 적용되었고, 산업단지개발인 경우 진례 송현 지방의 일반산업단지 조성(Kum-Kang Industry Ltd., 2011), 창원철강 일반산업단지 조성(Changwon Iron and Steel Institute Ltd., 2011), 구미 지방의 LG디스플레이 공장부지확장(LG Display Ltd., 2012) 등의 영향평가에 사용되었다.

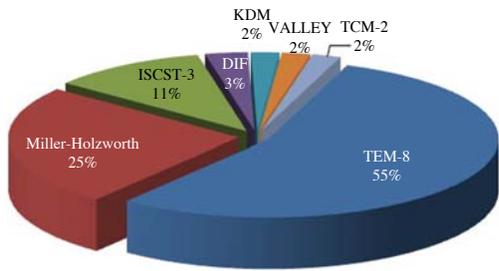
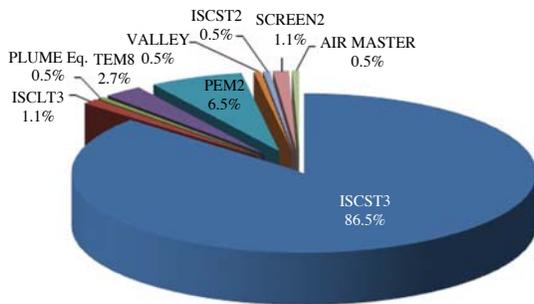
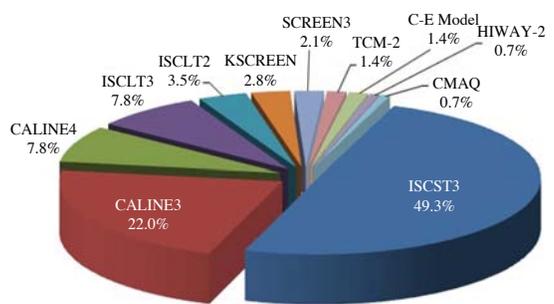


Fig. 2. Statistics on the short-term models used in early 1990's for projects with significant impact.



(a) in construction



(b) in operation

Fig. 3. Statistics on the dispersion models used in early 2000's in the published EIA report.

**Table 4. Statistics on the number of dispersion models used in major Atmospheric EIA from 2011 to 2012.**

	Total number of EIA	In construction			In operation					
		ISCST-3	AERMOD	CALPUFF	ISCST-3	AERMOD	CALPUFF	CALINE- 3,4	C-E model	CMAQ
Urban planning	17	3	14	0	3	12	0	16	0	0
Industrial site development	46	5	37	4	4	33	7	19	0	5
Energy development	14	1	8	5	0	0	12	1	0	8
Road construction	26	8	18	0	3	1	0	22	6	0
Waste facilities construction	3	0	3	0	0	1	2	0	0	0

그러나 AERMOD는 매 시간 풍향과 풍속을 공간적으로 동일하게 가정하는 정상상태(steady state) 모델로서, 우리나라와 같이 복잡한 해안선을 따라 해안가에 위치한 발전소나 사업지구 등의 경우 최소한 매 시간 별로 오염원에서 배출되는 오염물질을 각각의 독립된 덩어리로 가정하여, 시간에 따라 연기 확산을 추적하는 모델을 적용할 필요가 있다. 이와 같이, 지형이 복잡하고, 바람장 변화가 다양한 경우에는 시간변화에 따른 확산을 보다 정확히 모사할 수 있는 CALPUFF 모델을 사용하는 것이 최근 경향이다. CALPUFF 모델은 미국 EPA에서 추천하는 모델로서 국내에서도 아래와 같이 여러 형태의 연구 및 환경영향평가에 적용된 바가 있다.

Lee *et al.* (2005)는 광양만지역에서 기상 입력장의 개선에 의한 CALPUFF의 SO<sub>2</sub>의 시공간적 확산예측의 개선에 대해 연구하였으며, 이와 유사한 연구로서, Lee *et al.* (2008)는 복잡한 산악지형과 해안이 위치한 동해지역에서 기상 입력장에 의한 CALPUFF 모델의 모사능력을 평가하였다. 또한 Lee and Kim (2007)는 추적자 물질을 활용하여 도시의 건물 밀집지역에서 확산현상을 파악하고 모사능력을 평가하는 연구를 진행하였다.

한편, 최근 국내 대기영향평가에서 CALPUFF 모델은 산업단지개발 및 에너지 개발 분야에서 공사 및 운영 시 대부분 적용하고 있다. 사업종류별로 주요 CALPUFF 적용사례는 다음과 같다. 산업단지개발인 경우, 영일만 지방의 일반산업단지 조성 및 증평 지방의 일반산업단지 조성 (Pohang-si, 2011; GYER-YONG Ltd., 2011), 그리고 오성지역의 제2생명과학단지 조성 사업 (Chungbuk Development Corporation

and Korea Industrial Complex Corporation, 2012) 등에서 대기오염물질이 주변 거주지역이나 사업지구에 미치는 영향과 대기환경기준의 초과횟수 등에 대한 평가에 적용되었다. 에너지개발인 경우는 포항 포스코파워 LNG 복합발전소 건설사업 (POSCO Energy Ltd., 2011), 태안 화력 건설사업 (Korea Western Power Corporation Ltd., 2012) 등에서 적용되었다.

한편, CALPUFF 모델은 유용한 모델임에도 불구하고 광화학 반응 및 2차 오염물질 화학반응을 고려하지 못하므로, 대기화학반응을 고려하기 위해서는 화학수송모델인 CMAQ, CAMx 등을 대기환경영향평가에서 사용되고 있다. 그러나 화학수송모델은 다른 대기 확산모델에 비해 적용 대상범위가 상당히 넓으며, 수학, 물리, 화학과정이 모델 내에 내재되어 있어 이에 대한 지식을 요하는 전문성이 필요하고, 정확한 입력자료를 확보하기 위하여 많은 경험을 필요로 한다. 따라서 시스템 및 입력자료 구축이 어려워 주로 연구 분야에서 사용되어 왔으며, 사전환경성평가뿐만 아니라 환경영향평가에서 사용하기에는 다소 어려운 부분이 있었다. 그러나 최근 2차 오염물질인 오존과 미세먼지로 인한 대기오염문제의 심각성이 증대되고, 대규모 점오염원 및 다량의 VOCs 배출 사업장이 다수 건설되어짐에 따라 대기환경평가 부문에 화학수송모델의 모델의 적용이 필요하게 되었다. 주로 적용 가능한 화학수송모델은 미국 EPA에서 개발한 CMAQ과 Environ사에서 개발한 CAMx이다.

CMAQ은 1998년 6월 1차 공식 버전이 발표되었고 현재도 활발하게 개선되고 있는 모델로 모델링 영역의 규모가 다양하여 국지규모에서 지역규모 모델링까지 다양하게 동시에 모델링이 가능하다 (Byun

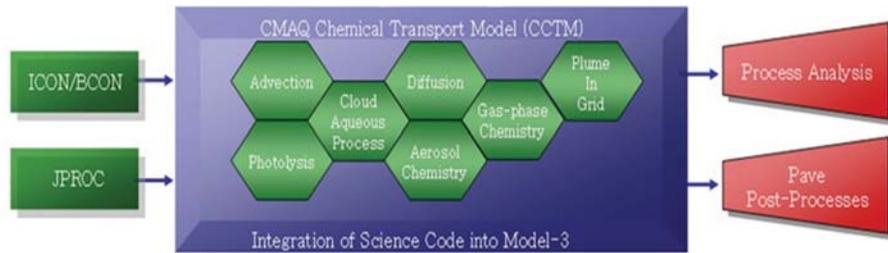


Fig. 4. Overview of the program elements in the CMAQ modeling system.

and Ching, 1999). 또 여러 가지 오염물질을 동시에 고려할 수 있고, 황화합물이나 오존화합물과 더불어 에어로졸도 동시에 계산할 수 있다. CMAQ의 구조는 5개의 전처리 과정과 1개의 Chemical Transport Model (CTM)로 구성되어 있다. 전처리 과정은 초기 조건을 형성하는 Initial Conditions processor (ICON) 과 경계조건을 생성하는 Boundary Conditions processor (BCON). 그리고 기상장 처리과정인 Meteorology-Chemistry Interface Model (MCIP). 광해리율 산출 과정인 JPROC.으로 구성되어 있다. 3개의 전처리 과정을 통해 산출된 자료는 배출량 및 기상 자료와 함께 주 모델인 CTM에 입력된다(그림 4).

CAMx는 가스상, 입자상 대기오염물질을 통합하여 ‘one-atmosphere’ 평가를 할 수 있는 오일러리안 화학수송 모델로 구성은 지형조건, 화학반응 계산, 기상 입력 과정, 초기 및 경계조건 계산, 배출량 입력과정과 농도 계산 과정으로 이루어진다(ENVIRON, 2005). 또한, CMAQ 모델과 동일하게 기상 모델링 자료, 배출량 모델링 자료, 광분해 모델 자료 등을 입력자료로 대기 중 오염물질의 화학반응과 이동 및 확산을 계산할 수 있다(그림 5).

국내 대기환경평가에서는 표 4에 있는 바와 같이 산업단지개발과 에너지 개발 분야에서 대규모 점오염원 또는 사업장을 대상으로 CMAQ을 적용하여 오존 및 이차 생성 미세먼지를 평가하고 있다. 산업단지인 경우, 영일만과 김천 지방에 일반산업단지 조성 시 2차 오염물질인 오존이 주변에 미치는 영향 및 대기환경기준 초과정도를 CMAQ을 적용하여 평가하였으며(Kimcheon-si, 2011), 에너지개발 분야의 경우, 연기군의 행정중심복합도시 열병합발전소 건설(Korea Midland Power Corporation Ltd., 2011) 및 MPC 울촌지방의 복합화력발전소(주)(MPC Yool-

chon Power Ltd., 2011) 등에서 영향평가에 CMAQ이 활용되었다.

### 3.4 온실가스 감축계획 분석

온실가스 항목은 2010년부터 에너지개발, 도시계획, 산업단지 개발, 도로건설, 관광단지개발 등 5개분야에 대해서 실시되었으며, 2012년부터는 18개 분야 모두 대상사업으로 확대되었다. 온실가스 작성규정은 2009년 말에 제정되어 3번의 개정을 거쳐 현재 “온실가스 항목 환경영향평가 등 평가지침(Ministry of Environment, 2013a)”을 적용하고 있는 것으로 조사되었는데, 작성지침의 잦은 개정은 온실가스 항목 초기 적용 과정에서의 문제점을 보완해 나가는 과정으로 판단된다. 따라서, 환경영향평가서의 온실가스 항목 작성 시 지침 적용의 충실도를 분석하기는 어려울 것으로 판단되어, 운영 시 온실가스 감축계획을 분석하였다.

사업분야별로 온실가스 평가현황을 분석하기 위해 환경영향평가 지원시스템에서 최근 3년간(2010~2012) 수행되어 협의가 완료된 사업 중에서 평가서가 공개된 사업과 온실가스 감축량이 정량적으로 제시되어 있는 79개 사업에 대해서 운영 시 온실가스 감축계획을 분석하였다.

감축량 분석자료 중 2010년 및 2011년 자료는 2012년 2월 6일 환경부 보도자료인 “온실가스? 환경영향평가에 맡겨!..2년간 1,147만 톤 감축”을 사용하였고, 2012년 자료는 환경영향평가 지원시스템의 환경영향평가서 보고서를 사용하여 분석하였으며 그 결과를 표 5에 나타내었다.

에너지 개발 분야에서 운영 시 온실가스 감축계획에 따른 감축률이 가장 높은 것으로 조사되었으며, 특히 발전소의 경우 연료전환, 고효율 발전설비 적

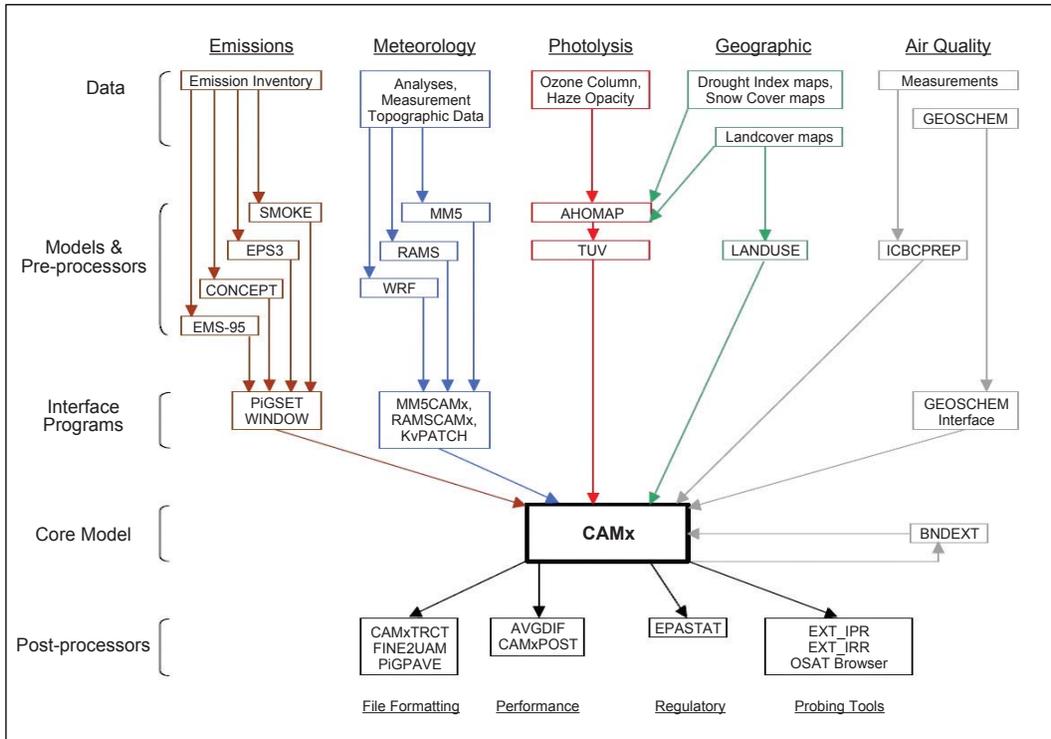


Fig. 5. Overview of the program elements in the CAMx modeling system.

Table 5. Mitigation plan for green house gases in EIA's reports from 2010 to 2012.

(unit: tCO<sub>2</sub>-e/year)

Field	Number of sampling	Emission of BAU	Reduction	Ratio of reduction (%)
Urban planning	18	4,882,650	459,930	13.8
Industrial complex development	32	15,920,465	4,091,681	13.3
Energy development	8	63,112,685	8,220,126	21.0
Road construction	14	514,050	3,420	1.3
Tourist complex development	7	334,758	60,727	23.2
<b>Total</b>	<b>79</b>	<b>84,764,608</b>	<b>15,835,834</b>	<b>14.5 (Avg.)</b>

용, 부생가스 재사용 등의 저감방안을 수립하여 온실가스 감축률을 높였다. 도로건설 사업의 경우에는 사업자가 자동차에서 배출되는 온실가스를 저감할 수 있는 방안이 한계가 있어, 도로시설물의 전기사용량을 줄이는 방안이 한정될 수밖에 없어 감축률이 가장 낮게 나타났다.

운영 시 온실가스 감축계획을 분석한 결과에서 알 수 있듯이, 온실가스는 대기 및 수질 관련 항목과 달리, 배출허용기준이 정해져 있지 않으므로, 개발사업

의 특성에 따라 온실가스 감축목표가 달라질 수 있어 정량적 감축목표를 정하기가 쉽지 않다. 따라서, 개발 계획 수립 시 다양한 저감대책을 제시하고, 기존 기술과의 대안평가를 통하여 온실가스 감축계획 중에 효율적인 기술·기법을 사업계획에 반영하도록 유도하고, 온실가스의 감축이 어려운 개발 사업에 대해서는 기후변화에 적응하는 전략을 모색하는 방향으로 온실가스의 환경영향평가를 실시하는 것이 발전적이고 친환경적 전략이 될 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.5 악취

악취는 환경영향평가 대상사업 17개 분야 78개 사업 중 도시 개발분야(1:하수처리시설), 산업입지분야(7), 폐기물 및 분뇨 처리시설분야(2)의 10개 사업과 이를 포함하는 타사업에 대해 실시되고 있으며, 사업입지 주변으로 이러한 시설 등이 기 위치하고 있는 경우와 이에 대한 개발계획이 있는 경우에도 이를 평가하고 있다.

최근 환경영향평가서 정보시스템에 공개되어 있는 2010~2012년에 협의 완료한 환경영향평가서 74개 사업(정보공개 동의 55개)에 대하여 악취 검토 여부를 조사한 결과 26개 사업(산업단지18, 도로건설1, 도시개발1, 에너지개발2, 체육시설설치1, 폐기물처리시설1, 항만건설2)에서 악취에 대한 평가를 시행하였으며, 악취에 대한 평가는 환경부에서 고시한 환경영향평가서 작성 등에 관한 규정 및 사업유형별 평가서 작성을 위한 환경영향평가서 작성 가이드라인(Ministry of Environment, 2009a) 등에서 정하고 있는 방법에 따라 작성되는 것으로 확인되었다. 동 규정 등에서 정하고 있는 방법에 따라 복합악취 및 악취물질의 종류별 발생량을 산정하고 확산모델링을 통해 사업지구 내외 영향예상시설 및 지역 등에 미치는 영향을 정량적으로 기술하게 되어 있으나 다음과 같은 문제점이 있어 이에 대한 개선이 필요하다 하겠다.

첫째, 현황조사에 있어 복합악취 측정은 채취한 시료에 대한 희석배수를 구하는 과정으로 이루어지나 그 출발점이 10배수로 되어 있어 10배수에서 냄새를 감지할 수 없는 경우 측정 최소값은 3배수로 산정되어진다(Ministry of Environment, 2013b). 즉, 악취가 없는 청정지역에서의 복합악취 측정결과가 3배수로 제시되게 된다.

둘째, 발생량 산정과정에서 사용되는 악취 발생원 단위는 국립환경과학원에서 지속적으로 연구되어 공개하고 있으나, 조사범위가 일부 업종에 대해서만 이루어져 있고 업종별 악취 발생량 원단위 기준이 생산량으로 되어 있어 입주업체의 생산량을 알 수 없는 계획단계의 환경영향평가에서는 사용할 수 없는 실정이다. 이로 인해 현재의 대부분의 산업단계에 대한 악취평가는 2003년에 시화 멀티테크노벨리 환경영향평가 시 조사된 자료를 사용하고 있는 실정이다.

셋째, 대기환경기준과 같은 성격의 악취환경기준이 없어 대부분의 환경영향평가서에서는 악취에 대한

예측결과(현황+가중)를 악취방지법의 부지경계선에서의 악취 배출허용기준과 비교하여 그 기준 이내일 경우에는 영향이 미미한 것으로 기술되고 있다. 배출허용기준은 악취배출시설의 부지경계에서 준수해야 하는 기준으로 이를 기준으로 정온시설의 악취를 평가하는 것은 다소 무리가 있다 하겠다.

따라서, 환경영향평가 시 악취에 대한 현황측정은 현행 공정시험방법에 제시되어 있는 방법을 수정하여 보다 세부적인 희석배수의 산정을 통해 정확한 현황치를 적용하는 것이 필요하며, 발생량 산정과정에 있어 악취원단위는 계획단계의 환경영향평가에서 사용할 수 있도록 업종별 면적을 기준으로 조사하되, 공인된 기관에서 수행토록 하여 내실 있는 결과 및 신뢰성을 확보할 필요가 있다. 현행 악취방지법에는 생활악취에 대해 언급하고 있으나 그 기준이 없어 부지경계선에서의 배출허용기준을 생활악취 기준으로 준용하여 적용하므로써 생활악취를 악화시키는 계기가 되고 있다. 따라서 대기질에 있어 배출허용기준과 환경기준이 다르듯이 악취에 있어서도 환경기준에 준한 기준을 정할 필요가 있으며, 이를 기준으로 환경영향평가에서 이의 달성여부를 평가하는 방안을 도입할 필요가 있다.

### 3.6 바람길

환경영향평가 시 바람길에 대한 평가는 구체적인 평가지침이 제시되어 있지 않다. 기 협의된 환경영향평가서에 바람길에 대한 평가는 타 분야와 마찬가지로 현황조사, 영향예측 및 평가, 저감방안 등으로 이루어져 있다. 현황조사는 사업지구 주변에 대해 기상현황을 조사 분석하는데, 이때 기상에서 인근지역 기상관측망 관측자료에 대한 분석에 추가하여 대상지역의 미기상을 조사하여 분석하고 사업지구의 미기상에 대한 현황을 제시하고 있다. 최근 환경영향평가 정보시스템에 공개되어 있는 2010~2012년에 협의 완료한 도시개발 환경영향평가서 47개 사업에 대하여 바람길 검토 여부를 조사한 결과 14개 사업이 바람길에 대한 검토를 시행하였으나, 대부분이 정성적인 평가가 이루어졌으며 2개 사업만이 ENVI-met 모델을 이용한 영향예측이 이루어지고 있다. 따라서, ENVI-met 모델이나 CFD(Computation Fluid Dynamics) 모델 등을 이용하여 사업시행 전후에 따른 바람길 변화를 예측하고 이를 통해 바람길의 차단 등을 분석하

는 방법과 기상모델 등을 이용하여 사업지구 주변지역으로부터의 바람길 유입특성 등에 대해 예측 및 평가한다. 저감방안으로 바람길이 차단되는 지역에 대한 건축계획 등을 변경하거나, 녹지축 등을 조성토록 하여 바람길을 확보하는 방안을 제시하고 있으나, 구체적인 평가지침 등이 제시되어 있지 않아 국지순환풍에 대한 분석이 결여되어 있으며, 단지배치를 통해 얻을 수 있는 대기질 개선효과에 대한 분석이 없는 등 미비한 사항이 있으므로 이에 대한 개선이 필요하다.

한편, 대규모 도시개발 사업의 경우 바람길에 대한 영향예측이 기술되고 있으나, 구체적인 건축계획이 수립되기 전인 환경영향평가 단계에서 이를 평가하는 것은 다소 무리가 있는 것으로 판단되므로, 환경영향평가 단계에서는 건축물에 대한 바람길을 예측하기 보다는 주변 녹지대를 포함한 광역규모의 바람길 생성에 대해 예측 및 분석하여 제시하는 방향으로 하고, 건축물에 대한 서울시 환경영향평가와 같이 건축물에 대한 세부계획이 수립되는 시점에서 이에 대한 평가를 진행할 수 있는 제도적인 장치의 마련이 필요하다.

### 3.7 대기질 평가 방법

대기질은 환경영향평가 대상사업 17개 분야 78개 사업 모두에 대해 실시되고 있으며, 이는 운영 시 대기환경에 대한 영향이 적은 사업일 경우에도 공사 시 대기환경에 대한 영향을 평가하기 위해 실시되고 있다.

대기질에 대한 평가는 환경부에서 고시한 환경영향평가서 작성 등에 관한 규정 및 사업유형별 평가서 작성을 위한 환경영향평가서 작성 가이드라인(Ministry of Environment, 2009a) 등에서 정하고 있는 방법에 따라 작성되고 있다. 동 규정 등에서 정하고 있는 방법에 따라 대기환경에 영향이 큰 사업의 경우에는 3~7일 연속하여 대기질 현황을 측정하되 계절을 고려하게 되어 있으며, 에너지 사용량과 배출계수를 이용하여 오염물질 종류별 발생량을 산정하고 확산모델링을 통해 사업지구 내외 영향예상시설 및 지역 등에 미치는 영향을 정량적으로 기술하게 되어 있으나 다음과 같은 문제점이 있어 이에 대한 개선이 필요하다 하겠다.

첫째, 오염물질 발생량 산정과정은 환경영향의 합

리적 예측 평가를 위한 기법 연구(Korea Environment Institute, 2002)에 자세히 제시되어 있으나, 일부 인자에 대해서는 범위로 기술되어 있어 대행업체에서 어떤 인자를 선택하느냐에 따라 발생량에 많은 차이를 나타낼 수 있으며, 동 보고서에서 인용하고 있는 산정식 등이 개정되면서 이를 사용하는 업체와 그렇지 않은 업체 간에 많은 차이를 보이고 있다.

둘째, 확산모델을 통한 대기질 예측에 있어 기상자료의 선택은 그 결과에 매우 중대한 영향을 미친다. ISC의 경우 사업부지의 위치특성과는 상관없이 관측자료가 동일하면 모두 동일한 기상입력자료가 작성되어지나, AERMOD의 경우 사업부지의 위치특성을 고려하여 기상 입력자료가 생성되는 장점을 가지고 있어 관측자료가 동일하더라도 위치에 따라 다른 기상 입력자료가 생성되어진다. 현재 대부분의 영향평가 대행업체에서는 기상관련 전문 업체에 확산모델에 입력되는 기상자료를 의뢰하여 그 결과를 받아서 사용하고 있다. AERMOD의 기상자료는 사업부지의 지형특성을 고려하여 입력되는 변수가 있으나 기상관련 전문 업체에서는 이에 대한 고려를 하지 못하고 획일적으로 처리하여 입력하고 있는 등 동일한 관측자료의 경우 사업부지의 위치와는 상관없이 모두 동일한 결과로 제공하고 있다. 이에 따라 같은 기상자료의 경우 지형효과를 배제할 때 모두 동일한 확산경향을 나타내는 것으로 평가되고 있다. 한편, 기상에서 언급한 바와 같이 최근 기상 관측망 관측자료를 이용하여 기상 입력자료를 생성하기 때문에 사업지구와 기상관측망과의 이격거리가 10 km 이상일 경우에도 최근근에 해당할 경우 이를 처리하여 입력하고 있다. 이는 사업부지와 전혀 다른 바람장을 입력하는 결과를 초래할 수 있다.

셋째, 현황농도의 적용에 있어서 24시간 평균 측정 결과를 연간 농도로 적용함에 있어 그대로 적용하는 경우가 대부분이며, 이로 인해 현황자체가 연간환경기준을 초과하는 것으로 기술되고 있고, 24시간 농도를 1시간 농도로 적용함에 있어 1시간 측정치가 없을 경우 2.5배를 적용토록 의견을 제시하면서 그 근거를 제시하고 있으나 해당근거는 현황농도에 대한 비율이 아닌 모델에 대한 예측결과의 평균화시간 변경에 대한 비율이다.

넷째, 예측결과의 평가에 있어 현황을 고려한 예측 결과가 환경기준을 하회하는 경우 사업에 의한 가중

치의 경중을 고려하지 않고 일반적인 저감방안 위주로 기술되고 있으며, 환경기준을 상회하는 경우 가중치의 경중을 고려하지 않고 최적의 저감방안을 도입하도록 하고 있다. 이는 청정한 지역에서 오염물질을 많이 배출하는 신규업체가 상대적으로 오염된 지역에서 오염물질을 덜 배출하는 업체보다 배출규제를 덜 받게 되는 상황을 초래하게 된다.

결과적으로 대기질을 평가하는 방법에 대해서 보다 명확한 기준과 절차가 필요한 것으로 판단된다.

#### 4. 향후 개선 방향

앞의 제3장에서 대기환경영향평가에 주요 항목별로 평가현황을 분석하고 개선방안에 대해서 정리하였고, 본장에서는 2015년도에 도입되는 PM<sub>2.5</sub> 대기환경기준에 적합한 평가방안 도입을 제안하고자 한다. 또한 효율적인 부지기상자료를 확보하기 위한 방안과 도시계획에서 중요한 사항인 바람길 평가 방안 도입에 대해서도 함께 정리하였다.

##### 4.1 초미세먼지 (PM<sub>2.5</sub>) 평가 방안 도입

초미세먼지 (PM<sub>2.5</sub>)는 호흡기를 통하여 혈액에 흡수되어 폐질환, 순환기질환, 심혈관질환, 뇌졸중 등을 일으키는 것으로 알려져 있으며, 선진국에서는 이미 PM<sub>2.5</sub> 위주로 대기 중 미세먼지를 관리하고 있다. 환경부에서는 2011년도에 PM<sub>2.5</sub>에 관한 환경기준을 제정하고 2015년부터 시행할 예정이다.

개발 사업이 공사 및 운영시 기준성 대기오염물질의 대기환경기준을 만족하도록 하는 것이 매우 중요한 환경영향평가의 순기능이다. 따라서 새로 도입되는 PM<sub>2.5</sub>의 대기환경기준을 대기환경영향평가에서 만족할 수 있도록 당해 계획 또는 사업의 적합성을 판단하는 것이 필요하다.

PM<sub>2.5</sub>는 PM<sub>10</sub>과 비교하면 대기 중 2차 생성 기여율이 크고, 매우 복잡한 가스 및 입자상 반응 기작으로 생성된다. 서울 광진구 구의 상세 측정망의 2009년 PM<sub>2.5</sub> 성분별 측정결과를 그림 6에 나타내었다. 서울시 광진구에 설치된 측정소에서 측정된 PM<sub>2.5</sub>의 연평균 농도는 27.3 µg/m<sup>3</sup>이고, PM<sub>2.5</sub>에는 2차생성 무기성 이온-물질인 Sulfate (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), Nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)은 41%로 나타났고, 1, 2차 생성

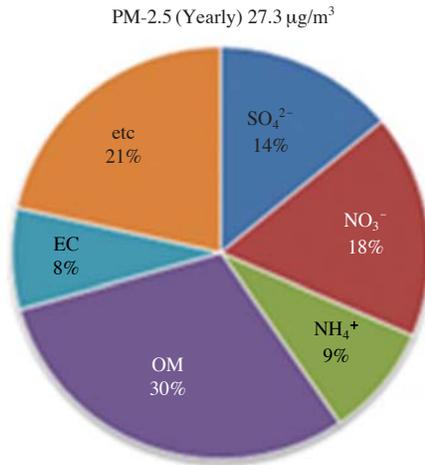


Fig. 6. Measured chemical species at Gwangjin station in Seoul for 2009.

유기성 물질 (OM)이 30%, 이외의 soil 성분을 비롯한 1차상 물질 (EC-8%, 토양, 금속, 해염성분-21%)은 총 29%였다. PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>의 비는 약 0.53이었고, PM<sub>2.5</sub>를 구성하고 있는 유기성 물질 중에서 많은 부분이 2차 생성이기 때문에 총 2차 생성 미세먼지는 50% 이상일 것으로 판단된다.

2차상 PM<sub>2.5</sub>는 NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, VOCs 및 NH<sub>3</sub>의 가스상 전구물질에 의해서 대기 중에서 50% 이상이 생성되고, 전구물질간의 반응은 그림 7에 도식화된 바와 같이 매우 복잡한 기작을 거친다 (McMurry *et al.*, 2004).

이와 같이 PM<sub>2.5</sub>는 전구물질의 의해서 2차 생성되고, 또한 중국 등에 장거리 이동의 영향 및 국내 사업으로 인한 영향을 정량적으로 파악하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 모든 개발사업에 대해서 PM<sub>2.5</sub>의 영향을 평가할 필요는 없고, PM<sub>2.5</sub>에 미치는 영향이 클 것으로 예상되는 에너지 개발 및 산업단지 개발 등의 사업을 중심으로 정량적인 평가가 필요하다.

한편, 미국 EPA에서는 1997년도에 PM<sub>2.5</sub> 대기환경기준이 제정됨에 따라서 PM<sub>2.5</sub>에 대한 평가를 시작하였다. 그러나 초기에는 PM<sub>2.5</sub>에 대한 평가를 PM<sub>10</sub>으로 대체 적용하다가 2010년도부터 직접적으로 PM<sub>2.5</sub> 평가를 시행하고 있는데 그 내용을 요약 정리하면 다음과 같다 (US EPA, 2011, 2010).

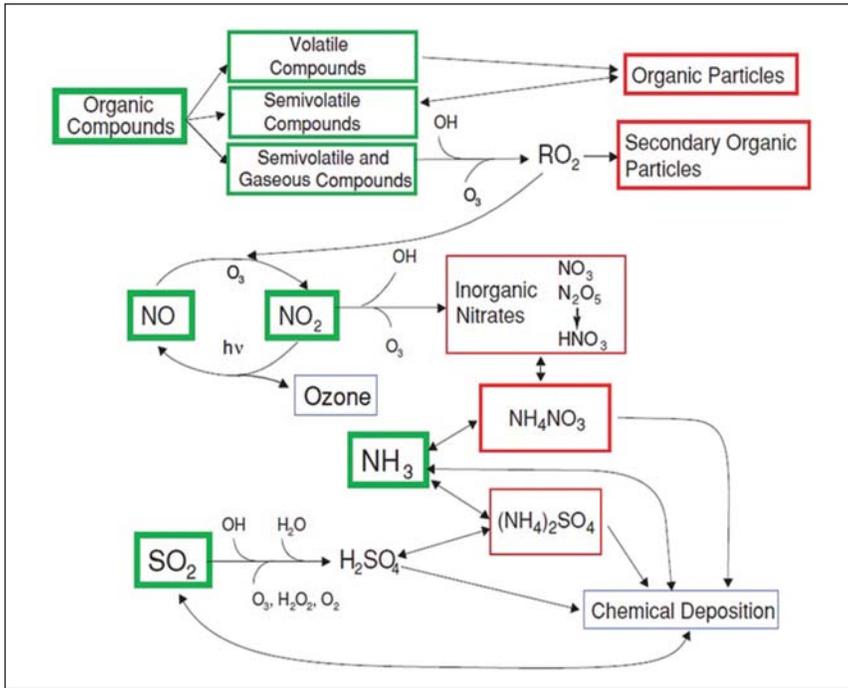


Fig. 7. Chemical links between the ozone and PM formation processes. The major precursors are shown in green squares. The organic compounds can be gaseous (always in the gas phase), non-volatile (always in the condensed phase), and semivolatile (partitioned between the gas and condensed phases) (McMurry *et al.*, 2004).

- 1997년도에 PM<sub>2.5</sub>의 일 및 연평균 기준이 65와 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 각각 제정됨에 따라서 신규시설(NSR)에 대해서 PM<sub>10</sub>을 대체 적용(surrogate approach)하여 PM<sub>2.5</sub>를 간접 평가함.
- 2006년도에 PM<sub>2.5</sub> 일평균 기준이 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 강화됨에 따라서 PM<sub>2.5</sub> 직접 배출량이 연간 10 ton 이상, NO<sub>x</sub> 및 SO<sub>x</sub>의 배출량이 10 ton, 40 ton 이상인 경우에 PM<sub>2.5</sub> 평가를 시행함. 평가는 PM<sub>10</sub>을 대체하여 적용함.
- 2010년도에 PM<sub>2.5</sub> 평가에 PM<sub>10</sub>의 대체 적용이 폐지되고 PM<sub>2.5</sub>의 직접 평가를 시행하고 있음. PM<sub>2.5</sub>와 전구물질이 심각한 배출량(SER, Significant Emission Rate)인 경우에 PM<sub>2.5</sub>에 대한 직접 평가를 시행함. 즉, PM<sub>2.5</sub> 직접 배출량이 연간 10 ton 이상인 경우에 1차 PM<sub>2.5</sub>의 영향을 평가하고, NO<sub>x</sub>와 SO<sub>x</sub>가 연간 배출량이 40 ton 이상인 경우는 2차 생성 PM<sub>2.5</sub>의 영향을 평가하여 가중함. 미국의 지역연무 개선법(Regional haze Rule: RHR)에 의해서 가시도

- 상태에 따라서 구분되는 Class I, Class II, Class III 지역별로 24시간 및 연평균 PM<sub>2.5</sub> 농도에 대해서 SIL (Significant Impact Level), Increment, 및 SMC (Significant Monitoring Concentration)으로 각각 구분하여 규제치를 설정하여 운영함.
- 2013년도부터는 PM<sub>2.5</sub>의 연평균 기준이 12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 강화됨.

미국 EPA에서도 2차 PM<sub>2.5</sub>에 대한 평가는 전구물질인 SO<sub>x</sub>와 NO<sub>x</sub>의 배출량을 1차 PM<sub>2.5</sub>의 배출량으로 환산하여 1차 PM<sub>2.5</sub>로 계산하거나 또는 대기화학 수송모델인 CMAQ 및 CAMx를 사용평가를 수행하는 것을 추천하고 있다(US EPA, 2013).

국내에서도 2015년도부터 PM<sub>2.5</sub>의 기준을 도입할 예정이고, 사회적으로 PM<sub>2.5</sub>에 의한 스모그가 문제가 되고 있기 때문에 대기환경영향평가에서 국내 실정에 적합한 PM<sub>2.5</sub>의 평가절차와 기준을 설정하는 것이 필요한 것으로 판단된다.

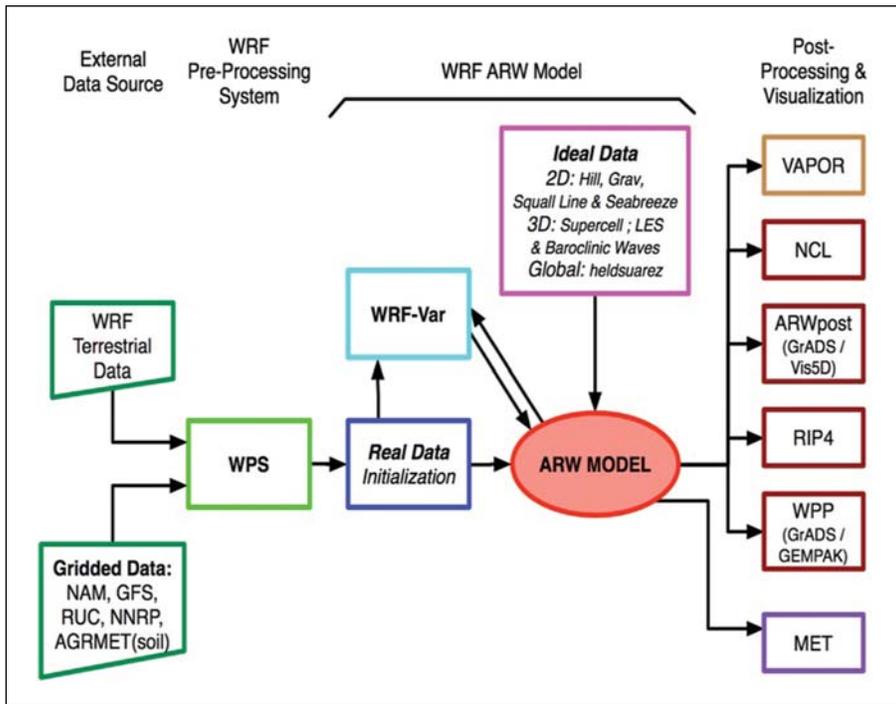


Fig. 8. Overview of the program elements in the WRF modeling system.

#### 4. 2 부지 기상 확보 방안 수립

기상은 환경영향평가 대상사업 17개 분야 78개 사업 모두에 대해 실시되고 있으나, 대부분의 경우 기상연보 등의 자료를 통계 처리하여 기술되고 있다. 기상에 대한 평가는 환경부에서 고시한 환경영향평가서 작성 등에 관한 규정 및 사업유형별 평가서 작성을 위한 환경영향평가서 작성 가이드라인 (Ministry of Environment, 2009a) 등에서 정하고 있는 방법에 따라 작성되고 있으나, 현황을 분석한 결과 다음과 같은 문제점이 있는 것으로 파악되었다.

첫째, 사업지구의 기상현황에 대한 분석은 최인근 기상관측망 관측자료를 통계처리하여 기술하고 있고, 사업지구와 이격거리가 10 km 이상일 경우라도 최인근에 해당할 경우 해당 기상자료가 사업지구의 기상현황을 나타내는 것으로 기술되어 있으나, 사업부지 인근 지형의 영향을 받는 풍향 및 풍속의 경우에는 많은 차이가 있을 수 있다.

둘째, 산업단지 및 소각시설 등의 사업에 대해서는 사업부지에서 부지기상 및 상층기상을 측정하여 이

를 분석하여 제시하고 있으며, 동 자료에 대해 1년간 측정하여 이를 바탕으로 대기 및 악취 등에 대한 영향예측을 수행하는 것이 원칙이다. 그러나 1~3개월 정도의 부지기상을 측정하고 최인근 기상관측망과 상관성 분석을 통해 상관성이 있는 것으로 기술하면서 최인근 기상관측망 자료를 사용하는 경우가 많은 실정이다. 한편, 상층기상은 고가의 센서를 이용하여 계절별로 측정하고 있으나, 혼합고를 산정하는 것 이외에는 그 활용도가 낮은 편이다.

따라서 위의 문제점을 해결하기 위해 기상모델을 활용하여 부지기상 자료를 확보하는 방안을 다음과 같이 제시한다. 기상모델은 최근 개발된 Weather Research and Forecasting (WRF) 모델이 범용성과 실용성 측면에서 적합한 것으로 판단된다. WRF 모델은 2005년부터 미국 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) 산하 기관인 National Centers for Environmental Prediction (NCEP)의 현업 모델로 사용되고 있으며, 모델링 수행 체계도는 그림 8과 같다. WPS (WRF Preprocessing System)는 WRF 모델에

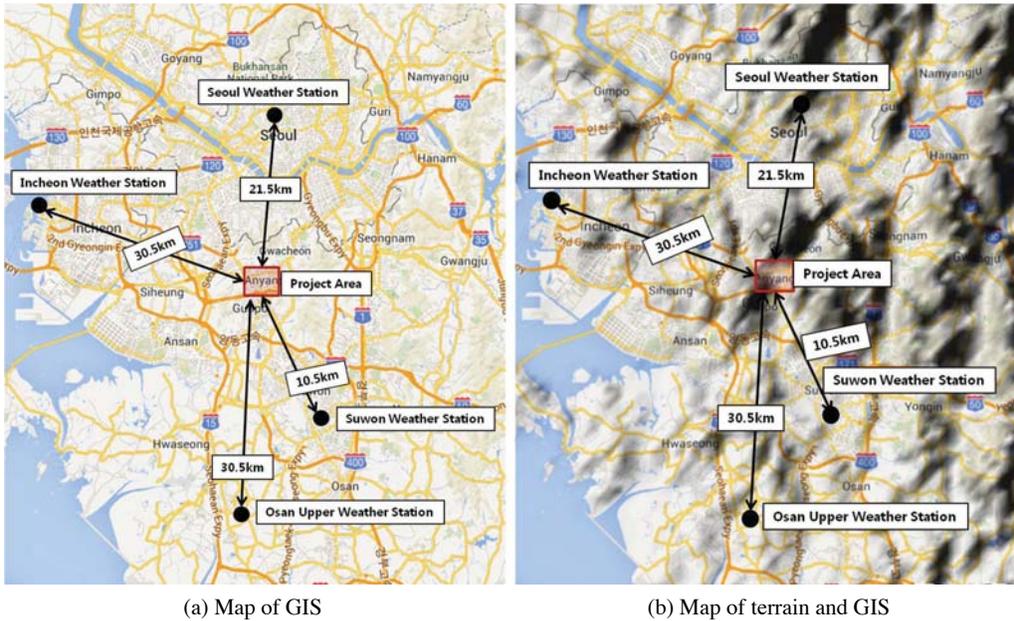


Fig. 9. A map presents location of weather stations near project area ((a) map of GIS, (b) map of terrain and GIS)).

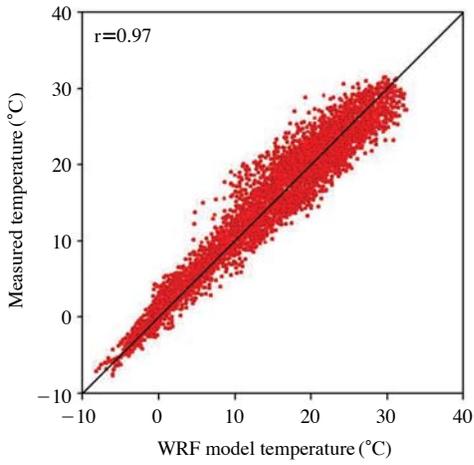
입력자료를 제공하기 위한 전처리자로서 격자를 규정하고, 기본 맵을 생성하고, 고도와 지형 정보를 제공하고, 다른 모델의 실측/예보 자료를 취하고, WRF 격자로 자료를 보간하는 기능을 가진다. 또, WRF-Var는 모델의 초기조건으로서 측정자료를 동화하기 위한 부분이다. 기상장의 정확도를 제고하기 위해서 자료동화(FDDA, Four Dimensional Data Assimilation) 기법인 격자 및 측정자료 동화를 각각 적용할 수 있으며, 측정자료 동화를 위해서는 고층 및 지표 기상대 관측자료가 이용된다.

한편, WRF를 활용하여 안양시의 부지기상자료 생성과정을 평가한 사례가 있다(Ministry of Environment, 2007a). 그림 9는 사업지구인 안양지역과 주변에 존재하는 정규기상대의 이격거리를 나타내었으며, 본 사업지구에서부터 기상대의 이격거리는 모두 10 km 이상 거리가 있고, 지형적으로 분리되어 있기 때문에 대상 사업지구의 국지기상을 정규기상 관측자료가 대표할 수 없다. 따라서 WRF모델로 부지기상자료를 계산하고, 측정치와 비교 검증은 통해서 기상모델링에 의한 부지기상확보 가능성을 검토하였다. 모델 비교검증에는 경기도 방재용 기상관측으로 안양 및 의왕 시청육상에 실시되고 있는 AWS 측정자

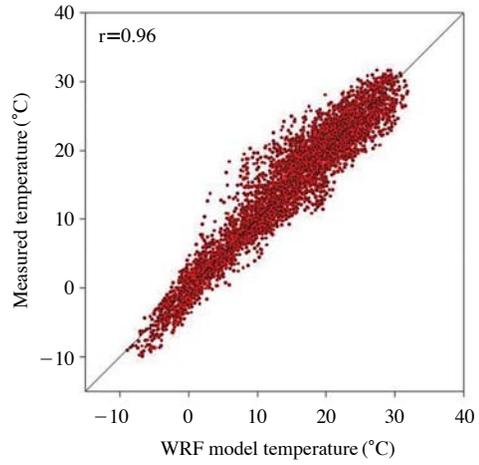
료를 이용하였다.

WRF 모델을 활용하여 안양 및 의왕 시청 위치에서 기상자료를 계산하고, 계절별, 연간 주 풍향을 도출하였다. 그림 10은 수평 해상도 1 km의 WRF 기상장과 모델링 결과를 경기도 방재용 기상 측정자료인 안양시청과 의왕시청에서 측정된 방재 기상자료와 동일기간에 대해서 비교한 결과를 나타내었다. 그 결과 안양시청에서 비교한 온도의 상관도는 0.97, 풍속은 0.56이며, 의왕시청에서 비교한 온도의 상관도는 0.96, 풍속은 0.52로 상당히 높은 상관도를 나타내었다. 또한 각 지점에서의 풍향, 풍속의 발생빈도를 분석하기 위하여 바람장미를 그림 10의 (e)~(h)에 나타내었으며, 그 결과 실측자료와 유사한 빈도의 바람장미를 나타내고 있다.

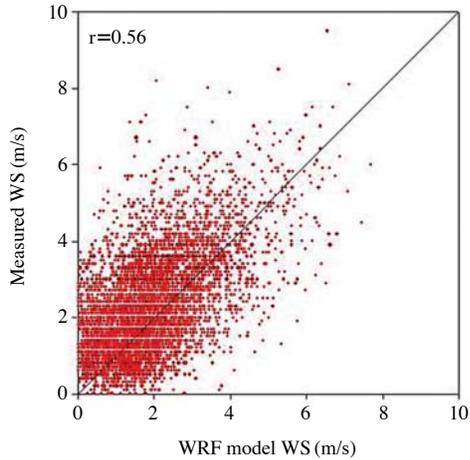
이와 같이 대상 사업지구 내에 부지기상자료가 없는 경우에는 기상모델을 적용하여 기상요소를 계산으로 확보할 수 있고, 이를 활용하여 대기확산모델 및 바람길을 평가하는 것이 인근 기상자료를 사용하는 것보다 합리적이라고 판단된다. 한편, 1~3개월의 한정된 기간이라도 부지기상자료를 관측하여 모델로 계산한 기상자료를 검증하는 것이 기상 모델링의 오류를 최소화하는 데 필요한 것으로 판단된다.



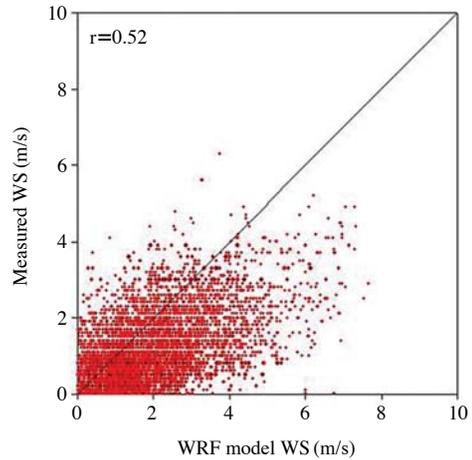
(a) Anyang city hall (temperature)



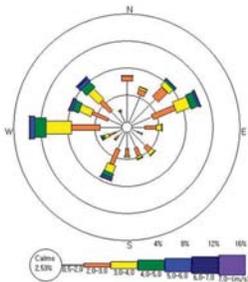
(b) Uiwang city hall (temperature)



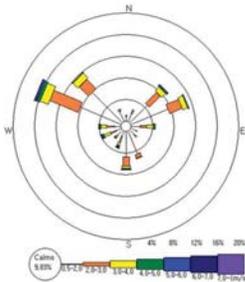
(c) Anyang city hall (wind speed)



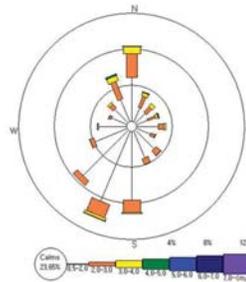
(d) Uiwang city hall (wind speed)



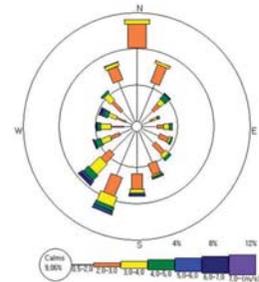
(e) Wind rose of observation at Anyang city hall



(f) Wind rose of WRF at Anyang city hall



(g) Wind rose of observation at Uiwang city hall



(h) Wind rose of WRF at Uiwang city hall

Fig. 10. Scatter plot of simulated versus observed temperature (upper panel), wind speed (middle panel) and wind rose at Anyang and Uiwang city hall during 2007.

### 4.3 바람길 평가

독일 및 일본 등의 비롯한 선진국에서는 이미 오래전부터 바람길 평가를 친환경적 도시설계 및 관리에 적용하여 시행해오고 있다. 국내에서도 친환경적인 도시설계를 위한 법적 근거는 “국토의 계획 및 이용에 관한 법률”의 제52조에서 지구단위계획의 내용에서 건축물의 배치 및 공기순환을 도시계획시 반영해야 하고, “대기환경보전법”의 제10조 대기순환장애의 방지 조항에서 도시개발계획 수립시 바람길을 반영해야 한다고 명시되어 있다. 또한 “수도권 대기환경 개선을 위한 특별법”에서는 친환경적 도시계획 분야에서 바람길을 활용한 대기오염저감, 녹지 확보에 대한 시행계획을 수립하고, 집행하는 것을 지침으로 제시하고 있다. 사전환경성 검토 및 환경영향평가 시에도 대기환경과 연계하여 단지개발 등에 대해서 대기 및 기상 요소를 반영하여 평가하고 있다. 서울시에서는 구체적으로 “도시계획관리 환경성검토 업무지침”에서 구체적으로 바람 및 미기상에 대한 내용을 도시개발시 평가하도록 조례로 시행하고 있다.

실제 국내에서 도시 계획 및 개발계획에 대한 대기환경영향평가 시 바람길을 부분적으로 고려하고 있고, 대기환경 개선을 위한 시행 및 실천 계획에서 바람길을 반영한 친환경 도시계획 및 개발을 제시하고 있다. 그러나 현재까지 바람길 분석하는 방법과, 실제 도시 개발 및 계획에 반영하는 과정에 대한 명확한 방법론이 제시된 바가 없기 때문에 평가자에 주관적인 판단에 의존하여 피상적으로 시행되고 있고, 바람길 평가에 주요 DB가 부족하여, 바람길의 평가가 구체적으로 환경영향평가에 반영되는 경우가 미흡한 실정이다.

따라서 국내에서 보다 정확한 바람길을 평가하고, 평가된 결과가 구체적으로 친환경적인 도시계획 수립에 반영되기 위해서는 관련 법규 및 지침을 보완하는 것과, 바람길 평가에 필요한 관련 DB를 구축하고 상세한 방법론을 수립하는 것이다. 이를 보다 구체적으로 기술하면 다음과 같다.

첫 번째는 국가적인 차원에서 제도적으로 법규 및 지침을 보완하는 것이다. 사전환경성 검토 또는 환경영향평가에서 도시계획 및 개발시 바람길을 구체적으로 평가할 수 있도록 관련 법규 및 지침을 보완하는 것이다. 이를 통해서 국가적으로 일정 규모 이상

의 도시계획 및 개발에 바람길 및 기후요소를 반영, 평가하도록 유도하는 것이다. 한편 지역에 따라서 대기질 및 기상 현황이 상이한 점을 고려하여 국가적으로 일률적으로 적용 시 낭비적 요인이 있으므로, 환경영향평가법, 또는 대기환경보전법에 적용을 받는 규제지역을 대상으로 도시계획 및 개발 시 바람길을 고려한 친환경적 도시설계를 환경영향평가에서 실시할 수 있도록 구체적인 지침을 제시하는 것이다.

두 번째는 서울시에서 시행하고 있는 “도시계획관리 환경성검토 업무지침”과 유사하게 지자체별로 특성에 맞게 도시개발 시 바람길을 반영한 도시 설계 및 관리가 시행될 수 있도록 관련 조례를 제정하고 상세 지침을 작성하는 것이다.

한편 위에서 언급된 법규 및 지침과 별도로 효율적인 업무 수행을 위해서는 국가적인 차원에서 바람길 평가에 관련된 기상, 대기질, 지형, 토지피복도, 도시계획도 등의 DB를 구축하고, 도시대기환경 지도와 같은 평가 및 분석 도구를 제공하고, 바람길 평가에 대한 방법론 및 지침을 구체적으로 수립하여 제시할 필요가 있다. 이와 같이 국가적인 차원에서 표준화된 DB 구축하고, 정확한 지침을 제공함으로써 바람길 평가의 효율성과 정확성을 제고할 수 있다.

## 5. 결 론

지금까지 국내 대기질 환경영향평가의 현황과 문제점을 살펴보고 이에 대한 개선방안을 모색하였다. 환경영향평가 정보처리시스템에서 최근 5년간 수행되어 정부와 협의가 마무리된 분야별 사업건수가 산업단지개발이 총 264건으로 가장 높은 비중을 차지하고 있다. 연도별로 2009년도에 309건으로 최대 평가 합의가 진행되었으나, 2012년도는 113건으로 급격히 감소하고 있다. 이와 같이 영향평가 협의수가 감소하는 것은 전반적으로 공공 개발사업 축소와 평가의 간략화에 기인하는 것으로 판단된다.

국내 대기질 환경영향평가의 현황을 분석하기 위하여 산업단지개발, 에너지개발, 도로건설, 및 폐기물처리시설건설 등을 중심으로 대기환경영향 평가에서 중요 항목인 기상, 대기질 측정 및 모델링 등에 대한 평가현황을 분석하였다. 분석결과를 토대로 부지기상, 대기질, 대기모델링, 온실가스, 악취 및 바람길 등

대기환경영향평가 주요 항목별로 개선방안을 제시하였다.

특히 국내에서도 2015년도부터 PM<sub>2.5</sub>의 기준을 도입할 예정이고, 사회적으로 PM<sub>2.5</sub>에 의한 스모그가 문제가 되고 있기 때문에 대기환경영향평가에서 국내 실정에 적합한 PM<sub>2.5</sub>의 평가절차와 기준을 설정하는 방안을 제시하였다. 또한, 대상 사업지구 내에 부지기상자료를 보다 효율적으로 측정과 모델링을 병행하여 확보하는 방안, 그리고 도시개발 등에서 바람길을 확보하고 이를 평가에 반영하는 방안에 대해서 중점적으로 기술하였다.

### 감사의 글

본 연구는 환경부 “차세대 핵심환경기술개발사업”으로 지원받은 과제임.

### References

Byun, D.W. and J.K.S. Ching (1999) Science algorithms of the EPA Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System. EPA-600/R-99/30.

Changwon Iron and Steel Institute Ltd. (2011) Environment Impact Assessment Document of Iron and Steel General Industrial Complex in Changwon.

Cheonan-si (2011) Environment Impact Assessment Document of Urban Development Projection in Northern Cheonan Complex.

Chungbuk Development Corporation and Korea Industrial Complex Corporation (2012) Environment Impact Assessment Document of Development Project on Osong Second Bio-Health Science Park.

Daemyung-Suan Ltd. (2012) Environment Impact Assessment Document of Urban Development Projection in Jincheon Gyosung Complex.

ENVIRON International Corporation (2005) User's Guide CAMx Comprehensive Air Quality Model with Extension Version 4.20.

GYERYONG Ltd. (2011) Environment Impact Assessment Document of Development Project on General Industrial Complex in Jeungpyeong 2.

Jeong, S.J. (2011a) CALPUFF and AERMOD Dispersion Models for Estimating Odor Emissions from Industrial

Complex Area Sources, Asian J. Atmos. Environ., 5(1), 1-7.

Jeong, S.J. (2011b) Estimation of Odor Emissions from Industrial Sources and Their Impact on Residential Areas using the AERMOD Dispersion Model, J. Korean Soc. Atmos. Environ., 27(1), 87-96. (in Korean with English abstract)

Kimcheon-si (2011) Environment Impact Assessment Document of Development Project on Kimcheon Second General Industrial Complex.

Korea Environment Corporation (2010) Guidelines for Local Government Greenhouse Gas Inventories.

Korea Environment Institute (2002) A Study on Reasonable Estimation and Assessment Method of Environmental Impact.

Korea Environment Institute (2006) Study on Wind flow and Air Quality in Urban Terrain.

Korea Midland Power Corporation Ltd. (2011) Environment Impact Assessment Document of Construction Project on Combined Heat and Power Plant of a Multifunctional Administrative City.

Korea Western Power Corporation Ltd. (2012) Environment Impact Assessment Document of Construction Project on 9, 10 Taean Power Plant.

Kum-Kang Industry Ltd. (2011) Environment Impact Assessment Document of General Industrial Complex in Jinrye Songhyun.

McMurry, P., M. Shepherd, and J. Vickery (2004) Particulate Matter Assessment for Policy Makers: A NARSTO Assessment, Cambridge University Press, Cambridge, England. ISBN 0 52 184287 5.

Ministry of Environment (2007a) A Study for Improvement of Urban Plan considering Wind Corridor and Air Quality.

Ministry of Environment (2007b) A Study of Utilization Method of Environment Impact Prediction Model for Preparation.

Ministry of Environment (2009a) Guidelines of Environmental Impact Assessment Documents.

Ministry of Environment (2009b) User's Guide for Environmental Impact Prediction Models.

Ministry of Environment (2013a) Guidelines of Environmental Impact Assessment Documents for Greenhouse Gas.

Ministry of Environment (2013b) Odor Analysis Method.

Moon, N.K., Y.S. Lee, Y.H. Kang, and Y.H. Kim (2006) The Application of Air Quality Models on Environment Impact Assessment, 2006, Korea Environment Insti-

- tute.
- MPC Yoolchon Power Ltd. (2012) Environment Impact Assessment Document of LNG Combined Cycle Thermal Power Plant of MPC Yoolchon.
- Lee, C.B. and J.C. Kim (2008) Evaluation of the CALPUFF Model Using Improved Meteorological Fields in Complex Terrain of East Sea Coast, J. Korean Soc. Atmos., 25(1), 15-25. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.B., J.C. Kim, G.W. Lee, C.U. Ro, and H.K. Kim (2007) Tracer Experiment for the Investigation of Urban Scale Dispersion of Air Pollutants - Simulation by CALPUFF Dispersion Model and Diffusion Feature of Tracer gases, J. Korean Soc. Atmos., 23(4), 405-419. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.W., H.Y. Won, H.J. Choi, and H.G. Kim (2005) Numerical Simulation of Effects of Atmospheric Flow Fields Using Surface Observational Data on Dispersion Fields of Air Pollutants in Gwangyang Bay, J. Korean Soc. Atmos., 21(2), 169-178. (in Korean with English abstract)
- LG Display Ltd. (2012) Environment Impact Assessment Document of LG Display Plant Expansion Site in 3 Gumi National Industrial Complex.
- Pohang-si (2011) Environment Impact Assessment Document of Development Project on General Industrial Complex in Youngilman 4.
- POSCO Energy Ltd. (2011) Environment Impact Assessment Document of Construction Project on 1,2 LNG Combined Cycle Thermal Power Plant of Posco Energy.
- US Environmental Protection Agency (1998a) AERMOD: Description of Model Formulation.
- US Environmental Protection Agency (1998b) Revised Draft User's Guide for the AERMOD Meteorological Preprocessor (AERMET).
- US Environmental Protection Agency (1998c) Revised Draft User's Guide for the AERMOD Terrain Preprocessor (AERMAP).
- US Environmental Protection Agency (2010) Modeling Procedures for Demonstrating Compliance with PM<sub>2.5</sub> NAAQS.
- US Environmental Protection Agency (2011) PM<sub>2.5</sub> Modeling Implementation for Projects Subject to National Ambient Air Quality Demonstration Requirements Pursuant to New Source Review, Report from NACAA PM<sub>2.5</sub> Modeling Implementation Workgroup, Washington, DC, January 7, 2011.
- US Environmental Protection Agency (2013) Draft Guidance for PM<sub>2.5</sub> Permit Modeling.
- Yongin Mohyun Wangsan Urban Development Project Association (2011) Environment Impact Assessment Document of Urban Development Project in Yongin Mohyun Wangsan.