

기술자료

통합환경관리제도 운영을 위한 대기오염물질 배출영향분석에 관한 연구

석희정¹ · 간종범¹ · 김영란¹ · 서진원¹ · 홍석영¹ · 김효정^{2†}

¹국립환경과학원 자연환경연구과(통합환경관리연구 TF),

²환경부 자원재활용과

Discharge Impact Analysis of Air Pollutants for Integrated Environmental Management

Hee-Jeong Seok¹, Jong-Beom Kahn¹, Young-Lan Kim¹, Jin-Won Seo¹, Suk-Young Hong¹,
and Hyo-Jung Kim^{2†}

¹Integrated Pollution Prevention and Control Research Team, National Environment Research Division, National Institute of Environmental Research, Incheon 22689, Korea

²Resources Recycling Division, Ministry of Environment, Sejong-si 30103, Korea

Received November 10, 2020 / Revised December 8, 2020 / Accepted December 14, 2020

Unlike water quality, air quality is difficult to assess since pollutants are discharged and diffused via various paths. For this reason, when establishing an air management policy, complex modeling is performed to predict future environmental changes. To accurately predict air quality and suggest an appropriate pollutant management policy, the number of pollutants generated by each emission source and the number of pollutant emissions is calculated herein, and the contribution of pollutants by emission source is determined. In this respect, atmospheric modeling is being used as an important tool. However, because this modeling technique represents the problematic pollutant, it is most important to ensure the reliability of the input data to derive an accurate modeling result. In 2017, an integrated environmental management system was introduced in which the management of discharge facilities, which were applied for each medium (water quality, air, waste, etc.), was integrated and managed at the plant level. In addition, through the emission impact analysis, it is now possible to establish customized permit emission limits for each plant site by considering the effect on the surroundings and set up receptor for quantifying the concentration of additional pollutants in the emission facility. The purpose of this study is to compare domestic and foreign air pollutant emission impact analysis methods and air quality prediction models to propose development directions for future air pollutant emission impact analysis

Key words: Integrated environmental management system, Discharge Impact Analysis, Air pollutants, Air quality prediction model, Permit emission standards

1. 서 론

우리나라 기존 환경법률은 1971년 환경오염시설 허가 제도가 처음 도입된 이후 공해방지법을 폐지하고 1977년 12월 31일 환경보전법이 제정되었고, 1990년 대기, 수질 등 오염 매체별로 발생하는 오염물질 제어를 위해 방지시설을 설치하여 관리해왔다. 하지만 오염물질의 매체별 관리는 가능하지만 사업장의 업종별, 시설별

특성을 고려하지 않은 획일적인 배출허용기준의 설정으로 오염물질의 매체 간 전이효과와 오염물질이 주변 환경 및 수용체에 미치는 영향을 파악하기 어려운 환경에 미치는 영향을 종합적으로 고려할 수 없다는 한계가 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 환경에 미치는 영향이 가장 큰 19개 업종(수질 및 대기 1종 또는 2종 이상)을 대상으로 「환경오염시설의 통합관리에 관한 법

[†]To whom correspondence should be addressed.

Tel: 82-044-201-7380, E-mail: xiaozeon@korea.kr

물(이하 통합법)」이 2017년 1월부터 5년간 단계적으로 시행되고 있고 기존 사업장은 업종별 시행일로부터 4년간 유예기간이 적용된다. 통합법의 시행으로 인해 과거 매체별·배출시설별로 관리되어 오던 오염물질이 인·허가 단계에서부터 통합하여 사업장별로 관리되게 되었으며, 사업장별 맞춤형 허가배출기준의 설정이 가능하게 되어 사업장의 효율적인 환경관리가 가능하고 산업 경쟁력 제고도 가능하게 되었다.

특히 통합환경관리제도에서는 배출영향분석을 통한 허가배출기준 설정과 최적의 방지시설 및 관리기법을 제공하는 최적가용기법 기준서(Best Available Techniques Reference)를 통해 과학·기술기반의 환경관리 선진화가 가능하게 되었고, 각 사업장의 배출량이 아닌 농도로써 규제하여 적정 배출량 수준을 설정할 수 있게 되었다.

본 연구는 국내·외 대기오염물질 배출영향분석 방법 및 대기질 예측 모델을 비교하여 향후 대기오염물질 배출영향분석의 발전방향을 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 대기질 예측 모델 비교

2.1.1. 국내·외 대기질 예측 모델의 종류

대기질 예측 모델은 사업장에서 배출되는 대기오염물질이 대기 중으로 배출되었을 때 대기 중에서 확산, 희석, 화학반응, 소멸 등의 과정을 거치면서 최종적으로 대기오염물질의 배출량이 대기 중 오염도에 미치는 영향에 대한 상관관계를 찾는 것이 목적이다.¹⁾ 현재 국내외 대기환경정책에 사용되는 대기질 예측 모델은 크게 지역 모델과 광역 모델 두 가지로 구분될 수 있고, 대표적인 대기확산모델로는 WRF, ISC3, AERMOD, CALPUFF, AUSTAL2000, CMAQ 등이 있다.

WRF모델(Weather Research and Forecasting Model)은 미국 국립대기환경연구소(NCAR, National Center for Atmospheric Research)에서 실제 기상예보를 위해 MM5(Mesoscale Model 5)의 단점을 보완하여 제작된 대표적인 커뮤니티 기상모델이다. 기상모델의 종류는 약 200여 가지가 넘지만 대기질 모델과의 연계 용이성으로 인해 대기질 모델에서는 가장 일반적으로 사용되고 있다. 기상모델로서의 WRF모델은 기상에 영향을 미치는 풍향, 풍속, 강우, 기온 등 기상인자의 관계를 질량, 운동량, 엔트로피, 스칼라량 등에 대한 3차 시간 적분법을 통해 해석하는 플럭스 형태의 진단 방정식을 사용한다. 그 결과로 생산되는 시간에 대한 기상인자 함

수는 대기질 모델의 입력 정보로 사용된다.¹⁾

ISC3(Industrial Source Complex Model 3)모델은 1995년도에 개발되었고, 대기오염물질 확산을 표현하는 기본 모델인 가우시안 모델(Gaussian Model)의 발전된 모델이다.¹⁾ 대기질을 예측하기 위한 모델 중 계산과정이 비교적 간단하고 컴퓨터의 계산량 및 입력자료가 간단하여 사용이 용이하며 환경영향평가 및 대기질 예측 관리에서 국내외적으로 가장 널리 사용되어 왔다. 반면 ISC3ST3모델은 배출량과 기상조건이 시간에 따라 변하지 않는 정상상태를 가정하여 확산현상을 계산하므로 대기흐름이 시간에 따라서 변화가 심하거나 복잡한 화학반응을 고려하지 못하고, 굴뚝 주위에 위치한 건물에 의한 빌딩 세류현상을 정확히 모사하지 못하는 단점이 있다. 또한 대상물질이 비반응성 물질이기 때문에 광화학반응을 고려하여야 하는 반응성 물질에 대하여 영향예측을 실시할 경우에는 의미 없는 결과를 얻을 수밖에 없다.

AERMOD모델(AMS/EPA Regulatory Model)은 미국 EPA(Environmental Protection Agency)에서 ISC3 모델을 대체하여 채택한 차세대 가우시안 모델(Gaussian Model)인 대기확산모델이다.²⁾ ISC3의 대기상태가 공간적으로 균일하다는 단점을 보완하고,^{3,4)} 시간별 배출량 변화와 바람속도, 온도, 난류분포 등의 기상상태의 고려가 가능하다.⁵⁾ 입력자료로는 지형 및 기상자료(시간별 풍속, 풍향, 기온, 복사량, 구름수량, 표면의 거칠기), 매 시간별 배출량(g/s), 연돌정보(높이, 내경, 배출가스 온도, 유속) 등이 있다. 하지만 여전히 화학반응을 고려할 수 없으며, 해안가 연기 간헐, 대기와의 상호작용으로 인한 과정 등 복잡한 대기 현상 과정을 고려할 수 없다.⁶⁾ 따라서 3차원 기상장과 광화학 반응을 고려하여 적용할 수 있는 개선된 모델이 필요하다.

AUSTAL2000은 독일 환경청에서 개발된 비정상상태 확산을 평가하기 위한 대기확산모델이다. 3차원 바람영역(windfield)중의 입자를 추적하는 Lagrangian Particle Tracking dispersion algorithm을 적용한 모델으로써⁷⁾ 대기오염물질의 농도를 계산하는 데에도 적용할 수 있으며, 시간별 기상자료를 활용하여 시간별 농도를 계산하거나, 연평균농도를 계산할 수 있어 간단한 일차 화학반응도 고려가 가능하다.⁶⁾ 또한 German Regulation on Air Quality Control(TA Luft) Annex3 지침을 따르고 있고 VDI3945 Part3의 가이드라인을 기초로 한다.

CALPUFF 모델(California Puff Model)은 가우시안 퍼프 모델로 시간 및 공간에 따른 바람장의 변화를 퍼

프의 이동을 추적하여 고려할 수 있기 때문에 비정상 상태(Unsteady state) 모델이다. 유체의 흐름을 정상상태로 가정하여 수행하는 ISCTS3나 AERMOD와 같은 가우시안 모델보다 훨씬 넓은 영역에 대한 확산 모델링이 가능하며, 지표면과 상층 기상자료를 이용하여 지형효과를 고려한 3차원 풍향, 풍속, 온도, 혼합고, 난류 등을 생성하는 장점이 있다.⁷⁾ 그리고 복잡지형에서의 산곡풍이나, 해안가에서의 해륙풍 순환과 같은 급격한 바람장 변화를 나타내는 지역에 유용한 모델이기 때문에 우리나라와 같이 삼면이 바다이고 도시나 공단 등이 해안지역에 다수 위치한 경우 및 해륙풍 순환에 영향을 받는 풍하측 농도 예측에 적합한 모델이다.^{8,9)} 반면 모델을 성공적으로 수행하기 위해서는 바람장 자료가 필요하고 이를 작성하기 위해서 바람장 모델인 MM5등의 별도의 전처리 프로그램이 추가로 요구된다.⁸⁾

CMAQ(Community Multiscale Air Quality)은 오일 러리안 모델에 기초한 3차원 광화학 모델로서 미세 지역의 오염물질 분포를 예측하기보다는 기상현상, 광화학 반응 등을 충실히 반영하여 현실에 근접한 모사가 가능토록 하는 것이 큰 특징이다.¹⁾ 격자단위로 오염물질의 구동을 모사하고 기상장, 배출량, 화학반응, 수송을 전반적으로 살펴볼 수 있을 뿐만 아니라⁶⁾ 국지규모에서 지역규모까지 다양한 영역에 대하여 모델링이 가능하고 황화합물이나 오존화합물, 에어로졸도 동시에

고려할 수 있다.⁸⁾ CMAQ의 적용에 있어 필수적인 입력 자료는 기상장과 배출량이 있고, 이 자료를 마련하기 위하여 독립적인 모델이 필요하며,⁶⁾ 기상장 자료의 경우 MM5와 RAMS(Regional Atmospheric Modeling System) 같은 별도의 기상 모델도 추가적으로 필요하다. 국내의 배출량 자료는 국가가 생성한 자료로 공신력을 가지는 CAPSS(Clean Air Policy Supporting System)가 있지만 대기질 예측을 위한 시스템으로 구축하여야 하는 어려움이 있다.⁸⁾

2.1.2. 대기질 예측 모델의 적용

대기확산모델은 오염원 배출자료와 기상변수들을 기초로 하는 오염원 중심 모델로서 특정지역의 대기질 예측 및 평가에 이용된다. 수용체 위치에서 오염원에 중점을 두고 오염원 입력자료를 이용하여 수용체 위치에서 오염원의 영향을 평가한다.

확산 모델의 선정은 도시, 평야, 계곡, 분지 등 각 지형에 대해 계절별, 오염물질별, 평균시간별로 적절성이 있는 여러 경쟁모델들을 적용해보고 그중에서 실측 결과에 가장 근접한 계산치를 제공하는 모델을 적용한다.

대기확산모델링을 수행하는데 필요한 입력자료는 지형 및 기상자료와 배출원별 대기오염물질 배출량 자료가 요구된다. 국내의 경우 기상 모델 입력자료는 초기 경계자료(RDAPS, 기상청), 지형 및 토지이용자료(EGIS,

Table 1. Comparison of features according to the model.⁶⁾

Model	input data				Density (Lattice unit)	Chemical reaction	Target substance
	Weather	Emissions	Chimney information	Elevation			
ISCST3 (Gaussian Model)	○	○	○	△	○	X	Non-reactive primary air pollutants (SO ₂ , NO _x , CO, PM-10, TSP)
AERMOD (Gaussian Model)	○	○	○	△	○	X	Non-reactive primary air pollutants (SO ₂ , NO _x , CO, PM-10, TSP)
AUSTAL2000 (Lagrangian Particle Model)	○	○	○	○	○	○	Reactive and non-reactive primary air pollutants (SO _x , NO _x , CO, PM-10, TSP, NH ₃)
CALPUFF (Lagrangian puff dispersion model)	○	○	○	○	○	○	Reactive and non-reactive primary air pollutants (SO _x , NO _x , CO, PM-10, TSP, NH ₃ , VOC, heavy metals)
CMAQ (Eluerian chemical and transport model)	○	○	○	○	○	○	Reactive and non-reactive primary air pollutants (PM-2.5, O ₃ , SO _x , NO _x , TSP, VOC, heavy metals)

지리정보시스템) 등과 배출량 자료는 대기정책지원시스템(CAPSS)자료를 사용한다.

국내의 대기질 예측 모델 종류와 Table 1에 따르면 가우시안 모델은 오염농도가 연기 중심축으로부터 거리에 따라 정규분포를 이룬다는 가정하에 대기오염물질의 확산 현상을 예측하므로, 예측의 정확도에는 한계가 있으나 사용이 간편한 장점이 있어 대기질 예측 시 일반적으로 사용되고 있다. 모델간의 특징은 Table 1과 같이 정리하였다.⁶⁾

2.2. 배출영향분석

2.2.1. 배출영향분석의 개요

대기오염물질 배출영향분석은 대기오염물질 배출시설 설치 시 추가적으로 발생하는 오염물질의 농도가 주변 환경과 수용체에 미치는 영향을 고려하여 사업장별로 적절한 맞춤형 허가기준을 부여함으로써 수용체 중심의 과학화된 환경관리체계를 구축하는 것을 목적으로 한다.

대기오염물질 배출영향분석의 수행으로 사업장에서 발생하는 대기오염물질이 환경에 미치는 영향을 산정하고 오염물질의 추가오염도 및 총 오염도를 평가하기 위한 지표인 환경기준 또는 환경의 질 목표수준(통합법 시행규칙 별표7)과 비교하여 환경영향이 없는 범위 내에서 허가배출기준을 사업장 스스로 도출할 수 있다.

통합법에 따르면 배출영향분석은 제6조(통합허가), 제7조(허가기준 등), 제8조(허가배출기준), 제9조(허가조건 및 허가배출기준의 변경), 배출영향분석의 방법 및 결과서의 작성 등에 관한 규정(환경부고시 제2017-15호)(이하 배출영향분석 고시), 통합관리 대상 배출시설등의 한계배출기준, 배출시설 설치제한 지역 예외 인정 배출시설등에 관한 고시의 법적 규정을 따른다.

대기오염물질 배출영향분석 절차는 Fig. 1과 같다. 먼저 통합법에서 명시하고 있는 면제 대상시설 여부를 확인하고 면제시설에 해당하는 시설은 신규시설을 제외한 기존시설에 한하여 질소산화물, 황산화물 또는 먼지 항목이 연간배출량이 1톤 이하 또는 세 항목의 연간배출량이 2톤 이하인 배출구가 있는 경우를 말한다. 이때 해당하지 않는 경우 간이분석을 수행할 수 있고, 간이분석 결과는 오염물질이 환경에 미치는 영향을 간단히 스크리닝 할 수 있는 방법으로 적용된다. 이에 대한 규정은 배출영향분석 고시 별표8에 따른다. 간이분석을 통한 스크리닝은 상세분석으로 배출영향분석을 수행할 것인지를 판단하는 방법으로 통합환경허가시스템에서 간이분석 툴을 다운(<http://ieps.nier.go.kr>)받아 수행할 수 있으나 의무사항은 아니다. 간이분석을 통과하지 못한 오염물질에 대해 환경부에서 제시한 대기오염물질 배출영향분석 표준프로그램을 이용하여 상세 배출영향분석을 수행할 수 있고, 배출영향분석 프로그램 또한 통합환경허가시스템을 통해 제공하고 있다. 배출영향분석 고시 제10조에 따르면 표준프로그램 외의 대기질 예측 모델링 프로그램도 이용 가능하나 허가기관과 사전협의가 필요하다.

배출영향분석 대상지역은 사업장 중심 부지경계로부터 20 Km 영역 이내의 지역으로 사업장 인근 기상대의 최근 1년 기상정보와 대기오염물질을 배출하는 연돌제원, 오염물질 배출정보 등의 정보가 필요하다. 기존오염도(BC, Background Concentration)는 분석 대상 배출시설등을 설치·운영하기 전의 대상지역에서의 대기질의 오염농도를 의미하고, 추가오염도(PC, Process Concentration)는 분석 대상 배출시설등을 설치·운영으로 인하여 배출되는 오염물질등이 대기에 확산되었을 때 그 대기 오염농도 증가량을 의미한다. 총오염도(PEC,

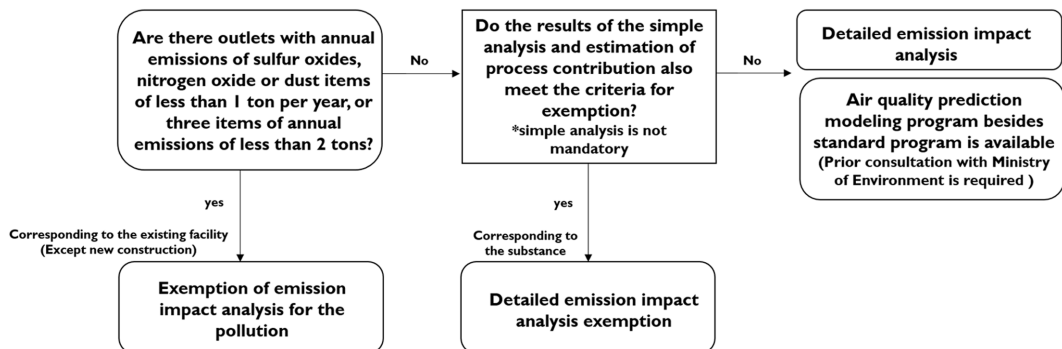


Fig. 1. Emission impact analysis performance procedure (Air pollutant).

Predicted Environmental Concentration)는 분석 대상 배출시설등을 설치·운영으로 인하여 배출되는 오염물질 등이 대기에 확산되었을 때 기준오염도와 추가 오염도를 고려하여 산정한 총 오염농도를 의미한다.

2.2.2. 국외 배출영향분석

유럽(EU)은 지역에 적합한 확산모델 등을 활용하여 배출시설이 환경에 미치는 영향 정도를 평가하고 BAT (BAT, Best Available Techniques)를 토대로 지역 환경 상황 등을 고려한 배출허용기준(ELVs, Emission Limit Value)을 설정한다. 또한 IED(Industrial Emission Directive)에 따라 EU 국가 내에서 통합된 허가를 발급받아야 한다. 이에 따라 설정된 허가배출기준은 허가조건에 반드시 포함되어야 하며 IED에 있는 35개 업종의 TWG에서 제안된 BREF 내의 BACT or BAT-AEL을 근거로 모니터링 방식에 따른 초과판정 방식을 준수하도록 한다.

영국은 1990년 매체법 체계에서 환경보호법(The Environmental Protection Act)제정으로 통합적 환경관리체제로 전환되었고, 환경허가를 받기 위해서는 영국 정부가 발간한 기술지침(Technical Guidance)에 따라 BAT 또는 배출한계값에 근거한 특정 기술의 실질적인 적합성을 나타내야 한다.¹⁰⁾ 배출허용기준 설정은 EPR (Environmental Permitting Regulations)에 따라 개별허가 시 각각 설정하고 ELVs를 환경과 인간의 영향을 고려하는 H1 프로그램을 통해 검토한 후 환경기준(EQS, Environmental Quality Standard)만족 여부를 고려한

허가배출기준을 설정한다. 배출영향분석 대상 항목은 H1 Annex-F Appendix B의 UK Air Quality Strategy EQS 11종과 Protection of Humman Health EAL 89 종이다.¹¹⁾

독일은 EU BREFs의 BAT-AEL과 자국법의 업종별 배출허용기준을 비교한 후 허가조건 시 더 엄격한 기준을 허가배출기준으로 적용한다. 연방배출규제법의 통합환경허가시 설치요건조례(Ordinance on Installations Requiring a Permit-4. BImSchV, Bundes-Immission schutzverordnung), 허가절차조례(Permit Procedure Ordinance-9. BImSchV)에서 대기오염, 소음·진동, 빛, 방사선 및 유사한 배출로 인한 해로운 영향으로부터 인간 및 환경보호를 위해 시설설치, 개선, 운영 시 절차에 따라 허가·승인을 받도록 규정하고 있다.¹²⁾ 독일은 이미시온 방지법(Federal Immission Control Act)을 시작으로 대기오염에 대한 허가를 수행하고 있고,⁶⁾ 이미시온이란 인간, 동물, 식물, 토양, 물, 대기 또는 문화유산 및 유형재산에 영향을 미치는 대기오염을 의미한다.¹³⁾ 또한 대기 청정 유지를 위한 기술적 지침(Technical Instruments on Air quality Control: TA Luft)이라는 가이드스를 국가에서 제공하고 있고, 이는 대기오염물질 배출시설에 대한 배출한계치나 배출관련요구 사항을 결정하는데 기준이 된다.¹⁰⁾ TA-Luft Annex 3에 따라 대기배출 영향분석을 이행하고, TA-Luft에서 제시한 AUSTAL 2000 모델링을 통해 추가적인 기준을 요구하여 영향에 대한 부과금 등 행정조치를 가함으로써 시설 설치에 대한 허가를 부여한다.

Table 2. Examples of overseas emission impact analysis¹²⁾

Division	England	USA	Germany
Assessment Methods	H1 software tool	NSPS, BACT, LAER, MACT, RACT	AUSTAL2000 model
Configuration	Program composition and procedures such as EQS, EAL and PC calculation formula when pollutants are released into the atmosphere according to H1 Annex-F	10 CFR part 60, 61, 63	Air Quality Control(TA Luft)model, Federal Immission Control Act (Authorization Procedures)
Target pollutant	Appendix A & B of H1 Annex-F (Nitrogen Dioxide, etc.)	CO, Pb, PM-10, PM-2.5, O ₃ , SO _x , NO _x , aerosol, asbestos, CFCs, HAPs, HCFCs, Hg, Rn, VOCs etc	Emission standards according to TALuft, Immission Limits of BImSchV, Alerthresholds (TSP etc)
Permission criteria	EQS or EALs-Annual Concentrations and Maximum Admissible or 95 percentile concentrations	NAAQS(National Ambient Air Quality Standards)	BImSchV(ImmissionsSchutzrechts Verordnungen), Ta-Luft (Technische-AnleitungzurReinhaltung der Luft)
Legal basis	EPR (Environmental Permit Regulation)	CAAA (Clean Air Act Amendment)	Federal Immission Control Act (BImSchG), Council Directive 96/61/EC

미국은 NPDES(National Pollutant Discharge Elimination System)을 통해 오염물질에 대한 제한치 설정, 기본적으로 국가배출허용기준을 지키며 영향평가에 따라 기준 강화, NPDES 허가서의 배출허용기준 위반 시 허가당국이 시정조치를 요구한다. 미국 대기질 관리의 경우 NAAQS(National Ambient Air Quality Standards) 및 PSD(Prevention of Significant Deterioration)를 바탕으로 신규 배출원에 대한 평가를 우선적으로 수행한다.¹²⁾ 각 주에서는 U.S EPA에서는 대기질 예측 시 이용되는 모델을 제공한다.

Table 2는 영국, 미국, 독일에서 사용하는 대기질 예측 평가방법과 그 구성, 대상오염물질, 그리고 허가기준 및 법적 근거를 간략하게 정리한 내용이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 배출영향분석을 통한 허가배출기준 설정

3.1.1. 허가배출기준 설정 절차

배출영향분석 프로그램을 활용하여 추가오염도 또는 총오염도를 환경기준과 비교하여 환경영향이 없는 범위 내에서 사업장 맞춤형 허가배출기준이 설정되게 된다. 허가배출기준의 설정 절차는 Fig. 2와 같으며, 총 5단계를 거친다.

첫 번째 단계는 표준모델링을 통한 추가오염도를 산정하지 아니하는 오염물질과 수도권특별법에 따른 총량관리사업장으로서 배출허용총량이 할당된 오염물질의 배출영향분석 면제사항을 검토하여 제외한다. 두 번째 단계는 표준모델링 프로그램을 통한 배출영향분석을 수

행하고 통합법 규칙 별표6에 따라 오염물질이 주변에 미치는 총오염도가 환경의 질 목표수준 이하이면 최대 배출기준을 허가배출기준으로 설정한다. 세 번째 단계는 허가배출기준 설정기준을 만족하도록 ‘한계배출기준 < 허가배출기준 < 최대배출기준’을 설정하고 허가배출기준 준수를 위해 배출시설 및 방지시설 개선 등의 조치 계획을 수립한다. 이때, 총오염도가 환경의 질 목표수준 보다 높은 경우 환경의 질 목표수준 이하로 만족하도록 최대배출기준과 한계배출기준 사이에서 허가배출기준이 설정된다.¹⁴⁾ 네 번째 단계는 허가배출기준 설정기준 미충족 시 환경부고시 제2017-48호에 따라 한계배출기준을 허가배출기준으로 설정한다. 여기서 한계배출기준은 최적가용기술을 적용하였을 때 달성 가능한 기술적·법적 측면에서 허가배출기준의 하한기준을 의미한다.¹⁴⁾ 다섯 번째 단계는 총오염도가 「환경정책기본법」 별표에 따른 환경기준(해당 오염물질의 환경기준이 없을 경우에는 규칙 별표 7에 따른 환경의 질 목표수준)을 2.5 배 초과 시 한계배출기준의 100분의 70을 적용하여 엄격한 한계배출기준을 설정한다.

3.1.2. 모델 입력자료

모델 입력자료는 기상자료, 기존오염도와 환경의 질 목표수준 크게 세 가지로 구분될 수 있다. 첫 번째, 기상자료는 기상정보 국가기상관측망을 기반으로 제공하는 자료로 1년 단위로 대기배출영향분석 프로그램 업데이트를 통해 제공되고, 기상청 기상연보 지점 기준으로 사업장과 가장 근접한 기상대 지점이 자동으로 설정된다. 두 번째, 기존오염도는 분석 대상지역에서의 대

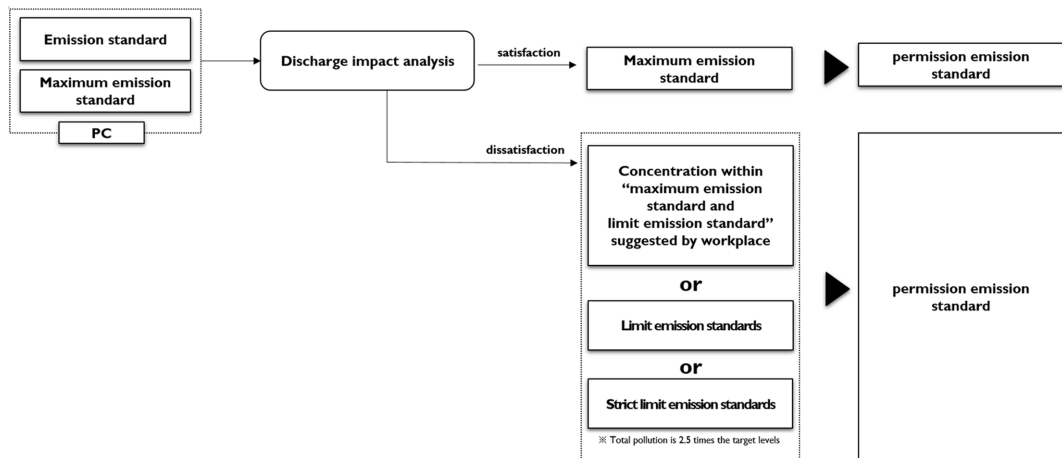


Fig. 2. Setting of emission standards.

기질의 오염농도를 의미하고 사업장이 신설되거나 기존 사업장이 변경 또는 추가 될 경우, 이로 인해 추가 되는 오염물질의 배출량이 주변 환경에 어느 정도 영향을 미치는지 비교하기 위해 설정한다. 통합법에서 설정된 허가배출기준 25종 중 6개 항목(브롬화합물, 불소화합물, 시안화수소, 염화수소, 페놀화합물, 포름알데하이드)이 미제공 항목이었으나, 2020년 2월부터 환경의 질 목표수준이 추가되어 평가를 시작했고, 허가배출기준이 설정된 모든 오염물질에 대해 기존오염도를 제공하고 있다. 반면 허가기관에서 제공하는 기존오염도 중 총먼지(TSP)의 경우 국가측정망에서 총먼지(TSP)를 측정하지 않으므로 PM-10 측정값을 총먼지(TSP)의 기존오염도로 대체하여 제공한다.¹⁵⁾ 세 번째, 환경의 질 목표수준은 일정한 환경의 질을 유지하기 위한 대기 매체 중 오염물질(항목)의 목표수준이라 정의한다. 대기환경보전법 시행규칙 별표8에 따라 대기오염물질 배출시설에서 나오는 대기오염물질 배출허용기준(가스형태 물질 27종, 입자상 물질 10종)은 있으나 현재 통합법 시행규칙 별표7 제8조 제3항관련 대기오염물질에서 14항목만이 환경의 질 목표수준으로 설정되어있다. 환경기준이 없는 오염물질의 경우, 환경기준 대신 적용할 환경의 질 목표수준의 설정이 시급하다. 여기서 ‘환경기준’이란 국민의 건강을 보호하고 쾌적한 환경을 조성하기 위하여 국가가 달성하고 유지하는 것이 바람직한 환경상의 질적인 수준(환경정책기본법 제3조)을 의미한다.

3.1.3. 대기질 예측 모델 비교평가 및 모델 수행 결과
대기오염원에 대한 과학적 분석을 위해서는 적절한 대기질 예측 모델의 적용이 필요하다. 모델의 선택을 위해 다섯 가지 모델(ISCST3, AERMOD, AUSTAL2000, CALPUFF, CMAQ)에 따른 특징을 Table 1에서 비교해 보았다. 입력자료(기상, 배출량, 굴뚝정보, 지형고도)와 농도의 격자단위 여부는 비슷한 반면 화학반응 여부와 그에 따른 대상물질에서 큰 차이점을 보였다. 가우시안 모델의 특징을 가지고 있는 ISCST3와 AERMOD는 화학반응을 고려할 수 없어 비반응성 1차 대기오염물질만이 대상물질이고 모델링에 소요되는 시간 또한 짧다. 반면 라그랑지안 모델의 특징을 가지고 있는 AUSTAL 2000, CALPUFF와 오일러리안 모델에 기초한 3차원 광화학 모델인 CMAQ은 물질에 따른 화학반응을 고려할 수 있어 반응성 및 비반응성 1차 대기오염물질을 대상물질로 하며 모델링 계산시간 또한 길다. 이러한 모델들은 대상범위가 넓고 매우 정교하지만 확

산 및 화학반응과 관련된 과정을 정확히 고려해야하므로 별도의 기상자료 모델이 추가로 필요하고 배출량을 직접 산정해서 입력해야하는 복잡성 및 자료확보의 어려움 때문에 현재 국내 대기오염물질 배출영향분석 프로그램은 AERMOD 모델을 적용하고 있다.

AERMOD와 ISCST3을 비교한 연구에 따르면,^{8,16)} 대상 오염원이 점오염원일 때 지형효과를 고려한 ISCST3와 AERMOD의 등농도 곡선을 비교해본 결과 ISCST3 모델의 경우는 지형에 크게 상관없이 풍향의 변화에 따라 확산되고 있는 반면 AERMOD의 경우는 지형의 영향을 고려하여 오염물질이 분포하며 지형고려 전·후의 농도 분포가 확연히 나타남을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 AERMOD모델이 ISCST3모델보다 지형적인 영향을 고려하는 부분이 우수함을 보여주는 것이라 판단된다. 따라서 적어도 지형을 고려하여 대기질 예측 결과를 얻고자 한다면 AERMOD 또는 그 이상의 모델을 사용하는 것이 바람직하다는 부분에 동의하고, 추후 더 나아가 화학반응까지 고려가 가능한 AUSTAL2000, CALPUFF, CMAQ모델들과 현재 배출영향분석에서 사용하고 있는 AERMOD 모델과의 비교를 통해 국내 업종별 특성을 반영할 수 있는 모델에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 배출영향분석 개요 및 허가배출기준 설정방법을 이해하고, 국내·외의 대기오염물질 배출영향분석 방법 및 대기질 예측 모델의 특징을 비교하여 향후 대기오염물질 배출영향분석의 발전방향을 제시하고자 한다.

1. 국내 통합법에서 명시하고 있는 배출영향분석은 사업장에서 발생되는 대기오염물질이 환경에 미치는 영향을 산정하여 환경영향이 없는 범위 내에서 사업장별로 적절한 맞춤형 허가기준 부여가 가능하다.

2. 국내 통합법에서 명시하고 있는 대기오염물질 배출영향분석은 가우시안 모델인 AERMOD 모델을 이용하고 있고, 총 5단계를 거쳐 허가배출기준을 설정한다.

3. 최근 미세먼지 등으로 국민의 환경권이 침해당하는 상황에서 미세먼지(PM-10, PM-2.5) 및 미지의 오염물질에 대한 대기 모델링 기법이 추가로 마련되어야 한다.

3-1. PM-10의 경우만 하더라도, 국가기반통계인 CAPSS 자료를 활용하여 값을 제시할 수 있기 때문이다. 배출허용기준이 있는 총먼지(TSP)의 경우 모두

PM-10으로 가정하는 경우와 분율이 적용된 경우로 나누어 값을 제시할 수 있고 연료/공정/시설/업종에 따른 분율값이 제시되어 있기 때문에, 공정운전 상황에 따른 각 케이스별 모델 결과를 살펴볼 수 있을 것으로 기대된다.

3-2. 최근 환경 선진국에서는 화학반응을 고려한 대기질 예측 모델을 적용하여 대기오염물질을 관리하고 있고, CMAQ 모델은 화학반응까지 고려가 가능하기 때문에 대기 화학적 변화에 따른 PM-2.5까지도 예측이 가능하다. 최근 이슈가 되고 있는 PM-2.5의 메커니즘 규명에 속도를 높이려면, 국내 배출영향분석 모델에 화학반응이 고려된 기법이 개발되어야 한다.

3-3. 또한, 국내의 배출영향분석 모델은 환경의 질 목표수준이 있는 대상 오염물질만이 통합법에 적용되지만 향후 환경의 질 목표수준을 제공하지 못하는 오염물질 항목도 대기오염물질 배출영향분석 모델링을 통해 결과를 얻을 수 있도록 기존오염도 제공 항목과 환경의 질 목표수준 추가 설정이 시급하다.

감사의 글

본 논문은 사업장 통합환경관리 표준화 방안 마련(III)-배출영향분석 고도화 방안 마련 연구(NIER-2019-01-02-060) 기반으로 작성되었음을 밝힙니다.

참고문헌

1. 장이재, “대기오염물질 원인 및 영향분석 방법론에 기반한 대기환경관리정책의 과학화 방안 연구”, **2018**, 37-61.
2. EPA, “AERMOD: DESCRIPTION OF MODEL FORMULATION”, **2004**, 40.
3. A. Venkatram, V. Isakov, J. Yuan, and D. Pankratz, “Modeling dispersion at distances of meters from urban

- sources”, *Atmospheric Environment*, **2004**, 38, 4633-4641.
4. T. sax and V. Isakov, “A case study for assessing uncertainty in local-scale regulatory air quality modeling applications”, *Atmospheric Environment*, **2003**, 37, 3481-3489.
5. J. H. Park, “Prediction of Air Quality in Incheon Using AREMOD modeling”, *J. of Korean Society of Environmental Technology*, **2007**, 8(3), 222-232.
6. 환경부, “통합허가 배출영향분석 방법 고도화 연구”, **2016**, 98.
7. 국립환경과학원, “생활악취 관리기준 모델 개발 연구”, **2017**, 34.
8. 문난경, 이영수, 강영현, 김영하, “환경영향평가시 대기 확산모델의 적용에 관한 연구”, **2005**, 46-73.
9. 국립환경과학원, “환경영향평가 검증체계 마련 연구(I)”, **2017**, 30.
10. 국립환경과학원, “통합환경관리제도 도입을 위한 배출물질별 환경 질 목표수준 설정 연구”, **2014**, 67.
11. Environment Agency, “HI Annex F-Air emissions”, **2011**, 33-48.
12. 환경부, “배출영향분석 프로그램개발 연구사업”, **2014**, 31-37.
13. 국립환경과학원, “독일 대기오염방지 기술지침(TA Luft 2002)”, **2002**, 7.
14. J. H. Kim, S. Y. Joeng, M. H. Na, J. H. Choi, and C. I. Im, “A case study and review of emission impact analysis for establishing integrated environmental management permit emission for air pollutants-emitting facilities”, *Korea Environmental Policy and Administration Society*, **2017**, 19-23.
15. 국립환경과학원, “통합관리사업자 및 허가권자를 위한 대기오염물질 배출영향분석 프로그램 설치 및 운영 매뉴얼”, **2019**, 21.
16. W. B. Faulkner, B. W. Shaw, and T. Grosch, “Sensitivity of Two Dispersion Models(AERMOD and ISCST3)to Input Parameters for a Rural Ground-Level Area Source”, *J. Air & Waste Management Association*, **2008**, 58, 1288-1296.