

# 미세먼지 확산 모델링을 이용한 대기질 예측 시스템에 대한 연구

## A Study on Fine Dust Modeling for Air Quality Prediction

유지현\*

Ji-Hyun Yoo\*

### Abstract

As air pollution caused by fine dust becomes serious, interest in the spread of fine dust and prediction of air quality is increasing. The causes of fine dust are very diverse, and some fine dust naturally occurs through forest fires and yellow dust, but most of them are known to be caused by air pollutants from burning fossil fuels such as petroleum and coal or from automobile exhaust gas. In this paper, the CALPUFF model recommended by the US EPA is used, and CALPUFF diffusion modeling is performed by generating a wind field through the CALMET model as a meteorological preprocessing program that generates a three-dimensional wind field, which is a meteorological element required by CALPUFF. Through this, we propose a fine dust diffusion modeling and air quality prediction system that reflects complex topography.

### 요약

미세먼지로 인한 대기오염이 심각해지면서 미세먼지의 확산과 대기질의 예측에 대한 관심이 높아지고 있다. 미세먼지의 원인은 매우 다양한데, 일부 미세먼지는 산불, 황사 등을 통해 자연적으로 발생하기도 하지만 대부분은 석유, 석탄과 같은 화석연료를 태우거나 자동차 매연 가스에서 나오는 대기오염물질에서 유발되는 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 미국 EPA에서 추천하는 CALPUFF 모델을 사용하고, CALPUFF에서 필요한 기상 요소인 3차원 바람장을 생성하는 기상 전처리 프로그램으로 CALMET 모델을 통해 바람장을 생성하여 CALPUFF 확산 모델링을 수행한다. 이를 통해 복잡한 지형을 반영한 미세먼지 확산모델링과 대기질 예측 시스템의 구조를 제안한다.

*Key words : Fine dust Diffusion Modeling, CALMET, Gaussian Puff Model, CALPUFF, Wind Field*

### 1. 서론

대기 중에 인체에 유해한 물질이 많이 포함되어 있을 때 이를 '대기가 오염되었다.'라고 표현한다. 기후변화로 인해 기온의 상승하고 대기오염이 심각해지면서 오염원의 확산과 대기질의 예측에 대

한 관심이 높아지는 추세이다.

대기오염을 나타내는 먼지는 입자 크기에 따라 미세먼지, 초미세먼지로 나뉘는데, 세계보건기구(WHO) 지름 10마이크로미터( $\mu\text{m}$ ) 이하 먼지는 미세먼지, 지름 2.5 $\mu\text{m}$  이하는 초미세먼지로 규정하고 있다. 미세먼지의 원인은 매우 다양한데, 일부 미세

\* Dept. of Internet Communications, Jangan University

★ Corresponding author

E-mail : [jihyun\\_yoo@jangan.ac.kr](mailto:jihyun_yoo@jangan.ac.kr), Tel : +82-31-299-3024

※ Acknowledgment

This work was supported by Jangan University Research Grant in 2020.

Manuscript received Dec. 2, 2020; revised Dec. 13, 2020; accepted Dec. 23, 2020.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

먼지는 산불, 황사 등을 통해 자연적으로 발생하기도 하지만 대부분은 석유, 석탄과 같은 화석연료를 태우거나 자동차 매연가스에서 나오는 대기오염물질에서 유발되는 것으로 알려져 있다.

본 논문에서는 대기오염원인 미세먼지를 실시간으로 분석하여 사전 예방 및 대응을 위해 미세먼지 확산모델 알고리즘 개발하고, IoT, 빅데이터 등 지능정보화 기술을 통해 수집된 정보를 이용하여 미세먼지의 확산 형태 및 확산 정도에 대한 과학적인 정보를 제공하는 시스템 모델을 제안하고자 한다.

## II. 미세먼지 확산 모델링 알고리즘

### 1. 적용모델링 선정

대기질 예측에 사용되는 모델은 종류도 다양하고 각각의 특징을 가지고 있어, 모든 지역에서 일률적으로 적용하기 어렵다. 따라서 우리나라에서 적용 가능한 모델을 선정하기 위하여 미국 EPA(Environmental Protection Agency)에서 배포하고 있는 추천 모델과 국내에서 많이 적용되고 있는 모델을 선정하여 스크리닝 모델, 선오염원 모델, 가우시안 플룸 모델, 가우시안 퍼프모델, 3차원 광화학 모델을 중심으로 구분하고 각 특성을 표 1에 정리하였다.

본 논문에서는 EPA에서 권고 모델인 가우시안 퍼프 모델의 한 종류인 CALPUFF 모델을 채택하였다.

Table 1. Air quality prediction model.

표 1. 대기질 예측 모델

Type	Model	Characteristic
Screening Model	AerScreen	A simple evaluation model that provides the worst case prediction results that can actually occur only with discharge conditions and simple elevation data as a screening version of the AERMOD model.
Line pollutant Model	CALINE3	Convenient to apply. Simulate the effect of continuous line pollutants using the Pasquill diffusion curve.
	CAL3HC/CAL3QHCR	Suitable for calculating the concentration of pollutants in areas where vehicles are congested, especially at intersections. Complex input data.

Type	Model	Characteristic
Gaussian Plume Model	ISC3	Divided into long-term (ISCLT3) and short-term (ISCST3) models. Contaminant half-life and chemical conversion rate, particle gravitational sedimentation, absorption and dry deposition, plume rise and building downwash are considered.
	AERMOD	The assumption that the atmospheric state, which was a disadvantage of the ISC3 model, is spatially uniform, and the problem of application in complex terrain are supplemented. It is easy to use for a relatively simple business and is currently the most widely used
Gaussian Puff Model	CALPUFF	Using the 3D meteorological field provided as a result of the meteorological model as input data. A model that can fully consider complex wind fields and terrain.
3D Eulerian Model	CMAQ, CAMx, UAM	Advection, diffusion, and reactions can be considered that determine the concentration of pollutants that may occur in the atmosphere. Difficult to calculate and operate emissions.

### 2. CALPUFF 모델

CALPUFF 모델은 배출되는 연기가 퍼프(Puff)로 배출된다고 가정하고, 시간 및 공간에 따른 바람장의 변화를 퍼프의 이동에 고려할 수 있는 비정상상태 모델이다. 따라서 정상상태 모델인 ISCST3나 AERMOD보다 정확하게 시간에 따른 풍향 및 풍속의 변화를 확산에 반영할 수 있다.

CALPUFF 모델의 특징은 점, 면 오염원에 대하여 시간적 농도를 계산할 수 있고, 오염원으로부터 수십 미터에서 수백 킬로미터까지 모델링이 가능하다. 또한 복잡한 지형에서도 강점이 있을 뿐만 아니라 1시간에서 1년까지, 원하는 주기에 대해 농도 예측이 가능하다.

CALPUFF 모델링 시스템은 세 가지 주요한 요소인 CALMET, CALPUFF, CALPOST 및 기상과 지형 처리 프로그램으로 구성되어 있다. CALPUFF는 오염원으로부터 배출된 퍼프를 확산 및 프로세스를 통해 모사하는 확산, 수송 모델이다.

그림 1은 CALPUFF 모델링 시스템으로 관련된 CALGRID 광화학 모델, KSP 입자 모델 및 MM5, MM4 및 CSUMM 기상 모델을 보여준다[1].

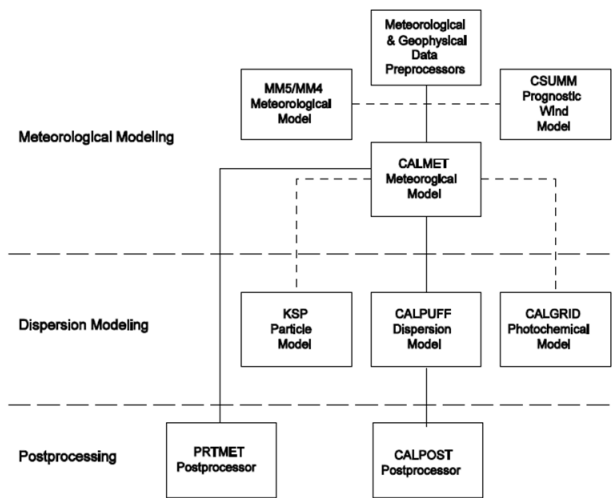


Fig. 1. Overview of the program elements in the CALPUFF Modelling System.

그림 1. CALPUFF 모델링 시스템의 프로그램 요소 개요

CALPUFF 모델링 시스템은 세 가지 주요한 요소인 CALMET, CALPUFF, CALPOST 및 기상과 지형 처리 프로그램으로 구성되어 있다. CALMET은 3차원 격자 모델링 영역에서 시간별 바람장 및 온도장을 생성해 내는 기상모델이다. 혼합고도, 지표 특성, 확산 특성과 같은 2차원 자료 또한 CALMET을 통해 생성된다. CALPUFF는 오염원으로부터 배출된 퍼프를 확산 및 수송 프로세스를 통해 모사하는 확산 수송 모델이다. CALPUFF의 일차적인 결과에는 특정 지역에서의 시간별 농도나 시간별 침적 플럭스(deposition fluxes) 둘 중 하나를 포함된다. CALPOST는 이러한 결과 파일을 처리하기 위해 사용된다.

수용체에서 퍼프의 농도계산을 위한 기본식은 다음과 같다.

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_x\sigma_y} g \exp\left[-d_a^2/(2\sigma_x^2)\right] \exp\left[-d_c^2/(2\sigma_y^2)\right] \quad (1)$$

$$g = \frac{2}{(2\pi)^{1/2}\sigma_z} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp\left[-(H_e + 2nh)^2/(2\sigma_z^2)\right] \quad (2)$$

C : 지표 농도(g/m3)

Q : 퍼프에서의 오염물질 질량(g)

$\sigma_x$  : 풍향과 같은 방향에서의 가우시안 분포의 표준편차(m)

$\sigma_y$  : 풍향과 직교하는 방향에서의 가우시안 분포의 표준편차(m)

$\sigma_z$  : 연직 방향에서의 가우시안 분포의 표준편차 (m)

$d_a$  : 풍향과 같은 방향에서의 퍼프 중심으로부터 수용체(receptor)까지의 거리(m)

$d_c$  : 풍향과 직교하는 방향에서의 퍼프 중심으로부터 수용체(receptor)까지의 거리(m)

g : 가우시안 방정식의 연직 높이(m)

H : 지면위에서 퍼프중심의 효율적인 높이(m)

h : 혼합층 고도(m)

### 3. CALMET 모델

CALMET은 매 시간별 바람과 기온자료를 사용하는 진단적 기상모델로써 CALPUFF에서 필요한 3차원 바람장을 생성하는 기상 전처리 프로그램이다. 그림 2에서는 CALMET 모델링 흐름도를 보여준다[2].

CALPUFF의 기상 입력자료를 생성하는 단계인 CALMET의 수행 시 기상자료와 기상청 API에서 제공하는 운량, 운고 자료와 부지기상 관측 자료를 입력 자료로 이용하여 모델링 수행한다.

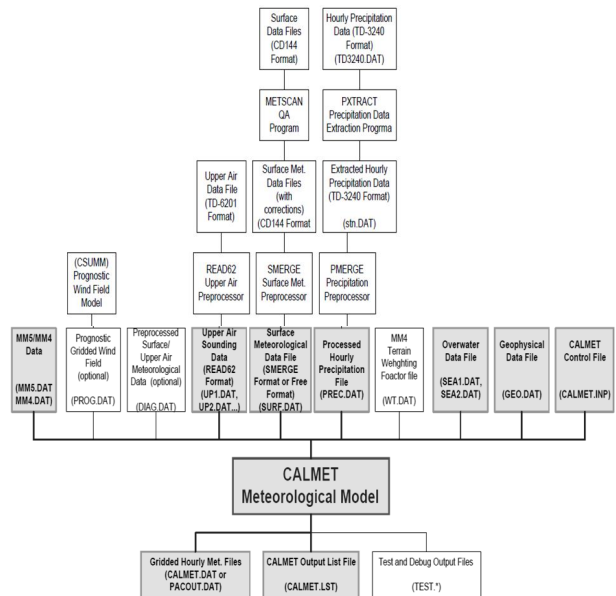


Fig. 2. CALMET Modeling Flow Diagram.

그림 2. CALMET 모델링 흐름도

## III. 미세먼지 확산 모델링 구현

### 1. 모델링 데이터

CALMET의 모델링을 위한 지형자료는 SRTM 자료 이용하여 입력 자료로 구축한다. 셔틀 레이더

지형 미션(Shuttle Radar Topography Mission, 이하 SRTM)은 전 세계의 수치표고모델(Digital Elevation Model)을 90m 급으로 제공한다. 그림 3에서와 같이 Tile 5×5 수준으로 남한 지역의 SRTM DEM 데이터를 다운로드하여 사용하고, 현재 SRTM DEM은 version 4이다.

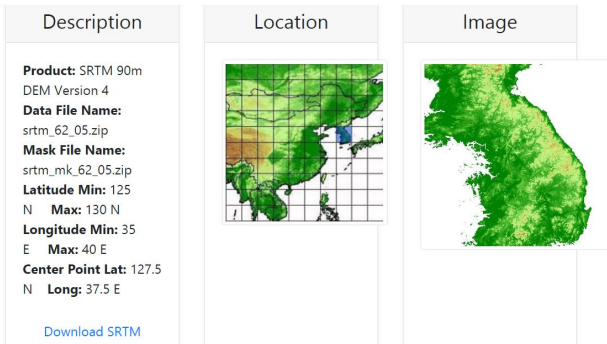


Fig. 3. Digital Elevation Data.  
그림 3. 디지털 지형 자료

CALMET 상세규모 바람장 구축을 위한 토지이용도자료는 환경부 토지피복도 중분류 자료를 이용한다. 이 자료를 CALMET의 토지이용도 자료로 변환하여 입력 자료로 표 2와 같이 구축한다.

Table 2. Air quality prediction model.

표 2. 지리정보를 활용한 토지 이용도 입력 자료 구축

Code	CALMET Land Use
10	Urban or Built-up Land
20	Agricultural Land-Unirrigated
-20	Agricultural Land-Irrigated
30	Rangeland
40	Forest Land
50	Water
51	Small Water Body
55	Large Water Body
60	Wetland
61	Forested Wetland
62	Nonforest Wetland
70	Barren Land
80	Tundra
90	Perennial Snow or Ice

기상자료는 풍향, 풍속, 온도, 습도 등의 기상자료, 기상청 API에서 제공하는 운량, 운고 자료와

부지기상 관측 자료를 입력 자료로 이용하여 모델링 수행한다.

미세먼지 배출원의 배출량 데이터는 에어코리아의 각 측정소별 대기질 정보를 바탕으로 초기 미세먼지 배출량 자료를 구축한다.

전체적인 데이터 흐름도는 그림 4와 같다.

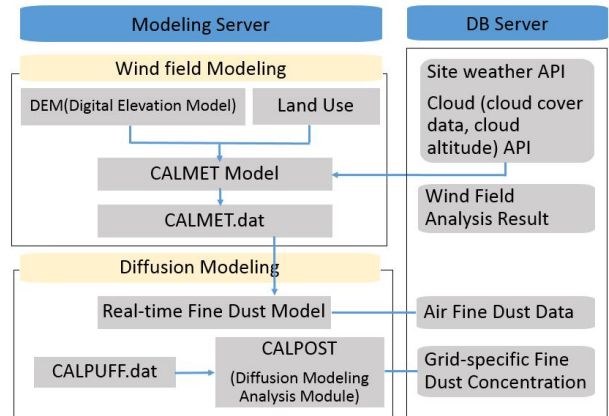


Fig. 4. Data Flow Diagram.  
그림 4. 데이터 흐름도

## 2. 실시간 미세먼지 확산 모델링

CALMET-CALPUFF 모델을 이용하여 오염원인 미세먼지 확산 모델링 알고리즘을 구현한다. 그림 5는 전체적인 시스템 구조도이다.

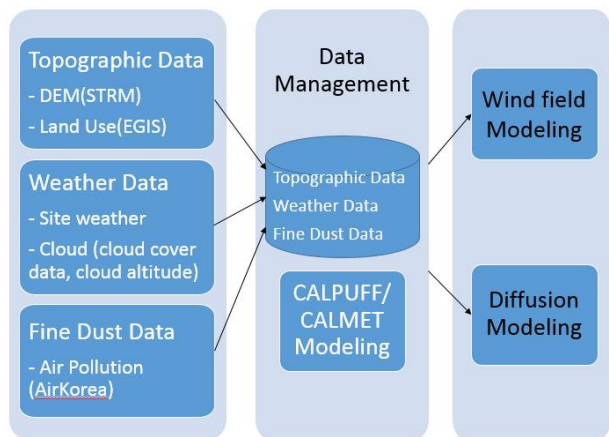


Fig. 5. Digital Elevation Database.  
그림 5. 전체 구조도

지형자료는 SRTM 자료 이용하여 입력자료로 구축하고, 토지이용도자료는 환경부 토지피복도 중분류 자료를 이용하여 CALMET의 토지이용도 자료로 변환하여 입력자료 구축하였다. 지표기상자료로 기상항목에 모델 입력 자료로 풍향, 풍속, 온도,

습도, 운량, 운고, 기압 데이터의 관측되는 항목을 적용하고, 미세먼지 배출원의 배출량 데이터는 에어코리아의 각 측정소별 대기질 정보를 바탕으로 초기 미세먼지 배출량 자료를 구축하였다.

실시간 미세먼지 확산모델링은 지형자료와 토지 이용도, 고공기상자료와 부지기상 관측자료(기상청 API 연계)를 입력 자료로 활용하여 CALMET 모델을 통해 바람장을 생성하여 CALPUFF 확산 모델링을 수행한다.

#### IV. 결론

미세먼지 확산에는 국지적인 기상 변화를 고려한 3차원 바람장 자료를 이용하여 복잡한 지형을 반영할 수 있는 CALPUFF 모델을 사용하였다. CALPUFF에서 필요한 기상 요소인 3차원 바람장을 생성하는 기상 전처리 프로그램으로 CALMET 모델을 통해 바람장을 생성하여 CALPUFF 확산 모델링을 수행한다. 이를 통해 복잡한 지형을 반영한 미세먼지 확산모델링과 대기질 예측 시스템의 구조를 제안하였다.

CALPUFF 모델의 정확한 결과를 얻기 위한 중요한 요소는 미세먼지 배출량 자료와 기상장 자료이다. 정확도가 확보된 기상장을 이용하여 향후 미세먼지 확산 모델링의 보다 정확한 평가를 위해서는 모델링에 주요 입력 자료인 배출량 자료의 검토 및 보완이 필요하고, 확산에 대한 지속적인 모니터링을 통해 모델링 평가를 위한 상세한 데이터베이스를 확보하는 것이 필요하다.

#### References

- [1] Scire, J. S., D. G. Strimaitis, and R. J. Yamartino, "A user's guide for the CALPUFF dispersion model (version 5.0)," *Earth Tech, Inc.*, 2000.
- [2] Scire, J. S., E. M. Insley and R. J. Yamartino, "A user's guide for the CALMET meteorological model (Version 5)," *Earth Tech, Inc.*, 2000.
- [3] Scire, J. S., D. G. Strimaitis and R. J. Yamartino, "Model formulation and user's guide for the CALPUFF dispersion model." Sigma Research Corp.,

1990.

- [4] N. K. Moon, Y. S. Lee, Y. H. Kang, Y. H. Kim, "A Study on the Application of Atmospheric Diffusion Model in Environmental Impact Assessment," *KEI*, RE-19, 2005.

- [5] Y. Zhou, J.I. Levy, J.K. Hammitt and J.S. Evans, "Estimating population exposure to power plant emissions using CALPUFF: a case study in Beijing," *Atmos, Atmospheric Environment*, vol.37, issue.6, pp.815-826, 2003.

DOI: 10.1016/S1352-2310(02)00937-8

- [6] W. S. Jung, S. H. Oh, Y. T. Lee, "A Study on the System Implementation of Mega Complex Disaster Damage Evaluation and Estimation Using Disaster Bigdata," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol.44, no.7, pp.1433-1442, 2019.

DOI: 10.7840/kics.2019.44.7.1433

- [7] J. S. Oh, C. Y. Sohn, J. I. Hyun, J. K. Sung, "Developing the Real-Time Atmospheric Dispersion System of Hazardous Chemicals for Proactive Response," in *Proc. of Korean Institute of Information Scientists and Engineer KCC 2011*, vol.38, no.1C, pp.13-16, 2011.

- [8] "Official CALPUFF Modeling System," <http://www.src.com/>

- [9] CGIAR-CSI SRTM, "SRTM 90m DEM Digital Elevation Database," <http://srtm.csi.cgiar.org/>

#### BIOGRAPHY

##### Ji-Hyun Yoo (Member)



1995 : BS degree in Computer Science and Engineering, Hanyang University.

2000 : MS degree in Computer Science and Engineering, Hanyang University.

2012 : PhD degree in IT Service Management, Soongsil University.

2014~ : Professor in the Department of Internet Communication, Jangan University