

복합화력발전소 대기오염영향 평가

김지현 · 박영구[†]

강원대학교 환경공학과

(2016년 7월 4일 접수; 2016년 9월 26일 수정; 2016년 9월 26일 채택)

Numerical Simulation of Dispersion of Air Pollutants from Combined Cycle Power Plants

Ji-Hyun Kim · Young-Koo Park[†]

*Dept. of Earth and Environmental Engineering, College of Engineering,
Kangwon National University*

(Received July 4, 2016; Revised September 26, 2016; Accepted September 26, 2016)

요약 : Modeling은 기상의 흐름, 화학반응 및 대기오염물질의 형성과정 등 대기현상을 과학적으로 이해하고 개발계획 및 대기 개선에 따른 정책수립의 기초자료로 활용된다. 최근 컴퓨팅 계산능력이 발전하면서 수치모델의 모델링 영역과 모델결과의 이용분야가 점차 다양해지고 있으며, 오염물질 발생원으로 부터 시간의 흐름에 따라 오염물질농도를 예측이 가능해졌다. 본 연구는 일산열병합발전소 및 고양시 소각장 주변지역을 대상으로 CALPUFF 확산모델을 적용하여 대기 중 배출된 NO_x와 TSP의 확산을 모사하고, 실제 측정결과와 비교함으로써 배출원에 의한 주변지역의 기여농도를 검토하였다.

1, 2차 NO₂ 기여율 비교 결과 A-3 지점이 타 지점에 비해 비교적 높게 나타났으며, 이는 열병합발전소 및 소각시설에서 배출되는 질소산화물의 영향이 타 지역에 비해 비교적 높다는 것을 알 수 있다. 1, 2차 TSP 기여율 비교 결과 A-5 지점이 비교적 타 지점에 비해 다소 높게 나타났으나, 기여율 값이 매우 낮음에 따라 열병합발전소 및 소각시설에서 배출되는 먼지에 의한 영향은 비교적 낮다고 판단된다.

주제어 : 발전소, 소각장, 확산모델링, 질소산화물, 먼지

Abstract : Modeling can be used to understand the atmospheric dispersion of air pollutants scientifically. Recent development of model computation enabled to simulate more diverse area. As flowing out from the emission source, the concentration profiles of air pollutants could be estimated in three dimensional space. This study used CALPUFF diffusion model to predict the diffusion of discharged NO₂ and TSP on the atmosphere near a combined heat power plant and incinerator. It was investigated contribution concentration of the surrounding area by sources by comparing the actual measurement results and the results of the modeling.

[†]Corresponding author
(E-mail: ygpark@kangwon.ac.kr)

Contribution of emission sources to the local level of NO₂ was found quite high particularly at the site, A-3. The estimated results by modelling revealed more significant effect on TSP at A-5.

Keywords : power plants, CALPUFF, CALMET, nitrogen dioxide, TSP

1. 서론

대기질 개선 대책의 기초가 되는 대기오염특성을 분석하고, 미래의 대기질 예측을 위해서는 관측자료의 분석만으로는 많은 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 수치모델을 활용하고 있으며[1,2], Modeling은 기상학의 흐름, 화학반응, 대기오염물질의 형성과정 등 대기현상을 과학적으로 이해하고 개발계획에 따른 정책수립의 기초자료로 활용된다. 또한 modeling을 통한 오염물질 확산 분포 분석을 통해 궁극적으로 오염물질 발생원에서부터 시간과 공간에 따른 오염물질농도가 예측 가능하다[3,4].

최근 컴퓨팅 계산 능력이 발전하면서 수치모델의 모델링 영역과 모델결과의 이용분야가 점차 다양해지고 있으며, 기상학의 흐름과 대기오염물질의 형성 과정 등 대기 현상을 과학적으로 이해하고 이를 대기 개선을 위한 주요자료로 활용된다. 대기확산 모델을 적용하여 확산실험의 결과와 모델결과를 비교·평가함으로써 대기오염 확산모델에 대한 평가 및 개선에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며[5], 오염물질의 발생원으로부터 시간의 흐름에 따라 오염물질농도를 예측가능 함에 따라 오염물질의 감축량 및 이행시기를 종합적으로 검토하여 저감량 설정목표를 계획하는데 사용되기도 한다[6-8].

본 연구는 일산열병합발전소 및 고양시 소각장 주변지역을 대상으로 CALPUFF 확산모델을 적용하여 대기 중 배출된 NO와 TSP의 확산을 모사하고, 실제 측정 결과와 비교함으로써 배출원에 의한 주변지역의 기여농도를 검토하고자 한다.

2. 수치해석

2.1. 적용 모델의 개요

본 연구는 적용된 모델은 CALPUFF 모델로서 3차원 기상모델인 CALMET과 확산모델인 CALPUFF, 확산모사 결과정리를 위한

CALPOST로 구성되며 전반적인 개략도를 Fig. 1에 나타냈다[9].

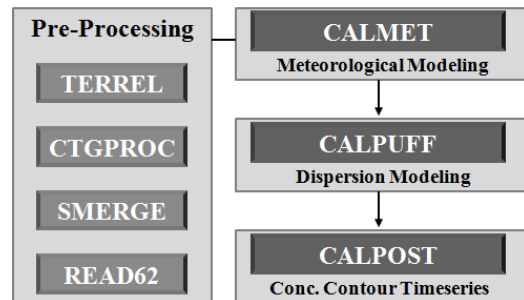


Fig. 1. Schematic diagram of CALPUFF model.

CALMET 모델은 지표기상과 상층기상, 대상 지역 지형도를 이용하여 모델 영역의 격자를 생성하고, 풍향 및 풍속을 구하여 시간에 따른 온도 및 바람장을 3차원 격자에 만드는 프로그램이다[10].

CALPUFF 확산모델은 점·선·면 오염원에 대한 지표면의 영향과 확산 모사를 위한 비정상 상태 모델로서[11], 배출원에서 배출된 물질의 puff를 확산과 변형을 통해 모사하며, 농도 계산은 다음의 식을 기본으로 한다[12,13].

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

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

여기에서, C는 대상 오염물질 농도, Q는 퍼프(puff)에서 대기오염물질의 무게, σ 는 가우스 분포에서 표준편차, d는 puff 중심과 수용원간의 거리, H_e 는 굴뚝 유효고, h는 혼합층의 높이이며, 본 식을 대상지역 배출원에 반복 적용함으로써, 대상 지역 내 대기오염물질 농도를 산출한다.

2.2. Modeling 영역 설정

CALPUFF Model 실행을 위한 기상모델과 대기오염확산 모델의 영역을 다음과 같이 설정하였다. 기상모델의 경우 등지화 격자 방법을 이용하여 최종 0.1 km 격자의 기상모델 결과를 CALMET의 입력자료로 변환하여 대기오염확산 모델의 3차원 기상장을 생성하였으며 Table 1에

나타냈다. 또한, 대상 영역과 토지이용도를 Fig. 2에 나타냈으며, 본 기상모사에 사용할 지형은 ASTER_GDEM 1초(30 m) 해상도의 지형자료와 환경부 중분류(약 30 m) 자료를 이용하였다.

Table 2는 대기확산모델 CALPUFF의 모델링 영역으로 일산열병합발전소를 중심으로 반경 5 km 내를 대상지역으로 설정하였으며, 주변 대기

Table 1. Mesh for weather models

Items	Mesh size (km)	CALMET	
		No. of mesh	Vertical layers
Ilisan Combined Cycle Power Plants	0.1	100×100	12

주) Lambert-Conformal, Map center : 37° N, 126° E

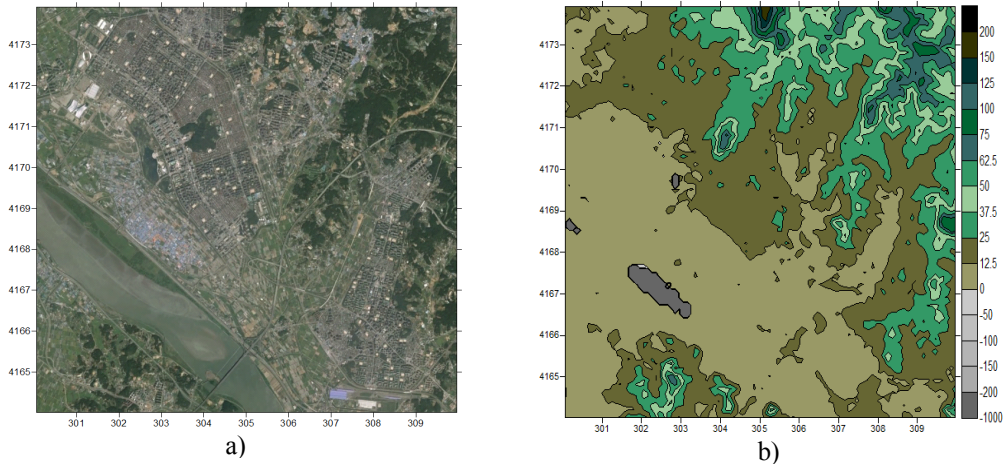
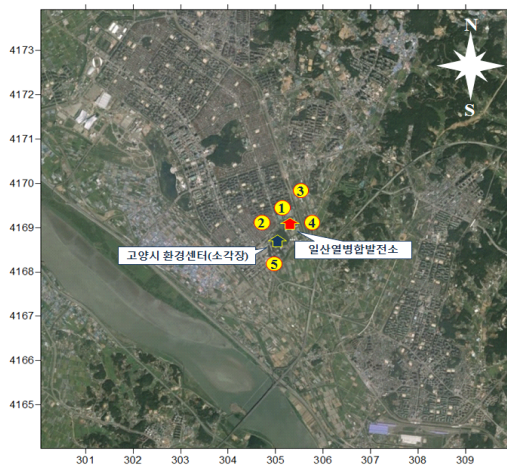


Fig. 2. Location information of model area.

Table 2. Impact prediction point



	Site	X	Y
1	Baekma high school	305.376	4169.461
2	Baekseok-dong senior center	305.143	4169.107
3	Restaurant	305.725	4169.703
4	Church	306.106	4168.961
5	Nonghyup warehouse	305.307	4168.146

오염측정 지점(5개 지점)을 영향 예측지점으로 설정하였다.

2.3. 기상모델 입력자료 설정

기상은 배출원, 화학종, 에어로졸, 입자상 물질 증가 등의 대기에서 일어나는 여러 과정을 포함하고 있으므로, 기상인자들에 대한 정확한 이해는 대기오염 현상을 이해하는 데 매우 중요한 요소라고 할 수 있다[14].

기상모델인 CALMET의 입력 자료인 지표기상 및 상층기상 입력 자료로 지표기상은 고양기상대(43540), 상층기상은 오산기상대(47122) 자료를 이용하였으며, Table 3에 나타났다.

2.4. 대기오염물질 배출량 설정

오염물질 측정기간(2015년 9월, 10월) 중 오염물질 입력정보는 일산열병합발전소의 경우 측정시 운영현황 기준 가동을 20%를 적용하였고, 오염물질 배출농도는 2014년 평균 배출농도를 적용하였다.

고양시 환경센터(소각장)은 NO₂와 TSP 배출농도는 경기권 소각시설 평균 배출농도를 이용하였

으며, 각각 35 ppm, 2.0 mg/m³을 적용하였다. 오염물질 배출정보를 Table 4에 나타냈다.

2.5. 대기오염물질 측정방법

2.5.1 먼지 측정방법

먼지 측정방법은 대기오염공정시험법에 준하였으며, Aerosol Mass Monitor (Sibata, GT-331, Japan)를 이용하여 대기 중의 미세먼지(≤ 10μm) 시료를 포집하여 분석하였다.

측정방법은 베타선 흡수법(β-Ray Absorption Method)을 이용하였으며, 이 방법은 대기 중에 부유하고 있는 10μm 이하의 입자상 물질을 일정 시간 여과지 위에 포집하여 베타선을 투과시켜 흡수된 양으로 입자상물질의 중량농도를 연속적으로 측정하는 방법이다. 이 측정방법은 베타선을 방출하는 광원으로부터 조사된 베타선이 여과지 위에 포집된 먼지를 통과할 때 흡수 소멸되는 베타선의 차로서 측정되어지며 다음 식에 따른다.

$$I = I_0 \times \exp(-\mu X)$$

Table 3. Input data of weather model

items	No.	UTM		regional meteorological office
		X(N)	Y(E)	
surf.(CD-144)	43540	313.792	4166.286	Goyang
up.(Read62)	47122	324.938	4107.782	Osan

Table 4. Emissions of pollutants

Item	Point	UTM		Stack height	Level	Dia meter	Vel.	Temp.	Conc.	
		X	Y							
2015	Power1	305.651	4168.959	80	25	5.4	10.0	365.5	26.6	-
	Power2	305.630	4168.995				8.7	373.4	40.6	
	Power3	305.622	4169.024				9.1	371.9	39.4	
	Power4	305.604	4169.306				8.8	371.9	35.4	
	Power5	305.593	4169.091				8.5	382.7	40.6	
	Power6	305.576	4169.125				8.7	372.6	34.4	
	Incinerator1	305.448	4168.501	100	25	1.1	21.0	433.0	35.0	2.0

*NO₂ - Diffusivity : 0.1656(cm²/s), Reactivity : 8.0, Henry's Law : 3.5
 TSP - Geometric Mass Mean Diameter : 0.480(microns), Geometric Standard Deviation : 2.0

이 때, I는 여과지에 포집된 먼지를 투과한 베타선 강도, I₀는 blank 여과지에 투과된 베타선 강도, μ 는 먼지에 의한 베타선 질량 흡수소멸계수 (cm²/mg) 그리고 X는 단위면적당 포집된 먼지의 질량(mg/cm²)이다.

2.5.2 NO₂ 측정방법

NO₂ 측정은 화학발광법(Chemiluminescence Method)로 시료 중 NO와 O₃의 반응에 의해 NO₂가 생성될 때 발생하는 화학발광도가 NO 농도와 비례관계가 있는 것을 이용하여 NO의 농도를 구하는 방법으로, 시료 중 NO₂를 컨버터에 통과시켜 NO로 변환시킨 후 NO의 농도를 측정하여 전체 농도에서 시료 중 NO의 농도를 감하여 NO₂ 농도를 산출한다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 오염물질 확산 모사 결과

3.1.1 2015년 1, 2차 오염물질 측정 기간 중 최대 착지농도 모사 결과

2015년 1, 2차 오염물질 측정 기간 중 대상지역 내 오염물질 1시간 최대 착지 농도를 Table 5 와 Fig. 3, 4, 5에 각각 나타냈다.

오염물질 측정 기간 중 대상지역 1시간 최대 착지농도는 1차 측정 기간 중 NO₂가 X:305.430, Y:4167.740 지점에서 최대 8.890 ppb로 가장 높게 나타났으며, TSP는 NO₂와 유사한 지점인 X:305.380, Y:4167.890 지점에서 최대 0.112 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. TSP와 NO₂ 고유의 질량 및 확산계수 차에 따라 최대 착지농도 지점이 다소 차이가 나타났으며, 1차 측정 기간

Table 5. One hour maximum concentration of the target point(NO₂, TSP)

Division		x	y	Conc.	
				$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppb
NO ₂	1st	305.430	4167.740	8.890	4.329
	2nd	301.630	4170.840	7.791	3.793
TSP	1st	305.380	4167.840	0.112	
	2nd	308.480	4169.190	0.128	

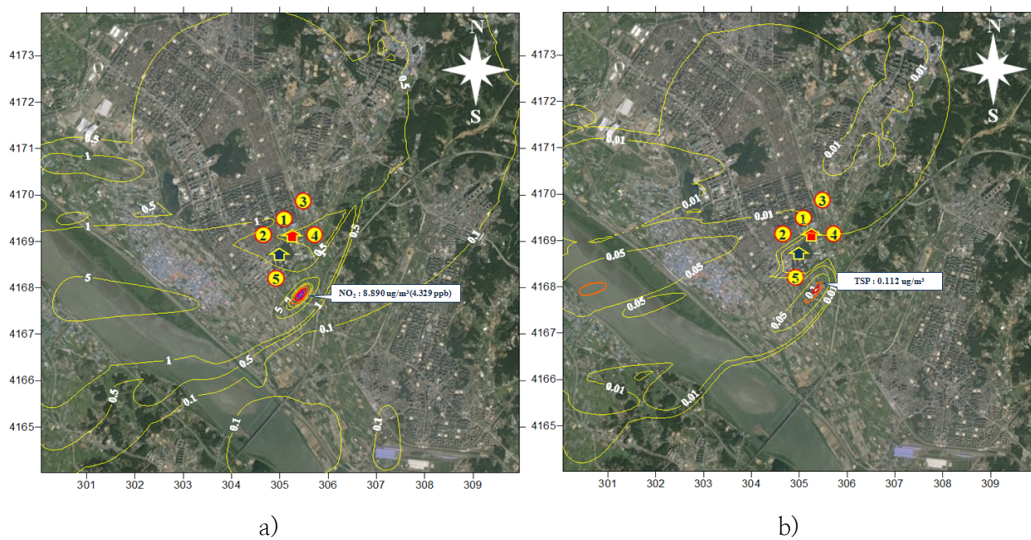


Fig. 3. One hour maximum concentration during the primary measurement period.(a:NO₂, b:TSP)

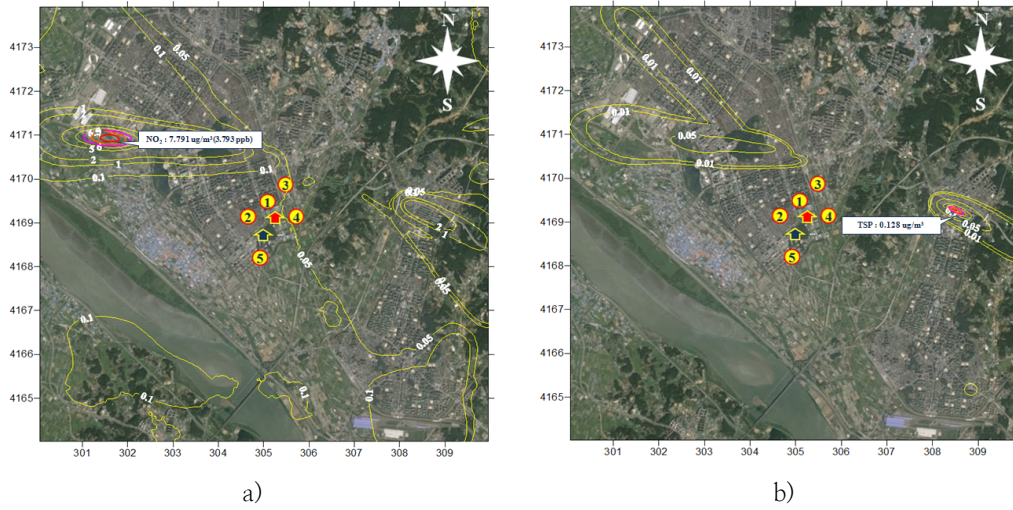


Fig. 4. One hour maximum concentration during the secondary measurement period.
(a:NO₂, b:TSP)

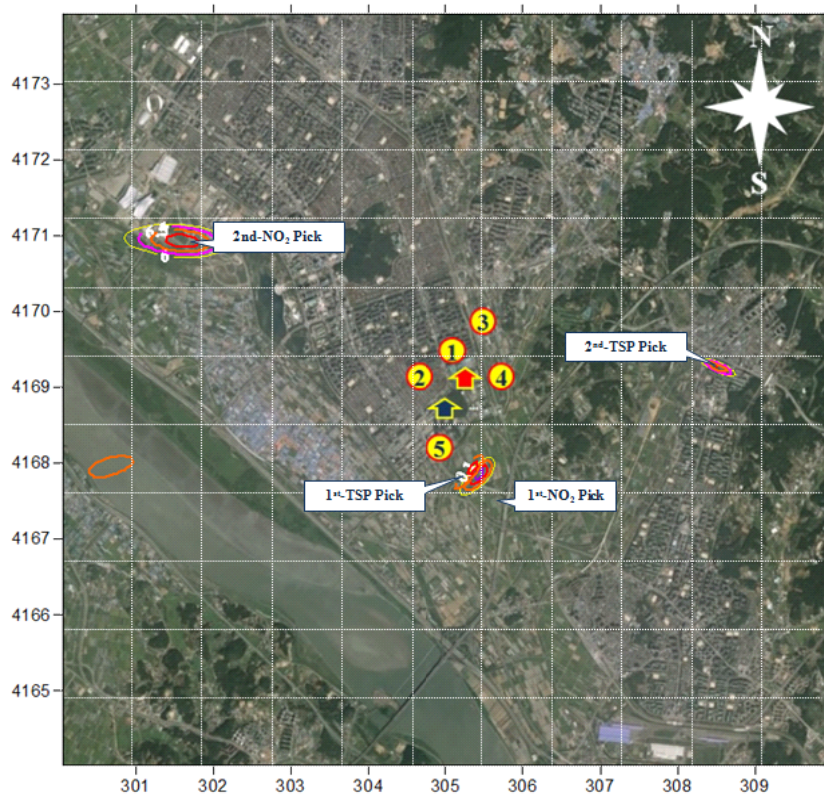


Fig. 5. Maximum concentration points appeared in two measurements.

중 주 풍향·풍속이 북동풍, 0.5 ~ 1.8 m/s로 나타남에 따라 최대 착지 농도 지점이 오염물질 배출원의 남쪽에 위치되었을 것이라 판단된다.

2차 측정 기간 중 NO₂의 1시간 최대 착지농도는 X:301.630 Y:4170.840에서 최대 7.791 ppb로 나타났으며, TSP는 X:308.480 Y:4169.190지점에서 0.128 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 나타났다.

1, 2차 측정 기간 중 1시간 최대 착지농도 지점은 1차 측정 기간 중 NO₂와 TSP는 배출원에서 약 1 km 에 위치한 지점에 나타났으며, 2차 측정 기간 중 NO₂와 TSP는 각각 5 km, 3.5 km 지점에서 나타났다.

3.1.2 2015년 1, 2차 오염물질 측정 기간 중 모사결과

2015년도 오염물질 측정 기간 중 확산모사 결과 대상지점별 오염물질 평균 기여농도를 Table 6에 나타냈다.

1차 측정기간 중 오염물질 평균 기여농도 모사 결과 NO₂는 A-5에서 0.03340 ppb로 가장 높게 나타났으며, 모든 지점이 0.01979 ~ 0.03340 ppb로 비교적 유사하게 나타났다. 기여율은 A-3 지점이 5.497E-01 %로 가장 높게 나타났으며, 이는 기여농도가 가장 낮게 나타났음에도 불구하고

고 NO₂ 실측농도가 3.6 ppb로 매우 낮게 측정됨에 따라 기여율이 가장 높게 나타났다.

반면, A-4 지점은 평균 기여농도 모사 결과 5개 지점 평균 기여농도인 0.02387 ppb보다 조금 낮은 0.02232 ppb로 나타났으나, 실제 측정 결과 5개 지점 중 가장 높은 농도인 33.4 ppb로 나타남에 따라 기여율은 6.683E-02 %로 가장 낮게 나타났다. 이는 오염물질 배출원으로부터 기인되는 오염물질 농도보다 주변지역에서 NO₂ 발생량이 높게 나타남에 따라 기여율은 가장 낮게 나타났을 것이라 판단된다.

1차 TSP 평균 기여농도 모사 결과 5개 지점 중 A-5이 0.00822 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 나타났으며, A-4가 0.00186 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮게 나타났다. 기여율 또한 동일한 지점이 A-5 지점이 1.164E-03 %로 가장 높게 나타났으며, 측정기간 중 풍향 및 풍속의 영향으로 기여농도가 가장 높게 나타남에 따라 기여율 또한 높게 나타났을 것이라 예상된다.

2차 측정기간 중 NO₂ 평균 기여농도 모사 결과 1차 측정기간과 동일한 A-5에서 0.00180 ppb로 가장 높게 나타났으나, 대부분 지점이 0.00117 ~ 0.00180 ppb로 비교적 유사하게 나타났다. 오염물질 기여율은 A-3 지점이 5.377E-03 %로 가장 높게 나타났으며, 이는 실

Table 6. Average contribution concentration of contaminants during the primary and secondary measurement period

Items	Point	Modeling			Actual measurement		Contribution rate	
		NO ₂		TSP	NO ₂	TSP	NO ₂	TSP
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppb	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppb	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	%
First	A-1	0.04132	0.02012	0.000457	18.1	81.7	1.112E-01	5.594E-04
	A-2	0.04873	0.02373	0.000576	16.1	79.2	1.474E-01	7.273E-04
	A-3	0.03691	0.01979	0.000405	3.6	72.4	5.497E-01	5.594E-04
	A-4	0.04583	0.02232	0.000186	33.4	69.1	6.683E-02	2.692E-04
	A-5	0.06860	0.03340	0.000822	25.9	70.6	1.290E-01	1.164E-03
Second	A-1	0.00325	0.00158	0.000022	32.5	106.9	4.862E-03	2.058E-05
	A-2	0.00334	0.00162	0.000025	43.0	91.7	3.767E-03	2.726E-05
	A-3	0.00336	0.00164	0.000021	30.5	95.5	5.377E-03	2.199E-05
	A-4	0.00240	0.00117	0.000022	38.5	96.2	3.039E-03	2.287E-05
	A-5	0.00369	0.00180	0.000029	61.0	105.3	2.951E-03	2.754E-05

측결과 5개 지점 측정 지점 주변에서 발생하는 질소산화물 농도가 타 지점에 비해 비교적 낮게 나타남에 따라 지점별 유사한 기여농도로 나타났음에도 불구하고 가장 높은 기여율이 나타났다. 반면, 가장 낮은 기여율이 나타난 A-5 지점은 지점별 기여농도가 0.00180 ppb로 가장 높게 나타났으나, 측정지점에서 발생하는 질소산화물 오염물질농도가 높게 나타남에 따라 기여율은 2.951E-03 %로 가장 낮게 나타났다.

2차 측정기간 중 TSP 평균 기여농도 모사 결과 모든 지점이 0.000021 ~ 0.000029 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 유사하게 나타났으며, 질소산화물 모사결과 가장 높은 지점과 동일 지점인 A-5 지점이 0.000029 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 나타났다.

기여율 또한 모든 지점이 2.058E-05 ~ 2.754E-05 %로 모두 유사하게 나타났고, 가장 높은 지점은 A-5 지점으로, 5개 지점의 실측농도가 비교적 큰 편차가 나타나지 않음에 따라, 기여농도가 가장 높은 A-5 지점이 높게 나타났다.

1, 2차 NO₂ 기여율 비교 결과 5개 지점 중

A-3 지점이 타 지점에 비해 비교적 높게 나타났으며, 질소산화물 기여농도는 5개 지점에서 비교적 유사하게 나타났으나, 측정지점 실측농도가 가장 낮게 나타남에 따라 기여율이 가장 높게 나타났다. 또한, 측정지점 주변지역에서 발생하는 질소산화물이 타 지역에 비해 비교적 낮게 측정되었으며, 기여율 적용 시 열병합발전소 및 소각시설에서 배출되는 질소산화물의 영향이 타 지역에 비해 비교적 높다고 판단된다.

1, 2차 TSP 기여율 비교 결과 A-5 지점이 비교적 타 지점에 비해 다소 높게 나타났으나, 실측 결과 대비 기여율 값이 매우 낮게 나타났다. 이는 TSP 측정 지점 주변에서 발생하는 먼지가 대부분이며 소각시설의 적은 배출량 및 가스화력발전소임에 따라 열병합 발전소 및 소각시설에서 배출되는 먼지에 의한 영향이 매우 낮게 나타났을 것이라 판단된다.

1차 등농도 분포는 북동풍의 영향으로 남서쪽에 비교적 높은 농도분포가 형성되었고, 2차 오염물질 기여농도는 대부분 지점에서 유사하게 나타남에 따라 등농도 분포 또한 대상지역에 고른

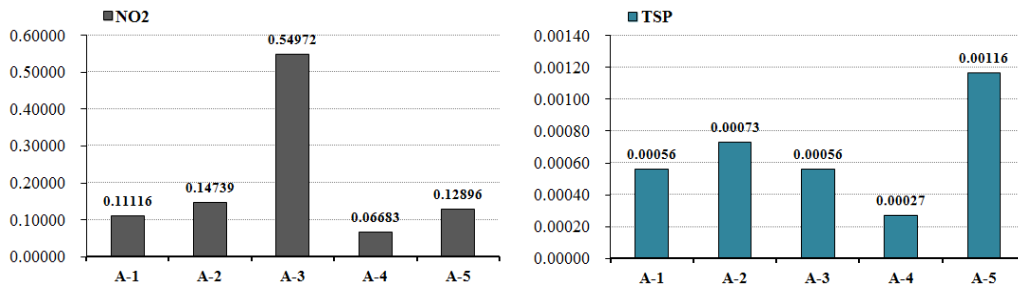


Fig. 6. Pollutant contribution rate of each measurement point during the first measurement period.

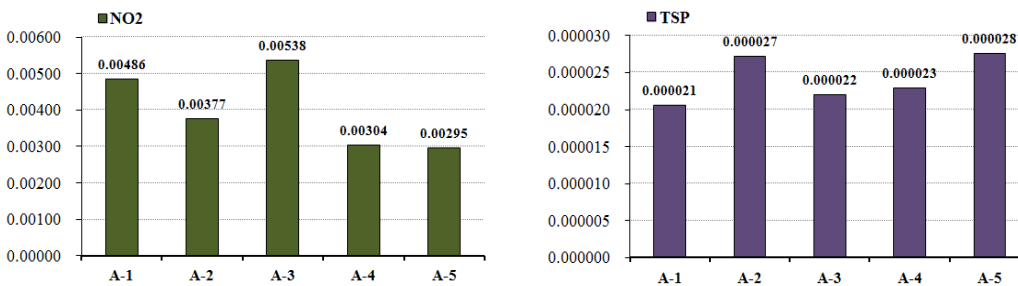


Fig. 7. Pollutant contribution rate of each measurement point during the second measurement period.

분포로 나타났으며, NO₂ 및 TSP 질량, 확산계수, 적용 농도에 따라 동일 기간 내 오염물질별 등농도 분포도의 차이가 나타났다.

오염물질 확산모사 결과 각각의 배출원에 따른 오염물질 기여율을 확인할 수 있었으며, 오염물질

배출에 따른 주변지역 확산 예측 평가는 실측 결과와 비교함으로써 기여도를 예측할 수 있으나, 향후 지속적인 오염영향예측을 위해서는 하나의 모델에 의존한 예측결과보다 다양한 모델을 이용한 확산평가가 필요할 것으로 판단된다[15].

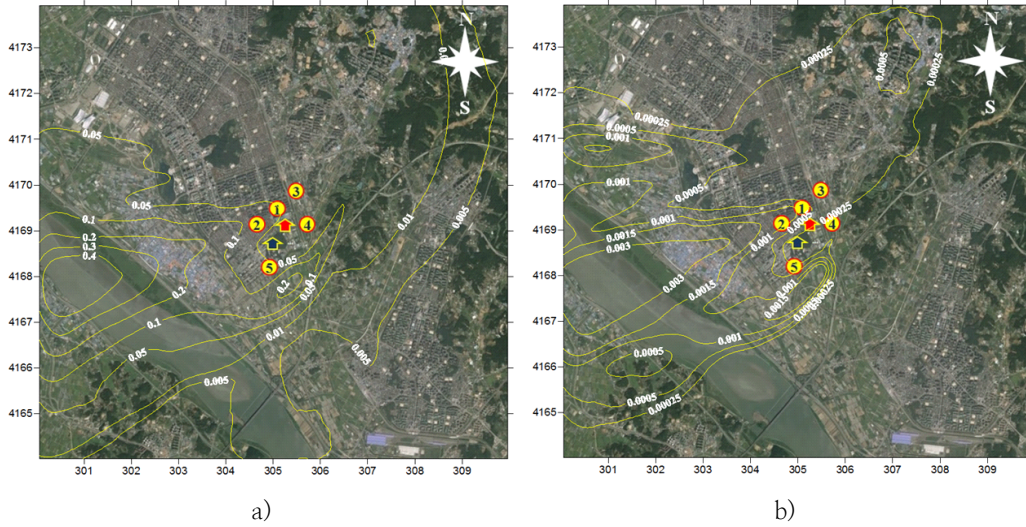


Fig. 8. Contribution concentration of contaminants during the first measurement period (a:NO₂, b:TSP).

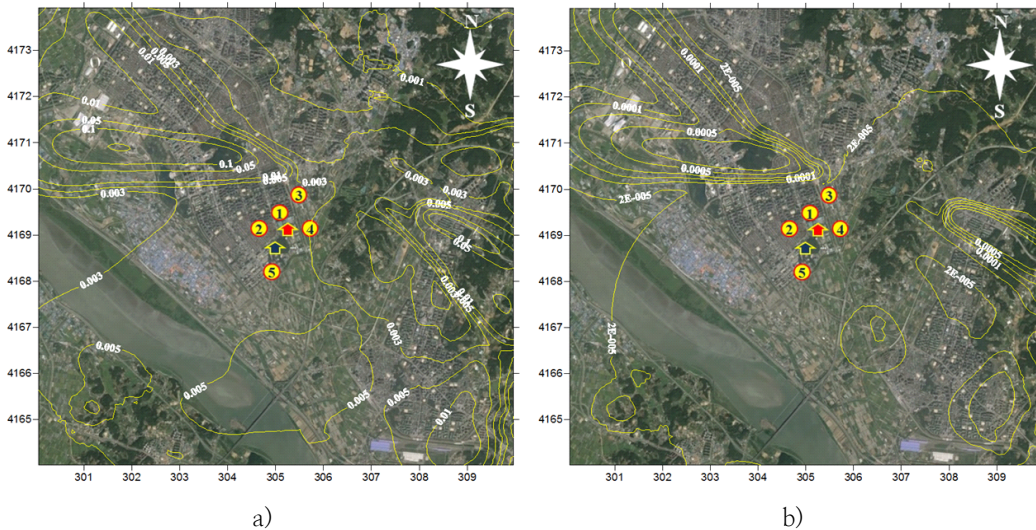


Fig. 9. Contribution concentration of contaminants during the second measurement period (a:NO₂, b:TSP).

4. 결론

CALPUFF 확산모델 및 오염물질 실측 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1차 측정 기간 중 1시간 최대 착지농도는 NO₂가 X:305.430, Y:4167.740 지점에서 최대 8.890 ppb, TSP는 X:305.380, Y:4167.890에서 최대 0.112 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다으며, 주 풍향·풍속에 따라 최대 착지농도 지점이 오염물질 배출원의 남쪽에 위치되었을 것이라 판단된다.
- 2차 측정 기간 중 NO₂의 1시간 최대 착지농도는 X:301.630 Y:4170.840에서 최대 7.791 ppb로 나타났으며, TSP는 X:308.480 Y:4169.190지점에서 0.128 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 나타났다.
- 1, 2차 측정 기간 중 1시간 최대 착지농도 지점은 1차 측정 기간 중 NO₂와 TSP는 배출원에서 약 1km 에 위치한 지점에 나타났으며, 2차 측정 기간 중 NO₂와 TSP는 각각 5 km, 3.5 km 지점에서 나타났다.
- 1차 측정기간 중 평균 기여농도 모사 결과 NO₂는 A-5에서 0.03340 ppb로 가장 높게 나타났으며, 기여율은 A-3 지점이 5.497E-01로 가장 높게 나타났다. TSP 또한 A-5에서 0.00822 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 나타났고, 기여율 또한 동일 지점에서 1.164E-03 %로 가장 높게 나타난 점을 미루어 1차 측정기간 중 대부분 풍향은 북동풍으로 배출지점의 남쪽에 위치한 대상지점에서 비교적 높은 기여농도로 나타난 것으로 판단된다.
- 2차 측정기간 중 NO₂ 평균 기여농도는 A-5 지점에서 0.00180 ppb로 가장 높게 나타났으며, 모든 지점이 2.951E-03 ~ 5.377E-03 %의 기여율 분포로 나타났다. TSP 또한 A-5에서 0.000029 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 나타났으며, 2차 측정 기간 중 주 풍향은 북북동풍으로 나타난 점을 미루어 대상지점 중 배출원에서 남쪽에 위치한 A-5 지점에서 가장 높은 기여농도가 나타난 것으로 판단된다.

6. 1, 2차 NO₂ 기여율 비교 결과 A-3 지점이 타 지점에 비해 비교적 높게 나타났으며, 이는 열병합발전소 및 소각시설에서 배출되는 질소산화물의 영향이 타 지역에 비해 비교적 높다는 것을 알 수 있다.
7. 1, 2차 TSP 기여율 비교 결과 A-5 지점이 비교적 타 지점에 비해 다소 높게 나타났으나, 기여율 값이 매우 낮음에 따라 열병합발전소 및 소각시설에서 배출되는 먼지에 의한 영향은 비교적 낮다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 “2015년도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비”로 연구하였음.
(관리번호-201510018)

References

1. M. Barna, and B. Lamb, Improving Ozone Modeling in Regions of Complex Terrain using Observational Nudging in a Prognostic Meteorological Model, *J. KOSAE*, **34(28)**, 4889.
2. N. Kumar, and A. G. Russell, Comparing Prognostic and Diagnostic Meteorological Fields and their Impacts on Photochemical air Quality Modeling, *J. KOSAE*, **30(12)**, 1989(1995).
3. Y. S. Koo, H. Y. Kwon, E. S. Son, H. J. Jin, B. W. Jung, and G. S. Heo, A Review of the Estimation Methodology of Methane Emission in a Landfill using Inverse Modeling Technique, *J. Kor. Soc. Odor Res. Eng.*, **12(3)**, 111(2013).
4. C. B. Lee, J. C. Kim, G. W. Lee, C. U. Ro, and H. K. Kim, Tracer Experiment for the Investigation of Urban Scale Dispersion of Air Pollutants, *J. KOSAE*, **23(4)**, 405(2007).
5. C. B. Lee, S. Kim, Y. K. Kim, C. L. Cho, and S. D. Ryu, Evaluation of Gaussian Puff Model with Tracer Experiment under

- Nighttime Strong Stable Conditions, *J. KOSAE*, **12(5)**, 529(1996).
6. J. C. Kim, and J. B. Lee, Evaluation of the CALPUFF Model Using Improved Meteorological Fields in Complex Terrain of East Sea Coast, *J. KOSAE*, **25(1)**, 15(2009).
 7. H. W. Lee, H. Y. Won, H. J. Choi, and H. G. Kim, Numerical Simulation of Effects of Atmospheric Flow Fields Using Surface Observational Data on Dispersion Fields of Air Pollutants in Gwangyang Bay, *J. KOSAE*, **21(2)**, 169(2005).
 8. S. S. Joseph, R. R. Françoise, E. F. Mark, and J. Y. Robert. A User's guide for the CALMET meteorological model, Earth Tech, Inc(2000).
 9. S. S. David, G. Strimaitis, and J. Y. Robert, A user's guide for the CALPUFF dispersion model(version 5), Earth Tech, Inc(2000).
 10. N. L. Seaman, Meteorological modeling for air-quality assessments, *J. KOSAE*, **34(12-14)**, 2231(2000).
 11. Y. S. Koo, J. H. Choi, S. T. Kim, and S. J. Park, A Real-time Odor Monitoring and Modeling System, *JOIE*, **6(4)**, 254(2007).
 12. Y. S. Koo, H. J. Park, U. J. Park, J. E. Park, J. S. Lee, S. J. Han, G. S. Heo, and H. J. Jin, An Evaluation of Dispersion Coefficients in CALPUFF using Tracer Experiment, *J. Korean Soc. Odor Res. Eng.* **10(4)**, 189(2011).
 13. V. K. Figueroa, R. Kevin, Mackie, N. Guarriello, and C. David Cooper, A robust method for estimating landfill methane emissions, *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, **59**, 925(2009).
 14. G. Sistla, N. Zhou, W. Hao, J. Y. Ku, S. T. Raor, Bornstein, F. Freedman, and P. Thunis, Effects of Uncertainties in Meteorological Inputs on Urban Airshed Model Predictions and Ozone Control Strategies, *J. KOSAE*, **30(12)**, 2011(1996).
 15. H. Y. An, Y. H. Kang, S. K. Song, and Y. K. Kim, Comparison of CALPUFF and HYSPLIT Models for Atmospheric Dispersion Simulations of Radioactive Materials, *J. KOSAE*, **31(6)**, 573(2015).