

인천 지역 LNG G/T발전소의 미세먼지(PM₁₀) 배출량 평가 및 주변 대기질 영향 분석

PM₁₀ Emission Estimation from LNG G/T Power Plants and Its Important Analysis on Air Quality in Incheon Area

공 부 주 · 박 풍 모¹⁾ · 동 중 인^{1)*}

국립환경과학원, ¹⁾서울시립대학교 환경공학과

(2015년 8월 27일 접수, 2015년 9월 15일 수정, 2015년 9월 24일 채택)

Bu-Ju Gong, Poong-Mo Park¹⁾ and Jong-In Dong^{1)*}

National Institute of Environmental Research

¹⁾Department of Environmental Engineering, University of Seoul

(Received 27 August 2015, revised 15 September 2015, accepted 24 September 2015)

Abstract

Base on emission factors derived from National Institute of Environmental Research, Particulate matter from combined cycle power plants (CCPPs) has been estimated to be a important source of PM₁₀. Generally there is no serious emission of particulate matter in CCPPs. because the fuel of them is natural gas. But emission gas after long shut down season has very high dust content. Therefore PM₁₀ emission rate is dependent on its operation mode. In this study, particulate dispersion study for new city near CCPPs complex has performed using CALPUFF model for three case. PM₁₀ concentration has big difference between normal operation and 2 case start-up condition after long shutdown. In normal operating conditions, daily 0.32 ~ 0.50 µg/m³ influence on of the surrounding area. But when 1 ~ 2 aerobic high concentration discharged conditions, average concentration is higher about 9.2 ~ 34.1 µg/m³ than normal operating conditions.

Key words : Emission factor, Particulate matter, Combined cycle power plant, Diffusion model, Heat recovery steam generator

1. 서 론

국내 · 외 발전용량의 약 25%를 담당하는 복합화력 발전 분야는 천연가스(LNG) 등을 활용한 발전방식으

로, 에너지 문제와 함께 더불어 대표적인 온실가스인 CO₂ 배출량을 대폭 줄일 수 있는 저탄소 고효율 가스 터빈 방식을 채택하고 있으며 최근 천연가스복합발전 시설이 증가하는 추세이다(KEPC, 2015; KETEP, 2011).

그러나 최근 기체연료를 사용하는 시설에서 입자상 오염물질 배출문제가 대두되고 있는데 이들 입자상 오

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)2-6490-2862, E-mail : jidong@uos.ac.kr

염물질은 보일러 내부 구조물(Tube, Support, Wall) 및 연소장치의 부식, 연소 혼합물 또는 첨가제 등에 의해 배출되거나, 보수·점검공사 후 잔재물, 각종 단열재 등이 배출되어 발전소 주변 생활환경에 위해요소로 작용하고 있다. 그러나 실질적인 배출원(Inventory)의 조사 및 주변 환경에 대한 영향평가, 적용 가능한 기술개발이 현재까지 이루어지지 않고 있는 실정이다. 현재 계획예방 정비 시 송풍(Air blowing), CO₂ blasting을 통하여 제거하고 있으나 이에 대한 정확한 검증 또한 이루어지지 않고 있다. 특히, 기력발전의 특성상 가동, 중지 또는 재가동과 같은 부하변동의 조건이 자주 발생하는 것을 감안할 때 이에 따른 오염물질의 발생 및 주변에 미치는 영향에 대한 연구가 이루어질 필요가 있다.

본 연구에서는 LNG 발전시설에서 배출되는 입자상 오염물질이 인근지역에 미치는 영향을 대기확산모델인 CALPUFF 모델을 이용하여 분석함으로써 입자상 물질 배출에 있어서 배출량 평가와 주변 대기질에 미치는 영향을 분석하여 이 시설들에 대한 대응책을 마련하는 데 기초를 제공하고자 하였다.

1.1 부식에 의한 먼지발생

가스터빈에서 연소된 가스는 배열회수보일러(HRSG, Heat Recovery Steam Generator)를 통과한 후 굴뚝을 통해 대기로 방출된다. 배출가스는 배열회수보일러에 지속적으로 부식에 의한 침식작용을 일으키는데 보일러의 특성상 육안관찰이 어렵고 고압의 스팀을 생산함

에 따라 배관의 파열 위험이 상존한다.

보일러 내부에서는 유입된 배출가스가 증기로 열교환됨에 따라 100~600°C의 온도영역으로 유지된다. 따라서 고온 부식부터 저온 부식까지 다양한 부식작용이 발생하게 되며 배출가스에 함유되어 있는 수분은 44~49°C의 이슬점(dew point) 이하로 될 때 응축현상을 일으켜 이슬점 부식(dew point corrosion)이 발생하게 된다(Anees *et al.*, 2013). 보일러 절탄기의 재질은 대부분 탄소 강철(carbon steel)로 되어 있기 때문에 부식현상이 심하게 발생하는 문제가 있어 내식성 재질을 사용하거나 코팅, 배기가스 재순환을 통해 부식현상을 최소화할 필요가 있으나 열효율 및 경제성 문제로 인해 대부분 적용되지 않고 있다. 또한 부식을 촉진하는 촉매로서 SO₃, 황산암모늄염, 세정제 물방울(droplet) 등이며, 이들 물질들은 다양한 보일러 구조물에 부착하여 부식을 초래하게 된다.

보일러의 부식이 가장 심각한 시기는 보일러 가동이 정지된 시기이다. 보일러가 정지되어 있을 때 배기가스의 찬 공기가 유입되어 보일러 내부는 습기가 높고 부식이 일어나기 적절한 온도로 점차 변화되어 간다. 이러한 과정은 수일동안 일어나며 정지 기간이 길어짐에 따라 부식현상이 급격히 심해질 수 있다(Bryan, 2005).

이와 같이 HRSG 헤더, 배관, 지지대, 핀 튜브 등이 배기가스에 노출되어 탈리 및 열팽창, 부식 등에 의하여 입자물질로서 굴뚝으로 배출된다. 그림 1에는 배열

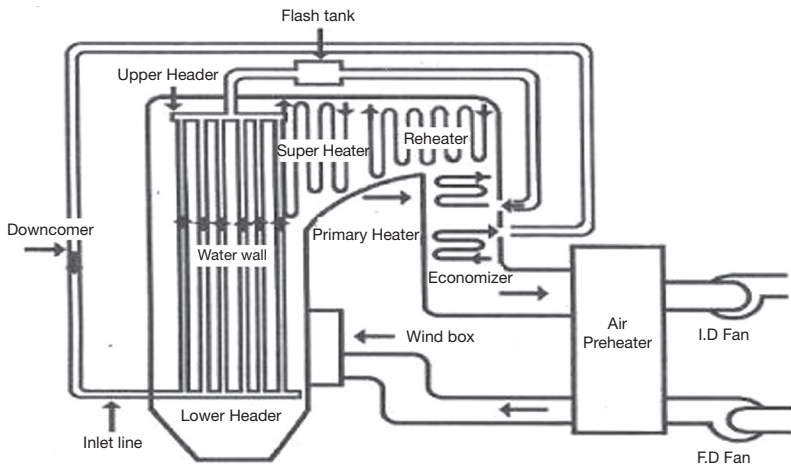


Fig. 1. Particulate matter generation mechanism and points at HRSG.

회수 보일러에서의 먼지 발생원인 및 발생위치를 나타내었다.

1.2 분해검사(overhaul) 이후 재기동 시 먼지 집중 배출

LNG 배출시설 배출원 측정 분석결과 가스터빈(G/T) 무부하 운전 시에는 먼지배출량이 다소 적은 반면, 첫 가스터빈 운전 시 출력 30 MW 부근에서는 먼지배출농도가 약간 증가하나(약 70~400 mg/Sm³ 수준), 이후 출력이 150~160 MW 도달하기까지 약 1시간 동안, G/T 출력에 비례하여 먼지배출량도 급격히 증가하는 경향을 나타낸다. 분해검사(overhaul) 기간이 길수록 배출되는 먼지의 양이 많아질 것으로 판단되며, 짧은 정지기간 후에는 먼지의 양이 극히 적은 것으로 판단된다. 또한, Overhaul이 끝난 후 첫 기동 시 배기가스 배출가스량이 가장 많은 시점인 과속(overspeed) 및 기저부하(baseload)를 기점으로 먼지의 농도가 급격하게 증가하며 이때 먼지의 농도가 최대치를 나타낸다. 그림 2는 운전 중 배출원 측정을 위하여 굴뚝에서 육안으로 먼지가 관찰된 사진이다.

2. 연구 방법

2.1 배출계수에 의한 LNG 발전시설 먼지배출량 산정

고정 오염원에서 연료 연소에 의한 대기오염물질 배출량은 대기 배출원 관리 시스템(Stack Emission Management System, SEMS) 자료를 기반으로 산정하며, 대기오염물질 8종(CO, NO_x, SO_x, TSP, PM_{2.5}, PM₁₀, VOC, NH₃)은 다음에 따라 배출량을 산정하고 있다(NIER, 2013, 2010).

$$\text{Emission} = \text{Fuel} \times \text{EF} \times (1 - \text{CF})$$

E : 시설에서의 오염물질 배출량

Fuel : 연료의 사용량

EF : 연료에 대한 오염물질 배출계수

CF : 시설에 적용된 방지시설의 방지효율

LNG를 연료로 사용하는 공공/민간발전 시설에서의 TSP와 PM₁₀ 배출량 산정 시 G/T 배출계수를 표 1에서와 같이 0.036 kg/10³ m³으로 동일하게 적용하였다. 국내 복합화력발전소 및 열병합발전소 등 기체 연료를 사용하는 발전설비의 경우 먼지 방지시설이 설치되어

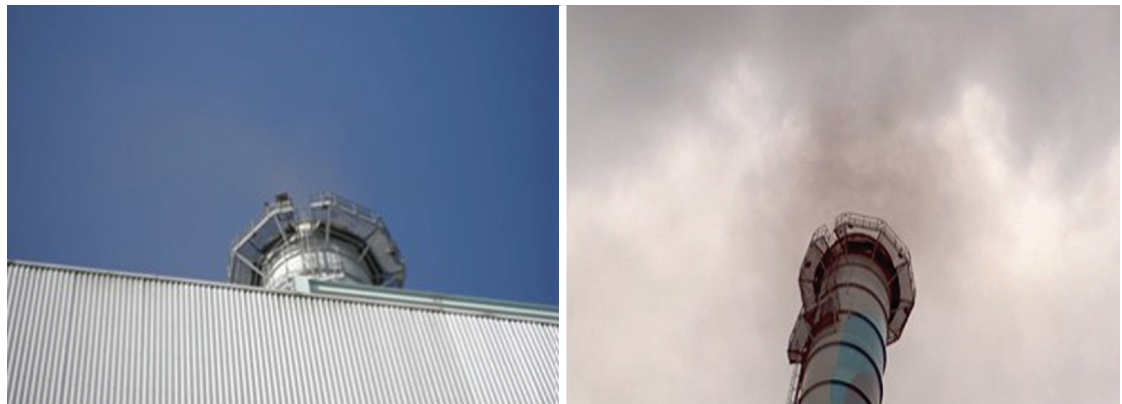


Fig. 2. Photos of particulate matter emission at a stack of G/T power plants.

Table 1. Gas turbine combustion emission factor in public and private energy utilization.

Fuel	Unit	CO	NO _x	SO _x	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	VOC	NH ₃
Diesel fuel	kg/kL	0.055	14.68	17S	0.072	0.059	0.03000	0.067	0.096
Kerosene fuel	kg/kL	0.055	14.68	16.9S	0.072	0.059	0.05559	0.067	0.096
LNG	kg/10 ³ m ³	1.55	6.04	0.01	0.036	0.036	0.03600	0.021	0.051



Fig. 3. Land use of Incheon.

있지 않으므로 방지효율은 고려하지 않았으며, 연료사 용량은 전력통계속보를 참고하였다(KEPC, 2015).

2. 2 LNG 발전소의 먼지특성 조사

LNG 발전시설에서 배출되는 먼지의 특성을 파악하 기 위하여 HRSG 내부에서 입자물질을 채취하여 입도 분석기(Particle Size Analyzer, Microtrac Blue wave)를 이용하여, 입경분포를 파악하였으며 XRD(X-ray dif fraction) 분석기기(WD-XRF, Rigaku ZSX 100e)로 먼 지의 성분 분석을 실시하였다.

2. 3 발전소의 먼지영향 분석 대상지역 선정

국내 LNG 발전시설 186호기 중 111호기가 수도권 에 집중되어 있으며, 특히, 인천지역은 도심지 부근에 복합화력발전시설이 밀집하게 위치해 인근 주거지역 에 영향이 클 것으로 예상된다.

인천지역 발전소는 주로 해안가에 위치하고 있고, 산악지형이 복합적으로 이루어진 매우 복잡한 지형으 로 이루어져 있다. 인천지역의 토지 피복도를 그림 3에 나타내었다.

2. 4 대기확산 모델링 선정

기상입력자료는 기상청 기상대의 부지기상 및 고층 기상 관측자료를 이용하여 CALMET모델로 3차원 바

람장을 생성하였으며, 또한 SRTM3 지형자료와 환경부 토지피복도 자료를 적용하였다(NIER, 2014).

CALPUFF모델은 비정상상태(Unsteady state) 모델 로서 모델링 대상지역과 같은 해안과 산악지역 복합되 어 있는 지형에서 plume 모델에 비하여 보다 정확한 분 석을 할 수 있는 모델이다(US EPA, 2007).

2. 5 모델링 입력자료

본 연구의 대상은 인천 청라지역에서 인접한 서인천 복합화력(서구 장도로 57), 신인천복합화력(서구 장도 로 57), 인천복합화력(서구 중봉대로 405) 발전소를 대 상으로 하였다.

3차원 바람장 생성을 위한 기상입력자료는 인천기 상대와 공촌동AWS 지표기상관측자료, 백령도 고층기 상대의 상층기상자료를 사용하였다.

모델링 기간은 발전소가 청라지역의 서측 및 남서측 에 위치하므로, 그림 4와 같이 인천기상대의 최근 1년 간('14년 8월~'15년 7월) 기상자료를 분석한 결과 서 풍계열의 바람이 주로 발생하는 '14년 10월, 1개월을 선정하였다.

모델링 영역은 청라지구와 주변발전소를 중심으로 12 km×12 km를 200 m 해상도로 설정하였고, 청라지 구를 둘러싼 6개 지점을 관심지점으로 설정하여 발전 소에 의한 영향을 분석하였다. 관심지점은 그림 5 및

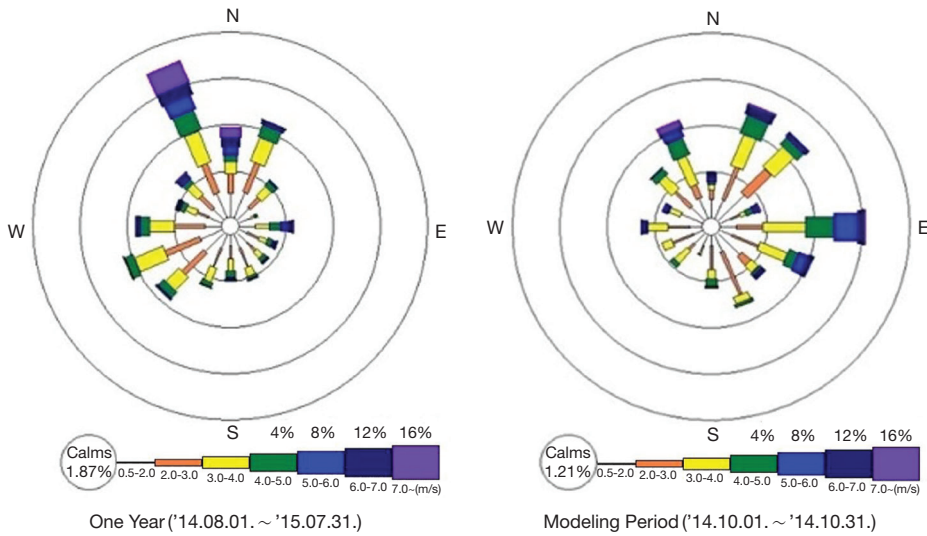


Fig. 4. Analysis results of wind field during air pollution dispersion modeling.

Table 2. Location of designated target point.

Target point	UTMX	UTMY	Surface altitude (m)	Height (m)
A site	290001	4157464	8	1.5
B site	291324	4157434	3	1.5
C site	292884	4157110	4	1.5
D site	292982	4156142	7	1.5
E site	291357	4156028	5	1.5
F site	290177	4155518	4	1.5

표 2에 나타내었다.

배출원은 발전소의 굴뚝을 점오염원으로, 배출먼지 농도에 유량을 곱하여 배출량을 계산하고, 배출먼지농도는 평상시와 오버홀 시(고농도 발생 시)로 구분하였다.

표 3에는 본 연구에 적용한 CALPUFF 모델의 조건을 정리하였다.

2.6 배출계수에 의한 먼지 배출량 평가

복합화력발전시설에서 배출되는 PM₁₀의 대기오염기여도를 파악하기 위해 배출계수를 이용하여 연도별, 지역별, 월별 배출량을 산정해보고 이를 통해 배출 특성을 분석하고자 하였다.

연료사용량을 통해 산정된 먼지배출량은 TSP와 PM₁₀ 배출량이 일치하였으며, 복합화력발전시설에서의



Fig. 5. Location of G/T power plants and target points in modeling domain.

연간 PM₁₀ 배출량은 표 4와 같다. 대기정책지원시스템(CAPSS, Clean Air Policy Support System)에 의한 국내 먼지 배출량은 182,744 ton이며, 이 중 복합화력발전시설에서의 먼지 배출량 544.7ton이 차지하는 비율은 0.2%에 해당한다. 그러나 에너지산업부문의 먼지 배출량 4,934 ton과 비교하는 경우에는 약 11%에 해당하며, 이 수치는 Overhaul 후 배출되는 먼지 배출량은

Table 3. CALPUFF model conditions for plant dust modeling.

Item	Modeling area (30 km × 30 km)	
Grid origin (Reference point)	UTMX (km)	284.482
	UTMY (km)	4150.630
Grid spacing(ΔX) (km)		0.2
Domain size	Nx (No. of x grid Cells)	60
	Ny (No. of y grid Cells)	60
Projection	Universal Transverse Mercator (UTM)	
UTM zone	52 (Northern)	
No. of vertical layers	10	
Cell face heights (m)	0, 20, 50, 70, 100, 300, 500, 1000, 1500, 2000, 3000	
Bias	-1, -1, -1, -1, -0.8, 0, 0.5, 1, 1, 1	
Time zone	UTC + 0900	

Table 4. Fuel consumption and PM₁₀ emission at public and private CCPP (2005 ~ 2015).

Year	LNG consumption (10 ³ m ³)	Annual emission (kg/year)
		PM ₁₀ (TSP)
2005	10,214,891	367,736
2006	11,238,805	404,597
2007	12,730,559	458,300
2008	13,342,170	480,318
2009	10,301,645	370,859
2010	15,833,784	570,016
2011	16,000,767	576,028
2012	15,515,581	558,561
2013	20,002,405	720,087
2014	15,129,581	544,665
2015 (1 ~ 6)	8,437,006	303,732

Table 6. Monthly Fuel consumption and PM₁₀ emission in Incheon Seogu at Public CCPP.

Month	LNG consumption (10 ³ m ³ /month)	PM ₁₀ (kg/month)
Jan.	548,162	19,734
Feb.	478,330	17,220
Mar.	481,535	17,335
Apr.	415,768	14,968
May	392,084	14,115
June	318,358	11,461
July	502,103	18,076
Aug.	452,571	16,293
Sep.	384,352	13,837
Oct.	469,255	16,893
Nov.	508,358	18,301
Dec.	570,141	20,525
Avg.	460,085	16,563

Table 5. Regional PM₁₀ emission at public CCPP (2013, 2014).

Region		Annual emission (kg/year)
		PM ₁₀ (TSP)
Jeonbuk	Gunsan	15,120
Seoul	Mapo	3,086
Chungnam	Boryeong	22,099
Busan	Sahagu	83,024
Incheon	Seogu	200,078
Gyeonggi	Seongnam	19,511
Chungnam	Sejong	16,597
Gangwon	Yeongwol	27,025
Gyeonggi	Ilsan	16,325
Gyeonggi	Pyungtaek	14,570
Sum.		417,435

고려하지 않은 것이므로 실제 배출되는 먼지 배출량은 이보다 높을 것으로 예측된다.

지역별 배출량을 살펴보면 표 5에 나타난 바와 같이 인천지역에서의 배출량이 전국 배출량의 약 48%를 차지하고 있으며, 이는 복합화력발전시설이 타 지역보다 인천지역에 집중되어 있기 때문이다.

전국에서 배출량이 가장 많은 인천지역을 대상으로 2014년 기준 월별 미세먼지(PM₁₀) 배출량을 산정한 결과 표 6에서와 같이 평균적으로 16,563 kg/월의 배출량을 나타내었다. 여름 및 겨울철에 PM₁₀ 배출량이 높게 나타난 것은 전력 및 난방수요가 높기 때문이라고 판단할 수 있으며, 특히 7월에는 전월 대비 63%가 증가하였음을 알 수 있었다.

2.7 모델링을 통한 배출량

발전소에서 배출되는 먼지는 주로 굴뚝을 통해 배출되며, 배출되는 먼지농도는 복합화력발전시설이 가동 중일 때(정상시, 0.9mg/Nm³)와 먼지가 가장 많이 배출되는 시점인 Overhaul 후 재가동 시점(고농도 시, 200 mg/Nm³)으로 구분하였다.

발전소의 Overhaul은 발전소별로 1개 내지 2개 호기씩 순차적으로 Overhaul을 하므로, 발전소별로 1개 호기를 Overhaul 할 때와 2개 호기를 Overhaul 할 때로 구분하였다.

배출구는 서인천복합발전이 8개, 신인천복합발전이 8개, 인천복합발전이 6개 호기가 있으며, 모든 발전소

의 제원은 동일하며, 굴뚝 높이는 80 m, 배출구 직경 5 m, 배가스 유속은 22 m/s 및 배가스 온도는 95°C를 적용하였다.

배출량은 평균 배가스유량 1,600,000 Nm³/hr에 배출농도(mg/Nm³)를 곱하여 배출량(g/s)을 계산하였다. 본 연구의 모델링 조건을 표 7, 8에 정리하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 LNG 발전소의 먼지 특성

국내에서 운영중인 A 복합화력발전소의 Overhaul 재가동 운전 후 약 12시간 후의 HRSG 내부 굴뚝 출구 전단에서 채취한 시료의 입경분포를 분석한 결과, 그림 6에 나타난 바와 같이 입경 0~1,000 μm 분포범위에서 1 μm 미만 범위의 먼지는 20% 이하이며, 대부분 약 1~10 μm 입경의 먼지가 차지하는 것으로 나타났다. 이 경우 누적입경분포로 판단하였을 때 전체 먼지에서 PM₁₀ 분율은 약 95%인 것으로 판단된다.

또한, LNG G/T시설의 먼지성분 분석 결과 표 9에

Table 7. Modeling condition.

Modeling condition	Contents
Usual emission	Normal condition
Episode 1	One unit overhaul per One Power Plant
Episode 2	Two unit overhaul per One Power Plant

Table 8. Point source input data.

Company	Stack	Stack dia. (m)	Temp. (°C)	Exhaust vel. (m/s)	Stack height (m)	Usual emission* (g/s)	Episode emission* (g/s)
West Incheon Complex	8	5	95	22	80	0.4	88.9
New Incheon Complex	8	5	95	22	80	0.4	88.9
Incheon Complex	6	5	95	22	80	0.4	88.9

* PM₁₀ emissions of one Unit

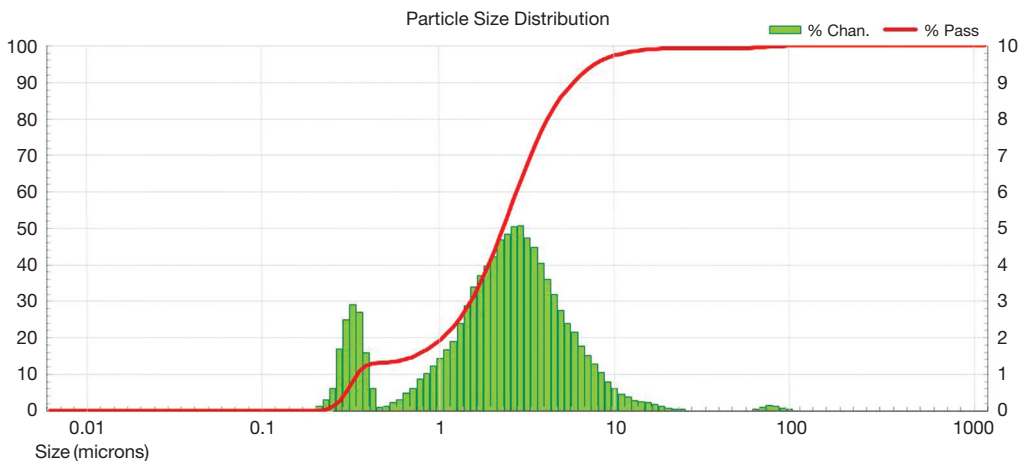


Fig. 6. Size distribution of sampled particle at a G/T plant.

나타난 바와 같이 철산화물이 주성분인 것으로 확인되었으며, 일부 다른 금속성분 및 황 성분 등이 검출되었다. 따라서, LNG를 사용하는 G/T시설로부터 배출되는

입자물질은 HRSG등의 구성 물질로부터 발생하는 철 물질이 주요 요인인 것을 알 수 있다.

Table 9. XRD analysis result of sampled particle at a G/T plant. (unit: wt%)

No.	Component	Result	No.	Component	Result
1	MgO	0.0302	11	MnO	0.0783
2	Al ₂ O ₃	0.356	12	Fe ₂ O ₃	81.7
3	SiO ₂	0.592	13	NiO	0.0445
4	P ₂ O ₅	0.0067	14	CuO	0.0464
5	SO ₃	15.7	15	ZnO	0.921
6	Cl	0.0084	16	As ₂ O ₃	0.0068
7	K ₂ O	0.0243	17	SrO	0.0030
8	CaO	0.142	18	ZrO ₂	0.0048
9	TiO ₂	0.158	19	MoO ₃	0.0032
10	Cr ₂ O ₃	0.0804	20	BaO	0.0522

3.2 정상시 배출조건 (Normal Emission Condition)

정상시 조건에서 발전소에 의한 인근지역 먼지 영향을 CALPUFF 모델을 통해 분석하였다. 정상시 조건에서 발전소에 의한 먼지 기여농도는 그림 7, 표 10 및 표 11과 같으며, 24시간(일평균) 및 744시간(월평균) 최대기여농도는 각각 0.43 µg/m³ 및 0.0649 µg/m³으로 인천지역 연평균 먼지농도 49 µg/m³(2014년 대기환경 연보) 대비 미미한 수준으로 판단된다. 그러나 A 지역의 1시간 최고먼지농도가 6 µg/m³, 최대착지농도가 11 µg/m³로 나타나, 인천지역 연평균농도(49 µg/m³) 대비

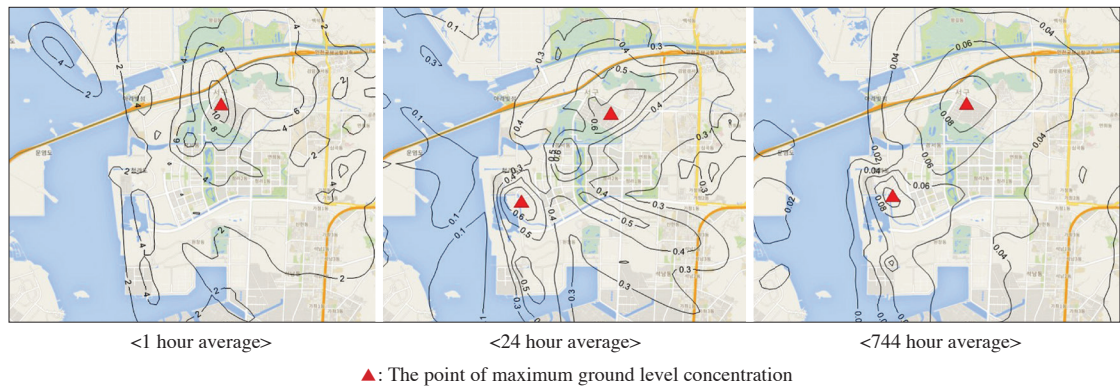


Fig. 7. Iso-concentration distribution of PM₁₀ during normal G/T operation.

Table 10. Maximum concentration of PM₁₀ at target points during usual emission. (unit: µg/m³)

Coordinate of target point	UTMX	UTMY	Max. conc.		
			1 hr	24 hr	744 hr
A site	290.001	4157.464	6.00	0.43	0.06
B site	291.324	4157.434	5.96	0.48	0.07
C site	292.884	4157.110	3.08	0.32	0.05
D site	292.982	4156.142	2.97	0.30	0.04
E site	291.357	4156.028	2.96	0.50	0.06
F site	290.177	4155.518	2.56	0.34	0.07

Table 11. Maximum concentration of PM₁₀ during usual emission. (unit: µg/m³)

Classification	UTMx	UTMy	Max. conc.	Time	Remark
Maximum ground level concentration	291.382	4158.931	11.04	October 1, 10:00 AM	-
Maximum concentration at target point	290.001	4157.464	6.00	October 6, 8:00 AM	A site

A지역은 12.2%, 최대착지지점은 22.5%의 기여율을 나타내며, 인천지역 일평균최대농도(87.2 µg/m³, '14년 10월, 대기환경연보) 대비 A지역은 6.9%, 최대착지지점은 12.7%를 차지하는 것으로 나타났다.

3. 3 Episode 1 emission

발전소는 주기적으로 Overhaul을 수행하며, 재가동하는 시점에서의 배출농도는 70~400 mg/Sm³ 수준으로 고농도의 먼지가 배출된다. 모델링 대상인 인천지역에는 57개 호기의 복합화력발전시설이 있으며, 이들 시설이 2년에 한번 정도 Overhaul을 실시하더라도 일년에 한 달 이상은 고농도 조건에 놓이게 된다.

Overhaul 후 재가동 시 인근지역에 미치는 영향을 파악하기 위하여 발전소별 1개 호기가 재가동되는 조건으로 모델링을 수행하였으며, 그 결과를 그림 8, 표 12, 표 13에 나타내었다. Overhaul 후 재가동되는 호기의 배출량은 200 mg/m³(88.9 g/s)를 적용하고 그 외 호기의 배출량은 0.9 mg/m³(0.4 g/s)를 적용하였다.

A지역의 1시간 최고 기여농도는 103.8~264.0 µg/m³, 24시간 최고 기여농도는 9.2~17.1 µg/m³로 발전소에 의한 영향이 일평균 13.0 µg/m³으로 증가로 나타나 대기오염 예보 시에 약간 나쁨 등급이 나올 정도로 대기질이 악화될 우려가 있다. 한편 A지역의 744시간 농도(월평균) 증가는 1.49~2.36 µg/m³으로 인천지역

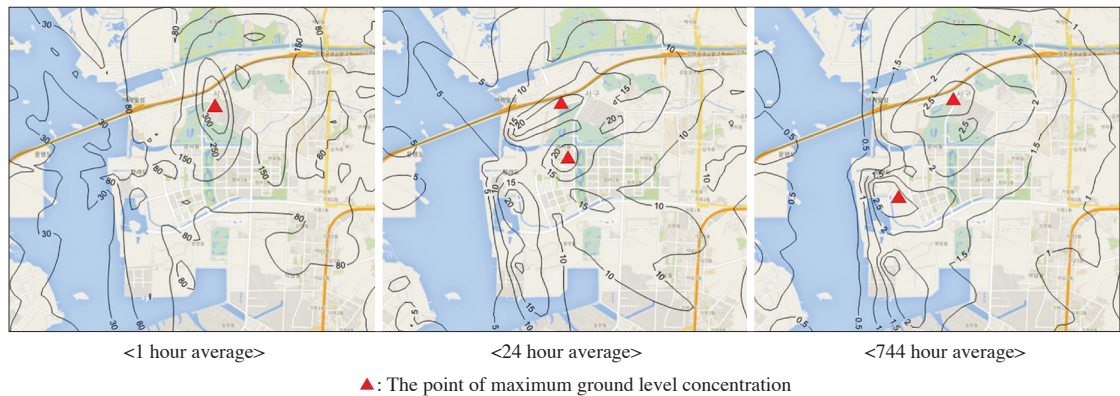


Fig. 8. Iso-concentration distribution of PM₁₀ during episode 1.

Table 12. Maximum concentration of PM₁₀ at target points during episode 1. (unit: µg/m³)

Coordinate of target point	UTMX	UTMY	Max. conc.		
			1 hr	24 hr	744 hr
A site	290.001	4157.464	186.49	17.08	1.93
B site	291.324	4157.434	264.04	15.59	2.23
C site	292.884	4157.110	192.42	10.38	1.72
D site	292.982	4156.142	124.99	9.15	1.49
E site	291.357	4156.028	113.47	16.35	1.89
F site	290.177	4155.518	103.81	9.53	2.36
Avg.			164.20	13.01	1.94

Table 13. Maximum concentration of PM₁₀ during episode 1. (unit: µg/m³)

	UTMx	UTMy	Max. conc.	Time	Remark
Maximum ground level concentration	291.382	4158.931	368.21	October 1, 10:00 AM	-
Maximum concentration at target point	290.001	4157.464	264.04	October 1, 10:00 AM	B site

연평균농도의 약 3.4%를 차지하는 것으로 나타났다.

발전소별 1개 호기가 오버홀 후 재가동 시 인근지역의 최대기여농도는 표 13과 같이 368.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타나 주변지역에 고농도 상황을 만들 수 있는 것으로 나타났다.

3. 4 Episode 2 emission

다음은 집중배출대수가 발전소별 2개 호기 재가동 시 즉 집중배출호기 배출량은 400 mg/m^3 (177.8 g/s), 일반배출호기 배출량은 1.8 mg/m^3 (0.8 g/s)이었을 경우 모델링 결과를 그림 9, 표 14, 표 15에 나타내었다.

표 14에는 6개 지역의 1시간 최고농도는 203.6~479.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가하는 것으로 나타났으며, 24시간 최고

농도는 18.0~34.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 6개 지역 평균이 26.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 증가하는 것으로 나타나 대기오염 예보 시 약간 나쁨 등급이 나올 정도로 대기질이 악화될 우려가 있다. 한편 744시간 농도는 2.9~4.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 증가하는 것으로 나타나 인천지역 연평균농도의 약 6.6% 정도를 차지하는 것으로 나타나고 있다.

표 15에는 발전시설에서 고농도 먼지배출 시 인근지역에 최대 692.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도를 나타내고 있는 것으로 묘사되고 있다. 이와 같이 발전시설에 의한 먼지배출량만을 고려하였음에도 발전소 인근지역의 먼지농도가 상당한 고농도로 예측되었다.

위와 같이 고농도 먼지 배출 시 급성호흡기질환 뿐만 아니라 비산, 장기적으로 체류할 경우, 인근지역 주

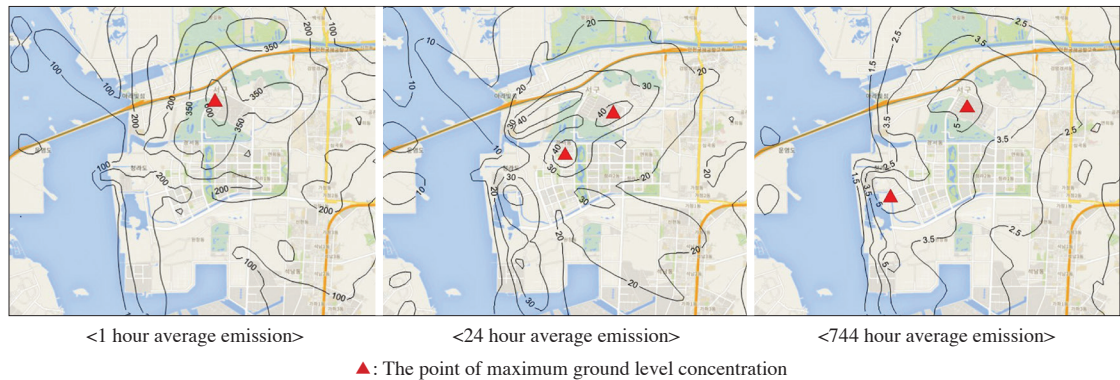


Fig. 9. Iso-concentration of PM_{10} during episode 2.

Table 14. Maximum concentration of PM_{10} at target points during episode 2. (unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Coordinate of target point	UTMX	UTMY	Max. conc.		
			1 hr	24 hr	744 hr
A site	290.001	4157.464	381.39	34.13	3.88
B site	291.324	4157.434	479.40	30.15	4.23
C site	292.884	4157.110	287.33	21.16	3.29
D site	292.982	4156.142	203.59	18.03	2.91
E site	291.357	4156.028	220.89	32.03	3.80
F site	290.177	4155.518	204.42	20.67	4.75
Avg.			296.17	26.03	3.81

Table 15. Maximum concentration of PM_{10} during episode 2. (unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	UTMx	UTMy	Max. conc.	Time	Remark
Maximum ground level concentration	291.382	4158.931	692.31	October 1, 10:00 AM	-
Maximum concentration at target point	290.001	4157.464	479.40	October 1, 10:00 AM	B site

민의 건강과 재산에 치명적인 피해를 줄 것으로 예상된다. 또한, 배출되는 먼지의 입경분포(그림 5)와 같이 10 μm 이하의 미세먼지가 대부분을 차지하는 것으로 보아 인근 지역뿐만 아니라 주변의 타 지역에도 영향을 미칠 것으로 판단된다.

4. 결 론

일반적으로 기체연료 사용시설은 먼지 배출이 거의 없으나, 연중 특정 조건에 대하여 매우 고농도로 배출되어 심각한 피해를 일으킨 사례들이 있다.

본 연구에서는 인천 일부 지역에 대하여 LNG 발전시설의 먼지 배출량을 산정하였으며, 대기확산모델링을 통하여 인근 주거지역에 미치는 먼지의 영향을 파악하고자 하였다. 정상운전 시 먼지 배출농도 평가와 함께 고농도 먼지 배출조건에 대하여 인근지역에 미치는 미세먼지 오염도 영향을 분석하였다. 본 연구에서는 일차적으로 정상 조건, 고농도 배출조건 등에서 미세먼지 배출량을 산정하여 제시하였다.

복합화력발전소 인근지역의 대기 확산모델링 결과 정상운전 조건일 경우 미세먼지(PM₁₀) 일평균 농도가 0.32~0.50 μg/m³ 정도 증가하는 것으로 평가되었으나, 1~2개 호기 고농도 배출조건일 경우 일평균 미세먼지(PM₁₀) 농도가 9.2~34.1 μg/m³ 정도로 농도 증가에 영향을 미칠 것으로 평가되었다. 이는 인천지역 미세먼지 연평균 농도가 50 μg/m³ 정도인 점을 고려하면 고농도 배출조건인 경우 집중적인 관리가 필요함을 알 수 있다. 국내에서는 2015년 1월 1일부터 LNG 사용시설의 먼지 배출허용기준을 적용하여 관리하고 있지만 overhaul 등 일정기간 가동중단 후 재가동 시 먼지의 다량 배출을 저감할 수 있는 방안이 고려되어야 할 것이다.

전국적으로 기체연료 사용 보일러 및 발전소가 도심권에 집중되어 있는 점을 고려하면 지속적인 관심과 관리가 필요하며, 향후 환경영향평가 등에 있어 함께

검토되어야 할 것으로 판단된다.

References

- Craig, B. (2005) Identify, correct HRSG gas-side corrosion problems, Combined Cycle Journal, Third Quarter, OH14-OH16.
- Korea Electric Power Corporation (KEPC) (2015) The Monthly Report on Major Electric Power Statistics, KEPC, Official Press Release No. 2015-08468126-Jeong 0099.
- Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (2011) KETEP Issue paper-Status of domestic and foreign on Gas Turbine Tech., (3), 3-7.
- Malik, A.U., S.A. Al-Fozan, M. Mobin, and M. Al-Hajri (2013) Studies on the Failure of Economizer Tubes Involving Acid Dew-Point Corrosion in High Pressure Boilers, Intl. J. of Sci. & Eng. Research, 4(9), 1726-1736.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2010) National Air Pollutant Emission Calculation Method Manual (II), NIER Official Press Release No. 11-1480523-000189-01.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2013) National Air Pollutant Emission Calculation Method Manual (III), NIER Official Press Release No. 11-1480523-001501-01.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2014) Metropolitan landfill odor monitoring research (II), NIER Official Press Release No. 11-1480523-002016-01.
- US EPA (2007) Guidance on the Use of Models and Other Analyses for Demonstrating Attainment of Air Quality Goals for Ozone, PM_{2.5}, and Regional Haze, EPA-454/B-07-02. Power Industry News, 2014.
- Usami, A., T. Noguchi, H. Tezuka, S. Nishimura, and T. Kusunoki (2003) Development of a Water Dew Corrosion Resistant New Steel Element for Air Preheaters at Natural Gas Fired Power Plants, NIPPON STEEL TECHNICAL REPORT No. 87, 10-13.