

거대 점 오염원의 플룸에 의한 시정 장애 효과 연구

A Study on Visibility Impairment Impact of the Plume from a Vast Point Source

배 주 현 · 김 유 근
부산대학교 대기과학과
(1999년 4월 1일 접수, 1999년 11월 9일 채택)

Joo-Hyun Bae and Yoo-Keun Kim
Dept. of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Pusan, Korea
(Received 1 April 1999; accepted 9 November 1999)

Abstract

Now that the plume of point source was suspected to have strong impact on visibility impairment in Pusan, we evaluated visibility impairment impact of the plume from Pusan Thermo Electric Power Plant in Pusan. Level-1 and -2 analyses were carried out using VISCREEN (Visual Impact Screen model). The emission rates for this Pusan Thermo Electric Power Plant was projected to be 116 g/s of nitrogen oxides (as NO₂). The source fails the level-1 test with a Plume perceptibility (ΔE) of 30, nearly 15 times the screening threshold. To characterize worst-case meteorological conditions for level-2 screening, we obtained meteorological data from Mar., 1996 to Feb., 1997 of Pusan Thermo Electric Power Plant. The source fails the level-2 test with a ΔE of 17, nearly 8.5 times the screening threshold. These analyses indicated that adverse visibility impairment could not be ruled out. Therefore a Level-3 analysis was performed using PLUVUE II (Plume Visibility model). As a result, maximum reduction of visual range for 0900LST in winter was 0.9%. Visual impact of the plume from vast point source was judged to be considerable in terms of background visibility of urban area.

Key words : visibility impairment, VISCREEN, PLUVUE II, plume perceptibility (ΔE), reduction of visual range

1. 서 론

최근 대도시를 중심으로 심각해져 가는 시정장애 현상의 원인은 입자상 물질과 가스분자에 의한 빛의 산란과 흡수 때문이다. 입자는 대기 중에서 직접 배출되는 1차적 입자와 1차 기체 방출로부터 대기 중에서 형성되는 황산암모늄염, 질산염, 탄화수소 배출로 인한 탄소입자 등의 2차적 입자로 분류된다.

유일한 기체배출로는 빛을 흡수하는 이산화질소 등이 원인이 된다고 보고된 바가 있다(NPS, 1994).

지금까지 시정 모델에 관해서는 타 연구에 비해 그다지 많은 연구가 이루어지지 않았다. 국내의 경우에 국립환경연구원(박일수 등, 1994)에서 개발된 중규모 대기 모형이 시정감소 현상 규명을 위해 적용된 바가 있으며, 백남준(1994)에 의한 Mie 이론을 근거로 하는 물리적 모델이 소개된 바가 있고, 그의 통계적 모형이 소수 소개된 실정이다.

미국의 경우, 깨끗한 시정을 슬로건으로 내건 미국 정책에 힘입어 시정분야의 연구가 가장 활발하다. 먼저 VASM (Visibility Assessment Scoping Model)은 주로 대기질 평가 연구시 시정 장애를 모의하기 위해 고안된 일종의 몬테카를 모델이며 (Shannon *et al.*, 1997), ROME (Reactive and Optics Model of Emissions)는 이전의 반응적인 플룸 시정 모델들에 비해 더욱 포괄적인 모델로서, 플룸의 화학적 농도와 가시 현상을 더 정확하게 계산해 낼 수 있는 모델이다 (Gabruk *et al.*, 1999; Seigneur *et al.*, 1997).

본 연구에서 사용한 VISCREEN (Visual Impact Screen)과 PLUVUE II (Plume Visibility) 모델을 적용했던 연구로는 주로 미국 EPA (Environmental Protection Agency)에서의 연구사업으로 이루어진 바가 대부분이다. 특히 이 모델들은 거대 점오염원 설립

Level-1 Screen Using VISCREEN

Level-2 Screen Using VISCREEN a plume Visibility Model

Level-3 Analysis Using Plume Visibility Model

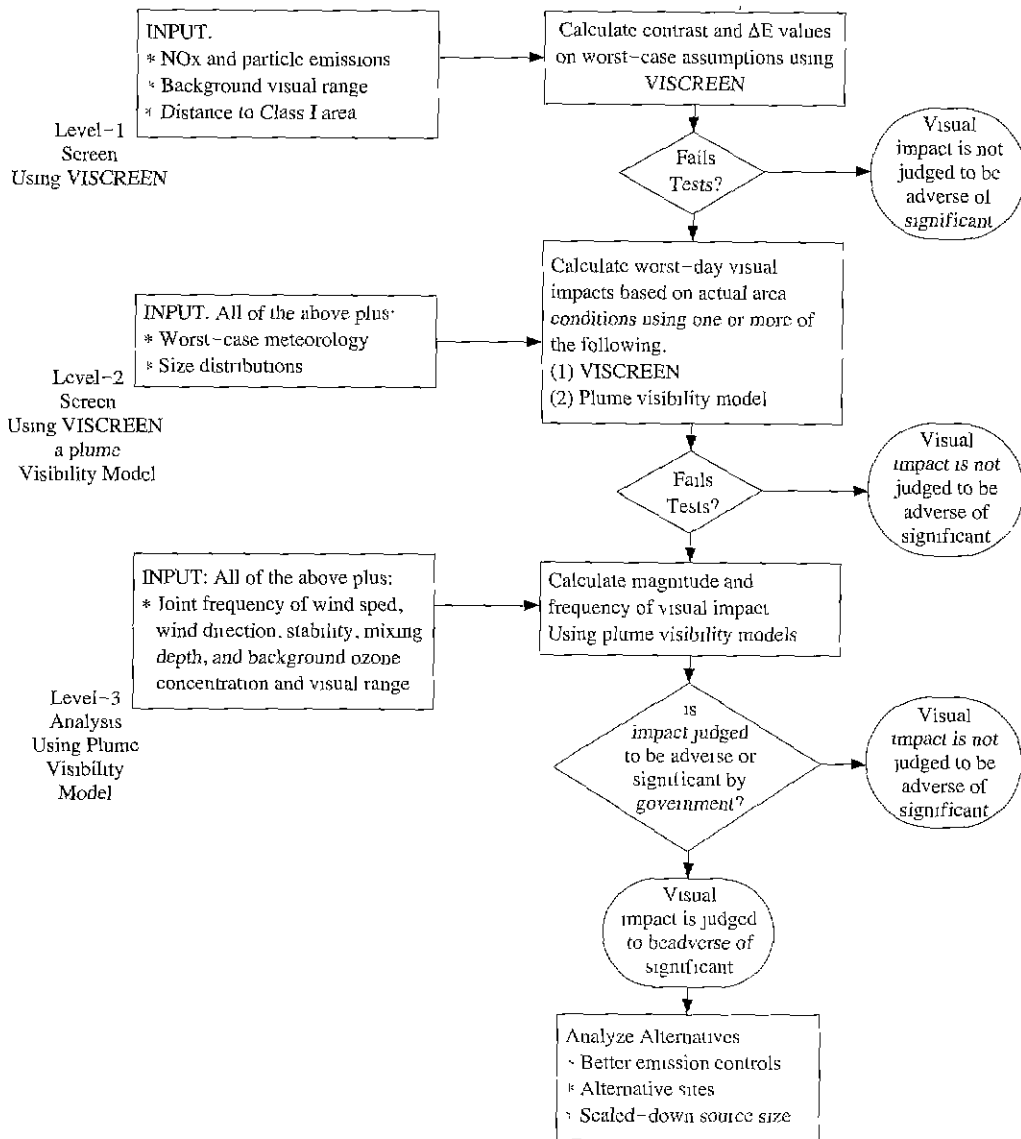


Fig. 1. Logic flow diagram for 3-level plume visual impact analysis (EPA, 1992).

Table 1. Air pollutant emission in Pusan Thermo Electric Power Plant. (unit. g/s)

Pollutant	SO ₂		NO ₂		TSP	
	Daily	Yearly	Daily	Yearly	Daily	Yearly
Fuel						
LNG	-	-	346.0 (235.0)	128.0 (87.0)	-	-
0.1% Light oil	194.3 (133.0)	71.9 (49.2)	770.9 (527.6)	285.3 (195.2)	52.6 (36.0)	19.8 (13.3)

의 환경영향평가시에 많이 사용되고 있다 (EPA, 1992). 이에 본 연구에서는 시정 감소의 물리적 특성을 연구하기 위한 작업으로, VISCREEN과 PLUVUE II model을 부산화력발전소에 적용하여 거대 점오염원의 플룸으로 인한 시정 장애 정도를 단계별로 계산함으로써, 한 개의 거대 점오염원이 지역 시정을 악화시킬 수 있는 잠재력이 얼마나 큰지를 과학적이고 체계적인 방법으로 고찰해 보고자 하였다.

2. 연구배경

2.1 대상 및 적용방법

거대 점 오염원으로부터 방출되는 플룸에 의한 시정 장애 효과를 광학적 과정에 근거하여 계산하기 위하여 VISCREEN model Level-1과 Level-2, Level-3인 PLUVUE II model을 적용해 보았고, 분석단계는 그림 1에 자세히 기술하였다 대상 배출원은 부산광역시 사하구 감천동 소재 부산화력발전소이며, 관측지점은 남쪽으로 2.8 km 떨어진 사하구 암남동 한국동불검역소이다. 본 연구에서는 VISCREEN 모델 적용시, 암남공원 지역을 관측영역으로 두고 모델의 지형 입력 범위를 설정하였다.

표 1은 부산화력발전소에서의 대기오염 배출량을 나타낸 것이다. 운영시 주연료는 LNG를 사용하지만 비상시에는 0.1% 저황 경유를 사용하는데, 본 연구에서는 연료 종류에 따른 민감도를 살펴보기 위해 두 case에 대한 level-1, -2, -3 모두를 적용해 보았다

2.2 플룸 시정 모델의 이론적 배경

플룸 가시 효과 모델을 수학적으로 설명하는 그림 2를 보면, 관측자의 시야선 (sight path)이 관측자

로부터 r_p (관측자에서 플룸 중심선까지의 거리) 떨어진 곳의 플룸 중심을 교차하고, r_o (관측자에서 배경물체까지의 거리에 있는 배경물체와 교차한다. 시야선을 따르는 플룸 내 · 외부의 한 점에서의 빛 광도 변화는 시야선에 따르는 거리 (r)의 함수로 나타낼 수 있다.

$$\frac{dI(\lambda)}{dr} = -b_{ext}(\lambda)I(\lambda) + \frac{\bar{P}(\lambda, \theta)}{4\pi} b_{scat}(\lambda)F_s(\lambda) \quad (1)$$

여기서, r은 목표물에서부터 관측자까지 시야선을 따르는 거리, $\bar{P}(\lambda, \theta)$: 산란각 θ 에 대한 산란 분포와 위상함수, $F_s(\lambda)$: 대기에 입사하는 파장별 태양 플럭스 (watt/m²/μm)이다.

식 (1)은 시야선 밖으로 흡수되고 산란되는 빛과 시야선 속으로 산란되는 빛을 나타내는데, 여기서 b_{ext} (전체소광계수)와 b_{abs} (흡수계수)는 에어로졸 농도, NO₂ 농도, 에어로졸 굴절지수, 그리고 크기분포와 같은 특징을 안다면 계산되어진다.

하늘에 대한 플룸의 대조 C에 영향을 끼치는 것은 플룸에 대한 위상함수와 알베도이며, 플룸 광학적 두께 (τ_{plume})와 플룸과 관측자의 거리 (r_p)에 의해 영향을 받으며, 플룸 감지력 ΔE (색깔 차이 매개변수)는 명조와 색조 변수의 함수이다. 세가지 색 매개변수 (X=red, Y=green, Z=blue)에 의해 계산되며, 이때 ΔL*, Δa*, Δb*는 각각 플룸과 배경 사이의 이러한 세 함수들의 차이를 말한다.

VISCREEN 모델은 Howell and Hess (1978)의 퍼지는 물체에 대한 기준치인 ΔE 2, Green 대조 0.05와 비교된다. 이 모델은 그래프까지 그릴 수 있는 Macro 기능을 포함하고 있기에, 상당히 짧은 시간 내에 결과를 분석해 볼 수 있는 장점이 있다.

한편 PLUVUE II 모델은 가스와 입자의 건식 침적과 NO, NO₂, O₃, O, SO₂, HNO₃, H₂SO₄의 화학반응을 적용하고 수송과 확산 방정식의 가우시안 해를 기초로 한다. 또한 이 모델은 본 연구에서 적용한 VISCREEN 모델의 level-1, 2에서 스크린 기준치를 넘기는 경우의 level-3 모델이기도 하며, 39개의 가시파장 (0.36 < λ < 0.75 μm)에서의 스펙트럼 광도의 플룸 유 · 무에 따른 시각적 영향에 대해 계산한다.

반면 NO의 열적 산화 반응은 NO의 고농도에서 매우 빠르지만 대기중이나 플룸내에 있는 저농도에서는 느리며 반응율은 다음과 같다 (Baulch et al.,

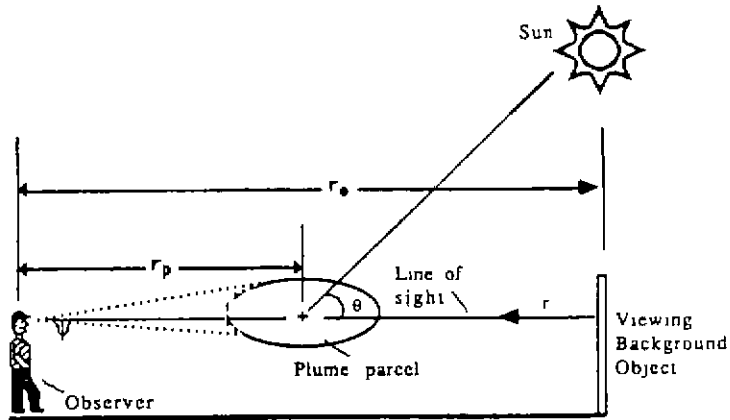


Fig. 2. Geometry of plume, observer, viewing background, and sun (EPA, 1992).

1973).

$$\frac{d[\text{NO}_2]}{dt} = \left[4.015 \times 10^{-12} \exp\left(\frac{1046}{RT}\right) \right] [\text{NO}]^2 [\text{O}_2]$$

(in ppm/s) (2)

여기서, R은 보통 기체상수이고 T는 절대 온도이다.

플룸내에서 O(·D)와 OH 라디칼의 정상상태를 가정하면, pseudo-first-order SO₂-to-SO₄²⁻와 NO₂-to-HNO₃ 전환율은 다음과 같이 간략하게 계산될 수 있다.

$$\frac{-1}{[\text{SO}_2]} \frac{d[\text{SO}_2]}{dt} = K_{37} [\text{OH} \cdot],$$

$$\frac{-1}{[\text{NO}_2]} \frac{d[\text{NO}_2]}{dt} = K_{38} [\text{OH} \cdot]$$

(3)

여기서 K₃₇=2.0 × 10⁶ ppm⁻¹ min⁻¹, K₃₈=2.0 × 10⁶ ppm⁻¹ min⁻¹이다.

3. VISCREEN 모델을 이용한 가시효과 산정

3.1 level-1 적용

VISCREEN 모델은 색깔 차이 요소(delta-E)와 하늘 또는 지형을 배경으로 한 빛의 파장(0.4, 0.55, 0.7 μm)에서의 플룸 대조를 추정하는 것인데, 본 연구에서는 Delta-E 2.0과 green 대조 0.05의 기준치

와 비교할 것이다.

그림 3은 VISCREEN 모델에서 level-1의 거리들을 요약한 것이며, 플룸은 항상 22.5°로 퍼진다고 가정한다. 그리고 플룸이 퍼지는(offset) 각(γ)은 모든 Level-1 스크린 계산에 대해 11.25°로 세팅하며, 관측자의 인근 방향으로 플룸의 직접적 수송이 12 시간 동안 지속된다고 가정된다. 이것은 대부분 Level-2를 적용하는 경우에도 동일하다.

Level-1 분석시 내장된 매개변수들을 사용하게 되며(표 2), 본 연구에서는 연구 대상지역이 특별히 습윤하거나 건조하지 않기에 내장된 값을 그대로 사용하였고, 특히 플룸입자에 대한 특성들은 경우 연료 사용에 따른 연구에 적용될 것이다.

부산화력발전소에 적용되는 VISCREEN level-1의 분석시, 발생원으로부터 암남동 동플검역소에 위치한 관측영역까지의 최소거리 2.8 km, 최대거리 3.3 km로 두었고 플룸중심선과 발생원, 그리고 관측자 사이의 각은 11.25°이며, 최악의 기상조건 시나리오에 따른 안정도 등급 6(F), 부산지역의 배경 가

Table 2. Default particle size and density specifications (EPA, 1992).

Particle Type	Mass Median Diameter (m)	Density (g/cm ³)
Background fine	0.3	1.5
Background coarse	6	2.5
Plume particulate	2	2.5
Plume soot	0.1	2
Plume primary sulfate	0.5	1.5

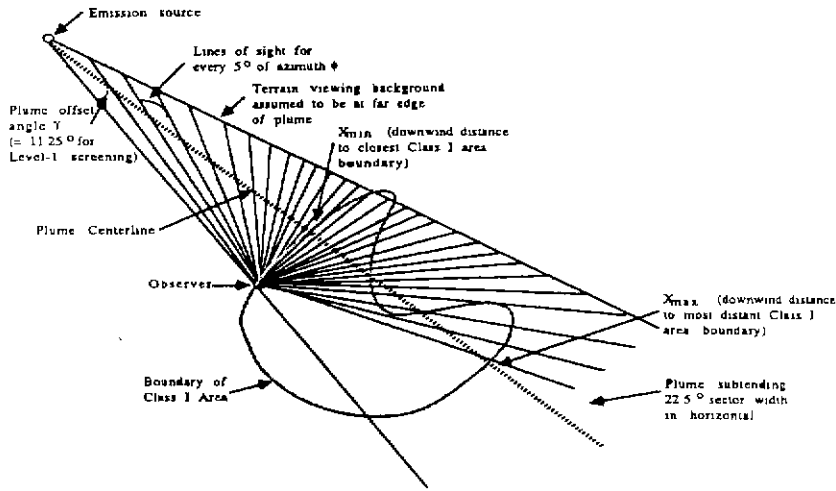


Fig. 3. Geometry of plume and observer lines of sight used for plume visual impact screening (Pacific Environ. service, 1992).

Table 3. Occurrence frequency of NNW and NW for each dispersion condition and quarter day (Mar., 1996~Feb., 1997).

Dispersion Condition	$\sigma_z \cdot u$ (m ² /s)	Transport Time (min)	Frequency (f) and Cumulative Frequency (cf) of Occurrence ^a of Given Dispersion Condition Associated with Worst-case Wind Direction for Given Time of Day (percent)							
			0~6		6~12		12~18		18~24	
			f	cf	f	cf	f	cf	f	cf
F, 1	28	93	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
E, 1	48	93	0.27	0.27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.27	0.27
F, 2	56	31	0.27	0.54	0.0	0.0	0.0	0.0	0.27	0.54
D, 1	70	93	1.37	1.91	0.54	0.54	0.0	0.0	0.27	0.81
F, 3	84	19	0.54	2.45	0.0	0.54	0.0	0.0	0.27	1.08
E, 2	96	31	3.0	5.45	0.0	0.54	0.0	0.0	0.27	1.35
D, 2	140	31	1.92	7.37	0.54	1.08	0.0	0.0	0.0	1.35
E, 3	144	19	0.0	7.37	0.0	1.08	0.0	0.0	0.0	1.35
E, 4	192	13	0.27	7.64	0.0	1.08	0.0	0.0	0.54	1.89
D, 3	210	19	0.27	7.91	0.0	1.08	0.27	0.27	0.54	2.43
E, 5	240	10	0.0	7.91	0.0	1.08	0.0	0.27	0.0	2.43
D, 4	280	13	0.27	8.18	0.0	1.08	0.54	0.81	0.0	2.43
D, 5	350	10	0.0	8.18	0.0	1.08	0.0	0.81	0.0	2.43

^a The joint frequency and cumulative frequency of wind direction, wind speed, and stability are determined separately for each of the four time periods (0~6, 6~12, 12~18, 18~24). For a given time period, e.g. 0~6, the sum of all frequencies for all dispersion conditions adds up to 100 percent.

Note: Distance downwind, values of σ_z , and transport times are based on x_{min} .

시거리는 17km로 입력하였다.

그림 4는 부산화력발전소의 연간 LNG 연료사용량을 입력자료로 한 VISCREEN 모델의 적용 결과이다. Blue-Red ratio (a)를 보면, 하늘 배경에 대한

전방과 후방 산란의 값들이 동일하며 최대치는 0.855 정도이다. Blue-Red ratio는 0.9보다 작거나 1.1보다 크다면 플룸을 분명히 인지할 수 있으며 분석된 플룸도 이 영역에 있었다. (b)는 Green 대조

를 나타낸 것이다. 지형 배경에 대해서는 전방과 후방 산란의 두 조건에서 동일한 분포를 보였고, 대체로 0.05 이하의 값들을 보였지만 하늘에 대한 대조는 최대 -0.127로써 그 절대값이 스크린 기준치를 초과하였다. ΔE를 계산한 것이 (c)인데, 하늘과 지형

배경에 대한 전방과 후방 산란의 모든 경우가 기준치 2를 훨씬 넘기는 경향을 보여주었다. 뿐만 아니라 경유연료사용량에 대한 경우도 LNG의 결과보다 훨씬 더 많이 기준치를 초과한 결과를 보였으며, 더 현실적인 level-2 분석이 요구되었다.

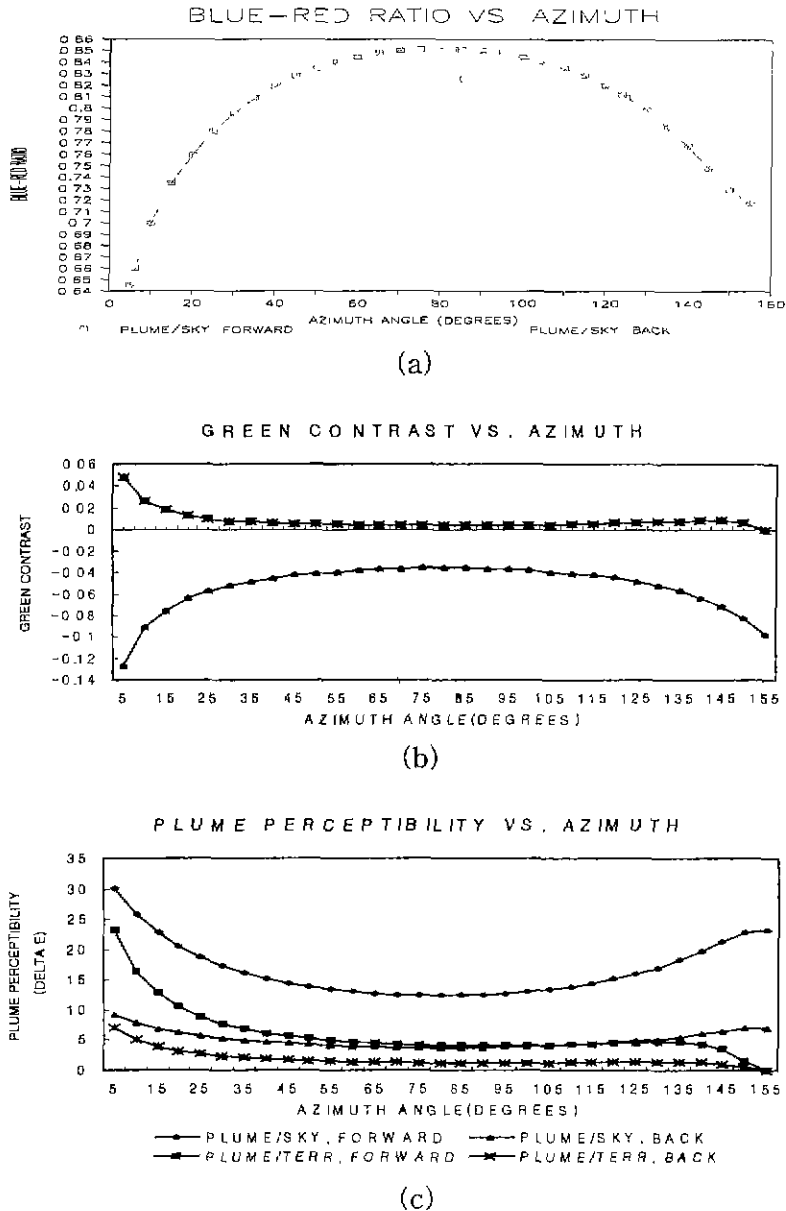
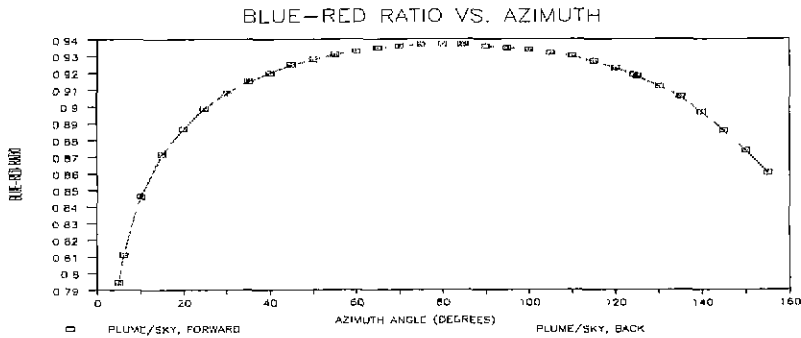


Fig. 4. The visual effects (blue-red ratio, plume perceptibility, green contrast) of the plume from Pusan Thermo Electric Power Plant using VISCREEN model level-1.

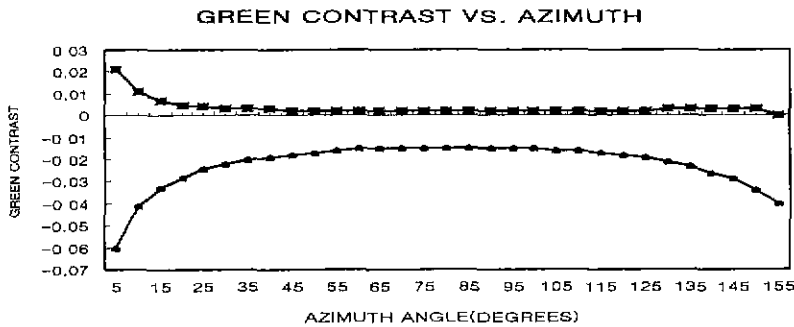
3. 2 level-2 적용

VISCREEN level-2는 level-1 결과가 만약 screening 기준을 초과한 결과를 보였을 때 수행된

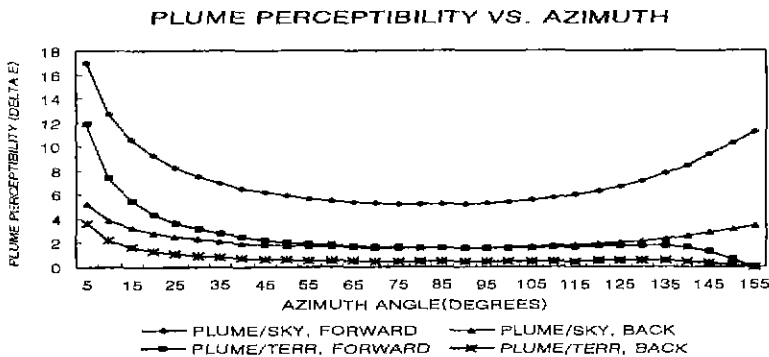
다. 이것은 최악 case 일의 플룸 시각 영향을 추정하며, 더 사실적인 입력자료가 요구된다. 만약 level-1에 내장된 매개변수들이 선택되면, VISCREEN 모델은 표 2의 배출 입자와 배경 대기중의 입자의 크기



(a)



(b)



(c)

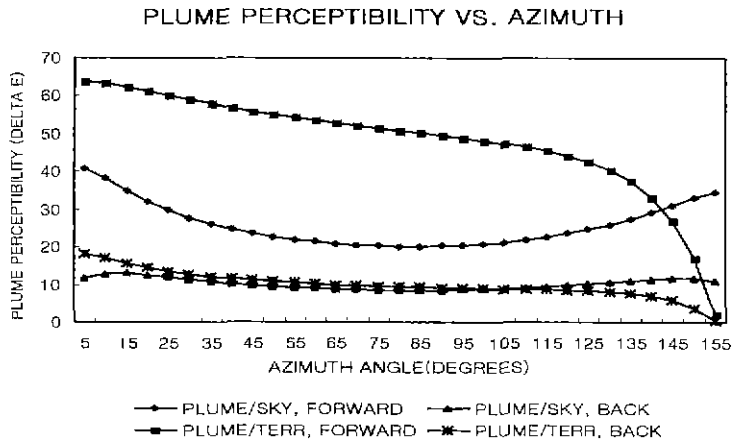
Fig. 5. The visual effects (blue-red ratio, plume perceptibility, green contrast) of the plume from Pusan Thermo Electric Power Plant using VISCREEN model level-2.

및 밀도의 최상의 추정치를 그대로 사용한다.

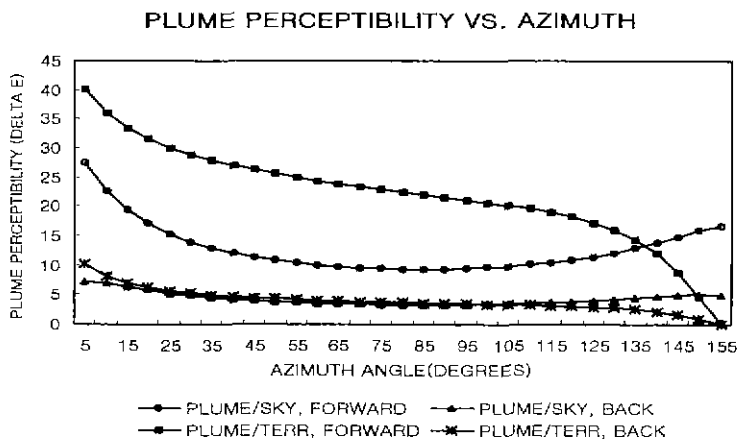
가장 중요한 입력자료는 기상조건(최악 조건의 풍향과 풍속, 대기 안정도)이기에 최악의 기상조건을 얻기 위해서 표 3과 같은 기상결합빈도표를 만들어야한다. 본 연구에서는 1996년 3월에서 97년 2월까지의 감천동 부지기상 자료를 이용하여 악기상 조건을 찾았고, 분석 결과 누적빈도가 1%를 넘게되는 안정도 등급 D와 풍속 1 m/s의 기상조건을 입력자료로 채택하였다. 악기상 조건은 σz^*u 을 계산함으로써 서열을 매길 수 있으며 σz 는 주어진 안정도

계급과 풍하거리에 따른 Pasquill-Gillford 수직확산 계수이고 u 는 결합빈도표에 주어진 풍속계급에 대한 최대 풍속이며, 분산조건은 σz^*u 의 오름차순으로 정렬된다.

그림 5는 LNG 연료에 따른 VISCREEN Level-2의 적용 결과이다. (a)는 Blue-Red ratio로 그 최대치는 0.938 정도로 Level-1과는 달리 색깔을 거의 감지할 수 없는 1에 가까운 값을 보였다. (b)는 Green 대조를 나타내며, 대체로 절대값 0.05 이하의 값들을 보여 기준치를 초과하지 않았다. (c)는 ΔE



(a)



(b)

Fig. 6. The plume perceptibility of the plume from 0.1% light oil fuel in Pusan Thermo Electric Power Plant using VISCREEN model (a) level-1, (b) level-2.

결과인데 최대 플룸 ΔE는 17로서 screening 극치보다 8.5배 더 크지만, 30의 결과를 보인 level-1의 절반 정도의 수치를 나타내었다

그리고 그림 6은 연료에 따른 VISCREEN 모델의 민감도를 분석하기 위해 부산화력발전소에서 비상시 사용하는 0.1% 저유황 경유를 입력자료로 하였을 때의 Level-1과 Level-2의 결과이다. 모두 기준치를 훨씬 초과하는 값들이며 LNG 연료의 결과보다 각각 2배 높은 수치를 보였다.

이상을 모두 종합해 보면, VISCREEN 모델 분석에서 그 기준치를 초과하여, 더 refine한 모델 PLUVUE II에 의한 분석이 요구되었다.

4. PLUVUE II 모델을 이용한 시정 장애 효과 계산

PLUVUE II 모델은 선택된 지점에서 광학적 계산을 수행하기 위해 플룸 궤적 (trajectory)을 따라 4가지 형태와 2가지 모드를 가진다. 두가지 모드인 플룸 기준 (Plume-based)과 관측자 기준 (observer-based)으로 한 계산에서 플룸 수송, 확산, 화학에 대한 계산은 모두 동일하며, 주요 차이는 발생원과 플룸이 보여지는 위치 및 방향이다. 플룸 기준의 계산은 플룸과 관측자, 그리고 태양의 위치에 대한 기하학 등의 몇 가지 조합에 대해 반복된다. 이 반복 때문에, 이 플룸 기준의 계산은 관측자 기준의 계산보다 더 많은 시간을 소비하고 더 많은 출력을 내게 된다

그리고 4가지 광학적 형태는 수평적으로 플룸을 통해 하늘 배경을 보는 경우, 비수평적으로 플룸을 통해 하늘 배경을 보는 경우, 수평적으로 플룸 뒤의 흰색, 회색, 검은색 배경을 보는 경우, 수평적으로 플룸의 축을 따라서 흰색, 회색, 검은색 배경을 보는 경우가 있다.

모델의 입력자료는 배주현 (1999)에 자세히 기재되어 있으며, 가급적 관측값을 중심으로 입력자료를 구성하였다. 표 4는 오염된 지역에 적용 가능하게 플룸 2차 입자 등을 수정한 에어로졸 특성들을 나타낸 것으로 이 값들을 사용하여 Mie 계산을 실행시켰다.

모델 적용 결과는 계절별, 시간대별로 그리고 관측자와 플룸 위치별로의 수평적 시야선과 비수평적

Table 4. Default aerosol properties for PLUVUE II (EPA, 1992).

Particle Type	Size Parameters Diameter (μm)	Sigma	Density (g/cm ³)	Index of Real	Refraction -Imaginary
Background Accumulation Mode	0.3	2.0	1.5	1.5	0.0
Background Coarse Mode	6.0	2.2	2.5	1.5	0.0
Plume Secondary	0.2	2.0	1.5	1.5	0.0
Plume Primary	2.0	2.0	2.5	1.5	0.0
Carbonaceous	0.1	2.0	2.0	2.0	1.0

Table 5. Input data of 4 season for PLUVUE II (0900 LST, 1996).

List	Spring	Summer	Fall	Winter
Day, Month	4/22	7/29	10/21	2/6
Stability	C	C	C	C
Relative humidity	42	81	61	32
Wind speed (m/s)	3.37	3.19	2.08	2.55
Mixing depth (m)	480	1730	920	150
Air temperature (F)	63.7	89.2	60.6	34.7
Background visual (km)	17	16	17	19
Wind direction (°)	246.1	265.1	43.9	254.3
Background NO ₂ (ppm)	0.022	0.011	0.02	0.02
Background O ₃ (ppm)	0.017	0.016	0.018	0.012
Background SO ₂ (ppm)	0.016	0.016	0.021	0.013

시야선 별로 살펴보았다 하지만 비수평적인 경우, β 각이 5° 이하인 경우는 모델에서 계산이 되지 않기 때문에 본 연구의 경우, 관측지점과 발생원의 지형 고도 차이가 나지 않아, 비수평적 시야선에 따른 계산은 거의 결과를 볼 수 없었다.

표 5는 계절별로의 입력자료들을 1996년에 관측된 기상장과 배경 오염물질 농도 중심으로 요약한 표인데, 이것은 1996년 감천동 발생원 지점의 연직과 부지 기상 관측 및 대기오염 관측 자료를 바탕으로 구축한 입력자료이다.

그리고 그림 7은 PLUVUE II 모델의 실행 결과 중 계절별에 따른 민감도를 보기위해 오전 9시경의 푸른 하늘을 배경으로 한 관측자 기준에서, 플룸으로 인한 시정장애 효과 매개변수들의 결과값을 계절별로 나타낸 것이다. 배경 시정값은 봄, 여름, 가

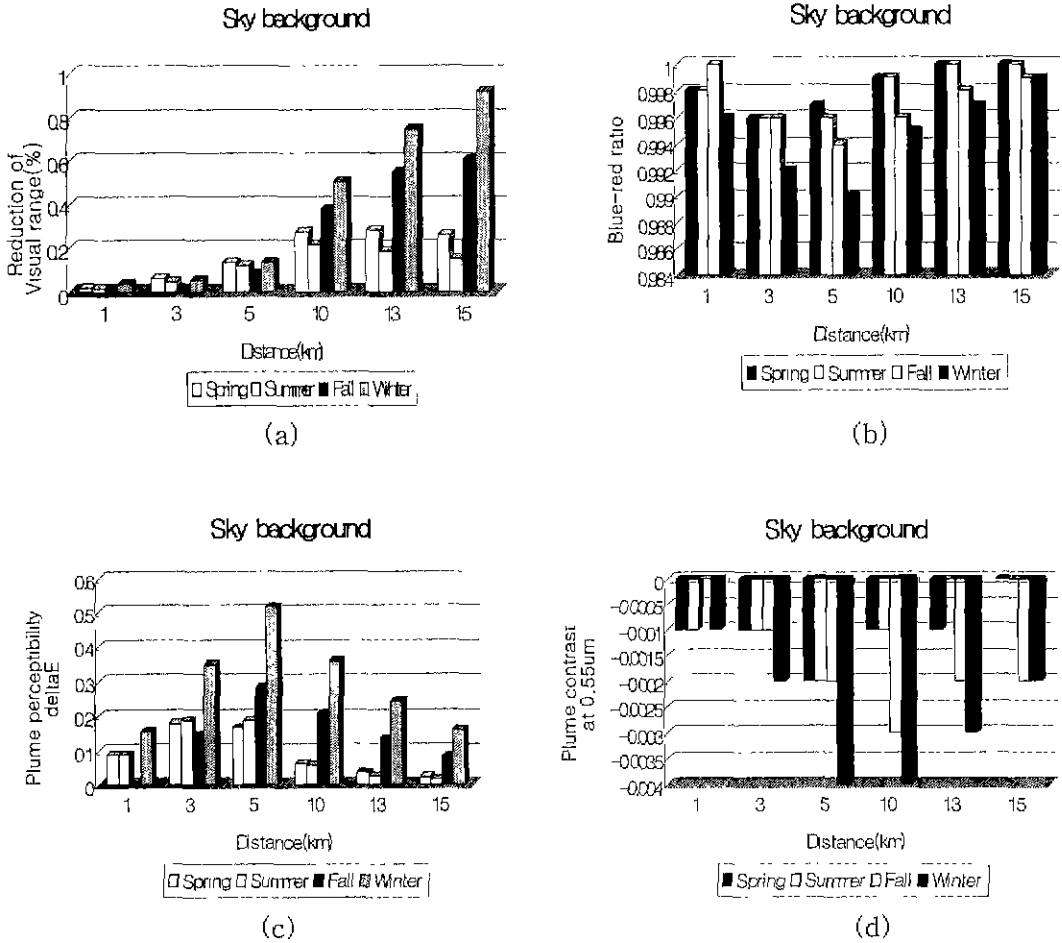


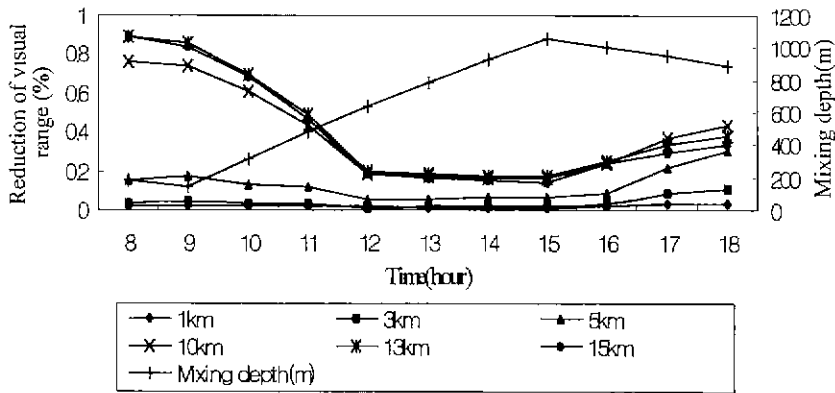
Fig. 7. The seasonal (a) reduction visual range, (b) blue-red ratio, (c) plume perceptibility, and (d) plume contrast for observer-based calculations with a sky background of the plume Pusan Thermo Electric Power Plant, using PLUVUE II model.

을. 겨울이 각각 17 km, 16 km, 17 km, 19 km이지만, 플룸에 따른 시정 감소율은 겨울에 풍하거리 153 km에서 최대 0.9%값을 보였고, 4계절 중 제일 높은 감소율을 보였다. 이는 겨울의 낮은 혼합고와 안정한 대기에 의해 플룸 내의 수직적 혼합이 제한을 받기 때문인 것으로 해석된다.

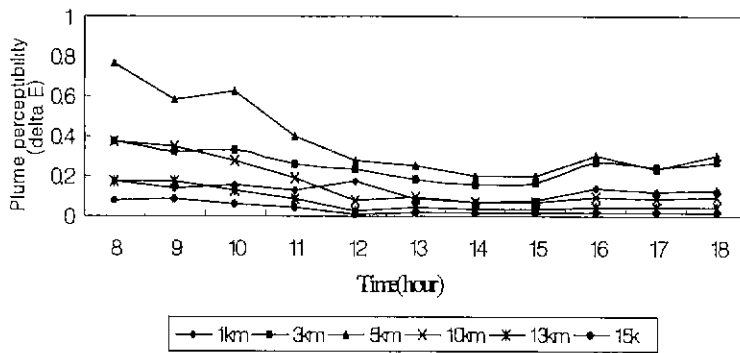
또한, 풍하거리에 따라 시정감소율이 증가함은 시간에 따른 NO₂와 SO₂가 NO₃⁻와 SO₄²⁻로의 전환이 증가하기 때문에 점차적으로 시정악화가 초래되는 것으로 해석된다(EPA, 1992). 그리고 Blue-red ratio는 전 풍하거리에서 1보다 작은 값을 보여 열은 황

갈색의 색조를 띄고 있는데, 이는 LNG의 연료 사용시, 이산화질소의 배출만 있기 때문에 당연한 결과이지만 전반적으로 1에 가까운 값을 보이므로 그 정도는 아주 미미할 것이다.

플룸 지각력 ΔE 또한 겨울에 제일 높았는데, 겨울의 풍하거리 5 km, 관측자에서 연기중심선까지의 거리 (r_p) 5.8 km에서 최대인 0.5의 값을 보였다. 0.5 μm 플룸 대조의 결과도 절대값이 기준치 0.05에 훨씬 못 미치는 좋은 결과를 보이지만, 풍하거리 5, 10 km에서 최고 대조값을 보이며 역시 겨울에 최고 높았다. 여기서 특이한 현상은 시정 감소율은 풍하



(a)



(b)

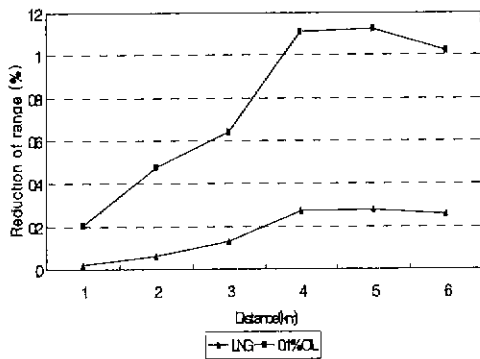
Fig. 8. Diurnal variation of (a) reduction of visual range (b) plume perceptibility for observer-based calculations with a sky background of the plume Pusan Thermo Electric Power Plant using PLUVUE II model.

거리에 따라 점차 증가하는 것을 볼 수 있는데, 그 외 매개변수들은 5, 10km에서 그 값이 제일 높음을 볼 수 있는데, 이는 플룸내의 황산염과 질산염으로 전환이 이 거리에서 가장 활발하여 입자에 의한 빛의 산란이 많은 것으로 보인다. 이후 점차적으로 입자 침적에 의한 제거로 인해 그 효과들이 감소한 것으로 사료된다. 하지만 시정 감소율의 경우 배경 시정과의 결부된 계산값이므로 그 가시효과들이 누적되어 그 수치가 더 높아진 것으로 판단된다.

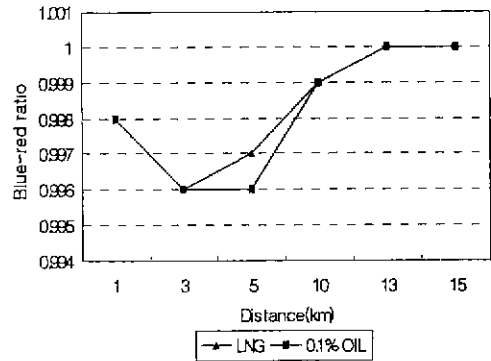
그림 8은 플룸의 가시 효과를 시간대별로 살펴보기 위해 매시간마다 모델 수행 결과를 일변화 형태로 살펴본 것이다. PLUVUE II 모델은 빛을 산란시키고 흡수시킬 수 있는 광원이 있어야만이 수행된

다. 본 분석자료는 96년 2월 6일의 겨울 자료이기 때문에 일출 1시간 뒤인 오전 8시부터 일몰 1시간 전인 오후 6시까지의 시정감소율과 ΔE 일변화를 살펴보았다. 두 경우 모두 오전 중에 그 수치가 높다가 오후 이후 낮은 값을 보였으며, 3시 이후에는 다시 높아지는 패턴을 보였다. 그리고 입력자료 중 혼합고의 영향이 가장 큰 것으로 보여 혼합고의 일변화를 동시에 살펴보았고 역시 그 분포 형태는 역상관 형태였다.

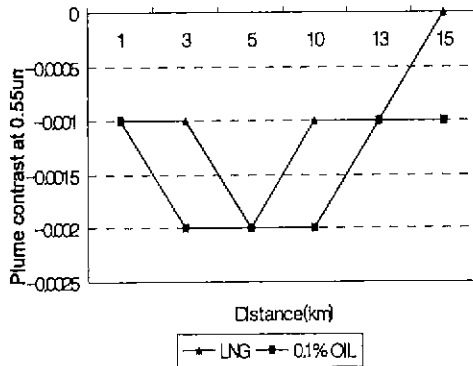
그림 9는 부산화력발전소에서 비상시 사용하는 0.1% 저황 경유를 사용했을 때의 결과로서, 4개의 매개변수 모두 저황 경유 사용시 LNG의 경우보다 그 값들이 더 높은 수치를 보였다.



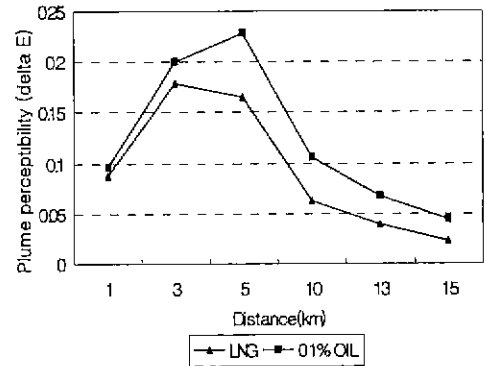
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 9. (a) Reduction visual range, (b) blue-red ratio, (c) plume perceptibility, and (d) plume contrast of two fuels; LNG and 0.1% light oil for observer-based calculations with a sky background of the plume Pusan Thermo Electric Power Plant using PLUVUE II model.

5. 결 론

본 연구에서는 부산지역의 대표적인 거대 점오염 원인으로 인한 시정 장애 효과를 모델 연구를 통해 분석하였다. 먼저 VISCREEN 모델을 이용하여 Level-1, Level-2를 분석하였으며, 대조의 경우는 기준치를 초과하지 않았지만 특히 플룸 감지력 ΔE가 스크린 기준치를 초과하여 보다 refine한 Level-3인 PLUVUE II 모델을 실행시켰다.

이 결과, 부산화력발전소의 플룸으로 인해 겨울의 0900LST에 최대 0.9%의 시정 감소율을 보였고, 이

러한 대조와 플룸 감지력 ΔE의 값들에 민감하게 영향을 주는 요인들로는 혼합고, 안정도, 배경 오염 물질 농도 그리고 풍향 등이었다.

이러한 결과로 예측하건대, 부산지역에는 점오염 원이 약 50여 개가 있고, 이들 플룸들에 의한 시정 장애 현상의 중첩효과까지 고려한다면, 점오염에 의한 시정악화는 무시하지 못할 정도가 될 것임에 틀림없다 또한 이처럼 NO₂를 배출하는 청정연료 LNG를 사용하여도 거대 발생원인 경우에 시정감소율이 상당함을 알 수 있었으며, 먼지까지 발생시키는 연료인 경유의 사용은 시정장애를 2배 이상 유발시킬 수 있으므로 정책적으로 사용을 급하도록

하여야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 부산대학교 컴퓨터 및 정보통신연구소의 일부 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- 박일수, 최기덕, 최덕일, 홍윤기, 김정수, 마창린, 이인영, 박순웅, 김철희, 장익석 (1994) 수도권지역의 시정 장애현상 규명을 위한 조사연구(I) -시정장애 현상규명을 위한 기상 조사 및 대기 모형 개발-. 국립환경연구원보, 16, 79-92.
- 백남준(1994) 대기 중 에어로졸이 시정장애에 미치는 영향에 관한 연구. 연세대학교 박사학위 논문, 131pp.
- 배주현(1999) 부산지역 시정의 장기변동 경향과 시정장애 원인 및 효과 연구. 부산대학교 석사학위논문, 96pp.
- Barthelme, R.J. and S.C. Pryor (1998) Implications of Ammonia Emissions for Fine Aerosol Formation and Visibility Impairment - A case Study from the Lower Fraser Valley British Columbia. *Atmospheric Environment*, 32(3), 345-352.
- Baulch, D.L., D.D. Drysdale and D.G. Horne (1973) Evaluated Kinetic Data for high temperature reactions, Volume 2 - Homogeneous gas phase reactions of the H₂-N₂-O₂ System. CRC Press, Cleveland, OH.
- Bergstrom, R.W., C. Seigneur, B.L. Babson, H.Y. Homan, and M.A. Wojcik (1981) Comparison of the observed and predicted visual effects caused by power plant plumes. *Atmospheric Environment*, 15, 2135-2150.
- Briggs, G.A. (1972) Discussion of chimney plumes in neutral and stable surrounding. *Atmospheric Environment*, 6, 507-610.
- Slone, C.S. and G.T. Wolff (1985) Prediction of ambient light scattering using a physical model responsive to relative humidity: Validation with measurements from Detroit. *Atmospheric Environment*, 19(4), 669-680.
- EPA (1984) Addenda to the User's Manual for the Plume Visibility Model (PLUVUE II). EPA-600/8-84-005, NTIS PB84-158302, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, USA.
- EPA (1992) User's Manual for the Plume Visibility Model, PLUVUE II (Revised). EPA-454/8-92-008, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, USA.
- EPA (1992) Workbook for Plume Visual Screening and Analysis (Revised). EPA-454/R-92-023, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, USA.
- Gabruk, R.S., R.I. Sykes, C. Seigneur, P. Pai, P. Gillespie, R.W. Bergstrom and P. Saxena (1999) Evaluation of the reaction and optics model of emissions (ROME). *Atmospheric Environment*, 33, 383-399.
- Howell, E.R. and R.F. Hess (1978) The functional area for summation to threshold for sinusoidal gratings. *Vision Res.*, 18, 369-374.
- Issacs, R.G. (1981) The role of radiative transfer theory in visibility modeling: efficient approximate techniques. *Atmospheric Environment*, 15, 1827-1833.
- Latimer, D.A. and G.S. Samuelson (1975) Visual Impact of Plumes from Power Plants. *Atmospheric Environment*, 12, 1455-1465.
- NPS VISIBILITY PROGRAM (1994) Visibility Protection. IMPROVE Newsletter, 3, 4. 8pp
- Pacific Environmental Services (1992) Tutorial package the VISCREEN model workbook and diskette
- Seigneur, C., R.W. Bergstrom, C.D. Johnson and L.W. Richards (1984) Measurements and simulations of visual effects of particulate plumes. *Atmospheric Environment*, 18, 2231-2244.
- Seigneur, C., X.A. Wu, E. Constantinou, P. Gillespie, R.W. Bergstrom, L. Sykes, A. Venkataram and P. Karanichandani (1997) Formulation of second-generation reactive plume and visibility model. *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 47, 176-184.
- Shannon, J., E.C. Trexler, JR. and R. Sonnenblick (1997) Modeling visibility for assessment *Atmospheric Environment*, 31, 3719-3727
- White, W.H., C. Seigneur, D.W. Hemold, M.W. Eltgroth, L.W. Richards, P.T. Roberts, P.S. Bhardwaja, W.D. Conner and W.E. Wilson (1985) Predicting the visibility of chimney plumes: an intercomparison of four models with observations at a well-controlled power plant. *Atmospheric Environment*, 19, 515-528