

대기오염 모델의정합도에 대한 연구
(서울특별시 대기오염추계에 있어 Hanna—Gifford
Model 과 Air Quality Display Model 의 적용에 대하여)

The Validation of Air Pollution Simulation Models
(Comparisons between Hanna—Gifford Model and Air Quality Display Model
in the Application to Air Pollution of Seoul)

정 용 장재연
Yong Chung Jae Yeon Jang

Abstract

Hanna—Gifford Model and Air Quality Display Model(AQDM) were validated in the simulation of SO₂ and TSP concentrations of Seoul City.

The observed data which were measured at 16 sites of air monitoring system conducted by Seoul metropolitan city in 1984 were compared with the simulated data and the results were obtained as follows;

1. Several different meteorological data were examined : The particularities of meteorological data was not an influencing factor in the validity of simulation. The simulations of SO₂ by Hanna—Gifford model and by AQDM showed close correlation coefficients between the observed data and the simulated data ($r=0.71-0.78$).
2. The simulation models showed different validities with the seasonal variation: The correlation coefficients (r) between the observed and the simulated by Hanna—Gifford Model for SO₂ and TSP were 0.86 and 0.80 in Spring, 0.63 and 0.66 in Summer, 0.76 and 0.76 in Autumn and 0.81 and 0.93 in Winter respectively. Those by AQDM were 0.73 and 0.68 in Spring, 0.56 and 0.79 in Summer, 0.77 and 0.76 in Autumn and 0.64 and 0.68 in Winter respectively.
3. The simulated data by two models had a close relationships : The correlation coefficients between them were 0.96 for SO₂, and 0.93 for TSP.

With the above results, the application of models was discussed; Hanna—Gifford model was less valid in the simulation for the air quality of SO₂ and TSP in Seoul in Summer and AQDM also was not valid for SO₂ in Summer and in Winter and for TSP in Spring.

I. 서론

대기오염관리를위해서는 오염원 및 오염도의 현황 파악, 관리기준의 설정, 방지 및 저감기술의 개발 등 많은 자료와 기술이 필요하다. 대기오염을 체계적이며 종합적으로 관리하기 위해서는 오염물질의 배출량과 대기질의 관계를 규명할 수 있는 방법의 개발이 필수적이다. 즉 연료사용량 및 차량의 증가와 같은 요인에 의한 오염도의 증가 정도를 사전에 예측할 수 있어야 하며 그에 대한 여러가지 대책이 실시되었을 때의 오염도 감축효과를 비교 검토하여 가장 효율적인 관리대책을 선택할 수 있다.¹⁾

대기오염도를 실측하여 그 영향을 평가하는 방법은 정확한 반면에 사후 관리대책에 지나지 않으므로 관리효율성이 제한적이다. 따라서 오염물질 배출량이 대기질에 미치는 영향을 사전에 예측하고 그에 대한 대책을 세우기 위하여 사용되는 것이 대기오염 확산모델이다. 현재 개발된 대기오염 확산 모델은 그 종류가 수십종에 달하고 있다. 이들 중에서 대기오염 확산모델을 적용할 대상지역의 지형, 기후, 연구대상, 오염물질, 오염원의 종류 등 많은 사항을 고려하여 적절한 모델을 선정하는 것이 중요하다. 또한 각 모델마다 필요로 하는 기후자료, 오염원자료와 같은 입력자료가 다르기 때문에 이들 입력자료의 입수용이도가 모델을 선택하는 기준이 되기도 한다.²⁾

모델들을 필요로 하는 입력자료에 따라 세 종류로 분류해 보면 첫째, 대상지역내의 총 오염물질 배출량이 포괄적으로 필요한 모델들과 둘째, 선, 점, 면오염원 등 개개의 오염원에 대한 상세한 자료가 필요한 모델들 셋째, 분할된 각 구획(Grid)의 면오염원에 따라 각기 개개의 자료가 필요한 모델로 나눌 수 있다.³⁾

첫번째 분류에 속하는 모델로는 Roll Back 모델, Miller-Holzworth 모델 등이 있으며 이들은 개개의 오염원의 자료가 필요없고 단지 전체지역의 배출량 자료만을 필요로 한다. 이들 모델은 지역간의 오염농도의 차이나 시간경과에 따른 차이는 구할 수 없고, 단지 일정기간내의 지역의 평균 오염도를 추정하는 것만이 가능하다. 기상자료로는 평균풍속, 평균혼합고도 등 제한된 자료만이 필요하다.

두번째 분류에 속하는 모델들은 점, 선, 면오염원 개개에 대하여 상세한 자료를 필요로 한다. 이들 모델들은 일정 지역내의 어떠한 지점에서든 오염농도를 추정할 수 있는 특징을 갖고 있다. 가우스 모델(Gaussian Model)류들이 이 분류에 속하여 대표적인 모델로는 AQDM(Air Quality Display Model), APRAC 모델, 국내에서 몇번 사용된 AQDM의 개량모델인 CDM, CDMQC 등이 있다.

세번째 분류에 속하는 것으로는 면오염원만을 고려하는 모델들로 이들 모델은 대상지역을 일정구획(Grid)으로 분할하여 각 구획내의 오염물 배출량을 면오염발생량으로 하여 구획별 오염농도를 구하는 모델들이다. 대표적인 모델로는 SAI photochemical Model과 Hanna-Gifford 모델이 있다. 이외에도 많은 모델들이 개발되어 있으며 또한 새로운 모델들도 계속적으로 연구되고 있어 연구대상 지역, 연구목적에 따라 적절한 모델을 선정하고 정확한 입력자료를 구하는 것이 중요하다.

서울지역 역시 대기 오염도가 매우 높으며 대기오염의 사전관리를 위해서는 모델링이 필수적으로 요청된다. 신동⁴⁾은 CDMQC 모델을 사용하여 대략적인 SO₂와 TSP의 오염도 등농도곡선을 추계하였고 권동⁵⁾은 서울지역을 일정간격의 구획으로 나누어 Hanna-Gifford 모델을 사용하여 SO₂와 TSP의 구획별 평균농도를 추계하였다. 또한 김동⁶⁾은 CDMQC, TCM, ISC 모델을 사용하여 SO₂ 오염도를 비교분석 하였다. 모델에 의한 오염도 추계는 일정한 단순화된 가정하에서 계산되어진 것이기 때문에 실측치와 다소 차이가 있을 수 있다.

따라서 실측치와 비교하여 보정을 해야하며 정확도를 검증해야 한다.²⁾ 앞의 연구결과들은 모두 정확도가 양호한 것으로 보고하고 있기 때문에 각 연구에서 사용된 모델들 모두 서울지역을 대상으로 적합한 대기오염 확산모델이라고 할 수 있다.

그러나 서울지역은 오염원이 매우 복잡적이고 오염원의 숫자 또한 방대하여 각 오염원의 상세한 자료를 구하는 것이 현 실정에서 매우 어렵다. 그외에도 정확한 연료사용량, 오염물질 배출계수 등 많은 자료가 미비한 상태이기 때문에 연구자료마다 모델의 입력자료인 오염물질 배출량의 추계가 크게 달라질 요인을 안고 있어 각 연구자들의 추계 결과를 비교하기가 어렵다.

또한 제한된 층분치 않은 실측치와 연구시기의 제한등으로 인해 실측치와의 추계 모델의 정합도에 관해서는 미비한 점이 많은 것이 사실이다.

본 연구의 목적은 대기오염 확산모델을 적용할 때 각종 입력자료들이 추계결과의 정합도에 미치는 영향을 검토하는 것으로, 서울특별시를 대상으로 그 오염원의 복잡다양함을 고려하여 면오염원자료를 이용하여 오염도를 추계하였을 때의 추계결과의 정합도를 고찰하였고 서울지역의 대기오염도를 추계하는데 적합한 정확하고 간편한 모델링에 대한 자료를 얻었기에 이에 보고한다.

2. 연구방법

가. 대기오염 확산모델

본 연구에서 사용한 모델은 Hanna-Gifford 모델과 AQDM으로 추계대상 지역을 일정한 구획으로 분할하여 각 구획의 평균 오염도를 추계하도록 전산프로그램화하였다. 또한 각 모델은 기상조건들의 발생빈도를 입력시켜 평균 오염도가 계산되도록 하였다. 본 연구에서 사용된 Hanna-Gifford 모델의 기본 계산식(① 식)은 다음과 같다.

$$x = \sum_s \sum_N \sum_\theta f(\theta, s, N) \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{(\Delta x / 2)^{1-b}}{a(1-b)u} \left\{ Q + \sum_i [(2i+1)^{1-b} - (2i-1)^{1-b}] \right\} \dots \dots \textcircled{1}$$

Q : 각 그리드의 오염물 배출량(g/m²·sec)

a, b : 실험 및 관측계수

Δx : 면의 길이(m)

u : 풍속(m/sec)

i : 대상 예측면에 대한 풍속에 따른 배출계수

여기서 f(θ, S, N)은 풍향 θ, 대기 안정도 등급 S, 풍속의 등급 N인 각 기상상태가 발생하는 빈도이며 뒷항은 Hanna와 Gifford가 제시한 계산식이다.²¹⁾

AQDM은 기존의 보고²¹⁾들에서 사용된 수식을 사용하였다.(② 식).

$$x = \sum_s \sum_N \sum_\theta \left\{ \frac{2 Q f(\theta, s, N)}{\sqrt{2 \pi} \partial_{zs} U_N \left(\frac{2 \pi x}{16} \right)} \right\}$$

$$\exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{H_u}{\sigma_{zs}} \right)^2 \right\} \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

여기서 σ_{zs}는 어떤 대기안정(S)상태에서의 거리에 따른 수직확산계수이고, U는 풍속등급(N)시의 대표적 풍속(m/sec)이고, H_u는 풍속(U)에 따른 유효확산높이(m)이다.

나. 연구자료

1) 연구대상 오염물질

모델에 의해 추계한 오염물질은 SO₂와 TSP이었으며 추계결과의 정합도를 검증하기 위한 실측자료는 서울시 대기오염측정망의 1984년도의 측정치를 사용하였다. 계절별 측정치가 월평균 10일이하인 지점과 측정치의 지역대표의 신뢰성이 없다고 판단되는 신림동 측정자료는 제외하였다.

2) 기상 자료

1984년 1월 1일부터 1984년 12월 31일까지의 국립중앙기상대의 서울지역의 기상 자료중, 풍향, 운량, 일사량을 조사하였다. 대기안정도는 Pasquill-Gifford의 분류법¹⁰⁾에 따라 주간에는 일사량과 풍속, 야간에는 운량과 풍속을 이용하여 구하였다. 계절별 풍향, 풍속분포의 발생빈도와 대기안정도별 풍향, 풍속분포의 발생빈도는 SPSS (Statistical Package for the Social Sciences)를 이용하여 구하였다.

3) 지역의 분할

서울시를 광화문을 중심으로 2.5km×2.5km간격으로 구획하여 총 114개 면으로 분할하여 각기 오염배출량을 구하고 또한 이들 구획면에 나타날 오염도를 추계하였다.

4) 오염물질 배출량 추계

서울지역의 1984년도의 SO₂와 TSP 오염도를 추계하기 위하여 동년의 서울지역의 연평균 및 계절평균 오염물 배출량을 추계하였다.

서울지역의 오염원은 매우 다양하여 환경청 자료에 의하면 1, 2, 3종 배출시설이 1984년말 현재 408개이며 점오염원의 수는 2,000개 이상으로 집계되고 있다. 점오염원을 모델에 이용하기 위해서는 연들의 높이, 배출가스의 초당 배출량, 배출속도, 배출가스의 온도, 오염물의 농도등 많은 연들에 관한 자세한 자료가 필요하다. 그러나 이와같은 방대한 자료를 정확히 구하기는 어려운 실정이다.

본 연구에서는 입수된 배출원 자료를 근거로 동

Table 1. Fuel Energy Consumption in Seoul

Unit: Kl or MT

Season	Use	Fuel	Gasoline	Kerosene	Diesel* ¹		Bunker-A	LRF* ²	Bunker-C* ³			Propane	Butane	Antracite
					1.0%	0.4%			4.0%	1.6%	0.3%			
Spring	Industrial		15,245.4	21,904.8	26,805.8	67,079.6	3,627.4	559.7	19,303.9	82,523.2	42,171	10,616.3	17,818.3	27,372.5
	Residential		469.4	46,414.0	15,581.1	7,539.2	167.7	110.9	5,361.3	17,427.4	-	8,648.1	-	534,283.5
Summer	Industrial		15,913.0	21,904.8	19,669.3	66,593.3	2,885.0	559.7	13,597.8	86,966.6	56,665	8,991.7	17,447.5	27,372.5
	Residential		489.9	14,211.9	11,433.0	7,484.5	133.4	80.8	3,776.6	18,365.8	-	7,324.7	-	107,829.5
Autumn	Industrial		17,409.3	21,904.8	31,621.5	75,265.4	5,419.9	559.7	19,789.8	86,065.7	35,742	10,931.7	16,972.8	27,372.5
	Residential		536.0	7,570.5	18,380.3	8,495.2	250.6	117.4	5,496.3	18,175.5	-	8,905.0	-	936,341.5
Winter	Industrial		15,068.6	21,904.8	37,956.8	60,641.1	1,510.8	559.7	30,232.6	177,099.6	45,852	16,403.5	15,264.8	27,372.5
	Residential		463.9	11,412.3	22,062.7	6,815.5	69.9	103.6	8,396.6	37,400.3	-	13,362.4	-	927,427.5

*and **Classified by sulfur content *¹LRF:Light Residual Fuel

일한 자료를 입력시켜 Hanna-Gifford 모델과 AQDM 모델을 비교하기 위하여 기획되었다. 따라서 모든 오염원을 일정한 면을 중심으로 면오염물질 배출량을 추계하였다.

1984년의 월별, 연료종류별, 사용량은 석유개발공사의 자료⁹⁾를 사용하였으며 환경청의 용도별 연료사용비를 이용하여 계절별로 연료들의 용도별 사용량을 추계하였다(Table 1).

주택난방용 연료 사용량은 각 구획내의 가구수에 비례하는 것으로 하고, 산업 발전용 연료의 소비량은 각 구획내의 산업장의 규모 및 수, 구별 산업용 연료의 소비량 비율등에 따라 구하였다.

차량에 의한 오염물질 배출량을 추계하기 위하여 조들¹⁰⁾이 조사한 서울시내의 지점별 교통량 자료와 도로의 면적 비등을 이용하여 각 구획내의 1일 교통량을 추계하였고, 각 구획내에서 차량당 운행거

리는 5km로 하였다. 그 결과 서울시의 총 차량운행거리는 1일 33,500,000km로 추정되며 그중 승용차와 영업용 택시의 운행거리는 25,300,000km, 버스 및 트럭의 운행거리는 8,200,000km로 추계되었다. 각 구획에서 사용된 연료와 차량으로부터 배출되는 오염물질의 양을 추계하기 위해서 U.S. EPA의 배출계수¹¹⁾를 사용하였고, 일부 기재되지 않은 것은 국내의 연구내용¹²⁾을 사용하였다. 본 연구에서 사용한 계수는 Table 2와 같다. 서울시내에서 사용되는 연료의 유허함유량은 Table 3과 같다.

차량에 의한 오염물질 배출량 추계는 4대문안 지역은 소형차와 대형차의 비율을 4:1로 하고 다른 지역은 5:2로 하여 구하였다.

또한 SO₂ 나 TSP 모두 자연적인 배경농도는 고려하지 않았으며 배출시설들의 배출방지시설의 제거율도 역시 고려하지 않았다.

Table 2. Emission Factors of Fuels

Unit: Kg/Kl or Kg/MT

Pollution	Fuel	Gasoline	Kerosene	Diesel	Bunker-A	LRF	Bunker-C	Butane	Propane	Antracite
SO ₂		17S	17S	17S	19S	19S	19S	0.001	0.001	19S
TSP	Industrial	0.25	0.25	0.25	1.15	0.88	1.25S+0.38	1.22	0.20	5
	Residential	0.31	0.31	0.31	1.25	0.88	1.25S+0.38	1.23	0.22	0.2

S: Sulfur Content(%)

Table 3. Sulfur Content of Fuels used in Seoul

Unit: %

Gasoline	Kerosene	Diesel	Bunker-A	LRF	Bunker-C	Antracite
0.1	0.22	0.4, 1.0	1.2	1.4	0.3, 1.6, 4.0	0.4-0.8

다. 모델의 parameter 결정

앞에 나타낸 Hanna-Gifford식의 a, b 계수는 기상상태에 따른 관측계수로서 Table 4에 나타낸 것처럼 대기상태에 따라 적용하였으며 AQDM에서 수직확산계수는 Table 5의 수치를 이용하였다. 면오염원의 연돌고도는 수차례의 검증을 통해 Table 6과 같이 오염원 및 계절별로 자기 다른 수치를 사용하였다. 가우스모델의 응용에 있어서 점오염원의 경우에도 유효연돌 높이의 계산은 많은 정확한 자료가 필요하며 면오염원의 경우에는 정확한 연돌 높이나 유효연돌 높이의 설정은 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 대략적인 오염원별로 수십종의 연돌높이와 유효연돌높이 중 사전검증을 통해 실측치와 정합도가 가장 높은 추계치를 산출하는 수치를 선택하였다(Table 6).

라. 추계결과의 정합도

추계결과는 실측치와 회귀분석을 행하고 상관계수를 구하였다. 추계치와 실측치와의 상관계수 및 회귀식이 모델에 의한 추계결과의 정합도를 판단하는 기준이 될 수있다. 그러나 서울지역에서는 오염

물질 배출계수, 연료기관배출시설에서의 오염물질 제거효율등을 추정할 수 없는 관계로 정확한 의미의 배출량을 추계하는 것이 불가능하다. 따라서 모델의 추계치와 실측치가 크게 차이가 나도 이와 같은 사실이 오염물 배출량의 추계가 잘못된 것인지 모델이 부적절한 지 판단할 방법이 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 추계치와 실측치의 상관계수만을 모델의 정합도의 양호도를 판단하는 기준으로 하였고 추계치는 회귀식에 의해 보정된 수치를 제시하였다.

Table 4. Parametric Values for Hanna-Gifford Model

Stability Class	a	b
A, B	0.40	0.91
C	0.33	0.86
D	0.22	0.80
E	0.15	0.75
F	0.06	0.71

Table 5. Parametric Values for A Q D M

Stability Class	Distance (meters)					
	100 to 500		500 to 5,000		5,000 to 50,000	
	a	b	a	b	a	b
1	0.0383	1.2812	0.2539×10^{-3}	2.0886	-	-
2	0.1393	0.9467	0.4936×10^{-1}	1.1137	-	+
3	0.1120	0.9100	0.1014	0.9260	0.1154	0.9109
4	0.0856	0.8650	0.2591	0.6869	0.7368	0.5642
5	0.0818	0.8155	0.2527	0.6341	1.2969	0.4421
6	0.0545	0.8124	0.2017	0.6020	1.5763	0.3606

Table 6. Average Stack Height and Effective Stack Height of Area Sources in the application to AQDM Model Unit: m

Season Source	Spring		Summer		Autumn		Winter		All Season	
	Residential	Industrial	Residential	Industrial	Residential	Industrial	Residential	Industrial	Car	Truck
Stack Height	10.0	34.9	10.0	34.9	10.0	34.9	10.0	34.9	0.5	1.0
Effective Stack Height	13.7	42.2	14.5	43.9	17.8	50.4	15.6	46.1	0.5	1.0

3. 결과

가. 기상자료에 따른 정합도

모델에 입력하는 기상자료의 세밀성에 따른 정합도의 차이를 비교하기 위하여 다음과 같은 4가지 종류의 기상자료를 사용하여 SO₂ 오염도를 추계하여 각각의 추계결과를 비교하였다.

a) 대기안정도에 따른 풍향별 풍속등급별 출현빈도(Joint Frequency function)를 입력자료로 한 것

b) 대기안정도는 빈도가 가장 큰 대기안정도를 적용하고 풍향별 풍속등급별 출현빈도를 입력자료로 한 것

c) 대기안정도별 풍향의 출현빈도를 구하고 각 경우의 평균풍속을 입력자료로 한 것

d) 발생빈도가 가장 큰 대기안정도와 주풍향, 평균풍속을 입력자료로 한 것

a의 기상자료는 240종의 기상변화의 발생빈도이며 b는 48종, c는 8종, d는 1종의 기상변화의 발생빈도를 고려한 것이다. 대상기간은 실측치가 가장 충실한 가을철(9월~11월)로 하였으며 실측자료는 구의, 반포, 오류, 불광, 등촌, 길음, 신설, 마포, 구로, 성수및 양평등 11개 지점에서 실측된 SO₂자료를 이용하였다.

각 경우의 추계결과와 실측치와의 상관계수를 Table 7에 나타내었다. 기상자료에 따라 정합도가 약간씩 달라지나 통계학적인 유의한 차이를 보이지 않았으며 Hanna-Gifford 모델과 AQDM의 차이도 거의 없는 것으로 나타났다.

Table 7. Correlation Coefficients between the Simulated Value and the Observed Value for SO₂ by using Various Meteorological Data

Model	Meteorological Data (*)			
	a	b	c	d
Hanna-Gifford Model	0.76	0.76	0.72	0.71
AQDM	0.77	0.77	0.72	0.78

(*) a: frequencies of wind speed classes and wind direction by stabilities.

b: prevalent stability frequencies of wind speed classes and wind direction

c: frequencies of wind direction by stability and aver-

age wind speed in each cases.

d: prevalent stability, prevalent wind direction and average wind speed.

나. 계절별 SO₂오염도의 추계

오염물질의 배출과 확산은 계절마다 차이가 있기 때문에 모델추계의 결과도 계절적인 차이가 있을 수 있는 것을 고려하여 계절별로 추계결과를 비교하였다. 각 계절별로 두 모델에 의한 추계결과와 실측치와의 상관계수등을 Table 8에 나타내었다. Hanna-Gifford 모델에 의한 추계결과와 실측치와의 상관계수(r)는 봄철에 0.86으로 가장 높았고 가을철과 겨울철도 0.76, 0.81로 비교적 높은 정합도를 보였으나 여름철에는 0.33으로 매우 낮은 값을 나타내었다. AQDM은 봄철에 0.73, 가을철에 0.77, 겨울철에 0.64를 나타내었고 여름철에는 0.56으로 낮은 값을 보였다. 봄철과 겨울철에는 Hanna-Gifford 모델이 양호한 결과를 보인 반면 여름철은 AQDM이 양호한 결과를 나타내었으며 가을철은 두 모델의 결과가 비슷하였다.

Table 8. Correlation Coefficients(r) between the Observed Values and Simulated Values by two Models for SO₂.

Model	Season			
	Spring	Summer	Autumn	Winter
Hanna-Gifford Model	0.88	0.33	0.76	0.81
AQDM	0.73	0.56	0.77	0.64

Fig 1, 2는 앞에서 계절별로 추계한 결과 전부를 이용하여 Hanna-Gifford 모델과 AQDM 각각의 추계치와 실측치의 상관관계를 나타낸 것이다. Hanna-Gifford 모델에 의한 추계결과는 실측치와의 상관계수(r)가 0.87로 나타났으며 AQDM에 의한 결과는 0.82로 나타나 비슷한 정합도를 보였다.

다. 계절별 TSP오염도의 추계

계절별로 TSP를 추계한 결과를 표9에 나타내었다. Hanna-Gifford 모델에 의한 추계결과와 실측치와의 상관계수는 겨울철이 0.93, 가을철이 0.91로 매우 높았으며 봄철에는 0.80이었고 여름철은 0.66으로 다른 계절에 비해 낮았다. AQDM에 의한 결과는 봄철에 0.68로 가장 낮았고 다른 계절은 0.76~0.80으로 비슷한 값들을 나타내었다. 여름철을

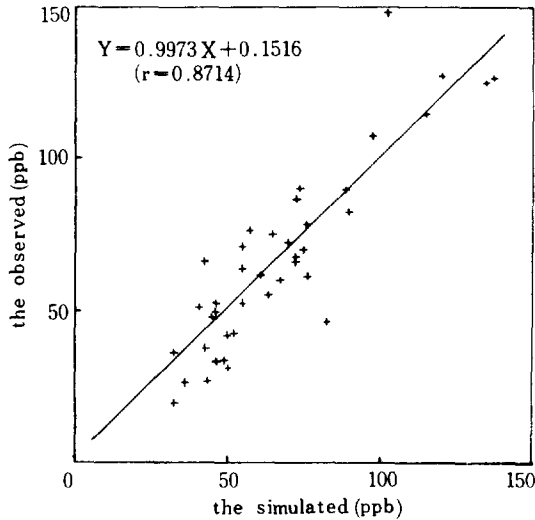


Fig 1. Correlation between the observed value and the simulated value for SO₂ by Hanna-Gifford model

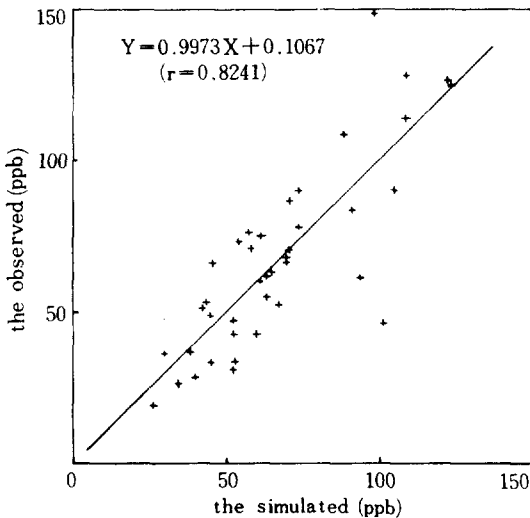


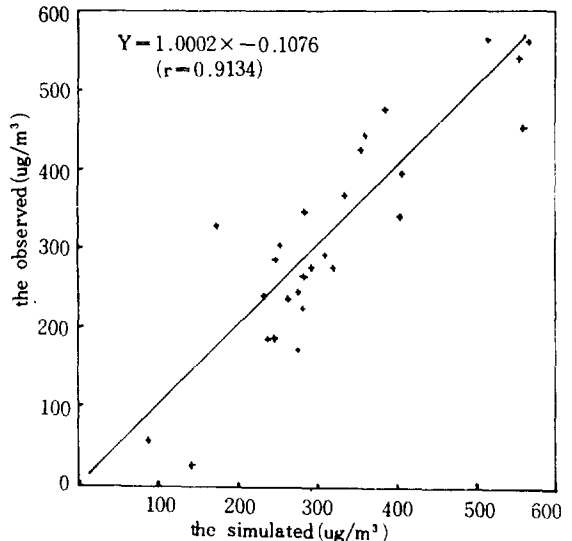
Fig 2. Correlation between the observed value and the simulated value for SO₂ by AQDM

제외하고는 Hanna-Gifford 모델에 의한 결과가 AQDM보다 양호한 정합도를 나타내었다.

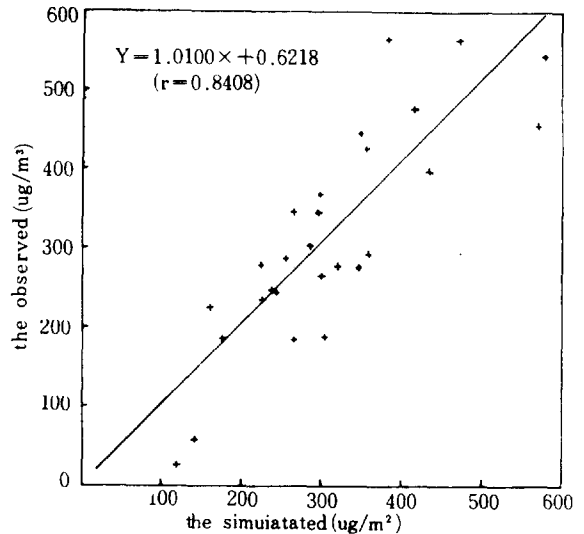
계절단위로 추계된 결과 전부를 이용하여 두 모델의 각각 추계결과와 실측치의 상관관계를 Fig 3, 4에 나타내었다. Hanna-Gifford 모델의 결과는 실측치와 $r=0.91$ 의 상관계수를 나타내었으며 AQDM은 0.84를 나타내어 Hanna-Gifford 모델이 더 양호한 정합도를 보였다.

Table 9. Correlation Coefficients (r) between the Observed Values and Simulated Values by two Models for TSP.

Model	Season	Spring	Summer	Autumn	Winter
Hanna-Gifford Model		0.80	0.66	0.91	0.93
AQDM		0.68	0.79	0.76	0.80



(Fig 3) Correlation between the observed value and the simulated value for TSP by Hanna-Gifford model



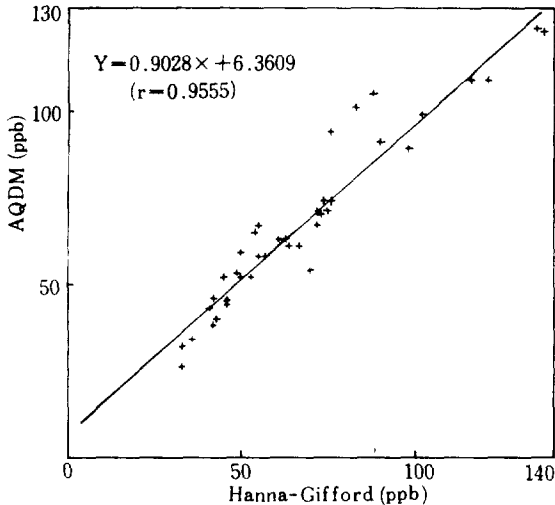
(Fig 4) Correlation between the observed value of TSP and the simulated value for TSP by AQDM

라. 모델의 추계치간의 상관관계

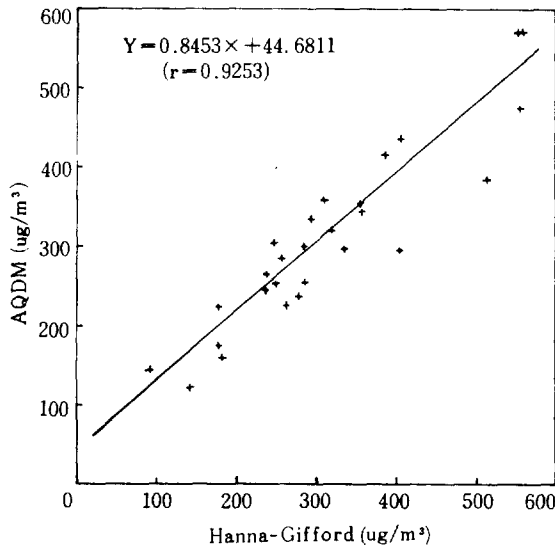
Fig 5 및 6은 앞에서 계절별로 Hanna-Gifford 모

델에 의해 추계한 결과전부와 그에 대응하는 AQDM에 의한 추계결과간의 상관관계를 나타낸 것이다.

SO₂의 경우 상관계수가 0.96, TSP의 경우 상관계수가 0.93으로 매우 높은 상관성을 보였다. 계절별로 두 모델에 의한 추계치간의 상관계수는 봄철이 SO₂의 경우 $r=0.83$, TSP의 경우가 $r=0.70$ 으로 다른 계절에 비해 낮았고 그외의 계절들은 모두 상관성이 매우 높게 나타났다.



(Fig 5) Correlation between the simulated value for SO₂ by Hanna-Gifford and AQDM



(Fig6) Correlation between the simulated value for TSP by Hanna-Gifford model and AQDM

4. 고찰

대기오염 확산모델의 추계를 위해서는 오염원에 대한 자료, 기후자료, 대기질의 자료가 정확해야 한다². 그러나 이들에 관한 상세하고도 정확한 자료를 확보한다는 것은 매우 어렵다 따라서 모델링 시 많은 단순화된 가정 및 추정을 하게 되며, 자료의 충실도에 따라 정합도에 영향을 미치게 되므로 각 연구마다 정합도 검증이 필요하게 된다.

본 연구에서 기후자료의 상세도에 따른 추계결과와 정합도는 Table 7에 나타낸 것과 같이 예상과는 달리 큰 차이를 보이지 않았다. 이와 같은 결과를 나타낸 원인을 서울시의 지형적인 특성, 기후적인 특성, 대기오염 측정망의 위치등 몇가지 가능성을 생각할 수 있다.

대기오염 확산모델에서 기상자료는 오염물 배출 지역에서 대기중의 확산과 다른 지역으로의 수송을 설명하는 인자로서 Hanna-Gifford 모델이나 AQDM을 비롯한 가우스모델들은 적용대상 지역이 평탄한 지형이고 지역내에서 풍향 및 풍속이 일정한 것을 가정하고 있다. 그러나 서울지역은 권동³이 보고한 바와 같이 지형적인 특성으로 인해 U자형으로 풍향이 지점마다 크게 달라지기 때문에, 모델들이 기상의 변화에 따른 오염도 변화를 충분히 설명하지 못하는 것으로 추정할 수 있다.

또한 서울지역은 풍속이 비교적 낮아 1970년부터 1979년까지 10년 동안의 연평균 풍속은 2.5m/sec이었으며⁴ 본 조사에서도 1984년의 연평균 풍속은 2.5m/sec, 가을철은 2.1m/sec이었다. 대기오염 물질의 수평적인 확산은 풍속에 의하여 결정되기 때문에 서울지역에서의 대기오염물질의 수평적인 확산은 활발치 못한 것으로 생각된다. 대기안정도의 출현빈도 역시 Pasquill-Gifford의 분류에 의한 중립상태인 D등급이 연중 50%에 가까운 빈도로 출현하고 있어 서울지역에서의 오염물질의 수직확산도 원활치 못할 것으로 추정된다. 이상과 같이 서울지역은 풍속, 대기안정도, 풍향등의 변화가 적고 오염물질 확산에 불리한 조건의 대기상태의 출현빈도가 높아 기상자료의 상세도에 따른 정합도가 큰 차이를 보이지 않는 것으로 추정된다. 또 다른 원인으로서는 본 조사에 사용한 실측치를 얻은 대기

오염 측정망의 위치들이 기상변화, 특히 풍향에 따른 오염도의 변화가 적은 지점일 가능성이 있다. 이에 대해서는 더 상세한 연구가 있어야 할 것으로 생각된다.

계절별로 SO₂와 TSP를 추계한 결과를 보면 여름철을 제외하고는 Hanna-Gifford 모델에 의한 결과가 AQDM에 비해 양호한 정합도를 나타내었다. 이것은 본 연구에서 모든 오염원을 면오염원으로 전환시켜 추계한 사실과 앞에서 밝힌바와 같이 서울지역의 대기의 확산이 낮기 때문에 점오염원과 대기의 확산성이 양호한 지역에 적합한 AQDM의 정합도가 낮아진 것으로 생각된다. 이와 같은 사실은 대기의 확산등의 운동성이 양호한 여름철에는 AQDM이 Hanna-Gifford 모델보다 양호한 정합도를 나타낸 사실로도 추정이 가능하다. 여름철의 SO₂추계 결과의 정합도가 매우 낮은 것은 실측치의 수가 충분치 못한 것으로도 생각되며 앞에서 기술한 바와 같이 두 모델의 기본 가정과 서울지역에 있어서 실제와의 차이에 의한 오차가 대기의 운동성이 큰 기간일수록 크게 나타나기 때문인 것으로 생각된다.

계절별로 SO₂와 TSP의 추계결과는 Hanna-Gifford 모델이 AQDM보다 다소 양호한 것으로 나타났으나 이것은 실측치의 수가 제한된 숫자인 것을 고려할때 큰 차이는 아닌 것으로 판단된다. Fig 1 및 2와 Fig 3 및 4에서 나타낸 것과같이 계절단위로 추계된 결과 전부를 이용하여 정합도를 비교하였을때 SO₂의 경우 Hanna-Gifford 모델이 $r=0.87$, AQDM이 $r=0.82$ 로 거의 비슷한 상관을 보였고 TSP의 경우에는 Hanna-Gifford 모델이 $r=0.91$, AQDM이 $r=0.84$ 를 나타내었다. 또한 두 모델에 의한 추계기간의 상관관계는 SO₂가 $r=0.96$ TSP가 $r=0.93$ 으로 매우 높은 상관을 보였다. 따라서 서울지역과 같이 오염물질의 확산이 불리한 지역에서는 동일한 기상자료와 오염원 자료를 사용할 경우 두 모델에 의한 추계결과는 거의 일치하는 것으로 나타난다.

여름철과 같이 대기의 운동성이 양호한 경우에는 두 모델간의 상관이 다른 계절에 비해 낮게 나타났다.

이상의 결과를 종합해 보면 서울지역은 오염원의 수가 방대하고 면오염원의 비중이 클 뿐아니라 기

후요소의 특성과 지형적인 특성때문에 대기의 운동성이 낮아 오염물질의 확산이 불리하여 기상자료의 상세도, 확산모델의 종류등에 의한 추계결과가 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 AQDM과 Hanna-Gifford 모델 모두 양호한 정합도를 보이고 있어 서울지역을 대상으로 한 추계모델로 사용할 수 있는 것으로 판단되나 서울의 풍향의 특징등을 고려하여 유적선모델(Trajectory-Model)의 사용의 검토가 바람직할 것으로 생각된다. 그리고 보다 정확한 추계결과를 위해서는 오염도 측정망의 위치에 대한 검토와 오염물질 배출량 추계를 위한 정확한 연료사용량, 배출계수, 오염원에 대한 많은 조사 및 연구가 필요할 것으로 생각된다.

5. 결론

서울지역의 1984년의 SO₂와 TSP를 대상으로 Hanna-Gifford 모델과 AQDM을 사용하여 오염도를 추계하고 실측치와의 정합도를 조사한 결과를 종합해 보면 다음과 같다.

1. 모델에 입력시키는 기상자료를 "대기안정도에 따른 풍향별 풍속등급의 출현빈도", "빈도가 가장 큰 대기안정도와 풍향별 풍속등급별 출현빈도", "대기안정도별 풍향의 출현빈도와 각 경우의 평균 풍속 그리고 "발생빈도가 가장 큰 대기안정도와 주 풍향 및 평균 풍속 등 4종류를 사용하여 추계한 결과 Hanna-Gifford 모델은 실측치와의 상관관계수가 각기 0.76, 0.76, 0.72, 0.71 그리고 AQDM은 각기 0.77, 0.77, 0.72, 0.78로 모델간이나 기상자료에 따라 큰 차이를 보이지 않았다.

2. 계절별 SO₂의 추계결과는 Hanna-Gifford 모델은 실측치와의 상관관계(r)가 봄철(3~5월)에 0.86 여름철(6~8월)에 0.33 가을철(9~11월)에 0.76 겨울철(12~2월)에 0.81 AQDM은 봄철에 0.73 여름철에 0.56 가을철에 0.77 겨울철에 0.64를 나타내었다.

3. 계절별 TSP의 추계결과 실측치는 Hanna-Gifford 모델과 AQDM 모델이 각각 봄철에는 0.80, 0.68 여름철에는 0.66, 0.79 가을철에는 0.91, 0.76 겨울철에는 0.93, 0.80의 상관관계수(r)를 나타내었다.

4. AQDM와 Hanna-Gifford 모델의 전체 추계결

과의 상관관계(r)는 SO_2 의 경우 0.96 그리고 TSP의 경우 0.93의 높은 상관계수(r)를 나타내었다.

이상의 결과로보아 Hanna-Gifford 모델과 AQDM 모두 정합도가 양호하여 서울지역에 적용이 가능한 것으로 판단되나 여름철과 같이 대기의 운동성이 높은 기간에는 정합도가 낮게 나타나, 서울지역의 지형과 기상의 특징에 맞는 모델의 적용

및 개발에 대한 많은 연구가 있어야 할 것이다.

(사사)

본연구는 재단법인 목암생명공학연구소(구녹십자연구소) 지원 연구비로 수행되었으며 지원하여 주심에 심심한 사의를 표합니다.

(原稿接受 '86. 5. 3)

참고문헌

1. Stern A.C. (1976). Air Pollution, 3rd ed. Vol. 1, 504-505. Academic Press, U.S.A.
2. U.S. EPA OAQPS Guideline Servies, (1978) Guideline on Air Quality Models. EPA-450/22-78-027
3. U.S.EPA, (1974), Guidelines for Air Quality Maintenance Planning and Analysis. Vol 12, EPA-450/4-74-013.
4. 신응배, 이은호 외7인, (1980), 전국지역별 대기관리에 관한 연구, 한국과학기술연구소
5. 권숙표, 정 용, 임동구, (1980), Hanna-Gifford 모델에 의한 서울시 대기오염도 추정, 환경보전협회지, 제 1 권, 1, 25-38.
6. 김양균, 최덕일 외4인(1985), 대기오염확산모델개발에 관한 연구, 대기보전학회지, 제 1 권, 1, 53-70.
7. Gifford F.A. and Hanna S.R., (1973), Modeling, Urban Air Pollution, Atmospheric Environment
8. Pasquill F., (1961), Meteorol. Mag., 90.
9. 석유 개발공사, (1985).
10. 조강래, 김양균 외3인, (1983), 도심지 자동차주행패턴에 관한 조사연구, 국립환경연구소보, 제 5 권, 81-103.
11. U.S. EPA, (1977), Compilation of Air Pollutant Emission Factors.
12. 김양균, 최덕일 외 3인, (1982), 고체연료(난방용) 연소에 의한 오염물 배출에 관한 조사연구, 국립환경연구소보, 제 4 권.
13. 권숙표, 정 용, 장재연, (1985), 대기오염이 경기에 미치는 영향과 그 방지대책, 환경청
14. 권숙표, 정 용, 임동구, (1980), 도시의 대기오염모델과 환경기준설정에 관한 연구, 연세대학교 환경공학연구소.