울산지역 공단 배출가스의 대기 분산모델링 방법론 - Phase II

김명숙, 박영석, 송덕만
울산대학교 화학공학과

Air Dispersion Modeling Methodology for Gas Emissions at Industrial Complex in Ulsan Region - Phase II

M.S. Kim, Y.S. Park, D.M. Song
Dept. of Chem. Eng., University of Ulsan

1. INTRODUCTION

본 연구의 목적은 울산 및 온산공단에 있는 각 공장의 굴뚝에서 배출되는 대기오염물중 SO_2의 기상변화에 따른 지표면 착지농도를 정량적으로 예측하고 대기오염물의 대기중 분산유형을 고찰하여 대기질 영향을 예측평가하는 방법론을 개발하여 울산지역의 대기오염 저감대책 및 관리방안을 수립하기 위한 것이다.

2. AIR DISPERSION MODELING METHODOLOGY

2-1. 모델의 선정

본 연구에서는 USEPA에서 공인하는 PC용 UNAMAP Version 6 모델인 ISCST 2 (Industrial Source Complex Short Term, Version 2) Dispersion Model을 Trinity Consultants, Inc.가 상용화한 BREEZE AIR (IISCST 2) 대기분산모델을 사용하였다.

아울러, 분산모델링을 수행하기에 앞서 ISCST 1 Model과 ISCST 2 Model의 차이점 및 수정·보완된 사항들을 면밀히 비교·검토하였다.

2-2. 입력자료

(1) 오염배출원 자료 (Source Data)

본 연구의 대기오염 배출원은 울산석유화학단지(UIC), 용연화학공단(YIC), 장생포화학공단(JIC), 온산비철금속공단(OIC), 미포공단(MIC) 등 5개 공단을 포함하고 있으며, 대기배출업소중 비교적 대기질 영향이 크다고 판단

되는 산업체의 각 공장 굴뚝들을 점오염원으로 선정하였다. 대기오염 배출원은 울산석유화학공단의 19개 업체, 용연화학공단 19개 업체, 장생포화학공단 30개 업체, 온산비철금속공단 40개 업체, 미포공단 21개 업체 등 총 129개 업체가 포함되었으며 입력된 배출원의 총 굴뚝수는 200여개를 상회하고 있다.

각 공장 굴뚝의 SO_2 배출량은 연료의 종류 및 연료사용량, TMS 자료, USEPA의 배출계수들을 이용하여 산출되었으며, 배출량과 굴뚝특성 자료들이 분산모델링의 입력자료로 입력되었다.

⑵ 기상 자료 (Meteorological Data)

기상 입력자료중 풍베지수(Wind-Profile Exponent)와 연직온도구배(Vertical Potential Temperature Gradient)는 Pasquill-Gifford 안정도등급에 근거하였으며, 굴뚝 및 주변건물에 의한 공기역학적 효과(Aerodynamic Effect)에 기인하는 플룸상승과 Stack-Tip Downwash(또는 Building Wake Effect)는 공히 미 환경보호국(USEPA)의 기본사양(Default Option)을 사용하였다.

대기안정도는 Pasquill-Gifford의 안정도 등급(Stability Category)에 따라 주간에는 일사량과 풍속, 야간에는 운량과 풍속을 이용하여 산출하였다.

기상 입력자료중 혼합높이는 인근 포항측후소의 09시 및 21시 연직 Radio Sonde Sounding의 대기선도 자료를 월별/계절별/년별로 비교검토하여 실제 울산의 일평균 최대혼합높이(Mean Maximum Mixing Depth; MMMD)를 산출하였으며, 최악의 조건인 300m 인 경우를 대표값으로 사용하였다.

기상입력자료는 실제 기상측정 자료를 근거로 시간별 1년치 자료를 입력하였으며 1996년 울산의 실제 기상자료를 대표값으로 사용하였다.

⑶ 착지점 격자 자료 (Receptor Grid Data)

지표면 착지점은 극좌표(r, θ) 배열의 경우에는 반경 10 km 범위에서 각 공단 중심으로부터 1000 m에서 10 km까지 1000 m 등간격으로 동심원을 따라 10개의 Radial Ring을 사용하여 36개의 Radial 방향(10.0 ° 간격, 풍향)으로 착지점 위치를 총 360개 지점으로 선정하여 풍하거리에 따른 SO_2의 지표면 농도를 예측하였다.

직교좌표(X, Y) 배열의 경우에는, 대기질 영향권 격자망을 Universal Transverse Mercator(UTM) 좌표계에 의하여 X좌표는 동-서(East-West)로, Y좌표는 남-북(South-North)으로 잡아 가로 20 km, 세로 20 km의 정방향으로 구획한 후 이를 격자간격 1 km인 1 km^2의 격자로 세분하여 총 400개의 격자로 착지점을 구성하여 각 격자별 SO_2의 지표면 농도를 예측하였다.

또한, 모델의 신뢰도 검증절차로써, 공히 울산지역 7개 지점의 대기자동측정망의 실측치와 모델링에 의한 예측치를 비교하기 위하여 울산 대기자동측정망 지점인 Discrete Receptor 7개 지점을 모델링의 착지점 입력자료로 추가 입력하였다.

(4) 프로그램 제어인자 (Program Control Parameters)

배출가스 SO_2의 농도는 the Second Highest 24-hr, Month, Period (Season, Year)에 대한 평균농도 사양을 선택하였으며, 상승지형에 대한 지형자료(Topographical Data)의 불충분으로 인하여 평탄지형(Flat Terrain)이라 가정하여 착지점 상승지형(Receptor Terrain Elevation) 사양을 선택하였다. 또한, 공단지역은 전원지역에 위치하고 있어 분산모드는 Rural 모드 사양을 선택하였다.

2-3. 분산모델링

분산모델링의 격자망은 극좌표격자(Polar Grid)와 직교좌표격자(Rectangular Grid)로 구분하여 점오염원(Point Source) 모델링을 수행하였다. 직교좌표격자의 경우는 착지점 400개 지점, 극좌표격자의 경우는 360개 지점, Discrete Receptor 7개 지점을 포함하여 총 767개 지점에 대하여 SO_2의 풍하거리에 따른 최대 지표면 착지농도 및 격자별 지표면 착지농도를 the Second Highest 24-hr Average Concentration 및 Yearly Average Concentration으로 산출하여 각 공장굴뚝에서 배출되는 SO_2의 울산지역에 미치는 공단별 대기질 영향을 예측하는 대기분산 모델링 방법론을 개발하였다.

3. RESULTS AND DISCUSSION

울산지역을 구획화한 극좌표격자와 직교좌표격자의 각각에 대하여, 각 공단별 공장굴뚝에서 배출된 SO_2와 5개 공단 전체에서 배출된 SO_2의 울산지역에 미치는 대기질 영향을 고찰하였다. 특히, 직교좌표격자에 대한 분산모델링 결과들을 the Secon Highest 24-hr 평균농도, 월평균농도, 계절평균농도 및 연평균농도로 산출하여 7개 지점 대기자동측정망의 실측치('95, '96)와 비교·검토하였으며, 비교결과를 다음의 Table 1, Table 2, Fig. 1 및 Fig. 2에 나타내었다.

Table 1, Table 2 및 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 5개 공단 전체에서 배출된 SO_2의 최대 지표면 the Second Highest 24-hr 평균농도는 부곡동지점(231, 222)과 여천동지점(233, 224)에서 각각 0.1282 ppm, 0.1261 ppm으로 높게 나타나는 것으로 예측되었으며, 환경대기기준치(일평균 0.15 ppm)에 근접하고 있음을 알 수 있다. 또한, SO_2의 최대 지표면 연평균농도는 부곡동지점과 여천동지점에서 각각 0.0244 ppm (TMS 0.021 ppm), 0.0235 ppm (TMS 0.03 ppm)으로 높게 나타나고 있는 것으로 예측되었으며, 이는 울산석유화학단지(UIC), 용연화학단지(YIC) 및 장생포화학공단(JIC) 등 화학계열 공단에 인접하고 있는 부곡동과 여천동 일대가 화학계열 공단에서 배출되는 대기오염물질들에 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 온산비철금속공단(OIC)에서 배출된 SO_2의 최대 지표면 연평균농도는 원산리지점(231, 214)과 화산리지점(231, 216)에서 각각 0.020 ppm, 0.018 ppm으로 예측되었다.

아울러, Fig. 2에 나타낸 바와같이 계절별 대기오염물의 분산유형을 고찰하여 보면, 봄과 여름철에는 대기오염물질들이 울산 전지역으로 광범위하게 분산되며, 가을과 겨울철에는 울산의 남쪽방향 및 외곽 해변쪽으로 분산되고 있음을 예측할 수 있었다.

Table 1. The 2nd-highest 24-hr Averaged SO_2 Concentration at TMS location

TMS Location/Coordinates		Model Predicted Conc. (ppm)					
Location	UTM (X, Y)	JIC	MIC	OIC	UIC	YIC	Total
성남동(SND)	(228.92, 228.35)	0.0021	0.0039	0.0021	0.0181	0.0242	0.0693
부곡동(BKD)	(230.79, 222.17)	0.0345	0.0020	0.0126	0.0384	0.0407	0.1282
여천동(YCD)	(232.50, 224.13)	0.0368	0.0060	0.0053	0.0453	0.0327	0.1261
야음동(YED)	(229.50, 225.47)	0.0279	0.0038	0.0059	0.0211	0.0390	0.0976
상남리(SNR)	(227.68, 221.47)	0.0285	0.0025	0.0112	0.0355	0.0196	0.0972
화산리(HSR)	(230.65, 215.48)	0.0093	0.0038	0.0222	0.0146	0.0374	0.0874
원산리(WSR)	(230.55, 213.62)	0.0061	0.0032	0.0208	0.0176	0.0376	0.0852

Table 2. Comparison of TMS-measured Yearly Averaged SO_2 Concentration and Modeling-predicted Yearly Averaged SO_2 Concentration

TMS Location	Yearly Avg. SO_2 Concentration (ppm)								
	TMS			Model					
	'90-'94	'95	'96	JIC	MIC	OIC	UIC	YIC	Total
SND	0.019	0.018	0.014	0.0021	0.0003	0.0002	0.0012	0.0021	0.0059
BGD	0.041	0.034	0.021	0.0078	0.0003	0.0008	0.0052	0.0103	0.0244
YCD	0.033	0.032	0.030	0.0138	0.0009	0.0004	0.0032	0.0051	0.0235
YED	0.032	0.021	0.012	0.0036	0.0004	0.0004	0.0018	0.0042	0.0104
SNR	0.023	0.026	0.009	0.0045	0.0003	0.0009	0.0067	0.0038	0.0162
HSR	0.029	0.033	0.023	0.0014	0.0007	0.0056	0.0030	0.0071	0.0178
WSR	0.042	0.033	0.026	0.0009	0.0005	0.0077	0.0032	0.0076	0.0200

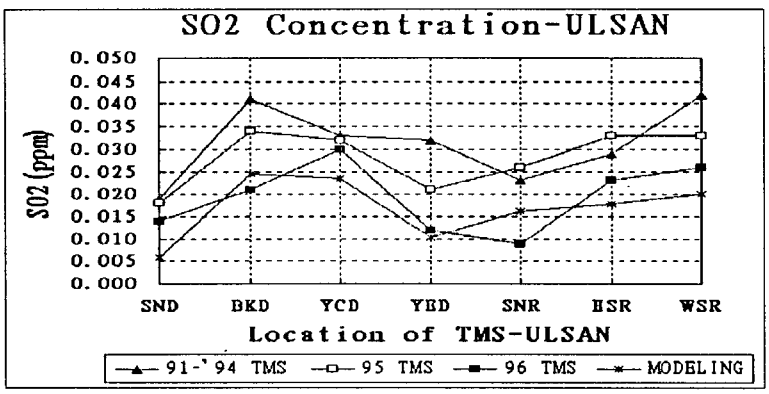

Fig. 1. Comparison of TMS-measured yearly-averaged SO_2 concentration (ppb) and modeling-predicted yearly-averaged SO_2 concentration (ppb).

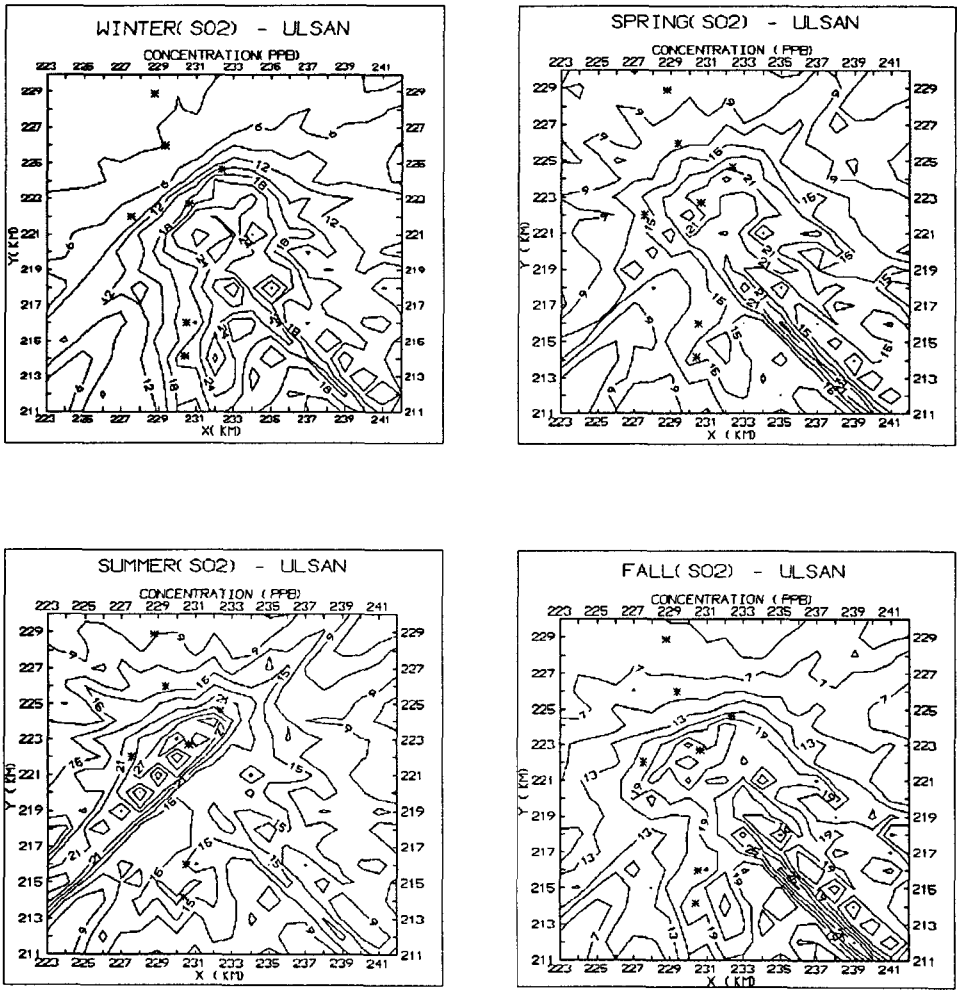

Fig. 2. The seasonal-averaged SO_2 concentration (ppb) and the dispersion patterns in Ulsan region.

4.. CONCLUSION

ISCST 2 모델에 의한 최대 지표면 연평균 SO_2의 농도와 대기자동측정망에 의한 지점별 연평균 SO_2 실측농도를 비교·고찰한 결과, 본 모델링 방법론에 의한 예측결과는 울산지역의 7개 지점의 대기자동측정망에 의한 지점별 실측치와 비슷한 농도분포 경향을 보이면서 거의 근접하고 있음을 알 수 있었다.

울산지역 전체 5개공단에서 배출된 SO_2의 최대 지표면 연평균농도는 부곡동 및 여천동지점에서 높게 나타났으며, 5개 공단 중 울산석유화학공단, 용연화학공

단 및 장생포화학공단의 화학계열 공단 산업체에서 배출되는 대기오염 영향이 상당부분 기여하고 있다고 예측된다.

계절별 대기오염물의 분산유형을 고찰하여 보면, 봄과 여름철에는 대기오염물질들이 울산 전지역으로 광범위하게 분산되며, 가을과 겨울철에는 울산의 남쪽방향 및 외곽 해변쪽으로 분산되고 있음을 알 수 있었으며, 이는 결국 울산지역의 주 풍향이 북풍 및 북북서풍 계열인 점과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

본 연구에서 개발한 대기분산 모델링 방법론은 대기특별 대책지역인 울산지역의 대기오염 저감대책 및 관리방안을 수립하고 향후 총량규제의 환경법규 제정을 위한 예비자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. USEPA, "User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC 2) Dispersion Models", Vol. I - Vol. II, EPA-450/4-92-008a and b, March (1992).
2. USEPA, "User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC 3) Dispersion Models", Vol. I - Vol. II, EPA-454/B-95-003a and b, Sept. (1995).
3. USEPA, "Guidance on the Application of Refined Dispersion Models to Hazardous Air Pollutants Releases", EPA-454/R-93-002, April (1993)
4. David E. Guinnup, "A Tierd Modeling Approach for Assessing the Risks due to Sources of Hazardous Air Pollutants", EPA-450/4-92-001, March (1992).