

면/이동오염원 배출량 공간 할당방식에 대한 고찰

김 현 구

포항산업과학연구원 대기환경연구팀

(2002년 5월 8일 접수; 2002년 7월 4일 채택)

Considerations in Space Allocation Methods of Emission from Area and Mobile Sources

Hyun-Goo Kim

Air Protection Research Team, Research Institute of Industrial Science & Technology, Pohang 790-330, Korea

(Manuscript received 8 May, 2002; accepted 4 July, 2002)

In the present study, space allocation methods of pollutant emission from area and mobile sources are assessed by the actual application to air quality modeling of Pohang area. It is found that the TM-based modeling which allocates emission onto the 1km x 1km sized TM-grid system predicts almost the same mean ground-level concentration as that by the GIS-based modeling which uses geographical information of area and mobile sources directly, while maximum ground-level concentration by the TM-based modeling is predicted considerably lower than that by the GIS-based modeling. Moreover, the problem is found that the TM-based modeling causes deviation of mobile roads. In conclusion, it is anticipated to applying GIS-based modeling for a more accurate assessment of air quality in local scale.

Key words : area source, mobile source, space allocation of emission, geographical information system(GIS)

1. 서 론

일반적으로 대기오염 배출원은 배출특성에 따라 점오염원, 면오염원 그리고 이동오염원(또는 선오염원)으로 구분된다. 전국 대기환경 기초정보 데이터 베이스의 구축을 위한 환경부의 대기보전 정책수립 지원시스템에 의하면,¹⁾ 점오염원을 제외한 면오염원과 이동오염원에서 배출되는 대기오염물질의 공간 할당은 개별 오염원의 배출량을 횡축 메르카르도법(Transverse Mercator; TM) 좌표 상에서 1km x 1km로 구성된 격자망에 배분하고 전체 배출원에 대하여 누적, 합산하는 방식을 제시하고 있다. 배출자료는 오염물질에 따라 적절한 시간적, 공간적 해상도를 확보하여 시간과 공간에 따른 변동을 구체적으로 고려할 수 있어야 하므로 해상도가 높을수록 구체적인 활용폭이 넓어지지만 해상도는 배출자료의 산출 근거가 되는 인구분포, 토지이용도, 도로현

황 등 공간적인 특성과 연료소비량 등 산업 통계자료의 해상도에 따라 좌우된다.²⁾ 전국을 분석대상으로 보면 1km x 1km 격자망은 상세분석이 가능한 공간 해상도이지만, 일반적으로 대기환경영향평가의 대상영역은 국지규모로 한정되므로 이러한 경우에는 전국을 대상으로 한 경우보다 더욱 상세한 공간 해상도가 요구된다. 실제로 상대적으로 대상영역이 방대한 중국의 황산화물 배출량 산정을 위해서는 15'x 15'의 공간해상도가 적절한 것으로 보고되었으며,³⁾ 지역규모의 대상영역인 서울시의 경우 1km x 1km 해상도의 배출량 분포도에 의한 대기오염농도 예측결과가 대기질 자동측정망의 실측치와 상당한 오차를 보인 반면, 28.5m x 28.5m 해상도의 배출목록에 의한 대기질 예측치는 실측치와 근접하였음이 보고되었다.⁴⁾

본 연구에서는 국지규모의 대기분야 환경영향평가를 위하여 대기확산모델(또는 대기질모델)을 운용할 경우, 면/이동 오염원의 대기오염 배출량 공간할당 방식에 의해 발생할 수 있는 예측오차를 실제의 적용사례를 통하여 비교, 분석함으로써 국지규모의

Corresponding Author : Hyun-Goo Kim, Air Protection Research Team, Research Institute of Industrial Science & Technology, Pohang 790-330, Korea
Phone : +82-54-279-6615
E-mail : hyungoo@rist.re.kr

대기질 예측에 적합한 대기오염 배출량 할당방식에 대하여 고찰하였다.

2. 대기오염 배출량 공간 할당방식

지리정보체계(Geographical Information System; GIS)에 근거한 배출목록 구축은 자료 관리의 편의성, 자료 입력원의 다양성, 지속적인 갱신 및 관리 가능성 등의 장점 때문에 대기분야를 포함하여⁵⁾ 환경정보 관리분야에의 활용연구가 활발하게 진행되어 왔으나^{2~4)} 2000년말 현재 건설교통부 국립지리원에서 국가기본지리정보 계획(NGIS 기본계획)에 의거 기본적인 수치지도 제작을 완료됨에 따라 지리정보체계의 환경분야 응용연구가 체계적으로 가속화되고 있다.^{1, 6)}

환경부에서는 대기오염 배출량, 대기오염도 현황 등 대기환경 기초자료와 교통량, 에너지사용량, 기상자료 등 환경관련 기초자료에 대한 데이터베이스를 구축하고, 이를 응용하여 대기보전 정책수립 및 환경영향평가에 활용할 수 있는 시스템을 개발하기 위하여 대기보전 정책수립 지원시스템 구축을 위한 연구를 수행하였다.¹⁾ 대기보전 정책수립 지원시스템 중 배출량 산정방법론 정의서에서는 대기오염 배출 목록을 표준화하고 전국을 대상으로 1km x 1km의 격자망(코드) 표준화를 도입한 효율적인 배출정보 관리방안 및 환경정보 지리정보체계와의 연계를 위한 데이터 검수기준을 제시하고 있다.

배출량 산정방법론 정의서에 의해 산정된 대기오염 배출량은 배출원 특성에 따라 공간 할당을 하게 되는데, 이때 점오염원은 배출시설의 TM 좌표를, 면오염원과 이동오염원은 행정구역별 또는 격자별로 해당하는 면적 및 노선 길이에 따라 배출량을 공간 할당하도록 하고 있다. 이러한 공간 할당방식은 서론에서 언급한 바와 같이 대기환경 관리 및 대기보전 정책수립을 위한 용도로는 적합한 공간 할당 방식이지만 국지규모의 대기환경영향평가를 위한 대기확산모델의 입력자료는 적합하지 못한 것으로 사료된다. 궁극적으로는 지리정보체계에 의한 개별 배출원의 정보가 격자배분방식의 공간할당을 거치지 않고 입력되는 것이 가장 정확한 배출원 입력정보이며 따라서 배출원정보 데이터베이스에서도 관리 및 정책적인 용도의 배출량 정보뿐 아니라 대기확산모델 운용을 위한 개별적인 배출원 정보를 제공하는 것이 바람직하다.

대기보전 정책수립 지원시스템에서 제시된 면/이동오염원 배출량의 공간 할당방식은 전국을 TM 좌표 상에서 1km x 1km로 격자화하고 해당격자에 공유되는 개별 오염원의 배출량을 합산하는 방식으로,

이러한 공간 할당방식은 격자화된 정보를 입력자료로 하는 광화학반응 모델과 같은 대기확산모델에 적합한 방식이다.^{7, 8)}

만일 대기오염 배출원에 대한 환경정보가 지리정보체계를 기반으로 구축되어 있다고 가정한다면 이러한 일련의 과정은 환경정보 지원시스템 상에서 처리가 가능하지만, 환경정보가 지리정보체제로 구축되어 있지 않은 경우에는 개별 배출목록을 조사, 입력하고 이를 공간 할당하는 과정이 부수적으로 필요하게 된다. 이러한 측면에서 볼 때, 우선적으로 지리정보체계를 기반으로 하는 환경정보 데이터베이스의 구축이 선행되어야 할 것으로 사료된다.

3. 포항지역 면/이동오염원의 대기확산모델링

대기오염 배출량의 공간 할당방식에 따른 대기확산모델의 예측오차를 실제 적용사례의 분석을 통하여 고찰하기 위하여 대기확산모델링의 대상지역을 포항으로 선정하였다. 포항은 지리적으로 동해안에 위치한 영일만을 중심으로 한 항구도시이자 철강산업도시로서 해상 및 육상수송 체계가 발달하여 차량, 해운, 철도 및 항공 등 각종 이동오염원이 모두 존재하는 복잡한 양상의 대기오염원 구조를 가지고 있다. 또한 면오염원으로 분류되는 주거지 역시 철강공단을 중심으로 밀집된 형태를 보이고 있다.

본 연구에서는 포항시 환경보전 종합계획을⁹⁾ 통하여 산출된 면/이동오염원 대기오염 배출량을 이용하여 산출된 면/이동오염원 대기오염 배출량을 이용하여 고찰하기 위하여 Table 1에 제시된 바와 같다. 포항시 이동오염원 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 선박에 의한 배출로, 선박에 의한 아황산가스의 배출은 이동오염원 배출총량의 35%를 차지하는 것으로 조사되었다.

면오염원의 지리정보는 ESRI의 ArcView GIS를 이용하여 국립지리원의 1:25,000 축척의 수치지도에서¹⁰⁾ 주거용 및 상업용 건물군을 읍면동 단위로 검

Table 1. Air pollutant emission from Pohang City (unit: ton/year)

Source	Category	TSP	SO ₂	NO ₂	CO	Total
Area source	-	34	306	726	244	1,310
Line source	Subtotal	985	5,856	7,398	2,659	16,898
(Mobile)	Ship	474	5,638	2,468	621	9,201
	Car	483	186	4,688	1,862	7,219
	Railroad	5	32	214	24	275
	Airplane	23	-	28	152	203

색하여 분류하고 최소 행정구역 내의 건물군을 포함하는 직사각형 영역을 하나의 면오염원 단위(unit)로 자료화 하였으며(Fig. 1 참조), 각각의 면오염원 단위에 포함시 인구통계에 따른 행정구역별 주민등록 인구수 및 세대수 정보를 할당하고¹¹⁾ 포함 지역 가정부문 연료사용량 분석을 통해 산출된 계절별 면오염원 배출계수를 적용함으로써 배출량을 산출하였다.

이동오염원의 경우에는 수치지도로부터 도로구간의 시작점과 종료점, 차선수를 검색하여 자료화하고(Fig. 2 참조), 차량통행량 조사결과를 이용하여¹²⁾ 각각의 구간에 차종별 차량통행대수, 시간대별 차량통행대수를 배정하고 배출량 산정방법론 정의서에서 제시된 차종별 대기오염물질 배출계수를 적용함으로써 도로구간별 배출량을 산정하였다.

Fig. 1과 2는 포함지역 수치지도를 이용하여 구성된 면오염원과 이동오염원의 분포도이다. 면오염원의 경우, 형산강을 중심으로 하여 남북으로 밀집된 주거권을 형성하고 있으며 내륙과 해변을 따라서 주거지가 산재하고 있는 형태이며, 이동오염원 역시 주거지역에 집중적으로 차량 교통망이 형성되어 있다. 선박오염원의 경우 편의상 포항구항으로의 입출항로를 고려하였다. Fig. 3과 4는 면오염원과 이동오염원을 1km x 1km로 구성된 격자망에 공간 할당하여 재구성한 배출원 분포도로서, 면오염원의 경우 Fig. 1에서는 미소오염원으로 산출된 영역이라 할지라도 Fig. 3과 같이 공간 할당방식을 거치게 되면 최소 1km x 1km 크기의 오염원으로 재구성되어 전체적으로 오염원이 차지하는 면적이 증가하는 경향을 확인할 수 있다.

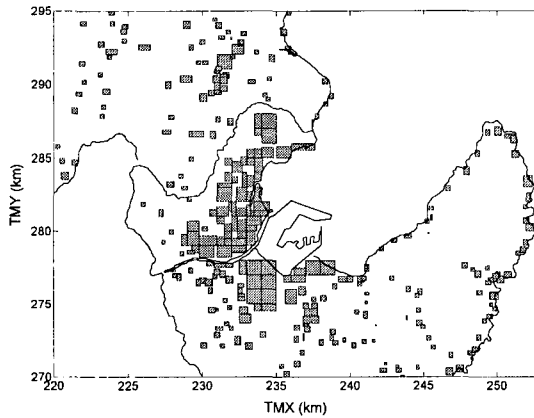


Fig. 1. Distribution of area sources generated from 1:25,000 numerical map.

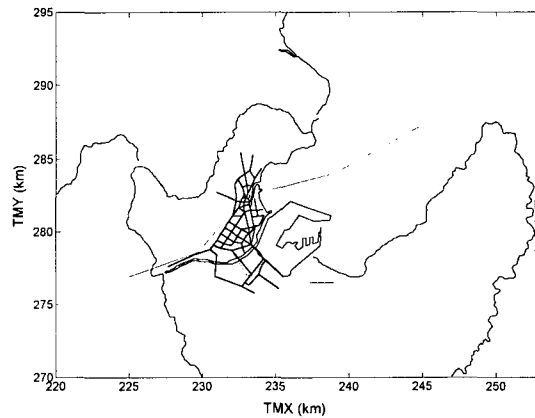


Fig. 2. Distribution of mobile sources generated from 1:25,000 numerical map.

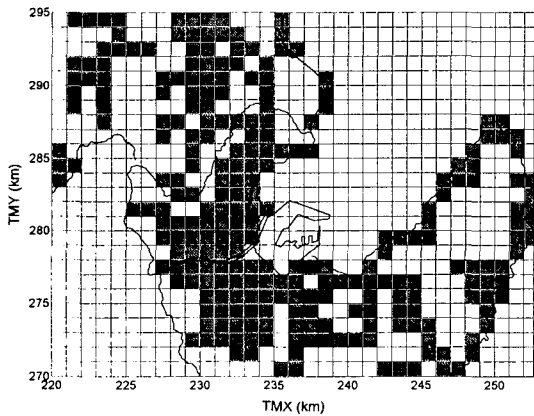


Fig. 3. Distribution of area sources allocated onto 1km x 1km grid system.

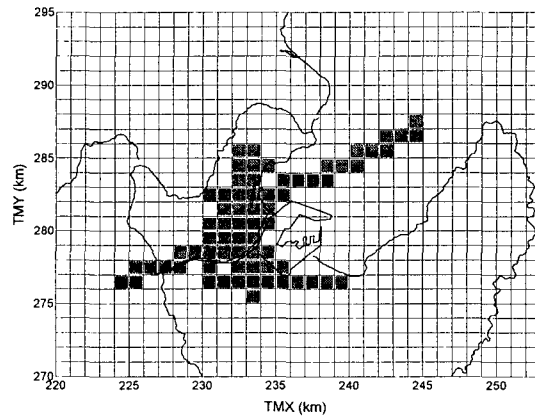


Fig. 4. Distribution of mobile sources allocated onto 1km x 1km grid system.

4. 대기확산모델 예측오차 분석

미국 환경청의 추천 대기질모델인 ISCST3의 2002년 수정판(dated 02035)을 사용하여 포항지역 면/이동오염원에 의한 대기질을 예측하였다. ISCST3 모델은 구름성 산지지형에 적용이 가능한 가우시안(Gaussian) 확산모델로서 현재 대기환경영향평가에 가장 널리 사용되는 대기질모델이며, 대기보전 정책 수립 지원시스템에서도 구성된 데이터베이스의 검증을 위한 확산모델로 본 모델이 선정되어 있다.¹⁾ ISCST3에서는 선오염원(이동오염원)을 Fig. 5에 제시된 것과 같이 구분되어 연속되는 체적오염원으로 대체하는 것으로 가정하기 때문에 ISCST3의 설명서에 제시된 방법에 따라¹³⁾ 선오염원을 체적오염원으로 변환시키는 프로그램을 작성하여 배출정보를 변환하였다.

면오염원의 경우에는 아황산가스(SO₂)를, 이동오염원의 경우에는 이산화질소(NO₂)를 대상물질로 하여 2002년 1월 1일부터 2월 28일까지 2달간의 기간에 대하여 대기질 예측을 수행하였다. 포항기상대의 위치는 Fig. 7 이하의 지도상에 삼각형으로 표시하였다. 대기질 예측의 대상영역은 포항기상대를 중심으로 20km x 20km 영역으로, 남동부 경계면을 제외

한 대상영역은 해발고도 50m 이하의 평지이므로 대상영역 내에서 국지지형에 의한 유동장의 변화는 크지 않을 것으로 판단된다. Fig. 6의 바람장미에 도시한 바와 같이 포항지역의 주풍향은 서풍 및 남서풍 계열이며 예측기간 중의 평균풍속은 관측고도 해발 15.2m에서 3.21m/sec이다.

ISCST3 모델을 운용함에 있어서 지형보정은 복잡지형(complex terrain)을 선택하였으며 고도별 풍속분포를 나타내는 풍속분포지수(wind profile exponent)는 Table 2에 제시된 바와 같이 포항지역의 대기안정도별로 산출된 풍속분포지수를 적용하였는데,¹⁴⁾ 이 값은 미국 환경청의 분류방식에 의한 전원지역(rural) 보다는 도시지역(urban) 특성에 가깝다.

Table 2. Wind profile exponents in Pohang area by atmospheric stabilities

Atmospheric Stability	A	B	C	D	E	F
	Stronly unstable	Unstable	Slightly unstable	Neutral	Slightly stable	Stable
Pohang area	0.14	0.18	0.17	0.21	0.25	0.25
Rural area(epa)	0.07	0.07	0.10	0.15	0.35	0.55
Urban area(epa)	0.15	0.15	0.20	0.25	0.30	0.30

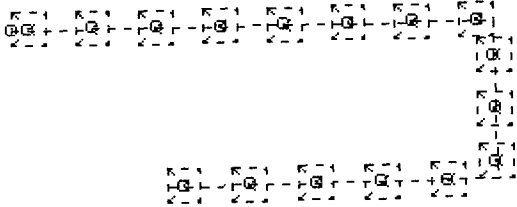


Fig. 5. Line source represented by separated volume sources.

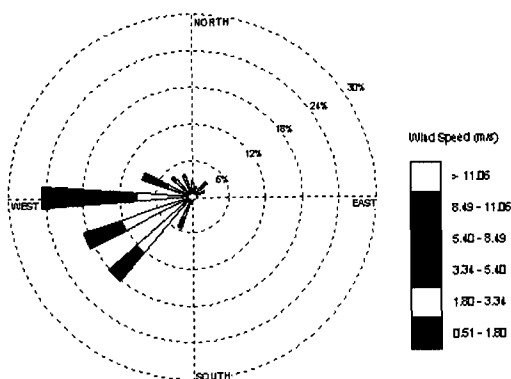


Fig. 6. Wind rose at Pohang Weather Station. (Jan.-Feb. 2002).

Fig. 7과 8에 도시한 면오염원에 의한 아황산가스의 지면농도분포도는 각각 지리정보체계로 구축된 배출목록에 의한 확산예측(GIS-based modeling; 이하 GIS 방식)과 1km x 1km의 격자에 공간 할당된 배출목록으로 수행된 확산예측(TM-based modeling; 이하 TM 방식) 결과이다. GIS 방식에 의한 지면농도 분포도(Fig. 7)를 보면 TM 방식에 의한 지면농도 분포도(Fig. 8)에 비하여 도심의 주거 밀집지역(TMX 230~240, TMY 278~282)에서의 농도분포 형태가 다소 복잡하게 나타나고 있는데 이는 TM 방식이 면오염원을 격자로 공간 할당함에 따라 국부적인 배출특성이 1km x 1km의 격자크기로 평균화되었기 때문으로 일종의 수치확산오차(numerical diffusion error)로 볼 수 있다. 즉, GIS 방식에서는 개별적인 면오염원 단위들의 확산특성이 명확하게 나타나는 반면 TM 방식에서는 이러한 특성이 평균화되어 나타나게 되는 것으로 해석할 수 있다. 이러한 특성은 TMX 235~240, TMY 272~277의 영역에서도 뚜렷하게 나타나고 있는데, GIS 방식에서는 국부적인 고농도 영역이 산재되어 명확하게 구분되는 반면 TM 방식에서는 하나의 고농도 영역으로 평균화되어 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

Table 3은 면오염원에 의한 아황산가스 지면농도

면/이동오염원 배출량 공간 할당방식에 대한 고찰

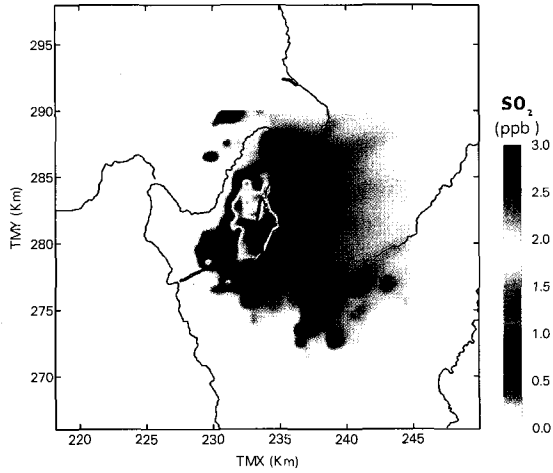


Fig. 7. Ground-level concentration map of SO₂ by area sources (GIS-based modeling).

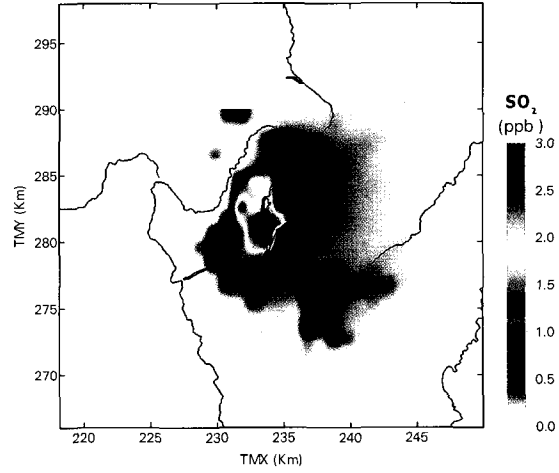


Fig. 8. Ground-level concentration map of SO₂ by area sources (TM-based modeling).

예측결과를 정리한 것으로, GIS 방식에 의해 예측된 지면농도보다 TM 방식에 의한 지면농도가 평균적으로 약 1% 높게 예측된 반면 최대 지면농도는 약 11% 낮게 예측된 것으로 분석되었다. 이는 면오염원의 배출량을 TM 격자로 공간할당 함으로 인해 수치확산오차가 발생하였기 때문으로, 이에 의하여 평균적인 지면농도는 증가하고 최대농도는 감소하는 효과가 발생한 것으로 판단된다. Table 3의 결과를 종합하여 보면, 면오염원의 공간 할당방식에 따른 평균 지면농도 예측오차는 1% 이내로 무시할만한 수준이지만 최대 지면농도는 10% 이상 과소예측되었기 때문에 TM 방식에 의한 대기확산모델링은 대기환경기준 적용을 위한 스크린(screening) 목적으로는 적합하지 않은 것으로 판단된다.

Table 3. Comparison of the predicted SO₂ concentrations due to area source

	GIS-based modeling	TM-based modeling	Difference (GIS-TM)	Difference (%)
Mean ground-level concentration (ppb)	0.331	0.334	-0.003	-0.9
Max. ground-level concentration (ppb)	3.413	3.043	+0.370	+10.8

Fig. 9는 두 방식간의 지면농도 예측값의 오차를 공간적으로 표현한 분포도로, 오차는 다음과 같이 정의하였다.

$$Error = \frac{C(GIS) - C(TM)}{\text{MAX}|C(GIS) - C(TM)|} \times 100(\%)$$

위에서 C(GIS)와 C(TM)는 각각 GIS 방식과 TM

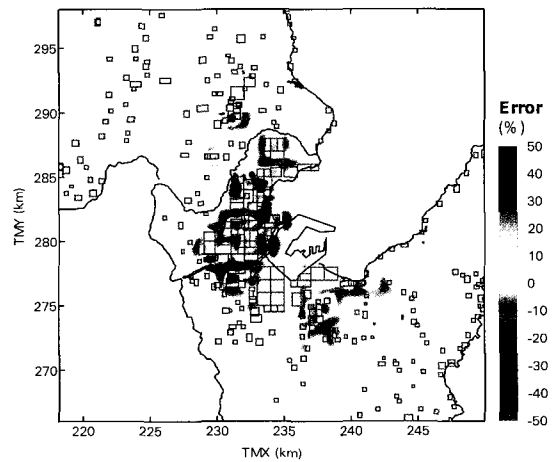


Fig. 9. Differences of the predicted ground-level concentration due to area sources between GIS-based modeling and TM-based modeling.

방식으로 예측된 지면농도이며 예측값간의 오차를 최대오차값으로 무차원화 하였다. Fig. 9를 살펴보면, GIS 방식에 의한 예측값이 TM 방식보다 크게 예측된 부분(+Error)은 주로 밀집된 면오염원의 중심부인 반면 TM 방식의 예측값이 크게 예측된 부분(-Error)은 면오염원의 경계면 또는 면오염원이 존재하지 않는 영역임을 확인할 수 있다. 이는 배출량의 공간할당 시 면오염원이 존재하지 않는 격자영역으로도 배분되었기 때문으로 해석된다.

이동오염원에 의한 이산화질소의 지면농도분포도를 Fig. 10과 11에 도시하였다. Fig. 10에 나타난 GIS 방법에 의한 예측결과를 살펴보면, 면오염원에

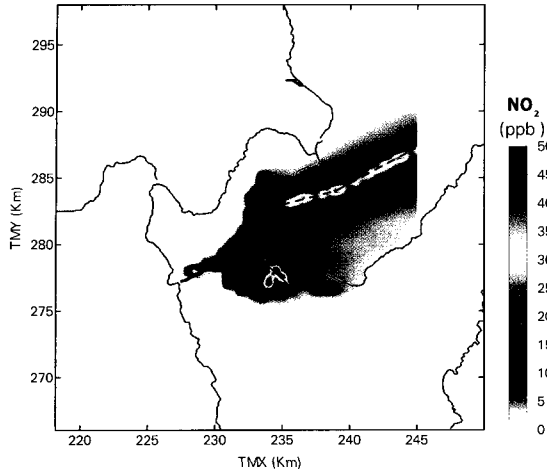


Fig. 10. Ground-level concentration map of NO₂ by area sources (GIS-based modeling).

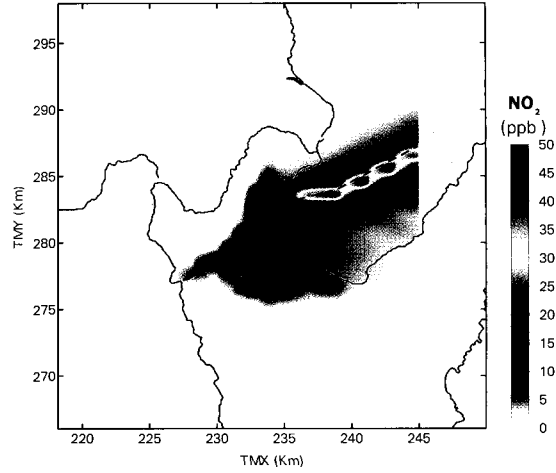


Fig. 11. Ground-level concentration map of NO₂ by area sources (TM-based modeling).

Table 4. Comparison of the predicted NO₂ concentrations due to mobile source

	GIS-based modeling	TM-based modeling	Difference (GIS-TM)	Difference (%)
Mean ground-level concentration (ppb)	4.264	4.304	-0.040	-0.9
Max. ground-level concentration (ppb)	68.286	44.303	+23.983	+35.1

의한 부가농도가 2 ppb 이하의 수준인 것에 비하여 이동오염원에 의한 부가농도는 지역에 따라서는 50 ppb에 이르고 있음을 보이고 있다. 본 해석에서는 500m x 500m의 직교 격자계를 수용체(receptor)로 사용하여 도로 지면농도분포에서 나타나 국지적인 고농도 영역의 공간 해상도는 수용체의 격자간격에 해당한다.

GIS 방식에 의한 지면농도 분포도(Fig. 10)와 TM 방식에 의한 지면농도 분포도(Fig. 11) 간의 특징적인 차이점은 선박 입출항로에서의 농도분포이다. 즉, GIS 방식에 의한 예측결과는 선박 입출항로를 중심으로 확산이 이루어졌으나 TM 방식의 경우에는 예측된 농도분포가 실제 선박 입출항로로부터 이격되어 있음을 발견할 수 있다. 이는 선분으로 표현되는 이동오염원을 격자로 공간 할당할 경우 오염원의 이동경로는 최대 격자크기만큼 이격될 수 있기 때문이다. 이동오염원의 지면농도 분포에서도 면오염원의 경우와 마찬가지로 GIS 방식의 예측결과가 TM 방식보다 복잡한 국부적인 고농도 영역을 분명하게 나타내고 있으며 국부적인 고농도 수치도

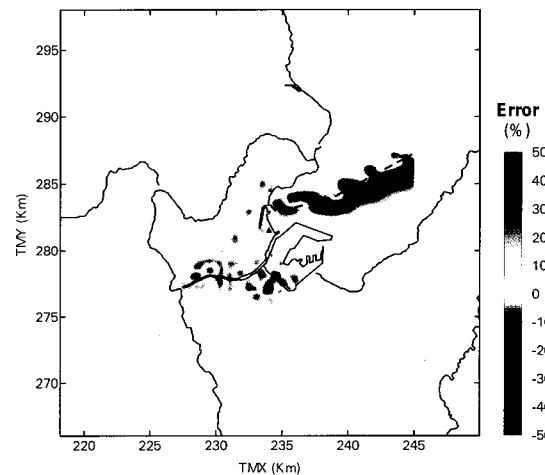


Fig. 12. Differences of the predicted ground-level concentration due to mobile sources between GIS-based modeling and TM-based modeling.

높게 예측하고 있다. 이는 면오염원에 비하여 이동오염원은 선분의 특성을 지니므로 이를 TM 방식에 의해 격자로 공간할당 하게되면 수치적인 확산효과가 더 크게 나타나기 때문인 것으로 판단된다.

이동오염원에 대한 정량적인 결과는 Table 4에 제시되었는데, 면오염원의 경우와 마찬가지로 평균농도는 TM 방식이 높게 예측된 반면 최대농도는 40% 낮게 예측되었다. 따라서 TM 격자로의 공간할당 방식에 의한 예측결과는 GIS 방식에 비하여 대기질의 최대 위해도를 판단하기 위한 스크린(screening) 목적으로는 적합하지 못함을 Table 4의 결과

로부터 분명하게 판단할 수 있다.

TM 방식에 의한 대기질 예측이 지면농도의 최대 값을 35% 이상 과소예측한다는 단점 이외에도 Fig. 12의 오차 분포도에서 확인되듯이 이동오염원의 이동경로는 공간 할당에 따라 실제의 경로로부터 이격된다는 결정적인 문제점을 지적할 수 있다. 또한 GIS 방식에서 차선 및 교차로를 따라서 예측되는 국부적인 고농도 영역을 TM 방식에서는 적절히 예측하지 못하고 있음도 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 면/이동 오염원의 대기오염 배출량 공간할당 방식에 의해 발생할 수 있는 대기확산 모델의 예측오차를 포항지역의 실제 적용사례를 통하여 비교, 분석함으로써 국지규모의 대기질 예측에 적합한 배출량 할당방식에 대하여 고찰하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) TM 방식에 의해 예측된 면/이동오염원의 평균 지면농도는 GIS 방식에 비해 미소하게 높게 예측되었으나 최대오염농도는 각각 10%, 35% 이상의 차이를 보이며 낮게 예측되었다. 따라서 면/이동오염원에 의한 발생가능한 최대 부가농도가 대기환경기준을 초과하는지를 조사하기 위한 스크린 목적을 위해서는 TM 방식의 배출량 공간 할당방식은 최대오염농도를 과소예측하므로 적합하지 않은 것으로 판단된다.
- 2) 이동오염원의 격자배분시 이동경로가 최대 격자크기 규모로 이격되는 문제점을 보였으며 이로 인하여 대기확산에 의한 영향권도 이격되어 나타나는 오류를 확인하였다. 따라서 격자크기 이하의 공간해상도로 대기확산에 의한 환경영향평가를 수행할 경우 GIS 방식에 의하여 이동오염원의 경로가 입력되어야 그에 의한 영향권을 정확히 파악할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 포항시 환경보전 종합계획 용역(포항시, 2002) 및 한국과학재단 인턴연구원 지원사업(2001)의 일환으로 수행되었기에 관계기관에게 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

- 1) 환경부, 2000, 대기보전 정책수립 지원시스템 - 배출량 산정방법론 정의서, 정보통신부, 44pp.
- 2) 시스템공학연구소, 1995-1996, 환경정보 관리를 위한 GIS 개발, 과학기술처.
- 3) 백재민, 우정현, 김정옥, 1999, 중국에서의 고해상도 SOx 격자배출목록의 산정, 대한환경공학회지, 21(4), 765-774.
- 4) 최진무, 1998, GIS를 이용한 대기오염 배출량 분포도의 정확도 향상에 관한 연구, 서울대학교 대학원 지리학과, 석사학위논문, 116.
- 5) 김명진, 한의정, 강인구, 김정수, 1997, Integration of Geographic Information System and Air Dispersion Model, 환경영향평가학회지, 5(1), 61-67.
- 6) 황병기, 이상호, 2000, 천안/아산권역내 곡교천의 수질분석 및 지리정보체계를 이용한 유역 오염원, 한국환경과학회지, 9(6), 443-447.
- 7) Shin, T.J., 1999, Use of Geographic Information System Tools for Improving Mobile Source Atmospheric Emission Inventories, J. Kor. Environ. Sci. Soc., 3(3), 143-150.
- 8) Lin, M.D. and Y.C. Lin, 2002, The application of GIS to air quality analysis in Taichung City, Taiwan, ROC, Environmental Modelling & Software, 17, 11-19.
- 9) 포항산업과학연구원, 2002, 포항시 환경보전 종합계획, 포항시, 401pp.
- 10) 국립지리원, 2001, 1:25,000 수치지도, 건설교통부.
- 11) 포항시, 2001, 포항시 통계연보 2001, 479pp.
- 12) 동명기술공단, 1998, 포항시 도시교통정비기본계획 보안수립 및 중기계획 입안 용역, 포항시, 191.
- 13) U.S. EPA, 1995, User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models, 2, EPA-454/B-95-003b, Research Triangle Park, NC.
- 14) 김현구, 최재우, 2001, 포항지역의 대기안정도에 따른 풍속지수, 한국대기환경학회 추계학술대회, 393-394.