ISCST3 대기오염확산모델의 격자크기에 따른 수용점 농도 분포 및 변화에 관한 연구

연세대학교 보건대학원

환경관리학과

송 기 창

ISCST3 대기오염확산모델의 격자크기에 따른 수용점 농도 분포 및 변화에 관한 연구

지도 정 용 교수

이 논문을 보건학석사학위 논문으로 제출함

2001 년 6 월 일

연세대학교 보건대학원

환경관리학과

송 기 창

송기창의 보건학 석사학위논문을 인준함

심사위원___________________인

심사위원___________________인

심사위원___________________인

연세대학교 보건대학원

2001 년 6 월 일

감사의 글

보건대학원 환경관리학과에 입학하여 지내온 2년여 시간을 돌아보면 부족하고 아쉬운 시간들의 연속이었고 석사과정의 막바지에 이르니 부족한 제 자신이 더욱 부끄럽지만 또한 지난 시간은 저에게 부족함을 채워주고 자신감을 심어주었던 매우 귀중한 시간이었습니다.

환경에 대한 폭넓은 안목과 지식으로 부족한 저에게 논문의 처음에서 마지막까지 세심한 관심으로 저를 이끌어 논문으로 완성시켜주신 정용교수님께 깊은 감사를 드리며, 학부과정 4년과 졸업후에도 환경영향평가분야의 많은 도움을 주시고 논문의 완성을 위해 많은 지도를 해주신 이무춘교수님과 바쁘신 와중에도 논문의 심사를 맡아주시고 내용과 형식을 면밀히 지도하여주신 임영욱교수님께도 머리숙여 깊은 감사를 드립니다.

또한 대학원 입학을 권유하시고 대학원 생활동안 물심양면으로 많은 조언과 배려를 아끼지 않으신 송석원선배님께 깊은 감사를 드리며, 논문작성에 전념할 수 있도록 회사업무를 도맡아 처리해주신 김태훈선배님과 많은 심적배려를 해준 이정은씨에게도 감사드립니다.

그리고 힘들때마다 마음의 안식이 되어준 친구 상훈, 충렬, 민성, 효규와 향숙, 영희와 혜경이에게 이 논문을 통해 그 동안의 고마움을 전하고 싶고, 논문 작성동안 많은 격려를 해준 성미와 인자에게도 특별히 고마움을 전하고 싶습니다.

대학원 생활동안 수학을 같이한 동기 성화형, 광태형, 창수와 일형이형, 석주형, 이지호씨, 변은영씨, 권경숙씨, 문지영씨, 호연씨, 명현씨등 선후배와 저를 알고 있는 여러분에게도 고마움을 전합니다.

항상 고생하시면서도 제 일생의 등대가 되어주시고 변함없는 사랑으로 저를 지켜주시는 아버지, 어머니께 이 논문을 통해 지금까지의 사랑에 조금이나마 보답코자하며, 항상 잘 따라준 동생 정선이와도 기쁨을 같이하고 싶습니다.

2001년 6월

송 기 창 올림

차 례

표 차 례

그 림 차 례

국 문 요 약

산업화와 더불어 대기오염은 복합화, 집적화 양상을 띠고 있으며, 인구의 도시집중화와 함께 대규모 산업단지 조성 등으로 인해 대기오염이 더욱 가속화되고 있는 실정이다. 이러한 대기오염의 효과적인 관리를 위해서는 대기오염확산모델을 이용한 대기오염물질 확산예측의 중요성이 부각되고 있다.

대기오염확산모델의 선정은 예측조건과 대상오염물질, 오염원의 종류, 기상자료, 지형자료 등을 종합적으로 고려하여 특성에 맞게 선정되어야 하나, 대기오염확산모델의 한계점, 제한점에 대한 고려없이 대기오염확산모델을 적용하여 대기오염예측을 실시함으로써 다양한 대기오염의 특성을 충분히 고려하지 못하고 있는 실정이다.

이러한 문제에 대한 개선방안의 도출을 위해 선행연구에서 나타난 바와 같이 다른 모델에 비해 예측력이 우수한 것으로 나타난 ISCST3 모델을 대상으로 가상 시나리오를 작성하여 모델링을 실시하고 예측결과의 분포 및 변화특성의 분석을 통해 모델이 가지는 제한점의 확인 및 개선방안을 제시하고자 본 연구를 수행하였다.

각 시나리오는 발생원 격자 3가지와 수용점 격자 5가지를 교차 조합하여 총 15개의 시나리오를 구성하였으며, 입력변수 산정을 위해 예비 모델링을 통해 입력변수를 결정하였다.

연구수행결과 발생원 격자크기를 크게 설정할 경우 수용점 농도도 증가하는 것으로 나타났으며, 최대착지농도를 발생원 격자면적으로 나눈 단위 면적당 착지농도 산정결과 시나리오별 최대 착지농도는 유사한 값으로 나타났다.

시나리오별 동일면적 착지농도 분석결과 수용점 격자크기 25×25m를 기준으로 격자크기가 50×50m인 경우 오염물질 농도가 1.42% 가중되는 것으로 나타났으며, 수용점 격자크기 100×100m의 경우 5.03%, 수용점 격자크기 200×200m의 경우 13.58%, 수용점 격자크기 400×400m의 경우 80.58% 오염물질농도가 가중되어 나타났다.

수용점 격자크기의 변화에 따른 수용점 농도의 감소율을 분석한 결과 수용점 격자크기를 작게 설정할 경우 최대착지농도에서 하위농도로의 감소율이 감소하는 것으로 나타났으며, 수용점 격자크기를 200×200m 이하로 설정하여 모델링을 수행할 경우 수용점 격자크기 변화에 따른 수용점 농도 오차를 줄일 수 있을 것으로 나타났다.

면오염원을 적용한 대기오염물질확산 예측시 오차의 제어방안으로는 모델이 가지는 한계내에서 수용점 격자크기를 최대한 세분화하여 모델링을 실시하여 예측편차를 최소화는 방안이 있으며, 예측범위가 광범위하여 수용점 격자크기를 충분히 작게 하지 못할 경우 수용점 격자크기에 따른 오염물질의 가중율을 고려하여 수용점 농도의 보정 과정을 거칠 경우 수용점 격자를 더욱 세분화하였을 때와 유사한 예측결과의 도출이 가능할 것으로 판단되었다.

이상 제시한 적정 수용점 격자크기 설정방안과 수용점 격자크기 세분화 방안과 수용점 농도의 보정방안을 적용하여 대기오염예측을 실시할 경우 모델이 가지는 제한점을 개선하여 더욱 정확한 대기질 예측의 유도가 가능할 것이다.

핵심어 : 대기오염확산모델, ISCST3 모델, 수용점 농도

Ⅰ. 서 론

산업과 과학기술이 발전함에 따라 대기오염물질 종류와 연료사용량이 증가하였으며, 발생특성은 인구의 도시집중화, 배출시설의 대형화에 따라 대기오염이 집중화하는 현상을 야기하였다. 대기오염의 효과적인 관리를 위해서는 대기오염에 대한 정확한 현황파악과 아울러 오염도에 영향을 미치는 요소들의 변화상황을 고려한 대기오염예측이 중요하다. 따라서 복잡한 대기오염현상에 대해 적절한 가정과 대상지역의 오염인자들을 고려하여 오염물질 분포 상황에 대한 예측이 가능한 대기오염확산모델의 사용이 필수적이다.

대기오염확산모델의 선정시에는 대상오염물질, 오염원의 종류, 기상자료, 지형자료 등을 복합적으로 고려하여 그 특성에 맞게 선정되어야 하며, 예측모델의 선정 및 모델링 과정에서 필요한 입력자료 산정을 신중히 하여야 모델이 갖는 한계내에서 대기오염의 예측력을 극대화 할 수 있으며, 이는 모델링 결과가 오염물질 배출량, 오염물질의 물리・화학적 성질, 풍향, 풍속 등의 기상자료, 주변지역 지형자료의 영향을 받는 특성에 기인한다.

한편, 현재 대기오염확산모델은 대상물질과 예측 알고리즘에 따라 수십종이 개발되어 있으며, 국내에서는 미국 UNAMAP(user's network for apploed modeling of air pollution; 이하 UNAMAP) Version 6에 수록된 모델들이 널리 사용되고 있다. 이중 ISCST3(Industrial Source Complex Short-Term version 3; 이하 ISCST3) 모델은 경기개발연구원, 한국환경정책평가연구원, 국립환경연구원에서 공동 수행한 21C 경기 대기보전실천계획(2000)에서 경기도를 대상으로 대기오염물질 배출량을 토대로 각 시별 장래 대기오염도의 예측 및 관리방안 도출연구에 적용한바 있으며, 이외에도 류인

석(1997)의 대전 공단지역의 대기질 평가연구, 탁종석(1998)의 수도권지역 동계 SO_2농도 산출연구 및 안효승(1998)의 서울시 대기질 모델링 연구에 이용되는 등 특정지역의 대기질 평가 및 관리방안 도출연구에 널리 활용되고 있으며, 환경영향평가 등에 널리 쓰이던 TEM8, TCM2의 보다 예측력이 우수하여 환경영향평가에 적용 실적이 급격히 늘어나고 있는 추세이다.

또한, 대기오염확산모델의 적정활용을 위해서는 모델의 민감도 분석을 통해 예측결과의 신뢰도를 높이는 중요한 과정이 수반되는데 지금까지는 PAL 모델(유병택, 1986), ISCST와 TEM8 모델(김도원, 1987), TEM8과 Valley 모델(박룡, 1994), CDM2와 TCM2 모델(송동웅, 김원만, 1991), ISCST3, AERMOD, FDM, INPUFF2.5 모델의 비교(배성정, 1999) 등 대기오염확산모델간의 비교를 통한 예측모델의 특성 도출연구가 주를 이루어 왔으며, ISCST3 모델과 TEM8 모델간의 비교 연구(김도원, 1987), ISC3 모델과 CDM2 모델을 이용한 도시지역 대기질 상호비교 연구(문인수, 1999)등에서 ISC3 모델이 다른 모델에 정합도가 우수하다는 결과가 도출되었다.

다른 모델과의 상호비교 연구에서 예측도가 우수한 것으로 나타난 ISCST3 모델은 Gaussian plume equation을 기초로 개발된 모델로서 1977년 개발된 CRSTER를 기초로 ISCST1(1979), ISCST2(1989), ISCST3(1995)로 개량되었고 ISCST2 모델까지는 면오염원이 고려되지 못했으나, ISCST3 모델로 개량되면서 예측점의 좌표체계를 극좌표계에서 격자좌표계까지 추가하면서 ISCST 모델에 면오염원 및 수용점을 격자로 고려가능하게 되었다.(ISCST3 사용자지침서, 1999)

그러나, Gaussian plume model은 연돌과 같이 점오염원에서 발생되는 오염물질의 착지농도를 예측하는 모델로서 이를 기초로 하는 ISCST3 모델의

발생원을 면오염원으로 적용시 문제점이 발생될 것으로 판단되나, 이에 대한 제한점 도출 및 개선방안 제시에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 Gaussian plume equation을 기초로 개발된 ISCST3 모델을 이용한 영향예측시 발생원 및 수용점 격자크기에 따른 수용점 농도의 분포 및 변화를 파악하여 발생원 격자크기와 수용점 농도와의 관계, 수용점 격자크기에 따른 수용점 농도와의 관계를 통해 격자크기에 따른 ISCST3 모델의 제한점을 확인하고, 이에 대한 개선방안을 제시하여 보다 정확한 대기질 영향예측을 도모하는 것을 본 연구의 목적으로 하였으며,

본 연구의 세부목적으로는

첫째, ISCST3 모델의 장·단점에 따른 문제점을 도출하고,

둘째, 발생원 및 수용점 격자크기 조건을 변화시킨 모델링 결과의 수용점 농도 분포 및 변화를 통해 격자크기에 따른 ISCST3 모델의 면오염원 적용시 제한점을 도출시키고,

셋째, 제한점 및 개선방안에 대한 고찰을 통해 향후 정확한 대기질 영향예측을 도모하고자 한다.

Ⅱ. 연구배경

1. 대기오염확산모델의 개요

가. 대기오염확산모델의 개요

대기오염확산모델은 크게 수학적 모델과 물리적 모델로 크게 구분되며, 수학적 모델은 결정론적(deterministic)모델과 통계(statistical)모델로 구분되며, 결정론적 모델은 관련되는 물리적 과정들을 통해 나타내는 여러 가지 방정식의 해를 통해 오염물질 농도를 계산하는 모델로써, 대표적으로 가우시안 모델, 상자모델, 란그란지안 모델 등이 있다. 통계모델은 기상요소, 대기오염 농도, 기타 관련요소 사이에서 실험적으로 구해지는 통계적인 관계를 사용하여 대기내의 오염물질 농도를 계산하는 모델로써 회귀모델, 직교함수(orthogonal function)모델 등이 있다.

나. 모델링의 목적

대기오염확산 모델링의 목적은 다음과 같이 정리될 수 있다.

(1) 최대허용배출율 결정을 통한 법규설정

(2) 제안된 배출량을 통한 저감효과 평가

(3) 오염원 설치에 따른 환경영향 최소화를 위한 배출원 위치선정

(4) 고농도 대기오염 방지대책 수립

(5) 배출원과 피해지역간의 기여율 분석

다. 모델링시 고려사항

모델의 선정시에는 모델링 대상의 다양한 특성에 따른 여러 가지 특성을 파악하여야 하며 이를 위해서는 ① 모델링 대상의 특성분석, ② 입력자료의 적절한 선정, ③ 모델링 조건의 한정 등의 문제를 해결한 후 사용하여야 적절한 예측결과를 도출할 수 있다.

라. 모델링의 불확실성 분석

모델링의 불확실성은 입력자료, 모델의 물리·수학적 표현, 자연 및 통계적 현상 등에 의해 크게 변화하며, 입력자료가 풍부하면 자연 및 통계적 현상에 대한 불확실성은 감소하며, 이를 위해 입력변수의 민감도 분석을 통해 입력변수의 최적 조건에서 모델을 활용하여야 한다.

마. 대기오염예측모델의 구성

대기오염확산모델은 대기중으로 배출되는 오염물질의 이동 및 확산과 대기중 영향을 추정하는데 대부분의 확산모델은 대기중으로 오염물질이 전달되는 현상, 오염물질의 물리·화학적 변환과정, 대기로부터 오염물질이 제거되는 과정 등으로 구성되어 있다.

(1) 오염물질의 유입

대기오염확산모델에서 대기오염현상을 모사하는 것은 오염원에서 오염물질이 대기중으로 배출되는 것에서 시작하여 주변지역의 대기오염의 영향을

예측하게 된다. 이러한 대기오염 발생원은 점오염원, 면오염원, 선오염원으로 구분할 수 있으며, 오염원의 종류를 구분하는 것은 모델링이 수행될 수 있도록 좌표를 설정하고 좌표에 의거하여 수치적으로 계산하기 위한 것이다.

(2) 오염물질의 이동 - 기상인자의 취급

대기중으로 배출된 오염물질은 이류 · 확산 등의 과정에 의해 배출원으로부터 주변지역으로 이동하게 되며, 오염물질의 이류 · 확산 등을 계산하기 위하여 대기오염확산모델에서는 풍향 · 풍속 · 온도 · 혼합고 · 운고 · 운량 등 다양한 기상인자를 이용하게 된다.

(3) 오염물질의 변환 - 화학반응과 물리적 변환

대기오염물질의 확산은 1차 오염물질이 지표면에 미치는 영향을 중심으로 진행되어 왔으며, 이후 광화학스모그, 산성침강 등의 문제가 밝혀지면서 대기화학반응에 관한 관심이 증대되어 적용하고자 하는 대상분야(광화학스모그, 오존, 산성비등)를 설명할 수 있는 화학반응 메카니즘을 개발하여 이용하고 있다.

(4) 오염물질의 침적

침적현상은 대기의 자정작용으로 정의할 수 있으며 침적에는 토양이나 수면에 부착하는 건성 침적과 빗방울이나 안개방울 등의 액적에 흡착되어 제거되는 습성침적의 두가지 형태가 있다.

2. 대기오염확산모델의 종류

대기오염물질의 확산을 예측하기 위한 대기오염확산모델은 결정론적 모델이며, 확산계산을 하는 이론적인 방법에 따른 각 모델의 특징은 다음과 같다.

<표 1> 계산과정에 따른 대기오염확산모델의 분류

대기오염확산모델	주요특징
Gaussian Plume Model	Gaussian Plume Equation
Gaussian Puff Model	Gaussian Puff Eqation
Box Model	Mass Budget Equation in the box
Trajectory Model	Lagrangian Coordinate
Photochemical Grid Model	Eulerian Coordiate

가. 가우시안 플룸모델(Gaussian Plume Model)

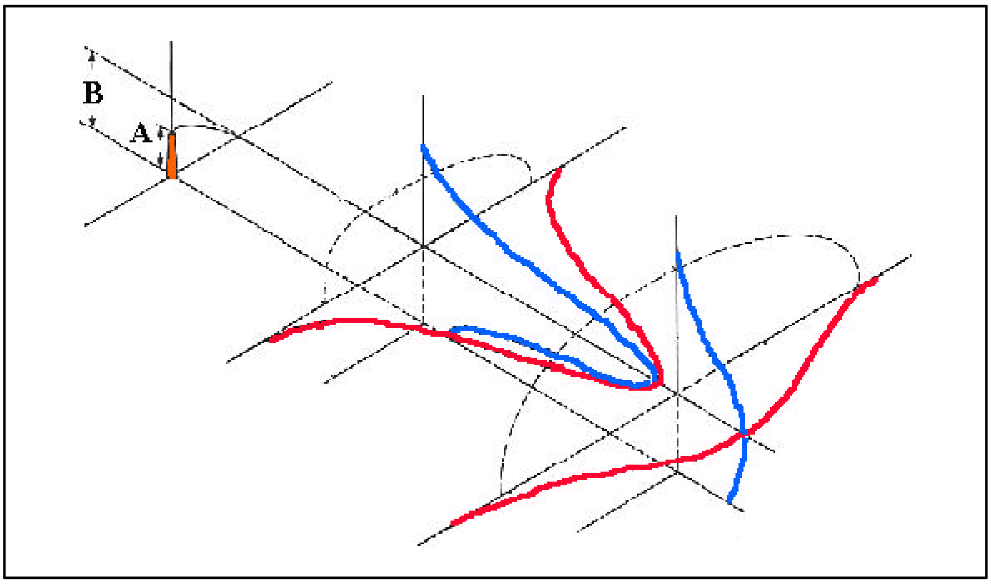
가우시안 플룸모델(gaussian plume model)은 굴뚝에서 배출된 오염물질의 농도 분포가 가우시안 분포(gaussian distribution)를 이룬다고 가정한 정상상태 모델로서 연기의 지표반사와 혼합층 상부에서의 반사를 고려한다.

플룸모델에서 모델의 정확도를 좌우하는 중요한 요소는 플룸의 수평확산폭(σ_y) 및 연직환산폭(σ_z)이며 대기안정도와 풍하거리의 함수로부터 구하는 Pasquill-Gifford방법(Turner, 1964)을 이용한다. 대기안정도는 보통 풍속과 일사량 또는 운량으로부터 구하는 Pasquill 안정도계급(Pasquill, 1961)을 사용한다.

플룸 확산폭을 구하는 다른 방법으로서 풍향의 변동성분을 직접 이용하

는 방법(Hanna et al., 1977)이 있으며, 이 경우에는 해당 지역에서의 바람의 실측 자료를 이용하는 것이므로 지역특성을 잘 반영할 수 있다.

가우시안 모델은 오염원에서 배출된 오염물질은 장시간으로 보면 종모양(bell shape)을 하는 정규분포(normal distribution)를 이루며 대기 중에서 확산되는 것으로 가정하는데 이를 모식도로 나타내면 다음과 같다.



<그림 1> 가우시안 플륨모델의 모식도

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \cdot u \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \cdot \left\{\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Z+H}{\sigma_z}\right)^2\right]\right\}$$

상기 수식이 가우시안 모델의 대표식이 되며 여기에서 약간의 변형을 가하여 연구목적에 부합하는 여러 형태의 모델들이 나오게 된다.

이 모델은 배출량과 기상조건이 시간에 따라 변화하지 않는 정상상태(steady state)를 가정하며 화학반응을 고려하지 못하는 단점이 있으나 계산과정이 비교적 단순하여 계산량이 적고 입력자료도 비교적 간단하므로 사용이 용이한 장점이 있어 현재 가장 많이 이용되는 모델이다. 모델의 종류도 기간(장기와 단기), 지형(도시, 평탄지, 계곡), 배출원(발전소 등의 대규모 점원, 도시와 같은 면오염원, 도로와 같은 선오염원) 등에 따라 매우 다양한 모델이 개발되어 있다.

나. 퍼프모델(Puff model)

가우시안 퍼프모델(gaussian puff model)은 굴뚝에서 연속적으로 배출되는 연기를 작게 잘라서 각각의 연기덩어리(puff)를 이동, 확산시켜서 농도를 계산한 후 모든 연기덩어리의 농도를 종합하여 대상지역의 농도분포와 시간변화를 계산하는 모델로서 시간에 따른 풍향, 풍속의 변화와 풍향, 풍속의 지역차이를 고려할 수 있으며 시간에 따른 퍼프의 배출량변화도 고려할 수 있어 퍼프모델은 비정상상태모델로서 해륙풍 순환과 같은 풍향변화(비정상 상태)를 나타내는 지역에 유용한 모델이다.

다. 상자모델(Box model)

상자모델(box model)은 오염물질의 질량보존(mass conservation)에 기본을 둔 모델로서 상자 내의 농도는 균일하며 오염물질 배출원은 상자 내의 지표면에 균일하게 분포되어 있으며 오염배출물질은 배출과 동시에 전체상자내에 균일하게 혼합되고 상자내의 풍향, 풍속의 분포는 균일하다는 가정 하에 상자 내의 평균농도를 계산하는 모델이다.

라. 라그랑지안 모델(Lagrangian model)

라그랑지안모델(lagrangian model)은 라그란지안 좌표계(lagrangian coordinate)의 개념을 적용하여 좌표계의 원점을 공기의 움직임에 따라 이동시키면서 오염물질의 농도를 계산하는 모델로서 공기 중에서 배출되는 오염물질을 입자로 간주하여 입자의 위치를 추적하여 농도를 산출하는 입자확산모델(lagrangian particle dispersion model)과 공기덩어리를 움직여 가면서 그 공기덩어리 내의 농도를 계산하는 이동격자모델(moving cell model)이 있다.

마. 비가우시안 분석모델(Non-Gaussian Analytic Models)

비가우시안 분석모델은 대기오염농도 확산식인 K이론에서 출발하며, 가우시안 모델이 갖는 많은 가정을 완화시켜서 개발한 대기오염확산모델로서 대기권의 바람에 의한 전단(shear)과 대기안정도(stability)에 따라 수직방향에 있어서는 현저한 이질적(heterogeneous)인 대류의 성격을 고려할 수 있는 모델이다.

바. 수치모델(Numerical Models)

대기오염물질의 질량보존방정식에서 유도된 대기질 확산의 일반식은 기존의 방법으로는 해를 구할 수 없어 유한차 분석을 이용하여 확산식의 해를 구할 수 있다. 즉 확산방정식에 대하여 시간을 종속변수로 하여 3차원적 유한차 분석을 하면 전체방정식을 완전하게 풀 수 있다. 이처럼 대기질 확산식을 수식적으로 완전하게 풀어 오염물질의 농도분포를 추적해 나가는 모델이 수치모델(numerical models)이다.

3. ISCST3 모델의 개요

TSP, SO_2 등의 비반응성 물질을 대상으로 하는 대기오염확산모델은 사용 목적에 따라 여러가지 종류가 있으나 대기중에서의 화학반응이 비교적 느려서 시간에 따른 농도변화가 크지 않은 물질에 대하여 단기 및 장기간에 걸친 평균 농도를 구하는 기후학적 모델로서는 가우시안 풀륨모델이 일반적으로 널리 쓰이고 있다.

미국 NTIS(national technical information service)에서 1973년 PTMAX, PTDIS, PTMTP, APRAC, CDM, HIWAY의 6개모델을 UNAMAP Version 1으로 보급하였으며, 이후 모델의 추가, 제외, 수정, 보완 등을 통해 UNAMAP Version 6이 발표되었으며, 이중 대기오염 규제에 우선적으로 이용할 수 있는 모델을 추천(referred air quality model)하고 있으며, 이중 ISCST3 모델이 포함되어 있다.

<표 2> UNAMAP 추천모델의 비교

Model	Source Type[1)]	Land Use[2)]	Terrain[3)]	Meterogical data[4)]	Chemical decay	Remark
BLP	L	rural	simple	short	linear	
CALINE-3	L	u/r	simple	short	non	
CDMQC	P, A	urban	flat	long	harf-time	
RAM	P, A	urban	simple	short	harf-time	
ISCST	P, A	u/r	simple	short	harf-time	down wash
ISCLT	P, A	u/r	simple	long	harf-time	
MPTER	P	u/r	rollian	short	harf-time	
CRSTER	P	u/r	simple	short	harf-time	
UAM	P, A, L	-	-	short	numerical	numerical

1) L : Line, P : Point, A : Area　　　2) u : urban, r : rural
3) flat : no terrain adjustment, simple : by receptor height, rolling : by terrain adjustment factor
4) short : houry data, long : meterological joint frequency function

ISCST모델은 steady-state gaussian plume 모델로서 CRSTER(1977)를 근간으로 개발되어 Version 1이 배포된 후 지속적으로 수정, 보완되고 있으며, 미국 EPA에서 추천하고 있는 모델(preferred model)로서 정상상태를 가정하는 가우시안 플룸식을 기본으로 한다.

ISCST모델은 매시간별 기상자료를 이용하여 1시간 및 24시간등의 오염물질 단기농도를 계산할 수 있으며 기상입력자료에 따라 월, 계절, 연평균등의 오염물질 장기농도를 동시에 구할 수 있는 특성을 가지고 있다. 또한, 지형의 영향을 고려하기 위한 방법으로 연돌고보다 낮은 지형을 고려할 때는 Simple terrain 방법을, 연돌고보다 높은 지형을 고려할 때는 Complex Terrian 방법을 사용한다.

ISCST3 모델은 물질의 배출원에 따른 대기질 모델링에 있어 다양한 범위의 선택사항을 가지고 있으며, 그 개요는 다음과 같다.

가. 확산옵션

ISCST3 모델은 굴뚝 끝에서의 down - wash, buoyancy - induced dispersion, final plume rise, 정온상태에 대한 처리과정 사용, 풍속의 지수법칙과 수직 온위차에 대한 default 값 사용, 폭 넓은 빌딩에 의한 building down - wash의 영향을 받는 오염원을 추정하기 위하여 upper - bound 농도 등의 사용이 가능하다.

나. 발생원 옵션

ISCST3 모델은 점, 면, 부피 및 노천발생원을 포함하여 다양한 오염원의 취급이 가능하며, 선오염원은 입체오염원의 연속 또는 면오염원의 연장으로 모델링이 수행된다. 모델을 실행할 때 source group의 각 오염원별 기여도를

지정할 수 있다. 한편, 점오염원의 배출에 있어 근처 빌딩에 의한 down - wash효과 및 거대입자의 침강과 제거(건성침적을 통한)효과를 모델링하기 위한 algorithm을 포함하고 있다.

ISCST3 모델은 1977년 CRSTER를 기초로 1979년 ISCST1, 1989년 ISCST2, 1995년 ISCST3 모델로 개량되었으며, ISCST2 모델까지는 면오염원이 고려되지 못했으나, ISCST3 모델로 개량되면서 예측점의 좌표체계를 극좌표계에서 격자좌표계로 변환하면서 ISCST 모델에 면오염원을 적용할 수 있게 되었다.(ISCST3 사용자지침서, 1999)

다. 수용점 옵션

ISCST3 모델은 receptor location의 지정에 있어 상당한 유연성을 갖는다. 모델링시 다양한 receptor network의 지정이 가능하고 격자좌표계를 이용하여 수용점을 격자로 사용이 가능하다.

라. 기상옵션

ISCST3 모델은 원하는 기간만큼의 시간별 기상자료(풍향, 풍속, 기온, 혼합고, 대기안정도)를 작성하여 사용한다.

마. 출력옵션

ISCST3 모델의 기본적인 출력형태는 평균화시간과 source group별 receptor에 대한 최고치 요약, 각 날의 평균화시간과 source group별 receptor에 대한 값을 표로 작성된다.

CRSTER(1977) → ISCST1(1979) → ISCST2(1989) → ISCST3(1995)

AQDM, CDM → ISCLT1(1979) → ISCLT2(1989) → ISCLT3(1995)

AQDM, CDM → CDMQC → CDM2(1985)

ISCST2(1989) ← input format change(1992) → ISCLT2(1989)

<그림 2> ISC모델의 변천과정

4. ISCST3 모델의 계산과정

ISCST3 모델의 기본방정식 및 계산알고리즘에 포함된 주요 고려사항들은 다음과 같다.

가. Gaussian 확산방정식

좌표가 x, y인 지점에 대하여 매시간의 지상에서의 농도 C는

$$C(x,y) = \frac{Q\,K\,V\,D}{2\pi\, u\, \sigma_y\, \sigma_z} \exp\{-\frac{1}{2}[\frac{y}{\sigma_y}]^2\}$$

여기서 Q : 오염물질 배출률(g/sec)

K : 단위 환산계수(default값에서는 $\mu g/m^3$)

V : vertical term으로 deposition, 중력침강, 지형 등을 고려

D : decay term으로 오염물질의 반감기를 고려하는 항

y : 평균풍향으로 수평, 직각방향으로 떨어진 거리(m)

u : 평균 풍속(m/sec)

σ_y, σ_z : 연기의 수평, 수직 확산계수(m)

나. 수직 · 수평 확산계수

연기의 수평확산폭(σ_y)과 수직확산폭(σ_z)을 결정하기 위하여 이용되는 항으로 sector average equation을 이용하기 때문에 σ_y는 사용하지 않는다.

다. Briggs연기 상승식

이 알고리즘은 vertical term에서 계산이 이루어지며, 특히 모델 실행시 Schulman과 Scire의 building down-wash 방법을 이용할 경우에는 초기 plume의 희석으로 인하여 연기상승 고도가 낮아지게 된다.

유효굴뚝높이는 방출되는 연기의 온도와 속도에 의존하여 이것에 의하여

부력과 운동량, 즉 flux가 결정되는데 다음의 2가지 항에 의한다.

$$F_m = (\frac{T_a}{T_s})\frac{V_s^2\ d^2}{4} \Rightarrow \text{momentum flux term}$$

$$F_b = (\frac{T_s - T_a}{T_s})\frac{g\ V_s\ d^2}{4} \Rightarrow \text{buoyancy flux term}$$

여기서 Ta : 대기의 온도(K)　　　Ts : 배출가스 온도(K)

Vs : 연기의 배출속도(m/sec)

d : 굴뚝상부 내경(m)　　　g : 중력가속도(9.8m/sec^2)

라. 고도별 풍속 계산식

보통 기상대에서 관측된 고도(Z_0)의 풍속(u_0)으로 굴뚝높이에서의 풍속(u)과 연기상승고도(Z)에 따른 풍속을 알기 위해서는 고도 및 안정도에 따라 지수적으로 변하는 풍속을 계산하는 풍속의 지수법칙을 사용한다.

$$u = u_0 \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^p$$

상기식의 p는 대기안정도의 함수로 결정되며, 도시와 시골지역의 값은 다음과 같이 결정되어진다.

<표 3> 대기안정도 함수

대기안정도	시골지역	도시지역
A	0.07	0.15
B	0.07	0.15
C	0.10	0.20
D	0.15	0.25
E	0.35	0.30
F	0.55	0.30

마. 오염물질의 감쇄

물리적 또는 화학적으로 제거되는 오염물질을 단순한 방법으로 설명하기 위해 다음과 같은 알고리즘을 이용한다.

$$\text{Decay term} = \exp\left(-\Psi \frac{x}{u}\right)$$

여기서 Ψ : 감쇄계수(decay coefficient = 0.693 / $T_{1/2}$)

$T_{1/2}$: 오염물질의 반감기(half life(sec^{-1}))

바. 지형고려식

ISCST3 모델은 굴뚝 높이까지의 지형을 고려할 수 있는 rolling terrain모델로서 지면과 연기중심과의 거리에서 receptor의 높이와 굴뚝 바닥 높이간의 차이만큼을 빼주어 농도를 계산한다.

$$H' = H + Z_S - Z_{(x,y)}$$

여기서 H' : modified plume stabilization height

H : 유효굴뚝고도($h + \Delta h$) Z_s : 굴뚝 바닥의 해발고도

$Z_{(x,y)}$: receptor 위치의 해발고도

사. Building wake effect

건물외형에 의한 영향은 Huber와 Snyder가 풍동을 이용한 실험을 통하여 건물로 인한 난류와 확산을 설명한 이후로 Schulman과 Scire에 의해 발전되었으며, ISCST3 모델에서는 굴뚝의 높이가 건물 높이의 1.5배보다도 작을 경우에는 Schulman과 Scire의 방법을 이용하여 대부분 Huber와 Snyder의 알고리즘을 이용한다.

5. ISCST3 모델의 오염원 형태와 입력형식

ISCST3 모델에서는 점, 체적, 면, 노천오염원의 4가지 형태의 고려가 가능하며, 본 절에서는 ISCST3 모델의 개발의 기본 초가 된 점오염원과 본 연구의 대상으로 한 면오염원의 입력형식과 차이점은 다음과 같다.

가. 점오염원 입력

점오염원 알고리즘은 다른 오염원의 종류와 마찬가지로 굴뚝이나 단독 배출원으로부터의 방출을 기초로 오염물질의 확산을 예측하는데 사용된다.

형식 : SO SRCPARAM Srcid Ptemis Stkhgt Stktmp Stkvel Stkdia
여기서, Ptemis : 점오염물질 배출율(g/sec) Stkhgt : 지면위 방출높이(m) Stktmp : 굴뚝가스 방출온도(K) Stkvel : 굴뚝가스 방출속도(m/sec) Stkdia : 굴뚝내경(m)

나. 면오염원 입력

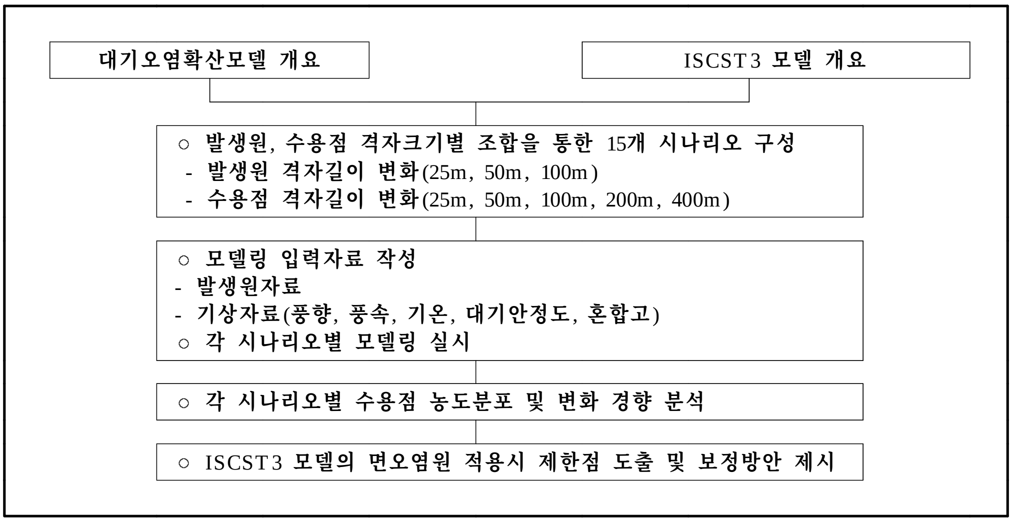
면오염원 알고리즘은 오염물질 방출시 plume 상승이 없는 저위방출을 기초로 오염물질의 확산을 예측하는데 사용된다.

형식 : SO SRCPARAM Srcid Aremis Relhgt Xinit Yzinit Angle Szinit
여기서, Aremis : 면오염물질 배출율(g/sec-m^2) Relhgt : 지면위 방출높이(m) Xinit : 면의 X축 길이(m) Yzinit : 면의 Y축 길이(m) Angle : 굴뚝가스 방출속도의 방향각(°) Szinit : 면오염원 plume의 초기 수직크기(m)

Ⅲ. 연구내용 및 방법

1. 연구내용

본 연구는 대기오염확산모델의 근간이 되고 있는 Gaussian plume model 및 이를 기초로 개발된 ISCST3 모델의 이론적 배경, 계산과정, 모델의 장·단점 등 이론적 배경의 검토과정을 거쳐 Gaussian plume model인 ISCST3 모델의 기본적 특성을 파악하고, 격자크기에 따른 수용점 농도의 변화양상을 파악하기 위해 발생원 및 수용점 격자크기를 달리한 15개 시나리오를 구성하여 각 시나리오별 모델링을 수행한 후 발생원 및 수용점 격자크기의 변화에 따른 수용점 농도 분포의 변화를 분석하고, 이를 통해 나타나는 ISCST3 모델의 면오염원 적용시 격자크기에 따른 제한점을 도출하고 이에 대한 개선방안을 도출하고자 한다.



<그림 3> 연구의 틀

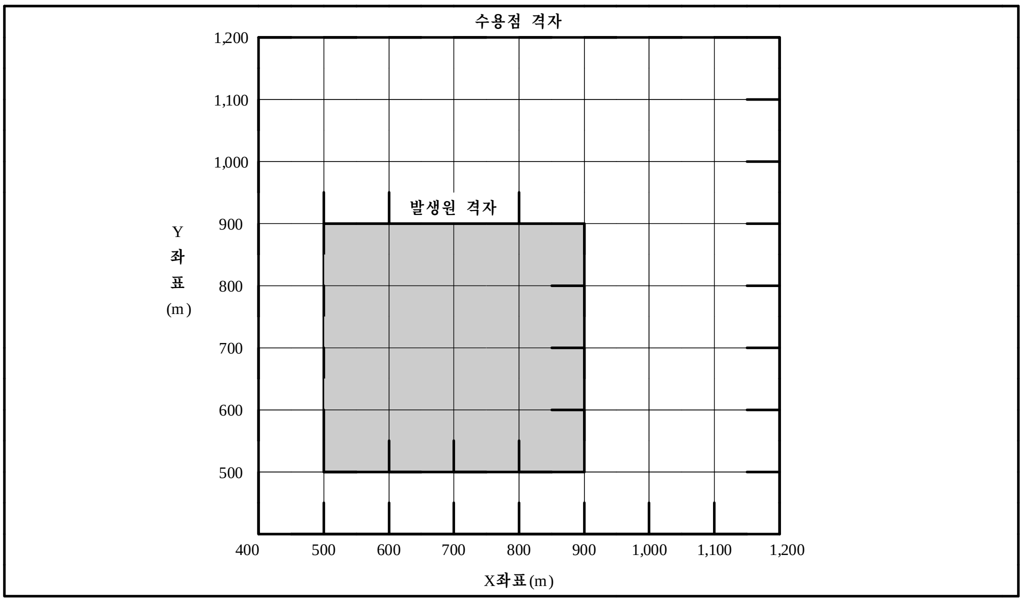
2. 연구방법

가. 시나리오의 구성

연구에서는 ISCST3 모델을 이용하여 면오염원에서 발생되는 오염물질의 예측시 입력 자료중 발생원 격자크기 변화와 수용점 격자크기의 변화에 따른 경우의 수를 교차 조합하여 총 15개의 시나리오를 구성하였다.

<표 4> 각 시나리오의 구성

구 분	발생원 격자길이(m)	수용점 격자크기(m)	비 고
시나리오 Ⅰ	25	25	
시나리오 Ⅱ	25	50	
시나리오 Ⅲ	25	100	
시나리오 Ⅳ	25	200	
시나리오 Ⅴ	25	400	
시나리오 Ⅵ	50	25	
시나리오 Ⅶ	50	50	
시나리오 Ⅷ	50	100	
시나리오 Ⅸ	50	200	
시나리오 Ⅹ	50	400	
시나리오 XI	100	25	
시나리오 XII	100	50	
시나리오 XIII	100	100	
시나리오 XIV	100	200	
시나리오 XV	100	400	



<그림 4> 시나리오별 격자구성(시나리오 XIII)

나. 모델링 입력자료의 결정

ISCST3 모델을 이용한 각 시나리오별 모델링시 필요한 입력자료는 여러 가지 경우의 수를 고려할 수 있으나, 격자크기 변화에 따른 대기오염물질 확산의 일반적 특성을 도출하기 위해 문헌조사와 예비모델링을 병행하여 입력자료를 결정하였다.

예비모델링은 입력변수 결정을 위해 다른 입력변수를 고정하고 결정하고자하는 변수의 입력값을 변화시켜 나타나는 착지농도를 통해 적절한 입력변수를 결정하였다.

상기 과정을 통해 오염물질 발생구역, 오염물질 배출량자료, 풍속, 기온, 대기안정도, 혼합고 등의 기상자료 등 입력자료를 결정하였다.

(1) 오염물질 발생구역

오염물질 발생구역은 400×400m 구역으로 동일하게 설정하였으며, 발생원 격자크기가 25×25m인 시나리오 I V은 총 256개(16×16개) 격자, 발생원 격자크기가 50×50m인 시나리오 VI X은 총 64개(8×8개), 발생원 격자크기가 100×100m인 시나리오 XI XV은 총 16개(4×4개) 격자로 구성하여 시나리오별 총 오염물질 발생구역은 400×400m가 되도록 결정하였다.

<표 5> 총 오염물질 발생구역

구 분	발생원 격자길이(m)	발생원 격자수(개)	오염물질 발생구역(m)
시나리오 I V	25	256	400×400
시나리오 VI X	50	64	400×400
시나리오 XI XV	100	16	400×400

(2) 배출량 자료

오염물질 발생구역에서 발생되는 오염물질 총량은 16g/sec로 가정하여 각 발생원 격자에서 균일하게 발생되는 것으로 가정하였다.

<표 6> 총 오염물질 발생량

구 분	총 오염물질 발생량(g/sec)	발생원 격자수(개)	발생원 격자별 오염물질 발생량(g/sec)
시나리오 I V	16	256	0.0625
시나리오 VI X	16	64	0.2500
시나리오 XI XV	16	16	1.0000

(3) 기상자료

풍향, 풍속, 혼합고, 대기안정도, 기온 등의 자료는 기상연보, 기존 연구자료 등의 문헌조사자료 및 각 기상자료를 변화시킨 예비모델링 자료 등을 통해 결정하였다.

(가) 풍향

다른 조건을 고정한 예비 모델링에서 북, 동, 남풍을 적용하였을 경우도 풍하방향으로 유사한 모델링 결과를 나타내었으며, 지형적, 계절적 영향을 배제하기 위해 편서풍 지역을 가정하여 서풍(W)을 모델링 입력자료로 설정하였다.

(나) 풍속

다른 조건을 고정한 예비 모델링 결과 풍속의 변화에 의해 풍하방향 착지농도의 변화가 심한 것으로 나타나 풍속의 산정이 매우 중요한 것으로 나타났으며, 풍속은 해안지역, 산악지역 등 지형적, 지역적 조건에 따라 편차가 심한 점을 고려하여 우리나라의 중부지역으로 전형적인 내륙지방의 특성을 나타내는 대전지역의 연 평균 풍속인 1.6m/sec를 모델링 입력자료로 설정하였다.

(다) 혼합고

예비 모델링 결과 혼합고의 변화에 따른 오염물질 착지농도 변화는 미약하였으며, 적용자료는 우리나라의 지역별 혼합고에 대한 자료인 “전국 지역별 대기관리에 관한 연구“에 제시되어 있는 서울, 부산, 강릉, 대구, 울산, 광

주, 제천, 대전, 포항, 마산, 여천지역의 혼합고 자료의 평균값인 1,222m를 모델링 입력자료로 설정하였다.

(라) 대기안정도

대기안정도는 안정조건시 대기오염물질의 확산에 불리하며, 불안정 조건시 대기오염물질이 확산이 활발하여 대기오염물질의 착지농도가 낮아지는 경향이 있으나, 예비 모델링 결과 대기안정도의 변화에 따른 오염물질 착지농도변화는 미약한 것으로 나타나 특이상황을 배제하기 위해 대기오염물질 확산현상을 잘 표현되는 중립등급(D)을 모델링시 입력자료로 설정하였다.

(마) 기온

예비 모델링 결과 기온의 변화에 따른 오염물질 착지농도 변화는 미약하였으며, 적용자료는 해안성기후, 내륙성기후 등 지역적인 편차를 배제하기 위해 우리나라의 중부지역으로 전형적인 내륙지방의 특성을 나타내는 대전지역의 연 평균 기온 12.6℃를 모델링 입력자료로 설정하였다.

<표 7> 모델링 입력자료

구 분	입력자료	비 고
오염물질 발생구역	400×400m	시나리오별 총 발생구역 동일
오염물질 발생량	16.0g/sec	각 발생원 격자별 발생량은 균일
풍향	서풍(W)	편서풍지대 일반값 적용
풍속	1.6m/sec	대전지역 연 평균 풍속
혼합고	1,222m	11개도시 혼합고 평균값
대기안정도	중립등급(D)	일반적 기상등급 적용
기온	12.6℃	대전지역 연평균 기온

다. 시나리오별 수용점 농도분포 및 변화 분석

상기 제시한 입력자료를 적용하여 각 시나리오별 모델링을 수행하였으며, 시나리오별 착지농도를 발생원 및 수용점 격자별로 정리하여 시나리오별 착지농도의 상관관계를 분석하였으며, 수용점 격자크기에 따른 착지농도의 비교를 위해 수용점 격자크기별로 동일 면적당 착지농도를 비교하였다.

라. ISCST3 모델의 제한점 및 개선방안 제시

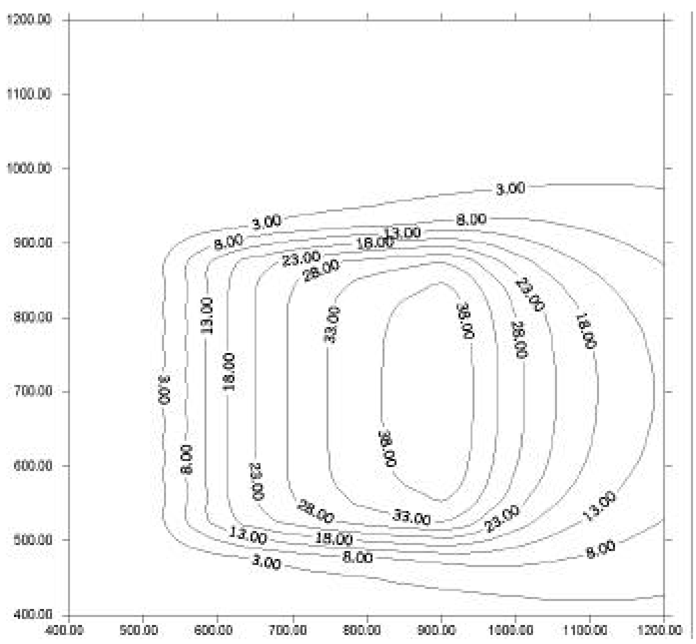
동일 면적에서 나타나는 착지농도를 수용점의 격자크기가 가장 세분화된 시나리오 Ⅰ, Ⅵ, Ⅺ(수용점 격자크기 25×25m)를 기준으로 상대적으로 수용점 격자크기가 큰 시나리오의 착지농도 비교를 위해 동일면적에서의 착지농도를 비교하였으며, 이를 통해 나타난 격자크기에 따른 특성도출을 통해 ISCST3 모델의 면오염원 적용시의 제한점을 확인하고 개선방안으로 격자크기에 따른 수용점 농도를 보정할 수 있는 방안을 제시하였으며, 격자크기에 따른 보정방안의 객관성 확보를 위해 보정방안의 기초가된 시나리오별 착지농도간의 상관관계 분석을 시행하였다.

Ⅳ. 연 구 결 과

1. 시나리오별 착지농도의 비교 · 분석

발생원 및 수용점 격자크기를 달리한 15개 시나리오의 모델링 결과를 착지점의 좌표와 함께 최고 착지농도를 비롯한 상위 10개 농도를 함께 정리하여 시나리오별 모델링 수행결과의 일반적 특성을 분석하였으며, 각 시나리오별 착지농도는 부록 1. 시나리오별 모델링 수행결과에 제시하였다.

또한, 시나리오 Ⅰ의 모델링 수행 등농도곡선 표현 예를 제시하여 풍향, 풍속 등 모델링 입력조건에 따른 확산경향을 파악하였다.



<그림 5> 시나리오Ⅰ 모델링 수행 등농도 곡선 표현 예

가. 발생원 격자크기와 착지농도관계 분석

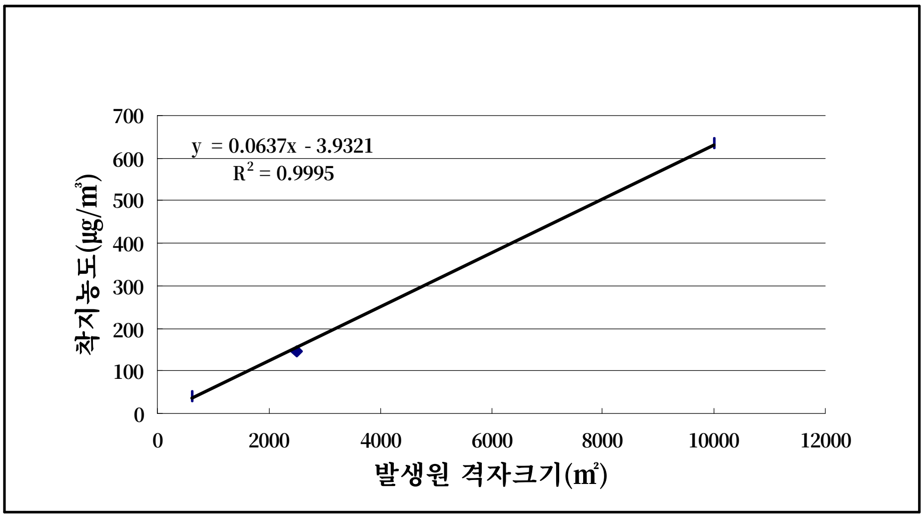
(1) 발생원 격자크기와 착지농도와의 관계

발생격자의 크기를 25×25m로 고정한 시나리오 Ⅰ Ⅴ의 착지농도가 상대적으로 발생원 격자크기를 크게 설정한 시나리오 Ⅵ Ⅹ(발생원 격자크기 50×50m), 시나리오 Ⅺ ⅩⅤ(발생원 격자크기 100×100m)에 비해 적게 나타나 발생원 격자크기를 크게 설정할 경우 착지농도가 격자크기에 비례하는 것으로 나타났다.

또한, 시나리오별 격자크기가 동일한 시나리오 Ⅰ Ⅴ, Ⅵ Ⅹ, Ⅺ ⅩⅤ의 격자크기과 착지농도와의 상관관계 분석결과 격자크기에 따른 착지농도는 비례하여 증가하는 것으로 나타났으며, 상관도를 나타내는 r^2의 값이 0.9995로 높은 상관도를 나타내었다.

<표 8> 발생원 격자크기별 착지농도

구 분	격자면적(㎡)	최대 착지농도 (㎍/㎥)	비 고
시나리오 Ⅰ Ⅴ	625	41.94767	25m×25m
시나리오 Ⅵ Ⅹ	2,500	147.61996	50m×50m
시나리오 Ⅺ ⅩⅤ	10,000	634.24324	100m×100m



<그림 6> **발생원 격자크기와 최대 착지농도의 관계**

(2) 발생원 격자크기와 착지농도와의 관계(단위 면적당 착지농도 보정후)

격자크기와 최대착지농도 간에는 비례관계가 성립하였으나, 동일 발생격자에서의 착지농도를 파악하기 위해 발생원 격자크기가 동일한 시나리오 Ⅰ Ⅲ, Ⅳ Ⅵ, Ⅶ Ⅸ의 착지농도를 격자면적으로 나눈 단위 면적당 착지농도 산정결과 각 시나리오별 최대 착지농도는 유사한 값으로 나타났다.

<표 9> **단위 면적당 오염물질 착지농도**

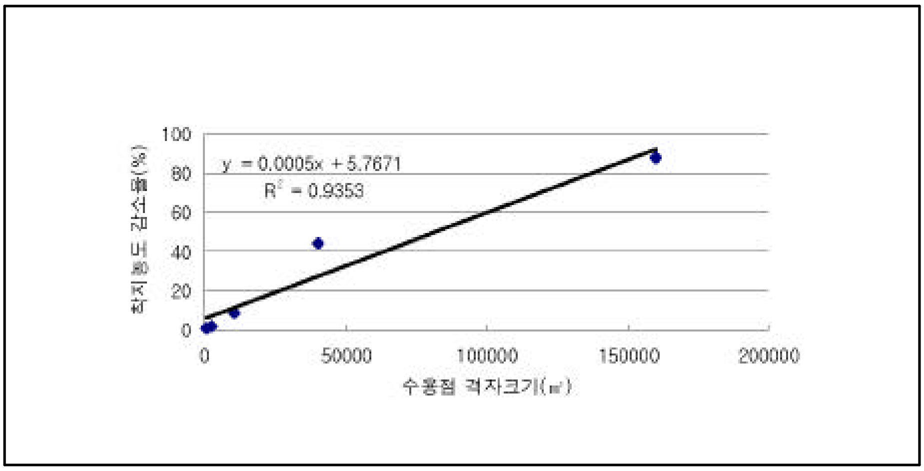
구분	최대 착지농도 (μg/㎥)	발생원 격자크기(㎡)	단위 면적당 착지농도(μg/㎥/㎡)	비 고
시나리오 Ⅰ Ⅲ	41.94767	625	0.067116	
시나리오 Ⅳ Ⅵ	147.61996	2,500	0.060605	
시나리오 Ⅶ Ⅸ	634.24324	10,000	0.065581	

나. 수용점 격자크기와 착지농도 감소율과의 관계

수용점 격자크기가 25×25m인 시나리오 Ⅰ, Ⅵ, Ⅺ의 경우, 수용점 격자크기가 상대적으로 크게 설정된 시나리오 Ⅱ, Ⅶ, Ⅻ, (수용점 격자크기 50×50m)와 그 외 수용점 격자크기가 큰 시나리오간의 수용점 격자크기와 최대 착지농도로부터 착지농도 감소율과의 상관관계 분석결과 수용점 격자크기가 작을수록 수용점 격자크기가 상대적으로 큰 경우에 비해 최대 착지농도에서 하위 착지농도로의 감소율이 적은 것으로 나타났다.

<표 10> 수용점 격자크기별 착지농도의 감소율

수용점 격자크기	해당 시나리오	착지농도 감소율 (%)	평균 감소율 (%)	비 고
25×25m	시나리오 Ⅰ 시나리오 Ⅵ 시나리오 Ⅺ	0.294 0.674 0.776	0.581	
50×50m	시나리오 Ⅱ 시나리오 Ⅶ 시나리오 Ⅻ	0.822 2.567 2.288	1.8923	
100×100m	시나리오 Ⅲ 시나리오 Ⅷ 시나리오 XIII	3.910 9.525 13.332	8.9223	
200×200m	시나리오 Ⅳ 시나리오 Ⅸ 시나리오 XIV	25.230 54.930 53.039	44.3996	
400×400m	시나리오 Ⅴ 시나리오 Ⅹ 시나리오 XV	66.062 99.350 99.349	88.2536	



<그림 7> 수용점 격자크기와 착지농도 감소율과의 관계

2. 동일 면적당 착지농도의 비교

시나리오별 최대 착지농도 분석결과 발생원 격자크기의 변화에 따라 착지농도 값의 변화가 있어 발생원 격자크기 조건이 동일한 시나리오별(Ⅰ Ⅴ, Ⅵ Ⅹ, Ⅺ ⅩⅤ) 모델링 수행결과의 비교를 위해 각 시나리오별 착지농도를 격자크기를 100×100m로 통일하여 동일 면적내 오염물질 농도를 수용점의 격자가 세분화된 경우(수용점 격자크기 25×25m)와 상대적으로 그렇지 못한 경우(수용점 격자크기 50×50m, 100×100m, 200×200m, 400×400m)의 동일 면적당 오염물질 농도를 비교하였다.

가. 오염물질 농도 비교조건의 통일

발생원 격자크기가 동일하고 수용점 격자크기가 서로 다른 시나리오의 동일 면적내 오염물질 농도를 비교하기 위해 격자크기를 100×100m으로 오염물질 농도를 정리하였다.

가장 세분화된 수용점 격자(25×25m)를 가지는 시나리오 Ⅰ, Ⅵ, Ⅺ을 기준으로 상대적으로 수용점 격자크기가 큰 시나리오 Ⅱ, Ⅶ, Ⅻ(수용점 격자크기 50×50m), 시나리오 Ⅲ, Ⅷ, ⅩⅢ(수용점 격자크기 100×100m), 시나리오 Ⅳ, Ⅸ, ⅩⅣ(수용점 격자크기 200×200m), 시나리오 Ⅴ, Ⅹ, ⅩⅤ(수용점 격자크기 400×400m)의 동일 면적당 착지농도를 비교하였으며, 시나리오별 동일 면적당 착지농도는 부록3. 시나리오별 동일 면적당 착지농도에 제시하였다.

나. 동일 면적내 오염물질 농도 비교

동일 면적당 오염물질 농도 비교결과 수용점 격자크기가 가장 세분화된 시나리오 Ⅰ, Ⅵ, Ⅺ(수용점 격자크기 25×25m)의 수용점 농도가 수용점 격자크기가 큰 시나리오의 수용점 농도에 비해 다소 낮게 나타났으며, 이를 수용점 격자크기별로 정리한 결과 수용점 격자크기가 50×50m인 시나리오 Ⅱ, Ⅶ, Ⅻ의 경우 수용점 격자크기 25×25m인 경우에 비해 수용점 수용점 농도가 1.42%가 가중되는 것으로 나타났으며, 시나리오 Ⅲ, Ⅷ, XIII(수용점 격자크기 100×100m)의 경우 5.03%, 시나리오 Ⅳ, Ⅸ, XIV(수용점 격자크기 200×200m)의 경우 12.78%, 시나리오 Ⅴ, Ⅹ, XV(수용점 격자크기 400×400m)의 경우 80.58% 수용점 농도가 가중되어 나타났다.

<표 11> 시나리오별 오염물질 예측농도 및 가중율 비교

구분	수용점 격자크기	예측농도	오염물질가중 분율(%)	비고
시나리오Ⅰ	25×25m	10.7991	-	시나리오Ⅰ 착지농도 기준
시나리오Ⅱ	50×50m	10.9902	1.77	
시나리오Ⅲ	100×100m	11.3365	4.98	
시나리오Ⅳ	200×200m	11.6479	7.86	
시나리오Ⅴ	400×400m	12.6304	16.96	
시나리오Ⅵ	25×25m	14.4433	-	시나리오Ⅵ 착지농도 기준
시나리오Ⅶ	50×50m	14.5422	0.69	
시나리오Ⅷ	100×100m	15.1381	4.81	
시나리오Ⅸ	200×200m	17.1541	18.77	
시나리오Ⅹ	400×400m	36.3206	151.47	
시나리오Ⅺ	25×25m	83.8206	-	시나리오Ⅺ 착지농도 기준
시나리오Ⅻ	50×50m	85.3221	1.79	
시나리오XIII	100×100m	88.2717	5.31	
시나리오XIV	200×200m	93.6355	11.71	
시나리오XV	400×400m	145.2769	73.32	

<표 12> 수용점 격자크기별 오염물질 가중율 비교

수용점 격자크기	시나리오	오염물질 가중율(%)	평균 가중율 (%)	비고
25×25m	시나리오Ⅰ	-	-	수용점 격자크기가 가장 세분화된 25×25m의 시나리오를 기준으로 가중율을 산정
	시나리오Ⅵ	-		
	시나리오Ⅺ	-		
50×50m	시나리오Ⅱ	1.77	1.42	
	시나리오Ⅶ	0.69		
	시나리오Ⅻ	1.79		
100×100m	시나리오Ⅲ	4.98	5.03	
	시나리오Ⅷ	4.81		
	시나리오XIII	5.31		
200×200m	시나리오Ⅳ	7.86	12.78	
	시나리오Ⅸ	18.77		
	시나리오XIV	11.71		
400×400m	시나리오Ⅴ	16.96	80.58	
	시나리오Ⅹ	151.47		
	시나리오XV	73.32		

<표 13> 시나리오간 착지농도의 상관관계

X 축	Y 축	r^2
시나리오Ⅰ 착지농도	시나리오Ⅱ 착지농도	0.9911
시나리오Ⅰ 착지농도	시나리오Ⅲ 착지농도	0.9359
시나리오Ⅰ 착지농도	시나리오Ⅳ 착지농도	0.7851
시나리오Ⅰ 착지농도	시나리오Ⅴ 착지농도	0.2973
시나리오Ⅱ 착지농도	시나리오Ⅲ 착지농도	0.9728
시나리오Ⅱ 착지농도	시나리오Ⅳ 착지농도	0.8297
시나리오Ⅱ 착지농도	시나리오Ⅴ 착지농도	0.3640
시나리오Ⅲ 착지농도	시나리오Ⅳ 착지농도	0.8777
시나리오Ⅲ 착지농도	시나리오Ⅴ 착지농도	0.4884
시나리오Ⅳ 착지농도	시나리오Ⅴ 착지농도	0.6655
시나리오Ⅵ 착지농도	시나리오Ⅶ 착지농도	0.9967
시나리오Ⅵ 착지농도	시나리오Ⅷ 착지농도	0.9645
시나리오Ⅵ 착지농도	시나리오Ⅸ 착지농도	0.7136
시나리오Ⅵ 착지농도	시나리오Ⅹ 착지농도	0.0001
시나리오Ⅶ 착지농도	시나리오Ⅷ 착지농도	0.9814
시나리오Ⅶ 착지농도	시나리오Ⅸ 착지농도	0.7408
시나리오Ⅶ 착지농도	시나리오Ⅹ 착지농도	0.0028
시나리오Ⅷ 착지농도	시나리오Ⅸ 착지농도	0.8188
시나리오Ⅷ 착지농도	시나리오Ⅹ 착지농도	0.0201
시나리오Ⅸ 착지농도	시나리오Ⅹ 착지농도	0.1440
시나리오XI 착지농도	시나리오XII 착지농도	0.9928
시나리오XI 착지농도	시나리오 XIII 착지농도	0.9385
시나리오XI 착지농도	시나리오 XIV 착지농도	0.4071
시나리오XI 착지농도	시나리오 XV 착지농도	0.0226
시나리오XII 착지농도	시나리오 XIII 착지농도	0.9704
시나리오XII 착지농도	시나리오 XIV 착지농도	0.4627
시나리오XII 착지농도	시나리오 XV 착지농도	0.0395
시나리오 XIII 착지농도	시나리오 XIV 착지농도	0.5256
시나리오 XIII 착지농도	시나리오 XV 착지농도	0.0604
시나리오 XIV 착지농도	시나리오 XV 착지농도	0.6852

3. 수용점 농도 가중율에 따른 적정 수용점 크기 결정

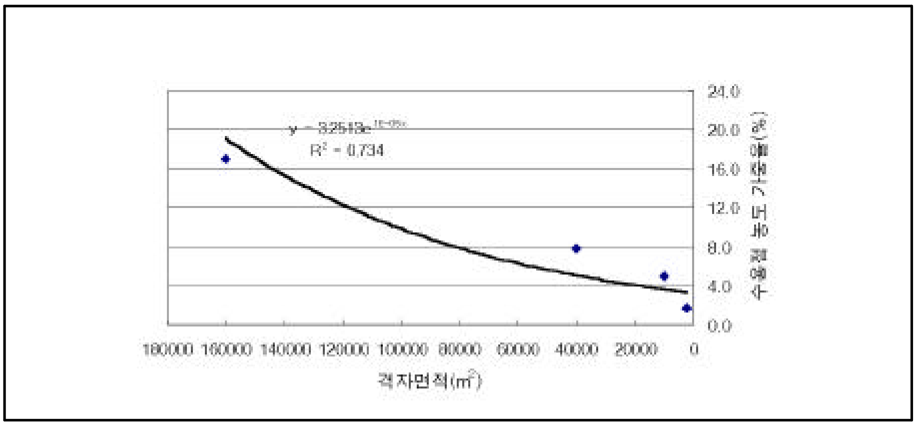
동일 면적당 오염물질 농도 비교결과 수용점 격자크기가 커질수록 수용점 농도가 가중됨이 확인되어 수용점 격자크기와 가중율과의 관계분석을 통해 적정 수용점 격자크기를 도출하였다.

<표 14> 수용점 격자크기별 가중율 비교

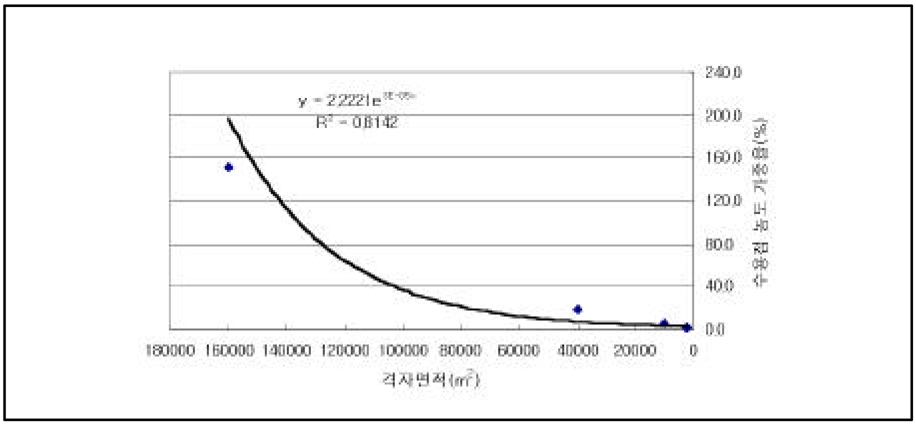
구분	수용점 격자크기	오염물질가중 분율(%)	비고
시나리오Ⅱ	50×50m	1.77	시나리오Ⅰ (25×25m) 착지농도 기준
시나리오Ⅲ	100×100m	4.98	
시나리오Ⅳ	200×200m	10.26	
시나리오Ⅴ	400×400m	16.96	
시나리오Ⅶ	50×50m	0.69	시나리오Ⅵ (25×25m) 착지농도 기준
시나리오Ⅷ	100×100m	4.81	
시나리오Ⅸ	200×200m	18.77	
시나리오Ⅹ	400×400m	151.47	
시나리오Ⅻ	50×50m	1.79	시나리오Ⅺ (25×25m) 착지농도 기준
시나리오XIII	100×100m	5.31	
시나리오XIV	200×200m	11.71	
시나리오XV	400×400m	73.32	

수용점 격자크기와 오염물질 가중농도와의 관계를 분석한 결과 수용점 격자크기가 작아질수록 가중율이 작아지는 것으로 나타났다.

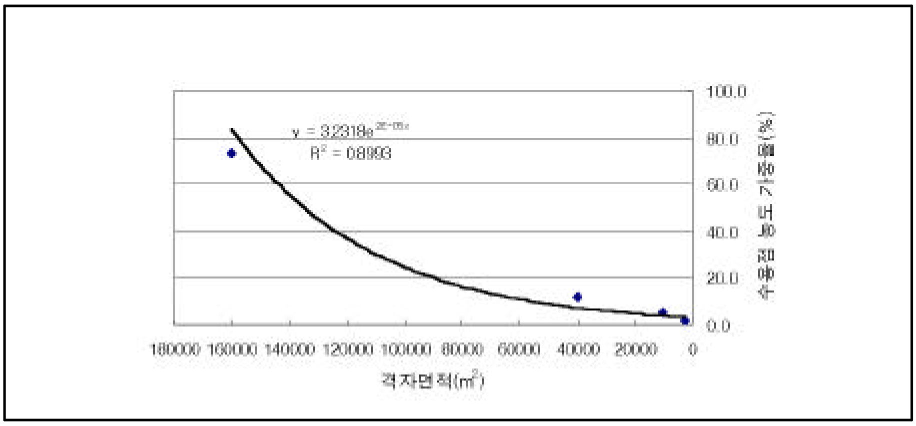
또한, 발생원 격자크기가 다른 세가지 경우의 수용점 격자크기에 따른 수용점 농도 가중율과의 상관관계 분석결과 지수형으로 수용점 농도 가중율이 감소하는 경향을 나타내었으며, 상관관계 그래프 분석결과 수용점 격자크기를 200×200m이하로 설정하여 모델링을 수행할 경우 수용점 격자크기 변화에 따른 수용점 농도 오차를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.



<그림 8> **수용점 격자크기와 동일면적농도 감소율과의 관계(시나리오 I 기준)**



<그림 9> **수용점 격자크기와 동일면적농도 감소율과의 관계(시나리오VI기준)**



<그림 10> **수용점 격자크기와 동일면적농도 감소율과의 관계(시나리오XI기준)**

Ⅴ. 고 찰

대기오염물질에 대한 발생에서부터 소멸까지 전과정에 대한 추적을 통해 적합한 해결책을 모색하기 위한 방안으로 대기오염확산모델의 활용이 보편화되고 있으며, 이에 발맞추어 대기오염확산모델의 개발 및 개량이 꾸준히 이루어지고 있으나, 급증하고 있는 대기오염확산모델 적용실적에 비해 대기오염확산모델의 개선노력은 이에 미치지 못하고 있는 실정이다.

ISCST3 모델을 이용한 대기오염물질의 확산농도의 예측에는 모델의 적합성을 판단하기 이전에 입력자료에 대한 불확실성이 검토되어야 실제농도에 가까운 농도를 산출할 수 있으며(탁종석, 1997), 대기질 예측시 입력변수의 정확한 도출을 위해서는 배출량자료의 전국적인 데이터베이스시스템 구축과 함께 상층기상자료에 대한 관측시설이 요구된다(배성정, 1999).

이러한 대기오염예측시 불확실성을 개선하기 위해 본 연구에서는 ISCST3 모델을 대상으로 시나리오를 작성하고 모델링 결과분석을 통해 모델의 제한점을 확인하고, 이에 대한 개선방안을 제시함으로써 향후 ISCST3 모델을 이용한 대기질 확산예측시 보다 정확한 예측방안 모색하고자 하였다.

시나리오별 모델링 결과를 수용점 격자크기별로 분석한 결과 수용점 격자크기가 작을 경우 상대적으로 수용점 격자크기가 큰 경우에 비해 최대 착지농도에서 하위 착지농도로의 감소율이 작은 것으로 나타났는데, 이는 수용점 격자를 세분화할 경우 최대 착지지점 주변에 위치하는 수용격자의 수가 상대적으로 많기 때문으로 면오염원을 고려한 대기오염물질의 확산예측에는 수용점 격자크기를 세분화하여 설정할 경우 최대 착지지점을 비롯한 주변지역의 정확한 모사가 가능할 것으로 나타났다.

수용점 격자크기에 따른 착지농도의 비교를 위해 동일면적당 오염물질농도를 비교한 결과 수용점 격자크기가 커지면 동일면적에서 나타나는 오염물질 농도가 높아지는 경향을 나타냈으며, 수용점 격자크기별 오염물질 농도 비교결과 가장 작은 격자의 착지농도를 기준으로 격자크기 2배 크게 설정시 1.42%, 4배시 5.03%, 8배시 13.58%, 16배 크게 설정시 80.58% 오염물질농도가 가중되어 나타났다.

이러한 결과는 수용점을 격자로 설정하는 경우에 나타나는 문제점으로서 수용점의 농도는 수용점 격자 중심부의 농도를 대표하여 나타나는데 수용점의 크기가 커질수록 오염물질농도를 대표하게 되는 면적이 증가하게 되어 수용점 격자 중앙의 값이 격자 끝단의 오염물질농도까지를 고려하지 못하기 때문으로 판단된다.

수용점 격자크기와 수용점 농도 가중율의 상관관계 분석결과 수용점 격자크기의 감소에 따라 오염물질 가중율이 지수형으로 감소하는 비슷한 경향으로 나타났으며, 상관관계 그래프 분석결과 수용점 격자크기 200×200m이하로 설정하여 모델링을 실시할 경우 수용점 격자크기를 다르게 설정할 경우 나타나는 오차를 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

ISCST3 모델을 이용하여 가우시안 플륨모델의 면오염원 적용시 도출된 제한점을 통한 ISCST3 모델을 이용한 예측결과의 정확성을 도모하기 위한 개선방안은 다음과 같이 나타났다.

먼저, 수용점 격자 설정시 ISCST3 모델이 가지는 한계내에서 수용점 격자수를 가능한 많게 설정하여 모델링을 수행할 경우 수용점 격자 중앙과 끝단의 예측치의 편차를 최소화할 수 있어 더욱 정확한 모델링을 도모할 수 있을 것으로 판단된다.

그러나, 모델이 가지는 한계내에서 격자수를 최대한 많게 설정하였으나, 수용점 격자수의 한계(1,200개)로 인해 수용점 격자수를 충분히 작게 설정하지 못하였을 경우 수용점 격자크기와 오염물질 가중율 사이의 관계를 통해 이에 대한 보정이 가능할 것으로 판단된다.

수용점 격자크기에 따른 오염물질 가중율(a)을 통한 수용점 농도 보정은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$C' = C \cdot \left(\frac{100}{100 + a}\right)$$

여기서 C' : 보정농도
C : 수용점 착지농도
a : 격자크기에 따른 수용점 농도 가중율(%)

동일 면적에서의 오염물질 농도가 일치해야 함을 감안할 수용점에서 오염물질농도 가중율이 10%를 초과하여 나타나는 경우에는 수용점 착지농도 보정 과정에서 오차요인으로 작용하므로 가중율이 10%이상인 경우는 배제하는 것이 타당할 것으로 판단되며, 상기 시나리오별 오염물질 가중율을 통해 산정된 수용점 농도 보정 분율은 수용점 격자크기 1/2 축소시, 0.986 수용점 격자길이 1/4 축소시 0.951로 산정되었다.

수용점 격자크기에 따른 오염물질의 가중율을 통해 산정된 보정 분율의 검증을 위해 상기 가중율 산출의 근거가 된 시나리오별 착지농도의 상관관계분석 결과 수용점 격자크기가 25×25m인 경우와 수용점 격자크기가 50×50m 경우간의 r^2값은 0.9916 0.9967로 나타났으며, 수용점 격자크기가 25×25m인 경우와 수용점 격자크기가 100×100m인 경우간의 0.9704 0.9814로 상관관계가 매우 높은 것으로 나타나 동일면적에서 오염물질 농도 가중율의

적용이 가능할 것으로 판단된다.

그러나, 모델링을 수행하는 구역이 도시, 국가 등으로 광범위 할 경우 수용점 격자를 충분히 세분화하지 못하게 되므로 수용점 격자를 세분화하지 못했을 경우 수용점에서 오염물질 농도가 가중되어 나타나는 문제점에 발생될 수 있으나, 도시, 국가 규모 모델링의 수행 목적은 일정지역의 착지농도를 산출하기보다는 대기오염물질의 확산 경향을 파악하는데 그 목적이 있으므로 광범위한 규모의 모델링에는 이러한 문제점의 적용이 적절하지 않을 것으로 판단된다.

또한, 본 연구에서는 제시한 수용점 농도의 보정분율은 발생원, 수용점 격자크기를 임의로 결정한 15개의 시나리오를 통해 산정된 분율로서 조건변화에 따라 보종분율이 변화하는 문제점이 발생되며, 이러한 문제점은 향후 여러 가지 경우에 적용하여 보정분율 산정하여 보정 factor로 일반화 할 경우 일정조건에서 적용되는 보정분율의 문제점을 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 모델링 입력자료를 가정하여 모델링을 실시하고 수용점 격자크기레 따라 동일면적에서 나타나는 오염물질이 농도 변화가 있음을 확인하였으며, 이러한 오차를 줄이기 위해서는 수용점 격자크기를 세분화하는 방안과 수용점 격자크기를 충분히 세분화하지 못하였을 경우 수용점 격자를 세분화한 모델링과 유사한 결과로 보정을 위한 보정방법을 제시하였다는 점에서 중요한 의미를 갖는다고 할 수 있으며, 나아가 ISCST3 모델이 아닌 다른 모델의 제한점 및 개선방안 연구에 적용할 경우 대기오염확산모델의 제한점 및 개선에 중요한 의미를 가진다고 판단된다.

Ⅵ. 결 론

ISCST3 모델은 Gaussian plume equation을 기초로 개발되어 극좌표계에서 격자좌표계를 도입하는 등 개량과정을 통해 면오염원의 적용이 가능하게 되었으나, 모델의 한계로 인해 면오염원 적용시 격자크기에 따라 수용점 농도 오차 발생의 문제점을 확인하고, 이에 대한 개선방안 제시를 통한 정확한 대기오염확산예측을 유도하고자 본 연구를 수행하였다.

본 연구는 결과도출을 위해 대기오염확산모델, ISCST3 모델의 개론, 시나리오 작성, 모델링 수행, 결과분석을 통해 ISCST3 모델의 제한점 도출, 개선방안 제시하고자 하였다.

본 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. ISCST3 모델을 면오염원에 적용한 모델링 결과 동일 구역내 오염물질 발생량을 동일하게 적용하더라도 발생원 격자크기가 큰 경우 착지농도가 높게 나타났다.

2. 발생원을 동일하게 고정하고 수용점 격자크기를 변화시킨 경우 수용점 격자크기가 커질 경우 최고 착지농도로부터 착지농도 감소율이 증가하는 것으로 나타났다.

3. 수용점 격자크기를 동일면적으로 통일한 후 수용점 농도를 비교한 결과 가장 세분화된 시나리오의 결과값을 기준으로 수용점 격자크기가 2배 큰 경우 1.42%, 4배 큰 경우 5.03%, 8배 큰 경우 13.58%, 16배 큰 경우 80.58% 오염물질농도가 가중되어 예측되어 수용점 격자크기가 큰 경우 동일 면적에

서 나타나는 오염물질 농도가 높게 예측되는 경향이 있는 것으로 나타났다.

4. 수용점 격자크기와 수용점 농도 가중율의 상관관계 분석결과 수용점 격자크기의 감소에 따라 오염물질 가중율이 지수형으로 감소하는 경향으로 나타났으며, 상관관계 그래프 분석결과 수용점 격자크기 200×200m이하로 설정하여 모델링을 실시할 경우 수용점 격자크기에 따라 나타나는 오차를 줄일 수 있을 것으로 나타났다.

5. ISCST3 모델의 면오염원 적용시에는 수용점 격자크기에 따라 수용점 농도가 가중되는 문제점의 해결을 위해서는 ISCST3 모델이 고려할 수 있는 한계(수용점 격자수 1,200개)에 내에서 수용점 격자수를 가능한 많게 설정할 경우 가장 정확한 예측이 가능한 것으로 나타났으며,

6. 수용점 격자수를 모델내 한계치에 근접하게 설정하였으나, 수용점 격자크기를 충분히 작게 하지 설정하지 못한 경우, 수용점 격자크기에 따른 오염물질의 가중율(a)를 통해 보정농도{$C' = C \cdot (\frac{100}{100+a})$}를 산정할 수 있으며, 이를 통하여 수용점 격자를 더욱 세분화하였을 때와 유사한 예측결과의 도출이 가능할 것으로 나타났다.

이상의 결과에서 나타난 바와 같이 면오염원을 적용한 대기오염 예측시에는 수용점 격자크기를 200×200m 이하로 설정하면서 수용점 격자수를 가능한 많게 설정하는 것이 바람직하며, 수용점 격자크기를 충분히 작게 설정하지 못하였을 경우 수용점 격자크기에 따른 오염물질 가중율을 통해 수용점 농도의 보정이 가능할 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

국립환경연구원 환경연수부. 대기모델링반. 1999

김도원. 대기확산 모델의 감응도 분석에 관한 연구. 서울대학교 대학원. 1987.

김황룡, TCM-2와 CDMQC를 이용한 대기오염도 추계에 관한 연구-아황산가스와 총부유분진을 중심으로-. 연세대학교 보건대학원. 1994. 6

류인석. ISC3모델을 이용한 대전 공단지역의 대기질 평가. 충남대학교 대학원. 1997. 10

문인수. 도시 대기질 모델(ISC와 CDM2)의 상호 비교연구. 서울산업대학교 산업대학원. 1999.

박룡. 대기학산모델에서의 기상요소, 배출율, 지형등의 감응도 분석에 관한 연구-Texas Episodic Model 8와 Valley Model을 중심으로-. 1994. 2

배성정. 대기오염물질의 확산에 관한 민감도분석과 모델링. 부산대학교 대학원. 1999. 2

송동웅, 김원만. 장기예측모델의 정합도 분석에 관한 연구. 한국대기보전학회지. 1991;7(3):150-155

유병택. 대기오염모델의 민감도 분석에 관한 연구-PAL을 중심으로-. 연세대학교 대학원. 1986. 12

안상수. 대기오염에 미치는 기상인자의 영향- 광주광역시 충금동 지점을 중심으로-. 1995. 8

안효승. ISC3를 이용한 서울시 대기질 모델링. 서울산업대학교 사업대학원. 1998.

장영기, 송동웅. 국내 대기오염물델링의 현황과 과제. 한국대기보전학회지. 1995;11(1):1-14

정진희. 대기오염 단기예측모델의 정합도분석에 관한 연구-SBM, PEM, RAM모형을 대상으로-. 서울대학교 환경대학원. 1993. 2

최일경, 전의찬, 김정욱. 지형을 고려한 단기 대기확산모형의 평가에 관한 연구. 한국대기보전학회지. 1990;6(2);125-134

탁종석. ISC3모델에 의한 수도권지역의 동계 SO_2농도 산출. 강원대학교 대학원. 1996.

한국환경기술인회. ISC3 사용자 지침서. 한국환경기술인회보. 1999;4: 79-154

Hanna, S.R., G.A. Briggs et al. AMS-Workshop on stability classification schemes and sigma curves-summary of recommendatio
-ns. Bull, Atmosphric Meteorolgical soc. 1977

Neclear Regulatory Commission. Atmospheric dispersion modefs for potential accident consequence assessments at nuclear power plant Reg. 1979. U.S. NRC

Pasquill F. The estimation of the dispersion of windborne material. Meteorological magazine. 1961

Schere, K.L. and Demerjan. User's guide for the Photochemical Box Model(PBM). U.S. EPA. 1984

Turner. D.B., A diffusion stability model for an urban area, J. Climat and Applied Meteorology 1964 ; 3 : 83 91

User's Guide for the Industrial Source Complex(ISC3) dispeersion models Volume -30. U.S. EPA. OAQPS

User's Guide for the Industrial Source Complex(ISC3) dispeersion models Volume Ⅱ. U.S. EPA. OAQPS

부 록

1. 시나리오별 모델링 수행결과

<표 1> **시나리오 Ⅰ 모델링 수행결과**

구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)	구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)
1	900, 700	41.94767	6	900, 625	41.52953
2	900, 675	41.91387	7	900, 775	41.52952
3	900, 725	41.91386	8	900, 600	40.98926
4	900, 650	41.79473	9	900, 800	40.98925
5	900, 750	41.79472	10	875, 700	40.84735

<표 2> **시나리오 Ⅱ 모델링 수행결과**

구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)	구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)
1	900, 700	41.94767	6	850, 700	39.63202
2	900, 650	41.79473	7	850, 650	39.53363
3	900, 750	41.79472	8	850, 750	39.53363
4	900, 600	40.98926	9	850, 600	38.92047
5	900, 800	40.98925	10	850, 800	38.92046

<표 3> **시나리오 Ⅲ 모델링 수행결과**

구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)	구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)
1	900, 700	41.94767	6	800, 600	36.32032
2	900, 600	40.98926	7	1,000, 7000	29.49778
3	900, 800	40.98925	8	700, 700	28.81180
4	800, 700	38.78077	9	700, 800	28.73133
5	800, 800	36.32033	10	700, 600	28.73132

<표 4> **시나리오 Ⅳ 모델링 수행결과**

구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)	구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)
1	800, 800	36.32033	6	600, 800	15.84300
2	800, 600	36.32032	7	1,000, 1,000	1.63618
3	1000, 800	28.13009	8	1,000, 400	1.63617
4	1000, 600	28.13008	9	800, 1,000	0.47186
5	600, 600	15.84300	10	800, 400	0.47185

<표 5> **시나리오 Ⅴ 모델링 수행결과**

구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)	구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)
1	800, 800	36.32033	6	800, 400	0.47185
2	1,200, 800	10.84868	7	1,600, 1,200	0.18964
3	1,600, 800	2.37963	8	1,200, 1,200	0.05586
4	1,200, 400	2.08324	9	1,600, 1,600	0.00064
5	1,600, 400	1.04189	10	400, 400	0.00000

<표 6> **시나리오 Ⅵ 모델링 수행결과**

구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)	구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)
1	850, 825	151.51343	6	900, 850	146.06939
2	825, 800	148.84093	7	800, 800	145.28252
3	875, 850	147.75024	8	850, 850	144.18301
4	875, 825	147.62254	9	850, 800	142.84100
5	825, 825	147.51956	10	800, 775	142.54958

<표 7> **시나리오 Ⅶ 모델링 수행결과**

구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)	구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)
1	900, 850	146.06393	6	750, 750	132.87608
2	800, 800	145.28252	7	750, 800	131.99542
3	850, 850	144.18301	8	750, 850	124.61127
4	850, 800	142.84100	9	800, 750	115.58194
5	800, 850	135.63367	10	700, 750	115.23769

<표 8> **시나리오 Ⅷ 모델링 수행결과**

구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)	구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)
1	800, 800	145.28252	6	800, 900	73.58466
2	700, 700	115.23274	7	600, 700	63.37261
3	700, 800	114.92642	8	600, 800	63.37236
4	900, 800	98.18622	9	700, 900	57.62380
5	900, 900	84.08033	10	600, 600	57.37870

<표 9> **시나리오 Ⅸ 모델링 수행결과**

구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)	구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)
1	800, 800	145.28252	6	600, 400	0.00025
2	600, 800	63.37236	7	600, 1,000	0.00024
3	600, 600	57.37870	8	400, 400	0.00000
4	1,000, 1,000	6.54451	9	800, 400	0.00000
5	800, 1,000	1.88722	10	1,000, 400	0.00000

<표 10> **시나리오 Ⅹ 모델링 수행결과**

구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)	구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)
1	800, 800	1475.28252	6	1,200, 400	0.00000
2	1,200, 1,200	0.22351	7	1,600, 400	0.00000
3	1,600, 1600	0.00256	8	400, 800	0.00000
4	400, 400	0.00000	9	1,200, 800	0.00000
5	800, 400	0.00000	10	1,600, 800	0.00000

<표 11> **시나리오 Ⅺ 모델링 수행결과**

구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)	구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)
1	900, 800	655.81012	6	850, 775	629.52039
2	875, 775	647.88281	7	875, 825	624.21387
3	875, 800	640.17572	8	850, 800	622.74341
4	900, 825	638.62952	9	900, 775	615.89417
5	850, 750	632.41913	10	825, 750	611.36731

<표 12> **시나리오 Ⅻ 모델링 수행결과**

구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)	구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)
1	900, 800	655.81012	6	800, 800	581.10767
2	850, 750	632.41913	7	800, 700	578.76636
3	850, 800	622.74341	8	850, 850	576.73041
4	900, 850	603.90417	9	800, 850	542.55194
5	800, 750	587.69556	10	750, 700	531.78351

<표 13> **시나리오 XIII 모델링 수행결과**

구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)	구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)
1	800, 800	581.10767	6	600, 700	253.46550
2	800, 700	578.76636	7	600, 600	253.46370
3	700, 700	460.96771	8	600, 800	253.46368
4	700, 600	459.68103	9	700, 500	230.47115
5	700, 800	459.68103	10	600, 500	126.72011

<표 14> **시나리오 XIV 모델링 수행결과**

구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)	구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)
1	800, 800	581.10767	6	600, 400	0.00098
2	600, 600	235.64370	7	600, 1,000	0.00000
3	600, 800	253.46368	8	400, 400	0.00000
4	1,000, 1,000	26.17632	9	800, 400	0.00000
5	800, 1,000	7.54686	10	1,000, 400	0.00000

<표 15> **시나리오 XV 모델링 수행결과**

구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)	구분	착지점 (m, m)	착지농도 (㎍/㎥)
1	800, 800	581.10767	6	1,200, 400	0.00000
2	1,200, 1,200	0.89286	7	1,600, 400	0.00000
3	1,600, 1,600	0.01025	8	400, 800	0.00000
4	400, 400	0.00000	9	1,200, 800	0.00000
5	800, 400	0.00000	10	1,600, 800	0.00000

2. 시나리오별 동일 면적당 착지농도

<표 16> **시나리오 Ⅰ 동일 면적당 착지농도**

1,100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0063	0.0336	0.0904	0.1687
1,000	0.0000	0.0000	0.0034	0.0710	0.2845	0.6054	0.9496	1.2016
900	0.0000	0.6796	3.3604	5.9791	8.0543	8.9410	7.4126	5.6245
800	0.0000	0.2104	20.5349	30.0562	35.5599	33.8355	20.6608	12.5893
700	0.0000	0.2104	21.2426	32.0561	38.7953	37.9677	24.7340	15.7504
600	0.0000	0.2104	21.2395	32.0056	38.6332	37.6870	24.3671	15.3733
500	0.0000	1.4053	17.8825	26.0976	30.8656	29.3662	17.9489	11.0383
400	0.0000	0.0322	0.7081	2.0204	3.3599	4.4710	4.6976	4.0660
	400	500	600	700	800	900	1,000	1,100

<표 17> **시나리오 Ⅱ 동일 면적당 착지농도**

1,100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0069	0.0394	0.1072	0.1995
1,000	0.0000	0.0000	0.0028	0.0850	0.3548	0.7494	1.1626	1.4540
900	0.0000	0.8421	5.0410	8.5960	11.1853	12.2100	9.3496	6.7414
800	0.0000	3.5082	19.3495	30.1047	36.2987	36.7521	23.2269	14.0693
700	0.0000	3.5082	19.5147	31.0187	38.1692	39.4285	26.3001	16.7466
600	0.0000	3.5082	19.5118	30.9394	37.8762	38.8938	25.5810	15.9820
500	0.0000	2.5261	14.4737	22.4284	27.0465	27.4404	17.4210	10.7541
400	0.0000	0.0000	0.1651	0.9196	1.9330	2.8973	3.5385	3.4125
	400	500	600	700	800	900	1,000	1,100

<표 18> **시나리오 Ⅲ 동일 면적당 착지농도**

1,100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0057	0.0462	0.1380	0.2637
1,000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0805	0.4719	1.0498	1.6362	2.0617
900	0.0000	0.2456	7.9215	14.4059	18.3961	21.0200	14.8867	9.6242
800	0.0000	0.5401	25.8430	28.7313	36.3203	40.9893	28.1301	17.1643
700	0.0000	0.5401	25.8430	28.8118	36.7808	41.9477	29.4978	18.7243
600	0.0000	0.5401	25.8430	28.7313	36.3203	40.9893	28.1301	17.1643
500	0.0000	0.3470	7.9216	14.4059	18.3961	21.0200	14.8868	13.4205
400	0.0000	0.0000	0.0001	0.0804	0.4719	1.0498	1.6362	2.0617
	400	500	600	700	800	900	1,000	1,100

<표 19> **시나리오 IV 동일 면적당 착지농도**

1,100	0.00000	0.00000	0.00006	0.00006	3.12654	3.12654	7.21435	7.21435
1,000	0.00000	0.00000	0.00006	0.00006	3.12654	3.12654	7.21435	7.21435
900	0.00000	0.00000	20.46846	20.46846	36.32033	36.32033	28.13009	28.13009
800	0.00000	0.00000	20.46846	20.46846	36.32033	36.32033	28.13009	28.13009
700	0.00000	0.00000	20.46846	20.46846	36.32032	36.32032	28.13008	28.13008
600	0.00000	0.00000	20.46846	20.46846	36.32032	36.32032	28.13008	28.13008
500	0.00000	0.00000	0.00006	0.00006	3.12654	3.12654	7.21435	7.21435
400	0.00000	0.00000	0.00006	0.00006	3.12654	3.12654	7.21435	7.21435
	400	500	600	700	800	900	1,000	1,100

<표 20> **시나리오 V 동일 면적당 착지농도**

1,100	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	36.32033	36.32033	36.32033	36.32033
1,000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	36.32033	36.32033	36.32033	36.32033
900	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	36.32033	36.32033	36.32033	36.32033
800	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	36.32033	36.32033	36.32033	36.32033
700	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	14.20125	14.20125	14.20125	14.20125
600	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	14.20125	14.20125	14.20125	14.20125
500	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	14.20125	14.20125	14.20125	14.20125
400	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	14.20125	14.20125	14.20125	14.20125
	400	500	600	700	800	900	1,000	1,100

<표 21> **시나리오 VI 동일 면적당 착지농도**

1,100	0.0000	0.0205	0.0016	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1,000	0.0000	10.6096	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
900	0.0000	20.7186	49.7682	4.9356	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
800	0.0000	20.7186	84.9704	107.1674	38.1792	0.0000	0.0000	0.0000
700	0.0000	20.5899	82.1402	120.2256	138.3388	83.3099	6.1047	0.0000
600	0.0000	2.7185	13.4408	23.9157	32.2166	35.1891	17.6384	0.6883
500	0.0000	0.0000	0.0137	0.2838	1.1380	2.4215	3.7577	1.9502
400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0253	0.1347	0.3617	0.6749
	400	500	600	700	800	900	1,000	1,100

<표 22> **시나리오 Ⅶ 동일 면적당 착지농도**

1,100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0228	0.1847	0.5523	1.0549
1,000	0.0000	0.0000	0.0002	0.3214	1.8872	4.1991	6.5445	4.9406
900	0.0000	0.0000	31.6862	57.6238	73.5847	84.0803	45.4044	0.0000
800	0.0000	0.0000	63.3724	114.9264	145.2825	97.1862	0.0000	0.0000
700	0.0000	0.0000	63.3726	115.2327	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
600	0.0000	0.0000	57.3787	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
400	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	400	500	600	700	800	900	1,000	1,100

<표 23> **시나리오 Ⅷ 동일 면적당 착지농도**

1,100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0228	0.1847	0.5523	1.0549
1,000	0.0000	0.0000	0.0002	0.3214	1.8872	4.1991	6.5445	4.9406
900	0.0000	0.0000	31.6862	57.6238	73.5847	84.0803	45.4044	0.0000
800	0.0000	0.0000	63.3724	114.9264	145.2825	97.1862	0.0000	0.0000
700	0.0000	0.0000	63.3726	115.2327	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
600	0.0000	0.0000	57.3787	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
400	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	400	500	600	700	800	900	1,000	1,100

<표 24> **시나리오 Ⅸ 동일 면적당 착지농도**

1,100	0.0000	0.0000	0.0002	0.0002	1.8872	1.8872	0.0000	0.0000
1,000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0002	1.8872	1.8872	0.0000	0.0000
900	0.0000	0.0000	63.3724	63.3724	145.2825	145.2825	6.5445	6.5445
800	0.0000	0.0000	63.3724	63.3724	145.2825	145.2825	6.5445	6.5445
700	0.0000	0.0000	57.3787	57.3787	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
600	0.0000	0.0000	57.3787	57.3787	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
500	0.0000	0.0000	0.0003	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
400	0.0000	0.0000	0.0003	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	400	500	600	700	800	900	1,000	1,100

<표 25> **시나리오 Ⅹ 동일 면적당 착지농도**

1,100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	145.2825	145.2825	145.2825	145.2825
1,000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	145.2825	145.2825	145.2825	145.2825
900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	145.2825	145.2825	145.2825	145.2825
800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	145.2825	145.2825	145.2825	145.2825
700	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	400	500	600	700	800	900	1,000	1,100

<표 26> **시나리오 Ⅺ 동일 면적당 착지농도**

1,100	0.0000	0.5147	11.3276	13.8136	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1,000	0.0000	72.0008	286.1193	94.9320	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
900	0.0000	82.8749	339.8308	306.0661	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
800	0.0000	82.8750	339.8797	512.8971	465.1648	80.5982	0.0000	0.0000
700	0.0000	82.3602	328.5584	480.9053	568.9641	500.6397	91.7421	0.0000
600	0.0000	10.8741	53.7667	95.6639	128.8683	143.0562	112.8873	23.3621
500	0.0000	0.0000	0.0552	1.1371	4.5564	9.6923	15.2001	18.5403
400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0041	0.1014	0.5399	1.4487	2.7014
	400	500	600	700	800	900	1,000	1,100

<표 27> **시나리오 Ⅻ 동일 면적당 착지농도**

1,100	0.0000	0.0006	2.6407	8.7611	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1,000	0.0000	40.4186	231.5764	167.7665	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
900	0.0000	53.8924	312.1868	357.0369	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
800	0.0000	53.8925	312.2320	496.2985	449.7203	64.7064	0.0000	0.0000
700	0.0000	53.8918	309.5909	481.6807	580.7834	556.6679	84.9377	0.0000
600	0.0000	13.4738	80.6552	137.5330	178.9617	195.3580	144.6652	24.7163
500	0.0000	0.0000	0.0448	1.3581	5.6766	11.9899	18.6017	23.2481
400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0031	0.1105	0.6300	1.7135	3.1910
	400	500	600	700	800	900	1,000	1,100

<표 28> 시나리오 XIII 동일 면적당 착지농도

1,100	0.0000	0.0000	0.0010	1.2857	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1,000	0.0000	0.0000	126.7201	230.4712	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
900	0.0000	0.0000	253.4637	459.6810	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
800	0.0000	0.0000	253.4655	460.9677	578.7664	0.0000	0.0000	0.0000
700	0.0000	0.0000	253.4637	459.6810	581.1077	655.8101	0.0000	0.0000
600	0.0000	0.0000	126.7446	230.4956	294.3404	336.3220	238.1899	16.3616
500	0.0000	0.0000	0.0010	1.2857	7.5469	16.7956	26.1763	32.9862
400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0924	0.7391	2.2073	4.2178
	400	500	600	700	800	900	1,000	1,100

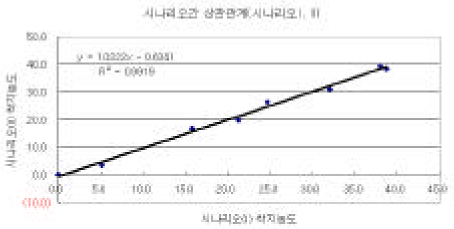
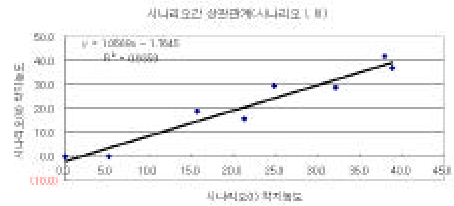
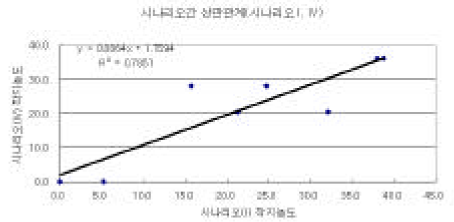
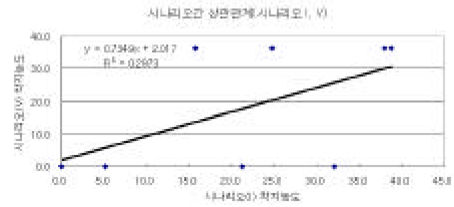
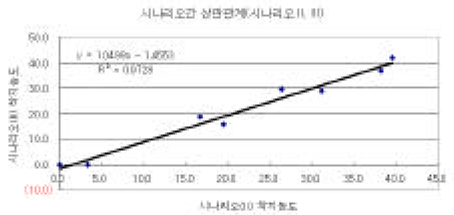
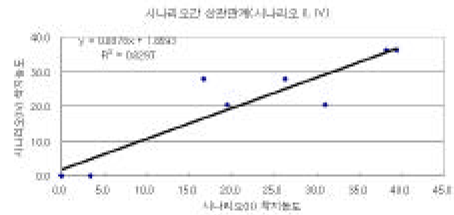
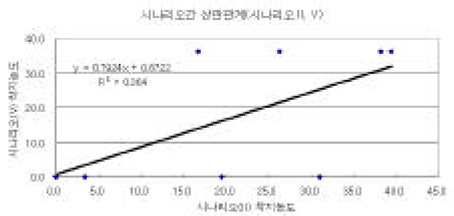
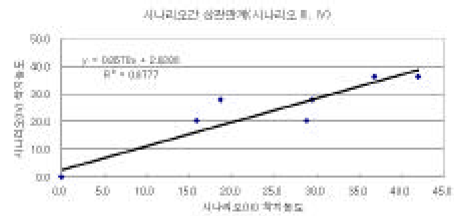
<표 29> 시나리오 XIV 동일 면적당 착지농도

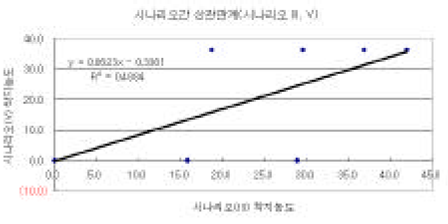
1,100	0.0000	0.0000	0.0010	0.0010	7.5469	7.5469	26.1763	26.1763
1,000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0010	7.5469	7.5469	26.1763	26.1763
900	0.0000	0.0000	112.1023	112.1023	581.1077	581.1077	253.4637	253.4637
800	0.0000	0.0000	112.1023	112.1023	581.1077	581.1077	253.4637	253.4637
700	0.0000	0.0000	112.1023	112.1023	152.2031	152.2031	253.4637	253.4637
600	0.0000	0.0000	112.1023	112.1023	152.2031	152.2031	253.4637	253.4637
500	0.0000	0.0000	0.0010	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
400	0.0000	0.0000	0.0010	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	400	500	600	700	800	900	1,000	1,100

<표 30> 시나리오 XV 동일 면적당 착지농도

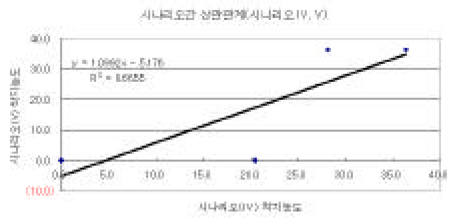
1,100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	581.1077	581.1077	581.1077	581.1077
1,000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	581.1077	581.1077	581.1077	581.1077
900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	581.1077	581.1077	581.1077	581.1077
800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	581.1077	581.1077	581.1077	581.1077
700	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	400	500	600	700	800	900	1,000	1,100

3. 시나리오간 상관관계 분석결과

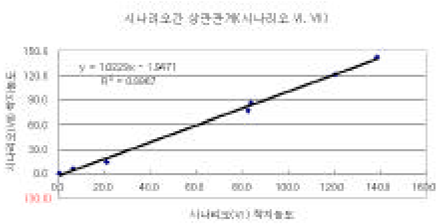
	
<그림 1> 시나리오 Ⅰ, Ⅱ 상관관계 분석	<그림 2> 시나리오 Ⅰ, Ⅲ 상관관계 분석
	
<그림 3> 시나리오 Ⅰ, Ⅳ 상관관계 분석	<그림 4> 시나리오 Ⅰ, Ⅴ 상관관계 분석
	
<그림 5> 시나리오 Ⅱ, Ⅲ 상관관계 분석	<그림 6> 시나리오 Ⅱ, Ⅳ 상관관계 분석
	
<그림 7> 시나리오 Ⅱ, Ⅴ 상관관계 분석	<그림 8> 시나리오 Ⅲ, Ⅳ 상관관계 분석



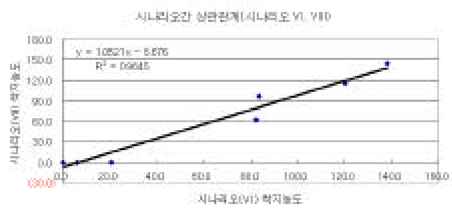
<그림 9> 시나리오 Ⅲ, Ⅴ 상관관계 분석



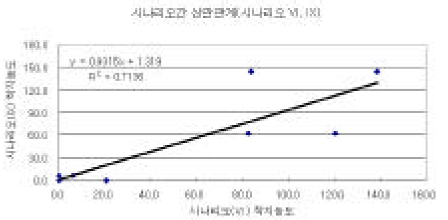
<그림 10> 시나리오 Ⅵ, Ⅴ 상관관계 분석



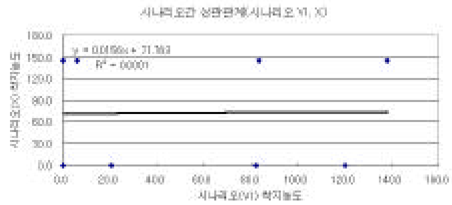
<그림 11> 시나리오 Ⅵ, Ⅶ 상관관계 분석



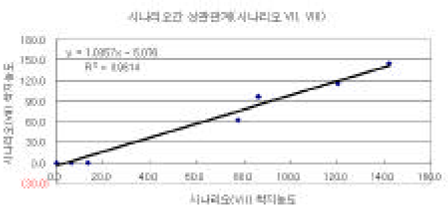
<그림 12> 시나리오 Ⅵ, Ⅷ 상관관계 분석



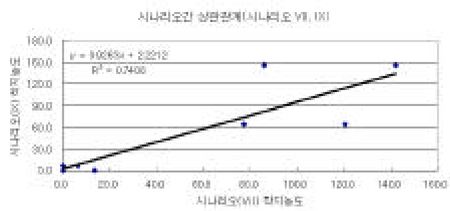
<그림 13> 시나리오 Ⅵ, Ⅸ 상관관계 분석



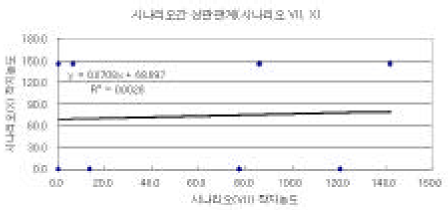
<그림 14> 시나리오 Ⅵ, Ⅹ 상관관계 분석



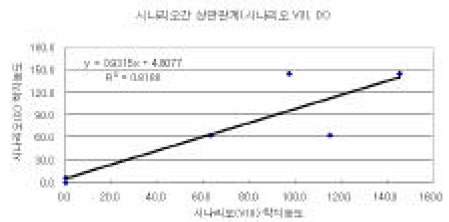
<그림 15> 시나리오 Ⅶ, Ⅷ 상관관계 분석



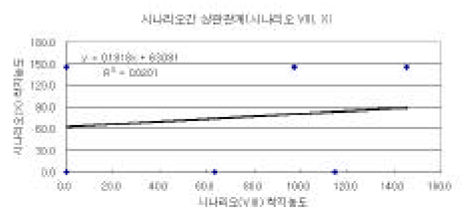
<그림 16> 시나리오 Ⅶ, Ⅸ 상관관계 분석



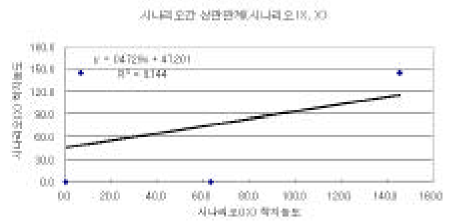
<그림 17> 시나리오 Ⅶ, Ⅹ 상관관계 분석



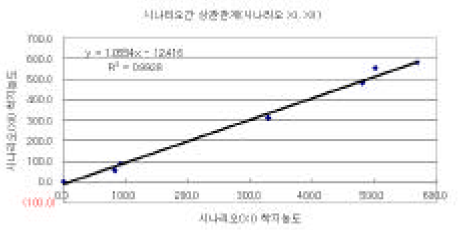
<그림 18> 시나리오 Ⅷ, Ⅸ 상관관계 분석



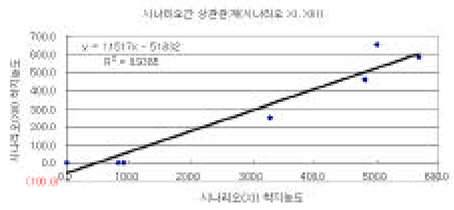
<그림 19> 시나리오 Ⅷ, Ⅹ 상관관계 분석



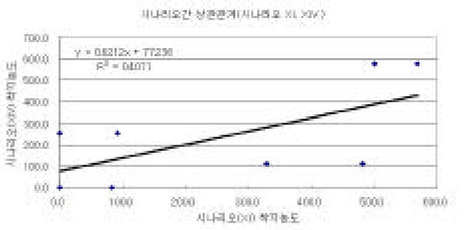
<그림 20> 시나리오 Ⅸ, Ⅹ 상관관계 분석



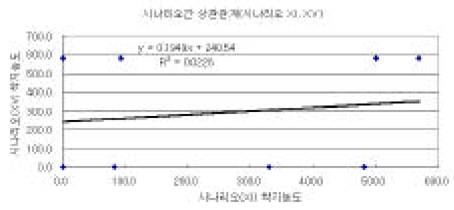
<그림 21> 시나리오 Ⅺ, Ⅻ 상관관계 분석



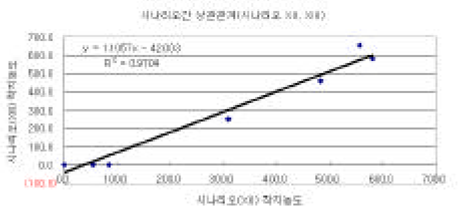
<그림 22> 시나리오 Ⅺ, XIII 상관관계 분석



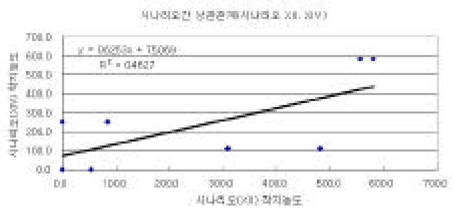
<그림 23> 시나리오 Ⅺ, XIV 상관관계 분석



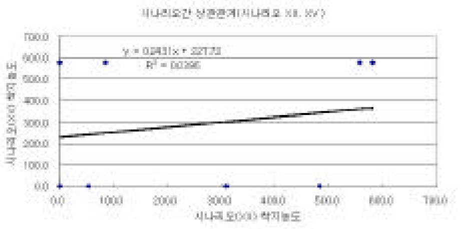
<그림 24> 시나리오 Ⅺ, XV 상관관계 분석



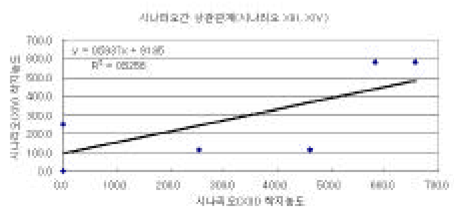
<그림 25> 시나리오 Ⅻ, XIII 상관관계 분석



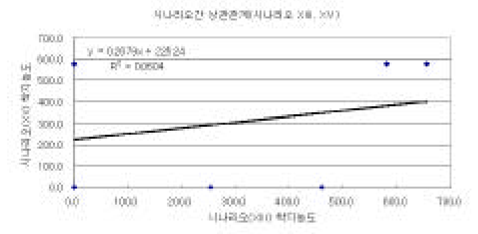
<그림 26> 시나리오 Ⅻ, XIV 상관관계 분석



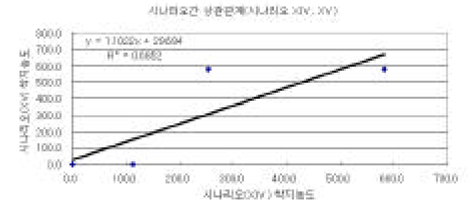
<그림 27> 시나리오 Ⅻ, XV 상관관계 분석



<그림 28> 시나리오 XIII, XIV 상관관계 분석



<그림 29> **시나리오 XIII, XV 상관관계 분석**



<그림 30> **시나리오 XIV, XV 상관관계 분석**

ABSTRACT

A Study on Receptor Concentration Distribution by Applying for Grid Size to ISCST3 Air Dispersion Model

Ki-chang Song
Dept. of Environmental Management
The Graduated School
Health Science & Management
Yonsei University

(Directed by Professor Yong Chung, Ph.D)

As the world becomes industrialized, the air pollution is taking on being complex and accumulation. Furthermore, as the population is concentrated on cities and large-scale industrial complexes are being built, air pollution is being accelerated. The significance emerges surrounding the forecasting on air pollutants dispersion using the air dispersion models.

We need to select optimum air dispersion models that fit the air pollution features, in comprehensive consideration of forecasting conditions and target pollutants, the kind of pollution sources, meteorological data, topographical data, etc. However, when we perform air pollution

forecasting, we have not given sufficient consideration to the limit and restriction of air dispersion distribution models, and then applied the models. Hence, we do not sufficiently take the air pollution characters into account.

Through this paper, this researcher seeks to identify the limit of the models and present measures for improving it, as he drafted scenarios against the ISCST3 model deemed to have superior forecasting ability to other models as prior researches revealed, performed modeling, analyzed the forecasting result distribution and change characteristics.

The author created a total of 15 scenarios by cross-combining three source grids with five receptor grids, and determined input variables through preliminary modeling.

As a result of the research, it was revealed that the larger the source grid size was set, the more the receptor concentration increased. In addition, when the author calculated the receptor concentration per unit area by dividing the largest receptor concentrator by the source grid area, it was revealed that the largest concentration according to the scenarios was similar.

The analysis of the receptor concentration per identical area by scenario revealed that, with the receptor grid size with 25×25m as the basis, the pollutants concentration increased 1.42% with the grid size of 50×50m, 5.03% with the size of 100×100m, 13.58% with 200×200m, and 80.58% with 400×400m, respectively.

The analysis of the receptor concentration decrease ratio according to the change in the receptor grid size revealed that in case the receptor grid size was set as small, the decrease ratio from the largest receptor concentration to lower concentration was reduced, and that in case we set the receptor grid size below 200×200m and perform modeling, we can reduce the error in the receptor concentration according to the receptor grid size.

When we forecast air pollutants dispersion applying asbestos pollution source, we can control and minimize the error in forecasting by maximizing the segmentation of the receptor grid size within the models limit and performing modeling. In case, with the forecasting scope extensive, we cannot sufficiently minimize the receptor grid size, and thus undergo the correction of the receptor concentration given the pollutants increase ratio according to the receptor grid size, we can induce forecasting results similar to those obtained when we have further segmented the receptor grid.

In case we apply above-presented methods for setting optimum receptor grid size, methods for segmenting the receptor grid size, and methods for correcting the receptor concentration to perform the air pollution forecasting, then we can improve the limit of models and forecast the air quality more accurately.

Keyword : Air dispersion model, ISCST3 model, receptor concentration