

## Industrial Source Complex Model을 이용한 3차원 모사에 관한 연구

임 동 연 · 김 성 빈 · 고 재 욱  
광운대학교 화학공학과  
(2000년 5월 24일 접수, 2000년 6월 18일 채택)

### A Study on the 3-Dimensional Simulation System using Industrial Source Complex Model

Dong Yun Lim · Sung Bin Kim · Jae Wook Ko  
*Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon University*  
(Received 24 May 2000 ; Accepted 18 June 2000)

#### 요 약

본 연구에서는 기존의 연구 개발된 다양한 확산모델의 비교 및 분석을 통하여 국내 석유화학시설에 적용하는 것이 적합하다고 판단되는 미국 EPA의 Industrial Source Complex(ISC)모델을 3차원 모사 대상으로 선정하여, 3차원 모사논리를 적용한 모사시스템을 개발하였다. 따라서 개발된 모사 시스템을 국내 화학산업시설에 적용할 경우, 정확한 사고피해 범위 예측과 더불어 화학산업시설의 비상조치계획 수립, 점화원 관리 등의 사고 예방 및 사고피해의 최소화 측면에서도 많은 부분 기여할 수 있을 것이다.

**Abstract** - This study compared and analyzed existing research on dispersion models and selected the EPA's Industrial Source Complex(ISC) model as a model suitable for the domestic petrochemical industry for 3-dimensional simulation and developed a simulation system applying 3-dimensional algorithm with this ISC dispersion model as a basis.

As a result of this study, the 3D dispersion model based on ISC can help estimate a exact accident damage zone, make a emergency plan and control a ignition source.

**Key words** : ISC, 3-dimensional dispersion, dispersion model

#### 1. 서 론

1960년대 이후 화학공업의 발달은 산업발전의 획기적인 전기가 되어 신흥공업국으로 발전하는데 중추적인 역할을 하였다. 그러나 각종 공정설비의 규모가 증가하고 유해한 화학물질의 사용이 크게 증가함에 따라 대형사고의 위험성도 증가하게 되었다. 또한 전 세계적으로도 화학산업시설이 노후화됨에 따라 막대

한 경제손실을 유발하는 화재, 폭발, 누출과 같은 유형의 중대재해 산업사고들은 끊임없이 발생하고 있으며, 이로 인한 공장의 손실은 물론 주변사회의 경제적, 인적 손실 또한 막대하고 있다.

따라서 이러한 대규모의 사고를 미연에 방지하기 위한 연구가 선진국을 중심으로 활발히 연구되고 있으며 사고가 발생하더라도 그 피해를 최소화 할 수 있는 비상대응구축에 대한 관심이 고조되고 있다.

비상대응구축을 수행하기 위한 요소 중에 많은 부분이 80년대 후반부터 연구가 꾸준히 진행되어 현재에는 그 신뢰도가 상당한 수준에 이르고 방법론 역시 다양하게 개발되고 있다. 그러나 확산모델의 적용부분에 대해서는 지금까지 괄목할 만한 성과가 나타나지 않고 있는데 이는 확산모델이 광범위한 연산을 수행해야 하기 때문에 연산속도가 빠른 디지털 컴퓨터가 필수적이기 때문이다.

그러나 90년대 중반이후에는 디지털 컴퓨터가 비약적으로 발달하여 불과 몇 년 전의 중대형 컴퓨터에 해당하는 성능을 일반 개인용 PC가 가지게 되었으며 가격 또한 예전에 비해 훨씬 낮아지게 되었다. 이러한 장치의 발달로 인해 선진국에서는 정부기관을 중심으로 환경문제 해결을 위한 확산모델 연구에 많은 지원을 하고 있으나 플랜트 안전분야의 적용은 그 역사가 짧아 아직까지 적용이 미흡한 실정이다.

따라서 기존에 다른 앞선 분야의 확산모델을 효과적으로 응용하여 화학플랜트에 적용함으로써 더욱 체계적인 비상대응체계가 구축될 수 있어야 된다고 생각되며 본 연구에서 확산모델의 효과적인 적용을 위해 설정한 목표는 다음과 같다.

- i. 기존의 확산모델 발전 흐름을 분석하고 국내 플랜트에 적합하며 디지털 모듈화가 용이한 모델 선정
- ii. 선정된 모델을 중심으로 한 구현 알고리즘에 대한 연구
- iii. 3차원 표현을 위한 이론에 대한 연구
- iv. 확산모델과 3차원 구현 이론을 접합한 응용 코드개발

## 2. 연구수행 방법

연구수행 방법은 다음과 같다.

- ① 확산모델에 관련된 여러 가지 모델들을 수집 및 모델의 발전 추이를 분석
- ② 국내 플랜트의 비상대응구축에 적합한 모델을 선정
- ③ PC를 이용한 3차원 구현논리 적용

본 연구를 수행하기 위해 수립한 연구방법을 요약하면 Fig. 1과 같다.

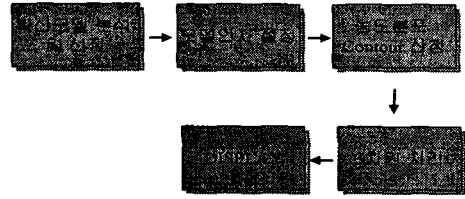


Fig. 1. 연구수행 절차

## 3. 확산모델의 정의

대기중으로 방출된 물질은 대기중의 공기의 움직임에 의해 운반된다. 공기에 의해 운반되는 물질은 시간의 흐름에 따라 상대적으로 낮은 농도의 공기와 혼합하여 농도가 점차 낮아지게 된다. 이러한 농도변화를 산출해 내는 것을 확산모델이라 할 수 있다. 따라서 확산모델은 풍속, 풍향, 지면의 거칠기, 대기의 상태 등 매우 다양한 인자를 포함하게 되며 이러한 인자를 이용하여 대기중의 농도분포를 나타낸 모델식이라고 할 수 있다. 그러나 그냥 하나의 단일식을 확산모델이라고 말하기보다는 컴퓨터에 의한 반복된 계산을 통해 연속적인 위치에서의 물질의 농도를 측정하는 것을 확산모델의 일반적인 정의이다. 이렇게 정의된 확산모델의 일차 입력인자는 Fig. 2에 나타난 것처럼 누출정보, 기상 데이터, receptor information 등이 있으며 누출정보는 누출원의 위치, 굴뚝의 물리적 높이, 굴뚝의 내부직경, 누출방사속도, 굴뚝의 온도와 같은 정보로 이루어진다.

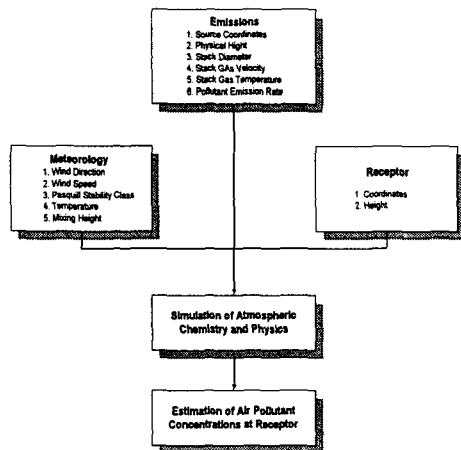


Fig. 2. 확산모델의 정의

#### 4. 확산모델의 발전현황 및 비교

확산모델은 산업시설의 증가로 인한 대기오염 정도를 측정하기 위해 1960경부터 미국을 중심으로 연구되어 왔다. 최근에는 우리나라의 환경청에 준하는 미국의 EPA(Environment Protective Association)에 의해 체계적으로 연구 발전되고 있으며 EPA이외에도 환경오염과 밀접한 관계를 가지는 기관에 의해 독자적으로 개발된 모델들이 꾸준히 발표되고 있다.

여러 가지 형태의 확산모델들의 발전 추이를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서와 같이 확산모델은 모델의 데이터 수집기간, 누출원의 형태 또는 지형의 형태에 따라 구분될 수 있으며 상당히 많은 단계를 거쳐 발전되어 왔다 는 것을 알 수가 있다.

특히 누출물질의 확산현상을 2시간 이내의 시간동안 모델링하는 단기간 모델(short-term model)의 경우 화학플랜트의 위험물질 확산현상을 모사할 수 있는 가장 적합한 모델로 생각되며 industrial source complex short-term 모델이 가장 발전된 형태이다.

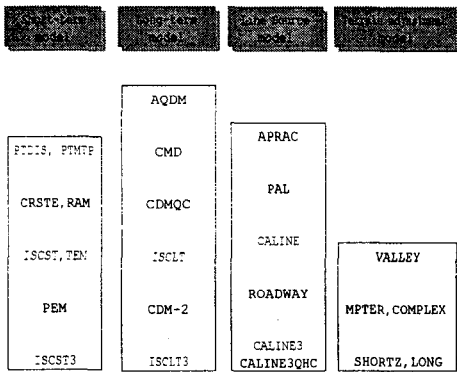


Fig. 3. 확산모델의 발전현황

#### 5. Industrial Source Complex Model

다양한 확산모델의 발전 추이와 여러 가지 확산모델을 비교함으로써 본 연구에서는 국내 화학플랜트와 같은 대규모의 산업시설의 위험물질 누출에 따른 확산모델로서 Industrial Source Complex(ISC)모델을 선정하였다.

모델을 선정하기 위해 모델의 신뢰성과 적용성 그리고 3차원으로 구현하는데 용이함을 기준으로 설정하였다.

ISC모델을 선정한 근거는 다음과 같다.

- ① 가우시안 모델을 근거로 하였기 때문에 비교적 신뢰성이 정확한 확산모델 인자를 산출할 수 있다.
- ② 정상상태를 고려한 모델이기 때문에 비교적 연산이 단순하다.
- ③ 비교적 가벼운 물질을 위한 모델이기 때문에 누출물질의 다양한 물성치를 요구하지 않는다.
- ④ 산업시설의 누출현상을 위하여 연구되었기 때문에 다양한 지형에 적용될 수 있다.

ISC모델은 Pasquill과 Gifford에 의해 제안된 가우시안 정상상태 확산모델에 그 기반을 두고 있으며 다음과 같은 식에 의해 표현된다

$$X(x, y, z, H) = \frac{QKV D}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-0.5\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right]$$

X(x, y, z, H) = 누출높이가 H일 때 x, y, z좌표에서의 농도 (ppm)

Q = 물질의 누출속도(g/s)

K = 농도환산인자

V = 수직 항목

D = 소멸항목

$\sigma_y, \sigma_z$  = 수직, 수평에 농도분산 표준편차

$u_s$  = 누출지점에서 평균 풍속 (m/s)

가우시안 정상상태 확산모델에서  $\sigma_y, \sigma_z$ 는 누출원으로부터의 거리와 대기안정도에 의해 결정되며 기상상태의 의한 누출원의 효과높이  $H_e$ 는 Fig. 4에 의해 결정된다.

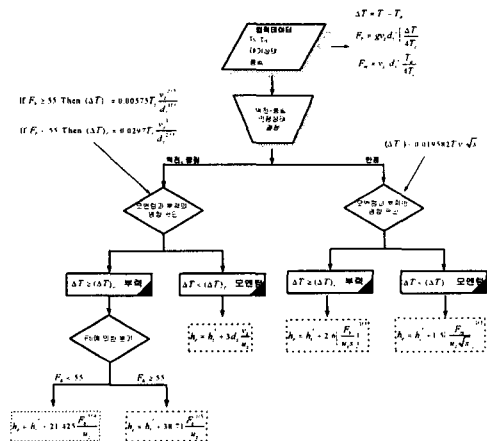


Fig. 4. 효과높이 계산 흐름도

### 6. 3차원 모사

Industrial Source Complex 모델을 이용한 3차원 모사를 수행하기 위해 다음과 같은 논리를 적용하였다.

- ① 누출물질의 농도분포를 표현하기 위한 범위를 x, y, z 방향으로 각각 1km로 제한한다.
- ② 위에서 가정한 입체 육면체내의 농도분포를 계산하기 위해 x, y, z의 좌표간격을 10m간격으로 제한한다. 따라서 전체의 정육면체는 1,000,000개의 셀(cell)로 나뉘게 된다.
- ③ 1,000,000개의 셀에 각각의 농도를 입력하기 위해 농도 하나당 4-Byte의 메모리를 할당한다. 따라서 농도분포를 한번에 표현하기 위해 농도분포를 저장하는 메모리는 8MByte가 된다.
- ④ 모델에서 계산된 농도분포를 그래픽으로 표현하기 위해서는 동일한 농도를 연결하는 좌표 contour가 필요하다. 따라서 ③항에서 계산된 농도배열을 이용하여 별도의 메모리 블록을 구성하였으며 농도 구분은 6개의 단계만을 적용하였다.

이상의 논리를 Fig. 5에 나타내었다.

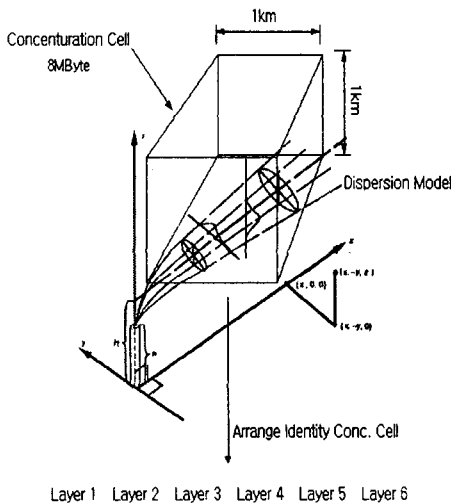


Fig. 5. 가상공간을 이용한 농도 데이터 구축

Fig. 6은 이상의 모사논리를 적용해 염소가

스 누출시나리오에 대한 3차원 모사를 수행한 것이다.



Fig. 6. 염소가스 누출 정면 뷰시스템

### 7. 결 론

본 연구에서는 기존의 확산모델들을 비교·검토하여 국내 실정에 가장 적합하다고 판단된 Industrial Source Complex (ISC) 모델을 이용하여 ISC기반의 3차원 모사를 수행하였다. 또한, 국내 기상조건에 대한 한 예를 들어 정확한 확산모델을 수행할 수 있는 기반을 조성하였으며, 확산거동에 대한 결과를 3차원적으로 해석할 수 있는 그래픽 지원 코드를 개발하였다. 본 연구에서 얻은 결론을 간략하게 요약하면 다음과 같다.

1. 복잡한 국내 지형조건에 적합한 ISC모델 기반의 3차원 확산 모사를 개발하였다.
2. 국내 시설물에 대한 사례연구를 통해 개발된 모사 시스템의 적용성과 유용성을 검증하였다.
3. 국내 기상 데이터를 토대로 실시간 기상 데이터를 입력받을 수 있는 확산모델의 기반을 구축하였다.

### 감 사

본 연구는 과학기술정책연구원과 포항공과대학교 공정산업의 지능자동화연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한

것입니다.

### 참 고 문 헌

1. D.Bruce Turner, "Atmospheric Dispersion Estimates", Lewis, 1994.
2. Briggs, G. A., "Plume Rise", Springfield, 1969.
3. Briggs, G. A., "Diffusion Estimation for Small Emissions", Oak Ridge, 1973.
4. Gifford, F. A., "Atmospheric dispersion calculations using the generalized Gaussian plume model", Nuclear Safety, 1960.
5. Appel A., "Some techniques for machine rendering of solids", AFIPS Conference Proc, 1968.
6. Barr A. H., "Global and local deformations of solid primitives", Computer Graphics, 1984.