

## Criteria of Diffusion Model in the Real-time Toxic Gas Dispersion Model

이종범 · 정유정 · 김용국 · 송은영 · 김원호<sup>1)</sup> · 주용수<sup>1)</sup>

상원대학교 환경학과

<sup>1)</sup> 한국가스안전공사 가스안전기술연구센터

## 1. 서론

공업화와 산업화가 급속도로 진행됨에 따라 여러 가지 유해하고 위험한 물질을 다량으로 취급하게 되는 데 이에 대한 적절한 관리의 부족 등으로 인하여 화재, 폭발과 같은 사고가 빈번히 발생하고 있다.

지난 10여년 동안 독성가스와 방사능 물질의 누출 사고에 관련된 대기오염 episode 계산에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 인도 Bhopal에서의 MIC(methyl isocyanate)와 같은 화학물질 누출, 소련에서의 Chernobyl 원자력 발전소의 방사능 물질 누출, 최근 쿠웨이트 유정 화재에서의 연기 등과 같은 것은 건강에 심각한 해를 입히거나 치명적일 수 있다(Zannetti, 1995). 그럼에도 불구하고 현재까지는 대부분의 대기오염 연구들은 아황산 가스 또는 미세먼지와 같은 환경 기준 물질을 주 연구 대상으로 할뿐이다. 반면에 재난으로 인한 유해가스(hazardous gas)가 누출되었을 때 TSCREEN(EPA,1992), CAMEO(EPA, 1996), ALOHA(EPA, 1995)등의 적용(선우영, 1997)한 연구가 있었으나 이는 우리 나라와 같은 지형에 적합한 확산 및 피해 범위의 추정은 실제와 큰 차이가 있다.

최근에는 화학안전 사고에 대한 인식이 점차 높아지면서 사고에 대한 대피 방안 및 피해의 최소화에 초점을 맞추어 종합적인 대책이 요구되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 화학 공장에서 유독성 가스가 누출되었을 때를 가정하고, 이를 가상 시나리오로 하여 INPUFF, ISC등의 대기 확산 모델들의 입력 자료로 사용하여 이동 및 확산을 통한 피해 범위를 산정할 수 있는 실시간 독성가스 확산 시스템 시제품을 개발한 뒤, 이 시스템에서 이용되는 정상상태 확산모델인 ISC와 비정상상태 모델인 INPUFF의 판정 기준을 결정하는 것이 목적이다. 대상 기준으로는 기상 조건에 따른 가스 누출 기간과 기상 조건의 변동성을 고려하게 된다.

## 2. 연구 방법

## 2.1 구성

본 시스템은 현장 담당자들이 사용할 수 있도록 하기 위하여 가스 누출 상황 모델링 실행조건 결과 출력 등의 전 과정을 PC의 화면상에서 대화형으로 실행시킬 수 있도록 구성하였다.

기상자료는 춘천 우두동에서 측정하고 있는 기상 요소 및 난류 자료를 이용하였다. 연구대상 기간은 단기로 1시간, 24시간, 계절 평균으로 하였다. 또한 단기간의 풍향, 풍속, 안정도등의 기상조건이 변화가 작았던 것과 변화가 컸던 것을 모델링하여 ISC와 INPUFF의 차이를 살펴보았다.

## 2.2 누출형태

유해한 가스가 누출되는 경우, 누출된 물질이 직접 또는 간접적으로 공기 중에 기체, 기체/액체, 액체/기체/고체 등으로 상(Phase)을 형성한다. 직접적인 가스운 형성은 저장탱크 또는 파이프라인으로부터 가스 또는 압축액화가스 누출에 의하여 형성되고, 간접적인 가스운은 액체누출 후 풀을 형성한 다음 풀 증발에 의해 형성된다. 이러한 가스의 누출 특성을 고려하여 저장소에서 가스상의 연속·불연속 누출, 저장소에서 연결된 파이프에서 가스상의 연속·불연속 누출, 고압의 저장소에서 포화된 액체의 연속·불연속 누출, 고압의 저장소에서 불포화된 액체의 연속·불연속 누출, 휘발성이 높은 액체상의 연속·불연속 누출, 휘발성이 낮은 액체상의 연속·불연속 누출등의 형태를 선택하여 배출량을 구하였다.

### 2.3 ISC

ISC(Industrial Source Complex Dispersion Model)모델은 정상상태를 가정하는 가우시안 플룸식을 기본으로 한다. ISC모델은 대상 지역의 지형 고려가 가능하며, 점, 선, 면오염원 및 부피오염원 등의 다양한 오염원을 처리할 수 있다. 적용 기간에 따라 단기모델인 ISCST(Industrial Source Complex Short Term Model)와 장기모델인 ISCLT(Industrial Source Complex Long Term Model)로 구성되어 있다. 본 시스템에서 사용하는 ISCST 모델에 적용되는 계산식은 다음 식을 기본으로 한다.

$$C = \frac{Q \cdot k \cdot V \cdot D}{2\pi \cdot U_s \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \exp -0.5 \left( \frac{y}{\sigma_y} \right)^2$$

여기서 C는 오염물질의 농도( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), y는 crosswind distance(m), Q는 오염물질 배출량(g/sec), k는 단위 환산계수,  $U_s$ 는 풍속(m/sec),  $\sigma_y \cdot \sigma_z$ 은 수평·연직확산계수, D는 오염물질의 반감기를 고려하는 항이며 V는 오염원의 높이나 receptor의 높이, 혼합고, 플룸의 상승, 입자의 중력침강 및 건성·습성침적의 영향을 고려하는 항이다. 이러한 특성을 가진 ISCST는 가스의 연속적인 누출시에 적용한다.

### 2.4 INPUFF

INPUFF는 비정상 상태와 nonuniform flow 상태에서 오염물질의 추정에 유용한 Gaussian Integrated Puff Model로 고정 배출원(Stationary Source)이나 선박과 같은 이동 배출원(Moving Point Source)에 대한 계산이 가능하다.

INPUFF 모델에서 적용되는 계산식은 다음 식을 기본으로 한다.

$$C = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_z \sigma_y} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-ut}{\sigma_x}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left( \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z+h}{\sigma_z}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z-h}{\sigma_z}\right)^2\right] \right)$$

여기서 C는 농도( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), x는 배출원으로부터 측정 지점까지의 거리(m), y는 Crosswind distance(m), z은 height above ground(m), H는 유효굴뚝 높이(m), Q는 배출량(g/sec), u는 풍속(m/sec),  $\sigma_x$ 는 풍하측 방향으로의 확산 계수,  $\sigma_y \cdot \sigma_z$ 은 수평·연직확산계수이다. 이러한 INPUFF모델은 가스의 불연속적 누출시에 적용한다.

### 3. 결과

본 연구에서는 현장에서 실시간으로 사용할 수 있도록 대화형 시스템의 시제품을 개발하였다.

모델링 기간과 기상조건의 변동성에 따라서 정상상태 모델인 ISC와 비정상상태를 고려할 수 있는 INPUFF모델의 선택 조건을 고찰하였다.

#### 참고문헌

- ALOHA User's Manual(1995), U.S. EPA & NOAA
- CAMEO User's Manual(1995), U.S. EPA & NOAA
- Paolo Zannetti (1995) Numerical Investigation of Possible Role of Local Meteorology in Bhopal Gas Accident, Atmospheric Environment, Vol. 29, No.4, 479-469.
- Petersen, W.B. and L.G. Lavdas(1986) *INPUFF: A Multiple Source Gaussian Puff Dispersion Algorithm, User's Guide*, U.S. EPA, Research Triangle Park, N.C.,
- TSCREEN : A Model for Screening Toxic Air Pollutant Concentrations, User's Guide*, U.S. EPA, Research Triangle Park, N.C.,
- 선우 영 (1997) 유해가스 확산, 이동 및 광화학 반응에 관한 연구, 한국 과학재단.