

## Validation of a Real-Time Dose Assessment System over Complex Terrain

Kyung-Suk Suh, Eun-Han Kim, Won-Tae Hwang, Young-Gil Choi,  
Moon-Hee Han, Sung-Tae Jung\*

Korea Atomic Energy Research Institute

\*Korea Electric Power Corporation

### 복잡한 지형상에서 실시간 피폭해석 시스템 검증

서경석 · 김은한 · 황원태 · 최영길 · 한문희 · 정성태\*

한국원자력연구소, \*한국전력공사

(1999년 1월 18일 접수, 1999년 5월 21일 채택)

**Abstract** - A real-time dose assessment system(FADAS : Following Accident Dose Assessment System) has been developed for the real-time accident consequence assessment against a nuclear accident. Field tracer experiment near Younggwang nuclear power plant was performed to improve the accuracy of developed system and to parameterize the site-specific parameters into the FADAS. The mean values and turbulent components of wind profile obtained through field experiment have been reflected to FADAS with site-specific conditions.

The simulated results of diffusion model agreed well with the measured data through tracer experiment. The developed system is being used as a basic module of emergency preparedness system in Korea . The diffusion model which can be reflected site-specific parameters will be improved through field experiments continuously.

**Key Words** : Real-time Dose Assessment System, Diffusion Model, Field Tracer Experiment, Younggwang Nuclear Power Plant

**요약** - 원자력시설의 사고시 신속한 방재대책 결정지원 체계를 수립하기 위하여 실시간 방사선 피폭 해석 시스템(FADAS : Following Accident Dose Assessment System)을 개발하였다. 개발된 시스템의 정확도 향상 및 국내 부지 특성자료의 모수화를 위하여 복잡한 지형상에 위치한 영광 원자력발전소 주변에서 야외 확산실험이 수행되었다. 확산실험을 통하여 얻어진 바람의 평균 및 난류장 성분은 부지 특성별 변수로 실시간 방사선 피폭해석 시스템에 반영되었다. 확산모형의 계산결과와 실험을 통하여 관측된 추적자 가스의 농도분포를 상호 비교한 바 어느 정도 일치하고 있었다. 개발된 시스템은 현재 구축중인 국가 규모의 비상대응지원체계에 기본 모듈로서 활용 중에 있으며 지속적인 확산 실험을 통하여 부지 특성 변수들이 반영된 확산모형을 개선할 예정이다.

**중심어** : 실시간 방사선 피폭해석시스템, 확산모형, 야외 확산실험, 영광 원자력발전소

### 서 론

미국의 TMI-2[1]와 러시아의 Chernobyl사고[2] 이후 원자력 시설의 사고시 누출되는 기체상 방사성 물질로부터 주변 주민 및 환경을 보호하고 방사선 피해를 최소화할 수 있는 비상대응 체계를 개발·개선하기 위한 연구가 전세계적으로 활발히 진행되고 있다. 국내에서는 한국원자력안전기술원의 주관 하에 실시간 비상대응 시스템인 CARE[3]시

스템이 1차 개발되어 운영 중에 있다. 이 CARE 시스템의 구성 모듈중 바람장, 확산 및 피폭선량 계산에 한국원자력연구소에서 개발한 실시간 방사선 피폭해석 시스템[4]이 채택되어 비상대응시스템의 중요한 부분인 대기확산 및 피폭해석 기능을 제공하고 있다.

대기중에서 방사성물질의 확산은 주변의 지형특성, 기상상태 등의 환경조건에 의해 영향을 받는다. 따라서 신뢰성 있는 대기 확산모형을 개발하기 위해서는 부지 환경 특성을 고찰하고 그 특성

을 확산모형에 반영하기 위한 야외 확산 실증 실험이 필수적으로 수행되어야 한다. 이를 위해 일차적으로 평지에서 야외 확산실험을 수행하였고 관측결과와 계산결과를 상호 비교한 바 만족스러운 결과를 얻었다[5,6]. 그러나 복잡한 지형상의 대기중으로 방출된 방사성물질은 평탄한 지형과는 달리 주변 계곡 및 분지의 영향을 받아 오염물의 확산과정이 복잡하다. 우리나라의 원자력발전소는 대부분 해안가의 복잡한 지형상에 위치하고 있어 원자력시설의 사고시 대기중으로 방출된 오염물은 해륙풍, 계곡풍, 국지적 난류성분 등에 의해 복잡하게 이동·확산된다. 이들 오염물 이동과정에 가장 중요한 영향을 주는 요소는 전반적인 바람장의 형태이다. 이를 위하여 복잡한 지형상에서 3차원 바람장 모형을 이용하여 바람장을 계산하고 이들 자료를 확산장 모형의 기본 입력자료로 이용하여 농도값을 계산하였다. 본 연구에서는 평지에서 수행한 야외 확산실험의 경험을 기초로 복잡한 지형인 영광원자력발전소 주변에서 야외 확산실험을 수행하여 미기상 자료 및 확산에 영향을 주는 부지 특성인자를 관측하였다. 추적자로 SF<sub>6</sub> 가스를 이용하였고 자체 제작한 연속 자동 포집기를 이용하여 추적자 가스를 포집하였으며, 가스 크로마토그래피를 이용하여 추적자 농도를 분석하였다. SODAR(Sonic Detection And Ranging)에 의해 관측한 기상자료로부터 부지 특성별 난류장 성분을 도출하였고, 동일 조건에서 확산모사를 수행하여 관측된 농도값과 계산된 농도값을 비교 분석하였다.

### 실시간 방사선 피폭해석 시스템

실시간 방사선 피폭해석 시스템(FADAS : Following Accident Dose Assessment System)[4]은 원전 사고시 대기를 통해 주변 지역으로 이동된 방사성물질의 농도, 피폭선량 및 확산영역을 실시간으로 신속·정확하게 예측함으로써 주변 주민들의 소개, 피신, 음식물 섭취 및 경작제한, 재이주 등의 비상 대응 결정을 지원할 수 있다. 개발된 실시간 방사선 피폭해석 시스템은 3차원의 해석이 가능한 프로그램으로 바람장, 대기확산, 피폭해석 및 그래픽 모듈로 구성되어 있다. 본 연구에서는 야외 확산실험을 통하여 대기 확산모형의 비교·검증에 주안점을 두었으므로 실시간 방사선 피폭해석 시스템의 구성 모듈중 바람장 및 확산모형의 이론에 대해서만 서술하였다.

### 바람장 모형

복잡한 지형상에서 바람장은 계산 영역내의 지형 및 기상조건에 따라 변화되며 방사성물질의 농도 분포에 큰 영향을 미친다. 바람장 모형에서는 대상 부지주변의 기상탑 및 여러 지점의 자동 기상 관측망(AWS)에서 관측된 기상자료를 내·외삽하여 계산 영역내 바람장의 초기값을 계산한 후 계산된 바람장이 연속 방정식을 만족하도록 보정하게 된다. 이러한 보정과정을 통해 부지 주변의 지형효과와 기상상태가 바람장 모형에 반영되며 또한 대기 안정도에 따른 풍속의 수직변화가 고려되어 3차원의 해석이 가능하다. 여러 지점에서 측정된 기상자료를 토대로 주어진 측정지점에서 수직방향으로는 높이에 따른 풍속의 구배가 로그 형상을 가진다고 가정하여 높이  $z$ 에서의 풍속  $|V(z)|$ 는 다음 식으로 계산한다[7].

$$|V(z)| = \frac{u_*}{\kappa} \left( \ln \frac{z}{z_0} \right) \quad (1)$$

여기서,  $u_*$ 는 마찰속도,  $\kappa$ 는 von Karman constant,  $z_0$ 는 표면조도이다. 다음에 대상지역의 3차원 격자에서 풍향·풍속 (wind vector)을 각 높이마다  $x-y$  평면에서 내삽법을 사용하여 격자값을 계산한다. 최종적으로 내·외삽 방식으로 구한 바람장이 연속방정식을 만족시키도록 보정하게 되는데, 함수  $E$ 가 최소값을 갖도록 하면 연속방정식을 만족하는 바람장을 얻을 수 있다[8].

$$\begin{aligned} E(u, v, w, \lambda) = & \int_V [\alpha_1^2 (u - u_0)^2 \\ & + \alpha_1^2 (v - v_0)^2 \\ & + \alpha_2^2 (w - w_0)^2 \\ & + \lambda \left( -\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right. \\ & \left. + \frac{\partial w}{\partial z} \right)] dV \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,  $u, v, w$ 는 각각  $x, y, z$  방향의 수

정된 속도 성분,  $u_0, v_0, w_0$ 는 관측값을 이용하여 계산영역의 격자에서 산정한 초기 속도성분,  $\alpha_1, \alpha_2$ 는 각각 수직, 수평성분 수정치의 상대적 크기를 규정하는 가중계수이다.  $\lambda$ 는 Lagrange 미정계수로 수정성분을 고려한 일종의 속도 potential이며 아래의 Poisson's 방정식을 사용하여 계산한다.

$$\frac{\partial^2 \lambda}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \lambda}{\partial y^2} + \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)^2 \frac{\partial^2 \lambda}{\partial z^2} = 2 \alpha_1^2 \left( \frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial v_0}{\partial y} + \frac{\partial w_0}{\partial z} \right) \quad (3)$$

구해진  $\lambda$ 를 아래의 Euler-Lagrange 식에 대입하여 최종적으로 질량보존을 만족시키는 바람장을 구하게 된다.

$$u = u_0 + \frac{1}{2\alpha_1^2} \left( \frac{\partial \lambda}{\partial x} \right), \quad (4)$$

$$v = v_0 + \frac{1}{2\alpha_1^2} \left( \frac{\partial \lambda}{\partial y} \right) \quad (5)$$

$$w = w_0 + \frac{1}{2\alpha_2^2} \left( \frac{\partial \lambda}{\partial z} \right) \quad (6)$$

### 확산 모형

확산모형은 random walk 방법을 이용하여 방사성 물질의 대기중 농도분포를 계산하는 것으로, random walk 방법은 농도구배에 관계없이 각 입자들이 독립적으로 확산되므로 계산 시간간격마다 농도를 구할 필요가 없다. 따라서 컴퓨터의 기억 용량과 계산시간을 줄일 수 있으며 계산과정이 간단하다. 또한 유한차분법을 사용할 때 겪게되는 가상적 Eulerian 수치 확산의 문제를 Lagrangian marker 입자를 사용함으로써 극복할 수 있는 장점을 가지고 있다[9]. 3차원 공간에서 입자는 평균풍에 의한 이류(advection)와 난류에 의한 확산(diffusion)으로 주어지는 시간간격 동안에 초기위치에서 다음 위치로 이동한다. 따라서 공간에 대한 변위는 이류와 난류에 의한 변위의 합으로써 표시된다.

임의시간에서 어떤 시간간격 동안에  $x, y, z$

축에 대한 변위는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} (x_{t+\Delta t}, y_{t+\Delta t}, z_{t+\Delta t}) = & \\ [x_t + (u + 2\mu U)\Delta t, y_t & \\ + (v + 2\nu V)\Delta t, & \\ z_t + (w + 2\xi W)\Delta t] & \end{aligned} \quad (7)$$

여기서,  $\mu, \nu, \xi$ 는 각 방향에 대한 등가난수(uniform random number)로 -0.5에서 0.5의 값을 갖는다.  $u, v, w$ 는 평균풍에 의한 이류 유속,  $U, V, W$ 는 난류에 의한 확산 유속이다.

식 (7)에서 난류에 의한 확산 유속  $U, V, W$ 는 아래의 식들로 계산된다.

$$\begin{aligned} U &= \sqrt{\frac{6 k_x}{\Delta t}} & V &= \sqrt{\frac{6 k_y}{\Delta t}} \\ W &= \sqrt{\frac{6 k_z}{\Delta t}} \end{aligned} \quad (8)$$

여기서,  $k_x, k_y, k_z$ 는 각 방향의 확산도,  $\Delta t$ 는 시간중분이다. 따라서 확산도  $k$ 를 구함으로써 3차원 공간에 대한 입자의 변위를 구할 수 있다. 확산도는 일반적으로 이론적인 값보다는 실측자료에 근거한 경험식들이 많이 사용되고 있다. 각 방향에 대한  $k_j$  ( $j=x,y,z$ )는 플룸(plume)의 표준편차로부터 구할 수 있는데[10], 플룸의 표준편차는 풍하거리와 대기안정도 등급의 함수로 주어진다. 이는 일반적으로 Pasquill-Gifford[11]의 곡선으로부터 구할 수 있는데 본 연구에서는 야외 확산실험을 통하여 얻어진 마찰속도로부터 직접 각 방향의 확산도  $k_j$ 를 구하여 확산모형에 이용하였다[6].

### 야외 확산실험

개발된 확산 수치모형의 검증 및 부지 특성인자의 도출을 위해 복잡한 지형상에 위치한 영광원자력 발전소 주변에서 야외 확산실험을 수행하였다. 영광 원자력발전소는 북위 35° 24', 동경 126° 25'에 위치하며 지리상으로 우리나라 서해에 위치하

Table 1. Calculated release rate according to stability and wind speed (unit : kg/hour).  
( $X_{peak}$  : maximum concentration at the farthest distance from diffusion centerline)

| 풍속[m/sec] 대기<br>안정도 | 1.0   | 2.5   | 5.0   | 7.5    | 10.0   | $X_{peak}$            |
|---------------------|-------|-------|-------|--------|--------|-----------------------|
| A                   | 14.13 | 35.31 | 70.63 | 105.94 | 141.26 | $3.36 \times 10^{-7}$ |
| B                   | 10.96 | 27.41 | 54.82 | 82.23  | 109.64 | $4.34 \times 10^{-7}$ |
| C                   | 4.07  | 10.17 | 20.33 | 30.50  | 40.66  | $1.17 \times 10^{-6}$ |
| D                   | 0.88  | 2.19  | 4.38  | 6.58   | 8.77   | $5.42 \times 10^{-6}$ |
| E                   | 0.49  | 1.23  | 2.45  | 3.68   | 4.90   | $9.70 \times 10^{-6}$ |
| F                   | 0.36  | 0.90  | 1.79  | 2.69   | 3.58   | $1.33 \times 10^{-5}$ |

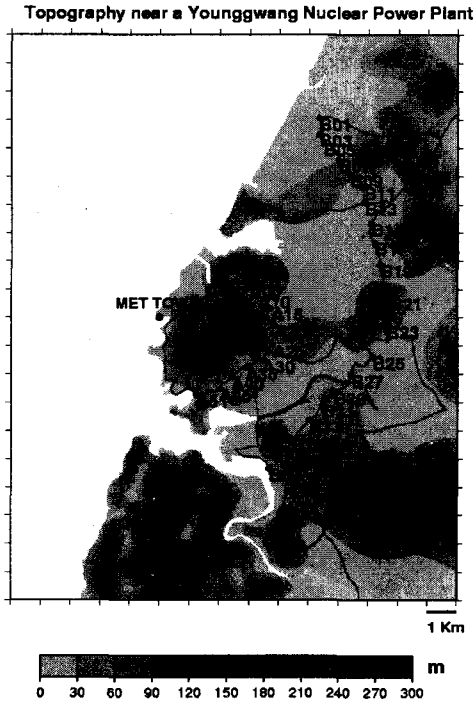


Fig. 1. Location of release point and sampling points. (A, B : sampler positions with the radius 3 km and 8 km from release point, respectively)

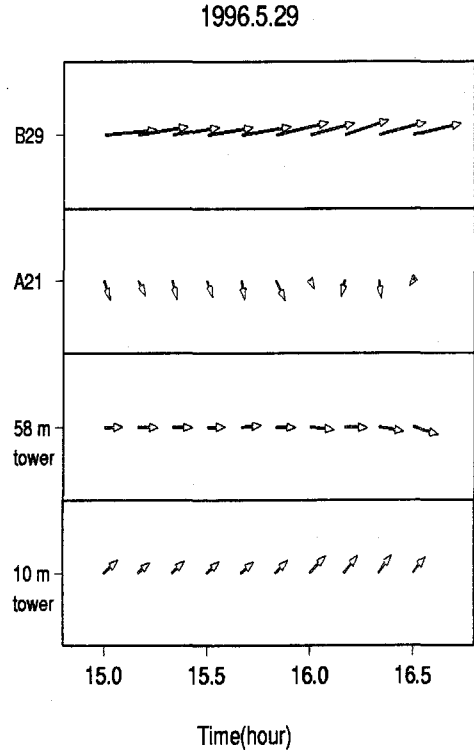


Fig. 2. Observed profiles of wind direction and velocity on the surface.

고 있다. 부지내 기상탑을 중심으로 남동방향 1.5 km에 약 200 m 높이의 산이, 남쪽방향으로 7 km에 약 300 m 높이의 산이 있다. 부지내 기상탑은 영광 1호기 옆의 공터에 위치하며 10 m, 58

m 높이의 2개의 기상탑이 운영되고 있다. 부지내 기상탑(방출점)을 중심으로 반경 3 km (A line)와 8 km (B line)선상에 각각 51 개와 40 개의 포집점을 선정하였다. 영광 원전의 기상탑을 중

심으로한 주변 지형도 및 포집점의 위치를 Fig. 1에 나타내었다. 영광 원전은 해안가에 위치하고 있어 일반적으로 바람의 방향은 표면에서 낮동안에는 바다에서 육지로 불고, 일몰 이후에는 육지에서 바다로 불어나가는 해륙풍 현상이 발생한다. 따라서 포집점의 위치를 방출점을 중심으로 육지 방향(남동, 북동 및 동쪽)으로 풍하방향 약 3 km와 8 km의 동심원상에 160 도의 각도내(북쪽을 0 도로 기준)에 선정하였다. 반경 3 km (A line)의 포집점들은 방출점으로부터 평균 3464 m의 거리로 약 1.8도의 간격으로, 반경 8 km (B line)의 포집점들은 방출점으로부터 평균 7403 m의 거리로 약 2.9도의 간격으로 위치하고 있다.

1996년 5월 29일에 야외 대기확산실험을 실시하였는데 실험은 1시간동안에 10분씩 6번의 포집이 수행되었고 부지내 58 m 기상탑의 방출점에서 SF<sub>6</sub> 가스를 일정한 양으로 약 90분 동안 지속적으로 방출하였다. 추적자 방출량은 대기중 농도와 분석기기의 검출한계, 확산결과의 예측을 통해서 이루어진다[12]. 이들의 관계에 의해 58 m 기상탑 높이에서 방출하였을 경우 확산중심선에서 가장 먼 거리에 있는 포집점의 농도, 대기 안정도 및 풍속에 따른 방출률을 계산한 결과를 표 Table 1에 나타내었다. 실험시점에서의 풍속을 고려하여 115.2 kg/hr의 양을 평균 방출률로 하여 포집시작 30분전인 15:00에 방출을 시작하여 90분 동안 지속적으로 방출하였다. 가스의 포집은 자동 연속식 포집기에 의해 15:30분부터 매 10분씩 16:30분까지 6번 수행되었다. 자동 연속식 포집기는 한국 원자력연구소에서 자체 개발한 것으로 91개의 포집점에 설치하여 매 10분씩 자동적으로 포집하도록 설계하였다[5]. 포집된 추적자 가스는 가스스크로마토그래피에 의해 분석하여 추적자 농도를 구하였다.

확산실험 날짜인 5월 29일에 우리나라의 중부에 고기압이 위치하여 매우 화창한 날씨였다. 실험기간중 기상관측을 위하여 방출점에 10 m의 간격이 풍향·풍속계를 설치하였고, 고공기상 관측을 위하여 SODAR를 이용하여 고도 1.0 km까지 풍향, 풍속, 난류성분, 온도 등을 측정하였다. 또한 방출점으로부터 반경 3 km (A21)와 8 km (B29)의 동심원상에 이동식 풍향·풍속계를 설치하여 지상 3 m 높이에서의 풍향·풍속을 측정하였다. 부지내 10 m와 58 m 높이의 기상탑이 운영 중이므로 이들의 관측자료도 분석에 이용하였다. 방출점 10 m, 58 m 높이의 기상탑과 반경 3 km (A21번)와 반경 8 km (B29번)의 동심원상의 지상

3 m에서 관측한 풍향·풍속 분포를 Fig. 2에 나타내었다.

### 확산실험 모사

실시간 방사선 피폭해석 시스템의 확산모형 검증을 위하여 영광부지에서 관측된 기상자료를 이용하여 바람장을 발생시켰고 계산된 바람장을 시간의 함수로 확산모형에 입력하여 농도분포를 계산하여 관측한 농도값과 상호 비교하였다. 영광부지는 평탄한 지형과는 달리 복잡한 지형으로 구성되어 있으므로 실제 지형자료가 반영된 3차원 바람장 모형을 운영하였으며 지형의 영향을 받는 바람장을 계산하여 이에 따른 농도분포의 변화양상을 계산하였다.

### 바람장

바람장 발생을 위한 범위로 방출점을 기준으로 서쪽으로 5 km, 동쪽으로 10 km, 남쪽으로 10 km, 북쪽으로 10 km의 범위로 동서방향 15 km, 남북방향 20 km였다. 3차원 바람장 계산을 위한 x, y 방향의 격자 크기는 1 km로, 수직 방향의 격자 크기는 30 m로 분할하여 990 m까지 계산하도록 하였다. 계산영역에 대해 x, y, z 방향으로 15 x 20 x 33의 격자망을 구성하였다. 바람장 모형에서 가장 중요한 입력변수는 지형자료와 관측된 풍향·풍속자료인데 지형자료는 1 : 50,000의 지형도로부터 발췌하여 입력하였고, 풍향·풍속자료는 확산실험시 가스 방출시간 동안 부지내 기상탑 10 m, 58 m 높이와, 반경 3 km 및 8 km에 설치한 간이 풍향·풍속계로부터 관측한 자료를 10분 평균하여 시간의 함수로 입력하였다. 입력된 바람 성분은 주로 지표면에서 관측된 것으로 수직 방향으로 로그 형상에 의해 외삽하였고, 수평방향으로는 방출점, 반경 3 km 및 8 km에서 관측자료로부터 수직 외삽된 값들을 다시 내삽한 후 최종적으로 변분법에 의해 질량보존식을 만족하는 바람장 값들을 계산하였다. 바람장 모사결과를 Fig. 3에 고도별로 나타내었다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 15:00시에 바람이 서풍으로 계산되어 방출된 가스가 바다에서 육지 방향으로 잘 퍼져 나갔으리라 추정할 수 있다. 고도 30 m에서 계산된 바람장 분포를 보면 높이 200 ~ 300 m의 산 주변에서는 이들의 영향으로 바람이 옆으로 휘어나가는 것이 잘 재현되고 있다.

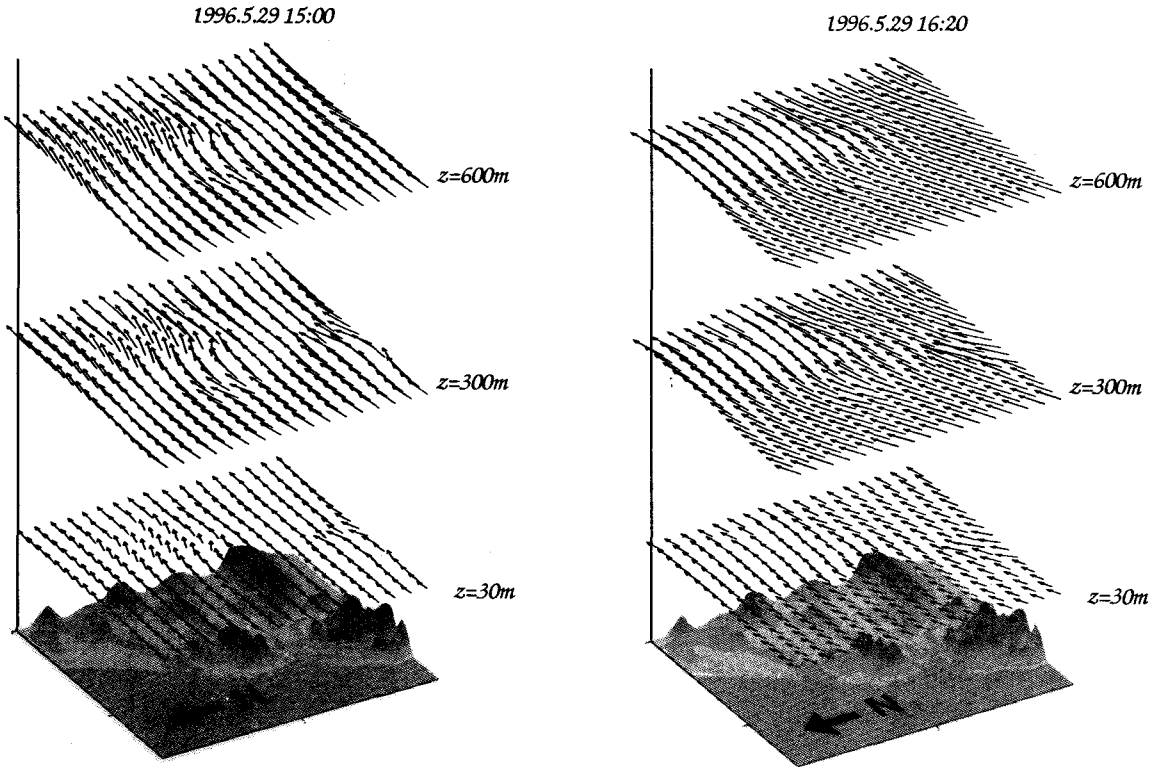


Fig. 3. Calculated three-dimensional profiles of wind velocity.

### 확산장

농도분포 모사를 위한 대상범위는 바람장 발생 범위와 동일하게 동서방향 15 km, 남북방향 20 km로 주었고, 농도장 계산을 위한 x, y 방향의 격자 크기는 포집점이 한 개의 계산 격자내로 반영될 수 있도록 50 m로, 수직 방향의 격자 크기는 30 m로 분할하여 990 m까지 계산하도록 하였다. 계산영역에 대해 x, y, z방향으로 300 x 400 x 33의 격자망을 구성하였다. 계산의 가장 중요한 입력 변수인 바람분포는 바람장 모형에 의해 계산하여 시간의 함수로 입력하였고, 바람장 모형의 계산시간과 동일하게 계산을 수행하였다. 또한 확산모형에 입력되는 난류장 성분인 확산계수는 통상적으로 Pasquill-Gifford[11]의 곡선으로부터 구해지나 본 연구에서는 영광 야의 확산실험을 통하여 관측한 풍속자료를 이용하여 부지 특성이 반영된 확산계수를 구하여 확산모형에 입력하였다. 방출점의 SODAR에서 측정된 각 방향 풍속의 표준편차  $\sigma_u, \sigma_v, \sigma_w$ 로부터 평지 야의 확산실험에서 이용한 것과 동일한 식을 이용하여 마찰속도 및 확산계수를 구하여 확산모형에 입력하였다[6]. 계

산시간 간격 ( $\Delta t$ )은 입자가 한번에 한 격자를 넘어 이동하는 일이 없도록 평균 풍속과 격자크기로부터 자동으로 조절되는데 약 10 초로 주었다. 바람장 및 난류장은 10분 간격으로 계산된 값을 입력하였고 1시간 30분 동안 모사하였다.

Fig. 4 및 Fig. 5에 실험결과와 계산결과를 비교하여 제시하였다. 반경 3 km의 관측 및 계산된 농도분포를 살펴보면 최대 농도값이 나타나는 지점이 잘 일치하고 있고, 농도값도 대체로 1.5배 이내의 범위에서 일치하고 있음을 보여준다. 반경 8 km의 경우는 반경 3 km보다 방출가스가 덜 퍼져나가 작은 값을 나타내고 있다. 반경 8 km의 16:00 ~ 16:30 분까지 계산된 농도값의 최대 지점이 관측값과는 달리 두 지점에서 나타나고 있는데, 이는 그림 Fig. 2에서와 같이 바람장이 방출점에서는 서풍방향이고 반경 3 km부근에서는 북서풍이 불어 반경 3 km 앞의 산을 넘은 바람이 남쪽으로 이동하면서 약 90도 방향 지점에서의 농도값은 지속적으로 불어온 서풍계열의 바람에 의해 확산된 것이고, 약 110도 방향 지점에서의 농도값은 반경 3 km 부근을 지난 북서계열의 바람에 의해 이루어져 나타난 것으로 생각된다.

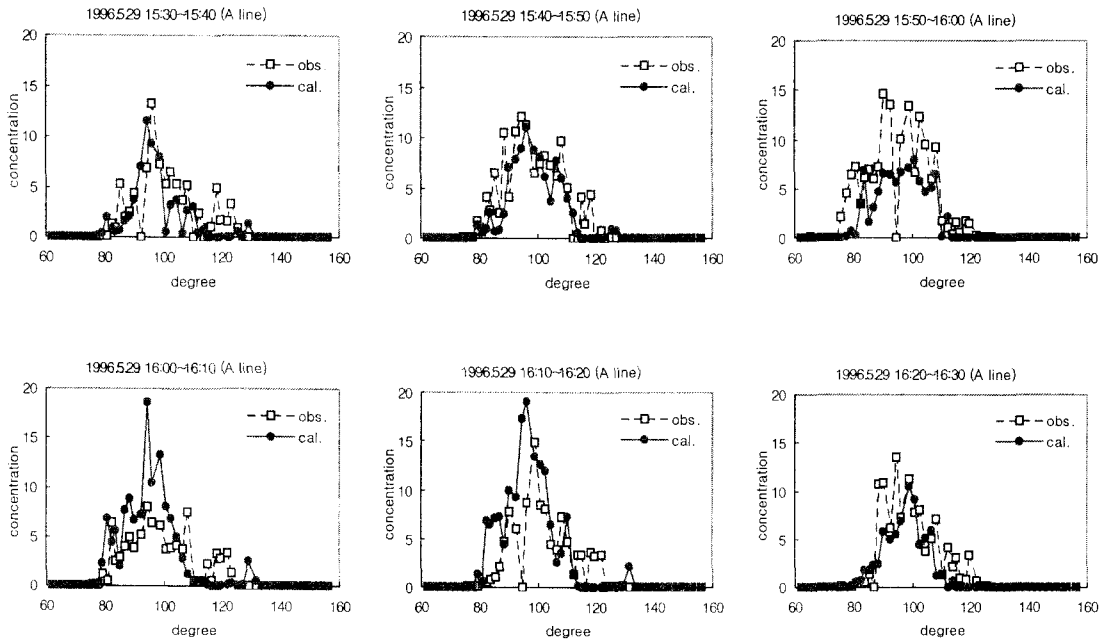


Fig. 4. Comparison of computed and observed concentrations on A line (unit :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

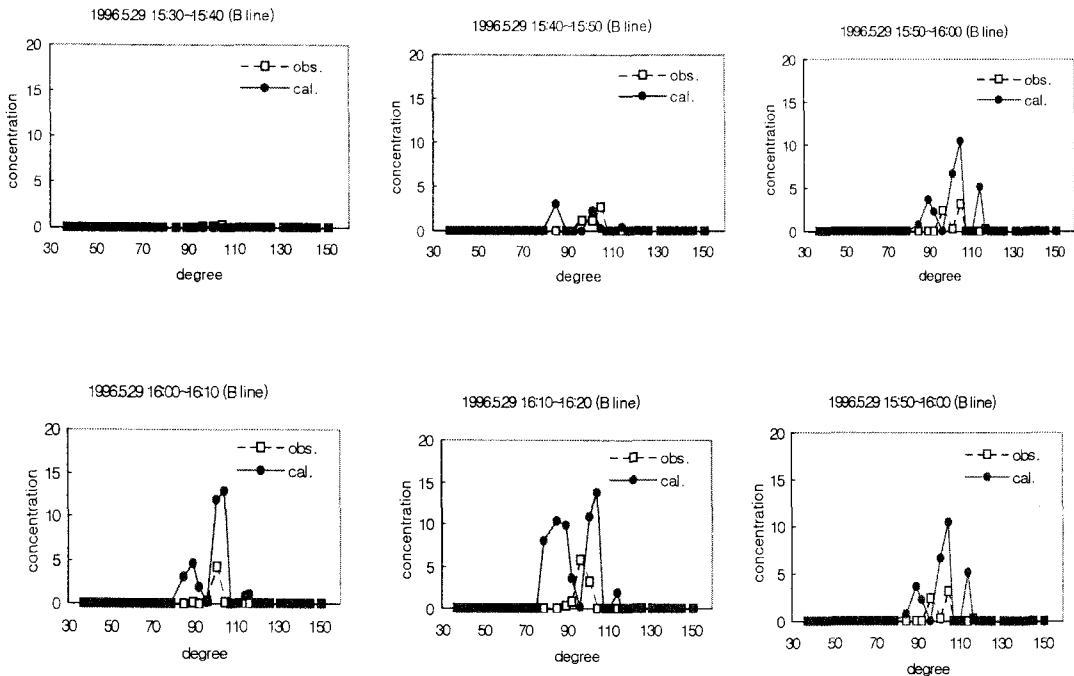


Fig. 5. Comparison of computed and observed concentrations on B line (unit :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

## 결 론

원자력시설의 비상사태시 주변 주민과 환경에 미치는 피해를 신속히 평가하기 위한 실시간 방사선 피폭해석 시스템을 개발하였다. 실시간 피폭해석 시스템의 불확실성을 최소화하고 국내 부지 환경 특성을 고려할 수 있는 대기 확산모형의 검증 및 개선을 위하여 복잡한 지형상인 영광 원전 주변에서 대규모 야외 확산실험을 수행하였다. 확산실험을 통하여 관측된 바람자료를 이용하는 바람장 수치모형에 의해 3차원 바람장을 발생하였고, 이들 바람장 자료를 이용하여 확산 수치모형에 의해 오염물의 농도분포를 계산하였다. 계산된 농도값은 야외 실험을 통하여 얻어진 관측값과 상호 비교하였는데, 농도값들은 대체로 1.5배 이내의 범위에서 일치하고 있었다. 그러나 방출점으로부터 먼 거리에서는 일부 확산 중심선과 농도값이 차이를 보이고 있는데 이는 바람의 평균풍 및 난류성분 관측이 충분히 수행되지 못하여 좀더 정확한 바람장을 재현하지 못하였기 때문이라고 생각된다. 추후 야외 확산실험시에는 미시규모 관점에서 좀더 충분한 기상관측이 수행되어야 할 것으로 생각된다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구 개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. US NRC, *TMI-2 Lessons Learned Task Force Status Report and Short-term Recommendations*, Nuclear Regulatory Commission, NUREG-0578(1979).
2. NEA, *Chernobyl Ten Years on Radiological and Health Impact*, OECD(1995).
3. 문석형, 원자력안전성 확보를 위한 국제 네트워크 구성·운영, KINS/AR-298, 한국원자력안전기술원(1994).
4. 한문희, 이영복, 김은한, 서경석, 황원태, 실시간 방사선 피폭해석 시스템 구성 연구, KAERI/RR-1516/94, 한국원자력연구소(1995).
5. 김은한, 서경석, 황원태, 한문희, 김학성, "평지 야외 대기 확산실험," 대한환경공학회지, 19(5), 693-705(1997).
6. 서경석, 김은한, 황원태, 한문희, 김병우, "야외 확산실험을 통한 대기확산모형 검증," 대한환경공학회지, 19(11), 1361-1368(1997).
7. P. Zannetti, *Air Pollution Modeling*, Van Nostrand Reinhold, pp. 41-72, New York(1990).
8. C.A. Sherman, "A mass-consistent model for wind fields over complex terrain", *Jour. of Applied Meteor.*, 7, 312-319(1978).
9. D. Etiling, J. Preuss and M. Wamser, "Application of a random walk model to turbulent diffusion in complex terrain," *Atmos. Environ.*, 20(4), 741-747(1986).
10. J.J. Walton, "Scale-dependent diffusion," *Jour. of Applied Meteor.*, 13, 547-549(1972).
11. S.R. Hanna, "AMS workshop on stability classification schemes and sigma curves," *Jour. Climate and Applied Meteor.*, 58(12), 1305-1309(1977).
12. D.H. Lenschow, *Probing the Atmosphere Boundary Layer*, pp.103~128 American Meteorological Society, Boston(1986).