

# 확산계수의 모델링방법이 대기확산인자에 미치는 영향

황원태, 김은한, 정해선, 정효준, 한문희

한국원자력연구원

2013년 3월 20일 접수 / 2013년 4월 18일 1차 수정 / 2013년 5월 3일 2차 수정 / 2013년 5월 6일 채택

가우시안 플룸모델(Gaussian plume model)을 사용한 대기확산의 예측에서 확산계수는 결과에 중요한 영향을 미치는 변수이다. 확산계수의 평가방법은 다양하며, 본 연구에서는 미국 원자력규제위원회(U. S. NRC) 권고 규제지침, 캐나다 원자력안전위원회(CNSC) 권고 규제지침, 확률론적 사고결말해석코드 MACCS와 MACCS2에서 권고 또는 적용하는 방법을 고찰하였다. U. S. NRC에서 권고하는 부지적합성 평가를 위한 가상사고시 대기확산모델을 기반으로 확산계수의 평가방법이 대기확산인자에 미치는 영향을 분석하였다. 확산계수는 Pasquill-Gifford 곡선을 기반으로 각기 다른 연구자들에 의해 얻어진 곡선의 피팅식(curve fitting equations)을 적용 또는 권고하고 있음을 확인하였다. 수평확산계수는 모든 규제지침과 코드에서 플룸의 사행효과를 반영하여 보정하고 있으나 그 적용 방법에 있어서는 차이를 나타냈다. 수직확산계수는 U. S. NRC 권고 규제지침을 제외하고 표면거칠기를 반영하여 보정하고 있다. 특정 표면거칠기에 대해 확산계수의 적용방법에 따라 대기확산인자는 최대 약 4배의 차이를 나타냈다. 표면거칠기는 대기확산인자에 중요한 영향을 나타냈으며, 동일 적용방법에 대해 표면거칠기에 따라 대기확산인자는 약 2~3배의 차이를 나타냈다.

중심어: 가상사고, 대기확산모델, 확산계수, 플룸사행, 표면거칠기

## 1. 서론

안전성분석보고서(Safety Analysis Report; SAR)에서는 원자력시설의 수명기간 중에 발생할지 모르는 만일의 사고를 가상하여 설령 그러한 사고가 발생하더라도 부지의 제한구역경계(Exclusion Area Boundary; EAB)에 위치한 일반인의 방사능에 의한 리스크(risk)가 과도하지 않음을 입증해야 한다. 원전의 사고는 극히 드물게 일어나고 실험의 한계, 사고 당시의 기상조건과 방사성물질의 환경내 거동 등의 불확실성으로 SAR의 사고영향 평가에서는 극히 보수적인 관점에서 해석한다.

국내 원전의 EAB는 경수로인 고리 원전의 경우 반경 700 m, 중수로인 월성 원전의 경우 반경 914 m, 신고리 원전의 경우 반경 560 m 등으로 모두 원전으로부터 1 km 이내로 설정되어 있다. 따라서 원전으로부터 짧은 거리에서 방사성물질의 대기중 물리적 확산특성에 대한 이해가 보다 중요하다. 일반적으로 짧은 거리에 대한 대기 확산은 검증이 가장 잘되어 있는 직선계적 가우시안 플룸 모델(straight-line Gaussian plume model)을 사용하여 평가한다. 동 모델은 기본적으로 평탄한 지형을 대상으로 개발된 것으로, 현실적 지형조건에서 대기확산평가의 과도한 보수성을 지양하기 위해 여러 전산코드나 각 국의 규제기관에서는 수정된 직선계적 가우시안 플룸 모델

(modified straight-line Gaussian plume model)을 적용하거나 권고하고 있다. 직선계적 가우시안 플룸 모델을 사용하여 방사성물질의 확산을 예측할 때 풍속과 확산계수(diffusion coefficient)는 기본적으로 요구되는 변수이다. 풍속은 기상관측탑에서 실제 측정되는 변수인 반면 확산계수는 거리에 따른 대기안정도 함수 등으로 추정된다. 확산계수는 전통적으로 Pasquill-Gifford 곡선을 적용하지만 전산 활용 등의 목적을 위해 여러 연구자들에 의해 제안된 다양한 곡선의 피팅식(curve fitting equations)이 사용되고 있다. 수정된 직선계적 가우시안 플룸 모델에서는 플룸의 사행효과(plume meandering effect)와 표면거칠기(surface roughness) 등에 따른 추가적 확산을 반영하기 위해 확산계수를 보정하여 적용하며, 그 방법은 각 국의 규제지침 또는 여러 전산 코드마다 차이가 있다.

본 연구에서는 경수로의 부지적합성 평가를 위한 U. S. NRC 규제지침[1], 중수로의 부지적합성 평가를 위한 캐나다 원자력안전위원회(Canadian Nuclear Safety Commission; CNSC)의 규제지침[2], 확률론적 사고결말해석코드 MACCS [3]와 MACCS2 [4]에서 권고 또는 적용하는 확산계수의 평가방법을 고찰하였다. 또한 U. S. NRC에서 권고하는 가상사고시 대기확산모델을 기반으로 다른 확산계수의 적용방법에 따른 대기확산의 영향을 분석하였다.

교신저자: 황원태, wthwang@kaeri.re.kr  
대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111 한국원자력연구원

## 2. 고찰 방법

### 2.1 사고시 대기확산인자

원자력안전위원회 고시 제2012-19호 “원자로시설 부지의 기상조건에 관한 조사·평가 기준” [5]에서는 U. S. NRC의 규제지침 1.145에 기반하여 부지적합성 입증을 위한 가상 사고시 대기확산인자(atmospheric dispersion factor) 평가에 대한 방법을 제시하고 있다. 대기확산인자는 방사성물질의 단위 방출률(Bq sec<sup>-1</sup>)에 대한 공기중 농도(Bq m<sup>-3</sup>)를 정량화하기 위한 용어로 단위는 sec m<sup>-3</sup>을 갖는다. 원전의 수명기간중 사고는 어떤 기상조건에서 발생할지 예측하기 힘들기 때문에 부지에서 다년간 측정된 기상자료의 결합빈도분포(joint frequency distribution)를 사용하여 통계적 또는 확률적으로 평가한다. 국내 원전의 경우 설계특성상 만일의 사고가 발생하는 경우 방사성물질은 원자로건물의 누설이나 환기계통을 통해 환경으로 방출된다. 이러한 유형의 방출을 지표면 방출(ground release)이라 하며, 피폭자가 위치하는 지상에서 플룸의 중심선에 대한 대기확산인자는 다음 식으로 평가한다[1].

$$\frac{\chi}{Q} = \frac{1}{U_{10} (\pi \sigma_y \sigma_z + A/2)} \quad (1)$$

$$\frac{\chi}{Q} = \frac{1}{U_{10} (3\pi \sigma_y \sigma_z)} \quad (2)$$

$$\frac{\chi}{Q} = \frac{1}{U_{10} \pi \Sigma_y \sigma_z} \quad (3)$$

여기서,

$\frac{\chi}{Q}$  : 대기확산인자 (sec m<sup>-3</sup>)

$U_{10}$  : 10m 높이에서 측정된 풍속 (m sec<sup>-1</sup>)

$\sigma_y$  : 수평확산계수 (m)

$\sigma_z$  : 수직확산계수 (m)

$A$  : 건물의 최소단면적 (m<sup>2</sup>)

$\Sigma_y$  : 플룸의 사행효과를 반영한 수평확산계수 (m)

풍속이 6 m sec<sup>-1</sup>보다 낮고 대기안정도가 중립(대기안정도 등급 D) 또는 안정상태(대기안정도 등급 E, F, G)에서는 수평방향으로 플룸의 사행으로 인한 추가적 확산이 고려된다. 이러한 기상조건에서는 식 (1)과 식 (2)로 평가된 대기확산인자 중에서 보다 높은 값이 선택되고, 이 값을 식 (3)으로 평가된 대기확산인자와 비교하여 보다 큰 값이 선택된다. 상기 기상조건 이외의 경우에 대해서는 식 (1)과 식 (2)로 평가된 대기확산인자 중에서 보다 높은 값이 선택된다. 이러한 대기확산인자 평가방법에 부지에서 측정된 기상자료의 결합빈도분포를 적용하면, 16개 방위별 대기확산인자 분포와 부지전체 대기확산인자 분포를 구할 수 있다. SAR 사고영향평가에서 적용되는 사고 후 2시간 대기확산인자(단기 대기확산인자)는 16개 방위별 대기확산인자의 누적발생빈도 99.5% 값 중에서 가장 큰 값과 부지전체 누적발생빈도 95% 값을 비교하여 큰 값으로 결정된다.

국내 여러 부지 기상자료를 이용한 대기확산인자 평가 결과를 분석해 보면, 누적발생빈도 99.5%나 95% 값은 대부분 확산이 양호하지 못한 기상조건, 즉 대기가 안정하면서 풍속이 낮은 기상조건에서 결정되기 때문에 식 (3)이 단기 대기확산인자 결정에 주도적 기여를 한다. 따라서 본 연구에서는 식 (3)을 사용하여 각기 다른 규제지침과 코드(이하 모델이라 한다)에서 적용 또는 권고하고 있는 확산계수(사행효과 포함)의 추정 방법에 따른 대기확산인자의 영향을 고찰하였다.

### 2.2 확산계수

직선궤적 가우시안 플룸모델에서 확산계수는 대기안정도에 대한 거리의 함수로 추산한다. 일반적으로 대기안정도는 높이에 따른 온도 차이로부터 추산되며, 환경 및 기상조건의 다양성으로 확산계수는 많은 불확실성을 내포한다. 확산계수의 추정은 기본적으로 평탄한 지형(표면거칠기 0.03 m)에 대해 짧은 시간(10분) 동안 추적자를 방출하여 얻어진 실험값을 내·외삽하여 구한 Pasquill-Gifford 곡선이 사용된다[6]. 이 곡선을 전산 활용 등의 목적을 위해 여러 모델에서는 다양한 곡선의 피팅식을 제공하고 있다. 이와 더불어 평가결과에 대한 과도한 보수성을 지양하기 위해 수평확산계수에 플룸의 사행효과를 반영한 보정된 수평확산계수, 수직확산계수에 표면거칠기를 반영한 보정된 수직확산계수를 적용하고 있는데 이 또한 모델에 따라 적용방법에 있어서 차이가 있다.

#### 1) U. S. NRC 규제지침 권고 확산계수

확산계수는 다음과 같이 Eimutis-Konic가 유도한 식의 적용을 권고하고 있다.

$$\sigma_y = a \left( \frac{x}{1000} \right)^{0.894} \quad (4)$$

$$\sigma_z = c \left( \frac{x}{1000} \right)^d + f \quad (5)$$

여기서  $x$ 는 방출점으로부터 거리(m), 상수  $a, c, d, f$ 는 표 1과 같이 거리와 대기안정도에 따라 결정된다. 극히 안정한 대기(대기안정도 등급 G)에 대해서는 다음과 같이 확산계수를 평가한다.

$$\sigma_y(G) = (2/3) \sigma_y(F) \quad (6)$$

$$\sigma_z(G) = (3/5) \sigma_z(F) \quad (7)$$

여기서  $\sigma_y(G)$ 와  $\sigma_y(F)$ 는 각각 대기안정도 등급 G와 F에 대한 수평확산계수(m),  $\sigma_z(G)$ 와  $\sigma_z(F)$ 는 각각 대기안정도 등급 G와 F에 대한 수직확산계수(m)를 나타낸다.

**Table 1.** Constants of Diffusion Coefficients Recommended by the U. S. Nuclear Regulatory Commission's Regulatory Guide.

Stability class	a	x ≤ 1 km			x > 1 km		
		c	d	f	c	d	f
A	213	440.8	1.942	9.27	459.7	2.094	-9.6
B	156	106.6	1.149	3.3	108.2	1.098	2
C	104	61	0.911	0	61	0.911	0
D	68	33.2	0.725	-1.7	44.5	0.516	-13
E	50.5	22.8	0.678	-1.3	55.4	0.305	-34
F	34	14.35	0.74	-0.35	62.6	0.18	-48.6

**Table 2.** Constants of Diffusion Coefficients Recommended by the Canadian Nuclear Safety Commission's Regulatory Guide.

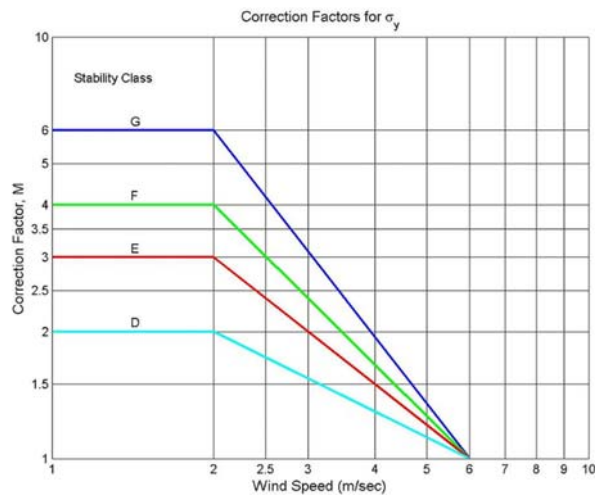
Stability class	Constants				
	c <sub>3</sub>	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>
A	0.22	0.112	1.060	5.38E-4	0.815
B	0.16	0.130	0.950	6.52E-4	0.750
C	0.11	0.112	0.920	9.05E-4	0.718
D	0.08	0.098	0.889	1.35E-3	0.688
E	0.06	0.0609	0.895	1.96E-3	0.684
F	0.04	0.0638	0.783	1.36E-3	0.672

수직확산계수는 표면이 상대적으로 매끈한 표면(표면 거칠기 0.03 m)에 대해 구한 값이지만 표면거칠기에 따른 보정은 고려하지 않는다. 대기가 안정(대기안정도 등급 E, F, G)하고 6 m sec<sup>-1</sup> 보다 낮은 풍속에서는 그림 1과 같이 실험으로 얻은 사행효과 보정인자(M)를 사용하여 수평확산계수를 보정하고 있다.

보고되고 있다[7].

2) CNSC 규제지침 권고 확산계수

캐나다의 원자력안전위원회의 규제지침(CAN/CSA-N288.2)에서 확산계수는 다음과 같이 Smith-Hosker가 유도한 표준식의 적용을 권고하고 있다.



**Fig. 1.** Correction factors for plume meandering effect.

$$\Sigma_y = M \sigma_y \quad x \leq 800 \text{ m} \quad (8)$$

$$\Sigma_y = (M-1) \sigma_{y,800m} + \sigma_y \quad x > 800 \text{ m} \quad (9)$$

여기서  $\sigma_{y,800m}$ 는 방출점으로부터 800 m 지점에서의 수평확산계수(m)를 나타낸다. 실험결과에 따르면 플룸의 사행효과는 확산을 1.5~2.5배 정도 증가시키는 것으로

$$\sigma_y = \frac{c_3 x}{\sqrt{1 + 0.0001 x}} \quad (10)$$

$$\sigma_z = \frac{a_1 x^{b_1}}{(1 + a_2 x^{b_2})} \quad (11)$$

상기 확산계수 식의 각 상수(c<sub>3</sub>, a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>)는 표 2와 같다.

수직확산계수는 표면거칠기(z<sub>0</sub>, m)에 따라 다음 식을 사용하여 보정한다.

$$\Sigma_z = \sigma_z F \quad (12)$$

여기서,

$\Sigma_z$  : 표면거칠기를 반영한 수직확산계수(m)

F : 표면거칠기 보정인자

$$F = \ln \left[ c_1 x^{d_1} \left( 1 + \frac{1}{c_2 x^{d_2}} \right) \right] \quad z_0 > 0.1 \text{ m} \quad (13)$$

$$F = \ln \left( \frac{c_1 x^{d_1}}{1 + c_2 x^{d_2}} \right) \quad z_0 \leq 0.1 \text{ m} \quad (14)$$

표 3은 표면의 종류에 따른 대표적 표면거칠기와 보정인자의 상수(c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>, d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>)값을 나타냈다.

**Table 3.** Constants of Correction Factor for Surface Roughness Recommended by the Canadian Nuclear Safety Commission's Regulatory Guide.

Surface	Surface roughness (m)	Constants			
		$c_1$	$d_1$	$c_2$	$d_2$
Lawn grass, Water body	0.01	1.56	0.048	6.25E-4	0.45
Plowed land	0.04	2.02	0.0269	7.76E-4	0.37
Grassland, Rural area	0.1	2.72	0	0	0
Small village	0.4	5.16	-0.098	18.6	-0.225
Forested area, City	1.0	7.37	-0.0957	4.29E+3	-0.60
City with tall buildings	4.0	11.7	-0.128	4.59E+4	-0.78

**Table 4.** Constants of Diffusion Coefficients Used in Probabilistic Accident Consequence Analysis Codes MACCS and MACCS2.

Stability class	Constants			
	$p$	$r_1$	$q$	$r_2$
A	0.3658	0.9031	0.00025	2.125
B	0.2751	0.9031	0.0019	1.6021
C	0.2089	0.9031	0.2	0.8543
D	0.1474	0.9031	0.3	0.6532
E	0.1046	0.9031	0.4	0.6021
F	0.0722	0.9031	0.2	0.6020

플룸의 사행효과는 대기안정도에 관계없이  $2 \text{ m sec}^{-1}$  이하의 풍속에서 고려된다. U. S. NRC 규제지침 권고 평가방법과 달리 사행효과는 16개 방위의 한 구간(22.5도)에 대한 평균 대기확산인자 식을 적용함으로써 간접적으로 반영하고 있다.

$$\frac{\chi}{Q} = \left( \frac{2.032}{x} \right) \frac{1}{U_{10} \Sigma_z} \quad (15)$$

상기 식을 식 (3)과 비교하면 플룸의 사행효과를 반영한 수평확산계수( $\Sigma_y$ )는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\Sigma_y = \frac{1}{\pi} \left( \frac{x}{2.032} \right) \quad (16)$$

3) 확률론적 사고결말해석코드 적용 확산계수

확률론적 사고결말해석 코드인 MACCS와 MACCS2에서 확산계수는 다음과 같이 Tadmor-Gur가 유도한 식을 적용하고 있다.

$$\sigma_y = p x^{r_1} \quad (17)$$

$$\sigma_z = q x^{r_2} \quad (18)$$

상기 확산계수 식에 대한 상수( $p, q, r_1, r_2$ )는 표 4와 같다.

수직확산계수는 표면거칠기에 따라 다음 식을 사용하여 보정한다.

$$\Sigma_z = \sigma_z \left( \frac{z_0}{z_{0,ref}} \right)^{0.2} \quad (19)$$

여기서  $z_{0,ref}$ 는 참조 표면거칠기(=0.03 m)를 나타낸다. MACCS와 MACCS2에서 적용하고 있는 표면의 종류에 따른 대표적 표면거칠기를 표 5에 나타냈다.

**Table 5.** Representative Surface Roughness Used in Probabilistic Accident Consequence Analysis Codes MACCS and MACCS2.

Surface	Surface roughness (m)
Lawn	0.01
Tall grass, Crop	0.1~0.15
Countryside	0.3
Suburb	1
Forest	0.2~2
City	1-3

MACCS에서 플룸의 사행효과는 방사성물질의 환경방출기간( $\Delta t, \text{sec}$ )에 따라 다음과 같이 수평확산계수에 그 영향을 반영하고 있다.

$$\Sigma_y = \sigma_y \left( \frac{\Delta t}{\Delta t_{ref}} \right)^m \quad (20)$$

여기서  $\Delta t_{ref}$ 는 참조 방출지속시간(=10분)을 나타낸다. 방출지속시간이 10분을 초과하여 1시간 이하의 경우 식 (19)에서 상수  $m$  값은 0.2, 그 이상에 대해서는 0.25를 적용하고 있다. MACCS를 개선한 MACCS2에서 수직

확산계수 추정방법은 MACCS와 동일하나, 플룸의 사행효과에 따른 수직확산계수의 보정은 U. S. NRC에서 권고하는 사행효과 보정인자를 적용하고 있다.

### 3. 결과 및 고찰

U. S. NRC에서 권고하는 부지적합성 평가를 위한 사고시 대기확산모델을 기반으로 하여 U. S. NRC와 CNSC의 규제지침 권고, MACCS와 MACCS2에서 적용하는 확산계수 적용방법이 대기확산인자에 미치는 영향을 고찰하였다. 부지적합성 평가를 위한 단기 대기확산인자는 확산이 양호하지 못한 기상조건에서 결정되고, 국내 기상특성을 반영한 평가의 경험에 비추어 많은 경우 식 (3)으로 평가된 대기확산인자 값이 주도적 기여를 한다. 따라서 식 (3)을 사용하여 대기는 안정(대기안정도 등급 E, F, G)하고 풍속은 1 m sec<sup>-1</sup>의 조건에 대해 방출점으로부터 거리에 따른 대기확산인자의 영향을 분석하였다. 다만 U. S. NRC 권고 규제지침을 제외한 다른 모델에서는 표면거칠기에 따른 수직확산계수의 보정을 고려하고 있기 때문에 식 (3)의 수직확산계수( $\sigma_z$ ) 대신 수정된 수직확산계수( $\Sigma_z$ )가 적용되었다. U. S. NRC에서는 사고시 단기 대기확산인자 또는 2시간 대기확산인자의 개념을 도입하고 있으며, 이와 개념적으로 일치시키기 위해 방사성물질의 환경방출기간을 2시간으로 가정하였다. 또한 U. S. NRC 권고 규제지침을 제외한 다른 모델에서는 극히 안정한 대기조건(대기안정도 등급 G)을 세분화하고 있지 않기에 극히 안정한 대기조건에서 확산계수는 U. S. NRC 규제지침 권고 방법과 동일한 방법을 사용하여 추산하였다.

그림 2는 표면거칠기 0.01 m (U. S. NRC 권고 수직확산계수는 표면거칠기 0.03 m)에 대해 각기 다른 대기안정도에 따른 거리별 대기확산인자 값을 보여준다. MACCS의 확산계수 평가방법을 적용하였을 때 가장 높은 결과를 나타냈으며, U. S. NRC 권고 확산계수 평가방법을 적용하였을 때 비교적 낮게 나타났다. MACCS의 확산계수 평가방법에 의한 결과는 U. S. NRC 권고 확산계수 평가방법에 의한 결과보다 대기안정도와 거리에 따라 약 1.4~3.9배를 보였다. CNSC 권고 확산계수 평가방법에 의한 결과도 U. S. NRC 권고 확산계수 평가방법에 의한 결과보다 최대 1.4배로 대부분 높게 나타났다. MACCS2의 확산계수 평가방법에 의한 결과는 대기가 약간 안정한 조건(대기안정도 등급 E)에서는 U. S. NRC 권고 확산계수 평가방법에 의한 결과보다 약간 낮게 나타났으나, 대기가 안정(대기안정도 등급 F)하거나 매우 안정한 조건(대기안정도 등급 G)에서는 U. S. NRC 권고 확산계수 평가방법에 의한 결과보다 높게 나타났다. 이와 같이 U. S. NRC 권고 확산계수 평가방법 이 다른 모델에 의한 결과보다 낮게 나타나는 것은 확산계수를 추정하기 위한 모델링 방법에서의 차이 이외에 다른 표면거칠기(U. S. NRC 권고 확산계수는 표면거칠기 0.03 m, 다른 코드 또는 권고지침의 결과는 표면거칠기 0.01 m)를 적용한 것도 한 이유가 될 수 있다.

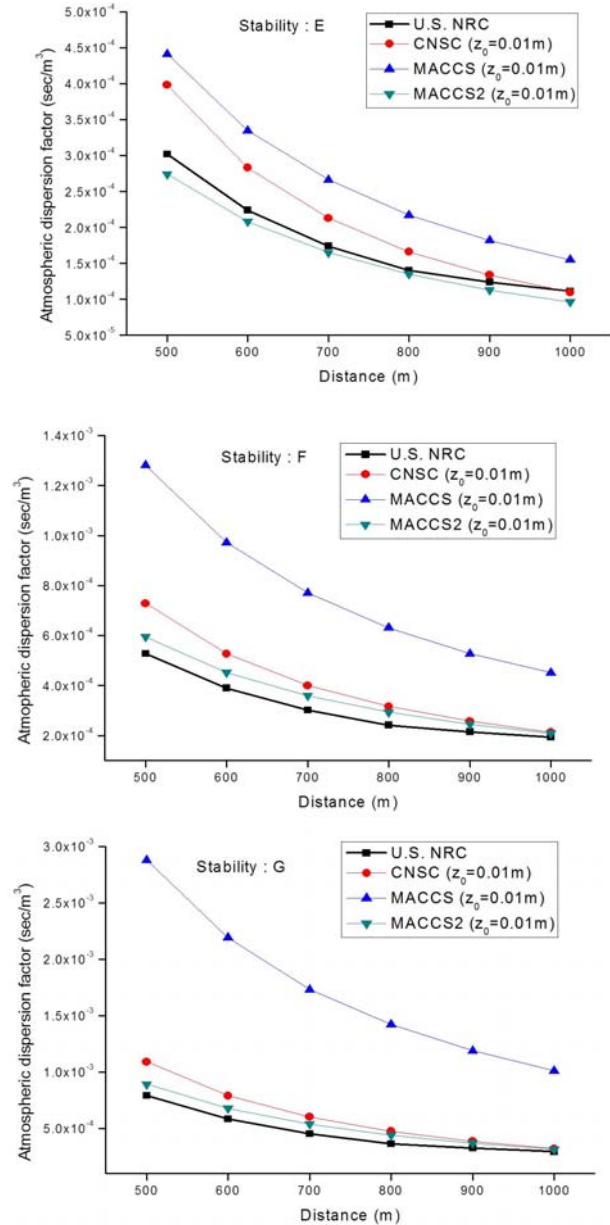


Fig. 2. Atmospheric dispersion factors according to different modelling approaches of dispersion coefficients for surface roughness of 0.01 m.

그림 3은 표면거칠기 0.1 m (U. S. NRC 권고 수직확산계수는 표면거칠기 0.03 m)에 대해 각기 다른 대기안정도에 따른 거리별 대기확산인자를 보여준다. 대기가 안정(대기안정도 등급 F) 또는 매우 안정(대기안정도 등급 G)한 조건에서 MACCS의 확산계수 평가방법에 의한 결과를 제외하고 U. S. NRC 권고 확산계수 평가방법에 의한 결과가 높게 나타났다. 이러한 U. S. NRC 권고 확산계수 평가방법에 의한 결과가 높게 나타나는 것은 앞서 언급한 바와 같이 확산계수를 추정하기 위한 모델링 방법의 차이 이외에 다른 표면거칠기(U. S. NRC 권고 확산계수는 표면거칠기 0.03 m, 다른 코드 또는 권고지침의 결과는 표면거칠기 0.1 m)의 적용에 기인한다. MACCS의 확산계수 평가방법에 의한 결과가 대기가 약간 안정(대기

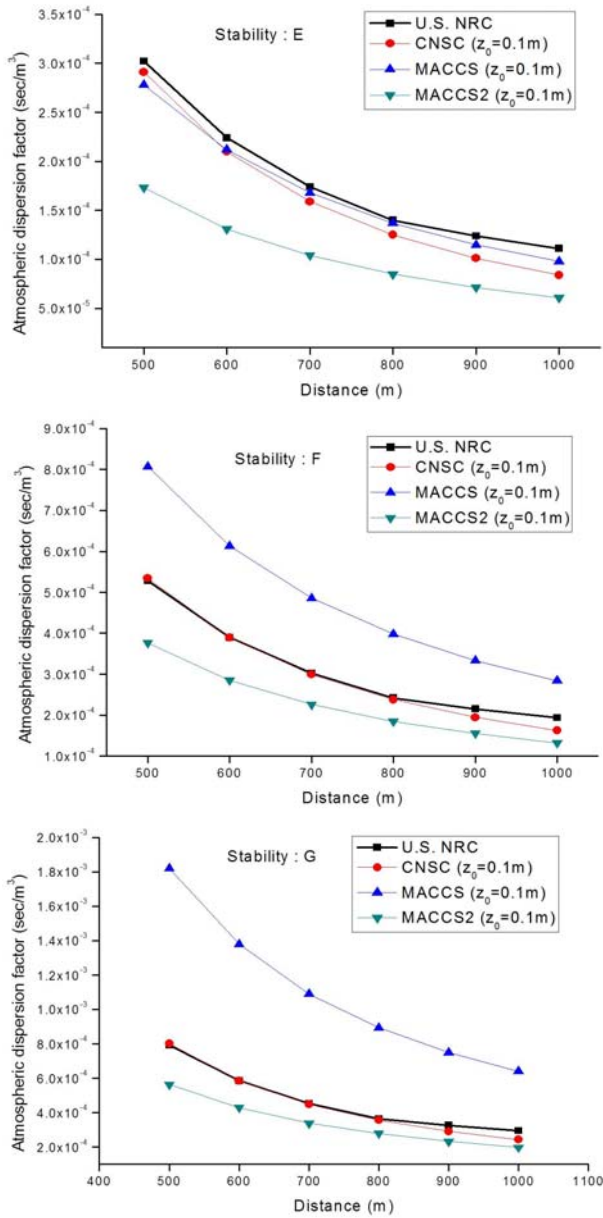


Fig. 3. Atmospheric dispersion factors according to different modelling approaches of dispersion coefficients for surface roughness of 0.1 m.

안정도 E)한 조건을 제외하고 가장 높게 나타났으며, MACCS2의 확산계수 평가방법에 의한 결과가 가장 낮게 나타났다. CNSC 권고 확산계수 평가방법에 의한 결과는 U. S. NRC 권고 확산계수 평가방법에 의한 결과와 유사하거나 약간 낮게 나타났다.

그림 4는 표면거칠기 1 m (U. S. NRC 권고 수직확산계수는 표면거칠기 0.03 m)에 대해 각기 다른 대기안정도에 따른 거리별 대기확산인자를 보여준다. 대기가 매우 안정한 조건(대기안정도 등급 G)에서 MACCS의 확산계수 적용방법에 의한 결과를 제외하고 U. S. NRC 권고 확산계수 평가방법에 의한 결과가 대부분 높게 나타났다. MACCS2의 확산계수 평가방법에 의한 결과는 U. S. NRC

권고 확산계수 적용방법에 의한 결과에 비해 대기안정도와 거리에 따라 약 0.3~0.5배 정도 낮게 나타났다. 또한 CNSC 권고 확산계수 평가방법에 의한 결과는 U. S. NRC 권고 확산계수 적용방법에 의한 결과에 비해 대기안정도와 거리에 따라 약 0.6~0.7배 정도 낮게 나타났다. MACCS의 확산계수 적용방법에 의한 결과는 U. S. NRC 권고 확산계수 적용방법에 의한 결과에 비해 대기가 약간 안정하거나 안정(대기안정도 등급 E, F)할 경우에는 약 0.6~0.7배 정도 낮게 나타났으나 매우 안정(대기안정도 등급 G)할 경우에는 약 1.5배 정도 높게 나타났다.

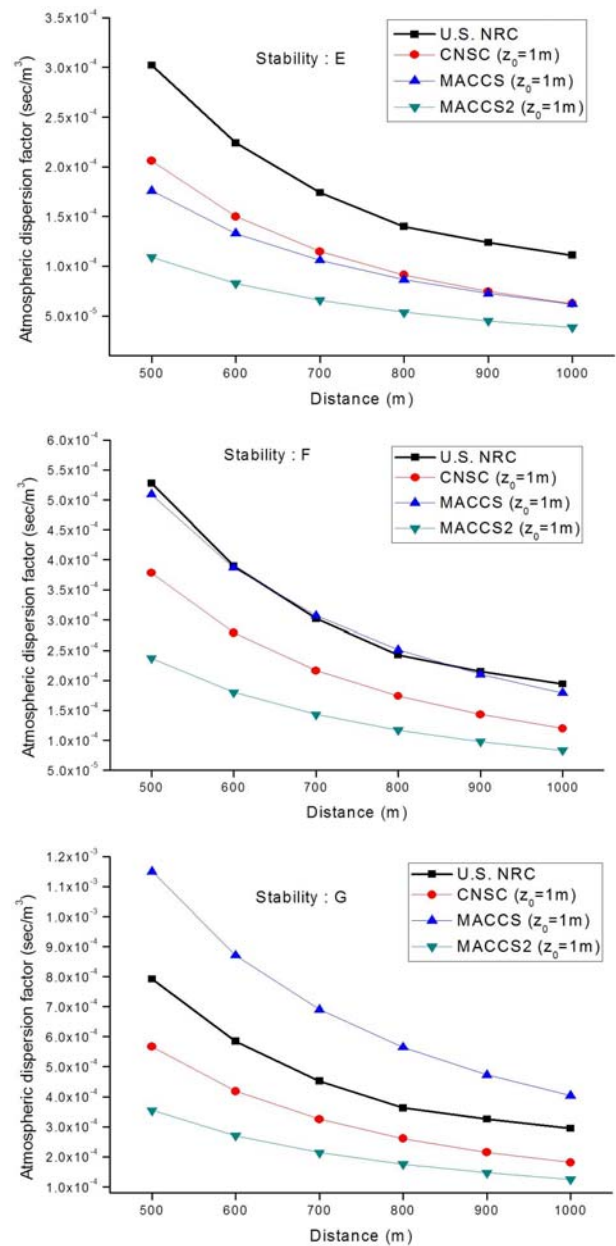


Fig. 4. Atmospheric dispersion factors according to different modelling approaches of dispersion coefficients for surface roughness of 1 m.

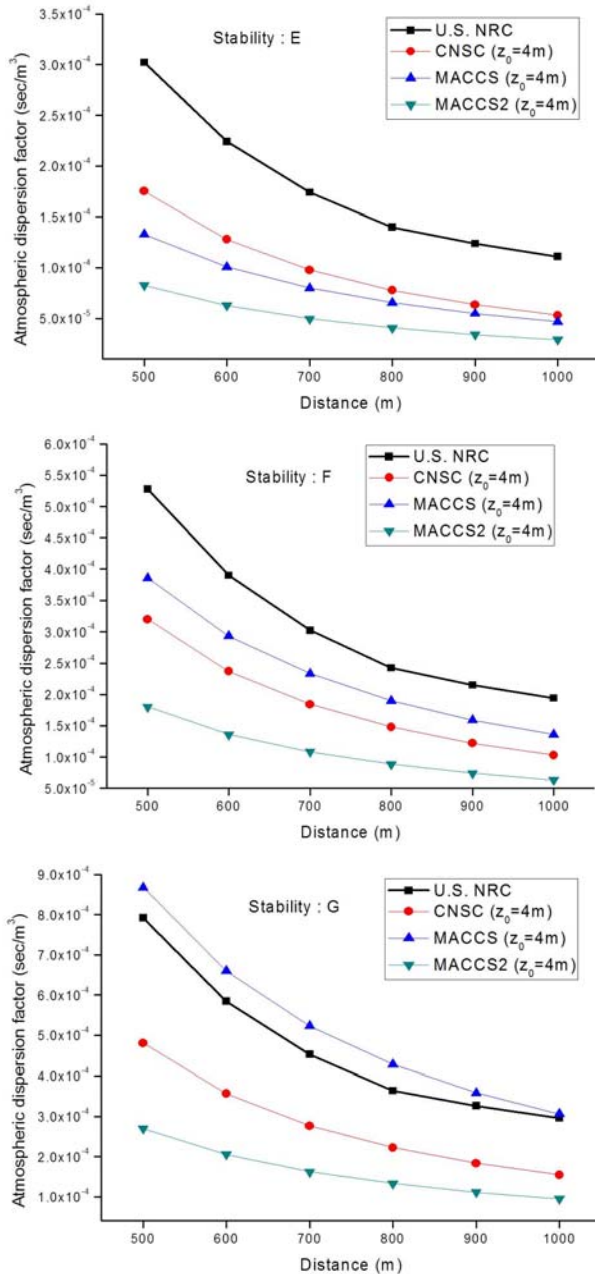


Fig. 5. Atmospheric dispersion factors according to different modelling approaches of dispersion coefficients for surface roughness of 4 m.

그림 5는 표면거칠기 4 m (U. S. NRC 권고 수직확산계수는 표면거칠기 0.03 m)에 대해 각기 다른 대기안정도에 따른 거리별 대기확산인자 값을 보여준다. 그림 3에 제시한 결과와 마찬가지로 대기가 매우 안정(대기안정도 등급 G)한 조건에서 MACCS의 확산계수 적용방법에 의한 결과를 제외하고 U. S. NRC 권고 확산계수 평가방법에 의한 결과가 높게 나타났다. MACCS2의 확산계수 평가방법에 의한 결과는 U. S. NRC 권고 확산계수 적용방법에 의한 결과에 비해 대기안정도와 거리에 따라 약 0.3~0.4배 정도 낮게 나타났다. 또한 CNSC 권고 확산계수 평가방법에 의한 결과는 U. S. NRC 권고 확산계수 적용방법에 의한 결과에 비해 대기안정도와 거리에 따라 약 0.5~0.6배 정도 낮게 나타났다. MACCS의 확산계수 적

용방법에 의한 결과는 U. S. NRC 권고 확산계수 적용방법에 의한 결과에 비해 대기가 약간 안정 또는 안정(대기안정도 E, F)할 경우에는 약 0.4~0.5배로 낮게 나타났으며, 매우 안정(대기안정도 G)한 경우에는 최대 1.2배 높게 나타났다.

#### 4. 결론

U. S. NRC에서 권고하는 부지적합성 평가를 위한 사고시 대기확산모델을 기반으로 여러 모델에서 적용하는 각기 다른 확산계수의 평가방법을 고찰하고 이에 따른 대기확산인자의 영향을 분석하였다. 본 연구에서 고찰된 규제지침과 코드에서 확산계수는 Pasquill-Gifford 곡선의 기반으로 각기 다른 연구자들에 의해 얻어진 곡선의 피팅식(curve fitting equations)을 적용 또는 권고하고 있다. 수평확산계수는 모든 규제지침과 코드에서 플룸의 사행효과를 반영하여 보정하고 있으나 그 적용 방법에 있어서는 차이를 나타냈다. 수직확산계수는 U. S. NRC 권고 규제지침을 제외하고 표면거칠기를 반영하여 보정하고 있다. 선택된 표면거칠기에 대해 확산계수의 적용방법에 따라 대기확산인자는 최대 약 4배의 차이를 나타냈다. 표면거칠기에 따른 대기확산인자 값은 MACCS와 MACCS2의 확산계수 적용방법에 대해서는 최대 약 3.3배, CNSC 권고 확산계수 적용방법에 대해서는 최대 약 2.3배의 차이를 나타냈다. 따라서 U. S. NRC 권고 확산계수 평가방법을 제외한 다른 모델을 활용하여 대기확산을 평가할 경우에는 부지 특성에 적합한 표면거칠기의 선택이 중요한 요소임을 알 수 있다.

원자력시설의 신규부지 뿐 아니라 기존부지의 가상 사고에 따른 대기확산은 부지적합성 평가를 위한 필수 요소이다. 본 연구의 결과는 과도한 보수성을 지양하고 국내의 지형과 환경특성에 적합한 가상 사고시 대기확산인자 평가체계의 확립에 기여할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부와 원자력안전위원회의 중장기연구개발사업으로 수행되었습니다 (과제번호: NRF-2012M2A8A4025914 및 NRF-2012M5A1A1028803).

#### 참고문헌

1. U. S. Nuclear Regulatory Commission (NRC). Atmospheric dispersion models for potential accident consequence assessments at nuclear power plants. Regulatory Guide 1.145 Revision 1, 1979.
2. Canadian Standards Association. Guidelines for calculating radiation doses to the public from a release of airborne radioactive material under hypothetical accident conditions in nuclear reactors. CAN/CSA-N288.2-M91. Rexdale, Ont, 1991.
3. Jow HN, Sprung JL, Rollstin JA, Ritchie LT, Chanin D. MELCOR accident consequence code system

- (MACCS): Model description, NUREG/CR-4691, SAND86-1562, Sandia National Laboratories, 1990.
4. Chanin D, Young ML, Randall J, Jamali K. MELCOR accident consequence code system for the calculation of the health and economic consequences of accidental atmospheric radiological release (MACCS2) : User's guide, NUREG/CR-6613, SAND97-0594, Sandia National Laboratories, 1998.
  5. 원자력안전위원회. 원자로시설 부지의 기상조건에 관한 조사·평가 기준, 원자력안전위원회고시 제2012-19호, 2012.
  6. Till JE, Meyer HR. Radiological assessment: A text on environment dose analysis, NUREG/CR-3332, ORNL-5968. U. S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), 1983.
  7. Snell WG, Jubach RW. Technical basis for regulatory guide 1.145, "Atmospheric dispersion models for potential accident consequence assessments at nuclear power plants", NUREG/CR-2260, NUS-3854. U. S. Nuclear Regulatory Commission (NRC). 1981.

## Influence of Modelling Approaches of Diffusion Coefficients on Atmospheric Dispersion Factors

Won Tae Hwang, Eun Han Kim, Hae Sun Jeong, Hyo Joon Jeong, and Moon Hee Han  
Korea Atomic Energy Research Institute

**Abstract** - A diffusion coefficient is an important parameter in the prediction of atmospheric dispersion using a Gaussian plume model, and its modelling approach varies. In this study, dispersion coefficients recommended by the U. S. Nuclear Regulatory Commission's (U. S. NRC's) regulatory guide and the Canadian Nuclear Safety Commission's (CNSC's) regulatory guide, and used in probabilistic accident consequence analysis codes MACCS and MACCS2 have been investigated. Based on the atmospheric dispersion model for a hypothetical accidental release recommended by the U. S. NRC, its influence to atmospheric dispersion factor was discussed. It was found that diffusion coefficients are basically predicted from a Pasquill-Gifford curve, but various curve fitting equations are recommended or used. A lateral dispersion coefficient is corrected with consideration for the additional spread due to plume meandering in all models, however its modelling approach showed a distinctive difference. Moreover, a vertical dispersion coefficient is corrected with consideration for the additional plume spread due to surface roughness in all models, except for the U. S. NRC's recommendation. For a specified surface roughness, the atmospheric dispersion factors showed differences up to approximately 4 times depending on the modelling approach of a dispersion coefficient. For the same model, the atmospheric dispersion factors showed differences by 2 to 3 times depending on surface roughness.

**Keywords** : Hypothetical accidental release, Atmospheric dispersion factor, Dispersion coefficient, Plume meandering, Surface roughness