

Improvement of Atmospheric Dispersion Assessment for Accidental Releases Using a Fuzzy Logic Inference Method

Man Gyun Na, Young Rok Sim, and Soong Pyung Kim

Nuclear Eng. Dept., Chosun University

퍼지 논리 추론 방법을 이용한 사고시 대기확산 평가 개선

나만균 · 심영록 · 김승평

조선대학교 원자력공학과

(2001년 1월 15일 접수, 2001년 3월 20일 채택)

Abstract - In order to assess the atmospheric dispersion for the accidental releases of nuclear power plants, in calculating X/Q values in the XOQAR and PAVAN codes which are based on Reg. Guide 1.145, the X/Q and frequency values are plotted on log-normal paper. Starting with the highest X/Q value of this plot, the codes compare the slope of the line drawn from this point to every other point within an increment containing ten X/Q values. If there are fewer than ten values, only the number available are used. The coefficients that produce the line with the least negative slope are saved. The end point of this line is used as the next starting point, from which slopes to the points within the next increment, containing ten X/Q values, are compared. The X/Q values corresponding to the cumulative frequency values 0.5%, 5% or 50% are calculated to search for the 0~2 hour X/Q value that tends to be a very conservative value. In this work, a fuzzy logic inference method is used for nonlinear interpolation of the X/Q values versus the cumulative frequency. The fuzzy logic inference method is known to be a good technique for nonlinear interpolation. The proposed method was applied to a potential accidental radioactive release of the Yonggwang nuclear power plant, which gives more realistic X/Q values. *Key words* : fuzzy logic inference system, accidental release, atmospheric dispersion, radioactive gaseous effluents

요약 - 사고시 대기확산을 평가하기 위해서 USNRC Reg. Guide 1.145에 기초하여 개발된 PAVAN과 XOQAR 코드는 X/Q 값을 계산할 때, 누적빈도에 대하여 X/Q 값이 log-normal 용지에 그려진다. 이 그래프에서 가장 높은 X/Q 값으로부터 시작하여 이 점으로부터 10개의 X/Q 를 포함하는 영역 내의 모든 다른 점 사이의 경사를 비교하여 가장 작은 음의 경사를 갖는 선을 생성하는 계수들이 저장되며, 이 선의 끝점이 다음 영역의 시작점으로 이용되어 반복적으로 선이 그려진다. 이와 같이 그려진 선을 이용하여 누적빈도 0.5%, 5% 혹은 50%에 상응하는 X/Q 값이 계산되어, 사고 후 0~2 시간의 X/Q 값으로 이용되며 매우 보수적인 경향을 갖게 된다. 본 논문에서는 퍼지 논리 추론계통을 이용하여 누적빈도에 대한 X/Q 값의 비선형 보간을 수행하였다. 퍼지 논리 추론계통은 비선형 보간을 위해 탁월한 방법으로 알려져 있다. 제안된 방법을 영광 원자력발전소의 잠재적 방사성물질 누출에 적용한 결과, 좀 더 현실적인 값을 제공하는 것으로 확인되었다.

중심어 : 퍼지 논리 추론계통, 사고방출, 대기확산, 기체 방사성 유출물

서론

원자력발전소의 안전성을 평가하기 위하여 정상운전 뿐만 아니라 설계기준사고시 방사성 물질의 유출로 인해 인근 주민과 환경이 받게 될 영향에 대해 평가하여야 한다. 이를 위해 사고직후 및 사고 후 30일까지의 저인구지대(LPZ, Low Population Zone)와 제한구역(Exclusion Area) 경계에 대한 대기확산인자를 계산하는 것이 요구된다. 그러나 현재 이용되고 있는 코드들은 지나치게 보수적인 특성을 갖고 있어 이들 값을 좀 더 최적화 시킬 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 요즈음 많이 이용되고 있는 퍼지 논리 추론계통을 이용하여 사고시 대기확산인자 값이 보수적인 특성을 유지하면서도 좀 더 최적 평가된 값을 도출하고자 한다. 본 논문은 실제 대기확산인자를 계산하는 모델을 변경하는 방법에 관한 것은 아니며, 각 풍속, 대기안정도에 대하여 이미 계산된 대기확산인자에서 누적빈도 0.5%, 5% 혹은 50%에 상응하는 대기확산인자를 최적 평가하기 위하여 퍼지 논리 추론계통을 도입하였다.

방사성 물질 및 오염 물질의 대기 확산인자를 계산하기 위하여 실험적으로 구한 확산 계수를 사용하는 방법이 실질적으로 많이 사용되고 있다. 이 방식에는 플룸(plume)의 이동 경로를 시간에 따라 추적하면서 계산하는 방식(가변 궤도 모델)과 바람 방향이 일정하다고 가정하고 계산하는 방식(직선 궤도 모델)이 있다. 가변 궤도 모델은 시간에 따른 방사성 플룸의 확산을 보다 정확하게 계산하지만, 과도한 계산 시간으로 인하여 비효율적인 방식이 되어, 기체 방사성 물질의 확산 및 피폭 계산에는 직선 궤도 모델을 이용하는 방식이 주로 사용되고 있다.

사고시 대기확산인자를 계산하는 코드로써 XOQAR [1] 및 PAVAN [2] 코드의 계산 방법은 직선 궤도 모델을 이용한 방법이며, 사고시 대기확산인자를 평가하기 위한 과정을 살펴보면 다음과 같다. 16 방향으로 나뉜 각 풍향에 대하여 각 지점에서 풍속과 대기안정도의 각 조합에 따른 X/Q 값을 계산하고, 이를 각 방향별 크기 순으로 나열하여 누적빈도분포를 계산한다. 누적빈도에 대하여 X/Q 값이 log-normal 용지에 그려지며, 가장 높은 X/Q 값으로부터 시작하여 이 점으로부터 10개의 X/Q 를 포함하는 영역 내의 모든 다른 점 사이의 경사를 비교하여 가장 작은 음의 경사를 갖는 선을 생성하는 계수들이 저장되며, 이 선의 끝점이 다음 영역의 시작점으로 이용

되어 반복적으로 선이 그려진다. 이와 같이 그려진 선을 이용하여 누적빈도 0.5%, 5% 혹은 50%에 상응하는 X/Q 값이 계산되어 사고 후 0~2 시간의 X/Q 값으로 이용된다 [2]. 그러나 이렇게 계산된 값은 보통 보수적인 경향을 갖게 되어, 본 연구에서는 퍼지 논리 추론계통을 이용하여 누적빈도 분포에 대한 X/Q 값의 자료로부터 비선형 보간법에 의하여 누적빈도 0.5%, 5% 혹은 50%에 상응하는 X/Q 값이 계산된다.

퍼지 논리 추론계통은 비선형 보간법으로 탁월한 성능을 발휘하여 널리 이용되고 있다. 본 논문에서 제안된 방법이 영광 원자력발전소의 잠재적 방사능 방출사고에 대한 대기확산을 평가하는데 적용을 통하여 검증될 것이다.

재료 및 방법

XOQAR과 PAVAN 코드에 의한 사고시 대기확산

XOQAR과 PAVAN 코드는 USNRC Reg. Guide 1.145 [3]에 근거하여 개발되었으며, USNRC Reg. Guide 1.145에 의하면 지표면 방출에 대한 X/Q 값을 계산하기 위하여 이용되는 식들은 다음과 같다:

$$X/Q(x, k, i, j) = \frac{1}{U_{i10}[\pi\sigma_{yj}(x)\sigma_{zj}(x) + cA]} \quad (1)$$

$$X/Q(x, k, i, j) = \frac{1}{3\pi U_{i10} \sigma_{yj}(x) \sigma_{zj}(x)} \quad (2)$$

$$X/Q(x, k, i, j) = \frac{1}{\pi U_{i10} \sum_{yij}(x) \sigma_{zj}(x)} \quad (3)$$

여기서

$X/Q(x, k, i, j)$: 풍향 k , 거리 x , 풍속 i , 대기안정도 j 에 대하여 방출원 세기에 의하여 정규화된 평균 대기확산인자 [sec/m^3],

U_{i10} : 풍속 i , 대기안정도 j 에 대한 10 m 높이에서 보정된 풍속 [m/sec],

$\sigma_{yj}(x)$, $\sigma_{zj}(x)$: 수평 및 수직 확산계수 [m],

c : 건물와류상수 (=0.5),

A : 건물의 최소 단면적 [m^2],

$\sum_{yij}(x)$: 대기안정도, 풍속, 풍하거리의 함수로 사행(Meandering Effect) 및 와류효과를 고려한 수평확산 보정 인자 (참고문헌 [3]).

위 식들은 다음 2가지 기상조건에 대하여 달리 적용된다:

- 1) 풍속이 6 m/sec보다 작고 대기안정도가 중립(D) 혹은 안정(E, F, G) 일 때는 식 (1)과 (2)에서 계산된 X/Q 값 중 높은 값을 선택하여 이것과 식 (3)에서 계산된 값을 비교, 작은 값을 사고 후 2시간 내의 X/Q 값으로 결정된다. 이때는 수평 사행효과가 고려될 수 있다.
- 2) 그 외의 기상조건의 경우에는 식 (1)과 (2)에서 계산된 X/Q 값 중 높은 값을 사고 후 2시간 내의 X/Q 값으로 결정한다. 이때는 수평 사행효과가 고려되지 않는다.

고도방출은 주변 구조물 높이의 적어도 2.5배 높이에서 방출된 것을 포함하며, 다음 식들이 이용된다(고도방출에 관한 자세한 사항은 USNRC Reg. Guide 1.145 참조):

$$X/Q(x, k, i, j) = \frac{\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{h_e(k, x)}{\sigma_{zj}(x)}\right)^2\right]}{\pi U_{ij}(h_s) \sigma_{yy}(x) \sigma_{zz}(x)},$$

(Nonfumigation 조건) (4)

$$X/Q(x, k, 6) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} U(h_e) \sigma_{y6}(x) h_e(k, x)},$$

(Fumigation 조건, 풍속에 독립) (5)

여기서

- $X/Q(x, k, 6)$: 풍향 k , 거리 x , 대기안정도 6에 대하여 방출된 세기에 의하여 정규화된 평균 대기확산인자 [sec/m^3],
- $U_{ij}(h_s)$: 풍속 i , 대기안정도 j 에 대한 방출높이로 보정된 평균풍속 [m/sec],
- $h_e(k, x)$: 유효 플룸 높이 [m],
- $U(h_e)$: 대기의 안정층을 대표하는 풍속 ($= 2\text{m}/\text{sec}$).

위 각 식들을 이용하여 대기안정도, 풍향 및 풍속의 빈도 분포를 나타내는 결합빈도분포(Joint Frequency Distributions)를 사용하여 제한구역경계와 저인구지대 경계 등의 각 지점에 대하여 방향 및 시간대별로 상대적 방사능 농도인 X/Q 값을 계산한다. X/Q 값은 대기로부터 방출되는 방사능 물질이 방사능 운의 중심선을 따라 정규분포를 이루며, 방출점과 X/Q 값이 계산되는 모든 지점들

사이에서 방사능 운이 직선으로 이동하는 것으로 가정하여 계산된다. 16 방향으로 나뉜 각 풍향에 대하여 각 지점에서 풍속과 대기안정도의 각 조합에 따른 X/Q 값을 계산하고, 이를 각 방향별 크기 순으로 나열하여 누적빈도분포를 계산한다. 누적빈도에 대하여 X/Q 값이 log-normal 용지에 그려지며, 가장 높은 X/Q 값으로부터 시작하여 이 점으로부터 10개의 X/Q 를 포함하는 영역 내의 모든 다른 점 사이의 경사를 비교하여 가장 작은 음의 경사를 갖는 선을 생성하는 계수들이 저장되며, 이 선의 끝점이 다음 영역의 시작점으로 이용되어 반복적으로 선이 그려진다. 이와 같이 그려진 선을 이용하여 누적빈도 0.5%, 5% 혹은 50%에 상응하는 X/Q 값이 계산되어 사고 후 0~2 시간의 X/Q 값으로 이용되며, 이 값들은 매우 보수적인 경향을 갖게 된다.

한편 중간시간대(2~8시간, 8~24시간, 1~4일, 4~30일)의 X/Q 값은 USNRC Reg. Guide 1.111 [4]에 기술된 정상운영시 X/Q 값과 2시간대의 X/Q 값을 대수적으로 내삽하여 결정된다.

퍼지 논리 추론 방법

퍼지추론의 규칙은 조건부 및 결론부의 쌍으로 구성되며, IF/THEN으로 묘사되는 조건부 규칙이 일반적으로 이용된다. IF 부분은 조건부이고 THEN 부분은 결론부이다. 다음부터 퍼지 논리 추론계통의 기본 원리를 간단히 서술할 것이다.

퍼지 추론의 임의의 i -번째 규칙(Rule)은 다음과 같이 표현될 수 있다 [5]:

$$R_i : \text{if } x_1 \text{ is } A_{i1} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_m \text{ is } A_{im}, \text{ then } y_i \text{ is } f_i$$

(6)

여기서

- x_1, \dots, x_m : 퍼지추론계통으로의 입력값 (m = 입력변수의 수),
- A_{i1}, \dots, A_{im} : i -번째 규칙에서 각 입력변수의 멤버쉽 함수,
- y_i : i -번째 규칙의 출력 ($i=1,2,\dots,n$),

$$f_i = \sum_{j=1}^m a_{ij}x_j + r_i$$

f_i : i -번째 규칙의 출력값 (7)
 a_{ij} : i -번째 규칙의 j -번째 입력의 가중치,
 r_i : i -번째 규칙의 바이어스,

n : 규칙수.

결론부의 값이 멤버십 함수에 의하지 않고 실제 실수 값이 이용되는 방법을 Takagi-Sugeno Type [6] 이라 불리며, 식 (7)에서와 같이 함수 f_i 가 1 차 다항식의 형태로 표현되었기 때문에 First-Order Takagi-Sugeno Type 이라 일컫는다.

멤버십 함수의 모양에 크게 영향을 받지 않으며, 본 연구에서는 'Low'에 대하여는 'Z' 모양, 'High'에 대하여는 'S' 모양, 2개의 'Medium'에 대하여는 식 (8)로 표현되는 대칭의 가우시안 멤버십 함수가 이용되었다 (그림 1 참조).

$$A_{ij}(x_j) = e^{-\frac{(x_j - c_{ij})^2}{2\sigma_{ij}^2}} \quad (8)$$

여기서 c_{ij} 는 규칙 i , 입력 j 를 위한 멤버십 함수의 피크 위치이며, σ_{ij} 는 규칙 i , 입력 j 를 위한 멤버십 함수의 가파름을 나타낸다. 또한 이들 멤버십 함수의 개수의 선택에 따라서 본 방법의 성능은 달라질 수 있다. 본 개수 (4개)의 선정은 실제 입력자료로 이용되는 자료 수 및 입력변수의 수에 영향을 받는다. 이들 개수의 선정 및 모양을 최적화 방법을 동원하여 최적화 시킬 수는 있으나, 본 적용 예에서는 자료 수가 너무 적어서 최

적화 방법을 적용하는 것이 오히려 좋지 않을 수가 있다. 각 방향 및 거리에서 대기안정도 및 풍속에 따른 대기확산인자의 자료 수가 20~30개 수준이며, 입력변수는 단지 누적빈도 하나이어서 상대적으로 선정이 용이하였다.

n 개의 규칙을 갖는 퍼지 추론의 출력값은 각 규칙에 대한 멤버십 등급을 가지고 모든 규칙에 대한 결론부의 실수 값을 가중시킴으로써 구해진다:

$$y = \sum_{i=1}^n \bar{w}_i \cdot f_i \quad (9)$$

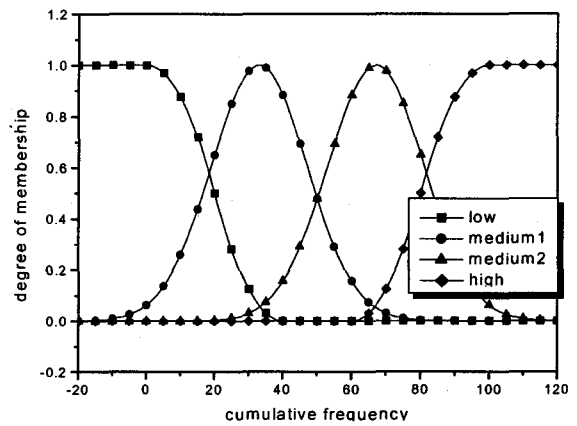


Fig. 1. Membership functions.

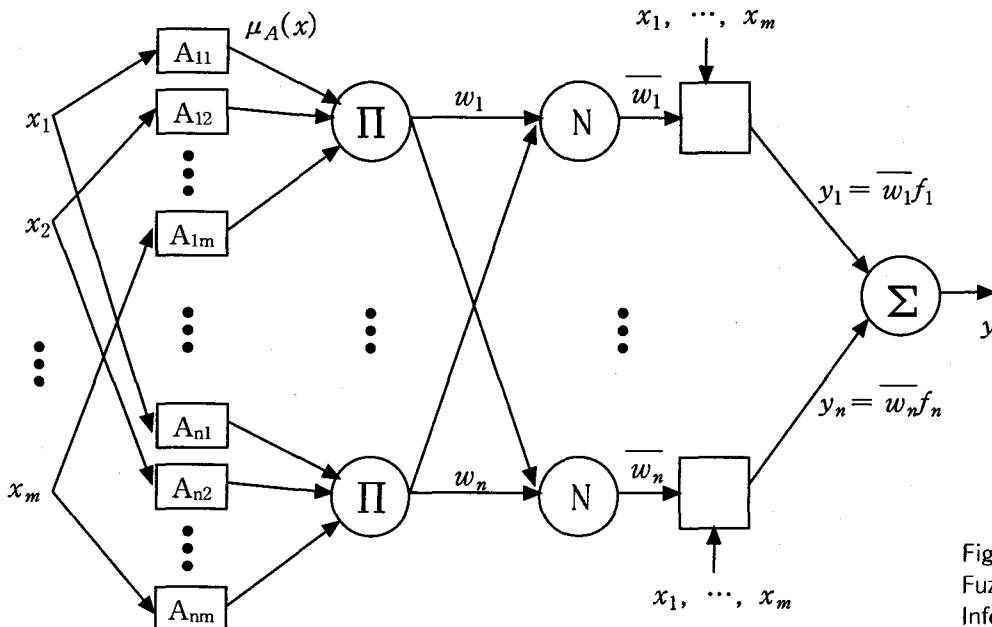


Fig. 2. Fuzzy Logic Inference System.

여기서

$$\overline{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (10)$$

$$w_i = \prod_{j=1}^m A_{ij}(x_j) \quad (11)$$

규칙 i 를 위한 멤버십 값인 w_i 는 규칙의 조건부들 (예를 들어, 'if x_1 is A and x_2 is B ') 사이의 적합성 정도를 나타낸다. 여기서 A 와 B 는 PB (Positive Big), ZO (Zero) 및 NB (Negative Big) 등과 같은 퍼지 집합을 나타내는 일반 용어이다. 위에서 묘사된 퍼지계통이 그림 2에 주어져 있다. 그림 2에서 x_1, x_2 및 x_m 은 퍼지추론 계통의 입력값이며, A_{ij} 는 규칙 i , 입력 j 를 위한 멤버십 함수이다. 이 그림에서 기호 \prod 와 N 은 각각 입력값들의 곱과 정규화를 의미하며 식 (11)과 식 (10)으로 표현되며, 기호 \sum 는 입력값들의 합을 의미하고, 두 번째 기호 \prod 와 \sum 는 식 (9)로 표현된다.

퍼지 추론 계통의 최적화를 위한 학습규칙의 구조는 다음의 두 개의 학습 가능한 파라메타 세트로 구성된다:

- 1) 입력부의 멤버십 함수 파라메타 (Antecedent Parameters),
- 2) 결론부의 다항식 파라메타 (Consequent Parameters).

본 연구에서 입력부의 멤버십 함수관련 파라메타는 몇 번의 시뮬레이션을 통하여 그림 1과 같이 선정되었으며, 결론부의 다항식 파라메타를 풀기 위하여 최소자승법이 이용되었다.

결론부의 다항식 파라메타 (Consequent Parameters)를 최적화하기 위하여 최소자승법이 이용되었는데, 다음에는 이 방법에 대하여 간단히 서술하겠다. 퍼지 추론계통의 출력을 계산하는 식 (9)를 다른 형태로 변경시켜 보자. 즉,

$$y = \overline{w}_1(x_1q_{11} + \dots + x_mq_{1m} + r_1) + \overline{w}_2(x_1q_{21} + \dots + x_mq_{2m} + r_2) + \dots + \overline{w}_n(x_1q_{n1} + \dots + x_mq_{nm} + r_n).$$

이를 벡터를 이용하여 표현하면 다음과 같다:

$$y = wq \quad (13)$$

여기서

$$w = [\overline{w}_1x_1 \dots \overline{w}_nx_1 \dots \dots \overline{w}_1x_m \dots \overline{w}_nx_m \overline{w}_1 \dots \overline{w}_n],$$

$$q^T = [q_{11} \dots q_{n1} \dots \dots q_{1m} \dots q_{nm} r_1 \dots r_n].$$

N 개의 자료 쌍 (x_1, x_2, \dots, x_m, y)이 존재할 경우에는 출력 y 및 입력 x_1, \dots, x_m 은 각각 N 개의 성분이 존재하는 행벡터가 된다. 따라서 식 (13)은 다음과 같이 표현된다:

$$y = Wq \quad (14)$$

여기서

y : 행벡터 (N 성분)

W : $N \times [(m+1)n]$ 행렬,

q : 행벡터 ($(m+1)n$ 성분),

N : 자료 쌍의 개수.

W 행렬의 역행렬이 존재한다면 성분이 Consequent Parameter로 구성된 q 벡터는 쉽게 구해질 수 있다. 그러나 보통 역행렬이 존재하지 않기 때문에, Pseudoinverse를 이용하여 q 를 구할 수 있으며 다음과 같다:

$$q = (W^T W)^{-1} W^T y \quad (15)$$

결과 및 논의

위에서 제안된 방법을 영광원자력발전소의 가상 사고에 적용하여 타당성을 살펴보고자 한다. 이를 위해 영광원자력발전소부지내 기상관측소에서 측정한 기상자료(1995.1.1~1999.12.31까지의 5년간 자료)를 사용하였다. 보수성을 위해 지표면 방출로 가정하였으며, 각 방향별 50% 누적빈도에 상응하는 X/Q 을 계산하였다. 그림 3에 기존 방법과 본 연구에서 제안된 방법의 계산 결과의 차이를 단적으로 보여주고 있다. 이 그림은 SSE 방향의 제한 구역경계에서 50% 누적빈도에 상응하는 X/Q 값의 계산시 실제 계산 결과 ('+' 표시는 각 대기안정도 및 풍속에 대하여 실제 계산된 원시 자료값)에 대비하여 기존 방법과 본 제안된 방법을 이

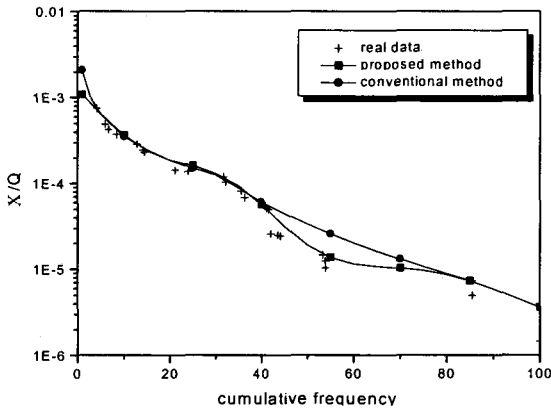


Fig. 3. Comparison of the Conventional and Proposed Calculation Results (for SSE Direction at Exclusion Area Boundary).

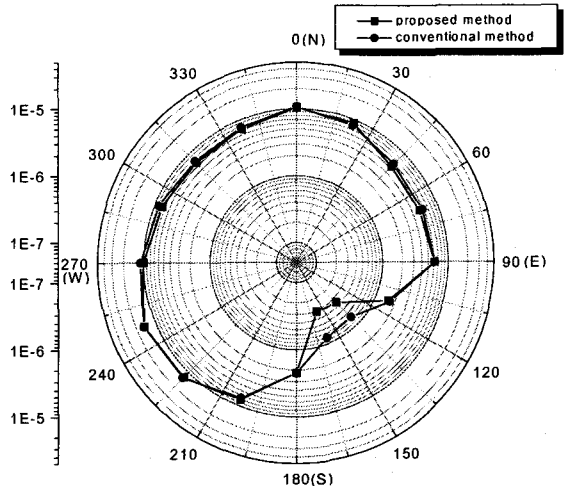


Fig. 5. Comparison of X/Q Values Using the Conventional and Proposed Methods at Low Population Zone Boundary.

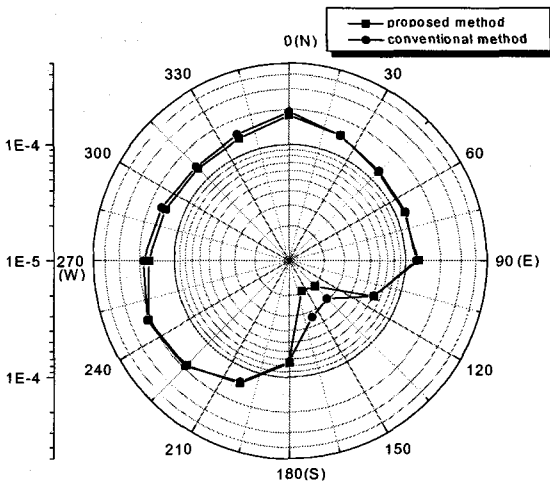


Fig. 4. Comparison of X/Q Values Using the Conventional and Proposed Methods at Exclusion Area Boundary.

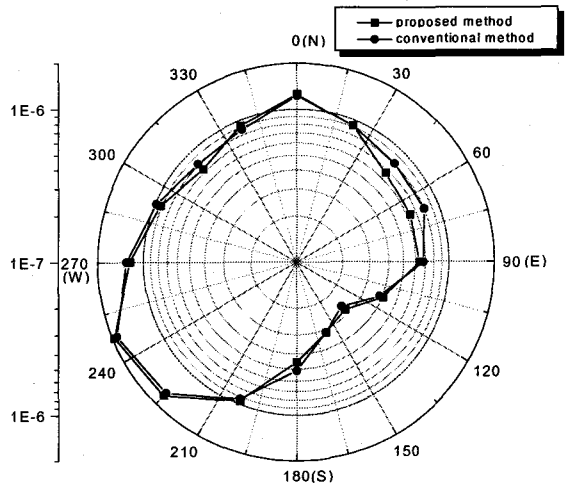


Fig. 6. Comparison of X/Q Values Using the Conventional and Proposed Methods at 50km from the Site.

용하여 얻게 될 대기확산인자를 보여준다. 이 그림으로부터 본 제안된 방법은 50% 누적빈도에 상응하는 X/Q 값의 계산시 실제 계산 결과(원시 자료값)보다 큰 값을 제공함과 동시에 좀 더 현실적인 값을 제시하는 것을 알 수 있다. 사고시 대기확산인자의 평가를 위해 제안된 퍼지 논리 추론 방법을 이용한 값과 기존 방법에 의한 값이 표 1에 비교되어 있다. 제한구역경계 (560m)에서 16방향의 각각에 대하여 비교를 수행하여 평균 차이 $\left[= \frac{(X/Q_{convention} - X/Q_{proposed})}{X/Q_{convention}} \right]$ 를 계산하면 6.85%, 저인구지대 경계(5600m)에서 평균차이는 10.66%,

그리고 부지로부터 50km 지점에서 평균차이는 2.64% 만큼 대기확산인자가 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같이 제안된 방법을 이용하면 X/Q 값이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그림 4~6에는 각각 제한구역 및 저인구지대 경계 그리고 부지로부터 50km 거리에서 16 방향에 대하여 X/Q 값이 그려져 있다. 이들 그림은 각 16방향 및 각 지점 (제한구역 경계, 저인구지대 경계, 부지로부터 50km 지점)에 대한 기존 방법과 퍼지 추론 방법의 차이를 보여준다.

Table 1. Comparison of X/Q Values for Each Distance During 0-2 Hours After an Accident (X/Q Value in each sector that is exceeded 50% of the total time).

Direction	Distances in Meters from the Site					
	Proposed method			Conventional method		
	560	5600	50000	560	5600	50000
S	7.531×10^{-5}	2.205×10^{-6}	4.503×10^{-7}	7.318×10^{-5}	2.202×10^{-6}	5.109×10^{-7}
SSW	1.371×10^{-4}	8.108×10^{-6}	9.538×10^{-7}	1.330×10^{-4}	7.663×10^{-6}	9.211×10^{-7}
SW	1.859×10^{-4}	1.270×10^{-5}	1.695×10^{-6}	1.914×10^{-4}	1.300×10^{-5}	1.599×10^{-6}
WSW	2.116×10^{-4}	1.523×10^{-5}	1.940×10^{-6}	2.152×10^{-4}	1.536×10^{-5}	1.866×10^{-6}
W	1.655×10^{-4}	1.004×10^{-5}	1.226×10^{-6}	1.850×10^{-4}	1.110×10^{-5}	1.286×10^{-6}
WNW	1.450×10^{-4}	7.741×10^{-6}	9.179×10^{-7}	1.580×10^{-4}	8.683×10^{-6}	9.814×10^{-7}
NW	1.320×10^{-4}	6.732×10^{-6}	7.313×10^{-7}	1.390×10^{-4}	7.214×10^{-6}	8.141×10^{-7}
NNW	1.373×10^{-4}	7.320×10^{-6}	9.233×10^{-7}	1.495×10^{-4}	7.788×10^{-6}	8.692×10^{-7}
N	1.790×10^{-4}	1.055×10^{-5}	1.251×10^{-6}	1.919×10^{-4}	1.089×10^{-5}	1.226×10^{-6}
NNE	1.471×10^{-4}	8.812×10^{-6}	9.164×10^{-7}	1.464×10^{-4}	8.179×10^{-6}	9.185×10^{-7}
NE	1.211×10^{-4}	5.313×10^{-6}	6.634×10^{-7}	1.243×10^{-4}	6.011×10^{-6}	8.077×10^{-7}
ENE	1.189×10^{-4}	5.181×10^{-6}	6.364×10^{-7}	1.219×10^{-4}	5.825×10^{-6}	8.029×10^{-7}
E	1.292×10^{-4}	6.189×10^{-6}	6.422×10^{-7}	1.284×10^{-4}	6.341×10^{-6}	6.790×10^{-7}
ESE	6.148×10^{-5}	1.571×10^{-6}	4.046×10^{-7}	6.139×10^{-5}	1.692×10^{-6}	3.843×10^{-7}
SE	2.052×10^{-5}	3.555×10^{-7}	2.767×10^{-7}	2.895×10^{-5}	7.181×10^{-7}	2.575×10^{-7}
SSE	1.914×10^{-5}	3.086×10^{-7}	3.161×10^{-7}	3.351×10^{-5}	8.419×10^{-7}	3.141×10^{-7}

결 론

본 연구에서는 사고시 대기확산을 평가하는데 있어서 퍼지 논리 추론계통을 이용하여 XOQAR 및 PAVAN 코드에서 이용되고 있는 0.5%, 5% 혹은 50% 누적빈도에 상응하는 X/Q 값을 정하는 방법을 개선하였다. 퍼지 논리 추론계통은 비선형 보간을 위해 적절한 방법으로 알려져 있다. 영광 원자력발전소부지내 기상관측소에서 측정된 기상 자료(1995.1.1~1999.12.31까지의 5년간 자료)를 이용하여 수행한 결과, 본 계산을 통하여 제한구역 경계에서 6.85%, 저인구지대 경계(5600m)에서 10.66%, 그리고 부지로부터 50km 지점에서 2.64%

만큼 X/Q 값이 평균적으로 감소하는 것으로 나타났다. 본 제안된 방법을 영광 원자력발전소의 잠재적 기체 방사성물질 누출에 적용한 결과, 좀 더 현실적인 X/Q 값을 제공함을 확인할 수 있었으며, 따라서 XOQAR 코드 및 PAVAN 코드의 사고시 대기확산인자 계산 루틴을 수정하여 이들 코드의 지나친 보수성을 개선할 수 있는 방법을 제시하였다.

감사의 글

본 연구는 2000년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 나만균 외, "영광원전에서 가상 사고시 대기 확산 평가," *대한방사선방어학회지*, Vol. 26, No. 2, pp. 9-15(2000).
2. T. J. Bander, PAVAN: An Atmospheric Dispersion Program for Evaluating Design Basis Accidental Releases of Radioactive Materials from Nuclear Power Stations, NUREG/CR-2858, PNL-4413(1982).
3. U.S. NRC, Reg. Guide 1.145, "Atmospheric Dispersion Models for Potential Accident Consequence Assessments at Nuclear Power Plant," U.S. NRC Office of Standard Development, Washington, D.C.(1979).
4. U.S. NRC, Reg. Guide 1.111, "Methods for Estimating Atmospheric Transport and Dispersion of Gaseous Effluents Routine Releases from Light Water Reactor," U.S. NRC Office of Standard Development, Washington, D.C.(1977).
5. Man Gyun Na, Neuro-Fuzzy Control Applications in Pressurized Water Reactors. In: Da Ruan (ed) *Fuzzy Systems and Soft Computing in Nuclear Engineering*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, pp. 172-207(1999).
6. T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control," *IEEE Trans. System, Man, Cybern.*, Vol. 1, pp. 116-132 (1985).