

3차원비정상수값모형에 의한 대기환경영향 평가방법과 그 응용

전영일, 강철경

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《환경보호부문의 과학연구기관들에서는 환경보호사업의 시대적추세에 맞게 과학연구 사업을 강화하여 환경보호사업을 발전시키는데서 나서는 과학기술적문제들을 제때에 풀어야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제22권 322페이지)

선행연구들[1, 2, 4, 6, 7]에서 대기환경영향평가에 정상연기줄기모형(가우스통계확산모형)을 널리 리용하여왔다. 그런데 비정상적인 기상현상 및 오염물질배출현상평가에 대해서는 이 모형을 적용하기 힘들다. 그러므로 여러 나라들에서 대기환경영향평가에 3차원비정상모형을 적용하려는 시도들이 있다.

우리는 대기환경의 질적상태에 대한 사전평가와 종합분석, 새로운 개발대상에 대한 영향평가를 위한 국지규모의 3차원비정상수값모형에 의한 대기환경영향평가방법에 대하여 연구하였다.

1. 3차원비정상수값모형과 수값실험

3차원비정상수값모형은 대기오염확산모형, 바람마당계산모형으로 되어있다.

대기오염물질이 예보시간내에 변화없이 수송확산된다고 보고 지형자리표계에서 대기오염예보수값모형을 작성하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -u \frac{\partial C}{\partial \xi} - v \frac{\partial C}{\partial \eta} - \bar{w} \frac{\partial C}{\partial \zeta} + K_H \left(\frac{\partial^2 C}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial \eta^2} \right) + K_Z \frac{1}{4\zeta^2 (H - Z_g(\xi, \eta))^2} \frac{\partial^2 C}{\partial \zeta^2} + \frac{Q}{V_\zeta} \quad (1)$$

여기서 C 는 대기오염농도(mg/m^3), K_H , K_Z 는 막흐름확산결수(m^2/s), t 는 시간(s), Q 는 오염물질의 방출세기(mg/s), H 는 모형화공간의 윗경계높이(m), $Z_g(\xi, \eta)$ 는 지형자리표에서 지면높이이다. 그리고 \bar{w} , V_ζ 는 다음과 같다.

$$\bar{w} = \frac{\zeta^2 - 1}{2\zeta(H - Z_g(\xi, \eta))} \left[u \frac{\partial Z_g(\xi, \eta)}{\partial \xi} + v \frac{\partial Z_g(\xi, \eta)}{\partial \eta} \right] + \frac{w}{2\zeta(H - Z_g(\xi, \eta))} \quad (2)$$

$$V_\zeta = 2\Delta\xi\Delta\eta(H - Z_g(\xi, \eta))\Delta\zeta \quad (3)$$

여기서 대기안정성은 태양고도에 의한 판정방법[1]을, 수평막흐름확산결수는 바람마당에 의한 식 (3)을 리용하였으며 막흐름확산결수 K_Z 는 대기안정도와 경계층높이에 의한 식 (2)를 리용하였다. 초기바람마당은 3차원바람마당진단방법[3, 6]을 리용하였다.

지형자리표계에서 바람마당계산모형은 수평운동방정식, 준정력확방정식, 열력확방정

식, 편속방정식, 막흐름운동에네르기방정식으로 구성하였다.[2, 3]

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} = & -u \frac{\partial u}{\partial \xi} - v \frac{\partial u}{\partial \eta} - \bar{w} \frac{\partial u}{\partial \zeta} - \theta \frac{\partial \pi}{\partial \xi} + \\ & + f v + g(\zeta^2 - 1) \frac{\partial Z_g}{\partial x} + K_H \left(\frac{\partial^2 u}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial \eta^2} \right) + \frac{1}{4\zeta^2(H - Z_g)} \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(K_z \frac{\partial u}{\partial \zeta} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} = & -u \frac{\partial v}{\partial \xi} - v \frac{\partial v}{\partial \eta} - \bar{w} \frac{\partial v}{\partial \zeta} - \theta \frac{\partial \pi}{\partial \eta} - \\ & - f u + g(\zeta^2 - 1) \frac{\partial Z_g}{\partial y} + K_H \left(\frac{\partial^2 v}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial \eta^2} \right) + \frac{1}{4\zeta^2(H - Z_g)} \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(K_z \frac{\partial v}{\partial \zeta} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial \zeta} = -2\zeta(H - Z_g) \frac{g}{\theta} \quad (6)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{\partial v}{\partial \eta} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial \zeta} = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -u \frac{\partial \theta}{\partial \xi} - v \frac{\partial \theta}{\partial \eta} - \bar{w} \frac{\partial \theta}{\partial \zeta} + K_H \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial \eta^2} \right) + \frac{1}{4\zeta^2(H - Z_g)} \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(K_\theta \frac{\partial \theta}{\partial \zeta} \right) \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2}{\partial t} = & -u \frac{\partial q^2}{\partial \xi} - v \frac{\partial q^2}{\partial \eta} - \bar{w} \frac{\partial q^2}{\partial \zeta} + K_H \left(\frac{\partial^2 q^2}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 q^2}{\partial \eta^2} \right) + \frac{1}{4\zeta^2(H - Z_g)} \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(K_E \frac{\partial q^2}{\partial \zeta} \right) + \\ & + \frac{K_z}{4\zeta^2(H - Z_g)} \left[\left(\frac{\partial u}{\partial \zeta} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial \zeta} \right)^2 \right] - K_\theta \frac{g}{\theta} \frac{1}{2\zeta(H - Z_g)} \frac{\partial \theta}{\partial \zeta} - \frac{q^3}{B_1 l} \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 \bar{w} 는 지형자리표계에서의 수직속도, u, v, w 는 직각자리표계의 속도성분들이며 θ 는 포텐셜온도, π 는 엑스너함수, q^2 은 막흐름운동에네르기, f 는 코리올리변수, s 는 중력가속도, l 은 혼합길이, K_H, K_z 는 각각 수평, 수직확산결수, K_θ, K_E 는 포텐셜온도의 수직확산결수 및 막흐름운동에네르기의 수직확산결수이다.

이와 같은 모형들에 기초하여 100km×100km 구역안의 관측점들에서 기상자료를 얻고 20km×20km 구역의 바람마당을 보간하는 방법으로 바람마당을 진단[5]하였으며 이 구역에서 초기오염농도마당을 계산하였다.

이때 다계단적분모형을 적용하였는데 I계단에서는 ξ 축, II계단에서는 η 축, III계단에서는 ζ 축, IV계단에서는 나머지방향들로 분할하고 물이법[4, 7]으로 적분하였다. 바람마당예보는 9시부터 시작하며 경계값은 중규모기상모형이 제공하는 바람마당에 의한 방법[5, 6]을 리용하였다.

실험기간 즉 6시부터 18시까지 도시의 SO₂오염농도마당계산결과 12시간사이에 바람방향이 SE로부터 N~NNE로 변하였으며 바람속도는 1.5~3m/s사이에서 시공간적으로 변하였다. 대기성층은 6시부터 16시까지 중립, 약한 불안정상태였다.

오염농도분포는 바람방향에 따라 변하는데 7시에 도시구역의 NW방향에서 오염수준이 높았으며 그후 바람방향이 계속 변하여 12시경에는 도시중심부와 N방향에서 오염수준이 높았다. 18시경에는 도시중심부와 S방향에서 오염수준이 높아졌다.

오염농도값들은 0.001~0.052mg/m³사이에서 나타났다.

최대값들은 매우 국부적인 구역들에서 나타나며 전반적구역들에서 0.05보다 작은 값들이 나타났다. 이 경우들에 최대오염수준은 대체로 국가환경보호기준의 2급기준값을 초과하지 않는다. 수값실험으로 얻은 농도값들은 관측값들(90개 자료)과 평균 18.1%의 차이를 나타낸다.

2. 3차원비정상수값모형에 의한 대기환경영향평가방법의 응용

우리는 원산, 금강산국제관광지대를 세계적인 관광지대로 꾸리기 위한 원산지구 환경영향평가에 이 모형을 적용하였다.

원산지구의 지형, 기상, 오염원천자료를 조사하여 자료기지를 구축한 다음 도시건설계획자료에 근거하여 장기환경영향평가를 진행하였다.

대기환경평가영역은 동서길이와 북남길이를 24km로 설정하였으며 영향평가기간은 12월부터 2월로 하였다. 그 근거는 기상조건 및 연료소비량과 오염현상과의 관계에서 여름철보다 겨울철에 대기오염수준이 높으므로 영향평가기간을 겨울철로 정하였다.

평균농도는 전반적영역에서 국가환경보호관광지기준($0.05\text{mg}/\text{m}^3$)을 초과하지 않았으며 국부적인 지점들에서 최대로 $0.032\text{mg}/\text{m}^3$ 정도의 오염수준이 나타났다.

영향평가결과 전반적인 도시구역에서 국가환경보호관광지기준을 허용하며 설계단계의 초기계획안이 대기환경보호의 요구에 부합된다.

맺 는 말

우리는 원산지구 환경영향평가에 3차원비정상수값모형을 적용하여 정상통계해석적모형으로는 얻어낼수 없는 대기오염농도분포를 얻었다.

3차원비정상수값모형은 시공간적으로 현실에 근사한 바람마당과 오염농도분포를 얻을수 있게 함으로써 도시 및 지역개발계획작성에 필요한 정보를 제공할수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 54, 3, 161, 주체97(2008).
- [2] 김일성종합대학학보(자연과학), 54, 4, 162, 주체97(2008).
- [3] 김일성종합대학학보(자연과학), 54, 8, 178, 주체97(2008).
- [4] Z. B. Boybey; Mesoscale Meteorological Modeling, WIT Press, 47~54, 2012.
- [5] S. P. Arya; Air Pollution Meteorology and Dispersion, Oxford University Press, 36~48, 2008.
- [6] J. R. Garratt; The Atmospheric Boundary Layer, Cambridge University Press, 87~96, 2009.
- [7] 王醒宇 等; 核事故后果评价方法及其新发展, 原子能出版社, 143~160, 2013.

주체105(2016)년 3월 5일 원고접수

**A Method for Assessing the Effect of Atmospheric Environment
by Three Dimensions Non-stationary Numerical Model
and Its Application**

Jon Yong Il, Kang Chol Gyong

We introduced the effect assessment of atmospheric environment by non-stationary numerical model and its application. We suggested numerical method for solving local-scale three dimensions wind field forecasting model reflecting the terrain and daily variation of the atmospheric boundary structure. Also, we established numerical method of the atmospheric diffusion equation and determination method of parameters for atmospheric turbulence diffusion in terrain coordinate system.

Key words: three dimensions, effect assessment, atmospheric environment