

## 갱안에서 발파가스의 시공간적분포특성에 대한 수학적모형화

박화철, 강건호

위대한 수령 김일성동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학자들은 우리 나라의 현실이 요구하는 문제를 연구하여야 하며 우리 인민에게 필요한것을 만들어 내기 위하여 노력하여야 합니다.》(《김일성전집》 제35권 374페이지)

갱안에서 발파가스의 시공간적분포특성을 밝히는것은 안전한 굴진작업환경을 마련하고 굴진속도를 높이기 위한 대책을 세우는데서 중요한 문제로 제기된다.

갱안에서 발파가스의 분포특성에 대한 이론식들[2, 3]은 매우 복잡한 라플라스함수로 전개되어있으며 계산결과가 측정값과 많이 차이난다. 그리고 선행연구[1, 4]에서는 갱안에서 발파가스분포특성의 시공간적변화를 해명하지 못하였다.

우리는 갱안의 대표적인 지점들에서 측정한 발파가스의 시공간적분포자료에 기초하여 임의의 지점에서 발파가스의 시공간적분포특성을 해명하기 위한 수학적모형을 제안하고 그 정확성을 평가하였다.

### 1. 갱안에서 발파가스의 시공간적분포특성에 대한 수학적모형

갱안에서 발파가스의 시공간적농도분포는 다음의 확산방정식으로 표시된다.[2]

$$\frac{\partial C(x, t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C(x, t)}{\partial x^2} \quad (1)$$

여기서  $C(x, t)$ 는  $t$ 시각에  $x$ 지점에서 고찰하는 발파가스성분의 농도( $\text{mg}/\text{m}^3$ ),  $D$ 는 주어진 성분의 막흐름확산계수( $\text{m}^2/\text{s}$ )이다.

갱안에서의 발파가스특성을 고려하여 경계조건을

$$\left. \frac{\partial C(x, t)}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \\ \int_0^l C(x, t) dt = Q$$

로 설정하면 식 (1)의 풀이는 다음과 같다.

$$C(x, t) = \frac{Ab\mu_0}{S\mu\sqrt{\pi Dt}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right) = \frac{B}{\sqrt{\pi Dt}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right) \quad (2)$$

여기서  $l$ 은 갱의 길이(m),  $Q$ 는 고찰하는 발파가스성분의 총 농도( $\text{mg}/\text{m}^3$ ),  $A$ 는 폭약의 질량(mg),  $\mu_0$ 은 공기의 분자량,  $\mu$ 는 고찰하는 발파가스성분의 분자량,  $S$ 는 갱의 자름면적

( $m^2$ ),  $b$ 는 고찰하는 발파가스성분의 비체적( $m^3/mg$ )이고  $B = Ab\mu_0/(S\mu)$  이다.

식 (2)에서 보는바와 같이 갱안에서 발파가스의 시공간적농도변화는 막흐름확산결수  $D$ 에 의존한다.

한편 갱안의 대표적인 지점들에서의 측정자료가 주어졌을 때 다음식이 성립한다.

$$\left. \begin{array}{l} f(t_1, x_1) - C(t_1, x_1) = \varepsilon_1 \\ \dots \dots \dots \\ f(t_n, x_n) - C(t_n, x_n) = \varepsilon_n \end{array} \right\}$$

여기서  $f(t_i, x_i)(i=1, \dots, n)$ 와  $C(t_i, x_i)$ 는 각각  $t_i$ 시각에  $x_i$ 지점에서 고찰하는 발파가스성분의 농도측정값과 계산값이며  $\varepsilon_i$ 는 오차이다.

오차들의 두제곱합이 최소로 되는 막흐름확산결수  $D$ 를 결정하기 위하여 함수  $W(D)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$W(D) = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2$$

변수  $D$ 에 대한 이 함수의 정류점을 결정하기 위하여

$$\partial W(D)/\partial D = 0$$

을 계산하고 반복도식을 작성하면

$$D_{k+1} = \sum_{i=1}^n \frac{B\sqrt{D_k}}{f_i\sqrt{\pi t_i}} \exp\left(-\frac{x_i^2}{4D_k t_i}\right) \quad (3)$$

으로 된다.

식 (3)은 임의의 초기근사  $D_0$ 에 대하여 수렴성조건을 만족시킨다. 그러므로 임의의  $k$ 에 대하여 조건  $|D_{k+1} - D_k| < \delta$ 가 만족될 때까지 식 (3)의 계산을 반복하면 막흐름확산결수  $D = D_{k+1}$ 을 결정할수 있으며 그 값을 식 (2)에 대입하면 고찰하는 발파가스성분의 농도를 계산할수 있다.

## 2. 모형의 정확성평가

자름면적이  $5.4m^2$ 이고 길이가 130m인 갱안에서 20kg의 질안폭약으로 발파한 다음 몇 개의 지점에서 발파가스를 포집하여 그속의  $NO_2$  기체농도를 기체크로마토그래프(《GC-14B》)로 분석하고 시공간적농도분포를 위의 방법으로 계산한 결과는 표 1과 같다.

표 1. 갱안에서  $NO_2$  기체의 시공간적농도분포계산결과(상대값)

발파후 경과 시간/min	발파지점 으로부터의 거리/m						
	0	20	40	60	80	100	120
1	1.572	1.397	0.961	0.524	0.225	0.076	0.012
5	0.706	0.682	0.645	0.566	0.473	0.384	0.293
10	0.497	0.491	0.473	0.445	0.408	0.365	0.319
20	0.353	0.349	0.343	0.331	0.318	0.301	0.281
30	0.287	0.285	0.283	0.276	0.269	0.259	0.248
40	0.248	0.247	0.246	0.242	0.237	0.232	0.223

표 1의 자료로부터 발파지점으로부터의 거리와 발파후 경과시간에 따르는  $\text{NO}_2$  기체의 농도분포는 그림 1, 2와 같다.

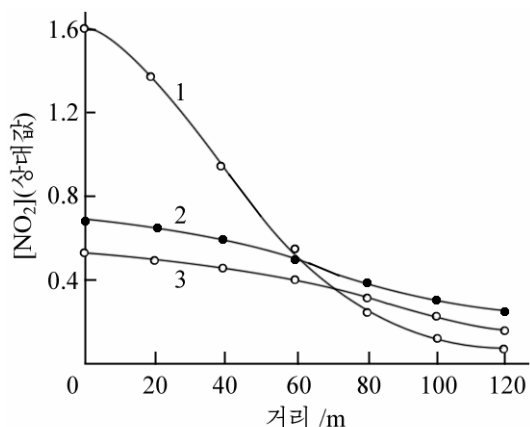


그림 1. 발파지점으로부터의 거리에 따르는  $\text{NO}_2$  기체의 농도분포

1-3은 발파후 경과시간이 각각 1, 5, 10min인 경우

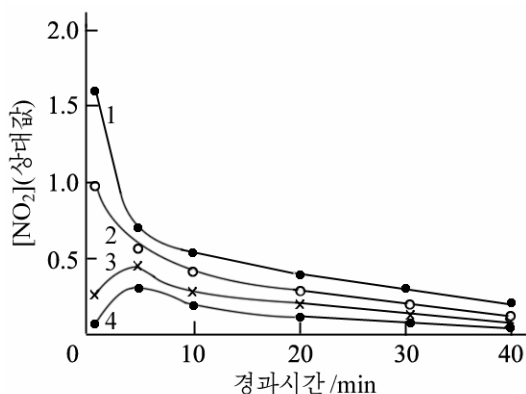


그림 2. 발파후 경과시간에 따르는  $\text{NO}_2$  기체의 농도분포

1-4는 발파지점으로부터의 거리가 각각 0, 40, 80, 120m인 경우

그림 1에서 보는바와 같이 발파후 발파지점에서의  $\text{NO}_2$  기체농도는 10min이내에 급격히 감소하며 갭안에  $\text{NO}_2$  기체가 고르게 분포된다. 또한 그림 2에서 보는바와 같이 발파후 초기에는 발파지점에서의  $\text{NO}_2$  기체농도가 급격히 감소하지만 일정한 거리밖에서는  $\text{NO}_2$  기체농도가 증가하며 그후 갭안의  $\text{NO}_2$  기체농도는 서서히 감소한다.

발파후 경과시간이 20min일 때 대표적인 지점들에서의  $\text{NO}_2$  기체농도측정값과 계산값사이의 상대오차는 표 2와 같다.

표 2. 발파후 경과시간이 20min일 때 대표적인 지점들에서의  $\text{NO}_2$  기체농도측정값과 계산값사이의 상대오차

발파지점으로부터의 거리/m	80	100	120
측정값(상대값)	0.25	0.24	0.23
계산값(상대값)	0.269	0.259	0.248
상대오차/%	7.6	7.9	7.8

표 2에서 보는바와 같이 측정값과 계산값사이의 상대오차는 모두 10%이하이다. 그러므로 우리가 제안한 수학적모형을 갭안에서  $\text{NO}_2$  기체를 비롯한 발파가스의 시공간적분포 특성을 해명하는데 리용할수 있다고 본다.

## 맺 는 말

갭안에서 발파가스의 시공간적분포특성에 대한 한가지 수학적모형을 제안하였다. 이 모형에 의한 계산결과는 측정자료와 잘 부합된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 전영일 등; 위생방역, 4, 49, 1993.
- [2] 최용철 등; 채굴공학, 2, 17, 1994.
- [3] 扬云 等; 计算机仿真, 33, 3, 413, 2016.
- [4] 甲斐笔第; 日本化学會誌, 3, 421, 2002.

주체107(2018)년 4월 5일 원고접수

## **Mathematical Modelling about the Spatial-Temporal Distribution Characteristics of Blasting Fume in Pit**

*Pak Hwa Chol, Kang Kon Ho*

We suggested a mathematical model about the spatial-temporal distribution characteristics of blasting fume in pit. The calculation results by this model correspond with measurement data well.

Key words: blasting fume, distribution characteristics, mathematical modelling