

염소가스의 소규모 누출에서 분산특성

이영재, 장서일, 김태옥*
 명지대학교 공과대학 화학공학과
 (kimto@mju.ac.kr*)

Dispersion Characteristics in the Small Scale Release of Chlorine Gas

Young-Jae Lee, Seo-Il Jang, Tae-Ok Kim*
 Department of Chem. Eng., College of Eng., Myongji University
 (kimto@mju.ac.kr*)

서론

분산모델은 기상학적 특성과 누출특성을 고려한 것으로, 누출가스의 분산 메카니즘에 따라 가벼운 가스 분산모델과 무거운 가스 분산모델로 구분되며, 가벼운 가스는 가우시안 모델(Gaussian model)을, 그리고 무거운 가스는 BM(Britter & McQuaid) 모델, HMP(Hoot, Meroney & Peterka) 모델, DEGADIS(DEnse GAs DISpersion) 모델, SLAB 모델 등을 주로 사용하고 있다. 이러한 분산모델들은 누출실험을 바탕으로 검증하여 사용하고 있으며, 대부분의 누출실험은 대규모에서 수행되었으나 상대적으로 사고강도가 낮고 사고빈도가 높은 소규모 누출실험은 거의 수행되지 못하였다. 따라서 대규모 누출실험에서 검증된 분산모델을 사용하여 소규모 누출사고에 대해 사고 영향평가를 수행하는 것은 문제점이 있다.

본 연구는 무거운 독성가스의 소규모 연속누출에 대한 분산특성을 평가하기 위해 Dandrieux 등[1]이 수행한 염소가스의 소규모 누출실험을 바탕으로 분산모델들의 적용성을 평가하고, 염소가스의 분산에 영향을 미치는 매개변수의 영향을 해석하였다.

연구내용 및 방법

2-1. 대기안정도와 바람속도

일반적으로 대기조건은 Pasquill-Gifford 안정도에 의해 A등급에서 F등급까지 분류하며, 태양의 각도를 고려한 Pasquill-Gifford 안정도와 태양의 복사열을 고려한 Pasquill-Mohan-Siddiqui(PMS) 안정도가 있는데[2], 본 연구에서는 PMS 안정도를 사용하였고, 바람속도는 누출높이를 고려한 Hanna 등[3]이 제시한 식을 사용하였다.

2-2. 가우시안 모델

가우시안 연속모델에서 분산된 증기의 평균농도는 누출속도, 대기조건, 누출높이, 그리고 거리의 함수이다. 본 연구에서는 Briggs[4]의 분산계수식을 사용하고, 평균시간을 고려하여 보정하였으며, 누출높이는 실제 누출높이를 보정한 유효누출높이를 사용하였다[5].

2-3. BM 모델

BM 모델은 무거운 가스분산에 대해 실험자료의 상관성과 차원해석으로 개발되었는데, 본 연구에서는 연속누출인 경우에 대해 문헌상 그래프[6]를 이용하여 관심거리에서 농도를 산출하였다.

결과 및 고찰

3-1. 분산모델의 적용성

Table 1과 Fig. 1은 분산모델의 적용성을 판단하기 위하여 Dandrieux 등의 실험결과 중에서 [실험 3]의 실험값과 분산모델로 Briggs의 분산계수와 유효누출높이를 고려한 가우시안 모델 및 BM 모델에 의해 산출된 염소농도를 비교한 결과이다.

Table 1. Comparisons of experimental and theoretical concentrations of chlorine gas for Exp. 3

Concentration[ppm]		Distance[m]		
		5	10	15
Experimental		488	54	17
Dandrieux et. al[10]	Gaussian A*	13	7	5
	Gaussian B*	754	189	84
	Gaussian DN*	284	90	46
	ALOHA A	233,000	54,000	27,000
	ALOHA B	218,000	50,500	25,400
This study	Gaussian A	419	117	53
	Gaussian B	732	251	118
	BM	33,876	-	-

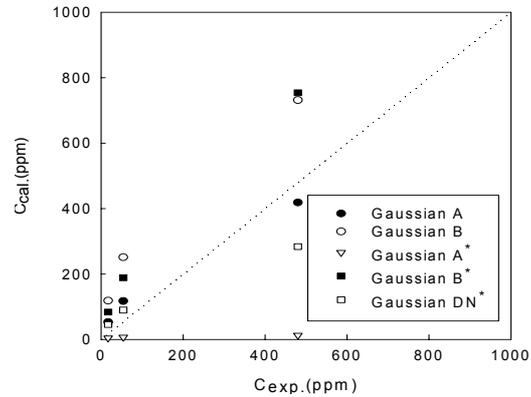
**Fig. 1. Comparisons of experimental and theoretical concentrations of chlorine gas for Exp. 3.**

Table 1에서와 같이 BM 모델은 실험값보다 상당히 큰 값을 갖거나 산출범위를 벗어나고 있다. 이것은 BM 모델이 대규모 누출실험에 대한 차원해석적인 방법으로 개발된 모델로, 100 m 이상의 거리에 대해 적용되므로 본 연구에서와 같은 소규모 누출의 경우에는 적용이 불가능한 것으로 판단된다. 그리고 가우시안 모델의 경우에는 Dandrieux 등의 결과 보다 본 연구의 결과가 적용성이 우수하였는데, 그 이유는 Dandrieux 등이 Union des Industries Chimiques에서 제시한 분산계수와 Doury의 계수(DN)를 사용하였으나, 본 연구에서는 Briggs의 분산계수와 유효누출높이를 사용하였기 때문으로 판단된다. 이와 같은 결과는 분산계수의 선택에 따라 산출된 농도가 크게 다르다고 보고한 Carrascal 등[7]의 결과와 일치한다.

3-2. 매개변수의 영향

3-1절의 결과에서 가우시안 모델의 적용성이 우수하므로, 본 연구에서는 가우시안 모델을 사용하여 가스분산에 미치는 영향이 비교적 큰 매개변수, 즉 누출속도, 대기안정도, 그리고 바람속도의 변화에 대해 관심거리별 농도를 산출하고, 이들 매개변수의 영향을 해석하였다. 이때, 기준조건은 누출온도 26°C, 누출높이 0.3 m, 평균시간 2.5분, 누출속도 0.33 kg/min, 2 m 높이의 바람속도 1.7 m/s, 대기안정도 A등급, 그리고 관심거리를 10 m로 하였다.

가스분산에 미치는 관심거리의 영향은 Fig. 2에서와 같이 관심거리가 증가할수록 산출된 염소농도는 급격히 증가하여 최고 농도를 나타내고, 그 이후에는 지수감소함수 형태로 서서히 감소하는 분포함수 형태를 나타내고 있다. 이것은 관심거리가 짧은 경우에는 plume의 상승효과로 plume이 지표면에 도달하기 전이기 때문에 지표면에서의 농도는 낮은 것으로 판단된다. 또한 Fig. 2의 (a)와 (b)를 비교하면, 염소농도는 대기안정도에 민감하게 변화하고, 누출속도보다 바람속도의 변화에 크게 영향 받음을 알 수 있었다.

또한 Fig. 3과 같이 대기안정도가 주위 대기와 난류혼합이 큰 A등급에서 상대적으로 난류혼합이 적은 D등급으로 갈수록 분산정도가 감소되어 염소농도는 크게 증가하였다. 특히, Fig. 3의 (a)에서 관심거리가 5 m인 경우 대기안정도 D등급의 농도가 C 등급 보다 낮은 것은 Fig. 2의 (a)에서와 같이 plume이 지표면에 도달되기 전이기 때문이다.

바람속도의 영향은 Fig. 4와 같이 바람속도가 증가할수록 염소농도는 증가하는 경향을 보이고 있으며, 특히 본 연구조건에서는 6 m/s에서 최대농도를 나타내고, 그 이후에서는 바람속도의 증가에 따라 농도가 오히려 감소하고 있다. 이것은 바람속도가 증가할수록 대기안정도도 안정한 상태로 변화하기 때문이지만 6.0 m/s 이상의 바람속도에서는 동일한 대기안정도 등급을 나타내기 때문에 바람속도가 증가할수록 오히려 난류형성의 증가로

대기분산이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

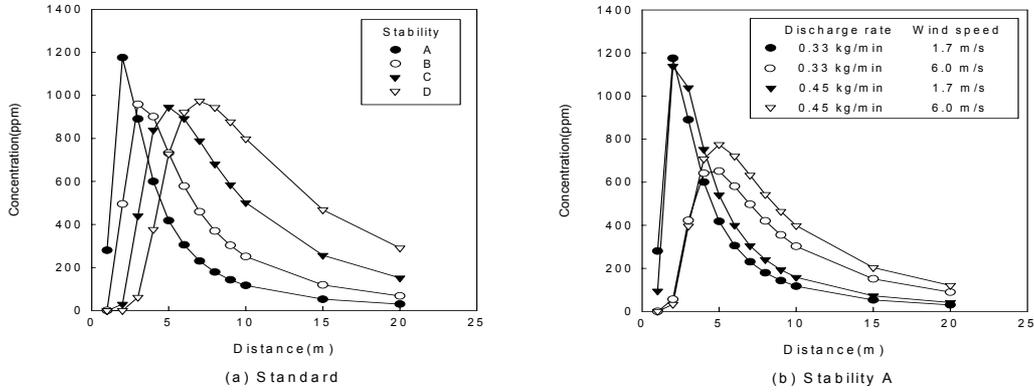


Fig. 2. Effects of distances on chlorine concentrations at various release conditions.

Fig. 2. Effects of distances on chlorine concentrations.

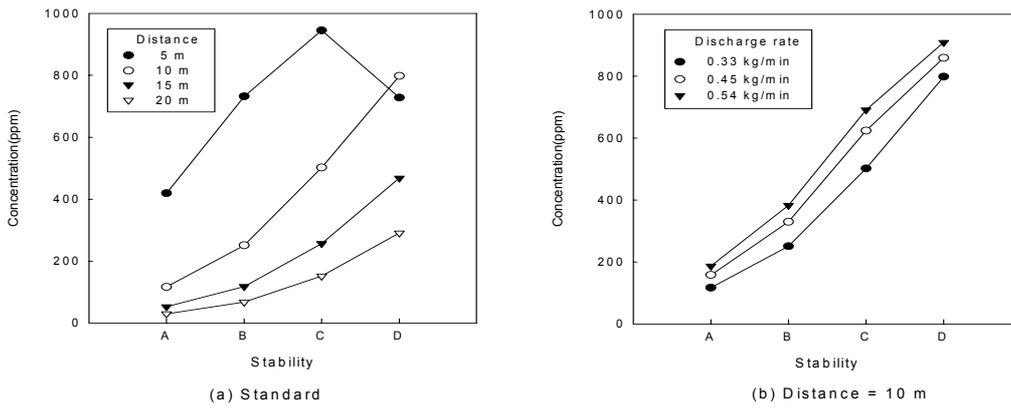


Fig. 3. Effects of atmospheric stabilities on chlorine concentrations at various release conditions.

Fig. 3. Effects of atmospheric stabilities on chlorine concentrations.

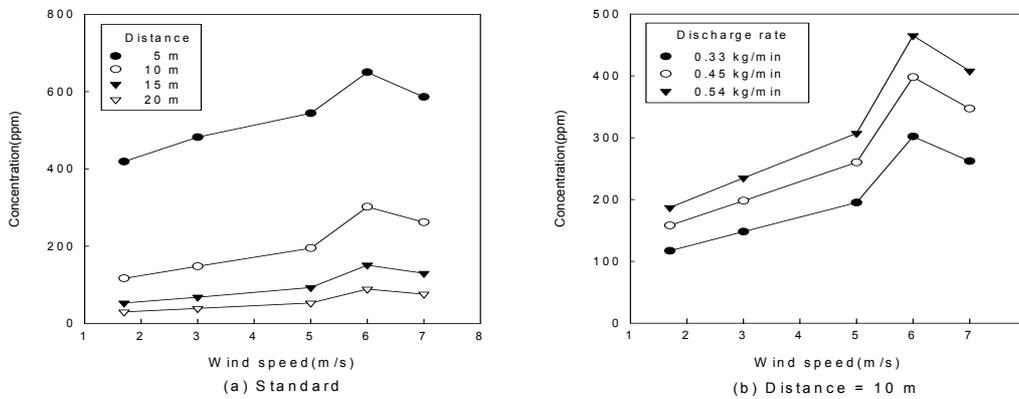


Fig. 4. Effects of wind speeds on chlorine concentrations at various release conditions.

Fig. 4. Effects of wind speeds on chlorine concentrations.

누출속도의 영향은 Fig. 5에서와 같이 누출속도가 증가할수록 염소농도가 증가하였으며, 특히 가까운 거리에서는 누출속도가 증가할수록 농도의 증가경향이 다소 크지만 관심거리가 멀어질수록 농도가 매우 낮기 때문에 누출속도의 영향은 매우 적어짐을 알 수 있었다.

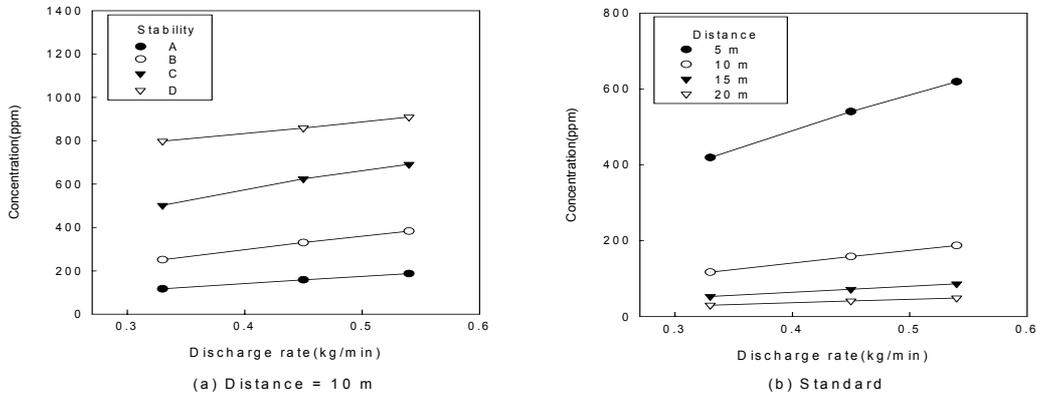


Fig. 5. Effects of discharge rates on chlorine concentrations at various release conditions.

Fig. 5. Effects of discharge rates on chlorine concentrations.

결론

염소가스의 소규모 연속누출에서 지표면의 실험결과와 분산모델로 가우시안 모델 및 BM 모델에 의해 산출된 염소농도를 비교하여 분산모델의 적용성을 판단한 결과, Briggs의 분산계수와 유효누출높이를 사용한 가우시안 모델의 적용성이 가장 우수하였다. 그리고 가우시안 모델에 의해 해석한 무거운 가스의 분산특성은 대기안정도 A등급에서 가장 잘 분산되었고, 바람속도가 증가할수록 대기안정도 등급이 변화하여 염소농도도 증가하였으나, 동일한 대기안정도 등급에서는 오히려 염소농도가 감소하였다. 또한 누출속도가 증가할수록 염소농도는 증가하였고, 관심거리가 증가할수록 염소농도는 급격히 증가한 후 감소하는 분포함수 형태를 나타내었다.

참고문헌

1. Dandrieux, A., Dusserre, G., and Ollivier, J., "Small Scale Field Experiments of Chlorine Dispersion", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, **15**, 5-10(2002).
2. Mohan, M. and Siddiqui, T.A., "Analysis of Various Schemes for Estimation of Atmospheric Stability Classification", *Atmospheric Environment*, **32**, 3775-3781(1998).
3. Hanna, S.R., Briggs, G.A., and Jr. Hosker, R.P., "Handbook on Atmospheric Diffusion", Oak Ridge, TN. : Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, DOE/TIC 11223(1982).
4. Briggs, C.A., "Diffusion Estimation for Small Emissions. In Environ. Res. Lab., Air Resources Atmos. Turbulence and Diffusion Laboratory", NOAA, Oak Ridge, Tennessee, Annual Rep., ATDL-106, USCOD-NOAA(1973).
5. Korea Occupational Safety & Health Agency(KOSHA), "Consequence Analysis", Industrial Safety Training Institute of KOSHA, ISTI-2001-29-86(2001).
6. Britter, R.E. and McQuaid, J., "Workbook on the Dispersion of Dense Gases", Health and Safety Executive, No. 17, U.K.(1988).
7. Carrascal, M.D., Puigcerver, M., and Puig, P., "Sensitivity of Gaussian plume model to dispersion specifications", *Theoretical and Applied Climatology*, **48**, 147-157(1993).