

有毒가스 누출사고 발생시 피해범위 및 대책에 관한 研究^②

吳 東 圭
(서울大 環境大學院)

제 6 장 사고모형설정 및 피해범위의 도출

1. 누출사고의 모형

本稿는 가스누출사고에 확산모델 방정식을 적용하여 피해범위를 계산하는 것이 주요 목적이므로 방정식에 적용할 각 변수의 값을 정하기 위하여 사고 모형을 설정하는 것이다. 여기서 관심의 초점은 우리에게 큰 인명피해를 주는 대형누출사고이므로 이러한 관점에서 사고모형을 설정하였다.

액화염소는 보통 대기온도하에서 저장 또는 운송되므로 누출물질의 온도는 25℃로 한다.

누출량은 운송단위 또는 저장단위를 고려하여 20톤으로 한다. 그러므로 <그림-1>에 의하면 25℃의 경우 20% 즉, 4톤은 순간적으로 기화하며 나머지 16톤은 60분간 연속적으로 4.5 kg/sec의 속도로 기화하는 것으로 한다. 이는 편의상 문헌에 있는 최대 속도를 택한 것으로 염소의 지상 농도는 「가우스 모델 방정식」이 의미하듯 누출속도에 비례하므로 실제사고에서는 임의의 적당한 지점에서 염소농도를 실측하므로써 간접적으로 실제누출 속도를

계산할 수 있을 것이다.

누출지점의 높이는 지상의 운반용기 또는 저장용기의 파열로 가정하여 1m로 한다. 그러므로 풍속은 地表수준풍속을 사용한다.

2. 기상조건 선정

확산모델식에 적용할 대기안정도는 Pasquill의 안정도 등급인 A,B,C,D,E,F 모두의 경우를 택하였다.

풍속은 풍속등급과 안정도의 일반적인 조합을 고려하여 1981년도 김포지역의 기상자료에 나타난 풍속과 안정도등급의 조합을 사용하였다. <표-6, 7 참조>

<표-8>은 피해범위계산에 적용한 17종류의 기상조건을 나타낸다.

3. 피해범위의 도출

순간기화확산에 의한 지상농도를 계산하기 위해 Sutton공식을 사용한다.

이 식에 설정된 사고모형과 선정된 기상조건으로부터 결정되는 변수를 대입하여 지상농도를

< 표 - 6 > 1981년도 김포의 풍속, 안정도등급의 결합빈도 분포

Pasquill 안정도등급	풍 속 (Knot)					
	0 - 3	4 - 6	7 - 10	11-16	17-21	> 21
A	1.1	0.5	0	0	0	0
B	4.9	2.9	0.6	0	0	0
C	6.5	3.6	4.9	0.3	0	0
D	6.6	11.4	9.5	8.4	0	0
E	0	3.1	3.8	0	0	0
F	24.6	6.3	0	0	0	0
평균속도(m/sec)	0.75	2.50	4.30	6.50	9.50	12.50

* “한강유역 환경보전 종합계획사업 대기부문보고서”, 제 1 권 p.4 ~ 27.

< 표 - 7 > 대기안정도와 풍속등급의 일반적인 조합

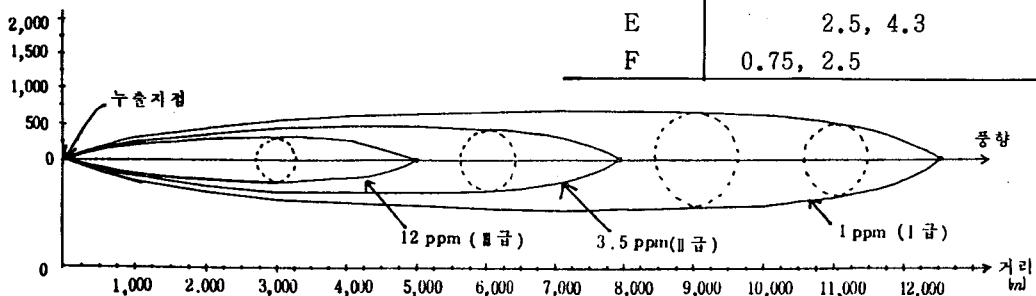
Pasquill 안정도등급	풍 속 (Knot)					
	0 - 3	4 - 6	7 - 10	11 - 16	17 - 21	> 21
A	*	*				
B	*	*	*			
C	*	*	*	*	*	*
D	*	*	*	*	*	*
E		*	*			
F	*	*				
평균속도 (m/sec)	0.75	2.50	4.30	6.50	9.50	12.50

** “한강유역 환경보전 종합계획사업 대기부문보고서”, 제 1 권 p.4-26.

계산하고 이로부터 I급, II급, III급의 등농도 선을 구한다.

< 표 - 9 >에 $n=0.25$ (안정도 C, D의 경우)에 대해 지상농도를 정리하였고 < 그림 - 4 >는 이에 대한 등농도선이다.

연속기화확산에 의한 지상농도 분포계산에는



< 그림 - 4 > 대기안정도 C, D에서 염소의 순간기화확산에 의한 지상의 等濃度線 (isopleths)

< 표 - 8 > 피해범위계산에 적용한 17종류의 기상조건

안정도	풍 속 (m/sec)
A	0.75, 2.5
B	0.75, 2.5, 4.3
C	0.75, 2.5, 4.3, 6.5
D	0.75, 2.5, 4.3, 6.5
E	2.5, 4.3
F	0.75, 2.5

< 표 - 9 > Sutton식 적용, $n = 0.25$, $C_x = C_y = 0.24$, $C_z = 0.14$

풍하거리 x (m)	풍하중심선과 수평·수직방향의 거리 y(m)										
	(x, y) 지점의 염소농도 c (ppm)										
500	y (m)	0	100	120	140	160	170	180	190	195	200
	c(ppm)	3,574	254	79	20	4	1.7	0.7	0.3	0.2	0.1
1,000	y (m)	0	100	150	200	220	240	260	280	290	300
	c(ppm)	679	283	95	21	9.9	4.4	1.9	0.7	0.4	0.3
2,000	y (m)	0	100	200	250	300	350	400	420	440	450
	c(ppm)	119	91	40	22	10	4.2	1.5	0.9	0.6	0.5
3,000	y (m)	0	100	200	300	350	400	500	550	600	650
	c(ppm)	42.4	37	24	12	7.9	4.7	1.4	0.66	0.3	0.1
4,000	y (m)	0	100	200	250	300	350	400	450	500	600
	c(ppm)	20.2	19	14	12	9.5	7.2	5.3	3.7	2.5	0.98
5,000	y (m)	0	100	150	200	250	300	400	500	600	650
	c(ppm)	11.3	10.7	10.0	9.0	7.9	6.8	4.6	2.7	1.45	1.0
6,000	y (m)	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
	c(ppm)	7.1	6.8	6.0	4.9	3.6	2.5	1.6	0.9	0.5	0.2
7,000	y (m)	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
	c(ppm)	4.7	4.6	4.2	3.6	2.8	2.1	1.5	1.0	0.6	0.4
8,000	y (m)	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
	c(ppm)	3.3	3.3	3.0	2.7	2.2	1.8	1.3	0.97	0.66	0.4
9,000	y (m)	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
	c(ppm)	2.5	2.4	2.3	2.0	1.8	1.5	1.2	0.9	0.7	0.5
10,000	y (m)	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
	c(ppm)	1.87	1.84	1.74	1.60	1.42	1.22	1.0	0.8	0.6	0.5
12,500	y (m)	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
	c(ppm)	1.0	1.0	1.0	0.94	0.86	0.78	0.7	0.6	0.5	0.4

< 표 - 10 > 대기안정도 C, 풍속 $U = 0.75 \text{ m/sec}$, 누출속도 $Q = 4.5 \text{ kg/sec}$

풍화거리 x (m)	σ_y (m)	σ_z (m)	y (m)									
			c (ppm)									
100	12	7	0	30	40	43	45	47	50	51	52	55
			7,606	334	29	12	6.7	3.5	1.3	0.9	0.6	0.2
200	23	13	0	50	60	70	75	80	83	90	95	100
			2,152	202	72	21	11	5.1	3.2	1.0	0.4	0.17
500	58	33	0	50	70	100	150	170	180	190	200	210
			337	232	163	76	12	4.6	2.7	1.6	0.9	0.5
1,000	110	63	0	50	100	150	200	220	250	280	330	350
			93	84	62	37	18	12.6	7.0	3.6	1.0	0.6
2,000	210	120	0	50	100	200	250	300	400	450	530	600
			26	25	23	16	12.6	9.2	4.2	2.6	1.0	0.4

3,000	320	170	0 12	50 11.7	400 5.4	500 3.5	700 1.1	750 0.8	800 0.5	850 0.3	900 0.2	950 0.1
4,000	400	210	0 7.7	100 7.4	500 3.5	600 2.5	700 1.7	800 1.0	850 0.8	900 0.6	950 0.5	1,000 0.3
5,000	470	260	0 5.3	400 3.7	500 3.0	600 2.3	800 1.2	900 0.8	1,000 0.5	1,100 0.3	1,200 0.2	1,300 0.1
6,000	530	300	0 4.1	300 3.5	500 2.6	700 1.7	900 1.0	1,100 0.5	1,300 0.2	1,500 0.07	1,700 0.02	1,900 0.006
7,000	630	330	0 3.1	500 2.2	700 1.7	900 1.1	1,000 0.9	1,100 0.7	1,200 0.5	1,300 0.4	1,400 0.3	1,500 0.2
8,000	700	400	0 2.3	500 1.8	700 1.4	900 1.0	1,000 0.8	1,100 0.7	1,200 0.5	1,300 0.4	1,400 0.3	1,500 0.2
10,000	900	470	0 1.5	500 1.3	700 1.1	800 1.0	1,000 0.8	1,100 0.7	1,200 0.6	1,300 0.5	1,400 0.45	1,500 0.4
13,000	1,200	600	0 0.9									

〈표 - 11〉 대기안정도 C, 풍속 $U = 2.5 \text{ m/sec}$, 누출속도 $Q = 4.5 \text{ kg/sec}$

풍하거리 x (m)	σ_y (m)	σ_z (m)	y (m)										
			c (ppm)										
500	58	33	0	50	70	100	150	170	180	190	200	210	
			101	70	49	23	3.6	1.4	0.8	0.5	0.3	0.2	
1,000	110	63	0	50	100	150	200	220	250	280	330	350	
			28	25	19	11	5	3.8	2.1	1.1	0.3	0.2	
2,000	210	120	0	50	100	200	250	300	400	450	530	600	
			7.8	7.5	6.9	4.8	3.8	2.8	1.3	0.8	0.3	0.1	
3,000	320	170	0	50	400	500	700	750	800	850	900	950	
			3.6	3.5	1.6	1.1	0.3	0.2	0.2	0.1	0.06	0.03	
4,000	400	210	0	100	500	600	700	800	850	900	950	1,000	
			2.3	2.2	1.1	0.8	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.09
5,000	470	260	0	400	500	600	800	900	1,000	1,100	1,200	1,300	
			1.6	1.1	0.9	0.7	0.4	0.2	0.2	0.09	0.06	0.03	
6,000	530	300	0	300	500	700	900	1,100	1,300	1,500	1,700	1,900	
			1.2	1.1	0.8	0.5	0.3	0.2	0.06	0.02	0.006	0.002	
7,000	630	330	0	500	700	900	1,000	1,100	1,200	1,300	1,400	1,500	
			0.93	0.66	0.51	0.33	0.27	0.21	0.15	0.12	0.09	0.06	

「가우시모델방정식」을 이용하였다.

〈표 - 10, 11, 12, 13〉은 안정도 C의 경우 각 풍속조합에 대한 지상농도를 정리한 것이고 〈그림 - 5, 6, 7, 8〉은 이의 등농도선을 나타낸다.

지금까지 구한 등농도선을 이용하여 피해범위를 계산한다. I급 피해지역 주민들도 안전한 지역으로 대피하여야 하므로 피해범위계산은 I급 피해범위만을 하기로 한다.

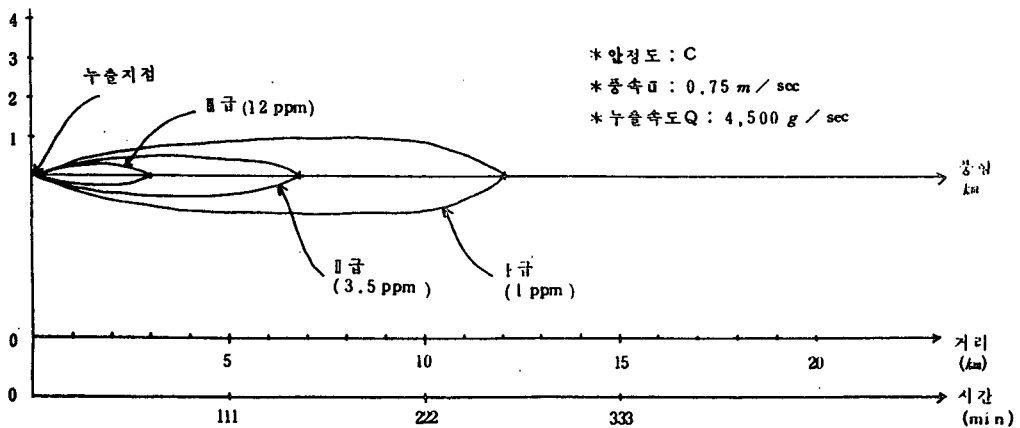
등농도선은 거의 타원형을 이루므로 피해범

< 표 - 12 > 대기안정도 C, 풍속 $U = 4.3 \text{ m/sec}$, 누출속도 $Q = 4.5 \text{ kg/sec}$

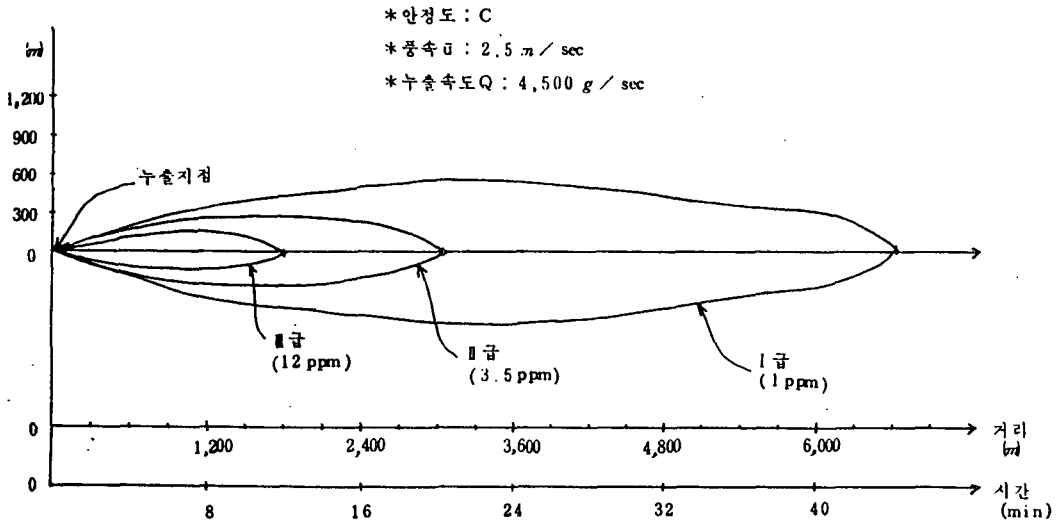
풍하거리 x (m)	σ_y (m)	σ_z (m)	y (m)									
			c(ppm)									
500	58	33	0	50	70	100	150	170	180	190	200	210
			59	40	28	13	2.1	0.8	0.5	1.3	0.2	0.09
1,000	110	63	0	50	100	150	200	220	250	280	330	350
			16	15	11	6.5	3.1	2.2	1.2	0.6	0.3	0.1
2,000	210	120	0	50	100	200	250	300	400	450	530	600
			4.5	4.4	4.0	2.8	2.2	1.6	0.7	0.5	0.3	0.07
3,000	320	170	0	50	400	500	700	750	800	850	900	950
			2.1	2.0	0.9	0.6	0.2	0.1	0.09	0.05	0.03	0.02
4,000	400	210	0	100	500	600	700	800	850	900	950	1,000
			1.3	1.3	0.6	0.4	0.1	0.2	0.1	0.1	0.09	0.05
5,000	470	260	0	400	500	600	800	900	1,000	1,100	1,200	1,300
			0.9	0.6	0.5	0.4	0.2	0.1	0.09	0.05	0.03	0.02

< 표 - 13 > 대기안정도 C, 풍속 $U = 6.5 \text{ m/sec}$, 누출속도 $Q = 4.5 \text{ kg/sec}$

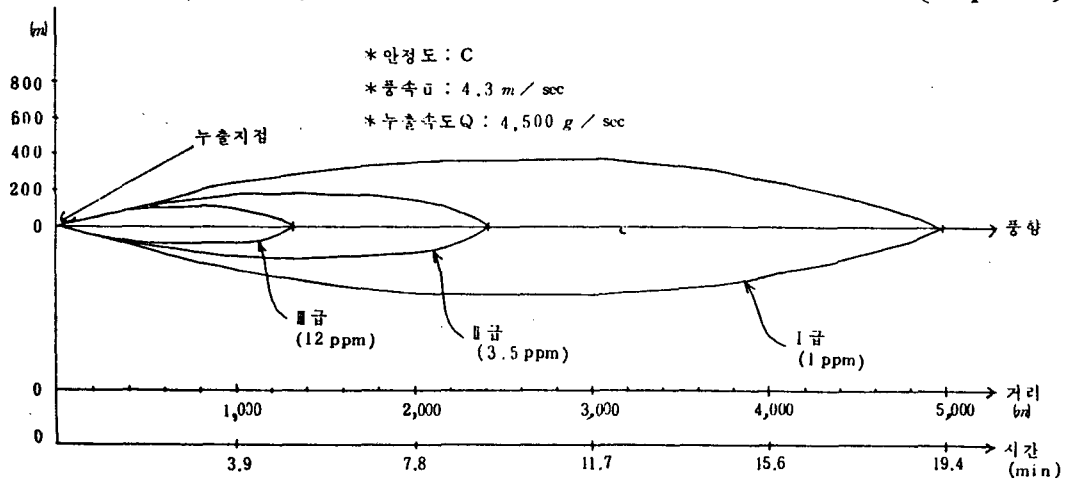
풍하거리 x (m)	σ_y (m)	σ_z (m)	y (m)									
			c(ppm)									
500	58	33	0	50	70	100	150	170	180	190	200	210
			39.2	27	19	8.8	1.4	0.5	0.3	0.2	0.1	0.06
1,000	110	63	0	50	100	150	200	220	250	280	330	350
			11	9.8	7.2	4.3	2.1	1.5	0.8	0.4	0.1	0.07
2,000	210	120	0	50	100	200	250	300	400	450	530	600
			3.0	2.9	2.7	1.9	1.5	1.0	0.5	0.3	0.1	0.04
3,000	320	170	0	50	400	500	700	750	800	850	900	950
			1.4	1.4	0.6	0.4	0.1	0.09	0.06	0.03	0.02	0.01
4,000	400	210	0	100	500	600	700	800	850	900	950	1,000
			1.9	0.86	0.4	0.3						



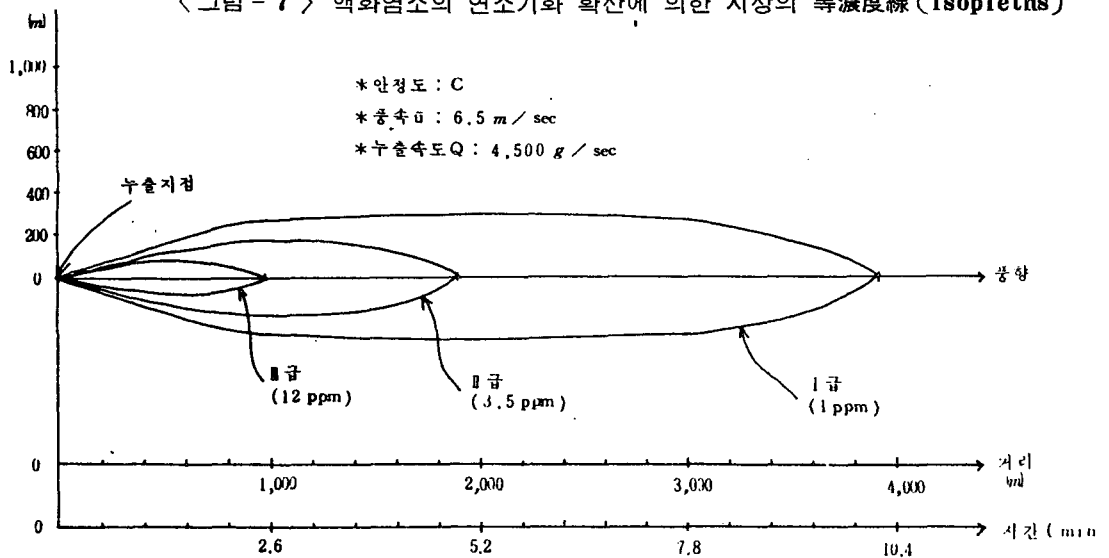
< 그림 - 5 > 액화염소의 연소기화 확산에 의한 지상의 等濃度線 (isopleths)



<그림 - 6> 액화연소의 연소기화 확산에 의한 지상의 등농도線 (isopleths)



<그림 - 7> 액화연소의 연소기화 확산에 의한 지상의 등농도線 (isopleths)



<그림 - 8> 액화연소의 연소기화 확산에 의한 지상의 등농도線 (isopleths)

< 표 - 14 > 기상조건별 피해범위

안정도	구분 풍속 피해범위 m/sec	순간기화			연속기화			피해범위		
		폭 (m)	길이 (m)	넓이 (km ²)	폭 (m)	길이 (m)	넓이 (km ²)	폭 (m)	길이 (m)	넓이 (km ²)
A	0.75	1,500	5,500	8.3	800	1,500	1.2	1,500	5,500	8.3
	2.50	"	"	"	600	1,200	0.5	"	"	"
B	0.75	1,500	5,500	8.3	1,100	4,000	4.4	1,500	5,500	8.3
	2.50	"	"	"	720	2,300	1.7	"	"	"
	4.30	"	"	"	600	2,000	1.2	"	"	"
C	0.75	1,500	12,500	18.8	2,000	12,000	24	2,000	12,500	25
	2.50	"	"	"	1,100	6,500	7.2	1,500	12,500	18.8
	4.30	"	"	"	800	5,000	4.0	"	"	"
	6.50	"	"	"	600	3,900	2.3	"	"	"
D	0.75	1,500	12,500	18.8	3,200	40,000	128	3,200	40,000	128
	2.50	"	"	"	1,400	15,000	21	1,500	15,000	22.5
	4.30	"	"	"	1,100	13,000	14.3	1,500	13,000	19.5
	6.50	"	"	"	1,000	9,500	9.5	1,500	12,500	18.8
E	2.50	1,400	35,000	49	2,000	35,000	70	2,000	35,000	70
	4.30	"	"	"	1,400	25,000	35	1,400	35,000	49
F	0.75	1,300	150,000	195	5,600	100,000	560	5,600	150,000	840
	2.50	"	"	"	3,000	100,000	300	3,000	150,000	450

위는 개략적으로 다음과 같이 구한다.

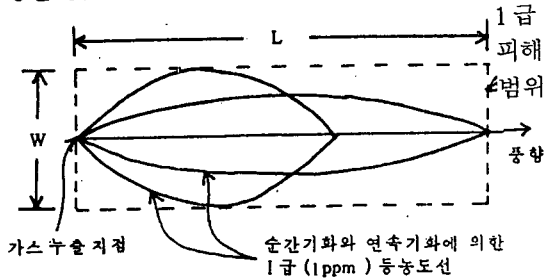
피해범위 $A = L \times W$ (L, W는 연속기화와 순간기화의 등농도선 중 보다 큰 길이와 폭)

< 표 - 14 >는 17가지의 기상조건에 대한 피해범위를 계산하여 정리한 것이다.

제 7장 유독가스누출사고 발생에 대한 대책

대형 유독가스누출사고발생시 제일 중요한 문제는 인명피해를 줄이는 일로서 이에 대한 대책으로서는 가스누출을 저지하여 피해범위를 줄이는 방법과 예상피해지역주민들을 신속히 대피시키는 방법으로 구분될 수 있다. 사전 대책으로서는 도시계획학적 대책을 고려함이 타

당할 것이다.



제 8 장 결 론

액화염소의 저장용기파열에 의한 염소가스누출시 파열직후 순간적으로 기화하는 순간기화량이 다음 연속적으로 기화하는 양보다 훨씬 적음에도 대기안정도 A, B에서의 피해범위는 순간기화가 지배하며 대기안정도가 C이상으로 안정하여 갈수록 피해 범위는 연속기화에 의해 지배된다.

가스누출사고가 밤에 일어날 경우 대기는 보

통 안정화 되어 있으므로 연속기화에 의한 피해 범위가 지배적이며 풍속이 작을 수록 범위는 더욱 커진다.

본 연구의 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) 염소나 기타 유독가스누출에 의한 피해 범위는 가스누출량, 누출속도, 누출형태, 기상 조건, 지형에 의해 결정된다.

2) 대부분 확산계수자료는 풍하거리 15 km 정도까지 실험에 의해 얻어진 것이므로 풍하거리 15 km 이상에 대하여는 풍향변화의 가능성이 높아지고 특히 지형변화가 있기 쉬우므로 신중히 적용하여야 한다.

3) 대기안정도가 높을 수록 그리고 풍속이 작을 수록 피해범위는 커진다.

4) 피해범위는 대기안정도에 의해 주로 결정되며 사고발생시 주민의 대피조치에는 풍속이 중요한 영향을 미친다.*

環境保全 표어·포스터현상공모

入賞者発表

표어

너도나도 환경보전 우리모두 감시요원

〈金賞 : 이태화 부산시 남구 광안동 688-2 국민주택 29호〉

하루앞선 환경보전 백년앞선 국가발전

〈銀賞 : 권재원 서울·종로구 돈의동 113번지〉

힘 모 아 환경보전 약속되는 밝은내일

〈銀賞 : 유재희 경북 예천군 풍양면 낙상동 191〉

포스터

金賞

이기원·허철희作〈서울시 중구 초동 10-1 태극빌딩 601호〉

銀賞

류차현作〈충남 대전시 오정동 한남대학교 응용미술과 2년〉

장호식作〈서울시 영등포구 여의도동 17 동아일보사 여성동아부 디자인실〉