

가압 염소포화액체 저장탱크의 2상 흐름 누출에 대한 유해위험거리의 예측을 위한 결과영향 모델링 방법론

송 덕 만 · 박 영 석 · 박 종 규*

울산대학교 화학공학부, * 계명대학교 화학공학과

(1998년 11월 6일 접수, 1998년 12월 16일 채택)

Consequence Modeling Methodology for Prediction of Hazard Distance for Two-phase Flow Release from the Pressurized Chlorine Saturated Liquid Storage Tank

D. M. Song · Y. S. Park · J. K. Park*

College of Chemical Engineering, University of Ulsan

*Department of Chemical Engineering, Kyemyung University

(Received 6 November 1998; Accepted 16 December 1998)

요 약

본 연구는 화학장치설비중 가압 염소포화액체 저장탱크의 2상흐름 연속누출에 대한 유해 위험거리(또는 독성완충거리)를 정량적으로 예측하기 위한 결과영향 모델링 방법론을 개발하기 위한 것이다. 누출원 모델링은 미환경청의 가이드라인에 근거한 정교한 해석방법과 SuperChems 모델의 자체계산에 의하여 각각 수행되었다. 유해위험성 평가에서 법적 독성규제농도로써 사용되는 STEL, IDLH 및 ERPGs (ERPG-2와 ERPG-3) 농도들에 대하여 유해위험거리를 예측하였다. 비상대응계획 수립시 유해위험성 평가의 가이드라인으로 활용하기 위하여 특히 ERPG-2 농도에 대하여 누출원특성 및 기상변화들의 유해위험거리에 미치는 영향을 고찰하였다.

Abstract - This study is to develop the consequence modeling methodology for quantitative prediction of the hazard distance(or toxic buffer distance) for two-phase flow continuous releases from the pressurized chlorine saturated liquid storage tank of the chemical plant facilities. The source term modeling was performed by the refined analysis method based on USEPA's guideline and SuperChems model self-calculation, respectively. The hazard distance was predicted for STEL, IDLH and ERPGs(ERPG-2 and ERPG-3) concentrations being used as the toxic regulation concentration in hazard estimation. To use as hazard estimation guideline for the establishment of the emergency response planning, the effects of source characteristics and meteorological variations on the hazard distance was especially considered for ERPG-2 concentration.

Key words : the pressurized chlorine storage tank, two-phase flow release, consequence modeling, hazard distance, SuperChems model, ERPG-2 concentration

1. 서 론

「미 산업위생협회(AIHA)」는 유해독성가스의 누출시 「결과영향분석(Consequence Analysis)」

[1-5]에 사용되는 대기 중 1시간 노출한계농도 등급으로 3종류의 「비상대응계획 가이드라인(Emergency Response Planning Guidelines; ERPGs)」 농도를 개발하였으며, 유해독성가스가

누출원으로부터 외부의 인근지역으로 이동되었을 때 결과영향 평가를 위하여 대기중 급성누출 농도 수준으로 ERPG-2 및 ERPG-3 농도가 통상적으로 사용되고 있다[1-6].

「미 산업안전보건국(OSHA)」은 현재 「결과영향 분석」을 위하여 유해독성가스의 누출에 따른 대기중 농도기준으로서 「미 산업위생협회」가 인정하는 1시간 평균 노출기간에 근거한 가장 엄격한 ERPG-3 농도를 사용하고 있으며, 미 환경청(USEPA)은 「비상계획 및 지역사회 의 알 권리 법(the Emergency Planning and Community Right-to-Know Act; EPCRA)」 하에서 「극히 유해한 화학물질(Extremely Hazardous Substances)」의 목록을 선정할 때, 「연방 산업안전보건연구원(NIOSH)」이 개발한 「생명과 건강에 대한 긴급위험 농도(Immediately Dangerous to Life and Health; IDLH)」를 사용하고 있다[1-6].

본 연구에서 누출원 모델링은 미환경청의 가이드라인에 근거한 정교한 해석방법[7,8]과 SuperChems 모델의 자체계산[5,9]에 의하여 각각 수행되었으며, 유해위험성 평가에서 법적 독성규제농도로서 사용되는 STEL, IDLH 및 ERPGs (ERPG-2와 ERPG-3) 농도들에 대하여 유해위험거리를 예측하였다

한편, 염소증기의 최대허용농도(Threshold Limit Value; TLV)는 0.5 ppm, 급성독성농도(Acute Toxic Concentration; ATC)는 13.7 ppm, IDLH 농도는 30 ppm인 반면, 염소증기의 ERPG-1, ERPG-2 및 ERPG-3 농도는 각각 1 ppm, 3 ppm 및 20 ppm이다[1-5].

유해독성가스의 외부 누출시 유해위험거리는 법적 독성규제기준치인 IDLH 농도와 Threshold 양을 비교함으로써 설정할 수 있는데[2,3,10], 미 환경청은 실제로 유해독성가스의 외부 누출에 대하여 유해위험거리를 설정할 때는 IDLH 농도값의 1/10(~1/15)의 분율을 이용하도록 추천하고 있다[10]. 특히 염소증기의 외부 누출에 대한 유해위험지대를 설정할 때, IDLH 농도값(30 ppm)의 1/10의 분율은 ERPG-2 농도(3 ppm)에 상당함을 알 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 유해 독성물질이 대기 중으로 누출되었을 때 비상대응계획 수립시 유해위험성 평가의 가이드라인으로 활용하기 위하여 특히 ERPG-2 농도에 주안점을 두고 저장 탱크에 부착된 배관의 길이 및 누출구의 직경 변화 등 누출원특성 변화와 풍속 및 대기안정도 변화 등 기상변화들의 유해위험거리에 미치는

영향을 정량적으로 예측하여 비교 고찰하였다.

2. 이 론 : 결과영향 모델링 방법론의 개발

2.1. 모델의 선정

본 연구에서는 스크리닝 절차[7]로는 현재 미 환경청에서 유해위험성평가의 일환으로 유해 대기독성물질이 인체의 건강, 환경 및 안전에 미치는 영향을 정량적으로 평가하기 위하여 개발한 단기 최대 지표면 농도를 예측하는 TSCREEN 모델[7]을 사용하였다.

또한, 정교한 해석 방법[8]에 의하여 유해 대기독성물질의 누출에 대한 「결과영향 분석」[1-5]을 수행하기 위하여 미 환경청이 공인하는 Arthur D Little, Inc.의 SuperChems(V2.0) 모델[5,9]을 사용하였다.

2.2. 누출원 모델링(Source-Term Modeling)

직경이 0.762 m이고 길이가 2.07 m인 1 ton 용량의 수평형 저장탱크(Flat)는 대기의 온도(294.3 K)에서 6.86 atm(=6.95×10⁵ Pa)으로 가압되어 있고, 염소포화액체 227 kg을 포함하고 있다. 염소포화액체는 저장탱크의 하부에 부착된 길이가 1 m이고, 내경이 0.007036 m인 연결 배관을 통하여 냉각탑 하부의 급송부 Header로 공급되어 냉각탑에 공급되는 냉각수의 생화학적 조절을 위하여 사용된다. 저장탱크에 부착된 연결배관은 지상 2 m 지점에 위치하고 있으며, 저장탱크의 액체속에는 Eductor가 설치되어 있어 같은 높이의 연결배관과 연결되어 있다. 저장탱크의 연결배관이 파열되어 저장탱크로부터 염소포화액체가 누출되었으며, 저장탱크의 압력은 감압되면서 저장된 염소포화액체의 일부가 배관내에서 순간증발하면서 완전히 발달된 2상 흐름 누출로 수평방향으로 대기중으로 분산되었다. 최종누출 후 저장탱크에는 13.6 kg의 염소포화액체가 남아 있다.

가압 염소포화액체 저장탱크의 2상흐름 연속 누출 시나리오에 대한 열역학적 자료 및 기상자료의 개요는 Table 1에 나타내었다.

2.3. 분산 모델링(Dispersion Modeling)

미 환경청의 가이드라인에 근거한 정교한 해석방법[7,8]과 SuperChems 모델의 자체계산[5,9]에 의한 누출원 모델링 계산결과들은 각각 SuperChems 분산모델[9]의 입력자료로 사용되었다.

Table 1. Thermodynamical and meteorological data summary for two-phase flow release from the pressurized chlorine saturated liquid storage tank.

Chemical Data	Meteorology
Molecular weight : 70.9 kg/kmol	Ambient temperature : 70°F (= 294.3 K)
Liquid heat capacity : 927.13 J/kg·K	Ambient pressure : 1 atm (= 101,325 Pa)
Critical temperature : 417.15 K	Relative humidity : 50%
Latent heat of vaporization : 2.876×10^5 J/kg	Wind speed : 10 mph (= 4.47 m/s)
Boiling point : 239.12 K	Wind direction : South (180 °)
Liquid density at container : 1,562.19 kg/m ³	Measurement height : 32.81 ft (= 10 m)
	Surface roughness : 0.01 m
	Cloud cover : 4/8
	Stability class : C (Weakly unstable)
	Time : Mid-morning

스크리닝 절차[7]에서는 공기보다 무거운 가스의 거동을 보이면서 수직상승체트가 아닐 경우 Britter-McQuaid(B-M) 모델[7]을 사용하였다. 한편, 정교한 해석 방법[5,9]에서는 공기보다 무거운 가스의 거동에 대해서는 Dense Gas Model인 SuperChems 모델[9]에 의한 결과영향 모델링을 수행하였다.

분산모델링을 수행하여 유해독성가스들의 법적규제농도인 STEL, ERPG-2, ERPG-3 및 IDLH 농도별 각 규정농도에 도달하는 유해위험 거리를 산출하여 유해독성가스의 인근 지역에 미치는 피해영향을 정량적으로 예측하는 결과영향 모델링 방법론을 개발하였다.

아울러 비상대응계획 수립시 유해위험성 평가의 가이드라인으로 활용하기 위하여, 특히 ERPG-2 농도에 대하여 저장탱크에 부착된 배관의 길이 및 누출구의 직경 변화 등 누출원특성 변화와 풍속 및 대기안정도 변화 등 기상특성 변화들의 유해위험거리에 미치는 영향을 정량적으로 예측하여 비교 고찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 누출원 모델링의 결과 및 고찰

본 스크리닝 절차에서는 가압 염소포화액체 저장탱크의 액체측에 설치된 Eductor의 영향을 고려할 수 없으므로 총 누출량은 저장량($Q=227$ kg)이 전부 누출된 것으로 산출되었으며, 아울러 TSCREEN 모델에는 저장탱크에 부착된 연결배관으로부터의 2상흐름 누출을 해석하는 분산모델이 없어 연결배관의 길이를 무시하였으므로($L_p = 0$ m), 누출속도는 1.008 kg/s으로 최대로 산출되었으며, 결국 빠른 누출속도로 인하여

누출기간은 3.75 min로 작게 산출되었음을 알 수 있다. 결과로부터, 저장탱크 내의 액위가 액체 Eductor까지 떨어질 때까지는 계속하여 2상 흐름 누출하지만, 액위가 액체 Eductor에 도달한 후에는 염소는 누출기간동안 증기상만으로 누출된다는 것을 알 수 있다.

한편, 정교한 해석 방법에서는 액체 Eductor의 영향으로 총 누출량은 저장량($Q=227$ kg)에서 액체 Eductor 밑에 남은 양(13.6 kg)을 뺀 213.4 kg이며, 연결배관의 길이($L_p = 1$ m)가 고려되었으므로 누출속도는 0.317 kg/s, 누출기간은 11.2 min로 산출되었다. 특히 관의 길이 영향에 따른 누출유량[1.8]은 Fauske와 Epstein의 식[11]에 의하여 산출되었다.

결론적으로, 누출원 모델링 결과로부터 저장탱크에 부착된 연결배관의 길이가 길면 길수록 누출물의 흐름저항은 증가하므로 배관의 길이를 무시할수록($L_p = 0$ m) 탱크에서 직접누출되는 것이 되어 누출속도는 최대가 되고 누출기간은 최소가 된다는 것을 알 수 있다.

3.2. 분산 모델링의 결과 및 고찰

(1) 유해위험거리에 대한 누출원특성 변화의 영향

① 법적 규제기준 농도별 배관의 길이 (L_p)에 대한 영향

$L_p = 0$ m인 경우, 정교한 해석 방법에 의한 누출원 모델링 계산치와 SuperChems 모델의 자체 누출원 모델링 계산치를 각각 SuperChems 분산모델의 입력자료로 사용하여 2상흐름 누출에 대한 연속 무거운 가스의 분산(Continuous Heavy Gas Dispersion) 모델로 분산모델링을

수행하여 각 법적 규제기준농도별 유해위험거리의 영향에 대한 결과를 비교하여 Table 2, Fig. 1(a) 및 Fig. 1(b)에 나타내었다.

치로 분산모델링을 수행하는 경우에는 누출후 11.25초, 풍하거리 34.66 m, 지표면농도는 3234.0 ppm으로 나타났다. 또한, 정교한 해석방법에

Table 2. Source modeling and dispersion results for 2-phase continuous release from the pressurized chlorine saturated liquid storage tank ($L_p = 0$ m)

Items		Refined Analysis				SuperChems			
		STEL	ERPG-2	ERPG-3	IDLH	STEL	ERPG-2	ERPG-3	IDLH
Source Modeling	Release Temp.(K)	239.12				239.12			
	V/L Ratio	0.1779				0.1899			
	Mass Flow Rate(kg/s)	1.008				0.1482			
	Release Duration(s)	225				1688			
Transition to Passive Dispersion	Time(s)	24.16				11.25			
	Downwind Dist.(m)	78.69				34.66			
	Semi-width(m)	13.36				4.35			
	Concentration(ppm)	3236.5				3234.0			
Dispersion Results	Time(s)	842.8	460.4	171.7	141.1	311.2	171.9	66.17	54.92
	Downwind Dist.(m)	2961	1615	598.1	490.5	1030	567.9	217	179.6
	Cloud Area(m ²)	970500	297800	41112	27487	129400	39966	5545	3717
	Time(s)	474.4	264.1	105.3	88.49	1762	99.6	41.45	37.45
	Semi-width(m)	224.3	128.0	49.39	40.52	86.77	49.74	19.3	15.91

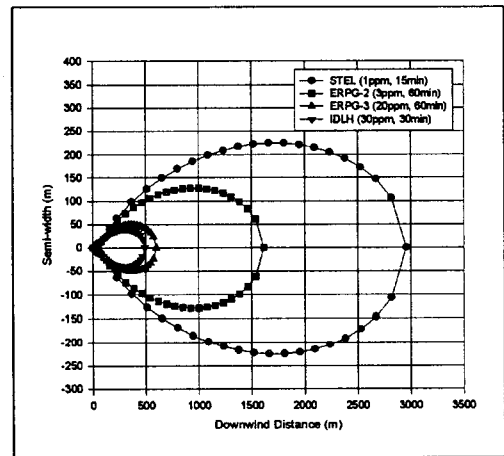
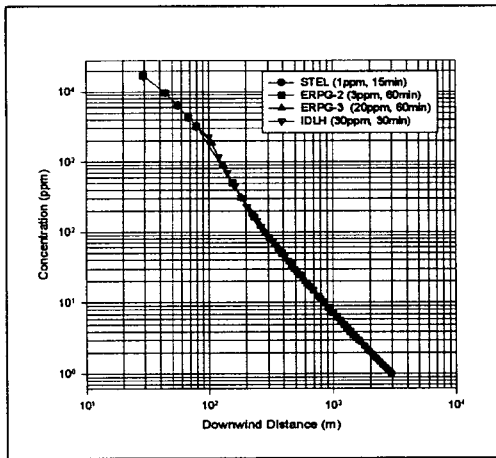


Fig. 1(a). Concentration profile based on refined analysis source modeling for $L_p = 0$ m

수동적분산(Passive Dispersion)이 일어나는 전이지점(Transition)은 정교한 해석 방법에 의한 누출원 모델링 계산치로 분산모델링을 수행하는 경우에는 누출후 24.16초, 풍하거리 78.69 m, 지표면농도는 3236.5 ppm으로 나타난 반면, SuperChems 모델의 자체 누출원 모델링 계산

의한 누출원 모델링 계산치로 분산모델링을 수행하는 경우의 ERPG-2 및 ERPG-3 농도를 나타내는 풍하거리는 각각 1615 m, 598.1 m 지점이며, 최대 Semi-Width는 각각 128.0 m, 49.39 m,로 나타난 반면, SuperChems 모델의 자체 누출원 모델링 계산치로 분산모델링을 수행한 경우의 풍하거리

는 각각 567.9 m, 217 m 지점에서 나타났으며 최대 Semi-Width는 각각 49.74 m, 19.3 m로 나타났다.

한편, $L_p=1$ m인 경우에 대해서도, 각각의 누출원 모델링 계산치를 이용하여 SuperChems 모

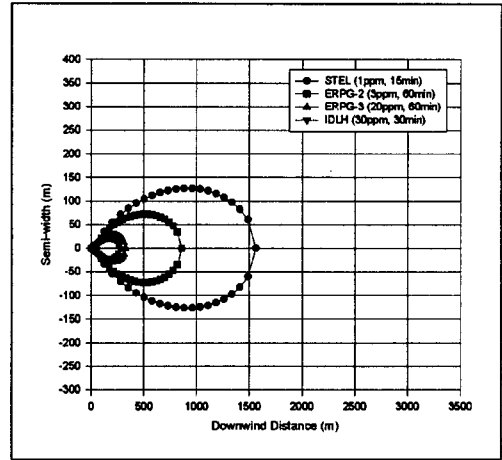
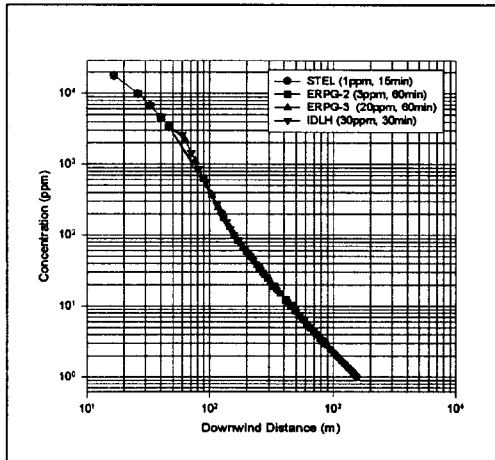


Fig. 1(b). Concentration profile based on SuperChems self-calculation source modeling for $L_p = 0$ m.

Table 3. Source modeling and dispersion results for 2-phase continuous release from a pipe attached to the pressurized chlorine saturated liquid storage tank ($L_p = 1$ m)

Items		Refined Analysis				SuperChems			
		STEL	ERPG-2	ERPG-3	IDLH	STEL	ERPG-2	ERPG-3	IDLH
Source Modeling	Release Temp.(K)	239.12				239.12			
	V/L Ratio	0.1779				0.1899			
	Mass Flow Rate(kg/s)	0.3170				0.1276			
	Release Duration(s)	672				1960			
Transition to Passive Dispersion	Time(s)	14.78				10.97			
	Downwind Dist.(m)	46.45				33.73			
	Semi-width(m)	6.64				4.17			
	Concentration(ppm)	3423.3				2953.3			
Dispersion Results	Time(s)	460.6	253.4	96.44	79.77	287	158.8	61.56	51.2
	Downwind Dist.(m)	1564	858.7	324.5	267.7	948.9	524	201.5	167.1
	Cloud Area(m ²)	287000	88450	12266	8209	110300	34110	4758	3201
	Time(s)	260.3	146.3	60.01	50.84	162.8	92.3	38.79	33.1
	Semi-width(m)	126.3	72.26	29.97	22.95	80.48	46.16	17.99	14.9

결국, 정교한 해석방법에 의한 누출원 모델링 계산치로 분산모델링을 수행하는 경우의 ERPG-2 및 ERPG-3(20 ppm) 농도를 나타내는 풍하거리 및 최대 Semi-Width는 SuperChems 모델의 자체 누출원 모델링 계산치로 분산모델링을 수행하여 산출한 풍하거리 및 최대 Semi-Width보다 약 3배 정도 크게 나타나고 있다.

델에서 분산모델링을 수행하여 각 법적 규제기준농도별 유해위험거리의 영향에 대한 결과를 비교하여 Table 3, Fig. 2(a) 및 Fig. 2(b)에 나타내었다.

수동적분산이 일어나는 전이지점은 정교한 해석 방법에 의한 누출원 모델링 계산치로 분산모델링을 수행하는 경우에는 누출후 14.78초, 풍하

거리 46.45 m, 지표면농도는 3423.3 ppm으로 나타난 반면, SuperChems 모델의 자체 누출원 모델링 계산치로 분산모델링을 수행하는 경우에는 누출후 10.97초, 풍하거리 33.73 m, 지표면농도는 2953.3 ppm으로 나타났다. 또한, 정교한 해석방법에 의한 누출원 모델링 계산치로 분산모델링을 수행하는 경우의 ERPG-2 및 ERPG-3

하여 산출한 풍하거리 및 최대 Semi-Width보다 약 1.5배 정도 크게 나타나고 있다. 농도를 나타내는 풍하거리는 각각 858.7 m, 324.5 m 지점에서 나타났으며 최대 Semi-Width는 각각 72.26 m, 29.97 m,로 나타난 반면, SuperChems 모델의 자체 누출원 모델링 계산치로 분산모델링을 수행한 경우의 풍하거리는 각

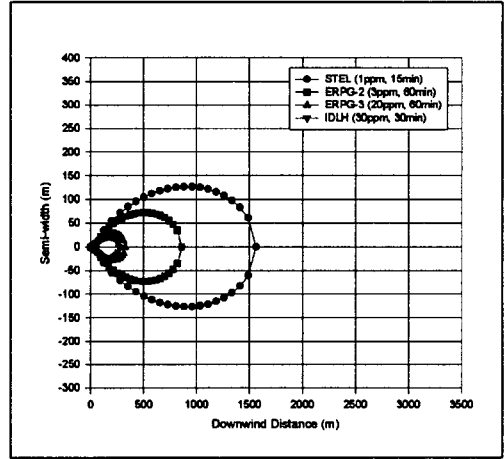
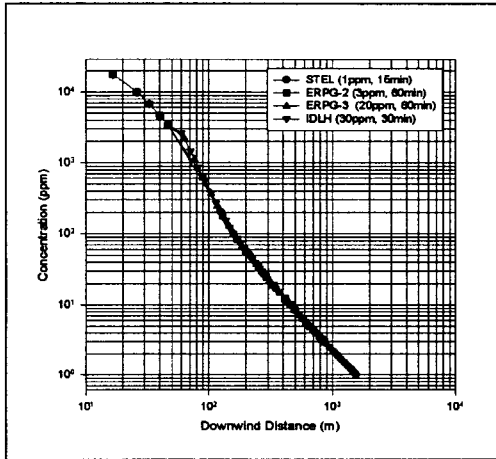


Fig. 2(a). Concentration profile based on refined analysis source modeling for $L_p = 1$ m

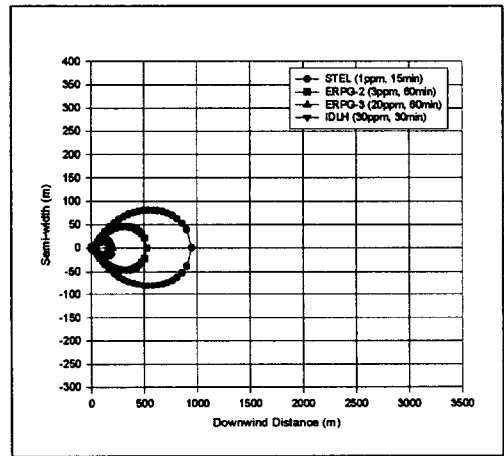
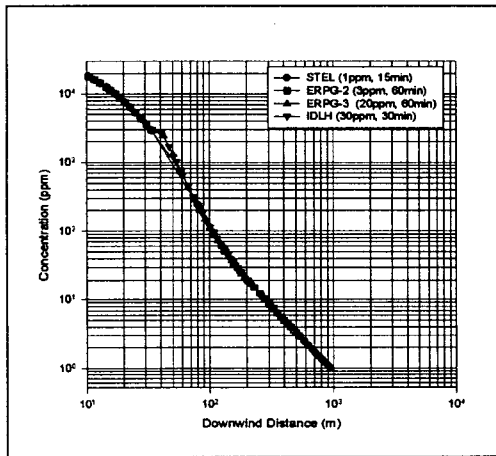


Fig. 2(b). Concentration profile based on SuperChems self-calculation source modeling for $L_p = 1$ m

결국, 정교한 해석방법에 의한 누출원 모델링 계산치로 분산모델링을 수행하는 경우의 ERPG-2 및 ERPG-3 농도를 나타내는 풍하거리 및 최대 Semi-Width는 SuperChems 모델의 자체 누출원 모델링 계산치로 분산모델링을 수행

각 524 m, 201.5 m 지점에서 나타났으며 최대 Semi-Width는 각각 46.16 m, 17.99 m,로 나타났다.

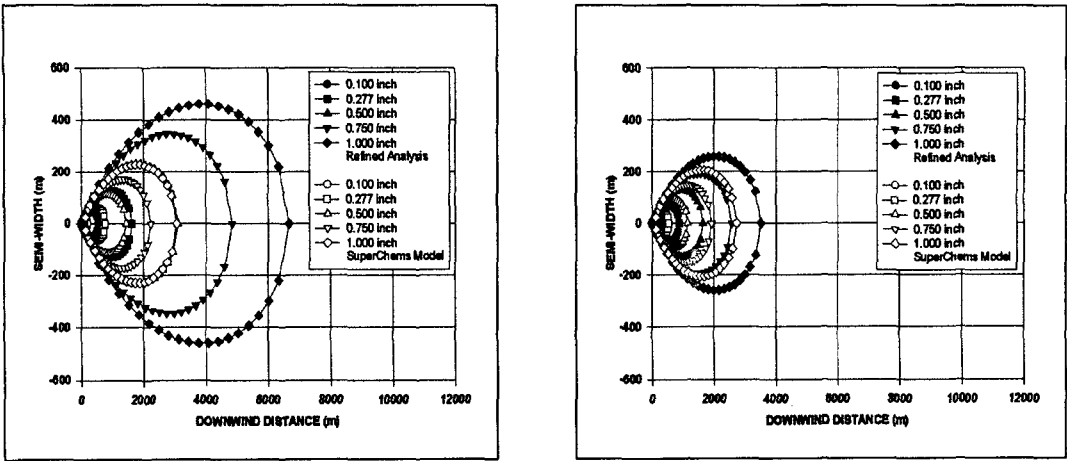


Fig. 3(a). ERPG-2 concentration isopleth comparison of refined analysis with SuperChems self-calculation source modeling for $L_p = 0$ m and $L_p = 1$ m, respectively : the effect of hole size variation on the hazard distance.

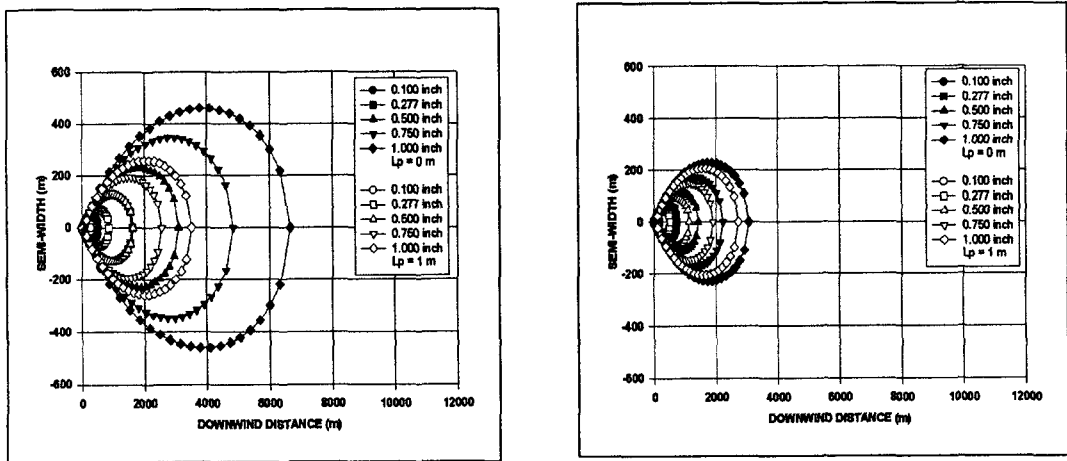


Fig. 3(b). ERPG-2 concentration isopleth comparison of $L_p = 0$ m with $L_p = 1$ m for refined analysis and SuperChems self-calculation source modeling, respectively : the effect of hole size variation on the hazard distance.

② ERPG-2 농도에 대한 누출구 크기(Hole Size) 변화의 영향

$L_p = 0$ m와 $L_p = 1$ m인 각 경우에 대하여, 정교한 해석 방법에 의한 누출원 모델링 계산치와 SuperChems 모델의 자체 누출원 모델링 계산치를 각각 SuperChems 분산모델의 입력자료로 사용하여 ERPG-2 농도에 대하여 분산모델

링을 수행하여 누출구 크기의 변화에 따른 유해위험거리의 영향을 고찰한 결과를 비교하여 Fig. 3(a)와 Fig. 3(b)에 나타내었다.

Fig. 3(a)에 나타난 바와 같이, $L_p = 0$ m와 $L_p = 1$ m인 경우, 공히 정교한 해석 방법에 의한 누출원 모델링 계산치로 분산모델링을 수행하여 산출한 유해위험거리는 SuperChems 모델

의 자체 누출원 모델링 계산치로 분산모델링을 수행하여 산출한 유해위험거리보다 크게 나타났다. 또한, Fig. 3(b)에 나타낸 바와 같이, 정교한 해석 방법에 의한 누출원 모델링 계산치 및 SuperChems 모델의 자체 누출원 모델링 계산치로 분산모델링을 수행한 결과를 비교하면, 공히 $L_p = 0$ m인 경우가 $L_p = 1$ m인 경우보다 유해위험거리가 크게 나타났다

결국, 일정한 풍속과 대기안정도에서 누출구의 크기가 클수록 누출속도는 감소하여 유해독성물질은 풍속의 영향에 의하여 풍측과 풍하방향으로 넓게 퍼져나감에 따라 유해위험거리는 크게 증가함을 알 수 있다.

③ ERPG-2 농도에 대한 저장탱크 유형(Vessel Shape) 변화의 영향

수평 실린더형 저장탱크의 각 Heads 유형에 대하여, 정교한 해석 방법에 의한 누출원 모델링 계산치와 SuperChems 모델의 자체 누출원 모델링 계산치를 각각 SuperChems 분산모델의 입력자료로 사용하여 ERPG-3 농도에 대하여 분산모델링을 수행하여 저장탱크의 Heads 유형에 따른 유해위험거리의 영향을 고찰한 결과를 비교하여 Table 4에 나타내었다.

Table 4에 나타낸 바와 같이 수평 실린더형 저장탱크의 각 Heads 유형별로 분산모델링을 수행한 결과, 저장탱크의 Heads 유형이 Flat에서 Hemispherical Type으로 볼록한 곡선형에서 평면형으로 변화함에 따라 저장탱크에서의 누출속도가 증가하면서 공히 유해위험거리 및 유해위험지대의 면적은 증가하는 것으로 나타났다.

모델링을 수행하여 풍속의 변화에 따른 유해위험거리의 영향을 고찰한 결과를 비교하여 Fig. 4(a)와 Fig. 4(b)에 나타내었다.

Fig. 4(a)에 나타낸 바와 같이, 어떤 특정한 풍속에 대하여 $L_p = 0$ m와 $L_p = 1$ m인 경우, 공히 정교한 해석 방법에 의한 누출원 모델링 계산치로 분산모델링을 수행하여 산출한 유해위험거리는 SuperChems 모델의 자체 누출원 모델링 계산치로 분산모델링을 수행하여 산출한 유해위험거리보다 크게 나타났다. 또한, Fig. 4(b)에 나타낸 바와 같이, 정교한 해석 방법 의한 누출원 모델링 계산치 및 SuperChems 모델의 자체 누출원 모델링 계산치로 분산모델링을 수행한 결과를 비교하면, 공히 $L_p = 0$ m인 경우가 $L_p = 1$ m인 경우보다 유해위험거리가 크게 나타났다.

결국, 풍속이 증가함에 따라 유해독성물질의 대기중에서의 활발한 분산영향으로 원활하게 혼합됨으로써 유해위험거리는 감소함을 알 수 있다. 유해독성물질은 풍속이 감소할수록 풍측과 풍하방향으로 넓게 퍼져나감에 따라 유해위험거리는 크게 증가함을 알 수 있다.

② ERPG-2 농도에 대한 대기안정도(Atmospheric Stability) 변화의 영향

$L_p = 0$ m와 $L_p = 1$ m인 각 경우에 대하여, 정교한 해석 방법에 의한 누출원 모델링 계산치와 SuperChems 모델의 자체 누출원 모델링 계산치를 각각 SuperChems 분산모델의 입력자료로 사용하여 ERPG-2 농도에 대하여 분산모델

Table 4. Source modeling and dispersion results for 2-phase continuous release from a pipe attached to the pressurized chlorine saturated liquid storage tank

Vessel Heads Shape	Mass Flow Rate (kg/s)	Vapor to Liquid Molar Ratio	X_{dw} (m)	Y_{dw} (m)	Area (m^2)
Hemispherical	0.1411	0.2044	175.8	15.62	3,541
Flat(=Dished)	0.1482	0.1899	179.6	15.91	3,717

(2) 유해위험거리에 대한 기상변화의 영향

① ERPG-2 농도에 대한 풍속(Wind Speed) 변화의 영향

$L_p = 0$ m와 $L_p = 1$ m인 각각의 경우에 대하여, 정교한 해석 방법에 의한 누출원 모델링 계산치와 SuperChems 모델의 자체 누출원 모델링 계산치를 각각 SuperChems 분산모델의 입력자료로 사용하여 ERPG-2 농도에 대하여 분산

모델링을 수행하여 대기안정도의 변화에 따른 유해위험거리의 영향을 고찰한 결과를 비교하여 Fig. 5(a)와 Fig. 5(b)에 나타내었다.

Fig. 5(a)에 나타낸 바와 같이, 어떤 특정한 대기안정도에 대하여 $L_p = 0$ m와 $L_p = 1$ m인 경우, 공히 정교한 해석 방법에 의한 누출원 모델링 계산치로 분산모델링을 수행하여 산출한 유해위험거리는 SuperChems 모델의 자체 누출

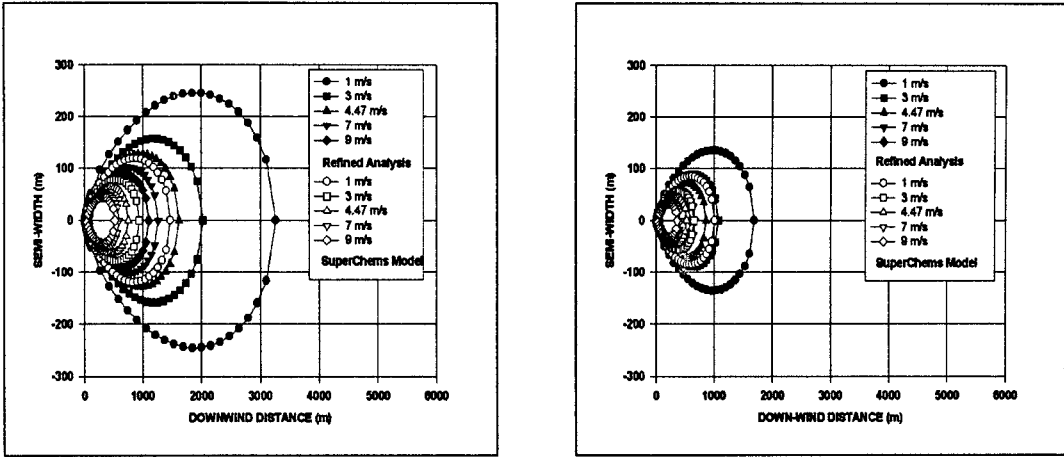


Fig. 4(a). ERPG-2 concentration isopleth comparison of refined analysis with SuperChems self-calculation source modeling for $L_p = 0$ m and $L_p = 1$ m, respectively : the effect of wind speed variation on the hazard distance.

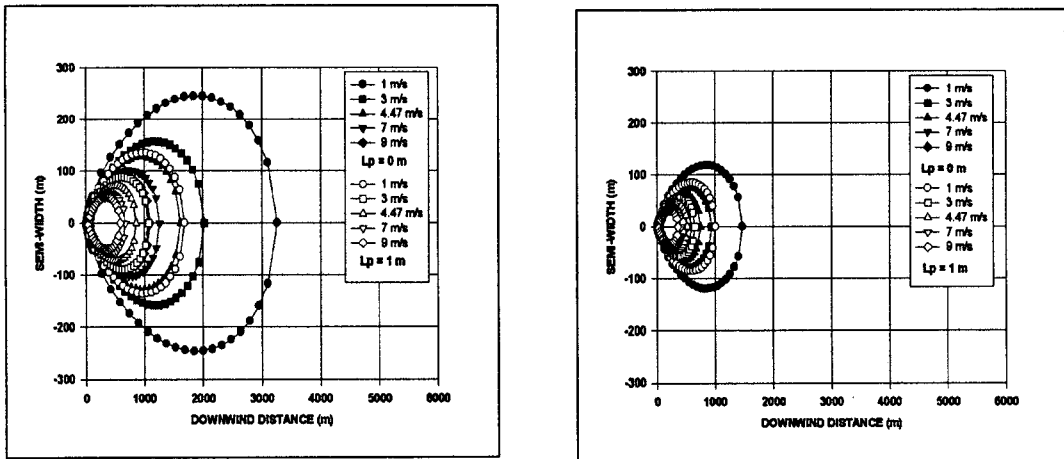


Fig. 4(b). ERPG-2 concentration isopleth comparison of $L_p = 0$ m with $L_p = 1$ m for refined analysis and SuperChems self-calculation source modeling, respectively : the effect of wind speed variation on the hazard distance.

원 모델링 계산치로 분산모델링을 수행하여 산출한 유해위험거리보다 크게 나타났다. 또한, Fig. 5(b)에 나타낸 바와 같이, 정교한 해석 방법 의한 누출원 모델링 계산치 및 SuperChems 모델의 자체 누출원 모델링 계산치로 분산모델링을 수행한 결과를 비교하면, 공히 $L_p = 0$ m 인 경우가 $L_p = 1$ m인 경우보다 유해위험거리가 크게 나타났다.

결국, 일정한 풍속에서 대기안정도가 불안정할수록 유해독성물질의 대기중에서의 활발한 분산영향으로 원활하게 혼합됨으로써 유해위험거리는 감소함을 알 수 있다. 유해독성물질은 대기안정도가 안정할수록 풍속과 풍하방향으로 넓게 퍼져나감에 따라 유해위험거리는 크게 증가함을 알 수 있다.

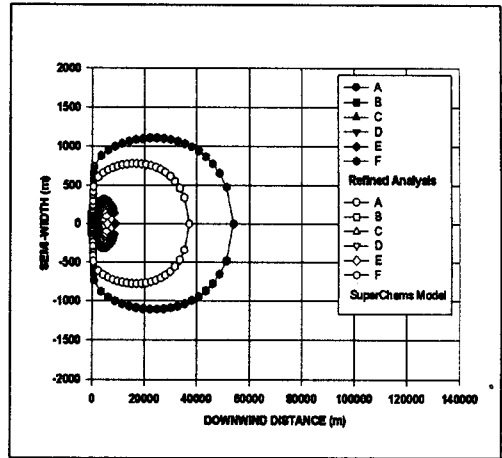
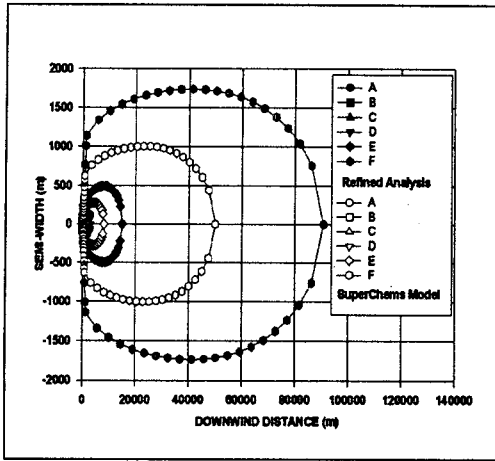


Fig. 5(a). ERPG-2 concentration isopleth comparison of refined analysis with SuperChems self-calculation source modeling for $L_p = 0$ m and $L_p = 1$ m, respectively : the effect of atmospheric stability variation on the hazard distance

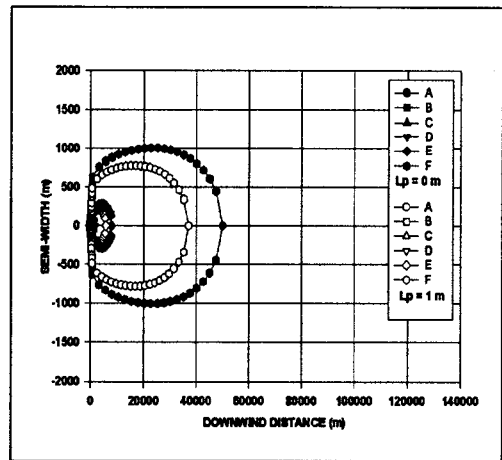
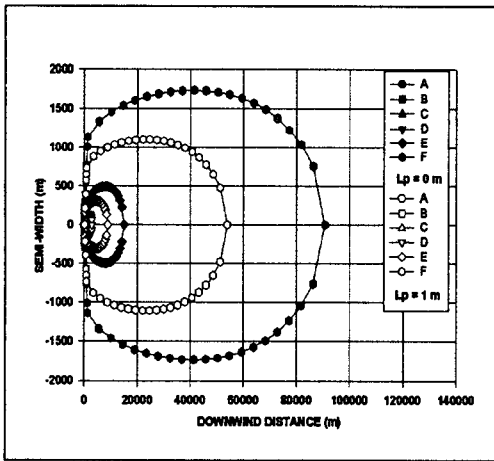


Fig. 5(b). ERPG-2 concentration isopleth comparison of $L_p = 0$ m with $L_p = 1$ m for refined analysis and SuperChems self-calculation source modeling, respectively : the effect of atmospheric stability variation on the hazard distance

4. 결 론

본 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 유해독성가스의 결과영향 모델링 방법론의 개발
본 연구는 가압 염소포화액체 저장탱크에 부착된 배관의 파열로 인하여 유해독성물질인 염소포화액체가 2상흐름으로 연속누출될 때, 스크리닝 절차와 정교한 해석방법을 조합하여

유해독성물질의 법적 독성규제 기준농도인 STEL, IDLH 및 ERPGs 농도들과 예측농도를 비교 고찰하여 유해위험거리(독성완충거리)를 결정하는 독특한 결과영향 모델링 방법론을 개발하였다.

본 연구에서 개발한 결과영향 모델링 방법론으로부터 누출원특성 변화 및 기상변화에 따른 유해위험거리의 영향을 비교 고찰한 결과,

유해위험거리가 과소평가되는 것을 보완하기 위해서는 SuperChems 모델 자체에서 누출원 모델링을 수행하는 것보다는 누출원 모델링을 별도로 미 환경청의 가이드라인에 근거한 정교한 해석 방법에 의하여 수행하고 정교한 해석 방법에 의한 누출원 모델링 계산치를 SuperChems 분산모델의 입력자료로 사용하여 분산모델링을 수행하여 유해위험거리를 예측하는 것이 바람직하다고 사료된다.

- (2) 결과영향 모델링에 의한 유해위험거리의 예측
 - 누출원 특성변화 : 누출원 특성에 따른 유해위험거리는 배관의 길이가 짧을수록 누출구의 크기가 클수록 저장탱크의 Heads의 유형이 불룩한 곡선형에서 평면형으로 변화됨에 따라 증가한다.
 - 기상변화 : 기상변화에 따른 유해위험거리는 풍속이 낮을수록 대기안정도가 안정할수록 증가한다.
- (3) 지역사회 비상대응계획 수립을 위한 유해위험성평가의 가이드라인 여러 가지의 유해독성물질에 대한 보다 다중·다양한 누출 시나리오들을 선정하여 보편적으로 적용할 수 있는 sliding scale 방법론을 개발함으로써 유해독성물질의 누출시 지역사회 비상대응계획(emergency response planning) 수립시 유해위험성평가에 대한 가이드라인을 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

and Explosion Dynamics", Arthur D. Little, Inc. August (1995).

6. David R. Patrick, "Toxic Air Pollution Handbook", Van Nostrand Reinhold, New York, ISBN 0-442-00903-8, P. 12 1~130 (1994).
7. USEPA, "Workbook of Screening Technologies for Assessing Impacts of Toxic Air Pollutants (Revised)", EPA-454/R-92-024, Dec. (1992).
8. USEPA, "Guidance on the Application of Refined Dispersion Models to Hazardous Air Pollutants Releases", EPA-454/R-93-002, April (1993).
9. Arthur D. Little, Inc., "SuperchemsTM, Professional Edition Version 2.0 : User Guide", August (1996).
10. USEPA, "Technical Guidance for Hazard Analysis : Emergency Planning for Extremely Hazardous Substances", USEPA, Federal Emergency Management Agency, USDOT, Washington, D.C., Dec. (1987).
11. H.K. Fauske and M. Epstein, "Source Term Considerations in Connection with Chemical Accidents and Vapor Cloud Modeling", Proceedings of the International Conference on Vapor Cloud Modeling, Cambridge, MA., Nov. 2~4, AIChE, New York, P.251 (1987).

참 고 문 헌

1. AIChE CCPS, "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis : Chapter 2. Consequence Analysis", AIChE, New York, P. 59~184 (1989).
2. Roger Mallett, "Evaluate the Consequences of Incidents", *Chem. Eng. Prog.*, P.69~73, Jan. (1993).
3. Roger Mallett, "Evaluate the Consequence of Incidents - Part 2", *Chem. Eng. Prog.*, P.74~79, Feb. (1993).
4. DuPont Chemicals, "Process Hazards Analysis-Seminar Manual", 8th ed., Safety and Environmental Management Services, duPont Chemicals, E.I. duPont de Nemours and Company, Wilmington, Delaware 1989, P. 56-59, Jan. (1996).
5. G.A. Melhem, "Advanced Consequence Analysis : Emission, Dispersion, Fire,