



물질특성 및 운전조건을 고려한 증기상 물질의 2차 누출에 따른 폭발위험장소 범위 선정에 관한 연구

서민수 · 김기석 · 황용우 · †천영우

인하대학교 환경안전융합전공

(2018년 3월 9일 접수, 2018년 7월 30일 수정, 2018년 7월 31일 채택)

A Study on Determination of Range of Hazardous Area Caused by the Secondary Grade of Release of Vapor Substances Considering Material Characteristic and Operating Condition

Minsu Seo · Kisug Kim · Yongwoo Hwang · †Youngwoo Chon

Dept. of Environmental Technology & Safety Technology Convergence,

Inha University, Incheon 22212, Korea

(Received March 9, 2018; Revised July 30, 2018; Accepted July 31, 2018)

요약

현재 KS Code 등 국내규정에서는 폭발위험장소의 범위를 계산하는 방법이 명확하게 나타나지 않아, 정확한 범위 선정을 위해서는 확산 모델링 해석을 이용하여야 한다. 본 연구에서는 대표적인 물질과 운전조건을 활용하여 확산 모델링에 비하여 간편하면서도 비교적 합리적인 폭발위험장소의 범위를 산정하는 방법을 제시하고자 하였다. 현재 시행되고 있는 국내외 표준을 바탕으로 폭발하한계(LFL, Lower Flammable Limit)까지 거리에 영향을 미치는 변수를 선정하였다. 총 16종의 인화성물질을 대상으로 물질변수, 운전변수, 기상조건에 대하여 모델링을 진행하였으며, 통계분석을 통해 영향을 미치는 변수를 선별하였다. 선별된 변수를 이용하여 폭발위험장소의 범위 선정을 위한 3단계 분류화 방법(3Step Classification Method)을 작성하였다.

Abstract - Currently, local regulations, such as KS Code, do not clearly specify how to calculate the range of hazardous area, so the dispersion modeling program should be used to select dispersion. The purpose of this study is to present a methodology of determining the range of hazardous area which is simpler and more reasonable than modelling by using representative materials and process conditions.

Based on domestic and overseas regulations that are currently in effect, variables affecting distance to LFL(Lower Flammable Limit) were selected. A total of 16 flammable substances were modelled for substance variables, process conditions variables, and weather conditions variables, and the statistical analysis selected the variables that affect them. Using the selected variables, a three-step classification method was prepared to select the range of locations subject to explosion hazard.

Key words : Range of hazardous area, Explosive gas atmosphere, Distance to LFL, flammable

†Corresponding author:ponychon@inha.ac.kr

Copyright © 2018 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

1.1. 연구배경

인화성 가스 또는 증기를 사용하는 설비를 대상으로 폭발위험성에 대한 평가를 실시하고 안전조치를 실시하여야 한다. 국내에서는 산업안전보건에 관한 규칙 제232조에서 법적으로 규정하고 있으며, 폭발성 가스 분위기 형성에 관한 기술적인 사항은 KS C IEC 60079-10-1에서 제시하고 있다.

KS C IEC 60079-10-1에서는 방폭위험등급 및 폭발위험장소의 범위를 선정하도록 명시되어 있다. 선정되는 위험등급과 범위에 대하여 적합한 방폭설비 설치로 점화원을 관리하여 폭발을 방지하는 것이 해당규정의 목적이다[1].

KS C IEC 60079-10-1에서 방폭등급(0,1,2중)을 구분하는 절차는 정확히 명시되어 있지만, 방폭거리를 산정하는 구체적인 방법을 제시하고 있지는 않다. 그래프를 이용하여 폭발위험장소의 범위를 산정하게 되는데 그래프의 정확한 수식이 없어 대략적인 범위만 추정할 수 있다.

1.2. 연구목적

정확한 폭발위험장소 선정을 위해서는 물질별 각 운전조건을 이용하여 확산 모델링 프로그램을 이용하면 되나, 사업장에서 인화성물질이 사용되고 있는 모든 기기에 대해서 모두 모델링을 하기에는 어려울 것으로 판단된다.

그러므로 대표적인 물질과 운전조건을 활용하여 모델링보다 간편하고 비교적 합리적인 폭발위험장소의 범위를 산정하는 방법을 제시하는데 목적이 있다.

II. 문헌조사

국내의 방폭과 관련된 표준 및 문헌연구로부터 방폭거리 계산을 위해 현재 사용되고 있는 절차 및 변수를 확인하였다.

대상표준은 국내표준 KS IEC 60079 10-1, 국제표준 표준인 IEC 60079 10-1 (2015), 영국 EI - 15 (2015), 미국 NFPA-497(2017), API RP-505(2013), 확산모델링 이론에 관해서는 TNO yellow book을 참고하였다[1-5, 7].

2.1. KS IEC 60079 10-1 및 IEC 60079 10-1 폭발위험장소의 범위 선정방법

국내 KS IEC 60079 10-1 는 국제 표준 IEC 60079 10-1(2015)를 인용하였다.

Table 1. Calculation procedure of KS IEC 60079 10-1

구분	계산절차	비고
1	액체	$W = C_d S \sqrt{2\rho \Delta p} \text{ (kg/s)}$
	아음속 가스	$W_g = C_d S p \sqrt{\frac{M}{ZRT} \frac{2r}{r-1} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p} \right)^{(r-1)/r} \right]} \times \left(\frac{p_a}{p} \right)^{1/r} \text{ (kg/s)}$
	음속 가스	$W_g = C_d S p \sqrt{r \frac{M}{ZRT} \left(\frac{2}{r-1} \right)^{(r+1)/(r-1)}} \text{ (kg/s)}$
2	누출특성 계산	$\frac{W_g}{\rho_g k LFL}$ (누출률, 밀도, LFL)
3	누출률과 누출유형(무거운가스, 저속가스, 제트)에 따라 그래프를 활용한 폭발위험장소 범위의 산정 (Fig 2 참조)	

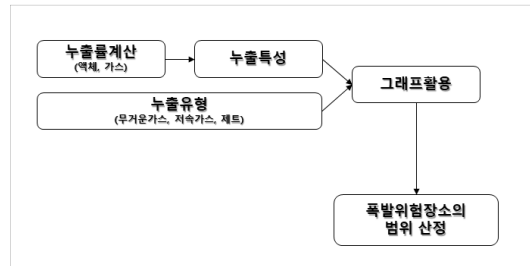


Fig. 1. Calculation procedure of KS IEC 60079 10-1.

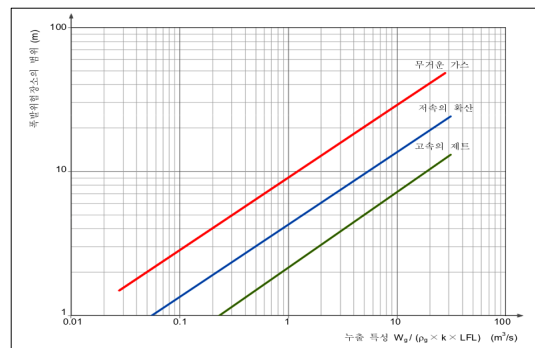


Fig. 2. Chart for determining hazardous distances of KS IEC 60079 10-1.

물질특성 및 운전조건을 고려한 증기상 물질의 2차 누출에 따른 폭발위험장소 범위 선정에 관한 연구

본 표준에서는 그래프를 이용하여 폭발위험장소의 범위를 산정하기 위해서는 누출형태가 무거운 가스인지 저속의 가스인지 고속의 제트인지를 구분하여야 한다. 하지만 그 구분방법이 명시되어 있지 않으며, 또한 누출형태와 누출특성을 선택하더라도 그래프의 정확한 값을 알 수 없으므로 대략적인 거리만을 추정할 수밖에 없는 실정이다.

2.2. EI-15 폭발위험장소의 범위 선정방법

영국 EI-15에서는 누출원을 구분한 뒤 연속, 1차 누출의 계산방법과 2차 누출의 계산방법을 달리하

고 있다. 먼저, 누출원이 되는 장비를 구분한다. 또한, 주어진 운전조건에 해당하지 않을 경우 확산모델링을 통해 폭발위험장소의 범위를 산정하라고 제안하고 있다.

2.3. NFPA-497 폭발위험장소의 범위 선정방법

NFPA-497의 특징은 경험적으로 방폭지역 및 거리를 산정하여야 된다고 언급하고 있다.(Table 3 참조) 또한, 결정을 돕기 위해 설비별로 Fig 4와 같은 Diagram을 제시하여 방폭지역 및 거리 산정에 도움을 주고 있다. 또한, 대상물질 선정을 위해 총

Table 2. Calculation procedure of EI-Part15

구분	계산절차	사용되는변수
1	Equipment 구분	Single seal with throttle bush, Double seal, Reciprocating pump, Centrifugal compressor 등
2	누출빈도 선정	Level 1 : 1.0E-2/release source yr Level 2 : 1.0E-2 to 1.0E-3/release source yr Level 3 : 1.0E-3 to 1.0E-4/release source yr
3	물질 카테고리 구분	flammable liquid
		A liquefied petroleum gas lighter flammable liquid
		B a temperature sufficient for boiling to occur on release
		C a temperature above its flash point, or form a flammable mist or spray
	G(i) typical methane-rich natural gas	
	G(ii) Refinery hydrogen	
4	운전조건 구분	압력 : 5, 10, 50, 100 bar 누출공 직경 : 1, 2, 5, 10 mm

Table 3. Calculation procedure of NFPA-497

구분	계산절차	사용되는변수																				
1	Determining Need for Classification	폭발위험장소의 분류의 필요성 결정																				
2	Gathering Information	인화성물질정보 - NFPA 인화성물질 리스트 사용 기타 공정정보 - 과거 사고사례, 누출빈도, 정상작동에서 누출가능성, 장비상태, 혼합물생성여부, 정비시 가연성혼합물 생성여부																				
		Size, Pressure, Flow rate를 이용하여 제공되는 설비별 Diagram을 이용하여 폭발위험장소 분류																				
3	Selecting the Appropriate Classification Diagram	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Process Equipment</th> <th>Units</th> <th>Small (Low)</th> <th>Moder-ate</th> <th>Large (High)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Size</td> <td>gal</td> <td><500</td> <td>5000-25,000</td> <td>>25,000</td> </tr> <tr> <td>Pressure</td> <td>psi</td> <td><100</td> <td>100-500</td> <td>>500</td> </tr> <tr> <td>Flow rate</td> <td>gpm</td> <td><100</td> <td>100-500</td> <td>>500</td> </tr> </tbody> </table>	Process Equipment	Units	Small (Low)	Moder-ate	Large (High)	Size	gal	<500	5000-25,000	>25,000	Pressure	psi	<100	100-500	>500	Flow rate	gpm	<100	100-500	>500
		Process Equipment	Units	Small (Low)	Moder-ate	Large (High)																
		Size	gal	<500	5000-25,000	>25,000																
		Pressure	psi	<100	100-500	>500																
Flow rate	gpm	<100	100-500	>500																		
4	Determining the Extent of the Classified	Diagram을 이용하거나 증기밀도, 장애물, 풍속등을 고려하여 경험에 근거한 산정																				

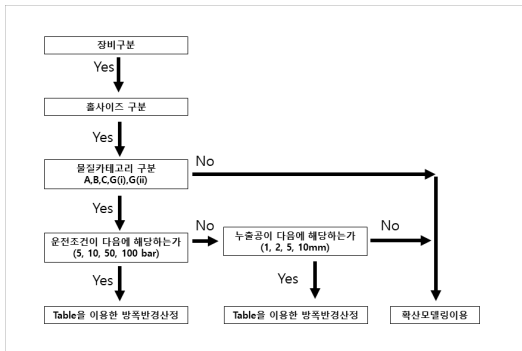


Fig. 3. Calculation procedure of EI-Part15.

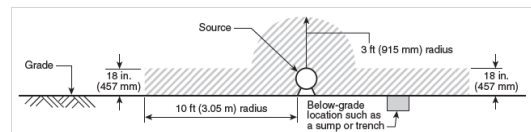


Fig. 4. Calculation diagram of NFPA-497.

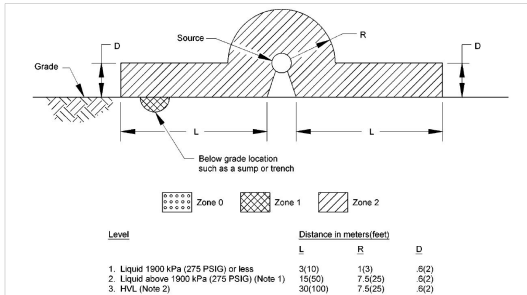


Fig. 5. Calculation diagram of APT RP 505.

265개의 combustible materials 리스트 및 물성정보를 제공하고 있다.

2.4. API RP-505 폭발위험장소의 범위 선정방법

APT RP-505에서는 각 설비별 Fig 5와 같이 Diagram을 제공해주고 있으며, 각각의 거리는 해당하는 운전조건을 이용하여 산출할 수 있게 제시하고 있다.

III. 연구방법

본 연구에서는 확산모델링을 이용하여 물질별, 운전조건별 폭발하한계(LFL, Lower flammable limit 이하 LFL로 표기)까지의 거리를 계산한 후 통계분석을 통해 LFL까지 거리에 영향을 미치는 주요 변수를 선정하고, 선정된 변수를 활용하여 폭발위험장소의 범위를 산정하는 Table을 제시하고자 하였다.

물질변수 그룹과 운전변수 그룹으로 나누어 모델링을 진행하여 각각의 변수그룹에서 가장 큰 영향을 미치는 변수를 순차적으로 선정하였다.

또한 기상조건을 독립변수로 하여 모델링을 진행하여 기상조건이 폭발위험장소의 범위에 미치는 영향을 확인하였다.

3.1. 모델링 프로그램 선정

확산모델링이 가능한 프로그램 중 운전변수, 풍속, 환기횟수 조작이 가능한 Phast 7.21 프로그램을 이용하였다[6]. 물질 Phase에 따라 누출률이 달라지므로[7] 본연구의 대상은 vapour phase를 대상으로 결과분석에 활용하였다.

3.2. 물질변수 모델링

(1) 대상물질선정

산업안전보건에 관한 규칙 제232조 및 KS C IEC

Table 4. Modeling variables

구 분	독립변수	통계변수	종속변수
물질변수 모델링	인화점, 자연발화온도, LFL, UFL, 증기밀도, 증기압, MESH, 분자량, 비열비	운전변수 기상조건	LFL 까지 거리
운전변수 모델링	내부온도, 내부압력, 누출공, 용기크기	물질변수 기상조건	
기상조건 모델링	풍속(실외) 시간당 환기횟수(실내)	물질변수 운전변수	

Table 5. Modeling scenario

	vessel	Pressure vessel
Fixed Scenario	release mode	Leak
	release elevation	0m
	weather condition	1D
	release direction	Horizontal
Independent and fixed variable	temperature (°C)	0, 25, 50
	pressure (bar)	1, 5, 10
	volume inventory (m ³)	10, 50, 100
	hole size (mm)	0.25, 1, 2.5, 5

Table 6. Conditions of material variable modeling

temperature	25°C
pressure	1bar
Phase	Vapour
Volume inventory	50m ³
hole size	2.5mm

Table 7. Modelling selected chemicals

순번	Chemical	CAS No.	Flash Point (°C)	AIT (°C)	LFL (%)	UFL (%)	Vapor Density (Air=1)	Vapor Pressure (mmHg)	증기압 기준온도 (°C)	MESG (mm)	분자량	비열비 (25°C)	산안법 대상 여부	화관법 대상 여부	고법 대상 여부
1	Ammonia	7664-41-7		651	15.0	28.0	0.6	7498.00	25.0	3.17	17.03	1.31	○	○	○
2	n-Butane	106-97-8	-60	288	1.9	8.5	2.0	1602.88	21.1	1.07	58.12	1.09	○		○
3	1,3-Butadiene	106-99-0	-76	420	2.0	11.5	1.9	1837.65	20.0	0.79	54.09	1.12	○		○
4	Carbon Monoxide	630-08-0		609	12.5	74.0	0.97	760.00	-191.0	0.54	28.01	1.4	○	○	○
5	Dimethylamine	124-40-3	-6.7	400	2.8	14.4	1.6	1520.00	25.0		45.08	1.13	○		○
6	Ethane	74-84-0	-135	472	3.0	12.5	1.0	31459.00	25.0	0.91	30.07	1.19	○		○
7	Ethylene	74-85-1	-136	490	2.7	36.0	1.0	60754.99	15.0	0.65	28.05	1.24	○		○
8	Hydrogen	1333-74-0		500	4.0	75.0	0.1	1240000.00	25.0	0.28	2.02	1.41	○		○
9	Hydrogen Cyanide	74-90-8	-18	538	5.6	40.0	0.9	0.62	20.0	0.8	27.03	1.3	○	○	○
10	Hydrogen Sulfide	7783-06-4	160	260	4.0	44.0	1.2	15200.00	25.0	0.9	34.08	1.32	○	○	○
11	Methane	74-82-8		600	5.0	15.0	0.6	466000.00	25.0	1.12	16.04	1.3	○		○
12	Methyl Isocyanate	624-83-9	-15	534	5.3	26.0	2.0	405.03	20.0	1.21	57.05	1.19	○		○
13	Methylamine	74-89-5	-10	430	4.9	20.7	1.0	2280.18	20.0	1.1	31.06	1.19	○	○	○
14	Propane	74-98-6	-105	450	2.1	9.5	1.6	6300.52	25.0	0.97	44.1	1.13	○		○
15	Propylene	115-07-1	-107	460	2.4	10.3	1.5	8685.71	25.0	0.91	42.08	1.15	○		○
16	Vinyl Chloride	75-01-4	-78	472	3.6	33.0	2.2	2980.00	25.0	0.96	62.5	1.18	○	○	○

60079-10-1의 적용범위로는 인화성 가스 및 증기가 존재하여 폭발이나 화재가 발생할 우려가 있는 장소를 대상으로 하고 있다. 따라서 본 논문에도 인화성 가스 및 증기를 대상물질로 선정하였다.

각각의 관련법령에서는 인화성가스를 정의하고 있는데, 특히 고용노동부의 산업안전보건법에서는 LFL 13%미만이거나 UFL(폭발하한계, Upper flammable limit)과 LFL의 차이가 12%이상 인 것을 인

화성가스로 정의하고 있다.

환경부의 화학물질관리법에서는 인화성이 높은 물질을 사고대비물질로 지정하여 관리하고 있으며, 산업통상자원부의 고압가스 안전관리법에서는 가연성가스로 32개의 물질을 지정하고 있으며[8], 그 외에는 LFL 10%이하이거나 UFL과 LFL의 차이가 20%이상 인 것을 가연성가스로 정의하고 있다.

본 연구에서는 NFPA-497(2017)에서 물성정보를

Table 8. Result of material variable modelling

순번	Chemical	CAS No.	Phase	LFL 거리(m)	비고
1	Ammonia	7664-41-7	V	0.158	
2	n-Butane	106-97-8	V	1.358	
3	1,3-Butadiene	106-99-0	V	0.999	
4	Carbon Monoxide	630-08-0	V	0.170	
5	Dimethylamine	124-40-3	V	0.941	
6	Ethane	74-84-0	V	0.916	
7	Ethylene	74-85-1	V	1.305	
8	Hydrogen	1333-74-0	V	2.582	
9	Hydrogen Cyanide	74-90-8	L	0.526	제외
10	Hydrogen Sulfide	7783-06-4	V	0.531	
11	Methane	74-82-8	V	0.817	
12	Methyl Isocyanate	624-83-9	L	0.000	제외
13	Methylamine	74-89-5	V	0.977	
14	Propane	74-98-6	V	1.137	
15	Propylene	115-07-1	V	1.172	
16	Vinyl Chloride	75-01-4	V	0.463	

포함하여 제공하고 있는 Combustible materials Table의 Gas상 물질 33개 중 Phast에서 모델링이 가능하며, 국내 법규 대상물질인 16개의 물질을 대상으로 하였다. 단, 부족자료 (분자량, 비열비 등)는 산업안전보건공단에서 제공하는 MSDS를 이용하였다. 본 연구대상 물질은 Table 7에서 표기하였다.

(2) 통제변수 선정

물질변수가 LFL에 영향을 미치는 인자를 분석하기 위해서 운전변수와 기상조건을 통제하였다. 통제변수로 설정된 변수는 운전변수 중 내부온도, 압력, 높이, 용기크기와 기상조건이다. 각 통제변수별 설정된 값은 아래 Table 6과 같다.

(3) 모델링 결과

앞서 설명한 16종의 물질을 대상으로 Table 6에서 설정한 통제변수를 이용하여 모델링을 진행하였다.

Table 9. Conditions of operating variable modelling

항 목	운전변수	참고된 표준
온도 (°C)	0, 25, 50	IEC 60079-10-1
압력 (bar)	1, 5, 10	EI - part15
Phase	vapour	
Volume inventory(m ³)	10, 50, 100	NFPA 497
누출공 직경 (mm)	0.25, 1, 2.5, 5	IEC 60079-10-1

모델링 결과 Hydrogen Cyanide, Methyl Isocyanate는 liquid상태로 나타나어 이후 결과도출에는 제외를 시키도록 하였다.

3.3. 운전변수 모델링

(1) 운전변수 선정

문헌연구에서 조사된 국내외 표준에서 폭발위험 장소의 범위를 산정하는데 사용하는 변수를 참고하여 운전변수를 선정하였으며, Table 9에 표기하였다.

선정한 변수와 물질변수 모델링에서 사용한 16개 물질 중 액상 2가지 물질(Hydrogen Cyanide, Methyl Isocyanate)을 제외한 14개 물질을 대상으로 운전변수 모델링을 진행하였다.

(2) 모델링 결과

온도, 부피, 압력 각 3개, 누출공 4개의 조건과 14개의 물질을 모델링을 진행하였다.

총 1,512개(온도 3개 × 부피 3개 × 압력 3개 × 누출공 4개 × 물질수 14개)의 모델링 결과를 얻었으며, 그 중 연구분석에 활용되는 Vapour상인 물질의 결과는 1,017개이다. 모델링 결과값은 부록1에 명시하였다.

3.4. 기상조건(weather condition) 모델링

기상조건 모델링은 2가지로 나누어 진행하였다. 먼저 실외의 경우로 풍속을 독립변수로 하여 모델링을 진행하였으며, 두 번째로 실내의 경우로 시간당환기횟수(환기량)를 독립변수로 하여 모델링을 진행하였다.

(1) 대상물질

대상물질은 물질조건 모델링에 사용된 16개 물질 중 Liquid상태로 존재하여 본 연구대상과 맞지 않는

물질특성 및 운전조건을 고려한 증기상 물질의 2차 누출에 따른 폭발위험장소 범위 선정에 관한 연구

Table 10. Result of outdoor weather condition modelling

Chemical	풍속별 LFL거리(m)			
	1D	3D	5D	10D
Ammonia	0.16	0.16	0.17	0.17
n-Butane	1.36	1.72	1.86	1.57
1,3-Butadiene	1.00	1.18	1.38	1.28
Carbon Monoxide	0.17	0.17	0.18	0.19
Dimethylamine	0.94	0.93	0.94	1.02
Ethane	0.94	0.93	0.94	1.02
Ethylene	1.31	1.66	1.72	1.49
Hydrogen Sulfide	0.53	0.58	0.63	0.76
Methane	0.82	0.95	1.09	1.06
Methylamine	0.98	0.98	0.98	0.98
Propane	1.14	1.38	1.57	1.39
Propylene	1.17	1.44	1.63	1.41
Vinyl Chloride	0.46	0.49	0.53	0.64
평균값	0.31	0.84	0.97	1.05
최소값	0.15	0.16	0.16	0.17
최대값	1.35	1.36	1.72	1.86

Table 11. Control variable of indoor weather condition modelling

구분	조건	구분	조건
Building 크기	45m ³ (3×5×3)	Vent location	Wall vent
환기타입	Forced ventilation	Exhaust diameter	0.5m
Building wake effect	None	Handling of droplets	Not trapped

물질 2종과 특수한 모델링 형태를 나타내는 Hydrogen를 제외한 13개 물질을 대상으로 모델링을

Table 12. Result of indoor weather condition modelling

Chemical	시간당 환기횟수 별 LFL거리(m)					
	0.5회/hr	1회/hr	1.5회/hr	2회/hr	3회/hr	5회/hr
Ammonia						
n-Butane	0.48	0.66	0.50	0.42	0.29	0.02
1,3-Butadiene	0.36	0.49	0.35	0.28	0.14	
Carbon Monoxide						
Dimethylamine	0.27	0.37	0.24	0.17	0.02	
Ethane	0.27	0.37	0.24	0.17	0.02	
Ethylene	0.51	0.70	0.52	0.44	0.28	
Hydrogen Sulfide	0.18	0.25	0.14	0.06		
Methane	0.65	0.88	0.56	0.33	0.06	
Methylamine	0.16	0.22	0.10	0.03		
Propane	0.41	0.57	0.42	0.34	0.20	
Propylene	0.43	0.59	0.43	0.36	0.22	
Vinyl Chloride	0.14	0.19	0.09	0.01		
평균값	0.35	0.48	0.33	0.24	0.16	0.02
최소값	0.14	0.19	0.09	0.01	0.02	0.02
최대값	0.65	0.88	0.56	0.44	0.29	0.02

실시하였다.

(2) 실외 기상조건 모델링 (풍속)

풍속을 제외한 나머지 조건은 물질변수 모델링 운전조건과 동일하다. 기상조건은 1D, 3D, 5D, 10D로 설정하여 각 기상조건에서의 LFL까지의 거리를 기상조건 1D일때의 거리와 비교분석하였다.

(3) 실내 기상조건 모델링 (강제환기)

실내의 경우 환기량을 조절하여 모델링 하였으며, Building에 대한 통제변수는 Table12와 같으며, 그 이외의 조건은 물질변수 모델링 운전조건과 동일하다. 강제환기 조건은 시간당 환기횟수를 독립변수로 설정하였으며 0.5회, 1회, 1.5회, 2회, 3회, 5회로 설정하였다.

V. 연구결과 및 분석

4.1. 주요영향변수 분석

SPSS 통계 프로그램을 활용하여[9], 모델링 결과 값을 토대로 물질변수 및 운전변수에서 LFL거리에 주로 영향을 미치는 변수를 선별하였다.

통계분석은 다중회귀분석의 단계선택방법을 사용하였으며, F값 2.00이상을 진입조건으로 설정하였다[9].

(1) 물질변수

분석한 물질변수 8개(LFL, 인화점, 자연발화온도, 증기밀도, 증기압, MESH, 분자량, 비열비) 중 LFL거리에 영향을 미치는 변수는 총 5개로 분석이 되었다.

효율적인 접근을 위해 LFL, 증기밀도 2가지의 변수를 테이블 작성에 활용하기로 하였다. 2개의 변수를 이용할시 LFL까지의 거리를 약 79.1%의 상관도로 설명할 수 있다.

(2) 운전변수

운전조건의 영향변수를 판단하기위해 운전조건 모델링결과에서 모든 운전조건에서 Vapour인 5개 물질에 대해서 통계분석을 진행하였다.

운전변수 4개중 누출공, 압력, 내부온도 순으로 진입하였다.(메탄의 경우 누출공, 압력만 진입하였다.)

누출공, 압력변수로 최소 83.1%, 평균 90.3%로 LFL까지의 거리가 설명이 가능하며, 이 두 가지의 변수만 사용했을 경우 모든 물질에서 가장 높은 F값을 가지고 있다.

또한 물질변수 분석과 비교하였을 때, 운전변수에서 월등히 높은 F값을 가지고 있으므로 운전변수가 LFL까지의 거리에 많은 영향을 미치는 것으로 판단하였다.

VI. 주요 변수를 이용한 방폭거리 분류 테이블

테이블을 이용한 계산은 3단계로 진행된다.

Step 1. Material Variable Classification Method

- 누출공, 운전압력 2가지 운전변수를 이용하여 폭발위험장소의 범위를 계산

Step 2. Operating Variable Classification Method

- LFL, 증기밀도를 이용한 물질군 가중치선정

Step 3. Weather Condition Classification Method

- 기상조건에 따른 가중치선정

Table 13. Result analysis of material variable modelling

진입변수	R제곱값	수정된 R 제곱값	F값	유의 확률
LFL	0.590	0.544	12.949	0.006
LFL, 증기밀도	0.791	0.739	15.180	0.002
LFL, 증기밀도, 비열비	0.865	0.807	14.977	0.002
LFL, 증기밀도, 비열비, UFL	0.933	0.889	21.030	0.001
LFL, 증기밀도, 비열비, UFL, 증기압	0.961	0.922	24.780	0.002

Table 14. Result analysis of operating variable modelling

물질명	진입변수	R제곱값	수정된 R 제곱값	F값	유의 확률
Carbon Monoxide	누출공	0.813	0.811	459.793	0.000
	누출공, 압력	0.921	0.920	615.871	0.000
	누출공, 압력, 내부온도	0.923	0.921	417.822	0.000
Ethane	누출공	0.833	0.831	528.788	0.000
	누출공, 압력	0.928	0.927	680.665	0.000
	누출공, 압력, 내부온도	0.931	0.929	467.087	0.000
Ethylene	누출공	0.838	0.836	546.744	0.000
	누출공, 압력	0.931	0.930	707.796	0.000
	누출공, 압력, 내부온도	0.933	0.931	481.939	0.000
Hydrogen	누출공	0.702	0.700	250.121	0.000
	누출공, 압력	0.834	0.831	264.489	0.000
	누출공, 압력, 내부온도	0.839	0.835	180.916	0.000
Methane	누출공	0.791	0.789	400.378	0.000
	누출공, 압력	0.912	0.910	542.330	0.000

물질특성 및 운전조건을 고려한 증기상 물질의 2차 누출에 따른 폭발위험장소 범위 선정에 관한 연구

Step1에서 계산된 거리에 Step2·3의 가중치를 곱해주면 최종 폭발위험장소의 범위를 계산할 수 있다.

5.1. Step1 · 2 Classification Method

Step1 테이블 작성을 위해 운전조건 모델링 결과 중 vapour인 물질만을 이용하여, 각 조건별 LFL까지의 거리에 대해 평균, 최소, 최대값을 계산하였다.

다음으로 Step2 테이블은 물성조건 모델링 결과를 활용하였으며, 모델링 한 물질의 수가 13종이므로, LFL, 증기밀도를 각 3개구간으로 나누어 물질군을 선정하였다.

물성조건 모델링 결과 중 운전압력 1bar, 누출공 2.5mm의 LFL거리의 평균값인 1.023m에 대한 각

Table 15. Average, Minimum, Maximum of LFL distance

구분	압력(bar)			
	1	5	10	
누출공 (mm)	0.25	0.45 / 0.09 / 1.39	0.75 / 0.09 / 2.17	1.01 / 0.14 / 2.7
	1	1.02 / 0.16 / 2.7	1.38 / 0.24 / 2.46	1.87 / 0.32 / 2.97
	2.5	1.74 / 0.29 / 2.76	2.59 / 0.47 / 4.12	3.6 / 0.64 / 5.54
	5	1.74 / 0.29 / 2.76	2.59 / 0.47 / 4.12	3.6 / 0.64 / 5.54

Average / Minimum / Maximum, 단위 : m

Table 16. Average, Minimum, Maximum of chemical group weight

구분	LFL			
	3%이하	3~10%미만	10%이상	
증기 밀도	1이하	1.07 / 0.89 / 1.26	0.87 / 0.79 / 0.94	0.15 / 0.15 / 0.16
	1~2	1.05 / 0.91 / 1.13	0.51 / 0.51 / 0.51	-
	2이상	1.14 / 0.97 / 1.31	0.44 / 0.44 / 0.44	-

Average / Minimum / Maximum, 단위없음

물질별 LFL거리의 배율을 계산하였다. 물질군 별 배율값은 Table 17 과 같다.

위 2테이블 중 평균값이나 최대, 최소값을 이용하여 바로 LFL까지의 거리(폭발위험장소의 범위)를 계산 할 수 있지만, 테이블을 이용한 값이 모델링을 통해 계산된 값보다 작은 결과가 나오면 위험하므로, 테이블 값을 조정하였다.

Step1. 운전조건을 이용한 폭발위험장소 범위 선정

Step2. 물질군별 배율을 이용한 폭발위험장소 범위 보정

Step2단계까지 테이블을 이용하여, 모델링 결과 값과 비교하였을 경우 모델링 결과값보다 평균 0.296m더 길게 나타나며, 최소오차 0.004m, 최대 오차 2.134m로 나타난다.

총 시나리오의 수는 316개(물성정보, 운전조건 모델링 결과값 중 용기크기 50m³인 값)이며, 이 중

Table 17. Step1 material variable classification method (LFL distance)

구분	압력(bar)			
	1	5	10	
누출공 (mm)	0.25	0.20m	0.30m	0.40m
	1	0.70m	0.85m	1.20m
	2.5	1.30m	1.50m	2.00m
	5	2.30m	3.00m	3.80m

Table 18. Step2 operating variable classification method (weight of chemical group)

구분	LFL			
	3%이하	3~10%미만	10%이상	
증기 밀도	1이하	1.50	1.20	0.40
	1~2	1.30	0.90	0.40
	2이상	1.20	0.70	0.40

Table 19. Result analysis of outdoor weather condition modelling

Chemical	배율 (무차원)			
	1D / 1D	3D / 1D	5D / 1D	10D / 1D
Ammonia	1.00	1.02	1.04	1.10
n-Butane	1.00	1.27	1.37	1.16
1,3-Butadiene	1.00	1.18	1.38	1.28
Carbon Monoxide	1.00	1.02	1.04	1.09
Dimethylamine	1.00	0.99	1.00	1.08
Ethane	1.00	0.99	1.00	1.08
Ethylene	1.00	1.27	1.32	1.14
Hydrogen Sulfide	1.00	1.09	1.19	1.42
Methane	1.00	1.16	1.33	1.29
Methylamine	1.00	1.00	1.01	1.01
Propane	1.00	1.21	1.39	1.22
Propylene	1.00	1.23	1.39	1.21
Vinyl Chloride	1.00	1.06	1.14	1.38
평균값	1.00	1.12	1.20	1.19
최소값	1.00	0.99	1.00	1.01
최대값	1.00	1.27	1.39	1.42

Table 20. Step3 Weather condition classification method (weight of Outdoor weather condition)

풍속	배율
1D	1.00
3D	1.27
5D	1.39
10D	1.42

1m이상의 오차를 가지는 시나리오는 32개이며, 물질별로 Ethane 18개, Hydrogen Sulfide 5개, Methy-

Table 21. Result analysis of indoor weather condition modelling

Chemical	시간당 환기횟수 별 LFL거리(m)					
	0.5회/hr	1회/hr	1.5회/hr	2회/hr	3회/hr	5회/hr
Ammonia						
n-Butane	0.35	0.49	0.36	0.31	0.21	0.01
1,3-Butadiene	0.36	0.49	0.35	0.28	0.14	
Carbon Monoxide				0.00	0.00	
Dimethylamine	0.29	0.39	0.26	0.18	0.02	
Ethane	0.29	0.39	0.26	0.18	0.02	
Ethylene	0.39	0.54	0.40	0.33	0.22	
Hydrogen Sulfide	0.35	0.48	0.26	0.12		
Methane	0.80	1.07	0.68	0.41	0.07	
Methylamine	0.17	0.22	0.10	0.03		
Propane	0.36	0.50	0.37	0.30	0.18	
Propylene	0.37	0.50	0.37	0.30	0.19	
Vinyl Chloride	0.30	0.40	0.19	0.03		
평균값	0.37	0.50	0.33	0.20	0.12	0.00
최소값	0.17	0.22	0.10	0.00	0.00	0.00
최대값	0.80	1.07	0.68	0.41	0.22	0.01

lamine 4개, Methane 3개, Dimethylamine 2개 이다.

5.2. Step3 Classification Method

Step3 Classification Method은 실내 또는 실외의 2가지 경우로 나뉘어 적용이 가능하다.

실외의 경우 일반적으로 풍속이 증가함에 따라 LFL까지의 거리가 감소할 것으로 예상하였으나, 누출되는 양이 작으며 관심농도수준도 낮아 풍속이 증가함에 따라 대부분 LFL거리가 증가하고 있다.

각 물질의 1D의 기상조건에서의 LFL거리에 대한 배율을 나타내었고 안전율을 고려하여 각 기상 조건별 배율을 선정하였다.

실내의 경우 환기횟수가 시간당 1회를 초과할 경우 급격히 감소하는 모습을 나타내고 있다. 시간당 1회의 환기 횟수보다 0.5회 이하의 환기횟수에

Table 22. Step3 Weather condition classification method (weight of indoor weather condition)

시간당 환기횟수	배율
1회 / hr 이하	1.00
1.5회 / hr	0.68
2회 / hr	0.41
3회 / hr 이상	0.22

서 더작은 LFL까지의 거리가 나타난다. In-building의 확산모델링에서 급·배기량, 누출원과 환기구의 거리등을 설정하여 계산할 수 없으므로, 모델링에서 0.5회이하의 환기횟수에서 더 작은 LFL거리가 나타나더라도, 환기량에 의해 감소된 효과라고 보기 어렵다고 판단하였다.

또한 시간당 5회 이상의 환기횟수를 가질 경우에는 대부분 LFL까지의 거리가 나타나지 않았다. 마찬가지로 각 물질의 1D 기상조건에 대한 배율을 나타내었고 안전율을 고려하여 각 기상조건별 배율을 선정하였다.

Table 18, 19을 활용하여 Step2에서 계산된 값에 해당풍속의 값을 곱해주면 최종 LFL까지의 거리(폭발위험장소의 범위)가 선정되겠다.

VII. 결 론

6.1. 폭발위험장소의 범위 선정을 위한 3 Step Method

3 Step Table을 이용하여 기존 표준 방식이나 모델링 방식보다 보다 간편하게 폭발위험장소의 범위를 산정할 수 있다. 하지만, 모델링 방식보다 정확도가 부족하며 최대 2.1m 이상 (Step2 기준) 폭발위험장소의 범위가 넓게 계산될 수 있다.

6.2. 향후 연구방향

본 연구에서는 Vapour인 물질에만 한정하였으므로, Liquid인 액체, 고압가스등의 물질에 대한 Table을 활용한 폭발위험장소의 범위 선정 방법에 대해 연구가 된다면 보다 폭넓게 활용가치가 있을 것이라고 판단된다.

또한 물질변수 중 압력은 1, 5, 10 bar로 3가지 조건만을 사용하였는데 Methane등 일부 물질이

Table 23. 3 Step classification method for choosing range of hazardous area

Step1	구분	압력(bar)			
		1	5	10	
Material Variable Classification Method	누출공 (mm)	0.25	0.20m	0.30m	0.40m
		1	0.70m	0.85m	1.20m
		2.5	1.30m	1.50m	2.00m
		5	2.30m	3.00m	3.80m

Step2	구분	LFL		
		3%이하	3~10% 미만	10%이상
Operating Variable Classification Method	1이하	1.50	1.20	0.40
	중기 밀도 1~2	1.30	0.90	0.40
	2이상	1.20	0.70	0.40

Step3	구분	배율	
		실외	실내
Weather Condition Classification Method	실외	1D	1.00
		3D	1.27
		5D	1.39
		10D	1.42
		1회 / hr 이하	1.00
실내	1.5회 / hr	0.68	
	2회 / hr	0.41	
	3회 / hr 이상	0.22	

주로 Bomb에 저장되어 이송되는 것을 고려하여, 해당 압력 및 모든 물질이 공정에서 사용되는 통상적인 저장압력을 고려하여 추가 Table을 작성한다면 보다 실용적일 것이라고 판단된다.

본 연구에 기초되는 Phast모델링은 수학적 계산을 통한 예측이므로 누출원의 특성별로 폭발위험장소의 범위가 다르게 나타날 수 있으며, 실질적으로 활용 시 누출위험성을 판단하여 안전율을 추가로 고려하는 것도 고려해 보아야한다.

REFERENCES

- [1] KS C IEC 60079-10-1, "장소 구분 - 폭발성 가스 분위기, 26-81, (2015)
- [2] IEC 60079-10-1/Ed2 : Explosive atmospheres - Part 10-1, "Classification of areas - Explosive gas atmospheres", 27-91, (2013)
- [3] EI Part 15, "Area classification for installations handling flammable fluids 4th edition", 28-64, (2015)
- [4] NFPA 497, "Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases, or Vapors and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas", 5-22, (2017)
- [5] API, R.P. 505, "Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Zone 0, Zone 1, and Zone 2, 10-21, 89-103, (2012)
- [6] Wang, B., Chen, B., & Zhao, J. : "The real-time estimation of hazardous gas dispersion by the integration of gas detectors, neural network and gas dispersion models. Journal of Hazardous Materials", Journal of Hazardous Materials , 433-442, (2015)
- [7] C.J.H. van den Bosch, R.A.P.M. Weterings, "TNO Yellow Book", 2.21-2.26, (2005)
- [8] 고압가스안전관리법 시행규칙, 제2조 정의, (2018)
- [9] Noh, H.J., and Yu, J.Y., "Multivariate Analysis Theory and Practice using SPSS & EXCEL, 260-301, (2016)
- [10] Yim, J .P., and Chung, C. B., "Validity Review on Classification of Explosion Hazardous Area using Hypothetic Volume", KOSOS, 29(6), 68-75, (2014)
- [11] Yim, J .P., and Chung, C. B., "A Study on Classification of Explosion Hazardous Area for Facilities using Lighter-than-Air Cases", KOSOS, 29(2), 24-30, (2014)
- [12] Kim, J. H., and Lee, M. K., and Lee, J. H., and Lee, Y.J., "A Comprehensive Consideration about Hazardous Area Classification of Gas Facilities", KIGAS, 6, 74-74

부록1 Result of operating variable modelling

시나리오	시나리오 조건				LFL 거리/ 물질상													
	내부 온도 (°C)	부피 (m ³)	압력 (bar)	누출공 (mm)	Ammonia	n-Butane	1,3-Butadiene	Carbon Monoxide	Di-methyl amine	Ethane	Ethylene	Hydrogen	Hydrogen Sulfide	Methane	Methyl amine	Propane	Propylene	Vinyl Chloride
1	0	10	1	0.25	0.04/V	0.11/L	0.26/L	0.04/V	0/L	0.11/V	0.17/V	0.47/V	0.1/V	0.1/V	0.22/V	0.15/V	0.15/V	0.21/L
2	0	10	1	1.00	0.14/V	0.38/L	0.89/L	0.1/V	2.23/L	0.4/V	0.57/V	1.39/V	0.23/V	0.36/V	0.81/V	0.49/V	0.51/V	2.74/L
3	0	10	1	2.50	0.35/V	0.85/L	1.84/L	0.18/V	4.86/L	0.97/V	1.38/V	2.71/V	0.56/V	0.86/V	1.53/V	1.2/V	1.24/V	6.22/L
4	0	10	1	5.00	0.7/V	12.92/L	13.05/L	0.34/V	8.84/L	1.93/V	2.76/V	2.55/V	1.11/V	1.72/V	10.83/V	2.4/V	2.47/V	12.13/L
5	0	10	5	0.25	0.16/L	0.13/L	0.39/L	0.06/V	0/L	0.17/V	0.23/V	0.77/V	0.21/V	0.17/V	0.22/L	0.71/L	0.71/L	0.26/L
6	0	10	5	1.00	2.39/L	0.51/L	1/L	0.11/V	3.12/L	0.59/V	0.83/V	2.17/V	0.76/V	0.58/V	0.82/L	1.92/L	1.95/L	3.94/L
7	0	10	5	2.50	4.08/L	0.98/L	2.35/L	0.27/V	6.85/L	1.47/V	2.07/V	2.47/V	0.99/V	1.45/V	1.74/L	4.66/L	4.78/L	9.36/L
8	0	10	5	5.00	5.32/L	19.02/L	21.01/L	0.52/V	12.89/L	2.95/V	4.13/V	3.93/V	1.86/V	2.89/V	16.94/L	28.44/L	29.36/L	18.38/L
9	0	10	10	0.25	0.97/L	0.11/L	0.4/L	0.08/V	1.16/L	0.21/V	0.3/V	0.97/V	0.39/L	0.21/V	0.16/L	0.76/L	0.75/L	1.51/L
10	0	10	10	1.00	2.72/L	0.44/L	1.01/L	0.15/V	3.66/L	0.8/V	1.11/V	2.71/V	5.92/L	0.79/V	0.76/L	2.18/L	7.64/L	4.77/L
11	0	10	10	2.50	4.61/L	11.57/L	12.92/L	0.35/V	7.96/L	1.99/V	2.78/V	2.97/V	14.03/L	1.98/V	10.91/L	14.42/L	5.5/L	11.26/L
12	0	10	10	5.00	6.14/L	22.5/L	25.5/L	0.69/V	15.03/L	3.98/V	5.54/V	4.94/V	26.62/L	3.95/V	20.78/L	33.47/L	34.49/L	22.24/L
13	0	50	1	0.25	0.04/V	0.11/L	0.26/L	0.04/V	0/L	0.11/V	0.17/V	0.47/V	0.1/V	0.1/V	0.22/V	0.15/V	0.15/V	0.21/L
14	0	50	1	1.00	0.14/V	0.38/L	0.89/L	0.1/V	2.23/L	0.4/V	0.57/V	1.39/V	0.23/V	0.36/V	0.81/V	0.49/V	0.51/V	2.74/L
15	0	50	1	2.50	0.35/V	0.85/L	1.84/L	0.18/V	4.86/L	0.97/V	1.38/V	2.71/V	0.56/V	0.86/V	1.53/V	1.2/V	1.24/V	6.22/L
16	0	50	1	5.00	0.7/V	12.92/L	13.05/L	0.34/V	8.84/L	1.93/V	2.76/V	2.55/V	1.11/V	1.72/V	10.83/V	2.4/V	2.47/V	12.13/L
17	0	50	5	0.25	0.16/L	0.13/L	0.39/L	0.06/V	0/L	0.17/V	0.23/V	0.77/V	0.21/V	0.17/V	0.22/L	0.71/L	0.71/L	0.26/L
18	0	50	5	1.00	2.39/L	0.51/L	1/L	0.11/V	3.12/L	0.59/V	0.83/V	2.17/V	0.76/V	0.58/V	0.82/L	1.92/L	1.95/L	3.94/L
19	0	50	5	2.50	4.08/L	0.98/L	2.35/L	0.27/V	6.85/L	1.47/V	2.07/V	2.47/V	0.99/V	1.45/V	1.74/L	4.66/L	4.78/L	9.36/L
20	0	50	5	5.00	5.32/L	19.02/L	21.01/L	0.52/V	12.89/L	2.95/V	4.13/V	3.93/V	1.86/V	2.89/V	16.94/L	28.44/L	29.36/L	18.38/L
21	0	50	10	0.25	0.97/L	0.11/L	0.4/L	0.08/V	1.16/L	0.21/V	0.3/V	0.97/V	0.39/L	0.21/V	0.16/L	0.76/L	0.75/L	1.51/L
22	0	50	10	1.00	2.72/L	0.44/L	1.01/L	0.15/V	3.66/L	0.8/V	1.11/V	2.71/V	5.92/L	0.79/V	0.76/L	2.18/L	7.64/L	4.77/L
23	0	50	10	2.50	4.61/L	11.57/L	12.92/L	0.35/V	7.96/L	1.99/V	2.78/V	2.97/V	14.03/L	1.98/V	10.91/L	14.42/L	5.5/L	11.26/L
24	0	50	10	5.00	6.14/L	22.5/L	25.5/L	0.69/V	15.03/L	3.98/V	5.54/V	4.94/V	26.62/L	3.95/V	20.78/L	33.47/L	34.49/L	22.24/L
25	0	100	1	0.25	0.04/V	0.11/L	0.26/L	0.04/V	0/L	0.11/V	0.17/V	0.47/V	0.1/V	0.1/V	0.22/V	0.15/V	0.15/V	0.21/L
26	0	100	1	1.00	0.14/V	0.38/L	0.89/L	0.1/V	2.23/L	0.4/V	0.57/V	1.39/V	0.23/V	0.36/V	0.81/V	0.49/V	0.51/V	2.74/L
27	0	100	1	2.50	0.35/V	0.85/L	1.84/L	0.18/V	4.86/L	0.97/V	1.38/V	2.71/V	0.56/V	0.86/V	1.53/V	1.2/V	1.24/V	6.22/L
28	0	100	1	5.00	0.7/V	12.92/L	13.05/L	0.34/V	8.84/L	1.93/V	2.76/V	2.55/V	1.11/V	1.72/V	10.83/V	2.4/V	2.47/V	12.13/L
29	0	100	5	0.25	0.16/L	0.13/L	0.39/L	0.06/V	0/L	0.17/V	0.23/V	0.77/V	0.21/V	0.17/V	0.22/L	0.71/L	0.71/L	0.26/L
30	0	100	5	1.00	2.39/L	0.51/L	1/L	0.11/V	3.12/L	0.59/V	0.83/V	2.17/V	0.76/V	0.58/V	0.82/L	1.92/L	1.95/L	3.94/L
31	0	100	5	2.50	4.08/L	0.98/L	2.35/L	0.27/V	6.85/L	1.47/V	2.07/V	2.47/V	0.99/V	1.45/V	1.74/L	4.66/L	4.78/L	9.36/L
32	0	100	5	5.00	5.32/L	19.02/L	21.01/L	0.52/V	12.89/L	2.95/V	4.13/V	3.93/V	1.86/V	2.89/V	16.94/L	28.44/L	29.36/L	18.38/L
33	0	100	10	0.25	0.97/L	0.11/L	0.11/L	0.08/V	1.16/L	0.21/V	0.3/V	0.97/V	0.39/L	0.21/V	0.16/L	0.76/L	0.75/L	1.51/L
34	0	100	10	1.00	2.72/L	0.44/L	0.44/L	0.15/V	3.66/L	0.8/V	1.11/V	2.71/V	5.92/L	0.79/V	0.76/L	2.18/L	7.64/L	4.77/L
35	0	100	10	2.50	4.61/L	11.57/L	11.57/L	0.35/V	7.96/L	1.99/V	2.78/V	2.97/V	14.03/L	1.98/V	10.91/L	14.42/L	5.5/L	11.26/L
36	0	100	10	5.00	6.14/L	22.5/L	22.5/L	0.69/V	15.03/L	3.98/V	5.54/V	4.94/V	26.62/L	3.95/V	20.78/L	33.47/L	34.49/L	22.24/L
37	25	10	1	0.25	0.04/V	0.16/V	0.11/V	0.04/V	0.2/V	0.1/V	0.16/V	0.46/V	0.1/V	0.1/V	0.12/V	0.14/V	0.14/V	0.1/V
38	25	10	1	1.00	0.09/V	0.56/V	0.4/V	0.1/V	0.54/V	0.38/V	0.54/V	1.34/V	0.22/V	0.34/V	0.45/V	0.47/V	0.48/V	0.19/V
39	25	10	1	2.50	0.16/V	1.36/V	1/V	0.17/V	0.94/V	0.92/V	1.31/V	2.58/V	0.53/V	0.82/V	0.98/V	1.14/V	1.17/V	0.46/V
40	25	10	1	5.00	0.29/V	2.7/V	1.99/V	0.32/V	1.48/V	1.84/V	2.61/V	2.43/V	1.06/V	1.64/V	1/V	2.26/V	2.34/V	0.92/V
41	25	10	5	0.25	0.06/V	0.83/L	0.68/L	0.06/V	0.48/L	0.16/V	0.22/V	0.74/V	0.2/V	0.17/V	0.33/L	0.19/V	0.19/V	0.2/L
42	25	10	5	1.00	0.23/V	2.28/L	1.75/L	0.1/V	5.1/L	0.56/V	0.79/V	2.08/V	0.73/V	0.57/V	0.77/L	0.69/V	0.71/V	4.42/L
43	25	10	5	2.50	0.57/V	5.43/L	3.96/L	0.25/V	11.87/L	1.39/V	1.95/V	2.31/V	0.99/V	1.41/V	1.94/L	1.73/V	1.78/V	10.38/L
44	25	10	5	5.00	0.93/V	27.93/L	26/L	0.49/V	22.65/L	2.78/V	3.9/V	3.72/V	1.74/V	2.81/V	23.02/L	3.45/V	3.54/V	20.02/L
45	25	10	10	0.25	0.18/L	0.85/L	0.71/L	0.08/V	1.89/L	0.2/V	0.29/V	0.94/V	0.26/V	0.21/V	0.37/L	0.63/L	0.42/V	1.52/L
46	25	10	10	1.00	1.91/L	2.53/L	1.87/L	0.15/V	6.08/L	0.75/V	1.05/V	2.58/V	0.96/V	0.77/V	0.88/L	6.71/L	1/V	5.15/L
47	25	10	10	2.50	4.68/L	6.01/L	4.45/L	0.33/V	14.12/L	1.86/V	2.62/V	2.8/V	1.11/V	1.92/V	14.34/L	5.13/L	2.5/V	12.14/L
48	25	10	10	5.00	7.17/L	33.13/L	30.85/L	0.66/V	27.02/L	3.73/V	5.24/V	4.69/V	2.33/V	3.84/V	26.92/L	29.94/L	4.82/V	23.69/L
49	25	50	1	0.25	0.04/V	0.16/V	0.11/V	0.04/V	0.2/V	0.1/V	0.16/V	0.46/V	0.1/V	0.1/V	0.12/V	0.14/V	0.14/V	0.1/V
50	25	50	1	1.00	0.09/V	0.56/V	0.4/V	0.1/V	0.54/V	0.38/V	0.54/V	1.34/V	0.22/V	0.34/V	0.45/V	0.47/V	0.48/V	0.19/V
51	25	50	1	2.50	0.16/V	1.36/V	1/V	0.17/V	0.94/V	0.92/V	1.31/V	2.58/V	0.53/V	0.82/V	0.98/V	1.14/V	1.17/V	0.46/V

서민수 · 김기석 · 황용우 · 천영우

52	25	50	1	5.00	0.29/V	2.7/V	1.99/V	0.32/V	1.48/V	1.84/V	2.61/V	2.43/V	1.06/V	1.64/V	1/V	2.26/V	2.34/V	0.92/V
53	25	50	5	0.25	0.06/V	0.83/L	0.68/L	0.06/V	0.48/L	0.16/V	0.22/V	0.74/V	0.2/V	0.17/V	0.33/L	0.19/V	0.19/V	0.2/L
54	25	50	5	1.00	0.23/V	2.28/L	1.75/L	0.1/V	5.1/L	0.56/V	0.79/V	2.08/V	0.73/V	0.57/V	0.77/L	0.69/V	0.71/V	4.42/L
55	25	50	5	2.50	0.57/V	5.43/L	3.96/L	0.25/V	11.87/L	1.39/V	1.95/V	2.31/V	0.99/V	1.41/V	1.94/L	1.73/V	1.78/V	10.38/L
56	25	50	5	5.00	0.93/V	27.93/L	26/L	0.49/V	22.65/L	2.78/V	3.9/V	3.72/V	1.74/V	2.81/V	23.02/L	3.45/V	3.54/V	20.02/L
57	25	50	10	0.25	0.18/L	0.85/L	0.71/L	0.08/V	1.89/L	0.2/V	0.29/V	0.94/V	0.26/V	0.21/V	0.37/L	0.63/L	0.42/V	1.52/L
58	25	50	10	1.00	1.91/L	2.53/L	1.87/L	0.15/V	6.08/L	0.75/V	1.05/V	2.58/V	0.96/V	0.77/V	0.88/L	6.71/L	1/V	5.15/L
59	25	50	10	2.50	4.68/L	6.01/L	4.45/L	0.33/V	14.12/L	1.86/V	2.62/V	2.8/V	1.11/V	1.92/V	14.34/L	5.13/L	2.5/V	12.14/L
60	25	50	10	5.00	7.17/L	33.13/L	30.85/L	0.66/V	27.02/L	3.73/V	5.24/V	4.69/V	2.33/V	3.84/V	26.92/L	29.94/L	4.82/V	23.69/L
61	25	100	1	0.25	0.04/V	0.16/V	0.11/V	0.04/V	0.2/V	0.1/V	0.16/V	0.46/V	0.1/V	0.1/V	0.12/V	0.14/V	0.14/V	0.1/V
62	25	100	1	1.00	0.09/V	0.56/V	0.4/V	0.1/V	0.54/V	0.38/V	0.54/V	1.34/V	0.22/V	0.34/V	0.45/V	0.47/V	0.48/V	0.19/V
63	25	100	1	2.50	0.16/V	1.36/V	1/V	0.17/V	0.94/V	0.92/V	1.31/V	2.58/V	0.53/V	0.82/V	0.98/V	1.14/V	1.17/V	0.46/V
64	25	100	1	5.00	0.29/V	2.7/V	1.99/V	0.32/V	1.48/V	1.84/V	2.61/V	2.43/V	1.06/V	1.64/V	1/V	2.26/V	2.34/V	0.92/V
65	25	100	5	0.25	0.06/V	0.83/L	0.68/L	0.06/V	0.48/L	0.16/V	0.22/V	0.74/V	0.2/V	0.17/V	0.33/L	0.19/V	0.19/V	0.2/L
66	25	100	5	1.00	0.23/V	2.28/L	1.75/L	0.1/V	5.1/L	0.56/V	0.79/V	2.08/V	0.73/V	0.57/V	0.77/L	0.69/V	0.71/V	4.42/L
67	25	100	5	2.50	0.57/V	5.43/L	3.96/L	0.25/V	11.87/L	1.39/V	1.95/V	2.31/V	0.99/V	1.41/V	1.94/L	1.73/V	1.78/V	10.38/L
68	25	100	5	5.00	0.93/V	27.93/L	26/L	0.49/V	22.65/L	2.78/V	3.9/V	3.72/V	1.74/V	2.81/V	23.02/L	3.45/V	3.54/V	20.02/L
69	25	100	10	0.25	0.18/L	0.85/L	0.85/L	0.08/V	1.89/L	0.2/V	0.29/V	0.94/V	0.26/V	0.21/V	0.37/L	0.63/L	0.42/V	1.52/L
70	25	100	10	1.00	1.91/L	2.53/L	2.53/L	0.15/V	6.08/L	0.75/V	1.05/V	2.58/V	0.96/V	0.77/V	0.88/L	6.71/L	1/V	5.15/L
71	25	100	10	2.50	4.68/L	6.01/L	6.01/L	0.33/V	14.12/L	1.86/V	2.62/V	2.8/V	1.11/V	1.92/V	14.34/L	5.13/L	2.5/V	12.14/L
72	25	100	10	5.00	7.17/L	33.13/L	33.13/L	0.66/V	27.02/L	3.73/V	5.24/V	4.69/V	2.33/V	3.84/V	26.92/L	29.94/L	4.82/V	23.69/L
73	50	10	1	0.25	0.03/V	0.16/V	0.11/V	0.04/V	0.1/V	0.1/V	0.16/V	0.44/V	0.1/V	0.1/V	0.1/V	0.13/V	0.14/V	0.1/V
74	50	10	1	1.00	0.09/V	0.52/V	0.39/V	0.1/V	0.29/V	0.36/V	0.51/V	1.28/V	0.21/V	0.32/V	0.19/V	0.44/V	0.46/V	0.19/V
75	50	10	1	2.50	0.15/V	1.29/V	0.94/V	0.16/V	0.7/V	0.87/V	1.24/V	2.47/V	0.5/V	0.78/V	0.45/V	1.08/V	1.11/V	0.44/V
76	50	10	1	5.00	0.28/V	2.57/V	1.89/V	0.3/V	1.4/V	1.74/V	2.48/V	2.31/V	1/V	1.55/V	0.89/V	2.15/V	2.22/V	0.87/V
77	50	10	5	0.25	0.06/V	0.73/L	0.51/L	0.05/V	0.3/L	0.16/V	0.2/V	0.71/V	0.1/V	0.16/V	0.17/V	0.18/V	0.19/V	0.16/V
78	50	10	5	1.00	0.1/V	2.13/L	1.67/L	0.1/V	5.59/L	0.53/V	0.75/V	1.99/V	0.31/V	0.55/V	0.62/V	0.65/V	0.67/V	0.59/V
79	50	10	5	2.50	0.25/V	5.22/L	3.81/L	0.24/V	13.09/L	1.32/V	1.86/V	2.18/V	0.78/V	1.36/V	0.99/V	1.63/V	1.68/V	0.99/V
80	50	10	5	5.00	0.48/V	28.86/L	25.73/L	0.47/V	24.64/L	2.63/V	3.73/V	3.6/V	1.56/V	2.74/V	1.5/V	3.24/V	3.35/V	1.48/V
81	50	10	10	0.25	0.08/V	0.78/L	0.57/L	0.07/V	1.73/L	0.19/V	0.28/V	0.9/V	0.25/V	0.2/V	0.53/L	0.84/V	0.25/V	0.32/L
82	50	10	10	1.00	0.15/V	2.52/L	1.86/L	0.14/V	6.54/L	0.71/V	1.02/V	2.47/V	0.93/V	0.75/V	0.99/L	0.88/V	0.91/V	3.71/L
83	50	10	10	2.50	0.34/V	6.01/L	4.42/L	0.32/V	15.32/L	1.78/V	2.55/V	2.71/V	1.04/V	1.86/V	2.19/L	2.21/V	2.27/V	8.59/L
84	50	10	10	5.00	0.66/V	33.86/L	30.02/L	0.64/V	29.07/L	3.57/V	5.08/V	4.54/V	2.15/V	3.74/V	23.34/L	4.41/V	4.51/V	15.54/L
85	50	50	1	0.25	0.03/V	0.16/V	0.11/V	0.04/V	0.1/V	0.1/V	0.16/V	0.44/V	0.1/V	0.1/V	0.1/V	0.13/V	0.14/V	0.1/V
86	50	50	1	1.00	0.09/V	0.52/V	0.39/V	0.1/V	0.29/V	0.36/V	0.51/V	1.28/V	0.21/V	0.32/V	0.19/V	0.44/V	0.46/V	0.19/V
87	50	50	1	2.50	0.15/V	1.29/V	0.94/V	0.16/V	0.7/V	0.87/V	1.24/V	2.47/V	0.5/V	0.78/V	0.45/V	1.08/V	1.11/V	0.44/V
88	50	50	1	5.00	0.28/V	2.57/V	1.89/V	0.3/V	1.4/V	1.74/V	2.48/V	2.31/V	1/V	1.55/V	0.89/V	2.15/V	2.22/V	0.87/V
89	50	50	5	0.25	0.06/V	0.73/L	0.51/L	0.05/V	0.3/L	0.16/V	0.2/V	0.71/V	0.1/V	0.16/V	0.17/V	0.18/V	0.19/V	0.16/V
90	50	50	5	1.00	0.1/V	2.13/L	1.67/L	0.1/V	5.59/L	0.53/V	0.75/V	1.99/V	0.31/V	0.55/V	0.62/V	0.65/V	0.67/V	0.59/V
91	50	50	5	2.50	0.25/V	5.22/L	3.81/L	0.24/V	13.09/L	1.32/V	1.86/V	2.18/V	0.78/V	1.36/V	0.99/V	1.63/V	1.68/V	0.99/V
92	50	50	5	5.00	0.48/V	28.86/L	25.73/L	0.47/V	24.64/L	2.63/V	3.73/V	3.6/V	1.56/V	2.74/V	1.5/V	3.24/V	3.35/V	1.48/V
93	50	50	10	0.25	0.08/V	0.78/L	0.57/L	0.07/V	1.73/L	0.19/V	0.28/V	0.9/V	0.25/V	0.2/V	0.53/L	0.84/V	0.25/V	0.32/L
94	50	50	10	1.00	0.15/V	2.52/L	1.86/L	0.14/V	6.54/L	0.71/V	1.02/V	2.47/V	0.93/V	0.75/V	0.99/L	0.88/V	0.91/V	3.71/L
95	50	50	10	2.50	0.34/V	6.01/L	4.42/L	0.32/V	15.32/L	1.78/V	2.55/V	2.71/V	1.04/V	1.86/V	2.19/L	2.21/V	2.27/V	8.59/L
96	50	50	10	5.00	0.66/V	33.86/L	30.02/L	0.64/V	29.07/L	3.57/V	5.08/V	4.54/V	2.15/V	3.74/V	23.34/L	4.41/V	4.51/V	15.54/L
97	50	100	1	0.25	0.03/V	0.16/V	0.11/V	0.04/V	0.1/V	0.1/V	0.16/V	0.44/V	0.1/V	0.1/V	0.1/V	0.13/V	0.14/V	0.1/V
98	50	100	1	1.00	0.09/V	0.52/V	0.39/V	0.1/V	0.29/V	0.36/V	0.51/V	1.28/V	0.21/V	0.32/V	0.19/V	0.44/V	0.46/V	0.19/V
99	50	100	1	2.50	0.15/V	1.29/V	0.94/V	0.16/V	0.7/V	0.87/V	1.24/V	2.47/V	0.5/V	0.78/V	0.45/V	1.08/V	1.11/V	0.44/V
100	50	100	1	5.00	0.28/V	2.57/V	1.89/V	0.3/V	1.4/V	1.74/V	2.48/V	2.31/V	1/V	1.55/V	0.89/V	2.15/V	2.22/V	0.87/V
101	50	100	5	0.25	0.06/V	0.73/L	0.51/L	0.05/V	0.3/L	0.16/V	0.2/V	0.71/V	0.1/V	0.16/V	0.17/V	0.18/V	0.19/V	0.16/V
102	50	100	5	1.00	0.1/V	2.13/L	1.67/L	0.1/V	5.59/L	0.53/V	0.75/V	1.99/V	0.31/V	0.55/V	0.62/V	0.65/V	0.67/V	0.59/V
103	50	100	5	2.50	0.25/V	5.22/L	3.81/L	0.24/V	13.09/L	1.32/V	1.86/V	2.18/V	0.78/V	1.36/V	0.99/V	1.63/V	1.68/V	0.99/V
104	50	100	5	5.00	0.48/V	28.86/L	25.73/L	0.47/V	24.64/L	2.63/V	3.73/V	3.6/V	1.56/V	2.74/V	1.5/V	3.24/V	3.35/V	1.48/V
105	50	100	10	0.25	0.08/V	0.78/L	0.78/L	0.07/V	1.73/L	0.19/V	0.28/V	0.9/V	0.25/V	0.2/V	0.53/L	0.84/V	0.25/V	0.32/L
106	50	100	10	1.00	0.15/V	2.52/L	2.52/L	0.14/V	6.54/L	0.71/V	1.02/V	2.47/V	0.93/V	0.75/V	0.99/L	0.88/V	0.91/V	3.71/L
107	50	100	10	2.50	0.34/V	6.01/L	6.01/L	0.32/V	15.32/L	1.78/V	2.55/V	2.71/V	1.04/V	1.86/V	2.19/L	2.21/V	2.27/V	8.59/L
108	50	100	10	5.00	0.66/V	33.86/L	33.86/L	0.64/V	29.07/L	3.57/V	5.08/V	4.54/V	2.15/V	3.74/V	23.34/L	4.41/V	4.51/V	15.54/L