



## 화학사고 피해영향 범위의 합리적 산정방안에 대한 연구

조규선 · 임준택\* · 한정우\* · 백은성\* · 유원종\* · †박교식\*\*  
호서대학교 교수, \*승실대학교 박사과정, \*\*승실대학교 교수  
(2020년 7월 9일 접수, 2020년 8월 27일 수정, 2020년 9월 21일 채택)

## A Study on the Reasonable Estimation of Consequence of Chemical Release

Guysun Cho · Juntaig Lim\* · Jeongwoo Han\* ·  
Eunsung Baek\* · Wonjong Yu\* · †Kyoshik Park\*

*Hoseo University, 20, Hoseo-ro 79beon-gil, Baebang-eup, Asan-si, 31499, Korea*

*\*Department of Safety & Health Convergence Engineering,*

*Soongsil University, 369, Sangdo-ro,*

*Dongjak-gu, Seoul, 06978, Korea*

*(Received July 9, 2020; Revised August 27, 2020; Accepted September 21, 2020)*

### 요약

불산 누출사고 발생 시 피해영향범위 예측을 수계산, 영향평가 시뮬레이션, CFD 시뮬레이션을 활용하여서 예측하고 실제 환경영향보고서와 비교·분석하였다. 수계산은 누출원모델과 확산모델을 활용하여서 계산하였으며 영향평가 시뮬레이션은 우리나라 환경부에서 제공하는 KORA, 미국 환경부의 ALOHA, 상용화 프로그램 중 비교적 널리 사용 중인 PHAST를 사용하였고, CFD 시뮬레이션은 STAR-CMM+ 프로그램을 활용하였다. 사용자 입장에서 편리성, 신속성, 수용성, 경제성 등을 고려할 때 불산 누출사고 영향예측에 가장 적절하게 사용할 수 있는 프로그램은 ALOHA와 KORA 이었다. 아울러, 본 연구결과는 정부의 정책개발과 기업의 안전부서에서 피해영향범위 프레임워크를 선정하고 불필요한 규제, 불필요한 안전투자를 최적화하여 정부 또는 기업의 제한된 자원을 효율적으로 활용하는 데 도움이 될 것으로 기대된다.

**Abstract** - In this study, the damage impact range in the case of a hydrofluoric acid leak accident was predicted using formula calculation, impact assessment simulations, and CFD simulations, and the results were compared and analyzed with the actual environmental impact report. Formula calculation was performed by using the leak source model and diffusion model. Impact assessment simulation was performed by KORA provided by the Korean Ministry of Environment, ALOHA by the United States Ministry of Environment, and PHAST, which is relatively widely used among commercialization programs, and the STAD-CMM+ program for CFD simulation. Was utilized. Considering convenience, speed, acceptability, and economics from the user's perspective, ALOHA and KORA were the most appropriate methods for predicting the impact of hydrofluoric acid leakage. In addition, the results of this study will help to reduce unnecessary regulations in the process of government policy development and optimize the investment in the safety field of the company, effectively utilizing the limited resources of the government and the company.

**Key words** : impact range, manual calculation, KORA, ALOHA, PHAST, STAR-CMM+

†Corresponding author: hway21@empal.com

Copyright © 2020 by The Korean Institute of Gas

## I. 서론

### 1.1 연구 배경 및 필요성

화학물질관리법에서는 화학사고를 시설의 교체 등 작업 시 작업자의 과실, 시설결함, 노후화, 자연재해, 운송사고 등으로 인하여 화학물질이 사람이나 환경에 누출·노출되어 발생하는 상황으로 정의하였다. 최근 국내에서는 유해화학물질 취급공정에서 지속적으로 화학사고가 발생하고 있어 국민적 관심과 사회적 이슈가 되었으며, 특히 2012년 구미 불화수소 누출사고는 사회적으로 큰 파장을 일으켜 화학물질관리법의 제정, 산업안전보건법 및 재난관리법의 개정 등 법령 재정비와 별착·규제 강화의 계기가 되었다. [1]

대형 화학사고가 발생하면, 화재·폭발·중독질식과 같은 단일사고 뿐만 아니라 동시에 복합적으로 2차, 3차 피해가 발생할 수 있는 종합적이고 순차적인 위험을 동반하여 재산과 인명 그리고 환경 피해를 일으킬 수 있다. [2]

최근 5년간 화학사고 발생은 2014년 대비 45.7% 감소하였으나 꾸준히 발생하고 있다. [3]

구미사고는 작업자가 개인보호구를 착용하지 않은 상태에서 누출 직후 사망하여 누출원이 차단되지 못하여 탱크 내부의 불화수소가 모두 누출되는 최악의 조건이 되었다. 정부(환경부, 소방방재청, 구미시)는 사고접수 후에도 피해영향범위를 정확히 파악하지 못해, 경계 발령 후 4시간 만에 심각 단계로 격상하였고 피해 지역을 봉산리 일부에서 임천리와 봉산리로 확대하고 이후 반경 3 km까지 확대하는 등 초동대응의 혼란을 일으켰다. [4]

현장 근로자 5명이 사망(18명 부상)하였고 인근 주민 건강검진 12,243건, 기업과 농축산물 피해 등 총 544억원의 재산피해가 발생하였다. 이후, 항공 근적외선 영상분석을 통해 사고지점으로부터 반경 2.5 km인 673 ha의 식생피해(농작물 160 ha, 산림 460 ha)를 입은 것으로 확인되었다. [5]

이렇듯, 인근 지역의 인명, 재산, 환경 피해범위를 예측하고 기업 및 정부의 역할과 초기대응, 사고 시나리오는 피해 최소화해 필요한 중요한 정보이다. [6]

### 1.2 연구 목적 및 범위

반도체, 전자통신, 정밀화학 등 산업의 고부가가치화에 따라 불산의 사용량이 증가하고 있고 이는 산업의 고도화, 대형화, 집약화 함에 따라 사고의 피해규모가 확대될 개연성이 매우 크다. 또한, 불산

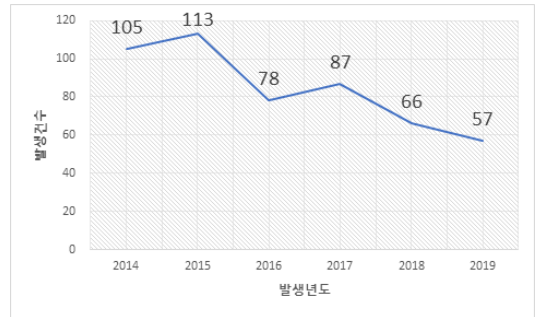


Fig. 1. Statistics of chemical accidents in recent 5 years(February 2020).

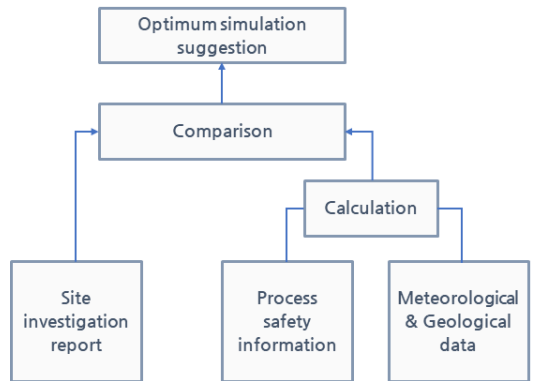


Fig. 2. A procedure to suggest optimum simulation.

은 급성독성 물질, 사고대비물질로 특별히 규제하고 있고 2012년 구미사고로 피해가 입증되었다. 본 연구에서는 불산누출 시 피해 범위를 여러 가지 방법으로 예측하고 이를 실제 사고조사 데이터와 비교하여 합리적인 예측방법을 찾고자 하였다.

### 1.3 연구 방법 및 절차

본 연구는 2016.6 발생한 금산 불산누출 사고를 수계산, ALOHA, KORA, PHAST, STAR-CMM+를 활용하여 피해영향 범위를 예측하고 시뮬레이션을 통해 기업에서 가장 적합하게 사용할 수 있는 방법을 제시하고자 하였다.

## II. 이론적 배경

### 2.1 불산의 특성

불산(hydrofluoric acid)은 불화수소(Hydrogen flu-

**Table 1.** Properties of fluoric acid (HF55%)

M.W.	B.P.	F.F.	S.G.	SC (vapor)	TWA	LC50	ERPG 1)-22)
20.1	19.5	-83.53	1.258	0.7	0.5 ppm	342 ppm	20 ppm

oride)가 물에 녹은 것으로 상온에서 기체상, 무색, 자극적 냄새, 발연성 높고 가압냉각 시 액화되는 성질을 가지고 있으며, 맹독성 물질로 사고대비물질(위험물관리법, 화학물질관리법), 독성가스(고압가스관리법), 관리대상물질(산업안전보건법) 등 관련 법규에서 엄격하게 규제되고 있다. 불산이나 고농도의 불산 증기가 피부에 닿으면 하얗게 탈색되며 물질이 잡히고 눈에 닿으면 각막이 파괴되거나 혼탁해진다. [7]

끓는점이 19.5 °C로 상온에서 쉽게 증발하며, 분자량이 공기(28.84 g/mol)보다 작아 체류하지 않고 공기흐름에 따라 확산하여 광범위한 지역에 피해를 입힐 수 있다. [8]

ERPG-2는 끝점의 대피 기준농도로 독성 피해범위의 한계로 규정하며 [Table 2]과 같다. [9] [10]

## 2.2 계산식

풀(Pool)의 표면에서 증발되는 대기확산량과 증발속도 계산식은 아래 식과 같다. [11]

$$AQ_p = 9.0 \times 10^{-4} (A_p^{0.95}) \times \frac{MW \times P_v}{T_p + 273} \quad (1)$$

AQ<sub>p</sub> : 풀의 표면에서 증발되는 대기확산량(kg/s)

A<sub>p</sub> : 풀의 면적(m<sup>2</sup>)

P<sub>v</sub> : 풀의 특성온도에서 액체의 증기압(kPa)

T<sub>p</sub> : 풀의 특성 온도(°C)

**Table 2.** Health risk of ERPGs

ERP G-1	Provide a consequence of exposure to a specific substance of maximum airborne concentration below which it is believed that nearly all individuals could be exposed for up to 1 hr without experiencing or developing any symptoms other than mild transient adverse health effects without perceiving a clearly defined objectionable odor
ERP G-2	Provide a consequence of exposure to a specific substance of maximum airborne concentration below which it is believed that nearly all individuals could be exposed for up to 1 hr without experiencing or developing irreversible or other serious health effects or symptoms that could impair their abilities to take protective action
ERP G-3	Provide a consequence of exposure to a specific substance of maximum airborne concentration below which it is believed that nearly all individuals could be exposed for up to 1 hr without experiencing or developing life-threatening health effects

$$R_E = \frac{1.4 \times U^{0.78} \times MW^{2/3} \times A \times P_v}{82.05 \times T} \quad (2)$$

R<sub>E</sub> : 증발속도(kg/min)

U : 풍속(m/sec)

MW : 분자량

A : 액체층의 표면적(m<sup>2</sup>)

P<sub>v</sub> : 증기압(mmHg)

T : 온도(K)

연속적으로 누출될 때 적용하는 가우시안 플룸 모델로 Pasquill-Gifford에 의하여 구한 평균농도는 아래식과 같다. [12]

$$C(x,y,z) = \frac{G}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \times \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (3)$$

C(x,y,z) : 평균농도(kg/m<sup>3</sup>)

G : 단위시간당 증발량(kg/s)

σ<sub>x</sub>, σ<sub>y</sub>, σ<sub>z</sub> : x, y, z 방향 확산계수

u : 풍속(m/s)

x : 누출원으로부터 바람이 부는 방향으로 떨어진 거리(m)

y : 중심축인 X 축에서 측면으로 떨어진 거리(m)

1) ERPG는 미국산업위생학회(AIHA, American Industrial Hygiene Association)에서 개발한 화학물질 누출 시 확산지역의 파악 및 지역사회 의 비상대응 계획을 수립하는데 사용되는 지침이다. ERPG는 물질의 종류와 농도에 따라 각각의 등급을 지정하고 등급은 ERPG-1, 2, 3로 분류한다.

2) ERPG-2 : 거의 모든 사람이 한 시간까지 노출되어도 보호조치 불능의 증상을 유발하거나 회복 불가능 또는 심각한 건강상 영향이 나타나지 않는 공기 중 최대농도

z : 지면으로부터 측정점까지 높이(m)  
 H : 지면으로부터 누출원까지의 높이(m)

### III. 피해영향 범위 계산

#### 3.1 사고 시나리오

2016.6 18시경 충남 금산 0000(주) 옥외 입출하장에서 55% 불산 550kg이 누출(Puddle 형태)되어 그 중 29kg이 60분 동안 대기 중으로 확산되었다.

불화수소 증발량은 불산액체층 증발속도(0.496 kg/min)에 액체층 지속시간(약 60분)을 곱하여 산출(29.76 kg)하였다.

#### 3.2 수계산 결과

KOSHA Guide(2012)에 따라 확산계수( $\sigma_x, \sigma_y$ )를 구하면 아래와 같다. [13]

$$\theta = 0.017453293(c - d \log_e x) \quad (4)$$

x : 누출원으로부터의 거리(m)

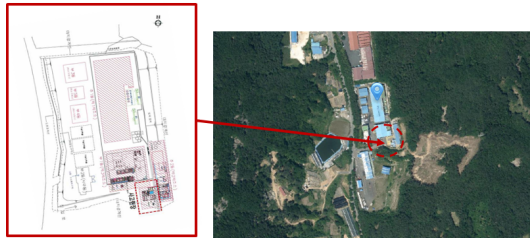


Fig. 3. Site of fluoric acid release (June 2016).

Table 3. Meteorological data as of accident

Parameter	Data
Wind speed (m/s)	2.1
Wind direction	ESE
Stability	C, D
Temperature (°C)	20.4
Humidity (%)	70
Surface roughness	Country
Liquid area (m2)	29.75
Vapor pressure (mmHg)	22

Pasquill-Gifford의 안정도 등급에 따른 확산계수( $\sigma_y$ )는 아래와 같다.

$$\text{대기안정도 C} \quad 0.11x(1+0.0001x)^{-1/2}$$

$$\text{대기안정도 D} \quad 0.08x(1+0.0001x)^{-1/2}$$

$$\sigma_y = 465.11628 \times \tan \theta \quad (5)$$

$$\sigma_z = ax^b \quad (6)$$

Pasquill-Gifford의 안정도 등급에 따른 확산계수( $\sigma_z$ )는 아래와 같다.

$$\text{대기안정도 C} \quad 0.08x(1+0.0002x)^{-1/2}$$

$$\text{대기안정도 D} \quad 0.06x(1+0.0015x)^{-1/2}$$

대기안정도 C에서 평균농도를 아래 식을 이용하여 계산하면 [Table 7]과 같이 ERPG-2에 해당하는 20 ppm의 거리는 약 60 m 이다.

Table 4. Diffusion coefficient( $\sigma_y$ )

Atmospheric stability	c	d
C	12.5000	1.0857
D	8.3330	0.72382

Table 5. Diffusion coefficient( $\sigma_z$ )

Atmospheric stability	x(km)	a	b
C	all case	61.141	0.91465
D	< 0.30	34.459	0.86974

Table 6.  $\sigma_z$  according to atmospheric stability

$\sigma_z$	Distance from source(m)				
	20	40	60	80	100
C	1.59680 9568	3.18727 6292	4.77145 6635	6.34940 6321	7.92118 0344
D	1.18239 5134	2.33108 607	3.44817 4627	4.53557 3676	5.59502 8849

**Table 7.** Average concentration of stability C

C(x,0,1.5) (kg/m <sup>3</sup> )	Distance form source (m)				
	20	40	60	80	100
	0.0001 05507	3.6816 E-05	1.7449 E-05	1.0059 E-05	6.5212 E-06
ppm	118.17	41.23	19.54	11.27	7.30

**Table 8.** Average concentration of stability D

C(x,0,1.5) (kg/m <sup>3</sup> )	Distance from source (m)				
	20	40	60	80	100
	0.0001 36213	6.2861 E-05	3.1733 E-05	1.885 E-05	1.2468 E-05
ppm	152.56	70.40	35.54	21.11	13.96

$$C(x,y,z) = \frac{G}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \times \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (7)$$

- C : 위치(x, y, z)에서의 누출물질의 농도
- $\sigma_y$  : 측면 확산 계수(m)
- $\sigma_z$  : 수직 확산 계수(m)
- H ; 지면으로부터 누출원까지의 높이(m)
- u : 실제 누출높이 H에서의 풍속(m/s)
- x : 누출원으로 부터의 거리(m)
- y : 플룸중심으로 부터의 거리(m)
- z : 영향점의 지상으로 부터의 거리(m)

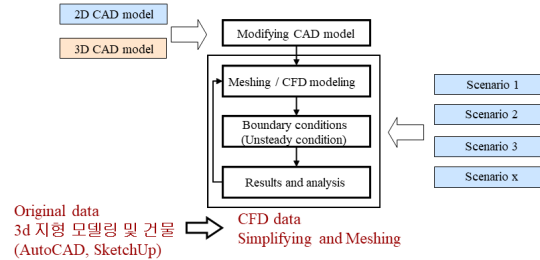
대기안정도 D에서 평균농도를 아래 식을 이용하여 계산하면 [Table 8]과 같이 ERPG-2에 해당하는 20 ppm의 거리는 약 80 m 이다.

**3.3 CFD(Computational fluid dynamics) 결과**

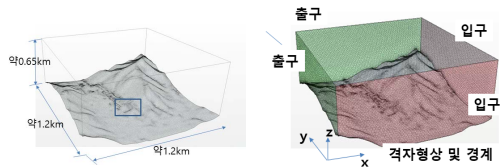
화학사고 발생 현장의 설비, 장치, 건물 등 장애물, 지형과 밀집도, 난류, 바람, 대기 상태 등 추가적인 기상정보를 입력하여 시간에 따라 변화하는 결과를 3D화 한다. CFD는 3차원 가상공간에 장애물의 CAD 형상을 입히고 공기의 난류 흐름과 확산을 시뮬레이션하는 복잡하고 어려운 과정을 요구하여 시간과 예산이 많이 소요되므로 화학사고의 정밀조사 등에 제한적으로 사용된다.



**Fig. 4.** CFD Conducting procedure.

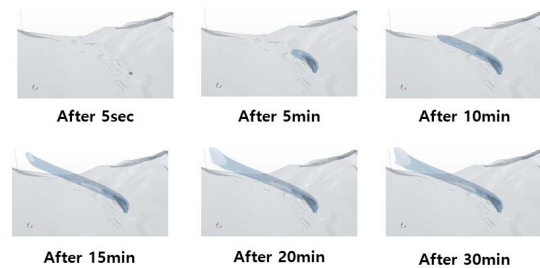


**Fig. 5.** The CFD analysis procedure.



- Mesh : Polyhedral(다면체) mesh
- 난류 : k-e model (two-layer model)
- HF유출량 : 8.2667×10<sup>-3</sup> kg/s (29.76 kg/h)
- 입구 (속도경계) : 2.1 (-sin 45 i' + sin 45 j')
- 출구 (압력경계) : 일정 압력
- 그 외 : 점착조건(예외 하늘부위 : 미끄럼경계)
- 격자개수 : 52만개 (벽면에 2개의 층격자사용)

**Fig. 6.** The Boundary conditions and Mesh modeling.

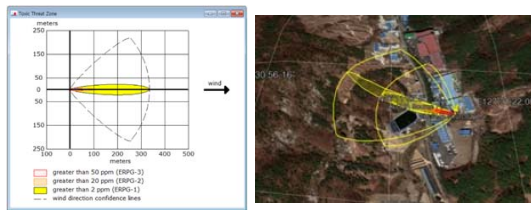


**Fig. 7.** The HF release (mass fraction (1e-6) contour).

CFD 해석순서는 아래 [Fig. 5]과 같이 CAD 프로그램을 활용하여 2D 도면을 3D 도면으로 변환하고

**Table 9.** Consequence range (ALOHA ver 5.4.7, 2016)

Parameter	ERPG-1	ERPG-2	ERPG-3
end point conc. (ppm)	2	20	50
stability			
C	223 m	69 m	42 m
D	337 m	97 m	59 m



**Fig. 8.** Estimation of consequence range and google mapping.

스케치업을 이용하여 3D 모델링 작업 후 CFD 프로그램의 격자 모델링과 경계 조건을 설정하고 시뮬레이션을 하는 절차를 거친다.

아래 [Fig. 7]의 CFD 결과는 바람의 방향과 지형의 영향으로 골을 따라 흘러가다가 산을 넘어가면서 확산되는 것을 보여준다. STAR-CMM+ 프로그램의 한계로 거리에 따른 대기 중의 불산농도는 부정확하여 사용할 수 없었다.

### 3.4 CA(Consequence Analysis) 결과

ALOHA로 시뮬레이션한 결과는 아래 [Table 9], [Fig. 8]과 같이 모든 사람이 한 시간 이상 노출되면 안되는 농도인 ERPG-2는 대기안정도 C에서는 누출원으로부터 서북방향 직선거리 69 m이고 대기안정도 D에서는 97 m가 산출되었다.

KORA로 시뮬레이션한 결과는 아래 [Table 10], [Fig. 9]과 같다.

- 1) 사람이나 환경에 영향을 미칠 수 있는 독성농도, 과압, 복사열 등의 수치에 도달하는 지점
- 2) 유해화학물질을 최대량 보유한 저장용기 또는 배관 등에서 화재 · 폭발 및 유출 · 누출되어 사람 및 환경에

**Table 10.** Consequence range (KORA ver 3.0.8, 2019)

Stability	End point <sup>1)</sup> conc.	Worse case scenario <sup>2)</sup>	Alternative scenario <sup>3)</sup>
C	ERPG-2 (20 ppm)	287 m	71.3 m
D	ERPG-2 (20 ppm)	287 m	99.6 m



**Fig. 9.** Estimation of consequence range and google mapping.

**Table 11.** Consequence range (PHAST ver 8.22)

Stability	Impact area	Impact distance	Impact height
C	6,096 m <sup>2</sup>	128 m	7.7 m
D	9,335 m <sup>2</sup>	196 m	8.2 m

PHAST으로 시뮬레이션한 결과는 아래 [Table 11], [Fig. 10]과 같이 ERPG-2에 해당하는 피해 영향면적, 영향거리, 영향높이를 입체적으로 산출할 수 있다. PHAST는 Puddle을 형성하는데 걸리는 시간과 거리의 영향으로 피해 영향범위가 크게 산출되었다.

### 3.5 결과 검증

환경부의 환경영향조사서에 의한 '사업장 진입로 조경식재와 주변산지의 식생 및 끝단이 약간 노랗게 변색한 것'을 수계산과 PHAST, ALOHA, KORA 시뮬레이션 결과인 [Table 13], [Fig. 11]과 비교하면 PHAST가 가장 보수적인 결과이고 수계산, ALOHA, KORA는 비슷한 결과를 보인다.

미치는 영향범위가 최대인 경우의 사고시나리오

- 3) 최악의 사고시나리오보다 현실적으로 발생 가능성이 높고 사람이나 환경에 미치는 영향이 사업장 밖까지 미치는 경우의 사고시나리오 중에서 영향범위가 최대인 경우의 시나리오



**Table 12.** Field data obtained by MoE

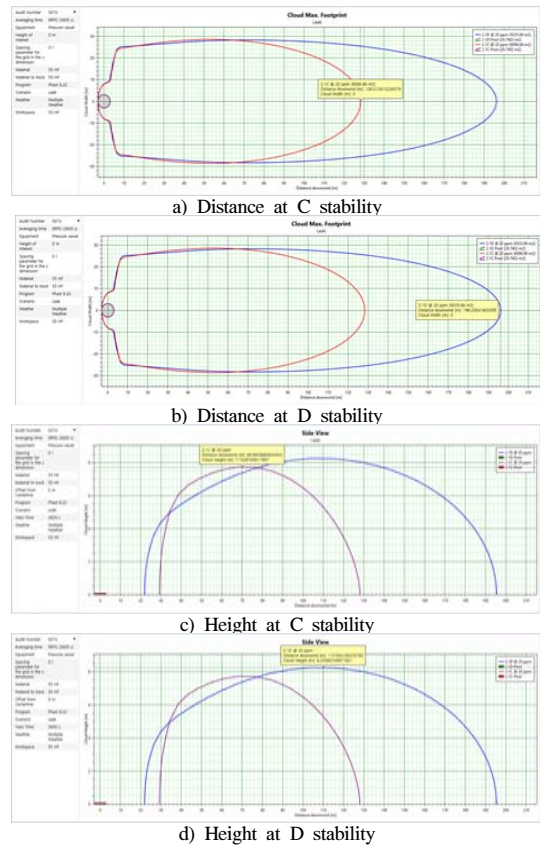
	Point	Result	Authority
Atmosphere	5 points	not detected	GeumgangR iver District Office
Vegetation	Site, town	leaf concentration around site access planting & hills	National Ecological Office
Agriculture	13 species including Apple, ginseng, lettuce	not detected	National Agricultural Products Quality Management Service
Stock	Abortion of pregnant cow	Not by release (infected by BVD virus)	Animal and Plant Quarantine Agency
Pharmaceutical	61 townner examination	Not by release	Chungnam Univ. Medical Center

**Table 13.** Consequence analysis comparison

Stability	ERPG-2				
	Site data	Manual	PHAST	ALOHA	KORA
C	90 m	60 m	128 m	69 m	71 m
D	90 m	80 m	196 m	97 m	99 m



**Fig. 11.** Comparison of the extent of damage from leak sources.



**Fig. 10.** Consequence range distance and height.

#### IV. 결론

2016.6 발생한 불산누출 사고를 실증을 통해 피해범위 예측결과와 비교하면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 환경부의 환경영향조사서와 비교하면 PHAST가 가장 보수적이고 수계산, ALOHA, KORA는 비슷한 결과를 보인다.

둘째, PHAST는 유료이고 상대적으로 입력이 어려워 구글맵핑을 지원하지 않아 시인성이 떨어진다. KORA는 환경부 프로그램으로 무료이고 한글지원이 되어 편리하나 바람의 영향을 고려하지 못해 바람이 부는 방향으로도 피해영역이 원으로 산정된다. ALOHA는 무료이고 상대적으로 입력이 쉽고 바람의 영향을 반영할 수 있다. 다만, ALOHA, KORA, PHAST는 모두 지형의 영향을 반영할 수 없다.

셋째, CFD 시뮬레이션은 고가이며 입력이 어렵고 해석에 수일의 시간이 걸린다. 지형의 영향을 반영할 수 있으나 공기 중 농도가 부정확하여 난류에 따른 거동확인은 용이하나 이 연구에서는 피해영향범위 예측에서 다른 2차원 맵핑용 프로그램에 비해 노력대비 효과가 크지 못하였다.

넷째, 수계산은 ALOHA, KORA, 환경부의 환경영향조사서와 비슷한 결과를 보이며 계산이 번거로운 점은 있으나 서로 상이한 결과나 물리적으로 엉뚱한 결과를 프로그램이 보일 때 검증용으로 활용할 수 있다.

본 연구를 통해 퍼들(Puddle) 형태의 누출사고 발생 시 피해영향범위를 수계산, CA 시뮬레이션, CFD 시뮬레이션을 활용하여 예측하였고 실제 환경영향조사서와 비교하였다. 사고의 시급성, 기업의 수용성, 편리성, 경제성, 가독성 등을 고려할 때 가장 최적화된 시뮬레이션 방법으로 EPA의 ALOHA와 화학물질안전원의 KORA인 것으로 판단되었다.

특히, 화학사고가 발생한 긴급한 상황에서 정확한 피해영향범위를 예측하고 누출사고에 대한 초동조치와 비상대응을 조치할 수 있는 시뮬레이션 방식은 해석에 수일 이상의 시간과 노력이 필요한 CFD 시뮬레이션은 적합하지 않았다.

아울러, 연중 풍속이 안정된 금산지역의 가상 시나리오에서 불산 누출량에 비해 넓은 범위의 피해가 예상되었으며, 누출 시 초동대처가 부실하였을 때의 피해범위도 증가할 것으로 예측되는 등 관리의 중요성도 확인하였다.

본 연구결과는 정부의 정책개발과 기업의 안전부서에서 피해영향범위 프레임워크 선정 시 불필요한 규제, 불필요한 안전투자를 최적화하여 정부 또는 기업의 제한된 자원을 효율적으로 활용하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- [1] Kim, J. H., Jeong C. M., Kang, S. M., Yong, J. W., Yoo, B. T. and Seo, J. M., "Comparison Study for Impact Range of Prediction Models Through Case Study about Gumi Hydrogen Fluoride Accident", *Korean Chemical Engineering Research*, 55(1), 48-53, (2017)
- [2] National disaster management research institute, "Development of simulation prototype for dispersion causes analysis and consequence prediction due to chemical accidents", 3-4, (2018)
- [3] <http://icis.me.go.kr/search/searchType2.do>, (2019)
- [4] Kim, I. G., "The analysis on disaster response process using Aillison's models-Focusing Gumi hydrofluoric acid spill", *Kyungpook national university*, 69, (2014)
- [5] Kim, B. K., "Analysis of hydrofluoric acid affects areas using aerial Near-InfraRed image", *Kyonggi university*, 65, (2014)
- [6] Kim, K. H., Shin, D. G. and Yoon, E. S., "Risk Analysis Using Automatically Synthesized Robust Accident Scenarios and Consequence Assessment for Chemical Processes : Process Partition and Consequence Analysis Approach", *Korean Journal of Chemical Engineering*, 20(6), 992-999, (2003)
- [7] Korea Occupational Safety & Health Agency, "Hazardous hazardous material handling management-hydrofluoric acid", (2014)
- [8] <http://kischem.nier.go.kr>, *Chemical Safety Management Information System*, (2020)
- [9] National institute of chemical safety, "Technical guidelines for selecting an accident scenario", (2014)
- [10] Korea Occupational Safety & Health Agency, "Technical guidelines for chemical exposure index(CEI)", 4-6, (2012)
- [11] Korea Occupational Safety & Health Agency, "Technical guidelines for chemical exposure index(CEI)", 13, (1998)
- [12] Woo, J. W., "Off-site consequence analysis for hydrogen fluoride release from a tank container", *Hanyang university*, 7-8, (2014)
- [13] Korea Occupational Safety & Health Agency, "Technical guidelines on accident damage prediction techniques", 22-24, (2012)
- [14] Kho, D.H., "A study on the establishment of environmental impact area of hydrofluoric acid spill in Gumi, Korea", *Seoul National University*, 35-36(2013)
- [15] Min, Y. K. and Lee, D. K., "A Study on the Desirable Plan to Manage Disaster Management System of Gumi Industrial Complex - Focused on the Disaster Medical System Improvement of the Initial Reaction to the Accidental Release of Hydrogen Fluoride in Gumi", *Crisisonomy*, 10(2), 1-21, (2014)
- [16] Song, H. R. and Lee, Y. K., "A Comparative



Analysis of the Media Coverage on Risk in National and Local News Papers : Focusing on the News of the Accident of a Toxic Gas Leak in Gumi”, *Korean Political Communication Association*, 1(28), 97-144, (2013)

- [17] Lee, M. R., Goo, S. and Shim, J. H, “Assessment of Estimated Damage Area by CCTV Images: Case Study of Gumi Hydrofluoric Acid Gas Leakage ”, *Korean Society of Hazard Mitigation*, 13(6), 223-229, (2013)
- [18] Park, J. H., Bae, C. H., Yoo, G. H. and Lee, C. B. “A Study on enhancement of Emergency Management - Focus on Gumi City Hydrofluoric Acid Accident”, *Korean Society of Private Security*, 12(1), 97-120, (2013)
- [19] Gu, S. G., Choi, I. J., Kim, W., Kim, S. B. and Lee, Y. G. “Study on the Distribution of Fluorides in Plants and the Estimation of Ambient Concentration of Hydrogen Fluoride Around the Area of the Accidental Release of Hydrogen Fluoride in Gumi”, *Korean Society of Environmental Health*, 39(4), 346-358, (2013)
- [20] Koh, B. H., Kim, J. S. and Choi, K. D. “Defining Area of Damage of 2012 Hydrofluoric Acid Spill Accident in Gumi, Korea”, *Korean Society of Environmental Health*, 40(1), 27-37, (2014)
- [21] Jae, S. K. “Study on the Consequence Effect Analysis & Process Hazard Review at Gas Release from Hydrogen Fluoride Storage Tank”, *Society of Disaster Information*, 9(4), 449-461, (2013)