



회귀곡선을 이용한 단시간 노출에 대한 AEGL의 적용

이현진 · 정태준 · 이향직 · 정창모 · †고재욱

광운대학교 화학공학과

(2017년 4월 3일 접수, 2017년 7월 11일 수정, 2017년 10월 19일 채택)

Apply AEGL for Short Time Exposure Using Regression Curve

Hyunjin Lee · Taejun Jeong · Hyang-Jig Lee · Changmo Jeong · †Jae-Wook Ko

Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon University, Seoul 01897, Korea

(Received April 3, 2017; Revised July 11, 2017; Accepted October 19, 2017)

요약

노후화 된 공정설비와 공장의 규모 확대 등 유해화학물질 사용량이 증가하고 있으며, 2013년부터 지속적으로 누출에 의한 사고가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 장외영향평가에서 누출에 대한 끝점 농도는 ERPG 2로 나타내며, 안전보건공단의 가이드에서 시간에 따라 7분 미만에서 10분의 AEGL 2, 7분 이상 25분 미만일 때는 30분의 AEGL 2값을 사용한다. 기준이 되는 끝점 농도가 시간에 따라 모호하게 사용되고 있어, 사고 발생 시 문제를 야기할 것으로 생각이 된다. 이에 본 연구에서 회귀곡선을 통해 1~10분 사이의 AEGL 값을 도출하고, 동 시간의 Probit function의 0% Lethality 데이터와 비교하였으며, AEGL 결과 값을 사용하여 보다 명확한 시간에 따른 독성누출 평가에 활용될 것으로 생각된다.

Abstract - Thus, chemicals are managed under 9 related central government department and 16 relevant laws with program such as Process Safety Management and Offsite Consequence Analysis in Korea. Guidelines for set the endpoint concentration for chemicals based on the ERPG-2 (Emergency Response Planning Guidelines-2) and AEGL-2 (Acute Exposure Guidelines Level-2). but ERPG and AEGL do not describe exposure for less than 10 minutes. because of this, each guidelines define criteria differently for short time less than 10 minutes exposure. This indefinite exposure criteria would give rise to a confusion in the chemical plants, and potentially lead to a critical decision making error when accidents happen. In an effort to apply guidelines with evenly-distributed initial time frame, AEGL concentrations within 10 minute exposure time were evaluated by examining statistical regression curves. The results were in good agreement with those from the Probit Function based on each AEGL grade to explain 3 different threshold levels of exposure effects. Resultant re-enforced guidelines for endpoint chemical concentrations are, therefore, to provide powerful tool to assess and manage the risk associated with any potential chemical accidents at an early stage.

Key words : endpoint, AEGL, regression curve, probit function

1. 서론

노후화 된 공정설비와, 공장의 규모 확대 등 유해화학물질 사용량이 증가함에 따라 누출 및 화재, 폭발 사고 발생이 증가하고 있다. 화학안전정보공

유시스템의 통계정보에 따르면 2010년에 비해 2013년부터 누출로 인해 사고 건수가 증가하고 있는 것을 Fig. 1에서 확인 할 수 있다.[1]

누출 된 유해화학물질은 사이트 내부의 작업자 뿐만 아니라 인근지역의 주민, 환경 등에 큰 피해를 끼치고 있다. 유해화학물질에 의한 피해가 증가됨에 따라 국내 화학물질은 주관부처, 관련법, 관리대상, 관리 수단 등으로 구분하여 9개 부처 16개 법령

†Corresponding author:gdhong@jwko.kw.ac.kr

Copyright © 2017 by The Korean Institute of Gas

으로 관리되고 있다.[2] 화학물질관리법, 산업안전보건법, 위험물안전관리법, 고압가스안전관리법 등이 있고 환경부에서 관리하는 화학물질관리법은 구미 불산 사고 이후 관리 대상물질을 유독물질, 사고대비물질, 금지물질, 제한물질, 허가물질 등 유해화학물질로 대폭 확대하여 유해화학물질의 사고 예방 및 사고 대응을 하고 있다.

화학물질관리법이 관리하는 장외영향평가의 경우 끝점 농도를 복사열은 5kW/m², 과압은 1psi, 독성은 ERPG 2를 보고 있으며, 안전보건공단 '최악 및 대안의 누출 시나리오 선정에 관한 기술지침'의 끝점 농도는 미국 산업위생학회에서 발표하는 ERPG 2와 미국 환경보호청에서 발표하는 AEGL 2를 보고 있다. 기술지침에서는 누출되는 시간이 짧을 경우 AEGL 2 값을 누출시간에 따라 다르게 정의하고 있는데 누출시간이 7분 미만일 경우 10분 기준의 AEGL 2, 누출시간이 7분 이상 25분 미만일 경우에는 30분 기준의 AEGL 2값을 사용한다.[3][4]

하지만 ERPG의 시간 기준은 60분으로 사고 발생 후 대응하는 시간에 비해 긴 시간이며, AEGL의 경

우 10분, 30분, 60분, 240분, 480분으로 다섯 시간에 대해 잡혀 있으나, 안전보건 공단 가이드의 기준은 7분미만, 7분 이상 25분 미만으로 제시하여 AEGL 기준과 가이드의 기준이 상이한 것을 볼 수 있다.

이에 본 연구에서는 사고 후 바로 대응하기 위해서 1~10분 사이의 끝점 농도가 필요하기 때문에 ERPG, IDLH, AEGL 등 노출 농도에 대해 조사하고, Dose-Response 데이터인 Probit function을 이용하여 1~10분 기준의 AEGL 데이터를 검증하였다.

II. 이 론

2.1. 끝점농도 정의

인체에 화학물질에 대한 노출 독성을 나타내는 단어로 Endpoint 혹은 끝점농도라고 하며, 이는 해당 시간동안 노출되었을 때 인명에 50%가 사망에 이르게 하는 농도, 장시간 노출되어도 아무런 영향을 주지 않는 농도 등으로 다양하게 분류되어 있다.

2.2. ERPG 정의

미국 산업 위생학회인 AIHA에서 정한 화학물질로 169종에 대해서 작성되어 있으며, 화학물질 누출 시 지역사회 사고대응을 위한 가이드라인을 제시하기 위해 개발되었으며, 3개 등급으로 나누어져 다음과 같이 정의된다.

ERPG 1 : 거의 모든 인원이 아주 가벼운 증상 이상을 겪지 않거나, 불쾌한 냄새를 인지하고 않으면서 한 시간까지 노출 될 수 있는 최대 농도

ERPG 2 : 방호활동을 수행할 개인의 능력에 손상을 줄 수 있는 회복 불가능할 정도의 신체 장애 또는 그 밖의 다른 심각한 효과나 증세를 경험하지 않거나 이런 상태로 발전되지 않으면서 거의 모든 인원이 한 시간까지 노출될 수 있는 최대 농도

ERPG 3 : 거의 모든 인원이 생명을 위협하는 신

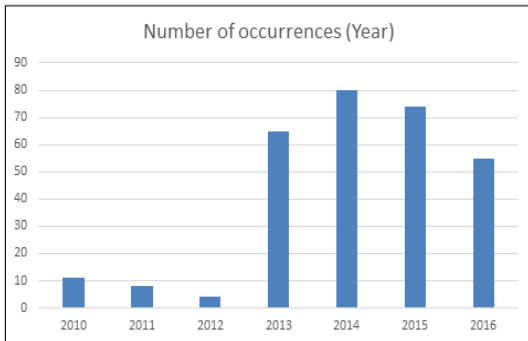


Fig. 1. Number of Occurrences(Year).

Current ERPG® Values (2016)

Chemical (CAS Number)	ERPG-1	ERPG-2	ERPG-3
Acetaldehyde (75-07-0).....	10 ppm⊕	200 ppm	1000 ppm
Acetaldehyde (75-07-0).....	10 ppm⊕	200 ppm	1000 ppm
Acetic Acid (64-19-7).....	5 ppm⊕	35 ppm	250 ppm
Acetic Anhydride (108-24-7).....	0.5 ppm⊕	15 ppm	100 ppm
Acrolein (107-02-8).....	0.05 ppm⊕	0.15 ppm	1.5 ppm

Fig. 2. Sample of ERPG values.

체장애를 경험하지 않거나 이런 상태로 발전되지 않으면서 한 시간까지 노출 될 수 있는 최대 농도이다[7].

2.3. AEGL 정의

미 환경보호청은 독성화학물질의 누출, 재난으로 인한 일반 시민의 단기 노출지침의 개발을 위해서 공해예방 및 독성물질저를 신설하여 특정유해화학물질을 대상으로 AEGL를 제시하였다. AEGL은 일반 시민을 대상으로 하며 10분, 20분, 60분, 240분, 480분의 5가지로 시간을 세분화 하여 누출된 기간에 따라 나타나는 독성효과를 구분하여 농도를 제시하였다. AEGL은 ERPG와 마찬가지로 3개 등급으로 구분되어 제시되던 다음과 같고 Fig.6에 도식화 하였다.[5]

AEGL 1 : 노약자를 포함하는 일반 인구가 해당 농도 이상에서 불편함과 불쾌함을 느끼거나 어떤 자극, 증상을 동반할 것으로 예상되지만 이는 일시적이며, 노출된 인원이 노출이 중단 될 시 회복이 가능한 농도

AEGL 2 : 노약자를 포함한 일반 인구가 노출되었을 때 회복이 불가능하거나 심각한 장애를 초래하거나 장기간의 신체장애를 초래하게 하는 농도

AEGL 3 : 노약자를 포함하여 일반 인구가 노출되었을 때 생명을 위협 또는 사망을 경험 할 수 있는 농도[6]

2.4. TEEL 정의

미국 에너지부(U.S. Department of Energy)에서 대부분의 사람이 화학물질에 노출되어 건강영향을 겪을 농도로 정의하며, ERPG, AEGL과 같이 3단계로 정의된다.

TEEL 1 : 일반 인구가 해당 농도 이상에서는 상당한 불쾌감, 자극, 어떤 증상을 동반하지 않는 비감각적 효과를 경험할 수 있는 농도이며, 장애를 일으키지 않고, 일시적이고 노출이 중단되면 회복이 가능한 농도

TEEL 2 : 일반 인구가 해당 농도 이상에서는 심각하고, 지속가능한 효과, 대피 능력에 장애를 경험할 수 있는 농도

TEEL 3 : 일반 인구가 해당 농도 이상에서 생명의 위협 또는 사망을 경험할 수 있는 농도[8]

2.5. 끝점농도 비교

ERPG, AEGL, TEEL의 기준은 각기 다른 기관에서 개발되어 유사한 정의가 내포되어 있으나, 실제로 설정된 값은 상이하거나 차이가 존재한다. 다음 Table 1에서 유사점 및 차이점을 비교한다.

ERPG는 지역사회 사고 대응을 위해 개발되어 작업자 뿐만 아니라, 지역사회의 구성원에 대한 데이터가 존재하고 있으며, AEGL은 노약자를 포함하여 인명에 대해서 민감한 집단을 포함시켜 표기하고 있고, TEEL은 일반 인구에 대해서만 포함하고 있다.

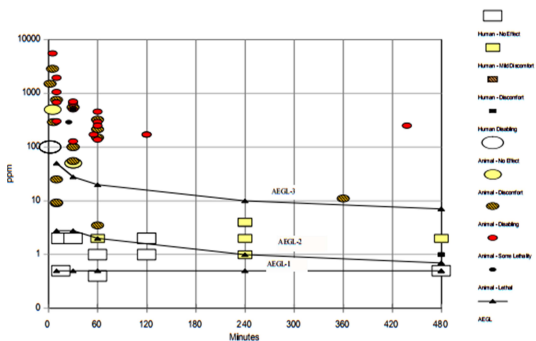


Fig. 3. Toxicity data and AEGL values.

Table 1. ERPG, AEGL, TEEL comparison

	ERPG	AEGL	TEEL
Sensitive objects	No	Existence	No
Publishing Agency	AIHA	EPA	DOE
Airbone Concentration	Below	Above	Above
Health Effect	Without	Could	Could
Values Published	169	176	3,387
Release Duration	60min	10, 30, 60, 240, 480min	60min

2.6. PAC 정의

안전보건공단의 '최악 및 대안의 누출 시나리오 선정에 관한 기술지침'에서 AEGL, ERPG 값이 없는 경우 PAC 값을 사용하라고 지침하고 있다. 미국 에너지부에서 발표하는 PAC는 TEEL의 새 이름이며, 새로운 물질 값이 지속적으로 추가되고 있다. PAC은 TEEL의 값만 사용하는 것이 아닌 AEGL, ERPG 값을 같이 사용하며, 3단계로 구성된다.

- PAC 1 : 적용가능한 AEGL 1, ERPG 1, TEEL 1
- PAC 2 : 적용가능한 AEGL 2, ERPG 2, TEEL 2
- PAC 3 : 적용가능한 AEGL 3, ERPG 3, TEEL 3

PAC 데이터는 AEGL 값을 먼저 사용하고, AEGL 값이 없다면 ERPG 값을 적용하고, ERPG 값이 없다면 TEEL의 값을 사용하여 데이터를 구축하였다.

III. 연구 내용

3.1. 회귀분석을 통한 AEGL 도출

AEGL 값은 다른 Endpoint와 달리 5 종류의 시간에 대해서 노출된 농도를 다루고 있다. 노출 기간은 10분, 30분, 60분, 240분, 480분으로 장기간 또는 반복 노출에 대한 기간과 짧은 노출 시간에 대해 구성되어있다. 짧은 기간의 경우 10분, 30분으로 안전보건공단의 가이드의 끝점농도 기준에 사용하고 있으며, 기준은 7분 미만일 때 10분의 데이터를 사용하며 7분 이상 25분 미만일 경우 30분의 데이터를 사용한다고 나와 있다. 이는 실제 사고 발생 시 불분명한 기준이 될 것이다. 10분의 기준을 10분에 사용하는 것이 아닌 7분 미만에 사용함으로 모호함을 발생시키게 된다.

AEGL 값은 단순히 하나의 정보만을 주는 것이

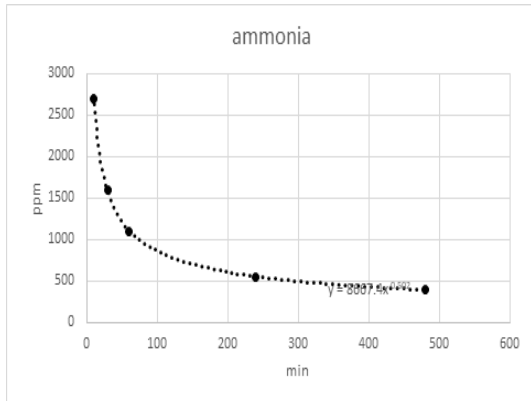


Fig. 4. Ammonia regression curve.

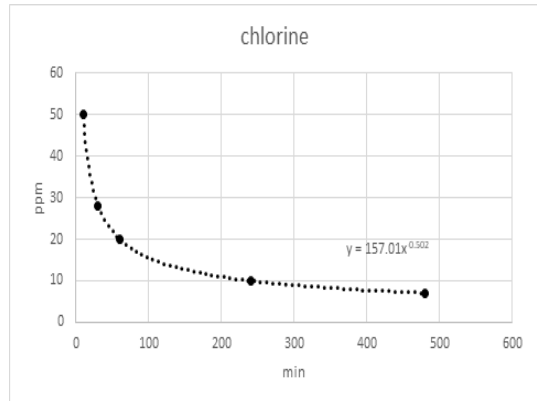


Fig. 5. Chlorine regression curve.

Table 2. AEGL result data

Name	Level	unit	6min	7min	8min	9min
Acrylonitrile	AEGL3	ppm	192.08	169.25	151.68	137.70
Allylcohol	AEGL3	ppm	146.75	124.88	108.59	95.99
Ammonia	AEGL3	ppm	3263.25	3051.67	2876.47	2728.28
Bromine	AEGL3	ppm	24.37	22.72	21.37	20.26
Carbon disulphide	AEGL3	ppm	903.62	856.42	817.53	784.70
Hydrogen fluoride	AEGL3	ppm	173.943	160.39	149.51	140.53
Hydrogen chloride	AEGL3	ppm	845.76	740.18	659.44	595.56
Chlorine	AEGL3	ppm	63.87	59.11	55.28	52.11

아니라 세 단계의 계층이 Dose-Response 기율기를 나타내며 이를 통해 10분보다 더 짧은 시간 1~10분 사이의 AEGL 값을 도출할 수 있다.[9]

AEGL의 1~10분 사이의 데이터 도출을 통해 기존의 독성누출 농도가 만성독성에 대한 데이터만 존재하고 있는데 회귀분석을 통하여 급성에 대해 독성이 누출되었을 때의 피해를 알아보기 위해 도출하였다.

또한 국립환경과학원 고시 제 2014-48호에는 관찰 할 수 없는 화학물질의 위해수준을 관찰 가능한 범위로부터 추정하는 것으로 말하고 있으며, 이에 AEGL 값을 시간과 농도에 대해 회귀분석을 이용해 그래프를 도출하였다.[10]

8종의 화학물질에 대해 회귀분석을 이용하여 그래프를 도출하였으며, 이에 대한 신뢰도는 0.95 이상을 확인하고, AEGL 값을 도출한 결과를 다음에 정리하였다.

3.2. AEGL, Probit 데이터 비교

Probit function은 통계적인 방법을 통해 Dose-Response 데이터를 이용하여 복사열, 과압, 독성에 대해 사망 혹은 부상 확률을 구할 수 있다.

Probit function과 AEGL은 둘 모두 Dose-Response 데이터를 이용하여 개발 된 값이다. Fig. 6에서 AEGL 3의 값은 DEATH에 이르는 값을 나타내고 있으며, Probit function의 0%와 유사한 데이터를 얻을 수 있다.

이때 Probit function의 경우 독성기준은 사망을 보고 있으며, 사망률 0%라는 것은 단지 확률이 0%이지만 사망으로 피해를 정의하며, AEGL 3의 정의는 생명의 위협을 받거나 사망을 경험하는 농도이다. 따라서 급성 독성 농도를 구하는데 AEGL 3를 선택하였고, 이와 유사한 값과 경향을 보이는 Probit function을 이용하여 데이터의 신뢰도를 구하였다.

기존의 10분, 30분, 60분, 240분, 480분의 AEGL 3값과 동일한 시간을 넣은 Probit function의 0%의 비교하고 회귀분석을 통해 얻은 1~10분의 AEGL 3값과 비교하였다.

8종의 화학물질에 대해 AEGL과 0% Lethality의 그래프를 비교한 결과는 Fig.7이며 데이터 간의 오차율은 85% 이상을 보이고 있다. Fig.8, Fig.9은 회귀곡선을 통해 얻은 수치와 Probit function을 통해 얻은 수치를 비교한 결과이다. 8종의 화학물질에 대해 오차율을 정리해본 결과 대체로 5%이내의 오차율을 보이며, 오차가 큰 경우는 최대 10%까지 오차를 보인다.

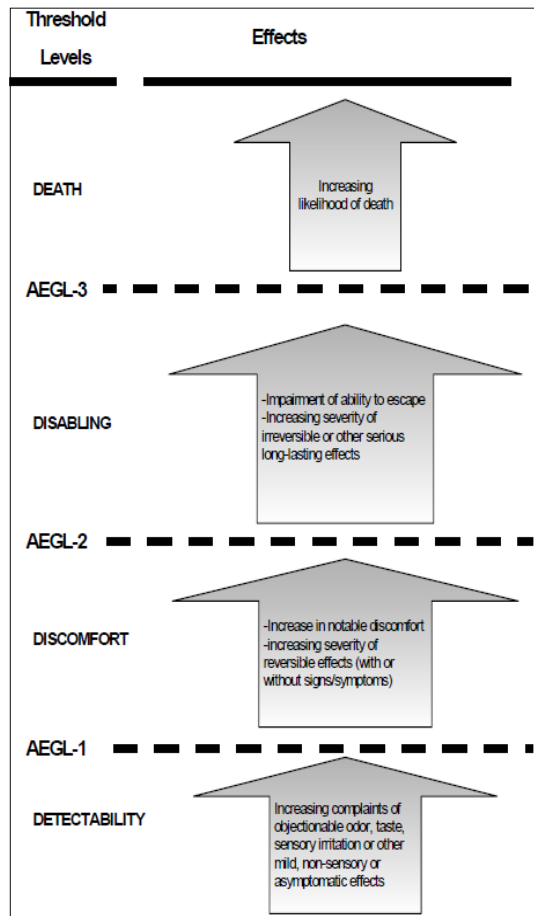


Fig. 6. AEGL grade.

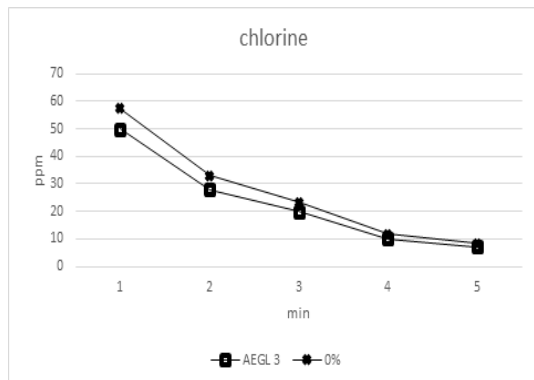


Fig. 7. AEGL, Probit function comparison graph (Chlorine).

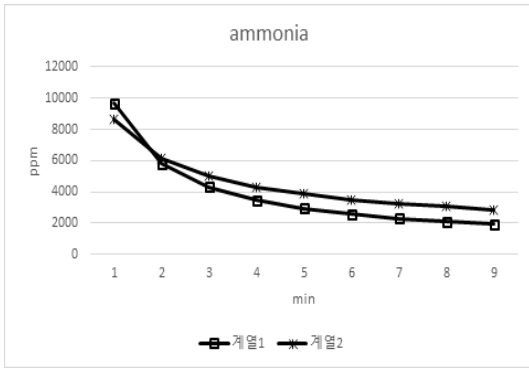


Fig. 8. Probit function, regression curve comparison graph (ammonia).



Fig. 9. Probit function, regression curve comparison graph (Chlorine).

V. 결론

2013년 이후 누출로 인한 사고가 지속적인 것을 확인할 수 있으며, 2012년 구미 불산 사고 발생 이후 화학물질의 관리 대상물질을 유독물질, 사고대비물질, 금지물질, 제한물질, 허가물질 등 유해화학물질로 대폭 확대하여 예방 및 사고 대응하기 위해 환경부에서 화학물질관리법을 시행하고 있다.

본 연구에서 시간대에 따라 모호하게 사용하고 있는 AEGL 3 데이터를 회귀분석을 통해 얻어낸 식을 이용하여 1~10분 사이의 AEGL 값을 도출한 후 동일한 시간의 Probit function을 통해 회귀분석을 통해 구한 데이터의 유사성을 확인하였다. Probit function의 0% 사망률은 AEGL 3값과 유사한 경향 및 데이터를 보이며, 또한 두 데이터는 dose-response 데이터를 통해 구해진 것으로 회귀분석을 통해 구한

급성 독성 데이터의 신뢰도를 얻는데 적합하였다.

구해진 급성 AEGL 값은 장외영향평가와 안전보건공단의 가이드에 적용될 수 있으며, 기존에 존재하던 만성독성에 대한 독성 누출기준이 아닌 급성 독성에 대한 데이터로 사용이 될 수 있으며, 사용 기준을 시간대로 나누는 것이 아닌 매 분 별로 데이터를 제공하여, 지속되는 유해화학물질의 누출사고 대응에 도움이 될 것으로 사료된다.[11]

감사의 글

본 연구는 환경부의 화학사고 대응 환경기술개발사업에서 지원받았습니다(No. 2015001950003).

REFERENCES

- [1] National institute of chemical safety, Chemistry safety clearing-house
- [2] Gyeonggi-do Fire Services, A Study on the Analysis of Hazardous Material Accident Types and Improvement of Safety Management System, (2016)
- [3] KOSHA, KOSHA guide P - 107-2016 , (2016)
- [4] National Institute of Chemical Safety, Technical Guidelines for Selection of Accident Scenario, (2014)
- [5] Yoon CS, Criteria for emergencies (leaks, accidents) of chemical substances, Korean Industrial Health Association, (2016)
- [6] EPA, Acute Exposure Guideline Levels Program
- [7] Daniel A. Crowl and Joseph F. Louvar, "CHEMICAL PROCESS SAFETY", PRENTICE HALL, Boston, (2012)
- [8] Department of Energy, Temporary Emergency Exposure Limit for Chemical : Methods and Practice
- [9] EPA, Standing Operating Procedures for Developing Acute Exposure Guideline Levels for Hazardous Chemicals
- [10] National Institute Of Environmental Rearch, Regulation on the object and method of risk assessment of product risk assessment
- [11] JaeSun Ko, "Study on the Consequence Effect Analysis & Process Hazard Review at Gas Release from Hydrogen Fluoride Storage Tank", *Journal of the Korea Society of Disaster information*, 9(4), (2013)