

# KSLV 추진기관 종합시험설비 피해 사고 예측 모델 해석

이정호\*, 강선일\*\*, 유명일\*\*\*, 김용욱\*\*\*\*, 조상연\*\*\*\*\*, 오승협\*\*\*\*\*

## Model Analysis of Damage Prediction of Accident for KSLV Integrated Propulsion System Test Facility

Jung-Ho Lee\*, Sun-Il Kang\*\*, Byung-Il Yu\*\*\*, Yong-Wook Kim\*\*\*\*,  
Sang-Yeon Cho\*\*\*\*\*, Seung-Hyub Oh\*\*\*\*\*

### Abstract

According to the KSLV program of KARI, it is planned to develop various launch vehicle and satellite 10 years hereafter. Large-scale test facilities, such as ReTF and PTA-II, are needed to fulfill this launch vehicle/satellite development project. The authors intend to arrange and describe various indexes that are needed in test facility design, construction and operation process. This technical paper is describing model analysis of damage prediction of accident in KSLV Integrated Propulsion System Test Facility based on propellant storage quantity and layout. In addition, the result can be used to produce safer design of test facility.

### 초 록

국가 우주개발 중장기계획에 따라 향후 10년간 다양한 발사체 및 위성을 개발할 필요가 있다. 그러므로 이러한 발사체 및 위성 개발과정에 있어 ReTF나 PTA-II 시험설비와 같은 시험설비가 다수 필요할 것으로 예상된다. 이에 우리연구원은 KSLV 추진기관에 대한 종합 시험을 수행할 수 있는 대형 연소시험설비 구축을 계획 중이다. 본 논문에서는 해당 시험설비의 기본 설계안에 따른 시설 배치 레이아웃과 위험물 저장량을 기초로 하여 시험설비에서 화재 또는 폭발 발생 시 그 피해가 어떻게 전파되는지 모델 해석을 통해 알아보았다. 논문에 포함되어진 안전성 평가, 피해정도, 피해범위를 바탕으로 기 수행된 설계 결과를 보완함으로써 좀 더 안전한 시험설비를 구축할 수 있도록 하는 것이 목적이다.

키워드 : 안전성 평가(safety evaluation), 피해사고예측(damage prediction)

### 1. 서 론

추진기관 종합시험설비는 추력 200톤급 LOx

-Kerosene engine을 장착한 KSLV용 추진기관의 연소시험을 목적으로 하며, Kerosene과 같은 물질 즉, 소방법에 의해서 제4류 2석유류로 분리되

\* 추진기관체계그룹/leejh28@kari.re.kr

\*\*\* 추진기관체계그룹/biyoo@kari.re.kr

\*\*\*\*\* 추진기관체계그룹/chosangy@kari.re.kr

\*\* 추진기관체계그룹/aerodol@kari.re.kr

\*\*\*\* 추진기관체계그룹/kyw421@kari.re.kr

\*\*\*\*\* 추진기관체계그룹/shoh@kari.re.kr

는 인화성 물질을 탑재 또는 저장소에 보관 저장하여 시험에 적용하게 된다. 저장 또는 시험 중 Kerosene이 전파/누출 등으로 화재에 노출되거나, 비정상적인 시험상태에서 발생한 화재의 확산 및 폭발 같은 사고 등이 발생할 가능성이 있다. 따라서 사고발생 시 피해정도 및 피해범위 등을 정량적으로 산정하고 피해최소화 대책을 수립하는 등 필요한 사항을 정하는 것이 본 논문의 목적이다.

## 2. 피해사고예측기법

### 2.1 사고피해예측절차

#### 1) 1단계 (근본적인 위험요소 확인)

정성적인 위험성평가 단계로서 위험과 운전 분석 기법 또는 체크리스트 기법 등에 의하여 공정 내에 잠재하고 있는 위험요소를 확인한다.

#### 2) 2단계 (누출모델 작성)

누출모델은 물질이 어떻게 누출되는지를 분석하는 것으로 배관파손, 플랜지누출, 안전밸브작동, 운전원 실수 등에 의한 잠재적인 누출원인 등을 확인하여 방출되는 위험물질의 양, 온도, 밀도, 시간, 누출상태(가스, 증기, 액체, 혼합물) 등을 계산 한다.

#### 3) 3단계 (확산모델)

2단계 누출모델을 근거로 하여 대기 중으로 확산되는 위험물질의 거리에 따른 농도, 확산되는 증기운 구름의 크기, 농도, 형태를 예측 한다.

#### 4) 4단계 (피해예측)

누출되는 위험물질이 가연성 또는 인화성물질인 경우에는 화재폭발로 인하여 사업장내의 근로자 및 주변 시설에 미치는 화재폭발의 영향을 계산하며 독성물질인 경우에는 작업자, 인근 주민 또는 주변 환경에 미치는 영향을 계산 한다.

### 2.2 피해예측

누출되는 위험물질이 가연성 또는 인화성물질

인 경우에는 화재폭발로 인하여 사업장내의 근로자 및 주변 시설에 미치는 화재폭발의 영향을 계산하며 독성물질인 경우에는 작업자, 인근 주민 또는 주변 환경에 미치는 영향을 계산 한다.

#### 1) 확산

누출된 인화성물질 또는 가연성가스가 누출 즉시 점화되지 않는다면, 증기운을 형성하여 먼 거리까지 확산된다. 이 증기운은 확산 되면서 공기와 희석되고 결과적으로 폭발 하한계에 도달하여 더 이상 화재위험이 없게 된다. 그러나 독성물질인 경우에는 독성물질이 바람에 의해 상당한 먼 거리까지 확산되어 농도가 낮다 할지라도 근로자 및 주민에게 심각한 영향을 미칠 수 있다.

#### 2) 액면화재/증기운 화재/고압분출 화재

누출된 증기운이 점화되면 누출원 방향으로 화재가 전파된다. 만약 배관 또는 플랜지 부위에서 누출되는 물질이 즉시 점화된다면 고압분출 화재 또는 액면 화재를 형성하게 된다.

증기운 화재 시는 가연성 증기운의 크기를 측정하여 복사열을 예측할 수 있도록 대기 확산 모델을 사용하고, 액면 화재 시에는 티엔오(TNO) 모델 등의 적절한 액면 화재 모델을 사용한다.

간단히 정량적으로 예측할 수 있는 계산 절차는 티엔오 액면화재모델 피해예측절차를 참조한다. 고압분출화재는 미국석유협회(API), 티엔오(TNO)모델을 사용하여 복사열을 예측한다. 간단한 정량적 예측 가능한 계산절차는 미국석유협회(API) 고압분출화재모델 피해예측절차를 참조한다.

#### 3) 비등액체 팽창증기폭발 화구

화재시 저장 탱크의 순간적인 파열에 의해 비등액체 팽창증기폭발화구 등이 발생할 수 있는데 화구의 크기 또는 화구로부터 거리에 따른 복사열 등은 비등액체 팽창증기폭발 및 화구 모델을 사용하여 쉽게 예측할 수 있다. 따라서 비등액체 팽창증기폭발 또는 화구 발생시의 거리에 따른 복사열 등이 주변 시설물 및 근로자에 미치는 영향을 예측하도록 한다. 비등액체 팽창 증기폭발 화구의 피해예측 모델은 티엔티(TNT)당량 또는 단열팽창 모델 등을 사용하여 계산한다. 간단히

정량적으로 예측할 수 있는 계산절차 및 예시는 비등액체 팽창증기폭발화구 피해예측 절차 및 복사열 산정 예시를 참조한다.

4) 증기운 폭발

대량의 가연성가스 또는 인화성물질의 누출에 따른 증기운 폭발의 발생확률은 비교적 낮지만 그 결과는 매우 엄청나다. 증기운 폭발의 위력은 과압, 폭풍파 등으로 표시된다. 증기운 폭발 시에는 거리에 따른 폭발압력이 인체 및 주변 시설물에 미치는 영향을 예측하여야 한다. 증기운 폭발 예측에 사용되는 모델은 다음과 같다.

- 티엔티(TNT) 당량 모델
- 티엔오(TNO) 상관 모델
- 티엔오(TNO) 멀티에너지 모델
- 기타

간단한 수치적 계산에 의한 증기운 폭발 피해 예측절차 및 예시는 TNT당량모델 피해예측절차, 액화석유가스의 증기운 폭발 및 폭발압 산정 예시를 참조한다.

5) 밀폐계 증기운 폭발

밀폐된 공간에서의 증기운 폭발은 매우 높은 과압, 폭풍파 또는 용기 조각의 비산 등으로 나타난다. 밀폐계 증기운 폭발에 의한 손상의 크기는 화학물질의 양 및 폭발 압력에 따라 다르게 나타난다. 밀폐계 증기운 폭발 예측에 사용되는 모델은 다음과 같다.

- 티엔티(TNT) 당량 모델
- 티엔오(TNO) 상관 모델
- 티엔오(TNO) 멀티에너지 모델
- 기타

6) 물리적 폭발

압력용기의 물리적 폭발은 저장하고 있는 에너지를 방출시키는 것이며 방출 에너지는 폭풍파 및 용기 조각의 비산 등으로 나타나며 용기에서 가연성가스나 액화성 물질을 취급하는 경우에는 그 물질이 2차적으로 폭발을 일으키게 된다. 물리적 폭발 예측에 사용되는 모델은 다음과 같다.

- 티엔티(TNT) 당량 모델
- 기타

2.3 피해예측보고

피해예측 보고서에는 누출량, 누출시간, 기상 조건등 확산모델 계산에 사용한 누출모델 기본자료 및 거리에 따른 과압, 복사열, 독성물질의 농도 등 기상 사고로 인한 피해를 예측할 수 있는 자료가 포함되어야한다.

1) 기상자료

풍향, 풍속, 온도, 습도 등 사업장의 기상자료를 이용, 기상 자료가 없는 경우에는 주변 기상청, 공항 등에서 측정된 자료를 인용할 수 있다.

2) 누출물질정보

누출 물질의 명칭 및 양, 누출 시간

3) 피해예측결과

① 확산

누출물질 농도 · 온도 · 밀도, 거리에 따른 농도

② 액면화재

액면의 크기(지름), 불꽃의 기울기  
복사열량, 거리에 따른 복사열 강도 등

③ 증기운화재

가연성 증기운 크기(지름), 증기운 밀도 · 온도  
복사열량, 거리에 따른 복사열 강도 등

④ 고압분출화재

거리에 따른 복사열 강도, 불꽃의 기울기,  
복사열량 등

⑤ 비등액체팽창증기폭발 화구

복사열량, 화구의 지름, 화구의 높이,  
거리에 따른 복사열 강도 등

⑥ 증기운 폭발

증기운의 크기, 증기운 밀도 및 온도  
거리에 따른 과압, 최대 과압 등

⑦ 밀폐계 증기운 폭발

거리에 따른 과압, 파편비산에 의한 영향 등

⑧ 물리적 폭발

거리에 따른 과압, 파편의 비산에 의한 영향

### 3. 시험설비 피해예측

#### 3.1 위험요소확인

시험설비 피해예측을 위한 위험요소확인인 정성적인 위험성 평가를 주로 하는 위험과 운전 분석 기법/체크리스트 기법을 사용하게 된다. 현재 추진기관 종합시험설비의 기본 설계가 이루어진 상태이므로, HAZOP, FMEA(or FMECA) 그리고 체크리스트 방법을 이용하여 분석이 이루어져야 한다. 따라서 전 시험단계(시험 준비단계 포함)에 대한 피해 예측이 이루어져야 하나, 먼저 전 시험 단계 중 가장 Critical하다고 여겨지는 시험실시(연소시험) 중 발생할 수 있는 최대의 피해 사고에 대비한 위험요소를 확인하기로 한다.

##### 3.1.1 조건

1) 장소 : 우주센터 KSLV 추진기관 종합성능 시험설비 Cabin

2) 가상시나리오

표 1. 누출 시나리오 - I (Kerosene 누출 Case)

물질명	kerosene	물질종류	<input type="checkbox"/> 독성 <input checked="" type="checkbox"/> 가연성/인화성
누출물질 밀도	800 kg/m <sup>3</sup>	누출량	X kg/sec
누출원	KSLV 연료탱크 토출부 (TP Suction)	누출원 지름	0.5 m
누출/운전온도	25 ℃	누출/운전압력	9.5kgf/cm <sup>2</sup>
누출종류	<input checked="" type="checkbox"/> 연속 <input type="checkbox"/> 순간	누출기간	120 sec

표 2. 누출 시나리오 - II (LOX 누출 Case)

물질명	Oxygen	물질종류	<input type="checkbox"/> 독성 <input checked="" type="checkbox"/> 조연성
누출물질 밀도	1140kg/m <sup>3</sup>	누출량	X kg/sec
누출원	KSLV 산화제 토출부 (TP Suction)	누출원 지름	0.5 m
누출/운전온도	-183 ℃	누출/운전압력	9.5 kgf/cm <sup>2</sup>
누출종류	<input checked="" type="checkbox"/> 연속 <input type="checkbox"/> 순간	누출기간	120 sec

3) 기상자료 및 지형

표 3. 추진기관 종합시험설비 설치 위치에 대한 기상자료 및 지형자료

풍속	14 m/sec	풍향	북서풍(겨울) / 남풍(여름)
온도	연평균 13.5 ℃	상대습도	74 %
누출시간	<input checked="" type="checkbox"/> 낮 <input type="checkbox"/> 밤	주변지형	<input type="checkbox"/> 도시지형 <input checked="" type="checkbox"/> 농촌지형

##### 3.1.2 위험요소

피해예측의 위험요소는 저장소 및 추진기관 종합 성능 시험설비에서 사고 예측이 가능하나 본 피해예측에서는 추진기관 종합성능시험설비의 Test Cabin에 대해서 고려하기로 한다.

그러나 운전에 대한 정성적인 평가가 현재 상태로 이루어지기가 어려운 관계로 KSLV의 추진제 탱크 전파/누출로 인한 추진제의 액면에서 화재가 발생하는 것과 외부 화재로 폭발 하는 것에 대해서 고려하기로 한다.

### 3.2 누출모델

#### 3.2.1 적용가능 누출모델 종류

1) 확산 피해 예측(가벼운 가스) - 고려 없음  
 위험물질 중 가벼운 가스가 화학설비 및 부속 설비에서 누출되어 대기 중으로 확산되는 경우에 적용하며, 확산 절차는 그림 1과 같다.



그림 1. 가벼운 가스 확산 절차

2) 확산 피해 예측(무거운 가스) - 고려 없음  
 위험물질 중 무거운 가스가 화학설비 및 부속 설비에서 누출되어 대기 중으로 확산되는 경우 (독성물질 중심)에 적용하며, 액면(Liquid Pool)에서의 증발이 있을 시는 적용하지 않는다.

#### 3) TNO 액면화재 피해 예측

저장탱크 또는 배관에서 인화성물질이 누출되어 그 물질이 액면을 형성하여 화재를 일으키는 경우에 적용한다. 액면화재는 복사열에 의해서 피해를 입게 되며, 다음과 같은 가정을 한다.

- 지상에서의 발생하는 액면 화재
- 산소가 충분히 공급되는 것으로 가정
- 액 표면적이 일정, 완전연소로 가정
- 연소 시 생성하는 CO<sub>2</sub>/검댕에 의한 투과도에 영향을 미치지 않는 것으로 가정

#### 4) API 고압분출화재 피해 예측

압축가스 및 액화가스가 저장탱크 또는 배관의 일정한 구멍을 통하여 고압으로 분출되면서 화재를 일으키는 경우에 적용한다. 저장탱크 또는 배관의 일정한 구멍을 통하여 고압으로 분출되어 화재를 일으키는 경우 복사열에 의해서 피

해가 발생하며, 다음과 같은 가정을 한다.

- 분출 속도 일정, 수직으로 누출 발생
- 완전연소로 가정
- 연소 시 생성하는 CO<sub>2</sub>/검댕에 의한 투과도에 영향을 미치지 않는 것으로 가정
- 고압분출화재에 의해서 모든 열이 방출하는 것으로 가정

#### 5) 비등액체팽창 폭발/화구 피해 예측

액화된 가연성 가스를 저장 취급하고 있는 용기 또는 배관이 갑자기 파손되어 외부로 내용물이 누출되는 경우에 적용한다.



그림 2. 비등액체팽창 폭발 / 화구 확산 절차

#### 6) TNT 당량모델 피해 예측

대량의 가연성가스 또는 인화성물질이 용기나 배관 등에서 지속적으로 누출되어 증기운 폭발을 일으키는 경우에 적용한다.

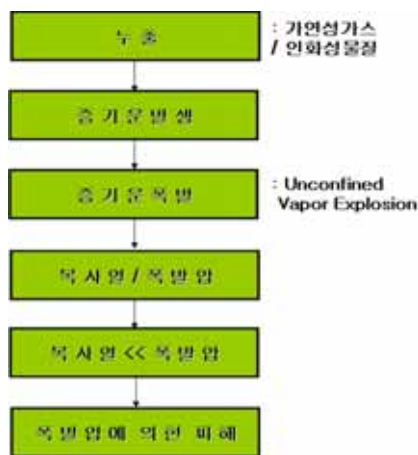


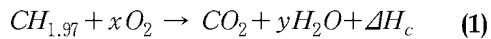
그림 3. 증기운 폭발 확산 절차

### 3.2.2 시험설비 누출모델

추진기관 종합시험설비의 누출 모델은 터보펌프 흡입 측에서 추진제(연료/산화제)의 누출과 함께 로켓기체의 외부에서 화재가 발생하여 발생할 수 있는 화재와 폭발에 대한 모델로 피해를 예측 할 수 있다. 폭발의 영향을 평가하는데 가장 많이 사용되는 TNT당량모델 (TNT Equivalency Model)[1,2]은 1969년 미국 해군과 공군에서 최초로 개발되어 사용하던 것으로 미국 군사기술매뉴얼(US Army Technical Manual TM 5-1300)에 수록되어 있다. 이 TNT 당량 모델은 누출된 가연성 물질의 연소열을 산출하고 폭발의 연소에너지를 동등한 TNT 질량과 수율로 환산하여 거리에 따른 과압범위를 산출하는 방법으로 사용이 편리하여 현재까지도 널리 사용되고 있다. 본 추진기관 종합시험설비에서는 먼저 추진제량을 이용한 화학당량비적으로 완전 연소시 발생하는 연소에너지로부터 폭발에너지를 TNT당량으로 환산하여 검토하기로 한다.

#### 1) 연소에너지의 TNT 당량 환산

Kerosene 추진제와 화학당량비적으로 연소하여 얻어지는 반응식은 식(1)과 같다.



여기서 연소열량  $\Delta H_c$ 는 일반적으로 알려진 등유 연소열량 46.2 kJ/g (11kcal/g)을 이용하기로 한다. 즉 총 연소에너지는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = \Delta H_c \times m_{fuel} \quad (2)$$

실제로 정확한 화학 당량비적인 연소생성물의 반응식에 의한 에너지 산출은 정성적인 안전성 평가 후에 다시 상세히 하기로 한다.

$$\begin{aligned} Q &= 46.2 [kJ/g] \times 50,400,000 [g] \\ &= 556,147,893 [kcal] \end{aligned} \quad (3)$$

TNT 연소열은 평균 1,108 kcal/kg이고, 화학양론비에 대해서 탄화수소-공기(산화제) 폭발에서 연소열에서 폭발로의 이론상 최대 전환 효율( $\eta$ )은 대략 40%이다.(특히, 대부분 큰 증기운 폭발

에 대하여 TNT 당량은 방출한 전체 양의 연료의 연소열에 근거하여 1~14%의 범위로 알려져 있다[3]) 여기서는 10%를 적용하기로 한다.

$$\begin{aligned} W_{(equivalent\ mass\ of\ TNT)} &= \frac{Q}{1,108} \times \eta \\ &= \frac{556,147,893 [kcal]}{1,108 [kcal/kg]} \times 10\% \\ &\approx 50,194 kg \end{aligned} \quad (4)$$

#### 2) 과압 및 피해 영향 거리

TNT 당량에 의해서 이미 알고 있는 과압에 따른 피해 영향을 미치는 거리를 식(5)에 의해서 알 수 있다. 여기서 이미 알고 있는 과압은 첨부에 있는 폭발 과압의 영향 판단표인 표4를 이용하기로 한다. 그림 4는 TNT의 과압 대 환산거리( $Z_e$ )의 관계 그래프를 나타내었다.

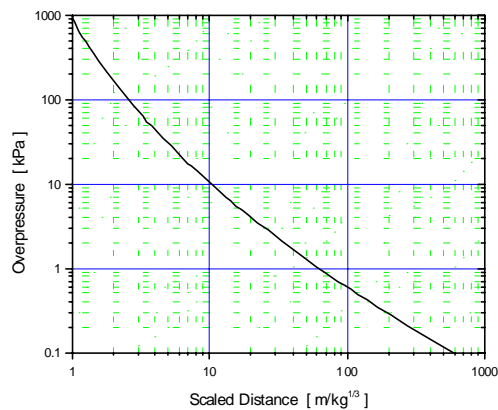


그림 4. TNT 환산거리 vs 과압 그래프

$Z_e = \frac{X}{\sqrt[3]{M_{TNT}}}$  와 식(5)를 이용하여 과압과 영향이 미치는 거리를 정 할 수 있다.

$$\begin{aligned} X &= 0.3967 \times M_{TNT}^{1/3} \\ &\times \exp [ 3.5031 - 0.7241 \ln (O_p) \\ &+ 0.0398 (\ln O_p)^2 ] \end{aligned} \quad (5)$$

$X$  : 주어진 과압영향 거리(m)  
 $M_{TNT}$  : TNT 당량(kg)  
 $O_P$  : 과압(psig)

추진기관 종합성능 시험설비에 충전되는 추진체의 TNT 당량 50,194 kg 전체가 순간적인 폭발에 의해서 발생하는 폭발 과압과 그 영향이 미치는 거리는 다음과 같다.

표 4. 폭발에 의해 발생한 과압과 피해 영향

과 압	거리	영 향
kPa	m	
0.14	15,187	○ 소음발생
0.21	10,046	○ 유리창 일부 파손
0.28	7,552	○ 큰 소음 발생
1.03	2,216	○ 유리 파열 압력
2.07	1,231	○ 유리창의 10% 파손
2.76	976	○ 구조물 가벼운 손상
3.45~6.90	486~818	○ 일부 창틀이 파손
4.83	633	○ 주택 구조물 파손
6.90	486	○ 주택(복구 불가능)
8.96	403	○ 철구조물 약간 손상
13.80	300	○ 벽/지붕 약간 파손
13.80~20.70	230~300	○ 콘크리트 벽 파손
15.85	273	○ 구조물 심하게 손상
17.23	259	○ 주택블록 50% 파손
20.70	230	○ 철구조물 손상
20.70~27.60	192~230	○ 철계건축물 파손
27.60	192	○ 공장건물의 파손
34.50	168	○ 나무기둥 부러짐
34.50~48.30	138~168	○ 주택의 완파
48.30	138	○ 짐실은 화물차 전복
48.30~55.20	128~138	○ 30 cm 벽돌벽 붕괴
62.10	120~128	○ 대형화물차 전파
69.90	113	○ 건축물 전파

본 데이터에 의하면 현지 우주센터의 협소한 공간에서 안전거리 및 방호시설의 구축에는 많은 어려움이 예상됨을 알 수 있다. 그러나 본 데이터는 추진기관 종합성능 시험설비의 추진체 탱크에 충전된 추진체의 전파 및 폭발을 가정 한 최

대 피해를 예측 한 것으로 시스템의 정상적인 위험성 평가에 따라 예측 누설된 위험물(추진제)의 량을 평가하여 재차 피해 예측 검토가 필요 한 것으로 여겨진다.

3) 누출에 의한 액면 화재 영향

저장탱크의 하면에서 누출이 이루어지는 누출 가상시나리오를 가정하여 액면 화재의 영향을 다음과 같이 살펴 볼 수 있다. 여기서는 고흥 현지의 여름철 남풍 14m/s(연평균 풍속)의 풍향과 풍속을 가정하였다. 등유의 연소속도 0.039 kg/m<sup>3</sup>sec, 비점 200℃를 적용하여 다음과 같은 증기운 분포 및 복사열을 예측 할 수 있다.

① 사고시나리오

누출물질의 상 : 액체, 저장온도 : 20℃  
 저장압력 : 10 bar, 누출구 지름 : 500 mm

② 확산(증기운 분포 측면)

우주센터의 설치 위치인 고흥의 연평균 풍속을 기준으로 한 증기운 확산 분포에 대한 거리별 농도를 모사한 결과는 그림(5)와 같다.

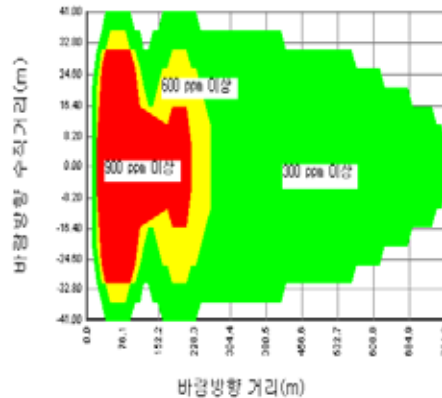


그림 5. 증기운 확산분포와 거리별 농도

③ 액면화재(복사열)

누출 시나리오에 의한 누출된 추진체표면에서 화재 발생시 화염에 의한 복사열을 거리에 따라 모사 한 결과는 그림6과 같고, 거리에 따른 복사 에너지에 의해 피해 방지를 위한 안전시설 및 운전요원의 안전 대책을 수립 하여야 한다.

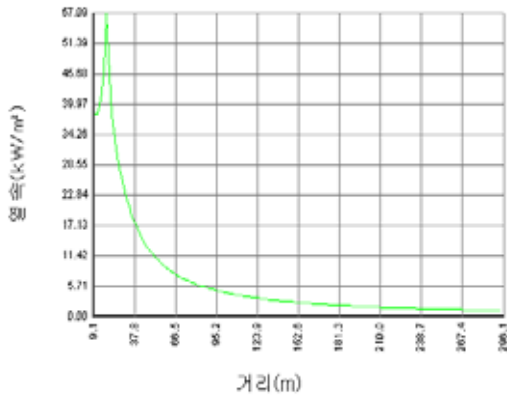


그림 6. 거리에 따른 복사열 분포(표면화재)

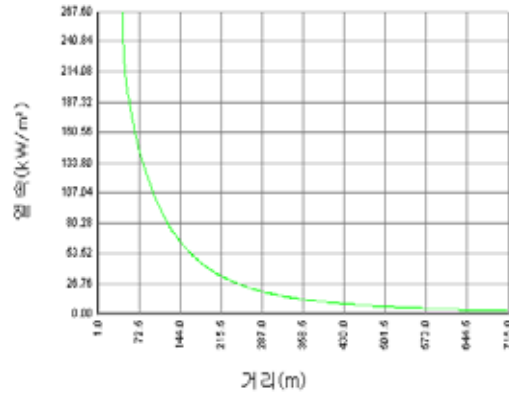


그림 8. 제트화재시 거리에 따른 복사열 분포

④ VCE (폭발과압)

추진제 누출이 밀폐된 공간에서 시나리오에 의해서 발생하고 이것의 증기가 폭발 할 경우 발생하는 폭발 과압은 그림7과 같다. 폭발 과압에 따른 영향에 의해서 안전시설을 확보 하여야 한다.

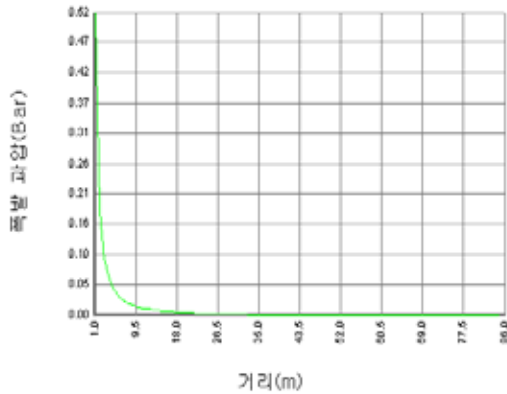


그림 7. 거리에 따른 폭발과압 분포(증기폭발)

⑤ 제트 화재(복사열)

시나리오에 의해서 누출부에서 화재가 바로 발생하는 제트 화재 발생시의 복사 열량이 거리에 따라 미치는 값은 그림8과 같다.

4. 결 론

추진기관 종합시험설비의 기본 설계안에 따른 시설 배치 레이아웃과 위험물 저장량을 기초로 하여 화재 또는 폭발 발생 시 그 피해가 어떻게 전파되는지 모델 해석을 통해 알아보았고, 또한 비정상적인 시험상태에서 화재의 확산 및 폭발 같은 사고 시 피해정도 및 피해범위 등을 정량적으로 산정하였다. 본 자료를 바탕으로 기 수행된 설계 결과를 보완함으로써 좀 더 안전한 시험설비를 구축할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Factory Mutual Engineering Corporation. "Spacing of facilities in outdoor chemical plants. Loss Prevention Data 7-44", 1975.
2. Chemical Industries Association. "Process plant hazard and control building design an approach to categorization", 1995.
3. KOSHA CODE P-09-1999 "프로빗값으로 부터 백분율로의 확산".