

## 추진제 누출로 인한 위험을 감소시키는 방법

이 정 호\*, 베르샤드스키\*\*, 김상현\*\*\*, 강선일\*, 유병일\*, 오승협\*

### Reduction Method of the Rick caused by Propellant Leakage at Liquid Rocket Test Facility

Jung-Ho Lee\*, V.A.Bershadskiy\*\*, Sang-Hern Kim\*\*\*, Sun-Il Kang\*, Byung-Il Yu\*, Seung-Hyub Oh\*

#### ABSTRACT

The method of decreasing the ecological risk for the LRE(Liquid Rocket Engine) test is developed, working on the cryogenic oxidizer and the high-boiling fuel(Kerosene). This Method is based on the study that contains a technical solution method and an accident occurrence range for decreasing of accident probability and damage. This paper contains schematic on the all risk circumstance bring to accident, block-diagram for an accident growth process in case of the propellant leakage, evaluation method of safety distance from test stand to residential area. It will be used to alternative method for the risk reduction of complex technical systems.

#### 초 록

LOx와 Kerosene을 연료로 사용하는 LRE(Liquid Rocket Engine) Block에서 지상연소시험을 수행할 경우에 발생하는 위험도를 감소시키는 방법을 연구하였다. 추진제누출로 이어지는 위험한 상황에 대한 원인분석도와 추진제 유출시 사고로 이어지는 발전 양상 및 발전 프로세스, 사고시 손실을 줄이기 위한 기술적인 해결방법을 제시함으로써 기존의 확률적인 통계 값을 바탕으로 하는 것과는 또 다른 방법으로써 위험을 감소하기 위한 대안으로 사용하고자 한다.

Key Words: Liquid Rocket Engine(액체로켓엔진), Lisk(위험도), Propellant(추진제), Safety Distance (안전거리), Leakage(누설), TNT(Trinitrotoluene)

#### 1. 서 론

우주발사체 개발을 위한 미국과 러시아 등의 개발단계를 살펴보면, 많은 인력과 비용을 소비하는 비행시험횟수를 줄이기 위해서 실제 비행 시험과 동일한 시험결과를 획득 할 수 있는 고공조건을 모사할 수 있는 시험설비 등을 이용하여 여 지상에서 시험을 수행한다. 이러한 설비를 이

\* KARI(Korea Aerospace Research Institute)

\*\* KARI 유치과학자 (KARI Co-work researcher)

\*\*\* (주)로템(Rotem Company)

연락처, E-mail: leejh28@kari.re.kr

용한 지상시험은 최종적으로 실추진제를 충전하고 시험을 수행하게 된다. 그러나 실추진제를 충전한 시험은 화재 및 폭발과 같은 사고로 이어지는 경우가 많이 발생하고 있다[1, 3, 5, 7, 8].

본 논문에서는 LOx와 Kerosene을 사용하는 Liquid Rocket Engine(이하 LRE) Block에서 지상연소 시험시 발생 가능한 리스크를 줄이는 Method를 개발하여, 국내에서 개발 중인 KSLV에 사용되는 지상시험설비와 인근 주거용 건축물이나 산업체와의 제한거리를 규정하여 위험상황을 줄이고자한다.

## 2. 본 론

국내·외에서 위험도를 줄이기 위한 방법으로는 확률적 위험분석 Method가 폭넓게 발전하고 있다[2, 4, 6].

$$R(\text{신뢰도}) = B(\text{사고횟수}) \cdot Y(\text{사고 정도값}) \quad (1)$$

사고의 징후나 원인분석 결과를 기본으로 한 확률적 접근방법을 통한 계수 B와 허용가능한 사고발생확률 값인  $R_{\text{permission}}$ 은 현시점에선 규정할 수 없으므로, 비행시험 중 발생한 사고징후나 원인분석결과를 지상시험 리스크를 산정하기 위한 통계적 데이터로 사용하여서는 안 된다. 그러므로 연료누출로 이어지는 파라미터를 확인하고 연료누출로 인해서 이어지는 사고발생 프로세스를 개발하여 사전에 리스크를 제거하고 사고시 입을 수 있는 피해를 최소화하기 위한 안전거리를 산출하고자 한다.

### 2.1 연료누출 모델과 사고발생 프로세스

LRE Block 지상시험의 경우 각기 다른 물리적 이상 징후가 나타는데 서브파트의 고장으로 인한 정지, 시험 당시의 대기상태나 작업자의 실수, LRE Block의 오염, LRE Block 및 서브파트가 외부영향에 의해 파손되어 발생하기도 한다.

이는 잠재적인 사고상황 및 사고를 발생시킬 수 있는 사고원이 되기도 한다[6]. 그중에서도 가장 위험한 사고 상황은 실추진제 누출로 인한 사고이다. Figure 1은 추진제 누출로 이어지는 원인을 분석한 분석도이며, 이를 바탕으로 누출원인을 사전에 차단 한다면 사고확률을 줄일 수 있으며 시험을 수행하기 전 점검사항으로도 사용이 가능하다.

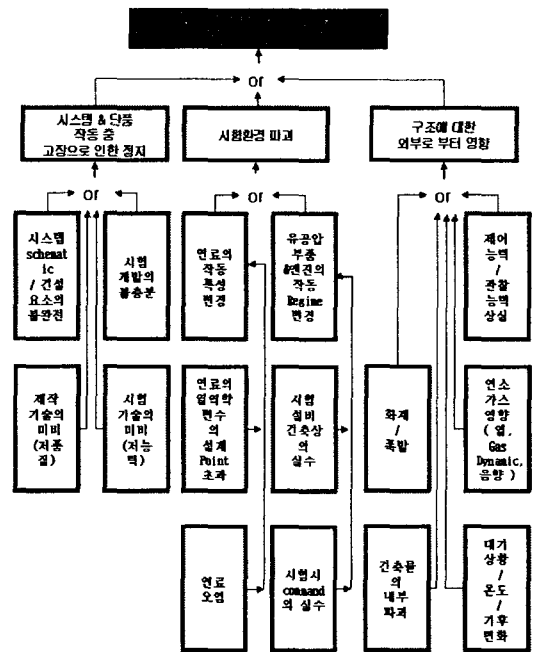


Fig. 1 Analysis on the parameters leading to the propellant leakage

Figure 2는 LRE Block시험시 각종원인으로 인해 추진제가 누출되어 사고로 이어지는 사고발생 프로세스를 나타내었다. 추진제누출 사고시 발생 가능한 시나리오는 대규모의 설비파손, 충격파에 의한 인명손실, 폭발파편으로 인한 손실, 화재, 폭발시 발생하는 구모양의 화재로 인한 손실을 입을 수 있다. 추진제는 화재 및 폭발을 일으키는 큰 잠재적인 에너지를 가지고 있고 LRE Block에 충전하는 순간부터 사고가 발생할 수 있는 가능성은 증가한다.

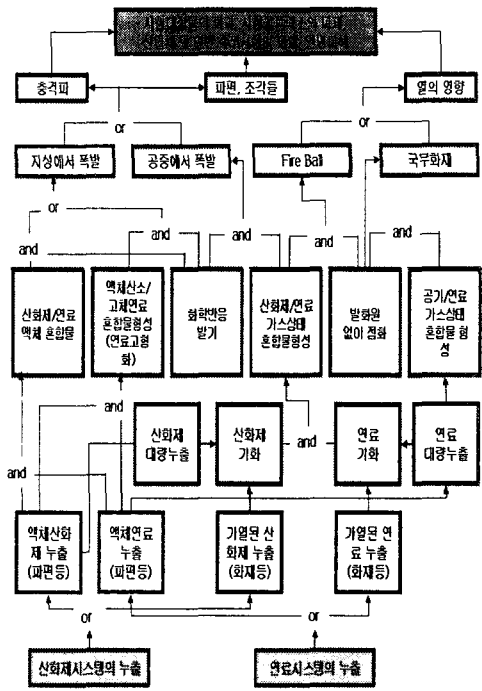


Fig. 2 Accident propagation process caused by propellant leakage

### 2.2 사고 발생시 손실감소를 위한 안전거리

식(2)는 사고발생시 진원지로부터 주변설비 및 건축물까지의 안전거리를 계산하는 식으로써 미국, 영국, 러시아 등에서 많이 사용되고 있다[5].

$$H = \frac{k \cdot W_{TNT}^{1/3}}{(1 + (3180 / W_{TNT})^2)^{1/6}} \quad (2)$$

$$W_{TNT} = (0.4 \cdot q_{nf} \cdot Z \cdot M) / (0.9 \cdot q_{TNT})$$

$q_{TNT}$  : TNT 1kg의 연소열량

$q_{nf}$  : 폭발하여 발생하는 연소열량

M : 누출량

로켓시험을 위한 설비의 경우 Z값은 완전개방형일 경우 0.03 ~ 0.1, 부분 개방형은 0.1 ~ 0.3, 밀폐형은 0.3 ~ 0.5의 계수 값을 사용한다[8].

Table. 1은 K(파손계수)값 또는 P(kpa)값의 변

화에 따른 산업체나 주거공간에 영향을 미치는 위험반경을 나타낸다. 부분개방형 설비를 기준(z=0.3)으로 Table. 1에 나타난 K값 변화에 따른 사고시 손실정도를 나타내는 특성 그래프를 Fig. 3에 나타내었다.

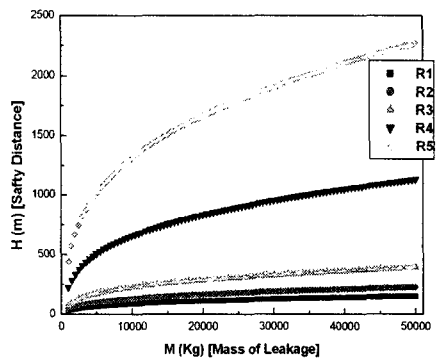


Fig. 3 Safety distance in case of explosion of LOx / Kerosene mixture(Z = 0.3)

Figure 4는 K=56을 기준으로 추진제 누출로 인한 사고시 시험설비 형태에 따른 안전거리를 보여 주고 있다. 시험설비에서 주변설비 및 건축물까지의 안전거리는 시험설비 형태에 따라 다르다.

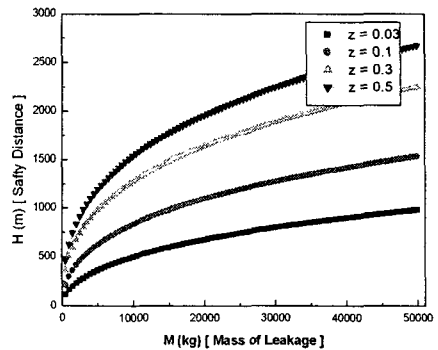


Fig. 4. Safety distance according to test facility type in case of explosion caused by propellant leakage (K=56)

Table 1. Risk range affecting on the residential area according to the change of K or P value by explosion[5]

K	P (kpa)	산업체/주거공간 파괴정도	위험반경
3.8	70	전파	R1
5.6	33	파손정도 심각 (50%정도)	R2
9.6	25	중간정도의 파손 (건물의 붕괴는 없음)	R3
28	4	소규모파괴 (내부벽의 파괴)	R4
56	2	피해적음 (50%이하의 유리창파손)	R5

위의 결과를 토대로 리스크감소를 위한 기술적·구조적 해결책을 아래와 같이 얻을 수 있다.

- i) 연소시험설비 설계시 안전보장을 위해선 산업체/주거지역과 안전거리를 충분히 둔다. 또한 경제적·지질학적 여건을 고려하여 설계한다.
- ii) Engine Block 연료탱크에 충전하는 최대양을 신중하게 결정한다.
- iii) 사고방지를 위해 시험설비 인근에 저장하는 화재·폭발 가능성 물질의 관련규정(법규)을 정한다.
- iv) 시험요원에 대한 행동규정 및 사고시 예상되는 파손·파괴정도를 예측하여 인명구조에 대한 규정을 정한다.
- v) 상기와 같은 내용을 고려하여 사고시 발생하는 손실 및 피해에 대한 보상규정을 정한다.

### 3. 결론

LRE 시험설비에서 사고발생이 가능한 리스크를 감소시키는 방법을 연구하였다. 본 논문에도 포함된 방법은 내재된 사고 발생확률을 낮추고 피해를 줄이기 위해서 사고를 야기하는 원인과 해

결방법을 바탕으로 하고 있다.

연구결과인 추진제누출로 이어지는 위험한 상황에 대한 원인분석도와 추진제 누출시 사고로 이어지는 발전 양상 및 프로세스, 사고시 손실을 줄이기 위한 기술적인 해결방법은 지상연소 시험설비에서의 위험을 감소하기 위한 방안으로 효과적으로 이용될 수 있을 것이다.

### 참고문헌

1. V. V. Adushkina, Kazlova. C. I, "Ecological problems and Risk of Rocket-space technology on the natural environment", Ankil, Moscow, 2000
2. Henli. E. D, Kumamoto. X, "Reliability of technical systems and evaluation of risk". Mashinostroenie, Moscow, 1984.
3. V. Marshal, "General Risks of chemical production", Mir, Moscow, 1989.
4. V. P. Busigin, O. G. Batyuhob, P. V. Zaharova, "Indices and criterion of the ecological safety for productions", ecological systems and instruments, Moscow, 2004. No. 8.
5. V. A. Beschatnov, "Industrial explosions, Evaluation and warning", Chemistry, Moscow, 1991.
6. RD 03-418-01, "instructions for risk analysis method of dangerous production facility", Russian Federal Mining and Industrial Oversight, 2001.
7. A. I. Kiselev, A. A. Medbedev, V.A. Menishikob, "Cosmonautics of millenium", Mashinostroenie, 2002.
8. V. A. Bershadskiy, A. G. Galeev, "Strategy of hazard reduction at stand test for rocket propulsion units", Journal(aerospace technology), Moscow, 2004. No.2.