

## 1,3-butadiene의 누출에 대한 분산특성 및 사고 영향평가

김봉훈, 최재욱\*, 임우섭\*, 민철웅\*\*, 김태근\*\*

온산소방서, 부경대학교 안전공학부\*, 부경대학교 안전공학부 대학원\*\*

### breakup characteristic and influence of accident for a lack of accident assessment

Bong Hun-Kim, Jae Wook-Choi\*, Chul Woong-Min\*\*, Tae Gn-Kin\*\*

On San Fire Station, Pukyong National University\*

, Pukyong National University Graduate School\*\*

#### 1. 서 론

화학공업이 발전함에 따라 설비 규모의 증대와 함께 위험성이 큰 화학물질 사용량도 점차 증가하고 있으며 화재, 폭발, 누출 등 화학물질로 인한 사고 발생시 그 영향이 공장 내부에만 국한되지 않고 인근 주거지역에 까지 치명적인 영향을 미치는 대형사고로 발전 하기도 한다.

특히 합성고무의 원료로 사용되며 n-butene, n-butane 및 NCC의 부생가스 C<sub>4</sub><sup>+</sup>에서의 추출 및 분류에 의한 제조 등에서 제조된 1, 3-butadiene은 이중결합 구조로 되어있어 쉽게 중합 및 분해반응을 일으키고 발암성 물질로 분류되어 누출 시 인체에 치명적인 영향을 줄 수 있다. 1, 3-butadiene에 의한 대표적인 사고는 1990년 울산의 한 정유공장 1,3-butadiene Ball Tank에서 응축수 제거작업을 하던 중 화재·폭발이 발생되어 탱크가 전파되는 사고가 있었다.<sup>1)</sup>

이에 한국산업안전공단에서는 범용 피해예측 프로그램인 KOSHA CARM을 개발하여 2000년부터 화학공장에 배포하고 사용하도록 교육하고 있으나 프로그램 활용방법과 입력 변수에 대한 이해도 부족 및 피해예측 결과에 대한 정확한 분석이 미흡하여 피해예측 프로그램을 효과적으로 사용하지 못하고 있다.

본 연구는 석유화학공업에서 합성고무의 원료로 사용되고 있으며 가연성 가스 이며 발암성 물질로 분류된 1, 3-butadiene이 누출되었을 경우 바람속도 변화에 따른 ERPG(Emergency Response Planning Guideline) 농도에 이르는 거리를 계산하고 관심지점과 관심시간의 변화에 의한 농도 변화를 예측하여 바람속도 변화에 의한 분산특성을 예측해 보고자 한다. 또한 가상사고 시나리오에 의하여 제트 화재 발생시 복사열이 미치는 거리를 피해예측 프로그램으로 산출하고 화상으로 인한 피해를 입을 확률을 정량적으로 구하

고, 개방 공간에서의 증기운 폭발로 인한 과압이 미치는 거리를 피해예측 프로그램으로 산출하여 과압으로 인한 인적, 물적 손실을 입을 확률을 예측함으로써 비상조치계획을 정량적으로 수립하는데 도움을 주고자 한다.

## 2. 이 론

### 2-1. 누출 모델

대기압보다 높은 과압 상태로 저장된 포화액체가 용기의 누출공을 통하여 대기 중에 누출되면 압력차에 의하여 액체가 기화되며 누출되는 지점이 설비 외부로부터 10cm 이상 떨어져 있는 경우에는 기액 평형 누출이 발생하게 된다. 이때 초기누출속도,  $Q$ [kg/s]는 Crowl와 Louvar<sup>2)</sup>에 의해 제시된 식 (1)에 의해 산출할 수 있다.

$$Q = \left( \frac{A \Delta H_v}{\frac{1}{\rho_G} - \frac{1}{\rho_L}} \right) \left( \frac{K g_c}{T_S C_{PL}} \right)^{1/2} \quad (1)$$

### 2-2. 분산 모델

배관이나 용기로부터 가연성 및 폭발성 증기가 연속적으로 누출되는 경우에 식 (2)에 의해 산출한 Richardson수,  $Ri_o$ 가 0.003보다 클 때 Heavy gas분산모델을 적용한다.<sup>3)</sup>

$$Ri_o = \frac{g(\rho_{rel} - \rho_a) V}{\rho_a U_{10}^3 d_s} \quad (2)$$

## 3. 실험 방법

대기압 이상으로 가압된 1, 3-Butadiene이 대기 중에 누출되면 주위 압력이 낮아지기 때문에 액체가 기화되고 이로 인해 액체와 기체 2상으로 누출된다. 누출로 인한 분산특성을 예측하기 위한 매개변수인 누출공의 직경은 25mm으로 하고 누출지점은 지면으로부터 5m 위치에서 누출되는 것으로 하였다.

또한 대기 온도 298K, 습도 60%, 지표면 거칠기 1000mm, 파이프 거칠기 0.046mm, 누출계수 1, 관심지점이 x, y, z 방향으로 20m, 5m, 1m이고 관심시간이 120sec일 경우 바람 속도를 1m/sec, 2m/sec, 3m/sec로 변화시켰을 때 1, 3-butadiene의 농도가 ERPG-1, ERPG-2, ERPG-3에 이르는 거리를 예측하였다. 그리고 관심지점을 y, z 방향으로 1m, 2m, 3m, 4m, 5m로 변화시켜 보고 관심시간을 60sec, 120sec, 180sec, 240sec로 변화시켰을 때 일정거리 에 이르는 1, 3-butadiene의 농도 변화를 계산하였다.

제트 화재로 인한 복사열 영향을 예측하기 위하여 풍속 1.9m/s이고 대기가 안정한 상태에서 관심지점이 x, y, z 방향으로 20m, 5m, 1m이고 관심시간이 120sec 이며 누출공의 크

기가 25mm 일 경우 변화에 따른 복사열이  $38\text{kW/m}^2$ ,  $13\text{kW/m}^2$ ,  $4\text{kW/m}^2$ 에 이르는 거리를 구하고 1도 화상, 2도 화상, 화재 사망 확률을 예측여 위험성을 파악하였다. 또한 개방 공간에 있어서 증기운 폭발 과압으로 인한 영향을 예측하기 위하여 공정 운전온도  $35^\circ\text{C}$ , 압력  $2.9\text{kg/cm}^2$ 인 상태에서 증기운 폭발로 인한 과압이 0.84bar, 0.21bar, 0.07bar에 이르는 거리를 구하고 유리 파손, 구조물 손상, 고막 파열이 발생할 수 있는 확률을 예측하였다.

## 4. 결과 및 토론

### 4-1. 1, 3-butadiene의 분산특성

#### 4-1-1. 바람속도의 영향

사고결과에 미치는 바람속도의 영향을 해석하기 위하여 10m 높이에서 측정한 바람속도를 기준으로 하여 바람속도를 1~3m/sec까지 3단계로 변화시켜 분산특성을 예측하였다.

분산에 미치는 거리별 농도 값은 Fig. 1과 같이 바람속도가 1m/sec일 때에는 바람방향으로 13m 지점에서 1, 3-butadiene의 농도는 7,901ppm으로 최고 농도를 나타내었고 그 이후에는 서서히 감소하여 101m까지 영향을 주는 것으로 나타났다. 바람속도가 2m/sec일 때에는 바람방향으로 15m 지점에서 1, 3-butadiene의 농도는 5,001ppm으로 최고 농도를 나타내었고 그 이후에는 서서히 감소하여 221m까지 영향을 주는 것으로 나타났다. 바람속도가 3m/sec일 때에는 바람방향으로 18m 지점에서 1, 3-butadiene의 농도는 2,531ppm으로 최고 농도를 나타내었고 그 이후에는 서서히 감소하여 341m까지 영향을 주는 것으로 나타났다.

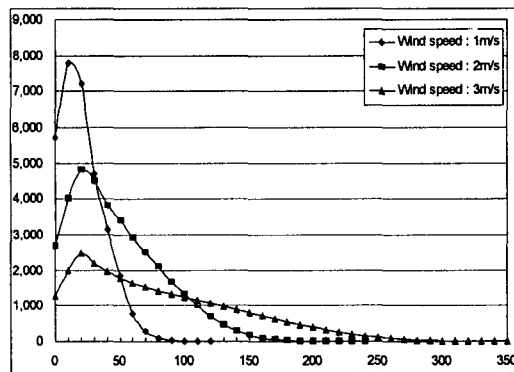


Fig. 1. Effects of 1, 3 butadiene concentrations on wind speed.

#### 4-1-2. 관심지점의 변화에 따른 영향

관심지점의 변화에 따른 1, 3-butadiene의 분산특성을 해석하기 위해 바람속도는 1.9m/sec이고 대기가 안정한 상태에서 관심지점이 y, z 방향으로 1m, 2m, 3m, 4m, 5m로 증가되면 1, 3-butadiene의 최고농도는 Fig. 2와 같이 바람방향으로 13m, 37m, 55, 65, 70m

지점에서 6,076ppm, 2,599ppm, 1,322ppm, 645ppm, 291ppm를 나타내었다가 서서히 감소함을 알 수 있었다.

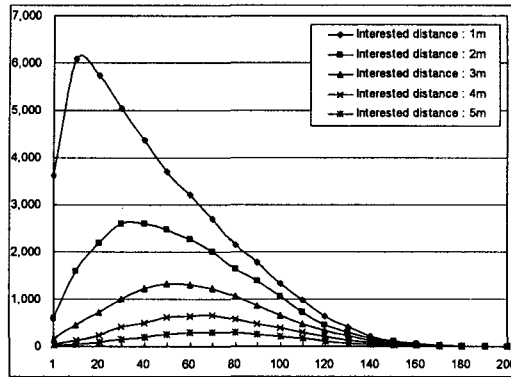


Fig. 2. Effects of 1, 3 butadiene concentrations on position.

#### 4-1-3. 관심시간의 변화에 따른 영향

관심시간의 변화에 따른 1, 3-butadiene의 분산특성을 해석하기 위해 바람속도는 1.9m/sec 이고 대기가 안정한 상태에서 관심시간이 60sec, 120sec, 180sec, 240sec 증가에 따른 1, 3-butadiene의 최고농도는 Fig. 3과 같이 바람방향으로 12m, 15m, 16m 지점에서 4,745ppm, 5,371ppm, 5,410ppm, 5,417ppm을 나타내었다가 서서히 감소하는 분포함수를 나타내고 있다. 또한 관심시간이 60sec, 120sec, 180sec, 240sec로 증가할수록 피해범위도 81m, 201m, 321m, 461m로 약 120m 이상 확대되는 것으로 나타났다.

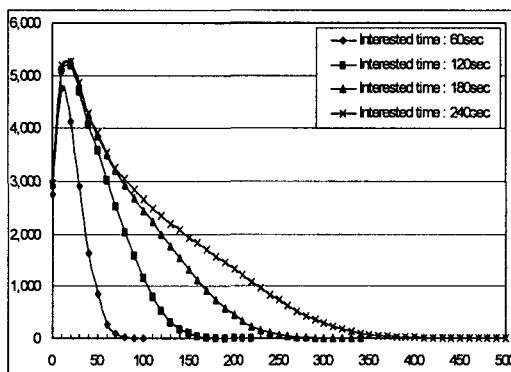


Fig. 3. Effects of 1, 3 butadiene concentrations on time.

#### 4-2. 결론

1, 3-butadiene 제조공정에서 기액 평형 누출 시 바람속도 변화에 따른 분산특성을 검토하고 제트화재로 인한 복사열 영향과 개방 공간 증기운 폭발 과압으로 인한 영향을 평가

한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 바람속도가 1m/sec, 2m/sec, 3m/sec로 빨라지면 최고농도는 7,901ppm, 5,001ppm, 2,531ppm으로 감소하였고 피해범위는 101m, 221m, 341m로 증가 하였다.
2. 바람속도가 1.9m/sec일 경우 관심지점이 y, z 방향으로 1m, 2m, 3m, 4m, 5m로 넓어지면 1,3-butadiene의 최고농도는 6,076ppm, 2,599ppm, 1,322ppm, 645ppm, 291m로 감소하였다.

## 참고문헌

1. “가스사고 편람”, 한국가스안전공사, 사고조사사례 pp.131 (1990).
2. Crowl, D. A. and Louvar, J. F., "Chemical Process Safety : Fundamentals with Applications", Prentice-Hall Inc., New York(1990).
3. Britter, R. E., and McQuaid, J., "Workbook on the Dispersion of Dense Gases", Health and Safety Executive(HSE), No. 17, U. K.(1988).