

증기누출사고의 영향평가에서 제트화재에 미치는 매개변수의 영향

The Effects of Parameters Affecting the Results in the Jet Fire for the Vapor Release Accident

조지훈, 하정호*, 함병호**, 윤대건***, 김태옥***

산업안전연구원,*산업안전교육원,**노동부 산업안전국,***명지대학교 공과대학 화학공학과

ABSTRACT

In order to propose the method of the consequence analysis for fire accidents by the heavy gas release and to obtain optimum conditions of parameter selections, the consequence analysis for jet fire by the accident of xylene vapor release were performed. And the effect and the sensitivity analysis of parameters affecting the consequence were investigated.

Simulation results showed that important parameters affecting results of the xylene vapor release accident were mainly hole diameter, interested distance, wind speed, and so on. For the jet fire, the accident result and the sensitivity of thermal radiation were increased with the decrease of interested distance and the increase of hole diameters, and the accidental result was increased as the increase wind speed, but the sensitivity of thermal radiation was decreased.

1. 서론

화학공업의 발전에 따라 설비가 복잡하고 대형화가 되었을 뿐만 아니라 유해하고 위험성이 큰 화학물질의 사용량이 급격히 증가되어 화재, 폭발, 그리고 독성물질누출 등과 같은 중대산업사고의 위험이 매우 증가되고 있다.

현재 가스누출사고의 영향평가에 관한 학문적 기초연구가 부족한 상태에서 일부의 화학공장에서 외국에서 개발된 사고영향평가를 위한 컴퓨터소프트웨어를 사용하고 으나 조업조건, 환경조건 등과 같은 매개변수들에 관한 자료의 부족으로 정확한 값들을 사용하지 않아서 입력된 매개변수들이 사고결과에 어떠한 영향을 미치는 지를 정확하게 파악하지 못한 상태에서 단순히 결과값에 따른 비상조치계획을 수립하기 때문에 안전상의 조치가 매우 미흡한 실정에 있다.

본 연구는 heavy가스누출에 의한 화재 및 폭발사고의 피해범위를 사전에 정확하게 예측하기 위한 연구의 일환으로 크실렌제조공정에서 증기누출사고로 인한 제트화재(jet fire)에 대한 영향평가를

수행하고, 사고결과에 미치는 매개변수들의 영향을 해석하여 사고영향평가지 매개변수 선택의 최적조건을 제시하였다.

2. 사고결과값의 산출

1-1 사고결과값의 산출이론

화학공정상의 파이프에서 가연성, 인화성, 폭발성 가스의 누출형태는 순간누출과 연속누출로 구분할 수 있는데 본 연구에서는 누출공(release hole)을 통하여 연속적으로 누출되는 경우를 가정하고 누출기체 흐름의 음속(sonic flow)여부를 고려하여 초기 누출속도를 산출하였다.

제트화재 현상을 특성화하기 위한 모델은 여러가지가 제시되어 있으나 일반적으로 사용되는 모델은 미국석유화학협회(American Petrochemical Institute)에서 제시한 API RP-521 모델로써 관심거리에서 받게 되는 복사열을 1973년에 Brzustowski 및 Sommers에 의해 제시된 상관식에 의해 산출하였다.

2-2 공정조건

가스누출사고의 영향을 평가하기 위하여 BTX플랜트의 아로미제이트공정(aromizate unit)에서 크실렌증기의 누출사고를 선택하였는데 누출사고의 시나리오는 아로미제이트 공정상의 리턴컬럼의 상부에 위치한 파이프에 누출공이 발생하는 경우에 대하여 사고결과의 영향을 평가하였으며 이때 조업조건은 Table 1과 같다.

Table 1. Operating conditions of aromizate process in the BTX plant.

Classifications	Descriptions	Unit	
Fluid state	vapor		
Temperature	494	K	
Pressure	571829	Pa	
Vapor flow rate	193748	kg/hr	
Pipe	Diameter	20	in
	Length	70	m
	Material	C-S	
Air Density	1.184(298K)	kg/m ³	

2-3 매개변수의 변화범위

사고결과에 영향을 미치는 매개변수들의 종류와 변화범위는 Table 2와 같다. 이때 매개변수들의 변화범위는 실제조업에서 일어날 수 있는 조건을 바탕으로 결정하였다.

2-4 사고결과값의 산출방법

Table 1,2와 같은 조업조건과 매개변수들의 변화범위에서 제트화재에 대한 사고결과를 본 연구에서 개발된 컴퓨터프로그램을 사용하여 다음과 같이 산출하였다. 이때 사고영향을 평가하는 매개변수들을 제외한 나머지 변수들은 표준조건, 즉 기준조건에서의 값을 사용하여 제트화재에서 연속누출에 의한 복사열을 산출하였다.

3. 제트화재에 미치는 매개변수의 영향

제트화재의 경우에는 증기가 누출과 동시에 점화가 일어나서 지속기간에만 영향을 받기 때문에 누출시간은 복사열에 영향을 미치지 않는다.

복사열에 미치는 누출공의 직경과 관심거리의 영향은 관심거리가 짧은 경우에는 누출공이 클수록 복사열이 상당히 큰 값을 가지나 관심거리가 증가함에 따라 복사열이 급격히 감소하여 누출공이 0.4572 m인 경우에 200 m에서는 50 m에서 복사열의 약 1/7이하의 작은 값을 나타내고 있다. 그리고 약 400m이상의 거리에서는 누출공의 크기와 관심거리의 영향이 거의 없을 뿐만 아니라 복사열이 거의 영의 값을 나타내었으며 특히 누출공의 크기가 매우 작을 경우인 0.05 m직경에서는 관심거리가 거의 무관하게 복사열의 크기가 무시할 수 있을 정도로 작음을 알 수 있다. 이것은 누출공의 크기가 클수록 총 누출열량이 증가하고 관심거리가 감소할수록 총 누출열량이 관심거리의 2승에 반비례하기 때문에 다른 매개변수들보다 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

이와 같이 제트화재에서는 복사열이 누출공의 직경과 관심거리의 변화에 따라 크게 변화하였으나 누출공의 크기이외에 다른 매개변수들의 값의 크기에 따른 복사열에 미치는 관심거리의 영향은 거의 변화하지 않았다. 또한 대기온도, 상대습도, 누출높이가 낮을수록, 그리고 바람속도가 빠를수록 복사열에 미치는 누출공의 크기영향은 다소 증가하였고 환경 및 지역적 조건에 따라 복사열에 미치는 누출공의 영향은 변화하지 않았다.

복사열에 미치는 누출높이의 영향은 누출되는 지점의 높이가 높을수록 복사량은 매우 작은 값을 가지며 다소 감소하였는데 이것은 복사열이 누출지점과 화염과의 거리에 반비례하기 때문이다. 이와 같이 누출높이는 복사열에 크게 영향을 미치지 않았으나 누출공의 크기가 클수록 영향이 다소 증가하였다.

상대습도의 영향은 상대습도의 증가에 따라 복사열은 다소 감소하지만 매우 작은 값의 변화를 나타내었는데 이것은 복사열이 열투과도에 비례하고 동시에 열투과도가 상대습도의 0.09승에 반비례하기 때문이다. 또한 매개변수의 변화에 따라 복사열이 크게 변화하는 영역, 즉 누출공의 직경이 크거나 관심거리가 짧은 영역에서는

Table 2. Variable parameters for calculations of the consequence analysis for the Xylene vapor release accident.

No.	Hole diameter(m)	Release height(m)	Relative humidity(%)	Wind speed at 10m(m/s)	Weather condition(-)	Environmental condition(-)	Atmospheric temperature(K)	Interested distance(m)
1	0.5080	5	90	0.5	stong	1(rural)	263	50
2	0.4572	10	80	1.0	moderate	2(urban)	268	100
3	0.4064	15	70	1.5	slight		273	200
4	0.3556	20	60	2.0	low cloud		278	300
5	0.3048	25	50	2.5	high cloud		283	400
6	0.2540	30	40	3.0			288	500
7	0.2032	35	30	3.5			293	600
8	0.1524	40	20	4.0			298	700
9	0.1016	45	10	4.5			303	800
10	0.0508	50		5.0			308	900
11							313	1000

상대습도의 증가에 따른 복사열의 감소현상이 다소 크지만, 복사열에 미치는 매개변수의 영향이 비교적 적은 경우, 즉 누출높이, 바람속도, 대기온도, 누출높이, 그리고 환경적 조건과 지리적 조건 등의 매개변수 값의 크기에 따라 복사열에 미치는 상대습도의 영향은 거의 일정하였다.

제트화재에서는 바람속도가 화염의 중심지점의 이동에 영향을 미치기 때문에 바람속도가 증가할수록 화염표면에서 화염의 영향을 받는 관심지점까지의 거리가 짧아져서 복사열은 다소 증가하였고 특히 바람속도가 빠른 영역에서는 화염중심의 이동변화가 작아져서 복사열에 미치는 바람속도의 영향이 둔화되었다. 이와 같은 경향으로 인하여 복사열에 미치는 영향이 비교적 적은 매개변수들, 즉 상대습도와 대기온도, 그리고 누출높이와 시간, 환경적 조건과 지리적 조건 등의 경우에 바람속도가 약 2-3 m/sec 이상에서는 복사열이 거의 일정한 값을 유지하였다. 그러나 복사열에 미치는 영향이 비교적 큰 매개변수, 즉 관심거리의 범위와

누출공의 크기에 따라 복사열에 미치는 바람속도의 영향이 다소 변화하여 관심거리가 매우 짧은 영역에서는 바람속도의 증가에 따라 복사열이 급격히 증가하였고 누출공의 크기가 클수록 바람속도의 증가에 따른 복사열의 증가현상이 다소 증가하였다.

대기온도, 기후조건과 지리적 조건이 복사열에 미치는 영향은 대기온도가 증가함에 증기압의 증가로 열투과도가 감소하기 때문에 복사열이 감소하였고 관심거리가 짧을수록 온도의 영향의 다소 증가하였으나 복사열의 변화가 매우 작아서 복사열에 미치는 온도의 영향이 비교적 큰 50 m의 관심거리에서도 복사열의 감소범위가 약 3 kJ/m²이 내이었다. 이와 같이 매개변수의 값의 크기에 따라 복사열에 미치는 영향이 다소 심하게 변화하는 누출공의 크기에서도 누출공의 크기가 클수록 복사열은 대기온도의 증가에 따라 감소현상이 증가하였으나 본 연구에서 설정한 매개변수의 범위중 가장 큰 0.508 m의 누출공에서도 복사열이 약 1 kJ/m²이내에서 변화하였다. 그리고 복사열에 미

치는 매개변수의 영향이 비교적 적은 경우인 누출 높이의 경우에는 대기온도의 변화범위에서 복사열이 약 0.5 kJ/m^2 이내에서 변화하였으며 이와 같은 경향은 바람속도와 상대습도의 경우에도 거의 비슷한 경향을 나타내었다.

복사열은 산출된 범위내에서 주간보다는 야간에 서 다소 큰 값을 갖는 경향이 있었으나 환경과 지리적 조건은 복사열에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

4. 결 론

실제의 조업조건을 기준으로 BTX공정중 아로마 제이트공정에서 크실렌증기의 누출사고에 대한 영향을 평가하고 매개변수들이 제트화재에서 사고결과에 미치는 영향을 해석하였다.

크실렌증기의 누출사고에서 사고결과에 영향을 크게 미치는 매개변수는 누출공의 크기, 관심거리, 바람속도 등이었다. 따라서 사고영향평가지 사고결과에 미치는 영향이 적은 매개변수의 경우에는 입력오차가 커도 사고결과에 미치는 영향이 작으므로 무시할 수 있으나 사고결과에 미치는 영향이 크면 넓은 매개변수의 범위에서 큰 피해를 일으킬 수 있으므로 중요한 매개변수로 고려되어야 할 뿐만 아니라 정확한 값을 사용해야 한다. 또한 사고영향평가에 따른 안전상의 조치는 가능한 산출된 결과값중에서 최대값을 사용하여 사고를 대비하는 것이 바람직하며 사고의 결과를 완화시키기 위한 안전상의 조치는 사고결과값에 미치는 영향이 큰 매개변수에 대하여 매개변수값을 최소화하기 위한 방안이 모색되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Korea Industrial Safety Co.(KISCO), "Safety Planning in Chemical Industry", KISCO, Korea, 8~28(1993).
2. Center for Chemical Process Safety (CCPS), "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis", Center for Chemical Process Safety of AIChE, New York(1989).
3. Crowl, D. A. and J. F. Louvar, "Chemical

Process Safety: Fundamentals with Applications", Prentice-Hall Inc., New York(1990).

4. Lees, F. P., "Loss Prevention in the Process Industries", Butterworths-Heinemann Ltd., Vol. 2, London and Boston(1991).
5. American Petroleum Institute(API), "Guide for Pressure-Relieving and Depressuring Systems : Recommended Practice 521", 3rd ed., American Petroleum institute(API), Washington, D.C., Nov.(1990).
6. Center for Chemical Process Safety(CCPS), "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis", ISBN 0-8169-0402-2, Center for Chemical Process Safety of AIChE, New York(1989).