



플레어시스템에서 녹아웃드럼의 기·액 분리효과에 관한 연구

권현길 · †백종배* · 김상령

한국교통대학교 안전공학과 박사과정, *한국교통대학교 안전공학과 교수
(2021년 4월 27일 접수, 2021년 6월 3일 수정, 2021년 6월 4일 채택)

A Study on the Gas-liquid Separation Effect of the Knockout Drum in the Flare System

Hyun-Gil Kwon · †Jong-Bae Baek · Sang-Ryung Kim

Department of Safety Engineering, Korea National University of Transportation, 50
Daehak-ro, Chungju-si, Chungbuk, 27469, Korea

(Received April 27, 2021; Revised June 3, 2021; Accepted June 4, 2021)

요약

안전밸브의 배출물질을 처리하는 플레어시스템(Flare system) 중 녹아웃드럼(Knockout drum)은 안전에 있어 핵심설비이나 설치기준이 명확하지 않아 사업장 및 규제기관이 수용 가능한 기준 검토가 필요한 실정이었다. 녹아웃드럼의 국내 · 외 기준과 선행연구 미비점을 조사하여 대량방출 범위, 중간녹아웃드럼 설치위치, 방출물질 조성 영향에 대하여 우선 연구를 수행하였으며, 연구결과 공정모사(Simulation)조건에서 7,500kg/hr 미만의 소량방출은 기 · 액 분리가 완전하게 되었고 대량 방출은 중간 녹아웃드럼을 추가하였으나 분리효과가 적게 나타났다. 그러나 응축물질 조성을 증가(몰분율 10%)한 경우 대량방출에서 기 · 액 분리효과가 상승하는 것으로 조사되었으며, 녹아웃드럼을 공정설비에 인접 설치한 것보다는 스택에 인접 설치한 경우에 기 · 액 분리효과가 더 크게 분석되었다.

Abstract - Among the flare systems that handle discharged substances from safety valves, the knockout drum was a key facility for safety, but the installation standards were not clear, so it was necessary to review the standards acceptable to the workplace and regulatory agencies. After investigating the domestic and foreign technical standards of knockout drums and the deficiencies of previous studies, research was first conducted on the degree of mass discharge, the installation location of the intermediate knockout drum, and the effect of changes in the composition of the discharged material. As a result of the study under the process simulation conditions, the gas-liquid separation of the knockout drum was completed in a small amount of less than 7,500kg/hr. However, when more than that was released, the gas-liquid separation effect was small even with the addition of an intermediate knockout drum. In addition, when the composition ratio of the material easily condensed was increased (molar fraction 10%), the gas-liquid separation effect of the knockout drum increased in the case of mass release. The gas-liquid separation effect was analyzed to be greater when the knockout drum was installed adjacent to the stack than the knockout drum was installed adjacent to the process equipment.

Key words : safety valve, flare system, knockout drum, simulation

†Corresponding author:jbaek@ut.ac.kr

Copyright © 2021 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

화학공장의 이상운전 또는 시운전 중 공정설비 과압(Over pressure) 발생에 따른 화재·폭발 사고를 예방하기 위하여 공정의 취급 화학물질을 안전밸브를 통하여 해당 설비에서 배출하게 된다.

이때 인화성물질의 부적절한 처리는 2차 재해를 유발할 수 있으므로 배출물질을 연소를 통하여 안전하게 처리하는 것이 필요하며, 동 기능을 수행하는 것이 바로 플레어시스템(Flare system)이며, 플레어헤더(Flare header), 녹아웃드럼(Knockout drum) 및 밀봉드럼(Seal Drum), 플레어스택(stack)으로 구성된다. [1],[2],[3]

국내·외 사고사례의 발생 원인을 확인한 결과 플레어시스템의 적절한 안전성 확보를 위해서는 녹아웃드럼의 성능이 가장 중요한 것으로 조사되었다.

그러나 플레어시스템의 녹아웃드럼 설치관련 기준에 대한 명확한 법규, 기준이 마련되어 있지 않아 규제기관과 설비운영 사업장 간에 이견 등 논란이 발생하고 있으며, 이를 해소하고자 1차 연구가 수행되었으나 포괄적 결론만이 마련된 상태로 이와 관련 대량방출 범위, 중간녹아웃드럼 설치위치, 방출물질 조성 영향에 대한 추가 연구를 진행하여 녹아웃드럼 설치와 관련한 합리적 방안을 제시하고자 한다.

II. 연구방법

플레어시스템의 안전한 설계를 위해서는 안전밸브로부터 공정에서 배출되는 폐가스 처리와 관련하여 해당 시스템에 영향을 주는 플레어량 산정과 해당 물질의 적절한 처리를 위한 각 설비의 설계기준에 대한 KOSHA Guide 및 국제 규격의 사전조사와 중간 녹아웃드럼 추가에 대한 선행연구를 검토하였다. 본 연구는 상세 내용은 생략하고 아래 내용을 중심으로 연구를 수행하고자 한다.[1],[10]

첫째는 국내·외 사업장에서 플레어스택과 관련한 사고사례를 조사하고 주안점을 확인하여 연구 방향에 참조하고자 한다.

둘째는 안전보건공단 연구용역의 선행연구 분석과 기술기준의 녹아웃드럼 설치 규정을 조사하고, 한계점 등을 분석하여 추가적인 연구 대상을 선정하고자 한다.

마지막으로 선정된 연구대상에 대하여 공정모사 프로그램(Aspen Flare System Analyzer V9)을 활용하여 효과를 분석하고자 한다.

III. 플레어스택 사고사례 고찰

1996년 이후 국내 플레어시스템 사고는 여수 1건, 울산 2건, 총 3건으로 발생원인은 녹아웃드럼 용량 문제로 플레어스택에서 화재 2건, 녹아웃드럼 정비 중 화재 발생이 1건이었음. 특히, 여수 사고는 녹아웃드럼에서 스택간 거리가 너무 멀어 증기의 재액화로 파라자일렌이 밀봉드럼에서 월류되어 배수로에서 화재가 발생하였다. [4],[7]

국외는 1994년 영국 A사의 공정이상으로 안전밸브에서 인화성물질이 방출되었으나 녹아웃드럼 용량 초과로 방출액체가 플레어헤더에 잔류되었고 액체하중으로 헤더에서 인화성물질 20톤이 누출되어 증기운을 형성 폭발이 발생하였다. [5]

또한, 2005년 미국 B사의 경우도 공정설비 정비·보수 후 시운전 중 설비 과압으로 안전밸브에서 인화성물질이 블로우다운 드럼(Blowdown Drum)을 통해 벤트스택으로 누출되어 폭발이 발생하였으며, 동 사고 원인도 블로우다운 드럼 용량이 불충분하여 발생되었다. [6]

상기의 사고결과 안전밸브에서 배출되는 물질의 적절한 처리를 위해서는 기·액 분리기능을 갖는 녹아웃드럼 용량이 매우 중요하고 이에 대한 적절한 성능의 확보를 위한 명확한 기준제시가 필요한 것으로 분석되었다.

IV. 선행연구 및 기술기준 분석

4.1. 선행연구 분석

선행연구는 다 성분공정과 단일 물질 공정으로 구분하여 공정모사 프로그램(Aspen Flare System Analyzer V9)을 사용하여 첫째는 대량의 액체를 방출하는 공정에 대하여 중간녹아웃 드럼 설치 유무에 따른 응축효과를 분석하였으며, 둘째는 플레어스택과 녹아웃 드럼간의 거리가 멀어지는 데 따른 응축효과를 거리별로 분석하였다.

(1) 다 성분¹⁾ 공정모사 분석결과

대량 액체를 방출하는 플레어헤더에서 중간 녹아웃드럼을 설치한 경우 Table 1 과 같이 약 10%정도 응축률이 상승되었으나 응축가능 물질의 상당량이 미 분리되어 스택으로 방출되는 것으로 분석되었다. [8]

다만, 중간 녹아웃드럼 설치와 미설치의 분석조건인 플레어헤더 직경이 달라 결과의 단순 비교가

1) 다 성분 : 물(0.3), 벤젠(0.2), 톨루엔(0.2),에틸렌(0.3)

Table 1. Condensation effect by installing an intermediate knockout drum from multiple components

Amount Drum	PSV Discharge (kg/hr)	Knockout drum separation (kg/hr)	Flare stack (kg/hr)	separation rate (%)
Not installed	90,000	34,052	55,948	37.8
Installed	90,000	40,837	49,163	45.4

관련한 점과 방출량에 비해 플래어헤드 직경이 작아 배압(Back pressure) 발생 등으로 결과에 대한 검증과 녹아웃드럼 설치위치에 따른 응축효과 등 추가적 연구가 필요한 것으로 조사되었다.

플래어스택과 드럼간의 거리별 응축효과는 방출물질이 플래어헤더를 통과할 때 주변 대기와 열교환 및 압력강하에 따른 온도와 압력변화가 발생함으로 대기온도 상온(25°C), 혹한기(-20°C) 조건하에서 거리별(20m, 50m, 100m, 500m)로 분석하였다. 그 결과 온도강하는 혹한기에서 가장 큰 영향을 주었으며, 압력강하는 배관직경이 작을수록 길이가 길수록 크게 나타나는 것으로 분석되었다. [8]

다만, 분석조건인 플래어헤더 직경이 6인치로 배압이 높게 발생되어 통상적인 설계조건 하의 응축효과에 대하여 추가적 연구가 필요한 것으로 파악되었다.

(2) 단일 성분 공정모사 분석결과

벤젠 및 파라자일렌의 대량 방출에 대한 중간 녹아웃드럼 설치유무 결과는 Table 2에서 보는 바와 같이 약 1.2%정도 응축률만이 상승되는 것으로 나타나 녹아웃드럼 설치의 실효성이 적은 것으로 분석되었다. [8]

다만, 공정모사 조건이 다 성분과 달리 안전밸브 설정압력, 플래어헤더 직경 등 다른 조건에서 분석되어 결과 검증 등 추가연구가 필요하다.

플래어스택과 드럼간의 거리별 응축효과는 대기온도 -20°C, 배관길이 500m에서 벤젠은 증기성분 약 4.78%가 응축되었고, 파라자일렌은 5.11%가 응축되었으며, 대기온도 25°C, 배관길이 500m에서 벤젠은 약 2.58%, 파라자일렌은 약 3.01%가 응축되는 것으로 분석되었다. 그러나 배관길이 50m 이내에서는 분석대상 물질, 온도조건 모두에서 0.5% 이내로 응축되어 중간 녹아웃드럼 설치가 실효성이 없는 것으로 분석되었다. [8]

Table 2. Condensation effect by installing an intermediate knockout drum from a single component

Amount Drum	PSV Discharge (kg/hr)	Knockout drum separation (kg/hr)	Flare stack (kg/hr)	separation rate (%)
Not installed	90,000	74,533	15,467	82.80
Installed	90,000	75,645	14,354	84.05

다만, 배압을 최소화한 플래어헤더 직경 등 통상적 설계 조건하에서 추가적 연구가 필요하였다.

4.2. 기술기준 조사 및 연구범위 선정

녹아웃드럼에 관한 기술지침(KOSHA Guide D-60-2017), 선행연구 및 국제규격을 조사한 결과 중간 녹아웃드럼이 추가 필요한 경우로 첫째 대량 방출장치 또는 단위공정, 둘째 주 녹아웃드럼과 플래어스택 간 거리가 멀어 증기가 응축 또는 액체방울이 커지는 경우, 셋째 매우 낮은 온도의 방출물질이 플래어헤더 내 체류 증기를 응축시키는 경우로 규정하고 있다. [9],[10]

선행연구 조사 결과 추가적 연구가 지속되어야 할 사항은 녹아웃드럼 설치위치, 다 성분 물질에서 응축가능 물질 함유량 증가, 설정압력변화, 플래어헤더 직경, 드럼과 스택간 거리 등의 다양한 영향 분석이 필요한 것으로 파악되었다.

금번 연구는 우선적으로 기술기준의 첫째 요건인 대량 방출범위를 가정한 중간 녹아웃드럼 충족 여부 등 방출량별 효과, 중간 녹아웃드럼 설치위치에 따른 응축효과와 다 성분계의 응축물질 함유량 증가에 따른 효과 분석을 통하여 중간 녹아웃드럼 설치에 대한 명확한 기준을 제시하고자 하였다.

4.3. 녹아웃드럼의 기·액 분리 이론

녹아웃드럼의 기·액 분리 이론은 상기에서 참조하였던 KOSHA Guide D-60-2017 설계기준을 따랐으며, 스택에서 버너라인이 발생하지 않는 액적크기, 충분한 분리를 위한 액위높이, 체류시간 등 Table 3 기준값으로 공정모사를 수행하였으며 지침의 세부 산식 등은 계제를 생략하고자 한다.

V. 연구결과 및 고찰

대량방출과 소량방출을 가정하여 중간 녹아웃

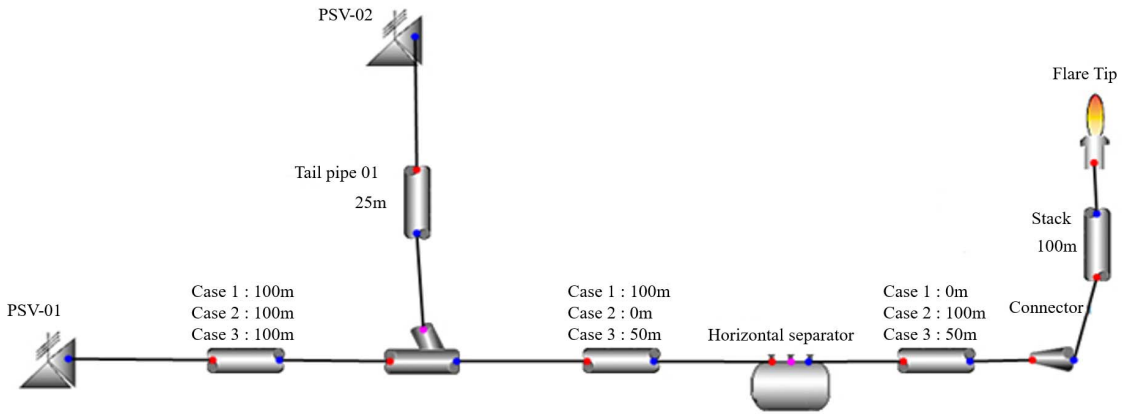


Fig. 1. Discharge flow chart by location of main knockout drum.

Table 3. Simulation conditions & input values

Facility	Parameter & specification	value	unit
PSV-01 & PSV-02	Setting point	3	bar
	Inlet Temperature	90	°C
	Outlet Temperature	75.62	°C
Horizontal Separator 1, 2	Diameter	2,440	mm
	Liquid Level	1,400	mm
	Min drop diameter	0.3	mm
	Drain Volume	0.1	m ³
	Max holdup time	1,800	sec
Header	C.S Sch No.80, Non-insulation	24	inch
Tailpipe 01	Length	25	m
	Elevation change	5	m
Stack	Length	100	m
atmosphere	Temperature	15	°C

Table 4. Gas/liquid separation effect by main drum location for mass discharge

Location	PSV Discharge (kg/hr)	Knockout drum separation (kg/hr)	Flare stack gas/liquid (kg/hr)	separation rate (%)
Case 1	90,000	51,964	30,543 / 7,493	57.7
Case 2	90,000	35,948	32,991 / 21,060	39.9
Case 3	90,000	45,622	31,453 / 12,925	50.7

Table 5. The amount of substance in the stack by main drum location for mass discharge

Division	Water (kg/hr)	Toluene (kg/hr)	Benzene (kg/hr)	Ethylene (kg/hr)
Total	10,161	34,646	29,370	15,822
Case 1	2,367	7,336	12,606	15,728

Table 6. Gas/liquid separation effect by intermediate drum location for mass discharge

Location	PSV Discharge (kg/hr)	Knockout drum separation (kg/hr)	Flare stack gas/liquid (kg/hr)	separation rate (%)
Case 1	90,000	46,700	31,089 / 12,211	51.9
Case 2	90,000	48,042	30,598 / 11,360	53.4
Case 3	90,000	51,587	29,901 / 8,512	57.3
Case 4	90,000	45,622	31,453 / 12,925	50.7

Table 7. The amount of substance in the stack by intermediate drum location for mass discharge

Division	Water (kg/hr)	Toluene (kg/hr)	Benzene (kg/hr)	Ethylene (kg/hr)
Total	10,161	34,646	29,370	15,822
Case 3	2,327	6,775	13,567	15,745

플레어시스템에서 녹아웃드럼의 기·액 분리효과에 관한 연구

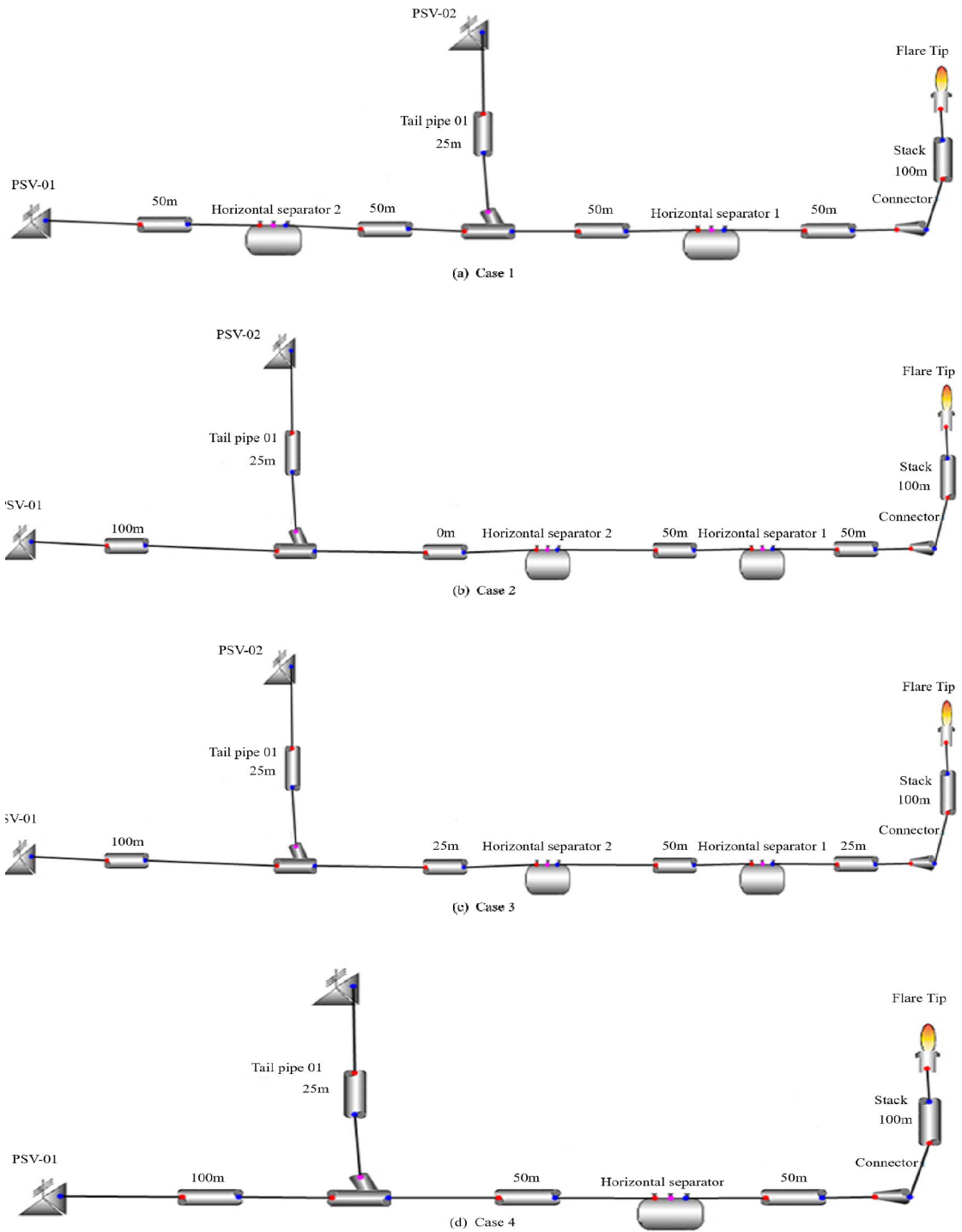


Fig. 2. Discharge flow chart by location of intermediate knockout drum.

드럼의 설치유무 효과, 설치의 경우 공정설비 인접과 스택 인접을 비교한 설치위치별 효과, 다 성분의 조성 변경에 따른 응축변화에 대하여 **Table 3** 조건을 사용하였고 분석을 위한 각 Case별 플레어시스템 구성은 **Fig. 1, Fig. 2**를 적용하였고, 다 성분 물질 조성은 4.1항 선행연구에 대한 추가적 연구를 고려 동일한 조성비로 영향을 분석하였다.

5.1. 대량 액체방출 영향

(1) 중간 녹아웃드럼 미설치

PSV-01(60,000kg/hr), PSV-02(30,000kg/hr)를 대량 방출로 가정, **Table 3** 조건, **Fig. 1** 설치위치별 분석결과, **Table 4**와 같이 분리율이 작고, 스택 통과 시 응축이 커서 버닝레인 등 사고 우려가 크며, 드럼 설치는 스택 인접설치 시(Case 1) 분리 효과가 크게 나타났다.

(2) 중간 녹아웃드럼 설치

대량 방출, **Table 3** 조건에서 **Fig. 2**와 같이 중간 녹아웃드럼 설치위치별 분석결과, **Table 6**과 같은 분리율이 나타나 중간 드럼 미설치와 비교할 때 큰 효과를 보이지 못하여 대량방출은 단순히 중간 녹아웃 드럼 추가로는 부적절하며, 드럼용량, 헤더직경, 설정압력 등 다른 요인을 고려하여 적절한 설계검토가 필요한 것으로 분석되었다.

드럼은 공정설비 인접 설치보다 가지 헤더가 연결된 하류 헤더로 스택에 인접 설치한 경우 분리효과가 크게 분석되어 설비와 스택이 멀리 떨어진 경우 응축물질 하중에 견딜 수 있게 헤더 지지대를 설치하여 가능한 스택에 인접 설치하는 것이 권고되어 진다.

또한 **Table 5, Table 7**의 스택 내 물질 조성 분석결과 인화성물질 응축효과도 중간 녹아웃드럼 설치에 따라 약간 증가하였으나 큰 효과는 보이지 못했다.

5.2. 소량 액체방출 영향

(1) 중간 녹아웃드럼 미설치

PSV-01(5,000kg/hr), PSV-02(2,500kg/hr)를 소량 방출로 가정(대량방출의 50%양부터 단계적으로 양을 줄여가면서 시행오차방식으로 공정모사를 수행하여 거의 분리가 일어나는 양을 소량의 가정량으로 설정함), **Table 3** 조건, **Fig. 1** 설치위치별 분석결과, **Table 8**에서 가스상 배출량을 제외하고 분리가능 액체 중 스택 내 응축액체만 미분리된 양이므로 실제 분리효과는 94.8~99.3%를 보였다. 또한, Case 1 스택 내 배출되는 1,624kg/hr 중 응축액체는 41kg/hr로 **Table 9** 조성비를 고려할 때 비인화성 물이 대부분을 점유하는 것으로 조사되어 버닝레인 등 사고발생 가능성은 낮게 나타났다.

Table 8. Gas/liquid separation effect by main drum location for small discharge

Location	PSV Discharge (kg/hr)	Knockout drum separation (kg/hr)	Flare stack gas/liquid (kg/hr)	Separation rate (%)
Case 1	7,500	5,877	1,583 / 41	78.4
Case 2	7,500	5,421	1,781 / 298	72.3
Case 3	7,500	5,742	1,650 / 107	76.6

Table 9. The amount of substance in the stack by main drum location for small discharge

Division	Water (kg/hr)	Toluene (kg/hr)	Benzene (kg/hr)	Ethylene (kg/hr)
Total	847	2,887	2,448	1,319
Case 1	35	122	302	1,299

Table 10. Gas/liquid separation effect by intermediate drum location for small discharge

Location	PSV Discharge (kg/hr)	Knockout drum separation (kg/hr)	Flare stack gas/liquid (kg/hr)	separation rate (%)
Case 1	7,500	5,707	1,674 / 49	76.1
Case 2	7,500	5,787	1,645 / 69	77.2
Case 3	7,500	5,842	1,614 / 44	77.9
Case 4	7,500	5,742	1,650 / 107	76.6

(2) 중간 녹아웃드럼 설치

소량 방출, **Table 3** 조건에서 **Fig. 2**와 같은 중간 녹아웃드럼 설치위치별 분석결과, **Table 10**에서 가스상 배출량을 제외하고 분리가능 액체 중 스택 내 응축액체만 미분리된 양이므로 실제 분리효과는 97.9~99.3%를 보였다. 또한, Case 3 스택 내 배출되는 1,658kg/hr 중 응축액체는 44kg/hr로 **Table 11** 조성비를 고려할 때 비인화성 물이 대부분을 점유하는 것으로 조사되었으며, 공정모사 조건하에서 7,500kg/hr 미만방출의 경우는 주 녹아웃드럼만을 설치하여도 충분한 기액 분리가 가능한 것으로 분석되었다.

5.3. 응축물질 비율 확대 영향

응축이 쉬운 물질 비율을 높인 경우에 대하여 대량

Table 11. The amount of substance in the stack by intermediate drum location for small discharge

Division	Water (kg/hr)	Toluene (kg/hr)	Benzene (kg/hr)	Ethylene (kg/hr)
Total	847	2,887	2,448	1,319
Case 3	23	69	267	1,300

Table 12. Gas-liquid separation effect on benzene component change

Location	PSV Discharge (kg/hr)	Knockout drum separation (kg/hr)	Flare stack gas/liquid (kg/hr)	Separation rate (%)
Case 1	90,000	61,218	18,727 / 10,055	68.0
Case 2	90,000	62,650	18,330 / 9,021	69.6
Case 3	90,000	65,812	17,719 / 6,469	73.1
Case 4	90,000	45,623	31,452 / 12,924	50.7

Table 13. Gas-liquid separation effect on water component change

Location	PSV Discharge (kg/hr)	Knockout drum separation (kg/hr)	Flare stack gas/liquid (kg/hr)	separation rate (%)
Case 1	90,000	60,145	20,334 / 9,521	66.8
Case 2	90,000	61,078	20,085 / 8,837	67.9
Case 3	90,000	64,341	19,394 / 6,265	71.5
Case 4	90,000	58,408	20,825 / 10,768	64.9

방출 가정 하에서 기·액 분리효과를 분석하였다.

(1) 벤젠 10% 확대, 에틸렌 10% 감소

벤젠성분²⁾을 확대, **Table 3** 조건에서 **Fig. 2**와 같이 수행하고 **Table 12** 결과를 5.1항 **Table 6** 과 비교하면 중간 녹아웃드럼을 미설치한 Case 4는 분리효과 변화가 생기지 않았으나 중간 녹아웃 드럼을 설치한 Case 1~3은 분리효과가 약 16% 향상되어 공정조건이 공정모사 조건과 유사한 경우는 대량방출의 경우에도 중간 녹아웃드럼을 설치함으로써 버닝레인 등 사고 가

능성을 낮출 수 있는 것으로 분석되었다.

(2) 물 10% 확대, 에틸렌 10% 감소

물 성분³⁾을 확대, **Table 3, Fig. 2**와 같이 수행하고 **Table 13** 결과를 5.1항 **Table 6** 과 비교하면 (1)의 벤젠 함유량 확대와 마찬가지로 분리효과가 약 14% 향상되어 중간 녹아웃드럼 설치가 버닝레인 등 사고 가능성을 낮출 수 있는 것으로 분석되었다.

또한, 공정모사 90℃ 조건하에서 벤젠보다 비점이 높은 물 성분 확대는 중간 녹아웃드럼 미설치의 경우도 (1)항 벤젠과 달리 기·액 분리효과를 높이는 것으로 나타났다.

VI. 결론

공정모사를 통한 연구결과 녹아웃드럼 설치기준에 대한 네 가지 성과를 얻을 수 있었다.

(1) 대량방출은 중간 녹아웃드럼 설치에 따른 큰 분리효과가 나타나지 않아 녹아웃드럼 용량 재검토, 플래어헤더 직경의 조정, 설정압력 및 온도조정 등을 고려한 녹아웃드럼 설계보완이 요구되는 것으로 분석되었다.

(2) 설치위치별 분리효과는 대량 방출설비에 인접 설치보다는 스택에 인접 설치가 더 크게 분석되었다. 설비와 드럼간 거리를 멀게 설치하는 경우 헤더 지지대를 액체 하중을 고려하여 설치해야 한다.

(3) 7,500kg/hr 미만 소량방출의 경우는 중간 녹아웃 드럼을 설치하지 않은 경우에도 버닝레인을 해소할 수 있도록 분리효과가 크게 나타났다.

(4) 응축물질 조성비를 증가한 경우 공정모사 조건과 유사한 플레이시스템은 (1)항의 대량방출 시 중간 녹아웃드럼 설치에 따른 분리효과가 상승하여 설계보완이 다소 용이한 것으로 분석되었다.

본 연구는 기술기준 및 선행연구의 불명확한 특정 부분에 한정하여 연구를 진행하였으며, 추후 설정압력변화, 플래어헤더 직경, 드럼과 스택간 거리 등의 다양한 영향요인에 대한 지속적 연구를 수행하고자 한다.

REFERENCES

[1] KOSHA Guide D-59 “Technical Guidelines for Design, Installation and Operation of Flare Sys-

2) 물(0.3), 벤젠(0.3), 톨루엔(0.2), 에틸렌(0.2)

3) 물(0.4), 벤젠(0.2), 톨루엔(0.2), 에틸렌(0.2)

- tem”, Korea Occupational Safety and Health Agency Standard, (2020)
- [2] Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA), Waste gas treatment facility (flare stack) OPL, (2019)
- [3] Korea Environment Corporation, Integrated Environmental Flare Stack Technology Review Manual, (2021)
- [4] Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA), Summary of major industrial accidents, 1996~2011
- [5] Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA), 1998 Casebook of major industrial accidents, (1998)
- [6] Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA), 2006 Casebook of Major Industrial Accidents, (2007)
- [7] Ma, B. C., Kwon, H. M., Kim, Y. C., “A Study on the Safety Improvement at the Flare System in the Chemical Process”, *KOSOS*, 27(5), 55-63, (2012)
- [8] Chonnam National University, “A Study on Proper Design of Flare System” Research Report, (2017)
- [9] KOSHA Guide D-60 “Technical Guidelines on the Design and Installation of Knockout Drums for Flare Systems”, Korea Occupational Safety and Health Agency Standard, (2017)
- [10] API STD 521, “Pressure-relieving and Depressuring Systems”, 6th Ed, (2014)