
「통합환경허가 플레이어스택 기술검토 매뉴얼」

〈 플레이어시스템 특성 〉

2021. 01

목차

1. 플레어시스템 특성	1
1.1. 플레어시스템 정의	1
1.2. 플레어시스템 목적	2
1.3. 플레어시스템 구성	3
1.3.1. 연결포집 배관 시스템	5
1.3.1.1. 안전밸브	5
1.3.1.2. 플레어헤더	7
1.3.2. 액체 제거 관련 설비	8
1.3.3. 플레어스택	9
1.3.3.1. 플레어스택	9
1.3.3.2. 플레어팁	13
1.3.3.3. 파일럿 버너 및 점화시스템	15
1.3.4. 플레어시스템 부대장치	16
1.3.4.1. 화염감지기 및 모니터	16
1.3.4.2. 역화방지기	16
1.4. 플레어스택 연소 기술	20
1.4.1. 무연 연소 방식	20
1.4.2. 무연 연소 기술	21
1.5. 플레어시스템 모니터링	24
1.5.1. 모니터링 목적	24
1.5.2. 계측기기	24
1.6. 플레어시스템 환경영향 최소화를 위한 참고기술	35
1.6.1. 무연 연소	36
1.6.2. Normal Flaring 가스량 최소화 및 처리	40

1.6.3. Max. Flaring 가스량 최소화	45
1.6.4. 모니터링	49
1.6.5. 운영관리	51

표 차례

[표 1] Flare System 구성	4
[표 2] 엘리베이트 플레어스택 구조 특징	9
[표 3] 유량 측정 계측기기 종류	25
[표 4] 참고기술 분류체계	35

그림 차례

[그림 1] 플레어스택 배출가스 처리	1
[그림 2] 과압 발생 원인 간략도	2
[그림 3] 일반적인 플레어 시스템	3
[그림 4] Conventional Safety-Relief Valve	6
[그림 5] Bellows Safety-Relief Valve	6
[그림 6] Pilot Operated Valve(Piston type)	6
[그림 7] Pilot Operated Valve	6
[그림 8] 파열판(Rupcure disc) 구조	7
[그림 9] Flare System analysis 예시	7
[그림 10] 수평 녹아웃드럼	8
[그림 11] 수직 녹아웃드럼	8
[그림 12] 엘리베이트 플레어스택 종류(API RP 521)	11
[그림 13] 엘리베이트 플레어스택 구조	11
[그림 14] Enclosed Ground Flare 설비	12
[그림 15] Enclosed ground flare 구조	12
[그림 16] 플레어팁 구조	13
[그림 17] 플레어팁 구조	14
[그림 18] Coanda 플레어팁	14
[그림 19] 점화시스템 구성	15
[그림 20] 수평 액체 밀봉드럼	17
[그림 21] 수직 액체 밀봉드럼	17
[그림 22] Labyrinth seal	18
[그림 23] Velocity seal	18
[그림 24] 플레어스택 퍼지가스 주입	19
[그림 25] 2세대 플레어 연소기술	22

[그림 26] 3세대 플레어 연소기술	23
[그림 27] 4세대 플레어 연소 기술 예시	23
[그림 28] 오리피스 및 벤투리 유량계	26
[그림 29] 열식 질량 유량계 (Thermal Mass Flowmeter)	27
[그림 30] 코리올리 유량계(Coriolis Flowmeter)	28
[그림 31] 초음파 유량계	29
[그림 32] 로터미터	30
[그림 33] 터빈 유량계	30
[그림 34] 와류식 유량계	30
[그림 35] Wobbe index analyzer 예시	31
[그림 36] 가스 크로마토그래피 구성	32
[그림 37] GC 발열량 모니터링 모식도	33
[그림 38] 질량분석기 시스템	34
[그림 39] 질량분석기 구조	34
[그림 40] 독립방호계층 (IPL)	45
[그림 41] 안전계장시스템(SIS) 기본 구성	46

1. 플레어시스템 특성

1.1. 플레어시스템 정의

1.2. 플레어시스템 목적

1.3. 플레어시스템 구성

1.4. 플레어스택 연소 기술

1.5. 플레어시스템 모니터링

1.6. 플레어시스템 환경영향 최소화를
위한 참고기술

1. 플레어시스템 특성

본 장에서는 플레어시스템의 정의와 목적, 기본 구성과 소각원리에 대해 기술하였다. 기술검토자로 하여금 플레어시스템에 대한 기술적인 정보를 제공하여, 기술검토 시 환경측면에서 플레어시스템의 적정성 판단을 내릴 수 있도록 돕기 위함이다.

1.1. 플레어시스템 정의

석유산업 및 석유화학산업의 공장은 생산품의 수직계열화에 따라 반응기, 증류탑, 열교환기 등 대형 압력 장치들이 밀집되어 있으며, 각 장치 내부는 공정설계에 의해 일정 온도·압력으로 운전된다. 그러나 화재·천재지변 등으로 인한 과열 발생이나 각종 유틸리티(전기, 스팀, 냉각수, 계기용 공기(Instrument Air))의 공급 중단 및 오작동으로 인한 우발적 사고 발생 시 압력장치 내의 압력이 최고허용압력(MAWP, Maximum Allowable Working Pressure)을 초과하게 되면 압력용기, 배관, 설비 등이 파열되어 대형사고를 초래할 수 있다.

최고허용압력을 초과하는 압력에 설비가 노출되는 것을 방지하기 위해 각 장치에는 압력을 완화시키는 안전장치를 설치하며, 안전장치를 통해 나오는 가스를 복사열로 인한 피해가 없도록 높은 위치에서 소각 처리하는 것이 플레어스택의 기능이다. 즉, 플레어스택은 공장의 안전을 지키기 위해 생성되는 폐가스를 소각 처리하는 장치이다.



[그림 1] 플레어스택 배출가스 처리

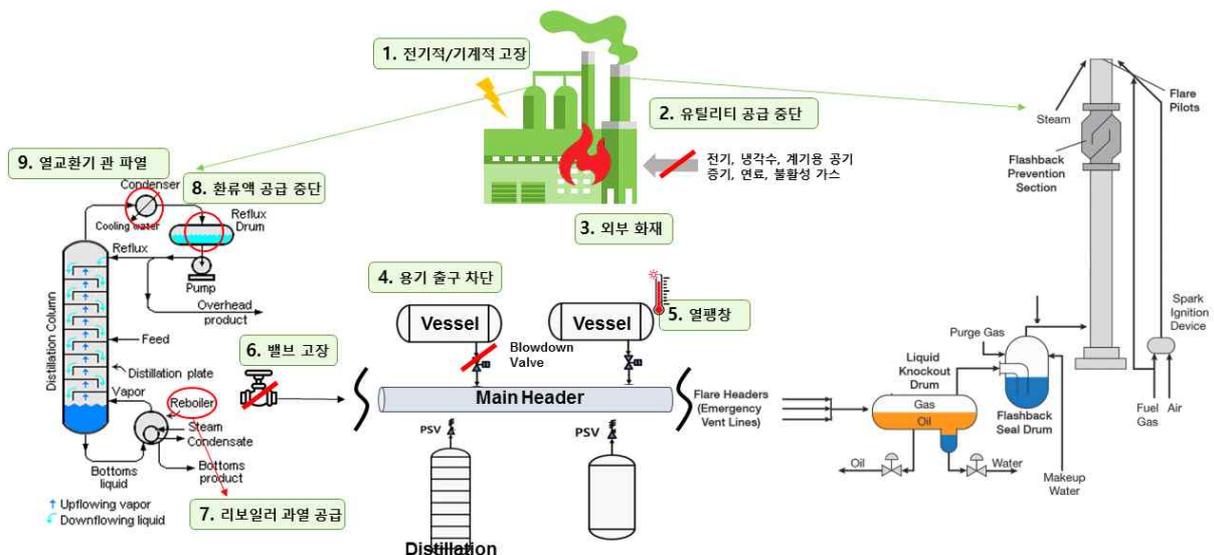
1.2. 플레어시스템 목적

플레어시스템은 산업안전보건기준에 관한 규칙 제 267조(배출물질의 처리) 등 국내 관련 법규, 규칙, 고시 등에 따라 안전밸브 등에서 배출되는 유해위험물질을 안전하게 처리하는 것을 목적으로 한다. 따라서 시스템의 목적은 과압으로부터 설비를 항상 보호하기 위함이다.

플레어시스템은 가스 폐기물을 안전하게 폐기할 수 있도록하며, 지역의 환경 제약에 따라 차이가 있으나 일반적으로 다음과 같은 경우 시스템을 사용한다.

- Start up 또는 Shut down 중 광범위한 배출가스 발생
- 초과 공정으로 인한 플랜트 가스 배출
- 안전밸브, 블로우 다운 및 감압 시스템에서 비상 방출되는 가스

다음 그림과 같이 공정 운전 중 다양한 원인으로 과압이 발생하며, 이러한 상황에서 과압으로부터 공정 및 설비를 보호하기 위해 안전밸브(PSV, Pressure Safety Valve)가 열리며 설비 내부의 가스가 플레어 시스템으로 배출된다. 플레어 시스템은 화재 및 정전과 같은 비상 상황 시 공정 전체에서 발생하는 대량의 배출가스를 수용할 수 있도록 설계한다.



[그림 2] 과압 발생 원인 간략도

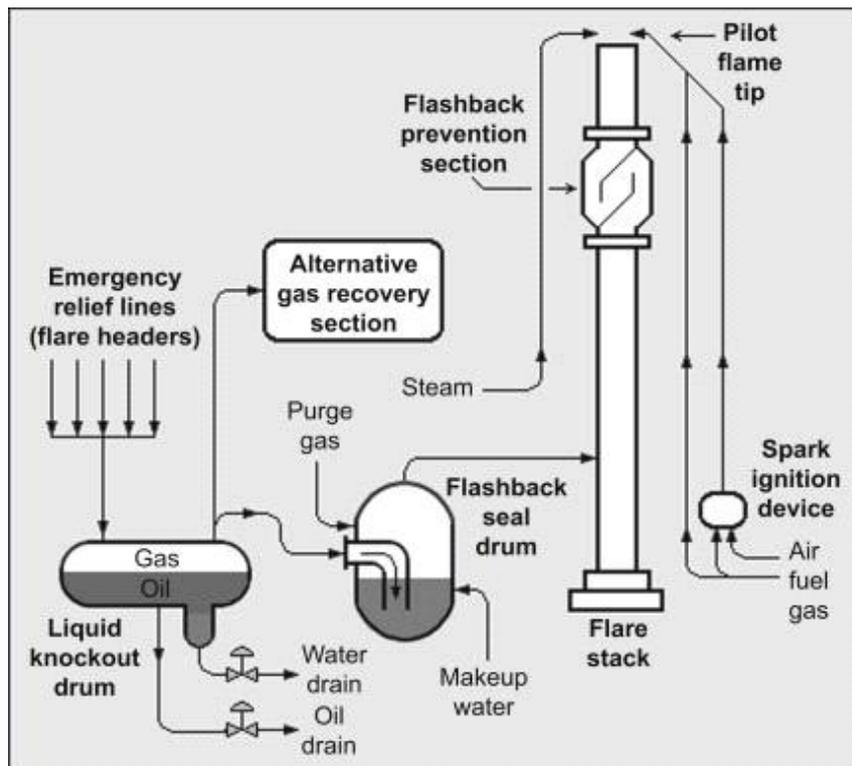
배출가스를 플레어스택에서 소각 처리 후 대기 중으로 방출하기 위해 필요한 일체의 설비를 말하며, PSV(Pressure Safety Valve), 플레어헤더, 녹아웃드럼(Konck Out Drum), 밀봉 드럼(Seal Drum) 및 플레어스택 등과 같은 설비를 포함한다.

1.3. 플레어시스템 구성

공정 설비들이 위와 같은 상황에서 과압이 발생하면 안전장치의 역할을 하는 압력 릴리프 밸브는 자동으로 가스와 액체를 방출한다. 방출된 공정 배출 스트림은 다음과 같은 경로를 통해 플레어스택으로 이송되어 안전하게 처리된다.

- 1) 가스 및 액체가 혼합된 공정 배출 스트림은 플레어 헤더라고 하는 대형 배관 시스템을 통해 수직의 플레어스택으로 라우팅된다.
- 2) 플레어헤더를 통해 이송된 배출가스는 증기-액체 분리기인 녹아웃 드럼(Knock Out Drum)을 통과한다. 배출 가스에 포함된 액체 및 플레어헤더를 통과하면서 응축된 액체는 녹아웃 드럼을 통과하면서 제거된다.
- 3) 녹아웃 드럼을 통과한 배출가스는 씰 드럼(Seal Drum)을 통과한다. 씰 드럼은 플레어스택 상단의 화염이 스택 내부로 역화되는 것을 방지하는 역할을 한다.
- 4) 안전상의 이유로 배출가스는 플레어스택 최상단에서 소각 처리된다. 시스템의 목적은 과압으로부터 설비를 항상 보호하기 위한 것이므로 파일럿 버너(Pilot Burner)에 항상 불꽃을 유지해야 한다.

플레어시스템의 일반적인 구성도는 아래와 같다.



[그림 3] 일반적인 플레어 시스템

KOSHA GUIDE에 따르면 플레어시스템은 크게 4가지로 구분된다.

[표 1] Flare System 구성

구분	세부 설비
상호 연결포집 배관 시스템	(1) 각각의 안전밸브 및 기타 배출원으로 부터의 토출 배관 (2) 각각의 토출배관을 연결한 지선 (3) 각각의 지선을 연결한 플레어헤더
액체 제거 관련 설비	(1) 녹아웃 드럼 (2) 이송펌프 및 부대설비
플레어스택(Flare Stack)	(1) 본체 (2) 플레어 팁 또는 버너 (3) 플레어스택 지지대 (4) 파일럿 버너 (5) 자동 점화장치 (6) 유틸리티 배관 (수증기, 연료가스, 계장용 공기 등)
플레어시스템 부대장치	(1) 화염감지기 및 모니터 (2) 역화방지기 (3) 연기 억제조절장치 (4) 격리장치 (5) 경보기를 포함한 계장

※ KOSHA GUIDE D59 : 플레어시스템의 설계.설치 및 운전에 관한 기술지침

1.3.1. 연결포집 배관 시스템

산업 플랜트의 장비 및 설비에는 과압 발생 시 자동으로 가스와 액체를 방출하는 안전장치인 감압밸브(안전밸브)를 필수적으로 설치해야 한다. 방출된 가스와 액체는 안전한 폐기를 위해 플레어헤더라고 하는 대형 배관 시스템을 통해 플레어스택으로 이송되어 처리된다.

1.3.1.1. 안전밸브

모든 가압 시스템에는 사람, 공정 및 재산을 보호하기 위한 안전장치가 필요하다.¹⁾ 안전밸브는 밸브 입구쪽의 압력이 설정압력에 도달하면 자동적으로 스프링이 작동하면서 유체가 분출되고 일정압력 이하가 되면 정상 상태로 복원되는 밸브를 말한다. 과압이 발생할 경우, 자동으로 유체를 분출하여 감압하는 안전장치이다.

3가지 종류가 있으며 일반형 안전밸브(Conventional Safety Valve), 벨로우즈형 안전밸브(Balanced-bellows Safety Valve), 파일럿 조작형 안전밸브(Pilot-operated Safety Valve)가 있다.

1) 일반형 안전밸브 (Conventional Safety-Relief Valve)

밸브의 토출측 배압의 변화에 의하여 직접적으로 성능특성에 영향을 받도록 만들어진 스프링 작동식 안전밸브를 말한다. 배출물이 대기로 방출되거나 혹은 플레어헤더의 배압(Back Pressure)이 낮아 안전밸브의 개폐에 영향이 적은 경우 사용한다.

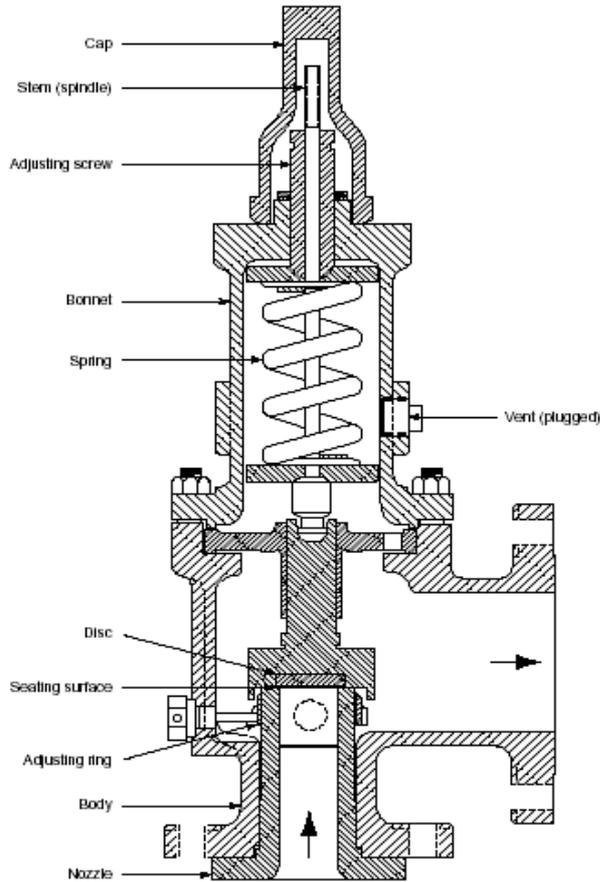
2) 벨로우즈형 안전밸브 (Balanced Bellows Safety Relief Valve)

밸브의 토출 측 배압 변화로 인해 성능특성에 영향을 받지 않도록 만들어진 스프링 작동식 안전밸브를 말한다. Balanced 타입은 Conventional 타입의 단점인 배압 영향을 최소한으로 줄일 수 있도록 고안되었다. 즉 배압의 영향을 벨로우즈(Bellows) 혹은 피스톤 등을 이용하여 차단한다.

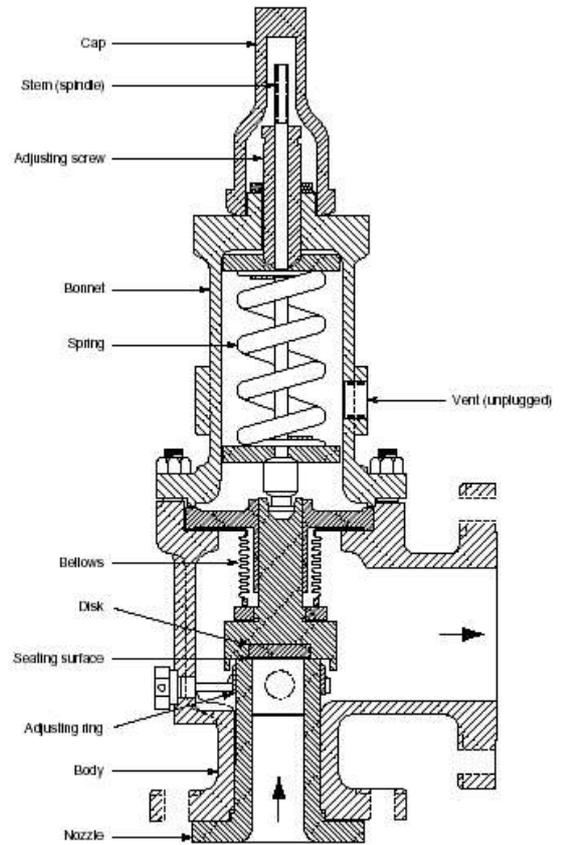
3) 파일럿트 조작형 안전밸브 (Pilot Operated Safety-Relief Valve)

안전밸브 자체에 내장된 보조의 안전밸브 작동에 의하여 작동되는 안전밸브를 말한다. 배압이 설정압력의 50%를 초과하는 경우, inlet line loss가 3%를 초과하는 경우, 장치의 작동압력과 설정압력의 차이가 작은 경우, 또는 그 외의 이유로 위 두 가지 타입으로 설계가 어려운 경우 사용한다.

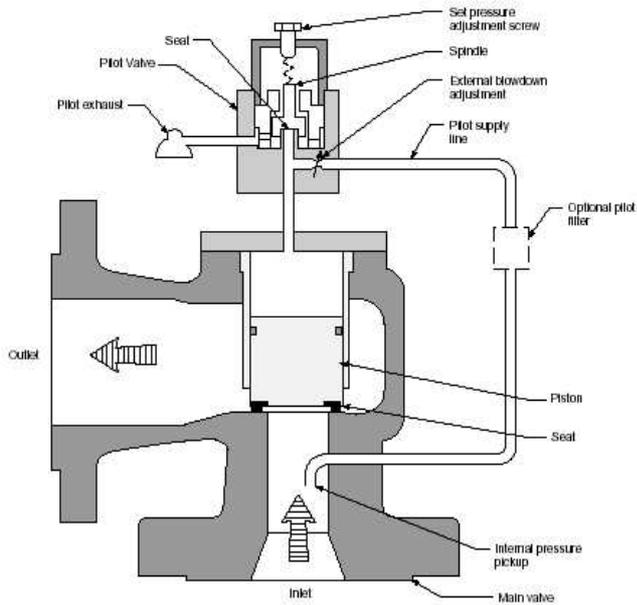
1) <https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/safety-valves/safety-valves#article-top>



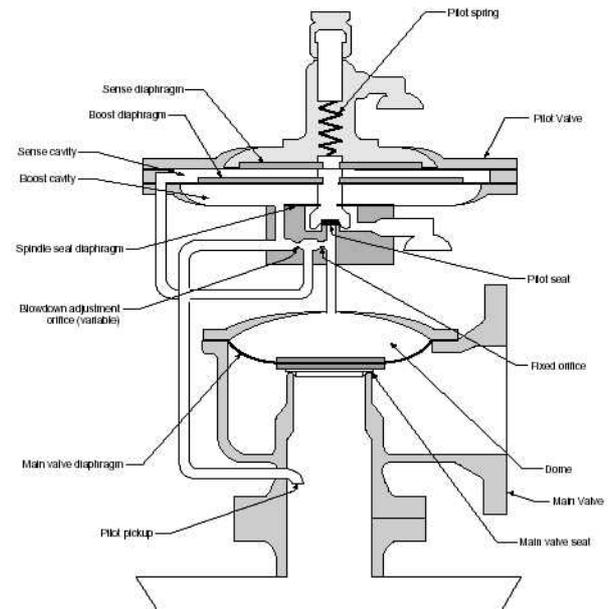
[그림 4] Conventional Safety-Relief Valve



[그림 5] Bellows Safety-Relief Valve



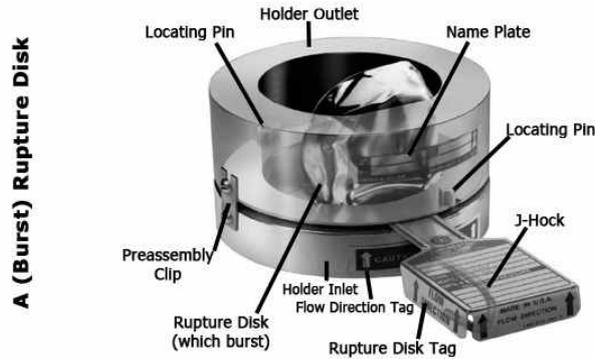
[그림 6] Pilot Operated Valve(Piston type)



[그림 7] Pilot Operated Valve (Diaphragm type)

4) 파열판 (Rupture Disc)

밸브는 아니나 안전밸브를 대체할 수 있는 방호조치이다. Flange 사이에 얇은 금속 막을 끼워넣어 일정 압력 이상이되면 금속 막이 벗겨지며, 압력이 배출될 수 있도록 한다. 한번 열린 파열판은 자동적으로 복구되지 않으며, 시스템을 다시 시작하기 전에 인위적으로 교체해주어야 한다.

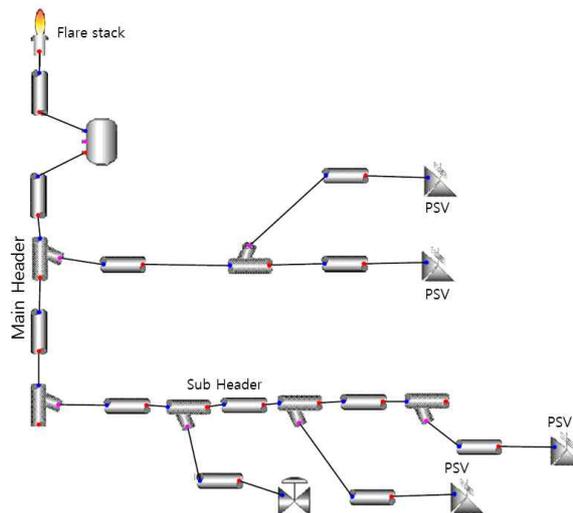


[그림 8] 파열판(Rupcure disc) 구조

1.3.1.2. 플레어헤더

안전밸브 등에서 배출된 가스 및 액체를 그룹별로 모아서 플레어스택으로 보내기 위하여 설치되는 주 배관을 말한다.

아래 그림과 같이 상호 연결포집 배관 시스템은 안전밸브와 같은 배출원에서부터 플레어스택으로 이어지는 배관 시스템을 의미한다. 안전밸브와 같이 가스 배출원으로부터 발생한 가스는 토출 배관을 통해 플레어헤더로 모이고 최종적으로 플레어스택으로 향한다.



[그림 9] Flare System analysis 예시

1.3.2. 액체 제거 관련 설비

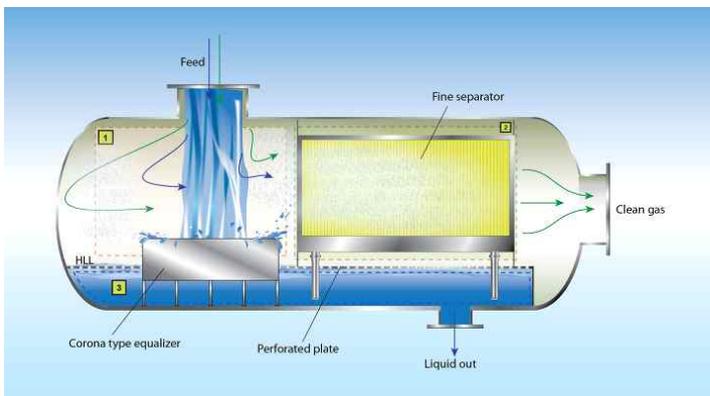
녹아웃드럼은 안전밸브 등의 배출물에 포함되어 있는 액체가 플레어 스택으로 가스와 함께 흘러들어 가지 않도록 액체를 분리·포집하는 설비를 말한다. 플레어스택에 액체가 포함되어 배출되면 액체방울에 불이 붙은 상태로 떨어지는 버닝레인(Burning rain) 때문에 화재가 발생할 수 있으므로 가스와 액체를 분리해야 한다. 녹아웃드럼에서 회수된 액체는 공정으로 되돌려 보내지거나 증발시켜 기화시킨 후 플레어로 보내진다.

녹아웃 드럼으로 유입된 공정 가스 흐름은 중력 침강에 의해 가스와 액체방울이 분리되고 액체방울은 밑으로 떨어진다. 필요에 따라 미스트 제거기(mist eliminator)를 설치할 수 있으며, 가스 흐름은 미스트 제거기를 통과하면서 미세한 액적도 분리되어 가스만 출구를 통해 빠져나간다.

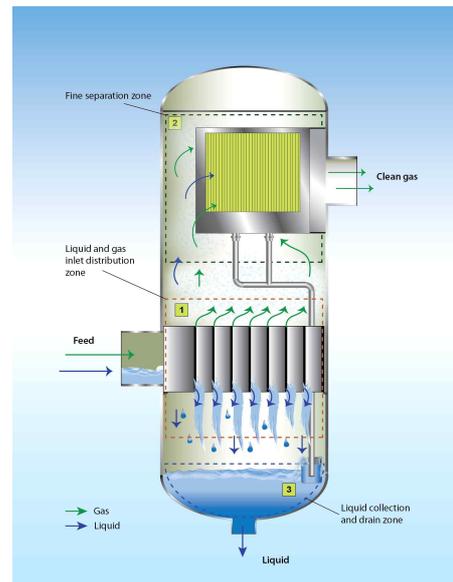
녹아웃드럼은 형태에 따라 수평 녹아웃드럼과 수직 녹아웃드럼으로 분류된다.

수평 녹아웃드럼 : 액체 저장용량이 크게 요구되고 증기의 유량이 클 때 설치할 수 있다. 또한 낮은 압력강하를 갖는 특징이 있다.

수직 녹아웃드럼 : 액체부하가 낮거나 별도 설치공간이 부족할 경우 설치한다. 플레어스택 하부에 직접 설치가 가능하다.



[그림 10] 수평 녹아웃드럼



[그림 11] 수직 녹아웃드럼

1.3.3. 플레어스택

공정에서 배출된 가스가 최종적으로 폐기되는 설비이다. 스택형의 경우, 연소 시 방출되는 복사열을 고려하여 높이를 설정하고, 스택 본체와 이를 지지하기 위한 지지대가 포함된다. 또한 플레어가스를 연소하기 위한 화염이 존재하는 플레어팁, 불을 붙이는 파일럿 버너와 자동점화장치, 연료가스 등을 공급하는 유틸리티 배관을 포함한다.

1.3.3.1. 플레어스택

플레어스택(Flare stack)은 플레어시스템 중 스택형식의 소각탑으로써 스택지지대, 플레어팁, 파일럿 버너 및 점화장치 등으로 구성된 설비 일체를 말한다.

플레어 스택의 종류로는 엘리베이트 플레어와 그라운드 플레어로 나눌 수 있다. 연소가 발생하는 지점을 지면으로부터 높게 하여 복사열을 감소시킴과 동시에 배출되는 연소생성물 및 수증기 등이 대기 중에서 잘 확산되도록 하는 엘리베이트 플레어, 지면과 가까운 지점에서 연소될 수 있도록 설치하며 주로 화염으로부터 발생한 복사열과 가스 등을 차단하는 밀폐식 구조의 형식인 그라운드 플레어가 있다.

[표 2] 엘리베이트 플레어스택 구조 특징

구조	장점	단점
Self-supporting	<ul style="list-style-type: none"> • 건설비가 가장 적게 든다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 바람의 영향으로 일정 높이 이상으로 높게 설치할 수 없다. • 50 ft(약 15m) 높이 이상의 Stack에서는 지반 공사비 등으로 건설비용이 비싸지게 된다.
Guy-wire supported	<ul style="list-style-type: none"> • 건설비가 비교적 적게 든다. • 40~50 ft 이상에서는 가장 경제적이다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 주위 부지가 많이 필요함
Derrick supported	<ul style="list-style-type: none"> • 주위 부지가 적게 든다. • 강풍이 부는 높은 Stack에도 잘 견딜 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 건설비가 비쌈

1) Elevated Flare

현재 사용되고 있는 플레어 시스템의 가장 일반적인 유형이 elevated flare 이다. 플레어 헤더를 따라 지면 위로 상당한 높이에 위치한 스택으로 가스가 이동하여 연소된다. elevated flare는 ground flare 보다 구축, 운영 및 유지·보수 비용이 저렴하지만 열과 소음 발생이 비교적 큰 단점이 있다. elevated flare는 가스 유형, 유입 가스 압력, 스택 지지 방법 등에 따라 몇 가지 유형으로 다시 분류 된다. 그 중 스택을 지지하는 방법에 따라 크게 self-supported, guy-wire supported, derrick supported 세 가지 유형으로 나뉜다.

(1) Self-supported

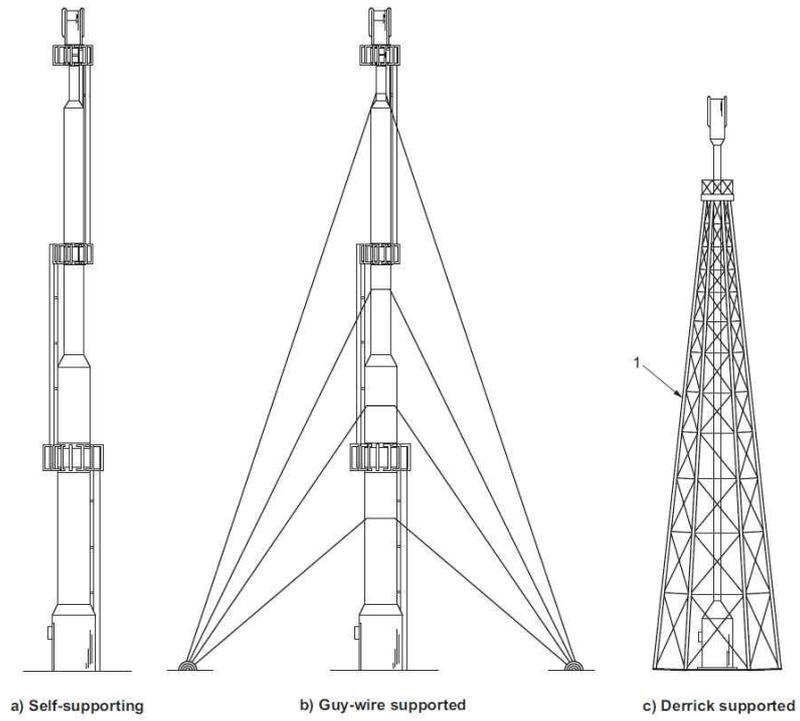
wire나 derrick 지지대를 사용하지 않고 플레어 지지대 자체로 플레어 버너를 지지한다. 작은 터의 좁은 공간을 가진 비교적 짧은 스택에 주로 사용된다. 보통 스택 높이는 100 m(약 330 ft) 미만으로 제한되며, 50 m 이상부터는 지반 공사비 등으로 건설비용이 높아지고 일정 높이 이상에서는 바람의 영향을 받으므로 일반적으로 50 m 이하의 높이가 많다.

(2) Guy-wire supported

케이블을 이용하여 플레어 지지대가 플레어 버너를 지지한다. 플레어 지지대의 여러 높이에 케이블을 부착하여 구조물의 편향을 막는다. 케이블(guy-wires)은 일반적으로 강력한 지지를 제공하기 위해 삼각형으로 배치된다. 일반적으로 self-supported stack, Derrick-supported stack 보다 넓은 부지 면적을 요구한다. 전형적인 Guy-wire의 반경은 전체 스택 높이의 1/2과 동일하다. 높이는 보통 250 m(~800 ft)로 제한된다.

(3) Derrick supported

self-supported 설치가 적합하지 않은 경우 혹은 guy-wire를 설치하기엔 부지 면적이 부족한 경우 등 대형 스택에만 사용된다. 아래와 같은 형식으로 강철 트러스 형태의 구조물로 플레어스택을 지지한다. 지지대의 형태에 따라 고정식 구조, 다중 지지대 분리식 구조, 단일 지지대 분리식 구조 등으로 세분류 할 수 있다.



[그림 12] 엘리베이트 플레어스택 종류(API RP 521)



[그림 13] 엘리베이트 플레어스택 구조

2) Ground Flare

Ground flare는 연소가 지면에서 일어나는 시스템으로, 일반적으로 Enclosed ground flare와 Open ground flare의 두 가지 유형이 있다. 불꽃이 지면에 가까우므로 내화성 있는 챔버나 울타리에 둘러 싸여 있어야 한다. 지면에서 연소가 일어나면서 가스가 지면에 가깝게 방출되어 기체 분산이 잘 되지 않기 때문에 일반적으로 배출가스가 상대적으로 깨끗한 경우 사용된다.

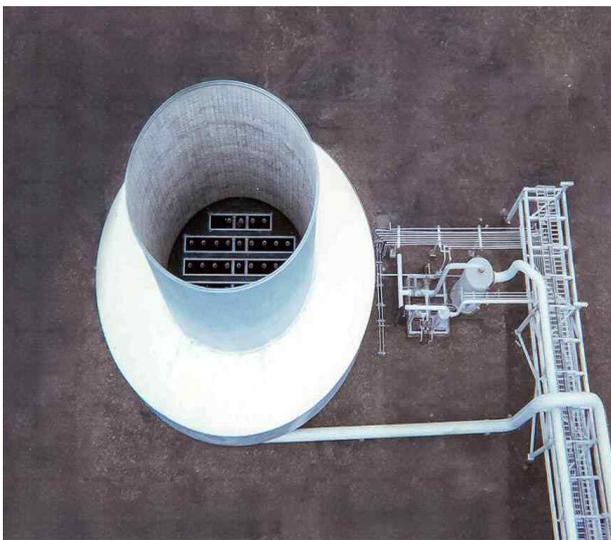
Ground flare는 비교적 열과 소음이 적으며, Elevated flare와 달리 지지대 또는 스택이 필요하지 않기 때문에 파일럿 및 기타 날씨에 민감한 장비가 부식되는 경우 쉽게 교체하고 청소할 수 있는 장점이 있다.

(1) Enclosed Ground Flare(밀폐형 지상 플레어)

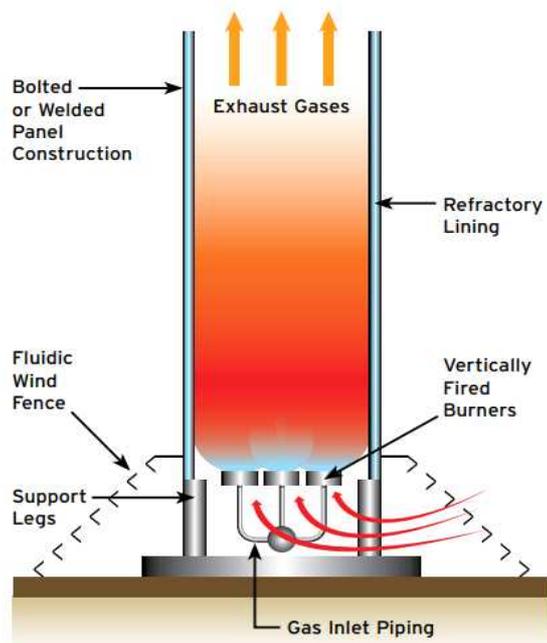
밀폐형 지상 플레어는 개방형 지상 플레어보다 일반적으로 더 흔히 사용된다. 소음 및 복사열로부터 보호하는 내화성 셸이 플레어를 둘러싸고 있는 구조로, 개방형 지상 플레어보다 소음, 빛, 열을 덜 발산한다.

(2) Open ground flare(개방형 지상 플레어)

플레어 헤더라고 불리는 대형 배관 시스템에서 방출 된 가스와 액체를 지면의 플레어로 분배하여 연소시키는 방법이다. 울타리로 둘러 쌓여있는 다수의 버너가 함께 작동하여 대량의 가스를 점화시킨다.



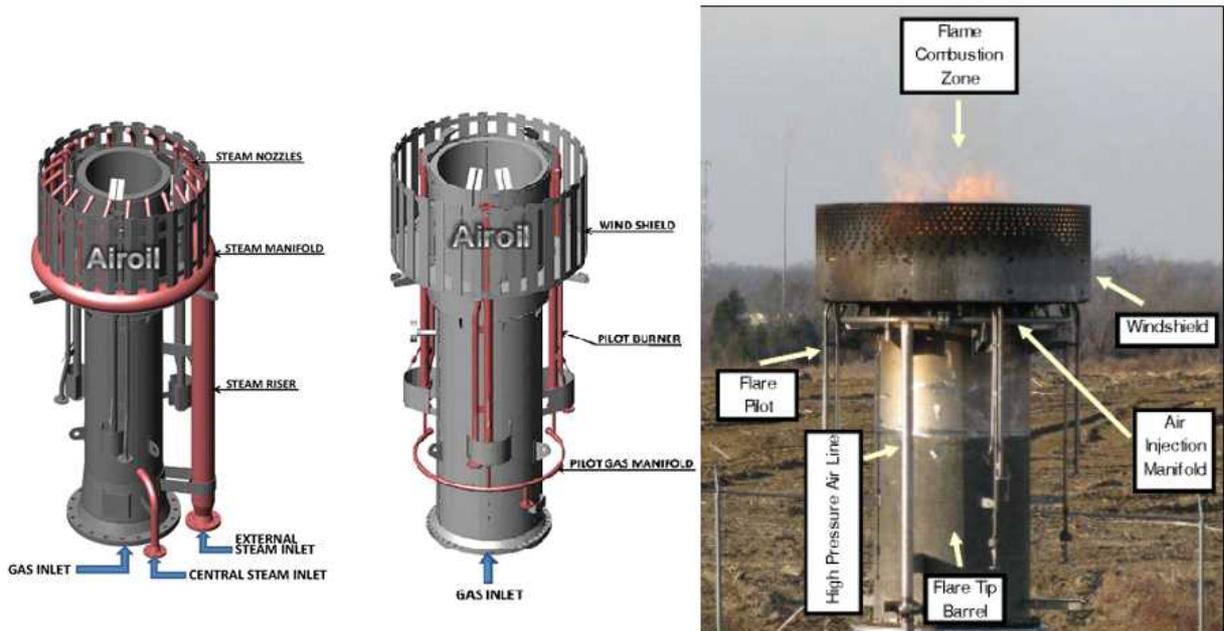
[그림 14] Enclosed Ground Flare 설비



[그림 15] Enclosed ground flare 구조

1.3.3.2. 플레어팁

플레어팁은 폐가스가 배출되어 나오는 출구이자 화염이 존재하여 폐가스가 연소가 일어나는 곳이다. 팁의 설계에 따라 소음 및 복사열 발생 수준을 낮추거나 공기와 배출가스의 혼합을 원활하게 하여 연소효율을 높일 수 있다.



[그림 16] 플레어팁 구조

플레어팁은 개방형 플레어팁, 공기 보조 플레어팁, 다중 노즐 유형 플레어팁, Sonic 플레어팁 및 Coanda 플레어팁 등 다양한 종류가 있다.

1) 개방형 플레어팁

매연을 생성하지 않는 가스(주로 경질 탄화수소) 및 발열량이 낮은 가스의 연소 또는 중질 탄화수소이나 무연 연소가 필요하지 않은 경우 사용한다. 단순한 파이프 형태의 플레어팁으로 설치비용이 저렴하다.

2) 다중 노즐 유형 플레어팁

플레어팁 주위로 다중으로 노즐을 배치한다. 높은 압력의 플레어가스를 처리할 수 있으며, 연소 효율이 좋아 연기가 발생할 가능성을 낮춘다.

3) Sonic Flare Tip

배출가스의 분사 속도가 음속의 범위에 있으며, 고속으로 분사되는 가스 흐름 주변으로 진공이 형성됨에 따라 주변 공기가 빨려들어가며 배출가스와 혼합된다.

4) Coanda Flare Tip

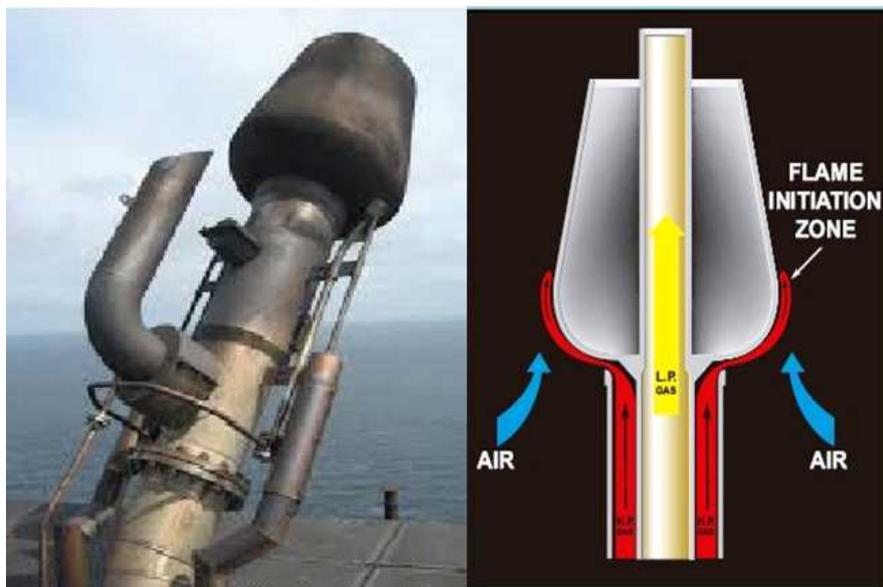
배출가스가 고속으로 분사되면, Coanda 외벽을 따라서 위로 올라가게 되는데, 이때 곡면 형태의 Coanda 외벽을 가스가 빠른 속도로 지나며 진공이 형성되어 외부의 공기가 유입되어 섞이게 된다.



다중 노즐 플레어팁

개방형 파이프 플레어팁

[그림 17] 플레어팁 구조



[그림 18] Coanda 플레어팁

1.3.3.3. 파일럿 버너 및 점화시스템

파일럿 버너는 플레어 팁이 위치한 플레어스택 상단에서 배출되는 폐가스를 점화시켜 소각시키고 안정적으로 불꽃을 유지하기 위한 버너 장치이다. 플레어스택의 파일럿 화염은 항상 유지되어야 하며, 파일럿 버너를 켜기위해 점화시스템이 필요하다. 일반적으로 사용되는 점화시스템은 다음과 같다.

1) Flame Front Generator(FFG)

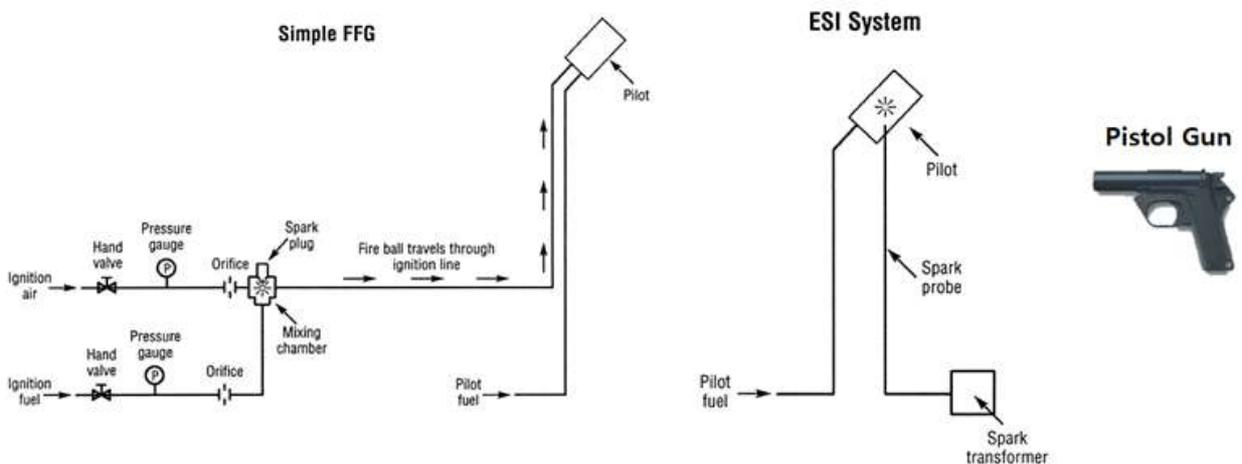
FFG는 가장 널리 사용되는 플레어 파일럿 점화 시스템이다. 지면에서 압축공기와 연료가스를 제어 밸브를 통해 유량을 조절한 후 챔버로 보내 혼합시킨다. 혼합 챔버에는 Flame Front를 생성하기 위한 점화 장치가 있다. 점화 라인을 혼합물로 채운 후 스파크를 이용하여 점화시킨다. 점화되어 생성된 화염은 파일럿 버너가 점화되는 플레어 상단으로 이동한다.

2) Electronic Spark Ignition

스파크 점화 방식은 간단하고 자동화가 쉬운 시스템이다. Electronic Spark Ignition 방식은 파일럿 팁 근처에서 고에너지 또는 고전압 방전이 가능한 전극을 통해 불을 붙인다. 따라서 압축공기가 필요하지 않다.

3) Pistol/Signal Gun

파일럿 버너를 점화하는 가장 기본적인 방법 중 하나는 플레어 건을 사용하여 작업자가 직접 불을 붙이는 방법이다. 근래에는 점화시스템이 발달하여 거의 사용되지 않으나, 과거에는 사용되는 사례가 있었다.



[그림 19] 점화시스템 구성

1.3.4. 플래어시스템 부대장치

시스템을 안정적으로 운용하기 위해 필요한 각종 부대장치를 포함한다.

1.3.4.1. 화염감지기 및 모니터

플레어스택은 항시 불꽃이 유지되어야 하므로, 화염을 감지하는 모니터링 설비가 필요하다.

Thermocouples : 열전대(Thermocouple) 화염 모니터링은 가장 일반적으로 사용되는 시스템이며, FFG 및 스파크 점화시스템과 함께 사용된다. 열전대가 설정점에 도달하면 파일럿 화염이 '켜진 상태'로 간주한다.

Flame Ionisation : 화염 이온화 검출(Flame Ionisation Detector) 방식으로 가스의 이온화(전기전도성)를 검출하여 화염의 존재 여부를 감시한다.

Optical Monitoring : IR 또는 UV를 이용한 광학 모니터링이다. 플래어를 겨냥한 특수 카메라 렌즈를 사용하여 화염에서 나오는 적외선 또는 자외선을 감지한다.

1.3.4.2. 역화방지

플레어시스템 내부에서 음압이 형성될 경우 화염이 팁 내부로 빨려 들어가 시스템 내부가 손상되거나 폭발할 위험이 있다. 따라서 이를 방지하기 위한 역화방지를 설치할 필요가 있다.

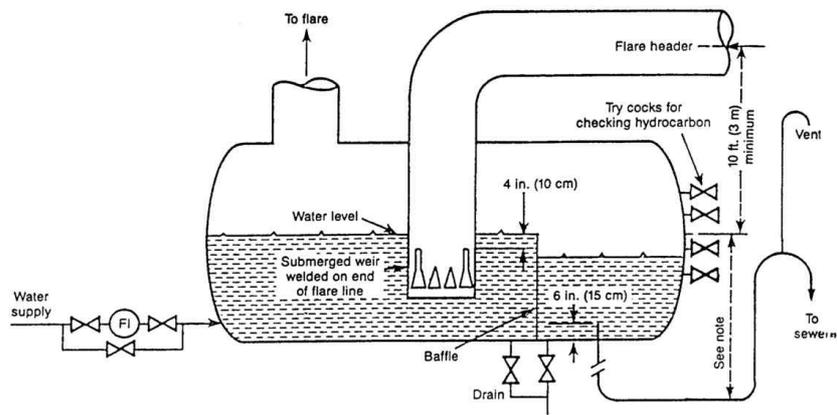
역화 현상은 플레어스택의 화염이 플레어시스템으로 거꾸로 전파되거나, 플레어헤더에 약간의 진공이 형성 되는 경우 플레어스택으로부터 공기가 빨려 들어가는 경우 발생한다. 플레어팁 등으로부터 공기가 유입되어 역화가 일어나는 것을 방지하기 위해 역화방지 설비를 설치한다. KOSHA GUIDE : D-61에 따르면 역화방지 설비는 다음과 같이 구성된다.

- 액체 밀봉드럼 (Water Seal Drum)
- 건식실 (Dry Seal)
- 퍼지 시스템 (Purge System)

1) 액체 밀봉드럼

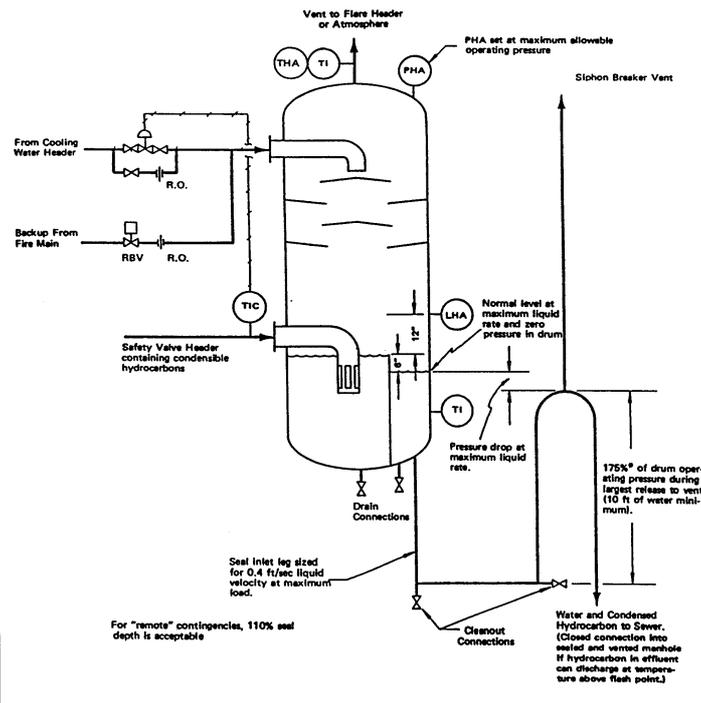
액체 밀봉드럼은 플레어시스템 내에 양압을 유지시켜 외부로터 공기가 유입되어 역화가 일어나는 것을 방지하기 위하여 설치한다. 특히, 엘리베이트 스택의 경우 높이에 따른 영향으로 시스템 내부에 부압이 발생되므로, 이를 방지하기 위해 반드시 설치할 필요가 있다.

액체 밀봉드럼은 액체를 이용해 헤더라인을 외부의 공기로부터 밀봉시키는 역할을 한다. 플레어헤더의 토출배관, 드럼, 폐수 처리설비, 액체 공급 배관 등으로 구성되어 있으며, 형태에 따라 수직 밀봉드럼과 수평 밀봉드럼을 구분할 수 있다.



Note: The sewer seal should be designed for a minimum of 175 percent of the drum's maximum operating pressure.

[그림 20] 수평 액체 밀봉드럼

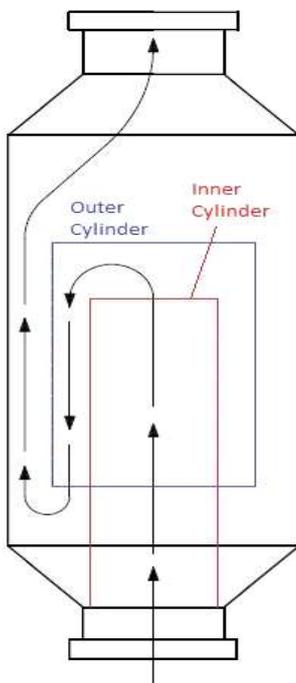


[그림 21] 수직 액체 밀봉드럼

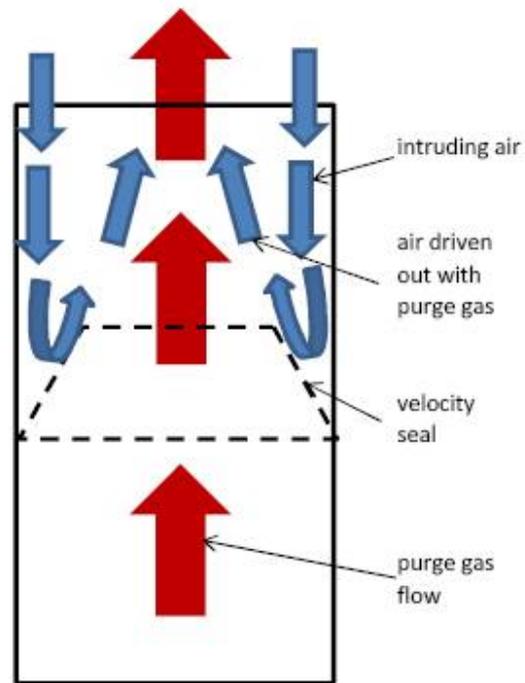
2) 건식실 (Dry Seal)

건식실은 주로 엘리베이트 타입 플레어스택에 사용되며 플레어팁 바로 밑에 설치되어 공기의 유입을 방지한다. 액체 밀봉드럼과 달리 공기가 헤더라인으로 주입되었을 경우, 역화를 방지하지는 못한다. 따라서 주 설치 목적은 역화 방지보다는 퍼지 유량을 절감하는데 있다.

건식실은 라비린스실(Labyrinth seal 또는 Molecular seal)과 벨로시티실(Velocity seal)로 구분된다. 시스템 내 공기유입을 방지하기 위해 공급하는 퍼지가스의 양을 최소화하기 위해 설치하는 것으로 플레어팁 바로 밑 또는 멀리 떨어지지 않은 위치에 설치한다.



[그림 22] Labyrinth seal



[그림 23] Velocity seal

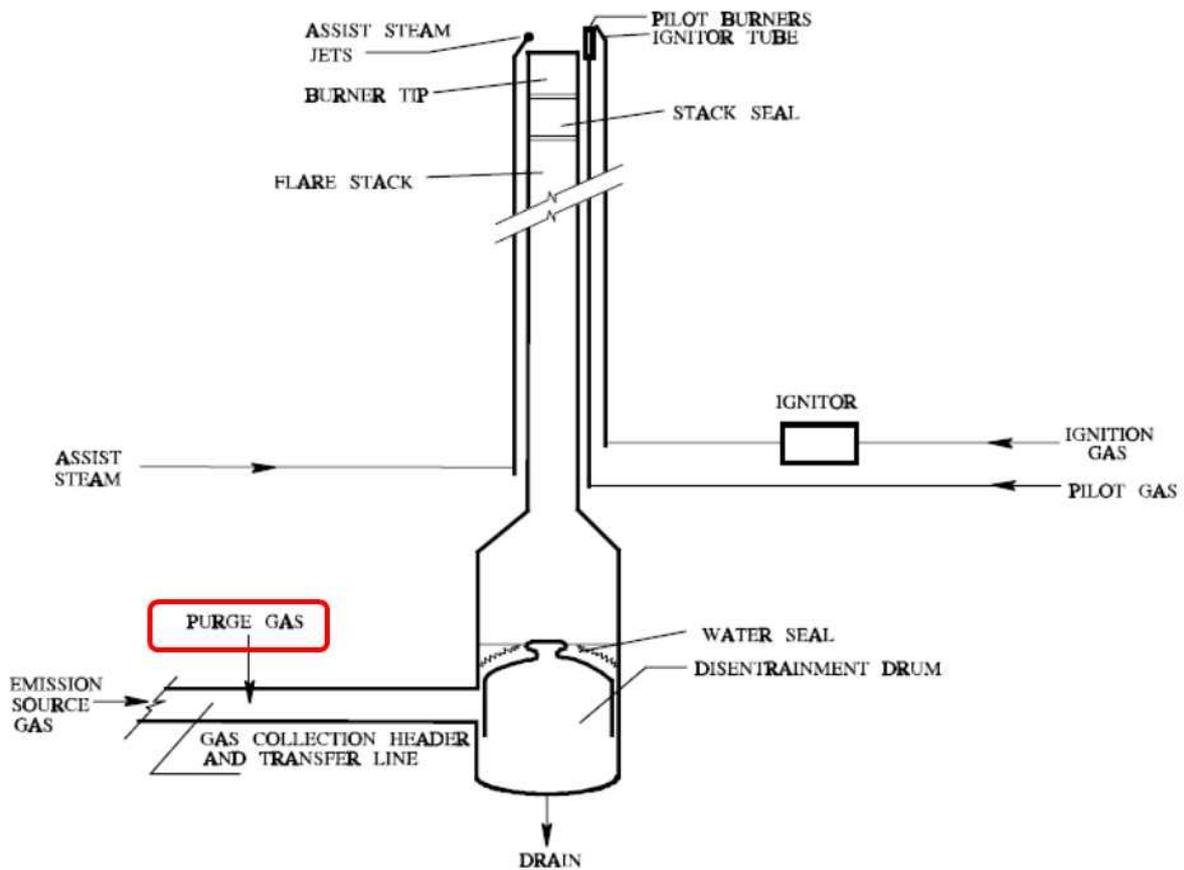
라비린스실(혹은 몰레큘러실)은 퍼지가스와 공기의 분자량 차이를 이용한다. 플레어팁으로 향하는 가스의 흐름을 두 번 변하게 만들어 분자량이 높은 가스 등은 하단부에 체류하고 분자량이 낮은 가스 등은 상단부에 체류하면서 공기 등이 플레어스택 내부로 침투하지 못하도록 방지하는 원리다.

Velocity seal은 콘 모양의 구조물을 통해 플레어 상단의 유체 흐름을 바꾸어, 대기 중으로부터 공기가 유입되는 것을 방지한다.

3) 퍼지 시스템 (Purge System)

퍼지(Purge)란 스택의 팁(Tip)을 통하여 플레어헤더 시스템 내부로 공기가 유입되는 것을 방지하기 위한 개념이다. 일반적으로 직경이 매우 큰 플레어헤더는 외부 대기압보다 압력이 낮아지는 즉, 음압이 형성되는 경우 플레어팁을 통해 외부로부터 공기가 내부로 빨려들어올 수 있다. 이러한 경우, 역화 현상이 일어남으로써 플레어시스템의 내부 손상 및 사고가 발생할 수 있다.

따라서 플레어헤더로 지속적으로 가스를 주입하여 음압이 형성되는 것을 방지하며, 일반적으로 N₂ 가스를 사용하여 퍼지하거나 공정 Off-Gas를 사용하기도 한다. 퍼지는 플레어헤더의 각 말단에 주입하는 것이 좋다.



[그림 24] 플레어스택 퍼지가스 주입

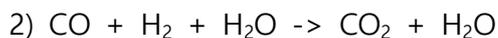
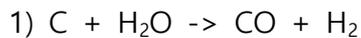
1.4. 플레어스택 연소 기술

1.4.1. 무연 연소 방식

플레어스택은 폐가스를 안전하게 연소하여 처리하는 설비이며, 연소 효율성 증대를 위해 다양한 연소기술이 개발되어 왔다. 특히 매연 형성을 최소화하기 위해 스팀, 공기, 물과 같은 보조 유틸리티 등을 공급하며, 다음과 같은 방법 등이 있다.

1) 스팀보조 방식 (Steam assisted flare)

보편적으로 많이 사용하는 방법으로 플레어팁의 화염에 주입되어 난류를 생성함과 동시에, 스팀 제트를 통하여 공기를 흡입함으로써 공기와 플레어가스의 반응을 더 용이하게 만든다. 수성가스(water gas) 전이 반응을 통해 일산화탄소를 이산화탄소 등으로 전환시키는 역할을 한다.



2) 공기보조 방식 (Air assisted flare)

플레어스택의 아래쪽에 Air blower를 설치하여 공기를 주입해주는 방식이다. 매연은 탄화수소와 공기가 불완전하게 연소해서 발생하므로, 공기를 인위적으로 주입시키는 방법이다. 기본적으로 고압 스팀과 동일한 주입 방식을 사용하지만 효율적이지 못하여 스팀을 사용하지 못하는 일부 상황 등에서 대체 방법으로 사용된다.

3) 고압수(water) 주입 방식

가스 흐름에 직접 물을 분사시키는 방법이다. 플레어스택 상단까지 물을 가압시켜 분사시키기 힘들고 물이 분자상태로 쪼개져 배출가스와 결합되기 힘든 관계로 잘 사용되지 않으며, 대량의 폐수 또는 염수를 제거할 필요가 있는 경우 사용된다. 플레어 유량이 낮을 때는 물 유량을 제어하기 어려우므로 단계적으로 물주입이 가능한 단계적 물 분무(Staged water spray) 주입시스템이 필요하다.

4) 저압 송풍

스팀 등의 보조 유틸리티가 현장에 충분하지 않을 경우에 대안으로 사용된다. 공기와 플레어가스가 같은 방향으로 유입되어 플레어팁에서 혼합되는 방식이다. 0.5-5.0 kPaG 압력의 저압 공기를 플레어팁에 주입하기 위해 별도의 스택과 공기 송풍기가 필요하므로 초기 투자비가 크게 소요된다.

5) 고압 플래어링

스팀 또는 공기와 같은 유틸리티를 사용하는 대신 플래어 가스 자체의 압력에너지를 활용하는 방법으로 대량의 가스를 처리할 경우 유리하다.

6) 고압 연료가스

스팀과 비슷한 주입 방식으로 공기의 보조가스의 양을 줄이기 위한 특수 고성능 팁(Tip)이 필요하다. 1 kg 플래어가스 당 천연가스 약 0.5-0.75 kg (500-1,000 kPaG)가 필요하다. 보조 가스량을 줄이기 위한 특수 고성능 팁이 요구될 수 있다.

1.4.2. 무연 연소 기술

플래어 연소기술은 시간이 지남에 따라 발전했으며, 효율적인 무연 연소로 배가스를 처리해야 하는 근본적인 필요성이 기술 발전을 주도해 왔다. 플래어 연소기술이 혁신됨에 따라 '세대적' 변화를 이루었다.

불완전 연소는 근본적으로 산소부족이 원인이다. 플래어스택은 대량의 배출가스가 고속으로 빠져나가기 때문에 배출가스 흐름이 완전연소가 될 만큼 충분히 공기와 접촉하기 어렵다. 배출가스가 연소되는 과정에서 순간적으로 산소가 부족하면 불완전 연소되어 매연이 발생한다. 따라서 플래어 연소 기술은 기본적으로 배출가스 흐름과 공기의 혼합작용을 증대시키는 방향으로 발전해왔다.

1세대

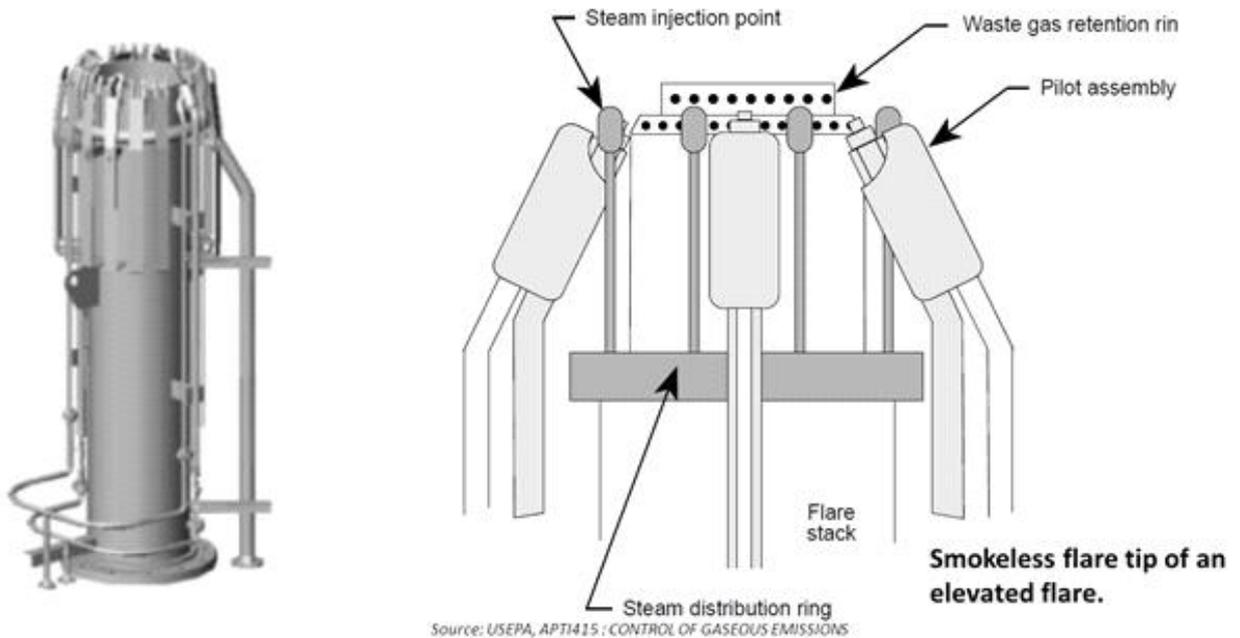
최초의 1세대 저압 플래어 연소 기술은 보조 유틸리티의 공급 없이 단순한 파이프에서 폐가스를 연소시키는 플래어이다. 오늘날에도 세계적으로 여전히 광범위하게 사용되고 있지만, 이 1세대 플래어는 가장 가벼운 탄화수소인 메탄에서도 쉽게 연기가 나는 경향이 있어 환경적 규제를 받는 지역에서는 사용할 수 없다.

2세대

2세대 플래어는 상부에 스팀링과 같이 외부에서 스팀을 공급해주는 노즐을 추가하여 연소 효율을 증대시킨 플래어이다. 'Upper steam assist' 방식으로 플래어스택의 상부에서 노즐을 통해 스팀을 고속으로 분사하면 스팀 흐름 주변의 압력이 떨어지면서 주변 대기로부터 공기를 끌어들인다. 즉, 스팀은 혼합작용의 매개체 역할을 하며, 난류를 형성하여 배출가스와 공기의 혼합작용을 증대시킨다. 이렇게 분사된 스팀은 배출가스와 주변 공기와의 혼합을 촉진시켜 플래어의 무연 연소 용량을 확장시키는 역할을 한다.

플래어의 무연 용량은 매연이 발생하지 않는 플래어가스량의 최대 질량 유량으로 정의된다.(Ringelmann Scale 0 기준) 이러한 2세대 플래어는 메탄, 에탄 및 프로판과

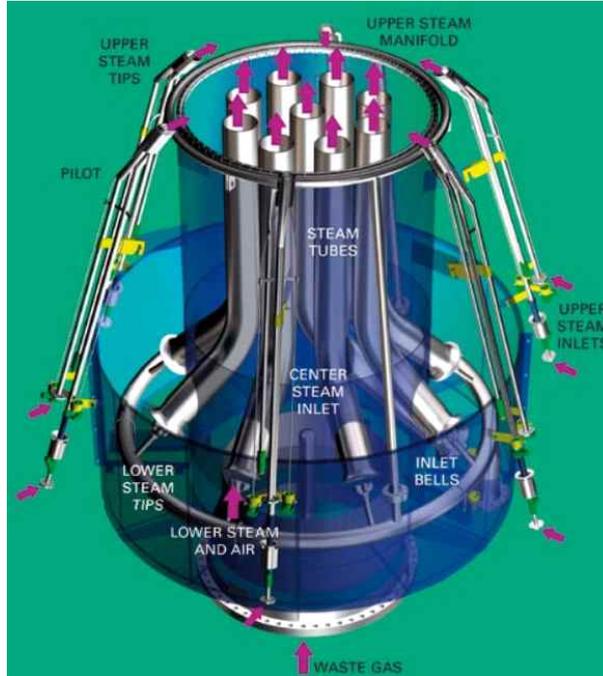
같은 포화 탄화수소가 주 성분인 배출가스 연소 시 무연 비율을 높일 수 있다. 그러나 더 많은 플레어량, 더 큰 플레어팁 직경, 에틸렌 및 프로필렌과 같은 불포화 탄화수소를 처리하는 경우 무연 비율이 낮다.



[그림 25] 2세대 플레어 연소기술

3세대

3세대 플레어 역시 스팀을 사용하나 더 많은 공기를 배출가스 흐름에 주입시켜 혼합할 수 있다. 3세대 플레어는 2세대 플레어와 같은 'Upper steam'과 더불어 'Lower steam' 및 'Center steam' 등을 사용하여 3가지 스팀 분사 모드를 가질 수 있다. 'Lower steam'은 'Upper steam' 아래쪽에 스팀 노즐을 추가하여 분사함으로써 배출가스와 공기를 사전에 한번 더 혼합하는 것이 가능하다. 'Center steam'의 경우 혼합작용 증대 역할을 하지는 않으나 플레어팁 내부로 화염이 들어오는 Interner Burning 현상을 방지하여 플레어의 내구도를 향상시킨다. 이러한 스팀 주입 방식을 통해 전체적인 공기 공급 유량을 크게 증대시킨다.



[그림 26] 3세대 플레어 연소기술

4세대

4세대 플레어는 3세대에서 더 나아가 보다 향상된 공기 혼합작용을 제공한다. 벤츄리형태 혹은 혼합 수렴 형태의 노즐을 사용하여 적은 공기유량으로도 최대의 혼합작용을 이끌어낸다. 특수한 노즐의 형태로 인해 배출가스 흐름은 노즐을 통과하면서 약간의 각도를 가지고 스팀 및 공기 흐름과 교차하면서 혼합된다. 또한 스팀 튜브를 여러개 두어 튜브와 튜브 사이에서 공기가 한번더 혼합되는 효과를 얻을 수 있다. 이러한 혼합 개선효과로 보다 향상된 무연 연소 성능을 제공한다. 또한 기존의 노즐과는 다르게 스팀이 직선으로 공급되기 때문에 보다 스팀 주입 시 손실량이 줄어들고 스팀 사용량을 절감할 수 있으며, 기존 방식에 비해 30% 정도의 스팀량이 절감된다.



[그림 27] 4세대 플레어 연소 기술 예시

1.5. 플레어시스템 모니터링

1.5.1. 모니터링 목적

플레어 시스템은 정유소, 화학공장, 천연가스 처리공장, 유전(oil wells) 및 가스전(gas-wells) 등 기타 산업 현장에서 발생하는 배출가스를 연소하는 장치로써, 휘발성 유기화합물(VOC, Volatile Organic Compound), 독성 화합물 및 기타 오염물질을 연소시켜 파괴하는데 사용한다. 유해물질을 적절하게 처리하기 위해서는 플레어 시스템의 성능을 적절하게 유지해야하며, 플레어 적정 운영여부와 플레어 성능을 판단할 수 있는 모니터링 시스템이 필요하다.

- (1) 연소구역의 총 발열량 제어 : 보조가스 유량, 배출가스의 유량, 발열량 및 조성분석 등의 모니터링
- (2) 규제대상물질의 적정 연소여부 : CCTV, OGI 등을 사용한 매연 모니터링
- (3) 플레어 화염 존재 여부 : 열전대, 적외선 및 자외선 센서 등을 사용한 모니터링

1.5.2. 계측기기

1) 유량 측정

가스 체적 유량을 측정할 수 있는 계측기기는 다양한 종류가 있으며, 아래와 같은 사항을 고려해야한다.

- 허용 유량 범위 : 유량계는 예상 유량 범위를 수용할 수 있어야 함
- 설치 요구사항 : 플레어에 대한 최종 가스 유량을 측정하고 knock out drum 및 water seal drum의 후단에 설치 가능해야 함
- 유지관리 및 교정 : 모든 유량계는 시간과 사용에 따른 성능 저하에 취약하므로, 규정이나 제조업체가 지정한 사항에 따라 주기적으로 교정점검을 수행
- 온도 및 압력 보정 : 측정된 유량을 표준조건 (101.325 kPa 및 15 °C) 또는 정상조건 (101.325 kPa 및 0 °C)으로 보정하기 위해 온도 및 압력 보정 기능이 필요

파이프 내 유량을 측정하기 위해 산업계에서 사용되는 계측기기는 아래와 같은 종류가 존재한다.

[표 3] 유량 측정 계측기기 종류

Flow meter		Wet 또는 Dirty gas 허용	교정 주기	허용 유량	유량 범위 ¹⁾	정확도	설치 시 가동 중단 필요	전력 필요
분류	종류							
Inline	Venturi Tube	높음	높음	높음	낮음	높음	예	아니오
	Orifice Plate	높음	높음	높음	낮음	높음	예	아니오
	Bellow (or Diaphragm)	불가	낮음	낮음	보통	매우 높음	예	아니오
	Turbine	불가	낮음	보통	보통	매우 높음	예	아니오
	Vortex Shedding	보통	낮음	보통	보통	높음	예	예
	Ultrasonic Flow Meter	보통	낮음	높음	높음	높음	예	예
	Optical	보통	낮음	높음	높음	높음	예	예
Insertion	Thermal Anemometer	불가	낮음	높음	높음	보통	아니오	예
	Rotameter	낮음	낮음	낮음	낮음	낮음-보통	아니오	아니오
	Micro-tip Vane Anemometers	낮음	보통	보통	낮음	보통	아니오	예
	Pitot tube	낮음	낮음	높음	매우 낮음	보통	아니오	아니오
	Optical	보통	낮음	높음	높음	높음	아니오	예

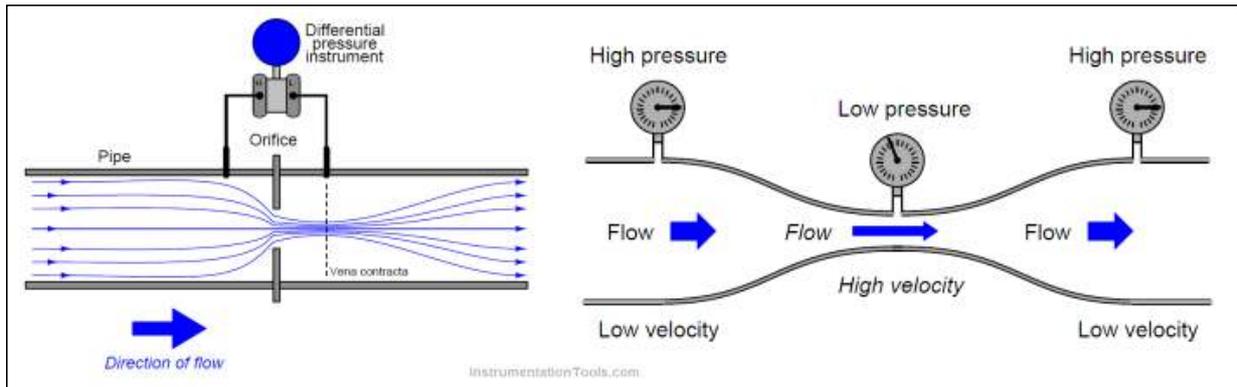
1) 유량 범위는 최대 유량 대 최소 유량 비율

(1) 차압식 유량계²⁾

흐름 내에서 생성된 압력강하에 대해 Bernoulli 방정식을 사용하여 유체의 유량을 결정한다. 압력 센서는 유동에 영향을 받지 않는 상류의 고정된 위치와 유속이 최대에 도달하는 하류 위치 사이의 압력차에 대한 정보를 수집하고 이를 이용하여 가스 유량을 계산한다.

전체적으로 차압식 유량계는 거친 공정조건과 특정 액체도 견딜 수 있게 견고한 설계를 제공하므로, Wet 또는 Dirty gas 허용 정도와 허용 유량이 높은 편이다.

- Orifice meter : 일반적인 차압식 유량계로, 흐름에 수직으로 설치된 Orifice plate를 포함한다. plate는 교체가 가능하며, 교체하는 것만으로 유량 범위 조절이 가능하다. 유량 범위는 일반적으로 5:1 미만이며, 정확도는 $\pm 2 \sim \pm 4 \%$ 범위 이내.
- Venturi meter : 일반적인 차압식 유량계로, 압력손실이 적다. 유량 범위는 일반적으로 6:1 미만이며, 정확도는 $\pm 1 \sim \pm 2 \%$ 범위 이내. Orifice plate와 달리 유체 흐름을 막지 않으며, 미터의 영구적인 손상 없이 Orifice plate 보다 높은 차압에서 작동 가능하다.(실제 차압은 약 200kPa까지 고려 가능)



[그림 28] 오리피스 및 벤투리 유량계

(2) 삽입형 유량계

프로브 끝부분(probe tip)의 유속을 측정하는 방식이다. 파이프 직경, 유량 프로파일 및 파이프를 가로지르는 프로브 끝부분의 위치를 기준으로 속도 측정값을 유량으로 변환한다. 영구설치의 경우, 프로브는 파이프 지름의 1/3 정도 위치에 고정된다. 단일 지점에 대해 속도를 측정하기 때문에, 유량 프로파일이 비대칭이거나 완전발달유동(fully developed flow)이 아닌 경우 이를 감지할 수 없다. 또한 직경이 큰 파이프의 경우, 고속의 유량이 발생할 시 프로브가 구부러지거나 고장이 발생할 수 있다.

2) Clearstone Engineering Ltd.(2010), "Guidelines on Flare and Vent Measurement", The Global Gas Flaring Reduction partnership(GGFR)

(3) 질량 유량계 (Mass Flowmeter)

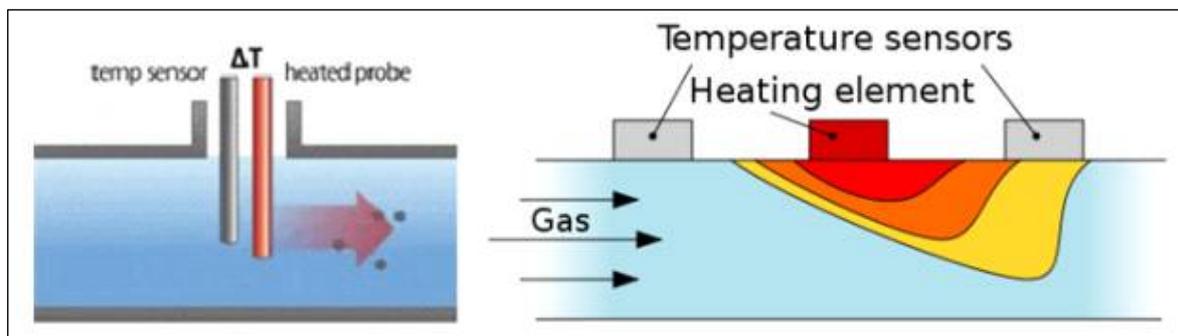
체적 유량이 아닌 플레어가스의 체적 유량을 측정할 수 있다. 일반적으로 압력 및 온도 센서 없이 유량을 측정할 수 있다. 측정 방식에 따라 아래와 같이 분류할 수 있다.

- 직접 측정 : 열식 질량(Thermal Mass), 코리올리 (Coriolis)
- 간접 측정 : 농도측정계와 다른 유량계를 결합한 계측기기

① 열식 질량 유량계(Thermal Mass Flowmeter)

가스흐름 속에 유량계를 삽입하여 유량계를 기준온도로 유지하는데 필요한 전류량을 측정하거나, 일정한 공급 전류에 대해 유량계의 온도변화를 측정함으로써 유량을 계측한다. 두 경우 모두 유체 대류로 인한 열손실 또는 냉각효과를 이용하여 유량을 계산한다.

유체의 열전도율과 비열은 일정하다고 가정하며, 밀도변화로 인해 오차가 발생할 수 있다. 응답시간이 빠르고 유량 범위는 최대 1000:1까지 가능하며, 정확도는 일반적으로 측정값의 $\pm 1 \sim \pm 3 \%$ 범위이다. 가스조성이 변화할 시 상당한 보정이 필요하므로, 교정 시 기준이 된 교정가스 조성과 비교적 유사한 조성을 가진 가스로 적용범위가 제한된다.



[그림 29] 열식 질량 유량계 (Thermal Mass Flowmeter)

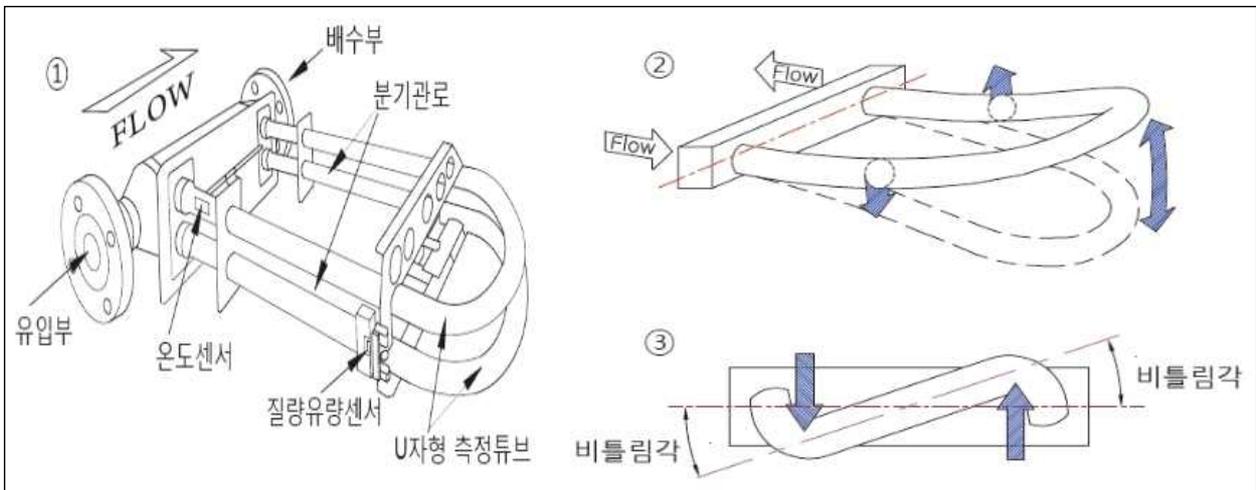
유량계마다 다르나 아래와 같은 적용범위를 가진다.

- 2~125 kg/h, 200~8,000 kg/h
- 파이프 직경 : 25~200 mm
- 압력 : < 40 bar
- 온도 : -50~300 °C

② 코리올리 유량계 (Coriolis Flowmeter)

코리올리 유량계는 1개 이상의 측정 튜브와 튜브에 인위적 진동을 가하는 진동소자가 있다. 유체가 진동하는 측정 튜브 내에서 흐르기 시작할 때 튜브는 본래 진동으로 인해 가지고 있는 관성과 유체의 직선 운동이 충돌하면서 뒤틀림이 발생한다. 진동하는 튜브를 통과할 때 유체는 최고 진폭 진동 지점을 향해 이동하면서 가속되나, 유체가 튜브를 빠져나갈 때는 최대 진폭 지점에서 멀어지면서 감속한다. 그 결과, 흐르는 상태에서 유관의 뒤틀리는 반응이 발생하며, 진동 주기가 달라진다.

튜브에 부착된 픽업 센서(pick up sensor) 2개가 튜브 진동으로 인한 "위상 차(phase shift)"를 감지한다. 이 차이로 코리올리 힘과 질량 유량을 직접 측정한다.



[그림 30] 코리올리 유량계(Coriolis Flowmeter)

유량계마다 다르나 아래와 같은 적용범위를 가진다.

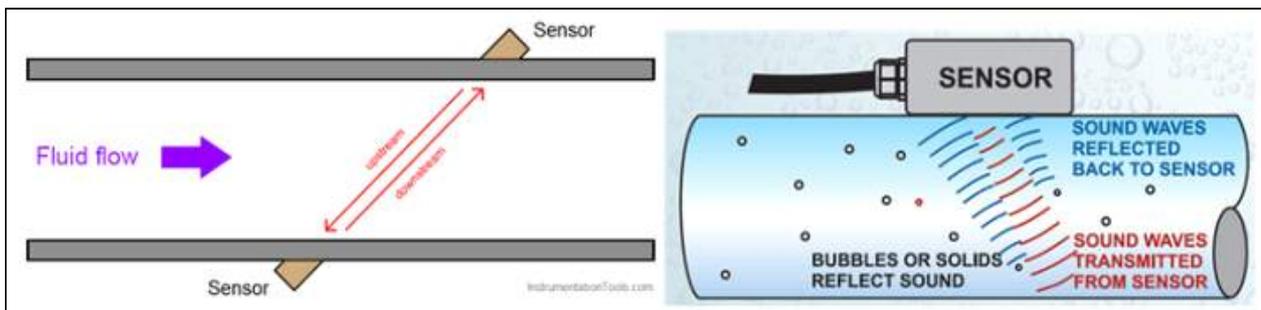
- 0~3 kg/h, 0~680,000 kg/h
- 파이프 직경 : 6~200 mm
- 압력 : < 393 bar
- 온도 : -240 ~ 200 °C

(4) 초음파 유량계

일반적으로 파이프 직경을 가로질러 대각선으로 배치된 두 개의 고정 트랜스듀서 (transducer) 사이의 흐름을 통해 초음파 파동이 이동하는데 필요한 통과시간을 측정하여 유속을 결정한다. 두 개의 통과시간을 측정하는데, 유체의 흐름과 동일한 방향으로 이동하는 파동과 그 반대방향으로 이동하는 파동을 발생시켜 시간을 측정한다. 유량 범위는 최대 2000:1까지 가능하며, 정확도는 일반적으로 $\pm 2.0\%$ 이내이다.

트랜스듀서는 유체 흐름과 직접 접촉해야하나 유체 내부 깊이 위치할 필요는 없으므로 압력강하가 발생하지 않는다. 응축된 액체나 에어로졸 및 먼지 등을 견딜 수 있고 가스조성에 영향을 받지 않는다. 그러나 정상적인 흐름의 소음보다 더 강한 초음파 파동을 생성해야하기 때문에, 액체 함량이 너무 높으면 과도한 신호 감쇠가 발생하여 습식가스(액체함량 0.5 vol% 이상) 측정에는 적합하지 않을 수 있다.

초음파 유량계는 온도와 압력의 변동에도 잘 작동하고 유동 부품이 없기 때문에, 조성 의존성이 있는 오리피스 및 삽입형 유량계에 비해 교정의 필요성이 작다.



[그림 31] 초음파 유량계

(5) 로터미터

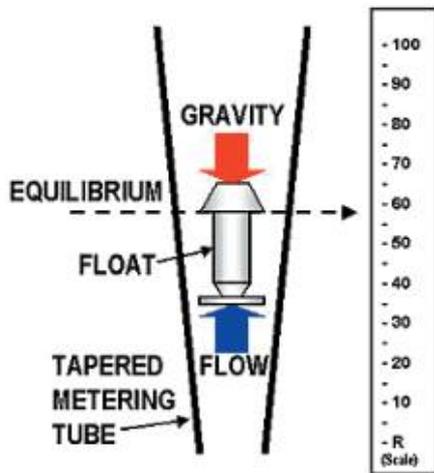
로터미터는 상단이 더 넓은 세로방향의 유리(또는 플라스틱)관과 관내에서 자유롭게 유동하는 계량 플로트로 구성된다. 측정할 유체는 관 하단으로 유입되어 플로트를 통과하여 상단으로 빠져나온다. 흐름이 없을 때 플로트는 맨 아래에 위치하고 유체가 유입되기 시작하면 플로트가 상승하기 시작한다. 유량이 증가함에 따라 플로트는 더 높이 이동하고, 유체 흐름으로 인해 위로 작용하는 힘과 플로트의 무게로 인한 중력이 같아지면 균형을 이룬다. 로터미터는 압력강하가 비교적 일정하다.

유량 범위는 일반적으로 10:1이며, 정확도는 이상적인 조건에서 $\pm 1 \sim \pm 2\%$ 이내이다. 로터미터는 적용 가능한 파이프 직경의 범위(1/2 ~ 4 in.)가 크지 않으며, 관 벽과 플로트 사이에 이물질이 쌓이는 것을 방지하기 위해 비교적 깨끗한 유체에만 적합하다.

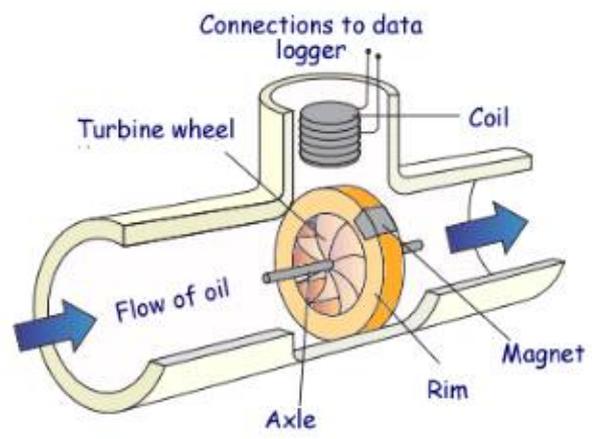
(6) 터빈 유량계

터빈 유량계는 축방향 유체흐름이 터빈 베인에 작용하여 유량에 정비례하여 회전하는 인라인 유량계이다. 유량에 따라 증가하는 터빈의 회전횟수를 측정하여 유량을 결정한다.

터빈 유량계는 주로 저압 및 소량의 가스 흐름에 적합하나 종종 고압 및 대용량 응용분야에서도 사용되었다. 유체 프로파일과 진동에 민감하며, 가스에 포함된 액체에 의한 손상에 특히 취약하다. 유동부품이 있기 때문에 자주 교정해줄 필요가 있다.



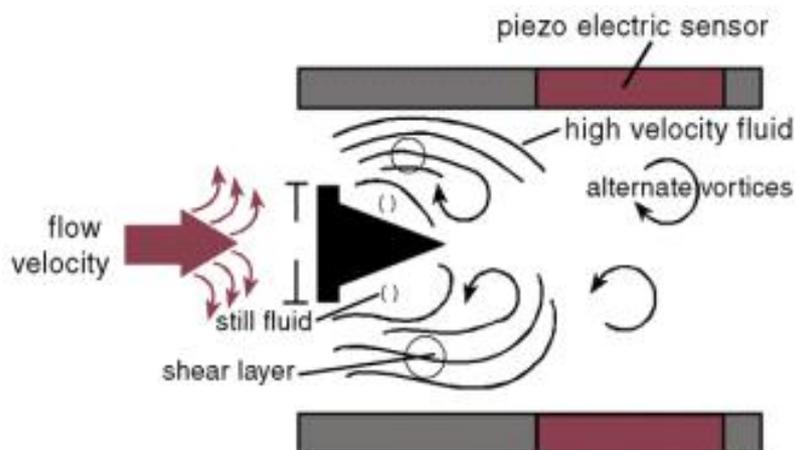
[그림 32] 로터미터



[그림 33] 터빈 유량계

(7) 와류식 유량계

유체흐름에서 하천의 교각과 같이 장애물이 있는 경우 하단에 소용돌이가 형성된다는 사실을 이용한다. 와류식 유량계 관로 내에는 하천의 교각의 역할을 하는 삼각주(bluff body)가 위치하고 있는 것이 특징이다. 와류의 빈도는 유량이 증가함에 따라 선형적으로 증가한다.



[그림 34] 와류식 유량계

2) 발열량 측정

발열량 계산을 위한 조성 모니터링은 방식에 따라 (1) 샘플링 수집 후 실험분석 및 (2) 연속 분석으로 분류 가능하다.

(1) Wobbe analyzer³⁾

Wobbe Index(웨버지수)는 연소기에 대한 입열에너지의 크기를 나타내는 지수로서, 발열량에서 비중으로 나눈 값이다. 가스 연소성 및 호환성을 표시하는 척도로 사용되며, 허용 범위는 일반적으로 5% 이내이다.

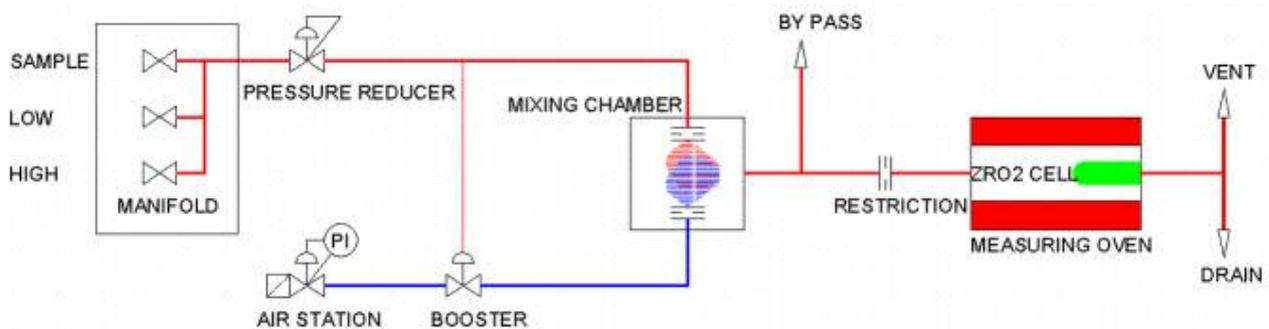
웨버지수 표기방법 : $WI = LHV / \sqrt{(Sp.Gr)}$

WI : Wobbe Index

LHV : 저위발열량 (kcal/Nm³)

Sp.Gr : 0°C, 1atm 에서의 가스 비중

즉, 웨버지수는 가스연료의 출력(단위 시간당 방출에너지)과 관련되는 변수이기 때문에 같은 조건에서 가스연료가 얼마만큼의 에너지를 생산하는 가를 알 수 있다. 노즐의 압력차가 일정한 연소조건에서는 동일한 웨버지수를 갖는 가스를 사용할 경우 동일한 출력을 얻을 수 있다.



[그림 35] Wobbe index analyzer 예시

Wobbe analyzer는 다양한 공정에서 발열량 및 농도를 측정하고 연료가스의 품질 분석을 위해 정제소에서 널리 사용된다. 플레어 가스의 산소함량을 측정하고 Wobbe

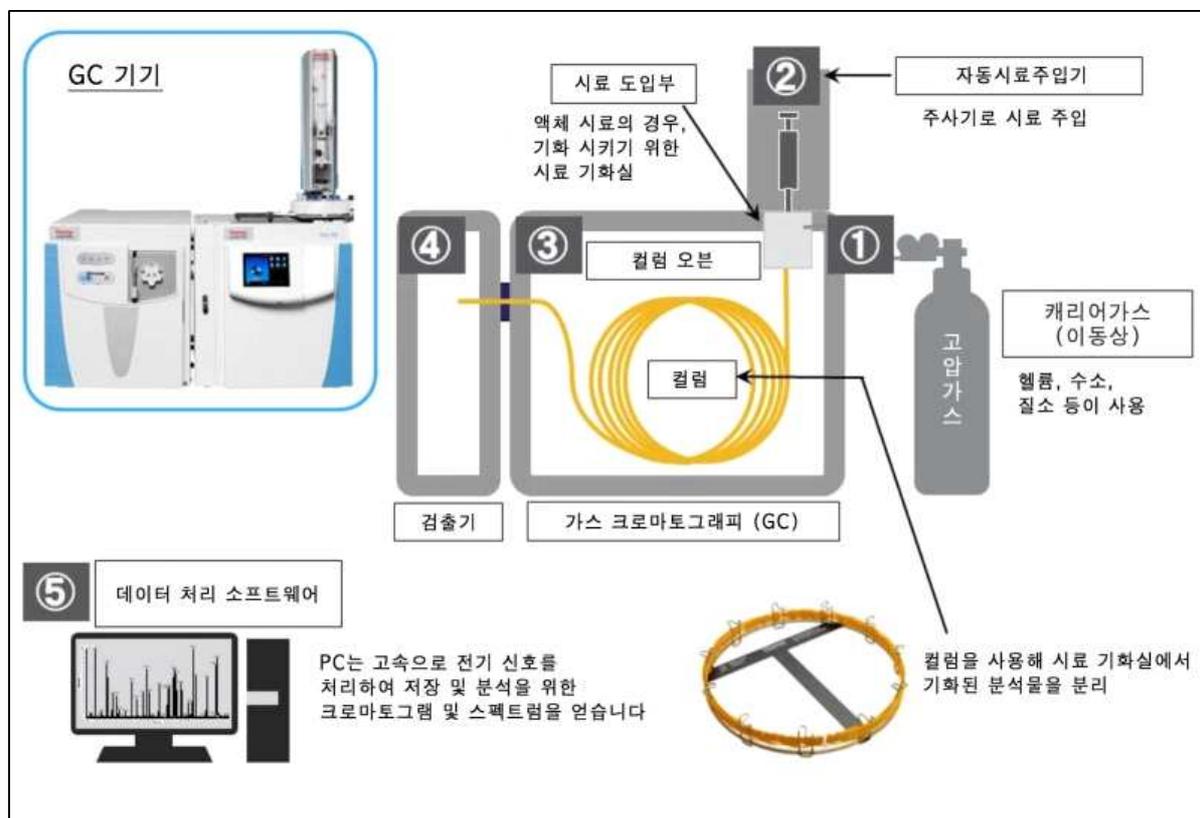
3)

<https://www.yokogawa.com/kr/library/resources/media-publications/flare-monitoring-regulatory-compliance-and-analyzers-an-analysis/>

지수를 계산하기 위해 샘플을 연소시키는 열량계이다. 발열량을 즉각적으로 판독하므로 응답시간이 짧으나, 발열량만 측정하기 때문에 플레어 가스의 조성에 관한 정보는 얻을 수 없다. 또한 온도에 민감하므로 온도 제어식 보호소(shelter) 내부에 설치할 필요가 있다.

(2) Gas Chromatography

가스 크로마토그래피는 복합 성분의 시료가 이동상에 의해 이동하면서 칼럼의 고정상과 상호 물리·화학적인 작용을 통해 각각의 단일 성분으로 분리되는 현상을 이용한 분석장치이다.



[그림 36] 가스 크로마토그래피 구성

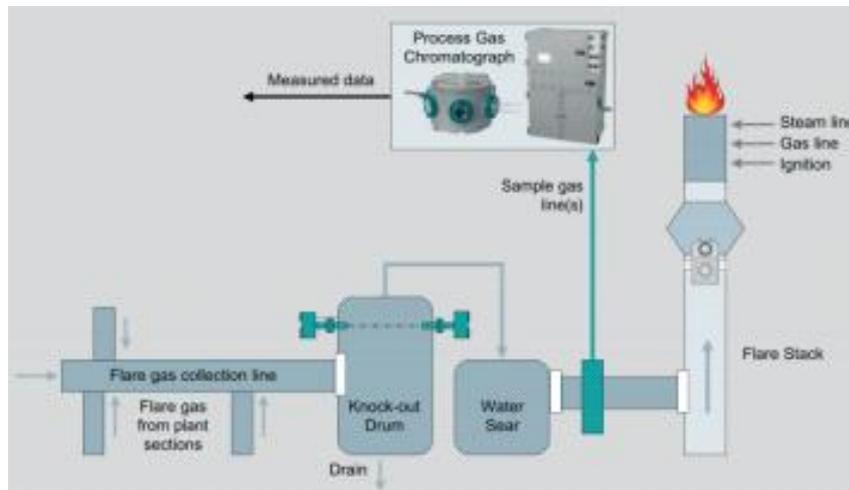
시료 도입부 : 시료를 칼럼으로 보내는 주입부이다.

캐리어 가스 유량 제어부 : 이동상 캐리어 가스(carrier gas)의 도입량을 제어하는 부분이다. 캐리어 가스는 시료 도입부에서 주입된 시료를 칼럼내로 이동시킨다.

분리부(칼럼) : 시료 도입부에서 주입된 시료를 성상에 따라 분리하는 부분이다. 크로마토그램에서 나타난 피크 용출시간과 면적 값을 통해 분석물의 정성(분석물의 피크 용출시간) 및 정량(분석물의 피크 크기) 분석을 수행한다. 분석 조건(시료 도입부, 칼럼,

온도, 장치 조건, 시료 등)이 일정하면, 특정 분석물은 항상 동일한 용출 시간에 피크로 나타난다.

플레어 가스 샘플을 컬럼으로 통과시켜 플레어 가스의 다양한 성분을 분리하여 개별성분의 농도를 측정한다. 각 화학물질은 서로 다른 시간에 컬럼을 빠져나가 검출되고 식별되며, 식별된 플레어 가스의 조성을 통해 배출가스의 발열량을 계산한다. 응답시간이 비교적 느린 편이나 플레어 배출가스에 존재하는 개별성분의 농도측정, 계산 및 기록 시 가장 큰 유연성을 제공한다. 질량 분석기나 Wobbe analyzer와 달리 보호소가 필요 없다.



[그림 37] GC 발열량 모니터링 모식도

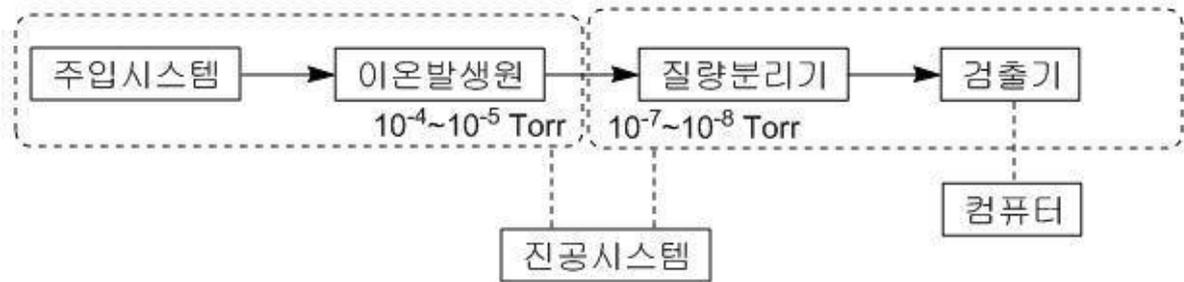
(3) Mass Spectrometer⁴⁾

질량 분석기는 전하를 띤 입자가 자기장 안에서 힘을 받아 회전을 하게 되는 원리를 이용한다. 원자 또는 분자가 이온으로 전환되면 전환된 원자와 분자는 자기장에 의해 굴절될 수 있으며, 이온은 질량 대 전하 비율에 따라 자기장 또는 전기장에 의해 편향된다. 분자 이온이 자기장 속에서 힘을 받아 회전을 하게 되는데, 분자량에 따라 회전 반경이 다르다.

이온화 : 이온화를 시키는 방법은 크게 기체 상태 이온화법과 탈착 이온화법이 있다. 가장 일반적인 이온화 법은 전자 충격 이온화법(EI, Electorn Impact Ionization)으로, 원자 또는 분자를 양이온으로 전환하기 위해 하나 이상의 전자와 충돌시켜 이온화하는 방법이다. (ex : $M + e^- \rightarrow M^+ + 2e^-$)

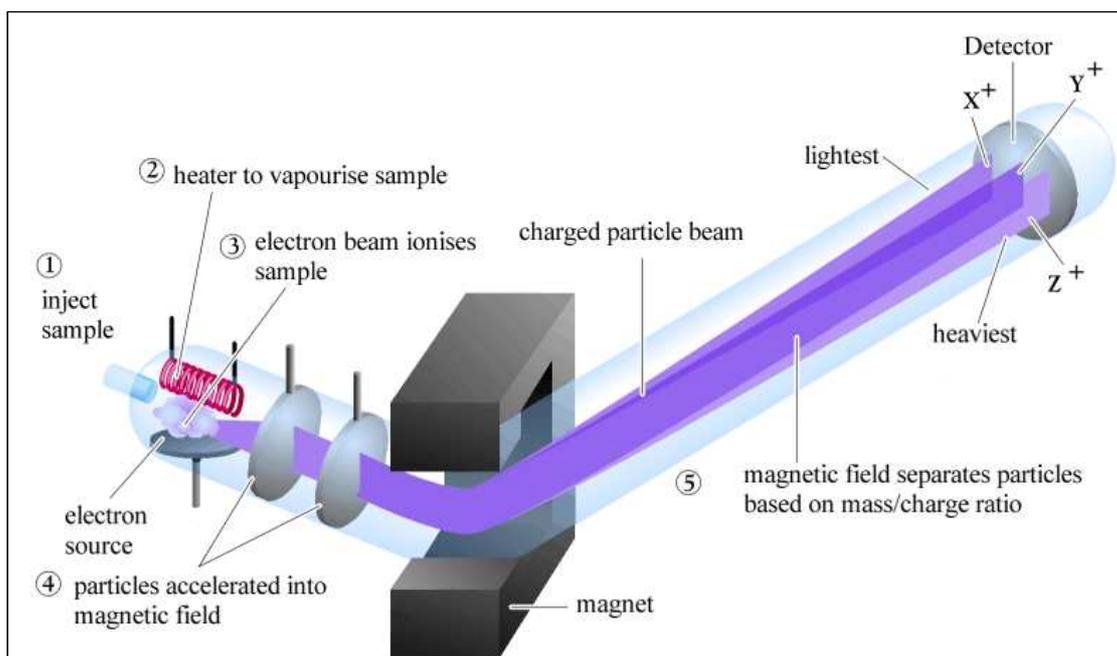
4) Hydrocarbon Engineering, Meet the EPA 40 CFR Part 63 Flare Regulations with Gas Chromatography, Gulf Publishing Company, 2018

가속 및 편향 : 이온은 가속되며 모두 동일한 운동에너지를 갖는다. 가속된 이온은 질량에 따라 자기장에 의해 편향되며, 가벼울수록 더 많이 굴절된다. 분자량 외에도 변향된 정도는 이온의 양전하 수에 따라서도 다르다.



[그림 38] 질량분석기 시스템

질량 분석기는 플레어 가스의 개별성분 농도에 관한 정보를 제공하며, 모든 구성요소와 여러 구성요소 혼합에 대한 교정가스가 필요하므로 복잡하고 유지관리가 어려울 수 있다. 초기 비용이 높으나 지속적인 유지보수 비용은 비교적 낮은 편이다. 비용에 관계없이 개별성분 농도를 초 단위로 기록하는 것이 가능하기 때문에 일부 정제 시설 운영자는 질량 분석기를 고려한다. 실외사용을 위한 보호소와 분석에 필요한 구성요소의 교정가스가 필요하다.



[그림 39] 질량분석기 구조

1.6. 플레어시스템 환경영향 최소화를 위한 참고기술

플레어스택의 환경기법에 대한 기술정보를 제공함으로써 기술검토 단계에서 사업장으로 하여금 보다 나은 환경기술을 적용을 고려할 수 있도록 한다.

플레어스택의 주요 환경영향 문제를 도출하여 환경영향을 최소화하기 위한 기법에 대해 기술한다. 플레어시스템에 적용가능한 환경관리기법을 아래 3가지 측면에서 검토하여, 목적과 적용 범위에 따라 세분류하였다.

[표 4] 참고기술 분류체계

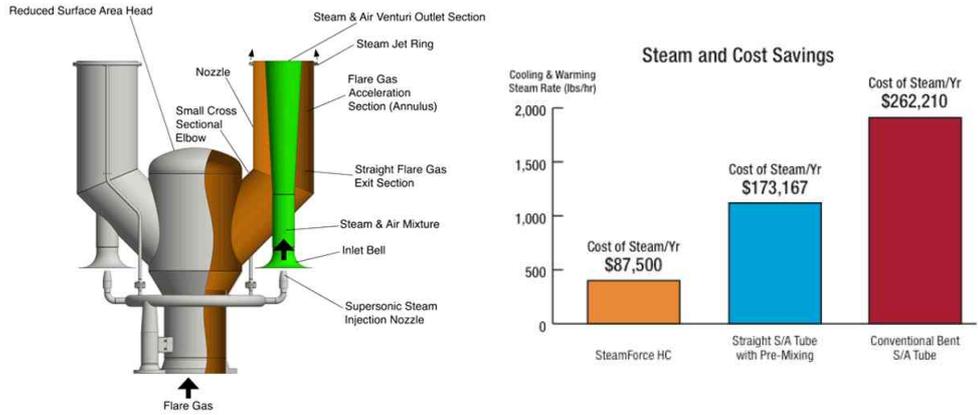
구분		참고기술
Smoke 저감방안	1) 무연 연소	고효율 보조스팀(공기) 주입 플레어팁
		그라운드 플레어 운영
오염물질 저감방안	2) Normal Flaring 가스량 절감	FGRS (Flare Gas Recovery System)
		VCU (Vapor Combustion Unit)
	3) Max. Flaring 가스량 절감	SIS (Safety Instrumented System)
운영 및 유지관리 방안	4) 플레어시스템 모니터링	모니터링을 통해 보조 유틸리티 유량을 조절하는 유량 제어 시스템
	5) Flaring 최소화 운영절차	Flaring 최소화를 위한 절차 및 운영관리 기술

1.6.1. 무연 연소

1) 고효율 보조스팀(공기)주입 플레어팁

<p>기술개요</p>	<p>다양한 설계를 통해 스팀 주입 최적화를 제공하는 고성능 플레어팁을 사용함으로써 무연 연소를 촉진시킨다.</p> <p>플레어의 무연 용량은 플레어 팁 디자인의 효율성과 직접적인 관련이 있다. 팁 출구를 둘러싼 공기와 플레어가스가 적절하게 혼합되지 않으면 연소 생성물의 냉각으로 불완전연소된 탄소 입자가 매연의 형태로 보일 수 있다. 따라서 배출가스의 운동량을 증가시켜 주변 공기와 배출가스가 더 잘 혼합되도록 보조 스팀 또는 공기를 사용한다.</p> <p>보조 스팀 주입(또는 공기)은 배출가스의 중심으로 침투하는 동시에 주변 공기를 가스 흐름으로 유도한다. 증기에 의해 생성된 난류는 산소와 플레어가스를 혼합하여 연소를 촉진시킨다. 따라서 스팀 주입을 최적화하여 배출가스와 공기의 혼합을 촉진시키면 무연 연소 효율도 증진되는 효과가 나타난다.</p>
<p>적용성</p>	<p>기존 설비에서 플레어 팁을 교체하기 위해서는 플레어스택의 가동을 중단해야하기 때문에, 설계 단계에서 적용을 고려하는 것이 설치가 용이하다.</p>
<p>환경성 평가</p>	<p>연소 효율 최적화를 통해 동일한 보조 유틸리티 공급량에서도 무연 용량이 증가한다.</p> <p>동일한 배출가스 유속에서도 무연용량이 증가하기 때문에 비교적 낮은 유속에서도 무연 연소 효율이 증가하는 효과를 기대할 수 있다.</p>
<p>경제성 평가</p>	<p>스팀 주입 최적화를 통해 무연 연소를 달성하기 때문에 스팀 수요량이 낮아 운영 비용 절감효과를 볼 수 있다.</p> <p>아래 그래프와 같이 고효율 플레어팁을 적용하는 경우, 기존 Conventional Bent Steam Assist Tube에 비해 스팀 소모량이 2,000lb/hr 에서 500lb/hr 미만까지 절감된 사례가 보고된 바 있다.</p>

다양한 제조업체에서 고효율 플래어팁을 제공하며, 플래어팁의 설계에 따라 원리와 성능이 다르다. 아래에 일부 예시를 다루고 있다.



벤츄리 형태의 직선 튜브 디자인의 노즐은 증기 소모량이 적다. 연료가스 압력과 높은 증기 비율에 대한 의존도를 줄여 공기와 연료가스의 사전혼합 없이 높은 효율의 무연 연소를 제공한다.

기타
(공정도 등)



혼합 수렴 노즐 형태로 배출가스 흐름이 약간의 각도로 증기/공기 흐름과 교차하면서 혼합된다. 이러한 혼합 개선 효과로 향상된 무연 연소 성능을 제공.

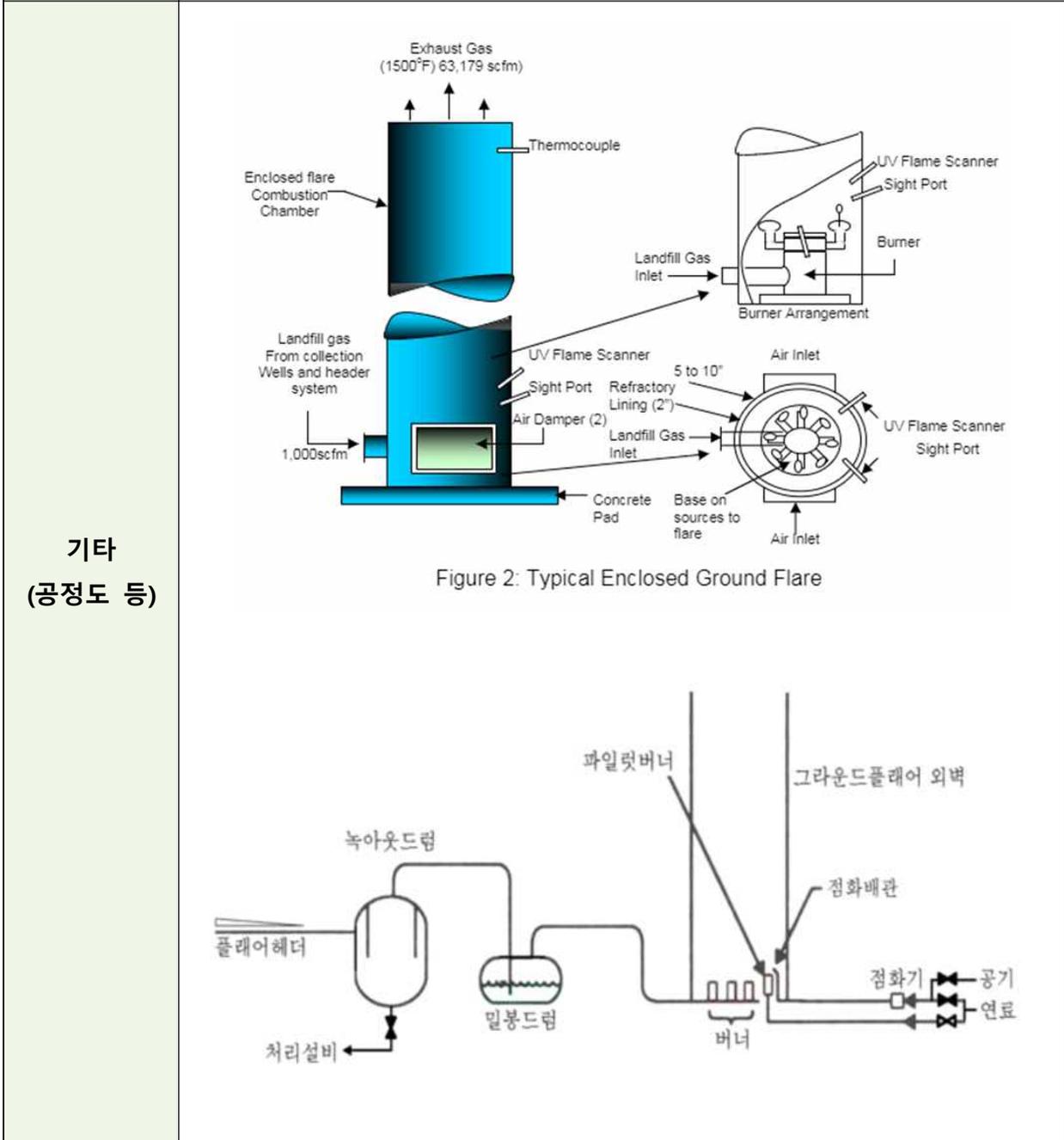
2) 그라운드 플레어시스템 운영(Ground Flare System)

<p>기술개요</p>	<p>밀폐형 그라운드 플레어(Enclosed Ground Flare)는 연소가 지면에서 일어나는 시스템으로, 불꽃이 지면에 가깝기 때문에 내화성있는 챔버 등에 둘러 싸여 있는 구조이다.</p> <p>플레어 불꽃이 보이지 않으며, 연소실 내부에서 무연(Smokeless) 작동이 가능하다. 연소실의 내화처리 등을 통해 긴 수명과 현저히 감소된 소음수준을 제공한다.</p> <p>플레어헤더를 통해 유입된 배출가스는 녹아웃드럼으로 유입된다. 녹아웃드럼에서 액적이 제거된 배출가스는 지면에 위치한 버너로 유입된다. 파일럿 버너는 항상 화염이 유지되고 있으며, 배출가스가 연소된다. 필요한 경우, Air Damper를 통해 공기를 주입하여 연소 반응을 촉진한다.</p>
<p>적용성</p>	<p>그라운드 플레어는 엘리베이트 플레어에 비해 설치비용이 고가이며, 비상상황 시 발생하는 플레어가스 유량을 수용할 정도로 대용량으로 설계 시 경제성 부분 등에서 적용이 어렵다.</p> <p>따라서 그라운드 플레어와 엘리베이트 플레어를 조합하여 운전할 수 있으며, 그라운드 플레어는 스타트업, 셧다운 및 정상작동 상태에서 배출되는 적은 유량의 가연성가스를 처리하고 직경이 큰 엘리베이트 플레어가 비상 시 발생하는 많은 유량의 가연성 가스를 처리함으로써 저유량일 때 발생하는 매연 문제(불완전 연소)를 해결할 수 있다.</p>
<p>환경성 평가</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 무연 연소 • 설비 외부로 방출되는 방사선 없음 • 가시적 배출 없음 • 낮은 소음 수준 <p>불꽃의 가시적 배출이 없으므로 정상운전에서 복사열 및 소음 등과 같은 환경문제를 해결 할 수 있다.</p>

경제성 평가

정상운전 시와 같이 배출가스 유량이 낮은 경우에도 출구속도가 안전하여 역화(Burn back)발생 문제가 감소한다.

역화의 문제가 없으므로 단일 플레어스택일 때보다 퍼지 가스 요구량도 줄어든다.



1.6.2. Normal Flaring 가스량 최소화 및 처리

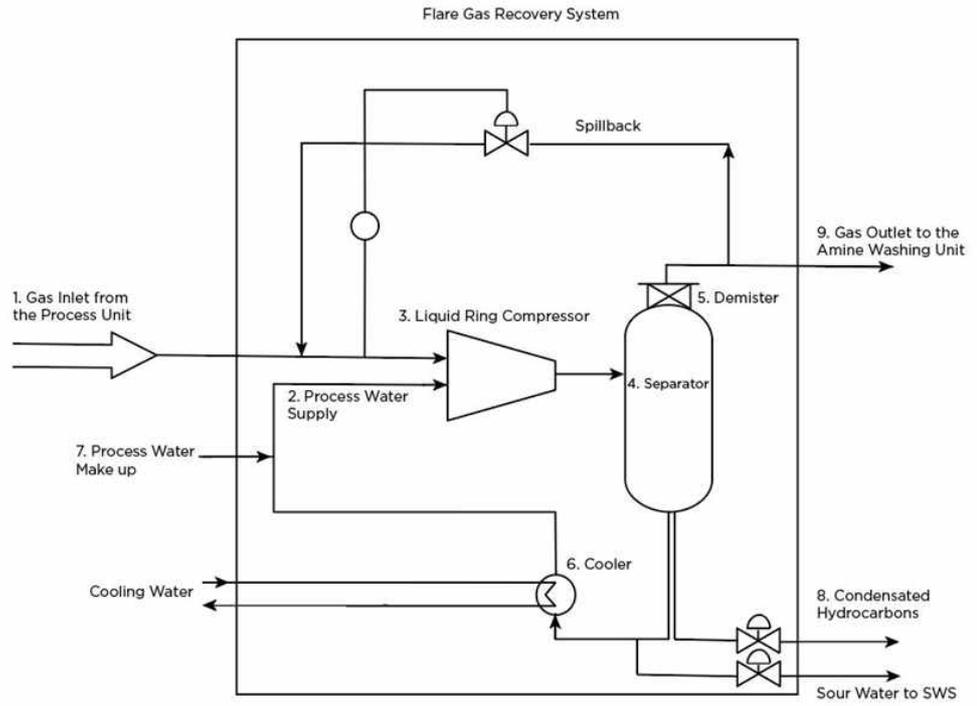
플레어에서 대기로 배출되는 것을 방지하기 위해 가급적 안전상의 이유 또는 startup/shutdown에서만 플레어링을 사용해야 한다. 이를 위해 Normal Flaring 발생을 최소화하거나 플레어헤더에 연결되어 배출되는 플레어가스를 플레어 시스템 외 다른 방법으로 처리해야 한다.

1) FGRS (Flare Recovery System)

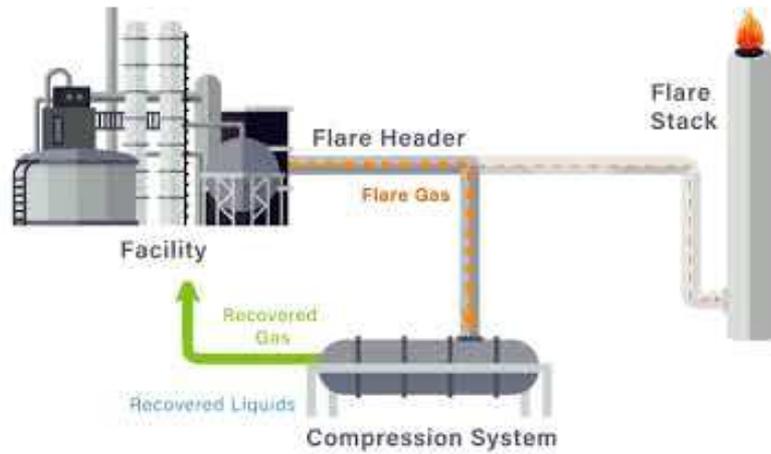
기술개요	<p>Flaring 되는 가스를 포집해서 압력을 높여 공정에서 쓸 수 있도록 다시 돌려주기 위한 시스템이다. 플레어 가스를 포획 및 압축하거나 저압 장비로 재순환함으로써 플레어를 감소시키기 때문에, 정상 플레어 발생량 자체를 절감 혹은 제거해줄 수 있는 장점이 있다.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 공정 및 설비에서 나오는 가스(1.)는 공정수(2.)와 함께 Liquid Ring Compressor(3.)로 들어간다. • 압축 과정을 거친 후, 가스, 물 및 탄화수소 혼합물은 Separator(4.)로 들어가 세 요소로 분리된다. • 분리된 가스는 Separator상단의 Demister(5.)를 통과하여 mist와 같은 작은 액적들도 제거한 후 용기를 떠난다. • 가스에 비해 속도가 낮은 응축된 탄화수소 및 물은 중력에 의해 Separator(4.) 하단으로 분리된다. • 분리된 물은 Cooler(6.)를 통과하며 다시 냉각된 후, Liquid Ring Compressor(3.)로 다시 유입된다. • 또한, Compressor(3.)로 연속적인 공정수를 제공하기 위해 공정수 보충 라인(7.)을 적용할 수 있다. • 응축된 탄화수소(8.)는 폐기된다. Separator(4.)에서 나오는 가스는 마지막으로 H₂S를 제거하기 위해 Amine Washing Unit(9.)으로 향한다. 처리된 가스는 연료로 사용하기 위해 연료가스 헤더로 보낸다. <p>FGRS를 통하는 유량은 변동이 심해서 이 변동폭을 모두 처리할 수 있어야 한다. 갑자기 유량이 적어질 때에도 운전이 될 수</p>
------	--

	<p>있도록 Recycle Line을 만들어 놓고 운전한다. 비상 플레어 유량에는 적합하지 않으며, 보통 Normal Maximum Flow Rate의 0 ~ 100% 범위까지 모두 운전될 수 있도록하며, 0%는 공정으로 가스가 인입이 되지 않고 FGRS의 Compressor 주위를 계속 빙빙도는 상태를 말한다.</p>
<p>적용성</p>	<p>그라운드 플레어는 엘리베이트 플레어에 비해 설치비용이 고가이며, 비상상황 시 발생하는 플레어가스 유량을 수용할 정도로 대용량으로 설계 시 경제성 부분 등에서 적용이 어렵다.</p> <p>따라서 그라운드 플레어와 엘리베이트 플레어를 조합하여 운전할 수 있으며, 그라운드 플레어는 스타트업, 셧다운 및 정상작동 상태에서 배출되는 적은 유량의 가연성가스를 처리하고 직경이 큰 엘리베이트 플레어가 비상 시 발생하는 많은 유량의 가연성 가스를 처리함으로써 저유량일 때 발생하는 매연 문제(불완전 연소)를 해결할 수 있다.</p>
<p>환경성 평가</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 가스를 회수하여 재활용하여 공정가스 발생을 제거하기 때문에 환경부하 자체를 제거. • 조성에 따라 재사용이 불가능하거나 비상 플레어 시 발생하는 가스는 플레어로 보냄. • 플레어스택에서 소각으로 인한 불꽃의 크기, 소음 그리고 냄새 등을 줄일 수 있음.
<p>경제성 평가</p>	<p>일반적으로 회수된 플레어 가스는 연료 가스 시스템(Fuel gas system) 혹은 Feed stock으로 보내진다. 연료 가스 시스템으로 보내지는 경우 연료 가스 수입량을 절감할 수 있으며, Feed stock으로 보내질 경우 원료로 다시 한번 가공하기 때문에 생산물의 증대가 이루어진다.</p> <p>FGRS의 Payback Period는 공정 특성 및 규모에 따라 다르나 일반적인 공장에서 2~3년 정도이다.</p> <p>플레어 팁에서 연기를 없애기 위해 주입하는 스팀량도 줄일 수 있으며, 플레어팁 수명도 연장시킬 수 있다.</p>

기타
(공정도 등)

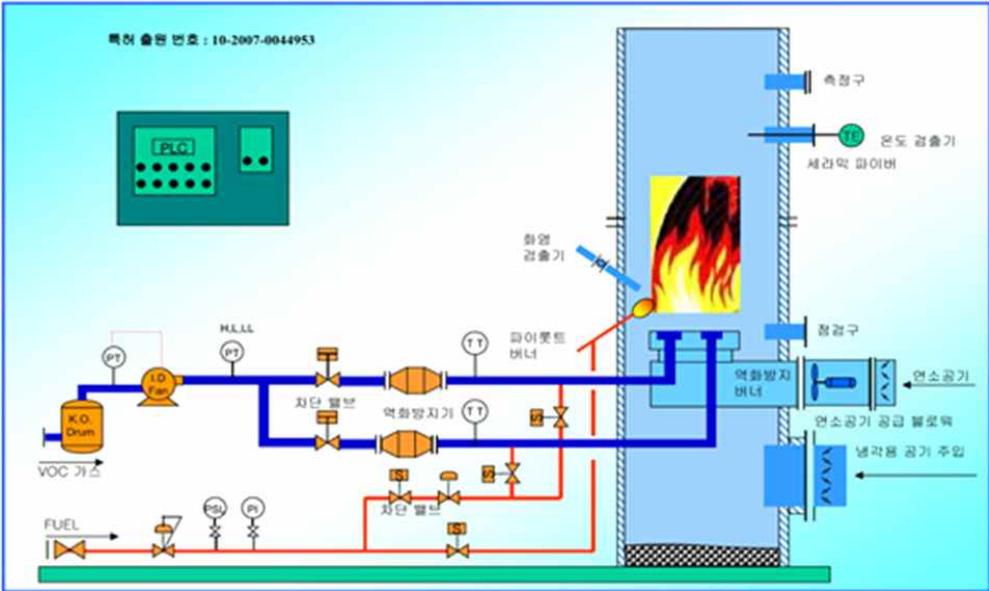


FLARE GAS RECOVERY SYSTEM



2) 유증기 연소설비 (VCU, Vapor Combustion Unit)

<p style="text-align: center;">기술개요</p>	<p>VCU 설비는 일반적인 플레어와 작동방식이 서로 다르다. VCU는 가스 및 공기 흡입구, 버너 시스템 및 표시 등을 포함하는 스택과 베이스로 구성된다. 플레어스택과 달리 불꽃은 스택의 상단이 아닌 하단에 있다.</p> <p>증기 혼합물은 VCU와 연결된 Vapor header를 통과한다. 증기 혼합물 흐름이 지속됨에 따라 배관의 압력이 증가하며, VCU에 있는 압력 제어부는 압력상승을 감지한다. 압력이 설정값에 도달하면 이에 따라 vapor-staging valve가 자동으로 열리면서 증기 혼합물이 VCU내부로 유입된다.(Staging valve 또는 Velocity valve로 압력에 따라 유량 조절) 파일럿 버너는 유입된 가연성 증기 혼합물을 점화하여 연소시킨다. VCU는 공기가 자연 유입되도록 설계되고, 보조공기 송풍기(blower)는 무연 연소를 위해 필요한 일부 공기를 공급하기 위해 설치하여 연소공기와 증기 혼합물의 혼합 작용을 돕는다.</p> <p>유량 및 탄화수소 함량이 매우 가변적인 경우, 공정가스는 여러 버너 헤드를 통해 또는 단계적으로 연소실로 유입된다. 공정가스의 다단 유입은 시스템의 Turn-down ratio를 높이고 NOx 및 CO2 같은 온실가스 배출을 낮춘다. 운전 중 공정가스의 오염물질 파괴는 일반적으로 발열반응을 통해 이루어진다. 공정가스 내 VOC 함량이 불충분한 경우처럼 발열량이 낮은 공정가스를 처리하는 경우 운전 온도 및 오염물질 파괴를 유지하기 위해 보충연료를 사용할 수 있다. 시간, 온도 및 난류 효과를 적절히 조합하여 VCU는 일반적으로 99% 이상의 파괴효율을 갖는다.</p>
<p style="text-align: center;">적용성</p>	<p>10 : 1 이상의 높은 Turn-down ratio로 유량 변동에도 안정적인 운전이 가능하다. 제작업체에 따라 다르나 최대 100MMBTU/hr 용량의 공정가스까지 처리 가능하다. 일반적으로 탄화수소 함량 10% 미만의 폐가스를 처리할 수 있다.</p> <p>Turn-down ratio : 장치의 작동범위를 말하며, 최대 용량 대 최소 용량의 비를 의미한다. 측정장비나 연소 플랜트에서 주로 사용된다.</p>

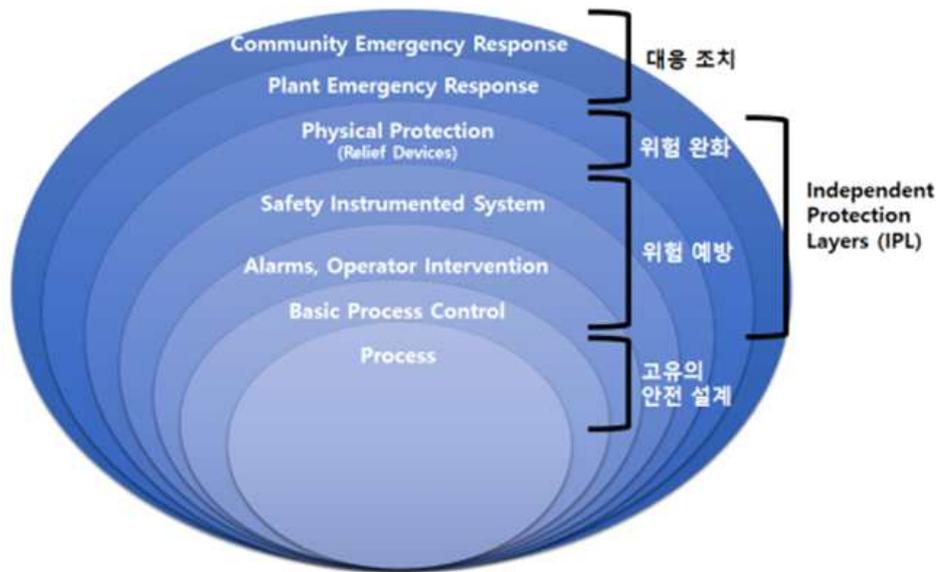
	<p>버너의 경우, 버너의 화염이 안정적지속적으로 유지되며 운전할 수 있는 최소 열량 대비 최대 열량의 비이다.</p>
<p>환경성 평가</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 99% 이상의 높은 파괴효율 • 밀폐형 연소 시스템으로 대기중 매연 배출이 없음 • 다양한 버너설계를 통한 낮은 NO2 및 CO2 배출
<p>기타 (공정도 등)</p>	 <p>The diagram illustrates a combustion system with a burner. Key components and labels include:</p> <ul style="list-style-type: none"> Control Panel: A PLC (Programmable Logic Controller) is shown on the left, connected to the system. Gas Sources: VOC 가스 (VOC Gas) and FUEL are input sources. Flow Control: Includes a K.O. Drum, pumps, and various valves (차단 밸브, 역회방지기). Temperature Monitoring: Multiple temperature sensors (T.T) are placed throughout the system, including one near the burner (화염 검출기). Burner Components: The burner itself is labeled as a '과열로트 버너' (Overheat burner) and includes a '역회방지 버너' (Anti-backflow burner). Air and Exhaust: Features include '연소공기 공급 밸브' (Combustion air supply valve), '냉각용 공기 투입' (Cooling air input), '연소공기' (Combustion air), and '배기구' (Exhaust outlet). Other Labels: '고속구' (High-speed port), '온도 검출기' (Temperature detector), '세라믹 와이버' (Ceramic wiper), and '정격구' (Rated port).

1.6.3. Max. Flaring 가스량 최소화

비상 플레어를 포함하여 Flaring 발생 자체를 감소시켜 오염물질의 발생을 방지한다.

(1) SIS (Safety Instrumented System)

화학 플랜트 산업은 공정 설계 시 복잡한 화학 장비 및 설비에 내재된 위험요소로 인해 발생할 수 있는 플랜트의 안전 문제를 해결하기 위해 여러 조치를 고려한다. 공정 안전은 아래 그림과 같이 여러 독립적인 방호 계층(IPL, Independent Protection Layer)에 의존한다. 공정제어시스템(BPCS, Basic Process Control System), 알람, 안전계장시스템(SIS, Safety Instrumented System) 3개 계층은 일반적으로 계장 시스템(Instrumented System)이며, 사고로 인한 위험 예방을 담당하는 계층이다. BPCS 자체를 보완하는 방법으로 위험을 회피할 수도 있지만, 공정이 제어 불가능한 상황에서는 제대로 작동하지 않아 완벽하지 않다. 따라서 안전계장시스템을 설치하여 BPCS와는 별도로 안전시스템을 운영하여 플랜트의 위험을 제거하거나 완화시킨다.



[그림 40] 독립방호계층 (IPL)

SIS는 조치를 취하지 않을 경우 위험성이 증가하는 공장의 위험을 예방하거나 사고를 완화시키기 위한 조치를 수행하는 시스템이다. 현재 많이 사용되고 있으며, 공장에 문제가 발생하여 압력이 올라가 안전밸브가 열리기 전에 열 공급원을 미리 차단해 주는 방법으로 안전밸브의 popping을 막아주기 때문에 Flare load 저감 효과가 있다.

- 안전계장기능(SIF, Safety Instrumented Function) : 기능적 안전을 달성하기 위해 필요한 특정 SIL(Safety Integrity Level)을 가진 Safety Function으로서, 이것은 안전계장보호 기능(Safety Instrumented Protection) 또는 안전계장제어 기능(Safety Instrumented Control Function) 두 기능 모두를 말한다.
- 안전계장시스템(SIS, Safety Instrumented System) : 하나 또는 그 이상의 SIF(Safety Instrumented Function)를 수행하는데 사용되는 계장시스템으로 센서, Logic solver, Final element로 구성된다.
- 안전무결성등급(SIL, Safety Integrity Level) : SIS에 할당된 SIF의 안전 건전성(Safety Integrity)의 필요조건을 명시하기 위하여 분류된 Level로서, 가장 낮은 1단계에서 가장 높은 4단계까지 분류된다. SIL은 요구고장확률(PFD, Probability of Failure on Demand)로 정의되며, PFD는 안전기능이 필요할 때 작동하지 않을 가능성을 나타낸다. PFD가 낮을수록 SIL 등급이 높아지며, SIS에서 요구하는 SIL 등급을 충족하기 위해 모든 SIF는 위험상황에서 제대로 작동해야하므로, 각 SIF는 고유한 SIL 등급이 요구된다.



[그림 41] 안전계장시스템(SIS) 기본 구성

기술개요	<p>SIS의 목적은 1) 특정 조건 위반 시 산업 공정을 자동으로 안전한 상태로 만드는 것, 또는 2) 산업 위험으로 인한 결과를 완화시키기 위한 조치를 취하는 것이다.</p> <p>SIS 구성도</p> <p>Column 상부에 설치된 압력 상승 감지 시스템(Pressure High High Switch), TMR(Triple Modular Redundant) Controller 및 열원을 차단하기 위하여 열원이 이송되는 배관에 설치된 긴급 차단 밸브 시스템으로 구성한다.</p> <p>(1) 압력 상승 감지 시스템 (Sensing Element)</p> <p>압력 상승 감지 시스템은 Column 상부에 세 개의 분리된 압력 발신기가 시스템 압력을 감지하며, 아날로그 신호를 TMR에 공급한다. 압력 발신기 하부의 밸브는 Lock Open이다</p>
-------------	--

	<p>(2) TMR controoler(Logic Solver)</p> <p>TMR 시스템은 정지 시스템을 수동으로 작동할 수 있도록 정지 수동 스위치와 지시계를 갖추도록 한다. 정비를 위한 Bypass 지시계를 포함한 우회설비를 설치한다.</p> <p>(3) 긴급 차단 밸브 시스템 (Final Element)</p> <p>시스템 압력 상승으로 2 out of 3 voting 논리가 설립되면, 열원을 차단하기 위해 비상 차단 시스템이 작동된다. TMR 컨트롤러는 분리된 신호를 두 개의 솔레노이드 밸브로 보내게 된다. 두 솔레노이드 밸브의 작동은 차단 밸브의 작동기로부터 공기를 배출시키기 위해 필요하며 그것에 의해서 차단 밸브가 닫히게 된다.</p> <p>모든 긴급 차단 밸브와 긴급 차단 기능을 가진 유량 조절 밸브는 설비의 전원 상실, 계기용 공기 상실 또는 Logic Solver Module이 Trip될 경우 자동으로 닫힘, 즉 Fail Closed된다.</p> <p>이러한 원리로 압력 상승으로 과압이 발생할 시 안전밸브가 열리기 전에 열원을 미리 차단하여 압력을 해소함으로써 Flaring이 발생하는 것을 방지한다.</p>
<p>적용성</p>	<p>열원이 존재하는 설비에 적용 가능하며, 주로 컬럼에 적용할 수 있다.</p> <p>증축 등으로 기존 플레어 용량이 부족해질 경우, SIS를 적용하여 플레어 가스 유량을 절감하여 플레어 시스템의 변경없이 기존 플레어 구조를 계속 사용할수 있다.</p> <p>즉, 안전성의 저하없이 기존 플레어 시스템의 사용성을 최대화시킬 수 있다.</p>
<p>환경성 평가</p>	<p>공장에 문제가 발생하여 압력이 올라가 안전밸브가 열리기 전에 열 공급원을 미리 차단해 주는 방법으로 안전밸브의 popping을 막아주기 때문에 Flare load 저감 효과가 있다. PSV가 열리기 전 사전 조치를 취함에 따라 가스가 외부로 배출되지 않기 때문에 Flare gas 저감이라는 근본적인 문제를 해결함으로써 환경적 편익이 발생한다.</p>

<p>경제성 평가</p>	<p>PSV가 열리기 전 사전에 조치를 취함으로써 실질적으로 과압을 해소하며 PSV의 작동을 사전 예방 할 수 있다. 이는 다시 말해, PSV 소요 분출량 계산 시 양을 고려하지 않는다는 뜻이다. 이로 인해 Flare Stack의 여유용량을 추가적으로 이용 할 수 있는 경제적 편익이 발생한다.</p>
<p>기타 (공정도 등)</p>	

1.6.4. 모니터링

1) 모니터링을 통해 보조 유틸리티 유량을 조절하는 제어 시스템

<p>기술개요</p>	<p>모니터링 목적</p> <p>플레어 시스템은 산업 현장에서 발생하는 배출가스를 연소하는 장치로써, 유해 및 오염물질을 연소시켜 파괴하는데 사용한다. 유해물질을 적절하게 처리하기 위해서는 플레어 시스템의 성능을 적절하게 유지해야 하며, 플레어 성능을 판단할 수 있고 현행 환경규제를 충족할 수 있는 모니터링 시스템이 필요하다.</p> <p>대기환경보전법 시행규칙 별표 10의2 비산배출시설관리기준</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 연소구역 총 발열량 제어 : 보조가스 유량, 배출가스 유량, 발열량 및 조성분석 등의 모니터링 2) 규제대상물질의 적정 연소여부 : OGI 등을 사용한 매연 모니터링 3) 플레어 화염 존재 여부 : 열전대, 적외선 및 자외선 센서 등을 사용한 모니터링 <p>모니터링 및 플레어 제어 시스템</p> <p>자동으로 제어할 수 있는 플레어 시스템의 구성 요소에는 보충 연료가스, 점화 시스템 및 스팀 분사(보조스팀 방식인 경우)가 포함된다. 배출가스의 낮은 유량 및 발열량을 지속적으로 모니터링하고 필요한 연소구역 총 발열량을 유지하기 위해 보충가스의 양을 자동으로 조정하여 연료가스 소비를 최소화할 수 있다.</p> <p>플레어 가스 유량, 불꽃 복사열, CCTV 또는 열화상으로 플레어를 관찰하는 등 자동제어에 기반하여 플레어를 제어할 수 있다. Smokeless를 위해 공급하는 스팀유량(보조스팀 방식인 경우)도 이러한 방식으로 제어될 수 있으며, 이를 통해 스팀 요구량에 보다 신속하게 대응하고 필요한 유량을 더 세밀하게 조절할 수 있다. 스팀 사용을 최적화하기 위해 플레어 불꽃 특성을 감지하는 적외선 센서를 사용하거나, 배출가스 유량 또는 매연 모니터링을 기반으로 유량을 제어할 수 있다.</p>
--------------------	--

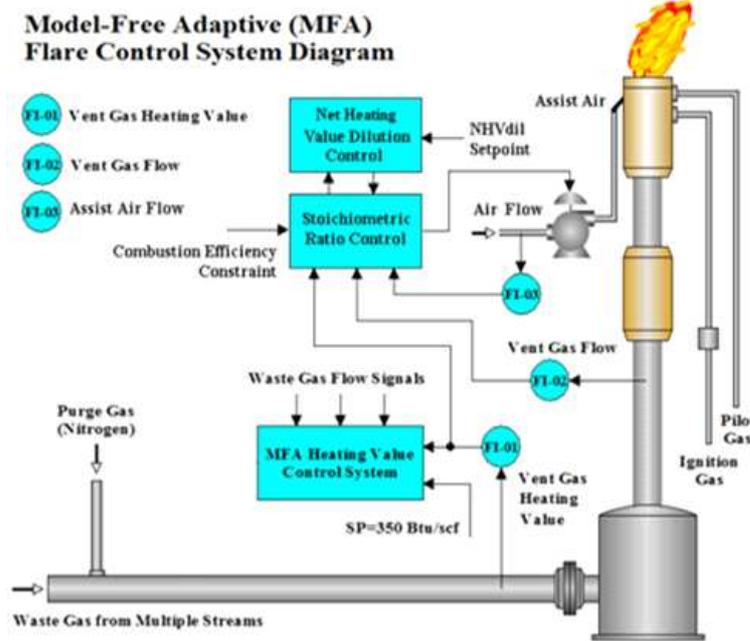
환경성 평가

모니터링과 연동되어 플레어시스템을 적정 성능으로 운전하도록 유도하여 적정 연소효율을 유지시킨다.

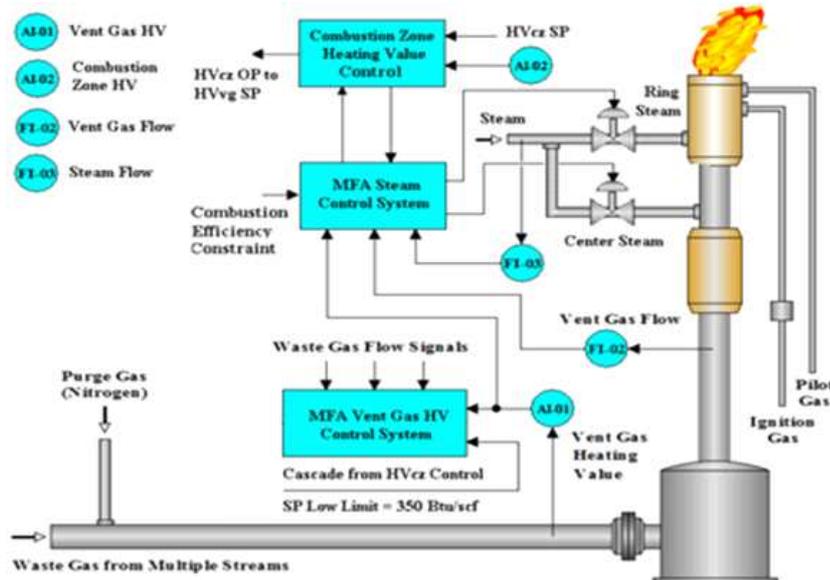
가변적인 플레어 배출가스 유량에 즉각적으로 대응하여 소모되는 보조 유틸리티 유량을 최소화한다.

연소구역 총 발열량 유지를 위해 소모되는 보충연료가스를 최소화한다.

기타
(공정도 등)



[보조 공기방식 자동제어 시스템 모식도]



[보조 스팀 방식 자동제어 시스템 모식도]

1.6.5. 운영관리

1) 플레어 관리 수준 향상

기술개요	<p>관리목적</p> <p>공장에서 Shut down/Start up 및 대규모 점검 과정(TA, Overhaul)에서 발생하는 과잉 가스는 Flaring 발생 문제 중 주요한 고려사항이다. Shut down/Start up을 위해서는 상당한 양의 탄화수소 Flaring이 필요하다. 이는 단지 제품의 손실일 뿐만 아니라 오염물질 배출, 매연 및 소음 등 복합적인 환경문제를 유발한다.</p> <p>Flaring을 저감하기 위한 여러 설비 및 기법 등을 적용할 수도 있으며, 공정 운영 차원에서 플레어를 최소화할 수 있는 관리절차를 마련하여 전반적인 공장의 관리수준을 향상시킬 필요가 있다.</p> <p>관리 개요</p> <p>점검 과정(TA, Overhaul) 시 플레어를 최소화하기 위한 관리 절차는 점검 과정 프로세스의 일부로써 수행된다. 플레어 가스를 발생시킬 수 있는 장치 및 장비의 공급, 차단, 감압 및 세척과 같은 개별 작업단계를 식별하는 과정을 포함한다. Relief 시스템에 미치는 영향은 항 함량, 유량 및 TA 작업 시간과 같은 매개 변수를 통해 예측할 수 있다. 배출가스가 회수될 수 있는지 또는 배출 외에 다른 지점으로 Routing될 수 있는지 여부를 고려한다. 회수가 가능한 경우, 배출가스 유량을 FGR 용량 이하로 유지하기 위해, 감압/퍼지 단계의 시간과 속도를 조절한다.</p> <p>관리 절차는 다음과 같은 항목을 포함할 수 있다.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Relief, 질소 퍼지 및 FGRS의 shut down/start up을 위한 장비의 감압/압력 완화를 포함하는 주요 작업 단계 • 플레어의 작동 제한 또는 Relief를 위한 장치의 감압 제한, 환경규제, 내부 지침 • Relief 시스템의 배출원 및 일반적인 가스 비율, 일반적인 FGRS 속도 및 용량
-------------	--

	<ul style="list-style-type: none"> • 계획된 shut down 시 예상되는 배출원, 일반적인 Relief 시스템으로 배출되는 가스 유량, FGRS의 예상되는 속도 및 유량 <p>관리 절차에는 공정의 shut down/start up, clean up 작업 동안 플레어로 감압하는 모든 장비의 목록 및 스케줄이 포함한다. 플레어시스템 작동이나 Relief를 위한 장치 감압에 대한 모든 규제 및 관리제한을 충족해야 한다.</p>
<p style="text-align: center;">적용성</p>	<p>모든 사업장에서 공정 운영 차원에서 플레어 관리 절차를 개발할 수 있으며, 플레어 관리 절차의 개발은 TA 작업자 및 관리자, 공정 엔지니어 등 관계자간의 협업이 필요하다.</p> <p>적용 예시 : 450KTA 규모의 에틸렌 생산 공장에서 생산기술 및 운영절차 심층 분석 수행</p> <ul style="list-style-type: none"> • 장치 및 장비(압축기 등)의 시동 및 중단 활동 분석 • 다양한 플레어 발생 포인트 조사 • 공정 및 기술 특성 연구 • Shut down/Start up 시 Flaring을 줄이기 위한 다양한 기술 경제성 분석 • Start up 시 Flaring 감소를 위해 필요한 운영절차 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 필요한 재고 및 라인 크기 계산 - HAZOP - 표준작업지침서 마련 - 운영자 교육 - 계획된 혹은 계획되지 않은 Shut down/Start up 절차를 부분적으로 구현
<p style="text-align: center;">환경성 평가</p>	<p>Shut down/Start up 시 발생하는 Flaring 가스량 감소</p> <p>Start up 작업 시간 단축으로 단축된 시간만큼 Flaring 발생빈도 감소</p> <p>오염물질 배출, 매연 및 소음 등의 환경영향 감소</p>
<p style="text-align: center;">경제성 평가</p>	<p>Flaring 가스량 절감으로 제품(탄화수소) 손실 방지</p> <p>Flaring 시 소모되는 보충 연료가스 절감</p> <p>Start up 작업 시간 단축으로 생산량 증가</p>

기타
(공정도 등)

