

카본블랙 제조공정의 안전성 향상에 관한 연구

주종율* · 정필훈** · 이성은*

*호서대학교 소방방재학과 · **승실사이버대학교 산업안전공학과

A Study on the Safety Improvement of Carbon Black Manufacturing Process

Joo, Jong-Yul* · Jeong Phil-Hoon** · Sung-Eun, Lee*

*Department of Fire and Disaster Prevention, Engineering

**Department of Industrial Safety Engineering, Korea Soongsil Cyber University

Abstract

Carbon black is a material in the form of fine black powder obtained by incomplete combustion or pyrolysis of hydrocarbons, and is composed of 90-99% carbon, and the rest is composed of hydrogen and oxygen. In the event of an emergency during the manufacture of carbon black, the generated tail gas should be safely discharged through an emergency line to prevent fire, explosion, and environmental pollution accidents caused by the tail gas. If the pressure continues to rise, the pressure control valve shall operate and the rupture plate shall be ruptured sequentially and the tail gas shall be discharged to the vent stack through the emergency line. As an emergency emission system, even if some untreated substances in the tail gas are released into the atmosphere, they are lighter than air, so it is safe to discharge them to a safe place through the Vent Stack. If the gas pressure is rising or worse, it is discharged from the Vent Stackine, and discharging fuel.

Keywords : Carbon Black Manufacturing Process, Emergency discharge treatment facilities, Emergency Emission Solutions

1. 서론

카본은 비금속 원소로 원자번호는 6번으로 탄소를 말한다. 탄소는 생물체의 기본 구성요소이며 각종 화석연료와 고분자화합물 등 다양한 영역에 존재하고 있다. 석탄, 석유 등 화석연료에 함유되어 있던 탄소가 자동차의 연료나 공업 원료 등으로 사용될 때 불완전 연소하게 되면 먼지나 분진, 검은 그을음 등으로 배출되는데, 이렇게 고품입자로 배출되는 것을 가리켜 카본블랙(Carbon Black)이라고 한다.

카본블랙은 탄화수소를 불완전 연소 또는 열분해 시켜 얻는 미세한 흑색 분말형태의 물질로써 90 ~ 99 %의 탄소로 구성되어 있으며, 나머지는 수소와 산소 등으로 이루어져 있다.

카본블랙이 사용되는 분야는 잉크, 페인트, 코팅, 플라스틱 및 고무 제품 제조 시 안료로 재료의 UV 저항성과 내구성을 향상시켜준다. 고무 산업에서는 카본 블랙이 일반적으로 강화 충전제로 사용된다. 타이어, 컨베이어 벨트, 자동차 부품 등 고무 제품의 강도, 내마모성, 인열 저항성을 향상시키는 역할을 하며 전기 전도성이 뛰어나 배터리, 전극, 전자 장치 등의 분야에 사용되며, 강력한 흡착 특성을 가지고 있어 물, 공기 정화 장치와 가스 마스크와 필터의 흡착제로 사용되는 등 산업 전반에 걸쳐 사용하고 있다.

이런 카본블랙을 제조하는 공정에는 주로 연소반응이 사용하는데 열분해 및 불완전 연소 등으로 인해 혼합가스가 발생하여 화재·폭발의 위험뿐만 아니라 외부로 유출되면 자극성, 부식성, 발암성 및 환경 유해성 물질로 인한 심각한 피해를 초래할 수 있다.

†Corresponding Author : Seong-Eun, Lee, Department of Fire and Disaster Prevention, HOSEO UNIVERSITY, 20, Hoseo-ro 79beon-gil, Baebang-eup, Asan-si, Chungcheongnam-do, E-mail: lse@hoseo.edu

Received November 29, 2023; Revision December 18, 2023; Accepted December 26, 2023

본 연구에서는 카본블랙의 제조 시 정상운전에서는 화학물질관리법에 따라 카본블랙 제조에 부생되는 테일 가스(Tail Gas)가 대기로 직접 배출되지 않도록 보일러, 건조 시설, 덕트 버너 가열로에서 소각한 후 대기오염 처리 설비에서 적정 처리하여 처리 기준을 충족하지만 비상운전 시에는 생성된 테일가스를 비상배출관(Emergency line)을 통하여 스택(Vent Stack)으로 안전하게 배출되도록 하여 테일 가스에 의한 화재·폭발 사고를 예방하도록 설계하여 이에 대한 안전성을 검토하고자 한다. [1],[2],[3],[4],[5]

2. 이론적 배경

2.1 법적 기준

화학물질을 취급하는 시설은 다음의 법률에서 정하는 규정에 따라야 한다.

2.1.1 화학물질관리법

화학물질관리법의 유해화학물질 취급시설의 설치·정기·수시·검사 및 안전진단의 방법 등에 관한 규정[별지 4] 유해화학물질 취급시설 설치 검사표의“바”목 배출설비 및 처리설비의 5항 안전밸브등으로부터 배출되는 유해화학물질은 연소·흡수·세정(洗淨)·포집(捕集) 또는 회수 등의 방법으로 처리하여야 한다.

또한, 유해화학물질 취급시설을 설치·운영하는 자는 다음 가)부터 마)까지 중 어느 하나에 해당하는 경우에는 배출되는 유해화학물질을 안전한 장소로 유도하여 처리해야 한다. 다만, 바)의 경우는 배출되는 유해화학물질을 안전한 장소로 유도하여 외부로 직접 배출할 수 있다.

- 가) 배출물질 연소·흡수·세정·포집 또는 회수 등의 방법으로 처리할 때에 파열판의 기능을 저해할 우려가 있는 경우
- 나) 배출물질을 연소처리할 때에 유해성기체를 발생시킬 우려가 있는 경우
- 다) 고압상태의 유해화학물질이 대량으로 배출되어 연소·흡수·세정·포집 또는 회수 등의 방법으로 완전히 처리할 수 없는 경우
- 라) 공정설비가 있는 지역과 떨어진 인화성 기체 또는 인화성 액체 저장설비에 안전밸브 등이 설치될 때에 저장설비에 냉각설비 또는 자동소화설비 등 안전상의 조치를 하였을 경우

- 마) 그 밖에 배출량이 적거나 배출 시 급격히 분산되어 재해의 우려가 없으며, 냉각설비 또는 자동소화설비를 설치하는 등 안전상의 조치를 하였을 경우
- 바) 공정특성 상 배출되는 유해화학물질을 처리할 수 없으며 처리공정 설치로 인하여 위험성이 증대될 우려가 있는 경우

2.1.2 산업안전보건법

제267조(배출물질의 처리) 사업주는 안전밸브등으로부터 배출되는 위험물은 연소·흡수·세정(洗淨)·포집(捕集) 또는 회수 등의 방법으로 처리하여야 한다. 다만, 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 배출되는 위험물을 안전한 장소로 유도하여 외부로 직접 배출할 수 있다.

1. 배출물질을 연소·흡수·세정·포집 또는 회수 등의 방법으로 처리할 때에 파열판의 기능을 저해할 우려가 있는 경우
2. 배출물질을 연소처리할 때 유해성 가스를 발생시킬 우려가 있는 경우
3. 고압상태의 위험물이 대량으로 배출되어 연소·흡수·세정·포집 또는 회수 등의 방법으로 완전히 처리할 수 없는 경우
4. 공정설비가 있는 지역과 떨어진 인화성 가스 또는 인화성 액체 저장탱크에 안전밸브등이 설치될 때에 저장탱크에 냉각설비 또는 자동소화설비 등 안전상의 조치를 하였을 경우
5. 그 밖에 배출량이 적거나 배출 시 급격히 분산되어 재해의 우려가 없으며, 냉각설비 또는 자동소화설비를 설치하는 등 안전상의 조치를 하였을 경우

2.2 공정 절차

카본블랙을 제조하는 공정은 다음과 같다.

반응기의 원자재인 슬러리 오일과 콜타르를 사용하여 오일의 일부는 연소과정 중 Reactor의 열원으로 연소하면서 나머지 오일과 콜타르를 열분해하여 카본 추출공정을 거친 후 급랭(Quenching) 시켜 중간제품의 카본블랙을 생산한다. 중간제품 카본블랙은 분쇄공정 및 Pelletizer를 거쳐 Pellet 형태로 만들며, 이러한 카본블랙은 건조 과정에서 열풍가열 공정을 거쳐 최종제품인 건조된 카본블랙(Dry Carbon Black)을 생산한다.

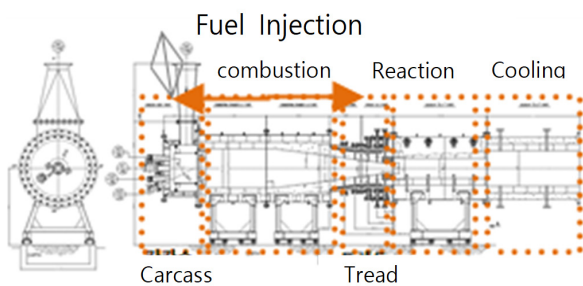
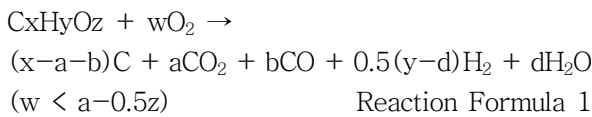
2.2.1 Feed Stock Oil Area

원료유(Feed Stock Oil)은 제품의 품질을 조절하기 위해 데이 탱크(Day tank)에서 2가지의 원료유를 혼합조절 체계(Blending control system)에 의해 적정 비율로 혼합되며, 예열기(Pre-heater)를 거쳐 반응기로 공급된다. 카본블랙 제품 생산에 사용되는 원료는 콜타르(Coal tar)와 유동접촉분해유(Fluid Catalytic Cracking oil) 등이 사용된다.

원료유는 위의 두 가지 원료인 콜타르와 유동접촉분해유를 섞어서 만들며, 만들어진 원료유(Feed stock oil)는 데이탱크(Day Tank)로 이송하여 반응기로 공급된다.

2.2.2 Reaction Area

Reaction Area 원료유(FSO)와 보조원료유(AFSO)를 가지고 반응기에서 카본블랙을 만드는 공정이다. 원료로 투입되는 예열된 탄화수소와 원료첨가제(Feed stock additive)는 순간적으로 반응기에서 카본블랙과 테일 가스로 생성된다. 카본블랙 반응의 정확한 메커니즘(Mechanism)은 알려져 있지 않으며, 아래와 같이 총괄적인 '반응식 1'로 표현된다.



[Figure 1] Dryer process flow diagram

다음은 반응기의 구조 부분에 대한 설명이다.

1. 원료유 투입부 : 원료유를 미세 분사하여 원료유 증기화
2. 연소부 : 연료유를 연소시켜 고온의 반응환경 제공
3. 반응부 : 카본블랙 1차 입자 생성
4. 냉각부 : 카본블랙 생성반응을 종결

Figure 1. 은 반응기의 구조를 나타낸 것이다.

반응기 버너로 원료유(AFSO)와 연소 공기(Combustion Air)를 투입하여 반응기 온도를 올린 상태에서 반응기로 원료유(FSO)와 연소 공기를 불완전 연소시켜 카본블랙을 만든다. 이때 생성되는 가스를 스모크 가스(Smoke Gas)라 하며 이는 불완전 연소된 테일 가스(Tail Gas)와 카본블랙을 합쳐서 이르는 말이다.

생성된 카본블랙(Carbon Black)과 테일 가스(Tail Gas)는 반응기 내부로 분사되는 소화수(Quench Water)와 반응 공기(Reactor Air)에 의해 균열반응(Cracking Reaction)을 막고 냉각되며 생성된 스모크 가스(카본블랙과 테일가스의 혼합)는 공기에열기를 거치게 된다.

반응기에서 반응한 스모크 가스는 공기가열기(Air heater)와 원유 예열기(Oil preheater)를 거쳐 증기히터(Steam Super Heater)와 열 회수 교환기(Heat recovery Exchanger)를 통해 과열증기(Superheated Steam)를 만들어 낸다.

2.2.3 Main Bag Filter Area

Reaction Area에서 넘어온 스모크 가스는 메인 백 필터(Main bag filter)에서 테일 가스와 카본블랙으로 분리되며, 상부로는 테일 가스가 가압선풍기(Booster Fan)을 통해 회전 건조기(Drier)와 Boiler PKG로 이송되어 연료로 사용된다.

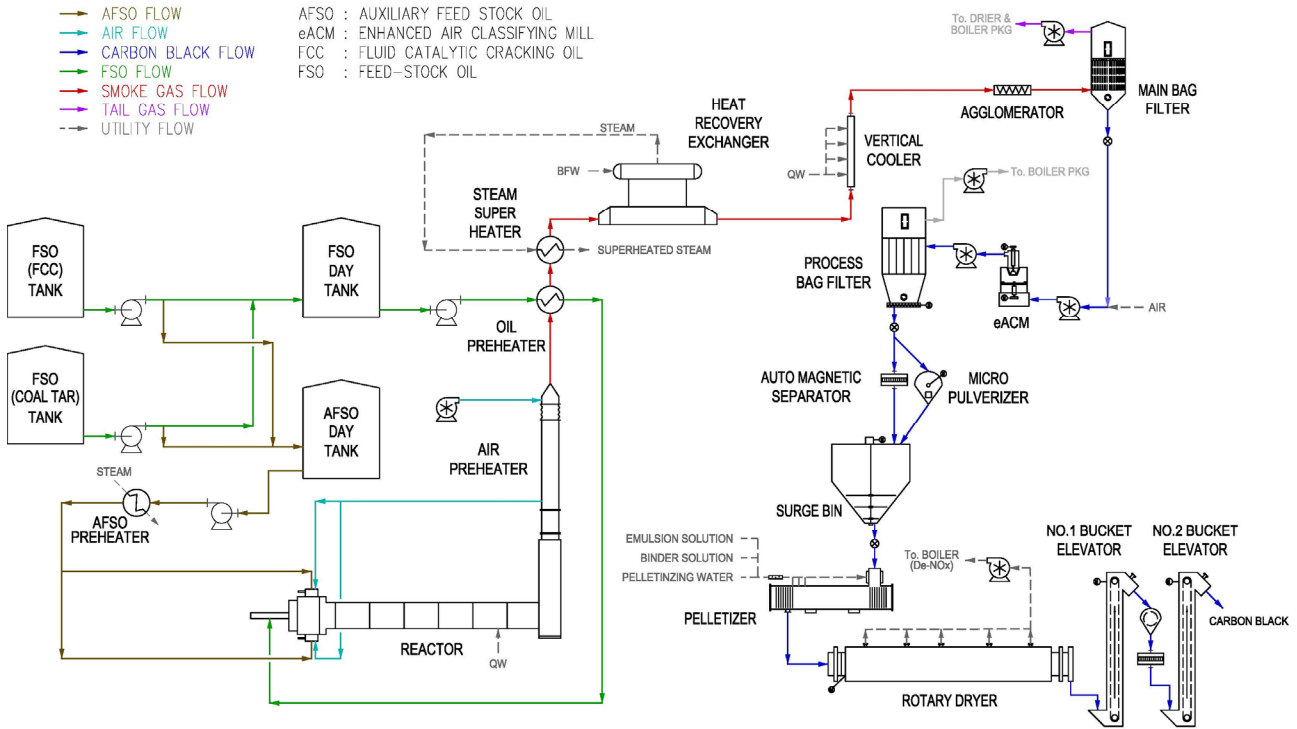
2.2.4 Pelletizing and Drying Area

Pelletizing and Drying Area는 카본블랙을 펠릿(Pellet) 형태로 만들고 건조시키는 공정이다. 공정 백 필터(Process Bag Filter)를 거친 카본블랙 파우더(powder)는 입자크기를 줄이기 위해 분쇄기(Pulverizer)를 통과하며 이후 서지 빈(Surge bin)에서 가스가 제거된다.

카본블랙 펠릿을 건조하기 위한 회전 건조기는 반응기에서 불완전 연소로 만들어진 테일 가스를 연료로 사용한다. 회전 건조기의 내부 드럼의 온도는 테일 가스 가열기로부터의 고온 연료 가스에 의해 약 1100 ~ 1300 °C 정도로 나타난다. 회전 건조기에서 연소된 연료 가스는 퍼지 백 필터(Purge Bag Filter)를 거쳐 송풍기를 통해 보일러 패키지 DeNOx 설비 전단에 연결된다.

2.2.5 Product Storage and Packing Area

회전 건조기(Rotary Dryer)를 거친 카본블랙 펠릿(Carbon black pellets)은 패키징 백 필터(Packing bag filter)로 보내어 카본블랙 분말은 회수하며 공기는 대기로 배출한다.



[Figure 2] Dryer process flow diagram

Figure 2. 는 카본블랙 제조공정 계통도를 나타낸 것이다.

2.3 테일 가스 유해·위험성(MSDS)

물질안전보건자료에 따른 테일 가스의 유해·위험성에 대한 정보는 다음과 같다.

1. 물질명 : Tail Gas

- 가. 이명(관용명) : 카본블랙 제조 부생가스
- 나. 함유량 :

2. 유해·위험성 분류

- 가. 인화성물질 : 구분2
- 나. 생식독성 : 구분1A
- 다. 특정표적장기 독성(1회 노출) : 구분1
- 라. 특정표적장기 독성(반복 노출) : 구분2

3. 유해·위험 문구

- 가. H221 인화성 가스
- 나. H373 장기간 또는 반복노출 되면 신체 중 심장, 혈액계에 손상을 일으킬 수 있음
- 다. 예방문구를 포함한 경고표지 항목

<Table 1> Carbon black manufacturing by-product gas content

Chemical name	Other names	CAS No.	Content (%)
Carbon dioxide	Carbonice	124-38-9	2.25
Acetylene	Ethyne	74-86-2	0.21
Hydrogen	Hydrogen Gas	1333-74-0	10.04
Nitrogen	-	7727-37-9	41.72
Methane	-	74-82-8	0.26
Carbon monoxide	Carbon Oxide	630-08-0	10.52
Water	Dihydrogen Oxide	7732-18-5	35.00



[Figure 3] GHS warning sign of Tail Gas

4. 물리·화학적 특성

- 가. 외관 : 무색의 가스 성상
- 나. 냄새 : 무취
- 다. 인화 또는 폭발 범위의 상/하한 : 71.7% / 6.05%
- 라. 증기밀도 : 0.56 kg/m3
- 마. 비중 : 0.44
- 바. 분자량 : 22

5. 환경에 미치는 영향

- 가. 생태독성
 - 어류 : 자료없음
 - 갑각류 : 자료없음
 - 조류 : 자료없음
- 나. 잔류성 및 분해성
 - 잔류성 : 자료없음
 - 분해성 : 자료없음

6. 법적규제사항

- 가. 산업안전보건법에 의한 규제 : 자료없음
- 나. 유해화학물질관리법에 의한 규제 : 자료없음
- 다. 위험물안전관리법에 의한 규제 : 자료없음
- 라. 폐기물관리법에 의한 규제 : 자료없음

2.4 정상운전 절차

카본블랙 제조에 대한 정상운전 절차는 다음과 같다.

1. 보드맨(Boardman)과 건조기 담당 필드맨(Fieldman)은 가동 전 안전점검 체크시트에 따라 점검을 실시한다. 가동 전 안전점검 체크시트대로 점검이 완료되면 정상가동 절차를 실시한다.

2. 보드맨은 펠레트 담당자에게 건조기 제1구간(1~3번 / 6~8번)의 버너를 3~5개에 점화를 지시한다. 이때 연소 공기는 2000~2,500 m³/h으로 한다. 단, 연료 가스의 폭발범위는 3.7% ~ 24.1%로 반응로 내 잔존 가스로 인하여 폭발 위험이 존재하므로 재점화 시 반응로 내부의 잔존 연료 가스를 제거한 후 점화하여야 한다.

3. 펠레트 담당자는 연료 가스 단말밸브를 개방하고 개폐밸브(XV)를 개방하여 제1구간 버너를 한 개씩 조립하여 점화시킨다. 제1구간 버너 점화가 완료되면 보드맨에게 알리고 테일가스 점화 준비를 한다.

단, 점화 작업 시 반드시 안면보호구를 착용하고 최소 2인 1조로 작업하여야 하며, 보드맨은 불꽃 상태에 따라 공기의 유량을 조절하며 운전해야 한다.

4. 보드맨은 보일러로 테일카스가 공급되면 테일가스 개폐밸브(XV), 테일가스 유량 조절기(FIC)을 열고 펠레트 담당자에게 테일가스 점화를 지시한다.

5. 펠레트 담당자는 테일가스 단말 나이프 게이트(Knife Gate) 밸브를 개방하여 테일가스를 점화시킨다. 단, 연료 가스가 점화 되어있는 버너부터 테일가스를 점화시킨다.(폭

발 위험 방지 및 안정적 점화 위함)

6. 보드맨은 펠레트가 시작되면 건조기 테일가스 및 공기량을 조절하여 건조기 출구 카본블랙 온도를 설정(130~250℃)하여 일정온도가 유지되도록 한다.

7. 보드맨은 건조기 상부 오프 가스(Off Gas) 온도 조절기(TIC)가 일정온도에 도달하면 건조기 CB 입구부 오프 가스 배관 압력 조절기(PIC)를 -50±20mm H₂O에 설정하고 밸브를 자동으로 전환한다.

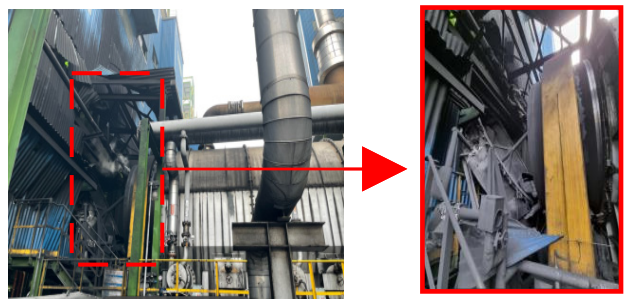
8. 건조기 1기씩 Service하여 각 건조기의 화실압력(PI)을 15±10mmH₂O에 맞추면서 정상운전 되도록 퍼지 백 필터 후단 압력 조절기(PIC)을 재 설정하면서 최적의 설정값을 찾고 건조기 출구 온도 조절기(TIC)을 설정(200℃) 한다.

3. 연구 방법

3.1 연구 대상공정

카본블랙 원료유를 산소부족 환경에서 불완전 연소반응시켜 순수 탄소입자인 카본블랙으로 제조하는 공정을 가동 중에 테일 가스로 인해 건조기 내부에서 폭발분위기를 형성하여 가동(점화)시 폭발사고가 발생하였다. 본 사고로 인한 인명피해는 없었으나 이러한 사고가 발생할 경우 인명피해 및 건조기 Weir Door 와 Hood 파손 등 재산피해가 발생하였다.

Figure 4. 은 테일 가스 승압기와 건조기에서 발생한 폭발사고 현장이다.



[Figure 4] Accident scene of Carbon Black Manufacturing Process

3.2 사고발생 원인

사고가 발생한 원인을 분석하면 테일 가스의 이물질(탄소덩어리)로 인한 밸브 Seal Part 손상으로 인한 가스 누출과 테일 가스 성분 중에서 황(S)에 의한 부식으로 밸브 Seal Part, Disk 손상이 발생하여 가스가 누출되었다. Table 2. 는 물질별 반응식과 물질의 반응결과를 나타낸 것이다.

<Table 2> Reaction Expressions and Results

Reaction Expression	Result
$S + O_2 = SO_2$	Tail Gas (Containing 2% O_2)
$SO_2 + 1/2 O_2 = SO_3$	-
$SO_3 + H_2O = H_2SO_4$	Tail Gas (Containing 30% H_2O)
$H_2SO_4 + Fe = FeSO_4 + H_2$ (Corrosion)	Stainless Steel (Acid Corrosion) (Passive Layer Extinction)

다음은 폭발한계를 계산한 것이다.

테일가스 폭발 한계를 계산하면 폭발하한계(Lower Explosion Limit ; LEL)는 5.78%로 반응식 2에서 계산하였고, 폭발상한계(Upper Explosion Limit ; UEL)는 70.0%으로 반응식 3에서 계산하였다.

Table 2는 테일 가스의 화학물질별 함유량 및 폭발 상한계를 나타낸 것이다.

$$LEL : \frac{22.61}{L_1} = \frac{0.36}{2.5} + \frac{11.14}{4} + \frac{0.38}{4.8} + \frac{10.73}{12.5}$$

$$L_1 = 5.78\% \quad \text{Reaction Formula 2}$$

$$UEL : \frac{22.61}{L_2} = \frac{0.36}{81} + \frac{11.14}{75} + \frac{0.38}{16} + \frac{10.73}{74}$$

$$L_2 = 70\% \quad \text{Reaction Formula 3}$$

사고 당시 테일 가스의 폭발 한계는 누출된 테일 가스 유입량을 신뢰할 수 없지만 가스누출이 유량값으로 확인하였고, 폭발최소유량과 측정유량으로 폭발한계를 계산한 값은 Table 3. 으로 나타냈다.

점화원은 점화장치에 의해 점화된 연소불꽃이다.

이 결과로 측정된 유량은 폭발범위 내에 있어 폭발이 가능하며, 테일 가스의 폭발 최소량은 149 Nm^3/h 로 작은 유량으로도 폭발이 가능함을 알 수 있다.

Table 4. 는 테일 가스의 폭발 한계 계산값을 나타낸 것이다.

<Table 3> Tail Gas Explosion limit 5.85% ~ 70.28%(Calculated value based on 2022 years)

	Content (%)	LEL(%)	UEL(%)
CO_2	2.43	-	-
C_2H_2	0.36	2.5	81
H_2	11.14	4	75
O_2	2.17	-	-
N_2	42.79	-	-
CH_4	0.38	4.8	16
CO	10.73	12.5	74
H_2O	30.00	-	-

<Table 4> At the time of Accident Explosion limit of Tail Gas is satisfied

		T.G	Air	Total
Flux (Nm^3/h)	Minimum explosion	149	2,398	2,547
	Measured flow rate No. 1	600	2,398	3,198
	Measured flow rate No. 2	800	2,398	3,198
Rate (%)	Minimum explosion limit	5.85	94.15	100%
	Explosion limit flow rate No. 1	20	80	100%
	Explosion limit flow rate No. 2	25%	75%	100%

3.3 안전성 향상 방안

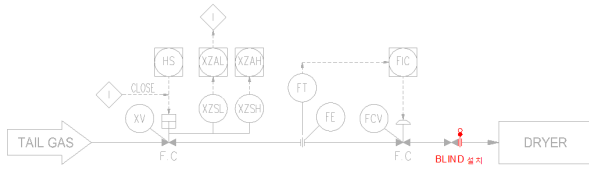
다음은 카본블랙 제조공정에서 정상운전 및 비상운전 시에도 화재·폭발 등의 사고를 방지할 수 있는 안전성 향상을 위한 여러 가지 방안을 제안한 것이다.

3.3.1 설비개선 방안

1. 가스 유입을 차단하기 위한 맹판(Blind) 설치

유해화학물질 차단 또는 분리설비를 설치하지 않을 경우 설비 내부로 유입되어 화재·폭발, 독성에 의한 질식사고의 위험이 있어 비가동 및 정비시 가스배관을 분리하거나 맹판(Blind)을 설치하여 건조설비(Dryer) 내부로 테일가스가 유입되는 것을 원천적으로 차단한다.

KOSHA Guide D-56 ‘맹판 설치 및 제거에 관한 기술 지침’에 따라서 Figure 5. 와 같이 맹판 등을 설치하도록 한다.[6]



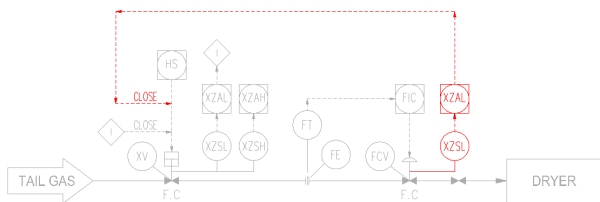
[Figure 5] Blind Plates Installation Drawing

2. 차단밸브 성능 점검 및 교체 기준 수립

밸브 부품(Seat)이 테일가스의 이물질 등에 의해 손상되어 차단 성능을 유지하지 못해 테일가스가 누설될 위험이 있으므로 화학물질을 완전히 차단하기 위해 중요 차단밸브의 성능 점검 및 주기적으로 점검 및 교체하도록 기준을 마련하고 현재 누설등급 III(최대 누설허용범위 0.1%, 설계온도 280℃)의 밸브 등급을 상향하도록 한다.

3. 차단밸브와 유량조절밸브 연동

차단밸브(XV)와 유량조절밸브(FCV)가 연동하도록 Logic을 구성하여 유량조절밸브에서 유량이 감지되었을 때 자동으로 차단밸브가 동작하도록 한다.



[Figure 6] Flow of Main Bag Filter Process

4. 점화실패 후 충분한 환기

버너 점화 실패 후 5회이상 1분간 퍼지를 실시하여 건조기 내부에 인화성가스가 존재하지 않도록 한 후 재점화 가능하도록 Sequence 구성한다.

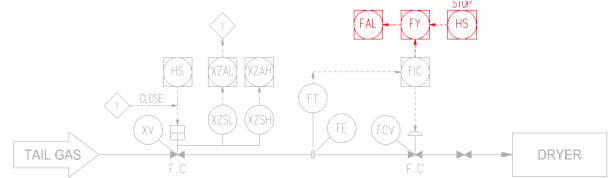
5. 점화 전 내부 가스농도 확인

테일 가스 폭발 한계값은 5%~70%로 건조기(Dryer) 내부 가연성가스 농도가 폭발농도값에서 점화 시도하면 폭발할 수 있으므로 가스농도를 확인한 후 점화하도록 운전절차서에 반영한다.

6. 가스유량 감시시스템 구성

설비 정지나 정비시 가연성가스 유량을 감시하여 이상 발생시 운전실 근무자에게 알리는 알람 기능을 추가하여

근무자가 쉽게 건조기 내부 상황을 확인할수 있도록 한다.



[Figure 7] Flow of Main Bag Filter Process

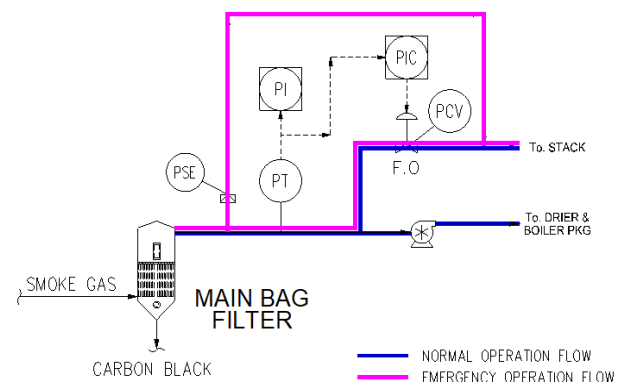
3.3.2 비상배출 방안

1. 스택(Stack)을 통한 과압 해소

메인 백 필터(Main Bag Filter)의 후단 공정에서 테일 가스 처리 및 사용 시설인 보일러와 건조기의 이상으로 정상적인 흐름이 유지되지 않으면 메인 백 필터의 테일 가스 계통의 압력 상승(과압)으로 공정 설비 및 배관계가 파열되고 테일 가스가 공정지역으로 누출되어 확산되고 화재·폭발이 발생할 수 있다.[7] [8] [9]

정상운전에서는 메인 백 필터 공정에서의 과압을 방지하기 위하여 Figure 8. 과 같이 압력 조절 밸브(PCV)로 압력이 조절되고 있으나 압력이 지속 상승할 경우에는 압력 조절 밸브(PCV)가 작동하고 파열판(PSE)이 순차적으로 파열하여 과압을 해소하기 위하여 테일 가스를 비상배출관을 통하여 스택으로 배출하게 한다.

그리고 KOSHA Guide D-46 ‘화학공장의 화재예방에 관한 기술지침’에 따르면 압력은 연소한계에 거의 영향을 주지 않으나, 연소상한계는 압력이 증가할 때 연소범위가 넓어짐으로 메인 백 필터의 테일 가스 계통의 압력이 상승(과압)된다면 연소범위가 넓어져 화재·폭발할 위험성이 커짐으로 과압을 해소하기 위하여 테일 가스를 비상배출관을 통하여 스택으로 배출하여 과압을 해소한다. [10]

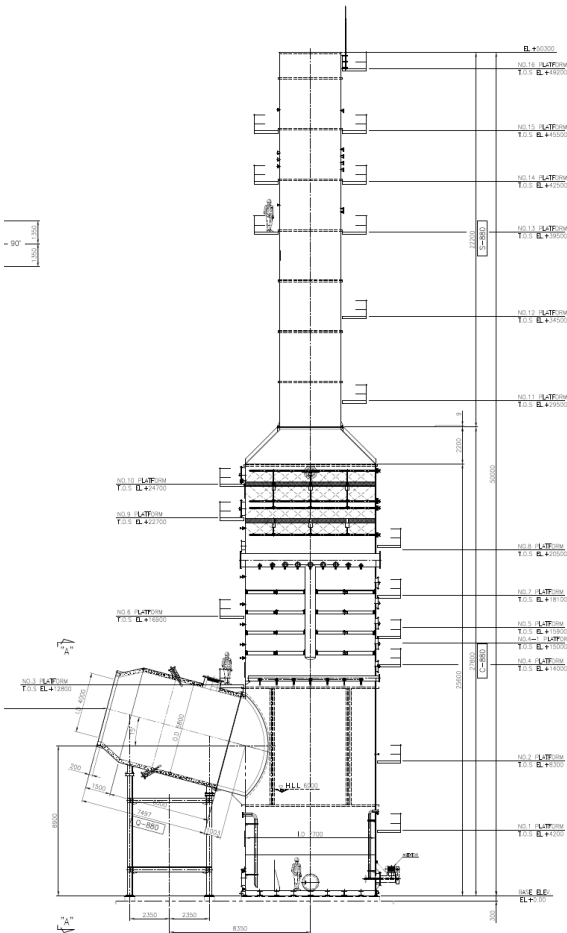


[Figure 8] Flow of Main Bag Filter Process

2. 비상배출 처리시설

정상운전 시 배출되는 테일가스는 보일러, 건조기용 연료공급 계통으로 공급되어 소각 처리되고 있어 대기 방출의 문제점은 없으나, 보일러, 건조기 가동 정지 등과 같은 비상시에 테일 가스 누출, 화재, 폭발을 방지하기 위하여 긴급하게 비상 방출 계통(탈황처리시설)으로 테일가스가 다량으로 방출되어 일부 미처리 물질이 대기 방출 가능성이 있다.[11]

테일가스의 유해위험성을 볼 때 MSDS 자료를 근거로 소각 연소되기 이전에는 인화성(수소, 일산화탄소, 아세틸렌), 건강유해성과 독성(일산화탄소)이 문제 될 수 있으나, 해당 물질 들이 공기보다 가벼운 성질의 물질이어서 배출구를 설비 및 작업자가 이동하는 경로가 아닌 방향으로 하고 배출구 최종 높이는 최소 지상 2m 이상으로 하여 배출물의 지상 높이에 따른 희석 농도를 산정하여 결정한다음, 대기 방출 Vent Stack을 통하여 안전한 곳으로 배출한다면 공정 안전상 문제는 해소된다. Figure 9. 은 탈황탑의 구조를 나타낸 것이다.



[Figure 9] Desulfurization Tower Structure

4. 결론

본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 보일러, 건조기와 같은 메인 백 필터 후단 공정의 이상으로 정상적인 흐름이 유지되지 않으면 메인 백 필터 테일 가스 계통의 압력 상승으로 공정 설비 및 배관계가 파열되고 테일 가스가 공정지역으로 누출·확산되어 화재·폭발이 발생할 수 있으므로 압력이 지속 상승할 경우에는 압력 조절 밸브가 작동하고 파열판이 순차적으로 파열하여 과압을 해소하기 위하여 테일 가스를 비상배출관을 통하여 스택으로 배출하여야 한다.

2. 정상 운전 시 배출되는 테일 가스는 보일러, 건조기용 연료공급 계통으로 공급되어 소각 처리되고 있어 대기 방출의 문제점은 없으나, 보일러, 건조기 가동 정지 등과 같은 비상 시에는 테일 가스의 누출, 화재, 폭발을 방지하기 위하여 긴급하게 비상 방출 계통(탈황처리시설)으로 테일 가스가 다량으로 방출되어 일부 미처리 물질이 대기 방출 가능성이 있지만 해당 물질 들이 공기 보다 가벼운 성질의 물질이어서 대기 방출 Vent Stack을 통하여 안전한 곳으로 배출한다면 공정 안전상 문제를 해소할 수 있다.

3. 테일 가스 방출 계통의 압력 구배(Hydraulic) 및 처리 용량 문제는 백 필터(Bag Filter)공정은 물론 방출 가스 이송 배관 계통과 처리 시설 용량을 충분히 크게 설계 함으로써 해결될 수 있으나, 상시로 운전되지 않는 대용량의 설비를 추가로 설치한다면 추가적인 부담과 공정안전의 위험성이 커질 수도 있으므로 테일 가스를 비상배출관을 통하여 스택으로 배출하는 것이 최적이라 사료된다.

4. 운전이 중지된 보일러, 건조기 등으로 테일 가스가 유입된다면 보일러, 건조기 등의 내부가 연소(폭발)분위기가 형성되어 화재·폭발위험이 있고, 연료가스 유출속도가 너무 빠르면 실화 등이 일어나고 너무 늦으면 역화가 발생할 위험이 있으므로 가스압력이 이상 상승 또는 이상 저하한 경우에는 즉시 연료를 차단하여야 함으로 공정 이상시에는 공급되는 테일 가스를 중단하고 비상배출관을 통하여 스택으로 배출하여 한다.

5. References

[1] API Standard 521 Pressure-Relieving and Depressuring Systems.

- [2] Center for Chemical Process Safety(CCPS) (2006), Safety design and operation of process vents and emission control systems.
- [3] Center for Chemical Process Safety(CCPS) (1998), Guidelines for pressure relief and effluent handling systems.
- [4] H. J. Rafson(1998), Odor and VOC control handbook. McGraw-Hill.
- [5] KOSHA Guide D-42-2021(2021), Technical guidelines for the process design of hydrogen vent stack and vent piping.
- [6] KOSHA Guide D-56(2016), Technical guidelines for installation and removal of blind plates.
- [7] KOSHA D-49-2012(2012), Technical guidelines for the installation of bombardment outlet to prevent gas explosion.
- [8] KOSHA Guide D-12-2012(2012), Technical guidelines for the prevention of dust explosion.
- [9] KOSHA Guide P-131-2013(2013), Technical guidelines for the prevention of dust explosion in chemical process.
- [10] KOSHA Guide D-46-2013(2013), Technical guidelines for fire prevention in chemical factories.
- [11] KOSHA GUIDE P-104-2012(2012), Technical guidelines for Volatile Organic Compounds(VOC) treatment.

저자 소개



주 종 율

호서대학교 소방방재학과 박사과정
현 송실사이버대학교 산업안전공학과 겸임교수
관심분야: 방재공학, 방폭공학, 화공안전, 전기 안전, 정전기 제거 장치 등



이 성 은

호서대학교 소방방재학과 박사
현 호서대학교 소방방재학과 교수
관심분야: 위험물, 소화약제, 화재공학, 방폭 공학, 안전 공학 등



정 필 훈

부경대학교 안전공학과 박사
현 송실사이버대학교 산업안전공학과 전임교수
관심분야: 안전공학, 산업안전, ISO45001, 전기안전, 화공안전, 소방안전, 반도체 제조공정, 정전기 제거 장치 등