

[Research Paper]

아스팔트에 대한 소방기관의 규제 실태와 폭발사례의 분석

이의평

전주대학교 소방안전공학과

Analysis of the Actual Conditions of the Asphalt Regulations by Fire Service Organizations and Explosion Cases

Eui-Pyeong Lee

Department of Fire Safety Engineering, Jeonju University

(Received March 24, 2017; Revised May 17, 2017; Accepted May 23, 2017)

요 약

아스팔트는 상온에서 고체이므로 위험물안전관리법에서 정하고 있는 위험물이 아니어서 화재·폭발 위험성이 없는 것처럼 인식하는 경향이 있는데, 저장탱크에 170-180 °C로 가열하여 저장하므로 인화성액체와 같은 위험성이 있다. 이 논문에서는 아스팔트의 저장·취급 중 화재폭발 위험성과 아스팔트에 대한 소방기관의 규제 실태를 분석하고 있다. 그리고 아스팔트와 관련된 사고 중 국내에서 발생한 아스팔트콘크리트(아스콘) 생산 중 폭발한 사례와 아스팔트 저장탱크의 폭발 사례, 해외에서 발생한 아스팔트 저장탱크의 화재폭발사고 사례를 분석하고 있다. 분석결과, 우리나라는 일본과 달리 아스팔트에 대한 소방기관의 규제가 거의 없고, 아스콘 생산 중 골재 가열실 버너에 연료를 분사한 후 점화시기가 지연되면 폭발사고가 발생하며, 아스팔트저장탱크의 아스팔트 가열 중 대기오염물질이나 악취를 제거하기 위해 환경정화설비를 갑자기 강하게 작동시키는 경우 저장탱크에 물리적 폭발사고가 발생하며, 아스팔트저장탱크에서 용접 등 화기취급을 하면 폭발사고가 발생할 수 있다.

ABSTRACT

Because asphalt is a solid at normal temperature and is not a hazardous material as stipulated in the Safety Management Act on Hazardous Materials, it is often recognized as having no risk of fire or explosion. On the other hand, it is as dangerous as flammable liquid because it is heated to 170-180 °C and stored in a storage tank. This study analyzed the risk of fire and explosion during the storage and handling of asphalt and the actual conditions of asphalt regulations by fire service organizations. Moreover, this study analyzed the domestic case of explosions in the production process of asphalt concrete (ASCON) and domestic and foreign cases of asphalt storage tank explosions. The analysis suggested that unlike Japan, Korea has no asphalt regulations in fire service organizations. Explosions can occur when ignition is delayed after fuel is sprayed on the dryer drum burner of the aggregates during the production of ASCON. A physical explosion can occur in the storage tank when environmental purification facilities suddenly work strongly to remove air pollutants or bad smells during the heating of asphalt in an asphalt storage tank. In addition, explosions can occur when fires such as welding is performed in the asphalt storage tank.

Keywords : Asphalt, Asphalt Storage Tank, Fire and Explosion Investigation, Fire Prevention, Explosion Case Analysis

1. 서 론

도로 포장에 아스팔트가 널리 이용되고 있으며, 아스팔트에 골재(모래, 자갈)를 섞은 것을 아스팔트 콘크리트, 줄여서 아스콘이라고 한다. 휘발유, 경유, 등유와 같이 끓는 점이 낮은 석유화합물은 원유를 분별증류하는 과정에서 추출되며, 분별증류를 거친 다음에 남은 기름을 중유라고 하

고, 중유를 더 정유해서 최종적으로 남는 물질 중 검은 고체성분을 아스팔트 또는 석유아스팔트라 부른다. 석유의 경질분이 태양열이나 지열 등에 의해 증발된 뒤 잔류물의 형태로 산출된 것을 천연아스팔트라고 부른다. 우리나라 도로포장 등에 이용되는 것은 모두 석유아스팔트이다.

아스팔트는 분별증류 잔유물임에도 위험물안전관리법에서 위험물로 정하고 있지 않으므로 화재·폭발의 위험성이

없는 것으로 인식되는 경향이 있다. 위험물로 지정되어 있지 않은 것은 상온에서 액체가 아니기 때문일 뿐이며 가열하여 액체나 유동성이 있는 상태로 저장·취급하는 경우에는 인화성액체와 같은 화재·폭발의 위험성을 갖고 있다. 아스팔트는 90-100 °C 이하로 되면 굳어지고 펌프에 의한 압송이 곤란하게 되므로 가열하고 보온하여 저장하여야 한다⁽¹⁾.

건축물이나 차량의 화재폭발사례 등을 분석한 논문은 있으나⁽²⁻⁸⁾ 아스팔트와 관련된 폭발사고사례를 분석한 논문은 없는 현실이다.

이 논문에서는 아스팔트의 저장·취급 중 화재·폭발 위험성과 아스팔트에 대한 소방의 규제에 대해 분석한 후 아스팔트와 관련된 사고 중 국내의 아스콘 생산 중 폭발 사례와 아스팔트저장탱크의 물리적 폭발사례를 분석하고, 해외에서 발생한 아스팔트저장탱크의 화재폭발사고사례를 소개하고 있다.

2. 아스팔트의 소방기관 규제 실태 분석

2.1 아스팔트의 저장 중 화재·폭발위험성 분석

석유류(인화성액체)는 위험물안전관리법시행령에서 제4류 위험물로 규정하고 특수인화물, 제1석유류, 알코올류, 제2석유류, 제3석유류, 제4석유류 등으로 분류하고 있다. 위험물안전관리법시행령에서 “인화성액체”라 함은 액체(제3석유류, 제4석유류 및 동식물유류에 있어서는 1기압과 섭씨 20도에서 액상인 것에 한한다)로서 인화의 위험성이 있는 것을 말한다 라고 규정하고 있고, 아스팔트는 1기압과 20 °C에서 액상이 아니므로 위험물안전관리법상 위험물이 아니다.

아스팔트는 석유정제 후에 얻어지고 있음에도 위험물안전관리법의 규제를 받고 있지 않으므로 화재·폭발의 위험성이 없는 것으로 인식하는 경향이 있다. 아스팔트는 대기 중 20 °C에서 액상이 아니어서 위험물안전관리법상 위험물이 아닐 뿐 탱크에 저장하는 경우에는 가열하여 170-180 °C 온도로 액체상태로 저장하므로 다량의 유증기가 발생하여 인화성액체와 마찬가지로 화재·폭발의 위험성이 있게 된다.

2.2 아스팔트에 대한 소방기관 규제 실태 분석

아스팔트는 상온에서 액체가 아니고 고체이므로 위험물안전관리법상 위험물은 아니지만, 고체 상태이더라도 저장량이 3000 kg을 초과하는 경우에는 소방기본법에서 정하는 특수가연물에 해당한다. 특수가연물은 위험성의 정도는 위험물보다 낮지만 만일 화재가 발생한 경우에는 그 확대가 빠르거나 소화활동이 현저히 곤란한 물질(가연물)이다. 아스팔트는 소방기본법시행령 별표 2의 비고 5. “가연성고체

류” 중 ‘다. 인화점이 섭씨 200도 이상이고 연소열량이 1그램당 8킬로칼로리 이상인 것으로서 용점이 100도 미만인 것’에 해당한다.

특수가연물의 저장 및 취급에 대해서는 소방기본법시행령 제7조 제2항에서 규정하고 있는데, 아스팔트는 일반적으로 히팅 코일로 가열하여 170-180 °C 온도로 유증기가 발생하는 상태에서 탱크 안에 저장되고 있음에도 저장·취급에 대해서는 품명·최대수량 및 화기취급의 금지표지를 설치하는 것만을 규정하고 있을 뿐 화재·폭발과 관련된 실질적인 저장 및 취급 기준은 없다고 해도 과언이 아니다.

우리나라 소방기본법의 특수가연물 개념은 일본 소방법 제9조의3에서 정하는 지정가연물과 같은 개념이다. 일본 소방법 제9조의3에서 압축아세틸렌가스, 액화석유가스 기타 화재예방 또는 소화활동에 중대한 지장을 야기할 우려가 있는 물질로 정령(政令)으로 정하는 것을 저장 또는 취급하는 자는 미리 그 취지를 관할 소방본부장 또는 소방서장에 신고하여 하여야 한다 라고 규정하고 있고, ‘위험물규제에 관한 정령’ 제1조의12에서 지정가연물을 규정하고 있으며 별표4에서 우리나라 소방기본법시행령 별표 2와 거의 같은 내용으로 규정하고 있다. 차이점은 일본은 우리나라와 달리 별표에 재생자원연료가 추가되어 있고, 비고 5.에 재생자원연료란 ‘자원의 유효한 이용의 촉진에 관한 법률 제2조 제4항에서 규정하는 재생자원을 원재료로 하는 연료로 한다고 설명하고 있으며, 비고 6.에 “가연성고체류”를 해설하고 있는데 아스팔트에 해당하는 우리나라의 “인화점이 섭씨 200도 이상이고 연소열량이 1그램당 8킬로칼로리 이상인 것으로서 용점이 100도 미만인 것”에서 1그램당 8킬로칼로리가 아니라 34킬로줄로 하고 있다. 8킬로칼로리와 34킬로줄은 단순히 단위환산에서 오는 값의 차이일 뿐이고 재생자원연료는 발전용 연료 등으로 사용하고 있는 RDF (Refuse Derived Fuel : 일반가연성쓰레기나 플라스틱 쓰레기 등의 폐기물로 만드는 고형(固形)연료)나 RPF (Refuse Paper & Plastic Fuel : 현 종지와 폐플라스틱으로 만드는 고형연료) 등과 관련된 것으로 2003. 8. 19. 14:18경 미에현(三重縣²⁾) RDF발전소화재(소방대원 2명 사망, 발전소 직원 5명 부상)가 발생하여 2004년 6월 법령개정을 통해 추가된 것이다^(9,10). 우리나라도 일본과 마찬가지로 발전용 연료 등으로 RDF나 RPF 등을 사용하고 있으므로⁽¹¹⁾ 소방기본법시행령 별표 2를 개정하여 재생자원연료를 추가할 필요가 있다. 우리나라 소방기본법시행령 별표 2의 특수가연물은 일본의 ‘위험물규제에 관한 정령’ 별표 4의 지정가연물을 그대로 인용하고 있고, 단지 일본은 사회환경변화를 반영하여 재생자원연료를 포함하고 있는데 우리나라는 그러하지 못하고 있을 뿐이다.

일본은 지정가연물에 대해 소방본부장 또는 소방서장에

1) 일본에서 정령(政令)은 우리나라의 대통령령(시행령)에 해당함.

2) 현(縣)은 우리나라의 광역지방자치단체 도(道)에 해당함.

Table 1. Asphalt Regulations of Fire Organizations in Korea and Japan

	Regal basis	Web site
Korea	Fire basic law	http://www.law.go.kr/main.html
Japan	Hazardous materials regulations	http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S34/S34SE306.html
	Fire prevention ordinance in Tokyo	http://www.reiki.metro.tokyo.jp/reiki_honbun/g1012311001.html

게 신고하게 되어 있을 뿐만 아니라 지방자치단체의 화재 예방조례로 구체적인 저장 및 취급, 위치, 구조 및 설비상의 기술기준을 정하고 있다. 동경도(東京都)³⁾ 화재예방조례 제33조 제2항에서 아스팔트와 같은 고체가연물의 저장 및 취급의 기술상의 기준에 대해서는 지정수량미만의 위험물의 저장 및 취급 준수사항(제30조), 지정수량 1/5 이상 지정수량 미만의 위험물의 저장 및 취급 시설기준(제31조)을 따르도록 하고 있다. 지정수량 미만의 위험물의 저장 및 취급 준수사항, 지정수량 1/5 이상 지정수량 미만의 위험물 저장 및 취급의 시설기준은 우리나라 위험물안전관리조례와 유사한 내용들로 되어 있다. 일본 다른 지방자치단체들의 화재예방조례 내용도 동경도 화재예방조례와 대동소이하다. 교토시(京都市) 소방국(<http://www.city.kyoto.lg.jp/shobo/>) 등은 화재예방조례의 운용기준을 공개하고 있고, 이 운용기준에 아스팔트에 대해 언급하고 있다.

위 내용의 한일 양국의 법적 근거 등을 표로 정리하면 Table 1과 같다.

이상과 같이 아스팔트는 탱크 안에 가열하여 저장하므로 인화성액체 위험물과 같이 화재·폭발위험이 있음에도 우리나라는 아스팔트 저장 및 취급에 대해 거의 규제를 하고 있지 않지만 일본은 화재예방조례로 지정수량미만의 위험물을 취급하는 경우와 같은 규제를 받도록 하여 화재·폭발 사고에 대비하고 있음을 알 수 있다.

3. 아스팔트와 관련된 폭발사례의 분석

3.1 아스콘 생산 중 폭발 사례

3.1.1 아스콘 생산 시설과 공정

도로포장용으로 사용되는 아스팔트시멘트에 자갈(Aggregate), 모래(Filler) 등의 골재를 섞어 도로포장의 주재료(아스팔트 혼합물이라고 함)로 하는데, 아스팔트시멘트는 상온에서 고체 상태이므로 골재와 혼합하려면 아스팔트 자체를 가열하여야 할 뿐만 아니라 골재도 가열하여야 한다. 이렇게 가

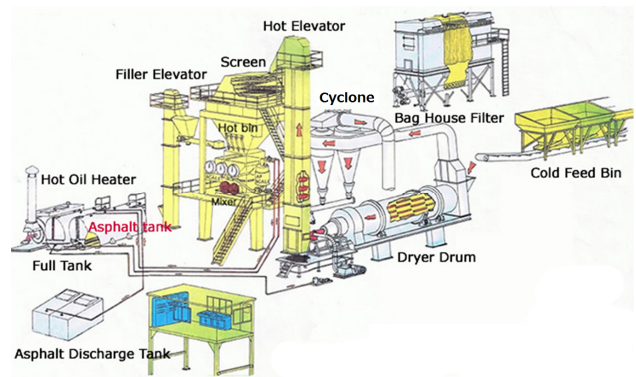


Figure 1. An example of stationary asphalt plant⁴⁾.

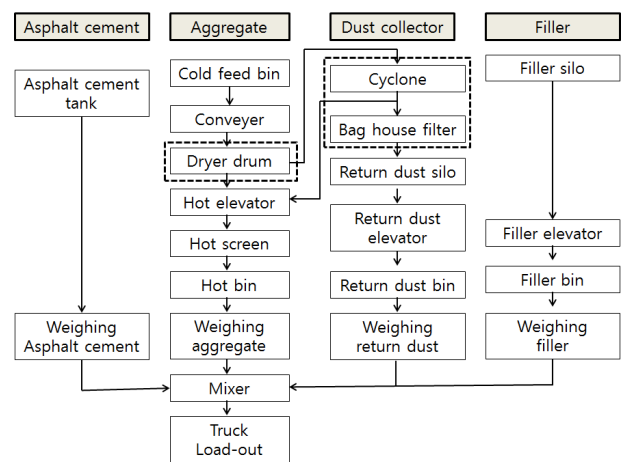


Figure 2. Production process of asphalt concrete¹²⁾.

열된 아스팔트혼합물을 아스팔트 콘크리트, 줄여서 아스콘이라고 한다.

아스팔트 콘크리트를 생산하는 설비기계를 아스팔트 플랜트라고 하며, 이 플랜트는 Figure 1과 같이 골재 빈, 콜드 엘리베이터, 드럼 드라이어, 핫 엘리베이터, 선별기(스크린), 핫 빈, 계량장치, 아스팔트시멘트 공급 장치, 충전재 공급 장치, 혼합장치, 집진장치 등으로 구성되어 있다.

아스팔트 플랜트에서 아스콘을 생산하는 공정은 Figure 2와 같다. 골재컨베이어를 거쳐 드럼 드라이어(가열실)를 회전시키며 버너로 가열하고 핫 엘리베이터와 핫스크린을 거친 골재는 혼합장치에서 아스팔트 시멘트 및 충전재와 혼합되어 아스팔트콘크리트가 된 후 트럭으로 출하되며, 먼지나 유해가스 등은 사이클론과 백 필터 등 집진장치를 통해 제거된다.

3.1.2 아스콘 생산 중 폭발사례의 분석¹³⁾

아스콘 공장(Figure 3 참조)에서 1월말 08:50경 기계가동을

3) 동경도(東京都)는 우리나라 서울특별시에 해당함.

4) http://www.kmgind.com/inner_asphalt%20plant.htm



Figure 3. Asphalt plant that explosion broke out.

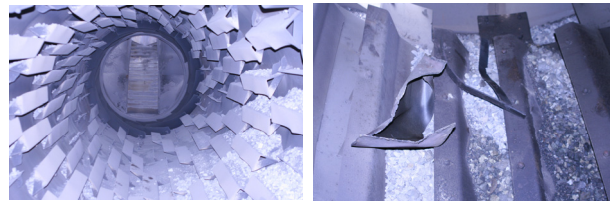


Figure 5. Damaged inside of dryer drum.

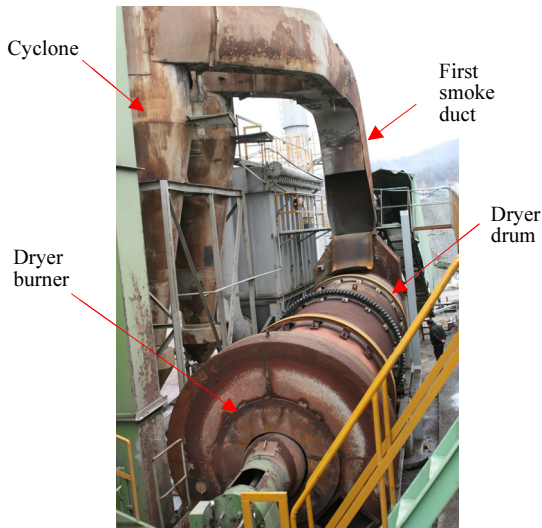


Figure 4. Damaged first smoke duct connected dryer drum to cyclone.



Figure 6. Damaged and expanded first smoke duct.



Figure 7. Damaged cyclone.

하여 아스콘 25톤(트럭1대분)을 생산하여 반출하고 09:30 경에 재가동을 하다 폭발사고가 발생하였다.

아스콘 생산 라인(콜드빈, 골재공급 컨베이어, 건조실(드라이어, 700 ℃), 이송컨베이어, 골재선별기(스크린), 저장, 계량, 혼합(골재+아스팔트시멘트+채움재), 방출(트럭상차))은 건조실 내부의 파손을 제외하고는 외관상 폭발로 인한 피해가 없다. 폭발로 파손, 뚫림, 이탈되거나 변형된 부위는 건조실에서 백필터까지이며, 건조실(드라이어), 1차연도, 사이클론(2개), 2차연도, 백필터 부위들은 골재에 포함된 먼지, 흙 등 이물질을 제거하여 최종 대기 중으로 배출(백필터 2차 측의 배풍기, 굴뚝을 통해 대기 중으로 배출함)하는 설비이다(Figure 3-9 참조). 즉, 폭발 피해를 입은 곳은 이물질 제거 또는 배출설비이다.

1차연도(1,200 mm 철제 덕트), 사이클론(1차집진기) 2개는 심하게 파손(파손, 뚫림, 이탈, 변형을 통틀어 이하 파손이라고 함)되었고, 2차연도는 1차연도에 비해 파손이 심하지 않으며, 백필터(2차집진기)는 부풀어 오른 상태이나 폭발의 중심은 사이클론과 그 1차측이다.

따라서 폭발개소(폭발의 중심)는 건조실을 제외하고는 아스콘 생산라인과 관련이 없으며, 이물질 제거 또는 배출 설비 중 건조실에서 사이클론까지로 Figure 2의 [] 부위로 판단할 수 있다.

골재에서 나온 이물질 또는 먼지 등의 물질 자체는 폭발



Figure 8. Cyclone that connection part was bolted with secondary smoke duct.



Figure 9. Expanded bag house filter.

성 물질이 아니므로 골재에서 나온 이물질 또는 먼지 등의 물질은 폭발원인과 관련이 없다. Figure 10에서 알 수 있는 것처럼 외부에서 화재나 폭발이 발생하지 않았고, 외부에서 시설 내부(건조실, 연도, 사이클론, 백필터의 내부)로 폭발이 전이된 것이 아니다.

골재 자체와 골재에서 나온 이물질 또는 먼지 등의 물질은 폭발성 물질이 아니므로 이들 물질이 건조실 내에서 버

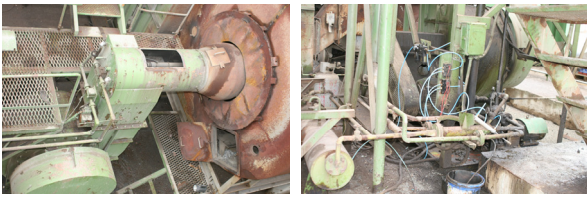


Figure 10. Fuel supply system surroundings of dryer burner.



Figure 11. Control table of operation room.

너의 화염이나 열기에 노출되더라도 폭발할 수 없으며, 또한 1차연도와 백필터 사이의 내에서도 폭발할 수 없다. 따라서 건조실과 백필터 사이에서 폭발이 발생한 것은 골재 자체나 골재에서 나온 이물질 또는 먼지 등의 물질과 관계없는 가연성 물질(가스)이 유입되어 폭발한 것으로 볼 수 밖에 없다.

건조실에 공급될 수 있는 가연성 물질(가스)은 버너의 연료인 경유(예열용), 벙커C유로 한정되며, 버너의 초기 연료인 경유는 분사된 후 전기스파크로 착화시키고, 건조실에 예열된 후에는 벙커C를 분사시켜 착화시키고 있다.

사고 당일 설비운전자(남, 43세)에 의하면 08:50경 설비를 가동한 후 1대분(25톤) 아스콘을 생산하여 출하하였다고 하며, 09:35경 폭발사고가 발생하였다고 한바, 운전하다가 설비정지 후 재기동(재가동) 중에 버너에 분사된 연료(경유) 또는 유증기가 그대로 백필터 2차측에 설치된 배풍기의 힘에 의해 ‘건조실 → 1차연도 → 사이클론 → 2차연도 → 백필터’순으로 유입되고, 이런 상황에서 점화스위치를 눌러 분사된 경유에 착화됨과 동시에 유증기에 화염이 전파되어 폭발한 것으로 판단된다.

경유(또는 유증기)가 가열실과 백필터 사이에 유입된 후 점화스위치를 ON 하여 폭발한 근거는 아래와 같다.

- ① 위에서 언급한 것처럼 골재 자체와 골재에서 나온 이물질 또는 먼지는 폭발성 물질이 아님
- ② 설비운전자에 따르면 설비운전은 운전실에서 먼저 전원을 투입하고, 제어패널의 스위치(배풍기, 스크린, 핫 엘리베이터, 건조실, 경사컨베이어, 수평컨베이어 등)를 누른 후에 운전실 제어테이블(Figure 11 참조) 위에 있는 연료분사펌프 버튼을 누르고 그 다음에 버너를 점화시키며, 버너점화는 자동/수동버튼이 있는데 수동으로 하여 왔다고 함
- ③ 수동으로 버너를 점화시키는 경우에는 건조실에 연료(경유)가 공급되고 그 후에 점화시키므로 점화스위치를 ON으로 하지 않은 경우에는 계속 연료분사가 될 수 밖에

없고, 이 상태에서는 배풍기가 작동 중이므로 빠른 속도로 연료 또는 연료의 증기(대부분은 연료인 경유의 유증기일 것임)가 건조실을 지나 1차연도 → 사이클론 → 2차연도 → 백필터 순으로 유입될 것임

④ 경유의 유증기가 백필터 또는 백필터로 가는 연도 등에 유입된 상태에서 점화스위치를 ON하면 버너에 착화됨과 동시에 가연성 유증기가 형성된 곳(가열실에서 백필터까지)에 화염이 전파되어 폭발이 발생할 것임

⑤ 연도에 꺾어지는 부분이 있고 사이클론 상부가 찢겨졌음에도 백필터까지 부풀어 올라 있음

- 백필터까지 연도 등으로 연결되어 있으므로 유증기 존재와 관계없이 폭발압력이 전파되면 그 폭발압력에 의해 백필터의 파손이 발생할 수도 있다고 생각할 수 있으나 연도에 꺾어지는 부분이 있고 연도와 사이클론 상부가 파열된 것으로 보아 폭발압력이 백필터에 전달되었다기보다는 백필터에서도 유입된 유증기가 폭발한 것으로 판단됨

⑥ 정상 점화된 후에 다량의 연료가 유입 분사되어 폭발이 발생했다고 주장할 수 있으나 연료가 점화된 상태에서 다량의 연료(경유 또는 등유)가 공급되는 경우에는 가열실이 과열될 수 있을 뿐이며 폭발이 발생하는 것은 아님

⑦ 가열실 내에서만 폭발이 발생했다면 가열실 내만 가연성 가스가 축만할 정도로 연료가 분사된 후 점화하였을 것이나, 이 폭발의 경우에는 1차연도, 사이클론, 백필터에서 폭발이 발생한 것으로 미뤄보아 상당시간 연료(경유)가 분사된 후에 점화스위치를 ON으로 한 것으로 판단됨

설비운전자는 이 사건 현장의 설비를 오랜 기간 동안 운전하여서 설비 조작에 능숙하며 그동안 버너 점화를 수동으로 해왔는데 아무런 이상이 없었고, 사고 당일에도 똑같은 방식으로 버너 점화를 수동으로 하였는데 폭발사고가 발생하였다고 주장하였다. 그동안 버너점화를 수동으로 했음에도 폭발사고가 발생하지 않은 것은 건조실에 연료가 분사되자마자 곧바로 버너 점화를 시켜서 의도하는 대로 연료가 연소만 했기 때문이다. 설비운전자가 사고 당일에 평상시와 달리 건조실에 연료를 분사시킨 후 점화 버튼을 곧바로 누르지 않은 이유를 구체적으로 밝히지 않아 알 수 없지만 연료분사펌프 버튼을 누른 직후 핸드폰을 받는 등 다른 행동을 하다가 순간적으로 점화 버튼을 누르는 것을 망각하고 있다가 점화버튼을 누르지 않은 사실을 깨닫고 점화 버튼을 눌러서 벌어진 것으로 추정된다. 연료분사펌프 버튼과 버너 점화 버튼을 수동으로 누르는 것은 두 버튼을 누르는 사이의 간격을 적절히 맞추지 못하거나 핸드폰을 받는 등 예기치 않은 변수로 순간적으로 점화 버튼을 누르는 것을 망각하는 휴먼에러가 발생하면 폭발사고로 이어질 개연성을 갖고 있는 만큼 자동으로 하고 연료가 분사되고 있음에도 점화가 안 되면 경보를 울리거나 연료분사펌프 버튼을 수동으로 누른 후 일정시간이 경과하면 버너 점화 버튼 수동조작이 안되게 조작시스템을 보완할 필요가 있다.



Figure 12. Damaged and overflowed asphalt tank.

3.2 국내 아스팔트저장탱크의 폭발 사례 분석⁽¹⁴⁾

아스팔트는 상온에서 고체이므로 저장탱크 내에 보관할 때는 히팅코일로 가열하여 상시 170-180 ℃로 유지하여 응고되지 않게 하고 있으며, 출하하기 위해서는 하루 전에 열매체 보일러를 가동하여 아스팔트저장탱크 내의 아스팔트의 온도를 더 높여야 한다. 3월 중순 출하 앞날인 18:30경 아스팔트 생산 공장의 아스팔트저장탱크(높이 6.1 m, 직경 6.8 m, 용적 200 m³)의 열매순환 IN/OUT 밸브를 개방한 후 열매체 보일러를 가동시키고 약 2시간 30분 경과한 21:00경 아스팔트탱크 교반기를 가동시켰으며, 교반기를 가동하고 약 30분경과한 후 21:30경 ‘꽝’하는 소리를 듣고 아스팔트탱크를 확인해보니 탱크가 Figure 12 좌측사진과 같이 주그러든 상태로 변형되어 있었다고 하고, 이 사고가 발생하기 약 6개월 전에는 Figure 12 우측사진과 같은 상태로 저장 탱크 지붕에 오버플로가 있었다고 한다.

이 사고가 발생한 후 아스팔트 제조공장 측은 폭발사고가 발생했으니 보험회사 측에 보험금지급 청구를 하였고, 보험회사 측은 이 탱크 사고는 화학적 폭발사고가 아니라 물리적 폭발사고이므로 보험금지급을 할 수 없다고 하여 민사소송으로 비화되었다.

사고가 발생했다고 무조건 보험금이 지급되는 것이 아니라 보험약관에서 정하는 손해에 해당하는 사고인 경우에만 보험금이 지급되고 해당하는 사고이더라도 면책사유에 해당되는 경우에는 지급이 될 수 없으므로 이 탱크 사고가 보험약관에 명시된 사고에 해당하는지를 우선 판단해야 한다.

이 사건 탱크의 파손이 보험회사의 화재보험 약관에서 정하고 있는 구내폭발위험 특별약관에서 보상하는 손해(사

구내폭발위험 특별 약관

제1조 보상하는 손해

회사는 보통약관 제8조(보상하지 아니하는 손해) 제④호의 규정에 관계없이 보험의 목적이 있는 구내에서 생긴 폭발, 파열(폭발, 파열이라 함은 급격한 산화반응을 포함하는 파괴 또는 그 현상을 말합니다)로 보험의 목적이 생긴 손해를 보상하여 드립니다. 그러나 기관, 기기, 증기기관, 내연기관, 수도관, 수관, 유압기, 수압기 등의 물리적인 폭발, 파열이나 기계의 운동부분 또는 회전부분이 분해되어 날아 흩어지므로 인해 생긴 손해는 보상하여 드리지 아니합니다.

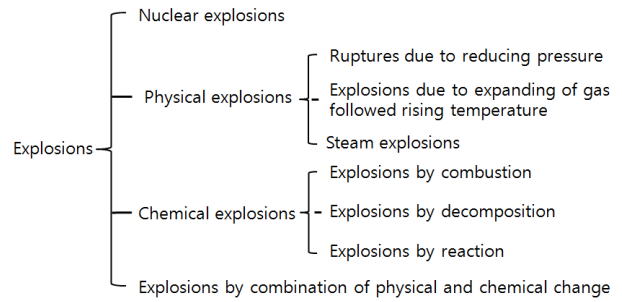


Figure 13. Classification of explosion by process.

고)에 해당하는지가 쟁점이다. 화재보험 약관의 구내폭발위험 특별약관에서 보상하는 손해와 관련된 조항(제1조)은 아래와 같다.

이 사건 탱크의 사고와 화재보험 약관의 구내폭발위험 특별약관을 관련시켜 보면 이 사건 탱크의 사고가 폭발, 파열(폭발, 파열이라 함은 급격한 산화반응을 포함하는 파괴 또는 그 현상을 말합니다) 사고이면 보상하는 사고이고, 물리적인 폭발, 파열 사고이면 보상하지 않는 사고로 볼 수 있으므로 주요 쟁점은 이 사건 탱크가 ① 급격한 산화반응을 포함하는 파괴 또는 그 현상에 의한 폭발, 파열 사고, ② 물리적인 폭발, 파열 사고 중 어느 쪽의 사고인지를 판단하는 것이라 할 수 있다.

화재폭발조사에서 폭발현상을 분류하는 경우, 크게 3가지 방법(폭발반응을 프로세스에 따라 분류하는 방법, 폭발반응에 기인한 원인물질의 상태에 따라 분류하는 방법, 반응속도에 따라 분류하는 방법)이 있으며, 프로세스에 따라서는 Figure 13과 같이 분류하고 있다.

물리적 폭발은 물리변화를 주체로 하는 폭발현상을 말하며 구체적으로는 고압용기의 파열, 탱크의 감압에 의한 파손, 폭발적인 증발에 의한 파열 등을 생각할 수 있으며, 이 때 대기 중에 방출되는 기체(증기)에 의해 용기, 배관 등이 물리적으로 파괴된다. 화학적 폭발은 화학반응을 주체로 한 폭발반응을 말하며, 구체적으로는 가연성기체 또는 증기의 폭발적인 연소, 중축합(重縮合), 분해, 반응폭주 등의 화학반응에 의해 일어나는 폭발 등을 생각할 수 있으며, 화학적 폭발은 연소(빛과 열을 수반한 급격한 산화반응으로 정의하고 있음)라는 화학반응이라 할 수 있다⁽¹⁵⁾.

「화재조사 및 보고규정」(국민안전처훈령) 제2조 제1호에서 “화재”란 ‘사람의 의도에 반하거나 고의에 의해 발생하는 연소 현상으로서 소화시설 등을 사용하여 소화할 필요가 있거나 또는 화학적인 폭발현상을 말한다.’라고 화재를 정의하고 있어 화학적인 폭발은 화재로 취급하고 있는 반면에 물리적인 폭발은 화재로 취급하지 않음을 알 수 있다.

화재조사 및 보고규정의 “화재”의 정의와 화재보험약관의 구내폭발위험 특별약관을 관련시켜 보면 폭발 중 “화재”로 취급하는 화학적인 폭발 사고의 손해만을 보상하는 것으로 해석할 수 있다.

위 Figure 13의 분류방법과 “화재”의 정의를 화재보험 약관의 구내폭발위험 특별약관과 관련시켜 보면 위 주요쟁점에서 언급한 ①(급격한 산화반응을 포함하는 파괴 또는 그 현상에 의한 폭발, 파열 사고)은 화학적 폭발, ②(물리적인 폭발, 파열 사고)는 물리적 폭발로 보아도 무방하다.

위의 주요쟁점에서 언급한 ①의 사고(급격한 산화반응을 포함하는 파괴 또는 그 현상에 의한 폭발, 파열 사고)를 화학적인 폭발, 파열 사고라고 하고, ②의 사고(물리적인 폭발, 파열 사고)를 물리적인 폭발, 파열 사고로 분류하고 있으므로 이 사건의 핵심은 이 사건 탱크가 화학적인 폭발, 파열인가 그렇지 않으면 물리적인 폭발, 파열인가를 판별하는 것으로 볼 수 있다.

화재폭발조사에서 폭발을 크게 화학적인 폭발과 물리적인 폭발로 구분하는 것은 폭발 발생 프로세스가 전혀 다르기 때문이며, 화재보험의 약관(구내폭발위험 특별약관)에서 보상하는 사고(화학적 폭발, 파열 사고)와 보상하지 않은 사고(물리적인 폭발, 파열 사고)를 구분하는 것은 폭발 발생 프로세스가 다를 뿐 아니라 양자(화학적 폭발, 물리적 폭발) 사이에 구분이 될 수 있기 때문일 것이다.

주요 쟁점 ①의 사고의 급격한 산화반응은 연소반응이 있었느냐를 말하는 것으로 해석할 수 있으므로 이 사건 탱크에 연소반응(급격한 산화반응)이 있었는지를 확인하면 될 것인데, 이 사건 탱크의 경우 연소현상(급격한 산화반응)이 있었다는 증거가 없으며, 연소현상이 있었다면 반드시 연소(급격한 산화반응)의 흔적(화염분출의 흔적, 연소생성물의 흔적 등)이 남음은 물론 연소되는 순간 높은 압력이 발생되어 탱크의 지붕이 날아가거나 탱크 외벽이 밖으로 부풀어 올라야 하나 오히려 탱크가 안으로 쭈그러들어 있는바, 이 사건 탱크는 ‘구내폭발위험 특별약관’의 ‘급격한 산화반응을 포함하는 파괴 또는 그 현상에 의한 폭발, 파열’ 사고와는 관련이 없다.

위에서 물리적 폭발 사고의 구체적 사례 중 탱크의 감압에 의한 파손(감압에 의한 내압변화에 의한 파손)을 언급하였는데, 이 사건 탱크는 안쪽으로 쭈그러들어 있는바 감압(減壓)에 의한 파손의 전형적인 모습으로 볼 수 있는바 이 사건은 화재보험 약관의 구내폭발위험 특별약관의 보상하지 않은 물리적인 파열사고에 해당된다.

아스팔트 저장탱크가 쭈그러들은 탱크 내부를 갑작스럽게 크게 감압하는 경우, 즉 저장탱크 내부에 큰 부압(압력)이 걸린 경우에 발생하는바 이러한 갑작스런 큰 부압은 평상시와는 다른 조건하에서 폐가스정화설비를 작동시켜서 탱크 내부에 큰 부압이 발생하였을 가능성 밖에 없다. 탱크 내의 아스팔트를 가열하면 다량의 유증기가 발생하고 이 유증기는 심한 악취를 수반하므로 아스팔트를 가열하는 중에는 폐가스정화설비를 작동시켜야 한다. 아스팔트를 가열하는 초기부터 폐가스정화설비를 가동하면 작은 배출압력으로도 폐가스정화가 가능하므로 아스팔트 저장탱크 자체에 영향을 미치지 않지만, 폐가스정화설비를 가동해야 하

는 사실을 알고 있다가 악취가 심해지는 단계에서 폐가스를 정화하려면 큰 배출압력으로 폐가스정화를 해야 할 것이다. 악취가 심해지는 단계에서 갑자기 큰 압력으로 배출시키면 아스팔트 저장탱크에 큰 부압이 걸려서 탱크 구조체가 대기압에 눌러 쭈그러들 수 밖에 없게 될 것이다.

폐가스정화설비의 작동상황이 자동 기록되는 시스템이 아니므로 폐가스정화설비의 평상시와는 다른 조건이 어떤 조건인지 입증하는 것이 현실적으로 어려울 뿐만 아니라 운전요원의 조작 행위와 관련된 사항이므로 이에 대해서는 분석을 하지 않았다.

아스팔트 제조 공장 관계자들은 현장조사과정에서 구내폭발위험 특별약관에서 언급하는 산화반응이 있었다고 주장하나, 앞에서 언급한 것처럼 산화반응이란 단순히 산화반응만을 말하는 것이 아니라 급격한 산화반응, 즉 연소반응(열과 빛을 수반한 급격한 산화반응)을 말하는 것이므로 급격한 산화반응이 있었다고 주장하려면 연소흔적이 남아 있어야 하나 연소흔적이 없으며, 사고 당시에는 탱크 내외부에서 연소로 인한 연소흔적이 아주 미미하게 있었으나 시간경과와 눈비 등에 노출되어 그런 현상이 저자가 현장조사할 당시에 남아 있지 않는다고 주장할 수 있으나 연소현상이 있었다면 탱크 상부에 있는 벤트(통기구)를 통해 탱크 밖으로 화염이 분출되거나 벤트 부근(폭발상계에 들어가는 벤트 부근을 말함)에서 화염이 발생되어 열로 인해서 탱크 상부의 도색 페인트가 변색되어 그대로 남아 있어야 하나 벤트 아래쪽 지붕은 물론 탱크 지붕 어디에도 도색 페인트에 열에 의한 변색흔적이 없는바 탱크 내외부에서 연소현상(급격한 산화반응)이 없었음을 알 수 있다(Figure 12 참조).

저자가 현장조사 당시 현장조사를 입회하고 이 사건 탱크의 지붕 위로 안내한 아스팔트 제조 공장 공장장은 사고 발생 다음 날 벤트의 버터플라이밸브를 분해하였는데 이상이 없었다고 진술한 것을 볼 때 연소현상(급격한 산화반응)이 있었다면 버터플라이밸브를 거쳐 벤트(통기구) 밖으로 반드시 화염이 분출되었어야 하나 그러하지 아니하였다.

아스팔트 제조 공장 관계자들은 현장조사과정에서 탱크 내부의 교반기 작동 중 마찰이나 이물질 충격에 의한 스파크에 의해 내부에서 폭발이 발생하였을 가능성이 있다고 주장하였으나 현장조사 시 탱크 내부는 사고 당시 1/2정도(100톤)가 차 있었다고 진술하였는데, 1/2정도가 차 있는 상태에서는 탱크 내부 상부에 유증기가 가득 차 있어 탱크 내부에 점화원(스파크)을 주더라도 폭발할 수 없는 폭발상한계 이상이어서 폭발(화학적 폭발)할 수도 없으며 폭발하였다면 앞에서 언급한 것처럼 연소현상(급격한 산화반응)이 발생하여 탱크 지붕이 떨어져 나가거나 탱크 벽이 부풀어 있을 것이나 이러한 현상이 전혀 없는 것으로 보아 공장 관계자들의 주장은 설득력이 없는 일방적인 주장에 지나지 않은 것으로 판단하였다.

이 공장 관계자들은 이 폭발 사고가 나기 몇 해 전에 화



Figure 14. Damaged asphalt storage tank and roof of tank flying because of blast pressure.

재보험에 가입된 상태에서 폭발사고가 있었는데, 그 당시 폭발 특약에 가입되어 있지 않았으면서 보험금이 지급되지 않았으므로 폭발 특약에 가입하였었는데, 이 탱크 사고가 발생하자 폭발사고가 발생했음에도 또 다른 이유를 들어 보험금 지급을 하지 않는다고 불만을 토로하였음을 감안하면 보험회사 측에서는 약관 내용을 보다 이해하기 쉽게 작성하고 보상하는 사고와 보상하지 않은 사고를 명확히 할 필요가 있다.

3.3 국외 아스팔트저장탱크의 화재폭발 사례 소개⁽¹⁶⁾

아스팔트 저장탱크 사고는 세계적으로 보면 적지 않으며 최근 10년간에만 다음과 같은 사례가 있었다.

- ① 2006년 5월 일본 동아석유 게이힌(京浜)정유공장 아스팔트탱크 폭발 사고
- ② 2009년 9월 뉴질랜드 풀톤호건 회사의 아스팔트탱크 폭발에 의한 용접공 사망 사고
- ③ 2010년 12월 캐나다 맥아스팔트인더스트리 회사의 아스팔트 탱크 파손에 의한 누설 사고
- ④ 2011년 5월 미국 그라나이트록 회사의 아스팔트 탱크 폭발 사고
- ⑤ 2012년 6월 일본 코스모 치바(千葉)정유공장의 아스팔트탱크 파손에 의한 아스팔트 유출 사고
- ⑥ 2013년 3월 중국 산동성 아스팔트 탱크 폭발 화재 사고
- ⑦ 2013년 5월 필리핀 아스팔트플랜트의 저장탱크 폭발에 의한 2명 사상자 사고
- ⑧ 2014년 11월 미국 Midwest Industrial Asphalt Inc. 회사의 아스팔트저장탱크 폭발화재에 의한 1명 부상 사고
- ⑨ 2016년 10월 인도네시아의 Pertamina 회사 정유공장 아스팔트저장탱크 폭발화재사고

앞에서 언급한 것처럼 아스팔트는 상온에서는 고체임에도 휘발유나 경유 등 인화성액체와 마찬가지로 저장탱크에 보관하며, 저장탱크 보관 시에는 히팅 코일이나 열매체를 이용하여 가열을 하고 있어 탱크 보관 시는 인화성액체와 마찬가지로 화재폭발 위험을 갖고 있다.

아스팔트 저장탱크와 관련된 화재폭발사고 사례 중 우리나라 사례가 보고되어 있지 않으므로 외국에서 발생한 사례를 소개한다. 저장탱크와 관련된 사례는 세계저장탱크 사고정보 웹사이트(<http://tank-accident.blogspot.kr/>)에 잘 정리되어 있으며, 이 일본 웹사이트에 아스팔트저장탱크 사

고 정보는 위에 열거한 사고 중 ②의 사고⁽¹⁷⁾, ⑧의 사고, ⑨의 사고 3건이 정리되어 있다.

여기서는 2009년 9월 4일 9시 40분경 뉴질랜드 Graymouse 교외에 있는 Fulton Hogan 회사의 1만 8천 리터 용량의 아스콘공장 저장탱크에 1만 5천 리터가 저장된 상태에서 폭발한 ②의 사고만 소개한다. 폭발 충격은 반경 2 km 이내에서 흔들림을 느낄 정도이었고 탱크 지붕이 수백 m를 날아갔으며 탱크 파편은 600 m 떨어진 지점에 주차된 차량에 까지 떨어졌다(Figure 14 참조). 사망자 1명은 하청회사 직원으로 아스팔트 저장탱크 위에서 난간 용접을 작업하고 있었으며, 저장탱크에서 30m 떨어진 지점에서 사망한 상태로 발견되었다. 출동한 소방대는 폭발사고가 발생한 저장탱크 바로 옆에 또 다른 저장탱크가 있어 인근 저장탱크까지 폭발할 위험이 높아서 접근할 수 없어 진화활동을 할 수 없었다. 저장탱크 내에는 Cut back asphalt, 즉 휘발성 석유와 혼합한 아스팔트가 들어 있었다. Cut back asphalt은 휘발유나 등유와 같은 휘발성이 높은 석유를 straight asphalt에 혼합하여 저온용도나 침투식공법에 이용하고 있다. 아스팔트 플랜트의 사업자는 cut back asphalt가 들어 있는 탱크 지붕 부분에서 용접작업의 위험성을 인식하고 있었지만 용접작업을 못하게 하는 조치는 취하지 않았다고 한다.

우리나라에도 아스팔트제조공장은 물론 전국각지에 아스콘공장이 있는 만큼 해외의 아스팔트저장탱크 사고사례 정보를 입수하여 예방자료나 교육자료 등으로 활용할 필요가 있다.

4. 결 론

아스팔트의 저장·취급 중 화재·폭발 위험성과 아스팔트에 대한 소방의 규제에 대해 분석하고, 국내의 아스콘 생산 중 폭발 사례와 아스팔트저장탱크의 폭발사례, 그리고 해외에서 발생한 아스팔트저장탱크의 화재폭발사고사례를 분석하였다. 분석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 아스팔트는 탱크 안에 가열하여 저장하므로 인화성액체 위험물과 같이 화재·폭발위험이 있음에도 우리나라는 아스팔트 저장 및 취급에 대해 거의 규제를 하고 있지 않지만 일본은 화재예방조례로 지정수량미만의 위험물을 취급하는 경우와 같은 규제를 받도록 하여 화재·폭발 사고에 대비하고 있다. 우리나라도 일본처럼 아스팔트에 대한 규제를 도입할 필요가 있다.

둘째, 아스콘 생산 과정 중 가열실 버너 점화과정에서 연료를 분사한 후 점화버튼을 바로 누르지 않는 등 지연하여 점화버튼을 누르면 폭발사고를 야기할 수 있다. 골재 가열실 버너의 점화는 자동점화를 원칙으로 하고 수동점화 시에는 점화지연으로 폭발사고가 발생하지 않도록 아스콘공장 운전실 요원들을 교육할 필요가 있다.

셋째, 아스팔트저장탱크 안의 아스팔트를 열매체로 가열

하는 중 폐가스정화설비를 잘못 작동하면 부압으로 인해 저장탱크가 쭈그러드는 물리적인 폭발사고가 발생할 수 있다. 아스팔트저장탱크의 물리적 폭발사고를 예방하기 위해 아스팔트 가열 초기부터 폐가스정화설비를 가동하도록 교육할 필요가 있다.

넷째, 아스팔트저장탱크 주변에서 용접작업 등 화기취급을 하면 폭발사고를 야기할 수 있다. 아스팔트저장탱크 주위에서는 용접 등 화기취급을 엄금하도록 안전교육을 강화할 필요가 있다.

이 논문이 아스팔트 저장·취급과 관련된 화재·폭발 위험성을 알리어 사고예방에 기여하였으면 한다.

References

1. Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs, "Explanation of quality management guideline and factory checking manual on ready-mixed concrete and asphalt concrete", p. 89 (2009).
2. E. U. Lee, "Analysis of the Actual Conditions of Fire Outbreak and its Preventive Measures during New Construction of Buildings", Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, Vol. 24, No. 10, pp. 97-104 (2008).
3. E. U. Lee, "Problems and Measures to Prevent Recurrence of Cold Storage Fire", Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, Vol. 24, No. 12, pp. 39-46 (2008).
4. E. U. Lee, "Analysis of an Arson fire of Motor Vehicle", Fire Science and Engineering, Vol. 25, No. 6, pp. 112-119 (2011).
5. E. U. Lee, "Analysis of the Precautionary Measures and Causes on Explosion Accidents of a Old Dry Chemical Powder Extinguisher, Fire Science and Engineering, Vol. 25, No. 6, pp. 112-119 (2011).
6. E. U. Lee, "A Case Study on Fire Investigation for a Wood-Burning Stove in an Idyllic House", Fire Science and Engineering, Vol. 29, No. 6, pp. 119-128 (2015).
7. E. U. Lee, "Research and Analysis of the Causes and Preventive Measures of Fires Caused by a Disposable Gas Lighter", Fire Science and Engineering, Vol 31, No. 2, pp. 74-81 (2017).
8. E. U. Lee, "Analysis of a Car Fire Case Caused by the Over heating of a Diesel Particulate Filter", Fire Science and Engineering, Vol 31, No. 1, pp. 89-97 (2017).
9. Fire and Disaster Management Agency in Japan, "Report on Safety Measures Report of Relation Facilities with RDF", p. 2 (2013).
10. Fire and Disaster Management Agency in Japan, "Revision of Government Order on Regulation of Hazardous Material and Fire Service Law Executive Order", Magazine on Trend of Fire Service in Japan, No. 2004-10, p. 14 (2004).
11. Ministry of Environment, "2016 WHITE PAPER OF ENVIRONMENT", pp. 450-454 (2016).
12. Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs, "Explanation of Quality Management Guideline and Factory Checking Manual on Ready-mixed Concrete and Asphalt Concrete", p. 92 (2008).
13. E. U. Lee, "Analysis of Explosion Case Occurred at Asphalt Plant due to Human Error", Proceedings of 2017 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 5-6 (2017).
14. E. U. Lee, "Analysis of Explosion Case Occurred at Asphalt Tank due to Human Error", Proceedings of 2017 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 7-8 (2017).
15. Tokyo Fire Department, "New Fire Investigation Handbook", Vol. 6, Tokyo Disaster Prevention & Emergency Medical Service Association, Japan, pp. 160-161 (2007).
16. <http://tank-accident.blogspot.kr/>
17. <http://tank-accident.blogspot.kr/2016/12/12009.html>