

Evaluating Damage by Fire and Explosion in Artificial Marble Manufacturing Process

Jong Woon Woo⁺, Chang Sub Shin

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University, 1 Chungdae-ro Seowon-gu, Cheongju, Korea

Abstract

The production of artificial marble requires a large amount of flammable materials, which increases the risk of fire. This study analyzed the range of damages caused by explosion pressure and radiant heat when fire in artificial marble manufacturing process. It is found that, when the worst-case scenario was applied, the damage distance due to VCE was expected to be the largest. MMA was estimated to be 251m, UPE resin was estimated to be 129m, and NG was estimated to be 41m. When a chemical accident occurs due to materials such as MMA, UPE resin, NG, a prompt evacuation out of the damage area would be critical. This finding suggests that safety management such as safety check, budget input and equipment maintenance should prioritize and manage these materials in the order of MMA, UPE and NG.

Key words: artificial marble, MMA(methyl methacrylate), UPE(unsaturated polyester), NG, Phast

1. 서론

최근 건축 외장재, 주방인테리어 등 여러 분야에서 인조대리석에 대한 수요증가로 많은 사업장에서 인조 대리석 생산에 뛰어들고 있다. 통계청 자료에 의하면 2012년에 약 189,014톤의 인조대리석이 생산되었으나 2016년에는 228,816톤이 생산되어 5년 사이 약 21%가 증가하였다. 같은 기간 내수시장은 106,792톤에서 125,038톤으로, 해외 수출은 78,379톤에서 100,924톤으로 모두 비슷한 비율로 증가하였다(Statistics Korea, 2017). 인조대리석은 천연대리석과는 달리 조직이 치밀하고 다양한 색과 모양까지 얻을 수 있을 뿐만 아니라

오염에도 강한 장점이 있다. 주로 생산되는 인조대리석은 아크릴계와 불포화폴리에스테르계가 있으며, 생산에 필요한 재료와 제품의 특성이 다르다(Korea Artificial Stone Processing Cooperative Homepage). 국내에서는 아크릴계 인조대리석이 시장의 대부분을 차지했으나 최근 들어서 폴리에스테르계 인조대리석의 수요가 증가하고 있는 추세이다.

인조대리석의 제조 시에는 인화성물질이 많이 필요하므로 화재의 위험이 크다. 주원료인 MMA (Methyl Methacrylate)나 UPE 수지(Unsaturated Polyester Resin)는 상온에서 점화될 수 있는 인화성 액체이며, 인조 대리석 제조 시 열매체 보일러에서 사용되는 NG(Natural

⁺ Corresponding author: Jong Woon Woo, Tel. +82-42-620-5653, Fax. +82-42-636-1938, e-mail. ken73@daum.net

Gas)는 인화성 가스이므로 위험성이 크다. 열매유는 인화점이 높아 위험성이 적지만 인화점 이상으로 온도를 높여 사용하는 경우에는 위험할 수 있다. 이렇듯 여러 종류의 인화성 물질이 인조대리석 제조공정에서 사용되고 있고, 취급·저장량도 지속적으로 증가되고 있으나 안전관리는 이를 따라가지 못하는 것이 현실이다. 대기업의 경우에는 산업안전보건법에서 정한 안전보건 사항을 대부분 준수하고 있으나 중소기업의 경우에는 안전수칙을 무시한 채 생산위주로 공장을 운영하고 있어 사고의 위험이 매우 크다. 2014년에는 대전시 소재 인조대리석 공장에서 화재가 발생하여 공장동이 불타는 등 물적 손실이 발생한 사례가 있다.

이와 같이 인조대리석 제조공정에서 인화성 물질의 누출사고가 발생할 때에는 화재로 연결될 가능성이 크며, 그로인해 인적, 물적 피해가 발생될 수 있다. 따라서 이 연구에서는 인조대리석 제조공정에서 사용되는 인화성 물질의 누출로 인해 화재 또는 폭발이 발생할 경우 피해거리를 예측하여 사고발생 시 신속히 피해거리 밖으로 대피해야 할 기준을 제시하고자 하였다. 또한 MMA, NG, UPE 수지의 누출로 인한 화재·폭발 시 피해범위를 비교분석하여 안전점검, 예산의 투입, 설비의 유지보수 등 안전관리의 우선순위를 정하는데 도움을 주고자 한다.

II. 인조대리석 제조 공정 및 사용물질

1. 인조대리석 개요

현재 세계적으로 많이 사용되는 인조대리석은 크게 두 가지 종류가 있다. 한 가지는 MMA를 이용한 아크릴계 인조대리석이고, 다른 한 가지는 불포화폴리에스테르수지를 결합하여 압축시킨 폴리에스테르계이다.

1) 아크릴계 인조대리석

아크릴계 인조대리석은 수산화알루미늄과 MMA를 주원료로 사용하며, PMMA(Poly Methyl Methacrylate) 등을 첨가하여 제품을 만든다.

2) 폴리에스테르계 인조대리석

이탈리아의 석재 기계회사인 Breton에서 불포화폴리에스테르수지를 결합하여 압축시킨 엔지니어드 스톤(Engineered Stone)을 처음 개발한 이후 급속도로 수요가 증가하고 있다. 폴리에스테르계 인조대리석은 천연 석영을 주원료로 하고, MMA 대신 UPE를 혼합하여 제조한다. 따라서, 아크릴계 인조대리석보다 천연대리석 질감이 뛰어나고, 내화학적, 내오염성, 내약품성 등이 뛰어나 유지관리에 편리한 장점이 있다.

2. 인조대리석 제조공정 설명

1) 원료 저장

MMA, PMMA, 수산화알루미늄, UPE 수지, 석영, 기타 첨가제를 전용의 저장탱크 또는 저장소에 보관하고, 생산에 필요한 양만 제조공정으로 운반하여 보관한다.

2) 배합공정

저장된 재료들을 계량하여 믹서에 투입하고 교반하여 제조한다. 아크릴계는 MMA, PMMA, 수산화알루미늄을 배합하고, 폴리에스테르계는 석영, UPE 수지 등의 재료를 배합한 후 인조대리석의 색깔, 질감을 표현하기 위한 첨가물 등을 추가로 배합한다.

3) 주조 및 건조공정

배합이 끝난 컴파운드는 성형기에 투입되며, 진공압축과정을 거쳐 금형에 투입되고, 판상형의 모양으로 건조된다.

4) 절단 및 연마공정

절단기를 사용하여 건조된 인조대리석을 원하는 규격으로 절단하고, 연삭기를 이용하여 표면의 거친 부분을 연마한다.

5) 검사 및 출고

생산된 인조대리석의 품질을 검사하고 이상이 없는 경우 제품창고에 보관하거나 포장하여 각 수요처로 출고된다.

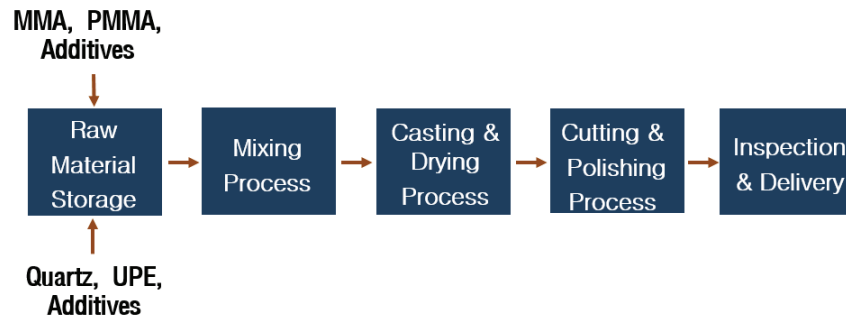


Figure 1. Artificial marble manufacturing process block diagram.

3. 사용물질의 특성

인조대리석 제조공정에서 원재료로 사용되는 물질 중 인화성물질은 MMA, UPE 수지, NG, 열매유 등이다. MMA와 UPE 수지는 인조대리석의 원료이고, NG는 제품 생산 시 필요한 열을 공급하며, 열매유는 열매 보일러를 통해 가열되어 공정으로 공급된다. 이 중 열매유는 통상 인화점이 200℃ 보다 높으며 대기 중으로 누출될 경우 급격하게 온도가 낮아져 화재나 폭발의 위험성이 적어지므로 이번 연구대상에서 제외하였다. 따라서 MMA, UPE 수지, NG가 이번 연구의 대상이다.

〈Table 1〉은 이번 연구대상인 3가지 물질의 물질명, Cas 번호, 인화점, 폭발범위 등을 나타낸 표이다. UPE 수지의 물질안전보건자료 중 3번 항목인 구성성분의 명칭 및 함유량을 살펴보면 불포화폴리에스테르(Unsaturated Polyester)가 64.5~67.5%이고 SM(Styrene Monomer)가 32.5~36.5%로 구성되어 있다. 불포화 에스테르는 고분자 물질로서 위험성이 거의 없으나 SM에 용해되어 있으므로 인화성 액체인 SM으로 적용하였다.

III. 인조대리석 관련 화학물질 사고사례 분석

1. MMA 관련사고

2012년 7월 10일 충북 음성군 소재 페인트 접착제 공장에 주차된 MMA 탱크로리 차량이 폭발하여 1명이 사망하고 소방관 등 3명이 부상을 당하는 사고가 발생하였다(Yeonhapnews, 2012). 이 사고는 탱크로리에서 드럼으로 MMA를 옮기는 작업 중 드럼이 폭발하면서 탱크로리로 옮겨져 폭발한 사고이다.

2013년 9월 23일 미국 Plaskolite West 사에서 폐액 저장드럼에 있는 MMA와 Ethyl acrylic, 그리고 trigonox 101이라는 물질이 섞여 반응하였고, 폭발반응으로 드럼에 과압이 걸려 파열되었다. 그로 인해 내부 물질이 누출되었고 화재가 발생해 2명의 근로자가 화상을 입었다(U.S Occupational Safety and Health Administration, 2013). 폐액을 저장할 때에는 각 물질의 물질안전보건자료 등을 사전에 확인하여 혼합 시 발생할 수 있는 반응위험에 대해서 검토하여 반응 위험이 있는 물질에 대해서는 분리 보관하여야 하지만 이를

Table 1. Materials related to produce

Abbreviation	MMA	NG	UPE Resin
Material name	Methyl methacrylate	Natural Gas	Unsaturated Polyester Resin
CAS No	80-62-6	68410-63-9	100-42-5
Molecular Weight	100.12	16	104.14
Flash Point(℃)	10	-222	31
LEL(%)	1.7	5	0.9
UEL(%)	12.5	15	6.8

※ Source: Korea Occupational Safety & Health Agency, 2017.

수행하지 않았던 것으로 추정된다. MMA는 인화점이 낮은 인화성 액체이므로 그 외에도 여러 화재사고가 발생하고 있다.

2. NG 관련사고

NG는 공기보다 가벼워 LPG에 비해 안전하지만 산업용뿐만 아니라 가정용으로도 많은 곳에서 사용되므로 누출로 인한 사고가 계속 발생하고 있다.

2018년 3월 22일 광주에서는 밸브박스 내부에 설치된 밸브의 노후 및 지반하중으로 균열이 발생하여 도시가스가 누출되는 사고가 발생하였다.

2014년 5월 8일에는 울산에 소재한 공장에서 열풍을 공정에 공급하기 위한 열풍로 시스템을 수리 후 재가동하면서 도시가스가 폭발하여 1명이 사망하고 3명이 부상을 당하는 사고가 발생하였다(Korea Gas Safety Corporation). 버너의 작동불량으로 점화되지 않은 상태에서 도시가스가 연소실내로 유입되었고 원인미상의 점화원에 의하여 폭발한 사고이다. 설비를 수리한 후에는 반드시 안전장치의 작동상태를 확인한 후 가동을 시켜야 하나 확인을 하지 않아 사고가 발생하였다.

3. SM 관련사고

2011년 8월 17일 울산시 소재 공장의 폴리스티렌 제조공정에서 스티렌모노머와 에틸벤젠을 이용한 중합과정 중 반응폭주로 파열판이 파열되고 다량의 유증기가 분출되어 증기운 폭발이 발생하였다. 이 사고로 7명의 근로자와 1명의 탱크로리 기사가 부상을 당하였다(Korea Occupational safety & Health Agency, 2011). 이 사고의 원인은 여러 가지가 있다. 응축기 시운전 전에 공기를 제거하는 작업을 하여야 하나 제거하지 않아 응축기의 냉각효율이 저하되어 중합조의 온도가 급격하게 올라갔으며, 반응억제제를 늦게 투입하여 반응폭주를 방지하지 못하였다. 또한 파열판이 터진 후 파열판을 통해 다량의 유증기가 배출되었으나 실외가 아닌 공정내로 배출되어 화재 및 폭발이 발생하였다.

4. 기타 관련사고

2014년 1월 대전시 소재 인조대리석 제조공장에서 공정 증설을 위한 용접작업 중 화재가 발생하여 공장 1개동이 불에 타 54억 규모의 재산피해가 발생하였다. 용접작업 시에는 주위에 불꽃이 비산되어 화재가 발생하지 않도록 방화포를 설치하고, 인화성물질들을 이격시킨 후 작업을 실시하여야 하지만 그렇게 하지 않아 사고가 발생되었다. 다행히 MMA, NG, SM 등 인화성 액체와 가스에는 불이 옮겨 붙지 않아 피해가 작았지만 만약 이런 물질들도 옮겨 붙었다면 피해가 컸을 것이다.

IV. 화학물질의 누출 시 피해범위 선정

1. 시나리오 선정 및 피해예측 프로그램 설명

누출 시 대기온도, 풍속, 습도 등은 KOSHA Guide에서 권장하는 값을 적용하여 시나리오를 선정하고 그 값을 Phast라는 피해예측 프로그램에 대입하여 피해범위를 산정하였다.

1) 피해예측 프로그램 설명

Phast는 노르웨이의 DNV.GL에서 개발한 공정 위험 분석 소프트웨어이다. 상업적으로 개발된 프로그램 중 가장 많이 사용되고 있으며 다른 프로그램에 비해 누출, 배관, 용기파열 등 다양한 누출 유형을 모델링 할 수 있는 장점이 있다(DNV, 2017).

2) 기상조건 선정

사고에 대한 기상조건의 선정은 안전보건공단에서 제정한 기술지침인 '최악 및 대안의 누출 시나리오 선정에 관한 기술지침'(KOSHA Guide P-107 -2016)에 따라 선정하였다(Korea Occupational Safety & Health Agency, 2016)

〈Table 2〉는 최악의 누출 시나리오를 적용하여 피해예측 시 적용한 기상조건을 정리한 표이다. 대기온도는 지도상으로 중간에 위치한 청주시의 최근 3년간 최고온도인 36.7℃를 적용하였으며, 풍속은 1.5 m/s를 적용

하였다. 습도는 청주시 2016년 평균 습도인 58.8%를 적용하였으며, 대기안정도는 가장 안정한 F 등급을 적용하였다.

Table 2. Weather condition(Worst case scenario)

Ambient temperature(°C)	Wind speed (m/s)	Humidity (%)	Stability category
36.7	1.5	58.8	F (Stable conditions)

〈Table 3〉는 대안의 누출 시나리오를 적용하여 피해 예측 시의 기상조건을 정리한 표이다. 대기온도는 25°C를 적용하였으며, 풍속은 3 m/s를 적용하였다. 습도는 통상 습도인 70%를 적용하였으며, 대기안정도는 가장 안정한 D 등급을 적용하였다.

Table 3. Weather condition(Alternative scenario)

Ambient temperature(°C)	Wind speed (m/s)	Humidity (%)	Stability category
25	3	70	D (Neutral conditions)

2. MMA 누출

1) 최악의 누출 시나리오

MMA 저장탱크에 연결된 펌프 후단의 배관 플랜지에서 다량의 MMA가 누출되어 확산된 후 화재 또는 폭발이 일어나는 상황을 시나리오로 선정하였다. 배관의 크기는 80mm로 정하였고, KOSHA Guide에 따라 누출공의 크기는 50mm로 정하였다.

Table 4. MMA operation condition(Worst case scenario)

Pipe Size (mm)	Hole Size (mm)	Discharge Pressure (MPa)	Operation Temperature(°C)
80	50	0.15	36.7

2) 대안의 누출 시나리오

누출 시나리오는 최악의 경우와 동일하며, KOSHA Guide에 따라 누출공의 크기는 30mm로 정하였다.

3) 피해예측 결과

MMA는 독성보다는 인화성이 높은 물질로서 최악의

Table 5. MMA operation condition(Alternative scenario)

Pipe Size (mm)	Hole Size (mm)	Discharge Pressure (MPa)	Operation Temperature(°C)
80	30	0.15	25

누출 시나리오 적용 시 피해범위를 〈Table 6〉에서 설명하였다. MMA가 누출되어 확산된 후 폭발하는 VCE (Vapor Cloud Explosion)를 적용했을 때 누출원부터 251m 떨어진 거리에서의 폭발압은 0.07kg/cm²로 예상되었다. MMA의 폭발하한인 농도가 1.7%이상으로 예상되는 거리는 누출원로부터 102m까지였고, Jet Fire로 인한 복사열은 51m, Pool Fire에 의한 복사열은 118m까지 영향을 미치는 것으로 예상되었다.

Table 6. Flammable damage prediction of MMA.(Worst case scenario)

Type of Threat Model	Calculation basis	Damage Distance(m)
Overpressure from Vapor Cloud Explosion	0.07 kg/cm ²	251
Flammable Area of Vapor Cloud	LEL	102
Thermal Radiation from Jet Fire	4 kW/m ²	51
Thermal Radiation from Pool Fire	4 kW/m ²	118

〈Figure 2〉는 최악의 누출 시나리오를 적용했을 때 VCE 발생으로 인한 거리에 따른 폭발압을 나타낸 그림이다. 그림에서 파란색 선은 건물이 일부 파손되고 고막이 파열되는 압력인 0.07kg/cm² 범위를 나타내고 있다. 누출된 후 일정 시간이 경과하여 폭발한다고 가정

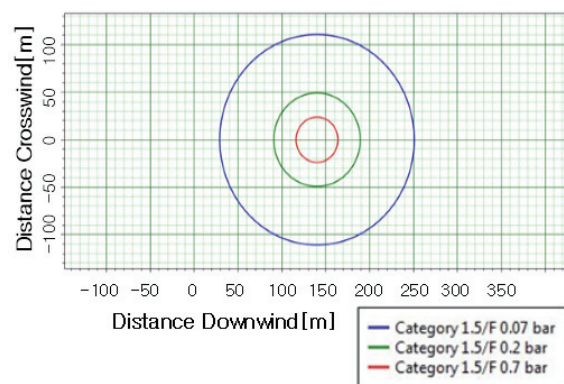


Figure 2. Distance and explosion pressure when VCE occurs (Worst case scenario, MMA)

했을 때 바람에 의해 누출지점으로부터 약 140m 정도 이동되어 피해거리가 251m가 되었다.

〈Table 7〉은 대안의 누출 시나리오 적용 시 피해범위를 나타내고 있다. MMA가 누출되어 증기운 폭발이 일어날 경우 60m에서 0.07kg/cm²의 압력이 발생할 것으로 예상되었고, MMA의 폭발하한 이상으로 예상되는 거리는 누출원으로부터 22m까지였으며, Jet Fire로 인한 복사열은 33m, Pool Fire에 의한 복사열은 96m까지로 예상되었다.

Table 7. Flammable damage prediction of MMA.(Alternative scenario)

Type of Threat Model	Calculation basis	Damage Distance(m)
Overpressure from Vapor Cloud Explosion	0.07 kg/cm ²	60
Flammable Area of Vapor Cloud	LEL	22
Thermal Radiation from Jet Fire	4 kW/m ²	33
Thermal Radiation from Pool Fire	4 kW/m ²	96

3. NG 누출

1) 최악의 누출 시나리오

정압기 전단의 고압측 배관에서 다량의 천연가스가 누출되는 시나리오를 선정하였으며, 배관의 크기는 100mm로 정하였고, KOSHA Guide에 따라 누출공의 크기는 50mm로 정하였다.

Table 8. NG operation condition(Worst case scenario)

Pipe Size (mm)	Hole Size (mm)	Discharge Pressure (MPa)	Operation Temperature(°C)
100	50	0.85	36.7

2) 대안의 누출 시나리오

누출 시나리오는 최악의 경우와 동일하며, KOSHA Guide에 따라 누출공의 크기는 35mm로 정하였다.

Table 9. MMA operation condition(Alternative scenario)

Pipe Size (mm)	Hole Size (mm)	Operation Pressure (MPa)	Operation Temperature(°C)
100	35	0.85	25

3) 피해예측 결과

NG는 인화성 가스로서 누출될 경우 화재, 폭발 위험이 높은 물질이다. 〈Table 10〉은 최악의 누출 시에 대한 피해예측 결과이다. NG가 누출되어 확산된 후 폭발할 경우 41m에서 0.07kg/cm²의 압력이 발생할 것으로 예상되었고, 폭발하한인 농도 5%이상 되는 거리는 누출원으로부터 13m까지였고, Jet Fire로 인한 복사열은 29m까지로 예상되었다.

Table 10. Flammable damage prediction of NG(Worst case scenario)

Type of Threat Model	Calculation basis	Damage Distance(m)
Overpressure from Vapor Cloud Explosion	0.07 kg/cm ²	41
Flammable Area of Vapor Cloud	LEL	13
Thermal Radiation from Jet Fire	4 kW/m ²	29

〈Figure 3〉는 NG 누출 시 최악의 누출 시나리오를 적용했을 때 VCE 발생으로 인한 거리에 따른 폭발압을 나타낸 그림으로 약 41m 거리에서 0.07kg/cm² 범위를 나타내고 있다.

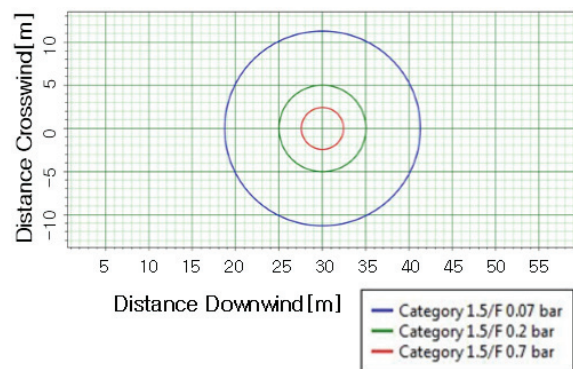


Figure 3. Distance and explosion pressure when VCE occurs (Worst case scenario, NG)

〈Table 11〉은 대안의 누출 시나리오 적용 시 피해범위로 증기운 폭발이 일어날 경우 17m에서 0.07kg/cm²의 압력이 발생할 것으로 예상되었고, 폭발하한 이상으로 예상되는 거리는 누출원으로부터 7m까지였으며, Jet Fire로 인한 복사열은 20m 거리까지임을 알 수 있었다.

Table 11. Flammable damage prediction of NG(Alternative scenario)

Type of Threat Model	Calculation basis	Damage Distance(m)
Overpressure from Vapor Cloud Explosion	0.07 kg/cm ³	17
Flammable Area of Vapor Cloud	LEL	7
Thermal Radiation from Jet Fire	4 kW/m ²	20

4. UPE 수지 누출

1) 최악의 누출 시나리오

UPE 수지 저장탱크에 연결된 펌프 후단의 배관 플랜지에서 UPE 수지가 누출되어 확산된 후 화재 또는 폭발이 일어나는 상황을 시나리오로 선정하였다. 배관의 크기는 50mm로 정하였고, KOSHA Guide에 따라 누출공의 크기는 50mm로 정하였다.

Table 12. UPE resin operation condition(Worst case scenario)

Pipe Size (mm)	Hole Size (mm)	Discharge Pressure (MPa)	Operation Temperature(°C)
50	50	0.3	36.7

2) 대안의 누출 시나리오

누출 시나리오는 최악의 경우와 동일하며, KOSHA Guide에 따라 누출공의 크기는 25mm로 정하였다.

Table 13. UPE resin operation condition(Alternative scenario)

Pipe Size (mm)	Hole Size (mm)	Discharge Pressure (MPa)	Operation Temperature(°C)
50	25	0.15	25

3) 피해예측 결과

UPE 수지는 인화성 액체로 누출되어 확산된 후 폭발하는 VCE 발생시 129m 거리에서 0.07kg/cm³의 압력이 발생할 것으로 예상되었다. UPE 수지의 폭발하한인 농도가 0.9%이상으로 예상되는 거리는 누출원으로 부터 37m까지였고, Jet Fire로 인한 복사열은 45m, Pool Fire에 의한 복사열은 124m 까지임을 알 수 있었다.

Table 14. Flammable damage prediction of UPE resin(Worst case scenario)

Type of Threat Model	Calculation basis	Damage Distance(m)
Overpressure from Vapor Cloud Explosion	0.07 kg/cm ³	129
Flammable Area of Vapor Cloud	LEL	37
Thermal Radiation from Jet Fire	4 kW/m ²	45
Thermal Radiation from Pool Fire	4 kW/m ²	124



Figure 4. Distance and explosion pressure when VCE occurs (Worst case scenario, UPE Resin)

〈Figure 4〉는 최악의 시나리오 조건에서 UPE Resin 누출 시 VCE로 인한 거리에 따른 폭발압을 나타낸 그림이다.

대안의 누출 시나리오 적용 시 누출되어 증기운 폭발이 일어날 경우 36m 거리에서 0.07kg/cm³의 압력이 발생할 것으로 예상되었고, UPE 수지의 폭발하한 이상으로 예상되는 거리는 누출원으로 부터 14m까지였으며, Jet Fire로 인한 복사열은 21m, Pool Fire에 의한 복사열은 114m 까지임을 알 수 있었다.

Table 15. Flammable damage prediction of UPE resin(Alternative scenario)

Type of Threat Model	Calculation basis	Damage Distance(m)
Overpressure from Vapor Cloud Explosion	0.07 kg/cm ³	36
Flammable Area of Vapor Cloud	LEL	14
Thermal Radiation from Jet Fire	4 kW/m ²	21
Thermal Radiation from Pool Fire	4 kW/m ²	114

5. 시나리오 적용결과 분석

MMA, NG, UPE 수지를 대상으로 최악의 누출 시나리오와 대안의 누출 시나리오를 적용하여 피해거리를 예측하였다. VCE, Jet Fire, Pool Fire 등 여러 가지 상황을 적용하여 예측한 결과 세 가지 물질 모두 최악의 누출 시나리오를 적용하였을 때 VCE로 인한 피해거리가 가장 크게 나타났다. MMA는 피해거리가 251m로 제일 크게 나타났고, 그 다음은 UPE 수지로 129m이며, NG가 41m로 피해거리가 가장 작았다. MMA의 분자량은 100.12이고 SM의 분자량은 104.14로 거의 비슷하지만 최악의 시나리오일 경우 MMA의 피해거리가 UPE 수지보다 1.95배 더 큰 것을 알 수 있었다. NG는 공기보다 가벼워 옥외에서 누출 시 빠르게 확산되므로 MMA와 UPE 수지에 비하여 피해거리가 작게 나타난 것을 알 수 있다.

Jet Fire의 경우에도 MMA 51m, UPE 수지 45m, NG 29m 순으로 피해거리가 나타났다. 하지만 Pool Fire의 경우에는 UPE 수지의 피해거리가 124m로 MMA 118m 보다 크게 나타났다.

대안의 누출 시나리오에서는 최악의 누출 시나리오와 다른 순서로 나타났다. UPE 수지가 Pool Fire일 때 114m로 가장 크게 나타났고, 그 다음이 MMA로 Pool Fire일 때 피해거리가 96m로 나타났으며, NG가 Jet Fire일 때 20m로 피해거리가 가장 작았다.

V. 결론

이 연구는 인조대리석 제조공정에서 주로 사용하는 인화성 물질인 MMA, NG, UPE 수지가 누출되어 화재 또는 폭발이 발생할 경우 대피해야 할 거리를 제시하고, 각 물질의 피해거리를 서로 비교분석하여 안전관리의 우선순위를 정하고자 하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 최악의 누출 시나리오를 적용하였을 경우 세 가지 물질 모두 VCE로 인한 피해거리가 가장 크게 나타났다. MMA가 누출될 경우에는 신속히 251m 밖으로 대

피하여야 하고, NG 누출 시에는 41m 밖으로 대피하여야 하며, UPE 수지가 누출될 경우 129m 밖으로 대피하여야 한다.

둘째, 최악의 누출 시나리오를 적용하였을 경우 VCE와 Jet Fire에서는 MMA, UPE 수지, NG 순으로 피해거리가 나타났지만, Pool Fire에서는 UPE 수지의 피해거리가 MMA보다 크게 나타났다.

셋째, 대안의 누출 시나리오일 경우 UPE 수지와 MMA는 Pool Fire를 적용하여 각각 114m와 96m 밖으로 대피하여야 하고, NG는 Jet Fire를 적용하여 20m 밖으로 대피하여야 한다.

넷째, 최악의 경우 가장 피해거리가 큰 물질은 MMA이고, 그 다음은 UPE 수지이며, NG의 피해거리가 가장 작았으므로, 안전점검, 예산의 투입, 설비의 유지보수 등 안전관리에 있어서 우선순위를 정할 때에도 MMA, UPE 수지, NG 순으로 정하여 관리하여야 한다.

이번 연구는 인조대리석 제조공정에서 사용되는 인화성 물질의 화재 또는 폭발 영향범위에 대한 연구이므로 향후에는 이러한 물질들이 제조공정에서 근무하는 근로자들에게 건강상 어느 정도의 영향을 미치는지에 대한 연구가 추가로 필요할 것으로 생각된다.

References

- Ahn, Jae hyun, Chang Geun Song, and Deok Jae Lee. 2017. Improvement of Damage Range Calculation for First Response to Chemical Accidents. *Journal of the Korean Society of Safety*. 32(2): 59-63.
- CCPS. 1999. *Guideline for Consequence Analysis of Chemical Releases*. CCPS: 15-125.
- DNV. 2017. Phast 7.21 Manual.
- Korea Occupational Safety & Health Agency. 2011. "Vapor Cloud Explosion · Fire Accident" Major Accident News Letter, KOSHA-CCPS-201102.
- Korea Occupational Safety & Health Agency. 2012. *Case Study on Hydrogen Fluoride Leak Accident*.
- Korea Occupational Safety & Health Agency. 2015. *Case Study*

- of Leakage Accident during Unloading of Hydrogen Fluoride Tank Container*".
- Korea Occupational Safety & Health Agency. 2016. Technical Guideline for Selecting the Worst Case and Alternative Case Scenarios.
- Korea Occupational Safety & Health Agency. 2017. Methyl methacrylate MSDS(Material Safety Data Sheet).
- Korea Occupational Safety & Health Agency. 2017. Natural Gas MSDS(Material Safety Data Sheet).
- Korea Occupational Safety & Health Agency. 2017. Unsaturated Polyester MSDS(Material Safety Data Sheet).
- Lee, Young Sun. 2009. *Chemical Process Safety*. Donghwa Technology Publishing Co: 168-203.
- National Institute of Chemical Safety. 2016. Study on Calculation of Damage Amount Due to Chemical Accident.
- Sam Mannan. 2012. *Lees' Loss Prevention in the Process Industries*. Butterworth-Heinemann: 852-863
- Statistics Korea. 2017. Mining and Manufacturing Trend Survey in Korea.
- Korea Artificial Stone Processing Cooperative Homepage. <http://www.kssico.or.kr>
- Korea Gas Safety Corporation Homepage. <http://www.kgs.or.kr>
- United States Department of Labor Homepage. <http://www.OSHA.gov>
- Yeonhap News. <http://www.yonhapnews.co.kr> July 12, 2012.
- Korean References Translated from the English*
- DNV. 2017. Phast 7.21 매뉴얼.
- 안재현, 송창근, 이덕재. 2017. 화학사고의 일차 대응을 위한 피해영향범위 산정 개선 방안. *한국안전학회지*. 32(2): 59-63.
- 이영순 외. 2009. 화학공정안전. 동화기술: 168-203.
- 통계청. 2017. 대한민국 광업, 제조업 동향조사.
- 한국산업안전보건공단. 2011. “증기운폭발·화재 사고” 중대 사고 뉴스레터. KOSHA-CCPS- 201102.
- 한국산업안전보건공단. 2012. 불화수소 누출 사고 사례연구.
- 한국산업안전보건공단. 2015. 탱크컨테이너 하역작업 시 불화수소 누출 사고 사례연구.
- 한국산업안전보건공단. 2016. 최악 및 대안의 누출 시나리오 선정지침.
- 한국산업안전보건공단. 2017. 도시가스 물질안전보건자료.
- 한국산업안전보건공단. 2017. 메틸메타크릴레이트 물질안전보건자료.
- 한국산업안전보건공단. 2017. 불포화 폴리에스테르수지 물질안전보건자료.
- 화학물질안전원. 2016. 화학사고로 인한 피해금액 산정기법 연구.
- 연합뉴스. <http://www.yonhapnews.co.kr> 2012년 7월 12일
- 한국가스안전공사 홈페이지. <http://www.kgs.or.kr>
- 한국인조석가공협동조합 홈페이지. <http://www.kssico.or.kr>

Received: Jun. 26, 2018 / Revised: Jul. 20, 2018 / Accepted: Jul. 23, 2018

인조대리석 제조공정의 화재, 폭발로 인한 피해영향 평가

국문초록 인조대리석의 제조 시에는 인화성물질이 많이 필요하므로 화재의 위험이 크다. 주원료인 MMA (Methyl Methacrylate)나 UPE 수지(Unsaturated Polyester Resin)는 상온에서 점화될 수 있는 인화성 액체이며, 열매체보일러에 사용되는 NG(Natural Gas)는 인화성 가스이므로 위험성이 크다. 본 연구에서는 인조대리석 제조공정에서 인화성 물질에 의해 화재가 발생할 때에 폭발압과 복사열에 의한 피해범위를 분석하였고 다음과 같은 결과를 얻었다. 최악의 누출 시나리오를 적용했을 경우 증기운 폭발로 인한 피해거리가 가장 크게 예상되었으며 물질별로 보면 MMA는 251m, UPE 수지는 129m, 그리고 NG는 41m로 각 각 예측되었다. 따라서 MMA, UPE수지, NG 등 인화성 물질로 인해서 화학사고가 발생할 경우에는 예측된 피해거리 밖으로 신속하게 대피하여야 하며, 평소 안전과 관련된 점검, 예산의 투입, 설비의 유지보수 등에 있어서도 피해거리가 큰 순서인 MMA, UPE , NG 순서로 우선순위를 정하여 실행하여야 한다는 결론을 얻었다.

주제어 : 인조대리석, 메틸메타크릴레이트, 불포화폴리에스테르, 천연가스, Phast(피해예측프로그램)

Profiles **Jong Woon Woo** : He is working at the Korea Occupational safety & Health Agency since 2001. He received his Master degree from Hanyang University, Korea in 2014. His interesting subject and area of research is gas safety, safety management of chemical plant. He has written 5 co-author books(ken73@daum.net).

Chang Sub Shin : He is a Professor of the Department of Safety Engineering at Chungbuk National University and he served as president of the Korean Society of Safety(csshin@chungbuk.ac.kr).