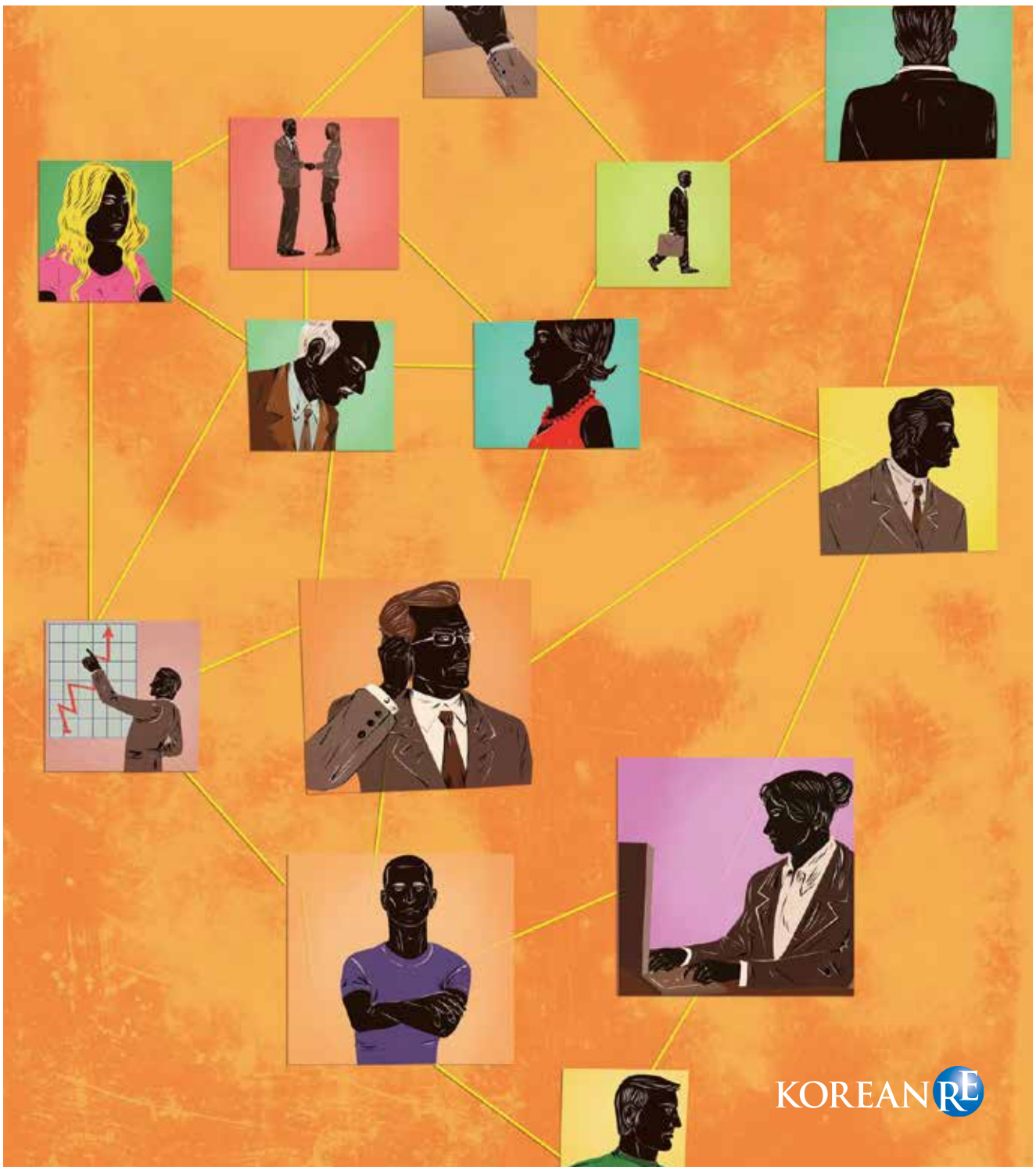
2018 No.4 Vol.8
Quarterly Magazine

# The RISK

Risk & Insurance Solutions of Korean Re



KOREAN RE

2018 No.4 Vol.8
Quarterly Magazine

# The RISK

Risk & Insurance Solutions of Korean Re

신종위험 *Emerging Risk* 3

**공유경제 시장동향과 새롭게 등장하는 위험**

최예린 보험연구원 동향분석실, 연구원

시장환경 *Insurance Market Environment* 13

**아트리움의 해외 방재기준**

김성범 한국화재보험협회 점검전략팀, 과장

연구분석 *Research* 21

**석유화학사업장 사고예방을 위한 제언**

오용하 코리안리 손사위험팀, 대리

사고분석 *Lessons Learned* 30

**산사태와 인공사면붕괴의 위험관리방안**

최우일 공학박사, LIG시스템 위험관리본부, 수석

통계분석 *Statistics Analysis* 39

**최근 10년간 선박보험사고분석**



3



14



22



31

발행인 원종규
편집인 전우정
발행일 2018년 12월 30일
발행처 코리안리재보험주식회사
서울시 종로구 종로5길 68(수송동)
02-3702-6000
디자인 이레커뮤니케이션
인 쇄 (주)신영씨앤피
신고일 2016년 11월 11일
신고번호 종로 바00179
종별/간별 정보간행물/계간
ISSN 2586-0224

※ 본지에 게재된 원고내용은 우리회사의 공식의견과 일치하지 않을 수 있습니다.
또한 본지에 수록된 외부필진 원고내용으로 발생하는 저작권 문제 등 모든 법적 사안에 대해서 우리회사는 책임을 지지 아니합니다.
※ 『The RISK』는 당사 홈페이지(www.koreanre.co.kr)에서 다시 보실 수 있습니다.

# 신종위험
Emerging Risk




출처: https://www.theverge.com/2018/4/11/17220408/uber-jump-getaround-masabi-cities-data



**최 예 린** 연구원
동향분석실
보험연구원

1. 서론
2. 본론
3. 결언

# 공유경제 시장동향과 새롭게 등장하는 위험

## 1. 서론

최근 Airbnb[1] (이하 에어비앤비), Uber[2] (이하 우버) 등 공유경제에 기반한 플랫폼 이용자가 증가하면서 관련 산업과 소비자의 공유경제에 대한 관심 또한 높아지고 있다. 이에 본고에서는 새로운 경제시스템인 공유경제 시장동향을 분석하고 공유경제 플랫폼활용 기업사례를 통해 전통적인 경제시스템 하에서 발생하지 않았던 새롭게 등장하는 위험요소를 소개하고자 한다.

## 2. 본론

### A. 공유경제의 개념

공유경제는 이용자간 서비스 또는 사용하지 않는 재산을 공유하거나 대여할 수 있도록 하는 경제시스템으로 정의될 수 있다. 하지만 공유대상의 범위 또는 참여주체에 대해 다양한 견해가 있어서 정의가 확립되지 않은 상황이다.

세계경제포럼(WEF)에 따르면 공유경제뿐 아니라 협력적 경제(Collaborative Economy)[3], 온디맨드경제(On-demand Economy)[4], 긱 경제(Gig Economy)[5] 등 새로운 경제모델에 대한 다양한 용어가 존재하고 있으며 하나의 플랫폼이 여러 경제정의에 해당될 수도 있다. 이중에서 공유경제의 특징은 첫째, 소비가 소유로 이어지는 것이 아니라 공유에 기반한다는 것과 둘째, 공유경제기업의 온라인 플랫폼을 통해 거래가 이루어진다는 점이다. 이미 가지고 있지만 잘 사용하지 않는 물건 또는 공간이나 남는 여가시간 등을 활용하여 수익을 창출할 수 있다는 점에서 '공유'가 주목받기 시작하였고, 여기에 IT기술의 발전은 온라인 플랫폼이 중심이 되는 공유경제의 효율성과 소비자의 접근성을 제고시켰다.

공유경제의 비즈니스모델은 그림 1에서 제시하고 있다. 공유경제의 참여주체는 크게 셋으로, 공급측면의 사용자와 수요측면의 사용자, 그리고 공유경제 플랫폼으로 다음과 같이 도식화할 수 있다. 공유경제의 플랫폼은 우선 공급측면의 사용자에게는 플랫폼을 매개로 수요측면의 사용자와 유휴자산(공간, 운송, 서비스 등)을 공유하여 수익을 창출할 기회를 제공한다. 두 번째로, 수요측면의 사용자에게는 이러한 플랫폼을

1) 2008년 미국에서 설립된 숙박공유기업으로 세계 191개국에서 숙박공유 플랫폼을 제공한다.

2) 2009년 미국에서 설립된 승차공유기업으로 택시산업과의 마찰과 '여객자동차운수사업법' 위반으로 현재 우리나라에서는 우버블랙(고급택시, 개인택시사업자 중 선발)만 이용할 수 있다.

3) 소비, 생산, 금융, 학습의 협업적 형태에 초점을 맞춘다.(WEF 2017)

4) 온디맨드(On-demand) 즉, 주문형 상품 및 서비스를 제공하는 경제시스템이다.(WEF 2017)

5) Gig(필요에 따라 단기적으로 고용하는 근로자를 일컬음)이라는 단어를 사용한 정의로, 단일업무 또는 프로젝트를 위해 근로자를 고용하는 경제시스템으로 기술공유와 비슷한 부분이 있다.(WEF 2017)

출처: IED(Institute of Entrepreneurship Development), "Non-for-Profit Sharing Economy platform", 2018.10.참고

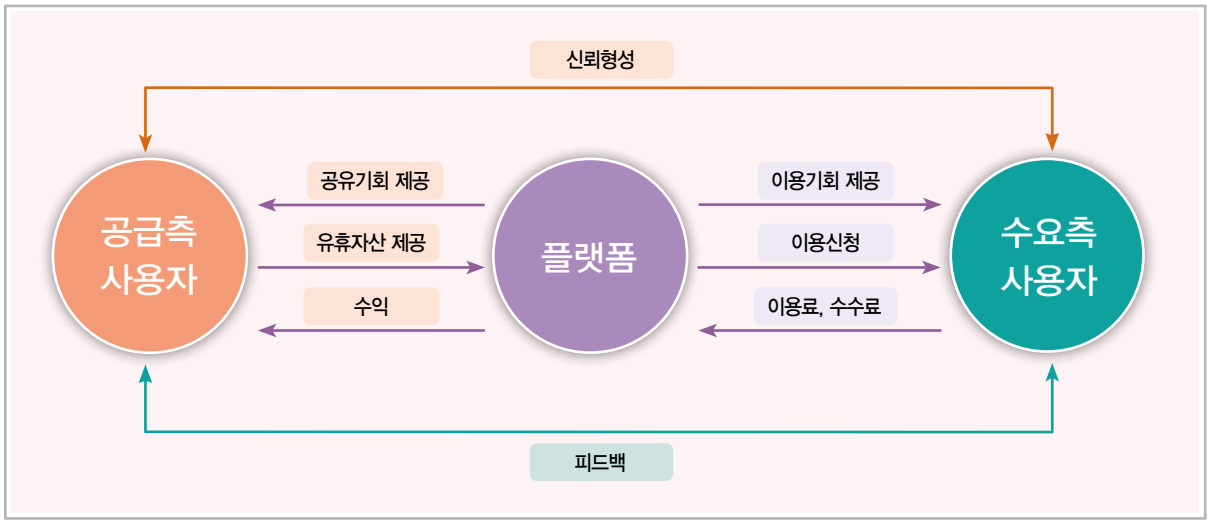



그림 1. 공유경제 비즈니스모델

통해 이용료와 수수료 등을 지불하고 공급측 사용자의 유휴자산을 비교적 저렴한 가격에 이용할 기회를 제공한다.

한편 공유경제에서 사용자 간 공유할 수 있는 유휴자산이나 서비스의 영역에는 제한이 없다. 현재 대표적인 공유경제기업으로는 숙박공유기업인 에어비앤비와 승차공유기업인 우버가 있으며, 사무공간 공유 및 인력공유 등 점점 더 다양한 부문에서 공유경제기업이 증가하고 있다. 또 공유경제기업은 비즈니스모델 안에서도 다양하게 분류할 수 있다. 크게 공유대상에 따른 분류와 참여주체에 따른 분류로 나눌 수 있다. 다음은 공유대상에 따른 공유경제기업 분류이다.

우선 운송을 대상으로 하는 기업들 중 Lyft는 우버와 유사하게 승객과 운전자를 연결시켜주는 플랫폼이다. TURO는 차량이 필요한 사용자와 차량 소유자를 연결시켜 차량 소유자가 차량을 사용하지 않는 동안 원하는 사용자가 이용할 수 있도

표 1. 공유대상에 따른 공유경제기업 분류

| 운 송 | 금 융 | 물 건 |
|---|---|---|
| UBER, BlaBlaCar, JustPark, lyft, TURO | LendingClub, ZOPA, PROSPER, TransferWise | YERDLE, pley, TRADESY |

| 공 간 | 개인서비스 | 전문서비스 |
|---|---|---|
| airbnb, LiQUIDSPACE, HomeAway, roomorama, wework | TaskRabbit, Bellhops, instacart, POSTMATES | fiverr, crowdspring, Upwork |

출처: Denise Lee Yohn, "What You Can Learn About Customer Experience From Sharing Economy Companies", Forbes, 2015.05.04.참조

록 연결하는 플랫폼이다. BlaBla Car는 장거리 위주의 카풀공유 플랫폼이고, Just Park는 주차공간공유 플랫폼이다.

둘째로, 공유의 대상이 금융인 기업들 중 Lending Club은 수요자와 공급자를 직접 연결하는 대출 및 투자업체이다. 기업이 대출서비스를 제공하거나 투자를 하는 것이 아닌 개인과 개인을 연결시키는 플랫폼을 제공한다. ZOPA와 Prosper 역시 개인간 대출플랫폼이고, Transfer Wise는 은행에 의존하지 않고 송금이나 결제서비스를 제공한다.

세번째로, 물건을 공유하는 기업들 중 Rent the Runway는 디자이너 드레스, 의류 등을 빌릴 수 있는 플랫폼을 제공한다. Thred Up은 개인이 더 이상 입지 않는 옷, 가방, 신발류를 보내면 재판매가 가능한 물품을 골라 개인에게 구매하여 저렴한 가격으로 되팔거나 불우한 이웃에게 기부하는 기업이다. Yerdle와 TRADESY 역시 중고물품 공유플랫폼이다.

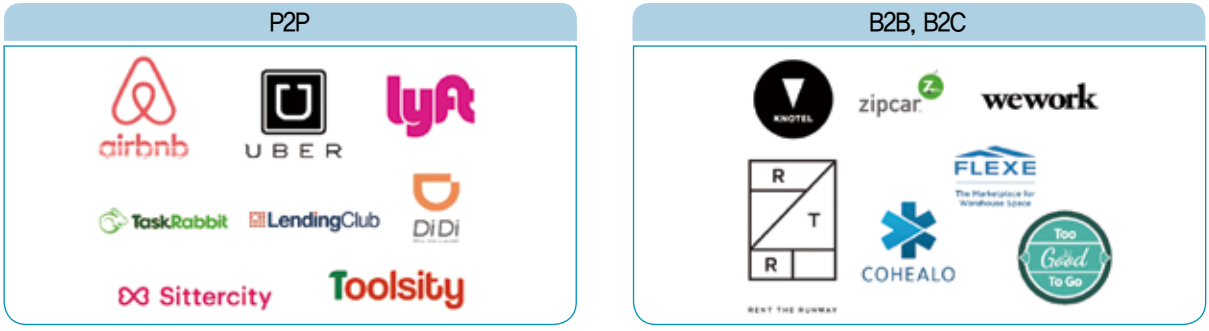
넷째, 공간을 공유하는 플랫폼 중 에어비앤비와 HomeAway, roomorama는 숙박공간, WeWork와 LiquidSpace는 사무공간의 공유를 연결하는 플랫폼이다.

다섯번째로, 개인서비스 공유플랫폼은 남는 시간에 간단한 심부름 등을 중개해주는 플랫폼인데 Taskrabbit이 대표적이다. Bellhops는 이사대행, Instacart와 Postmates는 식료품구매 및 배달대행 플랫폼이다.

마지막으로 전문서비스 공유플랫폼은 전문적인 재능이나 지식을 공유하고 수익을 얻을 수 있는 플랫폼이다. Upwork는 프리랜서와 고용주를 연결하는 플랫폼이고, Crowdspring은 전세계 디자이너와 수요자를 연결하는 플랫폼이다. Fiverr는 디자인, 번역, 동영상 편집, 음악, 프로그래밍, 마케팅 등 다양한 분야의 프리랜서와 수요자를 연결하는 플랫폼이다.

한편, 공유경제 참여주체에 따라 개인간의 거래(P2P)인지 기업도 참여하는 거래(B2B, B2C)인지 등으로도 구분할 수 있다. 먼저, P2P 기업은 개인과 개인의 필요에 따라 연결하는 플랫폼을 제공한다. 에어비앤비와 우버 역시 여행자와 집 제공자, 승객과 운전자를 연결하는 서비스를 제공하는 플랫폼이다. B2B 또는 B2C 기업은 참여주체 중 하나 이상이 기업이 되는 공유플랫폼이다. 예를 들어 Too good to go는 개인

**표 2. 참여주체에 따른 공유경제기업 분류**




출처: Lloyd's "Sharing Risks, Sharing Rewards: Who Should Bear the Risk in the Sharing Economy?", 2018 참조

**표 3. 공유대상과 참여주체에 따른 공유경제기업 분류**

| | 운 송 | 금 융 | 물 건 | 공 간 | 서비스 |
|---|---|---|---|---|---|
| P2P | UBER | LendingClub | THREDUP | airbnb | TaskRabbit |
| B2B, B2C | zipcar | Kabbage | | wework | Upwork |

소비자와 식당, 베이커리 등을 연결하는 플랫폼인데 마감시간이 다가와 팔지 못한 남은 음식을 개인소비자가 저렴하게 구입할 수 있도록 한다. 공유경제기업은 앞선 기업사례와 같이 공유의 대상과 주체에 따라 매우 다양하고 광범위하다.

표 3은 표 1과 표 2를 정리하여 공유대상과 참여주체별로 분류한 것이다.

ThredUp은 의류공유기업이자 P2P기업이고, Kabbage[6]는 금융분야 공유경제기업이자 B2B, B2C 기업이다. 하지만 ThredUp에서는 최근 'Remade'라는 자사 의류브랜드를 만들어 판매하고 소비자가 깨끗하게 입었을 경우 기업측에서 다시 구매하여 개인소비자에게 중고로 판매하는 사업을 시작하였다. 그렇기에 ThredUp을 꼭 P2P기업으로 정의할 수는 없다.

즉 공유경제기업은 공급측 사용자와 수요측 사용자의 공유를 용이하게 하는 플랫폼을 제공하는 기업이기에 하나의 기업도 비즈니스모델 내에서 공유대상이나 참여주체에 따라 다양하게 분류할 수 있다.

한편 공유경제 기업에게 공급측 사용자와 수요측 사용자 사이의 신뢰형성은 다른 경제시스템에 비해 중요하다. 공유경제구조는 플랫폼을 중심으로 공급측 사용자, 수요측 사용자 3자 관계로 나뉘기에 문제가 발생했을 때 누가 어느 정도의 책임을 지느냐는 공유경제에서 중요한 이슈이다. 공유경제기업은 플랫폼 제공자의 역할을 수행하기에 사용자의 과실로 인한 문제가 발생했을 때 사용자들의 매개였던 플랫폼 제공자에게 전적으로 그 책임을 묻기 어렵기 때문이다.

## B. 공유경제 시장현황

공유경제와 관련한 공식적인 통계가 부재하지만 글로벌 컨설팅회사인 PwC는 공유경제시장이 2014년 현재 약 150억 달러 규모이며 성장속도가 빨라 2025년까지 약 3,350억 달러 규모로 성장할 것으로 전망했다. 보스턴컨설팅그룹(BCG) 또한 공유경제시장이 2007년 40개 기업 4,300만 달러 규모에서 2016년 420개 기업, 234억 달러 규모로 빠르게 성장했다고 발표한 바 있다.

공유경제기업은 그 수만 증가한 것이 아니다. BCG에 따르면 공유경제의 기업은 2016년 현재 승차공유, 물건 또는 공간공유 뿐만 아니라 애완동물돌보기, 건축장비, 기계, 자전거 공유 등 다양한 분야로 발전했다.

출처: BCG (2017) "What's Nest for the Sharing Economy?"

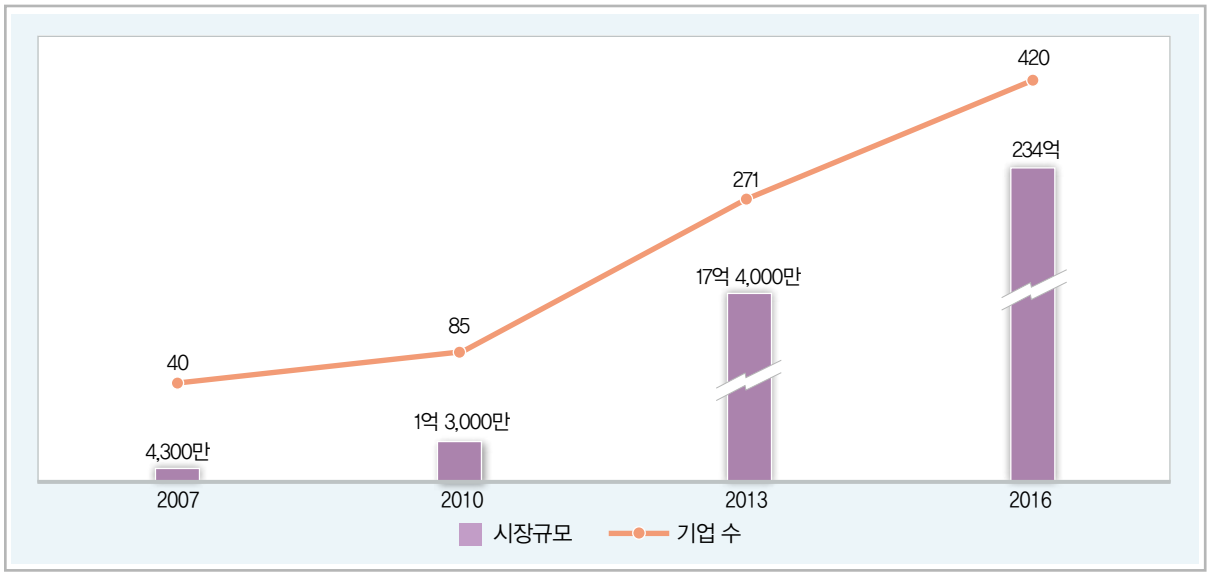



그림 2. 공유경제시장 성장흐름

6) 캐비지(Kabbage)는 2008년 미국에서 설립된 소기업을 위한 대출서비스를 제공하는 기업이다.

표 4. 상위 10개 글로벌 유니콘기업 현황(2018년 8월)

| 순위 | 회사명 | 국가 | 분야 | 순위 | 회사명 | 국가 | 분야 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Toutiao | 중국 | 미디어 | 11 | Pinterest | 미국 | 소셜미디어 |
| 2 | Uber | 미국 | 승차공유 | 12 | Bitmain | 중국 | 블록체인 |
| 3 | DidiChuxing | 중국 | 승차공유 | 13 | Lyft | 미국 | 승차공유 |
| 4 | Airbnb | 미국 | 숙박공유 | 14 | GrabTaxi | 싱가포르 | 승차공유 |
| 5 | SpaceX | 미국 | 항공우주 | 15 | Global Switch | 영국 | 빅데이터 |
| 6 | Palantir | 미국 | 빅데이터 | 16 | Infor | 미국 | 소프트웨어 |
| 7 | WeWork | 미국 | 공간공유 | 17 | DJI | 중국 | 드론 |
| 8 | Stripe | 미국 | 핀테크 | 18 | One97 | 인도 | 핀테크 |
| 9 | Lu.com | 중국 | 핀테크 | 19 | Coupang | 한국 | 전자상거래 |
| 10 | JUUL | 미국 | 전자담배 | 20 | Coinbase | 미국 | 핀테크 |

출처: CB Insight, "The Global Unicorn Club", https://www.cbinsights.com/research-unicorn-companies(2018.11.22.검색)

이러한 공유경제시장의 빠른 성장은 CB Insight에서 발표하는 글로벌 유니콘기업 순위에서 나타난다. 유니콘기업은 2018년 8월 현재 기업가치 10억 달러 이상 기업으로 다수의 공유경제 스타트업이 상위권을 차지하고 있다.

글로벌 유니콘기업 상위 10위권에는 4개의 공유경제기업이 자리하고 있고, 20위권 내에는 총 6개 회사가 포함되어 있다. 그 중 10위권 내에 위치한 우버와 디디추싱[7]은 승차공유기업이고, 에어비앤비는 숙박공유, 위워크는 공간공유기업이다.

### C. 공유경제기업 사례

공유경제의 영역은 공유의 대상이 되는 자산이나 서비스가 다양해짐에 따라 점차 확대되는 추세이나 본고에서는 글로벌유니콘기업 상위권에 위치한 우버와 에어비앤비를 통해 공유경제시장에서 현재 가장 활성화된 두 분야인 승차공유와 숙박공유에 초점을 맞춰 분석하고자 한다.

#### 1. 승차공유기업: 우버

우버는 2009년 3월 미국 캘리포니아주 샌프란시스코에서 창립된 온디맨드 승차공유플랫폼을 제공하는 기업이다. 2018년 11월 현재 전세계 785개 도시에서 서비스를 제공하고 있으며 기존 택시보다 저렴하게 이용할 수 있다는 장점으로 발전하고 있다. 블룸버그에 따르면 2016년 11월 뉴욕 하루평균 우버이용건은 21만6,000건으로 뉴욕의 상징인 옐로우캡 이용건 33만7,000건의 절반을 훌쩍 넘는다. 우버는 현재 운전자와 승객을 연결해주는 대표적인 서비스 이외에도 우버이츠(음식배달), 우버프레이트(화물배송), 우버헬스(환자이송) 등 다양한 서비스를 제공하고 있다. 우버서비스 이용과정은 다음과 같다.

승객이 우버어플리케이션에 목적지를 입력하고 서비스를 요청하면 우버측에서 등록된 운전자에게 서비스 요청을 알린다. 운전자가 승객의 요청을 받아들이면 매칭이 된다. 매칭 직후 우버어플리케이션은 승객에게 운전자의 사진, 이름, 차종, 현위치와 승객에게 도달하는데 걸리는 예상시간 등을 알려준다. 승객이 운전자의 차에 탑승하고 목적지에 도착하게 되면 어플리케이션에 사전에 등록한 카드로 자동결제되며 운전자에게 직접 결제하지 않는다. 이후 승객과 운전자는 상호 피드백을 남길 수 있다. 이 모든 과정은 우버의 스마트폰 어플리케이션을 통해 이루어지며 우버는 이 과정에서 수수료를 통해 수익을 창출한다. 우버이츠, 우버프레이트 등 우

7) 디디추싱(DiDiChuxing)은 2012년 중국에서 설립된 승차공유기업이다.

출처: 우버 웹사이트 참조

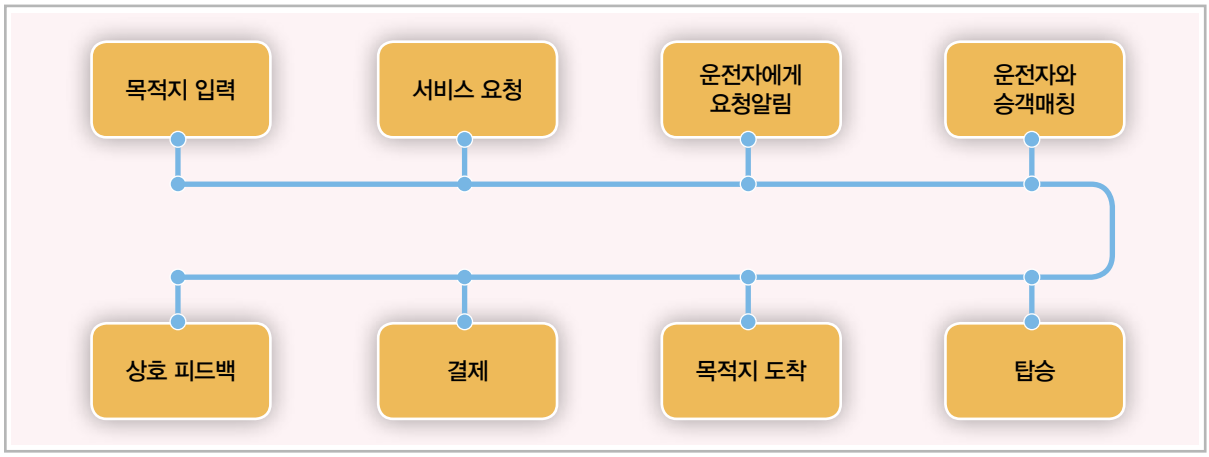



그림 3. 우버 승차공유서비스 프로세스

버가 제공하는 기타 서비스도 이와 유사한 과정을 통해 이루어진다.

## 2. 숙박공유기업: 에어비앤비

에어비앤비 역시 미국 캘리포니아주 샌프란시스코에서 2008년 8월 사업을 시작한 숙박공유 기업이다. 설립된지 10년도 채 되지 않았지만 현재 191개국 81,000개 도시에 500만개 이상의 숙소가 등록되어 있을 정도로 성장하였다. 에어비앤비에 따르면 200만명 이상이 에어비앤비를 사용하며 이는 호텔업계 최상위 호텔체인 5개의 수치를 합친 것보다 많다. 또 블룸버그에 따르면 2016년 1월 뉴욕지역에 등록된 에어비앤비 숙소는 4만개로 전체 호텔방 수 11만5,000개의 약 1/3 수준이라고 한다. 이러한 에어비앤비의 단기간 성장은 출장이나 휴가 등 여행을 계획할 때 비싼 숙박비의 부담을 덜 수 있다는 점과 여행할 때 현지문화를 가까이에서 접할 수 있다는 특징이 견인했다. 에어비앤비를 이용하는 과정도 매우 단순하다.

투숙을 원하는 이용자가 에어비앤비 어플리케이션이나 웹사이트를 통해 여행할 지역과 일정을 검색하고 마음에 드는 집(또는 방)을 골라 숙박서비스를 요청한다. 그러면 에어비앤비플랫폼을 통해 집공급자에게 숙박요청이 전달되고 집공급자가 요청을 받아들이면 투숙객과 매칭된다. 이후 투숙객은

출처: 에어비앤비 웹사이트 참조

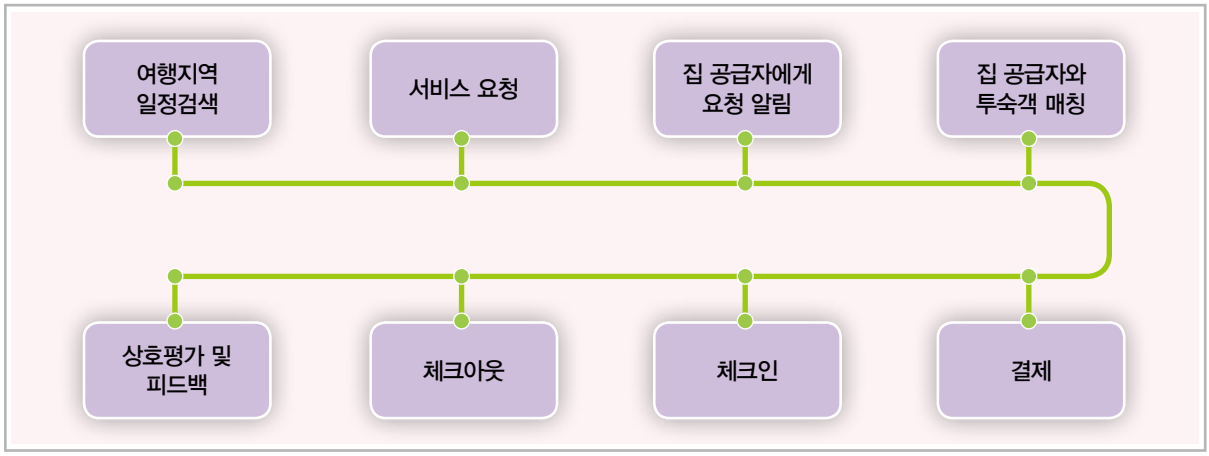



그림 4. 에어비앤비 숙박공유서비스 프로세스

플랫폼상에서 결제를 하게 되고(일반 숙박업소 결제처럼 도착 후 결제 등과 같은 제도는 없음), 숙박을 마친 뒤 투숙객과 집공급자는 서로 평가와 피드백을 남길 수 있다. 에어비앤비 역시 이 과정에서 숙박료 중 수수료를 통해 수익을 창출하며 이 모든 과정은 에어비앤비플랫폼인 웹사이트나 어플리케이션을 통해 이루어진다.

### D. 공유경제 관련 신종위험

공유경제는 온라인플랫폼을 사용하기에 사이버위험이나 보안, 규제등 기존 경제시스템에서 발생하던 문제와 달리 새로운 문제발생의 여지가 있다. 본고에서는 이를 공유경제에 참여하는 주체별 직면위험으로 나누어 분석하고자 한다.

#### 1. 공유경제기업

공유경제 기업, 즉 플랫폼 제공자가 직면할 수 있는 가장 큰 위험 중에 하나는 규제이다. 기존 규제들은 공유경제 탄생 시점보다 훨씬 이전에 만들어진 것으로 새로운 경제시스템을 완벽히 보호할 수는 없다. 기존 규제가 온전히 보호하지 못하는 부분은 불명확성 증가로 이어져 곧 위험으로 작용할 수 있다. 2012년 11월 캘리포니아주 공공유틸리티위원회는 우버와 리프트(승차공유기업) 등에 대해 "공공책임보험과 재물손괴보험 없이 운송사업영위", "종업원 상해보험없이 운전자 고용" 등에 대해 약 2만달러의 벌금을 부과한 바 있다. 앞선 우버사례와 같이 공급측 이용자를 법적의미의 고용으로 정의하고 법적보호를 해야 하는지 그렇지 않은지에 대한 문제도 있다. 공유경제기업이 진출한 국가와 지역의 규제에 따라 다르게 고려해야 하며 이는 곧 비용과도 직결된다. 또한 에어비앤비 사례에서 등록된 숙소의 안전시설을 강제할 수 없기에 부족한 안전시설로 인한 사고발생시 에어비앤비에서 제공하는 보험프로그램으로 보험금 지출이 발생할 수 있다. 더불어 사고가 발생하면 사용자간 신뢰가 중요한 공유경제 플랫폼에 대해 평판이 훼손될 위험과 법적분쟁의 소지도 존재한다.

#### 2. 공급측면의 사용자

서비스나 재산을 공유하는 공급측면의 사용자가 직면하는 위험은 공유하는 재산에 대한 도난, 손괴 및 전통적인 서비스계약에 비해 허술한 계약형태, 고객에 대한 잠재적 책임문제 등이 있다. 실제로 우버에 등록된 운전자들은 일반적인 고용계약과는 다른 계약으로 등록되기에 종업원으로서 받는

출처: AFP/John MacDougall



기본적인 법적보호를 보장받지 못하는 위험이 있다.

우버는 공유경제모델 안에서 운전자를 고용하지 않고 운전자와 승객을 연결해주는 플랫폼을 제공할 뿐이다. 따라서 우버의 운전자는 종업원으로서 받는 최저임금보장, 유급휴가 등의 기본적인 보호를 받지 못한다. 실제로 영국에서는 이와 같은 논쟁으로 우버운전자와 우버 사이의 소송이 있었다. 그리고 지난 2017년 11월 영국 사법부는 '우버운전자는 자영업자가 아닌 법적보호를 받는 종업원'이라고 판결한 바 있다. 만약 최종결정도 이와 같을 경우 우버는 영국에서 철수할 가능성도 있는 상황이다.

현재 공유경제기업이 공급측 사용자를 고용하지 않고 파트너의 형태로 계약하는 것에 대해 공유경제모델의 핵심이자 고용유연성이라는 의견과 노동착취라는 의견 등 다양한 의견간 논쟁이 계속되고 있다. 영국 우버운전자들도 이와 같은 소송에 대하여 권리를 위한 투쟁이라는 의견과 모두의 생존을 위협하는 행위라는 입장으로 나뉜다.

또 에어비앤비 사례에서는 집공급자에게 화재 등의 사고로 숙소파손 등이 발생했을 때 이를 에어비앤비측으로부터 완벽하게 보장받지 못하는 위험 등이 있다.

### 3. 수요측면의 사용자

공유경제 플랫폼을 사용하는 수요측 사용자는 이용 시 안전문제, 이용시설 유지 및 보수에 대한 보장 부족, 사고발생 시 전통적인 서비스 제공자가 제공하는 수준의 위험보장을 받지못할 것이라는 우려가 있다. 이와 같은 위험은 에어비앤비 사례에서도 발견된다.

투숙객의 안전과 관련한 사항인데 에어비앤비는 집공급자와 투숙객을 연결하는 플랫폼 제공자로서의 역할을 한다. 따라서 숙박장소를 소유하는 전통적인 숙박기업과 달리 집 공급자에게 화재예방 등 안전관련 조항을 강제할 수는 없다. 현재 에어비앤비측도 안전조항을 마련하여 권고하고는 있으나 지난 5월 발표된 Injury Prevention Journal에 따르면 실제 에어비앤비 숙소가 안전시설을 설치한 비율은 생각보다 높지 않다. 미국 16개 도시 120,691개의 에어비앤비 숙소를 조사한 결과 안전시설 설치비율은 연기감지기 80%, 일산화탄소감지기 57.5%, 소화기 42%, 구급용품 36%로 밝혀졌고 저널은 에어비앤비 숙소의 안전결함을 지적하였다. 이와 관련해 투숙객을 보호하기 위한 에어비앤비의 예방조치는 숙소파손, 신체상해, 재산피해 등에 대해 최대 10억원(100만 달러, 고가제품 제외)까지 보장하는 보험을 제공하고 있다. 하지만 안전시설이 확충되지 않은 숙소, 에어비앤비측이 보장하는 보험금액을 초과하는 피해발생 시 누구에게 책임이 있는지 등에 대해서는 여전히 논쟁의 대상이다.

또 온라인 플랫폼이 중심이 되는 공유경제시스템 하에서 해킹 등 보안에 관한 위험도 존재한다. 실제 사례로 우버는 2016년 우버의 운전자와 승객의 개인정보가 유출된 사실을 은폐하다 2017년 11월 해당 사실을 공개하여 1억4800억 달러의 벌금을 납부한 바 있다.

### 4. 소결

이처럼 전통적인 경제시스템과 다른 구조를 가지는 공유경제 하에서는 기존에 발생하지 않았던 새로운 이슈가 등장하며 이는 곧 공유경제사업을 운영하거나 공유경제 플랫폼을 이용하는데 있어 위험요소로 작용할 수도 있다.

## 3. 결언

공유경제시장은 경제적이며 사용하기 편리한 장점을 바탕으로 빠른 속도로 성장하고 있다. 하지만 공유경제가 온라인 플랫폼을 기반으로 하는 새로운 경제시스템이기 때문에 등장하는 다양한 문제와 발생 가능한 위험의 해결이 없다면 소비자로부터 외면받을 수 있고 사회적 부작용 또한 발생할 것이다. 관련 규제정립, 공유경제기업에 대한 역할과 책임 명시 등으로 전통적인 규제가 완전히 보호하지 못하는 부분에 대한 불명확성을 해소하고 기존 산업과의 갈등완화 또는 예방 등 발생 가능한 문제를 사전에 방지하고자 하는 노력이 필요하다. 따라서 발전의 장해요인인 신종위험의 제거를 위해 관련부처와 기업, 소비자 등 공유경제 참여주체의 의견을 모아 공유경제시스템의 안전망을 구축한다면 공유경제의 성장은 가속화될 것이다.

## 참고문헌


- PwC(2015), "The Sharing Economy"
- Lloyd's(2018), "Sharing Risks, Sharing Rewards: Who Should Bear the Risk in the Sharing Economy?"
- CB Insight, "The Global Unicorn Club", https://www.cbinsights.com/research-unicorn-companies(2018.11.22.검색)
- IED(2018), "Non-for-Profit Sharing Economy platform"
- WEF(2017), "What exactly is the sharing economy?"
- WEF(2018), "The dark side of the sharing economy"
- Judith Wallenstein, UrveshShelat(2017) "What's Nest for the Sharing Economy?", BCG
- Uber Website, www.uber.com
- Airbnb Website, www.airbnb.com
- NYT, "Uber Hit With New Blow in London as Panel Says Drivers Aren't Self-Employed", 2017.11.10
- Forbes, "What You Can Learn About Customer Experience From Sharing Economy Companies", 2015
- Bloomberg, "The $99 Billion Idea: How Uber and Airbnb won", 2017.1.26
- Forbes, "The Londoner Who Brought Uber To Its Knees", 2018.3.16
- Forbes, "Uber Data Breach Exposed Personal Information of 20 Million Users", 2018.4.12
- Hudson R Kennedy, Vanya C Jones, Andrea Gielen, Author affiliations(2018), "Reported fire safety and first-aid amenities in Airbnb venues in 16 American cities", Injury Prevention Journal
- JD Supra(2013), "Collaborative Consumption - Is it good to share?"
- John E. Black Jr.(2016), "The Sharing Economy: A New Frontier in Management Liability?", IRMI
- 고윤승(2014), "ICT 발달에 따른 공유경제에 대한 소고"
- 민성희, 박정은(2016), "공유경제 비즈니스 사례 분석 및 시사점", KDB산업은행
- 나승권, 김은미, 최은혜(2017), "국제사회의 공유경제 추진현황과 시사점", 대외경제정책연구원






**김 성 범** 과장
점검전략팀
한국화재보험협회

1. 서론
2. 아트리움의 방재관련 위험성
3. NFAP 101 Life Safety Code에서의 아트리움 방재기준
4. 결론

# 아트리움의 해외 방재기준

## 1. 서론

아트리움은 건축에서 건물 안에 위치한 거대한 오픈 스페이스를 지칭하며 라틴어로 방들로 둘러싸인 열려진 중앙뜰을 뜻한다. 아트리움은 도무스(Domus)와 같은 고대 로마의 주거공간에서 볼 수 있었으며, 빗물을 받거나 채광을 유입하여 환기의 기능을 제공하는 공간이었으나 19세기로 접어들면서 철과 유리제조기술의 발전으로 현재의 모습과 같이 수평, 수직으로 확장된 구조가 나타나게 되었다. 특히 상업공간에서 외부환경의 변화를 내부로 유입할 수 있는 역동적이고, 소통하는 실내공간을 조성할 수 있다는 점에서 상업적 가치와 매력을 증대시켰다.



그림 1. 웨스트필드(영국)



그림 2. 휴스톤갤러리아(미국)



그림 3. 이튼센터(캐나다)



그림 4. 삿포로 팩토리(일본)

아트리움을 설계할 경우 기능적인 측면도 중요하지만 화재가 발생하였을 경우 재실자의 안전을 어떻게 확보할 것인가가 중요한 문제로 대두된다. 그리고 대규모 아트리움공간의 화재안전대책은 구획된 소규모 공간과는 크게 다르며 많은 문제점을 가지고 있다.

또한 건물의 화재안전에 관한 건축법과 소방법의 규정은 계속 강화 정비되어 왔지만 아트리움과 같은 새로운 형태의 공간설계에는 적절히 대응하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 해외관련 기준 등을 통하여 신축건물에 적용 가능한 아트리움 방재기준의 마련이 필요하다고 판단된다. 이번 기고에서는 국제적인 방재기준 중 하나인 NFPA 101 Life Safety Code에서 아트리움의 설계계획 시에 고려해야 할 권장사항을 정리하였다.

## 2. 아트리움의 방재관련 위험성

아트리움공간의 방재관련 위험성을 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

1. 대규모 공간인 아트리움은 외부에 가까운 화재 환경조건과 유사하여 화재형태가 '환기지배형'이 아닌, '연료지배형'으로서 화재가 급속히 성장하고 확대될 위험성이 크다.
2. 아트리움 내 연돌효과(Stack Effect) 발생 시에는 아트리움 하층부에서 연기를 아트리움으로 끌어드리고 상층부에서는 아트리움 내의 연기를 인접공간으로 확산시키므로 연기가 급속하게 확대될 위험성이 크다.
3. 개방된 아트리움공간을 통하여 다수층에서 화재발생 상황을 동시에 인지하기 때문에 다수의 인원이 동시에 피난함으로 인하여 원활한 피난이 이루어지지 못할 가능성이 있다.
4. 아트리움 내 층고가 높을 경우 연기가 천장에 도달하지 못하는 '연기의 단층화(Stratification)' 현상이 발생하여 경보시스템 및 소화시스템의 작동이 지연될 가능성이 크다.

상기와 같은 위험성이 있는 반면, 화재 초기에는 개방된 아트리움을 통하여 발화장소나 화재상황이 시각적으로 용이하게 발견되므로 대피 등의 행동을 적절히 취하기 쉽다는 장점이 있다. 또한 공기유동을 완전히 제어하도록 설계된 대규모 용적을 가지고 있는 아트리움은 인접지역에서 발생된 연기를 희석시키는 역할을 한다.

## 3. NFPA 101 Life Safety Code에서의 아트리움 방재기준

NFPA 101 Life Safety Code에서 아트리움의 설치가 금지되는 용도는 없으나 일부 용도에서는 아트리움에 대한 제한사항이 있다. 예를 들어 의료용도의 입원실 및 치료실에서는 아트리움과 직접 개방되는 것이 금지된다. 따라서 최소한 입원실과 아트리움 공간 사이에는 유리벽체와 같이 제연기능을 발휘할 수 있는 경계벽이 있어야 한다.

그림 5와 그림 6은 일반적인 아트리움의 형태이다.

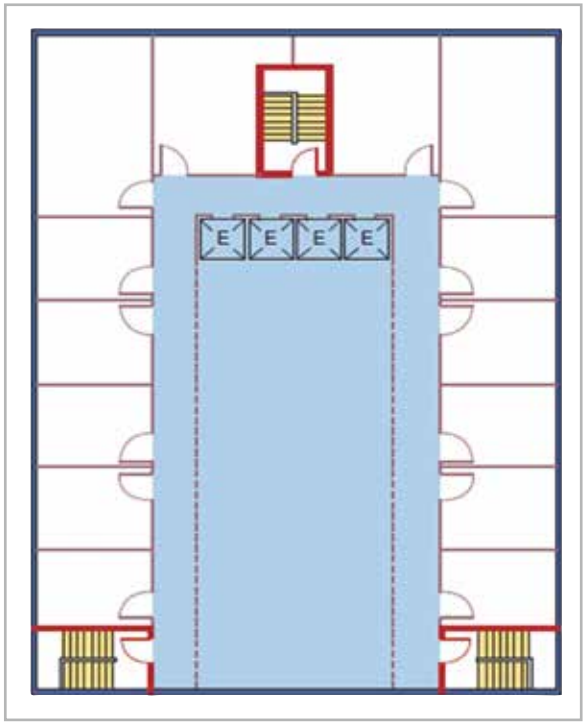



그림 5. 일반적인 아트리움의 평면도

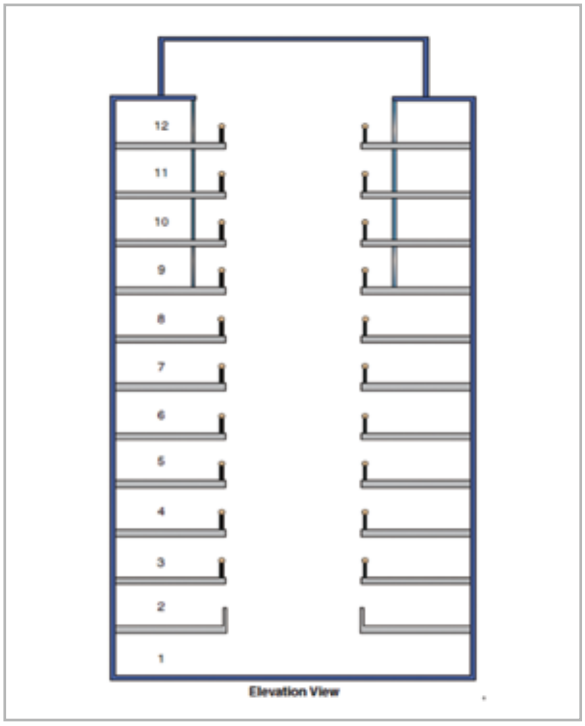



그림 6. 일반적인 아트리움의 측면도

일반적으로 신축건물에서 4개층 이상의 수직개구부는 인접한 부분과 2시간의 내화구조의 벽체로 방화구획되어야 하지만 (1)의 요구사항에 따라 아트리움과 인접한 부분간의 내화구조 벽체는 1시간으로 완화되며, 구획벽체상에 내화등급 20분의 갑종방화문이 허용되는데 여기에서의 방화구획 목적은 제연경계를 정밀하게 구축하는데 있다.

(1)(b)에서는 (5)에서 요구하는 공학적 분석결과에 따라 임의의 층에서 아트리움으로 개방상태로 유지할 수 있다. 그림 7에서 2~5층은 아트리움으로 개방된 상태이다(그림 6에서는 아트리움으로 개방된 층은 1~8층이다). 일부 용도에서는 아트리움 요구사항과는 달리 해당 용도의 점유자에게 필요한 안전수준을 제공한다. 예를 들어 의료용도의 경우 (1)(b)에 의해 허용된 아트리움으로 개방되는 층의 위치를 제한하는데 치료실 및 입원실의 경우에 해당된다.

공학적 분석결과 아트리움으로 개방하는 것이 불가할 경우에는 아트리움과 각 층의 시야를 확보하기 위해 (1)(c)에서는 1시간 내화구조 벽체를 대신하여 유리벽체, 투시창, 그리고 유리창으로 구성된 방연구획을 허용한다. 스프링클러헤드 간격을 6ft(1830mm) 이하로 가깝게 하는 목적은 스프링클

**NFPA 101 Life Safety Code 8.6.7 Atriums**

(1) 아트리움은 다음의 조건 중 어느 하나에 충족되지 않은 경우 1시간 이상의 내화벽체로 인접한 공간과 구획되어야 하며, 통로 벽체의 개구부에는 방호장치를 설치하여야 한다.

(a) (1)의 요구사항은 이미 승인된 기존의 아트리움에는 적용되지 않는다.

(b) (5)에서 요구하는 공학적 분석의 결과에 따라 임의의 층에서 아트리움으로 개방상태로 유지할 수 있다.

(c) 다음의 조건이 모두 충족되는 경우에는 내화벽체를 대체하여 유리벽체 및 고정창이 허용된다.

i. 스프링클러헤드가 유리벽체의 양쪽면과 고정창을 따라 6ft(1830mm)를 초과하지 않는 간격으로 배치되어야 한다.

ii. 스프링클러헤드는 유리벽으로부터 12 in.(305mm) 이내의 거리에 설치하여 스프링클러 헤드가 작동되었을 때 유리 전체 표면이 살수되도록 배치되어야 한다.

iii. 유리는 개스킷시스템에 의해 지지되는 강화유리, 망입유리 또는 적층유리로서 스프링클러헤드가 작동되기 전에 유리프레임 시스템이 파손되지 않아야 한다.

iv. 1층 상부 아트리움 부분에 이동통로 또는 점유공간이 없는 경우에는 아트리움 측으로의 유리벽체와 고정창에는 스프링클러헤드를 설치하지 않아도 된다.

v. 유리벽체에 설치된 문은 유리 또는 기타 재질의 문으로서 연기통과를 막을 수 있어야 한다.

vi. 유리벽에 설치된 문은 닫힌 상태를 유지하거나 연기감지기와 연동되어 자동으로 폐쇄되어야 한다.

vii. 유리벽에는 유리표면 전체로 살수되는 것을 방해할 수 있는 수평지지대, 창문장식물 또는 기타 장애물 없이 수직으로 연속되어야 한다.

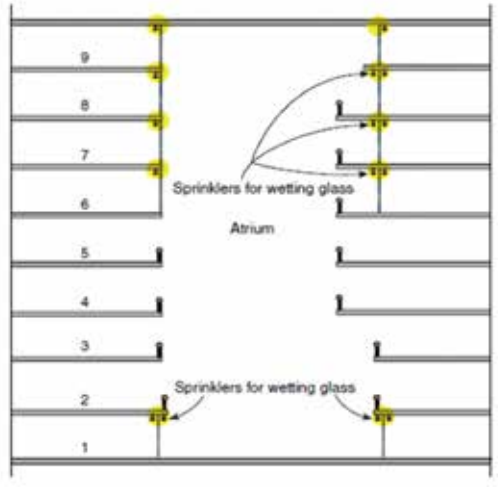



그림 7. 아트리움으로 개방된 일부층

러설비 작동 시에 유리표면 전체에 살수되는 것을 보장하기 위함이다. 이를 위하여 설계된 방사율에 의해 유리에 살수되고 헤드간의 간격이 6ft(1830mm)를 초과하지 않는다는 조건이 충족되어야 한다. 또한 유리표면 전체에 살수되는 것이 중요하기 때문에 스프링클러 살수에 영향을 미칠 수 있는 유리패널의 높이와 수평부재에 대해서도 신중히 고려해야 한다.

화재에 노출된 유리를 살수하는 개념은 Pyrex® 유리용기의 물을 불꽃을 이용하여 끓이는 것과 유사하다. 유리용기에 열을 흡수하기 위한 물이 있는 한 유리 자체가 파손될 만큼 고온상태에 도달하지 않는다. 이러한 원리에 의하여 유리가 파손되지 않으므로 물이 유리표면에 충분히 살수되도록 하기 위하여 스프링클러헤드와 유리창 사이에 블라인드와 커튼을 설치해서는 안된다. 그러나 스프링클러헤드와 유리를 최대한 가깝게 설치할 수 있으므로 블라인드 및 커튼은 일반적으로 설치가 가능하다.

1시간 내화벽체를 대체하여 유리벽체에 스프링클러헤드를 설치할 때 아트리움측에는 2층부터 스프링클러헤드를 제외할 수 있다. 즉, 스프링클러헤드를 1층에서 유리벽체의 양측면 모두에 설치해야 하는데 그 이유는 가연물이 유리벽체의 아트리움측 바닥에 놓일 수 있기 때문이다. 그림 7의 6, 7, 8층에서는 가연물이 유리벽체의 아트리움측 발코니에 놓일 수 있기 때문에 발코니측에도 스프링클러헤드를 설치해야 한다.

**NFPA 101 Life Safety Code 8.6.7 Atriums**

(2) 아트리움 내부에 피난통로가 허용되며 건축물의 바깥쪽으로의 출구가 허용된다.

피난계단은 아트리움 내에 있을 수 있으며 피난계단의 규정에 따라 방화구획되어야 하고, 건물 점유자가 아트리움에서 계단으로 접근할 수 있어야 한다. 그림 5는 아트리움 내에 위치한 피난계단 3개소를 나타내며 해당층의 모든 점유자는 아트리움의 발코니를 통하여 피난계단에 접근할 수 있다.

**NFPA 101 Life Safety Code 8.6.7 Atriums**

(3) 아트리움 내부에는 급격한 연소형태를 가지거나 폭발 가능성이 있는 물품을 비치해서는 안된다.

아트리움 내의 수용품은 경급위험(화재가 자체적으로 전파되지 않는 가연물) 또는 중급위험(완만한 속도로 연소하지만 상당한 양의 연기가 발생될 수 있는 가연물) 수용품으로 제한되어 있다. 또한 (4)의 규정에 따라 건물은 스프링클러설비에 의해 완전히 방호되어야 하기 때문에 아트리움 내에 수용품이 경급위험 수용품에 해당되더라도 아트리움 내에는 스프링클러설비를 설치하여야 한다.

**NFPA 101 Life Safety Code 8.6.7 Atriums**

(4) 건물 전체에 스프링클러설비가 설치되어야 한다.

아트리움 공간뿐만 아니라 전체 건물은 스프링클러설비로 방호되어야 한다. 그러나  아트리움 천장이 높은 경우에 아트리움 내부에 스프링클러헤드를 설치하는 것이 효과적인지에 대한 의문이 있을 수 있다. 1997년 이전에는 천장 높이가 바닥에서 55ft(17m) 이상인 아트리움 내부에는 스프링클러설비 설치제외가 허용되었다. 그러나 실제로 이 규정과 관련된 기술위원회에서 제출한 데이터에 따라 스프링클러설비는 바닥에서 100ft(30m) 정도의 높이에서도 화재를 효과적으로 소화하거나 제어할 수 있음이 증명되었고, 1997년도 이후부터는 아트리움 천장에 스프링클러설비를 설치하도록 하고 있다.

**NFPA 101 Life Safety Code 8.6.7 Atriums**

(5) 기존에 준공된 아트리움을 제외하고 피난소요시간의 1.5배와 20분중 긴 시간 내에서 연기층 높이가 아트리움 인접부분에서 가장 높은 개구부 또는 아트리움과 면한 비상구 접근로중 가장 높은 층 바닥면에서 6ft(1830mm) 이상을 유지되도록 설계되었다는 것을 증명할 수 있는 공학적 분석이 수행되어야 한다.

성능위주의 기준을 사용하여 (5)에서는 건물피난에 필요한 시간 동안 연기가 제어되는 것을 입증하기 위해 공학적 분석을 수행할 것을 요구한다. 이를 위해 (5)에서는 계산된 피난시간의 1½ 배, 또는 20 분 중 더 오랜 시간 동안에 연기층이 아트리움과 인접한 공간에서 가장 높은 위치의 개방된 개구부보다 높게 유지되거나, 아트리움에 개방된 가장 높은 층의 바닥면에서 6ft(1830mm) 이상으로 유지되는 것을 입증할 결과를 요

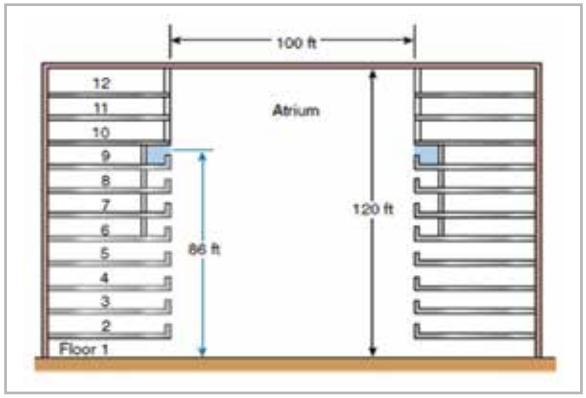



**그림 8. 제연설비가 설치된 12층 아트리움**

구한다. 의료용도와 같은 현장 방호용도(Place-occupancy)의 경우에는 피난을 실시하지 않기 때문에 제연의 요구기준에 맞도록 제연설비가 지속적으로 가동되어야 한다.

그림 6에서 1층부터 8층은 아트리움으로 개방되어 있고, 9층부터 12층은 피난을 위해 아트리움 발코니를 사용한다. 공학적인 분석방법에 따라 12층 발코니(아트리움에서 이동통로가 있는 가장 높은 층)의 바닥면에서 6ft(1830mm) 높이 이하로 연기층이 하강하지 않도록 유지할 수 있는 효율적인 제연설비를 설계할 수 있다. 12층 위와 아트리움 천정아래 공간에 축적용량이 거의 없기 때문에 화재초기에 제연설비를 이용하여 연기를 제거해야 한다. 그림 8과 비교해 보면 10층에서 12층 사이는 피난을 위해 아트리움측 발코니를 사용하지 않는다. 따라서 아트리움 천장에서 10층까지 연기층이 하강하는데 시간이 소요되기 때문에 제연설비 설계에 여유가 있다.

그림 8의 아트리움 공간에서필요한 제연설비의 용량을 구하는 방법을 예를 들어 설명하고자 한다.

그림 8의 아트리움 건물은 높이가 12층이고, 5층은 아트리움에 개방되어 있고, 9층은 아트리움 접하며 발코니가 있는 층중 가장 높은 층이다. 또한 아트리움 천장높이는 120ft(36.6m)이고, 100ft×200ft(30.5m×61m) 크기의 직사각형이며 업무용도와 유사한 화재하중을 가지고 있다고 가정한다.

아트리움 천장부에 설치된 스포트형 감지기에 의하여 제연설비를 가동되고 화재경보를 발령하기를 원한다면 설계화재강도에서 연기가 천장에 도달하는지 또는 천장 아래의 특정한 거리에서 단층화가 발생되는지 확인해야 한다. 연기의 단층화는 상승기류의 온도가 주변공기온도와 동일하고, 화염이 연기층을 더 높게 밀어 올리기 위한 에너지를 가지고 있지 않은 경우에 발생한다. 아트리움에서 화재플룸 중심선의 온도가 주변 온도와 동일한 높이를 결정할 수 있는데 연기의 단층화는 바로 그 높이에서 발생한다고 할 수 있다.

제연설비가 작동한 후에는 제연설비에 의해 생성된 차압 및 공기흐름에 비해 연기의 부력은 무시할 수 있기 때문에 연기의 단층화는 문제가 되지 않는다. 그러나 연기의 단층화는 화재가 발생된 후 제연설비가 기동하기까지 상당한 악영향을 끼칠 수 있다. 따라서 화재발생 시 아트리움 내 조건에 상관없이 신속하게 감지하여 제연설비를 작동시키기 위한 감지기를 선택해야 한다. 연기입자발생으로 인한 수광량의 감소로 화재를 감지하는 광전식 분리형 감지기를 유효한 곳에 설치하면 연기층, 또는 연기 플룸을 신속하게 감지할 수 있으므로 아트리움 내 초기화재감지에 높은 신뢰성을 제공할 수 있다.

여기서는 아트리움 내 이동통로가 있는 가장 높은 층 바닥으로부터 6ft 높이 이하로 연기층이 내려가기 전에 제연설비를 작동시키고, 화재가 발생된 이후 즉시 경보를 발령할 수 있도록 광전식 분리형 감지기가 설치되어 있다고 가정한다.

업무용도의 화재하중과 동일하게 가구배치가 되어있는 경우 단위 바닥면적당 열방출률은 20Btu/ft2-s, 열방출률(Q)은 5000 Btu/s이고, Qc는 열방출률의 70%이며, 이를 이용하여 아트리움 내 연기층 높이를 86ft 이상(즉, 아트리움 내 이동통로가 있는 가장 높은 바닥면에서 6ft 높이이며, 이 경우에는 80ft 층고의 9층 발코니임)으로 유지하는데 필요한 체적배기량을 계산할 수 있다. 또한 아트리움 바닥중앙에 화원을 배치하여 축대칭 화재플룸의 크기를 계산할 수 있다(그림 9. 참고).

**화염높이 $z_l = 0.533\ Qc^{2/5}$**

**$z_l$ = 화염높이(ft)**

**Qc = 열방출율 Q의 70%에 해당하는 열방출율(Btu/s)의 대류부분**

**Qc = 0.7(5000 Btu/s) = 3500 Btu/s이며 공식에 대입하면**

**zl = 0.533(3500)2/5 = 13.9 ft**

바닥으로부터 86ft 높이의 연기층 경계면을 가지고 있으며 화염높이는 연기층 높이보다 낮다.

따라서 다음과 같이 연기층 경계면 높이에서 연기발생률을 구할 수 있다.

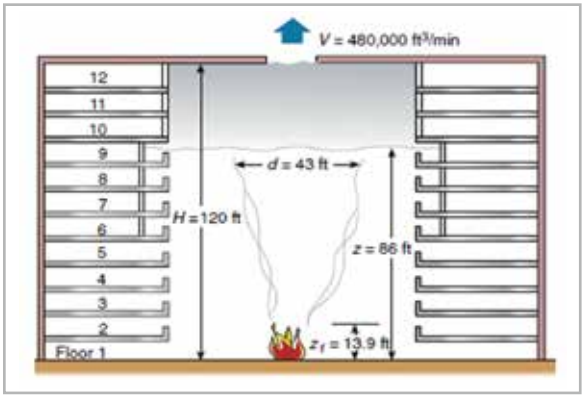



그림 9. 축대칭 화재플룸과 연기층

$m = [0.022\ Qc^{1/3}\ z^{5/3}] + 0.0042\ Qc$ (for z = zl)

m = 연기층 경계면의 높이에서 연기 발생률 (lb/s)

Qc = 열방출률의 대류부분(Btu/s)

z = 연기층 경계면의 높이(ft)=86ft(즉, 이동통로표면 80ft 위의 6ft)

$m = [0.022(3500)^{1/3}(86)^{5/3}] + 0.0042(3500) = 574$ lb/s

연기배출량과 연기발생량이 같다면 연기층이 설계높이(즉, 86ft 높이) 이하로 하강되지 않으므로 아트리움와 연결된 모든 발코니와 이동통로는 화재상황에서 안전한 상태로 유지될 수 있다.

연기발생률을 체적 유량으로 변환하기 전에 배출된 단계에서의 연기밀도를 구하기 위해서 배출시 연기주변의 상승온도를 계산해야 한다. NFPA 92 표 D.1.3의 Note에서 설명한 바와 같이 총 열손실계수가 0일 경우 온도가 최대로 상승한다. 총 열손실계수를 0으로 설정하고, 표 D.1.3에서의 환기단계 온도상승공식을 사용하여 다음과 같이 ΔT를 결정한다.

$\Delta T = 60\ Qc / (\rho cV)$

NFPA 92의 공식 5.5.5에서 나타난 대로 다음과 같이 간소화될 수 있다.

$\Delta T = Qc / (mc)$

ΔT = 배기시 연기주변의 상승온도(°F)

c = 0.24 Btu/lb−°F, 연기와 공기가 같다고 가정할 경우 연기의 비열

계산하면,

$\Delta T = 300 / [574\ (0.24)] = 25$°F

즉, 주변온도가 68°F라고 가정하면 연기온도는 Ts = 25+68 = 93°F이다.

NFPA 92의 식 5.8a를 사용하여 93°F에서의 연기밀도는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$\rho = 144Patm / [R\ (T+460)]$

ρ = 가열된 연기밀도(lb/ft³)

Patm = 대기압(lb/in2) (예제에서 표준대기압 14.7 lb/in.²사용)

R = 가스상수 (53.34)

대입하면 $\rho = [144\ (14.7)] / [53.34\ (93+460)] = 0.0717$ lb/ft³

연기발생률은 다음과 같이 NFPA 92의 식 5.7a를 사용하여 체적유량(V, ft³/min)으로 변환할 수 있다.

$V = 60m / \rho = [60\ (574)] / 0.0717 = 480{,}335$ ft³/min

앞의 계산에서 연기층 하강높이인 86 ft에 도달하기 전에는 연기플룸이 아트리움의 벽에 닿을 정도로 넓어지지 않았다고 가정한다. 또한 플룸으로의 추가적인 공기유입이 접촉지점 상부에서는 무시할 수 있는 것으로 간주되기 때문에 설계 높이 이상에서는 연기가 발생되지 않는다고 가정할 수 있다. 상부로 넓어지는 형상을 가지고 있는 플룸이 아트리움 벽과 접촉했는지 확인하기 위해 NFPA 92의 식 5.5.4.1을 사용하여 다음과 같이 연기층 높이에서 축대칭 플룸의 직경(d)을 예측할 수 있다.

$d = 0.5z = 0.5(86) = 43$ft

100ft×200ft 넓이의 아트리움에서는 연기층 경계면의 설계높이인 86ft에 도달하기 전에 연기가 벽에 닿지 않기 때문에 기계설비의 배출량이 약 480,000 ft³/min로 결정된다.

**NFPA 101 Life Safety Code 8.6.7 Atriums**

(6) 기존에 준공된 제연설비를 제외하고, (5)의 요구사항을 충족하는 제연설비를 설치하는 경우 아래의 조건에서 각각 기동되어야 한다.
(a) 아트리움 내부 또는 아트리움과 면한 개방공간에서 스프링클러설비가 작동할 때
(b) 소방대가 쉽게 접근할 수 있는 수동제어장치

(6)항은 (5)항의 제연요구사항에 따라 설계된 제연설비의 기동방식에 대하여 다룬다. 아트리움 너비가 크고, 아트리움과 개방된 층이 없으며, 아트리움과 면하여 피난통로가 없는 건물에서 대규모 아트리움 공간 내에 연기가 충분히 축

적된다면 기계적인 설비없이도 제연의 기능을 충족할 수 있다. ⑸항에서 요구하는 공학적 분석의 목적은 적정한 제연설비의 유형을 결정하기 위함이다.

발신기, 소화설비 및 화재감지기와 연동하여 제연설비를 기동시키는 경우 설비가 빈번하게 동작될 수 있다. 따라서 제연설비가 실제로 필요할 때만 기동하도록 연동기능을 설정해야 한다.

또한 발신기의 작동을 통한 화재경보와 연동하여 아트리움 제연설비를 동작시키는 경우에는 의도하지 않은 방식으로 제연설비가 가동될 수 있다. 예를 들어, 아트리움 내 6층 발코니에 위치한 점유자가 아트리움을 통하여 3층에서의 화재를 발견하는 경우, 그 점유자가 6층 계단측에 설치된 발신기를 동작시킨다면 경보시스템은 화재가 6층에서 발생된 것으로 인지하고, 실제 화재층인 3층은 비화재층으로 판단할 수 있다. 이러한 경우 제연설비가 6층은 배기, 3층은 급기모드로 동작하게 되며 결과적으로 3층에서 발생된 연기가 아트리움 공간을 통하여 6층으로 이동하게 된다. 이러한 이유로 NFPA 92에서는 연기감지기 및 스프링클러설비와 같은 자동식설비와 연동하여 제연설비를 동작시키도록 요구한다. 즉, 제연설비는 점유자가 접근할 수 있는 위치에 설치된 발신기에 의하여 동작되어서는 안된다. 수동기동에 따른 제연설비의 동작은 ⑹(b)항에 따라 소방대에 의한 수동기동으로만 가능하며, 수동기동장치는 소방대가 쉽게 접근할 수 위치에 설치되고, 제연설비의 작동방식은 비상대응요원의 특정 요구에 맞게 변경 및 조정될 수 있다.

## 4. 결론

아트리움공간에 대한 인명에 대한 안전성을 높이기 위하여 NFPA 101 Life Safety Code에서 권장하는 사항을 요약하면 다음과 같다.

1. 아트리움은 인접부분과 방화구획하거나 유리벽체에 스프링클러헤드가 살수되는 개념의 방연구획을 적용할 수 있다.
2. 아트리움 내부에는 급격한 속도로 연소하거나 폭발 가능성이 있는 물품을 비치해서는 안된다.
3. 아트리움 내부에 가연물이 위치할 경우에는 아트리움 내부에도 스프링클러헤드를 설치해야 하며 층고가 높은 아트리움 천장에도 필요시에는 스프링클러헤드를 설치해야 한다.
4. 아트리움 내부에는 초기화재 시 감지의 신속성 및 신뢰성을 높이기 위하여 적정한 높이에 광전식 분리형 감지기를 설치해야 한다.
5. 아트리움 내 축연공간이 충분한 경우 제연설비가 면제되지만 그렇지 않을 경우에는 공학적인 분석 방법에 의하여 적정한 용량의 제연설비를 설치해야 한다.

아트리움은 기능적인 측면에서 많은 장점이 있지만 화재 시에는 급격한 연소확대, 연돌효과, 경보시스템 및 소화시스템 작동지연 등의 문제가 발생될 수 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 해외사례 및 관련 기준을 조사 및 연구하여 신축건물에 적용 가능한 아트리움 방재기준의 마련이 필요하다.

### 참고문헌


1. NFPA 101 Life Safety Code, 2018 Edition
2. NFPA 101, Life Safety Code Handbook, 2015 Edition
3. 윤광노, 안성모, 국내 복합상업시설 아트리움의 공간특성 연구, 한국공간디자인학회논문집, 2015
4. 이강훈, 아트리움 건물의 화재안전에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 1994

그림 1. 웨스트필드: http://www.wikiwand.com/en/Westfield_London
그림 2. 휴스톤갤러리아: http://ru-wallp.com/view/95/
그림 3. 이튼센터: https://toronto.uli.org/event/members-tour-cf-toronto-eaton-centre/
그림 4. 삿포로팩토리: https://www.japan-guide.com/e/e5314.html

## 연구분석
Research





**오용하** 대리
손사위험팀
코리안리재보험(주)

1. 들어가며
2. 사고예방을 위한 제언
3. 마치며

# 석유화학사업장 사고예방을 위한 제언

## 1. 들어가며

석유화학 사업장은 기본적으로 인화성물질을 다량 보관하고 처리한다. 대부분 공정은 인화성물질을 고온/고압 환경하에서 가스가 아닌 포화(Saturation) 조건으로 다루므로 누출이 발생할 경우 그 양이 매우 많으며 화재/폭발로 연계될 가능성도 높다.

또한 화재 시 높은 발열량으로 인하여 피해범위가 넓고 피해반경이 좁은 경우에도 높은 설비 집적도로 인하여 손실액이 클 수 있다. 사업장 내 수많은 Bottle-neck Point를 가지고 있으므로 단일설비 및 일부 공정의 사고에도 사업장 전체가 가동중지될 수 있다.

이러한 특성을 가진 석유화학 사업장의 회전/고정장치 및 제어설비들은 일반사업장에 비하여 복잡하게 설계되며 연속공정의 특성상 즉각적인 점검/보수가 어려우므로 검사/정비를 수행함에 있어 보다 전문적인 기술이 필요하다. 따라서 적절한 경력을 보유한 전문인력을 확보해야 하며 지속적인 교육프로그램을 운영하여야 한다. 구성원들이 수행하는 수많은 검토/작업이 일정수준을 유지하고 위험요소를 놓치지 않도록 체계적인 절차수립과 각 구성원의 양호한 준수수준이 요구되며 이를 주기적으로 확인할 수 있는 내/외부 Audit이 필요하다.

막대한 재산손실을 일으키고 인명피해를 동반할 확률이 높은 석유화학사업장의 사고를 방지하기 위하여 보험사를 포함한 각계에서는 최신 국제기준 및 연구결과를 바탕으로 권고사항(Recommendation)을 제안하고 있다. 또한 다양한 사고사례를 바탕으로 권고사항이 제안되기도 한다. 다음은 석유화학 사업장의 안전설비, 절차에 관하여 자주 언급되는 주요 권고사항을 사고사례와 연계하여 제언형태로 정리한 내용이다.

## 2. 사고예방을 위한 제언

### 2.1 비상차단밸브

석유화학 사업장에서의 비상차단밸브(EIV, Emergency Isolation Valve)는 대량의 인화성 물질(또는 독성물질)을 보관하는 설비에 적용되며 보통 저장설비 Outlet Line의 Control Valve나 Pump의 전단에 설치된다. 대량의 인화성 물질이 누출되거나 화재가 발생하면 운전원의 접근이 어려워 Manual Valve는 역할을 할 수 없으므로 통상적으로 Control Room이나 현장의 Local Control Panel에서 원격제어가 가능한 형태를 의미한다.

비상차단밸브는 설비파손으로 1차 누출이 일어났을 때 2차 대량누출을 방지하거나 1차 화재/폭발이 발생하였을 때 후속 대형화재/폭발로 연계되는 것을 방지하는 목적으로 설치된다.



**사고사례 1**

1) Year of Loss: 2005년
2) Location: United States
3) Occupancy: NCC(Naphtha Cracking Center)
4) Type of Incident: Vapor Cloud Explosion (Propylene 누출)
5) Cause of Loss
   - Failed Equipment: C3 Splitter Propylene Product Pump의 Strainer Drain Valve
   - 지게차가 공정지역 내에서 운행 중 C3 Splitter에 설치된 Propylene Product Pump의 Strainer Drain Valve를 건드리면서 Valve가 파손된 후 Propylene 누출
6) Incident Description
   - 지게차가 Pipe Rack 하부에서 이동중 실수로 C3 Splitter에 설치된 Propylene Product Pump의 Strainer Drain Valve를 건드리면서 Valve가 파손되었으며, 다량의 Propylene이 누출되어 Liquid Pool 및 Vapor Cloud가 형성됨
   - Control Room의 운전원이 CCTV로 확인 후 Unit Shut-down을 실시하였으며 현장 운전원이 MCC(Motor Control Center)에서 Pump를 정지시키고 Strainer 후단의 Control Valve를 원격으로 닫는 조치를 취함
   - C3 Splitter로부터의 누출을 멈추기 위하여 Pump 전단의 Manual Valve에 현장 운전원이 접근하였으나 Valve를 잠그는 것에 실패하였고 지속적으로 누출이 발생함
   - 결과적으로 VCE(Vapor Cloud Explosion)가 발생하였으며 2차 화재로 이어져 5일간 지속 후 진압됨

상기 사고에서 Splitter 하부 즉, Pump 전단에 원격제어가 가능한 비상차단밸브를 설치하였다면 대형사고로 확대되는 것을 방지할 수 있었다. 따라서 보관물질, 운전조건 및 누출에 따른 파급효과를 고려하여 적절한 위치에 비상차단밸브를 설치해야 한다. 비상차단밸브는 통상적으로 LPG와 같은 인화점이 매우 낮은 물질이나 자신의 인화점보다 높은 온도에서 보관/처리되고 있는 석유화학물질을 일정량 이상 보관하고 있는 설비에 설치가 권장되며 이외에도 운전조건에 상관없이 석유화학물질 보관량이 많은 대형용기 및 파손 시 대량누출이 예상되는 대형 배관에도 설치된다.

비상차단밸브 Body, Motive Power Supply(AOV (Air Operation Valve)의 경우 Instrument Air, MOV(Motor Operation Valve)의 경우 전력) 및 제어설비는 화재에도 견딜 수 있도록 내화처리되어야 하며, Safety Position(FC, Fail Closed)도 적용되어야 한다. 그리고 현장에서 비상차단밸브를 원격 가

동할 수 있는 Local Control Panel은 화재 시에도 접근 가능하도록 비상차단밸브로부터 12m 이상 떨어진 곳에 설치하는 것이 권장된다.

국내 석유화학사업장의 경우 일부는 비상차단밸브 설치기준을 전사 규정으로 제정하여 적용하고 있으나 일부 사업장은 신규건설 Project에 한하여 기본설계사의 Philosophy에 따른 부분적용에 그치기도 한다. 각 사업장은 전사규정으로 비상차단밸브 설치기준을 명문화하고 기존 공정에 대해서도 재검토를 실시하여 비상차단밸브가 요구되는 곳에 대정비(TA, Turn-around) 기간을 이용하여 추가설치하는 것이 필요하다.

### 2.2 변경관리

석유화학사업장에서는 원유종류, 제품규격, 법령 등이 변경되거나 제품수율 향상, 에너지절감, 노후설비개선 등의 목적으로 끊임없이 변경 작업이 발생한다. 이런 변경 작업이 적절한 절차에 의하여 관리되지 않거나 반드시 필요한 평가 없이 수행된다면 다량의 위험물질을 취급하는 석유화학사업장에서 큰 사고를 유발할 수 있다. 따라서 변경 작업은 반드시 변경관리(MoC, Management of Change)를 통하여 다루어져야 한다.

**사고사례 2**

1) Year of Loss: 1974년
2) Location: United Kingdom
3) Occupancy: Caprolactam 생산
4) Type of Incident: Vapor Cloud Explosion(Cyclohexane 누출)
5) Cause of Loss
   - Failed Equipment: Reactor Bypass 목적 임시 Bellows 배관
   - Reactor 사이에 설치한 임시 Bellows 배관이 파손되면서 Nozzle에서 Cyclohexane 누출
6) Incident Description
   - 당 사고는 Cyclohexane을 원료로 6개의 직렬반응기에서 Caprolactam을 생산하는 사업장에서 발생함
   - 정상운전 중 5번 반응기에서 1.8m의 Crack이 발생하여 Cyclohexane이 누출되었고 이어서 비상가동정지 실시됨
   - 점검 후 Crack이 발생한 5번 반응기를 제외하고, 4번과 6번을 임시 Bypass 배관을 설치하여 직접 연결하도록 결정하였음. 당시 정상배관(28")을 적기에 수급할 수 없어 20" 임시 Bellows 배관을 설치하여 가동을 개시함



– 운전가동 후 온도, 압력을 상승시키는 과정에서 Bellows 배관이 파손되어 양쪽 Nozzle에서 대량(약 200 ton)의 Cyclohexane이 누출되었고 VCE가 발생함

상기 사고사례의 경우 임시배관을 설치하는 '변경 작업'을 실시함에 있어 '변경관리' 절차를 수행하지 않았다. 변경관리절차를 따랐다면 필수적으로 위험성평가가 실시되었을 것이며 임시 Bellows 배관이 해당 위치에서 기계적 건전성을 유지할 수 없을 것이라는 결론이 도출되었을 수도 있다.

변경관리가 강조되는 이유는 어떤 변경 작업이든 변경관리 절차로 들어오게 되면 사전에 마련된 각 Gate(변경관리 등급 구분, 변경/단순교체 판명에 따른 위험성평가 수행여부 결정, 각 분야별 기술검토, 모든 담당자가 참여하는 위험성평가, 법령검토 및 상세설계단계에서의 검증)를 통과하면서 검증되고 정제되며 그로 인하여 예상치 못한 위험의 발생을 억제할 수 있기 때문이다.

변경관리에는 주요 공정설비추가, 성능개선 뿐 아니라 제어시스템, 운전절차, 운영조직, 운전조건 및 원료 또는 생산품의 변경도 포함되어야 한다. 아래는 원료배합 변경을 변경관리로 다루지 않아 위험성평가가 누락되었고, 결과적으로 폭발사고로 이어진 사고사례이다.

**사고사례 3**

1) Year of Loss: 2006년
2) Location: United States
3) Occupancy: Paint Additive(Acrylic Polymer) 생산
4) Type of Incident: Vapor Cloud Explosion(Acrylic Monomer, Solvent 누출)
5) Cause of Loss
   – Failed Equipment: Acrylic Polymer Reactor
   – Batch Reactor의 Feed Recipe 변경으로 예상하지 못한 폭주반응 발생 후 Acrylic Monomer 및 Solvent 누출
6) Incident Description
   – Acrylic Monomer와 Solvent를 Batch Reactor에서 반응시켜 Acrylic Polymer를 생산
   – Batch Reactor에서는 반응열 생성으로 Solvent가 증발하며 이는 상부의 Condenser에서 응축됨
   – 사고발생 당시 새로운 원료배합이 도입되었고 평소보다 과량의 원료가 Batch Reactor에 투입되었음. 이로 인하여 예상치 못한 폭주반응이 발생하였고 Reactor의 압력이 급격히 증가함(반응속도가 증가하여 반응열 생성도 빨라지면 Solvent 증발량이 증가하고 Condenser에서 응축량도 증가하여 순간적으로 Condenser Duty가 부족해 질 수 있으며(Condenser 관리부실로 인한 Fouling에 의하여 더욱 배가됨) 이는 Reactor 압력증가로 이어짐)
   – 압력증가에 따라 비교적 취약한 Manhole 틈새로 Gas가 누출되기 시작하였고 비상조치를 취하였지만 VCE가 발생함

물리적인 설비 변경과 마찬가지로 원료배합 변경, 온도/압력 등의 운전조건 변경 및 조직 변경은 공정안전에 지대한 영향을 미치지만 간과되기 쉬운 항목이며 국내 사업장에서도 변경관리로 다루지 않는 사례가 많다. 각 사업장에서는 공정운전에 영향을 미치는 어떠한 요소라도 변경이 필요할 경우에는 반드시 변경관리 적용이 필요한 사항인지 확인해야 한다.

## 2.3 Isolation Procedure

앞서 소개한 변경작업을 실시할 경우 필연적으로 시스템에서 특정설비를 격리(Isolation) 시키거나 Pump 등 회전기계와 Valve류가 작동하지 못하도록 하는 불활성화(De-energizing) 조치가 필요하다. 또한 정상운전 중에도 Valve의 용도에 따라 Lock Open, Lock Closed를 구분하여 관리해야 하며 Blind 투입상태도 List로 관리가 필요하다. 격리조치 및 Valve의 열림/닫힘 관리가 철저해야 설비, 배관 내 가연물 누출에 의한 화재/폭발사고를 방지할 수 있다. 이와 같은 격리, 열림/닫힘 관리에 대한 절차를 통틀어 Isolation Procedure라 일컬으며 아래의 사고사례에서 그 중요성을 확인할 수 있다.

**사고사례 4**

1) Year of Loss: 1996년
2) Location: Mexico
3) Occupancy: Gas Separation Plant
4) Type of Incident: Vapor Cloud Explosion (LPG 누출)
5) Cause of Loss
   - Failed Equipment: LPG Product Pump의 Suction Line MOV
   - 정비작업 완료 후 Flange 체결 중 Suction Line MOV가 갑작스레 개방되어 LPG 누출
6) Incident Description
   - 당 사고는 LPG Product Pump의 정비작업 중 발생함
   - LPG Product Pump 2대중 1대에서 Pump Seal Leak가 발견되었으며 교체작업이 실시됨
   - Pump Seal 교체를 위하여 Suction Line의 MOV와 Discharge Line의 Manual Block Valve를 닫았고 Pump의 Suction Nozzle Flange에 Blind를 삽입하였음
   - Seal 교체완료 후 Blind를 제거하였고 Suction Line Flange와 Pump의 Suction Nozzle Flange를 연결하던 중 MOV가 갑작스럽게 열리면서 LPG가 누출됨
   - 결과적으로 VCE가 발생하였고 화재는 3시간 지속됨

상기 사고는 MOV의 전력공급을 차단하지 않고 작업을 실시한 것이 가장 큰 원인으로 판단된다. 위와 같은 작업 시 MOV의 Motive Power 즉 전기공급은 MOV에 설치된 Local Switch와 MCC의 Panel에 설치된 Switch를 모두 Close하여 차단해야 한다(Double Isolation). 이 Switch는 자물쇠 등을 이용하여 잠금 고정시키고(Lock-out), 조작금지 Tag를 붙여 표기(Tag-out)해야 한다. 또한 여러 부서의 담당자 모두가 개별적으로 상태점검 후 Switch가 조작될 수 있도록 자물쇠는 Multi-Padlock 사용이 권장된다.

2017년에도 동일한 원인으로 인한 폭발사고가 해외사업장에서 발생하였다. 이번에도 Pump Seal 교체작업 완료 후 Flange 체결 중이었으며, MOV의 개방버튼을 잘못 건드려 갑작스럽게 고온의 Naphtha가 누출되었고 VCE가 발생하였다. 국내의 많은 석유화학사업장에도 Isolation Procedure가 마련되어 있다. 하지만 미준수 사례가 종종 발견되며 동일 회사의 각 사업장마다 세부적용 수준이 다르기도 하다. LOTO(Lock-out, Tag-out)는 단순하지만 강력한 사고예방 수단이므로 철저한 준수가 요구된다.

## 2.4 소방용수 공급

석유화학사업장에서 발생 가능한 VCE 등의 폭발사고는 사고발생 징후가 사전에 발견(현장의 가스감지기가 누출가스를 감지하는 경우 등)되더라도 일반적인 소방설비로는 즉각적인 대응이나 손해경감조치가 쉽지 않다. 하지만 2차 화재 및 폭발의 경우에는 타 업종에서 통용되는 소방설비가 여전히 유효하다. 즉 소방용수가 적절히 공급되고 설치된 소방설비가 정상적으로 작동한다면 대형사고 확대를 방지하고 손해를 경감시킬 수 있다.

**사고사례 5**

1) Year of Loss: 1989년
2) Location: United States
3) Occupancy: PE(Polyethylene) 생산
4) Type of Incident: Vapor Cloud Explosion (Ethylene, Isobutane 누출)
5) Cause of Loss
   - Failed Equipment: PE Loop Reactor Bottom의 Pneumatic Ball Valve
   - Pneumatic Ball Valve의 Activation Air Connection이 반대로 연결되어 예기치 않게 Valve 개방 후 Reactor 내용물(Ethylene, Isobutane) 누출
6) Incident Description
   - 당 사고는 PE Loop Reactor의 정비작업 중 발생함. 정비작업 전 PE Loop Reactor 하부의 Pneumatic Ball Valve를 잠그고 Activation Air Line을 분리하여 Lock-out 조치함
   - 현장작업 완료 후 당 Valve에 Activation Air를 재연결하는 과정에서 Air Connection의 Open/Close위치를 바꾸어 연결하는 실수가 발생함
   - 결과적으로 Valve가 의도치 않게 개방되어 인화성 물질이 대량 누출되었고 VCE가 발생하였으며 2차 화재로 이어짐
   - 2차 화재가 인근 Ball Tank의 BLEVE(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)를 유발하여 총 6번의 폭발로 이어짐

상기 사고에서 얻을 수 있는 가장 중요한 교훈은 3장에서 이미 논의된 Isolation Procedure 정립 및 준수에 관한 것이다. 여기서 추가적으로 주목할 점은 사고설비 및 인근 Ball Tank에 정상적으로 소방용수가 공급되었다면 여러 차례의 2차 폭발을 방지할 수 있었다는 점이다.

해당 사업장에는 소방용수공급을 위하여 Motor Pump 1대와 Engine Pump 2대가 설치되어 있었다. 단, 사고 당시 Motor Pump의 전원케이블은 손상되어 구동이 불가하였고, Engine Pump도 수리 및 연료부족으로 마찬가지로 구동하지 못하였다. 정전 시에도 소방용수가 공급 가능하도록 Motor Pump와 Engine Pump를 혼합하여 설치하였음에도 관리소홀로 소방용수가 제때 공급되지 못한 사례이다. 화재 시 소방용수가 원활히 공급되도록 아래 NFPA Standard에 의거하여 소방용수펌프를 주기적으로 테스트하고 관리해야 한다.

*NFPA 25, 8. Fire Pumps*

*8.1 General*

*8.1.1 Minimum Requirements.*

*8.1.1.1 This chapter shall provide the minimum requirements for the routine inspections, testing, and maintenance of fire pump assemblies.*

*8.1.1.2 The minimum frequency of inspections, testing, and maintenance shall be in accordance with the manufacture's recommendations and Table 8.1.1.2.*

*…*

*8.3 Testing.*

*8.3.1 Frequency*

*8.3.1.1 A no-flow test shall be conducted for diesel engine–driven fire pumps on a test frequency in accordance with 8.3.1.1.1 or 8.3.1.1.2.*

*8.3.1.1.1 Except as permitted in 8.3.1.1.2, a weekly test frequency shall be required.*

*8.3.1.1.2 The test frequency shall be permitted to be established by an approved risk analysis.*

*8.3.1.2 A no-flow test shall be conducted for electric motor–driven fire pumps on a test frequency in accordance with 8.3.1.2.1, 8.3.1.2.2, 8.3.1.2.3, or 8.3.1.2.4.*

*8.3.1.2.1 Except as permitted in 8.3.1.2.2 and 8.3.1.2.3, a weekly test frequency shall be required for the following electric fire pumps:*

*(1) Fire pumps that serve fire protection systems in buildings that are beyond the pumping capacity of the fire department*

*(2) Fire pumps with limited service controllers*

*(3) Vertical turbine fire pumps*

*(4) Fire pumps taking suction from ground level tanks or a water source that does not provide sufficient pressure to be of material value without the pump*

*8.3.1.2.2 A monthly test frequency shall be permitted for electric fire pumps not identified in 8.3.1.2.1.*

*8.3.1.2.3 A monthly test frequency shall be permitted for electric fire pumps systems having a redundant fire pump.*

*8.3.1.2.4 The test frequency shall be permitted to be established by and approved risk analysis.*

*8.3.1.3 An annual flow test shall be conducted in accordance with 8.3.3*

Table 8.1.1.2 Summary of Fire Pump Inspection, Testing, and Maintenance

| Item | Frequency | Reference |
|---|---|---|
| **Test** | | |
| Automatic transfer switch and emergency/standby generators | Per NFPA 110 | 8.3.6.1 and 8.3.6.2 |
| Diesel engine–driven fire pump | Weekly | 8.3.1.1 |
| Diesel fuel testing | Annually/ Semiannually | 8.3.4 |
| Electric motor–driven fire pump | Weekly/ Monthly | 8.3.1.2 |
| Electronic control module(ECM) | Annually | 8.3.3.13 |
| Fire pump alarm signals | Annually | 8.3.3.10 |
| Fuel tank, float switch, and supervisory signal for interstitial space | Quarterly | 8.1.1.2.7 |
| Main relief valve | Annually | 8.3.3.8 |
| Power transfer switch | Annually | 8.3.3.9 |

| | | |
|---|---|---|
| Pump houseroom environmental conditions | | 8.3.6.3 |
| Pump operation(no flow) | | 8.3.1 |
| Pump performance(flow) | Annually | 8.3.3 |
| Supervisory signal for high cooling water temperature | Annually | 8.1.1.2.8 |

더구나 당 사업장의 소방용수는 전용배관이 아닌 Pipe Rack을 지나는 공정용수배관을 통하여 공급되는 형태였다. 폭발로 인하여 당 용수배관이 손상을 입었고 따라서 원활한 소방용수 공급이 지연되었다. 소방용수공급 신뢰도 확보를 위하여 기본적으로 소방용수와 공정용수 공급계통은 분리하는 것이 바람직하며 폭발사고의 가능성이 있는 사업장에서는 소방용수 배관을 Underground 배관으로 설치하여 폭발로 인한 손상을 방지해야 한다.

## 2.5 Interlock Bypass Procedure

Interlock System은 공정의 안정적인 운전과 제어 실패로 인한 화재/폭발위험을 방지하기 위하여 설치되며 기본적인 공정제어 System과 구분/독립되어 운영된다. 운전중 정비작업 등 부득이한 경우를 위하여 Interlock을 Bypass 할 수 있는 기능이 부여되며 관리자(교대장, 팀장, 공장장 등)의 승인을 득하여 Interlock Bypass가 실행된다.

만약 관리자의 승인 없이 운전원 단독판단으로 Interlock Bypass가 실시된다면 예상하지 못한 사고에 직면할 수도 있다. 아래 사례를 살펴보자.

**사고사례 6**

1) Year of Loss: 2004년
2) Location: United States
3) Occupancy: VCM(Vinyl Chloride Monomer) 생산
4) Type of Incident: Vapor Cloud Explosion (VCM 누출)
5) Cause of Loss
   - Failed Equipment: PVC Reactor의 Bottom Valve
   - Cleaning 중인 PVC Reactor Ⅰ과 운전 중인 PVC Reactor Ⅱ를 혼동한 운전원이 운전중인 PVC Reactor Ⅱ의 Bottom Valve를 허가 없이 Interlock Bypass 후 개방하여 VCM 누출
6) Incident Description



– PVC Reactor의 Cleaning 진행을 위하여 Reactor Bottom Valve를 개방하려던 현장근무자가 운전 중인 PVC Reactor Ⅱ를 PVC Reactor Ⅰ으로 착각하고 Valve 개방을 시도함
– 당시 Valve에 Interlock이 걸려있어 개방되지 않았음. 이는 Reactor 압력이 일정수치 이상이면 안전을 위하여 Reactor Bottom Valve가 열리지 않도록 조치되어 있었던 것임. 단, 비상시를 대비하여 Interlock Bypass가 설정되어 있었음
– 현장근무자는 Interlock System이 고장난 것으로 오판하였고, 이에 당시 부재중이었던 Supervisor의 허가 없이 Interlock Bypass 실시 후 Valve 개방함
– Valve 개방과 동시에 Reactor 내부물질이 누출되었고 결과적으로 VCE 및 화재발생

당 사고는 현장 운전원의 단순한 설비착각, 잘못된 상황판단 및 심각한 규정위반행위가 누적되어 대형폭발로 이어진 경우이다. 이 사고는 우선적으로 운전원에게 책임이 있겠으나 타 사고 사례와 마찬가지로 여러 요소를 조합하여 사전에 구조적으로 예방할 수 있었던 경우로 볼 수 있다. 우선, 현장 운전원이 단독으로 Interlock Bypass를 할 수 없도록 물리적 차단장치가 필요하였으며, Interlock Bypass Procedure 상세절차 및 위반시 처벌규정에 대하여 철저히 교육했어야 했다. 또한 승인자 부재 시 업무대행에 대한 명확한 규정이 필요하였고, Reactor Cleaning시 운전원이 선택한 Valve를 개방하는 현 절차(운전원 실수로 인한 사고위험성 존재)에 대한 사전 위험성 검토가 필요했다.

일반적으로 Interlock Bypass는 별도의 Log Book으로 관리되며 지정된 관리자의 검토와 승인이 권고된다. Bypass 기간이 첫 번째 기한을 초과하면 승인권자가 상향 조정되고 두 번째 기한에 이르면 변경관리(MoC)로 처리하여 적합한 위험성평가가 수행되도록 한다. 이 모든 절차는 내/외부 Audit을 통해 주기적으로 점검되어야 하며 발견된 미비사항은 즉시 수정되고 관련 구성원들을 대상으로 전파/교육이 필요하다.

## 3. 마치며

석유화학사업장에는 상기 기술된 권고사항 외에도 다양한 영역에서 권고사항이 도출되고 정교화 되고 있다. 석유화학사업장의 설비 신뢰도에 가장 큰 영향을 미치는 Inspection 분야의 RBI(Risk Based Inspection), PMI(Positive Material Identification), CUI/CUF(Corrosion Under Insulation/Fireproofing) 뿐 아니라 Alarm Management, HAZOP(Hazard & Operability) 과 같은 위험성 평가 및 개선분야 그리고 Work Permit, Shift Hand-over, SOP(Standard Operating Procedure), PSSR(Pre Start-up Safety Review), Emergency Plan 등 절차/제도분야의 항목들이다.

석유화학사업장에서 누출 등으로 인한 화재/폭발사고가 발생할 경우 심대한 설비손상 및 장기간 가동정지로 인한 경제적 손실 외에도 치명적인 인명사고의 위험도 매우 크다. 따라서 법령, International Standard 및 사고사례를 바탕으로 끊임없는 문제점 도출과 개선이 요구되며 보험사에서 각 사업장에 제공하는 권고사항도 적절히 반영되어 사고위험이 감소하기를 기대한다.

### 참고문헌


• The RISK Vol.6, 연구분석, 석유화학플랜트의 사고예방을 위한 효율적인 변경관리, 안전보건공단 이근원 소장
• NFPA 25 Standard for the Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems

## 사고분석
Lessons Learned





**최우일** 수석
공학박사
LIG시스템 위험관리본부

1. 산사태 및 토석류
2. 인공사면의 붕괴
3. 결 언

# 산사태와 인공사면붕괴의 위험관리방안

2018년 7월 한반도를 내습한 태풍 쁘라삐룬의 영향으로 경북 청도군에 위치한 태양광 발전부지에 대규모 산사태가 발생하였다. 최근 태양광 발전부지의 산사태는 매우 빈번하게 발생하고 있는데, 2018년에만 경기도 연천군, 강원도 철원군 지역 등의 태양광 발전부지에서 대규모 산사태가 발생하여 재산상 큰 손실을 초래하였다. 2018년 7월 산림청에서 실시한 산지 태양광시설 점검결과에 따르면, 조사된 80개의 태양광 발전부지 중 68%에 해당하는 54개의 부지에서 산사태 위험이 매우 높은 것으로 조사되었다. 이에 따라 산림청은 산지 태양광부지의 평균경사도를 현행 25도 이하에서 15도 이하로 낮추고, 태양광발전시설이 산지전용허가를 받지 못하도록 하는 것을 골자로 한 '산지관리법'시행령을 입법예고한 상태이다. 전 국토의 70% 이상이 산지인 우리나라에서 산사태는 산지태양광이 난립하기 이전부터 가장 빈번하게 발생하는 자연재해 중 하나였다. 특히 우면산 산사태와 같이 도시생활권의 산사태는 대규모 인명피해 및 재산손실로 이어질 수 있다. 그러나 행정안전부에서 매년 발간되는 재해연보에서는 산사태와 같은 지질재해가 호우, 강풍 또는 태풍피해로 둔갑하여 빠져있는 것이 현실이다(표 1). 이는 산사태가 대부분 강우나 태풍과 같은 기상재해와 동반되어 발생하고 재난관리가 대부분 기상재해에 집중되어 있기 때문이다.

자연사면에 발생하는 산사태 이외에도 도로 및 철도, 단지조성 등을 위하여 산사면을 인위적으로 절취하여 형성되는 인공사면 역시 붕괴사례가 빈번하게 발생하고 있다. 경남 김해 농공단지의 절토사면의 경우 매년 안전진단과 보강공사를 반복했음에도 불구하고 7년간 6차례나 동일구간이 붕괴하여 21명이 매몰되고 200억원의 재산피해가 발생한 바 있다. 국토교통부는 절토높이가 30m 이상이고, 총연장이 100m 이상인 절토사면을 "시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법"상의 대상시설물로 분류하여 정기적인 정밀안전점검과 보수·보강을 하도록 하고 있다. 그러나 인공사면의 붕괴사고 역시 산사태와 같이 매년 반복되고 있는 것이 현실이다.

**표 1. 최근 10년간 재해별 피해액 현황[1)]**

단위: 억원

| 구분 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 평균 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 호우 | 617 | 2,713 | 1,854 | 5,070 | 367 | 1,534 | 1,387 | 12 | 371 | 1,016 | 1,494 |
| 대설 | 39 | 136 | 680 | 461 | 194 | 110 | 316 | 132 | 193 | 1 | 226 |
| 풍랑 | – | 256 | 72 | 3 | – | – | – | 3 | 86 | 6 | 43 |
| 강풍 | 12 | 75 | 2 | 0 | 255 | 9 | 1 | 40 | – | – | 39 |
| 태풍 | 9 | 0 | 1,769 | 2,098 | 9,579 | 16 | 52 | 136 | 2,219 | – | 1,588 |
| 지진 | – | – | – | – | – | – | – | – | 114 | 850 | 96 |
| 계 | 677 | 3,181 | 4,376 | 7,632 | 10,394 | 1,669 | 1,755 | 324 | 2,983 | 1,873 | 3,486 |

1) 행정안전부 (2017년) 재난연보

이 글에서는 산사태와 인공사면의 붕괴원인 및 파괴양상 그리고 사면의 안정성을 평가하는 방법을 기술하여 독자가 지질재해에 대한 폭넓은 이해를 할 수 있도록 돕고자 한다.

## 1. 산사태 및 토석류

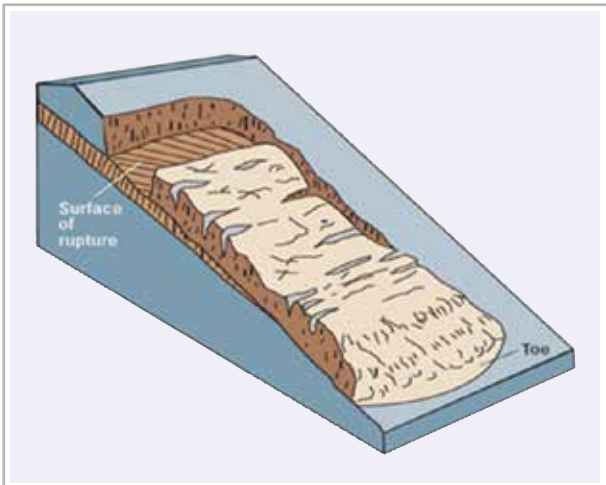
우리나라에서는 관련 전문가들조차 산사태와 토석류의 차이를 이해하지 못하고 혼용하여 사용하는 경우가 많다. 미국지질조사국은 흙이나 암석으로 이루어진 불안정한 자연산사면이 붕괴하는 현상을 산사태 (Landslide)로 정의하고 있으며, 토석류 (Debris flow)는 산사태로 인하여 발생한 사태물질이 우수와 뒤섞여 산지하부로 흘러내리는 현상으로 정의하고 있다.

### 1.1 산사태의 분류

산사태는 발생형태에 따라 낙하, 전도, 활동(회전, 병진), 수평퍼짐, 흐름으로 분류할 수 있다. 우리나라의 산지는 대부분 상부토층이 1~2m로 얇고 암반층과의 경계면에서 전단강도가 가장 약하기 때문에 경계면을 따라 상부토층이 미끄러져 내리는 병진활동(Translational landslide)이 가장 흔하게 발생한다. 우면산 산사태, 춘천산사태 및 인제지역 산사태 등 우리나라에서 대규모 인명피해와 재산피해를 초래한 산사태는 대부분 병진활동에 의한 것으로 조사되고 있다.

**표 2. 산사태 발생형태별 분류**

| 형 태 | 암 석 | 토 석 | 토 사 |
|---|---|---|---|
| **낙하** | 암석낙하 | 토석낙하 | 토사낙하 |
| **전도** | 암석전도 | 토석전도 | 토사전도 |
| **활동(회전)** | 단독(슬럼프)활동<br>복합활동<br>연속활동 | 단독활동<br>복합활동<br>연속활동 | 단독활동<br>복합활동<br>연속활동 |
| **활동(병진)** | 블록활동 | 블록활동 | 판형활동 |
| **수평퍼짐** | 암석퍼짐 | 토석퍼짐 | 토사(석)활동 |
| **흐름** | 암석흐름 | 토석흐름 | 토사흐름 |



병진활동 모식도


우면산 산사태 토사-암반 경계면 붕괴

**그림 1. 병진활동에 의한 산사태**

### 1.2 산사태의 발생원인

산사태를 유발하는 요인은 크게 지반의 내부적인 요인과 외부적인 요인으로 구분할 수 있다. 내부적인 요인은 지반의 전단강도 약화, 풍화작용 및 토립자 내 공극수압의 증가 등을 들 수 있고, 외부적인 요인으로는 인위적 절취에 의한 사면의 보강력 감소, 송전탑설치 등 상부하중의 증가 및 집중호우 등을 들 수 있는데, 산사태는 한 가지 요인에 의해서 발생하는 것이 아니라 여러 요인의 복합적인 상호작용에 의하여 산사면의 안정성이 훼손되면서 발생한다.

산사태는 주로 산사면의 경사가 급격히 변하는 천이점(Nick Point)과 삼림의 관리를 위해 조성되는 임도에서 시작된다. 산사면의 천이점은 수평절리 또는 수직균열의 발달, 표층의 탈락, 지하수위의 교란 등 산사태를 일으키는 내부요인이 타 구간보다 더 크기 때문에 사면의 안전율이 낮은 편이다. 최정 등 선행연구자들에 따르면 국내의 산사태는 통계적으로 7~8부 능선에서 주로 발생하였는데 이는 우리나라 산지의 천이점이 대부분 7~8부 능선에서 형성되어 있기 때문이다. 임도는 임산물의 이동, 산림의 관리, 등산객의 보행, 산불진화 등 다양한 기능을 수행하기 위하여 조성된다. 그러나 많은 산사태 전문가들은 임도의 건설이 산사태를 일으키는 주요한 원인이라고 주장하고 있다. 임도의 건설을 위하여 산림이 훼손되고 산지의 절토작업이 이루어지면 산사면의 응력 불균형 현상이 발생하고, 우수의 침투가 용이해져 결과적으로 산사태에 취약한 지반으로 변하게 된다. 실제로 우면산

**표 3. 산사태의 발생요인 분류**

| 내부요인 | 외부요인 |
|---|---|
| • 물질특성 변화<br>– 응력이완, 물과의 접촉에 의한 지반 전단강도 약화<br>– 층리, 절리, 단층 등 불연속면의 분포<br>– 전단강도가 낮은 토층의 분포 | • 사면보강력 감소<br>– 지표수 흐름에 의한 하부절토(침식 등)<br>– 지하수에 의한 지반표면세굴 및 유실<br>– 인위적인 절토 |
| • 풍화작용<br>– 물리적, 화학적 풍화에 의한 전단강도 약화<br>– 풍화에 의한 지반의 밀도 약화 | • 상부 및 지반하중의 증가<br>– 지하수위의 상승, 폭설, 테일러스<br>– 인위적인 건축(성토, 건물, 송전탑 등) |
| • 공극수압 증가<br>– 공극수압의 증가로 인한 토층의 전단강도 약화 | • 일회성 요인<br>– 지진, 발파 등 지진동<br>– 집중호우 |



천이점 인장균열(강원도 춘천시)



7~8부 능선 산사태(강원지역 루사피해)

**그림 2. 천이부 산사태발생**



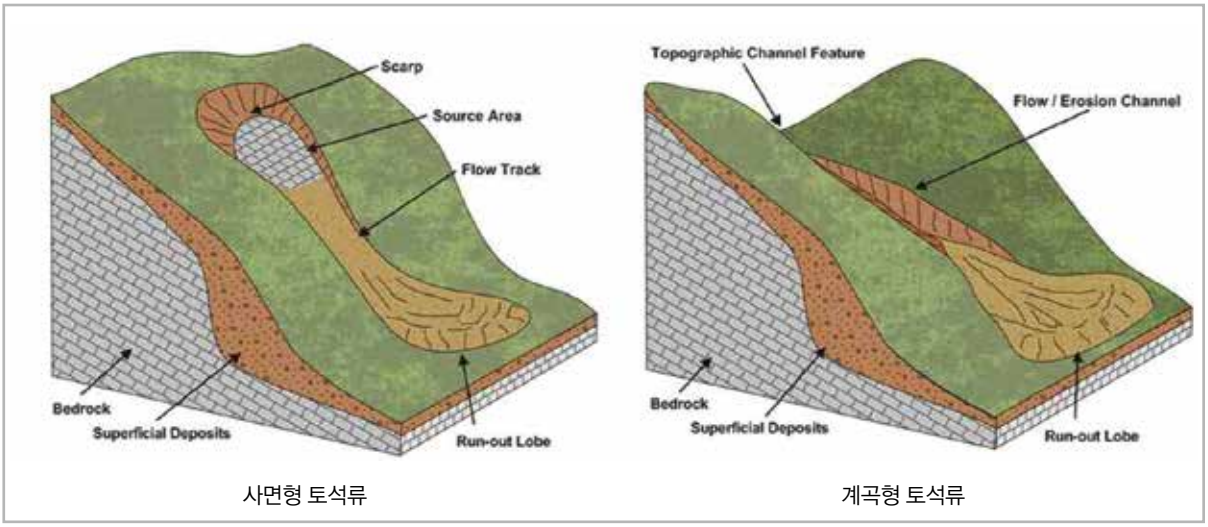
화천군 산사태 밀양 양지마을 산사태

**그림 3. 임도지역 산사태 예시**

산사태, 춘천 산사태, 밀양 산사태 등 대규모 인명피해를 초래한 산사태는 대부분 임도에서 시작되었다.

### 1.3 토석류의 분류

토석류는 점토, 실트 및 모래와 같은 세립의 토사와 암편 및 자갈과 같은 조립질의 암석덩어리들 및 우수의 복합체로 밀도와 점성이 높은 "Wet concrete"와 유사한 특성을 보인다. 산사태의 발생시점에서는 토층의 유실깊이가 깊지 않지만 토석류의 이동과정에서 측면과 바닥면의 유실이 추가로 더해지고, 토석류 자체의 높은 밀도와 빠른 운동속도 등으로 인하여 대규모 에너지가 발생하기 때문에 사태물질이 산지 하부 건물을 타격하면 구조물의 큰 손상으로 이어지게 된다. 토석류는 이동형태에 따라서 사면형 토석류와 계곡형 토석류로 구별할 수 있다. 사면형 토석류는 주로 산능성이에서 발생하기 때문에 이동거리가 짧고 유속이 빠른 특징을 보인다. 계곡형 토석류는 계곡주변의 산사면이 유실된 후 사태물질이 계곡을 따라 이동하는 토석류를 말한다. 이러한 계곡형 토석류는 이동거리가 최대 수십 km까지 길고 사면형보다 상대적으로 유속이 느린 것이 특징이다.




사면형 토석류 계곡형 토석류

**그림 4. 임도지역 산사태 발생**

사면형 토석류는 고밀도의 사태물질이 빠른 속도로 건물의 측면을 강타하기 때문에 피해양상이 구조물 파손을 일으키는 지진과 유사하다. 반면에 계곡형 토석류는 상대적으로 저밀도의 이류(Mud flow)가 평면상에 퍼져서 흐른다. 따라서 계곡형 토석류의 피해양상은 비구조체 및 집기비품의 손실을 일으키는 홍수피해와 유사하다. 2011년에 발생한 우면산 산사태는 래미안아파트, 신동아아파트, 형촌마을, 전원마을 등 총 4개 지역에서 대규모 토석류가 발생하였는데 이중 우면산의 북측에 위치한 래미안아파트, 신동아아파트는 사면형 토석류의 피해양상을 보였고, 우면산의 남쪽에 위치한 형촌마을과 전원마을은 계곡형 토석류의 피해형태가 나타났다.

### 1.4 산사태 위험관리

산사태는 풍화, 침식, 퇴적으로 이어지는 통상적인 지질학적 활동으로 자연재해적인 요소가 많다. 따라서 사방댐, 조림사업 등 산사태 예방활동이 꾸준히 이루어진다고 할지라도 산



래미안아파트 구간(사면형 토석류)　　전원마을 구간(계곡형 토석류)

**그림 5. 우면산 산사태 토석류 발생양상**

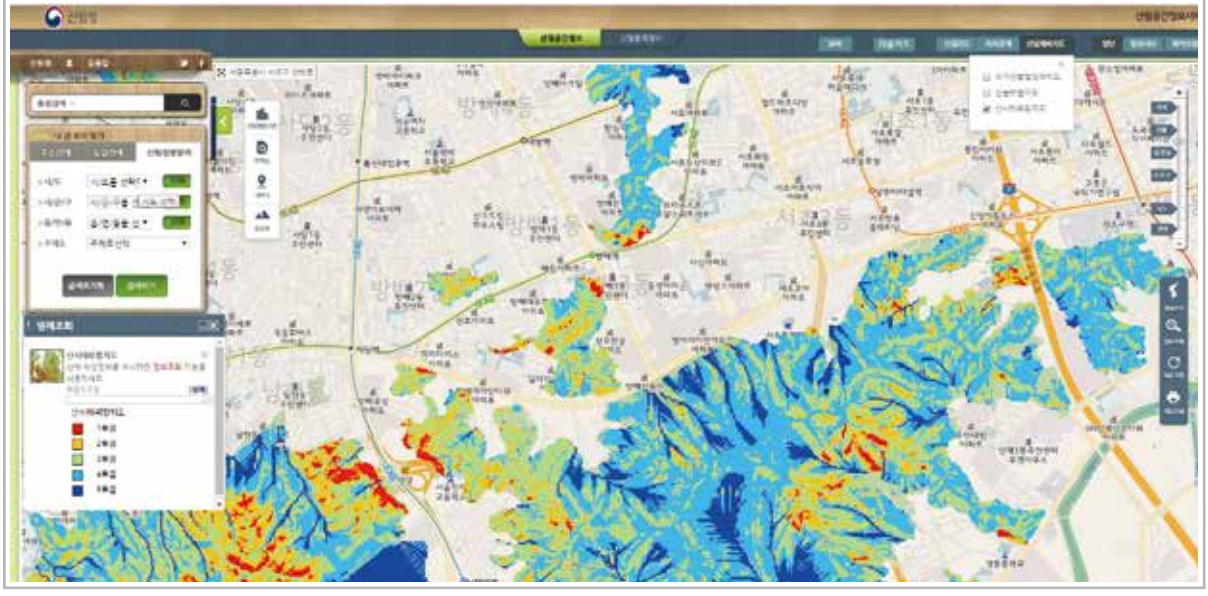


**그림 6. 산사태 위험지도(산림청)**

사태위험을 완전히 제거할 수는 없다. 따라서 산사태 취약지구에 위치한 기업이나 지역주민의 능동적인 피해저감 활동이 필요하며 이때 산림청에서 제공하는 위험정보를 적극적으로 활용할 필요가 있다.

산림청은 2012년부터 산지가 가지고 있는 외적요인(사면경사, 임상, 토질, 모암 등 9개 인자)을 분석하여 산사태위험을 5등급으로 구분하는 산사태 위험지도를 제작하여 인터넷상에 공개하고 있다. 또한 산사태 위험지역에서 산사태가 발생했을 때 산지하류의 피해범위를 추정한 토석류피해 예측지도를 제작하고 있다. 산사태 위험지도상에서 취약지역에 위치한 건물은 건축법상 내진설계 의무대상에 포함되지 않는다고 할지라도 내진설계를 적용하는 것이 필요하며 토석류가 건물 내로 유입되지 않도록 개구부의 위치를 조정하고 수방설비를 충분히 확보하여야 한다. 또한 적기에 신속한 대응을 할 수 있도록 경계피난 및 산사태 교육훈련 등 비구조적 대응활동도 병행하는 것이 바람직하다.

## 2. 인공사면의 붕괴

도로 및 철도, 단지조성 과정에서 조성되는 인공사면은 지반을 구성하는 물질에 따라서 토사사면과 암반사면, 그리고 이 토사와 암반이 혼재하는 복합사면으로 분류할 수 있다. 토사사면은 풍화가 깊게 형성된 노령기 지형에서 주로 나타나고 암반사면은 산악지역에 주로 분포한다. 산사태의 발생이 자연재해적인 요소가 많다면 인공사면의 붕괴는 인위적인 요인이 더 큰 위험요소로 작용하는데 일반적으로 설계결함, 관리부실 등의 원인으로 지반의 평형이 깨지면서 사면이 붕괴한다.

### 2.1 인공사면의 붕괴유형

토사사면의 붕괴유형은 크게 표층유실과 원호파괴로 구분할 수 있다. 표층유실은 사면의 표면이 풍화와 지표수에 의해 넓게 삭박되는 것으로 피해규모가 크지 않다. 원호파괴는 토사지반의 회전운동에 의해 원호형태의 파괴면을 따라 사면이 붕괴하는 것으로 파괴면의 위치에 따라 사면 내 파괴, 선단파괴 그리고 저부파괴로 구분할 수 있다. 이 중 저부파괴는 연약지반이 두껍게 분포할 때 발생하는데 원호파괴 중 피해규모가 가장 크다. 토사사면은 연성거동을 하므로 사전에 붕괴인지가 수월하다.

암반사면에서는 절리나 단층과 같은 불연속면을 따라 블록



그림 7. 토사사면 원호파괴



평면파괴 쐐기파괴 전도파괴

그림 8. 암반사면 붕괴양상

파괴가 발생하는데 파괴활동면의 형상에 따라서 평면파괴, 쐐기파괴 및 전도파괴로 구분된다. 사면의 경사방향과 유사하고 경사각이 사면의 경사각보다 완만한 불연속면이 있으면 평면파괴가 발생한다. 쐐기파괴는 두 개 불연속면의 교선방향이 사면방향과 일치할 경우 쐐기형태의 블록이 미끄러지면서 발생하는 파괴형태이다. 전도파괴는 수직절리가 발달한 암반에서 주로 발생하며 평면파괴나 쐐기파괴와는 다르게 취약면의 활동이 아닌 회전작용에 의해 암괴가 굴러 떨어지는 파괴유형을 말한다. 암반사면은 토사사면과 달리 취성거동을 보이기 때문에 사전에 붕괴징후를 파악하기가 매우 어렵다.

## 2.2 인공사면의 안정성 평가

인공사면의 안정성 평가에는 대상사면의 구성물질과 붕괴유형에 따라 다양한 방법이 있다. 따라서 평가목적에 부합하는 방법을 선택하는 것이 중요한데 안정성 평가방법은 경험적인 해석, 기하학적 해석 및 운동학적 해석으로 구분할 수 있다. 경험적인 해석은 사면을 구성하고 있는 물질의 상태를 경험적인 기준으로 등급화하여 사면의 안정성을 평가하는 방법으로 SMR, GSI평가 등이 대표적이다. 기하학적인 해석은 운동학적인 해석의 전 단계로서 사면의 파괴유형 및 파괴가능성을 정성적으로 도출하는데 활용되는데 기하학적인 해석법 중에서는 평사투영법이 가장 많이 활용된다. 운동학적인 해석방법에는 사면의 활동력과 저항력을 비교하여 사면의 안정성을 평가하는 한계평형 해석이 가장 보편적인 해석방법이다.

기하학적인 해석방법에서 가장 보편적으로 사용되는 평사투영 해석은 절리, 단층, 층리 등 암반사면에 분포하고 있는 3차원적 지질구조와 사면의 방향 및 경사각 등을 평사투영도상에 2차원적으로 도시하고 파괴면의 전단강도를 고려하여 사면에서 발생할 수 있는 파괴유형과 안전성을 정성적으로 분석하는 방법이다. 이 방법은 특히 암반사면의 경사결정, 파괴현상의 예측 및 원인규명, 파괴가 발생한 암반사면의 기울기조정 등에 활용될 수 있다.

한계평형 해석은 직선, 원호 및 대수나선으로 가정된 활동면을 기준으로 지반의 안전율을 계산하는 방법이다. 원호파괴가 주로 발생하는 토사사면은 주로 절편법을 이용하여 안전율을 계산하고 블록파괴가 주로 발생하는 암반사면은 도해법을 이용하여 안전율을 계산할 수 있다. 원호파괴에 사용되는 절편법은 파괴토체를 여러 개의 수직절편으로 분할하고 각 절편에 작용하는 수직응력, 작용점, 절편력의 작용각도 등 여러 가지의 작용력을 해석한 후 이를 합하여 계산하는 방법으로 파괴면을 특정할 수 없으므로 반복적인 계산을 통해 가장 낮은 안전율을 나타내는 파괴면을 찾아내야 한다. 평면파괴나 쐐기파괴 등 지질학적 불연속면을 따라 붕괴가 발생하는 암반사면에서는 기하학적인 해석을 통하여 파괴면을 특정할 수 있으므로 이 파괴면에서 미끄러짐을 유발하는 합력과 미끄럼짐에 저항하는 합력을 비교하여 안전율을 계산할 수 있다.

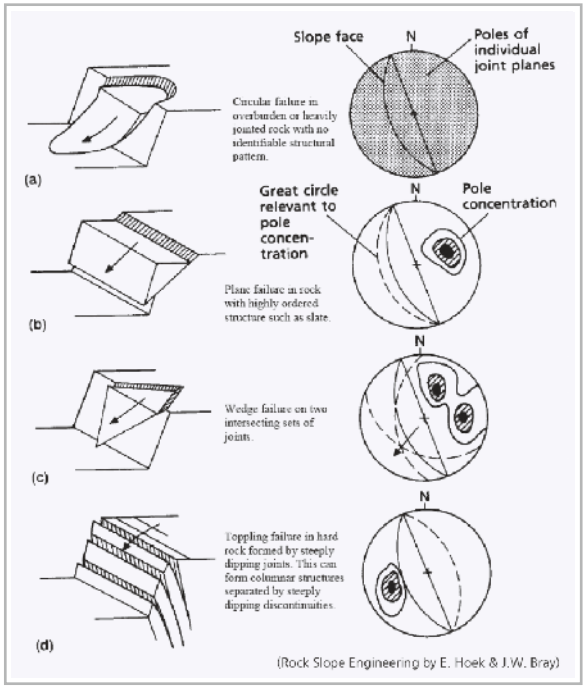



그림 9. 붕괴유형별 평사투영해석

## 2.3 인공사면의 붕괴징후

인공사면은 다른 토목시설물과 달리 육안관찰만으로는 그 변화를 감지하기 힘들며 방치할 경우 붕괴에 의한 피해규모가 점차 커진다. 따라서 정기적인 정밀점검을 통하여 사전 붕괴징후를 파악하여 적절한 보수, 보강 등 유지관리가 이루어져야 한다.

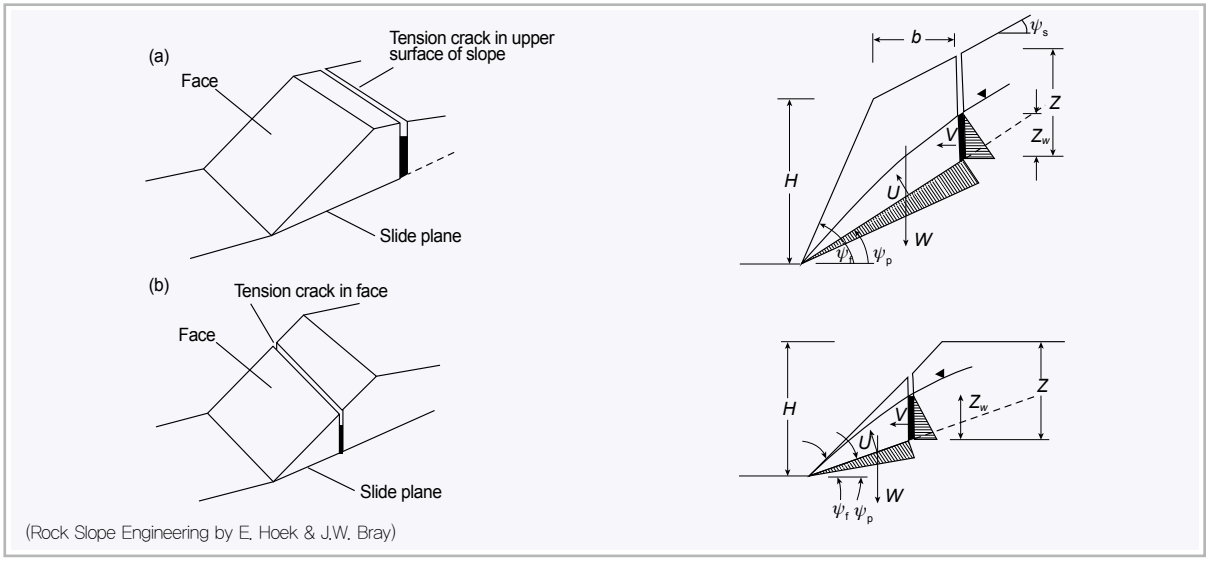



**그림 10. 평면파괴 한계평형 해석 예시**

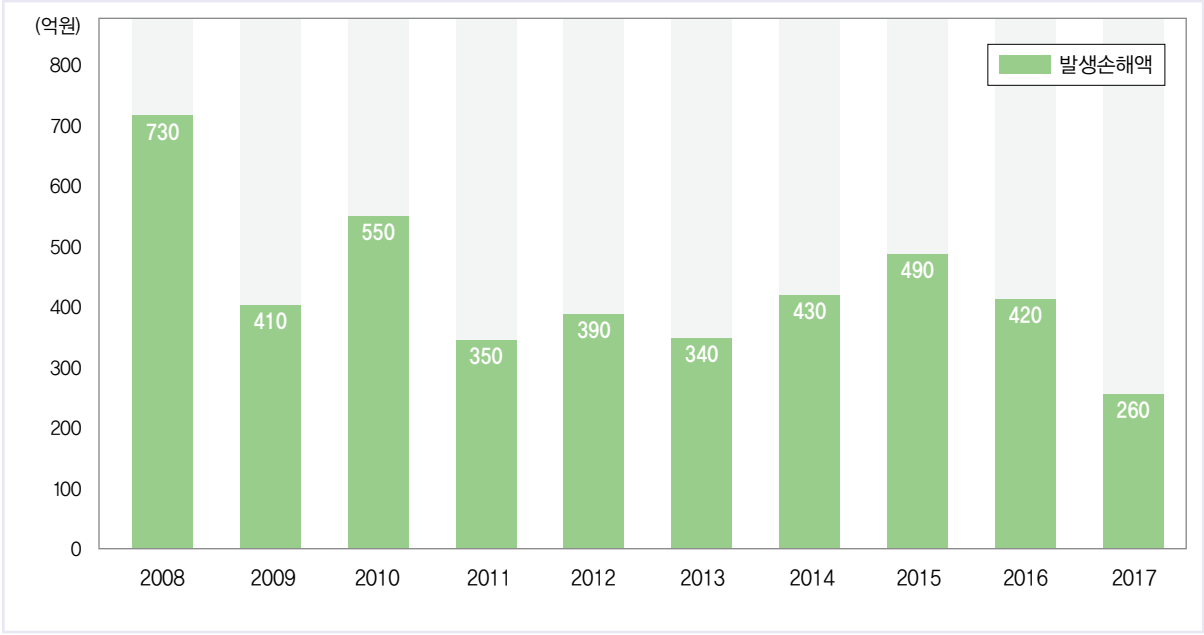
사면의 붕괴징후는 1) 인장균열의 발생, 2) 배부름 현상, 3) 부대시설물의 변형, 4) 급격한 지하수용출 등을 들 수 있다. 인장균열은 인공사면의 대표적인 붕괴 인지수단인데 특히 연성거동을 보이는 토사사면의 경우 대규모 붕괴 발생전에 반드시 인장균열이 발생하기 때문에 상부사면에서 인장균열이 발생했는지를 확인하는 것이 중요하다. 붕괴의 전조현상으로 인장균열이 발생하고, 사면내부에 활동면이 형성되면 사면의 표면이 불룩하게 부풀게 되는데 이를 배부름 현상이라고 하며 주로 토사사면에서 잘 관찰된다. 암반사면은 활동면이 발생한다고 할지라도 사면의 표면변위가 매우 작기 때문에 인장균열이나 배부름현상과 같은 붕괴징후를 인지하기가 어렵다. 그러나 사면 내에 설치된 부대시설물은 시공 당시의 모양이나 위치를 유지하지 못할 경우 이를 인지하기 쉽기 때문에 사면 내 옹벽, 측구 등 부대시설물을 통하여 이상징후를 확인할 수 있다. 지하수의 유출지점이나 유출량이 평상시와 다르게 나타난다면 사면 내에 붕괴를 유발할 수 있는 활동면이 형성되었고, 이 면을 따라 지하수가 집중되고 있는 것으로 추정할 수 있다. 평상시에도 지하수의 집중이 지속하는 경우에는 수압의 증가로 인하여 지반의 불균형이 발생할 수 있으므로 적절한 배수공법을 마련하여 지하수를 배출시키는 것이 필요하다.

## 3. 결언

건설공사보험 뿐만 아니라 기관기계 종합보험에서도 산사태 및 사면붕괴 등 지질재해로 인한 보험사고가 빈번하게 발생하고 있다. 그러나 지질재해가 태풍과 같은 기상재해와 동반하여 발생하므로 비전문가가 정확한 피해원인을 파악하는 것이 쉽지 않다. 또한 지질재해로 인한 사고의 발생빈도나 피해심도를 평가하는 것도 어렵기 때문에 보험산업에서 지질재해에 대한 위험관리가 전무한 것이 현실이다. 그러나 급격한 기후변화와 지속적인 산지개발은 산사태와 같은 지질재해의 발생을 급격하게 증가시킬 수 있으므로 보험산업에서도 지질재해에 대한 합리적인 위험평가와 관리방안을 마련하여 이에 대비하는 것이 필요하다. 앞에서 언급된 지질재해 취약요소를 이해한다면 지질자원연구소의 지질도, 산림청의 산사태위험지도, 국토지리정보원의 수치지형도 등 인터넷상에 공개된 자료들을 이용하여 대략적인 지질재해 위험도를 평가할 수 있다. 이 글에서는 산사태와 사면붕괴의 발생원인, 발생형태, 그리고 위험성 평가방법을 기술하여 보험에 종사하는 사람들이 산사태와 사면붕괴에 대한 이해를 높이고 지질재해 위험관리 필요성에 대한 인식이 확산되는데 보탬이 되고자 하였다.

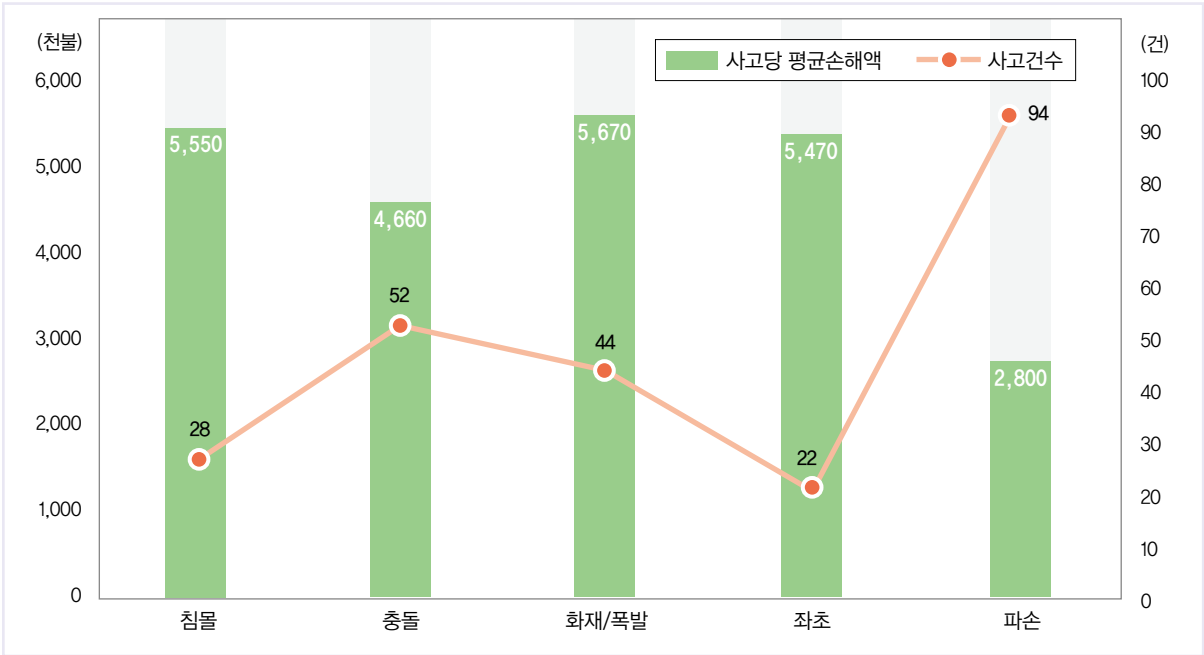
# [최근 10년간 선박보험 사고분석]

## 1. 발생손해액 분석

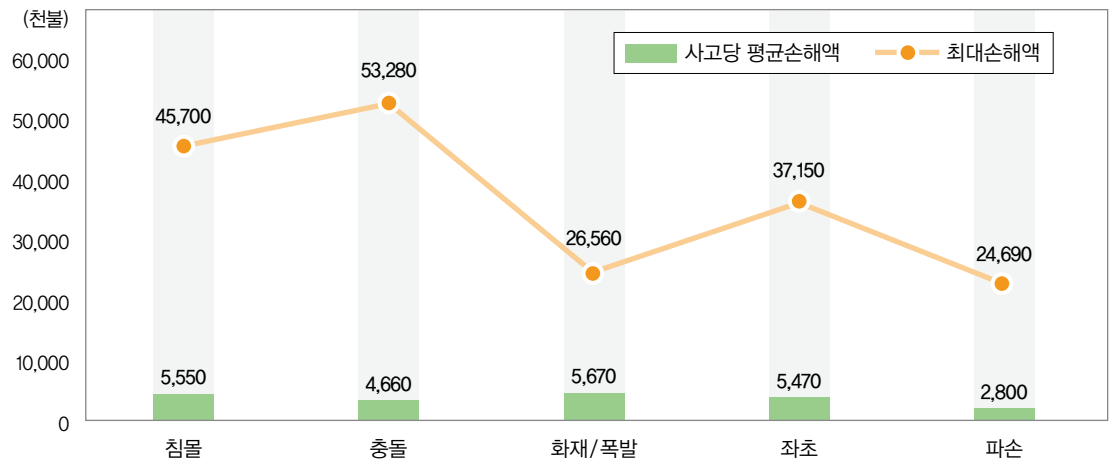



## 2. 사고유형별 손해액 분석

■ 사고유형별 사고당 평균손해액(2008~2017)



■ 사고유형별 사고당 평균손해액 및 최대손해액(2008~2017)



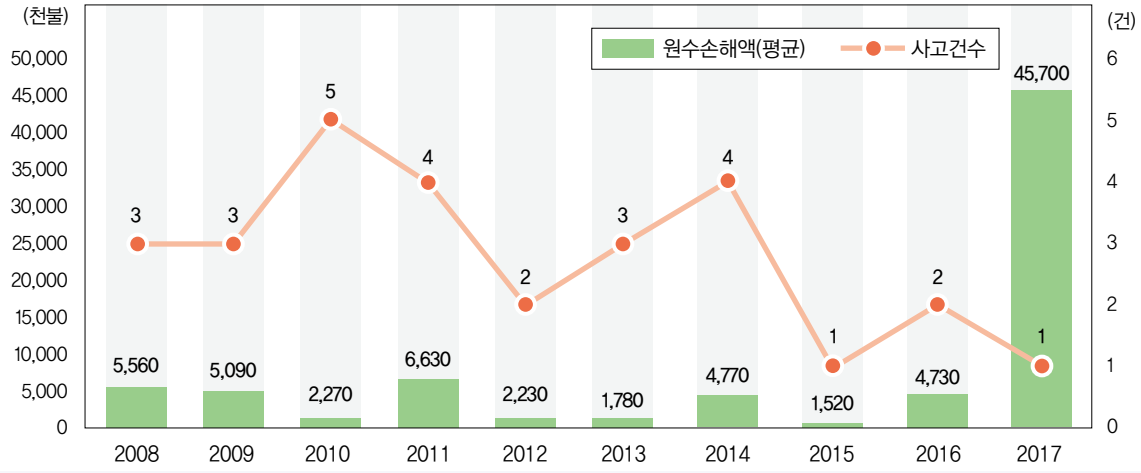

- 사 고 건 수: 파손 ≫ 충돌 > 화재/폭발 > 침몰 > 좌초
- 평균손해액: 화재/폭발 > 침몰 > 좌초 > 충돌 > 파손
- 최대손해액: 충돌 ≫ 침몰 > 좌초 > 화재/폭발 > 파손
- 전체 손해액: 파손 ≫ 화재/폭발 > 충돌 > 침몰 > 좌초

■ 시사점

- 사고당 평균손해액은 화재/폭발 사고가 가장 높게 나타나며 사고건수는 파손사고가 가장 높음
- 고액사고 전체 손해액 비중은 심도는 낮지만 빈도가 높은 파손사고가 가장 높게 나타남
- 최대 손해액은 충돌사고에서 발생하였음

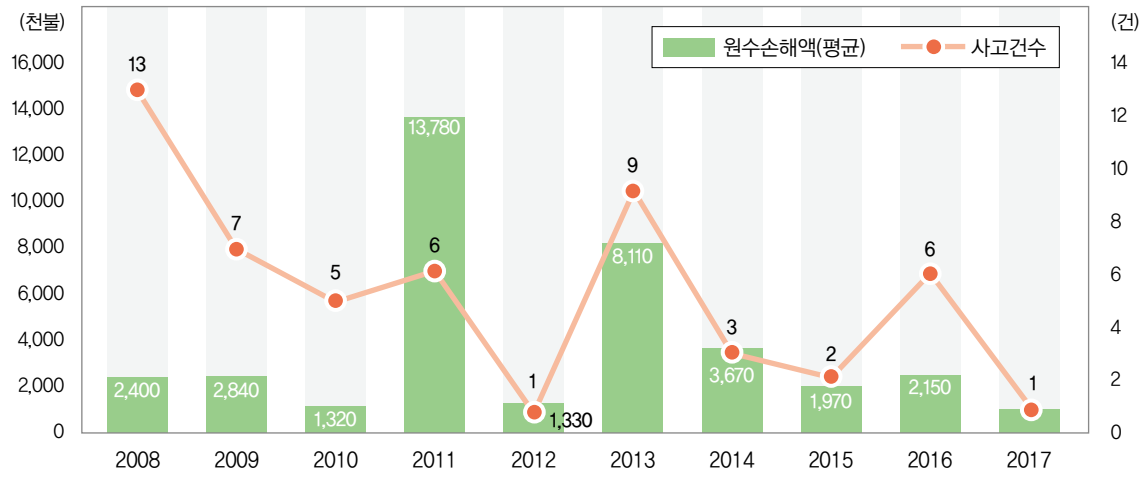
## 3. 연도별 사고분석

■ 침몰



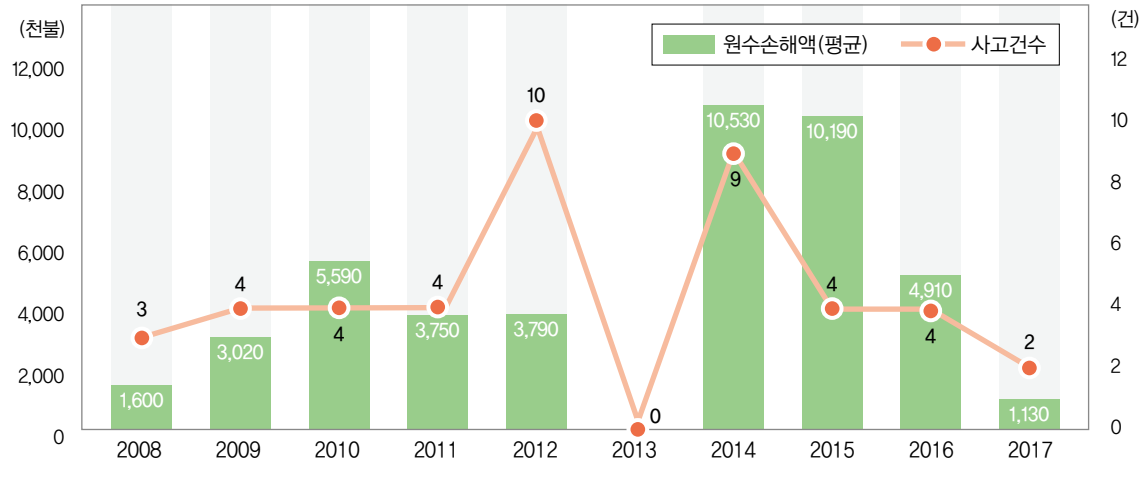

- 매년 일정한 수준이었으나 2017년 평년대비 8배 가량 높게 나타남
- 사고의 빈도는 감소하는 추세이나 심도는 2017년 급격히 증가
- 이는 A선 침몰사고에 기인
  → 선박가액 4,500만불 고가의 침몰사고는 매우 이례적인 사고
  → 최근 10년간 선박가액 1,000만불 이상 침몰사고는 단 2건에 불과

## ■ 충돌



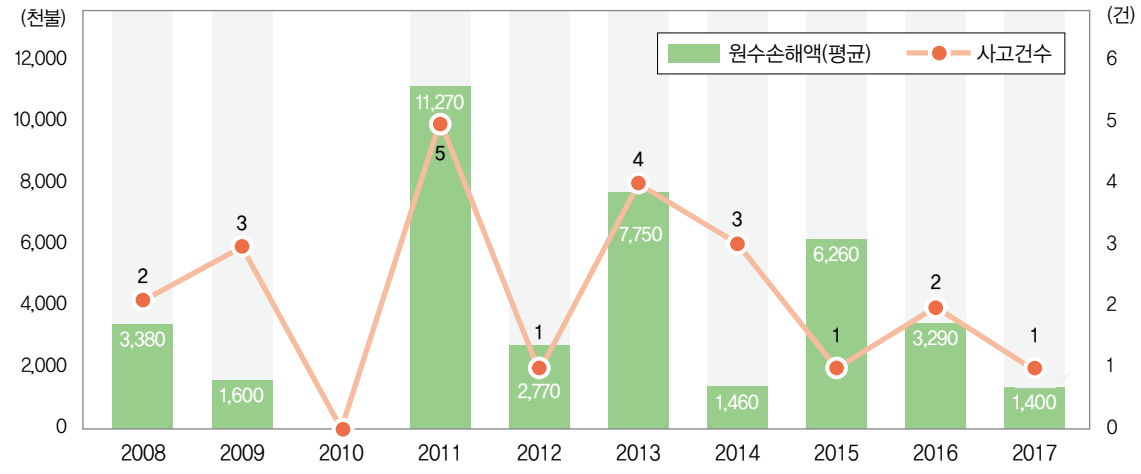

• 고액사고의 빈도 및 심도가 점차 낮아지는 추세
(2011년 B선 충돌사고: 원수 533억원)
(2013년 C선 시운전 중 충돌사고: 원수 349억원)
• 2건의 고액사고 제외 시 사고당 평균손해액은 약 31억원이며 비교적 일정함

## ■ 화재/폭발



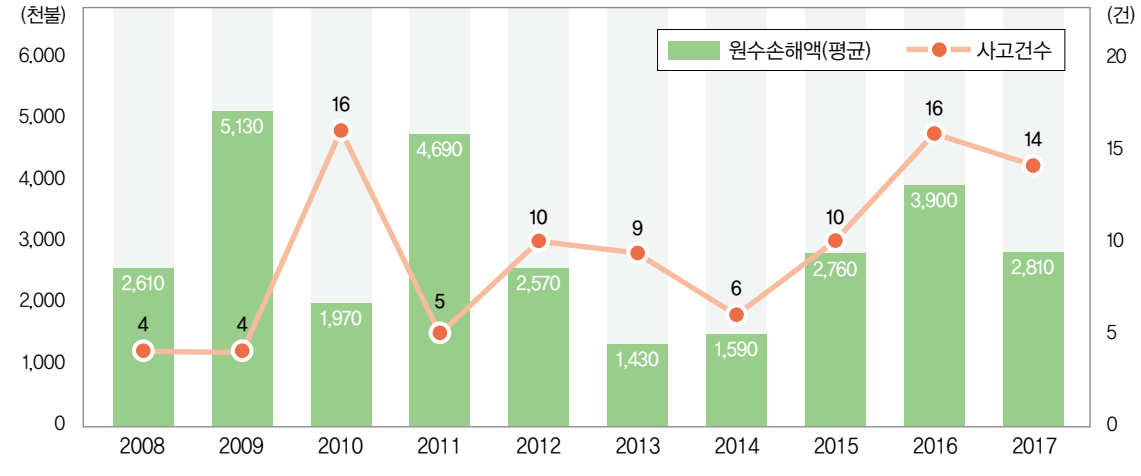

• 2014년 이후로 사고의 심도 및 빈도가 감소하는 추세
• 2014, 2015년 사고건별 평균손해액이 크게 증가하였으며 이는 초대형 건조보험사고에 기인

## ■ 좌초




- 사고빈도가 가장 낮은 유형으로 2013년 이후 두드러진 고액사고 없음
- 2011, 2013 D사 동일시리즈 좌초사고로 사고당 평균손해액 가장 높음

## ■ 파손




- 2014년도 이후 사고의 빈도와 심도가 높아지는 추세
- 사고유형 중 사고의 빈도는 가장 높으며 심도는 가장 낮음
- 엔진, 프로펠러 샤프트, 카고탱크 등에 발생한 파손이 주요 내용

## ■ 시사점

- 침몰, 파손사고 심도 증가
  - 침몰: 대형선박(A선)의 침몰에 기인
  - 파손: 2014년 이후로 사고의 심도가 증가하고 있으며 건조보험에서 고액사고 발생증가로 손해액 고액화 추세
- 전통적 유형(충돌, 좌초 등) vs 비전통적 유형(파손)
  - 파손: 과거에 비해 사고유형의 다양화로 비전통적인 손해 증가추세(Ex. Tank의 구조변형, 페인트도색 오염 등)
  - 충돌, 좌초, 화재: 전통적인 유형 사고의 심도 및 빈도는 감소하는 추세

**※ 사고유형별/연도별 손해액 분석기준**

- 기간: 2008~2017(10년간)
- 대상: 원수손해액 10억이상 고액사고
- 종목: 선박보험(국내)

# 고객서비스 부서안내

대표전화 02-3702-6000
팩스 02-739-3754
E-Mail service@koreanre.co.kr

| 재물보험1팀 | 국내특약파트 | 국내임의파트 | 해외임의 1파트 | 해외임의 1파트 |
|---|---|---|---|---|
| | • 재물보험 (국내특약수재)<br>• 재공제 | • 재물보험 (국내임의수재) | • 재물보험 (해외수재) | • 재물보험 (해외수재) |

| 기술보험팀 | 기술1파트 | 기술2파트 | 특수보험파트 | 원자력파트 |
|---|---|---|---|---|
| | • 기술보험 (국내수재) | • 기술보험 (해외수재) | • 농작물보험<br>• 가축보험 | • 원자력보험 Pool 운영관련 재보험업무 |

| 해상보험팀 | 적하항공파트 | 국내선박파트 | 선박 해외임의파트 | 선박 해외특약파트 | 해상책임파트 |
|---|---|---|---|---|---|
| | • 적하보험<br>• 항공보험<br>• 운송보험 | • 선박보험 (국내수재) | • 선박보험 (해외임의수재) | • 선박보험 (해외특약수재) | • 해상배상책임보험<br>• 재공제 |

| 특종보험팀 | 특종파트 | 해외수재 1파트 | 해외수재 2파트 | 일반배상책임파트 | 전문직배상책임파트 |
|---|---|---|---|---|---|
| | • 신종종합보험<br>• 상금보험보험 | • 특종보험 (해외수재) | • 특종보험 (해외수재) | • 영업배상책임보험<br>• 생산물배상책임보험 | • 임원배상책임보험<br>• 의료배상책임보험 |

| 손사위험팀 | 재물손사파트 | 기술특종손사파트 | 해상손사파트 | 위험조사파트 |
|---|---|---|---|---|
| | • 화재보험 손해사정<br>• 종합보험 손해사정 | • 기술보험 손해사정<br>• 특종보험 손해사정 | • 선박보험 손해사정<br>• 적하보험 손해사정 | • 재물/기술보험 위험조사<br>• 『The RISK』지 발간 |

# 해외영업 Network

| 싱가폴지점 | 라부안지점 | 두바이지점 | Korean Re Underwriting | 홍콩현지법인 |
|---|---|---|---|---|
| Tel : (65) 6227-6411<br>Fax : (65) 6227-2778<br>singapore@koreanre.co.kr | Tel : (65) 6227-6411<br>Fax : (65) 6227-2778<br>singapore@koreanre.co.kr | Tel : (971-4) 355-5028<br>Fax : (971-4) 355-0788<br>dubai@koreanre.co.kr | Tel : (44-20) 7265-0031<br>Fax : (44-20) 7481-8412<br>london@koreanre.co.kr | Tel : (852) 2877-3117, 3127<br>Fax : (852) 2877-2019<br>hk@koreanre.co.kr |

| 뉴욕사무소 | 런던사무소 | 북경사무소 | 동경사무소 |
|---|---|---|---|
| Tel : (1-212) 233-3252, 3<br>Fax : (1-212) 349-0210<br>newyork@koreanre.co.kr | Tel : (44-20) 7265-0031<br>Fax : (44-20) 7481-8412<br>london@koreanre.co.kr | Tel : (86-10) 6590-6276, 6277<br>Fax : (86-10) 6590-6278<br>beijing@koreanre.co.kr | Tel : (81-3) 3201-1673<br>Fax : (81-3) 3215-5585<br>tokyo@koreanre.co.kr |

# 코리안리,
# 국내 유일을 넘어 세계로

국내 유일 세계 10대 금융회사, 국내자본 유일의 전업 재보험사
런던 로이즈 마켓에서 활동 중인 유일한 보험사
코리안리가 이제 '국내 유일'을 넘어 '세계 유일'을 향합니다.

KOREAN RE



2011. 2. A.M Best A Stable 획득
2012. 9. 세계 10위 재보험사 (A.M. Best)
2014.10. S&P A Stable 획득
2015. 4. 영국 로이즈 현지법인 설립
2017. 7. 말레이시아 라부안 지점 설립
2018. 1. 두바이 지점 설립

WE SERVE TO PROTECT YOUR FUTURE

www.koreanre.co.kr