

## 군중집회 시의 안전: 군중압박의 기초 조사

왕순주\*

한림대학교 응급의학교실 교수

## Safety in Mass Gathering: Basic Survey for Crowd Crush

Soon-Joo Wang\*

Professor, Dept. of Emergency Medicine, Hallym University

### 요약

2022년 10월 29일 발생한 이태원 참사 이후 군중압박 사고로 인한 인명피해에 대한 관심이 높아졌으나 국내에서 군중압박과 관련된 학술적, 실제적 기반이 미약함이 지적되었다. 이에 본 연구에서는 군중압박과 관련된 용어와 개념을 조사하고 가능한 한글 용어 후보들을 제안하였으며, 국내외에서 발생한 대표적인 군중압박 사고 사례를 조사하여 정리하였다. 일부 대표적 사례를 기반으로 한 선진국의 접근법들을 조사하였고, 그 중 대표적으로 영상분석, 시뮬레이션 및 설문과 인터뷰 방법을 요약 도출하였다. 이를 통하여 군중압박 사고의 한글 용어 표준화와 개념 정립, 평가 및 접근 방법의 체계화가 이루어지기를 기대하고 있다.

핵심용어: 군중압박, 군중집회, 군중관리, 이태원 참사

### ABSTRACT

After the 10.29 Itaewon disaster, interests in the crowd crush injury increased, but it is pointed out that the academic and practical basis related to crowd crush is still weak in Korea. Therefore, in this study, terms and concepts related to crowd crush were investigated and proposed, and representative cases of crowd crush events were investigated and summarized. Approaches based on representative cases were investigated, and among them, video analysis, simulation, questionnaire survey and interview methods were derived as an essential approach methods. Through this research, it is expected that standardization of Korean terminology, concept establishment, evaluation, and systematization of approach methods of crowd crush can be accomplished.

**Keywords:** Crowd crush, Mass gathering, Crowd management, Itaewon disaster

## 1. 서론

많은 군중이 일정한 시간과 장소에 특정한 목적을 가지고 모이는 것을 군중집회라고 한다. 많은 사람이 모이는 경우에는 여러 유형의 사고나 환자가 발생할 수 있어서 모인 사람들의 안전을 위하여 군중집회만의 특징적 안전대비와 응급대응 지원이 필요하다. 특히 모임 현장에서는 평소 큰 사고로 발전하지 않던 소규모 사고가 대형사고 혹은 재난으로 발전할 가능성이 있고, 만일 발생한다면 많은 사람이 위험에 처하게 되므로 그 가능성에 대비하여 기존의 안전대비, 응급지원체계와 연계되는 또 다른 형태의 지원 대책이 필요하다(Michael and Barbera, 1997). 국내에서는 1988년 서울올림픽 개최로 이에 대한 필요

\*Corresponding author: Soon-Joo Wang, erwsj@chol.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2977-6270>

Received: 22 December, 2022, Revised: 22 March, 2023, Accepted: 23 March, 2023



성을 절감하고 2002년 한일월드컵 개최를 통하여 군중집회에 대한 안전대비계획을 수립하고 대비하였으나 대표팀에 대한 길거리응원이 국내 여러 곳에서 발생하여 예상치 못한 군중집회에 대한 대응을 한 적도 있어 이후로 많은 국제 및 대규모 행사에서 발생할 다양한 가능성에 대하여 대비하게 되었다(Lee and Jung, 2007). 그럼에도 불구하고 2022년 10월 29일 이태원에서 발생한 사고와 같은 군중눌림(Crowd Crush) 혹은 군중압박(Crowd Packing)과 같은 형태의 사고나 재난은 최근 국내에서 경험이 없었던 형태여서 이러한 군중눌림 사고에 대한 정리와 연구가 필요한 시점이다.

군중눌림 사고 형태의 재난은 국내에서 경험과 연구가 미진한 희귀하게 여겨지는 재난의 형태이지만 세계적으로는 선진국이나 후진국을 가리지 않고 꾸준히 발생중이며, 10.29 이태원 참사에서 보듯이 국가사회에 엄청난 파급력과 영향을 주는 재난이다. 따라서 10.29 이태원 참사는 관심과 전문지식의 미비로 국내에서 군중눌림 사고에 대한 대처 원칙의 인지가 미비할 수밖에 없고, 예상하지 못한 형태였기 때문에 적절한 예방조치를 할 수가 없는 상황이어서, 이는 시급히 군중눌림 사고를 이해하고 선진적 학술 접근법을 적용하여 최소한의 예방, 대비 수준에 다다라야 함을 의미한다. 군중눌림 사고는 그 본질 상 얼마 안 되는 짧은 골든 타임 내에 해결이 되지 않으면 인명피해 대처가 매우 어려우며, 구체적으로 인명피해 대부분이 압박에 의한 질식이 관련되어 있는데 인간은 약 5분 정도의 무호흡 상태가 지속되면 사망에 이를 수 있으므로 질식이 시작되거나 면 대처 시간이 거의 없는 상황이 된다. 즉 질식으로 의식이 저하되는 피해자가 신고되어도 현장 도착 구급대원이 밀집된 군중을 뚫고 피해자에게 골든타임 내에 접근하기란 불가능에 가까운 것이 현실이라, 선진국들조차도 많은 인명피해를 내지만 뚜렷한 한 가지 해결책을 제시 못하고 있는 형편이다. 이는 하나의 확실한 해결방안보다 군중눌림 사고를 둘러싼 여러 분야의 협력적 접근이 요구되는 이유이기도 하다. 본 연구에서는 군중압박 사고 관련 정립되지 않은 용어를 관련 개념과 같이 정리 제안하고, 과거 있었던 대표적 군중집회의 분류, 특성 등을 알아보며, 기술적으로 이러한 군중압박 사고를 어떻게 접근, 평가해야 하는지 기초적인 사항을 조사, 정리하였다.

## 2. 기초사항 및 현황

### 2.1 용어 및 정의

국내에서 2022년 10월 29일 이태원참사 발생 이후 많은 언론에서 사고와 관련된 보도에 있어 다양한 용어를 사용하였지만, 국내에서는 영문의 학술적 용어가 우리말로 정리되지 않아서 이를 정리할 필요가 있다. 이러한 정리 대상이 되는 관련 용어로는 다음과 같은 용어가 있다(Table 1). 이는 이태원 참사 발생 후 언론조사와 관련 문헌조사를 통하여 주요 용어를 추출하였다. 개념은 설명으로 가능하나 한국어 표현은 단수 및 필요 시 복수로 제안하는 것으로 하였다.

**Table 1.** Representative examples of terminology on crowd safety

Crowd Management
Crowd Control
Mass Gathering
Crowd Packing
Crowd Crush
Crowd Surge
Crowd Stampede
Crowd Collapse
Crowd Turbulence

Crowd Management와 Crowd Control은 둘 다 우리말로로는 ‘군중관리’로 표현되는 경우가 많다. 그러나 Crowd Management는 밀집된 군중에 대한 종합적 관리를 의미하는 경우로 주로 사용되고, Crowd Control은 현장에서의 군중밀집 등으로 인한 문제를 실무적으로 조절, 관리하는 경우에 주로 사용되고, 물론 혼용되기도 한다. Mass Gathering은 많은 문헌에서 ‘군중집회’라고 표현되며 흔히 많은 사람들이 모여 있는 상황을 이야기 하지만, 구체적으로는 50명에서 5,000명 이상의 다양한 사람이 특정 장소에 어떠한 목적을 위하여 모여 있는 상황으로 다양한 정의가 제시되어 있다. 사람이 일정 공간에 일정 정도 이상으로 많이 있게 되면 비록 평평한 바닥을 가진 공간이라도 주위의 다른 사람에 의한 압력을 받게 되며 촘촘하게 꽂 끼는 상황이 되는데 이를 ‘Crowd Packing’으로 부르고 우리말로로는 ‘군중밀집’ 혹은 ‘군중압박’으로 표현할 수 있다. ‘Crowd Crush’는 이 상황에서 신체적 손상이 가해지는 것을 포함하며, ‘군중눌림’ 혹은 ‘군중압박’으로 표현할 수 있고 ‘군중충돌’로 표현한 언론 보도도 있으나, 실제 내용은 ‘Crowd Packing’과 차이가 있어 적절한 표현을 찾아야 한다. 신체적 손상이 있느냐가 기준이 되는 것이다. 군중압박을 야기하는 상황에서는 천천히 질서 있게 출구를 마련하여 빠져나간다면 피해를 줄이거나 예방할 수 있지만, 통제되지 않는 경우 밖으로부터 군중이 밀도가 높은 인파의 중심 쪽으로 몰려드는 갑작스러운 군중 증가 및 군중 밀도의 증가를 보일 수 있는데 이를 ‘Crowd Surge’라 하며 ‘군중 밀려듦’, ‘군중 급증’ 등으로 표현할 수 있다. 원래 ‘Surge’는 파도가 밀려드는 것 같은 특정 대상의 급증 현상을 나타내며, 재난 시 의료현장에서 재난 피해자가 환자로서 병원으로 갑자기 몰려들게 되어 한정된 병원의 인적, 물적 자원만으로는 감당하기 어려운 상황을 표현할 때 ‘Surge Capacity(피해자 급증 감당 능력)’와 같이 사용되는 용어이다. 군중압박 상황에서는 ‘Crowd Surge’는 상대적인 재난의 수요-자원의 불균형보다는 유입되는 군중들의 급증을 표현하는 용어로서 사용되고 있다. ‘Crowd Surge’와 비슷하게 사용되는 용어가 ‘Crowd Stampede’이다. ‘Stampede’는 흔히 동물들이 떼를 지어 한꺼번에 몰려드는 상황을 표현하는데 사용되나, 군중밀집의 경우에는 ‘Crowd Surge’와 비슷하게 사용되기도 하나, 차이는 ‘Crowd Stampede’는 사람들 사이에 일정 간격을 두고 밀려드는 현상이기 때문에 사람 간 눌림으로 인한 압력이 발생하지 않는 게 차이가 있다. 물론 두 용어 다 일부가 이동하며 넘어지게 되면 연이어 넘어지는 현상이 발생할 수 있지만 그 정도와 기전은 차이가 있다. 이렇게 넘어지는 사람이 발생하거나, 경사가 진 상태에서 위아래로 군중이 포개져서 밀집된 대열이 무너지는 등 군중의 대오가 붕괴되는 상황을 ‘Crowd Collapse(군중붕괴)’로 표현할 수 있다. ‘Crowd Collapse’는 발생하면 단순 군중압박에 비하여 더 많은 인명피해를 발생시킬 수 있는 상황이 되며, 그 발생 여부가 다수의 인명피해가 직결된다. 높은 곳에서 밀집된 군중을 내려다보면 전체적 움직임이 조류와 같은 흐름으로 움직이는 것을 볼 수 있는데, 일정한 방향으로 천천히 흘러가면 상대적으로 안전한데 반해, 여러 흐름들이 어느 장소에서 충돌하거나 흐름이 관리되지 않아 질서가 깨지면 회오리처럼 와류가 생길 수 있는데 이를 ‘Crowd Turbulence’라고 하여 ‘군중와류’ 정도로 표현할 수 있다. 이 경우 관리자가 전반적인 흐름을 파악할 수 있도록 넓은 시야를 확보하고 ‘Crowd Turbulence’ 발생을 예방할 수 있는 조치를 취하고 현장과 그 정보를 공유해야 한다.

## 2.2 국내외 현황

국내에서는 군중집회가 재난으로 발생한 적은 거의 없으나 상주 운동장 사고나 이태원 할로윈 축제 사고처럼 많은 인명피해를 발생시킨 군중집회도 있다(Lee, 2007; Wang and Byun, 2011). 국외에서는 1990년 사우디아라비아에서의 압사사고(1,426명 사망), 2010년 캄보디아 프놈펜 물축제 시 압사사고(347명 사망), 2015년 사우디아라비아 메카에서의 성지순례에서의 압사사고(2,177명 사망) 등이 대표적 압사사고이다(Table 2). 조사결과 군중압박 사고는 선진국과 개발도상국을 가리지 않고 다양하게 발생하고 있어서, 군중압박 사고를 후진국형 사고로 표현하는 것은 잘못된 표현이다. 국내에서 큰 사고가 빈발하지 않았기 때문에 연구가 미흡하나 해외에서는 대표적 사례를 중심으로 다양한 방법의 분석, 평가가 이루어지고 있었다.

**Table 2.** Representative examples of crowd crushes worldwide

Time	Location	Event	Sacrifices
11 February 1823	Valletta, Malta	Carnival	110 died
16 June 1883	Sunderland, England	Victoria Hall-narrow door	183 died
18 May 1896	Moscow, Russia	Khodynka Tragedy	1,389 died / over 1,300 injured
24 December 1913	Calumet, Michigan, United States	Italian Hall disaster -false fire alarm at a Christmas party	73 died
6 June 1941	Chongqing, China	World War II Japanese bombing → crowd crush at the Jiaochangkou tunnel	461 killed
5 March 1953	Moscow, Soviet Union	Joseph Stalin funeral	109 died
2 January 1971	Glasgow, Scotland	Ibrox disaster : attempting to leave an Old Firm football match	66 killed / 200 injured
3 December 1979	Cincinnati, Ohio, United States	The Who concert : to enter Riverfront Coliseum	11 fans suffocated to death
15 April 1989	Sheffield, South Yorkshire, England	Hillsborough disaster : influx of football fans	97 killed / 766 injured
2 July 1990	Mecca, Saudi Arabia	Mecca tunnel tragedy	1,426 killed
1 January 1993	Lan Kwai Fong, Hong Kong	Celebrated New Year's Eve	21 killed / 67 injured
14 January 1999	Sabarimala, Kerala, India	1999 Sabarimala stampede	53 killed
21 July 2001	Akashi, Hyōgo, Japan	Akashi pedestrian bridge accident	11 killed / 183 injured
4 February 2006	São Paulo, Brazil	Concert (RBD autograph session) on a parking lot	3 died
4 February 2006	Pasig, Philippines	PhilSports Stadium stampede (anniversary episode)	73 killed / 400 injured
30 September 2008	Mehrangarh Fort in Jodhpur, Rajasthan, India	2008 Jodhpur stampede	224 killed / 425 injured
24 July 2010	Duisburg, North Rhine-Westphalia, Germany	Love Parade	21 killed / 500 injured
22 November 2010	Phnom Penh, Cambodia	Khmer Water Festival celebrations	347 killed / 755 injured
14 January 2011	Sabarimala, Kerala, India	2011 Sabarimala stampede	106 killed
1 February 2012	Port Said, Egypt	Port Said Stadium riot after football match	73 killed / 500 injured
31 December 2014	Shanghai, China	New Year's celebrations	36 killed / 47 injured
24 September 2015	Mecca, Saudi Arabia	Annual Hajj	2,177 died / 934 injured
3 June 2017	Turin, Italy	2017 UEFA Champions League Final	2 killed / 1,500 injured
29 September 2017	Mumbai, India	Elphinstone Station, narrow footbridge	22 died / hundreds injured
7 January 2020	Kerman, Iran	Qasem Soleimani funeral stampede	56 dead / 200 injured
22 August 2020	Lima, Peru	Crush resulting from a police raid on an illegal gathering at a nightclub	13 dead / 6 injured
30 April 2021	Meron, Israel	Religious celebration	45 dead / 150 injured
5 November 2021	Houston, Texas, United States	Astroworld music Festival	12 died / 1,300 injured
1 October 2022	Malang, East Java, Indonesia	Kanjuruhan Stadium disaster after football match	133 dead / 583 injured
29 October 2022	Seoul, South Korea	Itaewon Halloween crowd crush	158 died / 170 injured

### 3. 군중압박 평가에 대한 접근법

군중압박 평가는 어느 한 가지 방법으로 되지 않고 선행연구에서 다양한 학술적 접근이 이루어지고 있어 혼란을 줄 수 있다. 그러나 문헌조사와 온라인 상의 조사 상으로 보면 전통적으로 영상분석, 시뮬레이션 및 관련자 면담 조사를 시행하는 것이 대표적인 방법이라 그에 대하여 조사하였다. 이러한 전통적 접근 방법도 그 기반에는 여러 기술이 사용되었으며, 이는 대표적 군중압박 사고 분석에 사용되었다. 그러나 종합적인 하나의 접근법이 제안되어 있지는 않았고 따라서 이에 대한 주요 내용의 정리가 필요하였다.

#### 3.1 영상분석

##### 3.1.1 Crowd Crush 영상 수집

군중압박 상황을 과학적으로 분석하기 위해 실제 사고의 동영상 자료가 필요하며, 자료의 수집은 CCTV를 통한 자료의 수집이 대표적이다. CCTV를 통한 자료의 수집은 사건의 시작 전부터 종결 이후까지 전체적인 영상이 파악되는 장점이 있으나 중요 영상을 확보하기 위해서는 여러 장소, 각도의 CCTV 영상이 있는 것이 좋고, 이전의 CCTV 영상은 화질저하의 문제도 있을 수 있다. 이를 해결하기 위하여 드론의 활용, 혹은 현장의 목격자의 동영상을 활용하는 방법이 있는데, 드론은 비행시간의 한계가 있고, 현장의 목격자의 동영상은 중요 상황이 포함되는 경우가 많으나 분량이 길지 않아 전체적 상황 파악에는 적합하지 않을 수 있는 것이 고려되어야 한다. 그럼에도 불구하고 CCTV 영상이 없거나 접근이 제한되어 있을 때는 다수의 목격자 동영상으로 보완하는 방안이 필요하다. 수사나 조사 목적이 아닌 하나의 군중압박 사고의 연구 및 파악을 위해서는 비슷한 군중압박의 국내외 영상을 수집하여 분석하여 대상 사고와 비교할 수도 있다(Lowe, 2004).

##### 3.1.2 수집된 Crowd Crush 자료 영상 분석

###### 1) DIM-ICE risk model의 적용

수집된 Crowd Crush 자료는 DIM-ICE risk model에 따라 3가지 기준으로 분류되며, 하나의 행렬 혹은 표로 표현할 수 있다(Table 3).

**Table 3.** DIM-ICE risk model

① Three primary phases of crowd behaviour : Ingress, Circulation and Egress
② Three primary influences on crowd behaviour : Design, Information and Managemen (DIM)
D (design) : limitations of capacity, throughput
I (information) : social media, signage, PA announcements, news elements
M (management systems) : processes and procedures
③ Two primary modes of crowd behaviour : Normal and Emergency

표 내부의 내용에 색상을 추가하여 위험이 높음(빨간색), 중간(주황색) 또는 낮음(녹색)인 단계 및 영향의 위치를 강조할 수 있다. 이 작업의 목적은 군중 위험을 야기하는 기본 요소에 사용자의 관심을 끄는 것이며, 군중 관리 계획이 군중 행동의 단계와 영향을 모두 고려하도록 하는 유용한 체크리스트로서, 색상은 그 이해에 도움이 된다. 보통 빨간색은 개선해야 함, 주황색은 모니터링해야 함, 녹색은 잘되고 있는 것을 뜻하게 된다(Fig. 1).



Normal	Ingress	Circulation	Egress	Emergency	Ingress	Circulation	Egress
Design				Design			
Information				Information			
Management				Management			

Fig. 1. Risk analysis based on DIM-ICE risk model

동영상을 통하여 군중의 분위기를 파악해야 하고 이는 행사, 환경, 군중자체가 영향을 준다. 환경은 장소 유형, 날씨, 음악, 지형, 더위, 추위, 시끄러움 등을 파악해야 하고, 행사는 모임의 특성, 종교, 축제, 콘서트, 대중 연설, 시위, 행진, 향의, 공연 등을 파악하는 것이며, 군중은 모여있는 군중의 인구 통계학적 특성 및 구성을 파악하는 것이다. 즉 군중집회의 분위기는 행사, 환경 및 군중의 함수로 나타낼 수 있다.

군중 구성, 분류, 행동 및 인구 특성에 대한 다양한 학술적 의견이 있지만, 군중이 구성되는 방식, 다양한 상황에서 군중이 어떻게 반응할 수 있는지, 어떻게 정의되어야 하는지가 영상 분석 시 군중 행동에 대한 기본 정의로 사용된다. 군중 행동은 사건 진행 중에 한 분류에서 다른 분류로 변경될 수 있다. 이것은 군중이 어떻게 다른 관리 전략을 필요로 하는지에 대한 기본 사항을 정의하는 데만 사용되며 동영상 분석 시에는 군중의 분위기, 행동을 식별하고 그에 따라 행동하게 하는 것이 중요하다 (Akopov and Beklaryan, 2011).

2) 동영상을 통한 Crowd Density 및 Crowd Flow 상황의 분석

공공 집회 장소에서는 공간 사용 방법을 차별화하는 것이 중한데, 정적 및 동적이라는 두 가지 기본 유형을 정의한다. 정적 공간은 군중이 주로 서거나 관찰하는 공간이고 동적 공간은 군중이 일반적으로 이동하는 영역이다. 이 두 가지 유형의 공간은 활용 요소가 다르고 밀도가 다르므로 위험 및 군중 관리 요구 사항이 다르다. 예를 들어 음악 공연은 무대 앞쪽에 가장 가까운 군중 밀도가 예상되며, 입구/출구 지점, 화장실, 매점 등을 오가는 경로는 이동 시 위험이 없어야 한다. 이러한 서로 다른 공간은 운영자가 군중이 이동하는 위치와 군중이 주로 서있거나 정지하는 위치를 알 수 있도록 현장 계획에서 차별화되어야 하고 동영상 분석에서 반영되어야 한다(Johansson et al., 2008).

기존의 군중 흐름과 관련된 자료는 주로 측정값으로 1인당 면적을 사용하는데, 이는 사람 주변의 공간을 시각화하기 어렵기 때문에 혼란스러울 수 있다. 따라서 제곱미터당 사람 수로 표현되는 밀도를 사용하는 것이 좋으며, 밀도는 시각화하기 쉽고 군중 안전을 위해 명확하게 보여야 한다.

밀도가 증가함에 따라 흐름이 증가하지만 임계 밀도에 도달할 때까지만 흐름 증가가 가능하다. 이 임계 밀도는 이벤트의 특성/군중의 특성에 따라 다를 수 있다. 제곱미터당 사람 수로 표현되는 밀도가 임계 밀도 이상으로 증가하면 군중 흐름이 떨어지기 시작하며, 군중 흐름은 군중 질서의 함수이다. 행진하는 군대는 혼합된 인구 통계학적 군중보다 더 높은 밀도에서 더 큰 흐름 속도를 달성할 수 있다. 이와 같은 밀도와 흐름을 동영상 분석을 통하여 기존 연구에서 제시된 표준 Crowd Density 와 Crowd Flow 자료와의 비교를 통하여 위험 단계 현황의 변화 및 취약성을 분석하게 된다(Heliövaara et al., 2012).

3) RAMP 분석

RAMP 분석은 군중이동경로(Routes), 군중차지면적(Areas), 시간에 따른 군중이동(Movement) 및 군중의 특성(Crowd Profile – People)으로 구성된 분석이다. 이를 위하여 지역 계획을 통하여 군중이 이벤트에 도착하기 위해 어떤 경로를 사용할지 결정하게 되는데, 일반적으로 다양한 지역 교통 시스템 정보를 검토하여 달성할 수 있다. 사람들은 지역 인구 밀집 지역에서 기차, 버스, 자동차 또는 도보로 이동할 것이다. 교통 터미널의 위치를 결정하고 교통 시스템에서 이벤트까지 해당 경로를 사용하는 사람들의 비율을 평가한다. 경로 다이어그램을 준비하고, 경로를 따라 이동하여 사람들이 행사장으로 이동하는

방식을 이해한다. 여기에 간판, 정보 또는 안내원이 현장에 도착하는 과정을 지원하는 영역을 강조 표시할 수 있다.

어떤 경우 경로 다이어그램을 분석하면 경로의 한쪽이 먼저 채워질 가능성이 있음을 알 수 있다. 또한 대중 교통 접근이 불가능한 경로의 구간이 있음을 볼 수 있다. 경로 다이어그램에서 더 높은 군중 밀도를 예상할 수 있는 문제를 강조할 수 있는데, 이는 용량 계획, 경로 및 군중 관리 문제를 포함한다.

RAMP 분석에서 추가적 분석이 필요한 경우는 다음과 같다.

- 얼마나 많은 사람들이 이 역, 승차장을 사용할 수 있는가?
- 탈출 과정을 관리하려면 무엇이 필요할 수 있는가?
- 경기장 등을 사용하는 이벤트에서 탈출은 어떻게 작동하는가?
- 외부에서 진입하는 사람수가 경기장 등의 수용 인원보다 많은가?

#### 4) Crowd Counting(군중 숫자 집계)

행사에는 계획된 조직된 모임과 자발적인 모임의 두 가지 유형이 있다. 계획된 이벤트는 발권 또는 무료 입장이 가능하여 정확한 용량 확인이 가능하다. 문제는 자발적 혹은 무료 입장 이벤트의 군중 수용 인원과 군중 수의 계산이다. 여기에서 가장 기초적인 정보가 해당 영역을 오가는 경로 및 안전 용량이다. 이는 다양한 지도 도구를 사용하여 해당 영역을 측정할 다음 안전한 보관 용량을 계산할 수 있다. 따라서 이벤트 전에 안전하게 수용할 수 있는 인원을 확인할 수 있다.

안전 한도를 초과하지 않도록 군중 수를 실시간으로 계산하여 추정하는 방법에는 개수 또는 밀도 검사의 두 가지가 있다. 첫 번째는 이벤트 공간 안팎의 사람들을 세는 것이다. 이것은 일반적으로 울타리가 쳐진 지역인 경계 내에서 열리는 축제나 대규모 모임과 같은 폐쇄된 공간에서 잘 작동한다. 두 번째 방법은 거리나 도로 네트워크, 열린 공원, 복잡한 공간 또는 많은 양의 입력 및 출력이 있는 영역 등 단순히 모든 사람을 셀 수 없을 때 밀도 평가를 사용하여 확인할 수 있다. 두 번째 방법은 최근 인공지능을 활용하여 군중숫자 집계 가능하도록 하는 노력이 진행되고 있다(Rao et al., 2011).

## 3.2 시뮬레이션

군중 시뮬레이션은 군중 행동 및 군중 운동 모델의 두 가지 주요 범주로 나뉜다. 행동 모델은 본질적으로 두 가지 유형입니다. 설문지 연구에서 개인의 관찰, 경험 및 보고된 행동을 포함하는 개념 모델과 시뮬레이션을 위한 컴퓨터 모델 정보 검색 및 처리와 관련된 개인의 행동 모델로 다시 나뉜다. 행동 모델은 분석에 군중 역학이 포함되지 않는다.

군중 운동 모델에는 두 가지 주요 유형이 있는데, 이들은 유체 또는 입자 시스템과 매트릭스 기반 시스템이다.

### 3.2.1 유체 또는 입자 시스템

#### 1) Exodus

Ed Galea는 유체 역학 모델을 채택하고 이를 인간 움직임의 개별 가상 현실 시뮬레이션과 결합하였다. 그 제품인 Exodus는 전 세계 여러 주요 프로젝트에서 사용되었다. Exodus는 대형 다층 건물에서 많은 수의 개인 대피를 시뮬레이션하도록 설계되었는데, 이 모델은 건물 밖으로 나가거나 열 및 독성 가스와 같은 화재 위험에 압도당하는 각 개인의 궤적을 추적한다. 이 모델은 20가지 속성이 있는데, 신체적(연령, 체중, 성별, 민첩성), 심리적(인내, 추진력) 위치(이동 거리) 및 위험 영향(FIN, FICO2, FIH)의 4가지 범주로 분류된다. 각 개별 속성을 기반으로 모델은 시뮬레이션된 인간을 각각 활성화하고 출구 통계에 미치는 영향을 평가한다. 이러한 속성은 예를 들어 과체중에 대한 출구 속도가 얼마인지 도출하는 식이다.

## 2) Rampage

Eyal Cohen은 폭발 및 기타 기본 프리미티브를 애니메이션화하기 위해 정교한 입자 시뮬레이션 시스템을 개발하였다. 그는 현장에서 얻은 지식을 바탕으로 인간의 행동을 반사적(즉각적) 반응과 추론(결정적) 반응으로 모델링하였으며, 모델링 이면의 원리는 Boltzmann 가스 방정식을 기반으로 한다. 개발 회사인 Animation Science는 경험적 결과가 재현될 때까지 동작을 반복적으로 조정하여 잘 알려진 여러 상황에 모델을 적용하였는데, 교정의 주요 기반자료는 Fruin 및 P&M이다. Fruin 데이터의 사용이 오류에 대한 충분한 여지를 남길 수 있으며 한계가 있음에도 불구하고 공공 집회 장소의 설계 및 운영에 사용할 수 있음이 확인되었다. Rampage는 개발자 자신의 현장 연구가 아닌 과거 자료를 사용하는 것을 고려해야 한다.

## 3) 사회적 힘 모델(social force model)

Dirk Helbing는 Boltzmann과 같은 기체 역학 접근법의 적용을 통하여 다양한 인간 행동을 설명한다. 보행자는 일반적으로 다각형 모양을 가진 다음 목적지까지의 최단 경로를 선택하는데, 대체 경로의 길이가 같을 경우 보행자는 대체 경로가 더 매력적이지 않은 한(소음이 적고, 더 가볍고, 더 친근한 환경, 신호등 등), 보행자는 직행길이 붐비더라도 우회하거나 원하는 보행 방향과 반대 방향으로 이동하는 것에 강한 거부감을 느낀다는 것이 적용되었다. 이 결론은 Alan Penn의 공간 구분에 대한 작업에서 영향을 받았고, 또한 G. Still의 연구에서 웹블리 개찰구에서 진입하는 동안 관찰된 행동이다.

보행자는 제 시간에 목적지에 도달하기 위해 더 빨리 이동할 필요가 없는 한 가장 편안한 보행 속도에 해당하는 개별 속도로 걷는 것을 선호한다. 군중 내에서 원하는 속도는 평균값이 초당 1.34미터이고 표준 편차가 초당 0.26미터인 가우시안 분포로 알려져 있다.

보행자는 다른 보행자 및 경계선(거리, 벽 및 장애물)과 일정 거리를 유지하는데, 이 거리는 보행자가 서두를수록 작아지고 보행자 밀도가 높아짐에 따라 감소한다. 휴식 중인 개인(예: 열차 플랫폼에서 기차를 기다리거나, 식당에 앉아 있거나, 해변에 누워 있는 등)은 개인 간에 지인이 없는 경우 사용 가능한 영역에 균일하게 분포하게 된다. 특히 매력적인 장소 주변에서 보행자의 밀도가 증가하는데 이는 대인 거리가 줄어든다는 것을 의미한다. 속도 변화가 커짐에 따라 대인 거리가 감소한다(예: 무도장에서 춤을 추는 등). 서로를 아는 개인은 단일 보행자와 유사하게 행동하는 개체로서 그룹을 형성할 수 있다(Fridman and Kaminka, 2010).

보행자는 일반적으로 모든 상황에서 자신의 행동 전략을 새롭게 반영하지 않고, 마치 숙련된 자동차 운전자가 하는 것처럼 다소 자동적으로 행동하게 된다. 이는 보행자가 지체나 장애물과 관련될 때 명백해진다(Helbing et al., 2001).

또한 Helbing은 중간 및 높은 보행자 밀도에서 보행자 군중의 움직임이 가스 및 유체의 움직임과 놀라운 유사성을 보인다는 것을 발견하였다. 임계 밀도를 초과하면 균일한 보행 방향의 라인에서 자발적인 조직이 형성되며, 또한 병목 지점(예: 복도, 계단 또는 문)에서 보행자의 통과 방향은 병목 지점의 폭과 길이에 따라 증가하는 주파수로 진동하게 된다.

## 3.2.2 매트릭스 기반 시스템

### 1) 승객 흐름 평가 시스템(PFES)

Toshiyuki Aoki와 Hiromichi Oto는 일본 연구소와 공동으로 시스템을 개발하였고, 이 시스템은 미리 정의된 군중 움직임을 확인할 수 있다는 원리와 시뮬레이션을 기반으로 한다(Siddiqui and Gwynne, 2012). 그리드는 평면도(최대 수  $150 \times 60$ )에 배치되며 각 그리드는 일반적인 방향, 유속 및 미리 결정된 속도/밀도 관계를 나타낸다. 이 범주의 모든 시스템과 마찬가지로 올바른 그리드 매개변수를 생성하느냐에 따라 그 효과가 달라진다. 여기서 입력 데이터는 Fruin 데이터가 아닌 Togawa 데이터를 사용한다.



## 2) Egress(SRD AEA Technology)

Aoki 시스템과 마찬가지로 SRD의 시스템은 그리드를 기반으로 하며, 이 경우 그리드는 육각형이다. 이 시스템은 화재를 포함한 다양한 상황에서 에이전트가 어떻게 반응할지 결정하기 위해 인공지능 기술을 사용하는데, Canter, Sime 및 Fruin의 연구에 인공지능 규칙을 기반으로 하였다. Canter와 Sime은 군중심리학자이며 군중심리학에서 여러 가지 중요한 요소를 정의하였다. 그들의 논문에서 SRD는 Fruin, Pauls, Predtechenskii 및 Milinskii와 관련된 다양한 속도/밀도 곡선을 강조한다. 핵심적인 사항은 다음과 같은 관계이다.

$$f(p) = p * v(p) \text{ (유량} = \text{밀도} * \text{속도)} \quad (1)$$

여기서,  $f(p)$ 는 유속이고,  $v(p)$ 는 군중 밀도  $p$ 에서의 속도이다.

이 접근 방식은 기본적으로 사람이 세포에서 세포로 전환하는 것이 세포의 점유를 기반으로 하는 세포 자동화 프로세스이다(Qin et al., 2009; Ding, 2011; Song and Park, 2011; Kim and Park, 2020).

## 3) Pedroute

Pedroute는 원래 London Underground Limited의 Gerry Weston이 개발한 컴퓨터 시뮬레이션 시스템이다. Pedroute는 전 세계 네트워크에서 군중 매개변수를 모델링하는 데 광범위하게 사용되었으며, 이는 Fruin의 서비스 수준의 확장이며, 지역의 특성과 관련하여 군중 역학을 정확하게 표현하는 자료에 의존한다. Pedroute는 또한 교차 흐름, 기타 지역적 효과에 Fruin 자료가 없을 때 부정확성이 나타난다. 이러한 경우 가장 가까운 근사치가 만들어지는데, Fruin 자료의 결함, 특히 다방향 영역에 Fruin 데이터를 적용하는 것과 관련된 문제가 강조 표시된다. Pedroute 시스템에는 추가 제한이 있으며, 모델을 생성할 때 그리드의 크기와 서비스 사용 수준에 대해 몇 가지 조정을 수행해야 한다.

## 3.3 설문 및 인터뷰

### 3.3.1 군중압박 사고 생존 피해자 설문조사 및 인터뷰

사고 분석의 1차 자료로서 현장 영상의 전체 확보가 보장되지 않는 경우가 많아, 사고 피해 경험자의 생생한 내용을 1차 자료로서 활용하기 위하여 필수적인 과정이다. 생존 피해자 모임이나 개별 피해자들에 대해 그 취지를 설명하고 설문조사 및 인터뷰의 동의를 받고 시행하여야 한다.

설문조사는 일반적인 설문조사 방식과 동일하나, 사고 당시의 상황을 재구성할 수 있는 1차 자료의 확보 및 현장 상황에서 놓친 사항들을 알아보고, 심리적, 의학적, 재난관리 측면, 시스템 운영 측면의 활용 기초 자료를 확보하는데 그 목적이 있다. 심층 인터뷰는: 생존 피해자에 대해서는 설문조사보다 의미가 더 크며, 시간단계별 현장의 경험을 최대한 도출하여 정리할 수 있게 시행한다. 인터뷰 시 현장의 상황이 설명된 지도를 보면서, 필요 시 동의 하에 메타버스를 통한 가상 재현 상황을 통해 조사자와 피조사자가 같이 논의하면서 진행할 수도 있다.

한계 및 고려사항으로 사고 시각과 설문조사 및 인터뷰 시각의 시간 차가 있는 것 때문에 단기 기억의 많은 부분이 소멸될 수 있다는 점을 고려해야 하며, 빠른 시간 내에 조사에 임하는 것이 중요하다. 질문과 답변, 논의로 이어지는 전통적인 인터뷰 행태도 포함되지만, 실제 사고 시 본인의 위치와 행동, 경험, 심리, 감정 등을 구술 혹은 기술 자료로서 확보하면서 그것들이 어떤 시간 단계, 어떤 사건 이벤트, 어느 장소 등에서 발생되고 증강, 감소, 변화되었는지를 현장의 상황 정리와 연계하여 인터뷰해야 한다.

### 3.3.2 사고 참가 종사자 설문조사 및 인터뷰

사고 피해자를 구조자와 대응자 입장에서 관찰하였고, 전반적 상황의 경험자로서 단계별 대응을 수행하는데 느끼는 문제점과 실제 진행되었던 생생한 내용을 1차 자료로서 활용하기 위하여 필수적인 과정이다. 사고 시 참가 혹은 업무 상 관련되었던 경찰, 소방대원, 의료진, 민간조직이 대상이고, 의료진은 현장에 출동한 DMAT(Disaster Medical Assistance Team) 팀원들과 의료기관에서 고 환자들을 진료하였던 의료진들이 포함된다. 종사자로서 경험하고 생각하는 현장과 운영의 문제점을 도출하여, 본 연구의 포함되는 다양한 측면의 기초 자료를 확보하는데 그 목적이 있다. 타 설문조사 및 인터뷰와의 가장 중요한 차이점은: 조사자와 피조사자가 기초자료 위에 Time-Event Table을 구체적으로 같이 구성해가면서, 사고 현장 지도와 같이 결합하여 시간 단계, 사건 이벤트, 장소 등을 조합하며 소통하는 방식이다.

### 3.3.3 관련 전문가 심층 인터뷰 조사, 분석

군중밀집 상황에서의 군중압박에 의한 인명피해 예방, 대처를 위해 필요한 사항과 특정 사고에 대한 전문가적 의견을 취합하여 방향 제안에 활용하기 위하여 필수적인 과정이다. 대상으로: 국내외의 군중안전(Crowd Safety)과 재난관리, 재난보건 의료, 군중사고 분석 등 관련 전문가를 심층 인터뷰 조사하는데 흔히 저지르는 실수가 재난 관련 전문가가 포함되지만 그 중에 군중안전 전문가가 빠지는 경우이다. 문제는 국내 군중안전 전문가를 구하기 쉽지 않아 국외 전문가 참여가 필요한 경우가 많다. 전문가 심층 인터뷰는: 전문가의 전문 분야와 해당 사고 위주로 심층 인터뷰 진행하며, 전문가의 사고에 대한 의견, 본인의 전문 분야의 시각에 따른 의견과 제안, 국제적 현황과 경향을 구술 방식으로 인터뷰하고 전문가들에 대한 공통 질의 부분을 포함하여 조사 분석한다. 전문가 심층 인터뷰의 객관성을 높이기 위해 델파이법이나 AHP(Analytic Hierarchy Process)법을 적용하기도 한다.

### 3.3.4 고려사항

일반시민 설문조사를 기초 조사로서 병행할 수 있다. 특히 사고 이외의 재난과 안전 관련 일반적 인식에 대한 질문을 생존 피해자나 참가 종사자에게 하기 위하여서는 일반시민과의 비교가 필요하다.

생존 피해자나 참가 종사자는 외상후스트레스증후군(PTSD)를 갖고 있거나 경중의 차이는 있지만 설문조사나 심층 인터뷰를 통하여 아픈 기억이 소환되는 효과가 있을 수 있다. 그러나 빠른 시간 내의 설문조사나 심층 인터뷰가 없다면 단기 기억은 많이 사라지게 되는 딜레마에 빠지게 된다. 이에 재난심리지원 전문가의 지원이나 미리 협조하여 설문조사나 심층 인터뷰를 하는 것이 권장된다. 심리지원을 하면서 동시에 심층 인터뷰가 진행되는 방안은 고려되고 있지만 실제로 매우 도전적인 과제이며 이에 대한 연구도 필요하다(Sakuma et al., 2005; Park et al., 2013).

생존 피해자나 참가 종사자를 대할 때 대면 상태에서 일방적 질문과 답을 하는 것은 외상후스트레스증후군 측면에서 바람직하지 않을 수 있다. 어떤 대상자는 얼굴과 목소리를 대면하지 않으면 더 편안하게 인터뷰가 가능할 수 있을 것으로 생각하여 비대면 인터뷰도 하나의 방법으로 제안되고 있다. 최근에는 메타버스 생태계의 발전으로 가상의 아바타를 통하여 시행하는 인터뷰도 하나의 방법이 되고 있다(Karimaghalou et al., 2014).

## 4. 결론

군중압박 사고 관련 개념에 대한 정립되지 않은 우리말 용어를 제안하였고, 이에 대한 추가적 논의, 확정이 필요하다. 과거 있었던 대표적 압박사고의 분류, 특성을 통해 세계적으로 선후진국의 구별없이 다양하게 발생하고 있고, 대표적 사례를 기반으로 연구가 진행되었으며, 이는 동영상 분석, 시뮬레이션 및 설문과 인터뷰 등이 대표적인 분석, 평가 방법임을 알 수 있었다.

이를 통해 국내에서도 압박사고의 용어 표준화와 개념 정립, 평가 및 접근 방법의 체계화가 이루어져야 할 것이다.

## Acknowledgments

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. NRF-2023R1A2C1002938).

## References

- Akopov, A. and L. Beklaryan. (2011). Model of Adaptive Control of Complex Organizational Structures. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*. 71(1): 105-127.
- Ding, A. W. (2011). Implementing Real-Time Grouping for Fast Egress in Emergency. *Safety Science*. 49(10): 1404-1411.
- Fridman, N. and G. Kaminka. (2010). Modeling Pedestrian Crowd Behavior Based on a Cognitive Model of Social Comparison Theory. *Computational and Mathematical Organization Theory*. 16(4): 348-372.
- Helbing, D., P. Molnar, I. Farkas, and K. Bolay. (2001). Self-Organizing Pedestrian Movement. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 28: 361-383.
- Heliövaara, S., T. Korhonen, S. Hostikka, and H. Ehtamo. (2012). Counterflow Model for Agent-Based Simulation of Crowd Dynamics. *Building and Environment*. 48(1): 89-100.
- Johansson, A., D. Helbing, H. Z. Al-Abideen, and S. Al-Bosta. (2008). From Crowd Dynamics to Crowd Safety: A Video-Based Analysis. *Advances in Complex Systems*. 11(4): 497-527.
- Karimaghallou, N., U. Bernardet, and S. Di Paola. (2014). A Model for Social Spatial Behavior in Virtual Characters. *Computer Animation and Virtual Worlds*. 25(3/4): 505-517.
- Kim, S. and J. Park. (2020). Analysis on the Escape Tendency of Rodents to Escape due to Electrical Stimulation for the Interpretation of Pedestrian Crush Accidents. *Proceedings of the 2020 KSMPE Conference*. 154.
- Lee, K. (2007). Clinical Analysis of the Stadium Stampede in Sang-ju, Korea. *Journal of the Korean Society of Emergency Medicine*. 18(5): 367-374.
- Lee, S. and T. Jung. (2007). The Study on the Prevention against Accidents of Death form Pressure Events Performance Site. *Journal of Korea Sport Research*. 18(5): 429-444.
- Lowe, D. G. (2004). Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision*. 60(2): 91-110.
- Michael, J. A. and J. A. Barbera. (1997). Mass Gatherings Medical Care: A Twenty-Five Year Review. *Journal of Prehospital and Disaster Medicine*. 12(4): 305-312.
- Park, J. H., F. A. Rojas, and H. S. Yang. (2013). A Collision Avoidance Behavior Model for Crowd Simulation Based on Psychological Findings. *Computer Animation and Virtual World*. 24(3/4): 173-183.
- Qin, W.-H., G.-H. Su, and X.-N. Li. (2009). Technology for Simulating Crowd Evacuation Behaviors. *International Journal of Automation and Computing*. 6(3): 351-355.
- Rao, Y., L. Chen, Q. Liu, W. Lin, Y. Li, and J. Zhou. (2011). Real-Time Control of Individual Agents for Crowd Simulation. *Multimedia Tools and Applications*. 54(2): 397-414.
- Sakuma, T., T. Mukai, and S. Kuriyama. (2005). Psychological Model for Animating Crowded Pedestrians. *Computer Animation and Virtual Worlds*. 16(3/4): 343-351.
- Siddiqui, A. A. and S. M. Gwynne. (2012). Employing Pedestrian Observations in Engineering Analysis. *Safety Science*. 50(3): 478-493.
- Song, K. and J. Park. (2011). Analysis for Jamming Accident on Emergency Escape through the Bottleneck under High Density Condition. *Proceedings of the 2011 KIFSE Annual Fall Conference*. 490-493.
- Wang, S. and H. Byun. (2011). A Survey of Human Injury and Crowd Packing in Mass Gathering. *Journal of the Korean*

Society for information. 7(1): 12-20.

#### **Korean References Translated from the English**

- 김소미, 박준영 (2020). 보행자 압사사고 해석을 위한 전기 자극에 따른 설치류의 탈출 경향 분석. 한국기계가공학회 2020년도 춘계학술대회 논문집. 154.
- 송경원, 박준영 (2011). 과밀상태하의 병목구간에서 피난 시 보행자 압사사고 해석. 한국화재소방학회 2011년도 추계학술논문발표회 논문집. 490-493.
- 왕순주, 변현주 (2011). 군중집회 시의 인명피해 및 군중놀림 현상의 고찰. 한국재난정보학회 논문집. 7(1): 12-20.
- 이경원 (2007). 상주 시민 운동장 압사 사고의 임상적 고찰. 대한응급의학회지. 18(5): 367-374.
- 이선기, 정태황 (2007). 문화행사 공연장의 압사사고 예방방안에 관한 연구. 한국스포츠리서치. 18(5): 429-444.