지하주차장 제연성능 확보방안 연구

Optimal Measures for Smoke Control Performance for an Underground Parking Lot

윤해권* · 김학중**

Youn, Hae Kwon*, and Kim, Hak Joong**

Abstract

The urban environment has been changing rapidly, and with buildings becoming larger, denser, and more complicated, parking lots have gradually been moved underground. The consumption pattern of vehicles has changed from compact to mid- or full-sized cars, and the risk of car fires has also increased with the use of more flammable materials in cars to improve fuel efficiency. Consequently, the necessity of smoke control applications in underground parking lots has become essential to ensure fire safety. Smoke control partition areas were set to 5000 m², 3000 m², and 2000 m², to analyze the performance of smoke control facilities in underground parking lots. The flow rate of smoke control was set to 18 CMH and 27 CMH and compared with the duct installation setup. The results showed that smoke control performance was most suitable when the smoke control partition area was set to 3000 m², the flow rate of the smoke control was 27 CMH, and the duct was installed.

Key words : Underground Parking Lot, Smoke Control Performance, Smoke Control Partition Area, Smoke Control System

요 지

우리의 도심환경은 급속도로 변화하고 있으며, 인구가 도심으로 밀집되면서 건축물은 대형화, 심층화, 복합화 되어 지상에 위치한 주차장은 지하로 내려가고, 차량의 소비 형태는 소형에서 중대형으로 변화하고 있으며, 차량에 사용되는 가연성 물질은 연비경쟁에 따라 사용이 증가하면서 화재에 대한 위험성이 매우 높아짐에 따라 지하주차장의 화재안전성을 확보하기 위한 방안으로 지하주차장에 제연설비 적용의 필요성이 커지고 있다. 따라서 지하주차장의 제연설비 성능분석을 위해 제연경계 구역을 5,000 m², 3,000 m²와 2,000 m²로 구획하고, 제연 풍량을 18 CMH와 27 CMH 적용하고, 덕트설치 유·무에 따라 비교하였다. 그 결과 제연경계구역을 3,000 m²로 하고, 제연풍량을 27 CMH, 덕트를 설치한 경우 제연성능이 가장 우수한 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 지하주차장, 제연성능, 제연구역, 제연설비

1. 서 론

우리의 도심환경은 급속도로 변화하고 있다. 특히 인구가 도심으로 밀집되면서 건축물의 형태는 고층화, 대형화, 밀집화, 심층화, 복합화, 복잡화 되어가고 지상에 위치한 주차장은 지하공간으로 이동하고 있다.

최근에는 자동차 소비형태가 소형차보다는 중·대형차

를 선호하면서 중·대형차가 증가하는 추세에 있으며, 자동차 연비 경쟁에 따라 차량이 경량화 되면서 폴리우레탄 등 가연성 물질의 사용량은 증가하고 있다. 가연물량은 차량 한 대를 기준으로 316.2 kg으로 차량 전체 무게 1935 kg 대비 16.34%로서 과거에 비해 10 배 이상 증가하였다(Jeong, 2015) 차량에 사용하는 가연물량의 증가는 화재 시 열 방출율(Heat Release Rate)을 키우게 되며, 주차 중인 차량 사이의

*정회원, 세종사이버대학교 소방방재학과 교수(E-mail: yhk2426@naver.com)

Member, Professor, Dept. of Fire Disaster Prevention, Sejong Cyber University

**교신저자, 정회원, 숭실사이버대학교 교수(Tel: +82-2-708-7841, Fax: +82-2-708-7749, E-mail: khj4513@hanmail.net)

Corresponding Author, Member, Professor, Dept. of Fire Protection Engineering, Korea Soongsil Cyber University

간격이 좁아 복사열 또는 비화 등에 의해 연소가 연쇄적으로 일어나면서 대형화재로 발전하게 될 우려가 높다(Lee, 2016).

2011년 7월에 발생한 인천의 인스파월드 주차장 화재에서는 차량 48대가 전소하였으며, 2008년에 발생한 대전 아파트 주차장 화재에서는 차량 26대가 전소하는 등 지하주차장에서 발생한 화재는 인명피해는 크지 않았지만 많은 재산피해가 발생하는 것을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서는 대형 지하주차장 화재 안전성을 확보하기 위해 Fire Dynamics Simulator (FDS)를 활용하여 제연성능에 필요한 제연 경계구역 적정면적과 제연 급·배출량 등을 제시하고자 한다.

2. 지하주차장 제연성능 평가

2.1 성능평가 대상

충청남도 아산시에 위치한 주상복합건축물로서 주차장 면적은 약 11,450 m² 가로 측 최대 길이는 155.7 m이고,

세로 측 최대 길이는 87.1 m이며, 높이는 3.6 m이다. 주차 대수는 해당 층을 기준으로 총 366대이다. 건축물은 램프를 중심으로 상부 3개 동, 하부 3개동 총 6개동으로 각 동에는 2개소의 특별피난계단이 설치되어 총 12개소의 특별피난계단이 배치되어있다.

2.2 제연성능평가 시나리오

시나리오에 필요한 데이터 입력은 Table 1과 같이 구성하였으며, 최악의 경우를 고려하기 위해서 자동식 스프링클러 설비는 동작하지 않는 것으로 가정하였고, 제연설비의 동작은 연기감지기와 연동하여 작동하도록 하였다.

제연구역은 Table 2와 같이 급·배기 송풍기의 풍량, 급기 풍속 등에 따라 Case 1-1부터 Case 3-2까지 총 12개의 시나리오로 분류하여 시뮬레이션을 수행하였다.

급기 및 배기 풍량은 미국의 NFPA 88A (2013) 6.3 Ventilation 기준인 면적당 18 CMH와 국내의 「건축물의 설비 기준 등에 관한 규칙」 제11조 제4항 관련 별표 1의 6 자목에서 정하는 연면적 2,000 m²이상인 주차장에 필요한 27 CMH를 적용하였다.

Table 1. The Basic Scenario and Input Data

Division		Context
The values	ignition source	a vehicle
	heat release rate	9,000 kW (quoting foreign literature)
	reactants	SFPE Handbook, Polyurethane (GM29) (Soot Yield = 0.130, CO Yield = 0.031)
	temperature/humidity	temperature 20 °C, relative humidity 40%
	number of nodes	759,978 (Multi Mesh: 4, Cell Size: 0.3)
	interpretation time	1,200 seconds
	Device	12 specific fire escape stairs 34 devices installed in the hall of the underground parking lot
	sensor	heat and smoke sensor

Table 2. Scenario Classification

division	smoke control areas	flow rate of air supply and exhaust	number of the exhaust port	air speed	
				air supply	exhaust
Case 1-1	a whole floor	none	-	-	-
Case 1-2	about 5,000 m ²				
Case 1-3	about 3,000 m ²				
Case 1-4	about 2,000 m ²				
Case 2-1	about 3,000 m ²	adjacent air supply (18 CMH)	1	5	15
Case 2-2		adjacent air supply (27 CMH)	1	5	15
Case 2-3		adjacent air supply (27 CMH, with duct)	51 (duct)	5	3
Case 2-4	about 2,000 m ²	adjacent air supply (18 CMH)	1	5	15
Case 2-5		adjacent air supply (27 CMH)	1	5	15
Case 2-6		adjacent air supply (27 CMH, with duct)	31 (duct)	5	3
Case 3-1	about 3,000 m ²	adjacent air supply (27 CMH, with duct)	51 (duct)	5	15
Case 3-2			51 (duct)	1	15

또한 온도, CO, 산소농도 등은 전체 공간에서 측정할 결과 미미한 변화로 큰 영향을 주지 않았기 때문에 가시거리만을 평가하여 지하주차장 제연설비의 성능을 확인하였다. 데이터 수집을 위한 Device 배치는 Fig. 1과 같다.

Fig. 1. Plan of the Device Locations Installed in Specific Fire Escape Stairs and the Passage

3. 제연성능 결과분석

3.1 제연경계구역 크기에 따른 가시거리 분석

지하주차장 제연설비와 관련하여 Case 1, Case 2, Case 3에서 가시거리 5 m 위험한계에 도달하는 시간을 각각 분석하였다. 분석 결과는 Table 3과 같이 제연설비를 하지 않은 경우 연기는 화재가 발생한 지역을 중심으로 해당 층 전체로 천천히 확산되었으며, Case 1-2와 같이 5,000 m²마다 제연경계구역을 설치한 경우에는 제연경계구역이 없는 경우와 크게 차이가 없었다. 그러나 제연경계구역을 3,000 m², 2,000 m²로 구획한 경우에는 경계구역 밖으로 연기가 확산되는 것이 위치에 따라 차이는 있지만 약 50 초 정도 지연되었다. 좌측 하단의 경우에는 두 Case 모두 시뮬레이션 시간 동안 2곳을 제외하고는 가시거리 위험한계에 도달하지 않았으며, 좌측으로의 연기 확산 또한 3,000 m², 2,000 m²로 구획한

Case에서 느린 확산속도를 보였다. 이처럼 제연설비가 설치되지 않은 상태에서는 제연경계구역을 3,000 m², 2,000 m²로 구획하는 것이 연기 확산을 지연시키는 것으로 나타났다.

Fig. 2는 Case 1-1 ~ Case 1-4의 가시거리 분석결과를 나타내고 있다.

Fig. 2. analysis of Visibility Range According to Smoke Control Partition Area

3.2 제연구역 크기 및 제연 풍량에 따른 분석

제연구역 크기 및 제연 풍량에 따른 가시도 분석결과를 Fig. 3 및 Tables 3과 4에 나타내었으며, Case 2-1과 Case 2-2를 비교 분석한 결과 Case 2-2(27 CMH)의 경우에 P2, P4, P9에서 약 50초에서 150초까지 연기 확산속도가 느린 것으로 나타났으며, Case 2-4와 Case 2-5를 비교한 결과 Case 2-5(27 CMH)의 경우에 Case 2-4(18 CMH)의 경우보다 전반적으로 연기 확산이 느리게 나타났으며 특히 P4, P13에서 60 초에서 180 초 정도 느리게 확산되었다. 또한 Case 2-2와 Case 2-5를 비교한 결과 대부분의 측정점에서 3,000 m²로 하는 것이 약 50초 정도 느리게 확산되었으며, P4에서만 2,000 m²에서 156초 느린 것으로 분석되었다. 따라서 제연 경계구역 면적은 3,000 m²와 2,000 m²를 건축물의 구조에 따라 선택 적용할 수 있으며, 제연에 필요한 풍량은 27 CMH 이상으로 하는 것이 효과적이다.

Table 3. Analysis of Visibility Range According to Smoke Control Partition Area (smoke control facility is not reflected)

division	Case 1-1 (a whole floor)	Case 1-2 (5,000 m ²)	Case 1-3 (3,000 m ²)	Case 1-4 (2,000 m ²)
Device not reached the limit during simulation time	2 (global diffusion)	3 (global diffusion)	11 (non-diffusion in lower left)	9 (non-diffusion in lower left)
comparison of time to reach the limit of visibility distance (partition area)	686 seconds	680 seconds	748 seconds	707 seconds
smoke diffusion	(global diffusion)	(global diffusion)	Lower left of fire zone	Lower left of fire zone
assessment	The smoke control partition area has to be installed, and it is effective that the area is 3,000 m ² and 2,000 m ² for delaying smoke diffusion.			

Table 4. Analysis of Visibility Range According to Area and Air Flow Rate (18 CMH and 27 CMH)

division	Case 2-1 (3,000 m ²)	Case 2-2 (3,000 m ²)	Case 2-4 (2,000 m ²)	Case 2-5 (2,000 m ²)
flow rate of air supply and exhaust	18 CMH	27 CMH	18 CMH	27 CMH
comparison of time to reach the limit of visibility distance		delay 50 seconds to 150 seconds at P2, P4, P9 than 2-1		delay 60 seconds to 180 seconds at P4, P13 than 2-4
Device not reached the limit during simulation time	11	14	12	16
non-diffusion zone	Lower left of fire zone	lower left and part of upper left of fire zone	Lower left of fire zone	All left side of fire zone
assessment	flow rates have to above 27 CMH

Fig. 3. Analysis of Visibility Range According to Air Flow Rate

3.3 제연구역 크기 및 덕트 설치에 따른 가시거리 분석

Table 5는 Case 2-2와 Case 2-3비교 결과와 Case 2-5와

Case 2-6을 비교한 결과를 나타내었다. Case 2-2와 Case 2-3의 가시거리 위험 한계 시간을 분석한 결과 Case 2-3의 P4에서 약 200 초 정도 P6와 P13에서 약 50 초에서 70 초 정도 느리게 연기가 느리게 이동하였다. 또한 Case 2-5와 Case 2-6을 비교한 결과에서는 둘 모두 거의 비슷한 수준으로 확산되었으며, Case 2-3과 Case 2-6을 비교 분석한 결과 Case 2-3에서 최대 215 초(P13) 느리게 연기가 확산되었다. 이와 같이 제연구역 면적에 따른 시뮬레이션 결과 2,000 m²와 3,000 m² 모두 유사한 제연성능을 보였으나 경제적인 효과를 고려할 때 3,000 m²로 제연경계구역을 설정하는 것이 효과적이며, 덕트를 설치하는 것이 덕트를 설치하지 않는 것보다 제연성능에 효과적이었으며, 풍량은 27 CMH로 하는 것이 지하주차장 연기배출에 효과적이었다.

Fig. 4는 Case 2-2와 Case 2-3, Case 2-5와 Case 2-6의 덕트설치 유무에 따른 가시도를 분석한 결과이다.

Table 5. Analysis of Visibility Range According to Area, Air Flow Rate and Duct Installation

division	Case 2-2 (3,000 m ²)	Case 2-3 (3,000 m ²)	Case 2-5 (2,000 m ²)	Case 2-6 (2,000 m ²)
flow rate of air supply and exhaust	27 CMH	27 CMH with duct	27 CMH	27 CMH with duct
comparison of time to reach the limit of visibility distance		delay 50 seconds to 70 seconds at P6, P13 than 2-2		similar time distribution to 2-5
Device not reached the limit during simulation time	14	17	16	12
non-diffusion zone	lower left and part of upper left of fire zone	all left side of fire zone	all left side of fire zone	part of lower left and upper left of fire zone
assessment	It is effective that duct is installed in the smoke control partition area for smoke control performance.

Fig. 4. Analysis of Visibility Range According to Duct Installation

3.4 제연급기 풍속에 따른 가시거리 분석

Table 6은 급기 풍속에 따른 가시거리를 분석한 결과이다. Case 3은 급기 풍속을 「제연설비 화재안전기준」에서 제시한 5 m/s와 NFPA 92B (2005)에서 제시한 1 m/s (NFPA 92B에서는 1.02 m/s로 요구함)로 했을 때 연기의 이동을 분석한 결과 Case 3-1의 조건이 Case 3-2보다 좌측 부분에서 연기 확산이 느리게 이동하였으며, 우측 하단으로의 연기이동은

Fig. 5. Analysis of Visibility Range According to Air Supply Speed

Table 6. Analysis of Visibility Range According to Air Supply Speed

division	Case 3-1 (5 m/s)	Case 3-2 (1 m/s)
related criteria	NFPA 92	NFSC 105
flow rate of air supply and exhaust	27 CMH with duct	27 CMH with duct
comparison of time to reach the limit of visibility distance	Many of Devices that do not reach the limit of visibility distance are 3-1.	delay 30 seconds to 60 seconds at lower right
Device not reached the limit during simulation time	17	14
non-diffusion zone	All left side	Lower left
assessment	3-1 delayed to the left, 3-2 delayed to the lower right. Therefore, both cases can be applied considering the structure of the building.	

Case 3-2에서 느리게 이동하였다. 이는 급기구의 위치에 따라 영향을 받는 것이 일부 확인 되었으며, 풍속이 빠를수록 연기를 교란하여 연기확산에 영향을 주고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 가능한 급기 풍속은 느릴수록 연기배출에 좋은 효과를 주고 있다. 그러나 급기 풍속을 늦추게 되면 급기구의 면적이 너무 커져 지하주차장 내에서 설치 공간 확보가 어려울 수 있기 때문에 주의를 기울여 신중하게 선택할 필요가 있다.

Fig. 5는 급기 풍속에 따른 가시거리 분석결과를 나타내고 있다.

4. 결 론

지하주차장에서 제연경계구역에 따른 연기 이동을 분석 한 결과, 지하주차장의 제연경계구역은 3,000 m²이하로 구획 하는 것이 가장 효율적이었다. 지하주차장에 제연설비를 설치하지 않은 상태에서 연기 흐름은 층 전체로 빠르게 확산되었으나 제연경계구역을 3,000 m²이하로 한 경우에는 약 100 초 정도 느리게 가시거리 위험한계에 도달하였다. 따라서 지하주차장의 안전성을 향상시키고, 화재 시 발생된 연기를 원활하게 배출하기 위해서는 지하주차장에 제연설 비 적용이 필요하며, 연기 확산을 효과적으로 제어하기 위해 서는 경계구역을 설정하는 것이 적합하다.

제연 풍량 변화에 따른 가시도를 분석한 결과에서는 제연 풍량을 27 CMH로 하고, 제연 덕트를 설치했을 때 가시도 위험한계 도달 시간을 지연시킬 수 있었다. 지하주차장 제연 풍량은 18 CMH보다는 27 CMH에서 약 50 초에서 150 초까지 연기 확산속도가 느리게 나타났으며, 덕트를 설치하 지 않은 경우보다 덕트를 설치하는 것이 약 50 초에서 200 초까지 가시거리 위험한계에 늦게 도달하는 것으로 나타났 다. 이는 소방 성능위주 설계의 기준으로도 활용할 수 있을 것이라 판단된다.

References

- Jeong, K.S. (2015). Fire protection system for underground parking lots. *Korea Institute of Fire Science and Engineering Seminar Collection*, pp. 4-32.
- Lee, J.M. (2016). *A study on the method of smoke control using fire dynamic simulation in large scale underground parking lot*. Master's thesis, Gachon University.
- NFPA 88A. (2013). *Standard for parking structures*.
- NFPA 92A. (2005). *Recommended practice for smoke* -

Control system.

- NFPA 92B. (2005). *Standard for smoke management systems in malls, atria, and large spaces*.
- Youn, H.K. (2019). *A study on the optimal measures for the smoke control performance of underground parking lot*. Ph.D. dissertation, Kyonggi University.

Received	October 8, 2019
Revised	October 11, 2019
Accepted	October 30, 2019