



공동주택의 지하주차장 유형별 온도 분포 분석 - 배관의 '동결 가능 구역' 도출을 중심으로 -

*Analysis of Temperature Distribution in Underground Parking Lots of Apartment Complexes
- Focused on Identifying Potential Pipe Freezing Zones -*

양영권* · 박정하** · 김길태*** · 곽병창**** · 김선동*****

Young Kwon Yang* · Jungha Park** · Gil Tae Kim*** · Byung Chang Kwag**** · Sun Dong Kim*****

* Main author, Researcher, Ph.D, Korea Land and Housing Corporation, South Korea (abyss@lh.or.kr)

** Coauthor, Researcher, Ph.D, Korea Land and Housing Corporation, South Korea (jhpark@lh.or.kr)

*** Coauthor, Researcher, Ph.D, Korea Land and Housing Corporation, South Korea (kimgiltae@hanmail.net)

**** Coauthor, Researcher, Ph.D, Korea Land and Housing Corporation, South Korea (byungchang.kwag@gmail.com)

***** Corresponding author, Researcher, Korea Land and Housing Corporation, South Korea (sun82827@lh.or.kr)

ABSTRACT

Purpose: This study aims to identify freeze-prone areas in underground parking lots of apartment complexes during winter to inform design guidelines for the application of wet sprinkler systems. While wet sprinklers are effective for early fire suppression, they are vulnerable to freezing and often require costly antifreeze measures in cold climates. **Method:** A total of 149 apartment complexes in Sejong City, South Korea, were surveyed and categorized based on the configuration of exterior openings into three types: ramp, pilotis, and deck. One representative complex from each type was selected for wintertime temperature monitoring. Indoor temperatures were recorded every 10 minutes for up to 22 days using a grid method with 10-meter intervals from the openings. The lowest temperature recorded in each parking lot was used to evaluate worst-case freezing conditions. **Result:** The ramp-type parking lot maintained indoor temperatures above 0°C even when outdoor temperatures dropped below 9.7°C, indicating a low risk of freezing. In contrast, the pilotis and deck types showed significant cold air inflow, with over 40% of the deck-type area experiencing sub-zero temperatures. However, basement level 2 remained above freezing in all cases. These results suggest that ramp-type structures are most suitable for wet sprinkler systems, while pilotis and deck types may require additional antifreeze measures or design modifications.

KEYWORD

지하주차장
스프링클러
동파방지

Under Ground Parking Lot
Sprinkler
Freezing Protection

ACCEPTANCE INFO

Received Jul. 23, 2025

Final revision received Aug. 5, 2025

Accepted Aug. 11, 2025

© 2025. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

도시의 건물 밀도 및 차량 이용률이 증가하며 대형 건물에는 지하주차장이 필수적으로 적용되고 있으며, 특히 공동주택은 세대별 보유 차량이 증가하면서 지하주차장 필요 면적이 증가하고 있다. 이에 우리나라는 「주택건설기준 등에 관한 규정」 및 지자체 조례에 의해 지하주차장 설치를 의무화하고 있다.

공동주택 지하주차장은 외기에 직접적으로 노출되지 않기 때문에 거주자 생활 편의성 및 차량 유지 관리에 유리하지만, 특성상 홍수 및 화재 등 재난·재해 대응에 취약한 부분이 있다. 특히, 화재 발생 시 진압을 위한 소방 차량 및 대원의 진입이 쉽지 않으며, 이에 따라 국내에서는 「건축법」 및 「소방시설 설치 및 관리에 관한 법률」에 의거하여 화재 진압을 위한 스프링클러(sprinkler) 설치를 의무화하고 있다.

이와 같은 소방시설 의무 적용에도 불구하고 2021년 8월 천안 불

당동 화재로 666대의 차량 전손 및 약 60억 원의 피해액이 발생하였고, 2022년 9월 대전의 H아울렛 지하주차장 화재로 7명 사망, 2024년 8월 인천시 청라동 공동주택 화재로 959대의 차량과 배관 및 전선이 파손되는 등 약 38억 원의 재산 피해가 발생하였다. 이와 같이 지하주차장 화재는 빈번하게 발생하고 있으며, 해당 화재가 대형 피해로 이어진 것은 스프링클러 작동 방식 및 관리자와 관계가 높다.

스프링클러 방식은 크게 습식, 건식, 준비작동식(Pre-action), 일제살수식으로 구분할 수 있으며, 배관 내의 물 유무 및 분사 방식에 따라 구분이 된다. 국내 공동주택은 일반적으로 준비작동식이 설치되어 있으며, 이는 A, B 감지기 모두 작동 시 물이 분사되는 방식이다. 화재 발생 시 한 개의 감지기만 작동하였을 경우 관리자의 확인 및 대응에 따라 오작동으로 판단하여 작동이 지연 및 정지할 수 있다. 즉, 관리자의 대응에 따라 화재 진압이 지연될 경우 화재 확산의 우려가 있다. 앞서 언급한 지하주차장 화재 발생 사례 역시, 감지기가 화재를 감지하고 관리자의 확인 및 대응의 지연으로 큰 피해로 확산되는 결과를 초래하였다.

준비작동식은 이중 감지 방식(감지기+관리자)으로 오작동을 감소시킬 수 있는 장점이 있지만 작동 지연 가능성의 단점이 있기 때문에 우리나라 정부(국무총리실)에서는 전기차 화재로 인한 추가 피해

발생을 예방하고자 화재 발생 시 감지 및 작동이 신속한 습식 스프링클러 설비 설치 의무화를 추진하고 있다.

습식 방식은 화재 감지 시 헤드의 즉시 개방으로 화재를 빠르게 진압할 수 있는 장점이 있지만 동파 우려가 있다. 이에 따라 습식스프링클러는 단열재 및 열선 등 동파방지 설비가 필요하여 이는 공사비 및 유지·관리 비용 상승의 단점이 있다. 이를 절감하기 위해서는 온도 분포 기반의 동파 가능성에 따라 최적 설계를 할 수 있는 기준 수립이 필요하다. 하지만 우리나라는 지하 주차장 온도 분포와는 무관하게 일괄적으로 주차장 전체에 동일한 단열재 및 설비를 적용하여 비용 절감의 어려움이 있는 실정이다. 데이터 기반의 지하주차장 유형별 온도 분포를 활용하여 설계 기준을 수립할 경우 설치·유지 비용 절감을 기대할 수 있다.

온도 분포 기반의 지하주차장 배관 동결 관련 연구 조사 결과, 황창환(2016)[1]이 경기도 수원에 위치한 상업시설 4개소의 측정지를 대상으로 지하주차장 온도 분포 분석을 실시한 연구가 있다. 이는 상업시설을 대상으로 측정하였으며, 화재에 더욱 취약한 주거용 건물[2], 특히 재실 밀도가 높은 공동주택의 연구는 찾아볼 수 없었다. 공동주택에서의 화재 발생은 진압 대응에 더욱 취약하기 때문에 정밀한 연구가 필요하며, 이를 위해서는 일중 최저 및 최고 온도를 모두 파악할 수 있도록 최저 24시간 이상의 장시간 측정이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 공동주택의 지하주차장을 대상으로 유형 분석 및 장시간 온도 측정을 기반으로 동파 취약 부위를 분석하였다. 이를 통해 지하주차장 화재의 초기 진압에 용이한 습식 스프링클러의 적용 및 배관 최적 설계기준(안) 수립을 위한 기초 연구 자료를 도출하였다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구의 목표는 지하주차장 유형 및 온도 분포 기반의 동파 취약 부위 도출이며, 연구 수행 방법 및 범위는 다음과 같다.

첫 번째, 스프링클러의 이론 분석을 통해 동파 위험성 및 동결 방지 설비 관련 고찰을 실시하였다.

두 번째, 지하주차장 유형 분석을 위해 국토교통부 공동주택관리 정보시스템 자료를 활용하여 세종특별자치시의 행정중심복합도시에 위치하고 있는 공동주택의 지하주차장을 전수 조사 및 분석하였으며 이를 통해 지하주차장의 대표 유형 3가지를 분류하였다. 세종시의 공동주택 비율은 전체 가구 대비 공동주택 비율이 84.5%로 매우 높은 수치이며 대부분 10년 이내에 준공된 단지이기 때문에 상대적으로 최근 설치된 지하주차장의 유형 분석이 용이하다.

세 번째, 지하주차장 대표 유형별 온도 분포 측정을 위해 각 유형별로 대표 단지를 선정하여 동결기 온도를 측정하였다. 정밀한 온도 분포 분석을 위해 개구부로부터 10m 간격의 그리드(grid)로 온도 측정을 실시하였다.

네 번째, 온도 데이터 기반, 지하주차장 유형별 온도 변화를 분석하였고, 이를 바탕으로 지하주차장 내 배관의 동결 가능성 및 습식 스프링클러의 적용 가능 범위를 도출하였다.

2. 지하주차장 스프링클러

2.1. 스프링클러

건축물의 스프링클러 설비는 물을 소화약제로 사용하는 자동식 소화설비로서 소방대상물의 천장, 벽 등에 설치된다. 스프링클러 헤드와 시스템연동 감지기로 화재를 감지해 헤드에서 물을 방출하는 방식으로 화재를 진압하는 소화설비이다. 스프링클러는 배관 내의 물에 따라 습식, 건식(준비 작동식 포함), 일제살수식으로 구분할 수 있으며, 스프링클러 헤드 적용 방식으로, 폐쇄형 헤드와 개방형 헤드 방식으로 구분할 수 있다.

폐쇄형 헤드 방식은 습식, 건식(준비작동식)이 적용될 수 있으며 개방형 헤드 방식은 일제 살수식이 적용된다. 습식 스프링클러는 스프링클러 헤드가 개방되는 동시에 소화수가 즉시 방수되는 방식으로 대응이 빠르다는 장점이 있지만 동결이 우려되는 장소에서는 소화수의 동결로 사용이 불가능한 단점이 있다. 현재 공동주택의 지하주차장에 적용된 스프링클러는 대부분 동결 우려가 적은 준비작동식인 경우가 많다. 준비작동식은 동결의 우려가 있는 곳에 설치할 수 있는 장점을 가지고 있으나, 화재감지기에 의한 준비시간과 열에 의한 스프링클러 헤드의 개방으로 시간이 지연되는 단점이 있다[3~5].

Table 1.은 스프링클러 방식이다.

NFPA (National Fire Protection Association)에서 정기적으로 조사하는 결과에 따르면, US Experience with Sprinklers (2024년 4월)에서 2017년부터 2021년도 동안 적용된 스프링클러 방식으로 주거 건물에서 습식 스프링클러 90%, 건식방식은 2%가 적용하는 것으로 발표하였다[6]. NFPA 13에서는 배관 내 수온이 4°C 이상 유지하기 어려울 때 습식 이외의 방식을 설치하도록 규정하고 있고, 습식 설비를 사용하기 위해서는 동결 방지 스프링클러 설비 (Antifreeze Sprinkler) 적용하도록 하고 있다[7].

Table 1. Overview by sprinkler system

Classification		Overview
Closed sprinkler head	Wet type	- Centered around an automatic alarm valve, the primary and secondary piping are kept filled with firefighting water. In the event of a fire, the sprinkler head opens due to heat, releasing water - Simple structure and low installation cost - Restricted for use in locations prone to freezing
	Dry type	- Spraying occurs due to the pressure difference in the piping caused by the release of pressurized gas triggered by heat during a fire - Can be used in areas prone to freezing and outdoor locations - Delay in water discharge and complex system structure
	Pre-action type	- In the event of a fire, water is supplied to the secondary piping upon detector activation, and spraying occurs when the heads are opened - Suitable for use in areas prone to freezing - Complex structure and high installation cost
Open sprinkler head	Deluge type	- When a detector is activated, all sprinkler heads in the designated zone discharge water simultaneously - Enables rapid response to early-stage fires - Risk of water damage due to large-volume discharge

Table 2. Summary of NFTC 608 and NFPC 103 codes

Classification	NFPC 103	NFTC 608
System name	Sprinkler system	Water Mist Fire Suppression System
Installation location	Typical fire hazard areas	High fire risk areas for vehicles (such as underground parking areas)
Nozzle type	Sprinkler head	Water spray nozzle
Detection method	Heat detection	Control of the control panel after heat or smoke detection
Primary use	Automatic fire suppression throughout the building	Specialized for vehicle fire response

2.2. 관련 법령

우리나라는 소방시설법, 건축법에서 스프링클러의 설치에 관한 관련 법령을 명시하고 있다. 소방시설법의 경우, “화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률”에서 두 개의 법률로 분리되어 개정(2024년 12월)되었다. “소방시설 설치 및 관리에 관한 법률”에서는 소방시설의 설치 및 관리에 대한 사항을 세부적으로 규정하고 있다. 「소방시설 설치 및 관리에 관한 법률 시행령」에서는 별표 4와 별표 5에서 주요 설치 기준과 면제 조건을 규정하고 있다.

법령에서 정하는 세부 기준으로는 공동주택의 화재안전기술기준(NFTC 608) 및 스프링클러 설비의 화재안전기준(NFPC 103)이 있다. NFPC 103은 스프링클러 설비의 화재안전기준으로, 「소방시설 설치 및 관리에 관한 법률」 제9조 제1항에 따라 소방청장이 기준을 정하고 있다. 이 기준은 NFPA 13의 국제기준을 기초로하고 있으며, 국내 실정에 맞게 소방청 고시로 보완된 내용으로 스프링클러의 설치, 유지 및 안전관리에 필요한 사항을 규정하고 있다. 또한, 이와 관련한 기준으로 NFTC 608은 “주차장용 물분무소화설비의 화재안전기준”이 있으며, 아파트 지하주차장에 스프링클러 대신 또는 보완적으로 설치되는 물분무소화설비의 기준을 규정하고 있다. 즉, NFTC 608은 스프링클러와는 다른 설비지만, 동일한 적용 대상(지하주차장)에 대한 또 다른 대안적 소방설비 기준이라는 점에서 밀접한 관련이 있다[8].

3. 지하주차장 유형 분석

지하주차장은 해당 바닥으로부터 지표면까지의 평균 높이가 당해 층 높이의 1/2 이상인 주차장을 의미하며, 고밀도의 인구가 밀집해 있는 공동주택은 주차 공간 부족 해결을 위해 지하주차장을 도입하고 있다. 우리나라의 관련 법규로는 주택건설기준 등에 관한 규정(제27조 1항)에서 전용면적의 합계를 기준으로 면적당 주차대수 이상으로 주차장 설치를 의무화하고 있다.

공동주택의 지하주차장은 다양한 방식으로 유형 분류가 가능하다. 본 연구에서는 배관의 동결 가능성 도출이 목표이며, 이에 외부와 노출되는 개구부(차량 출입구)를 기준으로 분류하였다. 자료는 국내 건축 실무 및 단지 설계 기준 등을 활용하였다.

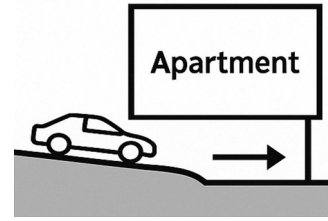


Fig. 1. Ramp type parking lot

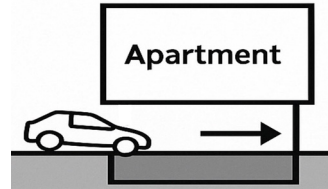


Fig. 2. Pilotis type parking lot

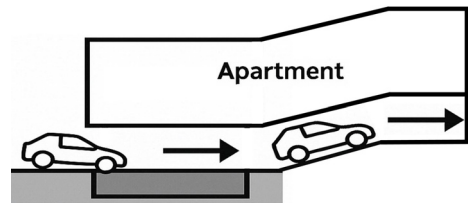


Fig. 3. Sloped ground entry type parking lot

3.1. 램프형(Ramp Type)

지면에서부터 경사로(램프)를 통해 지하주차장으로 내려가는 방식이며, 차량 동선이 명확하여 계획이 용이하기 때문에 일반적으로 가장 많이 적용되는 방식이다. 경사로의 길이 및 기울기는 1/6~1/8 이상이 필요하다. 램프형 중에서도 지면 대비 지하의 깊이가 낮은 유형이 있지만 본 연구에서는 지면 기준 3.3m 이상 지하로 내려가는 유형을 램프형으로 구분하였다(Fig. 1.).

램프형은 경사로를 통해 외기가 유입되기 때문에 입구 주변부는 외기의 영향을 받게 되지만 높이 변화에 따른 온도층이 발생하여 온도 안정성이 높다. 따라서 외기 유입이 낮은 편이며, 지중열 및 피복 효과로 인해 내부 온도가 높기 때문에 동파 가능성이 상대적으로 낮다.

3.2. 필로티형(Pilotis Type)

기둥만 있는 필로티 구조로 하고, 차량이 수평 이동을 통해 지하로 진입하는 방식이며, 입면이 개방되어 통풍 및 자연광 확보에 유리하고 접근성이 우수하지만, 외기의 원활한 유입으로 동절기 배관 동파에 취약하다.

3.3. 상승형, 저층 진입형(Sloped Ground Entry Type)

경사지 대지에서 주로 적용되며, 지하주차장 출입구부터 계단식으로 상승하여 진입하는 방식이다. 출입구의 형상은 일반적으로 별도 램프 없이 도로에서 바로 진입할 수 있는 필로티형으로 적용된다. 경사로 면적을 낮출 수 있는 장점이 있지만, 배수계획을 철저히 해야 한다. 또한 다수의 출입구를 통한 기류의 흐름에 의해 외기 유입이 매우 원활하다, 따라서 동파 방지를 철저히 고려해야 한다.

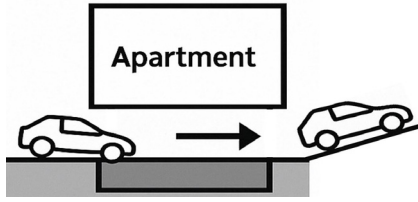


Fig. 4. Hybrid type parking lot

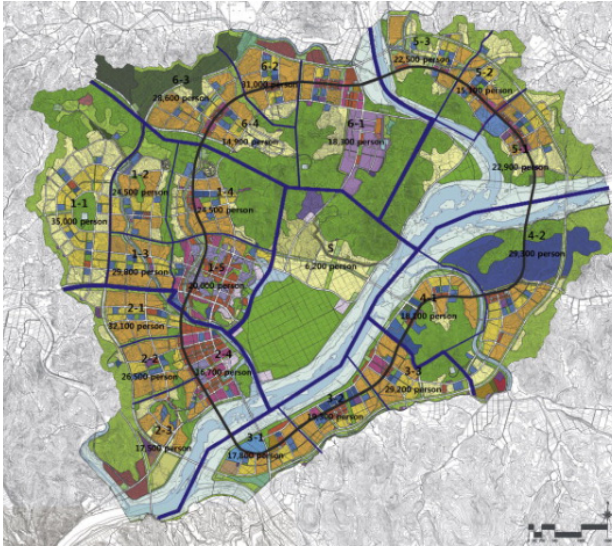


Fig. 5. Map of Sejong city, South Korea

3.4. 혼합형(Hybrid Type)

램프형과 필로티형 또는 기타 방식이 복합된 형태로서, 주로 대단지에 적용된다. 동선이 다양하고 구조 및 설계가 복잡하기 때문에 유형에 따라 다양한 온도 분포가 발생할 수 있으며, 위험 예측이 쉽다. 따라서 설계 시 면밀한 평가가 필요하다.

4. 지하주차장 현장조사

4.1. 조사대상지 선정

공동주택 지하주차장의 유형 분석을 위해 세종특별자치시의 행정복합중심도시 내에 위치한 공동주택을 조사하였다[9]. 세종시의 공동주택 단지는 총 259개이며, 137,896세대로 구성되어 있다. 이는 세종시 전체 가구 대비 공동주택 비율이 84.5%로 매우 높은 수치이고, 가장 오래된 공동주택의 준공이 2011년으로 비교적 최근에 준공된 지하주차장의 유형을 분석할 수 있다.

4.2. 조사 및 분석 방법

지하주차장 유형 분석을 위해 세종특별자치시의 259개 공동주택 단지 중 지하 주차대수가 300대 이상인 단지만 분류하여 149개 단지를 선정하였다. 149개 단지의 지하주차장에 대해서 개구부 유형에 따라 크게 4가지 「램프형」, 「필로티형」, 「상승형」, 「혼합형」으로 구분하였다.

Table 3. Type of opening in parking lot

Type		Opening in parking lot	
Hybrid	Ramp		
	Pilotis		
Sloped			

Table 4. Result of the underground parking lot type survey

Type	Ramp	Pilotis	Hybrid	Sloped
Number of complex	91 (61.1%)	27 (18.1%)	28 (18.8%)	3 (2%)



Fig. 6. Complex build on slope

4.3. 지하주차장 유형 조사 결과

세종시 공동주택의 지하주차장 유형 조사 결과, 「램프형」 단지가 91개(61.1%)로 가장 높은 비율로 나타났으며, 「혼합형」 단지가 28개(18.8%), 「필로티형」 단지는 27개(18.1%), 「상승형」 단지는 3개(2%) 순으로 나타났다.

「혼합형」 28개 단지는 모두 「램프형」과 「필로티형」의 혼합이었으며, 결과적으로 149개 단지 중 146개(97.9%)의 단지가 「램프형」 또는 「필로티형」으로 나타났다. 「상승형」은 3개의 단지만 있었으며, 해당 단지는 모두 기존 지형이 경사지로 되어 있어 이를 활용하기 위한 설계로 사료된다.

또한 지하주차장의 출입구와는 별개로 개구부가 있는 지하주차장 유형이 조사되었다. 지하주차장 일부 면적 천장이 외부로 노출되어 있는 선근(Sunken)과 주차장의 일부가 난간벽으로 구성되어 있어 외부로 노출된 데크형(Deck)이다. 선근의 경우 1개의 단지가 확인되었지만, 천장이 설치되어 있어 외부와 직접 노출되지 않도록 설계되었다. 데크형의 경우 5개 단지가 확인되었으며, 모두 강변 또는 천변과 같이 경사지에 일부가 노출된 형태로 나타났다.

5. 지하주차장 유형별 온도 측정 및 분석

5.1. 측정 개요

앞 장에서 지하주차장의 유형 및 비율 분석을 위해 세종시를 대상으로 조사를 실시하였다.

이 결과를 활용하여 지하주차장 온도 분포 분석을 위한 대상지 선정에 활용하였다. 대상지는 3가지 유형을 선정하였으며, 가장 비율이 높은 「램프형(61.1%)」과 「필로티형(18.1%)」을 선정하고, 추가로 동파에 가장 취약할 것으로 예상되는 「테크형」을 측정 대상지로 선정하였다. 「테크형」은 지하주차장 벽의 일부가 난간벽으로 구성되어 외기가 지하주차장 내부로 수월하게 유입되기 때문에 동파에 매우 취약하다 사료되어 선정하였다.

측정 기간은 2025년 1월 23일부터 2025년 3월 14일 측정하였으며, 각 유형별 외기온도 대비 실내 온도를 비교·분석 하였기 때문에 측정 지점 3개소의 일정이 상이하여도 분석 결과에는 영향 없는 것으로 사료된다. 또한 측정개소 모두 분석기간 동안 최저 영하 10℃ 이하의 외기온도가 나타나 동절기 분석결과도 유의미하다고 볼 수 있다.

본 연구는 스프링클러 배관 동파 가능 범위를 예측하기 위한 연구로서, 지하주차장의 최악조건(최저온도)의 상황을 고려해야 한다. 이에 사전측정을 통해 ‘외기온도가 가장 낮은 시점’과, ‘지하주차장의 최심부의 온도가 가장 낮은 시점’을 비교하였다. 비교·분석 결과 최심부의 온도가 가장 낮을 때 전체 평균 온도가 가장 낮게 나타났으며, 최악조건으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 ‘최심부가 최저온도일 때’를 기준으로 온도 분석을 실시하였다.

5.2. 측정 방법

지하주차장 온도 분포 특성 분석을 위해 Fig. 7.과 같이 6단계로 분석을 실시하였다. Step 1: 온도 측정, Step 2: 외기의 빙점(0℃) 이하 구간 선정, Step 3: 데이터 분석 및 정제(양질의 데이터 선정). 지하주차장 환기시스템(Zet Fan) 등 가동 여부 등 고려, Step 4: 분석 구간 데이터 선정, Step 5: 분석을 위한 대표값 선정. Case 1: 외기 최저온도, Case 2: 지하주차장 최심부 최저온도, Step 6: 온도 데이터 비교·분석을 실시하였다.

온도 측정은 지하주차장의 출입구(개구부)를 기준으로 10m 간격으로 설치하였고, 지하주차장의 스프링클러에 근접한 배관 상부에 설치하였다. 외기 측정은 단지 내에 있는 백엽상에 설치하여 비교·분석 하였으며, 각 지점별 10분 간격으로 배관 주위 공기 온도를 측정하여 지점별 비교하였다. 측정에 사용된 온도 측정 기기는 MADGETech의 RFRHTemp2000A를 사용하였으며, 측정범위 -20℃~+60℃, 온도 분해능 0.01℃, 오차범위: ±0.5℃이다.

5.3. 측정 대상지

측정 대상지는 동절기 평균 온도가 상대적으로 낮은 경기 북부 지역을 대상으로 각 유형에 따라 선정하였으며, 「램프형」은 고양 지축

A단지, 「필로티형」은 파주 운정 B단지, 「테크형」은 하남 감일 C단지로 선정하였다. 건축물의 에너지 절약 설계 기준의 단열 기준으로 정의된 지역에 의해 고양시와 하남시는 ‘중부 2지역’이며, 파주시는 ‘중부 1지역’에 해당된다.

1) 램프형(고양 지축 A단지)

- 위치: 경기도 고양시 지축동
- 준공일: 2023년 07월 14일
- 동수/세대수: 10개동/583세대
- 지하주차대수: 총 707대
- 측정기간: '25.02.14~'25.03.06(21일)
- 측정개소: 28개소(외기포함)
- 취득데이터: 85,980개(10분 간격)

2) 필로티형(파주 운정 B단지)

- 위치: 경기도 파주시 동패동
- 준공일: 2023년 12월 19일
- 동수/세대수: 13개동/1498세대
- 지하주차대수: 총 1,813대(지하1층: 888대, 지하2층: 925대)
- 측정기간: '25.01.23~'25.02.13(22일)
- 측정개소: 37개소(외기포함)
- 취득데이터: 140,201개(10분 간격)

3) 테크형(하남 감일 C단지)

- 위치: 경기도 하남시 감일동
- 준공일: 2020년 05월 08일
- 동수/세대수: 4개동/672세대



Fig. 8. How to install thermometer

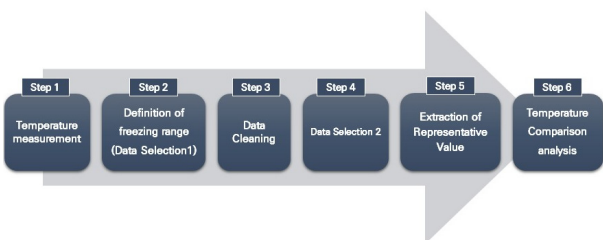


Fig. 7. Temperature analysis process

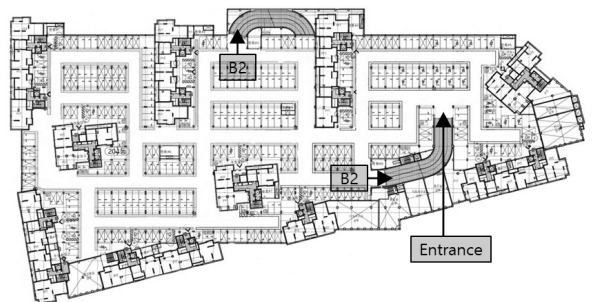


Fig. 9. A-complex floor plan

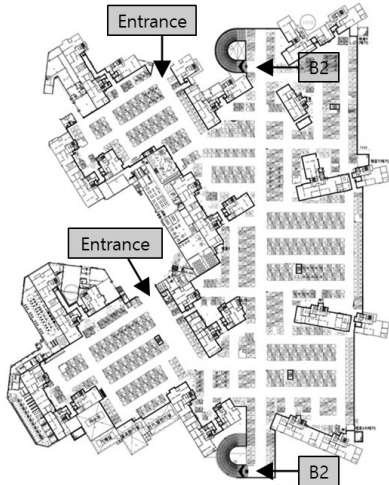


Fig. 10. B-complex floor plan

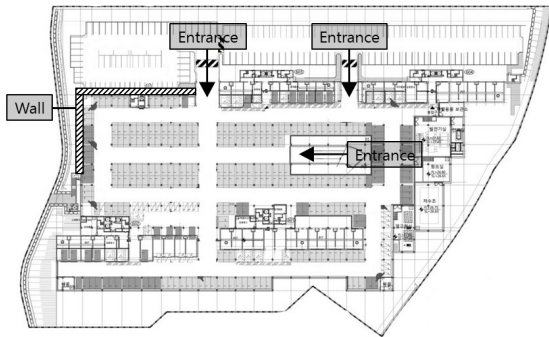


Fig. 11. C-complex floor plan

- 지하주차대수: 총 311대
- 측정기간: '25.02.20~'25.03.07(16일)
- 측정개소: 26개소(외기포함)
- 취득데이터: 55,562개(10분 간격)

5.4. 측정 결과

공동주택의 지하주차장 온도 분포 측정 결과 램프형이 동파 위험성이 가장 낮은 것으로 나타났다. 램프형은 다음과 같다.

1) 램프형(고양 지축 A단지)

램프형인 고양 지축 A단지의 경우, 모든 측정 개소에서 전체 측정 기간(7,200분(5일))동안 외기온도의 최저는 -9.7℃였으며, 지하주차장의 온도가 빙점(0℃) 이하로 낮아진 시점은 없었다. 램프형의 경우 외기 온도의 영향이 매우 낮으며 지하주차장 전체 평균 온도는 8.4℃로 나타났다.

2) 필로티형(파주 운정 B단지)

필로티형인 파주 운정 B단지의 경우, 전체 측정 5,760분(4일) 동안 외기온도의 최저는 -11.4℃였으며, 1회 이상 온도가 빙점 이하로 낮아진 구간은 개구부로부터 직선거리 90m까지로 나타났다. 필로티형은 외기의 영향이 높으며 지하주차장 전체 평균 온도는 -1.2℃로 나타났다.

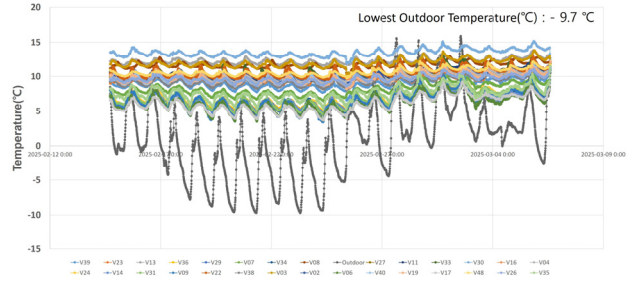


Fig. 12. A-complex temperature measurement result (graph)

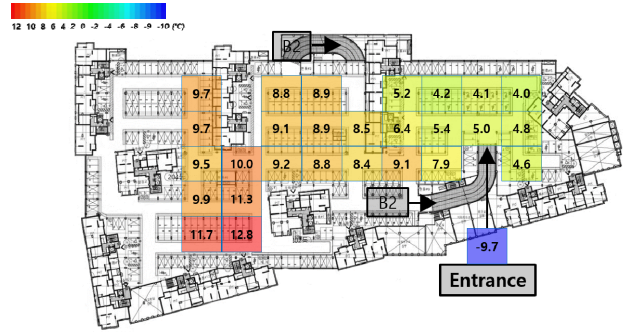


Fig. 13. A-complex temperature measurement result

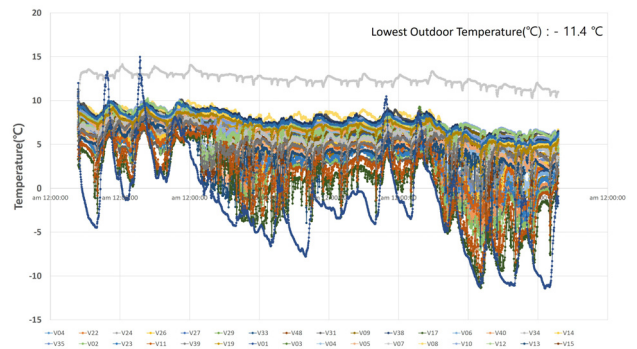


Fig. 14. B-complex temperature measurement result (graph)

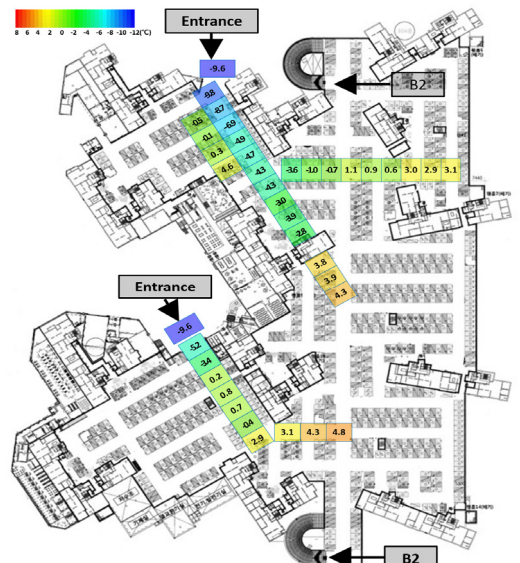


Fig. 15. B-complex temperature measurement result

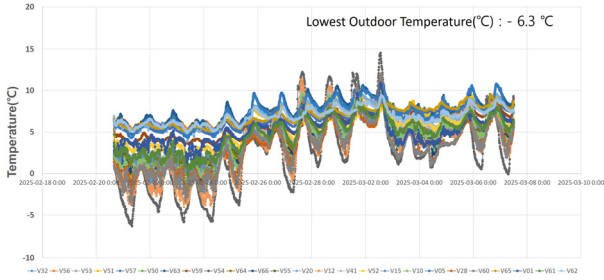


Fig. 16. C-complex temperature measurement result (graph)

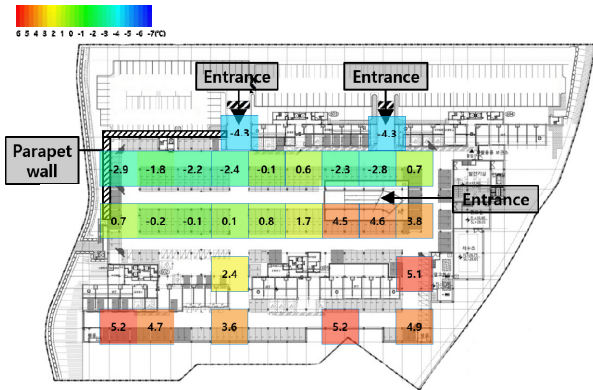


Fig. 17. C-complex temperature measurement result

3) 테크형(하남 감일 C단지)

테크형인 하남 감일 C단지의 경우, 개구부의 면적이 넓기 때문에 구역을 설정하여 분석하였다. 전체 측정 5,190분(3.6일) 동안 외기 온도의 최저는 -6.3°C였으며, 1회 이상 온도가 빙점 이하로 낮아진 구역은 12구역으로 전체 구역의 44%이다. 테크형은 한쪽 벽면이 난간벽으로 개방되어 있기 때문에 외기 영향이 매우 크게 나타났으며, 난간벽으로부터의 거리가 멀어질수록 외기의 영향이 낮게 나타났다. 지하주차장 전체 평균 온도는 1.4°C이다.

6. 결론

국내의 경우, 습식 스프링클러는 「동결의 우려가 없는 장소」에 설치할 수 있으며, 「동결의 우려가 없는 장소」가 아닌 구역은 동결 방지 조치가 필수적이다. 이는 건축 설계 단계에서부터 고려해야 할 필요성이 있다.

본 연구는 공동주택의 지하주차장을 대상으로 유형 분석 및 장시간 온도 측정을 기반으로 「동결의 우려가 없는 장소」를 도출하기 위한 기초연구이다. 지하주차장 유형 조사를 위해 세종특별자치시의 공동주택 149개 단지의 지하주차장을 전수 조사하였으며, 「램프형」 단지가 91개(61.1%)로 가장 높은 비율로 나타났다. 또한 149개 단지 중 146개(97.9%)의 단지가 「램프형」 또는 「필로티형」으로 나타났다.

유형별 온도 분포 분석을 위해, 동절기 외기온도가 낮은 경기 북부 지역의 단지 중 「램프형」, 「필로티형」, 「테크형」 각 유형별로 대표 단지를 선정하여 온도 분포를 측정 및 분석하였다.

측정 및 분석 결과 램프형 지하주차장이 동결 위험도가 가장 낮은

것으로 나타났다. 램프형의 경우 전체 측정 기간(7,200분(5일))동안 외기온도의 최저는 -9.7°C였으며, 지하주차장의 온도가 빙점(0°C) 이하로 낮아진 시점은 없었다. 즉, 외기가 약 -10°C인 상황에도 동파 위험성이 낮을 것으로 판단된다. 반면 필로티형과 테크형은 외기의 영향이 높은 것으로 확인되었으며, 지하주차장 지하1층 전체 면적의 40% 이상에서 동결 위험을 확인하였다. 개구부에 인접할수록 동결 및 동파 위험이 크게 나타났다. 또한 유형과 상관없이 지하 2층은 빙점 이하로 낮아진 시점은 나타나지 않아 동결 위험이 없을 것으로 사료된다.

이와 같은 연구 결과를 바탕으로 동파 방지 설비 적용 측면에서 「램프형」이 가장 유리하며, 설치 및 유지 비용이 가장 낮을 것으로 사료된다. 정부에서 ‘습식 스프링클러의 의무화’가 추진되고 있기 때문에 이를 감안하여 경기북부, 강원도 등 동절기에 외기 온도가 낮은 지역은 동파 방지를 위해 「필로티형」, 「테크형」을 지양하는 것을 고려할 필요가 있다.

본 연구는 「동결의 우려가 없는 장소」를 구분할 수 있는 조건 및 기준 마련을 위한 기초연구로서, 설계 기준 수립을 위해서는 더욱 명확한 다량의 데이터가 뒷받침되어야 한다. 즉, 전국 데이터 기반의 자료 확보를 통해 지역별, 유형별, 기후별 조건 및 기준의 근거 자료 도출 필요하며, 따라서 본 연구 결과를 기반으로 향후 전국 단위의 샘플 조사를 통해 베이지안 추정 등 통계적 방법을 적용할 계획이다. 또한 본 연구는 단열재 및 열선을 적용하지 않은 상태에서의 동결 우려 구역을 예측하는 연구이며, 향후 추가 연구를 통해 단열재 및 열선 적용에 대한 부분을 고려할 계획이다. 이를 통해 공동주택의 습식 스프링클러 최적 설계 기준 수립에 중요한 자료로 활용될 것을 기대한다.

Acknowledgement

본 연구는 한국토지주택공사(토지주택연구원)에서 지원한 “공동주택 지하주차장 온도 분포 분석”(R202501015) 결과의 일부입니다.

References

- [1] 황창환, 지하주차장 습식 스프링클러 적용 방안, 경기대학교 박사학위논문, 2017.02 // (C.H. Hwang, Application plan for wet sprinkler systems in underground parking lots, Doctoral dissertation, Kyonggi University, 2017.02)
- [2] 소방청, 국가화재정보시스템, 국내화재통계, <http://www.nfds.go.kr>, 2025.04.17. // (National Fire Agency, National Fire Data System Domestic fire statistics, Retrieved, <http://www.nfds.go.kr>, 2025.04.17)
- [3] 지춘근, 습식스프링클러설비의 동결방지기술 개발에 관한 연구, 방재기술, 제48권, 2010.01, pp.5-17 // (C.G. Ji, A study on the development of anti-freezing technology for wet sprinkler systems, Fire protection technology, 48, 2010.01, pp.5-17)
- [4] 최명영, 최형권, CPVC 배관 동파방지용 열선의 위치 선정을 위한 비정상 열전달 수치해석, 한국화재소방학회 논문지, 제29권 6호, 2015.01, pp.33-39 // (M.Y. Choi, H.K. Choi, Numerical analysis of unsteady heat transfer for location selection of cpvc piping, Fire Science and Engineering, 29(6), 2015.01, pp.33-39)
- [5] 황창환, 지하주차장 온도 측정을 통한 스프링클러 배관 동결에 관한 연구, 한국방재학회지 제16권 제3호, 2016.01, pp.215-219 // (C.H. Hwang, Study on the freeze of sprinkler piping through temperature measuring of underground parking lots, Journal of Disaster Management

- 16(3), 2016.01, pp.215-219)
- [6] National Fire Protection Association, U.S. Experience with Sprinklers, <https://www.nfpa.org/>, 2017
 - [7] 이주봉, 소화용 부동액을 사용한 지하주차장 습식스프링클러 적용 방안 연구, 경기대학교 석사학위논문, 2023.08. // (J.B. Lee, A study on the application of wet sprinklers using antifreeze solution in underground parking lots, Master's thesis, Kyonggi University, 2023.08.)
 - [8] 이동은, 공동주택 지하주차장 습식 스프링클러 적용에 관한 실증 연구, 한세대학교 박사학위논문, 2019 // (D.E. Lee, An empirical study on the application of wet-type sprinkler in underground parking lot of apartments, Doctoral dissertation, Hanse University, 2019)
 - [9] 국토교통부, 공동주택관리정보시스템(K-apt), <https://www.k-apt.go.kr>, 2025.04.15.) // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, K-apt: Apartment housing management information system, <https://www.k-apt.go.kr>, 2025.04.15.)