



A study on the use of fire hydrants as a heat wave reduction facility through hydraulic analysis of water supply network

Hong, Sung Jin^a · Choi, Doo Yong^b · Yoo, Do Guen^{c*}

^aMaster, Department of Civil Engineering, The University of Suwon, Hwaseong, Korea

^bChief Researcher, K-water Institute, Korea Water Resources Corporation, Hwaseong, Korea

^cAssistant Professor, Institute River Environmental Technology, Department of Civil Engineering, The University of Suwon, Hwaseong, Korea

Paper number: 21-071

Received: 14 September 2021; Revised: 8 October 2021; Accepted: 12 October 2021

Abstract

In this study, a study on how to use a fire hydrant as a heat wave reduction facility through hydraulic analysis of the water supply pipe network was conducted. Assuming that the fire hydrant installation point is open for heat wave reduction, the water pressure at each point was derived. And the reduction rate of the temperature according to the hydrant watering was compared with the watering area according to the operation of the watering truck. The watering area according to the opening of the fire hydrant was calculated by deriving the pressure value at the node where the fire hydrant was installed through hydraulic analysis of the water pipe network, and then using the watering radius relational expression according to the pressure value. As a result of applying the proposed methodology to two real city areas, the temperature reduction effect of the watering method by a fire hydrant can be derived lower than the watering method by a watering truck according to the difference in the absolute watering area. However, unlike a watering truck, a fire hydrant does not have a relative restriction on the amount of water supply and is expected to allow continuous divided spraying of the same area.

Keywords: Heat wave, Fire hydrant, Watering area, Watering truck, Water supply network, Hydraulic analysis

상수관망 수리해석을 통한 폭염 저감 시설로서의 소화전 활용방안연구

홍성진^a · 최두용^b · 유도근^{c*}

^a수원대학교 토목공학과 석사과정, ^b한국수자원공사 K-water연구원 수석연구원, ^c수원대학교 토목공학과 하천환경기술연구소 조교수

요 지

본 연구에서는 상수관망 수리해석을 통한 폭염 저감 시설로서의 소화전 활용방안연구를 수행하였다. 소화전 설치 지점을 폭염저감을 위해 개방한다고 가정하고, 지점별 수압에 따른 살수반경을 도출하고 전체 대상구역의 살수면적에 따른 도심지 온도의 저감비율을 살수차운영에 따른 살수면적과 비교하였다. 소화전 개방에 따른 살수면적은, 상수관망 수리해석을 통해 소화전이 설치된 결점에서의 압력값을 도출한후, 압력값에 따른 살수반경 관계식을 통해 산정하였다. 제안된 방법론을 2개의 지역에 적용한 결과, 소화전에 의한 살수방법의 온도저감 효과는 절대적인 살수면적의 차이에 따라, 살수차에 의한 살수방법 대비 낮게 도출될 수 있다는 한계점을 보였다. 그러나, 소화전은 살수차와 달리 물공급양에 대한 상대적 제한이 없고 동일한 지역에 대한 지속적인 분할살수가 가능하므로 일정 구역의 살수면적이 확보될 경우 살수차 대비 상대적으로 효과성 있는 폭염저감 효과를 도출할 수 있을것으로 기대된다.

핵심용어: 폭염, 소화전, 살수면적, 살수차, 상수관망, 수리해석

*Corresponding Author. Tel: +82-31-229-8676
E-mail: dgyoo411@suwon.ac.kr (D. G. Yoo)

1. 서론

폭염은 일반적으로 일정 기준 이상의 기온상승으로 인해 인명 및 재산 피해를 유발하는 자연재난으로 정의된다. 최근 지구온난화 등에 따른 기후변화 영향에 따라 폭염의 빈도와 강도가 지속적으로 증가되고 있으며, 국내에서는 이와 같은 상황을 반영하여 2018년 “재난 및 안전관리 기본법”에 의거 폭염을 자연재난의 범주에 포함하였다. 폭염을 예·경보하거나 심도를 구분하는 통일된 기준은 국내외적으로 존재하지 않으며, 국가마다 기후특성 및 국민의 더위 적응도 등을 고려하여 서로다른 폭염기준을 선정하여 대응하고 있다. 한국의 경우 Table 1과 같이 폭염특보 기준을 일최고기온과 지속시간을 활용하여 설정하여 운영하고 있으며, 체감온도 기반 폭염특보를 시범운영하고 있다.

재난관리 관점에서의 국내외 폭염관련 연구는 1994년 일본 오사카 폭염, 1995년 미국 시카고 폭염의 발생에 따른 다수의 사망자 발생으로 본격화 되었으며, 국내의 경우 2000년대 부터 재난관리의 단계인 예방 및 대비, 대응 복구, 그리고 종합적 대책으로 구분된 연구가 활발히 추진되고 있다. Centers for Disease Control and Prevention (CDC, 1995), Semenza *et al.* (1996), Whitman *et al.* (1997), Shen *et al.* (1998)은 시카고 폭염에 따른 사망자를 보다 객관적으로 구분하고, 다양한 계층과 부류에 따른 분류를 수행하여 제시하였다. 이후 Changnon *et al.* (1996)와 Klinenberg (1999)는 폭염을 새로운 변형된 재난의 관점에서 분석하고, 폭염에 의한 영향과 대응에 대한 경험을 재난관리의 환류관점에서 분석하여 제시하였다. 최근 Wilhelmi *et al.* (2004), Gobbi *et al.* (2017), Savić *et al.* (2018),

Imran *et al.* (2018), Dong *et al.* (2020), 그리고 Dubey *et al.* (2021) 등은 폭염 대한 구조적, 비구조적 완화방안과 예측기법, 그리고 직간접적 위험도의 공간적 표출기술 등에 연구한 바 있다.

국내의 경우, Kim *et al.* (2007)은 폭염재난에 대해 예방 및 대비, 대응, 복구의 재해관리 단계로 나누어 외국의 선진 사례를 분석하고, 국내 폭염종합대책의 현황과 문제점을 분석한 바 있다. Yang and Yoon (2020)은 기후위험에 대비한 폭염 적응정책의 효과성 평가를 도시계획적 관점에서 녹지조성에 따른 온열질환 질병 부담의 완화효과에 대한 분석결과를 제시하였다. Kwon and Ahn (2020)은 폭염대응의 정책효과를 분석하기 위하여 시스템 다이내믹스 기법을 적용하고, 효용성에 대한 정량화를 시도하였다. 이와 같은 폭염 대비 및 대응을 위한 정책적 연구 대비 기타 비구조적인 대책과 구조적인 대책에 대한 연구는 상대적으로 적게 수행되고 있다. 특히 폭염관련 대부분의 연구가 제도적 완화방안마련이나 피해대상 인구를 직접적으로 산정하거나 인체 건강 또는 사회적 영향의 간접적 지표를 포함한 위험도의 산정(Kim, 2020; Choi *et al.*, 2018)을 시도하는 비구조적 대책 위주로 수행되고 있음을 확인할 수 있다. 구조적 대책과 관련된 연구는 Yoon *et al.* (2013)이 아스팔트 도로포장에 물순환 파이프 시스템을 설치하고 그에 따른 표면온도저감에 대한 실험적 연구를 수행한 바 있으며, Kim (2008)은 국외에서 시도된 폭염재난에 대응하는 쿨링센터 시설의 설치 및 운영기준을 제도적인 관점에서 제시한 바 있다. 또한 최근에는 Jeong (2021)은 도로포장체의 온도저감을 위한 살수방식 등에 따른 도시열섬현상 완화효과 분석을 모델링하고 각 방법별로 비교 분석한 결과를 제시한 바 있다.

Table 1. Criteria for determining of the heat wave warning (KMA, 2021)

Categories	Judging criteria
Heat wave advisory	When the daily maximum temperature of 33°C or higher is expected to last for 2 days or more [Criteria for announcement of special alerts based on wind chill factor*] In case of any of the following due to a heat wave ① When the maximum daily wind chill factor of 33°C or higher is expected to last for more than 2 days ② When serious damage is expected due to sudden rise in wind chill factor or prolonged heatwave
Heat wave warning	When the daily maximum temperature of 35°C or higher is expected to last for more than 2 days [Criteria for announcement of special alerts based on wind chill factor*] In case of any of the following due to a heat wave ① When the daily maximum wind chill factor of 35°C or higher is expected to last for more than 2 days ② When serious damage is expected in a wide area due to a sudden rise in wind chill factor or prolonged heatwave

* Experimental operation of heat wave warning based on wind chill factor (May 15, 2020)
 * wind chill factor: A temperature that quantitatively expresses the heat or cold that a person feels by adding the effects of humidity and wind to the temperature.
 * Characteristic that the wind chill factor increases by 1 degree for every 10% increase in humidity
 * KMA (2021) Weather Nuri websitehttps://www.weather.go.kr/w/weather/warning/standard.do

본 연구에서는 1995년 시카고 폭염 당시, 장기간의 폭염이 지속되는 상황에서 일반시민이 불법적 행동이라고 할 수 있는 소화전의 강제 개방을 통해 더위를 식혔다는 점에서 착안하여, 상수관망 수리해석을 통한 폭염 저감 시설로서의 소화전 활용방안연구를 수행하였다. 즉, 장기간의 폭염 상황이 지속될 경우, 소화전 관리 및 운영기관인 지자체에서 구조적 대책의 일환으로 소화전을 폭염저감시설로 전환하여 운영하고 이에 따른 도시지역의 온도저감이 가능한지에 대한 정량적 평가를 시도하였다. 특히, 소화전의 경우 설치 간격 및 환경이 도심지 및 비도심지에 따라 다소 차이가 있으므로, 도심지와 비도심지에 대한 적용을 각각 수행하여 보다 효율적인 폭염저감 방안을 도출하기 위한 비교분석을 수행하였다.

2. 폭염저감을 위한 소화전시설 운영 효과 분석

2.1 방법론

본 연구에서 제시한 연구방법론의 흐름도는 Fig. 1과 같다. 방법론의 구현 및 적용을 위해 도시지역 물공급시스템인 상수관망 시스템의 수리학적 해석 모델을 우선적으로 구축하고, 지리정보시스템을 통한 소화전 위치를 획득한다. 이후, 소화전 설치 지점을 폭염저감을 위해 개방한다고 가정하고, 지점별 수압에 따른 살수반경을 도출하고 전체 대상구역의 살수면적에 따른 도심지 온도의 저감비율을 살수차운행에 따른 살수면적과 비교하여 분석한다. 상수관망시스템의 각 소화전 설치 지점의 수압은 상수관망 해석의 범용프로그램인 EPANET2

(US-EPA, 2020)을 활용하여 획득한다. Fig. 2에서 제시된 바와 같이 대상 지역의 상수도관로 및 소화전설치현황을 지리정보시스템을 통해 확보하고, 각 수요절점의 평균물사용량, 유입점 수두, 관로 유속계수 등의 자료를 활용하여 상수도관망 해석을 위한 EPANET2 입력자료를 구축한다, 구축된 수리해석 입력자료의 절점과 지리정보시스템의 소화전 위치를 서로 맵핑하여 소화전과 가장 근접한 지점의 수요절점을 소화전 개장 위치로 가정한다. 최종적으로 상수도관망 해석을 통해 획득된 소화전 설치지점의 압력값을 획득하고, 살수반경 및 살수면적 결정에 활용한다.

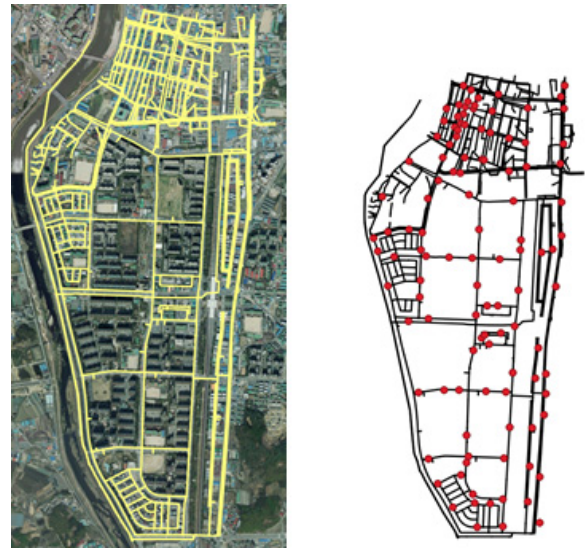


Fig. 2. Target area of the study

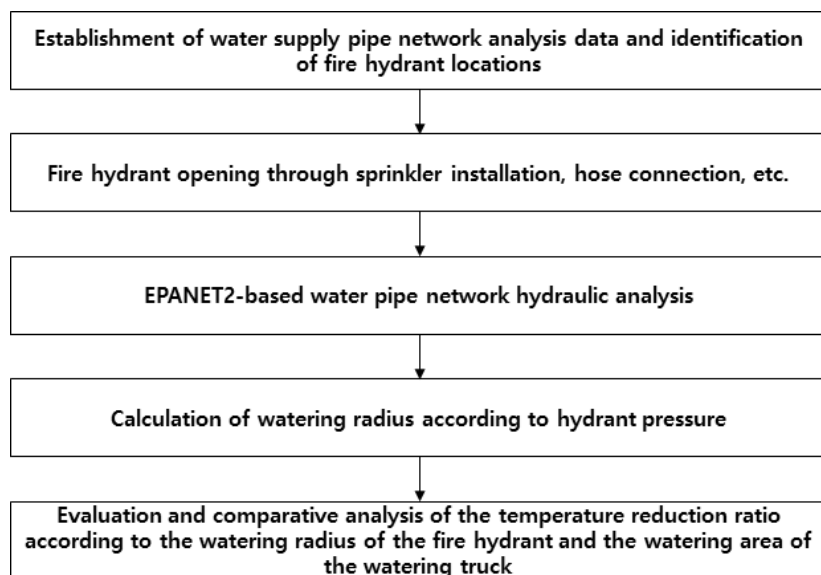


Fig. 1. Flowchart of the study

2.2 소화전 살수면적 산정 방법

소화전은 정수처리된 물을 공급하는 상수관망시스템 내에 설치되게 되며, 상수관망시스템은 일반적으로 관로내로 물이 가득차서 흐르는 압력흐름에 의한 관수로로 고려된다. 즉, 소화전을 개방할 경우 압력에 따라 물을 살수할 수 있는 범위가 결정되게 되며, 이것은 스프링클러에 의한 관개용수, 작물재배 용수공급과 유사한 형태로 표현될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 KRC (1997)가 제시한 관개용수 공급에 있어 압력에 따른 공급범위(살수반경)를 활용하여 소화전에 의한 살수범위를 정량적으로 도출하고자 하였다. Eq. (1)은 절점의 압력에 따른 살수반경을 나타내고 있으며, 이를 그래프로 표현하면 Fig. 3과 같다. 일반적인 상수도시스템에서도 수압에 따른 공급가능 유량이 멱함수형태로 제시된다고 알려져 있으며, 그와 유사한 형태의 압력에 따른 살수반경이 나타남을 확인할 수 있다.

소화전 개방에 따른 살수면적은, 우선 상수관망 수리해석을 통해 소화전이 설치된 절점에서의 압력값을 도출한후, Eq.

(1)을 통해 해당 소화전의 살수반경을 도출하고 살수에 따른 살수 대상면적을 최종도출한다. 대상지역의 모든 소화전에 대한 살수 대상면적을 산출하고 그 합계를 도출한다.

$$Y = 1.62 \times \text{Ln}(x) + 3.97 \tag{1}$$

여기서, Y는 살수반경(m), x는 절점의 압력(kgf/cm²)

소화전 개방에 따른 효과를 정량적으로 평가, 비교분석하기 위하여 폭염저감을 위한 구조적 대책으로 대부분의 지자체에서 활용 중인 살수차에 의한 살수면적의 비교를 수행하고자 하였다. 살수차에 의한 살수면적을 계산하기 위하여, Fig. 4와 같이 살수차의 일반적인 폭(2.45 m)과 상수관로의 길이를 활용하였다. 즉, 살수차가 이동하는 길이에 살수차의 폭을 곱한 만큼이 살수면적이 된다고 계산한다. 상수도관로의 경우 일반적으로 도로를 따라 매설되므로 상수도관로의 길이의 일정 비율에 따라 살수차가 이동 가능한 길이가 도출될 수 있다고 가정하였다. 적용지역마다의 살수차가 이동 가능한 도로의 면적이 매우 상이하므로, 본 연구에서는 전체 관로길이의 약 20%의 길이에 살수차가 진입가능하다고 설정하고 계산을 수행하였다. 향후 이 설정된 값은 도로정보 관련 상세 지리정보시스템 자료가 확보될 경우 정확하게 산정이 가능할 것으로 판단된다.

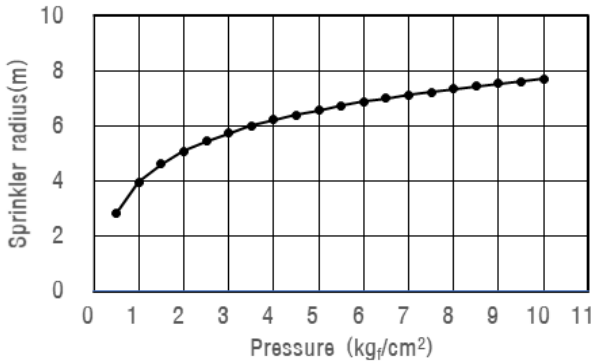


Fig. 3. Watering radius graph according to pressure (KRC, 1997)

3. 적용 및 결과

3.1 적용지역

본 연구에서 제안된 방법을 국내 A시의 2개 급수구역에 적용하였다. 특히, 소화전의 경우 설치 간격 및 환경이 도심지

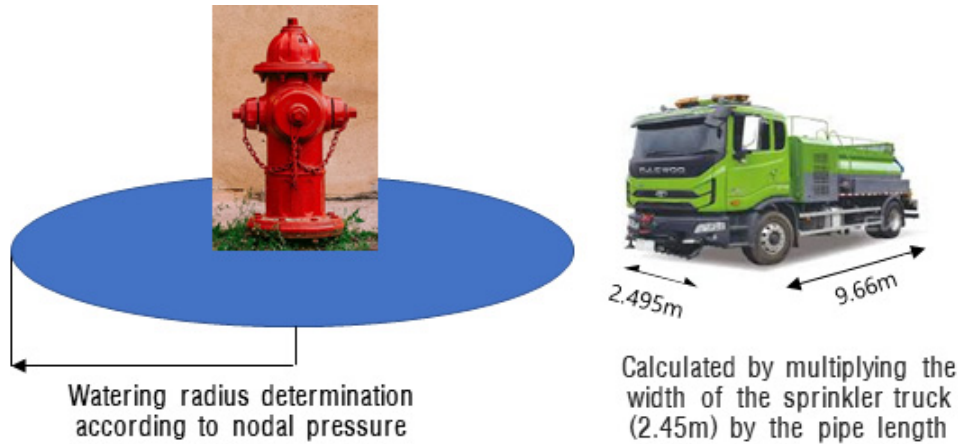


Fig. 4. Calculation of watering area by fire hydrant and watering truck

및 비도심지에 따라 다소 차이가 있으므로, 도심지와 비도심지에 대한 적용을 각각 수행하여 보다 효율적인 폭염저감 방안을 도출하기 위한 비교분석을 수행하였다. 대상급수구역은 Fig. 5와 같으며, A-1 구역은 전형적으로 비계획된 도시의 특성을 가지는 상수도 공급지역으로, 수지형 물공급시스템의 특성을 띄고 있다. 도식화된 물공급시스템을 살펴보면, 총 349개의 수요절점과 373개의 관로 및 하나의 배수지로 구성되어 있음을 알 수 있다. A-2 구역은 전형적으로 계획된 도시의 특성을 가지는 회로형(망형) 상수도시스템의 특성을 가지고 있다. A-2구역의 경우, 총 1,394개의 절점과 1,547개의 관로로 구성되어 있다. 유사한 급수면적을 보이나 A-1과 A-2는 전형적인 수지형과 망형 관로시스템으로 물공급을 하고 있어, 매설관로의 길이는 A-2(113.5 km)가 A-1(58.4 km)에 비하여

약 1.94배 길고, 소화전 설치 개소 역시 A-1은 18개소(지리정보시스템 상의 정보기반), A-2는 111개로 A-2가 6.17배 더 많은 것으로 확인된다. 구축된 EPANET2 수리해석에서 활용된 수요량은 절점별 평균수요량으로 설정되어 구동되었다.

3.2 적용결과

제안된 방법을 A-1 및 A-2 구역에 적용한 결과는 Fig. 6과 Tables 2~4와 같다. Fig. 6은 소화전이 설치된 주요지점(A, B, C)의 압력과 도출된 살수반경을 제시하고 있다. A-1구역 내 소화전이 위치한 지점의 평균 수압은 37.56 m로 나타났으며, 최소 수압지점의 값은 8.74 m, 최대 수압지점의 값은 69.92 m로 도출되었다. A-2구역 내 소화전이 위치한 지점의 평균 수압은 38.14 m로 나타났으며, 최소 수압지점의 값은 24.95 m,

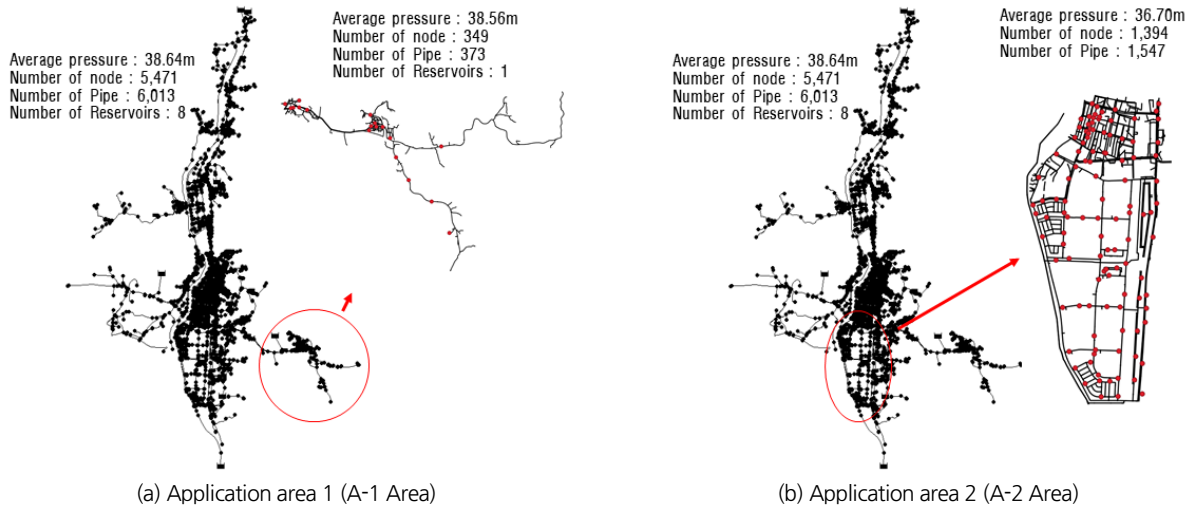


Fig. 5. Application areas



Fig. 6. Application results

최대 수압지점의 값은 51.69 m로 도출되었다. A-1과 A-2 소화전의 압력값을 비교해보면, A-1 및 A-2의 평균 수압은 유사하나 최소, 최대 수압의 편차는 A-1이 A-2에 비하여 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 값은 수지형과 회로형(망형)의 물공급시스템 특성이 전형적으로 나타났다는 것을 의미한다. 이와 같은 관점에서 수압값의 편차가 큰 A-1 구역의 경우 저수압이 나타나는 소화전을 개방하였을 경우 충분할 살수효과를 거둘수 없다는 것을 의미하므로 A-1에 비하여 A-2지역이 소화전 개방에 따른 살수효과를 얻는데 보다 효과적임을 나타낸다. 또한 A-2지역은 소화전의 설치 밀도가 A-1에 비하여 높으므로 살수효과를 극대화하는 데 적합하다 할 수 있다. 즉, 도시시설 및 소화전이 밀집되어 설치되어 있는 시가지가 비도시지역에 비하여 소화전을 활용한 폭염저감효과를 높이는데 용이하다.

Table 2는 A-1 및 A-2 구역에 소화전을 활용한 살수를 시행하였을 경우의 살수면적을 도출하고 비교한 것이다. 소화전의 설치개수가 A-1에 비하여 A-2지역에 절대적으로 많으므로, A-2지역의 소화전 개방에 의한 살수면적이 절대적으로 높은 것은 자명한 사실로 확인된다. Table 3은 살수차에 의한 살수방식을 전체 관로길이의 20%에 해당하는 구간에 적용할 경우

Table 2. Watering area results according to the use of fire hydrants (A-1 and A-2 areas)

Application area	Average pressure (m)	Average watering radius (m)	Sum of watering area (m ²)
A-1	37.56	5.99	2,057.78
A-2	38.14	6.13	13,107.95

Table 3. Watering area results according to the use of watering truck (A-1 and A-2 areas)

Application area	Total length of pipe (20%)	Sum of watering area (m ²)
A-1	58,352.30	29,117.80
A-2	113,488.47	56,630.75

Table 4. Comparison of watering area by fire hydrant and watering truck (A-1 and A-2 areas)

Watering method	Sum of watering area (m ²)		Watering area ratio (%) (Hydrant/Watering truck*100)	
	A-1	A-2	A-1	A-2
Hydrant	2,057.78	13,107.95	7.07	23.15
Watering truck	29,117.80	56,630.75		

의 A-1 및 A-2 구역의 살수면적을 나타내고 있으며, Table 4는 2가지 살수 기법의 비율을 상대적으로 나타낸 결과를 표현한 것이다. 고정되어 위치를 이동시킬 수 없는 소화전에 의한 살수면적과, 이동하며 노면살수를 시행하는 살수차에 의한 살수면적을 비교하면 살수차에 의한 살수면적이 절대적으로 높을 수밖에 없다. 여기서 주목할 만한 사실은, A-1 및 A-2의 경우 유사한 평균수압을 가지고 있음에도 불구하고 소화전의 밀도와 관로가 밀집된 구간에 매설되어 있다는 도심지의 특성에 따라 소화전 개방에 따른 살수면적이 이동식의 살수면적 대비 최대 23.15%까지 도출될 수 있다는 점이다. 이것은, 인구와 상수도시스템 인프라가 집중된 도심시가지의 소화전 활용 폭염저감 방식이 실무적으로도 효과성을 높일 수 있다는 가능성을 보여준다 할 수 있다.

추가적으로 소화전과 살수차에 의한 살수방법을 비교하면, 소화전에 의한 살수는 동일한 살수면적에 지속적으로 살수가 가능하다는 특이점이 있으며, 살수차의 경우 이동하며 살수를 수행하기 때문에 일반적으로 넓은 지역에 한번의 살수를 실시한다고 판단할 수 있다. Jeong (2021)은 일최고온도가 일반적으로 발생하는 오후2시에 1회 살수를 시행하는 것을 단일살수기법이라 정의하고, 1시간 간격으로 동일한 지역에 대해 반복적으로 살수를 시행하는 것을 분할살수기법이라 구분하였다. Jeong (2021)에 의한 살수기법을 고려할 경우, 소화전에 의한 살수는 분할살수기법으로 가정될 수 있으며, 살수차에 의한 살수는 반복적 살수를 하지 않는다는 전제조건에 따라 일반적으로 단일살수기법이라 설정할 수 있다. Jeong (2021)은 단일살수와 분할살수기법의 온도저감효과를 분석한 결과, 노면살수의 경우 모든 위치에서 단일살수시 보다 분할살수시 높은 온도저감효과를 보였다. 즉, 단일살수와 분할살수의 적용에 따른 온도저감효과를 정량적으로 평가한 결과 단일살수의 경우 약 12°C의 즉각적인 온도저감효과가 있었으나 살수 이후 태양복사에너지로 인하여 포장의 온도가 약 3°C가량 다시 상승하는 현상을 보였다. 그러나 분할살수의 경우 간헐적인 살수로 인하여 축열된 열에너지량을 감소시켜 낮 시간 때의 표면온도 및 살수이후부터 일출전까지 온도저감효과가 지속되는 것으로 확인되었다. 이와 같은 연구결과를 본 연구에 적용해 보면, 소화전에 의한 살수방법의 온도저감 효과는 절대적인 살수면적의 차이에 따라, 살수차에 의한 살수방법 대비 낮게 도출될 수 있다는 한계점을 지니나, 소화전은 살수차와 달리 물공급양에 대한 상대적 제한이 없고 동일한 지역에 대한 지속적인 분할살수가 가능하므로 일정 구역의 살수면적이 확보될 경우 살수차 대비 상대적으로 효과성 있는 폭염저감효과를 도출할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 정수처리된 물을 소비자에게 공급하는 상수관망시스템을 폭염재난에 활용할 수 있는 방안에 대한 정량화 분석을 수행하였다. 장기간의 폭염 상황이 지속될 경우, 소화전 관리 및 운영기관인 지자체에서 소화전 설치 지점을 폭염저감을 위해 개방한다고 가정하고, 지점별 수압에 따른 살수 반경을 도출하고 전체 대상구역의 살수면적에 따른 도심지 온도의 저감비율을 살수차운영에 따른 살수면적과 비교하여 분석하고 제시하였다. 한 지자체 내 도심지와 비도심지에 대한 적용을 통해, 소화전 설치 밀도가 높고 동일 면적 대비 관로 길이가 상대적으로 긴 도심지에 소화전 개방을 통한 폭염저감 기법의 적용할 경우 온도저감효과가 극대화 될 것으로 모의되었으며, 살수차에 의한 살수방식과 비교한 결과 소화전에 의한 분할살수가 실시될 경우 살수차에 의한 이동살수를 수행하는 것과 경쟁력 있는 폭염저감 효과를 거둘수 있을 것으로 판단되었다.

국외의 경우 소화전 개방에 따른 단방향 플러싱기반 관세척이 상시적, 주기적으로 실시되고 있는 반면, 국내는 수질민원 발생 및 단수 유발의 가능성과 그 효과성에 대한 다양한 의견들로 인하여 소화전 개방에 따른 관세척이 매우 제한적으로 이루어지고 있는 것이 사실이다. 그러나, 2018년 인천광역시 및 서울특별시에서 발생한 적수사고에 따라 최근 배수구역에 대한 관세척을 의무화한 상수관망시설유지관리업무 세부기준이 수립된 바, 향후 폭염시 소화전 개방에 의한 관세척과 도시지역 온도저감에 대한 효과를 동시에 달성할 수 있는 추가 기법과 이에 대한 효과성의 정량화 연구가 수행될 필요가 있다. 또한, 본 연구에서는 적용된 지역의 EPANET2 수리해석에서 활용된 수요량은 절점별 평균수요량으로 설정되어 구동되었다. 실제상수관망의 운영상황에서는 시간대별 수용가의 물사용량에 따라 시간적으로 압력이 변동하게 되므로, 실제 소화전 살수를 실행하는 시점에 따라 살수면적이 상이하게 도출될 수 있다. 이러한 변동성을 고려한 최적의 살수방안을 마련하는 것이 향후 필요하다.

감사의 글

본 연구는 한국수자원공사(K-water)의 개방형혁신 R&D 사업(B-T012)의 일환으로 수행되었습니다.

References

- Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (1995). "Heat-related mortality-Chicago, July 1995. MMWR." *Morbidity and Mortality Weekly Report*, Vol. 44, No. 31, pp. 577-579.
- Changnon, S.A., Kunkel, K.E., and Reinke, B.C. (1996). "Impacts and responses to the 1995 heat wave: A call to action." *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 77, No. 7, pp. 1497-1506.
- Choi, Y.S., Kim, J.W., and Lim, U. (2018) "An analysis on the spatial patterns of heat wave vulnerable areas and adaptive capacity vulnerable areas in Seoul." *Journal of Korea Planning Association*, Vol. 53, No. 7, pp. 87-107.
- Dong, J., Peng, J., He, X., Corcoran, J., Qiu, S., and Wang, X. (2020). "Heatwave-induced human health risk assessment in megacities based on heat stress-social vulnerability-human exposure framework." *Landscape and Urban Planning*, Vol. 203, 103907.
- Dubey, A.K., Lal, P., Kumar, P., Kumar, A., and Dvornikov, A.Y. (2021). "Present and future projections of heatwave hazard-risk over India: A regional earth system model assessment." *Environmental Research*, Vol. 201, 111573.
- Gobbi, A., Alikadic, A., Ylinen, K., Angarano, F., and Furlanello, C. (2017). "A heat wave forecast system for Europe." *2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, IEEE, Boston, MA, U.S., pp. 3734-3738.
- Imran, H.M., Kala, J., Ng, A.W.M., and Muthukumar, S. (2018). "Effectiveness of green and cool roofs in mitigating urban heat island effects during a heatwave event in the city of Melbourne in southeast Australia." *Journal of Cleaner Production*, Vol. 197, pp. 393-405.
- Jeong, S.H. (2021). *Analysis of the mitigation effect on urban heat island phenomena applying the method of temperature reduction in road pavement*. Master thesis, Konkuk University.
- Kim, J.W. (2008). "A study on the cooling center manual of facility and maintenance for extreme heat disaster." *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 8, No. 4, pp. 17-22.
- Kim, J.Y., Kim, K.O., and Yu, K.Y. (2007). "A study on foreign cases for the management of extreme heat response plan in Korea." *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 7, No. 2, pp. 25-33.
- Kim, M. (2020). "The Hazard Viz-platform for the establishment of heatwave response strategies." *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 23, No. 5, pp. 683-699.
- Klinenberg, E. (1999). "Denaturalizing disaster: A social autopsy of the 1995 Chicago heat wave." *Theory and Society*, Vol. 28, No. 2, pp. 239-295.
- Korea Meteorological Agency (KMA) (2021) Weather Nuri website, accessed 1 June 2021, <<https://www.weather.go.kr/w/weather/warning/standard.do>>.
- Korea Rural Community Corporation (KRC) (1997). *A study on efficient land consolidation and irrigation methods for upland*

crops (III).

- Kwon, Y., and Aha, Y. (2020). "Political effects of countermeasures against heat wave using system dynamics method: Case study in Daegu Metropolitan City." *The Korea Spatial Planning Review*, Vol.106, pp. 41-64.
- Savić, S., Marković, V., Šećerov, I., Pavić, D., Arsenović, D., Milošević, D., Dolinaj, D., Nagy, I., and Pantelić, M. (2018). "Heat wave risk assessment and mapping in urban areas: Case study for a midsized Central European city, Novi Sad (Serbia)." *Natural Hazards*, Vol. 91, No. 3, pp. 891-911.
- Semenza, J.C., Rubin, C.H., Falter, K.H., Selanikio, J.D., Flanders, W.D., Howe, H.L., and Wilhelm, J.L. (1996). "Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago." *New England Journal of Medicine*, Vol. 335, No. 2, pp. 84-90.
- Shen, T., Howe, H. L., Alo, C., and Moolenaar, R.L. (1998). "Toward a broader definition of heat-related death: Comparison of mortality estimates from medical examiners' classification with those from total death differentials during the July 1995 heat wave in Chicago, Illinois." *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, Vol. 19, No. 2, pp. 113-118.
- Whitman, S., Good, G., Donoghue, E.R., Benbow, N., Shou, W., and Mou, S. (1997). "Mortality in Chicago attributed to the July 1995 heat wave." *American Journal of Public Health*, Vol. 87, No. 9, pp. 1515-1518.
- Wilhelmi, O.V., Purvis, K.L., and Harriss, R.C. (2004). "Designing a geospatial information infrastructure for mitigation of heat wave hazards in urban areas." *Natural Hazards Review*, Vol. 5, No. 3, pp. 147-158.
- Yang, H.J., and Yoon, H. (2020). "Evaluating the effectiveness of heat-wave adaptation policies against climate risk: Application of local-level health impact assessment." *Journal of Korea Planning Association*, Vol. 55, No. 2, pp. 101-110.
- Yoon, Y.K., Park, K.W., and Lee, S.K. (2013). "A study of the surface temperature reduction using pipe cooling system in asphalt pavement." *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 15, No. 1, pp. 75-86.