국토연구 제98권(2018.9): pp23~35 http://dx.doi.org/10.15793/kspr.2018.98..002

도시구조적 차원에서 바라본 대구 대도시 유역의 폭염 가중원인 추정과 해결과제*

Estimation and Countermeasure of the Heat Wave Cause of Daegu Metropolitan Basin from the Urban Structural Dimension

권용석 Kwon Yongseok**

Abstract

The negative effects of heat waves on our society are well known through active research in the field of health and environmental disasters. In order to systematically reduce the risk of such a heat, it is necessary to search for countermeasures in the field of urban planning. The purpose of this study is to investigate the main points where artificial heat occurs and the wind direction and temperature condition during summer and winter events in Daegu city and surrounding cities. As a result, we confirmed that the urban structure of Daegu city is not appropriate for the heatwave, and the case of Daegu city showed that the solution of the urban structural problem should be basically preceded. In this study, four alternatives were selected as policy alternatives: urban cooperation for watershed management, systematic management of sources of artificial heat, gradual relocation of abundant artificial heat discharge facilities, and customized management of wind routes.

Keywords: Heatwave, Urban Structure, Mesoclimate, Artificial Heat, Urban Planning

I. 서론

1. 연구의 배경

우리나라는 지난 60년간 압축된 산업화 과정을 거치면서 인구가 도시로 몰리는 도시화 또한 급격히 진행되어왔다. 도시화를 거치면서 도시민의 정주환경 및 삶의 수준 향상 등 소기의 성과를 거둔 반면, 그 과정 속에서 동시에 예상치 못한 다양한 도시문제들이 함께 양산되었다. 그중 하나가 도시열섬현상으로 인한 폭염 가중문제이다.

폭염은 일정 온도 이상 기온이 상승했을 때 인명 및 재산피해를 유발시키는 재해로(이나영, 조용성 2015), 2012년 7월 31일 기상청 보도자료(기상청 2012)에 따르면 인명피해가 가장 큰 기상재해로 뽑힌다. 폭염의 위험성에 대한 연구는 환경경제, 보건 분야에서 이미 활발히 진행되어 왔다. 특히 신동희, 이나영, 조용성(2015)은 폭염으로 인해 추가 발생하는 사망자수를 최대 22만 2천 명으로, 이에 대한 사회적 비용을 최대 106조 원으로 추정함으로써 폭염 위험성에 대한 경각

* 본 논문은 "권용석, 정군우, 최용준. 2017. 기후변화시대 대구 대도시권 도시지역 폭염 대응방안 연구. 대구: 대구경북연구원"을 수정·보완하여 발전시킨 것임.

** 대구경북연구원 부연구위원 | Associated Research Fellow, Daegu Gyeongbuk Development Institute | kwony@dgi.re.kr

www.kci.go.kr

심을 다시금 불러일으켰다.

폭염의 위험성은 이미 앞서 언급한 국지적 차원의 도시화 측면뿐만 아니라 전 세계적 차원의 기후변화로 인해 더욱 심각해질 것으로 예상된다. 이러한 폭염의 위험성을 경고하는 연구는 보건, 환경 분야에서 활발히 진행되어오고 있는 반면, 폭염 대응방안에 대한 논의는 그 위험성에 상응하는 만큼의 심도를 지니고 있지 못하고 있다. 게다가 폭염 대응에 관한 연구는 대체적으로 기후변화 연구의 일환으로 진행되어 도시계획 측면에서 봤을 때 그 대안이 구체적이지 못하고 원론적인 성격이 강해 정책적 실효성은 그리 높지 못하다. 이러한 인식하에 본 논문은 연구의 초점을 폭염 가중요인 중 하나인 '기상조건에 부합하지 않는 도시구조'에 맞추고, 폭염피해 저감을 위한 도시계획 분야에서의 대응 필요성에 대해 다루고자 한다.

여기서 기상조건이라 함은 강우, 강설, 풍향, 풍속, 기온 등 대기에서 나타나는 자연 현상을 의미한다. 기상재해는 이러한 기상현상으로 인해 발생한 재난으로서 협의로는 호우, 태풍, 대설, 강풍, 풍랑 등이 해당되며, 넓은 의미에서 폭염도 하나의 기상재해로 인정하는 추세다(김지영, 최병철, 박일수, 김규랑 외 2006; 기상청 2012). 이처럼 기상재해에 속하는 폭염의 특성상 다른 어떤 조건보다도 기온, 풍속, 풍향 등과 같은 여러 기상조건에 의해 폭염 발생 여부, 발생 및 피해정도가 크게 좌우된다. 따라서 폭염이 발생하는 도시에서의 폭염 저감대책은 해당 도시의 기상특성이 충분히 고려될 필요가 있다.

2. 연구의 목적

그동안 우리나라 도시성장 과정에서 자연적 특성 중 특히 기상여건을 충분히 고려하지 못해 폭염이 가중되었다는 문제인식에 따라, 폭염으로 인해 발생될 수 있는 막대한 사회적 비용을 저감하기 위한 방안을 도시계획 분야에서 모색하고자 한다. 이를 위해 본 논문에서는 대구시와 그 주변지역을 대상으로 단편적으로나마 해당 지역 고유의 기상여건이 충분히 반영되지 못한 도시구조로 인해 폭염이 인위적으로 가중될 수 있음을 보여줌으로써, 역설적으로 기존의 도시발전방식을 자연 순응형으로 변모시킨다면 그동안 불필요하게 가중되었던 폭염문제가 완화될 수 있음을 주장하고자 한다.

그간의 도시성장 과정은 부득이하게 폭염을 가중시켰다. 지금까지의 도시성장 방식을 고집할 경우 우리 사회가 짊어져야 할 부담 또한 크게 증가할 수 있다는 우려와 함께 현시점에서 미리 고민해야 하는 부분이 무엇인지 찾고, 실제 그에 대한 대안을 모색함으로써 향후 미래세대가 짊어져야 할 부담을 최소화하려는 노력이 시급하다.

3. 연구방법

현 도시구조와 해당 도시의 기상조건 간의 부조화로 인해 폭염이 가중되는 문제의 구체성을 확보하고자 본 논문에서는 대구시를 대상으로 사례연구를 진행하였다.

대구는 여름철 찜통더위의 대명사로 잘 알려진 지역으로, 대구가 특별히 더운 지역인 이유에 대해서는 단순 내륙 분지지형이라는 지형적 특성으로만 치부되었다. 하지만 산업화와 함께 계획적으로 건설된 신도시와는 달리 우리나라 대부분의 자연발생적 도시들은 풍수지리적 사고에 기초하여 분지형태를 띠고 있어(박수진 2014), 분지라는 지형적 특징이 전국적으로 공통적으로 적용되는 상황임에도 불구하고, 유난히 대구의 경우에 한해서만 분지라는 지형적 특성을 폭염의 원인으로 특정하기에는 곤란하다.

www.kci.go.kr

이러한 판단하에 본 논문에서는 분지 지형 대신 대구시 고유의 기상조건에 주목한다. 대구의 도시구조적 특징은 서측에 산업단지들이 밀집되어 있다는 점으로, 이 지역을 중심으로 도시열섬이 형성되어 있다. 이에 따라 유난히 빈번한 대구 폭염은 대구시 서측에 밀집한 산업단지와 대구시 고유의 기상조건이 밀접한 관계가 있다고 가정하고, 대구시 일대의 기상조건과 현 대구시의 도시구조 특히 서측에 밀집한 산업단지 입지 간의 복합적 관계가 폭염에 미치는 기제를 다음과 같이 밝히고자 한다.

우선 산업단지가 대구시 도시열섬현상에 상당한 영향을 미친다는 점을 밝히기 위해서 대량의 인공열이 대구 서측에 밀집한 산업단지 지역에서 발생한다는 사실을 확인하고자 하였다. 이를 위해서는 도시 내 각 시설에 대한 인공열 방출량에 관한 조사자료가 가장 적절하나, 현재 그러한 자료가 조사되고 있지 않은 관계로 산업통상자원부, 에너지경제연구원에서 집계한 대구 에너지 다소비업체 현황을 토대로 인공열 다량 방출 지역이 산업단지임을 간접적으로 추정하였다.

다음으로 산업단지와 복합적 관계에 있다고 추정되는 기상조건을 파악하기 위해 본 논문에서는 폭염과 밀접한 기온, 풍향, 풍속 3가지를 중심으로 검토하였다. 검토는 2가지 상이한 시간적 범위를 두고 다층적으로 진행하였는데, 폭염이 주로 발생하는 '여름'이라는 계절적 시간범위와 평균온도가 33℃ 이상 지속되어 폭염특보가 발령된 이벤트 기반의 시간범위이다. 이처럼 2가지 차원에서 검토한 이유는 폭염 현상이 여름철 전반에 걸쳐 발생할 수 있는 개연성과 실제 폭염이 발생한 시점에서의 풍향은 여름철 통상시와는 상이한 패턴을 보일 수 있다는 판단에서였다.

여름철 기상자료는 2007년부터 2017년까지 10년간 측정한 풍향과 풍속자료이며, 폭염발생일 당시의 풍향, 풍속, 기온자료는 폭염특보가 실제 발령된 2016년 8월 14일 중 폭염이 가장 심한 시간대인 14시부터 17시까지의 기온, 풍향, 풍속의 분 단위 자료를 사용하였다.

한편, 기상과 관련된 현상을 충분히 이해하기에는 행정경계보다는 자연적 경계에 따른 영역설정이 적절하다는 판단하에 수리적 공간단위인 '유역(Watershed, Basin)'을 기준으로 영역의 경계를 삼았다. 이에 따라 연구대상의 공간적 범위는 대구, 경산, 영천이 포함된 '금호강 단위유역'(이하 대구 대도시 유역으로 통칭)으로 검토자료 또한 해당 유역 내 설치된 종관기상관측장비(ASOS) 5곳(서구, 신암, 대구, 경산, 하양)의 자료이다.

본 논문에서는 이상의 자료를 오픈소스인 R 프로그램을 활용하여 연구목적에 맞게 가공, 분석, 시각화하였다.

II. 폭염에 대한 도시구조적 접근

1. 폭염과 도시와의 관계

폭염은 폭서(暴暑: 매우 심한 더위)와 같은 단어로, 사전적 정의로 매우 심한 더위를 뜻한다. 학술적으로는 현재까지 여름철 고온현상에 대한 정확한 용어 정리가 국가별로 통일되지 않아 명확한 정의가 없는 상태이다. 다만 폭염주의보, 폭염특보 등 대국민 행정조치를 기준으로 하는 제도적 의미에서 폭염은 대체적으로 33℃ 전후를 기준으로 한다.

결국 고온현상으로 귀납되는 폭염은 여름에 자연적으로 발생하는 현상으로 계절주기성을 가진다. 이렇듯 기본적으로 계절적 요인에 의해 자연적으로 발생하는 폭염은 도시열섬현상, 기후변화 등 인간 활동의 영향으로 인해 인위적으로 더욱더 가중될 수 있다. 이 중 특히 도시열섬은 도시와 직결되는 현상으로, 타 지

www.kci.go.kr

역에 비해 시가지화 지역의 온도가 상대적으로 높은 현상(Sukopp and Wittig 1993)을 말한다. 이러한 현상은 인공시설물의 태양복사에너지 저장, 생산활동 등 도시 자체 발생 인공열 등으로 발생하며, 폭염과 열대야와 같은 기상재해 피해를 가중시키는 원인으로 작용한다. 폭염과 마찬가지로 도시열섬을 판단하는 기준은 연구자마다 상이한데 Rosenzweig(2007)는 도시와 그 주변 온도차이가 3℃ 정도라고 주장하며, Akbari, Menon and Rosenfeld(2008)는 미국 내 도시와 그 주변의 온도 차이가 2.5~4.5℃ 수준에 있음을, Sukopp and Witting(1993)은 도시와 주변과의 온도 차이는 최대 6K(켈빈) 정도로, 도시열섬현상이 발생하는 도시 내부에서도 최대 3K 차이가 발생할 수 있다고 주장하였다. 도시와 폭염 간의 관계는 대표적으로 도시에 거주하는 인구에 따라 도시열섬현상이 증가한다는 정(定)의 상관관계와 도시 속 식생이 많을수록 도시열섬현상은 감소한다는 부(否)의 상관관계 속에서 주로 논의되어 왔다.

2. 폭염 저감의 도시구조적 접근

이론적으로 폭염 저감에 대한 기법은 크게 5가지로 분류된다. <Table 1>에 정리된 바와 같이 첫 번째 유형은 순복사량 최적화를 목적으로 하는 지표면이나 그늘식재 조성과 같은 기법이며, 두 번째 유형은 증발잠열량 증대를 목적으로 옥상조경, 수경시설을 설치하는 것이다. 세 번째 유형은 축열량 저감 목적으로 저열용량 소재를 사용하는 방식이며, 네 번째 유형은 소비열 저감을 위해 에너지 절약형 건축기법을 적용하는 것이다. 마지막으로 다섯 번째 유형은 공간 외부 수평이류 촉진을 목적으로 바람길 유지 및 조성이 이 유형에 해당된다.

이상의 5가지 유형 중 도시구조적 접근에 해당하는 것은 마지막의 공간 외부 수평이류 촉진으로 도로 및 하천 등의 개방된 연속선형체를 활용하여 공기 흐름을 원활히 하며 동시에 건축물의 배치를 적절히 조정하여 흐름의 장애를 최소화하는 방식이다.

Table 1_ Heatwave Abatement Technique

Reduction Field	Technique	Effect
Net Radiation Optimization	Surface Improvement	Reduction of Solar Radiation Absorption
	Roof Surface Improvement	Reduction of Solar Radiation Absorption
	Plant Shade Composition	Reduction of Solar Radiation Absorption
	Air Pollution Abatement	Reduction of Greenhouse Effect
Increase Evaporation Latent Heat	Pitching Surface Composition and Rooftop Landscaping	Falling in Temperature due to Evaporation Effect
	Expansion of Planting Surface	Lowering the Temperature
	Increase of Plant Amount	Lowering the Temperature
	Construction of Hydroponic Facilities such as Fountains	Falling in Temperature due to Evaporation Effect
Reduce Heat Capacity	Use Low-capacity Material	Prevention of Time Delay Effect of Temperature
Reduce Heat Consumption	Energy-saving Building Techniques	Suppress Energy Release to the Atmosphere
	Low Energy Transportation Means	Suppress Energy Release to the Atmosphere
Facilitate Horizontal Flow Out of Space	Wind Path Maintenance and Composition	Surplus Energy Release Out of Space

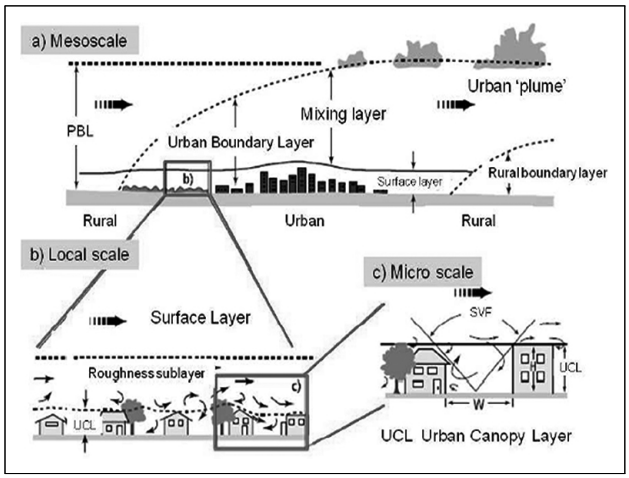
Souce: Kwon 2015.

Hove, Steeneveld, Jacobs and Heusinkveld et al.(2011)은 폭염 저감과 관련하여 도시열섬현상은 실제 도시 속 다양한 수준에서 관리될 필요가 있음과 함께, 그중 하나가 Mesoscale에 해당하는 전 도시적 수준임을 주장하였다(<Figure 1> 참조).

국내에서도 이와 관련하여 찬 공기 생성지 보존과 바람길 형성에 대한 논의가 활발히 진행되어 왔다. 일

www.kci.go.kr

Figure 1 _ Multi-level Urban Heat Island Phenomenon



Source: Hove, Steeneveld, Jacobs and Heusinkveld et al. 2011.

례로 정응호, 김대욱, 류지원, 차재규 외(2008)는 위성자료를 통해 바람길 생성에 중요하다고 판단되는 지역을 독일지역연구학회 기준에 따라 추출하였으며, 송봉근, 박경훈(2013)은 MetPhoMod 모델링 기법을 적용하여 창원시의 바람 패턴을 분석하였다. 서보용(2015)은 KLAM21 모델을 사용하여 대구시 찬 공기 생성 및 이동패턴을 분석하고 그 결과를 기상자료와 비교하며 검증하였다. 안승만, 이규석, 이채연(2015)은 이용한 바람통로 네트워크 구축을 위한 최적의 방법론을 거칠기 길이를 기반으로 모색하였다.

이상 살펴본 바를 정리하면, 바람길 관련 국내 선행연구들은 대체적으로 일정 지역을 특정하고 이 지역을 하나의 닫혀진 계(界)로 전제하는 유체역학적 모델을 적용하였다. 그 결과 연구성과를 바로 현실에 접목하기에는 많은 현실적 제약이 따른다. 한편, 여타 선행연구와 달리 서보용(2015)은 예외적으로 유체역학 기반의 모델을 활용하면서도 동시에 대상 지역의 국지적 기상 특성을 함께 검토하였다. 다만 이 연구는 기상자료를 바탕으로 도시의 열환경 현상 자체를 해석하는 데는 기여하였으나, 기상현상을 도시 열환경에 영향을 미치는 요인으로는 다루지 않았다. 본 논문은 기상현상이 도시 열환경에 미치는 틀 속에서 도시구조적 문제를 논한다는 점에서 앞서 살펴본 선행연구들과는 차별된다.

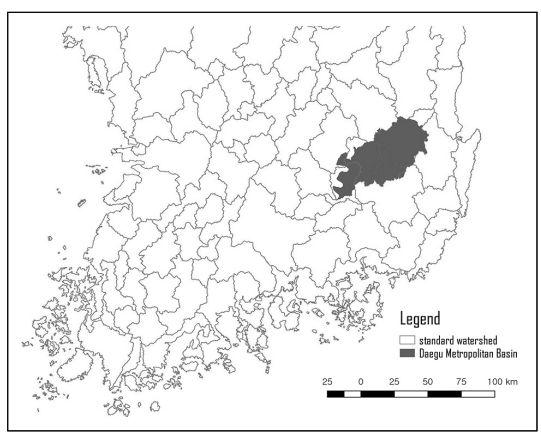
III. 대구 대도시 유역의 열환경적 특성 분석

1. 대구 대도시 유역 개념과 일반적 특성

이미 앞에서 언급했듯이 본 논문에서 기준으로 삼은 '금호강 단위유역'에는 행정구역상 대구는 물론 영천, 경산이 함께 포함되어 있다. 본 논문에서는 해당 유역 중에서도 대구시를 중점적으로 다루기 때문에 연구대상 공간을 '대구 대도시 유역'이라 칭하였다(<Figure 2> 참조).

대구 대도시 유역에는 금호강, 달서천, 불로천, 자호천 등이 속해 있으며, 영남 내륙에 위치하기 때문에 기후적으로는 '강우가 적고 여름이 더운 특수형 기후'로 분류된다.

Figure 3 _ Daegu Metropolitan Area in the Standard Watershed



Note: Daegu, Gyeongsan, Yeongcheon are displayed in gray.
Source: http://www.wamis.go.kr (accessed June 10, 2018).

www.kci.go.kr

2. 대구 대도시 유역의 열환경적 특성

유역의 열환경적 특성으로서 우선 <Table 2>에 정리된 기온과 강수량을 살펴보면, 대구의 7, 8월 평균최고기온은 1981~2010년 기간 중 30.3℃, 31.0℃이고, 강수량은 각각 224mm, 236mm 수준이었으며, 영천의 7, 8월 평균최고기온은 29.5℃, 30.3℃이고, 강수량은 각각 224mm, 225mm이다.

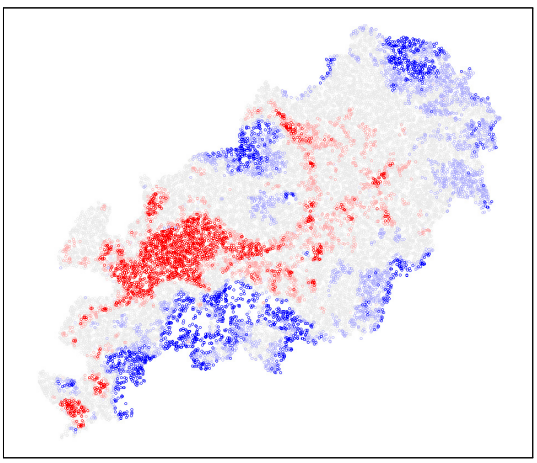
이를 통해 알 수 있는 사실은 평균기온, 최고기온, 최저기온 3가지 기준 모두 여름철 대구가 영천보다 더우며, 최저기온의 경우 거의 2℃ 정도 대구가 영천보다 높다.

이상 단순 통계자료를 통해 파악된, 대구가 영천보다 여름철 기온이 높다는 사실은 폭염이 발생한 특정일에 촬영한 위성자료를 분석한 결과를 통해서도 확인된다. 다만 공간적 분석을 통해서는 보다 세부적으로 대구시 내에서도 특정지역의 기온이 주변지역에 비해 특이하게 높다는 사실을 확인할 수 있다. 실제, GeoDa프로그램을 이용하여 폭염이 발생한 특정일(2016년 9월 8일)의 위성영상자료를 LISA Cluster 기법을 적용하여 분석한 결과 대구 대도시 유역 내 핫스팟은 도심지역을 중심으로 형성되어 있음을 알 수 있었다(<Figure 3> 참조).

이처럼 동일한 도시공간 내 기온이 국지적으로 상이한 도시열섬현상이 발생하는 이유 중 하나로 인공열 발생 정도의 차이에서 찾을 수 있는데(권용석 2015), 이와 관련하여 안승만, 김승종, 이형찬(2016)은 제조업 중심의 산업단지 자체가 주변지역보다 강도 높은 도시열섬을 형성한다는 연구결과를 제시하였다. 이에 착안하여 대구 대도시 유역 내 산업단지의 분포밀도를 분석하였다(<Figure 4> 참조). 분석결과 대구 대도시 유역 내에는 산업단지가 위치상 주로 서측에 밀집되어 있음을 확인하였고, 이를 토대로 해당 지역의 도시열섬 강도가 상대적으로 높다고 추정할 수 있었다.

한편 산업단지마다 특화된 업종별로 인공열 발생 정도가 상이하여 산업단지 밀도만으로 도시열섬 강도를 단정하기에는 한계가 있을 수 있다. 따라서 산업단지 밀도 외에도 업종을 기준으로 도시열섬 강도가 높은 지역을 검색할 필요가 있는데, 본 논문에서는 도시 내 발생하는 인공열의 발생원에 대한 조사자료가 없는 관계로, 발열과 밀접한 관계에 있다고 판단되는 에너지 사용

Figure 3_ Hotspot / Coolspot of Daegu Metropolitan Basin



Note: Analysis of LISA Cluster Using GeoDa Program.
Source: USGS Landsat 8 OLI / TIRS (Created September 8, 2016).

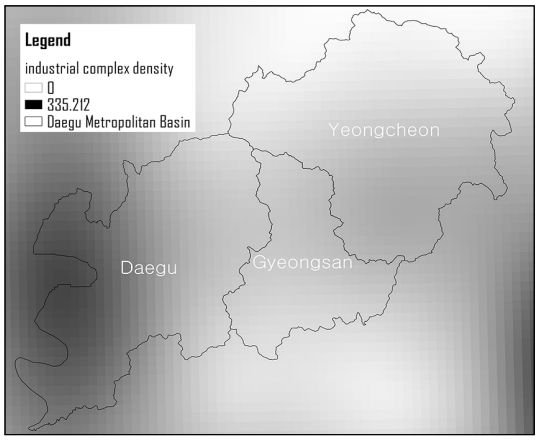
Table 2_ August Weather in Daegu & Yeongcheon: Monthly Average(August, 1981~2010)

Point	Month	Aver. Temp. (℃)	Max. Temp. (℃)	Min. Temp. (℃)	Precipitation (mm)
Daegu	August	26.4	31	22.8	235.9
	July	25.8	30.3	22.3	224
Yeongcheon	August	25.1	30.3	21	225.3
	July	24.6	29.5	20.6	224.4

Source: https://data.kma.go.kr (accessed June 10, 2018).

www.kci.go.kr

Figure 6 _ Daegu Metropolitan Basin and Industrial Complex Location Density



Note: Utilizing ArcGIS's Kernel Density Analysis Tool to Visualize the Location of the Mountains in Density.
Source: Korea Industrial Complex Corporation 2017, Modified.

량을 기준으로 인공열 발생원을 간접 유추하였다.

산업통상자원부, 에너지경제연구원(2016)의 지역 에너지통계연보에 따르면, <Table 3>과 같이 대구시 에너지 다소비(多消費) 업체는 주로 섬유와 금속이다. 이러한 섬유와 금속 업체는 <Table 4>와 같이 염색 공단과 제3공단 내에 집적하고 있는데 이들 산업단지 모두 대구시 서측에 입지하고 있어 앞서 유추한 결과에 배치되지 않는다. 즉, 업종별 분석을 통해서도 단순 산업단지 밀도를 기준으로 한 분석결과와 유사하게 대구 대도시 유역의 폭염 유발 또는 가중요인은

Table 3 _ Daegu Energy Mass Consumer Industry Status

Total	Number of Companies by Industry						
	Food	Textile	Paper	Chem-istry	Cera-mics	Metal	Etc.
125	6	39	6	8	2	46	18

Source: Ministry of Industry and Trade, Energy Economy Institute 2016.

Table 4 _ Company Composion of Daegu Dyeing Complex and the 3rd Industrial Complex

Branch Name	Total	Texile	Metal	Paper	Food
Dyeing Complex (Tenant Only)*	120	120	-	-	-
The 3 Industrial Complex	2,531	69	1,735	31	30

Note: * In addition to the tenants, there are also non-tenants, and 47 non-tenants in the dyestuffs are surveyed.
Source: Daegu Dyeing Industrial Complex Management Corporation 2015; http://www.dg3rd.or.kr/industry/company (accessed June 10, 2018).

공간적으로 서측에 편중되어 있음을 재확인할 수 있었다.

다음으로는 대구 대도시 유역에서의 여름철 그리고 폭염 이벤트 발생 시 나타나는 기상적 특성을 파악하고자 한다.

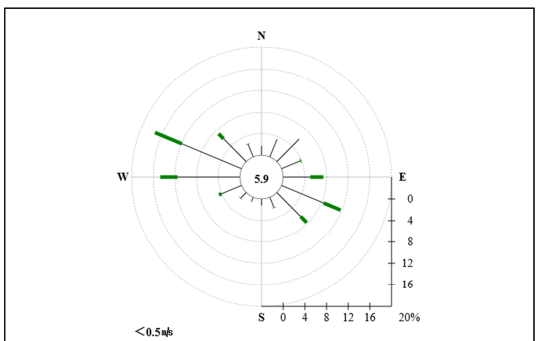
첫 번째, 여름철 기상적 특성은 6~8월 여름 기간에 한정하여 2007년부터 2017년까지 10년간 측정한 풍향의 평균값을 산출하였고, 이를 <Figure 5>의 바람장미 형태로 시각화하였다.[1] 이에 따르면 대구와 영천 ASOS 측정소의 바람장미 두 개가 일부 상이한 부분이 있음에도 불구하고, 전체적으로 유사한 패턴을 보인다. 특히 두 바람장미 모두 대체적으로 북서서풍이 주 풍향이라는 점에서 공간적으로 범위를 넓혀 대구 대도시 유역의 여름철 주 풍향은 북서서풍임을 확인할 수 있다. 즉, 여름철 전반에 걸쳐 바람은 대구 북서쪽에서 불어와 대구 대도시 유역을 거친 후 남동쪽으로 빠져나간다.

두 번째, 폭염 이벤트 발생 시 대구 대도시 유역의 기상조건(풍향·풍속, 기온)을 살펴보았다. 이미 앞서 언급하였듯이, 10년간의 여름철 기상조건 외에도 폭염 발생 시점의 기상조건을 살펴보는 이유는 10년간

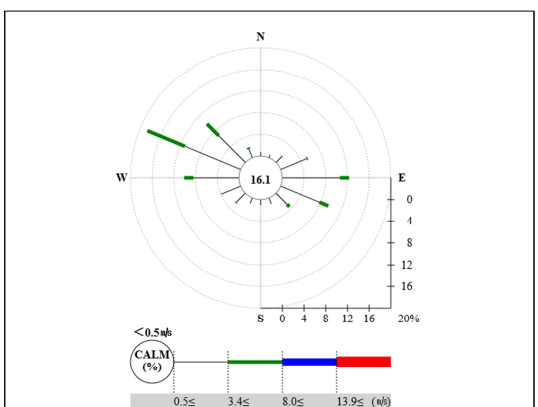
1) 바람장미는 어떤 관측지점에 대하여 해당 기간 동안 반위별 풍향 출현 빈도와 풍향별 풍속계급 빈도를 그래프로 나타낸 것임. 막대는 바람이 불어오는 방향을 나타내며, 길이는 해당 등급의 바람이 불어온 빈도를 백분율로 나타낸 것임.

www.kci.go.kr

Figure 8 _ Wind Rose of Daegu Metropolitan Basin



Wind Rose of Daegu ASOS



Wind Rose of Yeongcheon ASOS

Source: https://data.kma.go.kr (accessed June 10, 2018).

의 여름철 평균값으로 폭염과의 직접적인 연관성을 따지기에는 한계가 있다고 판단되었기 때문이다. 이러한 판단하에 대구 대도시권 내 위치한 기상측정망의 자료를 바탕으로 폭염 발생 시점에서의 풍향을 살펴보았다. 참고로, 대구 대도시 유역에는 총 7개 종관기상관측장비(ASOS)가 설치되어 있으며 이 중 5개소(서구, 신암, 대구, 경산, 하양)의 종관기상관측 자료에 대해 분석을 수행했으며, 5개의 측정소는 그림과 같이 대체적으로 공간상 동서방향으로 나란히 분포한다(<Figure 6> 참조).

폭염이라는 이벤트 발생 시 기상조건이라는 측면에서 대표성을 확보하기 위해 본 논문에서는 대구 대

Figure 10 _ The Five Selected Synoptic Weather Stations

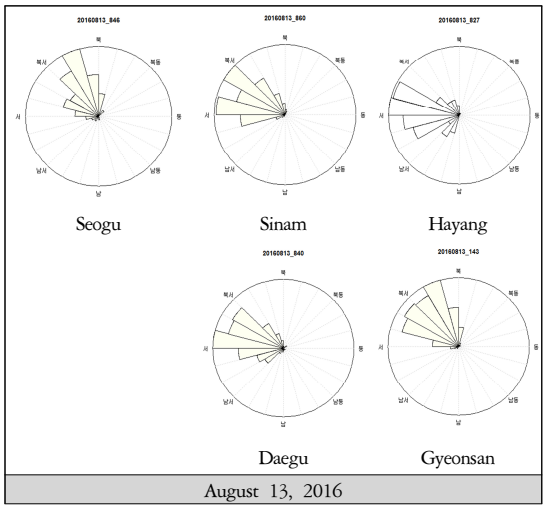
Source: http://map.daum.net (accessed June 10, 2018), Modified.

도시권 내 최근 폭염이 가장 심한 시점을 선정하고자 하였다. 폭염 이벤트 발생 시 기상조건을 확인하기 위해 폭염특보가 발령된 2016년 8월 14일 중 폭염이 가장 심한 시간대인 14시부터 17시까지의 기상자료 중 실제 33℃ 이상을 만족하는 시점에서의 풍향, 풍속, 기온을 집계하였고 이를 바람장미 형태로 시각화하였다. 참고로 2016년 8월 13일과 14일 연속 이틀간 경산시 역대 최고기온 기록이 거듭 갱신되었다.

<Figure 7>의 바람장미는 각 측정소별 풍향과 풍속을 나타내며, 바람장미의 배치는 실제 측정소의 공간적 위상을 가급적 유지하여 풍향, 풍속의 공간적 연속성 판단이 용이토록 하였다. 여기에 정리한 분석결과에 따르면 비록 측정소별 그리고 날짜별로 각 바람장미의 주풍향(풍속 포함)이 조금씩 상이함에도 불구하고 대체적으로 북서풍의 패턴을 공통적으로 보인다. 이를 통해 단편적으로나마 폭염 이벤트 발생 시에도 대구 대도시 유역의 바람이 앞서 살펴본 여름철 국지풍의 풍향과 유사하게 대구의 북서쪽에서 바람이 불어와 유역을 통과한 후 남동쪽으로 빠져나감을 알 수 있다.

www.kci.go.kr

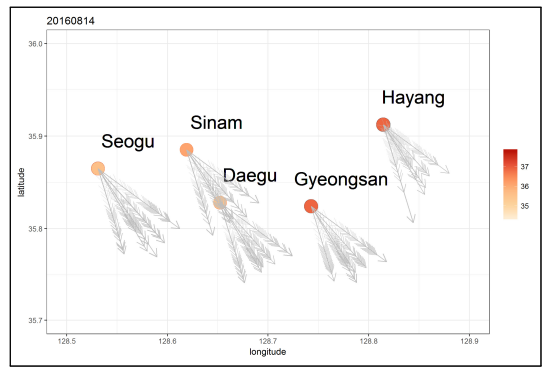
Figure 11 _ Wind Direction at the Meteorological Station in Daegu Metropolitan Watershed



Note: 1. The wind direction measured by five measuring stations located in Daegu metropolitan area is expressed in wind rose form.
2. Wind roses are placed in the approximate location of the measuring area.
Source: Climate statistical data(Unit data from 14:00 to 16:59 on August 14, 2016), Self-processing.

<Figure 8>은 2018년 8월 14일 폭염 이벤트 발생 시 14시부터 17시까지의 분(分)단위 풍향(바람장미와

Figure 12 _ Location of Meteorological Stations in Daegu Metropolitan Watershed and Average Temperature



Note: Arrow Origin Equal to Wind Origin.
Source: Climate Statistical Data(Unit data from 14:00 to 16:59 on August 14, 2016), Self-processing.

반대로 화살표 방향은 바람방향과 동일하게 표시)과 온도를 측정소별로 측정소 위치를 유지한 상태에서 표시하였다. 이에 따르면 여름철 계절적 특성과 유사하게 북서풍이 주풍이다. 한편, <Figure 8>에는 풍향 외에도 대구 대도시 유역 내에서 폭염 발생 시 기온은 서쪽에서 동쪽으로 공간적으로 높아지는 패턴 또한 확인할 수 있다. 이 현상은 도시 내 발생한 열이 바람에 의해 공간적으로 이동하면서 바람이 불어 나가는 방향 쪽으로 점차적으로 누적되는 것으로 해석된다.[2)]

이상 대구 대도시 유역 내 인공열 주요 발생 위치, 여름철 기간 동안과 폭염 이벤트 발생 시 연구대상지의 기상여건에 대한 자료 분석을 통해 다음 2가지 사항을 확인하였다. 첫 번째 사항은 '대구 대도시 유역 내 대량의 인공열은 유역 서측에서 발생한다'이며 두 번째 사항은 '대구 대도시 유역의 여름철 풍향은 물론, 폭염 이벤트가 발생 시 풍향은 모두 북서풍 계열이며, 열은 바람을 통해 도시 공간 내 누적된다'이다. 그리

2) 이는 '도시열섬강도는 도시의 풍상측보다 도시 중심과 풍하측이 강하다'는 김백조(2017)의 주장과 일맥상통함.

www.kci.go.kr

고 이 2가지 사항을 최종적으로 종합하면, 현재 대구 대도시 유역의 도시구조 – 즉, 산업단지가 도시 서측에 밀집하여 입지한 상태 – 는 해당 지역의 기상조건(특히 풍향)을 고려하였을 때 대구시 열환경을 취약하게 만드는 원인으로, 다시 말해 대구시 폭염을 가중시키는 원인일 개연성이 높다.

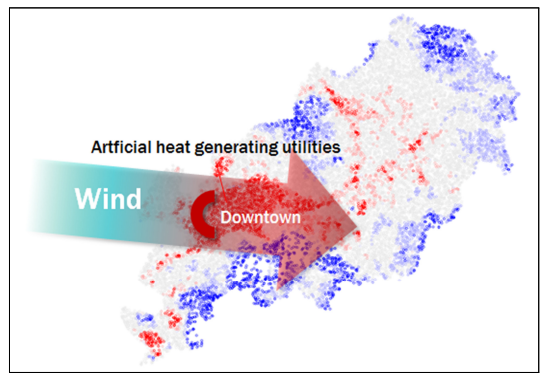
IV. 결론

1. 논의

본 논문에서는 폭염의 위험성에 대한 충분한 인식하에, 도시계획 분야에서의 폭염 저감 방안을 찾고자 하였다. 그 일환으로 현재 폭염 대표 도시로 뽑히는 대구 대도시 유역을 사례지역으로 하여 도시구조와 그 도시를 둘러싼 기상여건 간의 연관성을 살펴보았다. 분석결과 대구 대도시 유역의 열환경 취약성은 도시구조 문제로 인해 더욱 가중될 수 있음을 확인하였다. <Figure 9>는 도시구조와 관련된 대구시의 열환경 취약성을 시각적으로 도식화한 것으로, 비록 국지풍의 도움으로 외부의 선선한 공기가 도시에 유입된다 하더라도 대구 대도시 유역 서측에 위치한 발열시설을 거치면서 해당 시설에서 배출된 폐열을 유역 중심 쪽으로 이동시키면서 도시열섬현상을 오히려 가중시킬 개연성이 높다.

한편, 이제까지 살펴본 기상과 연관되어 발생하는 도시구조적 문제를 해결하기 위한 도시계획적 접근은 다양하게 측면에서 논의될 필요가 있다. 본 논문에서는 다음 4가지 측면에서 논의를 심화하고자 한다. 첫째, 유역단위 폭염관리를 위한 유역권 도시들 간의 도시협력체가 구성되어야 한다. 둘째, 도시 내 인공열 발생원에 대한 체계적인 관리가 이루어져야 한다. 셋째, 입지가 부적절한 인공열 다량 배출 시설의 이전이

Figure 13 _ Thermal Environmental Vulnerability Diagram of Daegu Metropolitan Basin



Note: Based on temperature on September 15, 2014.
Source: LandSAT Satellite Data(Self-processing).

점진적으로 진행되어야 한다. 넷째, 도시의 자연적 특성을 고려한 바람길의 맞춤형 관리가 필요하다.

첫 번째 주제인 '도시협력체 구성'과 관련된 현실문제는 지금까지 폭염에 있어 도시별 대응은 있어도 인접 도시들의 행정경계를 넘나드는 도시권 규모의 광역적 공동대처는 부재하다는 것이다. 본 논문에서 확인한 바와 같이 대구시의 경우, 한 도시의 폭염 문제는 주변 도시와도 상당한 연관성을 지닌다. 따라서 폭염의 대응은 각 도시뿐만 아니라 도시권 규모의 광역적인 공동 대처 노력도 필요하다. 대안의 구체성을 부여하기 위해 대구의 사례를 예시로 삼아 제안하자면, 폭염의 적정 관리범위, 즉 동일한 유역에 속한 대구, 영천, 경산은 '대구 대도시 유역 폭염 대응 상생협의체'(가칭)를 마련하여 폭염에 대한 협력적 정책입안의 장을 마련할 필요가 있다. 협의체를 통해 찬 공기 생성지 공동개발, 인공열 배출이 많은 시설의 입지 공동선정, 쿨루프 등 새로운 기술 노하우 공유 등 다양한 정책사업을 공동으로 추진할 수 있다.

둘째, '인공열 발생원에 대한 체계적 관리기반 마련'과 관련해서는 그동안 도시계획을 입안하는 과정에서 산업단지 주변지역에 대한 환경보건평가 시 미

www.kci.go.kr

세먼지, 오존, 이산화질소, 일산화탄소, 아황산가스, 휘발성 유기화합물질 등 오염물질에 한정하여 지역 주민 건강에 미치는 영향을 판단하였다. 하지만 점차 기후변화, 도시화로 인해 폭염 위험이 증가함에 따라 이제는 인공열 또한 하나의 관리대상으로 바라볼 시기가 되었다. 앞으로는 시설별 인공열 발생 정도, 발생시기 등을 기록하고 이를 바탕으로 미리 설정한 배출기준을 초과하지 않는지, 그리고 배출된 인공열이 주변에 어떤 영향을 미치는지를 감시·감독할 필요가 있다. 대구 대도시 유역의 경우 우선적으로 인공열 발생이 많은 산업단지 주변지역부터 인공열 배출이 주민 건강에 미치는 영향을 파악할 필요가 있다.

셋째, '도시 유입 인공열 저감을 위한 시설의 개선 및 점진적 이전'이란 주제와 관련하여, 각 도시들이 폭염 대응에 적정한 도시구조인지를 각자 보유한 기상여건(특히 풍향)과 연관시켜 재확인하고, 대구시와 같이 풍향과 도시구조 간의 부적절한 관계가 발견될 시 그에 상응하여 인공열 발생이 많은 사업체를 폭염 영향력이 적은 주변지역으로 이전을 유도할 필요가 있다.

넷째, '도시의 자연적 특성을 고려한 바람길의 맞춤형 관리' 방안이다. 바람길은 한편으로는 외부의 신선하고 찬 공기를 도심으로 유입시키며, 동시에 도시 내부의 건조하고 오염된 공기를 외부로 배출시키는 통로의 역할을 한다. 바람길 조성을 위해서는 시설의 재배치는 물론 새로운 녹지공간 마련 등 큰 사회적 비용이 수반된다. 따라서 각 도시가 지닌 고유한 기상 특성을 고려하여 찬 공기 생성지로부터 도심을 잇는 바람길은 확충하되, 인공열 유입의 통로로 활용될 수 있는 영역에서는 가급적 바람길 조성을 지양하는 등의 지역특성을 고려한 맞춤형 대처가 필요하다. 이를 위해서는 도시계획 및 공원녹지계획 등과 같은 계획적 수단은 물론 사업단위의 환경평가제도를 적극 활용하는 입체적인 접근이 요구된다.

2. 연구의 성과와 향후 과제

이번 논문에서는 기상여건을 고려했을 때 폭염을 가중시킬 수 있는 도시구조적 문제를 대구 대도시 유역 사례를 통해 단적으로나마 공론화하고자 하였다. 비록 연구결과는 일반화하기에는 크게 부족한 추론 수준에 그쳤지만, 그동안 분지 정도에 머물렀던 대구 폭염의 원인에 대한 이해가 한층 더 심화되는 계기가 되기를 기대한다.

본 논문의 특이점이자 또 다른 성과로는 폭염과 관련된 도시계획적 문제를 기상학적 요소를 매개로 확인했다는 점이다. 도시와 기상의 융합은 '도시미기후' 분야가 대표적이지만, 실제 연구를 수행하는 과정에서 접한 기상 분야는 도시를 하나의 닫힌 공간으로 바라보는 도시미기후보다는 공간적 스케일이 한층 더 큰 분야로서 이번에 다룬 기상학적 문제는 도시미기후 차원과는 확연히 다르다는 것을 확인하였다. 최근 중요하게 부각되고 있는 도시문제 중 하나인 폭염에 대한 적절한 대책을 강구하기 위해서는 폭염이 기상현상과 밀접한 '기상재해'라는 점을 염두에 두고 도시 분야와 기상 분야가 한층 더 긴밀한 협력을 할 필요가 있다.

이번 논문에서는 산업단지 하나만을 가지고 '도시구조'라는 개념으로 확대 해석하였다. 향후에는 검토대상을 산업단지 외에도 도시를 이루는 다양한 시설 및 구조물을 포함시켜 '도시구조'라는 개념에 한층 더 부합시키고자 한다. 아울러 이번 논문에서는 기상조건에 부합하지 않는 도시구조를 확인하였으나, 이를 개선하기 위한 도시계획적 기법에 대해서는 심도 있는 논의가 부족하였다. 향후에는 본 논문에서 확인한 문제가 발생하지 않도록 하기 위한 예방차원의 도시계획적 수단과 기 발생된 문제를 원활히 해결하기 위한 수단으로서 도시계획적 접근법에 대한 법제도적 연구가 후속될 필요가 있다.

www.kci.go.kr

참고문헌

1. 권용석. 2015. 환경도시 대구를 위한 도시열섬현상 저감방안. 대구: 대구경북연구원.
   Kwon Yongseok. 2015. *Consideration for a Environment-friendly City by Reducing the Urban Heat Effect.* Daegu: DGI.
2. 기상청. 2012. 인명피해가 가장 많은 기상재해는 폭염, 7월 31일. 보도자료.
   Korea Meteorological Administration. 2012. Meteorological disaster with the greatest casualties is heat, July 31. Press release.
3. 기상자료개방포털. https://data.kma.go.kr (2018년 6월 10일 검색).
   KMA Data. https://data.kma.go.kr (accessed June 10, 2018).
4. 김백조. 2017. 도시폭염, 적응이 중요하다. 대구국제폭염대응포럼, 7월 28일. 대구: 대구창조경제혁신센터.
   Kim Baekjo. 2017. Urban heatwaves, adaptation is important. In Proceeding of *Daegu International Heat Wave Forum*, July 28. Daegu: Daegu Center for Creative Economy and Innovation.
5. 김지영, 최병철, 박일수, 김규량, 이대근. 2006. 여름철 주요 기상재해로서의 폭염. 2006년도 한국기상학회 가을 학술대회 논문집: 346-347.
   Kim Jiyoung, Choi Byeongchul, Park Ilsoo, Kim Gyuryang and Lee Daegeun. 2006. Warming as a major meteorological disaster in summer. *2006 Korean Meteorological Society Autumn Conference*: 346-347.
6. 대구염색산업단지관리공단. 2015. 대구염색산업단지공단 내 업체현황자료. 내부자료.
   Daegu Dyeing Industrial Complex Management Corporation. 2015. Companies in the Daegu Dyeing Industrial Complex. Raw data.
7. 대구제3산업단지관리공단. http://www.dg3rd.or.kr/industry/company (2018년 6월 10일 검색).
   Daegu 3rd Industrial Complex Management Corporation. http://www.dg3rd.or.kr/industry/company (accessed June 10, 2018).
8. 박수진. 2014. 한반도 지형의 일반성과 특수성, 그리고 지속가능성. 대한지리학회지 49권, 5호: 656-674.
   Park Sujin. 2014. Generality and specificity of landforms of the Korean Peninsula, and its sustainability. *Journal of Korean Geographical Society* 49, no.5: 656-674.
9. 산업통상자원부, 에너지경제연구원. 2016. 지역에너지통계연보. 울산: 에너지경제연구원.
   Ministry of Trade, Industry and Energy and Korea Energy Economy Institute. 2016. *Yearbook of Regional Energy Statistics*. Ulsan: KEEI.
10. 서보용. 2015. 도시공간 특성에 따른 바람길 형성 비교 분석: 대구광역시를 중심으로. 석사학위논문, 계명대학교.
    Seo Boyong. 2015. *Comparison and Analysis of Wind Path Formation Depending on Urban Spatial Charateristics: Daegu Metropolitan City as a Study Object.* M.D. diss., Keimyung University.
11. 송봉근, 박경훈. 2013. 도시지역의 바람길 조성을 위한 야간 시간대의 공기순환성 평가. 한국지리정보학회지 16권, 2호: 16-29.
    Song Bonggeun and Park Kyunhoon. 2013. Air ventilation evaluation at nighttime for the construction of wind corridor in urban area. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 16, no.2: 16-29.
12. 신동희, 이나영, 조용성. 2015. 폭염 발생에 따른 취약계층의 사망률 변화와 사회적 비용 추정: 7대 광역시의 65세 이상 고령층을 중심으로. 환경정책연구 14권, 1호: 3-32.
    Shin Donghee, Lee Nayoung and Cho Yongsung. 2015. Analyzing mortality rate and social costs of climate vulnerable groups caused by heat waves in Korea. *Journal of Environmental Policy and Administration* 14, no.1: 3-32.
13. 안승만, 김승종, 이형찬. 2016. 도시지역 미기후 관리방향 연구. 안양: 국토연구원.
    An Seungman, Kim Seungjong and Lee Hyeongchan. 2016. *A Study on the Urban Area Microclmate Management Direction.* Anyang: Korea Research Institute for Human Settlements.
14. 안승만, 이규석, 이채연. 2015. 거칠기길이를 이용한 바람통로 네트워크 구축. 한국조경학회지 43권, 3호: 101-113.
    An Seungman, Lee Kyuseok and Lee Chaeyeon. 2015. Building wind corridor network using roughness length. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 43, no.3: 101-113.
15. 이나영, 조용성. 2015. 여름철 폭염발생에 따른 고령자층의 의료 비용 추정 및 요인 분석. 환경정책 23권, 2호: 153-172.
    Lee Nayoung and Cho Yongsung. 2015. Estimation of the medical costs incurred by the elderly in Korea due to heat waves and analysis of the causes for expenditure. *Journal of Environmental Policy and Administration* 23, no.2: 153-172.

www.kci.go.kr

16. 정응호, 김대욱, 류지원, 차재규, 손경수. 2008. 위성자료를 활용한 대구지역 바람길생성의 공간적 특성평가. 한국지리정보학회지 11권, 2호: 73-84.
Jung Eungho, Kim Daewook, Ryu Jiwon, Cha Jaegyu and Son Kyungsu. 2008. Evaluation of spatial characteristic of wind corridor formation in Daegu Area using Satellite Data. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 11, no.2: 73-84.
17. 한국산업단지공단. 2017. 2017년 전국산업단지현황 지도.
Korea Industrial Complex Corporation. 2017. National Project Status Map.
18. Akbari, H., Menon, S. and Rosenfeld, A. 2008. Global cooling: Increasing world-wide urban albedos to offset CO_2. *Climatic Change* 94, no.3-4: 275-286.
19. Hove, L. W., Steeneveld, G. J., Jacobs, C. M., Heusinkveld, B. G., Elbers, J. A., Moors, E. J. and Holtslag, A. A. 2011. Exploring the urban heat island intensity of Dutsch cities. *Alterra Report* no.2170. Wageningen: Alterra.
20. Rosenzweig, C. 2007. *Environmental Monitoring, Evaluation, Protection Program*. New York: New York State Energy Research and Development Authority.
21. Sukopp, H. and Wittig, R., eds. 1993. *Stadtökologie*. Ulm: Gustav FISCHER.
22. USGS. https://www.usgs.gov (accessed June 10, 2018).
23. WAMIS. http://www.wamis.go.kr (accessed June 10, 2018).

• 논문 접수일: 2018. 6. 18.
• 심사 시작일: 2018. 6. 26.
• 심사 완료일: 2018. 8. 14.

요약

주제어: 폭염, 도시구조, 기상, 인공열, 도시계획

폭염이 우리 사회에 미치는 부정적 영향은 보건, 환경재해 분야의 활발한 연구를 통해 충분히 알려진 상태이다. 그러한 폭염의 위험을 체계적으로 줄이기 위해서는 도시계획 분야에서의 대응 노력 모색이 필요함에도 불구하고 아직까지 그 노력이 미진한 상태이다. 본 논문에서는 대구시와 주변 도시를 대상으로 폭염을 가중시키는 인공열이 발생하는 주요 지점과 여름철과 폭염 이벤트 발생 시 풍향, 기온조건을 종합적으로 살펴보았다. 이를 통해 대구시의 도시구조가 폭염 대응에 적절치 않음을 확인함으로써, 대구시의 사례를 통해 폭염 문제 해결에 있어 도시구조적 문제의 해결이 기본적으로 선행되어야 함을 보여주었다. 본 논문에서는 정책대안으로 첫째, 유역단위 폭염관리를 위한 도시협력체 구성, 둘째, 인공열 발생원에 대한 체계적인 관리, 셋째, 위치가 부적절한 인공열 다량 배출시설의 점진적인 이전, 넷째, 도시의 자연적 특성을 고려한 바람길의 맞춤형 관리 등을 제시하였다.

www.kci.go.kr