

# 기후변화, 그로인한 도시 폭염과 미세먼지에 대응한 안전사회 구축방안

범 지구적인 기후변화에 따른 여름철의 폭염과 겨울과 봄철의 미세먼지는 어쩔 수 없이 반복되는 일상이 되었다. 소소한 대응으로 대기환경적인 폭염 및 미세먼지를 경감하고 쾌적한 환경을 조성하는 것은 지난한 과제이다. 그러나 인류는 다른 재앙을 이겨내왔듯이 폭염과 미세먼지에도 슬기롭게 대처할 수 있을 것이라 기대해본다.

김효진(토지주택연구원 건설기술연구실 선임연구위원)



이 글은 저자가 2019년 TF의 PM으로 참여한 'LH건설 도시·건축의 폭염 및 미세먼지 대응방안'의 주요내용과 향후과제를 기초로 작성한 글임을 밝힙니다.

## I. 들어가며

최근의 반복되고 일상화된 여름철의 폭염과 겨울과 봄의 미세먼지는 전 지구적인 기후변화에서 비롯되었다. 인간의 개발행위로 비롯된 기후변화문제는 1972년 유엔인간환경회의에서 처음으로 공식 제기되었다. 이에 대응하여 1988년 IPCC(기후변화에 관한 정부간 협의체)가 설치되었다. 1992년 6월에는 브라질에서 개최된 '유엔환경개발회의'에서 155여 개 국가의 서명으로 기후변화협약<sup>UNFCCC</sup>이 채택되었다. 이는 1994년 3월 21일 공식발효되었다. 협약발효 이후 1995년부터는 협약 최고 의사결정기구인 당사국총회<sup>Conference of Parties, COP</sup>가 매년 개최되어 왔다. 1997년 COP3에서는 '교토의정서(기후변화협약에 따른 온실가스 감축목표에 관한 의정서)'가 채택되었다. 교토의정서는 기후변화의 주범인 이산화탄소를 비롯한 온실가스를 1990년 대비 5.2%를 감축한다는 것이며, 2005년 공식 발효되었다. 이는 1990년 수준으로 온실가스를 감축하는 부속서1 국가(선진 38개국)에 감축의무를 부과하는 것을 골자로 한다. COP18(2012년)에서는 교토의정서의 제2차 공약기간을 2013년부터 2020년으로 설정하는 개정안을 거쳐 COP21(2015년)에서는 2021년부터 모든 국가가 신기후체제에 참여하는 파리협정이 채택되었다. 파리협정에서 합의된 신기후체제는 모든 국가가 광범위하게 참여하며, 각국이 자국상황을 감안하여 마련하는 '국가별 기여방안'을 제출하도록 하고 있다.<sup>1</sup>

우리나라는 1993년 12월 47번째로 기후변화협약에 가입하였다. 그러나 당시 비부속서1 국가로 분류되어 온실가스 배출감축 의무가 부과되지 않았다. 따라서 비교적 늦은 2009년 '2020년 온실가스 배출전망 대비 30% 감축'이라는 자발적 목표를 제시하였다. 이에 따라 2011년에 저탄소녹색성장기본법을 제정하여 법적기반을 마련하였다. 이후 2012년 온실가스·에너지 목표관리제를 실시하고, 2014년 온실가스 감축 로드맵 수립, 2015년 배출권거래제 실시하였다. 2015년 발표된 2030년까지의 새로운 감축목표는 온실가스 배출전망 대비 37%를 감축한다는 것이다. 여기서는 국가 온실가스 감축목표를 포함한 자발적 감축목표를 제출하였다. 2016년 12월에는 신기후체제 출범에 따라 국가차원의 중장기 전략과 정책방향으로 제1차 기후변화대응 기본계획, 2030 국가온실가스감축 기본 로드맵을 확정지었다.

이와 같은 국내외적인 다양하고 지속적인 노력에도 불구하고 지구촌은 여름철의 불볕더위로 인한 폭염이 일상화되고 갈수록 강도를 더하고 있다. 겨울과 봄철의 미세먼지는 지구 대기순환 정체로 일상이 되고 있다. 이는 과거 100년(1900~2000년)간 지구평균기온이 약 0.74℃ 상승한데 기인한다. UN IPCC 4차보고서에 따르면 향후 100년간 지구 평균기온은 최저 1℃에서 최고 5.8℃까지 상승할 것으로 전망하고 있다. 우리나라도 21세기 후반부에는 아열대 기후로 변화할 것으로 예상된다. 지구가 더워지는 것을 막을 수는 없겠지만 덜 더워지게 하는 완화노력과 더워지는 지구에의 적응노력이 동시에 필요한 이유이다. 본 고에서는 더워지는 지구에 대응하여 도시와 주택에서의 적응과 완화방안에 대해 고찰해보고자 한다.

1. [네이버 지식백과]기후변화협약 [氣候變化協約, framework convention of climate change] (경제학사전, 2011. 3. 9., 박은태) 및 한국기후·환경네트워크 블로그의 인용 및 재편집

## II. 폭염과 미세먼지 발생현황

폭염<sup>暴炎, heat wave</sup>은 매우 심한 더위를 뜻하는 한자어이다. 우리나라 기상청은 일 최고기온이 33℃ 이상이 2일 이상 지속되는 것으로 정의하고 있다. 일 최고 기온이 33℃ 이상인 상태가 2일 이상은 폭염주의보, 35℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속되는 것을 폭염경보로 구분 관리하고 있다. 미국기상청<sup>NWS</sup>는 열파<sup>Heat Wave</sup>라고 명명하고 기온이 32.3℃를 초과하는 날이 3일 이상 지속되는 현상으로 정의하고 있다.

폭염은 우리나라만이 아닌 전 세계적 기후변화에 따른 공통의 문제이다. 1970년대부터 극심한 폭염문제가 대두되어 최근 들어 더욱 증가하는 양상을 보이고 있다. 이에 따라 2001~2010년 10년간 극한기상에 의한 사상자 수는 1991~2000년 기간보다 약 20% 증가하였다. 미국기상학회의 '2017년 연례 기후변화보고서'는 사상 가장 더운 해는 2016년, 두 번째는 2015년, 세 번째는 2017년으로 기록하고 있다. 유엔 산하 지속가능에너지기구는 냉방장치가 없어 위험에 처한 인구가 11억 명에 이른다고 발표했고, 극심한 폭염으로 전

2. 국립환경과학원, 「대기오염물질 배출량 보고서」(2013)

3. 황산화물(SO<sub>x</sub>), 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 휘발성유기화합물(VOCs) 등이 미세먼지로 전환

세계적으로 많은 인명피해가 발생하고 있다. 우리나라도 폭염피해가 지속증가하고 있으며, 기상재해 중 폭염으로 인한 사망피해가 가장 크게 발생하고 있다. 가장 무더웠던 1994년에는 3,384명의 폭염으로 인한 사망자가 발생하였다. 폭염현상의 빈도는 최근 들어 더욱 증가하고 있다. 1973~2018년 기간 평균기온이 가장 높은 순위 10위 안에 2010년 이후의 6년(2010, 2012, 2013, 2016, 2017, 2018년)이 포함된다. 지난 100년간 한국 연평균 기온은 약 2℃ 상승해서 전지구의 평균상승인 0.74℃를 크게 상회하고 있다. 열섬효과 등의 도시화 효과로 도시지역이 보다 높은 기온상승을 보이고 있다. 2018년 8월 1일, 서울은 39.6℃, 강원도 홍천은 41℃를 기록하여 우리나라 관측 역사상 최악의 폭염을 기록하였다.

미세먼지는 아황산가스, 질소산화물, 납, 오존, 일산화탄소 등을 포함하는 대기오염 물질로 대기 중 장기간 떠다니는 입경 10 $\mu$ m 이하의 입자상 물질을 말한다. PM<sub>10</sub>은 먼지, 꽃가루, 곰팡이 등 직경 10 $\mu$ m 보다 작은 입자이고, PM<sub>2.5</sub>는 연소입자, 유기화합물, 금속 등 직경 2.5 $\mu$ m 보다 작은 입자를 말한다.

미세먼지 발생원은 국내요인과 국외요인으로 구분할 수 있다. 국내요인은 자동차(경유차, 건설기계 등) 배기가스, 산업시설 및 화력발전소 화석연료, 공사현장 및 비포장도로의 분진 등이다. PM<sub>10</sub>의 배출원은 비산먼지 44.26%, 제조업 연소 32.91%, 이동오염원이 11.08%이다. PM<sub>2.5</sub> 배출원은 제조업 연소 40.42%, 이동오염원 21.91%, 비산먼지 15.37%이다.<sup>2</sup> 국외영향은 대부분 중국 동북지역 공장에서 발생하는 오염물질과 몽골사막에서 발생하는 황사가 국내로 유입되는 경우이다. 국외 유입비율은 계절과 기상조건에 따라 다르다. 평상시는 30~50%, 고농도시는 60~80%로 추정된다. 한-미 협력 국내 대기질 공동조사(KORUS-AQ) 결과 PM<sub>2.5</sub>는 국내요인이 52%, 국외요인은 48%로 나타났다. 배출특성은 오염원에서 직접배출되는 것과 간접배출(2차 생성<sup>3</sup>)로 구분된다. 2017년 NASA와의 공동연구 결과 2차 생성에 의한 배출이 전체의 75% 이상인 것으로 조사되었다. 국내 미세먼지 중 PM<sub>10</sub>의 연평균 농도는 지속적으로 정체·감소하고 있다. 그러나 지역별로 농도분포가 상이하여 2017년 12월 PM<sub>10</sub> 전국평균 농도는 서울·인천·경기 50 $\mu$ g/m<sup>3</sup>, 충청 47 $\mu$ g/m<sup>3</sup>으로 전국 평균 농도인 44 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 보다 높은 수준이다. 인체 위해성이 상대적으로 높은 PM<sub>2.5</sub>의 연평균 농도는 세계보건기구WHO 기준과 국내 대기환경기준을 모두 초과하고, 최근 고농도로 빈번하게 발생하고 있다. 계절별로는 2010~2017년 PM<sub>10</sub>의 전국평균 농도 기준으로 여름철에 34 $\mu$ g/m<sup>3</sup>로 가장 낮으며, 가을 39 $\mu$ g/m<sup>3</sup>, 겨울 43 $\mu$ g/m<sup>3</sup>, 봄 57 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 순으로 상승하는 경향을 보인다. 미세먼지는 코점막을 통해 걸러지지 않고 흡입 시 폐포까지 직접 침투하여 천식·폐질환 유병률 및 조기사망률을 증가시킨다. 또한 미세먼지가 증가할수록 우울감 40%, 자살 24%, 스트레스 20% 증가 및 삶의 질이 38% 정도 악화되는 것으로 보고되고 있다(건국대병원 가정의학과).

### III. 도시와 주택의 폭염 대응방안

도시와 주택에서의 폭염에 대한 대응방안은 도시계획적인 측면, 도시기반 시설에서의 대응측면, 생태·조경적인 측면, 건축물 부분에서의 대응으로 구분해볼 수 있다.

도시계획적인 측면의 대응은 열섬현상의 원인인 불투수면적 증가, 녹지면적 감소, 인공열 증가에 대응하는 것이다. 먼저, 도시열섬 및 폭염저감 차원에서 도시인프라(그린, 그레이, 블루)의 개념을 확장하고 합리적 도시계획기준을 마련하는 것이다. 즉, 도시숲, 공원, 녹지 등의 녹색공간과 옥상녹화 등의 시설간의 네트워크 구축, 그리고 도시물순환 체계개선에 기여하는 연못, 호수 등 생태자원, 식생수로, 빗물정원 등의 인공기술과 기법을 활용하는 것이다. 두 번째는 도시내 찬공기의 흐름을 유지, 확대하기 위한 바람길을 고려한 도시계획이다. 세 번째는 폭염에 대응하기 위한 도시녹지 확보와 새로운 기술적용을 통한 도심내 폭염대피구역(Cooling Zone)을 확보하는 것이다. 네 번째는 열섬 및 폭염에 대응한 종합적인 도시계획 및 설계기법을 적용하는 것이다. 다섯 번째는 기존 도시 지하에 있는 지하상가, 도로 하부 등을 대상으로 폭염대응 냉방효과가 탁월한 지하공간의 활용을 통한 도시재생을 구현하는 것이다.

도시기반시설에서의 대응은 도시내 기반시설의 불투수면을 감소시키는 시설과 일사<sup>14)</sup>의 반사재료 적용을 증대시켜 도시의 열섬현상을 완화시키는 것이다. 먼저, 도시의 물순환 체계를 개선하여 도시홍수 및 열섬 저감효과를 가져오는 것이다. 즉 자갈도랑, 침투도랑, 침투측구, 투수성포장 등의 침투시설, 빗물언못 등 빗물을 집수하여 이용하거나 유출저감기능을 가지는 저류시설 등을 설치하는 것이다. 두 번째는 도심면적의 10~25%를 차지하는 도로 노면온도 저하를 위한 투수성포장, 배수성포장, 차열성포장 등을 적용하는 것이다. 세 번째는 식생형 보강토옹벽 같은 친환경 옹벽 등을 설치하여 주변경관을 개선하고 도시 미기후 개선을 통하여 도시열섬을 저감시키는 것이다.

생태·조경적인 측면에서의 대응은 도시녹화 요소인 수목터널 도입, 녹지율 및 녹피율 증대, 그린웨이 조성, 분산형 녹지 확대 등의 녹화기법 적용을 통해 도시기온을 저감시키는 것이다. 먼저, 수목터널을 조성하여 여름철 폭염에 의한 불쾌감과 온열질병 등을 완화시키는 것이다. 두 번째는 녹지면적과 녹피율을 증가시켜 식물에 의해 주변기온을 저감시키는 것이다. 세 번째는 보행자 도로와 자전거 도로 등에 녹음수를 식재하여 쾌적온도를 제공하고 주변지역의 기온을 저감시키는 것이다. 네 번째는 기존의 중앙형 공원녹지 조성방식을 분산형 공급방식으로 전환하여 냉각효과의 범위를 확대시키는 것이다. 다섯 번째는 도심내 공공공간 등에 쿨링 숲을 조성하여 도시기온을 저감하고 열 쾌적성을 확보하는 것이다.

건축물 부분에서의 대응은 건물의 성능향상을 통하여 실내온도를 저감하는 것이다. 첫 번째는 과열된 실내온도를 낮추기 위한 방안으로 전기이용 패키지 에어컨과 가스이용 냉방시스템 등의 개별냉방, 전기이용 냉방시스템과 지역열원 및 가스이용 냉방시스템 등의 중앙냉방, 폭염에 임시로 대피할 수 있는 단지내 폭염대피시설을 도입하는 것이다. 두 번째는 건물 옥상녹화 및 벽면녹화를 통해 주변온도를 낮추고 건물에 단열기능을 제공하는 것이다. 세 번째는 건물지붕면에 태양빛 반사율이 높은 쿨링루프<sup>Cooling roof</sup> 도장, 실내유입 적외선 투과율을 감소시키는 차호 열차단 필름의 설치, 일정온도에서 열을 흡수하거나 방출하는 축열건자재를 활용하여 건물에너지 효율을 향상시키는 것이다.

이상과 같은 도시와 건물에서의 다양한 대응방안의 구현을 통해서 약 3~7℃의 도시기온을 저감하고 약 3.7℃정도 실내기온을 저감시킬 수 있을 것으로 기대해본다.

#### IV. 도시와 주택의 미세먼지 대응방안

도시와 주택에서의 미세먼지 대응방안은 실내공기질 개선과 실외공기질 개선으로 구분해볼 수 있다.

실외(도시) 공기질 개선은 도시 내 생활권에서 발생하는 미세먼지를 차단·저감하거나 배출된 미세먼지의 노출을 저감시키는 기술과 기법을 도입하는 것이다. 첫 번째는 친환경차(전기·하이브리드·수소) 보급 확산을 통해 경유차의 비중을 줄임으로서 경유차에서 배출되는 2차 미세먼지 생성물질을 저감하는 것이다. 두 번째는 광촉매 반응을 통해 생성된 활성화 산소가 미세먼지 생성 주요물질인 황산화물, 질소산화물 등을 분해하여 공기를 정화하는 광촉매 물질을 도로나 시설물에 코팅하여 미세먼지 생성원인 물질을 제거하는 것이다. 세 번째는 미세먼지 다량 배출 예상지역에 지속적으로 물을 분사하여 미세먼지를 제거하는 클린로드 시스템을 도입하는 것이다. 네 번째는 버스정류장, 유동인구 밀집지역, 주거단지 쉼터 및 놀이터, 도로변 방음벽 등 다양한 도시생활공간에 미세먼지 인체 노출농도 저감 및 제거가 가능한 시스템을 도입하는 것이다. 이러한 시스템은 스마트클린 버스 쉼터, 횡단보도 대기구간 공기정화장치 설치, 차량도로 공기정화 장치, 미세먼지 저감 통합 모듈형 장치 등이 있다. 다섯 번째는 지면, 옥상, 수직 등 도시공간별 녹화 및 식재밀도, 구조 등의 변화를 통한 녹지기능 개선을 바탕으로 미세먼지를 저감하는 생태기법을 도입하는 것이다.

실내 미세먼지는 외부 미세먼지의 침투, 조리, 청소 등 실내 활동으로 인한 것이 주요

발생원으로 원인제거, 발생 미세먼지의 모니터링, 정화방법을 활용하는 것이다. 첫 번째는 외부 오염원의 실내유입을 방지하는 것이다. 즉, 약 65% 정도의 실내로 유입되는 미세먼지를 차단하기 위하여 주택의 기밀성능을 향상하고, 외기도입 공기의 필터링을 통한 외부 오염원의 실내유입을 저감하는 것이다. 세대내 환기시스템의 필터성능 향상, 방진 스크린 설치, 기밀시공과 기밀자재를 적용한 기밀성능 향상, 건물 출입구에 에어샤워 시스템의 도입 등이 있다. 두 번째는 내부발생 미세먼지 배출시스템을 도입하는 것이다. 즉, 실내 미세먼지 주요 발생원은 조리 시와 청소 시이며, 특히 조리 시 실내먼지가 약 10배 증가하므로 주방후드의 가동을 높이는 방법과 충분한 풍량 확보가 가능한 시스템을 도입하는 것이다. 세 번째는 ICT기반의 청정건강주택 모니터링 시스템(미세먼지, 온도습도 모니터링)을 적용하여, 실내 쾌적감 및 공기질 관리를 수행하는 것이다. 네 번째는 실내 미세먼지 제거를 위한 가장 적극적인 방법으로 공기청정기 등 필터링시스템을 제공하여 실내 미세먼지를 제거하는 것이다. 다섯 번째는 광촉매를 적용한 건축자재를 활용으로 미세먼지 유발원을 제거하는 것이다.

이상과 같은 다양한 방안의 적용을 통하여 도시부분의 미세먼지를 약 12.0~42.8%정도, 건물부분의 실내 미세먼지를 약 30~50%정도 저감시킬 수 있을 것으로 기대해본다.

## V. 향후과제

앞서 폭염 및 미세먼지의 발생현황을 살펴보고 도시와 건축물 부분의 대응방안을 고찰해보았다. 이러한 고찰에 따른 각종 적용요소들은 현재의 적용기술 기준을 높이거나 전면적으로 새로운 기준을 마련해야 할 요소들이 포함되었다. 따라서 이러한 적용을 위해서는 다양한 법제도 개선, 설계기준 등의 정비가 필요하다. 개선을 위한 향후과제는 다음과 같다.

폭염에 대응해서는 첫 번째, 도시열환경지도의 작성 및 분석을 통하여 도시열섬 및 폭염이 심각한 지역을 가칭 도시기후구역으로 지정할 필요가 있고 이는 정부정책개선을 통하여 구현이 필요하다. 도시기후구역으로 지정되면 최저기준에 대해서는 시설설치를 제도적으로 의무화하고 적정기준에 대해서는 설치를 권장할 필요가 있다. 두 번째, 폭염에 대응 가능한 시설을 분류하고 시설설치 최저 및 적정기준의 마련이 필요하다. 세 번째, 공원, 녹지, 물순환 등 복합 인프라설치를 통한 폭염저감 효과를 최대화할 수 있는 법적, 제도적 기준마련이 필요하다. 네 번째, 폭염저감시설을 공급할 경우 이와 관련한 용적률 및 공공기여 등의 인센티브를 부여하여 사업비 증가를 상쇄할 수 있는 법적, 제도적 보상방안을 마련할 필요가 있다. 다섯 번째, 도시재생뉴딜지침을 개선하여 폭염대응에 필요한 생활SOC는 도시재생뉴딜과 연계하여 우선 설치 및 기법을 적용하는 것이 필요하다.

미세먼지에 대응해서는 첫 번째, 고농도 미세먼지 대규모 배출원의 경우 미세먼지 저감효과와 사업성이 우수한 클린로드 시스템 설치를 제도적으로 의무화 할 필요가 있다. 두 번째, 활용범위가 다양한 미세먼지 저감장치는 어린이, 노약자 등 취약계층을 대상으로 학교, 놀이터, 주거단지 쉼터 등에 우선 도입하고, 경제성 개선을 위한 노력을 경주할 필요가 있다. 세 번째, 미세먼지 저감장치의 경우 대용량 단일시설 설치보다 소규모 분산형으로 설치하고 지속적으로 유지·관리·운영 할 수 있는 시스템을 구축하기 위한 제도개선이 필요하다. 네 번째, 광촉매 활용기법은 교통량이 많고, 차량정체가 심한 도로구간 내 시범적용을 통해 효과를 검증하고, 보도블럭, 아파트 벽면 등 활용범위를 다각화하기 위한 노력이 필요하다. 다섯 번째, 투수성포장재 내 미세먼지 적층, 질산염 지하수 유입 등 광촉매 활용과정에서 발생할 수 있는 문제점을 개선하기 위한 제도적 장치를 마련하고 그에 관한 요소기술의 추가 개발 및 효과검증이 필요하다. 여섯 번째, 생태적 기법을 활용한 미세먼지 저감방안은 폭염대응, 기후변화 완화 등의 문제와 연계하여 효과를 증대시킬 수 있는 법제도적 방안과 기술적 대응방안의 마련이 필요하다.

이상과 같은 고찰을 통하여 제시된 내용들이 국민생활 및 건강과 밀착되어 있는 폭염과 미세먼지의 저감과 완화방안을 마련하고 구현하는데 기여할 수 있기를 기대해본다.