

도시열환경완화를 목적으로 하는 대기 열부하 평가 시스템의 개발

제3보 - 대기 열부하 삭감 포텐셜과 목표설정의 관계

출처 : 일본공기조화·위생공학회 논문집, No.153, 2009年12月

저자 : 鳴海大典¹ 照井奈都¹ 羽原勝也² 水野 稔³

번역 : 김 상 진 / 편집위원

전주대학교 건축공학과(kimsj@jj.ac.kr)

Abstract

본 논문에서는 열섬완화대책에 관한 수치목표를 설정했을 때, 각 지역에 필요 대기 열부하 삭감량과 구체기술의 필요투입량 파악을 목적으로, 대기 열부하 삭감 포텐셜과 목표설정의 관계에 대해 검토하였다. 먼저, mesoscale 기상모델에 의해 과거 회귀로부터 구체적인 수치목표를 구한 결과, 열대야 DH의 필요저감량은 大阪平野부의 공간평균으로 10.7℃·h, 인구 중첩평균으로 12.5℃·h가 산출되었다. 또한, 필요열부하 삭감량은 大阪平野部 전체에서 일률삭감시에는 공간평균으로 11.5 W/m², 인구 중첩평균으로 12.0 W/m²인 한편, 열부하 삭감 포텐셜이 큰 도심부를 중심으로 삭감을 행한 지역배분조건에서는 개략적으로 같은 양의 열부하 삭감으로 목표를 달성함을 나타내었다. 大阪府내의 어떤 시구를 대상으로, 논문에서 뽑은 각종 열섬완화대책을 도입률 100%로 실시한 경우, 목표를 달성한 시구가 존재함을 나타내었다.

키워드 : 열섬현상, 대기 열부하, 평가시스템, 대책목표, 수치계산

서론

본 연구는 도시 열환경의 완화를 목적으로 한

「대기 열부하 평가 시스템」을 제안하는 것이다. 제1보¹⁾에서는 도심부(大阪市)와 교외부(富田林市)를 대상으로, mesoscale 수치해석모델을 이용하여 대기 열부하 배출량, 배출 연직위치, 배출규모, 배출시각, 배출지역에 따른 확산상태의 차이가 지표 부근의 기온변화에 미치는 영향에 대해 감도분석을 행하고, 대기 열부하 평가에 도움이 되는 기초 데이터를 정비하였다. 제2보²⁾에서는 제1보에서 정비한 기초데이터를 활용하는 대기 열부하 평가수법으로「중첩 대기 열부하 평가수법」의 틀을 제안하고 가상적인 주택 및 사무소 건물을 대상으로 한 적용사례에 대해 소개하였다. 「중첩 대기 열부하 평가수법」은 대기 열부하를 지표부근에서의 기온영향으로 중첩한 지표상당 열부하량으로 환산하는 것으로, 임의의 시각·지역·연직위치에서 대기 열부하를 변화시킨 경우의 기온 영향을 고려한 열부하 변화량을 평가가능 하도록 하는 것이다. 이것에 의해 옥상면의 대책 등의 고층위치에서의 열부하 변화와 대기가 불안정하여 상공 확산이 활발한 낮의 열부하 변화(예를 들면 고반사화 등)의 효과는 상대적으로 낮게 평가하는 반면, 지표면 부근에서의 열부하 변화나 야간의 열부하 변화(예를 들면 주택의 인공배열)에 대해서는 상대적으로 높게 평가하는 것으로, 열부하의 시공간 특성을 적절히 평가하는 것이 가능하게 되었다.

본 논문에서는 이전 논문에서의 검토결과를 기초로, 열섬완화대책에 관한 구체적인 수치목표를 설정했을 때, 각 지역에서 필요한 대기 열부하 삭감량과, 그것을 달성하기 위해 필요한 구체기술의 투입량의 파악을 목표로, 대기 열부하 삭감 포텐셜과 목표설정의 관계에 대해 검토한다. 이것에 의해, 어떤 지역에서 열섬완화대책을 계획할 때, 지역에서 구체적인 수치목표 설정부터 중첩 대기 열부하 평가수법을 이용한 구체적인 기술도입효과에 관한 평가, 수치 목표 달성도에 관한 평가까지 지원하는 「대기 열부하 평가시스템」구축을 완료하는 것이라 생각한다. 본 연구에서는 「대기 열부하 평가시스템」을 제안하는 것과 함께, 大阪府를 대상으로 시스템의 적용평가를 행한다.

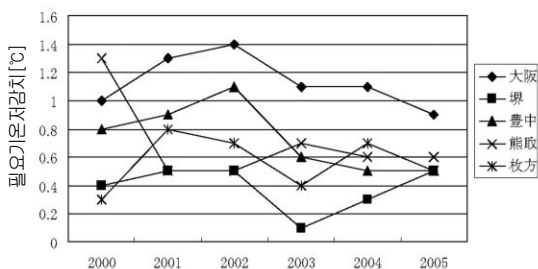
자치체에서의 열섬대책 계획

본 논문의 다음 절에서 구체적인 대책목표를 설정하고, 여기서는 현 시점의 정부 및 지방자치체의 열섬대책 계획에 대해 정리한다. 행정기관에서의 움직임으로는 2002년에 「열섬대책 관계부처 연락회의」가 정부에 설치됨과 함께, 2004년에는 「열섬대책 대망³⁾」에서 총괄하고 있다. 단, 본 대망은 열섬대책에 관계되는 각 주체의 대처를 적절하게 추진하기 때문에, 기본방침을 나타냄과 함께, 실시해야할 대책을 체계적으로 정리한 것으로, 구체적인 대책 수치목표를 게재한 것은 아니다. 대망의 책정으로, 동경도에서는 2003년에 「열섬대책 처리방침⁴⁾」을, 大阪府에서는 2004년에 「열섬대책 처리 추진계획⁵⁾」을 각각 발표하고, 이후에도

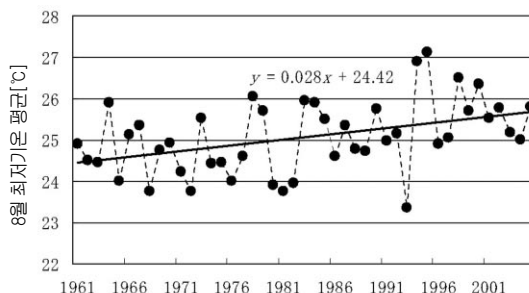
현시점에 이르기까지 각 부, 현에서 열섬대책을 향한 대처가 시작되고 있지만, 유일하게 大阪府에서는 구체적인 열섬개선 수치목표를 정하고 있는 것이 특징이다. 다음 절에서 본 논문의 구체적인 수치목표를 설정에 참고로 하기위해, 大阪府에서의 수치목표인 「2050년까지 여름 열대야 일수를 현상보다 30% 줄인다」에 대해, 달성에 필요한 기온저감량에 관해 고찰한다.

열대야 일수를 30% 삭감하기 위해서 필요한 기온저감량을 평가하기 위해, 2000년부터 2005년까지 6년간의 AMeDAS 기상데이터를 이용하여 분석하였다. 평가대상은 大阪市, 堺市, 豊中市, 熊取市, 枚方市の 5개 시로 하였다. 산출방법은 매년 7월, 8월, 9월의 열대야(최저기온이 25℃ 이상의 날)에 해당하는 날의 최저기온을 추출하고, 그 기온을 내림차순으로 정렬시키는 것과 함께 백분위수 30에 상당하는 기온을 구하였다. 다시 말하면, 이 백분위수 30값과 백분위수 0값의 차이가 열대야 일수를 30% 삭감하기 위한 목표저감 기온량이 된다. 이 값을 6년간으로 평균한 결과, 그림 1에 나타난 것처럼 大阪시가 1.1℃로 가장 크고, 이하 豊中市 0.7℃, 熊取市 0.7℃, 枚方市 0.6℃, 堺市에서 0.4℃ 였다.

이 결과를 받아, 과거 45년간 大阪市에서 8월 평균최저기온의 경년변화를 기초로, 근사직 선으로부터 1.1℃의 변화가 상당하는 해를 어렵잡아본 결과, 현시점(2005년)부터 약 40년 전(1965년)에 상당하는 것으로 나타났다(그림 2). 단 그림 2의 결과는 열섬뿐만 아니라, 지구온난화 영향도 포함한 기온상승을 평가하고 있기 때문에, 열섬의 영



[그림 1] 목표달성에 필요한 기온저감치



[그림 2] 8월 최저기온의 경년변화(AMeDAS 大阪)

항에만 주목하면 되돌려야 하는 기간은 짧아질 것이라 예상된다.

본 논문에서 설정하는 대책 수치목표

목표설정 방법

여기서는 본 논문에서 설정하는 구체적인 대책 수치목표의 설정방법에 대해 논한다. 즉, 본절은 어떤 근거를 기초로 대책 수치목표를 설정하고, 이후 그들을 달성하기 위한 수단을 구체화하기 위한 방법에 대해서 제안하는 것이다.

수치목표에 어떤 설정근거를 가지게 하는 방법으로는, 그 주된 의미로 「과거 어느 시점으로 회귀」 또는 「어느 피해대상의 영향을 완화」의 두 가지가 생각되고, 그 수단으로 「관측데이터」 또는 「시물레이션」의 두 가지가 생각된다. 앞절에서 논한 大阪府의 수치목표에는 구체적인 설정근거는 없다. 본 논문에서는 목표에 근거를 가지기 위해, 「과거 어느 시점으로 회귀」를 수치목표로 설정한다. 구체적인 목표설정 시점으로는, 2000년대 전반의 시점부터 1970년대 전반으로의 회귀를 목표로 한다. 제2절의 大阪府 목표가 거의 40년 정도 이전의 상태로 되돌리는 것을 의미하는 것에 대해, 본 논문에서의 설정목표는 약간 완화된 것이다.^{주1)}

목표를 설정하는 수단에 관해서는, AMeDAS 등의 관측데이터를 이용해서 과거와 현재의 열환경 차이를 목표값으로 하는 방법, 또는 시물레이션 상에서 과거와 현재의 열환경의 차이를 목표값으로 하는 방법을 생각할 수 있다. 전자는 실측에 기초한 데이터이고, 실제 열환경 변화를 정확히 반영하고 있다는 점에서 바람직하다. 그러나, AMeDAS 데이터 취득의 시작은 1970년대 후반으로, 회귀기간이 한정된다는 문제와, 측정밀도가 느슨하기 때문에 공간전개해서 전체 목표값을 설정하는 것이 어렵다는 등의 결점이 있다. 한편, 후자에 관해서는, 시물레이션 분석 격자단위에서 열환경 데이터가 정비되기 때문에, 목표설정의 공간전개가 용이하다. 또한, 현재의 열환경 데이터나 대체기술도입시의 열환경 데이터도 같은 형태의 격자 단위로 정비되는 것으로부터, 이들을 포함해

서 대책도입 계획을 검토하는 것이 가능하게 되어, 목표달성을 위해 각 지구에서 취할 수단(대책)이나 필요한 기온저감량 등의 정보를 얻는 것이 가능하다.

이상과 같은 이유로, 본 논문에서는 후자인 시물레이션에 의한 방법을 이용하여 과거회귀를 구체적인 수치목표로 하는 분석을 행한다. 즉, mesoscale 수치해석 수법이 목표검토에 충분한 정도를 가진다고 가정하고, 수치해석 결과를 가지고 고찰한다. 또한, 본 논문에서 이용하는 mesoscale 수치모델(OASIS-HI)⁶⁾은, 현재와 1970년대 전반의 京阪神지역의 열환경을 거의 재현함을 확인하였다⁷⁾.

열대야 Degree Hour의 정의

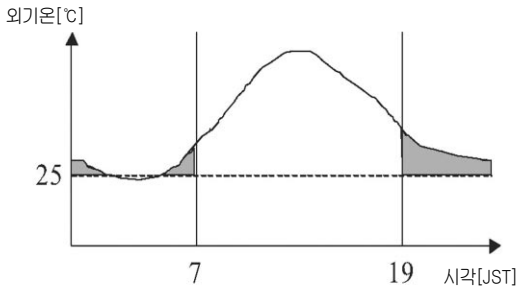
앞절에서 논한 것처럼, 大阪府의 수치목표에는 「열대야 일수」가 그 평가지표로 이용되고 있다. 지표로 열대야 일수를 이용한 경우, 당연한 일이지만 열대야 일수에 관한 빈도는 평가할 수 있는 반면, 야간을 통한 시간축에서의 열환경 강약은 평가되지 않는다. 또한, 같은 열대야라도 기온의 고저 정보를 표현할 수 없는 등의 문제가 거론된다. 본 논문에서는 열대야 일수를 대신할 지표로 「열대야 Degree Hour(열대야 DH)」를 정의하였다. 열대야 DH는 식(1)로 표현되는 지표로서, 25℃ 이상의 기온을 함수로 한 DH를 의미한다.

$$TNDH = \int_h (T_h - 25.0) dh \quad (1)$$

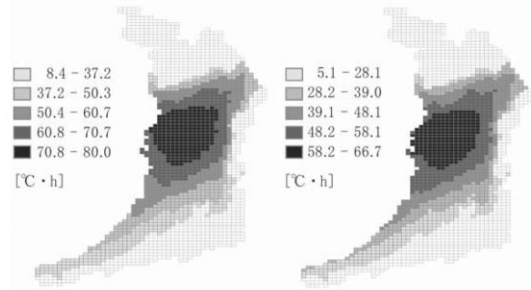
여기서 TNDH는 열대야 DH(Tropical Night DH)[℃·h], T_h 는 시각[h], h 는 h시의 기온[℃]을 각각 나타내고 있다. 또한, T_h 가 25℃를 밑도는 경우는 0으로 적분한다. 또한, 시각시각은 19시부터 다음 날 아침 7시까지를 대상으로 한다.

그림 3에 열대야 DH의 개념도를 나타낸다. 열대야 DH는 그림 중의 착색부분의 적분값에 상당하고, 시간축에서 열환경 악화의 심각함을 평가할 수 있다. 열대야 일수에 의한 평가는, 일 최저기온이 25℃를 조금이라도 밑돌면 계산하지 않지만, 열대야 DH의 평가에서는 25℃를 넘는 영역 전체가 대상이 된다.

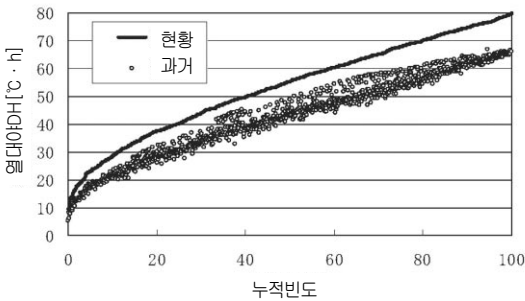
또한, 본 연구에서 사용하는 수치해석 모델은 그



[그림 3] 열대야 DH의 개념도



[그림 4] 열대야 DH 분포(좌 : 현황, 우 : 과거)



[그림 5] 현황과 과거의 열대야 DH에 관한 비교

특성상 어느 연속기간의 열환경을 재현하는 것이 아니라, 어느 하루의 열환경을 재현하는 것으로, 열대야 DH를 평가할 때도 재현된 하루의 기온변화를 기초로 정량화한다. 여기서는 기상조건으로 8월의 전형적인 해륙풍이 탁월한 쾌청일을 대상으로 한다.

목표로 하는 열대야 DH 저감량

그림 4에 수치해석 모델(OASIS-HI)⁶⁾을 이용해 재현한, 현재와 과거의 大阪府내 열대야 DH에 관한 분포상황을, 그림 5에 현재와 과거의 열대야 DH의 관계를 각각 나타낸다. 초기조건이나 경계조건 등의 계산수법의 상세한 부분과 현황 열환경의 재현 정도에 대해서는 이전의 논문¹⁾을 참조하기로 한다. 또한, 과거의 재현에 관한 상세한 기술이나 과거 열환경의 재현 정도에 관해서는 照井⁷⁾의 연구를 참조하기로 한다.

그림 4의 결과를 기초로, 각 계산격자에서 현재

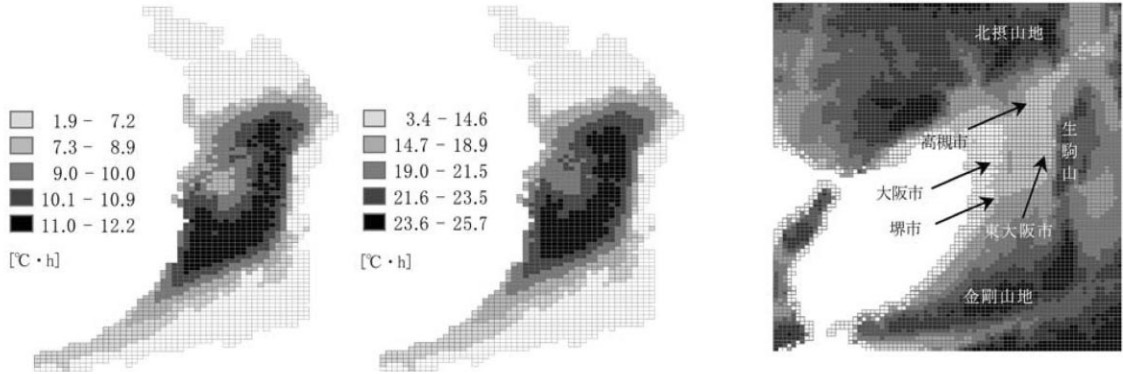
와 과거의 열대야 DH의 차를 구하여, 이것을 大阪府내의 대략적인 거주 지역에 상당하는 높이 100 m 이하의 지역(이하, 「大阪平野부」라 칭한다)에서 평균한 값을, 본 논문의 열섬완화에 관한 수치목표로 설정했다. 결과로서, 필요한 열대야 DH의 삭감량은 10.7°C·h로 계산되었다. 열대야 DH의 공간평균값은 현재의 53.4°C·h에 대해, 과거는 42.7°C·h였다.

또한 열대야 DH 저감량의 평균값을 구하는 방법으로, 단순한 공간평균에 첨가하여 각 계산격자의 야간 인구로 중첩을 행한 인구 중첩평균에 대해서도 참고로 검토하였다. 즉, 야간인구가 많은 지역에서 열대야 DH를 저감할 필요성이 더 높다는 현실에 의거한 평균값을 구하는 방법이다. 결과로, 필요한 열대야 DH의 저감량은 인구 중첩평균으로 12.5°C·h로 산출되었다.

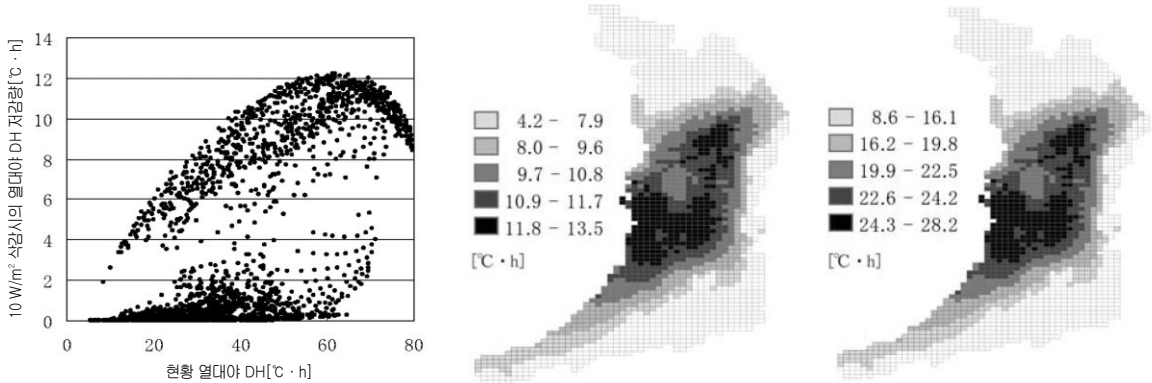
목표달성에 필요한 대기 열부하 삭감량

여기서는 앞절에서 결정된 대책목표인 열대야 DH를 공간평균에서 10.7°C·h삭감(인구 중첩평균으로는 12.5°C·h 삭감)의 달성에 필요한 대기 열부하 삭감량에 대해서 고찰하지만, 먼저 그 검토방법에 대해 기술한다.

대기 열부하를 삭감하는 대상지역은, 산간부에서는 열섬이 문제가 되지 않는 것으로부터, 大阪平野부에 한정한다. 또한, 대기 열부하 삭감은 기온에 직접적인 영향을 미치는 현열을 대상으로, 삭감은 하루 중 연속해서 행한다. 즉, 대기 열부하의 삭감은 수치해석 모델 상의 최하층 계산격



[그림 6] 大阪平野부 전역에서 열부하를 삭감한 경우의 열대야 DH 저감량
(좌 : 10 W/m² 삭감시, 중간 : 20 W/m² 삭감시, 우 : 본문 중의 고찰지역 위치)



[그림 7] 전역 10 W/m² 삭감시의 열대야 DH 저감량과 현황 열대야 DH의 관계

[그림 8] 大阪平野부 전역에서 열부하를 삭감한 경우의 기온저감 일적산치
(좌 : 10 W/m² 삭감시, 우 : 20 W/m² 삭감 시)

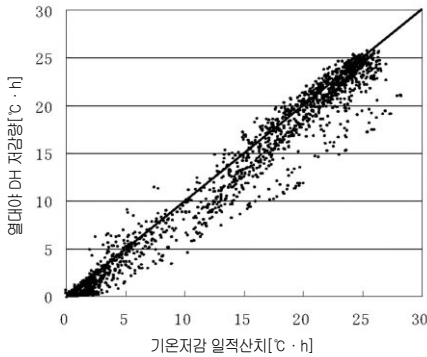
자(연직 높이 0.0 ~ 8.0 m)에서 행하고, 열대야 DH의 산출에 대해서도 최하층 계산결과를 기초로 한다.

이상의 조건하에서, 목표달성에 필요한 대기 열부하 삭감량을 구하기 위해, 大阪平野부 전 계산격자에서 일률적으로 열부하 삭감을 행한 경우의 열대야 DH에 대해 검토하였다.

그림 6에 10 W/m², 20 W/m²의 열부하를 삭감한 경우 열대야 DH 저감량 분포도를, 그림 7에 현상의 열대야 DH로 10 W/m²의 열부하를 大阪平野부 전역에서 삭감한 경우 열대야 DH 저감량과의 관계를 각각 나타낸다. 참고로 같은 형태의 열부하를 삭감한 경우 기온저감 일적산값의 분포도

를 그림 8에, 각 계산격자에서 열대야 DH 저감량과 기온저감 일적산값의 관계를 그림 9에 나타낸다.

그림 9의 결과로부터, 열대야 DH 저감량과 기온저감 일적산값과의 상관성은 극히 높고, 열대야 DH 저감량이 큰 지구(地區)는 기온저감 일적산값도 거의 동일한 분포 상황을 나타내고 있다. 그림 6과 그림 8의 결과로부터도 거의 같은 분포 상황을 나타낸다. 그림 6의 결과로부터, 열대야 DH 저감량이 큰 지역은, 高槻시로부터 東大阪市에 걸친 生駒산이나 北攝산지와 大阪市の 중간에 위치한 지역, 堺市 등의 金剛산지와 大阪市の 중간에 위치한 지역이 되었다. 이전 논문¹⁾에서는 大阪府



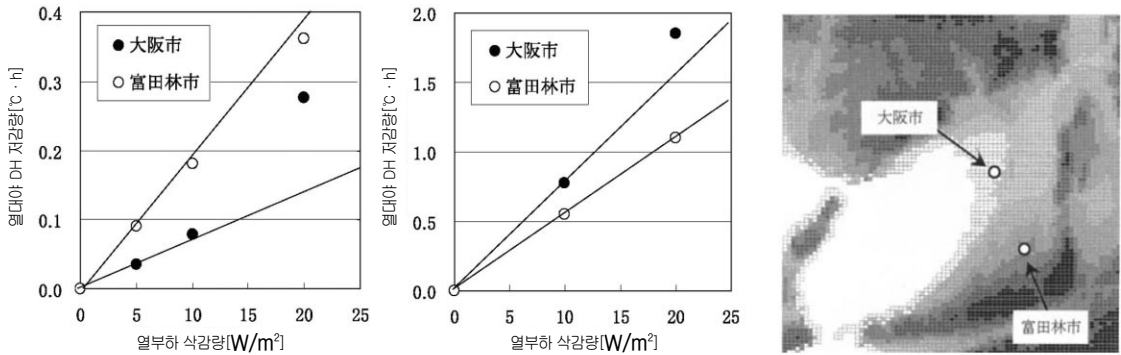
[그림 9] 전역 10 W/m² 삭감시의 열대야 DH 저감량과 기온저감 일적산치의 관계

의 교외부에서 열부하 삭감에 의한 기온저감 효과가 큰 값을 나타낸(기온저감이 높다) 반면에, 도심부에서는 저감효과가 작은 값을 나타낸(기온저감이 낮다) 것으로 보였지만, 그림 6에서는 山麓 주변의 교외지구와 大阪시 중심에서 열대야 DH 저감량이 중간지역에 비하여 상대적으로 작은 값을 나타내었다. 大阪시의 중심에서 열대야 DH 저감량이 작은 값을 나타내는 것에 대해서는, 그림 7에서 현재의 열대야 DH가 약 60℃·h의 지역에서 열대야 DH 저감량이 피크에 달하고, 그 이상의 열대야 DH를 나타내는 지역에서는 열대야 DH 저감량이 저하하고 있는 것으로부터 확인할 수 있다. 똑같이 그림 7로부터, 열대야 DH 저감량이 대단히 작은 지역(거의 4℃·h이하)은 주로 기온감도가 큰 山麓 주변의 데이터이다.

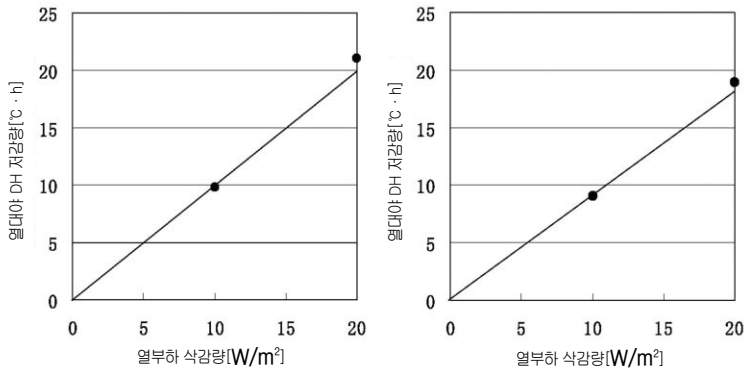
그림 10에 단일격자에서 열부하 삭감을 행한 경우와 大阪平野부 전역에서 열부하 삭감을 행한 경우의 도심부(大阪시)와 교외부(富田林시)에서 2시의 기온감도에 대한 비교결과를 나타낸다. 전자의 결과는 이전 논문¹⁾의 계산결과를 기초로 그래프화한 것이다. 단일 격자에서 열부하 삭감을 행한 경우, 즉 주변 영역주²⁾에서의 평가로는, 대기가 안정한 교외부에서는 기온감도가 큰 반면, 상대적으로 대기가 불안정한 도심부에서는 기온감도가 작은 값을 나타내었다. 또한, 교외부에서는 열부하 삭감량과 기온저감치의 관계가 대체로 선형성을 가진다. 한편, 도심부에서는 현저한 비선형성이 확

인된다. 즉 열부하 삭감량을 증가시키는 것에 의해 주변 대기가 안정화되는 것으로, 기온감도가 높아지는 것에 따른다. 한편, 大阪平野부 전역에서 열부하 삭감을 행한 경우, 교외부에서는 기온감도가 낮은 값을 나타내고, 도심부에서는 상대적으로 기온감도가 높은 값을 나타낸다. 또한, 도심부에 대한 비선형성은 약간 줄어, 열부하 삭감량과 기온저감치의 관계가 선형에 가까워지고 있음을 알 수 있다. 大阪平野부 전역에서 열부하를 삭감한 경우에도, 단일격자에 대한 결과와 같은 경향이 예상되지만, 상기와 같이 다른 결과가 얻어졌다. 즉, 가장 기온감도가 작은 것은 山麓 주변의 교외부이고, 가장 기온감도가 큰 것은 교외부와 도심부의 중간지역, 기온감도가 중간적인 것은 도심부였다. 이 요인으로는, 大阪平野부 전역에서 열부하 삭감을 행한 경우에는, 전체적으로 열부하를 삭감하는 것에 의해 도심부의 안정화가 이루어지는 것(기온감도가 올라가는 것), 또한, 야간에는 교외부로부터 도심부로 향한 육풍에 의해 교외부에서 삭감효과가 중간지역을 중심으로 도심부 방향으로 이동하는 것에 의해, 중간지역에서의 삭감효과가 최대화되는 것과 함께, 교외부에서는 효과가 작고, 도심부에서는 중간적인 결과를 나타내었다고 생각된다. 이 결과는 각 지역에서 주변영역의 기온감도와 바람 흐름의 균형으로부터 각 지역에서 평균적인 기온감도가 결정된다는 것을 나타낸 것이라 할 수 있다.

이상의 결과를 염두에 두고, 앞절에서 설정한 수치목표의 달성에 필요한 대기 열부하 삭감량을 구하기 위해, 열대야 DH 저감량과 대기 열부하 삭감량(大阪平野부 전체에 대한)의 관계를 그래프화한 결과를 그림 11에 나타낸다. 열대야 DH 저감량과 대기 열부하 삭감량은 거의 선형의 관계를 나타냈지만, 약간이지만 삭감 열부하가 증가하면 열대야 DH 저감량이 비선형적으로 크게 되는 경향을 나타내었다. 이것은 선형성이 지켜지는 교외부와 비선형성인 도심부의 특성이 평균화되는 것과 함께, 앞서 기술한 것처럼 육풍의 영향에 의해 기온감도가 큰 교외부로부터 기온감도가 작은 도심부를 향해 기온저감 효과가 균등했다는 것, 도심부에서 비선형성이 약해지는 것에 의한 것이다.



[그림 10] 단일격자에서 열부하를 삭감한 경우와 大阪平野부 전역에서 열부하를 삭감한 경우의 기온감도 비교 (2시의 검토결과, 좌: 단일격자, 중간: 大阪平野부 전체, 우: 평가지점의 위치)



[그림 11] 열부하 삭감량과 열대야 DH 저감량의 관계 (좌: 공간평균, 우: 인구 중첩 평균)

그림 11의 결과로부터, 목표를 달성(열대야 DH를 공간평균에서 10.7℃·h저감)하기 위해 필요한 열부하 삭감량을 산출하면, 11.5 W/m²가 된다. 참고로 인구 중첩평균(열대야 DH를 12.5℃·h저감)에서는 12.0 W/m²로 되었다.

열부하 삭감량의 지역 할당에 관한 고찰

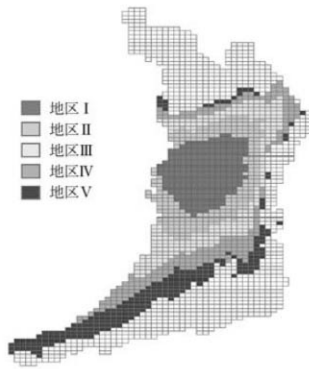
앞절의 검토결과로부터, 열부하 삭감에 관한 기온감도는 지역에 따라 다르다는 것, 국소적으로 열부하를 삭감한 경우(주변영역)와 지역 전체적으로 열부하를 삭감한 경우에서 기온감도의 공간분포에 차이가 나타남을 발견하였다. 또한, 본 논문

의 대책 수치목표인 열대야 DH의 10.7℃·h 저감(大阪平野부의 공간평균)을 달성하는 열부하 삭감량(大阪平野부 전체 삭감시)은 11.5 W/m²인 것이 나타났다.

이상의 결과로부터 大阪平野부 전체에서 11.5 W/m²를 삭감하면 목표를 달성하는 것으로, 위에 서술한 것처럼 기온감도에는 공간분포가 있는 것으로부터, 大阪平野부에 일률적으로 같은 양의 열부하를 삭감하는 것이 아닌, 기온감도가 높은 지역에 삭감 열부하를 할당하는 것이 목표달성에는 효과적이라고 생각된다. 예로써, 교외부에만 열부하를 삭감하는 경우와 도심부에만 열부하를 삭감하는 경우를 비교한다.

비교검토를 하기 전에, 먼저 열부하를 삭감할 지역을 구분한다. 여기서는 현상의 열대야 DH의 대소를 기초로 5지구(지구 I 이 열대야 DH가 큰 지구, 지구 V가 열대야 DH가 작은 지구에 상당한다)로 구분하였다. 그림 12에 지역구분 결과를 나타낸다. 특히, 대상지역은 大阪平野부로 각 지구에 포함된 격자는 거의 같은 수(즉 면적이 같음)이다^{주3)}.

지구 I 에서 25 W/m²(5지구 평균은 5 W/m²) 및



[그림 12] 열부하 삭감 검토에 관한 지구구분

15 W/m²(5지구 평균은 3 W/m²)의 열부하를 하루 종일 삭감한 경우, 지구 V에서는 같은 열부하를 하루 종일 삭감한 경우를 검토한다. 또, 열부하의 삭감은 최하층 격자에서 행하고, 열대야 DH의 산출에 대해서도 최하층의 계산결과를 기초로 행한다. 「5지구 평균」은 삭감 열부하를 5지구에서 평균한 값이고, 이 값이 11.5 W/m²보다 작을 때 열대야 DH를 10.7℃·h 삭감할 수 있다면, 전체 일률적으로 감소시 보다도 적은 감소 열부하로 목표달성이 가능하다는 것을 의미한다.

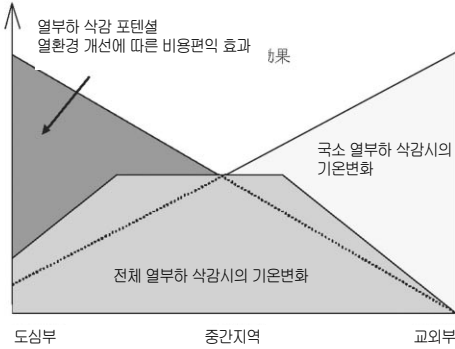
각 지구에서 열부하를 삭감한 경우의 각 지구 및 大阪平野부에서의 열대야 DH 저감량을 표 1에 나타낸다. 공간평균으로 보면 열부하 삭감량이 15W/m²의 경우는, 지구 V에서 열부하를 삭감한 경우가 지구 I 보다도 열대야 DH 저감량이 크게 되는 반면, 25 W/m²일 때는 반대 경향을 나타낸다. 이것에는 두 가지 이유를 생각할 수 있다. 하나는 지구 V의 현재 열대야 DH가 작기 때문에, 열부하 삭감량을 크게 해도 열대야 DH 저감량이 늘어

나지 않는 것이다. 또 하나는 지구 I에서 열부하 삭감량을 크게 하면, 대기 안정화가 진행되기 때문에 기온감도가 높아져, 기온이 저감하기 쉽게 되는 것이다. 또, 이 표로부터 지구 V에서 열부하를 삭감한 경우에는 다른 지구로 이류 효과가 영향을 미치기 쉽다는 것을 알 수 있다. 또 인구 중첩 평균으로 열대야 DH 삭감량을 평가한 경우에는, 당연한 것이지만 지구 I에서 열부하를 감소하는 편이 좋다는 결론에 도달한다. 이들 검토 case의 5 지구에서의 열대야 DH 저감량은 지구 I 삭감 case에서는 25 W/m²에서 4.3℃·h, 15 W/m²에서 2.3℃·h인 반면, 지구 V 삭감 case에서는 25 W/m²에서 4.1℃·h, 15 W/m²에서 2.5℃·h로 어느 것도 앞절에서 설정한 수치목표에는 도달하지 않음을 알 수 있다.

이상의 고찰결과로부터, 열의 확산이라고 하는 물리특성을 고려하면, 교외부에서 중간지역에 걸쳐 삭감 열부하를 할당하면 도심부를 향한 이류효과로 삭감지역도 포함해서 넓게 효과가 얻어지는 반면, 도심부에 삭감 열부하를 할당하면 삭감량이 적은 상황에서는 기온감도가 낮기 때문에 삭감 열부하에도 불구하고 기온을 내리기 힘들다는 문제가 발생한다. 단, 위에서 기술한 것처럼 교외의 열부하를 너무 삭감하면 현재의 열부하 DH가 작기 때문에, 열대야 DH 삭감량이 늘어나지 않고, 쓸데 없는 것이 생기는 문제가 발생한다. 따라서, 물리특성을 고려한 열부하 분배에 관한 최적의 방법은 교외기온을 너무 내리지 않도록, 교외로부터 중간 영역에 걸쳐 삭감 열부하를 할당하는 방법이 될 것이라 예상된다. 그러나, 열부하 분배에 관한 최적의 방법은 가장 효율 좋은 공간평균기온을 저하시킬 뿐만 아니라, 그 지역에서 실제로 삭감 가능

<표 1> 지구 I 및 지구 V에서 각각 열부하를 삭감한 경우의 각 지구에서 열대야 DH 저감량

삭감지구	삭감량	열대야 DH 저감량[℃·h]						
		지구 I	지구 II	지구 III	지구 IV	지구 V	공간평균	인구평균
지구 I	15W/m ²	8.3	2.2	0.6	0.2	0.1	2.3	3.6
	25W/m ²	15.7	4.1	1.2	0.4	0.1	4.3	6.9
지구 V	15W/m ²	0.7	1.0	1.5	2.6	6.7	2.5	1.6
	25W/m ²	1.1	1.6	2.5	4.3	10.9	4.1	2.6



[그림 13] 열부하 삭감량의 지역 할당에 관한 고찰도

한 열부하량(열부하 삭감 포텐셜)이나, 열환경 개선에 의한 비용편익적인 측면도 고려할 필요가 있다. 당연하지만, 현상의 대기 열부하량이 많은 도심부에서는 열부하 삭감 포텐셜이 클 것으로 예상되고, 또한 편익평가에 있어서도 투자지역의 인구나 바닥면적 등의 능동성이 큰 도심부에서 열효율이 높아진다고 예상된다. 그림 13에 열부하 삭감량의 지역 할당의 최적해를 구하기 위한 고찰도를 나타내고, 열부하 삭감시의 기온감도가 큰 것은 교외부로부터 중간지역에 걸쳐서이며, 기온을 효과적으로 저감시키려면, 이들 지역에서 열부하 삭감량을 증가시키는 할당 방법이 바람직하다. 한편, 실제 열부하 삭감 포텐셜은 도심부에서 크고, 또한 비용편익 효과를 최대화하기 위해서도, 중간 지역에서 도심부를 향해 열부하 삭감량을 증가시키는 할당방법이 바람직하다.

본 논문에서는 후자의 입장에서, 열부하 삭감량의 지역 분배를 조건으로 열대야 DH 저감량의 평가를 시험한 결과를 소개한다. 즉, 상기에 기술한 생각아래, II에서 IV 지구까지의 각종 지구의 조합에서 열부하 삭감을 실시한 경우를 검토하였다^{*)}. 또한, 삭감량의 상한은 현실적인 대응 가능성을

감안하여 25 W/m²로 하였다. 결과로서, 목표의 열대야 DH 저감량(10.7℃·h)을 달성하는데 바람직한 도입방법은, 표 2에 나타내는 것처럼, 지구 I에 25 W/m², 지구 II에 20 W/m², 지구 III에 10 W/m²의 열부하를 삭감하는 조합이고, 필요한 공간평균 열부하 삭감량은 11.0 W/m²였다.

대기 열부하 삭감 포텐셜과 설정목표의 관계

앞절에서 열부하 삭감 지역의 할당에 관하여 검토하여, 목표 열대야 DH 저감량을 달성하는데 바람직한 할당방법을 각종 조합의 계산결과로부터 구하였다. 계속해서 여기에서는 어떤 시구를 대상으로, 구체적인 열섬완화 대책의 도입에 의한 시구내의 열부하 삭감 포텐셜과, 앞절에서 정의된 시구에서 열부하 삭감목표치와의 관계에 대해 검토하는 것으로, 이후의 대책 실험 가능성에 대해 평가한다.

평가방법

앞절의 검토결과로부터 지구 I에서 25 W/m², 지구 II에 20 W/m², 지구 III에 10 W/m²의 열부하를 삭감하는 것에 의해 열부하 DH 저감목표를 공간평균에서 달성하는 것을 나타내었다. 여기서는, 각 지구의 대표시구로서, 지구 I에 관해서는 中央구와 門眞시를, 지구 II에 관해서는 住之江구를, 지구 III에 관해서는 松原시를 선정하고, 각 시구에 있어 상기의 수치목표를 달성하는가 아닌가에 대해 평가한다. 각 시구의 도시데이터를 표 3에, 위치를 그림 14에 나타낸다.

여기서, 평가하는 열섬완화대책은 「지상녹화」, 「옥상녹화」, 「공냉 히트펌프형 급탕기(HP형 급탕기)」, 「공조 옥외기 물분무 장치(옥외기 물분무)」, 「고효율 공조기」, 「저연비 차」로 했다. 저연비 차에 관해서는 연비 향상과 함께 자동차 배열이 30%

<표 2> 목표를 달성하는 조합의 열부하를 삭감하는 경우의 각 지구에서의 열대야 DH 저감량

항 목	지구 I	지구 II	지구 III	지구 IV	지구 V	공간평균
열부하 삭감량[W/m ²]	25	20	10	0	0	11.0
열대야 DH 저감량[W/m ²]	22.5	17.9	9.8	2.8	0.8	10.8



[그림 14] 각 평균 대상 시구의 위치

<표 3> 각 평가대상 시구의 도시 데이터

항 목	지구 I		지구 II	지구 III
	中央區	門真市	住之江區	松原市
도로면적[ha]	320	116	576	327
도로면적[%]	40	23	21	25
건축면적[ha]	290	155	464	245
건축면적률[%]	36	31	17	19
연면적[ha]	893	240	468	403
주택연면적률[%]	45	64	28	80
업무연면적률[%]	55	36	69	20
gross건폐율[%]	37	32	28	27
건물높이[층]	3.5	1.9	1.3	1.7

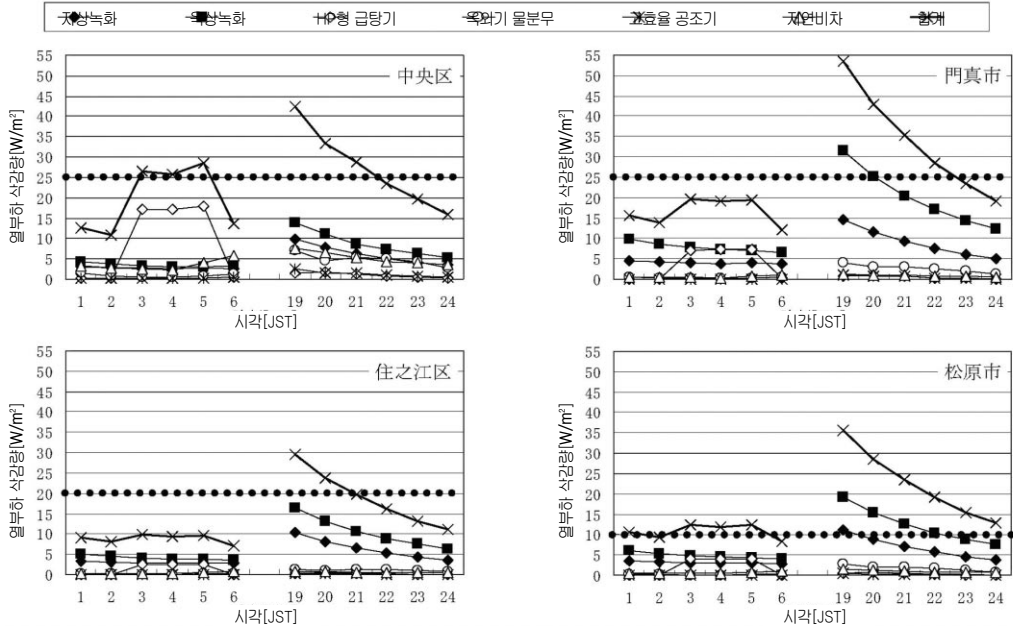
감소한다고 가정하였다. 또, 현상의 각 지역의 교통량(인공배열량)은 수치해석 모델에 입력하는 격자데이터를 사용하였다. 교통량의 산출방법에 대해서는 照井⁹⁾ 등의 논문을 참조한다. 그 외의 대책에 관한 평가방법은 이전 논문²⁾을 참조하기로 한다. 각 대책의 도입 수준은, 여기서는 열부하 감소 포텐셜을 평가하는 것을 목적으로, 도입수준을 100%로 하였다. 즉, 지상녹화에 대해서는 도시 용도면적 중 도로면적 및 건축면적을 뺀 면적, 옥상녹화에 대해서는 전 옥상면적(전 건물면적), HP형 급탕기와 옥외기 물분무, 고효율 공조기는 전 건물(전체 연면적) 대책이 도입된 것으로 했다. 또, 각 시구의 건축면적과 연면적 등의 면적 정보에 대해서는, 大阪府 및 大阪市에서 제공받은 「토지이용현황조사 데이터」를 사용했다.

본 논문에서는 야간의 열부하 삭감에 의한 열대야 DH 저감을 목표로 하고 있기 때문에, 여기서는 야간(19시부터 다음날 6시까지) 열부하 삭감효과에 대해 검토한다. 또, 하루 중 열부하 증감에 수반하는 기온영향은 야간에는 넘지 않는 것을 필자들⁹⁾이 확인하였다. 또한, 이전 논문²⁾에서 기술한 「고도 특성곡선」을 적용하는 것으로, 열부하 삭감효과는 지표 상당 열부하 삭감량으로 환산한 값을 이용해서 평가한다. 단, 열부하 삭감 목표는 시간특성을 고려하지 않은 실제 부하 삭감량으로 평가하기 때문에, 여기서는 이전 논문²⁾에서 기술한 「시간특성계수」를 이용한 평가는 하지 않는다.

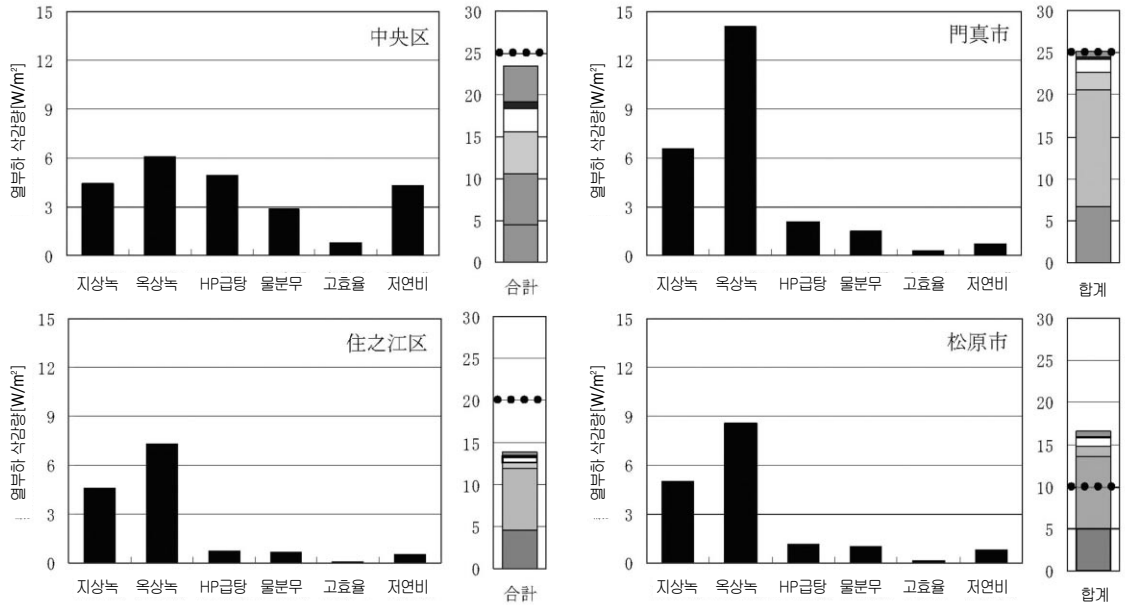
평가결과

그림 15에 평가결과로써 각 시구의 각 열섬완화 대책 도입에 의한 야간 시각별 열부하 삭감 포텐셜과 달성목표(시구에 따른 수치가 다름)의 관계를 나타낸다. 달성 목표는 그림 중에 탁점으로 나타내고 있다. 또, 그림 16에 각 시구의 야간평균 열부하 삭감 포텐셜을 나타낸다.

그림 15의 결과로부터, 극히 일부의 시간대를 제외하고, 단독 기술로는 열부하 삭감 목표를 달성하지 않는 것으로 나타났다. 시간대를 19시부터 24시과 그 이후로 구분하면, 야간의 전반은 옥상녹화에 의한 열부하 삭감 효과가 크고 단독으로 목표에 도달하는 시간대도 보이는 반면, 야간의 후반에는 심야전력을 이용하여 물을 끓이는 HP 급탕기의 효과도 크다는 것을 알 수 있다. 지상녹화에 비해서 옥상녹화의 효과가 큰 것은, 옥상녹화의 도입면적이 지상녹화보다 크다는 것, 특히 門真시와 住之江구, 松原시에서는 옥상위치가 비교적 낮게 위치하는 것, 지상녹화는 도시협곡 내에 존재하기 때문에 낮의 일사 영향을 받기 힘든 것 등을 들 수 있다. 건축면적률에서는 中央구에서 36%, 門真시에서 31%이고, 옥상녹화의 면적률에서는 中央구가 門真시보다 크데도 불구하고, 그 효과가 작은 것은 中央구에서는 비교적 HP형 급탕기 및 옥외기 물분무 등의 효과가 얻어지고 있지만, 그 외의 시구에서는 이들 인공배열 삭감형 대책에 의한 효과는 비교적 작은 것으로 나타났다. 여기서 뽑은 대책을 합계하면, 松原시에서는



[그림 15] 각 시구에서 열섬완화 대책 도입에 따른 야간의 시간별 열부하 삭감 포텐셜과 달성목표의 관계



[그림 16] 각 시구에서 열섬완화 대책 도입에 따른 야간 평균 열부하 삭감 포텐셜
 (※합계 그래프는 아래에서 「지상녹화」, 「옥상녹화」, 「HP형 급탕기」, 「옥외기 물분무」,
 「고효율 공조기」, 「저연비 차」의 순으로 표현하고 있음)

거의 야간의 전 시간대를 통해서 목표치에 도달하는 것을 알 수 있지만, 특히 住之江구에서는 거의 어느 시간에서도 목표에 도달하지 않는다는 것을 나타낸다.

그림 16의 결과로부터, 야간 평균값으로 열부하 삭감 포텐셜과 목표치와의 관계를 검토하면, 門眞시 및 松原시에서는 목표치에 도달하는 반면, 中央구에서는 극히 약간 도달하지 않고, 住之江구에서는 목표치의 2/3 정도에 그친다는 것을 알 수 있다. 이 결과로부터도, 비교적 건물이 고밀화 되어도 건물 높이가 낮은 지역에서는 옥상녹화에 의한 효과가, 건물 높이가 높고 연면적이 많은 지역에서는 인공배열량의 대책에 의한 효과가 큰 것을 알 수 있다.

이상의 결과로부터, 여기서 뽑은 대책을 도입률 100%로 실행한 경우, 목표 달성 가능한 시구도 존재하는 반면, 목표에 달하지 않는 시구도 발생한다는 것을 나타낸다. 목표를 달성하지 않는 시구에 대해서는, 예를 들면 보수성 포장이나 고반사화 등의 대책을 추가하거나, 삭감 포텐셜이 낮다는 의미로 할당된 열부하 삭감량의 일부를 포텐셜이 큰 지구에 옮기는 등의 대응이 필요하다고 생각된다.

결론

본 논문에서는, 이전 논문까지의 검토결과를 토대로, 열섬완화대책에 고나한 구체적인 수치목표를 설정했을 때, 각 지역에서 필요한 대기 열부하 삭감량이나, 그것을 달성하기 위해 필요한 구체기술의 투입량을 파악하는 것을 목표로, 대기 열부하 삭감 포텐셜과 목표설정의 관계에 대해 검토했다. 이하에 본 논문에서 얻어진 것을 정리한다.

- 1) 본 논문에서는 1970년대 전반으로의 과거 회귀를 대책 목표로 설정하고, mesoscale 수치해석 수법에 의해 大阪부를 대상으로 구체적인 수치목표를 구한 결과, 필요한 열대야 DH의 저감량은 大阪平野부의 공간평균으로 $10.7 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{h}$, 인구 중첩평균으로 $12.5 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{h}$ 로 산출되었다.
- 2) 목표달성에 필요한 대기 열부하 삭감량을 구

하기 위해, 도심부와 교외부에서 열부하 삭감에 의한 기온저감 효과에 관한 감도분석을 행한 결과, 국소적으로 열부하 삭감을 행한 경우에는 대기가 안정한 교외부에서 기온감도가 큰 반면, 大阪平野부 전역에서 열부하 삭감을 행한 경우에는 도심부에서 기온감도가 크다는 것을 나타내었다. 그 요인으로, 전역에서 열부하를 삭감하는 것에 따라 도심부에서의 대기안정화나 교외부로부터 중간지역, 더욱이 도심부를 향한 육풍에 의한 이류의 효과를 들 수 있다.

- 3) 목표 달성에 필요한 열부하 삭감량은, 大阪平野부 전체에서의 일률 삭감시에 공간평균으로 11.5 W/m^2 , 인구 중첩평균으로 12.0 W/m^2 였다.
- 4) 열부하 삭감량의 지역할당에 대해 고찰하기 위해, 도심부 및 교외부 각각 열부하 삭감평가를 행한 결과, 물리특성을 고려한 열부하 분배에 관한 최적해는 교외기온을 너무 낮추지 않도록, 교외부로부터 중간지역에 걸쳐 삭감열부하를 할당하는 방법이 예상된다. 한편, 열부하 삭감 포텐셜이나 비용편일적인 측면을 고려한 경우에는, 중간지역으로부터 뒤편을 향해 삭감 열부하량을 증가 시키는 것 같은 할당 방법이 최적해로 정의 된다고 예상된다.
- 5) 목표를 달성하는 열부하 삭감의 지역할당에 대해, 열부하 삭감 포텐셜이나 비용편익효과를 고려해서, 중간지역부터 도심부에 걸쳐 삭감 열부하량을 증가시키는 조합을 검토한 결과, 도심부에서 25 W/m^2 , 중간지역에서 10 W/m^2 의 열부하 삭감으로 목표를 달성하는 것이 가능함을 나타내었다.
- 6) 어느 시구를 대상으로, 구체적인 열섬완화대책에 의한 열부하 삭감 포텐셜과 상술의 열부하 삭감 목표치와의 관계를 검토한 결과, 본 논문에서 채택한 대책을 도입률 100%로 실시한 경우, 목표를 달성 가능한 시구도 존재하는 반면, 목표에 도달하지 않는 시구도 발생하는 것이 나타났다.

본 연구의 제1보부터 제3보에 걸쳐 제안한 일련의「대기 열부하 평가시스템」에 의해, 각 자치체에

서 열부하 삭감량의 구체적인 수치목표가 설정되는 것과 함께, 「중첩 대기 열부하 평가수법」이라는 열부하의 기온영향을 적절히 고려한 지표에 기초하여 각 기술의 성능 및 열부하 삭감 포텐셜을 평가하고, 각 자치체에서 대책에 실현가능성을 평가하는 것이 가능하게 되었다.

- 주1) 이 목표시점의 설정에 특히 큰 의미는 없지만, 고찰의 기본이 되는 지역 열대사데이터가, 1970년대 전반 이전의 것이 입수 불가능이었다는 것에 의함.
 - 주2) 주변 영역은 현상의 확산장에 큰 변화를 주지않는 영역을 의미한다. 즉, 현상의 열부하장의 어느 일부에 미소의 추가적 열부하가 주어질 때의 기온변화를 일으키는 영역을 말한다. 여기서 구하는 기온감도를 열섬대책 기술의 평가에 사용하는 것은 합리적이지만, 대책이 진행되어 전체 열부하장이 크게 변화한 것 같은 경우에는, 이 값은 변하기 때문에, 적절한 단계에서 수정 평가할 필요가 있다.
 - 주3) 大阪平野부 전체 격자수의 관계상, 지구 I 부터 지구 IV에 대해서는 240 격자이지만, 지구 V만 241 격자로 되었다.
 - 주4) 본 논문에서는 삭감열부하의 조합으로 II 지구에서 삭감하는 조합을 14 패턴, III 지구를 26 패턴, IV 지구를 16 패턴으로 합계 56 패턴에 대해 mesoscale 해석을 행하고, 목표달성을 위한 평균 열부하 감소량이 가장 작은 조합을 본 논문에 나타내었다. 본래는 삭감 열부하량을 최소화 하는 삭감부하의 공간배분에 대해 정식화한 다음 최적해를 구할 필요가 있지만, 여기서는 mesoscale 수치해석에서 계산부하의 문제 때문에 격자에 따라 다른 삭감 열부하를 부여한 복수의 계산결과로 문제구조를 제시하는 것으로 한다.
- 또한 같은 이유에 의해, 본 논문에서는 大阪平野부의 공간평균으로 열대야 DH의 저감목표를 달성하는 조합만을 제시하는 것으로 하였지만, 같은 수법에 의해 인구 중첩평균

으로 저감목표를 달성하는 조합을 검토하는 것도 가능하다.

참고문헌

1. 鳴海大典, 羽原勝也, 近藤明, 下田吉之, 水野稔: 都市熱環境緩和を目的とした大氣熱負荷評價システムの開發 その1 大氣負荷排出條件の違いが地表付近の氣溫變化に及ぼす影響, 空氣調和・衛生工學論文集, No.117, pp.11-20, 2006年12月.
2. 鳴海大典, 羽原勝也, 水野稔: 都市熱環境緩和を目的とした大氣熱負荷評價システムの開 その2 重みつき大氣熱負荷評價手法の構組みと適用事例, 空氣調和・衛生工學論文集, No.147, pp.17-28, 2009年6月.
3. ヒートアイランド對策府省連絡會議: ヒートアイランド對策大綱, 2004年3月.
4. 東京都: ヒートアイランド對策取組方針, 2003年3月.
5. 大阪府: 大阪府ヒートアイランド對策推進計劃, 2004年6月.
6. 近藤明, 加賀昭和, 山口克人, 合田惠理子, 水間健二: 數値モデルによる地域開發の微氣象影響評價, 空氣調和・衛生工學會論文集, No.83, pp.1-9, 2001年10月.
7. 照井奈都, 鳴海大典, 下田吉之, 水野稔: 過去の再現に基づくヒートアイランド現象の成因解析, 日本建築學會環境系論文集, Vol.74, No.644, pp.1163-1172, 2009年10月.
8. 照井奈都, 鳴海大典, 下田吉之: 人工排熱の排出特性が都市熱環境の再現に及ぼす影響 -京阪神地域を對象とする感度分析-, 日本ヒートアイランド學會論文集, Vol.4, pp.15-25, 2009年.
9. 鳴海大典, 大谷文人, 近藤明, 下田吉之, 水野稔: 都市における人工廢熱が都市熱環境に及ぼす影響 -都市熱環境評價モデルを用いたヒートアイランド現象の改善策に関する検討 その1-, 日本建築學會環境系論文集, No.562, pp.97-104, 2002年12月. 