

건축외부공간에 있어서 인체의 日射熱負荷 및
熱的 快適性에 관한 실험적 연구
Human Solar Heat Load and Thermal Comfort
in an Outdoor Environment

鄭 梟 元* 尹 仁**
Chang-Won Jeong In Yoon

<Abstract>

The purpose of this paper is to investigate the amount of relief of human solar heat load and thermal comfort in outdoor environment in summer. Six different types of sites, T garden and its neighboring area in Japan, were selected as the experiment sites.

The experiments were conducted from 22 to 29 August, 1994 to find the relationship between climatic conditions and human responses. Climatic conditions, subjects's thermal sensation and skin temperature were measured.

Radiant heat exchange on the human body was estimated on the basis of the measured air and surface temperature and solar radiation. Thermal index Operative Temperature and New Effective Temperature was modified with the effect of the radiant heat exchange.

Human thermal comfort and skin temperature is affected by the solar radiation and the sky factor in an outdoor environment. The effect of tree shade was verified on thermal comfort. The amount of relief of human solar heat load is relation to the existence of shade a solar radiation and the sky factor. The urban garden is one of the effective design element in an urban environmental planning.

Key words : Human Solar Heat Load, Thermal Comfort, Skin Temperature, Operative Temperature, New Effective temperature

1. 서론

도시지역은 대기오염문제뿐만 아니라 시간이 지날수록 도시규모가 확대되고 있으며, 시가지 를 구성하고 있는 도로 및 건물의 외피는 콘크

리트, 아스팔트, 유리 등과 같은 인공피복화의 진행이 증가하고 있다. 또한 쾌적한 실내공간 유지를 위한 에너지 낭용과 자동차에 의한 폐 열증대 등, 도시기후의 개변이 보고¹⁾²⁾ 된 바가 있다.

* 정희원, 慶州大學校 講師·工博
나고야공업대학 대학원 졸업(일본)
** 정희원, 啓明文化大學 建築科 專任講師, 工博
나고야공업대학 대학원 졸업(일본)

* Dept. of Architecture, Kyongju University, Dr. Eng.

** Dept. of Architecture, Keimyung College, Dr. Eng

표 1. 실험개요

Experimental Date	Experimental Sites
1994/8/22	Tree shade A at OIMATU Garden (Under Pergola)
1994/8/23	Sunshine in Urban Canyon
1994/8/26	Tree shade B at TURUMAI Garden
1994/8/27	Shade in Urban Canyon
1994/8/28	Tree shade C at OIMATU Garden
1994/8/29	Tree shade D in TURUMAI Garden

이러한 도시지역의 변화는 도시의 熱收支를 변화시켜 도시열섬(urban heat island)과 같이 도시열환경 악화요인을 낳기도 한다. 결국 이러한 것은 건축외부공간에서의 인체 쾌적성에도 영향을 미친다.

인체에 영향을 미치는 옥외온열환경요소로 日射를 포함한 열복사환경을 생각할 수 있다. 이것은 여름철 옥외열환경설계시 인체의 쾌적성면에서 중요한 의미를 지닌다.

건축의 외부공간을 대상으로 한 열환경평가 및 인체영향실험에 관한 기존의 연구로 Burt³⁾가 각기 다른 도시가로공간을 대상으로 옥외의 인체열수지와 피부온의 변동을 시스템적으로 분석하는 방법을 제안한 것이 있고, 山口⁴⁾가 보고한 건축외부공간의 열복사원에 의한 산출식을 정리하여 실측과 함께 피험자를 이용한 인체영향 실험을 한 것이 있지만 직사복사 면적율의 검토 등이 충분하지 못한 결점이 있다. 石井⁵⁾는 주변상황이 다른 2개의 폭로지점을 선택하여 피험자를 이용한 심리반응 실험을 하였는데 이것은 쾌적감, 온냉감 등의 각종 심리감각을 측정하여 기존의 온열환경지표를 이용한 성능시험을 시도한 것인데 옥외에서 인체에 대한 평균복사온도의 산정에 대한 정확성이 부족한 결함이 있다. 한편 加藤⁶⁾는 여름철 온열환경조건과 인체의 생리·심리반응 그리고 시각, 적인 감각까지 포함한 옥외에서의 인체영향실험을 하여 보고한 바 있다.

기존의 연구에서 살펴본 바와 같이 옥외열환경조건이 인체에 미치는 영향에 관한 연구는 아직 초보적인 단계에 있고, 실측데이터도 부족한 상황이다. 특히, 옥외의 일사를 중심으로 한 열복사환경과 인체의 열적 쾌적성과 관련된 연구성과는 거의 찾아 볼 수가 없는 실정이다.

본 연구에서는 暑熱時 녹지공간의 냉각효과에 착안하여 인체 日射열부하의 완화효과 및 열적 쾌적성에 대하여 검토하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

현장 실측기기 확보의 용이성을 고려하여 실험에 앞서, 대구광역시와 인구밀도가 유사한

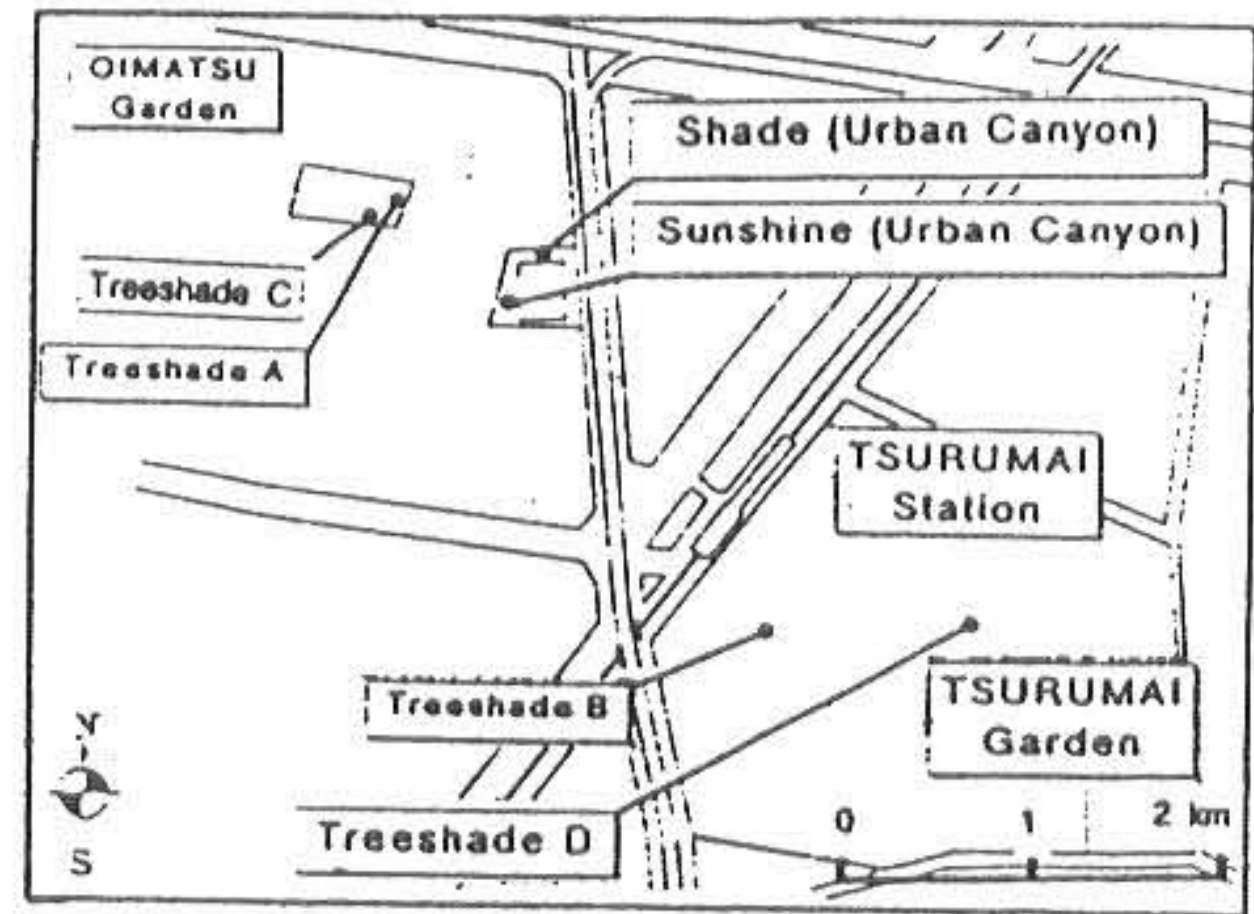


그림 1. 실험장소

일본 N시를 대상으로 하절기 도시기온의 수평적 조사⁷⁾를 실시하였다. 그 결과 시가지보다 비교적 녹지가 많은 도심지에 위치한 H공원, T공원에서 저온역이 관측되었다. 이를 바탕으로 옥외실험은 T공원과, 그 주변 소공원 사이에 위치하고 있는 시가지를 실험대상으로, 수목의 밀도와 도시공간 성질의 차를 고려한 6개소에서 측정을 실시하였다. 그 자세한 개요는 그림1에 나타내었다.

2.2 측정항목 및 측정방법

측정항목 및 방법은 표2에 나타내었다. 옥외환경조건은 기온, 습도, 기류, 수평면전천일사량, 복사수지량, 천공률 및 주위 표면온도 등, 인체열수지에 관련되는 환경요소를 측정하였다.

인체생리반응은 1명의 피험자를 이용하여 舌下溫, 피부온, 착의온을 측정하였다. 피부온은 Hardy-DuBois의 7점을 측정하여 표3과 같은 인체표면적의 안분비율(安分比率)을 곱하여 평균피부온을 구하였다.

또한착의온은 Ramanathan의 4점을 측정하여 표4와 같은 인체표면적의 안분비율을 곱하여 평균착의온을 구하였다. 단 생리반응실험은 8월 26일 녹음(綠陰)B, 8월27일 시가지 일영(日影),

표 2. 측정항목 및 측정방법

	Item	Instrument
Environmental Conditions	Air Temperature	Assmann Psychrometer
	Humidity	Assmann Psychrometer
	Air Velocity	Biran Anemometer
	Surface Temperature	Infra-red Radiation Thermometer
	Globe Temperature	Globe Thermometer
	Global Solar Radition	Pyrradiometer
	Net Radition	Net Pyrradiometer
	Sky Factor	Solid Angle Projection Camera
Physiological Response	Oral Temperature	Thermo-couple(0.2mm diameter)
	Skin Temperature	Thermo-couple(0.2mm diameter)
	Clothing Temperature	Hardy-DuBois 7 point Posterior
		Thermo-couple(0.2mm diameter)
Weight Loss	Ramanathan 4 point Posterior Digital Weight Machine	
Psychological Response	Thermal Sensation Vote	
	Thermal Comfort Vote	
	Cool-Warm Sensation Vote	
	Dry-Wet Sensation Vote	

표 3. hardy-DuBois의 7점법에 의한 인체표면적의 안분비율

Measuring Position	Weighting Coefficient(%)
Forehead	7.0
Abdomen	35.0
Forearm	14.0
Back of Hand	5.0
anterior Thigh	19.0
Shin	13.0
Instep	7.0

표 4. Ramanathan의 4점법에 의한 인체체표면적의 안분비율

Measuring Position	Weighting Coefficient(%)
Breast	30.0
Deltoid Muscle	30.0
Anterior Thigh	20.0
Shin	20.0

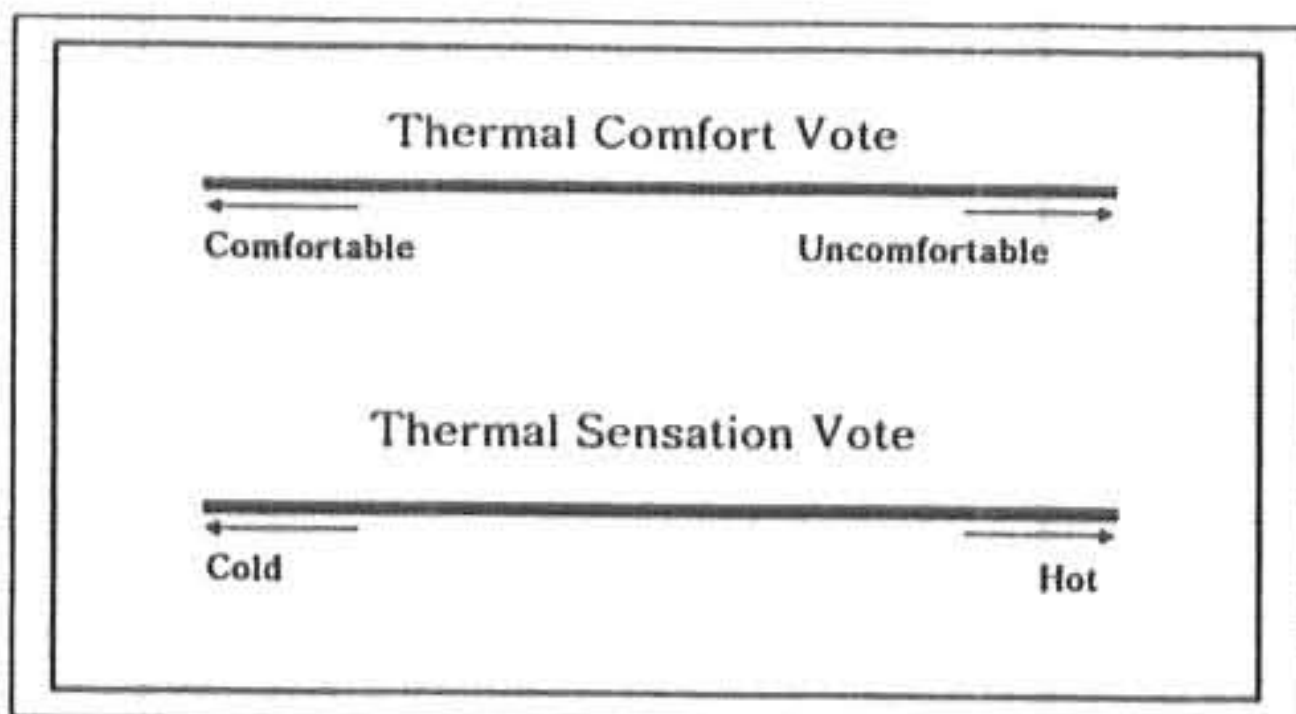


그림 2. 온냉감·쾌적감의 직선평정척도

8월28일 녹음C, 모두 3지점에서 이루어졌다.

심리반응은 온냉감, 쾌적감, 난량감(暖涼感)을 그림2와 같은 직선평정척도를 이용하여 측정하였다. 온냉감은 “춥다”의 극한을 0, “덥다”의 극한을 100, 쾌적감은 “쾌적하다”의 극한을 0, “불쾌하다”의 극한을 100으로 한 임의척도로 하여 수치로 환산하였다.

심리피험자는 건강한 청년남녀로서 1일 평균 10명으로 하였다. 또한 조사지점의 수목의 번무(繁茂)상황에 대하여서는, 직선평정척도를 이용하여 피험자에게 수목율(trees ratio)을 판단시켰다. 단, 수목율은 피험자가 느끼는 수목의 양으로 하고, 온냉감과 마찬가지로 수목이 전혀 없는 경우를 “적다(少)”의 극한 0, 수목이 완전히 둘러싸여 있는 경우를 “많다(多)”의 극한 100으로 한 임의척도로 하여 피험자에게 신고를 받아 수치로 환산하였다. 그 얻어진 결과를 그림3에 나타내었다.

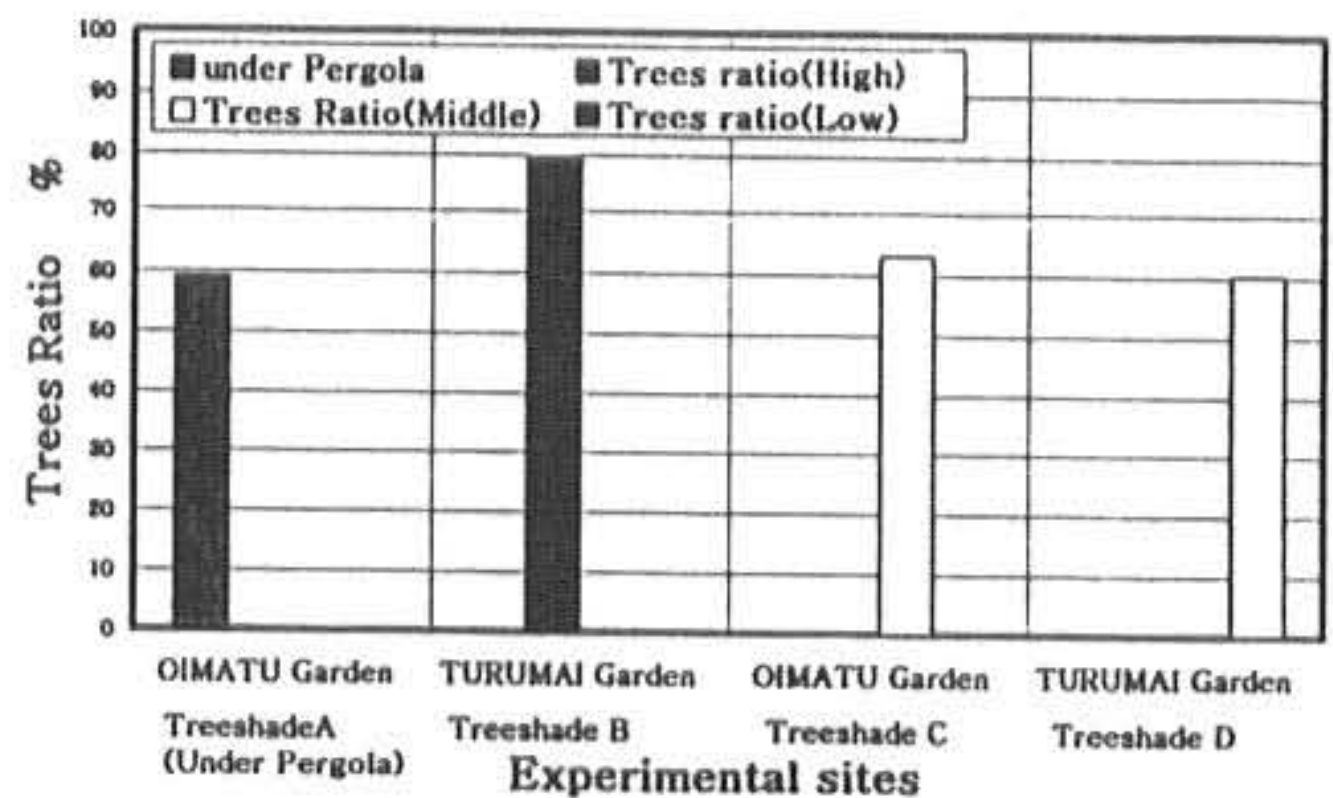


그림 3. 각 녹음지점에 있어서 피험자판단에 의한 수목율

이하에서는 O 공원의 퍼골라(pergola) 밑을 제외한 緣陰지역을 피험자 신고치에 따라서, 수목율 高, 中, 低로 표기하기로 하였다.

피험자의 착의조건은 하절기 평균착의상태(반소매셔츠 + 바지 + 내의 + 양말 + 신발)로 하였다. 인체의 체표면적은 Hardy- DuBois식을 이용하여 산출하였다.

2.3 실험스케줄

실험스케줄은 그림4에 나타내었다. 각실험은 1일 1개소, 최고기온의 출현이 예상되는 일중(日中) 1시간(14:00-15:00)에 대하여 측정하였다. 미리 피험자를 일정한 온·습도(26℃, 50±

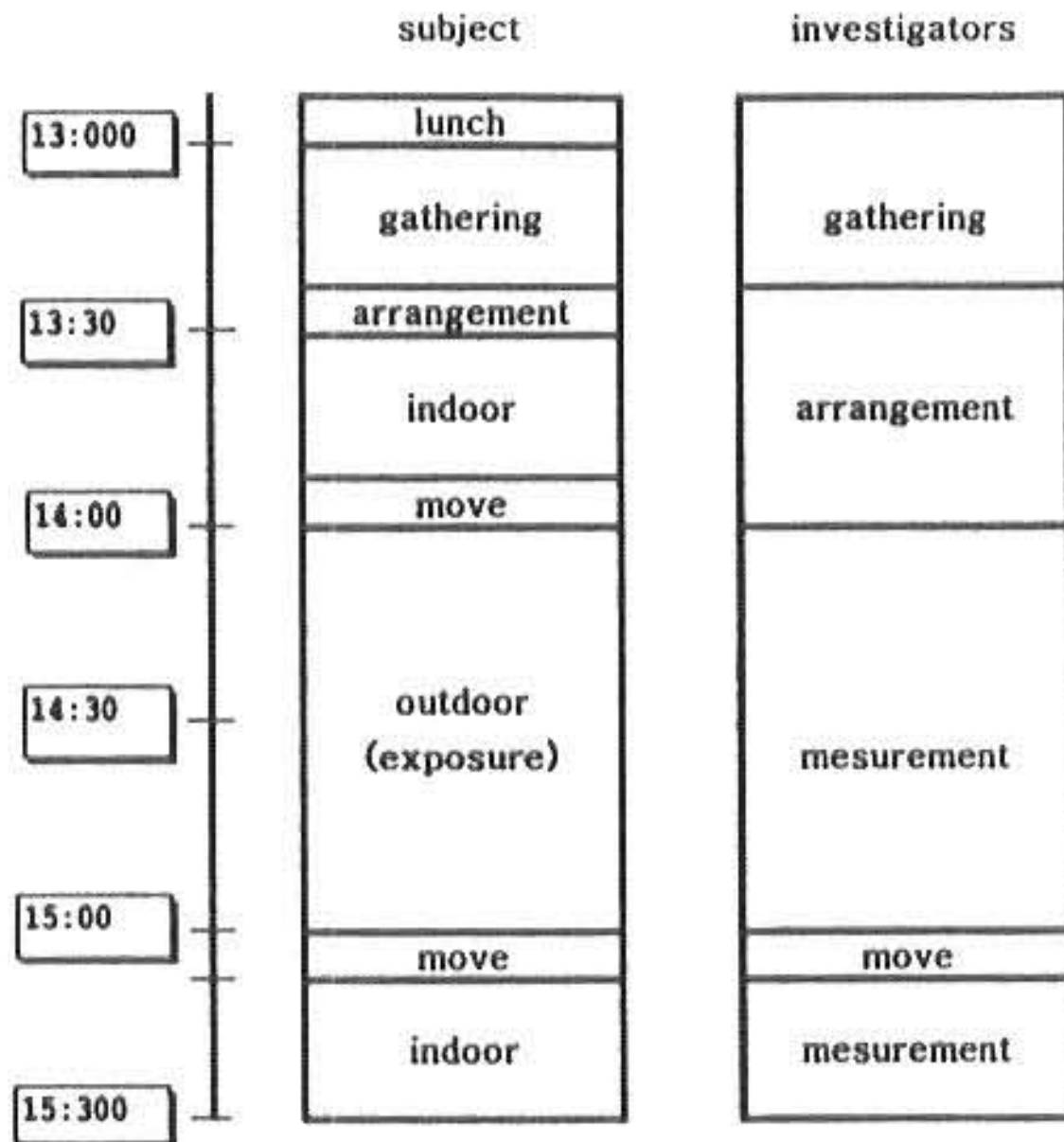


그림 4. 옥외실험 스케줄

10%)하의 실내에서, 20분간 의자에 앉은 상태에서 안정을 시킨 후, 자동차를 이용하여 옥외 폭로지점으로 이동하였다.

폭로지점에서 피험자를 서있는 상태로 60분간 폭로시켰다. 환경조건은 5분간격으로 측정하였으며, 심리반응 신고는 15분 간격으로 하였다. 설하온, 피부온 그리고 착의온은 5분간격으로 측정하였다. 실험전후에는 피험자의 체중을 측정하였다.

3. 인체 입사 경로별 복사열량 산정

인체에 입사하는 경로별 복사열량의 산정은 측정된 온열환경요소와, 인체복사열수지식을 세

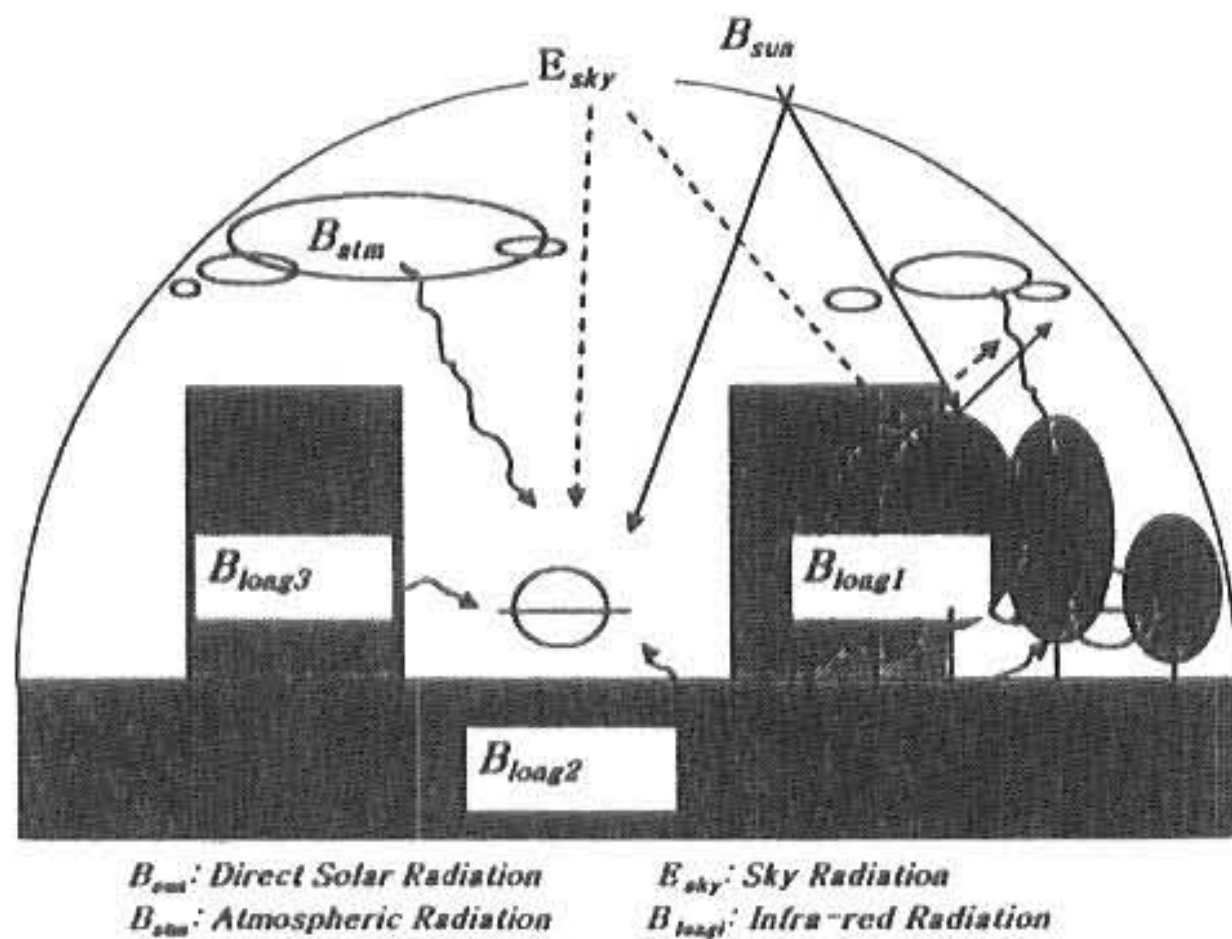


그림 5. 건축외부공간에 있어서 인체복사열수지 모식도⁷⁾

위, 인체의 일사열부하 및 온열환경지표를 구하였다. 그림5에 模式圖를 나타내었다.

옥외공간에서의 복사열수지식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

3.1 직달일사량(B_{sun})

직달일사량 B_{sun} [W/m^2]은 전천일사량관측치로부터 直散分離를 행하여, 다음 (1)식으로 구하였다.

$$B_{sun} = I_{dn} F_p \quad (1)$$

여기서

I_{dn} : 법선면 직달일사량 [W/m^2]

F_p : 인체로의 직사복사면적율⁸⁾

3.2 확산일사량(E_{sky})

확산일사량 E_{sky} [W/m^2]는 식(2)와 같다.

$$E_{sky} = I_{dht} \psi_{sky} f_{eff} \quad (2)$$

여기서

I_{dht} : 수평면 확산일사량 [W/m^2]

ψ_{sky} : 천공율 [n.d]

f_{eff} : 인체유효복사면적율 [n.d]

3.3 대기복사량(B_{atm})

지상부근의 기온과 수증기압에서 구한 Brunt의 실험식⁹⁾에 雲量의 영향을 고려, 외기건구온도와 지표면온도가 같다고 가정, 대기복사량 B_{atm} 을 식(3)(4)로 계산하였다.

$$B_{atm} = \{(1-0.84)B_r + 0.84c\} \sigma \psi_{sky} (t_a + 273.15)^4 f_{eff} \quad (3)$$

$$B_r = 0.51 + 0.209\sqrt{e} \quad (4)$$

여기서

σ : Stefan-Boltzmann 정수 ($=5.67 \times 10^{-8} [W/m^2K^4]$)

c : 운량 ($=0 \sim 1$ [n.d])

e : 수증기압 [kPa]

3.4 장파장복사량 (B_{long})

복사수지계에 의한 측정치로부터 복사열수지식을 이용하여 장파장복사량 B_{long} [W/m^2]을 식(5)와 같이 산출하였다.

$$B_{long} = R_{net} - (B_{sun} + E_{sky} + B_{atm}) \quad (5)$$

여기서

R_{net} : 복사수지계에 의한 측정치 [W/m^2]

확산성열복사의 인체수열량의 산정에는 인체의 유효복사면적을 f_{eff} 로서 土川¹⁰⁾에 의한 값 0.80을 곱하였다.

3.5 인체의 복사열수지

최종적으로 인체의 복사열수지 Q [W/m^2]는 식(6)으로 구하였다.

$$Q = a_{long} (B_{long} + B_{atm}) + a_{short} (E_{sky} + B_{sun}) - \epsilon_s \sigma (t_s + 273.15)^4 \quad (6)$$

여기서

- Q : 인체의 복사열수지량[n.d]
- a_{long} : 장파장 복사흡수율[n.d]
- a_{short} : 단파장 복사흡수율[n.d]
- ϵ_s : 인체표면의 복사율[n.d]
- t_s : 인체의복표면온도[$^{\circ}C$]

유효복사장 ERF[W/m^2]은, 인체의 의복표면 온도 t_s 를 외기온과 같다고 가정하여, 인체의 복사열수지식에 있어서 t_s 를 기온 t_a [$^{\circ}C$]와 바꾸어서 구하였다. 또한 작용온도OT[$^{\circ}C$]는 식(7)에 의해 구하였다.

$$OT = t_a + ERF/h \quad (7)$$

여기서,

h : 인체의 종합열전달율[$W/m^2^{\circ}C$]

인체의 대류열전달율 h_c [$W/m^2^{\circ}C$]과 복사열전달율 h_r [$W/m^2^{\circ}C$]은 堀越의 식¹¹⁾을 이용하였다.

$$h_c = 12.2 V^{0.66} \quad (8)$$

$$h_r = 5.1 \quad (9)$$

여기서

V : 풍속 [m/s]

天空率에 대하여서는 立體角投射法則에 근거

표 5. 각 실험지점의 천공율

Experimental Sites	Sky Factor
Treeshade A (Under Pergolar)	0.295
Sunshine (Urban Canyon)	0.563
Treeshade B(High Trees Ratio)	0.105
Shade (Urban Canyon)	0.554
Treeshade C (Middle Trees Ratio)	0.160
Treeshade D (Low Trees Ratio)	0.412

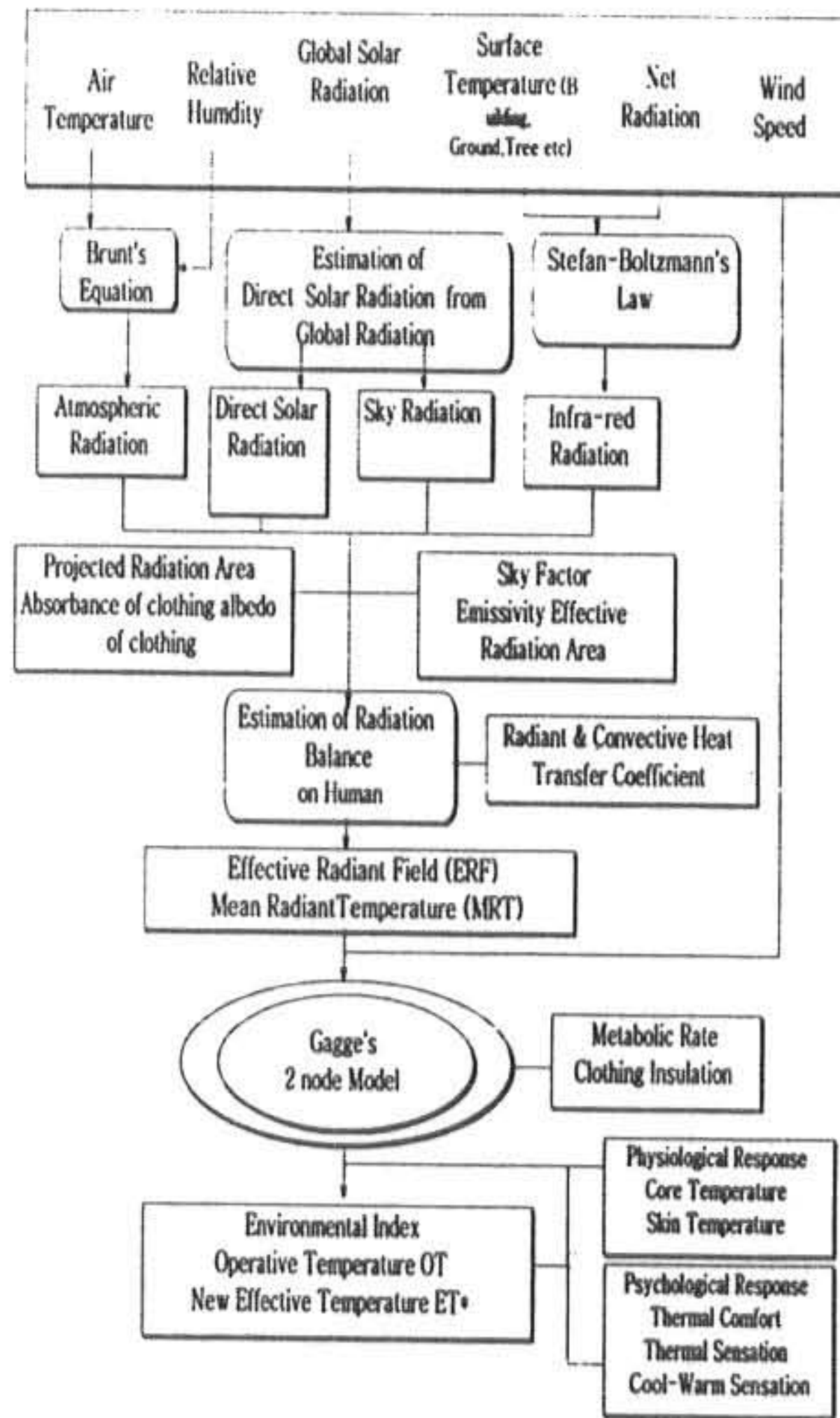


그림 6. 온열환경지표 계산 flow chart

하여, 正射影魚眼렌즈(OP Fisheye-Nikkor $f = 10mm$ 1:5.6)를 이용한 사진법¹²⁾으로부터 필립 면상에 투영된 원의 면적에 대한 天空部 면적 비의 계측으로부터 직접 구한 결과를 표 5에 나타내고 있다. 옥외 각 폭로지점에서 천공율은 시가지 일향(日向), 일영지역 모두 0.5 이상의 값을 보였으며, 녹음지역은 수목율이 높을수록 천공이 낮아지는 경향을 나타내었다.

신유효온도 ET^* 는 상기의 데이터를 이용하

여 Gagge 등의 2-node Model¹³⁾을 이용하여 산출하였다.

지금까지의 산출과정을 흐름도(flow-chart)로 나타내면 그림6과 같다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 실험일 기후조건 경시변화

각 실험일의 기후조건 경시변화를 그림7에 나타내고 있다. 기온은 $32 \pm 2^\circ\text{C}$ 정도였다. 상대 습도는 녹음 B, C에서는 70~80%의 높은 값을 나타내고 있으나 시가지에서는 약 55%전후의 값을 나타내고 있다. 풍속은 시가지 일영이 전반적으로 높은 값을 나타내고 있다.

수평면전천일사량은 당연히 시가지 일향이 높은 값을 나타냈지만 실험 30분 경과후, 구름으로 인하여 $700\text{W}/\text{m}^2$ 에서 $200\text{W}/\text{m}^2$ 정도까지 하강하였다. 또한 녹음 B에서는 일사계에 잎새의 틈사이로 입사되는 복사열량의 영향이 관측되었다.

4.2 인체에 입사하는 경로별 복사열량

동일한 온열환경조건이 아니므로 각 실험일의 복사열량을 통일성을 갖고 실행하기 위하여, 각 실험일의 N市 기상대의 수평면전천일사량 관측데이터를 1로 기준화하여, 인체의 전복사열량에 차지하는 경로별 복사열량의 구성비율을 구한 결과를 그림8에 나타내고 있다.

전복사열량은 시가지를 제외한 녹음지역의 장파장복사량의 비율이 높은 경향을 보였다. 또한 녹음지점의 대기복사량의 비율이 시가지보다 낮은 값을 나타내었다. 시가지 일향에서는 당연히 직달일사량의 구성비율이 다른 지점보다 높은 반면, 녹음지점은 B지점 이외에 거의 없었다. 시가지 일영에서는 건물에 의한 차폐 때문에, 직달일사량은 없지만, 확산일사량이 차지하는 비율이 전복사열량에 대하여 높은 값을 나타내었다. 각 폭로지점에서 인체에 입사하는 경로별 복사열량 비율은 시가지는 단파장 성분, 녹음에서는 수목 등에 의한 장파장 성분의 복사열량이 크다. 이 값은 차폐의 유무에 의한 하향복사열량의 차이와 천공율과 밀접한 관계가 있다고 생각된다. 시가지 일향은 직달일사

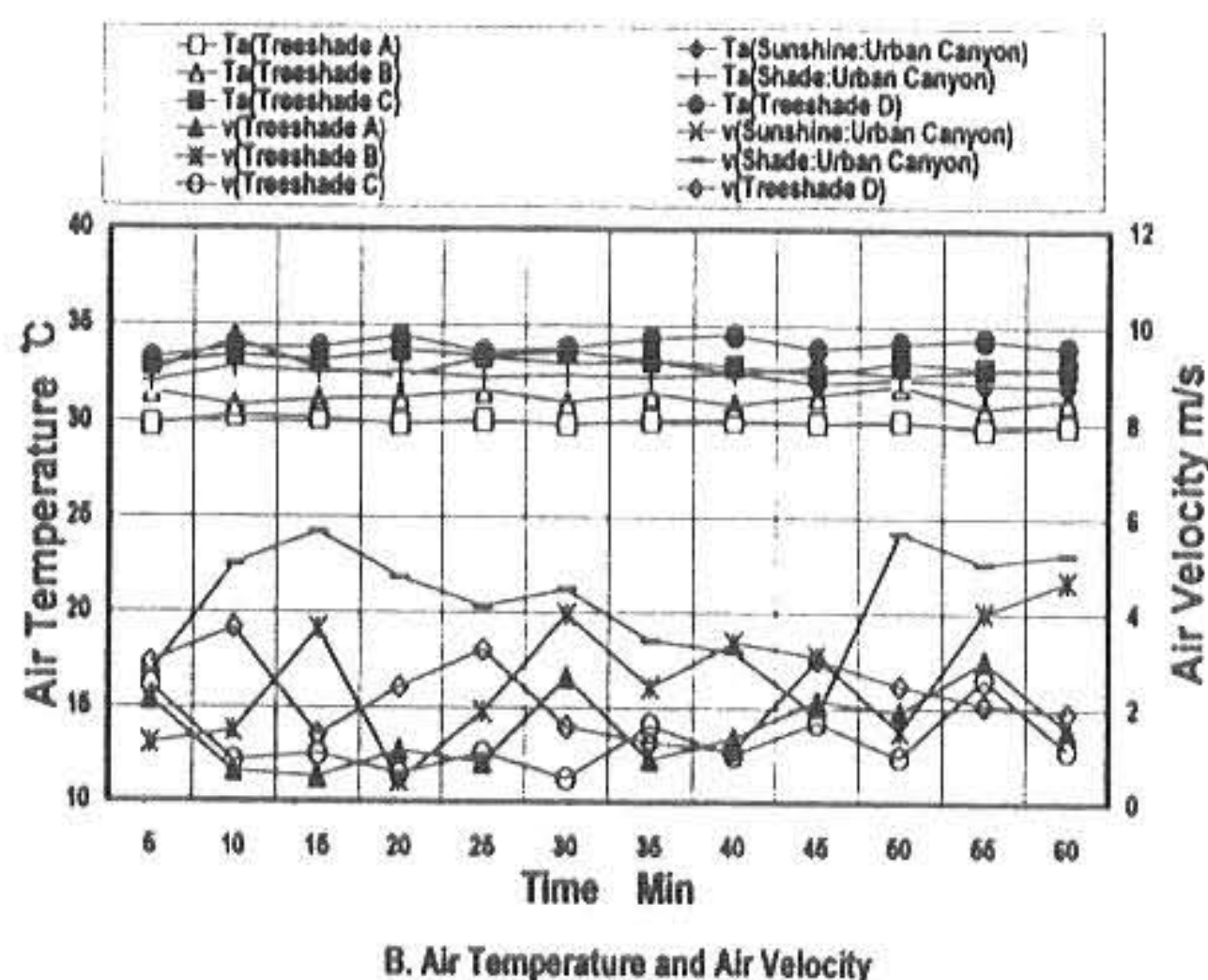
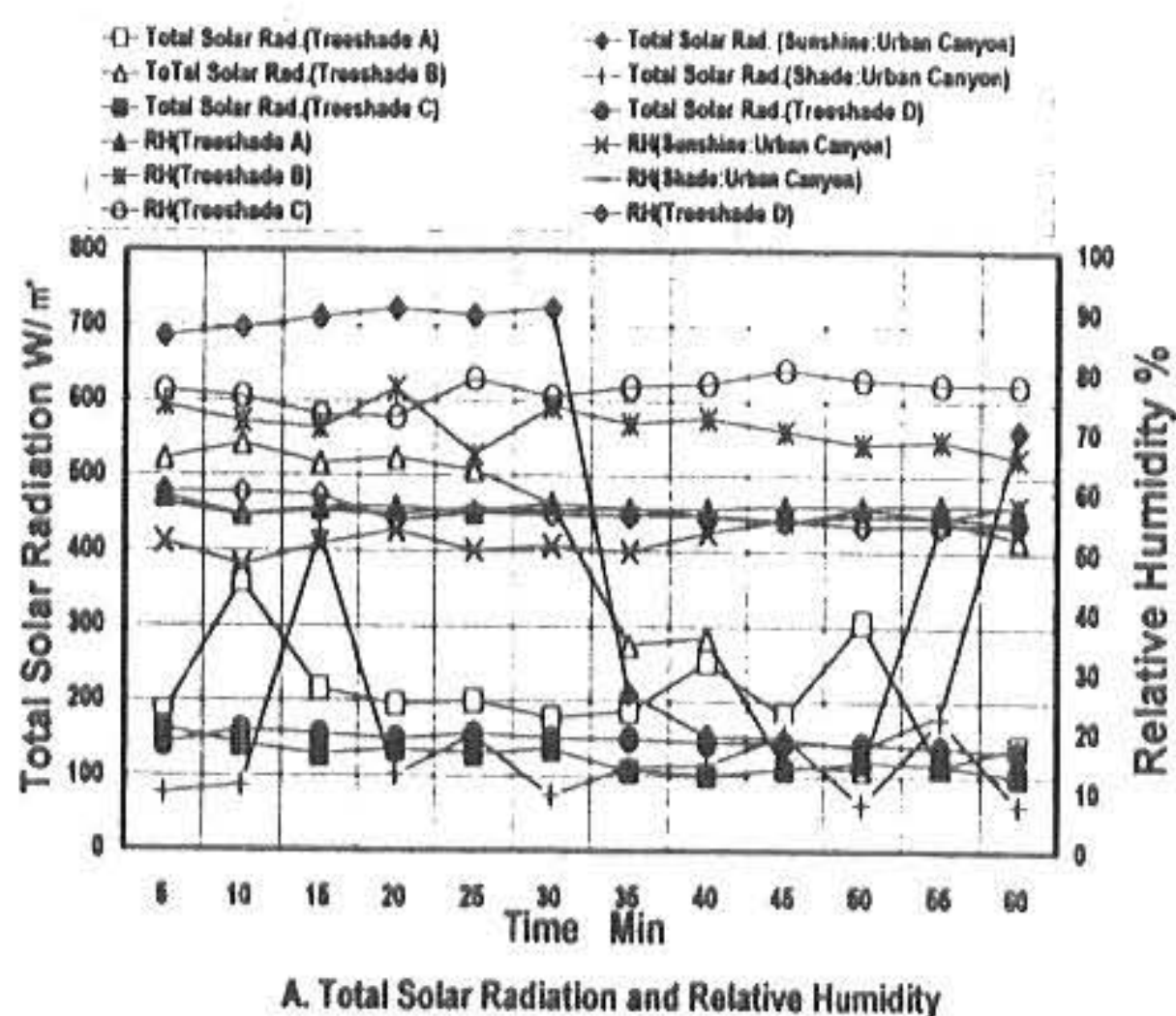


그림 7. 각 실험일에 있어서 기온, 습도, 기류, 수평면전천일사량의 경시변화

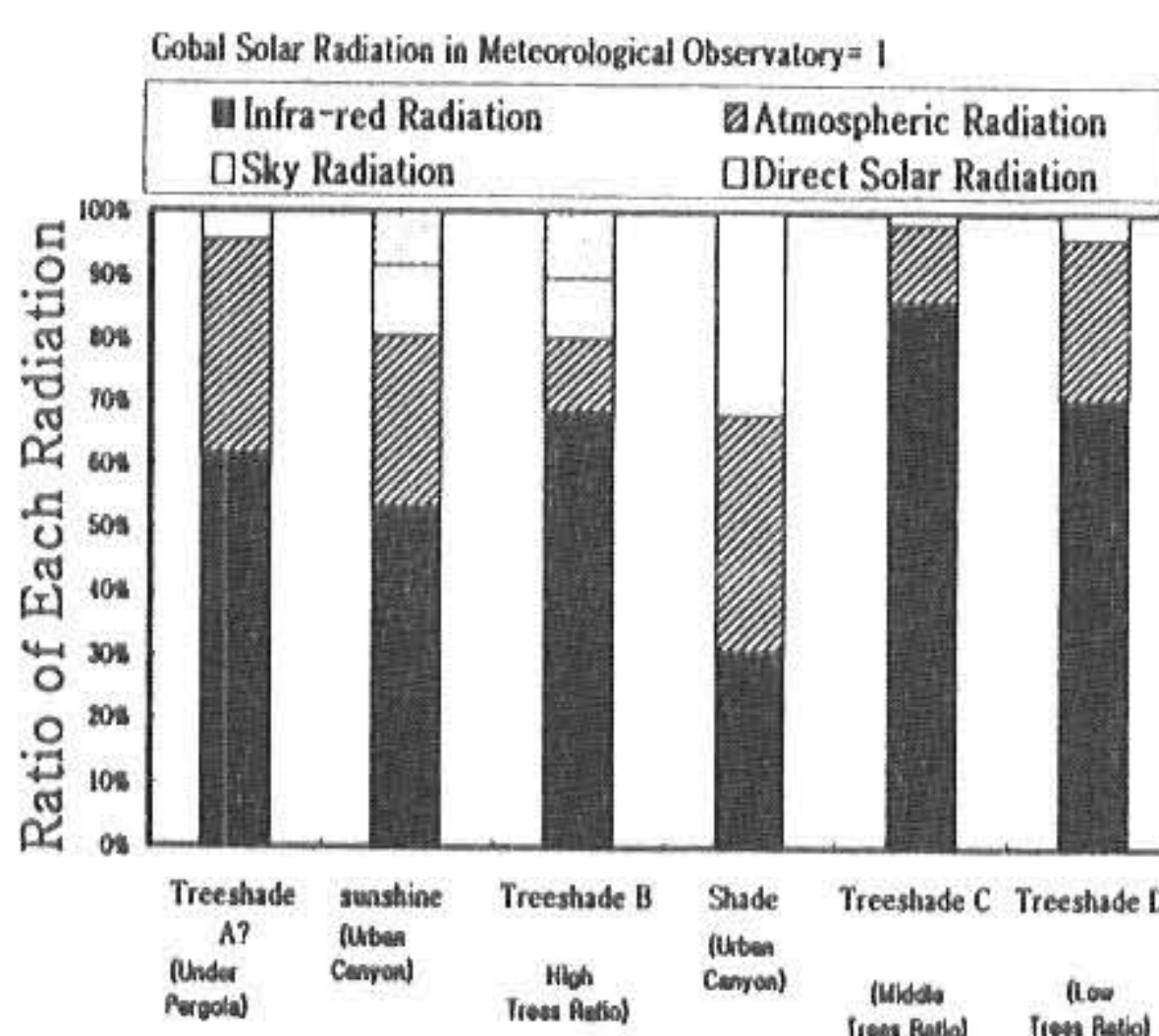


그림 8. 인체로 입사하는 경로별 복사열량의 구성비율

가 입사하고 천공율도 녹음지점보다 크기 때문에 인체에 단파장수열량의 영향이 크다. 그러나 시가지 일영은 천공율이 시가지 일향과 거의

같은 값임에도 건물에 의한 직달일사의 차폐효과가 있기 때문에 직달일사량이 직접 인체에 닿지 않는 대신, 확산일사량이 상대적으로 크게 된다.

4.3 유효복사량의 경시변화

경로별 복사열량에서 구한 유효복사량 ERF를 그림9에 나타내고 있다. 시가지 일향보다 직달일사가 차폐된 폭로지점의 유효복사량의 값이 낮다.

수목율이 낮을수록, 유효복사량은 값이 작아졌다. 이것은 인체에 입사하는 경로별 복사열량에서와 마찬가지로 천공율의 大小에 따른 하향 복사열량의 차에 의한 것으로 생각된다. 시가지 일향에서는 수평면전천일사량의 관측결과에서도 알 수 있듯이, 구름에 인한 유효복사량 ERF가 낮은 값으로 떨어졌다. 이와같이 옥외공간에 있어서 유효복사량 ERF는 일사성분중 직달일사와 같은 단파장 성분의 영향이 크게 미치고 있음을 알 수 있다.

4.4 평균피부온과 舌下溫의 경시변화

그림10에 평균피부온과 설하온의 시간적 변동을 나타내었다. 설하온은 36~37℃의 값을 가르고 있다. 평균피부온은 녹음C의 경우 35℃를 조금 넘으며, 시가지 일영의 경우 34.8℃전후, 그리고 녹음B의 경우 34~34.5℃ 사이에 있다. 수목율 中, 시가지 일영, 수목율 高의 순으로 평균피부온이 낮아지는 경향을 보이고 있다.

4.5 심리감의 누적빈도분포

누적빈도분포를 이용 분석한 결과를 그림11에서 13까지 나타내고 있다. 그림11에서 y축은 빈도수, x축은 데이터 구간으로 직선평정척도에서 얻어진 심리감 데이터를 수치로 환산한 후 10등분으로 분류하여 비교하였다. 온냉감은 시가지 일영과 녹음 B와 C에서 열적 중성(50±5) 보다 조금 높은 51~70을 중심으로 한 분포가 보였지만, 낮은 수목율을 나타내는 녹음 D와 시가지 일향에서는 각각 녹음 B, C보다 높은 81~90, 71~80으로 덥다는 측에 분포해 있다. 쾌적감은 온냉감과 다르게 양쪽으로 누적되는 분포를 나타내고 있으나, 수목율이 가장 높

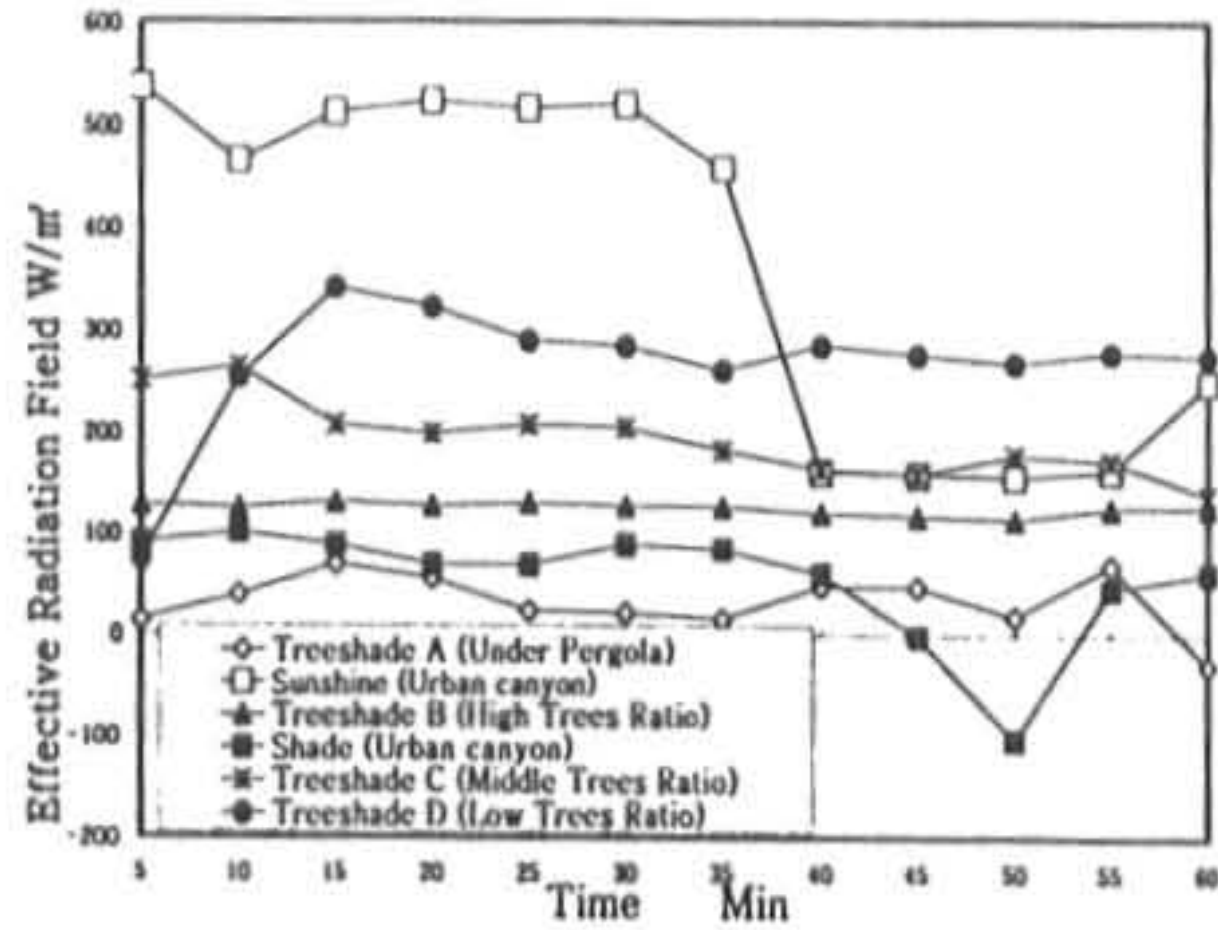


그림 9. 유효복사량ERF의 경시변화

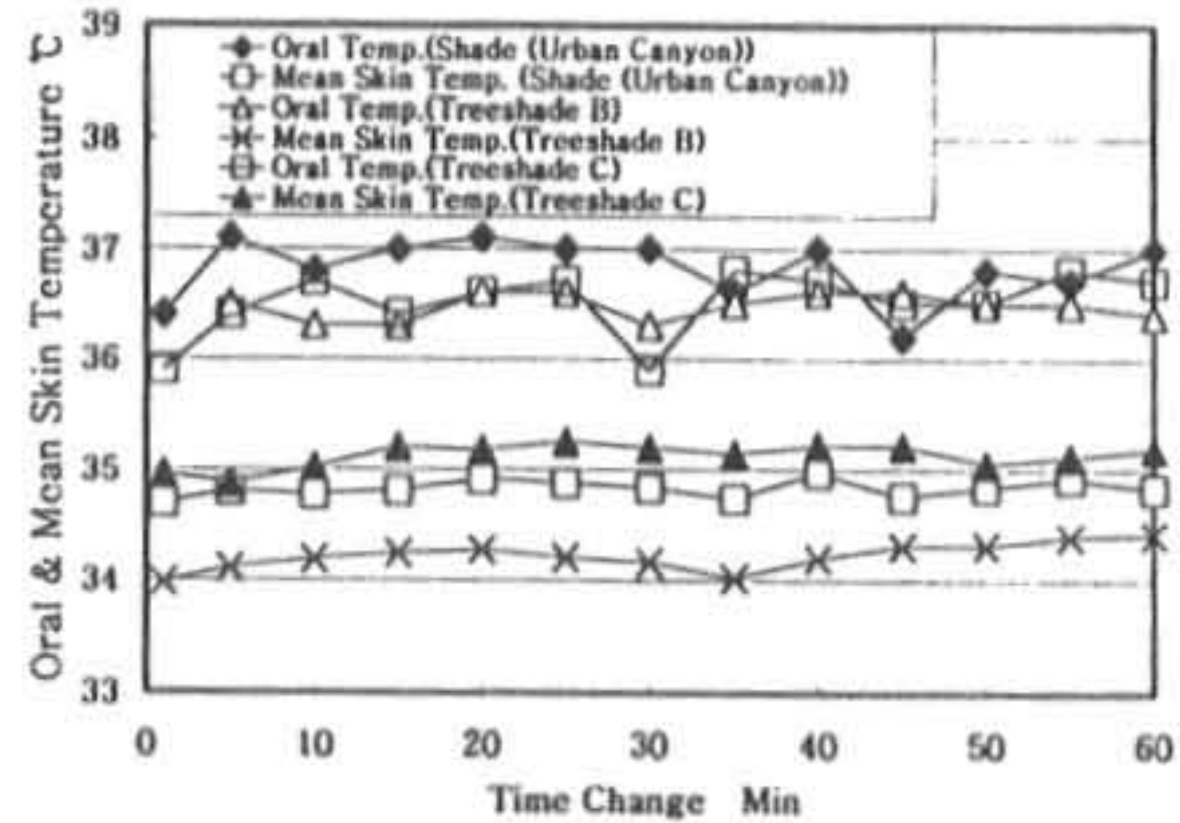


그림 10. 평균피부온과 설하온의 경시변화

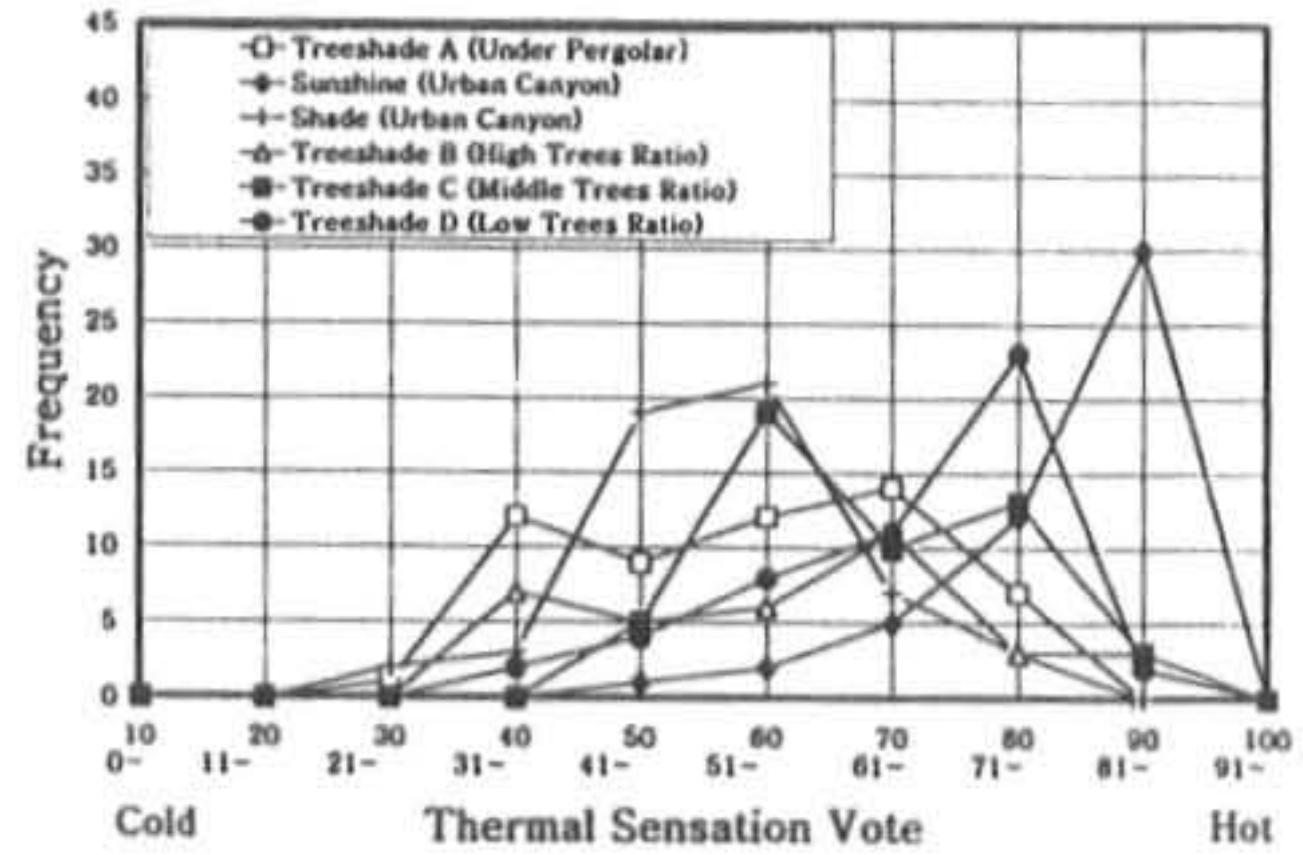


그림 11. 온냉감의 누적빈도분포

은 지역인 녹음 B에서는 쾌적측인 빈도분포치 11~20 사이의 쾌적측에 가장 많은 신고경향을 보인 반면, 시가지 일향은 불쾌측인 81~90 사이에 가장 많은 값을 나타내었다. 그리고 수목율 中으로 신고한 녹음 C에서는 51~60사이에, 수목율 低로 신고한 녹음 D는 61~70사이로, 수목율 中인 녹음 C와 시가지 일향 사이에 위치하고 있다.

그러나 시가지 일영에서는 전체적으로 고른

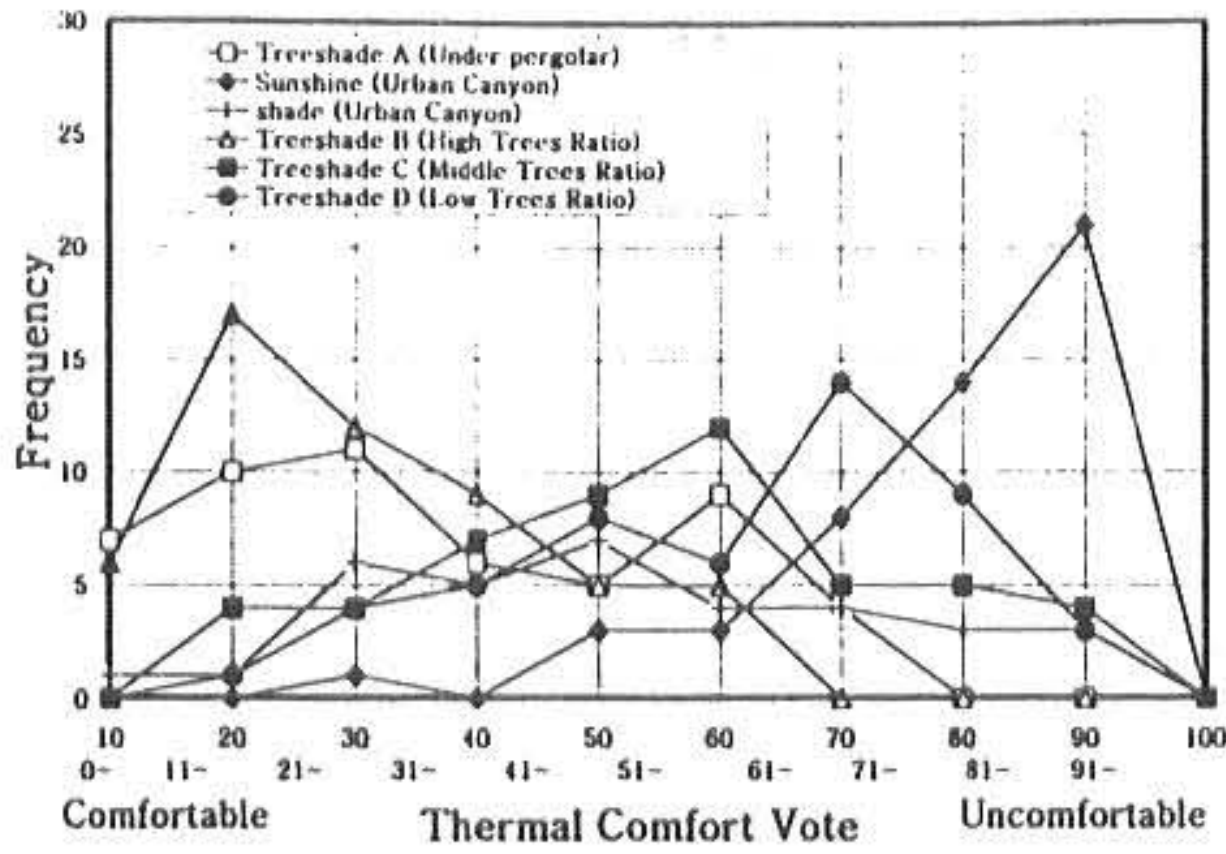


그림 12. 쾌적감의 누적빈도분포

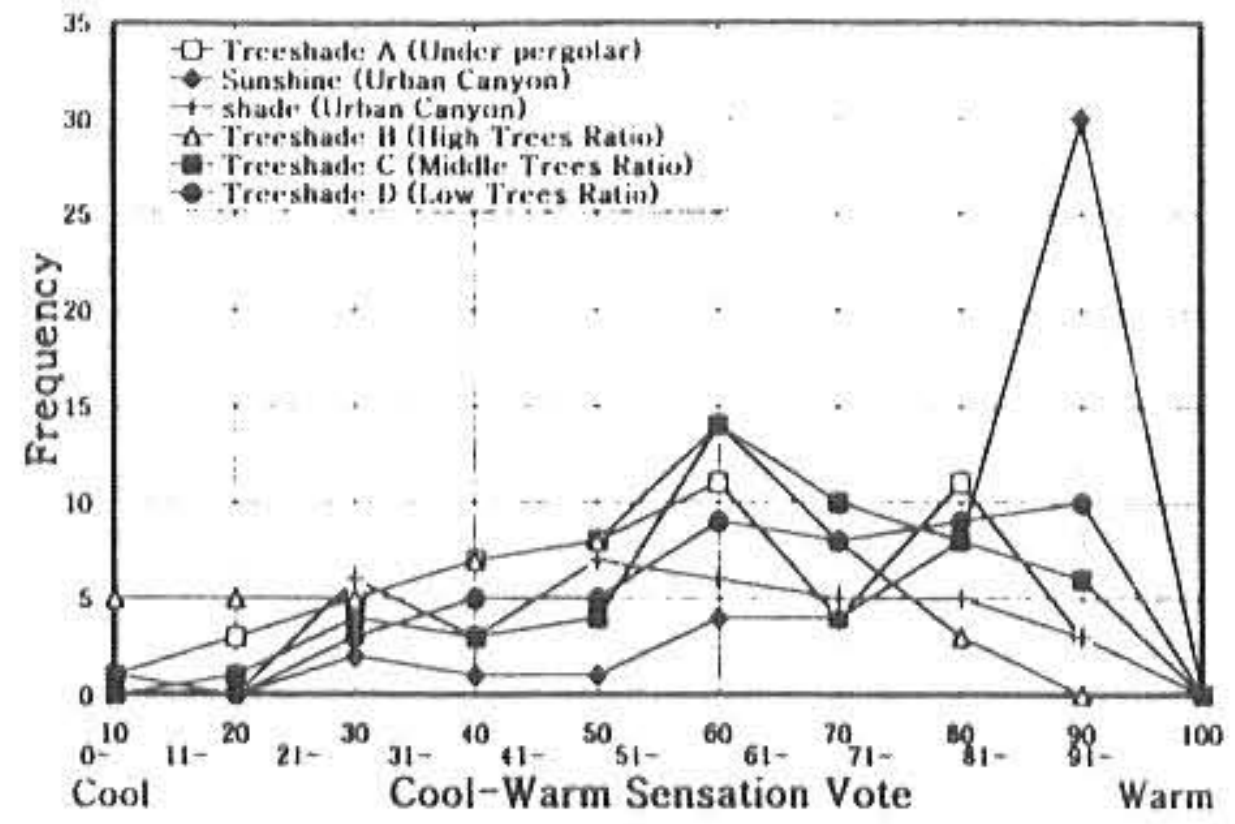


그림 13. 난량감의 누적빈도분포

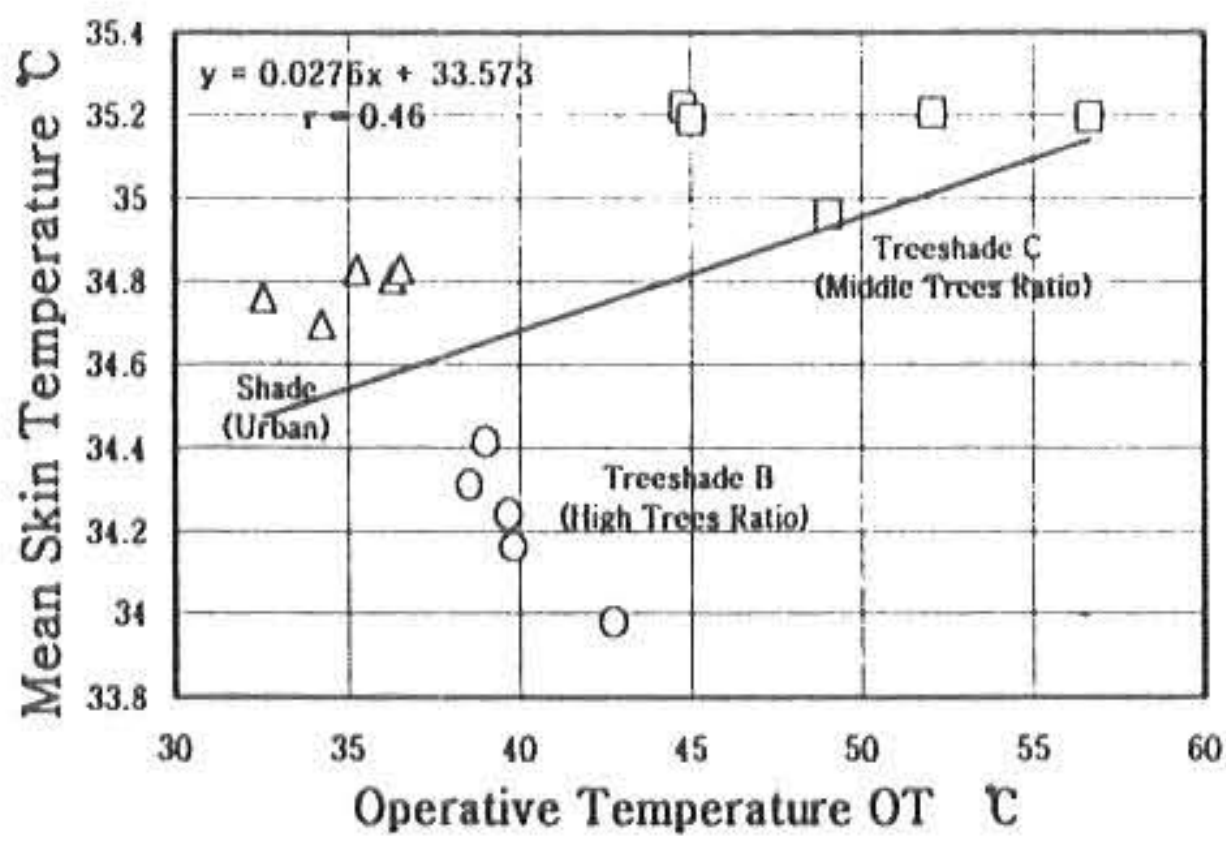


그림 14. 작용온도OT와 평균피부온과의 관계

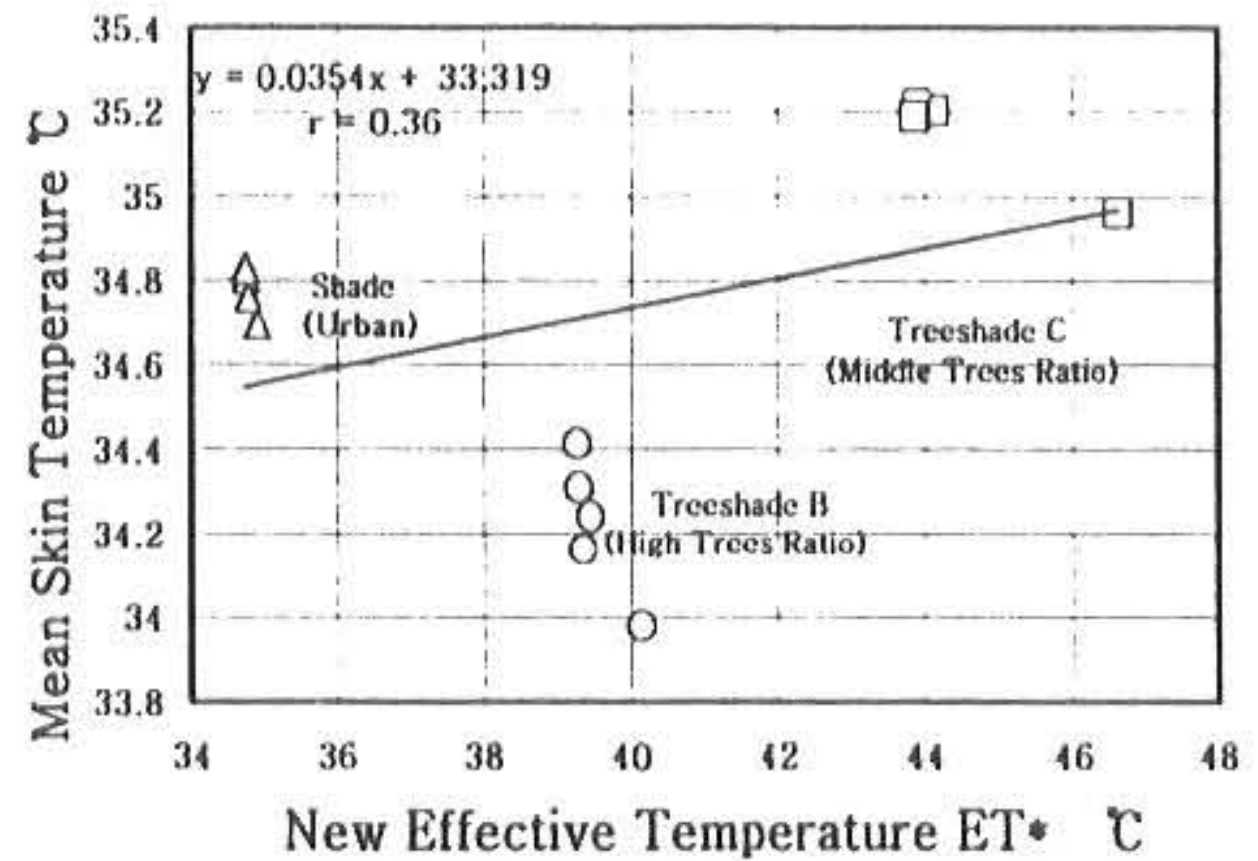


그림 15. 신유효온도ET*와 평균피부온과의 관계

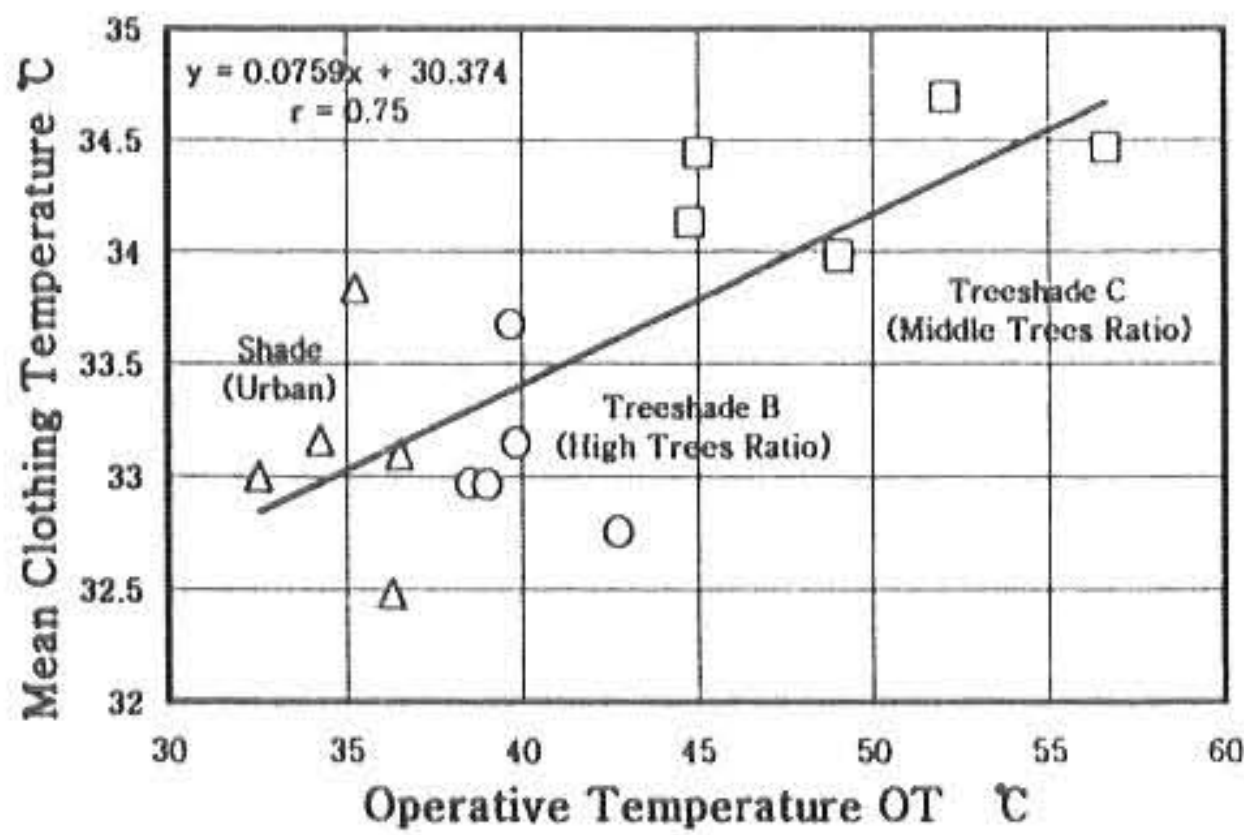


그림 16. 작용온도OT와 평균의복온와의 관계

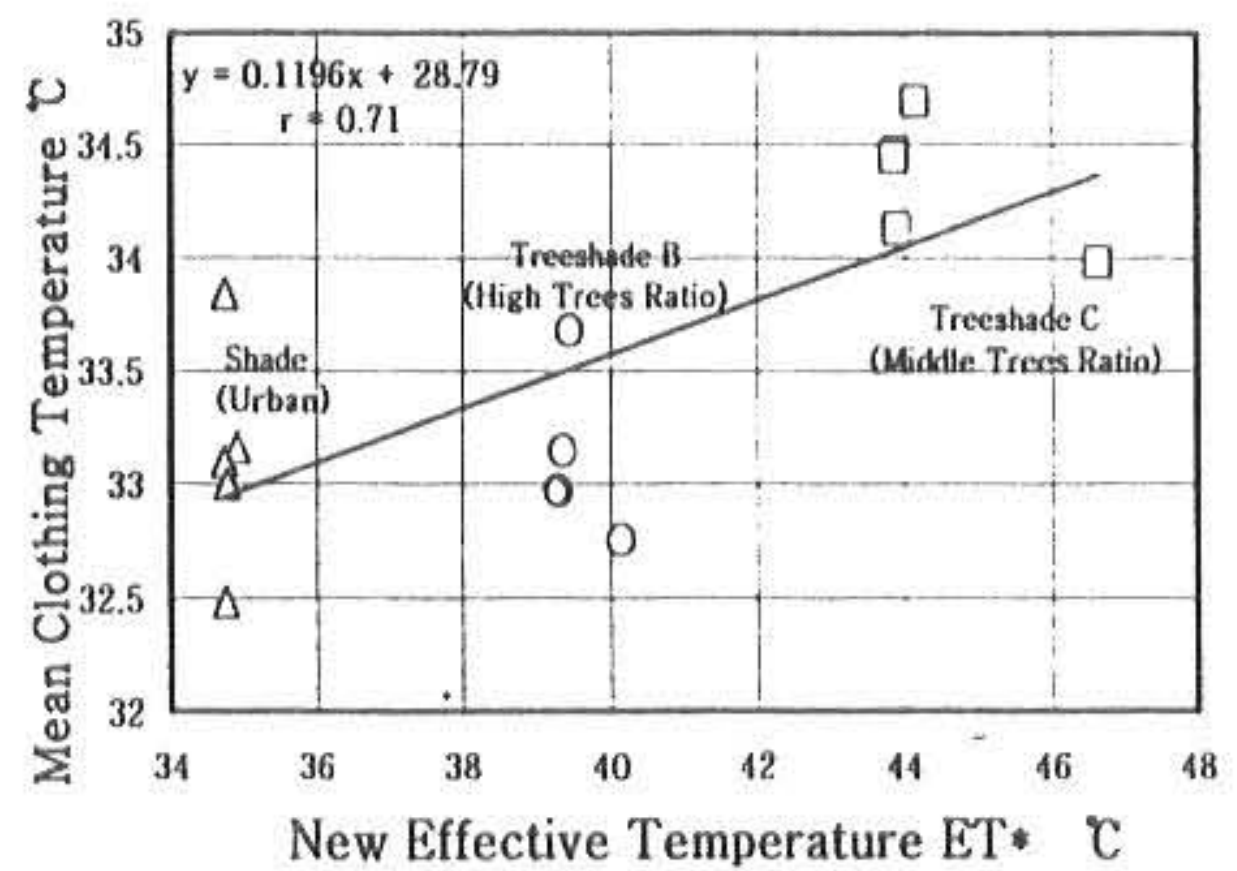


그림 17. 신유효온도ET*와 평균의복온와의 관계

분포를 보이고 있다. 이와 같이 시가지 일향보다 수목 등에 의해 일사가 차폐되는 공간이 수목율이 높을수록 심리적 인 열완화효과가 큰 것으로 나타나고 있어 천공율의 대소에 따른 하향 복사열량의 차가 인체의 심리적인 열완화 효과의 세기에 영향을 미치고 있음이 상기의 인체의 복사열수지면에서 이를 뒷받침하고 있다.

난량감(暖凉感)은 온냉감과 조금 다른 경향을 보이고 있다. 시가지 일향에서는 따뜻한 쪽인 데이터구간 81-90 사이의 빈도가 높은 신고경향을 보이고, 수목율이 높은 녹음 B는 시원한 측의 1에서 10과 11-20사이에서 각각 5개의 빈도가 분포되어 있다. 이는 수목 틈사이로 불어오는 기류, 또는 시각적인 환경 등에 의한 영향으로 생각할 수 있겠으나, 추후 검토가 더 필요

할 것으로 생각된다.

4.6 작용온도OT · 신유효온도ET*와 평균 피부온과의 관계

그림14에 작용온도 OT와 평균피부온과의 관계를 나타내고 있다. 녹음지점은 수목율이 낮을수록 작용온도OT가 높으며 평균피부온도 높아지는 경향을 보인다. 그러나 시가지 일영의 작용온도 OT는 녹음 B보다는 낮지만 평균피부온은 높은 값을 나타내고 있다. 그림15에 신유효온도 ET*와 평균피부온과의 관계를 나타내고 있다. 작용온도 OT의 경우와 같은 경향을 나타내고 있다. 즉, 녹음에 의한 일사의 차폐효과가 높을수록 체감온도가 떨어진다. 또한 시가지 일영지점이 비록 수목율이 높은 녹음지점보다 작용온도 OT가 낮더라도 피부온은 높다. 반대경향을 나타내고 있는데, 이는 인체의 심리적인 면뿐만 아니라, 생리적인 면에서도 시가지 일영보다 녹음에 의한 서열(暑熱) 완화효과가 높은 것으로 추정된다. 녹음에서의 복사량추정에 대해서는 잎의 틈새영향 등의 검토가 더 필요하다고 생각한다. 이처럼 시가지 일영의 심리·생리반응은 녹음지점과 반드시 대응하지는 않는다. 이것은 加藤 등⁶⁾의 지적과 동일한데 옥외공간은, 비교적 안정된 실내환경과 비교해 변동을 동반한 복잡한 영향이 있으며, 옥외에서는 온냉감과 같은 단순한 열적작용에 대한 심리반응뿐만 아니라 시각적 영향과 같은, 다른 작용요인의 영향이 포함되어 있어, 그것들의 영향을 받은 것으로 생각된다.

4.7 작용온도OT* · 신유효온도ET*와 평균 착의온과의 관계

그림16에 작용온도 OT와 평균착의온과의 관계를 나타내고 있다. 작용온도 OT가 상승함에 따라 평균착의온도 상승한다. 양자 사이에는 평균피부온과의 관계보다 높은 상관관계가 인정된다. 그림17에 신유효온도 ET*를 이용하여도 작용온도 OT와 비슷한 경향을 보이고 있다. 인체의 열수지와 일사를 고려한 작용온도 OT, 신유효온도 ET*는 피부온보다 착의온에 대해 상관성이 높다. 이것은 의복이 피부보다 주변환경과 직접 접한 온도이기 때문이라고 생각한다.

옥외공간에서의 일사를 고려한 작용온도 OT, 신유효온도 ET*는 옥외공간에서의 체감기후평가지표로서 적용가능성이 높아졌지만 금후 더 많은 기초데이터의 축적이 필요하다고 생각한다.

5. 결론

본 연구는 인체의 熱收支를 근거로 日射를 고려한 복사열 부하를 산정하여 온열환경지표를 구하고자 한 것이다.

이를 위하여 인체의 生理·心理반응을 통한 검증과 체감기후 비교를 통하여 日射열 부하가 인체의 열적쾌적성에 미치는 영향과악을 시도하였다.

그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 인체의 경로별 복사열량의 경우, 시가지는 단파장성분이 크고 녹음에서는 장파장 성분이 크다. 이것은 차폐유무에 의한 하향 복사열량의 차이 및 천공율과 밀접한 관계가 있음을 나타낸다.

(2) 온냉감의 경우, 시가지 일향과 수목율이 낮을수록 더운쪽 반응에 많이 분포해 있고 높을수록 열적 중성 빈도분포가 높았다.

(3) 쾌적감의 경우, 수목율이 높은 녹음지역에서는 쾌적측, 직달일사가 입사하는 시가지 일향에서는 불쾌측 빈도분포가 높았다.

(4) 인체 열적쾌적성의 경우, 시가지 일향보다 수목 등에 의해 일사가 차폐되는 공간과 수목율이 높을수록 심리적인 열완화 효과가 큰 것으로 나타났다. 천공율의 대소에 따른 하향 복사열량의 차가 인체의 심리적인 열완화효과에 영향을 미치기 때문이며 인체의 복사열수지 면에서도 이를 뒷받침 하였다.

(5) 인체심리반응뿐만 아니라 피부온 반응에서도 시가지 일영보다 녹음에 의한 暑熱완화효과가 높은 것으로 판명 되었다.

(6) 옥외공간에서의 체감기후평가지표로서 인체열수지를 근거로 산출된 일사를 고려한 작용온도 OT, 신유효온도 ET*는 인체의 심리·생리적 반응과도 잘 대응하고 있어 적용가능성이

높아졌다.

금후의 과제로, 열평형식에 근거하여 인체모델을 이용한 옥외 열환경해석법 개발과, 습도 및 착의 영향 고려, 더많은 인체반응실험을 통한 검증 등의 지속적인 기초자료축적이 필요하다고 생각한다.

참고문헌

- 1) Landsberg, H.E.: The Urban Climate, International geophysical series, Vol.28, Academic Press, New York, 1981.
- 2) Oke, T.R.: Boundary Layer Climates, Methuen & Co Ltd, London, 1978.
- 3) Burt, J.E., O'Rourke, P.A., Terjung, W.H.: The relative influence of urban climates on outdoor human energy budgets and skin temperature I. Modeling consideration, Int. J. Biometeor., 26, pp. 3-23, 1982.
- 4) 山口賢太郎, 小林陽太郎: 建築外部環境と人體との間のふく射熱授受について, 日本生氣象學會雜誌, 17(1), pp.49-57, 1980.
- 5) 石井昭夫, 片山忠久, 鹽月義隆, 吉水久雅, 安部嘉孝: 屋外氣候環境における快適感に関する實驗的研究, 日本建築學會計劃系論文報告集, 386, pp.28-37, 1988.
- 6) 加藤伯彦, 堀越哲美, 伊藤文惠, 石垣秀圭: 都市部における建築外部空間での熱環境及び視環境の實測調査, 空氣調和・衛生工學會學術講演會講演論文集, pp.1081-1084, 1990.
- 7) 鄭梠元, 堀越哲美, 福岡眞由美, 水谷章夫: 都市空間における人體への日射熱負荷の綠陰による緩和効果, 人間と生活環境, pp.20-28, 1996.3(1)
- 8) Underwood, C.R., Ward, E.J.: The Solar Radiation Area of Man, Ergonomics, 9(2), pp.155 - 168, 1966.
- 9) 山本義一: 大氣ふく射, 空氣調和・衛生工學, 38, pp. 1-19, 1964.
- 10) 土川忠浩, 小林陽太郎, 堀越哲美, 三輪惠美, 藏澄美仁, 平山慶太郎: 實測による人體の有効輻射面積および人體と短形面の形態係數に関する研究, 日本建築學會計劃系論文報告集, 388, pp.48-59, 1975.
- 11) 堀越哲美: 建築空間における熱輻射を中心とした溫熱環境條件の人體影響評價方法の研究, 東京工業大學博士學位論文, 1978.
- 12) 堀越哲美, 宮原英男, 小林陽太郎: 人體と短形面との間の形態係數及び人體の人體の有効輻射面積に関する

研究, 日本建築學會計劃系論文報告集, 268, pp.109-117, 1978.

13) Gagge, A.P., fobelets, A.P., Berglund, L.G.: A Standard Predictive Index of Human Response to the Thermal Environment, ASHRAE Transaction, Vol.92, Part 2B, pp.709-731, 1986.

14) 鄭梠元, 堀越哲美, 梅村茂樹, 宮本征一, 水谷章夫: 都市の街路および開放空間における熱放射環境が人體に及ぼす影響, 日本建築學會計劃系論文集, 493, pp.77-84, 1997

15) Gagge, A. P., Rapp, G. M., Hardy, J. D.: The Effective Radiant Field and Operative Temperature Necessary for Comfort with Radiant Heating, ASHARE Transactions, Vol.73, Part1, pp.2.1-2.9, 1967.

16) 中山昭雄編: 溫熱生理學, 理工學社, 1981.

17) ASHRAE: ASHRAE Handbook Fundamentals, ASHRAE, Atlanta, 1985.

(1998년 5월 30일 접수, 1998년 9월 30일 채택)