

海風을 이용한 夏季 都市熱環境의 風道계획과 인체의 쾌적성에 관한 연구

Estimating the cooling effect of sea breeze along canals and outdoor thermal comfort on urban heat load in summer

鄭 梟 元* 尹 仁** 崔 英 植***
Chang-Won Jeong In Yoon Young-Sik Choi

<Abstract>

A new urban design method from the viewpoint of climate is considered to be desired for urban life. The authors verified on an environmental planning based on new urban design concept which introduced the effect of sea breeze blowing along canals. The field observation of urban thermal environment were carried out to examine the cooling effects of a river through city. The observations were conducted to find the effect of a sea breeze and climate in summer along canals. Effective distance from the sea and cooling effect of the sea breeze on urban temperature was analyzed. The thermal index using outdoor environment was modified with New Effective Temperature ET^* . On the basis of the observation, Human thermal comfort is relieved and affected by sea breeze blowing along canals. The canals were utilized as the trail on which sea breeze blows towards the center of city. From these results, The wind trail is one of the effective passive design method from the viewpoint of urban climate.

key words: Wind Trail, canal, Sea breeze, Thermal Comfort, urban climate New Effective temperature ET^* , Passive design method

1. 서론

근년 도시부에 있어서 인구집중과 동반한 건축물의 고층화, 고밀화가 진행되고 있으며, 특히, 도심부에서의 히트 아일랜드(heat island)와 같은 열오염 현상이 한국에서도 심각한 문제로 대두되고 있다. 이러한 인구집중과 도시화에 따른 도시확장이 자연환경을 아스팔트, 콘크리트 83, 유리 등의 피복된 인공환경으로 바꾸어 버

려 대기와 지표면 사이의 열수지 등에 영향을 미치고 나아가 도시기후를 변화시키는 등의 부작용이 예상된다. 그러나 도시개발은 인간이 생활하는데 필요 불가결한 것이므로 도시개발에 있어서 자연과의 여러가지 관계를 좀더 신중히 고려하고 해명해 나가는 것이 중요하다.

이와 같이 도시화에 따른 도시지표면의 인공 포장화 등과 같은 일종의 사막화 현상이 진행되고 있는 상황에서 수면이 가지는 오픈 스페

* 정희원, 威德大學校 건축공학과, 전임강사, 工博

** 정희원, 啓明文化大學 건축과 전임강사, 工博

*** 정희원, 嶺南理工大學 건축과 교수, 工博

Full-time Lecturer, Dept. of Architectural Engineering, Uiduk University. Dr. Eng.

Full-time Lecturer, Dept. of Architecture, Keimyung College, Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Yeungnam College of Science & Technolgy, Dr. Eng.

이스(open space)의 열적인 효과를 명확하게 한다는 것은 도시계획적인 측면에서도 중요하다. 또한 최근 한국의 도시하천 주변에 고층 아파트군들이 분별없이 세워지고 있는 실정이며 그 산물로서 주변의 기후를 변화시키는 등 오픈 스페이스(open space)로서 하천의 제 역할을 충분히 수행하지 못하고 있다. 따라서 도시 기후에 있어서 수면의 효과를 실증적으로 파악하는 것은 중요한 일이며, 나아가 패시브 디자인(passive design)적인 측면에서 수면의 효과를 최대한 도시계획에 반영시켜 도시 열환경 개선을 도모하는 등 건축 및 도시계획의 공학적 응용면에서도 그 역할이 기대된다.

도시에 흐르는 하천은 수면의 냉각효과가 있는 것과 동시에 연속하는 오픈 공간인 풍도(風道)를 형성한다고 알려져¹⁾²⁾³⁾, 특히 여름철 도심지 열환경 완화에 크게 기여하고 있다고 하지만 도시계획적인 측면에서 수면의 효과를 다룬 예는 의외로 적으며 霜害와 관련한 農業氣象적 검토 예⁴⁾가 몇 가지 있다. 최근 도시 열환경에 관해서 건축환경공학 분야에서도 많은 연구가 진행되고 있으며 특히 remote sensing에 의한 정도높은 연구⁵⁾가 행해지고 있으나 복잡한 도시구조 특성상 복잡한 요인들을 내포하고 있어 충분한 규명없이 도시 하천의 열적 효과에 대해 정량적으로 평가한다는 것은 어렵다.

이상의 관점에서 본 연구는 하천이 주변시가지에 미치는 열적 효과를 명확하게 하고 금후의 도시·건축 환경계획을 진행하는 가운데 도시하천의 역할을 微氣候的인 측면에서 명확하게 할 목적으로 먼저 해안도시를 주목하였다. 해안도시는 도시하천이 해풍을 이용하여 오염된 도심부로 신선한 공기를 도입할 수 있는 길로서의 역할을 할 수 있을 것으로 기대되기 때문이다. 따라서 해안도시를 대상으로 도시하천 주변부의 바람과 온도 등을 중심으로 한 미기후실측 조사를 실시하여 도시하천의 暑熱緩和 효과를 파악하고자 한다.

海風을 이용한 風道계획과 인체의 쾌적성에 관한 기초적 연구를 위하여 국내에서는 아직은 현장 실측기기 확보와 실험실 실험여건이 미비한 점 등을 고려하여 우리나라의 남동부 해안도시와 여건이 비슷한 일본의 N시를 대상으로 하였다. 이 곳의 도시구조는 시가지에 3분의 運河가 존재하며, 기후적으로도 일본의 도시 가운데 무더위가 심한 도시인 것으로 알려져 있다. 따

라서 본 연구는 도시 서열환경 완화를 목적으로 도시하천에 착안하여 시가지 중심부를 흐르는 운하를 조사대상으로 도시내 운하를 거슬러 소상(遡上)하는 해풍이 주변 시가지 열환경에 미치는 영향을 명확히 파악함과 동시에 體感氣候面에서 그 유용성을 검토하고자 한다. 이를 바탕으로 풍도(風道)를 기축(機軸)으로 한 도시환경 창조의 새로운 urban design 수법을 제안하는데 그 목적이 있다.

2. 실측계획 및 방법

실측은 해륙풍이 특히 발달한다고 생각되는 1994년 夏季의 晴天日에 행하였다. 실측일시와 실측대상지역 및 실측지점을 Table1과 Fig.1에 나타내었다.

실측대상지역은 河口에서 운하중점 사이에 설치되어 있는 다리위 및 하천주변, 그리고 주변의 녹지공간 등으로 하였다.

실측은 정점에서의 常時실측과, 자동차를 이용한 이동실측을 행하였다. 측정항목은, Assmann 통풍건습계 및 디지털식 온습도계를 이용하여 기온과 습도를, Biram식 풍향풍속계를 이용하여 풍향과 풍속을 측정하였다.

운하주변의 시가지 열환경 조사에서 얻어진 결과의 유효성을 체감기후면에서도 검증하기 위하여 온열환경 평가지표를 이용하여 검토하였다.

이용된 옥외 온열환경 평가지표로서 건축실내공간을 대상으로 인체熱收支에 근거한 신유효온도 ET^* 를 저자가 옥외공간에 적용하기 위하여 수정한 일사를 고려한 신유효온도 $ET_n^{*6)7)}$ 을 이용하여 인체의 열적 쾌적성면에 있어서 운하를 따라 소상(遡上)하는 바람의 효과에 대하여 검토하였다.

3. 실측결과

3.1 정점

정점에서의 상시실측은 河口부근(실측지점 1) 도심부의 M공원(실측지점20), S교량(실측지점 9) 모두 세 지점에서 행하였다. 정점에서는 기온, 습도, 풍향, 풍속을 측정하였으며 그때의 시간적 변동을 Fig.2~9에 나타내고 있다. 단, 전천일사량은 N시 지방기상대 자료에 의한 것이다.

Table1 Schedule of field observation

Date	Observation Time	Canal
27 July	early mornig 5:00 daytime 11:00 13:00 15:00 night 21:00 23:00 1:00	Shin-Horikawa
10 · 11 · 12 Aug.	daytime 11:00 13:00 15:00 night 21:00 23:00 1:00	Horikawa Shin-Horikawa
22 · 26 Sept.	daytime 13:00	Horikawa

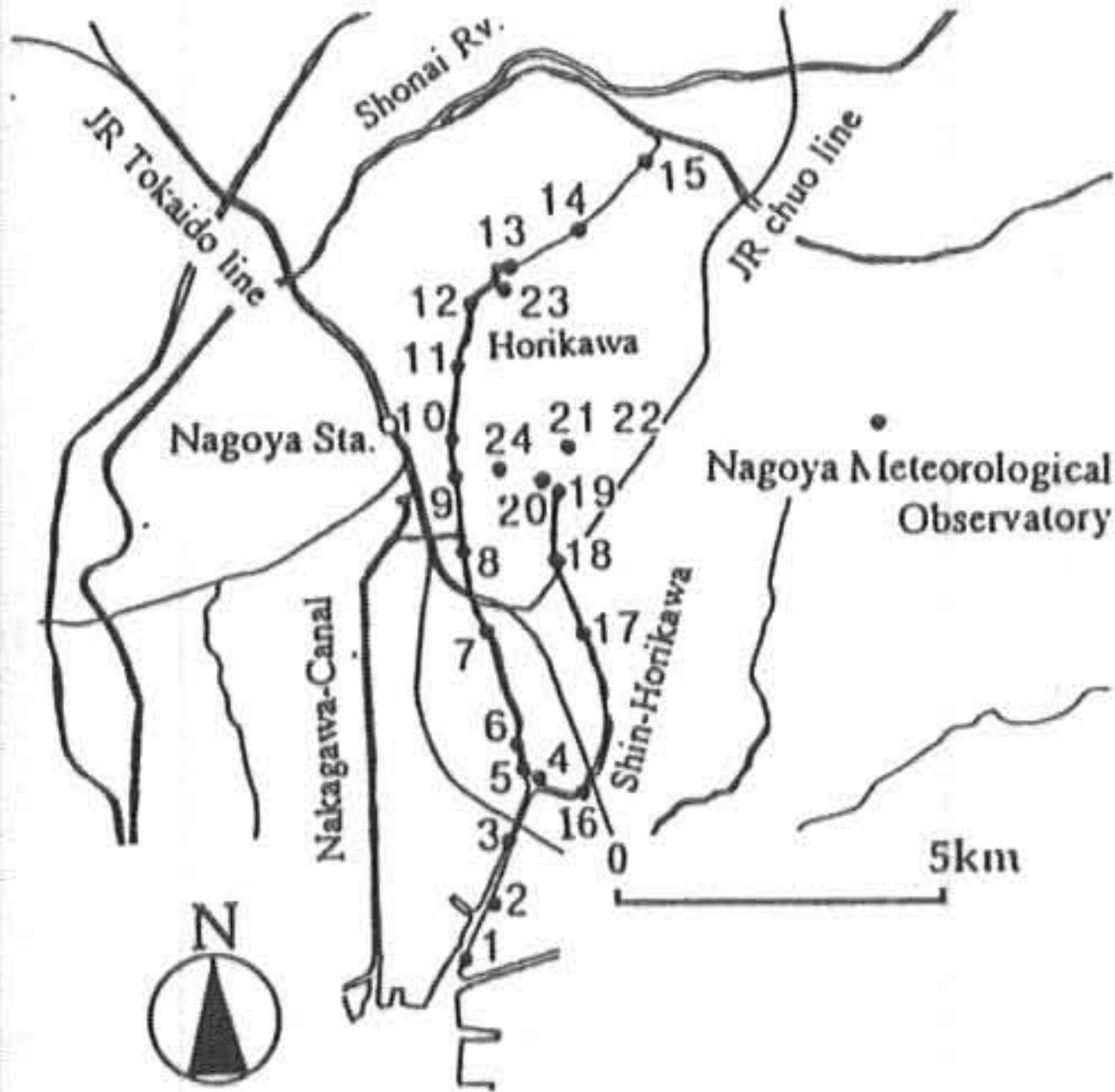


Fig.1 Observation sites

Table 2 Observation Point with Distance from sea

	Observation Point	Distance from Sea [km]
HORIKAWA	1 Mouth	0.0
	2 KIBA-CHO	0.9
	3 KIZAEMON-HASHI	1.8
	4 SHICHIRINOWATASHIATO	2.8
	5 OSEKO-HASHI	2.9
	6 SHIRATORI-HASHI	3.2
	7 SUMIYOSHI-HASHI	4.9
	8 SANNOU-HASHI	6.2
	9 SINSUZAKI-HASHI	7.4
	10 NAYA-HASHI	8.0
	11 KEIUN-HASHI	9.0
	12 SUJIKAI-HASHI	10.2
	13 JOUHOKU-HASHI	10.8
	14 SHIGA-HASHI	11.4
	15 RURIKOU-HASHI	12.2
SHIN-HORIKAWA	16 ATSUTA-HASHI	3.0
	17 TATEISHI-HASHI	5.3
	18 OI-HASHI	6.2
	19 TSURUMAI-HASHI	7.2
DOWNTOWN	20 MAEZU garden	7.3
	21 IKEDA Garden	8.0
	22 IKEDA Garden(Treeshade)	8.0
	23 MEIJOU Garden	10.5
	24 SHIRAKAWA Garden	7.5

Fig.2의 7월 27일 실측에 있어서는 주간 하구부근에서는 도심부의 정점 M 공원보다 기온이 최고 3°C 정도 낮고, 습도는 최고 약 4hPa의 습도가 높은 경향을 보였다. Fig.3의 하구부근에서의 풍향은 9:00~22:00까지 남동풍이 관측되었고, M 공원에서의 풍속이 하구 부근보다 약하며 풍향은 주로 남쪽에서 불어오는 바람이 관측되었다.

Fig.4의 8월 10일 실측에 의하면 하구부근의 기온은 M 공원보다 조금 높은 경향을 가르켰다(11:00~15:30). 습도는 하구부근이 M 공원 및 S교량보다 약 0.2~0.4hPa 정도 높은 고습이었다. Fig.5의 각 정점에서의 풍향은 주로 남쪽과 남서쪽에서의 바람이 관측되었다.

Fig.6에 나타낸 8월11일의 실측에서는 11:00~16:30 사이에 S교량에서의 기온은 다른 정점보다 약 0.5~1.5°C 낮은 경향을 보였다. 하구부근에서의 습도는 M 공원 및 S교량보다 약 2~5hPa의 고습이었다. Fig.7의 각 정점에서의 풍향은 주로 남쪽에서의 바람이 관측되었다.

Fig.8의 8월12일 실측에서는 8월11일의 실측 결과와 같이 S교량에서의 기온이 다른 정점보다 낮고 습도는 하구부근이 고습이었다. Fig.9의 각 정점에서의 풍향은 주로 남쪽에서 불어오는 경향을 보였다.

전반적으로 각 정점 실측에서는 하구부근에서는 해풍에 의한 영향 등으로 도심부의 정점보다 기온이 낮은 반면 습도는 높았으며 풍속도 높은 경향을 나타내었다.

3.2 하구로부터의 거리와 기온 및 풍속과의 관계

하구부근(실측지점 1)에서 각 실측지점까지의 직선거리는 하구로부터의 거리로 하였다. 각각의 실측지점의 하구로부터의 거리를 Table2에 나타내고 있다.

8월12일 주간의 H상의 실측지점에 있어서 하구로부터의 거리와 기온 및 풍속과의 관계를 Fig.10에 나타낸다.

하구에서 9km 떨어진 실측지점 11보다 상류의 실측지점은 하구로부터 멀리 떨어질수록 풍속이 저하되고 기온이 상승하는 경향이 나타났다. 8월12일 야간의 H상의 실측지점에 있어서 하구로부터의 거리와 기온 및 풍속의 관계를 Fig.11에 나타낸다. Fig.10의 주간과 유사한 경

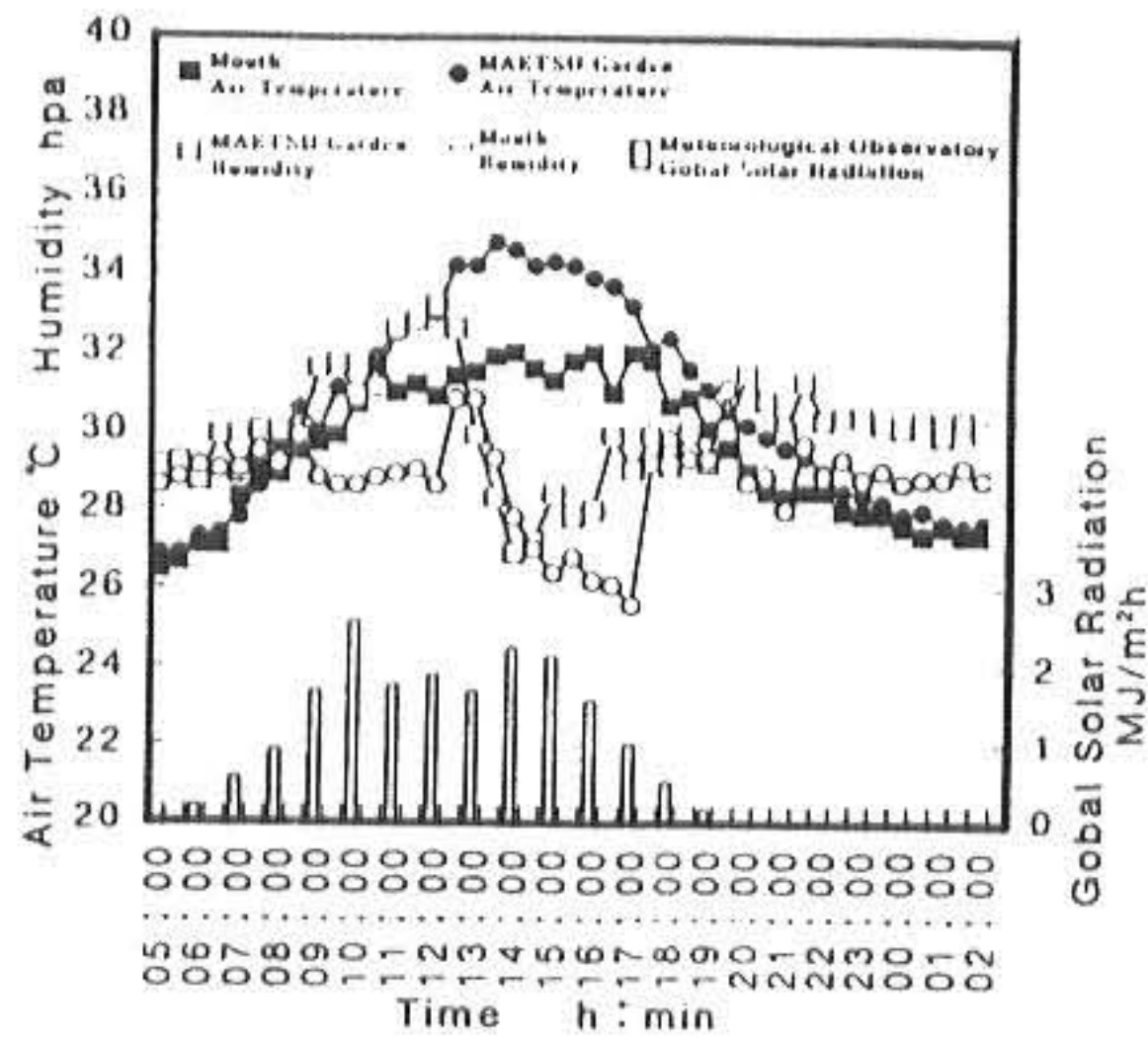


Fig.2 Change of air temperature, humidity and global solar radiation at fixed observation points (July.27th,1994)

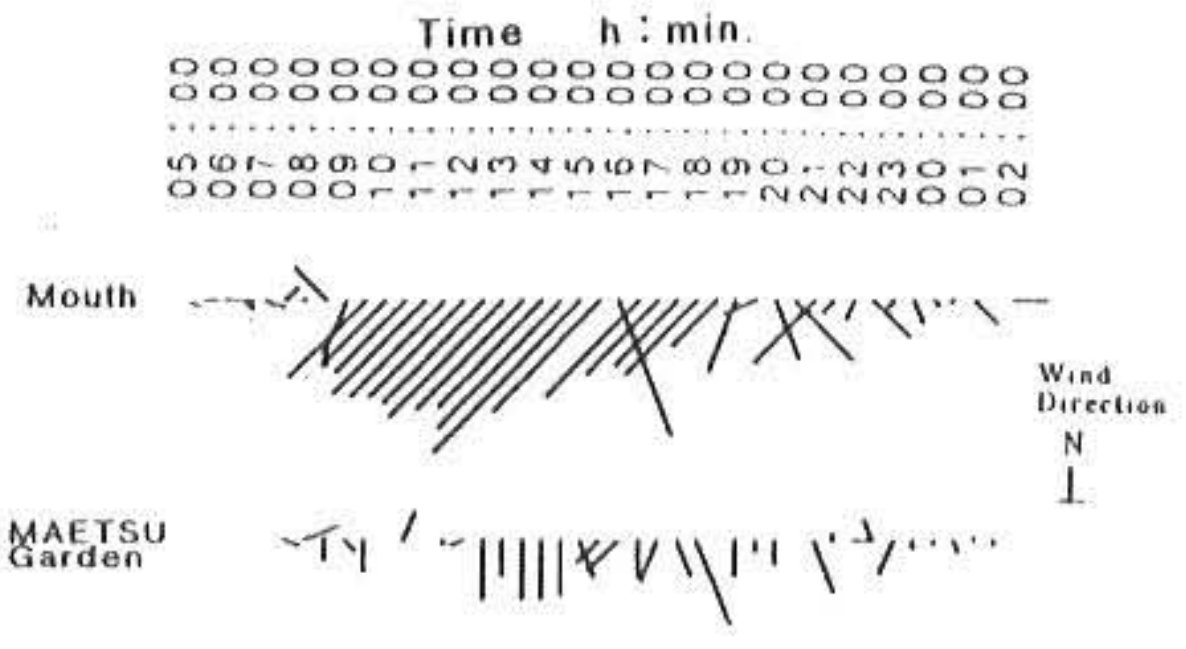


Fig.3 Change of wind speed and wind direction at fixed observation points (July. 27th, 1994)

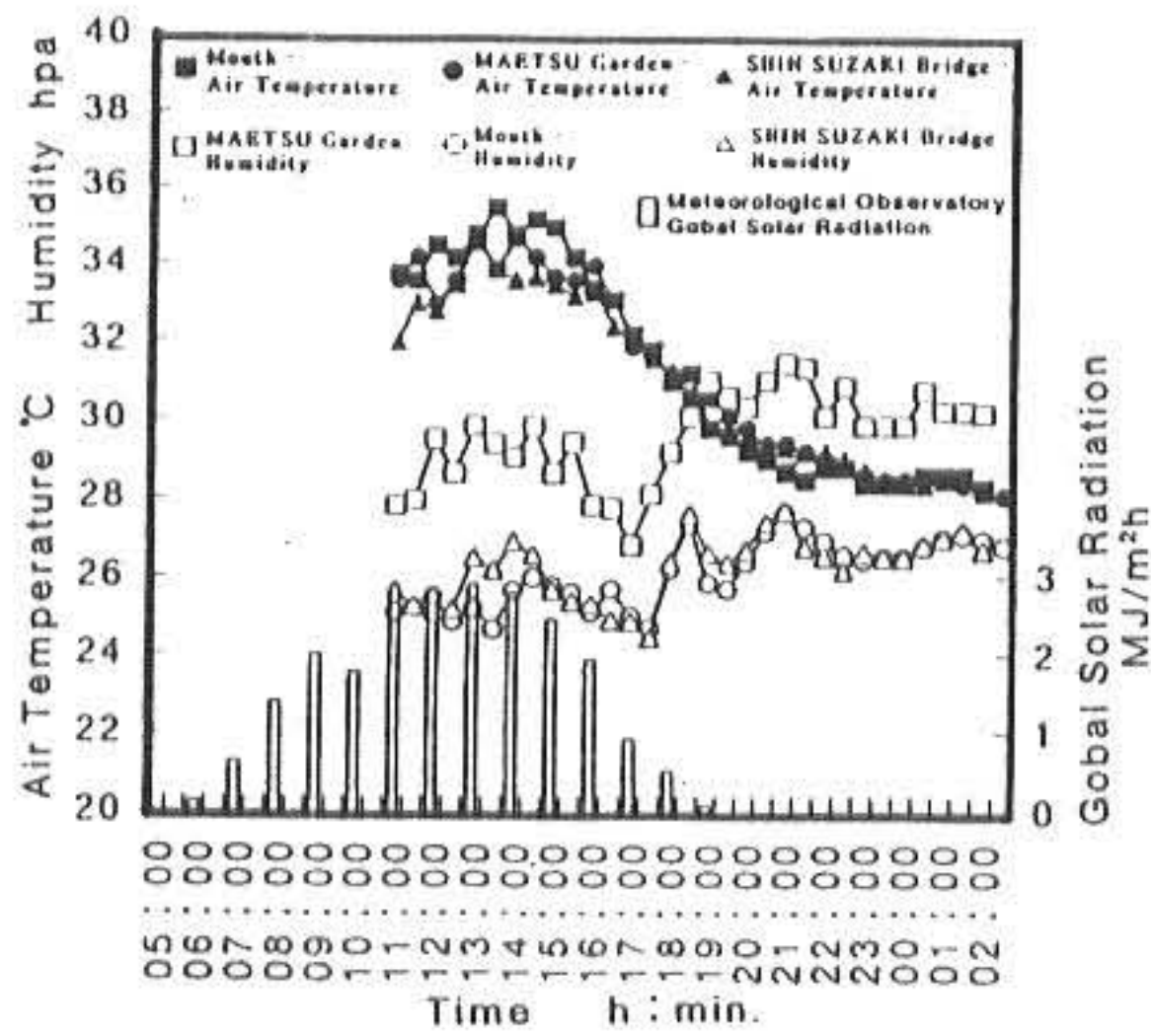


Fig.4 Change of air temperature, humidity and global solar radiation at fixed observation points (Aug. 10th, 1994)

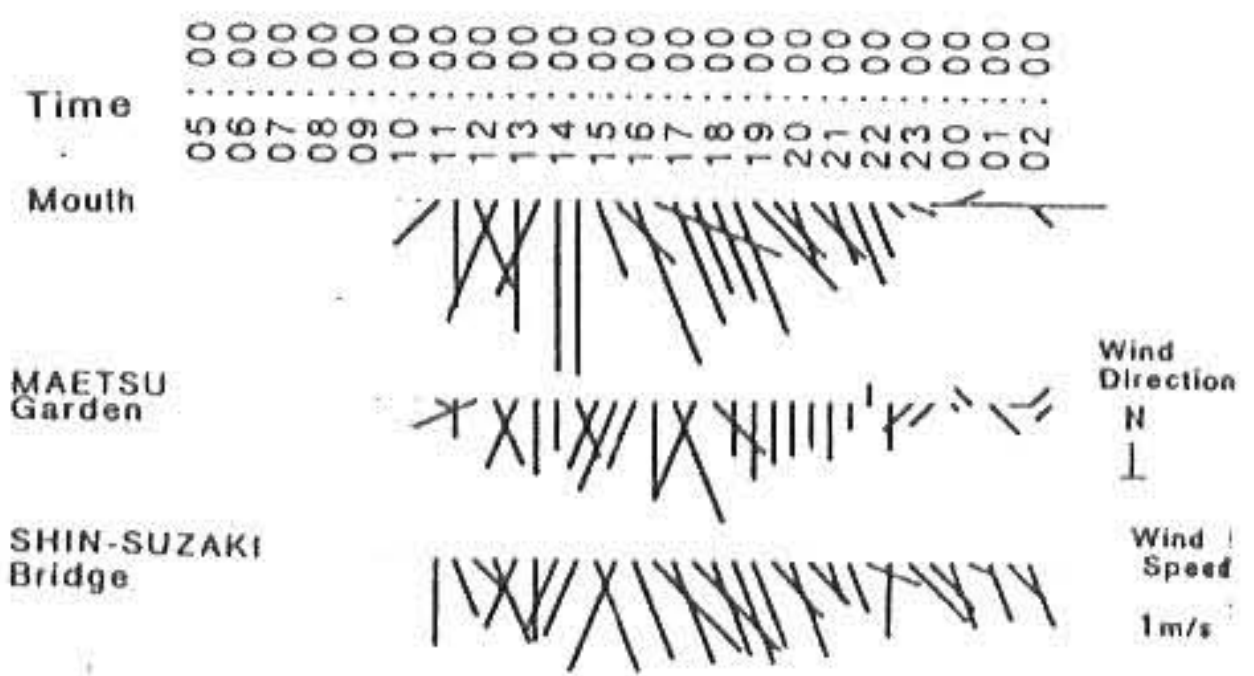


Fig.5 Change of wind speed and wind direction at fixed observation points (Aug. 10th, 1994)

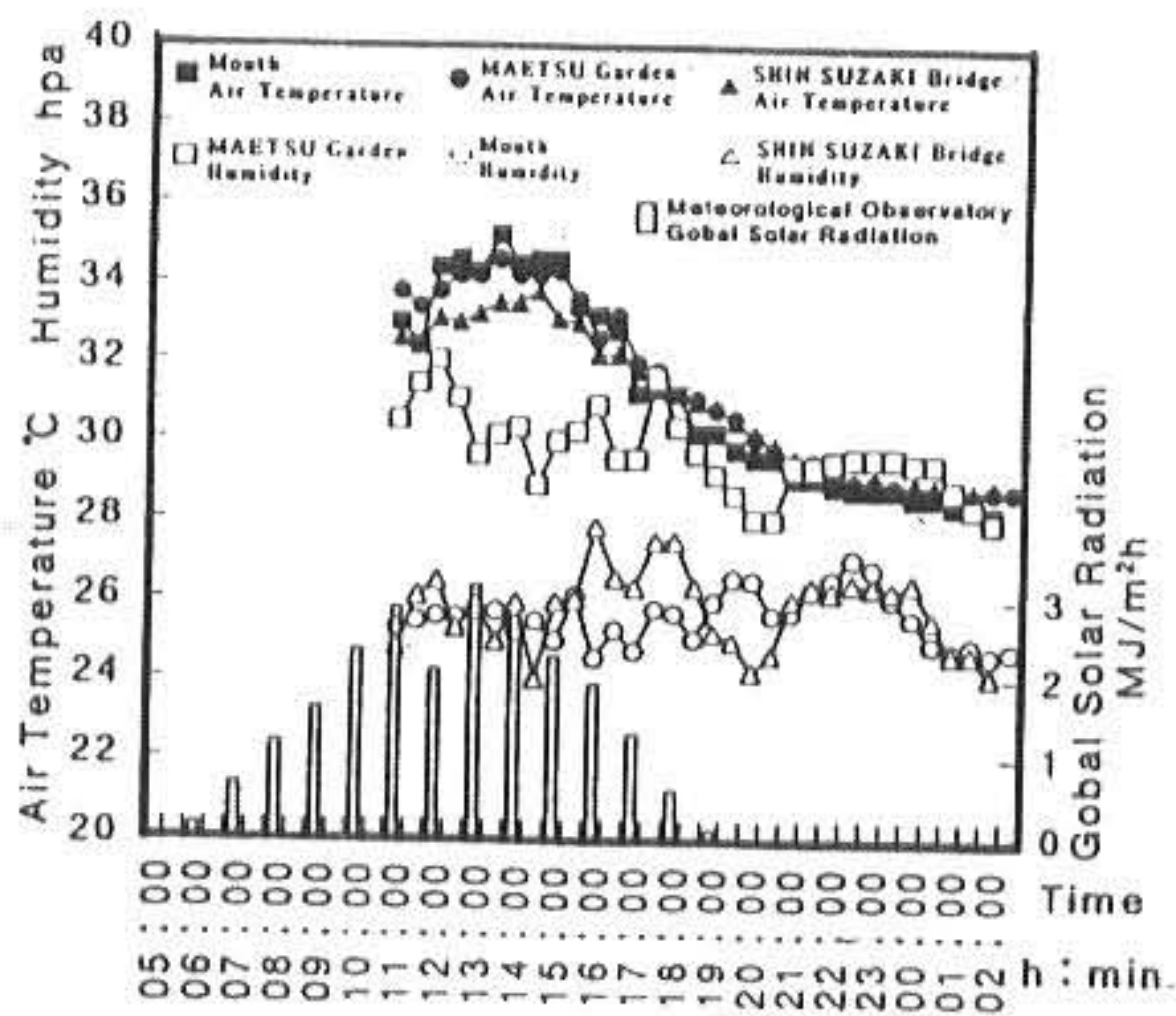


Fig.6 Change of air temperature, humidity and global solar radiation at fixed observation points (Aug. 11th, 1994)

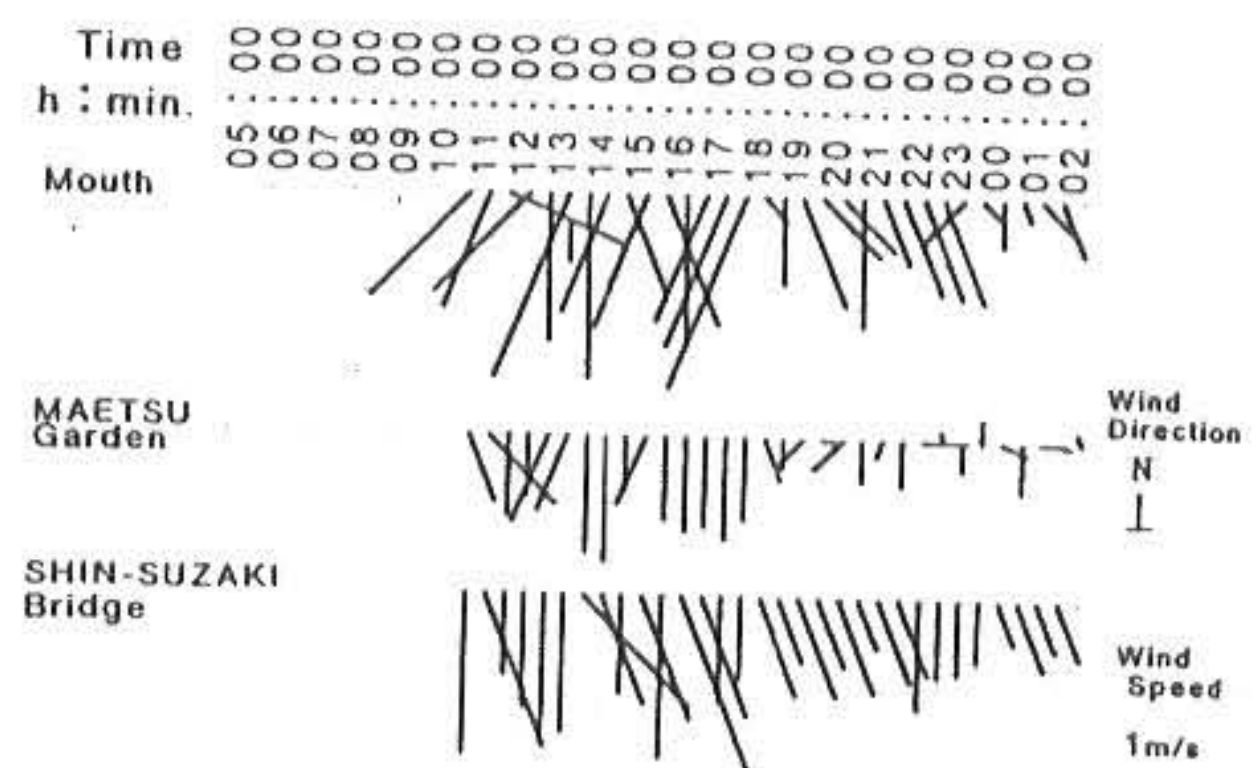


Fig.7 Change of wind speed and wind direction at fixed observation points (Aug. 11th, 1994)

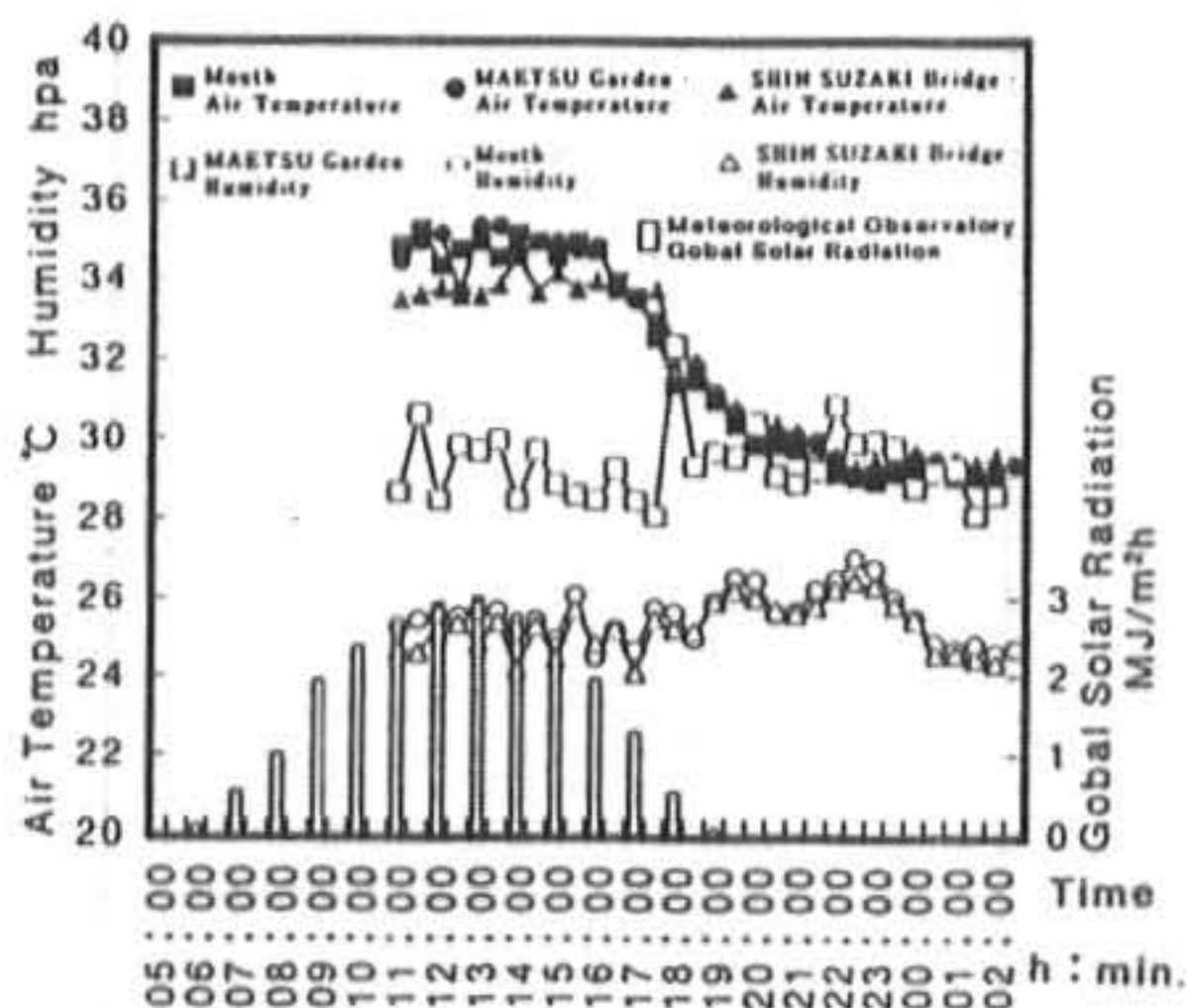


Fig.8 Change of air temperature, humidity and global solar radiation at fixed observation points(Aug.12th,1994)

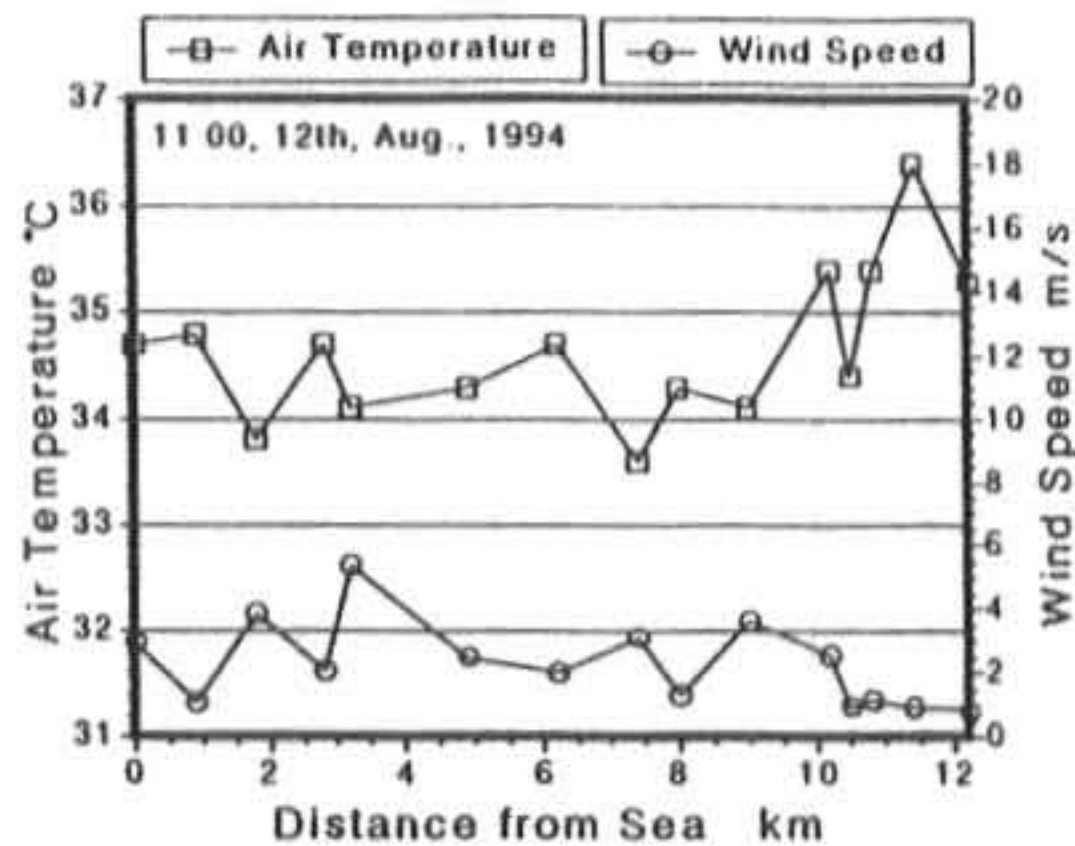


Fig.10 Change of air temperature and wind speed with distance from sea along Horikawa(11:00, 12th, Aug.)

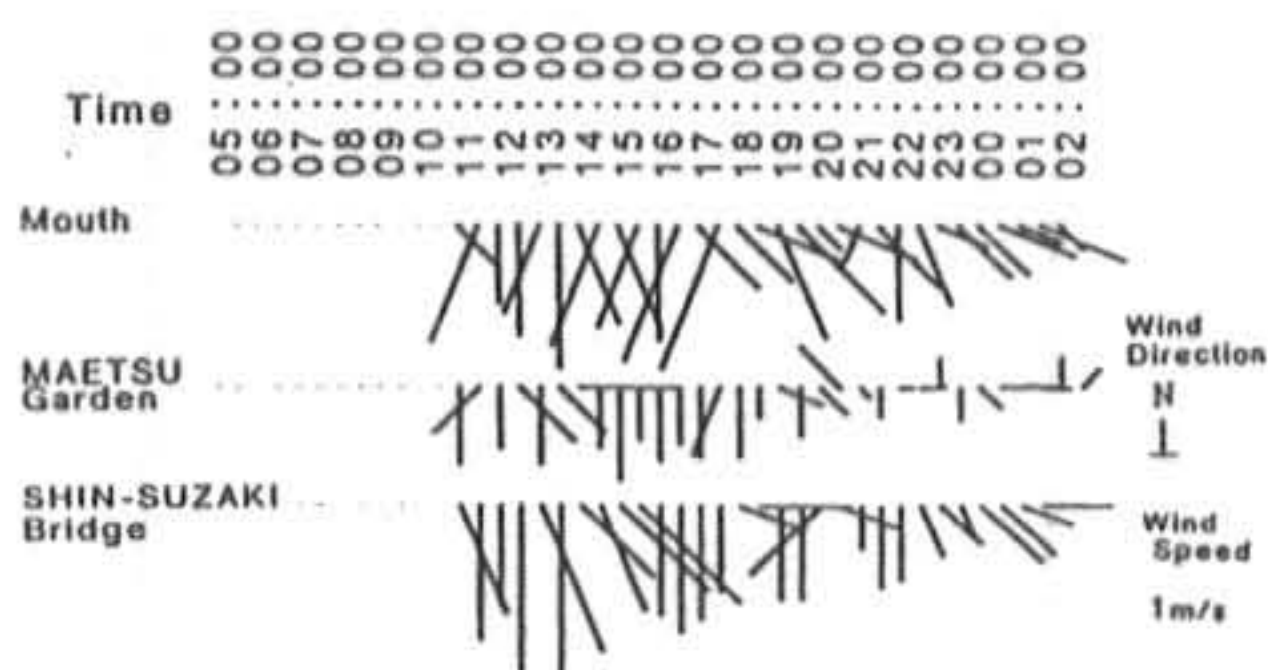


Fig.9 Change of wind speed and wind direction at fixed observation points (Aug. 12th, 1994)

향을 보인다.

8월12일 주간의 S상의 실측지점에 있어서 하구로부터의 거리와 기온 및 풍속과의 관계를 Fig.12에 나타내고 있다.

실측지점 16은 하구로부터의 거리가 같은 실측지점 4나 상류의 실측지점 17 및 18보다도 풍속이 약한 경향을 가르켰다. 이것은 실측지점 16에서 S가 만곡하기 때문에 풍속이 느려졌다고 생각된다. 그러나 S의 실측지점 17 및 18에서는 S가 직선적인 형상을 하고 있는 구간이기 때문에 풍속이 높게 나타났다고 생각된다. 따라서 만곡한 운하보다 직선적인 운하가 도시내의 풍도(風道)로서의 효과가 더 큰 것으로 생각된다.

이와 같이 도시내 하천은 도시 서열환경 완화대책뿐만 아니라 해풍을 이용하여 해안의 신선한 공기를 도심부로 운반하는 풍도(風道)로서 그 유효성이 인정된다.

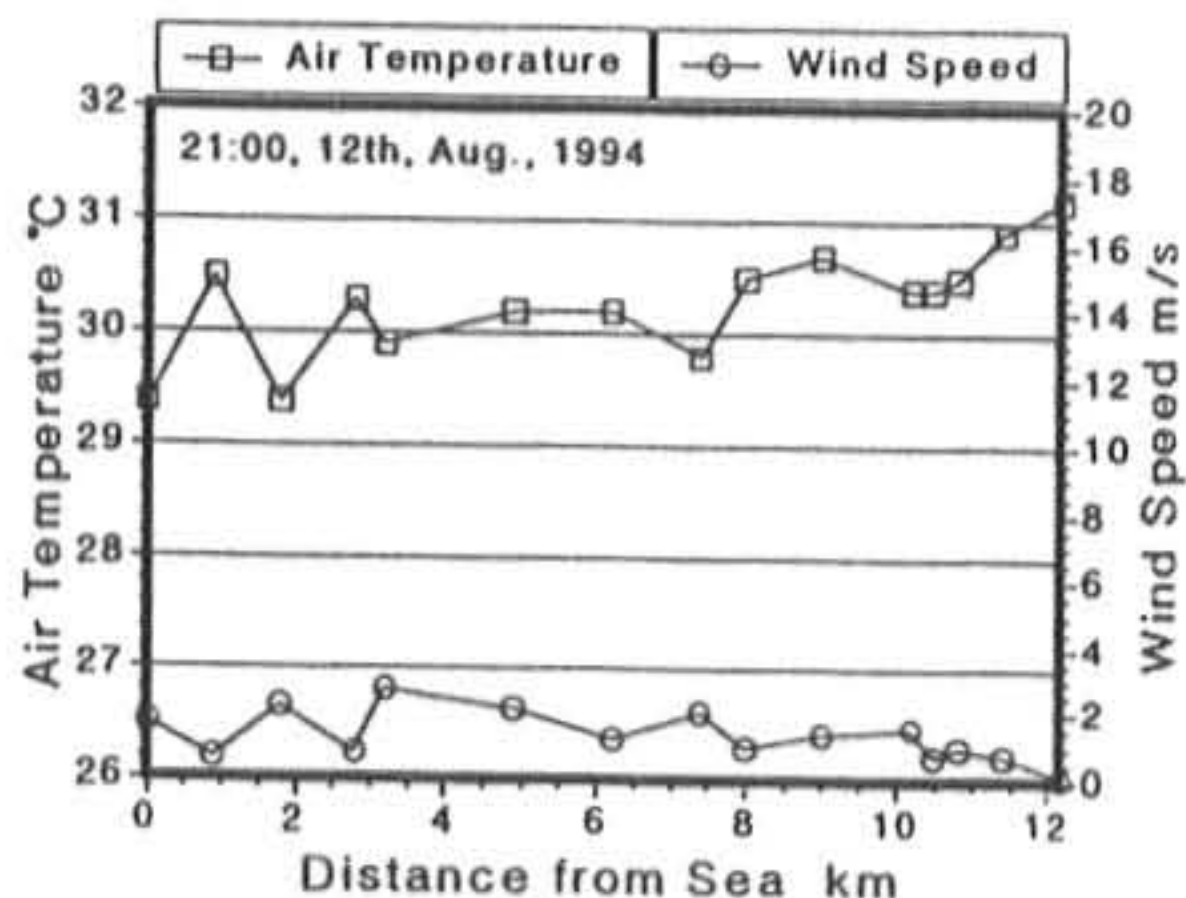


Fig.11 Change of air temperature and wind speed with distance from sea along Horikawa(21:00, 12th, Aug.)

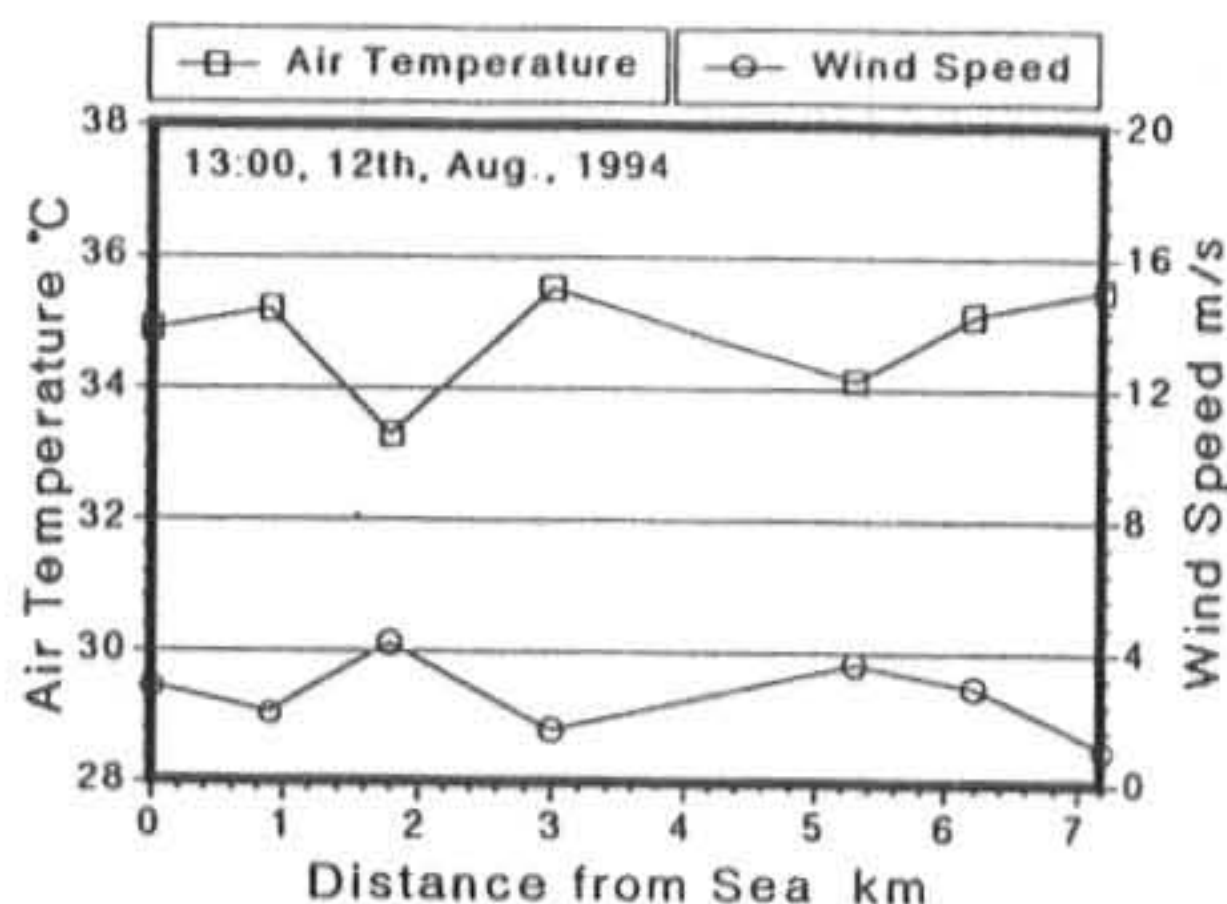


Fig.12 Change of air temperature and wind speed with distance from sea along ShinHorikawa (13:00, 12th, Aug.)

4. 풍도(風道)에 의한 도시 서열완화에 대한 인체 쾌적성 검토

도시 서열환경을 완화시키기 위한 유효한 방법으로서 해풍에 의한 운하 소상을 이용하여 신선하고 찬 공기를 도심부로 도입하는 풍도 효과에 대한 유효성을 체감기후면에서 검증하기 위하여 일사를 고려한 신유효온도 ET^*_n 을 이용하였다.

8월 12일 주간에 하구로부터의 거리와 신유효온도 ET^*_n , 기온, 풍속과의 관계를 Fig.13~15에 나타내었다.

전체적으로 풍속이 강한 실측지점에서는 풍속이 약한 실측지점과 비교하여 기온이 낮다. 신유효온도 ET^*_n 을 이용하면 양 실측지점과의 온도차가 기온의 경우보다도 더 낮아지는 경향이다. 이것은 기온뿐만 아니라 온열환경 4조건을 포함하고 있는 신유효온도 ET^*_n 에 특히 바람의 영향이 반영되었기 때문이라고 생각된다.

13시의 S에 있어서 하구로부터 10.5km에 위치한 실측지점 23에서는 하구로부터 10.2km 떨어진 실측지점 12에 비교해 풍속이 1.5m/s 정도 낮지만 기온은 거의 같은 반면 오히려 신유효온도 ET^*_n 가 높다(Fig.14).

15시의 H에 있어서 하구로부터 7.2km 거리에 있는 실측지점 19에서는 하구로부터 6.2km에 있는 실측지점 18과 비교해서 기온은 거의 같지만 신유효온도 ET^*_n 은 조금 높은값을 가르킨다. 풍속을 보면 실측지점 18에서는 3m/s, 실측지점 19에서는 1m/s이하이다(Fig.15). 이것은 기온이외의 풍속 등에 의한 영향이 신유효온도 ET^*_n 에 반영된 것이라고 생각한다.

이상에서 해풍의 운하遡上은 도시기온의 완화효과와 체감기후의 완화효과까지 있어서 인체 열적 쾌적성에 있어서도 그 유효성이 인정되었다. 이로써 도시서열환경에 있어서 도시하천 등에 의한 풍도(風道)의 효과가 명확해졌다.

5. 결론

우리나라 도심지에 있어서 해풍의 운하소상에 의한 도시 열환경 완화 효과 파악을 목적으로 일본 N시의 2본의 운하를 대상으로 조사하여 夏季의 기온, 습도, 풍향 및 풍속을 실측하여 운하 주변 시가지 열환경을 분석한 결과 다

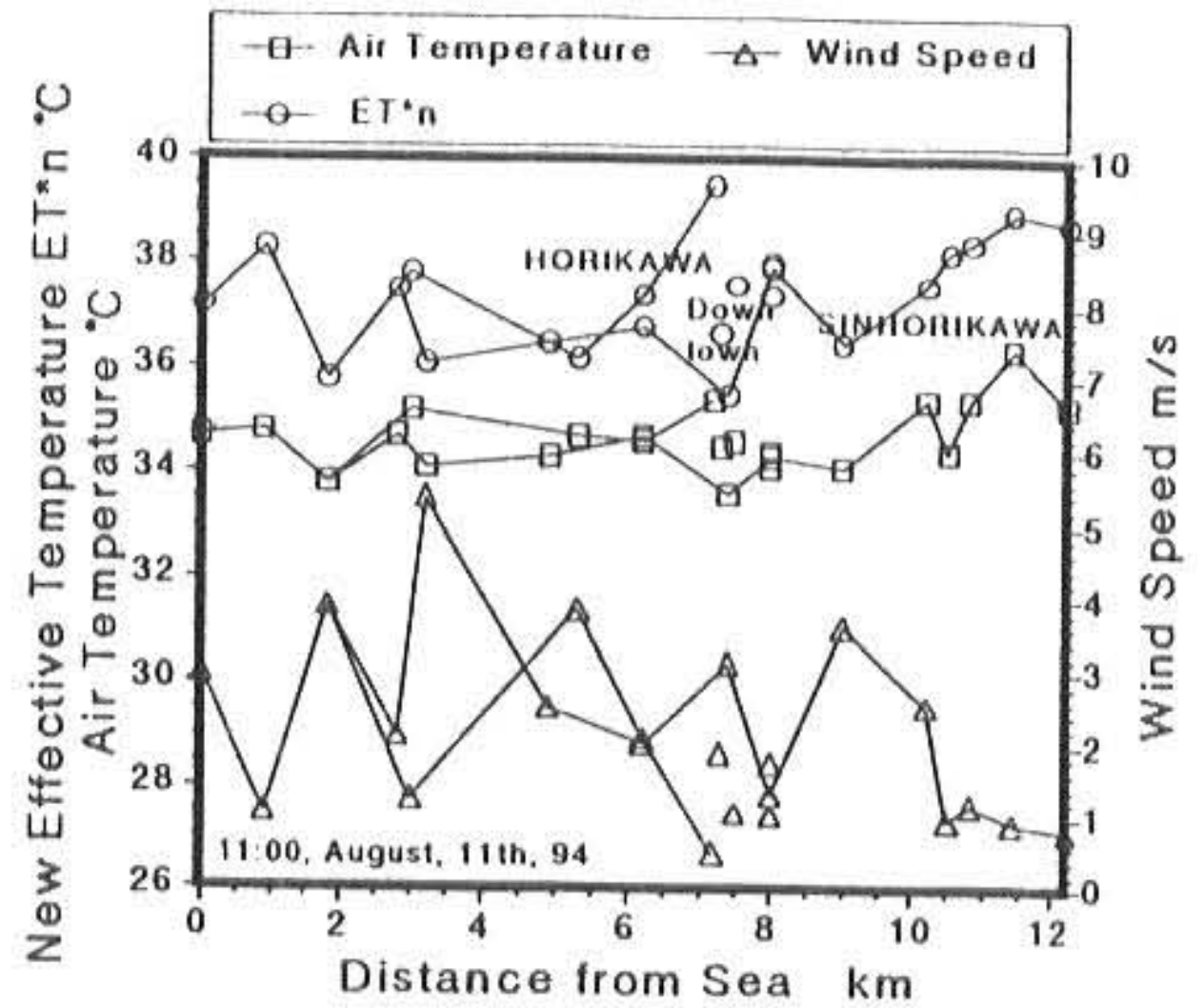


Fig. 13 Change of air temperature, new effective temperature ET^*_n and wind speed with distance from sea along H and S(11:00, 12th, Aug.)

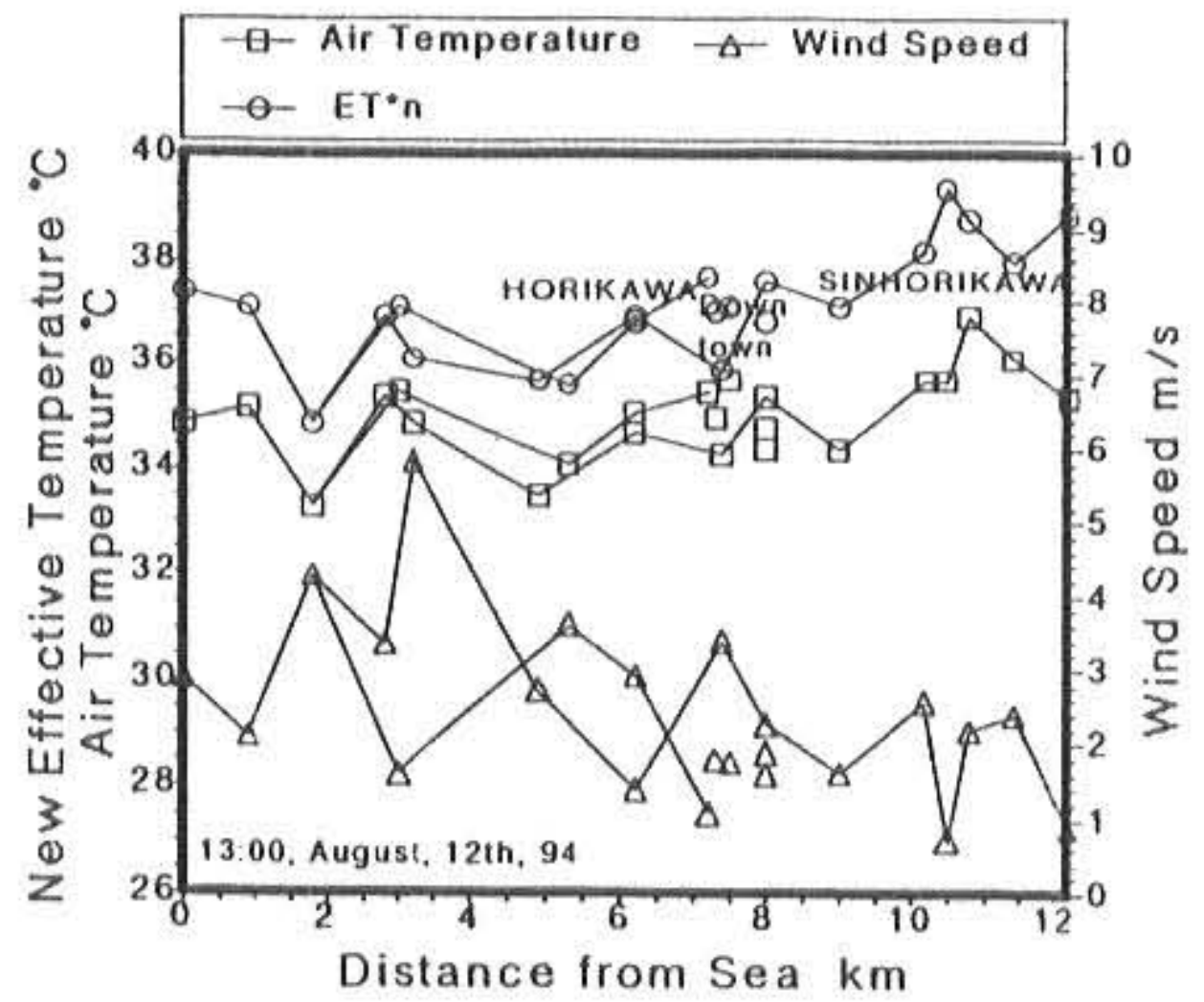


Fig. 14 Change of air temperature, new effective temperature ET^*_n and wind speed with distance from sea along H and S(13:00, 12th, Aug.)

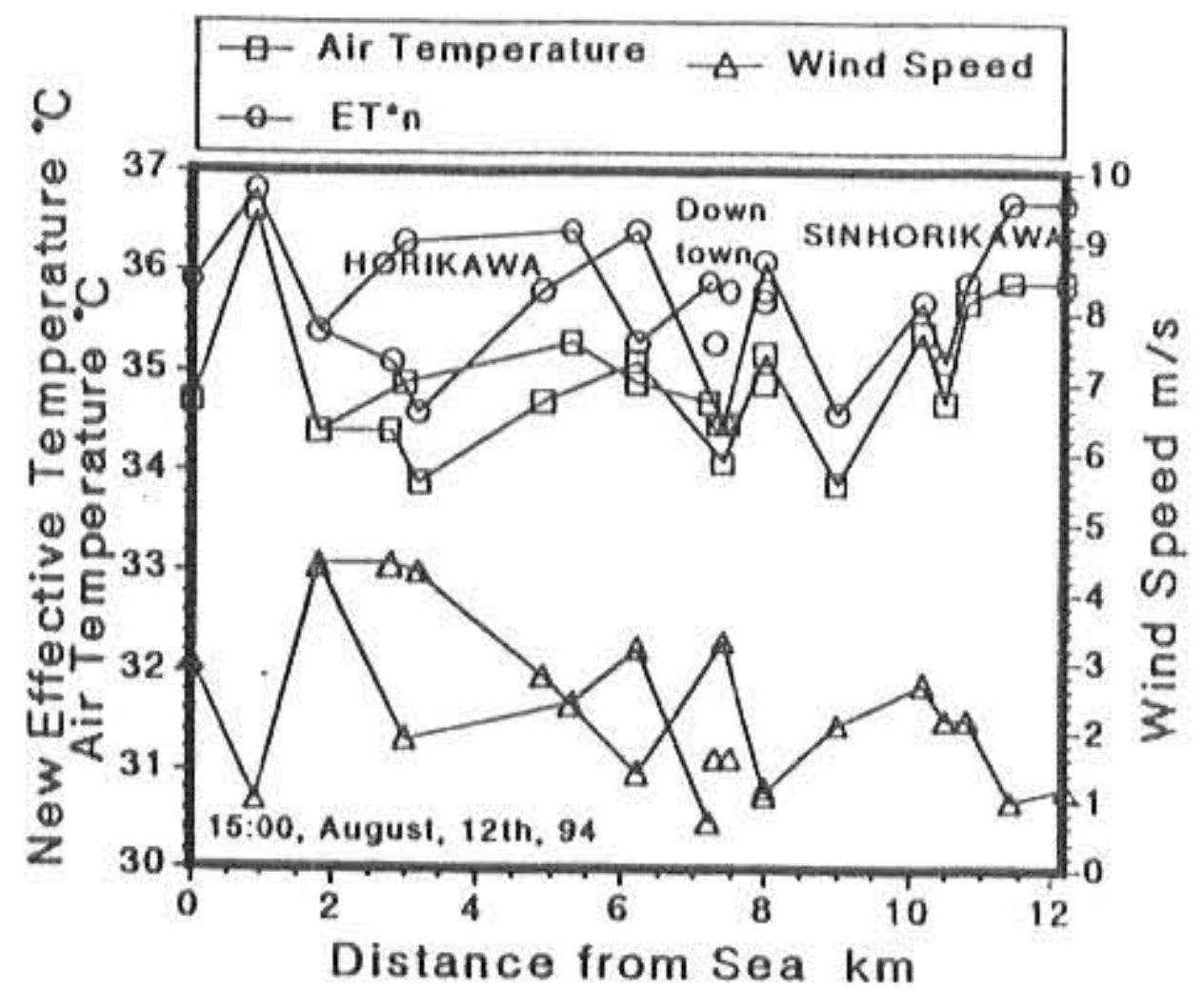


Fig. 15 Change of air temperature, new effective temperature ET^*_n and wind speed with distance from sea along H and S(15:00, 12th, Aug.)

음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 각 정점에서의 실측결과 하구부근에서는 해풍에 의한 영향 등으로 도심부의 정점보다 기온이 낮은 반면 습도와 풍속이 높은 경향이 있었다.

(2) 하구로부터 거리가 멀어짐에 따라 해풍의 풍속이 저하되고 기온이 상승하는 것이 명확하였다.

(3) 직선적인 형상의 운하 및 하천이 도시서열환경완화를 위한 도시내의 풍도(風道)로서 그 효과가 큰 것이 인정되었다.

(4) N시에 있어서 2개의 운하가 풍도로서 작용하고 해풍의 운하소상이 도시기온의 상승을 억제하는 효과를 가진다는 것이 나타났다.

(5) 도시하천에 의한 도시 서열환경 완화효과에 대하여 체감기후면에서 그 유용성을 검토한 결과 전체적으로 풍속이 강한 실측지점에 있어서는 풍속이 약한 실측지점과 비교하여 기온이 낮았다. 신유효온도 ET^*n 를 이용하면 양 실측지점과의 온도차가 기온의 경우보다 더 낮아지는 경향이 있다. 이것은 기온뿐만 아니라 온열환경 4조건을 포함하고 있는 신유효온도 ET^*n 에 바람의 영향이 잘 반영된 것이라고 생각된다. 따라서 해풍의 운하遡上은 도시기온의 완화효과뿐만 아니라 인체의 체감기후 완화효과도 가져와 인체 열적 쾌적성에서도 그 유효성이 인정되었다. 이로써 도시서열환경에 있어서 도시하천에 의한 풍도(風道)의 효과가 명확해졌다.

[謝辭] 본 연구를 행함에 있어서 조사당시 나고야공업대학의 堀越哲美선생과 연구실의 橋本剛씨를 비롯한 재학생 여러분들의 많은 협력을 받았다. 지면을 빌려 감사의 뜻을 전한다.

참고문헌

1) 村上三郎、關根毅、成田健一、西名大作: 都市内河川が周辺の溫熱環境に及ぼす効果に関する研究、日本建築學會計畫系論文報告集 第393號、pp.25-34, 1988

2) 村上三郎、關根毅、成田健一、西名大作、千田勝也: 都市内河川が周辺の溫熱環境に及ぼす効果に関する研究 (續報)、日本建築學會計畫系

論文報告集 第415號、pp.9-19, 1990

3) 片山忠久 外8人 海岸都市における河川の暑熱緩和効果に関する調査研究、日本建築學會計畫系論文報告集 第418號、pp.1-9, 1990

4) 久保時夫: 沿岸氣溫に及ぼす影響、氣象集誌、21-11, 1943

5) 梅干野晃: リモートセンシングによる住宅地の熱環境の解析、日本建築學會計畫系論文報告集 第303號, 1990

6) 鄭梈元, 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)

7) 鄭梈元, 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, 第493號, pp.77~84, 1997.3

8) Tetsumi HORIKOSHI, Kyoko FUNAHASHI, Tsuyoshi HASIMOTO, Shinichi WATANABE, Chang-won JEONG, In YOON, Atsushi MIYAMOTO & Akio MIZUTANI: Wind Channal Planning in Nagoya - Effect of Sea Breeze along Canals on Urban Heat Load in Summer -, Proc. The 14th International Conference on Passive and Low Energy Architecture(PLEA), pp.147~150, 1997. 1

9) Landsberg, H. E.: The Urban Climate, International geophysics series, Vol. 28, Academic Press, New York, 1981.

10) Oke, T.R: Boundary Layer Climates, Methuen & Co Ltd, London, 1978.

11) 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.

12) 中山昭雄編: 溫熱生理學, 理工學社, 1981.

(1999년 1월5일 접수, 1999년 4월10일 채택)