

冷却력에 의한 室内溫熱環境의 綜合的評價에 關한 研究

孫 章 烈*

1. 머리말

건축물의 실내를 건강하고 쾌적한 溫熱環境으로 설계, 유지하기 위하여서는 氣溫, 溫度, 氣流 輻射熱등 온열 환경의 각 요소를 종합적으로 평가하는 것은 중요한 일이다. 이 목적을 위하여 이미 여러가지 방법이 제안되고 있으며 그 중에서도 직접 측정기에 의한 표현 방법으로서는 글로브 온도계 (Globe Thermometer)¹⁾ 카타온도계 (Kata Thermometer)²⁾ 등이 대표적이며, 환경의 각 요소를 理論的, 實驗的으로 組合한 결과에 의한 평가 방법으로는 有效溫度 (Effective Temperature)³⁾ 等價溫度 (Equivalent Temperature)⁴⁾ 作用溫度 (Operative Temperature)^{5), 6)} 등이 대표적이다. 그러나, 오늘날 건축 설비의 발달에 의한 人工的 온열 환경의 일반화, 태양열, 냉난방, Panel Heating의 보급등으로 설비 방식의 변화에 따른 냉난방 System의 다양화 및 우리나라의 온돌의 居住性에 관한 科學的인 究明의 필요성등을 고려하면 지금까지의 指標로서 온열환경을 판단하는 것이 반드시 충분하다고는 할 수 없는 형편이다. 이런 점에서 熱力學的 열교환량에 기반을 두어 온열환경 條件을 이론적 실험적으로 파악하는 것이 더욱 有效한 평가 수단이라 생각된다.

또한, 온열 환경의 상태를 感覺的 또는 生理的 상태의 기준이 되는 單一尺度에 의하여 표현하려는 것으로 實際의 被實驗者에 의한 연구가 빈번히 이루어지고 있으며 그 결과 人間과 환경의 사이의 熱平衡式은 이론적으로 거의 확립되어 있다. 그러나 인체의 온열에 대한 감각

은 많은 사람들 사이에 반드시 일치하는 것이 아니며, 人種, 性別, 年齡等의 天性的 要素, 건강, 영양상태, 생활履歷등의 신체적 요소, 着衣 作業등의 現場的 要素, 그 밖의 여러 要素가 복잡하게 엉켜져, 그것을 통일, 종합하여 단일尺度로 취급하기에는 매우 곤란한 점이 많다.

著者は 人體와 환경의 사이에 열교환량이 온열환경을 종합적으로 표현하는 대상이 된다고 생각하여 人體를 단순화한 모델 (예를 들면, 銅의 中空球, 유리의 中空球, 銅 또는 알루미늄의 圓筒등)과 온열 환경의 사이에 열교환량을 냉각력 (Cooling Power CP) 또는 가열력 (Heating Power HP) 으로 표현하여 그것에 의하여 온열환경을 평가하는 방법에 대하여 연구하여 왔다. 冷却力이란 常溫의 환경에 있어서 溫體의 冷却現象을 나타내는 물리적尺度이며, 加熱力은 고온 환경에 있어서 冷體의 가열 현상을 나타내는 물리적尺度이다. 特히 L. Hill의 카타온도계의 냉각력은 널리 알려져 있다. 카타온도계는 人體에 비하여 너무 작고 이론적으로 그 냉각력을 예측하기 힘들다는 데 문제점을 지니고 있다.

本 論文에서는 著者의 연구의 결과 중에 온열 환경 평가에 가장 합당하다고 생각되는 직경 5 cm의 알루미늄 (AL) 球에 대하여 理論解析과 實驗을 소개하고 그 결과에 대하여 고찰한다.

2. 理論解析

本 論文에서 사용하는 記號는 다음과 같다.

CP : 冷却力 [W/m²]

* 正會員, 漢陽大學校

- C_{pa} : 공기의 定壓比熱 [J/(Kg·K)]
- C_b : 黑塗裝球의 比熱 [J/(Kg·K)]
- D : 黑塗裝球의 直徑 [m]
- K : 熱輻射에서의 溫度係數 [K³]
- F_s : 黑塗裝球의 표면積 [m²]
- MRT : 平均輻射溫度 [°C]
- n : 表面의 法線방향 [-]
- OT : 黑塗裝球에 對한 環境의 作用溫度 [°C]
- Q : 積算熱傳達量 [J]
- q_r : 輻射熱傳達量 [W]
- t : 時間 [h]
- V : 黑塗裝球의 體積 [m³]
- u : 風速 [m/s]
- α : 總合熱傳達率 [W/(m²·K)]
- α_c : 對流熱傳達率 [W/(m²·K)]
- α_r : 輻射熱傳達率 [W/(m²·K)]
- ϵ_i : 平面 i의 輻射率 [-]
- ϵ_s : 黑塗裝球의 輻射率 [-]
- θ_a : 環境의 氣溫 [°C]
- θ_i : 平面 i의 表面溫度 [°C]
- θ : 黑塗裝球內의 溫度 [°C]
- θ_s : 黑塗裝球의 表面溫度 [°C]
- θ_0 : t=0에서의 黑塗裝球의 平均溫度 [°C]
- θ_i : $\theta_i + 273$ [K]
- θ_s : $\theta_s + 273$ [K]
- λ_a : 環境空氣의 熱傳導率 [W/(m·K)]
- λ_b : 黑塗裝球의 熱傳導率 [W/(m·K)]
- ρ_a : 環境空氣의 밀도 [Kg/m³]
- ρ_b : 黑塗裝球의 밀도 [Kg/m³]
- ν : 環境空氣의 動粘性係數 [m²/s]
- σ_b : Stefan-Boltzmann의 상수 [W/(m²·K⁴)]
- $\varphi_{s,i}$: S面과 i面사이의 形態係數 [-]

2.1 溫度降下에 있어서 冷却時間 및 冷却力 室内環境에 있어서 環境 溫도와 어떤 物體의 사이에 온도 차가 있을 경우에 단위시간, 단위 면적당 그 물체로 부터 放散되는 열량은 近似的으로 環境과의 사이의 溫度差에 比例한다. 7) 環境의 영향으로서는 대류와 복사의 양면에서 고

려하여야 하므로 물체 표면에서의 熱流는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\lambda_b \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right) = \alpha_c (\theta_s - \theta_a) + \alpha_r (\theta_s - MRT) \dots (1)$$

여기에서 $MRT = \sum_{i=1}^n \theta_i \cdot \varphi_{s,i}$ 로 나타내며, (9)식 으로부터 (14)식에서 설명하나, 이것은 많은 輻射面溫度 θ_i 와 形態係數 $\varphi_{s,i}$ 에 의한 綜合的 熱輻射量과 같은 열복사량이 주어지는 대표 적인 黑體 (Black body)의 온도로 정의할 수 있 다. 8)

(1)식의 右邊은

$$\begin{aligned} & \alpha_c (\theta_s - \theta_a) + \alpha_r (\theta_s - MRT) \\ & = \alpha_c + \alpha_r \left(\theta_s - \frac{\alpha_c \theta_a + \alpha_r MRT}{\alpha_c + \alpha_r} \right) \end{aligned}$$

로 되며, Winslow, Herrington, Gagge^{5),6)}의 제안에 따라 $(\alpha_c \theta_a + \alpha_r MRT) / (\alpha_c + \alpha_r) = OT$ 즉 作用溫度 (效果溫度라고도 함)를 나타내므로 (2)식이 된다.

$$-\lambda_b \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right) = \alpha (\theta_s - OT) \dots \dots \dots (2)$$

본래 OT는 위의 연구자들에 의하여 人體를 대 상으로 하여 組合된 環境의 기온, 기류, 열복사 를 합성한 온도의 개념이나, OT를 단순한 物體 를 대상으로 하여 理論的 解析에 사용하는 것도 가능하다.

均質한 재료로 된 物體의 内部溫度 分布를 均 등하다고 할 때, 물체의 溫度降下 및 冷却時間 에 대하여 생각하면, 微小時間 dt內的 溫度變 化 dθ에 따른 保有熱量의 변화는 (2)식으로부터 (3)식이 얻어진다.

$$-\rho_b C_b V d\theta = \alpha F_s (\theta_s - OT) dt \dots \dots \dots (3)$$

(3)식은 (4)식으로 된다.

$$\frac{d\theta}{\theta_s - OT} = - \left(\frac{\alpha F_s}{\rho_b C_b V} \right) dt \dots \dots \dots (4)$$

(4)식의 양변을 적분하면

$$\ln (\theta_s - OT) = - \left(\alpha F_s / \rho_b C_b V \right) t + C_1$$

t=0에서 $\theta_s = \theta_0$ 로 하면 다음 식이 된다.

$$e^{- \left(\alpha F_s / \rho_b C_b V \right) t} = \frac{\theta_s - OT}{\theta_0 - OT}$$

時間 t에서의 θ_s 는 (5)식과 같다.

$$\theta_s = OT + (\theta_o - OT) \cdot e^{- (\alpha F_s / \rho_b C_b V) t} \dots (5)$$

(5)식의 θ_s 를 θ_o 에서 $\Delta\theta$ 만큼 냉각하는 시간을 Δt 라고 하면, (6)식으로 표현된다.

$$\Delta t = - \frac{\rho_b C_b V}{\alpha F_s} \times \ln \left(\frac{\theta_o - \Delta\theta - OT}{\theta_o - OT} \right) \dots (6)$$

物體로서 알루미늄의 固體球에 黑色을 칠한것 (以下 黑塗裝球)을 생각하고 그 표면의 온도 분포는 均等하며 α 는 시간에 의한 온도 변화에 대하여 一定하다면 t 시간에 있어서 表面에서 放散하는 總열량, 즉 환경과 黑塗裝球와의 사이의 積算 熱交換量 Q 는 (7)식이 된다.

$$Q = \alpha F_s \int_0^t (\theta_s - OT) dt = - \rho_b C_b V (\theta_o - \theta_s) \dots (7)$$

또한, 球에 대한 온열 환경의 냉각력 (以下, 냉각력) CP 를 단위시간, 단위면적 當의 열교환량으로 정의하여 溫度降下 $\Delta\theta$ 에 있어서의 冷却時間 Δt 에 대하여서는 (8)식, (9)식이 주어진다.

$$CP = \frac{\alpha F_s \int_0^t (\theta_s - OT) dt}{F_s \Delta t} \dots (8)$$

$$CP = \frac{- \rho_b C_b V \Delta\theta}{F_s \Delta t} \dots (9)$$

(8)식은 現場에서 實測할 경우에 精確한 OT 의 계산이 매우 곤란하므로 本 연구에서는 (9)식을 사용한다. 즉, 일정온도 범위에 있어서 黑塗裝球가 냉각하는 경우, 그 온도 범위 $\Delta\theta$ 에 있어서의 냉각시간 Δt 를 알면 CP 를 구할 수 있다. 그 냉각력의 대상이 되는 온도의 범위를 人體의 온도에 가까운 $38 \sim 35^\circ C$ ($\Delta\theta = 3^\circ C$)로 한다.

2.2 球의 熱傳達率 α

(6)식에서 未知의 요소인 球의 열전달을 α 는 對流에 의한 열전달을 α_c 와 輻射에 의한 열전달을 α_r 의 和이다. 球의 對流熱傳達率 α_c 는 자연대류열전달에 의한 것과 강제대류열전달에 의한 것이 있으나, 本 論文에서는 實驗條件이 강제대류의 범위이므로 강제대류에 대하여서만 檢討한다. 강제대류열전달에 대하여 $Frössl-$

ing의 式⁹⁾, Yuge의 式¹⁰⁾, Tsubouchi의 式¹¹⁾ Ranz-Marshall의 式¹²⁾ 등을 검토한 결과 本 研究에서는 Ranz-Marshall의 實驗式을 사용한다. 그 식에 의하면 $0.6 < Pr < 380$, $1 < Re < 10^5$ 의 범위에서는

$$Nu = 2 + 0.6 Pr^{1/4} Re^{1/2} \dots (10)$$

단, Re : Reynolds number, uD/ν

Pr : Prandtl number, $\rho_a c_p \nu / \lambda$

Nu : Nusselt number, $\alpha_c D / \lambda$

(10)식에서 α_c 는 (11)식으로 나타낸다.

$$\alpha_c = \frac{\lambda (2 + 0.6 Pr^{1/4} Re^{1/2})}{D} \dots (11)$$

다음에 α_r 에 대하여 검토하기 위하여 n 개의 면에 둘러싸인 실내를 생각하면, 黑塗裝球로 부터 全 室內面에의 열전달량 q_r 는 (12)식으로 얻어진다.

$$q_r = \sum_{i=1}^n \sigma_b \epsilon_s \epsilon_i (\theta_s^4 - \theta_i^4) \varphi_{s,i} F_s = \sigma_b \epsilon_s F_s \{ \epsilon_1 (\theta_s^4 - \theta_1^4) \varphi_{s,1} + \dots + \epsilon_n (\theta_s^4 - \theta_n^4) \varphi_{s,n} \} \dots (12)$$

溫度係數 $K_i = \frac{\theta_s^4 - \theta_i^4}{\theta_s - \theta_i}$ 를 도입하여 線形化하면 (13)식으로 표현된다.

$$q_r = \sigma_b \epsilon_s F_s \{ \epsilon_1 K_1 (\theta_s - \theta_1) \varphi_{s,1} + \dots + \epsilon_n K_n (\theta_s - \theta_n) \varphi_{s,n} \} = \sigma_b \epsilon_s F_s \{ (\epsilon_1 K_1 \varphi_{s,1} + \dots + \epsilon_n K_n \varphi_{s,1}) \theta_s - (\epsilon_1 K_1 \varphi_{s,1} + \dots + \epsilon_n K_n \theta_n \varphi_{s,n}) \} \dots (13)$$

ϵ_i 의 값은 室內의 일반 재료의 경우에는 거의 같다고 생각하고, 또 球의 表面溫度 $38 \sim 35^\circ C$ 의 범위에서 壁面 상호간의 온도 차가 $15^\circ C$ 以内일 때 K_i 의 계산에 壁面溫度 θ_i 의 平均値를 취하여도 그것에 의한 誤差는 無視할 수 있을 정도이다. S 面은 $1 \sim n$ 面에 의하여 완전히 둘러싸여 있기 때문에 形態係數 (Configuration factor)의 和, $\varphi_{s,1} + \dots + \varphi_{s,n} = 1$ 이 된다. 여기에서 $\bar{\epsilon K}$ 로 $\epsilon_1 K_1, \dots, \epsilon_n K_n$ 의 平均値를 나타내면 (13)식은 (14)식으로 나타낼 수 있다.

$$q_r = \sigma_b \epsilon_s F_s [\bar{\epsilon K} \{ \theta_s - (\theta_1 \varphi_{s.1} + \dots + \theta_n \varphi_{s.n}) \}] = \sigma_b \epsilon_s \bar{\epsilon K} F_s (\theta_s - MRT) \dots\dots (14)$$

따라서 α_r 은 (15)식과 같다.

$$\alpha_r = \sigma_b \epsilon_s \bar{\epsilon K} \dots\dots(15)$$

形態係數 $\varphi_{s.i}$ 로는 Mackey¹³⁾ 등에 의한 小球와 平面 사이의 형태계수의 이론을 사용하였다.

3. 實 驗

3.1 實驗室의 概要 및 温熱環境條件의 維持, 制御

實驗은 그림 1과 같은 人工氣候室을 사용하여 행하였다. 人工氣候室은 再熱器併用單一 Duct 方式공기조화설비에 의하여 溫度 및 濕度가 自

動制御된다. 그 제어범위는 溫度 15~40 C, 相對濕度 40 ~ 80 %이다. 人工氣候室의 전체크기는 $5.30 \times 4.05 \text{ m} = 21.47 \text{ m}^2$, 높이 2.65m이며, 實驗空間의 크기는 $2.7 \times 4.05 \text{ m} = 10.94 \text{ m}^2$, 높이 2.00 m이다. 平行氣流를 얻기 위하여 給氣用 Chamber($5.3 \times 1.3 \text{ m} = 6.9 \text{ m}^2$)이 설치되어 있고 前後面은 黑色無光澤의 有孔 Semi-Hard Board로 되어있다. 天井面은 電氣面發熱體인 輻射熱發生裝置가 설치되어 Thermistor 精밀溫度 조절기에 의하여 제어된다. 實驗 공간의 바닥과 側壁面은 黑色 Velvet 幕으로 하였다.

給氣의 吹出口 및 實驗공간을 향하여 설치되어 있는 fan으로 黑塗裝球의 위치에서 0.19 m/s 및 0.29 m/s의 2단계의 기류를 얻었다.

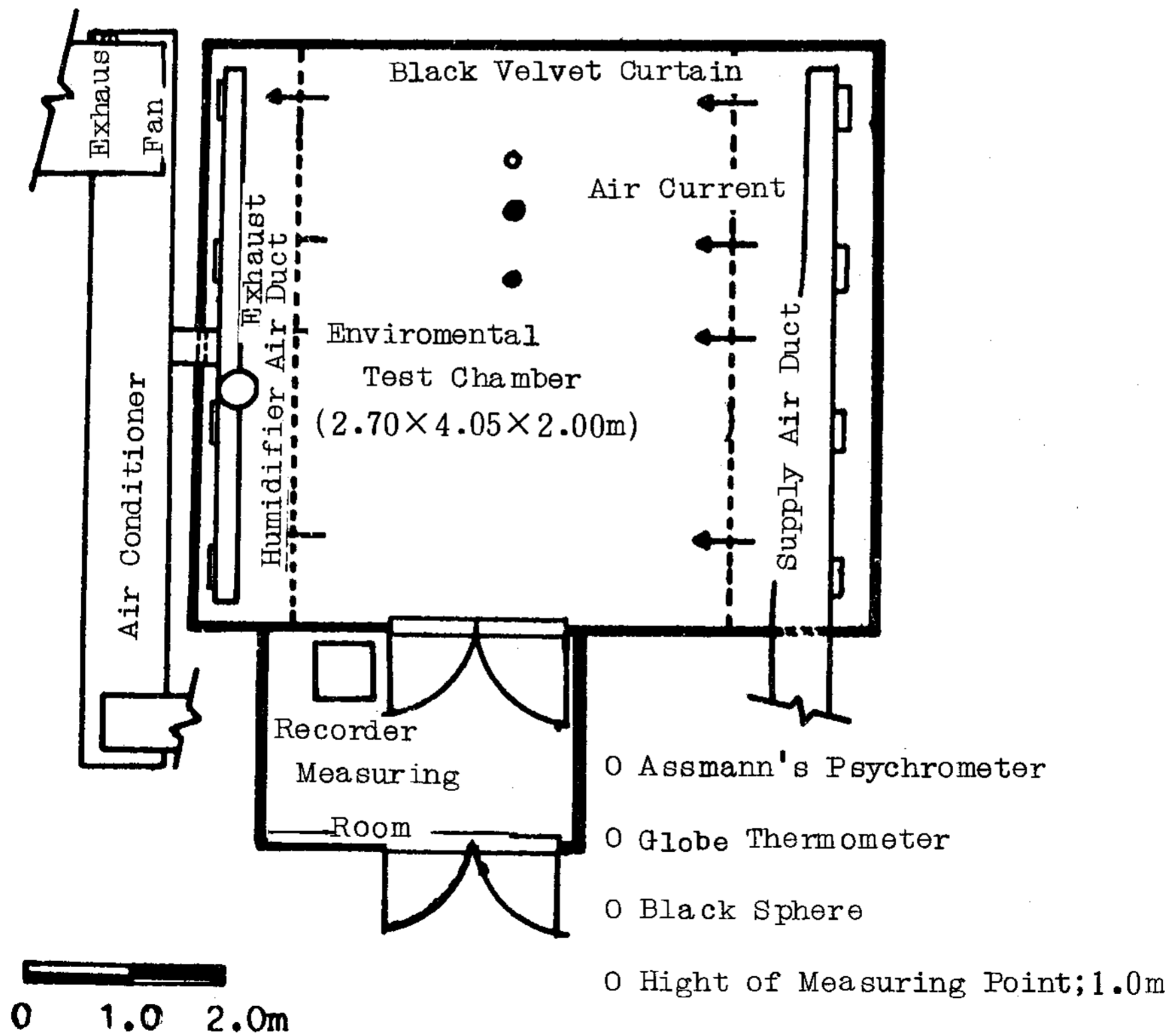


FIG.1 Floor plan of enviromental test chamber and measuring room

3.2 設定條件

表 2의 (1)과 같이 氣溫, 氣流, 熱輻射의 16 종류의 組合에 대하여 實驗하였다. 열복사가 있는 설정조건, 즉 $\theta_a \neq MRT$ 의 경우는 天井의 복사열발생장치로, 黑塗裝球의 測定點에서 열복사計 (Beckman型)를 가지고 열복사량 $100 \text{ Kcal/m}^2\text{h}$ 로 제어하였다.

3.3 黑塗裝球

黑塗裝球는 A1의 고체로 直徑 5 cm 이다. 표면에 黑色無光澤의 塗料 (3M社의 Velvet Coating)를 칠했다. 球의 초기온도를 38°C 이

상으로 하고 人工氣候室內의 各種溫熱環境條件에서 38°C 에서 35°C 까지의 溫度降下狀態와 降下時間을 測定하였다. 球는 그것의 中心部를 實驗室間의 中央에 바닥 위 1m 의 위치에 두었다.

3.4 測定項目 및 方法

黑塗裝球의 溫度 및 人工氣候室內의 溫度條件의 測定項目別 測定器具와 方法은 표 1과 같다. Assmann 通風乾濕球溫度計와 Globe 溫度計의 測定位置는 그림 1에서 보여주고 있다. 球溫度의 測定時間간격은 冷却速度가 클 경우에는 1분간격이고, 적을 경우는 3분간격으로 하였다.

TABLE. 1 Measuring methods and apparatuses for temperature of black sphere and environmental conditions

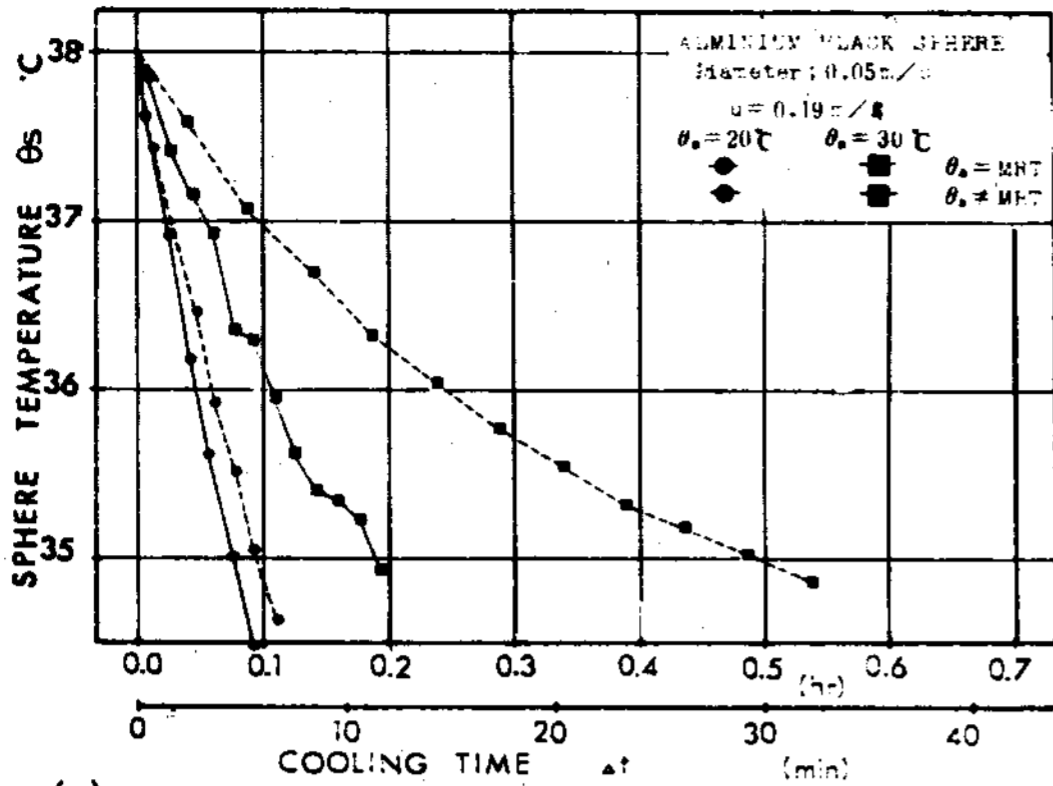
Items of measurement		Measuring methods & apparatuses
Temperature of black sphere		1 point of center, & 5 points on outside surface of sphere (top, bottom, side, front, back) at interval of 1 or 3 minutes C-C thermocouple ($0.2 \text{ mm}\phi$) digital volt meter
Thermal environment conditions	Air temperature	Assmann's psychrometer at interval of 1 or 3 minutes
	Humidity	
	Air velocity	Hot wire anemometer
	Heat radiation	Thermal radiometer (beckmann)
	Surface temperature of ceiling, walls & floor	3 points on ceiling, each center point on walls & floor at interval of 1 or 3 minutes C-C thermocouple ($0.3 \text{ mm}\phi$) digital volt meter

實驗에 의한 冷却力은 溫度降下時間 Δt 의 測定結果로부터 (9)식을 사용하여 算出했다. 球의 溫度分布는 均等한 것으로 생각하고 표면 온도 5點의 平均値를 사용하였다. 그러나 球의 온도의 平均化에 의한 誤差를 검토하기 위하여 中心部의 1點의 溫度를 測定하였다.

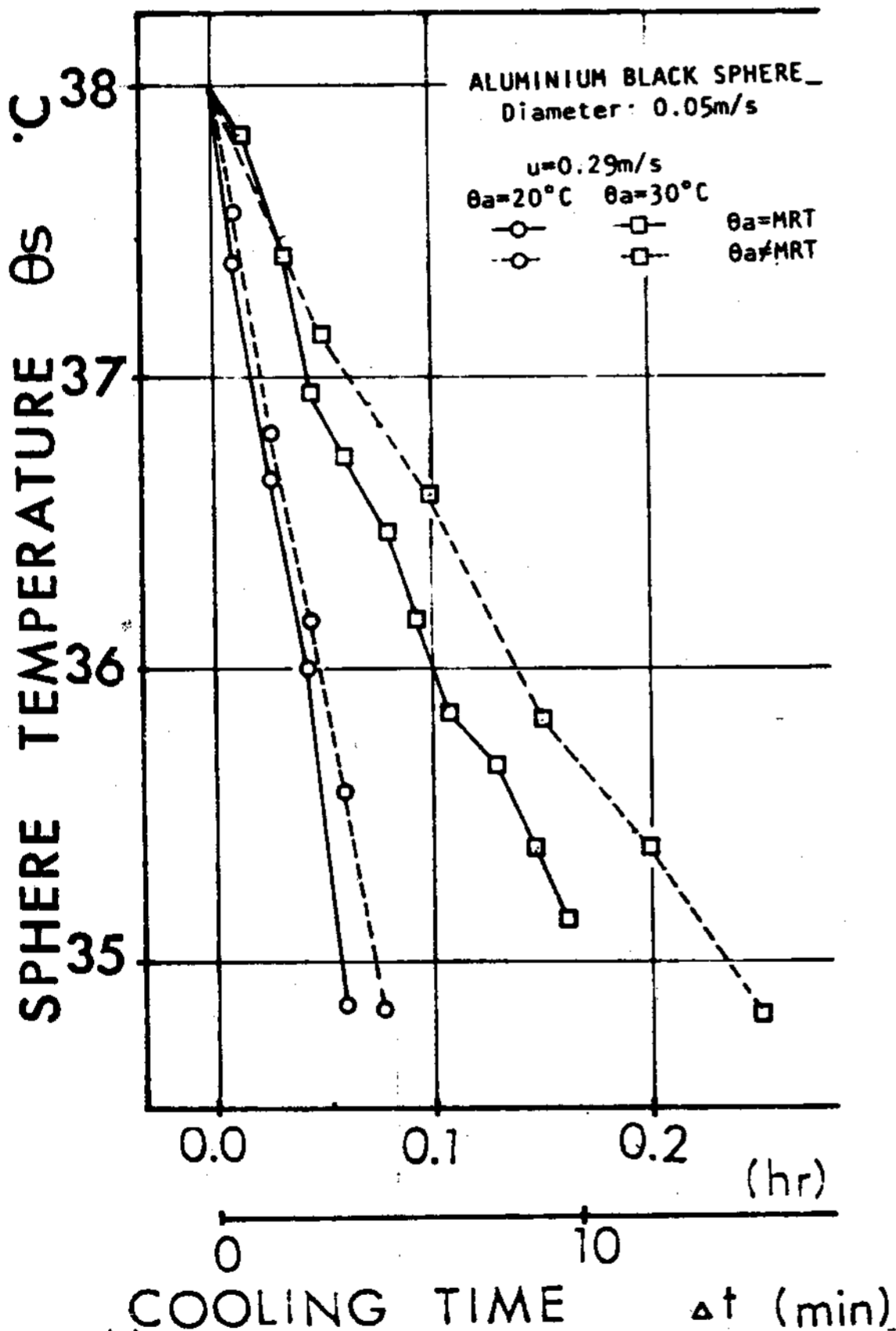
4. 計算値와 實驗値의 比較 및 檢討

4.1 溫度降下 및 冷却時間

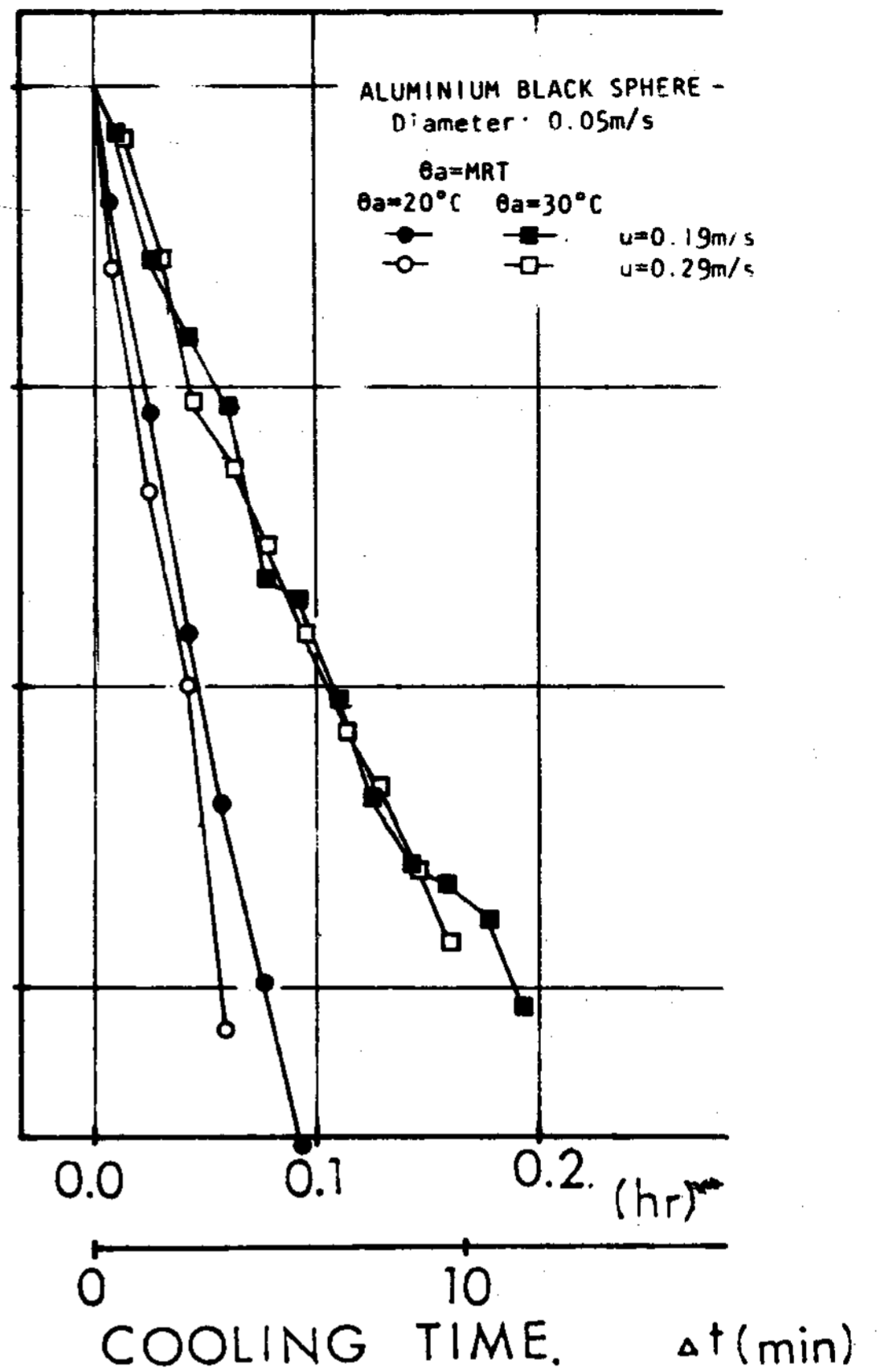
各種溫熱環境條件에서 A1 黑塗裝球溫度의 38°C 에서 35°C 까지 降下에 대한 測定結果를 그림 2에 나타낸다.



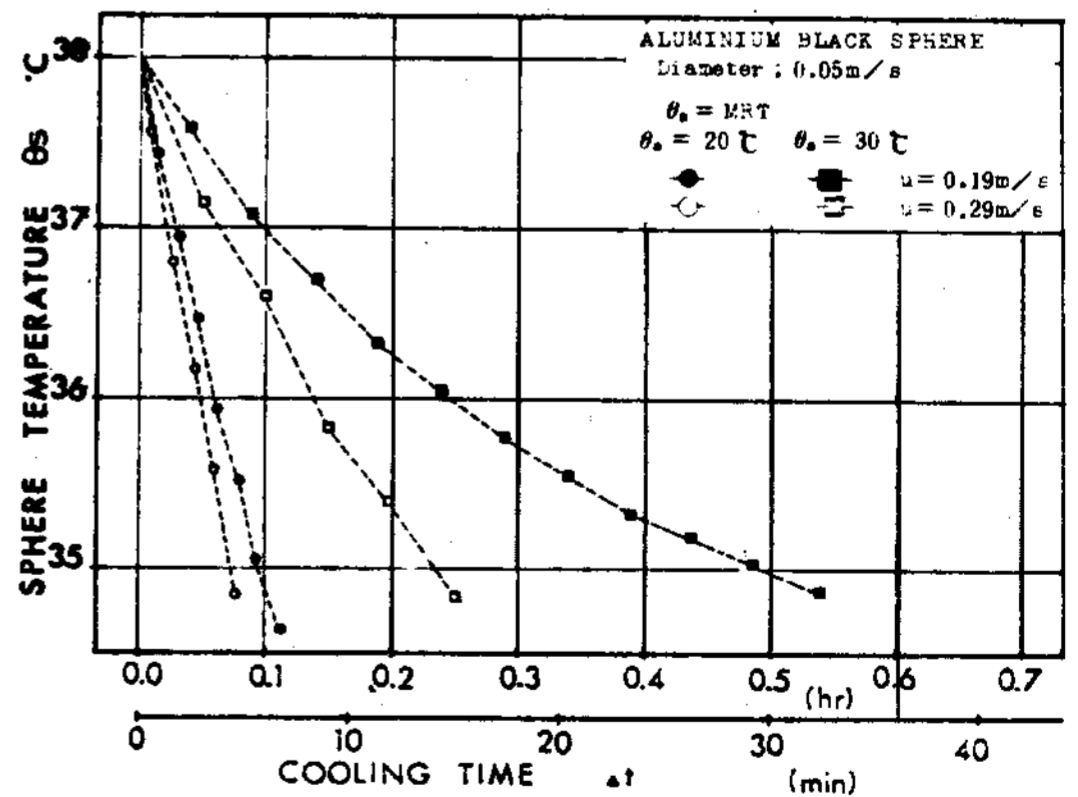
(A) Influence of air temperature and heat radiation in same air velocity, $u=0.19 \text{ m/s}$



(B) Influence of air temperature and heat radiation in same air velocity, $u=0.29 \text{ m/s}$



(C) Influence of air temperature and air velocity in same heat radiation, $\theta_a = \text{MRT}$

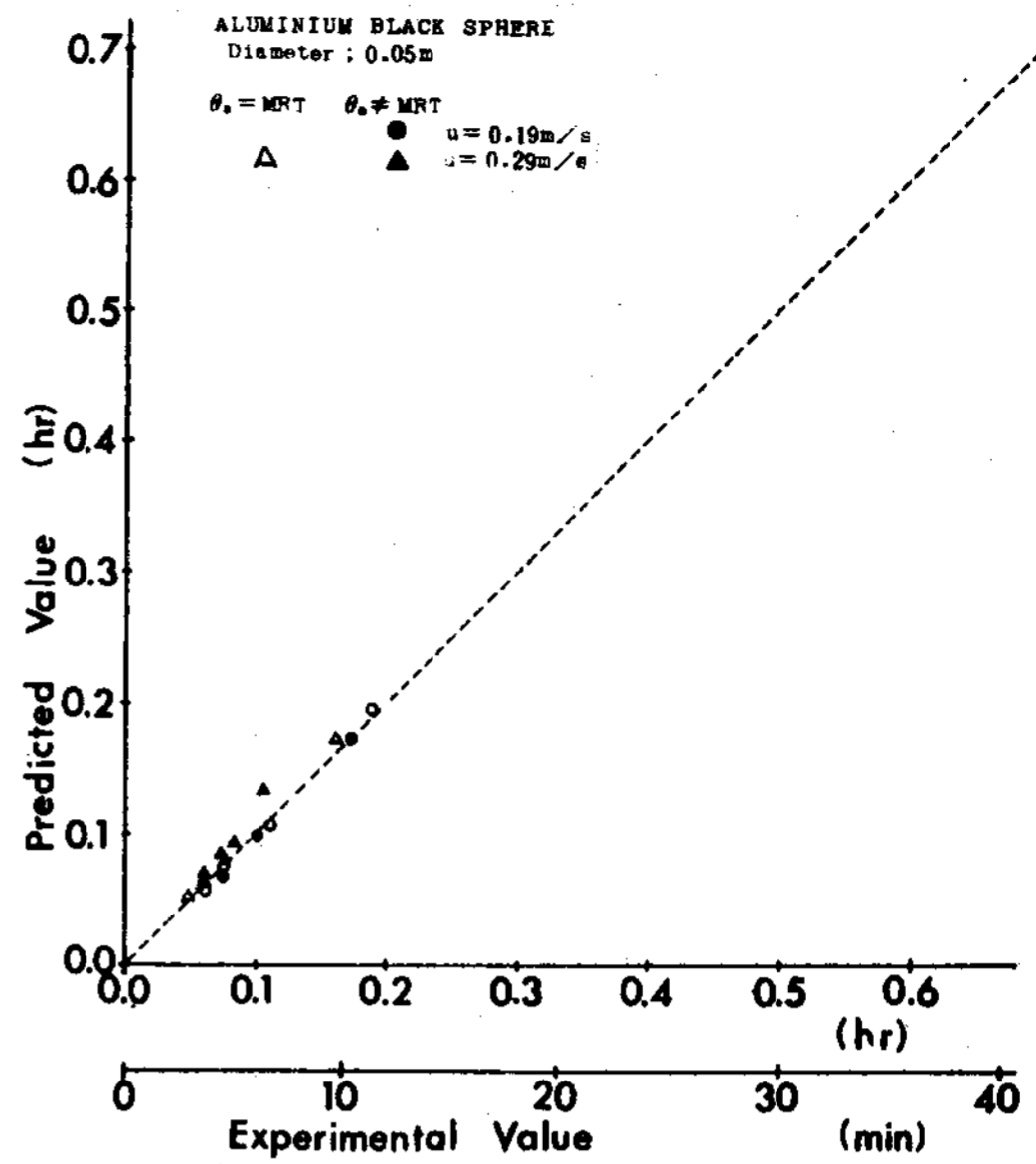


(D) Influence of air temperature and air velocity in same heat radiation, $\theta_a \neq \text{MRT}$

FIG.2 Influence of thermal environmental conditions temperature drops of $0.05\text{m}\phi$ Al black sphere

그림 2의 (A)와 (B)는 氣流는 각각 같은 조건일때 氣溫과 熱輻射의 조건이 바뀔에 따른 球의 溫度變化와 冷却時間과의 關係이며 (C)와 (D)는 熱輻射의 無 ($\theta_a = MRT$)와 有 ($\theta_a \neq MRT$)의 경우에 氣溫과 氣流條件의 바뀔에 따른 球의 溫度變化와 冷却時間과의 關係를 보여준다. 이 그림에서 冷却時間은 溫熱環境의 各要素에 의하여 변화하며 氣溫, 輻射溫度가 크고 氣流가 작으면 冷却速度는 적어지고 따라서 冷却時間은 커진다는 것을 알 수 있다. 또한 반대로 冷却時間을 알면 종합적으로 溫熱環境의 狀態를 判明할 수 있다는 것을 알 수 있다.

그림 3과 표 2 - 4 에서 보여주는 冷却時間 Δt 의 計算値와 實驗値의 비교에서 두值를 溫熱環境評價의 觀點에서 검토하면 두值는 거의 같은 傾向으로 溫熱環境의 各要素를 나타내고 있다.



(A) In case of aluminium
FIG. 3 Comparison of experimental values with predicted values of COOLING TIME, Δt .

TABLE. 2 Setting conditions and results of experiments, and comparison of experimental values with predicted values of COOLING TIME Δt , and COOLING POWER CP

(1) Experimental conditions				(2) Experimental results			(3) a [$W/(m^2 \cdot K)$]		(4) Δt [h]		(5) CP or HP [W/m^2]	
Object	u (m/s)	θ_a (°C)	Heat radiation	θ_a (°C)	MRT (°C)	OT (°C)	Predicted value	Experimental value	Predicted value	Experimental value	Predicted value	Experimental value
Cooling power of 0.05m diameter sphere (Al)	0.19	15	$\theta_a = MRT$	14.90	15.94	15.28	13.95	10.32	0.0571	0.0606	295.40	278.52
			$\theta_a \neq MRT$	14.92	24.78	19.31	14.11	10.99	0.0698	0.0730	241.77	231.21
		20	$\theta_a = MRT$	20.06	21.24	20.58	14.05	11.56	0.0757	0.0753	223.02	224.15
			$\theta_a \neq MRT$	20.13	30.52	24.83	14.27	12.36	0.1019	0.1011	165.63	166.95
		25	$\theta_a = MRT$	24.91	25.42	25.14	14.10	11.72	0.1053	0.1110	160.24	152.06
			$\theta_a \neq MRT$	25.08	34.98	29.61	14.42	13.13	0.1727	0.1729	97.72	97.62
	0.29	30	$\theta_a = MRT$	30.26	30.47	30.36	14.35	13.86	0.1955	0.1880	86.35	89.78
			$\theta_a \neq MRT$	30.07	39.38	34.38	14.56	18.23	0.6833	0.4946	24.70	43.12
		15	$\theta_a = MRT$	14.94	15.93	15.33	15.49	12.18	0.0516	0.0489	327.29	345.16
			$\theta_a \neq MRT$	15.23	25.49	19.34	15.70	13.60	0.0628	0.0558	268.65	302.48
		20	$\theta_a = MRT$	20.40	21.14	20.70	15.65	14.26	0.0684	0.0584	246.67	289.01
			$\theta_a \neq MRT$	20.15	29.55	23.97	15.84	15.15	0.0854	0.0726	197.59	232.48
25	$\theta_a = MRT$	24.83	25.43	25.07	15.77	15.03	0.0942	0.0822	179.22	205.33		
	$\theta_a \neq MRT$	24.64	34.15	28.55	15.98	17.44	0.1345	0.1065	125.50	158.48		
30	$\theta_a = MRT$	30.33	30.49	30.40	15.93	15.84	0.1772	0.1617	95.24	104.38		
	$\theta_a \neq MRT$	29.58	38.62	33.35	16.13	19.78	0.3615	0.2442	46.69	69.12		

4.2 冷却力과 冷却時間

(9)식을 本研究의 實驗條件에 對應시켜 그것의 冷却力 CP와 冷却時間 Δt 의 關係를 그림 4에 그리고 그림 5에는 그 關係를 兩對數座標에 나타낸다. 實驗은 計算值, 各種의 표시는 實驗值를 의미한다.

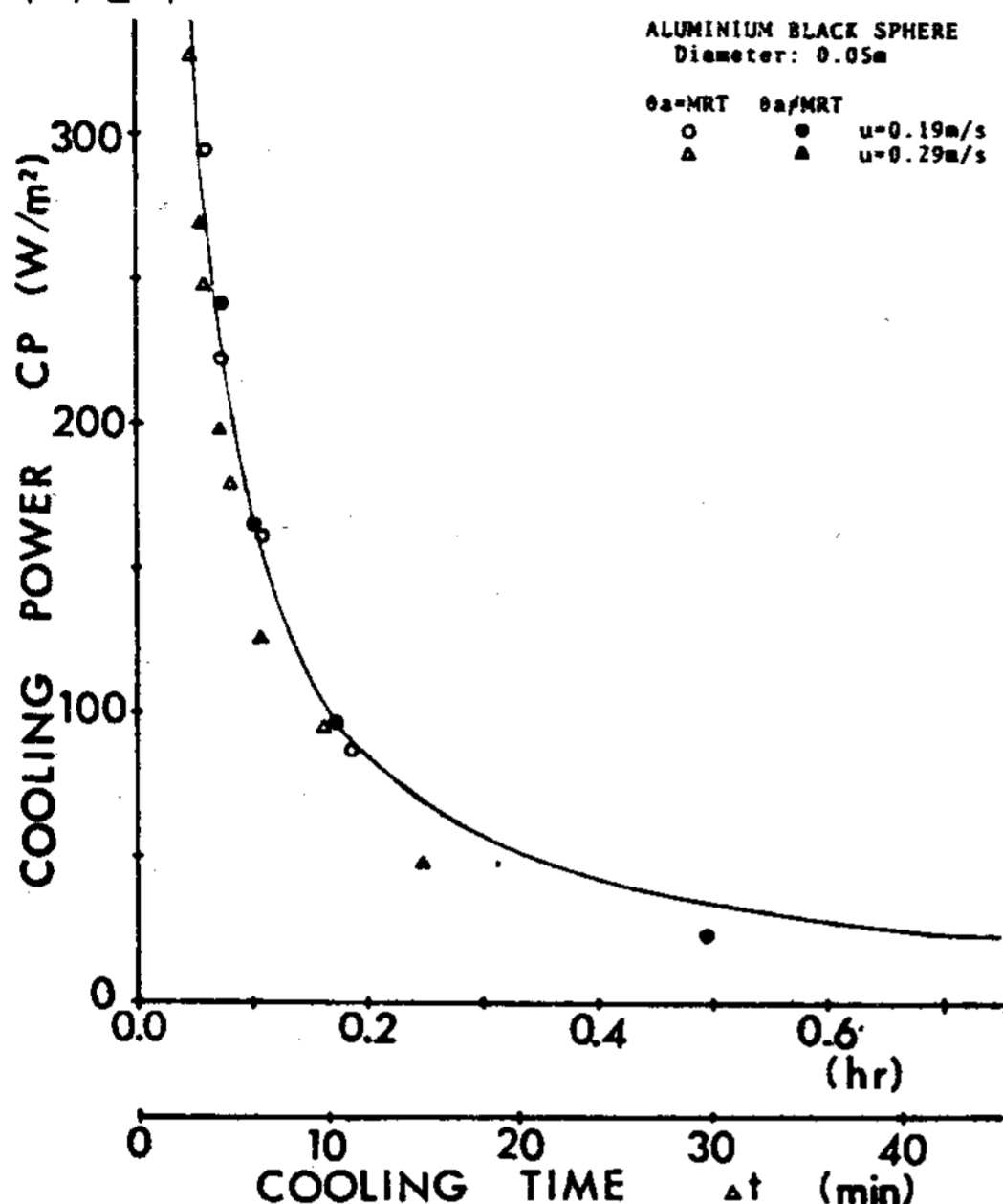


FIG. 4 (A) Relation between COOLING POWER, CP and COOLING TIME, Δt - comparison of experimental values with predicted values

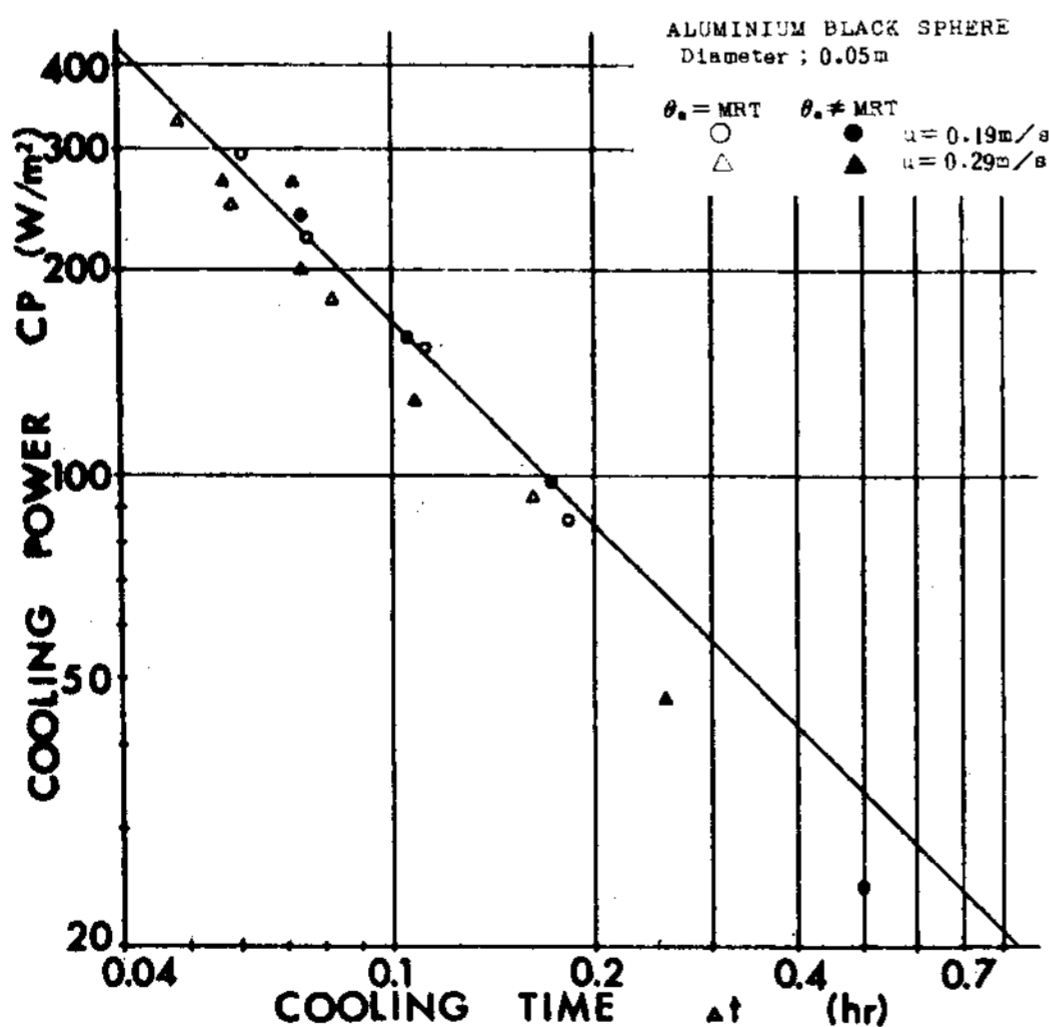
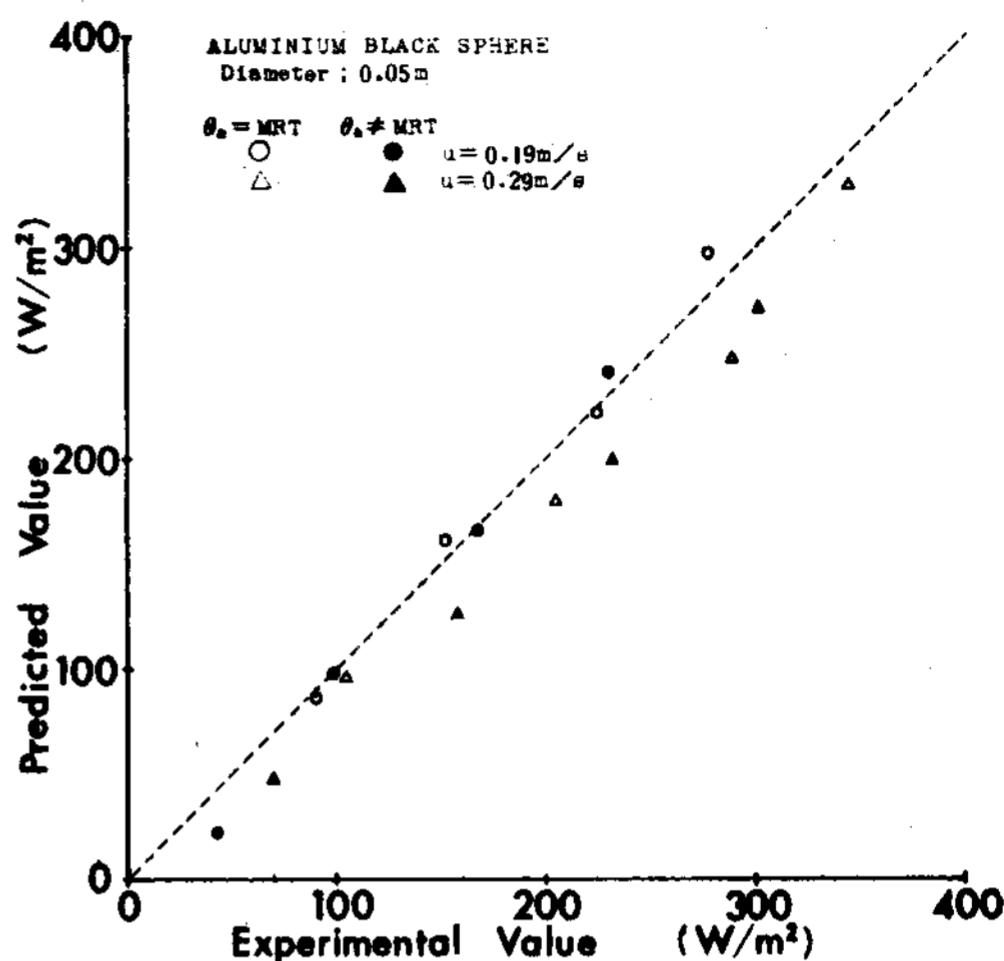


FIG. 5 (B) Relation between COOLING POWER, CP and COOLING TIME, Δt - comparison of experimental values with predicted values on the log scale

두 그림에서 冷却時間에 의한 冷却力の 變化는 計算值와 實驗值에 있어서는 거의 일치하고 있고 冷却力은 冷却時間에 의하여 變化하며 温熱環境을 綜合的으로 나타내는 것을 알 수 있다.

그림 6과 表 2-5에 冷却力の 計算值와 實驗



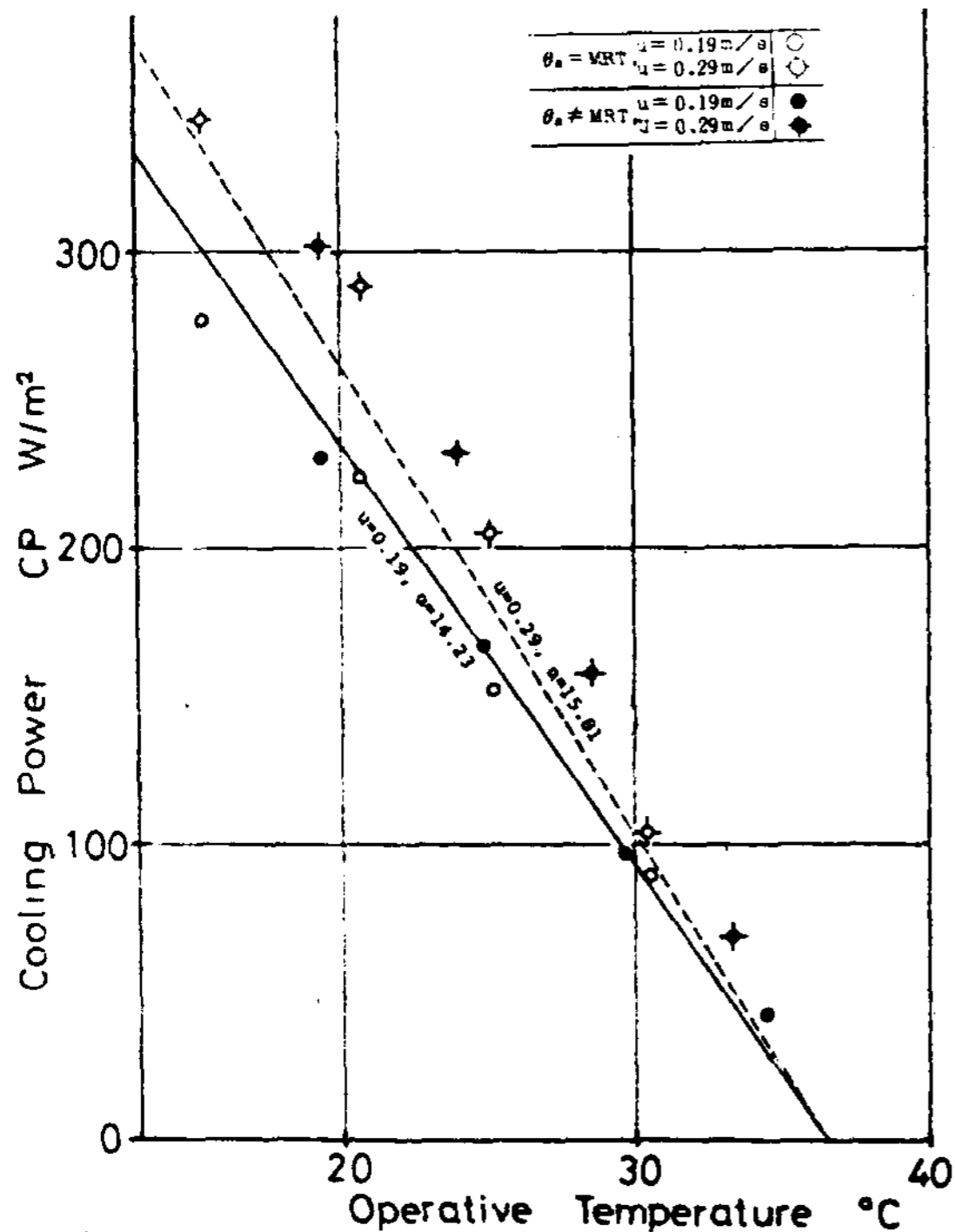
(A) In case of aluminium
FIG. 6 Comparison of experimental values with predicted values of COOLING POWER, CP

值의 比較를 보여준다. 冷却力の 計算值와 實驗值는 약간의 差를 보이긴하나 温熱環境을 같은 傾向으로 나타내고 있다. 여기에서 本論文에서 사용한 温熱環境評價를 위한 冷却力の理論式은 타당하다고 할 수 있으며, 黑塗裝球의 冷却力에 의하여 温熱環境을 評價하는 것은 理論的으로도 實測的으로도 가능하다. 즉, Al 固體의 黑塗裝球의 38~35°C의 冷却時間을 측정하면 既知의 物性值를 사용하여 冷却力을 알 수 있으며, 또한 (6)식에 (11)식, (15)식의 열전달율 α 의 계산치를 대입하여 冷却時間을 알면 理論式으로도 冷却力을 算出할 수 있다.

5. 他의 温熱環境評價方法과의 比較 및 綜合的 温熱環境評價方法으로서의 冷却力

冷却力の 綜合的 温熱環境의 評價方法으로서

의 타당성과 특성을 명확히 하기 위하여 本研究에서 얻은 冷却力의 결과와 같은 조건에서의 作用温度 및 Globe温度와를 비교한다. 그림 7은

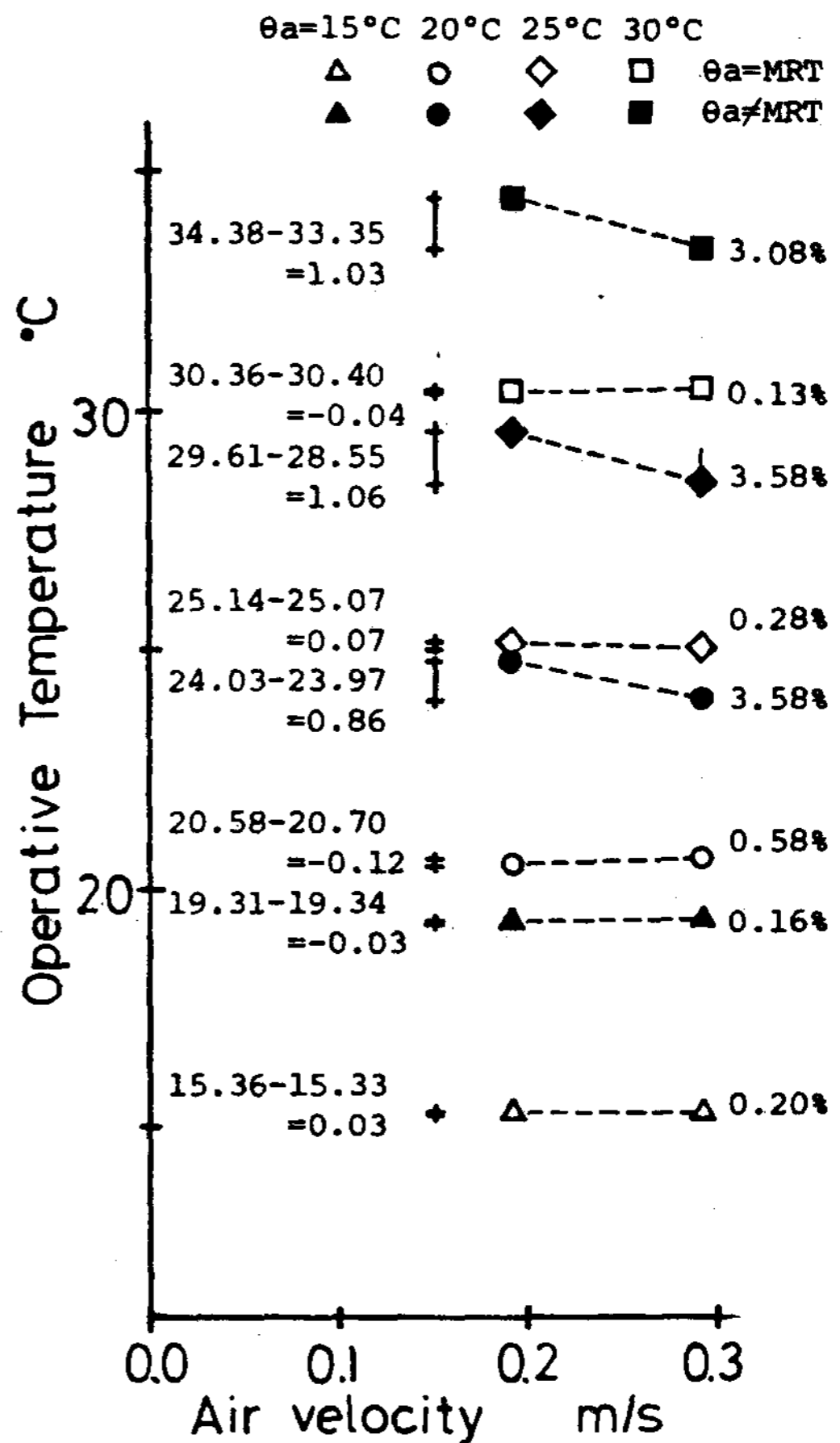


(A) Relation between Cooling Power and Operative Temperature

FIG.7 Comparison of cooling power, CP with other evaluation methods

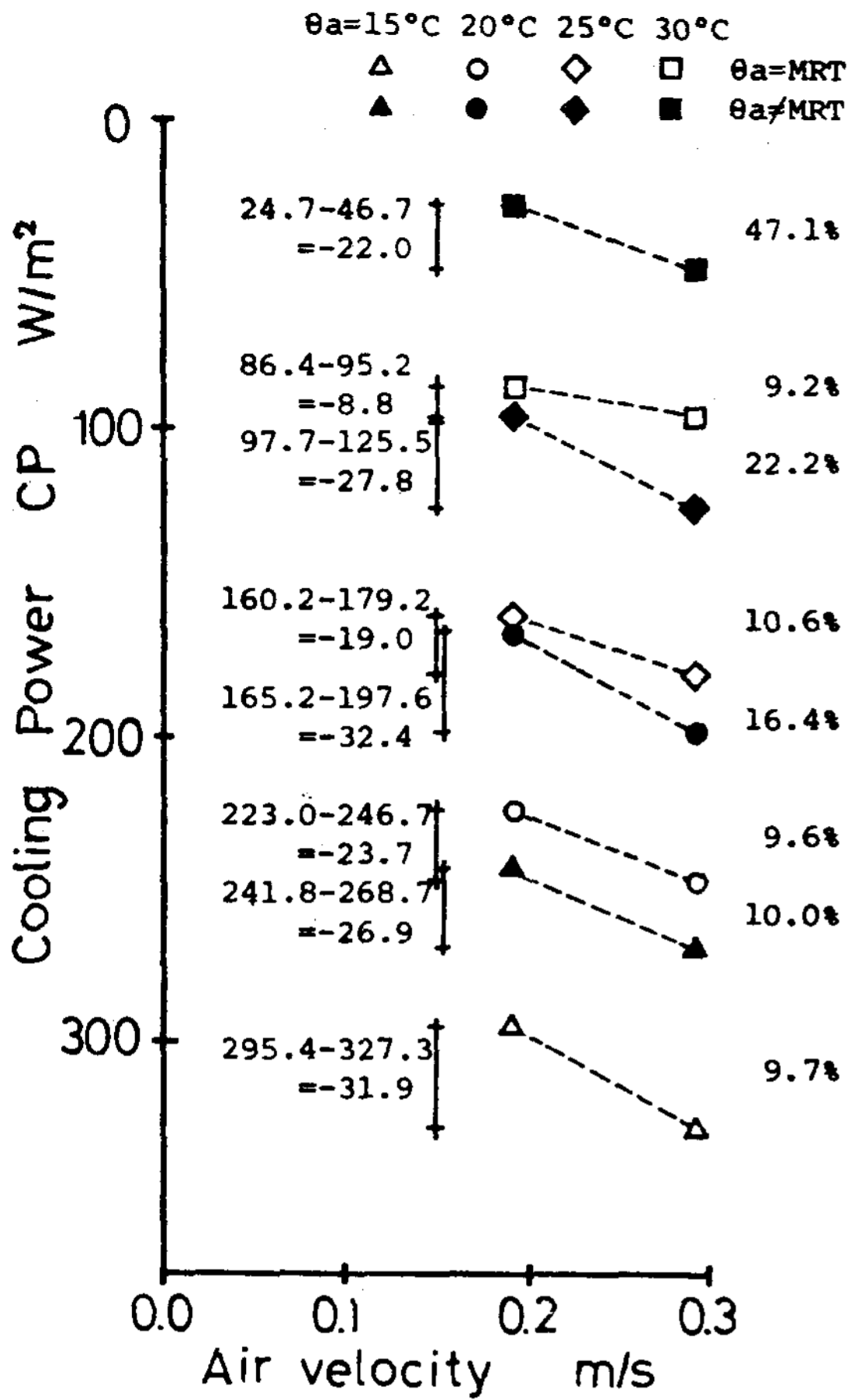
冷却力과 作用温度的 관계이며, 그림 안의 實線 ($u=0.19\text{ m/s}$)과 破線 ($u=0.29\text{ m/s}$)은 계산에 의한 결과이고, 各種 표시는 實驗에 의한 결과이다. 표 2의 2 에도 作用温度를 수치로 나타낸다. 計算의 경우 열전달율 α 의 값은 $u=0.19\text{ m/s}$ 에서 $\alpha=14.23\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, $u=0.29\text{ m/s}$ 에서, $\alpha=15.81\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ 라는 平均値를 사용하였다. 표 2의 2 에서 알수 있는것 처럼 α 의 平均化에 의한 誤差는 無視할 수 있을 정도이다. 이 그림에서 冷却力과 作用温度的 관계는 氣流가 같은 條件일 경우에는 環境의 熱輻射와 氣温을 parameter로 하는 直線으로 나타낼 수 있으나 氣流의 條件이 變化하는 경우에는 作用温度는 微小의 變化를 하나 冷却力은 많은 變化를 하고 있다. 그림 8에는 (A)에서 作用温

도와 氣流, (B)에서 冷却力의 計算値와 氣流의 關係를 보여준다. 그림 속의 左側의 숫자는 氣流의 變化에 따른 作用温度 및 冷却力의 變化量을 뜻하고 右側의 숫자는 그 變化량을 (A)作用温度的 $u=0.29\text{ m/s}$ 의 값, (B)冷却力의 $u=0.19\text{ m/s}$ 의 값에 대한 百分率을 나타낸다. 氣流 $u=0.19\text{ m/s}$ 에서 0.29 m/s 로의 變化에 따른 作用温度的 變化는 最高 3.54%, 最低 0.16% 이고, 冷却力의 變化는 最高 47.1%, 最低 9.2%이다.



(A) Influence of air velocity on Operative Temperature

FIG.8, Comparison of Cooling Power CP with other evaluation methods

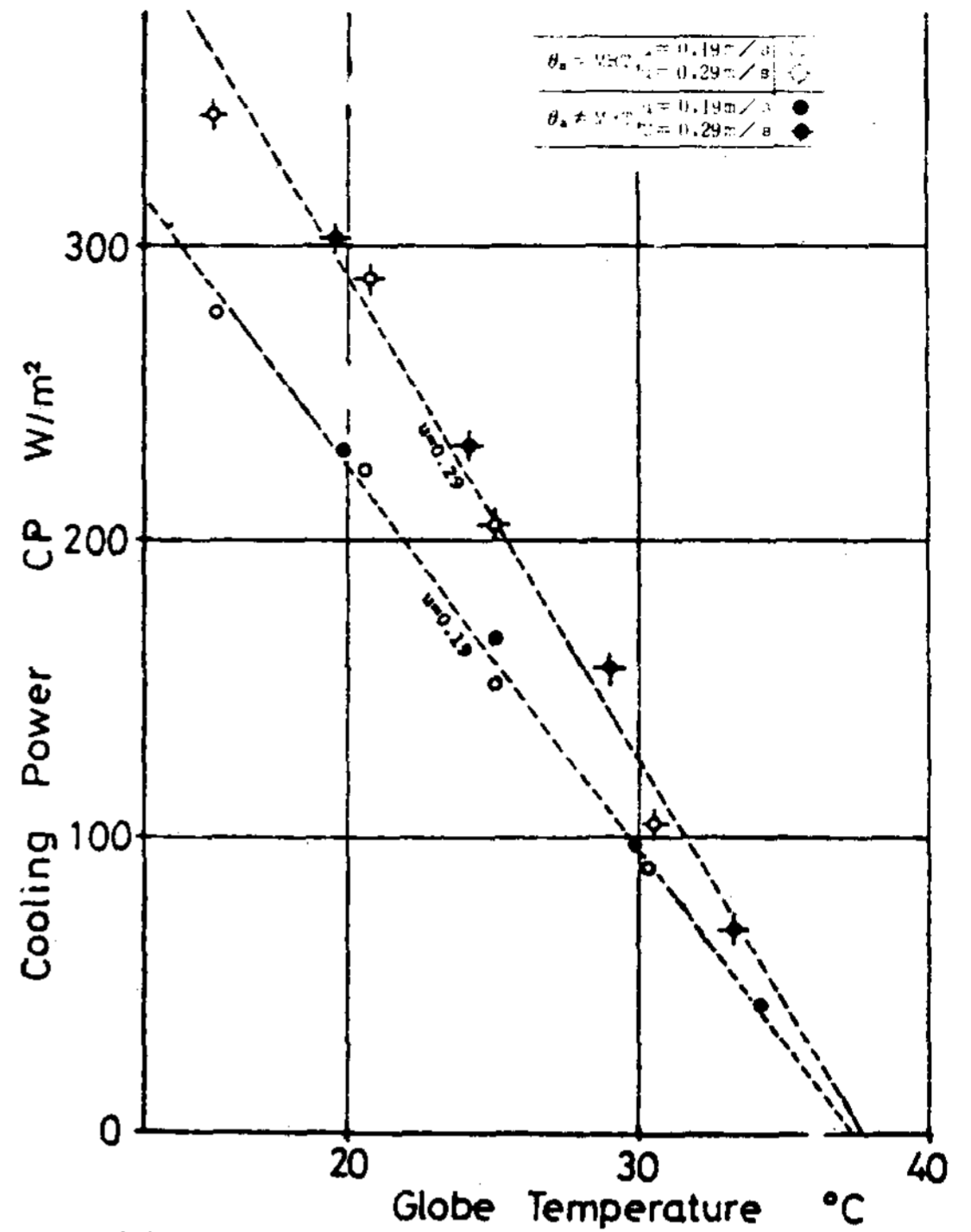


(B) Influence of air velocity on Cooling Power CP

FIG.8, Comparison of Cooling Power CP with other evaluation methods

그림 9는 冷却력과 Globe 温度와의 관계이며 冷却력은 實驗值만을 各種표시로 나타낸다. 破線은 氣流로 분류한 本實驗의 2條件에 關하여 冷却力の Globe 温度에 대한 回歸直線이다. 이 그림에서 같은 氣流條件에서 冷却력과 Globe 温度는 상당한 相關關係 (相關係數 ≈ 0.99)를 가지고 직선적으로 변화한다. 또한 球에 대한 作用温度의 경우와 마찬가지로 Globe 温度도 氣流의 변화에 의하여 거의 변화되지 않는 것을 알 수 있다.

作用温度는 理論的인 温熱環境의 綜合的 指標로서 또한 Globe 温度는 測定에 의한 温熱環境



(B) Relation between Cooling Power and Globe Temperature

FIG.9 Comparison of Cooling Power, CP with other evaluation methods

의 綜合的指標로서 現在까지 일반적인 평가를 받고있으나 그림 7, 그림 9의 검토에 의하여 黑塗裝球의 冷却力은 作用温度, Globe 温度와 함께 温熱環境의 氣温, 熱輻射의 效果를 複合的으로 표현하는 것을 알 수 있다. 또한 그림 8을 추가하여 검토하면 冷却力은 氣流의 영향을 作用温度, Globe 温度보다 明確히 나타내는 것을 알 수 있다.

氣流는 人間の 温熱感覺에 영향을 미치는 중요한 요소중의 하나라는 것을 被實驗者의 生理的, 心理的 反應의 研究에 의하여서도 檢討되어지고 있다. 예를 들면 日本의 磁田 (Isoda), 小林 (Kobayashi)¹⁴⁾ 등은 氣流의 人體에 미치는 生理的 영향을 표현하는 尺度로서 平均皮膚温과 氣流의 사이에 상당히 相關關係가 있음을 確認하고, 또 氣流와 温熱感과도 역시 相關關係가 높은것을 實驗의 結果로 설명하고 있다.

이상으로 부터 黑塗裝球에 대한 温熱環境의

冷却力은 作用温度 및 Globe温度 보다도 人體를 대상으로한 物理的 温熱環境의 顯熱交換量을 잘 평가할 수 있다고 생각한다.

6. 結 論

1) 本 論文은 温熱環境의 綜合的 評價를 目的으로 하여 人體의 縮小 Model로서 A1 黑塗裝球과 周圍温熱環境과의 熱交換量에 대한 研究이다. 室內温熱環境에서 黑塗裝球에 대한 環境의 冷却力에 대하여 理論解析 및 實驗을 행하여 冷却力이 温熱環境條件을 매우 잘 표현한다는 것을 判明했다.

2) 理論解析에서는 環境温度로서 黑塗裝球에 대한 作用温度를 사용했다. 그 作用温度와 冷却力 및 Globe 温度와 冷却力을 각각 비교한 결과 冷却力이 温熱環境의 綜合的 評價方法으로서 適當하다고 생각된다.

3) 本 論文에서는 濕度를 거의 一定하게 유지하여 그것의 영향을 고려하지 않았으나 今後에는 濕度 및 表面濕潤등의 영향 밑에서 熱交換量에 의한 温熱環境評價의 研究가 필요하다. 그것의 일부분은 著者등에 의하여 이미 發表¹⁵⁾되었다.

마지막으로 本研究는 著者가 日本東京工業大學 大學院에서 행한 研究중의 일부임을 밝혀둔다.

参 考 文 献

1. Vernon, H.M.: The measurement of radiant heat in relation to human comfort, Journal of Physiology, Vol. 70, p. 15, 1930
2. Hill, L., Vernon, H.M. and Hargood, D.: The Kata Thermometer as a measure of ventilation, Proceedings of Royal Society of London, Series B, Vol. XCIII p. 198 1922
3. Houghten, F.C. and Yaglou, C.P.: Determining lines of equal comfort, ASHVE Transactions, Vol. 29, p. 163, 1923
4. Bedford, T. and Warner, C.G.: The globe thermometer in studies of heating and ventilation, Journal of Hygiene, Vol. 34, P. 458, 1934
5. Winslow, C. - E.A., Herrington, L.P. and Gagge, A.P.: Physiological reactions of the human body to varying environmental temperatures, The American Journal of Physiology, Vol. 120, No. 1, 1937
6. Gagge, A.P.: Standard Operative Temperature, a generalized temperature scale, applicable to direct and partial calorimetry, The American Journal of Physiology, Vol. 131, No. 1, 1940
7. 川下研介: 熱傳導論, 生産技術センター, P. 20, 1975 年復刻版
8. Hutchinson, F.W.: Heating and humidifying load analysis, The Ronald Press New York, P. 285, 1962
9. Frössling, N.: Über die Verdunstung fallender Tropfen, Gerlands Beiträge zur Geophysik, Vol. 52, P. 170, 1938
10. Yuge, T.: Experiment on heat transfer from spheres including combined natural and forced convection, Transactions of the ASME, Series C, Journal of Heat Transfer, Vol. 82, P. 214 1960
11. Tsubouchi, T. and Sato, S.: Heat transfer between single particles and fluids in relative forced convection Chemical Engineering Progress Symposium Series, Vol. 56, P. 285, 1960
12. Ranz, W.E. and Marshall, R.: Evaporation from drops, Chemical Engineering Progress, Vol. 48, No. 3, P. 141, P. 179, 1952