

1968年 國際實用溫度 눈금에 대하여

技術資料

高明三*

— 차례 —

- A. 序 論
- B. 本 論
- B-I. 1968年 國際實用溫度 눈금 序論

- B-II. 1968年 國際實用溫度 눈금의 定義
- B-III. 補充資料
- C. 結 論

A. 序 論

國際實用溫度 눈금은 1927년에 제정된 이래 실제의 온도測定の 기준으로 국제적으로 널리 사용되고 있다. 보통 우리들은 國際實用溫度 눈금으로 표시되어 있는 지의 여부를 명확하게 의식하지 않고 각종 온도에 관한 測定値를 처리하는 경우가 많으나, 만일 실지로 사용되고 있는 온도測定裝置의 눈금이 어떤 과정을 거쳐 정해졌는가를 조사한다면, 國際實用溫度 눈금이 정해진 온도範圍(13.81k 以上)에서는, 반드시 같은 온도 눈금으로 상호 연관되었음은 알 수 있고, 만일 같은 온도 눈금이 아니면, 얻어진 온도值의 客觀性에는 다소의 의문점이 있다고 볼 수 있다.

國際實用溫度 눈금은 이와 같이 중요한 役割을 가지고 있는 것은, 첫째로 그것이 技術的 見地에서 가장 우수한 標準이라는 점과, 둘째는 그것이 meter條約에 기초로 한 國際的인 性格에 그 기초를 두고 있기 때문이다. 특히 우리나라와 같이 급속히 발전하는 工業化 過程에서 발생하는 技術上의 否定的인 面을 없애기 위한 각종 產品의 標準化作業은 매우 중요하다. 이를 위하여 우리나라에서는 工產品의 規格 標準化作業이 公업진흥청의 主管下에 지난 10年間 많은 진전을 가져왔으나, 國際實用溫度 눈금에 대한 體系的인 조사는 별로 없었다. 이러한 모든 規格의 標準化作業의 기초의 일부가 될 수 있는 國際實用溫度 눈금에 대한 최근의 資料를 筆者는 지난 7月 渡日時 日本 計量研究所에서 얻을 수 있었으므로, 우리나라에서의 工業規格標準化作業의 基礎分野에 도움을 주고저, 計量標準에 관한 國際的인 研究成果의 하나인〔1968年 國際實用溫度 눈금〕(Metrologia, 5, No. 2, 1969)의 全文을 소개한다. 여기에 掲載된 全文은 종래의 1948年 國際實用溫度 눈금, 1960年 修正版에 代替되는 새로운 國際的인 實用溫度測定標準으로 1968年 以來 國際的으로 사용되어온 것들이다.

B. 本 論

1968年 國際實用溫度 눈금 全文

I. 서 론

基本溫度는 熱力學的 溫度(기호 T)이며, 그 단위는 Kelvin(기호 K)이다. Kelvin은 물의 3重點의 熱力學 溫度의 $1/273.16^{1)}$ 이다.

Celsius溫度(기호 t)는

$$t = T - T_0 \dots \dots \dots (1)$$

로 정의되며, 여기서 $T_0 = 273.15K$. Celsius溫度를 나타내기 위하여 사용되는 단위는 Celsius度(기호 °C)이며, 그것은 Kelvin과 같다. 溫度差는 Kelvin으로 나타내지만, Celsius度로도 나타낼 수 있다.

1968年 국제실용온도 눈금(IPTS-68, International Practical Temperature Scale-68)는 이 눈금으로 측정된 溫度가 熱力學 溫度에 밀접하게 근사하도록 선정되어 있다. 兩者의 差는 현재의 측정정확도 범위내에 속한다.

1968年 國際實用溫度 눈금에서는 기호 T_{68} 의 국제실용 Kelvin溫度와 기호 t_{68} 의 국제실용 Celsius溫度를 분리 사용한다. T_{68} 과 t_{68} 의 관계는

$$t_{68} = T_{68} - 273.15K \dots \dots \dots (2)$$

이다. T_{68} 및 t_{68} 의 단위는 熱力學溫度 T 및 Celsius溫度 t인 경우와 같이 Kelvin(기호 K) 및 Celsius度(기호 °C)이다.

國際度量衡委員會는 第13回 國際度量衡總會의 決議 8에서 위탁된 권한에 의거 1968年의 會合에서 1968年 國際實用溫度 눈금을 채택하였다. 이 눈금은 1948年 국제실용온도 눈금(1960年 修正版)을 대신하는 것이다.

II. 1968年 國際實用溫度 눈금(IPTS-68)의 定義²⁾

1. IPTS-68의 原則과 定義定點

- 1) 第13回 國際度量衡總會(1967年), 決議 3 및 決議 4
- 2) 이 文書에서는 일반적으로 0°C 以下에서는 Kelvin溫度를, 0°C 以上에서는 Celsius溫度를 사용한다. 이것은 負의 값을 사용하는 것은 피할 수 있고, 또한 慣用에도 合致된다.

*正會員·서울工大 教授(工博)·當學會 編修理事

IPTS-68은 여러개의 再現 가능한 平衡狀態(定義定點)에 주어진 溫度의 값과 이들 溫度로 눈금이 정해지는 소정의 計器에 그 바탕을 두고 있다. 定點溫度間의 補間은 이들 計器의 指示度와 國際實用溫度值間의 關係를 정하는데 쓰이는 公式에 의하여 주어진다.

定義定點은, 순수한 物質의 相間의 所定の 平衡狀態를 實現함으로써 設定된다. 이들의 平衡狀態와, 이들에 부여되는 국제실용온도의 값은 表 1에 나타나 있다.

13. 18K부터 630. 74°C까지에 사용되는 標準計器는 白金抵抗溫度計이다. 溫度計의 抵抗素子는 歪가 없고, 고온에 달련된 純白金이어야 한다. R을 저항이라고 하면,

$$W(T_{68}) = R(T_{68})/R(273. 15K) \dots\dots\dots(3)$$

로 정의되는 抵抗比 W(T₆₈)은 T₆₈=373. 15K에서 1. 39250보다 적어서는 안된다. 0°C 以下에서는 溫度計의 抵抗-溫度 關係는 한개의 基準函數와 소정의 偏差函數로부터 구해진다. 0°C부터 630. 74°C까지는 두개의 多項式이 抵抗-溫度 關係를 부여한다.

630. 74°C부터 1064. 43°C까지에 사용되는 標準計器는 白金 로더움(10% 로더움)/白金의 熱電對이며, 그 起電力-溫度 關係는 그 次式으로 나타낸다.

1337. 58K (1064. 43°C) 이상에서의 1968年 國際實用溫度는 基準溫度로서 1337. 58K를 사용하며, 또한 C₂로서 0. 014388 meter kelvin의 값을 사용하여 Planck의 放射法則에 의하여 정의된다.

2. 1968年 國際實用溫도의 各溫度領域에서의 定義

a. 13. 81K부터 273. 15K까지의 領域

13. 81K부터 273. 15K까지의 溫度 T₆₈은 관계식

$$W(T_{68}) = W_{CCR-68}(T_{68}) + \Delta W(T_{68}) \dots\dots\dots(4)$$

에 의하여 정의되며, 여기서 W(T₆₈)은 白金抵抗溫度計의 抵抗比이고, W_{CCR-68}(T₆₈)은 表 2에 표시된 基準函數로 주어진 抵抗比이다³⁾.

定義定點의 溫度에서의 偏差 ΔW(T₆₈)은, 測定된 W(T₆₈)의 값과 W_{CCR-68}(T₆₈)의 對應值(表 4를 참조)에서 얻어진다. 中間溫度에서의 ΔW(T₆₈)을 구하기 위하여는 補間公式를 사용한다. 13. 81K부터 273. 15K까지의 범위는 네개의 區間으로 구분되며, 각각의 區間에서 ΔW(T₆₈)은 T₆₈의 多項式으로 정의된다. 이들 多項式的 係數는 定點에서의 ΔW(T₆₈)의 값과, 溫度區間의 接合點에서 dΔW(T₆₈)/dT₆₈에 不連續이 없는 條件에서 결정된다.

13. 81K부터 20. 28K까지는, 偏差函數 ΔW(T₆₈)은

$$\Delta W(T_{68}) = A_1 + B_1 T_{68} + C_1 T_{68}^2 + D_1 T_{68}^3 \dots\dots\dots(5)$$

로 주어진다. 이 함수의 계수는 平衡水素의 三重點, 17. 042K의 溫度 및 平衡水素의 沸點에서 측정된 偏差와 식 (6)에서 구해진 平衡水素의 沸點에서의 偏差函

數의 導函數로부터 결정된다.

20. 28K부터 54. 361K까지는 偏差函數는

$$\Delta W(T_{68}) = A_2 + B_2 T_{68} + C_2 T_{68}^2 + D_2 T_{68}^3 \dots\dots\dots(6)$$

로 주어진다. 여기서 계수는 平衡水素의 沸點 및 酸素의 三重點에서 측정된 偏差와 식 (7)에서 구하여진 酸素의 三重點에서의 偏差函數의 도함수에서 결정된다.

54. 361K부터 90. 188K까지는 偏差 함수는

$$\Delta W(T_{68}) = A_3 + B_3 T_{68} + C_3 T_{68}^2 \dots\dots\dots(7)$$

으로 주어진다. 이 함수의 계수는 酸素의 三重點 및 沸點에서 측정된 偏差와 (8)식에서 구해진 산소의 沸點에서의 偏差 함수의 도함수로부터 결정된다.

90. 188K부터 273. 15K까지는, 偏差函數는

$$\Delta W(T_{68}) = A_4 t_{68} + C_4 t_{68}^3 (t_{68} - 100^\circ C) \dots\dots\dots(8)$$

이다. 이 함수에서 t₆₈=T₆₈-273. 15K이며 또한 계수는 산소의 沸點 및 물의 沸點⁴⁾에서 측정된 偏差에서 결정된다.

b. 0°C (273. 15K)부터 630. 74°C까지의 領域

0°C부터 630. 74°C까지는 溫度 t₆₈은 관계

$$t_{68} = t' + 0. 045 \left(\frac{t'}{100^\circ C} \right) \left(\frac{t'}{100^\circ C} - 1 \right) \left(\frac{t'}{419. 58^\circ C} - 1 \right) \left(\frac{t'}{630. 74^\circ C} - 1 \right)^\circ C \dots\dots\dots(9)$$

로 정의되며, 여기서 t'는 W(t')=R(t')/R(0°C)를 사용하며, 식

$$t' = \frac{1}{\alpha} [W(t') - 1] + \delta \left(\frac{t'}{100^\circ C} \right) \left(\frac{t'}{100^\circ C} - 1 \right) \dots\dots\dots(10a)$$

로 정의된다. 定數 R(0°C), α 및 δ는 물의 三重點, 水の 沸點(혹은 錫의 凝固點, 表 1의 脚注 2를 참조) 및 亞鉛의 凝固點에서의 抵抗의 측정에서 결정된다.

식 (10a)는 식

$$W(t') = 1 - A t' + B t'^2 \dots\dots\dots(10b)$$

와 동등하다.

여기서 A=α(1+δ/100°C) 또는 B=-10⁻⁴αδ°C⁻²

c. 630. 74°C부터 1064. 43°C까지의 領域

630. 74°C부터 1064. 43°C까지의 溫度 t₆₈은 식

$$E(t_{68}) = a + b t_{68} + c t_{68}^2 \dots\dots\dots(11)$$

로 정의되며, 여기서 E(t₆₈)은 白金 로더움(10% 로더움)/白金의 標準熱電對의, 한쪽의 接合點이 溫度 t₆₈=0°C이고, 다른 接合點은 溫度 t₆₈인 경우의 起電力이다. 계수 a, b 및 c는 630. 74°C±0. 2°C(白金抵抗溫度計로 결정된 온도) 및 銀과 金の 凝固點에서의 E의 값

3) IPTS-68 및 그 一部를 유도하는데 사용된 「各國눈금」과의 關係에 대하여는 付錄 I을 참고

4) 물의 沸點대신 定點으로 錫의 凝固點(表 1의 脚注 2를 참조)을 사용한 때는 白金抵抗溫度計에 대한 W(100°C)는 식 (9) 및 (10)에서 계산하여야 한다.

으로 부터 계산된다.

標準熱電對의 素線은 燒成되어야 하며 또한 白金線의 純度는 抵抗比 $W(100^{\circ}\text{C})$ 가 1.3920 보다 적어서는 안된다. 白金 로디움線은 公稱, 質量으로 로디움 10%와 白金 90%를 포함하여야 한다. 이 熱電對는 그 起電力 $E(630.74^{\circ}\text{C})$, $E(\text{Ag})$ 및 $E(\text{Au})$ 등이 다음 관계를 만족하는 것이 되어야 한다.

$$E(\text{Au}) = 10300\mu\text{V} \pm 50\mu\text{V} \dots\dots\dots(12)$$

$$E(\text{Au}) - E(\text{Ag}) = 1183\mu\text{V} + 0.158$$

$$[E(\text{Au}) - 10300\mu\text{V}] \pm 4\mu\text{V} \dots\dots\dots(13)$$

$$E(\text{Au}) - E(630.74^{\circ}\text{C}) = 4766\mu\text{V} + 0.631$$

$$[E(\text{Au}) - 10300\mu\text{V}] \pm 8\mu\text{V} \dots\dots\dots(14)$$

d. 1337.58K (1064.43°C) 以上の 溫度領域

1337.58K (1064.43°C) 이상에서는 온도 T_{68} 은 식

$$\frac{L_{\lambda}(T_{68})}{L_{\lambda}(T_{68}(\text{Au}))} = \frac{\exp\left[-\frac{C_2}{\lambda T_{68}(\text{Au})}\right] - 1}{\exp\left[-\frac{C_2}{\lambda T_{68}}\right] - 1} \dots\dots(15)$$

로 정의되며, 여기서 $L_{\lambda}(T_{68})$ 와 $L_{\lambda}(T_{68}(\text{Au}))$ 는 溫度 T_{68} 과 金の 凝固點 $T_{68}(\text{Au})$ 에서의 黑體의 放射의 energy 輝度の 波長 λ^{60} 에서의 分光密度이며,

$$C_2 = 0.014388 \text{ meter-kelvin.}$$

III. 補充資料

이 절에서 기술하는 裝置, 方法 및 操作樣式은 현재의 매우 우수한 方法을 나타내고 있다.

1. 標準抵抗溫度計

白金抵抗溫度計는 네개의 端子가 있고, 그 抵抗素子가 되도록 歪을 받지 않도록, 또 사용중에도 그 상태가 유지되도록 설계 제작되어야 한다. 만족될 저항소는 0.05mm와 0.5mm간의 均등한 直徑의 白金線으로 제작되며, 抵抗에 인접되는 각 導線의 小部分만은 적어도 白金으로 만든다. 널리 사용되고 있는 $R(0^{\circ}\text{C})$ 의 값은 약 25Ω이며, 그러한 溫度計에 대한 測定電流은 보통 1 내지 2mA이다. 抵抗素子 부근에 있는 溫度計構成部品은 모두 깨끗하며, 白金과 反應하여서는 안된다. 製作過程에서 溫度計는 약 450°C에서 排氣한 후 乾燥氣體로 충만 후 密封하는 것이 좋다. 白金中の 微量의 不純物을 酸化狀態로 유지하기 위하여, 充填氣體는 酸素를 포함하는 것이 바람직하다. 溫度計 완성 후, 抵抗素子는 예정의 최고 사용온도 보다 높고 또한 어떠한 경우에도 450°C보다 낮지않은 溫度로 燒成되어야 한다.

抵抗素子와 導線을 받치고 있는 部品の 絕緣抵抗은 素子에 대한 分流를 무시할 수 있는 정도로 충분히 높아야 한다.

예를 들면, 낮은 溫度에서는 水蒸氣가 導線 사이에서 凝縮되지 않도록, 또한 高溫에서는 絕緣體固有의 누

설을 피할 수 있게 하면 좋다. 絕緣體는 보통 雲母, Silica 혹은 Alumina로 제작되므로, 보통 이들의 材質은 500°C까지는 충분한 固有絕緣을 갖는다. 그러나 溫度가 630°C에 가까워지면, 1mK 내지 그 이상의 오차를 쉽게 발생시킬 수 있다. 雲母의 경우에는 더한층 문제가 발생하며, 450°C 이상의 溫度에 노출되는 동안에 비교적 많은 量의 水分을 방출하며, 이 水分을 정기적인 排氣 또는 乾燥劑를 이용하여 제거하지 않은 이상 絕緣抵抗은 급속히 저하한다.

抵抗과 抵抗率의 溫度係數등의 충분한 安定性을 보증하기 위하여는, 標準白金抵抗溫度計의 抵抗素子는 되도록 燒成된 상태로 유지하여야 한다. 溫度計의 보통 階級에서 발생하는 偶然的 冷間加工의 結果로써, 또한 溫度計가 500°C 이상의 環境에서 室溫으로 옮길 때의 急冷結果 抵抗率이 증가한다. 後者의 抵抗增加는 濃도가 증가된 空格子點缺陷이 準安定平衡 상태에서 燒成된 것에 기인됨으로 溫度計가 200°C 以下에 놓여있는 한 없어지지 않는다. 抵抗(增加分)중 燒成에 의해 발생한 전부와 冷間加工에 의하여 이트킨 대부분은 500°C에서 30分間 燒成하면 제거할 수 있다.

溫度計의 構成部品內에서의 全反射에 의한 熱放射損失은 특히 部品이 silica製인 경우, 비교적 큰 오차를 이트킨 때가 있다. 이런 종류의 損失이 內部的 構成部品에 의한 것이 아니라 시이스에 의한 것이므로, 그것은 시이스의 外面을(예를 들면 코로이드狀 黑鉛懸濁液으로) 감게 한다던가, 혹은 表面을 砂吹로 윤택을 지워 버리는 것과 같은 끝마무리 작업으로 억제할 수 있다.

完成後의 溫度計에 대하여, 熱傳導誤差를 제거하는데 충분한 挿入 깊이의 유무를 시험하여야 한다. 이를 실시하는데 有效한 한가지 方法은 金屬의 凝固點에서의 절보기 溫度의 기술기는 靜水壓의 效果(表 5를 참조)에서 기대할 수 있는 것과의 一致 여부를 확인하는 일이다.

90K 以下の 온도에 대하여는, 溫度가 均등한 장소에 全沒될 수 있는 直徑 5mm 以下 길이 60mm 以下の 白金抵抗溫度計를 사용하는 것이 보통이며, 이 경우 導線은 적당한 保護環에 접촉시켜 導線에 따른 熱傳導를 적게 한다. 抵抗素子와 그 周圍와의 熱接觸을 좋게 하기 위하여, 헤리움을 층만시킨 보통 白金製로써 두께가 약 0.25mm의 薄肉의 시이스 속에 素子를 넣는다.

燒成效果和 溫度計의 信賴度를 判斷하기 위한 有效한 判定基準은 한가지 基準溫度에서 抵抗이 일정하여

5) $T_{68}(\text{Au})$ 는 金の 凝固點의 熱力學溫度에 거의 동일하며, 또한 C_2 는 Planck의 식의 第2 放射定數에 거의 같음으로 측정에서 사용되는 波長의 값을 지정할 필요가 없다[Metrologia, 3 (1967) 28을 참조]

야 한다. 물의 三重點에서의 抵抗의 변화는 $4 \times 10^{-6} R(0^\circ C)$ ($40K$ 以上에서는 약 $1mK$ 에 해당한다)을 초과하지 않을 것이며, 또한 최고급의 온도계에 대하여는 극히 조심하여 취급한 경우, 오랜 使用期間에 거쳐 $5 \times 10^{-7} R(0^\circ C)$ 를 초과하지 않음이 밝혀지고 있다.

$100^\circ C$ 以下の 溫度에서만 사용하는 溫度計에 대하여는 變化는 $5 \times 10^{-7} R(0^\circ C)$ 를 초과하지 않는다.

測定電流에 의하여 溫度計에 미치는 溫度上昇은 두 개의 서로 다른 電流에서의 測定에 의하여 결정된다.

2. 標準熱電對

만족할 標準熱電對는 $0.35mm$ 와 $0.65mm$ 간의 균등한 直徑의 素線으로 만들어진다. 使用中 起電力의 不變을 保證하기 위하여, 熱電對의 素線은 충분한 燒成이 되어야 한다. 이를 위하여는 白金線은 적어도 $1100^\circ C$ 및 白金 로지움線은 $1450^\circ C$ 의 溫度로 가열되어야 한다. 만일 素線을 絕緣體에 감기 전에 燒成된 것이라면, 組立된 熱電對는, 미리 적어도 $1100^\circ C$ 의 溫度에서 그 起電力이 安定하게 되고, 또한 歪로 인하여 발생한 局部的인 不均質이 없어질 때까지 加熱되어야 한다. 이 처리를 적절히 하면 素線의 길이에 따른 溫度의 기울기가 변하여도, 熱電對의 起電力은 변하지 않을 것이므로, 만일 온도 분포가 균등한 곳에 挿入시 그 길이를 증가시켜도 그 起電力은 변하지 않을 것이다.

3. 壓力

실제에는 壓力은 水銀柱를 이용하여 측정하는 것이 보통이다. 측정하려는 壓力 p 와 결정되는 水銀柱 속의 純水銀의 溫度 t_s 에서의 平均密度는, 溫度範圍 $0^\circ C$ 와 $40^\circ C$ 구간에서 또한 이들의 측정에 사용된 壓力의 領域에서 충분히 좋은 精度로서 다음 관계에 의하여 주어진다.

$$\rho\left(t_{68}, \frac{p}{2}\right) = \frac{\rho(20^\circ C, p_0)}{[1 + A(t_{68} - 20^\circ C) + B(t_{68} - 20^\circ C)^2]} \times [1 - \alpha(\frac{p}{2} - p_0)] \dots\dots\dots(16)$$

단, $A = 18115 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ C^{-1}$, $B = 0.8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ C^{-2}$, $\alpha = 4 \times 10^{-11} N^{-1} m^2$, $\rho(20^\circ C, p_0) = 13545.87 \text{ kg/m}^3$ 은 溫度 $t_{68} = 20^\circ C$, 壓力 $p_0 = 1$ 標準氣壓($101325 N/m^2$)에서의 純水銀의 密度이다.

各地的 重力值에 대하여는 포즈담系를 사용하며, 여기가 $-14 \times 10^{-5} m/s^2$ (-14 밀리갈루)의 補正을 함으로써 충분히 정확한 값을 얻을 수 있다⁶⁾.

定點容器內的 靜水壓은 溫度에 대하여 비록 적으나 무시할 수 없는 效果를 갖는다(表 5를 참조).

4. 물의 三重點

물의 三重點의 溫度는, 高純度の 實質的으로는 大洋의 물과 동일한 同位元素 組成을 가진 물만을 넣은 密

封 유리容器로 實現된다. 이 容器는 軸에 溫度計를 넣을 구멍이 있으며, 水이 液體와 蒸氣와의 境界面과 平衡인 장소이면 어느 곳에던지 三重點의 溫度가 얻어진다. 液體와 蒸氣와의 境界面下의 깊이 h 인 곳에서는 水과 물과의 平衡溫度 t_{68} 은

$$t_{68} = A + Bh \dots\dots\dots(17)$$

로 주어지며, 여기에 $A = 0.01^\circ C$, $B = -7 \times 10^{-4} m^{-1} \text{ } ^\circ C$ 三重點 cell를 정비하기 위하여 推獎되는 方法은 溫度計用的 구멍의 내부로 부터의 冷却에 의하여 구멍 주위에 두꺼운 氷層을 만들고, 다음에 구멍의 부근에 水와 氷과의 새로운 接觸面을 만들기 위하여, 구멍의 內部로 부터 이 氷層의 많은 部分을 融解하는 일이다. 溫度計用的 구멍속에서 측정되는 溫度는, cell를 정비한 직후의 수시간 동안은 빠른 속도로 1萬分の 數 Kelvin 上昇하며 1日 내지 3日 후에는 安定된다. 이 初期의 溫度變化는, 氷의 結晶의 成長, 혹은 結晶內의 應力이 서서히 消失되는 것에 기인한다. 이와 같이 정비되어 氷을 넣은 甁속에 保存된 三重點 cell은 數個月에 거쳐 $0.0001K$ 정도까지 일정한 溫度를 유지할 수가 있다. 출차가 다른 三重點 cell에서도 이러한 方法으로 사용하면, 얻어진 溫度差는 어떤 경우에도 $0.0002K$ 를 넘지 못한다.

氷으로 둘러싸인 三重點 cell은 人工光線 및 太陽光線이 닿게되면, 溫度計의 溫度가 무시할 수 없는 정도로 三重點 溫度보다 높아질례가 있으므로, cell에 대한 放射는 되도록이면, 피하여 측정하는 것이 좋다.

天然水의 同位元素組成에는 三重點 溫度로 檢知될 수 있는 差를 나타내는 정도의 차이가 있다. 大洋의 물은 $100mol$ 의 水素(1H)에 대하여 약 $0.016mol$ 의 重水素(2H)를 내포하며, $100mol$ 의 ^{16}O 에 대하여 $0.04mol$ 의 ^{17}O 와 $0.2mol$ ^{18}O 를 포함하고 있다. 重同位元素의 이의 含有率은 사실상 天然水에서 볼 수 있는 最高率이다. 大陸의 地表水는 보통 $100mol$ 의 1H 에 대하여 약 $0.015mol$ 의 2H 를 포함한다. 極地の 눈을 水源으로 하는 물은 $100mol$ 의 1H 에 대하여 약 $0.01mol$ 정도의 2H 만을 포함하고 있다.

물의 精製操作은 同位元素組成을 다소 변화시킬 수도 있으며, 물과 氷과의 接觸面에서의 同位元素組成은 凝固技術에 의하여 다소 左右된다.

$100mol$ 의 1H 에 대하여 2H 가 $0.001mol$ 增加하는 것은 三重點의 溫度가 $0.00004K$ 上昇하는 것에 상당하지만, 이것은 大洋의 물과 大陸의 地表에서 보통 볼 수

6) 국제 度量衡委員會는 決議 1(1968年)에 의하여 「計量學의 目的에는 포즈담系의 基準點인 포즈담에서의 重力의 加速度的 값은, 최초로 採用된 값 $9.8127 m/s^2$ 의 대신 $9.81260 m/s^2$ 에 같도록 해야 한다」라고 결정하였다.

있는 물과의 三重點의 溫度의 差이다. 天然水의 三重點溫度의 最大差는 0.00025K이다.

5. 平衡水素의 三重點, 17.042K 및 沸點

水素에는 2種의 分子異性體가 있으며 ortho 및 para의 接頭語로 區別되고 있으나, 이것은 2原子 分子중의 2個의 核 spin의 相對의 方位의 差에 由來된다. ortho-para의 平衡組成은 溫度에 依存하여, 室溫에서는 ortho水素가 75%, para水素가 25%이다(「標準水素」).

液化시 이 組成은 時間과 더불어, 서서히 變하며, 이에 對應하여 物理的 性質에도 變化가 일어난다. 沸點에서의 平衡組成은 ortho 水素가 0.21%, para水素 99.79%이며, 沸點溫度는 標準水素의 沸點보다 약 0.12 K 낮다. 이 文書에서 「平衡水素」란, 문제되고 있는 溫度에서 平衡 ortho-para 組成을 갖는 것을 의미한다. 이들이 定點을 實現함에 있어서 組成不明으로 인하여 일어나는 오차를 피하기 위하여는 水酸化鐵 등의 촉매로 變換되어 얻어진 平衡水素를 사용하면 좋다. 파라디움을 통하게 한 擴散에 의하여 얻어지는 化學的으로 高純度의 水素를 사용하는 것이 적당하다.

水素의 固有, 液相 및 氣相간의 平衡溫度는 주위가 진공의 銅블록크에 설치된 공동속에서 충분한 量의 液體水素를 촉매와 더불어 사용하여 實現할 수 있다. 그 銅블록크에는 白金抵投溫度計가 挿入된다. 블록크의 온도를 水素가 固化할 때까지 낮추어 그로부터 서서히 上昇됨에 따라서 三重點의 推移를 관찰한다. 時間-溫度曲線의 平坦部分은 0.0001K 以內에서 30分 以上에 걸쳐 일정하게 유지한다.

水素의 液相과 氣相간의 平衡溫度는 보통 精의 方法으로 實現된다. 이 方法에서는 熱傳導率의 높은 金屬 블록크에 설치된 空胴을 液體水素속에 넣어, 沸點 부근의 溫度로 유지한다. 靜水壓에 의하여 생기는 溫度의 기울기를 피하기 위하여, 블록크는 上面만이 液體水素와 接觸하며, 下部는 眞공층으로 격리된다. 內部의 空胴에는 少量의 高純度의 液體水素가 약간의 觸媒와 더불어 넣는다. 그 蒸氣壓이 熱傳導가 나쁜 細管에 의하여, 外部의 壓力計에 傳達된다. 이 細管을 지나 放射가 직접 空胴으로 침입하지 못하도록, 또한 細管上의 모든點이 空胴중의 液體水素의 液面의 溫度보다 高溫度를 유지하도록 주의하여야 한다. 이와 같이 하여 구성된 蒸氣溫度計와 金屬 블록크의 空胴 부근에 설치된 直徑이 舍致되는 구멍에 挿入된 白金抵投溫度計로 比較測定을 실시한다.

測定의 妥當性은 얻어진值가 空胴중의 液體水素와 蒸氣와의 體積比에 무관제하다는 것으로 확인할 수 있다.

平衡水素의 蒸氣壓의 함수로서의 溫度 T_{68} 은 13.81K 부터 23K까지의 領域에서는 數milli kelvin의 精確도

로서 다음식에 의하여 얻어진다.

$$\log \frac{p}{p_0} = A + \frac{B}{T_{68}} + CT_{68} + DT_{68}^2 \dots \dots \dots (68)$$

단, $A=1.711466$, $B=-44.01046K$, $C=0.0235909K^{-2}$, $D=-0.000048017K^{-2}$, $p_0=101325Nm^{-2}$

6. 네온의 沸點

네온의 沸點은 水素沸點과 같은 方法으로 실현할 수 있다. 네온의 標準同位元素組成은 ^{20}Ne 0.909mol에 대하여 ^{21}Ne 0.0026mol 및 ^{22}Ne 0.088mol이다.

네온의 蒸氣壓의 함수로서의 溫度 T_{68} 은, 27K부터 27.2K까지의 領域에서 $\pm 0.0002K$ 의 精確도로 다음 식으로 주어진다.

$$T_{68} = \left[27.102 + 3.3144 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right) - 1.24 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^2 + 0.74 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^3 \right] K \dots \dots \dots (19)$$

7. 酸素의 三重點 및 沸點

酸素의 三重點 및 沸點은 水素에 關하여 기술한 것과 같은 方法으로 실현할 수 있다. 蒸氣壓溫度計에 쓰이는 酸素의 純度에 대하여는 特別히 주의하여야 한다. 蒸氣를 조금씩 여러번 제거하여도 標準沸點이 不變인 경우에만 酸素는 충분히 순수하다.

酸素의 蒸氣壓의 함수로서의 溫度 T_{68} 은 90.1K부터 90.3K까지의 領域에서는 $\pm 0.0001K$ 의 精確도로 다음 식에 의하여 주어진다.

$$T_{68} = \left[90.188 + 9.5648 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right) - 3.69 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^2 + 2.22 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^3 \right] K \dots \dots \dots (20)$$

8. 물의 沸點

물과 水蒸氣와의 平衡溫度는 보통 動的 方法으로 실현되며, 온도계는 飽和蒸氣 속에 놓이게 된다. 精密한 눈금 결정에는 沸騰裝置와 壓力計 등이 空氣 혹은 眞수 있으면 헤리올로 充만된 恒壓裝置에 연결된 密閉 方式을 사용하는 것이 바람직하다.

沸騰裝置는 물의 汚染을 완전히 排除할 수 있도록 만들어야 한다. 온도계는 沸點溫度와 다른 溫度에 있는 物體의 방사로부터 보호되어야 한다. 平衡溫度가 얻어지고 있는 경우, 觀측된 溫度(一定壓力으로 환산한 값)는 경과시간, 액체로의 熱의 공급비율의 變化 및 온도계의 挿入 깊이에는 무관제하다.

水中의 重水素의 比率의 變化는, 沸點溫度에 대하여 三重點의 경우와 같은 方向으로, 단, 그 3분의 1 정도 的 變化를 일으킨다.

물의 蒸氣壓의 함수로서의 溫度 t_{68} 은, 99.9°C부터 100.1°C까지의 영역에서는 $\pm 0.0001K$ 의 精確도로 次 式에 의하여 주어진다.

$$t_{63} = \left[100 + 28.0216 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right) - 11.642 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^2 + 7.1 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^3 \right] ^\circ\text{C} \dots\dots\dots(21)$$

9. 錫 및 亞鉛의 凝固點

매우 순수한 금속을 서서히 凝固시켰을 때의 時間-溫度曲線의 平坦部分을 관측함으로써 대단히 再現性이 좋은 溫度를 實現할 수가 있다.

錫 및 亞鉛의 融解와 凝固는, 直徑 약 5cm이고, 軸에 溫度計를 넣는 구멍을 비친 매우 순수한 人造黑鉛(質量으로 99.999%)製의 坩堝속에서 行할 수 있다. 溫度計의 金屬내의 插入 깊이는, 溫度計의 導線에 따른 熱傳導가 感溫素子의 溫度에 미치는 影響을 消去하는데 충분하여야 한다. 坩堝과 金屬塊가 不活性 환경속에 수납된 파이렉스 혹은 실리카관을 金屬 블록크爐에서 가열하는 것이 편리하다.

凝固點決定에서는 溫度計의 感溫素子가 固體-液體接觸面에 되도록 밀접하게 접하여, 또한 그것이 熱平衡 상태를 確保하도록 操作한다. 즉 結晶核生成 직후에는 甁의 壁面으로부터 두께를 점점 두껍게 한 폐쇄된 固體의 殼이 만들어지거나, 혹은 溫度計用의 구멍의 주위에 폐쇄된 固體의 筒이 만들어져야 한다.

金屬의 固相과 液相간의 平衡溫度는 壓力에 의하여 다소 변하지만, 이 변화의 크기는 表 5에 주어져 있다.

高純度の 錫(質量으로 99.9999%)은, 液體狀態부터 冷却된 경우 일반적으로 凝固點 보다 20K 내지 30K 낮은 溫度까지 過冷却된다. 다음에 기술하는 技術은 爐를 과도하게 冷却시키지 없이, 錫의 結晶核을 生成시키는 때 有效한 것으로 알려져 있다. 爐의 溫度는 凝固點보다 數 kelvin 높은 溫度에서 출발하여, 溶融金屬이 그 液相線溫度에 이르기까지 每分 約 0.1K의 속도로 서서히 낮춘다. 그후 溶融金屬과 감시용의 抵抗溫度計를 收納시킨 容器를 爐의 入口 또는 완전히 爐 밖으로 끌어낸다. 어느 경우에도 試料는 급속히 冷却되지만, 전체적인 結晶核生成 결과로 급속한 온도 상승이 검출되었다고 하면, 서서히 冷却를 계속하는 爐 속으로 容器를 재빨리 집어 넣는다. 그후 凝固가 서서히 진행되는 동안 高純度金屬의 特徵인 冷却曲線이 얻어지며, 이 曲線이 나타내는 平坦한 부분은, 同一試料에 관하여는 爐의 冷却速度로 정해지는 持續期間당에 ±0.0001K의 정확도로 再現된다.

高純度の 亞鉛(質量으로 99.9999%)은, 심한 過冷却을 이르지 않기 때문에 다소 다른 方法으로 취급된다. 溶融金屬이 液相線溫度에 도달한다면, 溫度計를 끄 집어내어, 그것을 室溫까지 冷却후 원 위치에 복귀시키거나, 혹은 溫度計를 복귀시키기 전에 그 位置에 실

리카棒을 약 30초 동안 插入하던가 하여 中央의 온도계의 구멍 주위에 固體金屬의 얇은 층을 만든다.

亞鉛 및 錫의 試料의 純度の 滿足 여부를 확인하는 判定基準은 그 融解의 溫度範圍가 0.001K보다 크지 않아야 하는 점이다.

10. 銀 및 金の 凝固點

銀 및 金の 固相과 液相간의 平衡溫度는, 高純度の 人造黑鉛製, 실리카크製 혹은 실리카 유리製의 뚜껑달린 坩堝를 공기에 접촉시키지 않은 것이 바람직하다. 融解된 銀은, 그 속에 酸素가 녹아 들어가면 凝固點이 저하하므로, 이를 방지하도록 保護하여야 한다.

金屬塊는 그 金屬의 融點보다 數 Kelvin 높은 均등溫度로 가열한 후 서서히 냉각시켜야 한다. 눈금을 정할 때는 熱電對는 2本の 素線을 서로 떨어진 耐火物製의 絕緣體와 더불어 적당한 耐火物製의 保護管에 收納시켜 融解된 金屬內에 넣어, 거기에서 金屬을 凝固시킨다. 金屬에 대한 熱電對의 插入 깊이는 熱電對의 素線에 따른 熱傳導의 影響을 제거하는데 충분한 것이 되어야 한다.

平衡溫度의 여부는, 다음의 判定基準에 의하여 確定한다. 熱電對의 起電力은 계속해서 행해지는 凝固에 있어서, 金屬塊에 대한 插入 깊이의 조그만 變化에도 무관계하여야 하며, 1회의 凝固에서 적어도 5분간 거처 일정하게 정지되어 있어야 한다.

放射에 의한 溫度測定을 위한 基準溫度의 設定에는 金の 凝固點에서의 黑體가 필요하다. 이러한 黑體를 實現하기 위하여는 金을 넣은 坩堝를 金에 침윤된 均등한 溫度의 空胴을 구성하도록 改造하여야 한다. 그 構成에 사용되는 物質은 이미 높은 放射率을 가지고 있을 때가 黑體空胴의 實現이 쉽다. 따라서 黑鉛은 이 目的에 매우 적 하다.

11. 二次基準點

表 I에 부여된 IPTS-68의 定義定點과 같이, 다른 基準點도 利用된다. 이들의 點 가운데 어떤 것은 IPTS-68에서의 각각의 溫度와 더불어 表 6에 나타나 있다. 三重點의 경우와 蒸汽壓溫度의 관계식의 경우를 제외하고 각 온도는 1標準 氣壓의 壓力下에서 平衡된 어 있는 體系의 溫度이다.

付錄 I. 國際溫度 눈금의 發展史 및 IPTS-68과 IPTS-48과의 差異點

국제온도 눈금은 氣體溫度計로 熱力學溫度를 직접 실현할 경우 실제상의 難點을 극복하기 위하여, 또한 各國에 실제로 있던 여러가지의 온도 눈금을 통일하기 위하여 1927년에 採生되었다. 이 눈금은 쉽고 정확하게 再現될 수 있고, 또한 되도록이면, 熱力學溫度에 가까운 溫度를 부여하는 實用的인 溫度 눈금을 만들려고

하는 의도하에서 第7回 國際度量衡總會에서 처음 채택되었다.

국제온도 눈금은 1948년에 改訂되었다. 눈금을 實現하는 實現上의 手法는 거의 모두가 그대로 존속되었으나, 눈금의 정의에 대하여는 두가지 修正이 가해져 測定된 溫度에 주어지는 數値가 여러 개 변화되었다. 銀의 凝固點의 溫度가 960.5°C에서 960.8°C로 변화하였으므로, 標準熱電對로 측정된 溫度(630°C부터 1063°C의 領域)가 변화하였다. 그 최대차는 800°C 부근이며, 약 0.4 K이었다. 放射定數 C_2 에 대하여 0.01432meter·Kelvin에 대신하여 0.01438meter·Kelvin을 採用하였으므로 金의 凝固點 以上の 모든 溫度가 변화였고, 또한 Wien의 放射公式 대신에 Planck의 公式를 사용하게 되었음으로, 變溫에서는 그 영향이 발생하였다. 金의 凝固點 以上の 溫度는 減少하였으므로, 減少分은 예를 들면 1500°C에서 2.2K, 2000°C에서 6K이었다. 또한 이 改訂에 있어서 術語의 國際統一을 확보하기 위한 目的으로, 第9回 國際度量衡總會는 「Celsius」란 名稱을 살린 대신 「百分度 centigrade 및 centésimale」란 用語의 폐지를 결의하였다. 그후 記號 °C는 「celsius度」의 意義를 갖게 되었다.

第11回 國際度量衡 總會는 「1948年 國際實用溫度 눈금(1960年 修正版)」이란 새로운 表題下에 1948年 눈금의 한가지 修正版을 採擇하였으나 溫度의 數値는 1948年의 것과 동일하게 하였다.

물의 三重點의 熱力學溫度를 273.16K로 정한 Kelvin의 새로운 定義(1954年의 第10回 國際度量衡總會 決議 3)는 이 新版에는 고려되어 있다. 또한 그 당시에는 이미 IPTS가 熱力學溫度를 가능한 限度까지 잘 나타내어 있다고는 인정되지 않았기 때문에 text에는 이들간의 차에 관한 節이 하나 설정되었다. 이 差를 熱力學溫度에 관한 지식의 정확성(表 7를 참조)의 限度 以內에 머물게 하기 위하여, 또한 눈금을 더욱 더 낮은 溫度까지 擴張하기 위하여 IPTS-68이 작성되었다.

IPTS-68은 다음 點에서 IPTS-48과 다르다. 눈금의 下限은 90.18K가 아니라 이번에는 13.81K이다. 定義定點으로 주어지는 값은 되도록 熱力學溫度와 合致하도록 필요에 따라 변경시키고 있으며, 변경시키지 않은 定點은 定義에서 恒久的으로 정해지고 있는 물의 三重點外에 물의 沸點뿐이다. 補間的 計器는 전과 마찬가지로, 標準白金抵抗溫度計의 抵抗比 $W(100^\circ\text{C})$ 는 1.3920이 아니라 이번에는 1.3925 以上이어야 한다. 90.188K와 273.15K間의 溫度領域의 補間에는 이미 Callendar Van Dusen의 式을 사용하지 않고, 그 대신에 基準函數 $W_{\text{CCT-68}}(T_{68})$ 이 사용된다. 0°C 以上에서는 溫度의 補間値가 熱力學溫度値에 더욱 밀접하게

一致하도록 Callendar의 式이 수정되어 있다. 최후에 金의 凝固點 以上の 溫度가 決定되기 위한 Planck의 式에는 C_2 의 最新值 즉 0.014388 meter·kelvin이 도입되었다. 이러한 모든 변경 効果는 表 8에 수록되었으며, 거기에는 IPTS-68에 의한 溫度値와 IPTS-48에 의한 溫度値간의 差가 부여되어 있다.

13.81K에서 90.188K까지의 領域에서는 IPTS-68은 세계의 「各國 눈금(national scales)」의 平等과 定義定點에 대하여 선정된 「最良의」 溫度에 그 기초를 두고 있다. 이들의 各國 눈금은 각각 氣體溫度計에 의하여 눈금이 정해진 白金抵抗溫度計로 정의되어 있으며, 매우 잘 實現된다.

IPTS-68과 이들의 各國 눈금과의 差는 Metrologia, 5(1969) No. 2, 47에 公表되어 있다. 이리하여 IPTS-68의 密接한 近似를 구하는데 各國 눈금과 이들의 差를 利用하는 것도 허용된다.

IPTS-68의 現行의 定義의 text에서는 第13回 國際度量衡總會의 決定에 따라서 熱力學溫度의 單位를 명칭 「Kelvin」과 記號 K로 나타내며, 溫度 간격도 같은 單位와 같은 記號로 나타내던가 혹은 「Celsius度」와 記號 °C로 나타내고 있다.

付錄 II. 0.2K와 5.2K間의 領域에서 사용되는 實用의 溫度 눈금

^4He 및 ^3He 의 증기압의 측정에서 溫度를 구할 수 있다. 이 방법의 사용한계는, 上은 氣體의 臨界點(^4He 에서는 5.2K, ^3He 에서는 3.3K)에서, 下는 실제로 측정할 수 없는 정도로 蒸氣壓이 적은 點에서 결정된다.

「1958 ^4He 눈금」과 「1962 ^3He 눈금」이 推獎되어 있으며⁷⁾, 이 눈금에 의한 溫度는 각각 T_{68} 및 T_{62} 로 나타낸다.

「1958 ^4He 눈금」은 1958년에 國際度量衡委員會에 의하여 推獎된 것으로, ^4He 의 蒸氣壓을 溫度의 함수로 나타낸 數表에 의하여 정의된다(第5回 測溫諮問委員會 1958, p. T192 및 Procès-Verbaux (IPM, 26-A, 1958, p. T 192)⁸⁾.

「1962 ^3He 눈금」은 1962년에 國際度量衡委員會에 의하여 推獎된 것으로, ^3He 의 蒸氣壓을 溫度의 함수로 부여하는 式에 의하여 정의된다(第6回 測溫諮問委員會 1962, p. 148)⁹⁾.

7) 音響學의 方法에 의한 최근의 熱力學的 測定은, ^4He 蒸氣壓 눈금에 의한 온도보다 높은 高溫度를 부여한다. 그 差는 ^4He 의 沸點에서 약 0.008K이다.

8) 이 數表의 詳細版은 補足的인 情報과 더불어 Journal of Research of the National Bureau of Standards (Washington) 64A (1960) 1에 수록되어 있다.

9) 數値의 表와 蒸氣壓 測定에 관한 情報가 Journal of Research of the National Bureau of Standards(Washington), 68A (1964) 547, 559, 567 및 579에 수록되어 있다.

0.9K 및 ^3He 의 臨界溫度間的 溫度領域에서는 溫度 있다.
 T_{68} 과 溫度 T_{62} 는 0.3mK 以內에서 一致된다고 볼 수

表 1. IPTS -68의 定義定點¹⁾

平 衡 狀 態	국제 실용 온도의 주어진 값	
	T_{68}	t_{68}
平衡水素의 固相, 液相 및 氣相간의 平衡(平衡水素의 三重點)	13. 81K	-259. 34°C
33330. 6N/m ² (25/76 標準氣壓)의 壓力에서의 平衡水素의 液相과 氣相간의 平衡	17. 042K	-256. 108°C
平衡水素의 液相과 氣相간의 平衡(平衡水素의 沸點)	20. 28K	-252. 87°C
네온의 液相과 氣相간의 平衡(네온의 沸點)	27. 102K	-246. 048°C
酸素의 固相, 液相 및 氣相간의 平衡(酸素의 三重點)	54. 361K	-218. 789°C
酸素의 液相과 氣相간의 平衡(酸素의 沸點)	90. 188K	-182. 962°C
水の 固相, 液相 및 氣相간의 平衡(水の 三重點) ²⁾	273. 16K	0. 01°C
水の 液相과 氣相간의 平衡(水の 沸點) ^{2,3)}	373. 15K	100 °C
亞鉛의 固相과 液相간의 平衡(亞鉛의 凝固點)	692. 73K	419. 58°C
銀의 固相과 液相간의 平衡(銀의 凝固點)	1235. 08K	961. 93°C
金の 固相과 液相간의 平衡(金の 凝固點)	1337. 58K	1064. 43°C

- 모든 三重點과 平衡水素의 한개의 定點(17.042K)를 제외하고, 주어진 溫度値는 $p_0=1$ 標準氣壓(101325N/m²)의 壓力에서의 平衡狀態에 대한 것이다. 定點의 實現에 있어서, 溫度計의 挿入 깊이가 달라지거나 所定의 壓力이 精確하게 실현할 수 없는 결과로써, 주어진 溫度부터의 미소한 차질이 생길 우려가 있다. 만일 이들 미소한 溫度差를 적당히 고려하면, 이 눈금의 實現의 正確度는 유지될 것이란, 이들 差의 크기의 정도는 III節에 주어져 있다.
- 水的 沸點 대신에 錫의 固相과 液相간의 平衡 상태(錫의 凝固點)를 사용하여도 좋다. 거기에 주어진 값은 $t_{68}=231.9681^\circ\text{C}$ 이다.
- 사용되는 水는 大洋의 水와 같은 同位元素組成을 가져야 한다. III節 4를 참조.

표 2. 13.81K와 273.15K간의 領域에서의 白金抵抗溫度計에 대한 基準 함수 $W_{CCR-68}(T_{68})$ ¹⁾

$$T_{68} = \left[A_0 + \sum_{i=1}^{20} A_i (\ln W_{CCR-68}(T_{68}))^i \right] \text{K} \dots \dots \dots (22)$$

係 數 A_i			
i	A_i	i	A_i
0	$0.273\ 15 \times 10^2$	11	$0.767\ 976\ 358\ 170\ 845\ 8 \times 10^{-11}$
1	$0.250\ 846\ 209\ 678\ 803\ 3 \times 10^3$	12	$0.213\ 689\ 459\ 382\ 850\ 0 \times 10^{-12}$
2	$0.135\ 099\ 869\ 964\ 999\ 7 \times 10^3$	13	$0.459\ 843\ 348\ 928\ 069\ 3$
3	$0.527\ 856\ 759\ 008\ 517\ 2 \times 10^3$	14	$0.763\ 614\ 629\ 231\ 648\ 0 \times 10^{-13}$
4	$0.276\ 768\ 548\ 854\ 105\ 2 \times 10^3$	15	$0.969\ 328\ 620\ 373\ 121\ 3 \times 10^{-14}$
5	$0.391\ 053\ 205\ 376\ 683\ 7 \times 10^3$	16	$0.923\ 069\ 154\ 007\ 007\ 5 \times 10^{-15}$
6	$0.655\ 613\ 230\ 578\ 069\ 3 \times 10^3$	17	$0.638\ 116\ 590\ 952\ 653\ 8 \times 10^{-16}$
7	$0.808\ 035\ 868\ 559\ 866\ 7 \times 10^3$	18	$0.302\ 293\ 237\ 874\ 619\ 2 \times 10^{-17}$
8	$0.765\ 242\ 118\ 234\ 052\ 0 \times 10^3$	19	$0.877\ 551\ 391\ 303\ 760\ 2 \times 10^{-18}$
9	$0.447\ 847\ 589\ 638\ 965\ 7 \times 10^3$	20	$0.117\ 702\ 613\ 125\ 477\ 4 \times 10^{-19}$
10	$0.212\ 525\ 653\ 556\ 057\ 8 \times 10^3$		

基準 함수 $W_{CCR-68}(T_{68})$ 은 식 (9) 및 (10)에서 $\alpha=3.9259668 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 및 $\delta=1.496334^\circ\text{C}$ 인 경우 얻어진 함수 $W(t_{68})$ 과, 1階 및 2階의 도함수에 관하여 $T_{68}=273.15\text{K}$ 이며 연속이다.

1) 0.0001K의 정밀도로 補間할 수 있는 충분히 상세한 기준함수에 관한 表가 國際度量衡局에서 入手할 수 있다. 그 略表가 表 3이다.

表 3. 表 2에 주어진 식에 따른 T_{68} 의 整數值에 대하여 구한 $W_{CCT-68}(T_{68})$ 의 값

T_{68}	$W_{CCT-68}(T_{68})$	T_{68}	$W_{CCT-68}(T_{68})$	T_{68}	$W_{CCT-68}(T_{68})$	T_{68}	$W_{CCT-68}(T_{68})$
13	0.001 230 61						
14	0.001 459 73						
15	0.001 745 41	80	0.199 582 12	145	0.477 696 82	210	0.745 730 26
16	0.002 094 74	81	0.203 917 14	146	0.481 884 59	211	0.749 798 41
17	0.002 515 12	82	0.208 254 45	147	0.486 069 85	212	0.753 865 18
18	0.003 014 28	83	0.212 593 44	148	0.490 252 74	213	0.757 930 43
19	0.003 599 62	84	0.216 933 88	149	0.494 433 19	214	0.761 994 30
20	0.004 277 80	85	0.221 275 23	150	0.498 611 35	215	0.766 056 72
21	0.005 054 95	86	0.225 617 12	151	0.502 787 07	216	0.770 117 70
22	0.005 936 68	87	0.229 959 16	152	0.506 960 58	217	0.774 177 30
23	0.006 928 04	88	0.234 301 05	153	0.511 131 72	218	0.778 235 45
24	0.008 033 16	89	0.238 642 48	154	0.515 300 65	219	0.782 292 23
25	0.009 255 04	90	0.242 983 15	155	0.519 467 37	220	0.786 347 56
26	0.010 595 85	91	0.247 322 90	156	0.523 631 80	221	0.790 401 51
27	0.012 056 90	92	0.251 661 28	157	0.527 794 09	222	0.794 454 09
28	0.013 639 01	93	0.255 998 36	158	0.531 954 17	223	0.798 505 23
29	0.015 342 61	94	0.260 333 69	159	0.536 112 11	224	0.802 555 06
30	0.017 167 68	95	0.264 667 18	160	0.540 267 92	225	0.806 603 52
31	0.019 113 63	96	0.268 998 70	161	0.544 421 67	226	0.810 650 54
32	0.021 179 44	97	0.273 328 07	162	0.548 573 36	227	0.814 696 25
33	0.023 363 43	98	0.277 655 16	163	0.552 722 91	228	0.818 740 59
34	0.025 663 35	99	0.281 979 88	164	0.556 870 48	229	0.822 783 64
35	0.028 076 45	100	0.286 302 01	165	0.561 016 06	230	0.826 825 31
36	0.030 599 53	101	0.290 621 54	166	0.565 159 58	231	0.830 865 61
37	0.033 229 16	102	0.294 938 41	167	0.569 301 12	232	0.834 904 61
38	0.035 961 55	103	0.299 252 45	168	0.573 440 76	233	0.838 942 24
39	0.038 793 05	104	0.303 563 59	169	0.577 578 48	234	0.842 978 57
40	0.041 719 68	105	0.307 871 83	170	0.581 714 23	235	0.847 013 53
41	0.044 737 60	106	0.312 177 10	171	0.585 848 06	236	0.851 047 26
42	0.047 842 92	107	0.316 479 39	172	0.589 979 99	237	0.855 079 63
43	0.051 031 78	108	0.320 778 56	173	0.594 110 08	238	0.859 110 69
44	0.054 300 36	109	0.325 074 67	174	0.598 238 35	239	0.863 140 46
45	0.057 644 86	110	0.329 367 65	175	0.602 364 78	240	0.867 168 94
46	0.061 061 61	111	0.333 657 51	176	0.606 489 31	241	0.871 196 11
47	0.064 546 79	112	0.337 944 16	177	0.610 612 08	242	0.875 221 99
48	0.068 096 90	113	0.342 227 68	178	0.614 733 10	243	0.879 246 57
49	0.071 708 35	114	0.346 508 00	179	0.618 852 29	244	0.883 269 94
50	0.075 377 56	115	0.350 785 19	180	0.622 969 72	245	0.887 292 00
51	0.079 101 23	116	0.355 059 10	181	0.627 085 40	246	0.891 312 69
52	0.082 875 95	117	0.359 329 89	182	0.631 199 39	247	0.895 332 24
53	0.086 698 59	118	0.363 597 54	183	0.635 311 64	248	0.899 350 49
54	0.090 566 00	119	0.367 861 99	184	0.639 422 13	249	0.903 367 44
55	0.094 475 15	120	0.372 123 31	185	0.643 530 94	250	0.907 383 09
56	0.098 423 36	121	0.376 381 51	186	0.647 638 07	251	0.911 397 53

57	0.102 407 74	122	0.380 636 57	187	0.651 743 52	252	0.915 410 74
58	0.106 425 83	123	0.384 888 51	188	0.655 847 30	253	0.919 422 74
59	0.110 475 06	124	0.389 137 32	189	0.659 949 47	254	0.923 433 43
60	0.114 553 12	125	0.393 383 16	190	0.664 049 96	255	0.927 442 83
61	0.118 657 89	126	0.397 625 94	191	0.668 148 86	256	0.931 451 01
62	0.122 787 22	127	0.401 865 67	192	0.672 246 07	257	0.935 458 05
63	0.126 939 14	128	0.406 102 42	193	0.676 341 76	258	0.939 463 71
64	0.131 111 89	129	0.410 336 28	194	0.680 435 77	259	0.943 468 22
65	0.135 303 63	130	0.414 567 09	195	0.684 528 25	260	0.947 471 52
66	0.139 512 84	131	0.418 795 07	196	0.688 619 13	261	0.951 473 52
67	0.143 738 00	132	0.423 020 15	197	0.692 708 41	262	0.955 474 30
68	0.147 977 73	133	0.427 242 33	198	0.696 796 17	263	0.959 473 85
69	0.152 230 58	134	0.431 461 69	199	0.700 882 32	264	0.963 472 19
70	0.156 495 41	135	0.435 678 31	200	0.704 966 94	265	0.967 469 31
71	0.160 771 08	136	0.439 892 10	201	0.709 050 04	266	0.971 465 13
72	0.165 056 43	137	0.444 103 22	202	0.713 131 61	267	0.975 459 80
73	0.169 350 49	138	0.448 311 59	203	0.717 211 74	268	0.979 453 25
74	0.173 652 40	139	0.452 517 30	204	0.721 290 26	269	0.983 445 41
75	0.177 961 17	140	0.456 720 33	205	0.725 367 33	270	0.987 456 42
76	0.182 276 05	141	0.460 920 77	206	0.729 442 88	271	0.991 426 14
77	0.186 596 28	142	0.465 118 61	207	0.733 516 90	272	0.995 414 71
78	0.190 921 07	143	0.469 313 87	208	0.737 589 47	273	0.999 401 99
79	0.195 249 92	144	0.473 506 60	209	0.741 660 59		
80	0.199 582 12	145	0.477 696 82	210	0.745 730 26		

表 4. 表 2에 따라 定點에 따라 定點의 溫度에 대하여 구한 $W_{CCr-68}(T_{68})$ 의 값

定 點	T_{68}	t_{68}	W_{CCr-68}
平衡水素의 三重點	13.81 K	-259.34 °C	0.001 412 06
平衡水素의 17.042K點	17.042 K	-256.108 °C	0.002 534 44
平衡水素의 沸點	20.28 K	-252.87 °C	0.004 485 17
네 온의 沸點	27.102 K	-246.048 °C	0.012 212 72
酸素의 三重點	54.361 K	-218.789 °C	0.091 972 52
酸素의 沸點	90.188 K	-182.962 °C	0.243 799 09
	273.15 K	0 °C	1
水의 沸點	373.15 K	100 °C	1.392 596 68
錫의 凝固點	505.118 1 K	231.968 1 °C	1.892 570 86

表 5. 금속의 凝固溫度에 대한 壓力의 영향

金 屬	1標準氣壓에서의 凝固點	壓 力 係 數	
		Kelvin 每氣壓	Kelvin 每液深 cm
水	-38.862 °C	+0.005 4	-0.000 071
인 디	156.634 °C	+0.004 9	+0.000 033
	錫 231.968 1 °C	+0.003 3	-0.000 022
비 스 마 스	271.442 °C	-0.003 5	-0.000 034
	카 드 미 움 321.108 °C	+0.006 2	+0.000 048
	鉛 327.502 °C	+0.008 0	+0.000 082
亞	419.58 °C	+0.004 3	+0.000 027
안 티 몬	630.74 °C	+0.000 85	+0.000 005

表 6. 二 次 基 準 點

平 衡 狀 態	國 際 實 用 溫 度	
	T_{68}	t_{68}
標準水素의 固相, 液相 및 氣相間의 平衡(標準水素의 三重點)	13.956K	-259.194°C
標準水素의 液相과 氣相間의 平衡(標準水素의 沸點)	20.397K	-252.753°C
13.956K 및 30K間의 溫度領域에서는	$\log \frac{p}{p_0} = A + \frac{B}{T_{68}} + CT_{68} + DT_{68}^2 \dots \dots \dots (23)$	
	$A=1.734\ 791$	$B=-44.623\ 68K$
	$C=0.023\ 186\ 9K^{-1}$	$D=-0.000048\ 017K^{-2}$
네온의 固相, 液相 및 氣相間의 平衡(네온의 三重點)	24.555K	-248.595°C
네온 液相 및 氣相間의 平衡		
24.555K 및 40K間의 溫度領域에서는	$\log \frac{p}{p_0} = A + \frac{B}{T_{68}} + CT_{68} + DT_{68}^2 \dots \dots \dots (24)$	
	$A=4.611\ 52$	$B=-106.385\ 1K$
	$C=-0.036\ 833\ 1K^{-1}$	$D=4.248\ 92 \times 10^{-4}K^{-2}$
窒素의 固相, 液相 및 氣相間의 平衡(窒素의 三重點)	63.148K	-210.002°C
窒素의 液相 및 氣相間의 平衡(窒素의 沸點)	77.348K	-195.802°C
63.148K 및 84K間의 溫度領域에서는	$\log \frac{p}{p_0} = A + \frac{B}{T_{68}} + C \log \frac{T_{68}}{T_0} + DT_{68} + ET_{68}^2 \dots (25)$	
	$A=5.893\ 139$	$B=-401.131\ 05K$
	$C=-2.374\ 9$	$D=-0.014\ 250\ 5K^{-1}$
	$E=72.534\ 2 \times 10^{-6}K^{-2}$	
酸素液相 및 氣相間의 平衡		
54.361K 및 94K의 溫度領域에서는	$\log \frac{p}{p_0} = A + \frac{B}{T_{68}} + C \log \frac{T_{68}}{T_0} + DT_{68} + ET_{68}^2 \dots (26)$	
	$A=5.961\ 546$	$B=-467.455\ 76K$
	$C=-1.664\ 512$	$D=-0.013\ 213\ 01K^{-1}$
	$E=50.804\ 1 \times 10^{-6}K^{-2}$	
無水炭酸의 固相 및 氣相間의 平衡(無水炭酸의 昇華點)	194.674K	78.476°C
194K 및 195K間의 溫度領域에서는	$T_{68} = \left[194.674 + 12.264 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right) - 9.15 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^2 \right] K$ <p style="text-align: right;">..... (27)</p>	
水銀의 固相 및 液相間의 平衡(水銀의 凝固點) ¹⁾	234.288K	-38.862°C
氷 및 空氣로 飽和된 물間의 平衡(氷點)	273.15 K	0 °C
페노키시벤젠 (이페니루오키사이드)의 固相, 液相 및 氣相間의 平衡(페노키시벤젠의 三重點)	300.02 K	26.87 °C
安息香酸의 固相, 液相 및 氣相間의 平衡(安息香酸의 三重點)	395.52 K	122.37 °C
인더움固相 및 液相間의 平衡(인더움의 凝固點) ¹⁾	429.784K	156.634°C
비스마스의 固相 및 液相間의 平衡(비스마스의 凝固點) ¹⁾	544.592K	271.422°C
카드미움의 固相 및 液相間의 平衡(카드미움... 凝固點) ¹⁾	594.258K	321.108°C
鉛의 固相 및 液相間의 平衡(鉛의 凝固點)	600.652K	327.502°C
水銀의 液相 및 氣相間의 平衡(水銀의 沸點)	629.81 K	356.66 °C
$p=90 \times 10^3 N/m^2$ 부터 $104 \times 10^3 N/m^2$ 까지에서는	$t_{68} = \left[356.66 + 55.552 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right) - 23.03 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^2 + 14.0 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^3 \right] ^\circ C \dots \dots \dots (28)$	
	717.824K	444.674°C
硫黃의 液相 및 氣相間의 平衡(硫黃의 沸點)		
$p=90 \times 10^3 N/m^2$ 부터 $104 \times 10^3 N/m^2$ 까지에서는	$t_{68} = \left[444.674 + 69.010 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right) - 27.48 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^2 + 19.14 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^3 \right] ^\circ C \dots \dots \dots (29)$	

銅-알루미늄 共融合金의 固相 및 液相間의 平衡	821.38 K	548.23 °C
안티몬의 固相 및 液相間의 平衡(안티몬의 凝固點) ¹⁾	903.89 K	630.74 °C
알루미늄의 固相 및 液相間의 平衡(알루미늄의 凝固點)	933.52 K	660.37 °C
銅의 固相 및 液相間의 平衡(銅의 凝固點)	1 357.6 K	1 084.5 °C
니켈의 固相 및 液相間의 平衡(니켈 凝固點)	1 728 K	1 455 °C
코발트 固相 및 液相間의 平衡(코발트의 凝固點)	1 767 K	1 494 °C
파라디움의 固相 및 液相間의 平衡(파라디움의 凝固點)	1 827 K	1 554 °C
白金의 固相 및 液相間의 平衡(白金의 凝固點)	2 045 K	1 772 °C
로듐의 固相 및 液相間의 平衡(로듐의 凝固點)	2 236 K	1 963 °C
이리듐의 固相 및 液相間의 平衡(이리듐의 凝固點)	2 720 K	2 447 °C
텅스텐의 固相 및 液相間의 平衡(텅스텐의 融解 溫度)	3 660 K	3 387 °C

1) 이들 凝固點에 대한 壓力變化의 影響에 關하여는 表 5를 參照.

表 7. 定義定點에 부여된 값의 熱力學溫度로서의 不正確도의 推定值

定 義 定 點	주 어 진 值	不 確 定 度 의 推 定 值
平 衡 水 素 의 三 重 點	13.81 K	0.01 K
平 衡 水 素 의 17.042K點	17.042 K	0.01 K
平 衡 水 素 의 沸 點	20.28 K	0.01 K
네 온 의 沸 點	27.102 K	0.01 K
酸 素 의 三 重 點	54.361 K	0.01 K
酸 素 의 沸 點	90.188 K	0.01 K
水 의 三 重 點	273.16 K	정의로서 정확히
水 의 沸 點	100 °C	0.005 K
錫 의 凝 固 點	231.986 1 °C	0.015 K
亞 鉛 의 凝 固 點	419.58 °C	0.03 K
銀 의 凝 固 點	961.93 °C	0.2 K
金 의 凝 固 點	1 064.43 °C	0.2 K

表 8. IPTS-68에서 주어진 溫度值와 IPTS-48로 주어진 溫度值간의 差($t_{68}-t_{48}$)의, Kelvin로 표시된 概略值

$t_{68}^{\circ}\text{C}$	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
-100	+0.022	+0.013	+0.003	-0.006	-0.013	-0.013	-0.005	+0.007	-0.012		
-0	0.000	+0.006	+0.012	+0.018	+0.024	+0.029	+0.032	+0.034	+0.033	+0.029	+0.022

$t_{68}^{\circ}\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0.000	-0.004	-0.007	-0.009	-0.010	-0.010	-0.010	-0.008	-0.006	-0.003	0.000
100	0.000	+0.004	-0.007	+0.012	+0.016	+0.020	+0.025	+0.029	+0.034	+0.038	-0.043
200	0.043	0.047	0.051	0.054	0.058	0.061	0.061	0.067	0.069	0.071	0.073
300	0.073	0.074	0.075	0.076	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.076	0.076
400	0.076	0.075	0.075	0.075	0.074	0.074	0.074	0.075	0.076	0.077	0.079
500	0.079	0.082	0.085	0.089	0.094	0.100	0.108	0.116	0.126	0.137	0.150
600	0.150	0.165	0.182	0.200	0.23	0.25	0.28	0.31	0.34	0.36	0.39
700	0.39	0.42	0.45	0.47	0.50	0.53	0.56	0.58	0.61	0.64	0.67
800	0.67	0.70	0.72	0.75	0.78	0.81	0.84	0.87	0.89	0.92	0.95
900	0.95	0.98	1.01	1.04	1.07	1.10	1.12	1.15	1.18	1.21	1.24
1000	1.24	1.27	1.30	1.33	1.36	1.39	1.42	1.44			

$t_{68}^{\circ}\text{C}$	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
1000		1.5	1.7	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2
2000	3.2	3.5	3.7	4.0	4.2	4.5	4.8	5.0	5.3	5.6	5.9
3000	5.9	6.2	6.5	6.9	7.2	7.5	7.9	8.2	8.6	9.0	9.3

C. 結 論

國際實用溫度 눈금은 다른 곳에서 標準을 제공 받음이 없이 單獨으로 實現될 수 있다는 것이 그 特徵의 하나이다. 가장 직접적으로 測定者가 이를 實現하여 사용하면 되며, 또한 間接적으로는 實際의 溫度測定에 사용되는 溫度計를 국제실용 온도 눈금을 具現하고 있는 溫度計로 校正시켜 사용하면 된다. 후자의 예는 水銀溫度計를 標準白金抵抗溫度計로 교정한 후, 그 水銀溫度計로 測定을 행하는 경우이다.

물론 이러한 작업을 자기 자신이 하지 않고, 그 全部 혹은 全部를 다른 標準機關 등에 依託하는 方法도 있다. 실제, 국제실용 온도 눈금을 그 정의에 따라서 최고의 精度로 實現하여 유지시킨다는 것은 매우 복잡하며 많은 비용이 들며, 高度의 技術과 設備을 요한다. 國家標準制度가 確立된 先進國에서는 國家機關에서 이 눈금을 實現하여 必要로 하는 各方面에 제공하는 方式으로 이 눈금이 利用되는 경우가 많다. 이 경우 最高精度의 標準부터 필요한 精度에 따라서 여러개의 階階를 거쳐, 실제에 쓰이는 溫度計에 國際實用溫度 눈금에 의한 溫度值가 기재된다. 우리나라에서는 工業振興廳下에 國立標準試驗所(日本인 경우에는 計量研究所, 美國에서는 NBS)에서 溫度標準에 관한 업무를 취급하

여, 이러한 標準提供의 中心이 되고 있으나, 아직 獨自的으로 國際實用溫度 눈금을 再現시키지 못하고 있다.

한편 現場에서의 溫度計測 立場에서 본 경우, 그 計測이 실용적인 標準, 보다 기초적인 標準, 國家機關의 標準이라 하는 系統과 올바르게 연결되어 있는가를 항상 檢査하여야 한다. 특히 工業化急成長過程에 놓여 있는 우리나라에서 溫度를 비롯한 각종 計測標準의 供給體系的 알맹이 있는 確立은 시급히 해결해야 할 技術界의 또하나의 課題이다.

끝으로 위에서 기술된 技術資料가 우리나라에서의 溫度計測標準의 供給體系的 충실에 기여되기를 진심으로 바라며, 본 技術資料 수집에 여러 가지로 협조해 주신 日本計量研究所의 高田誠二博士에게 감사드립니다.

參 考 文 獻

1. Comptes Rendus de la Treizième Conférence Générale des Poids et Mesures, 1967-1968, Annexes 2 및 Comité Consultatif de Thermométrie, 8 session, 1967, Annexes 18)
2. Metrologia, 5, No. 2, 1969.
3. 工業技術院計量研究所, 1968年 國際實用溫度 눈금, 1971.

<p. 39 계속>

行列方程式에서 한 행에 0이 아닌 값을 갖는 要素가 最大 5個인 경우에 對해 이 還元法을 적용한 결과 IBM 1130, 16K를 사용하여 約 1時間여의 計算時間이 所要되었다. 이와 같이 係數가 0인 것이 많은 聯立方程式의 解를 구하는 데는 對稱, 非對稱에 關係없이, 또 對角線 要素의 값의 크기에 關係없이 使用할 수 있을 뿐 아니라, 格點番號도 임의로 정하여도 무방하므로 매우 効果的이라 하겠다.

끝으로 以上의 方法들이 여러 分野에서 널리 利用되기를 바라면서, 例題를 제공하여 주신 서울工大 기계과의 이택식교수님과 토목과의 박중현교수님께 깊은 감사를 드립니다.

參 考 文 獻

1. M. G. Salvadori, M. L. Baron: Numerical Methods in Engineering, 2nd Ed., Prentice-Hall, 1961.
2. D. D. McCracken, W. S. Dorn: Numerical Methods and FORTRAN Programming, John Wiley and Sons, 1964.
3. D. H. Thurnan: Algorithm 195, BANDSOLVE, Communications of the ACM, Vol. 6, No. 8, 1963
4. Hydrologic Engineering Center: Finite Elements Solution of Steady State Potential Flow Problems, 1970.
5. 松田鶴夫: 配水管網計算法, 丸善, 1966.