

相對濕度計標準校正裝置之製作試驗

陳加忠 曹之祖

摘要：在此研究中改良製作一種相對濕度計的標準校正設備，此設備利用兩股氮氣氣流，各為絕乾與含飽和水蒸氣狀態下加以混合，以產生全範圍的相對濕度值。相對濕度計在此混合氣流之量測值用以建立校正曲線，其相對標準值係得自冷卻鏡面法量測之露點溫度與乾球溫度，而此露點溫度量測技術係可歸源於 NBS 標準，以此技術建立之校正曲線與利用十三種飽和鹽溶液建立之結果比較，前者所得之校正曲線有更良好的準確性。利用此校正裝置可提供一種簡單，快速之技術，以執行相對濕度計之校正作業。

關鍵詞：校正裝置，露點溫度計，相對濕度計

在環控農業的應用研究中，除溫度之感測、控制外，相對濕度的量測與控制，已逐漸成為被重視之因子。因此相對濕度計之性能研究也日益重要。為比較各型濕度計的作業性能，以做為農業環境量測之用，相對濕度之標準產生裝置有加以研究探討之必要。

此論文研究之目的如下：

- 一、製作改良分流式標準相對濕度校正裝置，以露點溫度量測值為標準值。
- 二、比較此技術與慣用之飽和鹽法對相對濕度計之校正性能差異。
- 三、研究比較兩種相對濕度計之性能。

文獻探討

一、相對濕度計之校正設備

在進行相對濕度計的性能校正時，需要將濕度計置於具有“標準相對濕度值”的環境，以此標準值與濕度計讀出值加以比較，並建立校正曲線。因此可知產生此標準值之設備其準確度直接影響濕度計之校正性能。

已商品化的標準相對濕度產生裝置主要有四種：

(詹氏1987, Cole and Reger, 1970, Lapinski et al, 1976)

(一)雙溫度法：

將氣體在第一溫度下 (T_1) 通過飽和水槽 (Saturated water tank)，使氣體為百分之百飽和狀態，再將此氣體導入另一高於第一溫度之空間內 (其溫度為 T_2)，由於溫度之增加使相對濕度降低。由 T_1 與 T_2 值之調整可得不同之相對濕度值，此設備之特點在於相對濕度產生裝置之準確度受到兩溫度維持準確性之影響。

(二)雙壓力法：

此方式係將一定溫下之飽和氣流通過膨脹閥進入另一相同溫度之空間內，由氣體定律 (

1. 臺灣省農業試驗所 研究報告 1645 號

2. 本所農工系副研究員，技士。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。

PV=RT) 可知，經膨脹後壓力降低，因氣流中水份質量不變，其分壓水蒸氣壓力亦降低，而無法仍存在於飽和狀態。因此由氣體膨脹前後壓力的調整可產生不同之相對濕度環境，此方法產生濕度之準確性受到膨脹過程前後溫度，壓力的控制所影響。美國國家標準局 (NBS, National Bureau of Standards) 採用此方法為其標準相對濕度產生器。

(三)分流法：

此方法係在一恒定溫度空間之下，將兩股流量不同的氣體，一為絕乾，另一種為完全飽和，在充份混合下產生不同範圍的相對濕度值。由兩股氣體之質量比例與混合前後各階段之壓力，可加以計算相對濕度值，此方法之主要特點在於可以快速產生任意濕度值，缺點在於不容易精確控制兩股氣流之比例。商業化之分流式相對濕度產生裝置已日益普遍，但其價格十分昂貴。

(四)飽和鹽液法

將化學鹽類溶於密閉空間內的純水，其鹽份添加之數量必須使溶液內產生結晶 (Slurry)，因此密閉空間內之空氣與此鹽類飽和液產生平衡。不同飽和鹽產生不同數值之相對濕度值。此方法成本低廉且作業簡易，通常為研究人員採納以進行相對濕度計之性能校正。其特性與限制詳細討論於以下章節。

二、飽和鹽相對濕度校正法之限制

利用飽和鹽溶液進行相對濕度計之性能研究國外在近十五年來日益普遍 (Favetto et al, 1983, Kitic et al, 1986, Rao et al, 1991, Stekelenburg et al, 1991, Stoloff, 1978, Troller, 1977)。國內之有關研究中，陳與曹 (1990) 曾利用十四種飽和鹽溶液產生之相對濕度值為標準，以進行五種電子式濕度計之性能研究。

此方法之優點在於所需設備簡易，成本低廉，在各實驗室均可執行。而其缺點與限制列舉如下：

(一)缺乏真正之「標準」，含各飽和鹽水溶液密閉空間之相對濕度值在各文獻上並不一致，由表一中所列學資料可知相同溶液有不同之「標準」值。

表1 不同文獻飽和鹽溶液產生之相對濕度值
Table 1. RH values of saturated salt solutions form the literatures
(Source : Labuza et al .1976)

Salt	(1) 22C	(2) 20C	(3) 20C	(4) 25C	(5) 20C	(6) 20C
KC ₂ H ₃ O ₂	0.230	0.23	0.200	0.225	...	0.20
MgCl ₂	0.330	0.33	0.340	0.330	0.336	0.33
Zn (NO ₃) ₂	...	0.38	0.420	0.42
Ca (NO ₃) ₂	0.522	0.56	0.560
Na ₂ Cr ₂ O ₇	0.582	...	0.520	0.536	0.552	0.52
NaNO ₃	0.648	...	0.660	0.66
NaC ₁	0.756	0.75	0.756	0.753	0.755	0.76
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.802	0.79	0.817	...	0.806	0.81
KNO ₃	...	0.94	0.942	0.925	0.932	0.94

(二)飽和鹽液形成之相對濕度值受周圍溫度所影響。

(三)飽和溶液之需要長久平衡時間：依陳氏等 (1990) 之研究，通常至少需要2.5小時以上之平衡時間，對 Libr 與 KOH等產生低 RH 值之飽和鹽溶液而言，其平衡時間更在6小時以上。

(四)每一飽和鹽只能產生一濕度值，為建立不同範圍之相對濕度值需要多種飽和鹽，因此對一濕度計執行大的相對濕度範圍之校正作業，需要長久時期。

三、相對濕度計之性能研究：

相對濕度計之性能研究已有許多論文加以探討，(Favetto et al, 1983, Kitic et al, 1986, Roa et al, 1991 Stekeleng burn, 1991)。其方法主要係利用飽和鹽溶液為相對濕度值產生裝置，以此為標

準值與濕度計在溶液空間所讀出值建立校正曲線，而以迴歸分析技術建立直線方程式或指數函數，但是模式之符合性皆未有檢驗。

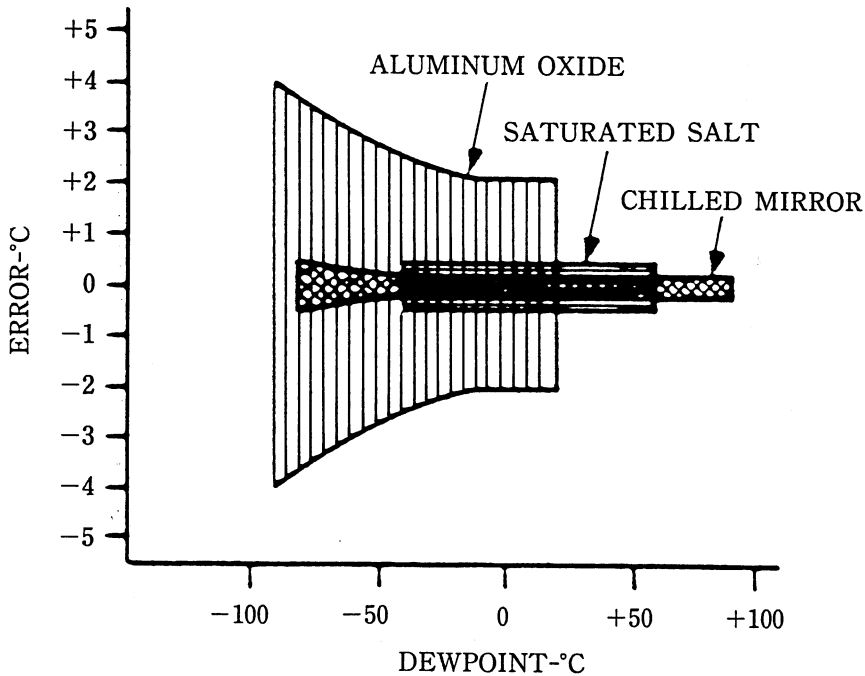
國內的有關研究中，陳氏等（1990）曾以十四種飽和鹽溶液為相對濕度標準產生裝置進行五種電子式相對濕度計之性能研究，在作業性能方面共有四種：準確性、精密性、遲滯性與穩定性。關於校正公式建立方面，利用迴歸分析統計量 s , PRESS 與殘差圖比較各性能，對於濕度計誤差之來源，此研究中加以區分為系統性誤差與任意性誤差，並利用校正曲線迴歸模式之檢定以消除系統性誤差，以迴歸技術所得之標準差代表任意誤差值，而此統計量用以為濕度計性能之比較標準。

四、露點溫度量測

在有關相對濕度的量測中，除了直接量測相對濕度值之升，其他量測方式包括量測部份壓力，濕球溫度與露點溫度，其中以露點溫度的量測最為精確（White and Ross,1983）。商品化的露點溫度量測方式中以冷卻鏡面法（Chilled Mirror method）已被確認為根源於NBS標準。

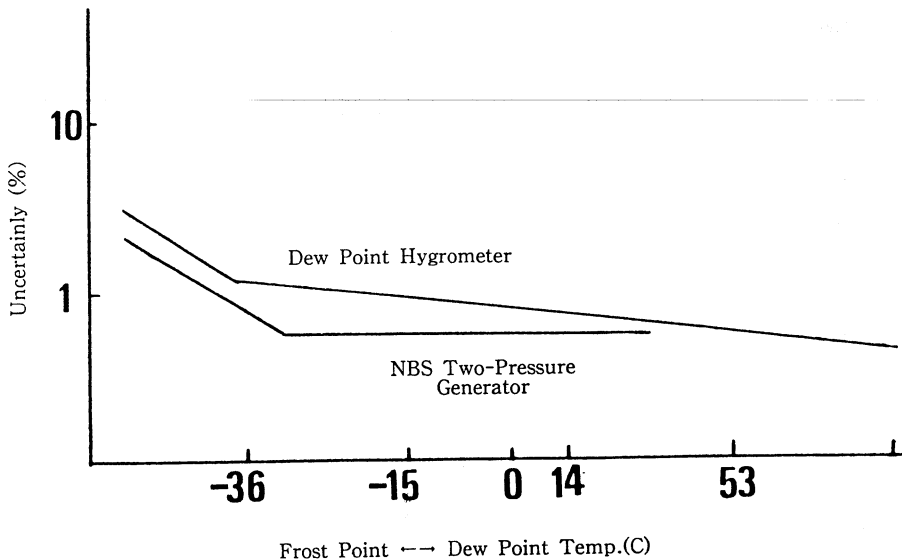
典型的冷卻鏡面露點凝結原理說明如下：有關的組件包括金屬鏡片，一具進行冷卻鏡面至露點溫度的熱邦浦與光電感測器（Phototransistor）以測定鏡面是否已結露。在量測作業中，氣體通過鏡面時，鏡面逐漸冷卻直到在鏡子表面結露為止，鏡面結露平衡狀態由光源反射以判定，在鏡面底下埋設 RTD（PT-100型）以量測此露點溫度，氣體乾球溫度由同型溫度計加以量測。由乾球與露點溫度可計算相對濕度值。

此型露點溫度之量測範圍與準確度如圖1所示（General Eastern ,1986）。此種冷卻鏡面法之誤差最小。由雙壓力法與露點量測法之比較（圖2, Cole et al, 1970）可知，兩者準確度十分相近，由此可知利用露點溫度的量測可做為相對濕度之參考標準值。



圖一 三種露點溫度量測設備的誤差

Fig.1. The errors of three dew-point temperature measuring devices



圖二 兩種校正方式之準確性

Fig 2. The accuracies of two calibrating devices

材料與方法

一、分流式相對濕度校正裝置之改良

商品化之分流式相對濕度校正裝置的優點在於產生不同範圍濕度值之所需時間短，而其缺點在於兩股氣流的質量比控制必須十分精確才能確實控制產生所需要的相對濕度環境，此商品之成本昂貴之原因即在於需要控制與量測氣流之精密設備。

本研究對於此分流式校正裝置加以改良，相對濕度之產生仍來自不同質量比之兩股氣流，而相對濕度值並未利用昂貴設備依預先設定值加以控制，調整，而係以冷卻鏡面露點溫度計對所產生氣流之相對濕度加以量測以做為校正之標準值。

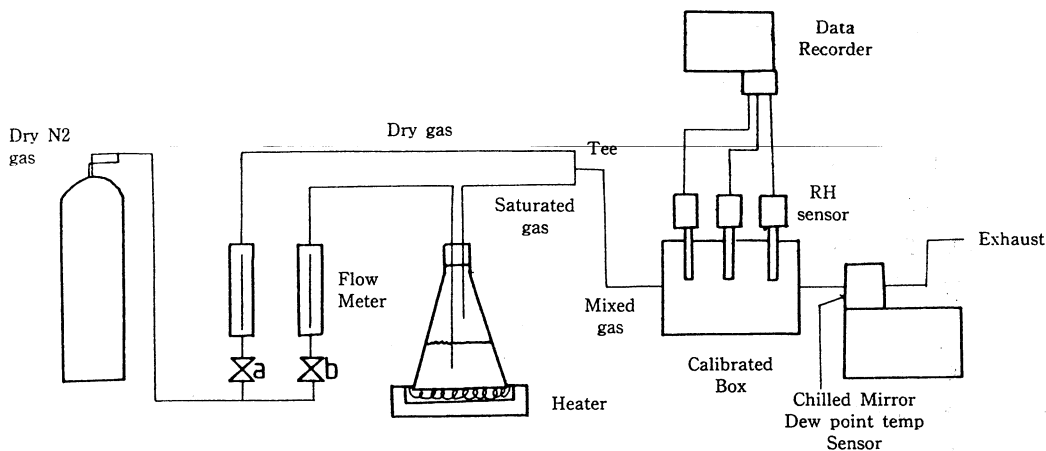
改良之相對濕度校正裝置如圖3所示。所利用之氣體為氮氣，流經A流量控制閥之空氣為絕乾狀態，流經B閥之氣體用以產生絕對飽和氣體，由A、B閥可調整兩股氣流的流量，在三向位置（Tee）混合後進入校正箱內。所需要校正之感測器放在此校正箱內進行校正，校正箱之氣體再流入露點濕度量測裝置，以量測其露點溫度與乾球溫度再計算相對濕度值，利用相對濕度計之量測值與露點濕度量測所得之相對濕度標準值，可建立感測器校正曲線。

為得到高相對濕度值（RH \geq 85%），在飽和槽底下裝置加熱器，以增加飽和水溫度之方式以加速得到高濕度。由於進行濕度校正時其時間極短，室溫變化不大，溫度之影響可由感測計之溫度補償加以修正。

為比較此設備之校正性能與飽和鹽溶液所得之校正性能有否顯著差異性，此研究另外使用十三種飽和鹽加以比較，其種類與標準值如同陳氏等（1990）研究。

二、露點溫度量測設備

此研究所使用之露點溫度量測設備為EG & G公司，Model 911 Dew-all Digital Humidity Analyzer，其主要規格說明如下：



圖三 相對濕度計校正裝置

Fig. 3. Calibration device for RH sensor

- (一)量測範圍：-40~60°C。
- (二)露點溫度感測器：3-Wire RTD (PT-100) 元件。
- (三)乾球溫度感測器：3-Wire RTD (PT-100) 元件。
- (四)準確度：±0.25~0.3°C或±0.3~0.5% RH

三、電子式相對濕度計

此研究所用之濕度計依其原理有兩類，來自三種廠牌。

(一)電容式濕度計

此型感測器之與電阻式感測器基本原理在陳氏等研究 (1990) 已有討論，所評估之濕度計有兩種，其廠商規格如下：

A. Rotronic Hygromer Transmitter (I-100)

感應元件：Rotronic C-83-N。

量測範圍：0~100% RH。

準確度：±1.5%。

遲滯性：1.0% RH之內。

反應時間：10秒之內。

溫度係數：±0.05% RH/°C。

B. Rotronic Bygromer GT-P Sensors

感應元件：Rotronic C80。

量測範圍：5~100% RH。

準確度：±2%。

遲滯性：1.0% RH之內。

反應時間：10秒之內。

溫度係數：±0.05% RH/°C。

(二)電阻式相對濕度計

此型濕度計之感測元件是利用高分子薄膜，共有兩種廠牌，廠商規格如下：

A. Shinyei Kaisha 公司 THT-S型。

感應元件：Macro-Minute humidity sensor。

量測範圍：20~95% RH。

準確度：±3%。

B. 三淵公司：INS MODEL 800型。

感應元件：高分子感測子。

量測範圍：0~100% RH。

準確度：±3% RH (20~90% RH 範圍)。

反應時間：30sec。

四、濕度計之校正與性能評估：

此研究內容有兩項：

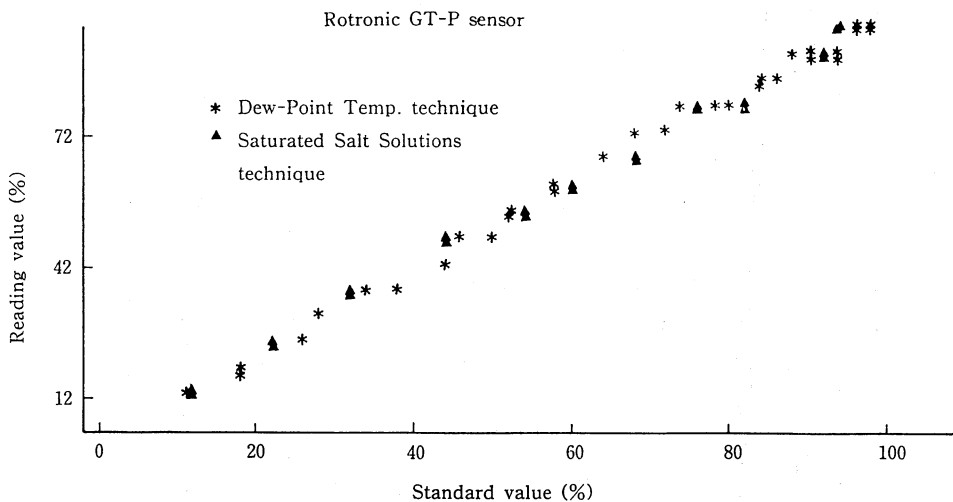
(一)以一具 Rotronic GT-P Sensor 與兩具 Rotronic I-100型感測器分別建立以飽和鹽產生空間為標準值之校正曲線與以此研究所改良分流式校正裝置所得之校正曲線，以統計檢定 (F-統計量) 方式比較兩種校正曲線是否有顯著差異性。

(二)比較電容式與電阻式感測器之性能特性。

結果與討論

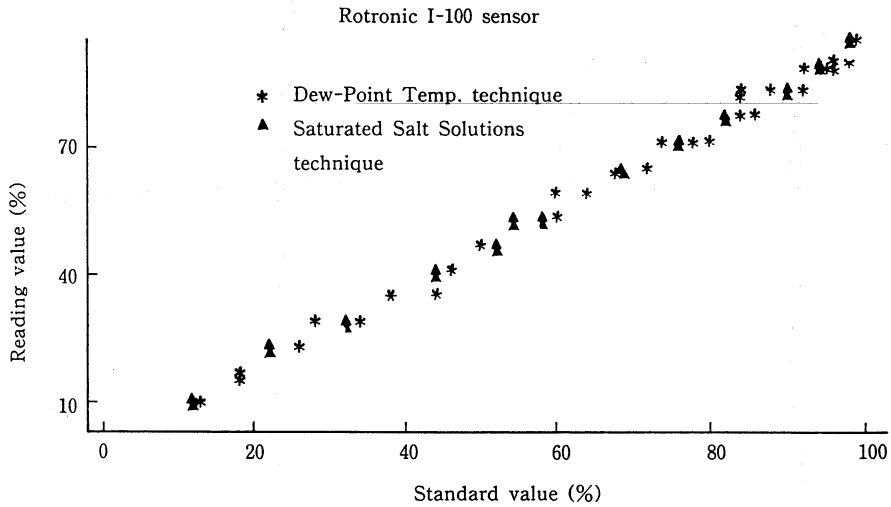
一、校正方法之比較

利用兩種校正方法所得結果之比較如圖4a-4b 所示。由圖可知對兩型電容式濕度計而言，以兩種校正標準所建立之校正曲線分佈幾幾乎近似，以統計技術 F 檢定，兩種曲線並無顯著差異。



圖四a Rotronic GT-P 型感測器對兩種校正設備之性能曲線

Fig. 4a. The performance curves derived from two calibration devices for Rotronic GT-P sensors



圖四b Rotronic I-100 型感測器對兩種校正設備之性能曲線

Fig. 4b. The performance curves derived from two calibration devices for Rotronic I-100 sensors

由已知之研究，此型校正曲線之最佳模式為二次多項式，以標準差 (S. E., Standard Error) 為性能準確度比較標準，由表二中四種比較結果可知利用此研究之分流式校正裝置建立之校正曲線其性能均優異於飽和鹽液法得到的校正曲線，利用十三種飽和鹽溶液為基準之校正期間共需約一周，而以分流式設備可在兩小時內得到全範圍，大量且準確之數據，以建立完整之校正曲線。由此可知此研究所開發利用之分流式校正裝置有其實用價值。

表2 兩種校正方式對濕度計性能曲線的影響

Table 2. The effect on the performance of RH sensors for two calibration techniques.

S.e.value Model	Rotronic		I-100		Rotronic GT-P	
	a		b			
	linear	curve	linear	curve	linear	curve
saturated salt solutions	0.90	0.81	1.24	1.10	0.86	0.83
Dew-Point Temperature Device	0.64	0.44	0.58	0.45	0.87	0.81

二、兩型電子式濕度計之性能

(一)電容式相對濕度計

典型之電容式相對濕度計其性能曲線如圖5所示。對 Rotronic GT-P Sensor 而言，二次式多項式為最佳校正模式，相關之統計分析結果如下：

y 為標準值，x 為儀器讀出值

A. 所有數 (6% ≤ x ≤ 98%)

y = -0.43 + 1.098x, S = 1.80, R² = 0.9968

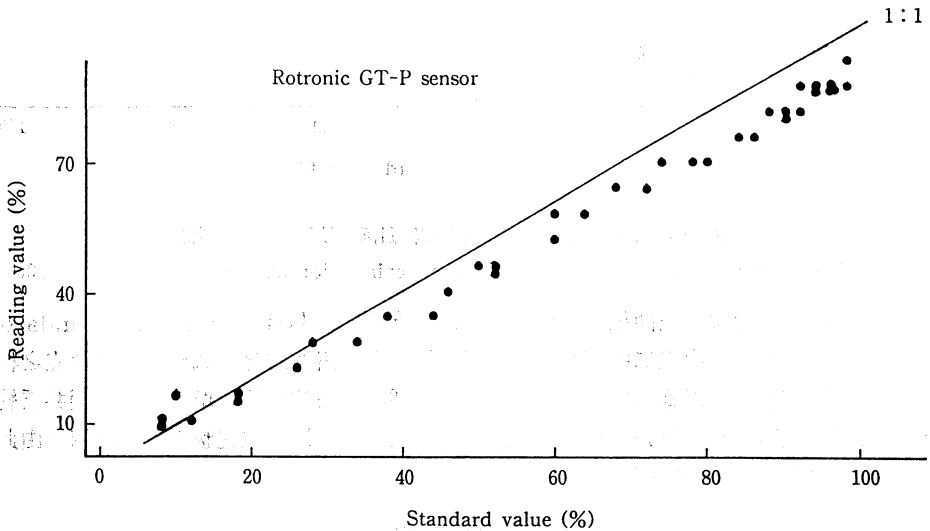
y = -3.973 + 1.2993x - 1.972 × 10⁻³ · x², S = 1.4, R² = 0.9982

B. 不包括10% RH 以下數據

y = 2.30 + 1.067x, S = 0.99, R² = 0.998

y = -1.282 + 1.205x - 1.231 × 10⁻³ · x², S = 0.9, R² = 0.9988

y = 1.2238 * Exp (0.9742x), S = 1.24, R² = 0.9978



圖五 Rotronic GT-P 型濕度計性能曲線

Fig. 5. The performance curve of Rotronic GT-P sensor

對上述迴歸結果進行殘差圖分析可知，僅二次式多項式為最佳模式，直線模式與指數模式雖然有極高 R 值，但其殘差圖有顯著地曲線分佈，表示此指數模式的不適切性 (inadequate)。

其他兩具 Rotronic I-100 感測器之校正曲線統計分析結果與 GT-P 感測器完全相同，僅有二次式方程式為最佳模式。

(二) 電阻式濕度計

此研究中所用電阻式濕度計其感測元件均為高分子薄膜，其性能曲線特性討論如下：

A. Shinyei Kaisha THT-S 型

此型感測器其典型性能曲線如圖6所示。在相對濕度環境於15%以下時，感測器之反應成水平無變化，可知其適用範圍為15% RH 之上。對所有數據進行迴歸分析時，

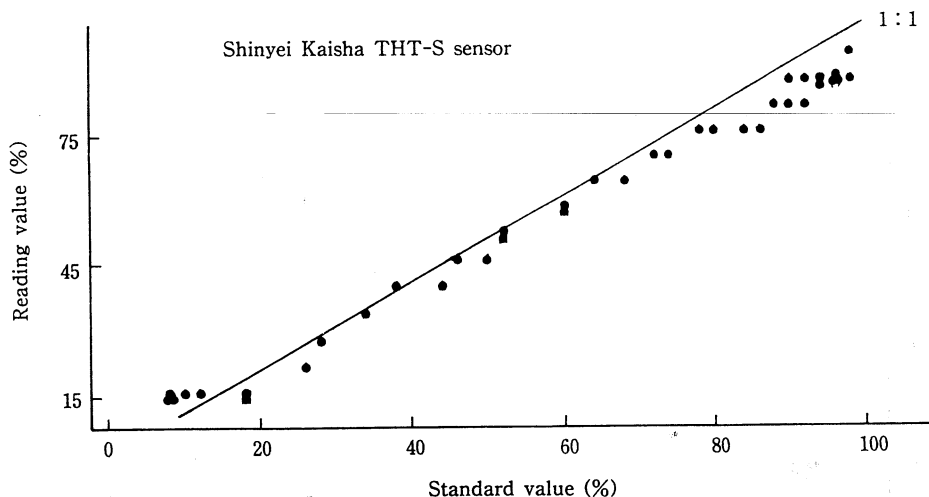
y = -5.49 + 1.154X, S = 2.42, R² = 0.994

可知其準確性不良，誤差為2.42%，對於15% RH 以上範圍之性能曲線其統計分析如下：

a. y = -2.15 + 1.113X, S = 0.97, R² = 0.998

b. y = -0.87 + 1.056X + 5.03 × 10⁻⁴ · x², S = 0.96, R² = 0.999

c. y = 0.8786 * Exp (1.0477X), S = 1.12, R² = 0.996



圖六 THE-S 型濕度計性能曲線

Fig. 6. The performance curve of THT-S sensor

由統計檢定得知，指數模式之殘差圖有明顯之曲線分佈，代表不適合此校正曲線。線性與二項次模式均有均勻分佈之殘差圖，而二項次模式並未優於直線模式，因此直線模式為最佳模式；另一具同型式濕度計其校正曲線分析結果完全相同，以 S 值為性能曲線之準確性比較標準時，兩具 THT-S 之 S 值各為 0.97 與 0.91，與表二之電容式濕度計性能比較，三具電容式 Rotronic 濕度計以分流式校正設備建立校正曲線之準確性較電阻式好，但其購置成本相對提高。

B. INS Model 800 型

此型濕度計之校正曲線如圖七所示。在相對濕度低於 15% 與高於 95% 時，其反應值並無變化，成水平分佈。以大於 15% 之數據範圍有關之統計分析如下：

a. $y = 2.5 + 0.9855X$, $S = 1.49$, $R^2 = 0.997$

b. $y = 4.59 + 0.889X + 8.41 \times 10^{-4}x \cdot X^2$, $S = 1.43$, $R^2 = 0.9974$

c. $y = 1.59 * \text{Exp}(0.8966X)$, $S = 1.85$, $R^2 = 0.9941$

在統計檢定中，指數函數之殘差圖顯示此模式並不適用。適用之直線模式與二次式模式兩者比較顯示，後者並未優於前者，直線模式為最佳校正模式。

結 論

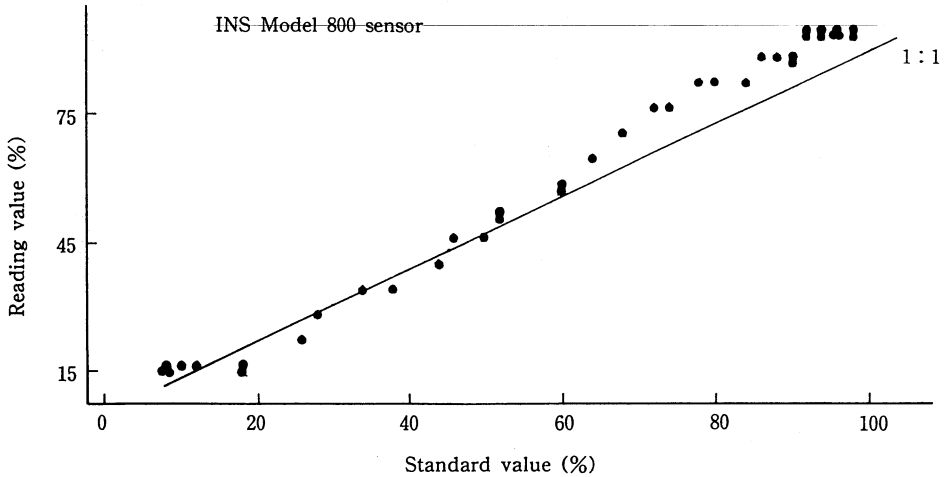
依上述研究結果所得結論如下：

一、此研究中所改良之分流式相對濕度校正裝置以冷卻鏡面露點溫度為標準值，可於短時間內完成相對濕度計性能曲線之建立作業。操作簡易，成本低廉為其特點。

二、利用此方式建立之濕度計性能曲線與飽和鹽液法所得之性能曲線並無統計上之顯著差異，然而其校正曲線之準確性較為良好。

三、電容式濕度計之適用範圍為 10% RH 以上，其校正曲線最佳模式為二次多項式。

四、高分子薄膜電阻式濕度計之適用範圍為大於 15% RH 之環境，其校正曲線最佳公式為直線式。



圖七 INS-800 型濕度計性能曲線

Fig. 7. The performance curve of INS-800 sensor

參考文獻

1. 詹國鴻, 1989, 濕度感測器的選用與校正, 量測資訊6期元月號: 48-49。
2. 陳加忠, 曹之祖, 1990, 電子相對濕度計之性能評估, 農業工程學報 36(4): 79-96。
3. Cole, K. M. and J. A. Reger. 1970, Humidity calibration techniques, Instrumenta and control systems. Jan : 77-82.
4. Favetto, G., S. Resnik, J. Chirife and C. F. Fontan. 1983. Statistical evaluation of water activity measurements obtained with the Vaisala humicap humidity meter. J. of Food Science, 48 : 534-538.
5. General Eastern. 1986. Humidity instrumentation. General Eastern Instruments Cor.
6. Kitic, D. G., J. Favetto, J. Chirife and S. L. Resnik. 1986. Measurement of water activity in the intermediate moisture range with the Novasina thermo-constant humidity meter. Lebens-Wiss. Tech. 19 : 297-310.
7. Labuza, T. P., K. Acot, S. R. Tatini and R. Y. Lee, 1976, Water activity determination: a collaborative study of different methods J. of Food Science 41 : 910-917.
8. Lapinski, M., K. Kostyrko and W. Wlodarski. 1976. Modern methods for the control and measurement of humidity and moisture. U.S. National Technical Information Service. USA.
9. Roa, Valentin and Maria S. T. de Daza, 1991, Evaluation of water activity measurements with a dew point electronic humidity meter. Lebensm.-Wiss. Technol. 24 : 208-213.
10. Saugy, Israel and B. Drew, 1987. Statistical calibration of instruments using water activity determination as an example. J. of Food Science. 52 : 767-771.
11. Stekelengburg, F. K. and H. Labots, 1991, Measurement of water activity with an electric hygrometer. Inter. J. of Food Science and Technology. 26 : 111-116.

12. Stoloff, L. 1978, Calibration of water activity measuring instruments and devices: Collaborative study. J. Assoc. Off. Analysis Chemistry. 61 : 1166-1178.
13. Troller, J. A. 1977. Statistical analysis of Aw measurements obtained with the Sina scope. J. of Food Science, 42 : 86-90.
14. White, G. M. and I. J. Ross, 1983, Humidity. In: *Instrumentation and measurement for environmental sciences*. Mitchell (eds) , Chap. 8. ASAE, St Joseph, MI.

Development and Test of a Standard Calibration Device for Relative Humidity Sensors

C.C. Chen and C.T. Tsao

Summary

In this study, a calibration device was developed to conduct the calibration work for electric relative humidity sensors. Two nitrogen gas streams, one is pure dried and another is saturated with water, are mixed to obtain the full range of RH values in the device for calibration. The results were compared with the dew-point temperature sensing by chilled mirror that was traced to the NBS served as the standard. Comparing the experiments results with the calibration curves that established by thirteen saturated salt solutions, a better accuracy was found. This device has provided a simple and rapid technique to do the calibration work for RH sensors.

Key words: Calibration device, Dew point sensor, RH sensor

1. Contribution No. 1645 from Taiwan Agricultural Research Institute.

2. Associate Researcher, Junior Specialist, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan 413, ROC.