# เรื่องของอุณหภูมิ Wet bulb (Twb) / Dry bulb (Tdb) / Dew point (Tdp) / RH (%) / Psychrometric chart

เรียบเรียงโดย **ไชยวัฒน์ ปิยัสสพันธุ์**

เรื่องอุณหภูมิ Wet bulb (Twb) และความร้อนแฝง (Latent heat) ที่ได้เรียนมา ตั้งแต่ชั้นมัธยม และได้มาต่อยอดกันเมื่อเรียนวิศวกรรม ก็เป็นช่วงที่ห่างกันมาก ทำให้ลืมเรื่องของการเกิด Twb ไปว่าเกิดจากอะไร หากได้ทบทวนสักเล็กน้อยก็จักทำให้สิ่งที่รู้แล้ว จะเข้าใจได้ดีขึ้น และสามารถอธิบายเหตุผล และปัญหาที่เกิดขึ้นได้ และก็เช่นเดียวกันกับอุณหภูมิตัวอื่นๆด้วย

## ชนิดของอุณหภูมิ

**อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb Temperature-Tdb)** คืออุณหภูมิที่สัมผัสได้โดยตรง

**อุณหภูมิน้ำค้าง (Dp-dew point temp.)**

**ความชื้นสัมพัทธ์ (RH)** คือสัดส่วนของปริมาณไอน้ำในอากาศที่มีอยู่จริง เทียบกับปริมาณที่อากาศจะรับได้ จนอิ่มตัว (100% RH) ที่สภาวะนั้น

**อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb Temperature-Twb)** ในเรื่องอุณหภูมิกระเปาะเปียกเป็นเรื่องที่สัมพันธ์กับพลังงานความร้อน ในอากาศทั้งในรูป ความร้อนสัมผัส และความร้อนแฝง ที่อยู่ในรูปไอน้ำที่ระเหย และปะปนอยู่ในอากาศ มีวิธีหา Twb นั้นไม่ยาก แต่กรรมวิธีในการวัดค่า มีเหตุและผลการเกิดขึ้นอยู่ในนั้น จะทำให้รู้ว่า ทำไมใน Psychrometric chart เส้นแสดง Wb จึงเกือบจะซ้อนกับเส้น Enthalpy ซึ่งแสดงค่าระดับพลังงานความร้อนของอากาศนั้นหมายความว่าหาก

Figure 37-27. Technician spinning a wet-bulb and dry-bulb thermometer, known as a sling psychrometer.

*Figure 1*

Twb เปลี่ยน Enthalpy (h) ก็จะเปลี่ยนด้วย เริ่มจากวิธีหา Twb โดยใช้ผ้าชุบน้ำพันรอบกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์ แล้วแกว่งจนกว่าอุณหภูมิจะลงต่ำที่สุดได้ Tiwb (คืออุณหภูมิ Wet bulb ของอากาศ)

**อธิบาย :** เราจะสมมุติว่า น้ำที่อยู่ในผ้าที่พันนั้นมีอุณหภูมิ TW (ผันแปรได้) เปรียบเหมือนเป็นหยดน้ำที่มีลมพัดผ่าน ดังรูปที่ 1

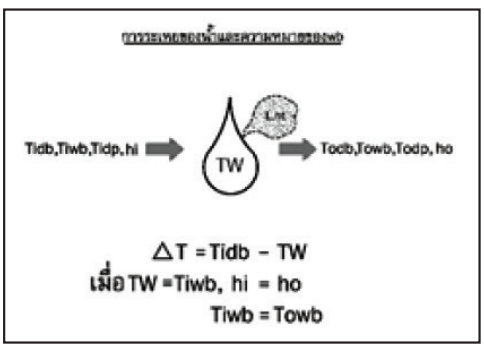



*Figure 1*

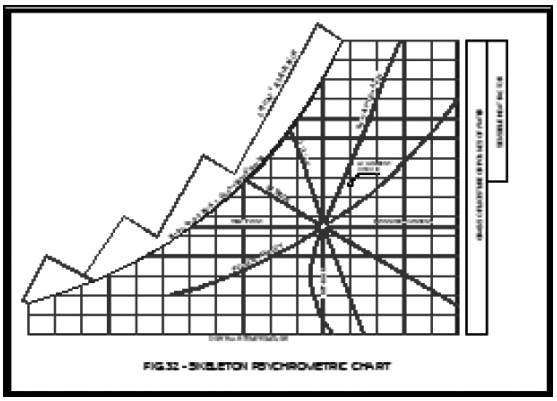



*Figure 2*

ความร้อนของอากาศที่พัดเข้าหาหยดน้ำ มีอุณหภูมิ Tidb, Tiwb, Tidp และ enthalpy = hi ตามในรูป เมื่อน้ำ (ที่มีอุณหภูมิ = TW) สัมผัสอากาศที่ไม่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ ก็จะระเหยออกไปส่วนหนึ่ง น้ำที่ระเหย ต้องดึงความร้อนเข้าหาตัวมันเป็น latent heat มันก็ดึงจากหยดน้ำข้างๆมัน น้ำที่เหลืออยู่ก็จะมีอุณหภูมิ (TW) ต่ำลง เรื่อยๆ ทำให้ผลต่างอุณหภูมิ $\Delta$ T ระหว่างอากาศ (Tidb) กับน้ำ (TW) ($\Delta$ T = Tidb-TW) มากขึ้น ทำให้ความร้อนสัมผัส (sensible ht.) ของอากาศเข้า (Tidb) จะถ่ายเทไปให้หยดน้ำมากขึ้น แล้วผ่านออกไปเป็นค่า(Todb-ซึ่งต่ำกว่าTidb) เมื่อหยดน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นความดันไอก็สูงขึ้น ระเหยได้ง่ายขึ้นไปเป็น Latent ht.ของอากาศที่ผ่านออกไป เกิดสมดุลขึ้น (steady state -ภาวะคงตัว) เมื่ออุณหภูมิน้ำ (TW) = Tiwb คือเป็น wet bulb ของอากาศที่เข้า น้ำส่วนที่ระเหยเป็นไอน้ำออกไป ก็ผสมอยู่กับอากาศที่ผ่านออกไป ก็จะมีอุณหภูมิเป็น Todb,Towb,Todp & enthalpy=ho จุดที่สมดุล (steady state -ภาวะคงตัว) คือ sensible heat จากอากาศเข้าลดลงเท่ากับ latent heat ของน้ำที่ระเหย ทำให้ enthalpy ของอากาศเข้า hi = enthalpy อากาศออก (ho) รวมถึง Tiwb = Towb อีกด้วย

กล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่า Total heat ของอากาศเข้าเท่ากับ Total heat ของอากาศที่ออก ฉะนั้น อากาศที่ผ่านไปจะลดอุณหภูมิ dry bulb ลง (Tidb-Todb) มี hi = ho และ Tiwb = Towb เป็นขบวนการที่นำไปใช้

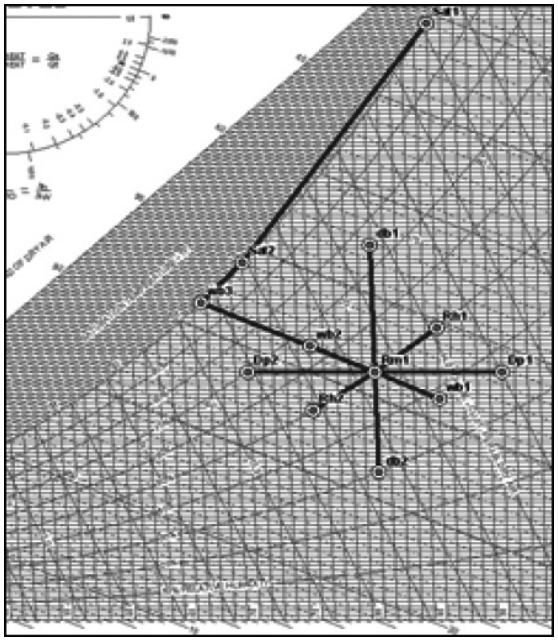


*Figure 3*

ในวิเคราะห์ Psychrometric chart ว่า หาก **Twb ไม่เปลี่ยนแปลง ค่า Enthalpy ก็จะไม่เปลี่ยนแปลงด้วย** ตามรูปที่ 3 จุดของอากาศเข้าและออกหรือของขบวนการนี้ จะอยู่ในแนวเส้นตรง Wb1-Wb2-Wb3 เดียวกัน

การทำงานของ พัดลมไอน้ำ (Evaporative cooling) เหมือนกับขบวนการข้างต้น ถ้าน้ำที่สเปรออกมา มี TW=Tiwb และ

- ถ้าวันใดความชื้นในอากาศต่ำ (%RH) จะทำให้น้ำระเหยได้ดี จึงดึง sensible ht. จากอากาศได้มาก ($\Delta$ T = Tidb-Tiwb) นั่นคือ อุณหภูมิ dry bulb ของอากาศออก (Todb) ก็จะต่ำลงกว่า Tidb ได้มาก แต่ปริมาณไอน้ำในอากาศที่ระเหยออกมา ก็จะมากขึ้นด้วย (ชื้นมากขึ้น)

- ในวันที่อากาศชื้นมาก (%RHสูง) จะทำให้น้ำระเหยได้น้อย จึงดึง sensible ht. จากอากาศได้น้อย นั่นคือ อุณหภูมิ dry bulb ของอากาศออก (Todb) ก็จะต่ำลงกว่าTidbได้เพียงเล็กน้อย

- และถ้าวันใด %RH=100% ก็จะไม่เกิดการระเหย นั่นคือ Tidb, Tiwb, Tidp และ enthalpy = hi จะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงทุกค่า

- ความรู้สึกสบายของผู้ใช้ ก็ขึ้นกับสภาวะ ว่าเป็นอย่างไร ได้ dry bulb ลดลง แต่ความชื้นสัมพัทธ์มากขึ้น

- วันใดที่ความชื้นในอากาศสูงๆ น้ำที่สเปรจะไม่ระเหย หรือระเหยน้อยมาก ทำให้เหลือเป็นละอองน้ำผสมออกมามาก

ขบวนการนี้ เป็นขบวนการทำงานของ Cooling tower ที่มี TW ของน้ำ (Condensor water) มากกว่า Tidb การระบายความร้อนออกจากน้ำมีทั้งในรูปของ sensible ht. และ latent ht. ด้วย

- วันที่อากาศ มีอุณหภูมิ wet bulb ใกล้เคียงกับ dry bulb คือวันที่มีความชื้นสัมพัทธ์มาก

- สภาวะอากาศที่ Tdb = Twb ความชื้นสัมพัทธ์คือ 100 %

- Cooling tower จะมีประสิทธิภาพลดลงนอกจากตาม dry bulbTidb แล้ว ยังตาม wet bulb Tiwb ด้วย คือในวันที่อุณหภูมิทั้ง2 ใกล้เคียงกัน ก็คือวันที่มีความชื้นในอากาศ (%RH) สูง

- วันที่ความชื้นต่ำ น้ำระเหยได้ดี ก็สิ้นเปลืองน้ำมาก แต่ระบายความร้อนได้ดี

## การระเหย (Evaporating)

คือการที่ของเหลวระเหยกลายเป็นไอ โดยที่อุณหภูมิของมันยังไม่ถึงจุดเดือด (เมื่อของเหลวมีความดันไอ มากกว่า ความดันของไอน้ำในอากาศ จะระเหยเป็นไอน้ำแทรกตัวในอากาศ) จะเกิดที่ผิวบนของของเหลวเท่านั้น

- ใต้ผิวน้ำก็มีการระเหย และมีการควบแน่นไปพร้อมๆกัน อยู่ในสภาวะที่สมดุลระหว่างการเป็นไอและการควบแน่น (Equilibrium point) **ใต้ผิวน้ำ (ในน้ำ) จึงมีความดันไอน้ำด้วย**

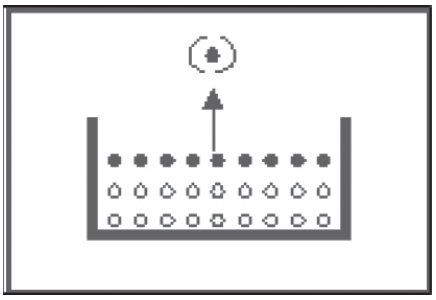


*Figure 4*

## ปัจจัยที่ทำให้น้ำระเหยได้ดี

1. อากาศแห้งหรือมี%RHต่ำ มีช่องว่างให้โมเลกุลของน้ำระเหยขึ้นไปแทรกตัวอยู่ได้มาก (ความดันไอน้ำในอากาศต่ำ)

2. อุณหภูมิน้ำสูง ทำให้โมเลกุลของน้ำสั่น หลุดลอยออกไปได้ง่าย (หรือกล่าวว่า ความดันไอของน้ำมีมากกว่าความดันไอน้ำในอากาศ ยิ่งมากน้ำก็จะระเหยได้เร็ว )

3. ลมพัดผ่านแรง มีพลังงานจลน์พาโมเลกุลของน้ำที่ผิวน้ำ ระเหยได้ดี

## ความดันไอของน้ำ

ความดันไอของน้ำ ก็คือ ความดันสมบูรณ์ ที่ทำให้น้ำเดือดที่อุณหภูมิของน้ำนั้น

**ตาราง 1 ความดันและจุดเดือดของน้ำ**

Refrigerant 718 (Water/Steam)

| Temp.,° °F | Pressure, psia | Density, lb/ft³ Liquid | Volume, ft³/lb Vapor | Enthalpy, Btu/lb Liquid | Enthalpy, Btu/lb Vapor | Entropy, Btu/lb-°F Liquid | Entropy, Btu/lb-°F Vapor |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32.02a | 0.089 | 62.42 | 3299.7 | 0.00 | 1075.92 | 0.0000 | 2.1882 |
| 40.00 | 0.122 | 62.42 | 2443.3 | 8.04 | 1079.42 | 0.0162 | 2.1604 |
| 50.00 | 0.178 | 62.41 | 1702.8 | 18.08 | 1083.79 | 0.0361 | 2.1271 |
| 60.00 | 0.256 | | | | 1088.15 | 0.0556 | 2.0954 |
| 70.00 | 0.363 | 0.363psia=0.739 in.Hg | | | 1092.50 | 0.0746 | 2.0653 |
| 80.00 | 0.507 | | | | 1096.83 | 0.0933 | 2.0366 |
| 90.00 | 0.699 | 62.11 | 467.40 | 58.09 | 1101.15 | 0.1117 | 2.0093 |
| 100.00 | 0.951 | 61.99 | 349.84 | 68.08 | 1105.44 | 0.1297 | 1.9832 |
| 110.00 | 1.277 | 61.86 | 264.97 | 78.07 | 1109.71 | 0.1474 | 1.9583 |
| 120.00 | 1.695 | 61.71 | 202.95 | 88.06 | 1113.95 | 0.1648 | 1.9346 |
| 130.00 | 2.226 | 61.55 | 157.09 | 98.06 | 1118.17 | 0.1819 | 1.9118 |
| 140.00 | 2.891 | 61.38 | 122.82 | 108.06 | 1122.35 | 0.1987 | 1.8901 |

37F 0.2219 in.Hg

*Table 1*

จาก ตารางที่ 1
ตัวอย่าง 1 น้ำที่มีอุณหภูมิ 37 F จะเดือดที่ความดันสมบูรณ์ 0.2219 in.Hg

ตัวอย่าง 2 ที่ความดันสมบูรณ์ 0.363 psia. หรือ 0.739 in.Hg น้ำจะเดือดที่อุณหภูมิ 70 F

**ตัวอย่าง การระเหย**

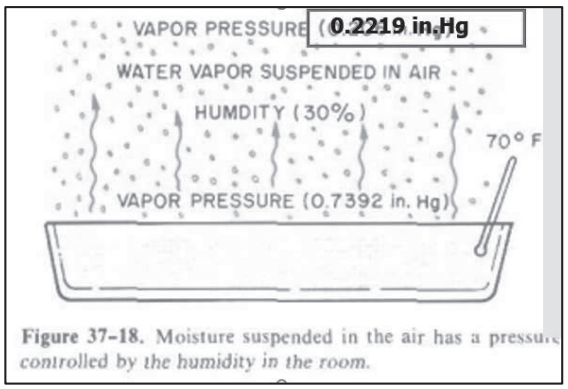



**Figure 37-18.** Moisture suspended in the air has a pressure controlled by the humidity in the room.

*Figure 5*

จากรูปที่ 5 อากาศที่มี Db = 70 F, 30%RH จะมีความดันไอน้ำในอากาศ = 0.2219 in.Hg (ใช้โปรแกรม psychrometric chart หาค่าตามรูปที่ 6 และ 7) แต่ความดันไอของน้ำในถาดที่มีอุณหภูมิ 70 F = 0.7392 in.Hg (จากตารางที่1) ฉะนั้นน้ำในถาดสามารถระเหยเป็นไอน้ำในอากาศได้ เพราะมีความดันไอสูงกว่า

## การควบแน่น

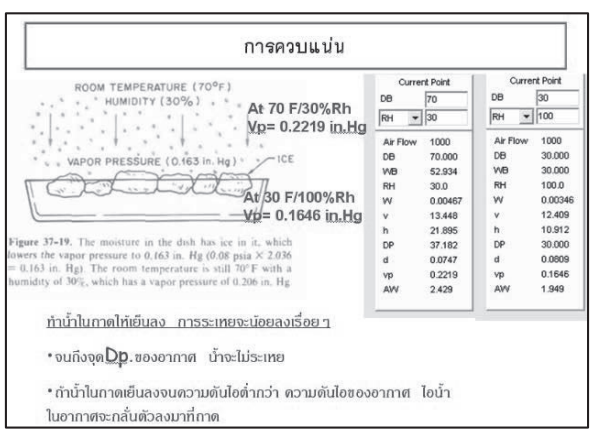
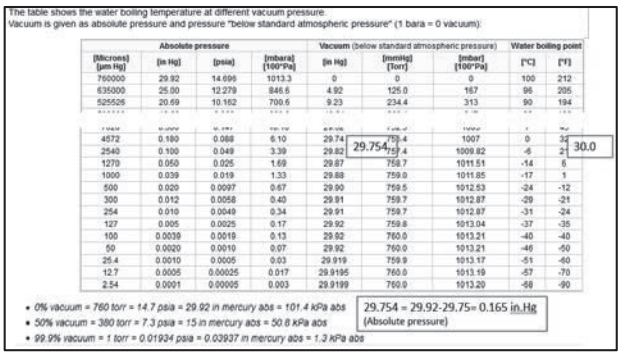



*Figure 6*

Table 2




จากรูปที่ 6 เมื่อนำน้ำแข็งใส่ในถาด ทำให้น้ำมีอุณหภูมิเย็นลงถึง 30 F อากาศที่มี Db=70 F, 30%RH จะมีความดันไอน้ำในอากาศ = 0.2219 in.Hg แต่ความดันไอของน้ำในถาด ที่มีอุณหภูมิ 30 F = 0.1646 in. Hg (ประมาณค่าจากตารางที่2) ซึ่งน้อยกว่าความดันไอน้ำในอากาศ ฉะนั้น จะเกิดการควบแน่นจากไอน้ำในอากาศเป็นหยดน้ำลงสู่ในถาด

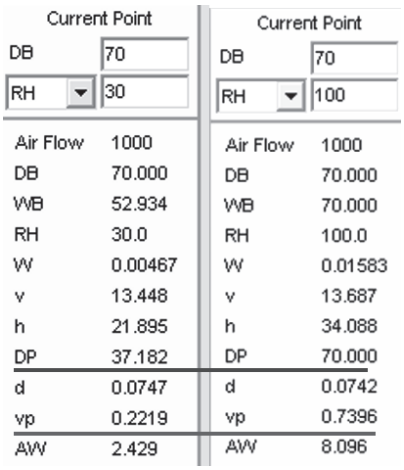



*Figure 7*

จากรูปที่ 7 ฝั่งซ้ายเป็นสภาวะของอากาศที่มี db = 70 F, RH = 30 จะมีจุด Dp = 37 F, ความดันไอน้ำ=0.2219 in.Hg ซึ่งตามตารางที่1 แล้วน้ำที่มีจุดเดือดที่ 37 F ที่ความดันไอ 0.2219 in.Hg ซึ่งก็คือจุดน้ำค้าง (Dp-Dew point) นั่นเอง

จึงกล่าวได้ว่า “ความดันไอน้ำในอากาศคือความดันที่ทำให้น้ำเดือดที่อุณหภูมิน้ำค้าง” ก็ได้

"ความดันไอน้ำอิ่มตัว" คือความดันไอน้ำขณะอยู่ในสมดุลระหว่างไอและของเหลว (อัตราการระเหยและควบแน่นเท่ากัน) (หรือคือความดันสมบูรณ์ที่ทำให้น้ำเดือดที่อุณหภูมิขณะใดๆ)

"ความดันไอน้ำในอากาศ" คือความดันไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศขณะนั้น

ความดันไอน้ำในอากาศ, RH, Dp จะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณไอน้ำในอากาศ และความดันไอน้ำในอากาศจะสูงที่สุดที่ 100%RH ตามรูปที่ 7 ฝั่งขวามือ และเรียกว่าความดันไอน้ำอิ่มตัว

Table 3

| POINT | PROCESS | DB | WB | RH | W | v | h | DP | d | vp | AW |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Rm1 | Add State | 80.0 | 66.6 | 50.0 | 0.0110 | 13.84 | 31.23 | 59.7 | 0.0731 | 0.517 | 5.549 |
| db1 | Humidification | 80.0 | 73.8 | 75.0 | 0.0166 | 13.96 | 37.41 | 71.4 | 0.0728 | 0.775 | 8.324 |
| db2 | Desiccant | 80.0 | 60.1 | 30.0 | 0.0065 | 13.74 | 26.37 | 45.8 | 0.0732 | 0.310 | 3.330 |
| wb1 | Desiccant | 85.0 | 66.6 | 38.0 | 0.0098 | 13.94 | 31.15 | 56.6 | 0.0724 | 0.462 | 4.912 |
| wb2 | Humidification | 75.0 | 66.7 | 65.1 | 0.0121 | 13.74 | 31.28 | 62.5 | 0.0737 | 0.570 | 6.184 |
| wb3 | Humidification | 66.6 | 66.6 | 100.0 | 0.0140 | 13.56 | 31.30 | 66.6 | 0.0748 | 0.658 | 7.249 |
| Rh1 | Connect | 85.0 | 70.8 | 50.0 | 0.0129 | 14.01 | 34.62 | 64.3 | 0.0723 | 0.607 | 6.465 |
| Rh2 | Connect | 75.0 | 62.5 | 50.0 | 0.0093 | 13.67 | 28.15 | 55.1 | 0.0738 | 0.438 | 4.748 |
| Dp1 | Sensible | 90.0 | 69.7 | 36.3 | 0.0110 | 14.10 | 33.68 | 59.7 | 0.0717 | 0.517 | 5.448 |
| Dp2 | Sensible | 70.0 | 63.4 | 69.8 | 0.0110 | 13.58 | 28.78 | 59.7 | 0.0744 | 0.517 | 5.654 |
| Sat1 | Connect | 85.0 | 85.0 | 100.0 | 0.0264 | 14.31 | 49.44 | 85.0 | 0.0718 | 1.214 | 12.930 |
| Sat2 | Connect | 70.0 | 70.0 | 100.0 | 0.0158 | 13.69 | 34.09 | 70.0 | 0.0742 | 0.740 | 8.096 |

**DB=Dry bulb temp.(F) , WB=Wet bulb temp.(F) , RH=Relative Humidity(%) , W =Humidity Ratio(Grain/lb of dry air) , v=specific volume (cu.ft/lb) , h=(Enthalpy) , DP=Dew point temp.(F) , d=Density(lb/cu.ft) ,vp=vapor pressure(in.Hg) , AW=Absolute Humidity(Grain/cu.ft)**

ตารางที่ 3 เป็นตารางแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศ ตาม Psychrometric chart รูปที่ 3

- ถ้า wet bulb-Wb ไม่เปลี่ยนแปลง enthalpy-h ก็จะไม่เปลี่ยนแปลง
- ถ้าปริมาณไอน้ำในอากาศคงที่ ความดันไอน้ำก็จะคงที่ รวมถึง Dew point - Dp ก็จะคงที่ด้วย ไม่ว่า Dry bulb จะเปลี่ยนไปอย่างไร (ตัวอย่าง นำปีบที่มีอากาศภายใน ปิดฝาไว้ แล้วนำไปลนไฟเพิ่ม dry bulb แต่ค่าของ dew point จะยังคงที่เสมอ (ตามแนวเส้น Dp1-Dp2)
- ที่เส้นบน saturated curve (100%RH) ค่าของ dry bulb-Db, dew point-Dp, wet bulb-Wb จะเท่ากัน และค่าความดันไอน้ำในอากาศจะเท่ากับค่าความดันที่ทำให้น้ำเดือด ที่อุณหภูมิ น้ำค้าง (Dp) **(น้ำจึงไม่ระเหย ถ้ามันมีอุณหภูมิ = จุดน้ำค้างของอากาศ - Dp)**
- ค่าของ Wb จะต่ำกว่า หรือเท่ากับ Db
- ค่าDp จะต่ำกว่าค่า Wb และจะสูงขึ้น เมื่อ RH สูงขึ้น และเท่ากับ Wb ที่ 100 %RH