

## การประมาณค่าสภาพการเปล่งรังสีของบรรยากาศเหนือประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลสำรวจอากาศชั้นบน

### On the Estimation of Atmospheric Emissivity over Thailand using Upper Air Data

จอมภพ แววงศ์ดี ทิพย์ฤดี ลีสุรพงศ์ มารีนา มะหิณี

ศูนย์วิจัยและสาธิตระบบพลังงานทดแทน

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ จังหวัดพัทลุง 93110

โทร 074-693995 โทรสาร 074 693995 E-mail: jompob@tsu.ac.th

Jompob Waewsak<sup>\*</sup> Suwit Phethuayluk Mareena Mani Jatuporn Kaew-On Tiprudee Leesurapong

Renewable Energy System Research and Demonstration Center (RESRDeC)

Physics Department, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung 93110, Thailand

Tel: 074-693995 Fax: 074-693995 E-mail: jompob@tsu.ac.th

#### บทคัดย่อ

การทำความเข้าใจโดยการแผ่รังสีในเวลากลางคืนมีศักยภาพสูงในบางพื้นที่ของประเทศไทย กระบวนการดังกล่าวเกี่ยวข้องกับสภาพการเปล่งรังสีของบรรยากาศ ดังนั้นบทความนี้จึงนำเสนอการประมาณค่าสภาพการเปล่งรังสีของบรรยากาศเหนือประเทศไทยภายใต้ลักษณะท้องฟ้าโปร่งใสโดยใช้ข้อมูลอากาศชั้นบน ปี พ.ศ. 2543 ซึ่งทำการตรวจวัดโดยสถานีอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพฯ เชียงใหม่ สงขลา และอุบลราชธานี ค่าสภาพการเปล่งรังสีของบรรยากาศสามารถประมาณค่าได้จากผลการพิจารณาให้พลักษณ์ของการเปล่งรังสีมีค่าขึ้นอยู่กับปริมาณความลึกเชิงแสงของไอน้ำเพียงอย่างเดียว โดยสามารถประมาณค่าได้จากปริมาณความดันไอของไอน้ำในบรรยากาศซึ่งคำนวณจากความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศที่ระดับความกดอากาศมาตรฐาน ผลการประมาณค่าสภาพการเปล่งรังสีของบรรยากาศโดยอาศัยการปริพันธ์เชิงตัวเลขพบว่าค่าอยู่ในช่วง 0.7-0.9 และที่อุบลราชธานีมีค่าต่ำกว่าบริเวณอื่นๆ ในช่วงเดือนมกราคมซึ่งเป็นสถานที่ที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้หลักการทำความเข้าใจโดยการเปล่งรังสีในเวลากลางคืน

#### Abstract

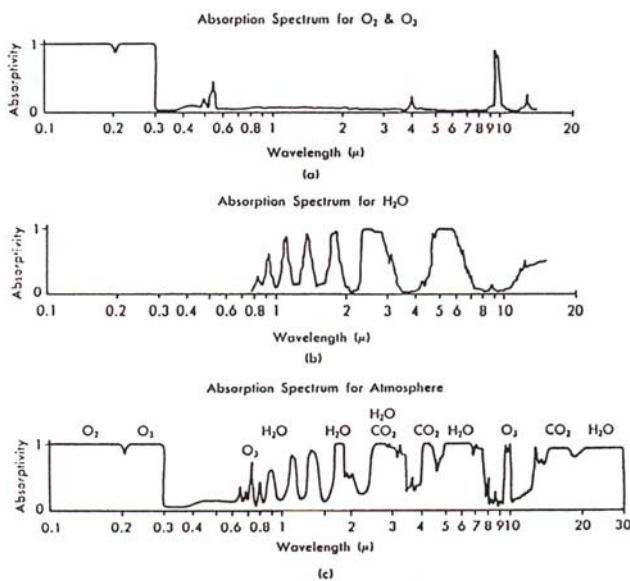
Nocturnal radiative cooling plays an important role in some regions of Thailand. This process directly concerns to the atmospheric emissivity. This paper presents the estimation of atmospheric emissivity over Thailand under cloudless sky. The emissivity of cloudless atmosphere was computed based on monthly averaged upper air data (2000) obtained from four main stations of meteorological department, namely, Bangkok, Chiang Mai, Songkhla and Ubon Ratchathani. Calculation could be simplified with little error by treating atmospheric flux emissivity as a function of the water vapor optical depth only. Water vapor

pressure was estimated using a manipulated data of relative humidity, temperature and dynamic height at standard pressure levels. The total atmospheric emissivity was evaluated using numerical integration. Calculation results showed that the atmospheric emissivity was in the range of 0.7-0.9. The atmospheric emissivity at Ubon Ratchathani was lower than that of the others in January indicating that this area had high potential to apply this kind of cooling technique.

#### 1. บทนำ

การออกแบบหลังคาอาคารให้มีความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของสถานที่นั้นๆ สามารถช่วยลดภาระทำความเย็นของอาคารได้ [1] การทำความเข้าใจโดยการแผ่รังสีคลื่นยาวหรือรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าในเวลากลางคืนเป็นเทคนิคหนึ่งของการทำความเย็นแบบธรรมชาติที่น่าสนใจ [2] ในเวลากลางคืนจะเกิดการระบายความร้อนที่สะสมอยู่ที่บริเวณหลังคาโดยการแผ่รังสีความร้อนซึ่งในกรณีนี้หลังคาจะทำหน้าที่เป็นตัวแผ่รังสี โดยปกติแล้วหลังคามักจะมีความเหมาะสมในการออกแบบให้เป็นตัวแผ่รังสีความร้อนเนื่องจากลักษณะของหลังคาที่มีพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับครึ่งทรงกลมท้องฟ้ามากกว่ากรอบอาคารอื่นๆ เช่น ผนัง เป็นต้น ในเวลากลางคืนหลังคาจะแผ่รังสีความร้อนที่ถูกสะสมไว้ในเวลากลางวันกลับสู่ท้องฟ้าซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า รังสีความร้อนนี้บางส่วนจะถูกดูดกลืนโดยแก๊สในบรรยากาศซึ่งมีสเปกตรัมการดูดกลืนแสดงดังรูปที่ 1 และบางส่วนสามารถทะลุผ่านชั้นบรรยากาศออกสู่อวกาศซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 3 K [3] เนื่องจากรังสีความร้อนหรืออินฟราเรดใกล้ (Near Infrared) ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 8-13  $\mu m$  สามารถทะลุผ่านบรรยากาศโลกออกสู่อวกาศได้ ดังนั้นการสูญเสียความร้อนในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ จึงเกี่ยวข้องกับแก๊สต่างๆ ในบรรยากาศโดยตรง จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ที่

ทุกความยาวคลื่น บรรยากาศสามารถดูดกลืนรังสีความร้อนได้ดีในขณะเดียวกันก็เป็นตัวปล่อยรังสีความร้อนที่ดีด้วย การพิจารณาการส่งผ่านของบรรยากาศจากสเปกตรัมการปล่อยรังสีความร้อนสามารถพิจารณาได้จากทฤษฎีการแผ่รังสีความร้อนของบรรยากาศ [4] เมื่อบรรยากาศซึ่งประกอบไปด้วยไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ โอโซน และแก๊สอื่นๆ ดูดกลืนรังสีความร้อนและมีอุณหภูมิสูงขึ้น บรรยากาศจะแผ่รังสีความร้อนกลับลงมาสู่พื้นโลก ดังนั้นในเวลากลางคืนจึงเกิดการสมดุลพลังงาน (Energy Balance) ระหว่างรังสีความร้อนที่แผ่จากหลังคาและรังสีความร้อนที่ปลดปล่อยลงมาจากท้องฟ้าหรือเรียกว่ารังสีบรรยากาศ (Atmospheric Radiation) การสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีสุทธิจะมีผลต่อการทำความเย็นของหลังคา [5] ถ้าท้องฟ้ามีการแผ่รังสีมากก็จะทำให้มีปริมาณคลื่นความร้อนที่ปลดปล่อยออกมามีค่ามากด้วยเช่นกันเนื่องจากปริมาณรังสีที่แผ่ลงมานั้นนอกจากจะสัมพันธ์กับค่าของอุณหภูมิท้องฟ้าโดยตรงแล้วยังสัมพันธ์กับค่าการเปล่งรังสีของท้องฟ้าอีกด้วย เนื่องจากการแผ่รังสีของท้องฟ้ามีลักษณะแตกต่างจากการแผ่รังสีของวัตถุตา ดังนั้นค่าการแผ่รังสีของท้องฟ้าจึงเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่มีความสำคัญในการที่จะบ่งชี้ถึงปริมาณของรังสีความร้อนที่ถูกปลดปล่อยลงมาจากบรรยากาศ ดังนั้นบทความนี้จึงได้ทำการประมาณค่าสภาพการเปล่งรังสีของบรรยากาศของประเทศไทย ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นเพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้หลักการทำความเย็นและการปรับอากาศในบ้านพักอาศัยโดยการแผ่รังสีในเวลากลางคืน



รูปที่ 1 สเปกตรัมการดูดกลืนรังสีของแก๊สต่างๆ ในบรรยากาศ [6]

เนื่องจากการคำนวณค่าการเปล่งรังสีของท้องฟ้าซึ่งเกิดจากแก๊สที่เป็นตัวดูดกลืนรังสีความร้อน เช่น ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ โอโซน แอโรโซลและแก๊สที่เป็นตัวแผ่รังสีอื่น ๆ ในบรรยากาศที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงนั้นค่อนข้างทำได้ยากเนื่องจากการเหลื่อมทับ (overlap) กันของสเปกตรัมการแผ่รังสีของไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งควรจะนำมาพิจารณาในการคำนวณด้วย Exell [7] ได้เสนอการคำนวณปริมาณรังสีที่แผ่จากบรรยากาศซึ่งในการคำนวณดังกล่าวสามารถ

คำนวณค่าการเปล่งรังสีของท้องฟ้าได้โดยมีความผิดพลาดเล็กน้อย เมื่อพิจารณาให้ค่าการแผ่รังสีของท้องฟ้าเป็นฟังก์ชันขึ้นกับความลึกเชิงแสงของไอน้ำ (water vapor optical depth) ที่สภาวะความดันและอุณหภูมิมาตรฐาน (1013.25 *mbar* และ 273.15 *K*) เพียงอย่างเดียว

## 2. การประมาณค่าสภาพการเปล่งรังสีของบรรยากาศ

### 2.1 ข้อมูลอากาศชั้นบน

บทความนี้ได้ใช้ข้อมูลอากาศชั้นบนปี 2543 ณ สถานีอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพฯ เชียงใหม่ สงขลา และอุบลราชธานี แสดงดังรูปที่ 2 โดยมีรายละเอียดของแต่ละสถานีแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งข้อมูลอากาศชั้นบนประกอบไปด้วยข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความดันที่ระดับความสูงพลวัต (dynamic height) ข้อมูลดังกล่าวได้จากการตรวจวัดโดยปล่อยบอลลูนขึ้นสู่ท้องฟ้าแล้วส่งสัญญาณวิทยุกลับมาที่สถานีตรวจวัดซึ่งจะทำการปล่อยบอลลูนเวลาประมาณ 07:00 น. ตามเวลามาตรฐานท้องถิ่น ตัวอย่างของข้อมูลอากาศชั้นบนแสดงดังตารางที่ 2 หลังจากนั้นจึงทำการแปลงข้อมูลอากาศชั้นบนที่ระดับความสูงพลวัตให้อยู่ในรูปข้อมูลที่ระดับความสูงมาตรฐานต่าง ๆ แล้วนำค่าเหล่านี้ไปคำนวณหาค่าความดันไอน้ำ ความลึกเชิงแสงและค่าสภาพการเปล่งรังสีต่อไป

ตารางที่ 1 รายละเอียดสถานีตรวจอากาศชั้นบน

ชื่อสถานี	รหัสสถานี	ละติจูด	ลองจิจูด
กรุงเทพฯ	455201	13.44 N	100.34 E
เชียงใหม่	327501	18.47 N	98.59 E
สงขลา	568501	7.12 N	100.36 E
อุบลราชธานี	407501	15.15 N	104.52 E



รูปที่ 2 สถานีอุตุนิยมวิทยาที่มีการตรวจวัดอากาศชั้นบน

$$E(T) = 6.1 \times \exp \frac{[17.3(T - 273.2)]}{T - 35.9} \quad (3)$$

ตารางที่ 2 ตัวอย่างข้อมูลอากาศชั้นบนเฉลี่ยรายเดือนประจำเดือนมกราคม ของสถานีเชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2543

P (mb)	z (m)	T (°C)	Rh (%)
1000	102	25.3	83
850	1503	17.5	59
700	3130	7.2	32
600	4388	1.3	12
500	5838	-5.9	10
400	7553	-16.9	13
300	9650	-31.4	9
200	12387	-53.1	8

ตารางที่ 3 ข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความดันที่ระดับความสูงที่พิจารณา ของสถานีอุตุวิทยามหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2543

z (m)	P (mb)	T (°C)	Rh (%)
0	1011	25.9	85
50	1006	25.6	84
100	1000	25.3	83
200	990	24.8	81
300	979	24.2	80
400	968	23.6	78
600	947	22.5	74
800	925	21.4	71
1000	904	20.3	68
1200	882	19.2	64
1500	850	17.5	59
2000	804	14.4	51
3000	712	8.0	34
4000	631	3.1	18
6000	491	-6.9	10
9000	331	-26.9	10
12000	214	-50.0	8

## 2.2 การประมาณค่าไอน้ำในบรรยากาศ [7]

ข้อมูลอากาศชั้นบนซึ่งเป็นข้อมูล ณ ระดับความกดอากาศมาตรฐานดังกล่าวจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของข้อมูล ณ ระดับความสูงที่เราพิจารณาซึ่งมีความสูงไม่เกิน 12 กิโลเมตร เนื่องจากเป็นชั้นความสูงของชั้นบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์และปริมาณไอน้ำส่วนใหญ่จะอยู่ในชั้นนี้เกือบทั้งหมด [8] การแปลงค่าของข้อมูลดังกล่าวอาศัยเทคนิคการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) และจะทำให้ได้ข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความกดอากาศที่ระดับความสูงใดๆ แสดงดังตารางที่ 3

การคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงรังสีของท้องฟ้าซึ่งเป็นฟังก์ชันขึ้นกับความลึกเชิงแสงของไอน้ำนั้นเริ่มจากการคำนวณหาปริมาณไอน้ำในคอลัมน์ของอากาศ ( $m$ ) ซึ่งมีความดันไอน้ำ  $e$  (mb) อุณหภูมิสมบูรณ์  $T$  (K) และความสูง  $h$  (m) ดังความสัมพันธ์ด้านล่างนี้

$$m = 0.021668 \frac{eh}{T} \quad (cm) \quad (1)$$

ความดันไอน้ำ  $e$  สามารถหาได้จากความชื้นสัมพัทธ์  $Rh$  ดังสมการที่ 2

$$Rh = \frac{e}{E(T)} (\times 100\%) \quad (2)$$

เมื่อ  $E(T)$  คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัว มีหน่วยเป็น (mb) มีหน่วยเป็น (mb) ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการที่ 3

## 2.3 การประมาณค่าความลึกเชิงแสงของไอน้ำ [7]

จากนั้นจึงนำค่าปริมาณไอน้ำที่สถานะอุณหภูมิและความดันมาตรฐานไปหาค่าปริมาณความลึกเชิงแสงซึ่งในความเป็นจริงค่าการเปลี่ยนแปลงรังสีนอกจากจะมีค่าขึ้นกับค่าความลึกเชิงแสงแล้วยังมีค่าขึ้นกับอุณหภูมิและความดันอีกด้วย แต่อุณหภูมินั้นไม่ผลน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลของความดัน ดังนั้นจึงได้ทำการแก้ค่าความลึกเชิงแสงของไอน้ำเนื่องจากผลของความดันสำหรับชั้นความสูงที่ความดัน  $P$  ซึ่งมีปริมาณไอน้ำ  $m$  ดังสมการที่ 4

$$u = m(P/P_0)^{0.8} \quad (4)$$

ดังนั้นในทางปฏิบัติสามารถคำนวณหาค่าความลึกเชิงแสงที่มีการ  
แก้ค่าเนื่องจากผลของความดันที่ชั้นความสูงต่างๆ ซึ่งมีความดันไอน้ำ  
 $e$  (mb) สูง  $\Delta z$  (m) อุณหภูมิ  $T$  (K) และความดัน  $P$   
(mb) ได้โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\Delta u = 0.0214e \left( \frac{\Delta z}{T} \right) \left( \frac{P}{1000} \right)^{0.8} \quad (5)$$

ค่าความลึกเชิงแสงที่มีการแก้ค่าเนื่องจากผลของความดันที่ชั้น  
ความสูงต่างๆ  $\Delta u$  สามารถคำนวณโดยสมการที่ 5 ค่าความลึกเชิง  
แสงรวม  $u$  หาได้จากผลรวมของค่าความลึกเชิงแสงที่ชั้นต่างๆ นั้นเอง

#### 2.4 การประมาณค่าสภาพการเปล่งรังสี [7]

ค่าพลักซ์การเปล่งรังสีสามารถคำนวณจากผลรวมของความลึกเชิง  
แสงและข้อมูลในตารางที่ 4 หลังจากนั้นจึงนำค่าต่างๆ เหล่านี้ไป  
คำนวณหาการแผ่รังสีรวมของห้องฟ้าโดยใช้สมการที่ 6 และ 7 ต่อไป  
ค่าการแผ่รังสีรวมของห้องฟ้าสามารถหาได้จากสมการที่ 6

$$\varepsilon_T = \int_{z=0}^{\infty} \left( \frac{T(z)}{T(0)} \right)^4 d\varepsilon_F \quad (6)$$

การปริพันธ์หาการแผ่รังสีในสมการที่ 6 สามารถคำนวณหาได้  
จากความสัมพันธ์เชิงตัวเลข [9] แสดงดังสมการที่ 7

$$\varepsilon_T = \sum_{i=0}^n \left( \frac{T(z_{i+1}) + T(z_i)}{2T(0)} \right)^4 \left[ \varepsilon_F(z_{i+1}) - \varepsilon_F(z_i) \right] \quad (7)$$

เมื่อ  $T$  และ  $\varepsilon$  เป็นค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์และค่าการแผ่รังสีของ  
ห้องฟ้าที่ชั้นความสูง  $z_i$

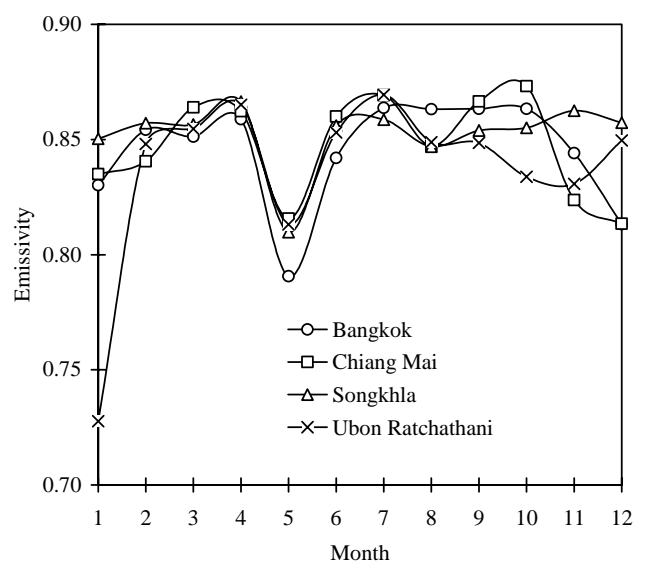
#### 3. ผลและวิเคราะห์

ผลการคำนวณค่าสภาพการเปล่งรังสีของบรรยากาศโดยอาศัย  
เทคนิคการปริพันธ์เชิงตัวเลข พบว่ามีค่าประมาณ 0.70-0.90 แสดงดัง  
รูปที่ 3 ค่าสภาพการเปล่งรังสีของบรรยากาศมีค่าต่ำสุดประมาณ 0.73  
โดยค่าดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับค่าสภาพการเปล่งรังสีโดยการประมาณ  
จากการอาศัยข้อมูลอากาศชั้นบนในปี พ.ศ. 2540 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง  
0.80-0.88 [10] โดยในการประมาณค่าสภาพการเปล่งรังสีของ  
บรรยากาศซึ่งอาศัยข้อมูลอากาศชั้นบนปี พ.ศ. 2540 นั้นพบว่าค่า  
สภาพการเปล่งรังสี ณ สถานีอุตุวิทยามหาวิทยาลัยเชียงใหม่มีค่าต่ำสุดประมาณ  
0.80 จากผลการประมาณค่าสภาพการเปล่งรังสีของบรรยากาศพบว่า  
ค่าสภาพการเปล่งรังสีของบรรยากาศมีค่าขึ้นอยู่กับข้อมูลอากาศชั้นบน

ในแต่ละปีโดยมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลซึ่งได้รับอิทธิพลจากลม  
มรสุมที่พัดผ่านประเทศไทย ดังนั้นควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการ  
เปลี่ยนแปลงของค่าสภาพการเปล่งรังสีของบรรยากาศในแต่ละปี  
และควรมีการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของพลักซ์การเปล่งรังสีกับ  
แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เนื่องจากในสภาวะปัจจุบันที่ชั้นบรรยากาศมี  
การเปลี่ยนแปลงซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 4 ค่าสภาพการเปล่งรังสีบรรยากาศ  $\varepsilon_F$  กับค่าความลึกเชิง  
แสงเมื่อแก้ค่าความผิดพลาดเนื่องจากความดัน (เซนติเมตรของหยาด  
น้ำฟ้า).

$\log_{10} u$	$u$	$\varepsilon_F$	$\log_{10} u$	$u$	$\varepsilon_F$
-2.0	0.0100	0.410	-0.5	0.3160	0.692
-1.9	0.0126	0.427	-0.4	0.3980	0.710
-1.8	0.0158	0.445	-0.3	0.5010	0.728
-1.7	0.0200	0.464	-0.2	0.6310	0.745
-1.6	0.0251	0.483	-0.1	0.7940	0.763
-1.5	0.0316	0.503	0.0	1.0000	0.780
-1.4	0.0398	0.523	0.1	1.2600	0.797
-1.3	0.0501	0.542	0.2	1.5800	0.814
-1.2	0.0631	0.562	0.3	2.0000	0.831
-1.1	0.0794	0.581	0.4	2.5100	0.847
-1.0	0.1000	0.600	0.5	3.1600	0.863
-0.9	0.1260	0.619	0.6	3.9800	0.879
-0.8	0.1580	0.637	0.7	5.0100	0.894
-0.7	0.2000	0.656	0.8	6.3100	0.910
-0.6	0.2510	0.674	0.9	7.9400	0.925
-	-	-	1.0	10.0000	0.940



รูปที่ 3 ค่าสภาพการเปล่งรังสีรายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยา  
กรุงเทพฯ เชียงใหม่ สงขลา และอุบลราชธานี

#### 4. สรุป

จากผลการประมาณค่าสภาพการเปล่งรังสีของบรรยากาศเหนือ  
ประเทศไทยภายใต้สมมติฐานท้องฟ้าโปร่งใสโดยอาศัยข้อมูลอากาศชั้น  
บน ปี พ.ศ. 2543 ซึ่งทำการตรวจวัดโดยสถานีอุตุนิยมวิทยา 4 สถานี  
หลัก พบว่าค่าสภาพการเปล่งรังสีของบรรยากาศมีค่าอยู่ในช่วง 0.7-0.9  
โดยมีค่าต่ำสุดประมาณ 0.73 ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอุบลราชธานี ใน  
เดือนมกราคม แสดงให้เห็นว่าจังหวัดอุบลราชธานีเป็นพื้นที่ที่มี  
ศักยภาพสูงในการประยุกต์ใช้หลักการทำความเย็นโดยการแผ่รังสีคลื่น  
ยาวในเวลากลางคืน

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาสำหรับความอนุเคราะห์ข้อมูล  
อากาศชั้นบน ปี พ.ศ. 2543

#### เอกสารอ้างอิง

1. Olgyay, V., "Design with Climate: Bioclimatic Approach to  
Architectural Regionalism," New Jersey, Princeton University  
Press, 1987.
2. Santamouris, M. and Asimakopoulos, D., "Passive cooling of  
Buildings," James & James (Science Publisher) Ltd, 1996.

3. Thepa, S., "Measurement of Sky Temperature and the  
Feasibility of Refrigeration and Air Conditioning by Radiative  
Cooling," Master Thesis of Science, Energy Technology  
Program, King Mongkut's Institute of Technology Thonburi,  
1982.
4. Goody, R. M and Yung, Y. L., "Atmospheric Radiation," 2<sup>nd</sup>  
edition, Oxford, Oxford University Press Inc., 1989.
5. Givoni, B., "Cooling by Longwave Radiation," Passive Solar  
Journal, Vol.1, No. 3, pp. 131-150, 1982.
6. A. Miller, "Meteorology," Ohio, Merrill Physical Science  
Series, pp. 3-35, 1966.
7. Exell, R.H.B., "Atmospheric Radiation in Tropical Climate,"  
AIT Research Report No. 71, Asian Institute of Technology.  
Bangkok, Thailand.
8. McIntosh, D. H. and Thom, A. S., "Essential of Meteorology"  
Taylor & Francis Ltd., London UK, 1983.
9. Mathews, J. H. and Fink, K. D. "Numerical Methods using  
MATLAB," Pearson Prentice Hall, New Jersey, U.S.A. 2004.
10. Waewsak, J., Khedari, J. and Hirunlabh, J., "Feasibilities  
Study of Night Radiation Cooling in Thailand: Part II  
(Theoretical Study)," 40<sup>th</sup> Kasetsart University Annual  
Conference.