

การแผ่รังสีคลื่นยาวของท้องฟ้าสู่พื้นดินและผลกระทบของเมฆที่กรุงเทพฯ
The Total Downward Longwave Radiation and Cloud Effects at the Surface in Bangkok

ดร. จำนง สรพิพัฒน์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

51 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ หนองจอก กรุงเทพฯ 10530

บทคัดย่อ

การแผ่รังสีคลื่นยาวหรือคลื่นความร้อนจากท้องฟ้าสู่พื้นดิน เป็นสิ่งซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ความร้อนแบบที่อาศัยการระบายความร้อนแบบ passive cooling การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่า total downward longwave radiation และผลกระทบของเมฆต่อการแผ่รังสีดังกล่าว การศึกษานี้ได้ทำการคำนวณเพื่อหาค่าการแผ่รังสีของสภาพท้องฟ้าในสภาวะการณต่างๆ ได้แก่ท้องฟ้าเมื่อปราศจากเมฆและปกคลุมด้วยเมฆชนิดต่างๆ ณ กรุงเทพฯ โดยอาศัยข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา ระหว่างปีพ.ศ. 2509 - 2513

ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ย total downward longwave radiation เมื่อท้องฟ้าปราศจากเมฆมีค่าเป็น 378 W/m^2 และค่าเฉลี่ย total downward longwave radiation จะมีค่าสูงสุดเมื่อท้องฟ้าปิด(overcast)และปกคลุมด้วยเมฆอย่างหนาของเมฆชั้นต่ำ กลาง และสูง พบว่ามีค่าเป็น 438 W/m^2 ค่า cloud effect ของเมฆชั้นต่ำ กลาง และสูง มีค่าสูงสุดเป็น 0.84 0.62 และ 0.21 ตามลำดับ และมีค่า combination ของ cloud effect ของเมฆทั้งสามชนิดสูงสุดที่ 0.94

ผลการศึกษาดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า ผลของเมฆมีค่าไม่สูงนักต่ออัตราการระบายความร้อนแบบ passive cooling ในกรุงเทพฯ แม้ในวันที่ท้องฟ้าปิดและมีเมฆหนาที่บึกตาม ค่า total downward longwave radiation ที่เพิ่มขึ้นจะไม่มากกว่า 60 W/m^2 หรือคิดเป็นเพียง 16% ของวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส

ABSTRACT

The total downward longwave or thermal radiation from the sky directly affects to the efficiency of heat exchangers performed by the passive cooling method. This study predicted the total downward longwave radiation and cloud effects to the radiation in Bangkok. The prediction was made both for clear and cloudy skies under various cloud types, by using observed data from Meteorological Department during year 1966-1970.

The results found that the averaged total downward longwave radiation for clear sky is 378 W/m^2 and the average total downward longwave radiation reaches its maximum value when the sky is overcast, at 438 W/m^2 . The maximum values of cloud

effects of the total downward longwave radiation were found to be 0.84, 0.62, and 0.21 for low, middle and high cloud, respectively; the maximum of cloud combination effects of these three cloud types is 0.94.

The results showed that the cloud effects are not substantially large; affecting to the heat transfer rate of passive cooling processes in the atmosphere of Bangkok, even though it is on a overcast day, and the amount of the total downward longwave radiation would not increase more than 60 W/m^2 , or equivalent to 16% of the radiation on the clear sky day.

1. บทนำ

ปกติความเข้มของการแผ่รังสีคลื่นยาวจากท้องฟ้าสู่พื้นดิน มีผลกระทบโดยตรงต่ออัตราการระบายความร้อนแบบ passive cooling ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการถ่ายเทความร้อนแบบดังกล่าวเป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่รังสีระหว่างวัตถุดำ(black body)สองตัวคือ ท้องฟ้ากับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ปกติในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสปราศจากเมฆการระบายความร้อนแบบ passive cooling จะระบายได้ดีกว่าในวันที่ท้องฟ้าปกคลุมด้วยเมฆ เพราะปริมาณการแผ่รังสีคลื่นยาวของท้องฟ้าสู่พื้นดินในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆจะมีความเข้มต่ำกว่าในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆ เนื่องมาจากผลของการแผ่รังสีย้อนกลับสู่พื้นดินโดยไอน้ำในก้อนเมฆ ขณะเดียวกันกับที่ไอน้ำดูดกลืนรังสีคลื่นยาวที่แผ่ออกจากพื้นดินสู่ท้องฟ้า

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างความเข้มของการแผ่รังสีคลื่นยาว ในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆและปราศจากเมฆในกรุงเทพฯ รวมทั้งผลกระทบของเมฆชนิดต่างๆต่อการแผ่รังสีดังกล่าว

2. วิธีการศึกษา

ข้อมูลอากาศชั้นบนของบัลลูนหยั่งอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งตรวจสอบสภาพอากาศ ณ เวลา 7:00 น. ที่กรุงเทพฯ ระหว่างปี พ.ศ. 2509 ถึง พ.ศ. 2513 (1) เพื่อใช้คำนวณหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปีของชั้นบรรยากาศที่ระดับความสูงต่างๆ ได้แก่ที่ระดับ 0 km, 1 km, 3 km, 6 km, และ 10 km ตามลำดับ หรือเทียบเท่ากับความกดอากาศ(โดยประมาณ) 1009 mb, 900 mb, 700 mb, 500mb และ 300 mb ตามลำดับ

สภาพโดยเฉลี่ยของท้องฟ้าตลอดทั้งปี ที่กรุงเทพฯ ณ เวลา 7:00 น. เป็นไปตามตารางที่ 1 ชนิดของเมฆที่ระดับความสูงต่างๆสมมุติให้มีลักษณะเป็นไปดังในตารางดังกล่าว

การศึกษาใช้วิธีของ Idso และ Jackson ซึ่งมีสมการ Empirical ของการแผ่รังสีคลื่นยาวจากท้องฟ้าสู่พื้นดิน สำหรับสภาวะที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆดังนี้

$$\frac{R_o}{\sigma T^4} = 1 - 0.261 \exp [- 7.77 \times 10^{-4} (273 - T)^2] \quad (1)$$

เมื่อ R_0 = ค่ารังสีคลื่นยาวจากท้องฟ้าสู่พื้นดิน เมื่อท้องฟ้าปราศจากเมฆ (total downward radiation on clear sky)

T = อุณหภูมิที่ผิวดิน

σ = Stefan Boltzmann Constant = $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$

อย่างไรก็ตามค่า R_0 ที่คำนวณได้จากสมการ(1)ดังกล่าวข้างต้น จำเป็นต้องปรับแก้เสียก่อน เนื่องจากค่า Temperature Lapse Rate ของชั้นบรรยากาศใกล้ผิวดิน ณ เวลา 7.00 น. มีความแตกต่างกับค่าเฉลี่ยของกรเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดวัน(diurnal variation) รายละเอียดของค่าปรับแก้ดังกล่าวสำหรับกรณีของประเทศไทย ดูได้จากงานการศึกษาของ Exell (2)

กรณีที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมเพียงบางส่วนหรือทั้งหมด สูตร Empirical สำหรับรังสีคลื่นยาวจากท้องฟ้าสู่พื้นดินเป็นดังนี้

$$R = R_0 + (\sigma T^4 - R_0) F \quad (2)$$

เมื่อ R = ค่ารังสีคลื่นยาวจากท้องฟ้าสู่พื้นดิน เมื่อท้องฟ้ามีเมฆ (total downward radiation on cloudy sky)

F = ค่าปรับแก้เนื่องจากผลกระทบจากเมฆ เมื่อท้องฟ้าถูกปกคลุมด้วยเมฆเพียงชั้นเดียว โดยที่

$$F = \epsilon_c j n^{1.4} \quad (3)$$

j = ค่า factor ซึ่งขึ้นกับความสูงของเมฆ

n = สัดส่วนของท้องฟ้าที่ถูกปกคลุมโดยเมฆ $0 \leq n \leq 1$

ϵ_c = ค่า Emissivity ของเมฆ

กรณีที่ท้องฟ้าถูกปกคลุมด้วยเมฆมากกว่าหนึ่งชั้น ค่า F จะเป็น Combination Effect ของเมฆแต่ละชั้น เช่น กรณีที่ท้องฟ้าถูกปกคลุมด้วยเมฆ 3 ชั้น

$$F = F_1 + F_2 + F_3 - F_2F_3 - F_3F_1 - F_1F_2 + F_1F_2F_3 \quad (4)$$

ค่ารังสีคลื่นยาวจากท้องฟ้าสู่พื้นดิน เมื่อท้องฟ้าไม่มีเมฆและมีเมฆ ได้รับการคำนวณตามสมการที่(1)และที่(2) ตามสภาพของท้องฟ้าเหนือกรุงเทพฯ ดังที่แสดงในตารางที่ 1

จากสมการ(2) จะเห็นได้ว่าเราสามารถพิจารณาผลกระทบของเมฆต่อการแผ่รังสีของคลื่นยาวของท้องฟ้าจากค่า F กล่าวคือผลกระทบของเมฆจะไม่มีเมื่อ $F = 0$ และเพิ่มมากขึ้นเมื่อ F เข้าใกล้หนึ่ง ดังนั้น ค่าผลกระทบสูงสุดของเมฆแต่ละชนิด จึงหาได้จากสภาวะที่ท้องฟ้าปกคลุมด้วยเมฆชนิดนั้นๆเต็มท้องฟ้า ($n = 1$) เพียงอย่างเดียว โดยค่าสูงสุดของ F ของเมฆแต่ละชนิดหาได้จากสมการ(3) ส่วนค่า effective temperature เป็นอุณหภูมิเทียบเท่าของท้องฟ้าเมื่อสมมุติว่าท้องฟ้าเป็น black body ชั้นหนึ่งที่มีค่าการแผ่รังสีเท่ากัน ผลการคำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 2

ผลจากการคำนวณในตารางที่ 2 เห็นได้ว่า F มีค่าผันแปรสูงสุดที่ 0.8, 0.6, และ 0.2 สำหรับเมฆชั้นต่ำ ชั้นกลาง และ ชั้นสูง ตามลำดับ ดังนั้น ค่า Combination effect ของเมฆทั้งสาม

ชนิดที่ค่า F ต่างๆจึงสามารถหาได้โดยการเพิ่มค่า F ของเมฆแต่ละชนิดครั้งละ 0.1 จากค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุด ดังที่ได้แสดงผลการคำนวณไว้ในตารางที่ 3 และที่ 4

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

เมื่อท้องฟ้าปราศจากเมฆ ค่าความเข้มของรังสีคลื่นยาวจากท้องฟ้าสู่พื้นดินที่กรุงเทพฯ พบว่ามีค่าเป็น 378 W/m^2 หรือเทียบเท่ากับค่า effective temperature ของท้องฟ้าที่ 286 K เมื่อท้องฟ้าปกคลุมด้วยเมฆหนึ่งชั้น พบว่า F มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.84 สำหรับเมฆชั้นต่ำที่ความสูง 1 km ค่า F ของเมฆหนาชั้นกลางที่ระดับความสูง 3 km ถึง 6 km มีค่าสูงสุดเป็น 0.37 และ 0.62 ตามลำดับ และ F มีค่าสูงสุดเป็น 0.21 สำหรับเมฆหนาชั้นสูงที่ระดับความสูง 10 km จากผลการคำนวณพบว่า ผลกระทบของเมฆชั้นต่ำจะมีค่าสูงสุด เนื่องจากเมฆมีค่า Emissivity สูงและอยู่ใกล้พื้นดิน

ค่า Combination Effect ของค่า F ของเมฆที่อยู่ซ้อนกันหลายชั้น จะมีค่าสูงสุด เมื่อท้องฟ้าถูกปกคลุมด้วยเมฆทั้งสามระดับเต็มท้องฟ้า ซึ่งในกรณีนี้ F จะมีค่าสูงสุดและมีค่าใกล้เคียงหนึ่งคือ 0.94 ในสภาวะดังกล่าว ค่ารังสีคลื่นยาวจากท้องฟ้าสู่พื้นดินจะมีค่าสูงสุดที่ 437 W/m^2 และในกรณีดังกล่าวพบว่าเมื่อค่า Combination Effect ของเมฆชั้นกลางและชั้นต่ำมีค่า F เกินกว่า 0.6 ขึ้นไป ผลกระทบของเมฆชั้นสูงต่อค่า F จะมีค่าน้อยมากคือเพียง 0.08 สาเหตุที่ผลกระทบของเมฆชั้นสูงต่อการเพิ่มขึ้นของความเข้มของการแผ่รังสีคลื่นยาวจากท้องฟ้ามีเพียงเล็กน้อย ก็เนื่องมาจากว่า โดยปกติแล้ว รังสีคลื่นยาวจากเมฆชั้นสูงมีโอกาสทะลุผ่านเมฆชั้นล่างได้น้อย เพราะจะถูกดูดกลืนเสียก่อนโดยไอน้ำที่มีอย่างแน่นหนาภายในเมฆชั้นล่างก่อนที่รังสีคลื่นยาวจะทะลุลงสู่พื้นดิน

จากการเปรียบเทียบความเข้มของรังสีคลื่นยาวเมื่อท้องฟ้าปราศจากเมฆกับเมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมอย่างแน่นหนา พบว่าค่าความเข้มมีความแตกต่างกันเพียง 59 W/m^2 หรือเป็นเพียง 15.6% ของความเข้มรังสีคลื่นยาวเมื่อท้องฟ้าปราศจากเมฆ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าผลกระทบของเมฆต่อการระบายความร้อนแบบ passive cooling ที่กรุงเทพฯ ไม่มีผลมากนักต่อการระบายความร้อนแบบดังกล่าว

4. สรุป

อิทธิพลของเมฆบนท้องฟ้าต่อการแผ่รังสีคลื่นยาวจากท้องฟ้าสู่พื้นดิน ณ กรุงเทพฯ มีผลไม่เกินกว่า 15.6% ของการแผ่รังสีคลื่นยาวเมื่อท้องฟ้าปราศจากเมฆ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 378 W/m^2 ค่า effective temperature ของท้องฟ้าเมื่อปราศจากเมฆที่กรุงเทพฯ มีค่าค่อนข้างสูงคือที่ 286 K เนื่องจากสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพฯ ร้อนและมีความชื้นสูง การระบายความร้อนแบบ passive cooling ที่กรุงเทพฯ จึงสรุปได้ว่าไม่น่าจะทำได้ดีเมื่อเทียบกับพื้นที่ในเขตแห้งแล้งหรือหนาวเย็นที่มีความชื้นของบรรยากาศต่ำ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศาสตราจารย์ R.H.B. Exell ที่กรุณาแนะนำและแนวคิดให้ผู้วิจัยศึกษาในเรื่องนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Meteorological Department, Analysis of Aerological Data (1966-1970), Ministry of Communication, Bangkok
2. Exell, R.H.B.(1970) Atmospheric Radiation in a Tropical Climate, AIT Research Report No. 71

ตารางที่ 1 อุณหภูมิของชั้นบรรยากาศโดยเฉลี่ยของกรุงเทพฯ ที่เวลา 7:00 น. ระหว่างปีพ.ศ. 2509-2513

ระดับความสูง (km)	อุณหภูมิ (°C)	ความกด อากาศ(โดย ประมาณ) (mb)	ชนิดของเมฆ
0	24	1009	ผิวดิน
1	20	900	เมฆชั้นต่ำ
3	9	700	เมฆชั้นกลาง
6	-6	500	เมฆชั้นกลาง
10	-31	300	เมฆชั้นสูง

ตารางที่ 2 ค่าความเข้มของรังสีคลื่นยาวจากท้องฟ้าสู่พื้นดิน และ Effective Temperature ของท้องฟ้าเมื่อปราศจากเมฆและเมื่อปกคลุมด้วยเมฆชั้นเดียวและ 3 ชั้น และมีสัดส่วนเมฆเต็มท้องฟ้า($\eta=1$) ที่กรุงเทพฯ เวลา 7:00 น.

สภาวะของ ท้องฟ้า	ความสูง ของเมฆ m	ความ หนา เมฆ	Emis sivity ของเมฆ	Factor ของสูง (j)	ผลกระท บของ เมฆ(F)	ค่ารังสี คลื่นยาว W/m ²	Effective Temp. K
ไม่มีเมฆ	-	-	-	-	-	378	286
เมฆชั้นต่ำ หนึ่งชั้น	1000	-	1	0.836	0.84	431	295
เมฆชั้นกลาง หนึ่งชั้น	3000	หนา	0.9	0.688	0.62	417	293
	3000	บาง	0.7	0.688	0.48	408	291
	6000	หนา	0.9	0.534	0.48	408	291
	6000	บาง	0.7	0.534	0.37	401	290
เมฆชั้นสูง หนึ่งชั้น	10000	หนา	0.6	0.347	0.21	391	288
	10000	บาง	0.4	0.347	0.14	386	287

ตารางที่ 2 (ต่อ) ค่าความเข้มของรังสีคลื่นยาวจากท้องฟ้าสู่พื้นดิน และ Effective Temperature ของท้องฟ้าเมื่อปราศจากเมฆและเมื่อปกคลุมด้วยเมฆชั้นเดียวและ 3 ชั้น และมีสัดส่วนเมฆเต็มท้องฟ้า ($\kappa=1$) ที่กรุงเทพฯ เวลา 7:00 น.

สภาวะของ ท้องฟ้า	ความสูง ของเมฆ m	ความ หนา เมฆ	Emis sivity ของเมฆ	Factor ของสูง (j)	ผลกระท บของ เมฆ(F)	ค่ารังสี คลื่นยาว W/m ²	Effective Temp. K
ปกคลุมด้วย เมฆซ้อนกัน สามชั้น ต่ำ กลาง สูง	1000, 3000, และ 10000	- หนา หนา	1 0.9 0.6	0.836 0.688 0.347	0.94	437	296

ตารางที่ 3 Combination Effect ของเมฆสองชั้น โดยที่ F_1 เป็นผลกระทบ(Cloud Effect)จากเมฆระดับต่ำ และ F_2 เป็นผลกระทบจากเมฆระดับกลาง

$F_1 \backslash F_2$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.1	0.1	0.19	0.28	0.37	0.46	0.55	0.64
0.2	0.2	0.28	0.36	0.44	0.52	0.60	0.68
0.3	0.3	0.37	0.44	0.51	0.58	0.65	0.72
0.4	0.4	0.46	0.52	0.58	0.64	0.70	0.76
0.5	0.5	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
0.6	0.6	0.64	0.76	0.79	0.82	0.85	0.88
0.7	0.7	0.73	0.84	0.86	0.88	0.90	0.92
0.8	0.8	0.82	0.84	0.86	0.88	0.90	0.92

ตารางที่ 4 Combination Effect ของเมฆสามชั้น โดยที่ F_1 เป็นผลกระทบ (Cloud Effect) จากเมฆระดับต่ำ F_2 เป็นผลกระทบจากเมฆระดับกลาง และ F_3 เป็นผลกระทบจากเมฆระดับสูง

เมื่อ $F_3 = 0.1$

$F_1 \backslash F_2$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0	0.1	0.19	0.28	0.37	0.46	0.55	0.64
0.1	0.19	0.27	0.35	0.43	0.51	0.60	0.68
0.2	0.28	0.35	0.42	0.50	0.57	0.64	0.71
0.3	0.37	0.43	0.50	0.56	0.62	0.69	0.75
0.4	0.46	0.51	0.57	0.62	0.68	0.73	0.78
0.5	0.55	0.60	0.64	0.69	0.73	0.78	0.82
0.6	0.64	0.68	0.71	0.75	0.78	0.82	0.86
0.7	0.73	0.76	0.78	0.81	0.84	0.86	0.89
0.8	0.82	0.84	0.86	0.87	0.89	0.91	0.93

เมื่อ $F_3 = 0.2$

$F_1 \backslash F_2$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0	0.2	0.28	0.36	0.44	0.52	0.6	0.68
0.1	0.28	0.35	0.42	0.50	0.57	0.64	0.71
0.2	0.36	0.42	0.50	0.55	0.62	0.68	0.74
0.3	0.44	0.50	0.55	0.61	0.66	0.72	0.78
0.4	0.52	0.57	0.62	0.66	0.71	0.76	0.81
0.5	0.60	0.64	0.68	0.72	0.76	0.80	0.84
0.6	0.68	0.71	0.74	0.78	0.81	0.84	0.87
0.7	0.76	0.78	0.81	0.83	0.86	0.88	0.90
0.8	0.84	0.86	0.87	0.89	0.90	0.92	0.94