การตรวจวัดการกระจายของมวลน้ำร้อนที่ปล่อยออกจากโรงไฟฟ้า
บริเวณมาบตาพุดจังหวัดระยองด้วยข้อมูลดาวเทียม LANDSAT TM

นายจรูญ เลาหเลิศชัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-7568-72-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DETECTION OF THERMAL PLUME FROM A POWER PLANT AT MAP TA PHUT, RAYONG BY LANDSAT TM

Mr. Charoon Laohalertchai

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Physical Oceanography

Department of Marine Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-7568-72-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจวัดการกระจายของมวลน้ำร้อนที่ปล่อยออกจากโรงไฟฟ้า บริเวณมาบตาพุดจังหวัดระยองด้วยข้อมูลดาวเทียม LANDSAT TM
โดย	นายจรูญ เลาหเลิศชัย
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์ทางทะเล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์อัปสรสุดา ศิริพงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.สุรชัย รัตนเสริมพงศ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... รองคณบดีฝ่ายบริหาร
(รองศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ การเที่ยง) รักษาราชการแทน
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. ศุภิชัย ตั้งใจตรง)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ อัปสรสุดา ศิริพงศ์)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร.สุรชัย รัตนเสริมพงศ์)

.... กรรมการ
(อาจารย์ เจษฎา จิราภรณ์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จรูญ เลาหเลิศชัย : การตรวจวัดการกระจายของมวลน้ำร้อนที่ปล่อยออกจากโรงไฟฟ้าบริเวณมาบตาพุดจังหวัดระยองด้วยข้อมูล LANDSAT TM (DETECTION OF THERMAL PLUME FROM A POWER PLANT AT MAP TA PHUT, RAYONG BY LANDSAT TM) อ.ที่ปรึกษา : รศ. อัปสรสุดา ศิริพงศ์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ดร. สุรชัย รัตนเสริมพงศ์; 102 หน้า. ISBN 974-7568-72-4.

อุณหภูมิผิวหน้าทะเล ที่คำนวณจากข้อมูลดาวเทียมแลนด์แซดทีเอ็มประเมินการกระจายของมวลน้ำร้อน (thermal plume) ที่ปล่อยจากโรงไฟฟ้าบริเวณมาบตาพุด จังหวัดระยอง ศึกษาข้อมูลดาวเทียมแลนด์แซดทีเอ็ม แบนด์ 6 จำนวน 2 ภาพ เมื่อวันที่ 2 พฤษภาคม 2543 ซึ่งเป็นช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และวันที่ 19 พฤศจิกายน 2543 ซึ่งเป็นช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ค่าอุณหภูมิผิวหน้าทะเล เพื่อศึกษาการกระจายของมวลน้ำร้อนที่ปล่อยจากโรงไฟฟ้าบริเวณมาบตาพุด จังหวัดระยอง การศึกษาครั้งนี้ต้องการหาอุณหภูมิผิวหน้าทะเลเท่านั้น ค่าอุณหภูมิผิวหน้าทะเลที่คำนวณจากข้อมูลดาวเทียมต่ำกว่าข้อมูลภาคสนามประมาณ 10 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดขึ้นจากการกระจัดกระจาย และดูดซึมรังสีความร้อนโดยชั้นบรรยากาศ แต่หักแก้ได้โดยใช้วิธีหักแก้เชิงอากาศ (Atmospheric Correction) ด้วย Program Lowtran 7 ในการคำนวณหาค่า Atmospheric Transmittance (τ) และ Background Radiance (Ra) ผลการศึกษา วันที่ 2 พฤษภาคม 2543 อุณหภูมิผิวหน้าทะเลที่คำนวณจากข้อมูลดาวเทียมสูงกว่าข้อมูลภาคสนาม 0.8 องศาเซลเซียส และวันที่ 19 พฤศจิกายน 2543 อุณหภูมิผิวหน้าทะเลที่คำนวณจากข้อมูลดาวเทียมต่ำกว่าข้อมูลภาคสนาม 0.2 องศาเซลเซียส สามารถหารูปแบบการกระจายของมวลน้ำร้อนที่ปล่อยออกจากโรงไฟฟ้า น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิสูงแผ่ออกไปไม่ไกล อิทธิพลของ น้ำขึ้นน้ำลง กระแสน้ำ และลม มีผลต่อการแพร่กระจายของมวลน้ำร้อน ปริมาณน้ำร้อนที่ปล่อยออกมาไม่ไกล และสลายตัวอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่าน้ำร้อนที่ปล่อยออกจากโรงไฟฟ้าบริเวณมาบตาพุดจังหวัดระยอง ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่อย่างใด

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล. ลายมือนิสิต................................

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล. ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษา................................

ปีการศึกษา 2544 ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม................................

#4172242623 : MAJOR MARINESCIENCE

KEY WORD: SEA SURFACE TEMPERATURE / ATMOSPHERIC CORRECTION / LANDSAT

CHAROON LAOHALERTCHAI : DETECTION OF THERMAL PLUME FROM A POWER PLANT AT MAP TA PHUT, RAYONG BY LANDSAT TM. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. ABSORNSUDA SIRIPONG. THESIS COADVISOR : SURACHAI RATANASERMPONG, Ph. D. .102 pp. ISBN 974-7568-72-4.

Satellite data from Landsat TM were used to derive the sea surface temperature distributions in coastal waters and thermal plume from Map Ta Phut, Rayong Power Plant. Landsat TM band 6 data acquired on 2 May 2000 in southwest monsoon season and on 19 November 2000 in northeast monsoon were compared to ground truth temperatures measured at the same time. Landsat TM band 5 data were used to identify locations of thermal pixels containing only water, no land. The sea surface temperature data from Landsat TM band 6 were lower than the sea truth data approximately 10 ^{o}C. This is because the scattering and absorption in the atmosphere.However, after using Lowtran 7 adjustments for atmospheric efflects which produced corrected sea surface radiances. After converting the SST were lower 0.8 ^{o} C than the sea truth data on 2 May 2000 and higher 0.2 ^{o} C than the sea truth data on 19 November 2000. A contour plot was produced that compared power plant plume temperature with those of the sea. It is concluded that Landsat can provide good estimates of temperature of the coastal power plant thermal plume.

Department/ Program	Marine Science	Student' s signature	
Field of study	Marine Science	Advisor' s signature	
Academic year	2001	Co-advisor' s signature	

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือ และคำแนะนำจากอาจารย์และบุคคลหลายๆท่าน

ขอกราบขอบพระคุณ รศ. อัปสรสุดา ศิริพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ข้อชี้แนะต่างๆในการทำวิจัยพร้อมทั้งให้เอกสารประกอบการค้นคว้าเพื่อใช้ในการเขียนวิทยานิพนธ์มาด้วยดีตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. สุรชัย รัตนเสริมพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้ข้อชี้แนะต่างๆในการทำวิจัยด้วยดีตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. ศุภิชัย ตั้งใจตรง ประธานกรรมการ ที่กรุณาให้ข้อชี้แนะต่างๆในการทำวิจัยด้วยดีตลอด

ขอขอบคุณ คุณเมธาวี นวลละออง ที่ได้ช่วยเหลือในการออกภาคสนาม และให้คำแนะนำต่างๆในการทำวิจัยด้วยดีมาตลอด

ขอขอบคุณ คุณบุญธรรม ตั้งล้ำเลิศ และคุณบุศราศิริ ธนะ ที่ได้ช่วยเหลือด้านคอมพิวเตอร์และให้คำแนะนำต่างๆในการทำวิจัยด้วยดีมาตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) กรมอุตุนิยมวิทยา กรมอุทกศาสตร์ และบริษัทไทยโคเจนเนอเรชั่น ที่กรุณาให้ข้อมูล เอกสาร เครื่องมือวัดคุณภาพน้ำชนิดหลายตัวแปร รุ่น 6,000 UPG และ program ENVI เพื่อสำหรับใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ภรรยา บุตร และญาติพี่น้องทุกท่าน ที่ช่วยให้กำลังใจ และสนับสนุนทางการเงินแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ....จ
กิตติกรรมประกาศ ....ฉ
สารบัญ ....ช
สารบัญตาราง ....ฌ
สารบัญภาพ ....ญ
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎีที่สำคัญ 1
1.2 พื้นที่ศึกษา 5
1.3 วัตถุประสงค์ 5
1.4 ขอบเขตการวิจัย 6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากการวิจัย 6
2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง...7
2.1 ระบบหล่อเย็น 7
2.2 กระบวนการฟิสิกส์ของมวลน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็น 8
2.3 การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศ 13
2.4 การติดตามมวลน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นด้วยดาวเทียม 17
2.5 ทฤษฎีและคำจำกัดความของดาวเทียม 19
2.6 ข้อมูลดาวเทียม Landsat TM 25
3 วิธีการศึกษา...28
3.1 การรวบรวมข้อมูล 28
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ 31
3.3 วิธีดำเนินการศึกษา 32
4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล..58

หน้า

บทที่

4.1 อุณหภูมิผิวหน้าทะเลจากข้อมูล Landsat 5 TM ……………………….…………58

4.2 การกระจายของมวลน้ำร้อนที่ปล่อยจากโรงไฟฟ้า …………………………………60

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิผิวหน้าทะเลที่คำนวณจาก

ข้อมูลดาวเทียม และค่าอุณหภูมิที่ได้จากการตรวจวัดภาคสนาม …..……………..64

5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ…………………………………..……………………..68

5.1 สรุปผลการวิจัย ……………………………………………….……………………68

5.2 ข้อเสนอแนะ ……………………………………………………….……….…………69

รายการอ้างอิง ……………………………………………………………………….…………...71

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ……………………………………………………………………………74

ภาคผนวก ข ………………………………….……………………….……… .101

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์…………………………………………….………………… ..102

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 2.1คุณลักษณะของดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM……….……………………………26
ตาราง2.2คุณลักษณะของดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM ความระเอียด คุณสมบัติ
และการประยุกต์ใช้…………………………….……………………………………27
ตาราง 3.1 ข้อมูล Landsat 5 TM (level 8)……………………………………………………28
ตาราง 3.2 สภาวะน้ำขึ้น-ลงในขณะที่ดาวเทียมผ่านพื้นที่ศึกษา…………..…………..………..31
ตาราง 3.3 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในช่วงเวลาที่ดาวเทียมผ่านพื้นที่ศึกษา…….……………………31
ตาราง 3.4 ผลการปรับแก้เชิงเรขาคณิต…………………………...……………………..33
ตาราง 4.1 ค่า DN เรเดียน และค่าอุณหภูมิ ของผิวหน้าทะเลบริเวณรอบ
โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน วันที่ 2 พฤษภาคม 2543…………………………………59
ตาราง 4.2 ค่า DN เรเดียน และค่าอุณหภูมิ ของผิวหน้าทะเลบริเวณรอบ
โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนวันที่ 19 พฤศจิกายน 2543……………………………59
ตาราง 4.3 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหน้าทะเลจากการคำนวณจากข้อมูลดาวเทียม
และข้อมูลจากภาคสนาม……………………………………….…………………61

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูป 1.1 ภาพแสดงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด……….……2
รูป 1.2 แผนที่ที่ตั้งโรงไฟฟ้าพลังความร้อนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง…..3
รูป 1.3 ภาพผสมสีเท็จของดาวเทียม Landsat 5 TM (band 4,3,1 : R,G,B)
วันที่ 2 พฤษภาคม 2543……………………………………………………………………..5
รูป 2.1 ระบบน้ำหล่อเย็นในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า………………………………………7
รูป 2.2 การแลกเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำกับอากาศ……………………………………………………8
รูป 2.3 การแบ่งช่วงของมวลน้ำร้อน………………………………………………………………9
รูป 2.4 แสดงกระบวนการทางฟิสิกส์ของน้ำที่รองรับที่ใกล้มวลน้ำร้อน…………………………..10
รูป 2.5 แสดงการกระจายตัวของมวลน้ำร้อนที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ……..……………12
รูป 2.6 ส่วนประกอบของความร้อนที่แลกเปลี่ยนที่ผิวหน้าน้ำ……………………………………14
รูป 2.7 สัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อน K สำหรับผิวหน้ามวลน้ำร้อน……………………16
รูป 2.8 สัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อน K สำหรับผิวหน้ามวลน้ำร้อน……………………17
รูป 2.9 การวัดอุณหภูมิผิวหน้าทะเลโดยดาวเทียม………..…………………………………..19
รูป 2.10 แบนด์ต่างๆ ที่ใช้ในการสำรวจจากระยะไกล……………………………………………20
รูป 2.11 ประเภทของการสำรวจจากระยะไกลที่สัมพันธ์กับย่านความยาวคลื่นรวม 3 ประเภท…21
รูป 2.12 การแผ่รังสีของแพลงค์ตามความยาวคลื่น และอุณหภูมิต่างๆ…………………………23
รูป 2.13 ค่าการสะท้อนเชิงคลื่นของพืชพรรณ ดิน และน้ำ…………………………...………..24
รูป 2.14 คุณลักษณะของค่าการส่งผ่านเชิงคลื่นของชั้นบรรยากาศ……...……………………25
รูป 3.1 แสดงพื้นที่ที่ทำการสำรวจภาคสนาม…………………………………………………..29
รูป 3.2 เครื่องวัดคุณภาพน้ำชนิดหลายตัวแปร รุ่น 6000 UPG………………………………….30
รูป 3.3 ขั้นตอนการการวิเคราะห์อุณหภูมิผิวหน้าทะเลด้วยข้อมูลดาวเทียม…………………….32
รูป 3.4 พื้นที่ที่ตัดออกโดยใช้ Band 5 (30m), 2 May 2000……………………………………34
รูป 3.6 แสดงค่า DN ของอุณหภูมิผิวหน้าทะเล,band 6(120m) 2 May 2000…………………35
รูป 3.7 แสดงค่า DN ของอุณหภูมิผิวหน้าทะเล,band 6 (120m) 19 Nov 2000………………..36

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูป 4.1 อุณหภูมิผิวหน้าทะเล (องศาเซลเซียส) บริเวณใกล้จุดปล่อยน้ำร้อน ตรวจวัดด้วยดาวเทียม Landsat 5 TM แบนด์ 6 วันที่ 2 พฤษภาคม 2543……………..60
รูป 4.2 การกระจายของน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่ผิวหน้าทะเลบริเวณนิคมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ตรวจวัดด้วยดาวเทียม Landsat 5 TM แบนด์ 6 วันที่ 2 พฤษภาคม 2543……………………………………………………..……61
รูป 4.3 อุณหภูมิผิวหน้าทะเล (องศาเซลเซียส) บริเวณใกล้จุดปล่อยน้ำร้อน ตรวจวัดด้วยดาวเทียม Landsat 5 TM แบนด์ 6 วันที่ 19 พฤศจิกายน 2543…………..62
รูป 4.4 การกระจายของน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่ผิวหน้าทะเลบริเวณนิคมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ตรวจวัดด้วยดาวเทียม Landsat 5 TM แบนด์ 6 วันที่ 19 พฤศจิกายน 2543………………………………………………..………63
รูป 4.5 อุณหภูมิผิวหน้าทะเลตามแนวโคจรของดาวเทียม วันที่ 2 พฤษภาคม 2543……………64
รูป 4.6 อุณหภูมิผิวหน้าทะเลตามแนวโคจรของดาวเทียม วันที่ 19 พฤศจิกายน 2543…………65
รูป 4.7 การเปรียบเทียบของอุณหภูมิผิวหน้าทะเลจากข้อมูลดาวเทียม และภาคสนาม วันที่ 19 พฤศจิกายน 2543 เวลาที่ดาวเทียมโคจรผ่านพื้นที่ศึกษา………………………67

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎีที่สำคัญ

ในปัจจุบันพัฒนาการด้านพลังงานอยู่ในขั้นวิกฤตตามแผนพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ไฟฟ้าเป็นพลังงานรูปหนึ่งซึ่งกำลังประสบปัญหาอยู่ในปัจจุบันเพราะความต้องการในการใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น แต่กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้ายังมีไม่เพียงพอ ทั้งนี้เนื่องมาจากปัญหาต้นทุนที่ใช้ในการผลิต ปัญหาแหล่งที่มาของการผลิต และปัญหามลภาวะสิ่งแวดล้อมเป็นพิษที่เกิดจากการผลิตเป็นต้น

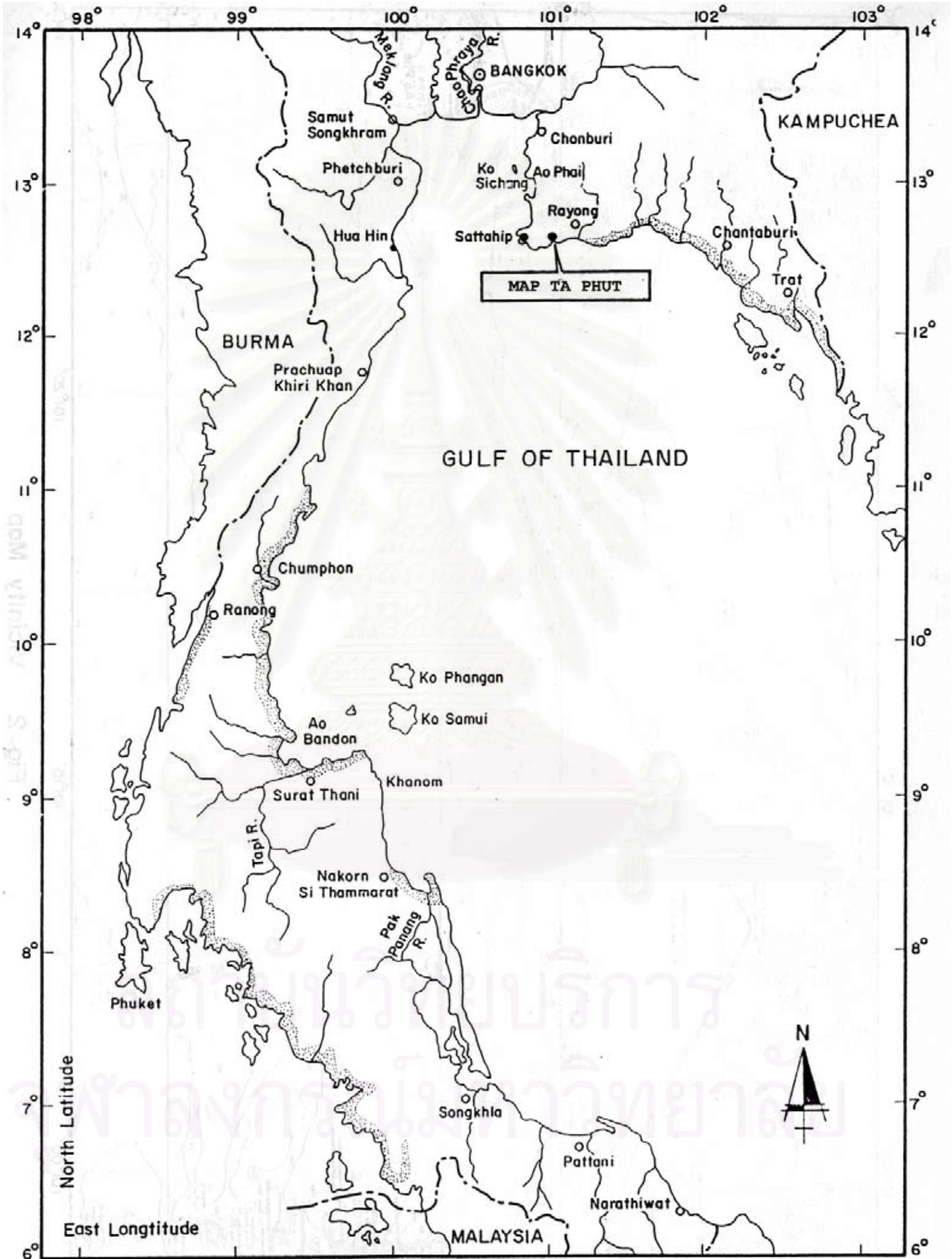
ช่วงต้นปี 2542 มีโรงไฟฟ้าพลังความร้อนเป็นโรงแรก (รูป 1.1) โดยใช้ถ่านหินที่ตั้งอยู่บนฝั่งทะเลบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดจังหวัดระยอง (รูป 1.2) การทำงานของไฟฟ้ามีระบบหล่อเย็น (cooling) ด้วยน้ำทะเล สำหรับการสูบน้ำทะเล (Intake) เพื่อใช้กับระบบหล่อเย็นนั้น น้ำที่ผ่านกระบวนการหล่อเย็นจะมีอุณหภูมิสูงกว่าแหล่งน้ำธรรมชาติ 11-14 องศาเซลเซียส (Majewski & Miller, 1979.) แล้วทำให้เย็นลงโดยการไหลผ่านคลองส่งน้ำก่อนที่จะไหลลงสู่ทะเล (Discharge) เพื่อให้มีการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศ ทางกรมควบคุมมลพิษได้กำหนดค่ามาตรฐานไว้ว่าน้ำร้อนที่จะปล่อยลงสู่ทะเลต้องมีอุณหภูมิสูงกว่าแหล่งน้ำธรรมชาติไม่เกิน 5 องศาเซลเซียสตรงจุดปล่อยและสูงกว่าแหล่งน้ำธรรมชาติไม่เกิน 3 องศาเซลเซียสที่ระยะห่างออกไปประมาณ 500 เมตรจากจากจุดปล่อย (out fall) ที่ระดับความลึกของน้ำไม่น้อยกว่า 2 เมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 1997)

น้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำทะเลคือทำให้ค่าความหนาแน่น (density), สถานะ (state), ความหนืด (viscousity), ความดันไอน้ำ (vapour pressure), ความสามารถในการละลายของก๊าซ (surface tension gas solubility) และการแพร่กระจายของความร้อน (diffusion) เปลี่ยนไปคือ เมื่อน้ำทะเลมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่าความหนืด ความหนาแน่น แรงตึงผิว และความสามารถในการละลายของก๊าซมีค่าลดต่ำลง ส่วนค่าความดันไอน้ำและการแพร่กระจายของความร้อนจะมีค่าสูงขึ้น (Majewski & Miller, 1979.)

ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำทะเลจึงมีผลกระทบต่อระบบนิเวศ คือน้ำที่มีอุณหภูมิสูงทำให้เกิดสภาพอิ่มตัวอย่างยวดยิ่ง (Super saturation) ของก๊าซต่างๆในบรรยากาศ

รูป 1.1 ภาพแสดงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 1.2 แผนที่ที่ตั้งโรงไฟฟ้าพลังความร้อนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

ก๊าซเหล่านี้เกิดเป็นฟองแล้วถูกปล่อยออกจากน้ำทะเล ทำให้เสียสมดุลของน้ำตามธรรมชาติ และ The International Atomic Energy Agency (IAEA,1974) ได้รายงานว่ามีน้ำออกจากระบบหล่อเย็นของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ 1 โรง ประมาณ 2,000 ม^3 / ชั่วโมง และน้ำที่ปล่อยออกมาทำให้เกิดการแบ่งตัวของชั้นน้ำ (Stratification) การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำทำให้ค่าความหนืดของน้ำทะเลลดลง และตะกอนแขวนลอย (sedimentation) เพิ่มมากขึ้น (Siripong,1999) เมื่อความหนืดลดลงตะกอนไม่สามารถลอยตัวอยู่ได้ในมวลน้ำจึงตกเป็นตะกอนสะสม (sludge) บนพื้นแม่น้ำ และก้นทะเล ก่อให้เกิดการตื้นเขินเป็นปัญหาต่อการขนส่งทางน้ำ ซึ่งปัญหานี้ได้ทำการติดตามสอดส่องและสร้างแบบจำลอง (monitored and modelled) โดยนักสมุทรศาสตร์ฟิสิกส์ (physical oceanographer) ดังคำแนะนำของการใช้ซอพแวร์ LITPACK ของห้องทดลอง Danish Hydraulic lab และในการระบายน้ำออกก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสน้ำและการขนส่งตะกอนโดยเฉพาะบริเวณแหลมงอกและปลายอ่าว (end bay) มักจะเกิดกระแสน้ำไหลวน (Eddy currents) มีการกัดเซาะชายฝั่งทำให้ชายฝั่งพังทลาย

ปัจจุบันสามารถใช้ดาวเทียมติดตามน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นที่ปล่อยจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนได้ โดยการตรวจวัดอุณหภูมิของผิวหน้าน้ำทะเล (Sea Surface Temperature, SST) (Lathrop and Lillesand, 1987; Gibbons et al. 1989; Onishi and Kawai, 1992) และได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการตรวจวัดอุณหภูมิของผิวหน้าน้ำทะเลด้วยดาวเทียมแบบโคจรผ่านขั้วโลก (polar orbit) โดยวัดจากรังสี (radiation flux) ที่สะท้อนจากผิวหน้าของน้ำทะเลมายังเครื่องวัดเรดิโอมิเตอร์ (radio-meter) บนดาวเทียม ดาวเทียมที่ใช้วัดค่าอุณหภูมิของผิวหน้าน้ำทะเล ได้แก่ดาวเทียม Landsat TM ซึ่งตรวจวัดค่า SST โดยใช้ band 6 thermal infrared ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 10.4 - 12.5 ไมโครเมตร อีกทั้งสามารถตรวจการกระจายของน้ำร้อนได้พื้นที่กว้างในเวลาเดียวกัน

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้ข้อมูลดาวเทียมในการศึกษาการกระจายตัวของมวลน้ำร้อน (thermal plume) ที่ปล่อยจากจากโรงไฟฟ้าบริเวณมาบตาพุด

1.2 **พื้นที่ศึกษา**

ชายฝั่งทะเลบริเวณโรงไฟฟ้าในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

รูป 1.3 ภาพผสมสีเท็จของดาวเทียม Landsat 5 TM (band 4,3,1 : R,G,B)
วันที่ 2 พฤษภาคม 2543 (มาตราส่วน 1 : 50,000)

1.3 วัตถุประสงค์

ตรวจวัดรูปแบบการกระจาย (distribution pattern) และการแปรผันตามฤดูกาล (seasonal variation) ของการกระจายตัวของน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่ผิวหน้าทะเล

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ตรวจวัดรูปแบบการกระจาย (distribution pattern) และการแปรผันตามฤดูกาล (seasonal variation) ของการกระจายตัวของมวลน้ำร้อน (thermal plume) จากระบบหล่อเย็นของโรงไฟฟ้าที่ผิวหน้าน้ำทะเล

1.4.2 ศึกษารูปแบบการแพร่กระจายของน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat TM

1.4.3 เปรียบเทียบความละเอียดถูกต้อง (validation) ของข้อมูลอุณหภูมิผิวหน้าทะเลที่คำนวณได้จากดาวเทียมกับข้อมูลภาคสนาม

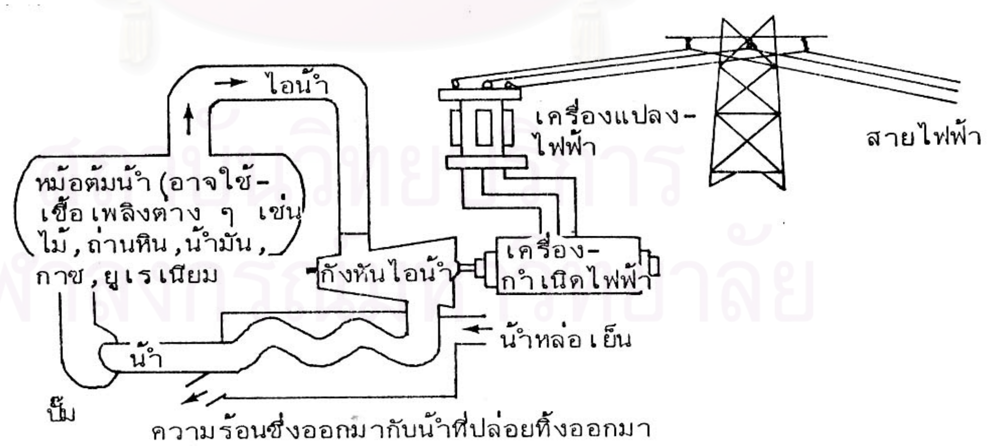
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบหล่อเย็น

ในหลายประเทศโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจะตั้งอยู่ใกล้บริเวณแม่น้ำหรือชายฝั่งทะเล เพื่อนำน้ำจากแหล่งน้ำดังกล่าวมาใช้ระบายความร้อนในระบบหล่อเย็น (cooling) ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า (รูป 2.1) แล้วระบายน้ำร้อนที่ผ่านระบบหล่อเย็นกลับลงสู่แหล่งน้ำนั้นๆ โดยมีผลกระทบต่อระบบสิ่งแวดล้อมน้อย น้ำร้อนที่ผ่านระบบหล่อเย็นมีอุณหภูมิสูงกว่าแหล่งน้ำธรรมชาติมาก ดังนั้นจึงต้องระบายความร้อนออกไปให้มากที่สุด เช่น ผ่านคลองที่เปิดโล่ง ผ่านระดับความสูงเป็นชั้นเหมือนน้ำตก ฉีดให้เป็นฝอยฟุ้งกระจายขึ้นไปในอากาศ แต่เมื่อคำนึงถึงการประหยัดตามหลักเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรมแล้ว การใช้ระบบหล่อเย็นแบบ one-through cooling และระบายน้ำร้อนไปตามคลองที่เปิดโล่งจะดีที่สุด (Harleman,1976 อ้างถึงใน ศิริพงศ์ ,1999) ก่อนที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ตามกฎหมายสากลอุณหภูมิน้ำร้อนตรงจุดปลายก่อนลงสู่ทะเลไม่ควรเกิน 5^0 C และไม่ควรเกิน 3^0 C ที่ระยะห่างจากจุดปล่อยน้ำร้อนประมาณ 500 เมตร

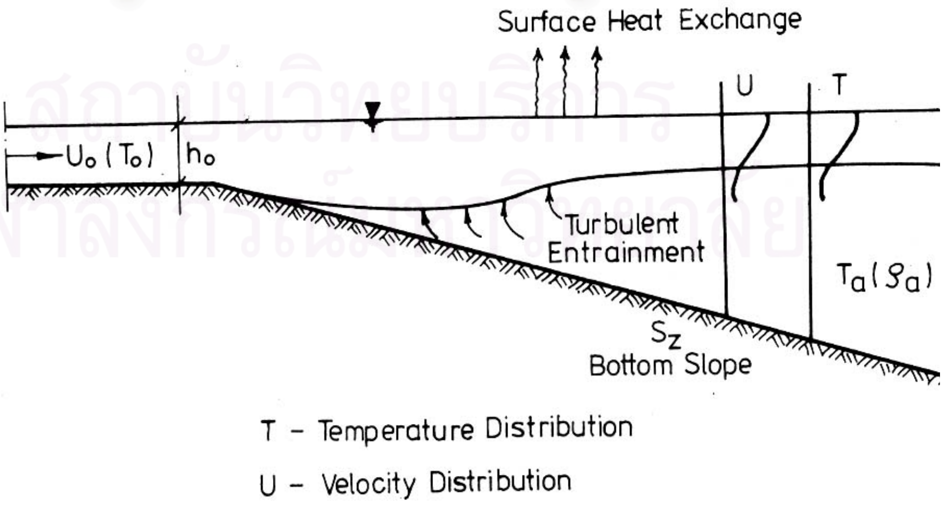


รูป 2.1 ระบบน้ำหล่อเย็นในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า (ที่มา: Turk, J. and A. Turk,1977 อ้างถึงใน ศรีพงศ์พันธุ์, 1988)

น้ำร้อนที่ระบายออกจากระบบหล่อเย็นส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำทะเล เช่น ตะกอนสะสมกันทำให้เกิดการตื้นเขินเป็นปัญหาต่อการขนส่งทางน้ำ และมีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ของสิ่งมีชีวิตในทะเล ดังนั้นจึงต้องทราบการกระจายของน้ำร้อนว่าแพร่กระจายไปในทิศทางใด และมีการแจกแจงอุณหภูมิของน้ำร้อนอย่างไรในน้ำทะเล ซึ่งสถานะของน้ำทะเลไม่อยู่ในสภาวะที่สมดุลเนื่องจากอิทธิพลทางสมุทรศาสตร์ที่ได้รับผลกระทบจากเงื่อนไขทางอุตุนิยมวิทยา ดังนั้นการศึกษาการแพร่กระจายของน้ำร้อนที่ระบายจากระบบหล่อเย็นทำได้ในช่วงเวลายาว (long – term) ที่ครอบคลุมตามเงื่อนไขทางอุตุนิยมวิทยา โดยการสุ่มวัดอุณหภูมิของน้ำทะเลบริเวณโดยรอบโรงไฟฟ้าตามฤดูกาลต่างๆ แต่ไม่สามารถตรวจวัดน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงใช้แบบจำลอง และดาวเทียมช่วยในการตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็น และติดตามการแพร่กระจายมวลของน้ำร้อน

2.2 กระบวนการทางฟิสิกส์ของมวลน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็น

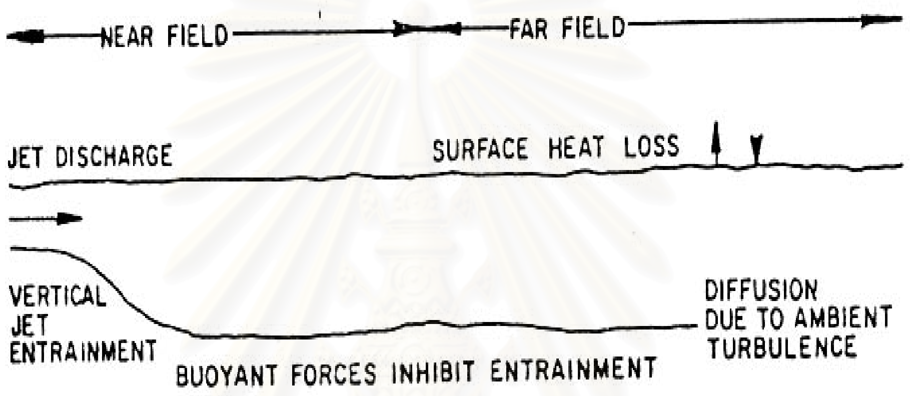
ปัจจุบันมีโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนเป็นจำนวนมากที่ใช้น้ำเป็นตัวระบายความร้อนในระบบหล่อเย็นแล้วปล่อยออกไปสู่แหล่งน้ำธรรมชาติในลักษณะเป็นลำ (plume) และมีการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำกับอากาศ (Surface Heat Exchange) ในรูปของการระเหย (Evaporation) การแผ่รังสี (Radiation) และการพาความร้อน (Conduction) แสดงดังรูป 2.2



รูป 2.2 การแลกเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำกับอากาศ (ที่มา: Majewski & Miller, 1979)

การศึกษาการแพร่กระจายของมวลน้ำร้อนที่ระบายจากระบบหล่อเย็น โดยใช้แบบจำลองที่แบ่งออกเป็น 2 ช่วง (Jirka,1976 อ้างถึงใน ศิริพงศ์, 1999) ประกอบด้วย (รูป 2.3)

- ช่วงใกล้จุดปล่อยน้ำร้อน (near-field)
- ช่วงไกลจุดปล่อยน้ำร้อน (far-field)



รูป 2.3 การแบ่งช่วงของมวลน้ำร้อน (ที่มา: GESAMP,1982 อ้างถึงใน ศิริพงศ์, 1999)

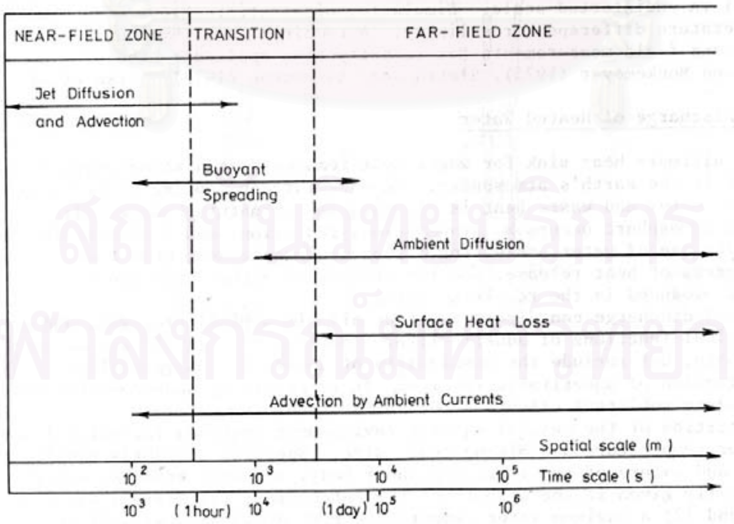
ช่วงใกล้จุดปล่อยน้ำร้อน เป็นจุดที่มวลน้ำร้อนพบกับแหล่งน้ำธรรมชาติและมวลน้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงกว่าน้ำที่รองรับอย่างชัดเจน โดยรวมตัวกับน้ำที่รองรับอย่างรวดเร็ว ความเร็วและอุณหภูมิของมวลน้ำร้อนลดลงในขณะที่แพร่กระจายออกไป การลดลงของอุณหภูมิของมวลน้ำร้อนช่วงใกล้จุดปล่อยส่วนมากถูกกำหนดโดยรูปทรงและพลังงานของมวลน้ำร้อน อุณหภูมิของมวลน้ำร้อนลดลงในลักษณะของการละลาย (dilution) และการไหลตามกระแส (entrainment) ซึ่งจะลดลงมากหรือน้อยขึ้นอยู่อุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างมวลน้ำร้อนที่ลอยอยู่บนผิวหน้าน้ำที่รองรับ อุณหภูมิของมวลน้ำร้อนขึ้นอยู่กับเงื่อนไขดังนี้

- ความเร็วของมวลน้ำร้อนที่จุดปล่อย (thermal emission rate)
- อุณหภูมิของมวลน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็น
- การออกแบบให้มวลน้ำร้อนวิ่งด้วยความเร็วสูงหรือต่ำ หรือการแพร่กระจายมากหรือน้อย

ช่วงไกลจุดปล่อยน้ำร้อน ซึ่งอยู่ถัดออกไปจากจุดใกล้จุดปล่อยจะพิจารณาการแพร่กระจายของมวลน้ำร้อนเป็นบริเวณกว้าง มวลของมวลน้ำร้อนถูกพัดพาออกไปตามกระแสน้ำที่ขึ้นอยู่กับ น้ำขึ้น-น้ำลง ลม คลื่น และมีการคายความร้อนที่ผิวหน้าน้ำ สภาวะของมวลน้ำร้อนที่ช่วงไกลจุดปล่อยจะขึ้นอยู่กับความเร็วของมวลน้ำร้อนที่จุดปล่อย และคุณสมบัติการแบ่งตัวของชั้นน้ำ (stratification) การเคลื่อนที่แบบปั่นป่วน (turbulent) ของน้ำที่รองรับกับมวลน้ำร้อน และการคายความร้อนที่ผิวหน้าของมวลน้ำร้อน เนื่องจากว่ามวลน้ำร้อนช่วงไกลจุดปล่อยน้ำร้อนมีบริเวณกว้างมาก ดังนั้นจึงต้องพิจารณาถึงผลกระทบจากลมที่มีต่อกระบวนการคายความร้อนที่ผิวหน้าและการแพร่กระจายของอุณหภูมิ

โดยทั่วไปแล้วการใช้แบบจำลองช่วงใกล้จุดปล่อยก็เพียงพอสำหรับการศึกษามวลน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติว่าสูงกว่าเกณฑ์มาตราฐานสากลหรือไม่ แต่ตามมาตราฐานสภาวะแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (implement of U.S. National Environment Policy Act) ต้องศึกษาผลกระทบของมวลน้ำร้อนต่อสิ่งแวดล้อมช่วงไกลจุดปล่อยน้ำร้อนด้วย

กระบวนการทางฟิสิกส์ที่พบเห็นในช่วงใกล้และช่วงไกลจุดปล่อย ตลอดจนถึงระยะทางและเวลารวบรวมไว้ในรูป 2.4



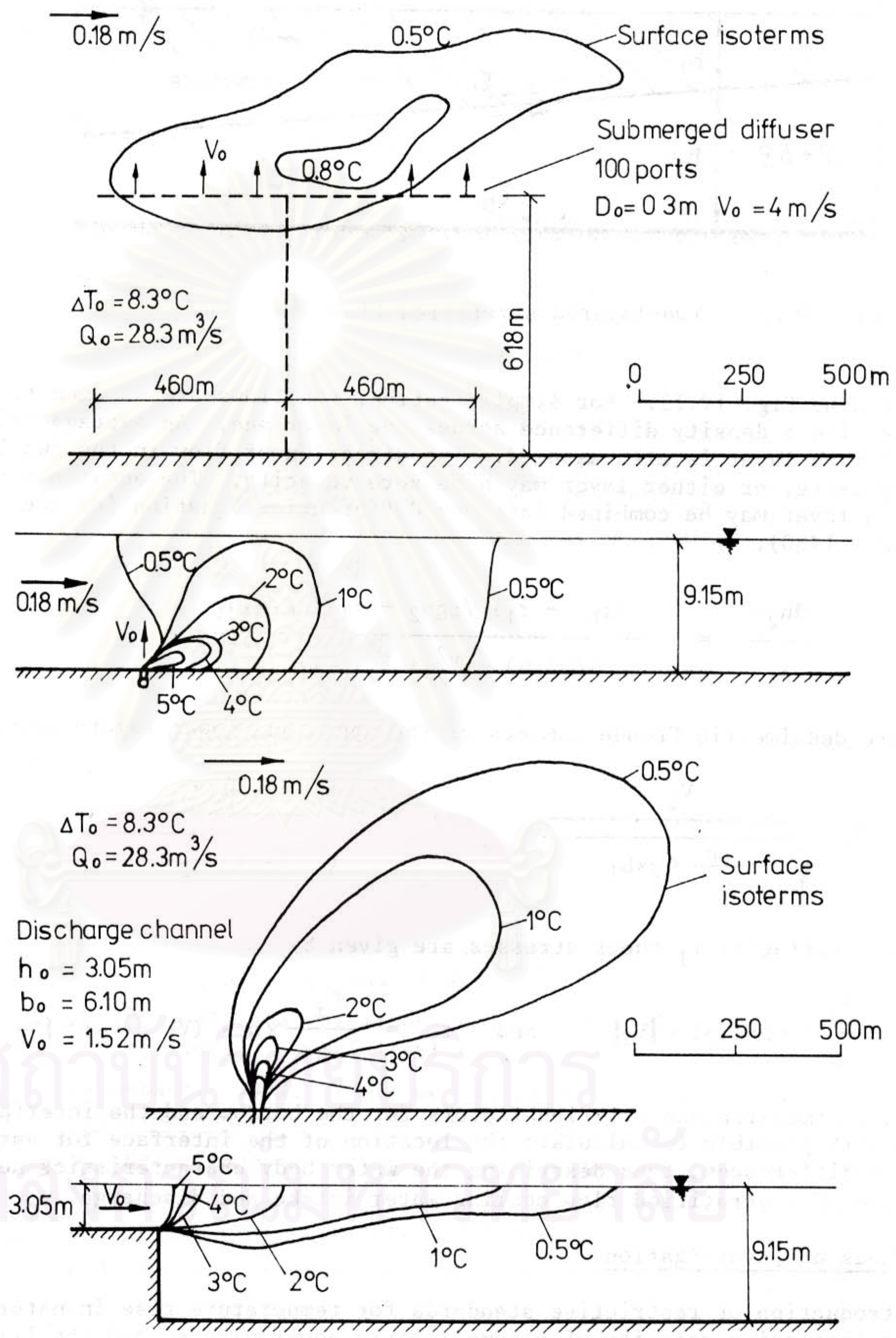
รูป 2.4 แสดงกระบวนการทางฟิสิกส์ของน้ำที่รองรับที่ใกล้มวลน้ำร้อน

(ที่มา: Majewski & Miller, 1979)

การพยากรณ์การแพร่กระจาย และความเร็วของมวลน้ำร้อนที่ช่วงใกล้และไกลจุดปล่อยน้ำร้อนต้องเข้าใจถึงปรากฏการณ์ต่างๆ ของคุณสมบัติของของเหลวบริเวณช่วงใกล้จุดปล่อยน้ำร้อน การรวมตัวของน้ำที่รองรับกับมวลน้ำร้อนกันแบบปั่นป่วน หรือการคายความร้อนที่ผิวหน้ามวลน้ำร้อนเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญที่สุด สำหรับช่วงไกลจุดปล่อยน้ำร้อนปรากฏการณ์การแบ่งตัวของชั้นน้ำ การพาความร้อน และการคายความร้อนให้กับบรรยากาศรอบๆ เป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญที่สุด

ตามแบบจำลอง 3 มิติของ Swanson,C & M. Ward, 2001. ของโรงไฟฟ้าขนาด 1,600 เมกกะวัตต์ มวลน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นบริเวณเมาท์โฮป รัฐโรดไอส์แลนด์ สหรัฐอเมริกา แสดงให้เห็นว่ามวลน้ำร้อนจากระบบเย็นมีความหนาแน่นน้อยจะลอยตัวอยู่บริเวณผิวหน้าเท่านั้น

จากการศึกษาของ Harleman (1972) มวลน้ำร้อนที่ปล่อยออกจากระบบหล่อเย็นจากเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 500 mW(e) น้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิ $\Delta T = 8.3^{\circ} C$ ไหลในอัตราเร็ว 28.3 เมตรต่อวินาที ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติที่มีความลึก 9.15 เมตร ขนาดคลองส่งน้ำเปิดโล่งลึก 3.05 เมตร กว้าง 6.10 เมตร ความเร็วของมวลน้ำร้อนก่อนลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ 1.52 เมตรต่อวินาที การกระจายของมวลน้ำร้อนแสดงดังรูป 2.5



รูป 2.5 แสดงการกระจายตัวของมวลน้ำร้อนที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

(ที่มา: Majewski & miller,1979)

2.3 การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศ

งบประมาณความร้อนของมวลน้ำ (heat budget of a water body) ถูกกำหนดโดยกระบวนการต่างๆ ในการรับหรือถ่ายโอนพลังงาน อิทธิพลที่เด่นของแหล่งความร้อนนี้ คือการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผิวหน้าน้ำ และอากาศจะประกอบด้วย

- รังสีความร้อน (solar radiation)
- ความร้อนในบรรยากาศ (atmospheric radiation)
- การแผ่รังสีคลื่นยาวจากมวลน้ำ (long-wave radiation emitted from the water body)
- การระเหย (evaporative)
- การพาความร้อน (conductive heat fluxes)

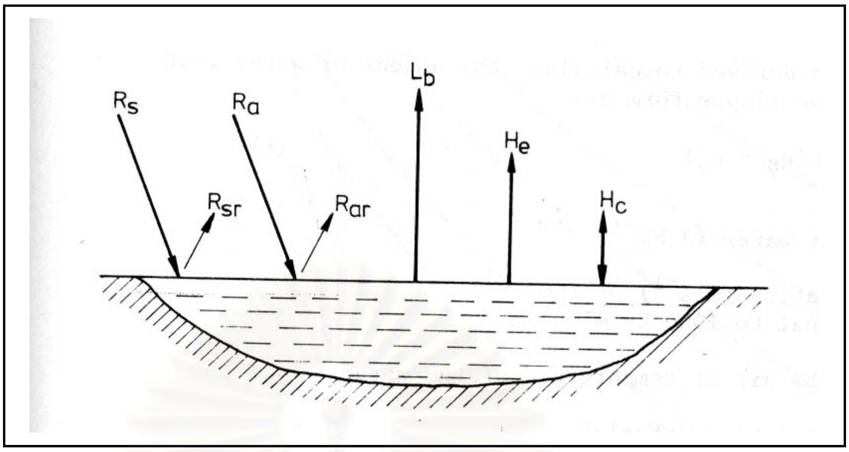
การระเหยของน้ำจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมวลน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นถูกปล่อยเข้ามา ในบางกรณีอาจเกิดหมอกปกคลุมขณะมีการระเหยของน้ำ

ความร้อนของน้ำที่เกิดจากมวลน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นทำให้เกิดสมดุลใหม่ของระบบที่เชื่อมโยงระหว่างความร้อนที่ให้กับระบบ และความร้อนที่สูญเสียไป มวลน้ำร้อนส่งผลกระทบต่อการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิระหว่างผิวหน้าน้ำ และอากาศ กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและขึ้นอยู่กับปัจจัยทางไฮโดรไดนามิกส์ และอุตุนิยมวิทยา ความเข้าใจของความร้อนบริเวณผิวหน้าน้ำเป็นพื้นฐานในการพยากรณ์ปรากฏการณ์ของการคายความร้อน (heated discharges) ของมวลน้ำ

ส่วนประกอบของการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ผิวหน้า ตามธรรมชาติผิวหน้าน้ำจะได้รับพลังงานความร้อนโดยตรงจากดวงอาทิตย์ และการแพร่กระจายของรังสีคลื่นสั้น (short-wave radiation) รวมกับรังสีคลื่นยาวในบรรยากาศ และความร้อนนี้ถูกส่งออกจากผิวหน้าน้ำโดยกระบวนการหลัก 3 กระบวนการดังนี้

- รังสีคลื่นยาวที่แพร่ออกจากผิวหน้าน้ำ
- การระเหยความร้อน
- การนำและการพาความร้อน

ส่วนประกอบที่เด่นของความหนาแน่นของเส้นแรงรังสีแสดงดังรูป 2.6



รูป 2.6 ส่วนประกอบของความร้อนที่แลกเปลี่ยนที่ผิวหน้าน้ำ (ที่มา :Majewski & Miller,1979)

เมื่อ R_s = รังสีความร้อนที่ตกกระทบ (รังสีคลื่นสั้น)

R_{sr} = รังสีคลื่นสั้นที่สะท้อนกลับ

R_a = รังสีความร้อนในบรรยากาศ

R_{ar} = รังสีคลื่นยาวที่สะท้อนกลับ

L_b = รังสีคลื่นยาวที่แผ่ออกจากผิวหน้าน้ำ

H_e = การระเหยของความร้อน (ในรูปความร้อนแฝง)

H_c = การพาความร้อน

ค่าของ R_s จะขึ้นกับ

- มุมของดวงอาทิตย์
- จำนวนเมฆ
- จำนวนไอน้ำและฝุ่นละอองในอากาศ

ค่าของ R_{sr} รังสีคลื่นสั้นที่สะท้อนกลับมีค่าเป็นสัดส่วนกับรังสีความร้อนที่ตกกระทบ เรียกว่าค่า albedo

ค่าของ R_a เป็นพลังงานความร้อนในบรรยากาศมีค่าแปรตามจำนวนเมฆ ความดันไอน้ำและอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 200 – 450 W/m^2

ค่าของ R_{ar} ที่ผิวหน้าน้ำที่มีอุณหภูมิช่วง 0 – 30 $^{\circ}$C มีค่าเท่ากับ 0.03

ค่า R_{ar} ที่ผิวหน้าน้ำมีค่าใกล้ค่าคงที่ตลอดทั้งปี ซึ่งเป็นค่า reflectrance ของผิวหน้าน้ำ

ค่าของ L_b ตามปกติจะมีค่ามาก พลังงานของมวลน้ำสามารถคำนวณได้โดยใช้กฎของ

Stefan – Boltman ของการแผ่รังสีของวัตถุดำ แก้ไขโดยค่า emissivity factor: ε คำนวณตาม Stolzenbach,1976 จะได้

$$L_b = 307 + 5.4T_s$$

สำหรับค่าอุณหภูมิที่ผิวหน้าน้ำ 20 – 30 $^{\circ}C$ จะได้ค่า L_b เท่ากับ 458.2 – 469 W/m^2

ค่าของ H_e เป็นส่วนประกอบของความร้อนที่แผ่ออกโดยการระเหย ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อพลังงานความร้อนที่ผิวหน้าคือ

- รังสีความร้อน
- อุณหภูมิของอากาศและผิวหน้าน้ำ
- ความเร็วลม
- ค่าแตกต่างของความดันไออิ่มตัวของอากาศที่ผิวหน้า และค่าความดันไอของอากาศ

ค่าของ H_c ค่าพลังงานของความร้อนของมวลน้ำไม่สามารถวัดได้โดยตรง แต่หาได้โดยการประมาณค่าอัตราส่วนของ Bowen ratio (B) ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchange Coefficient) กับ สมดุลของอุณหภูมิ (Equilibium Temperature)

เส้นแรงของความร้อนทั้งหมด (H_s) ได้มาจากรังสีที่มาตกกระทบและความร้อนที่แผ่ออกไปดังสมการ

$$H_s = R_n(t) – L_b(Ts,t) – H_e(Ts,t) - H_c(Ts,t)$$

เมื่อ R_n เป็นพลังงานสุทธิของรังสีความร้อนและรังสีความร้อนในบรรยากาศ

t เป็นเวลา

ค่าของ H_S ขึ้นกับความเร็วลม (u_z) อุณหภูมิของน้ำ (T_s) อุณหภูมิของอากาศ (T_a) และความดันไอ (e_a) ดังสมการ

$$H_s = (T_s,T_a,u_z,e_a)$$

ให้ค่าความร้อนที่คายออกจากมวลน้ำร้อนเป็น H_L ดังสมการ

$$-H_L = L_b + H_e + H_c$$

ส่วนประกอบของ H_L เป็นส่วนของอุณหภูมิผิวหน้าน้ำที่ไม่ต่อเนื่อง ในการประมาณค่าขั้นต้นของเพิ่มอุณหภูมิของมาลน้ำที่เพิ่มขึ้นโดยน้ำจากระบบหล่อเย็นจากค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนของผิวหน้าน้ำ

$$K = \partial H_s/\partial T_s = - \partial H_L/\partial T_s$$

เมื่อ K มีหน่วยเป็น W/m^2k

ในทางปฏิบัติมีค่าแตกต่างออกไปเล็กน้อย

เราใช้ $K = H_L/(T_N - T_s)$

และ $K = H_L/(T_E - T_s)$

เมื่อ H_L = พลังงานความร้อนทั้งหมดที่คายออกจากผิวหน้าน้ำ

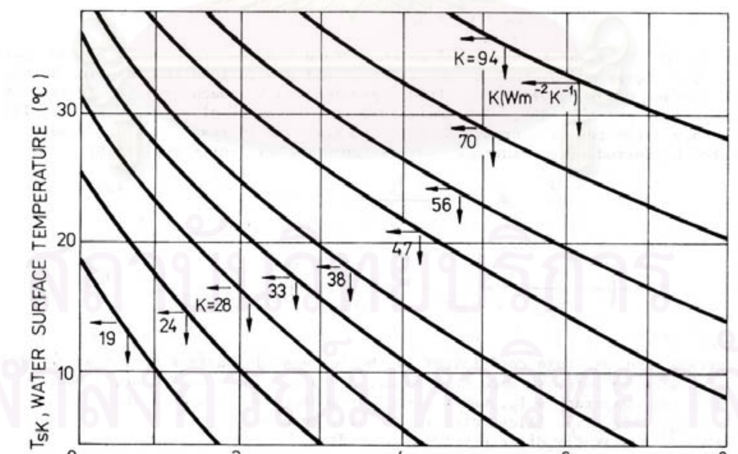
T_N = อุณหภูมิของแหล่งน้ำธรรมชาติ (^oC)

T_E = อุณหภูมิของน้ำ (^oC)

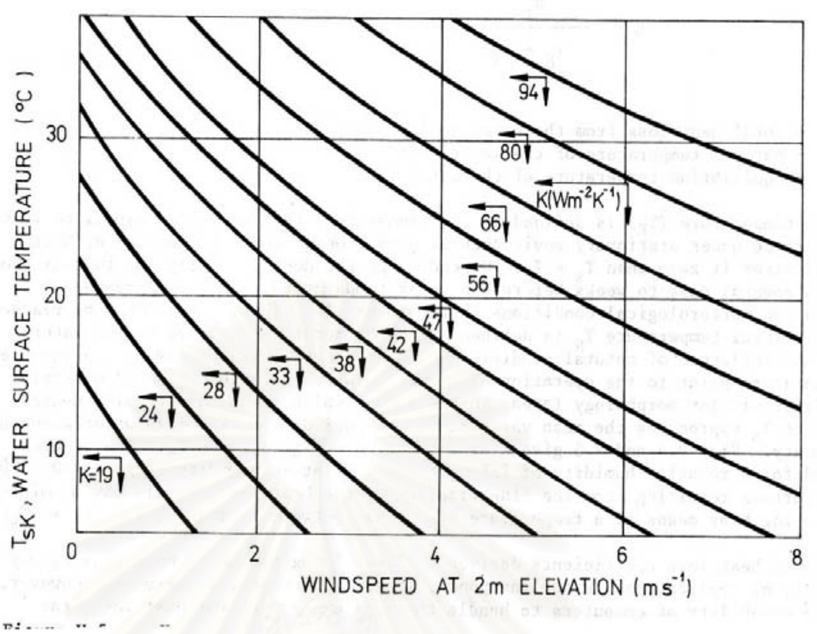
อุณหภูมิสมดุลของน้ำ T_E คือค่าอุณหภูมิสุดท้ายของผิวหน้าน้ำภายใต้สภาวะสิ่งแวดล้อมที่คงที่ ความร้อนสุทธิระหว่างการแลกเปลี่ยนระหว่างอากาศ และน้ำเป็นศูนย์ เมื่อ $T_s = T_E$ ที่สอดคล้องกับค่าความลึก และความเข้มข้นของการรวมตัวกันของน้ำในช่วงเวลาหลายวันก่อนที่อุณหภูมิจริงของน้ำที่เข้าใกล้ T_E การเปลี่ยนแปลงแต่ละวันตามเงื่อนไขทางอุตุนิยมวิทยาจะไม่สามารถที่มีค่าเข้าใกล้ค่าเฉลี่ยของ T_E ได้

อุณหภูมิของแหล่งน้ำธรรมชาติ T_N คืออุณหภูมิผิวหน้าน้ำของแหล่งน้ำธรรมชาติเท่านั้น ค่าเฉลี่ยของค่า T_N มีค่าเข้าใกล้ค่าเฉลี่ยของ T_E ในช่วงเวลาเมื่อค่าเฉลี่ยของน้ำมีค่าคงที่

ค่า K แปรตามค่าของ T_s , u_Z และ T_a ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 50 – 100 % (รูป 2.7, 2.8)



รูป 2.7 สัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อน K สำหรับผิวหน้ามวลน้ำร้อน (T_s- T_a= 5.5^{o}C) เมื่อ Kมีค่าเป็น W/m^{2}k



รูป 2.8 สัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อน K สำหรับผิวหน้ามวลน้ำร้อน (T_s- T_a= 11°C) เมื่อ Kมีค่าเป็น W/m^{2}k (ที่มา: Majewski & Miller,1979)

การระเหยไปของมวลน้ำเป็นสิ่งสำคัญพิเศษสำหรับการแลกเปลี่ยนของมวลน้ำที่มีการคายความร้อน เพราะการระเหยเป็นการโยกย้ายอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้นทั้งหมดไปสู่อากาศ และเป็นการเพิ่มน้ำในอากาศ

2.4 การติดตามมวลน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นด้วยดาวเทียม

วัดอุณหภูมิของผิวหน้าน้ำทะเล (Sea Surface Temperature, SST) ด้วยดาวเทียม (Lathrop and Lillesand, 1987; Gibbons et al., 1989; Onishi and Kawai, 1992) และได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการตรวจวัดอุณหภูมิของผิวหน้าน้ำทะเลด้วยดาวเทียมแบบโคจรผ่านขั้วโลก (polar orbit) โดยวัดจากเส้นแรงการติดตามน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นที่ปล่อยจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนสามารถทำได้โดยการตรวจรังสี (radiation flux) ที่สะท้อนจากผิวหน้าของน้ำทะเลมายังเครื่องวัดเรดิโอมิเตอร์ (radio-meter) บนดาวเทียม ดาวเทียมที่ใช้วัดค่าอุณหภูมิของผิวหน้าน้ำทะเล ได้แก่ดาวเทียม Landsat ระบบ TM ซึ่งตรวจวัดค่า SST โดยใช้ แบนด์ 6 thermal infrared ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 10.4 - 12.5 ไมโครเมตร มีรายละเอียดของข้อมูล (resolution) 120 เมตร

และดาวเทียม NOAA (AVHRR) ตรวจวัดค่า SST โดยใช้ channel 4 และ 5 ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 10.3 - 12.5 ไมโครเมตร มีรายละเอียดของข้อมูล 1,100 เมตร

Greaves et al.(1968) ได้อธิบายการตรวจวัด SST ว่ามีข้อจำกัดต้องไม่มีเมฆมาบัง ส่วน McAlister,1964; Walker,1965; McAlister and McLeish, 1965 ได้อธิบายถึงค่า SST ที่วัดจากดาวเทียมมีค่าแปรเปลี่ยนไป (variation) ตามปรากฏการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าน้ำทะเล เช่น ผิวเรียบเป็นมัน (slick) แผ่นฟิล์ม (films) ลมและคลื่น (wind and waves) และกระบวนการทางฟิสิกส์อันได้แก่ การกวนโดยการพาของมวลน้ำ (convective stirring) การผสมกันอย่างปั่นป่วนของมวลน้ำ (turbulent mixing) และอิทธิพลจากผิวหน้าร่วมของบรรยากาศที่อยู่ติดกับผิวหน้าน้ำทะเล (sea - air interface) นอกจากผลกระทบที่ทำให้ค่า SST แปรเปลี่ยนไปจากน้ำทะเล บรรยากาศก็มีผลกระทบที่ทำให้ค่า SST แปรเปลี่ยนไปด้วย ซึ่ง Andiry and Kauth, (1971) อธิบายว่าไอน้ำในบรรยากาศ (atmospheric water vapour) และหมอกควัน (haze) มีผลทำให้การประมาณค่า (estimate) ของ SST ต่างไป $\pm 2\,^{0}C$

ได้มีการศึกษาร่วมกันระหว่างบริษัท the Pacific Gas and Electric Company (PG&E) โดย Gibbons and Wukelic กับ U.S. Department of Energy ‘ Pacific Northwest Laboratory (PNL) โดย Leighton and Doyle (1989) ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิของน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นที่ปล่อยออกจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน Diablo Canyon บริเวณชายฝั่งทะเลมลรัฐแคลิฟอเนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้ดาวเทียม Landsat TM band6 ข้อมูลวันที่ 18 มิถุนายน 1986 เปรียบเทียบกับข้อมูลภาคสนาม (seatruth) ผลปรากฏว่าอุณหภูมิที่แปลงผัน (convert) จากดาวเทียมต่างกับค่าข้อมูลภาคสนาม 0.6 ^{0}C และแสดงการแพร่กระจายของมวลน้ำร้อน (thermal plume)

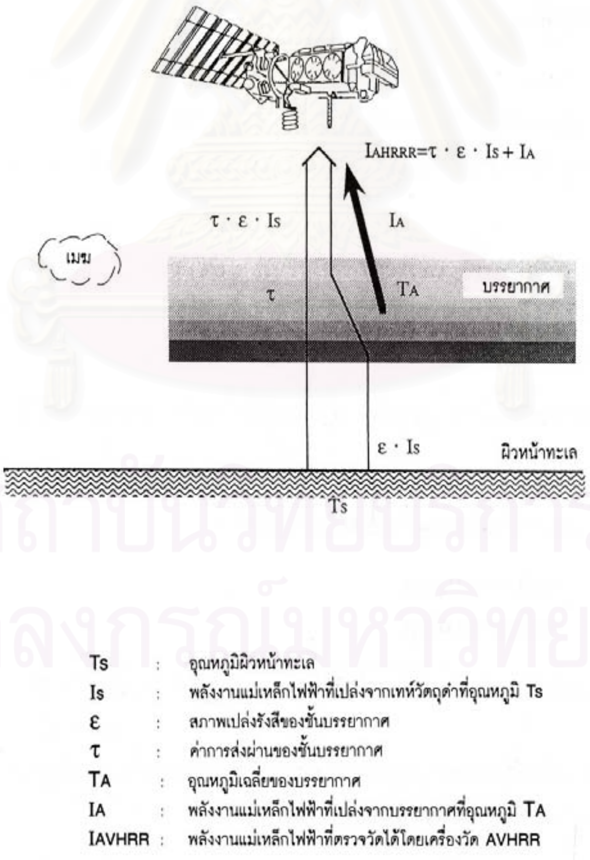
Donlon et al. (1998) ได้ทำการตรวจวัดค่า SST โดยใช้เครื่องบิน C-130 Hercules ของงานวิจัยทางอุตุนิยมวิทยาประเทศอังกฤษบินที่ระดับความสูง 30 เมตรเพื่อตรวจวัดค่า SST เปรียบเทียบกับค่า SST ที่วัดจากดาวเทียม ERH-1 (ATSR) และดาวเทียม NOAA-14 (AVHRR) ในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน ผลการเปรียบเทียบค่า SST ที่วัดจากดาวเทียม ERH-1 กับดาวเทียม NOAA-14 มีค่าแตกต่างกัน 0.3 ^{0}K ค่า SST ที่วัดจากดาวเทียม ERH-1 กับเครื่องบินมีค่าแตกต่างกัน 0.6 ^{0}K ถ้าค่า SST ที่วัดจากดาวเทียม NOAA-14 ที่มีค่าอยู่ในรูปของ non-linear SST

(NLSST) กับเครื่องบินมีค่าแตกต่างกัน 0.3 ^{0}K แต่ค่า SST ที่วัดจากดาวเทียม NOAA-14 ที่มีค่าอยู่ในรูปของ multi-channel SST (MCSST) กับเครื่องบินมีค่าแตกต่างกัน 1.82 ^{0}K (ถือว่าค่อนข้างมาก)

2.5 ทฤษฎีและคำจำกัดความของดาวเทียม

2.5.1 หลักการของการติดตามมวลน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นโดยดาวเทียม

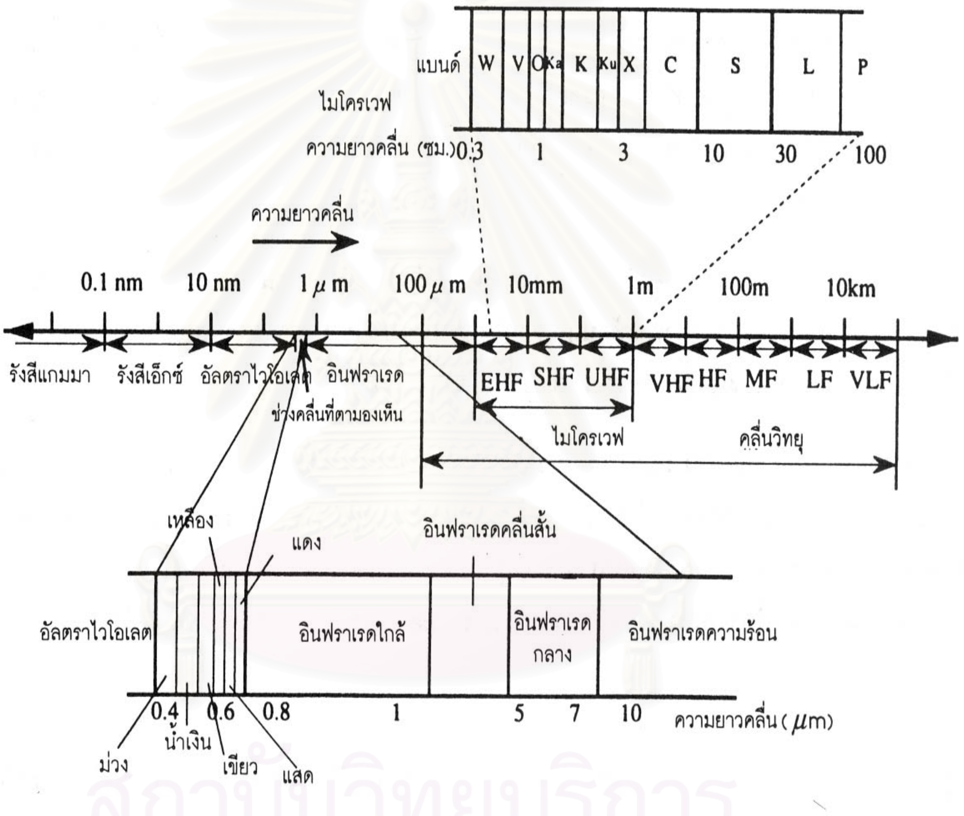
การติดตามมวลน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นด้วยการใช้ดาวเทียมวัดอุณหภูมิผิวหน้าทะเล (ดังรูป 2.9) เป็นการสำรวจจากระยะไกล (remote sensing) ที่ได้ข้อมูลด้านความร้อนเป็นบริเวณกว้าง ในช่วงเวลาสั้น การวัดอุณหภูมิด้วยดาวเทียมมีพื้นฐานบนหลักการที่ว่า วัตถุใดๆ ก็ตามสามารถเปล่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าได้โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความยาวคลื่น และสภาพการเปล่งรังสีของวัตถุ



รูป 2.9 การวัดอุณหภูมิผิวหน้าทะเลโดยดาวเทียม (ที่มา: คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540)

2.5.2 ย่านความยาวคลื่นของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า

ย่านพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการสำรวจจากระยะไกล ได้แก่ช่วงคลื่นเหนือม่วง (ultraviolet) มีความยาวคลื่น 0.3 - 0.4 ไมโครเมตร ช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (visible light) มีความยาวคลื่น 0.4 - 0.7 ไมโครเมตร ช่วงคลื่นใต้แดง (infrared: IR) ช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น ช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นกลาง และอินฟราเรดความร้อน (thermal infrared) มีความยาวคลื่น 7 - 14 ไมโครเมตร แสดงดังรูป 2.10..



รูป 2.10 แบนด์ต่างๆ ที่ใช้ในการสำรวจจากระยะไกล (ที่มา: คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540)

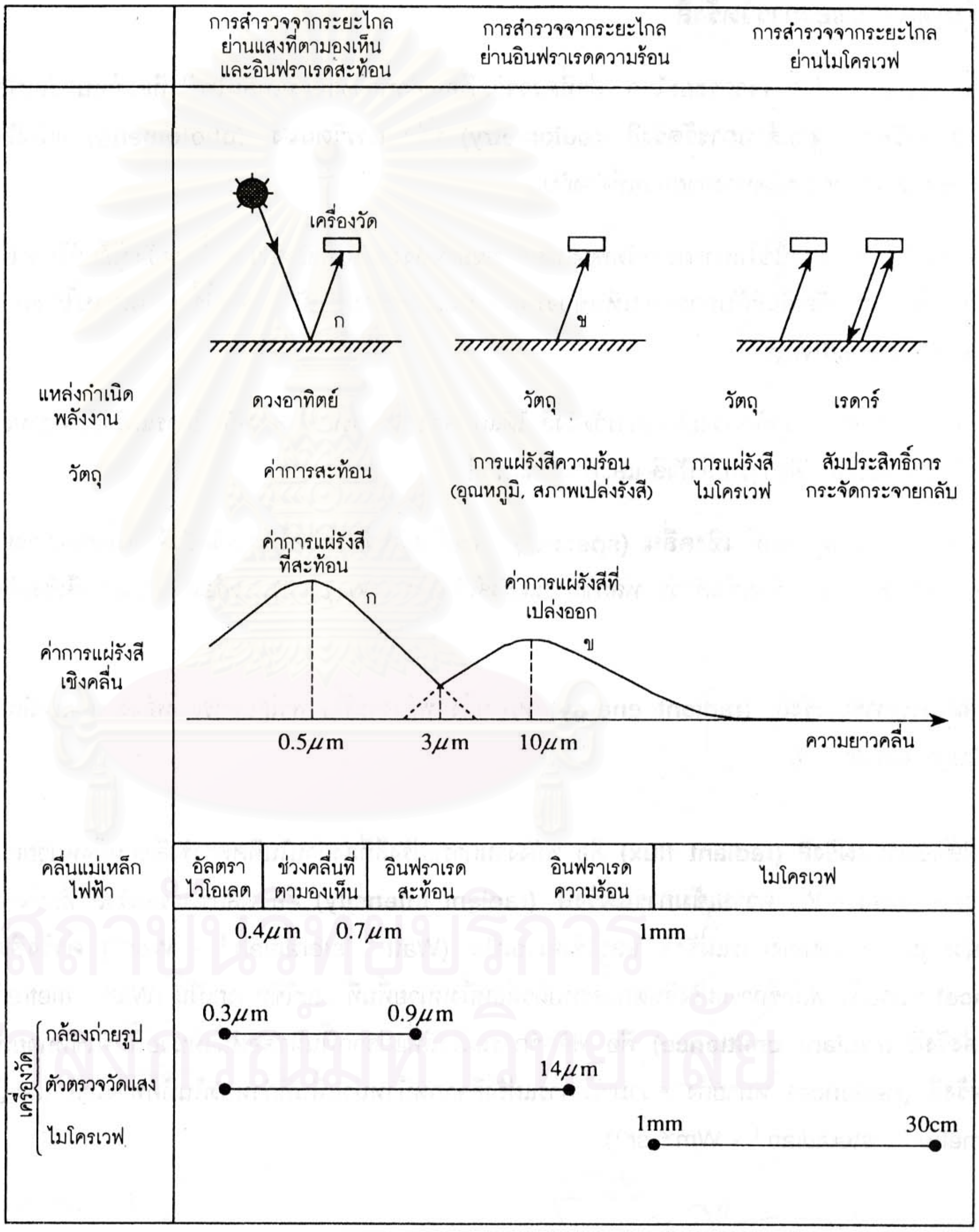
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5.3 การแยกประเภทของการสำรวจจากระยะไกลตามย่านความยาวคลื่น

การสำรวจระยะไกลสามารถจำแนกออกตามย่านความยาวคลื่นออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

1. การสำรวจจากระยะไกลย่านแสงที่ตามองเห็น และอินฟราเรดสะท้อน (visible and reflective infrared remote sensing)

2. การสำรวจจากระยะไกลย่านอินฟราเรดความร้อน (thermal infrared remote sensing)
3. การสำรวจจากระยะไกลย่านไมโครเวฟ (microwave remote sensing) แสดงดังรูป 2.11



รูป 2.11 ประเภทของการสำรวจจากระยะไกลที่สัมพันธ์กับย่านความยาวคลื่นรวม 3 ประเภท
(ที่มา: คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แหล่งกำเนิดพลังงาน (energy source) สำหรับการสำรวจจากระยะไกลย่านแสงที่ตามองเห็น และอินฟราเรดสะท้อนคือดวงอาทิตย์ ซึ่งดวงอาทิตย์แผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความยาวคลื่น 0.5 ไมโครเมตร ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจจากระยะไกลในย่านแสงที่ตามองเห็น และอินฟราเรดสะท้อน ส่วนใหญ่จะขึ้นกับค่าการสะท้อน (reflectance) ของวัตถุต่างๆ บนผิวโลก รายละเอียดเกี่ยวกับวัตถุดูได้จากค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นต่างๆ

แหล่งกำเนิดพลังงานที่ใช้ในการสำรวจจากระยะไกลย่านอินฟราเรดจะได้จากตัววัตถุเอง เนื่องจากวัตถุใดๆ ก็ตามที่มีอุณหภูมิในระดับปกติจะมีความสามารถแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 10 ไมโครเมตร

เส้นกราฟของ (ก) และ (ข) ตัดกันที่ค่าประมาณ 3.0 ไมโครเมตร จะเป็นย่านที่ดูได้จากค่าการสะท้อนเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ย่านความยาวคลื่นมากกว่า 3.0 ไมโครเมตรขึ้นไปจะเป็นย่านที่ตรวจวัดการแผ่รังสีความร้อน (thermal radiation)

2.5.4 การแผ่รังสีของวัตถุดำ

การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุจะขึ้นกับอุณหภูมิ และสภาพเปล่งรังสีของวัตถุนั้น ลักษณะการแผ่รังสีความร้อนอธิบายได้โดยทฤษฎีเทห์วัตถุดำ

เทห์วัตถุดำ หมายถึง สารที่สามารถดูดกลืนพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตกกระทบตัวมันได้ทั้งหมด โดยไม่มีการสะท้อนหรือส่งผ่านพลังงานเลย ตามกฎของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's law) พลังงานที่แผ่จากวัตถุจะมีค่าคงที่ และจะขึ้นกับความยาวคลื่น และอุณหภูมิ (T) เท่านั้น เทห์วัตถุดำจะให้ค่าการแผ่รังสีสูงสุดเมื่อเทียบกับวัตถุอื่นๆ

การแผ่รังสีของวัตถุดำ (black body radiation) หมายถึงการแผ่รังสีความร้อนของเทห์วัตถุดำ ซึ่งตามกฎของแพลงค์ (Planck's law) การแผ่รังสีความร้อนของเทห์วัตถุดำจะขึ้นกับค่าอุณหภูมิ (T) และความยาวคลื่น (รูป 2.12) ดังสมการ

$$B_\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \bullet \frac{1}{\exp(hc/k\lambda T) - 1}$$

เมื่อ B_λ = ค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่นของเทห์วัตถุดำ ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$)

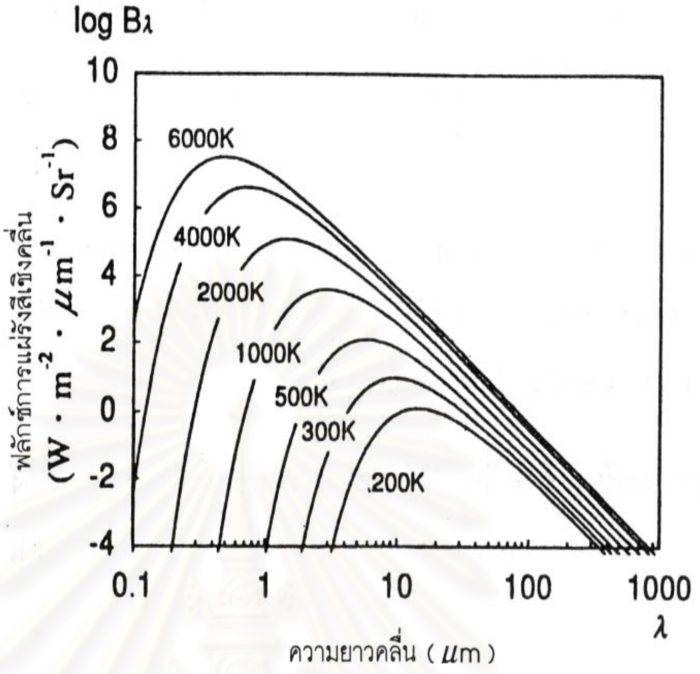
T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของเทห์วัตถุดำ

λ = ความยาวคลื่น (μm)

c = ความเร็วแสง (2.998×10^{8} $m.s^{-1}$)

h = ค่าคงที่แพลงค์ (6.626×10^{-34} j.s)

k = ค่าคงที่โบลต์ซมานน์ (1.380×10^{-23} $j.k^{-1}$)



รูป 2.12 การแผ่รังสีของแพลงค์ตามความยาวคลื่น และอุณหภูมิต่างๆ
(ที่มา: คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540)

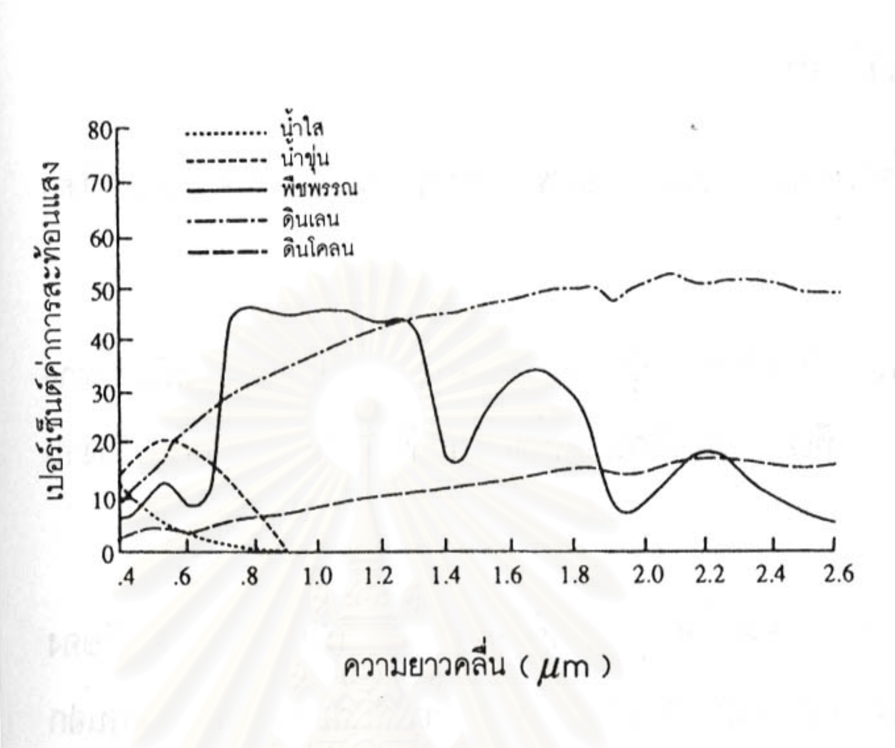
กฎการแทนที่ของวีน (Wien's displacement law) ใช้หาความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับใช้ตรวจวัดอุณหภูมิของวัตถุ ที่อุณหภูมิ T จากสูตร

$$\lambda = 2898/T$$

ตัวอย่างเช่นความยาวคลื่นที่ดีที่สุดสำหรับใช้ตรวจวัดวัตถุที่มีอุณหภูมิ 300° K คือประมาณ 10 μm

2.5.5 ค่าการสะท้อนเชิงคลื่นของสิ่งปกคลุมดิน

ค่าการสะท้อนเชิงคลื่นของสิ่งปกคลุมดินแตกต่างกัน ซึ่งสามารถจำแนกของสิ่งปกคลุมดินจากการสำรวจระยะไกลด้วยการสังเกตุค่าการสะท้อนเชิงคลื่น หรือค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่นจากพื้นผิวนั้นๆ แสดงดังรูป 2.13



รูป 2.13 ค่าการสะท้อนเชิงคลื่นของพืชพรรณ ดิน และน้ำ
(ที่มา: คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540)

รูป 2.13. แสดงลักษณะกราฟของค่าการสะท้อนเชิงคลื่นของสิ่งปกคลุมดินหลัก คือ พืชพรรณ ดิน และน้ำ จากกราฟแสดงว่าพืชพรรณมีการสะท้อนสูงในช่วงอินฟราเรดใกล้ และมีค่าการสะท้อนที่ต่ำถึงสามช่วงเนื่องจากการดูดกลืน ดินให้ค่าการสะท้อนที่ค่อนข้างสูงเกือบทุกช่วงคลื่น ในขณะที่น้ำเกือบจะไม่มีค่าการสะท้อนเลยในช่วงอินฟราเรด

2.5.6 ค่าการส่งผ่านของชั้นบรรยากาศ

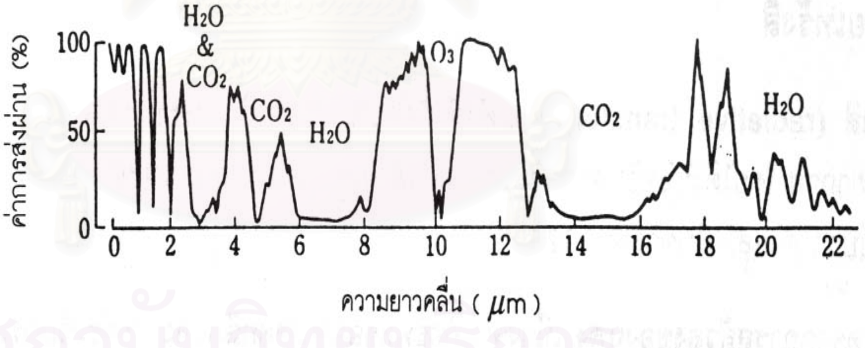
การส่งผ่าน (transmission) แสงอาทิตย์ในชั้นบรรยากาศจะถูกรบกวนโดยการดูดกลืน (absorption) และการกระจัดกระจาย (scattering) ของโมเลกุล และละอองลอยในบรรยากาศ ทำให้ความเข้มแสงอาทิตย์มีปริมาณลดลง เรียกว่า การสลัวของแสง (extinction) ซึ่งอัตราการสลัวลงของแสงสามารถกำหนดได้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การสลัวลงของแสง (extinction coefficient) ถ้าเรารวมค่าสัมประสิทธิ์การสลัวของแสงที่ระดับต่างๆ ตามความหนาของชั้นบรรยากาศ ค่าที่ได้ คือ

ความหนาเชิงแสง (optical thickness) ที่เป็นตัวชี้ถึงระดับการดูดกลืน และการกระจัดกระจายของแสงอาทิตย์ การส่งผ่านของชั้นบรรยากาศจะได้รับอิทธิพลจากองค์ประกอบ ต่อไปนี้

ก. โมเลกุลในชั้นบรรยากาศ (ขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่น) : คาร์บอนไดออกไซด์, โอโซน, ก๊าซไนโตรเจน และโมเลกุลอื่นๆ อิทธิพลของโมเลกุลในชั้นบรรยากาศที่มีต่อความหนาเชิงแสงมีค่าเกือบคงที่ แม้ว่าจะในเวลา และสถานที่ต่างกัน

ข. ละอองลอย (ขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่น) : หยดน้ำ เช่น เมฆ หมอก กลุ่มควัน ฝุ่น และอณูที่มีขนาดใหญ่อื่นๆ แต่ละสถานที่จะมีปริมาณแตกต่างกันไปขึ้นกับเวลา และสถานที่ นอกจากนี้ คุณลักษณะทางแสง และการกระจัดกระจายของขนาดของละอองลอยก็ยังมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับความชื้น อุณหภูมิ และสภาพแวดล้อมอื่นๆ ยากต่อการตรวจวัดผลที่เกิดจากการกระจัดกระจายโดยละอองลอย

การกระจัดกระจาย การดูดกลืน และการส่งผ่านของชั้นบรรยากาศจะแตกต่างกันที่ความยาวคลื่นต่างกัน ดังรูป 2.14 เส้นกราฟที่มีค่าต่ำ เป็นผลที่เกิดจากการดูดกลืนโดยโมเลกุลประเภทต่างๆ ช่วงเปิดที่มีค่าส่งผ่านสูงจะเรียกว่า หน้าต่างบรรยากาศ (atmospheric window)



รูป 2.14 คุณลักษณะของค่าการส่งผ่านเชิงคลื่นของชั้นบรรยากาศ

(ที่มา: คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540)

2.6 ข้อมูลดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM (thermatic mapper)

ดาวเทียม LANDSAT5 เป็นดาวเทียมของประเทศสหรัฐอเมริกา ถูกส่งขึ้นไปเมื่อปี ค.ศ. 1984 เป็นดาวเทียมชนิดที่มีวงโคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (sun synchronous orbit) มีคุณลักษณะตามตาราง 2.1

ตาราง 2.1 คุณลักษณะของดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM

คุณลักษณะ	ข้อมูลดาวเทียม LANDSATระบบ TM
วัตถุประสงค์	ใช้สำรวจแหล่งทรัพยากรณ์ธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม
ความสูง	705 กิโลเมตร
ช่วงเวลาโคจรกลับที่เดิม	16 วัน
เครื่องวัด	TM 7 แบนด์
ความกว้างของแนวถ่ายภาพ	185 กิโลเมตร
เวลาผ่านประเทศไทย	ประมาณ 10.00 น

รูปแบบของสัญญาณของเครื่องวัดจะถูกแปลงจากเชิงอุปมานไปเป็นเชิงตัวเลข (analog – to – digital conversion) ข้อมูลภาพจะถูกบันทึกโดยแต่ละจุดภาพมีค่าตัวเลขเป็น 8 บิต (0 – 255) รายละเอียดของภาพ (resolution) หรือ สนามมุมมอง ณ ขณะนั้น (IFOV) ของแบนด์ 1 – 5 และแบนด์ 7 เท่ากับ 30 x 30 ตารางเมตร สำหรับแบนด์ 6 (อินฟราเรดความร้อน) รายละเอียดของภาพ 120 x 120 ตารางเมตร ซึ่งคุณลักษณะของข้อมูลดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM สามารถจำแนกออกเป็นแบนด์ต่างๆ ตามตาราง 2.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 2.2 คุณลักษณะของดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM ความระเอียด คุณสมบัติ และการประยุกต์ใช้ (Lillesand and Kiefer,1994)

แบนด์	ช่วงคลื่น (μm)	ความระเอียด (m)	คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้
1	น้ำเงิน (0.45-0.52)	30	ผ่านทะลุผิวน้ำได้ดี ซึ่งเป็นประโยชน์ในการทำแผนที่ชายฝั่ง ศึกษาคุณภาพน้ำชายฝั่ง เป็นประโยชน์เพื่อศึกษาพืชคลุมดิน และจำแนกชนิดของป่า
2	เขียว (0.52-0.60)	30	สะท้อนสีเขียวมีประโยชน์ในการประเมินความแข็งแรงของพืช ตรวจสอบหาปริมาณคลอโรฟิลล์ และตะกอนน้ำ
3	แดง (0.63-0.69)	30	ดูดกลืนสีเขียวอย่างมาก ใช้สำหรับแยกพืชพรรณ และความหนาแน่นของพืช
4	อินฟราเรดใกล้ (0.76-0.90)	30	แยกน้ำและแผ่นดินได้ชัดเจน และมีประโยชน์ในการกำหนดชีวมวล
5	อินฟราเรดสั้น (1.55-1.75)	30	แยกความชื้นได้ดี สามารถให้รายละเอียดปริมาณความชื้นของพืชพรรณและความชื้นดิน และแยกความแตกต่างระหว่างหิมะกับเมฆ
6	อินฟราเรดความร้อน (10.40-12.50)	120	แยกอุณหภูมิแผ่นดิน และทะเล การใช้ที่ดินและน้ำแข็งในทะเล
7	อินฟราเรดกลาง (2.08-2.35)	30	แผนที่ความร้อน แหล่งแร่ ชนิดดิน

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้การรวบรวมข้อมูล การประมวลผลภาพดาวเทียม การแปลข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 **การรวบรวมข้อมูล** (data collection)

3.1.1 ข้อมูลดาวเทียม Landsat 5 TM ที่ผ่านการปรับแก้ความผิดพลาดเชิงคลื่น (radiometric correction) จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ซึ่งบรรจุข้อมูลบนแผ่น CD-ROM (compact disk – read only memory) จำนวน 2 ภาพ (ตาราง 3.1)

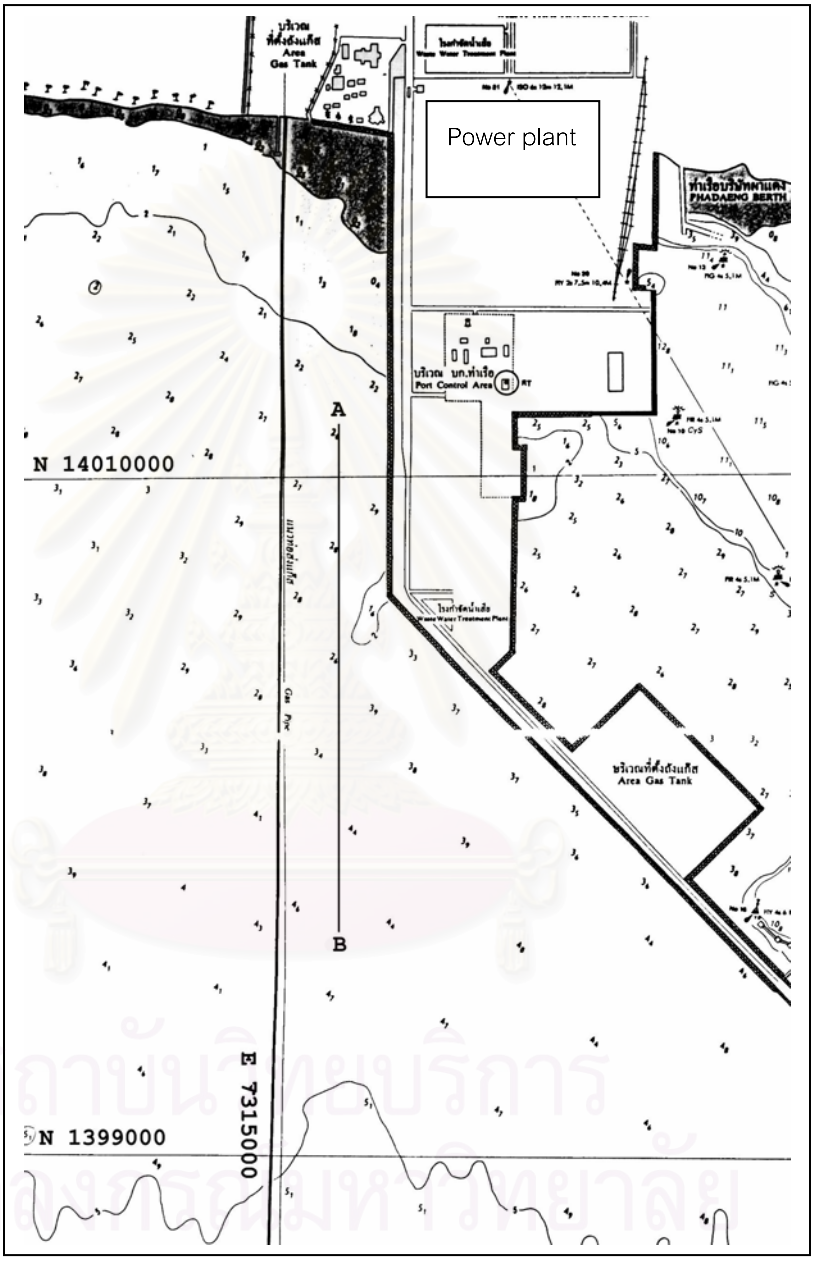
ตาราง 3.1 ข้อมูล Landsat 5 TM (level 8)

Path,Row	Date	Time	Sun Elevation	Sun Azimuth
129,51	2-05- 2000	10:10:00	60.27	80.81
128,51	19-11-2000	10:08:00	48.9	140.42

3.1.2 ข้อมูลการสำรวจภาคสนาม (sea truth)

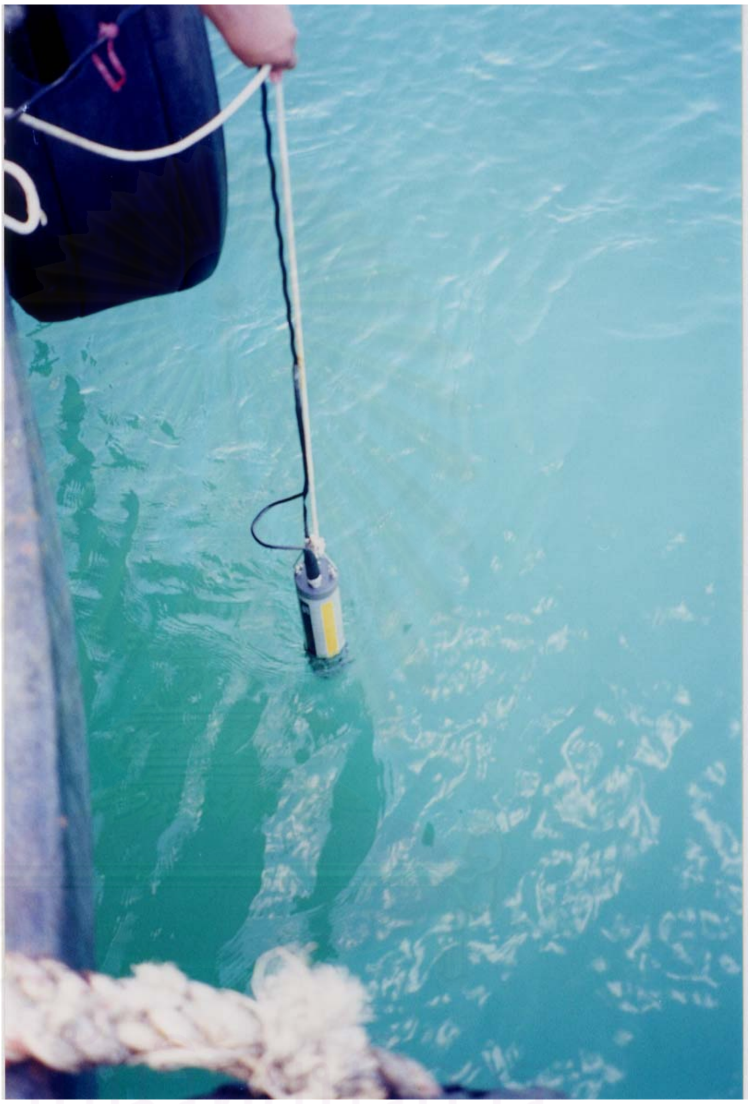
3.1.2.1 รวบรวมผลการตรวจวัดอุณหภูมิผิวหน้าทะเล กระแสน้ำ และความขุ่นของน้ำทะเลบริเวณรอบๆ โรงไฟฟ้า (รูป 3.1) เพื่อศึกษาการแพร่กระจายของมวลน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นของโรงไฟฟ้าจำนวน 2 ครั้ง ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ของปี พ.ศ. 2543 (กระแสน้ำจะเปลี่ยนไปตามฤดูกาล) ด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำชนิดหลายตัวแปร รุ่น 6000 UPG ของบริษัท YSI INCORPORATE ทำการตรวจวัดอุณหภูมิผิวหน้าทะเล และความขุ่นโดยใช้เรือลากจูงเครื่องวัดที่ปลายของเครื่องวัดจมน้ำประมาณ 10 เซนติเมตร (รูป 3.2) ในแนวทิศเหนือ-ใต้ (AB) เป็นระยะทางประมาณ 1.5 กิโลเมตรในวันที่ 2 พฤษภาคม 2543 และวันที่ 19 พฤศจิกายน 2543 ซึ่งผลการตรวจวัดแสดงดังรูป 3.1 เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง (validate) กับข้อมูลดาวเทียม

3.2.2.2 วัดกระแสน้ำโดย Lagrangian Method



รูป 3.1 แสดงพื้นที่ที่ทำการสำรวจภาคสนาม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 3.2 เครื่องวัดคุณภาพน้ำชนิดหลายตัวแปร รุ่น 6000 UPG

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.3 ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร

3.1.4 ข้อมูลน้ำขึ้น-ลง (ตาราง 3.2) และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา (ตาราง 3.3)

ตาราง 3.2 สภาวะน้ำขึ้น-ลงในขณะที่ดาวเทียมผ่านพื้นที่ศึกษา

วัน เดือน ปี	ช่วงน้ำเป็นช่วงน้ำตาย (วัน)	ช่วงน้ำขึ้น-ลง (ชั่วโมง)	ระดับน้ำสูง (เมตร)
2 พฤษภาคม 2543	น้ำเกิด +2	HW -7	1.2
19 พฤศจิกายน 2543	น้ำตาย -1	HW +2	2.3

ส่วนข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ใช้ข้อมูลอากาศผิวพื้นของสถานีตรวจอากาศระยอง ดังตาราง 3.3

ตาราง 3.3 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในช่วงเวลาที่ดาวเทียมผ่านพื้นที่ศึกษา

วัน เดือน ปี	อุณหภูมิ (c)	ความชื้น(%)	ทิศทางลม	ความเร็วลม (นอต)
2 พฤษภาคม 2543	33.4	59	-	ลมสงบ
19 พฤศจิกายน 2543	30.5	56	เหนือ	2.0

3.2 **อุปกรณ์และเครื่องมือ** (materials and equipment)

3.2.1 ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (personal computer) Pentium-3 450 MHz

3.2.2 ซอฟต์แวร์ (software)

-Program Envi version 3.2 ใช้ในการประมวลภาพดาวเทียม

- Program Lowtran 7 ใช้ในการปรับแก้เชิงอากาศ

-Program Fortran version 6.5 ใช้จัดลำดับข้อมูลดาวเทียมเพื่อนำไปเขียนแผนที่

-Program Surfer ใช้เขียนแผนที่

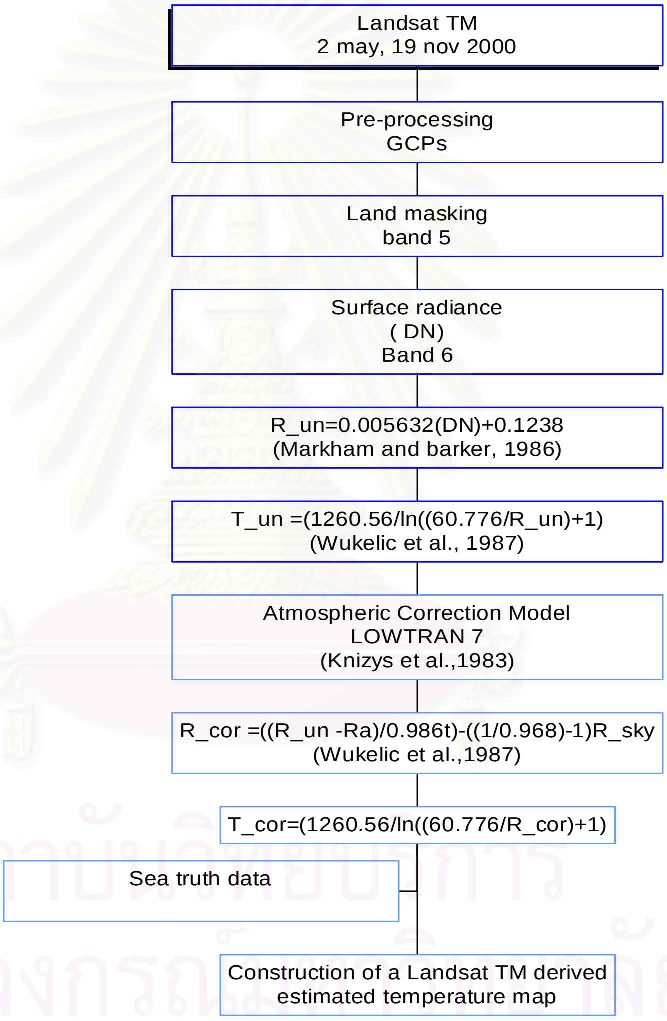
3.2.3 ใช้ระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global Positioning System : GPS) หาค่าพิกัดภูมิศาสตร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 วิธีดำเนินการศึกษา

ใช้ข้อมูลดาวเทียมเชิงตัวเลข Landsat 5 TM แสดงข้อมูลได้ 6 ช่วงคลื่น ตั้งแต่ Visible Light ถึง Thermal Infared band 1,2,3,4,5 และ 6 วันที่ 2 พฤษภาคม 2543 (path 129, low 51) และวันที่ 19 พฤศจิกายน 2543 (path 128, low 51) ในการประมวลผลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในการศึกษาการแพร่กระจายของมวลน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นโดยแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังรูป 3.3

2. วิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียม Landsat TM



รูป 3.3 ขั้นตอนการการวิเคราะห์อุณหภูมิผิวหน้าทะเลด้วยข้อมูลดาวเทียม

รายละเอียดแต่ละขั้นตอน

3.3.1 **การปรับแก้ทางเรขาคณิต** (geometric correction) เพื่อขจัดความเพี้ยนเชิงเรขาคณิตของภาพที่เกิดจากวงโคจรของดาวเทียม หรือรูปร่างของวัตถุ และการหมุนของโลก ข้อมูลแก้ไขให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องโดยเทคนิคการแปลงพิกัดแบบการเลือกจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) โดยใช้แผนที่ภูมิประเทศ มาตรส่วน 1:50,000 ในการอ้างอิง การหาจุด GCP พิจารณาจากจุดตัดของถนนจำนวน 10-20 จุด กระจายทั่วทั้งภาพและแผนที่ ซึ่งสามารถตรวจสอบความเม่นยำของการปรับแก้เชิงเรขาคณิตจากมาตรฐาน (RMS) ดังตาราง 3.4

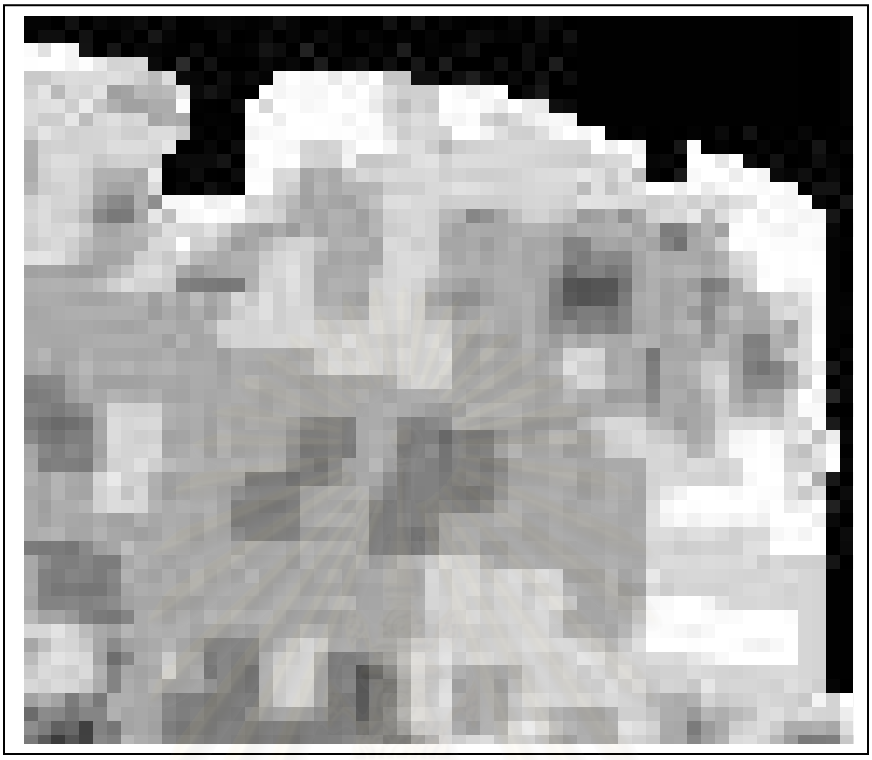
ตาราง 3.4 ผลการปรับแก้เชิงเรขาคณิต

วัน เดือน ปี	Path/Row	จำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point)	มาตรฐาน(RMS)
2 พฤษภาคม 2543	129/51	15	0.2075
19 พฤศจิกายน 2543	128/51	18	0.10895

3.3.2 Land masking เพื่อตัดพื้นที่ที่เป็นแผ่นดินทิ้ง

ในการศึกษาต้องการหาอุณหภูมิผิวหน้าทะเลเท่านั้น ดังนั้นจึงตัดพื้นที่ที่เป็นแผ่นดินออกโดยใช้ Band 5 เนื่องจาก Band 5 เป็นช่วงคลื่นอินฟราเรดที่มีค่าการสะท้อน (reflectance) ในน้ำต่ำกว่าค่าการสะท้อนบนแผ่นดิน สำหรับขอบเขตของน้ำทะเลส่วนที่ต้องการศึกษา (รูป 3.4) จะพิจารณาจากข้อมูลภาคสนาม และ จากรูป 3.5 ค่า DN ที่เป็นเลขศูนย์ใช้แสดงค่าที่เป็นแผ่นดิน ส่วนค่าตัวเลข 2 – 31 ใช้แสดงส่วนที่เป็นน้ำทะเล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 3.4 พื้นที่ที่ตัดออกโดยใช้ Band 5 (30m), 2 May 2000 (มาตราส่วน 1 : 50,000)

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	13	15	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	9	11	9	4	4	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	8	8	9	7	8	8	0	0	0	19	5	11	7	0	0	0	0	0	0	0	0
9	11	14	11	6	7	4	0	0	0	5	13	13	12	17	21	0	0	0	0	0	0
5	6	7	7	8	10	6	6	8	10	10	6	9	12	15	17	4	0	0	0	0	0
11	8	9	8	7	5	3	2	7	8	7	9	8	10	13	15	3	3	11	0	0	0
10	9	10	11	7	9	7	6	11	8	8	5	6	9	12	14	9	7	8	2	0	0
9	9	8	9	11	10	9	9	7	6	9	9	11	9	12	13	10	10	8	8	0	0
8	7	6	9	10	7	10	7	8	9	10	10	11	9	13	15	1	2	2	5	0	0

รูป 3.5 ค่า DNของน้ำทะเล Band 5 (30m), 2 May 2000

Surface Radiance (DN) ศึกษาอุณหภูมิผิวหน้าทะเล โดยหาจากค่า DN Band 6 (ค่าที่เป็นเลขศูนย์ใช้แสดงค่าที่เป็นแผ่นดิน) ดังรูป 3.6 และ รูป 3.7

124	124	124	0	0	0	126	126	126	127	128	129	0	0	0	0	0	0
124	124	124	125	125	125	125	125	125	125	126	127	128	129	0	0	0	0
124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	125	126	127	128	130	0	0	0
123	123	123	124	124	124	124	124	124	125	125	125	125	126	126	127	0	0
123	123	123	123	122	122	123	123	123	125	125	125	126	126	126	126	0	0
123	123	123	123	122	122	123	123	124	125	125	125	125	125	125	125	0	0
122	122	123	123	123	123	123	123	123	124	124	125	125	125	125	125	0	0
122	122	123	123	123	123	123	123	123	124	124	125	125	125	125	125	0	0
121	122	123	123	123	123	123	122	122	123	124	125	125	125	125	125	0	0
121	122	123	123	123	123	123	122	123	123	123	123	124	124	124	125	0	0
122	122	123	123	123	123	123	122	123	123	123	123	124	124	124	125	0	0
122	122	123	123	123	123	123	122	123	123	123	123	123	123	124	125	0	0
123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	122	122	123	123	124	125	0	0
123	123	123	122	123	123	123	123	123	123	122	122	123	124	124	125	0	0
123	123	123	122	123	123	123	124	124	123	122	122	122	123	124	126	0	0
123	123	123	122	123	123	123	124	124	123	122	122	122	123	124	126	0	0
123	123	123	122	123	123	123	123	124	123	123	123	123	124	125	126	0	0
123	123	123	123	123	123	123	123	124	123	123	123	123	124	125	126		
124	124	124	123	123	123	123	123	124	124	124	124	124	124	124	125	0	0
124	124	124	124	124	123	123	123	124	125	125	125	125	124	124	124	125	0
124	124	124	124	124	124	123	124	124	125	125	125	125	124	124	124	125	0
123	123	123	124	124	124	124	124	124	124	125	125	125	124	124	124	125	0
123	123	123	124	124	124	124	124	124	124	125	125	125	124	124	124	0	0
123	123	123	124	124	125	125	125	125	125	125	125	125	124	124	124	0	0
123	123	123	124	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	0	0

Out let

รูป 3.6 แสดงค่า DN ของอุณหภูมิผิวหน้าทะเล,band 6(120m) 2 May 2000

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

115	115	115	115	115	115	115	115	115	116	116	117	117	0	0	0	0
115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	0	0	0
115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	0	0
115	115	115	115	115	115	115	115	116	116	116	115	115	114	114	0	0
115	115	115	115	115	115	115	115	116	116	116	116	116	116	116	0	0
114	114	114	114	114	115	115	116	116	116	116	116	116	116	116	0	0
114	114	114	114	115	115	115	115	116	116	117	117	117	117	117	0	0
114	114	114	114	115	115	115	115	115	115	115	116	116	116	116	0	0
114	114	114	114	115	115	115	115	115	115	115	116	116	116	117	0	0
114	114	114	115	115	115	114	114	114	114	114	115	115	116	116	0	0
115	115	115	115	115	115	114	114	114	114	113	114	114	114	115	0	0
115	115	114	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	116	116	0	0
115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	116	116	0	0
115	114	114	115	115	115	116	116	116	115	115	115	115	116	117	0	0
115	115	115	115	115	115	116	116	116	116	116	116	116	116	117	0	0
115	114	115	115	115	115	116	116	116	116	116	116	116	116	117	0	Out let
115	115	115	115	115	115	116	116	116	116	116	116	115	116	116	0	0
115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	116	116	0	0
115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	0
115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	0
115	115	115	115	115	115	115	115	114	115	115	116	116	116	116	116	0
114	114	115	115	115	115	115	115	115	115	115	116	116	116	116	0	0
114	114	115	115	116	116	116	115	115	115	115	115	116	116	116	0	0
114	114	115	115	116	116	116	116	116	116	116	117	117	117	117	0	0
114	114	115	116	116	116	116	116	116	116	116	117	117	117	117	0	0
114	114	115	116	116	116	116	116	116	116	116	117	117	117	117	0	0

รูป 3.7 แสดงค่า DN ของอุณหภูมิผิวหน้าทะเล,band 6 (120m) 19 Nov 2000

3.3.3 ค่าเรเดียนเชิงพื้นที่ที่ยังไม่หักแก้ (Uncorrected spectral radiance : R_un)

ค่า R_un ของอุณหภูมิผิวหน้าทะเลโดยแปลงจากค่า DN ที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ Band Math ใน Program ENVI

สูตร (Markhum and Barker, 1986 cited in Wukelic, 1989)

R_un = 0.005632(DN) + 0.1238

3.3.4 ค่าอุณหภูมิที่ยังไม่หักแก้ (Uncorrected temperature in kelvin : (T_un)

ค่า T_un ของอุณหภูมิผิวหน้าทะเลโดยแปลงจากค่า R_un ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ Band Math ใน Program ENVI

สูตร (Wukelic et al., 1985 cited in Wukelic et al., 1989)

$$T_un = \left\{1260.56/\ln\left\{(60.776/R_un)+1\right\}\right.$$

<u>หมายเหตุ</u> ค่า T_un ของอุณหภูมิผิวหน้าทะเลที่คำนวณได้จะผิดไปจากค่าที่วัดจากภาคสนามมาก (ผิดจากค่าที่ตรวจวัดได้จริงประมาณ 10^0C)

3.3.5 แบบจำลองการหักแก้เชิงอากาศ (Atmospheric Correction Model)

ค่า T_un ของผิวหน้าทะเลที่ผิดพลาดไปจากค่าที่วัดได้จากภาคสนามมาก เป็นผลจากค่าผิดพลาดเชิงอากาศที่เกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ โอโซน และ aerosal ในอากาศ ค่าผิดพลาดเชิงอากาศแก้ไขได้โดยใช้ Program LOWTRAN 7 (Kneizys et al., 1983 cited in Wukelic et al., 1989) ในการหาค่า Atmospheric Transmittance (τ) และ Background Radiance (Ra) โดยการกำหนดข้อมูลใน card 1, card 2, cadr 3, card 4, และ card 5 (ภาคผนวก ก) ลงใน tape 5 ที่เป็นส่วนนำข้อมูลเข้าประมวลผลใน Program LOWTRAN 7 และค่า Atmospheric Transmittance (τ) และ Background Radiance (Ra) ที่คำนวณได้อยู่ใน tape 6 ซึ่งค่า Atmospheric Transmittance (τ) และ Background Radiance (Ra) ของวันที่ 2 พฤษภาคม 2543 และวันที่ 19 พฤศจิกายน 2543 มีค่าดังต่อไปนี้

1 ***** LOWTRAN 7 COMPUTE TRANSMITTANCE 2 MAY 2000*****

0 CARD 1 ***** 1 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.000 0.00

0 CARD 2 ***** 1 0 0 0 19 0 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

0 CARD 2A ***** 0.000 0.000 0.000 0

CIRRUS ATTENUATION INCLUDED (THIN CIRRUS)

CIRRUS THICKNESS 0.200KM

CIRRUS BASE ALTITUDE 11.000 KM

CIRRUS PROFILE EXTINCT 0.028

MODEL ATMOSPHERE NO. 1 ICLD = 19

0 CLOUD AND OR RAIN TYPE CHOSEN IS CIRRUS CLOUD

Z (KM)	P (MB)	T (K)	REL H (%)	H2O (GM M-3)	CLD AMT (GM M-3)	RAIN RATE (MM HR-1)	TYPE	AEROSOL PROFILE
0.000	1013.000	299.70	75.53	1.897E+01	0.000E+00	0.000E+00	RURAL	RURAL
1.000	904.000	293.70	72.77	1.299E+01	0.000E+00	0.000E+00	RURAL	RURAL
2.000	805.000	287.70	74.51	9.292E+00	0.000E+00	0.000E+00	RURAL	RURAL
3.000	715.000	283.70	48.25	4.692E+00	0.000E+00	0.000E+00	TROPOSPHERIC	SPRING-SUMMER
4.000	633.000	277.00	34.91	2.197E+00	0.000E+00	0.000E+00	TROPOSPHERIC	SPRING-SUMMER
5.000	559.000	270.30	37.71	1.498E+00	0.000E+00	0.000E+00	TROPOSPHERIC	SPRING-SUMMER
6.000	492.000	263.60	34.79	8.490E-01	0.000E+00	0.000E+00	TROPOSPHERIC	SPRING-SUMMER
7.000	432.000	257.00	31.98	4.691E-01	0.000E+00	0.000E+00	TROPOSPHERIC	SPRING-SUMMER
8.000	378.000	250.30	29.47	2.497E-01	0.000E+00	0.000E+00	TROPOSPHERIC	SPRING-SUMMER
9.000	329.000	243.60	25.35	1.198E-01	0.000E+00	0.000E+00	TROPOSPHERIC	SPRING-SUMMER
10.000	286.000	237.00	19.51	4.995E-02	0.000E+00	0.000E+00	TROPOSPHERIC	SPRING-SUMMER
10.990	247.366	230.17	13.21	1.718E-02	0.000E+00	0.000E+00	BACKGROUND STRATO	SPRING-SUMMER
11.010	246.640	230.03	13.09	1.679E-02	0.000E+00	0.000E+00	BACKGROUND STRATO	SPRING-SUMMER
11.190	240.231	228.85	12.12	1.375E-02	0.000E+00	0.000E+00	BACKGROUND STRATO	SPRING-SUMMER
11.210	239.528	228.72	12.01	1.345E-02	0.000E+00	0.000E+00	BACKGROUND STRATO	SPRING-SUMMER
12.000	213.000	223.60	9.25	5.991E-03	0.000E+00	0.000E+00	BACKGROUND STRATO	SPRING-SUMMER
13.000	182.000	217.00	5.88	1.798E-03	0.000E+00	0.000E+00	BACKGROUND STRATO	SPRING-SUMMER
14.000	156.000	210.30	7.41	9.989E-04	0.000E+00	0.000E+00	BACKGROUND STRATO	SPRING-SUMMER
15.000	132.000	203.70	9.92	5.612E-04	0.000E+00	0.000E+00	BACKGROUND STRATO	SPRING-SUMMER
16.000	111.000	197.00	16.77	3.660E-04	0.000E+00	0.000E+00	BACKGROUND STRATO	SPRING-SUMMER
17.000	93.700	194.80	19.24	3.020E-04	0.000E+00	0.000E+00	BACKGROUND STRATO	SPRING-SUMMER

```
18.000   78.900  198.80   8.32 2.363E-04 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
19.000   66.600  202.70   3.75 1.849E-04 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
20.000   56.500  206.70   1.82 1.539E-04 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
21.000   48.000  210.70   0.92 1.307E-04 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
22.000   40.900  214.60   0.50 1.155E-04 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
23.000   35.000  217.00   0.33 1.013E-04 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
24.000   30.000  219.20   0.24 9.481E-05 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
25.000   25.700  221.40   0.16 8.167E-05 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
30.000   12.200  232.30   0.03 4.548E-05 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
35.000    6.000  243.10   0.01 2.458E-05 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
40.000    3.050  254.00   0.00 1.352E-05 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
100.000   0.000  190.70   0.00 1.312E-10 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
0 CARD 3  *****    7.000    12.000     0.000   437.000     0.000     0.000    0
0 CARD 4  *****  900.000  1145.000     5.000
0 PROGRAM WILL COMPUTE TRANSMITTANCE
0 ATMOSPHERIC MODEL
        TEMPERATURE =    1     TROPICAL MODEL
        WATER VAPOR =    1     TROPICAL MODEL
        OZONE       =    1     TROPICAL MODEL
              M4 =     1 M5 =     1 M6 =     1 MDEF =     1
0 SLANT PATH, H1 TO H2
        H1    =      7.000 KM
        H2    =     12.000 KM
        ANGLE =      0.000 DEG
        RANGE =    437.000 KM
        BETA  =      0.000 DEG
        LEN   =      0
0 FREQUENCY RANGE
         V1 =       900.0 CM-1  (     11.11 MICROMETERS)
         V2 =      1145.0 CM-1  (      8.73 MICROMETERS)
         DV =         5.0 CM-1
1
  ATMOSPHERIC PROFILES
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I	Z (KM)	P (MB)	T (K)	N2	CNTMSLF (MOL/CM2 KM)	MOL SCAT (-)	N-1 (-)	O3 (UV) (ATM CM/KM)	O2 (UV) (ATM CM/KM)
1	0.00	1013.000	299.7	6.792E-01	1.623E+21	9.112E-01	2.609E-04	2.612E-03	3.342E+04
2	1.00	904.000	293.7	5.576E-01	7.602E+20	8.298E-01	2.379E-04	2.612E-03	2.927E+04
3	2.00	805.000	287.7	4.560E-01	3.892E+20	7.543E-01	2.164E-04	2.519E-03	2.562E+04
4	3.00	715.000	283.7	3.674E-01	9.924E+19	6.794E-01	1.951E-04	2.379E-03	2.219E+04
5	4.00	633.000	277.0	2.985E-01	2.176E+19	6.160E-01	1.771E-04	2.192E-03	1.945E+04
6	5.00	559.000	270.3	2.415E-01	1.012E+19	5.575E-01	1.603E-04	2.099E-03	1.703E+04
7	6.00	492.000	263.6	1.942E-01	3.249E+18	5.032E-01	1.447E-04	2.006E-03	1.490E+04
8	7.00	432.000	257.0	1.556E-01	9.917E+17	4.531E-01	1.303E-04	1.912E-03	1.302E+04
9	8.00	378.000	250.3	1.239E-01	2.810E+17	4.071E-01	1.171E-04	1.819E-03	1.138E+04
10	9.00	329.000	243.6	9.777E-02	6.471E+16	3.641E-01	1.047E-04	1.819E-03	9.902E+03
11	10.00	286.000	237.0	7.699E-02	1.125E+16	3.253E-01	9.356E-05	1.819E-03	8.629E+03
12	10.99	247.366	230.2	6.018E-02	1.330E+15	2.897E-01	8.332E-05	1.911E-03	7.506E+03
13	11.01	246.640	230.0	5.988E-02	1.271E+15	2.890E-01	8.313E-05	1.913E-03	7.485E+03
14	11.19	240.231	228.8	5.725E-02	8.520E+14	2.830E-01	8.139E-05	1.930E-03	7.299E+03
15	11.21	239.528	228.7	5.696E-02	8.152E+14	2.823E-01	8.119E-05	1.932E-03	7.278E+03
16	12.00	213.000	223.6	4.660E-02	1.618E+14	2.568E-01	7.385E-05	2.006E-03	6.507E+03
17	13.00	182.000	217.0	3.559E-02	1.456E+13	2.261E-01	6.503E-05	2.099E-03	5.608E+03
18	14.00	156.000	210.3	2.740E-02	4.497E+12	2.000E-01	5.751E-05	2.098E-03	4.870E+03
19	15.00	132.000	203.7	2.058E-02	1.419E+12	1.747E-01	5.024E-05	2.193E-03	4.178E+03
20	16.00	111.000	197.0	1.530E-02	6.036E+11	1.519E-01	4.368E-05	2.192E-03	3.572E+03
21	17.00	93.700	194.8	1.109E-02	4.110E+11	1.297E-01	3.729E-05	3.240E-03	3.000E+03
22	18.00	78.900	198.8	7.627E-03	2.516E+11	1.070E-01	3.077E-05	5.346E-03	2.433E+03
23	19.00	66.600	202.7	5.278E-03	1.542E+11	8.857E-02	2.547E-05	8.409E-03	1.986E+03
24	20.00	56.500	206.7	3.689E-03	1.067E+11	7.369E-02	2.119E-05	1.031E-02	1.633E+03
25	21.00	48.000	210.7	2.587E-03	7.699E+10	6.141E-02	1.766E-05	1.105E-02	1.348E+03
26	22.00	40.900	214.6	1.827E-03	6.016E+10	5.138E-02	1.478E-05	1.232E-02	1.119E+03
27	23.00	35.000	217.0	1.316E-03	4.622E+10	4.348E-02	1.250E-05	1.477E-02	9.409E+02
28	24.00	30.000	219.2	9.524E-04	4.052E+10	3.689E-02	1.061E-05	1.585E-02	7.942E+02
29	25.00	25.700	221.4	6.885E-04	3.007E+10	3.129E-02	9.000E-06	1.689E-02	6.705E+02
30	30.00	12.200	232.3	1.444E-04	9.323E+09	1.416E-02	4.072E-06	1.316E-02	2.992E+02
31	35.00	6.000	243.1	3.262E-05	2.723E+09	6.654E-03	1.914E-06	6.450E-03	1.397E+02

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

32 40.00 3.050 254.0 7.892E-06 8.236E+08 3.237E-03 9.310E-07 2.426E-03 6.779E+01

33 100.00 0.000 190.7 1.089E-13 7.763E-02 4.085E-07 1.175E-10 1.633E-08 6.532E-03

1

ATMOSPHERIC PROFILES

I	Z	P	T	CNTMFRN	HNO3	AEROSOL 1	AEROSOL 2	AEROSOL 3	AEROSOL 4	AER1*RH	CIRRUS	RH
	(KM)	(MB)	(K)	MOL/CM2 KM	ATM CM/KM	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(PERCNT)
1	0.00	1013.000	299.7	6.101E+22	4.556E-06	1.580E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.052E-01	0.000E+00	7.553E+01
2	1.00	904.000	293.7	3.828E+22	4.945E-06	9.910E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	3.274E-01	0.000E+00	7.277E+01
3	2.00	805.000	287.7	2.500E+22	5.227E-06	6.210E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.011E-01	0.000E+00	7.451E+01
4	3.00	715.000	283.7	1.145E+22	5.374E-06	0.000E+00	3.460E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	4.825E+01
5	4.00	633.000	277.0	4.881E+21	5.464E-06	0.000E+00	1.850E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	3.491E+01
6	5.00	559.000	270.3	3.015E+21	5.436E-06	0.000E+00	9.310E-03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	3.771E+01
7	6.00	492.000	263.6	1.544E+21	5.585E-06	0.000E+00	7.710E-03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	3.479E+01
8	7.00	432.000	257.0	7.690E+20	5.710E-06	0.000E+00	6.230E-03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	3.198E+01
9	8.00	378.000	250.3	3.680E+20	5.659E-06	0.000E+00	3.370E-03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.947E+01
10	9.00	329.000	243.6	1.580E+20	5.571E-06	0.000E+00	1.820E-03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.535E+01
11	10.00	286.000	237.0	5.886E+19	5.660E-06	0.000E+00	1.140E-03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.951E+01
12	10.99	247.366	230.2	1.803E+19	5.843E-06	0.000E+00	0.000E+00	8.018E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.321E+01
13	11.01	246.640	230.0	1.758E+19	5.849E-06	0.000E+00	0.000E+00	7.972E-04	0.000E+00	0.000E+00	2.800E-02	1.309E+01
14	11.19	240.231	228.8	1.409E+19	5.915E-06	0.000E+00	0.000E+00	7.662E-04	0.000E+00	0.000E+00	2.800E-02	1.212E+01
15	11.21	239.528	228.7	1.375E+19	5.922E-06	0.000E+00	0.000E+00	7.629E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.201E+01
16	12.00	213.000	223.6	5.573E+18	6.189E-06	0.000E+00	0.000E+00	6.410E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	9.253E+00
17	13.00	182.000	217.0	1.472E+18	6.240E-06	0.000E+00	0.000E+00	5.170E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.881E+00
18	14.00	156.000	210.3	7.236E+17	6.659E-06	0.000E+00	0.000E+00	4.420E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	7.410E+00
19	15.00	132.000	203.7	3.551E+17	7.896E-06	0.000E+00	0.000E+00	3.950E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	9.923E+00
20	16.00	111.000	197.0	2.014E+17	1.119E-05	0.000E+00	0.000E+00	3.820E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.677E+01
21	17.00	93.700	194.8	1.419E+17	1.699E-05	0.000E+00	0.000E+00	4.250E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.924E+01
22	18.00	78.900	198.8	9.158E+16	2.257E-05	0.000E+00	0.000E+00	5.200E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	8.321E+00
23	19.00	66.600	202.7	5.934E+16	2.808E-05	0.000E+00	0.000E+00	5.810E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	3.752E+00
24	20.00	56.500	206.7	4.107E+16	3.095E-05	0.000E+00	0.000E+00	5.890E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.818E+00
25	21.00	48.000	210.7	2.908E+16	3.034E-05	0.000E+00	0.000E+00	5.020E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	9.217E-01

26	22.00	40.900	214.6	2.150E+16	2.805E-05	0.000E+00	0.000E+00	4.200E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.033E-01
27	23.00	35.000	217.0	1.595E+16	2.496E-05	0.000E+00	0.000E+00	3.000E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	3.313E-01
28	24.00	30.000	219.2	1.267E+16	2.155E-05	0.000E+00	0.000E+00	1.980E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.401E-01
29	25.00	25.700	221.4	9.258E+15	1.756E-05	0.000E+00	0.000E+00	1.310E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.611E-01
30	30.00	12.200	232.3	2.333E+15	5.295E-06	0.000E+00	0.000E+00	3.320E-05	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.817E-02
31	35.00	6.000	243.1	5.924E+14	1.091E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.640E-05	0.000E+00	0.000E+00	5.440E-03	
32	40.00	3.050	254.0	1.585E+14	1.725E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	7.990E-06	0.000E+00	0.000E+00	1.173E-03	
33	100.00	0.000	190.7	1.942E+05	1.115E-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	9.310E-10	0.000E+00	0.000E+00	1.583E-05	

1

ATMOSPHERIC PROFILES

(IF A MOLECULE HAS MORE THAN ONE BAND, THEN THE DATA FOR THE FIRST BAND ARE SHOWN.)

-07 I	Z	P	T	H2O	O3	CO2	CO	CH4	N2O	O2	NH3	NO	NO2	SO2
	(KM)	(MB)	(K)	G/CM**2/KM	(		ATM CM/KM						)	
1	0.00	1013.000	299.7	1.84E+00	2.30E-03	3.70E+01	1.28E-02	1.61E-01	2.67E-02	1.44E+04	4.95E-05	2.85E-05	2.10E-06	2.44E-05
2	1.00	904.000	293.7	1.13E+00	2.25E-03	2.99E+01	1.05E-02	1.34E-01	2.37E-02	1.22E+04	4.04E-05	2.42E-05	1.83E-06	2.01E-05
3	2.00	805.000	287.7	7.29E-01	2.13E-03	2.40E+01	8.54E-03	1.11E-01	2.11E-02	1.03E+04	3.04E-05	2.05E-05	1.59E-06	1.56E-05
4	3.00	715.000	283.7	3.29E-01	1.95E-03	1.93E+01	6.85E-03	9.14E-02	1.84E-02	8.38E+03	2.02E-05	1.73E-05	1.36E-06	1.11E-05
5	4.00	633.000	277.0	1.38E-01	1.76E-03	1.53E+01	5.60E-03	7.52E-02	1.63E-02	7.06E+03	1.23E-05	1.45E-05	1.18E-06	7.69E-06
6	5.00	559.000	270.3	8.39E-02	1.66E-03	1.21E+01	4.66E-03	6.17E-02	1.44E-02	5.93E+03	6.99E-06	1.22E-05	1.01E-06	5.59E-06
7	6.00	492.000	263.6	4.23E-02	1.56E-03	9.43E+00	3.84E-03	5.03E-02	1.27E-02	4.95E+03	3.98E-06	1.01E-05	8.67E-07	4.12E-06
8	7.00	432.000	257.0	2.07E-02	1.46E-03	7.35E+00	3.08E-03	4.08E-02	1.11E-02	4.12E+03	2.14E-06	8.43E-06	7.41E-07	3.15E-06
9	8.00	378.000	250.3	9.77E-03	1.36E-03	5.69E+00	2.42E-03	3.29E-02	9.73E-03	3.42E+03	1.10E-06	6.97E-06	6.30E-07	2.44E-06
10	9.00	329.000	243.6	4.13E-03	1.33E-03	4.36E+00	1.83E-03	2.63E-02	8.46E-03	2.81E+03	5.01E-07	5.72E-06	5.38E-07	1.97E-06
11	10.00	286.000	237.0	1.51E-03	1.30E-03	3.34E+00	1.37E-03	2.09E-02	7.32E-03	2.31E+03	2.10E-07	4.69E-06	4.65E-07	1.62E-06
12	10.99	247.366	230.2	4.56E-04	1.34E-03	2.52E+00	1.00E-03	1.65E-02	6.26E-03	1.89E+03	8.76E-08	3.81E-06	4.30E-07	1.37E-06
13	11.01	246.640	230.0	4.44E-04	1.34E-03	2.51E+00	9.97E-04	1.64E-02	6.24E-03	1.88E+03	8.61E-08	3.80E-06	4.29E-07	1.36E-06
14	11.19	240.231	228.8	3.55E-04	1.35E-03	2.38E+00	9.39E-04	1.57E-02	6.07E-03	1.81E+03	7.40E-08	3.66E-06	4.25E-07	1.32E-06
15	11.21	239.528	228.7	3.47E-04	1.35E-03	2.37E+00	9.33E-04	1.56E-02	6.05E-03	1.80E+03	7.28E-08	3.64E-06	4.25E-07	1.32E-06
16	12.00	213.000	223.6	1.39E-04	1.38E-03	1.89E+00	7.05E-04	1.29E-02	5.31E-03	1.53E+03	3.85E-08	3.08E-06	4.31E-07	1.16E-06
17	13.00	182.000	217.0	3.60E-05	1.41E-03	1.40E+00	4.59E-04	9.91E-03	4.47E-03	1.22E+03	1.44E-08	2.46E-06	5.03E-07	1.01E-06
18	14.00	156.000	210.3	1.74E-05	1.38E-03	1.04E+00	2.91E-04	7.66E-03	3.78E-03	9.85E+02	3.90E-09	1.95E-06	7.03E-07	8.97E-07
19	15.00	132.000	203.7	8.38E-06	1.40E-03	7.58E-01	1.79E-04	5.78E-03	3.13E-03	7.75E+02	1.16E-09	1.47E-06	1.31E-06	7.91E-07

20	16.00	111.000	197.0	4.66E-06	1.36E-03	5.44E-01	1.09E-04	4.32E-03	2.57E-03	6.06E+02	4.03E-10	1.09E-06	1.98E-06	6.81E-07
21	17.00	93.700	194.8	3.27E-06	1.91E-03	4.04E-01	6.69E-05	3.19E-03	2.01E-03	4.38E+02	1.55E-10	7.95E-07	2.57E-06	5.24E
22	18.00	78.900	198.8	2.15E-06	2.85E-03	3.11E-01	3.77E-05	2.30E-03	1.47E-03	2.77E+02	6.92E-11	5.76E-07	2.95E-06	3.57E-07
23	19.00	66.600	202.7	1.41E-06	4.06E-03	2.40E-01	2.13E-05	1.66E-03	1.06E-03	1.77E+02	3.01E-11	4.48E-07	3.14E-06	2.28E-07
24	20.00	56.500	206.7	9.94E-07	4.52E-03	1.87E-01	1.33E-05	1.19E-03	7.59E-04	1.14E+02	1.36E-11	3.60E-07	3.22E-06	1.42E-07
25	21.00	48.000	210.7	7.15E-07	4.40E-03	1.46E-01	8.94E-06	8.46E-04	5.42E-04	7.41E+01	8.05E-12	3.02E-07	3.19E-06	9.19E-08
26	22.00	40.900	214.6	5.37E-07	4.48E-03	1.14E-01	6.54E-06	5.97E-04	3.92E-04	4.86E+01	5.40E-12	2.60E-07	3.07E-06	6.13E-08
27	23.00	35.000	217.0	4.03E-07	4.95E-03	8.93E-02	5.18E-06	4.25E-04	2.97E-04	3.30E+01	3.76E-12	2.39E-07	2.92E-06	4.44E-08
28	24.00	30.000	219.2	3.23E-07	4.91E-03	6.99E-02	4.16E-06	3.05E-04	2.25E-04	2.27E+01	2.58E-12	2.35E-07	2.77E-06	3.26E-08
29	25.00	25.700	221.4	2.38E-07	4.83E-03	5.47E-02	3.38E-06	2.19E-04	1.67E-04	1.55E+01	1.67E-12	2.80E-07	2.70E-06	2.40E-08
30	30.00	12.200	232.3	6.29E-08	2.58E-03	1.67E-02	1.10E-06	5.15E-05	4.38E-05	2.51E+00	2.24E-13	3.14E-07	1.50E-06	6.30E-09
31	35.00	6.000	243.1	1.67E-08	8.80E-04	5.41E-03	3.66E-07	1.21E-05	9.88E-06	4.44E-01	1.78E-14	3.02E-07	6.32E-07	1.97E-09
32	40.00	3.050	254.0	4.65E-09	2.34E-04	1.85E-03	1.29E-07	2.80E-06	1.74E-06	8.49E-02	8.44E-16	1.65E-07	1.31E-07	8.71E-10
33	100.00	0.000	190.7	5.62E-18	4.80E-11	1.45E-10	9.63E-12	8.96E-14	6.36E-14	3.20E-10	2.44E-25	2.57E-11	1.75E-14	2.70E-16

CASE 2C: GIVEN H1, H2, RANGE

NOTE: ANGLE IS COMPUTED FROM H1, H2, AND RANGE ASSUMING NO REFRACTION

CASE 2D: GIVEN H1, H2, BETA:

ITERATE AROUND ANGLE UNTIL BETA CONVERGES

ITER	ANGLE (DEG)	BETA (DEG)	DBETA (DEG)	RANGE (KM)	HMIN (KM)	PHI (DEG)	BENDING (DEG)
0	91.3049	3.9202	0.0000	437.000	5.344	0.0000	0.0000
1	91.3049	4.2290	-0.3088	471.409	5.170	92.5436	0.3805
2	91.1290	3.9294	-0.0092	438.028	5.633	92.4580	0.3424
3	91.1235	3.9201	0.0000	437.000	5.647	92.4554	0.3413

SLANT PATH PARAMETERS IN STANDARD FORM

H1 = 7.000 KM

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

H2 = 12.000 KM

ANGLE = 91.123 DEG

PHI = 92.455 DEG

HMIN = 5.647 KM

LEN = 1

1CALCULATION OF THE REFRACTED PATH THROUGH THE ATMOSPHERE

I	ALTITUDE FROM (KM)	TO (KM)	THETA (DEG)	DRANGE (KM)	RANGE (KM)	DBETA (DEG)	BETA (DEG)	PHI (DEG)	DBEND (DEG)	BENDING (DEG)	PBAR (MB)	TBAR (K)	RHOBAR (GM CM-3)

TANGENT H1

HEIGHT

1	5.647	6.000	90.000	70.695	70.695	0.634	0.634	90.573	0.061	0.061	507.119	265.19	6.66E-04
2	6.000	7.000	89.427	67.577	138.271	0.606	1.241	91.123	0.056	0.117	465.103	260.70	6.21E-04

0 DOUBLE RANGE, BETA, BENDING

FOR SYMMETRIC PART OF PATH 276.543 2.482 0.235

H1 TO H2

3	7.000	8.000	88.877	43.944	320.487	0.394	2.876	91.484	0.033	0.268	406.129	253.85	5.57E-04
4	8.000	9.000	88.516	35.167	355.654	0.315	3.191	91.775	0.025	0.293	354.113	247.10	4.99E-04
5	9.000	10.000	88.225	30.172	385.826	0.270	3.462	92.026	0.019	0.312	307.873	240.42	4.46E-04
6	10.000	10.990	87.974	26.559	412.385	0.238	3.700	92.248	0.016	0.328	266.911	233.69	3.97E-04
7	10.990	11.010	87.752	0.487	412.871	0.004	3.704	92.252	0.000	0.328	247.003	230.10	3.74E-04
8	11.010	11.190	87.748	4.561	417.433	0.041	3.745	92.291	0.003	0.331	243.432	229.44	3.70E-04
9	11.190	11.210	87.709	0.497	417.930	0.004	3.749	92.295	0.000	0.331	239.879	228.78	3.65E-04
10	11.210	12.000	87.705	19.070	437.000	0.171	3.920	92.455	0.010	0.341	226.350	226.22	3.48E-04

CUMULATIVE ABSORBER AMOUNTS FOR THE PATH FROM H1 TO Z

J	Z (KM)	TBAR (K)	HNO3 (ATM CM)	O3 UV (ATM CM)	CNTMSLF1 (MOL CM-2)	CNTMSLF2 (MOL CM-2)	CNTMFRN (MOL CM-2)	O2 (MOL CM-2)
1	6.000	260.70	3.812E-04	1.327E-01	1.368E+20	1.342E+20	7.799E+22	9.488E+05
2	5.647	265.19	7.735E-04	2.760E-01	4.389E+20	3.927E+20	2.061E+23	2.036E+06
3	6.000	265.19	1.166E-03	4.193E-01	7.409E+20	6.512E+20	3.341E+23	3.123E+06
4	7.000	260.70	1.547E-03	5.520E-01	8.777E+20	7.854E+20	4.121E+23	4.072E+06
5	8.000	253.85	1.797E-03	6.341E-01	9.032E+20	8.109E+20	4.364E+23	4.609E+06
6	9.000	247.10	1.994E-03	6.981E-01	9.085E+20	8.161E+20	4.453E+23	4.983E+06
7	10.000	240.42	2.164E-03	7.529E-01	9.094E+20	8.171E+20	4.484E+23	5.262E+06
8	10.990	233.69	2.316E-03	8.025E-01	9.096E+20	8.172E+20	4.493E+23	5.477E+06
9	11.010	230.10	2.319E-03	8.034E-01	9.096E+20	8.172E+20	4.493E+23	5.480E+06
10	11.190	229.44	2.346E-03	8.122E-01	9.096E+20	8.172E+20	4.494E+23	5.514E+06
11	11.210	228.78	2.349E-03	8.131E-01	9.096E+20	8.172E+20	4.494E+23	5.518E+06
12	12.000	226.22	2.465E-03	8.507E-01	9.096E+20	8.172E+20	4.495E+23	5.649E+06

J	Z (KM)	N2 CONT	MOL SCAT	AER 1	AER 2	AER 3	AER 4	CIRRUS
1	6.000	1.191E+01	3.246E+01	0.000E+00	4.746E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2	5.647	2.637E+01	6.891E+01	0.000E+00	1.045E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3	6.000	4.082E+01	1.053E+02	0.000E+00	1.614E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
4	7.000	5.274E+01	1.378E+02	0.000E+00	2.089E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
5	8.000	5.888E+01	1.567E+02	0.000E+00	2.296E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6	9.000	6.278E+01	1.703E+02	0.000E+00	2.386E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
7	10.000	6.541E+01	1.807E+02	0.000E+00	2.430E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
8	10.990	6.722E+01	1.889E+02	0.000E+00	2.445E+00	1.047E-02	0.000E+00	0.000E+00
9	11.010	6.725E+01	1.890E+02	0.000E+00	2.445E+00	1.086E-02	0.000E+00	6.815E-03
10	11.190	6.752E+01	1.903E+02	0.000E+00	2.445E+00	1.443E-02	0.000E+00	1.345E-01
11	11.210	6.755E+01	1.905E+02	0.000E+00	2.445E+00	1.481E-02	0.000E+00	1.415E-01
12	12.000	6.853E+01	1.956E+02	0.000E+00	2.445E+00	2.817E-02	0.000E+00	1.415E-01

J	Z	H2O	O3	CO2	CO	CH4	N2O	O2	NH3	NO	NO2	SO2
	(KM)	(G/CM**2)	(			ATM CM						)
1	6.00	2.12E+00	1.02E-01	5.72E+02	2.36E-01	3.10E+00	8.08E-01	3.09E+05	2.07E-04	6.32E-04	5.47E-05	2.48E-04
2	5.65	5.64E+00	2.14E-01	1.28E+03	5.20E-01	6.83E+00	1.73E+00	6.74E+05	5.29E-04	1.38E-03	1.18E-04	5.61E-04
3	6.00	9.17E+00	3.25E-01	1.99E+03	8.03E-01	1.06E+01	2.65E+00	1.04E+06	8.51E-04	2.13E-03	1.82E-04	8.75E-04
4	7.00	1.13E+01	4.27E-01	2.56E+03	1.04E+00	1.37E+01	3.46E+00	1.35E+06	1.06E-03	2.76E-03	2.37E-04	1.12E-03
5	8.00	1.19E+01	4.89E-01	2.84E+03	1.16E+00	1.53E+01	3.92E+00	1.51E+06	1.13E-03	3.10E-03	2.67E-04	1.25E-03
6	9.00	1.22E+01	5.37E-01	3.02E+03	1.23E+00	1.63E+01	4.24E+00	1.62E+06	1.15E-03	3.32E-03	2.87E-04	1.32E-03
7	10.00	1.23E+01	5.76E-01	3.14E+03	1.28E+00	1.70E+01	4.48E+00	1.70E+06	1.16E-03	3.48E-03	3.02E-04	1.38E-03
8	10.99	1.23E+01	6.11E-01	3.21E+03	1.31E+00	1.75E+01	4.66E+00	1.76E+06	1.17E-03	3.59E-03	3.14E-04	1.42E-03
9	11.01	1.23E+01	6.12E-01	3.21E+03	1.31E+00	1.75E+01	4.66E+00	1.76E+06	1.17E-03	3.59E-03	3.15E-04	1.42E-03
10	11.19	1.23E+01	6.18E-01	3.23E+03	1.32E+00	1.76E+01	4.69E+00	1.77E+06	1.17E-03	3.61E-03	3.16E-04	1.42E-03
11	11.21	1.23E+01	6.19E-01	3.23E+03	1.32E+00	1.76E+01	4.69E+00	1.77E+06	1.17E-03	3.61E-03	3.17E-04	1.42E-03
12	12.00	1.23E+01	6.45E-01	3.27E+03	1.34E+00	1.79E+01	4.80E+00	1.80E+06	1.17E-03	3.68E-03	3.25E-04	1.45E-03

0SUMMARY OF THE GEOMETRY CALCULATION

H1 = 7.000 KM

H2 = 12.000 KM

ANGLE = 91.123 DEG

RANGE = 437.000 KM

BETA = 3.920 DEG

PHI = 92.455 DEG

HMIN = 5.647 KM

BENDING = 0.341 DEG

LEN = 1

EQUIVALENT SEA LEVEL TOTAL ABSORBER AMOUNTS

HNO3	O3 UV	CNTMSLF1	CNTMSLF2	CNTMFRN	
(ATM CM)	(ATM CM)	(MOL CM-2)	(MOL CM-2)	(MOL CM-2)	(MOL CM-2)
2.465E-03	8.507E-01	9.096E+20	8.172E+20	4.495E+23	

N2 CONT	MOL SCAT	AER 1	AER 2	AER 3	AER 4	CIRRUS	MEAN RH
							(PRCNT)
6.853E+01	1.956E+02	0.000E+00	2.445E+00	2.817E-02	0.000E+00	1.415E-01	0.00

H2O	O3	CO2	CO	CH4	N2O	O2
(G/CM**2)	(		ATM CM			)
1.228E+01	6.449E-01	3.268E+03	1.335E+00	1.789E+01	4.799E+00	1.798E+06

NH3	NO	NO2	SO2
(	ATM CM		)
1.170E-03	3.676E-03	3.248E-04	1.448E-03

1

FREQ	WAVELENGTH	TOTAL	H2O	CO2+	OZONE	TRACE	N2 CONT	H2O CONT	MOL SCAT	AER-HYD	HNO3	AER-HYD	INTEGRATED
1/CM	MICRONS	TRANS	TRANS	TRANS	TRANS	TRANS	TRANS	TRANS	TRANS	TRANS	TRANS	ABS	ABSORPTION
900.	11.111	0.4233	0.8899	0.9504	1.0000	0.9967	1.0000	0.5884	1.0000	0.8757	0.9745	0.0935	1.442
905.	11.050	0.4263	0.8891	0.9379	1.0000	0.9964	1.0000	0.5949	1.0000	0.8786	0.9817	0.0921	4.310
910.	10.989	0.4206	0.8752	0.9248	1.0000	0.9953	1.0000	0.6014	1.0000	0.8815	0.9850	0.0907	7.207

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

915.	10.929	0.4178	0.8718	0.9101	1.0000	0.9924	1.0000	0.6075	1.0000	0.8841	0.9880	0.0892	10.118
920.	10.870	0.4150	0.8718	0.8917	1.0000	0.9879	1.0000	0.6137	1.0000	0.8867	0.9930	0.0877	13.043
925.	10.811	0.4167	0.8859	0.8683	1.0000	0.9835	1.0000	0.6193	1.0000	0.8893	1.0000	0.0862	15.960
930.	10.753	0.4173	0.9099	0.8383	1.0000	0.9814	1.0000	0.6250	1.0000	0.8918	1.0000	0.0847	18.873
935.	10.695	0.4099	0.9187	0.8042	1.0000	0.9841	1.0000	0.6303	1.0000	0.8944	1.0000	0.0832	21.824
940.	10.638	0.4007	0.9172	0.7749	0.9999	0.9888	1.0000	0.6358	1.0000	0.8969	1.0000	0.0817	24.820
945.	10.582	0.3944	0.9070	0.7617	0.9996	0.9916	1.0000	0.6407	1.0000	0.8987	1.0000	0.0803	27.849
950.	10.526	0.3923	0.8960	0.7633	0.9989	0.9914	1.0000	0.6457	1.0000	0.8970	1.0000	0.0793	30.887
955.	10.471	0.3935	0.8880	0.7714	0.9971	0.9892	1.0000	0.6505	1.0000	0.8953	1.0000	0.0782	33.920
960.	10.417	0.3921	0.8823	0.7753	0.9930	0.9858	1.0000	0.6554	1.0000	0.8936	1.0000	0.0772	36.959
965.	10.363	0.3817	0.8780	0.7621	0.9850	0.9844	1.0000	0.6597	1.0000	0.8919	1.0000	0.0762	40.050
970.	10.309	0.3677	0.8707	0.7448	0.9707	0.9881	1.0000	0.6641	1.0000	0.8902	1.0000	0.0752	43.212
975.	10.256	0.3626	0.8741	0.7436	0.9472	0.9922	1.0000	0.6681	1.0000	0.8885	1.0000	0.0742	46.399
980.	10.204	0.3725	0.8951	0.7693	0.9117	0.9952	1.0000	0.6721	1.0000	0.8869	1.0000	0.0732	49.537
985.	10.152	0.3860	0.9152	0.8216	0.8609	0.9970	1.0000	0.6757	1.0000	0.8853	1.0000	0.0722	52.606
990.	10.101	0.3876	0.9318	0.8804	0.7896	0.9969	1.0000	0.6793	1.0000	0.8837	1.0000	0.0712	55.668
995.	10.050	0.3591	0.9327	0.9275	0.6922	0.9961	1.0000	0.6826	1.0000	0.8821	1.0000	0.0703	58.873
1000.	10.000	0.2964	0.9131	0.9570	0.5641	0.9955	1.0000	0.6859	1.0000	0.8806	1.0000	0.0693	62.391
1005.	9.950	0.2160	0.8925	0.9701	0.4162	0.9950	1.0000	0.6889	1.0000	0.8747	1.0000	0.0730	66.311
1010.	9.901	0.1411	0.8804	0.9697	0.2765	0.9946	1.0000	0.6920	1.0000	0.8688	1.0000	0.0767	70.605
1015.	9.852	0.0853	0.8682	0.9586	0.1718	0.9945	1.0000	0.6945	1.0000	0.8631	1.0000	0.0803	75.179
1020.	9.804	0.0521	0.8702	0.9383	0.1074	0.9942	1.0000	0.6971	1.0000	0.8574	1.0000	0.0839	79.918
1025.	9.756	0.0355	0.8708	0.9094	0.0758	0.9938	1.0000	0.6992	1.0000	0.8519	1.0000	0.0874	84.741
1030.	9.709	0.0304	0.8713	0.8724	0.0678	0.9931	1.0000	0.7013	1.0000	0.8464	1.0000	0.0909	89.589
1035.	9.662	0.0281	0.8829	0.8290	0.0654	0.9925	1.0000	0.7029	1.0000	0.8410	1.0000	0.0943	94.448
1040.	9.615	0.0259	0.8850	0.7836	0.0639	0.9922	1.0000	0.7045	1.0000	0.8358	1.0000	0.0977	99.319
1045.	9.569	0.0230	0.8833	0.7451	0.0600	0.9920	1.0000	0.7060	1.0000	0.8305	1.0000	0.1010	104.204
1050.	9.524	0.0194	0.8689	0.7220	0.0533	0.9921	1.0000	0.7074	1.0000	0.8254	1.0000	0.1043	109.107
1055.	9.479	0.0253	0.8539	0.7106	0.0723	0.9923	1.0000	0.7085	1.0000	0.8204	1.0000	0.1076	113.981
1060.	9.434	0.0523	0.8370	0.7049	0.1545	0.9923	1.0000	0.7096	1.0000	0.8154	1.0000	0.1108	118.719
1065.	9.390	0.1237	0.8300	0.6929	0.3769	0.9921	1.0000	0.7099	1.0000	0.8105	1.0000	0.1139	123.101
1070.	9.346	0.2082	0.8418	0.6686	0.6520	0.9919	1.0000	0.7101	1.0000	0.8057	1.0000	0.1171	127.059
1075.	9.302	0.2460	0.8468	0.6519	0.7907	0.9916	1.0000	0.7095	1.0000	0.8010	1.0000	0.1201	130.829
1080.	9.259	0.2727	0.8648	0.6618	0.8510	0.9916	1.0000	0.7089	1.0000	0.7963	1.0000	0.1232	134.466

1085.	9.217	0.2982	0.8613	0.7091	0.8782	0.9918	1.0000	0.7081	1.0000	0.7917	1.0000	0.1262	137.975
1090.	9.174	0.3264	0.8412	0.7861	0.8893	0.9922	1.0000	0.7072	1.0000	0.7911	1.0000	0.1250	141.343
1095.	9.132	0.3501	0.8141	0.8646	0.8952	0.9925	1.0000	0.7060	1.0000	0.7930	1.0000	0.1210	144.592
1100.	9.091	0.3578	0.7725	0.9249	0.9005	0.9927	1.0000	0.7048	1.0000	0.7949	1.0000	0.1171	147.803
1105.	9.050	0.3592	0.7468	0.9596	0.9032	0.9927	1.0000	0.7017	1.0000	0.7968	1.0000	0.1132	151.007
1110.	9.009	0.3580	0.7390	0.9710	0.9008	0.9926	1.0000	0.6986	1.0000	0.7987	1.0000	0.1093	154.217
1115.	8.969	0.3581	0.7547	0.9616	0.8939	0.9925	1.0000	0.6964	1.0000	0.7986	1.0000	0.1079	157.427
1120.	8.929	0.3433	0.7548	0.9341	0.8857	0.9923	1.0000	0.6943	1.0000	0.7979	1.0000	0.1072	160.711
1125.	8.889	0.3255	0.7573	0.8922	0.8809	0.9923	1.0000	0.6913	1.0000	0.7973	1.0000	0.1066	164.083
1130.	8.850	0.3028	0.7522	0.8375	0.8835	0.9924	1.0000	0.6882	1.0000	0.7966	1.0000	0.1059	167.569
1135.	8.811	0.2650	0.7124	0.7708	0.8928	0.9926	1.0000	0.6839	1.0000	0.7960	1.0000	0.1053	171.244
1140.	8.772	0.2432	0.7131	0.7008	0.9065	0.9930	1.0000	0.6795	1.0000	0.7954	1.0000	0.1046	175.028
1145.	8.734	0.2243	0.7187	0.6390	0.9204	0.9935	1.0000	0.6721	1.0000	0.7948	1.0000	0.1040	176.968

0INTEGRATED ABSORPTION FROM 900 TO 1145 CM-1 = 176.97 CM-1

AVERAGE TRANSMITTANCE =0.2757

0 CARD 5 ***** 0

1 ***** LOWTRAN 7 COMPUTE RADIANCE 2MAY 2000*****

0 CARD 1 ***** 1 3 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 306.500 0.00

0 CARD 2 ***** 1 0 0 0 0 0 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

0 CARD 3 ***** 0.000 0.000 80.000 0.000 0.000 0.000 0

0 CARD 4 ***** 740.000 1145.000 5.000

0 PROGRAM WILL COMPUTE RADIANCE

0 ATMOSPHERIC MODEL

TEMPERATURE = 1 TROPICAL MODEL

WATER VAPOR = 1 TROPICAL MODEL

OZONE = 1 TROPICAL MODEL

M4 = 1 M5 = 1 M6 = 1 MDEF = 1

0 AEROSOL MODEL

REGIME AEROSOL TYPE PROFILE SEASON

BOUNDARY LAYER (0-2 KM) RURAL 23.0 KM VIS AT SEA LEVEL

TROPOSPHERE (2-10KM) TROPOSPHERIC TROPOSPHERIC SPRING-SUMMER

STRATOSPHERE (10-30KM) BACKGROUND STRATO BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER

UPPER ATMOS (30-100KM) METEORIC DUST NORMAL

0 SLANT PATH TO SPACE

H1 = 0.000 KM

HMIN = 0.000 KM

ANGLE = 80.000 DEG

0 FREQUENCY RANGE

V1 = 740.0 CM-1 (13.51 MICROMETERS)

V2 = 1145.0 CM-1 (8.73 MICROMETERS)

DV = 5.0 CM-1

1

ATMOSPHERIC PROFILES

I Z P T N2 CNTMSLF MOL SCAT N-1 O3 (UV) O2 (UV)

(KM) (MB) (K) (MOL/CM2 KM) (-) (-) (ATM CM/KM) (ATM CM/KM)

1 RADIANCE(WATTS/CM2-STER-XXX)

0 FREQ WAVLEN ATMOS RADIANCE INTEGRAL TOTAL

(CM-1) (MICRN) (CM-1) (MICRN) (CM-1) TRANS

990.	10.101	9.38E-06	9.20E-04	2.94E-03	0.0787
995.	10.050	9.24E-06	9.15E-04	2.99E-03	0.0755
1000.	10.000	9.08E-06	9.08E-04	3.03E-03	0.0657
1005.	9.950	8.91E-06	9.00E-04	3.08E-03	0.0526
1010.	9.901	8.74E-06	8.92E-04	3.12E-03	0.0389
1015.	9.852	8.60E-06	8.86E-04	3.16E-03	0.0271
1020.	9.804	8.49E-06	8.83E-04	3.21E-03	0.0194
1025.	9.756	8.39E-06	8.81E-04	3.25E-03	0.0150
1030.	9.709	8.30E-06	8.81E-04	3.29E-03	0.0138
1035.	9.662	8.21E-06	8.80E-04	3.33E-03	0.0136

1040.	9.615	8.13E-06	8.79E-04	3.37E-03	0.0133
1045.	9.569	8.05E-06	8.79E-04	3.41E-03	0.0125
1050.	9.524	7.98E-06	8.80E-04	3.45E-03	0.0112
1055.	9.479	7.90E-06	8.80E-04	3.49E-03	0.0137
1060.	9.434	7.85E-06	8.83E-04	3.53E-03	0.0238
1065.	9.390	7.88E-06	8.94E-04	3.57E-03	0.0459
1070.	9.346	7.93E-06	9.08E-04	3.61E-03	0.0700
1075.	9.302	7.91E-06	9.14E-04	3.65E-03	0.0810
1080.	9.259	7.85E-06	9.16E-04	3.69E-03	0.0894
1085.	9.217	7.79E-06	9.17E-04	3.73E-03	0.0942
1090.	9.174	7.72E-06	9.17E-04	3.77E-03	0.0969
1095.	9.132	7.65E-06	9.17E-04	3.81E-03	0.0974
1100.	9.091	7.57E-06	9.16E-04	3.84E-03	0.0938
1105.	9.050	7.50E-06	9.15E-04	3.88E-03	0.0908
1110.	9.009	7.42E-06	9.14E-04	3.92E-03	0.0896
1115.	8.969	7.33E-06	9.11E-04	3.95E-03	0.0915
1120.	8.929	7.24E-06	9.09E-04	3.99E-03	0.0898
1125.	8.889	7.16E-06	9.06E-04	4.03E-03	0.0879
1130.	8.850	7.08E-06	9.04E-04	4.06E-03	0.0848
1135.	8.811	7.00E-06	9.02E-04	4.10E-03	0.0758
1140.	8.772	6.92E-06	9.00E-04	4.13E-03	0.0734
1145.	8.734	6.84E-06	8.97E-04	4.15E-03	0.0713

0INTEGRATED ABSORPTION FROM 740 TO 1145 CM-1 = 389.30 CM-1

AVERAGE TRANSMITTANCE =0.0388

0INTEGRATED RADIANCE = 4.148E-03 WATTS CM-2 STER-1

MINIMUM RADIANCE = 6.843E-06 WATTS CM-2 STER-1 (CM-1)-1 AT 1145.0 CM-1

MAXIMUM RADIANCE = 1.372E-05 WATTS CM-2 STER-1 (CM-1)-1 AT 740.0 CM-1

BOUNDARY TEMPERATURE = 306.50 K

BOUNDARY EMISSIVITY = 1.000

0 CARD 5 ***** 0

1 ***** LOWTRAN 7 COMPUTE TRANSMITTANCE 19 NOV 2000*****

0 CARD 1 ***** 1 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.000 0.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

0 CARD 2 ***** 1 0 0 0 19 0 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

0 CARD 2A ***** 0.000 0.000 0.000 0

CIRRUS ATTENUATION INCLUDED (THIN CIRRUS)

CIRRUS THICKNESS 0.200KM

CIRRUS BASE ALTITUDE 11.000 KM

CIRRUS PROFILE EXTINCT 0.028

MODEL ATMOSPHERE NO. 1 ICLD = 19

0 CLOUD AND OR RAIN TYPE CHOSEN IS CIRRUS CLOUD

Z	P	T	REL H	H2O	CLD AMT	RAIN RATE	AEROSOL	
(KM)	(MB)	(K)	(%)	(GM M-3)	(GM M-3)	(MM HR-1)	TYPE	PROFILE
0.000	1013.000	299.70	75.53	1.897E+01	0.000E+00	0.000E+00	RURAL	RURAL
1.000	904.000	293.70	72.77	1.299E+01	0.000E+00	0.000E+00	RURAL	RURAL
2.000	805.000	287.70	74.51	9.292E+00	0.000E+00	0.000E+00	RURAL	RURAL
3.000	715.000	283.70	48.25	4.692E+00	0.000E+00	0.000E+00	TROPOSPHERIC	SPRING-SUMMER
4.000	633.000	277.00	34.91	2.197E+00	0.000E+00	0.000E+00	TROPOSPHERIC	SPRING-SUMMER
5.000	559.000	270.30	37.71	1.498E+00	0.000E+00	0.000E+00	TROPOSPHERIC	SPRING-SUMMER
6.000	492.000	263.60	34.79	8.490E-01	0.000E+00	0.000E+00	TROPOSPHERIC	SPRING-SUMMER
7.000	432.000	257.00	31.98	4.691E-01	0.000E+00	0.000E+00	TROPOSPHERIC	SPRING-SUMMER
8.000	378.000	250.30	29.47	2.497E-01	0.000E+00	0.000E+00	TROPOSPHERIC	SPRING-SUMMER
9.000	329.000	243.60	25.35	1.198E-01	0.000E+00	0.000E+00	TROPOSPHERIC	SPRING-SUMMER
10.000	286.000	237.00	19.51	4.995E-02	0.000E+00	0.000E+00	TROPOSPHERIC	SPRING-SUMMER
10.990	247.366	230.17	13.21	1.718E-02	0.000E+00	0.000E+00	BACKGROUND STRATO	SPRING-SUMMER
11.010	246.640	230.03	13.09	1.679E-02	0.000E+00	0.000E+00	BACKGROUND STRATO	SPRING-SUMMER
11.190	240.231	228.85	12.12	1.375E-02	0.000E+00	0.000E+00	BACKGROUND STRATO	SPRING-SUMMER
11.210	239.528	228.72	12.01	1.345E-02	0.000E+00	0.000E+00	BACKGROUND STRATO	SPRING-SUMMER
12.000	213.000	223.60	9.25	5.991E-03	0.000E+00	0.000E+00	BACKGROUND STRATO	SPRING-SUMMER
13.000	182.000	217.00	5.88	1.798E-03	0.000E+00	0.000E+00	BACKGROUND STRATO	SPRING-SUMMER
14.000	156.000	210.30	7.41	9.989E-04	0.000E+00	0.000E+00	BACKGROUND STRATO	SPRING-SUMMER
15.000	132.000	203.70	9.92	5.612E-04	0.000E+00	0.000E+00	BACKGROUND STRATO	SPRING-SUMMER
16.000	111.000	197.00	16.77	3.660E-04	0.000E+00	0.000E+00	BACKGROUND STRATO	SPRING-SUMMER
17.000	93.700	194.80	19.24	3.020E-04	0.000E+00	0.000E+00	BACKGROUND STRATO	SPRING-SUMMER

```
  18.000   78.900  198.80   8.32 2.363E-04 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
  19.000   66.600  202.70   3.75 1.849E-04 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
  20.000   56.500  206.70   1.82 1.539E-04 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
  21.000   48.000  210.70   0.92 1.307E-04 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
  22.000   40.900  214.60   0.50 1.155E-04 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
  23.000   35.000  217.00   0.33 1.013E-04 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
  24.000   30.000  219.20   0.24 9.481E-05 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
  25.000   25.700  221.40   0.16 8.167E-05 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
  30.000   12.200  232.30   0.03 4.548E-05 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
  35.000    6.000  243.10   0.01 2.458E-05 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
  40.000    3.050  254.00   0.00 1.352E-05 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
 100.000    0.000  190.70   0.00 1.312E-10 0.000E+00 0.000E+00 BACKGROUND STRATO SPRING-SUMMER
0 CARD 3  *****    7.000    12.000     0.000   424.000     0.000     0.000    0
0 CARD 4  *****   740.000  1145.000     5.000
0 PROGRAM WILL COMPUTE TRANSMITTANCE
0 ATMOSPHERIC MODEL
        TEMPERATURE =    1     TROPICAL MODEL
        WATER VAPOR =    1     TROPICAL MODEL
        OZONE       =    1     TROPICAL MODEL
                  M4 =     1 M5 =     1 M6 =     1 MDEF =     1
0 SLANT PATH, H1 TO H2
        H1    =      7.000 KM
        H2    =     12.000 KM
        ANGLE =      0.000 DEG
        RANGE =    424.000 KM
        BETA  =      0.000 DEG
        LEN   =     0
0 FREQUENCY RANGE
         V1 =       740.0 CM-1  (     13.51 MICROMETERS)
         V2 =      1145.0 CM-1  (      8.73 MICROMETERS)
         DV =         5.0 CM-1
FREQ WAVELENGTH TOTAL  H2O   CO2+  OZONE  TRACE N2 CONT H2O CONT MOL SCAT AER-HYD HNO3  AER-HYD
INTEGRATED
 1/CM MICRONS  TRANS  TRANS  TRANS  TRANS  TRANS TRANS  TRANS  TRANS  TRANS TRANS  ABS   ABSORPTION
```

990.	10.101	0.4206	0.9368	0.8861	0.7952	0.9971	1.0000	0.7222	1.0000	0.8849	1.0000	0.0695	172.916
995.	10.050	0.3898	0.9376	0.9310	0.6998	0.9964	1.0000	0.7251	1.0000	0.8833	1.0000	0.0685	175.967
1000.	10.000	0.3235	0.9194	0.9591	0.5739	0.9958	1.0000	0.7280	1.0000	0.8818	1.0000	0.0675	179.350
1005.	9.950	0.2380	0.9002	0.9716	0.4272	0.9953	1.0000	0.7306	1.0000	0.8760	1.0000	0.0710	183.160
1010.	9.901	0.1575	0.8889	0.9712	0.2873	0.9950	1.0000	0.7333	1.0000	0.8704	1.0000	0.0744	187.372
1015.	9.852	0.0966	0.8775	0.9607	0.1811	0.9949	1.0000	0.7355	1.0000	0.8648	1.0000	0.0778	191.889
1020.	9.804	0.0599	0.8795	0.9413	0.1148	0.9946	1.0000	0.7378	1.0000	0.8594	1.0000	0.0812	196.590
1025.	9.756	0.0413	0.8800	0.9138	0.0818	0.9942	1.0000	0.7396	1.0000	0.8540	1.0000	0.0845	201.383
1030.	9.709	0.0355	0.8804	0.8784	0.0734	0.9936	1.0000	0.7413	1.0000	0.8487	1.0000	0.0877	206.206
1035.	9.662	0.0329	0.8912	0.8370	0.0710	0.9930	1.0000	0.7427	1.0000	0.8435	1.0000	0.0909	211.041
1040.	9.615	0.0305	0.8932	0.7934	0.0694	0.9927	1.0000	0.7440	1.0000	0.8384	1.0000	0.0941	215.889
1045.	9.569	0.0271	0.8916	0.7563	0.0652	0.9925	1.0000	0.7453	1.0000	0.8333	1.0000	0.0973	220.753
1050.	9.524	0.0230	0.8782	0.7341	0.0582	0.9926	1.0000	0.7466	1.0000	0.8283	1.0000	0.1004	225.638
1055.	9.479	0.0298	0.8641	0.7231	0.0781	0.9928	1.0000	0.7475	1.0000	0.8234	1.0000	0.1034	230.489
1060.	9.434	0.0605	0.8484	0.7175	0.1633	0.9928	1.0000	0.7484	1.0000	0.8186	1.0000	0.1064	235.186
1065.	9.390	0.1394	0.8418	0.7059	0.3880	0.9926	1.0000	0.7485	1.0000	0.8139	1.0000	0.1094	239.489
1070.	9.346	0.2311	0.8529	0.6824	0.6604	0.9924	1.0000	0.7487	1.0000	0.8092	1.0000	0.1124	243.334
1075.	9.302	0.2717	0.8575	0.6663	0.7963	0.9921	1.0000	0.7481	1.0000	0.8046	1.0000	0.1153	246.976
1080.	9.259	0.2998	0.8744	0.6758	0.8551	0.9922	1.0000	0.7474	1.0000	0.8000	1.0000	0.1181	250.477
1085.	9.217	0.3266	0.8711	0.7216	0.8816	0.9923	1.0000	0.7466	1.0000	0.7956	1.0000	0.1210	253.844
1090.	9.174	0.3561	0.8523	0.7958	0.8924	0.9927	1.0000	0.7458	1.0000	0.7949	1.0000	0.1198	257.063
1095.	9.132	0.3810	0.8269	0.8710	0.8982	0.9930	1.0000	0.7446	1.0000	0.7966	1.0000	0.1161	260.158
1100.	9.091	0.3894	0.7877	0.9286	0.9034	0.9932	1.0000	0.7434	1.0000	0.7982	1.0000	0.1124	263.211
1105.	9.050	0.3913	0.7634	0.9616	0.9060	0.9932	1.0000	0.7405	1.0000	0.7999	1.0000	0.1088	266.254
1110.	9.009	0.3901	0.7561	0.9723	0.9036	0.9931	1.0000	0.7376	1.0000	0.8016	1.0000	0.1051	269.304
1115.	8.969	0.3898	0.7709	0.9632	0.8969	0.9929	1.0000	0.7356	1.0000	0.8014	1.0000	0.1038	272.355
1120.	8.929	0.3743	0.7711	0.9367	0.8889	0.9928	1.0000	0.7336	1.0000	0.8007	1.0000	0.1032	275.483
1125.	8.889	0.3558	0.7734	0.8964	0.8843	0.9928	1.0000	0.7308	1.0000	0.7999	1.0000	0.1026	278.705
1130.	8.850	0.3321	0.7686	0.8437	0.8867	0.9929	1.0000	0.7280	1.0000	0.7992	1.0000	0.1020	282.044

0INTEGRATED ABSORPTION FROM 740 TO 1145 CM-1 = 291.11 CM-1

AVERAGE TRANSMITTANCE =0.2812

0 CARD 5 *****

```
1                 ***** LOWTRAN 7 ***** (COMPUTE RADIANCE, 19 Nov 2000)
0 CARD 1  *****    1    3    1    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0 303.500    0.00
0 CARD 2  *****    1    0    0    0    0    0     0.000      0.000      0.000      0.000      0.000
0 CARD 3  *****     0.000      0.000     80.000      0.000      0.000      0.000     0
0 CARD 4  *****   740.000  1250.000      5.000
0 PROGRAM WILL COMPUTE RADIANCE
0 ATMOSPHERIC MODEL
        TEMPERATURE =    1     TROPICAL MODEL
        WATER VAPOR =    1     TROPICAL MODEL
        OZONE       =    1     TROPICAL MODEL
                M4 =     1 M5 =     1 M6 =     1 MDEF =     1
0 AEROSOL MODEL
        REGIME                AEROSOL TYPE           PROFILE                SEASON

        BOUNDARY LAYER (0-2 KM) RURAL                  23.0 KM VIS AT SEA LEVEL
        TROPOSPHERE  (2-10KM)   TROPOSPHERIC           TROPOSPHERIC            SPRING-
SUMMER
        STRATOSPHERE (10-30KM)  BACKGROUND STRATO       BACKGROUND STRATO
SPRING-SUMMER
        UPPER ATMOS (30-100KM)  METEORIC DUST           NORMAL
0 SLANT PATH TO SPACE
        H1    =      0.000 KM
        HMIN  =      0.000 KM
        ANGLE =     80.000 DEG
0 FREQUENCY RANGE
         V1 =       740.0 CM-1  (     13.51 MICROMETERS)
         V2 =      1250.0 CM-1  (      8.00 MICROMETERS)
         DV =          5.0 CM-1
1
  ATMOSPHERIC PROFILES

   I    Z      P      T       N2       CNTMSLF MOL SCAT      N-1     O3 (UV)  O2 (UV)
       (KM)    (MB)    (K)            (MOL/CM2 KM)   (-)       (-)  (ATM CM/KM) (ATM CM/KM)
```

```
1                    RADIANCE(WATTS/CM2-STER-XXX)
0   FREQ WAVLEN   ATMOS RADIANCE       INTEGRAL TOTAL
  (CM-1) (MICRN)  (CM-1)    (MICRN)   (CM-1)    TRANS

   1240.   8.065  5.53E-06  8.51E-04  4.74E-03   0.0041
 =       1.000
0 CARD 5 *****    01245.   8.032  5.48E-06  8.49E-04  4.77E-03   0.0020
   1250.   8.000  5.42E-06  8.47E-04  4.78E-03   0.0008
0INTEGRATED ABSORPTION FROM  740 TO 1250 CM-1 =    490.96 CM-1
 AVERAGE TRANSMITTANCE =0.0373

0INTEGRATED RADIANCE =  4.780E-03 WATTS CM-2 STER-1
 MINIMUM RADIANCE    =  5.421E-06 WATTS CM-2 STER-1 (CM-1)-1 AT     1250.0 CM-1
 MAXIMUM RADIANCE    =  1.372E-05 WATTS CM-2 STER-1 (CM-1)-1 AT      740.0 CM-1
 BOUNDARY TEMPERATURE =     303.50 K
 BOUNDARY EMISSIVITY
1
```

3.3.6 ค่าเรเดียนที่หักแก้แล้ว (Corrected Radiance : R_cor)

ใช้ค่า Atmospheric Transmittance (τ) และ Background Radiance (Ra) ที่หาได้จาก Program LOWTRAN 7 คำนวณค่า R_cor โดยใช้ Band Math ใน Program ENVI สูตร (Wukelic et al., 1987 cited in Wukelic et al., 1989)

$$R_cor = \{(R_un - Ra)/(0.986)\tau\} - \{(1/0.986) - 1\}R_sky$$

$$R_sky = 0.3187x(5.67x10^{-8})xT_A^{4}\ \{\ 1- 0.26\exp\{-7.77x10^{-8}(273 - T_A)^2\}\}$$

เมื่อ T_A = อุณหภูมิของอากาศในหน่วย เคลวิน

3.3.7 อุณหภูมิที่หักแก้แล้ว (Corrected temperature : T_cor)

ค่า T_cor ของอุณหภูมิผิวหน้าทะเลที่หักแก้แล้วโดยแปลงจากค่า R_cor ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ Band Math ใน Program ENVI

สูตร

$$T_cor = \{1260.56/\ln\{(60.776/R_cor)+1\}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.8 สร้างแผนที่อุณหภูมิที่แสดงค่าประมาณจากดาวเทียม (Construction of a Landsat - derived estimated temperature map)

นำค่า T_cor ที่หาได้จากดาวเทียมเปรียบเทียบ (validate) กับค่าอุณหภูมิผิวหน้าทะเลจากข้อมูลภาคสนาม จากการศึกษาอุณหภูมิผิวหน้าทะเลบริเวณจุดปล่อยน้ำร้อน ถ้าค่า T_cor แปลงจากค่าเฉลี่ยของค่า DN จำนวน 6 ค่า (ดังรูป 3.6 และ รูป 3.7) จะได้ค่า T_cor ที่ใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิผิวหน้าทะเลจากข้อมูลภาคสนาม มากที่สุด (Gibbons et al., 1989) เมื่อได้ค่า T_cor แล้วนำค่าดังกล่าวจัดให้เป็นลำดับโดยใช้ Program Fortran และนำไปสร้างแผนที่อุณหภูมิที่แสดงค่าประมาณจากดาวเทียมด้วย Program Surfer

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการศึกษาและ อภิปรายผล

การศึกษาหาการกระจายตัวของน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่ผิวหน้าทะเล บริเวณมาบตาพุดจังหวัดระยอง จะทำการวิเคราะห์อุณหภูมิผิวหน้าทะเล ซึ่งน้ำร้อนมีความหนาแน่นน้อยกว่าและลอยตัวอยู่ด้านบนของผิวหน้าทะเล (Swanson, & M. Ward, 2001) จากข้อมูลดาวเทียม Landsat 5 TM แบนด์ 6 ซึ่งมีรายละเอียดของข้อมูล 120m x 120m จำนวน 2 วัน ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ (quantitative) ของค่าการแผ่รังสีความร้อนเชิงตัวเลข (DN) จากการศึกษาค่า DN พบว่ามวลน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นแพร่กระจายออกจากจุดปล่อยไม่ไกล และการประมวลผลใช้เครื่องคอมพิวเตอร์บุคคลที่มีขีดความสามารถในการปฏิบัติงานจำกัด ดังนั้นจึงเลือกใช้ข้อมูลบางส่วนที่เน้นเฉพาะบริเวณช่วงใกล้จุดปล่อยน้ำร้อน ซึ่งมีขนาด 61 x 85 จุดภาพ (รูป 3.4)

4.1 **อุณหภูมิผิวหน้าทะเลจากข้อมูล** Landsat 5 TM

อุณหภูมิผิวหน้าทะเลบริเวณรอบโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนคำนวณจากข้อมูล Landsat 5 TM จำนวน 2วัน (รูป 3.6 และ รูป 3.7) แสดงดังตาราง 4.1 และ ตาราง 4.2 อุณหภูมิผิวหน้าทะเลที่คำนวณจากข้อมูล landsat 5 TM จะได้อุณหภูมิที่ยังไม่หักแก้ (Uncorrected Temperature) มีค่าผิดพลาดจากค่าที่ตรวจวัดจากภาคสนามมาก ตัวอย่าง เมื่อค่า DN เท่ากับ 122 ได้ค่าอุณหภูมิที่ยังไม่หักแก้ เท่ากับ 15.1 $^{\circ}$C ซึ่งเป็นผลจากการดูดกลืน และการกระจัดกระจายของรังสีความร้อนในชั้นบรรยากาศ ในการศึกษานี้ใช้ Progeam Lowtran 7 คำนวณค่า Atmospheric Transmittance (τ) และค่า Background Radiance (Ra) ในการหักแก้เชิงอากาศ อุณหภูมิที่หักแก้แล้ว (Corrected Temperature) มีค่าใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิที่ตรวจวัดจากภาคสนาม พิจารณาค่าของอุณหภูมิผิวหน้าทะเลที่จุดปล่อยน้ำร้อน (outlet) วันที่ 2 พฤษภาคม 2543 ค่าที่คำนวณจาก landsat 5 TM คลาดเคลื่อนไปจากค่าที่วัดจากภาคสนาม 0.8°C วันที่ 19 พฤศจิกายน 2543 ค่าที่คำนวณจาก landsat 5 TM คลาดเคลื่อนไปจากค่าที่วัดจากภาคสนาม 0.2 $^{\circ}$C

อุณหภูมิผิวหน้าทะเลที่จุดปล่อยน้ำร้อน (outlet) วันที่ 2 พฤษภาคม 2543 มีค่าสูงกว่าวันที่ 19 พฤศจิกายน 2543 เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาช่วงเวลาที่ดาวเทียมโคจรผ่านพื้นที่ศึกษา วันที่ 2 พฤษภาคม 2543 มีค่าอุณหภูมิของอากาศสูงกว่า วันที่ 19 พฤศจิกายน 2543 (Carnahan & Larson, 1990 อ้างถึงใน กนกวรรณ โกมลวีระเกตุ, 1998)

ตาราง 4.1 ค่า DN เรเดียน และค่าอุณหภูมิ ของผิวหน้าทะเลบริเวณรอบโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน วันที่ 2 พฤษภาคม 2543

DN	Uncorrected Radiance ($mWcm^{-2}\mu m^{-1}sr^{-1}$)	Uncorrected Temperature (^{O} C)	Corrected Radiance ($mWcm^{-2}\mu m^{-1}sr^{-1}$)	Corrected Temperature (^{O} C)
122	0.811	18.1	0.895	25.9
123	0.817	18.6	0.916	26.4
124	0.822	19.0	0.936	28.0
125	0.828	19.5	0.956	29.5
126 (Outlet)	0.833	19.9	0.977	**31.0
127	0.839	20.4	0.997	32.5

**GT=31.8 ^{o}C   ค่า τ = 0.2757 และ Ra = 4.148 x 10^{-3} $Wcm^{-2}sr^{-1}$

ตาราง 4.2 ค่า DN เรเดียน และค่าอุณหภูมิ ของผิวหน้าทะเลบริเวณรอบโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน วันที่ 19 พฤศจิกายน 2543

DN	Uncorrected Radiance ($mWcm^{-2}\mu m^{-1}sr^{-1}$)	Uncorrected Temperature (^{O} C)	Corrected Radiance ($mWcm^{-2}\mu m^{-1}sr^{-1}$)	Corrected Temperature (^{O} C)
114	0.766	14.4	0.898	25.1
115	0.771	14.8	0.919	26.7
116	0.777	15.3	0.940	28.2
116.3 (Outlet)	0.779	15.5	0.946	**28.7
117	0.782	15.8	0.961	29.8

** GT = 28.5 ^{o}C τ = 0.2812 และ Ra = 4.78 x 10^{-3} $Wcm^{-2}sr^{-1}$

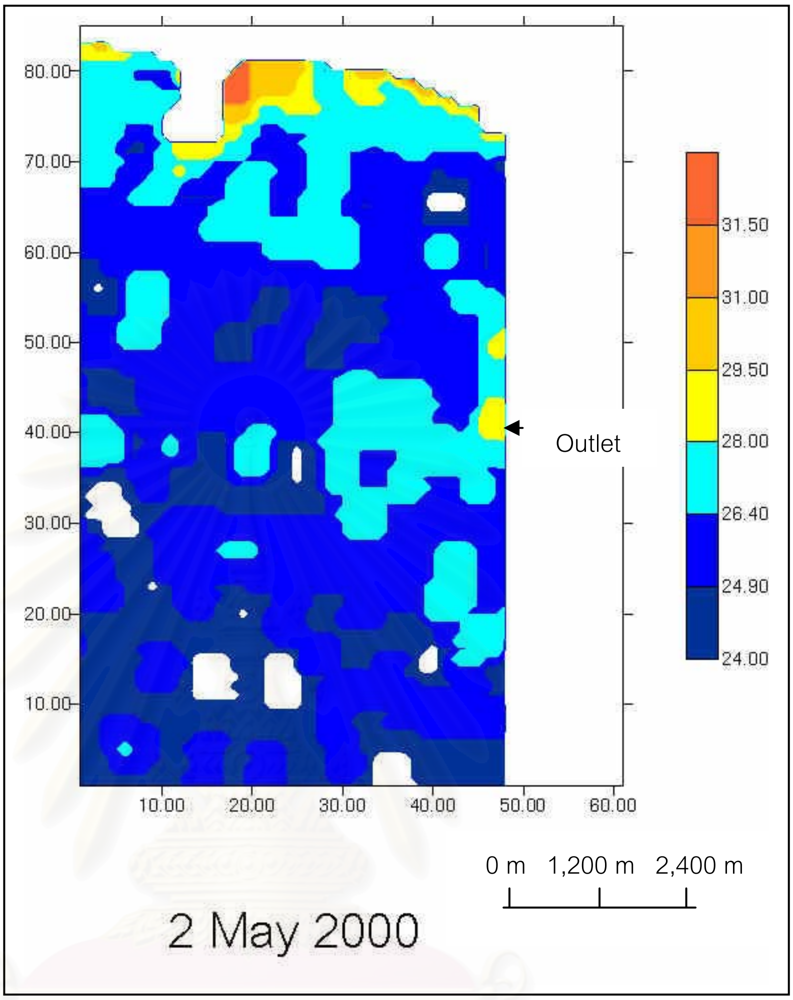
4.2 การกระจายของมวลน้ำร้อนที่ปล่อยจากโรงไฟฟ้า

การกระจายของมวลน้ำร้อนที่ปล่อยจากโรงไฟฟ้าศึกษาจากอุณหภูมิผิวหน้าทะเล ที่แสดงออกเป็นรูปร่าง และระยะทางที่น้ำร้อนกระจายออกไป แสดงดังรูป 4.1 และ รูป 4.3 ในรูปของอุณหภูมิผิวหน้าทะเล และ รูป 4.2 และ รูป 4.4 ในลักษณะรูปภาพ

27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	29.4	30.9	32.4	33.8	36.7	0	0
26.3	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	29.4	29.4	29.4	29.4	30.9	30.9	32.4	0
26.3	26.3	24.7	24.7	26.3	26.3	26.3	29.4	29.4	29.4	30.9	30.9	30.9	30.9	0
26.3	26.3	24.7	24.7	26.3	26.3	27.8	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	0
26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	27.8	27.8	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	0
26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	27.8	27.8	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	0
26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	24.7	24.7	26.3	27.8	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	0
26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	24.7	26.3	26.3	26.3	26.3	27.8	27.8	27.8	29.4	0
26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	24.7	26.3	26.3	26.3	26.3	27.8	27.8	27.8	29.4	0
26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	24.7	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	27.8	29.4	0
26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	24.7	24.7	26.3	26.3	27.8	29.4	0
26.3	24.7	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	24.7	24.7	26.3	27.8	27.8	29.4	0
26.3	24.7	26.3	26.3	26.3	27.8	27.8	26.3	24.7	24.7	24.7	26.3	27.8	30.9	0
26.3	24.7	26.3	26.3	26.3	27.8	27.8	26.3	24.7	24.7	24.7	26.3	27.8	30.9	0
26.3	24.7	26.3	26.3	26.3	26.3	27.8	26.3	26.3	26.3	26.3	27.8	29.4	30.9	**0
26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	27.8	26.3	26.3	26.3	26.3	27.8	29.4	30.9	0
27.8	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	29.4	0
27.8	27.8	27.8	26.3	26.3	26.3	27.8	29.4	29.4	29.4	29.4	27.8	27.8	27.8	29.4
27.8	27.8	27.8	27.8	26.3	27.8	27.8	29.4	29.4	29.4	29.4	27.8	27.8	27.8	29.4
26.3	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	29.4	29.4	29.4	27.8	27.8	27.8	29.4
26.3	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	29.4	29.4	29.4	27.8	27.8	27.8	0

** Outlet

รูป 4.1 อุณหภูมิผิวหน้าทะเล (องศาเซลเซียส) บริเวณใกล้จุดปล่อยน้ำร้อน ตรวจวัดด้วยดาวเทียม Landsat 5 TM แบนด์ 6 วันที่ 2 พฤษภาคม 2543



รูป 4.2 การกระจายของน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่ผิวหน้าทะเลบริเวณนิคมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ตรวจวัดด้วยดาวเทียม Landsat 5 TM แบนด์ 6 วันที่ 2 พฤษภาคม 2543 (มาตราส่วน 1 : 50,000)

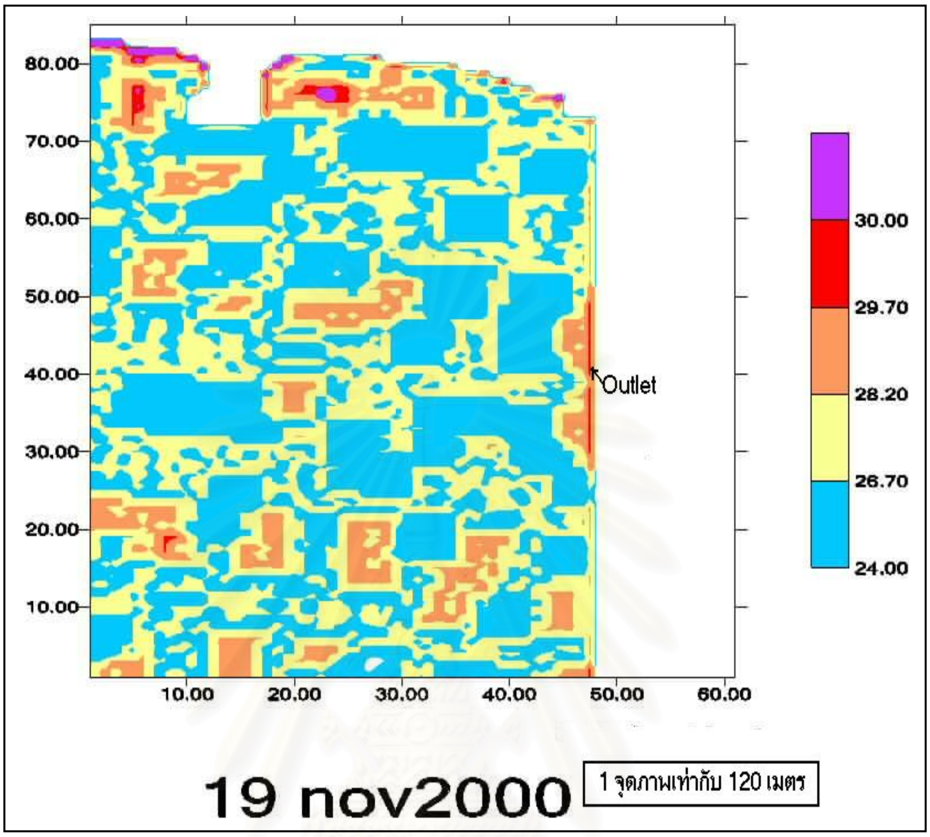
จากรูป 4.2 พื้นที่สีแดงเป็นบริเวณใกล้จุดปล่อยน้ำร้อนมีอุณหภูมิ 31.0 – 31.5 $^{\circ}$C มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 จุดภาพ หรือ เท่ากับระยะทางประมาณ 600 เมตร แสดงว่าการกระจายของน้ำร้อนที่จุดปล่อยน้ำร้อนกระจายออกไปไม่ไกล ซึ่งผลที่ได้ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Harleman (1972) แสดงดังรูป 2.5 พื้นที่สีส้มมีอุณหภูมิ 29.5 –31.5 $^{\circ}$C พื้นที่สีเหลืองมีอุณหภูมิ 28.0 – 29.5 $^{\circ}$C พื้นที่สีฟ้ามีอุณหภูมิ 26.4 -28.0 $^{\circ}$C และพื้นที่สีน้ำเงินถึงน้ำเงินแข้มมีอุณหภูมิ 24.0 – 26.4 $^{\circ}$C สภาวะของทะเลเป็นช่วงน้ำลดลงเกือบถึงระดับทะเลต่ำสุด (ตาราง 3.2) และกระแสน้ำจะไหลลงทางทิศใต้ ตามสภาวะของน้ำลง

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26.7	26.7	28.5	29.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26.7	26.7	26.7	28.5	29.8	29.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26.7	26.7	26.7	26.7	28.5	28.5	29.8	29.8	0.0	0.0	0.0
26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	0.0	0.0
26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	0.0
26.7	26.7	26.7	28.3	28.3	28.3	26.7	26.7	25.1	25.1	0.0
26.7	26.7	26.7	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	0.0
26.7	26.7	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	0.0
26.7	26.7	26.7	28.3	28.3	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	0.0
26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	28.3	28.3	28.3	28.3	0.0
26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	28.3	28.3	28.3	29.8	0.0
26.7	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	26.7	26.7	28.3	28.3	0.0
26.7	25.1	25.1	25.1	25.1	23.5	25.1	25.1	25.1	26.7	0.0
26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	28.3	28.3	0.0
26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	28.3	28.3	0.0
26.7	28.3	28.3	28.3	26.7	26.7	26.7	26.7	28.3	29.8	0.0
26.7	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	29.8	0.0
26.7	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	29.8	**0.0
26.7	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	26.7	28.3	28.3	0.0
26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	28.3	28.3	0.0
26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7
26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7
26.7	26.7	26.7	25.1	26.7	26.7	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3
26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	28.3	28.3	28.3	28.3	0.0
28.3	28.3	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	28.3	28.3	28.3	0.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

** Outlet

รูป 4.3 อุณหภูมิผิวหน้าทะเล (องศาเซลเซียส) บริเวณใกล้จุดปล่อยน้ำร้อน ตรวจวัดด้วยดาวเทียม Landsat 5 TM แบนด์ 6 วันที่ 19 พฤศจิกายน 2543



รูป 4.4 การกระจายของน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่ผิวหน้าทะเล บริเวณนิคมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ตรวจวัดด้วยดาวเทียม Landsat 5 TM แบนด์ 6 วันที่ 19 พฤศจิกายน 2543 (มาตราส่วน 1 : 50,000)

จากรูป 4.4 พื้นที่สีส้มเป็นบริเวณใกล้จุดปล่อยน้ำร้อนมีอุณหภูมิ 28.2 – 29.7 °C มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6 จุดภาพ หรือ เท่ากับระยะทางประมาณ 720 เมตร และน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 28.2 – 29.7 °C กระจายไปในหลายพื้นที่ ทั้งนี้อาจเนื่องจากเป็นช่วงน้ำขึ้นเกือบถึงระดับทะเลสูงสุด (ตาราง 3.2) และกระแสน้ำในบริเวณดังกล่าวมีกำลังอ่อนมาก ซึ่งกระแสน้ำวัดโดย Lagrangian Method ผลการวัดกระแสน้ำที่ตำแหน่งจุดปล่อยน้ำร้อน (Outlet) มีทิศไหลออกจากจุดปล่อยน้ำร้อนไปในทิศ 260 องศา ความเร็ว 0.11 เมตร/วินาที บริเวณใกล้ชายฝั่งอยู่ห่างทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของจุดปล่อยน้ำร้อน ระยะทางประมาณ 700 เมตร กระแสน้ำไหลไปในทิศ 260 องศา ความเร็ว 0.14 เมตร/วินาที บริเวณห่างจากจุดปล่อยไปทางทิศใต้ค่อนทางตะวันตกเล็กน้อย

(ทิศ 190 องศา) ของจุดปล่อยน้ำร้อน ระยะทางประมาณ 1500 เมตร กระแสน้ำไหลไปในทิศ 260 องศา ความเร็ว 0.18 เมตร/วินาที และลมที่พัดบริเวณดังกล่าวเป็นลมเหนือความเร็ว 4 เมตร/วินาที ดังนั้นการกระจายตัวของน้ำร้อนจึงกระจัดกระจายมีรูปแบบต่างจากรูป 4.2 สำหรับพื้นที่สีเหลืองมีอุณหภูมิ 26.7 – 28.2 °C พื้นที่สีฟ้ามีอุณหภูมิ 24.0 -26.7 °C พื้นที่สีแดงมีอุณหภูมิ 29.7 – 30.0 °C และพื้นที่สีม่วงมีอุณหภูมิ มากกว่า 30°C

อุณหภูมิน้ำทะเลตามระดับความลึกของทะเลที่จุดปล่อยน้ำร้อน วันที่ 19 พฤศจิกายน 2543 เวลา 10.00 น ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่น้ำทะเลสูงขึ้นเกือบสูงสุด (ตาราง 3.2) ทะเลมีความลึก 4.5 เมตร อุณหภูมิที่ผิวหน้าทะเลวัดได้ 28.5 °C อุณหภูมิที่ระดับความลึก 2 เมตร วัดได้ 28.1 °C และอุณหภูมิที่ระดับความลึก 3 เมตร วัดได้ 27.7 °C แสดงให้เห็นว่าน้ำที่ร้อนกว่าจะลอยอยู่ส่วนบน

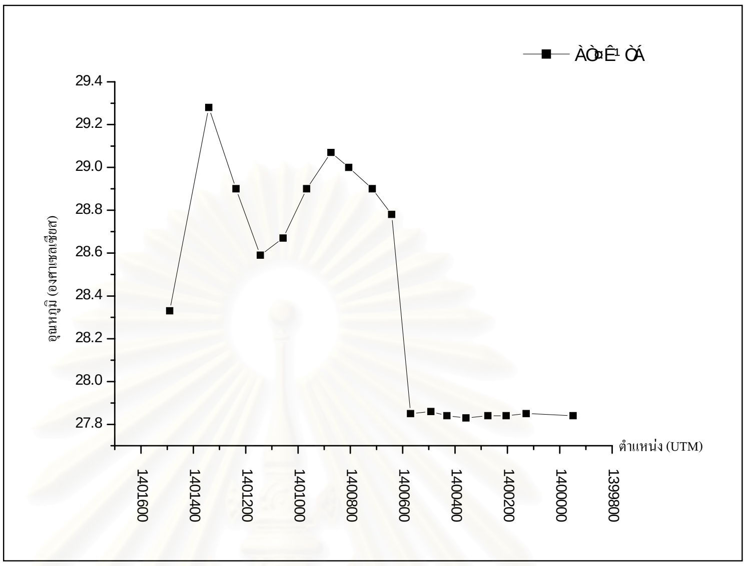
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิผิวหน้าทะเลที่คำนวณจากข้อมูลดาวเทียมและค่าอุณหภูมิที่ ได้จากการตรวจวัดภาคสนาม

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิผิวหน้าทะเลโดยใช้เรือลากจูงเครื่องวัดคุณภาพน้ำชนิดหลายตัวแปร รุ่น 6000 UPG ตามแนว AB (รูป 3.1) แสดงดังรูป 4.5 และ รูป 4.6

รูป 4.5 อุณหภูมิผิวหน้าทะเลตามแนวโคจรของดาวเทียม วันที่ 2 พฤษภาคม 2543

จากรูป 4.5 แสดงว่าบริเวณที่ใกล้จุดปล่อยน้ำร้อนมีอุณหภูมิ ประมาณ 32°C เป็นระยะทางประมาณ 600 เมตร และบริเวณไกลจุดปล่อยมีอุณหภูมิ ประมาณ 30.5 °C

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.6 อุณหภูมิผิวหน้าทะเลตามแนวโคจรของดาวเทียม วันที่ 19 พฤศจิกายน 2543

จากรูป 4.6 แสดงว่าบริเวณที่ใกล้กับจุดปล่อยน้ำร้อนมีอุณหภูมิ ประมาณ 29 ^{0}C เป็นระยะทางประมาณ 700 เมตร แบ่งช่วงที่เป็นน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ ประมาณ 29 ^{0}C ออกเป็น 2 ช่วง และบริเวณไกลจุดปล่อยมีอุณหภูมิ ประมาณ 27.8 ^{0}C

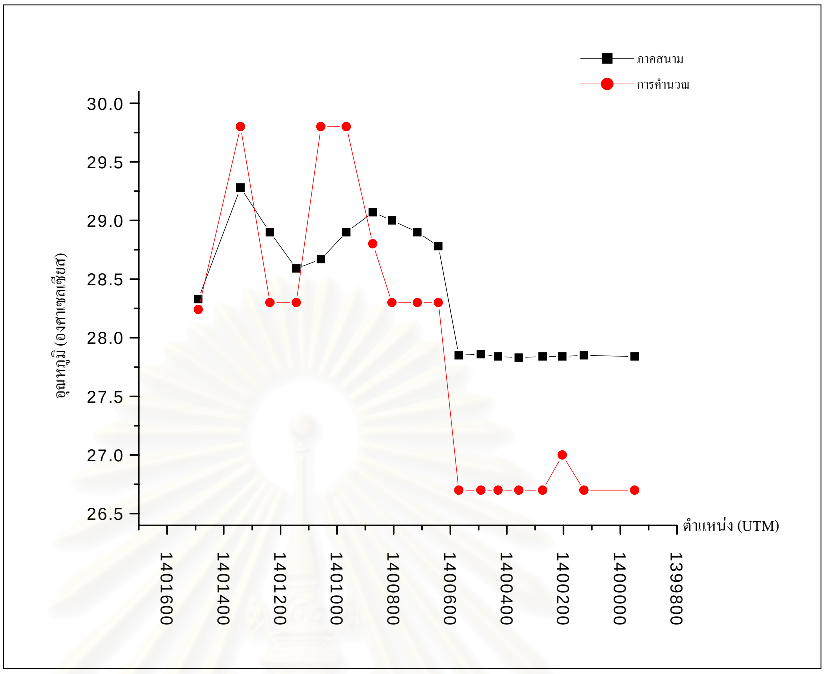
การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหน้าทะเลจากการคำนวณจากข้อมูลดาวเทียม และข้อมูลจากภาคสนาม ดังตาราง 4.3 และรูป 4.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.3 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหน้าทะเลจากการคำนวณจากข้อมูลดาวเทียม และข้อมูลจากภาคสนาม

UTM(E)	UTM(N)	Temperature (Sea truth)	Temperature (Landsat)
731820	1401490	28.33	28.24
731803	1401341	29.28	29.8
731801	1401237	28.9	28.3
731795	1401144	28.59	28.3
731790	1401057	28.67	29.8
731787	1400967	28.9	29.8
731784	1400874	29.07	28.8
731786	1400806	29	28.3
731808	1400716	28.9	28.3
731843	1400642	28.78	28.3
731877	1400570	27.85	26.7
731917	1400492	27.86	26.7
731925	1400431	27.84	26.7
731928	1400358	27.83	26.7
731927	1400274	27.84	26.7
731924	1400204	27.84	27
731926	1400128	27.85	26.7
731897	1399949	27.84	26.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.7 การเปรียบเทียบของอุณหภูมิผิวหน้าทะเลจากข้อมูลดาวเทียม และภาคสนาม วันที่ 19 พฤศจิกายน 2543 เวลาที่ดาวเทียมโคจรผ่านพื้นที่ศึกษา

จากรูป 4.7 พบว่าอุณหภูมิผิวหน้าทะเลที่ได้จากข้อมูลดาวเทียมสอดคล้องกับข้อมูลภาคสนาม แต่อุณหภูมิน้ำร้อนที่บริเวณใกล้จุดปล่อยจากข้อมูลดาวเทียมสูงกว่าอุณหภูมิจากภาคสนาม ประมาณ 0.5 °C อุณหภูมิน้ำร้อนที่บริเวณไกลจุดปล่อยจากภาคสนาม สูงกว่าอุณหภูมิจากข้อมูลดาวเทียม ประมาณ 1.0 °C

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลของการกระจายตัวของน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่ผิวหน้าทะเล

การใช้ดาวเทียม Landsat 5 TM เพื่อศึกษาการกระจายตัวของน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นของโรงงานไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่ผิวหน้าทะเลครั้งนี้ ศึกษาจากข้อมูลดาวเทียม จำนวน 2 วัน ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และได้ออกภาคสนาม (sea truth) ในวันเวลาเดียวกันกับเวลาที่ดาวเทียมผ่านพื้นที่ศึกษา เพื่อนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบและหาความสัมพันธ์กับข้อมูลดาวเทียม ผลการศึกษามีดังนี้

1. สามารถใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat 5 TM แบนด์ 6 ในการศึกษาการกระจายตัวของน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่ผิวหน้าทะเลได้เป็นอย่างดี แต่ต้องทำการหักแก้เชิงอากาศ โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และ Program Lowtran 7 ในการหักแก้เชิงอากาศ ผลการคำนวณอุณหภูมิผิวหน้าทะเลจากข้อมูลดาวเทียมคลาดเคลื่อนไปจากข้อมูลภาคสนาม 0.2 – 0.8 $^{\circ}$C และอุณหภูมิจากข้อมูลดาวเทียมคลาดเคลื่อนไปอีก 0.5 $^{\circ}$C เนื่องจากวงโคจรของดาวเทียมเอง ดังนั้นอุณหภูมิที่คำนวณจากดาวเทียมคลาดเคลื่อนไปจากข้อมูลภาคสนามประมาณ 0.5 $^{\circ}$C (Wukelic et al., 1987)

2. การกระจายตัวของน้ำร้อนที่ปล่อยออกจากระบบหล่อเย็นของโรงไฟฟ้าบริเวณมาบตาพุด จังหวัดระยองที่ตรวจวัดด้วยข้อมูล Landsat 5 TM แพร่กระจายออกไปไม่ไกลจากจุดปล่อยน้ำร้อนตามแนวทิศเหนือ-ใต้ โดยวันที่ 2 พฤษภาคม 2543 มีค่าอุณหภูมิ 31.0 – 31.5 $^{\circ}$C ห่างประมาณ 600 เมตร (ตามแนวทิศเหนือ-ใต้) วันที่ 19 พฤศจิกายน 2543 มีค่าอุณหภูมิ 28.2 – 28.7 $^{\circ}$C ห่างประมาณ 800 เมตร (ตามแนวทิศเหนือ-ใต้) ซึ่งจะมีอุณหภูมิสูงกว่าแห่งน้ำธรรมชาติ 1.5 $^{\circ}$C สำหรับการแพร่กระจายตามแนวทิศออก-ตกไม่สามารถที่จะวัดอุณหภูมิตรงปลายจุดปล่อยน้ำร้อน ทั้งนี้เพราะบริเวณปลายจุดปล่อยตื้น เรือที่ใช้ในการตรวจวัดเข้าไปไม่ถึง และในการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมต้องตัดส่วนนี้ออกไป เพราะค่าอุณหภูมิผิวหน้าทะเลส่วนนี้มีค่าคลาดเคลื่อนมากจากอิทธิพลของพื้นทะเลใน

บริเวณดังกล่าว ดังนั้นจึงเห็นการแพร่กระจายตามแนวทิศออก-ตกได้น้อย ส่วนที่ไกลจากจุดปล่อยมีอุณหภูมิต่ำเกินไป มีค่าอุณหภูมิ 25.1 – 25.9 $^{\circ}$C

3. ข้อมูลที่คำนวณจากดาวเทียมมีความสอดคล้องกับข้อมูลภาคสนาม

4. สามารถใช้คำนวณหาอุณหภูมิผิวหน้าทะเลได้ในพื้นที่กว้าง โดยไม่ต้องเสียเวลา และงบประมาณในการตรวจวัดอุณหภูมิผิวหน้าทะเลมากนัก เพียงแต่ทำการตรวจวัดภาคสนามในพื้นที่เล็กน้อยเท่านั้น เพื่อเป็นการสอบเทียบ

5. สามารถใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat 5 TM แบนด์ 5 ในการแยกพื้นที่น้ำ และแผ่นดินได้ชัดเจนและถูกต้อง

6. ในการศึกษาการแพร่กระจายของมวลน้ำร้อนที่ปล่อยออกจากโรงไฟฟ้าบริเวณมาบตาพุดได้ผ่านกระบวนการต่างๆ ทำให้อุณหภูมิที่จุดปล่อยน้ำร้อนมีอุณหภูมิไม่สูง และปริมาณน้ำร้อนที่ปล่อยออกไปมีปริมาณไม่มาก โดยพิจารณาจากอัตราการไหลของกระแสน้ำที่จุดปล่อยน้ำร้อน (กระแสน้ำไหลในทิศ 260 องศา ความเร็ว 0.11 เมตรต่อวินาที) ดังนั้นการแพร่กระจายของมวลน้ำร้อนที่ปล่อยออกจากโรงไฟฟ้าบริเวณมาบตาพุดแพร่กระจายรอบจุดปล่อยน้ำร้อนออกไปไม่ไกล และมีอุณหภูมิสูงกว่าแหล่งน้ำธรรมชาติไม่มาก

7. สภาวะน้ำขึ้น-ลง ลม และคลื่นมีอิทธิพลต่อการแปรเปลี่ยนของมวลน้ำร้อนที่ปล่อยออกจากโรงไฟฟ้าบริเวณมาบตาพุดแพร่กระจายออกไปไม่ไกล และสลายความร้อนอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่ามวลน้ำร้อนที่ปล่อยออกจากโรงไฟฟ้าไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่อย่างใด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat 5 TM แบนด์ 6 ในการศึกษาการกระจายตัวของน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นของโรงงานพลังงานความร้อนที่ผิวหน้าทะเล ได้รายละเอียดของข้อมูลดาวเทียมต่ำ เพราะดาวเทียม Landsat 5 TM แบนด์ 6 มีรายละเอียดของข้อมูล 120 x 120 เมตร^2

แต่จากการศึกษา พบว่ามวลน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นมีการกระจายออกไปไม่ไกล ประมาณ 600 – 700 เมตรเท่านั้น ซึ่งตรงกับข้อมูลดาวเทียมประมาณ 5 – 7 จุดภาพ

2. การกระจายตัวของน้ำร้อนจากระบบหล่อเย็นของโรงงานพลังงานความร้อนที่ผิวหน้าทะเลที่ศึกษา ส่วนที่มีอุณหภูมิสูงสุดจะติดกับแนวฝั่งทะเล ซึ่งตามคุณสมบัติของการแผ่รังสีความร้อนพื้นหิน และพื้นทรายแผ่ความร้อนได้ดีกว่าน้ำ ดังนั้นทำให้การคำนวณค่าอุณหภูมิผิวหน้าทะเลบริเวณใกล้ฝั่งมีอุณหภูมิสูงเกินไป

3. การใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat 5 TM แบนด์ 5 ในการแยกพื้นที่น้ำ และแผ่นดินมีปัญหาค่ารายละเอียดของข้อมูล ข้อมูลแบนด์ 5 มีรายละเอียดของข้อมูล 30 x 30 เมตร^2 แต่ข้อมูลแบนด์ 6 มีรายละเอียดของข้อมูล 120 x 120 เมตร^2 ซึ่งรายละเอียดของภาพต่างกัน ผลทำให้ข้อมูลที่อยู่ระหว่างน้ำ และแผ่นดินคลาดเคลื่อนไป

4. ในบริเวณน้ำทะเลที่ตื้น ควรแก้ค่าของการแผ่รังสีความร้อนของบริเวณดังกล่าวก่อนการคำนวณหาอุณหภูมิผิวหน้าทะเล ซึ่งทำให้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้น

5. สามารถใช้รูปแบบการกระจายของมวลน้ำร้อนที่ได้ เพื่อศึกษาผลกระทบของมวลน้ำร้อนที่มีต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณดังกล่าวต่อไป

6. สามารถใช้ผลการศึกษาในครั้งนี้ไปประกอบการพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการสร้างโรงไฟฟ้าในบริเวณชายทะเลแห่งอื่นๆ ต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กัณฑรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์. 2531. "น้ำร้อนปลาเป็น น้ำเย็นปลาตาย," วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม 10, No. 2 , pp. 53 – 61.

กนกวรรณ โกมลวีระเกตุ. 2541. ผลของสิ่งปกคลุมดินต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมืองในกรุงเทพมหานคร วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. แผนกสหสาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตมหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, สำนักงาน. 2540. คำบรรยายเรื่องการสำรวจจากระยะไกล. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว

ภาษาอังกฤษ

Anding, D., and Kauth, R. 1971. Estimation of Sea Temperature from Space, Sventh International. Symp. In Remote Sensing of Environment, 17- 22 May 1971, Ann Arbor, p. 153.

DONLON, C.J., Castro, S.L., and Kaye, A. 1998. Aircraft Validation of ERS-1(ATSR) and NOAA (AVHRR) sea surface temperature measurement. International Journal of Remote Sensing. Volume 20 Number 18. 15 December. pp. 3503 - 3513.

GESAMP, 1984. Thermal Discharges in the Marine Environment, IMO/FAO/Unesco/WMO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution, Report Study GESAMP No. 24, 44 pp.

Gibbons, D.E., Wukelic, G.E., Leighton, J.P., & Doyle, M.J. 1989. Application of Landsat Thermatic Mapper Data for Coastal Thermal Plume Analysis at Diablo Canyon, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Vol. 55, No. 6, June, pp. 903-909.

Greaves, J.R., Willand, J. H., and Chang, D.T. 1968. Observation of Sea Surface Temperature Patterns and Their Synoptic Chganges through Optimal Processing of Nimbus II data, Report 9G51-f, Aplied Research Associates, Inc., Concord, Mass., pp. 121.

Harleman, D.R.F., 1972. Fluid Mechanics of Heat Disposal from Power Generation, Annual Review of fluid Mechanics. Vol. 4.

IAEA, 1974. Thermal Discharges at Nuclear Power Stations: Their Management and Environment Impacts, International. Atomic Energy Agency Tech. Repts. Ser. No. 155, Viena, p. 155.

Lathrop, R.G., and Lillesand, T.M. 1987. Calibration of thermic mapper thermal data to access water surface temperature mapping, Case study on the Great Lakes. Rem. Sens. Environ., 22, pp. 297-307.

Lillesand, T.M., and Kiefer, R.W. 1979. Remote Sensing and Image Interpretation. Newyork: John. Willy & Son

Majewsky, W., and Miller, D.C. 1979. Prediction Effects of Power Plant Once-Through Cooling on Aquatic Systems, IHP, technical papers in hydrology No. 20, UNESCO, Paris, pp. 171.

McAlister, E.D. 1964. Infrared - Optical Techniques Applied to Oceanography: 1. measurement of total heat flow from sea surface, Appl. Opt., V. 3, No. .5, pp. 609-611.

McAlister, E.D., and McLeish, W.L. 1965. Oceanographic Measurements with Airborne Infrared Equipment and their limitations, in Oceanography from space, G. C. Ewing (Ed.), Woods Hole Oc. Inst., Ref. No. 65-10, pp. 189-214.

Notification of the national Environmental Board NO. 7, dated 20, B.E. 2537 (1994), issued under the Enhancement and Conservation of National Environmental Quality Act, B.E. 2535 (1992), Published in the Royal Government Gazette, Vol. 111, Part 16, dated February 24, B.E. 2537 (1994).

Onishi, S., and Kawai, H. 1992. Estimation Methods of River Effluent Behavior Through Landsat TM data, J. Japan Civil Eng ASSOC., No. 452/2-20, pp. 11-20.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Siripong, A. 1999. The Comparison on the Thermal Discharge From A Power Plant Through the Open Channel and Submerged Pipe Into the Sea. (annuary),92 pp.

Swanson, C., & M. Ward, 2001. Integrated Approach to Modeling Circulation & Pollutant, Sea Technology, Sept., pp. 33 - 44

Walker, T.J. 1965. Detection of Marine Organism by an Infrared Mapper, in Oceanography from space, G.C. Ewing (Ed), Woods Hole Oc. Inst., Ref. 65-10,321-325.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

```
PROGRAM    LWTRN7                                                           LWT  100
C****************************************************************************  LWT  110
C    LOWTRAN7  (LAST REVISED FEB 1 1992)   REVISION 4.2                     LWT* 120
C                                                                           LWT  130
C            AUTHORS                                                        LWT  140
C                                                                           LWT  150
C            F.X.KNEIZYS                                                    LWT  160
C            E. P. SHETTLE                                                  LWT  170
C            G.P. ANDERSON                                                  LWT  180
C            L. W. ABREU                                                    LWT  190
C            J. H. CHETWYND                                                 LWT  200
C            J. E. A. SELBY    (GRUMMAN AEROSPACE)                          LWT  210
C            S. A. CLOUGH      (AER INC)                                    LWT  220
C            W. O. GALLERY     (OPTIMETRICS)                                LWT  230
C                                                                           LWT  240
C   PROGRAM LOWTRAN  CALCULATES THE TRANSMITTANCE AND/OR RADIANCE           LWT  250
C   OF THE ATMOSPHERE  FROM   0 CM-1 TO 50000 CM-1 (0.20 TO INFINITY        LWT  260
C   MICRONS) AT 20 CM-1 SPECTRAL RESOLUTION ON A LINEAR                     LWT  270
C   WAVENUMBER SCALE WITH 5CM-1 SAMPLING                                    LWT  280
C                                                                           LWT  290
C   LOWTRAN 7 IS A LOW-RESOLUTION PROPAGATION MODEL FOR CALCULATING         LWT  300
C   ATMOSPHERIC TRANSMITTANCE AND BACKGROUND RADIANCE FROM 0 TO             LWT  310
C   50,000 CM-1 AT A RESOLUTION OF 20 CM-1 WITH A MINIMUM OF 5 CM-1         LWT  320
C   SAMPLING.  THE MODEL IS BASED ON THE LOWTRAN 6 (1983) MODEL.            LWT  330
C   THE PROGRAM CALCULATES SINGLE SCATTERED SOLAR (OR LUNAR)                LWT  340
C   RADIATION.  MULTIPLE SCATTERED RADIATION HAS BEEN ADDED TO THE          LWT  350
C   MODEL AS WELL AS NEW MOLECULAR BAND MODEL PARAMETERS AND NEW OR         LWT  360
C   UPDATED OZONE AND MOLECULAR OXYGEN ABSORPTION PARAMETERS FOR THE        LWT  370
C   UV.  OTHER MODIFICATIONS INCLUDE A WIND-DEPENDENT DESERT MODEL, NEW     LWT  380
C   CIRRUS CLOUD MODELS, AND NEW CLOUD AND RAIN MODELS.  THE MODEL ALSO     LWT  390
C   INCLUDES NEW REPRESENTATIVE (GEOGRAPHICAL AND SEASONAL) ATMOSPHERIC LWT  400
C   MODELS AND UPDATED AEROSOL MODELS WITH OPTIONS TO REPLACE THEM WITH LWT  410
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
C   USER-DERIVED VALUES.  SIX MODES OF PROGRAM EXECUTION ARE ALLOWED    LWT  420
C   WITH THE NEW MODEL AND COMPUTER CODE FOR A GIVEN SLANT PATH         LWT  430
C   UTILIZING SPHERICAL-REFRACTIVE GEOMETRY.  THE ARMY VERTICAL         LWT  440
C   STRUCTURE ALGORITHM HAS BEEN MODIFIED TO INCLUDE THE NEW PEDESTAL   LWT  450
C   MODEL BELOW THE CLOUD BASE.  A NEW OPTION HAS BEEN  ADDED TO        LWT  460
C   MODIFY THE AEROSOL PROFILE, IF THE GROUND IS NOT AT SEA LEVEL.      LWT  470
C                                                                       LWT  480
C***********************************************************************LWT  490
C                                                                       LWT  500
C    THE FOLLOWING INFORMATION SHOULD BE PROVIDED BY THE USER           LWT  510
C    AND MAILED TO   L.W ABREU  ,AFGL/OPE,HANSCOM AFB,MASS 01731        LWT* 520
C    THIS WILL BE USED TO UPDATE THE AFGL MAILING LIST                  LWT  530
C    AND FOR NOTIFICATION TO THE USER OF ERRORS IN THE CODE             LWT  540
C                                                                       LWT  550
C                                                                       LWT  560
C         MY NAME IS                                                    LWT  570
C         COMPANY                                                       LWT  580
C         ADDRESS                                                       LWT  590
C         MY COMPUTER IS                                                LWT  600
C                                                                       LWT  610
C                                                                       LWT  620
C***********************************************************************LWT  630
C   THE USE OF THE WORD 'CARD' IS EQUIVALENT TO EDITING WITH 80 COLUMNS LWT  640
C                                                                       LWT  650
C    PROGRAM ACTIVATED BY SUBMISSION OF A FIVE  (OR MORE)               LWT  660
C     CARD SEQUENCE AS FOLLOWS                                          LWT  670
C                                                                       LWT  680
C    CARD 1    MODEL,ITYPE,IEMSCT,IMULT,M1,M2,M3,                       LWT  690
C             M4,M5,M6,MDEF,IM,NOPRT,TBOUND,SALB                        LWT  700
C                   FORMAT(13I5,F8.3,F7.2)                              LWT  710
C                                                                       LWT  720
C    CARD 2    IHAZE,ISEASN,IVULCN,ICSTL,ICLD,IVSA,VIS,WSS,WHH,RAINRT,  LWT  730
C             GNDALT                                                    LWT  740
C                   FORMAT(6I5,5F10.3)                                  LWT  750
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
C                                                                    LWT  760
C          CARD 2A    CTHIK,CALT,CEXT,ISEED       (ICLD=18,19,20)    LWT  770
C                FORMAT(3F10.3,I10)                                  LWT  780
C                                                                    LWT  790
C          CARD 2B    ZCVSA,ZTVSA,ZINVSA    (IVSA=1)                 LWT  800
C                FORMAT(3F10.3)                                      LWT  810
C                                                                    LWT  820
C          CARD 2C    ML,IRD1,IRD2,TITLE (MODEL=0 / 7,IM=1)          LWT  830
C                FORMAT(3I5,18A4)                                    LWT  840
C                                                                    LWT  850
CC------------------------ BEGIN ML LOOP                             LWT  860
CC-                                                                  LWT  870
CC-        CARD 2C1   ZMDL,P,T,WMOL(1),WMOL(2),WMOL(3),JCHAR         LWT  880
CC-              FORMAT(F10.3,5E10.3,15A1)                           LWT  890
CC-                                                                  LWT  900
CC-        CARD 2C2   (WMOL(J),J=4,11)                               LWT  910
CC-              FORMAT(8E10.3)                                      LWT  920
CC-                                                                  LWT  930
CC-        CARD 2C2   WMOL(12)                                       LWT  940
CC-              FORMAT(8E10.3)                                      LWT  950
CC-                                                                  LWT  960
CC-        CARD 2C3   AHAZE,EQLWCZ,RRATZ,IHA1,ICLD1,                 LWT  970
CC-              IVUL1,ISEA1,ICHR                                    LWT  980
CC-              FORMAT(10X,3F10.3,5I5)                              LWT  990
CC-                                                                  LWT 1000
CC------------------------ END ML LOOP                               LWT 1010
C                                                                    LWT 1020
C          CARD 2D    IREG(1 TO 4) (IHAZE=7 OR ICLD = 11)            LWT 1030
C                FORMAT(4I5)                                         LWT 1040
C                                                                    LWT 1050
C          CARD 2D1   AWCCON,TITLE                                   LWT 1060
C                FORMAT(E10.3,18A4)                                  LWT 1070
C                                                                    LWT 1080
C          CARD 2D2   (VX(I),EXTC(N,I),ABSC(N,I),ASYM(N,I),I=1,47)   LWT 1090
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
C                    (IHAZE=7 OR ICLD=11)
C                    FORMAT(3(F6.2,2F7.5,F6.4))
C
C    CARD 3    H1,H2,ANGLE,RANGE,BETA,RO,LEN
C                    FORMAT(6F10.3,I5)
C
C          ALTERNATE  CARD 3 (IEMSCT=3)
C                    H1,H2,ANGLE,IDAY,RO,ISOURC,ANGLEM
C                    FORMAT(3F10.3,I5,5X,F10.3,I5,F10.3)
C
C          CARD 3A1   IPARM,IPH,IDAY,ISOURC (IEMSCT=2)
C                    FORMAT(4I5)
C
C          CARD 3A2    PARM1,PARM2,PARM3,PARM4,TIME,PSIPO,ANGLEM,G
C                     FORMAT(8F10.3)          (IEMSCT=2)
C
C          CARD 3B1    NANGLS       (IPH=1)
C                     FORMAT(I5)
C
C          CARD 3B2(1 TO NANGLS)    (IPH=1)
C                (ANGF(I),F(1,I),F(2,I),F(3,I),F(4,I),I=1,NANGLS)
C                     FORMAT(5E10.3)
C
C    CARD 4    V1, V2, DV
C                     FORMAT(3F10.3)
C
C    CARD 5    IRPT
C                     FORMAT(I5)
C
C***************************************************************************************************
C   ** FOLLOWING IS A FULL DESCRIPTION OF EACH CARD
C
C    CARD 1    MODEL,ITYPE,IEMSCT,IMULT,M1,M2,M3,
C          M4,M5,M6,MDEF,IM,NOPRT,TBOUND,SALB
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
C                    FORMAT(13I5,F8.3,F7.2)                                      LWT 1440
C                                                                                LWT 1450
C          'MODEL' SELECTS ONE OF SIX GEOGRAPHICAL MODEL ATMOSPHERES             LWT 1460
C           OR SPECIFIES THAT USER-DEFINED METEOROLOGICAL                        LWT 1470
C           DATA ARE TO BE USED.                                                 LWT 1480
C                                                                                LWT 1490
C                                                                                LWT 1500
C    MODEL=0 IF METEOROLOGICAL DATA ARE SPECIFIED(HORIZONTAL PATH ONLY)          LWT 1510
C          1 TROPICAL ATMOSPHERE                                                 LWT 1520
C          2 MIDLATITUDE SUMMER                                                  LWT 1530
C          3 MIDLATITUDE WINTER                                                  LWT 1540
C          4 SUBARCTIC   SUMMER                                                  LWT 1550
C          5 SUBARCTIC   WINTER                                                  LWT 1560
C          6 1976 U.S. STANDARD ATMOSPHERE                                       LWT 1570
C          7 IF A NEW MODEL ATMOSPHERE( OR RADIOSONDE DATA) IS TO BE             LWT 1580
C            READ IN.                                                            LWT 1590
C                                                                                LWT 1600
C    [NOTE: MODEL=0  USED FOR HORIZONTAL PATH ONLY]                              LWT 1610
C                                                                                LWT 1620
C                                                                                LWT 1630
C          'ITYPE' INDICATES THE TYPE OF ATMOSPHERIC PATH                        LWT 1640
C                                                                                LWT 1650
C    ITYPE=1 FOR A HORIZONTAL (CONSTANT-PRESSURE) PATH                           LWT 1660
C          2 VERTICAL OR SLANT PATH BETWEEN TWO ALTITUDES                        LWT 1670
C          3 FOR A VERTICAL OR SLANT PATH TO SPACE                               LWT 1680
C                                                                                LWT 1690
C                                                                                LWT 1700
C          'IEMSCT' DETERMINES THE MODE OF EXECUTION OF THE PROGRAM              LWT 1710
C                                                                                LWT 1720
C    IEMSCT=0    PROGRAM EXECUTION IN TRANSMITTANCE MODE.                        LWT 1730
C           1    PROGRAM EXECUTION IN RADIANCE MODE.                             LWT 1740
C           2    PROGRAM EXECUTION IN RADIANCE MODE WITH SOLAR/LUNAR             LWT 1750
C                SCATTERED RADIANCE INCLUDED.                                    LWT 1760
C           3    DIRECT SOLAR IRRADIANCE                                         LWT 1770
```

```
C                                                                     LWT 1780
C        'IMULT' DETERMINES EXECUTION WITH MULTIPLE SCATTERING        LWT 1790
C                                                                     LWT 1800
C    IMULT = 0 PROGRAM EXECUTED WITHOUT MULTIPLE SCATTERING           LWT 1810
C            1 PROGRAM EXECUTED WITH MULTIPLE SCATTERING              LWT 1820
C             [NOTE: IEMSCT MUST EQUAL 1 OR 2 FOR MULTIPLE SCATTERING] LWT 1830
C                                                                     LWT 1840
C                                                                     LWT 1850
C        'M1,M2,M3' ARE USED TO MODIFY OR SUPPLEMENT THE ALTITUDE     LWT 1860
C         PROFILES OF TEMPERATURE AND PRESSURE,WATER VAPOR,AND OZONE  LWT 1870
C                                                                     LWT 1880
C        'M4,M5,M6'  SEASONAL DEPENDENCE CH4,N2O,CO                   LWT 1890
C        'MDEF'      USE DEFAULT FOR OTHER GASES                      LWT 1900
C                                                                     LWT 1910
C    FOR NORMAL OPERATION OF PROGRAM   (MODEL 1 TO 6)                 LWT 1920
C    SET M1=M2=M3=0 , M4=M5=M6=MDEF = 0                               LWT 1930
C                                                                     LWT 1940
C    THESE PARAMETERS ARE RESET TO DEFAULT VALUES BY MODEL            LWT 1950
C    WHEN THEY ARE EQUAL TO ZERO                                      LWT 1960
C                                                                     LWT 1970
C     EXCEPT FOR MODEL 0 AND 7                                        LWT 1980
C     WHEN M1 = 0 M1 RESET TO 'MODEL'                                 LWT 1990
C     WHEN M2 = 0 M2 RESET TO 'MODEL'                                 LWT 2000
C     WHEN M3 = 0 M3 RESET TO 'MODEL'                                 LWT 2010
C     WHEN M4 = 0 M4 RESET TO 'MODEL'                                 LWT 2020
C     WHEN M5 = 0 M5 RESET TO 'MODEL'                                 LWT 2030
C     WHEN M6 = 0 M6 RESET TO 'MODEL'                                 LWT 2040
C     WHEN MDEF=0 MDEF RESET TO 1  FOR ALL REMAINING                  LWT 2050
C                                                                     LWT 2060
C    M1=1-6 DEFAULT TEMP. AND PRESSURE TO SPECIFIED MODEL ATM.        LWT 2070
C                                                                     LWT 2080
C    M2=1-6 DEFAULT H2O   TO SPECIFIED MODEL ATM.                     LWT 2090
C                                                                     LWT 2100
C    M3=1-6 DEFAULT OZONE TO SPECIFIED MODEL ATM.                     LWT 2110
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
C                                                                        LWT 2120
C    M4=1-6 DEFAULT CH4   TO SPECIFIED MODEL ATM.                        LWT 2130
C                                                                        LWT 2140
C    M5=1-6 DEFAULT N2O   TO SPECIFIED MODEL ATM.                        LWT 2150
C                                                                        LWT 2160
C    M6=1-6 DEFAULT CO    TO SPECIFIED MODEL ATM.                        LWT 2170
C                                                                        LWT 2180
C    MDEF=1     USE DEFAULT   PROFILE  FOR CO2,O2,NO,SO2,NO2,NH3,HNO3    LWT 2190
C               NOT NEEDED WITH MODEL 1 TO 6                             LWT 2200
C                                                                        LWT 2210
C                                                                        LWT 2220
C    IF 'MODEL' 0 OR 'MODEL' 7  THE PROGRAM EXPECTS TO READ              LWT 2230
C    "USER SUPPLIED" ATMOSPHERIC PROFILES. SET:'IM' = 1 FOR              LWT 2240
C     FIRST RUN. TO RERUN THE SAME "USER-ATMOSPHERE" FOR A SERIES        LWT 2250
C     OF CASES SET:'IM' = 0 TO REUSE THE PREVIOUSLY READ DATA.           LWT 2260
C                                                                        LWT 2270
C    IM=0    FOR  NORMAL OPERATION OF PROGRAM OR WHEN SUBSEQUENT         LWT 2280
C                 CALCULATIONS ARE TO BE RUN WITH MODEL =7               LWT 2290
C       1    WHEN RADIOSONDE DATA ARE TO BE READ INITIALLY.              LWT 2300
C                                                                        LWT 2310
C    NOPRT=0 FOR NORMAL OPERATION OF PROGRAM.                            LWT 2320
C                                                                        LWT 2330
C          1 TO MINIMIZE PRINTING OF TRANSMITTANCE /OR RADIANCE TABLE    LWT 2340
C                  AND ATMOSPHERIC PROFILES                              LWT 2350
C                                                                        LWT 2360
C                                                                        LWT 2370
C    TBOUND =BOUNDARY TEMPERATURE ( K),USED IN THE RADIATION MODE        LWT 2380
C           (IEMSCT = 1 OR 2) FOR SLANT PATHS THAT INTERSECT THE         LWT 2390
C           EARTH OR TERMINATE AT A GREY BOUNDARY (FOR EXAMPLE           LWT 2400
C           CLOUD,TARGET).  IF TBOUND IS LEFT BLANK AND THE PATH         LWT 2410
C           INTERSECTS THE EARTH, THE PROGRAM WILL USE THE               LWT 2420
C           TEMPERATURE OF THE FIRST ATMOSPHERIC LEVEL AS THE            LWT 2430
C           BOUNDARY TEMPERATURE.                                        LWT 2440
C                                                                        LWT 2450
```

```
C     SALB = SURFACE ALBEDO OF THE EARTH AT THE LOCATION                LWT 2460
C            AND AVERAGE FREQUENCY OF THE CALCULATION (0 TO 1.)         LWT 2470
C            IF SALB IS LEFT BLANK THE PROGRAM ASSUMES                  LWT 2480
C            THE SURFACE IS A BLACKBODY.                                LWT 2490
C*****************************************************************************LWT 2500
C                                                                       LWT 2510
C    CARD 2   IHAZE,ISEASN,IVULCN,ICSTL,ICLD,IVSA,VIS,WSS,WHH,RAINRT,   LWT 2520
C             GNDALT                                                    LWT 2530
C                       FORMAT(6I5,5F10.3)                              LWT 2540
C                                                                       LWT 2550
C    'IHAZE' SELECTS THE TYPE OF EXTINCTION AND A DEFAULT               LWT 2560
C    METEOROLOGICAL RANGE FOR THE BOUNDARY-LAYER AEROSOL MODEL          LWT 2570
C    (0 TO 2KM ALTITUDE)                                                LWT 2580
C    IF 'VIS' IS ALSO SPECIFIED ON CARD 2 IT WILL OVERRIDE THE          LWT 2590
C    DEFAULT 'IHAZE' VALUE  FOR METEOROLOGICAL RANGE                    LWT 2600
C                                                                       LWT 2610
C    IHAZE=0  NO AEROSOL ATTENUATION INCLUDED IN CALCULATION.           LWT 2620
C         =1  RURAL EXTINCTION, 23-KM VIS.                              LWT 2630
C         =2  RURAL EXTINCTION, 5-KM VIS.                               LWT 2640
C         =3  NAVY MARITIME EXTINCTION,SETS OWN VIS.                    LWT 2650
C         =4  MARITIME EXTINCTION, 23-KM VIS.    (LOWTRAN 5 MODEL)      LWT 2660
C         =5  URBAN EXTINCTION, 5-KM VIS.                               LWT 2670
C         =6  TROPOSPHERIC EXTINCTION, 50-KM VIS.                       LWT 2680
C         =7  USER DEFINED  AEROSOL EXTINCTION COEFFICIENTS             LWT 2690
C             TRIGGERS READING IREG FOR UP TO 4 REGIONS OF              LWT 2700
C             USER DEFINED EXTINCTION ABSORPTION AND ASYMMETRY          LWT 2710
C         =8  FOG1 (ADVECTIVE FOG) EXTINCTION, 0.2-KM VIS.              LWT 2720
C         =9  FOG2 (RADIATIVE FOG) EXTINCTION, 0.5-KM VIS.              LWT 2730
C         =10 DESERT EXTINCTION  SETS OWN VISIBILITY FROM WIND SPEED    LWT 2740
C                                                                       LWT 2750
C    'ISEASN' SELECTS THE SEASONAL DEPENDENCE OF THE PROFILES           LWT 2760
C    FOR BOTH THE TROPOSPHERIC (2 TO 10 KM) AND                         LWT 2770
C    STRATOSPHERIC(10 TO 30 KM) AEROSOLS.                               LWT 2780
C                                                                       LWT 2790
```

```
C     ISEASN=0 DEFAULTS TO SEASON OF 'MODEL'                          LWT 2800
C           (MODEL 0,1,2,4,6,7) SUMMER                                LWT 2810
C           (MODEL 3,5)        WINTER                                 LWT 2820
C         =1 SPRING-SUMMER                                            LWT 2830
C         =2 FALL - WINTER                                            LWT 2840
C                                                                     LWT 2850
C     'IVULCN' SELECTS BOTH THE PROFILE AND EXTINCTION TYPE           LWT 2860
C     FOR THE STRATOSPHERIC AEROSOLS AND DETERMINES TRANSITION        LWT 2870
C     PROFILES ABOVE THE STRATOSPHERE TO 100 KM.                      LWT 2880
C                                                                     LWT 2890
C     IVULCN=0 DEFAULT TO STRATOSPHERIC BACKGROUND                    LWT 2900
C         =1 STRATOSPHERIC BACKGROUND                                 LWT 2910
C         =2 AGED VOLCANIC TYPE/MODERATE VOLCANIC PROFILE             LWT 2920
C         =3 FRESH VOLCANIC TYPE/HIGH VOLCANIC PROFILE                LWT 2930
C         =4 AGED VOLCANIC TYPE/HIGH VOLCANIC PROFILE                 LWT 2940
C         =5 FRESH VOLCANIC TYPE/MODERATE VOLCANIC PROFILE            LWT 2950
C         =6 BACKGROUND STRATOSPHERIC TYPE/MODERATE VOLCANIC PROFILE  LWT 2960
C         =7 BACKGROUND STRATOSPHERIC TYPE/HIGH VOLCANIC PROFILE      LWT 2970
C         =8 FRESH VOLCANIC TYPE/EXTREME VOLCANIC PROFILE             LWT 2980
C                                                                     LWT 2990
C     'ICSTL' IS THE AIR MASS CHARACTER(1 TO 10) ONLY USED WITH       LWT 3000
C     NAVY MARITIME MODEL(IHAZE=3)                                    LWT 3010
C                                                                     LWT 3020
C     ICSTL = 1 OPEN OCEAN                                            LWT 3030
C          .                                                          LWT 3040
C          .                                                          LWT 3050
C          .                                                          LWT 3060
C         10 STRONG CONTINENTAL INFLUENCE                             LWT 3070
C                                                                     LWT 3080
C                                                                     LWT 3090
C     'ICLD' SPECIFIES WHICH OF THE CLOUD MODELS AND THE RAIN RATES   LWT 3100
C     ARE USED                                                        LWT 3110
C                                                                     LWT 3120
C     ICLD  FOR CLOUD AND OR RAIN                                     LWT 3130
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
C     ICLD = 0   NO CLOUDS OR RAIN                                    LWT 3140
C          = 1  CUMULUS CLOUD BASE .66KM TOP 2.7KM                     LWT 3150
C          = 2  ALTOSTRATUS CLOUD BASE 2.4KM TOP 3.0KM                 LWT 3160
C          = 3  STRATUS CLOUD BASE .33KM TOP 1.0KM                     LWT 3170
C          = 4  STRATUS/STRATO CU BASE .66KM TOP 2.0KM                 LWT 3180
C          = 5  NIMBOSTRATUS CLOUD BASE .16KM TOP .66KM                LWT 3190
C          = 6  2.0MM/HR DRIZZLE (MODELED WITH CLOUD  3)               LWT 3200
C               RAIN  2. MM HR AT 0KM TO .22 MM HR AT 1.5KM            LWT 3210
C          = 7  5.0MM/HR LIGHT RAIN (MODELED WITH CLOUD  5)            LWT 3220
C               RAIN  5. MM HR AT 0KM TO .2  MM HR AT 1.5KM            LWT 3230
C          = 8  12.5MM/HR MODERATE RAIN (MODELED WITH CLOUD  5)        LWT 3240
C               RAIN 12.5MM HR AT 0KM TO .2  MM HR AT 2.0KM            LWT 3250
C          = 9  25.0MM/HR HEAVY RAIN (MODELED WITH CLOUD  1)           LWT 3260
C               RAIN 25. MM HR AT 0KM TO .2  MM HR AT 3.0KM            LWT 3270
C          =10  75.0MM/HR EXTREME RAIN (MODELED WITH CLOUD  1)         LWT 3280
C               RAIN 75. MM HR AT 0KM TO .2  MM HR AT 3.5KM            LWT 3290
C          =11  READ IN USER DEFINED CLOUD EXTINCTION AND ABSORPTION   LWT 3300
C              USER DEFINED  AEROSOL EXTINCTION COEFFICIENTS           LWT 3310
C              TRIGGERS READING IREG FOR UP TO 4 REGIONS OF            LWT 3320
C              USER DEFINED EXTINCTION ABSORPTION AND ASYMMETRY        LWT 3330
C          =18  STANDARD   CIRRUS MODEL                                LWT 3340
C          =19  SUB VISUAL CIRRUS MODEL                                LWT 3350
C          =20  NOAA       CIRRUS MODEL  (LOWTRAN 6 MODEL)             LWT 3360
C                                                                      LWT 3370
C                                                                      LWT 3380
C     IVSA DETERMINES THE USE OF THE ARMY VERTICAL STRUCTURE           LWT 3390
C     ALGORITHM FOR AEROSOLS IN THE BOUNDARY LAYER.                    LWT 3400
C                                                                      LWT 3410
C     IVSA=0   NOT USED                                                LWT 3420
C         =1   VERTICAL STRUCTURE ALGORITHM                            LWT 3430
C                                                                      LWT 3440
C     'VIS'   SPECIFIES THE METEOROLIGICAL RANGE                       LWT 3450
C     VIS =    METEOROLOGICAL RANGE (KM) (WHEN SPECIFIED,SUPERSEDES    LWT 3460
C              DEFAULT VALUE SET BY IHAZE)                             LWT 3470
```

```
C                                                                          LWT 3480
C    'WSS'     SPECIFIES THE CURRENT WIND SPEED                            LWT 3490
C    WSS =    CURRENT WIND SPEED (M/S).    WITH (IHAZE=3/IHAZE=10)         LWT 3500
C                                                                          LWT 3510
C    'WHH'    SPECIFIES THE 24 HOUR AVERAGE WIND SPEED                     LWT 3520
C    WHH =    24 HOUR AVERAGE WIND SPEED (M/S).  ONLY WITH (IHAZE=3)       LWT 3530
C                                                                          LWT 3540
C    'RAINRT' SPECIFIES THE RAIN RATE                                      LWT 3550
C    RAINRT = RAIN RATE (MM/HR).            DEFAULT VALUE IS ZERO.         LWT 3560
C    USED  TO TOP OF CLOUD WHEN CLOUD IS PRESENT                           LWT 3570
C    WHEN NO CLOUDS RAIN RATE USED TO 6KM                                  LWT 3580
C                                                                          LWT 3590
C    'GNDALT' SPECIFIES THE ALTITUDE OF SURFACE RELATIVE TO SEA LEVEL      LWT 3600
C    GNDALT = ALTITUDE OF SURFACE RELATIVE TO SEA LEVEL (KM)               LWT 3610
C           USED TO MODIFY  AEROSOL PROFILES BELOW 6 KM ALTITUDE           LWT 3620
C                                                                          LWT 3630
C**************************************************************************LWT 3640
C                                                                          LWT 3650
C    OPTIONAL INPUT CARDS AFTER CARD 2                                     LWT 3660
C    SELECTED BY PARAMETERS ICLD,IVSA,MODEL,AND IHAZE ON CARDS 2           LWT 3670
C                                                                          LWT 3680
C                                                                          LWT 3690
C    CARD 2A   CTHIK,CALT,CEXT,ISEED     (ICLD=18,19,20)                   LWT 3700
C                  FORMAT(3F10.3,I10)                                      LWT 3710
C             INPUT CARD FOR CIRRUS ALTITUDE PROFILE                       LWT 3720
C             SUBROUTINE WHEN ICLD = 18,19,20                              LWT 3730
C                                                                          LWT 3740
C    CHTIK    = CIRRUS THICKNESS (KM)                                      LWT 3750
C           0  USE THICKNESS STATISTICS                                    LWT 3760
C                                                                          LWT 3770
C    CALT     = CIRRUS BASE ALTITUDE(KM)                                   LWT 3780
C           0 USE DEFAULT DETERMINED BY 'MODEL'                            LWT 3790
C                                                                          LWT 3800
C    CEXT     = EXTINCTION COEFFIENT(KM-1) AT 0.55                         LWT 3810
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
C            0 USE 0.14 * CTHIK                                    LWT 3820
C                                                                  LWT 3830
C    ISEED    = RANDOM NUMBER INITIALIZATION FLAG.                 LWT 3840
C            0 USE DEFAULT MEAN VALUES FOR CIRRUS                  LWT 3850
C            .NE. 0 INITIAL VALUE OF SEED FOR                      LWT 3860
C            RANDOM NUMBER GENERATOR FUNCTION                      LWT 3870
C            CHANGE SEED VALUE EACH RUN FOR DIFFERENT              LWT 3880
C            RANDOM NUMBER SEQUENCES.  THIS PROVIDES FOR           LWT 3890
C            STATISTICAL DETERMINATION OF CIRRUS BASE              LWT 3900
C            ALTITUDE AND THICKNESS.                               LWT 3910
C                                                                  LWT 3920
C   NOTE: RANDOM NUMBERS GENERATION IS SYSTEM DEPENDENT            LWT 3930
C                                                                  LWT 3940
C*********************************************************************************************LWT 3950
C                                                                  LWT 3960
C    CARD 2B          ZCVSA,ZTVSA,ZINVSA     (IVSA=1)              LWT 3970
C                     FORMAT(3F10.3)                               LWT 3980
C           INPUT CARD FOR ARMY VERTICAL STRUCTURE                 LWT 3990
C           ALGORITHM SUBROUTINE WHEN IVSA=1.                      LWT 4000
C                                                                  LWT 4010
C    ZCVSA = CLOUD CEILING HEIGHT (KM)                             LWT 4020
C          LT 0 NO CLOUD CEILING                                   LWT 4030
C          GT 0 KNOWN CLOUD CEILING                                LWT 4040
C            0 UNKNOWN CLOUD CEILING HEIGHT                        LWT 4050
C              PROGRAM CALCULATES CLOUD HEIGHT                     LWT 4060
C                                                                  LWT 4070
C    ZTVSA = THICKNESS OF CLOUD OR FOG (KM),                        LWT 4080
C           0 DEFAULTS TO 200 METERS                               LWT 4090
C                                                                  LWT 4100
C    ZINVSA= HEIGHT OF THE INVERSION (KM)                          LWT 4110
C             0 DEFAULTS TO 100 METERS                             LWT 4120
C          LT  0 NO INVERSION LAYER                                LWT 4130
C                                                                  LWT 4140
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
C****************************************************************************************************
C
C     CARD 2C  ML,IRD1,IRD2,TITLE   (MODEL=0 / 7,IM=1)
C                     FORMAT(3I5,18A4)
C           ADDITIONAL ATMOSPHERIC MODEL       (MODEL=7)
C           NEW MODEL ATMOSPHERE CAN BE INSERTED PROVIDED THE
C           PARAMETERS 'MODEL' AND 'IM' ARE SET EQUAL TO 7 AND 1
C           RESPECTIVELY ON CARD 1.
C
C     ML=      NUMBER OF ATMOSPHERIC LEVELS TO BE INSERTED
C              (MAXIMUM OF 34)
C
C     CARD 2C1 IS READ AUTOMATICALLY FOR MODEL 0 AND 7
C
C     IRD1 CONTROL READING WN2O,WCO ... AND WNH3,WHNO3      CARD
C
C     IRD1 = 0     NO READ  (MOLECULAR DENSITIES BY LAYER)
C     IRD1 = 1     READ
C
C     IRD2  CONTROL READING AHAZE,EQLWCZ,... CARD
C
C     IRD2 = 0     NO READ  (AEROSOL CONTROL BY LAYER)
C     IRD2 = 1     READ
C
C     JCHAR  ON CARD 2C1 IS USUALLY USED TO DEFINE MOLECULES 4 TO 12
C     IHAZE  ON CARD 2   IS USUALLY USED TO DEFINE AEROSOL PROFILES
C     IRD1 = 1 OR IRD2 = 1   SELDOM USED
C
C     TITLE=   IDENTIFICATION OF NEW MODEL ATMOSPHERE
C
C
C     THE FOLLOWING CARDS ARE READ IN SUBROUTINE AERNSM
C
CC----------------------- BEGIN ML LOOP
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
CC-                                                              LWT 4490
CC-  CARD 2C1 ZMDL,P,T,WMOL(1),WMOL(2),WMOL(3),JCHAR             LWT 4500
CC-  LAYER VARIABLES      WH,   WCO2,    WO,JCHAR (1 TO 13)      LWT 4510
CC-                 FORMAT(F10.3,5E10.3,15A1)                    LWT 4520
CC-                                                              LWT 4530
CC-  ZMDL    ALTITUDE OF LAYER (KM)                              LWT 4540
CC-  P       PRESSURE AT LAYER                                   LWT 4550
CC-  T       TEMPERATURE                                         LWT 4560
CC-  WMOL    READ, INTERPRETED AND MOVED INTO LAYER VARIABLES    LWT 4570
CC-  WH =    WATER VAPOR                                         LWT 4580
CC-  WCO2 =  CO2                                                 LWT 4590
CC-  WO =    OZONE                                               LWT 4600
CC-                                                              LWT 4610
CC-  JCHAR   FLAGS TO SPECIFY UNITS OR DEFAULTS FOR              LWT 4620
CC-  P,T,WH,WCO2,WO,WN2O,WCO,.. AND WNH3,WHNO3                   LWT 4630
CC-  JCHAR BLANK DEFAULT TO M1,M2,M3,M4,M5,M6,MDEF WHEN AMOUNT ZERO LWT 4640
CC-                                                              LWT 4650
CC-    PARAMETERS - JCHAR = INPUT KEY                            LWT 4660
CC-                                                              LWT 4670
CC-  **  ACCEPTS VARIABLE UNITS ON PRESS AND TEMP                LWT 4680
CC-                                                              LWT 4690
CC-   JCHAR(1)                                                   LWT 4700
CC-                                                              LWT 4710
CC-   " ",A        PRESSURE IN (MB)   OR BLANK                   LWT 4720
CC-      B              "    "  (ATM)                            LWT 4730
CC-      C              "    "  (TORR)                           LWT 4740
CC-     1-6        DEFAULT TO SPECIFIED MODEL ATMOSPHERE         LWT 4750
CC-                                                              LWT 4760
CC-   JCHAR(2)                                                   LWT 4770
CC-   " ",A        AMBIENT TEMPERATURE IN DEG(K)  OR BLANK       LWT 4780
CC-      B              "       "      " " (C)                   LWT 4790
CC-     1-6        DEFAULT TO SPECIFIED MODEL ATMOSPHERE         LWT 4800
CC-                                                              LWT 4810
```

```
CC-   **************************************************************************************************** LWT 4820
CC-   FOR MOLECULAR SPECIES ONLY                                                  LWT 4830
CC-                                                                               LWT 4840
CC-    JCHAR           JCHAR(3-13)                                                LWT 4850
CC-                                                                               LWT 4860
CC-   " ",A          VOLUME MIXING RATIO (PPMV)                                   LWT 4870
CC-      B           NUMBER DENSITY (CM-3)                                        LWT 4880
CC-      C           MASS MIXING RATIO (GM(K)/KG(AIR))                            LWT 4890
CC-      D           MASS DENSITY (GM M-3)                                        LWT 4900
CC-      E           PARTIAL PRESSURE (MB)                                        LWT 4910
CC-      F           DEW POINT TEMP (TD IN T(K)) - H2O ONLY                       LWT 4920
CC-      G             "    "     "  (TD IN T(C)) - H2O ONLY                      LWT 4930
CC-      H           RELATIVE HUMIDITY (RH IN PERCENT) - H2O ONLY (3)             LWT 4940
CC-      I           AVAILABLE FOR USER DEFINITION                                LWT 4950
CC-     1-6          DEFAULT TO SPECIFIED MODEL ATMOSPHERE                        LWT 4960
CC-                                                                               LWT 4970
CC-   **************************************************************************************************** LWT 4980
CC-                                                                               LWT 4990
CC-   CARD 2C2   (WMOL(J),J=4,11)                                                 LWT 5000
CC-   VARIABLES  WN2O,WCO,WCH4,WO2,WNO,WSO2,WNO2,WNH3                             LWT 5010
CC-                    FORMAT(8E10.3)                                             LWT 5020
CC-                                                                               LWT 5030
CC-   CARD 2C2   WMOL(12)          (CONT)                                         LWT 5040
CC-   VARIABLE   WHNO3                                                            LWT 5050
CC-                    FORMAT(8E10.3)                                             LWT 5060
CC-                                                                               LWT 5070
CC-                                                                               LWT 5080
CC-   WMOL     READ, INTERPRETED AND MOVED INTO LAYER VARIABLES                   LWT 5090
CC-   WN2O =   N2O                                                                LWT 5100
CC-   WCO  =   CO                                                                 LWT 5110
CC-   WCH4 =   CH4                                                                LWT 5120
CC-   WO2  =   O2                                                                 LWT 5130
CC-   WNO  =   NO                                                                 LWT 5140
CC-   WSO2 =   SO2                                                                LWT 5150
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
CC-   WNO2 =   NO2                                                          LWT 5160
CC-   WNH3 =   NH3                                                          LWT 5170
CC-   WHNO3 =  HNO3                                                         LWT 5180
CC-                                                                         LWT 5190
CC-   ***************************************************************************************** LWT 5200
CC-                                                                         LWT 5210
CC- CARD 2C3     AHAZE,EQLWCZ,RRATZ,IHA1,ICLD1,IVUL1,ISEA1,ICHR            LWT 5220
CC-                 FORMAT(10X,3F10.3,5I5)                                  LWT 5230
CC-                                                                         LWT 5240
CC-  'AHAZE' AEROSOL SCALING FACTOR (EQUAL TO THE VISIBLE [0.55UM]          LWT 5250
CC-        EXTINCTION COEFFICIENT AT ALTZ)                                  LWT 5260
CC-                                                                         LWT 5270
CC-        [NOTE ** ONE OF AHAZE OR EQLWCZ IS ALLOWED ]                     LWT 5280
CC-                                                                         LWT 5290
CC-  'EQLWCZ' EQUIVALENT LIQUID WATER CONTENT ( GM/M3) AT ALT Z             LWT 5300
CC-         FOR THE AEROSOL, CLOUD OR FOG MODELS                            LWT 5310
CC-                                                                         LWT 5320
CC-   RRATZ=RAIN RATE (MM/HR) AT ALT Z                                      LWT 5330
CC-                                                                         LWT 5340
CC-   'IHA1' AEROSOL EXTINCTION AND METEOROLOGICAL RANGE CONTROL FOR         LWT 5350
CC-        THE ALTITUDE, Z                                                  LWT 5360
CC-                                                                         LWT 5370
CC-   'ICLD1' CLOUD EXTINCTION CONTROL FOR THE ALTITUDE, Z                  LWT 5380
CC-                                                                         LWT 5390
CC-   WHEN USING 'ICLD1' IT IS NECESSARY TO SET 'ICLD' (NON ZERO)           LWT 5400
CC-                                                                         LWT 5410
CC-   'IVUL1' STRATOSPHERIC AEROSOL PROFILE AND EXTINCTION CONTROL FOR      LWT 5420
CC-   THE ALTITUDE Z                                                        LWT 5430
CC-                                                                         LWT 5440
CC-   ONLY ONE OF 'IHA1','ICLD1' OR 'IVUL1' IS ALLOWED                      LWT 5450
CC-   IF 'IHA1' NE 0  THEN OTHERS IGNORED                                   LWT 5460
CC-   IF 'IHA1' EQ 0 AND 'ICLD1' NE 0 THEN USE 'ICLD1'                      LWT 5470
CC-                                                                         LWT 5480
CC-   IF 'AHAZE' AND 'EQLWCZ' ARE BOTH ZERO  DEFAULT PROFILE LOADED         LWT 5490
```

```
CC-      FROM 'IHAZ1','ICLD1','IVUL1'
CC-
CC-   'ISEA1'  AEROSOL SEASON CONTROL FOR THE ALTITUDE,Z
CC-
CC-   'ICHR '  CHANGE PROFILE REGION  AT ALTITUDE Z
CC-            USED WHEN IHA1 IS 7 IN TWO ADJACENT ALTITUDE REGIMES
CC-
CC------------- END ML LOOP
C**************************************************************************************************
C
C   IHAZE = 7 OR ICLD = 11 INPUT
C
C   CARD 2D  (IREG(II),II=1,4)
C                    FORMAT(4I5)
C
C           'IREG' SPECIFIES WHICH OF THE FOUR AEROSOL REGIONS
C            A USER DEFINED AEROSOL MODEL IS USED (IHAZE=7/ICLD=11)
C
C           [NOTE   REGIONS DEFAULT TO
C           0-2 ,3-10,11-30,35-100 KM
C           AND CAN BE OVERRIDDEN WITH 'IHA1' SETTINGS IN MODEL 7]
C
C           IREG = 0  USE DEFAULT VALUES FOR THIS REGION
C
C           IREG = 1  READ EXTINCTION ABSORPTION ASYMMETRY
C           FOR A REGION
C
C   CARD 2D1 AWCCON,TITLE
C                    FORMAT(E10.3,18A4)
C
C          'AWWCON' EQUIVALENT LIQUID WATER CONTENT(GM/M3)
C           FOR A REGION
C
C           'TITLE' FOR A AEROSOL REGION
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
C                                                                         LWT 5840
C   CARD 2D2 (VX(I),EXTC(N,I),ABSC(N,I),ASYM(N,I),I=1,47)                LWT 5850
C              FORMAT(4(F6.2,2F7.5,F6.4))                                 LWT 5860
C                                                                         LWT 5870
C          WHERE  N = IREG(II)   FOR UP TO 4 ALTITUDE REGIONS             LWT 5880
C          USER DEFINED AEROSOL  OR CLOUD EXTINCTION AND ABSORPTION       LWT 5890
C           COEFFICIENTS WHEN IHAZE = 7 OR ICLD = 11                      LWT 5900
C                                                                         LWT 5910
C    VX(I)    = WAVELENGTH OF AEROSOL COEFFICIENT                         LWT 5920
C              (NOT USED BY PROGRAM BUT CORRESPONDING TO                  LWT 5930
C              WAVELENGTHS DEFINED IN ARRAY VX2                           LWT 5940
C              IN SUBROUTINE EXTDTA)                                      LWT 5950
C                                                                         LWT 5960
C    EXTC(N,I) = AEROSOL EXTINCTION COEFFICIENT                           LWT 5970
C    ABSC(N,I) = AEROSOL ABSORPTION COEFFICIENT                           LWT 5980
C    ASYM(N,I) = AEROSOL ASYMMETRY PARAMETER                              LWT 5990
C    WHERE  N = IREG(II)   FOR UP TO 4 ALTITUDE REGIONS                   LWT 6000
C                                                                         LWT 6010
C*****************************************************************************************************LWT 6020
C                                                                         LWT 6030
C    CARD 3    H1,H2,ANGLE,RANGE,BETA,RO,LEN    FORMAT(6F10.3,I5)         LWT 6040
C        USED TO DEFINE THE GEOMETRICAL PATH PARAMETERS FOR A GIVEN       LWT 6050
C        PROBLEM.                                                         LWT 6060
C                                                                         LWT 6070
C    OR IF IEMSCT=3 ; CARD 3 H1,H2,ANGLE,IDAY,RO,ISOURC,ANGLEM            LWT 6080
C                                                                         LWT 6090
C    H1  =  INITIAL ALTITUDE(KM)                                          LWT 6100
C    H2  =  FINAL ALTITUDE(KM)                                            LWT 6110
C                                                                         LWT 6120
C              IN THE RADIANCE MODE OF THE PROGRAM EXECUTION              LWT 6130
C        H1, THE INITIAL ALTITUDE,ALWAYS DEFINES THE POSITION OF          LWT 6140
C        THE OBSERVER (OR SENSOR).                                        LWT 6150
C                                                                         LWT 6160
C    ANGLE =INITIAL ZENITH ANGLE (DEGREES) AS MEASURED FROM H1            LWT 6170
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
C    [NOTE: ANGLE = 0 LOOKS STRAIGHT UP.                                LWT 6180
C         ANGLE IS DEFINED  FROM 0 TO 180 DEGREES ]                      LWT 6190
C                                                                        LWT 6200
C    RANGE =PATH LENGTH (KM)                                             LWT 6210
C    BETA  =EARTH CENTER ANGLE SUBTENDED BY H1 AND H2 (DEGREES)          LWT 6220
C                                                                        LWT 6230
C    RO =   RADIUS OF THE EARTH (KM) AT THE PARTICULAR GEOGRAPHICAL      LWT 6240
C         LOCATION AT WHICH THE CALCULATION IS TO BE PERFORMED.          LWT 6250
C          IF RO BLANK PROGRAM USES RADIUS FOR APPROPRIATE MODEL         LWT 6260
C          ATMOSPHERE. (MODEL 0 OR 7 DEFAULT = 6371.23 KM)               LWT 6270
C                                                                        LWT 6280
C    LEN =0 FOR NORMAL OPERATION OF PROGRAM                              LWT 6290
C       =1 LONG PATH THROUGH THE TANGENT HEIGHT                          LWT 6300
C                                                                        LWT 6310
C         IT IS NOT NECESSARY TO SPECIFY EVERY QUANTITY GIVEN ABOVE      LWT 6320
C         ONLY THOSE THAT ADEQUATELY DESCRIBE THE PROBLEM ACCORDING      LWT 6330
C         TO THE PARAMETER ITYPE                                         LWT 6340
C                                                                        LWT 6350
C         ITYPE=1 READ H1,RANGE                                          LWT 6360
C              =2 READ H1,H2,ANGLE   OR H1,H2,RANGE   OR H1,H2,BETA      LWT 6370
C                OR H1,ANGLE,RANGE                                       LWT 6380
C              =3 READ H1,ANGLE OR H1,H2                                 LWT 6390
C                [NOTE: H2 IS INTERPRETED AS HMIN FOR THIS CASE]         LWT 6400
C                                                                        LWT 6410
C--------------                                                          LWT 6420
C    CARD 3    OPTION  IEMSCT = 3                                        LWT 6430
C   'IDAY'     DAY OF THE YEAR, I.E. FROM 1 TO 365  (IEMSCT = 3)         LWT 6440
C                                                                        LWT 6450
C    ISOURC=0  EXTRATERRESTRIAL SOURCE IS THE SUN                        LWT 6460
C         =1  EXTRATERRESTRIAL SOURCE IS THE MOON                        LWT 6470
C                                                                        LWT 6480
C    ANGLEM=PHASE ANGLE OF THE MOON, I.E. THE ANGLE FORMED               LWT 6490
C         BY THE SUN, MOON AND EARTH (REQUIRED IF ISOURC=1)              LWT 6500
C                                                                        LWT 6510
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
C*****************************************************************************************************LWT 6520
C                                                                                                      LWT 6530
C    CARD 3A1   IPARM,IPH,IDAY,ISOURC          (IEMSCT=2)                                              LWT 6540
C                    FORMAT(4I5)                                                                       LWT 6550
C          INPUT CARD FOR SOLAR/LUNAR SCATTERED RADIATION WHEN                                         LWT 6560
C          IEMSCT = 2                                                                                  LWT 6570
C                                                                                                      LWT 6580
C          IPARM =0,1,2 AND CONTROLS THE METHOD OF SPECIFYING THE                                      LWT 6590
C          SOLAR/LUNAR GEOMETRY ON CARD 3A2.                                                           LWT 6600
C                (SEE DEFINITION BELOW FOR CARD 3A2)                                                   LWT 6610
C                                                                                                      LWT 6620
C          IPH DETERMINES THE TYPE OF PHASE FUNCTION USED IN THE                                       LWT 6630
C           CALCULATION                                                                                LWT 6640
C                                                                                                      LWT 6650
C    IPH=0     HENYEY-GREENSTEIN AEROSOL PHASE FUNCTION                                                LWT 6660
C       =1     USER SUPPLIED AEROSOL PHASE FUNCTION (SEE CARD 3B)                                      LWT 6670
C       =2     MIE GENERATED DATA BASE OF AEROSOL PHASE FUNCTIONS FOR                                  LWT 6680
C           THE LOWTRAN MODELS.                                                                        LWT 6690
C                                                                                                      LWT 6700
C    IDAY=     DAY OF THE YEAR, I.E. FROM 1 TO 365   (REQUIRED)                                        LWT 6710
C                                                                                                      LWT 6720
C    ISOURC=0  EXTRATERRESTRIAL SOURCE IS THE SUN                                                      LWT 6730
C         =1  EXTRATERRESTRIAL SOURCE IS THE MOON                                                      LWT 6740
C                                                                                                      LWT 6750
C*****************************************************************************************************LWT 6760
C                                                                                                      LWT 6770
C    CARD 3A2  PARM1,PARM2,PARM3,PARM4,TIME,PSIPO,ANGLEM,G                                             LWT 6780
C                    FORMAT(8F10.3)              (IEMSCT=2)                                            LWT 6790
C          INPUT CARD FOR SOLAR/LUNAR SCATTERED RADIATION WHEN                                         LWT 6800
C          IEMSCT = 2                                                                                  LWT 6810
C          DEFINITIONS OF PARM1,PARM2,PARM3,PARM4 DETERMINED BY                                        LWT 6820
C          VALUE OF IPARM ON CARD 3A1.                                                                 LWT 6830
C                                                                                                      LWT 6840
C                 FOR IPARM=0                                                                          LWT 6850
```

```
C                                                                    LWT 6860
C    PARM1= OBSERVER LATITUDE (-90 TO +90)                           LWT 6870
C       NOTE- IF ABS(PARM1) IS GREATER THAN 89.5 THE OBSERVER IS     LWT 6880
C       ASSUMED TO BE AT EITHER THE NORTH OR THE SOUTH POLE.  IN     LWT 6890
C       THAT CASE THE PATH AZIMUTH IS UNDEFINED.  THE DIRECTION OF   LWT 6900
C       LINE OF SIGHT MUST BE SPECIFIED AS THE LONGITUDE ALONG WHICH LWT 6910
C       THE PATH LIES. THIS QUANTITY RATHER THAN THE USUAL AZIMUTH   LWT 6920
C       IS READ IN                                                   LWT 6930
C    PARM2= OBSERVER LONGITUDE (0 TO 360)                            LWT 6940
C    PARM3= SOURCE (SUN OR MOON) LATITUDE                            LWT 6950
C    PARM4= SOURCE (SUN OR MOON) LONGITUDE                           LWT 6960
C                                                                    LWT 6970
C              FOR IPARM=1                                           LWT 6980
C     (IDAY AND TIME MUST BE SPECIFIED,CANNOT BE USED WITH ISOURC=1) LWT 6990
C                                                                    LWT 7000
C                                                                    LWT 7010
C    PARM1= OBSERVER LATITUDE (-90 TO +90)                           LWT 7020
C    PARM2= OBSERVER LONGITUDE (0 TO 360)                            LWT 7030
C         PARM3,PARM4 ARE NOT REQUIRED                               LWT 7040
C                                                                    LWT 7050
C    [NOTE: THAT THE CALCULATED APPARENT SOLAR ZENITH                LWT 7060
C        ANGLE IS THE ZENITH ANGLE AT H1 OF THE REFRACTED            LWT 7070
C        PATH TO THE SUN AND IS LESS THAN THE ASTRONOMICAL           LWT 7080
C        SOLAR ZENITH ANGLE.  THE DIFFERENCE BETWEEN THE             LWT 7090
C        TWO ANGLES IS NEGLIGIBLE FOR ANGLES LESS THAN 80            LWT 7100
C        DEGREES.]                                                   LWT 7110
C                                                                    LWT 7120
C              FOR IPARM=2                                           LWT 7130
C                                                                    LWT 7140
C    PARM1= AZIMUTHAL ANGLE BETWEEN THE OBSERVER'S LINE OF SIGHT     LWT 7150
C        AND THE OBSERVER-TO-SUN PATH, MEASURED FROM THE LINE        LWT 7160
C        OF SIGHT, POSITIVE EAST OF NORTH, BETWEEN -180 AND 180      LWT 7170
C    PARM2= THE SUN'S ZENITH ANGLE                                   LWT 7180
C                                                                    LWT 7190
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
C            PARM3,PARM4 ARE NOT REQUIRED
C
C
C            REMAINING CONTROL PARAMETERS
C
C     TIME=  GREENWICH TIME IN DECIMAL HOURS, I.E. 8:45 AM IS 8.75,
C           5:20 PM IS 17.33 ETC. (USED WITH IPARM = 1)
C
C     PSIPO= PATH AZIMUTH (DEGREES EAST OF NORTH, I.E. DUE NORTH IS 0.0
C           DUE EAST IS 90.0 ETC.  (USED WITH IPARM = 0 OR 1)
C
C     ANGLEM=PHASE ANGLE OF THE MOON, I.E. THE ANGLE FORMED
C           BY THE SUN, MOON AND EARTH (REQUIRED IF ISOURC=1)
C
C     G=     ASYMMETRY FACTOR FOR USE WITH HENYEY-GREENSTEIN
C           PHASE FUNCTION (USED WITH IPH = 0)
C
C*****************************************************************************
C     CARD 3B1 NANGLS          (IPH=1)
C                 FORMAT(I5)
C
C            INPUT CARD FOR USER DEFINED PHASE FUNCTIONS WHEN IPH=1.
C
C     NANGLS=  NUMBER OF ANGLES FOR THE USER DEFINED PHASE
C            FUNCTIONS(MAXIMUM OF 50)
C
C*****************************************************************************
C
C     CARD 3B2(1 TO NANGLS)    (IPH=1)
C           (ANGF(I),F(1,I),F(2,I),F(3,I),F(4,I),I=1,NANGLS)
C                 FORMAT(5E10.3)
C            INPUT CARD FOR USER DEFINED PHASE FUNCTION WHEN IPH=1.
C            FOR AVERAGE FREQUENCY OF CALCULATION
C
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
C    ANGF(I)= PHASE ANGLE IN DECIMAL DEGREES                             LWT 7540
C              (0.0 TO 180.0)                                            LWT 7550
C                                                                        LWT 7560
C    F(1,I)=  USER DEFINED PHASE FUNCTION AT ANGF(I)                     LWT 7570
C         BOUNDARY LAYER DEFAULTS TO (0 TO 2KM))                         LWT 7580
C                                                                        LWT 7590
C    F(2,I)=  USER DEFINED PHASE FUNCTION AT ANGF(I)                     LWT 7600
C         TROPOSPHERE DEFAULTS TO (2 TO 10 KM)                           LWT 7610
C                                                                        LWT 7620
C    F(3,I)=  USER DEFINED PHASE FUNCTION AT ANGF(I)                     LWT 7630
C         STRATOSPHERE DEFAULTS TO (10 TO 30 KM)                         LWT 7640
C                                                                        LWT 7650
C    F(4,I)=  USER DEFINED PHASE FUNCTION AT ANGF(I)                     LWT 7660
C         MESOSPHERE DEFAULTS TO (30 TO 100 KM)                          LWT 7670
C                                                                        LWT 7680
C***********************************************************************LWT 7690
C                                                                        LWT 7700
C    CARD 4    V1, V2, DV                FORMAT(3F10.3)                  LWT 7710
C                                                                        LWT 7720
C         THE SPECTRAL RANGE OVER WHICH DATA ARE REQUIRED AND            LWT 7730
C         THE SPECTRAL INCREMENTS AT WHICH THE DATA ARE TO BE            LWT 7740
C         CALCULATED  IS DETERMINED BY CARD 4.                           LWT 7750
C                                                                        LWT 7760
C    V1 =    INITIAL FREQUENCY (WAVENUMBER CM-1 )                        LWT 7770
C    V2 =    FINAL FREQUENCY(WAVENUMBER CM-1 )                           LWT 7780
C    DV =    FREQUENCY INCREMENT (OR STEP SIZE) (CM-1)                   LWT 7790
C         NOTE: DV MUST BE A MULTIPLE OF 5 CM-1                          LWT 7800
C         ANY STEP SIZE .GT. 5 CM-1 WILL UNDERSAMPLE THE RESULTS         LWT 7810
C                                                                        LWT 7820
C         SCANNING FUNCTION IS AVAILABLE TO PROPERLY HANDLE DATA         LWT 7830
C         WITH LOWER RESOLUTION THAN 20CM-1 LOWTRAN 7                    LWT 7840
C                                                                        LWT 7850
```

```
C*****************************************************************************************************LWT 7860
C                                                                         LWT 7870
C   CARD 5   IRPT                    FORMAT(I5)                           LWT 7880
C   IRPT=0  TO END PROGRAM                                                LWT 7890
C      =1  READ ALL DATA CARDS (1,2,3,4,5)                                LWT 7900
C      =2  NOT USED  (WILL STOP PROGRAM)                                  LWT 7910
C      =3  READ CARD 3   THE GEOMETRY CARD AND CARD 5                     LWT 7920
C      =4  READ CARD 4 TO CHANGE FREQUENCY AND CARD 5                     LWT 7930
C   GT 4 OR IRPT=2 WILL CAUSE PROGRAM TO STOP                             LWT 7940
C                                                                         LWT 7950
C   IRPT GE 1 USED FOR MULTIPLE RUNS OF LOWTRAN                           LWT 7960
C   WARNING IRPT 3 CANNOT BE USED WHEN RUNNING MULTIPLE SCATTERING        LWT 7970
C   CASES WITH SOLAR SCATTERING                                           LWT 7980
C                                                                         LWT 7990
C   REFERENCES                                                            LWT 8000
C                                                                         LWT 8010
C    (1980) ATMOSPHERIC TRANSMITTANCE/RADIANCE- COMPUTER CODE             LWT 8020
C    LOWTRAN 5 AFGL-TR-80-0067                                            LWT 8030
C    KNEIZYS, F. X.,SHETTLE, E. P. ,GALLERY, W. O.,CHETWYND, J. H.,       LWT 8040
C    ABREU, L. W., SELBY, J. E. A., FENN, R. W. ,MCCLATCHEY R. A.         LWT 8050
C                                                                         LWT 8060
C    (1983) ATMOSPHERIC TRANSMITTANCE/RADIANCE- COMPUTER CODE             LWT 8070
C    LOWTRAN 6  AFGL TR 83 0187                                           LWT 8080
C    KNEIZYS, F. X.,SHETTLE, E. P. ,GALLERY, W. O.,CHETWYND, J. H.,       LWT 8090
C    ABREU, L. W., SELBY, J. E. A., CLOUGH, S. A., FENN, R. W.            LWT 8100
C                                                                         LWT 8110
C    (1988) ATMOSPHERIC TRANSMITTANCE/RADIANCE- COMPUTER CODE             LWT 8120
C    LOWTRAN 7 AFGL-TR-88-XXXX                                            LWT 8130
C    KNEIZYS, F. X.,SHETTLE, E. P. ,ANDERSON G. P.,ABREU ,L. W.           LWT 8140
C    CHETWYND, J H,SELBY, J. E. A. ,CLOUGH, S. A.,GALLERY, W. O           LWT 8150
C                                                                         LWT 8160
C    (1988) LOWTRAN 7 COMPUTER CODE : USER'S MANUAL AFGL-TR-88-XXXX       LWT 8170
C    KNEIZYS, F. X.,SHETTLE, E. P. ,ANDERSON G. P.,ABREU ,L. W.           LWT 8180
C    CHETWYND, J H,SELBY, J. E. A. ,CLOUGH, S. A.,GALLERY, W. O           LWT 8190
```

```
C                                                                                    LWT 8200
C     MOLECULAR TRANSMISSION BAND MODELS FOR LOWTRAN AFGL-TR-86-0272                 LWT 8210
C     PIERLUISSI, J. H., MARAGOUDAKIS, C. E.                                         LWT 8220
C                                                                                    LWT 8230
C     MULTIPLE SCATTERING TREATMENT FOR USE IN                                       LWT 8240
C     THE LOWTRAN AND FASCODE MODELS  AFGL-TR-86-0073                                LWT 8250
C     ISAACS, R. G., WANG, W. C., WORSHAM, R. D.,GOLDENBERG S.                       LWT 8260
C                                                                                    LWT 8270
C     AFGL ATMOSPHERIC CONSTITUENT PROFILES (0 TO 120KM)                             LWT 8280
C                          AFGL-TR-86-0110                                           LWT 8290
C     ANDERSON, G. P., CLOUGH, S. A., KNEIZYS, F. X.,                                LWT 8300
C     CHETWYND, J. H., SHETTLE, E. P.                                                LWT 8310
C                                                                                    LWT 8320
C     PROGRAM FOR ATMOSPHERIC TRANSMITTANCE RADIANCE/CALCULATIONS                    LWT 8330
C     FSCATM                    AFGL-TR-83-0065                                      LWT 8340
C     GALLERY, W. O., KNEIZYS, F. X., AND CLOUGH, S. A.                              LWT 8350
C                                                                                    LWT 8360
C     AFGL HANDBOOK OF GEOPHYSICS AND THE SPACE ENVIRONMENT                          LWT 8370
C     EDITOR, A. S. JURSA  CHAPTER 18 1985                                           LWT 8380
C                                                                                    LWT 8390
C     MODELS OF THE AEROSOLS OF THE LOWER ATMOSPHERE AND THE EFFECTS                 LWT 8400
C     OF HUMIDITY VARIATIONS ON THEIR OPTICAL PROPERTIES                             LWT 8410
C     SHETTLE, E.P. AND FENN, R. W.          AFGL-TR-79-0214                         LWT 8420
C                                                                                    LWT 8430
C     OPTICAL PROPAGATION IN THE ATMOSPHERE    AGARD-CP-183  1975                    LWT 8440
C     SHETTLE, E. P., AND FENN, R. W.        NTIS (NO AD-A028-615)                   LWT 8450
C                                                                                    LWT 8460
C                                                                                    LWT 8470
C     ATMOSPHERIC ATTENUATION OF MILLIMETER AND SUBMILLIMETER                        LWT 8480
C     WAVES:  MODEL AND COMPUTER CODE         AFGL-TR-79-0253                        LWT 8490
C     FALCONE,V. J. JR.,ABREU,L. W. AND SHETTLE, E. P.                               LWT 8500
C                                                                                    LWT 8510
C     LOWTRAN  PLUS ULTRAVIOLET O2 ABSORPTION                                        LWT 8520
C                                                                                    LWT 8530
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
C     REFERENCES- JOHNSTON, ET AL, J GEOPHYS RES, 89,11661-11665,1984          .LWT 8540
C                                                                               LWT 8550
C     FREQUENCY RANGE: 50000-36000CM-1 FOR HERZBERG CALCULATION                 LWT 8560
C                                                                               LWT 8570
C     THE SCHUMANN-RUNGE BANDS (PARTICULARLY THE 1,0 AND 0,0) ARE NOT           LWT 8580
C     INCLUDED IN THE CALCULATIONS (50000 AND 49400 CM-1).                      LWT 8590
C     THE HERZBERG BANDS ARE APPROXIMATED BY AN EXTRAPOLATION OF THE            LWT 8600
C     HERZBERG CONTINUUM (41322-36000 CM-1).                                    LWT 8610
C                                                                               LWT 8620
C****************************************************************************************************LWT 8630
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

```
      parameter (nxp=61 ,nyp=85,nxpmax=nxp+1,nypmax=nyp+1)  ! Input no. of x&Y
           DIMENSION temp(nypmax,nxpmax)
      DIMENSION temp1(nypmax,nxpmax)
C
      OPEN(14,FILE='c:\etc\2may00test.TXT',STATUS='OLD',
     +             FORM='FORMATTED')
      open(15,file='c:\etc\2test.dat',status='new',
     +             form='formatted')
      write(*,*) 'nxp = ',nxp,'nyp = ',nyp
         DO i=1,nyp
           read(14,30) (temp(i,j),j=1,nxp)
c          write(*,*) (itemp(i,j),j=1,nxp)
c      pause '****'
c      write(*,*) 'I = ',i
         ENDDO
      CLOSE(14)

          DO j=1,nxp
          do i=1,nyp
c           write(*,*)   'cccc ',i,j
                k=nypmax-i
          temp1(k,j)=temp(i,j)


          enddo
           ENDDO
```

```
c   30        format(f7.4,60F8.4)                ! Input format data  !
  30        format(61F5.1)     ! Input format data ,used column width=5.43(EXEL)  !

        do j=1,nxp
         do i=1,nyp
          write(15,31) i,j,temp1(i,j)
  31         format(i,2x,i,2x,f5.1)
       enddo
       ENDDO
     CLOSE(15)

     STOP
     END
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจรูญ เลาหเลิศชัย เกิดวันที่ 2 พฤษภาคม พ.ศ. 2499 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ในปีการศึกษา 2522 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541 ปัจจุบันได้รับราชการที่กองพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา บางนา กรุงเทพมหานคร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย