

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงอาทิตย์ [1]

2.1.1 ดวงอาทิตย์

แสงเคลื่อนที่จากดวงอาทิตย์มายัง โลกในรูปของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายช่วงความยาวคลื่นหรือเรียกว่าสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ ลักษณะของสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ทั้งภายนอกและภายในชั้นบรรยากาศทั้งในช่วงความยาวคลื่นของแสงที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า (visible light) และที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า เพราะมีความยาวคลื่นน้อยกว่าหรือมากกว่าความยาวคลื่นของแสง ได้แก่ อินฟราเรด อัลตราไวโอเลต รังสีแกมมารังสีเอกซ์ และคลื่นวิทยุ เป็นต้น เมื่อแสงเคลื่อนที่เข้าสู่ชั้นบรรยากาศของโลก ในชั้นบรรยากาศของโลกประกอบด้วยอะตอมของก๊าซ ไอน้ำ เมฆ และฝุ่นละอองต่างๆ ดังนั้นเมื่อแสงเคลื่อนที่เข้ามาบางส่วนจะเกิดการชนกับอะตอมของสิ่งต่างๆ เหล่านี้ ทำให้เกิดการกระจัดกระจายของแสงซึ่งจะมีทั้งการสะท้อนลงสู่พื้น โลกและสะท้อนกลับสู่อวกาศ และจะมีบางส่วนที่ถูกชั้นบรรยากาศและก้อนเมฆดูดซับเอาไว้ ทำให้มีปริมาณแสงที่เคลื่อนที่ลงสู่พื้น โลกประมาณร้อยละ 51 สะท้อนกลับสู่อวกาศประมาณร้อยละ 30 และถูกดูดซับเอาไว้ในชั้นบรรยากาศโลกประมาณร้อยละ 19 พลังงานแสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศมาสู่พื้นโลกนั้น ประกอบด้วยพลังงานจากรังสีของแสงที่ทะลุผ่านชั้นบรรยากาศลงสู่พื้นโลกโดยตรง และพลังงานจากรังสีของแสงที่เกิดจากการกระจายและการสะท้อนภายในชั้นบรรยากาศ

2.1.2 ชนิดของรังสีอาทิตย์

2.1.2.1 รังสีตรง (direct radiation หรือ beam radiation) เป็นรังสีของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านชั้นบรรยากาศลงสู่พื้นโลก โดยไม่เกิดอันตรกิริยากับอะตอมของธาตุใดๆ ในชั้นบรรยากาศ ทำให้มีค่าความเข้มของแสงสูงเมื่อมาถึงพื้นโลก รังสีของแสงในลักษณะนี้เหมาะสำหรับการใช้กับอุปกรณ์ประเภทที่ต้องรวมแสง (concentrator) ชนิดต่างๆ ที่ต้องการค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์สูง

2.1.2.2 รังสีกระจาย (diffuse radiation หรือ scattered radiation) เป็นรังสีของพลังงานแสงอาทิตย์ที่เกิดการชนกับอะตอมของธาตุต่างๆ ในชั้นบรรยากาศ ทำให้เกิดการกระจายของแสงและบางส่วนสะท้อนลงสู่พื้นโลก ค่าความเข้มของแสงจากรังสีประเภทนี้จะน้อยกว่ารังสีตรงมาก

2.1.2.3 รังสีรวม (total หรือ global radiation) คือ ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจาย เมื่อระนาบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขนานกับแนวระดับ (horizontal surface) จะเรียกรังสีรวมว่า global radiation และเรียก total radiation เมื่อระนาบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ทำมุมเอียง (incline surface) กับแนวระดับ

สัดส่วนของรังสีตรงกับรังสีกระจายในแต่ละวันในแต่ละพื้นที่ จะมีความไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสภาพของภูมิอากาศในแต่ละวันและแต่ละพื้นที่ สำหรับค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวตั้งฉากบนพื้นที่ 1 หน่วย นอกชั้นบรรยากาศโลกเรียกว่า ค่าคงที่สุริยะ (solar constant) มีค่าเท่ากับ 1,367 วัตต์ต่อตารางเมตรซึ่งค่าคงที่นี้อาจมีการผันแปรได้ในช่วงประมาณ $\pm 3.4\%$ ต่อปี

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์

2.2.1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์

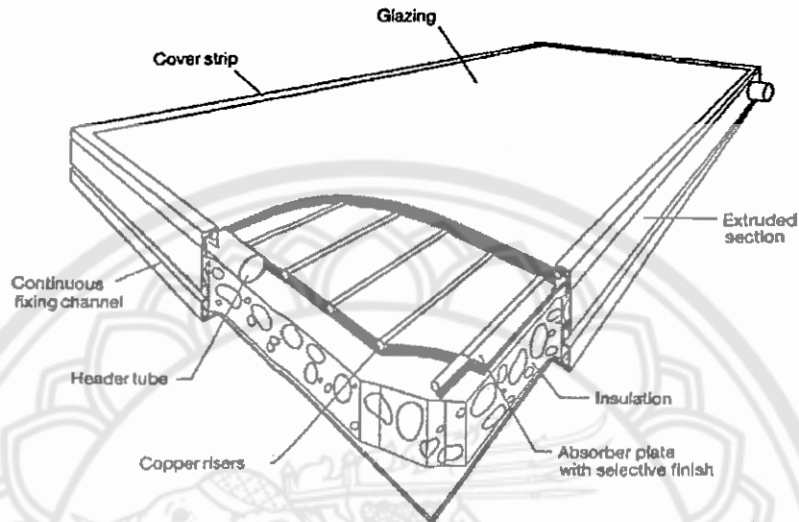
ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (solar collector) คืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) ประเภทหนึ่งที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็น พลังงานภายในตัวกลางหรือของไหลที่ไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่นิยมใช้คือ อากาศ น้ำและน้ำมัน ตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะมี 2 แบบคือแบบเก็บที่อุณหภูมิต่ำและแบบเก็บที่อุณหภูมิสูง ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบเก็บที่อุณหภูมิต่ำแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดหลอดสุญญากาศ สามารถรวบรวมได้ทั้งรังสีตรงและรังสีกระจายเช่นกัน ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดนี้ ให้อุณหภูมิของของไหลสูงกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบซึ่งอุณหภูมิของตัวกลางหรือของไหลที่ได้ ในกรณีที่ใช้น้ำเป็นตัวกลางอุณหภูมิที่ได้อยู่ในช่วง 90 – 150 °C

2. ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ ซึ่งรวบรวมได้ทั้งรังสีตรงและรังสีกระจาย อุณหภูมิของตัวกลางหรือของไหลที่ได้ ในกรณีที่ใช้น้ำเป็นตัวกลางอุณหภูมิที่ได้อยู่ในช่วง 50-70°C รายละเอียดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบแสดงในหัวข้อต่อไป

2.2.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ (Flat plate Collector, FPC)

รูปแบบทั่วไปของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ แสดงในรูปที่ 2.1, 2.2 และ 2.3

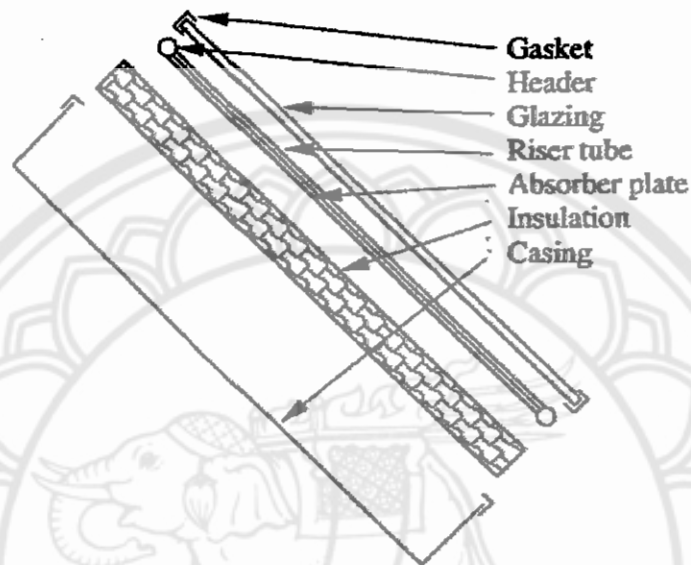


รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ [2]

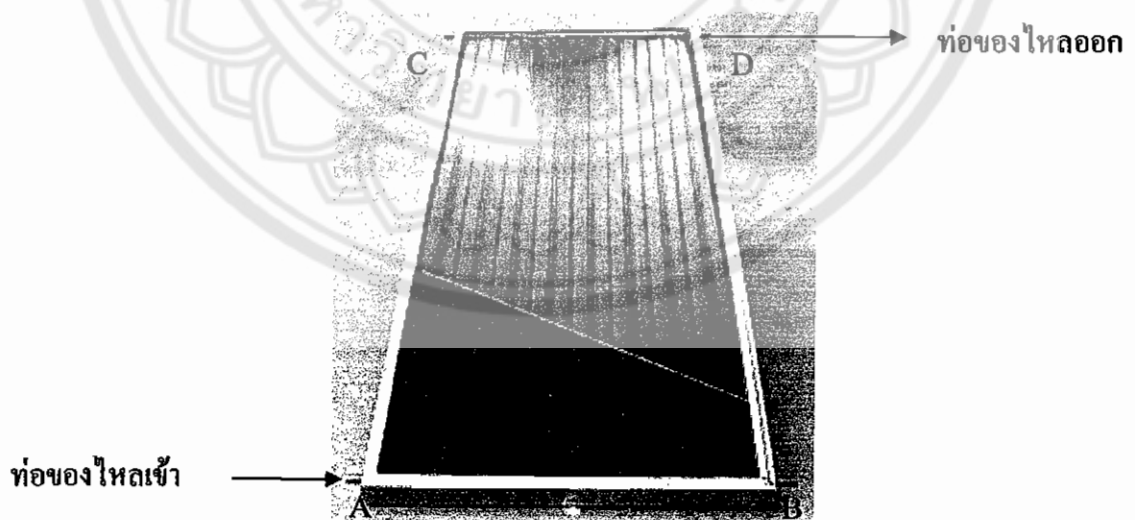
หลักการการทำงานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีดังนี้ เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบยังตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และทะลุผ่านแผ่นปิดใสด้านบน ภาวกระทบแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ เมื่อได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาจะทำให้อุณหภูมิของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เพิ่มสูงขึ้น ด้านล่างของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์และด้านข้างแผ่นปิดใสด้านบนจะเป็นฉนวนกันความร้อน ซึ่งช่วยลดการสูญเสียความร้อน โดยการนำ นอกจากนี้ยังป้องกันลมมิให้กระทบกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้โดยตรงทำให้ลดการสูญเสียความร้อนโดยการพาความร้อนจากแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และเมื่อแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีอุณหภูมิที่สูงขึ้นก็จะถ่ายเทความร้อนให้กับตัวกลางหรือของไหลที่อยู่ภายในท่อ ซึ่งท่อแต่ละท่อนั้นจะถูกเชื่อมต่อกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และถูกเชื่อมต่อกันอย่างต่อเนื่อง โดยมีท่อหลักที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่าเป็นตัวเชื่อมต่อ เมื่อตัวกลางหรือของไหลที่อยู่ภายในท่อถูกแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วจึงถูกปล่อยไปยังถังเก็บหรือสามารถนำไปใช้ได้ต่อไป

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ประกอบไปด้วยแผ่นปิดใสด้านบนซึ่งทำจากกระจกใสหรือพลาสติกใส จะโปร่งต่อรังสีความร้อนในช่วงความยาวคลื่นสั้น ทำให้รังสีอาทิตย์มากระทบแผ่นดูดรังสีอาทิตย์ ได้มากที่สุด และเมื่อแผ่นดูดรังสีอาทิตย์ที่ทำไว้ด้วยสีดำหรือเคลือบด้วยสารเลือกรังสีได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาจะทำให้อุณหภูมิของแผ่นดูดรังสีอาทิตย์เพิ่มสูงขึ้น และแผ่รังสีความร้อนออกมาในรูปของรังสีอินฟราเรด เมื่อรังสีอินฟราเรด ไปกระทบกับแผ่นปิดใสด้านบนที่พื้นผิวด้านล่างถูกทาหรือเคลือบด้วยสารเลือกรังสี ซึ่งมีสมบัติที่บดบังรังสีความร้อนที่เป็นคลื่นยาว

(รังสีอินฟราเรด) ก็จะทำให้รังสีอินฟราเรดสะท้อนกลับเข้าไปในแผ่นดูดรังสีอาทิตย์อีก ซึ่งจะมีผลทำให้อุณหภูมิระหว่างแผ่นปิดใสด้านบนและแผ่นดูดรังสีอาทิตย์สูงขึ้น ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า ปรากฏการณ์เรือนกระจก (greenhouse effect)



รูปที่ 2.2 ภาพตัดขวางของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ [2]

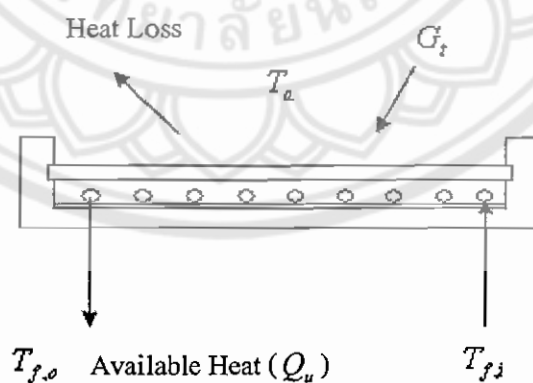


รูปที่ 2.3 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ

รายละเอียดของส่วนประกอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ มีดังนี้

1. แผ่นครอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Glazing) ใช้กระจกแผ่นเดียวหรือหลายๆแผ่น หรือใช้พลาสติกใสที่แสงผ่านได้ดี
2. แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Absorber plate) เป็นตัวดูดรังสีอาทิตย์ทำจากทองแดงแผ่นเหล็ก หรืออลูมิเนียม พื้นผิวจะเคลือบด้วยสีดำ ที่มีค่าการดูดกลืนสูง อาจจะมีสารเลือกรังสี (selective surface) ซึ่งจะทำให้ค่าดูดกลืนรังสีอยู่ในช่วงความถี่ที่เหมาะสม
3. ท่อของไหล (Tubes, fins หรือ passages) เป็นท่อหรือช่องที่นำของไหลถ่ายเทความร้อน จากทางเข้าไปสู่ทางออกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์
4. ท่อหลัก (Headers หรือ manifolds) ท่อที่รับของไหลเข้า และปล่อยของไหลออกสามารถ เลือกลงทางไหลเข้าและออกได้ เช่น จากรูป 2.3 อาจเลือกให้ของไหลเข้าที่จุด A ออกที่จุด D หรือ ให้ของไหลเข้าที่จุด B และออกที่จุด C โดยจุดที่ไม่ได้ใช้งานจะปิดไว้
5. ฉนวนกันความร้อน (Insulation) เป็นฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์และของไหล ซึ่งจะติดไว้ด้านล่างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จะเป็นวัสดุพวกใยแก้ว (Fiberglass) หรือโฟม
6. กรอบ (Casing) กรอบรอบนอกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จะป้องกันฝุ่น ความชื้นหรือ สิ่งต่างๆที่มีผลกระทบต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับสมรรถนะเชิงความร้อน ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ



รูปที่ 2.4 สมดุลพลังงานบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์

จากรูปที่ 2.4 ภายใต้อุณหภูมิคงตัว ความร้อนที่นำมาใช้ประโยชน์ได้ที่ได้รับจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ พลังงานที่ถูกดูดกลืนโดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ลบด้วยการสูญเสียความร้อนทั้งทางตรงและทางอ้อมจากผิวของตัวเก็บรังสีอาทิตย์สู่สิ่งแวดล้อม ความร้อนที่เป็นประโยชน์ที่ถูก

สะสมจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในเทอมของอุณหภูมิเฉลี่ยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Average plate temperature, T_p) สามารถแสดงดังสมการ (1)

$$Q_u = A_c [G_t (\tau\alpha)_e - U_L (T_p - T_a)] = \dot{m} C_p [T_{f,o} - T_{f,i}] \quad (1)$$

โดยที่	Q_u	คือ ความร้อนที่เป็นประโยชน์, W
	A_c	คือ พื้นที่รับรังสีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์, m^2
	$(\tau\alpha)_e$	คือ ผลคูณสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของแผ่นครอบ (τ) และการดูดกลืนของแผ่นดูดกลืน (α) ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ประสิทธิภาพ
	G_t	คือ รังสีอาทิตย์รวมทั้งผลกระทบลงบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์, W/m^2
	U_L	คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
	T_a	คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม, $^\circ C$
	$T_{f,i}$	คือ อุณหภูมิของไหลขาเข้า, $^\circ C$
	$T_{f,o}$	คือ อุณหภูมิของไหลขาออก, $^\circ C$
	T_p	คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของตัวเก็บรังสีอาทิตย์, $^\circ C$
	\dot{m}	คือ อัตราการไหลเชิงมวลของของไหล, kg/s
	C_p	คือ ค่าความร้อนจำเพาะของของไหล, $J/kg \cdot K$

สมการที่ (1) สามารถถูกเขียนใหม่โดย แทนค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (T_p) ด้วยอุณหภูมิของของไหลที่เข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ($T_{f,i}$) และใส่แฟกเตอร์แก้ไข (correction factor, F_R) ลงในสมการที่ (1) ผลที่ได้แสดงดังสมการที่ (2)

$$Q_u = A_c [F_R (\tau\alpha)_e G_t - F_R U_L (T_{f,i} - T_a)] \quad (2)$$

F_R คือ แฟกเตอร์การดึงความร้อนหรือแฟกเตอร์แก้ไข ซึ่งเป็นอัตราส่วนของความร้อนที่ได้รับต่อความร้อนที่อุณหภูมิของตัวเก็บรังสีอาทิตย์คงที่เท่ากับอุณหภูมิของไหลที่เข้า ซึ่งแสดงได้ดังสมการ

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{A_c U_L} \left(1 - \exp \left[\frac{U_L F' A_c}{\dot{m} C_p} \right] \right) \quad (3)$$

เมื่อ F' คือ แฟกเตอร์ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์

จากรูปที่ 2.4 และจากสมการที่ (2) สามารถอธิบายได้ว่า เทอม $A_c[F_R(\tau\alpha)_e G_t]$ คือ พลังงานที่ถูกดูดกลืนโดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เทอม $F_R U_L(T_{f,i} - T_a)$ คือ การสูญเสียความร้อนออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เทอม Q_u คือ ความร้อนที่ได้รับประโยชน์ ซึ่งทำให้อุณหภูมิของไหลผ่านมีอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อผ่านออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จัดรูปสมการที่ (2) ใหม่ จะได้ว่า

$$A_c[F_R(\tau\alpha)_e G_t] = Q_u + A_c[F_R U_L(T_{f,i} - T_a)] \quad (4)$$

ประสิทธิภาพทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c G_t} \quad (5)$$

เมื่อ η คือ ประสิทธิภาพทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

แทน Q_u ในสมการ (2) ลงในสมการ (5) จะได้ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ดังสมการ

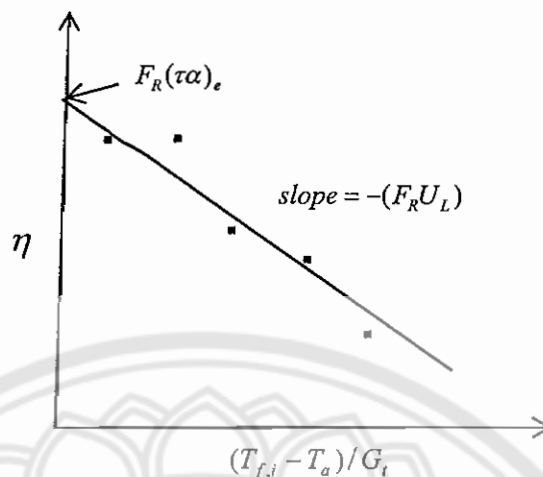
$$\eta = F_R(\tau\alpha)_e - F_R U_L[(T_{f,i} - T_a)/G_t] \quad (6)$$

สำหรับการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ประสิทธิภาพชั่วขณะใดขณะหนึ่งของตัวเก็บรังสี (η_c) หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\eta_c = m C_p [T_{f,o} - T_{f,i}] / A_c G_t \quad (7)$$

เมื่อ η_c คือ ประสิทธิภาพชั่วขณะใดขณะหนึ่งของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในการทดสอบ

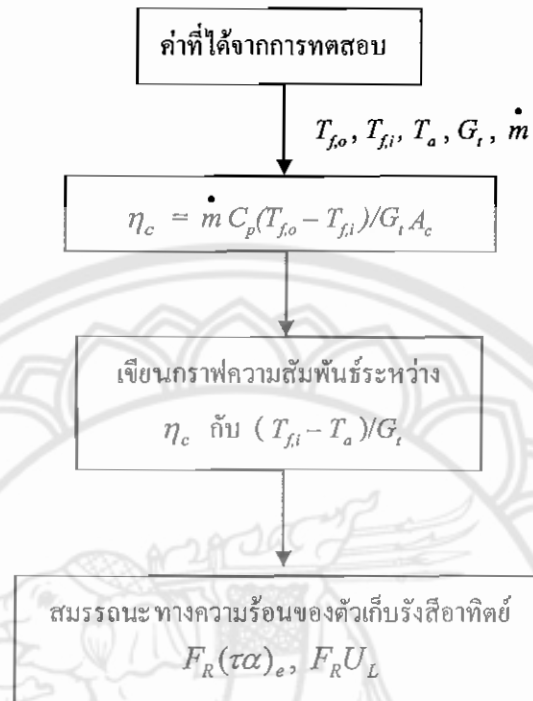
จากสมการ (6) และ ผลของค่าประสิทธิภาพชั่วขณะใดขณะหนึ่งของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการทดสอบตามสมการ (7) สามารถหาค่าสมบัติของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้โดยนำมาพลอตกราฟระหว่าง $(T_{f,i} - T_a)/G_t$ และ η_c ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ช่วงระยะใดขณะหนึ่ง (η_c) กับเทอม $(T_{f,i} - T_a) / G_i$

จากสมการที่ (6) $\eta = F_R(\tau\alpha)_e - F_R U_L [(T_{f,i} - T_a) / G_i]$ ซึ่งเป็นสมการเส้นตรง เพราะฉะนั้น จากรูปที่ 2.5 พบว่าค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ ซึ่งเป็นค่าประสิทธิภาพสูงสุดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จะเป็นระยะตัดแกน η และความชันของกราฟเป็น $-(F_R U_L)$ ซึ่งเป็นผลคูณของแฟกเตอร์การดึงความร้อนและสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน ซึ่ง ASHRAE Standard 93-77 จะใช้ค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $-(F_R U_L)$ ที่ได้จากกราฟในรูปที่ 2.5 นี้ เพื่อบ่งชี้สมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่นำมาทดสอบภายใต้สภาวะคงตัว

โดยสรุปใน โครงการนี้จะหาสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ จากค่าของประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ช่วงระยะใดขณะหนึ่งที่ได้จากการทดสอบ โดยมีขั้นตอน แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการหาค่าสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

2.4 มาตรฐานการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ASHRAE Standard 93-77[3] เป็นมาตรฐานที่ใช้หาสมการแสดงคุณสมบัติพื้นฐานสำหรับกำหนดประสิทธิภาพทางความร้อนของการทำงานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์โดย ASHRAE ได้ให้ขั้นตอนการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่สามารถทดสอบได้ทั้ง ในร่ม (Indoor) และ กลางแจ้ง (Outdoor) โดยสภาวะที่ใช้ทดสอบในโครงการนี้ คือ กลางแจ้ง ซึ่งมีเงื่อนไขดังนี้

1) **ค่าต่ำสุดของความเข้มรังสีอาทิตย์** ในการทดสอบจะทำการวัดที่พื้นผิวตั้งฉากกับรังสีตรงของรังสีอาทิตย์ โดยค่าต่ำสุดของความเข้มรังสีอาทิตย์ต้องไม่น้อยกว่า 790 W/m^2

2) **ค่าเปลี่ยนแปลงมากที่สุดของความเข้มรังสีอาทิตย์** ในการทดสอบจะทำการทดสอบในช่วงที่ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆ ซึ่งค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ระนาบตั้งฉากจะต้องเปลี่ยนแปลงไม่เกิน $\pm 32 \text{ W/m}^2$ ในช่วงเวลา 10 นาที

3) ค่าความเข้มรังสีกระจาย จะทำการทดสอบเมื่อความเข้มรังสีกระจายเฉลี่ยบนระนาบของแผงรับรังสีอาทิตย์ไม่เกิน 20% ของค่าความเข้มรังสีรวมบนระนาบรับรังสีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แต่ในการวิเคราะห์จะใช้ทั้งค่าความเข้มรังสีตรงและค่าความเข้มรังสีกระจาย

4) ช่วงของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม การวิเคราะห์ทั้งหมดจะใช้อุณหภูมิอากาศแวดล้อมไม่เกิน 30°C

5) สภาพของลม ในการทดลองค่าความเร็วเฉลี่ยของลมจะต้องอยู่ระหว่าง 2.2 และ 4.5 m/s

6) อัตราการไหลของของไหล อัตราการไหลของของไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะต้องคงที่ ค่าแนะนำของอัตราการไหลต่อหน่วยพื้นที่ตัวเก็บรังสีสำหรับการทดสอบ ในกรณีที่ของไหลเป็นของเหลวคือ $0.02 \text{ kg/s} \cdot \text{m}^2$ กรณีที่ของไหลเป็นอากาศอัตราการไหลจะเป็น $0.03 \text{ kg/s} \cdot \text{m}^2$

7) ค่าการกระจายของอุณหภูมิของไหลขาเข้าที่ยอมรับได้ หาได้จากการกำหนดให้ $(T_{f,i} - T_a)$ เป็น 0, 30, 60, 90% ของค่าของ $(T_{f,i} - T_a)$ ที่ได้จากอุณหภูมิอากาศแวดล้อมที่กำหนด สำหรับการทดสอบและอุณหภูมิใช้งานสูงสุดที่แนะนำโดยบริษัทผู้ผลิตตัวเก็บรังสีอาทิตย์ หรืออาจใช้ค่าการกระจายของ $(T_{f,i} - T_a)$ ณ ตำแหน่งที่ประสิทธิภาพทางความร้อนของตัวเก็บลดลงไป 0, 30, 60 และ 90% ของประสิทธิภาพสูงสุด

8) สภาพะคงที่ ในการทดสอบของไหลที่ไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะต้องมีอุณหภูมิขาเข้าคงที่หรือเปลี่ยนแปลงไม่เกิน $\pm 2\%$ หรือ $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ และค่าอัตราการไหลคงที่หรือเปลี่ยนแปลงไม่เกิน $\pm 0.0002 \text{ kg/s} \cdot \text{m}^2$

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เผชิญ จันทร์สาม และคณะ[4] ได้ศึกษา ศักยภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยพร้อมทั้งปัญหาและอุปสรรค ผลการศึกษาสรุปได้ว่าพลังงานรวมของแสงอาทิตย์เฉลี่ยของประเทศไทยมีค่าประมาณ $18.2 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{day}$ โดยจะมีค่ามากในทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และจะมีค่าน้อยในพื้นที่ทางภาคใต้ พบว่าการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการทำน้ำร้อนใช้ในครัวเรือนทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีศักยภาพสูงในฤดูหนาว

นอกจากนี้พบว่า การนำเทคโนโลยีการทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย นั้นมีมายาวนานกว่า 20 ปีแล้ว แต่ยังไม่มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากเกิดปัญหาและอุปสรรคในเรื่องของการส่งเสริมการใช้เครื่องทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย คือ 1) เงินทุนสูงเมื่อเทียบกับเครื่องทำน้ำร้อนไฟฟ้า 2) ระยะเวลาคืนทุนยาว 3) ขาดการพิจารณาโดยผู้ออกแบบ วิศวกรและช่าง 4) ขาดการลงทุนวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ 5) ขาดการวางแผน นโยบาย

และมาตรการสนับสนุนจากทางภาครัฐ และเอกชน และ6) ค่าพลังงานเชื้อเพลิงที่ไม่สะท้อนผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจ ดังนั้นในปี พ.ศ. 2548 กระทรวงพลังงานได้จัดทำแผนการใช้พลังงานหมุนเวียน (renewable portfolio standard, RPS) ให้ได้ 8% ภายในปี พ.ศ. 2554 และได้ริเริ่มโครงการวิจัยเพื่อสนับสนุนการประยุกต์ใช้พลังงานหมุนเวียนพร้อมทั้งแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานในประเทศไทย อย่างไรก็ตามศักยภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยนั้นจำเป็นต้องได้รับการศึกษาประเมินภายใต้เงื่อนไขสภาวะอากาศและภูมิประเทศของประเทศไทย เพื่อจะได้เป็นแนวทางในการสร้างมาตรการและนโยบายด้านพลังงานหมุนเวียนต่อไป

สมชาย มณีวรรณ และคณะ[5] ได้ทดสอบการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบแบบใช้แผ่นปิดใสด้านบนและแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่แตกต่างกัน โดยทำการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบของ ASHRAE Standard 93-77 โดยรายละเอียดของวัสดุที่นำมาใช้ทดสอบมีดังนี้

แผ่นปิดใสด้านบน	แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์
1. Clear glass หน้า 5.0 มิลลิเมตร	Aluminum fin ขนาด 1.9 ตารางเมตร
2. Clear glass หน้า 5.0 มิลลิเมตร	Aluminum extruded with selective surface ขนาด 1.78 ตารางเมตร
3. โพลีคาร์บอเนต หน้า 1.0 มิลลิเมตร	Aluminum fin ขนาด 1.9 ตารางเมตร
4. Low iron tempered glass หน้า 4.0 มิลลิเมตร	Aluminum fin ขนาด 1.9 ตารางเมตร
5. Tempered glass หน้า 4.0 มิลลิเมตร	Aluminum extruded with selective surface ขนาด 1.9 ตารางเมตร

ผลการทดสอบสรุปได้ว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้แผ่นปิดใสด้านบนเป็น tempered glass หน้า 4.0 มิลลิเมตร และใช้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เป็น aluminum extruded with selective surface มีสมรรถนะโดยรวมสูงสุดซึ่งมีค่า $F_r(\tau\alpha)_e = 0.62$ และมีค่า $F_r U_L = 10.37 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ สำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้แผ่นปิดใสด้านบนเป็น low iron tempered glass หน้า 4.0 มิลลิเมตร และใช้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เป็น aluminum fin ซึ่งมีค่า $F_r(\tau\alpha)_e = 0.65$ และสำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การการสูญเสียความร้อนรวมน้อยที่สุด คือ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้แผ่นปิดใสด้านบนเป็นแผ่นโพลีคาร์บอเนตหน้า 1.0 มิลลิเมตร

และใช้ aluminum fin เป็นแผ่นดัดคลื่นรังสีอาทิตย์ ซึ่งมีค่า $F_R U_L = 3.60 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ จากการทดสอบดังกล่าวข้อมูลที่ได้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเลือกใช้และเป็นข้อมูลในการพัฒนาและออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

จอมภพ แววศักดิ์[6] ได้ศึกษา การหาสมรรถนะเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่ติดตั้งบนหลังคาบ้านพักอาศัย เพื่อที่จะศึกษาถึงอิทธิพลของมุมเอียงของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีต่อสมรรถนะเชิงความร้อน โดยทำการออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ซึ่งประกอบไปด้วยแผ่นปิดชั้นเดียวทำจากกระจกใส ตัวดัดคลื่นรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่เชื่อมติดกับท่อ โดยมีน้ำเป็นตัวระบายความร้อน มีการหุ้มฉนวนที่ด้านข้างและด้านหลังของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ นอกจากนี้ยังได้ทำการจำลองสภาวะการทำงานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐานการทดสอบ ASHRAE 93-77 เพื่อที่จะทดสอบหาประสิทธิภาพ ตัวปรับแก้มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิที่แผ่นปิดและแผ่นดัดคลื่นรังสีอาทิตย์ที่มุมเอียง $30\text{--}60^\circ$ พบว่าอุณหภูมิที่แผ่นปิดและแผ่นดัดคลื่นรังสีอาทิตย์มีค่าอยู่ในช่วง $50\text{--}55^\circ\text{C}$ และ $104\text{--}116^\circ\text{C}$ ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ในช่วง $58\%\text{--}67\%$ หากมีการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์อย่างถูกวิธีและเหมาะสมซึ่งควรจะทำให้มีมุมเอียงเท่ากับละติจูดของสถานที่ติดตั้งแล้วจะทำให้ได้อุณหภูมิแผ่นดัดคลื่นรังสีอาทิตย์มีค่าสูงกว่านี้และจะทำให้สมรรถนะเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่ามากกว่านี้อีกด้วย

เบญจมาศ ปุยอ้อ และคณะ[7] ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดหลอดแก้วสุญญากาศ ซึ่งมีขนาด 150 ลิตร จำนวน 2 แผง โดยทำการทดสอบที่อาคารสนามกีฬาในร่ม เพื่อทำน้ำร้อนไปใช้ไปใช้บริเวณห้องอาบน้ำ ในการทดสอบนี้สามารถตรวจวัดค่าความเข้มรังสีของแสงอาทิตย์ ค่าอุณหภูมิน้ำร้อนออกจากแผง ค่าอุณหภูมิน้ำเย็นเข้าและค่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม เพื่อนำผลที่ได้ไปหาค่าอุณหภูมิน้ำร้อนที่ระบบทำได้สูงสุดและต่ำสุด ค่าประสิทธิภาพของระบบ และผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าเมื่อเทียบกับเครื่องทำน้ำร้อนแบบใช้ไฟฟ้า จากการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบจะอยู่ในช่วง 42.8% ถึง 78.5% และสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ย 3661.68 บาท/ปี โดยมีระยะเวลาการคืนทุน 13.7 ปี

พรพิมล เพ็ชรวัฒนา และคณะ[8] ได้ศึกษาตัวแปรธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ แบบกลางแจ้งสำหรับประเทศไทย โดยทำการศึกษาเงื่อนไขการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนตามมาตรฐานการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบของ ASHRAE Standard 93-1986 และ Australian Standard รวมถึงศึกษาความเข้มรังสีอาทิตย์ อัตราเร็วลม และอุณหภูมิเฉลี่ยในประเทศไทย เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดมาตรฐานตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย

ผลการศึกษานี้ทำให้ได้ School of Renewable Energy Technology (SERT) Standard 2003 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่แสดงประสิทธิภาพทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เงื่อนไขการทดสอบและตัวอย่างผลการทดสอบโดยมาตรฐาน SERT 2003 เปรียบเทียบกับ Australian standard และ ASHRAE standard 93-1986 แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบเงื่อนไขการทดสอบระหว่างมาตรฐาน SERT 2003 standard, Australian และ ASHRAE 93-1986

รายการ	SERT 2003	Australian	ASHRAE 93-1986
1.ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m^2)	มากกว่า 790 ± 32	มากกว่า 790 ± 32	มากกว่า 790 ± 32
2.อุณหภูมิแวดล้อม ($^{\circ}C$)	ต่ำกว่า 34	ต่ำกว่า 30	ต่ำกว่า 30
3.อัตราเร็วลม (m/s)	$1.5 - 4.0 \pm 0.5$	$2.0 - 4.5 \pm 0.5$	$2.0 - 4.5 \pm 0.5$
4.อัตราการไหล (kg/s)	ไม่กำหนด แต่ แนะนำที่ 0.02 $\pm 1.0\%$	ไม่กำหนด แต่ แนะนำที่ 0.02 $\pm 1.0\%$	ไม่กำหนด แต่ แนะนำที่ 0.02 $\pm 1.0\%$
5.ผลต่างของความดันระหว่างทางเข้าและออก (kPa)	3.5	3.5	3.5
6.สมการที่ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	$\eta = F_R [(\tau\alpha)_e - U_L(T_i - T_a)/G_i]$	$\eta = \eta_0 - U_0(T_m - T_e)/G_i$	$\eta = F_R [(\tau\alpha)_e - U_L(T_i - T_a)/G_i]$
7.ประสิทธิภาพที่ได้จากตัวอย่างการทดสอบ	$\eta = 0.505 - 16.996 (T_i - T_a)/G_i$	$\eta = 0.664 - 16.915 (T_m - T_e)/G_i$	$\eta = 0.499 - 13.756 (T_i - T_a)/G_i$
8.ประสิทธิภาพเมื่อ $T_i = T_a$ หรือ $T_m = T_e$ (%)	50.50	66.40	49.90

จากตาราง 2.1 ตัวอย่างผลการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบกลางแจ้งตาม SERT Standard 2003 เมื่อนำค่าการทดสอบแทนในสมการประสิทธิภาพทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในรูปสมการถดถอยเชิงเส้น $\eta = F_R [(\tau\alpha)_e - U_L(T_i - T_a)/G_i]$ จะได้สมการประสิทธิภาพคือ $\eta = 0.505 - 16.996 (T_i - T_a)/G_i$ ได้ $F_R U_L = 17.0 W/m^2^{\circ}C$ และ $F_R (\tau\alpha)_e = 0.50$ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบตาม ASHRAE Standard 93-1986 และ

Australian Standard พบว่าประสิทธิภาพที่ได้จาก SERT Standard 2003 มีค่าแตกต่างกับมาตรฐาน ASHRAE Standard 93-1986 และ Australian Standard ประมวลร้อยละ 1.2 และ 5.1 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า SERT Standard 2003 ให้ผลการทดสอบที่สอดคล้องกับมาตรฐานสากล ภายใต้เงื่อนไขตัวแปรธรรมชาติ ที่สามารถกระทำได้สะดวกในประเทศไทย จึงทำให้ SERT Standard 2003 เป็นมาตรฐานการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบกลางแจ้งที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย

อย่างไรก็ตาม ASHRAE Standard เป็นมาตรฐานสากล ที่มีคนรู้จักแพร่หลายทั่วโลก ทางวิทยาลัยพลังงานทดแทน จึงได้อ้างอิงตาม ASHRAE Standard เพื่อเป็นที่ยอมรับของสากล

