

NGHIÊN CỨU LÝ THUYẾT VÀ THỰC NGHIỆM THIẾT BỊ CHUNG CÁT NƯỚC SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI CAROCELL

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL RESEARCH OF CAROCELL SOLAR STILL

¹Trần Xuân An, ²Hoàng Văn Việt, ³Nguyễn Thế Bảo

¹Trường Cao Đẳng Công Thương TP. Hồ Chí Minh

²Trường Cao Đẳng Lý Tự Trọng TP. Hồ Chí Minh

³Viện phát triển năng lượng bền vững ISED

Ngày tòa soạn nhận bài 16/10/2015, ngày phản biện đánh giá 05/12/2015, ngày chấp nhận đăng 29/02/2016

TÓM TẮT

Bài viết trình bày nguyên lý, đặc điểm cấu tạo, cơ sở lý thuyết tính toán và những kết quả thực nghiệm của thiết bị chưng cất nước sử dụng năng lượng mặt trời Carocell của Australia. Nhóm đã tiến hành thực nghiệm tấm chưng cất nước Carocell với diện tích bề mặt hấp thụ bức xạ mặt trời $2m^2$, bộ bốc hơi $2m^2$, bộ ngưng tụ chính $2m^2$ và bộ ngưng tụ phụ là $2m^2$, lưu lượng nước cấp 6lít/h. Các kết quả thí nghiệm cho thấy sản lượng trung bình của thiết bị đạt được $5kg/m^2/ngày$ với cường độ bức xạ trung bình $654W/m^2$ trong điều kiện thời tiết tại thành phố Hồ Chí Minh.

Từ khóa: Chưng cất nước sử dụng năng lượng mặt trời; năng lượng mặt trời; tấm chưng cất nước sử dụng năng lượng mặt trời Carocell; chưng cất dạng bị động; chưng cất bốc hơi ngưng tụ.

ABSTRACT

The article describes the principle, specifications, theoretical basis and experimental results of Carocell solar still from Australia. The team has tested the Carocell Panell with the area of solar radiation absorbing surface of $2m^2$; the evaporator of $2m^2$; the internal condenser of $2m^2$ and the external condenser of $2m^2$; and the inlet water flow rate of 6 l/h. The results show that the water production of the still achieves $5kg/m^2/day$ with an average radiation of $654 W/m^2$ in Ho Chi Minh weather condition.

Keywords: Solar still; solar energy; Carocell solar still panel; Passive solar desalination; Humidification - Dehumidification Desalination.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sản phẩm chưng cất nước sử dụng năng lượng mặt trời Carocell là một phát minh của nhà khoa học người Úc Peter Johnstone vào năm 2009, sau 5 năm nghiên cứu. Peter Johnstone là chủ tịch đồng thời là CEO công ty F Cubed Australia PTY LTD nơi sản xuất Carocell duy nhất trên thế giới. Carocell được giới thiệu ra thị trường lần đầu vào tháng 10/2010, cho đến thời điểm hiện tại đã xuất hiện ở 20 quốc gia trên thế giới như: Pháp, Ý, Hy Lạp, Panama, Columbia, Peru, Úc, UAE, Indonesia, Việt Nam, Thái Lan, Lào, Campuchia, Singapore, Malaysia, Philipines, Trung Quốc. Tại Việt Nam Carocell được giới thiệu lần đầu

tiên tại triển lãm ở Ninh Thuận tháng 04/2011 và sau đó được ứng dụng tại Quảng Nam, Phú Yên, Tiền Giang, Đồng Tháp, Trường Sa... Với kết cấu đơn giản, gọn nhẹ mang tính thương mại cao của thiết bị chưng cất nước Carocell đã được ứng dụng ở Việt Nam là một giải pháp thiết thực phục vụ nước uống và sinh hoạt cho người dân ở các vùng biển đảo và vùng ngập mặn. Tuy nhiên chi phí giá thành cho mỗi một m^2 diện tích thiết bị còn khá cao khoảng 3.5 triệu VND/ $1m^2$ từ đó thúc đẩy tác giả nghiên cứu tìm hiểu đánh giá thiết bị và hướng đến nội địa hóa sản phẩm với chi phí đầu tư rẻ nhất là hết sức cấp thiết trong tương lai.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

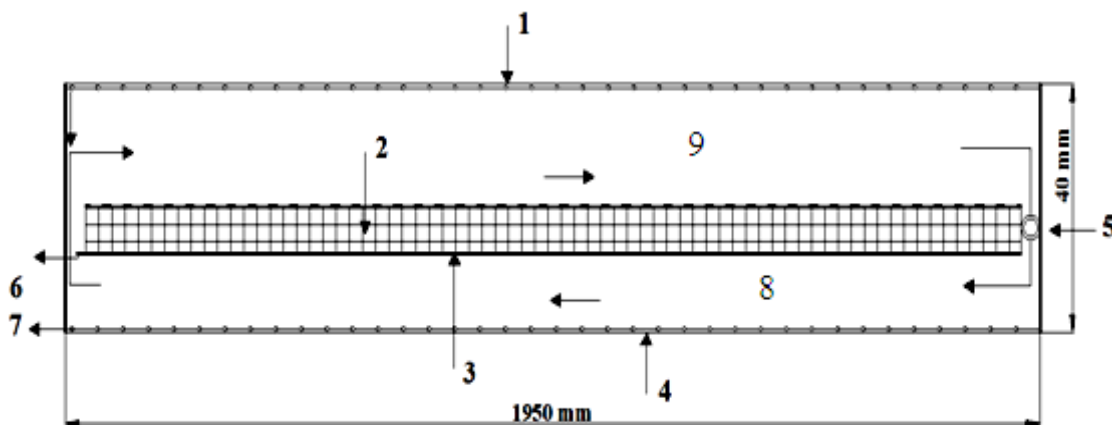
2.1 Đặc điểm cấu tạo tấm chưng cất nước Carocel

So với các thiết bị chưng cất nước sử dụng năng lượng mặt trời khác trên thế giới hiện nay, Carocel có những đặc điểm cấu tạo hết sức đặc biệt:

- Mặt ngưng tụ chính sử dụng vật liệu nhựa trong suốt, diện tích 2m².
- Có bố trí bộ ngưng tụ ngoài đặt ngay phía dưới tấm hợp kim nhôm silic thay vì phải cách nhiệt với diện tích bằng diện tích về mặt ngưng tụ chính.
- Sử dụng tấm màng hấp thụ bức xạ mặt trời gia nhiệt làm bốc hơi nước đồng

thời cũng là màng thấm thấu, làm bằng vật liệu sợi có tính thấm thấu cao để đảm bảo thấm đều nước trên bề mặt với độ nghiêng thiết bị khoảng 30⁰ mà không làm nước chảy thành dòng. Diện tích 2m², bề dày 1.5mm.

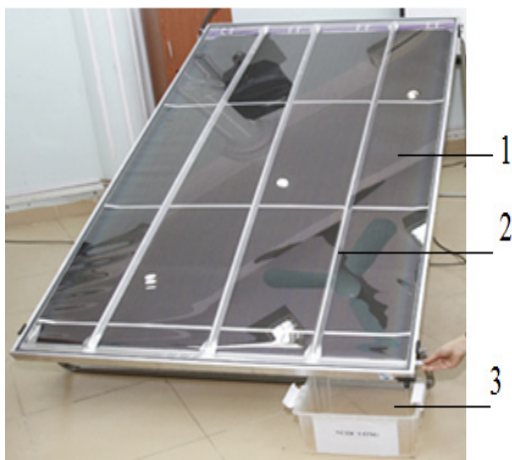
- Khoảng cách giữa bề mặt nước và tấm phủ nhựa trong suốt (bề mặt ngưng tụ chính) rất nhỏ 2cm, đây là ưu điểm để giảm trở lực dòng hơi nước, đảm bảo bề mặt ngưng tụ nhận được tối đa các phân tử hơi nước.
- Trọng lượng chỉ có 15kg cho dòng Carocel 2000 (loại 2 m², Dài x Rộng x Cao : 1950x1100x40mm).



Hình 1. Đặc điểm cấu tạo tấm chưng cất nước Carocel

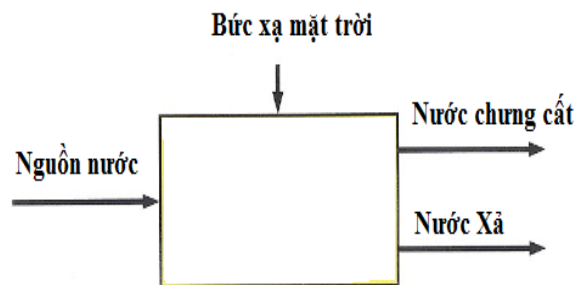
- 1: Tấm phủ nhựa trong suốt
- 2: Màng thấm thấu (màng hấp thụ bức xạ)
- 3: Tấm hợp kim nhôm silic
- 4: Tấm nhựa mặt đáy

- 5: Máng phân phối nước cấp
- 6: Đường ống nước thải
- 7: Đường ống nước chưng cất
- 8: Bộ ngưng tụ phụ hay bộ ngưng tụ ngoài
- 9: Bộ ngưng tụ chính hay bộ ngưng tụ trong



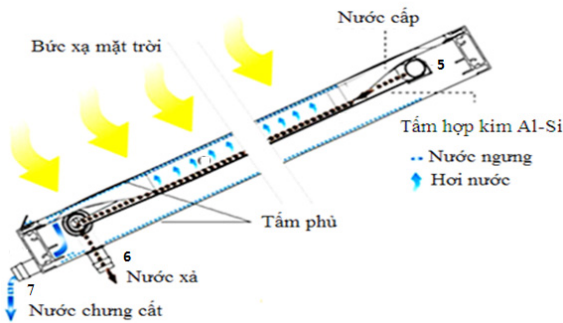
Hình 2. Tấm chưng cất nước Carocel thực tế

2.2 Nguyên lý làm việc



Hình 3. Nguyên lý quá trình chưng cất nước năng lượng mặt trời

Quá trình chưng cất nước dựa trên nguyên tắc làm bay hơi nước dưới tác dụng của bức xạ mặt trời trực tiếp chiếu đến các thiết bị chưng cất. Nước được gia nhiệt dưới nhiệt độ điểm sôi, bốc hơi trong điều kiện áp suất khí quyển và ngưng tụ trên các bề mặt thường là các tấm phủ bằng kính hay bằng nhựa trong suốt.



Hình 4. Sơ đồ nguyên lý thiết bị chưng cất nước Carocell

Nguồn nước cấp được đưa vào máng (5) đặt theo chiều ngang của tấm Carocell và phân phối đều lên tấm màng chưng cất (2). Dưới bức xạ mặt trời nước được gia nhiệt sẽ bốc hơi và ngưng tụ trên tấm phủ nhựa trong suốt. Toàn bộ lượng hơi trong thiết bị thì một phần nhả nhiệt ẩn hóa hơi ngưng tụ trên bề mặt trong của tấm phủ, phần hơi còn lại tuần hoàn tự nhiên vào bộ ngưng tụ ngoài (8) được bố trí ngay mặt dưới của tấm hợp kim nhôm silic. Lượng hơi này tiếp tục nhả nhiệt ẩn hóa hơi và ngưng tụ trên bề mặt tấm nhựa mặt đáy (4). Toàn bộ lượng nước chưng cất của thiết bị sẽ được thu hồi theo đường ống (7), phần nước còn lại chứa tạp chất sẽ đưa ra ngoài theo đường ống (6).

2.3. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.3.1 Trao đổi nhiệt đối lưu

Theo công thức Newton nhiệt lượng truyền trong quá trình tỏa nhiệt đối lưu có dạng:

$$Q_a = h.A.(t_w - t_p), W \quad (1)$$

2.3.2 Trao đổi nhiệt bức xạ

Năng lượng bức xạ phát ra tuân theo quy luật:

$$E = C_0.T^4 \quad (2)$$

2.3.3 Nhiệt lượng trao đổi đối lưu từ mặt nước đến tấm phủ

Đây là quá trình trao đổi nhiệt đối lưu trong không gian kín, hỗn hợp khí – hơi vô cùng phức tạp. Công thức được thực nghiệm bởi Dunkle 1961

$$Q_{cw} = h_{cw}.(T_w - T_{p1}).A; W \quad (3)$$

h_{cw} : Hệ số tỏa nhiệt đối lưu giữa bề mặt nước và tấm phủ

$$h_{cw} = 0,884. \left[(T_w - T_p) + \frac{(p_w - p_p)(T_w + 273,15)}{(268,9 \times 10^3 - p_w)} \right]^{1/3} W/m^{20}C \quad (4)$$

2.3.4 Nhiệt lượng bốc hơi giữa bề mặt nước và tấm phủ

$$Q_{ew} = A.h_{ew}.(T_w - T_p); W \quad (5)$$

Theo Dunkle giữa hệ số tỏa nhiệt bốc hơi và hệ số tỏa nhiệt đối lưu có mối quan hệ:

$$h_{ew} = 16,273.10^{-3}. h_{cw} \cdot \frac{p_w - p_p}{T_w - T_p}, W/m^{20}C \quad (6)$$

2.3.5 Sản lượng nước chưng cất được trong một giờ

$$M_w = \frac{Q_{ew}}{L}.3600, kg/h \quad (7)$$

2.3.6 Hiệu suất xác định theo phương pháp thực nghiệm

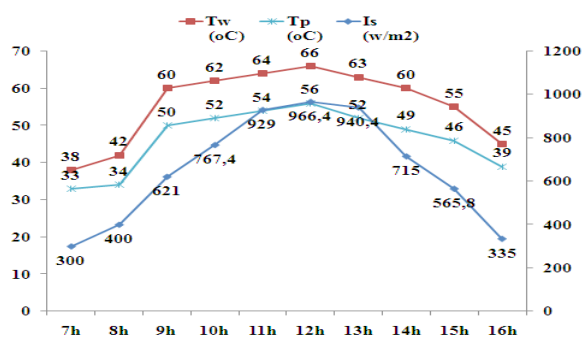
$$\eta_{ex} = \frac{M_w.L}{\int I_s dt}; \% \quad (8)$$

3. THỰC NGHIỆM

Tác giả tiến hành thực nghiệm thiết bị chưng cất nước Carocell 2000 (loại 2m²) trong điều kiện thời tiết tại thành phố Hồ Chí Minh. Mô hình thí nghiệm được lắp đặt với góc nghiêng 30⁰, lưu lượng nước cấp 6 lít/giờ, hướng chính Bắc – Nam, điều kiện gió tại điểm khảo sát giao động từ 0.5 -4 m/s, nhiệt độ môi trường trung bình 32⁰C. Kết quả thực nghiệm được đánh giá theo các điều kiện thời tiết khác nhau, trời nắng tốt – nắng yếu.



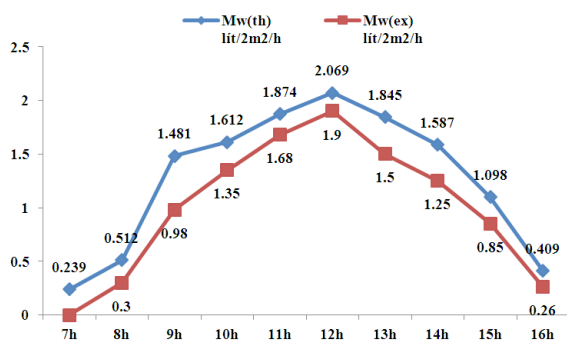
Hình 5. Đo bức xạ mặt trời và nhiệt độ



Hình 8. Biểu đồ nhiệt độ nước chung cất – nhiệt độ tấm phủ theo cường độ bức xạ mặt trời 15/6/2014

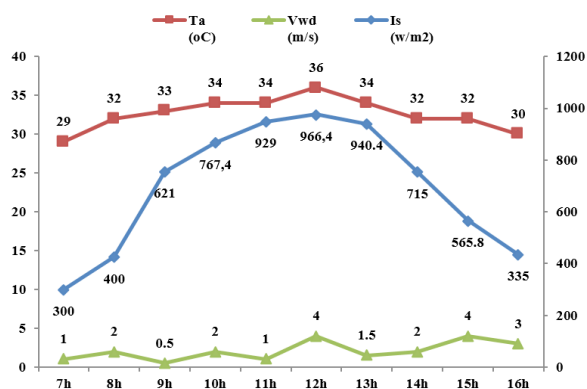


Hình 6. Thực nghiệm tấm chung cất nước Carocell

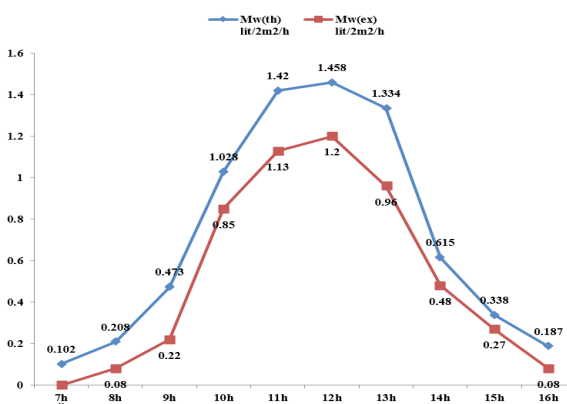


Hình 9. Biểu đồ sản lượng nước lý thuyết và thực tế - Năng tốt, $I_s = 654W/m^2$ 15/6/2014

Các thông số cần đo đạt cường độ bức xạ, nhiệt độ bề mặt tấm phủ ngưng tụ, nhiệt độ nước trong thiết bị Carocell, nhiệt độ hơi, sản lượng nước thực tế được lấy liên tục mỗi giờ từ 7h – 16h trong ngày.



Hình 7. Biểu đồ cường độ bức xạ - Nhiệt độ môi trường – Vận tốc gió 15/6/2014



Hình 10. Biểu đồ sản lượng nước lý thuyết và thực tế - Năng yếu, $I_s = 460W/m^2$, 16/6/2014

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

Trong điều kiện thời tiết tại thành phố Hồ Chí Minh, với góc nghiêng 30° và lưu lượng nước cấp 6 lít/giờ, thiết bị chung cất nước Carocell cho sản lượng bình quân đạt:

5 lít/m²/ngày (trời quang mây, nắng tốt bức xạ trung bình $I_s = 654\text{W/m}^2$) và 3 lít/m²/ngày (trời nắng yếu $I_s = 460\text{W/m}^2$), hiệu suất theo phương pháp thực nghiệm đạt được 52.37%.

Khi tiến hành thực nghiệm sản lượng nước chung cất của thiết bị Carocell phụ thuộc vào điều kiện bức xạ mặt trời, khi bức xạ cao nước được gia nhiệt lên đến 66°C, quá trình bốc hơi dễ dàng và làm tăng nhiệt lượng bốc hơi giữa bề mặt nước và tấm phủ Q_{ew} dẫn đến tăng sản lượng nước chung cất, như vậy trong quá trình chung cất nước cần đặc biệt quan tâm đến thông số này. Để tăng nhiệt lượng bốc hơi Q_{ew} phải đảm bảo chênh lệch nhiệt độ giữa bề mặt nước trong thiết bị và nhiệt độ bề mặt bên trong của tấm phủ là lớn nhất. Do đó đây là yếu tố hết sức quan trọng để hướng đến cải tiến nâng cao sản lượng thiết bị Carocell. Nhiệt lượng cần thiết để làm gia nhiệt nước rất nhỏ do ưu điểm nổi bật của tấm màng thấm thấu làm mỏng dòng nước cấp nên thiết bị có quán tính nhiệt nhỏ và lượng nước bốc hơi nhanh hơn, với cường độ bức xạ nhỏ như những lúc sáng sớm, thiết bị cũng có thể hoạt động để bắt đầu sản xuất nước. Với kết cấu đặc biệt có bố trí thêm bộ ngưng tụ ngoài đã làm tăng sản lượng thiết bị lên khoảng 30% (1,5 lít trong tổng sản lượng 5 lít/m²/ngày) điều này có thể lý giải ở chỗ tấm chung cất nước Carocell đã tăng diện tích bề mặt ngưng tụ lên gấp đôi để giải phóng bề mặt ngưng tụ hơi nước và đã tách một phần bộ ngưng tụ ra khỏi bộ bốc hơi để quá trình ngưng tụ diễn ra dễ dàng hơn.

Kết quả tính toán sản lượng nước chung cất lý thuyết và thực tế vẫn còn chênh lệch do phụ thuộc vào các yếu tố trong quá trình thực nghiệm như: nhiệt độ môi trường, tốc độ gió, mây che phủ...

Thông qua quá trình nghiên cứu và thực nghiệm cho thấy Carocell là thiết bị chung cất nước khá hoàn hảo, bên cạnh các ưu điểm về kết cấu còn tạo ra sản lượng nước chung cất lớn, rất phù hợp với các hộ gia đình vùng sâu, vùng xa và vùng biên đảo. Tiềm năng ứng dụng thiết bị này tại Việt Nam là rất lớn, nhu cầu cung cấp nước sạch, nước uống tinh

khiết cho người dân là rất cần thiết từ đó thúc đẩy tác giả nghiên cứu cải tiến nâng cao sản lượng và nội địa hóa thiết bị để hạ giá thành sản phẩm trong tương lai.

Các ký hiệu

Q_α : Nhiệt lượng truyền qua bề mặt trong một đơn vị thời gian, W

h: Hệ số tỏa nhiệt trên bề mặt, W/m² °C

A: Diện tích bề mặt tỏa nhiệt, m²

t_w : Nhiệt độ trung bình trên bề mặt vật rắn, °C

t_f : Nhiệt độ trung bình của chất lỏng, °C

E: Khả năng bức xạ bán cầu của vật đen tuyệt đối, W/m²

$C_0 = 5.67 \cdot 10^{-8}$ W/m²K⁴ hằng số Stefan-Boltzmann

T: Nhiệt độ bề mặt vật, K

h_{cw} : Hệ số tỏa nhiệt đối lưu giữa bề mặt nước và tấm phủ, W/m²°C

h_{ew} : Hệ số tỏa nhiệt bốc hơi giữa bề mặt nước và tấm phủ, W/m²°C

T_w : Nhiệt độ bề mặt nước, °C

T_p : Nhiệt độ bề mặt trong của tấm phủ (mặt ngưng tụ chính), °C

p_w : Phân áp suất hơi nước bão hòa tại bề mặt nước, N/m²

p_p : Phân áp suất hơi nước bão hòa tại bề mặt tấm phủ, N/m²

Q_{cw} : Nhiệt lượng trao đổi đối lưu từ mặt nước đến tấm phủ, W

Q_{ew} : Nhiệt lượng bốc hơi giữa bề mặt nước và tấm phủ, W

M_w : Sản lượng nước chung cất được trong một giờ, kg/h

L: Ẩn nhiệt hóa hơi của nước. J/kg

I_s : Cường độ bức xạ mặt trời, W/m²

η_{ex} : Hiệu suất xác định theo phương pháp thực nghiệm, %

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hoàng Đình Tín – Hoàng Thị Nam Hương, *Ứng dụng năng lượng mặt trời để đun nước nóng và sản xuất nước ngọt từ nước biển*, NXB. Đại học quốc gia Tp.hcm, 2012.
- [2] Nguyen, B.T. *Feasibility of Solar Hot Water and Distillation Systems in Vietnam*. Ph. D Thesis, Murdoch University, Australia, 1998.
- [3] G.N. Taiwari, *Performance study of double effect distillation in a multiwick solar still*, New Delhi, India, August-1991.
- [4] D. W. Medugu and L. G. Ndatuwong, *Theoretical analysis of water distillation using solar still*, Department of Physics, Adamawa State University, Mubi – Nigeria, September, 2009.
- [5] Husham M. Ahmed, *Seasonal performance evaluation of solar stills connected to passive external condensers*, Department of Mechanical Engineering - Gulf University, Bahrain , March-2012.
- [6] Ali A. Al-Karaghoul and L.L. Kazmerski, *Renewable Energy Opportunities in Water Desalination*, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, 80401, USA.