Agricultural Sci. J. 43 : 3 (Suppl.) : 163-166 (2012) ว. วิทย. กษ. 43 : 3 (พิเศษ) : 163-166 (2555)

การออกแบบและวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์

Design and Economic Analysis of Plate Heat Exchangers for Milk Pasteurizing Process

ชัยรัตน์ ปัญญางาม[1] **และ ธีระชาติ พรพิบูลย์**[1]
Chairat Panyangam[1] and Teerachart Pornpibul[1]

Abstract

Today, the current industrial production of pasteurized milk industry has expanded, it is critical to the design of machinery for processing by a factor to consider are production costs and energy costs used in the process. This article aims to offer guidelines to consider this two factors such as how to apply economic analysis to model of the thermo-dynamics of the production of pasteurized milk in a heavy emphasis on analysis of the size of heat exchanger in the process. Because of the heat exchanger is the main variable affecting to production costs and energy costs used in the process. It also has shown the applications of the study case of the production of pasteurized milk by studying the production of cold pasteurized milk filling at production rate of 2000 kg per day by the Single stage vapor compression refrigeration system for cooling. The present value method is use to analyze calculate Minimize Cost of the system. The study found that the average size of the suitable heat exchangers on is 60 sheets of the condenser, 20 sheets of the evaporator, 15 sheets of heating coil and 14.73 kW for heating process used 9.52 kW for cooling process. Therefore the method of this study can serve as guidelines for the design of production of pasteurized milk in the future.

Keywords: heat exchanger, thermo economics, milk pasteurization

บทคัดย่อ

ปัจจุบันในภาคอุตสาหกรรมผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ขยายตัวเพิ่มขึ้น จึงต้องให้ความสำคัญอย่างมากต่อการออกแบบเครื่องจักรเพื่อรองรับกระบวนการผลิตโดยมีปัจจัยในการพิจารณาคือ ต้นทุนการผลิต และ ราคาค่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการ บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการนำเสนอแนวทางการพิจารณาปัจจัยทั้งสองดังกล่าวโดยทำการประยุกต์วิธีการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เข้ากับแบบจำลองทางเทอร์โมไดนามิกส์ของกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์โดยเน้นหนักในการวิเคราะห์ขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการเป็นสำคัญ เนื่องจากขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นตัวแปรหลักที่มีผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตและราคาค่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการ นอกจากนี้ยังได้แสดงการประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษากระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ (Soylemez, 2006a) สำหรับการศึกษากระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์แบบบรรจุเย็น มีอัตราการผลิตที่ 2000 กิโลกรัมต่อวัน โดยมีระบบทำความเย็นแบบอัดไอขั้นตอนเดียวในการทำความเย็น (Single stage vapor compression cycle) เพื่อวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์เช่นเดียวกับ (Soylemez, 2006b) โดยใช้วิธีคำนวณแบบ present value method คำนวณหา Minimize Cost ของทั้งระบบ ผลการศึกษาวิจัยพบว่า ขนาดจำนวนแผ่นที่เหมาะสมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยเฉลี่ยที่ 60 แผ่น ส่วนเครื่องควบแน่น 20 แผ่น เครื่องทำระเหย 15 แผ่น และเครื่องทำความร้อนแบบขดลวดไฟฟ้า 14.73 กิโลวัตต์ พลังงานที่ใช้สำหรับเครื่องอัดไอ 9.52 กิโลวัตต์ จากการศึกษาครั้งนี้สามารถเป็นแนวทางที่สำคัญสำหรับการออกแบบเครื่องจักรในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์

คำสำคัญ: เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เศรษฐศาสตร์ทางความร้อน นมพาสเจอร์ไรส์

คำนำ

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการนำเสนอแนวทางการพิจารณาปัจจัยทั้งสองดังกล่าวโดยทำการประยุกต์วิธีการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เข้ากับแบบจำลองทางเทอร์โมไดนามิกส์ของกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ ในการวิเคราะห์ขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการเป็นสำคัญ เนื่องจากขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นตัวแปร

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000
[1]School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000

หลักที่มีผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตและราคาค่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการ โดยวิเคราะห์จากอุปกรณ์หลัก 4 อุปกรณ์ คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เครื่องควบแน่น เครื่องทำระเหย และเครื่องทำความร้อนแบบขดลวดไฟฟ้า เพื่อจะวิเคราะห์ราคาเงินลงทุนปัจจุบันกับราคาพลังงานที่ใช้ในการผลิต เพื่อให้เหมาะสมทั้งด้านการลงทุนและด้านการใช้พลังงาน

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้จะทำการวิเคราะห์ต้นทุนในการลงทุน และต้นทุนในการผลิตโดยจากแบบจำลองทางเทอร์โมไดนามิกส์จากของกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ และเน้นหนักในการวิเคราะห์ขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการเป็นสำคัญ โดยรวมถึงการนำความร้อนที่เครื่องควบแน่นของระบบทำความเย็นมาใช้ในการอุ่นนมด้วยโดยจะทำการวิเคราะห์จากกระบวนการผลิตอยู่ 3 ระบบ (Figure 1)

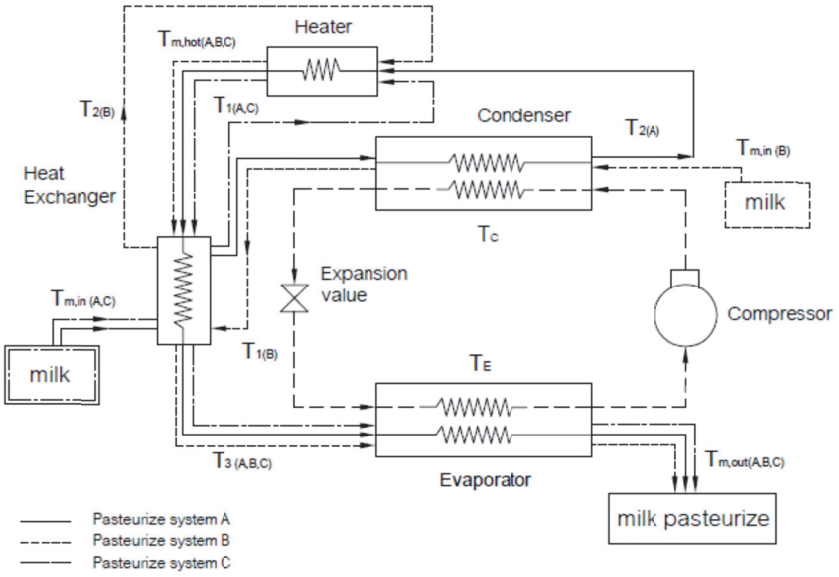

Figure 1 Process milk pasteurized system A, B, C for Single stage vapor compression system

สำหรับโรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ที่นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์นั้นได้จากโรงงานผลิตนมของฟาร์มในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีกำลังการผลิตอยู่ที่ประมาณ 6 ตันต่อวัน ในส่วนนี้จะทำการผลิต วันละ 6 ชั่วโมง ตัวแปรอิสระ คือ จำนวนแผ่นของเครื่องควบแน่น (N_C), จำนวนแผ่นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (N_{hx}) ส่วนตัวแปรควบคุม มีดังนี้ อุณหภูมิสารทำความเย็นเครื่องควบแน่น(T_C) = -5 °C, อุณหภูมิสารทำความเย็นที่เครื่องทำระเหย(T_E) = 45 °C, อุณหภูมินมหลังผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์($T_{m,hot}$) = 75 °C, อุณหภูมินมดิบก่อนเข้ากระบวนการผลิต($T_{m,in}$) = 4 °C, อุณหภูมินมพาสเจอร์ไรส์ที่ผลิตเสร็จแล้ว($T_{m,out}$) = 4 °C ,อัตราดอกเบี้ยต่อปี(i)= 10% , อายุการใช้งานของเครื่องจักร(n) = 7 ปี , อัตราค่าไฟฟ้า(E_{EL}) = 2.625 (฿/kWh), ชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรต่อปี(H) = 2160 (h/year), อัตราการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์(m_m) = 0.0926 (kg/s), อัตราการถ่ายเทความร้อนจำเพาะของนม(Cp_m) = 3.9 (kJ/kg.K), Chevron Angle = 45°, ราคาเครื่องทำความร้อนขดลวดไฟฟ้า(C_h) = 4420 (฿/kW) , ราคาของแผ่นถ่ายเทความร้อน(C_{hx},C_C,C_E) = 1387 (฿/Pcs),ขนาดความยาวของแผ่นถ่ายเทความร้อน(L_v) = 0.207 (m), ขนาดความกว้างของแผ่นถ่ายเทความร้อน(L_h)= 0.077 (m) จากสมดุลพลังงานและทางเศรษฐศาสตร์จะได้สมการจุดประสงค์ (Objective function) ดังนี้ (Figure 2)

$$Cost\ system(A,B)=\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}\left[E_{EL}H_h\dot{m}_m C_{p,m}\left(T_{m,hot}-T_2\right)+E_{EL}H_{comp}\frac{\dot{m}_m C_{p,m}\left(T_3-T_{m,out}\right)}{0.5COP_{canot}}\right]+\left[C_h\dot{m}_m C_{p,m}\left(T_{m,hot}-T_2\right)+C_C N_C+C_E\frac{Q_E}{U_E\Delta T_{lm}L_v L_h}+C_{hx}N_{hx}\right]$$

$$Cost\ system(C)=\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}\left[E_{EL}H_h\dot{m}_m C_{p,m}\left(T_{m,hot}-T_1\right)+E_{EL}H_{comp}\frac{\dot{m}_m C_{p,m}\left(T_3-T_{m,out}\right)}{0.5COP_{canot}}\right]+\left[C_h\dot{m}_m C_{p,m}\left(T_{m,hot}-T_1\right)+C_E\frac{Q_E}{U_E\Delta T_{lm}L_v L_h}+C_{hx}N_{hx}\right]$$

Figure 2 Objective function milk pasteurized system A, B, C for Single stage vapor compression system

ผลการวิเคราะห์จากกรณีศึกษา

จากกระบวนการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และทางพลังงานนำมาคำนวณหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของ 3 ลักษณะการผลิต ผลที่ได้มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต้องมีจำนวนแผ่นที่มากเพื่อจะถ่ายเทความร้อนให้แก่นมทั้ง 2 ด้าน ของกระบวนการพาสเจอร์ไรส์และกระบวนการเก็บรักษา เพื่อที่จะลดการใช้พลังงานและลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานด้วย แสดงผลจากกราฟดังนี้ (Figure 2 Figure 3 และ Figure 4)

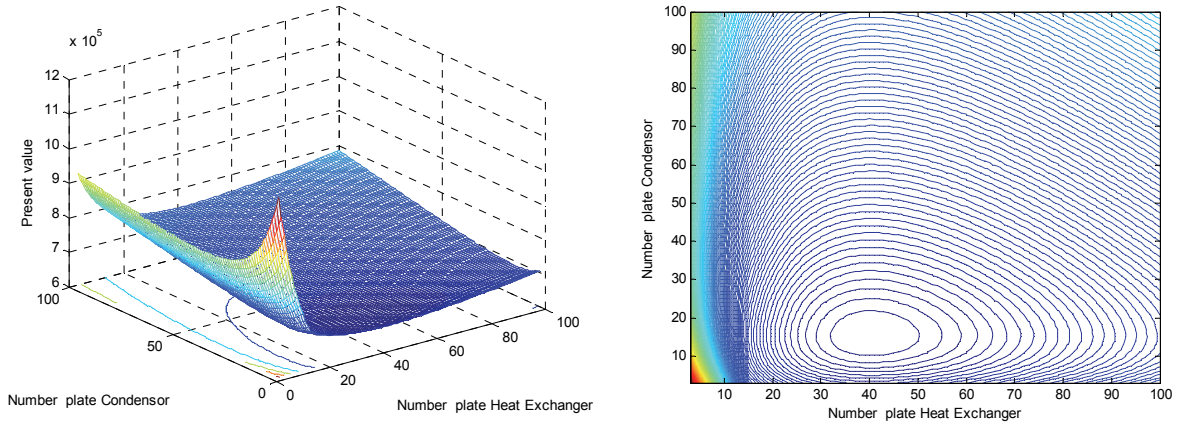

Figure 3 Overall life cycle 3D and Contour versus Number plate Condenser and Heat Exchanger A system

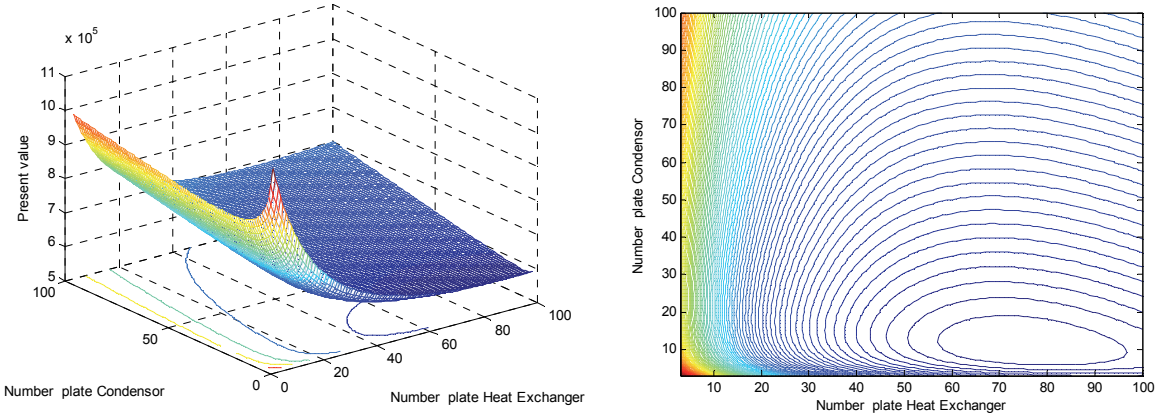

Figure 4 Overall life cycle 3D and Contour versus Number plate Condenser and Heat Exchanger B system

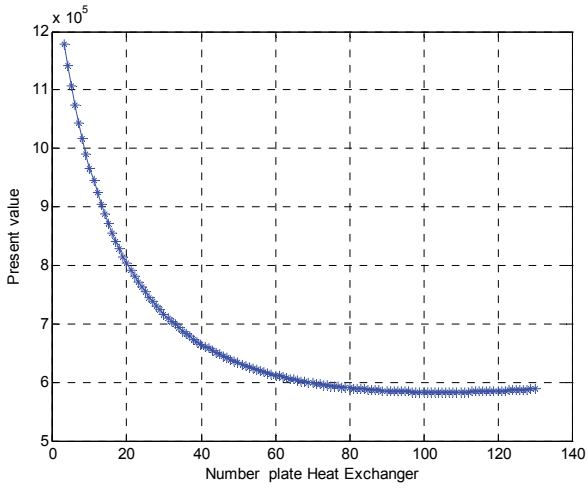

Figure 5 Overall life cycle versus Number plate Heat Exchanger C system

Table 1 Optimal operating conditions for process pasteurization A, B, C system

Optimal conditions	System A	System B	System C
Coefficient of Performance	2.675	2.673	2.682
Number Plate Heat Exchanger	38	75	102
Number Plate Condenser	13	8	-
Number Plate Evaporator	20	27	16
Work Heater (kW)	13.70	6.76	9.38
Work Compressor (kW)	4.68	5.78	3.49
Heat Transfer rate Heat Exchanger (kW)	13.7	10.2	16.27
Heat Transfer rate Condenser (kW)	0.78	8.71	-
Heat Transfer rate Evaporator (kW)	12.52	15.45	9.36
T1 (°C)	38.35	28.11	49.1
T2 (°C)	37.15	56.31	-
T3 (°C)	38.65	46.89	29.9
First Cost (฿)	148,360	169,100	195,190
Operating Cost (฿)	485,270	382,220	377,090
Cost of present value(฿)	633,630	551,320	572,280

วิจารณ์ผล

จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตทั้ง 3 ระบบ เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากราคาเงินลงทุนปัจจุบันน้อยที่สุดของทุกระบบตลอดอายุการใช้งาน พบว่ากระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ที่ประหยัดที่สุดเรียงตามลำดับต่อไปนี้ B, C และ A ตามลำดับภายใต้เงื่อนไข และกระบวนการผลิตเดียวกัน เพราะ กระบวนการผลิตแบบ B มีลำดับของการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการผลิตที่ดีกว่า ขนาดที่เหมาะสมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับอุ่นนมเบื้องต้นมีความสำคัญต่อต้นทุนของกระบวนการผลิตเป็นอย่างมาก (Soylemez, 2000) จากการศึกษาวิจัยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับอุ่นนมเบื้องต้น ควรให้มีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสม โดยจะต้องสูงกว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น เพราะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับอุ่นนมเบื้องต้น นั้นสามารถลดต้นทุนการใช้พลังงานทั้งทางด้านความร้อนและทางด้านความเย็นได้ในทุกกรณีศึกษา

สรุป

การทำความร้อน ในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ ที่มีความเหมาะสมต่อการลงทุนควรใช้ความร้อนจากเครื่องควบแน่นในการอุ่นนมก่อนเป็นอันดับแรก หลังจากนั้นถึงค่อยเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับการอุ่นนมเบื้องต้น แล้วจึงค่อยเข้าสู่เครื่องทำความร้อนแบบขดลวดไฟฟ้า ตามลำดับส่วนอัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับอุ่นนมเบื้องต้นให้มีค่าสูงกว่า อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เครื่องควบแน่น เพราะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำรับอุ่นนมเบื้องต้น นั้นสามารถลดค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานทางด้านการทำความร้อนและทำความเย็นได้พร้อมกันทั้งสองด้าน

เอกสารอ้างอิง

Soylemez, M.S. 2000. On the optimum heat exchanger sizing for heat recovery. Energy Conversion and Management 41: 1491-27

Soylemez, M.S. 2006a. Optimum heat pump in milk pasteurizing for dairy. Journal of Food Engineering 74: 546-551

Soylemez, M.S. 2006b. Optimum heat pump in drying systems with waste heat recovery. Journal of Food Engineering 74: 292-298