หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การออกแบบถัง

2.1 ขนาดความจุของถังเทียบกับจำนวนผู้ใช้

Narinder[21] แนะนำว่า ขนาดความจุของถังควรจะมากกว่าปริมาณน้ำร้อนที่ไหลผ่านเต็มความสามารถของแผงดูดความร้อน (Absorber) ของระบบเครื่องทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์อยู่ประมาณ 25 ลิตร โดยพื้นที่ 1 ตารางเมตรของแผงดูดความร้อนสามารถทำให้น้ำปริมาตร 50 ลิตร ร้อนได้ถึงอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ในเวลาหนึ่งวันในประเทศไทย และจากการพิจารณาสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย พอจะประมาณปริมาณการใช้น้ำร้อนต่อคนต่อวันเป็น 20 ถึง 50 ลิตร เปรียบเทียบกับการใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาเฉลี่ย 50 ถึง 100 ลิตร ต่อคนต่อวัน ข้อสำคัญคือการออกแบบขนาดความจุของถังให้พอดีที่จะเก็บน้ำร้อนไว้ที่อุณหภูมิหนึ่งที่ต้องการ ซึ่งสามารถจะนำไปใช้ได้เลยโดยไม่ต้องนำไปผสมกับน้ำเย็นอีก

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบขนาดความจุของถังเก็บน้ำร้อนขนาด 200 ลิตรขึ้น ซึ่งสามารถเก็บน้ำร้อนไว้ใช้สำหรับครอบครัวหนึ่งซึ่งมีสมาชิก 4-5 คน

2.2 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบถัง

2.2.1 ทฤษฎีที่ใช้ในการหาแรงภายใน

ลักษณะของถังที่ออกแบบเป็นโครงสร้างเฟอร์โรซีเมนต์รูปทรงกระบอกกลมที่มีฝาปิดหัวท้ายหนาและหล่อติดกันเป็นเนื้อเดียวกัน การวิเคราะห์ใช้ทฤษฎีอีลาสติคและสมมติว่าสภาพขอบของถังที่ต่อกับฝาเป็นแบบยึดแน่น ดังนั้นถ้าถังมีรัศมี a ความสูง L ความหนา t_w และมีความดันภายในถังเป็น p ตามรูปที่ 2.1 แล้ว จะเขียนสมการดิฟเฟอเรนเชียลของการเคลื่อนที่ได้ดังนี้[22]

$$\frac{d^4w}{dx^4} + 4\beta^4 w = -\frac{P}{D} \qquad (2.1)$$

โดยที่ w = ระยะโก่งในแนวตั้งฉากกับทิศทาง x

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{3(1-\nu^2)}{a^2 t_w^2}} \quad \text{และ} \quad D = \frac{Et_w^3}{12\ (1-\nu^2)}$$

คำตอบทั่วไปของสมการที่ (2.1) คือ

$$w = \exp(\beta x)\left[C_1 \cos\beta x + C_2 \sin\beta x\right] + \exp(-\beta x)\left[C_3 \cos\beta x + C_4 \sin\beta x\right] - \frac{pa^2}{Et_w} \qquad (2.2)$$

จากการแทนค่า $\exp.(\beta x) = \cosh\beta x + \sinh\beta x$ และ $\exp.(-\beta x) = \cosh\beta x - \sinh\beta x$

จะได้ $w = A_1 \sin\beta x \sinh\beta x + A_2 \sin\beta x \cosh\beta x + A_3 \cos\beta x \sinh\beta x + A_4 \cos\beta x \cosh\beta x - \frac{pa^2}{Et_w}$ (2.3)

เนื่องจากค่าระยะโก่งในแนวตั้งฉากกับทิศทาง x จะต้องสมมาตรกับแกนสัมผัสกับถัง ผ่านจุด o ดังนั้นเทอมที่เป็นฟังก์ชันคี่ กล่าวคือ $A_2 \sin\beta x \cosh\beta x$ และ $A_3 \cos\beta x \sinh\beta x$ ต้องเท่ากับศูนย์ นั่นคือ A_2 และ A_3 ต้องเท่ากับศูนย์ สภาพขอบของโครงสร้างที่ต้องพิจารณาอีก 2 อัน คือ $w\left(\pm\frac{L}{2}\right) = 0$ และ $\frac{dw}{dx}\left(\pm\frac{L}{2}\right) = 0$

จะได้ $w = A_1 \sin\beta x \sinh\beta x + A_4 \cos\beta x \cosh\beta x - \frac{pa^2}{Et_w}$ (2.4)

โดยที่ $A_1 = \frac{2pa^2}{Et_w}\left[\frac{\sin\alpha \cosh\alpha - \cos\alpha \sinh\alpha}{\sin 2\alpha + \sinh 2\alpha}\right]$ (2.5)

$$A_4 = \frac{2pa^2}{Et_w}\left[\frac{\cos\alpha\sinh\alpha + \sin\alpha\cosh\alpha}{\sin 2\alpha + \sinh 2\alpha}\right] \qquad (2.6)$$

และ $$\alpha = \frac{\beta L}{2} \qquad (2.7)$$

ค่าแรงภายในต่าง ๆ หาได้จาก

$$M_x = -D\frac{d^2w}{dx^2} = -2D\beta^2\left[A_1\cos\beta x\cosh\beta x - A_4\sin\beta x\sinh\beta x\right]$$

$$M_\phi = \nu M_x \qquad (2.8)$$

$$N_\phi = \frac{-Et_w}{a}w = \frac{-Et_w}{a}\left[A_1\sin\beta x\sinh\beta x + A_4\cos\beta x\cosh\beta x\right] + pa$$

$$Q_x = -D\frac{d^3w}{dx^3} = -2D\beta^3\left[-(A_1+A_4)\sin\beta x\cosh\beta x + (A_1-A_4)\cos\beta x\sinh\beta x\right]$$

2.2.2 ทฤษฎีการรับแรงดึงของเฟอร์โรซีเมนต์

จากผลการศึกษาพฤติกรรมของเฟอร์โรซีเมนต์ในการรับแรงดึงที่ผู้วิจัยต่าง ๆ กระทำมาพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับความเครียดของเฟอร์โรซีเมนต์สามารถ idealize ได้เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นสามช่วงดังแสดงในรูปที่ 2.2[23] ในช่วงที่หนึ่งวัสดุเฟอร์โรซีเมนต์ทั้งลวดตาข่ายและซีเมนต์มอร์ต้ารับยืดไปพร้อมกันโดยมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเป็น E_t จนกระทั่งถึงจุดแตกร้าวของซีเมนต์มอร์ต้ารัซึ่งเรียกว่าความเค้นแตกร้าวเริ่มแรกของเฟอร์-โรซีเมนต์ รอยแตกร้าวอาจจะมองเห็นหรือไม่เห็นด้วยตาเปล่าก็ได้ ช่วงที่สองเริ่มต้นเมื่อซีเมนต์มอร์ต้ารัเกิดรอยแตกร้าวแล้ว แรงกระทำทั้งหมดจะถูกถ่ายไปให้ลวดตาข่ายรับแต่เพียงลำพังทำให้ความชันของเส้นกราฟลดลงโดยมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเป็น E_{cr} ซึ่งเท่ากับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของลวดตาข่าย ช่วงที่สามเป็นช่วงที่ลวดตาข่ายอยู่ในช่วงคลาก (Yielding Regime)

ความเค้นที่เกิดรอยแตกร้าวเริ่มแรกของเฟอร์โรซีเมนต์เป็นตัวกำหนดในการออกแบบถังเก็บน้ำเพราะที่จุดเกิดรอยแตกร้าวเริ่มแรกนั้นจะทำให้น้ำรั่วออกจากถัง Bezukladov ฯ[5] และ Naaman และ Shah[24] ได้พบว่าความเค้นตอนแตกร้าวเริ่มแรกของ

เฟอร์โรซีเมนต์รับแรงดึงเป็นสัดส่วนขึ้นอยู่กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface) ของลวดตาข่ายที่เสริม Naaman[6] ได้เสนอสูตรสำเร็จสำหรับหาค่าความเค้นตอนแตกร้าวเริ่มแรกดังนี้

$$\sigma_{cr} = 140 S_{RL} + \sigma_{mu} \quad \text{ปอนด์ต่อตารางนิ้ว} \qquad (2.9)$$

โดยที่ S_{RL} เป็นค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของลวดตาข่ายในทิศทางของแรงกระทำ หน่วยเป็น นิ้ว^2/นิ้ว^3 ซึ่งให้นิยามว่าเป็นอัตราส่วนของพื้นที่ผิวของลวดตาข่ายเสริมในทิศทางของแรงกระทำต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุประกอบ นั่นคือ

$$S_{RL} = \frac{\pi dn}{S_f t_w} \qquad (2.10)$$

เมื่อ d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวด n = จำนวนชั้นของลวดตาข่าย S_f = ขนาดตาของลวดตาข่ายและ t_w = ความหนาของเฟอร์โรซีเมนต์ ส่วน σ_{mu} เป็นค่าความเค้นประลัยของซีเมนต์มอร์ต้าร์ หน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว

Broutman และ Krock[17] ได้แสดงการวิเคราะห์หาความเค้นของวัสดุประกอบโดยสมมติว่ามีการยึดเหนี่ยวโดยสมบูรณ์ระหว่างวัสดุประกอบ ดังนั้นสำหรับแท่งปริซึมรับแรงดึงในแนวแกนซึ่งเสริมลวดตาข่ายหลักในแนวขนานกับแรงดึง จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นในวัสดุประกอบดังนี้

$$\sigma_c A_c = \sigma_m A_m + \sigma_f A_{fL} \qquad (2.11)$$

โดยที่ σ_c, σ_m และ σ_f เป็นค่าความเค้นของเฟอร์โรซีเมนต์ ซีเมนต์มอร์ต้าร์ และลวดตาข่ายตามลำดับและ A_c, A_m และ A_{fL} เป็นค่าพื้นที่หน้าตัดของเฟอร์โรซีเมนต์ ซีเมนต์มอร์ต้าร์และลวดตาข่ายตามลำดับ สมการ (2.11) สามารถแสดงได้ในเทอมของค่าอัตราส่วนปริมาตร (Volume fraction) ของวัสดุประกอบดังนี้

$$\sigma_c = \sigma_m V_m + \sigma_f V_{fL} \qquad (2.12)$$

โดยที่ V_m และ V_{fL} เป็นอัตราส่วนปริมาตรของซีเมนต์มอร์ต้าร์และลวดตาข่ายในทิศทางของแรง

กระทำซึ่งให้นิยามว่า เป็นอัตราส่วนของปริมาตรของซีเมนต์มอร์ต้าร์หรือลวดตาข่ายในทิศทางของแรงกระทำต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุประกอบ นั่นคือ

$$V_{fL} = \frac{\pi d^2 n}{4 S_f t_w} \qquad (2.13)$$

และ $$V_m + V_{fL} = 1 \qquad (2.14)$$

นอกจากนี้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะกับค่าอัตราส่วนปริมาตรของลวดตาข่ายยังมีความสัมพันธ์กันดังนี้คือ

$$S_{RL} = \frac{4V}{d} fL \qquad (2.15)$$

จาก Hooke's law และสมมติฐานที่ว่าความเครียดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ต้องเท่ากับความเครียดของเฟอร์โรซีเมนต์และลวดตาข่าย จะเขียนสมการ (2.12) ได้ดังนี้

$$E_t = E_{mt} V_m + E_f V_{fL} \qquad (2.16)$$

โดยที่ E_t E_{mt} และ E_f เป็นค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นในทิศทางของแรงดึงของเฟอร์โรซีเมนต์ ซีเมนต์มอร์ต้าร์และลวดตาข่ายตามลำดับ การแตกร้าวเริ่มแรกของเฟอร์โรซีเมนต์จะเกิดขึ้นเมื่อค่าของความเค้นของเฟอร์โรซีเมนต์มีค่าเกินความเค้นแตกร้าวของซีเมนต์มอร์ต้าร์ ดังนั้นค่าความเค้นที่เกิดรอยแตกร้าวเริ่มแรกของเฟอร์โรซีเมนต์หาได้จากสมการ (2.12) คือ

$$\sigma_{cr} = \sigma_{mu} V_m + \varepsilon_{mu} E_f V_{fL} \qquad (2.17)$$

โดยที่ σ_{mu} เป็นค่าความเค้นประลัยของซีเมนต์มอร์ต้าร์ และ ε_{mu} เป็นค่าความเครียดตอนแตกร้าวของซีเมนต์มอร์ต้าร์

Nathan และ Paramasivam[18] ได้เสนอสูตรการคำนวณค่าความเค้นตอนแตกร้าวเริ่มแรก เป็น

$$\sigma_{cr} = \sigma_s \left(\frac{A_{fL}}{A_m} \right)^{1.1} + \sigma_{ms} \qquad (2.18)$$

โดยที่ σ_s และ σ_{ms} เป็นค่าความเค้นที่ความเครียด 0.01% ของลวดตาข่ายและซีเมนต์มอร์ต้าร์

ตามลำดับ A_{fL} เป็นพื้นที่หน้าตัดของลวดตาข่ายและ A_m เป็นพื้นที่หน้าตัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์

2.3 ฉนวนหุ้มถัง

เพื่อลดการสูญเสียความร้อนจากถังเก็บความร้อนอันเนื่องมาจากการนำความร้อนและการพาความร้อน จำเป็นต้องพิจารณาการติดฉนวนหุ้มถัง ในงานวิจัยนี้อุณหภูมิของน้ำร้อนภายในถังจะค่อย ๆ ลดลงตามเวลา เนื่องจากการสูญเสียความร้อน การถ่ายเทความร้อนจะเป็นไปในลักษณะไม่คงที่ (Unsteady State) เนื่องจากปริมาตรของน้ำภายในถังมากกว่าปริมาตรของผนังถัง ในการพิจารณาการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังถัง (และฉนวนถ้ามี) จะสมมติว่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านแต่ละชั้นของวัสดุประกอบของถัง (รวมฉนวน) เท่ากันเมื่อยณะใดขณะหนึ่ง ดังนั้นจากการพิจารณารูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงการนำและการพาความร้อนจากผิวด้านร้อนกว่า ซึ่งมีอุณหภูมิ T_A ผ่านชั้นวัสดุประกอบไปยังด้านที่เย็นกว่าซึ่งมีอุณหภูมิ T_B จะได้สมการการถ่ายเทความร้อนดังนี้

$$Q = UA\ (\Delta T) \qquad (2.19)$$

โดยที่ Q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุประกอบ หน่วยเป็น $\frac{\text{แคลอรี่}}{\text{วินาที}}$

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Coefficient)

$$= \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \frac{\Delta x_3}{k_3} + \frac{1}{h_2}}$$ หน่วยเป็น $\frac{\text{แคลอรี่}}{\text{ซม.}^2\ \text{วินาที}\ ^\circ\text{C}}$

Δx = ความหนาของวัสดุแต่ละชั้น หน่วยเป็น ซม.

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน หน่วยเป็น $\frac{\text{แคลอรี่}}{\text{ซม.}^2\ \text{วินาที}\ ^\circ\text{C}}$

(Convection Heat Transfer Coefficient)

k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อน หน่วยเป็น $\frac{\text{แคลอรี่}}{\text{ซม.}\ \text{วินาที}\ ^\circ\text{C}}$

(Thermal Conductivity)

A = พื้นที่ผิวของผนังที่ความร้อนผ่าน หน่วยเป็น ซม.^{2}

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิข้างในกับข้างนอกถัง = $T_A - T_B$ หน่วยเป็น $^\circ C$

หลักการของการสมดุลย์แห่งการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Balance) กล่าวว่า ความร้อนที่เข้าในระบบลบด้วยความร้อนที่ออกจากระบบจะเท่ากับการสะสมของความร้อนในระบบ ดังนั้นถ้าพิจารณาน้ำในถังเป็นระบบจะได้ความสัมพันธ์

$$Q_{เข้า} - Q_{ออก} = VC_p \rho \frac{dT(t)}{dt} \qquad (2.20)$$

โดยที่ V = ปริมาตรของน้ำร้อนภายในระบบ หน่วยเป็น ม.^{3}

C_p = ความร้อนจำเพาะของน้ำ หน่วยเป็น $\frac{\text{แคลอรี่}}{\text{กก.}\cdot C}$

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ หน่วยเป็น $\frac{\text{กก.}}{\text{ม.}^3}$

$T(t)$ = อุณหภูมิของน้ำร้อนภายในระบบที่เวลาใด ๆ หน่วยเป็น $^\circ C$

t = เวลาใด ๆ หน่วยเป็น วินาที

ในระบบที่กำลังพิจารณา (รูปที่ 2.4) $Q_{เข้า} = 0$ และ T_B = อุณหภูมิห้องซึ่งมีค่าคงที่ ดังนั้นสมการ (2.16) เขียนได้เป็น

$$-\sum U_i A_i \left[T(t) - T_B\right] = VC_p \rho \frac{dT(t)}{dt} \qquad (2.21)$$

อินทิเกรตสมการ (2.17) ได้

$$\int \frac{-\sum U_i A_i}{VC_p \rho} dt = \int \frac{1}{\left[T(t) - T_B\right]} dT(t) \qquad (2.22)$$

$$\frac{-\sum U_i A_i}{VC_p \rho} t = \ln \left[T - T_B\right] + \ln C \qquad (2.23)$$

โดยที่ C เป็นค่าคงที่ของการอินทิเกรต จากการพิจารณาสภาพเริ่มแรก

$$T = T_o \quad \text{เมื่อ} \quad t = 0 \tag{2.24}$$

จะสามารถหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของน้ำร้อนภายในถังกับเวลาจากสมการ (2.23) ได้ดังนี้

$$\frac{T - T_B}{T_o - T_B} = \exp. \left\{ - \frac{\sum U_i A_i}{VC_p \rho} t \right\} \tag{2.25}$$

2.4 การออกแบบถังเก็บน้ำร้อนเฟอร์โรซีเมนต์

2.4.1 ถังภายใต้ความดันสถิตของน้ำ

ในการเก็บน้ำร้อนของถังเฟอร์โรซีเมนต์จะเกิดความเค้นภายในถังอันเนื่องมาจากความร้อนของน้ำร้อน (Temperature Stress) และความดันของน้ำ (Hydrostatic Pressure) ภายในถัง จากตัวอย่างการคำนวณในภาคผนวก ก. พบว่า สำหรับขนาดและอุณหภูมิที่ออกแบบ ถังเก็บน้ำร้อนภายใต้ความดันน้ำสถิตอย่างเดียวจะไม่ต้องการเหล็กเสริมอะไร เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการสร้างถังเก็บน้ำร้อนราคาถูก จึงทำการเสริมด้วยลวดตาข่ายเพียงสองชั้นซึ่งเมื่อคิดเป็นค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและอัตราส่วนปริมาตรของลวดตาข่ายแล้วได้เท่ากับ 22% และ 21.4% ของที่ Naaman[12] แนะนำไว้ และเท่ากับ 24.44% และ 15.4% ของที่ Shah[13] แนะนำไว้ตามลำดับ แต่จากการสำรวจถังเก็บน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ที่สร้างจากแหล่งต่าง ๆ ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.2 พบว่าแต่ละถังต่างก็มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและอัตราส่วนปริมาตรต่ำกว่าทั้งนั้น

2.4.2 ถังภายใต้ความดันภายใน

ทฤษฎีหรือสูตรที่ใช้ในการคำนวณออกแบบเฟอร์โรซีเมนต์รับแรงดึงดังแสดงในตัวอย่างในภาคผนวก ข. ปรากฏว่าตามสูตรสำเร็จของ Naaman[6] ต้องเสริมลวดตาข่าย 4 ชั้น แต่ตามทฤษฎีและสูตรของ Broutman และ Krock[17] และ Nathan และ Paramasivam[18] ต้องเสริมลวดตาข่ายเป็นจำนวนถึง 40 กว่าชั้น เนื่องจากต้องการประหยัด

และเพื่อให้ทำงานได้ จึงเสริมด้วยลวดตาข่าย 4 ชั้น ซึ่งเมื่อคิดเป็นค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและอัตราส่วนปริมาตรของลวดตาข่ายแล้ว ได้เท่ากับ 44% และ 42.8% ของที่ Naaman[12] แนะนำไว้ และเท่ากับ 48.9% และ 30.8% ของที่ Shah[13] แนะนำไว้ตามลำดับ เพื่อจะได้ทำการทดลองศึกษาความแข็งแรงโดยการอัดความดันเข้าภายในถัง

004708

ในงานวิจัยได้ออกแบบถังเก็บน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ล่ามใบ ใบที่หนึ่งให้ชื่อว่า T2-T เสริมด้วยลวดตาข่าย 2 ชั้น ดังรูปที่ 2.5 สำหรับทดลองการเก็บความร้อน ใบที่สองให้ชื่อว่า T2-P เสริมสองชั้น ซึ่งเป็นการเสริมจำนวนชั้นต่ำสุดเพื่อทดลองหาว่าสามารถรับแรงดันภายในสูงสุดเท่าใด และใบที่สามให้ชื่อว่า T4-P เสริม 4 ชั้น สำหรับทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎีและสูตรดังกล่าว ทั้ง T2-P และ T4-P ใช้โครงเหล็กแบบเดียวกันดังรูปที่ 2.6 และจะได้ทำการทดลองอัดความดันเข้าภายในถังเพื่อศึกษาพฤติกรรมการแตกร้าวของถังสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ และอัตราส่วนปริมาตรของลวดตาข่ายและเปรียบเทียบกับทฤษฎีหรือสูตรที่ออกแบบ เพราะฉะนั้น ฝาถังล่างและบนของ T2-P และ T4-P ดังแสดงในรูปที่ 2.6, 2.7, และ 2.8 จึงต้องออกแบบให้แข็งแรงและหนากว่าของถัง T2-T

2.4.3 ในการป้องกันการสูญเสียความร้อนของน้ำร้อนที่เก็บไว้ภายในถังได้หุ้มถังด้วยฉนวนซึ่งอาจจะเป็นฉนวนใยแก้วหรือโฟมโพลีสไตรีน แต่ฉนวนใยแก้วมีราคาแพงกว่าโฟมโพลีสไตรีนมาก จึงเลือกใช้โฟมโพลีสไตรีน หนา 2.5 ซม. หุ้มด้วยสังกะสีเพื่อหุ้มและป้องกันการเสียหายที่จะเกิดแก่ฉนวนด้วย การหุ้มฉนวนจะหุ้มล้อมรอบตัวถังและฝาถัง ส่วนก้นถังไม่ได้หุ้มเพราะหุ้มยาก จึงสร้างก้นถังให้มีความหนามากกว่าผนังถังเพื่อลดการสูญเสียความร้อนผ่านก้นถัง นอกจากนี้จากการพิจารณาดูค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศ พบว่าใกล้เคียงกับค่าของโฟมโพลีสไตรีนมาก จึงได้ทำการทดลองโดยใช้อากาศเป็นฉนวนด้วย รายละเอียดของฉนวนได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ส่วนรายละเอียดของการก่อสร้างจะกล่าวในบทที่ 3

i 1756248x