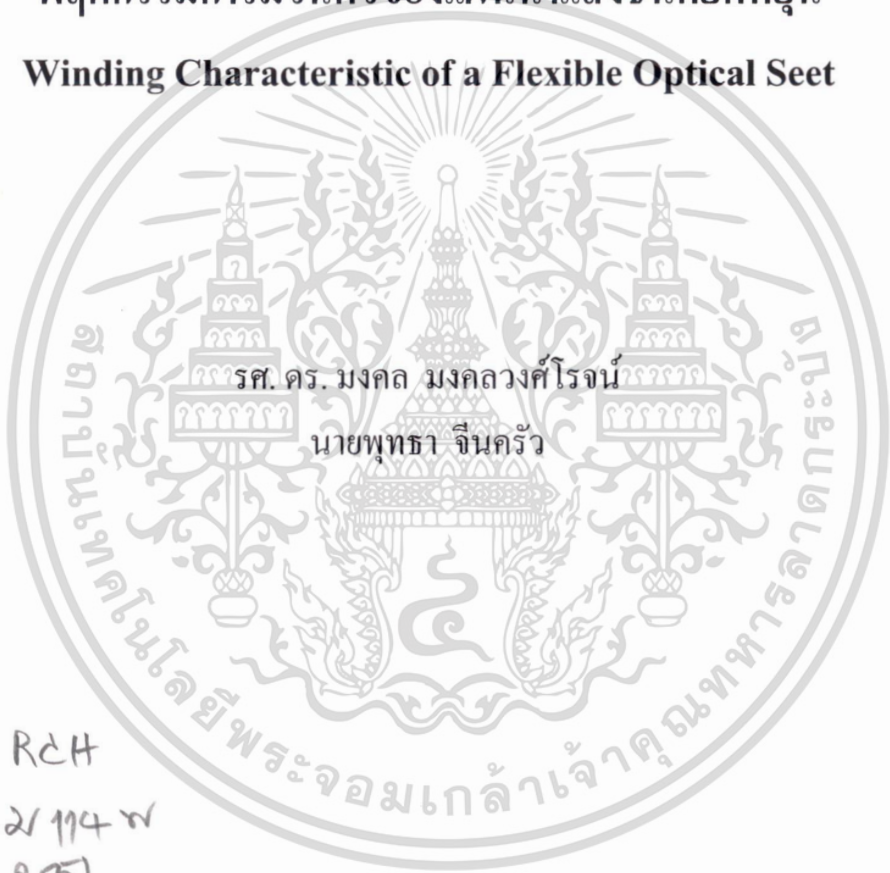


รายงานฉบับสมบูรณ์

Final Report

พฤติกรรมการม้วนตัวของแผ่นนำแสงชนิดยืดหยุ่น

Winding Characteristic of a Flexible Optical Seet



RC4

2/114 พ

2551

เลขหมู่.....137361

เลขทะเบียน.....

วันเดือนปี 22 ส.ย. 2558

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธันวาคม พ.ศ. 2551

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

December 2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 วงเงินงบประมาณ 131,643 บาท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

แผ่นนำแสงได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในเชิงอุตสาหกรรมการผลิต ซึ่งแผ่นนำแสงมีพฤติกรรมแบบวิสโคอิลาสติก ดังนั้นในรายงานนี้ จึงทำการทำการศึกษาถึงพฤติกรรมทางทฤษฎีเมื่อถูกกึ่งหมุนม้วนแผ่นยืดหยุ่นบาง เมื่อพิจารณาผลจากความเค้นตามแนวเส้นรอบวงและแนวรัศมีของแผ่นยืดหยุ่นบางจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับสมการประกอบของวัสดุวิสโคอิลาสติก ด้วยการใช้เทคนิคของมัลติกริดและระเบียบวิธีของนิวตัน-ราฟสัน ในการหาค่าคำตอบของสมการ

การเปลี่ยนแปลงความหนาของฟิล์มอากาศ พิจารณาจากวัสดุที่มีความยืดหยุ่นต่างๆ ดังนั้นในขณะที่แผ่นฟิล์มบาง เคลื่อนที่ผ่านช่วงตัวหนีบ จะเกิดพฤติกรรมแบบอิลาสโตไฮโดรไดนามิกและมีผลอย่างมากในการม้วนแผ่นเส้นใยนำแสง ในรายงานฉบับนี้จะเป็นการหาผลกระทบจากความหนายบของผิวสัมผัสและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบวิสโคอิลาสติก ผลจากการคำนวณพบว่าความหนาของฟิล์มอากาศน้อยสุดในช่วงตัวหนีบสำหรับแผ่นฟิล์มที่เป็นวัสดุแบบวิสโคอิลาสติก จะมีค่ามากกว่าความหนาฟิล์มน้อยสุดเมื่อวัสดุเป็นแผ่นฟิล์มยืดหยุ่นธรรมดา ส่งผลความเค้นในการดึงและตามแนวรัศมีของแผ่นฟิล์มลดลงอย่างมาก

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	II
บทสรุปย่อ	III
บทคัดย่อ.....	IV
คำย่อและสัญลักษณ์.....	VII
Chapter 1 Introduction	1
Chapter 2 Theory	3
Chapter 3 Numerical analysis	11
Chapter 4 Numerical results and discussions	12
Chapter 5 Conclusion.....	23
Chapter 6 References.....	24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

b	nip contact half width
$D_{a,b}$	rough surfaces
E_{Air}	modulus of air layer
E_{req}	total elastic modulus include air layer and web layer
E_f, E_S	viscoelastic modulus of viscoelastic mechanical model
h	air film thickness at nip region
h_0	minimum air film thickness
$J(t)$	the creep function
$J_r(t)$	the radial creep function
$J_i(t)$	the circumferential creep function
J_{rt}, J_{ir}	Poisson creep function
J_{req}	total radial creep function include air layer and web layer
J_{ieq}	total circumferential creep function include air layer and web layer
Nip	nip load
p	air pressure
p_a	ambient pressure
p_0	air pressure at central of nip region
r	radius of winding web
R	equivalent radius of the contacting surfaces, $1/R = 1/R_a + 1/R_b$
R_q	RMS surface roughness
t	time
T_w	web tension
T_{wit}	wound-in tension
U	entrainment velocity $= (u_a + u_b)/2$
x	direction of sliding
σ_r, σ_i	radial stress and circumferential stress
δ_v	viscoelastic deformation
μ	air viscosity
τ	relaxation time $= \eta_s / E_S$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

η_s	viscosity
$\varepsilon_r, \varepsilon_t$	radial strain and circumferential strain
α_{iq}	weighting coefficient
μ_{pp}	the coefficient of friction between web layers
μ_{pd}	the coefficient of friction between the web and nip roll
θ	the rap angle



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and viscous called viscoelastic material so this work will focus on characteristic of winding system which web is viscoelastic thin film material.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 2

Theory

2.1 Governing equations for winding web

Process of web handling system consist of three section there are dryer, calendar and reeling that presented in the figure1. Reeling can be called the process of winding web which is at the end process. In winding web, when layer web add to wound roll both the radial stresses of each layer webs and circumferential stresses of each layer webs will be increased immediately. Especially stress at core regain will become maximum stress after that it probably be led to damage. Both radial stresses and circumferential stresses can be explained by the governing equation in polar coordinates are the following [6].

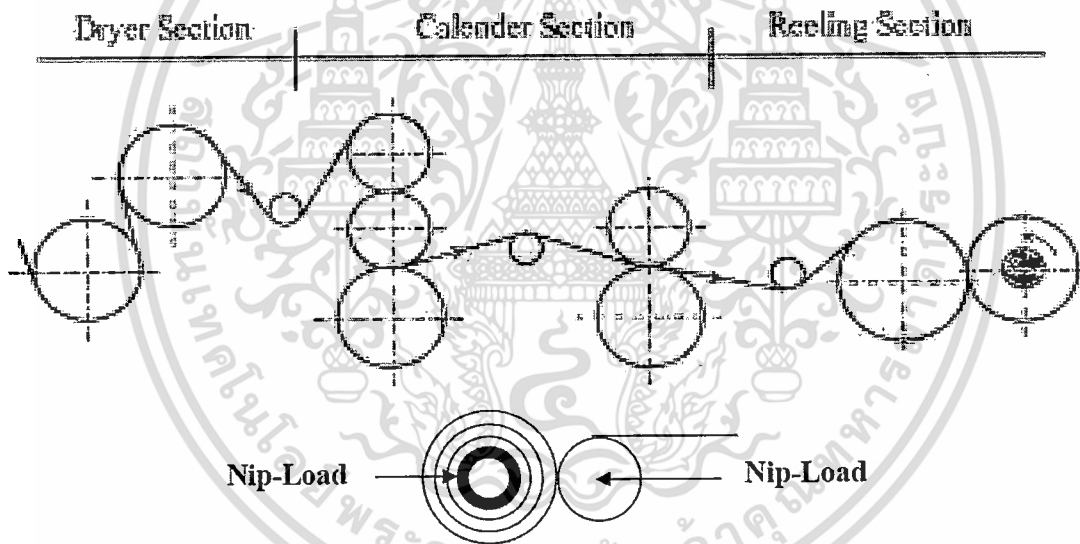


Figure1 shows the process of web handling system

Equilibrium equation

$$r \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \sigma_r - \sigma_t = 0 \tag{1}$$

Strain compatibility equation

$$r \frac{\partial \varepsilon_r}{\partial r} + \varepsilon_t - \varepsilon_r = 0 \tag{2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Strain displacement relation

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u}{\partial r} \quad \varepsilon_t = \frac{u}{r} \quad (3)$$

Viscoelastic constitutive equations

$$\varepsilon_r = \int_0^t \left\{ J_r(t-t') \frac{\partial \sigma_r}{\partial t'} + J_{rr} \frac{\partial \sigma_r}{\partial t'} \right\} dt' \quad (4)$$

$$\varepsilon_t = \int_0^t \left\{ J_t(t-t') \frac{\partial \sigma_t}{\partial t'} + J_{tr} \frac{\partial \sigma_r}{\partial t'} \right\} dt' \quad (5)$$

Since both equations (5) and (6) have radial stress parameter σ_r and circumferential stress parameter σ_t , they were rewritten in terms of radial stress parameter by substituted equation (1) into equation (4) and (5) so they became equation (6) and (7) respectively.

$$\varepsilon_r = \int_0^t \left\{ J_r(t-t') \frac{\partial \sigma_r}{\partial t'} + J_{rr} \frac{\partial}{\partial t'} \left[r \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \sigma_r \right] \right\} dt' \quad (6)$$

$$\varepsilon_t = \int_0^t \left\{ J_t(t-t') \frac{\partial}{\partial t'} \left[r \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \sigma_r \right] + J_{tr} \frac{\partial \sigma_r}{\partial t'} \right\} dt' \quad (7)$$

In addition substitute equations (6) and (7) into equation (2) which leads to a second order partial differential equation in terms of radial stress, σ_r , the radius, r , and time, t that shown by equation (8).

$$\int_0^t \left\{ \begin{aligned} & J_r(t-t') \frac{\partial}{\partial t'} \left(r^2 \frac{\partial^2 \sigma_r}{\partial r^2} \right) + \\ & \left[3J_r(t-t') - J_{rr}(t-t') + J_{tr}(t-t') + r \frac{\partial}{\partial r} (J_t(t-t')) \right] \frac{\partial}{\partial t'} \left(r \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} \right) + \\ & \left[r \frac{\partial}{\partial r} (J_t(t-t')) + r \frac{\partial}{\partial r} (J_{tr}(t-t')) + J_t(t-t') + J_{tr}(t-t') - J_r(t-t') + J_{rr}(t-t') \right] \end{aligned} \right\} dt' = 0 \quad (8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

When $J_r(t)$ and $J_t(t)$ are the radial and circumferential creep functions, respectively. $J_{rr}(t)$ and $J_{rrr}(t)$ are Poisson creep functions. They are able to be found with the model of viscoelastic. For this paper, mechanical viscoelastic model shown in figure 2 that consist of two elastic modulus, E_f and E_s , and viscosity, η_s . A.K.Van der Vegt [7] had been suggested models to predict mechanical viscoelastic behavior there are Maxwell model, Kelvin-Voigt model and Burgers model. However, multiple elements are able to predict nearly real polymer more than single element so the creep function for multiple elements could be shown in equation (9).

$$J(t) = J_0 + \sum_{i=1}^N J_i e^{-\frac{t}{\tau_i}} \quad (9)$$

Where t is time, τ_i is relaxation time that equal to (η_s/E_s) and N is number of element. This model can be transformed to either the Voigt or the Maxwell by a suitable choice of the elastic modulus.

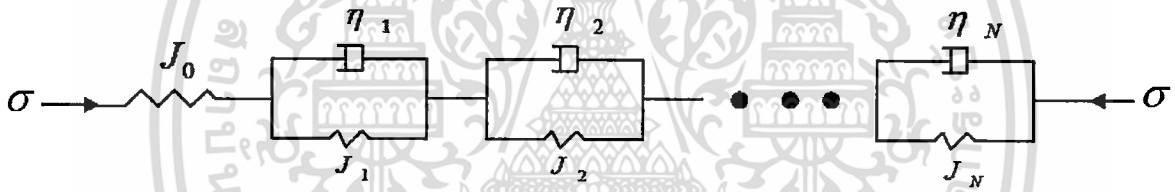


Figure 2 presents viscoelastic mechanical behaviors for multiple elements

In order to be easy to calculate, equation (8) should be rewritten into form of equation (9).

$$\left\{ G_1 \left(r^2 \frac{\partial^2}{\partial r^2} (\Delta \sigma_r) \right) + G_2 \left(r \frac{\partial}{\partial r} (\Delta \sigma_r) \right) + G_3 (\Delta \sigma_r) + G_4 \right\}_{t=t_j} = 0 \quad (10)$$

Where G_1 , G_2 and G_3 depend on properties of viscoelastic web that reeling in current time ($t = t_j$) showed in equation (11), (12) and (13) G_3 depends on properties of viscoelastic web and stresses of web layers which had been reeled at ($t < t_j$). It can write in equation (14).

$$G_1 = J_0 (t_j - t_{j-1}) \quad (11)$$

$$G_2 = 3J_\theta(t_j - t_{j-1}) - J_{\theta r}(t_j - t_{j-1}) + J_{r\theta}(t_j - t_{j-1}) + r \frac{\partial}{\partial r} (J_\theta(t_j - t_{j-1})) \quad (12)$$

$$G_3 = r \frac{\partial}{\partial r} (J_\theta(t_j - t_{j-1})) + r \frac{\partial}{\partial r} (J_{\theta r}(t_j - t_{j-1})) + J_\theta(t_j - t_{j-1}) + J_{\theta r}(t_j - t_{j-1}) - J_r(t_j - t_{j-1}) + J_{r\theta}(t_j - t_{j-1}) \quad (13)$$

$$G_4 = \sum_{k=1}^{k=j-1} \left\{ G_1 \left(r^2 \frac{\partial^2}{\partial r^2} (\Delta\sigma_r) \right) + G_2 \left(r \frac{\partial}{\partial r} (\Delta\sigma_r) \right) + G_3 (\Delta\sigma_r) \right\}_{t=t_j} = 0 \quad (14)$$

Outer boundary condition can be written from the stress equilibrium of the reel web which shown in equation (15). In equation (15) has term of the wound-in tension T_{wit} that be changed to follow the effect of slip on the nip roll and the effect of nip-load. Equation (16) would show relation between wound-in tension and initial tension, T_w incase both winding roller and nip roller rotate.

$$\Delta\sigma_r \Big|_{r=r_{Out}} = - \frac{T_{wit}}{r} \Big|_{r=r_{Out}} \quad (15)$$

$$T_{wit} = \alpha_{iq} T_w + (1 - \alpha_{iq}) \frac{T_w}{e^{\mu_{pp}\theta}} + \mu_{pp} Nip \quad (16)$$

Inner boundary condition would be shown in equation (17) and equation (18).

$$\frac{(\sigma_r)_{t=t_j}}{E_c} = (\varepsilon_\theta)_{t=t_j} \quad (17)$$

$$\frac{(\sigma_r)_{t=t_{j-1}} + (\Delta\sigma_r)_{t=t_j}}{E_c} = \int_0^t \left[\begin{array}{l} J_\theta(t-t') \frac{\partial}{\partial t'} \left(r \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} \right) + J_\theta(t-t') \frac{\partial \sigma_r}{\partial t'} + \\ J_\theta(t-t') \frac{\partial \sigma_r}{\partial t'} \end{array} \right] dt' \quad (18)$$

2.2 Governing equations for Air-EHL

While the web has been reeling, the air film can entrain into between each web layers. This behavior is able to be described by governing equations of Air-EHL that air film thickness are very thin เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

film. Thin film was impermeability web, web deformation was described by viscoelastic contact behavior and rough surfaces of web would be considered.

Reynolds equation for air lubrication can be represented by equation (19),[3] that there are term of air pressure distribution, p and air film thickness distribution, h .

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h^3 p \frac{\partial p}{\partial x} \right) = 6\mu U \frac{\partial(ph)}{\partial x} + \frac{\partial(ph)}{\partial t} \quad (19)$$

Air film thickness equation would be included the effect of surfaces roughness and the effect of viscoelastic deformation that shown with equation (20),[8],[9]

$$h = h_0 + \frac{x^2}{2R} + \delta_v(x,t) + D_a(x) + D_b(x) \quad (20)$$

Where $D_{a,b}$ are rough surfaces.
 $\delta_v(x,t)$ is a viscoelastic deformation.

The rough surface models were shown in the figure 3 which used random method. Root mean square rough surface (R_q) is mean rough surface value and showing surface characteristic. The viscoelastic deformation represented by figure 4 and being written in equation (21).

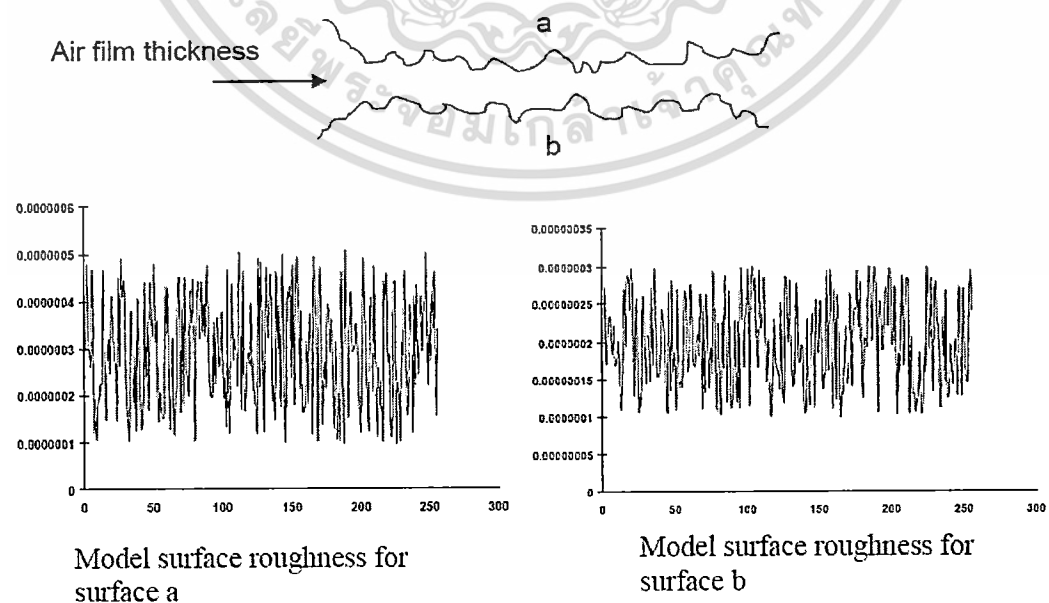


Figure 3. Model of surfaces roughness

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในโครงการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

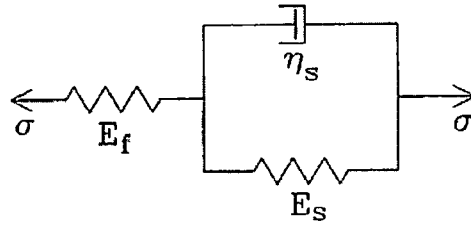


Figure 4. Mechanical viscoelastic behavior of web deformation

$$\delta(x, t) = -\frac{1}{\pi} \left\{ \left(\frac{1-\nu_a^2}{E_{fa}} + \frac{1-\nu_b^2}{E_{fb}} \right) + \left(\frac{1-\nu_a^2}{E_{sa}} + \frac{1-\nu_b^2}{E_{sb}} \right) (1 - e^{-t/\tau}) \right\} \int_{x_m}^{x_{out}} (p - p_a) \ln(x - x')^2 dx' \quad (21)$$

Where $\nu_{a,b}$ is Poisson's ratio, both subscript a and b shown above surface and under surface and p_a is ambient pressure. In case viscoelastic, thin film material will be very soft so deformation is higher than elastic material. In addition, viscoelastic material characteristics depend on time; as a result, properties of material always change during varying time.

The equilibrium nip load equation is shown in equation (22) that the summed of different value between air pressure and ambient pressure must equal to applying nip load on winding web.

$$\int_{x_m}^{x_{out}} (p - p_a) dA = Nip \quad (22)$$

2.3 The effect air-entrainment during reeling viscoelastic web

During web handling system which being high speed the air surrounding are able to move to between web layers so the effect air layers can lead winding process to be unstable and stresses of each web layers are changed. This section, both elastic and viscoelastic were represented in order to explain relative of influence air layers.

Mechanical model in figure 5 includes air layer and elastic web layer. The air film layer and web layer were combined with series so both stress in part of air film layer σ_{Air} and stress in part of web layer σ_{Web} equal to applying stress σ but the total strain for this model equal to summed of air layer strain and web layer strain that all would write in equation (23) to (24).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

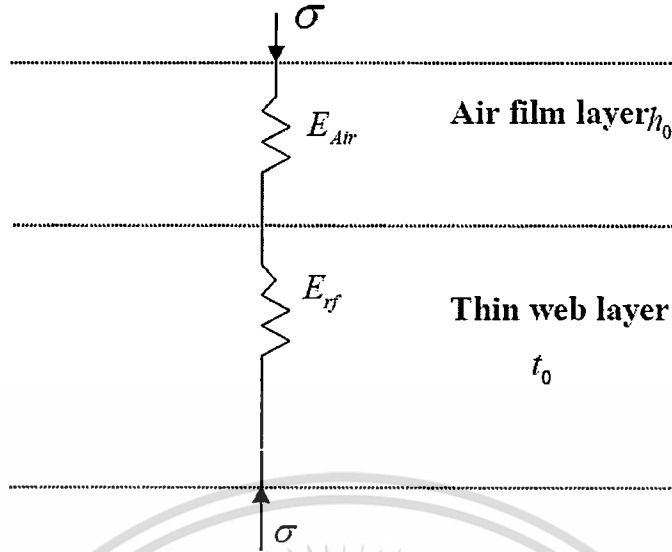


Figure 5 Mechanical model of elastic for the effect air-entrainment

$$\sigma = \sigma_{Air} = \sigma_{Web} \quad (23)$$

$$\varepsilon_{Total} = \varepsilon_{Air} + \varepsilon_{Web} \quad (24)$$

Air film modulus is from the compressibility of the air can be found by equation (25) introduced in [11]. From equation (23) to equation (24) total elastic modulus is able to write in equation (26).

$$E_{Air} = \frac{d|\sigma_r|}{d\varepsilon_{Air}} = \frac{(|\sigma_r| + p_a)^2}{p_0 + p_a} \quad (25)$$

$$E_{req} = \frac{t_0 + h_0}{\left(\frac{t_0}{E_{rf}} + \frac{h_0}{E_{Air}} \right)} \quad (26)$$

For elastic include air-entrainment, radial stresses can be calculated by the second order partial differential equation in equation (27) which introduced in [2].

$$r^2 \frac{d^2}{dr^2} (\Delta\sigma_r) + (3 + \nu_{rl}) \frac{d}{dr} (\Delta\sigma_r) + \left(1 - \frac{E_t}{E_{req}} + \nu_{rl} \right) (\Delta\sigma_r) = 0 \quad (27)$$

b) Model for viscoelastic include air-entrainment

Model viscoelastic include air-entrainment differs from model elastic in that model viscoelastic include air-entrainment have term of E_s and η_s and having multiple elements which shown in figure 6.

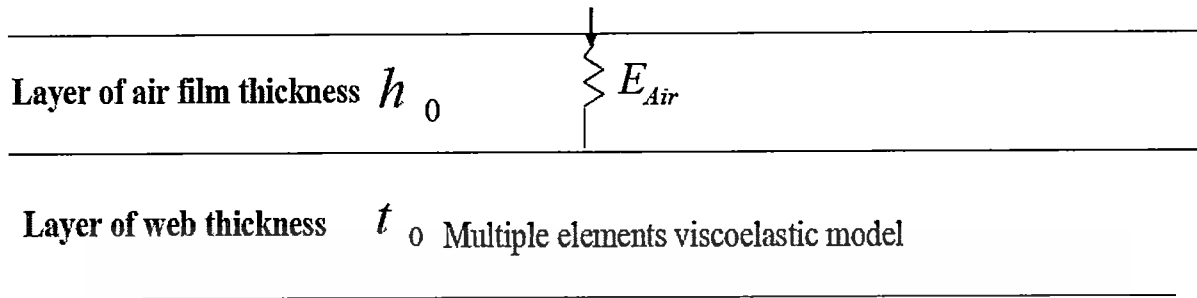


Figure 6. Mechanical model for the effect air-entrainment

The effect air film in viscoelastic case has the same air film modulus as elastic case; as the result, equation (25) was still used well in viscoelastic case. In addition, air film layer and web layer were combined by series too; therefore, equation (23) and equation (24) were able to use for viscoelastic case. However, mechanical behavior of viscoelastic must follow in equation (9) which the radial creep function $J(t)$ is analogous to the elastic $1/E$ so total radial creep function can be written in equation (28).

$$J_{req} = \frac{1}{E_{req}} = \left(\frac{t_0 + h_0}{t_0 J_r(t) + \frac{h_0}{E_{Air}}} \right)^{-1} \quad (28)$$

The circumferential creep function include air film layer was introduced in [11] and presented in equation (29) and equation (30).

$$\sigma_{ieq} = \frac{t_0 \sigma_t + h_0 \sigma_r}{t_0 + h_0} \quad (29)$$

$$J_{ieq}(t) = \frac{\Delta \varepsilon_{ieq}}{\Delta \sigma_{ieq}} = \left(\frac{t_0 + h_0}{t_0} \right) J_t \quad (30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 3

Numerical analysis

In order to reduce computer time, multigrid levels technique was applied and combined with Newton-Raphson technique for solving airelastrohydrodynamic problem. Both air-EHL and winding web problem are in second order partial differential form; consequently, they must be solved by finite different method. Process computer program for calculation was explained by flow chat in figure 7.

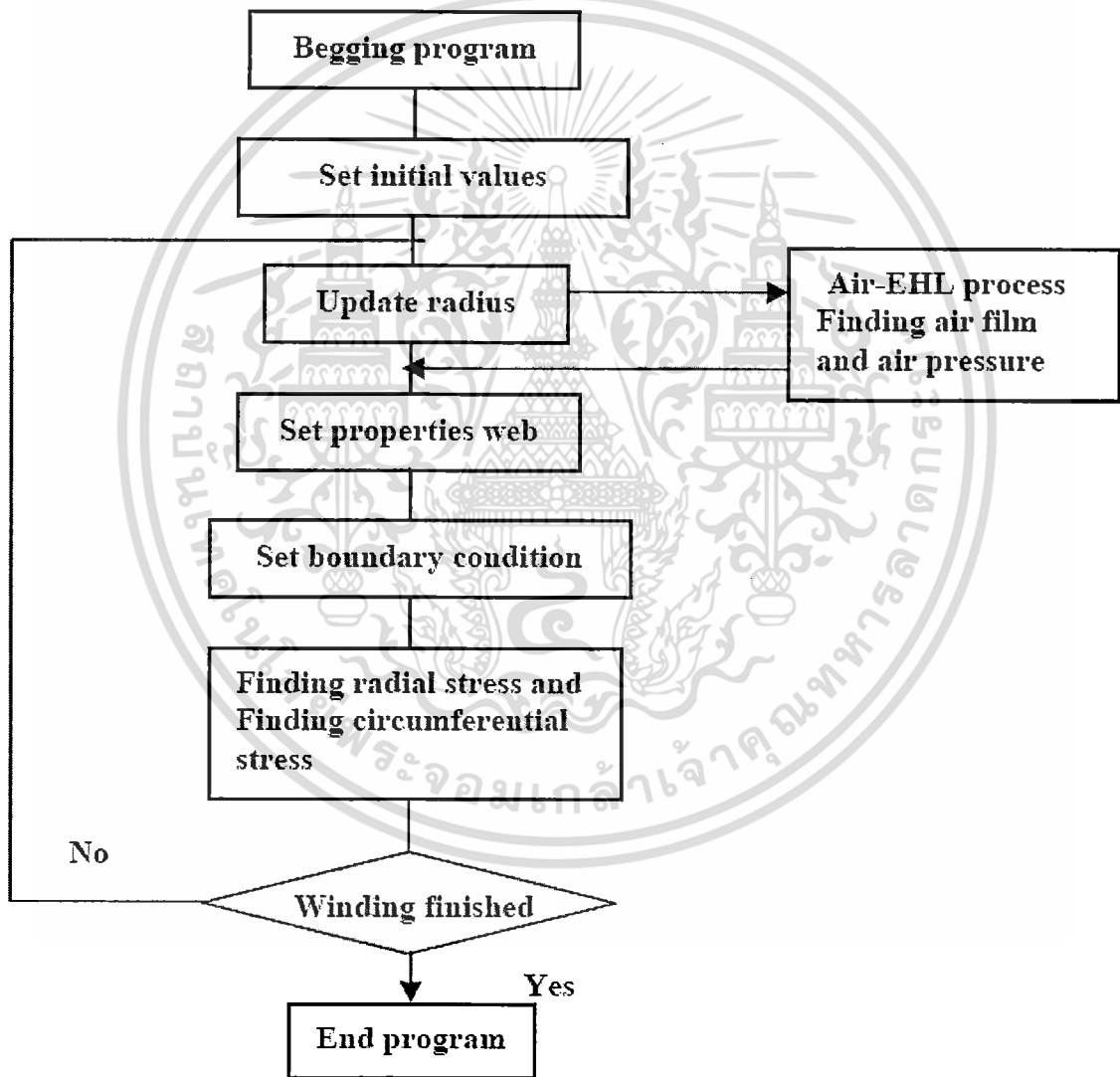


Figure 7 show process computer program

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 4

Numerical results and Discussions

This section would show the numerical results which consist of Air EHL results and stresses in each web layers. Properties for simulation were explained in table 1. Radial and circumferential stresses results were present from figure 8 to figure 12 in case thin film is viscoelastic material and from figure 13 to 17 were shown for Air-EHL results. Finally, the effect air-entrainment of elastic web was shown by figure 18 that vary roller speed.

Table 1 Properties for thin film material

(Web thickness mm)	19.3×10^{-3}
Core stiffness , E_c (MPa)	2.57×10^3
Modulus of web E_f (MPa), $E_s = 4E_f$	0.26
Coefficient of friction	
- Static friction	0.38
- Web/nip roll	0.3
Poisson's ratio	0.3

Both radial stress and tangential stress were presented in figure 8 and maximum radial stress was at the core region when nip-load is 120 N/m and constant tension equal to 400 N/m. The web was able to be protected from the wrinkly problem when tangential stresses were more than zero. Radial stresses for viscoelastic material was different from elastic material that is the effect of viscoelastic depended on time because the properties of material were able to be changed by time as shown in figure 9. Figure 9 and figure 10 were shown the radius stresses and tangential stresses under the effect of time for the viscoelastic behavior at tension equal to 400 N/m and nip load was 120 N/m. After the end winding 96 hour, radius stress was the lowest because the creep function was increased by increasing time but the problem of wrinkled was reduced due to tangential stress at 96 hour after winding was upped near the wrinkly protective line.

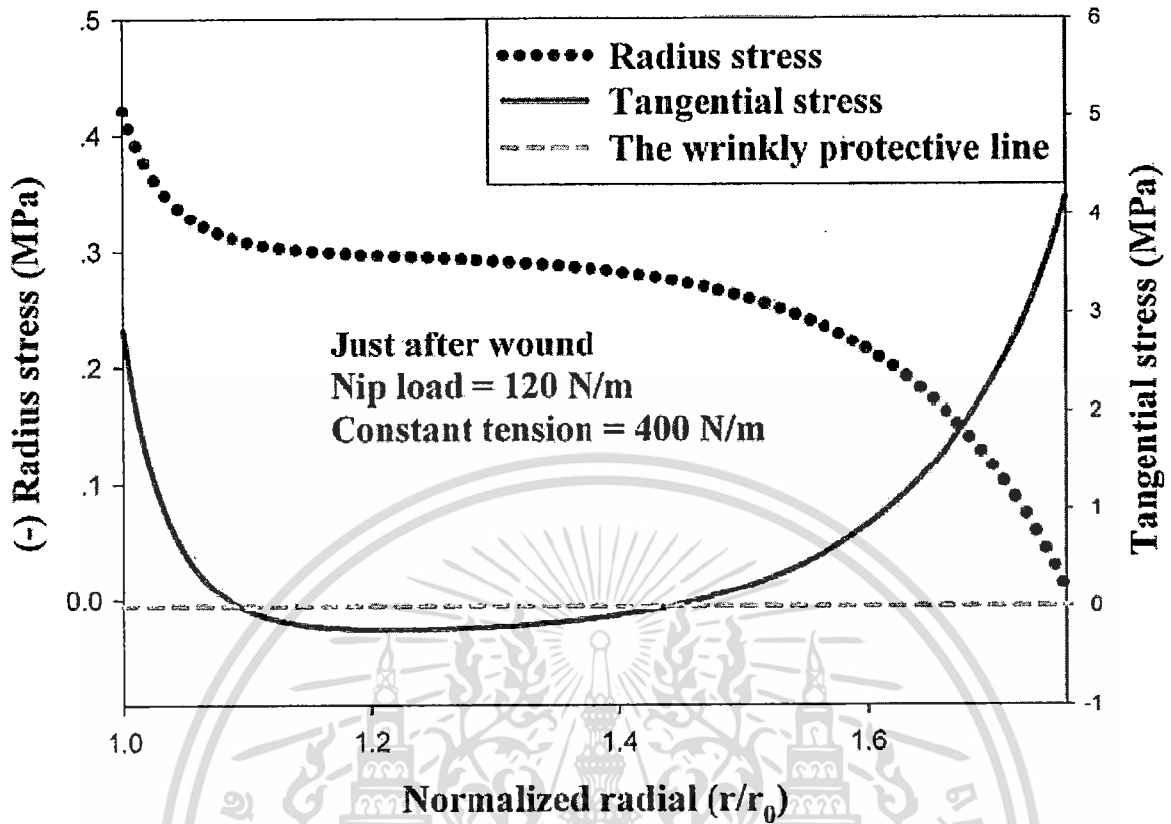


Figure 8. Radius stress and tangential stress at just after winding

The radial stresses and tangential stresses under varying nip load at 24 hour after winding and tension equal to 400 N/m were shown in figure 11 and figure 12 respectively. At nip load was 180 N/m had the highest radius stress but there was the most wrinkled due to tangential was the most lower than the wrinkly protective line. Figure 13 and figure 14 were presented about the radius stresses and tangential stresses under varying tension at 24 hour after winding and nip load equal to 120 N/m respectively. At low tension, the problem of wrinkled was reduced because tangential stress which low than the wrinkly protective line was increased.

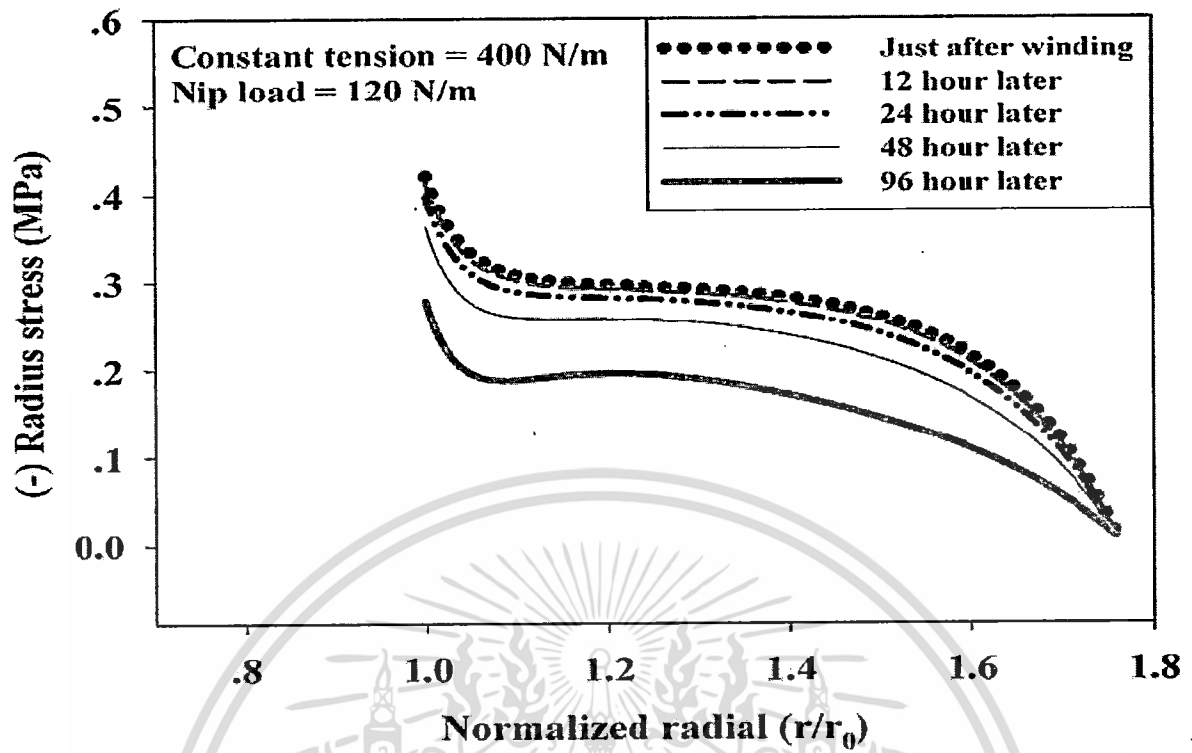


Figure 9 Radius stresses under the effect of time for the viscoelastic web

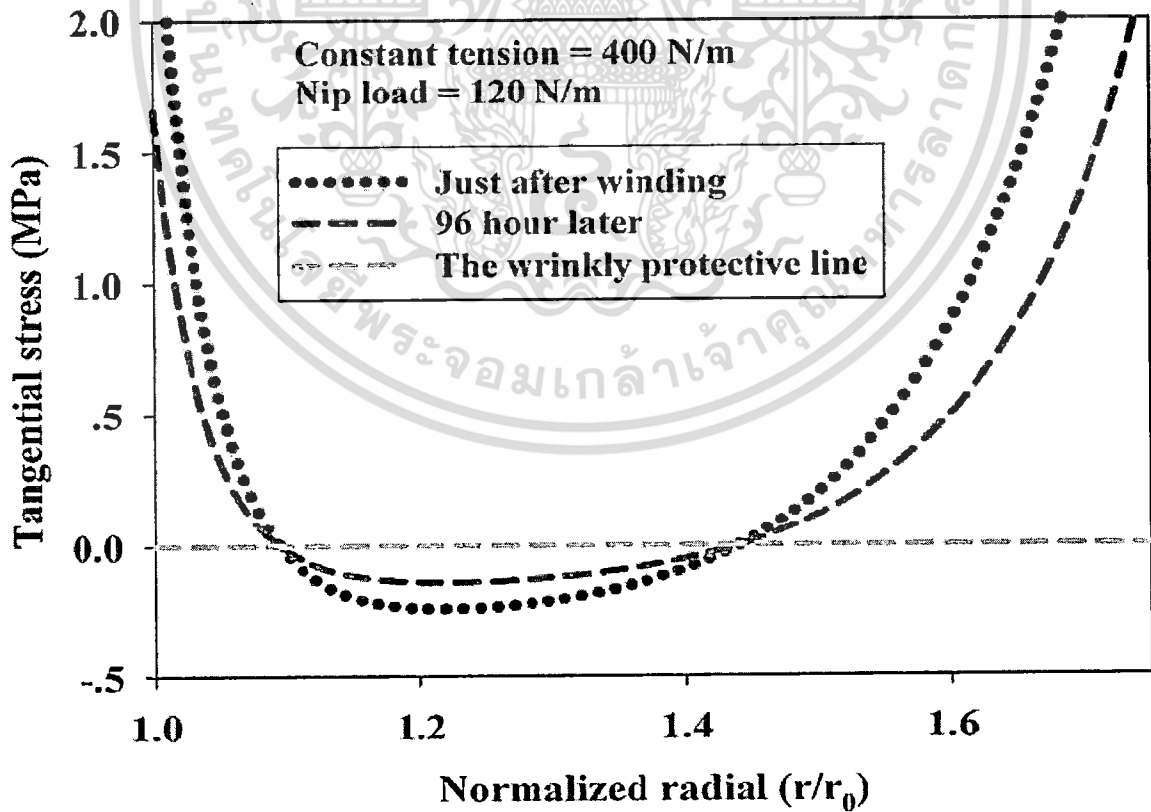


Figure 10 Tangential stresses under the effect of time for the viscoelastic web

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

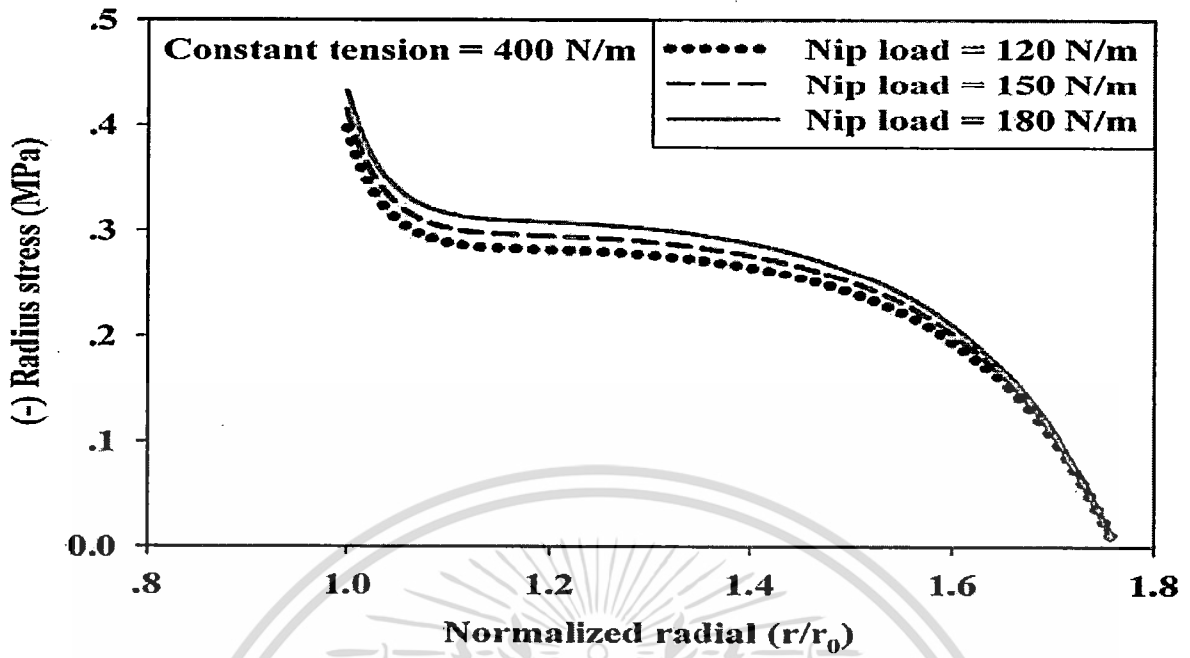


Figure 11 Radial stresses under varying nip-load at 24 hour after winding

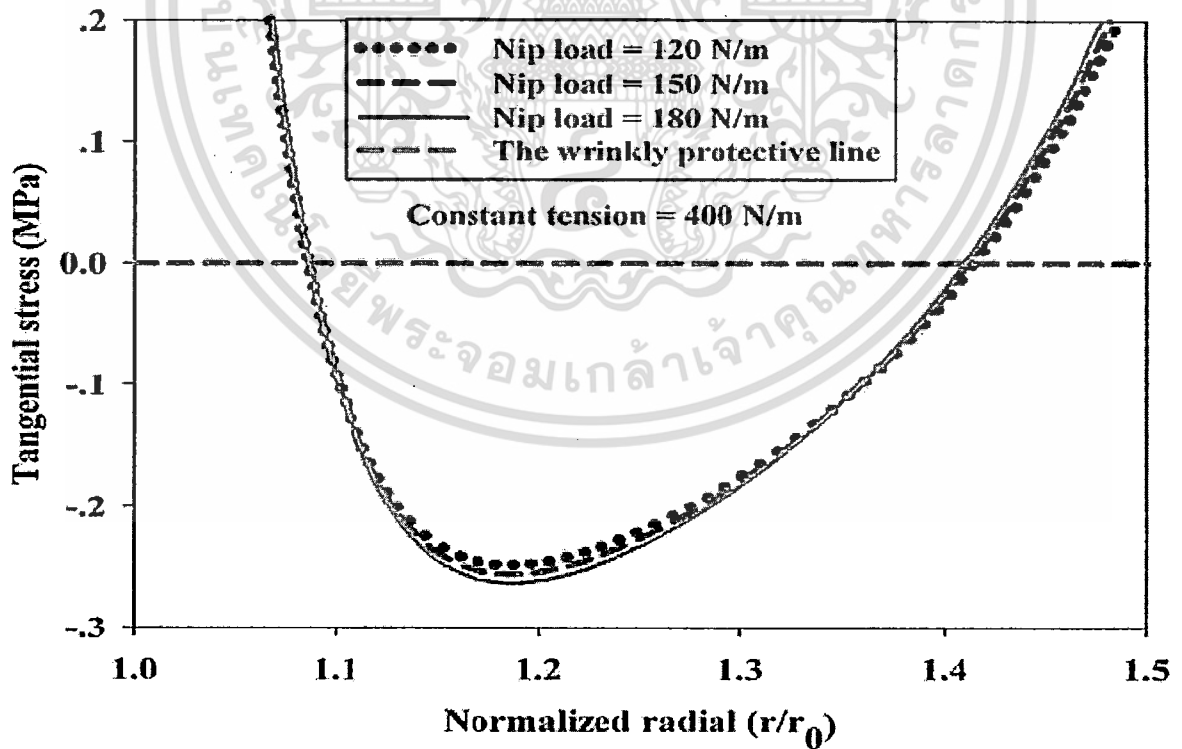


Figure 12 Tangential stresses under varying nip load at 24 hour after winding

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

From figure 15 to figure 19 showed absolute pressure distribution and air film thickness distribution at the contact region. The results showed comparisons between viscoelastic deformation and elastic deformation, varying roller speeds and varying nip-loads.

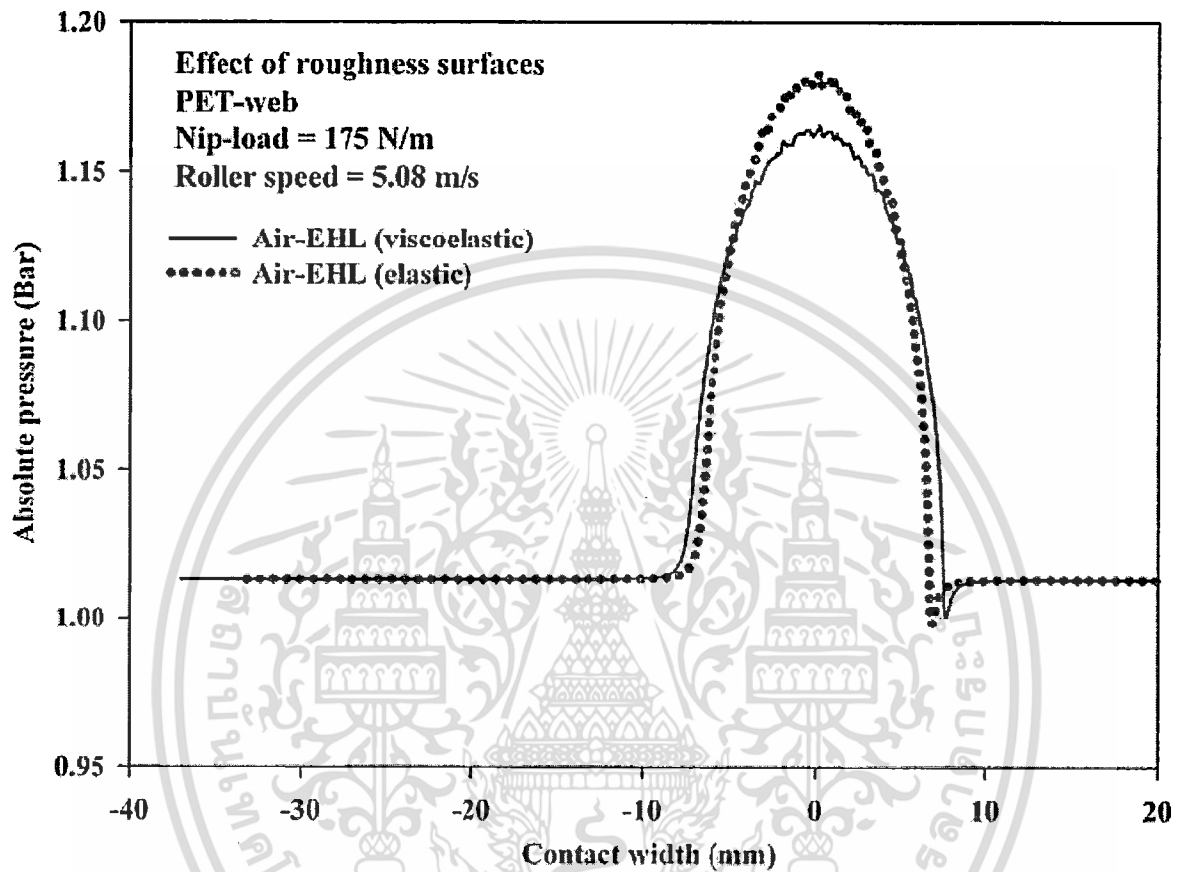


Figure 15 shown the air pressures comparison between elastic and viscoelastic

In case thin film material have the viscoelastic behavior, thin film was softer than elastic thin film material so the deformation of viscoelastic material was more than the deformation of elastic material. All this reason, air film thickness with viscoelastic behavior is higher but absolute pressure is lower than elastic. They were shown in figure 15 and figure 16.

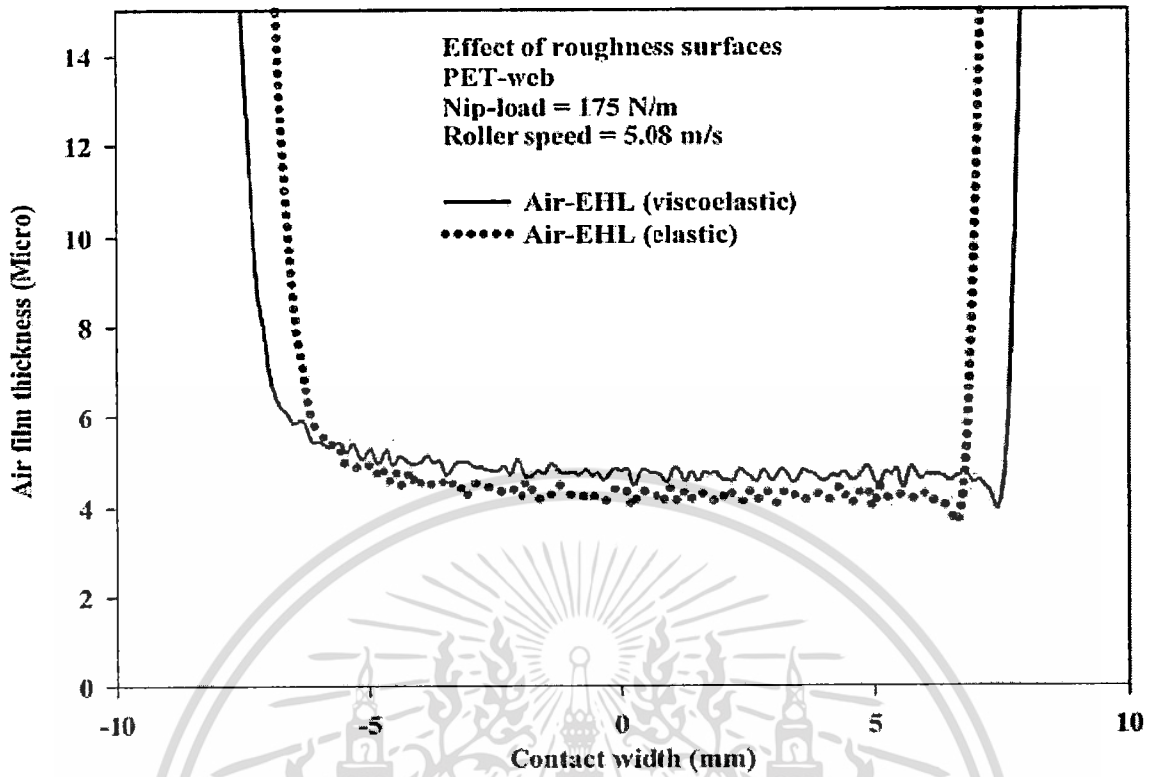


Figure 16 shown the air films comparison between elastic and viscoelastic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

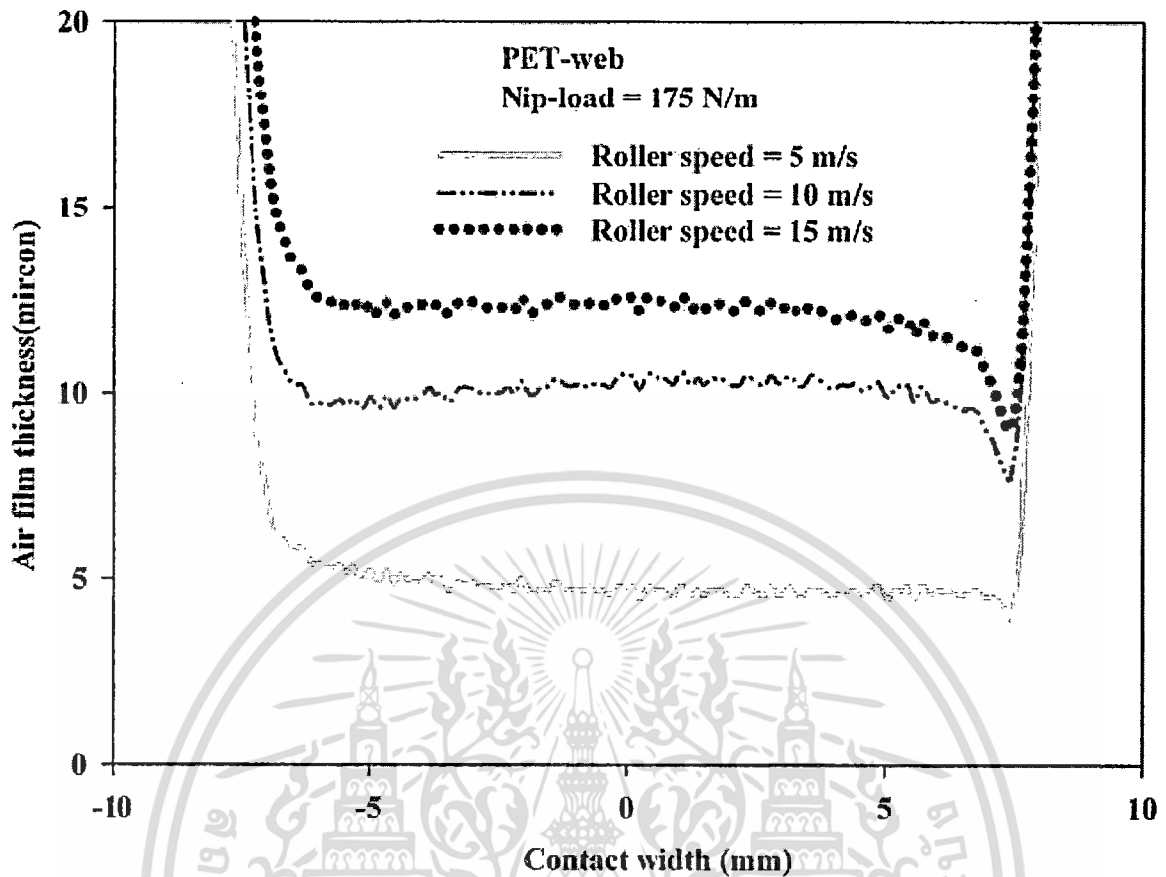


Figure 17 shown air film thickness distributions for varying roller speed

When roller speed was applied to nip region contact from 5 m/s to 15 m/s which presented in figure 17, the air film for the highest speed is the thickest so air surrounding nip region can move more into between each web layers.

For varying nip-load from 150 N/m to 200 N/m would be shown in figure 18 and figure 19. The absolute pressure distributions rise because of the increasing of nip-load however, air film thickness distributions was decreased when nip-load was increasing. Figure 20 was shown the effect air-entrainment that air layers were being between web layers. The air surrounding was able to move into between web layers when the roller speed was increased; as the result, web handling system was unstable. However radial stress would decrease for higher roller speed.

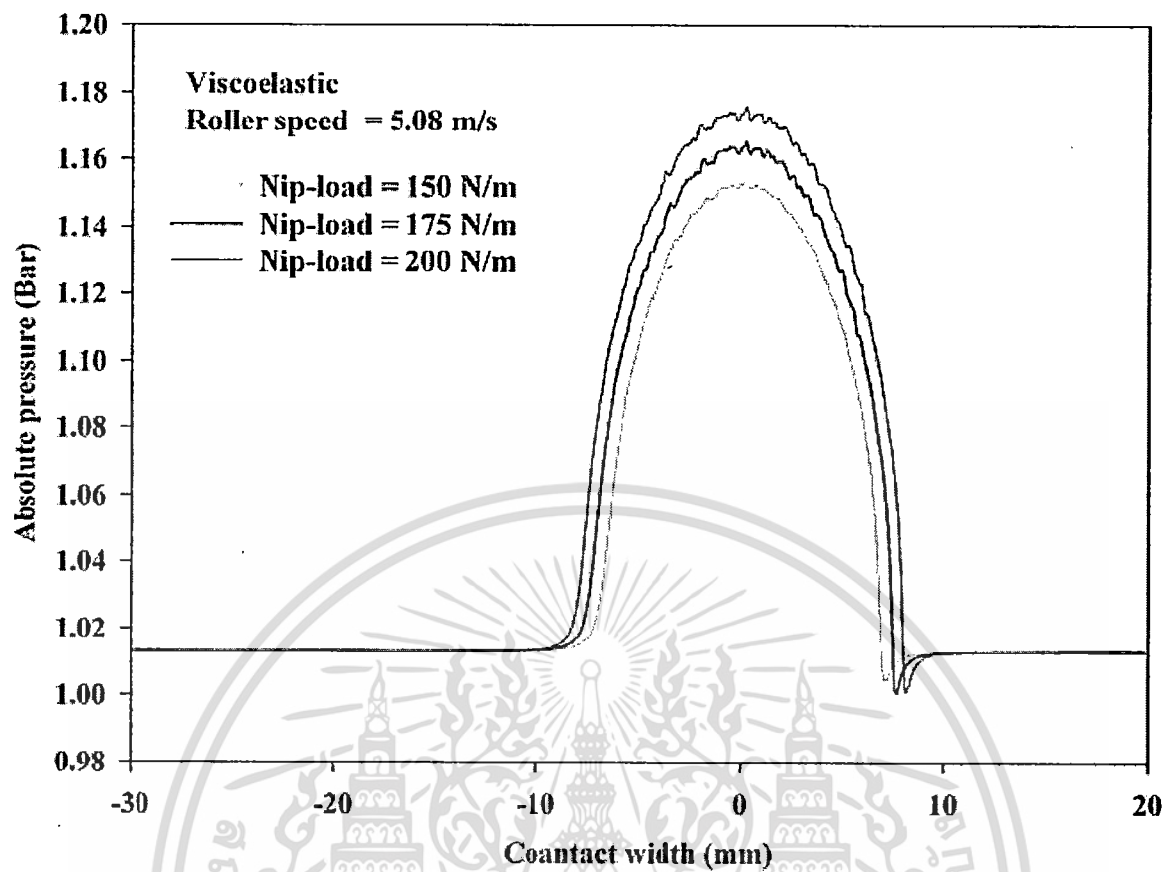


Figure 18 shown absolute pressure distributions for varying nip-load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

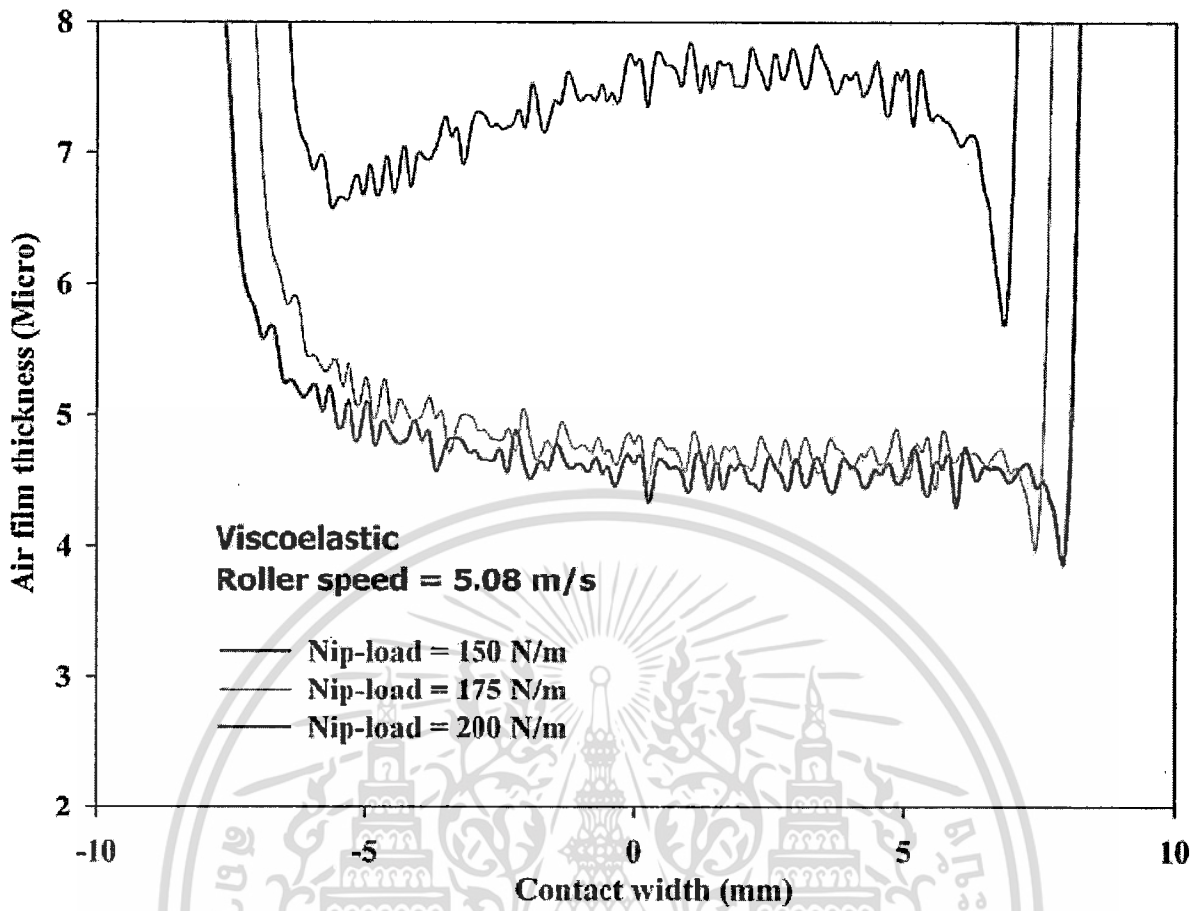


Figure 19 shown air film thickness distributions for varying nip-load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

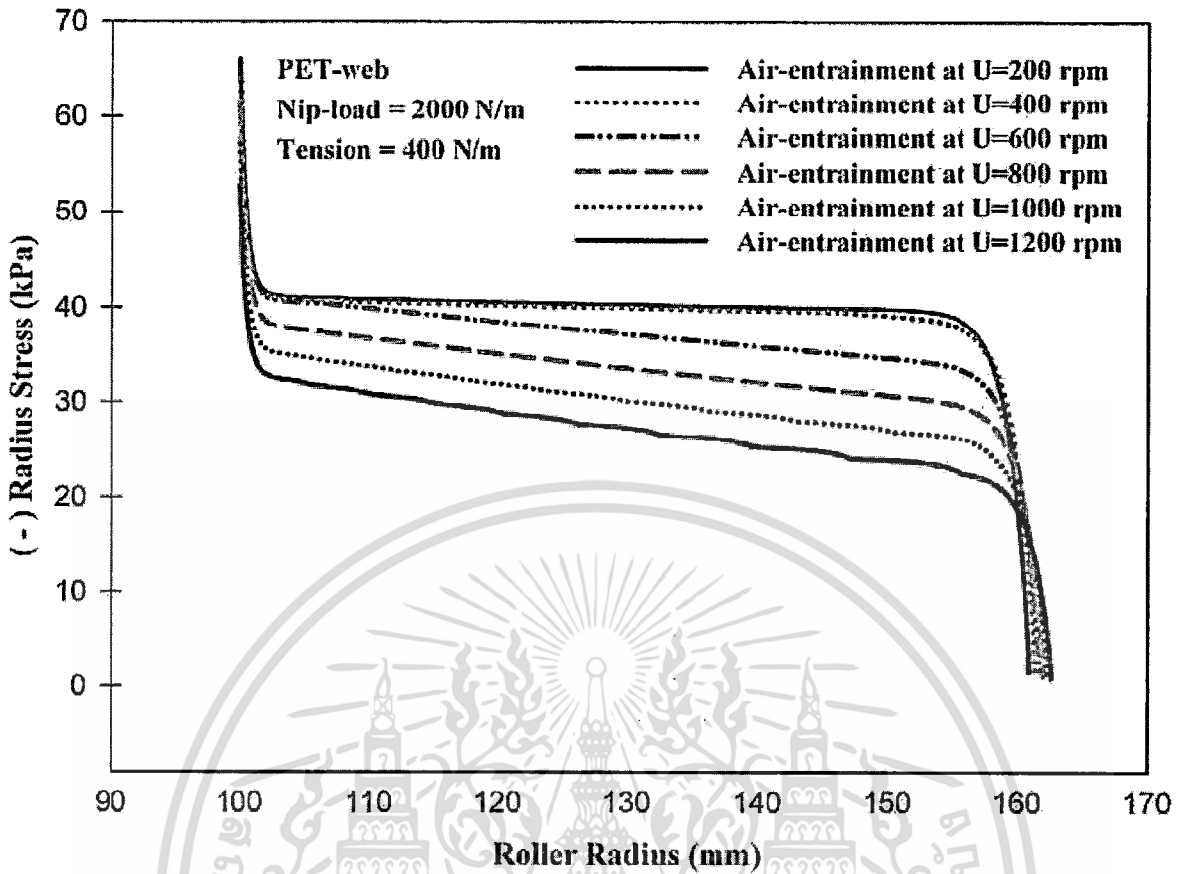


Figure 20 shown the effect air-entrainment for varying roller speed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 5

Conclusion

Viscoelastic behavior and air-entrainment are factors in the winding web characteristic by viscoelastic thin film material was softer than elastic thin film material; as a result, radial stresses in each web layer of viscoelastic case were lower than elastic case, and the air film thickness distribution at nip region of viscoelastic case was higher than air film thickness distribution at nip region of elastic case. Because nip region had air film which could move into between each web layer, the winding web had the influence of air-entrainment by the radial stress would be decreased when there are high air film layer. On the other hand, nip-load and web tension increasing make radial stresses increase.



Chapter 6

References

- [1] P.M. Lin and J.A. Wickert.,2006,"Corrugation and Buckling Defects in Wound Rolls," ASME J. ,pp56-64.
- [2] J.K. Good, Z. Wu and M.W.R. Fikes., 1994," The Internal Stresses in Wound Rolls With The Presence of a Nip Roller," ASME J. Appl.Mech.,pp 182-185.
- [3] Chang, Chambers and Shekton., " Elasto-hydrodynamic Lubrication of Air-Lubricated Rollers," ASEM J. Tribology., pp 623-628.
- [4] Tanimoto, K. Kohno, S. Takahashi, M. sasaki, and F. Yoshida.,2003," Wound stress of permeable papers with air-entrainment," Springer Applied Mechanics., pp 160-170.
- [5] Masashi, Kazukiyo, Koshi, Sadamu, Setsuo and Hiromu.,2007, "Traction force between rotating rolls and moving web considering the effect of airentrainment," Microsyt Technol Springer., pp 161-1167.
- [6] W.R. Qualls and J.K. Good.,1997, "An Orthotropic Viscoelastic Winding Model Including a Nonlinear Radial Stiffness," ASME J. Appl. Mech., pp201-208.
- [7] A.K. Van der Vegt.,2006. "From Polymers to Plastics"
- [8] C J Hooke and P Huang., 1997. " Elasto-hydrodynamic lubrication of soft viscoelastic materials in line contact," IMechE., pp185-194.
- [9] Roughness
- [10] H. Lei, K.A.Cole and S.J. Weinstein.,2003 "Modeling Air-entrainment and Temperature Effect in Winding," ASME J. Appl. Mech., pp902-914.
- [11] Koshi, Kazukiyo, Sadamu, Masashi, Hideo, Hiroshi and Fusahito., 2003, "Viscoelastic Stress Analysis of Wound Rolls of Plastic Films," The Japan Society of Mechanical Engineers, pp 880-887.