



การจำลองภาพสนามความเค้นสองมิติของแผ่นเรียบบางขนาดใหญ่ ที่มีรูกลมตรงกลาง

Numerical simulation of two-dimensional stress field for an infinite plate with a circular hole at its center

ศรัณยู มั่นพิศุทธิ¹ พิชชญ์ พินิจ²

¹saranyu.munp@hotmail.com ²pichet.pin@kmutt.ac.th

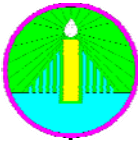
¹นักศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

²อาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทคัดย่อ : โดยทั่วไปแล้วการที่จะทำให้สภาพของความเค้นที่เกิดขึ้นในเนื้อวัตถุหรือชิ้นส่วนที่รับแรงนั้น ถูกแสดงออกมาเป็นภาพเป็นเรื่องที่ทำได้ยากเนื่องจากว่าความเค้นเป็นปริมาณภายใน ดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมการเรียน การสอน และ งานวิจัยทางด้านการวิเคราะห์ความเค้น งานวิจัยนี้นำเสนอภาพสนามความเค้นของแผ่นเรียบบางขนาดใหญ่ที่มีรูกลมตรงกลาง ภาพสนามความเค้นนี้ได้จากการจำลองซึ่งตั้งอยู่บนเงื่อนไขของปัญหาเชิงระนาบ โดยอาศัยผลเฉลยแม่นยำตรงของสมการองค์ประกอบความเค้นในระบบพิกัดเชิงขั้วและคาร์ทีเซียน ในการจำลองภาพ องค์ประกอบความเค้นเหล่านี้จะถูกใช้เพื่อกำหนดหาตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องทางด้านโพโตอิลาสติคซิติ ผลจากการจำลองแสดงให้เห็นถึงสภาพของสนามความเค้นที่มีความสอดคล้องกับภาพที่ได้จากการบันทึกภายใต้หลักการโพโตอิลาสติคซิติ

คำสำคัญ: การจำลอง / สนามความเค้น / โพโตอิลาสติคซิติ

ABSTRACT: Generally, making the stress field visually is difficult task because the stress is an internal physical quantity. To enhance, therefore, teaching, learning, and researching in the field of stress analysis, this paper presents the picture of the stress field of an infinite plate with a circular hole at its center. The stress field is simulated on the basis of the plane stress problem that uses the exact solution of the stress



components in polar and Cartesian coordinates. These stress components are used to determine the photoelastic parameter. The results of simulation show that the simulated stress field agrees well with the photoelastic stress field.

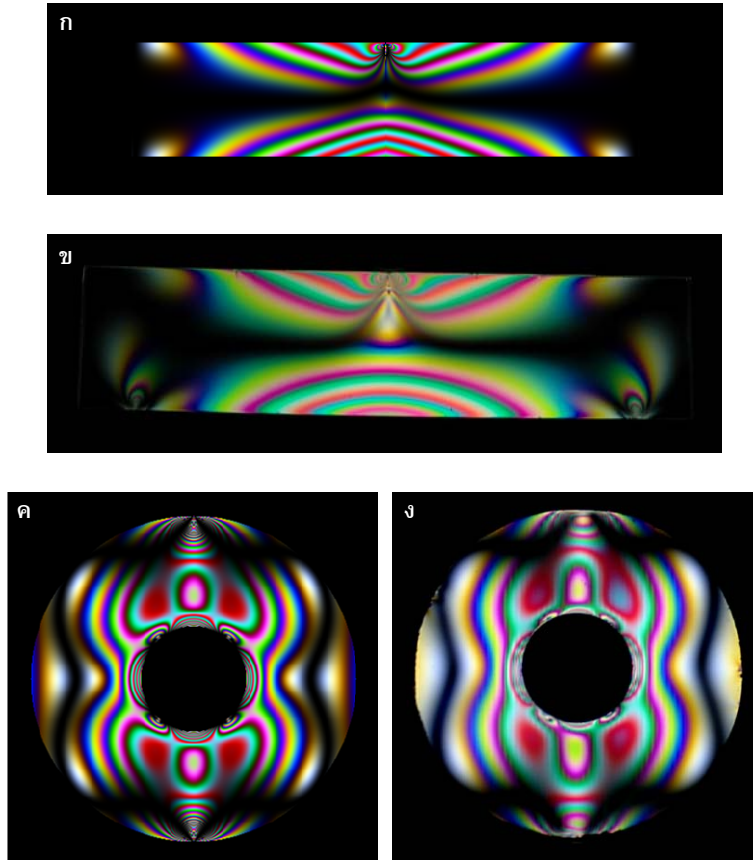
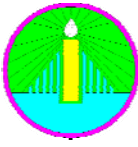
KEYWORDS: Simulation / Stress field / Photoelasticity

1. บทนำ

วิธีโฟโตอีลาสติซิตีเป็นวิธีเชิงทดลองที่นิยมใช้วิเคราะห์กำหนดค่าขนาดและทิศทางของความเค้นที่เกิดขึ้นในส่วนหนึ่งของโครงสร้างหรือเครื่องจักรกลต่างๆ ในปัจจุบันด้วยความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์ทำให้มีการสร้างสาขาหนึ่งขึ้นมา ซึ่งรู้จักในชื่อของ โฟโตอีลาสติซิตีแผ่นใหม่ หรือ ดิจิทัลโฟโตอีลาสติซิตี (Digital photoelasticity) [1] สาขาใหม่นี้เกิดจากการรวมโฟโตอีลาสติซิตีแผ่นเดิมเข้ากับอุปกรณ์ทางการบันทึกข้อมูลที่เป็นแบบดิจิทัลและยังใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณอีกด้วย ดิจิทัลโฟโตอีลาสติซิตีมีจุดเด่นตรงที่ว่าสนามความเค้นของตัวแบบต่างๆ จะถูกบันทึกออกมาในรูปแบบของข้อมูลเชิงดิจิทัล กล่าวคือถูกบันทึกออกมาเป็นรูปภาพของความเข้มแสง ดังนั้น ด้วยลักษณะเช่นนี้จึงทำให้ดิจิทัลโฟโตอีลาสติซิตีมีศักยภาพในการแก้ปัญหาทางการออกแบบสูงขึ้นทั้งในด้านความถูกต้องและความรวดเร็ว

ในดิจิทัลโฟโตอีลาสติซิตีจะมีตัวแปรสนาม 2 ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับความเค้นที่เกิดขึ้นในโครงสร้างหรือชิ้นส่วนหนึ่งๆ ตัวแปรที่กล่าวนี้ก็คือ ตัวแปรไอโซโครมาติก (δ หรือ N) และตัวแปรไอโซคลินิก (ϕ) ตัวแปรไอโซโครมาติกนั้นจะสัมพันธ์กับค่าความแตกต่างของความเค้นหลัก ($\sigma_1 - \sigma_2$) ในขณะที่ตัวแปรไอโซคลินิกจะบ่งบอกทิศทางของความเค้นหลัก σ_1 หรือ σ_2 ตัวแปรสนามทั้งสองนี้จะเป็นตัวควบคุมลักษณะของสนามความเค้นที่เกิดขึ้น หรือกล่าวได้ว่าตัวแปรทั้งสองนี้จะเป็นตัวแปรอิสระในสมการความเข้มแสงซึ่งควบคุมการเกิดสนามความเค้น ดังนั้นจะเห็นว่าหากทราบค่าตัวแปรทั้งสองแล้วก็สามารถสร้างภาพสนามความเค้นได้ หรือที่เรียกว่า การจำลอง (Simulation)

ผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีการจำลองภาพสนามความเค้นของตัวแบบต่างๆ [2,3] เพื่อใช้ประโยชน์ทางด้านงานวิจัยกล่าวคือใช้เป็นภาพทดสอบวิธีการแก้ปัญหาตัวแปรโฟโตอีลาสติซิตีใหม่ที่ถูกสร้างขึ้น (รูปที่ 1) อย่างไรก็ตามทางด้านการศึกษาอันยังไม่มีมีการนำไปภาพจำลองเหล่านี้ไปใช้ในการเรียนการสอนในรายวิชาที่เกี่ยวกับความเค้นและความเครียด โดยทั่วไปแล้วนักศึกษาที่เรียนในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับความเค้น เช่น กลศาสตร์ของแข็ง หรือ การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล มักจะรู้จักความเค้นในรูปแบบของข้อมูลเชิงจุด (Point-wise information) ซึ่งทำให้การเรียนในรายวิชาดังกล่าวมีข้อจำกัด ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความคิดที่จะทำการจำลองภาพสนามความเค้นของแผ่นเรียบบางขนาดใหญ่ที่มีรูกลมตรงกลางอยู่ภายใต้ความเค้นดึงล้วน (An infinite plate with a central circular hole under a uniformly axial tension) เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนในรายวิชาดังที่ได้กล่าวข้างต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหัวข้อเรื่อง ตัวประกอบความเข้มของความเค้น (Stress concentration factor, SCF)



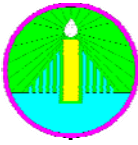
รูปที่ 1 ภาพสีสนามความเค้นของคานสี่เหลี่ยมรับแรงเข้มกดที่กึ่งกลางและแผ่นวงแหวนรับแรงเข้มกดตรงกันข้ามตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยที่มุมแผ่นอนาไลซ์ที่ใช้ในการจำลองมีค่าเท่ากับ $\pi/4$ (ก) และ (ข) เป็นภาพคานสี่เหลี่ยมรับแรงเข้มกดที่กึ่งกลางที่ได้จากการจำลองและจากการทดลองตามลำดับ [2] (ค) และ (ง) เป็นภาพแผ่นวงแหวนรับแรงเข้มกดตรงกันข้ามตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางได้จากการจำลองแบบและจากการทดลองตามลำดับ [3]

2. สมการความเข้มแสง

การวิเคราะห์ความเค้นด้วยดิจิทัล โฟโตรีโอสติคซิทินั้นตั้งอยู่บนพื้นฐานของการใช้ค่าความเข้มแสงของจุดภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยกล้องดิจิทัล ดังนั้นรูปแบบของริ้วสนามความเค้นที่เกิดขึ้นนั้นจำเป็นต้องมีสมการควบคุม ซึ่งสมการนี้มีชื่อว่า สมการความเข้มแสงควบคุม ลักษณะของสมการนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของโพลาไรสโคป (Polariscope) ที่ใช้ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิด [1] คือ 1) โพลาไรสโคปแบบแสงโพลาไรซ์ระนาบ 2) โพลาไรสโคปแบบแสงโพลาไรซ์วงกลม และ 3) โพลาไรสโคปแบบผสมซึ่งเกิดจากชนิดแรกหรือชนิดที่สองโดยเพิ่มหรือลดอุปกรณ์ทางแสงตามลำดับ

พิจารณาโพลาไรสโคปแบบแสงโพลาไรซ์ระนาบดังแสดงในรูปที่ 2 ความเข้มแสง I ที่ผ่านออกมาจากแผ่นอนาไลซ์ ณ จุดพิกัด (x, y) ใดๆ เมื่อจัดตำแหน่งให้แกนแสงของแผ่นโพลาไรซ์และแผ่นอนาไลซ์ตั้งฉากกัน ($\alpha = \beta + \pi/2$) ซึ่งเรียกว่า การจัดแบบฉากหลังมืด (Dark-field setup) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ [1]

$$I = I_p \sin^2(\pi N) \sin^2(\phi - \beta) + I_b \quad (1)$$



โดยที่ I_p คือความเข้มแสงที่ออกมาจากแผ่นโพลาไรซ์, N คืออันดับริ้ว (Fringe order) มุม α , ϕ และ β คือมุมระหว่างแกนแสงของแผ่นโพลาไรซ์ ทิศทางความเค้นหลัก σ_1 ในตัวแบบแผ่นวงกลม และ แกนแสงของแผ่นอนาไลซ์กับแนวแกนอ้างอิง (แกน x) ตามลำดับ และ I_b คือความเข้มแสงจากหลัง

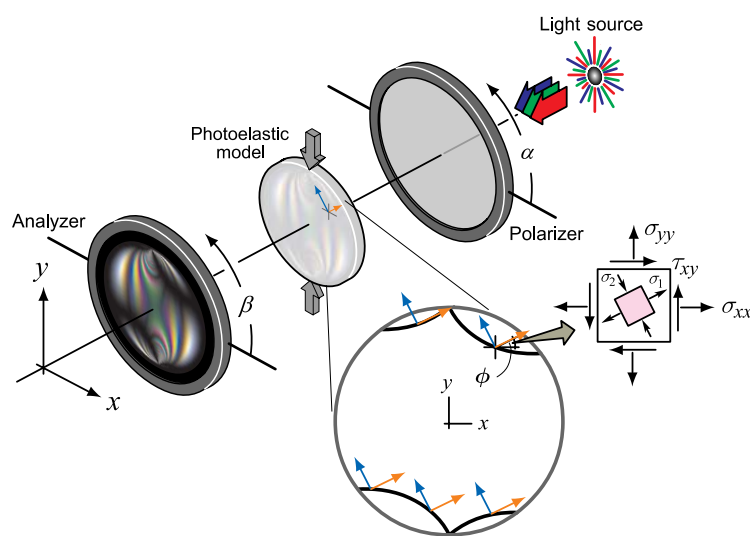
จากสมการ (1) เห็นได้ว่า ค่าความเข้มแสง I จะมีค่าต่ำสุดเมื่อ $N = \pm 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ และ $\phi = \beta$ หรือ $\phi = \beta + \pi/2$ ซึ่งตำแหน่งใดๆ ที่ค่าของ N และ ϕ สอดคล้องกับเงื่อนไขเหล่านี้ก็จะเกิดแถบมืดขึ้นที่ตำแหน่งเหล่านั้น หากแหล่งกำเนิดแสงเป็นแสงเอกรงค์ (Monochromatic light) หรือจะเกิดแถบสีรุ้งสำหรับเงื่อนไขของ N และแถบมืดสำหรับเงื่อนไขของ ϕ หากแหล่งกำเนิดแสงเป็นแสงสีขาว

3. ผลเฉลยแม่นยำของแผ่นเรียบบางขนาดใหญ่ที่มีรูกลมตรงกลางภายใต้ภาระดิ่งล้วน

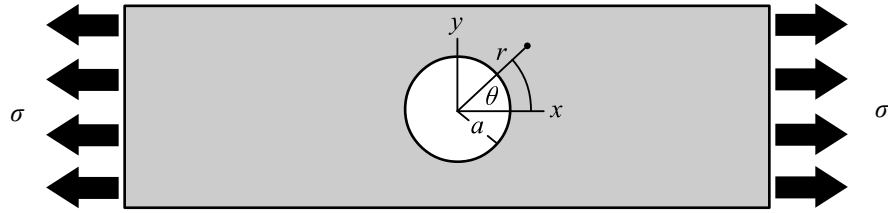
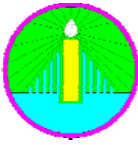
ทฤษฎีสถิตภาพยืดหยุ่นให้ผลเฉลยแม่นยำของปัญหาแผ่นเรียบบางขนาดใหญ่ที่มีรูกลมตรงกลางภายใต้แรงดิ่งล้วน (รูปที่ 3) ซึ่งเขียนอยู่ในรูปของระบบพิกัดเชิงขั้วดังนี้ [4]

$$\begin{aligned} \sigma_{rr} &= \frac{\sigma}{2} \left[1 - \frac{a^2}{r^2} \right] + \frac{\sigma}{2} \left[1 + \frac{3a^4}{r^4} - \frac{4a^2}{r^2} \right] \cos 2\theta \\ \sigma_{\theta\theta} &= \frac{\sigma}{2} \left[1 + \frac{a^2}{r^2} \right] - \frac{\sigma}{2} \left[1 + \frac{3a^4}{r^4} \right] \cos 2\theta \\ \tau_{r\theta} &= -\frac{\sigma}{2} \left[1 - \frac{3a^4}{r^4} + \frac{2a^2}{r^2} \right] \sin 2\theta \end{aligned} \quad (2)$$

โดยที่ σ คือความเค้นดิ่งที่กระทำต่อแผ่นเรียบบาง a คือรัศมีของวงกลม r คือตำแหน่งใดๆ ที่ต้องการทราบค่าความเค้นดิ่งจาก σ_{rr} , $\sigma_{\theta\theta}$ และความเค้นเฉือน $\tau_{r\theta}$ และ θ คือมุมของตำแหน่งใดๆ ดังกล่าววัดเทียบกับแกน x ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา



รูปที่ 2 โพลาริสโคปแบบแสงโพลาไรซ์ระนาบประกอบไปด้วยแผ่นโพลาไรซ์ ตัวแบบแผ่นวงกลมรับแรงกดในแนวตั้งตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง และ แผ่นอนาไลซ์



รูปที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของตัวแบบแผ่นเรียบบางขนาดใหญ่ที่มีรูกลมตรงกลางและทิศทางของความเค้นดึงกระทำ σ ตามแกนพิกัด x โดยที่ a คือรัศมีของวงกลม r คือระยะที่บอกตำแหน่งของจุดที่พิจารณา และ θ คือมุมเอียงของระยะ r [4]

4. วิธีการจำลอง

วิธีการจำลองนั้นจะอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างผลเฉลยแม่นยำตรงของปัญหาแผ่นเรียบบาง (สมการ (2)) กับสมการความเข้มแสง (สมการ (1)) ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

a. การกำหนดหาตัวแปรไอโซคลินิกและตัวแปรไอโซโครมาติก

จากกฎแห่งแสงและความเค้น (Stress-optic law) ความสัมพันธ์ระหว่างอันดับรีวและความแตกต่างของความเค้นหลัก สามารถเขียนได้ว่า [1]

$$N = \frac{t}{f_\sigma}(\sigma_1 - \sigma_2) \quad (3)$$

โดยที่ $f_\sigma = \lambda/C$, λ คือความยาวคลื่นแสงของแหล่งกำเนิดแสง และ C คือค่าสัมประสิทธิ์สัมพัทธ์เชิงแสงและความเค้น ซึ่งหาค่าได้จากการปรับเทียบ (Calibration) และ t คือความหนาของแผ่นตัวแบบ

ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของค่าความเค้นหลัก ($\sigma_1 - \sigma_2$) กับองค์ประกอบความเค้นในระบบพิกัดฉากสามารถแสดงได้ดังนี้คือ

$$N = \frac{t}{f_\sigma} \left\{ (\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + 4\tau_{xy}^2 \right\}^{1/2} \quad (4)$$

สำหรับทิศทางของความเค้นหลักนั้นสามารถกำหนดหาได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ทางทฤษฎี ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\tan 2\phi = \frac{2\tau_{xy}}{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})} \quad (5)$$

โดยที่องค์ประกอบความเค้นในระบบพิกัดฉากนั้นสามารถกำหนดหาได้จากองค์ประกอบความเค้น (สมการ (2)) โดยใช้สมการการแปลงความเค้น [4]

b. เงื่อนไขการจำลอง

พิจารณาสมการ (1) พบว่า ตัวแปรที่จะต้องมีการกำหนดค่าก่อนการจำลองแบบคือ ค่าความเข้มแสง I_p และ I_c ดังนั้นเพื่อให้การจำลองแบบมีความสมบูรณ์ จึงกำหนดเงื่อนไขการจำลองแบบดังต่อไปนี้

- ตัวแบบแผ่นเรียบบางมีความหนา 6 mm อยู่ภายใต้ความเค้นดึง (σ) 4 MPa วงกลมมีรัศมี 30 mm, แผ่น



เรียบบยาว 600 mm และ สูง 160 mm

• I_p ให้มีค่าเท่ากับ 255 (8 บิต) สำหรับแต่ละสีหรือความยาวคลื่น ในที่นี้จะทำการจำลองทั้งหมดสามสีที่ ซึ่งเป็นสีองค์ประกอบมูลฐานของสีขาว กล่าวคือ สีแดง (612 nm), สีเขียว (547 nm) และสีน้ำเงิน (437 nm) สำหรับค่าสัมประสิทธิ์รีฟรactive index ของวัสดุ ที่ความยาวคลื่นทั้งสามค่ากำหนดหาโดยการปรับเทียบนั้นคือ $f_{OR} = 11.20, f_{OG} = 10.01$ และ $f_{OB} = 8.000$ N/mm·fringe ค่าทั้งสามนี้จะถูกใช้ในสมการ (4) ซึ่งรีฟที่เกิดขึ้นก็จะ มีลักษณะเสมือนกับการใช้แหล่งกำเนิดที่เป็นแสงสีขาว

• I_0 ให้มีค่าเท่ากับศูนย์

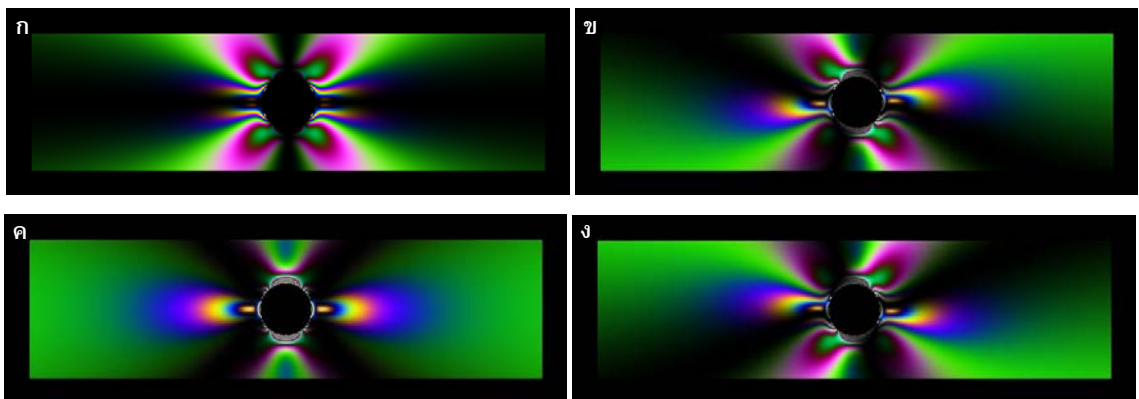
c. ขั้นตอนการจำลอง

สำหรับวิธีการจำลองนั้นมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- คำนวณหาค่าองค์ประกอบความเค้นทั้งสามโดยสมการ (2) และแปลงให้อยู่ระบบพิกัดอ้างอิงฉากโดย สมการการแปลงความเค้น
- คำนวณหาค่าอันดับรีฟและทิศทางความเค้นหลักโดยอาศัยสมการ (4) และ (5)
- แทนค่าอันดับรีฟและทิศทางความเค้นหลักที่ได้ในสมการ (1) ก็จะได้อัตลักษณ์ของส่วนใดส่วนหนึ่งของรีฟ ณ จุดที่พิจารณา และ
- ทำซ้ำเช่นนี้สำหรับทุกๆ จุดที่อยู่ในขอบเขตของตัวแบบ (รูปที่ 3)

5. ผลลัพธ์และการอภิปรายผล

รูปที่ 4 แสดงภาพสนามความเค้นที่ได้จากการจำลองด้วยเงื่อนไขดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 4.2 โดยที่ค่ามุมของแผ่นอนาไลซ์มีค่าแปรเปลี่ยนไปตามหลักการของวิธีการเลื่อนเฟส [5] แถบสีค่านั้นก็คือแถบหรือรีฟไอโซคลินิก ในขณะที่แถบสีคือแถบไอโซโครมาติก ในรูปที่ 4 จะเห็นได้อย่างชัดเจนถึงการซ้อนทับกัน (Superposition) ของรีฟทั้งสองซึ่งก็เป็นไปตามสมการ (1) นอกจากนี้ในขณะที่มุมของแผ่นอนาไลซ์แปรเปลี่ยนไปแถบไอโซคลินิกก็จะเปลี่ยนไปด้วย อย่างไรก็ตามแถบไอโซโครมาติกจะไม่มีเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4 ภาพรีฟโพโตออสติคขนาด 660 × 220 จุดภาพ ของแผ่นเรียบบางขนาดใหญ่ที่มีรูกลมตรงกลางที่ได้จากการจำลองตามค่ามุมที่เปลี่ยนไปของแผ่นอนาไลซ์ (ก) $\beta = 0$, (ข) $\beta = \pi/8$, (ค) $\beta = \pi/4$ และ (ง) $\beta = 3\pi/8$



จากการพิจารณารูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าไม่สามารถมองเห็นแถบไอโซโครมาติกได้อย่างชัดเจน ดังนั้นจากสมการ (1) การจำลองเฉพาะแถบหรือริ้วไอโซโครมาติกสามารถทำได้ดังสมการต่อไปนี้

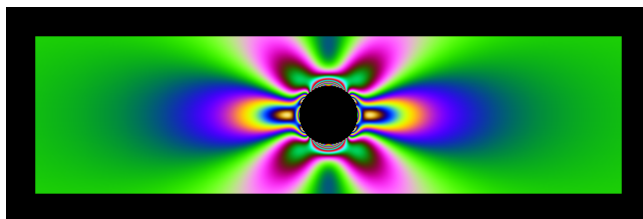
$$I = I_p \sin^2(\pi N) + I_b \tag{6}$$

โดยที่สมการ (6) ก็คือสมการ (1) แต่จะมีความแตกต่างกันที่พจน์ของตัวแปรไอโซโครมาติก นอกจากนี้ค่าความเข้มแสงจากหลังจะถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์ตามที่ได้กำหนดในหัวข้อ 4.2

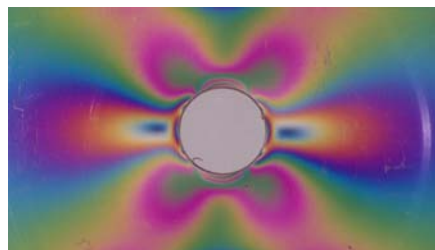
รูปที่ 5 แสดงผลที่ได้จากการจำลองโดยใช้สมการ (6) จะเห็นได้ว่าแถบไอโซโครมาติกมีความสมมาตรทั้งสองแนวแกน นอกจากนี้บริเวณตำแหน่งที่เกิดความเค้นสูงสุด กล่าวคือตรงบริเวณขอบด้านบนและด้านล่างของรูกลมจะมองเห็นได้อย่างชัดเจน หากจะกล่าวในรูปของอันดับริ้วแล้วบริเวณตำแหน่งที่เกิดความเค้นสูงสุดก็คือบริเวณที่ริ้วมีความถี่มากที่สุดนั่นเอง

เพื่อให้เกิดความเข้าใจในความถูกต้องของภาพสนามความเค้นที่ได้จากการจำลอง ผู้วิจัยจึงได้ทำการเปรียบเทียบกับภาพสนามความเค้นที่ได้จากการทดลอง รูปที่ (6) แสดงสนามความเค้นใกล้เคียงกับรูกลม ผลจากการเปรียบเทียบเชิงคุณภาพชี้ให้เห็นว่า ลักษณะของสนามความเค้น (รูปที่ 5 และ 6) มีความคล้ายคลึงกันเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามยังมีความแตกต่างกันในส่วนของความคมชัดของภาพ ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของความเข้มแสงจากหลังที่ไม่สามารถขจัดออกไปได้ในกระบวนการทดลอง

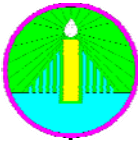
ตามที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นเกี่ยวกับตำแหน่งที่เกิดความเค้นสูงสุด ตรงบริเวณดังกล่าวค่าความเค้นจะมีค่ามากกว่าความเค้นดังที่กำหนดให้ 3 เท่าในทางทฤษฎี อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัตินั้นจะมีค่าน้อยกว่า 3 เล็กน้อย ดังนั้นภาพจำลองของแผ่นเรียบบางขนาดใหญ่ที่มีรูกลมตรงกลางนี้สามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนได้ในส่วนของการกำหนดหาค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้น (K_r) หรือสร้างกราฟแสดงค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นในพจน์ของตัวแปรทางด้านเรขาคณิตของแผ่นเรียบบาง



รูปที่ 5 แผนภาพไอโซโครมาติกของแผ่นเรียบบางขนาดใหญ่ที่มีรูกลมตรงกลางที่ได้จากการจำลองแบบ



รูปที่ 6 แผนภาพไอโซโครมาติกของแผ่นเรียบบางขนาดใหญ่ที่มีรูกลมตรงกลางที่ได้จากการทดลอง [6]



6. สรุปผล

บทความนี้ได้นำเสนอการจำลองแบบสนามความเค้นของแผ่นเรียบบางขนาดใหญ่ที่มีรูกลมตรงกลางอยู่ภายใต้ความเค้นดึงล้วน ผลจากการเปรียบเทียบเชิงคุณภาพแสดงให้เห็นว่าภาพสนามความเค้นที่ได้จากการจำลองมีความคล้ายคลึงกับภาพที่ได้จากการทดลอง (รูปที่ 5 และ 6) แม้ว่าเงื่อนไขของค่าความเค้นกระทำ σ จะมีความแตกต่างกันแต่ความคล้ายคลึงนี้เป็นเครื่องยืนยันในเบื้องต้นถึงความถูกต้องของสมการ (2)

ภาพสนามความเค้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับความเค้นในหัวเรื่องต่อไปนี้

- คำนวณหาค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้น
- ใช้เป็นข้อมูลในการสร้างกราฟเพื่อการคำนวณหาตัวประกอบความเข้มของความเค้น และ
- ใช้เป็นข้อมูลในการสร้างแผนภาพการไหลของความเค้น

โดยที่ผลของการปฏิบัติตามหัวข้อดังกล่าวข้างต้น ก็จะได้รายงานให้ทราบในโอกาสต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ramesh, K. 2000. Digital Photoelasticity: Advanced Technique and Applications. Springer, Berlin Germany.
- [2] พิเชษฐ์ พินิจ, ณัฐวัฒน์ พลอยทับทิม และ ศรีณัฐ มั่นพิศุทธิ์, การจำลองแบบรูสนามความเค้นเพื่อวิเคราะห์ความเค้นในช่วงยึดหยุ่นด้วยแสง, ในการสัมมนาวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6, หาดใหญ่, สงขลา, 8-9 พฤษภาคม 2551, บณชีดิรอม บทความเลขที่ PEC6OR110, หน้า 659-664
- [3] ศรีณัฐ มั่นพิศุทธิ์ และ พิเชษฐ์ พินิจ, การตรวจสอบผลเฉลยจากทฤษฎีสภาพยึดหยุ่นของแผ่นวงแหวนรับแรงเข้มกดตรงกันข้ามตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยวิธีวิเคราะห์ความเค้นในช่วงยึดหยุ่นโดยแสงเชิงดิจิทัล, ในการประชุมทางวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ศูนย์รังสิต, 15-17 ตุลาคม 2551, หน้า 47-52
- [4] Timoshenko, S.P. and Goodier, J.N., 1970. Theory of Elasticity, 3 ed., McGraw-Hill, Singapore.
- [5] Pinit, P. and Umezaki, E., 2007. Digitally Whole-field Analysis of Isoclinic Parameter in Photoelasticity by Four-step Color Phase-shifting Technique. Optics and Laser in Engineering, Vol. 45, No. 7, pp. 795-807.
- [6] Martel, S. J. (2001). Structural Geology. [Online]. Available: http://www.soest.hawaii.edu/martel/Courses/GG303/stresses_around_hole.jpg. (Access date: 28 October 2001).