

ใบรับรองวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

		ปริญญา	
วิศวก	เรรมโยธา	วิศวกรรม โยธา	
ส	าขา	ภาควิชา	
เรื่อง พฤติกรรม และแรงปรุ่	บริเวณสม ๅิกิริยาที่ฐ	มอยึดในกานกอนกรีตอัดแรงภายใต้แรงอัดแบบหลายแรง านรองรับ	
Behavior of	of Anchor	age Zones in Post-Tensioned PC Girders with Multiple Prestress	ing
Forces and	l a Suppor	rt Reaction	
	0		
นามผู้วิจัย นายเขม	าวิชญ์ วร	รณศรีรั	
ได้พิจารณาเห็นชอง	บโดย		
ประธานกรรมการ			
	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทรงวุฒิ เฮงพระธานี, Ph.D.)
กรรมการ			
	(รองศาสตราจารย์สุวิมล สัจจวาณิชย์, Ph.D.)
กรรมการ			
	(รองศาสตราจารย์ประทีป ควงเดือน, M.Eng.)
	·		
หัวหน้าภาควิชา			

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.) คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย วัน _____ เดือน____ พ.ศ

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

พฤติกรรมบริเวณสมอยึดในกานกอนกรีตอัดแรงภายใต้แรงอัดแบบหลายแรง และแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ

Behavior of Anchorage Zones in Post-Tensioned PC Girders with Multiple

Prestressing Forces and a Support Reaction

โดย

นายเขมวิชญ์ วรรณศิริ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) พ.ศ. 2553

สิขสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเกษกรราสกร์

เขมวิชญ์ วรรณศิริ 2553: พฤติกรรมบริเวณสมอยึดในคานคอนกรีตอัดแรงภายใต้แรงอัดแบบ หลายแรงและแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบันฑิต (วิศวกรรมโยธา) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ประธานกรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทรงวุฒิ เฮงพระธานี, Ph.D. 179 หน้า

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการทางไฟไนท์อิลิเมนต์เพื่อทำนายพฤติกรรมบริเวณสมอยึครูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในกานคอนกรีตอัดแรงแบบดึงที่หลัง ภายใต้การอัดแรงผ่านหัวสมอมากกว่าหนึ่งชุดและพิจารณารวมผลจาก แรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ มีรูปแบบการอัดแรงทั้งสิ้น 4 รูปแบบประกอบด้วย การอัดแรงสองชุดแบบตรงสูนย์ แบบเอียงตรงศูนย์ แบบเยื้องศูนย์ และแบบเอียงเยื้องศูนย์ การศึกษาได้ใช้วิธีการทางไฟไนท์อิลิเมนต์วิเคราะห์ หาขนาดและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้น โดยนำผลการวิเกราะห์มาพิจารณาดูกวามสัมพันธ์กับ ้ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคือ ขนาดของแผ่นเหล็กแบกทาน ระยะห่างระหว่างแรงอัด มุมเอียงของแรงอัด ค่าการเยื้องศูนย์ ้งนาดและตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับมาตรฐานการออกแบบ ของ AASHTO (2002) และสมการที่ใช้ในการกำนวณหาขนาดและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริของ Hengprathanee (2004) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับส่งผลให้ขนาดและตำแหน่งของ ้งคศนย์ถ่วงของแรงปริมีค่าเปลี่ยนแปลงไป โดยกรณีที่มีการอัคแรงแบบตรง แรงปริจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแรง ้ปฏิกิริยามีค่าสูงขึ้น และเมื่อมีการอัคแรงแบบเอียง แรงปริมีค่าลคลงเมื่อแรงปฏิกิริยามีค่าสูงขึ้น พฤติกรรมของ แรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดสามารถจำแนกออกได้เป็นสามแบบโดยใช้ระยะห่างระหว่างแรงอัดทั้งสอง เป็นเกณฑ์คือ เมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันไม่เกิน 1.5a, แรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 1.5a แต่ไม่เกิน 0.5h และแรงอัดอยู่ ้ห่างกันมากกว่าหรือเท่ากับ 0.5b จากการศึกษาได้นำเสนอแนวทางที่ใช้ในการออกแบบเหล็กเสริมเพื่อต้านทาน ้แรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบสองชุดและพิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ โดยใช้สมการของ Hengprethanee และการจำแนกพฤติกรรมของแรงปริ ซึ่งเมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันไม่เกิน 1.5a แรงปริจะเกิดขึ้นจากอิทธิพลของแรงอัดทั้งสองร่วมกัน การคำนวณหาแรงปริสามารถพิจารณาได้กล้ายกันกับ ้บริเวณสมอยึคที่มีการอัคแรงแบบเคี่ยวโคยใช้ขนาครวมของแผ่นเหล็กแบกทั้งสองในสมการ และเมื่อแรงอัคอยู่ ห่างกันมากกว่า 1.5a แรงปริที่เกิดจากแรงอัคแต่ละแรงเกิดแยกออกจากกัน การคำนวณหาแรงปริที่เกิดจาก แรงอัดแต่ละแรงจะใช้ทฤษฎีปริซึมสมมาตรเป็นตัวกำหนดค่าความสูงของสมอยึด ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย ้วิธีไฟในท์อิลิเมนต์มีความสอดคล้องกันกับผลที่ได้จากสมการที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดและตำแหน่งของ จุคศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึครูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าของ Hengprathanee

_ / ___ /

ถายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Khemmawit Wannasiri 2010: Behavior of Anchorage Zones in Post-Tensioned PC Girders with Multiple Prestressing Forces and a Support Reaction. Master of Engineering (Civil Engineering), Major Field: Civil Engineering, Department of Civil Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Songwut Hengprathanee, Ph.D. 179 pages.

This thesis presents finite element analyses for the prediction of the behavior of rectangular anchorage zone in post-tensioned prestressed concrete girder under multiple prestressing forces with a presence of support reaction. The investigation is conducted based on four load configurations consisting of concentric, inclined concentric, eccentric, and inclined eccentric loads. Linear finite element analysis is used to predict the magnitude and the location of bursting force. The influence of several parameters, including anchorage ratio, inclination of the force, eccentricity, magnitude of the reaction force, and the location of the reaction force, is studied. The results are compared to the bursting forces obtained from the equations presented in the AASHTO Standard Specifications (2002) and modified equations presented by Hengprathanee (2004). The results of this study show that the reaction force significantly affects the magnitude and the location of bursting force. In case of concentric load configuration, the magnitude of the force increases when the reaction force increases. However, for inclined load configuration, the magnitude of the force decreases when the reaction force increases. Based on this study, the behavior of bursting force can be classified using the distance between prestressing forces: 1) less than 1.5a, 2) between 1.5a and 0.5h, 3) equal to or larger than 0.5h. The study also proposes a guideline for bursting steel reinforcement consideration under multiple prestressing forces and a support reaction based on Hengprathanee's equations. If the distance between two prestressing forces is less than 1.5a, bursting force comes from the effect of these two forces simultaneously. The calculation can be done using the equations for regular anchorage zone reinforcement with a modification by replacing the width of single anchorage plate with the width of these two adjacent anchors. If the distance of two prestressing forces is larger than 1.5a, bursting force occurs individually right under each anchor. The calculation can be done by applying the symmetrical prism theory. The height of constructed prism presents the width of divided anchorage zone. The finite element analysis results establish the same trend to those using the equations to calculate the magnitude and the location of bursting force for a rectangular anchorage zone presented by Hengprathanee.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

/ /

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ทรงวุฒิ เฮงพระธานี ประธานกรรมการที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์สุวิมล สัจจวาณิชย์ และรองศาสตราจารย์ประทีป ควงเคือน กรรมที่ ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กอยให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องในวิทยานิพนธ์จนกระทั่ง วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยคี ตลอดจนให้กำแนะนำในการทำงานรวมถึงการใช้ชีวิตให้ อยู่ร่วมกับผู้อื่นได้อย่างมีความสุขตลอดระยะเวลาของการเป็นนิสิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่านที่อบรมสั่ง สอนให้ความรู้ทางวิศวกรรมและปลูกฝังหลักการคิดในทางสร้างสรรค์ให้เกิดสิ่งดีๆ ต่างๆ มากมาย ขอบคุณเพื่อนๆ นิสิตปริญญาโทสาขาวิศวกรรมโครงสร้างทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน ในระหว่างการเรียนและการทำวิจัย

ท้ายที่สุดข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้องทุกๆท่านที่ได้ให้การ สนับสนุนช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าสามารถที่จะฟันฝ่าอุปสรรกต่างๆให้ผ่านพ้นไปได้ ด้วยดีตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

> เขมวิชญ์ วรรณศิริ เมษายน 2553



สารบัญ

(1)

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(16)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	16
อุปกรณ์	16
วิธีการ	16
ผลและวิจารณ์	35
สรุปและข้อเสนอแนะ	141
สรุป	141
ข้อเสนอแนะ	143
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	145
ภาคผนวก	147
ภาคผนวก ก การคำนวณหาจุดศูนย์ถ่วงของหน่วยแรงที่ด้านท้ายของแบบจำลอง	148
ภาคผนวก ข ตารางผลการวิเคราะห์แบบจำลองบริเวณสมอยึด	150
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	179



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลการเปรียบเทียบขนาดของแรงปริที่ได้จากวิธีการกำหนดแนวแรงอัดย่อย	25
2	สรุปค่าของตัวแปรต่างๆ	30
ตารางผนวก	ที่	
ข1	ผลการวิเคราะห์แบบจำลองบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดแบบตรง	
	ศูนย์	151
ข2	ผลการวิเคราะห์แบบจำลองบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดแบบเอียง	
	ตรงศูนย์ α = 6 องศา	156
ป3	ผลการวิเคราะห์แบบจำลองบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดแบบเอียง	
	ตรงศูนย์ α = 9 องศา	161
ข4	ผลการวิเคราะห์แบบจำลองบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดแบบเยื้อง	
	ศูนย์	166
ข5	ผลการวิเคราะห์แบบจำลองบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดแบบเอียง	
	เยื้องศูนย์ a = 6 องศา	170
ข6	ผลการวิเคราะห์แบบจำลองบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดแบบเอียง	
	เยื้องศูนย์ α = 9 องศา	174



สารบัญภาพ

ภาพที หน้า ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ (ว.ส.ท., 2537) ส่วนต่างๆและการกระจายหน่วยแรงในบริเวณสมอยึด (AASHTO, 2002) ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ (AASHTO ,2002) การจัคเหล็กเสริมเพื่อต้านทานแรงปริ (AASHTO, 2002) ้ปริซึมสมมาตรของ Guyon สำหรับบริเวณสมอยึดที่มีการอัคแรงแบบเยื้อง ศูนย์ แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาของ Byung-Wan Jo (2002) การเยื้องศูนย์ของแบบจำลอง รายละเอียดโดยทั่วไปของแบบจำลองไฟไนท์อิลิเมนต์ที่ใช้ในการศึกษา รูปแบบของการอัดแรงที่ใช้ในการศึกษา แบบจำลองที่ใช้ทำการทดสอบหาขนาดอิลิเมนต์ที่เหมาะสม การทดสอบหาขนาดที่เหมาะสมของอิลิเมนต์ที่ใช้ในแบบจำลอง แนวแรงอัคหลักภายในบริเวณสมอยึดภายใต้แรงอัดแรงเดียว แนวแรงอัคหลักของบริเวณสมอยึคที่การอัคแรงแบบสองชุด รูปแบบทั่วไปของแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณหาแนวแรงอัคหลัก จุดศูนย์ถ่วงของหน่วยแรงตามวิธีการสร้างแบบจำลอง Strut-and-Tie (Schlaich, 1987) การกำหนดมุมเอียงของแรงอัดในแบบจำลอง การเยื้องศูนย์ในสมอยึด ระยะห่างระหว่างแรงอัดทั้งสองชุด ตำแหน่งและรูปของแรงปริ การสร้างแบบจำลอง Strut – and – Tie แผนผังการดำเนินการวิจัย กราฟแสดงค่าหน่วยแรงเนื่องจากการอัคแรงสองชุดแบบตรงสูนย์เมื่อ a/h = 0.10, 2s/h = 0.15, R/P = 0.00 ແລະ $\sigma_0 = P/ht$

ภาพที่		หน้า
23	กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบตรง	
	ศูนย์เมื่อ a/h = 0.10, 2S/h = 0.40, R/P = 0.00 และ σ_0 = P/ht	37
24	กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบตรง	
	ศูนย์เมื่อ a/h = 0.10, 2s/h = 0.65, R/P = 0.00 และ o _0 = P/ht	37
25	กราฟแสคงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัคแรงสองชุดแบบตรง	
	ศูนย์เมื่อ a/h = 0.10, 2s/h = 0.15, R/P = 0.05 และ o _0 = P/ht	38
26	กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบตรง	
	ศูนย์เมื่อ a/h = 0.10, 2s/h = 0.65, R/P = 0.05 และ o _0 = P/ht	38
27	กราฟแสคงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัคแรงสองชุดแบบตรง	
	ศูนย์เมื่อ a/h = 0.10, 2s/h = 0.15, R/P = 0.15 และ o _0 = P /ht	39
28	กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบตรง	
	ศูนย์เมื่อ a/h = 0.10, 2s/h = 0.65, R/P = 0.15 และ o _0 = P/ht	39
29	กราฟแสคงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y ที่เกิดจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ	
	$ m R/P=0.15, l/h=0.125$ ແລະ $\sigma_0= m P/ht$	40
30	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงคึงที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่าง	
	แรงอัคทั้งสองชุดเมื่อ a/h = 0.10, R/P = 0.00	41
31	แรงภายในที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดภายใต้การอัคแรงสองชุด	42
32	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่าง	
	แรงอัคทั้งสองเมื่อ a/h = 0.10, R/P = 0.05	44
33	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่าง	
	แรงอัคทั้งสองเมื่อ a/h = 0.10, R/P = 0.15	45
34	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริกับตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาที่	
	ฐานรองรับเมื่อ 2s/h = 0.15, a/h = 0.10	47
35	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริกับตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาที่	
	ฐานรองรับเมื่อ 2s/h = 0.40, a/h = 0.10	47

ภาพที่		หน้า
36	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริกับตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาที่	
	ฐานรองรับเมื่อ 2s/h = 0.65, a/h = 0.10	48
37	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริกับตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาที่	
	ฐานรองรับเมื่อ 2s/h = 0.30, a/h = 0.20	48
38	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริกับตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาที่	
	ฐานรองรับเมื่อ 2s/h = 0.55, a/h = 0.20	49
39	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริกับตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาที่	
	ฐานรองรับเมื่อ 2s/h = 0.45, a/h = 0.30	49
40	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับ	
	งนาคของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อระยะห่างระหว่างแรงอัดเท่ากับ	
	1.50a (l/h = 0.125)	51
41	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับขนาด	
	ปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อระยะห่างระหว่างแรงอัคมีค่ามากกว่า 1.50a	
	(a/h = 0.10, 1/h = 0.125)	51
42	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับขนาด	
	ปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อระยะห่างระหว่างแรงอัคมีค่ามากกว่า 1.50a	
	(a/h = 0.20, 1/h = 0.125 และ 0.50)	52
43	ขนาดของแผ่นเหล็กแบกทานที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดของแรงปริจาก	
	สมการที่ 6	53
44	ขนาดของความสูงของปริซึมที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดของแรงปริจาก	
	สมการที่ 6	53
45	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริกับระยะห่าง	
	ระหว่างแรงอัคเมื่อ a/h = 0.10 และ R/P = 0.00	56
46	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริกับระยะห่าง	
	ระหว่างแรงอัดเมื่อ a/h = 0.10 และ R/P = 0.05	58

ภาพที่		หน้า
47	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริกับระยะห่าง	
	ระหว่างแรงอัดเมื่อ a/h = 0.10 และ R/P = 0.15	58
48	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุคศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัคหลักกับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อระยะห่างระหว่าง	
	แรงอัดเท่ากับ 1.50a	59
49	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัคย่อยกับขนาคของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ a/h = 0.10 และ	
	1/h = 0.125	60
50	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัคย่อยกับขนาคของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ a/h = 0.10 และ	
	1/h = 0.50	61
51	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัดย่อยกับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ a/h = 0.20	61
52	กราฟแสดงค่าหน่วยแรงเนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบเอียงตรงศูนย์เมื่อ	
	$a/h = 0.20, 2s/h = 0.30, R/P = 0.00, Q = 6 องศา และ \sigma_0 = P /ht$	64
53	กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบเอียง	
	ตรงศูนย์เมื่อ a/h = 0.20, 2s/h = 0.30, R/P = 0.00, Q = 9 องศา และ o _= P /ht	65
54	กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบเอียง	
	ตรงศูนย์เมื่อ a/h = 0.20, 2s/h = 0.55, R/P = 0.00, Q = 6 องศา และ o _= P /ht	65
55	กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบเอียง	
	ตรงศูนย์เมื่อ a/h = 0.20, 2s/h = 0.55, R/P = 0.00, Q = 9 องศา และ o _0 = P /ht	65
56	กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบเอียง	
	ตรงศูนย์เมื่อ a/h = 0.20, 2s/h = 0.30, R/P = 0.15, 1/h = 0.125, Q = 9 องศา	
	ແລະ $\sigma_0 = P /ht$	66

ภาพที่		หน้า
57	กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบเอียง	
	ตรงศูนย์เมื่อ a/h = 0.20, 2s/h = 0.55, R/P = 0.15, l/h = 0.125, Q = 9 องศา	67
58	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับมุมเอียงของ	
	แรงอัคเมื่อแรงอัคอยู่ห่างกันเท่ากับ 1.50a และ R/P = 0.00	68
59	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับมุมเอียงของ	
	แรงอัคเมื่อ a/h = 0.20, 2s/h = 0.55 และ R/P = 0.00	68
60	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงคึงที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่าง	
	แรงอัคเมื่อ α = 6 องศา a/h = 0.10 และ R/P = 0.00	69
61	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่าง	
	แรงอัดแรงอัดเมื่อ α = 9 องศา a/h = 0.10 และ R/P = 0.00	70
62	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่าง	
	แรงอัคเมื่อ α = 6 องศา a/h = 0.10 และ R/P = 0.05	71
63	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่าง	
	แรงอัคเมื่อ α = 9 องศา a/h = 0.10 และ R/P = 0.05	72
64	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่าง	
	แรงอัคเมื่อ α = 6 องศา a/h = 0.10 และ R/P = 0.15	72
65	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่าง	
	แรงอัคเมื่อ α = 9 องศา a/h = 0.10 และ R/P = 0.15	73
66	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักเมื่อแรงอัดอยู่ห่าง	
	กันเท่ากับ 1.50a กับขนาคของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ α = 6 องศา	
	a/h = 0.10, 0.20 และ 1/h = 0.125	75
67	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับขนาดของแรง	
	ปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ α = 6 องศา, a/h = 0.20, 2s/h = 0.55 และ	
	l/h = 0.125, 0.50	75

ภาพที่		หน้า
68	กวามสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัคหลักกับขนาดของแรง	
	ปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ α = 6 องศา และ l/h = 0.125	68
69	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับขนาดของแรง	
	ปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ α = 9 องศา และ l/h = 0.125	77
70	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับขนาดของแรง	
	ปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ $lpha$ = 6 องศา, a/h = 0.10, 2s/h = 0.65,	
	1/h = 0.125, 0.50	78
71	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับขนาดของแรง	
	ปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ $lpha$ = 6 องศา, a/h = 0.20, 2s/h = 0.55,	
	1/h = 0.125, 0.50	79
72	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับขนาดของแรง	
	ปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ $lpha$ = 9 องศา, a/h = 0.10, 2s/h = 0.65,	
	1/h = 0.125, 0.50	79
73	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับขนาดของแรง	
	ปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ $lpha=9$ องศา, a/h = 0.20, 2s/h = 0.55,	
	1/h = 0.125, 0.50	80
74	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุคศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณ	
	สมอยึดกับระยะห่างระหว่างแรงอัดแรงอัดเมื่อมุมเอียงของแรงอัดเท่ากับ	
	6 องศา a/h = 0.10 และ R/P = 0.00	81
75	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณ	
	สมอยึดกับระยะห่างระหว่างแรงอัดแรงอัคเมื่อมุมเอียงของแรงอัดเท่ากับ	
	9 องศา a/h = 0.10 และ R/P = 0.00	82
76	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณ	
	สมอยึดกับระยะห่างระหว่างแรงอัดเมื่อ α = 6 องศา a/h = 0.10 และ	
	R/P = 0.05	83

ลิขสิตจิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

(8)

ภาพที่		หน้า
77	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณ	
	สมอยึดกับระยะห่างระหว่างแรงอัคเมื่อ $lpha=9$ องศา a/h = 0.10 และ	
	R/P = 0.05	84
78	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณ	
	สมอยึคกับระยะห่างระหว่างแรงอัคเมื่อ α = 6 องศา a/h = 0.10 และ	
	R/P = 0.15	84
79	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณ	
	สมอยึคกับระยะห่างระหว่างแรงอัคเมื่อ $lpha=9$ องศา a/h = 0.10 และ	
	R/P = 0.15	85
80	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัดหลักกับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อระยะห่างระหว่าง	
	แรงอัคเท่ากับ 1.50a และ α = 6 องศา	86
81	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัคหลักกับขนาคของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อระยะห่างระหว่าง	
	แรงอัคเท่ากับ 1.50a และ α = 9 องศา	86
82	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัดย่อยกับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ (2S+a)/h = 0.75,	
	a/h = 0.10 และ a = 6 องศา	88
83	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัคย่อยกับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ (2S+a)/h = 0.75,	
	a/h = 0.10 และ a = 9 องศา	88
84	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัดย่อยกับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ (2S+a)/h = 0.75,	
	a/h = 0.20 และ α = 6 องศา	89

ภาพที่		หน้า
85	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัคย่อยกับขนาคของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ (2S+a)/h = 0.75,	
	a/h = 0.20 แถะ a = 9 องศา	89
86	กราฟแสดงค่าหน่วยแรงเนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบเยื้องศูนย์เมื่อ	
	e/h = -0.10, a/h = 0.10, $2s/h$ = 0.15, R/P = 0.00, $1/h$ = 0.00 ແລະ σ_0 = P /ht	92
87	กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบเยื้อง	
	ศูนย์เมื่อ e/h = -0.30, a/h = 0.10, 2s/h = 0.15, R/P = 0.00, 1/h = 0.00 และ	
	$\sigma_0 = P / ht$	93
88	กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบเยื้อง	
	ศูนย์เมื่อ e/h = -0.10, a/h = 0.10, 2s/h = 0.65, R/P = 0.00, 1/h = 0.00 และ	
	$\sigma_0 = P / ht$	93
89	กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบเยื้อง	
	ศูนย์เมื่อ e/h = 0.10, a/h = 0.10, 2s/h = 0.65, R/P = 0.00, l/h = 0.00 และ	
	$\sigma_0 = P / ht$	93
90	กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เมื่อ a/h = 0.10, 2s/h = 0.15, R/P = 0.15,	
	l/h = 0.125 ແລະ σ_0 = P /ht	95
91	กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เมื่อ a/h = 0.10, 2s/h = 0.65, R/P = 0.15,	
	$l/h = 0.125$ ແລະ $\sigma_0 = P /ht$	96
92	กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ X-X และ X-Y เมื่อ e/h = -0.30, a/h = 0.10,	
	$2s/h = 0.15, R/P = 0.15, 1/h = 0.125$ ແລະ $\sigma_0 = P$ /ht	97
93	กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ X-X และ X-Y เมื่อ e/h = -0.10, a/h = 0.10,	
	$2s/h = 0.65, R/P = 0.15, 1/h = 0.125$ ແລະ $\sigma_0 = P$ /ht	97
94	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับก่า	
	การเยื้องศูนย์เมื่อขนาคของ R/P = 0.00	100

ภาพที่		หน้า
95	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับค่า	
	การเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของ R/P = 0.00, a/h = 0.10, 2s/h = 0.65	100
96	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาคของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับค่า	
	การเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของ R/P = 0.00, a/h = 0.20, 2s/h = 0.55	101
97	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาคของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัคหลักกับค่า	
	การเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของ R/P = 0.05, a/h = 0.20, 2s/h = 0.30	102
98	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาคของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัคหลักกับค่า	
	การเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของ R/P = 0.15, a/h = 0.20, 2s/h = 0.30	103
99	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับค่า	
	การเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของ R/P = 0.15, a/h = 0.10, 2s/h = 0.15	103
100	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับค่า	
	การเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของ R/P = 0.05, a/h = 0.20, 2s/h = 0.55	104
101	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับค่า	
	การเยื้องศูนย์ เมื่อขนาดของ R/P = 0.15, a/h = 0.10, 2s/h = 0.65	105
102	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับค่า	
	การเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของ R/P = 0.15, a/h = 0.20, 2s/h = 0.55	105
103	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัคหลักกับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของ R/P = 0.00	108
104	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัคย่อยกับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของ R/P = 0.00, a/h = 0.10 และ	
	2s/h = 0.65	109
105	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัคย่อยกับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อขนาคของ R/P = 0.00, a/h = 0.20 และ	
	2s/h = 0.55	109

ภาพที่		หน้า
106	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว แรงอัดหลักกับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของ R/P = 0.05, a/h = 0.20 และ	
	2s/h = 0.30	110
107	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัคหลักกับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของ R/P = 0.15, a/h = 0.10 และ	
	2s/h = 0.15	111
108	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัคหลักกับค่าการเยื้องสูนย์เมื่อขนาดของ R/P = 0.15, a/h = 0.20 และ	
	2s/h = 0.30	111
109	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัคย่อยกับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อขนาคของ R/P = 0.05, a/h = 0.20 และ	
	2s/h = 0.55	113
110	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัคย่อยกับก่าการเยื้องศูนย์เมื่อขนาคของ R/P = 0.15, a/h = 0.10 และ	
	2s/h = 0.65	113
111	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัคย่อยกับก่าการเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของ R/P = 0.15, a/h = 0.20 และ	
	2s/h = 0.65	114
112	การกระจายหน่วยแรงเชิงเส้นในทิศทาง Y-Y เมื่อ a/h = 0.10, 2s/h = 0.15,	
	$\alpha=9$ องศา, R/P = 0.00, l/h = 0.00 และ $\sigma_{_0}$ = P /ht	116
113	การกระจายหน่วยแรงเชิงเส้นในทิศทาง Y-Y เมื่อ a/h = 0.10, 2s/h = 0.65,	
	α = 9 องศา, R/P = 0.00, l/h = 0.00 และ $\sigma_{_0}$ = P /ht	117
114	การกระจายหน่วยแรงเชิงเส้นในทิศทาง Y-Y เมื่อ a/h = 0.10, 2s/h = 0.15,	
	α = 9 องศา, R/P = 0.15, l/h = 0.125 และ $\sigma_{_0}$ = P /ht	118

สิบสิทบิ์ มตาวิทยาสัยเทษยวร่าส่ยว

ภาพที่		หน้า
115	การกระจายหน่วยแรงเชิงเส้นในทิศทาง Y-Y เมื่อ a/h = 0.10, 2s/h = 0.65,	
	$lpha=9$ องศา, R/P = 0.15, l/h = 0.125 และ ${f \sigma}_0={ m P}$ /ht	119
116	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับค่า	
	การเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของมุมเอียงเท่ากับ 6 และ 9 องศา, R/P = 0.00,	
	a/h = 0.10, 2s/h = 0.15	121
117	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับค่า	
	การเยื่องศูนย์เมื่อ α = 6 และ 9 องศา, R/P = 0.00, a/h = 0.20, 2s/h = 0.30	121
118	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับ	
	ค่าการเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของมุมเอียงเท่ากับ 6 และ 9 องศา, R/P = 0.00,	
	a/h = 0.10, 2s/h = 0.65	123
119	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย	
	กับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อขนาคของมุมเอียงเท่ากับ 6 และ 9 องศา,	
	R/P = 0.00, a/h = 0.20, 2s/h = 0.55	123
120	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก	
	กับค่าการเยื้องสูนย์เมื่อขนาคของมุมเอียงเท่ากับ 6 และ 9 องศา,	
	R/P = 0.05, $a/h = 0.20$, $2s/h = 0.30$	124
121	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับค่า	
	การเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของมุมเอียงเท่ากับ 6 และ 9 องศา, R/P = 0.15,	
	a/h = 0.10, 2s/h = 0.15	126
122	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับค่า	
	การเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของมุมเอียงเท่ากับ 6 และ 9 องศา, R/P = 0.15,	
	a/h = 0.20, 2s/h = 0.30	126
123	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาคของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย	
	กับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อขนาคของมุมเอียงเท่ากับ 6 องศา, R/P = 0.05,	
	a/h = 0.20, 2s/h = 0.55	127

ลิขสิทชิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ภาพที่		หน้า
124	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับ	
	ค่าการเยื้องศูนย์เมื่อขนาคของมุมเอียงเท่ากับ 9 องศา, R/P = 0.05,	
	a/h = 0.20, 2s/h = 0.55	128
125	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับ	
	ค่าการเยื้องสูนย์เมื่อขนาดของมุมเอียงเท่ากับ 6 องศา, R/P = 0.15,	
	a/h = 0.10, 2s/h = 0.65	129
126	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับ	
	ค่าการเยื้องสูนย์ เมื่อขนาดของมุมเอียงเท่ากับ 9 องศา, R/P = 0.15,	
	a/h = 0.10, 2s/h = 0.65	130
127	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาคของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับ	
	ค่าการเยื้องสูนย์ เมื่อขนาดของมุมเอียงเท่ากับ 6 องศา, R/P = 0.15,	
	a/h = 0.20, 2s/h = 0.55	130
128	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับ	
	ค่าการเยื้องสูนย์ เมื่อขนาดของมุมเอียงเท่ากับ 9 องศา, R/P = 0.15,	
	a/h = 0.20, 2s/h = 0.55	128
129	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัคหลักกับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อ R/P = 0.00, a/h = 0.10, 2s/h = 0.15	132
130	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัคหลักกับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อ R/P = 0.00, a/h = 0.20, 2s/h = 0.30	133
131	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัดย่อยกับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อ R/P = 0.00, a/h = 0.10, 2s/h = 0.65	133
132	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัดย่อยกับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อ R/P = 0.00, a/h = 0.20, 2s/h = 0.55	134
133	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัคหลักกับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อ R/P = 0.05, a/h = 0.20, 2s/h = 0.30	136

ภาพที่		หน้า
134	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัคหลักกับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อ R/P = 0.15, a/h = 0.10, 2s/h = 0.15	136
135	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัคหลักกับค่าการเยื่องศูนย์ เมื่อ R/P = 0.15, a/h = 0.20, 2s/h = 0.30	137
136	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัดย่อยกับก่าการเยื้องศูนย์เมื่อแรงอัดเอียงทำมุม 6 องศา, R/P = 0.05,	
	a/h = 0.20, 2s/h = 0.55	138
137	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัดย่อยกับค่าการเยื้องศูนย เมื่อแรงอัดเอียงทำมุม 9 องศา, R/P = 0.05,	
	a/h = 0.20, 2s//h = 0.55	138
138	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัดย่อยกับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อแรงอัดเอียงทำมุม 6 องศา, R/P = 0.15,	
	a/h = 0.10, 2s/h = 0.65	139
139	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว	
	แรงอัคย่อยกับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อแรงอัคเอียงทำมุม 9 องศา, R/P = 0.15,	
	a/h = 0.10, 2s/h = 0.65	139
140	การใช้สมการของ Hengprathanee ในกรณี 2s/h≤1.50a	142
141	การใช้สมการของ Hengprathanee ในกรณี 1.50a < 2s/h < 0.50h	142
142	การใช้สมการของ Hengprathanee ในกรณี 2s/h > 0.50h	143

ภาพผนวกที่

ก1 แผนผังหน่วยแรงที่ระยะ 1.50h จากผิวด้านหน้าของแบบจำลอง 149

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

a	=	ขนาดของแผ่นเหล็กแบกทาน
a'	=	ขนาครวมของแผ่นเหล็กแบกทาน
b	=	ขนาดแผ่นเหล็กที่ฐานรองรับ (Bearing Support).
D _{burst}	=	ระยะห่างของจุคศูนย์ถ่วงของแรงปริจากแผ่นเหล็กแบกทาน
e	=	ค่าการเยื้องศูนย์ (Eccentricity)
h	= 9	ความสูงของแบบจำลอง
h ₁ '	=	ความสูงของปริซึมสมมาตรของแรงอัดด้ำนบนของแบบจำลอง
h ₂ '	=	ความสูงของปริซึมสมมาตรของแรงอัคด้านถ่างของแบบจำลอง
1	=	ตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ
P	=	แรงอัด (Prestressing Force)
P ₁	-	แรงอัดด้านบนของแบบจำลอง
P ₂	-	แรงอัดค้านล่างของแบบจำลอง
R	=	แรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ
S _{xx}	-	หน่วยแรงในแนวแกน x
S _{yy}	=	หน่วยแรงในแนวแกน y
S _{xy}	=	หน่วยแรงเฉือน
S _p	=	แรงปริที่ผิว (Spalling Force)
2s	=	ระยะห่างระหว่างแรงอัคทั้งสองชุด
s ₁	=	ระยะห่างระหว่างแรงอัคด้านบนถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของแบบจำลอง
s ₂	=	ระยะห่างระหว่างแรงอัคค้านล่างถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของแบบจำลอง
T _{burst}	=	แรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด (Bursting Force)
T _m	=	แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัคหลัก
T ₁	=	แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยด้านบนของแบบจำลอง
T ₂	=	แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยด้านถ่างของแบบจำถอง
t	=	ความหนาของแบบจำลอง
α	=	มุมเอียงของแรงอัด
α_1	=	มุมเอียงของแรงอัคด้ำนบนของแบบจำถอง

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

มุมเอียงของแรงอัคค้านล่างของแบบจำลอง α_2 = มุมเอียงของแนวแรงอัคหลัก β = มุมเอียงของแนวแรงอัคย่อยค้านบนของแบบจำลอง β_1 = มุมเอียงของแนวแรงอัดย่อยด้านล่างของแบบจำลอง β_2 = หน่วยแรงเฉลี่ยของหน้าตัด σ_0 = หน่วยแรงปริ σ_{burst} =



พฤติกรรมบริเวณสมอยึดในคานคอนกรีตอัดแรงภายใต้แรงอัดแบบหลายแรง และแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ

Behavior of Anchorage Zones in Post-Tensioned PC Girders with Multiple Prestressing Forces and a Support Reaction

คำนำ

ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีการก่อสร้างมีการพัฒนาไปอย่างรวคเร็ว คอนกรีตอัดแรงก็เป็น เทคโนโลยีหนึ่งที่มีการพัฒนาและใช้งานอย่างต่อเนื่องตั้งแต่สะพานคอนกรีตอัดแรงแห่งแรกของ โลกเปิดใช้งานในประเทศเยอรมนี้โดยการออกแบบของวิศวกรชาวเยอรมัน (Menn. 1990) ้โครงสร้างคอนกรีตอัดแรงเป็นองค์อาการที่มีการอัดแรงแบบถาวรก่อนที่โครงสร้างดังกล่าวจะรับ แรงจากภายนอก แรงอัดนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้พฤติกรรมของโครงสร้างดีขึ้นเมื่อเทียบกับ ้โกรงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเพียงอย่างเดียว ซึ่งมีการแบ่งประเภทของโกรงสร้างคอนกรีตอัดแรง เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ แบบดึงถวดอัดแรงก่อน (Pre-tension) และแบบดึงถวดอัดแรงที่หลัง (Post-tension) โดยงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะโครงสร้างกอนกรีตอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงทีหลัง ้เท่านั้น ในโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงแบบดึงถวดอัดแรงที่หลัง หน่วยแรงอัดเฉพาะจุดจะถูกถ่ายไป ้ยังบริเวณสมอยึด (Anchor) ของโครงสร้างโดยผ่านทางถวดอัดแรงกำลังสงก่อนที่หน่วยแรงจะ กระจายไปยังส่วนต่างๆ ของโครงสร้าง แรงอัคเฉพาะจุดนี้จะทำให้เกิดหน่วยแรงอัดขึ้นในกอนกรีต บริเวณที่ถัดจากแผ่นเหล็กแบกทาน (Bearing Plate) ซึ่งแรงอัดนี้ยังส่งผลให้เกิดหน่วยแรงคึง ในทิศทางตั้งฉากกับแนวของถวดอัดแรงซึ่งอยู่ภายในบริเวณที่เรียกว่าบริเวณสมอยึด (Anchorage Zone) เนื่องจากคอนกรีตรับแรงคึงได้น้อยซึ่งในการออกแบบจะถือว่าคอนกรีตไม่ช่วยในการรับ แรงคึง จึงมีความจำเป็นต้องใช้เหล็กเสริมช่วยในการต้านทานหน่วยแรงคึงที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอ ยึดดังกล่าว

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนามาตรฐานที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดและตำแหน่งที่เกิดหน่วย แรงดึงขึ้นเพื่อใช้ในการออกแบบเหล็กเสริมให้เกิดความปลอดภัย เช่น มาตรฐานของ AASHTO (2002) ซึ่งแนะนำวิธีการออกแบบบริเวณสมอยึดโดยเป็นผลการศึกษาจากโครงการวิจัย NCHRP Project 10-29 (1994) อย่างไรก็ตามวิธีการในการคำนวณที่แสดงในมาตรฐานนั้นยังมีขอบเขต ที่จำกัดและยังไม่สามารถให้ข้อมูลกับผู้ออกแบบในบางกรณีเช่น ผลของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ต่อหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด ซึ่งในช่วงที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยผลของแรง ปฏิกิริยาจากฐานรองรับต่อหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดอย่างต่อเนื่องเช่น Leonhardt (1964); Wollmann (1992) แสดงอิทธิพลของแรงปฏิกิริยาต่อพฤติกรรมของแรงปริ (Bursting Force) ที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด และงานวิจัยของ Hengprathanee (2004) ได้ใช้วิธีไฟไนท์อิลิ แมนต์ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับต่อหน่วยแรงปริในบริเวณสมอ ยึด อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ผ่านมายังไม่สามารถอธิบายถึงพฤติกรรมของหน่วยแรงปริที่เกิดขึ้น ในบริเวณสมอยึดของโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงได้กรอบกลุมในทุกรูปแบบ ทำให้วิธีการ กำนวณหาขนาดและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดในปัจจุบัน อาจยังไม่สามารถให้ผลการกำนวณที่ใกล้เกียงกับความเป็นจริง

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับต่อ หน่วยแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดโดยจะศึกษารูปแบบของโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงที่มี ความซับซ้อนมากขึ้นกว่าการศึกษาที่ผ่านมาในอดีต โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อใช้ในการศึกษา วิธีการออกแบบเหล็กเสริมต้านทานหน่วยแรงปริให้ถูกต้องและสอดคล้องกับความเป็นจริง มากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

 เพื่อศึกษาพฤติกรรมของบริเวณสมอยึครูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการอัดแรงผ่านหัวสมอ มากกว่าหนึ่งชุดโดยพิจารณารวมผลของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับภายใต้รูปแบบของการอัดแรง ทั้งสิ้น 4 รูปแบบ ประกอบด้วย สมอยึดที่มีการอัดแรงแบบตรงศูนย์ แบบเยื้องศูนย์ แบบเอียงตรง ศูนย์ แบบเอียงเยื้องศูนย์

2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับต่อขนาดและตำแหน่งของ จุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการอัดแรงผ่านหัวสมอ มากกว่าหนึ่งชุดโดยพิจารณารวมผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับสมการ ที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดรูป สี่เหลี่ยมผืนผ้าและนำเสนอวิธีการในการออกแบบเหล็กเสริมเพื่อต้านทานแรงปริให้สอดคล้องกับ กวามเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

 เพื่อทำการประเมินวิธีการออกแบบเหล็กเสริมในบริเวณสมอยึดที่ถูกเสนอไว้ ในมาตรฐานการออกแบบของ AASHTO ในกรณีที่สมอยึดมีการอัดแรงมากกว่าหนึ่งชุด โดยพิจารณารวมผลของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ

ขอบเขตการศึกษา

ในงานวิจัยนี้มีขอบเขตของการศึกษาคือ ทำการวิเคราะห์หาขนาดและตำแหน่งของ จุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นภายในบริเวณสมอยึดของชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงแบบ ดึงลวดอัดแรงทีหลังซึ่งถูกอัดแรงผ่านสมอยึดมากกว่าหนึ่งชุดโดยศึกษาผลกระทบจากแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับที่มีต่อขนาดและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริ ซึ่งจะพิจารณารูปแบบการอัดแรง ทั้งหมด 4 รูปแบบ ประกอบด้วยรูปแบบการอัดแรงที่ปลายสมอยึดแบบตรงศูนย์ แบบเยื้องศูนย์ แบบเอียงตรงศูนย์ แบบเอียงเยื้องศูนย์ ด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองไฟไนท์อิลิเมนต์โดยใช้ โปรแกรมสำเร็จรูปชื่อ ANSYS ช่วยในการวิเคราะห์ เพื่อนำผลการวิเคราะห์ไปศึกษาเปรียบเทียบ กับวิธีการออกแบบเหล็กเสริมในบริเวณสมอยึดตามมาตรฐานของ AASHTO (2002) และผลการ วิเคราะห์โดยวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์ที่มีการศึกษามาก่อนหน้านี้ โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคือ ขนาดของแผ่นเหล็กแบกทาน ความสูงของแบบจำลอง มุมเอียงของแรงอัด ก่าการเยื้องศูนย์ ขนาด และตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับและระยะห่างระหว่างแรงอัด โดยขนาดของแผ่นเหล็ก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

แบกทานกับมุมเอียงของแรงอัดแต่ละแรงจะมีขนาดเท่ากัน ผลการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ จะถูก นำมาศึกษาพิจารณาดูความสัมพันธ์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับสมการที่ใช้สำหรับการคำนวณหา ขนาดและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดของโครงสร้างคอนกรีต อัดแรงแบบดึงลวดทีหลังโดยอาศัยสมการที่ใช้ในมาตรฐานการออกแบบของ AASHTO สมการที่ ถูกปรับปรุงขึ้นมาจากงานวิจัยของ Hengprathanee (2004) และเปรียบเทียบผลการศึกษากับการ ออกแบบด้วยวิธีการใช้แบบจำลอง Strut-and-Tie เพื่อปรับปรุงวิธีการออกแบบเหล็กเสริมสำหรับ บริเวณสมอยึดของโครงสร้างกอนกรีตอัดแรงที่มีการอัดแรงผ่านหัวสมอยึดมากกว่าหนึ่งชุด โดยพิจารณารวมผลที่เกิดจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเพื่อให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น



การตรวจเอกสาร

มาตรฐานการออกแบบของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย [ว.ส.ท.] (2537) มาตรฐาน สำหรับอาการกอนกรีตอัดแรง ได้ให้กำนิยามของบริเวณสมอยึดในชิ้นส่วนกอนกรีตอัดแรง คือ ส่วนขององก์อาการซึ่งถ่ายแรงกวามเข้มสูงอันเกิดจากแรงอัดเฉพาะจุด (Concentrated Prestressing Force) ให้กระจายออกไปสู่สภาวะของหน่วยแรงที่แปรผันเชิงเส้น (Linear Stress Distribution) การถ่ายแรงอัดจากสมอยึดสู่กอนกรีตส่วนใหญ่เกิดจากการแบกทานโดยตรงของแผ่นเหล็กสมอยึด (Steel Anchorage Plate) หรืออุปกรณ์สมอยึดอย่างอื่นที่ฝังอยู่ในกอนกรีต ในบริเวณของกอนกรีต อัดแรงชนิดดึงทีหลังจะมีหน่วยแรงดึงตามขวาง (Transverse Tensile Stress) เกิดขึ้น 2 ชนิดคือ

 หน่วยแรงปริ (Bursting Stress) เป็นหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตอันเนื่องมาจาก ผลลัพธ์ของหน่วยแรงที่เกิดจากการอัดแรงแบบจุดซึ่งกระจายตัวออกจากแนวแกนของลวดอัดแรง ก่อนที่หน่วยแรงจะกระจายเต็มพื้นที่หน้าตัดของโครงสร้าง แรงดึงนี้จะมีทิสตั้งฉากกับแนวของลวด อัดแรง

2. หน่วยแรงปริที่ผิว (Spalling Stress) เป็นหน่วยแรงคึงที่เกิดขึ้นระหว่างสมอยึดซึ่งวาง ห่างกันอันเนื่องมาจากความสอดคล้องกันของการเปลี่ยนตำแหน่ง (Compatibility of Displacement) หน่วยแรงคึงนี้เกิดขึ้นในทิศตั้งฉากกับแนวแกนของถวดอัดแรง จะมีก่าสูงสุดที่ผิวคอนกรีตรอบ สมอยึดและจะมีความสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อแรงอัดแบบจุดกระทำเยื้องสูนย์และอยู่ภายนอก เกิร์นของหน้าตัด (Kem) ของโครงสร้าง

ว.ส.ท. ได้แนะนำวิธีการออกแบบเหล็กเสริมต้านทานแรงปริในคอนกรีตไว้ดังนี้

จากภาพที่ 1 พิจารณาปริซึมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ารับแรงอัด P_m ซึ่งจะกำนวณหาแรงปริ (P_{bt}) ได้ ตามสมการที่ 1

$$P_{bt} = 0.33 (1-r) P_{m}$$
(1)



ภาพที่ 1 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ

ทีมา: ว.ส.ท. (2537)

โดย r จะมีค่าเท่ากับ 2a,/2a หรือ 2b,/2b, 2a, และ 2b, คือขนาดของสมอยึดสัญลักษณ์ 2a และ 2b คือขนาดของปริซึม

การหาปริมาณเหล็กเสริมด้านทานแรงปริและแรงปริที่ผิวในบริเวณสมอยึดที่มีผิวคอนกรีต หุ้มน้อยกว่า 5 ซม. หน่วยแรงที่ยอมให้ในเหล็กเสริมให้ใช้ค่าเท่ากับ 2000/Ø โดย Ø คือขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม แต่ต้องมีค่าไม่มากกว่า 1250 ksc เพื่อควบคุมการแตกร้าว และสำหรับ เหล็กเสริมที่อยู่ลึกเข้าไปในเนื้อคอนกรีตให้ใช้ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้คือ 0.80f, โดยเหล็กเสริมกัน ปรินี้ให้จัดวางในระยะจาก 0.2a ถึง 2a วัดจากผิวในของแผ่นเหล็กแบกทาน ในกรณีที่สมอยึด จัดเรียงเป็นกลุ่ม เหล็กเสริมของปริซึมซึ่งอยู่ติดกัน ต้องจัดให้เกี่ยวโยงถึงกันและจะต้องมีเหล็กเสริม รัดรอบทั้งกลุ่ม

American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO] (2002) ใด้แบ่งบริเวณสมอยึดเป็น 2 ส่วนใด้แก่ ส่วนของคอนกรีตที่หุ้มอุปกรณ์การอัดแรงมีระยะ ใม่มากกว่าความยาวของอุปกรณ์หัวสมอยึดดังภาพที่ 2ก พฤติกรรมหลักของส่วนนี้จะรองรับหน่วย แรงแบกทานที่เกิดจากการส่งแรงผ่านอุปกรณ์หัวสมอยึดก่อนที่หน่วยแรงนั้นจะกระจายไปยังส่วน อื่นๆ ในบริเวณสมอยึด โดยทั่วไปพฤติกรรมของส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์การอัดแรง โดยเรียกส่วนนี้ว่าบริเวณตัวหัวสมอยึด (Local Zone) และอีกส่วนหนึ่งก็คือบริเวณทั่วไปอื่นๆ รอบ หัวสมอยึด (General Zone) เป็นส่วนของคอนกรีตที่ห่อหุ้มบริเวณจุดรับแรงอัดบนหัวสมอยึดไป จนถึงส่วนปลายของบริเวณสมอยึคซึ่งจะมีระยะไม่เกิน 1 ถึง 1.5 เท่าของความสูงชิ้นส่วนคอนกรีต อัดแรงถัดจากแผ่นเหล็กแบกทานดังภาพที่ 2ข และ 2ค ซึ่งในส่วนนี้จะมีการกระจายหน่วยแรงจาก แรงอัดแบบจุดจนกลายเป็นหน่วยแรงอัดที่กระจายเต็มหน้าตัดของชิ้นส่วนโครงสร้างซึ่งจะมีหน่วย แรงดึงในกอนกรีตเกิดขึ้นในส่วนต่างๆภายในบริเวณรอบหัวสมอยึด



ภาพที่ 2 ส่วนต่างๆ และการกระจายหน่วยแรงในบริเวณสมอยึด

ที่มา: AASHTO (2002)

มาตรฐานการออกแบบของ AASHTO ได้กำหนดวิธีการออกแบบบริเวณสมอยึดไว้หลาย วิธีซึ่งสามารถใช้วิธีใดก็ได้ดังนี้

 การใช้แบบจำลองโดยพิจารณาความสมคุลของแรงโดยมีพฤติกรรมของแบบจำลอง ซึ่งอยู่ในช่วงพลาสติก โดยทั่วไปอ้างอิงถึงวิธีการสร้างแบบจำลอง Strut-and-Tie

2. การประยุกต์ใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์หน่วยแรงเชิงเส้น และสมการสมคุล

 วิธีการประมาณค่าของหน่วยแรงอื่นๆ อาทิ การวิเคราะห์หน่วยแรงด้วยวิธีการสร้าง แบบจำลองไฟในท์อิลิเมนต์

ภายในบริเวณรอบหัวสมอยึดจะมีหน่วยแรงดึงเกิดขึ้นในคอนกรีตซึ่งเกิดจากแรงกระทำ แบบจุดจากอุปกรณ์อัดแรงโดย AASHTO ได้แบ่งประเภทของหน่วยแรงดึงไว้ตามตำแหน่งที่เกิด หน่วยแรงนั้นขึ้น แรงปริกือแรงดึงที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดตรงตำแหน่งด้านหน้าของอุปกรณ์ การอัดแรงไปจนถึงส่วนท้ายของบริเวณสมอยึดมีทิศทางตั้งฉากกับแนวของลวดอัดแรง ซึ่งเป็นผล

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

มาจากผลลัพธ์ของหน่วยแรงที่เกิดจากแรงอัดกำลังสูงแบบจุดซึ่งกระจายออกจากแนวของลวดอัด แรง การคำนวณค่าของแรงปริสามารถกระทำได้โดยรวมผลของหน่วยแรงคึงที่เกิดขึ้นตลอดแนว ของลวดอัดแรงภายในบริเวณสมอยึด แรงปริที่ผิวคือ แรงคึงที่เกิดขึ้นบริเวณผิวด้านที่รับแรงอัดมี ทิศทางขนานกับผิวของชิ้นส่วนซึ่งเป็นผลมาจากเงื่อนไขความสอดคล้องกันของการเปลี่ยน ตำแหน่ง (Strain Compatibility) ในกรณีที่แรงอัดกระทำในลักษณะเยื้องศูนย์อย่างมาก แรงอัดจะ ส่งผลให้เกิดแรงดึงขึ้นที่ขอบของชิ้นส่วน (Longitudinal Edge Tension Force) มีทิศทางขนานกับ ผิวตามแนวนอนของชิ้นส่วน

ในการออกแบบเหล็กเสริมเพื่อด้านแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดนั้น AASHTO ได้ แนะนำสมการเพื่อใช้ในการคำนวณขนาดและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริซึ่งได้จาก ผลการศึกษาของ Burdet (1990) ไว้ดังนี้

$T_{burst} = 0.25\Sigma I$	$P_u(1-a/h)$	+0.5 ∑	$(P_u \sin \alpha)$ (2)	2)
$D_{burst} = 0.5$ (H	n - 2e) + 5e	sinα		3)
โดย	T _{burst}	=	แรงปรี (KIP)	
	P _u	=	แรงอัดแบบจุด (KIP)	
	D _{burst}	=	ระยะทางจากผิวสัมผัสระหว่างแผ่นเหล็กแบกทานกับ	
			คอนกรีตไปถึงจุคศูนย์ถ่วงของแรงปริ (IN)	
	a		ขนาดของแผ่นเหล็กแบกทาน (IN)	
	e	=	ระยะเยื้องศูนย์ของแรงอัค (IN)	
	h	-	ความสูงของชิ้นส่วน (IN)	
	α	=))	มุมเอียงของแรงอัคมีค่าเป็นบวกเมื่อแรงอัคกระทำในที	ศ
			พุ่งเข้าหาศูนย์ถ่วงของหน้าตัดและเป็นลบเมื่อแรงอั	้ด
			กระทำในทิศพุ่งออกนอกศูนย์ถ่วงของหน้าตัด	



ภาพที่ 3 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ

ที่มา: AASHTO (2002)

AASHTO ได้กำหนดวิธีการคำนวณหาแรงปริด้านข้างโดยให้ใช้ก่าร้อยละ 2 ของแรงอัด ที่กระทำบนโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง ในการจัดเหล็กเสริมเพื่อด้านทานแรงปริต้องจัดให้เหล็ก เสริมกระจายเต็มตลอดความหนาของชิ้นส่วนและมีระยะทางที่มากกว่าระหว่างก่า 2.5 เท่าของ D_{burst} และ 1.5 เท่าของกวามสูงของชิ้นส่วน ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมจะต้องไม่มากกว่า 24 เท่าของ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมหรือ 30 ซม. ในกรณีที่มีการอัดแรงแบบหลายชุด ระยะห่าง ระหว่างแรงแต่ละชุดจะต้องไม่เกิน 0.4h



ภาพที่ 4 การจัดเหล็กเสริมเพื่อต้านทานแรงปริ

ที่มา: AASHTO (2002)

American Concrete Institute [ACI] (2002) ใด้ปรับปรุงมาตรฐานการออกแบบบริเวณสมอ ยึดในปี 1994 โดยได้อ้างอิงถึงมาตรฐานการออกแบบของ AASHTO ปี 1996 และรายงานการวิจัย ของ NCHRP Report 356 ดังนั้นข้อกำหนดต่างๆใน ACI จึงเหมือนกันกับมาตรฐานการออกแบบ ของ AASHTO (1996)

Guyon (1953) ได้ใช้ทฤษฎีความยึดหยุ่นเชิงเส้นในการศึกษาพฤติกรรมบริเวณสมอยึดที่มี หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งมีแรงอัดกระทำแบบตรงศูนย์และแบบเยื้องศูนย์ โดยการพัฒนา แบบจำลองโครงข้อหมุนของ Morsch (1924) จากการศึกษา Guyon ได้นำเสนอวิธีการที่ใช้ในการ กาดคะเนขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดโดยอาศัยอัตราส่วนระหว่างขนาดของแผ่น เหล็กแบกทานต่อความสูงของโครงสร้าง (a₁/a₂) โดย a₁ คือ ขนาดของแผ่นเหล็กแบกทาน และ a₂ คือ ความสูงของโครงสร้าง ซึ่งในกรณีที่บริเวณสมอยึดมีการอัดแรงแบบเยื้องศูนย์ a₂ จะมีค่าเท่ากับ ความสูงของปริซึมสมมาตรดังแสดงไว้ในภาพที่ 5ก โดยความสูงของปริซึมจะมีขนาดเท่ากับสอง เท่าของระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของลวดอัดแรงไปจนถึงขอบของโครงสร้างด้านที่ใกล้ที่สุด ทฤษฎีปริซึมสมมาตรของ Guyon นี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกรณีที่บริเวณสมอยึดมีการอัด แรงแบบหลายชุดดังแสดงในภาพที่ 5ข โดยผลการศึกษาของ Guyon ได้ถูกนำไปอ้างอิงในงานวิจัย อื่นๆ ในเวลาต่อมา ซึ่งพบว่าเป็นผลการศึกษาที่เชื่อถือได้



ภาพที่ 5 ปริซึมสมมาตรของ Guyon สำหรับบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบเยื้องศูนย์

NCHRP Project 10-29 (1994) เป็นโครงการวิจัยที่มุ่งศึกษาบริเวณสมอยึดของโครงสร้าง กอนกรีตอัดแรงแบบดึงถวดอัดแรงทีหลังโดยทีมงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเท็กซัสแห่งเมืองออสติน มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนามาตรฐานการออกแบบบริเวณสมอยึดของโครงสร้างกอนกรีตอัดแรงแบบ ดึงถวดทีหลัง โดยมาตรฐานของ AASHTO (1996) ได้นำวิธีการออกแบบนี้ไปบรรจุไว้ในมาตรฐาน

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

การออกแบบบริเวณสมอยึด โครงการนี้แบ่งออกได้เป็นสองส่วนหลักๆ ส่วนแรกได้ทำการกำหนด ขั้นตอนพื้นฐานในการออกแบบ วิเคราะห์และทดสอบบริเวณสมอยึดของโครงสร้างคอนกรีตอัด แรงแบบดึงถวดทีหลังประกอบด้วยงานวิจัยของ Robert (1990), Sander (1990) และ Burdet (1990) ในส่วนที่สองนั้นได้ทำการศึกษาบริเวณสมอยึดที่มีรูปร่างและรูปแบบการอัดแรงที่มีความซับซ้อน มากยิ่งขึ้น อาทิ สมอยึดที่มีการอัดแรงแบบหลายชุดในพื้นคอนกรีตอัดแรงและบริเวณสมอยึด ที่พิจารณารวมผลของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ประกอบด้วยงานวิจัยของ Falconer (1990) และ Wollmann (1992) ตามลำดับ

Robert (1990) ได้ศึกษาบริเวณสมอยึดในส่วนของบริเวณใต้หัวสมอยึดโดยได้ทำ การทดสอบชิ้นส่วนตัวอย่างจำนวน 28 ตัวอย่าง ที่มีความแตกต่างกันตามตัวแปรที่กำหนดขึ้นคือ ระยะขอบของชิ้นส่วน ชนิดของอุปกรณ์การอัดแรง กำลังในการรับแรงอัดของคอนกรีต และการจัด เหล็กเสริมคอนกรีต โดยได้เสนอวิธีการออกแบบพื้นฐานของบริเวณใต้หัวสมอยึดของโครงสร้าง ดอนกรีตอัดแรงและสมการที่ใช้ในการกำนวณหาความสามารถในการรับแรงของบริเวณใต้หัวสมอ ตามสมการดังต่อไปนี้

$$P_{n} = 0.7f'_{c}\sqrt{A/A_{b}} \ge A_{b} + 4f_{lat}A_{core}(1-S/D)^{2} \le 3f'_{c}A_{b}$$
(4)

โดย P_n คือ ความสามารถในการรับแรงของบริเวณตัวหัวสมอยึด A, A_b คือ พื้นที่รับแรง แบกทาน, A_{core} คือ พื้นที่รวมรับแรงแบกทาน, S คือ ระยะห่างเหล็กปลอกเกลียว, D คือ ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม, f 'c คือ กำลังอัดประลัยของกอนกรีต, f_{lat} คือ กำลังทางขวางมีค่าเท่ากับ 2A, f/SD ในกรณีที่มีเหล็กปลอกแบบเกลียวและเท่ากับ A, f/SD ในกรณีที่มีเหล็กปลอกแบบเดี่ยว โดย A, คือ พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม

Sander (1990) ได้ทำการทดสอบชิ้นส่วนตัวอย่างกานกอนกรีตอัดแรงแบบดึงลวดอัดแรงที หลังจำนวน 36 ตัวอย่าง เพื่อศึกษาพฤติกรรมบริเวณรอบหัวสมอยึด โดยชิ้นส่วนตัวอย่างได้ ออกแบบให้ครอบกลุมถึงรูปแบบของการอัดแรงพื้นฐานที่ใช้ในงานกอนกรีตอัดแรงทั่วไป ประกอบด้วย การอัดแรงแบบชุดเดียวและการอัดแรงแบบหลายชุด ทั้งแบบตรงศูนย์ เยื้องศูนย์ และ กรณีที่ลวดอัดแรงมีกวามโค้งมาก (Curve Tendon) ซึ่งเป็นการศึกษาการกระจายของหน่วยแรง ในเหล็กเสริมคอนกรีต และพฤติกรรมของบริเวณสมอยึดที่มีและไม่มีเหล็กเสริมคอนกรีต เพื่อต้านทานแรงปริ Burdet (1990) ได้ทำการศึกษาบริเวณสมอย็ดของโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงแบบดึงลวดที หลังโดยการสร้างแบบจำลองไฟไนท์อิลิเมนต์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปชื่อ ABAQUS โดยได้ศึกษา เบื้องต้นเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองบริเวณสมอยึด อาทิ การหาขนาดของอิลิเมนต์ที่เหมาะสม ผลกระทบเนื่องจากการเชื่อมต่อระหว่างอิลิเมนต์ของแผ่นเหล็กกับอิลิเมนต์ของคอนกรีต และ การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แบบจำลองสองมิติกับแบบจำลองสามมิติโดยการสร้างแบบจำลอง บริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงตรงศูนย์แบบแรงเดียว การศึกษาให้ผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันน้อย มาก ดังนั้น Burdet จึงใช้แบบจำลองแบบสองมิติตลอดการศึกษา

รูปแบบของการอัดแรงที่ใช้ในการศึกษาสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ การอัดแรงแบบ ตรงศูนย์ การอัดแรงแบบไม่ตรงศูนย์ และการอัดแรงแบบหลายแรง ซึ่งการอัดแรงแบบไม่ตรงศูนย์ นั้นประกอบไปด้วย การอัดแรงแบบเยื้องศูนย์ การอัดแรงแบบเอียงเยื้องศูนย์ และกรณีที่ลวดอัดแรง มีความโด้งมาก ในส่วนของการอัดแรงแบบหลายชุดนั้น Burdet ได้ศึกษาเฉพาะในกรณีที่สมอยึดมี การอัดแรงเพียงสองชุดเท่านั้น ซึ่งประกอบไปด้วยกรณีที่จุดศูนย์ถ่วงของแรงสองแรงอยู่ตรงศูนย์ และเยื้องศูนย์กลางของชิ้นส่วน

ผลจากการศึกษา Burdet ได้เสนอสมการที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดและตำแหน่งของ จุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดดังแสดงในสมการที่ 2 และ 3 ซึ่งได้ถูกบรรจุไว้ ในมาตรฐานการออกแบบของ AASHTO (1996)

Wollmann (1992) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมบริเวณสมอยึดโดยพิจารณารวมผลของแรง ปฏิกิริยาจากฐานรองรับโดยทำการทดสอบด้วยการวางน้ำหนักบรรทุกให้กระทำที่กึ่งกลางของคาน ดอนกรีตอัดแรง แล้วกำหนดขนาดของน้ำหนักบรรทุกซึ่งทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาจากฐานรองรับ โดยมีก่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของขนาดแรงอัด

ผลที่ได้พบว่ารอยแตกที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดเนื่องจากแรงปริมีทิศทางเบี่ยงออกไปจาก แนวเดิมที่ได้จากการทดสอบบริเวณสมอยึดซึ่งไม่ได้พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ และ มีความสอดกล้องกันกับผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟในท์อิลิเมนต์ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของ แนวเส้นทางของแรงอัดหลัก (Main Compressive Strut) จากจุดศูนย์กลางแผ่นเหล็กแบกทานไป จนถึงจุดศูนย์ถ่วงของหน่วยแรงลัพธ์ที่ด้านท้ายของบริเวณสมอยึด และหน่วยแรงปริจะเกิดขึ้น

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ในทิศตั้งฉากกับแนวแรงอัคหลักนี้ คังนั้นจึงแสคงให้เห็นว่าอิทธิพลของแรงปฏิกิริยาจาก ฐานรองรับมีผลต่อขนาดและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด

Jo (2002) ได้ทำการสร้างแบบจำลองไฟในท์อิลิเมนต์บริเวณสมอยึดสายเคเบิลของสะพาน จึง (Cable Stayed Bridge) เพื่อศึกษาพฤติกรรมของบริเวณสมอยึดซึ่งรองรับแรงอัดที่เป็นผลมาจาก แรงดึงที่เกิดขึ้นในสายเคเบิลซึ่งมีมุมเอียงสูงกว่ามุมเอียงของแรงอัดในโครงสร้างกอนกรีตอัดแรง ทั่วไป โดยทำการศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อหน่วยแรงปริ หน่วยแรงปริที่ผิว และหน่วยแรง แบกทาน (Bearing Stress) ที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด เช่น มุมเอียงของสายเคเบิล ตำแหน่งของแผ่น เหล็กแบกทาน และ สภาวะยึดรั้งของฐานรองรับในแนวดิ่งของแบบจำลอง โดยมุมเอียงที่ใช้ ในการศึกษาจะมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 70 องศา เมื่อกระทำกับแนวราบของสะพาน จากการศึกษา พบว่าหากมุมเอียงมีค่ามากขึ้น แรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดจะมีค่ามากขึ้นด้วยโดย Jo ได้เสนอ สมการอย่างง่ายซึ่งปรับปรุงมาจากสมการของ AASHTO (1996) ที่ใช้ในการกำนวณหาแรงปริ ในบริเวณสมอยึดที่มีความลาดเอียงสายเกเบิลสูงกว่า 50 องศา ซึ่งจะให้ค่าที่สูงกว่าค่ามุมที่ใช้กับ สมการของ AASHTO ประมาณ 2 เท่า ดังแสดงไว้ในสมการที่ 5

$$T_{burst} = 0.15 \Sigma P_{u} (1-a/h) + 2 \left| \Sigma (P_{u} \sin \alpha) \right|$$

Jo ยังได้ทำการวิเคราะห์แบบจำลองไฟในท์อิลิเมนต์ของบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบ สองชุดโดยการปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างแรงทั้งสอง ซึ่งจากการศึกษาพบว่าเมื่อระยะห่าง ระหว่างแรงทั้งสองเพิ่มขึ้น แรงปริและแรงปริที่ผิวที่เกิดระหว่างแรงทั้งสอง จะมีก่าเพิ่มขึ้นด้วย แต่จะทำให้หน่วยแรงแบกทานใต้แผ่นเหล็กกลับมีก่าลดลง นอกจากนี้สภาวะยึดรั้งของฐานรองรับ ในแนวดิ่งจะมีผลต่อแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด Jo ได้ใช้ฐานรองรับตามแนวดิ่งเป็นแบบ สปริงที่มีก่ากวามแข็ง (Stiffness) ซึ่งได้มาจากการวิเกราะห์แบบจำลองไฟในท์อิลิเมนต์ของ โครงสร้างสะพานขึงตามภาพที่ 6

(5)



ข. แบบจำลองโครงสร้างสะพานขึง

ภาพที่ 6 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาของ

ที่มา: Jo (2002)

จากการศึกษาพบว่าค่าความแข็งของฐานรองรับตามแนวคิ่งมีผลต่อขนาดของแรงปริที่ เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด หากสปริงมีก่าความแข็งสูงจะทำให้แรงปรินั้นมีก่าลคลง ดังนั้น Jo จึงเสนอให้ใช้ก่าความแข็งของสปริงให้มีก่าต่ำที่สุดคือเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะให้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ ที่สูงกว่าความเป็นจริง

Hengprathanee (2004) ได้ทำการศึกษาบริเวณรอบสมอยึดของคานคอนกรีตอัดแรงแบบดึง ทีหลังโดยใช้การวิเคราะห์แบบจำลองไฟในท์อิลิเมนต์ทั้งในช่วงที่โครงสร้างมีพฤติกรรมการรับ น้ำหนักแบบเชิงเส้นและไร้เชิงเส้น (Linear and Non-linear Analysis) ซึ่งพิจารณารวมผลของแรง ปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ การศึกษานี้ใช้โปรแกรมไฟในท์อิลิเมนต์สำเร็จรูปชื่อ DIANA ช่วยในการ วิเคราะห์ โดยสามารถแบ่งงานวิจัยออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ การศึกษาโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง ที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมโดยมีผลของแรงปฏิกิริยาร่วมด้วย และโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงที่มี หน้าตัดไม่เป็นสี่เหลี่ยม เช่น หน้าตัดรูปตัวไอ (I-Section) และหน้าตัดรูปตัวที (T-Section)

สำหรับหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม Hengprathanee ใด้ทำการศึกษาพฤติกรรมของบริเวณสมอยึด ภายใต้แรงอัดแรงเดียว โดยมีรูปแบบทั้งสิ้น 4 รูปแบบ คือ แบบตรงศูนย์ แบบเยื้องศูนย์ แบบเอียง ตรงศูนย์ และแบบเอียงเยื้องศูนย์ ผลการวิเคราะห์แบบจำลองถูกนำมาเพื่อใช้ในการหาขนาดและ ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด และนำผลลัพธ์ที่ได้มาหา ความสัมพันธ์ที่เกี่ยวเนื่องกับตัวแปรชนิดต่างๆ เช่น ขนาดและตำแหน่งของแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับ ขนาดของแผ่นเหล็กแบกทาน ค่าการเยื้องศูนย์ และมุมเอียงของแรงอัด ผลจาก
การวิเคราะห์พบว่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมีผลต่อขนาดและตำแหน่งของหน่วยแรงปริที่เกิดขึ้น ในบริเวณสมอยึด ผลจากการศึกษาถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงสมการของ AASHTO (1996) ดังที่ แสดงไว้ในสมการที่ 2 และ3 โดยสมการใหม่ที่ได้จะพิจารณารวมผลของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ดังแสดงในสมการที่ 6 และ 7 โดย R คือแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ

$$T_{burst} = 0.25P(1 - \frac{a}{h - 2e}) + 0.4Psine\alpha + R(0.25 - 5sin\alpha) \ge 0.125P$$
(6)

$$D_{\text{burst}} = 0.5(\text{h-2e}) + 0.25\text{a} + 0.25(\text{h-2e})\sin\alpha + \frac{R}{P}(\text{h-2e})(1.5-10\sin\alpha)$$
(7)

งนาดและดำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่กำนวนได้จากสมการที่ปรับปรุงขึ้นมา ใหม่ ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการกำนวนอื่นๆ อาทิ สมการที่ใช้ในการกำนวนหางนาดและ ดำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริตามมาตรฐานการออกแบบของ AASHTO (สมการที่ 2 และ3) และวิธีการวิเคราะห์แบบจำลอง Strut-and-Tie จากการเปรียบเทียบ ผลที่ได้จากสมการที่ปรับปรุง ขึ้นมาใหม่มีก่าใกล้เคียงกันกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลอง Strut-and-Tie และมีก่าที่สูงกว่า ผลที่ได้จากการกำนวนโดยใช้สมการของ AASHTO (1996) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมการที่ปรับปรุง ขึ้นมาใหม่ให้ผลการกำนวนที่ปลอดภัยมากกว่าสมการการประมานก่าของ AASHTO นอกจากนั้น Hengprathanee ใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟในท์อิลิเมนต์แบบไร้เชิงเส้นในการวิเคราะห์หา กวามเหมาะสมของการจัดวางเหล็กเสริมเพื่อด้านทานแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด ซึ่งจาก การวิเคราะห์พบว่า การจัดเหล็กเสริมให้กระจายด้วยระยะห่างที่เท่ากันเป็นระยะทาง 2D_{burst} ลัดจาก แผ่นเหล็กแบกทาน จะสามารถป้องกันการเกิดรอยร้าวเริ่มแรกอันเนื่องมาจากแรงปริที่เกิดขึ้น ในบริเวณสมอยึดที่พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับได้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (PC)

2. โปรแกรมไฟในท์อิลิเมนต์สำเร็จรูปชื่อโปรแกรม ANSYS

 โปรแกรมสำเร็จรูปอื่นๆเพื่อช่วยในการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลตลอดจนทำ รายงานการศึกษา

ີວີ້ສີ່ຄາຈ

1. การศึกษาเบื้องต้น

การศึกษาเบื้องต้นจะประกอบไปด้วยการศึกษารายละเอียดทั่วไปที่ใช้ในการสร้าง แบบจำลอง ความคลาดเคลื่อนของผลการวิเคราะห์และตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาโดยมี รายละเอียดดังนี้

1.1 การเตรียมแบบจำลอง

1.1.1 การเลือกแบบจำลอง

รายละเอียดโดยทั่วไปของแบบจำลองไฟไนท์อิลิเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัยจะอาศัย ขนาดของแบบจำลองที่ใกล้เคียงกับแบบจำลองรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าของ Hengprathanee (2004) ซึ่งมี กวามสอดกล้องกันกับตัวอย่างทดสอบ B-Series ของ Sander (1990) ความสูงของแบบจำลอง จะสูงสุดที่ 16 นิ้ว แรงปฏิกิริยาจากฐานรองรับกระทำที่ด้านล่างของแบบจำลอง ในกรณีที่ แบบจำลองถูกแรงอัดกระทำแบบเยื้องศูนย์ สมอยึดจำนวน 2 ชุดจะถูกนำมาใช้ในการศึกษา โดยจุดศูนย์ถ่วงของแรงอัดที่ผ่านสมอยึดทั้งสองจะถูกกำหนดให้กระทำทั้งด้านบนและด้านล่างของ เส้นผ่านศูนย์กลางของแบบจำลองเนื่องจากจะให้ผลการวิเคราะห์ที่ต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 7



ก. การเยื้องศูนย์ทางด้านบนของแบบจำลอง ข. การเยื้องศูนย์ทางด้านล่างของแบบจำลอง

ภาพที่ 7 การเยื้องศูนย์ของแบบจำลอง

เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Hengprathanee การเชื่อมต่อกันระหว่างแผ่นเหล็กแบกทานกับ กอนกรีตนั้นจะใช้อิลิเมนต์แบบสปริงที่มีความยาว 0.001 นิ้ว มาเชื่อมต่อระหว่างจุดต่อ (Node) ของอิลิเมนต์เพื่อลดความผิดพลาดเกี่ยวกับพฤติกรรมการถ่ายแรงของแผ่นเหล็กกับกอนกรีตอันเป็น ผลกระทบมาจากพฤติกรรมแบบพัวซอง (Poisson's Effect) ของวัสดุ ในกรณีที่แรงอัดมีการเอียงทำ มุมกับเส้นผ่านศูนย์กลาง แรงในแนวดิ่งจะถูกกำหนดให้กระทำที่กอนกรีตโดยตรง

การกำหนดสภาวะยึดรั้งของฐานรองรับในแบบจำลองนั้นจะต้องกำหนดให้อยู่ในตำแหน่ง ที่ทำให้แบบจำลองมีพฤติกรรมการยึดหดตัวกล้ายโครงสร้างจริงให้มากที่สุดโดยกำหนดให้อยู่ที่ ท้ายสุดของแบบจำลองตรงข้ามกับด้านที่มีแรงอัดกระทำและกำหนดให้มีการยืดหดตัวตามแนวดิ่ง ได้อย่างอิสระเนื่องจากสภาวะยึดรั้งของฐานรองรับจะมีผลต่อขนาดและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วง ของแรงปริในบริเวณสมอยึด ภาพที่ 8 แสดงรายละเอียดโดยทั่วไปของแบบจำลองไฟไนท์อิลิเมนต์ ที่ใช้ในการศึกษา



ภาพที่ 8 รายละเอียดโดยทั่วไปของแบบจำลองไฟในท์อิลิเมนต์ที่ใช้ในการศึกษา

1.1.2 รูปแบบของการอัดแรงในสมอยึดที่ใช้ในการศึกษา

รูปแบบการอัดแรงผ่านสมอยึดที่จะศึกษาในงานวิจัยนี้จะเป็นรูปแบบที่มีการอัด แรงผ่านสมอยึดสองชุดเป็นหลัก ซึ่งประกอบด้วยรูปแบบของการอัดแรง 4 รูปแบบ คือ การอัดแรง แบบตรงศูนย์ แบบเยื้องศูนย์ แบบเอียงตรงศูนย์ และ แบบเอียงเยื้องศูนย์ โดยมีแรงอัด (P) และ แรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ (R) กระทำที่แบบจำลองดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 รูปแบบของการอัดแรงที่ใช้ในการศึกษา

1.1.3 การทคสอบหาขนาคที่เหมาะสมของอิลิเมนต์ในแบบจำลอง (Convergence

Test)

เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Hengprathanee ทุกครั้งก่อนการสร้างแบบจำลองให้ เหมาะสมต่องานวิจัยด้วยโปรแกรมไฟในท์อิลิเมนต์ ขั้นตอนการทดสอบหาขนาดที่เหมาะสมของ อิลิเมนต์ ที่ใช้ในการประมวลผลทางตัวเลขตามวิธีไฟในท์อิลิเมนต์นั้นเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอน หนึ่งก่อนการสร้างแบบจำลอง ซึ่งแสดงถึงความละเอียดของผลที่ได้จากการวิเคราะห์ จากขั้นตอน การเลือกแบบจำลอง ความสูงของแบบจำลอง (b) คือ 16 นิ้วโดยกำหนดรูปร่างของแบบจำลอง เหมือนกันทั้งหมดแต่จะแตกต่างกันที่ขนาดของอิลิเมนต์ แบบจำลองที่ใช้ทดสอบจะกำหนดค่า a/h เท่ากับ 0.20 โดย ล คือขนาดของแผ่นเหล็กแบกทาน และจะใช้ก่า 0.10h, 0.05h และ 0.025h สำหรับ ขนาดของอิลิเมนต์ รูปแบบของแรงกระทำที่ใช้คือแรงอัดบนสมอยึดเดี่ยวในตำแหน่งสูนย์กลางของ แบบจำลอง ภาพที่ 10 แสดงแบบจำลองที่ใช้ทำการทดสอบและภาพที่ 11 แสดงผลการทดสอบหา ขนาดที่เหมาะสมของอิลิเมนต์ที่ใช้ในแบบจำลอง

										_				_				
									5	1								
										2						1		
															1	10		1
П																1		7
																	1	
										0					<	1		
											1				17	2		
	_	_	 _	_	_	_	_	_	_			7	7	-	_	-	_	-



ขนาคอิลิเมนต์เท่ากับ 0.10h

ขนาดอิลิเมนต์เท่ากับ 0.05h

ขนาดอิลิเมนต์เท่ากับ 0.025h

ภาพที่ 10 แบบจำลองที่ใช้ทำการทคสอบหาขนาคอิลิเมนต์ที่เหมาะสม



ภาพที่ 11 การทคสอบหาขนาคที่เหมาะสมของอิลิเมนต์ที่ใช้ในแบบจำลอง

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าถ้าอิลิเมนต์มีขนาดใหญ่ (0.10h) ค่าของแรงปริ ในบริเวณสมอยึด จะมีความแตกต่างกันมากกับผลที่ได้จากอิลิเมนต์ที่มีขนาดเล็ก โดยขนาดของ แรงปริในบริเวณสมอยึดที่ได้จากแบบจำลองที่อิลิเมนต์มีขนาดเล็กกว่าคือ 0.05h และ 0.025h มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยประมาณ 1% และขนาดของอิลิเมนต์เท่ากับ 0.025h จะมีขนาดของ แรงปริในบริเวณสมอยึดใกล้เคียงกับผลลัพธ์จากงานวิจัยอื่นมากที่สุด เช่น งานวิจัยของ Hengprathanee และ Burdet อย่างไรก็ตามถ้าขนาดของอิลิเมนต์มีขนาดเล็กเกินไปจะส่งผลให้เวลา ในการวิเคราะห์ยาวขึ้นและยุ่งยากต่อการกำนวณ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ขนาดของอิลิเมนต์ เท่ากับ 0.05h เป็นขนาดมาตรฐานสำหรับแบบจำลองไฟไนท์อิลิเมนต์ที่ใช้ในการศึกษา

1.1.4 ตำแหน่งของของฐานรองรับแนวดิ่งด้านท้ายของแบบจำลอง

สภาวะการยึดรั้งของแบบจำลองจะรวมไปถึงฐานรองรับเพื่อต้านทาน การเคลื่อนตัวในทิศทางคิ่งและทิศทางราบ ซึ่งฐานรองรับเพื่อต้านทานการเคลื่อนตัวทางราบจะถูก กำหนดให้อยู่ที่ตำแหน่งค้านท้ายสุดของแบบจำลองตรงข้ามกับฝั่งที่มีแรงกระทำซึ่งจะใช้ฐานแบบ เลื่อนตัวได้ (Roller Support) เพื่อให้คอนกรีตยึดหดตัวได้คล้ายกับพฤติกรรมของโครงสร้างจริงและ เพื่อให้สภาพการยึดรั้งของแบบจำลองถูกต้องยิ่งขึ้น แบบจำลองจึงจำเป็นต้องมีฐานรองรับ เพื่อต้านทานการเคลื่อนตัวทางคิ่งที่ด้านท้ายของแบบจำลองโดยยังคงสามารถให้คอนกรีตยึดหดตัว ในแนวคิ่งได้ โดยตำแหน่งของฐานรองรับนี้อาจจะส่งผลกระทบต่อหน่วยแรงปริที่เกิดขึ้นตาม แนวคิ่งในแบบจำลองได้

จากการศึกษาของ Hengprathanee ใด้ทำการศึกษาการจัดวางตำแหน่งของ ฐานรองรับเพื่อต้านทานการเคลื่อนตัวทางดิ่งโดยทำการทดลองวางฐานรองรับที่ตำแหน่งต่างๆ 3 ตำแหน่งคือ ที่ตำแหน่งบนสุด ตรงกลาง และล่างสุดของแบบจำลองโดยเริ่มจากตำแหน่งของ ฐานรองรับจะส่งผลกระทบต่อหน่วยแรงในแนวดิ่งภายในแบบจำลองโดยเริ่มจากตำแหน่งที่ระยะ ประมาณ 1.5h จากหลังแผ่นเหล็กแบกทาน ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นจะไม่ส่งผลต่อขนาดและตำแหน่ง ของหน่วยแรงปริ ดังนั้นหากแบบจำลองมีความยาวเพียงพอ อิทธิพลของฐานรองรับแนวดิ่งจะไม่ ส่งผลกระทบต่อขนาดและตำแหน่งของหน่วยแรงปริอย่างแน่นอน งานวิจัยนี้จึงเลือกวางตำแหน่ง ของฐานรองรับแนวดิ่งที่ด้านบนของแบบจำลอง

1.1.5 ทิศทางของแนวแรงอัคหลัก (Main Compressive Strut Line)

ในกรณีของสมอยึดที่พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับที่มีต่อขนาด และตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริ จากการศึกษาของ Hengprathanee พบว่าก่าสูงสุดของแรง ปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดไม่ได้อยู่ในทิศทางที่ตั้งฉากกับแนวราบ หรือตั้งฉากกับแนวของลวด อัดแรง แต่จะอยู่ในทิศทางที่ตั้งฉากกับแนวของแรงอัดหลัก โดยแนวของแรงอัดหลักนี้คือ แนวศูนย์กลางของหน่วยแรงอัด ซึ่งมีทิศทางจากจุดศูนย์กลางของแผ่นเหล็กแบกทานไปจนถึง ตำแหน่งของหน่วยแรงลัพธ์ที่ระยะ 1.5 เท่าของความลึกของขึ้นส่วนจากตำแหน่งของแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับ ระยะ 1.5h นี้เป็นระยะที่หน่วยแรงอัดกระจายและแปรผันเป็นเส้นตรงโดยอ้างอิงตาม ทฤษฎีของกานอย่างง่าย (Simple Beam Theory) ดังแสดงไว้ในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แนวแรงอัคหลักภายในบริเวณสมอยึคภายใต้แรงอัคแรงเคียว

ในกรณีของสมอยึคที่มีการอัคแรงแบบสองชุคนั้น เมื่อแรงอัคทั้งสองอยู่ห่างกันพอสมควร แรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึคจะมีลักษณะที่ไม่เหมือนกันกับบริเวณสมอยึคที่มีการอัคแรงแบบ ชุคเดียว ซึ่งจากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า เมื่อแรงอัคทั้งสองอยู่ชิคกันมากๆ แรงปริที่เกิดขึ้นจะมี ลักษณะคล้ายกันกับแรงปริที่เกิดจากแรงอัดแบบชุคเดียว แต่เมื่อแรงอัคทั้งสองขยับออกห่างจากกัน พอสมกวร ภายในบริเวณสมอยึคนั้นจะมีแรงปริเกิดขึ้นอยู่ 3 แรง คือ แรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณ ด้านหลังของแผ่นเหล็กแบกทานของแรงอัคแต่ละแรง และแรงปริที่เกิดขึ้นระหว่างแรงอัคทั้งสอง จากผลการศึกษาเบื้องต้นทำให้ทราบว่า แนวของแรงอัคหลักในบริเวณสมอยึคที่มีการอัคแรงแบบ สองชุคนั้นจะประกอบไปด้วยแนวของแรงอัคหลักจำนวน 3 แนวซึ่งจะสอคกล้องกันกับลักษณะ ของแรงปริที่เกิดขึ้น คือ แนวของแรงอัคหลักที่เกิดขึ้นเฉพาะแรงอัคแต่ละตัวเรียกว่าแนวแรงอัคย่อย (T₁ และ T₂) และแนวของแรงอัคหลักที่เกิดขึ้นจากแรงลัพธ์ของแรงอัคทั้งสองแรงเรียกว่าแนว แรงอัคหลัก (T₂) ดังแสดงในภาพที่ 13

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 13 แนวแรงอัคหลักของบริเวณสมอยึคที่การอัคแรงแบบสองชุค

การกำนวณหาทิสทางของแนวแรงอัดหลักในบริเวณสมอยึดภายใต้การอัดแรงแบบสองชุด นั้นจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ การหาทิสทางของแนวของแรงอัดหลักและทิสทางของ แนวแรงอัดย่อย ซึ่งในส่วนของการสึกษาหาทิสทางของแนวของแรงอัดหลัก งานวิจัยชิ้นนี้จะนำเอา ทิสทางของแนวแรงอัดหลักในกรณีที่มีการอัดแรงแบบชุดเดียวที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองไฟ ในท์อิลิเมนต์โดยอาสัยหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นที่ระยะ 1.5 เท่าของความลึกของของแบบจำลอง ไป เปรียบเทียบกันกับแนวแรงอัดหลักของบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบสองชุดโดยจะมีทิสทาง ตั้งแต่จุดสูนย์ถ่วงของแรงอัดทั้งสองไปจนถึงจุดศูนย์ถ่วงของหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นที่ระยะ 1.5h (ดูภาพที่ 14) จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์พบว่าหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นที่ระยะ 1.5h ของ แบบจำลองทั้งสองกรณีจะมีค่าเท่ากันไม่ว่าแรงอัดทั้งสองจะอยู่ห่างกันมากน้อยเพียงใดก็ตาม จึงสรุปได้ว่าแนวแรงอัดหลักในบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบสองชุดนั้นจะมีทิสทางเดียวกัน การประยุกต์ใช้ทฤษฎีของคานอย่างง่ายในกรณีที่มีการอัดแรงแบบแรงเดียว ในทำนองเดียวกัน การประยุกต์ใช้ทฤษฎีของคานอย่างง่ายในกรณีที่มีการอัดแรงแบบแรงเดียวยังกงให้ผลที่ใกล้เกียง กันกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนท์อิลิเมนต์ งานวิจัยชิ้นนี้จึงเลือกใช้การประยุกต์ กฤษฎีของคานอย่างง่ายในการกำนาวงพาแนวของแรงอัดสัพธ์ในบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบ สองชุด



ภาพที่ 14 รูปแบบทั่วไปของแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณหาแนวแรงอัคหลัก

ตามทฤษฎีของคานอย่างง่าย หน่วยแรงที่ผิวบนและผิวล่างจะเป็นค่าหน่วยแรงที่นำมาใช้ ในการคำนวณหาตำแหน่งของจุคศูนย์ถ่วงของหน่วยแรงอัคที่ระยะ 1.50h โคยจะเป็นค่าลบเมื่อเป็น หน่วยแรงอัคและจะมีค่าเป็นบวกเมื่อเป็นหน่วยแรงคึง ซึ่งก่าของหน่วยแรงที่ผิวบนและผิวล่างนั้น สามารถที่จะคำนวณได้จากสมการที่ 8 และ 9 (Hengprathanee, 2004)

$$\sigma_t = -\frac{P}{A} - \frac{R \times 1.5h + P \cos \alpha \times e - P \sin \alpha \times (l+1.5h)}{th^2 / 6}$$
(8)

$$\sigma_b = -\frac{P}{A} + \frac{R \times 1.5h + P \cos \alpha \times e - P \sin \alpha \times (l+1.5h)}{th^2 / 6}$$
(9)

ลิขสิตจิ้ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของหน่วยแรงที่ระยะ 1.5 เท่าของความสูงชิ้นส่วนนั้นสามารถคำนวณ ได้จากวิธีคณิตศาสตร์ทั่วไปซึ่งจะแสดงไว้ในภาคผนวกที่ 1 และมุมของแนวแรงอัดหลักจะสามารถ คำนวณได้จากสมการที่ 10

$$\beta = \arctan\left[\frac{h_c - h/2 - e}{l + 1.5h}\right] \tag{10}$$

ในส่วนของการกำนวณหาทิศทางของแนวแรงอัดย่อยที่เกิดขึ้นเฉพาะแรงอัดแต่ละตัวจะทำ โดยการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาขนาดของแรงปริด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองไฟไนท์ อิลิเมนต์โดยหาขนาดของแรงปริที่ตั้งฉากกับแนวแรงอัดย่อยที่ได้กำหนดขึ้น คือ กำหนดให้แนว ของแรงอัดย่อยมีทิศทางขนานกันกับแนวของแรงอัดหลัก กำหนดให้แนวของแรงอัดย่อยอยู่ใน แนวราบและอยู่ในทิศทางจากจุดศูนย์กลางของแผ่นเหล็กแบกทานไปจนถึงจุดศูนย์ถ่วงของหน่วย แรงอัดแต่ในละส่วน ซึ่งจุดศูนย์ถ่วงของหน่วยแรงอัดของแต่ละแรงนั้นจะถูกแบ่งโดยอาศัย จุดศูนย์ถ่วงของหน่วยแรงอัดรวมทั้งหมดโดยหน่วยแรงอัดจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนดังแสดง ในภาพที่ 13 ซึ่งในส่วนนี้ได้ประยุกต์ใช้การหาจุดศูนย์ถ่วงของหน่วยแรงตามวิธีการสร้าง แบบจำลอง Strut-and-Tie ดูภาพที่ 15 ประกอบ



ภาพที่ 15 จุดศูนย์ถ่วงของหน่วยแรงตามวิธีการสร้างแบบจำลอง Strut-and-Tie (Schlaich, 1987)

จากการผลการเปรียบเทียบในบางกรณีดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 โดย T₁ คือ แรงปริที่เกิด จากแรงอัดด้านบน T₂ คือ แรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านล่างและ T_m คือ แรงปริที่เกิดขึ้นตั้งฉากกับ แนวแรงอัดลัพธ์จะเห็นว่าขนาดของแรงปริที่ตั้งฉากกับแนวแรงอัดย่อยที่มีทิศทางจากจุดศูนย์กลาง ของแผ่นเหล็กแบกทานไปจนถึงจุดศูนย์ถ่วงของหน่วยแรงอัดในแต่ละส่วนมีค่าที่สูงกว่าขนาดของ แรงปริที่ได้จากวิธีการอื่นๆ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธีการกำหนดแนวแรงอัดย่อยวิธีนี้น่าจะให้ก่าแรง ปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบขนาดของแรงปริที่ได้จากวิธีการกำหนดแนวแรงอัดย่อย

a /h	2s/h	D/D	1/h	β	β	ß	CASE1			CASE2			CASE3		
a/n		K/P	I/n			P_2	Т ₁	T_2	T _m	T ₁	T_2	T _m	T ₁	T ₂	T _m
0.10	0.40	0.05	0.125	2.64	3.75	0.69	0.095	0.074	0.059	0.095	0.076	0.059	0.091	0.073	0.052
0.10	0.40	0.10	0.125	5.27	5.20	4.48	0.098	0.076	0.078	0.096	0.081	0.078	0.085	0.053	0.051
0.10	0.40	0.15	0.125	7.36	6.26	8.21	0.102	0.112	0.100	0.097	0.113	0.098	0.079	0.048	0.051
0.10	0.65	0.05	0.125	2.64	-1.02	5.45	0.077	0.052	0.000	0.074	0.048	0.000	0.076	0.042	0.000
0.10	0.65	0.10	0.125	5.27	0.44	9.18	0.073	0.030	0.013	0.071	0.024	0.013	0.073	0.009	0.001
0.10	0.65	0.15	0.125	7.36	1.51	12.82	0.071	0.074	0.000	0.068	0.062	0.000	0.070	0.000	0.000
0.20	0.30	0.05	0.125	2.64	5.64	-1.22	0.089	0.076	0.097	0.091	0.085	0.097	0.083	0.080	0.089
0.20	0.30	0.10	0.125	5.27	7.09	2.58	0.095	0.091	0.114	0.097	0.106	0.115	0.078	0.075	0.086
0.20	0.30	0.15	0.125	7.36	8.14	6.33	0.102	0.129	0.135	0.101	0.138	0.134	0.074	0.073	0.084
0.20	0.55	0.05	0.125	2.64	0.89	3.55	0.052	0.034	0.000	0.052	0.033	0.000	0.000	0.025	0.000
0.20	0.55	0.10	0.125	5.27	2.35	7.31	0.057	0.042	0.023	0.052	0.039	0.023	0.048	0.007	0.003
0.20	0.55	0.15	0.125	7.36	3.42	11.00	0.062	0.074	0.044	0.052	0.068	0.042	0.046	0.002	0.004

หมายเหตุ Case 1 คือแนวแรงอัคหลักย่อยอยู่ในทิศทางจากจุคศูนย์กลางของแผ่นเหล็กแบกทาน ไปจนถึงจุคศูนย์ถ่วงของหน่วยแรงอัคแต่ในละส่วน

Case 2 คือแนวของแรงอัคหลักย่อยมีทิสทางขนานกันกับแนวของแรงอัคลัพธ์

Case 3 คือแนวของแรงอัดย่อยอยู่ในแนวราบ

1.2 ตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

1.2.1 อัตราส่วนของขนาดแผ่นเหล็กแบกทาน (Anchorage Ratio, a/h)

จากสมการของการคำนวณหาขนาดของแรงปริ (T_{burst}) ที่แสดงไว้ในมาตรฐาน AASHTO (2002) (สมการที่ 2) เห็นได้ว่าอัตราส่วนของขนาดแผ่นเหล็กแบกทานต่อความสูงของ โครงสร้างแบบจำลอง หรือเรียกสั้นๆ ว่าอัตราส่วนของขนาดแผ่นเหล็กแบกทาน (a/b) จะเป็นตัว แปรที่สำคัญอย่างยิ่งในการคำนวณหาค่าแรงปริ ในการศึกษาของ Burdet ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของแรงปริกับอัตราส่วนของขนาดแผ่นเหล็กแบกทาน สำหรับกรณีที่สมอยึดมีการอัดแรง เพียงแรงเดียวโดยปราสจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับพบว่า เมื่อขนาดของแผ่นแบกทานมีค่ามากขึ้น แรงปริจะมีค่าลดลง โดยผลที่คำนวณ ได้จากสมการของ AASHTO จะมีค่าต่ำกว่าผลลัพธ์จาก งานวิจัยของ Burdet เมื่อค่า a/b น้อยกว่า 0.15 ดังนั้นสมการจะใช้ในการคำนวณหาขนาดของแรงปริ ใม่ได้หาก a/b มีค่าน้อยกว่า 0.15 อย่างไรก็ตาม ค่าอัตราส่วนของขนาดแผ่นเหล็กแบกทานที่ใช้ ในงานวิจัยใช้ก่าของ a/b ที่น้อยกว่า 0.15 เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ โดยจะเลือกใช้ค่า a/b เท่ากับ 0.05, 0.10, 0.20 และ 0.30 สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ อัตราส่วนของขนาดแผ่นเหล็กแบกทานของ หัวสมอทั้งสองชุด สมมติให้อัตราส่วน a/b ของหัวสมอแต่ละชุดมีขนาดเท่ากัน (a₁/b = a₂/b = a/b)

1.2.2 มุมเอี่ยงของแรงอัด (Inclination Angle of Prestressing Force, α)

มุมเอียงของแรงอัค (α) ส่งผลต่อขนาดและดำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริ ซึ่งสังเกตได้จากความสัมพันธ์ตามสมการที่กำหนดในมาตรฐาน AASHTO โดยทั่วไปมุมเอียงของ การอัดแรงในโครงสร้างกอนกรีตอัดแรงมักมีค่าไม่เกิน 10 องสา หากมุมเอียงมีค่ามากกว่า 10 องสา รูปแบบของการอัดแรงจะเป็นลักษณะของการอัดแรงที่ลวดอัดแรงมีความโค้งมาก (Curve Tendon) ซึ่งไม่ถูกนำมาพิจารณาในงานวิจัยชิ้นนี้ จากงานวิจัยของ Hengprathanee ได้พิจารณาโดยมีค่าเท่ากับ 0, 6 และ 9 องสาตามลำดับ ซึ่งให้ผลการศึกษาที่ครอบคลุม สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ได้เลือกใช้ค่ามุม เอียงชุดเดียวกันเพื่อความเหมาะสมในการเปรียบเทียบผลการศึกษาของสมอยึดที่มีการอัดแรง มากกว่าหนึ่งชุดกับผลจากงานวิจัยของ Hengprathanee งานวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะในกรณีที่มุมเอียง ของแรงอัดทั้งสองชุดมีค่าเท่ากันคือ $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 การกำหนดมุมเอียงของแรงอัดในแบบจำลอง

1.2.3 ค่าการเยื้องศูนย์ (Eccentricity, e)

สำหรับการกำนวณก่าแรงปริตามมาตรฐาน AASHTO แรงปริในกรณีของ โครงสร้างคอนกรีตอัดแรงที่มีแรงอัดกระทำเยื้องศูนย์ สามารถกำนวณได้โดยประยุกต์ทฤษฎี การสร้างปริซึมสมมาตรที่มีความสูงเท่ากับ h-2e โดยมีตำแหน่งของแรงกระทำบนศูนย์กลางของ ปริซึมตรงกับตำแหน่งของแรงอัดบนตัวโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 17ก งานวิจัยชิ้นนี้ จะประยุกต์ใช้หลักการของทฤษฎีการสร้างปริซึมแบบสมมาตรกับการอัดแรงแบบสองชุด ดังแสดง ในภาพที่ 17ข



ข. การเยื้องศูนย์ที่มีการอัดแรงแบบสองชุด

ก. การเยื้องศูนย์ที่มีการอัดแรงแบบชุดเดียว

ภาพที่ 17 การเยื้องศูนย์ในสมอยึด

การกำหนดรูปแบบของการเยื้องศูนย์ทั้งด้านบนและด้านล่างของเส้นผ่าน ศูนย์กลางเนื่องจากเมื่อมีการพิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ค่าแรงปริที่ได้จาก การวิเคราะห์จะให้ค่าที่แตกต่างกัน ค่าการเยื้องศูนย์จะถูกกำหนดไว้หากเป็นการเยื้องศูนย์ขึ้น ด้านบนค่า e จะมีค่าเป็นบวก และหากเป็นการเยื้องศูนย์ลงด้านล่างค่า e จะมีค่าเป็นลบโดยค่า การเยื้องศูนย์ที่ใช้ประกอบด้วยค่า ± 0.10, ± 0.20 และ ± 0.30

1.2.4 ขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ (R)

งนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้ จาก งานวิจัยของ Hengprathanee แรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ (R) ที่เลือกใช้มีขนาด 0, 0.05, 0.10 และ 0.15 เท่าของขนาดของแรงอัด โดยพบว่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมีผลต่อขนาดและตำแหน่งของ จุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้น และให้ผลที่กรอบกลุมสอดกล้องกับสภาวะการทำงานจริง ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับชุดเดียวกันคือ 0, 0.05, 0.10 และ 0.15 เท่าของแรงอัดรวมทั้งหมด

1.2.5 อัตราส่วนของขนาดแผ่นเหล็กที่ฐานรองรับ (Bearing Support Ratio, b/h)

จากการศึกษาของ Hengprathanee พบว่าอัตราส่วนของแผ่นแบกทาน ที่ฐานรองรับต่อความสูงของชิ้นส่วนนั้นมีผลกระทบต่อขนาดและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรง ปริที่น้อยมากซึ่งถือได้ว่าไม่มีผลต่อการคำนวณแรงปริ ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงเลือกใช้ค่า b/h เท่ากับศูนย์เพียงค่าเดียว ส่งผลให้แรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับกระทำที่ผิวของคอนกรีตโดยตรง

1.2.6 ตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ (1)

จากงานวิจัยของ Hengprathanee ตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ที่เลือกใช้ประกอบด้วย 0.125h, 0.25h และ 0.50h โดยวัดจากขอบด้านในของแผ่นเหล็กแบกทานไป จนถึงตำแหน่งที่แรงปฏิกิริยากระทำ ซึ่งผลการวิเคราะห์สามารถแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของ ขนาดและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริในบริเวณสมอยึดได้เป็นอย่างดี ดังนั้นในงานวิจัยชิ้น นี้จึงเลือกใช้ตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาชุดเดียวกัน เพื่อความเหมาะสมในการเปรียบเทียบ ผลการศึกษา

1.2.7 อัตราส่วนของระยะห่างระหว่างแรงอัคทั้งสองชุด (2s/h)

งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นในการศึกษาผลลัพธ์จากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับต่อขนาด และตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริในบริเวณสมอยึดภายใต้การอัดแรงแบบสองชุดหรือ มากกว่า ดังนั้นตัวแปรที่สำคัญอีกตัวหนึ่ง คือระยะห่างระหว่างแรงอัดทั้งสองชุดที่กระทำบน แบบจำลอง โดยถูกกำหนดในรูปของอัตราส่วนระหว่างระยะห่างของแรงอัดทั้งสองต่อความสูง ของแบบจำลอง (2s/b) ดังแสดงในภาพที่ 18



ระยะของแรงอัคค้านบนของแบบจำถองถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของโครงสร้าง
 ระยะของแรงอัคค้านล่างของแบบจำถองถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของโครงสร้าง
 (s₁ + s₂)/2

ภาพที่ 18 ระยะห่างระหว่างแรงอัดทั้งสองชุด

ค่าของ 2s มีขนาดเท่ากับระยะจากขอบบนของแผ่นเหล็กแบกทานชุดบนไปจนถึงขอบล่าง ของแผ่นเหล็กแบกทานชุดล่าง โดยค่า 2s/h นี้ด้องมีการศึกษาอย่างละเอียดเพื่อทำให้สามารถบอกถึง การเปลี่ยนแปลงขนาดและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดหาก ระยะห่างระหว่างแรงทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลง งานวิจัยชิ้นนี้จึงกำหนดค่า 2s/h ซึ่งประกอบด้วยค่า 0.075, 0.15, 0.20, 0.30, 0.40, 0.45, 0.55, 0.65, 0.70, 0.80, 0.90 และ 0.95 โดยถือเป็นระยะที่ใกล้ และไกลที่สุดที่เป็นไปได้สำหรับการสร้างแบบจำลอง

1.3 สรุปค่าของตัวแปรต่างๆ

้ ค่าของตัวแปรต่างๆที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2

a/h	α	±e/h	l/h	R/P	2s/h
0.05	0	0.10	0.125	0.05	0.075
0.10	6	0.20	0.250	0.10	0.150
0.20	9	0.30	0.500	0.15	0.200
0.30					0.300
					0.400
					0.450
					0.550
					0.650
					0.700
					0.800
					0.900
	EIGT	k M			0.950

2. การกำนวณหาขนาดและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริ

เมื่อได้ทำการสร้างแบบจำลองโครงสร้างบริเวณสมอยึดตามที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 8 แล้ว สามารถนำแบบจำลองไปวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟในท์อิลิเมนต์เพื่อหาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่จุดต่างๆ ในบริเวณรอบสมอยึด การคำนวณหาขนาดของแรงปริจะทำได้โดยการนำค่าหน่วยแรงดึง (Tensile Stress) ที่เกิดขึ้นในทิสตั้งฉากกับแนวแรงอัดหลักมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของ หน่วยแรงกับระยะทางตามแนวแรงอัดหลัก ต่อจากนั้นจึงทำการคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟซึ่งจะ เท่ากับขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นในทิสตั้งฉากกับแนวแรงอัดหลัก ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรง ปริคือ ระยะทางจากผิวสัมผัสระหว่างแผ่นเหล็กแบกทานกับผิวคอนกรีตถึงจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ใด้ กราฟในส่วนของหน่วยแรงดึง ดังแสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ตำแหน่งและรูปของแรงปริ

 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริกับตัวแปร ต่างๆ

เมื่อได้ทำการคำนวณหาขนาดและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณ สมอยึดแล้วขั้นตอนต่อไปคือการวิเกราะห์กวามสัมพันธ์ของแรงปริและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วง ของแรงปริต่อตัวแปรต่างๆ ซึ่งกวามสัมพันธ์ที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการใช้สมการ กำนวณหาขนาดและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่ได้แสดงไว้ในมาตรฐาน AASHTO ตาม สมการที่ 2 และ 3 และสมการที่ได้ปรับปรุงขึ้นมาใหม่ซึ่งนำเสนอโดย Hengprathanee ดังสมการ ที่ 6 และ 7 เพื่อทำการวิเกราะห์หาวิธีการกำนวณหาขนาดและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่ เหมาะสมในการออกแบบเหล็กเสริมเพื่อต้านทานแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรง แบบหลายแรงต่อไป

4. การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีการอื่นๆ

สำหรับการเปรียบเทียบผลของการวิจัยกับวิธีการออกแบบเหล็กเสริมเพื่อต้านทานแรงปริ แบบอื่นๆมีรายละเอียดดังนี้

4.1 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับมาตรฐานการออกแบบของ AASHTO

จากผลการวิเคราะห์เพื่อหางนาดและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้น ในบริเวณสมอยึดสามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับงนาดและตำแหน่งของ จุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด ความสัมพันธ์นี้นำไปสู่การเปรียบเทียบผล การวิเคราะห์กับผลที่ได้จากการออกแบบโดยใช้สมการของ AASHTO (สมการที่ 2 และ 3) ซึ่งสามารถเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลการคำนวณหาแรงปริที่พิจารณาผลของแรง ปฏิกิริยาที่ฐานรองรับและผลการคำนวณหาแรงปริซึ่งไม่ได้พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับ

4.2 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับสมการที่ได้ปรับปรุงใหม่ของ Hengprathanee

Hengprathanee ได้ทำการปรับปรุงสมการการกำนวณหาขนาดและตำแหน่งของ จุดศูนย์ถ่วงของแรงปริในมาตรฐานของ AASHTO ดังแสดงไว้ในสมการที่ 6 และ 7 โดยพิจารณา รวมผลของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเปรียบเทียบผลที่ได้จากสมการที่ 6 และ 7 กับผลจากการวิเคราะห์จากงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งผลการเปรียบเทียบได้นำเสนอความแตกต่างระหว่าง แรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการอัดแรงแบบชุดเดียวกับแรงปริที่เกิดจาก การอัดแรงมากกว่าหนึ่งชุดซึ่งได้พิจารณารวมผลของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับไว้ทั้งคู่

4.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับผลที่ได้จากการใช้แบบจำลอง Strut - and - Tie

การใช้แบบจำลอง Strut – and – Tie คือวิธีการสร้างแบบจำลองเพื่อพิจารณาสภาวะ สมคุลภายในโครงสร้าง โดยการสร้างแบบจำลองอย่างง่ายโดยอาศัยการกระจายตัวของหน่วยแรง หลัก (Principal Stress) ซึ่งในแบบจำลอง Strut – and – Tie ได้สมมติให้การกระจายของหน่วย แรงอัดเป็นเส้นตรงกระทำที่ชิ้นส่วนรองรับแรงอัดเรียกว่า Strut ในส่วนของหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้น นั้นจะถูกรองรับโดยเหล็กเสริมซึ่งเป็นเส้นตรงโดยจะเชื่อมต่อกับชิ้นส่วนที่รองรับแรงอัดที่จุดต่อ (Node) การวิเกราะห์แบบจำลอง Strut – and – Tie จะใช้การวิเกราะห์แบบเชิงเส้น ซึ่งโดยทั่วไปจะ นิยมใช้การวิเกราะห์แบบโครงข้อหมุน (Truss) ซึ่งจะสามารถกำนวณหาก่าของหน่วยแรงที่เกิดขึ้น ในชิ้นส่วนต่างๆได้ ดูภาพที่ 20 ประกอบ



ก. การกระจายของหน่วยแรงหลัก ง. แบบจำลอง Strut - and - Tie

ภาพที่ 20 การสร้างแบบจำลอง Strut – and – Tie

มาตรฐานการออกแบบของ AASHTO ได้กำหนดวิธีการออกแบบเหล็กเสริมรับแรงปริ โดยใช้แบบจำลอง Strut – and – Tie ได้ ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงได้มีการเปรียบเทียบผล การวิเคราะห์กับผลการออกแบบโดยการใช้แบบจำลอง Strut – and – Tie



ภาพที่ 21 แผนผังการดำเนินการวิจัย

ผลและวิจารณ์

1. บริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดแบบตรงศูนย์

1.1 กราฟหน่วยแรงแบบเชิงเส้นในแบบจำลอง

ภาพที่ 22 แสดงการกระจายหน่วยแรงเชิงเส้นในแนวดิ่ง (S_{yy}) แนวราบ (S_{xx}) และ หน่วยแรงเฉือน (S_{xy}) ของแบบจำลองบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดแบบตรงศูนย์ ซึ่งไม่ พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับและมีค่าเฉลี่ยของหน่วยแรงตลอดหน้าตัด (σ₀) ซึ่งเท่ากับ ขนาดของแรงอัดต่อผลดูณของกวามหนากับกวามสูงของแบบจำลอง (σ₀ = P /ht) โดยมีขนาดของ a/h เท่ากับ 0.10 แรงอัดทั้งสองอยู่ห่างกันเท่ากับ 0.15h จากภาพจะเห็นว่าการกระจายหน่วยแรงเชิง เส้นจะมีลักษณะคล้ายกันกับบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงเดี่ยวแบบตรงศูนย์และหน่วยแรงมีความ สมมาตรกันตลอดแนวเส้นผ่านศูนย์กลางตามแนวราบของแบบจำลอง

เมื่อระยะห่างระหว่างแรงอัคมีค่าเพิ่มขึ้น การกระจายหน่วยแรงในแบบจำลองมีการ เปลี่ยนแปลงไปจากกรณีที่แรงอัคอยู่ใกล้กัน ภาพที่ 23 แสดงการกระจายหน่วยแรงเชิงเส้น ในแบบจำลองที่มีการอัคแรงสองชุดแบบตรงศูนย์ ซึ่งมีระยะห่างระหว่างแรงอัคทั้งสองเท่ากับ 0.40b อิทธิพลจากแรงอัคแต่ละแรงที่อยู่ห่างกัน ส่งผลให้หน่วยแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด แยกออกจากกันอย่างชัคเจน นอกจากนี้ภายในแบบจำลองยังคงมีหน่วยแรงปริอันเนื่องมาจาก อิทธิพลของแรงอัคทั้งสองแรง ซึ่งอยู่บนแนวของแรงอัคหลักในทิศทางเดียวกันกับแนวของเส้น ผ่านศูนย์กลางของแบบจำลอง ในกรณีนี้ผลการวิเคราะห์ยังแสดงถึงหน่วยแรงดึงในคอนกรีต ซึ่ง ปรากฏขึ้นระหว่างแรงอัคทั้งสอง ซึ่งเรียกว่า หน่วยแรงปริที่ผิว



ภาพที่ 22 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงเนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบตรงศูนย์เมื่อ a/h = 0.10,

2S/h = 0.15, R/P = 0.00 ແລະ σ₀= P/ht







ภาพที่ 23 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบตรงศูนย์เมื่อa/h = 0.10, 2S/h = 0.40, R/P = 0.00 และ $\sigma_0 = P/ht$

ภาพที่ 24 แสดงการกระจายหน่วยแรงเชิงเส้นในแบบจำลองของบริเวณสมอยึดที่มีการอัด แรงแบบสองชุด ซึ่งมีระยะห่างระหว่างแรงอัดทั้งสองเท่ากับ 0.65h หน่วยแรงปริที่เกิดขึ้น ในแบบจำลองได้รับอิทธิพลจากแรงอัดแต่ละตัวซึ่งแยกออกจากกันอย่างชัดเจน โดยหน่วยแรงปริ ที่เกิดจากอิทธิพลของแรงอัดทั้งสองร่วมกันมีค่าน้อยมาก อย่างไรก็ตามการกระจายของหน่วยแรง ในแบบจำลองยังอยู่ในลักษณะสมมาตรตลอดเส้นผ่านสูนย์กลางของแบบจำลอง และหน่วยแรงปริ ที่ผิวที่เกิดขึ้นที่บริเวณระหว่างแรงอัดทั้งสองมีก่าสูงขึ้นกว่าหน่วยแรงปริที่ผิวของแบบจำลองชุด ที่แล้ว



ภาพที่ 24 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบตรงศูนย์เมื่อa/h = 0.10, 2S/h = 0.65, R/P = 0.00 และ $\sigma_0 = P/ht$

ภาพที่ 25 และ 26 แสดงกราฟการกระจายหน่วยแรงเชิงเส้นในแบบจำลองบริเวณสมอยึด ที่มีการอัดแรงสองชุดแบบตรงศูนย์ โดยมีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับขนาดเท่ากับ 0.05P กระทำ ที่ตำแหน่ง 0.125h จากผิวหน้าคอนกรีตซึ่งรับแรงอัดจากแผ่นเหล็กแบกทาน หน่วยแรงปริที่เกิดขึ้น จะมีลักษณะที่ไม่สมมาตรตลอดเส้นผ่านศูนย์กลางตามแนวราบของแบบจำลอง ความไม่สมมาตร กันของหน่วยแรงปริ เป็นผลมาจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับที่มากระทำ ซึ่งทำให้การกระจาย หน่วยแรงในแบบจำลองแตกต่างไปจากกรณีของแบบจำลองที่ปราสจากผลจากแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับ นอกจากนี้ภายในแบบจำลองยังเกิดหน่วยแรงขึ้นที่บริเวณฐานรองรับในแนวดิ่งที่ผิว ด้านของส่วนท้ายในแบบจำลอง ซึ่งเป็นผลมาจากแรงต้านในแนวดิ่งจากฐานรองรับดังกล่าว โดยหน่วยแรงที่เกิดขึ้นนี้ไม่ส่งผลกระทบต่อขนาดและตำแหน่งของหน่วยแรงปริหากแบบจำลอง นั้นมีความยาวที่เพียงพอ ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงเน้นความเข้าใจที่การศึกษาขนาดและตำแหน่งของ จุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดซึ่งมีความยาวของแบบจำลองตั้งแต่ 1.50 ถึง 2 เท่า ของความสูงแบบจำลองซึ่งจะไม่ได้รับอิทธิพลของหน่วยแรงจากฐานรองรับด้านบน



ภาพที่ 25 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบตรงศูนย์เมื่อa/h = 0.10, 2S/h = 0.15, R/P = 0.05 และ $\sigma_0 = P/ht$



ภาพที่ 26 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบตรงศูนย์เมื่อa/h = 0.10, 2S/h = 0.65, R/P = 0.05 และ $\sigma_0 = P/ht$

ในทำนองเดียวกันภาพที่ 27 และ 28 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายหน่วยแรงในกรณี ที่แบบจำลองบริเวณสมอยึคมีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับขนาด 0.15P กระทำ ซึ่งเป็นขนาดของแรง ปฏิกิริยาที่ฐานรองรับที่สูงที่สุดที่ใช้กับงานวิจัยชิ้นนี้ ผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับนี้ ทำให้ การกระจายหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในแบบจำลองมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าแบบจำลองที่รองรับแรง ปฏิกิริยาขนาด 0.05P โดยในกรณีที่แรงอัดสองชุดอยู่ใกล้กันดังภาพที่ 27 การกระจายของหน่วยแรง ปริจะมีลักษณะเบี่ยงเบนขึ้นไปทางด้านบนของแบบจำลองมากกว่าแบบจำลองชุดที่แล้ว และ ในกรณีที่แรงอัดสองชุดอยู่ห่างกันมากดังภาพที่ 28 หน่วยแรงปริที่เกิดจากอิทธิพลของแรงอัด ด้านล่างใกล้กับตำแหน่งที่แรงปฏิกิริยากระทำจะมีค่าน้อยลงมากจนอาจเกือบไม่มีค่า ซึ่งเป็นผลมา จากหน่วยแรงที่เกิดจากแรงอัดด้านล่างได้หักล้างกันไปกับหน่วยแรงที่เกิดจากแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับ



ภาพที่ 27 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบตรงศูนย์เมื่อ a/h = 0.10, 2S/h = 0.15, R/P = 0.15 และ $\sigma_0 = P /ht$



ภาพที่ 28 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบตรงศูนย์เมื่อa/h = 0.10, 2S/h = 0.65, R/P = 0.15 และ $\sigma_0 = P/ht$

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

จากภาพที่ 29 แสดงการกระจายหน่วยแรงเชิงเส้นในทิศทาง Y-Y ที่เกิดจากแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับอย่างเดียว ซึ่งแสดงให้เห็นอิทธิพลเนื่องจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ มีผลกระทบต่อ งนาดและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นจากแรงอัดที่อยู่ใกล้กันกับแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับและเริ่มส่งผลกระทบน้อยลงเมื่อแรงอัดอยู่ห่างจากฐานรองรับมากขึ้น



ภาพที่ 29 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y ที่เกิดจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อR/P=0.15, l/h=0.125 และ $\sigma_0=P/ht$

1.2 พฤติกรรมบริเวณสมอยึดในกรณีปราศจากผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ

จากภาพที่ 30 แสดงกวามสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับ ระยะห่างระหว่างแรงอัดทั้งสองชุดโดยวัดจากจุดศูนย์กลางของแรงอัด ลักษณะของการกระจาย หน่วยแรงในแบบจำลองสามารถแบ่งพฤติกรรมของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่รองรับ แรงอัดแบบสองชุดได้เป็น 3 แบบโดยใช้ระยะห่างระหว่างแรงอัดทั้งสองเป็นเกณฑ์ ซึ่งในช่วงแรก จะเป็นกรณีที่แรงอัดทั้งสองอยู่ห่างกันไม่เกิน 1.50 เท่าของขนาดแผ่นเหล็กแบกทาน พฤติกรรมของ แรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดในกรณีนี้จะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบ เดี่ยว โดยขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักจะมีก่าสูงกว่าแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดในกรณีนี้จะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบ เดี่ยว โดยขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักจะมีก่าสูงกว่าแรงปริที่เกิดขึ้นเนื่องจาก แรงอัดแต่ละชุดหรือแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย โดยผลการศึกษาจะสอดกล้องกันกับวิธีการ ออกแบบที่ถูกบรรจุไว้ในมาตรฐานของ AASHTO (2002) ซึ่งกล่าวว่า หากสมอยึดที่มีการอัดแรง มากกว่าหนึ่งชุดโดยแรงทั้งสองนั้นอยู่ห่างกันไม่เกิน 1.50 เท่าของขนาดแผ่นเหลีกแบกทาน ให้ถือ ว่าแรงปริที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากอิทธิพลของแรงอัดทั้งสองร่วมกัน โดยขนาดของแผ่นเหล็กแบกทาน ที่ใช้ในสมการที่ 2 จะเท่ากับระยะทางรวมทั้งหมดของแผ่นเหล็กแบกทานทั้งสองดังแสดงไว้ ในภาพที่ 3ข



ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่างแรงอัดทั้ง สองชุดเมื่อ a/h = 0.10, R/P = 0.00

ในช่วงที่สองเป็นกรณีที่แรงอัดทั้งสองชุดอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50 เท่าของขนาดแผ่น เหล็กแบกทานแต่ไม่เกิน 0.50 เท่าของกวามสูงของแบบจำลอง จากภาพที่ 30 เมื่อระยะห่างระหว่าง แรงทั้งสองเท่ากับ 0.40 เท่าของกวามสูงแบบจำลอง แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยจะมีก่าสูง กว่าแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก โดยจะเห็นว่าเมื่อระยะห่างระหว่างแรงอัดทั้งสองมีก่ามาก ขึ้น แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก จะมีก่าลดลงอย่างรวดเร็วจนเข้าใกล้สูนย์เมื่อระยะห่าง ระหว่างแรงอัดทั้งสองมากกว่า 0.50 เท่าของกวามสูงของแบบจำลอง ซึ่งในขณะเดียวกันจะมีแรงดึง เกิดขึ้นระหว่างแรงอัดทั้งสองที่บริเวณผิวด้านหน้าที่รับแรงอัดของแบบจำลอง แรงดึงนี้กือ แรงปริ ที่ผิว ซึ่งจะมีก่าสูงขึ้นหากระยะห่างระหว่างแรงอัดทั้งสองมีก่าสูงขึ้น ดังนั้นในกรณีนี้จะมีแรงปริ ที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดอยู่สามแห่งด้วยกัน คือ แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดยั่งสองร่วมกัน

ภาพที่ 30 ยังแสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากสมการของ AASHTO ซึ่งจะเห็นว่า ในช่วงนี้ค่าของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักยังจะมีค่าที่สูงกว่าแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว แรงอัดย่อยและมีค่าเท่ากันเมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันเป็นระยะเท่ากับ b/2 ในช่วงสุดท้ายเป็นกรณีที่ แรงอัดทั้งสองอยู่ห่างกันมากกว่า 0.50 เท่าของความสูงแบบจำลอง แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัด

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

หลักซึ่งเป็นผลมาจากแรงอัดทั้งสองชุดจะมีค่าน้อยมาก ในช่วงนี้จึงมีเฉพาะแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว แรงอัดย่อยและแรงปริที่ผิวเท่านั้น โดยผลการศึกษานี้มีความสอดคล้องกันกับการศึกษาบริเวณสมอ ยึดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่รองรับแรงอัดแบบสองชุดโดยไม่พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ของ Burdet (1990) ซึ่งสามารถสรุปได้ตามภาพที่ 31



ภาพที่ 31 แรงภายในที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดภายใต้การอัดแรงสองชุด

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

1.3 แรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดในกรณีรวมผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น บริเวณสมอยึดที่รองรับแรงอัดสองชุดนั้นสามารถแบ่ง พฤติกรรมของการเกิดแรงปริในบริเวณสมอยึดได้เป็น 3 แบบ โดยขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่าง แรงอัดทั้งสอง ในภาพที่ 32 และ 33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด กับอัตราส่วนระหว่างระยะห่างของแรงอัดทั้งสองต่อความสูงของแบบจำลองที่มีตำแหน่งของแรง ปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเท่ากับ 0.125h, 0.25h และ 0.50h โดยมีค่า a/h เท่ากับ 0.10 และ R/P เท่ากับ 0.05, 0.15 ตามลำดับ โดย สัญลักษณ์ T_m คือ ขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก T₁ และ T₂ คือ ขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยที่เกิดจากแรงอัดด้านบนและด้านล่างของ แบบจำลองตามลำดับ ดังที่ได้แสดงไว้แล้วในภาพที่ 13

1.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง T_{burst} กับ 2s/h

จากความสัมพันธ์จะเห็นว่าพฤติกรรมของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดจะมี ลักษณะคล้ายคลึงกันกับพฤติกรรมของบริเวณสมอยึดที่ไม่ได้พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ ฐานรองรับ แต่จะแตกต่างกันที่ขนาดของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านบนและด้านล่างจะมีขนาดที่ ไม่เท่ากัน โดยในภาพที่ 32 เป็นชุดแบบจำลองที่มีค่า R/P เท่ากับ 0.05 ขนาดของแรงปริด้านล่างจะมี ค่าสูงกว่าแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านบนในช่วงที่ระยะห่างระหว่างแรงอัดทั้งสองมีค่าไม่เกิน 0.50h เนื่องมาจากแรงอัดที่ด้านล่างอยู่ใกล้กันกับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับจึงทำให้หน่วยแรงปริที่เกิดจาก แรงอัดด้านล่างถูกหักล้างไปบางส่วน ค่าของ T₂ จึงมีค่าน้อยกว่าค่าของ T₁ ในทำนองเดียวกัน ภาพที่ 33 แสดงผลการวิเคราะห์ในกรณีที่แบบจำลองมีค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับจึงทำให้หน่วยแรงปริที่เกิดจาก เท่ากับ 0.15 จากการที่แรงปฏิกิริยาที่มีค่าสูงนี้ทำให้แนวแรงอัดย่อยด้านล่างมีทิศเปลี่ยนไปมากจน ทำให้หน่วยแรงดึงที่เกิดจากแรงอัดด้านล่างกับหน่วยแรงที่เกิดจากแรงปฏิกิริยามีทิศทางที่ทำให้ หน่วยแรงดึงในทิศตั้งฉากกับแนวแรงอัดย่อยมีค่าสูงขึ้น ค่า T₂ จึงมีค่าสูงขึ้นจนใกล้เคียงกันกับค่า T₁ โดยในกรณีที่ l/h เท่ากับ 0.125 นั้นค่าของ T, จะมีค่ามากกว่า T₁

สำหรับกรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 0.50h ภาพที่ 32 มีขนาดของ R/P เท่า 0.05 ค่า T₂ ยังมีค่าต่ำกว่า T₁ ยกเว้นในกรณีที่ l/h มีค่าเท่ากับ 0.50 ค่าของ T₂ จะมีค่าสูงขึ้นจน ใกล้เคียงกับค่าของ T₁ เนื่องมาจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กันมากกับแรงอัด ด้านล่าง ทำให้หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในทิศตั้งฉากกับแนวแรงอัดย่อยมีค่าสูง จึงทำให้ค่า T₂ มีค่า

43

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

สูงขึ้นมากเช่นเดียวกันกับในภาพที่ 33 ค่าของ T₂ มีค่ามากกว่า T₁ ซึ่งมี R/P เท่ากับ 0.15 และ l/h เท่ากับ 0.50

ในกรณีแบบจำลองที่แรงอัดอยู่ห่างกันมากและไม่มีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ กระทำ แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักจะไม่เกิดขึ้นหรือมีค่าเป็นศูนย์ หากกรณีที่แบบจำลองมี แรงปฏิกิริยากระทำ จะมีแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก ซึ่งเป็นผลมาจากแรงปฏิกิริยาที่ ฐานรองรับ แต่งนาดของแรงปริจะมีค่าน้อยมาก ซึ่งหากเปรียบเทียบกับงนาดของแรงปฏิกิริยา งนาดของแรงปริจะมีค่าประมาณ 0.20 เท่าของขนาดของแรงปฏิกิริยา ซึ่งเป็นค่าที่น้อยมากเมื่อเทียบ กับแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย แต่อย่างไรก็ตามงนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัด หลักจะมีค่าสูงขึ้นหากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมีค่ามากขึ้นซึ่งจะสอดคล้องกับค่าที่ได้จากสมการ ที่ 6 ของ Hengprathanee (2004) ในพจน์ที่แสดงแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับที่ทำให้แรงปริมีค่า เพิ่มขึ้น คือ R(0.25-5sin&) โดยมุมเอียงมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อแรงปฏิกิริยาที่ ฐานรองรับมีค่าสูงขึ้นจะทำให้ขนาดของแรงปริทิ่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย



ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่างแรงอัดทั้ง สองเมื่อ a/h = 0.10, R/P = 0.05



ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่างแรงอัดทั้ง สองเมื่อ a/h = 0.10, R/P = 0.15

1.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง T_{burst} กับ I/h

ภาพที่ 34 ถึง 39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณ สมอยึดที่มีแรงปฏิกิริยาขนาดเท่ากับ 0.05P, 0.10P และ 0.15P กับตำแหน่งของแรงปฏิกิริยา จาก ภาพที่ 34 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริกับตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ ระยะห่างระหว่างแรงอัดเท่ากับ 0.15h โดยมีขนาด a/h เท่ากับ 0.10 พฤติกรรมของแรงปริที่เกิดขึ้น ในบริเวณสมอยึดจะอยู่ในช่วงที่ก่า 2s/h \leq 1.50a (ภาพที่ 31ก) ดังนั้นจากรูปจะเห็นว่าก่าของ T_m จะมีก่าสูงกว่าก่าของ T₁ และ T₂ ซึ่งจะมีก่าลดลงเมื่อตำแหน่งของแรงปฏิกิริยามีระยะห่างจากผิวรับ แรงอัดมากขึ้นโดยก่าของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่มี R/P เท่ากับ 0.15 จะมีก่าสูงที่สุด เมื่อเทียบกับแรงปริในกรณีที่แรงปฏิกิริยามีขนาดเท่ากับ 0.05 และ 0.10 ตามลำดับ

ภาพที่ 35 เป็นกรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกันเท่ากับ 0.40h และมีขนาดของ a/h เท่ากับ 0.10 ซึ่งแรงอัดในกรณีนี้จะอยู่ห่างกันมากกว่ากรณีที่แล้ว พฤติกรรมของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณ สมอยึดจะอยู่ในช่วงที่ค่า 2s/h อยู่ระหว่าง 1.50a และ 0.50h (ภาพที่ 30ข) จะเห็นว่าค่าของ T₁ และ T₂ มีค่าสูงกว่าค่าของ T_m โดยในส่วนของ T₂ จะมีค่าที่น้อยกว่า T₁ แต่ในบางกรณีค่า T₁ และ T₂ จะมี ค่าที่ใกล้เคียงกันกับค่าของ T_m เนื่องจากแรงอัดที่ด้านล่างของแบบจำลองอยู่ใกล้กันกับแรงปฏิกิริยา และอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้ผลจากแรงปฏิกิริยาหักล้างกันกับแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านล่าง ค่าของ T₂ จึงมีค่าน้อยกว่า T₁ แต่ก็มีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าของ T_m ค่าแรงปริเหล่านี้มีค่าลดลงเมื่อตำแหน่งของ แรงปฏิกิริยามีค่ามากขึ้น

ภาพที่ 36 เป็นกรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกันเท่ากับ 0.65h และมีขนาดของ a/h เท่ากับ 0.10 พฤติกรรมของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดจะอยู่ในช่วงที่ค่า 2s/h มากกว่า 0.50h (ภาพที่ 31ก) ก่าของ T_m จะมีค่าน้อยมาก ก่าของ T₁ และ T₂ มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะทางจากผิวหน้า แบบจำลองถึงตำแหน่งของแรงปฏิกิริยามีก่ามากขึ้น ก่าที่สูงที่สุดในกรณีนี้ คือ ก่า T₁ ที่มีขนาดของ R/P เท่ากับ 0.05 และ 1/h เท่ากับ 0.50

ภาพที่ 37 เป็นกรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกันเท่ากับ 0.30h มีขนาดของ a/h ที่ใหญ่ขึ้นคือ 0.20 พฤติกรรมของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดเกิดขึ้นกล้ายกับกรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกัน 0.15h และ a/h เท่ากับ 0.10 (ภาพที่ 34)

ภาพที่ 38 เป็นกรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกันเท่ากับ 0.55h และมีขนาดของ a/h เท่ากับ 0.20 ซึ่งเป็นกรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 0.50h เห็นได้ว่าค่าของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอ ยึดในกรณีนี้เป็นค่าที่น้อยมากเมื่อเทียบกับกรณีอื่นๆ โดยค่า T₁ และ T₂ มีค่าสูงกว่าค่า T_m และ ในส่วนของ T₁ กับ T_m นั้นจะมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาอยู่ไกลจากผิวหน้า แบบจำลองมากขึ้น

ภาพที่ 39 เป็นกรณีที่สมอยึดมีแผ่นเหล็กแบกทานขนาดใหญ่ คือ a/h เท่ากับ 0.30 และแรงอัดทั้งสองอยู่ห่างกันเท่ากับ 0.45 พฤติกรรมของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดจะอยู่ทั้ง ในช่วงที่ก่า 2s/h ≤ 1.50a (ภาพที่ 31ก) และ 1.50a ≤ 2s/h ≤ 0.50h (ภาพที่ 31v) กล่าวคือ ในกรณีนี้ ก่า 1.50a จะใกล้เกียงกันกับก่า 0.50h ดังนั้นก่า T_m, T₁ และ T₂ จึงมีก่าที่ใกล้เกียงกันโดย จะมีก่า ลดลงเมื่อระยะทางจากผิวหน้าแบบจำลองถึงตำแหน่งของแรงปฏิกิริยามีก่าเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริกับตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ



ภาพที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริกับตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ 2s/h = 0.40, a/h = 0.10

47



ภาพที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริกับตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ 2s/h = 0.30, a/h = 0.20



ภาพที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริกับตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ

2s/h = 0.55, a/h = 0.20



ภาพที่ 39 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริกับตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ 2s/h = 0.45, a/h = 0.30

ายามัยเกษตรต่าสตร์

1.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง T_{burst} กับ R/P

ภาพที่ 40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับ ขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อระยะห่างระหว่างแรงอัดเท่ากับ 1.50a ดังได้กล่าวมาแล้ว ถ้าแรงอัดสองชุดอยู่ห่างกันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.50a แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักจะมีค่าสูง ที่สุดเมื่อเทียบกับแรงปริบนแนวแรงอัดอื่นๆ จากภาพแสดงแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่มี ขนาดของ a/b เท่ากับ 0.05, 0.10 และ 0.20 โดยมีค่า 1/b เท่ากับ 0.125 ซึ่งเป็นกรณีที่แรงปฏิกิริยา อยู่ในตำแหน่งที่ทำให้เกิดแรงปริสูงที่สุด จะเห็นว่าขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่มี ขนาดของแผ่นเหล็กแบกทานเล็กที่สุด(a/b) จะให้ค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากบริเวณสมอยึดที่มีขนาด ของแผ่นเหล็กแบกทานที่ใหญ่กว่า และจะมีค่าของแรงปริสูงขึ้นเมื่อแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมีค่า สูงขึ้น

ภาพที่ 41 แสดงความสัมพันธ์ของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยซึ่งเกิดจาก แรงอัดแต่ละแรงกับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับซึ่งมีระยะห่างระหว่างแรงอัดมากกว่า 1.50a โดยในกรณีนี้แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยจะมีค่าสูงกว่าแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก โดยมีขนาดของแผ่นเหล็กแบกทาน a/b เท่ากับ 0.10 และระยะห่างของฐานรองรับ 1/b เท่ากับ 0.125 จากภาพจะเห็นว่าแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่มีระยะห่างระหว่างแรงอัดที่น้อยคือ 2s/b เท่ากับ 0.40 จะให้ค่าของแรงปริที่มากกว่าบริเวณสมอยึดที่มีระยะห่างระหว่างแรงอัดที่น้อยคือ 2s/b เท่ากับ 0.40 จะให้ค่าของแรงปริที่มากกว่าบริเวณสมอยึดที่มีระยะห่างระหว่างแรงอัดที่มากกว่าคือ 2s/b เท่ากับ 0.65 ซึ่งค่าของ T₂ จะมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า T₁ เมื่อขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐาน รับรองมีค่าสูงขึ้นเนื่องมาจาก T₂ ได้รับผลกระทบจากแรงปฏิกิริยามากกว่า T₁ ภาพที่ 41 แสดง ความสัมพันธ์ของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ในกรณีที่แบบจำลองมีขนาดของแผ่นเหล็กแบกทานที่ใหญ่ขึ้นคือ a/b เท่ากับ 0.20 และระยะห่าง ระหว่างแรงอัด 2s/b เท่ากับ 0.55 จะเห็นแนวโน้มของกวามสัมพันธ์จะมีลักษณะคล้ายกันกับ ภาพที่ 41 แต่จะมีขนาดของแรงปริที่ต่ำกว่า เนื่องจากขนาดของแผ่นเหล็กแบกทานมีขนาด ที่ใหญ่กว่า


ภาพที่ 40 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับขนาดของแรง ปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อระยะห่างระหว่างแรงอัดเท่ากับ 1.50a (l/h = 0.125)



ภาพที่ 41 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับขนาดปฏิกิริยาที่ ฐานรองรับเมื่อระยะห่างระหว่างแรงอัดมีค่ามากกว่า 1.50a (a/h = 0.10, l/h = 0.125)

ลิขสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 42 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับขนาดปฏิกิริยา เมื่อระยะห่างระหว่างแรงอัดมีค่ามากกว่า 1.50a (a/h = 0.20, l/h = 0.125 และ 0.50)

1.3.4 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับผลจากสมการของ Hengprathanee

การกำนวณจากสมการของ Hengprathanee ตามสมการที่ 6 ซึ่งเป็นสมการที่ได้ ปรับปรุงมาจากสมการของ AASHTO (1996) โดยการวิเกราะห์แบบจำลองด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์ ของบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบแรงเดียว ซึ่งจะสามารถนำสมการมาประยุกต์ใช้กับบริเวณ สมอยึดที่มีการอัดแรงแบบหลายแรงได้โดยในกรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกันไม่เกิน 1.50a จะถือว่าบริเวณ สมอยึดเป็นการอัดแรงแบบแรงเดียว ซึ่งจนาดจองแผ่นเหล็กแบกทานที่ใช้ในสมการจะเท่ากับระยะ ตั้งแต่จอบบนจองแผ่นเหล็กแบกทานด้านบนถึงจอบล่างจองแผ่นเหล็กแบกทานด้านล่างจอง แบบจำลองดังแสดงในภาพที่ 43 ซึ่งจนาดจอง a/b ที่ใช้ในสมการจะเท่ากับ (2s+a)/b หรือ a' และ ในกรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยจะมีก่าสูงกว่าแรงปริที่ เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก ดังนั้นการประยุกต์ใช้สมการที่ 6 เพื่อกำนวณหาจนาดจองแรงปริที่ เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก ดังนั้นการประยุกต์ใช้สมการที่ 6 เพื่อกำนวณหาจนาดจองแรงปริที่ เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก ดังนั้นการประยุกต์ใช้สมการที่ 1 เพื่อกำนวณหาจนาดจองแรงปริที่ เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก ดังนั้นการประยุกต์ใช้สมการที่ 6 เพื่อกำนวณหาจนาดจองแรงปริที่ เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก ดังนั้นการประยุกต์ใช้สมการที่ 6 เงิงการแรงเป็นตัวแบ่งบริเวณสมอยึดออกเป็น ส่วนๆ ดังแสดงในภาพที่ 44 โดยในแต่ละส่วนจะพิจารณาเป็นบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบแรง เดียวและมีความสูงของบริเวณสมอยึดเท่ากับ b' ซึ่งจะมีก่าเท่ากับค่าที่น้อยที่สุดระหว่างสองเท่าของ (s,+s,)/2 กับสองเท่าของระยะจากจุดศูนย์กลางของแรงอัดถึงขอบของแบบจำลองด้านที่ใกล้ที่สุด

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 43 ขนาดของแผ่นเหล็กแบกทานที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดของแรงปริจากสมการที่ 6



ภาพที่ 44 ขนาคของความสูงของปริซึมที่ใช้ในการคำนวณหาขนาคของแรงปริจากสมการที่ 6

จากภาพที่ 40 จะเห็นว่าแรงปริที่เกิดบนแนวแรงอัดหลักที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี ไฟไนท์อิลิเมนต์ของแบบจำลองบริเวณสมอยึดที่มีแรงอัดแบบสองแรงและอยู่ห่างกันเท่ากับ 1.50a จะมีค่าต่ำกว่าและมีแนวโน้มที่สอดกล้องกันกับค่าที่ได้จากสมการของ Hengprathanee ซึ่งแสดงให้ เห็นว่าสมการของ Hengprathanee นั้นจะให้ผลการคำนวณที่ปลอดภัยสำหรับการออกแบบบริเวณ สมอยึดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าทีมีการอัดแรงสองชุดแบบตรงศูนย์โดยระยะห่างระหว่างแรงอัดมีค่า ไม่เกิน 1.50 เท่าของขนาดแผ่นเหล็กแบกทาน

สำหรับกรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a จากภาพที่ 41 และ ภาพที่ 42 จะเห็นว่า ขนาดของแรงปริที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟในท์อิลิเมนต์นั้นจะมีค่าที่ต่ำกว่าค่าที่คำนวณได้ จากสมการของ Hengprathanee มีเพียงกรณีที่บริเวณสมอยึดมีระยะห่างระหว่างแรงอัด 2s/h เท่ากับ

53

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

0.40h และR/P เท่ากับ 0 เท่านั้นที่ผลการวิเคราะห์ให้ค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากสมการ โดยมีค่าสูงกว่า ประมาณร้อยละ 4 ซึ่งเป็นค่าที่น้อยมากเมื่อเทียบกับขนาดของแรงปริ แต่อย่างไรก็ตามในสมการ ของ Hengprathanee ยังได้มีการกำหนดขนาดของแรงปริที่น้อยที่สุดที่ยอมให้อยู่ที่ 0.125∑P ซึ่งจะมี ค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟในท์อิลิเมนต์ ดังนั้นขนาดของแรงปริที่คำนวณได้จาก สมการที่ 6 จะให้ผลที่ครอบคลุมในกรณีที่บริเวณสมอยึดมีการอัดแรงสองชุดแบบตรงสูนย์ โดยระยะห่างระหว่างแรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a

จากความสัมพันธ์ทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นสามารถนำเสนอการปรับปรุง วิธีการคำนวณหาขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่รองรับแรงอัดสอง ชุดแบบตรงสูนย์ซึ่งพิจารณารวมผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับโดยแบ่งตามระยะห่างระหว่าง แรงอัดได้ดังนี้

 กรณีที่บริเวณสมอยึดมีระยะห่างระหว่างแรงอัดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.50 เท่าของ ขนาดแผ่นเหล็กแบกทาน (2s/h ≤ 1.50a) แรงปริที่เกิดขึ้นสูงที่สุดจะเกิดบนแนวแรงอัดหลักและมีค่า สูงขึ้นเมื่อแรงปฏิกิริยามีค่ามากขึ้น ดังนั้นการคำนวณหาขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด จะสามารถใช้สมการของ Hengprathanee (สมการที่ 6) ด้วยการใช้ขนาดรวมของแผ่นเหล็กแบก ทานดังแสดงไว้ในภาพที่ 43

$$T_m = 0.25\Sigma P(1 - \frac{a'}{h}) + 0.25R \ge 0.125\Sigma P$$
 (11)

 กรณีที่บริเวณสมอยึดมีระยะห่างระหว่างแรงอัดมากกว่า 1.50a แต่ไม่เกิน 0.50h (1.50a < 2s/h < 0.50h) แรงปริจะเกิดขึ้นสามแรงคือ แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยซึ่งเกิดจาก แรงอัดแต่ละแรงและแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก ค่าของแรงปริที่มากที่สุดจะเกิดขึ้นบน แนวแรงอัดย่อย การคำนวณหาขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดจะสามารถใช้สมการ ของ Hengprathanee (สมการที่ 6) โดยการใช้ทฤษฏีปริซึมสมมาตรคำนวณหาแรงปริที่เกิดขึ้นบน แนวแรงอัดย่อยและใช้ขนาดรวมของแผ่นเหล็กแบกทานในการคำนวณหาแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว แรงอัดหลัก ซึ่งในทางการออกแบบแล้วกวรใช้ค่าที่ได้จากการคำนวณที่มากที่สุดเป็นก่าที่ใช้ในการ ออกแบบ

$$T_{\rm m} = 0.25 \sum P(1 - \frac{a'}{h}) + 0.25 R \ge 0.125 \sum P$$
 (11)

$$T_{1,2} = 0.25P_{1,2}(1 - \frac{a}{h'}) + 0.25R \ge 0.125\Sigma P$$
(12)

ลิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

 กรณีที่บริเวณสมอยึดมีระยะห่างระหว่างแรงอัดมากกว่า 0.50h (2s/h > 0.50h) แรงปริจะเกิดขึ้นเฉพาะบนแนวแรงอัดย่อยโดยแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักนั้นจะมีค่า น้อยมาก การกำนวณหาขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดจะสามารถใช้สมการที่ 6 โดยการประยุกต์ใช้ทฤษฏีปริซึมสมมาตรกำนวณหาแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย

$$T_{1,2} = 0.25P(1 - \frac{a}{h'}) + 0.25R \ge 0.125\Sigma P$$
(13)

โดย

- T_m = แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก
- T_{1,2} = แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย

= แรงอัด

a

a'

h

= ขนาดของแผ่นเหล็กแบกทาน

- = ขนาครวมของแผ่นเหล็กแบกทาน
- = ความสูงของบริเวณสมอยึด
- h' = ความสูงของปริซึมสมมาตร มีค่าเท่ากับ ค่าที่น้อยที่สุดระหว่างสองเท่าของ (s₁+s₂)/2 กับสองเท่าของระยะจากจุดศูนย์กลางของแรง อัดถึงขอบของแบบจำลอง
 R = แรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ

1.4 ระยะห่างของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริจากแผ่นเหล็กแบกทาน

1.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง D_{burst} กับ 2s/h ในกรณีที่ไม่ได้พิจารณาแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับ

ภาพที่ 45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริจาก แผ่นเหล็กแบกทานกับระยะห่างระหว่างแรงอัดจากสมอ 2 ชุดที่มีขนาดของแผ่นเหล็กแบกทาน a เท่ากับ 0.10b โดยไม่ได้พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ดังที่กล่าวไว้แล้ว บริเวณสมอยึด ที่รองรับแรงอัดแบบสองชุดสามารถแบ่งพฤติกรรมของการเกิดแรงปริในบริเวณสมอยึดได้เป็นสาม ช่วงใหญ่ๆ (หัวข้อ 1.2) ในทำนองเดียวกันระยะห่างของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริจากแผ่นเหล็กแบก ทานนั้นก็จะต้องมีพฤติกรรมที่สอดกล้องกันกับขนาดของแรงปริด้วยเช่นกัน จากภาพที่ 45 แสดง ให้เห็นว่าเมื่อระยะห่างระหว่างแรงอัดมีก่าสูงขึ้นตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบน

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

แนวแรงอัดหลักก็จะมีก่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย จนถึงในช่วงที่แรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 0.50h ในช่วงนี้จะไม่มีแรงปริเกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก จึงแสดงก่าตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริ ที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักถึงเพียงแก่บริเวณสมอยึดที่มีแรงอัดอยู่ห่างกันเท่ากับ 0.50h เท่านั้น ขณะเดียวกันหากพิจารณาตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยจะเห็น ได้ว่า มีก่าลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างแรงอัดมีก่าสูงขึ้น ซึ่งมีกวามสอดกล้องกันกับลักษณะของ แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยที่มีก่าลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างแรงอัดมีก่าสูงขึ้น



ภาพที่ 45 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริกับระยะห่างระหว่างแรงอัด เมื่อ a/h = 0.10 และ R/P = 0.00

1.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง D_{burst} กับ 2s/h ในกรณีที่พิจารณาแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับ

ภาพที่ 46 และ 47 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรง ปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่างแรงอัดเมื่อขนาดของแผ่นเหล็กแบกทาน a เท่ากับ 0.10h มีขนาดของ R/P เท่ากับ 0.05 และ 0.15 ตามลำดับ โดยสัญลักษณ์ D_m คือ ตำแหน่งของ จุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก D₁ คือ ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริ ที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยที่ด้านบนของแบบจำลองและ D_2 คือ ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของ แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยที่ด้านล่างของแบบจำลอง จากภาพที่ 46 ซึ่งเป็นกรณีที่ขนาดของ แรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมีค่าน้อย ความสัมพันธ์จะมีลักษณะที่คล้ายกันกับกรณีที่ไม่ได้พิจารณา แรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักจะมีค่า เพิ่มสูงขึ้นเมื่อแรงอัดทั้งสองชุดอยู่ห่างกันมากขึ้น โดยในช่วงที่แรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 0.50h ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริจะมีค่าสูงมาก และจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันเมื่อตำแหน่งของ แรงปฏิกิริยามีค่าเปลี่ยนแปลงไป ในส่วนของตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว แรงปฏิกิริยามีค่าเปลี่ยนแปลงไป ในส่วนของตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว แรงอัดย่อยนั้น จากภาพเห็นได้ว่า D_1 และ D_2 จะมีค่าใกล้เคียงกันและจะมีค่าลดต่ำลงเมื่อระยะห่าง ระหว่างแรงอัดมีค่าสูงขึ้น และยังคงมีค่าที่ใกล้เดียงกันเมื่อตำแหน่งของแรงปฏิกิริยามีค่า เปลี่ยนแปลงไป

ภาพที่ 47 เป็นกรณีที่สมอยึดรองรับด้วยแรงปฏิกิริยาที่มีค่าสูงคือ R/P เท่ากับ 0.15 เห็นได้ว่าตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักยังคงมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อแรงอัดทั้งสองชุดอยู่ห่างกันมากขึ้น และมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อตำแหน่งของแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ในส่วนของตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว แรงอัดย่อย D₁ จะมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับบริเวณสมอยึดที่รองรับด้วยแรงปฏิกิริยา ที่มีค่าน้อยและยังคงมีลักษณะของความสัมพันธ์ที่คล้ายคลึงกัน เนื่องมาจากแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว แรงอัดที่ด้านบนได้รับผลกระทบจากแรงปฏิกิริยาน้อยกว่าแรงปริที่เกิดจากแรงอัดที่ด้านล่าง ซึ่ง D₂ จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างแรงอัดมีค่าเพิ่มมากขึ้นเนื่องมาจากแรงอัดที่ด้านล่าง ซึ่ง D₂ จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างแรงอัดมีค่าเพิ่มมากขึ้นเนื่องมาจากแรงอัดที่ด้านล่างขยับเข้าใกล้ กับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับทำให้ดำแหน่งของแรงลัพธ์ที่เกิดจากแรงทั้งสองนั้นเกิดขึ้นไกล ออกไป จึงทำให้ D₂ มีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยค่าของ D₁ และ D₂ มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อตำแหน่ง ของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมีค่าเปลี่ยนแปลงไป



ภาพที่ 46 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริกับระยะห่างระหว่างแรงอัด เมื่อ a/h = 0.10 และ R/P = 0.05



ภาพที่ 47 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริกับระยะห่างระหว่างแรงอัด เมื่อ a/h = 0.10 และ R/P = 0.15

58

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษยรศาสยร์

1.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง D_{burst} กับ R/P

ภาพที่ 48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริ ที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อระยะห่างระหว่างแรงอัด เท่ากับ 1.50a ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 1.2 โดยในกรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกันไม่เกิน 1.50a ขนาดของ แรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่มีค่าสูงที่สุดจะเกิดบนแนวแรงอัดหลัก จากภาพเห็นได้ว่า ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่มีค่าของ a/b ขนาดใหญ่ จะมีค่า ของ D_{burst} ที่มากกว่าบริเวณสมอยึดที่มี a/b ขนาดเล็กและจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อขนาดของแรง ปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมีค่าเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 48 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัคหลัก กับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อระยะห่างระหว่างแรงอัดเท่ากับ 1.50a

ภาพที่ 49 ถึง 51 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริ ที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a ซึ่งกรณีนี้แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยจะมีค่าที่สูงกว่าแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัด หลัก (หัวข้อที่ 1.2) โดยในภาพที่ 49 และภาพที่ 50 เป็นกรณีที่สมอยึดมีขนาดของ a/b เท่ากับ 0.10 1/b เท่ากับ 0.125 และ 0.50 ตามลำดับ ภาพที่ 51 เป็นกรณีที่สมอยึดมีขนาดของ a/b เท่ากับ 0.20 และ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

1/b เท่ากับ 0.125 และ 0.50 ตามลำดับ จากภาพจะเห็นได้ว่าเมื่อขนาดของแรงปฏิกิริยามีค่าเพิ่มขึ้น ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปรินั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย โดยเฉพาะค่าของ D₂ มีค่าเพิ่มขึ้น มากเมื่อ R/P มีก่าตั้งแต่ 0.10 จนถึง 0.15 ซึ่งเป็นผลมาจากแรงอัดด้านล่างของแบบจำลองอยู่ใกล้กัน กับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับจึงทำให้แรงลัพธ์ที่เกิดจากแรงทั้งสองเกิดห่างไกลออกไปจากขอบของ แผ่นเหล็กแบกทาน ขณะเดียวกันก่าของ D₁ ซึ่งเป็นผลมาจากแรงอัดด้ำนล่างของแบบจำลองแบบจำลองและ อยู่ห่างจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมากกว่าแรงอัดด้านล่าง จึงทำให้มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมีก่าเพิ่มขึ้น โดยก่าของ D₁ และ D₂ ของสมอยึดที่มี 2s/h เท่ากับ 0.40 จะมีก่าที่สูงกว่า D₁ และ D₂ ของสมอยึดที่มี 2s/h เท่ากับ 0.65 ซึ่งกล่าวได้ว่าสมอยึดที่มี แรงอัดอยู่ใกล้กันมากกว่า จะมีตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่ไกลกว่าเมื่อเทียบจากตำแหน่ง แผ่นเหล็กแบกทาน อย่างไรก็ตามแรงอัดทั้งสองชุดต้องอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a

ในส่วนของ D_m ในกรณีที่สมอยึดมีแรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a (หัวข้อ 1.2) ก่าของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยจะสูงกว่าก่าของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริกวรที่จะพิจารณาเฉพาะตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริ ที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยเท่านั้นและนำก่าที่สูงที่สุดไปใช้ในการออกแบบ



ภาพที่ 49 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย กับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ a/h = 0.10 และ 1/h = 0.125

60

สิขสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเกษกรร่าสกร์



ภาพที่ 50 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย กับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ a/h = 0.10 และ 1/h = 0.50



ภาพที่ 51 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย กับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อ a/h = 0.20 1.4.4 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับผลจากสมการของ Hengprathanee

ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 1.3.4 สมการของ Hengprathanee สามารถที่จะนำมา ประยุกต์ใช้ในการกำนวณหาขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดได้ สมการที่ 7 ของ Hengprathanee เป็นสมการที่ได้ปรับปรุงมาจากสมการของ AASHTO (1996) โดยการวิเคราะห์ แบบจำลองด้วยวิธีไฟในท์อิลิเมนต์ของบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบแรงเดียว ซึ่งจะสามารถนำ สมการมาประยุกต์ใช้ในการกำนวณหาตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอ ยึดที่มีการอัดแรงแบบหลายแรงได้โดยใช้วิธีการเดียวกันกับการกำนวณหาแรงปริที่เกิดขึ้น ในบริเวณสมอยึด (พิจารณาภาพที่ 43 และภาพที่ 44) ดังนั้นตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริ จะสามารถกำนวณได้ตามสมการที่แสดงไว้ด้านล่าง

$$D_{m} = 0.5h + 0.25a' + \frac{R}{P}(h) (1.5)$$
(14)
$$D_{1,2} = 0.5h' + 0.25a + \frac{R}{P}(h') (1.5)$$
(15)

ภาพที่ 48 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับผลที่ได้จากสมการที่ 7 ของ Hengprathanee ในกรณีที่ระยะห่างระหว่างแรงอัดเท่ากับ 1.50a จากภาพเห็นได้ว่าการเปรียบเทียบ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์กับผลที่ได้จากสมการที่ 7 มีค่าที่ใกล้เคียงกันและ ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์จะมีค่าที่ต่ำกว่าค่าที่ได้จากสมการที่ 7

ภาพที่ 49 ถึง 51 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์กับผลที่ได้จาก การประยุกต์ใช้สมการที่ 7 ในกรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a ซึ่งจากการเปรียบเทียบเห็นได้ ว่าก่าที่ได้จากการกำนวณโดยใช้สมการที่ 7 จะมีแนวโน้มที่กล้ายกันกับผลที่ได้จากวิธีไฟในท์อิลิ เมนต์คือมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อขนาดของแรงปฏิกิริยามีก่าสูงขึ้น โดยในส่วนใหญ่ก่าที่ได้จาก ผลการศึกษาจะมีก่าที่สูงกว่าก่าที่ได้จากสมการ เนื่องจากสมการที่ 7 ของ Hengprathanee นั้นเป็น สมการที่ได้มาจากการหาก่าเฉลี่ยของผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟในท์อิลิเมนต์ของ แบบจำลองบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบแรงเดียวซึ่งเป็นการยากหากจะสร้างสมการให้ สามารถกำนวณก่าได้ตรงกับความเป็นจริง ผลที่ได้จากการประยุกต์ใช้สมการที่ 7 จึงให้ก่าที่ต่ำกว่า ผลที่ได้จากวิธีไฟในท์อิลิเมนต์ในบางกรณี อย่างไรก็ตามในทางการออกแบบเหล็กเสริม เพื่อด้านทานแรงปรินั้น Hengprathaneeได้เสนอวิธีการจัดเหล็กเสริมให้กรอบคลุมบริเวณที่เกิด แรงปริ โดยการจัดเหล็กเสริมให้กระจายไปเป็นระยะเท่ากับ 2 เท่าของก่าระยะดำแหน่งของ จุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่กำนวณได้จากสมการที่ 7 หากพิจารณาจากภาพที่ 19 ซึ่งเป็นกราฟแสดง

ลิขสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงในทิศตั้งฉากกับแนวแรงอัดหลักกับระยะทางตามแนวแรงอัดหลัก ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริก็คือจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ใต้กราฟ ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของ แรงปริที่คำนวณได้จะอยู่เลยออกไปจากจุดที่มีหน่วยแรงสูงสุด ดังนั้นการเสริมเหล็กให้มี การกระจายไปที่ระยะสองเท่าของตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่คำนวณได้จากสมการและ ให้จุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมอยู่ใกล้เคียงกันกับตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่คำนวณได้จากสมการและ การเสริมเหล็กในวิธีนี้ก็จะสามารถต้านทานการวิบัติของโครงสร้างได้เช่นกัน

2. บริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดแบบเอียงตรงศูนย์

2.1 กราฟหน่วยแรงแบบเชิงเส้นในแบบจำลอง

ภาพที่ 52 แสดงการกระจายหน่วยแรงเชิงเส้นในทิศ Y-Y, X-X และ X-Y ของ แบบจำลองบริเวณสมอยึดที่มีแรงอัดสองชุดแบบตรงศูนย์โดยแรงอัดทั้งสองเอียงทำมุมกับแนวราบ เท่ากับ 6 องสา ขนาดแผ่นเหล็กแบกทาน a เท่ากับ 0.20h ระยะห่างระหว่างแรงอัดสองชุด 2s เท่ากับ 0.30h และ ไม่พิจารฉาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ซึ่งเป็นกรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกันน้อยกว่า หรือเท่ากับ 1.50a ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 1.1 เมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.50a การกระจายหน่วยแรงเชิงเส้นจะมีลักษณะคล้ายกันกับบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบแรงเดียว จากภาพจะเห็นว่าการกระจายหน่วยแรงปริที่เกิดขึ้นมีลักษณะไม่สมมาตรกันตลอดแนวเส้นผ่าน ศูนย์กลางของแบบจำลอง โดยมีแนวโน้มที่เอียงลงมาทางด้านล่างของแบบจำลอง ค่าของ S_{...} ที่ด้านล่างของแนวเส้นผ่านศูนย์กลางจะมีก่าที่สูงกว่าหน่วยแรงที่ด้านบนของแนวเส้นผ่าน ศูนย์กลาง เนื่องมาจากแรงอัดทั้งสองเอียงทำมุมกับแนวเส้นผ่านศูนย์กลางส่งผลให้แนวแรงอัดหลัก มีทิศทางที่ขนานกันกับแนวของแรงอัด ภาพที่ 53 แสดงการกระจายหน่วยแรงเชิงเส้นในทิศ Y-Y ของแบบจำลองบริเวณสมอยึดที่มุมเอียงของแรงอัดมีก่าเพิ่มขึ้นคือ α = 9 องศา ซึ่งจะเห็นได้ว่า การกระจายของหน่วยแรงจะมีแนวโน้มที่เอียงลงมาทางด้านล่างของแบบจำลองมากกว่ากรณี ที่ผ่านมา

ภาพที่ 54 และ 55 แสดงการกระจายหน่วยแรงเชิงเส้นในแบบจำลองบริเวณสมอยึดที่มี แรงอัดสองชุดแบบตรงศูนย์และเอียงทำมุมกับแนวราบเท่ากับ 6 และ 9 องศาตามลำคับ โดยขนาด ของแผ่นเหล็กแบกทาน a เท่ากับ 0.20h ระยะห่างระหว่างแรงอัด 2s เท่ากับ 0.55h และ ไม่พิจารณา ผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ซึ่งเป็นกรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 0.50h แรงปริที่พิจารณา กือแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย ซึ่งจะเกิดขึ้นแบบแยกออกจากกันอย่างชัดเจน จากภาพเห็น ใด้ว่าหน่วยแรงปริที่เกิดขึ้นจากแรงอัดแต่ละแรงอยู่ในลักษณะที่ไม่สมมาตรกันตามแนวราบของ แรงอัดและมีลักษณะเอียงมาอยู่ในทิศทางเดียวกันกับแนวแรงอัด ซึ่งหน่วยแรงปริที่เกิดขึ้นจาก แรงอัดที่ด้านบนของแบบจำลองมีก่าไม่เท่ากับหน่วยแรงปริที่เกิดจากแรงอัดที่ด้านล่างของ แบบจำลอง เนื่องมาจากแรงอัดแต่ละแรงทำมุมเอียงกับแนวราบซึ่งมีเนื้อที่ในการกระจายหน่วยแรง ไม่เท่ากัน



ภาพที่ 52 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงเนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบเอียงตรงศูนย์เมื่อ a/h = 0.20, $2s/h = 0.30, R/P = 0.00, \alpha = 6$ องศา และ $\sigma_0 = P$ /ht

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 53 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบเอียงตรงศูนย์เมื่อ $a/h = 0.20, 2s/h = 0.30, R/P = 0.00, \alpha = 9$ องศา และ $\sigma_0 = P / ht$



ภาพที่ 54 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบเอียงตรงศูนย์เมื่อ $a/h = 0.20, 2s/h = 0.55, R/P = 0.00, \alpha = 6$ องศา และ $\sigma_0 = P / ht$



ภาพที่ 55 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบเอียงตรงศูนย์เมื่อ $a/h = 0.20, 2s/h = 0.55, R/P = 0.00, \alpha = 9$ องศา และ $\sigma_0 = P / ht$

ในภาพที่ 56 และ 57 เป็นกรณีที่สมอยึคมีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับกระทำ ซึ่งจากภาพ แสดงการกระจายหน่วยแรงเชิงเส้นในแบบจำลองบริเวณสมอยึคที่รองรับแรงอัคสองแรงแบบตรง สูนย์และแรงอัคเอียงทำมุม 9 องศากับแนวราบ ขนาดของ a/b เท่ากับ 0.20 และ R/P เท่ากับ 0.15 โดยภาพที่ 56 เป็นกรณีที่สมอยึคมีแรงอัคอยู่ห่างกันเท่ากับ 1.50a การกระจายหน่วยแรงจะอยู่ใน ลักษณะที่เหมือนกันกับบริเวณสมอยึคที่รองรับแรงอัคแบบแรงเดียวที่มีแรงปฏิกิริยากระทำ จาก ภาพเห็นได้ว่าหน่วยแรงปริที่เกิดขึ้นในแบบจำลองอยู่ในลักษณะที่ไม่สมมาตรกันตลอดแนวเส้น ผ่านศูนย์กลางของแบบจำลองและมีทิศทางเอียงขึ้นไปบนแนวจุคศูนย์ถ่วงของแรงอัคทั้งสอง ซึ่งเป็นผลมาจากแบบจำลองมีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับที่กระทำที่ด้านล่างของแบบจำลอง

ภาพที่ 57 เป็นกรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 0.50h มีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับขนาด 0.15P ระยะห่างจากขอบด้านหน้าขอบแบบจำลองถึงแรงปฏิกิริยาเท่ากับ 0.125b หน่วยแรงปริที่ พิจารณาคือแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย จากภาพเห็นได้ว่าหน่วยแรงปริที่เกิดจากแรงอัด ด้านล่างของแบบจำลองถูกหักล้างออกไปบางส่วนจนทำให้หน่วยแรงปริเกิดขึ้นในบริเวณนี้มีค่า น้อยมาก และหน่วยแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านบนของแบบจำลองมีความเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ เป็นผลมาจากหน่วยแรงปริที่เกิด จากแรงอัดด้านบนของแบบจำลองอยู่ห่างกันกับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ เป็นผลมาจากหน่วยแรงปริที่เกิด แรงปฏิกิริยาน้อยกว่าแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านล่างของแบบจำลอง



ภาพที่ 56 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบเอียงตรงศูนย์เมื่อ $a/h = 0.20, 2s/h = 0.30, R/P = 0.15, l/h = 0.125, \alpha = 9$ องศา และ $\sigma_0 = P$ /ht



ภาพที่ 57 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบเอียงตรงศูนย์เมื่อ $a/h = 0.20, 2s/h = 0.55, R/P = 0.15, l/h = 0.125, \alpha = 9$ องศา และ $\sigma_0 = P$ /ht

2.2 แรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดในกรณีปราศจากผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ

2.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริกับมุมเอียงของแรงอัด

จากผลการศึกษาของ Burdet, Byung-Wan Jo และ Hengprathanee พบว่าเมื่อมุม เอียงของแรงอัดมีก่าสูงขึ้นทำให้แรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดมีก่าสูงขึ้นตามไปด้วย ภาพที่ 58 และ 59 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่รองรับแรงอัดแบบสองชุด กับขนาดของมุมเอียงของแรงอัดโดยไม่พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ภาพที่ 58 เป็น กรณีที่สมอยึดมีระยะห่างระหว่างแรงอัดเท่ากับ 1.50a แรงปริที่พิจารณาในกรณีนี้เป็นแรงปริ ที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก จากภาพเห็นได้ว่าเมื่อขนาดของมุมเอียงมีก่าสูงขึ้นจะส่งผลให้แรงปริ ที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก จากภาพเห็นได้ว่าเมื่อขนาดของมุมเอียงมีก่าสูงขึ้นจะส่งผลให้แรงปริ ที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักมีก่าสูงขึ้นตามไปด้วย ภาพที่ 59 เป็นกรณีที่สมอยึดมีระยะห่างระหว่าง แรงอัดมากกว่า 1.50a แรงปริที่พิจารณาในกรณีนี้กือแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย เห็นได้ว่า แรงปริที่เกิดขึ้นจากแรงอัดที่ด้านบนของแบบจำลองจะมีก่าที่สูงกว่าแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านล่าง และจะมีก่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของมุมเอียงของแรงอัดมีก่าสูงขึ้น

ภาพที่ 58 และ 59 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีไฟในท์อิลิ เมนต์กับผลที่ได้จากการประยุกต์ใช้สมการที่ 6 ของ Hengprathanee (หัวข้อ 1.3.4) เห็นได้ว่า ในส่วนใหญ่ผลที่ได้จากวิธีไฟในต์อิลิเมนต์มีค่าที่ต่ำกว่าผลที่ได้จากการประยุกต์ใช้สมการที่ 6 และ มีแนวโน้มที่สอดคล้องกัน ซึ่งในบางกรณีค่าของแรงปริที่ได้จากวิธีไฟในท์อิลิเมนต์มีค่าที่สูงกว่า ก่าที่ได้จากสมการที่ 6 เล็กน้อย ดังภาพที่ 59 แรงปริที่เกิดจากแรงอัดที่ด้านบนของแบบจำลองจะมี ค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากสมการที่ 6 เมื่อสมอยึดมีมุมเอียงของแรงอัดเท่ากับ 9 องศา อย่างไรก็ตามค่า ที่สูงกว่านั้นมีความแตกต่างกันน้อยมากเมื่อเทียบกับขนาดของแรงปริที่เกิดจึ้น

ลิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 58 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับมุมเอียงของแรงอัดเมื่อ แรงอัดอยู่ห่างกันเท่ากับ 1.50a และ R/P = 0.00



ภาพที่ 59 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับมุมเอียงของแรงอัดเมื่อ a/h = 0.20, 2s/h = 0.55 และ R/P = 0.00

68

2.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่าง แรงอัด

ภาพที่ 60 และ 61 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด ในกรณีไม่พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับกับระยะห่างระหว่างแรงอัดทั้งสองเมื่อขนาด ของ a/h เท่ากับ 0.10 และมุมเอียงของแรงอัดเท่ากับ 6 และ 9 องศาตามลำดับ เห็นได้ว่า กวามสัมพันธ์ของแรงดึงที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่างแรงอัดนั้นยังมีลักษณะ คล้ายกันกับสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบตรงศูนย์ กล่าวคือเมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.50a แรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดจะมีลักษณะคล้ายกันกับสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบแรง เดียว แรงปริที่เพิจารณาคือแรงปริที่เกิดขึ้นจะเกิดบนแนวแรงอัดหลัก และเมื่อแรงอัดขยับออกห่าง กันมากกว่า 1.50a แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยที่เกิดจากแรงอัดแต่ละแรงมีก่าสูงกว่าแรงปริ ที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก โดยแรงปริที่เกิดจากแรงอัดค้านบนของแบบจำลองจะมีก่าที่สูงกว่า แรงปริที่เกิดจากแรงอัดคลัก โดยแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านบนของแบบจำลองจะมีก่าที่สูงกว่า แรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านล่างของแบบจำลอง ในขณะเดียวกันจะเกิดหน่วยแรงดึงขึ้นระหว่าง แรงอัดทั้งสองในแบบจำลองหรือ แรงปริที่ผิว ซึ่งจะมีก่าสูงขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างแรงอัดมีก่ามาก ขึ้น



ภาพที่ 60 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่างแรงอัด เมื่อ α = 6 องศา a/h = 0.10 และ R/P = 0.00

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 61 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่างแรงอัด แรงอัดเมื่อ α = 9 องศา a/h = 0.10 และ R/P = 0.00

2.3 แรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดในกรณีพิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ

2.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง T_{burst} กับ 2s/h

ภาพที่ 62 ถึง 65 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด กับระยะห่างระหว่างแรงอัด เมื่อขนาดของ a/b เท่ากับ 0.10 และมีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับขนาด 0.05 และ 0.15 เท่าของแรงอัดกระทำ ภาพที่ 62 และ 63 เป็นกรณีที่สมอยึดมีขนาดของ R/P เท่ากับ 0.05 และมุมเอียงของแรงอัดเท่ากับ 6 และ 9 องศา ตามลำดับ จากภาพเห็นได้ว่าเมื่อระยะห่าง ระหว่างแรงอัดมีก่าเพิ่มขึ้น ลักษณะของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดมีลักษณะกล้ายกันกับ บริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดแบบตรงศูนย์โดยมีก่าลดลงเมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันมากขึ้น ซึ่งจะมีก่าสูงกว่าแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยเมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันไม่เกิน 1.50a

เมื่อแรงอัคอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัคย่อยจะมีค่า สูงกว่าแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัคหลักและจะมีค่าลดลงเมื่อ 1/b มีค่าเพิ่มขึ้นหรืออยู่ห่างจากขอบ ของแผ่นเหล็กแบกทานมากขึ้น โคยแรงปริที่เกิดจากแรงอัคด้านบนของแบบจำลองมีความ เปลี่ยนแปลงที่น้อยมากเมื่อตำแหน่งของแรงปฏิกิริยามีค่าเปลี่ยนแปลงไป ส่วนแรงปริที่เกิดจาก แรงอัดที่ด้านถ่างจะมีค่าที่ต่ำกว่าค่าของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านบนและจะมีค่าลดลงเมื่อ 1/h มีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีเพียงกรณีที่ 2s/h เท่ากับ 0.65 และ 1/h เท่ากับ 0.50 เท่านั้นที่แรงปริที่เกิดจาก แรงอัดด้านถ่างจะมีค่าที่สูงกว่าบริเวณสมอยึดที่ 1/h มีค่าน้อยลงคือ 0.125 และ 0.25 ตามลำดับ เป็น ผลมาจากทั้งแรงอัดด้านถ่างกับแรงปฏิกิริยาอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้แรงลัพธ์ที่เกิดจากแรงทั้งสองมีค่า เพิ่มมากขึ้น

ภาพที่ 64 และ 65 เป็นกรณีที่สมอยึดมีขนาดของ R/P เท่ากับ 0.15 และมุมเอียง ของแรงอัดเท่ากับ 6 และ 9 องศา เป็นกรณีที่แบบจำลองมีขนาดของแรงปฏิกิริยาที่สูงมากมากระทำ จากภาพเห็น ได้ว่าขนาดของแรงปริจะมีค่าที่ลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างแรงอัดมีค่าสูงขึ้น เว้นเพียง กรณีของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านล่างของบริเวณสมอยึดที่มีค่าของ I/h เท่ากับ 0.50 เท่านั้นที่มี แนว โน้มเพิ่มสูงขึ้น เป็นผลเนื่องมาจากแรงอัดด้านล่างขยับเข้าใกล้กับแรงปฏิกิริยาที่อยู่ในตำแหน่ง ที่ทำให้แรงลัพธ์จากแรงทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่าของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านล่างจะมีค่าที่ เปลี่ยนแปลงอย่างมากเมื่อ I/h มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันค่าของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านล่างจะมีค่าที่ แรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ



ภาพที่ 62 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่างแรงอัด เมื่อ α = 6 องศา a/h = 0.10 และ R/P = 0.05



ภาพที่ 63 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่างแรงอัด เมื่อ α = 9 องศา a/b = 0.10 และ R/P = 0.05



ภาพที่ 64 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่างแรงอัด เมื่อ α = 6 องศา a/h = 0.10 และ R/P = 0.15

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรศาสกร์



ภาพที่ 65 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่างแรงอัด เมื่อ α = 9 องศา a/h = 0.10 และ R/P = 0.15

2.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง T_{burst} กับ R/P

ภาพที่ 66 และ 67 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด กับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อแรงอัดเอียงทำมุมกับแนวราบ 6 องศา ภาพที่ 66 แสดง ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับขนาดของแรงปฏิกิริยาโดยแรงอัด ทั้งสองชุดอยู่ห่างกันเท่ากับ 1.50a และภาพที่ 67 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบน แนวแรงอัดย่อยกับขนาดของแรงปฏิกิริยาโดยแรงอัดทั้งสองชุดอยู่ห่างกันเท่ากับ 0.55h จากภาพ เห็นได้ว่าเมื่อขนาดของแรงปฏิกิริยามีค่าสูงขึ้นแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดจะมีค่าลดต่ำลง โดยจะแตกต่างกับบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดแบบตรงศูนย์คือแรงปริจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อขนาดของแรงปฏิกิริยามีค่ามากขึ้น

2.4 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับผลที่ได้จากสมการของ Hengprathanee

ภาพที่ 66 และ 67 ยังแสดงการเปรียบเทียบค่าของแรงปริที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี ใฟในท์อิลิเมนต์กับผลที่ได้จากการประยุกต์ใช้สมการที่ 6 ของ Hengprathanee (หัวข้อที่ 1.3.4) เห็น ได้ว่าผลที่ได้จากวิธีไฟในท์อิลิเมนต์จะให้ค่าที่ต่ำกว่าและมีแนวโน้มที่สอดกล้องกันกับผลที่ได้จาก การประยุกต์ใช้สมการที่ 6 โดยค่าของแรงปริมีขนาดลดลงเมื่อขนาดของแรงปฏิกิริยามีค่าสูงขึ้น ซึ่งจากการพิจารณาสมการที่ 6 นั้นเห็นได้ว่าพจน์ที่ทำให้ขนาดของแรงปริลดลงกือพจน์ของแรง ปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ R(0.25-5sinQ) โดยจะมีก่าเป็นบวกเมื่อมุมเอียงของแรงอัดอยู่ระหว่าง 0 ถึง 3 องศาและจะมีก่าเป็นลบเมื่อมุมเอียงมีค่ามากกว่า 3 องศาและส่งผลให้ขนาดของแรงปริที่คำนวณได้ จากสมการมีค่าลุดลงเมื่อขนาดของแรงปฏิกิริยามีก่าสูงขึ้น

$$T_{burst} = 0.25P(1 - \frac{a}{h}) + 0.4Psine\alpha + R(0.25-5sin\alpha) \ge 0.125P$$
 (6)

อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการทำงาน การอัดแรงผ่านสมอยึดของโครงสร้างคอนกรีตอัด แรงแบบดึงทีหลังนั้น ส่วนใหญ่จะมีการดึงลวดอัดแรงหลังจากการเทคอนกรีตลงในแบบหล่อหลัง กอนกรีตมีการแข็งตัวที่ระยะเวลาหนึ่งแล้ว โครงสร้างยังไม่ถูกนำไปติดตั้งจึงไม่มีแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับมากระทำ แรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่กำนวณได้จากสมการที่ 6 จึงไม่ควรที่จะ มีก่าที่ลดลงเนื่องจากผลของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ กล่าวคือในพจน์ของ R(0.25-5sina) นั้นไม่ กวรที่จะมีก่าเป็นลบ ในกรณีที่สมอยึดมีแรงอัดเอียงทำมุมกับแนวราบมากกว่า 3 องสา พจน์ของแรง ปฏิกิริยาที่ฐานรองรับควรจะมีก่าเป็นศูนย์หรือไม่ควรจะนำแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมาพิจารณา ดังแสดงในสมการที่ 6

$$T_{burst} = 0.25P(1 - \frac{a}{h}) + 0.4Psine\alpha \ge 0.125P$$

เมื่อ $\alpha > 3$ องศา

(6)



ภาพที่ 66 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักเมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันเท่ากับ 1.50a กับขนาดของแรงปฏิกิริยา เมื่อ α = 6 องศา a/h = 0.10, 0.20 และ 1/h = 0.125



ภาพที่ 67 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ ฐานรองรับเมื่อ α = 6 องศา, a/h = 0.20, 2s/h = 0.55 และ 1/h = 0.125, 0.50

75

ภาพที่ 68 และ 69 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัด หลักกับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันเท่ากับ 1.50a และเอียงทำมุมกับ แนวราบ 6 และ 9 องศา ขนาดของแผ่นเหล็กแบกทานเท่ากับ 0.05h, 0.10h, 0.20h และ 0.30h จาก ภาพเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่กำนวณได้จากสมการที่ 6 กับขนาดของแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับจะอยู่ในลักษณะที่ขนานกันกับแนวของแกน x กล่าวคือในกรณีที่แรงอัดเอียงทำมุม กับแนวราบมากกว่า 3 องศา การกำนวณหาก่าของแรงปริโดยใช้สมการจะไม่นำเอาผลของ แรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมาพิจารณา ส่งผลให้ความสัมพันธ์มีแนวโน้มที่ไม่สอดคล้องกันกับผลที่ ได้จากวิธีไฟในต์อิลิเมนต์ซึ่งมีค่าลดต่ำลงเมื่อขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมีค่าสูงขึ้นและ จะลดต่ำลงอย่างมากเมื่อมุมเอียงของแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากวิธีไฟ ในต์อิลิเมนต์ยังให้ก่าที่ต่ำกว่าค่าที่ได้จากการกำนวณโดยการประยุกต์ใช้สมการที่ 6 และเพื่อให้ การประมาณก่าของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดมีความเหมาะสมกันกับสภาพจริงในการรับ แรงของโครงสร้าง ดังนั้นในกรออกแบบเหล็กเสริมเพื่อด้านทานแรงปริทิ่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัด หลักของบริเวณสมอยึดที่มีแรงอัดอยู่ห่างกันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.50a ยังสามารถใช้สมการที่ 6 ในการกำนวณหาแรงปริที่เกิดขึ้นได้



ภาพที่ 68 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัคหลักกับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ ฐานรองรับเมื่อ α = 6 องศา และ 1/h = 0.125



ภาพที่ 69 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ ฐานรองรับเมื่อ α = 9 องศา และ 1/h = 0.125

ภาพที่ 70 ถึง 73 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับขนาด ของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ซึ่งเป็นกรณีที่แบบจำลองมีแรงอัดสองชุดซึ่งอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a แรงปริที่พิจารณาคือแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย ภาพที่ 70 และ 71 เป็นกรณีที่แบบจำลองมี แรงอัดเอียงทำมุม 6 องสากับแนวราบ และในภาพที่ 72 และ 73 เป็นกรณีที่แบบจำลองมีแรงอัดเอียง ทำมุม 9 องสากับแนวราบ ขนาดของ a/h เท่ากับ 0.10h และ 0.20h และ 1/h เท่ากับ 0.125 และ 0.50 จากภาพเห็น ได้ว่าแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยจะมีแนว โน้มที่ลดลงเมื่อขนาดของแรง ปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมีก่าเพิ่มขึ้นโดยแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านล่างของแบบจำลองซึ่งอยู่ใกล้กัน กับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมีก่าเพิ่มขึ้นโดยแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านล่างของแบบจำลองซึ่งอยู่ใกล้กัน มีบบจำลองซึ่งอยู่ห่างจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมากกว่า เมื่อมุมเอียงของแรงอัดมีก่าเพิ่มขึ้นแรง ปริมีแนว โน้มลดลง

การเปรียบเทียบผลที่ได้จากวิธีไฟในท์อิลิเมนต์กับผลที่ได้จากการประยุกต์ใช้สมการที่ 6 โดยอาศัยปริซึมสมมาตรคำนวณหาแรงปริที่เกิดขึ้นจากแรงอัดแต่ละแรง (หัวข้อที่ 1.3.4) เห็นได้ว่า ผลที่ได้จากสมการไม่มีความเปลี่ยนแปลงเมื่อขนาดของแรงปฏิกิริยามีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากในกรณีที่ แรงอัดเอียงทำมุมมากกว่า 3 องศา การคำนวณจะไม่นำผลของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมาพิจารณา

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ดังได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ผ่านมา จากการเปรียบเทียบค่าจากแบบจำลองให้ค่าที่ต่ำกว่าค่าที่ได้ จากการประยุกต์ใช้สมการที่ 6 ยกเว้นในกรณีที่แรงอัดเอียงทำมุม 9 องศากับแนวราบและขนาดของ แรงปฏิกิริยาที่ฐานรับเท่ากับศูนย์ ผลที่ได้จากแบบจำลองมีค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการประยุกต์ใช้ สมการที่ 6 โดยค่าที่สูงกว่านี้แตกต่างกันเพียงร้อยละ 8 ของแรงปริที่เกิดขึ้น ซึ่งถือได้ว่าให้ผลที่ ใกล้เกียงกัน ดังนั้นในการออกแบบเหล็กเสริมเพื่อด้านทานแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่มี แรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a และเอียงทำมุมมากกว่า 3 องศานั้นจะสามารถใช้การประมาณค่า จากสมการที่ 6 ได้โดยอาศัยทฤษฏีของปริซึมสมมาตร



ภาพที่ 70 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ ฐานรองรับเมื่อ α = 6 องศา, a/h = 0.10, 2s/h = 0.65, l/h = 0.125, 0.50





ภาพที่ 71 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ ฐานรองรับเมื่อ α = 6 องศา, a/h = 0.20, 2s/h = 0.55, l/h = 0.125, 0.50



ภาพที่ 72 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับขนาดของแรงปฏิกิริยาที ฐานรองรับเมื่อ α = 9 องศา, a/h = 0.10, 2s/h = 0.65, l/h = 0.125, 0.50



ภาพที่ 73 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ ฐานรองรับเมื่อ α = 9 องศา, a/h = 0.20, 2s/h = 0.55, l/h = 0.125, 0.50

2.5 ระยะห่างของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริจากแผ่นเหล็กแบกทาน

ในกรณีที่สมอยึคมีการอัดแรงสองชุดแบบตรงศูนย์ ดำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรง ปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดจะขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นเหล็กแบกทานและกวามสูงของ แบบจำลอง จากสมการที่ใช้ในการกำนวณหาตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้น ในบริเวณสมอยึดดังแสดงในสมการที่ 3 (AASHTO (2002)) เห็นใด้ว่ามุมเอียงของแรงอัดไม่มีผล ต่อตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบตรงศูนย์ โดยการศึกษาของ Hengprathanee (2004) พบว่าในกรณีที่ไม่ได้พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับ ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมุมเอียงของแรงอัดมีก่า เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ใช้ในการกำนวณหาตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรง ปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดดังแสดงในสมการที่ 7 พจน์ที่ทำให้ดำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรง ปริมีค่าเพิ่มขึ้นคือ 0.25(b)sinα

2.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง D_{burst} กับ 2s/h ในกรณีไม่พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับ

ภาพที่ 74 และ 75 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรง ปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่างแรงอัดเมื่อขนาดของ a/h เท่ากับ 0.10 และ แรงอัดเอียงทำมุมกับแนวราบเท่ากับ 6 และ 9 องศาตามลำดับ โดยไม่พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยา ้ที่ฐานรองรับ ในหัวข้อที่ผ่านมาแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดในกรณีที่แรงอัดเอียงทำมุมกับ แนวราบ พฤติกรรมของแรงปริจะมีลักษณะเหมือนกันกับสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบตรงศูนย์ คือ เมื่อแรงอัคอยู่ห่างกันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.50a แรงปริที่พิจารณาคือแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัค หลักและเมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a แรงปริที่พิจารณาคือแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัด ย่อย ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดต้องมีความสอดคล้องกันกับ พฤติกรรมของแรงปริด้วย จากภาพที่ 74 เห็นได้ว่าเมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันเท่ากับ 1.50a ตำแหน่งของ แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักจะมีค่าใกล้เคียงกันกับตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริ ที่เกิดขึ้นบนแนวอัดย่อยและและเมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว แรงอัคหลักจะอยู่ไกลจากขอบค้านหน้าของแบบจำลองมากกว่าแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัคย่อย ้ซึ่งแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นและ ้ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านบนของแบบจำลองจะมีค่าสูงกว่าตำแหน่ง ของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านถ่างของแบบจำถอง



ภาพที่ 74 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับ ระยะห่างระหว่างแรงอัดแรงอัดเมื่อมุมเอียงของแรงอัดเท่ากับ 6 องศา a/h = 0.10 และ R/P = 0.00



ภาพที่ 75 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับ ระยะห่างระหว่างแรงอัดแรงอัดเมื่อมุมเอียงของแรงอัดเท่ากับ 9 องศา a/h = 0.10 และ R/P = 0.00

2.5.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง D_{burst} กับ 2s/h ในกรณีพิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับ

ภาพที่ 76 ถึง 79 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรง ปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับระยะห่างระหว่างแรงอัดในกรณีที่สมอยึดมีแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับมากระทำ เมื่อขนาดของ a/b เท่ากับ 0.10 และแรงอัดเอียงทำมุมกับแนวราบเท่ากับ 6 และ 9 องสาตามลำคับ โดยภาพที่ 76 และ 77 เป็นกรณีที่สมอยึดมีขนาดของ R/P เท่ากับ 0.05 ซึ่งเป็นกรณีที่แรงปฏิกิริยามีค่าน้อย พฤติกรรมของแรงปริมีลักษณะคล้ายกับสมอยึดที่ไม่มีแรง ปฏิกิริยาที่ฐานรองรับกระทำ โดยตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริจะมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อตำแหน่งของแรงปฏิกิริยามีค่าเปลี่ยนแปลงไป ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดจาก แรงอัดด้านล่างของแบบจำลองจะมีค่าใกล้เกียงกันกับตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดจาก แรงอัดด้านอ่างของแบบจำลอง ซึ่งในกรณีที่สมอยึดไม่มีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับกระทำ ดำแหน่ง ของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดทั้งสองนี้จะมีค่าที่แตกต่างกันอย่างเด่นชัด โดยตำแหน่ง ของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านบนจะมีค่าที่สูงกว่าตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของ แรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านล่างของแบบจำลอง ในภาพที่ 78 และ 79 เป็นกรณีที่สมอยึดมีขนาด ของ R/P เท่ากับ 0.15 ซึ่งเป็นกรณีที่แรงปฏิกิริยามีก่ามาก แรงปริมีพฤติกรรมที่กล้ายกันกับสมอยึด ที่ไม่มีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับกระทำ แต่ผลจากแรงปฏิกิริยาจะทำให้ขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้น ในบริเวณสมอยึดมีก่าเปลี่ยนแปลงไปมาก ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของ แรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดจะมีก่าที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนเมื่อตำแหน่งของแรงปฏิกิริยา มีก่าเปลี่ยนแปลงไป



ภาพที่ 76 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับ ระยะห่างระหว่างแรงอัดเมื่อ α = 6 องศา a/h = 0.10 และ R/P = 0.05







ภาพที่ 77 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับ ระยะห่างระหว่างแรงอัคเมื่อ α = 9 องศา a/h = 0.10 และ R/P = 0.05



ภาพที่ 78 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับ ระยะห่างระหว่างแรงอัคเมื่อ α = 6 องศา a/h = 0.10 และ R/P = 0.15



ภาพที่ 79 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดกับ ระยะห่างระหว่างแรงอัคเมื่อ α = 9 องศา a/h = 0.10 และ R/P = 0.15

2.5.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง D_{burst} กับ R/P

ภาพที่ 80 และ 81 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรง ปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับโดยแรงอัดอยู่ห่างกันเท่ากับ 1.50a และมุมเอียงของแรงอัดเท่ากับ 6 และ 9 องศาตามลำดับ จากภาพที่ 80 แรงอัดเอียงทำมุม 6 องศา เห็นได้ว่าตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อขนาด ของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมีก่าเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันจากภาพที่ 81 แรงอัดเอียงทำมุม 9 องศา คำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริจะมีลักษณะขนานกันกับแนวราบโดยจะมีการเปลี่ยนแปลง ที่น้อยมากเมื่อขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมีก่าเปลี่ยนแปลงไป กล่าวได้ว่าแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับไม่ส่งผลกระทบต่อตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก ของบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบเอียงตรงศูนย์



ภาพที่ 80 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัคหลัก กับขนาดของแรงปฏิกิริยาเมื่อระยะห่างระหว่างแรงอัดเท่ากับ 1.50a และ α = 6 องศา



ภาพที่ 81 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก กับขนาดของแรงปฏิกิริยาเมื่อระยะห่างระหว่างแรงอัดเท่ากับ 1.50a และ α = 9 องศา

86
ภาพที่ 82 ถึง 85 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้น บนแนวแรงอัดย่อยกับขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ เมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a และ มีมุมเอียงเท่ากับ 6 และ 9 องศา โดยในภาพที่ 82 และภาพที่ 83 เป็นกรณีที่สมอยึดมีขนาดของ a/b เท่ากับ 0.10 และแรงอัดอยู่ห่างกันเท่ากับ 0.65b จากภาพเห็นได้ว่าในกรณีที่สมอยึดมีแรงอัดเอียงทำ มุม 6 องศา ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านบนของแบบจำลองจะมีก่า เปลี่ยนแปลงน้อยเมื่อขนาดของแรงปฏิกิริยามีก่าเพิ่มขึ้น และเมื่อแรงอัดเอียงทำมุม 9 องศากับ แนวราบ ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านบนจะมีก่าสูงและแตกต่างกันมาก กับก่าของตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านบนจะมีก่าสูงและแตกต่างกันมาก กับก่าของตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านบนจะมีก่าสูงและแตกต่างกันมาก กับก่าของตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านบนจะมีก่าสูงและแตกต่างกันมาก กับก่าของตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านบนจะมีก่าสูงและแตกต่างกันมาก กับล่าของตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านบนจะมีก่าสูงและแตกต่างกันมาก ลูดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดจากแรงปริด้านบนจะมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อขนาดของแรงปฏิกิริยามีก่า สูงขึ้นและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่ก้านล่างจะมีแนวโน้มที่ลดจงเมื่อขนาดของแรงปฏิกิริยามีก่า สูงขึ้นและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่ก้านล่างจะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของแรง ปฏิกิริยามีก่าสูงขึ้น

ภาพที่ 84 และ 85 เป็นกรณีที่สมอยึดมีขนาดของ a/b เท่ากับ 0.20 และแรงอัดอยู่ห่างกัน เท่ากับ 0.55b จากภาพเห็นได้ว่าตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านบนจะมีก่า สูงและแตกต่างกันมากกับก่าของตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริด้านล่างของแบบจำลองเมื่อ ขนาดของแรงปฏิกิริยามีก่าน้อยคือ R/P เท่ากับ 0.05 และมีก่าที่ใกล้เกียงกันเมื่อขนาดของ R/P มีก่า มากขึ้นคือ 0.10 และ 0.15 ยกเว้นในกรณีของตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริด้านล่างข่อง แบบจำลองที่มีขนาดของ R/P เท่ากับ 0.15 และ 1/b เท่ากับ 0.125 จะมีก่าเพิ่มสูงขึ้นมากซึ่งเป็นผลมา จากแรงอัดที่ด้านล่างของแบบจำลองกับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้แรงลัพธ์ ของแรงทั้งสองเกิดห่างออกไปกว่ากรณีอื่นๆ



ภาพที่ 82 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย กับขนาดของแรงปฏิกิริยาเมื่อ 2s/h = 0.65, a/h = 0.10 และ α = 6 องศา



ภาพที่ 83 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย กับขนาดของแรงปฏิกิริยาเมื่อ 2s/h = 0.65, a/h = 0.10 และ α = 9 องศา



ภาพที่ 84 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย กับขนาดของแรงปฏิกิริยาเมื่อ 2s/h = 0.55, a/h = 0.20 และ α = 6 องศา



ภาพที่ 85 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย กับขนาดของแรงปฏิกิริยาเมื่อ 2s/h = 0.55, a/h = 0.20 และ α = 9 องศา

2.5.4 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับผลที่ได้จากสมการของ Hengprathanee

จากความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริกับค่าของตัวแปร ต่างๆที่ได้แสดงไปแล้วนั้นจะเห็นว่าเป็นการยากที่จะใช้สมการในการคาดคะเนหาค่าที่ใกล้เคียงกับ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ ซึ่งสามารถทำได้เพียงการประมาณหา กวามสัมพันธ์โดยอาศัยค่าเฉลี่ยของผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์และเพื่อให้ ได้ผลจากการคาดคะเนที่ครอบคลุมและมีความปลอดภัยในทางการออกแบบเท่านั้น โดยสมการ ของ Hengprathanee (2004) เป็นความสัมพันธ์ที่ได้มาจากการกาดคะเนโดยอาศัยค่าเฉลี่ยของผล ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์ของแบบจำลองบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบแรง เดียว ค่าที่ได้จากสมการในบางกรณียังคงให้ก่าที่ต่ำกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์ อิลิเมนต์ แต่เพื่อให้ผลจากการกำนวณมีความปลอดภัยในทางการออกแบบ จึงอาศัยการจัดเหล็ก เสริมให้อยู่ในตำแหน่งที่สามารถด้านทานแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดได้

ภาพที่ 80 และ 81 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์ อิลิเมนต์กับผลที่ได้จากสมการที่ 7 ของ Hengprathanee จากการเปรียบเทียบเห็นได้ว่าผลที่ได้จาก วิธีทั้งสองมีความสอดคล้องกันและมีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟ ในต์อิลิเมนต์จะให้ค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากสมการที่ 7 เพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม การจัดเหล็กเสริม ตามวิธีของ Hengprathanee ได้กำหนดให้เหล็กเสริมต้องกระจายออกไปจนถึงระยะเท่ากับสองเท่า ของตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว ดังนั้นการประยุกต์ใช้สมการที่ 7 เพื่อทำการประมาณค่าตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักเพื่อใช้ ในการจัดเหล็กเสริมต้านทานแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่รองรับแรงอัดแบบสองแรงและ อยู่ห่างกันน้อยกว่าเท่ากับ 1.50a นั้นสามารถที่จะนำไปใช้ในการออกแบบได้

ภาพที่ 82 ถึง 85 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากสมการที่ 7 กับผลที่ได้จาก การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์ของแบบจำลองโดยแรงอัดทั้งสองอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a แรงปริที่พิจารณาคือ แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย จากการเปรียบเทียบในกรณีที่สมอยึดมี แรงอัดเอียงทำมุมกับแนวราบ 6 องศา ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ให้ก่าที่ใกล้เคียงกันกับค่าที่ได้จาก สมการ ในกรณีที่สมอยึดมีแรงอัดเอียงทำมุมกับแนวราบ 9 องศา ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ส่วนใหญ่ จะให้ก่าที่มากกว่าก่าที่ได้จากสมการที่ 7 อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการจัดเหลีกเสริมให้กระจายออกไป สองเท่าของตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่กำนวณได้จากสมการก็จะทำให้เหล็กเสริมนั้น

90

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

สามารถที่จะต้านทานแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดได้ ดังนั้นการกาดคะเนหาค่าของตำแหน่ง ของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดแบบเอียงตรงศูนย์ โดยใช้สมการที่ 7 นั้นสามารถที่ใช้ในการออกแบบเหล็กเสริมเพื่อต้านทานแรงปริได้

3. บริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดแบบเยื้องศูนย์

3.1 กราฟหน่วยแรงแบบเชิงเส้นในแบบจำลอง

จากทั้งสองบทที่ได้กล่าวไปแล้ว ลักษณะการกระจายหน่วยแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณ สมอยึดขึ้นอยู่กับรูปร่างของบริเวณสมอยึดและระยะห่างระหว่างแรงอัดถึงขอบของบริเวณสมอยึด ด้านที่ใกล้ที่สุดซึ่งเมื่อระยะห่างมีก่าเปลี่ยนแปลง ขนาดและการกระจายหน่วยแรงปริกีจะมีการ ลักษณะต่างไปจากกรณีที่บริเวณสมอยึดมีการอัดแรงแบบตรงศูนย์ ภาพที่ 86 แสดงการกระจาย หน่วยแรงเชิงเส้นในแบบจำลองบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดซึ่งจุดศูนย์ถ่วงของแรงอัด ทั้งสองอยู่ห่างจากเส้นผ่านศูนย์กลางของแบบจำลองเท่ากับ -0.10h โดยแบบจำลองมีขนาดของ a/h เท่ากับ 0.10, 2s/h เท่ากับ 0.15 และไม่พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริชาที่ฐานรองรับ จากภาพเห็นได้ว่า หน่วยแรงปริจะเกิดขึ้นในบริเวณด้านหลังของแผ่นเหล็กแบกทานทั้งสองโดยไม่ได้อยู่ในแนว เดียวกันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของแบบจำลอง และเมื่อจุดศูนย์ถ่วงของแรงอัดทั้งสองอยู่ห่างจากเส้น ผ่านศูนย์กลางมากขึ้นหรือมีก่าการเยื้องศูนย์มากคือ e/h เท่ากับ -0.30 ดังภาพที่ 87 ระยะห่างของ แรงอัดถึงขอบแบบจำลองมีก่าลดลงทำให้การกระจายหน่วยแรงปริมีลักษณะน้อยลง โดยในกรณีนี้ เป็นกรณีที่จุดศูนย์ถ่วงของแรงอัดอยู่ภายนอกของจุดเกิร์นของโครงสร้างจึงมีแรงดึงที่มีก่าสูงเกิดขึ้น บริเวณด้านบนของแผ่นเหล็กแบกทาน แรงดึงนี้คือ แรงปริที่ผิว ซึ่งได้กล่าวไปแล้วว่าแรงปริที่ผิว สามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีที่แรงอัดมีการเยื่องศูนย์มากหรือแรงอัดทั้งสองอยู่ห่างกันมาก

ภาพที่ 88 และ 89 เป็นกรณีที่แรงอัดทั้งสองอยู่ห่างกันมากคือ 2s/h เท่ากับ 0.65 และ จุดสูนย์ถ่วงของแรงอัดทั้งสองมีค่าการเยื้องสูนย์เท่ากับ +0.10h และ -0.10h ซึ่งในกรณีนี้เป็นกรณี ที่แรงปริเกิดขึ้นเนื่องจากแรงอัคแต่ละแรงและแยกออกจากกันอย่างชัดเจน จากภาพเห็นได้ว่า ในแบบจำลองเดียวกัน แรงอัดที่อยู่ห่างจากขอบของแบบจำลองมากกว่าจะมีการกระจายหน่วยแรง ที่กว้างกว่าการกระจายหน่วยแรงที่เกิดจากแรงอัดที่อยู่ใกล้กับขอบของแบบจำลอง ซึ่งเป็นผล เนื่องมาจากแรงอัดที่อยู่ห่างจากขอบมากกว่าจะมีเนื้อที่ในการกระจายหน่วยแรงกว้างกว่าแรงอัด ที่อยู่ใกล้กับขอบของแบบจำลอง



ภาพที่ 86 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงเนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบเยื้องศูนย์เมื่อ e/h = -0.10, a/h = 0.10, 2s/h = 0.15, R/P = 0.00, l/h = 0.00 และ σ_0 = P /ht



ภาพที่ 87 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบเยื้องศูนย์เมื่อ e/h = -0.30, a/h = 0.10, 2s/h = 0.15, R/P = 0.00, l/h = 0.00 และ σ₀= P /ht



ภาพที่ 88 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบเยื้องศูนย์เมื่อ e/h = -0.10, a/h = 0.10, 2s/h = 0.65, R/P = 0.00, l/h = 0.00 และ σ₀= P /ht



ภาพที่ 89 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เนื่องจากการอัดแรงสองชุดแบบเยื้องศูนย์เมื่อ e/h = 0.10, a/h = 0.10, 2s/h = 0.65, R/P = 0.00, l/h = 0.00 และ σ₀= P /ht

ภาพที่ 90 แสดงการกระจายหน่วยแรงในทิศทาง Y-Y ซึ่งเป็นทิศทางหลักของหน่วยแรงที่มี ้ความสำคัญต่อแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด ในภาพเป็นกรณีที่สมอยึคมีแรงอัดอยู่ห่างกัน เท่ากับ 1.50a ขนาดของ a/h เท่ากับ 0.10 มีค่าการเยื้องศูนย์เท่ากับ -0.30, -0.10, +0.10 และ +0.30 ้มีขนาคของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเท่ากับ 0.15P และ 1/h เท่ากับ 0.125 แรงปริที่เกิดขึ้นจะเกิดจาก ผลของแรงอัดทั้งสองร่วมกัน พิจารณาบริเวณสมอยึดที่มีค่า e/h เท่ากับ -0.30 และ +0.30 ซึ่งมี ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์ถ่วงของแรงอัดกับขอบของแบบจำถองเท่ากันแต่มีถักษณะการกระจาย ของหน่วยแรงที่ไม่เท่ากันซึ่งเป็นผลเนื่องมาจาก แบบจำลองที่มีค่า e/h เท่ากับ -0.30 จุคศูนย์ถ่วงของ แรงอัคอยู่ใกล้กันกับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมากกว่าแบบจำลองที่มีค่า e/h เท่า +0.30 ซึ่งอยู่ใน ตำแหน่งที่เยื้องศูนย์ไปทางค้านบนของแบบจำลอง ทำให้หน่วยแรงที่เกิดจากแรงอัคด้านล่างถูก ผลกระทบจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมากกว่าแบบจำลองที่แรงอัคอยู่ในตำแหน่งเยื้องศูนย์ทาง ้ด้านบนของแบบจำลอง ในทำนองเดียวกันพิจารณาภาพที่ 91 เป็นกรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกันมากขึ้น แรงปริที่เกิดขึ้นจะเกิดแยกออกจากกันอย่างชัดเจน แรงอัดที่ด้านบนของแบบจำลองที่มีก่าของ e/h ้เท่ากับ -0.10 จะมีเนื้อที่ในการกระจายหน่วยแรงเท่ากันกับแรงอัดที่ด้านล่างของแบบจำลองที่มีค่า ของ e/h เท่ากับ 0.10 แต่การกระจายหน่วยแรงที่เกิดจากแรงอัคมีลักษณะที่ไม่เหมือนกันเนื่องมาจาก ระยะห่างแรงอัคกับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมีค่าไม่เท่ากัน ผลกระทบที่เกิดจากแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับจึงไม่เท่ากัน ดังนั้นแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับจึงมีผลทำให้ขนาดและตำแหน่งของ ้จุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากกรณีที่ไม่พิจารณาผลจาก แรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ



ภาพที่ 90 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เมื่อ a/h = 0.10, 2s/h = 0.15, R/P = 0.15, l/h = 0.125 และ σ₀= P /ht



ภาพที่ 91 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ Y-Y เมื่อ a/h = 0.10, 2s/h = 0.65, R/P = 0.15, l/h = 0.125 และ σ₀= P /ht

ภาพที่ 92 และ 93 แสดงการกระจายหน่วยแรงในทิศทาง X-X และ หน่วยแรงเจือน X-Y ในกรณีที่สมอยึดมีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับขนาด 0.15P มากระทำ ภาพที่ 92 เป็นกรณีที่แรงอัด ทั้งสองอยู่ใกล้กัน การกระจายหน่วยแรงในทิศทาง X-X จะแสดงบริเวณที่มีหน่วยแรงเป็นศูนย์ ที่ดำแหน่งด้านบนของแบบจำลองอยู่เหนือจากเส้นแนวหน่วยแรง J แสดงเป็นรูปคล้ายรูป สามเหลี่ยมมุมฉาก ซึ่งจะแสดงถึงแนวของแรงอัดหลักโดยมีทิศทางจากจุดศูนย์ถ่วงของแรงอัดไป จนถึงจุดศูนย์ถ่วงของแรงปฏิกิริยาที่ด้านท้ายของแบบจำลองดังที่ได้กล่าวไว้แล้วก่อนหน้านี้ ในทำนองเดียวกันในภาพที่ 93 เป็นกรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกันมากแรงปริที่เกิดขึ้นจะเกิดแยกออกจาก กันอย่างชัดเจน แนวของแรงอัดหลักที่เกิดจากแรงอัดแต่ละตัวหรือที่เรียกว่าแนวแรงอัดย่อย ซึ่งจะมี ทิศทางจากจุดศูนย์กลางของแผ่นเหล็กแบกทานแต่ละแรงไปจนถึงจุดศูนย์ถ่วงของแรงปฏิกิริยาที่ ด้านท้ายของแบบจำลองซึ่งถูกแบ่งออกเป็นแต่ละส่วนโดยอาศัยแนวแรงอัดหลักดังที่ได้กล่าวไว้



ภาพที่ 93 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงในทิศ X-X และ X-Y เมื่อ e/h = -0.10, a/h = 0.10, 2s/h = 0.65, R/P = 0.15, 1/h = 0.125 และ σ₀= P /ht

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

3.20 ขนาคของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด

จากผลการศึกษาบริเวณสมอยึดในกรณีที่มีรูปแบบของการอัดแรงแบบตรงศูนย์และ เอียงตรงศูนย์ ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆกับขนาดและคำแหน่งของ จุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด ดังนั้นในบทนี้จึงเลือกเฉพาะค่าของตัวแปรเพียง บางตัวที่สำคัญเท่านั้นซึ่งนำมาใช้ในการศึกษาพฤติกรรมบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบเยื้องศูนย์ โดยตัวแปรหลักที่ใช้ในการศึกษานี้คือ ค่าของการเยื้องศูนย์ ขนาดและคำแหน่งของแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับ ในส่วนของขนาดของแผ่นเหล็กแบกทาน จะเลือกใช้เพียงสองก่าเท่านั้นคือ a/b เท่ากับ 0.10 และ 0.20 ซึ่งเป็นขนาดของแผ่นเหล็กแบกทานที่นิยมในการใช้งานจริงสำหรับกาน กอนกรีตอัดแรงที่มีการอัดแรงมากกว่าหนึ่งชุด โดยแผ่นเหล็กแบกทานขนาดอื่นๆเป็นขนาดที่เล็ก และใหญ่เกินไปในการใช้งาน พฤติกรรมของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่มีระยะห่าง ระหว่างแรงอัดทั้งสองที่เปลี่ยนแปลงไปจะจำแนกโดยอาศัยพฤติกรรมที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อ ที่ผ่านมา กล่าวคือ เมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.50a แรงปริที่พิจารณาคือแรงปริ ที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักและเมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a แรงปริที่พิจารณาคือแรงปริ ที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักและเมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a แรงปริที่พิจรณาคือแรงปริ ที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักและเมื่นหรอังอองแรงอัดแต่ละแรง โดยผลการศึกษาส่วนใหญ่จะถูกนำมา เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากสมการที่ใช้ในการกำนวณหาขนาดและดำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรง ปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดของ Hengprathanee

ภาพที่ 94 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก กับค่าของการเยื้องสูนย์เมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันเท่ากับ 1.50a ซึ่งในกรณีนี้จะไม่พิจารณาผลจากแรง ปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ จากภาพเห็นได้ว่าค่าของแรงปริที่มากที่สุดจะเกิดขึ้นเมื่อจุดสูนย์ถ่วงของ แรงอัดทั้งสองอยู่ในตำแหน่งตรงกันกับจุดสูนย์กลางของแบบจำลองและมีค่าลดลงเมื่อแรงทั้งสอง ขยับออกจากเส้นผ่านสูนย์กลางของแบบจำลอง โดยจะมีค่าต่ำที่สุดเมื่อจุดสูนย์ถ่วงของแรงอัด ทั้งสองอยู่ห่างกับเส้นผ่านสูนย์กลางของแบบจำลองมากที่สุดหรือมีระยะห่างจากขอบของ แบบจำลองน้อยที่สุดซึ่งเป็นผลมาจากแรงอัดซึ่งมีเนื้อที่ในการกระจายหน่วยแรงน้อยลง โดยแรงปริ จะให้ค่าเท่ากันเมื่อระยะห่างระหว่างจุดสูนย์ถ่วงของแรงอัดกับเส้นผ่านสูนย์กลางมีค่าเท่ากันไม่ว่า แรงอัดจะอยู่ที่ด้านบนหรือด้านล่างของแบบจำลอง เนื่องจากแบบจำลองมีลักษณะสมมาตรและ ใม่มีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับกระทำ โดยผลการวิเคราะห์มีความสอดกล้องกันกับผลที่ได้จาก สมการที่ 6 ของ Hengprathanee โดยค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากสมการเพียง เล็กน้อย ภาพที่ 95 และ 96 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว แรงอัดย่อยที่เกิดจากแรงอัดแต่ละแรงกับค่าของการเยื้องสูนย์เมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a มีขนาดของ a/b เท่ากับ 0.10 และ 0.20 ตามถำดับ และไม่พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ จากภาพเห็นได้ว่าเมื่อจุดสูนย์ถ่วงของแรงอัดมีการเยื้องสูนย์ไปทางด้านล่างของแบบจำลองค่าของ แรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านบนของแบบจำลองจะมีก่าสูงกว่าแรงปริที่เกิดจากแรงอัดที่ด้านล่างและ มีก่าลดลงเมื่อจุดสูนย์ถ่วงของแรงอัดขยับสูงขึ้นไปทางด้านบนของแบบจำลองซึ่งในขณะเดียวกัน แรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านอ่างจะมีก่าเพิ่มสูงขึ้นไปทางด้านบนของแบบจำลองซึ่งในขณะเดียวกัน แรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านล่างจะมีก่าเพิ่มสูงขึ้นไปทางด้านบนของแบบจำลองซึ่งในขณะเดียวกัน แบบจำลองโดยแรงปริที่เกิดขึ้นจากแรงอัดทั้งสองจะมีก่าเท่ากันเมื่อระยะห่างระหว่างแรงอัดถึงขอบ ของแบบจำลองมีก่าเท่ากัน กล่าวได้ว่าในกรณีที่บริเวณสมอยึดมีแรงอัดสองชุดอยู่ห่างกันมากพอ ที่ทำให้แรงปริแยกจากกันอย่างชัดเจน แรงปริที่เกิดจากแรงอัดที่มีระยะห่างจากขอบของแบบจำลอง มากกว่าหรือมีเนื้อที่ในการกระจายหน่วยแรงกว้างกว่าจะมีก่าแรงปริที่สูงกว่าแรงปริที่เกิดจาก แรงอัดที่มีระยงกังขอบของแบบจำลองน้อยกว่า

ในภาพที่ 95 และ 96 ยังได้แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการศึกษากับผลที่ได้จาก สมการที่ 6 โดยใช้ทฤษฎีปริซึมสมมาตรในการคำนวณ จากการเปรียบเทียบจะเห็นว่าผลการศึกษา มีความสอดคล้องกันกับผลที่ได้จากสมการที่ 6 โดยจะมีค่าสูงกว่าเพียงเล็กน้อยในกรณีของแรงปริ ที่เกิดจากแรงอัดที่อยู่ใกล้กับขอบหรือมีเนื้อที่ในการกระจายหน่วยแรงน้อย อย่างไรก็ตามในการ ออกแบบควรใช้ค่าของแรงปริที่คำนวณได้จากแรงอัดที่มีพื้นที่รับแรงมากกว่าหรือให้ค่าที่สูงที่สุด ในการออกแบบเหล็กเสริมเพื่อต้านทานแรงปริที่เกิดจากแรงอัดแต่ละแรงในกรณีที่แรงอัดอยู่ห่าง กันมากกว่า 1.50a



ภาพที่ 94 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับก่าการเยื้องศูนย์ เมื่อขนาดของ R/P = 0.00



ภาพที่ 95 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อขนาดของ R/P = 0.00, a/h = 0.10, 2s/h = 0.65



ภาพที่ 96 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อขนาดของ R/P = 0.00, a/h = 0.20, 2s/h = 0.55

ภาพที่ 97 ถึง 99 แสดงกวามสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับค่า การเยื้องสูนย์เมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันเท่ากับ 1.50a โดยในภาพที่ 97 เป็นกรณีที่สมอยึดมีแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับขนาด 0.05P กระทำที่ตำแหน่ง 1/h เท่ากับ 0.125, 0.25 และ 0.50 ตามลำดับ ซึ่งจากภาพ เห็นได้ว่าแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักจะมีค่าลดลงเมื่อแรงอัดทั้งสองขยับออกห่างจากเส้น ผ่านสูนย์กลางของแบบจำลองมากขึ้นหรือมีค่าการเยื้องสูนย์มากขึ้น โดยจะมีก่าลดลงมาก เมื่อแรงอัดทั้งสองมีการเยื้องสูนย์ไปทางด้านล่างของแบบจำลอง ซึ่งในข้างด้นสำหรับกรณีที่ ไม่พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักจะมีก่าเท่ากัน เมื่อระยะห่างระหว่างจุดสูนย์ถ่วงของแรงอัดทั้งสองไปถึงขอบของแบบจำลองมีค่าเท่ากัน แต่ในกรณีที่พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับจะเห็นว่า เมื่อแรงอัดมีการเยื้องสูนย์ไป ทางด้านบนของแบบจำลอง แรงปริที่เกิดขึ้นจะมีค่าที่สูงกว่ากรณีที่แรงอัดทั้งสองมีการเยื้องสูนย์ไป ทางด้านฉ่างของแบบจำลอง แรงปริที่เกิดขึ้นจะมีค่าที่สูงกว่ากรณีที่แรงอัดทั้งสองมีการเยื้องสูนย์ไป กางด้านล่างของแบบจำลองพรึ่งระยะห่างจากขอบของแบบจำลองมีค่าเท่ากัน กล่าวกือเมื่อแรงอัดมี การเยื้องสูนย์ไปทางด้านลางของแบบจำลอง แรงอักจางกัน แรงปริที่เกิดขึ้นจึงมีค่าที่น้อยกว่ากรณีที่แรงอัดมี การเยื้องสูนย์ไปทางด้านอางทางห้งสองหักล้างกัน แรงปริที่เกิดขึ้นจึงมีค่าที่น้อยกว่ากรณีที่แรงอัดมี การเยื้องสูนย์ไปทางด้านอางทางทั้งสองหักล้างกัน แรงปริที่เกิดขึ้นจึงมีก่าที่น้อยกว่ากรณีที่แรงอัดมี ภาพที่ 98 ถึง 99 เป็นกรณีที่สมอยึดมีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับขนาด 0.15P กระทำที่ ดำแหน่ง 1/h เท่ากับ 0.125, 0.25 และ 0.50 ซึ่งเป็นกรณีที่แรงปฏิกิริยามีขนาดใหญ่ จากภาพเห็นได้ว่า ที่ตำแหน่ง 1/h เท่ากับ 0.125 และ 0.25 ค่าของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักจะมีค่าใกล้เคียง กันเมื่อระยะห่างจากจุดศูนย์ถ่วงของแรงอัดจนถึงขอบของแบบจำลองมีค่าเท่ากัน ซึ่งเป็นผลมาจาก แรงปฏิกิริยามีค่ามากและอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้ขนาดของแรงปริมีค่าที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่เมื่อ 1/h มีค่าเท่ากับ 0.50 ขนาดของแรงปริจะมีค่าที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยในกรณีที่แรงอัดมี การเยื้องศูนย์ไปทางด้านล่างของแบบจำลอง แรงปริจะมีค่าน้อยกว่ากรณีที่แรงอัดมีการเยื้องศูนย์ไป ทางด้านบนของแบบจำลอง

ภาพที่ 98 ถึง 99 ยังได้แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการศึกษากับผลที่ได้จากสมการที่ 6 ของ Hengprathanee ซึ่งจะเห็นว่าผลที่ได้จากการศึกษายังมีค่าที่น้อยกว่าและมีความสอดคล้องกัน กับผลที่ได้จากการประยุกต์ใช้สมการ ดังนั้นในการทำนายค่าของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด ที่มีการอัดแรงสองชุดแบบเยื้องศูนย์โดยแรงอัดอยู่ห่างกันไม่เกิน 1.50a ยังจะสามารถใช้สมการที่ 6 ของ Hengprathanee ในการกำนวณหาขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักได้



ภาพที่ 97 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อขนาดของ R/P = 0.05, a/h = 0.20, 2s/h = 0.30

102

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 98 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับค่าการเยื้องสูนย์ เมื่อขนาดของ R/P = 0.15, a/h = 0.20, 2s/h = 0.30



ภาพที่ 99 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อขนาดของ R/P = 0.15, a/h = 0.10, 2s/h = 0.15

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ภาพที่ 100 แสดงกวามสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดข่อขกับค่า การเยื้องสูนย์เมื่อแรงอัดทั้งสองอยู่ห่างกันเท่ากับ 0.55k มีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับขนาดเท่ากับ 0.05P กระทำที่ตำแหน่ง 1/k เท่ากับ 0.125, 0.25 และ 0.50 แรงปริที่เกิดขึ้นในกรณีนี้เป็นแรงปริ ที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดข่อยซึ่งเกิดจากแรงอัดแต่ละแรง จากภาพเห็นได้ว่าแรงปริที่เกิดจากแรงอัด ด้านบนของแบบจำลองจะมีก่าที่เปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อ 1/k มีก่าเปลี่ยนแปลงไปและจะมีก่าลดลง เมื่อแรงอัดขยับเข้าใกล้กับขอบด้านบนของแบบจำลอง ในขณะเดียวกันแรงปริที่เกิดจากแรงอัด ด้านล่างของแบบจำลองจะมีก่าที่เปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อ 1/k มีก่าเปลี่ยนแปลงไปและจะมีก่าลดลง เมื่อแรงอัดขยับเข้าใกล้กับขอบด้านบนของแบบจำลอง ในขณะเดียวกันแรงปริที่เกิดจากแรงอัด ด้านล่างของแบบจำลองจะมีก่าที่แตกต่างกันเมื่อตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเปลี่ยนแปลง ใดยขนาดของแรงปริจะมีก่าที่แตกต่างกันเมื่อดำแหน่งของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเปลี่ยนแปลง ใปซึ่งจะมีก่ามากที่สุดเมื่อ 1/k เท่ากับ 0.50 เช่นเดียวกันกับในกรณีที่สมอยึดมีขนาดของแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับมีก่าเท่ากับ 0.15P ดังแสดงในภาพที่ 101 ถึง 103 ซึ่งเป็นกรณีที่แรงปฏิกิริยามีขนาด ใหญ่ ขนาดของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านบนของแบบจำลองยังคงมีก่าที่เปลี่ยนแปลงน้อยเมื่อ 1/k มีก่าเปลี่ยนแปลงไป แต่ในกรณีของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านล่างของแบบจำลองจะแสดงก่า ที่แตกต่างกันอย่างเด่นชัดเมื่อ 1/k มีก่าเปลี่ยนแปลงไป เนื่องมาจากแรงอัดอยู่ใกล้กันกับแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับ



ภาพที่ 100 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับค่าการเยื้องสูนย์ เมื่อขนาดของ R/P = 0.05, a/h = 0.20, 2s/h = 0.55

สิบสิทบิ์ มหาวิทยาลัยเทษยรศาสยร์



ภาพที่ 101 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับค่าการเยื้องสูนย์ เมื่อขนาดของ R/P = 0.15, a/h = 0.10, 2s/h = 0.65



ภาพที่ 102 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับค่าการเยื้องสูนย์ เมื่อขนาดของ R/P = 0.15, a/h = 0.20, 2s/h = 0.55

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรศาสกร์

ภาพที่ 100 ถึง 102 ยังได้แสดงการเปรียบเทียบผลในการศึกษากับผลที่ได้จากสมการที่ 6 ของ Hengprathanee โดยใช้ทฤษฎีปริซึมสมมาตรในการกำนวณ จากการเปรียบเทียบเห็นได้ว่าผล ที่ได้จากการวิเคราะห์มีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากสมการและมีค่าของแรงปริที่น้อยกว่าค่าที่ได้ จากสมการ ยกเว้นในกรณีของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านล่างของแบบจำลองบริเวณสมอยึดที่มี a/h เท่ากับ 0.10, 2s/h เท่ากับ 0.65, R/P เท่ากับ 0.15, I/h เท่า 0.50 และค่าการเยื้องศูนย์เท่ากับ -0.10h เท่านั้นที่ผลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยวิธีไฟในท์อิลิเมนต์จะมีค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จาก สมการ แต่ก็ยังมีค่าที่น้อยกว่าค่าของแรงปริที่กำนวณได้จากแรงอัดด้านบนของแบบจำลอง ซึ่งใน การออกแบบควรใช้ก่าที่มากที่สุดที่คำนวณได้ไปในในการหาขนาดของเหล็กเสริมเพื่อด้านทาน แรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด ดังนั้นในกรณีของบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดแบบเยื้อง ศูนย์และแรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a สามารถใช้สมการที่ 6 ของ Hengprathanee โดยอาศัย ทฤษฎีปริซึมสมมาตรในการกำนวณหาขนาดของแรงปริเพื่อนำไปออกแบบเหล็กเสริมด้านทานแรง ปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดได้

3.30 ตำแหน่งของจุคศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด

ภาพที่ 103 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้น บนแนวแรงอัดหลักกับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อแรงอัดทั้งสองอยู่ห่างกันเท่ากับ 1.50a โดยมีขนาดของ a/b เท่ากับ 0.10 และ 0.20 และ ไม่พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ จากภาพเห็นได้ว่า ความสัมพันธ์มีลักษณะคล้ายกันกับความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับค่า การเยื้องศูนย์ โดยตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริจะมีค่าลดลงเมื่อจุดศูนย์ถ่วงของแรงอัด ทั้งสองขยับเข้าใกล้กับขอบของแบบจำลอง แต่ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว แรงอัดหลักของสมอยึดที่มีขนาดของ a/b เท่ากับ 0.20 จะมีค่าที่สูงกว่าตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของ แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักของสมอยึดที่มีขนาดของ a/b เท่ากับ 0.10 เนื่องจากบริเวณสมอ ยึดมีแผ่นเหล็กแบกทานขนาดใหญ่ มีตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัด หลักไกลกว่าตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่มีขนาดของแผ่นเหล็ก แบกทานที่เล็กกว่าซึ่งได้กล่าวไปบ้างแล้วในข้างต้น

ภาพที่ 103 ยังแสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการศึกษากับผลที่ได้จากสมการที่ 7 ของ Hengprathanee จากการเปรียบเทียบเห็นได้ว่าผลที่ได้จากการศึกษามีความสอดคล้องกับผล ที่ได้จากสมการกล่าวคือ ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริมีก่าลคลงเมื่อจุดศูนย์ถ่วงของแรงอัด

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

งยับเข้าใกล้กับขอบของแบบจำลองและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณ สมอยึดที่มีแผ่นเหล็กแบกทานขนาดใหญ่มีค่าสูงกว่าตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้น ในบริเวณสมอยึดที่มีขนาดของแผ่นเหล็กแบกทานที่เล็กกว่า โดยตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรง ปริที่ได้จากการศึกษามีค่าที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่ได้จากการสมการที่ 7 เมื่อแรงอัดไม่มีการเยื้องศูนย์และมีค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากสมการเมื่อแรงอัดมีการเยื้องศูนย์ไป ทางด้านบนและด้านล่างของแบบจำลอง

เนื่องจากการกาดกะเนหาตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอ ้ยึดให้ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงนั้นทำได้ยาก จากงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตรวมทั้งสมการที่ถูก กำหนดไว้ในมาตรฐานการออกแบบของ AASHTO (2002) ยังไม่สามารถสร้างสมการเพื่อใช้ในการ ้ คำนวณหาตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดได้อย่างแม่นยำ ส่วนใหญ่ อาศัยการหาค่าเฉลี่ยจากผลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนท์อิลิเมนต์ซึ่งมีบางกรณีที่ผลจาก การวิเคราะห์จะมีค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากสมการ อย่างไรก็ตามวิธีการจัดเหล็กเสริมให้กระจายไป ้จนถึงระยะ 2 เท่าของค่าที่คำนวณได้จากสมการและให้จุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมอยู่ตรงกันกับ ้ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่กำนวณใด้ จะสามารถป้องกันการวิบัติเริ่มแรกของโครงสร้าง ้ได้เช่นเดียวกัน เนื่องมาจากตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำถอง มักอยู่ห่างออกไปจากจุดที่เกิดหน่วยแรงปริสูงสุดซึ่งในตำแหน่งนี้ถ้ามีเหล็กเสริมที่เพียงพอก็จะ สามารถป้องกันการวิบัติของโครงสร้างได้ ดังนั้นสมการที่ 7 ของ Hengprathanee ที่ได้ปรับปรุง ู้ขึ้นมาจากสมการของ AASHTO และให้ค่าของตำแหน่งของจุคศูนย์ถ่วงของแรงปริที่สูงกว่าค่าที่ได้ จากสมการของ AASHTO ยังสามารถใช้ในการทำนายหาตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริ ที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดแบบเยื้องศูนย์โดยแรงอัดทั้งสองอยู่ห่างกันไม่เกิน 1.50a โดยไม่พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ୲ଗଙ୍କ



ภาพที่ 103 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุคศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัคหลัก กับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของ R/P = 0.00

ภาพที่ 104 และ 105 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริ ที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a และไม่พิจารฉา ผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ โดยในภาพที่ 104 เป็นกรณีที่สมอยึดมีขนาดของ a/b เท่ากับ 0.10 และภาพที่ 105 เป็นกรณีที่สมอยึดมีขนาดของ a/b เท่ากับ 0.20 จะเห็นว่าความสัมพันธ์ยังคงมี ลักษณะที่กล้ายกันกับความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อสมอยึดมีรูปแบบของการอัดแรงแรงเดียวกันกล่าวกือ ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิด จากแรงอัดแต่ละแรงจะมีค่าลดลงเมื่อแรงอัดขยับเข้าใกล้กันกับขอบของแบบจำลองหรือมีพื้นที่รับ แรงลดลง

ผลที่ได้จากการศึกษามีแนวโน้มที่สอดคล้องกันกับผลที่ได้จากสมการที่ 7 ของ Hengprathanee และมีก่าที่ใกล้เกียงกันโดยผลที่ได้จาการศึกษาส่วนใหญ่จะมีก่าน้อยกว่าผลที่ได้จาก สมการที่ 7 ดังนั้นในการกำนวณหาตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด ที่มีการอัดแรงสองชุดแบบเยื้องศูนย์โดยแรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a และไม่พิจารณาผลจากแรง ปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ สามารถใช้สมการที่ 7 ในการกำนวณได้



ภาพที่ 104 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย กับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของ R/P = 0.00, a/h = 0.10 และ 2s/h = 0.65



ภาพที่ 105 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย กับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของ R/P = 0.00, a/h = 0.20 และ 2s/h = 0.55

109

ลิขสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ภาพที่ 106 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบน แนวแรงอัดหลักกับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันเท่ากับ 1.50a โดยมีขนาดของ a/b เท่ากับ 0.20 และมีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับขนาดเท่ากับ 0.05P กระทำที่ตำแหน่ง 0.125b, 0.25b และ 0.50b จากภาพเห็นได้ว่าตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริมีก่าลดลงเมื่อจุดศูนย์ถ่วงของแรงอัด ทั้งสองขยับออกห่างจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมากขึ้น กล่าวคือผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ทำให้ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักมีก่าเพิ่มขึ้นและมีก่าสูงมาก เมื่อจุดศูนย์ถ่วงของแรงอดอยู่ใกล้กันกับตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ เช่นเดียวกันกับ ในกรณีที่สมอยึดมีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับขนาดใหญ่กระทำดังแสดงในภาพที่ 107 และภาพที่ 108 ซึ่งเป็นกรณีที่สมอยึดมีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับขนาด 0.15P มากระทำ ตำแหน่งของ จุดศูนย์ถ่วงของแรงปริยังมีก่าลดลงเมื่อจุดศูนย์ถ่วงของแรงอัดทั้งสองขยับออกห่างจากแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับมากขึ้น และมีก่าเพิ่มขึ้นมากกว่ากรณีที่สมอยึดมีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับขนาด 0.05P มากระทำ เมื่อจุดศูนย์ถ่วงของแรงอัดอยู่ใกล้กันกับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ



ภาพที่ 106 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก กับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของ R/P = 0.05, a/h = 0.20 และ 2s/h = 0.30

110

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ี้ ภาพที่ 107 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก กับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของ R/P = 0.15, a/h = 0.10 และ 2s/h = 0.15



ภาพที่ 108 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก กับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของ R/P = 0.15, a/h = 0.20 และ 2s/h = 0.30

ลิขสิทฮิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

จากภาพทั้งสามพบว่าผลที่ได้จากการศึกษาจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันกับผลที่ได้จากสมการที่ 7 ของ Hengprathanee เมื่อแรงอัดมีการเยื้องศูนย์ไปทางด้านบนของแบบจำลองและจะมีค่าที่สูงกว่า มากเมื่อแรงอัดมีการเยื้องศูนย์ไปทางด้านล่างของแบบจำลอง โดยผลที่ได้จากการศึกษาจะมีความ สอดกล้องกันกับงานวิจัยของ Hengprathanee ดังนั้นในการคำนวณหาตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของ แรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดแบบเยื้องศูนย์โดยแรงอัดอยู่ห่างกันเท่ากับ 1.50a และพิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ จะสามารถใช้สมการที่ 7 ในการคำนวณได้

ภาพที่ 109 ถึง 111 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับค่า การเยื้องศูนย์เมื่อแรงอัคทั้งสองอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a โคยในภาพที่ 109 เป็นกรณีที่สมอยึคมี งนาดของ a/h เท่ากับ 0.20 และมีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับงนาคเท่ากับ 0.05P มากระทำที่ตำแหน่ง 1/h เท่ากับ 0.125, 0.25 และ 0.50 ภาพที่ 110 และ 111 เป็นกรณีที่สมอยึดมีขนาดของ a/h เท่ากับ 0.10 และ 0.20 ตามลำดับ มีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับขนาดเท่ากับ 0.15P มากระทำที่ตำแหน่ง 1/h เท่ากับ 0.125, 0.25 และ 0.50 ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดที่ด้านบนของ แบบจำลองมีค่าลคลงเมื่อแรงอัคขยับเข้าใกล้กับขอบค้านบนของแบบจำลองและมีค่าที่ใกล้เคียงกัน กับผลที่ได้จากสมการที่ 7 ของ Hengprathanee แต่จะแตกต่างกับตำแหน่งที่เกิดจากแรงอัดด้านล่าง ของแบบจำลองที่อยู่ใกล้กับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ผลจากแรงปฏิกิริยาทำให้ตำแหน่งของ จุดศูนย์ถ่วงของแรงปริมีค่าเพิ่มมากขึ้นและมีค่าสูงมากเมื่อแรงปฏิกิริยามีขนาดเท่ากับ 0.15P โดยจะ ้มีค่าที่แตกต่างกันกับค่าที่ได้จากสมการที่ 7 อย่างไรก็ตาม หน่วยแรงดึงที่สูงที่สุดที่เกิดขึ้นบนแนว แรงอัดย่อย จะอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับขอบของแผ่นเหล็กแบกทานและหน่วยแรงคึงที่มีค่าน้อย ้เกิดขึ้นใกลออกไปจากขอบของแผ่นเหล็กแบกทานทำให้ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริหรือ ้จุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ใต้กราฟของหน่วยแรงปริบนแนวแรงอัดย่อยมีก่ามาก หากมีการเสริมเหล็กที่ เพียงพอในบริเวณที่มีหน่วยแรงปริที่สูงที่สุดก็จะสามารถป้องกันการวิบัติของโครงสร้างได้ ซึ่งการ จัดเหล็กเสริมให้กระจายไปจนถึง 2 เท่าของตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่คำนวณได้จาก สมการที่ 7 ก็จะทำให้มีเหล็กเสริมที่เพียงพอในบริเวณที่เกิดหน่วยแรงสูงสุด ดังนั้นในการ ี กำนวณหาตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุด แบบเยื้องศูนย์และพิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ จะสามารถใช้สมการที่ 7 ในการ คำนวณได้



ภาพที่ 109 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย กับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของ R/P = 0.05, a/h = 0.20 และ 2s/h = 0.55



ภาพที่ 110 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย กับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของ R/P = 0.15, a/h = 0.10 และ 2s/h = 0.65



ภาพที่ 111 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย กับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อขนาดของ R/P = 0.15, a/h = 0.20 และ 2s/h = 0.65

4. บริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดแบบเอียงเยื้องศูนย์

4.10 กราฟหน่วยแรงแบบเชิงเส้นในแบบจำลอง

ภาพที่ 112 แสดงการกระจายหน่วยแรงเชิงเส้นในทิศ Y-Y บนแบบจำลองบริเวณ สมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดแบบเอียงเยื้องสูนย์มีขนาดของ a/b เท่ากับ 0.10 โดยแรงอัดทั้งสอง อยู่ห่างกันเท่ากับ 1.50a และเอียงทำมุม 9 องศา มีค่าการเยื้องสูนย์เท่ากับ -0.30b, -0.10b, 0.10b และ 0.30b เป็นกรณีที่ไม่มีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับกระทำ จากภาพเห็นได้ว่าการกระจายหน่วยแรง แบบเชิงเส้นมีลักษณะที่คล้ายกันกับกรณีสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบเยื้องสูนย์ แต่หน่วยแรงที่เกิด จากแรงอัดที่มีการเยื้องสูนย์ไปทางด้านบนและด้านล่างของแบบจำลองมีลักษณะที่ไม่เหมือนกัน เมื่อระยะห่างระหว่างจุดศูนย์ถ่วงของแรงอัดทั้งสองถึงขอบของแบบจำลองมีลักษณะที่ไม่เหมือนกัน ถึงแม้จะมีระยะห่างระหว่างเจดศูนย์ถ่วงของแรงอัดที่งักสองถึงขอบของแบบจำลองมีค่าเท่ากัน ซึ่งเป็นผลมา จากแบบจำลองมีการอัดแรงแบบเอียง ทำให้แรงอัดมีทิศทางในการกระจายหน่วยแรงไม่เหมือนกัน ถึงแม้จะมีระยะห่างระหว่างแรงอัดถึงขอบของแบบจำลองเท่ากันก็ตาม หน่วยแรงไร่ที่ผิวยังเกิดขึ้น ในบริเวณด้านข้างของแผ่นเหล็กแบกทานทั้งสองซึ่งคล้ายกับกรณีที่มีการอัดแรงแบบเยื้องศูนย์และ มีก่ามากขึ้นเมื่อแบบจำลองมีก่าการเยื้องศูนย์มาก และเมื่อแรงอัดทั้งสองขยับออกห่างจากกัน มากกว่า 1.50a ดังแสดงในภาพที่ 113 แรงอัดอยู่ห่างกันเท่ากับ 0.65h และมีก่าการเยื้องศูนย์เท่ากับ -0.10h และ 0.10h แรงปริจะเกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยซึ่งเกิดจากแรงอัดแต่ละแรงแยกออกจากกัน อย่างชัดเจน แรงปริที่เกิดจากแรงอัดที่มีระยะห่างจากขอบมากจะมีก่าสูง โดยลักษณะของ การกระจายหน่วยแรงปริที่เกิดจากแรงอัดที่มีระยะห่างจากขอบมากจะมีก่าสูง โดยลักษณะของ การกระจายหน่วยแรงปริที่เกิดจากแรงอัดที่มีระยะห่างจากขอบของแบบจำลองเท่ากันจะมีลักษณะ ที่ไม่เหมือนกัน ดังเช่นการกระจายหน่วยแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านบนของแบบจำลองที่มี การเยื้องศูนย์เท่ากับ -0.10h จะมีลักษณะที่แตกต่างกันกับการกระจายหน่วยแรงปริที่เกิดจากแรงอัด ด้านล่างของแบบจำลองที่มีก่าการเยื้องศูนย์เท่ากับ 0.10h ซึ่งระยะห่างระหว่างแรงอัดถึงขอบของ แบบจำลองมีก่าเท่ากัน เป็นผลมาจากแรงอัดเอียงทำมุมกับแนวราบทำให้เนื้อที่ในการกระจายหน่วย แรงไม่เท่ากัน บริเวณที่อยู่ระหว่างแรงอัดทั้งสองยังมีหน่วยแรงปริที่ผิวเกิดขึ้นซึ่งจะมีก่ามาก เมื่อแรงอัดทั้งสองอยู่ห่างกันมาก





ภาพที่ 112 การกระจายหน่วยแรงเชิงเส้นในทิศทาง Y-Y เมื่อ $a/h = 0.10, 2s/h = 0.15, \alpha = 9$ องศา, R/P = 0.00, l/h = 0.00 และ $\sigma_0 = P$ /ht

116

ลิขสิทขี้ มหาวิทยาลัยเทษกรร่าสกร



ภาพที่ 113 การกระจายหน่วยแรงเชิงเส้นในทิศทาง Y-Y เมื่อ a/h = 0.10, 2s/h = 0.65, α = 9 องศา, R/P = 0.00, l/h = 0.00 และ σ_0 = P /ht

ภาพที่ 114 แสดงการกระจายหน่วยแรงเชิงเส้นในทิศ Y-Y ในบริเวณสมอยิดที่มีการอัดแรง สองชุดแบบเอียงเยื้องศูนย์ซึ่งแรงอัดทั้งสองอยู่ห่างกันเท่ากับ 1.50a โดยมีขนาดของ a/b เท่ากับ 0.10, α เท่ากับ 9 องศาและมีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับขนาด 0.15P กระทำที่ตำแหน่ง l/b เท่ากับ 0.125 จากภาพเห็นได้ว่าเมื่อแบบจำลองมีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมากระทำ การกระจายหน่วยแรง จะมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปจากกรณีที่ไม่มีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับภาระทำ การกระจายหน่วย แรงปริจะมีทิศทางที่เบี่ยงเบนออกไปตามแนวของแรงอัดหลักเนื่องจากแรงลัพธ์ที่เกิดจากแรงอัดทั้ง สองกับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับและอยู่ในดำแหน่งด้านหลังของแผ่นเหล็กแบกทานไม่ว่าแผ่น เหล็กแบกทานจะเยื้องศูนย์ ณ ตำแหน่งใด อิทธิพลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับยังส่งผลให้หน่วย แรงปริที่ผิวมีลักษณะเบาบางลงเมื่อแรงอัดทั้งสองมีการเยื้องศูนย์ไปทางด้านบนของแบบจำลอง เนื่องจากอิทธิพลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับส่งผลโดยตรงต่อหน่วยแรงปริที่ผิวซึ่งจะแตกต่างกับ กรณีที่แรงอัดมีการเยื้องศูนย์ทางด้านล่างของแบบจำลอง



ภาพที่ 114 การกระจายหน่วยแรงเชิงเส้นในทิศทาง Y-Y เมื่อ $a/h = 0.10, 2s/h = 0.15, \alpha = 9$ องศา, R/P = 0.15, l/h = 0.125 และ σ_0 = P /ht

เมื่อแรงอัดทั้งสองขยับออกห่างจากกันดังแสดงในภาพที่ 115 แรงอัดทั้งสองจะอยู่ห่างกัน เป็นระยะเท่ากับ 0.65h ซึ่งหน่วยแรงปริที่เกิดขึ้นจะแยกจากกันอย่างชัดเจนโดยจะเกิดที่ตำแหน่ง ด้านหลังแผ่นเหล็กแบกทานแต่ละตัว จากภาพเห็นได้ว่าหน่วยแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านล่างของ แบบจำลองมีลักษณะเบาบางโดยเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ หน่วยแรงที่เกิดจากแรงอัดด้านล่างของแบบจำลองหักล้างกับหน่วยแรงที่เกิดจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ หน่วยแรงที่เกิดจากแรงอัดด้านล่างของแบบจำลองหักล้างกับหน่วยแรงที่เกิดจากแรงปฏิกิริยาที่ ฐานรองรับบางส่วน โดยมีค่าน้อยกว่าหน่วยแรงที่เกิดจากแรงอัดด้านบนของแบบจำลอง บริเวณ ระหว่างแรงอัดทั้งสองยังมีหน่วยแรงปริที่ผิวเกิดขึ้นโดยมีลักษณะที่ไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อแรงอัดมีการเยื้องศูนย์ไปทางด้านบนและด้านล่างของแบบจำลอง อิทธิผลจากแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับได้หักล้างกับหน่วยแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านองของแบบจำลองไปบางบางส่วน



ภาพที่ 115 การกระจายหน่วยแรงเชิงเส้นในทิศทาง Y-Y เมื่อ $a/h = 0.10, 2s/h = 0.65, \alpha = 9$ องศา, R/P = 0.15, l/h = 0.125 และ $\sigma_0 = P$ /ht

4.20 ขนาคของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด

จากการศึกษาพฤติกรรมของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุด แบบเอียงตรงศูนย์และไม่พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ เห็นได้ว่าขนาดของแรงปริมีค่า เพิ่มขึ้นเมื่อมุมเอียงของแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งจะสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2 ของ AASHTO ขนาดของแรงปริที่กำนวณได้จากสมการมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมุมเอียงของแรงอัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากพจน์ ของสมการ 0.50(P_usinα) แต่เมื่อมีการพิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับจากสมการที่ 6 ของ Hengprathanee จะเห็นว่าขนาดของแรงปริมีค่าลดลงเมื่อมุมเอียงของแรงอัดมีค่ามากกว่า 3 องศา ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากพจน์ของแรงปฏิกิริยาจากสมการที่ 6 คือ R(0.25-sinα) โดยจะมีค่าเป็น ลบเมื่อ α มีค่ามากกว่า 3 องศา อย่างไรก็ตาม ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น ในการทำงานจริง ขณะที่ยังไม่มีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับกระทำ ขนาดของแรงปริที่คำนวณได้ไม่ควรมีค่าเป็นอบ ในทำนอง เดียวกันการกำนวณหาขนาดของแรงปริโดยอาศัยสมการที่ 6 ของ Hengprathanee ในกรณีที่สมอยึด มีการอัดแรงแบบเอียงเยื้องศูนย์โดยแรงอัดเอียงทำมุมมากกว่า 3 องศาไม่ควรนำผลจากแรงปฏิกิริยา

ภาพที่ 116 และ 117 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว แรงอัดหลักกับก่าการเยื้องสูนย์เมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันเท่ากับ 1.50a และเอียงทำมุม 6 และ 9 องศา โดยไม่พิจารฉาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ โดยในภาพที่ 116 เป็นกรณีที่สมอยึดมีขนาดของ a/b เท่ากับ 0.10 และภาพที่ 117 เป็นกรณีที่สมอยึดมีขนาดของ a/b เท่ากับ 0.20 จะเห็นว่าขนาดของ แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักมีก่าลดลงเมื่อจุดศูนย์ถ่วงของแรงอัดทั้งสองขยับออกห่างจาก เส้นผ่านศูนย์กลางของแบบจำลองมากขึ้นหรือมีก่าการเยื้องศูนย์มากขึ้น โดยในกรณีที่สมอยึดมี แรงอัดเอียงทำมุม 6 องศา ขนาดของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดที่มีการเยื้องศูนย์ไปทางด้านบนของ แบบจำลองจะมีก่าที่ใกล้เคียงกับแรงปริที่เกิดจากแรงอัดที่มีการเยื้องศูนย์ไปทางด้านอ่างของ แบบจำลองจะมีก่าที่ใกล้เคียงกับแรงปริที่เกิดจากแรงอัดที่มีการเยื้องศูนย์ไปทางด้านล่างของ แบบจำลองเมื่อทั้งสองกรณีมีระยะห่างจากจุดศูนย์ถ่วงของแรงอัดไปจนถึงขอบของแบบจำลองที่ เท่ากัน ในขณะเดียวกันในกรณีที่สมอยึดมีแรงอัดเอียงทำมุม 9 องศา แรงปริที่เกิดจากแรงอัดที่มีการ เยื้องศูนย์ไปทางด้านบนของแบบจำลองมีก่าสูงกว่าแรงปริที่เกิดจากแรงอัดที่มีการเขื้องๆเรงไรที่เกิดจากแรงอันยู่ใป ทางด้านล่างของแบบจำลองเมื่อมีระยะห่างระหว่างจุดศูนย์ถ่วงของแรงอัดไปจนถึงของของ แบบจำลองที่เท่ากัน โดยขนาดของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดที่เอียงทำมุม 9 องศานั้นจะมีก่าสูงกว่า ขนาดของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดที่เอียงทำมุม 6 องศา



ภาพที่ 116 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อขนาดของมุมเอียงเท่ากับ 6 และ 9 องศา, R/P = 0.00, a/h = 0.10, 2s/h = 0.15



ภาพที่ 117 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อขนาดของมุมเอียงเท่ากับ 6 และ 9 องศา, R/P = 0.00, a/h = 0.20, 2s/h = 0.30

ภาพที่ 116 และ 117 ยังได้แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการศึกษากับผลที่ได้จาก สมการที่ 6 ของ Hengprathanee จากการเปรียบเทียบจะเห็นว่าผลที่ได้จากการศึกษาจะมีค่าที่น้อย กว่าและมีความสอดคล้องกันกับผลที่ได้จากสมการที่ 6 ดังนั้นในการคำนวณหาขนาดของแรงปริที่ เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดแบบเอียงเยื้องศูนย์และแรงอัดยู่ห่างกันไม่เกิน 0.15a โดยไม่พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเพื่อนำไปออกแบบเหล็กเสริมต้านทานแรงปริที่ เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด จะสามารถใช้สมการที่ 6 ของ Hengprathanee ในการคำนวณได้

ภาพที่ 118 และ 119 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัด ย่อยกับค่าการเยื้องสูนย์เมื่อเมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a และเอียงทำมุม 6 และ 9 องศา โดยไม่พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ภาพที่ 118 เป็นกรณีที่สมอยึคมีขนาดของ a/h เท่ากับ 0.10 โดยแรงอัดอยู่ห่างกันเท่ากับ 0.65h และในภาพที่ 119 เป็นกรณีที่สมอยึคมีขนาดของ a/h เก่ากับ 0.20 โดยแรงอัดอยู่ห่างกันเท่ากับ 0.55h ขนาดของแรงปริมีค่าสูงขึ้นเมื่อแรงอัดแต่ละแรง มีระยะห่างจากขอบของแบบจำลองมากขึ้น ซึ่งขนาดของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดที่ด้านบนของ แบบจำลองจะมีค่าที่สูงกว่าขนาดของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดค้านล่างเมื่อแรงอัดทั้งสองที่มี ระยะห่างถึงขอบของแบบจำลองเรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านล่างเมื่อแรงอัดทั้งสองที่มี ระยะห่างถึงขอบของแบบจำลองเท่ากัน และจะมีค่าสูงมากเมื่อจุดศูนย์ถ่วงของแรงอัดทั้งสองที่มี การเยื้องศูนย์ไปทางด้านล่างของแบบจำลอง ในกรณีที่แรงอัดเอียงทำมุม 9 องศากับแนวราบ แรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านบนของแบบจำลองจะมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับกรณีที่แรงอัดเอียงทำมุม 6 องศากับแนวราบ แต่แรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านล่างของแบบจำลองในกรณีที่แรงอัดเอียงทำมุม 9 องศาจะมีค่าที่สูงกว่ากรณีที่แรงอัดเอียงทำมุม 6 องศาเพียงเล็กน้อย

ภาพที่ 118 และ 119 ยังได้แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการศึกษากับผลที่ได้จาก การประยุกต์ใช้สมการที่ 6 ของ Hengprathanee พบว่าผลที่ได้จากการศึกษามีความสอดคล้องกันกับ ผลที่ได้จากสมการ โดยในกรณีของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดเอียงทำมุม 6 องศากับแรงปริที่เกิดจาก แรงอัดด้านบนของแบบจำลอง โดยแรงอัดเอียงทำมุม 9 องศามีค่าที่ต่ำกว่าค่าที่ได้จากสมการ แต่ในกรณีของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านบนของแบบจำลอง โดยแรงอัดเอียงทำมุม 9 องศามีค่า ที่ใกล้เคียงกันกับผลที่ได้จากสมการซึ่งในบางกรณีมีค่าที่สูงกว่าโดย มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างกัน เพียงร้อยละ 7.6 ซึ่งถือเป็นความแตกต่างที่น้อยมาก และค่าที่สูงกว่าส่วนใหญ่จะมีค่าไม่เกิน 0.125P ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ต่ำสุดในการคำนวณแรงปริที่กำหนดไว้ในสมการที่ 6


ภาพที่ 118 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับค่าการเยื้องสูนย์ เมื่อขนาดของมุมเอียงเท่ากับ 6 และ 9 องศา, R/P = 0.00, a/h = 0.10, 2s/h = 0.65



ภาพที่ 119 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อขนาดของมุมเอียงเท่ากับ 6 และ 9 องศา, R/P = 0.00, a/h = 0.20, 2s/h = 0.55

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ภาพที่ 120 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับค่าการเยื้อง สูนย์ โดยแรงอัดทั้งสองอยู่ห่างกันเท่ากับ 1.50a และเอียงทำมุม 6 และ 9 องสา ขนาดของ a/b เท่ากับ 0.20 มีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับขนาดเท่ากับ 0.05P กระทำที่ตำแหน่ง l/b เท่ากับ 0.125, 0.25 และ 0.50 จากภาพจะเห็นว่าลักษณะของกวามสัมพันธ์ยังกล้ายกันกับกรณีที่ไม่พิจารณาที่ฐานรองรับ คือ ขนาดของแรงปริจะมีก่าลดลงเมื่อแรงอัดมีการเยื้องสูนย์เพิ่มขึ้น แต่แตกต่างกันในกรณีที่บริเวณสมอ ยึดมีแรงอัดเอียงทำมุม 9 องศาและมีก่าการเยื้องสูนย์เท่ากับ 0.10b แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัด หลักจะมีก่าเพิ่มสูงขึ้นกว่าแรงปริที่เกิดจากแรงอัดที่ไม่เยื้องศูนย์ แต่ยังคงมีก่าลดลงเมื่อแรงอัด ทั้งสองมีการเยื้องศูนย์เพิ่มขึ้น โดยแรงปริที่เกิดจึนในบริเวณสมอยึดที่มีก่าของ l/b เท่ากับ 0.125 จะมีก่าสูงกว่ากรณีที่ก่า l/b เท่ากับ 0.25 และ 0.50



ภาพที่ 120 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อขนาดของมุมเอียงเท่ากับ 6 และ 9 องศา, R/P = 0.05, a/h = 0.20, 2s/h = 0.30

ภาพที่ 121 และ 122 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับค่า การเยื้องสูนย์ แรงอัดทั้งสองอยู่ห่างกันเท่ากับ 1.50a และเอียงทำมุมกับแนวราบ 6 และ 9 องศา มีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับขนาดเท่ากับ 0.15P กระทำที่ตำแหน่ง 1/h เท่ากับ 0.125, 0.25 และ 0.50 โดยในภาพที่ 121 เป็นกรณีที่สมอยึดมีขนาดของ a/h เท่ากับ 0.10 และภาพที่ 122 เป็นกรณีที่สมอยึด มีขนาดของ a/h เท่ากับ 0.20 จะเห็นว่าเมื่อแบบจำลองบริเวณสมอยึคมีแรงปฏิกิริยาขนาดใหญ่มา กระทำ ขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักจะมีค่าลดลงกว่ากรณีที่แรงปฏิกิริยามีค่าน้อย และจะมีค่าลดลงอีกหากแรงอัดทำมุมเอียงมากขึ้น จากภาพเห็นได้ว่าแรงปริที่เกิดจากแรงอัดซึ่งเอียง ทำมุม 9 องศา มีค่าน้อยกว่าแรงปริที่เกิดจากแรงอัดซึ่งเอียงทำมุม 6 องศา ยกเว้นกรณีที่สมอยึคมี ขนาดของ a/h เท่ากับ 0.10, R/P เท่ากับ 0.15, I/h เท่ากับ 0.50 และแรงอัดทั้งสองมีค่าการเยื้องศูนย์ เท่ากับ -0.20 และ -0.30 เท่านั้นที่แรงปริที่เกิดจากแรงอัดที่เอียงทำมุม 9 องศามีค่าที่สูงกว่าแรงปริ ที่เกิดจากแรงอัดที่เอียงทำมุม 6 องศาและในกรณีที่แรงอัดที่เอียงทำมุม 9 องศามีค่าที่สูงกว่าแรงปริ ที่เกิดจำกแรงอัดที่เอียงทำมุม 6 องศาและในกรณีที่แรงอัดมีค่าการเยื้องศูนย์เท่ากับ -0.30 แรงปริ ที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่มีค่าของ I/h เท่ากับ 0.50 จะมีค่าที่สูงกว่าแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอ

ภาพที่ 121 และ 122 ยังได้แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการศึกษากับผลที่ได้จาก สมการที่ 6 ของ Hengprathanee ซึ่งในสมการจะไม่นำผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมาพิจารณา โดยตัดพจน์ของแรงปฏิกิริยาออกคือ R(0.25-5sin**Q**) ซึ่งพจน์นี้จะทำให้แรงปริที่กำนวณได้มีก่า ลดลงเนื่องจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าแรงปริไม่ควรมีก่าลดลง หากขนาด ของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมีก่ามากขึ้น ผลที่ได้จากการศึกษามีก่าที่แตกต่างกันมากกับผลที่ได้ จากสมการที่ 6 เพื่อความปลอดภัยในการออกแบบ การใช้สมการที่ 6 ยังคงสามารถนำมาใช้ในการ กำนวณหาขนาดของแรงปริที่มีการอัดแรงสองชุดแบบเอียงเยื้องศูนย์ได้โดยแรงอัดทั้งสองต้อง อยู่ห่างกันไม่เกิน 1.50a



ภาพที่ 121 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อขนาดของมุมเอียงเท่ากับ 6 และ 9 องศา, R/P = 0.15, a/h = 0.10, 2s/h = 0.15



ภาพที่ 122 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อขนาดของมุมเอียงเท่ากับ 6 และ 9 องศา, R/P = 0.15, a/h = 0.20, 2s/h = 0.30

126

ลิขสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ภาพที่ 123 และ 124 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัด ย่อยกับค่าการเยื้องสูนย์เมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันเท่ากับ 0.55k ขนาดของ a/k เท่ากับ 0.20 มีแรงปฏิกิริยา ขนาดเท่ากับ 0.05P กระทำที่ตำแหน่ง 1/k เท่ากับ 0.125 และ 0.50 ซึ่งเป็นกรณีที่แรงอัดทั้งสองอยู่ ห่างกันมากกว่า 1.50a โดยภาพที่ 123 เป็นกรณีที่แรงอัดเอียงทำมุม 6 องศา และภาพที่ 124 เป็นกรณี ที่แรงอัดเอียงทำมุม 9 องศา จะเห็นว่าแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านบนของแบบจำลองจะมีค่าลดลง เมื่อแรงอัดขยับเข้าใกล้กับขอบของแบบจำลองมากขึ้นซึ่งมีลักษณะคล้ายกันกับกรณีที่ไม่พิจารณา ผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ แต่มีค่าที่แตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อคำแหน่งของแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเป็นผลมาจากแรงอัดด้านบนอยู่ห่างจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ มากและอิทธิผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับได้ถูกหักล้างไปบางส่วนจากแรงอัดด้านล่างของ แบบจำลองโดยสามารถพิจารณาได้จากขนาดของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านล่างของแบบจำลอง ซึ่งมีก่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่พิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ



ภาพที่ 123 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อขนาดของมุมเอียงเท่ากับ 6 องศา, R/P = 0.05, a/h = 0.20, 2s/h = 0.55

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 124 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อขนาดของมุมเอียงเท่ากับ 9 องศา, R/P = 0.05, a/h = 0.20, 2s/h = 0.55

ภาพที่ 125 ถึง 128 เป็นกรณีที่สมอยึดมีแรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a และมีแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับขนาด 0.15P กระทำที่ตำแหน่ง 1/b เท่ากับ 0.125 และ 0.50 ซึ่งเป็นกรณีที่แรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับมีขนาดใหญ่ จะเห็นว่าขนาดของแรงปริจะมีค่าที่ลดต่ำลงมากเมื่อเทียบกับกรณีที่สมอ ยึดที่มีแรงปฏิกิริยาขนาดเล็กกระทำและมีค่าที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนเมื่อตำแหน่งของแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับเปลี่ยนแปลงไปโดยเฉพาะแรงปริกรณีที่เกิดจากแรงอัดด้านล่างของแบบจำลองซึ่งอยู่ ใกล้กันกับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ โดยในบางกรณีที่แรงอัดด้านล่างของแบบจำลองอยู่ใกล้กันกับ แรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมาก ขนาดของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านล่างจะมีค่าที่น้อยมากจนอาจ ถือได้ว่าไม่เกิดแรงปริขึ้นในบริเวณนี้ เนื่องจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับกับแรงอัดด้านล่างจะมีค่าที่ก็ดจากแรงอัด แบบจำลองอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้แรงลัพธ์ที่เกิดจากแรงทั้งสองมีค่าลดลงแรงปริที่เกิดจากแรงอัด ด้านล่างจึงถูกหักล้างไปบางส่วนจากอิทธิพลของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ภาพที่ 125 ถึง 128 ยังได้แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการศึกษากับผลที่ได้จากสมการ ที่ 6 ของ Hengprathanee จากการเปรียบเทียบเห็นได้ว่าขนาดของแรงปริที่ได้จากการศึกษาจะมีค่า ที่น้อยกว่าค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ 6 ซึ่งเป็นผลจากสมการนั้นไม่ได้นำเอาผลจากแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับมาพิจารณา ผลที่ได้จากสมการจึงมีค่าที่แตกต่างกันมากกว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ มีเพียงในกรณีที่แรงอัดเอียงทำมุม 6 องศา ดังแสดงในภาพที่ 125 แรงอัดอยู่ห่างกันเท่ากับ 0.65h มีขนาด a/h เท่ากับ 0.10, R/P เท่ากับ 0.15 และ l/h เท่ากับ 0.50 เท่านั้นที่แรงปริที่เกิดจากแรงอัด ด้านล่างของแบบจำลองมีค่าที่สูงกว่าค่าที่จากสมการ อย่างไรก็ตามแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านล่าง ในกรณีนี้ยังมีค่าน้อยกว่าขนาดของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดด้านบนที่คำนวณได้จากสมการที่ 6 ซึ่งในทางการออกแบบควรใช้ค่าที่สูงที่สุดในการออกแบบเหล็กเสริมเพื่อด้านทานแรงปริ ดังนั้น การคำนวณหาขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบเอียงเยื้องศูนย์ ยังสามารถใช้สมการที่ 6 ได้อย่างปลอดภัย



ภาพที่ 125 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับค่าการเยื้องสูนย์ เมื่อขนาดของมุมเอียงเท่ากับ 6 องศา, R/P = 0.15, a/h = 0.10, 2s/h = 0.65



ภาพที่ 126 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับค่าการเยื้องสูนย์ เมื่อขนาดของมุมเอียงเท่ากับ 9 องศา, R/P = 0.15, a/h = 0.10, 2s/h = 0.65



ภาพที่ 127 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อขนาดของมุมเอียงเท่ากับ 6 องศา, R/P = 0.15, a/h = 0.20, 2s/h = 0.55



ภาพที่ 128 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อขนาดของมุมเอียงเท่ากับ 9 องศา, R/P = 0.15, a/h = 0.20, 2s/h = 0.55

4.30 ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด

ภาพที่ 129 และ 130 แสดงกวามสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริ ที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักกับก่าการเยื้องศูนย์ เมื่อแรงอัดทั้งสองอยู่ห่างกันเท่ากับ 1.50a และเอียง ทำมุม 6 และ 9 องศา และ ไม่พิจารฉาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ภาพที่ 129 เป็นกรณีที่สมอ ยึดมีขนาดของ a/b เท่ากับ 0.10 และภาพที่ 130 เป็นกรณีที่สมอยึดมีขนาดของ a/b เท่ากับ 0.20 จะเห็น ว่าตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักมีก่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อจุดศูนย์ถ่วงของแรงอัดทั้งสองขยับออกห่างจากขอบด้านล่างของแบบจำลองซึ่งจะแตกต่างกัน กับกรณีที่สมอยึดมีการอัดแรงแบบตรงเยื้องศูนย์และ ไม่พิจารฉาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ กือตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริจะมีก่าเท่ากันเมื่อระยะห่างจากจุดศูนย์ถ่วงของแรงอัดไป จนถึงขอบของแบบจำลองมีก่าเท่ากัน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากมีการอัดแรงแบบเอียง โดยเมื่อแรงอัดมี การเยื้องศูนย์ไปทางด้านบน พื้นที่ในการกระจายหน่วยแรงมีมากกว่ากรณีที่แรงอัดเยื้องศูนย์ไป ทางด้านล่างของแบบจำลอง จุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดจากแรงอัดที่เยื้องศูนย์ไปทางด้านบนจึงมี ก่ามากกว่าจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริเมื่อแรงอัดเยื้องศูนย์ไปทางด้านล่างของแบบจำลอง ภาพที่ 129 และ 130 ยังแสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการศึกษากับผลที่ได้จาก สมการที่ 7 ของ Hengprathanee จากการเปรียบเทียบเห็นได้ว่า ตำแหน่งของจุดศูนย์ของแรงปริมีค่า ใกล้เกียงกันค่าที่ได้จากสมการเมื่อแรงอัดเยื้องศูนย์ไปทางด้านล่างของแบบจำลอง และผลที่ได้จาก การศึกษามีค่าที่สูงกว่าผลที่ได้จากสมการเมื่อแรงอัดเยื้องศูนย์ไปทางด้านบบขาลอง แบบจำลอง โดยผลที่ได้จากการศึกษามีความสอดกล้องกับผลการศึกษาของ Hengprathanee ในกรณีที่สมอยึดมี การอัดแรงเดี่ยวแบบเอียงเยื้องศูนย์

เมื่อแรงอัดทั้งสองขยับออกห่างจากกันมากกว่า 1.50a แรงปริจะเกิดขึ้นบนแนว แรงอัดย่อยซึ่งเกิดจากแรงอัดแต่ละแรงดังแสดงในภาพที่ 131 และ 132 จะเห็นว่าตำแหน่งของ จุดสูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยจะมีก่าน้อยลงเมื่อแรงอัดแต่ละแรงขยับเข้าใกล้ กันกับขอบของแบบจำลองมากขึ้น โดยผลการศึกษาจะให้ก่าที่ใกล้เกียงกันกับผลที่ได้จากสมการ ที่ 7 ยกเว้นกรณีที่แรงอัดเอียงทำมุม 9 องศาซึ่งแรงปริที่ได้จะมีก่าสูงกว่าก่าที่กำนวนได้จากสมการ



ภาพที่ 129 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัคหลัก กับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อ R/P = 0.00, a/h = 0.10, 2s/h = 0.15



ภาพที่ 130 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก กับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อ R/P = 0.00, a/h = 0.20, 2s/h = 0.30



ภาพที่ 131 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย กับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อ R/P = 0.00, a/h = 0.10, 2s/h = 0.65



ภาพที่ 132 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย กับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อ R/P = 0.00, a/h = 0.20, 2s/h = 0.55

ภาพที่ 133 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบน แนวแรงอัดหลักกับค่าการเยื่องศูนย์เมื่อแรงอัดทั้งสองอยู่ห่างกันเท่ากับ 1.50a เอียงทำมุม 6 และ 9 องสา ขนาดของ a/b เท่ากับ 0.20 และมีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับขนาดเท่ากับ 0.05P กระทำที่ คำแหน่ง 1/b เท่ากับ 0.125, 0.25 และ 0.50 จะเห็นว่าคำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้น บนแนวแรงอัดหลักจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อจุดศูนย์ถ่วงของแรงอัดทั้งสองขยับออกห่างจากขอบ ด้านถ่างของแบบจำลอง ซึ่งมีแนวโน้มที่คล้ายกับกรณีที่ไม่มีแรงปฏิกิริยามากระทำ โดยคำแหน่ง ของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริกรณีที่แรงอัดเอียงทำมุม 9 องศา จะมีค่าสูงกว่าตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วง ของแรงปริกรณีที่แรงอัดเอียงทำมุม 6 องศาเมื่อแรงอัดมีการเยื้องศูนย์ไปทางด้านบนของ แบบจำลองและจะมีค่าใกล้เกียงกันเมื่อแรงอัดมีการเยื้องศูนย์ไปทางด้านอ่างของแบบจำลอง เนื่องจากเมื่อแรงอัดมีการเยื้องศูนย์ไปทางด้านบน พื้นที่ในการกระจายหน่วยแรงของแรงอัดที่เอียง ทำมุม 9 องสา จะมากกว่าพื้นที่ในการกระจายหน่วยแรงของแรงอัดที่เอียงทำมุม 6 องสา โดยตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่อดำแหน่งของแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับมีค่าเปลี่ยนแปลงไป

134

เมื่อขนาดของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับมีค่าเท่ากับ 0.15P ดังแสดงในภาพที่ 134 และ 135 โดยภาพที่ 134 เป็นกรณีที่สมอยึดมีขนาดของ a/b เท่ากับ 0.10 ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริ ที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักของบริเวณสมอยึดที่มีค่าของ 1/b เท่ากับ 0.125 จะมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อแรงอัดทั้งสองมีการเยื้องศูนย์ไปทางด้านบนและด้านล่างของแบบจำลองโดยมีระยะห่าง ระหว่างจุดศูนย์ถ่วงของแรงอัดไปจนถึงขอบของแบบจำลองที่เท่ากัน และเมื่อสมอยึดมีค่าของ 1/b เท่ากับ 0.50 ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริจะมีค่าลดต่ำลงโดยเฉพาะในกรณีที่ตำแหน่งของ จุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่แรงอัดมีการเยื้องศูนย์ไปทางด้านล่างของ แบบจำลองมีค่าลดต่ำลงมาก ภาพที่ 135 เป็นกรณีที่สมอยึดมีขนาดของ a/b เท่ากับ 0.20 ตำแหน่ง ของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อแรงอัดมี การเยื้องศูนย์ไปทางด้านบนและด้านล่างของแบบจำลอง ยกเว้นในกรณีที่สมอยึดมีแรงอัดเอียงทำ มุม 6 องศาและมีค่าของ 1/b เท่ากับ 0.50 ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อแรงอัดมีการเยื้องศูนย์ไปทางด้านล่างของแบบจำลอง

ภาพที่ 133 ถึง 135 จะเห็นว่าตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัด หลักที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์ในส่วนใหญ่จะมีค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้ จากสมการที่ 7 เพียงเล็กน้อยและจะมีแนวโน้มที่คล้ายกันเมื่อแรงอัดมีการเยื้องศูนย์ไปทางด้านล่าง ของแบบจำลอง โดยผลการศึกษานั้นจะมีความสอดกล้องกันกับงานวิจัยของ Hengprathanee



ภาพที่ 133 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก กับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อ R/P = 0.05, a/h = 0.20, 2s/h = 0.30



ภาพที่ 134 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก กับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อ R/P = 0.15, a/h = 0.10, 2s/h = 0.15



ภาพที่ 135 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัคหลัก กับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อ R/P = 0.15, a/h = 0.20, 2s/h = 0.30

ภาพที่ 136 ถึง 139 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริ ที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยกับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อแรงอัดทั้งสองอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a เอียงทำ มุม 6 และ 9 องศา มีขนาดของ a/b เท่ากับ 0.10 และ 0.20 และมีแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับขนาด เท่ากับ 0.05P และ 0.15P กระทำที่ตำแหน่ง 1/b เท่ากับ 0.125, 0.25 และ 0.50 จะเห็นว่าความสัมพันธ์ จะมีลักษณะที่คล้ายกันกับกรณีที่สมอยึดมีการอัดแรงแบบตรงเยื้องศูนย์กล่าวคือ ตำแหน่งของ จุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยจะมีค่าลดลงเมื่อแรงอัดแต่ละแรงขยับเข้าใกล้กับ ขอบของแบบจำลอง โดยผลที่ได้จากการศึกษาในส่วนใหญ่มีก่าสูงกว่าผลที่ได้จากสมการที่ 7



ภาพที่ 136 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย กับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อแรงอัดเอียงทำมุม 6 องศา, R/P = 0.05, a/h = 0.20, 2s/h = 0.55



ภาพที่ 137 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย กับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อแรงอัคเอียงทำมุม 9 องศา, R/P = 0.05, a/h = 0.20, 2s//h = 0.55



ภาพที่ 138 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย กับค่าการเยื้องศูนย์ เมื่อแรงอัคเอียงทำมุม 6 องศา, R/P = 0.15, a/h = 0.10, 2s/h = 0.65



ภาพที่ 139 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อย กับค่าการเยื้องศูนย์เมื่อแรงอัดเอียงทำมุม 9 องศา, R/P = 0.15, a/h = 0.10, 2s/h = 0.65

ลิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

จากความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริกับขนาดของตัวแปรต่างๆ ที่ได้แสดงไว้ตั้งแต่กรณีการอัดแรงสองชุดแบบตรงศูนย์จนถึงกรณีการอัดแรงสองชุดแบบเอียงเยื้อง ศูนย์ ดังได้กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมาว่า การหาตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณ สมอยึดให้ได้ใกล้เกียงกับความเป็นจริงนั้นจะทำได้ยาก ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตส่วนใหญ่ จะอาศัยการหาค่าเฉลี่ยจากผลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนท์อิลิเมนต์ แต่หากมีการจัด เหล็กเสริมให้กระจายครอบคลุมไปถึงบริเวณที่เกิดหน่วยแรงดึงก็จะสามารถป้องกันการวิบัติของ โครงสร้างได้ ดังเช่นวิธีการเสริมเหล็กที่แนะนำโดย Hengprathanee ที่กำหนดวิธีการเสริมเหล็ก โดยให้เหล็กเสริมกระจายไปเป็นระยะ 2 เท่าของตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่กำนวณได้ จากสมการที่ 7 ทำให้มีเหล็กเสริมที่เพียงพอในบริเวณที่เกิดหน่วยแรงสูงสุด จะสามารถป้องกัน การวิบัติของโครงสร้างได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นสมการที่ 7 ของ Hengprathanee ที่ได้ปรับปรุงขึ้นมา จากสมการของ AASHTO ยังสามารถใช้ในการกำนวณหาตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริ ที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงแบบสองแรงโดยพิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ได้

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับส่งผลให้ขนาดและตำแหน่งของ จุดศูนย์ถ่วงของแรงปริมีค่าเปลี่ยนแปลงไป โดยในกรณีที่มีการอัดแรงแบบตรง(ตรงศูนย์และเยื้อง ศูนย์) แรงปริจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแรงปฏิกิริยามีค่าสูงขึ้นและในกรณีที่มีการอัดแรงแบบเอียง (เอียงตรงศูนย์และเอียงเยื้องศูนย์) แรงปริจะมีค่าลดลงเมื่อแรงปฏิกิริยามีก่าสูงขึ้น โดยระยะห่าง ระหว่างแรงอัดถึงตำแหน่งของแรงปฏิกิริยามีผลทำให้ขนาดและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรง ปริมีก่าเปลี่ยนแปลงไป

พฤติกรรมของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดสามารถจำแนกออกได้เป็นสามกรณี โดยใช้ระยะห่างระหว่างแรงอัดทั้งสองเป็นเกณฑ์คือ กรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกันไม่เกิน 1.5a แรงปริ จะเกิดขึ้นจากอิทธิพลของแรงอัดทั้งสองร่วมกัน ซึ่งมีพฤติกรรมคล้ายกับบริเวณสมอยึดที่มีการอัด แรงแบบเดี่ยว กรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 1.5a แต่ไม่เกิน 0.50b แรงปริจะเกิดขึ้นสามดำแหน่ง คือ แรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยที่เกิดจากแรงอัดแต่ละแรง และแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนว แรงอัดหลักซึ่งเกิดจากอิทธิพลของแรงอัดทั้งสองร่วมกัน และกรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 0.50b แรงปริจะเกิดขึ้นเฉพาะบนแนวแรงอัดย่อยโดยแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลักจะมีก่า น้อยมาก

ผลการวิเคราะห์ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากสมการที่ใช้ในการคำนวณหาขนาด และตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริของ Hengprathanee โดยใช้ขนาครวมของแผ่นเหล็กแบก ทานและปริซึมสมมาตรในการกำหนดค่าของตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในสมการ ซึ่งจากการเปรียบเทียบ พบว่า ผลที่ได้จากการวิเคราะห์มีแนวโน้มที่สอดคล้องกับผลที่ได้จากสมการซึ่งผลส่วนใหญ่จะให้ ค่าที่น้อยกว่าค่าที่ได้จากสมการ ดังนั้นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดและตำแหน่งของ จุดศูนย์ถ่วงของแรงปริของ Hengprathanee (สมการที่ 6 และ 7) ซึ่งเป็นสมการที่ได้ปรับปรุงมาจาก สมการของ AASHTO (1996) สามารถที่จะนำไปใช้ในการคำนวณหาขนาดและตำแหน่งของ จุดศูนย์ถ่วงแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึครูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีอัดแรงมากกว่าหนึ่งชุดและ พิจารณารวมผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับได้

$$T_{burst} = 0.25P(1 - \frac{a}{h - 2e}) + 0.4Psine\Omega + R(0.25 - 5sin\Omega) \ge 0.125P$$
(6)

$$D_{\text{burst}} = 0.5(\text{h-2e}) + 0.25\text{a} + 0.25(\text{h-2e})\text{sine}\alpha + R_{/p}(\text{h-2e})(1.5-10\text{sin}\alpha)$$
(7)

หลักเกณฑ์ในการพิจารณาวิธีการใช้สมการที่ 6 และ 7 ของ Hengprathanee ในการ คำนวณหาขนาดและตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรง มากกว่าหนึ่งชุดโดยพิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ มีดังนี้

 กรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.5a (2s/h ≤ 1.50a) ขนาดของแผ่นเหล็ก แบกทานที่ใช้ในสมการจะมีค่าเท่ากับขนาดรวมของแผ่นเหล็กแบกทานทั้งสอง (a')

T at T	T	$T_m = 0.25P(1 - a'/h) + 0.4Psin\alpha + R(0.25 - 5sin\alpha) \ge 0.125P$	(140a)
$ \begin{array}{c} \mathbf{a'} & \overbrace{1}^{\mathbf{I}} & \bigsqcup_{2}^{2} & 2\mathbf{s} + \mathbf{a} \\ 1 & \overbrace{1}^{\mathbf{I}} & \bigsqcup_{1}^{\mathbf{I}} & \overbrace{1}^{\mathbf{I}} \\ \end{array} $	h	$D_m = 0.5h+0.25a'+0.25hsin\alpha+ (R/P)(h)(1.5-10sin\alpha)$	(140b)
A R	<u> </u>		

ภาพที่ 140 การใช้สมการของ Hengprathanee ในกรณี 2s/h≤1.50a

 กรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกันมากกว่า 1.50a แต่ไม่เกิน 0.50h (1.50a < 2s/b < 0.50h) การคำนวณหาแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดย่อยสามารถใช้ทฤษฏีปริซึมสมมาตรในการ คำนวณหากวามสูงของบริเวณสมอยึด (b') เพื่อนำไปใช้ในสมการ และใช้ขนาดรวมของแผ่นเหล็ก แบกทานในการคำนวณหาแรงปริที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก โดยในการออกแบบแล้วจะต้องใช้ ค่าที่ได้จากการคำนวณที่มากที่สุดเป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบ



ภาพที่ 141 การใช้สมการของ Hengprathanee ในกรณี 1.50a < 2s/h < 0.50h

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

 กรณีที่แรงอัคอยู่ห่างกันมากกว่า 0.50h (2s/h > 0.50h) การคำนวณหาแรงปริที่เกิดขึ้นบน แนวแรงอัคย่อยสามารถใช้ทฤษฏีปริซึมสมมาตรในการคำนวณหาความสูงของบริเวณสมอยึด (h') เพื่อนำไปใช้ในสมการ



ภาพที่ 142 การใช้สมการของ Hengprathanee ในกรณี 2s/h > 0.50h

 4. กรณีที่มีการอัดแรงแบบเยื้องศูนย์ สามารถใช้หลักเกณฑ์ในข้อที่ 1, 3 ร่วมกัน คือใช้ ทฤษฏีปริซึมสมมาตรคำนวณหาความสูงของบริเวณสมอยึด (h') ในกรณีคำนวณหาแรงปริที่เกิดขึ้น บนแนวแรงอัดย่อย หรือ h-2e ในกรณีที่แรงอัดอยู่ห่างกันไม่เกิน 1.50a ในการคำนวณหาแรงปริ ที่เกิดขึ้นบนแนวแรงอัดหลัก

5. กรณีที่แรงอัดเอียงทำมุมมากกว่า 3 องศา ให้พิจารณาพจน์ของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ R(0.25-5sinα) มีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากขั้นตอนในขณะอัดแรง โครงสร้างยังไม่มีแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับมากระทำ หากมุมเอียงของแรงอัดมีค่ามากกว่า 3 องศา ผลที่คำนวณได้จากสมการมีค่า อดลงเนื่องจากพจน์ของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ทำให้ค่าที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ ไม่พิจารณาแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับซึ่งเป็นช่วงที่คานถูกอัดแรงเพียงอย่างเดียว ดังนั้นแรงปริที่ เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดที่คำนวณได้จากสมการจะต้องไม่มีค่าที่ลดลงเนื่องจากผลของแรงปฏิกิริยา ที่ฐานรองรับ

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาพฤติกรรมของบริเวณสมอยึดที่มีแรงอัดกระทำแบบสองชุดโดยพิจารณาผลจาก แรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ เห็นได้ว่าสมการของ AASHTO ยังไม่สามารถให้ผลที่สอดคล้องกับผล ที่ได้จากการวิเคราะห์บริเวณสมอยึดดังกล่าว ในส่วนสมการของ Hengprathanee ซึ่งมีการพิจารณา ผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับจะให้ผลที่สอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์มากกว่า โดยงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมแบบเชิงเส้นของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึดรูป

ลิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

สี่เหลี่ยมผืนผ้าด้วยการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์ซึ่งเป็นวิธีเชิงตัวเลขเท่านั้น การนำเอาผลที่ได้จากการศึกษาไปใช้จริง จำเป็นต้องมีผลจากการศึกษาเพิ่มเติมในกรณีอื่นๆ อาทิ พฤติกรรมแบบไร้เชิงเส้นของแรงปริที่เกิดขึ้นในบริเวณสมอยึด รูปแบบของการอัดแรงที่มีความ ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น การทดสอบตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ รวมไปถึงบริเวณสมอยึดที่มีหน้าตัด ไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยมและพิจารณาผลจากแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ

การศึกษานี้พฤติกรรมของแรงปริได้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนโดยใช้ระยะห่างระหว่าง แรงอัดทั้งสองเป็นเกณฑ์ หากมีการทดสอบตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ ควรแบ่งตัวอย่างทดสอบ ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีระยะห่างระหว่างแรงอัดน้อยกว่า 1.5a กลุ่มที่มีระยะห่างระหว่างแรงอัด อยู่ระหว่าง 1.5a ถึง 0.50h และกลุ่มที่มีระยะห่างระหว่างแรงอัดมากกว่า 0.50h เพื่อตรวจสอบ พฤติกรรมของแรงปริที่เกิดขึ้นจริงกับผลที่ได้จากการศึกษานี้

ในการศึกษานี้ยังพบอีกว่า เมื่อแรงอัดอยู่ห่างกันมากขึ้นขนาดของแรงปริที่ผิวมีค่าสูงขึ้น โดยเฉพาะแรงปริที่ผิวที่เกิดขึ้นระหว่างแรงอัดทั้งสองและยังมีค่าสูงกว่าค่าโดยประมาณที่กำหนดไว้ ใน AASHTO ดังนั้นจึงกวรมีการศึกษาพฤติกรรมของแรงปริที่ผิวเพิ่มเติม ทั้งการสร้างแบบจำลอง ไฟไนต์อิลิเมนต์และการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา. 2537. มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตอัดแรง. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ. ว.ส.ท. 1009-34

ต่อกุล กาญจนาลัย. 2535. การออกแบบคอนกรีตอัดแรง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นเรศ พันธราธร. 2540. การออกแบบคอนกรีตอัดแรง. ใลบรารี่ นาย, กรุงเทพฯ.

สมโพธิ์ วิวิธเกยูรวงศ์. 2544. **การออกแบบคอนกรีตอัดแรง.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). 1998.
 AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. 2nd Ed. American Association of State Highway and Transportation Officials, Inc., Washington, D.C., U.S.A.

. 2002. AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges. American Association of State Highway and Transportation Officials, Inc., Washington, D.C., U.S.A.

. 2004. **AASHTO LRFD Bridge Design Specifications**. 3nd Ed. American Association of State Highway and Transportation Officials, Inc., Washington, D.C., U.S.A.

American Concrete Institute. 2005. Building Code Requirements for Structural Concrete. ACI 318-05, Farmington Hills, Michigan.

Breen, J.E., O. Burdet, C. Roberts, D. Sanders and G. Wollmann. 1994. Anchorage Zone Reinforcement for Post-Tensioned Concrete Girders. NCHRP Report 356, Transportation Research Board, Washington D.C.

สิบสิทบิ์ มตาวิทยาลัยเทษยวศาสยว

- Burdet, O.A. 1990. Analysis and Design of Post-Tensioned Anchorage Zones ConcreteBridges. Ph.D. Dissertation, University of Texas at Austin.
- Byung-Wan, J., Y.-J. Byun and G.-H. Tae. 2002. Structural Behavior of Cable Anchorage Zones in Prestressed Concrete Cablestayed Bridge. Can. J. Civ. Eng. 29: 171–180.
- Eric, D.C. 2007. Anchorage Zone Design for Pretensioned Bulb-Tee Bridge Girders in Virginia. M.Eng. Thesis, Virginia Polytechnic and State University, Blacksburg, Virginia.
- Hengprathanee, S. 2004. Linear and Nonlinear Finite Element Analyses of Anchorage Zones in Post-Tensioned Concrete Structures. Ph.D. Dissertation, Virginia Polytechnic and State University, Blacksburg, Virginia.
- Schlaich J., K. Schafer and M. Jennewein. 1987. Toward a Consistant Design of Reinforced and Prestressed Concrete Structures. **PCI Journal.** 32(3):74-151.
- Stacy, J. 2006. Analytical Modeling of Fiber Reinforced Post-Tensioned Concrete Anchorage Zones. M.Eng. Thesis, Florida State University Famu-Fsu College of Engineering, Florida. n.p.

VSL International Ltd. 1996. Detailing for Post-Tensioning. Bern, Switzerland.





ภาคผนวก ก การคำนวณหาจุดศูนย์ถ่วงของหน่วยแรงที่ด้านท้ายของแบบจำลอง



ก. จุดศูนย์ถ่วงของหน่วยแรงที่ด้านท้ายของแบบจำลอง

ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของหน่วยแรง (h) ที่ระยะ 1.50h จากผิวด้านหน้าของแบบจำลอง สามารถคำนวณได้จากวิธีพีชคณิตทั่วไปซึ่งสามารถแบ่งการกระจายหน่วยแรงได้เป็น 3 แบบ ดัง แสดงในภาพที่ ก1 โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณจะอาศัยหน่วยแรงที่ผิวบนและผิวล่างของ แบบจำลองที่คำนวณได้จากสมการที่ 8 และ 9 ของ Hengprathanee



ก. σ_{ι} และ σ_{ι} เป็นแรงอัด ข. σ_{ι} เป็นแรงดึง σ_{ι} เป็นแรงอัด ก. σ_{ι} เป็นแรงอัด σ_{ι} เป็นแรงดึง หมายเหตุ σ_{m} คือ σ_{ι} เมื่อพิจารณา h_{c1} และเป็น σ_{ι} เมื่อพิจารณา h_{c2}

ภาพผนวกที่ ก1 แผนผังหน่วยแรงที่ระยะ 1.50h จากผิวด้านหน้าของแบบจำลอง

ก) กรณีที่ σ_{t} และ σ_{t} เป็นหน่วยแรงอัค

$$\mathbf{h}_{\mathrm{c}}, \, \mathbf{h}_{\mathrm{c}1,2} = \left[\frac{2\sigma_t + \sigma_b}{3(\sigma_t + \sigma_b)}\right] h\,, \tag{f1.1n}$$

ข) กรณีที่ $\sigma_{_{\rm I}}$ เป็นหน่วยแรงคึงและ $\sigma_{_{\rm B}}$ เป็นหน่วยแรงอัค

$$\mathbf{h}_{\mathrm{c}}, \, \mathbf{h}_{\mathrm{c}1,2} = \left[\frac{\sigma_b}{3(\sigma_t + \sigma_b)}\right] h\,, \tag{n.10}$$

ค) กรณีที่ $\sigma_{_{\rm L}}$ เป็นหน่วยแรงอัดและ $\sigma_{_{
m b}}$ เป็นหน่วยแรงคึง

$$\mathbf{h}_{\mathrm{c}}, \, \mathbf{h}_{\mathrm{c}1,2} = \left[\frac{2\sigma_{t} + 3\sigma_{b}}{3(\sigma_{t} + \sigma_{b})}\right] h \,, \tag{f.1f.}$$

ลิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ภาคผนวก ข ตารางผลการวิเคราะห์แบบจำลองบริเวณสมอยึด



	0.1			D /D	14		a	1.2	17	p	0	0		T _{burst}			D _{burst}	
a/n	2s/n	\mathbf{s}_1	\mathbf{s}_2	K/P	1/n	α	c/n	\mathbf{n}_1	n ₂	þ	\mathbf{p}_1	P ₂	T ₁ /P	T ₂ /P	T _m /P	D_1/h	D ₂ /h	D_m/h
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.00	0.000	0	0	1.20	1.20	0.00	0.00	0.00	0.204	0.204	0.218	0.533	0.533	0.518
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.00	0.000	0	0	3.20	3.20	0.00	0.00	0.00	0.142	0.142	0.153	0.573	0.573	0.584
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.00	0.000	0	0	7.20	7.20	0.00	0.00	0.00	0.110	0.110	0.033	0.322	0.322	0.679
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.00	0.000	0	0	4.80	4.80	0.00	0.00	0.00	0.166	0.166	0.000	0.131	0.131	0.000
0.05	0.950	7.60	-7.60	0.00	0.000	0	0	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00	0.033	0.033	0.000	0.050	0.050	0.000
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.00	0.000	0	0	2.40	2.40	0.00	0.00	0.00	0.152	0.152	0.168	0.577	0.577	0.566
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.00	0.000	0	0	6.40	6.40	0.00	0.00	0.00	0.098	0.098	0.053	0.409	0.409	0.659
0.10	0.500	4.00	4.00	0.00	0.000	0	0	8.00	-8.00	0.00	0.00	0.00	0.091	0.091	0.012	4.593	4.593	0.695
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.00	0.000	0	0	5.60	5.60	0.00	0.00	0.00	0.080	0.080	0.000	0.194	0.194	0.000
0.10	0.900	7.20	-7.20	0.00	0.000	0	0	1.60	1.60	0.00	0.00	0.00	0.031	0.031	0.000	0.094	0.094	0.000
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.00	0.000	0	0	4.80	4.80	0.00	0.00	0.00	0.088	0.088	0.093	0.576	0.576	0.619
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.00	0.000	0	0	7.20	7.20	0.00	0.00	0.00	0.053	0.053	0.000	0.260	0.260	0.000
0.20	0.800	6.40	-6.40	0.00	0.000	0	0	3.20	3.20	0.00	0.00	0.00	0.024	0.024	0.000	0.149	0.149	0.000
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.00	0.000	0	0	7.20	7.20	0.00	0.00	0.00	0.044	0.044	0.027	0.444	0.444	0.655
0.30	0.700	5.60	-5.60	0.00	0.000	0	0	4.80	4.80	0.00	0.00	0.00	0.020	0.020	0.000	0.173	0.173	0.000
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.05	0.125	0	0	1.20	1.20	2.64	9.12	-5.08	0.187	0.168	0.213	0.506	0.512	0.561
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.05	0.125	0	0	3.20	3.20	2.64	6.96	-2.88	0.139	0.121	0.150	0.532	0.558	0.635
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.05	0.125	0	0	7.20	7.20	2.64	2.58	1.52	0.109	0.084	0.040	0.360	0.436	0.804
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.05	0.125	0	0	4.80	4.80	2.64	-1.82	5.91	0.158	0.118	0.003	0.133	0.139	1.653
0.05	0.950	7.60	-7.60	0.05	0.125	0	0	0.80	0.80	2.64	-6.21	10.23	0.023	0.021	0.003	0.042	0.066	1.685
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.05	0.125	0	0	2.40	2.40	2.64	7.82	-3.76	0.145	0.130	0.167	0.545	0.560	0.613
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.05	0.125	0	0	6.40	6.40	2.64	3.46	0.64	0.095	0.074	0.059	0.446	0.521	0.750
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.05	0.125	0	0	5.60	5.60	2.64	-0.94	5.03	0.077	0.052	0.003	0.197	0.213	1.631
0.10	0.900	7.20	-7.20	0.05	0.125	0	0	1.60	1.60	2.64	-5.33	9.37	0.038	0.005	0.003	0.119	0.247	1.680
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.05	0.125	0	0	4.80	4.80	2.64	5.21	-1.12	0.088	0.076	0.097	0.562	0.605	0.685
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.05	0.125	0	0	7.20	7.20	2.64	0.82	3.28	0.052	0.034	0.005	0.315	0.481	1.445
0.20	0.800	6.40	-6.40	0.05	0.125	0	0	3.20	3.20	2.64	-3.58	7.65	0.031	0.004	0.003	0.171	0.262	1.666
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.05	0.125	0	0	7.20	7.20	2.64	2.58	1.52	0.047	0.032	0.034	0.522	0.678	0.818
0.30	0.700	5.60	-5.60	0.05	0.125	0	0	4.80	4.80	2.64	-1.82	5.91	0.020	0.001	0.003	0.191	0.261	1.640

ตารางผนวกที่ ข1 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดแบบตรงศูนย์

a/h 2s/h			n / n	14			-	1.7	0		0		T _{burst}			$\mathbf{D}_{\mathrm{burst}}$		
a/h	2s/h	\mathbf{s}_1	8 ₂	R/P	1/h	α	c/h	\mathbf{n}_1	n ₂	Р	\mathbf{p}_1	P ₂	T ₁ /P	T ₂ /P	T_m/P	D ₁ /h	D ₂ /h	D_m/h
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.10	0.125	0	0	1.20	1.20	5.27	10.43	-1.59	0.193	0.169	0.223	0.528	0.562	0.622
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.10	0.125	0	0	3.20	3.20	5.27	8.28	0.62	0.144	0.131	0.166	0.553	0.647	0.701
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.10	0.125	0	0	7.20	7.20	5.27	3.93	5.01	0.112	0.085	0.059	0.401	0.740	0.925
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.10	0.125	0	0	4.80	4.80	5.27	-0.47	9.35	0.158	0.082	0.012	0.131	0.146	1.573
0.05	0.950	7.60	-7.60	0.10	0.125	0	0	0.80	0.80	5.27	-4.87	13.58	0.022	0.024	0.011	0.026	0.139	1.631
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.10	0.125	0	0	2.40	2.40	5.27	9.15	-0.26	0.150	0.137	0.181	0.567	0.629	0.679
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.10	0.125	0	0	6.40	6.40	5.27	4.80	4.14	0.098	0.076	0.078	0.488	0.837	0.856
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.10	0.125	0	0	5.60	5.60	5.27	0.41	8.49	0.073	0.030	0.013	0.200	0.240	1.536
0.10	0.900	7.20	-7.20	0.10	0.125	0	0	1.60	1.60	5.27	-3.99	12.74	0.039	0.006	0.011	0.114	0.318	1.622
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.10	0.125	0	0	4.80	4.80	5.27	6.55	2.38	0.094	0.091	0.114	0.589	0.771	0.772
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.10	0.125	0	0	7.20	7.20	5.27	2.17	6.76	0.057	0.041	0.023	0.421	1.058	1.282
0.20	0.800	6.40	-6.40	0.10	0.125	0	0	3.20	3.20	5.27	-2.23	11.06	0.031	0.001	0.011	0.173	0.301	1.600
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.10	0.125	0	0	7.20	7.20	5.27	3.93	5.01	0.052	0.050	0.052	0.593	1.012	0.953
0.30	0.700	5.60	-5.60	0.10	0.125	0	0	4.80	4.80	5.27	-0.47	9.35	0.019	0.021	0.013	0.200	1.533	1.559
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.15	0.125	0	0	1.20	1.20	7.36	11.38	1.90	0.202	0.197	0.238	0.547	0.670	0.662
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.15	0.125	0	0	3.20	3.20	7.36	9.25	4.10	0.152	0.164	0.185	0.571	0.797	0.737
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.15	0.125	0	0	7.20	7.20	7.36	4.91	8.45	0.116	0.107	0.079	0.423	1.013	0.948
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.15	0.125	0	0	4.80	4.80	7.36	0.52	12.71	0.158	0.082	0.022	0.131	0.964	1.470
0.05	0.950	7.60	-7.60	0.15	0.125	0	0	0.80	0.80	7.36	-3.89	16.83	0.023	0.032	0.018	0.028	0.256	1.558
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.15	0.125	0	0	2.40	2.40	7.36	10.11	3.22	0.158	0.173	0.198	0.585	0.758	0.717
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.15	0.125	0	0	6.40	6.40	7.36	5.78	7.59	0.101	0.111	0.099	0.513	1.006	0.890
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.15	0.125	0	0	5.60	5.60	7.36	1.40	11.87	0.071	0.072	0.025	0.206	1.122	1.416
0.10	0.900	7.20	-7.20	0.15	0.125	0	0	1.60	1.60	7.36	-3.01	16.02	0.042	0.050	0.018	0.114	1.166	1.544
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.15	0.125	0	0	4.80	4.80	7.36	7.52	5.85	0.101	0.128	0.134	0.609	0.922	0.813
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.15	0.125	0	0	7.20	7.20	7.36	3.16	10.17	0.062	0.073	0.044	0.485	1.213	1.180
0.20	0.800	6.40	-6.40	0.15	0.125	0	0	3.20	3.20	7.36	-1.25	14.37	0.033	0.046	0.020	0.176	0.014	1.513
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.15	0.125	0	0	7.20	7.20	7.36	4.91	8.45	0.058	0.088	0.074	0.616	1.125	0.974
0.30	0.700	5.60	-5.60	0.15	0.125	0	0	4.80	4.80	7.36	0.52	12.71	0.019	0.051	0.024	0.213	1.407	1.456

	2.4			D D	17		a	17	1.7	ß	0	0		T _{burst}			$\mathbf{D}_{\mathrm{burst}}$	
a/n	2s/n	\mathbf{s}_1	s ₂	K/P	1/n	α	c/n	n ₁	n ₂	Ρ	\mathbf{P}_1	P ₂	T ₁ /P	T ₂ /P	T _m /P	D_1/h	D ₂ /h	D_m/h
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.05	0.250	0	0	1.20	1.20	2.45	8.48	-4.72	0.185	0.164	0.207	0.511	0.510	0.559
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.05	0.250	0	0	3.20	3.20	2.45	6.46	-2.68	0.136	0.113	0.144	0.536	0.562	0.638
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.05	0.250	0	0	7.20	7.20	2.45	2.40	1.41	0.109	0.076	0.034	0.355	0.405	0.835
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.05	0.250	0	0	4.80	4.80	2.45	-1.69	5.49	0.159	0.116	0.003	0.133	0.107	1.654
0.05	0.950	7.60	-7.60	0.05	0.250	0	0	0.80	0.80	2.45	-5.77	9.51	0.021	0.020	0.003	0.032	0.034	1.692
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.05	0.250	0	0	2.40	2.40	2.45	7.27	-3.49	0.142	0.123	0.160	0.552	0.566	0.615
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.05	0.250	0	0	6.40	6.40	2.45	3.21	0.59	0.094	0.065	0.053	0.445	0.513	0.769
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.05	0.250	0	0	5.60	5.60	2.45	-0.88	4.68	0.078	0.051	0.003	0.196	0.156	1.632
0.10	0.900	7.20	-7.20	0.05	0.250	0	0	1.60	1.60	2.45	-4.96	8.71	0.038	0.025	0.003	0.117	0.094	1.684
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.05	0.250	0	0	4.80	4.80	2.45	4.84	-1.04	0.086	0.065	0.090	0.570	0.630	0.694
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.05	0.250	0	0	7.20	7.20	2.45	0.76	3.05	0.051	0.020	0.005	0.303	0.489	1.493
0.20	0.800	6.40	-6.40	0.05	0.250	0	0	3.20	3.20	2.45	-3.33	7.11	0.031	0.011	0.003	0.170	0.105	1.666
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.05	0.250	0	0	7.20	7.20	2.45	2.40	1.41	0.045	0.019	0.028	0.521	0.834	0.862
0.30	0.700	5.60	-5.60	0.05	0.250	0	0	4.80	4.80	2.45	-1.69	5.49	0.021	0.004	0.003	0.189	0.104	1.646
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.10	0.250	0	0	1.20	1.20	4.90	9.70	-1.47	0.187	0.156	0.211	0.538	0.561	0.626
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.10	0.250	0	0	3.20	3.20	4.90	7.70	0.57	0.139	0.112	0.152	0.565	0.665	0.717
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.10	0.250	0	0	7.20	7.20	4.90	3.65	4.66	0.067	0.020	0.000	0.399	0.760	0.997
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.10	0.250	0	0	4.80	4.80	4.90	-0.44	8.69	0.161	0.108	0.012	0.148	0.372	1.581
0.05	0.950	7.60	-7.60	0.10	0.250	0	0	0.80	0.80	4.90	-4.52	12.64	0.022	0.083	0.011	0.026	0.359	1.634
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.10	0.250	0	0	2.40	2.40	4.90	8.50	-0.24	0.144	0.119	0.167	0.582	0.647	0.692
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.10	0.250	0	0	6.40	6.40	4.90	4.46	3.84	0.096	0.055	0.067	0.494	0.939	0.908
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.10	0.250	0	0	5.60	5.60	4.90	0.38	7.89	0.076	0.048	0.013	0.233	0.756	1.549
0.10	0.900	7.20	-7.20	0.10	0.250	0	0	1.60	1.60	4.90	-3.71	11.86	0.039	0.037	0.011	0.113	0.785	0.000
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.10	0.250	0	0	4.80	4.80	4.90	6.09	2.21	0.089	0.071	0.101	0.610	0.834	0.803
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.10	0.250	0	0	7.20	7.20	4.90	2.02	6.28	0.055	0.026	0.020	0.406	1.367	1.384
0.20	0.800	6.40	-6.40	0.10	0.250	0	0	3.20	3.20	4.90	-2.08	10.28	0.031	0.024	0.012	0.172	1.306	1.605
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.10	0.250	0	0	7.20	7.20	4.90	3.65	4.66	0.049	0.036	0.042	0.608	1.162	1.044
0.30	0.700	5.60	-5.60	0.10	0.250	0	0	4.80	4.80	4.90	-0.44	8.69	0.020	0.022	0.013	0.226	1.482	1.568

a/h 2s/h			n/n	171-	~	л	1.7	1.7	ß	p	p		T _{burst}			D _{burst}		
a/h	2s/h	\mathbf{s}_1	s_2	K/P	ν'n	α	c/n	n ₁	n ₂	Ρ	\mathbf{p}_1	P ₂	T_1/P	T ₂ /P	T _m /P	D_1/h	D ₂ /h	D_m/h
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.15	0.250	0	0	1.20	1.20	6.84	10.59	1.77	0.192	0.174	0.222	0.565	0.682	0.682
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.15	0.250	0	0	3.20	3.20	6.84	8.60	3.81	0.144	0.137	0.167	0.591	0.836	0.776
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.15	0.250	0	0	7.20	7.20	6.84	4.56	7.86	0.114	0.090	0.068	0.428	1.042	1.049
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.15	0.250	0	0	4.80	4.80	6.84	0.48	11.83	0.160	0.116	0.024	0.155	0.677	1.501
0.05	0.950	7.60	-7.60	0.15	0.250	0	0	0.80	0.80	6.84	-3.61	15.69	0.022	0.105	0.020	0.026	0.631	1.574
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.15	0.250	0	0	2.40	2.40	6.84	9.40	2.99	0.149	0.144	0.181	0.609	0.797	0.751
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.15	0.250	0	0	6.40	6.40	6.84	5.37	7.05	0.099	0.085	0.084	0.526	1.125	0.973
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.15	0.250	0	0	5.60	5.60	6.84	1.30	11.04	0.077	0.068	0.027	0.287	1.151	1.460
0.10	0.900	7.20	-7.20	0.15	0.250	0	0	1.60	1.60	6.84	-2.79	14.93	0.042	0.055	0.021	0.112	1.184	1.562
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.15	0.250	0	0	4.80	4.80	6.84	6.99	5.43	0.094	0.102	0.117	0.641	1.008	0.873
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.15	0.250	0	0	7.20	7.20	6.84	2.93	9.46	0.059	0.061	0.038	0.481	1.351	1.303
0.20	0.800	6.40	-6.40	0.15	0.250	0	0	3.20	3.20	6.84	-1.16	13.39	0.033	0.052	0.023	0.174	1.361	1.534
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.15	0.250	0	0	7.20	7.20	6.84	4.56	7.86	0.054	0.070	0.062	0.655	1.236	1.089
0.30	0.700	5.60	-5.60	0.15	0.250	0	0	4.80	4.80	6.84	0.48	11.83	0.022	0.051	0.025	0.380	1.438	1.488
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.05	0.500	0	0	1.20	1.20	2.15	7.43	-4.13	0.182	0.161	0.200	0.512	0.487	0.544
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.05	0.500	0	0	3.20	3.20	2.15	5.66	-2.34	0.133	0.106	0.133	0.538	0.523	0.629
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.05	0.500	0	0	7.20	7.20	2.15	2.10	1.24	0.107	0.076	0.022	0.340	0.290	0.914
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.05	0.500	0	0	4.80	4.80	2.15	-1.48	4.81	0.161	0.151	0.003	0.133	0.160	1.651
0.05	0.950	7.60	-7.60	0.05	0.500	0	0	0.80	0.80	2.15	-5.05	8.34	0.021	0.024	0.003	0.029	0.090	1.681
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.05	0.500	0	0	2.40	2.40	2.15	6.37	-3.06	0.138	0.114	0.151	0.556	0.542	0.603
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.05	0.500	0	0	6.40	6.40	2.15	2.81	0.52	0.092	0.059	0.041	0.434	0.387	0.794
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.05	0.500	0	0	5.60	5.60	2.15	-0.77	4.09	0.080	0.079	0.003	0.196	0.238	1.625
0.10	0.900	7.20	-7.20	0.05	0.500	0	0	1.60	1.60	2.15	-4.34	7.64	0.037	0.037	0.003	0.115	0.164	1.677
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.05	0.500	0	0	4.80	4.80	2.15	4.24	-0.91	0.083	0.051	0.081	0.579	0.593	0.692
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.05	0.500	0	0	7.20	7.20	2.15	0.67	2.67	0.051	0.041	0.004	0.291	0.332	1.544
0.20	0.800	6.40	-6.40	0.05	0.500	0	0	3.20	3.20	2.15	-2.91	6.23	0.031	0.030	0.003	0.167	0.154	1.663
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.05	0.500	0	0	7.20	7.20	2.15	2.10	1.24	0.042	0.017	0.016	0.501	0.591	0.996
0.30	0.700	5.60	-5.60	0.05	0.500	0	0	4.80	4.80	2.15	-1.48	4.81	0.021	0.025	0.003	0.186	0.348	1.639

a/h 2s/h			n/n	176	~	- /1-	1.1	1.7	ß	P	0		T _{burst}			$\mathbf{D}_{\mathrm{burst}}$		
a/n	2s/n	\mathbf{s}_1	8 ₂	R/P	1/n	u	c/n	n ₁	n ₂	Ρ	\mathbf{p}_1	\mathbf{p}_2	T ₁ /P	T ₂ /P	T_m/P	D ₁ /h	D ₂ /h	D_m/h
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.10	0.500	0	0	1.20	1.20	4.29	8.51	-1.29	0.179	0.143	0.195	0.545	0.513	0.606
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.10	0.500	0	0	3.20	3.20	4.29	6.75	0.50	0.132	0.087	0.131	0.578	0.631	0.721
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.10	0.500	0	0	7.20	7.20	4.29	3.19	4.08	0.108	0.080	0.027	0.382	0.501	1.249
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.10	0.500	0	0	4.80	4.80	4.29	-0.38	7.62	0.163	0.157	0.012	0.137	0.299	1.596
0.05	0.950	7.60	-7.60	0.10	0.500	0	0	0.80	0.80	4.29	-3.96	11.10	0.021	0.090	0.011	0.026	0.358	1.638
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.10	0.500	0	0	2.40	2.40	4.29	7.45	-0.21	0.136	0.097	0.148	0.599	0.616	0.686
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.10	0.500	0	0	6.40	6.40	4.29	3.91	3.36	0.092	0.051	0.043	0.487	0.696	1.045
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.10	0.500	0	0	5.60	5.60	4.29	0.33	6.91	0.079	0.090	0.013	0.230	0.458	1.574
0.10	0.900	7.20	-7.20	0.10	0.500	0	0	1.60	1.60	4.29	-3.25	10.41	0.038	0.053	0.011	0.111	0.609	1.631
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.10	0.500	0	0	4.80	4.80	4.29	5.33	1.93	0.083	0.033	0.078	0.641	1.011	0.844
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.10	0.500	0	0	7.20	7.20	4.29	1.76	5.50	0.053	0.050	0.016	0.376	0.703	1.503
0.20	0.800	6.40	-6.40	0.10	0.500	0	0	3.20	3.20	4.29	-1.82	9.02	0.031	0.048	0.012	0.169	0.695	1.613
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.10	0.500	0	0	7.20	7.20	4.29	3.19	4.08	0.043	0.024	0.023	0.607	1.255	1.347
0.30	0.700	5.60	-5.60	0.10	0.500	0	0	4.80	4.80	4.29	-0.38	7.62	0.021	0.042	0.013	0.232	0.804	1.586
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.15	0.500	0	0	1.20	1.20	5.99	9.29	1.55	0.179	0.146	0.198	0.583	0.636	0.678
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.15	0.500	0	0	3.20	3.20	5.99	7.54	3.33	0.133	0.089	0.135	0.618	0.892	0.818
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.15	0.500	0	0	7.20	7.20	5.99	3.99	6.88	0.110	0.101	0.041	0.420	0.761	1.329
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.15	0.500	0	0	4.80	4.80	5.99	0.42	10.38	0.164	0.177	0.025	0.155	0.496	1.548
0.05	0.950	7.60	-7.60	0.15	0.500	0	0	0.80	0.80	5.99	-3.16	13.81	0.022	0.121	0.219	0.025	0.638	1.596
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.15	0.500	0	0	2.40	2.40	5.99	8.24	2.62	0.136	0.102	0.151	0.644	0.816	0.776
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.15	0.500	0	0	6.40	6.40	5.99	4.71	6.18	0.093	0.068	0.053	0.535	1.064	1.207
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.15	0.500	0	0	5.60	5.60	5.99	1.13	9.69	0.080	0.115	0.026	0.278	0.711	1.526
0.10	0.900	7.20	-7.20	0.15	0.500	0	0	1.60	1.60	5.99	-2.44	13.13	0.040	0.084	0.023	0.110	0.920	1.587
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.15	0.500	0	0	4.80	4.80	5.99	6.12	4.76	0.084	0.052	0.086	0.696	1.288	0.987
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.15	0.500	0	0	7.20	7.20	5.99	2.57	8.29	0.056	0.072	0.031	0.456	1.034	1.465
0.20	0.800	6.40	-6.40	0.15	0.500	0	0	3.20	3.20	5.99	-1.01	11.76	0.033	0.078	0.024	0.171	0.978	1.567
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.15	0.500	0	0	7.20	7.20	5.99	3.99	6.88	0.046	0.048	0.038	0.696	1.426	1.370
0.30	0.700	5.60	-5.60	0.15	0.500	0	0	4.80	4.80	5.99	0.42	10.38	0.023	0.071	0.026	0.362	1.057	1.539

ตารางผนวกที่ ข2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองบริเวณสมอยึคที่มีการอัดแรงสองชุดแบบเอียงตรง ศูนย์ α = 6 องศา

	2.1			D/D	176	01		13	1.7	ß	P	P		T _{burst}			D _{burst}	
a/h	2s/n	\mathbf{s}_1	8 ₂	R/P	1/h	α	c/n	n ₁	n ₂	P	\mathbf{p}_1	P_2	T ₁ /P	T ₂ /P	T_m/P	D_1/h	D ₂ /h	D _m /h
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.00	0.000	6	0	1.20	1.20	-6.00	-6.00	-6.00	0.231	0.229	0.243	9.228	8.886	8.820
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.00	0.000	6	0	3.20	3.20	-6.00	-6.00	-6.00	0.165	0.167	0.175	10.317	8.969	9.995
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.00	0.000	6	0	7.20	7.20	-6.00	-6.00	-6.00	0.138	0.129	0.056	7.159	4.903	12.571
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.00	0.000	6	0	4.80	4.80	-6.00	-6.00	-6.00	0.150	0.153	0.000	2.428	1.971	0.000
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.00	0.000	6	0	2.40	2.40	-6.00	-6.00	-6.00	0.181	0.174	0.193	10.189	9.428	9.647
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.00	0.000	6	0	6.40	6.40	-6.00	-6.00	-6.00	0.116	0.111	0.078	8.924	6.462	11.793
0.10	0.500	4.00	-4.00	0.00	0.000	6	0	8.00	8.00	-6.00	-6.00	-6.00	0.110	0.095	0.034	7.389	4.572	17.861
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.00	0.000	6	0	5.60	5.60	-6.00	-6.00	-6.00	0.085	0.087	0.000	3.377	2.920	0.000
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.00	0.000	6	0	4.80	4.80	-6.00	-6.00	-6.00	0.112	0.107	0.119	11.251	8.909	10.760
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.00	0.000	6	0	7.20	7.20	-6.00	-6.00	-6.00	0.073	0.065	0.015	7.359	4.215	17.438
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.00	0.000	6	0	7.20	7.20	-6.00	-6.00	-6.00	0.066	0.059	0.053	10.682	6.694	12.442
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.05	0.125	6	0	1.20	1.20	-3.34	4.27	-9.49	0.172	0.183	0.210	8.162	8.165	8.830
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.05	0.125	6	0	3.20	3.20	-3.34	2.08	-7.33	0.128	0.131	0.148	8.664	8.771	9.943
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.05	0.125	6	0	7.20	7.20	-3.34	-2.33	-2.96	0.103	0.088	0.038	6.013	6.108	12.049
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.05	0.125	6	0	4.80	4.80	-3.34	-6.71	1.44	0.142	0.132	0.000	2.379	1.978	0.000
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.05	0.125	6	0	2.40	2.40	-3.34	2.96	-8.20	0.134	0.140	0.164	8.907	8.843	9.623
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.05	0.125	6	0	6.40	6.40	-3.34	-1.45	-3.84	0.089	0.077	0.057	7.355	7.734	11.482
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.05	0.125	6	0	5.60	5.60	-3.34	-5.83	0.56	0.077	0.052	0.000	3.325	3.236	0.000
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.05	0.125	6	0	4.80	4.80	-3.34	0.32	-5.59	0.081	0.082	0.095	9.452	9.253	10.634
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.05	0.125	6	0	7.20	7.20	-3.34	-4.09	-1.20	0.050	0.033	0.003	5.399	5.257	20.101
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.05	0.125	6	0	7.20	7.20	-3.34	-2.33	-2.96	0.041	0.035	0.032	8.926	9.024	12.099
							-			115								

a/h 2s/h	2.4			D /D	1/1-	~	- /1-	1.7	1.7	ß	0	0		T _{burst}			$\mathbf{D}_{\mathrm{burst}}$	
a/n	2s/n	\mathbf{s}_1	s ₂	K/P	1/n	α	c/n	n ₁	n ₂	Ρ	\mathbf{p}_1	\mathbf{p}_2	T ₁ /P	T ₂ /P	T _m /P	D_1/h	D ₂ /h	D_m/h
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.10	0.125	6	0	1.20	1.20	-0.70	6.91	-7.94	0.163	0.157	0.190	8.403	8.533	9.004
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.10	0.125	6	0	3.20	3.20	-0.70	4.73	-5.77	0.120	0.111	0.134	8.906	9.253	10.053
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.10	0.125	6	0	7.20	7.20	-0.70	0.33	-1.38	0.090	0.052	0.031	5.795	7.656	11.937
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.10	0.125	6	0	4.80	4.80	-0.70	-4.07	3.02	0.138	0.089	0.000	2.250	1.813	0.000
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.10	0.125	6	0	2.40	2.40	-0.70	5.60	-6.64	0.127	0.121	0.149	9.048	9.232	9.758
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.10	0.125	6	0	6.40	6.40	-0.70	1.21	-2.26	0.079	0.051	0.048	7.261	9.318	11.448
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.10	0.125	6	0	5.60	5.60	-0.70	-3.19	2.14	0.066	0.020	0.000	3.318	3.739	0.000
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.10	0.125	6	0	4.80	4.80	-0.70	2.97	-4.02	0.075	0.068	0.083	9.456	9.833	10.721
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.10	0.125	6	0	7.20	7.20	-0.70	-1.43	0.38	0.039	0.010	0.000	4.424	6.470	18.528
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.10	0.125	6	0	7.20	7.20	-0.70	0.33	-1.38	0.033	0.022	0.024	8.485	10.228	12.063
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.15	0.125	6	0	1.20	1.20	1.94	8.72	-5.80	0.165	0.140	0.186	8.768	8.970	9.674
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.15	0.125	6	0	3.20	3.20	1.94	6.56	-3.61	0.122	0.102	0.135	9.254	9.773	10.730
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.15	0.125	6	0	7.20	7.20	1.94	2.18	0.79	0.089	0.038	0.037	6.577	10.886	13.496
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.15	0.125	6	0	4.80	4.80	1.94	-2.23	5.19	0.137	0.016	0.003	2.165	5.928	26.095
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.15	0.125	6	0	2.40	2.40	1.94	7.43	-4.49	0.129	0.111	0.148	9.391	9.670	10.436
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.15	0.125	6	0	6.40	6.40	1.94	3.06	-0.09	0.078	0.046	0.054	8.181	10.813	12.644
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.15	0.125	6	0	5.60	5.60	1.94	-1.35	4.31	0.070	0.006	0.003	3.151	14.847	25.612
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.15	0.125	6	0	4.80	4.80	1.94	4.81	-1.85	0.077	0.063	0.086	9.871	10.518	11.620
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.15	0.125	6	0	7.20	7.20	1.94	0.42	2.55	0.038	0.008	0.007	5.706	17.044	20.677
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.15	0.125	6	0	7.20	7.20	1.94	2.18	0.79	0.036	0.023	0.030	9.932	12.671	14.007
						9							\sim					

a/h 2s/l					10		7		17	ρ	•	0		T _{burst}			D _{burst}	
a/h	2s/h	\mathbf{s}_1	s ₂	R/P	1/h	α	c/n	n' ₁	n ₂	Р	\mathbf{p}_1	P ₂	T ₁ /P	T ₂ /P	T _m /P	D ₁ /h	D ₂ /h	D _m /h
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.05	0.250	6	0	1.20	1.20	-3.53	3.44	-9.04	0.172	0.179	0.205	8.223	8.150	8.773
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.05	0.250	6	0	3.20	3.20	-3.53	1.39	-7.03	0.128	0.123	0.142	8.688	8.814	9.985
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.05	0.250	6	0	7.20	7.20	-3.53	-2.70	-2.97	0.104	0.082	0.032	5.906	5.537	12.498
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.05	0.250	6	0	4.80	4.80	-3.53	-6.76	1.12	0.181	0.140	0.000	9.468	2.839	0.000
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.05	0.250	6	0	2.40	2.40	-3.53	2.21	-7.84	0.133	0.132	0.158	9.017	8.934	9.633
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.05	0.250	6	0	6.40	6.40	-3.53	-1.88	-3.79	0.088	0.068	0.051	7.326	7.517	11.768
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.05	0.250	6	0	5.60	5.60	-3.53	-5.95	0.30	0.079	0.049	0.000	3.663	2.221	0.000
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.05	0.250	6	0	4.80	4.80	-3.53	-0.24	-5.41	0.079	0.070	0.088	9.570	9.639	10.767
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.05	0.250	6	0	7.20	7.20	-3.53	-4.33	-1.34	0.050	0.021	0.002	5.179	3.915	20.603
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.05	0.250	6	0	7.20	7.20	-3.53	-2.70	-2.97	0.040	0.020	0.026	8.876	10.857	12.732
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.10	0.250	6	0	1.20	1.20	-1.08	6.06	-7.66	0.157	0.145	0.179	8.451	8.421	8.921
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.10	0.250	6	0	3.20	3.20	-1.08	4.03	-5.64	0.114	0.092	0.120	8.917	9.486	10.174
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.10	0.250	6	0	7.20	7.20	-1.08	-0.06	-1.57	0.089	0.037	0.021	5.466	6.228	12.784
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.10	0.250	6	0	4.80	4.80	-1.08	-4.14	2.52	0.140	0.111	0.000	2.232	1.428	0.000
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.10	0.250	6	0	2.40	2.40	-1.08	4.84	-6.45	0.120	0.103	0.135	9.167	9.439	9.821
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.10	0.250	6	0	6.40	6.40	-1.08	0.76	-2.39	0.077	0.031	0.037	6.969	9.998	12.018
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.10	0.250	6	0	5.60	5.60	-1.08	-3.33	1.70	0.069	0.030	0.000	3.285	1.905	0.000
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.10	0.250	6	0	4.80	4.80	-1.08	2.40	-4.02	0.069	0.047	0.070	9.563	10.774	11.033
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.10	0.250	6	0	7.20	7.20	-1.08	-1.69	0.07	0.038	0.001	0.000	4.109	3.727	22.456
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.10	0.250	6	0	7.20	7.20	-1.08	-0.06	-1.57	0.029	0.009	0.014	8.172	12.789	13.337
	0.4			D /D	1.4		а	E.	17	ß	0	0		T _{burst}			$\mathbf{D}_{\mathrm{burst}}$	
------	-------	----------------	----------------	------	-------	---	-----	----------------	----------------	-------	-----------------------	-----------------------	-------------------	--------------------	-------------------	---------	-------------------------------	-------------------
a/h	2s/h	\mathbf{s}_1	s ₂	R/P	1/h	α	c/h	\mathbf{n}_1	n ₂	Ρ	P ₁	P ₂	T ₁ /P	T ₂ /P	T _m /P	D_1/h	D ₂ /h	D _m /h
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.15	0.250	6	0	1.20	1.20	1.38	7.85	-5.79	0.153	0.119	0.167	8.922	8.902	9.627
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.15	0.250	6	0	3.20	3.20	1.38	5.83	-3.76	0.112	0.074	0.114	9.454	10.210	11.012
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.15	0.250	6	0	7.20	7.20	1.38	1.76	0.33	0.086	0.023	0.023	6.179	9.635	15.082
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.15	0.250	6	0	4.80	4.80	1.38	-2.33	4.41	0.139	0.090	0.002	2.170	1.917	26.126
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.15	0.250	6	0	2.40	2.40	1.38	6.64	-4.57	0.118	0.083	0.127	9.655	10.134	10.633
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.15	0.250	6	0	6.40	6.40	1.38	2.58	-0.49	0.074	0.022	0.037	7.951	12.878	13.712
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.15	0.250	6	0	5.60	5.60	1.38	-1.51	3.60	0.075	0.009	0.002	3.070	8.821	25.696
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.15	0.250	6	0	4.80	4.80	1.38	4.21	-2.13	0.069	0.038	0.066	10.313	11.768	12.240
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.15	0.250	6	0	7.20	7.20	1.38	0.12	1.96	0.035	0.004	0.004	4.895	22.639	23.098
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.15	0.250	6	0	7.20	7.20	1.38	1.76	0.33	0.029	0.010	0.017	10.098	15.641	16.208
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.05	0.500	6	0	1.20	1.20	-3.83	1.98	-8.29	0.172	0.176	0.200	8.163	7.800	8.442
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.05	0.500	6	0	3.20	3.20	-3.83	0.19	-6.53	0.129	0.117	0.133	8.564	8.196	9.732
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.05	0.500	6	0	7.20	7.20	-3.83	-3.39	-2.97	0.106	0.085	0.020	5.624	3.947	13.537
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.05	0.500	6	0	4.80	4.80	-3.83	-6.94	0.60	0.146	0.171	0.000	2.413	1.972	0.000
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.05	0.500	6	0	2.40	2.40	-3.83	0.91	-7.24	0.131	0.125	0.151	9.009	8.511	9.367
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.05	0.500	6	0	6.40	6.40	-3.83	-2.67	-3.69	0.088	0.064	0.039	7.124	5.504	11.933
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.05	0.500	6	0	5.60	5.60	-3.83	-6.23	-0.11	0.082	0.082	0.000	3.306	2.732	0.000
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.05	0.500	6	0	4.80	4.80	-3.83	-1.24	-5.11	0.077	0.059	0.078	9.614	8.719	10.560
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.05	0.500	6	0	7.20	7.20	-3.83	-4.81	-1.54	0.051	0.044	0.000	4.865	3.601	0.000
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.05	0.500	6	0	7.20	7.20	-3.83	-3.39	-2.97	0.039	0.023	0.014	8.438	6.250	14.359
						7	. {	9.		6	90	<u>ק</u>	50					

				n /n	**			17	10	0	0	0		T _{burst}			D _{burst}	
a/h	2s/h	\mathbf{s}_1	s_2	R/P	l/h	α	c/h	'n' ₁	'n'2	р	β ₁	\mathfrak{p}_2	T_1/P	T_2/P	T _m /P	D_1/h	D ₂ /h	D_m/h
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.10	0.500	6	0	1.20	1.20	-1.69	4.61	-7.17	0.149	0.135	0.166	8.126	7.329	8.226
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.10	0.500	6	0	3.20	3.20	-1.69	2.82	-5.40	0.107	0.074	0.101	8.504	7.810	9.676
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.10	0.500	6	0	7.20	7.20	-1.69	-0.76	-1.84	0.087	0.067	0.003	4.662	3.123	18.613
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.10	0.500	6	0	4.80	4.80	-1.69	-4.33	1.74	0.145	0.162	0.000	2.287	1.896	0.000
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.10	0.500	6	0	2.40	2.40	-1.69	3.54	-6.11	0.110	0.084	0.118	8.965	8.180	9.216
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.10	0.500	6	0	6.40	6.40	-1.69	-0.04	-2.55	0.075	0.041	0.012	6.120	4.215	13.956
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.10	0.500	6	0	5.60	5.60	-1.69	-3.62	1.03	0.074	0.076	0.000	3.267	2.549	0.000
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.10	0.500	6	0	4.80	4.80	-1.69	1.39	-3.98	0.060	0.021	0.047	9.234	8.794	10.771
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.10	0.500	6	0	7.20	7.20	-1.69	-2.19	-0.40	0.042	0.036	0.000	3.922	3.242	0.000
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.10	0.500	6	0	7.20	7.20	-1.69	-0.76	-1.84	0.024	0.011	0.002	6.405	5.093	20.064
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.15	0.500	6	0	1.20	1.20	0.46	6.39	-5.71	0.138	0.100	0.145	8.672	6.811	8.559
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.15	0.500	6	0	3.20	3.20	0.46	4.62	-3.94	0.099	0.037	0.081	9.284	7.270	10.517
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.15	0.500	6	0	7.20	7.20	0.46	1.05	-0.36	0.039	0.023	0.005	8.241	5.073	21.912
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.15	0.500	6	0	4.80	4.80	0.46	-2.53	3.22	0.145	0.158	0.002	2.196	2.239	26.058
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.15	0.500	6	0	2.40	2.40	0.46	5.33	-4.65	0.102	0.048	0.098	9.714	7.797	9.867
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.15	0.500	6	0	6.40	6.40	0.46	1.76	-1.08	0.067	0.032	0.008	6.793	4.133	19.999
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.15	0.500	6	0	5.60	5.60	0.46	-1.82	2.50	0.067	0.077	0.002	3.195	3.269	25.635
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.15	0.500	6	0	4.80	4.80	0.46	3.19	-2.51	0.055	0.005	0.030	10.436	13.610	13.349
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.15	0.500	6	0	7.20	7.20	0.46	-0.39	1.07	0.039	0.034	0.003	4.301	4.509	24.590
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.15	0.500	6	0	7.20	7.20	0.46	1.05	-0.36	0.021	0.006	0.004	8.236	9.276	22.599

ตารางผนวกที่ ข3 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองบริเวณสมอยึคที่มีการอัดแรงสองชุดแบบเอียงตรง ศูนย์ α = 9 องศา

	0.1			D D	10.					o	0	0		T _{burst}			$\mathbf{D}_{\mathrm{burst}}$	
a/h	2s/h	\mathbf{s}_1	\mathbf{s}_2	R/P	1/h	α	e/h	n' ₁	n ²	р	P ₁	\mathbf{p}_2	T ₁ /P	T ₂ /P	T _m /P	D_1/h	D_2/h	D_m/h
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.00	0.000	9	0	1.20	1.20	-9.00	-9.00	-9.00	0.262	0.245	0.265	9.943	8.654	8.913
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.00	0.000	9	0	3.20	3.20	-9.00	-9.00	-9.00	0.196	0.177	0.196	11.185	8.364	10.056
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.00	0.000	9	0	7.20	7.20	-9.00	-9.00	-9.00	0.180	0.138	0.075	8.859	4.440	12.505
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.00	0.000	9	0	4.80	4.80	-9.00	-9.00	-9.00	0.155	0.144	0.010	2.866	1.897	22.367
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.00	0.000	9	0	2.40	2.40	-9.00	-9.00	-9.00	0.214	0.186	0.216	10.870	8.932	9.744
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.00	0.000	9	0	6.40	6.40	-9.00	-9.00	-9.00	0.153	0.117	0.099	10.544	5.888	11.875
0.10	0.500	4.00	-4.00	0.00	0.000	9	0	8.00	8.00	-9.00	-9.00	-9.00	0.141	0.097	0.050	8.700	4.274	12.813
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.00	0.000	9	0	5.60	5.60	-9.00	-9.00	-9.00	0.128	0.091	0.013	7.647	2.756	21.538
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.00	0.000	9	0	4.80	4.80	-9.00	-9.00	-9.00	0.145	0.115	0.142	12.400	8.074	10.923
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.00	0.000	9	0	7.20	7.20	-9.00	-9.00	-9.00	0.110	0.070	0.035	10.108	4.023	15.813
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.00	0.000	9	0	7.20	7.20	-9.00	-9.00	-9.00	0.103	0.065	0.075	12.622	5.939	12.502
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.05	0.125	9	0	1.20	1.20	-6.26	-0.05	-10.88	0.189	0.197	0.229	8.723	8.198	9.228
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.05	0.125	9	0	3.20	3.20	-6.26	-2.25	-8.74	0.146	0.143	0.167	9.830	8.742	10.403
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.05	0.125	9	0	7.20	7.20	-6.26	-6.63	-4.39	0.131	0.099	0.055	7.684	6.309	13.046
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.05	0.125	9	0	4.80	4.80	-6.26	-10.93	0.00	0.141	0.142	0.006	2.685	1.932	23.247
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.05	0.125	9	0	2.40	2.40	-6.26	-1.37	-9.60	0.153	0.151	0.184	9.741	8.862	10.066
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.05	0.125	9	0	6.40	6.40	-6.26	-5.76	-5.27	0.108	0.087	0.075	9.427	7.842	12.239
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.05	0.125	9	0	5.60	5.60	-6.26	-10.08	-0.88	0.097	0.057	0.006	5.986	3.162	22.163
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.05	0.125	9	0	4.80	4.80	-6.26	-4.01	-7.01	0.101	0.092	0.113	11.235	9.256	11.191
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.05	0.125	9	0	7.20	7.20	-6.26	-8.36	-2.64	0.073	0.042	0.017	8.703	6.452	17.821
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.05	0.125	9	0	7.20	7.20	-6.26	-6.63	-4.39	0.062	0.044	0.050	11.743	9.404	13.156
							- 1											

	2.4			n /n	3.26		7		17	0	0	0		T _{burst}			\mathbf{D}_{burst}	
a/h	2s/h	s ₁	8 ₂	R/P	l/h	α	c/h	h' ₁	'n'2	р	\mathbf{p}_1	\mathfrak{p}_2	T_1/P	T_2/P	T _m /P	D_1/h	D_2/h	D _m /h
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.10	0.125	9	0	1.20	1.20	-3.67	3.87	-9.65	0.161	0.168	0.197	8.550	8.563	9.251
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.10	0.125	9	0	3.20	3.20	-3.67	1.67	-7.50	0.120	0.120	0.141	9.115	9.256	10.306
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.10	0.125	9	0	7.20	7.20	-3.67	-2.74	-3.13	0.095	0.060	0.038	6.527	7.674	12.652
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.10	0.125	9	0	4.80	4.80	-3.67	-7.11	1.27	0.131	0.096	0.001	2.415	1.714	24.764
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.10	0.125	9	0	2.40	2.40	-3.67	2.55	-8.37	0.127	0.129	0.155	9.299	9.257	10.013
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.10	0.125	9	0	6.40	6.40	-3.67	-1.86	-4.01	0.081	0.057	0.056	8.032	9.336	11.961
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.10	0.125	9	0	5.60	5.60	-3.67	-6.24	0.39	0.068	0.020	0.001	3.398	3.666	24.195
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.10	0.125	9	0	4.80	4.80	-3.67	-0.09	-5.76	0.076	0.074	0.090	9.989	9.817	11.072
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.10	0.125	9	0	7.20	7.20	-3.67	-4.49	-1.37	0.044	0.015	0.005	6.196	7.776	18.548
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.10	0.125	9	0	7.20	7.20	-3.67	-2.74	-3.13	0.036	0.027	0.031	10.087	10.480	12.922
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.15	0.125	9	0	1.20	1.20	-1.03	6.63	-8.16	0.152	0.144	0.177	8.776	8.936	9.411
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.15	0.125	9	0	3.20	3.20	-1.03	4.45	-5.99	0.112	0.103	0.127	9.264	9.669	10.387
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.15	0.125	9	0	7.20	7.20	-1.03	0.05	-1.60	0.080	0.035	0.030	6.238	9.746	12.377
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.15	0.125	9	0	4.80	4.80	-1.03	-4.35	2.80	0.127	0.012	0.000	2.274	1.528	0.000
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.15	0.125	9	0	2.40	2.40	-1.03	5.33	-6.86	0.119	0.112	0.140	9.409	9.601	10.115
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.15	0.125	9	0	6.40	6.40	-1.03	0.93	-2.49	0.071	0.044	0.047	7.829	10.139	11.848
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.15	0.125	9	0	5.60	5.60	-1.03	-3.47	1.92	0.059	0.002	0.000	3.405	4.748	0.000
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.15	0.125	9	0	4.80	4.80	-1.03	2.69	-4.24	0.070	0.063	0.079	9.917	10.250	11.101
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.15	0.125	9	0	7.20	7.20	-1.03	-1.71	0.16	0.032	0.004	0.001	4.775	9.967	17.317
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.15	0.125	9	0	7.20	7.20	-1.03	0.05	-1.60	0.029	0.020	0.023	9.428	11.075	12.657
						2							5					

	0.4		~~	D D	1/1		a	1.1	1.7	ß	0	0		$\mathrm{T}_{\mathrm{burst}}$			$\mathbf{D}_{\mathrm{burst}}$	
a/h	2s/h	\mathbf{s}_1	s ₂	R/P	1/n	α	c/h	\mathbf{n}_1	n ₂	Р	\mathbf{p}_1	p ₂	T ₁ /P	T ₂ /P	T _m /P	D ₁ /h	D ₂ /h	D_m/h
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.05	0.250	9	0	1.20	1.20	-6.31	-0.88	-10.35	0.191	0.194	0.224	8.855	8.217	9.165
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.05	0.250	9	0	3.20	3.20	-6.31	-2.92	-8.35	0.146	0.136	0.160	9.993	8.816	10.441
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.05	0.250	9	0	7.20	7.20	-6.31	-6.98	-4.31	0.132	0.094	0.048	7.551	5.828	13.496
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.05	0.250	9	0	4.80	4.80	-6.31	-10.97	-0.23	0.155	0.143	0.006	4.146	1.603	23.274
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.05	0.250	9	0	2.40	2.40	-6.31	-2.10	-9.15	0.154	0.144	0.177	9.932	8.985	10.070
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.05	0.250	9	0	6.40	6.40	-6.31	-6.17	-5.13	0.108	0.078	0.068	9.350	7.696	12.531
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.05	0.250	9	0	5.60	5.60	-6.31	-10.18	-1.05	0.099	0.053	0.006	5.890	2.183	22.231
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.05	0.250	9	0	4.80	4.80	-6.31	-4.55	-6.75	0.100	0.080	0.106	11.400	9.649	11.323
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.05	0.250	9	0	7.20	7.20	-6.31	-8.59	-2.68	0.074	0.031	0.014	8.513	5.854	18.980
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.05	0.250	9	0	7.20	7.20	-6.31	-6.98	-4.31	0.062	0.030	0.043	11.663	10.857	13.732
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.10	0.250	9	0	1.20	1.20	-4.05	2.74	-9.29	0.157	0.157	0.186	8.618	8.474	9.153
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.10	0.250	9	0	3.20	3.20	-4.05	0.70	-7.29	0.116	0.100	0.127	9.184	9.501	10.438
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.10	0.250	9	0	7.20	7.20	-4.05	-3.39	-3.23	0.096	0.046	0.027	6.258	6.237	13.687
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.10	0.250	9	0	4.80	4.80	-4.05	-7.45	0.86	0.134	0.121	0.001	2.439	1.426	24.711
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.10	0.250	9	0	2.40	2.40	-4.05	1.52	-8.09	0.121	0.111	0.142	9.473	9.469	10.102
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.10	0.250	9	0	6.40	6.40	-4.05	-2.57	-4.05	0.079	0.036	0.044	7.902	9.975	12.643
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.10	0.250	9	0	5.60	5.60	-4.05	-6.64	0.04	0.071	0.034	0.001	3.335	1.876	24.175
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.10	0.250	9	0	4.80	4.80	-4.05	-0.94	-5.67	0.071	0.051	0.077	10.255	10.807	11.431
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.10	0.250	9	0	7.20	7.20	-4.05	-5.02	-1.60	0.044	0.004	0.004	5.592	8.535	20.501
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.10	0.250	9	0	7.20	7.20	-4.05	-3.39	-3.23	0.034	0.013	0.021	10.046	13.250	14.386
						9							\sim					

	0.4			n /n	171			1.7	1.7	ß	0	0		T _{burst}			D _{burst}	
a/h	2s/h	\mathbf{s}_1	s_2	K/P	1/h	α	c/h	n' ₁	n'2	P	\mathbf{p}_1	\mathbf{p}_2	T ₁ /P	T ₂ /P	T_m/P	D_1/h	D ₂ /h	$D_{\rm m}/h$
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.15	0.250	9	0	1.20	1.20	-1.60	5.59	-7.98	0.141	0.123	0.159	8.859	8.851	9.334
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.15	0.250	9	0	3.20	3.20	-1.60	3.55	-5.97	0.102	0.074	0.106	9.363	10.192	10.659
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.15	0.250	9	0	7.20	7.20	-1.60	-0.53	-1.90	0.078	0.022	0.017	5.685	7.611	13.762
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.15	0.250	9	0	4.80	4.80	-1.60	-4.62	2.19	0.089	-0.077	0.000	4.008	2.151	0.000
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.15	0.250	9	0	2.40	2.40	-1.60	4.37	-6.78	0.108	0.084	0.119	9.612	10.095	10.301
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.15	0.250	9	0	6.40	6.40	-1.60	0.28	-2.71	0.068	0.020	0.031	7.336	12.236	12.829
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.15	0.250	9	0	5.60	5.60	-1.60	-3.80	1.38	0.062	0.021	0.000	3.352	1.592	0.000
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.15	0.250	9	0	4.80	4.80	-1.60	1.92	-4.34	0.061	0.037	0.059	10.160	11.575	11.699
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.15	0.250	9	0	7.20	7.20	-1.60	-2.17	-0.26	0.032	0.001	0.000	4.080	20.103	21.014
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.15	0.250	9	0	7.20	7.20	-1.60	-0.53	-1.90	0.022	0.008	0.011	9.147	13.745	14.578
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.05	0.500	9	0	1.20	1.20	-6.18	-1.86	-9.38	0.193	0.193	0.220	8.826	7.989	8.862
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.05	0.500	9	0	3.20	3.20	-6.18	-3.65	-7.62	0.145	0.131	0.152	9.936	8.369	10.215
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.05	0.500	9	0	7.20	7.20	-6.18	-7.20	-4.08	0.135	0.096	0.036	7.367	4.456	14.341
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.05	0.500	9	0	4.80	4.80	-6.18	-10.69	-0.51	0.159	0.177	0.000	4.140	1.955	0.000
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.05	0.500	9	0	2.40	2.40	- 6.18	-2.94	-8.33	0.153	0.139	0.170	9.916	8.698	9.803
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.05	0.500	9	0	6.40	6.40	-6.18	-6.49	-4.79	0.109	0.075	0.056	8.984	6.137	12.751
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.05	0.500	9	0	5.60	5.60	-6.18	-10.00	-1.22	0.102	0.088	0.007	5.752	2.879	22.890
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.05	0.500	9	0	4.80	4.80	-6.18	-5.07	-6.21	0.098	0.071	0.097	11.310	8.952	11.153
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.05	0.500	9	0	7.20	7.20	-6.18	-8.60	-2.65	0.075	0.051	0.010	8.043	4.315	21.081
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.05	0.500	9	0	7.20	7.20	-6.18	-7.20	-4.08	0.061	0.032	0.031	11.151	7.412	14.610
					5	1		9		اه	19	ي ر	50					

				n /n	171			17	17	0	0	0		T _{burst}			D _{burst}	
a/h	2s/h	\mathbf{s}_1	s_2	R/P	l∕h	α	c/h	h' ₁	'n'2	р	P ₁	р <u>2</u>	T ₁ /P	T_2/P	T_m/P	D ₁ /h	D_2/h	D _m /h
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.10	0.500	9	0	1.20	1.20	-4.66	0.70	-8.68	0.154	0.148	0.176	8.341	7.465	8.401
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.10	0.500	9	0	3.20	3.20	-4.66	-1.09	-6.92	0.113	0.085	0.110	8.923	7.886	9.902
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.10	0.500	9	0	7.20	7.20	-4.66	-4.66	-3.37	0.099	0.076	0.007	5.518	3.435	19.138
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.10	0.500	9	0	4.80	4.80	-4.66	-8.20	0.21	0.141	0.173	0.000	2.515	1.877	0.000
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.10	0.500	9	0	2.40	2.40	-4.66	-0.38	-7.62	0.115	0.094	0.127	9.332	8.279	9.430
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.10	0.500	9	0	6.40	6.40	-4.66	-3.95	-4.08	0.078	0.048	0.019	7.236	4.675	14.572
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.10	0.500	9	0	5.60	5.60	-4.66	-7.50	-0.51	0.081	0.082	0.002	3.723	2.568	24.201
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.10	0.500	9	0	4.80	4.80	-4.66	-2.52	-5.50	0.066	0.029	0.056	10.279	8.709	11.185
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.10	0.500	9	0	7.20	7.20	-4.66	-6.08	-1.94	0.050	0.041	0.003	5.153	3.542	22.717
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.10	0.500	9	0	7.20	7.20	-4.66	-4.66	-3.37	0.031	0.016	0.006	8.756	6.142	20.095
0.05	0.075	0.60	-0.60	0.15	0.500	9	0	1.20	1.20	-2.52	3.71	-7.63	0.127	0.107	0.140	8.254	6.779	8.097
0.05	0.200	1.60	-1.60	0.15	0.500	9	0	3.20	3.20	-2.52	1.93	-5.86	0.091	0.043	0.076	8.608	7.023	9.841
0.05	0.450	3.60	-3.60	0.15	0.500	9	0	7.20	7.20	-2.52	-1.65	-2.30	0.076	0.063	0.002	4.217	2.843	20.214
0.05	0.700	5.60	-5.60	0.15	0.500	9	0	4.80	4.80	-2.52	-5.22	1.28	0.138	0.168	0.000	2.358	1.855	0.000
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.15	0.500	9	0	2.40	2.40	-2.52	2.64	-6.57	0.092	0.053	0.092	9.256	7.603	9.260
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.15	0.500	9	0	6.40	6.40	-2.52	-0.94	-3.01	0.062	0.035	0.004	5.826	3.763	18.690
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.15	0.500	9	0	5.60	5.60	-2.52	-4.51	0.56	0.071	0.079	0.000	3.328	2.522	0.000
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.15	0.500	9	0	4.80	4.80	-2.52	0.49	-4.44	0.047	0.010	0.024	9.661	9.525	12.109
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.15	0.500	9	0	7.20	7.20	-2.52	-3.08	-0.87	0.039	0.036	0.000	3.850	3.273	0.000
0.30	0.450	3.60	-3.60	0.15	0.500	9	0	7.20	7.20	-2.52	-1.65	-2.30	0.017	0.008	0.002	6.038	5.148	20.983
						9		9.		6)0	26	50					

										0	0	0		T _{burst}			D _{burst}	
a/h	2s/h	\mathbf{s}_1	s ₂	R/P	l/h	α	c/h	h ' ₁	h'2	р	$\mathbf{\beta}_1$	B ₂	T ₁ /P	T ₂ /P	T _m /P	D_1/h	D ₂ /h	D _m /h
0.10	0.150	-3.60	-6.00	0.00	0.000	0	-0.30	2.40	2.40	0.00	0.00	0.00	0.083	0.066	0.080	0.313	0.268	0.316
0.10	0.150	-2.00	-4.40	0.00	0.000	0	-0.20	2.40	2.40	0.00	0.00	0.00	0.125	0.107	0.129	0.482	0.438	0.459
0.10	0.150	-0.40	-2.80	0.00	0.000	0	-0.10	2.40	2.40	0.00	0.00	0.00	0.148	0.137	0.159	0.562	0.537	0.540
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.00	0.000	0	0.00	2.40	2.40	0.00	0.00	0.00	0.152	0.152	0.168	0.036	0.036	0.035
0.10	0.150	2.80	0.40	0.00	0.000	0	0.10	2.40	2.40	0.00	0.00	0.00	0.137	0.148	0.159	0.537	0.562	0.540
0.10	0.150	4.40	2.00	0.00	0.000	0	0.20	2.40	2.40	0.00	0.00	0.00	0.107	0.125	0.129	0.438	0.482	0.459
0.10	0.150	6.00	3.60	0.00	0.000	0	0.30	2.40	2.40	0.00	0.00	0.00	0.066	0.083	0.080	0.268	0.313	0.316
0.10	0.400	0.00	-6.40	0.00	0.000	0	-0.20	6.40	3.20	0.00	0.00	0.00	0.079	0.060	0.003	0.298	0.144	0.903
0.10	0.400	1.60	-4.80	0.00	0.000	0	-0.10	6.40	6.40	0.00	0.00	0.00	0.096	0.086	0.038	0.422	0.301	0.664
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.00	0.000	0	0.00	6.40	6.40	0.00	0.00	0.00	0.098	0.098	0.053	0.026	0.026	0.041
0.10	0.400	4.80	-1.60	0.00	0.000	0	0.10	6.40	6.40	0.00	0.00	0.00	0.086	0.096	0.038	0.301	0.422	0.664
0.10	0.400	6.40	0.00	0.00	0.000	0	0.20	3.20	6.40	0.00	0.00	0.00	0.060	0.079	0.003	0.144	0.298	0.903
0.10	0.650	3.60	-6.80	0.00	0.000	0	-0.10	8.80	2.40	0.00	0.00	0.00	0.088	0.050	0.000	0.236	0.110	2.022
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.00	0.000	0	0.00	5.60	5.60	0.00	0.00	0.00	0.080	0.080	0.000	0.012	0.012	0.000
0.10	0.650	6.80	-3.60	0.00	0.000	0	0.10	2.40	8.80	0.00	0.00	0.00	0.050	0.088	0.000	0.110	0.236	2.022
0.10	0.150	-3.60	-6.00	0.15	0.125	0	-0.30	2.40	2.40	7.88	14.06	2.70	0.081	0.033	0.076	1.002	0.839	1.041
0.10	0.150	-2.00	-4.40	0.15	0.125	0	-0.20	2.40	2.40	7.88	13.59	1.58	0.129	0.084	0.150	0.717	0.666	0.854
0.10	0.150	-0.40	-2.80	0.15	0.125	0	-0.10	2.40	2.40	7.88	12.14	1.95	0.155	0.134	0.191	0.636	0.715	0.789
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.15	0.125	0	0.00	2.40	2.40	7.36	10.11	3.22	0.158	0.173	0.198	0.037	0.047	0.045
0.10	0.150	2.80	0.40	0.15	0.125	0	0.10	2.40	2.40	5.20	7.27	1.93	0.143	0.160	0.183	0.533	0.704	0.661
0.10	0.150	4.40	2.00	0.15	0.125	0	0.20	2.40	2.40	2.40	4.11	-0.41	0.112	0.113	0.144	0.461	0.560	0.583
0.10	0.150	6.00	3.60	0.15	0.125	0	0.30	2.40	2.40	-0.69	0.79	-3.20	0.072	0.063	0.078	0.346	0.315	0.347
												V						

ตารางผนวกที่ **ข**4 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดแบบเยื้องศูนย์

				D /D	1.0		7			0	0	0		T _{burst}			D _{burst}	
a/h	2s/h	\mathbf{s}_1	s_2	R/P	l/h	α	c/h	h' ₁	'n ₂	p	\mathbf{p}_1	\mathbf{p}_2	T ₁ /P	T ₂ /P	T _m /P	D_1/h	D ₂ /h	D_m/h
0.10	0.400	0.00	-6.40	0.15	0.125	0	-0.20	6.40	3.20	7.88	9.36	5.97	0.084	0.033	0.067	0.839	1.414	1.264
0.10	0.400	1.60	-4.80	0.15	0.125	0	-0.10	6.40	6.40	7.88	7.86	6.34	0.101	0.071	0.095	0.640	1.146	1.031
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.15	0.125	0	0.00	6.40	6.40	7.36	5.78	7.59	0.101	0.111	0.099	0.032	0.063	0.056
0.10	0.400	4.80	-1.60	0.15	0.125	0	0.10	6.40	6.40	5.20	2.90	6.31	0.090	0.107	0.073	0.398	0.944	0.879
0.10	0.400	6.40	0.00	0.15	0.125	0	0.20	3.20	6.40	2.40	-0.29	3.99	0.064	0.077	0.026	0.172	0.865	1.135
0.10	0.650	3.60	-6.80	0.15	0.125	0	-0.10	8.80	2.40	7.88	3.50	10.65	0.083	0.051	0.040	0.454	1.487	1.432
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.15	0.125	0	0.00	5.60	5.60	7.36	1.40	11.87	0.071	0.072	0.025	0.013	0.070	0.088
0.10	0.650	6.80	-3.60	0.15	0.125	0	0.10	2.40	8.80	5.20	-1.50	10.62	0.060	0.099	0.017	0.126	0.794	1.462
0.10	0.150	-3.60	-6.00	0.15	0.500	0	-0.30	2.40	2.40	6.42	11.50	2.20	0.086	0.045	0.058	0.984	0.468	0.949
0.10	0.150	-2.00	-4.40	0.15	0.500	0	-0.20	2.40	2.40	6.42	11.11	1.29	0.089	0.040	0.075	0.961	0.609	1.018
0.10	0.150	-0.40	-2.80	0.15	0.500	0	-0.10	2.40	2.40	6.42	9.91	1.59	0.123	0.052	0.123	0.759	0.836	0.883
0.10	0.150	1.20	-1.20	0.15	0.500	0	0.00	2.40	2.40	5.99	8.24	2.62	0.136	0.102	0.151	0.040	0.051	0.048
0.10	0.150	2.80	0.40	0.15	0.500	0	0.10	2.40	2.40	4.23	5.92	1.57	0.129	0.111	0.150	0.560	0.701	0.678
0.10	0.150	4.40	2.00	0.15	0.500	0	0.20	2.40	2.40	1.95	3.34	-0.34	0.105	0.087	0.123	0.470	0.485	0.553
0.10	0.150	6.00	3.60	0.15	0.500	0	0.30	2.40	2.40	-0.56	0.65	-2.60	0.069	0.068	0.074	0.314	0.276	0.315
0.10	0.400	0.00	-6.40	0.15	0.500	0	-0.20	6.40	3.20	6.42	7.62	4.86	0.072	0.070	0.042	0.883	0.558	1.461
0.10	0.400	1.60	-4.80	0.15	0.500	0	-0.10	6.40	6.40	6.42	6.40	5.16	0.086	0.070	0.049	0.703	0.806	1.371
0.10	0.400	3.20	-3.20	0.15	0.500	0	0.00	6.40	6.40	5.99	4.71	6.18	0.093	0.068	0.053	0.033	0.066	0.075
0.10	0.400	4.80	-1.60	0.15	0.500	0	0.10	6.40	6.40	4.23	2.36	5.14	0.085	0.064	0.038	0.381	0.985	1.175
0.10	0.400	6.40	0.00	0.15	0.500	0	0.20	3.20	6.40	1.95	-0.24	3.24	0.064	0.065	0.013	0.167	0.658	1.458
0.10	0.650	3.60	-6.80	0.15	0.500	0	-0.10	8.80	2.40	6.42	2.85	8.68	0.083	0.094	0.034	0.412	0.695	1.525
0.10	0.650	5.20	-5.20	0.15	0.500	0	0.00	5.60	5.60	5.99	1.13	9.69	0.080	0.115	0.026	0.017	0.044	0.095
0.10	0.650	6.80	-3.60	0.15	0.500	0	0.10	2.40	8.80	4.23	-1.22	8.66	0.059	0.108	0.018	0.123	0.688	1.542

	2.4			D/D	1/1-	~		12	1.7	ß	0	0	0	T _{burst}			$\mathbf{D}_{\mathrm{burst}}$	
a/h	2s/h	s ₁	8 ₂	R/P	1/h	α	c/h	n ₁	n ₂	р	P ₁	P ₂	T ₁ /P	T_2/P	T _m /P	D_1/h	D_2/h	D _m /h
0.20	0.300	-0.80	-5.60	0.00	0.000	0	-0.20	4.80	4.80	0.00	0.00	0.00	0.062	0.044	0.043	0.531	0.345	0.562
0.20	0.300	0.80	-4.00	0.00	0.000	0	-0.10	4.80	4.80	0.00	0.00	0.00	0.086	0.072	0.080	0.588	0.503	0.603
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.00	0.000	0	0.00	4.80	4.80	0.00	0.00	0.00	0.088	0.088	0.093	0.036	0.036	0.039
0.20	0.300	4.00	-0.80	0.00	0.000	0	0.10	4.80	4.80	0.00	0.00	0.00	0.072	0.086	0.080	0.503	0.588	0.603
0.20	0.300	5.60	0.80	0.00	0.000	0	0.20	4.80	4.80	0.00	0.00	0.00	0.044	0.062	0.043	0.345	0.531	0.562
0.20	0.550	2.80	-6.00	0.00	0.000	0	-0.10	8.80	4.00	0.00	0.00	0.00	0.058	0.031	0.000	0.296	0.172	0.000
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.00	0.000	0	0.00	7.20	7.20	0.00	0.00	0.00	0.053	0.053	0.000	0.016	0.016	0.000
0.20	0.550	6.00	-2.80	0.00	0.000	0	0.10	4.00	8.80	0.00	0.00	0.00	0.031	0.058	0.000	0.172	0.296	0.000
0.20	0.300	-0.80	-5.60	0.05	0.125	0	-0.20	4.80	4.80	2.64	5.96	0.90	0.056	0.019	0.039	0.690	0.616	0.739
0.20	0.300	0.80	-4.00	0.05	0.125	0	-0.10	4.80	4.80	2.64	6.32	-0.63	0.084	0.055	0.080	0.617	0.562	0.697
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.05	0.125	0	0.00	4.80	4.80	2.64	5.21	-1.12	0.088	0.076	0.097	0.035	0.038	0.043
0.20	0.300	4.00	-0.80	0.05	0.125	0	0.10	4.80	4.80	2.63	3.46	0.27	0.074	0.081	0.086	0.486	0.650	0.655
0.20	0.300	5.60	0.80	0.05	0.125	0	0.20	4.80	4.80	1.14	0.88	0.14	0.048	0.058	0.049	0.377	0.621	0.628
0.20	0.550	2.80	-6.00	0.05	0.125	0	-0.10	8.80	4.00	2.64	1.94	3.78	0.055	0.003	0.005	0.402	1.242	1.482
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.05	0.125	0	0.00	7.20	7.20	2.64	0.82	3.28	0.052	0.034	0.005	0.020	0.030	0.090
0.20	0.550	6.00	-2.80	0.05	0.125	0	0.10	4.00	8.80	2.63	-0.95	4.67	0.032	0.050	0.004	0.181	0.488	1.507
0.20	0.300	-0.80	-5.60	0.15	0.125	0	-0.20	4.80	4.80	7.88	11.06	4.22	0.042	0.017	0.071	0.563	0.738	0.746
0.20	0.300	0.80	-4.00	0.15	0.125	0	-0.10	4.80	4.80	7.88	9.59	4.59	0.104	0.087	0.126	0.697	0.966	0.926
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.15	0.125	0	0.00	4.80	4.80	7.36	7.52	5.85	0.101	0.128	0.134	0.038	0.058	0.051
0.20	0.300	4.00	-0.80	0.15	0.125	0	0.10	4.80	4.80	5.20	4.66	4.57	0.083	0.124	0.116	0.542	0.871	0.765
0.20	0.300	5.60	0.80	0.15	0.125	0	0.20	4.80	4.80	2.40	1.47	2.23	0.058	0.083	0.070	0.454	0.833	0.761
0.20	0.550	2.80	-6.00	0.15	0.125	0	-0.10	8.80	4.00	7.88	5.26	8.93	0.068	0.053	0.052	0.649	1.427	1.300
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.15	0.125	0	0.00	7.20	7.20	7.36	3.16	10.17	0.062	0.073	0.044	0.030	0.076	0.074
0.20	0.550	6.00	-2.80	0.15	0.125	0	0.10	4.00	8.80	5.20	0.26	8.91	0.038	0.083	0.026	0.269	1.017	1.275
0.20	0.300	-0.80	-5.60	0.05	0.250	0	-0.20	4.80	4.80	2.45	5.53	0.84	0.049	0.011	0.030	0.720	0.746	0.814
0.20	0.300	0.80	-4.00	0.05	0.250	0	-0.10	4.80	4.80	2.45	5.88	-0.58	0.080	0.040	0.071	0.634	0.627	0.717
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.05	0.250	0	0.00	4.80	4.80	2.45	4.84	-1.04	0.086	0.065	0.090	0.036	0.039	0.043
0.20	0.300	4.00	-0.80	0.05	0.250	0	0.10	4.80	4.80	2.44	3.21	0.25	0.072	0.073	0.082	0.488	0.663	0.661
0.20	0.300	5.60	0.80	0.05	0.250	0	0.20	4.80	4.80	1.06	0.82	0.13	0.047	0.053	0.046	0.372	0.622	0.629

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

	0.1			D /D	1.4			1.7	1.7	P	0	0		T _{burst}			$\mathbf{D}_{\mathrm{burst}}$	
a/h	2s/h	\mathbf{s}_1	s ₂	R/P	l/h	α	c/h	\mathbf{n}_1	n'2	р	\mathbf{p}_1	\mathbf{p}_2	T ₁ /P	T ₂ /P	T _m /P	D_1/h	D ₂ /h	D_m/h
0.20	0.550	2.80	-6.00	0.05	0.250	0	-0.10	8.80	4.00	2.45	1.80	3.51	0.053	0.011	0.005	0.383	0.424	1.500
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.05	0.250	0	0.00	7.20	7.20	2.45	0.76	3.05	0.051	0.020	0.005	0.019	0.031	0.093
0.20	0.550	6.00	-2.80	0.05	0.250	0	0.10	4.00	8.80	2.44	-0.88	4.34	0.033	0.040	0.004	0.180	0.480	1.527
0.20	0.300	-0.80	-5.60	0.15	0.250	0	-0.20	4.80	4.80	7.33	10.29	3.92	0.071	0.031	0.070	1.043	1.266	1.225
0.20	0.300	0.80	-4.00	0.15	0.250	0	-0.10	4.80	4.80	7.33	8.91	4.26	0.093	0.064	0.104	0.766	1.091	1.012
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.15	0.250	0	0.00	4.80	4.80	6.84	6.99	5.43	0.094	0.102	0.117	0.040	0.063	0.055
0.20	0.300	4.00	-0.80	0.15	0.250	0	0.10	4.80	4.80	4.83	4.32	4.24	0.079	0.100	0.102	0.559	0.939	0.805
0.20	0.300	5.60	0.80	0.15	0.250	0	0.20	4.80	4.80	2.22	1.37	2.07	0.056	0.064	0.061	0.455	0.901	0.794
0.20	0.550	2.80	-6.00	0.15	0.250	0	-0.10	8.80	4.00	7.33	4.88	8.30	0.063	0.048	0.047	0.673	1.440	1.369
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.15	0.250	0	0.00	7.20	7.20	6.84	2.93	9.46	0.059	0.061	0.038	0.030	0.084	0.081
0.20	0.550	6.00	-2.80	0.15	0.250	0	0.10	4.00	8.80	4.83	0.24	8.28	0.039	0.057	0.024	0.267	1.281	1.368
0.20	0.300	-0.80	-5.60	0.05	0.500	0	-0.20	4.80	4.80	2.15	4.85	0.73	0.041	0.024	0.012	0.703	0.329	1.065
0.20	0.300	0.80	-4.00	0.05	0.500	0	-0.10	4.80	4.80	2.15	5.15	-0.51	0.074	0.030	0.056	0.644	0.483	0.723
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.05	0.500	0	0.00	4.80	4.80	2.15	4.24	-0.91	0.083	0.051	0.081	0.036	0.037	0.043
0.20	0.300	4.00	-0.80	0.05	0.500	0	0.10	4.80	4.80	2.14	2.81	0.22	0.070	0.062	0.074	0.490	0.643	0.657
0.20	0.300	5.60	0.80	0.05	0.500	0	0.20	4.80	4.80	0.93	0.72	0.11	0.046	0.045	0.041	0.360	0.580	0.617
0.20	0.550	2.80	-6.00	0.05	0.500	0	-0.10	8.80	4.00	2.15	1.58	3.07	0.052	0.031	0.004	0.351	0.263	1.537
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.05	0.500	0	0.00	7.20	7.20	2.15	0.67	2.67	0.051	0.041	0.004	0.018	0.021	0.097
0.20	0.550	6.00	-2.80	0.05	0.500	0	0.10	4.00	8.80	2.14	-0.77	3.80	0.033	0.045	0.004	0.178	0.390	1.562
0.20	0.300	-0.80	-5.60	0.15	0.500	0	-0.20	4.80	4.80	6.42	9.03	3.43	0.052	0.030	0.045	1.307	1.030	1.429
0.20	0.300	0.80	-4.00	0.15	0.500	0	-0.10	4.80	4.80	6.42	7.81	3.73	0.076	0.033	0.059	0.891	1.367	1.287
0.20	0.300	2.40	-2.40	0.15	0.500	0	0.00	4.80	4.80	5.99	6.12	4.76	0.084	0.052	0.086	0.044	0.081	0.062
0.20	0.300	4.00	-0.80	0.15	0.500	0	0.10	4.80	4.80	4.23	3.79	3.71	0.073	0.054	0.078	0.580	1.143	0.865
0.20	0.300	5.60	0.80	0.15	0.500	0	0.20	4.80	4.80	1.95	1.20	1.81	0.051	0.033	0.044	0.424	1.060	0.823
0.20	0.550	2.80	-6.00	0.15	0.500	0	-0.10	8.80	4.00	6.42	4.27	7.28	0.056	0.063	0.038	0.657	0.968	1.481
0.20	0.550	4.40	-4.40	0.15	0.500	0	0.00	7.20	7.20	5.99	2.57	8.29	0.056	0.072	0.031	0.028	0.065	0.092
0.20	0.550	6.00	-2.80	0.15	0.500	0	0.10	4.00	8.80	4.23	0.21	7.26	0.039	0.068	0.020	0.261	0.981	1.489

ตารางผนวกที่ ข5 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองบริเวณสมอยึดที่มีการอัดแรงสองชุดแบบเอียงเยื้อง ศูนย์ α = 6 องศา

				n /n	171				17	o	0	0		T _{burst}			D _{burst}	
a/h	2s/h	\mathbf{s}_1	s_2	R/P	l/h	α	c/h	h' ₁	'n ₂	P	\mathbf{p}_1	\mathfrak{p}_2	T ₁ /P	T_2/P	T_m/P	D ₁ /h	D_2/h	D_m/h
0.10	0.15	-3.60	-6.00	0.00	0.000	6	-0.30	2.40	2.40	-6.00	-6.00	-6.00	0.110	0.085	0.100	0.291	0.199	0.268
0.10	0.15	-2.00	-4.40	0.00	0.000	6	-0.20	2.40	2.40	-6.00	-6.00	-6.00	0.154	0.121	0.149	0.455	0.359	0.408
0.10	0.15	-0.40	-2.80	0.00	0.000	6	-0.10	2.40	2.40	-6.00	-6.00	-6.00	0.181	0.155	0.183	0.581	0.490	0.529
0.10	0.15	1.20	-1.20	0.00	0.000	6	0.00	2.40	2.40	-6.00	-6.00	-6.00	0.181	0.174	0.193	0.637	0.589	0.603
0.10	0.15	2.80	0.40	0.00	0.000	6	0.10	2.40	2.40	-6.00	-6.00	-6.00	0.158	0.168	0.178	0.642	0.626	0.622
0.10	0.15	4.40	2.00	0.00	0.000	6	0.20	2.40	2.40	-6.00	-6.00	-6.00	0.113	0.136	0.137	0.584	0.600	0.582
0.10	0.15	6.00	3.60	0.00	0.000	6	0.30	2.40	2.40	-6.00	-6.00	-6.00	0.050	0.079	0.083	0.430	0.486	0.636
0.10	0.40	0.00	-6.40	0.00	0.000	6	-0.20	6.40	3.20	-6.00	-6.00	-6.00	0.127	0.074	0.002	0.351	0.127	0.715
0.10	0.40	1.60	-4.80	0.00	0.000	6	-0.10	6.40	6.40	-6.00	-6.00	-6.00	0.129	0.095	0.054	0.511	0.256	0.657
0.10	0.40	3.20	-3.20	0.00	0.000	6	0.00	6.40	6.40	-6.00	-6.00	-6.00	0.116	0.111	0.078	0.558	0.404	0.737
0.10	0.40	4.80	-1.60	0.00	0.000	6	0.10	6.40	6.40	-6.00	-6.00	-6.00	0.088	0.111	0.063	0.499	0.528	0.810
0.10	0.40	6.40	0.00	0.00	0.000	6	0.20	3.20	6.40	-6.00	-6.00	-6.00	0.047	0.084	0.026	0.323	0.549	1.054
0.10	0.65	3.60	-6.80	0.00	0.000	6	-0.10	8.80	2.40	-6.00	-6.00	-6.00	0.120	0.058	0.004	0.349	0.100	1.792
0.10	0.65	5.20	-5.20	0.00	0.000	6	0.00	5.60	5.60	-6.00	-6.00	-6.00	0.095	0.087	0.000	0.211	0.183	0.000
0.10	0.65	6.80	-3.60	0.00	0.000	6	0.10	2.40	8.80	-6.00	-6.00	-6.00	0.050	0.091	0.009	0.284	0.245	1.415
0.10	0.15	-3.60	-6.00	0.15	0.125	6	-0.30	2.40	2.40	2.85	6.78	0.21	0.033	0.020	0.032	0.352	0.413	0.447
0.10	0.15	-2.00	-4.40	0.15	0.125	6	-0.20	2.40	2.40	1.98	7.61	-2.07	0.085	0.058	0.094	0.581	0.538	0.570
0.10	0.15	-0.40	-2.80	0.15	0.125	6	-0.10	2.40	2.40	1.96	8.33	-3.70	0.117	0.099	0.132	0.604	0.558	0.635
0.10	0.15	1.20	-1.20	0.15	0.125	6	0.00	2.40	2.40	1.94	7.43	-4.49	0.129	0.111	0.148	0.587	0.604	0.652
0.10	0.15	2.80	0.40	0.15	0.125	6	0.10	2.40	2.40	1.92	5.76	-3.53	0.120	0.110	0.142	0.538	0.619	0.623
0.10	0.15	4.40	2.00	0.15	0.125	6	0.20	2.40	2.40	0.85	3.39	-2.99	0.094	0.088	0.114	0.460	0.564	0.546
0.10	0.15	6.00	3.60	0.15	0.125	6	0.30	2.40	2.40	-1.59	0.37	-4.71	0.054	0.040	0.059	0.341	0.348	0.373

a/h	0.1			D D	1/1			1.	1.7	ß	0	0		T _{burst}			$\mathbf{D}_{\mathrm{burst}}$	
a/n	2s/n	s ₁	s ₂	K/P	νn	α	c/n	n ₁	n ₂	Ρ	\mathbf{P}_1	P ₂	T ₁ /P	T ₂ /P	T _m /P	D ₁ /h	D ₂ /h	D _m /h
0.10	0.40	0.00	-6.40	0.15	0.125	6	-0.20	6.40	3.20	1.98	3.24	2.34	0.044	0.002	0.009	0.537	1.283	1.143
0.10	0.40	1.60	-4.80	0.15	0.125	6	-0.10	6.40	6.40	1.96	3.97	0.70	0.071	0.022	0.037	0.585	0.704	0.841
0.10	0.40	3.20	-3.20	0.15	0.125	6	0.00	6.40	6.40	1.94	3.06	-0.09	0.078	0.046	0.054	0.511	0.676	0.790
0.10	0.40	4.80	-1.60	0.15	0.125	6	0.10	6.40	6.40	1.92	1.37	0.87	0.071	0.050	0.042	0.378	0.751	0.804
0.10	0.40	6.40	0.00	0.15	0.125	6	0.20	3.20	6.40	0.85	-1.02	1.41	0.047	0.026	0.012	0.157	0.905	1.010
0.10	0.65	3.60	-6.80	0.15	0.125	6	-0.10	8.80	2.40	1.96	-0.43	5.09	0.061	0.002	0.003	0.254	0.359	1.583
0.10	0.65	5.20	-5.20	0.15	0.125	6	0.00	5.60	5.60	1.94	-1.35	4.31	0.070	0.006	0.003	0.197	0.928	1.601
0.10	0.65	6.80	-3.60	0.15	0.125	6	0.10	2.40	8.80	1.92	-3.04	5.27	0.043	0.024	0.003	0.125	0.512	1.596
0.10	0.15	-3.60	-6.00	0.15	0.500	6	-0.30	2.40	2.40	1.86	4.76	-0.04	0.063	0.059	0.053	0.237	0.190	0.264
0.10	0.15	-2.00	-4.40	0.15	0.500	6	-0.20	2.40	2.40	0.53	4.45	-2.19	0.048	0.043	0.048	0.473	0.244	0.383
0.10	0.15	-0.40	-2.80	0.15	0.500	6	-0.10	2.40	2.40	0.47	5.63	-3.66	0.079	0.036	0.068	0.632	0.366	0.571
0.10	0.15	1.20	-1.20	0.15	0.500	6	0.00	2.40	2.40	0.46	5.33	-4.65	0.102	0.048	0.098	0.607	0.487	0.617
0.10	0.15	2.80	0.40	0.15	0.500	6	0.10	2.40	2.40	0.44	4.14	-4.51	0.103	0.061	0.107	0.539	0.507	0.584
0.10	0.15	4.40	2.00	0.15	0.500	6	0.20	2.40	2.40	0.12	2.49	-3.38	0.086	0.058	0.093	0.441	0.424	0.491
0.10	0.15	6.00	3.60	0.15	0.500	6	0.30	2.40	2.40	-1.58	0.17	-4.29	0.051	0.044	0.054	0.300	0.287	0.313
0.10	0.40	0.00	-6.40	0.15	0.500	6	-0.20	6.40	3.20	0.53	0.88	1.39	0.060	0.067	0.003	0.250	0.153	1.448
0.10	0.40	1.60	-4.80	0.15	0.500	6	-0.10	6.40	6.40	0.47	2.07	-0.08	0.052	0.057	0.005	0.404	0.210	1.345
0.10	0.40	3.20	-3.20	0.15	0.500	6	0.00	6.40	6.40	0.46	1.76	-1.08	0.067	0.032	0.008	0.425	0.258	1.250
0.10	0.40	4.80	-1.60	0.15	0.500	6	0.10	6.40	6.40	0.44	0.56	-0.94	0.066	0.021	0.007	0.307	0.345	1.278
0.10	0.40	6.40	0.00	0.15	0.500	6	0.20	3.20	6.40	0.12	-1.09	0.19	0.047	0.027	0.003	0.147	0.354	1.440
0.10	0.65	3.60	-6.80	0.15	0.500	6	-0.10	8.80	2.40	0.47	-1.51	3.49	0.074	0.068	0.002	0.220	0.120	1.585
0.10	0.65	5.20	-5.20	0.15	0.500	6	0.00	5.60	5.60	0.46	-1.82	2.50	0.067	0.077	0.002	0.200	0.204	1.602
0.10	0.65	6.80	-3.60	0.15	0.500	6	0.10	2.40	8.80	0.44	-3.01	2.64	0.044	0.062	0.002	0.126	0.262	1.607

a/h 2s/ł	0 /			n/n	176-	~	/1	1.7	1.1	ß	0	p		T _{burst}			D _{burst}	
a/n	2s/n	s ₁	s ₂	K/P	1/n	α	c/h	n ₁	n ₂	Ρ	\mathbf{p}_1	\mathbf{P}_2	T ₁ /P	T_2/P	T _m /P	D_1/h	D_2/h	D _m /h
0.20	0.30	-0.80	-5.60	0.00	0.000	6	-0.20	4.80	4.80	-6.00	-6.00	-6.00	0.099	0.059	0.063	0.527	0.241	0.460
0.20	0.30	0.80	-4.00	0.00	0.000	6	-0.10	4.80	4.80	-6.00	-6.00	-6.00	0.116	0.087	0.105	0.658	0.416	0.592
0.20	0.30	2.40	-2.40	0.00	0.000	6	0.00	4.80	4.80	-6.00	-6.00	-6.00	0.112	0.107	0.119	0.703	0.557	0.672
0.20	0.30	4.00	-0.80	0.00	0.000	6	0.10	4.80	4.80	-6.00	-6.00	-6.00	0.081	0.106	0.102	0.707	0.654	0.713
0.20	0.30	5.60	0.80	0.00	0.000	6	0.20	4.80	4.80	-6.00	-6.00	-6.00	0.033	0.075	0.057	0.743	0.713	0.791
0.20	0.55	2.80	-6.00	0.00	0.000	6	-0.10	8.80	4.00	-6.00	-6.00	-6.00	0.094	0.045	0.004	0.445	0.162	1.277
0.20	0.55	4.40	-4.40	0.00	0.000	6	0.00	7.20	7.20	-6.00	-6.00	-6.00	0.073	0.065	0.015	0.460	0.263	1.090
0.20	0.55	6.00	-2.80	0.00	0.000	6	0.10	4.00	8.80	-6.00	-6.00	-6.00	0.032	0.072	0.014	0.497	0.409	1.196
0.20	0.30	-0.80	-5.60	0.05	0.125	6	-0.20	4.80	4.80	-1.37	-0.52	-0.99	0.062	0.031	0.044	0.532	0.473	0.584
0.20	0.30	0.80	-4.00	0.05	0.125	6	-0.10	4.80	4.80	-3.18	-1.20	-3.71	0.084	0.063	0.082	0.616	0.515	0.626
0.20	0.30	2.40	-2.40	0.05	0.125	6	0.00	4.80	4.80	-3.34	0.32	-5.59	0.081	0.082	0.095	0.591	0.578	0.665
0.20	0.30	4.00	-0.80	0.05	0.125	6	0.10	4.80	4.80	-3.36	0.12	-6.90	0.063	0.079	0.080	0.537	0.631	0.680
0.20	0.30	5.60	0.80	0.05	0.125	6	0.20	4.80	4.80	-3.38	-1.27	-6.93	0.030	0.051	0.040	0.461	0.705	0.710
0.20	0.55	2.80	-6.00	0.05	0.125	6	-0.10	8.80	4.00	-3.18	-5.59	0.69	0.063	0.007	0.001	0.354	0.228	1.336
0.20	0.55	4.40	-4.40	0.05	0.125	6	0.00	7.20	7.20	-3.34	-4.09	-1.20	0.050	0.033	0.003	0.337	0.329	1.256
0.20	0.55	6.00	-2.80	0.05	0.125	6	0.10	4.00	8.80	-3.36	-4.28	-2.52	0.022	0.039	0.003	0.231	0.430	1.286
0.20	0.30	-0.80	-5.60	0.15	0.125	6	-0.20	4.80	4.80	1.98	5.00	0.58	0.041	0.014	0.030	0.792	0.699	0.794
0.20	0.30	0.80	-4.00	0.15	0.125	6	-0.10	4.80	4.80	1.96	5.72	-1.06	0.072	0.043	0.069	0.679	0.625	0.735
0.20	0.30	2.40	-2.40	0.15	0.125	6	0.00	4.80	4.80	1.94	4.81	-1.85	0.077	0.063	0.086	0.617	0.657	0.726
0.20	0.30	4.00	-0.80	0.15	0.125	6	0.10	4.80	4.80	1.92	3.13	-0.89	0.063	0.068	0.078	0.552	0.703	0.711
0.20	0.30	5.60	0.80	0.15	0.125	6	0.20	4.80	4.80	0.85	0.75	-0.35	0.032	0.041	0.037	0.419	0.671	0.631
0.20	0.55	2.80	-6.00	0.15	0.125	6	-0.10	8.80	4.00	1.96	1.34	3.34	0.039	0.002	0.005	0.456	1.515	1.403
0.20	0.55	4.40	-4.40	0.15	0.125	6	0.00	7.20	7.20	1.94	0.42	2.55	0.038	0.008	0.007	0.357	1.065	1.292
0.20	0.55	6.00	-2.80	0.15	0.125	6	0.10	4.00	8.80	1.92	-1.28	3.51	0.021	0.018	0.005	0.192	0.916	1.357
0.20	0.30	-0.80	-5.60	0.05	0.250	6	-0.20	4.80	4.80	-1.40	-0.70	-0.98	0.057	0.020	0.032	0.526	0.424	0.639
0.20	0.30	0.80	-4.00	0.05	0.250	6	-0.10	4.80	4.80	-3.25	-1.60	-3.59	0.080	0.047	0.073	0.623	0.561	0.642
0.20	0.30	2.40	-2.40	0.05	0.250	6	0.00	4.80	4.80	-3.53	-0.24	-5.41	0.079	0.070	0.088	0.598	0.602	0.673
0.20	0.30	4.00	-0.80	0.05	0.250	6	0.10	4.80	4.80	-3.55	-0.21	-6.72	0.062	0.070	0.075	0.539	0.646	0.686
0.20	0.30	5.60	0.80	0.05	0.250	6	0.20	4.80	4.80	-3.56	-1.41	-6.96	0.030	0.045	0.037	0.456	0.717	0.718

172

a/h	0 //			n/n	171	~	11	12	1.1	ß	0	0		T _{burst}			D _{burst}	
a/h	2s/h	\mathbf{s}_1	s ₂	R/P	1/h	α	c/h	n' ₁	n ₂	Р	\mathbf{p}_1	р <u>2</u>	T ₁ /P	T_2/P	T _m /P	D ₁ /h	D_2/h	D_m/h
0.20	0.55	2.80	-6.00	0.05	0.250	6	-0.10	8.80	4.00	-3.25	-5.68	0.50	0.063	0.015	0.001	0.333	0.108	1.353
0.20	0.55	4.40	-4.40	0.05	0.250	6	0.00	7.20	7.20	-3.53	-4.33	-1.34	0.050	0.021	0.002	0.324	0.245	1.288
0.20	0.55	6.00	-2.80	0.05	0.250	6	0.10	4.00	8.80	-3.55	-4.30	-2.66	0.022	0.029	0.003	0.231	0.401	1.323
0.20	0.30	-0.80	-5.60	0.15	0.250	6	-0.20	4.80	4.80	1.41	3.98	0.33	0.023	0.006	0.015	0.997	0.887	0.977
0.20	0.30	0.80	-4.00	0.15	0.250	6	-0.10	4.80	4.80	1.40	4.91	-1.25	0.058	0.021	0.046	0.738	0.745	0.814
0.20	0.30	2.40	-2.40	0.15	0.250	6	0.00	4.80	4.80	1.38	4.21	-2.13	0.069	0.038	0.066	0.645	0.736	0.765
0.20	0.30	4.00	-0.80	0.15	0.250	6	0.10	4.80	4.80	1.36	2.70	-1.49	0.058	0.044	0.063	0.563	0.755	0.737
0.20	0.30	5.60	0.80	0.15	0.250	6	0.20	4.80	4.80	0.59	0.60	-0.65	0.034	0.029	0.034	0.443	0.804	0.739
0.20	0.55	2.80	-6.00	0.15	0.250	6	-0.10	8.80	4.00	1.40	0.83	2.84	0.032	0.005	0.004	0.374	0.610	1.468
0.20	0.55	4.40	-4.40	0.15	0.250	6	0.00	7.20	7.20	1.38	0.12	1.96	0.035	0.004	0.004	0.306	1.415	1.444
0.20	0.55	6.00	-2.80	0.15	0.250	6	0.10	4.00	8.80	1.36	-1.39	2.60	0.022	0.007	0.004	0.189	1.375	1.453
0.20	0.30	-0.80	-5.60	0.05	0.500	6	-0.20	4.80	4.80	-1.43	-0.95	-0.95	0.052	0.039	0.019	0.446	0.242	0.542
0.20	0.30	0.80	-4.00	0.05	0.500	6	-0.10	4.80	4.80	-3.27	-2.12	-3.34	0.075	0.042	0.061	0.605	0.399	0.617
0.20	0.30	2.40	-2.40	0.05	0.500	6	0.00	4.80	4.80	-3.83	-1.24	-5.11	0.077	0.059	0.078	0.601	0.545	0.660
0.20	0.30	4.00	-0.80	0.05	0.500	6	0.10	4.80	4.80	-3.85	-0.81	-6.39	0.060	0.061	0.068	0.536	0.613	0.677
0.20	0.30	5.60	0.80	0.05	0.500	6	0.20	4.80	4.80	-3.87	-1.65	-6.92	0.029	0.038	0.032	0.442	0.671	0.711
0.20	0.55	2.80	-6.00	0.05	0.500	6	-0.10	8.80	4.00	-3.27	-5.68	0.24	0.065	0.042	0.001	0.304	0.160	1.414
0.20	0.55	4.40	-4.40	0.05	0.500	6	0.00	7.20	7.20	-3.83	-4.81	-1.54	0.051	0.044	0.000	0.304	0.225	0.000
0.20	0.55	6.00	-2.80	0.05	0.500	6	0.10	4.00	8.80	-3.85	-4.38	-2.84	0.024	0.038	0.003	0.233	0.294	1.391
0.20	0.30	-0.80	-5.60	0.15	0.500	6	-0.20	4.80	4.80	0.53	2.31	-0.04	0.018	0.029	0.004	0.681	0.235	1.364
0.20	0.30	0.80	-4.00	0.15	0.500	6	-0.10	4.80	4.80	0.47	3.50	-1.52	0.035	0.013	0.009	0.773	0.375	1.208
0.20	0.30	2.40	-2.40	0.15	0.500	6	0.00	4.80	4.80	0.46	3.19	-2.51	0.055	0.005	0.030	0.652	0.851	0.834
0.20	0.30	4.00	-0.80	0.15	0.500	6	0.10	4.80	4.80	0.44	2.00	-2.37	0.051	0.005	0.037	0.550	1.031	0.745
0.20	0.30	5.60	0.80	0.15	0.500	6	0.20	4.80	4.80	0.12	0.34	-1.24	0.030	0.003	0.017	0.394	1.222	0.759
0.20	0.55	2.80	-6.00	0.15	0.500	6	-0.10	8.80	4.00	0.47	-0.08	2.06	0.039	0.038	0.003	0.293	0.210	1.528
0.20	0.55	4.40	-4.40	0.15	0.500	6	0.00	7.20	7.20	0.46	-0.39	1.07	0.039	0.034	0.003	0.269	0.282	1.537
0.20	0.55	6.00	-2.80	0.15	0.500	6	0.10	4.00	8.80	0.44	-1.58	1.21	0.023	0.023	0.003	0.186	0.400	1.547

ตารางผนวกที่ ข6 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองบริเวณสมอยึคที่มีการอัคแรงสองชุดแบบเอียงเยื้อง ศูนย์ α = 9 องศา

	0.4			n /n	121	~	71	1.7	17	ß	0	0		T _{burst}			D _{burst}	
a/h	2s/h	\mathbf{s}_1	s_2	R/P	1/h	α	c/h	n' ₁	'n ₂	Р	\mathbf{p}_1	\mathbf{p}_2	T ₁ /P	T_2/P	T_m/P	D ₁ /h	D_2/h	D _m /h
0.10	0.15	-3.60	-6.00	0.00	0.000	9	-0.30	2.40	2.40	-9.00	-9.00	-9.00	0.121	0.091	0.110	0.272	0.172	0.241
0.10	0.15	-2.00	-4.40	0.00	0.000	9	-0.20	2.40	2.40	-9.00	-9.00	-9.00	0.165	0.124	0.156	0.422	0.314	0.371
0.10	0.15	-0.40	-2.80	0.00	0.000	9	-0.10	2.40	2.40	-9.00	-9.00	-9.00	0.198	0.160	0.194	0.558	0.446	0.493
0.10	0.15	1.20	-1.20	0.00	0.000	9	0.00	2.40	2.40	-9.00	-9.00	-9.00	0.214	0.186	0.216	0.679	0.558	0.609
0.10	0.15	2.80	0.40	0.00	0.000	9	0.10	2.40	2.40	-9.00	-9.00	-9.00	0.191	0.191	0.209	0.711	0.653	0.677
0.10	0.15	4.40	2.00	0.00	0.000	9	0.20	2.40	2.40	-9.00	-9.00	-9.00	0.140	0.164	0.168	0.708	0.694	0.690
0.10	0.15	6.00	3.60	0.00	0.000	9	0.30	2.40	2.40	-9.00	-9.00	-9.00	0.064	0.101	0.089	0.704	0.670	0.623
0.10	0.40	0.00	-6.40	0.00	0.000	9	-0.20	6.40	3.20	-9.00	-9.00	-9.00	0.160	0.080	0.000	0.327	0.116	0.444
0.10	0.40	1.60	-4.80	0.00	0.000	9	-0.10	6.40	6.40	-9.00	-9.00	-9.00	0.169	0.101	0.061	0.566	0.225	0.584
0.10	0.40	3.20	-3.20	0.00	0.000	9	0.00	6.40	6.40	-9.00	-9.00	-9.00	0.153	0.117	0.099	0.659	0.368	0.742
0.10	0.40	4.80	-1.60	0.00	0.000	9	0.10	6.40	6.40	-9.00	-9.00	-9.00	0.116	0.123	0.096	0.666	0.508	0.880
0.10	0.40	6.40	0.00	0.00	0.000	9	0.20	3.20	6.40	-9.00	-9.00	-9.00	0.067	0.108	0.058	0.674	0.658	1.057
0.10	0.65	3.60	-6.80	0.00	0.000	9	-0.10	8.80	2.40	-9.00	-9.00	-9.00	0.133	0.064	0.000	0.455	0.097	0.000
0.10	0.65	5.20	-5.20	0.00	0.000	9	0.00	5.60	5.60	-9.00	-9.00	-9.00	0.124	0.091	0.013	0.478	0.172	1.346
0.10	0.65	6.80	-3.60	0.00	0.000	9	0.10	2.40	8.80	-9.00	-9.00	-9.00	0.069	0.096	0.027	0.609	0.240	1.332
0.10	0.15	-3.60	-6.00	0.15	0.125	9	-0.30	2.40	2.40	1.83	5.10	-0.26	0.040	0.021	0.034	0.289	0.386	0.370
0.10	0.15	-2.00	-4.40	0.15	0.125	9	-0.20	2.40	2.40	-0.38	3.77	-3.17	0.083	0.068	0.093	0.508	0.477	0.515
0.10	0.15	-0.40	-2.80	0.15	0.125	9	-0.10	2.40	2.40	-0.99	4.94	-5.31	0.110	0.101	0.128	0.586	0.548	0.596
0.10	0.15	1.20	-1.20	0.15	0.125	9	0.00	2.40	2.40	-1.03	5.33	-6.86	0.119	0.112	0.140	0.588	0.600	0.632
0.10	0.15	2.80	0.40	0.15	0.125	9	0.10	2.40	2.40	-1.07	4.23	-7.46	0.112	0.103	0.131	0.549	0.623	0.620
0.10	0.15	4.40	2.00	0.15	0.125	9	0.20	2.40	2.40	-1.12	2.47	-6.24	0.087	0.079	0.104	0.472	0.586	0.572
0.10	0.15	6.00	3.60	0.15	0.125	9	0.30	2.40	2.40	-2.49	-0.05	-6.19	0.047	0.031	0.052	0.346	0.383	0.401

a/h	2.4			рл	1/1-	~	- 4-	1.1	1.1	ß	0	0		T _{burst}			$\mathbf{D}_{\mathrm{burst}}$	
a/n	ZS/n	\mathbf{s}_1	s ₂	K/P	νn	α	c/n	n ₁	n ₂	Ρ	\mathbf{P}_1	P ₂	T ₁ /P	T ₂ /P	T _m /P	D ₁ /h	D ₂ /h	D _m /h
0.10	0.40	0.00	-6.40	0.15	0.125	9	-0.20	6.40	3.20	-0.38	-0.64	1.23	0.048	0.000	0.004	0.311	0.892	0.969
0.10	0.40	1.60	-4.80	0.15	0.125	9	-0.10	6.40	6.40	-0.99	0.54	-0.91	0.067	0.021	0.030	0.502	0.609	0.752
0.10	0.40	3.20	-3.20	0.15	0.125	9	0.00	6.40	6.40	-1.03	0.93	-2.49	0.071	0.044	0.047	0.489	0.634	0.740
0.10	0.40	4.80	-1.60	0.15	0.125	9	0.10	6.40	6.40	-1.07	-0.17	-3.09	0.064	0.045	0.036	0.371	0.693	0.770
0.10	0.40	6.40	0.00	0.15	0.125	9	0.20	3.20	6.40	-1.12	-1.93	-1.86	0.039	0.021	0.010	0.161	0.834	0.928
0.10	0.65	3.60	-6.80	0.15	0.125	9	-0.10	8.80	2.40	-0.99	-3.86	3.49	0.066	0.002	0.000	0.243	0.025	0.000
0.10	0.65	5.20	-5.20	0.15	0.125	9	0.00	5.60	5.60	-1.03	-3.47	1.92	0.059	0.002	0.000	0.213	0.297	0.000
0.10	0.65	6.80	-3.60	0.15	0.125	9	0.10	2.40	8.80	-1.07	-4.57	1.31	0.037	0.011	0.000	0.131	0.319	0.000
0.10	0.15	-3.60	-6.00	0.15	0.500	9	-0.30	2.40	2.40	1.12	3.53	-0.39	0.081	0.069	0.063	0.180	0.180	0.209
0.10	0.15	-2.00	-4.40	0.15	0.500	9	-0.20	2.40	2.40	-1.03	1.86	-2.91	0.052	0.049	0.055	0.290	0.242	0.313
0.10	0.15	-0.40	-2.80	0.15	0.500	9	-0.10	2.40	2.40	-2.42	1.46	-5.08	0.073	0.043	0.067	0.540	0.348	0.484
0.10	0.15	1.20	-1.20	0.15	0.500	9	0.00	2.40	2.40	-2.52	2.64	-6.57	0.092	0.053	0.092	0.578	0.475	0.579
0.10	0.15	2.80	0.40	0.15	0.500	9	0.10	2.40	2.40	-2.55	2.38	-7.59	0.095	0.059	0.097	0.536	0.497	0.568
0.10	0.15	4.40	2.00	0.15	0.500	9	0.20	2.40	2.40	-2.59	1.20	-7.56	0.078	0.047	0.081	0.446	0.389	0.480
0.10	0.15	6.00	3.60	0.15	0.500	9	0.30	2.40	2.40	-2.86	-0.43	-6.42	0.044	0.035	0.046	0.299	0.290	0.322
0.10	0.40	0.00	-6.40	0.15	0.500	9	-0.20	6.40	3.20	-1.03	-1.72	0.66	0.074	0.074	0.001	0.181	0.130	1.405
0.10	0.40	1.60	-4.80	0.15	0.500	9	-0.10	6.40	6.40	-2.42	-2.12	-1.51	0.055	0.061	0.002	0.263	0.184	1.223
0.10	0.40	3.20	-3.20	0.15	0.500	9	0.00	6.40	6.40	-2.52	-0.94	-3.01	0.062	0.035	0.004	0.364	0.235	1.168
0.10	0.40	4.80	-1.60	0.15	0.500	9	0.10	6.40	6.40	-2.55	-1.20	-4.05	0.057	0.019	0.004	0.282	0.292	1.195
0.10	0.40	6.40	0.00	0.15	0.500	9	0.20	3.20	6.40	-2.59	-2.38	-4.01	0.039	0.015	0.001	0.146	0.246	1.319
0.10	0.65	3.60	-6.80	0.15	0.500	9	-0.10	8.80	2.40	-2.42	-5.69	2.07	0.089	0.074	0.000	0.221	0.108	1.536
0.10	0.65	5.20	-5.20	0.15	0.500	9	0.00	5.60	5.60	-2.52	-4.51	0.56	0.071	0.079	0.000	0.208	0.158	0.000
0.10	0.65	6.80	-3.60	0.15	0.500	9	0.10	2.40	8.80	-2.55	-4.77	-0.48	0.038	0.059	0.000	0.131	0.186	0.000

a/h 2s	0.4			n/n	121.		л	1.7	1.1	ß	0	0		T _{burst}			D _{burst}	
a/n	2s/n	\mathbf{s}_1	s_2	K/P	ν'n	α	c/n	n ₁	n ₂	Р	\mathbf{p}_1	р <u>2</u>	T_1/P	T_2/P	T _m /P	D_1/h	D ₂ /h	D_m/h
0.20	0.30	-0.80	-5.60	0.00	0.000	9	-0.20	4.80	4.80	-9.00	-9.00	-9.00	0.124	0.068	0.072	0.457	0.205	0.400
0.20	0.30	0.80	-4.00	0.00	0.000	9	-0.10	4.80	4.80	-9.00	-9.00	-9.00	0.145	0.093	0.116	0.685	0.362	0.540
0.20	0.30	2.40	-2.40	0.00	0.000	9	0.00	4.80	4.80	-9.00	-9.00	-9.00	0.145	0.115	0.142	0.775	0.505	0.683
0.20	0.30	4.00	-0.80	0.00	0.000	9	0.10	4.80	4.80	-9.00	-9.00	-9.00	0.113	0.124	0.128	0.838	0.651	0.786
0.20	0.30	5.60	0.80	0.00	0.000	9	0.20	4.80	4.80	-9.00	-9.00	-9.00	0.051	0.106	0.087	0.995	0.819	0.891
0.20	0.55	2.80	-6.00	0.00	0.000	9	-0.10	8.80	4.00	-9.00	-9.00	-9.00	0.120	0.053	0.003	0.561	0.148	0.924
0.20	0.55	4.40	-4.40	0.00	0.000	9	0.00	7.20	7.20	-9.00	-9.00	-9.00	0.108	0.070	0.035	0.632	0.251	0.988
0.20	0.55	6.00	-2.80	0.00	0.000	9	0.10	4.00	8.80	-9.00	-9.00	-9.00	0.053	0.078	0.042	0.785	0.376	1.164
0.20	0.30	-0.80	-5.60	0.05	0.125	9	-0.20	4.80	4.80	-2.10	-1.74	-1.33	0.080	0.036	0.055	0.540	0.444	0.591
0.20	0.30	0.80	-4.00	0.05	0.125	9	-0.10	4.80	4.80	-4.69	-3.72	-4.42	0.104	0.071	0.098	0.665	0.515	0.645
0.20	0.30	2.40	-2.40	0.05	0.125	9	0.00	4.80	4.80	-6.26	-4.01	-7.01	0.101	0.092	0.113	0.702	0.579	0.699
0.20	0.30	4.00	-0.80	0.05	0.125	9	0.10	4.80	4.80	-6.34	-2.61	-8.79	0.075	0.108	0.111	0.655	0.660	0.766
0.20	0.30	5.60	0.80	0.05	0.125	9	0.20	4.80	4.80	-6.38	-3.06	-9.97	0.029	0.074	0.056	0.694	0.853	0.844
0.20	0.55	2.80	-6.00	0.05	0.125	9	-0.10	8.80	4.00	-4.69	-8.08	-0.02	0.093	0.014	0.007	0.496	0.217	1.267
0.20	0.55	4.40	-4.40	0.05	0.125	9	0.00	7.20	7.20	-6.26	-8.36	-2.64	0.073	0.042	0.017	0.544	0.403	1.114
0.20	0.55	6.00	-2.80	0.05	0.125	9	0.10	4.00	8.80	-6.34	-6.99	-4.44	0.029	0.051	0.018	0.589	0.546	1.190
0.20	0.30	-0.80	-5.60	0.15	0.125	9	-0.20	4.80	4.80	-0.38	1.13	-0.53	0.035	0.014	0.028	0.647	0.596	0.672
0.20	0.30	0.80	-4.00	0.15	0.125	9	-0.10	4.80	4.80	-0.99	2.30	-2.68	0.064	0.044	0.064	0.647	0.599	0.675
0.20	0.30	2.40	-2.40	0.15	0.125	9	0.00	4.80	4.80	-1.03	2.69	-4.24	0.070	0.063	0.079	0.620	0.641	0.694
0.20	0.30	4.00	-0.80	0.15	0.125	9	0.10	4.80	4.80	-1.07	1.59	-4.84	0.054	0.085	0.074	0.517	0.712	0.675
0.20	0.30	5.60	0.80	0.15	0.125	9	0.20	4.80	4.80	-1.12	-0.17	-3.62	0.028	0.040	0.036	0.487	0.742	0.716
0.20	0.55	2.80	-6.00	0.15	0.125	9	-0.10	8.80	4.00	-0.99	-2.10	1.73	0.034	0.000	0.000	0.324	0.000	1.271
0.20	0.55	4.40	-4.40	0.15	0.125	9	0.00	7.20	7.20	-1.03	-1.71	0.16	0.032	0.004	0.001	0.298	0.623	1.082
0.20	0.55	6.00	-2.80	0.15	0.125	9	0.10	4.00	8.80	-1.07	-2.81	-0.45	0.015	0.011	0.001	0.186	0.684	1.164

a/h 2s/				n /n	171		21		1.	0	0	0		T _{burst}			D _{burst}	
a/h	2s/h	\mathbf{s}_1	8 ₂	K/P	₽'n	α	c/h	n' ₁	n ₂	Ρ	\mathbf{p}_1	\mathbf{p}_2	T ₁ /P	T_2/P	T _m /P	D ₁ /h	D_2/h	D _m /h
0.20	0.30	-0.80	-5.60	0.05	0.250	9	-0.20	4.80	4.80	-2.07	-1.81	-1.29	0.076	0.026	0.042	0.530	0.406	0.639
0.20	0.30	0.80	-4.00	0.05	0.250	9	-0.10	4.80	4.80	-4.57	-3.81	-4.20	0.100	0.056	0.088	0.668	0.553	0.663
0.20	0.30	2.40	-2.40	0.05	0.250	9	0.00	4.80	4.80	-6.31	-4.55	-6.75	0.100	0.080	0.106	0.712	0.603	0.708
0.20	0.30	4.00	-0.80	0.05	0.250	9	0.10	4.80	4.80	-6.52	-3.18	-8.51	0.077	0.105	0.106	0.677	0.676	0.770
0.20	0.30	5.60	0.80	0.05	0.250	9	0.20	4.80	4.80	-6.56	-3.30	-9.76	0.029	0.065	0.053	0.705	0.815	0.857
0.20	0.55	2.80	-6.00	0.05	0.250	9	-0.10	8.80	4.00	-4.57	-7.86	-0.12	0.093	0.025	0.006	0.484	0.122	1.273
0.20	0.55	4.40	-4.40	0.05	0.250	9	0.00	7.20	7.20	-6.31	-8.59	-2.68	0.074	0.031	0.014	0.532	0.366	1.186
0.20	0.55	6.00	-2.80	0.05	0.250	9	0.10	4.00	8.80	-6.52	-7.24	-4.47	0.030	0.041	0.017	0.583	0.548	1.220
0.20	0.30	-0.80	-5.60	0.15	0.250	9	-0.20	4.80	4.80	-0.67	0.52	-0.64	0.015	0.005	0.011	0.817	0.765	0.840
0.20	0.30	0.80	-4.00	0.15	0.250	9	-0.10	4.80	4.80	-1.56	1.19	-2.79	0.050	0.021	0.040	0.685	0.721	0.749
0.20	0.30	2.40	-2.40	0.15	0.250	9	0.00	4.80	4.80	-1.60	1.92	-4.34	0.061	0.037	0.059	0.635	0.723	0.731
0.20	0.30	4.00	-0.80	0.15	0.250	9	0.10	4.80	4.80	-1.64	1.10	-5.14	0.053	0.072	0.061	0.521	0.743	0.697
0.20	0.30	5.60	0.80	0.15	0.250	9	0.20	4.80	4.80	-1.68	-0.46	-4.39	0.025	0.022	0.026	0.471	0.814	0.745
0.20	0.55	2.80	-6.00	0.15	0.250	9	-0.10	8.80	4.00	-1.56	-2.90	1.30	0.033	0.006	0.000	0.255	0.074	1.357
0.20	0.55	4.40	-4.40	0.15	0.250	9	0.00	7.20	7.20	-1.60	-2.17	-0.26	0.032	0.001	0.000	0.255	1.256	1.313
0.20	0.55	6.00	-2.80	0.15	0.250	9	0.10	4.00	8.80	-1.64	-2.99	-1.06	0.016	0.001	0.001	0.184	1.179	1.312
0.20	0.30	-0.80	-5.60	0.05	0.500	9	-0.20	4.80	4.80	-1.99	-1.89	-1.22	0.072	0.048	0.030	0.463	0.252	0.543
0.20	0.30	0.80	-4.00	0.05	0.500	9	-0.10	4.80	4.80	-4.31	-3.85	-3.82	0.095	0.052	0.076	0.650	0.423	0.643
0.20	0.30	2.40	-2.40	0.05	0.500	9	0.00	4.80	4.80	-6.18	-5.07	-6.21	0.098	0.071	0.097	0.707	0.559	0.697
0.20	0.30	4.00	-0.80	0.05	0.500	9	0.10	4.80	4.80	-6.82	-4.31	-8.01	0.081	0.101	0.103	0.712	0.668	0.768
0.20	0.30	5.60	0.80	0.05	0.500	9	0.20	4.80	4.80	-6.85	-3.82	-9.31	0.029	0.058	0.049	0.722	0.799	0.862
0.20	0.55	2.80	-6.00	0.05	0.500	9	-0.10	8.80	4.00	-4.31	-7.40	-0.25	0.091	0.050	0.006	0.439	0.161	1.360
0.20	0.55	4.40	-4.40	0.05	0.500	9	0.00	7.20	7.20	-6.18	-8.60	-2.65	0.075	0.051	0.010	0.503	0.270	1.318
0.20	0.55	6.00	-2.80	0.05	0.500	9	0.10	4.00	8.80	-6.82	-7.85	-4.47	0.032	0.047	0.014	0.572	0.408	1.294

a/h 2	2/h			D/D	176	~		b !	1.1	ß	ß	ß		T _{burst}			$\mathbf{D}_{\mathrm{burst}}$	
a/n	ZS/n	\mathbf{s}_1	s_2	K/P	1/n	u	c/n	n ₁	n ₂	Р	\mathbf{p}_1	\mathbf{p}_2	T ₁ /P	T_2/P	T _m /P	D_1/h	D ₂ /h	D _m /h
0.20	0.30	-0.80	-5.60	0.15	0.500	9	-0.20	4.80	4.80	-1.03	-0.29	-0.77	0.025	0.036	0.003	0.310	0.202	0.912
0.20	0.30	0.80	-4.00	0.15	0.500	9	-0.10	4.80	4.80	-2.42	-0.69	-2.94	0.030	0.019	0.007	0.601	0.308	0.917
0.20	0.30	2.40	-2.40	0.15	0.500	9	0.00	4.80	4.80	-2.52	0.49	-4.44	0.047	0.010	0.024	0.604	0.595	0.757
0.20	0.30	4.00	-0.80	0.15	0.500	9	0.10	4.80	4.80	-2.55	0.23	-5.47	0.030	0.020	0.032	0.514	0.503	0.708
0.20	0.30	5.60	0.80	0.15	0.500	9	0.20	4.80	4.80	-2.59	-0.95	-5.44	0.020	0.001	0.008	0.396	1.153	0.746
0.20	0.55	2.80	-6.00	0.15	0.500	9	-0.10	8.80	4.00	-2.42	-4.27	0.64	0.048	0.043	0.000	0.235	0.145	1.437
0.20	0.55	4.40	-4.40	0.15	0.500	9	0.00	7.20	7.20	-2.52	-3.08	-0.87	0.039	0.036	0.000	0.241	0.205	0.000
0.20	0.55	6.00	-2.80	0.15	0.500	9	0.10	4.00	8.80	-2.55	-3.35	-1.91	0.018	0.020	0.000	0.182	0.192	1.488



ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อสกุล เกิดวันที่ สถานที่เกิด ประวัติการศึกษา นายเขมวิชญ์ วรรณศิริ 20 สิงหาคม 2524 จังหวัดเชียงราย วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิศวกรออกแบบโครงสร้าง JCM Engineering Concept Co., Ltd.

ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน สถานที่ทำงานปัจจุบัน ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ ทุนการศึกษาที่ได้รับ