แนวคิดการออกแบบและการพัฒนาท่าเทียบเรือชนิดลอยตัวด้วยตนเอง

The Design Concept and Development of the Self Floating Boat Landing

อำพน จรัสจรุงเกียรติ Dr.-Ing. (Amphon Jarasjarungkiat, Dr.-Ing.)[1]
ณัฐณิชา หนูทับ วศ.บ. (Natnicha Nootab, B.Eng.)[2]
นาถวัฒน์ ชูราศรี วศ.บ. (Natawat Choorasri, B.Eng.)[2]
อาทิตยา ขันตี วศ.บ. (Atritaya khantee, B.Eng.)[2]
วรพล พูลสุข วศ.บ. (Worapol Poonsuk, B.Eng.)[2]

บทคัดย่อ

ท่าเทียบเรือเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างแท่นขุดเจาะเชื้อเพลิงในทะเลใช้สำหรับให้เรือลากจูงมาจอดเทียบ เนื่องจากการเปลี่ยนระดับของน้ำทะเลจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนระดับของท่าเทียบเรือหลายครั้งในแต่ละปี คณะผู้วิจัยได้ตระหนักถึงความสำคัญของท่าเทียบเรือชนิดลอยตัวขึ้นลงด้วยตนเองตามระดับน้ำโดยไม่ต้องอาศัยเครื่องจักรอุปกรณ์หรือแรงงานคน เพื่อประหยัดเวลาในการเคลื่อนย้ายและติดตั้ง งานวิจัยนี้นำเสนอแนวคิดการออกแบบและการพัฒนาท่าเทียบเรือที่สร้างจากเหล็กกล้าคาร์บอน ซึ่งรับแรงกระแทกได้ดี ซึ่งในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองท่าเทียบเรือที่ลอยตัวด้วยตนเอง ศึกษาพฤติกรรมการลอยตัวของแบบจำลองท่าเทียบเรือที่แปรผันไปตามการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ แรงลอยตัวเป็นตัวแปรสำคัญที่ถูกนำมาพิจารณาในการทดสอบการทำงานของชุดสาธิตท่าเทียบเรือจำลองที่สร้างขึ้น เพื่อปรับปรุงรูปแบบให้เหมาะสมภายใต้ข้อกำหนดในการใช้งาน พบว่าท่าเทียบเรือชนิดปรับระดับการลอยตัวขึ้นลงด้วยตนเองสามารถบรรทุกน้ำหนักได้อย่างมีประสิทธิภาพตอบสนองการใช้งานได้ดี ลดแรงงานคนและความเสี่ยงภัยของผู้ปฏิบัติงาน

คำสำคัญ : แรงลอยตัว การลอยตัวด้วยตนเอง ท่าเทียบเรือ

Abstract

As a component of an offshore platform for petroleum production, boat landing is used for the tug boat mooring. According to variations of sea level, boat landing must be relocated several times a year. The researchers realize an importance of the self floating boat landing without interference by a crane or man power. Due to this reason, the duration for transportation and installation can be decreased. This research presents the design concept of the boat landing made of carbon steel possessing good impact strength. The objectives of this work are to fabricate a model of the self floating boat landing and study its floating behavior which varies according to the change in water level. The buoyant force is deemed as the key factor in testing functionalities of the fabricated boat landing for further developments by aiming at the most appropriate form according to working conditions. The result of this study unveils that the self floating boat landing can efficiently carry loads while the reduction in human involvement can diminish risks for workers.

Keywords : Buoyancy, Self floating, Boat landing

[1] อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
[2] บัณฑิตปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิทยาลัยพาณิชยนาวีนานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

บทนำ

ปัจจุบันการสำรวจขุดเจาะเชื้อเพลิงธรรมชาติเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองความต้องการด้านพลังงานที่เพิ่มมากขึ้น กิจกรรมเหล่านี้จะต้องมีการออกแบบและติดตั้งโครงสร้างขุดเจาะเชื้อเพลิงธรรมชาติกลางทะเล ผู้วิจัยได้พบว่าท่าเทียบเรือ (Boat landing) (The Largest Indonesian community, 2012) เป็นโครงสร้างหนึ่งที่น่าสนใจต่อการพัฒนาคุณภาพให้มีความสะดวกต่อการใช้งาน และประหยัดเวลาในการเคลื่อนย้ายและติดตั้ง เพื่อความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานบนแท่นขุดเจาะน้ำมัน ในฐานะที่เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างแท่นขุดเจาะเชื้อเพลิงในทะเล ท่าเทียบเรือเป็นอุปกรณ์กันกระแทกให้เรือลากจูงมาจอดเทียบ (Visser Consultancy, 2004) เพื่อใช้ขนถ่ายสิ่งของ บุคลากรขึ้นไปทำงานบนแท่นขุดเจาะ โดยทั่วไปท่าเทียบเรือถูกติดตั้งตายตัวอยู่กับขาแท่นขุดเจาะ (Jacket) (Dawson, 1983)

จากการศึกษาข้อมูลในอดีตพบว่าท่าเทียบเรือเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับให้เรือลากจูง (Tug boat) มาจอดเทียบ เพื่อใช้ในการขนถ่ายสิ่งของ บุคลากรที่ทำงานบนแท่นขุดเจาะน้ำมันให้สามารถขึ้นไปทำงานบนแท่นขุดเจาะน้ำมันได้และใช้สำหรับป้องกันหรือลดแรงกระแทก (Impact strength) จากเรือลากจูง ซึ่งในระยะเวลา 1 ปี จะต้องมีการปรับเปลี่ยนระดับของท่าเทียบเรือหลายครั้ง โดยใช้แรงงานคนและเครนในการปรับเปลี่ยนระดับ ซึ่งเป็นงานที่ต้องใช้เวลาและไม่สะดวกในการปฏิบัติงานบนแท่นขุดเจาะน้ำมัน

คณะผู้วิจัยได้ตระหนักถึงความสำคัญของปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นจึงริเริ่มงานวิจัยเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยนำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับท่าเทียบเรือที่สามารถลอยด้วยตนเองโดยใช้ประโยชน์จากถังช่วยลอยตัวโดยอาศัยแรงลอยตัว (Buoyant force) (Munson, Young & Okiishi, 2010) ในการรับน้ำหนักตลอดจนการปรับเปลี่ยนระดับของท่าเทียบเรือให้เป็นไปโดยอัตโนมัติไม่ต้องอาศัยเครื่องจักรอุปกรณ์หรือแรงงานมนุษย์ เพื่อช่วยให้ประหยัดเวลาในการเคลื่อนย้ายและติดตั้ง ซึ่งสามารถลดแรงงานคนและสะดวกในการปฏิบัติงานมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อทำการศึกษา วิเคราะห์และสร้างชุดสาธิตแบบจำลองท่าเทียบเรือซึ่งสามารถลอยตัวขึ้นลงด้วยตนเองไปตามการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ โดยอาศัยแรงลอยตัวให้สามารถรับน้ำหนักได้ตามข้อกำหนดการใช้งาน

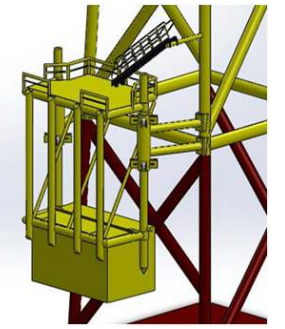
ระเบียบวิธีวิจัย

ขอบเขตในการศึกษาวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะทำการศึกษาข้อมูลระดับของน้ำทะเลในช่วงระหว่างน้ำขึ้น-น้ำลงในรอบวัน เพื่อนำมากำหนดช่วงการปรับระดับลอยตัวขึ้นลงสูงสุดของท่าเทียบเรือ และทดสอบการทำงานของชุดสาธิตท่าเทียบเรือ เพื่อนำข้อมูลมาแก้ไขและปรับปรุงรูปแบบของท่าเทียบเรือให้มีความเหมาะสมที่สุด ภายใต้ข้อกำหนดในการใช้งานจริง ในการศึกษานี้ผู้วิจัยไม่ได้นำสภาพทางพลศาสตร์ของคลื่นเข้ามาพิจารณา แต่มุ่งความสนใจไปที่ช่วงการปรับระดับลอยตัวขึ้นลงสูงสุด และการรับน้ำหนักภายใต้สมดุลสถิต ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ คือ เข้าใจการทำงานของท่าเทียบเรือ สามารถนำแนวคิดการออกแบบไปดำเนินการสร้างและทดสอบการใช้งานจริงได้

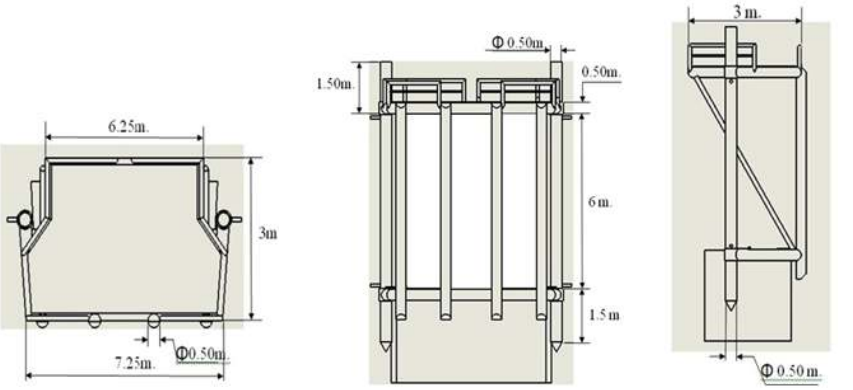
โดยมีวิธีการวิจัยดังนี้ ผู้วิจัยนำทฤษฎีที่สอดคล้องมาใช้โดยศึกษาข้อมูลสภาวะแวดล้อมในทะเลอ่าวไทยที่มีความลึกของน้ำทะเลเฉลี่ยประมาณ 80 เมตรมีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลขึ้นลงโดยความแตกต่างของระดับน้ำทะเลสูงสุดประมาณ 2.0 เมตร (กองสมุทรศาสตร์ กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ, 2550) และเงื่อนไขในการออกแบบโครงสร้างนอกฝั่ง (Kittipadungkul & Jarasjarungkiat, 2012) ในอ่าวไทยที่มีความลึกน้ำทะเลซึ่งเหมาะสมกับโครงสร้างแท่นขุดเจาะชนิดยึดแน่น (fixed jacket platform) การออกแบบในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Solid system, 2012) และสร้างชุดสาธิตท่าเทียบเรือ

ขนาดมาตราส่วน 1:25 ซึ่งลอยตัวปรับระดับขึ้นลงด้วยตนเองตามการขึ้นลงของระดับน้ำทะเล ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยมีภาพสามมิติและภาพด้านของชุดสาธิตท่าเทียบเรือดังกล่าวแสดงไว้ในภาพที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

โดยท่าเทียบเรือที่ใช้งานจริงที่นำมาเป็นต้นแบบ มีขนาดยาว 7.25 เมตร กว้าง 3.00 เมตร และสูง 9.00 เมตร โดยอาศัยถังเพิ่มแรงลอยตัวเพื่อให้การรับน้ำหนักและการปรับเปลี่ยนระดับของท่าเทียบเรือตามระดับน้ำทะเลให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ทำการเก็บข้อมูล ความสามารถในการรับน้ำหนัก ความสามารถในการลอยตัว เพื่อมาปรับปรุงรูปแบบของท่าเทียบเรือ ให้มีความเหมาะสมที่สุดเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดในการใช้งานจริง



ภาพที่ 1 ภาพสามมิติของท่าเทียบเรือ



a) ภาพด้านบน b) ภาพด้านหน้า c) ภาพด้านข้าง

d) ภาพด้านล่าง

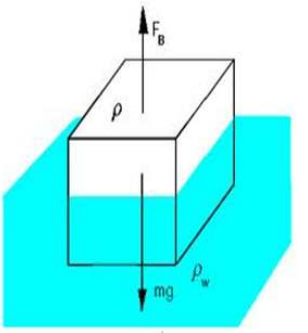
ภาพที่ 2 ภาพด้านของท่าเทียบเรือ



ภาพที่ 3 ภาพชุดสาธิตแบบจำลองท่าเทียบเรือมาตราส่วน 1:25

ผลการวิจัย

1. การคำนวณหาแรงลอยตัวของท่าเทียบเรือ

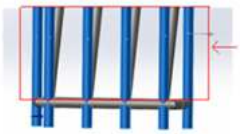
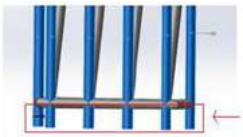
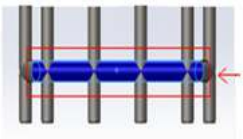
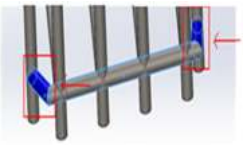
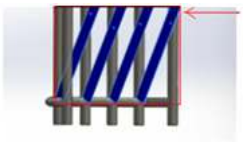


ภาพที่ 4 สภาพสมดุลสถิตระหว่างน้ำหนักของวัตถุและแรงลอยตัว

สมดุลสถิต Beer, Johnston & Dewolf (2009). ในแนวดิ่งระหว่างน้ำหนักของท่าเทียบเรือและแรงลอยตัวดังแสดงในภาพที่ 4 สามารถอธิบายได้โดย

$$F_b = \rho g V \qquad (1)$$

โดย F_b คือ แรงลอยตัว (นิวตัน), g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (ม./วินาที^{2}), ρ คือความหนาแน่นของเหลว (กก./ม.^{3}), V คือ ปริมาตรวัตถุส่วนที่จมน้ำ (ม.^{3}) มวลของวัตถุ (กก.) สามารถคำนวณได้จาก $M_{obj} = \rho_{obj} V_{obj}$ โดยให้ ρ_{obj} คือความหนาแน่นของวัตถุ (กก./ม.^{3}) และ V_{obj} คือปริมาตรของวัตถุ (ม.^{3}) ทำการจัดกลุ่มท่อออกเป็น type 1 ถึง type 5 เพื่อสะดวกต่อการอ้างอิงดังแสดงในภาพที่ 5

ภาพกลุ่มโครงสร้างท่อ	คำอธิบาย
	TYPE 1 ท่อแนวดิ่ง ส่วนบน
	TYPE 2 ท่อแนวดิ่ง ส่วนล่าง
	TYPE 3 ท่อแนวขวางด้านหน้าของท่าเทียบเรือ
	TYPE 4 ท่อแนวขวางด้านข้างของท่าเทียบเรือ
	TYPE 5 ท่อแนวเฉียง

ภาพที่ 5 โครงสร้างท่อในแต่ละส่วนของท่าเทียบเรือสำหรับการคำนวณแรงลอยตัว

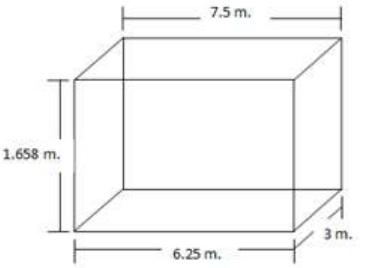
ตารางที่ 1 การคำนวณแรงลอยตัวของท่าเทียบเรือ

Type	N	D (ม.)	L (ม.)	A (ม.^{2})	V (ม.^{3})
1	6	0.50	4.50	0.19	5.30
2	6	0.50	1.00	0.19	1.17
3	1	0.50	5.00	0.19	0.98
4	2	0.50	1.25	0.19	0.49
5	4	0.50	5.35	0.24	5.27
Sum					13.21

โดย N แทนจำนวนของท่อ, D แทนเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (ม.), L คือความยาวท่อ (ม.), A พื้นที่หน้าตัดท่อ (ม.^{2}) และ V ปริมาตรของท่อ (ม.^{3})

ตารางที่ 2 ขนาดของถังเพิ่มแรงลอยตัว

L1 (ม.)	ความยาว 1	6.25
L2 (ม.)	ความยาว 2	7.50
B (ม.)	ความกว้าง	3.00
T (ม.)	ความลึก	1.66
Vถัง (ม.^{3})	ปริมาตรของถัง	34.20



ภาพที่ 6 แบบแสดงขนาดของถังเพิ่มแรงลอยตัว

จากตารางที่ 1 และ 2 ปริมาตรรวมของท่อจากภาพที่5 และถังเพิ่มแรงลอยตัวในภาพที่ 6 เมื่อจมน้ำมีค่าเท่ากับ 13.21+ 34.20 = 47.41 ม.^{3} ดังนั้นสามารถคำนวณมวลของของเหลวที่ถูกแทนที่ (กก.) ได้โดย

$$\begin{aligned} M_s &= \rho_s V_s \\ &= 1{,}025\,kg/m^3 \times 47.41\,m^3 \\ &= 48{,}602.63\,kg. \end{aligned} \tag{2}$$

โดย ρ_s คือความหนาแน่นของน้ำทะเล (กก./ม.^{3}) และ V_s คือปริมาตรโครงสร้างส่วนที่จมน้ำ (ม.^{3}) เพราะฉะนั้นท่าเทียบเรือที่ทำจากท่อเหล็กกล้าคาร์บอน (ความหนาแน่น 7,850 กก./ม.^{3}) มีปริมาตร 6.19 ม.^{3} มีมวล, M_{b1} = 7,850 กก./ม.^{3} x 6.19 ม.^{3} = 48,590 กก.

สมมุติให้ระดับน้ำทะเลอยู่ระหว่างความยาวของท่อ type 1 และ type 5 ดังแสดงในภาพที่ 2 และ 5 ตามลำดับ แรงลอยตัวของท่าเทียบเรือ, M_{bc} (กก.), เมื่อมีระยะจม 1 ซม. หาได้โดย

$$\begin{aligned} M_{bc} &= \rho_s \left(V_{pt1} + V_{pt5}\right) \\ &= 1{,}025 \cdot \left(11{,}780 \times 10^{-6} + 9{,}860 \times 10^{-6}\right) \\ &= 22.18\ kg. \end{aligned} \tag{3}$$

โดย V_{pti} (ซม.^{3}) คือ ปริมาตรท่อ type i เมื่อจมน้ำ 1 ซม. สามารถเขียนได้ว่า

$$V_{pt1} = A_{pt1} \times n_1 = 1{,}963.5 \times 6 = 11{,}780\ \ \text{cm}^3 \tag{4}$$

$$V_{pt5} = A_{pt5} \times n_5 = 2{,}465 \times 4 = 9{,}860\ \ \text{cm}^3 \tag{5}$$

เมื่อ A_{pti} (ซม.^{2}) คือ พื้นที่หน้าตัดท่อ type i (ตารางที่ 1) และ n_i คือ จำนวนเส้นท่อสำหรับท่อ type i

ดังนั้นท่าเทียบเรือมีระยะจม 1 ซม. ด้วยมวลขนาด 22.18 กก. หากยอมให้มีระยะจม 100 ซม. จะสามารถบรรทุกมวลได้ประมาณ 2,218 กก.

2. การคำนวณแรงลอยตัวของแบบจำลอง (1:25)

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างแบบจำลองทำจากเหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon steel) ที่มีมาตราส่วน 1:25 ดังแสดงในภาพที่ 3 แรงลอยตัวถือเป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการปรับเปลี่ยนระดับอัตโนมัติโดยมีการเสริมถังเพิ่มแรงลอยตัวบริเวณด้านล่างของท่าเทียบเรือ ดังแบบที่แสดงในภาพที่ 1 ถึง 3 โดยขนาดของถังแสดงอยู่ในภาพที่ 6 เพื่อแยกความแตกต่างสัญลักษณ์ที่แสดงถึงแบบจำลองจะเขียนบาร์ไว้ด้านบน สมมุติให้ระดับน้ำทะเลอยู่ระหว่างความยาวของท่อ type1 ในภาพที่ 1 และ 5 แรงลอยตัวของท่าเทียบเรือ, $\overline{\mathrm{M}}_{\mathrm{bc}}$ (กก.), เมื่อมีระยะจม 1 ซม. หาได้ ดังนี้

$$\begin{aligned}\overline{\mathrm{M}}_{\mathrm{bc}} &= \rho_w\left(\overline{V}_{pt1}+\overline{V}_{pt5}\right)\\ &= 1{,}000\,kg/m^3\cdot\left(18.85\times10^{-6}\right)m^3\\ &= 18.85\times10^{-3}\,kg.\end{aligned} \tag{6}$$

โดย ρ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำจืด (กก./ม.^{3}) โดยทำการทดสอบในถังทดสอบบรรจุด้วยน้ำจืด

$\overline{V}_{pti}$ (ซม.3) คือ ปริมาตรท่อ type i เมื่อจมน้ำ 1 ซม. โดยท่อที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.45 ซม.

จากแบบจำลองมีเฉพาะท่อ type 1ที่มีการป้องกันน้ำเข้าจำนวน 4 ท่อ ดังนั้นปริมาตรท่อส่วนที่นำมาคำนวณแรงลอยตัวเมื่อมีระยะจม 1 ซม. ในด้านขวามือสมการที่ (6) หาได้จาก

$$\overline{V}_{pt1}+\overline{V}_{pt5}=\overline{A}_{pt1}\times\overline{n}_1=\pi r^2\times4=\pi\cdot(1.225)^2\times4=18.85\ \mathrm{cm}^3 \tag{7}$$

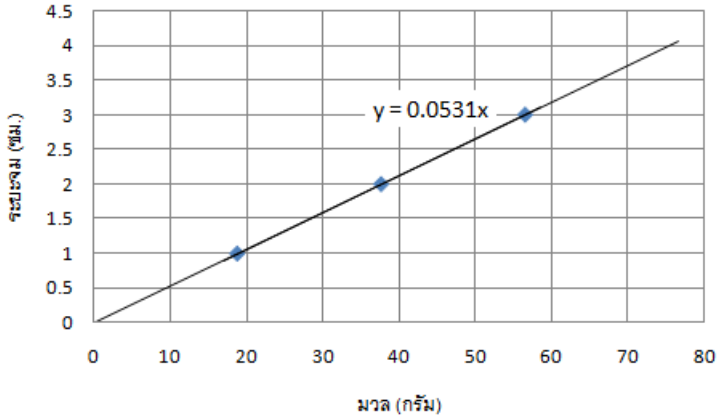
อภิปรายผล

เริ่มจากการชั่งก้อนมวลที่จะใช้ในการทดลองทำการทดสอบการปรับระดับโดยอัตโนมัติของท่าเทียบเรือในระดับน้ำระดับต่างๆโดยคำนึงถึงแรงลอยตัวของท่าเทียบเรือ ว่ามีประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่และสามารถรับน้ำหนักได้ตามที่คำนวณไว้ข้างต้นหรือไม่

จัดชุดการทดสอบโดยวางชุดสาธิตท่าเทียบเรือไว้ในถังทดลองที่มีน้ำบรรจุอยู่ ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยให้ระดับน้ำสูงเพียงพอที่ทำให้ท่าเทียบเรือ ลอยตัวขึ้นจากระดับต่ำสุดขณะติดตั้งอยู่กับโครงสร้างแท่นขุดเจาะ(Jacket) ในสภาพของโป๊ะลอยน้ำที่อยู่ภายใต้สภาพสมดุลสถิตระหว่างน้ำหนักและแรงลอยตัวโดยมีรางบังคับการลอยตัวขึ้นลงทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการลอยตัว เมื่อทำการทดลองการทดสอบวางก้อนมวลมาตรฐานโดยที่แต่ละก้อนมีมวล ขนาด 18.85 กรัม ตามสมการที่(6) ลงบนชุดสาธิตท่าเทียบเรือ ที่วางไว้ในถังทดลองที่มีน้ำบรรจุอยู่โดยที่ จะมีระยะจมน้ำประมาณ 1 ซม. เมื่อเพิ่มก้อนมวลเป็น 3 ก้อน ระยะจมเพิ่มขึ้นเป็น 3 ซม. ดังแสดงในภาพที่ 7 ผลการทดสอบเฉลี่ยเมื่อทำการทดลองซ้ำจำนวน 10 ครั้งถูกแสดงในภาพที่ 8 พบว่าเป็นไปตามที่คำนวณไว้ กล่าวคือการคำนวณกับการทดลองข้างต้นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน



ภาพที่ 7 การทดสอบระยะจมของชุดสาธิตท่าเทียบเรือมาตราส่วน 1:25



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดมวลกับระยะการจมของชุดสาธิตท่าเทียบเรือมาตราส่วน 1:25

สรุป

งานวิจัยท่าเทียบเรือชนิดปรับระดับโดยอัตโนมัตินี้ คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยการนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาการปรับเปลี่ยนระดับของท่าเทียบเรือ และแรงลอยตัว (Buoyant force) มาใช้ประโยชน์ในการออกแบบท่าเทียบเรือชนิดปรับระดับอัตโนมัติตามการขึ้นลงของระดับน้ำทะเล ซึ่งทำให้สามารถทำงานได้ตลอดทุกช่วงเวลา โดยมีการเพิ่มถังเพิ่มแรงลอยตัวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลอยตัวและการรองรับน้ำหนัก

ผู้วิจัยทำการสร้างแบบจำลองท่าเทียบเรือขนาดมาตราส่วน 1:25 ชนิดลอยตัวด้วยตนเองปรับระดับตามระดับน้ำทะเลโดยเสริมถังเพิ่มแรงลอยตัว แบบจำลองท่าเทียบเรือที่สร้างขึ้นนี้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์ กล่าวคือเมื่อวางมวล 18.85 กรัม จะมีระยะจม 1 ซม. ในขณะที่ผลการคำนวณท่าเทียบเรือขนาดเท่าจริงจะมีระยะจม 1 ซม. ด้วยมวลขนาด 22.18 กก. และเมื่อยอมให้มีระยะจม 100 ซม. จะสามารถบรรทุกมวลได้ 2,218 กก. ประมาณการว่าสามารถบรรทุกคนราว 25 คน (90 กก.) และพบว่าแนวทางการพัฒนาโดยปรับรูปแบบ ขนาด หรือตำแหน่งของถังเพื่อเพิ่มแรงลอยตัวให้กับท่าเทียบเรือ มีแนวโน้มจะเพิ่มประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

ในส่วนของการพัฒนาต่อไป หากมีการนำท่าเทียบเรือชนิดปรับระดับโดยอัตโนมัติไปใช้งานจริง ควรมีการพัฒนาให้สามารถรองรับน้ำหนักได้มากกว่าเดิมโดยการปรับเปลี่ยนขนาดของถัง หรือปรับเปลี่ยนระดับตำแหน่งของถังเพื่อเพิ่มแรงลอยตัว และให้เป็นไปตามข้อกำหนดการออกแบบโครงสร้างในทะเลของ American Petroleum Institute [API] (2000) ควรมีการพัฒนารูปแบบโดยอาศัยเทคนิคการหารูปร่างที่เหมาะสมโดยการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ในการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้ดียิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

กองสมุทรศาสตร์ กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ. (2550). **เอกสารข้อมูลการตรวจวัดระดับน้ำจริงรายชั่วโมงของสถานีวัดระดับน้ำตั้งแต่ปี พ.ศ. 2483 – 2550**.

American Petroleum Institute. (2000). **Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms, API RP2A-WSD.** (21st ed.). Washington, DC, USA: Author.

Beer, F. P., Johnston, E.R., & Dewolf, J.T. (2009). **Mechanics of materials. (**5th ed.). New York, USA: McGraw-Hill Higher Education.

Dawson, T.H. (1983). **Offshore Structural Engineering.** Englewood Cliffs, New Jersey, USA: Prentice-Hall.

Kittipadungkul, K. & Jarasjarungkiat, A. (2012). **Offshore Environment and Design Criteria.** Chonburi, Thailand: Kasetsart University Sri Racha.

Munson, B.R., Young, D.F., & Okiishi, T.H. (2010). **Fundamentals of Fluid Mechanics.** (6th ed.). New York, USA: John Wiley & Sons.

Solid system. (2012). **SolidWorks.** Retrieved March 12, 2013, from http://www.solid-solid-system.com/products/3d-mechanical-cad/solidworksstandard.

The Largest Indonesian community. (2012). **Boat landing.** Retrieved July 2013, from http://www.kaskus.co.id/showpost.p?p273183300&count-22.

Visser Consultancy. (2004). **Ship collision and capacity of brace members of fixed steel offshore platform.** health & Safety Executive. Netherlands.