หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
ข้อพิจารณาในการออกแบบหลักผูกเรือกลางน้ำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวัตถุประสงค์ของการออกแบบหลักผูกเรือกลางน้ำ ประโยชน์ที่ได้รับจากหลักผูกเรือกลางน้ำ ขั้นตอนในการสำรวจออกแบบหลักผูกเรือกลางน้ำ ข้อพิจารณาการออกแบบในแบบยืดหยุ่น นอกจากนี้ยังจะได้กล่าวถึงข้อพิจารณาในการออกแบบหลักผูกเรือหลางน้ำแบบยืดหยุ่น ตามวิธีของ Empfehlungen des Arbeitsausschusses'Ufereinfassungen'(EAU 1980), The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI), British Standards Institution (BSI).

3.1 วัตถุประสงค์และผลประโยชน์ที่ได้รับจากหลักผูกเรือกลางน้ำ

1. การก่อสร้างหลักผูกเรือกลางน้ำก็เพื่อใช้เป็นที่ผูกเรือกลางลำน้ำแทนการก่อสร้างท่าเทียบเรือเนื่องจากราคาค่าก่อสร้างท่าเทียบเรือแพงกว่าหลักผูกเรือกลางน้ำมากและในบางกรณีเรือไม่จำเป็นต้องใช้ท่าเทียบเรือในการขนถ่ายสินค้า เช่น สินค้าประเภทถุง การขนถ่ายสินค้าสามารถขนถ่ายจากเรือลำหนึ่งไปยังอีกลำหนึ่งโดยตรงเลย ซึ่งสะดวกและรวดเร็ว ลดพื้นที่กองสินค้าบริเวณท่าเทียบเรือทำให้สามารถใช้พื้นที่ให้เป็นประโยชน์ได้มากขึ้น

2. หลักผูกเรือกลางน้ำสามารถทำการก่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว ทำให้สามารถเปิดงานใช้งานได้ทันต่อความต้องการและการขยายตัวของสินค้า

3. หลักผูกเรือกลางน้ำ สามารถก่อสร้างได้ตลอดลำน้ำ สถานที่ที่เหมาะสำหรับการก่อสร้างหลักผูกเรือกลางน้ำจะหาง่ายกว่าสถานที่ที่เหมาะสมกับการสร้างท่าเทียบเรือ

4. หลักผูกเรือกลางน้ำ จะช่วยลดความคับคั่งของเรือบริเวณท่าเทียบเรือทำให้เรือลดเวลาในการเข้าเทียบท่า การจอดขนถ่ายสินค้าและการออกเดินทางของเรือสินค้าลง เป็นการช่วยให้เรือลดเวลาในการจอดเรือคอยนอกสันดอนทำให้ค่าขนส่งสินค้าถูกลง และเมื่อเรือเทียบท่าเรือได้มากขึ้นเป็นการเพิ่มรายได้จากการขนถ่ายสินค้าให้แก่การท่าเรือด้วย

3.2 ข้อพิจารณาในการสำรวจและออกแบบหลักผูกเรือกลางน้ำ

ก่อนที่จะทำการออกแบบหลักผูกเรือกลางน้ำ จำเป็นอย่างยิ่งที่วิศวกรผู้ออกแบบจะต้องศึกษาองค์ประกอบและขั้นตอนต่าง ๆ ในการออกแบบอย่างถี่ถ้วน ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลต่าง ๆ เหล่านั้นจะทำให้การออกแบบมีประสิทธิภาพและลดค่าก่อสร้างลงได้ สำหรับข้อพิจารณาและขั้นตอนในการออกแบบที่ควรคำนึงถึงพอจะแบ่งออกเป็นหัวข้อได้ดังนี้ คือ

1. ทำการศึกษาเกี่ยวกับการดำเนินการกิจการเดินเรือ

- การเดินเรือในแม่น้ำเจ้าพระยา เนื่องจากขั้นตอนแรกของการออกแบบคือ หาสถานที่ที่เหมาะสมสำหรับจอดเรือ สถานที่เหมาะสมจะต้องไม่กีดขวางการจราจรทางน้ำ. ไม่อยู่ในเขตที่มีกระแสน้ำหรือกระแสลมรุนแรง ไม่ห่างไกลจากโกดังที่เก็บสินค้า ดังนั้นการศึกษาการเดินเรือในแม่น้ำเจ้าพระยาว่าช่วงใดของลำน้ำมีปริมาณของการจราจรทางน้ำอย่างไร มากน้อยแค่ไหน ลักษณะการเดินเรือบริเวณนั้นเป็นอย่างไรจะต้องทราบก่อนการออกแบบ

- ขนาดและจำนวนของเรือที่จะจอดจะต้องทราบเพื่อจะได้เตรียมหาสถานที่ที่เหมาะสม เช่น มีความลึกเพียงพอ มีความยาวของลำน้ำเพียงพอต่อการจอดเรือ

- วิธีการเข้าจอดในการเข้าจอดของเรือเป็นส่วนหนึ่งในการพิจารณาออกแบบเนื่องจากการเข้าจอดโดยการทำมุมต่าง ๆ จะทำให้เกิดแรงกระแทกไม่เท่ากัน และในการจอดถ้าใช้เรือโยง(Tug - boat) จะทำให้สภาพหรือข้อกำหนดในการเข้าจอดไม่เหมือนกับเรือเข้าจอดด้วยตนเอง

- วิธีการผูกเรือ จะต้องกำหนดรูปแบบของการผูกเรือว่าในหนึ่งหลักจะผูกเชือกจากเรือกี่เส้น จะต้องมีพุกกี่อันบนหลักผูกเรืออันนั้น

- วิธีการออกเรือจากที่จอดต้องทำการศึกษาว่าจะต้องใช้เรือดัน (Tug - boat)หรือไม่และในการออกเชือกเส้นใดทางหัวเรือหรือทางท้ายเรือจะต้องถูกปลดก่อน

- สถานที่จอดเรือลำเลียงขนาดเล็ก ตามกฎข้อบังคับของการท่าเรือ เรือลำเลียงขนาดเล็กหรือเรือภายในลำน้ำจะไม่สามารถจอดรอเรือเดินทะเลบริเวณหลักผูกเรือเพื่อรอขนถ่ายสินค้า ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยของเรือสินค้าเดินทะเลขณะเข้าจอดเรือและผูกเรือ เรือลำเลียงขนาดเล็กและเรือภายในลำน้ำจะต้องจอด ณ บริเวณที่กำหนดให้ซึ่งมีระยะห่างจากบริเวณหลักผูกเรือพอสมควรและเมื่อได้รับแจ้งจากการท่าเรือว่าเรือสินค้าเข้าจอดแล้วจึงสามารถเข้าไปเทียบขนถ่ายสินค้าได้ ดังนั้นจำเป็นต้องมีการจัดบริเวณเพื่อให้เรือลำเลียงขนาดเล็กจอดบริเวณใกล้เคียงกับบริเวณที่จะก่อสร้างหลักผูกเรือกลางน้ำ

- วิธีการเข้าจอดเทียบของเรือลำเลียงขนาดเล็กเพื่อขนถ่ายสินค้าต้องทราบขนาดและรูปร่างวิธีเข้าเทียบของเรือลำเลียงขนาดเล็ก เพราะจะทำให้แรงดึงที่เกิดขึ้นกับหลักผูกเรือจะมากขึ้น

2. การศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลของสิ่งแวดล้อม

การศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลของสิ่งแวดล้อมจะใช้เพื่อออกแบบขนาดความหนาและความยาวของหลักผูกเรือโดยที่จะต้องหาข้อมูลของ

- อุณหภูมิของอากาศ ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำฝน แรงลมและพายุ ระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุด ความเร็วของกระแสน้ำ ความสูงของคลื่น ความ

ลึกของน้ำ คุณภาพของน้ำ การกัดกร่อน สภาพของดิน โดยข้อมูลจะต้องละเอียดและมีการเก็บข้อมูลในระยะเวลาที่ยาวนานพอ

3. การศึกษาเกี่ยวกับแรงที่กระทำกับโครงสร้างและชนิดของวัสดุที่ใช้ ก่อนการออกแบบจะต้องทราบว่ามีแรงชนิดใดบ้างที่กระทำต่อโครงสร้าง และกระทำในทิศทางใด รวมทั้งต้องทราบว่าวัสดุที่จะใช้มีความแข็งแรงเพียงใดเหมาะสมต่อการนำมาใช้งานและสามารถทำการก่อสร้างได้ง่ายหรือยากเพียงใด และเมื่อก่อสร้างเสร็จแล้วจะต้องทำการบำรุงรักษาอย่างไร

3.3 ขั้นตอนการออกแบบหลักผูกเรือกลางน้ำ

ในการออกแบบหลักผูกเรือกลางน้ำจะประกอบไปด้วยขั้นตอนที่สำคัญต่อการออกแบบอยู่ 4 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่หนึ่ง เป็นขั้นตอนของการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบทั้งจากในสนามและในห้องทดลอง โดยข้อมูลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อการออกแบบที่ดีแบ่งได้เป็นสองกลุ่มคือ กลุ่มแรกจะเป็นข้อมูลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาพการเดินเรือ และสิ่งแวดล้อม เช่น ความกว้าง ความลึกของลำน้ำ ความเร็วของกระแสน้ำ ระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุด เป็นต้น กลุ่มที่สองจะเป็นข้อมูลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ เช่น คุณภาพของเหล็กที่จะใช้ คุณภาพของยางรับแรงกระแทก เป็นต้น ซึ่งข้อมูลทั้งสองกลุ่มจะถูกรวบรวมเพื่อนำมาวิเคราะห์และสรุปผลในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่สอง เป็นขั้นตอนของการวิเคราะห์และสรุปผลของข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อจำแนกและคัดเลือกค่าของตัวแปรต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการออกแบบเนื่องจากตัวแปรที่จะนำมาใช้จะเป็นตัวกำหนดขนาดและความยาววัสดุที่จะใช้ วิธีการก่อสร้าง และราคาค่าก่อสร้าง ดังนั้นการเลือกใช้ตัวแปรจึงเป็นสิ่งสำคัญที่วิศวกรผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาให้ละเอียดและรอบคอบ

ขั้นตอนที่สาม เป็นขั้นตอนการออกแบบโดยใช้ค่าตัวแปรที่ได้คัดเลือกแล้วว่าเหมาะสมในขั้นตอนที่สอง ในขั้นตอนนี้จะประกอบด้วยการออกแบบ ขนาด ความหนาและความยาวของหลักผูกเรือ พร้อมทั้งขั้นตอน วิธีการและข้อกำหนดต่าง ๆ ในการก่อสร้าง

ขั้นตอนที่สี่ เป็นขั้นตอนการตรวจสอบและติดตามผล โดยจะศึกษาและประเมินผลสภาพการใช้งานของหลักผูกเรือ หลังจากการใช้งานไปแล้วระยะหนึ่ง เพื่อนำมาวิเคราะห์ถึงความเสียหายหรือความไม่เหมาะสมที่เกิดขึ้น เพื่อนำมาปรับปรุงวิธีการออกแบบต่อไป

3.4 ข้อพิจารณาการออกแบบหลักผูกเรือกลางน้ำแบบยืดหยุ่น

การออกแบบหลักผูกเรือกลางน้ำโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ แบบยืดหยุ่น (Flexible Type) และแบบแข็งเกร็ง (Rigid Type) โดยหลักผูกเรือแบบยืดหยุ่นจะใช้สำหรับเรือขนาดเล็ก หลักสำคัญในการรับแรงก็คือการดัดและการคืนตัวของหลักผูกเรือขณะรับแรงกระแทกหรือแรงดึง ถ้าใช้กับดินที่อ่อนมากจะไม่ได้ผลดี เนื่องจากหลักผูกเรือเมื่อรับแรงกระแทกหรือแรงดึงจะไม่สามารถคืนตัวได้ทำให้ความสามารถในการรับพลังงานและการดัดของหลักผูกเรือลดลง ส่วนหลักผูกเรือแบบแข็งเกร็ง (Rigid Type) จะใช้สำหรับเรือขนาดใหญ่ หลักสำคัญในการรับแรงจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับแรงของเสาเข็ม เนื่องจากหลักผูกเรือแบบนี้จะประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นเสาเข็มหลายต้นตอกรวมกันเป็นกลุ่มและมีขานอยู่บนหัวเสาเข็ม เมื่อรับแรงกระแทกแรงทั้งหมดจะถูกถ่ายสู่เสาเข็มที่รวมกันเป็นโครงสร้าง จะไม่มีการดัดตัวของเสาเข็มจะมีแค่แรงดึงและแรงกดในเสาเข็ม ซึ่งความสามารถในการรับแรงของหลักผูกเรือก็จะขึ้นกับความสามารถในการรับแรงดึงหรือแรงกดของเสาเข็ม ซึ่งข้อแตกต่างของหลักผูกเรือทั้งสองแบบและรายละเอียดอื่น ๆ ได้แสดงไว้ในตาราง 3.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 3.1 ลักษณะของหลักผูกเรือแบบยึดหยุ่นและแบบแข็งเกร็ง

ข้อพิจารณา	หลักผูกเรือแบบยึดหยุ่น	หลักผูกเรือแบบแข็งเกร็ง
1.ลักษณะเรือที่จะใช้	-ใช้กับเรือขนาดไม่เกิน 5,000 DWT	-ใช้กับเรือขนาด 9,000-17,000 WDT
2.สภาพดิน	-ดินมีสภาพดี	-ทุกสภาพ
3.การรับแรงกระแทก	-ใช้การดัดและการคืนตัวเพื่อผ่อนแรงกระแทก	-ใช้กำลังรับแรงกดและแรงดึงของเสาเข็มในการรับแรงกระแทก
4.ขนาด	-มีขนาดเล็ก ส่วนมากจะเป็นเสาเข็มเพียงต้นเดียว -ไม่ทึบขวางการจราจรในลำน้ำ	-มีขนาดใหญ่ใช้เสาเข็มตอกเป็นกลุ่ม -จะต้องใช้พื้นที่มากในการก่อสร้างหลักผูกเรือแบบนี้
5.ความเสียหายเมื่อใช้งาน	-เสียหายได้ง่าย -สามารถซ่อมแซมได้ง่าย	-เสียหายยาก -ซ่อมแซมยาก
6.การก่อสร้าง	-ใช้เวลาก่อสร้างน้อย -การก่อสร้างไม่ยุ่งยาก	-ใช้เวลาก่อสร้างนาน -การก่อสร้างยุ่งยากกว่า
7.การบำรุงรักษา	-บำรุงรักษาง่าย สะดวก	-บำรุงรักษายากกว่า
8.อายุการใช้งาน	-สั้นกว่าแบบแข็งเกร็ง	-ยาวนานกว่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 3.2 เปรียบเทียบแรงภายนอกที่กระทำกับหลักผูกเรือ

หัวข้อ	EAU	OCDI	BSI	หมายเหตุ
ขนาดของเรือที่เข้าจอด	/	/	/	
ความเร็วกระแสน้ำ	/	/	/	
ความเร็วกระแสลม	/	/	/	
ความเร็วของเรือที่เล่นผ่าน	/	x	x	
ความเร็วของเรือที่เข้าจอด	/	/	/	
ลักษณะและตำแหน่งที่เรือเข้ากระแทก	/	/	x	
Energy Absorption	/	/	x	

/ กำหนดวิธีหาค่าแรงกระทำไว้

x ไม่ได้กำหนดวิธีหาค่าแรงกระทำไว้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 วิธีการออกแบบหลักผูกเรือกลางน้ำที่เหมาะสม

จากการศึกษาวิธีการออกแบบหลักผูกเรือกลางน้ำตามวิธีการของ Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen" (EAU 1980), The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI), British Standards Institution (BSI) นั้นพอสรุปผลการเปรียบเทียบออกเป็นสามส่วนคือ แรงภายนอกที่กระทำต่อหลักผูกเรือการหาระยะฝังของหลักผูกเรือและการหาขนาดของหลักผูกเรือ ซึ่งแต่ละวิธี การออกแบบก็ได้ทำให้ข้อกำหนดของการออกแบบในลักษณะที่เหมือนกันและแตกต่างกันออกไป ในส่วนของแรงภายนอกที่กระทำต่อหลักผูกเรือนั้น แต่ละวิธีต่างก็กำหนดแรงภายนอกที่จะต้องหาก่อนทำการออกแบบใกล้เคียงกัน เช่น ต้องหาความเร็วกระแสน้ำ ความเร็วกระแสลม ความเร็วของเรือในการเข้าจอดเป็นต้น แต่ข้อกำหนดและการคำนวณหาแรงกระทำจากข้อมูลที่สำรวจมาจะแตกต่างกันออกไป สำหรับในส่วนของการหาระยะฝังของหลักผูกเรือ ทั้งสามวิธีจะต้องพิจารณาถึงการแอ่นตัวของหลักผูกเรือด้วย ส่วนวิธีการหาการแอ่นตัวและระยะฝังทั้งสามวิธีจะหาแตกต่างกัน สำหรับในส่วนของการหาขนาดของหลักผูกเรือทั้งสามวิธีจะคล้ายคลึงกันโดยกำหนดความแข็งแรงของวัสดุที่จะใช้ทำหลักผูกเรือแล้วหาขนาดและความหนาของหลักผูกเรือที่จะทนต่อแรงกระแทกที่เกิดขึ้นโดยมีการตรวจสอบการโก่ง โดยวิธีของ EAU จะใช้ Blums´method, OCDI จะใช้ Chang´s method, ส่วน BSI ไม่ได้กำหนดไว้แน่นอนแต่ก็นิยมใช้ P-Y method ซึ่งอาศัย Subgrade reaction method (10),(11)

นอกจากนี้ในตาราง 3.3 จะแสดงให้เห็นถึงผลการเปรียบเทียบของขนาด ความหนาและระยะฝังของหลักผูกเรือโดยได้กำหนดให้ใช้ข้อมูลในการออกแบบต่าง ๆ ดังนี้ คือ

- ขนาดของเรือ 12,000 GRT
  ความยาวทั้งหมด 172.0 เมตร
  ความกว้าง 22.5 เมตร
  กินน้ำลึก 8.25 เมตร
  ความลึกของเรือ (Moulded depth) 11.5 เมตร
  สัมประสิทธิ์ของตัวเรือ (Block coefficient) 0.56
  Radius of gyration 35.10 เมตร
  Displacement 18,000 ตัน
- เชือกเรือจะมี 8 - 10 เส้น โดยมี 3 - 4 เส้นทางหัวเรือที่เหลืออยู่ท้ายเรือ เชือกแต่ละเส้นจะรับแรงดึงสูงสุดได้ 325 กิโลนิวตัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- พื้นที่รับลมของตัวเรือ

ตามยาว (เรือเปล่า)	Al	1,860 ตารางเมตร
ตามขวาง (เรือเปล่า)	At	460 ตารางเมตร
ตามยาว (บรรทุกน้ำหนัก)	Al	770 ตารางเมตร
ตามขวาง (บรรทุกน้ำหนัก)	At	320 ตารางเมตร

- ความลึกของท้องน้ำ - 10.5 เมตร
- ความเร็วลมตามขวาง 52 น็อต
- ความเร็วลมตามยาว 39 น็อต
- ความเร็วกระแสน้ำ 3 น็อต
- เรือที่แล่นผ่านบริเวณหลักผูกเรือจะแล่นด้วยความเร็ว 6-10 น็อต และห่างประมาณ 60-150 เมตร
- ความเร็วของเรือขณะเข้าจอดกำหนดให้เท่ากับ 0.25 เมตร/วินาที ในทิศทางตั้งฉากกับแนวของหลักผูกเรือ

ตาราง 3.3 การเปรียบเทียบขนาด ความหนาและระยะฝัง

วิธีออกแบบ	ขนาด มม.	ความหนา มม.	ระยะฝัง ม.
EAU	2000	14	9.6
OCDI	2000	14	10.42
BSI	2000	14	10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการเปรียบเทียบค่าของขนาดความหนาและระยะฝังของทั้ง 3 วิธี จะให้ค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากแรงที่กระทำต่อหลักผูกเรือที่หามาได้แต่ละวิธีจะใกล้เคียงกัน ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า เมื่อพิจารณาความเหมาะสมของแต่ละวิธีการออกแบบแล้ว ย่อมไม่สามารถกำหนดได้ว่าวิธีการใดเหมาะสมต่อการออกแบบที่สุด ในการพิจารณาหาวิธีที่เหมาะสมต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่น ๆ ด้วย ได้แก่

- ความสะดวกในการจัดหาคู่มือหรือมาตรฐานการออกแบบ เนื่องจากบางวิธียังไม่แพร่หลายในประเทศไทยทำให้คู่มือหรือมาตรฐานการออกแบบหาได้ยากกว่าวิธีอื่น

- ความชำนาญของผู้ออกแบบและบุคคลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบถ้าถนัดวิธีใดก็สามารถทำงานได้สะดวกรวดเร็วและถูกต้องขึ้น
- ความสะดวกในการจัดหาข้อมูลเพื่อนำมาออกแบบ
- ความยากง่ายในการออกแบบของแต่ละวิธี

<u>วิธีการออกแบบของ EAU</u>

กำหนดให้เรือเข้าออกในแนว $0^{\circ} - 15^{\circ}$ กับแนวของหลักผูกเรือและการคิด Excentricity ของจุดศูนย์ถ่วงของเรือกับหลักรับแรงกระแทกจะคิดที่ระยะ 15 เมตร หรือน้อยกว่า

จากรูป 3.1 มุมการเข้าจอดเรือ 2° และ Excentricity เท่ากับ 6.5 เมตร

$$r = \sqrt{(\frac{22.5}{2} + 13.5 : \tan 2^{\circ})^2 + 13.5^2} = 17.88 \text{ เมตร}$$

$$\gamma = \text{are sin } \frac{13.5}{17.88} = 49.0^{\circ}$$

หา Energy absorption capacity

$$E = \frac{18,000}{2 \cdot 9.81} \cdot (1 + \frac{2 : 8.25}{22.5}) \cdot 0.95 \cdot \frac{35.1^2 + 17.88^2 \cdot \cos^2 49}{35.1^2 + 17.88^2} \cdot 0.25^2$$

$$= \frac{18,000}{2 \cdot 9.81} \cdot 1,733 \cdot 095 \cdot 0.883 \cdot 0.25^2 = 83.4$$

$$= 85 \text{ tm} = 850 \text{ kNm.}$$

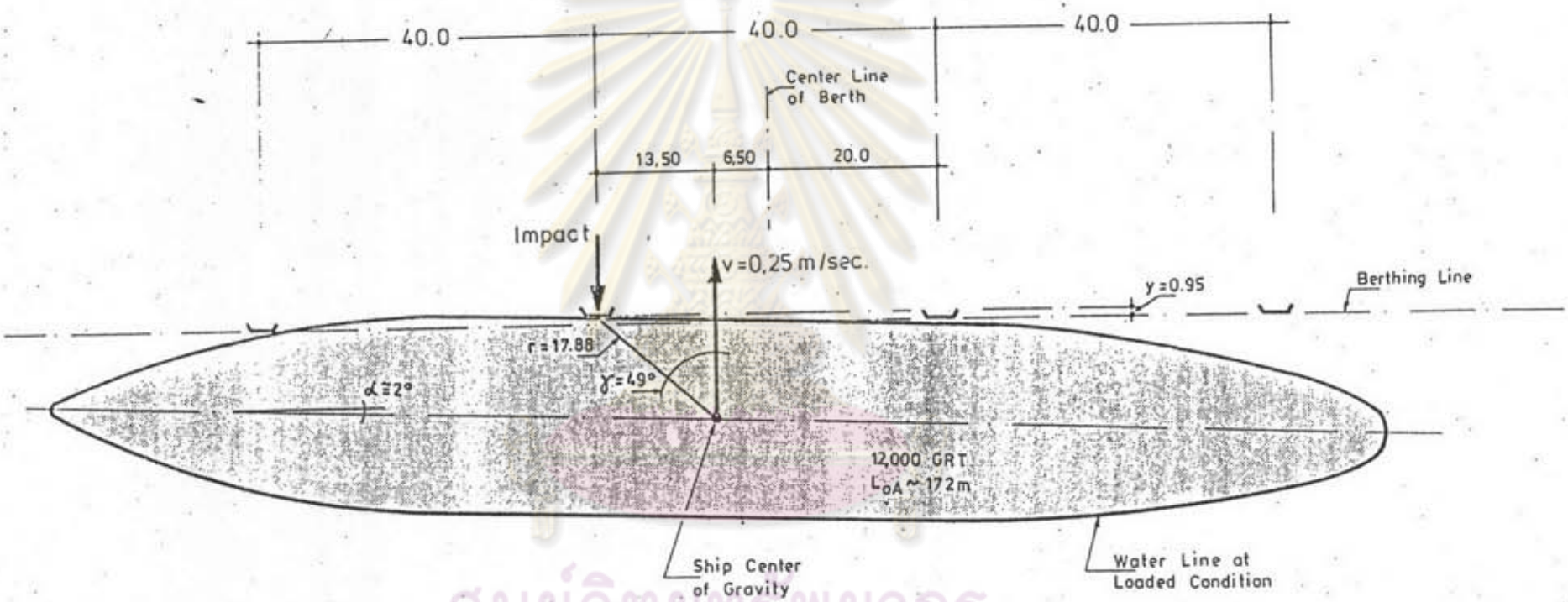
และถ้าเรือเข้าจอดโดยจุดศูนย์ถ่วงของตัวเรือกระแทกกับหลักรับแรงกระแทก

$$E = 834 \cdot \frac{1.000}{0.883} = 944 \sim 950 \text{ kNm.}$$

แรงที่เกิดขึ้น

เกิดจากแรงจากกระแสลมและแรงจากกระแสน้ำ ซึ่งได้แสดงวิธีการคำนวณไว้ในภาคผนวก ข ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นกับเรือขณะบรรทุกเต็มที่จะมีประมาณ 53 ตัน ซึ่งถ้าเรือ 2 ลำ ผูกไว้กับหลักผูกเรือหลักเดียวกันจะเกิดแรงกระแทกกับหลักผูกเรือ 106 ตัน สำหรับแรงกระแทกจะมี 115 ตัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 แสดงการเข้าจอดของเรือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

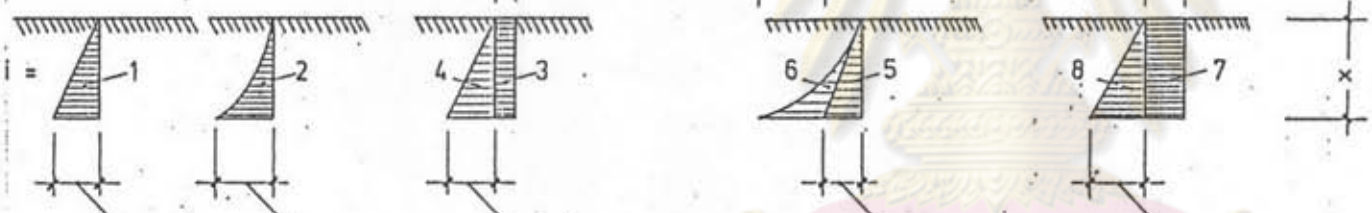
Dolphin calculation by the "Blum's Methode"

Friction | Cohesion | Load

$(\alpha = K_{ph} \cdot \cos \delta_p)$

$E_{ph} = 2 \cdot c_o \cdot b \cdot \sqrt{\alpha} \cdot x \; ; \; (c_T - c_o) \cdot \frac{x^3}{T} \cdot \sqrt{\alpha} \cdot \frac{1}{3} \; ; \; f_w \cdot b \cdot x \cdot \frac{p}{\gamma}$

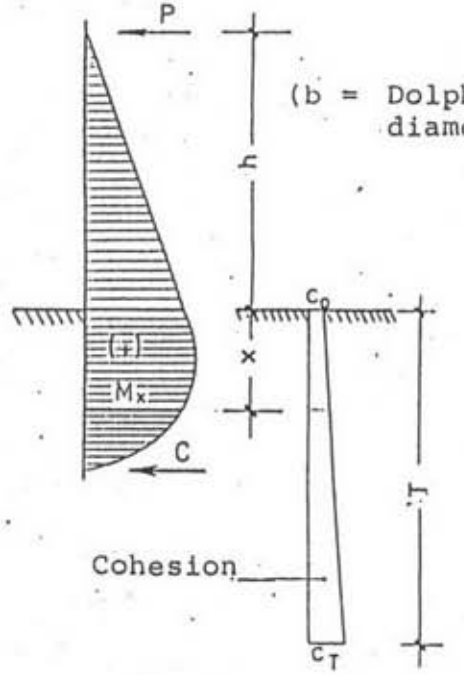
$e_{ph} = 2 \cdot c_o \cdot b \cdot \sqrt{\alpha} \; ; \; (c_T - c_o) \cdot \frac{x^2}{T} \cdot \sqrt{\alpha} \; ; \; f_w \cdot b \cdot \frac{p}{\gamma}$



$e_{ph} = f_w \cdot b \cdot x \; ; \; f_w \cdot x^2 \cdot \frac{1}{2} \; ; \; 2.b.(c_{T_i} - c_o) \cdot \frac{x}{T} \cdot \sqrt{\alpha} \; ; \; 2.c_o \cdot x \cdot \sqrt{\alpha} \; ; \; f_w \cdot x \cdot \frac{p}{\gamma}$

$E_{ph} = f_w \cdot b \cdot x^2 \cdot \frac{1}{2} \; ; \; f_w \cdot x^3 \cdot \frac{1}{6} \; ; \; b \cdot (c_T - c_o) \cdot \frac{x^2}{T} \cdot \sqrt{\alpha} \; ; \; c_o \cdot x^2 \cdot \sqrt{\alpha} \; ; \; f_w \cdot x^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{p}{\gamma}$

(1) (2) (3) (4) (5)



$M_x = P \cdot (h+x) - f_w \cdot b \cdot x^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot x \cdot \frac{1}{3} - f_w \cdot x^3 \cdot \frac{1}{6} \cdot x \cdot \frac{1}{4} - 2 \cdot c_o \cdot b \cdot \sqrt{\alpha} \cdot x \cdot x \cdot \frac{1}{2} - b \cdot (c_T - c_o) \cdot \frac{x^2}{T} \cdot \sqrt{\alpha} \cdot x \cdot \frac{1}{3} - c_o \cdot x^2 \cdot \sqrt{\alpha} \cdot x \cdot \frac{1}{3} -$

(6) (7) (8)

$-(c_T - c_o) \cdot \frac{x^3}{T} \cdot \sqrt{\alpha} \cdot \frac{1}{3} \cdot x \cdot \frac{1}{4} - f_w \cdot b \cdot x \cdot \frac{p}{\gamma} \cdot x \cdot \frac{1}{2} - f_w \cdot x^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{p}{\gamma} \cdot x \cdot \frac{1}{3}$

Q_x = Shear force at the point x

$h' = |M_x / Q_x|$

รูปที่ 3.2 การคำนวณตามวิธี "Blum's Method"

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการคำนวณสามารถใช้โปรแกรมต่อไปนี้ โดยโปรแกรมนี้เป็นภาษาเบสิคใช้กับเครื่องคำนวณ SHARP รุ่น PC - 1500

```
10      INPUT "P = ", P
20      INPUT "H = ", H
30      INPUT "B = ", B
40      INPUT "KP = ", KP
50      INPUT "R = ", R
60      INPUT "F = ", F
70      FW = R * KP
80      XA =  √(KP * cos F)
90      INPUT "CO = ", CO
100     INPUT "CT = ",CT
110     INPUT "T = ", T
120     INPUT "PU = ", PU
130     X = 1
140     AA = P * (H + X) - FW * B * X^2 * 1/2 * X * 1/3 -
        FW * X^3 * 1/6 * X * 1/4 - 2 * CO * B * XA * X * X
        * 1/2
150     AB = -B * (CT -CO) * X^2/T * XA * X * 1 /3- CO * X^2
        *XA  * X * 1/3 - (CT - CO) * X^3/T * XA * 1/3 * X *
        1/4
160     AC = -FW * B * X * PU/R * X * 1/2 - FW * X^2 *1/2 *
        PU/R * X * 1/3
170     MX = AA + AB +AC
180     PRINT   "X = "; X
190     PRINT "MX = "; MX
200     EA = FW * B * X^2 * 1/2 + FW * X^3 * 1/6 + B * (CT
        - CO) * X^2/T * XA + CO * X^2 * XA + FW * X^2 * 1/2
        * PU/R
210     EB = 2 * CO * B * XA * X + (CT - CO) * X^ 3/T * X A
        * 1/3 + FW * B * X * PU/R
215     EP = EA + EB
220     PRINT   "EP = "; EP
230     QX  = - P + EP
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
240     PRINT "QX = "; QX
250     HA  = ABS (MX/QX)
260     PRINT "HA = "; HA
270     IF HA < 0.5 THEN 300
280     X  = X + 0.5
290     GOTO 140
300     END
```

กำหนดให้ P = 115 ตัน
H = 10 เมตร
B = 2 เมตร
KP = 2
R = 0.85 ตัน/เมตร^3 (Submerged Density)
F = 0 (ค่ามุมเสียดทาน)
CO = 2 ตัน/เมตร^2
CT = 2 ตัน/เมตร^2
T = 10 เมตร
PU = 1.5 ตัน/เมตร^2

ผลจากการคำนวณ
ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด = 1357 ตัน-เมตร ที่ระยะ 3 เมตรจากผิวดิน
ระยะผัง = 1.2 x 8 = 9.6 เมตร
หาขนาดของหลักผูกเรือ
กำหนดให้ yield = 35,500 ตัน/เมตร^2
เลือก ท่อขนาด Ø 2,000 x 14 ม.ม.

$$= \frac{\pi}{64}.(200^4 - 197.2^4) = 4306725.927 \text{ ซ.ม.}^4$$
$$= 0.043067 \text{ ม.}^4$$

W = 0.04006
M ที่ยอมให้ = 0.04006.35,500 = 1422.13 ตัน-เมตร
> M ที่เกิดขึ้น = 1357 ตัน -เมตร
การโก่งตัว $y = \frac{2x850}{1150} = 1.47$ เมตร

วิธีออกแบบของ OCDI
ความเร็วเรือที่เข้าเทียบ 0.25 เมตร/วินาที
หา Effective Berthing Energy

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$E = \frac{WV^2}{4g}$$

E = Effective berthing energy

W = น.น. ของเรือ

$$= 18{,}000 + \frac{\pi}{4} \times 8.25^2 \times 172 \times 1.03$$

= 27470 ตัน

V = ความเร็วเรือที่เข้าเทียบ 0.25 เมตร/วินาที

g = Acceleration of gravity 9.8 เมตร/วินาที^{2}

$$E = \frac{27470 \times 0.25^2}{4 \times 9.8} = 43.7 \text{ ตัน/เมตร}$$

แรงที่เกิดขึ้น

แรงจากกระแสลม

$R = 1/2\ \rho C U^2 (A \cos^2 \theta + B \sin^2 \theta)$

R = แรงเนื่องจากความดันลม

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ = 0.123

U = ความเร็วลม 33.4 เมตร/วินาที

A = พื้นที่ด้านหน้าของเรือ (บรรทุก 320 เมตร^2)

B = พื้นที่ด้านข้างของเรือ (บรรทุก 770 เมตร^2)

θ = มุมที่ลมพัดกระทำกับตัวเรือ 36.8 องศา

C = สัมประสิทธิ์ของความดันลม $\approx$ 1

R = 33 ตัน

แรงจากกระแสน้ำ

$Rf = 1/2\ \rho C V^2 B'$

Rf = แรงที่เกิดจากกระแสน้ำ

ρ = ความหนาแน่นของน้ำทะเล = 104.5 (กก.วินาที^{2}/เมตร^4)

C = สัมประสิทธิ์ความดันน้ำ = 0.1

V = ความเร็วกระแสน้ำ = 1.54 เมตร/วินาที

B′= พ.ท. ของเรือที่จมน้ำ = 1419 เมตร^2

Rf = 17.5 ตัน

รวมแรงดึงจะเป็น 50.5 ตันต่อเรือ 1 ลำ ถ้าหนึ่งหลักผูกเรือ 2 ลำ จะเป็น 101 ตัน ซึ่งใกล้เคียงกับแรงดึงที่หาได้จากวิธี EAU

คำนวณหาระยะฝังและโมเมนต์ดัดสูงสุด(12)

หัวเสาเข็มอิสระ h > o

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{Kh\ B}{4\ EI}}$$ (ท่อ ϕ = 200 ซม. หนา 14 มม.)

Kh^{ϕ} = 1 กก./ซม.^{3} (13)

B = 200 ซม.

E = 2.1×10^6 กก./ซม.^{2}

I = 4306725 ซม.

$\beta = 1.53 \times 10^{-3}$ ซม.$^{-1}$

$$Mmax = -h\left\{\frac{\sqrt{(1 + 2\beta h)^2 + 1}}{2\beta h} \exp\left(-\tan^{-1}\frac{1}{1 + 2\beta h}\right)\right\}T$$

h = 1000 ซม.

T = 100000 กก.

$$Mmax = -1000\left\{\frac{\sqrt{(1 + 2 \times 1.53 \times 10^{-3} \times 1000)^2 + 1}}{2 \times 1.53 \times 10^{-3} \times 1000} \exp\left(-\tan^{-1}\frac{1}{1 + 2 \times 1.53 \times 10^{-3} \times 1000}\right)\right\}100{,}000$$

= 107606658.4 กก.ซม.

= 1076 ตัน-เมตร

ถ้าแรง T = 115,000 กก.

$$Mmax = -1000\left\{\frac{\sqrt{(1 + 2 \times 1.53 \times 10^{-3} \times 1000)^2 + 1}}{2 \times 1.53 \times 10^{-3} \times 1000} \exp\left(-\tan^{-1}\frac{1}{1 + 2 \times 1.53 \times 10^{-3} \times 1000}\right)\right\}115{,}000$$

= 12374657.2 กก.ซม.

= 1237.5 ตัน-เมตร

$$l = \frac{1}{\beta}\tan^{-1}\left\{-(1 + 2\beta h)\right\} = \frac{1}{1.53 \times 10^{-3}}\tan^{-1}\left\{-(1 + 2 \times 1.53 \times 10^{-3} \times 1000)\right\} = 868.8 \text{ ซม.}$$

$= 1.2 \times 8.68 = 10.42$ เมตร

$$lm,max = \frac{1}{\beta}\tan^{-1}\frac{1}{1 + 2\beta h}$$

$$= \frac{1}{1.53 \times 10^{-3}} \times \tan^{-1}\frac{1}{1 + 2 \times 1.53 \times 10^{-3} \times 1000}$$

= 157.84 ซ.ม.

$$Ytop = \frac{2(1 + \beta h)^3 + 1}{6\ EI\beta^3}\ T$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$= \frac{(2\,(1 + 1.53 \times 10^{-3} \times 1000)^3 + 1) \times 100{,}000}{6 \times 2.1 \times 10^6 \times 4306725 \times (1.53 \times 10^{-3})^3}$$

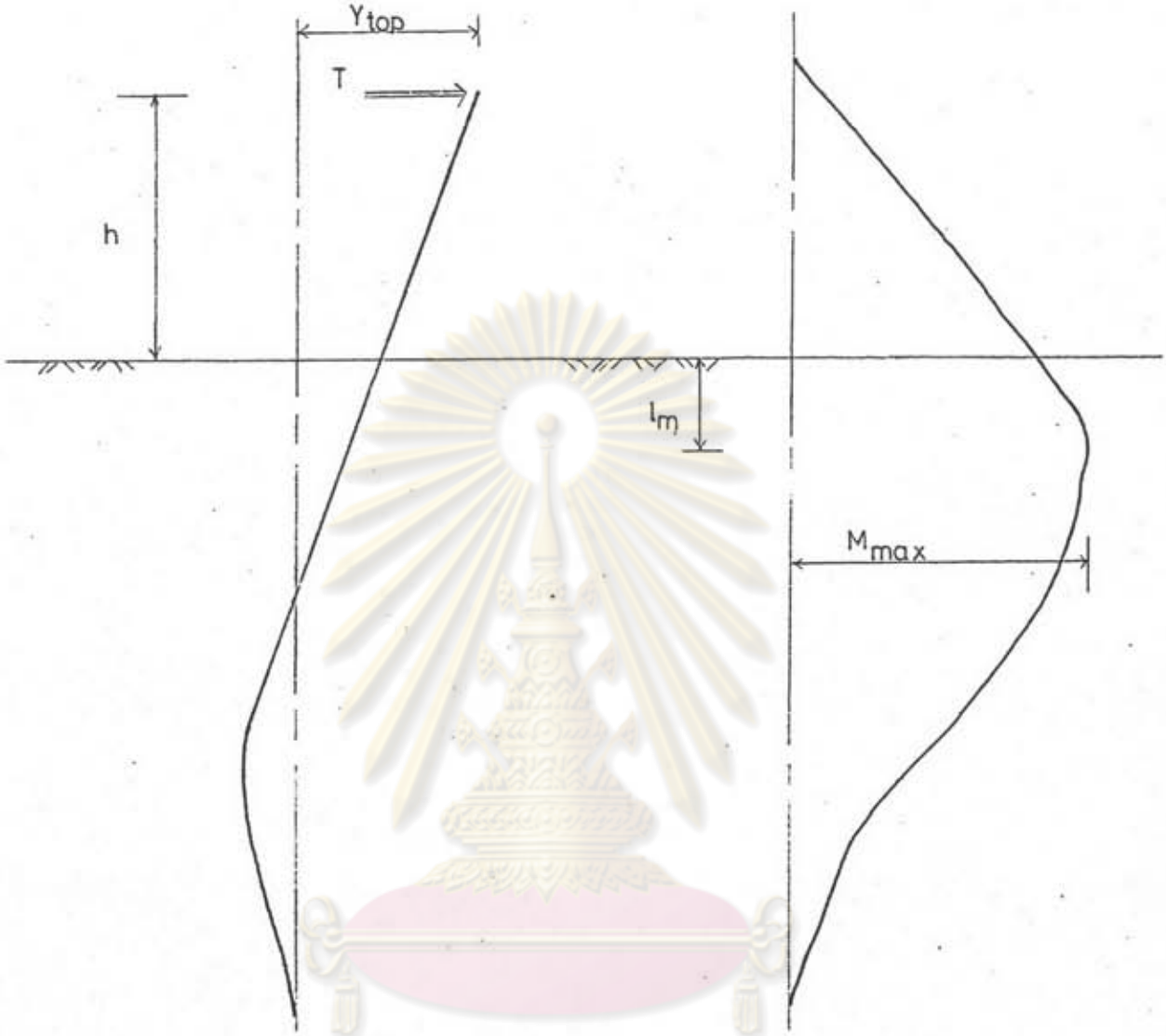
$= 1.72 \times 10^{-4} \times 100{,}000$

$= 17.18$ ซ.ม.

ถ้าแรง T = 115,000 กก.

Ytop = 19.78 ซ.ม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 แสดงการแอ่นตัวและโมเมนต์ที่เกิดขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\sigma \text{ max} = \frac{Mmax}{Z}$$

$$= \frac{1237 \times 10^5}{43067}$$

$$= 2872 \text{ ก.ก./ซ.ม.}^2$$

σ ที่ยอมให้ = 3550 ก.ก./ซ.ม.^{2}

วิธีออกแบบของ BRITSH STANDARDS INSTITUTION

เนื่องจาก BSI ไม่ได้ให้รายละเอียดในการหาแรงที่กระทำกับหลักผูกเรือ จึงใช้แรงที่ได้จากวิธีของ EAU มาทำการหาความยาวและขนาดของหลักผูกเรือโดยใช้ทฤษฎีที่กำหนดไว้ตาม BSI

ทฤษฎีที่ใช้คือ P - Y method (Subgrade reactions) โดยจะใช้ตารางในการออกแบบของ Sherif (1974)(14) ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ค

แรงกระแทก	115 ตัน
L_1	10 เมตร
L (ระยะผัง)	10 เมตร
I	4306725 ซ.ม.^{4}
Section Modulus	43067 ซ.ม.^{3}
E	2.1×10^7 ตัน/เมตร^2
Modulud of Subgrads reaction	1,000 ตัน/เมตร^2
ท่อเส้นผ่าศูนย์กลาง	2 เมตร

$$KC = \frac{E}{KSU.L} \left(\frac{D}{L}\right)^3 \qquad (3.1)$$

$$= \frac{2.1 \times 10^7}{1,000 \times 10} \times \left(\frac{1.676 \times 1}{10}\right)^3$$

$$= 9.89 \approx 10$$

E = modulus of elasticity of the member material (t/m^2)

KSU = modulus of subgrade reaction at the lower end of the member

L = length of the fixed member

D = thickness of the member in it bending

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

level,for rectangular cross sections (m)

D = 1,676 r,where For circular cross sections

r = radius of the cross sections (m)

คำนวณหาการกระจายของแรงดัน

$$P = FP \cdot \frac{H}{L.B} \quad (t/m^2) \qquad (3.2)$$

$$P = FP \cdot \frac{M}{L^2.B} \quad (t/m^2) \qquad (3.3)$$

คำนวณหา Horizontal displacements

$$S = FS \cdot \frac{H}{KSU.L.B} \quad (m) \qquad (3.4)$$

$$S = FS \cdot \frac{M}{KSU.L^2.B} \quad (m) \qquad (3.5)$$

คำนวณหาแรงเฉือน

$$Q = FQ \cdot H \quad (t) \qquad (3.6)$$

$$Q = FQ \cdot \frac{M}{L} \quad (t) \qquad (3.7)$$

คำนวณหาโมเมนต์ดัด

$$M = FM \cdot H.L \quad (tm) \qquad (3.8)$$

$$M = FM \cdot M \quad (tm) \qquad (3.9)$$

คำนวณหา Angular retations

$$\nu_0 = FO \cdot \frac{H}{KSU.L^2.B}$$

$$\nu_U = F1 \cdot \frac{H}{KSU.L^2.B} \qquad (3.10)$$

$$\nu_0 = FO \cdot \frac{M}{KSU.L^3.B}$$

$$\nu_U = F1 \cdot \frac{M}{KSU.L^3.B} \qquad (3.11)$$

FP,FS,FQ,FM,FO,F1 เป็น coefficiencts หาได้จากตารางในภาคผนวก ค.

คำนวณหา Horizontal displacement และ Angular rotation ที่จุด c

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. H_b = 115 ตัน

M_b = 115 x 10 = 1150 ตัน-เมตร

จากสมการ (3.4, 3.5, 3.10, 3.11)

$$S_o = \frac{115}{1000 \times 10 \times 2} \times (-3.8134) + \frac{1150}{1000 \times 100 \times 2} \times (-8.8233) = -0.0727 \text{ m}$$

$$V_o = \frac{115}{1000 \times 100 \times 2} \times (-13.3578) + \frac{1150}{1000 \times 1000 \times 2} \times (-22.1228) = -0.0204$$

2. H_c = 115 ตัน

$$S_a = \frac{115}{1000 \times 10 \times 2} \times 5.0367 = 0.0289 \text{ m}$$

$$V_a = \frac{115}{1000 \times 100 \times 2} \times 8.8977 = 0.0051$$

3. M_c = 115 ตัน-เมตร

$$S_b = \frac{115}{1000 \times 100 \times 2} \times 8.8977 = 0.0051 \text{ m}$$

$$V_b = \frac{115}{1000 \times 1000 \times 2} \times 22.6512 = 0.0013 \text{ m}$$

ให้จุด c เป็น Fixd point ดังนั้น Horizontal displacement และ Angular rotation ที่จุด c เท่ากับ o

$$S_o + S_a . H_c + S_b M_c = 0$$

$$V_o + V_a . H_c + V_b M_c = 0$$

$$-0.0727 + 0.0289 H_c + 0.0051 M_c = 0$$

$$-0.0204 + 0.0051 H_c + 0.0013 M_c = 0$$

$H_c = -1.21 \times 10^{-4}$ ตัน M_c = 18.93 ตัน-เมตร

จาก M_b $P = \frac{1150}{100 \times 2} \times FP = 5.75\ FP$ ตัน-เมตร^2

$$S = \frac{1150}{1000 \times 100 \times 2} \times 1000 \times FS = 5.75\ FS \text{ ม.ม.}$$

$M = 1150\ FM$ ตัน-เมตร

จาก H_b : $P = \frac{115 \times FP}{10 \times 2} = 5.75\ FP$ ตัน/เมตร^2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$S = \frac{115 \times 1000 \times FS}{1000 \times 10 \times 2} = 5.75\ FS \quad \text{มิลลิเมตร}$$

$$M = 115 \times 10 \times FM = 1150\ FM \quad \text{ตัน-เมตร}$$

จาก Hc : $$P = \frac{-0.0001 \times FP}{10 \times 2} = -5 \times 10^{-6}\ FP \quad \text{ตัน/เมตร}^2$$

$$S = \frac{-0.0001 \times 1000\ FS}{1000 \times 10 \times 2} = -5 \times 10^{-6}\ FP \quad \text{มิลลิเมตร}$$

$$M = -0.0001 \times 10 \times FM = -0.001\ FM \quad \text{ตัน-เมตร}^2$$

จาก Mc : $$P = \frac{18.93 \times FP}{100 \times 2} = 0.0946\ FP \quad \text{ตัน/เมตร}$$

$$S = \frac{18.93 \times 1000 \times FS}{1000 \times 100 \times 2} = 0.0946\ FS \quad \text{มิลลิเมตร}$$

$$M = 18.93\ FM \quad \text{ตัน-เมตร}$$

ค่าที่ได้จากการคำนวณได้แสดงไว้ในตาราง 3.4,3.5 และ 3.6

Horizontal displacement ของจุด a จะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

S_1 = Horizontal displacement ของจุด b

S_2 = Vb.L1

S_3 = $\frac{H.L1^3}{3EI}$ การโก่งตัวของคานยื่น

S_1 = 131.653 (จากตาราง 3.5)

$$V_b = \frac{115}{1000 \times 100 \times 2} \times 13.5138 + \frac{1150}{1000 \times 1000 \times 2} \times 22.7934 +$$

$$\frac{0.0001}{1000 \times 100} \times 8.8233 + \frac{18.93 \times (-22.1228)}{1000 \times 1000 \times 2}$$

$$= 0.0207$$

$$S_2 = 0.0207 \times 10{,}000 = 206.67 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$S_3 = \frac{115 \times 10^3 \times 1000}{3 \times 2.1 \times 10^7 \times 0.04306725} = 42.38 \text{ มม.}$$

$$S = 131.653 + 206.67 + 42.38 = 380.703 \text{ ม.ม.}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเค้นสูงสุด

จากตาราง 3.6 โมเมนต์ดัดสูงสุด = 1281.31 ตัน-เมตร

ความเค้นสูงสุด $= \frac{1281 \times 10^5}{43067} = 2974.44$ กก./ซม.^{2}

ความเค้นที่ยอมให้ $= 0.88 \times 3550 = 3124$ กก./ซม.^{2}

bucking

$$\frac{D}{t} > \frac{22800}{Ys}$$

D = เส้นผ่าศูนย์กลาง 2000 มม.

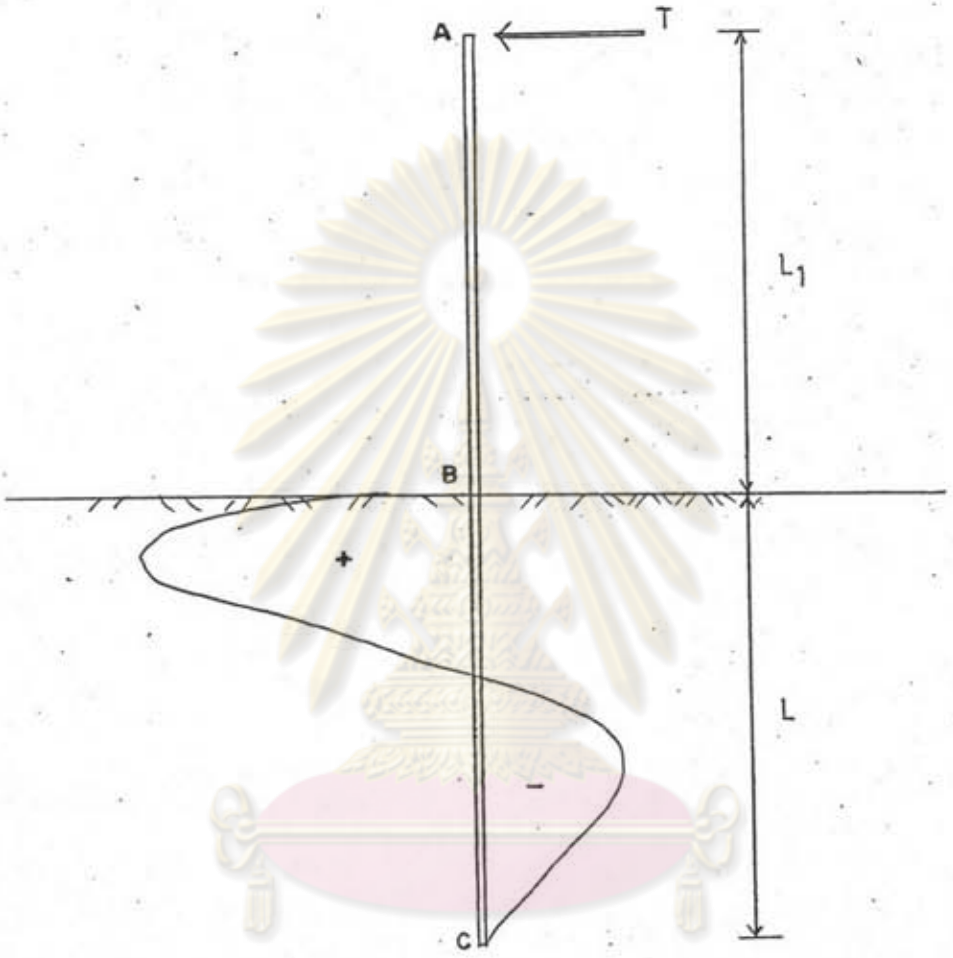
t = ความหนา 14 มม.

Ys = yield Strength 355 นิวตัน/มม.^{2}

$$\frac{2000}{14} > \frac{22800}{355}$$

$142.86 > 64.23$ O.K.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.4 แสดงแรงที่กระทำกับหลักและการกระจายของความดัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงการกระจายของความดันดิน (ตัน/เมตร^2)

X/L	Hb FP	Hb P	Mb FP	Mb P	Hc FP	Hc P	Mc FP	Mc P	P
0	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.000	0.0000
0.1	2.0697	15.006	3.5545	20.438	-0.9309	4.65×10^{-6}	-3.5277	-0.334	35.110
0.2	3.0876	17.754	4.0155	23.089	-0.9212	4.61×10^{-6}	-3.9995	-0.378	40.465
0.3	3.0439	17.502	3.6855	21.192	-0.6441	3.22×10^{-6}	-3.6863	-0.349	38.345
0.4	2.6645	15.321	2.8391	16.325	-0.1845	9.23×10^{-6}	-2.8559	-0.270	31.376
0.5	2.0302	11.674	1.5969	9.182	0.4196	-2.1×10^{-6}	-1.6249	-0.154	20.702
0.6	1.1864	6.822	.0270	0.155	1.1459	-5.73×10^{-6}	-0.0586	-5.54×10^{-3}	6.971
0.7	0.1623	0.933	-1.8267	-10.504	1.9802	-9.9×10^{-6}	1.8016	0.170	-9.401
0.8	-1.0217	-5.875	-3.9337	-22.619	2.9119	-1.46×10^{-5}	3.9273	0.372	-28.122
0.9	-2.3508	-13.517	-6.2717	-36.062	3.9330	-1.97×10^{-5}	6.2979	0.596	-48.983
1.0	-3.8134	-21.927	-8.8233	-50.734	5.0367	-2.52×10^{-5}	8.8977	0.842	-71.819

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.5 ตารางแสดง Horizontal displacement (ม.ม)

X/L	Hb FS	Hb S	Mb FS	Mb S	Hc FS	Hc S	Mc FS	Mc S	S
0	9.6025	55.214	13.5138	77.704	-3.8273	1.91×10^{-5}	13.3678	-1.265	131.653
0.1	8.2527	47.453	11.2404	64.632	-2.9436	1.47×10^{-5}	11.1555	-1.055	111.030
0.2	6.9041	39.699	8.9789	51.629	-2.0599	1.03×10^{-5}	-8.9432	-0.846	90.482
0.3	5.5573	31.954	6.7288	38.691	-1.1760	5.88×10^{-6}	-6.7302	-0.637	70.808
0.4	4.2130	24.225	4.4891	25.812	-0.2917	1.46×10^{-6}	-4.5155	-0.427	49.610
0.5	2.8712	16.509	2.2583	12.985	0.5933	-2.97×10^{-6}	-2.2979	-0.217	29.277
0.6	1.5317	8.807	0.0349	0.201	1.4794	-7.40×10^{-6}	-0.0756	-7.15×10^{-3}	9.000
0.7	0.1940	1.116	-2.1833	-12.554	2.3668	-1.18×10^{-5}	2.1533	0.204	-11.234
0.8	-1.1423	-6.568	-4.3980	-25.289	3.2556	-1.63×10^{-5}	4.3908	0.415	-31.442
0.9	-2.4780	-14.249	-6.6189	-38.013	4.1457	-2.07×10^{-5}	6.6386	0.628	-51.634
1.0	-3.8134	-21.927	-8.8233	-50.734	5.0367	-2.52×10^{-5}	8.8977	0.842	-71.819

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.6 ตารางแสดง โมเมนต์คัด (ตัน - เมตร)

X/L	Hb FM	Hb M	Mb FM	Mb M	Hc FM	Hc M	Mc FM	Mc M	M
0	0.0000	0.000	-1.00000	-1150	0.00000	0.000	0.00000	0.000	-1150
0.1	-0.09392	-108.808	-0.99160	-1140.34	-0.00228	-2.28×10^{-6}	-0.00832	-0.157	-1248.505
0.2	-0.16336	-187.864	-0.95001	-1092.512	-0.01314	1.31×10^{-5}	-0.04960	-0.939	-1281.314
0.3	-0.20244	-232.806	-0.86907	-999.431	-0.03293	3.29×10^{-5}	-0.13007	-2.462	-1234.699
0.4	-0.21144	-243.156	-0.75181	-864.582	-0.05898	5.90×10^{-5}	-0.24687	-4.673	-1112.411
0.5	-0.19405	-223.158	-0.60657	-697.556	-0.08673	8.67×10^{-5}	-0.39181	-7.417	- 928.131
0.6	-0.15658	-180.067	-0.44578	-512.555	-0.11815	1.18×10^{-4}	-0.55266	-10.462	- 682.160
0.7	-0.10743	-123.544	-0.28485	-327.578	-0.12200	1.22×10^{-4}	-0.71378	-13.512	- 464.634
0.8	-0.05683	- 65.355	-0.14254	-163.921	-0.11395	1.14×10^{-4}	-0.85661	-16.216	- 245.492
0.9	-0.01659	- 19.079	-0.03980	- 45.77	-0.07660	7.67×10^{-5}	-0.95991	-18.171	- 83.020
1.0	-0.0000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	-1.00000	-18.93	- 18.93

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย