การออกแบบถังเก็บน้ำทรงกระบอกยกระดับที่ประหยัดที่สุด

นายสุเทพ บูรณะวิทยาภรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2525

ISBN 974 - 561 - 795 - 4

010617

i 18006553

OPTIMUM DESIGN FOR CYLINDRICAL WATER TOWERS

Mr. Suthep Buranavitayaporn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1982

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบถังเก็บน้ำทรงกระบอกยกระดับที่ประหยัดที่สุด
โดย	นายสุเทพ บูรณะวิทยาภรณ์
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วินิต ช่อวิเชียร)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบถังเก็บน้ำทรงกระบอกยกระดับที่ประหยัดที่สุด

ชื่อนิสิต นายสุเทพ บูรณะวิทยาภรณ์

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. การุณ จันทรางศุ

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2525

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

บทวิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาการออกแบบถังเก็บน้ำคอนกรีตเสริมเหล็กรูปทรงกระบอกยกระดับขนาดต่าง ๆ หลายรูปแบบ เพื่อให้ได้ถังที่มีราคาถูกที่สุด การวิเคราะห์ทุกส่วนของถังเก็บน้ำ อันได้แก่ ผนัง, ฝาปิด, พื้นถัง, คานรองรับถัง และเสาค้ำยัน ใช้ทฤษฎีกำลังประลัยตามข้อกำหนด ACI 318-77 โดยที่กำหนดปริมาตรน้ำที่บรรจุขึ้นมาค่าหนึ่งแล้ว แปรค่าขนาดความกว้าง ความลึก เพื่อให้ได้ถังเก็บน้ำทรงกระบอกยกระดับ ซึ่งมีปริมาตรคอนกรีต, เหล็กเสริม และพื้นที่ไม้แบบที่ใช้น้อยที่สุด แต่เนื่องจากราคาคอนกรีต เหล็กเสริม และไม้แบบไม่เท่ากันอีกทั้งหน่วยที่ใช้วัดก็ต่างกัน ดังนั้นจึงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกันในรูปอัตราส่วน ของราคาของวัสดุทั้งสามชนิดที่ใช้ไปในการสร้างถังแต่ละใบ เพื่อได้ใช้ในการตัดสินเลือกถังเก็บน้ำโดยถือหลักที่ว่า วัสดุราคาสูงควรจะใช้น้อยที่สุด และวัสดุที่ราคาต่ำก็ควรมีปริมาณมากที่สุด เพื่อให้ราคารวมทั้งหมดประหยัดที่สุด

การวิเคราะห์นี้ไม่รวมส่วนฐานรากของถังเก็บน้ำ เนื่องจากคุณสมบัติของดินในการรับน้ำหนักแตกต่างกันออกไป และไม่คำนึงถึงความสวยงามทางสถาปัตยกรรม

งานวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อกำหนดในการออกแบบที่เกี่ยวข้องกับถังเก็บน้ำไว้เพื่อสะดวกในการค้นคว้า ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับงานออกแบบเบื้องต้น

Thesis	Optimum Design for Cylindrical Water Tower
Name	Mr. Suthep Buranavitayaporn
Thesis Advisor	Associate Professor Karun Chandrangsu,Ph.D.
Department	Civil Engineering
Academic Year	1982

ABSTRACT

This thesis involved the study for the optimum design of reinforced concrete water tower having a cylindrical shape.

The analysis covers each and every part of the container such as walls, top slabs, bottom slabs, supporting beams and columns. Ultimate Strength Theory has been employed in accordance with ACI 318-77 for economic result. In this research thirty different volumes of water content were defined as factors along with diameter/height ratios and five shapes were put in trial for optimum cost.

Since the unit costs of concrete, reinforceing steel and formworks are of different measures, hence their ratios must be obtained to arrive at certain combined costs, then the optimum figure could be derived.

This study does not concern with the foundation part which varies according to soil bearing capacity, neither it involves the architectural design. Yet it contains the design code of practices for constructions of water container which will be useful for the preliminary design.

กิตติกรรมประกาศ

ในการเขียนวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัย และให้ความกรุณาให้คำปรึกษา แนะนำความรู้ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ.

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี รองศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ และรองศาสตราจารย์ ดร. วินิต ช่อวิเชียร ที่กรุณาตรวจวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนผ่านพ้นมาด้วยดี

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ของผู้เขียน, บัณฑิตวิทยาลัยรองศาสตราจารย์ ธำรง เปรมปรีดิ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และประสิทธิ์ประสาทความรู้ ตลอดจนเพื่อน ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิจัยครั้งนี้

สุเทพ บูรณะวิทยาภรณ์

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

รายการตารางประกอบ..... ฌ

รายการรูปประกอบ..... ญ

สัญญลักษณ์..... ฏ

นิยามของคำต่าง ๆ ที่ใช้ในภาษาเทคนิค..... ฐ

บทที่

1. บทนำ..... 1

1.100 ความเป็นมาของปัญหา..... 1

1.200 วัตถุประสงค์ และขอบข่ายการวิจัย..... 2

1.300 ขอบเขตของงานวิจัย..... 2

2. ทฤษฎี และการวิเคราะห์ถังน้ำ.....

2.100 ประวัติความเป็นมาของทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์ 3

หน่วยงาน..... 3

2.200 วิธีวิเคราะห์ถังบรรจุน้ำทรงกระบอกโดย A. GHALI 3

2.300 วิธีวิเคราะห์ถังน้ำทรงกระบอกโดย Dr. Reissner 22

2.400 การวิเคราะห์คานรับวงแหวน..... 29

บทที่		หน้า
4.	สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะในการวิจัยขั้นต่อไป.....	86
	4.100 สรุปผลการวิจัย.....	86
	4.200 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยขั้นต่อไป.....	87
เอกสารอ้างอิง.....		92
ภาคผนวก ก.	ข้อกำหนดมาตราฐาน CP. 2007:1960.....	93
ภาคผนวก ข.	ข้อกำหนดและตารางของ A. GHALI ในการวิเคราะห์แรงในผนังทรงกระบอก.....	119
ภาคผนวก ค.	รูปวิเคราะห์หาแรงในคานรับวงแหวน และหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมในคานสี่เหลี่ยม.....	138
ภาคผนวก ง.	ตัวอย่างการออกแบบถังบรรจุน้ำทรงกระบอกทั้ง 5 แบบ.....	147
ประวัติ.....		195

บทที่ หน้า

3 การวิเคราะห์หาถังเก็บน้ำแบบประหยัดที่สุด 37
3.100 มาตราฐานการออกแบบ 37
3.200 น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ 37
3.300 การออกแบบกำลังรับของวัสดุ 38
3.400 แรงลม 38
3.500 ข้อมูลและข้อกำหนดที่ใช้ในการออกแบบถังตัวอย่าง 39
3.600 ข้อสมมุติฐานที่ใช้ในการออกแบบ 39
3.700 ปริมาตรบรรจุของถังเก็บน้ำที่วิเคราะห์ 40
3.800 แบบผนังถังน้ำทรงกระบอก 40
3.900 อัตราส่วนความสูงผนังถังเก็บน้ำกับเส้นผ่าศูนย์กลาง 42
3.110 ความสูงถังเก็บน้ำจากระดับพื้นดิน 42
3.120 ฐานรากรองรับถังเก็บน้ำ 43
3.130 การเปรียบเทียบราคาวัสดุ 43
3.140 แบบถังเก็บน้ำทรงกระบอกที่ใช้ออกแบบ 44
3.150 ผลการวิเคราะห์ปริมาณวัสดุ, ราคาและวิธีใช้ตาราง 46
3.160 ชนิดผนังและความสัมพันธ์ L/D ที่ประหยัด 46
3.170 การปรับปริมาณวัสดุเมื่อแปรความสูง 47

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
1-30	ปริมาณวัสดุ และราคาถังปริมาตรบรรจุ 30-1,000 ลูกบาศก์เมตร	49-78
31-36	ชนิดของผนัง และความสัมพันธ์ของเส้นผ่าศูนย์กลาง และความสูงของถัง	79-84
37	สัมประสิทธิ์สำหรับปรับปริมาณวัสดุเมื่อถังเก็บน้ำขนาดความสูงต่าง ๆ กัน	85
38	ราคาเฉลี่ยเฉพาะตัวถังเก็บน้ำ (Cylindrical Tank) Cost A	88
39	ราคาเฉลี่ย (Super Structure) Cost B	89
40	ราคาเฉลี่ยรวมของถังเก็บน้ำ (All Structure) Cost C	90
41	แบบ และอัตราส่วน L/D ที่ประหยัดที่สุด	91
42	คุณสมบัติ และกำลังรับแรงอัดส่วนผสมของคอนกรีต	97
43	กำลังรับแรงที่ยอมให้ของคอนกรีตต้านการแตกร้าว	99
44	กำลังรับแรงต่าง ๆ ของคอนกรีตที่ใช้ในการคำนวณ	100
45	แรงที่ยอมให้สำหรับเหล็กเสริม	100
46-61	ตารางหาหน่วยแรงในผนังทรงกระบอกแบบต่าง ๆ	122-137

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	หน้าตัดของถังเก็บน้ำที่เป็นแบบโครงสร้างเปลือกบาง	4
2.2	การวิเคราะห์ผนังเปลือกบางที่รับแรงในแนวแกนสมมาตรโดยวิธี Displacement Method	5
2.3	โครงสร้างเทียม และพิกัดที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธี Force Method	7
2.4	ผนังทรงกระบอกกลมรับแรงสมมาตรในแนวแกน	10
2.5	การหาสมการสำหรับการยืดตัวของคานบน Elastic Foundation	12
2.6	การแบ่งช่วงในการวิเคราะห์โดยวิธี Finite	16
2.7	สมการ Finite ของความสัมพันธ์ระหว่างการยืดตัว กับแรงของผนังทรงกระบอก	20
2.8	สมการ Finite ของความสัมพันธ์ระหว่างการยืดตัว กับแรงปฏิกริยาของผนังทรงกระบอก	21
2.9	การวิเคราะห์ถังเก็บน้ำทรงกระบอกโดย Dr. Reissner	22
2.10	การกระจายของแรงบนผนัง	28
2.11	การวิเคราะห์คานวงแหวน	29
2.12	แปลนครึ่งคาน และลูกศรโมเมนต์	30
2.13	แปลนครึ่งคานภายใต้น้ำหนักแผ่	32
2.14	แปลนครึ่งคานภายใต้อิทธิพลของ Mc.	33
3.1	ผนังถังบรรจุน้ำทรงกระบอกแบบต่าง ๆ	40
3.2	ถังเก็บน้ำทรงกระบอกที่ใช้ออกแบบ	45
1	รอยต่อขณะก่อสร้าง	103
2	รอยต่อแบบติดกัน	103
3	รอยต่อแบบเผื่อขยายตัว	104
4	ชนิดของรอยต่อแบบเลื่อนได้	104

รูปที่ หน้า

5 รอยต่อชนิดเปิดชั่วคราว 104

6 การใช้สารอุดรอยต่อชนิดเคลื่อนที่ได้แบบขยายตัว 118

7 การใช้สารอุดรอยต่อชนิดเคลื่อนที่ได้แบบต่อเนื่อง 118

8 สัญญลักษณ์ และเครื่องหมายที่ใช้สำหรับตารางที่ 46-53 120

9 สัญญลักษณ์ และเครื่องหมายที่ใช้สำหรับตารางที่ 53-61 121

A แรงดัดที่กึ่งกลางวงแหวน 139

B1 แรงดัดคานวงแหวน 140

B2 แรงดัดคานวงแหวน 141

C1 แรงบิดในคานวงแหวน 142

C2 แรงบิดในคานวงแหวน 143

D มุมที่บิดไปในคานวงแหวน 144

E แรงบิดสูงสุดในคานวงแหวน 145

S1 การหาเหล็กเสริมในคานสี่เหลี่ยมจากแรงดัด 146

สัญญลักษณ์

As	พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม
b	ความกว้างของคาน
d	ความลึกประสิทธิผลของคาน
Δ	ระยะจุดสูงสุดของโดมถึงระนาบที่วัด
ϵ_c	ความเครียดของคอนกรีต
E_c	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต
Es	โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม
fc	หน่วยแรงอัดของคอนกรีต
fc'	หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต
fy	หน่วยแรงดึงของเหล็กเสริม
I	โมเมนต์อินเนอร์เชีย
Mc	โมเมนต์ดัดของคอนกรีต
Mcr	โมเมนต์ดัดแตกร้าว
Mu	โมเมนต์ดัดประลัยใช้งาน
n	อัตราส่วนโมดูลัสยืดหยุ่นเหล็กเสริมต่อคอนกรีต
p	น้ำหนักกระทำเป็นจุด
q	แรงดันของเหลวที่กระทำต่อผนัง
ρ	อัตราส่วนพื้นที่เหล็กเสริมต่อหน้าตัดของคาน
V	หน่วยแรงเฉือน
Vu	หน่วยแรงเฉือนประลัย
w	น้ำหนักแผ่ที่กระทำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นิยามของคำต่าง ๆ ที่ใช้ในภาษาเทคนิค

การโก่งตัว ระยะโก่ง	Deflection
การวิบัติ	Failure
การรับแรงดึง	Tensile Strength
การยึดเหนี่ยว แรงยึดเหนี่ยว	Bond Strength
การเลื่อน	Slip
แกนสะเทิน	Neutral Axis
การแตกร้าวเนื่องจากแรงดัด	Flexural Cracking
การอัด-ดัดวิบัติ	Compression Flexural Failure
การวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน	Shear Failure
คานธรรมดาช่วงเดียว	Simply Supported Beam
ความเครียด	Strain
ค่าเพื่อความปลอดภัย	Factor of Safety
แตกร้าว	Crack
น้ำหนักบรรทุก	Load
น้ำหนักบรรทุกจร	Live Load
น้ำหนักบรรทุกคงที่	Dead Load
น้ำหนักบรรทุกใช้งาน	Service Load,
น้ำหนักบรรทุกประลัย	Ultimate Load
โมดูลัสยืดหยุ่น	Modulus of Elasticity
โมเมนต์-แรงดัด	Moment
โมเมนต์อินเนอร์เชีย	Moment of inertia
ระนาบ	Plane
แรงเฉือน	Shear Force
ระยะโก่ง	Deflection
หน่วยแรง	Stress
หน่วยแรงดึง หน่วยการรับแรงดึง	Tensile Stress

หน่วยแรงอัด	Compressive Stress
หน่วยแรงยึดเหนี่ยว	Bond Stress
หน่วยแรงเฉือน	Shear Stress