

# เทคนิคการจมบ่อใต้ดินขนาดใหญ่สำหรับติดตั้งเครื่องจักร

## Sinking Caisson Technique of Large Shaft Construction for Installing Machine

เฉลิมเกียรติ วงศ์วนิชทวี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

235 ถนนเพชรเกษม เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10160

E-mail: Chalermkiat@engineer.com

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของบทความนี้ คือ นำเสนอแนวคิด ขบวนการก่อสร้างและประสบการณ์การก่อสร้างบ่อใต้ดินขนาดใหญ่ สำหรับกรณีศึกษาของการก่อสร้างฐานเครื่องจักรที่ขนาดประมาณ 8.00x21.00 เมตร และลึกประมาณ 3.00 เมตร ด้วยวิธีการจมบ่อ ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ถูกเลือกใช้สำหรับการก่อสร้างฐานเครื่องจักรนี้ โดยผนังบ่อทำหน้าที่ทั้งการป้องกันดินและเป็นโครงสร้างถาวร เทคนิควิธีนี้สามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย เวลา และ ปลอดภัย

### Abstract

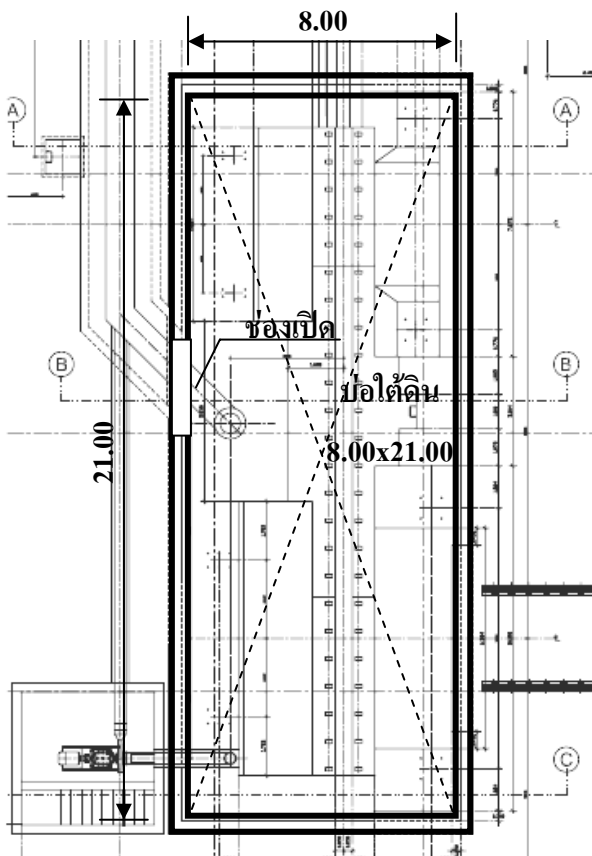
The purpose of the paper is to present a set of concept and experience of large shaft construction. The case study is an underground foundation that is 8.00x21.00 m. and 3.00 m. in depth. The sinking caisson method is selected as one of the suitable methods for this large machine foundation. Shaft or caisson wall plays functions as resistance of lateral soil pressure and permanent structure. This construction technique provides better cost effectiveness, time saving and safer method.

### 1. บทนำ

การก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินสำหรับฐานของเครื่องจักรโดยทั่วไป ซึ่งเป็นบ่อ ปล่อยหรือ ฐาน มักจะใช้เทคนิควิธีที่ปฏิบัติกันตามเทคนิควิธีดั้งเดิม โดยการขุดเปิดดิน และ/หรือ ใช้เข็มพืดแบบเสาเข็มไม้ หรือ เข็มพืดเหล็ก(Steel Sheet Pile) เพื่อป้องกันดิน วิธีเหล่านั้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามเงื่อนไขที่เหมาะสมกับวิธีเหล่านั้น แต่สำหรับกรณีศึกษาการก่อสร้างบ่อใต้ดินนี้ แนวคิดแรกจะใช้เข็มพืดเหล็ก แต่อย่างไรก็ตามการก่อสร้างที่ใช้เข็มพืดเหล็กมีต้นทุนสูง อีกทั้งความต้องการของทางโรงงานมีข้อจำกัดทางด้านค่าใช้จ่าย ระยะเวลาก่อสร้างที่รวดเร็ว มีพื้นที่จำกัด ต้องการความปลอดภัยและไม่รบกวนต่อสิ่งก่อสร้างบริเวณข้างเคียง และปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ ระยะเวลาที่ก่อสร้างนี้อยู่ในระหว่างฤดูฝนซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการทำงานเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นเพื่อตอบปัญหาของงานนี้ จำเป็นต้องหาคำตอบ นั่นคือ มีเทคนิคก่อสร้างใดที่เหมาะสมที่สุด บทความนี้จะนำเสนอเทคนิคการจมบ่อซึ่งเป็นวิธีที่ถูกเลือกใช้ โดยมีค่าใช้จ่าย เวลา และ ความสามารถในการก่อสร้างได้ตามเงื่อนไขต่างๆ อีกทั้งนำเสนอแนวคิด ขบวนการออกแบบและก่อสร้าง รวมทั้งเสนอประสบการณ์ในการก่อสร้างดังกล่าว

## 2. กรณีศึกษาการก่อสร้างของบ่อใต้ดินขนาดใหญ่

การก่อสร้างบ่อใต้ดินในกรณีศึกษานี้ เป็นบ่อใต้ดินที่ใช้ในขบวนการผลิต บ่อนี้มีหน้าที่เป็นฐานเครื่องจักรเกี่ยวกับการหลอมโลหะ เพื่อส่งวัตถุดิบที่หลอมไปยังขบวนการถัดไป ในรูปที่ 1 แสดงรูปตัดของบ่อใต้ดินเพื่อติดตั้งเครื่องจักร มีมิติภายในดังต่อไปนี้ กว้าง 8.00 ม. x 21.00 ม. ลึกประมาณ 3.00 ม. เมื่อทำผนังบ่อเรียบร้อยแล้วจะมีการทำผนังย่อยและครีปเพื่อทำพื้นต่างระดับตามความต้องการของทางผู้ออกแบบเครื่องจักรเพื่อทำการติดตั้งเครื่องจักรในชั้นตอนถัดไป

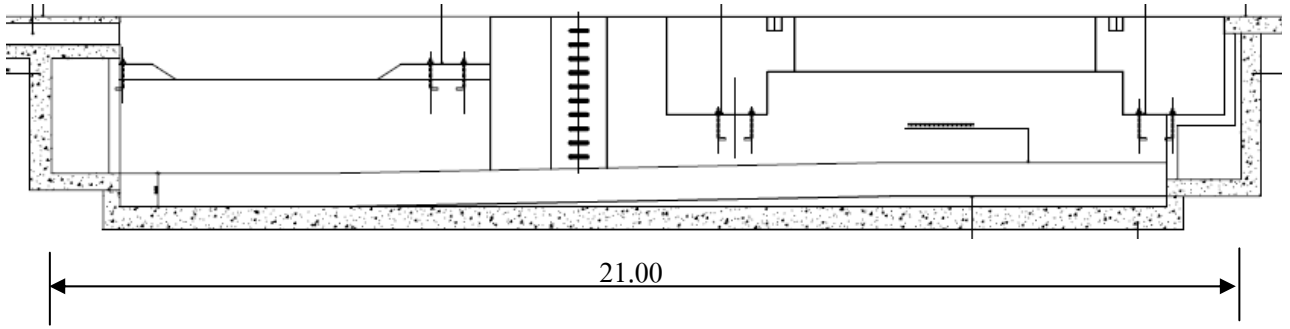


รูปที่ 1 รูปแปลนของบ่อใต้ดินที่ติดตั้งระบบเครื่องจักรหลอมโลหะขนาด 8.00 x 21.00 x 3.00 ม.

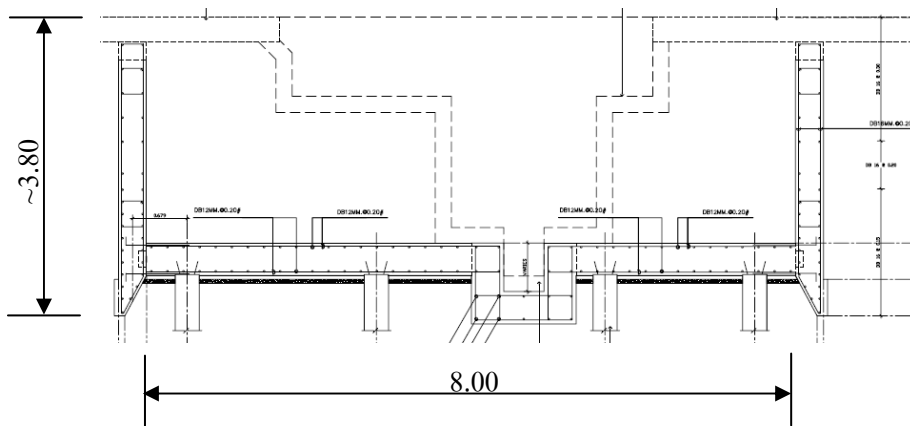
การก่อสร้างบ่อนี้ต้องพิจารณาเทคนิคในการก่อสร้างที่ปลอดภัย ประหยัดทั้งค่าใช้จ่ายและเวลา ทางทีมงานผู้เกี่ยวข้องได้เสนอวิธีการก่อสร้างหลายวิธี อาทิเช่น การใช้เข็มพืดเหล็ก การใช้เข็มพืดไม้ การเปิดหน้าดินโดยใช้ความลาดชันธรรมชาติ และการถมบ่อ

จากการคัดเลือกเทคนิควิธีในการก่อสร้างบ่อใต้ดิน ได้ใช้วิธีการระดมสมอง และพิจารณาถึงค่าใช้จ่าย เวลา และ เงื่อนไขในงานก่อสร้าง ได้แก่ ระยะเวลาการก่อสร้างเป็นฤดูฝน มีพื้นที่ในการทำงานน้อยและยังมีข้อจำกัดในด้านเวลาการก่อสร้างรวมและระยะเวลาการคืนพื้นที่ที่รวดเร็ว และมีข้อจำกัดในการเปิดหน้าดิน จากประสบการณ์การเลือกเทคนิควิธีที่จะใช้ในงานนี้ ทีมงานได้พิจารณาเลือก วิธีที่เหมาะสม คือ การใช้บ่อคอนกรีตหล่อในสถานที่ โดยโครงสร้างหลักของบ่อเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ตามตำแหน่งที่กำหนด และ เสริมความแข็งแรงที่สัมพันธ์กับแรงที่เกิดขึ้นในระหว่างการติดตั้ง รวมถึงในระยะเวลาใช้งาน ซึ่งแสดงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

ทั้งนี้ได้ฐานรากของบ่อนี้เป็นเสาเข็มตอกที่แผ่ทั่วพื้นที่กั้นบ่อและยังมีเสาเข็มเพิ่มเติมในตำแหน่งที่มีน้ำหนักของเครื่องจักรที่กระทำเป็นจุด เสาเข็มเหล่านั้นได้ถูกตอกเสร็จเรียบร้อยแล้วตามตำแหน่งที่มีการออกแบบล่วงหน้า ก่อนการหล่อบ่อและการถมบ่อ เสาเข็มที่ตอกแล้วล่วงหน้า อาจเป็นอุปสรรคต่อการขุดดินโดยต้องใช้ความระมัดระวังในการเสียหายของเสาเข็ม และต้องมีการทดสอบเสาเข็มเมื่อทำการถมบ่อเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 2 รูปตัดตามยาวของบ่อใต้ดินที่ติดตั้ง



รูปที่ 3 รูปตัดตามขวางของบ่อใต้ดินที่ติดตั้ง

### 3. การสร้างแนวคิดและออกแบบโครงสร้างของบ่อใต้ดิน

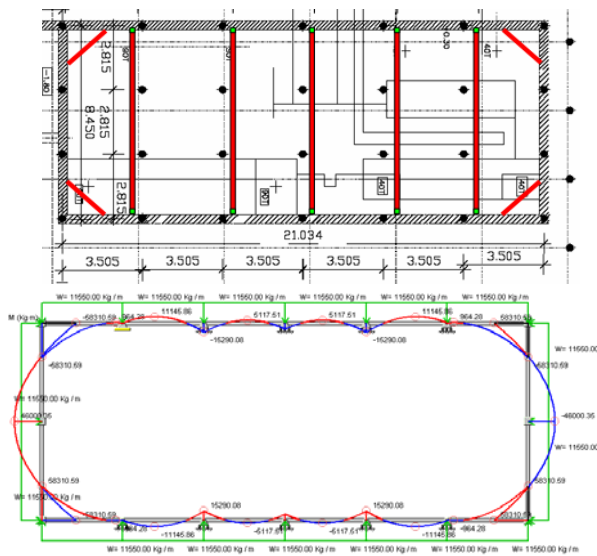
จากประสบการณ์การจมบ่อส่วนใหญ่จะจมบ่อขนาดมิติทั้งด้านกว้างและยาว ที่มีมิติน้อยกว่า 8.00 ม. แต่สามารถทำที่ความลึกมากถึงมากกว่า 10.00 ม. อย่างไรก็ตามการจมบ่อที่มีมิติความกว้างและยาวมากในที่นี้ คือ 8.00 x 21.00 ม. ถือเป็นโครงสร้างที่มีมิติที่ใหญ่กว่าประสบการณ์ที่เคยทำมา ดังนั้นต้องเริ่มจากแนวคิดตามขบวนการออกแบบและวิธีก่อสร้างโดยแบ่งออกเป็น 2 สถานะ คือ 1. สถานะระหว่างการติดตั้ง และ 2. สถานะระหว่างการใช้งาน

#### 3.1. สถานะระหว่างการติดตั้ง

ขณะการติดตั้ง โครงสร้างผนังบ่อถูกออกแบบโดยพิจารณาแรงดันดินเมื่อบ่อถูกทำให้จมลงแรงดันดินจะกระทำรอบบ่อจากภายนอก ทำให้ผนังบ่อรับแรงดันจากดินโดยรอบ ทำให้โครงสร้างต้องต้านทานโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้น แต่เนื่องด้วยโครงสร้างของบ่อที่มีมิติมาก ถึง 21.00 ม. จำเป็นต้องลดช่วงระหว่างฐานรองรับ (Span) เพื่อลดโมเมนต์ในระหว่างการจม เพื่อให้ประหยัดโครงสร้าง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบค้ำยันชั่วคราวตามระยะที่เหมาะสมตามรูปที่ 4 เพื่อลดโมเมนต์สำหรับโครงสร้างนี้

เมื่อโครงสร้างเริ่มถูกจมลงแรงดันดินจะพัฒนาแรงตามระยะความลึกที่จมลง พฤติกรรมของ

บ่อสามารถพิจารณาได้ทั้งในแนวตัดตามรูปแปลน (แนวระนาบ) ดังรูปที่ 4 และ ตามแนวตั้ง(แนวตั้ง) ดังรูปที่ 5 และ 6 ซึ่งในแนวระนาบพฤติกรรมการรับแรงจะคล้ายกันเมื่อเริ่มจมจนถึงเมื่อจมบ่อเสร็จ ต่างกันที่แรงดันที่มากขึ้น แต่สำหรับแนวตั้งเมื่อมีระบบค้ำยัน(Support) เมื่อเริ่มจมปลายแหลมของบ่อ(Cutting edge) จะรับแรงทำให้ปลายโครงสร้างด้านล่างพยายามเคลื่อนที่เข้าหากัน ขณะที่โครงสร้างผนังด้านบนเคลื่อนที่แยกออกจากกัน จึงจำเป็นต้องมีโครงสร้างเหล็กชั่วคราวมารับแรงที่เกิดขึ้นนี้ เมื่อจมถึงระดับหนึ่งเมื่อแรงดันดินมากจะเกิดแรงดันถ่ายเข้าสู่ค้ำยัน ซึ่งจำเป็นต้องออกแบบคำนวณมิให้ค้ำยันเกิดการโก่งเดาะ เมื่อจมบ่อถึงระดับจะทำการเทพื้นบ่อ(ฐานบ่อ) เมื่อคอนกรีตแข็งตัวจะทำให้ที่เป็นค้ำยันถาวร

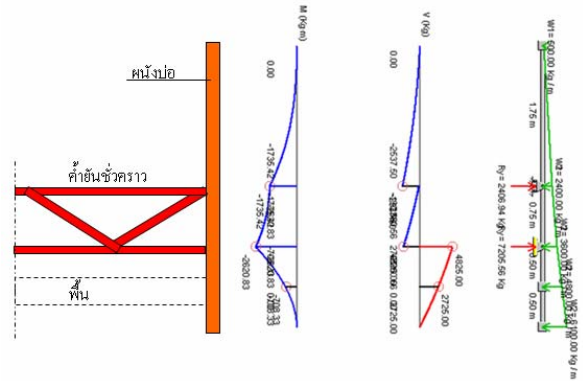


รูปที่ 4 รูปแปลนการค้ำยันชั่วคราวและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นของบ่อใต้ดินขณะเมื่อจมถึงระดับที่ต้องการ

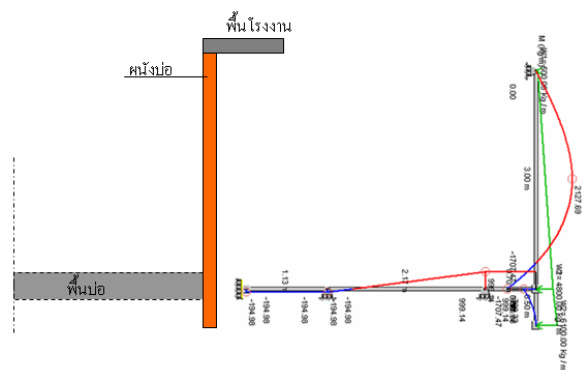
### 3.2 สถานะระหว่างการใช้งาน

เมื่อจมโครงสร้างผนังและหล่อพื้นหลักเรียบร้อยแล้ว จะดำเนินการก่อสร้างผนังย่อยและฐานซึ่งผนังบางส่วนสามารถเป็นค้ำยันผนังบ่อหลักและเมื่อ

เชื่อมพื้นโรงงานเข้ากับผนังบ่อพฤติกรรมโครงสร้างจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 5 และ 6 โดยผนังบางส่วนที่เป็นค้ำยันบ่อนั้นทำให้สามารถปลดค้ำยันชั่วคราวได้ อีกทั้งผนังเหล่านั้นยังช่วยถ่ายแรงเข้าสู่ฐานรากเสาะเสาะได้ลดแรงเฉือนที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นกับผนังได้อย่างมาก



รูปที่ 5 รูปตัดบ่อแนวตั้งพร้อมการค้ำยันชั่วคราวและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นของบ่อใต้ดินขณะเมื่อจมถึงระดับ



รูปที่ 6 รูปตัดบ่อแนวตั้งเมื่อเชื่อมพื้นกันบ่อและพื้นโรงงาน พร้อมทั้งปลดค้ำยันชั่วคราว และโมเมนต์ที่เกิดขึ้น

พฤติกรรมของโครงสร้างทั้งระหว่างการติดตั้งและการใช้งานซึ่งต้องมีการคำนวณทั้งในช่วงระหว่างการก่อสร้างและในช่วงการใช้งาน โดยพิจารณา การรับน้ำหนักแบกทานของดิน การลดแรงเสียดทานในขณะจม การต้านทานแรงดันดินด้านข้าง การดูดของดินในระหว่างการจม และ แรงยก(Uplift) ซึ่งไม่ขอกล่าวรายละเอียดในที่นี้

#### 4. การเตรียมการและการถมบ่อ

หลังจากทำการออกแบบโครงสร้าง จำเป็นต้องมีการวางแผนการหล่อบ่อคอนกรีตเสริมเหล็กให้มีประสิทธิภาพ การเตรียมงานหน้าหน่วยงานก็สำคัญที่ต้องดำเนินการควบคู่กัน เช่น การกำหนดตำแหน่งที่จะติดตั้ง แนวระนาบและ แนวโค้งของบ่อ โดยต้องมีการสำรวจอย่างละเอียด เพราะเป็นสิ่งสำคัญต่อการติดตั้งเครื่องจักรใน ขั้นตอนต่อไป การเตรียมสถานที่ทางเข้า ทางออก ของเครื่องจักร เนื่องด้วยเครื่องจักรที่ใช้เป็น เครื่องจักรหนัก

ทีมงานคิดว่าควรขุดดินประมาณ 1.00-1.50 ม. เพื่อเป็นการกำหนดตำแหน่งบ่อและเปิดหัวเสาเข็ม หล่อคอนกรีตเริ่มจากปลายหัวตัด(Cutting edge) ดังรูปที่ 7 และทำการหล่อบ่อเป็นส่วนตาม ความสูงของบ่อจนได้ขนาดตามต้องการ ดังแสดงใน รูปที่ 8 และ รูปที่ 9 เมื่อถอดแบบหล่อออกจะมีแผ่น เหล็กเพื่อเตรียมงานสำหรับการติดตั้งค้ำยันชั่วคราว



รูปที่ 8 แสดงแบบหล่อผนังบ่อและการหล่อบ่อ



รูปที่ 9 ผนังบ่อเมื่อหล่อและถอดแบบเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 7 แสดงตำแหน่งของบ่อและการหล่อปลายตัด

(Cutting edge)



รูปที่ 10 เมื่อถมบ่อโดยใช้เครื่องมือขุดแบบกบทยและได้ทำการค้ำยันบางส่วน และบริเวณมุมบ่อมีโครงสร้างนำ

ทางการถม (Guide collar)



รูปที่ 11 เมื่อขุดบ่อโดยใช้ขุด(Backhoe)



รูปที่ 14 แสดงผนังที่ไว้รับเครื่องจักรและสามารถช่วยในการค้ำยันบ่อเมื่อถอดค้ำยันชั่วคราวออก



รูปที่ 12 แสดงค้ำยันเมื่อขุดถึงระดับและเทคอนกรีตหยาบ เพื่อช่วยหยุดการจม



รูปที่ 13 แสดงการเตรียมพื้นฐานบ่อ

เมื่องานเตรียมการพร้อม และหล่อคอนกรีตเสริมเหล็กบ่อ บ่มจนคอนกรีตมีกำลังเพียงพอ จะทำโครงสร้างเพื่อนำทางการติดตั้ง (Guide Collar) รูปที่ 10 โดยทำคานเสาค้ำยันไม้และหล่อคอนกรีตด้านข้างบ่อเป็นระยะเพื่อควบคุมการจมบ่ออย่างได้แนวและช่วยในการบังคับการจมให้ได้ระดับโดยการเพิ่มแรงเสียดทานในส่วนที่ต้องการให้อัตราการจมน้อยลงได้ เนื่องด้วยการจมบ่อตั้งมีการควบคุมแนวตั้ง และอัตราการจมที่เหมาะสมกับสภาพหน้างานและเครื่องจักรที่ใช้ เพราะถ้าผิดพลาดอาจหมายถึงความเสียหายที่มีมูลค่าสูงเพราะการปรับแก้กลับให้สู่ตำแหน่งที่เหมาะสมทำได้ยากและต้องอาศัยเครื่องจักรและทุนน้ำหนักรถ่วง ต้องมีการบังคับหรือ แก่ระดับการจมให้สม่ำเสมอ หลังจากนั้นก็ใช้เครื่องมือแบบกบหอย และ รถขุดขุดดินออกพร้อมทั้งกดหรือให้น้ำหนักเพื่อให้บ่อจมลงเป็นระยะขณะที่จมต้องสังเกตพฤติกรรมของบ่อและค้ำยันเมื่อขุดถึงระดับที่ต้องการจะทำการปรับพื้นและเทคอนกรีตหยาบ ดังรูปที่ 12 ซึ่งคอนกรีตหยาบจะช่วยมิให้บ่อจม จากนั้นก็สกัดเพื่อเชื่อมต่อเหล็กที่

ผนังกับพื้นกันบ่อ พร้อมทั้งติดตั้งเหล็กเสริมและเทคอนกรีตฐานบ่อดังรูปที่ 13 พร้อมทั้งเสียบเหล็กเสริมเพื่อเตรียมงานหล่อผนังภายในบ่อต่อไป ดังรูปที่ 14 เมื่อหล่อผนังภายในและพื้นคอนกรีตที่สอดคล้องกับความต้องการของฝ่ายติดตั้งเครื่องจักร ดังแสดงในรูปที่ 15 และ รูปที่ 16



รูปที่ 15 แสดงเมื่อบ่อหล่อส่วนผนังและพื้นเตรียมติดตั้งเครื่องจักร และวางลำเลียงวัตถุดิบ



รูปที่ 16 แสดงรูปด้านบนซึ่งมีลักษณะตามความต้องการ

## 6. สรุป และ ข้อเสนอแนะ

เทคนิคการจมบ่อสามารถแก้ปัญหาการสร้างบ่อขนาดใหญ่ ซึ่งถือเป็นอีกประสบการณ์หนึ่งของทีมงาน และเป็นอีกทางเลือกของเทคนิคการก่อสร้าง เพื่อสนองความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมในเงื่อนไขต่างๆที่นำเสนอไปแล้วนั้น จากประสบการณ์การติดตั้งบ่อขนาดใหญ่นี้ ประยุกต์ใช้เทคนิคที่คล้ายกันในงานทำสาธารณูปโภคใต้ดิน เช่น บ่อสำหรับการเดินท่อร้อยสายไฟฟ้า ท่อประปา และ ระบบน้ำเสีย ที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งความรู้ความชำนาญสามารถนำมาประยุกต์และแก้ไขปัญหานี้ได้ แต่อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องเก็บเกี่ยวประสบการณ์จากการทำงานทั้งด้านเทคนิค และด้านการจัดการ เพื่อให้เกิดผลงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องออกแบบให้เกิดประสิทธิภาพของโครงสร้างชั่วคราวในการค้ำยันให้เกิดความปลอดภัยและสอดคล้องกับพฤติกรรมของบ่อในขั้นตอนทั้งระหว่างการเริ่มติดตั้งและการติดตั้งค้ำยัน การเชื่อมและเทคอนกรีตพื้น การปลดค้ำยันชั่วคราว ซึ่งนี่คือศาสตร์และศิลป์ของทีมงานออกแบบและก่อสร้างเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าการลงทุน

### เอกสารอ้างอิง

[1] เฉลิมเกียรติวงศ์วิษทวิ และ เชลพงษ์ หลาบหนองแสง, 2550. รายงานนำเสนอการก่อสร้างบ่อใต้ดินหลอมอลูมิเนียม (มิได้ตีพิมพ์)