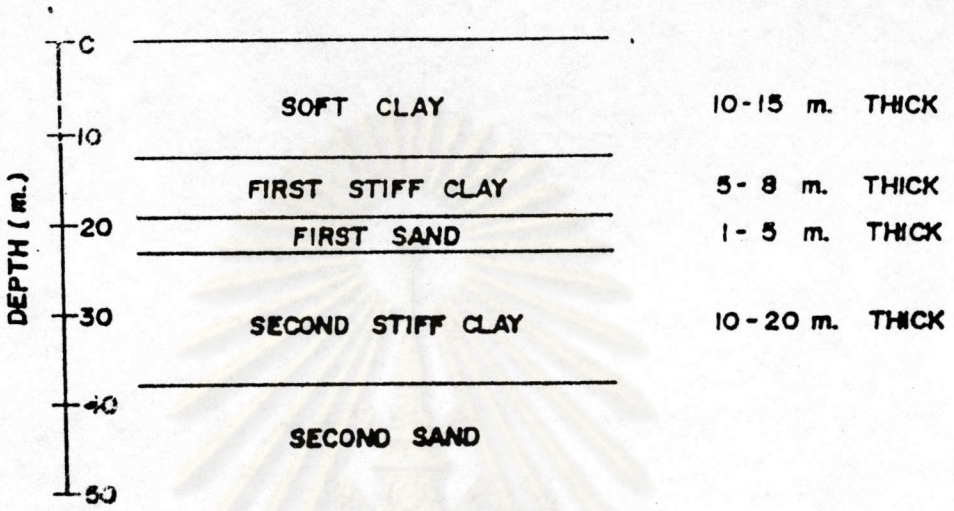
บทที่ 3

การก่อสร้างและการวางแผนงานก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์

จากการศึกษาโครงการก่อสร้างทั้งสามโครงการที่ใช้วิธีอัป/ดาวน์ พบว่าโครงการทั้ง 3 โครงการล้วนแต่ตั้งอยู่ในเขตใจกลางกรุงเทพฯทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งในเขตใจกลางเมืองส่วนใหญ่ สภาพชั้นดินเป็นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) ที่ความหนา10-15 ม.แรก ชั้นที่สองจะเป็นดินเหนียวแข็งชั้นแรก(First Stiff Clay) มีความหนา 5-8 เมตร ชั้นที่สามจะเป็นชั้นทรายชั้นแรก (First Sand) มีความหนา 1-5 เมตร ชั้นที่สี่เป็นชั้นดินแข็ง ชั้นที่สอง (Second Stiff Clay) มีความหนา 10-20 เมตร ชั้นที่ห้าจะเป็นชั้นทรายชั้นที่สอง (Second Sand)ซึ่งเสาเข็มอาคารสูงจะตั้งอยู่บนชั้นนี้ ส่วนชั้นใต้ดินนี้มักจะอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อนถึงชั้นดินเหนียวแข็งที่ความลึก 10 - 20 เมตร ลักษณะชั้นดินใจกลางเมืองกรุงเทพฯสรุปดังในรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.1 แผนที่กรุงเทพมหานคร แสดงตำแหน่งโครงการที่ศึกษา



รูปที่ 3.2 สภาพชั้นดินในใจกลางเมืองกรุงเทพมหานคร

ในกรุงเทพฯโดยเฉพาะบริเวณกลางเมืองจะมีอาคารอยู่หนาแน่น การขุดสร้างชั้นใต้ดินลึกจะมีอาคารข้างเคียงอยู่รอบข้าง การขุดจะต้องเสี่ยงกับการนำความเสียหายให้แก่อาคารข้างเคียง แต่เดิมการก่อสร้างชั้นใต้ดินนิยมใช้เข็มพืดเหล็ก (Steel Sheet Piles) และค้ำยันภายใน ก่อสร้างโดยวิธีปกติ ซึ่งเข็มพืดเหล่านี้เมื่อใช้งานแล้วเสร็จจะมีการถอนกลับเพื่อนำไปใช้อีก แต่เนื่องจากเข็มพืดเป็นกำแพงประเภท Flexible Wall เมื่อนำไปใช้งานขุดขนาดลึกจะมีการเคลื่อนตัวของดินด้านข้างเข้าหาบ่อขุดสูง ประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ ของความลึกของบ่อขุด ประกอบกับการตอกหรือติดตั้งหรือการถอนด้วยเครื่องเขย่า จะมีแรงสั่นสะเทือนและการแทนที่ของดินในบริเวณที่ถอนเข็มพืดออก ทำให้พื้นดินข้างเคียงยุบเสียหายแก่อาคารข้างเคียง จึงเป็นระบบกำแพงที่ไม่เหมาะสมสำหรับงานขุดลึกเกินกว่า 5-10 เมตร (นพดล 2534, ประจิต 2537,) การใช้กำแพงกันดินไดอะแฟรมวอลล์ (Diaphragm Wall) จึงเริ่มถูกนำมาใช้งานสำหรับงานขุดชั้นใต้ดินลึก เพราะเป็นกำแพงแบบ Rigid Wall มีประสิทธิภาพในการควบคุมการเคลื่อนตัวของดินดีกว่ากำแพงเข็มพืดเหล็กมากและมี Flexural Stiffness (EI) ของหน้าตัด (Section) มากกว่ามาก ซึ่งช่วยลดการเคลื่อน

ตัวของดินให้อยู่ในระดับต่ำไม่ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ของความลึกบ่อขุด ดังนั้นการก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์จึงเป็นทางเลือกที่ถูกนำมาใช้ในการก่อสร้างชั้นใต้ดินลึกเพราะกำแพงกันดินไดอะแฟรมวอลล์เป็นส่วนโครงสร้างสำคัญของวิธี อัป/ดาวน์

โครงการที่ศึกษามีความคล้ายคลึงกันในแง่การลงทุน คือ ต้องการสร้างอาคารให้ได้พื้นที่มากที่สุดแต่เนื่องจากข้อจำกัดในด้านความสูงของอาคารที่ถูกบังคับไว้ตามกฎกระทรวงว่าด้วยเรื่องก่อสร้างอาคารสูง ความต้องการที่จอดรถ รวมทั้งราคาที่ดินที่จะทำการก่อสร้างมีราคาแพง ทำให้เกิดความจำเป็นที่จะต้องก่อสร้างลงไปในใต้ดินให้มีพื้นที่มากเพียงพอต่อการใช้งานและคุ้มต่อการลงทุนในที่ดินที่มีจำกัด

สำหรับข้อมูลเบื้องต้นทั่วไปของโครงการทั้ง 3 โครงการแสดงในตารางที่ 3.1 ดังนี้

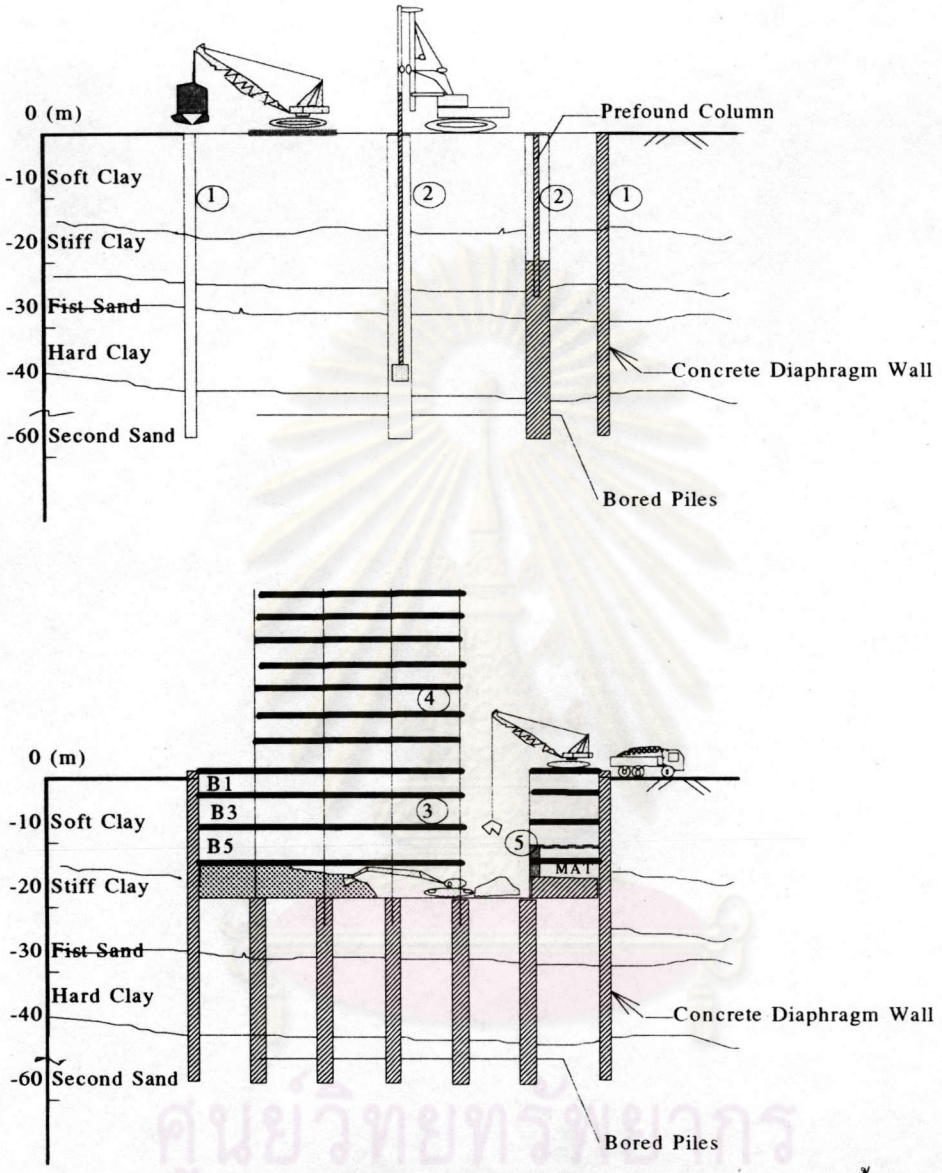
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลเบื้องต้นทั่วไปของโครงการทั้ง 3 โครงการที่ศึกษา

โครงการ	ลิเบอร์ตีสแควร์ (ก.)	รังสรรค์สีลมพรีเซียส ทาวเวอร์(ข.)	วันเพลสทาวเวอร์ (ค.)
ที่ตั้งโครงการ	ถ.สีลม เขตยานนาวา กรุงเทพฯ	ถ.สีลม เขตยานนาวา กรุงเทพฯ	ถ.สุขุมวิท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ
เจ้าของ	บ.เอจียูเนียน จำกัด	บ.สีลมพรีเซียสทาวเวอร์ จำกัด	บ. ซี พี ยู โฮเต็ล จำกัด
ผู้ออกแบบงานสถาปัตยกรรม	บ.แอ็ค คอนซัลแต้นส์ จำกัด	บ.รังสรรค์สถาปัตย์ จำกัด	บ.คอน เซป สถาปัต จำกัด
ผู้ออกแบบงานโครงสร้าง	บ.แอ็ค คอนซัลแต้นส์ จำกัด	บ.สยามวิศกรที่ปรึกษา จำกัด	บ.พี-ดับบลิวเอชแอล วิศวกรที่ปรึกษา จำกัด
ผู้บริหารโครงการ	บ.เอส.จี.เอส สจ๊วต โปรเจค แมนเนจเม้นท์ เซอวิสแซสจำกัด	บ.สยามซีเอ็ม คอนซัลแตนท์ จำกัด	บ.สยามซีเอ็ม คอนซัลแตนท์ จำกัด
ขนาดที่ดิน/พื้นที่ก่อสร้าง (ตร.ม.)	1,960/1,640	8,600/7,000	4,800/2,925
ผู้รับเหมางานเสาเข็มและกำแพงกันดิน	บ.เลตันบรุกเนอร์ (ประเทศไทย) จำกัด	บ.ซีพโก้ จำกัด ร่วมกับ บ.โซเลตองซ์ (ประเทศไทย) จำกัด	บ.ซีพโก้ จำกัด ร่วมกับ บ.โซเลตองซ์ (ประเทศไทย) จำกัด
ผู้รับเหมางานโครงสร้าง/สถาปัตยกรรม	บ.ไทยเลตัน จำกัด	บ.ซัมซุง ดีเวลลอปเม้นท์ (ประเทศไทย) จำกัด	บ.ไทยแกมมอนด์ จำกัด
ลักษณะอาคาร	สำนักงาน/ที่จอดรถชั้นใต้ดิน	ศูนย์การค้า/สำนักงาน ที่จอดรถชั้นใต้ดิน	สำนักงาน/ที่จอดรถชั้นใต้ดิน
จำนวนชั้นบนดิน/ใต้ดิน (ชั้น)	23/6	63/6	25/6
ความลึกการขุดดิน (ม.)	-17.65	-20.80	-22.00
ระบบกำแพงกันดิน ยาว/ลึก/หนา (ม.)	ไดอะแฟรมวอลล์ 169.70/24.00,48.00/0.80	ไดอะแฟรมวอลล์ 381.88/36.00/1.02	ไดอะแฟรมวอลล์ 211.6/36.00/1.00
ระบบฐานรากและเสาเข็ม	- เสาเข็มเจาะ Dia. 1.50 ม. รับน้ำหนักปลอดภัย 750 ตัน - ฝังเสาเหล็กในเสาเข็ม - รับน้ำหนักอาคารได้ถึงชั้นที่ 10	- เสาเข็มเจาะ Dia. 1.50 ม. รับน้ำหนักปลอดภัย 1,200 ตัน - ฝังเสาเหล็กในเสาเข็ม - รับน้ำหนักอาคารได้ถึงชั้นที่ 10	- เสาเข็มเจาะ Dia. 1.50 ม. รับน้ำหนักปลอดภัย 1,100 ตัน - ฝังเสาเหล็กในเสาเข็ม - รับน้ำหนักอาคารได้ถึงชั้นที่ 12
ระบบพื้น	- ใช้พื้นไร้คานเป็นค้ำยันผสมกับระบบค้ำยันเหล็ก - ระดับเดียวกันทั้งชั้น (Flat Floor)	- ใช้พื้นไร้คานเป็นค้ำยันผสมกับระบบค้ำยันเหล็ก - ระดับเดียวกันทั้งชั้น (Flat Floor)	- ใช้พื้นไร้คานเป็นค้ำยันผสมกับระบบค้ำยันเหล็ก - ระดับเดียวกันทั้งชั้น (Flat Floor)
ระบบการขุดดิน	- มีช่องเปิดขุดดิน 3 ช่อง - ปริมาณดินขุด 27,138 ลบ.ม. - ขุดด้วยรถแบคโฮและและแคลมเชล (Clam Shell) - แบ่งการขุดเป็น 4 ระดับ B1-B3-B5-MAT	- มีช่องเปิดขุดดิน 6 ช่อง - ปริมาณดินขุด 154,184 ลบ.ม. - ขุดด้วยรถแบคโฮและและแคลมเชล (Clam Shell) - แบ่งการขุดเป็น 4 ระดับ B1-B3-B5-MAT	- มีช่องเปิดขุดดิน 1 ช่อง - ปริมาณดินขุด 64,350 ลบ.ม. - ขุดด้วยรถแบคโฮและและแคลมเชล (Clam Shell) - แบ่งการขุดเป็น 4 ระดับ B1-B3-B5-MAT

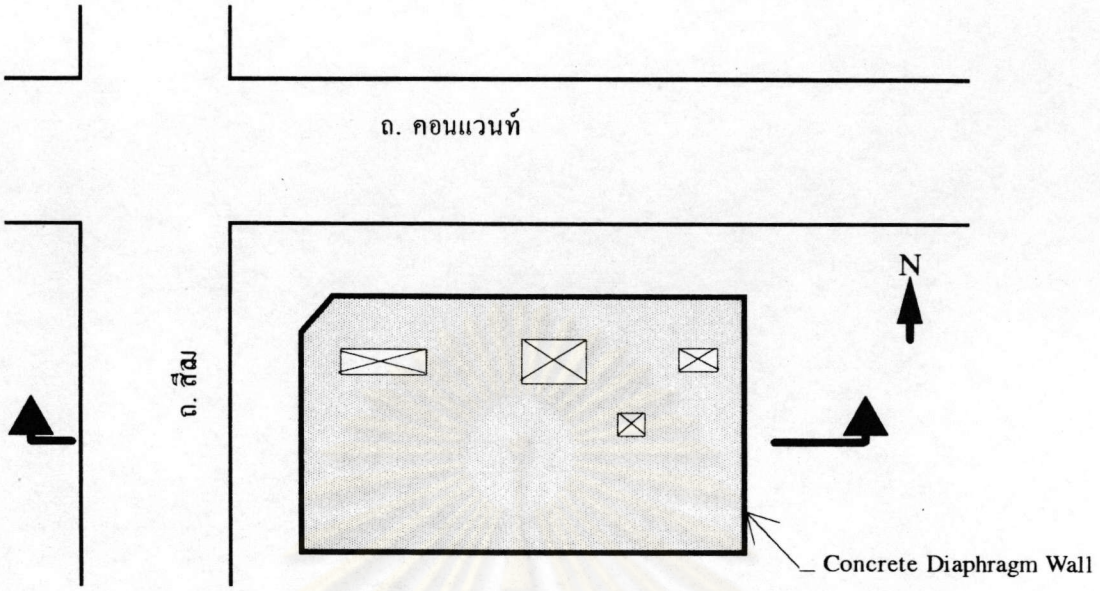
3.1 ขั้นตอนการก่อสร้างและการวางแผน

ขั้นตอนการก่อสร้างนั้น แต่ละโครงการจะมีความแตกต่างกันอยู่บ้างในรายละเอียด แต่ขั้นตอนหลักที่สำคัญจะคล้ายคลึงกัน ในที่นี้จะเน้นถึงการก่อสร้างส่วนชั้นใต้ดิน ส่วนการก่อสร้างชั้นบนดินไม่ได้มีความแตกต่างกันคงสร้างด้วยวิธีปกติเท่านั้น ขั้นตอนแรกจะทำการก่อสร้างกำแพงกันดินแบบ Slurry Wall ชนิดไดอะแฟรมวอลล์ (Diaphragm Wall) ล้อมรอบบริเวณก่อสร้างชั้นใต้ดิน จากนั้นดำเนินการส่วนฐานรากคือเสาเข็มเจาะพร้อมกับติดตั้งเสาเหล็กที่เรียกว่า King Post หรือ Prefound Column เพื่อเป็นเสารับน้ำหนักอาคาร (Stanchion)ในตำแหน่งเสาอาคาร ซึ่งช่วงการออกแบบเสาเข็มจะมีการจัดตำแหน่งเสาเข็มให้ตรงกับตำแหน่งเสาอาคารที่จะก่อสร้างชั้นบนดินพร้อมกับชั้นใต้ดิน เสาเหล็กจะฝังต่ำกว่าระดับหัวเสาเข็ม ซึ่งระดับหัวเสาเข็มจะอยู่เหนือระดับดินฐานรากเล็กน้อยประมาณ 1-1.5 เมตร เมื่อก่อสร้างกำแพงกันดินและเสาเข็มเจาะที่มีเสาเหล็กฝังอยู่ในเสาเข็มเสร็จแล้วก็จะทำการหล่อคานรัดรอบกำแพงกันดิน (Capping Beam) เพื่อยึดกำแพงกันดินแต่ละแผงไว้ด้วยกัน จากนั้นจะเริ่มทำการขุดดินเพื่อเทคอนกรีตชั้นใต้ดินชั้นที่ 1 (Basement 1 หรือ B1) ในการเทพื้นชั้นแรกและพื้นชั้นต่อ ๆ ไป พื้นบางส่วนจะถูกเว้นเป็นช่องเปิดไว้สำหรับการขุดดิน การลำเลียงวัสดุอุปกรณ์, รถขุดดินเพื่อตักดินชั้นล่าง, รถสกัดหัวเสาเข็ม รวมทั้งใช้เป็นช่องระบายอากาศในขณะก่อสร้าง เมื่อก่อสร้างชั้น B1 แล้วเสร็จก็จะขุดดินก่อสร้างชั้น B3 , ชั้น B5 และชั้น B6 หรือชั้นฐานราก โดยจะเว้นชั้น B2 และชั้น B4 ไว้เพื่อให้ความสูงของชั้นเพียงพอต่อการทำงานของรถตักดิน ในขณะทำการก่อสร้างชั้นใต้ดินลงไปก็จะเริ่มทำการก่อสร้างในส่วนชั้นบนดินไปพร้อม ๆ กับการ ก่อสร้างชั้น B3 ซึ่งจะทำควบคู่กันไป ซึ่งการก่อสร้างชั้นบนดินและชั้นใต้ดินสอดคล้องกัน เนื่องจากก่อนที่งานคอนกรีตฐานรากแล้วเสร็จ น้ำหนักลงเสาแต่ละต้นถูกรับน้ำหนักโดยเสาเข็มเดี่ยวต้นเดียวซึ่งจะรับน้ำหนักโครงสร้างได้ 10-12 ชั้น ดังนั้นฐานรากและการเทคอนกรีตหุ้มเสาเหล็ก (Stanchion) รับน้ำหนักอาคารจะต้องเสร็จก่อนหรือพร้อมกับการก่อสร้างอาคารถึงชั้นที่ 10-12 เพื่อให้การก่อสร้างชั้นบนดินดำเนินการต่อเนื่องต่อไปได้ เมื่อฐานรากแล้วเสร็จก็จะกลับมาก่อสร้างชั้น B2 และชั้น B4 ที่เหลือตามลำดับต่อไปซึ่งขั้นตอนต่าง ๆ ที่กล่าวมาแสดงสรุปในรูปที่ 3.3 ส่วนรูปแปลนและรูปตัดพร้อมทั้งขั้นตอนการก่อสร้างแต่ละโครงการที่ศึกษาแสดงในรูปที่ 3.4 ถึง รูปที่ 3.9

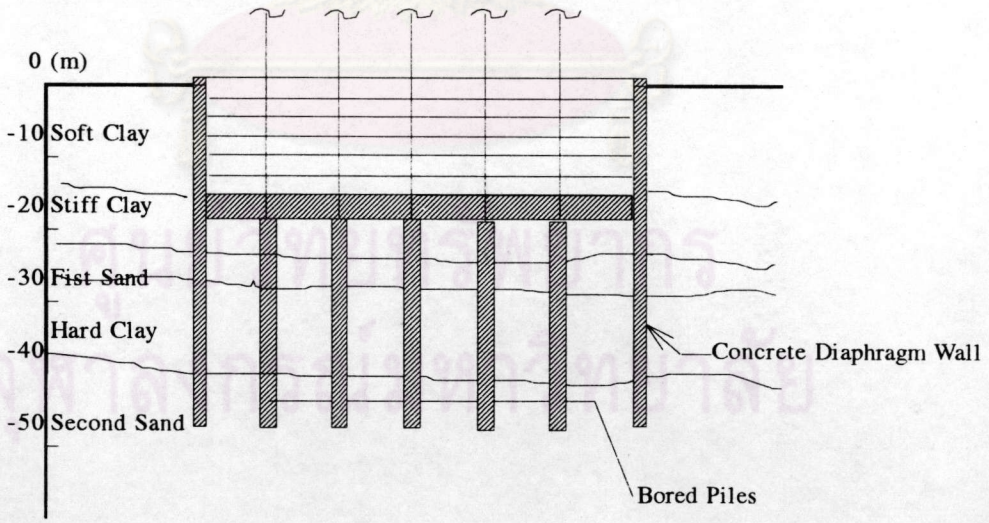


1. ก่อสร้างกำแพงกันดินไดอะแฟรมวอลล์ (Diaphragm Wall) รอบชั้นใต้ดิน
2. ก่อสร้างเสาเข็มเจาะพร้อมติดตั้งเสาเหล็ก
3. หล่อคานรัดกำแพงกันดิน (Capping Beam) และขุดดินทำชั้นใต้ดิน B1-B3-B5-MAT ตามลำดับ
4. ก่อสร้างชั้นบนดินไปพร้อมกับชั้นใต้ดิน
5. หลังจากเสร็จชั้นฐานรากก็ทำชั้นใต้ดิน B4 และ B2 พร้อมเทคอนกรีตหุ้มเสาเหล็กขึ้นมาตามลำดับ

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์

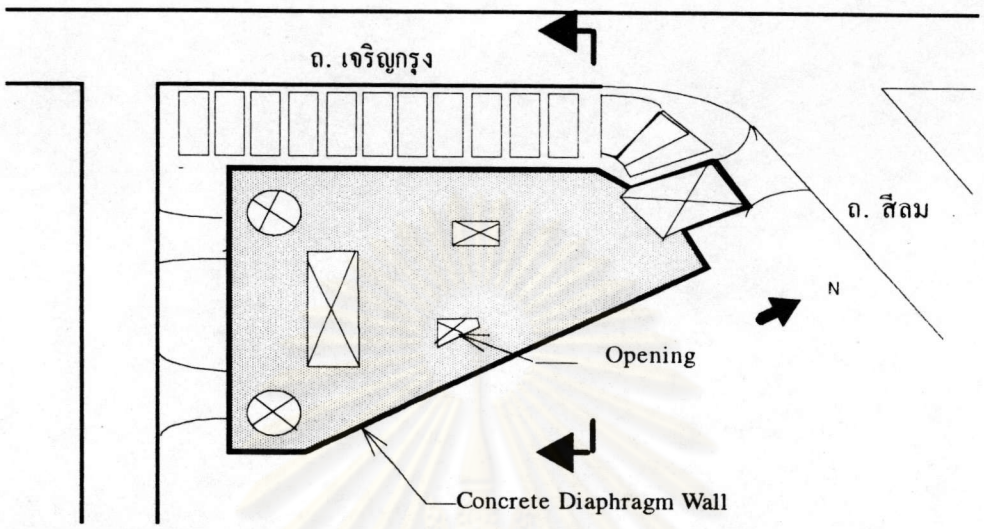


Plan

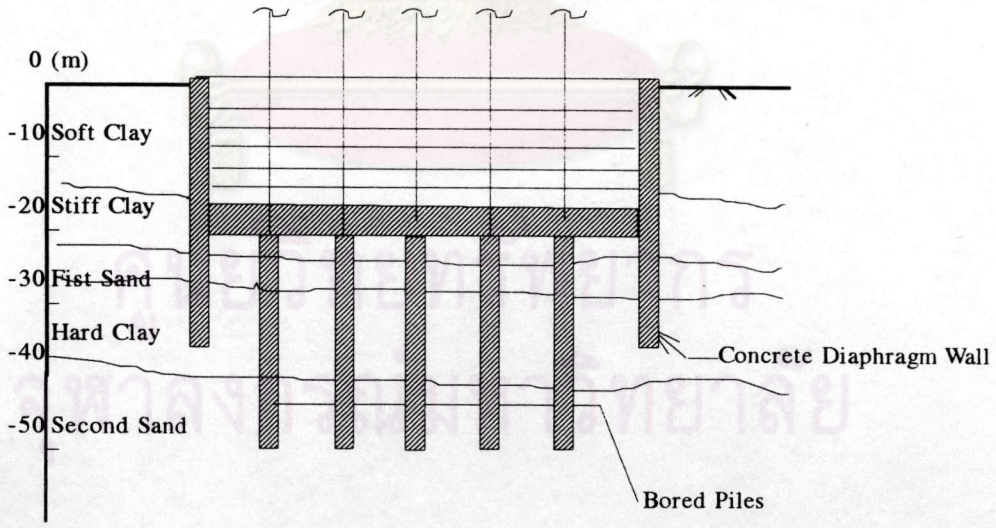


Section

รูปที่ 3.4 รูปแปลนและรูปตัด โครงการ ลิเบอตีสแควร์



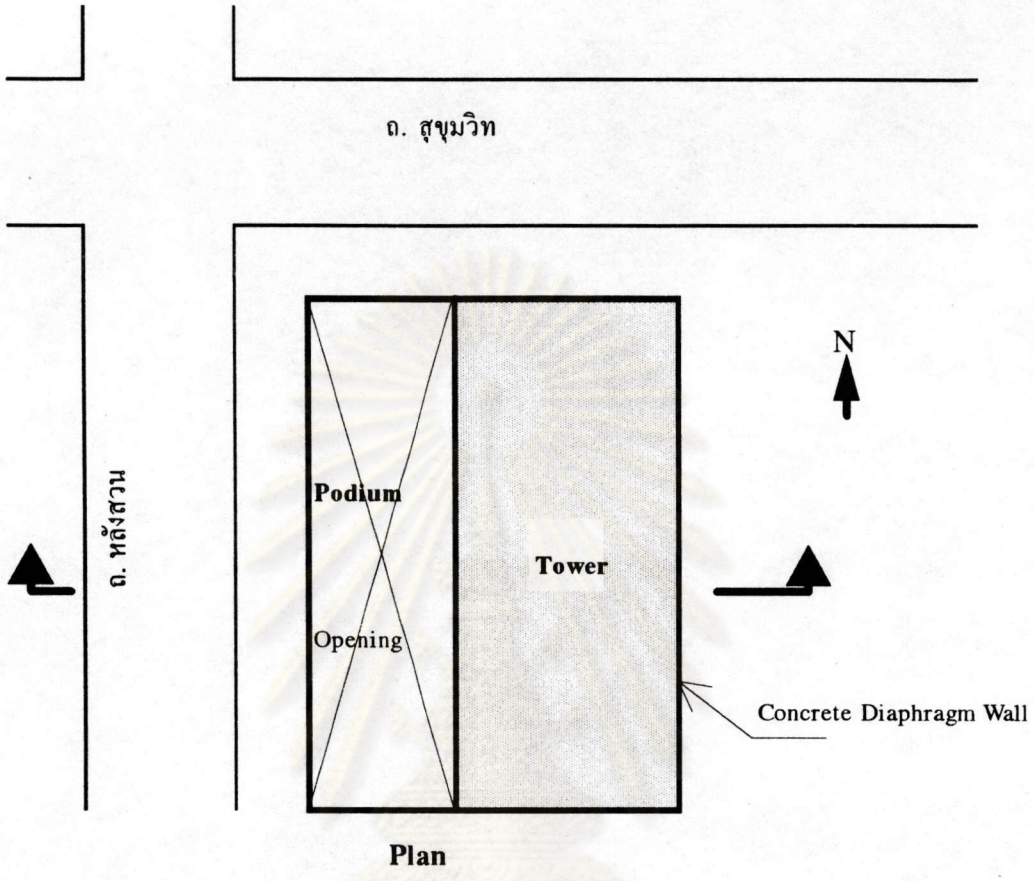
Plan



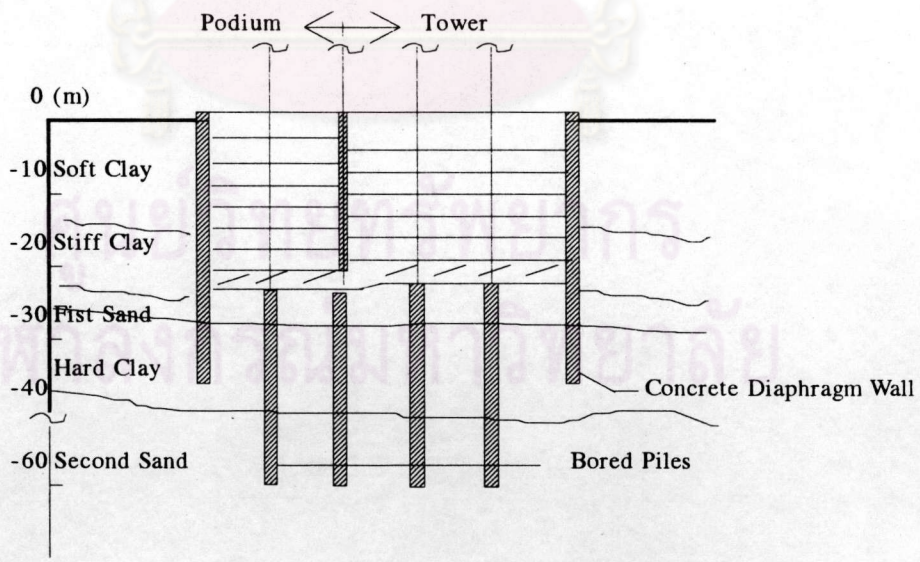
Section

รูปที่ 3.5 รูปแปลนและรูปตัด โครงการ รังสรรค์ สีลม พรีเซียส ทาวเวอร์

I 17010068

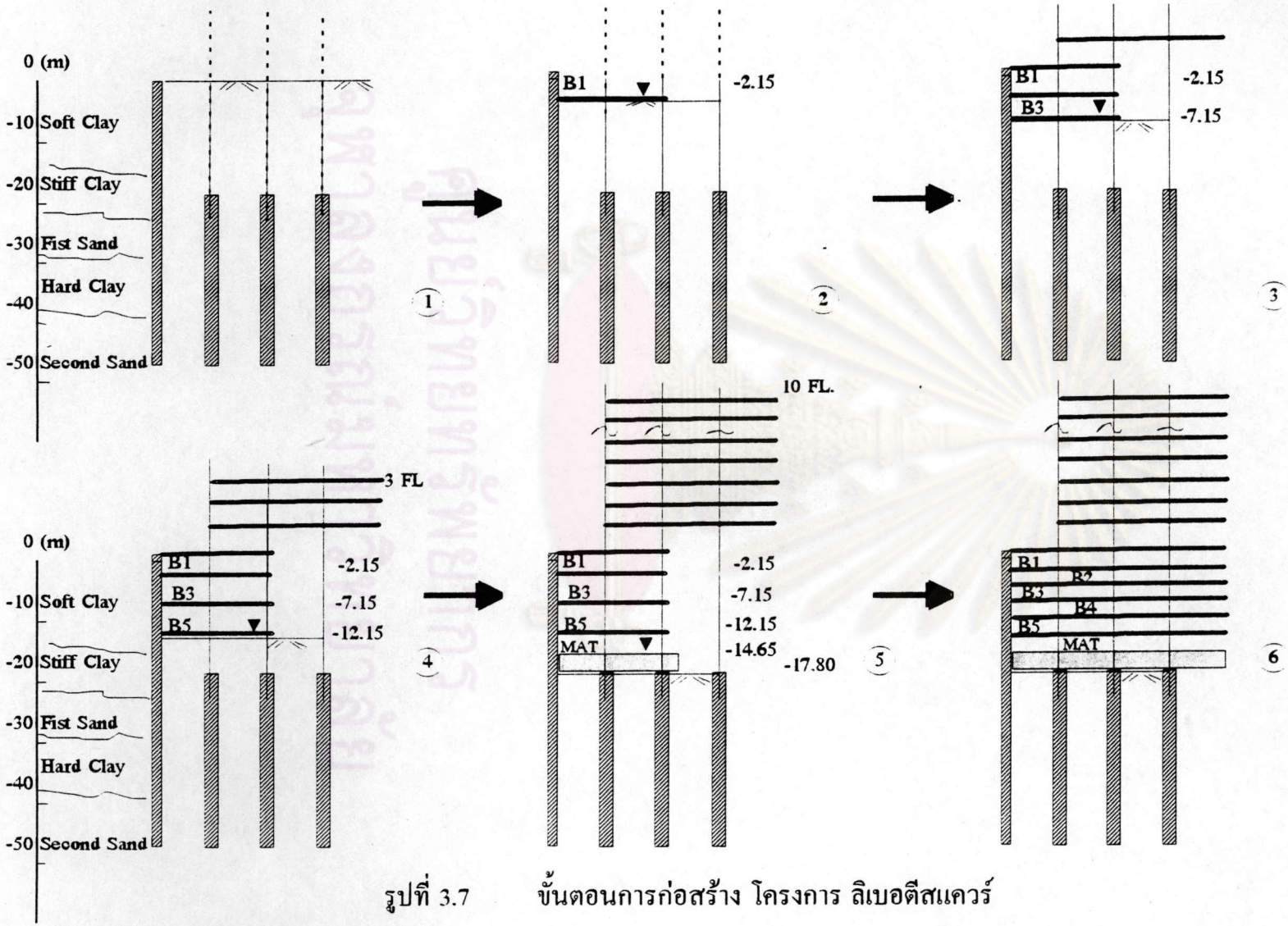


Plan

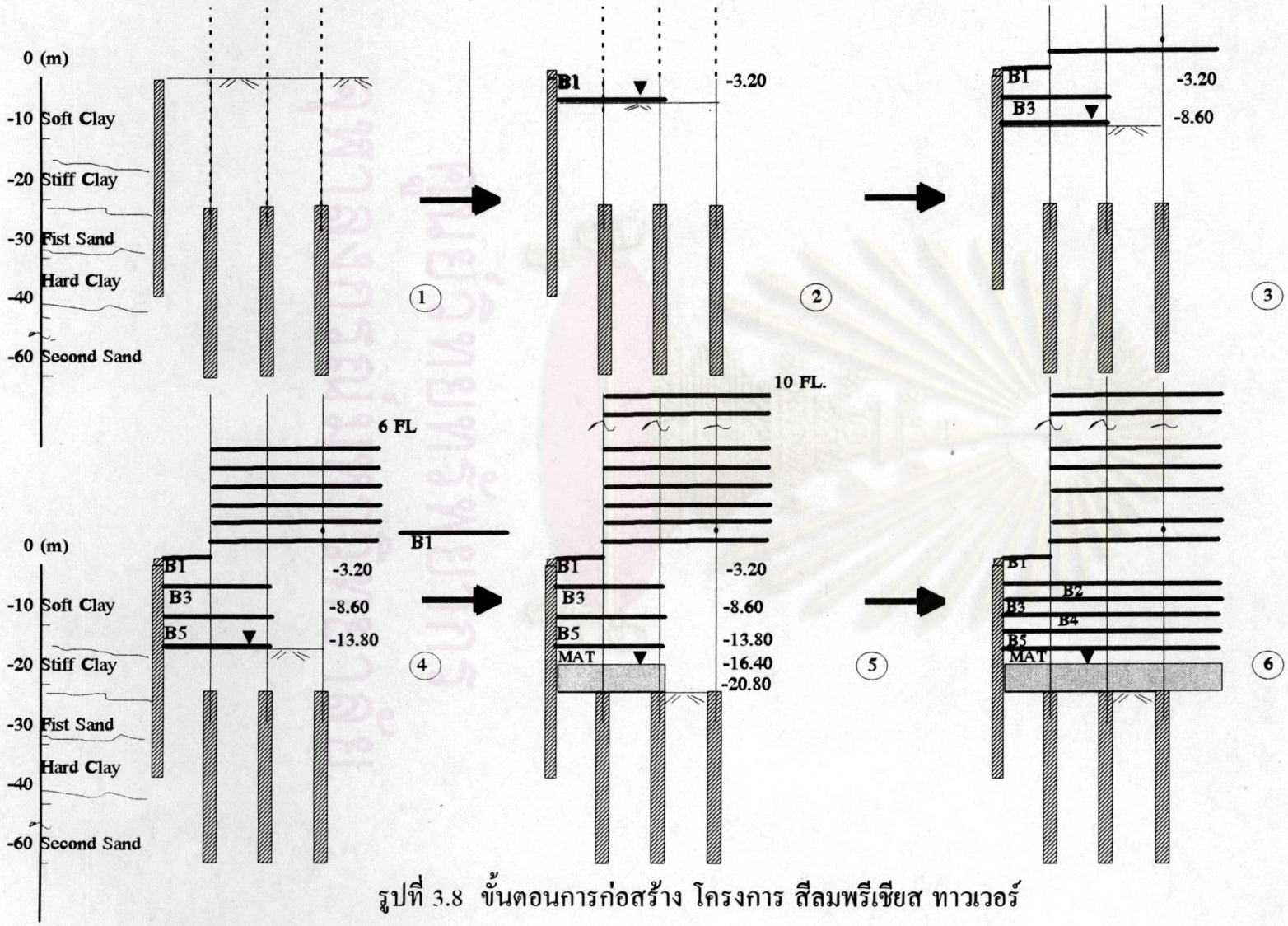


Section

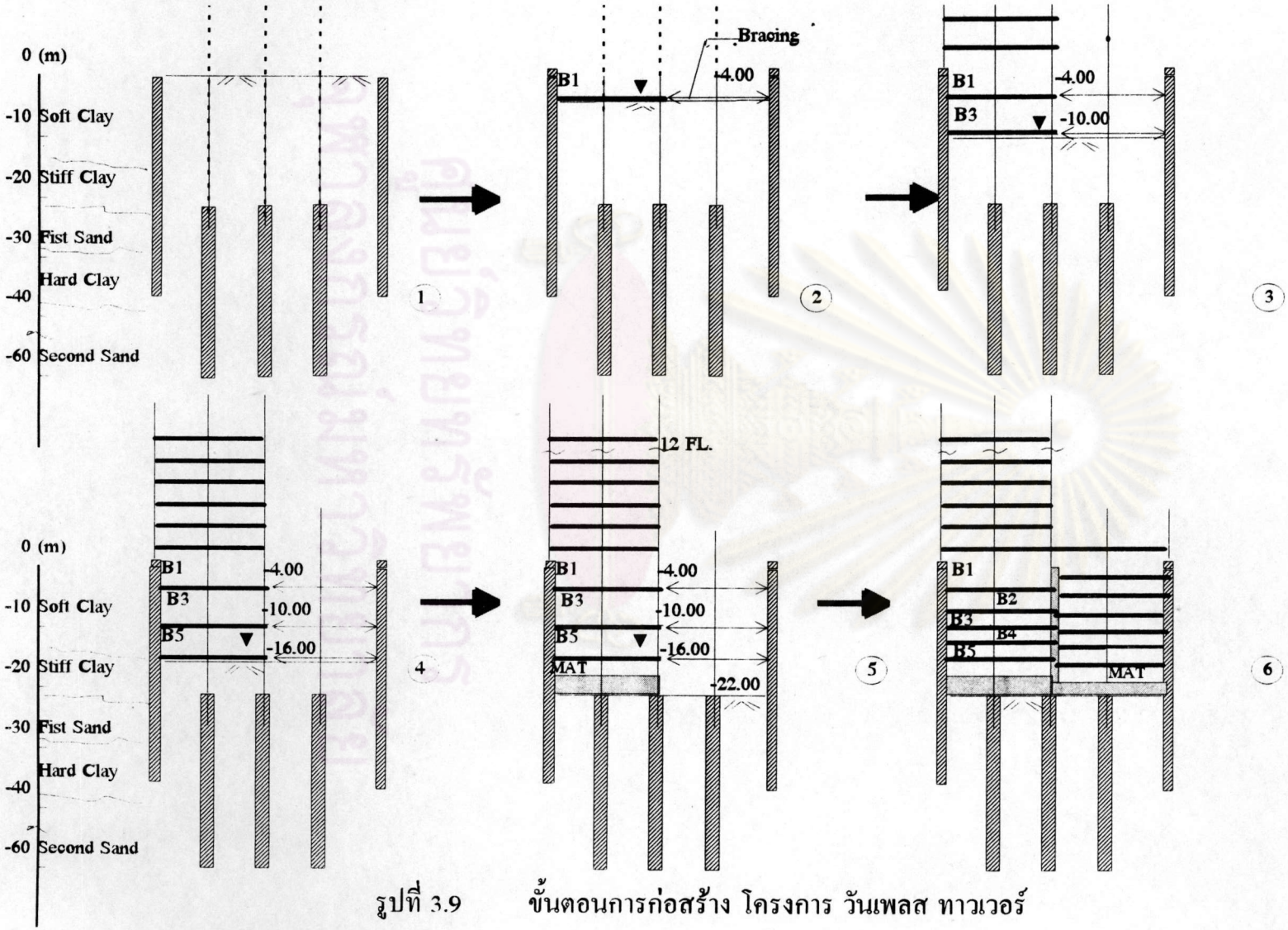
รูปที่ 3.6 รูปแปลนและรูปตัด โครงการ วันเพลส ทาวเวอร์



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการก่อสร้าง โครงการ ลิเบอตีสแควร์



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการก่อสร้าง โครงการ สีลมพรีเซียส ทาวเวอร์



รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการก่อสร้าง โครงการ วันเพลส ทาวเวอร์

3.2 ระบบโครงสร้างหลัก

ระบบโครงสร้างหลักของการก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์ ที่ศึกษาจะเป็นระบบโครงสร้างชั้นใต้ดิน ส่วนระบบโครงสร้างชั้นเหนือดินคงเป็นระบบโครงสร้างที่เหมือนกับการก่อสร้างวิธีปกติทั่วไป ระบบโครงสร้างหลักที่สำคัญของโครงการที่ศึกษาทั้ง 3 โครงการ แบ่งเป็น 4 ระบบดังนี้คือ ระบบกำแพงกันดิน, ระบบเสาและฐานราก, ระบบพื้นชั้นใต้ดิน และระบบการขุดดิน ซึ่งจากการศึกษาทั้ง 3โครงการมีดังนี้

3.2.1 ระบบกำแพงกันดิน

ระบบกำแพงกันดินที่ใช้ในการก่อสร้างชั้นใต้ดินลึกทั้ง 3 โครงการเป็นระบบกำแพงแบบ Slurry Wall คือกำแพงไดอะแฟรมวอลล์ (Diaphragm Wall) ซึ่งมีการวางแผนและออกแบบดังนี้ ก่อนอื่นต้องสำรวจสภาพดิน สิ่งแวดล้อมข้างเคียง ตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร เพื่อกำหนดขนาดอาคารที่จะลงทุน เมื่อสรุปความเป็นไปได้ของขนาดอาคาร จำนวนชั้นใต้ดิน, ชั้นบนดิน ได้แล้วก็จะกำหนดวิธีการก่อสร้างและขั้นตอนการก่อสร้าง โดยผู้บริหารโครงการเพื่อให้ข้อมูลดังกล่าวต่อผู้ออกแบบระบบกำแพงกันดินได้ออกแบบโครงสร้างได้ตรงกับพฤติกรรมที่จะเกิดขึ้นจริง เช่น น้ำหนักอาคารที่ลงบนกำแพง ระยะห่างของการค้ำยันแต่ละชั้น ซึ่งอาจเป็นพื้น หรือค้ำยันเหล็กชั่วคราว ในการทำงานจริงระยะห่างการค้ำยันจะมากกว่าการค้ำยันของพื้นถาวรของอาคารถึงสองเท่า (ก่อสร้างชั้นใต้ดินชั้นเว้นชั้น) ทำให้ขนาดโครงสร้างต้องมีขนาดและการเสริมเหล็กให้เพียงพอ ซึ่งจะมากกว่าสภาพการรับแรงปกติ เมื่อโครงสร้างแล้วเสร็จ และเมื่อสรุปวิธีการก่อสร้างและขั้นตอนการก่อสร้างแล้วผู้ออกแบบก็จะตรวจสอบเสถียรภาพของบ่อขุดดังนี้ เช่น การต้านทานของแรงดันดิน (Passive Pressure) การอูดของดิน (Heaving) แรงยกตัว (Hydraulic Uplift) เพื่อกำหนดความยาวของกำแพง จากนั้นก็คำนวณขนาดความแข็งแรง (Strength) การแอ่นตัว (Deformation) ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยและจัดวางแผนติดตั้งเครื่องมือวัดต่าง ๆ เช่น เครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของกำแพง เครื่องมือวัดระดับน้ำใต้ดิน เพื่อตรวจสอบและประเมินผลขณะก่อสร้างให้มีความปลอดภัย

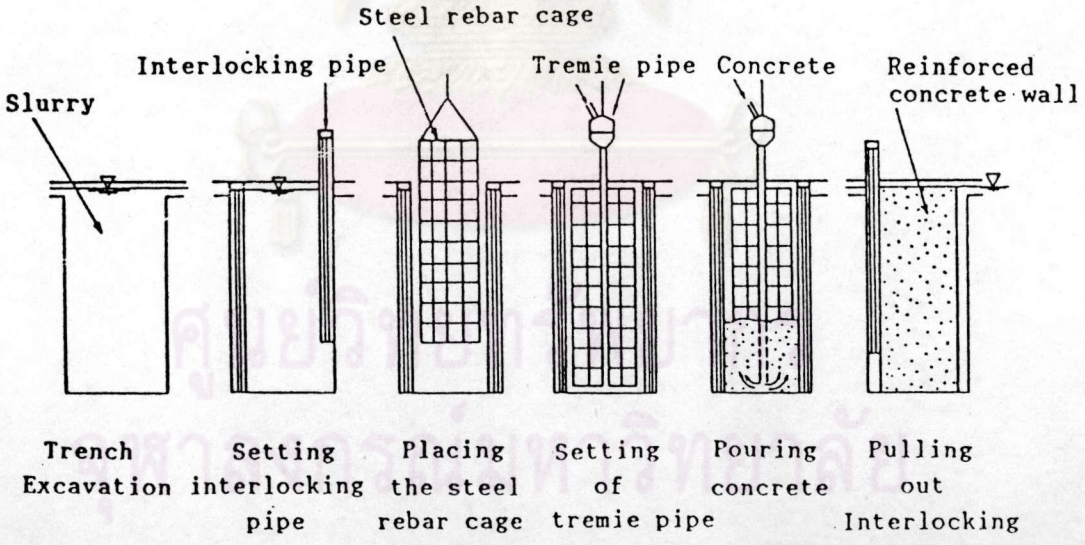
สำหรับข้อมูลของ ระบบกำแพงกันดินทั้ง 3 โครงการแสดงในตารางที่ 3.2 ดังนี้

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลของ ระบบกำแพงกันดินทั้ง 3 โครงการที่ศึกษา

โครงการ	ก.	ข.	ค.
ชนิดกำแพง	ไดอะแฟรมวอลล์	ไดอะแฟรมวอลล์	ไดอะแฟรมวอลล์
จำนวนพื้นที่กำแพง (ตร.ม.)	4,210.00	14,023.00	7,798.00
ยาว/ลึก/หนา (ม.)	169.70/24.00, 48.00/0.80	381.88/36.00/1.02	216.36.00/1.00
ความลึกการขุดดิน สูงสุด (ม.)	-17.65	-20.80	-22.00
ชนิดรอยต่อ - ระหว่างกำแพง - พื้น - ฐานราก	 Round Tube Joint เจาะเสียบเหล็ก เจาะเสียบเหล็ก	 Keyed & Water Stop Joint ฝังเหล็ก (Dowels) ในกำแพง - เจาะเสียบเหล็ก - ฝังเหล็กในกำแพง	 Keyed & Water Stop Joint ฝังเหล็ก (Dowels) ในกำแพง - เจาะเสียบเหล็ก - ฝังเหล็กในกำแพง
ปริมาณคอนกรีต (ลบ.ม.)	4,675.00	15,994.00	9,090.00
ปริมาณเหล็ก (ตัน)	833.00	2,633.00	880.00
ปริมาณเหล็ก/คอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	178.00	265.00	100.00
วิธีการขุดดิน	Cable-Suspened Clam Shell (Grab Type)	Cable-Suspened Clam Shell (Grab Type)	Cable-Suspened Clam Shell (Grab Type)
ชนิด Guide Wall	คานคสล.	คานคสล.	คานคสล.
เครื่องมือวัด - Inclinometer, (ชุด) - Relieve Well, (ชุด) - Piezometer, (ชุด)	 3 - -	 6 3 4	 4 2 4
การเคลื่อนตัวของกำแพง - สูงสุด, ซ.ม. - ต่อความลึก, %	 2.30 0.13	 7.10 0.34	 ไม่มีข้อมูล ไม่มีข้อมูล

ขั้นตอนการก่อสร้างกำแพงกันดินไดอะแฟรมวอลล์ของโครงการทั้ง 3 โครงการมีความคล้ายคลึงกัน สามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 3.10

1) การก่อสร้าง Guide Wall
2) การขุดดินโดยใช้สารแขวนลอยเบนโทไนท์และเครื่องจักรกลที่ใช้
3) การใช้สารแขวนลอยเบนโทไนท์และการควบคุมคุณภาพ
4) การทำรอยต่อระหว่างไดอะแฟรมวอลล์
5) การติดตั้งเหล็กเสริม
6) การเทคอนกรีต



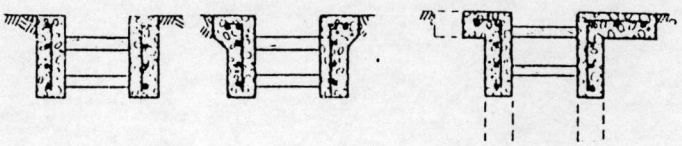
รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการก่อสร้างกำแพงไดอะแฟรมวอลล์

3.2.1.1 การก่อสร้าง Guide Wall

ก่อนที่งานก่อสร้างจะเริ่มขึ้น จำเป็นต้องกำหนดแนวในการขุดให้ตรงกับแบบแปลนอาคารลงในพื้นที่ก่อสร้างโดยใช้ Guide Wall ซึ่งเป็นโครงสร้างชั่วคราวทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดความหนาประมาณ 0.30 เมตร มีความลึก 1.00 - 1.50 เมตร ขึ้นอยู่กับเสถียรภาพของดินบริเวณก่อสร้าง ระยะห่างระหว่าง Guide Wall ทั้งสองข้างที่ขนานไปตามแนวของกำแพงจะมีระยะห่างเว้นเป็นช่องใหญ่กว่าหัวขุด (Grab) 3-5 เซนติเมตร หรือมีขนาดที่เพียงพอสำหรับหัวขุด เช่น Clam Shell จะสามารถลงไปขุดดินได้โดยไม่กระทบกับผนังของ Guide Wall หน้าที่ของ Guide Wall มีดังนี้

- ควบคุมแนวในการขุดดินของหัวขุดตักดิน
- ช่วยรับน้ำหนักเครื่องจักรบริเวณด้านบนของหลุมที่ขุด
- ป้องกันการกระทบกระเทือนบริเวณผนังด้านบนของหลุมที่ขุดจากหัวขุดตักดิน ซึ่งเคลื่อนที่ขึ้นลง
- ใช้ค้ำยันบริเวณปากหลุมให้แข็งแรงโดยใช้ไม้เป็นค้ำยันในแนวขวาง
- ช่วยเก็บกัก Slurry ให้อยู่ในบริเวณหลุมขุด
- เป็นที่แขวนเหล็กเสริมก่อนเทคอนกรีตและที่ค้ำยันเครื่องถอนแบบรอยต่อ (Joint Form)

เมื่อกำหนดตำแหน่งแนวผนังได้แล้วก็จะทำการขุดดินเพื่อก่อสร้าง Guide Wall และก็ตั้งแบบเทคอนกรีตโดยทางด้านในของ Guide Wall อาจจะใช้แบบไม้หรือแบบเหล็กก็ได้ ส่วนด้านนอกจะใช้ผนังของดินที่ขุดเป็นแบบแทนได้ จากนั้นก็ลงเหล็กเสริมและเทคอนกรีต หลังจากคอนกรีตแข็งตัวแล้วก็ถอดแบบหล่อออกและค้ำยัน Guide Wall ด้วยไม้เป็นระยะ ๆ เมื่อจะทำการขุดดินก็นำเอาไม้ที่ค้ำยันออกมา รูปร่างของ Guide Wall ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 รูปร่างของ Guide Wall

3.2.1.2 การขุดดินและเครื่องจักรกลที่ใช้

หลังจากการก่อสร้าง Guide Wall ก็จะทำการขุดดิน ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เนื่องจากงานขุดดินมีส่วนเกี่ยวข้องกับคุณภาพของกำแพงไดอะแฟรมวอลล์โดยตรงไม่ว่าจะเป็นการได้แนวดิ่งหรือลักษณะผิวของกำแพง คุณภาพของกำแพงส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องจักรกลที่ใช้ในการขุดตักดิน ซึ่งใช้ร่วมกับสารแขวนลอยเบนโทไนท์ (Bentonite Slurry) เพื่อรักษาเสถียรภาพของหลุมขุด ชนิดของเครื่องจักรที่ใช้ในการขุดดินมีหลายชนิดดังนี้

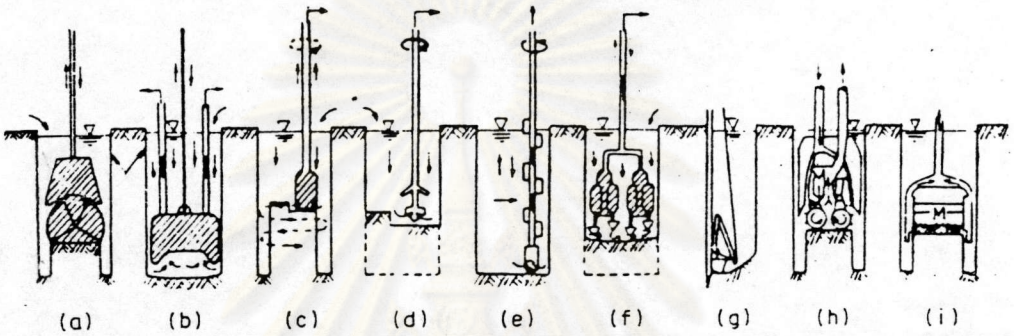
1. ชนิด Bucket และ Grab หัวขุดชนิด Grab นี้โดยปกติ จะขุดดินได้หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งจะถูกหิ้วไว้ด้วยสายเคเบิลของรถเครน การขุดจะขุดลงไปในแนวดิ่งโดยอาศัยน้ำหนักของหัวขุดเอง นอกจากสายเคเบิลดังกล่าวอาจใช้แกนเหล็ก (Kelley Bar) ซึ่งมีคุณสมบัติในการควบคุมการขุดให้อยู่ในแนวดิ่งและแนวเอียงได้ โครงการที่ศึกษาทั้ง 3 โครงการใช้เครื่องจักรชนิด Grab หิ้วด้วยสายเคเบิล เพราะเหมาะสำหรับดินเหนียวและทรายดังแสดงในตารางที่ 3.3

2. ชนิด Percussive Tools เป็นหัวขุดที่ใช้สำหรับการขุดดินที่แข็งมากหรือชั้นหิน หัวทุกชนิดนี้จะใช้สำหรับเมื่อจำเป็น เนื่องจากค่าก่อสร้างสูงมาก

3. ชนิด Rotary Drilling Equipment หัวทุกชนิดนี้จะใช้งานเจาะที่มีขนาดใหญ่ทั้งกำแพงไดอะแฟรมวอลล์และเสาเข็มเจาะมีลักษณะคล้ายดอกสว่านที่อยู่ที่ปลาย ส่วนทางด้านข้างจะมีใบมีดคอยช่วยตักดินทางด้านข้างอยู่

4. ชนิด Reverse Circulation Machines เป็นระบบที่ประกอบกับการขุดดินที่ใช้ Percussive Tools หรือ Rotary Drilling Equipment การทำงานเริ่มจากการขุดดินด้วยหัวขุดดินดังกล่าวแล้ว ใช้ปั๊มไฮดรอลิค ดูดเอาดินขึ้นมาสู่ระบบ Reverse Circulation เพื่อแยกดินและทรายออกจาก Slurry

ประเภทต่าง ๆ ของหัวขุด ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.12 สำหรับการใช้งานของหัวขุดในสภาพต่างๆ ได้แสดงเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 3.3



Equipment for slurry-trench excavation: (*a*) Clamshell bucket attached to a kelly. (*b*) Vertical percussive bit with reverse circulation. (*c*) Percussive benching bit. (*d*) Rotary benching bit. (*e*) Rotary bit with vertical cutter. (*f*) Rotary drilling machine with reverse circulation. (*g*) Bucket scraper. (*h*) Bell-mouth suction rotary cutter with direct circulation. (*i*) Horizontal auger machine.

รูปที่ 3.12 ชนิดของเครื่องจักรในการขุดแบบต่าง ๆ

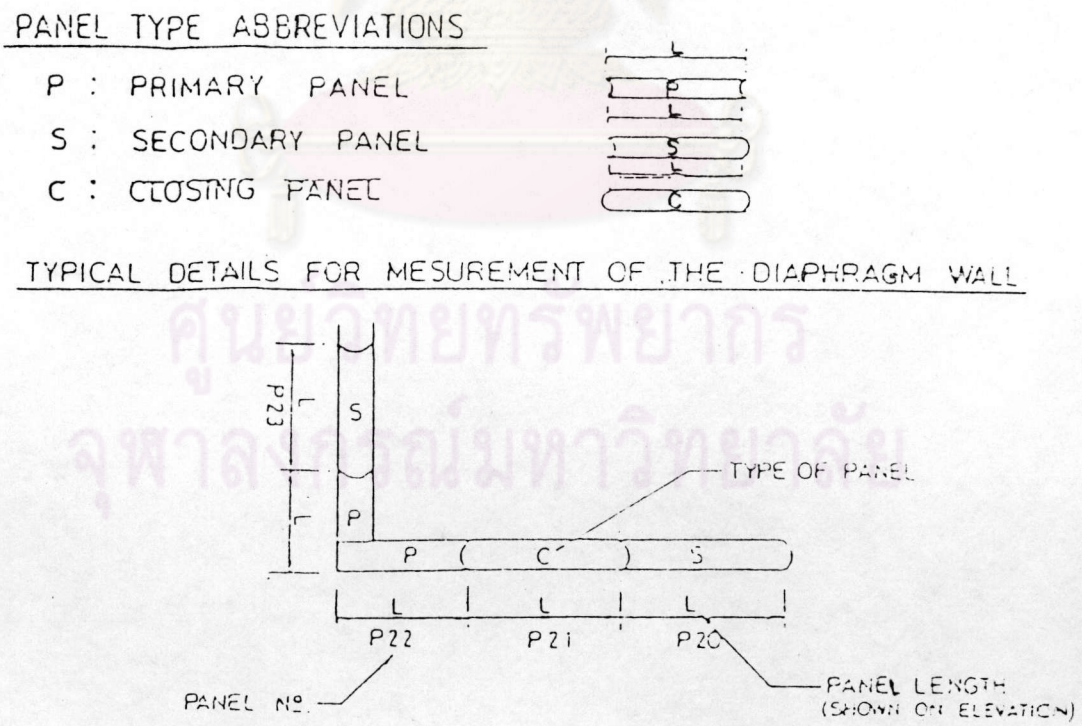
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3 การใช้งานของหัวขุดชนิดต่าง ๆ ตามสภาพดินแตกต่างกันไป

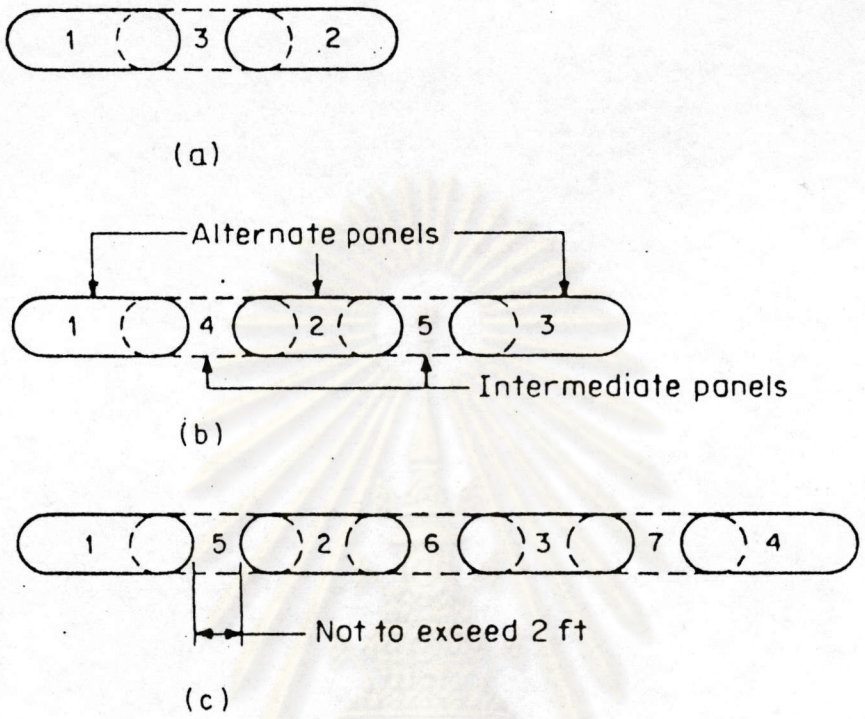
Type of Trenching Process		Clamshell		Percussion Bit	Scraper Bucket	Rotary Benching Bit	Multiple Rotary Drilling bit
		Wire Rope	Kelly Bar				
Depth of Excavation (m)	20 and less	o	o	o	o	o	o
	30 - 40	Δ	o	o	Δ	o	o
	40 - 50	Δ	o	o	×	×	o
	over 50	×	Δ	o	×	×	Δ
Thickness of Wall (cm)	80 and smaller	o	o	o	o	o	o
	80 - 100	o	o	o	Δ	o	o
	100 - 120	Δ	o	Δ	×	o	o
	over 120	×	Δ	×	×	×	×
Subsoil Condition — Cohesive Soil (SPT) (N value)	< 4	o	o	Δ	o	o	o
	4 - 10	o	o	o	o	o	o
	10 - 20	o	o	o	o	o	o
	20 - 30	o	o	o	o	o	o
	> 30	Δ	o	o	o	o	o
Subsoil Condition — Sand (N value)	< 10	o	o	o	o	o	o
	10 - 30	o	o	o	o	o	o
	30 - 50	o	o	o	o	o	o
	> 50	Δ	o	o	o	o	o
Subsoil Condition — Gravel (size in cm)	< 10	o	o	o	o	o	o
	10 - 15	o	o	o	o	o	o
	15 - 20	o	o	o	o	o	o
	20 - 30	Δ	o	o	Δ	Δ	Δ
	> 30	×	Δ	Δ	×	×	×
Rock	Soft	×	×	o	Δ	×	Δ
	Hard	×	×	o	×	×	×
Vibration and Noise		Δ	Δ	Δ	o	o	o
Disposal		o	o	o	Δ	Δ	Δ

o Suitable
Δ With difficulty
× Not applicable

สำหรับลำดับขั้นตอนการขุดดินเพื่อก่อสร้างกำแพงไดอะแฟรมวอลล์นั้นไม่ได้มีหลักเกณฑ์ที่แน่นอนแต่อย่างใดขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ความสะดวกในการทำงานและปริมาณคอนกรีตที่จะเทได้แต่ละครั้ง การวางแผนในการทำจะแบ่งกำแพงออกเป็น 3 ประเภท คือ แผงกำแพงที่ขุดก่อนเรียกว่า Primary Panel ,แผงที่กำแพงขุดทีหลัง (Secondary Panel)และแผงปิดครบรอบ(Closing Panel) ซึ่งจะวางตำแหน่งสลับกันไปดังแสดงในรูปที่ 3.13 ในการทำงานจะทำกำแพง Primary Panel ก่อนซึ่งมีขนาดความยาวเท่ากับหัวขุดโครงการ ก. มีขนาด 2.0 เมตร ส่วนโครงการ ข และ ค มีขนาด 2.7 เมตร จะขุดลงลึกเพียงครั้งเดียวจนถึงระดับที่ต้องการ เมื่อก่อสร้างช่วงกำแพง Primary Panel เสร็จแล้วก็จะขุดดิน Secondary Panel ตรงกลางระหว่าง Primary Panel ซึ่งการแบ่งความยาวของกำแพงจะยาวไม่น้อยกว่าความยาวของ Primary Panel บางช่วงยาว 7-8 เมตร เพราะฉะนั้นการขุดดินจะแบ่งเป็นช่วง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.14 รูปแบบ (a) เป็นการขุดทั้งหมด 3 ขั้นตอน ความยาวของช่วงกำแพงประมาณ 5 เมตร รูปแบบ (b) เป็นการขุดทั้งหมด 5 ขั้นตอน ความยาวของช่วงกำแพงประมาณ 7.50 เมตร รูปแบบ (c) เป็นการขุดกรณีที่ช่วงกำแพงยาวมากโดยจะขุดทีละขั้นตอนเรียงตามลำดับหมายเลข



รูปที่ 3.13 ลักษณะการแบ่งช่วงตำแหน่งไดอะแฟรมวอลล์



รูปที่ 3.14 ลำดับขั้นตอนการขุดดินเพื่อก่อสร้างกำแพงไดอะแฟรมวอลล์

3.2.1.3 การใช้สารแขวนลอยเบนโทไนท์ (Bentonite Slurry) และการควบคุมคุณภาพ

สารแขวนลอยหรือ Slurry ที่ใช้ในการขุดดินของทั้ง 3 โครงการที่ศึกษาคือ สารแขวนลอยเบนโทไนท์ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญมากต่อการรักษาเสถียรภาพของหลุมขุด นิยมใช้สำหรับการทำเสาเข็มเจาะแบบเปียก กำแพงกันดิน เป็นต้น ในขณะขุดดินจะมีการเติม Slurry ให้เต็มหลุมขุดอยู่ตลอดและตรวจสอบคุณภาพอย่างสม่ำเสมอ เพื่อรักษาคุณสมบัติในการรักษาเสถียรภาพของหลุมขุด ในการจะใช้ Slurry ต้องมีการเตรียมเครื่องจักรผสม Slurry หรือ Slurry Plant ซึ่งประกอบด้วย

- หน่วยผสม Slurry (Slurry Unit)
- ถังเก็บ Slurry (Storage Unit)
- หน่วยแยกสิ่งสกปรกออกจาก Slurry (Desanding Unit)

กระบวนการผลิตและใช้งาน Slurry เริ่มจากการผสมเบนโทไนท์กับน้ำตามสัดส่วนในถังผสม Slurry จากนั้นจึงดูดไปเก็บไว้ที่ถังเก็บเพื่อใช้งาน เมื่อจะนำไปใช้งานก็จะปล่อย Slurry จากถังมาเติมยังหลุมขุด ในระหว่างการขุดดิน จะทำให้ Slurry ถูกปนเปื้อนด้วย ทราย โคลนและสิ่งสกปรกอื่น ๆ ปนอยู่ ถ้าทดสอบแล้วพบว่า Slurry มีคุณสมบัติไม่ตรงตามข้อกำหนดก็จะใช้ปั๊มดูด Slurry เข้าสู่หน่วยแยกสิ่งสกปรกออกจาก Slurry เพื่อปรับปรุงคุณภาพ หลังจากแยกสิ่งสกปรกออกจาก Slurry แล้ว ก็จะนำกลับไปใช้ในหลุมเจาะได้อีก หรือถ้าไม่ต้องการใช้งานก็นำไปเก็บไว้ที่ถังเก็บ เพื่อหมุนเวียนใช้งานครั้งต่อไป จนหมดสภาพ มีความหนืดมาก จนไม่สามารถนำไปปรับปรุงคุณภาพได้อีก ก็จะนำไปทิ้งต่อไป

Slurry ที่ใส่เข้าไปในหลุม จะซึมเข้าไปในช่องว่างของดิน และเกิดการตกตะกอนของสารแขวนลอยขึ้นภายในช่องว่างของดิน เป็นผลทำให้ Slurry ที่ไหลเข้าไปภายหลัง เกิดการสะสมตัวในช่องว่าง และไม่สามารถซึมออกมาได้ ซึ่งจะใช้เวลาก่อตัวภายในช่องว่างนี้ไม่กี่วินาที การก่อตัวนี้เรียกว่า Filter Cake ซึ่งเป็นฟิล์มกันการซึมผ่านของ Slurry และก่อให้เกิดแรงดันจาก Slurry ต้านทานการพังทะลายของหลุมได้ Slurry ที่ใช้รักษาเสถียรภาพของหลุมจะมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปหลังการใช้งาน ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมคุณภาพ ตรวจสอบคุณสมบัติให้ Slurry มีประสิทธิภาพอยู่เสมอ ซึ่งมีการตรวจสอบคุณสมบัติตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้ ความหนืด,ความหนาแน่น,ความเป็นกรดด่าง (pH) และเปอร์เซ็นต์ทรายดังนี้

1) การวัดค่าความหนืด (Viscosity)

การวัดนี้จะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Mash Funel Viscometer ประกอบด้วยกรวยมาตรฐานและถ้วยทรงกระบอก ด้านบนของกรวยจะมีตะแกรงกรองวัสดุมวลหยาบอยู่ครึ่งหนึ่งของพื้นที่หน้าตัดกรวย การทดสอบจะนำ Slurry มาเทลงในกรวยด้านที่มีตะแกรงเพื่อแยกวัสดุมวลหยาบออกเสียก่อน ก่อนการเท Slurry ลงในกรวย จะต้องใช้มืออุดด้านล่างของกรวยไว้เสียก่อน เมื่อเท Slurry จนถึงขีดที่กำหนด (ปริมาตร 1,500 ลูกบาศก์เซนติเมตร) แล้วก็หยุดเท จากนั้นก็จับเวลาตั้งแต่ปล่อยน้ำที่อุดไว้จน Slurry ที่ไหลลงไปในถ้วยทรงกระบอกปริมาตรเท่ากับ 946 ลูกบาศก์เซนติเมตร (สีขีดบอกที่ข้างถ้วย) ค่าเวลาดังกล่าว คือ ค่าความหนืดของ Slurry มีหน่วยเป็นวินาที ค่ามาตรฐาน 946/1,500 ลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่าน้ำที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส ค่าความหนืดเท่ากับ 26 วินาที แต่ค่าความหนืดที่กำหนดที่ใช้สำหรับ Slurry ในการขุดดินไม่ควรน้อยกว่า 35 วินาที และไม่เกิน 51 วินาที ขณะเทคอนกรีต

2) การวัดค่าความหนาแน่น (Density)

การวัดค่าความหนาแน่นของ Slurry จะใช้เครื่องมือซึ่งตวงวัด โดยใส่ Slurry ในถ้วยทรงกระบอกแล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักและคำนวณหาความหนาแน่นต่อไป ค่าความหนาแน่นของ Slurry ก่อนการใช้งาน ปกติจะมีค่าระหว่าง 1.04-1.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แต่อาจจะเพิ่มขึ้นถึง 1.25 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ภายหลังการขุดดิน สำหรับความหนาแน่นที่กำหนดก่อนการเทคอนกรีตมีค่าไม่มากกว่า 1.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร อย่างไรก็ตามเครื่องมือวัด จะมีการตรวจ Calibrate ด้วยน้ำสะอาดอยู่เสมอ เมื่อในน้ำสะอาดมีอุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส วัดค่าความหนาแน่นได้เท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

3) การวัดค่าความเป็นกรด (pH)

ค่า pH ของของเหลวและ Slurry จะวัดได้ 2 วิธี คือ ใช้กระดาษทดสอบ pH และใช้วิธีทางอิเล็คทรอนิกส์ ซึ่งใช้หลอดแก้วอิเล็คโทรด โดยปกติ Slurry จะมีค่า pH อยู่ระหว่าง 7-10 การผสมกับปูนซีเมนต์ ในระหว่างเทคอนกรีตจะมีผลทำให้ค่า pH ของ Slurry เพิ่มขึ้น แต่จะไม่ยอมให้ค่านี้เกินกว่า 12 ในข้อกำหนด Slurry ก่อนเทคอนกรีต ต้องมีค่า pH ไม่เกิน 8

4) การวัดเปอร์เซ็นต์ทราย

การตรวจสอบหาปริมาณทรายใน Slurry จะใช้หลอดแก้วมาตรฐานในการตวง Slurry ลงในหลอดตามปริมาตรที่กำหนด จากนั้นก็จะนำไปกรองผ่านตะแกรงเพื่อเก็บทรายใน Slurry ไปใส่หลอดแก้วมาตรฐานโดยเติมน้ำผสมลงไป ทรายก็จะตกตะกอนลงก้นแก้ว ซึ่งจะมีขีดบอกค่าเปอร์เซ็นต์ทรายอยู่ สำหรับข้อกำหนดค่าเปอร์เซ็นต์ทรายที่ยอมให้ก่อนการเทคอนกรีตต้องไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์

3.2.1.4 การทำรอยต่อระหว่างกำแพงไดอะแฟรมวอลล์

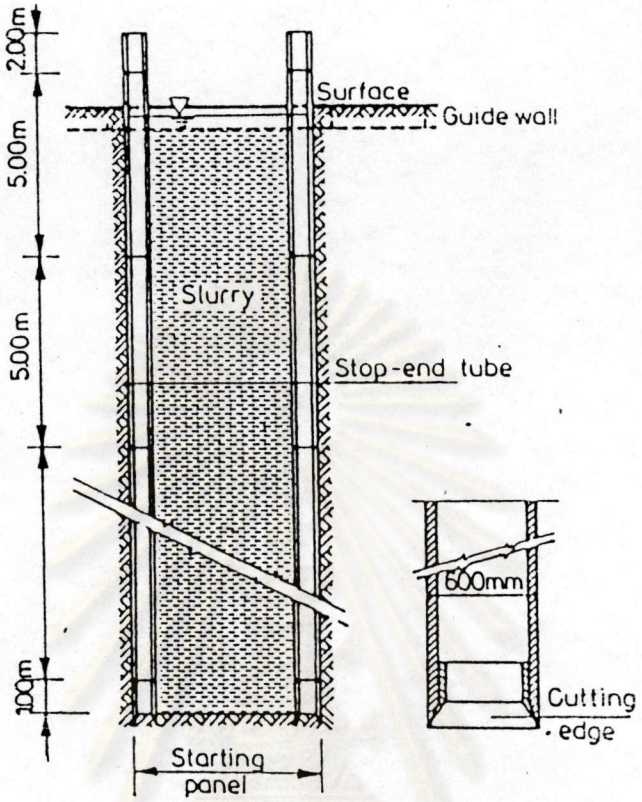
จากการที่ต้องขุดดิน ก่อสร้างกำแพงเป็นช่วง ๆ ก่อนการเทคอนกรีตกำแพงแต่ละแผง (Panel) จะมีการเตรียมแบบรอยต่อไว้ ซึ่งแบบรอยต่อและลักษณะรอยต่อนี้มีคุณสมบัติและลักษณะดังต่อไปนี้

1. ปิดกั้นคอนกรีตที่เทไม่ให้รั่วซึมออกไป
2. ต้านทานแรงดันจากคอนกรีตที่เทได้โดยไม่บิดงอ
3. ทำให้รอยต่อที่ทำเสร็จกันน้ำได้
4. ทำให้รอยต่อสะดวกต่อการทำความสะอาด เมื่อมีโคลนหรือ Slurry ค้างอยู่
5. การก่อสร้างและการใช้เครื่องจักรติดตั้งต้องไม่ยุ่งยาก
6. ราคาประหยัด

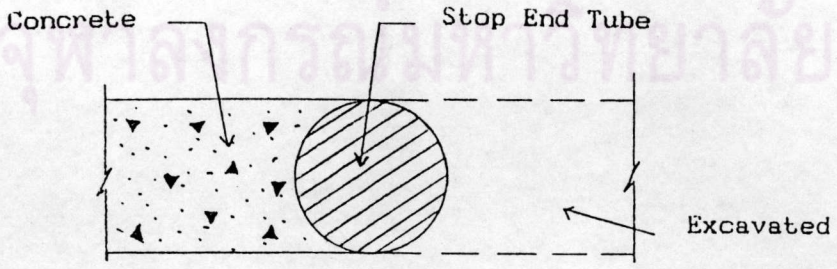
ชนิดของรอยต่อที่ใช้ในโครงการที่ศึกษาอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดรอยต่อแบบกลม (Round Tube Joint) ใช้ในโครงการ ก. และแบบสลักพร้อมแผ่นยางกันน้ำ (Keyed & Water Stop Joint) ใช้ในโครงการ ข. และ ค.

1. รอยต่อแบบกลม (Round Tube Joint) เป็นรูปแบบรอยต่อทรงกลมโดยใช้ท่อเหล็กรูปกลมเป็นแบบข้าง (Stopend Form) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับความกว้างของหลุมที่ขุดท่อเหล็กจะแบ่งเป็นท่อน ๆ มาประกอบกันจนถึงก้นหลุม ที่ปลายท่อ (Cutting Edge) สามารถทะลวงเข้าไปในบริเวณดินก้นหลุมได้ เพื่อให้ท่อเหล็กสามารถตั้งอยู่ในหลุมที่ขุดโดยไม่ล้ม ดังแสดงในรูปที่ 3.15 ส่วนลักษณะของรอยต่อจะเป็นรูปครึ่งวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 3.16

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

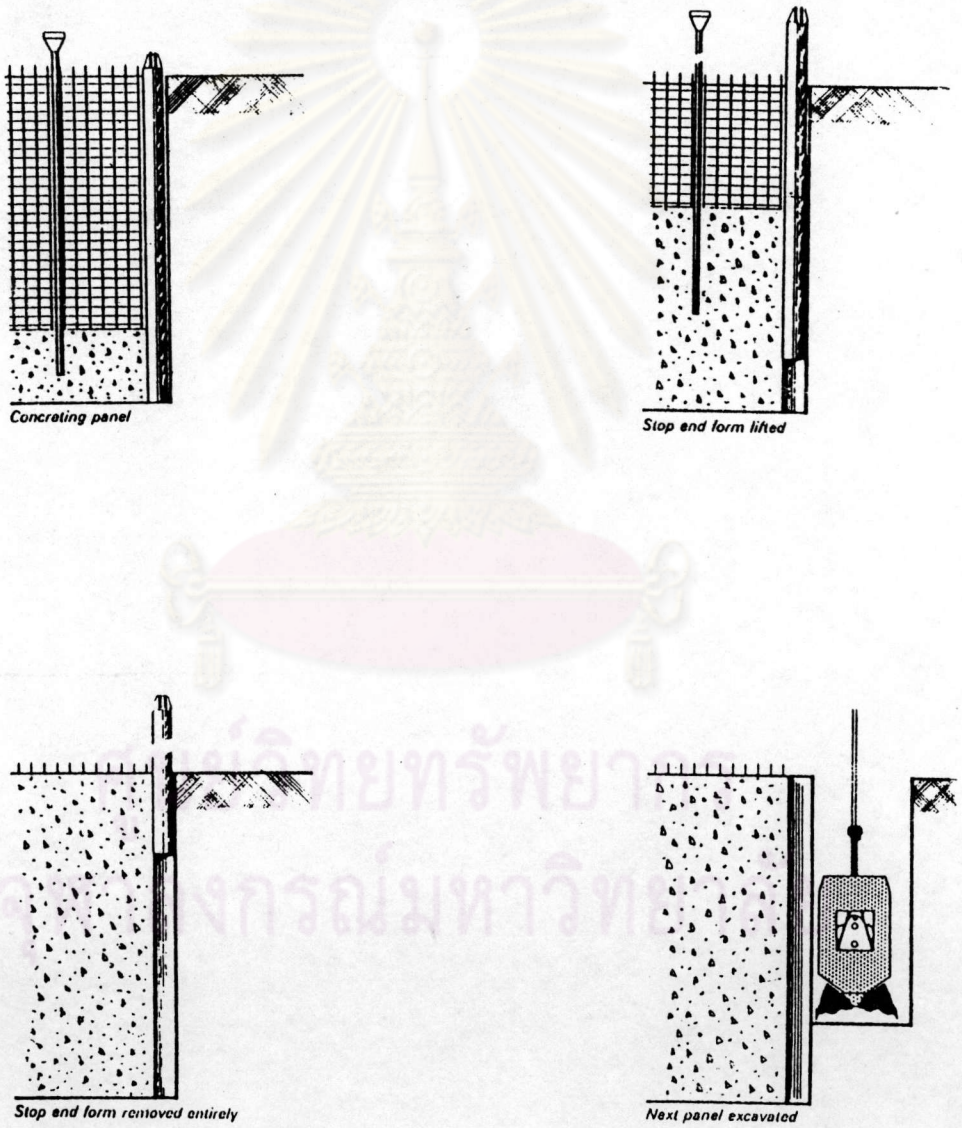


รูปที่ 3.15 ลักษณะและการติดตั้งรอยต่อแบบกลม



รูปที่ 3.16 ลักษณะของรอยต่อแบบกลม

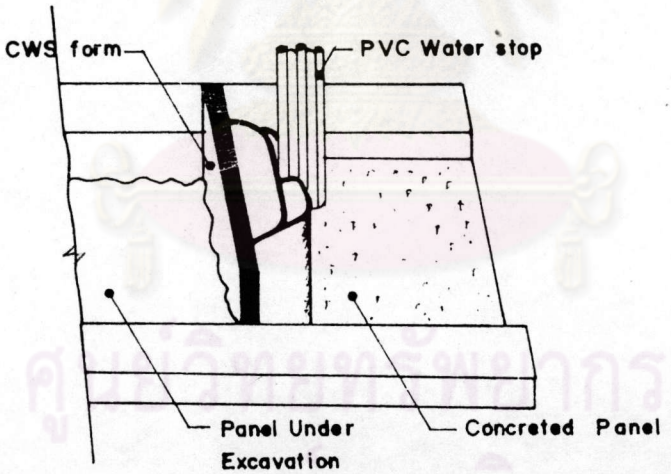
การติดตั้งท่อเหล็กจะทำหลังจากทำการขุดหลุมเสร็จแล้ว โดยขอบหลุมทั้งสองด้านจะขุดเป็นรูปทรงกลม โดยใช้เครื่องเจาะขุดแบบกลม เพื่อการติดตั้งจะพอดีกับรูปร่างท่อเหล็ก แล้วจึงลงเหล็กและเทคอนกรีต เมื่อเทคอนกรีตได้ประมาณ 2 ชั่วโมงก็จะทำการหมุนท่อเหล็ก เพื่อไม่ให้คอนกรีตติดกับท่อเหล็ก หลังจากคอนกรีตแข็งตัวแล้วก็จะทำการดึงท่อเหล็กออก ขั้นตอนการทำรอยต่อแบบกลม ดังแสดงในรูปที่ 3.17



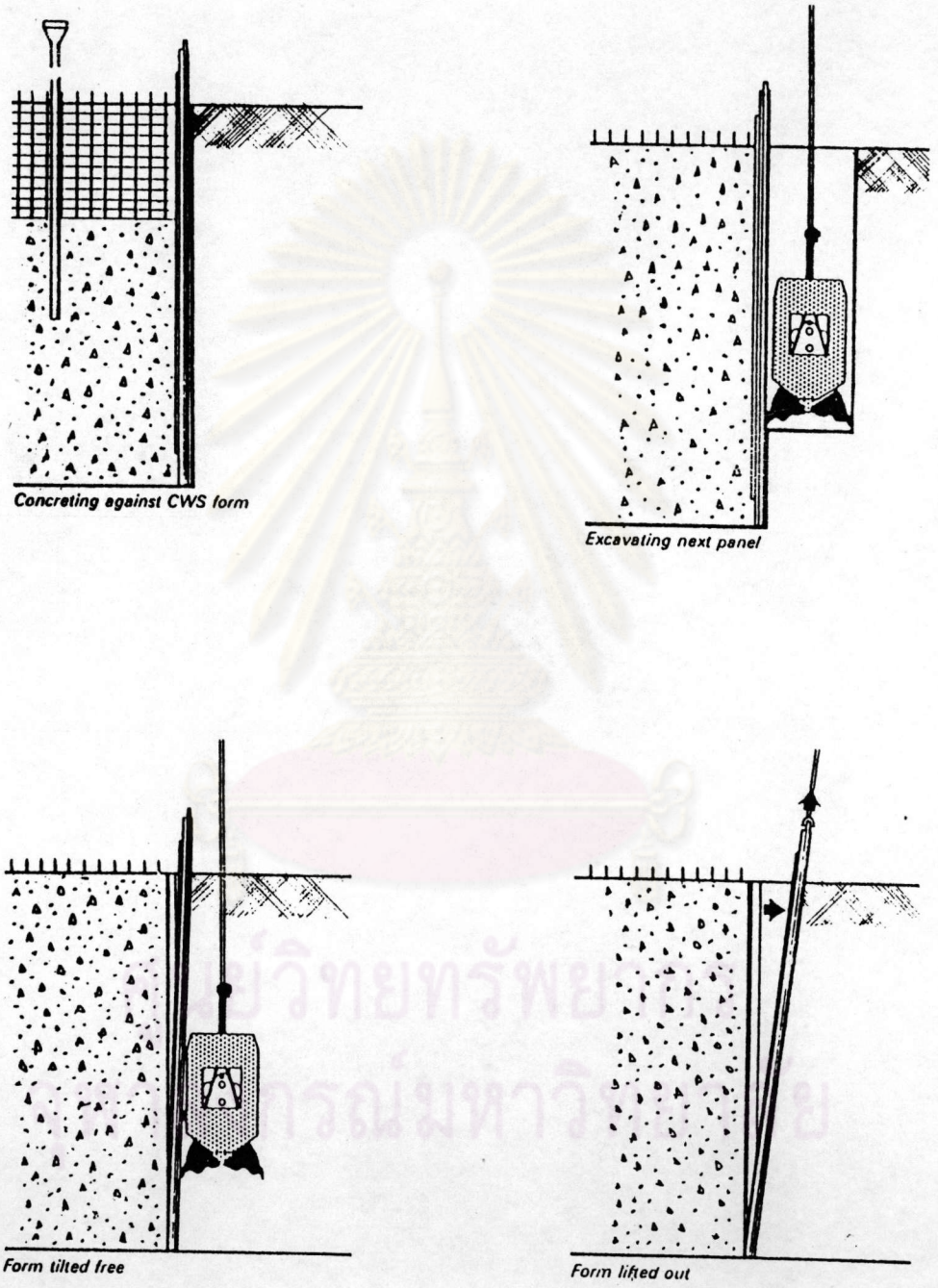
รูปที่ 3.17 ขั้นตอนการทำรอยต่อแบบกลม

2. รอยต่อแบบสลักพร้อมแผ่นยางกันน้ำ (Keyed & Water Stop Joint)

รอยต่อแบบนี้เป็นรอยต่อที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำและเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างคอนกรีตทั้ง 2 แผ่น (Panel) แบบรอยต่อที่ใช้จะเป็นแบบเหล็กเรียกว่า Stop End Element ตรงกลางมีช่อง (Slot) ไว้สำหรับใส่แผ่นกันน้ำ (Water Stop) ดังแสดงในรูปที่ 3.18 ความยาวของแผ่นเหล็กที่ใช้จะลึกประมาณ 14-20 เมตร ขั้นตอนการทำรอยต่อมีดังนี้ คือ หลังจากขุดดิน Primary Panel แล้วก็จะทำการติดตั้ง Stop End พร้อมแผ่นยางกันน้ำที่ขอบทั้งสองข้างแล้วจึงลงเหล็กเสริมและเทคอนกรีต เมื่อทำการก่อสร้าง Secondary Panel ซึ่งติดกันก็จะทำการดึง Stop End ออกขณะทำการขุดดินส่วนแผ่นยางกันน้ำจะฝังในเนื้อคอนกรีต Primary Panel ซึ่งทำหน้าที่กันน้ำ การใช้แบบเหล็ก Stop End พร้อมแผ่นยางกันน้ำนี้จะกระทำในการก่อสร้าง Primary Panel เท่านั้น ขั้นตอนการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.19



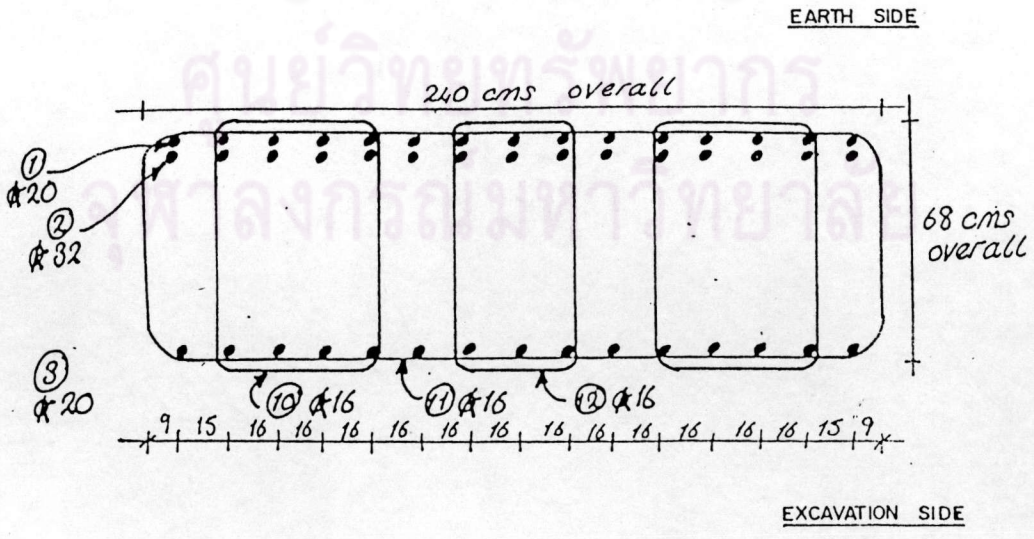
รูปที่ 3.18 ลักษณะของรอยต่อแบบสลักพร้อมแผ่นยางกันน้ำ



รูปที่ 3.19 ขั้นตอนการทำรอยต่อแบบสลักพร้อมแผ่นยางกันน้ำ

3.2.1.5 การติดตั้งเหล็กเสริม

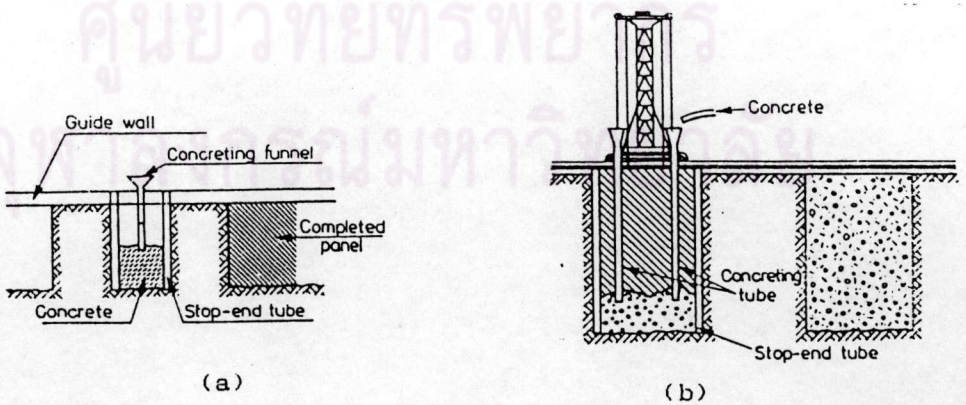
หลังจากขุดดินแล้วเสร็จ ก็จะติดตั้งเหล็กเสริม ซึ่งมีลักษณะเป็นกรงเหล็ก (Reinforcing Cage) แต่ละกรงจะใส่ในแต่ละ Panel โดยทั่วไปแล้วในแต่ละ Panel เหล็กเสริมในแนวนอนจะไม่ต่อเนื่องกัน เนื่องจากการก่อสร้างกระทำทีละPanel ความลึกของกรงเหล็กแต่ละช่วงจะถูกแบ่งตามความเหมาะสมของการออกแบบและความสามารถของเครื่องจักรที่ยกติดตั้ง ต่อกันจนถึงความลึกก้นหลุม การต่อจะใช้การเชื่อมและใช้สลักเกลียวรูปตัวยู (U-Bolt) ในการออกแบบเหล็กเสริมนอกจากต้องให้มีพื้นที่หน้าตัดเพียงพอ แล้วต้องมีการเตรียมระยะห่างของเหล็กเสริมในแนวดิ่งต้องไม่น้อยกว่า 15 เซนติเมตร ในแนวนอน ต้องไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร ส่วนระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมนั้นจะต้องไม่น้อยกว่า 7.5 เซนติเมตร โดยใช้ท่อนคอนกรีตทรงกระบอก (Concrete Roller Spacer) เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร หนุนไว้ทุก ระยะ 2-3 ตารางเมตร การจัดเหล็กเสริมดังกล่าวเพื่อให้การเทคอนกรีตมีประสิทธิภาพ การติดตั้งเหล็กเสริม ถ้าช่วงกำแพง แผงไหนต้องมีการติดตั้งเครื่องมือวัดความเอียง (Inclinometer Tube) ต้องติดตั้งไว้ในตรงกลางกรงเหล็กให้พร้อมก่อนจะนำกรงเหล็กไปติดตั้งในหลุมขุด และถ้าออกแบบรอยต่อพื้นกับกำแพงโดยใช้เหล็กฝากไว้ในกำแพง ต้องติดตั้งให้เรียบร้อยโดยการงอพับไว้ที่ผิวด้านในที่ขุดดินให้มีระดับถูกต้อง เพื่อความสะดวกต่อการสกัดและงอออกใช้ภายหลัง กรงเหล็กที่ติดตั้งท่อนแรกจะลอยอยู่ก้นหลุมอย่างน้อย 30 เซนติเมตร เมื่อหย่อนกรงเหล็กที่ต่อกันจนครบแล้วก็จะแขวนกรงเหล็กไว้กับท่อนเหล็กที่พาดบน Guide Wall เพื่อรอการเทคอนกรีตต่อไป ตัวอย่างหน้าตัดของเหล็กเสริม ดังแสดงในรูปที่ 3.20



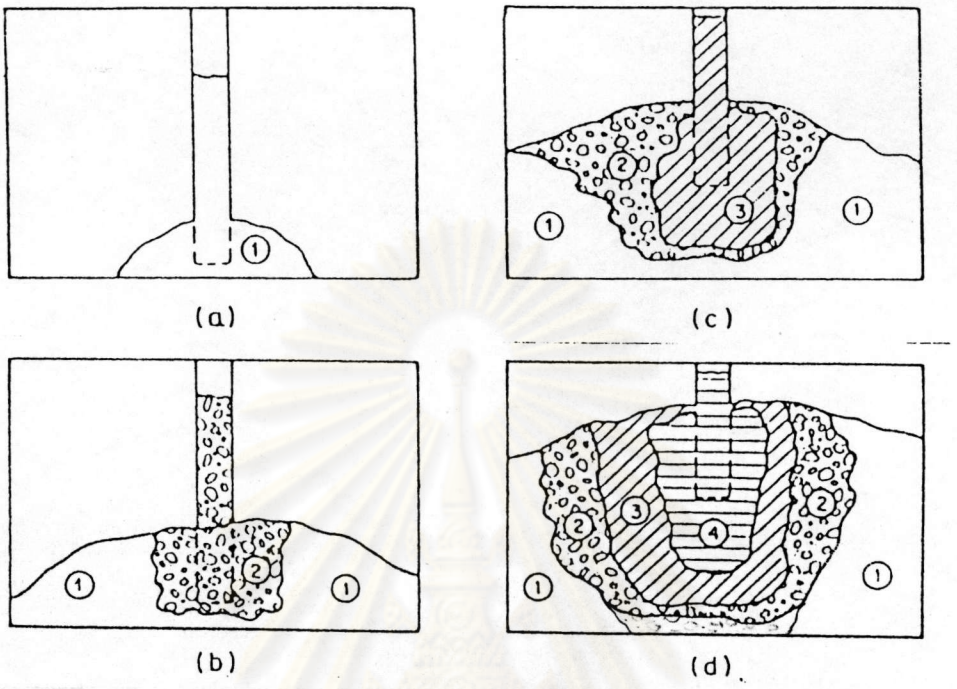
รูปที่ 3.20 ตัวอย่างหน้าตัดของเหล็กเสริมในกำแพงไดอะแฟรมวอลล์

3.2.1.6 การเทคอนกรีต

หลังจากติดตั้งเหล็กเสริม ก็จะเป็นการเทคอนกรีต โดยเทหลังจากที่ใส่กรงเหล็กลงในหลุมขุดแล้วไม่เกิน 4-5 ชั่วโมง เพราะถ้าทิ้งไว้นานอาจเกิดการพังทะลายของหลุมขุด และมีตะกอนมาก ต้องเสียเวลาทำความสะอาดก้นหลุม หรือต้องขุดก้นหลุมใหม่ คอนกรีตที่ใช้จะเป็นคอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) สำหรับงานเสาเข็มเจาะหรือกำแพงขนาดใหญ่ ซึ่งจะมีการยุบตัวมากประมาณ 17.5 เซนติเมตร เพื่อให้สามารถควบคุมคุณภาพของคอนกรีตและเวลาที่ใช้ในการเทได้ การเทจะเทผ่านท่อเหล็กที่เรียกว่า Tremie Pipe จะเป็นท่อเหล็กมีขนาด 20-30 เซนติเมตร มีความยาวท่อนละ 1-6 เมตร นำมาต่อกันก่อนหย่อนลงอยู่เหนือก้นหลุม 10-20 เซนติเมตร ก่อนเทคอนกรีตต้องเตรียมวัสดุ เช่น โฟมหรือกระดาษลงในท่อเทคอนกรีตเพื่อกันไม่ให้คอนกรีตช่วงแรกผสมกับ Slurry ทำให้คอนกรีตมีคุณภาพด้อยลง ขณะเทคอนกรีตต้องควบคุมให้ท่อเหล็กอยู่ในเนื้อคอนกรีตตลอดการเท ซึ่งเมื่อคอนกรีตมีระดับสูงขึ้นก็จะตัดท่อตามขั้นมาด้วย แต่ท่อจะจมอยู่ในคอนกรีตไม่น้อยกว่า 3 เมตร จนกว่าจะแล้วเสร็จ ในระหว่างการเทคอนกรีต Slurry ที่อยู่ในหลุมจะล้นขึ้นมา เนื่องจากถูกคอนกรีตแทนที่จะมีการใช้ปั๊มดูด Slurry นำไปเก็บและปรับปรุงคุณภาพเพื่อนำไปใช้งานต่อไป การเทคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 3.21 รูปแบบ a) กรณีเทคอนกรีตแผงคอนกรีตเล็ก รูปแบบ b) กรณีเทคอนกรีตแผงขนาดใหญ่ และลักษณะการเคลื่อนตัวของคอนกรีดผ่านท่อ Tremie Pipe ดังแสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.21 การเทคอนกรีต กำแพงไดอะแฟรมวอลล์



รูปที่ 3.22 ลักษณะการเคลื่อนตัวของคอนกรีตผ่านท่อ Tremie Pipe

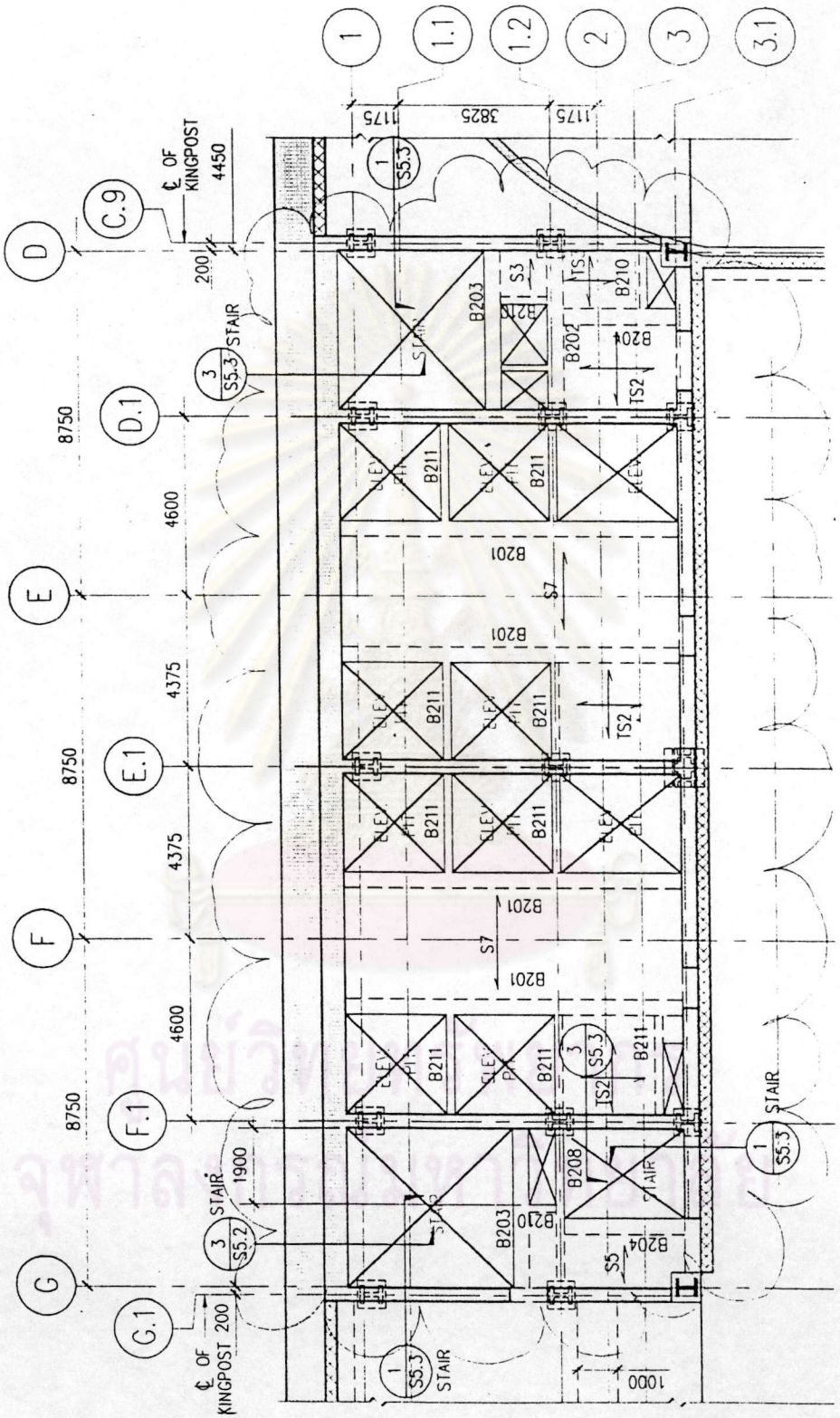
3.2.2 ระบบโครงสร้างเสาและฐานราก

ระบบโครงสร้างเสาและฐานรากนี้นับว่าสำคัญมากต่อการก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์ โครงการที่ศึกษาทั้ง 3 โครงการได้เตรียมระบบเสาและฐานรากถาวรไว้ก่อนที่จะทำการขุดดิน เพื่อสามารถรองรับการก่อสร้างอาคารชั้นบนดิน (Superstructure) โดยจะเตรียมเสาเข็มเจาะที่ติดตั้งเสาเหล็ก (Prefound Column) ไว้ก่อนการขุดดิน ซึ่งหลักการออกแบบระบบเสาเหล็กที่ติดตั้งในเสาเข็มเจาะ เพื่อเป็นฐานราก(Foundation)ช่วงแรกในการก่อสร้างนั้นมีหลักการดังนี้คือ การที่จะสามารถก่อสร้างชั้นบนดิน (Superstructure) ขึ้นไปพร้อมกับการทำชั้นใต้ดินต้องมีโครงสร้างรองรับน้ำหนักอาคาร นั่นคือเสาเหล็กที่ติดตั้งในเสาเข็มเจาะ และเพื่อเป็นการประหยัดต้องจัดตำแหน่งเสาเข็มให้ตรงกับตำแหน่งเสาของอาคาร และออกแบบเสาอาคารเป็นแบบหน้าตัดประกอบ (Composite Section) คือเป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กใส่เหล็กรูปพรรณ เพื่อเสาเหล็กรูปพรรณที่จะติดตั้งในเสาเข็มเจาะเป็นเสาถาวร (Permanent Substructure Column) ของอาคารเลย และสะดวกในการต่อเสาเหล็กขึ้นไปก่อสร้างชั้นบนดิน ขนาดและความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็ม

และเสาเหล็ก ต้องสามารถรับน้ำหนักโครงสร้างอาคารขณะก่อสร้างอาคารไม่น้อยกว่าจำนวนชั้นที่สามารถก่อสร้างได้ก่อนที่จะก่อสร้างฐานรากแล้วเสร็จ ซึ่งโครงการที่ศึกษาเตรียมการรับน้ำหนักของเสาเข็มและเสาเหล็กไว้ถึงชั้นที่ 10-12 นอกจากนี้ยังต้องออกแบบรอยต่อระหว่างเสาเหล็กกับเสาเข็มเจาะให้สามารถถ่ายน้ำหนักอาคารที่ลงเสาเหล็กผ่านลงสู่เสาเข็มเจาะเดี่ยวต่อไป ในกรณีที่ต้องการก่อสร้างกำแพงรับแนวเฉือน (Shear Wall) และผนังลิฟต์ (Lift Core) ขึ้นไปพร้อมโครงสร้างด้วยก็ต้องเตรียมเสาเหล็กไว้ในกำแพงรับแรงเฉือนหรือกำแพงลิฟต์ด้วย สำหรับข้อมูลระบบ โครงสร้างเสาและฐานราก ทั้ง 3 โครงการแสดงในตารางที่ 3.4 และตัวอย่างการติดตั้งเสาเหล็กในผนังรับแรงเฉือนและผนังลิฟต์ แสดงใน รูปที่ 3.23 ส่วนรูปที่ 3.24 จะแสดงลักษณะหน้าตัดของเสาเหล็กแต่ละโครงการ

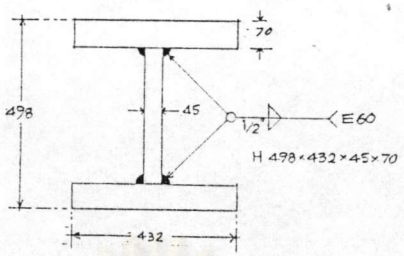
ตารางที่ 3.4 ข้อมูลระบบเสาและฐานรากของโครงการทั้ง 3 โครงการที่ศึกษา

โครงการ	ก.	ข.	ค.
ระบบฐานราก			
- เสาเข็มเจาะ,เส้นผ่าศูนย์กลาง	1.50	1.50	1.50
- ความลึก ม.	-48	-60	-60
- กำลังรับน้ำหนักปลอดภัย,ตัน	750.00	1,200.00	1,100.00
- จำนวนชั้นเหนือดินที่ก่อสร้างได้ก่อนฐานรากแล้วเสร็จ	10	10	10
ระบบเสา			
- เสาเหล็ก	1-WF-400x400	1-WF-400x400 4-WF-400x400	1-H-400x400 2-H-400x400
- ลักษณะรอยต่อกับเสาเหล็ก	ทาบ/เชื่อม	ทาบ/เชื่อม/เกลียว (Coupler)	ทาบ/เชื่อม/เกลียว (Coupler)
- การอุดช่องว่างเสาและกำแพง (Fill Gap)	- Concrete with Epoxy Injection Grouting - กำลังอัด (ไม่มีการทดสอบ)	- Prepacked Pressure Grouting - กำลังอัด 430 ksc (ต่ำสุด) 750 ksc (สูงสุด)	- Non-Shrinkage Material - กำลังอัด 500 ksc (ต่ำสุด) 750 ksc (สูงสุด)
กำลังอัดคอนกรีตของเสาที่ต้องการ, ksc (Cylinder)	320	420	350

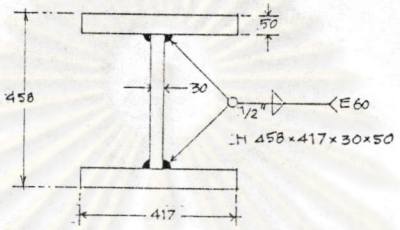


รูปที่ 3.23 ตัวอย่างการติดตั้งเสาเหล็กในผนังรับแรงเฉือนและผนังลิฟต์

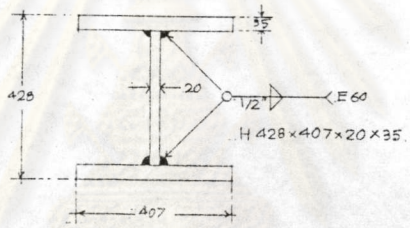
1. KP1 & KP2 WF 400×400 , Wt = 605 KG/M.

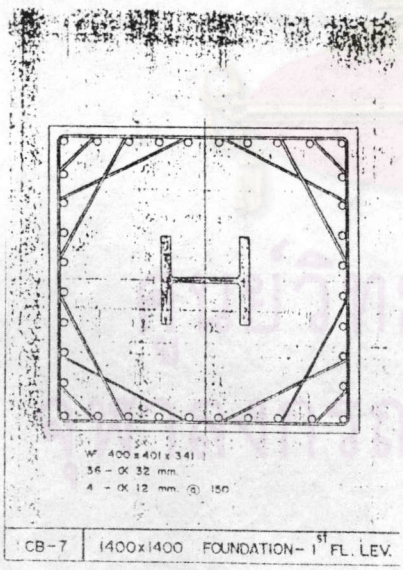


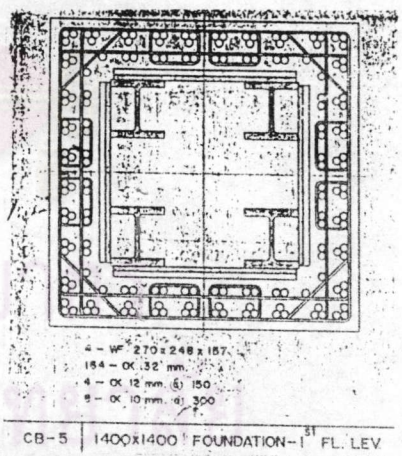
2. KP3 WF 400×400 , Wt = 415 KG/M.



3. KP4 WF 400×400 , Wt = 283 KG/M.



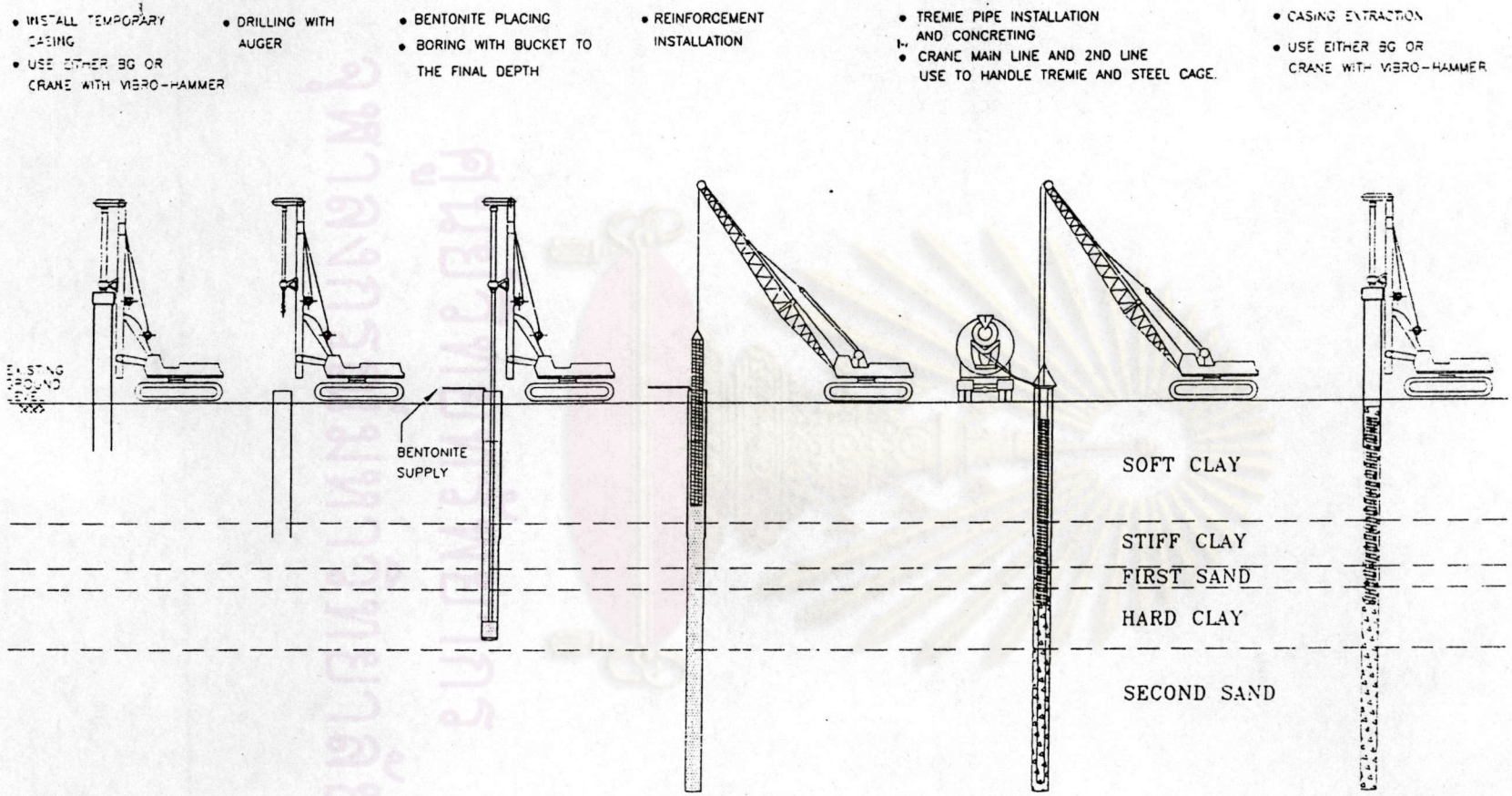




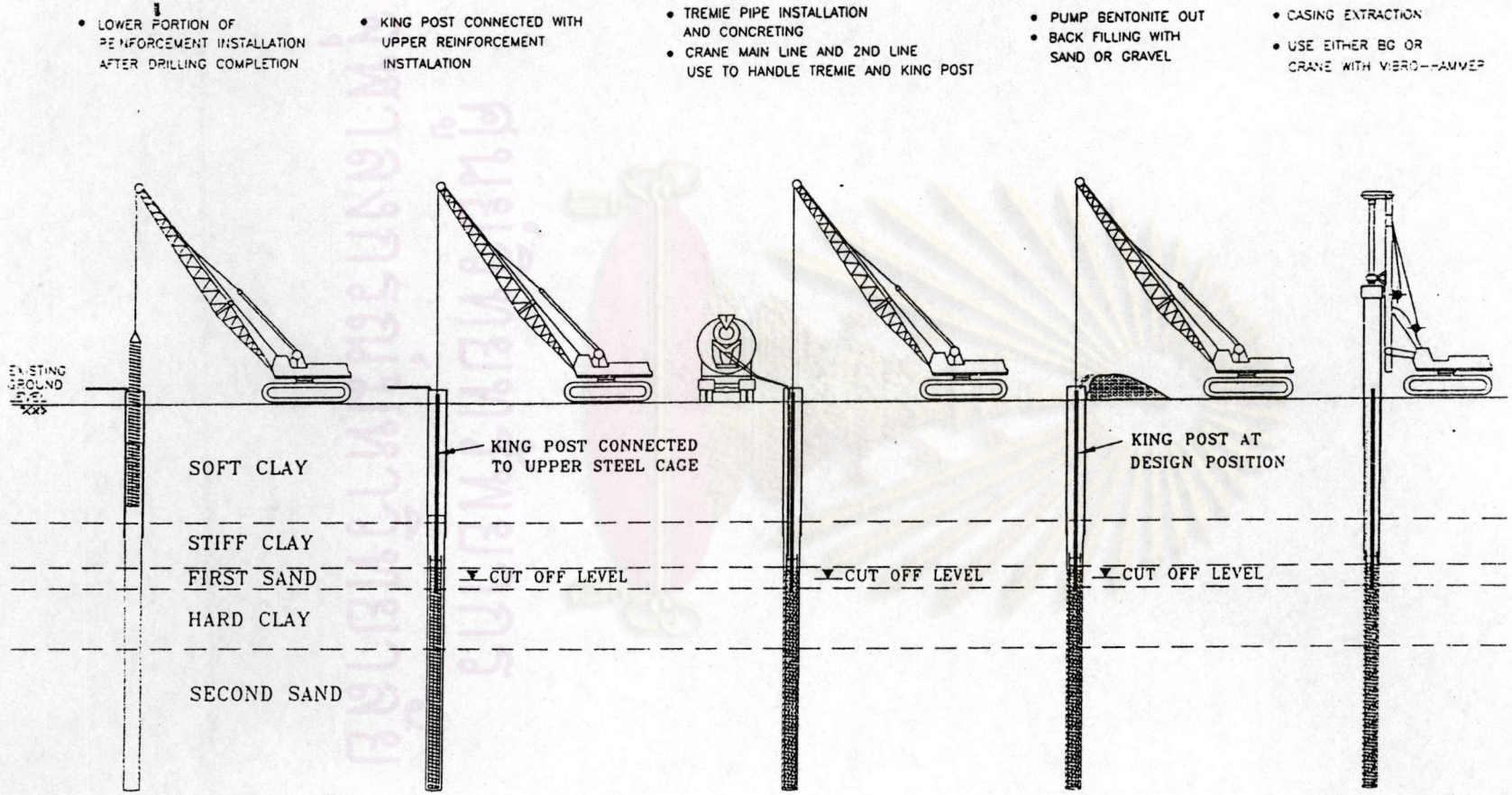
รูปที่ 3.24 ลักษณะของเสาเหล็ก (Prefound Column) แต่ละโครงการ

สำหรับขั้นตอนการก่อสร้างระบบเสาและฐานรากวิธีอัป/ดาวน์ ก็จะดำเนินการตามที่วางแผนออกแบบไว้ คือ การก่อสร้างเสาเข็มพร้อมติดตั้งเสาเหล็ก ตามตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้ ส่วนเสาเข็มเจาะต้นที่ไม่ได้ติดตั้งเสาเหล็กก็จะก่อสร้างตามวิธีการทำเสาเข็มเจาะปกติดังนี้คือ จะเริ่มด้วยการกำหนดตำแหน่งเสาเข็มให้ถูกต้องตามแบบแปลนที่ออกแบบ จากนั้นจะใช้เครื่องจักร (Vibro-Hammer) กดปลอกเหล็ก (Casing) ป้องกันดินพังลงไปในช่วงชั้นดินที่เป็นดินเหนียวอ่อนประมาณ 15 เมตร แล้วจึงทำการเจาะเอาดินออกด้วยสว่าน (Auger) ซึ่งเป็นการเจาะแบบแห้งจึงถึงระดับปลายปลอกเหล็กที่ฝังอยู่ จากนั้นจะเป็นการขุดด้วยระบบแบบเปียกโดยใช้หัวขุดชนิดถังขุด (Bucket) ขุดเจาะในสารละลายเบนโทไนท์เหมือนกับการก่อสร้างกำแพงกันดินไดอะแฟรมวอลล์ สำหรับป้องกันการพังทลายของหลุมเจาะจนถึงระดับที่ต้องการ แล้วจึงทำความสะอาดหลุมลงเหล็กและเทคอนกรีตซึ่งปกติจะเทให้สูงกว่าระดับตัดเสาเข็มประมาณ 1.0-1.5 เมตร จากนั้นจึงถอนปลอกเหล็กและกลบหลุมด้วยดินที่ขุดขึ้นมา ก็เป็นอันเสร็จการทำเสาเข็มเจาะดังแสดงในรูป 3.25 สำหรับเสาเข็มเจาะต้นที่มีเสาเหล็กก็จะมีขั้นตอนการติดตั้ง ที่แตกต่างกันออกไปดังนี้ ขั้นตอนแรกตั้งแต่การกำหนดตำแหน่ง กดปลอกเหล็ก ขุดดินและลงเหล็กจะดำเนินการเหมือนการทำเสาเข็มเจาะปกติทุกประการ จากนั้นจะเป็นการติดตั้งเสาเหล็กซึ่งจะประกอบเป็นต้นยาวตามที่ต้องการ โดยจะเผื่อระยะฝังต่ำกว่าระดับตัดเสาเข็มประมาณ 4.0 เมตร เช่นระดับตัดเสาเข็มอยู่ที่ -20.0 เมตร ก็จะต่อเสาเข็มเหล็กยาวทั้งหมด 24.0 เมตร การติดตั้งจะใช้รถเครนยกติดตั้งในเสาเข็มเจาะจัดให้เข้าตำแหน่งและให้ได้แนวดิ่ง ซึ่งจะมีการทำเชื่อมเหล็กรูปพรรณบังคับในตำแหน่งถูกต้อง เมื่อจัดตำแหน่งและระดับตามที่ต้องการแล้วก็จะเป็นการเทคอนกรีตโดยวิธีใช้ท่อเหล็ก (Trime Pipe) เมื่อเทคอนกรีตแล้วเสร็จต้องปล่อยให้คอนกรีตแข็งตัวแล้วจึงทำการถมกลับด้วยทรายถมเพื่อป้องกันไม่ให้เสาเหล็กเคลื่อนตัว จากนั้นจึงถอนปลอกเหล็กออกโดย Vibro-Hammer เป็นเสร็จการติดตั้งเสาเหล็ก ขั้นตอนการติดตั้งเสาเหล็กดังแสดงในรูปที่ 3.26

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.25 แสดงขั้นตอนการทำเสาเข็มเจาะโดยทั่วไป



รูปที่ 3.26 แสดงขั้นตอนการติดตั้งเสาเหล็ก

3.2.3 ระบบพื้นชั้นใต้ดิน

ระบบพื้นชั้นใต้ดินของโครงการที่ศึกษาทั้ง 3 โครงการมีลักษณะเหมือนกันคือเป็นระบบพื้นไร้คาน (Flat Slab) สำหรับจอดรถ เพื่อต้องการลดระยะความสูงระหว่างชั้นใต้ดินให้มากที่สุดเพื่อจะได้ชั้นใต้ดินมากและสะดวกสำหรับการก่อสร้าง การออกแบบระบบพื้นนี้นอกจากออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกสำหรับที่จอดรถ 400 กิโลกรัมต่อตารางเมตรแล้วยังต้องคำนึงถึงน้ำหนักบรรทุกขณะก่อสร้างด้วย ดังเช่นโครงการ ข.และโครงการ ค. พื้นชั้นใต้ดินชั้นแรก (ชั้น B1) ออกแบบให้เป็นพื้นรับน้ำหนักบรรทุกถึง 2 ตันต่อตารางเมตร เพื่อใช้งานวางอุปกรณ์หนัก ๆ เช่น เครื่องจักรขุดดิน รถบรรทุกดิน รถตักดิน รถคอนกรีตผสมเสร็จเป็นต้น หากไม่ได้ออกแบบให้พื้นชั้นแรกรับน้ำหนักสำหรับการทำงานขณะขุดดินแล้วหรือมีพื้นชั้นแรกที่ไม่เพียงพอหรือไม่สะดวกต่อการใช้งาน ต้องออกแบบพื้นชั่วคราว ปกติทำด้วยเหล็กรูปพรรณเพื่อรับน้ำหนักอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังโครงการ ก. ไม่ได้เตรียมพื้นไว้รับน้ำหนักการใช้งานขณะก่อสร้างก็ใช้พื้นชั่วคราวเหล็กในการทำงานทั้งหมด ส่วนโครงการ ข. และโครงการ ค. ก็มีการใช้พื้นชั่วคราวเหล็ก (Steel Platform) บางส่วนด้วย นอกจากน้ำหนักบรรทุกแล้วต้องออกแบบพิเศษรอยต่อพิเศษต่าง ๆ ระหว่างพื้นกับเสา พื้นและฐานรากกับกำแพงไดอะแฟรมวอลล์ และช่องเปิดชั่วคราวสำหรับการขุดดินด้วย นอกจากนี้ต้องคำนึงถึงแรงดันดินที่มีผลต่อพื้นเนื่องจากมีช่องเปิดต่าง ๆ ทั้งช่องเปิดถาวรและช่องเปิดชั่วคราวสำหรับการก่อสร้าง ต้องออกแบบพื้นให้รับแรงดันดินได้ด้วย หากบริเวณใดไม่สามารถใช้พื้นแทนค้ำยันได้ต้องออกแบบใช้ระบบค้ำยันเหล็กชั่วคราว (Temporary Bracing) ค้ำยันแทนและก่อสร้างด้วยวิธีปกติ เช่น บริเวณทางขึ้นลงของรถ (Ramp), บ่อน้ำใต้ดิน หรือบริเวณพื้นที่ต่างระดับ บริเวณส่วนอาคารเตี้ย (Podium) ดังในโครงการ ค. เป็นต้น ข้อมูลระบบพื้นของโครงการที่ศึกษาสรุปได้ในตารางที่ 3.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

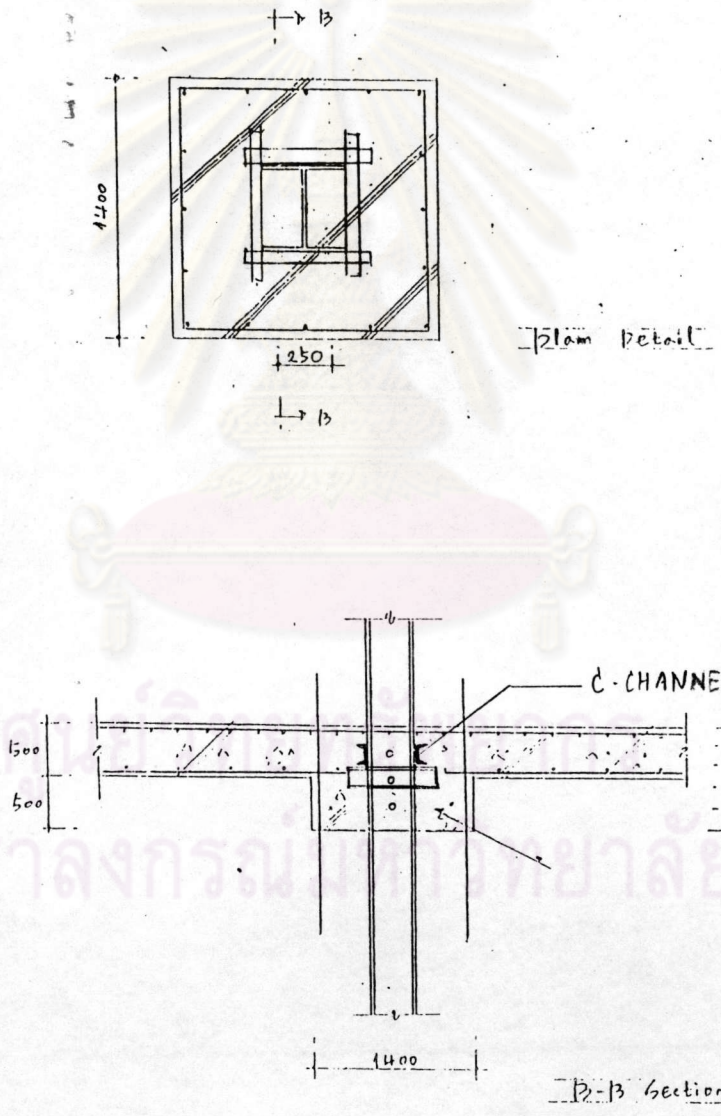
ตารางที่ 3.5 ข้อมูลระบบพื้นชั้นใต้ดินโครงการที่ศึกษา ทั้ง 3 โครงการ

โครงการ	ก.	ข.	ค.
พื้นชั้นใต้ดิน (ตร.ม.)	1,640.00	7,000.00	2,925.00
การใช้งาน	จอดรถ	จอดรถ	จอดรถ
ลักษณะพื้น	ระดับเดียวกันทั้งชั้น (Flat Floor)	ระดับเดียวกันทั้งชั้น (Flat Floor)	ต่างระดับกันครึ่งชั้น (Split Floor)
ความสูงระหว่างชั้น (ม.)	2.50	2.60	3.00
โครงสร้างพื้น	พื้นไร้คาน หนา 0.30 ซม.	พื้นไร้คาน หนา 0.30 ซม.	พื้นไร้คาน หนา 0.30 ซม.
พื้นใช้งานขณะขุดดิน	โครงสร้างเหล็กชั่วคราว ที่ ชั้น 1	โครงสร้างพื้นชั้น B1,Ground คลส. หนา 0.50 ซม. และโครงสร้างเหล็กชั่วคราว	โครงสร้างพื้นชั้น B1 คลส. หนา 0.50 ซม. และโครงสร้างเหล็กชั่วคราว
ลักษณะรอยต่อ - พื้นกับเสา - พื้นกับกำแพงกันดิน	เหล็กรูปพรรณรับแรงเฉือน (Shear Key) เจาะเสียบเหล็กและอุดด้วยน้ำยา (Drilled and Grouted)	หมุดรับเฉือน (Shear Stud) -ฝากเหล็กไว้ในกำแพง -เจาะเสียบเหล็กและอุดด้วยน้ำยา (Drilled and Grouted)	หมุดรับเฉือน (Shear Stud) -ฝากเหล็กไว้ในกำแพง -เจาะเสียบเหล็กและอุดด้วยน้ำยา (Drilled and Grouted)
ขั้นตอนการก่อสร้างพื้นชั้นใต้ดินตามลำดับ	B1 - B3 - B5 - MAT MAT - B4 - B2	B1 - B3 - B5 - MAT MAT - B4 - B2	B1 - B3 - B5 - MAT MAT - B4 - B2

สำหรับขั้นตอนการก่อสร้างพื้นชั้นใต้ดินมีดังนี้คือ หลังจากก่อสร้างกำแพงกันดิน, เสาเข็มเจาะพร้อมติดตั้งเสาเหล็กและเทคานรัด (Capping Beam) กำแพงไดอะแฟรมวอลล์แล้วก็จะเป็นขั้นตอนการก่อสร้างพื้น ซึ่งโครงการที่ศึกษาจะใช้วิธีการก่อสร้างที่เหมือนกันคือ เทคอนกรีตพื้นบนดินที่ขุดเรียกว่า Slab on Mud Mat ซึ่งประหยัดค่าไม้แบบและไม่ต้องขุดดินลึกลงไปเพื่อตั้งไม้แบบเทพื้น วิธีการแต่ละชั้นก็คือ ขุดดินให้ได้ระดับต่ำกว่าท้องพื้นประมาณ 20 เซนติเมตร เพื่อรองพื้นด้วยทรายหนาประมาณ 10 เซนติเมตร และเทด้วยคอนกรีตหยาบอีกประมาณ 10 เซนติเมตร เมื่อคอนกรีตหยาบแข็งตัวก็ปูทับด้วยไม้อัดหนา 4 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันการยึดเกาะระหว่างคอนกรีตที่เทพื้นกับคอนกรีตหยาบรองพื้น จากนั้นจึงลงเหล็กและเทคอนกรีตตามปกติ การก่อสร้างพื้นจะเริ่มจากชั้น B1 และเว้น 1 ชั้น เพื่อให้มีระยะความสูงเพียงพอต่อการทำงานของเครื่องจักรขุดดินซึ่งไม่น้อยกว่า 5 เมตร จากนั้นจึงก่อสร้างชั้น B3, ชั้น B5 และฐานราก (MAT) ตามลำดับ

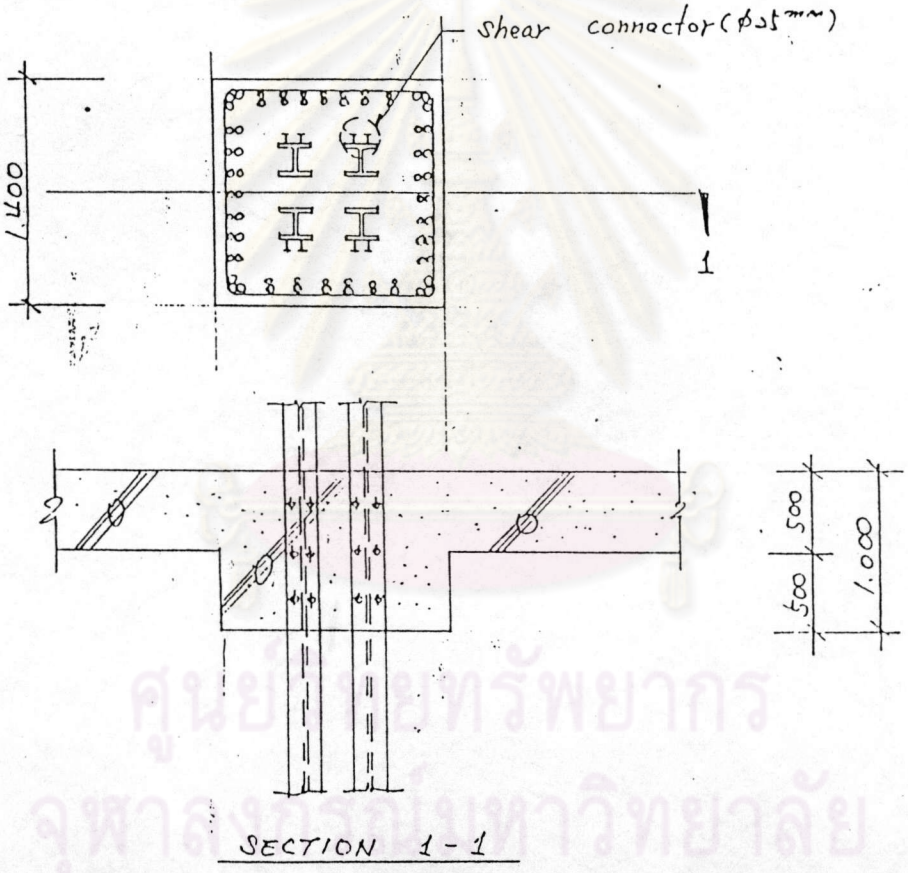
สำหรับรอยต่อพื้นกับเสาขณะก่อสร้างลงข้างล่าง (ชั้น B1, B3, B5) ที่ใช้งานในโครงการที่ศึกษามี 2 ประเภท ดังนี้

1) ใช้เหล็กรูปพรรณรับแรงเฉือน โดยจะใช้เหล็กรูปตัวซีหรือตัวยู เชื่อมติดกับเหล็ก (Prefound Column) ก่อนที่จะเทคอนกรีตพื้นเพื่อทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักพื้นชั้นใต้ดินลงเสาเหล็กในขณะที่ยังไม่ได้เทคอนกรีตหุ้มเสา ซึ่งในโครงการ ก. ดังแสดงในรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 รอยต่อพื้นกับเสาเหล็กแบบใช้เหล็กรูปพรรณรับแรงเฉือน (Shear Key)

2) ใช้หมุดรับแรงเฉือน วิธีนี้ใช้หมุดรับแรงเฉือนที่ทำสำเร็จจากโรงงานมาทำการเชื่อมกับเสาเหล็กหรือใช้วิธียิงติดด้วยเครื่องยิงไฟฟ้าทำให้หมุดละลายติดกับเสาเหล็ก สามารถรับน้ำหนักพื้นคอนกรีตให้ถ่ายลงเสาเหล็กได้ ซึ่งใช้ในโครงการ ข. และโครงการ ค. ดังแสดงในรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 รอยต่อพื้นกับเสาเหล็กแบบใช้หมุดรับแรงเฉือน (Shear Stud)

3.2.4 ระบบการขุดดิน

ระบบการขุดดินของการก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์ของโครงการที่ศึกษาทั้ง 3 โครงการมีความแตกต่างจากระบบการขุดดินของการก่อสร้างวิธีปกติอย่างมาก คือการขุดดินของการก่อสร้างวิธีปกติเป็นการขุดแบบเปิดโล่งโดยใช้ระบบค้ำยันเหล็ก การขนดินขึ้นจากบ่อขุดจะสามารถขุดในแนวดิ่งได้เกือบเต็มทั้งพื้นที่ ส่วนการก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์นั้น การขุดดินจะเป็นการขุดใต้พื้นชั้นใต้ดินที่ก่อสร้างแล้ว และขนดินออกมาทางตำแหน่งช่องเปิดพื้นที่เตรียมไว้ แล้วจึงขนส่งขึ้นข้างบนในแนวดิ่ง และขนออกจากหน่วยงาน การวางแผนนั้นหลักสำคัญ คือการกำหนดตำแหน่งและจำนวนช่องเปิดพื้นให้เพียงพอต่อการทำงานในการขุดดิน, ลำเลียงวัสดุขึ้นลง และระบายอากาศ ช่องเปิดที่กำหนดนี้จะสัมพันธ์ต่อการก่อสร้างชั้นบนดินโดยจะไม่เป็นอุปสรรคต่อการก่อสร้างชั้นบนดิน นอกจากนี้ต้องวางแผนเตรียมระบบการระบายน้ำ (Drainage System), ระบบระบายอากาศ (Ventilation System) ให้พร้อมขณะขุดดินและกำหนดเครื่องจักรกลที่ใช้ในการขุดดินให้เหมาะสมและเพียงพอกับสภาพหน่วยงาน อีกทั้งต้องจัดการวางแผนทางเข้าออกและการจราจรในหน่วยงานให้มีความคล่องตัวเพื่อให้ระบบการขุดดินมีประสิทธิภาพ สำหรับข้อมูลการขุดดินของโครงการที่ศึกษา ดังสรุปในตารางที่ 3.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลการขุดดินของโครงการทั้ง 3 โครงการที่ศึกษา

โครงการ	ก.	ข.	ค.
พื้นชั้นใต้ดิน (ตร.ม.)	1,640.00	7,000.00	2,925.00
ปริมาณดินขุด (ลบ.ม.)	27,617.00	145,184.00	64,350.00
ความลึกการขุดดิน (ม.)	-17.80	-20.80	-22.00
ความลึกแต่ละช่วงการขุดดิน (ม.)	5.00	5.20	6.00
เครื่องจักร (จำนวน)			
บนพื้นการทำงาน (Platform)/			
ระดับ (ม.)	0.00	-3.10	0.00
- ความลึก 0-10 ม./ (ลบ.ม./ชม.)	Backhoe PC200(1)/75	Backhoe PC200(1-2)/75	Backhoe PC200(1-2)/75
- ความลึก >10 ม./ (ลบ.ม./ชม.)	Backhoe PC200(1)/75	Backhoe PC200(1-2)/75	Backhoe PC200(1-2)/75
	Mobile Crane 25T(1)/30	ClamShell (1)/30	ClamShell (1)/30
ใต้พื้น			
- ความลึก 0-10 ม./ (ลบ.ม./ชม.)	Backhoe PC120 (1-2)	Backhoe PC60(1)	Backhoe PC80(1)
		Backhoe PC120(1-4)	Backhoe PC120(3)
- ความลึก >10 ม./ (ลบ.ม./ชม.)	Backhoe PC60(1)	Bulldozer BD2 (3)	Bulldozer BD2 (2)
	Backhoe PC120 (2-4)	Backhoe PC60 (1)	Backhoe PC100 (1-2)
		Backhoe PC100 (2)	Backhoe PC120 (1-2)
		Backhoe PC120 (2-4)	(Breaker)
		Backhoe PC120 (1-2)	
		(Breaker)	
เวลาการขนย้านดินออก			
- วันจันทร์-ศุกร์	9.00-15.00 น.	9.00-15.00 น.	21.00-05.00 น.
	21.00-05.00 น.	21.00-05.00 น.	
- วันเสาร์-อาทิตย์	ตลอด 24 ชม.	ตลอด 24 ชม.	ตลอด 24 ชม.
อัตราการขุดดินออก (ลบ.ม./วัน)			
- อัตราสูงสุด	ไม่มีข้อมูล	1,280.00	1,000.00
- เฉลี่ยทั้งโครงการ	117.00	445.00	400.00
ระบบระบายอากาศ	ระบบท่อลมดูดอากาศ	ระบบท่อพัดลมดูด/อัดอากาศ	ระบบพัดลมเป่าออกช่องเปิด
	ทุกชั้น (Electric Blower)	ทุกชั้น (Electric Blower)	ประจำชั้น (Electric Fan)
ระบบระบายน้ำ	Sump Pump (Submersible	Sump Pump (Submersible	Sump Pump (Submersible
	Water Pump)	Water Pump)	Water Pump)
ทางเข้า-ออก หน่วยงาน (ช่อง)	2	2	3
จำนวนช่องเปิด (ช่อง)	3	5	1

สำหรับขั้นตอนการขุดดินนั้นแต่ละโครงการมีความคล้ายคลึงกันคือ หลังจากก่อสร้างคานรัดกำแพงแล้วจะเริ่มจากการเตียมพื้นที่สำหรับให้เครื่องจักรขุดดินทำงานซึ่งอาจเป็นพื้นชั้น B1

หรือพื้นโครงสร้างเหล็กชั่วคราว (Steel Platform) โครงการ ก. และโครงการ ค. จะเป็นพื้นโครงเหล็กอยู่ที่ระดับพื้นดิน (±0.00 ม.) ส่วนโครงการ ข.จะอาศัยพื้นชั้น B1 เป็นพื้นชั้นใช้งาน โดยออกแบบให้รับน้ำหนักได้ถึง 2 ตัน/ตร.ม. หนา 0.50 เซนติเมตร การขุดดินชั้น B1 เป็นการขุดแบบเปิดโล่งโดยใช้รถ Backhoe ในการขุดดินใส่รถบรรทุกขนดินเพื่อนำออกจากหน่วยงาน เมื่อก่อสร้างชั้น B1 แล้วเสร็จและคอนกรีตพื้นมีกำลังอัดประมาณ 80% แล้วจะเริ่มการขุดดินใต้ชั้น B1 ถึงระดับท้องพื้นชั้น B3 เพื่อเว้นระยะความสูงประมาณ 5 เมตร ให้เครื่องจักรสามารถขุดดินได้ การขุดดินใต้พื้นจะเริ่มจากบริเวณช่องเปิดที่เว้นไว้ขณะก่อสร้างชั้น B1 ซึ่งมีความกว้างมากพอที่จะหย่อนรถขุดลงไปได้ โดยใช้รถ Backhoe ขุดดินใต้พื้นทยอยขนออกไปที่ช่องเปิดและใช้รถ Backhoe ที่อยู่บน Platform ตัดขึ้นใส่รถบรรทุกดินขนออกไป กระทำลักษณะเดียวกันนี้กับชั้น B5 และชั้นฐานรากแต่ว่าชั้น B5 และชั้นฐานรากจะเป็นชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) การขนถ่ายดินไปช่องเปิดจะใช้รถ Bulldozer ดันออกไปได้ และสามารถวิ่งบนพื้นดินชั้นนี้ได้โดยไม่ต้องใช้แผ่นเหล็กปูทำทางเดินรถ จากนั้นจะใช้รถ Backhoe หรือ Clamshell ตักขึ้นต่อไป ที่ระดับชั้นฐานราก การขุดดินค่อนข้างจะทำลำบาก เพราะมีหัวเสาเข็มคอนกรีตที่เทเผื่อสูงกว่าระดับตัดเสาเข็ม ต้องใช้รถ Backhoe Breaker ซึ่งเป็นรถตีนตะขาบเหมือนรถขุดดินแต่ติดตั้งหัวสกัดคอนกรีตแทนบุ้งกี๋ขุดตัก ทำการสกัดเพื่อย่อยหัวเสาเข็มให้มีขนาดเล็กเพื่อใช่รถขุดตักขนย้ายได้ ในการขุดดินแต่ละชั้นจะมีการเตรียมระบบระบายอากาศไว้เพราะขณะขุดดินจะมีควันจากเครื่องจักรและฝุ่นละอองจำนวนมาก โดยเฉพาะชั้นฐานรากฝุ่นละอองจากการสกัดหัวเสาเข็มจะมีมากเป็นอันตรายต่อบุคลากรที่อยู่เบื้องล่าง โครงการ ก.จะใช้พัดลมดูดอากาศเสียออกจากชั้นใต้ดินแต่ละชั้น โครงการ ข. จะใช้พัดลมดูดอากาศเสียและอัดอากาศดีด้วยเพราะมีพื้นขนาดใหญ่ ส่วนโครงการ ค. เนื่องจากเว้นช่องเปิดไว้เกือบครึ่งพื้นที่ (40 เปอร์เซ็นต์) จึงใช้เฉพาะพัดลมธรรมดาเป่าอากาศเสียที่อยู่ใต้พื้นออกไปบริเวณช่องเปิดอีกด้านหนึ่งของอาคาร นอกจากระบบระบายอากาศเสียยังมีการเตรียมระบบระบายน้ำไว้เพื่อดูดน้ำเฉพาะกรณีฝนตกเท่านั้น ส่วนน้ำใต้ดินไม่มีเพราะกำแพงไดอะแฟรมวอลล์กันน้ำได้ และชั้นดินที่ขุดเป็นดินเหนียวมีค่าความซึมผ่านของน้ำต่ำมาก การสูบน้ำจะใช้ระบบ Sump Pump โดยใช้ปั๊มที่เรียกว่า Submersible Water Pump จุ่มในบ่อที่ขุดไว้ต่ำกว่าพื้นที่จะดูดน้ำเพื่อให้น้ำไหลลงรวมกันและดูดขึ้นไปทิ้งนอกอาคาร สำหรับระยะเวลาการขนย้ายดินออกจากหน่วยงานนั้น เนื่องจากทั้ง 3 โครงการล้วนอยู่ในกรุงเทพฯ ซึ่งในวันธรรมดา (วันจันทร์-ศุกร์) ถูกจำกัดระยะเวลาให้รถบรรทุกวิ่งได้เฉพาะเวลา 9.00 น. - 15.00 น. (กลางวัน) และเวลา 21.00 น. - 05.00 น. (กลางคืน) เท่านั้น แต่เนื่องจากตอนกลางวันการจราจรติดขัดการขนย้ายดินจะกระทำได้ปริมาณไม่มาก ส่วนใหญ่จึงจะขนย้ายกันเวลากลางคืนและวันเสาร์-อาทิตย์ รวมทั้งการขนย้ายวัสดุและเทคอนกรีตด้วย

3.3 ปัญหาและอุปสรรคการก่อสร้างด้วยวิธีอัป/ดาวน์

หัวข้อนี้จะเป็นการสรุปปัญหาและอุปสรรคการก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์ ที่เกิดขึ้นจริงในโครงสร้างที่ศึกษาทั้ง 3 โครงการ ดังต่อไปนี้

โครงการ ก.

ปัญหา	การแก้ไข
1. เครื่องจักรขุดดินของผู้รับเหมาเสียบ่อย	1. เร่งรัดการซ่อมแซมแต่ไม่สามารถเปลี่ยนใหม่ได้เพราะผู้รับเหมาวิธีนี้มีน้อยราย
2. การจราจรรอบหน่วยงานติดขัดโดยเฉพาะตอนกลางวัน	2. เร่งรัดการขนย้ายดินตอนกลางคืน
3. มีอากาศเสียชั้นใต้ดินมาก การระบายอากาศไม่ทันเป็นบางจุด	3. ใช้ระบบระบายอากาศชนิดท่อแบบยืดหยุ่น
4. พื้นที่กองวัสดุไม่เพียงพอเพราะพื้นที่หน่วยขนาดเล็ก มีการก่อสร้างทั้งชั้นใต้ดิน/บนดิน	4. บริหารการใช้พื้นที่ให้มีประสิทธิภาพ
5. การเทคอนกรีตชั้น B1 ใช้คอนกรีตหยาบเทเป็นแบบท้องพื้นบนดิน เมื่อขุดดินใต้พื้นคอนกรีตหยาบเกาะกับพื้น ยากต่อการสกัดออก	5. ชั้น B3 และ B5 เปลี่ยนเป็นไม้อัดหนา 4 มม. ปูบนคอนกรีตหยาบก่อนลงเหล็กเทคอนกรีตพื้น ไม่เกิดการยึดเกาะกันอีก
6. เสาเหล็กที่ฝังในเสาเข็มซึ่งเป็นเสาเหล็กเดี่ยว มีการเยื้องศูนย์หลายต้น	6. ต้องคอยตรวจการรับน้ำหนักและมีการเสริมเหล็กเพิ่มเติมและเร่งการเทคอนกรีตหุ้มเสาเหล็ก
7. สูญเสียปริมาณเหล็กเสริมมากถึง 17.6% เนื่องจากมีรอยต่อการก่อสร้างมาก (Construction Joint)	7. -
8. การขุดดินใต้พื้นกระทำได้ค่อนข้างยากและต้องใช้คนขับรถที่มีความชำนาญโดยเฉพาะ	8. -

โครงการ ข.

ปัญหา/อุปสรรค	การแก้ไข
1. ไม่ได้ฝังเสาเหล็กในเสาเข็ม ในตำแหน่งเสาที่จะรับน้ำหนักอาคารชั้นบนดิน จำนวน 1 ต้น	1. เพิ่มเสาเข็มเจาะและฝังเสาเหล็กชั่วคราว จำนวน4ต้น ล้อมตำแหน่งเสาจริง เพื่อเทฐานคอนกรีตรับน้ำหนักเสาจริงชั้นบนดินไว้ชั่วคราวที่ระดับชั้น 1
2. ไม่สามารถทำงานกลางคืนที่เสียงดังได้ โดยเฉพาะงานสกัดกำแพงกันดินเพราะอยู่ใกล้โรงพยาบาล	2. เร่งงานที่ทำให้เกิดเสียงดังในตอนกลางวัน
3. การระบายอากาศเสียชั้นใต้ดินไม่ทั่วถึง	3. ใช้หน้ากากป้องกันฝุ่นละอองและควันจากเครื่องจักร
4. เหล็กพื้นที่ฝากในกำแพงกันดิน บางแผง (Panel) ไม่ได้ระดับ	4. เจาะเสียบเหล็กใหม่
5. เสาเหล็กที่เสียบไว้บางต้นเยื้องศูนย์มากและเอียง	5. ต้องเสริมเหล็กยืนในเสารับโมเมนต์จากการเยื้องศูนย์เพิ่มเติมและรีบเทคอนกรีตหุ้มเสา
6. ก่อสร้างชั้นบนดินได้เพียงชั้นที่ 10 แต่อัตราการก่อสร้างจริงทำได้มากกว่าเนื่องจากถูกจำกัดจากความสามารถรับน้ำหนักของเสาเข็ม	6. ชะลอการก่อสร้างและเร่งงานส่วนอื่นแทน
7. เสาเข็มบางต้นเทสูงกว่าระดับตัดเสาเข็มมาก บางต้นเกินกว่า 3 เมตร	7. ใช้เครื่องจักรติดหัวสกัดคอนกรีตเพิ่ม
8. ฐานรากมีขนาดใหญ่ หนาถึง 4 เมตร ปริมาณคอนกรีต 28,000 ลบ.ม. ไม่สามารถแบ่งเทคอนกรีตครั้งละจำนวนมากได้ เพราะการจราจรติดขัด และไม่สามารถเทคอนกรีตต่อเนื่องจากส่วนที่เทไปแล้วทันทีได้ เพราะมีปัญหาความแตกต่างของอุณหภูมิในคอนกรีต	8. แบ่งการเทคอนกรีตเป็นส่วน ๆ (13 ส่วน) เทเต็ม 4 เมตร ครั้งละ 500-2,800 ลบ.ม. แต่ละส่วนจะไม่เทในเวลาใกล้เคียงกัน
9. ใช้เหล็กเสริมบริเวณชั้นใต้ดินเกินกว่าที่ประมาณไว้ถึง 16% เนื่องจากมีรอยต่อการก่อสร้างมาก	9. -

โครงการ ค.

ปัญหา/อุปสรรค	การแก้ไข
1. เสาเหล็กที่ติดตั้งมีการเยื้องศูนย์มาก บางต้นเยื้องศูนย์ถึง 30 เซนติเมตร ที่ระดับฐานราก	1. คอยตรวจสอบการเยื้องศูนย์ทุกชั้นขณะขุดดิน เพื่อคำนวณการรับน้ำหนัก
2. เทคอนกรีตเสาเข็มเกินระดับตัดเสาเข็มมาก	2. เพิ่มเครื่องจักรสกัดคอนกรีต
3. การขุดดินในชั้นดินเหนียวอ่อน ถ้ามีฝนตก การเหยียบย่ำของเครื่องจักรทำให้ดินกลายเป็นดินเลน ไม่สามารถขุดดินและดูดทิ้งได้	3. ขณะที่ฝนตกต้องดูดน้ำให้แห้งก่อนให้เครื่องจักรทำงานบนพื้นดิน
4. การขนส่งเหล็กเส้น (10, 12 เมตร) ลงไปทำชั้นฐานรากได้ช้า เพราะติดขัดค้ำยันในช่องเปิด	4. -
5. การทดสอบกำลังอัด ตัวอย่างวัสดุ(Mock Up) ที่จะใช้อุดช่องว่างในเสาใต้พื้นชั้นใต้ดินชั้น B1, B3, B5 ไม่ได้ทดสอบล่วงหน้าเพียงพอ และไม่ผ่านเกณฑ์ที่ต้องการ เสียเวลาในการคอยผลการทดสอบ	5. ต้องเปลี่ยนวัสดุที่ใช้และทดสอบใหม่

3.4 <u>ข้อดีและข้อเสียของการก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์</u>

หัวข้อนี้จะเป็นการสรุปข้อดีและข้อเสียของการก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์จากโครงการที่ศึกษาทั้ง 3 โครงการ

ข้อดี

1. ลดระยะเวลาก่อสร้าง ทำให้ลดค่าใช้จ่ายการดำเนินการลงและได้รายรับจากการใช้อาคารได้เร็วขึ้น

2. แนวโน้มการตลาดดีเพราะเห็นความคืบหน้าโครงการเร็ว (ชั้นบนดิน)

3. สามารถก่อสร้างชั้นใต้ดินไปพร้อมกับการก่อสร้างชั้นบนดิน มีพื้นที่ทำงานมากขึ้น

4. สามารถประหยัดค่าค้ำยันเหล็กชั่วคราว โดยใช้พื้นชั้นใต้ดินเป็นค้ำยัน

5. เนื่องจากใช้ระบบกำแพงกันดินไดอะแฟรมวอลล์ ซึ่งมีข้อดีดังนี้

- ป้องกันน้ำได้ดี
- สามารถใช้เป็นกำแพงถาวรของอาคาร
- มีความปลอดภัยสูงต่ออาคารข้างเคียง ซึ่งค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงไม่ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ของความลึกการขุดดิน
- สามารถรับน้ำหนักในแนวดิ่งได้มาก ใช้เป็นโครงสร้างแทนเสาเข็มบริเวณแนวกำแพงได้
- สามารถก่อสร้างในพื้นที่จำกัด โดยเฉพาะในเขตเมืองโดนปราศจากเสียงดังและการสั่นสะเทือน

6. มีประโยชน์ต่อเจ้าของโครงการในแง่ระยะเวลาการก่อสร้างและต้นทุนรวมต่ำกว่าการก่อสร้างวิธีปกติ

ข้อเสีย

1. ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูงกว่าการก่อสร้างวิธีปกติ และเป็นวิธีที่ไม่ปกติทั่วไป
2. ขาดแคลนผู้รับเหมาหลักที่มีความชำนาญการก่อสร้างวิธีนี้ ซึ่งต้องใช้ผู้มีประสบการณ์เท่านั้น
3. ใช้เวลาในการวางแผนนานกว่าการก่อสร้างทั่วไป เพราะเป็นวิธีที่ใหม่ต่อประเทศไทย และบางครั้งต้องใช้ผู้รู้จากต่างประเทศ ให้ข้อมูลในการวางแผน
4. บริษัทผู้รับเหมาชาวไทยยังขาดประสบการณ์การก่อสร้างวิธีนี้
5. ลักษณะงานก่อสร้างในประเทศไทย ยังเป็นอุปสรรคต่อการใช้การก่อสร้างวิธีนี้ เพราะผู้ออกแบบและผู้รับเหมาไม่ได้เป็นคนคนเดียวกัน ดังนั้นการก่อสร้าง ส่วนใหญ่ผู้รับเหมาต้องทำตามแบบที่กำหนดมาแล้ว ยากต่อการดัดแปลงแนวคิด (Concept) เดิม เช่น การประมูลสร้างอาคารกระทำหลังจากการก่อสร้างเสาเข็ม และกำแพงกันดินดำเนินการไปแล้ว
6. ไม่เหมาะสำหรับโครงการที่ระยะเวลาการก่อสร้างไม่ใช่สิ่งสำคัญ เช่น อาคารที่มีชั้นบนดินไม่กี่ชั้น หรือไม่ต้องเร่งการเปิดใช้อาคาร
7. การติดตั้งเสาเหล็กให้ตรงตำแหน่งค่อนข้างยาก
8. การควบคุมงานต้องกระทำอย่างรอบคอบทุกขั้นตอน

3.5 รูปแบบ (Model) การวางแผนการก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์

ก่อนที่จะเสนอรูปแบบการวางแผนงานก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์นั้น ขอเสนอรูปแบบ (Model) การพัฒนาการก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์จากการศึกษาจากโครงการทั้ง 3 โครงการพอสรุปได้ดังนี้

1) เริ่มจากเจ้าของโครงการกำหนดนโยบายที่ต้องการทำพร้อมขอบเขตให้กับผู้บริหารงานก่อสร้างและผู้ออกแบบโดยให้โอกาสเสนอทางเลือกการก่อสร้าง

2) ผู้บริหารงานก่อสร้างและผู้ออกแบบจะทำงานร่วมกัน วางแผนโครงการ และหาทางเลือกการก่อสร้างวิธีต่าง ๆ รวมทั้งการก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์ โดยมีแรงผลักดันดังนี้

- ต้องการทำโครงการ
- ต้องการพื้นที่อาคารสูงสุด ,การก่อสร้างที่รวดเร็ว
- ต้องการปรับปรุง วิธีการก่อสร้างแบบเก่า
- ต้องการเทคโนโลยีใหม่ เช่น การก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์

3) ผู้บริหารงานก่อสร้างและผู้ออกแบบ เลือกและกำหนดวิธีการก่อสร้างแบบอัป/ดาวน์ โดยมีเงื่อนไขคือ

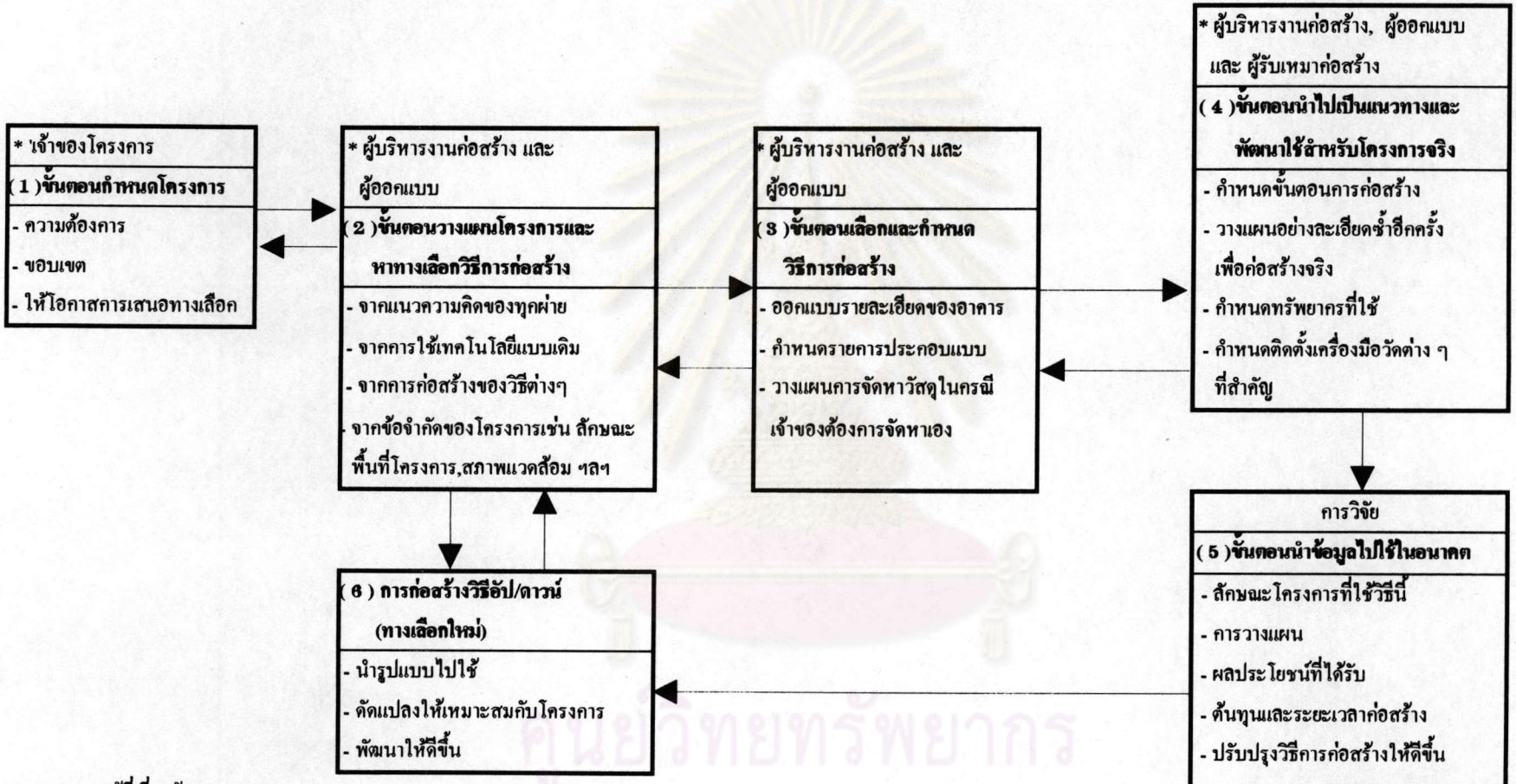
- ต้องสนองความต้องการของเจ้าของโครงการ ด้านต้นทุนระยะเวลาและคุณภาพ
- มีผลตอบแทนที่ดีกว่า
- เป็นไปได้ในทางปฏิบัติ
- ไม่มีความเสี่ยงสูง

4) ผู้บริหารงานก่อสร้าง, ผู้ออกแบบ และผู้รับเหมานำวิธีการก่อสร้างอัป/ดาวน์ไปใช้

5) การวิจัยจะเป็นการนำข้อมูลของโครงการที่ใช้วิธีอัป/ดาวน์ไปรวบรวม และวิเคราะห์ลักษณะโครงการที่ใช้, ขั้นตอนการก่อสร้าง, การวางแผนงาน, ผลประโยชน์ที่จะได้รับเทียบกับการก่อสร้างวิธีปกติในแง่ระยะเวลาและต้นทุนการก่อสร้าง

6) ได้ทางเลือกการก่อสร้าง อีกวิธีหนึ่งเพื่อใช้วางแผนโครงการในอนาคตต่อไป

การพัฒนาการก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์นั้น สามารถสรุปเป็นรูปแบบ (Model) ดังรายละเอียดในรูปที่ 3.29



หมายเหตุ - * ผู้ที่เกี่ยวข้อง

รูปที่ 3.29 รูปแบบการพัฒนาการก่อสร้างชั้นใต้ดินลึกวิธีอัป/ดาวน์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

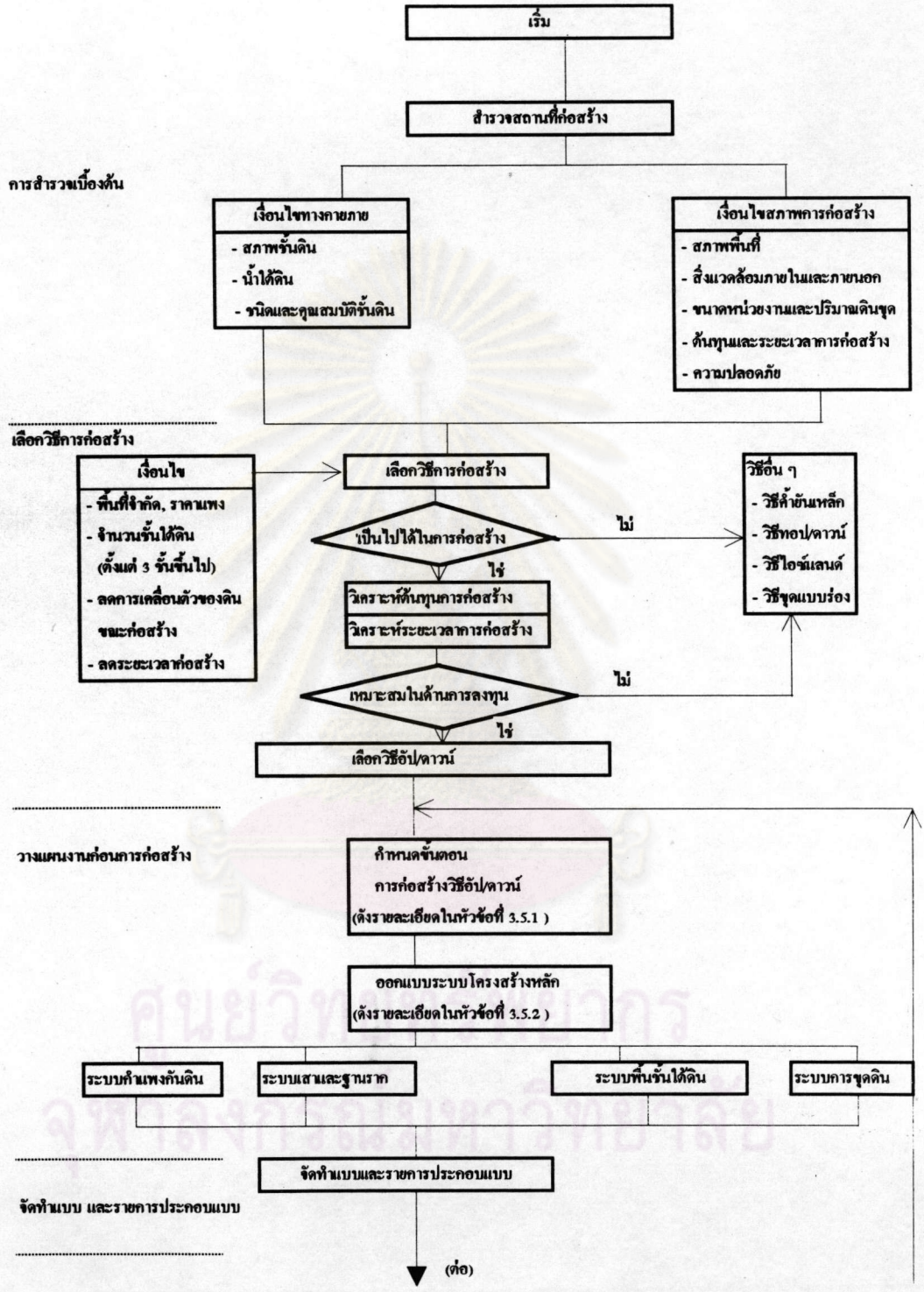
สำหรับการวางแผนงานการก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์นั้น สามารถสรุปจากข้อมูลที่ศึกษามาเป็นรูปแบบการวางแผนงานโดยมีขั้นตอนดังนี้คือ

1. สำรวจเบื้องต้น
2. คัดเลือกวิธีการก่อสร้าง (คือวิธีอัป/ดาวน์)
3. วางแผนงานช่วงก่อนการก่อสร้าง
4. จัดทำแบบและรายการประกอบแบบ
5. วางแผนช่วงก่อสร้างอย่างละเอียดและอาจมีการแก้ไขแผนงานให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพกับโครงการ

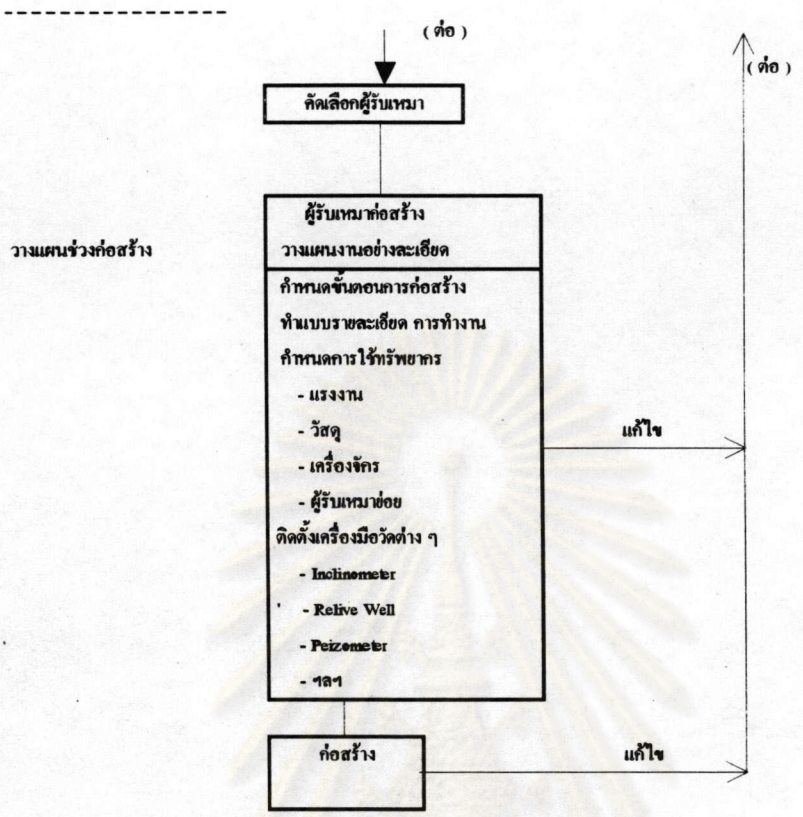
รูปแบบการวางแผนงานสามารถสรุปได้ดังรายละเอียดในรูปที่ 3.30 ซึ่งขั้นตอนการวางแผนงานในช่วงก่อนการก่อสร้างขยายความเพิ่มเติมในหัวข้อ "กำหนดขั้นตอนการก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์" และหัวข้อ "ออกแบบระบบโครงสร้างหลัก" ดังแสดงเป็นรายการตรวจสอบหัวข้อย่อยดังนี้

3.5.1 การกำหนดขั้นตอนการก่อสร้าง

1) ปรับปรุงสภาพหน่วยงานก่อสร้าง (Mobilization)
2) กำแพงกันดินไดอะแฟรมวอลล์
3) เสาเข็มและการติดตั้งเสาเหล็ก (อาจทำรวมกับการก่อสร้างกำแพงได้ถ้ามีพื้นที่การทำงานเพียงพอ)
4) คานรัดกำแพง (Capping Beam)
5) พื้นโครงสร้างเหล็กชั่วคราว (ถ้าจำเป็น)
6) ขุดดินก่อสร้างชั้นใต้ดิน (ไม่จำเป็นต้องเป็นชั้นใต้ดินชั้นที่ 1 อาจเป็นชั้นใต้ดินชั้นที่ 2 แต่ต้องคำนึงถึงแรงดันดินที่กระทำต่อกำแพงกันดิน อาจต้องใช้ค้ำยันเหล็กชั่วคราวก่อนขุดดิน) และสามารถก่อสร้างเหลื่อมกัน (Lap) กับข้อที่ 4 และ 5 ได้ถ้าคานรัดกำแพง แล้วเสร็จบางช่วง
7) - ขุดดินก่อสร้างชั้นใต้ดินชั้นที่สาม (เว้น 1 ชั้น ไม่ต่ำกว่า 5 เมตร)
- เริ่มชั้นบนดินชั้นที่ 1 ขึ้นไปพร้อมกับการก่อสร้างชั้นใต้ดิน (อาจต้องเว้นช่องเปิดชั้นบนดินบางส่วนเพื่อให้มีระยะความสูงเพียงพอต่อการทำงานของเครื่องจักรขุดดิน
8) ก่อสร้างชั้นใต้ดินชั้นต่อไปเหมือนขั้นตอนที่ 7 จนถึงชั้นฐานราก



รูป 3.30 รูปแบบการวางแผนงานการก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์



รูปที่ 3.30 รูปแบบการวางแผนงานการก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์ (ต่อ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9) - ก่อสร้างเสาและพื้นที่เว้นไว้ขึ้นไปตามลำดับ รวมทั้งช่องเปิดต่าง ๆ

- อุดช่องว่าง (Fill Gap) เสา ณ ตำแหน่งรอยต่อเสาที่มีการเทคอนกรีตใต้พื้น

- รื้อถอนโครงสร้างพื้นชั่วคราว

หมายเหตุ - กรณีที่พื้นบางส่วนไม่สามารถก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์ ได้ เช่น ทางขึ้นลงรถยนต์ บ่อบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น จะก่อสร้างโดย วิธีปกติโดยใช้ค้ำยันเหล็ก

- ในส่วนผนังลิฟต์ สามารถละเว้นไม่ต้องก่อสร้างขึ้นไป พร้อมชั้นบนดินได้ ถ้าเป็นอาคารมีพื้นขนาดใหญ่ การละเว้นผนังลิฟต์ไม่เป็นอุปสรรคต่อการก่อสร้าง และมีความสูงมากพอที่จะก่อสร้างผนังลิฟต์ตามการก่อสร้างพื้นชั้นบนดินได้ทัน

3.5.2 ออกแบบระบบโครงสร้างหลัก

1) ระบบกำแพงกันดิน

1. ตรวจสอบเสถียรภาพของบ่อขุดจากข้อมูล

- น้ำหนักบรรทุกบริเวณรอบบ่อขุด (Surcharge)
- สภาพชั้นดิน, ระดับน้ำใต้ดิน
- ความลึกของดินที่ขุด
- ขั้นตอนการขุดดิน เพื่อหาระยะที่ไม่ได้ค้ำยัน (Level of Unbraced Construction) ข้อมูลที่ได้นำมาตรวจสอบแรงดันดิน (Passive Resistance), การอูดของดิน (Heaving), แรงยกตัวของน้ำ (Hydraulic Uplift) และแรงดันน้ำ (Boil) กรณีขุดในชั้นทราย

2. กำหนดความยาวของกำแพงที่จมดิน และชนิดของกำแพงกันดินซึ่งงานขุดลึกควรใช้กำแพงแบบ Rigid Wall เช่น ไดอะแฟรมวอลล์ (Diaphragm Wall)

3. คำนวณหาขนาดและหน้าตัด

4. กำหนดเครื่องมือวัดต่าง ๆ เพื่อติดตั้งในการก่อสร้าง (ถ้าจำเป็น) เช่น

- เครื่องมือตรวจสอบกำแพงกันดิน
- เครื่องมือตรวจสอบการเคลื่อนตัวของดิน และโครงสร้างข้างเคียงโดยรอบบ่อขุด
- เครื่องมือตรวจสอบน้ำใต้ดิน เช่น ระดับ, อัตราการไหล

5. ทำแบบรายละเอียด

6. กำหนดขั้นตอน, วิธีการก่อสร้างและการตรวจสอบ (ยกตัวอย่าง กำแพงกันดิน ไดอะแฟรมวอลล์)

1) การกำหนดตำแหน่งแนวกำแพงบนพื้นที่ก่อสร้าง

2) การก่อสร้าง Guide Wall

3) การขุดดิน

4) การใช้สารแขวนลอยเบนโทไนท์และการควบคุมคุณภาพ

5) การทำรอยต่อกำแพง

6) การติดตั้งเหล็กเสริมซึ่งอาจฝังเหล็กพื้นในกำแพง, ท่อวัดการแอ่นตัวของกำแพง (ถ้ามี)

7) การเทคอนกรีต

2) ระบบเสาและฐานราก

1. กำหนดจำนวนชั้นของอาคารที่ต้องการจะก่อสร้างก่อนฐานราก แล้วเสร็จ โดยอาศัยข้อมูลจาก

- ระยะเวลาที่ก่อสร้างจากชั้นใต้ดินชั้นแรกจนถึงชั้นฐานรากแล้วเสร็จ, T1 (หน่วย : วัน)

- อัตราการก่อสร้างชั้นบนดิน Rf (หน่วย : วัน / ชั้น)

- จำนวนชั้นที่สามารถก่อสร้างได้ในเวลา T1, Nf = T1/Rf (หน่วย : ชั้น)

2. กำหนดขอบเขตพื้นที่อาคารที่จะก่อสร้างชั้นบนดิน (Superstructure)

3. กำหนดตำแหน่งเสาที่ต้องการรองรับอาคารในข้อ 2. เพื่อติดตั้งเสาเหล็ก

4. จัดตำแหน่งเสาเข็มซึ่งต้องเป็นเสาเข็มเจาะให้ตรงตำแหน่งเสา ในข้อ 3.

5. ออกแบบเสาเข็มในข้อ 4 ให้รับน้ำหนักจำนวนชั้นที่ต้องการในลักษณะเสาเข็มเดี่ยว

- ต้องคำนึงความสามารถในการทำเสาเข็มเจาะใน ปัจจุบัน

- ต้องคำนึงถึงความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็ม และการทรุดตัวด้วย

6. ออกแบบเสาเข็มเหล็ก (Prefound Column) มีหลักการดังนี้

- ออกแบบขนาดหน้าตัดให้มีความสามารถในการรับน้ำหนักตามข้อ 5. แต่ไม่ควรเผื่อหน้าตัดให้มีความสามารถในการรับน้ำหนัก มากกว่าความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มมากนัก ทำให้สิ้นเปลือง

- คำนึงถึงระยะช่วงเสาเหล็กขณะก่อสร้าง (Unbraced Length) ซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 5-6 เมตร (ห้องใต้ดิน 2 ชั้น)

- กำหนดรอยต่อของเสาเหล็กในเสาเข็ม และพื้นชั้นใต้ดิน โดยใช้วัสดุรับแรงเฉือนเพื่อส่งถ่ายน้ำหนัก เช่น ใช้ Shear Stud และฝังในเสาเข็ม 3-4 เมตร

- คำนึงถึงความสามารถของเครื่องจักรในการติดตั้ง

7. ทำแบบรายละเอียด

8. กำหนดขั้นตอน วิธีการก่อสร้างและการตรวจสอบ (ยกตัวอย่างเสาเข็มเจาะ)

1) การกำหนดตำแหน่ง

2) การขุดดิน

3) การใช้สารละลายเบนโทไนท์และการควบคุมคุณภาพ

4.) การติดตั้งเหล็กเสริม

5.)การติดตั้งเสาเหล็กในเสาเข็มเจาะ

6) การเทคอนกรีต

7) การถมกลับและรื้อถอนปลอกเหล็ก

8) กำหนดเทคนิคการก่อสร้างเสา

- การต่อเหล็กเสริม เช่น - กรณีเหล็กยืนไม่มาก อาจใช้แบบทาบ

- กรณีเหล็กยืนแน่นมาก อาจใช้แบบเชื่อม หรือแบบเกลียว (Coupler)

- การเทคอนกรีต ควรใช้ปั๊มคอนกรีตและมีค่าการยุบตัวมากกว่า 12.5 เซนติเมตร

- การอุดรอยต่อเสาใต้พื้น เช่น

- วิธี Epoxy Injection Grouting

- วิธี Prepacked Grouting

- วิธี Non-Shrink Grouting

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) ระบบพื้นชั้นใต้ดิน

1. กำหนดน้ำหนักบรรทุกในพื้นที่ต้องการ โดยเฉพาะชั้นใต้ดินชั้นแรกที่ต้องรับน้ำหนักเครื่องจักรไม่ควรต่ำกว่า 2 ตัน/ตร.ม.

2. กำหนดช่องเปิดพื้นให้เพียงพอและไม่กระทบกับการก่อสร้างชั้นบนดิน

3. ออกแบบพื้น (ควรเป็นระบบพื้นไร้คาน)

- รับน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่ง
- รับแรงดันดินในแนวดิ่ง

4. ออกแบบรอยต่อต่าง ๆ ของพื้น

- พื้นกับเสา
- พื้นกับกำแพง
- ช่องเปิดพื้น

5. จัดทำแบบรายละเอียด

6. กำหนดขั้นตอน วิธีการก่อสร้างและตรวจสอบ

1) ระบบไม้แบบ ควรใช้คอนกรีตหยาบปูด้วยวัสดุที่ไม่ยึดเกาะ คอนกรีต เช่น ไม้อัดบาง 4 มม.

2) การแบ่งส่วนเทคอนกรีต (ถ้ามีพื้นขนาดใหญ่)

3) การลงเหล็ก

4) การเทคอนกรีต

5) การบ่มคอนกรีต

6) การซ่อมพื้น ถ้าคอนกรีตไม่ดี เช่น เป็นรูพรุน,โพรง

7. กำหนดขั้นตอน, วิธีการก่อสร้างและตรวจสอบ พื้นชั้นฐานราก (ปกติมีความหนา 1.5-4.0 เมตร)

1) กำหนดแผนการเทคอนกรีต

- การแบ่งส่วนเทคอนกรีต กรณีไม่สามารถเทคอนกรีตทีเดียวได้
  - กำหนดปริมาณ วัน เวลา ที่จะเทแต่ละส่วน
  - กำหนดทีมงานที่ตรวจสอบก่อนและหลังการเทคอนกรีต
  - กำหนดโรงงานที่จัดส่งคอนกรีต
- กำหนดวิธีการเทคอนกรีต
- กำหนดวิธีการบ่มคอนกรีต

2) เตรียมวัสดุรองพื้นซึ่งเป็นทรายหยาบและคอนกรีตหยาบ

3) ลงเหล็ก

4) กั้นไม้แบบด้านข้าง

5) ตรวจสอบความเรียบร้อยก่อนเทคอนกรีต

6) เทคอนกรีต

7) บ่มคอนกรีต

8) รื้อถอนไม้แบบ

9) ซ่อมคอนกรีตถ้าคุณภาพไม่ดี

8. กรณีพื้นบางส่วนไม่สามารถก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์ได้ จะใช้การก่อสร้างวิธีปกติทำค้ำยันเหล็กลงไปแต่ละช่วงการขุดดิน จนกระทั่งชั้นฐานราก และก่อสร้างขึ้นมาปกติ เช่น พื้นทางขึ้นลงของรถยนต์, บ่อบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

4) ระบบการขุดดิน

1. วางผังหน่วยงานให้มีความคล่องตัว และสัมพันธ์กับการก่อสร้างชั้นใต้ดินและบนดิน เช่น

- กำหนดทางเข้าออก
- จัดการจราจรภายในและภายนอก
- กำหนดตำแหน่งที่ตั้งเครื่องจักร, ที่กองวัสดุ

2. เตรียมพื้นสำหรับเป็นที่ทำงานของเครื่องจักร

3. กำหนดอัตราการขนย้ายดินออกจากหน่วยงาน

4. กำหนดเครื่องจักรขุดดินบนพื้นที่ทำงานและใต้พื้นชั้นใต้ดินให้มีความสามารถขุดดิน ไม่น้อยกว่าอัตราการขนย้ายดินออกจากหน่วยงาน

5. เตรียมเครื่องจักรที่ใช้สกัดหัวเสาเข็มให้พอเพียง และทันต่อการขนย้ายดินออก

6. เตรียมสภาพการทำงานให้ดี เช่น

- ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง
- ระบบระบายอากาศ
- ระบบระบายน้ำ
- ระบบรักษาความปลอดภัยในการทำงาน

- ใช้หน้ากากกันฝุ่นและควัน
- ทำหลังคากันวัสดุร่วงหล่น
- ทางขึ้น ลง ชั่วคราว, และทางลำเลียงวัสดุขึ้นลง
- ตรวจสอบความแข็งแรงของระบบโครงสร้างสม่ำเสมอ เช่น

กำแพงกันดิน, เสาและฐานราก รวมทั้งโครงสร้างชั่วคราวต่าง ๆ เช่น สะพานเหล็ก, ค้ำยันเหล็ก

7. กำหนดสถานที่ทิ้งดินทั้งสถานที่ชั่วคราวใกล้หน่วยงานและสถานที่ถาวร

3.6 สรุป

จากผลการวิจัยดังกล่าว ได้แสดงถึงขั้นตอนวิธีการก่อสร้างและการวางแผนงานในระบบโครงสร้างหลักชั้นใต้ดิน , ปัญหา/อุปสรรค/การแก้ไข, ข้อดี/ข้อเสีย , รูปแบบ (Model) การพัฒนาการก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์ และสรุปรูปแบบ (Model) การวางแผนการก่อสร้างวิธีอัปดาวน์ จากการศึกษาทั้ง 3 โครงการ

เมื่อพิจารณาสภาพโครงการที่ใช้การก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์ มีความคล้ายคลึงกัน ดังนี้ คือ มีพื้นที่จำกัด, ราคาแพง, ถูกจำกัดความสูงของอาคารทางกฎหมาย, มีอาคารอยู่ล้อมรอบพื้นที่ , ต้องการลดการเคลื่อนตัวของดินขณะขุดดินก่อสร้าง และต้องการพื้นที่ใช้สอยอาคารมากที่สุด ทำให้ต้องลงทุนก่อสร้างชั้นใต้ดินลึกถึง 6 ชั้น เมื่อพิจารณาการวางแผนแต่ละโครงการจะพบว่า การวางแผนงานจะกระทำร่วมกันระหว่างเจ้าของโครงการ (Owner), ผู้ออกแบบ, ผู้บริหารงานก่อสร้างเพื่อหาข้อสรุปวิธีการก่อสร้าง และออกแบบให้สัมพันธ์กับ การก่อสร้าง และความต้องการของเจ้าของโครงการ จากนั้นจึงคัดเลือกผู้รับเหมาก่อสร้างและให้ผู้รับเหมามีส่วนร่วมในการปรับปรุงแผนงานให้ดีขึ้นและเหมาะสมกับการก่อสร้างจริง ซึ่งหลักการดังกล่าวจะแตกต่างจากโครงการก่อสร้างปกติทั่วไปที่การก่อสร้างโดยผู้รับเหมาจะกระทำตามแบบและแนวคิด (Concept) จากผู้ออกแบบกำหนดมาแล้วเท่านั้น เพราะการประมูลงานส่วนใหญ่ จะยึดรายการประกอบแบบ และแบบแปลนตามที่กำหนดจากผู้ออกแบบมาแล้ว การแก้ไขแนวคิด หรือวิธีการก่อสร้างจะกระทำได้ยาก บางครั้งการประมูลงานอาคารกระทำหลังจากที่การก่อสร้างกำแพงกันดินหรือเสาเข็มเจาะดำเนินการไปแล้ว ยิ่งไม่สามารถทำการแก้ไข ดัดแปลงแนวคิดได้

เมื่อพิจารณาระบบโครงสร้างหลักชั้นใต้ดิน ของการก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์ ซึ่งมีด้วยกัน 4 ระบบ พบว่า มีความแตกต่างจากการก่อสร้างวิธีปกติค่อนข้างมาก ยกเว้น ระบบกำแพงกัน

ดินเท่านั้น ที่ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เป็นเพราะ ระดับความลึกการขุดดินและระยะห่างของค้ำยันแต่ละชั้นมีค่าเท่ากัน เนื่องจากการขุดดินต้องใช้รถลงไปขุดข้างล่างเหมือนกัน ส่วนอีก 3 ระบบ ได้แก่ ระบบเสาและฐานราก , ระบบพื้นชั้นใต้ดิน และระบบการขุดดิน ที่มีความแตกต่างกันมาก ทั้งนี้เป็นเพราะ ในส่วนระบบเสาและฐานราก ต้องมีการเตรียมโครงสร้างเสาเหล็กรองรับน้ำหนักอาคารที่จะก่อสร้างชั้นบนดินไปพร้อม ๆ กับชั้นใต้ดิน และมีรอยต่อระหว่างเสากับโครงสร้างเสาเข็มเจาะและพื้นด้วย อีกทั้งการเทคอนกรีตเสาระหว่างชั้นใต้ดินที่ก่อสร้างไปก่อน ก็จะต้องทำการอุดช่องรอยต่อโครงสร้างเสาให้สามารถรับแรงได้ตามปกติอีกด้วย ในขณะที่การก่อสร้างวิธีปกติ จะมีการเตรียมเสาเหล็กรองรับน้ำหนักค้ำยันและสะพาน (Platform) ชั่วคราวเท่านั้น การก่อสร้างโครงสร้างก็ต้องรอการขุดดินแล้วเสร็จก่อน จึงจะก่อสร้างโครงสร้างขึ้นมา (Bottom Up) ตามปกติ ในส่วนระบบพื้นชั้นใต้ดิน จะเป็นการก่อสร้างลงล่างด้วยวิธี ทอป ดาวน์ ซึ่งการก่อสร้างพื้นจะเทคอนกรีตบนดินที่ขุด และมีการเปิดช่องเปิดพื้นไว้บางส่วนสำหรับการขุดดิน ทำให้มีรอยต่อช่องเปิด , รอยต่อพิเศษระหว่างพื้นกับเสาอีกด้วย ในขณะที่การก่อสร้างวิธีปกติ ระบบพื้นชั้นใต้ดิน จะก่อสร้างขึ้นมาจากข้างล่างทีละชั้น เหมือนการก่อสร้างชั้นบนดินตามปกติ และในส่วน ระบบการขุดดิน จะมีการขุดดินใต้พื้นที่ก่อสร้างไปแล้ว และขนออกมาที่ช่องเปิดเพื่อขนถ่ายขึ้นข้างบนต่อไป การค้ำยันกำแพงจะใช้พื้นชั้นใต้ดินเป็นค้ำยันลงไปชั้นเว้นชั้น ยกเว้นพื้นที่บางส่วนที่ไม่สามารถก่อสร้างพื้นได้ก่อน ก็จะก่อสร้างโดยใช้ค้ำยันเหล็กเหมือนการก่อสร้างวิธีปกติ ที่ค้ำยันกำแพงก่อน จึงจะขุดดินจนถึงระดับท้องฐานราก แล้วก่อสร้างขึ้นมาตามปกติ ซึ่งการขุดดินวิธีอัป/ดาวน์ จะใช้พื้นชั้น B1 เป็นพื้นที่ทำงานผสมกับใช้สะพานเหล็ก แต่ใช้เป็นส่วนน้อย ต่างกับการก่อสร้างวิธีปกติที่ต้องใช้สะพานเหล็กชั่วคราวทั้งหมด เป็นพื้นที่ทำงานของเครื่องจักรขณะขุดดินและก่อสร้างชั้นใต้ดิน

เมื่อพิจารณาถึงปัญหาและอุปสรรค พบว่า ปัญหาส่วนใหญ่ มีดังนี้คือ โครงการทุกๆ โครงการล้วนตั้งอยู่ในเขตการจราจรหนาแน่น ทำให้ถูกจำกัดเวลาในการวิ่งของรถบรรทุก เช่น รถขนดิน, รถขนคอนกรีตผสมเสร็จ เป็นต้น ให้วิ่งได้เป็นบางเวลาเท่านั้น, ปัญหาการติดตั้งเสาเหล็กในเสาเข็มเจาะมีการเยื้องศูนย์มาก, ปัญหาการระบายอากาศในชั้นใต้ดินไม่ทั่วถึง, ปัญหาเรื่องความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะมีจำกัด, ปัญหาการเลือกใช้วัสดุสำหรับอุดช่องว่างเสาและกำแพงใต้พื้นชั้นใต้ดินขณะก่อสร้างขึ้นมา (Bottom Up) เป็นต้น, ปัญหาการสิ้นเปลืองวัสดุบริเวณรอยต่อโครงสร้างต่าง ๆ มาก เช่น เหล็กเสริม, ไม้แบบ เนื่องจากมีช่องเปิดในพื้นและมีรอยต่อในโครงสร้างเสาและผนังมาก, ปัญหาการขุดดินใต้พื้นกระทำได้ค่อนข้างยาก และต้องใช้คนขับที่มีความชำนาญโดยเฉพาะ

แต่เมื่อพิจารณาข้อดี/ข้อเสียที่สำคัญมีดังนี้ ในด้านข้อดี คือ ลดระยะเวลาการก่อสร้างลง ทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากอาคารเร็วขึ้น, แนวโน้มการตลาดของโครงการดี เพราะเห็นความคืบหน้าของโครงการเร็ว, มีความปลอดภัยต่ออาคารข้างเคียง จากการใช้กำแพงกันดินไดอะแฟรมวอลล์ ในด้านข้อเสียที่สำคัญ คือ ยังขาดแคลนบุคลากรและผู้รับเหมาในประเทศที่มีประสบการณ์การก่อสร้างวิธีอัป/ดาวน์, ต้นทุนค่าก่อสร้างสูงกว่าปกติ , ยังเป็นวิธีการก่อสร้างที่ใหม่ต่อประเทศไทย ทำให้ขาดข้อมูลที่ใช้ประกอบการวางแผนงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย