บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

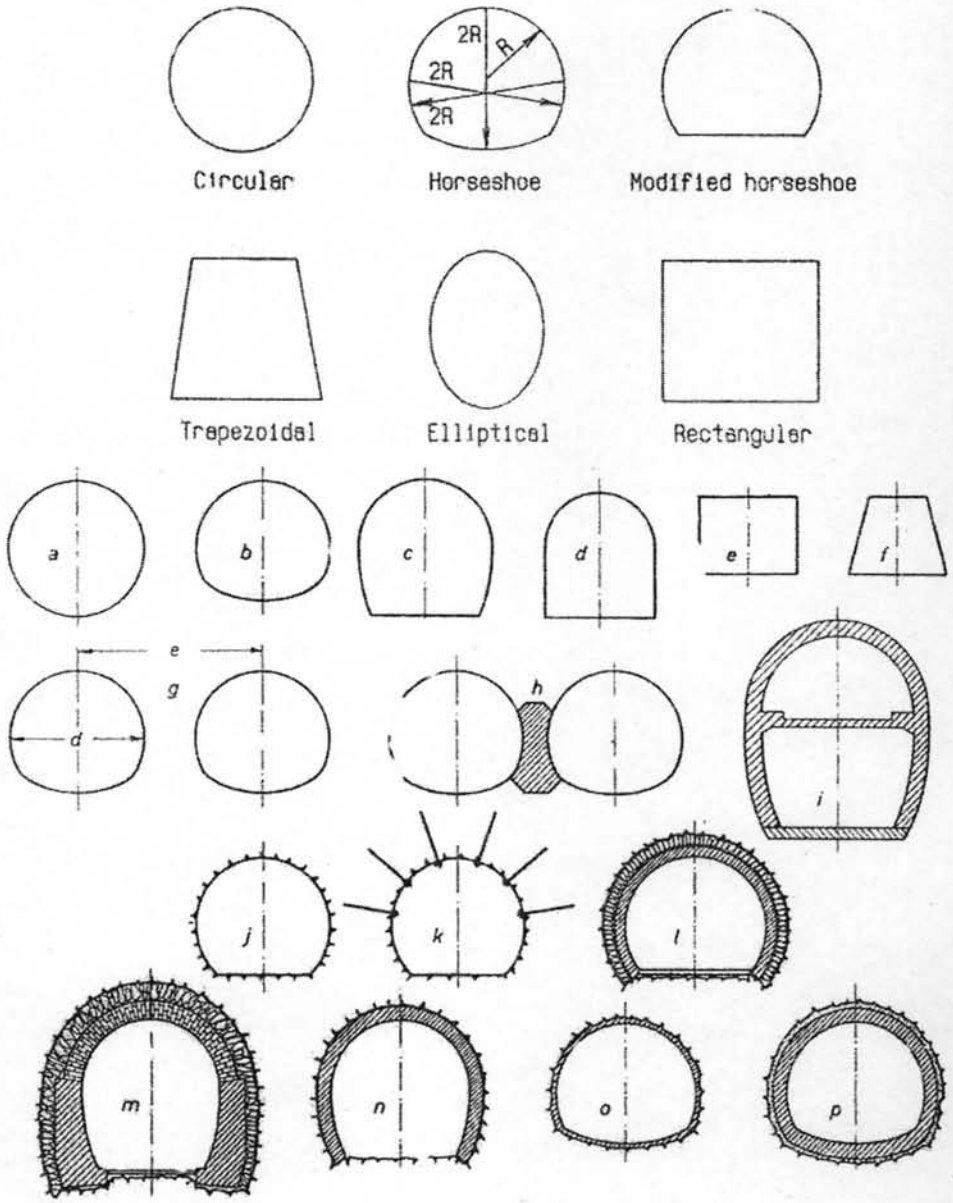
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเอาองค์ความรู้ และข้อมูล จากงานวิจัยและทฤษฎีต่างๆ ที่มีสาระสำคัญอันเกี่ยวข้องและเป็นประโยชน์ มาใช้สำหรับศึกษาและวิเคราะห์ในงานวิจัย เพื่อยังผลให้งานวิจัยประสบผลสำเร็จ ซึ่งจากการศึกษาเบื้องต้น มีสาระสำคัญดังนี้

2.1 วิวัฒนาการด้านงานขุดเจาะอุโมงค์

มนุษย์ได้ริเริ่มก่อสร้างอุโมงค์ขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการขนส่งและการสัญจรเป็นหลัก เช่น อุโมงค์ขนส่งมวลชนในเขตเมือง อุโมงค์รถไฟ อุโมงค์รถยนต์ อุโมงค์สำหรับท่อร้อยสายไฟฟ้า อุโมงค์ลำเลียงวัสดุ เช่น ถ่านหิน เป็นต้น อีกทั้งอุโมงค์บางแห่งยังออกแบบให้สามารถรับแรงดันได้ เช่น อุโมงค์ส่งน้ำ หรืออุโมงค์ผันน้ำในเขื่อน

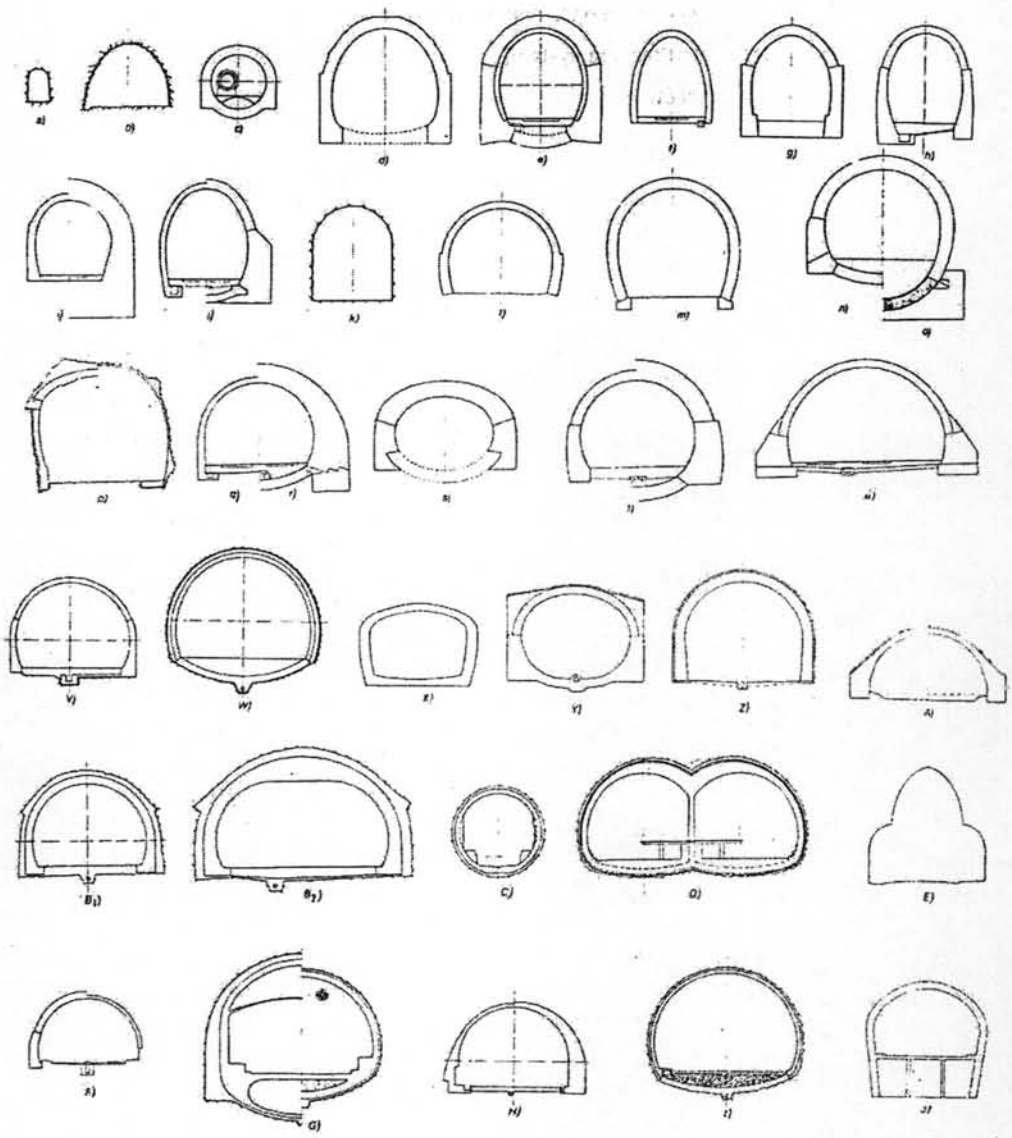
ในอดีตการขุดเจาะอุโมงค์ส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณภูเขา มีวัตถุประสงค์เพื่อการสัญจรและลดระยะเวลาในการเดินทาง แต่บางแห่งเป็นการก่อสร้างอุโมงค์เพื่อเก็บสะสมอาวุธ อาหาร สารพิษ หรือกากจากเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ รวมถึงการสร้างอุโมงค์เพื่อหลบภัยจากสงคราม ซึ่งจากหลักฐานทางประวัติศาสตร์พบว่า ได้มีการก่อสร้างอุโมงค์มากว่า 700 ปี ก่อนคริสตกาล ณ กรุงเยรูซาเล็ม คือ อุโมงค์ Siloam Water Tunnel (บุญเทพ นาเนกรังสรรค์, 2539) โดยมีขนาดความกว้างประมาณ 0.70 เมตร สูง 1.70 เมตร และยาว 540 เมตร ซึ่งยังคงใช้งานได้จนถึงปัจจุบัน

ครั้นต่อมาในภายหลัง ได้เริ่มมีการก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดินมากขึ้นในเมืองใหญ่ๆ เพื่อที่จะบรรเทาปัญหาการจราจรที่คับคั่ง ซึ่งมีทั้งอุโมงค์สำหรับรถรางไฟฟ้าเพื่อการขนส่งมวลชน อุโมงค์สำหรับรถยนต์ เป็นต้น โดยอุโมงค์ที่ก่อสร้างในบริเวณเขตเมืองนั้น จะเป็นอุโมงค์ที่ก่อสร้างในชั้นดิน ซึ่งมีเทคนิคการก่อสร้างแตกต่างไปจากอุโมงค์ในชั้นหิน ลักษณะรูปร่างของอุโมงค์โดยทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2.1 โดยได้ออกแบบรูปทรงให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในการใช้งานเป็นหลัก เช่น อุโมงค์รถไฟที่สามารถให้ขบวนรถสวนทางกันได้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12-13 เมตร แสดงดังรูปที่ 2.2 ซึ่งระบบโครงสร้างหลักของอุโมงค์มีองค์ประกอบดังนี้



รูปที่ 2.1 รูปร่างอุโมงค์ที่มีการก่อสร้างในอดีตถึงปัจจุบัน (บุญเทพ นาเนกรังสรรค์, 2539)

- ระบบค้ำยันชั่วคราว (Temporary support, Immediate support)
- ระบบกันซึม (Waterproofing membrane)
- ระบบค้ำยันถาวร (Permanent support, Final support)
- ระบบการระบายน้ำ (Drainage system)
- ระบบการระบายอากาศ (Ventilation system)
- ระบบการจ่ายกระแสไฟฟ้า (Electric system)

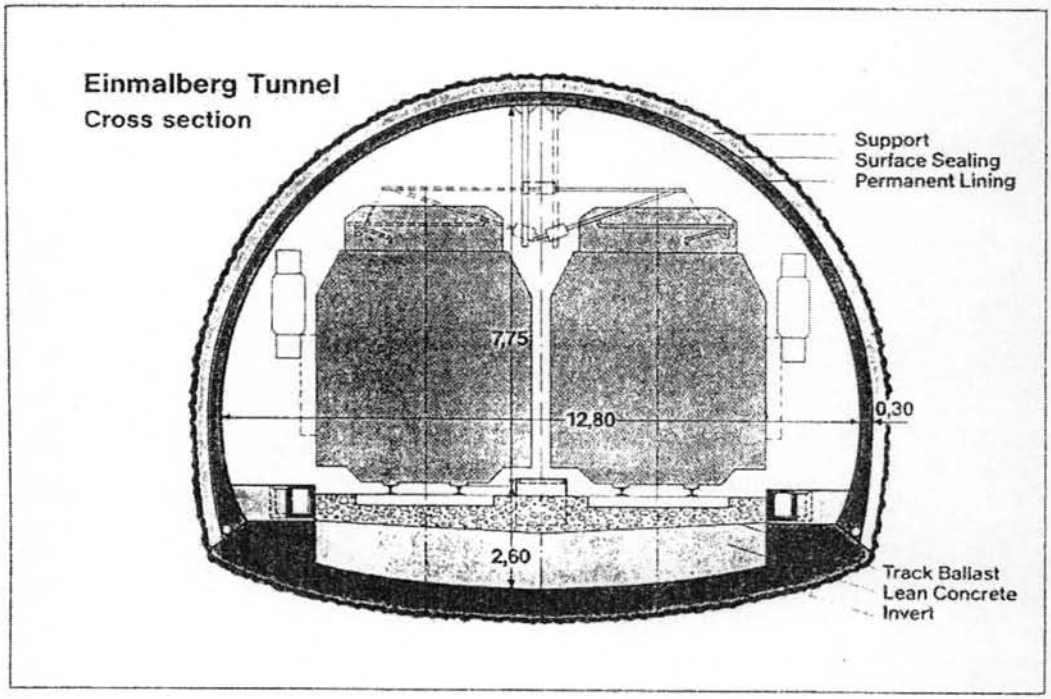


รูปที่ 2.1 (ต่อ) รูปร่างอุโมงค์ที่มีการก่อสร้างในอดีตถึงปัจจุบัน (บุญเทพ นาเนกรังสรรค์, 2539)

2.1.1 วิธีการขุดเจาะและก่อสร้างอุโมงค์

การก่อสร้างอุโมงค์ต้องใช้เทคนิค วิธีการ เครื่องมือ รวมถึงประสบการณ์ของผู้ทำการก่อสร้างสูงกว่าการก่อสร้างประเภทอื่นๆ เนื่องจากเป็นการทำงานในใต้ดิน ซึ่งมีอากาศสำหรับหายใจเบาบาง จนอาจเป็นอันตรายถึงแก่ชีวิตได้ อีกทั้งระหว่างขั้นตอนการก่อสร้างอาจพบน้ำใต้ดินซึ่งเป็นอุปสรรคอย่างยิ่ง รวมถึงการผันแปรของชั้นดินหรือหินที่คาดคะเนได้ยาก ซึ่งความไม่แน่นอนของชั้นดินหรือหินดังกล่าว ส่งผลให้มีการแก้ไขเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอุโมงค์ในแต่ละช่วงตามความเหมาะสมของสภาพชั้นดินและตามความจำเป็น การพัฒนาเครื่องมือและเทคนิคการขุด

เจาะในการก่อสร้างอุโมงค์ได้รุดหน้ามากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบจากอดีต ซึ่งบุญเทพ นาเนกรังสรรค์ (2539) ได้แบ่งวิธีการก่อสร้างอุโมงค์ซึ่งมีด้วยกันหลายวิธี ดังรายละเอียดต่อไปนี้



รูปที่ 2.2 รูปตัดของอุโมงค์รถไฟ Einmalberg (บุญเทพ นาเนกรังสรรค์, 2539)

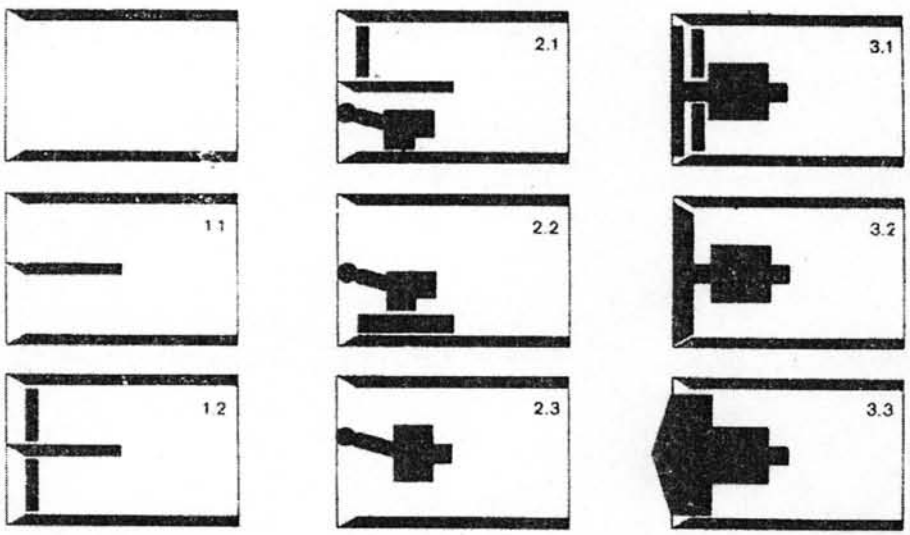
Drilling and Blasting method

เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการขุดเจาะอุโมงค์ในหินตั้งแต่อดีตและใช้กันมาจนถึงปัจจุบัน โดยด้านหน้าอุโมงค์จะถูกเจาะเป็นรู แล้วฝังดินระเบิดหรือวัตถุระเบิดซึ่งต้องมีการคำนวณและจัดรูปแบบ (Pattern) ตำแหน่งในการวางดินระเบิดหรือวัตถุระเบิด รวมทั้งยังต้องจัดลำดับการระเบิดอีกด้วย ทั้งนี้ก็เพื่อให้ได้รูปร่างของอุโมงค์ (Tunnel Profile) ตามที่ต้องการ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือการพยายามลดการตักแหกของหินที่เกินความต้องการ (Over break) ให้น้อยลงมากที่สุด

ลักษณะการเรียงตัวและความแข็งแรงของชั้นหินนับว่าเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการขุดเจาะอุโมงค์โดยวิธีนี้เป็นอย่างมาก สำหรับรูเจาะระเบิด (Cut Hole) จะถูกจัดให้มีการระเบิดในบริเวณส่วนกลางขึ้นก่อนส่วนอื่นๆ โดยมี Cut Spreader Hole อยู่ระหว่าง Perimeter Hole และบางครั้งอาจทำการเจาะ Easer Hole (รูที่ไม่ได้ใส่ดินระเบิดไว้) เพื่อช่วยให้การแตกของหินจากแรงระเบิดง่ายขึ้น ส่วนระยะห่างของรูเจาะจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรง การจัดเรียงตัวของหิน และชนิดของวัตถุระเบิดซึ่งโดยทั่วไปอาจอยู่ประมาณ 0.30 ถึง 0.50 เมตร

Shield Tunnelling

คือการใช้เปลือกหุ้ม (Shield) เพื่อใช้เป็นค้ำยันชั่วคราวระหว่างการขุดเจาะ เพื่อช่วยลดการพังทลายบริเวณหน้าอุโมงค์ (Tunnel Face) และการทรุดตัวที่ผิวดิน โดยมีการค้ำยันตามสภาพความแข็งแรงของดิน รูปที่ 2.3 แสดงแผนภาพของ Shield Tunneling ซึ่งสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆได้ ดังนี้



Hand shield Partial excavation Full face excavation

1.1 นั่งร้าน
1.2 นั่งร้านและ face support
2.1 parfial excavation และ face support
2.2 mobile boom cutter หรือ bucket excavator
2.3 integrated partial excavation machine
3.1 drag bit หรือ disk cutter และ face support
3.2 drag bit หรือ dis cutter
3.3 rotter cutter สำหรับ hard rock

รูปที่ 2.3 แผนภาพชนิดของ Shield Tunneling (บุญเทพ นาเนกรังสรรค์, 2539)

(1) ประเภท hand shield with/without face support

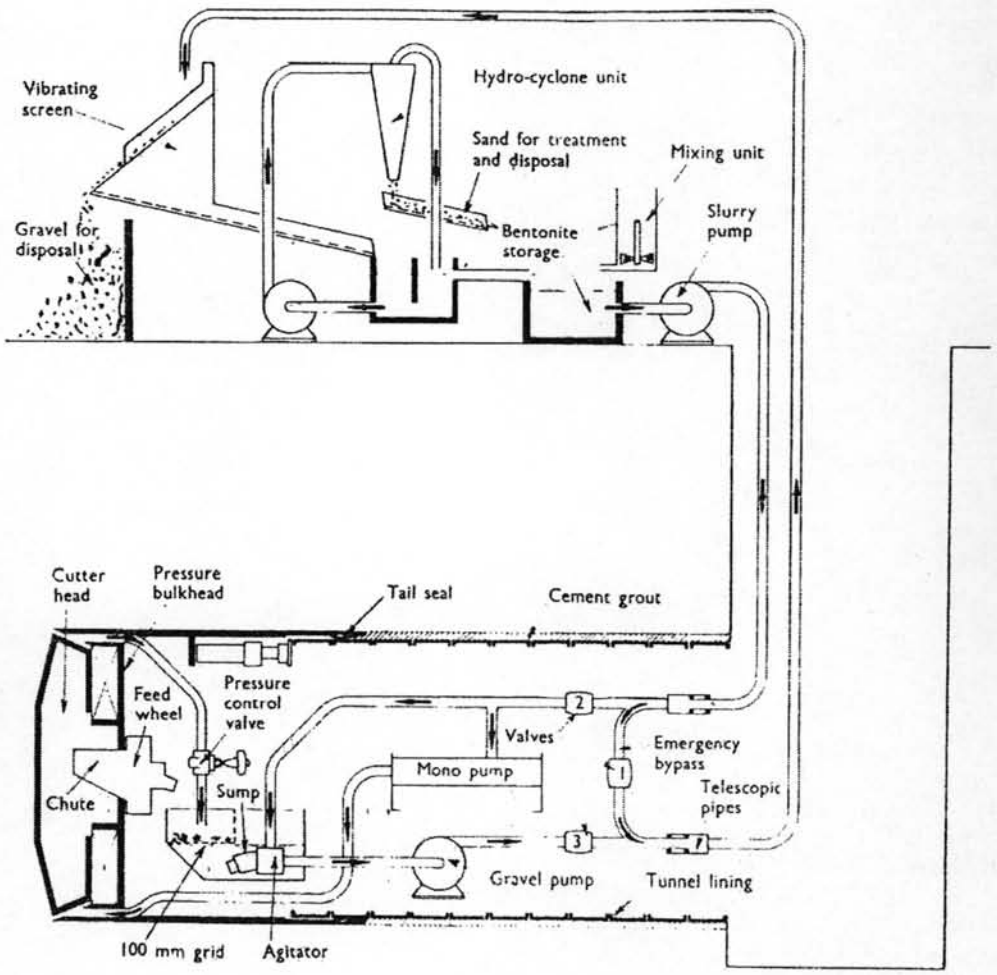
(2) ประเภท mechanical shield with boom cutter or bucket excavator

(3) ประเภท full face cutter (TBM-Tunneling Boring Machine)

โดยที่การใช้ Full Face Cutter หรือ Tunneling Boring Machine นั้น เหมาะสำหรับการขุดเจาะบริเวณที่มีหินแตกหรือแยกมาก (Cracked and Fissured Rock) หรือบริเวณที่เป็นดินอ่อน (Soft Ground) ซึ่งจะได้กล่าวโดยละเอียดอีกครั้งในหัวข้อต่อไป

Slurry Shield Tunneling

คือการขุดเจาะอุโมงค์ โดยใช้สารละลาย อาทิเช่น น้ำ น้ำเกลือ หรือ Bentonite Slurry เป็นตัวช่วยในการค้ำยันด้านหน้าอุโมงค์ไม่ให้เกิดการพังทลาย ในขณะเดียวกันสารละลายดังกล่าวจะมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลาย ซึ่งช่วยในการลำเลียงวัสดุจากการขุดเจาะให้ง่ายขึ้น และนำไปร่อนแยกออกจากสารละลายอีกครั้งหนึ่งที่ผิวดิน โดยจะนำสารละลายที่ผ่านการตรวจสอบคุณสมบัติและปรับปรุงคุณภาพแล้ว เวียนกลับไปใช้ที่ด้านหน้าอุโมงค์อีกครั้งหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กระบวนการทำงานของ Slurry Shield (Stack, 1982)

การขุดเจาะด้วยวิธีนี้ประสบผลสำเร็จอย่างมากที่ประเทศญี่ปุ่น เมื่อปีค.ศ.1961 และที่ประเทศเยอรมนีเมื่อปีค.ศ.1974 จากวิธีการดังกล่าวนี้ ภายหลังได้มีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงรายละเอียดต่างๆ และมีการเรียกชื่อเป็นอย่างอื่น เช่น Hydroshield, Thixshield, Bentonite Shield เป็นต้น

Tunneling Boring Machine

การขุดเจาะอุโมงค์โดยวิธีนี้ จะใช้เครื่องจักรกลหมุนใบมีดตัดดินหิน เต็มความกว้างหน้าตัดของอุโมงค์ (Full Face Cutter) ซึ่งมีการพัฒนาเครื่องมือและเริ่มใช้กันอย่างแพร่หลาย ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1956 เป็นต้นมา ปัจจุบันสามารถขุดเจาะอุโมงค์ที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดมากกว่า 100 ตร.ม. และใช้ตัดหินที่มีความแข็งได้มากถึง 300 MPa

Compressed Air Shield Tunnelling

การขุดเจาะอุโมงค์โดยวิธีนี้ อาศัยการอัดอากาศเข้าไปในระบบการขุดเจาะและลำเลียงวัสดุทำให้น้ำไม่สามารถเข้ามาในอุโมงค์ได้ เหมาะสำหรับการขุดเจาะในชั้นทรายที่มีน้ำท่วม หรือมีน้ำใต้ดินไหลผ่าน ซึ่งสามารถขุดเจาะได้โดยไม่ต้องอาศัยการลดระดับของน้ำใต้ดิน

Partial Excavation

คือการขุดเจาะอุโมงค์ทีละส่วนของพื้นที่หน้าตัดอุโมงค์ โดยพฤติกรรมพื้นฐานของดินหรือหินตามธรรมชาติ พบว่าเมื่อมีการขุดเจาะอุโมงค์จะเกิด Stress Redistribution ในบริเวณรอบอุโมงค์ โดยมีอยู่ช่วงระยะเวลาหนึ่งก่อนที่ดินหรือหินจะร่วงหล่นลงมา ซึ่งในช่วงระยะเวลาดังกล่าวนี้ ต้องทำการค้ำยันให้เสร็จสิ้นก่อน การพังทลายของดินหรือหินจึงจะไม่เกิดขึ้น ซึ่งลักษณะของสภาวะก่อนที่ดินหรือหินจะร่วงหล่นลงมา จะมีผลต่อแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของอุโมงค์ ทำให้วิศวกรอุโมงค์ได้ทำการศึกษาวิธีการขุดเจาะ พร้อมกับเทคนิคก่อสร้างไว้หลายวิธี ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

(1) *The Belgian Tunneling Method* : เริ่มใช้เมื่อปี ค.ศ.1828 ในการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำ Charleroy ในประเทศเบลเยี่ยม ภายหลังนิยมใช้กันมากในการขุดเจาะอุโมงค์บริเวณเทือเขาแอลป์ (Alp) โดยการก่อสร้างวิธีนี้ จะเริ่มจากการขุดเจาะที่ Top Heading ก่อน แล้วทำการค้ำยันที่เรียกว่า tunnel crown หลังจากนั้นจึงทำการขุดส่วนที่อยู่ด้านล่าง แต่ถ้าหากเป็นอุโมงค์ขนาดใหญ่หรือมีพื้นที่การขุดเจาะมากๆ จะมีการแบ่งแยกลำดับขั้นตอนการขุดเจาะและการค้ำยัน

(2) *The German Tunneling Method* : จากการค้นพบร่องรอยทางประวัติศาสตร์ที่มีการบันทึกไว้นั้น ได้เริ่มมีการใช้วิธีการของเยอรมันในปี ค.ศ.1803 ที่ Tronguoy และมีการพัฒนาเทคนิคอย่างมากในช่วงกลางศตวรรษที่ 20 โดยวิธีการของเยอรมนีนี้จะทำการขุดเจาะอุโมงค์บริเวณด้านข้างทั้งสองก่อนแล้วจึงขุดเจาะด้านบน จากนั้นจึงทำค้ำยันด้านบน โดยจะใช้ส่วนที่เป็นแกนกลางอุโมงค์เป็นที่รับแรงจากการค้ำยัน

(3) *The Old Austrian Tunneling Method* : วิธีการนี้เริ่มใช้กับอุโมงค์รถไฟ Oberau ในเส้นทางระหว่างเมือง Leipzig ถึง Dresden เมื่อปี ค.ศ.1837 และต่อมาได้นำไปใช้ก่อสร้างอุโมงค์ Gumpoldskirchner เมื่อปี ค.ศ. 1839 โดยวิธีการนี้จะเริ่มขุดเจาะจากบริเวณพื้นก่อน แล้วขยายขึ้นด้านบนและด้านข้างตามลำดับ และจะเทคอนกรีตเมื่อขุดเจาะจนได้รูปร่างอุโมงค์ตามที่ต้องการแล้ว

(4) *The English Tunneling Method* : เริ่มมีการใช้วิธีการนี้ครั้งแรก เมื่อปี ค.ศ.1830 ในการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟในประเทศอังกฤษ โดยมีลักษณะคล้ายคลึงกับวิธีของออสเตรียแบบเก่า (The Old Austrian Tunneling Method) ซึ่งมีการขุดเจาะให้ได้รูปร่างทั้งหมดก่อน แล้วจึงก่อสร้างค้ำยันถาวร หรือทำการดาดอุโมงค์ (Permanent Lining) จากด้านข้างส่วนล่างขึ้นสู่ด้านบน วิธีการของอังกฤษจะเหมาะกับอุโมงค์ที่มีความลึกไม่มากนัก

(5) *The Italian Tunneling Method* : วิธีนี้เริ่มใช้ในการก่อสร้างอุโมงค์ระหว่างเมือง Foggia และ Neapel ในประเทศอิตาลี เมื่อปี ค.ศ.1867 และต่อมาได้มีการพัฒนาเทคนิควิธีสำหรับใช้ในการก่อสร้างอุโมงค์ลอดใต้เทือกเขาแอลป์ เมื่อปี ค.ศ.1893 โดยใช้ในบริเวณที่ชั้นดินหรือหินมีสภาพไม่ดี และมีน้ำไหลเข้าสู่อุโมงค์เป็นจำนวนมาก แต่ปัจจุบันไม่นิยมใช้วิธีการนี้

(6) *The New Austrian Tunneling Method (NATM)* : เป็นวิธีการก่อสร้างในลักษณะขุดเจาะและค้ำยันเป็นขั้นตอนในแต่ละส่วนของอุโมงค์ (Partial Excavation Followed by Stepwise Construction) ซึ่งได้จดทะเบียนลิขสิทธิ์ในปี ค.ศ.1948 โดย Rabcewicz และเริ่มใช้ในปี ค.ศ. 1964 ต่อมาได้มีการนำไปใช้กันในแถบยุโรปอย่างแพร่หลาย จนเป็นที่ยอมรับจนถึงปัจจุบัน โดยประเทศสหรัฐอเมริกาได้นำวิธีการนี้ไปใช้ในการก่อสร้างอุโมงค์ในแถบเทือกเขาเลบานอนในเมือง Pittsburgh เมื่อปี ค.ศ.1984 และประเทศญี่ปุ่นได้เริ่มนำเทคนิควิธีการนี้ไปใช้ในการก่อสร้างเช่นเดียวกัน

ในหลักการของวิธีการขุดเจาะอุโมงค์ทีละส่วน (Partial Excavation) จะเริ่มจากการขุดเจาะและก่อสร้างค้ำยันชั่วคราวเป็นลำดับขั้นตอน โดยอาศัยพฤติกรรมร่วมกันของดินและโครงสร้าง (Ground – Structure Interaction) อันได้แก่ ดิน Shotcrete และ Anchor ซึ่งจากการเคลื่อนตัวของดินจะทำให้เกิด Self–Supporting Arch อยู่เหนืออุโมงค์ ซึ่งค้ำยันชั่วคราวประกอบไปด้วย Shotcrete, Steel Arch (Lattice Girder) และ Rockbolt (หรือ Anchor) ตามแต่สภาพความแข็งแรง หรือการเรียงตัวของชั้นดินหรือหิน

ส่วนการปิดวงแหวน (Close Ring) บริเวณโดยรอบผนังอุโมงค์ (Invert Area) จะกระทำก็ต่อเมื่อพบดินอ่อนหรือสภาพดินมีปัญหา ซึ่งจำเป็นต้องถ่ายแรงให้ครบวงรอบของโครงสร้าง วิธีการขุดเจาะและก่อสร้างอุโมงค์แบบนี้ใช้ในประเทศเยอรมนี และออสเตรียเป็นจำนวนมาก โดยปกตินิยมใช้ SN (Store Norfors) Anchor ยึดรั้งกับดินควบคู่กันไปด้วย โดยเฉพาะเมื่อพบรอยแตกของหินเป็นจำนวนมาก

2.1.2 ประเภทของการขุดเจาะอุโมงค์

การแบ่งประเภทของการขุดเจาะอุโมงค์ สามารถแบ่งตามวัสดุที่เจาะได้เป็น 2 ประเภทคือ อุโมงค์ในชั้นหิน และอุโมงค์ในชั้นดิน ซึ่งแต่ละประเภทมีลักษณะของวิธีการขุดเจาะและการค้ำยันที่แตกต่างกัน ดังนี้

การขุดเจาะอุโมงค์ในชั้นหิน (Rock Tunneling)

อุโมงค์ในชั้นหินมักจะเป็นอุโมงค์ที่เจาะผ่านชั้นของหิน ซึ่งข้อจำกัดหนึ่งในการออกแบบอุโมงค์คือ การสำรวจสภาพหิน และน้ำใต้ดิน ตามแนวอุโมงค์ซึ่งมักจะทำได้ไม่ละเอียดพอ โดยปกติวิธีการขุดเจาะ จะใช้วิธีการเจาะและระเบิด (Drill and Blast Method) เพราะหินมีความแข็งมาก แต่ถ้าหินมีความแข็งไม่มากนัก (กำลังรับแรงอัดน้อยกว่า 100 MPa) อาจขุดเจาะโดยใช้เครื่องขุดที่เรียกว่า Roadheader

ในบางกรณีที่อุโมงค์มีความยาวมากพอสมควร และสภาพธรณีวิทยาไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากนัก สามารถจะทำการขุดเจาะโดยใช้เครื่องขุดเจาะ (Tunnel Boring Machine-TBM) ซึ่งช่วยให้อัตราการขุดเจาะเร็วขึ้นและสภาพหินรอบผนังอุโมงค์ไม่เสียหาย เหมือนกับวิธีการเจาะและระเบิด ส่วนการค้ำยันอุโมงค์ในช่วงแรก (Initial Support) มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันหินร่วงหรืออุโมงค์ถล่ม ซึ่งในปัจจุบันพบว่ามีการนำ Shortcrete (คอนกรีตพ่น) และ Rock Bolts มาใช้ แต่ในบางกรณีอาจใช้ประกอบกับ Steel Rib ไว้เป็นค้ำยันชั่วคราว และเมื่อขุดเจาะอุโมงค์แล้วเสร็จจึง

ติดตั้งค้ำยันถาวร (Secondary Support) ซึ่งอาจเป็นการดาดคอนกรีต หรือ Shortcrete เพิ่มเติม แล้วแต่ประเภทการใช้งานของอุโมงค์

ปัจจัยสำคัญที่ควบคุมความยากง่าย ในการก่อสร้างอุโมงค์ในชั้นหิน คือสภาพธรณีวิทยาของมวลหิน อันได้แก่ สภาพของรอยแตก น้ำใต้ดิน และชนิดของหิน เป็นต้น ส่วนค้ำยันของอุโมงค์ได้ออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกที่มีปริมาณเพียงส่วนหนึ่งของ Overburden Stress เท่านั้น เพราะมวลหินเหนืออุโมงค์สามารถเกิดพฤติกรรม Arching หรือการค้ำยันในชั้นหินเองได้ ซึ่งจะช่วยลดน้ำหนักที่กดบนค้ำยันได้ส่วนหนึ่ง

วิธีการก่อสร้างอุโมงค์ในชั้นหินที่แพร่หลายอย่างมากในปัจจุบัน คือ วิธี New Austrian Tunneling Method (NATM) โดยการขุดเจาะจะใช้ค้ำยันด้วย Shortcrete และ Rock Bolts เป็นหลัก ประกอบกับมีการตรวจวัดพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของผนังอุโมงค์ เพื่อปรับปริมาณการค้ำยันในระหว่างการก่อสร้างให้เหมาะสมและปลอดภัยตามแต่ละสภาพของชั้นหิน

การขุดเจาะอุโมงค์ในชั้นดินอ่อน (Soft Ground Tunneling)

การขุดเปิดหน้าดินเพื่อก่อสร้างอุโมงค์ ทำให้สมดุลของความเค้น (Stress) ภายในมวลดินเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นจากในสภาวะปกติที่อยู่ลึกลงไปใต้ผิวดิน ซึ่งมีค่าสูงกว่ากำลังรับแรงเฉือนของดินมาก ดังนั้นหากการขุดเจาะไม่ได้กระทำอย่างเหมาะสม แรงเค้นสะสมเหล่านี้จะกระทำกับบริเวณหน้าดินที่เปิดออกใหม่ และก่อให้เกิดการพังทลายของหน้าดินในบริเวณที่ทำการก่อสร้างได้

เนื่องจากความเค้นที่คลายออกมามีค่าสูงเกินกว่ากำลังรับแรงเฉือนของมวลดินนั้น โดยขนาดของแรงเค้นที่ถูกปลดปล่อยออกมา ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น วิธีการที่ใช้ในการขุดเจาะ ชนิดของค้ำยัน รูปร่างของอุโมงค์ ชนิดของดินในบริเวณนั้น เป็นต้น การขุดเจาะอุโมงค์ในชั้นดินอ่อนโดยทั่วไปสามารถกระทำได้ 2 วิธี

(1) การก่อสร้างอุโมงค์โดยเริ่มต้นขุดจากพื้นผิวด้านบน ซึ่งได้แก่การขุดเจาะอุโมงค์แบบ Cut and cover

(2) การก่อสร้างอุโมงค์โดยกระทำที่โครงสร้างใต้ดิน กล่าวคือก่อสร้างจากด้านล่าง จึงกระทบกระเทือนต่อผิวดินน้อยมาก โดยวิธีการนี้เป็นที่แพร่หลายมากในปัจจุบัน และจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อต่อไป

การขุดเจาะอุโมงค์แบบ Cut and Cover Method

วิธีการขุดอุโมงค์แบบ Cut and Cover เป็นวิธีที่เสียค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก และก่อสร้างได้ง่ายกว่าการขุดอุโมงค์แบบอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากการก่อสร้างสามารถทำได้โดยไม่ต้องอาศัยเทคโนโลยีที่สลับซับซ้อน โดยมากมักใช้กับอุโมงค์ที่อยู่ลึกจากผิวดินไม่เกิน 10 เมตร ข้อเสียของการขุดอุโมงค์แบบ Cut and Cover คือการที่กิจกรรมต่างๆ บนพื้นผิวด้านบนของแนวอุโมงค์บางส่วนหรือทั้งหมดจะต้องหยุดลง ดังนั้นการวางแผน และการกำหนดขั้นตอนการทำงานที่เหมาะสม เพื่อให้การก่อสร้างมีผลกระทบต่อกิจกรรมบนพื้นผิวดินน้อยที่สุด จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดความสำเร็จของโครงการ

หลักการของการขุดอุโมงค์แบบ Cut and Cover นั้น จะคล้ายคลึงกับการก่อสร้างกำแพงใต้ดิน (Diaphragm Wall) ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

(1) การก่อสร้างกำแพงใต้ดิน (Diaphragm Wall) มีวัตถุประสงค์เพื่อรองรับแรงดันดินด้านข้าง ที่เกิดขึ้นระหว่างการขุดเปิดผิวดิน ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกในการก่อสร้างอุโมงค์แบบ Cut and Cover การก่อสร้างกำแพงใต้ดินนี้มักจะทำในบริเวณด้านข้างของผิวจราจร ชนิดของกำแพงใต้ดินที่ใช้กันมากได้แก่ Steel Anchored Sheet Pile, Slurry Concrete Wall, Preboring Pile เป็นต้น นอกจากนี้กำแพงใต้ดินดังกล่าวต้องออกแบบให้สามารถรับแรงสั่นสะเทือน ที่เกิดจากการจราจรหรือกิจกรรมอื่นๆ บนพื้นผิวดินด้านบนได้อีกด้วย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วกำแพงใต้ดินมักจะถูกใช้เป็นผนังข้างของโครงสร้างใต้ดินนั้นๆ

(2) การวางพื้นถนนชั่วคราว (Temporary Road Deck) เพื่อรองรับกิจกรรมต่างๆ บนผิวดิน หลังจากที่การก่อสร้างกำแพงใต้ดินเสร็จสิ้น พื้นผิวดิน (ถนนเดิม) ด้านบนระหว่างกำแพงกันดินทั้ง 2 ข้างจะถูกขุดลอกออก ในขั้นตอนนี้จำเป็นที่จะต้องปิดการจราจรลงชั่วคราว โดยมากมักจะทำการก่อสร้างในเวลากลางคืนโดยแบ่งการขุดลอกผิวดินเดิมออกเป็นส่วนๆ ซึ่งการก่อสร้างในแต่ละส่วน จะต้องทำให้เสร็จสิ้นภายในกำหนดเวลา โดยหลังจากนั้นจะต้องวางพื้นถนนชั่วคราว (Temporary Road Deck) เพื่อเปิดการจราจรอีกครั้งในวันรุ่งขึ้น

(3) การขุดดินด้านล่างและทำโครงสร้างใต้ดิน หลังจากที่เสร็จสิ้นขั้นตอนการวางพื้นถนนชั่วคราว ขั้นตอนต่อไปจะทำการขุดดินด้านล่างและวางโครงสร้างใต้ดินเป็นลำดับต่อไป

(4) การถมดิน และการบูรณะพื้นผิวด้านบน.หลังจากที่การก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินเสร็จสิ้นลง ช่องว่างระหว่างพื้นผิวดินเดิม และโครงสร้างใต้ดินจะถูกถมด้วยวัสดุถมและบดอัดจนได้

คุณสมบัติตามที่กำหนด จากนั้นจึงเริ่มทำการบูรณะพื้นผิวถนน เพื่อให้สามารถกลับมาใช้งานได้ดังเดิม

2.2 การขุดเจาะอุโมงค์โดยวิธี Shield Tunneling

การขุดเจาะอุโมงค์โดยวิธี Shield Tunneling เริ่มขึ้นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ.1827 ในการขุดเจาะอุโมงค์ลอดแม่น้ำ Thames ในกรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ โดยใช้เครื่องขุดเจาะที่พัฒนาโดย Marc I. Brunel และ J.H. Greathead ภายหลังได้มีการพัฒนาเทคนิคการขุดเจาะและการค้ำยันด้านหน้าอุโมงค์ (Face Support) อย่างต่อเนื่อง ซึ่งทำให้เกิดเครื่องขุดเจาะชนิดต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพชั้นดินและความต้องการ

2.2.1 การจำแนกชนิดเครื่องขุดเจาะประเภท Shield

การจำแนกชนิดของเครื่องขุดเจาะที่ใช้ Shield สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท อันได้แก่ แบบ Conventional Shield และแบบ Special Shield (กีรติ เมืองแสน, 2544)

Conventional Shield

(1) Hand Excavation Type

รูปแบบโครงสร้าง : มีช่องเปิดด้านหน้า,ค้ำยันส่วนหน้าอาศัย Half-Moon, Movable Hood, Face Jacks และ Deck Jack, ใช้แรงคนในการขุดดินด้านหน้าอุโมงค์

ชั้นดิน : ชนิดของดินที่สามารถคงตัวอยู่ได้เอง (Self Standing Soil) เช่น ดินเหนียวแข็ง, Consolidated Sand Gravel เป็นต้น

ลักษณะทั่วไป : สามารถรับมือกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพดินและสิ่งกีดขวาง เช่น เสาเข็ม ก้อนหินขนาดใหญ่ แต่ในบางสภาวะจำเป็นต้องทำการฉีดสารเคมี (Chemical Injection) ร่วมกับระบบอัดอากาศ (Compressed Air) เพื่อเพิ่มเสถียรภาพการค้ำยันด้านหน้าอุโมงค์ เป็นเครื่องขุดเจาะที่มีรูปแบบเรียบง่าย และมูลค่าเครื่องขุดเจาะไม่สูงนัก

(2) Semi-Mechanical Type

ก) Shovel Mount (Basket Mount)

รูปแบบโครงสร้าง : ลักษณะค้ำยันด้านหน้าคล้ายกับ Hand Excavation Type การขุดดินออกกระทำโดยอาศัย Shovel, Back Hoe หรือ Excavator

ชั้นดิน : เหมาะกับดินที่สามารถคงตัวอยู่ได้เอง (Self Standing Soil)

ลักษณะทั่วไป : มีประสิทธิภาพมากกว่าเมื่อเทียบกับ Hand Excavation

ข) Load Header (Boom Type)

รูปแบบโครงสร้าง : การขุดเอาดินด้านหน้าอุโมงค์จะอาศัย Boom Cutter หรือ Heading Machine

ชั้นดิน : เหมาะสำหรับชั้นดินที่แข็ง หรือชั้นหินที่มีค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) มากกว่า 1,000 kg/cm^2 หรือมีความแข็งตั้งแต่ชั้นหินอ่อน (Soft Rock) ขึ้นไป

ลักษณะทั่วไป : มีประสิทธิภาพมากเมื่อขุดเจาะในบริเวณชั้นดินที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Homogeneous Ground) แต่เมื่อความแข็งของดินหรือหินเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของการทำงานจะลดลง การสึกหรอของฟันตัดจะเพิ่มมากขึ้น

(3) Mechanical Type

รูปแบบโครงสร้าง : อุปกรณ์ขุดดินใช้ Rotation Cutter Head (ลักษณะเป็นจานพร้อมติดตั้งฟันตัด)

ชั้นดิน : ดินเหนียวอ่อนถึงดินเหนียวแข็ง, ทรายและดินตะกอน

ลักษณะทั่วไป : เป็นระบบที่มีการขุดเจาะแบบเต็มหน้าตัด โดยใช้ Cutter Disc เป็นอุปกรณ์พื้นฐาน

(4) Blind Type

รูปแบบโครงสร้าง : เป็นระบบที่มีการปิดบริเวณด้านหน้า โดยติดตั้ง Blind Plate ไว้ที่บริเวณดังกล่าว มีประตู (Gate) ที่เปิด-ปิดได้เพื่อปล่อยดินออกจากส่วนหน้า

ชั้นดิน : ดินเหนียวอ่อนที่ค่อนข้างเป็นเนื้อเดียวกัน

ลักษณะทั่วไป : ใช้ระบบการปรับ Jack Pressure Capacity และขนาดของ Gate ให้เหมาะสมกับสภาพดิน ซึ่งทำได้โดยพิจารณาข้อมูลที่ได้รับจากการขุดเจาะ

Special Shield

(5) Earth Pressure Balanced Type

ก) Excavated Earth Pressure Balanced Type

รูปแบบโครงสร้าง : หลักการพื้นฐานคือ การนำดินที่ถูกขุดผ่านช่องของ Cutter Disc เข้าสู่ห้องพักดิน (Soil Chamber) และลำเลียงดินออกด้วยปริมาณที่เท่ากันกับที่ขุดได้ด้วย Screw Conveyor บริเวณห้องพักดินจะถูกเติมเต็มด้วยดินที่ขุดตลอดเวลา แรงดันที่อยู่ในห้องพักดิน จะช่วยรักษาเสถียรภาพด้านหน้าอุโมงค์ และป้องกันการพังทลายของดิน เพื่อการทำงานที่มีประสิทธิภาพ เครื่องขุดเจาะต้องมีลักษณะดังนี้

- ขนาดของ Cutter Disc ต้องเหมาะสม
- เพื่อให้การไหลของดิน (Muck) เกิดขึ้นได้ดีและเป็นไปอย่างต่อเนื่อง จึงต้องมีการเติม Admixture หรือ Additive ในห้องพักดิน
- การป้องกันน้ำและการลำเลียงดินออกกระทำได้อย่างต่อเนื่อง โดยอาศัยอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็น Rotary Feeder

ชั้นดิน : ดินเหนียว, ดินตะกอน และทรายที่มีการซึมน้ำต่ำ

ลักษณะทั่วไป : ไม่มีการแยกสารละลาย Slurry ออกจากดินขุดเหมือนในชนิดของ Slurry Type และการก่อสร้างจะทำได้ลำบากเมื่อมีอุปสรรค เช่น ก้อนหินขนาดใหญ่ และการซึมของน้ำ

ข) Earth Pressure Plus Water Pressure Balanced Type

รูปแบบโครงสร้าง : หลักการพื้นฐานคล้ายกับประเภทแรกที่ได้กล่าวมา การรักษาเสถียรภาพด้านหน้า (Face Stabilization) ทำได้โดยการรักษาสมดุลระหว่าง แรงดันของดินหน้าอุโมงค์กับแรงดันน้ำที่ถูกเติมบริเวณ Cutter Face Plate รวมกับปริมาณดินในห้องพักดิน (Soil Chamber) ดินที่ถูกตัดจะผ่านช่องที่เป็นทางยาว (Slit) ในแนวรัศมีของ Cutter Disc เข้ามายังส่วนของห้องพักดินเพื่อใช้เป็นค้ำยันด้านหน้า

ชั้นดิน : ชั้นทรายที่น้ำซึมผ่าน และชั้นกรวด

ลักษณะทั่วไป : ควบคุมปริมาณดินที่ขับออก (Discharged Soil Volume) และแรงดันน้ำได้ค่อนข้างยาก

ค) High Density Slurry Shield Type (Slime Shield)

รูปแบบโครงสร้าง : การรักษาเสถียรภาพด้านหน้าทำได้โดยอาศัยแรงดันของ Slurry ที่มีความหนาแน่นสูงและใช้อุปกรณ์ตัดดินที่มีลักษณะเป็นแผ่น (Cutter Face Plate หรือ Cutter Disc) การป้องกันน้ำอาศัยจากอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็น Rotary Feeder ดินที่ถูกขุดจะลำเลียงออกสู่ผิวดินโดยท่อ

ชั้นดิน : ทราย (Soft Sand) หรือกรวดที่มีความซึมผ่านของน้ำสูง

ลักษณะทั่วไป : เหมาะกับการขุดเจาะที่ชั้นดินมีความซึมผ่านของน้ำใต้ดินสูง และอุโมงค์มีความลึกไม่มากนัก มีอุปกรณ์เพื่อทำการแยกสารละลาย Slurry ออกจากดินที่ขุดได้ การควบคุมแรงดันของ Slurry และปริมาณดินที่ขับออกทำได้ยาก

ง) Mud Pressure Shield Type

รูปแบบโครงสร้าง : การรักษาเสถียรภาพด้านหน้าอาศัยการฉีดโคลนดินเหนียว หรือ Bentonite เข้าไปในส่วนของห้องพักดิน เพื่อให้ดินขุดมีสภาพเป็นโคลน (Clay Mud) แรงดันของโคลนนี้จะถูกใช้เป็นค้ำยันด้านหน้าอุโมงค์

ชั้นดิน : ชั้นดินทุกประเภท ยกเว้นชั้นหิน

ลักษณะทั่วไป : การควบคุมการขุดเจาะอาศัยการตรวจวัดแรงดันของน้ำโคลนที่อยู่ในส่วนห้องพักดินเป็นสำคัญ ไม่จำเป็นต้องคัดแยก Slurry ออกจากดินขุดแต่อาจจำเป็นเมื่อใช้ปริมาณของ Bentonite ในปริมาณที่สูง อาจเกิดปัญหาในขั้นตอนของการลำเลียง และการแยกสารละลาย Slurry

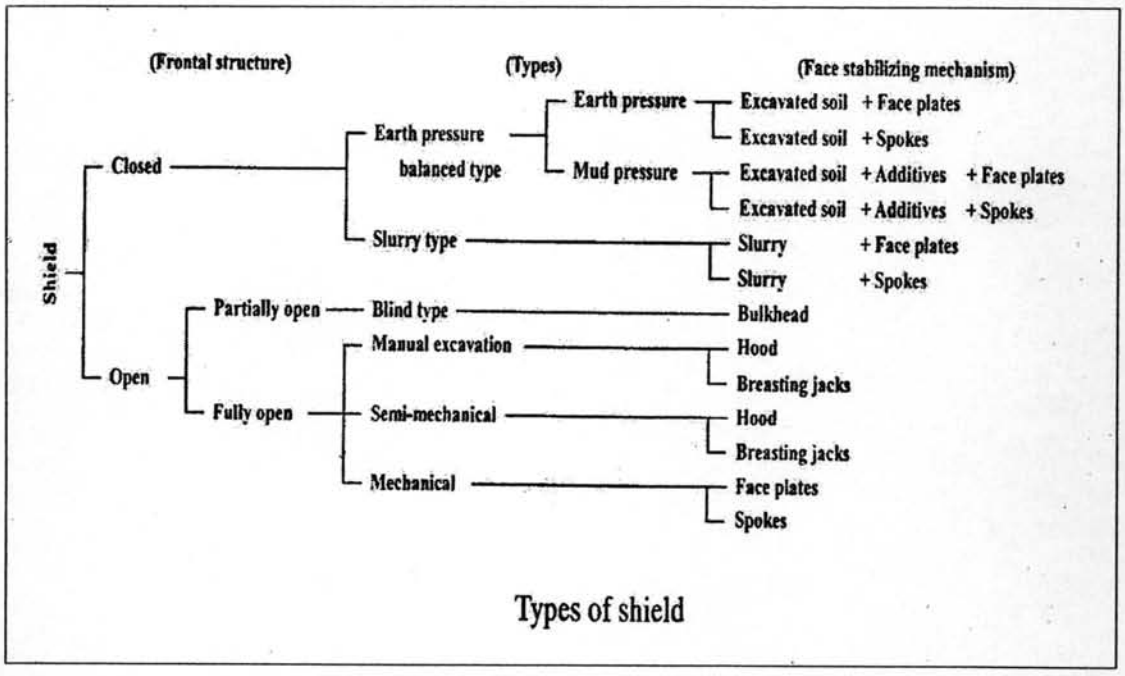
(6) Slurry Pressurre (Bentonite Pressure) Type

รูปแบบโครงสร้าง : จะมีการนำผนังกั้น (Bulk Head) มาติดตั้งด้านหลังของ Cutting Face การค้ำยันทำได้โดยอาศัยแรงดันของ Slurry ที่ถูกเติมระหว่าง Cutting Face กับ Bulk Head โดย Slurry จะถูกลำเลียงขึ้นสู่ผิวดินด้วยท่อ เพื่อทำการคัดแยก

ชั้นดิน : ใช้ได้กับดินหลายชนิด

ลักษณะทั่วไป : ต้องการพื้นที่มากในการปฏิบัติงานเพื่อติดตั้งอุปกรณ์คัดแยกสารละลาย Slurry

นอกจากที่กล่าวข้างต้นแล้ว ยังได้มีการจำแนกเครื่องขุดเจาะชนิด Shield โดยพิจารณาจากโครงสร้างบริเวณส่วนประกอบด้านหน้าของเครื่องขุดเจาะ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ ประเภทแบบเปิด Open Face Shield Types และประเภทแบบปิด Closed Face Shield Types ดังแสดงในรูปที่ 2.5 นอกจากนี้ Kessler and Moore (2002) ยังได้จำแนกเครื่องขุดเจาะที่แปรผันตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและสภาพชั้นดินที่เหมาะสมต่อการทำงาน ดังแสดงในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.5 การแบ่งประเภทเครื่องขุดเจาะชนิด Shield (มานิต ปานเอม, 2549)

ตารางที่ 2.1 ชนิดของเครื่องขุดเจาะตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและสภาพดินที่เหมาะสมต่อการทำงาน (Kessler and Moore, 2002)

ชนิดของเครื่องขุดเจาะ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	สภาพดินที่เหมาะสม
Pipe Jacking Machine	ประมาณ 3.0 – 4.0 ม.	ทุกสภาพชั้นดิน
Small Bore Unit (SBU)	ประมาณ 2.0 ม.	ทุกสภาพชั้นดิน
Shielded TBM	ตั้งแต่ 2.0 ม. จนถึงมากกว่า 14.0 ม.	ชั้นดินอ่อนเหนือระดับน้ำใต้ดิน
Mix Face TBM	ตั้งแต่ 2.0 ม. จนถึงมากกว่า 14.0 ม.	ชั้นดินที่มีการผสมผสานกันเหนือระดับน้ำใต้ดิน
Slurry TBM	ตั้งแต่ 2.0 ม. จนถึงมากกว่า 14.0 ม.	ชั้นดินอ่อนที่มีลักษณะหยาบต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) ชนิดของเครื่องขุดเจาะตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและสภาพดินที่เหมาะสมต่อการทำงาน (Kessler and Moore, 2002)

ชนิดของเครื่องขุดเจาะ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	สภาพดินที่เหมาะสม
EPB TBM	ตั้งแต่ 2.0 ม. จนถึงมากกว่า 14.0 ม.	ชั้นดินอ่อนที่มีลักษณะละเอียดต่ำกว่าระดับน้ำใต้
Hard Rock TBM	ตั้งแต่ 2.0 ม. จนถึงมากกว่า 14.0 ม.	ชั้นหินแข็ง
Reamer TBM	มีหลากหลายขนาด	ชั้นหินแข็ง
Multi head TBM	มีหลากหลายขนาด	มีให้เลือกหลายประเภทตามแต่ลักษณะของชั้นดิน

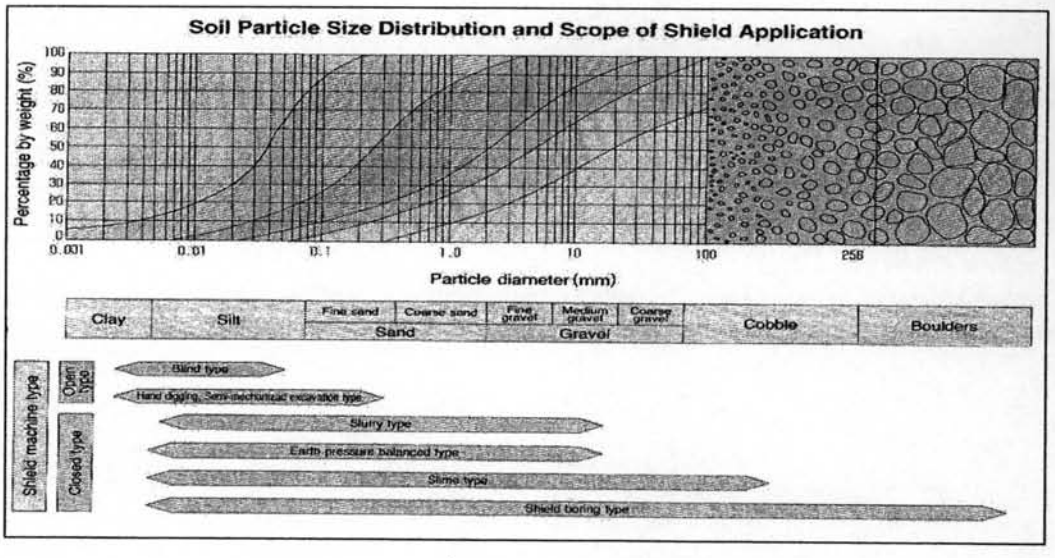
ด้วยเหตุที่ว่า Shield Tunneling เป็นวิธีการขุดอุโมงค์ที่มีเปลือก (Shield) หรือผนังห่อหุ้มเครื่องขุดเจาะเพื่อใช้เป็นค้ำยันชั่วคราวระหว่างการขุดเจาะก่อนที่โครงสร้างผนังอุโมงค์จะทำการติดตั้ง ทั้งนี้เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดจากดินพังทลายระหว่างการขุดเจาะ จนกว่าจะมีการก่อสร้างค้ำยันถาวร (Parker,1970) ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบข้อได้เปรียบและเสียเปรียบในการขุดเจาะอุโมงค์โดยวิธี Shield tunneling

2.2.2 เกณฑ์การเลือกใช้เครื่องขุดเจาะประเภท Shield

ในการก่อสร้างอุโมงค์เพื่อให้เกิดความปลอดภัยและความเชื่อมั่นต่อความสำเร็จของโครงการ รวมถึงความคุ้มค่าในการลงทุนนั้น การเลือกประเภทของหัวเจาะจึงถือเป็นปัจจัยขั้นพื้นฐานที่สำคัญในการก่อสร้างอุโมงค์ โดยปัจจัยที่ต้องคำนึงและควรนำมาพิจารณาในการเลือกประเภทของหัวเจาะ อาทิเช่น วิธีการขุดเจาะ ชนิดและวิธีของการดาดอุโมงค์ ลักษณะสภาพของชั้นดินที่จะทำการขุดเจาะ เป็นต้น ซึ่งรูปที่ 2.6 ได้แสดงรายละเอียดการเลือกใช้เครื่องขุดเจาะให้เหมาะสมต่อสภาพชั้นดิน พอเป็นสังเขป

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบข้อได้เปรียบ-เสียเปรียบของ Shield Tunneling (กีรติ เมืองแสน, 2544)

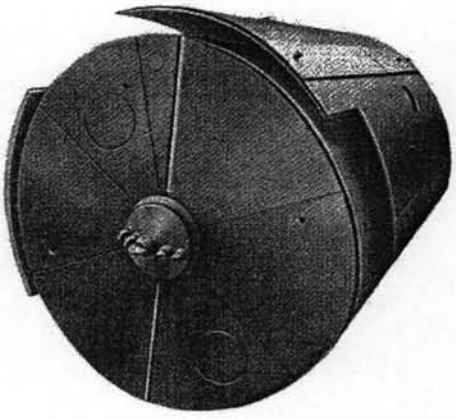
ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ
(1) การขุดเจาะกระทำอยู่ใต้ดิน จึงส่งผลกระทบน้อยต่อกิจกรรมบนผิวดิน	(1) การขุดเจาะกระทำได้ยาก เมื่อมีสิ่งกีดขวางทางด้านหน้า เช่นก้อนหิน เสาเข็ม
(2) ขั้นตอนการก่อสร้างเป็นลักษณะกระทำซ้ำเดิม ทำให้ควบคุมการก่อสร้างง่าย	(2) ถ้าความลึกน้อย การรักษาเสถียรภาพด้านหน้าอุโมงค์ค่อนข้างยาก
(3) การขุดเจาะสามารถกระทำได้เต็มหน้าตัด	(3) แนวโน้มการทรุดตัวของดินจะมากขึ้นเมื่อขุดเจาะในอัตราความเร็วที่ต่ำ การติดตั้งผนังอุโมงค์กระทำได้ช้า ในดินเม็ดหยาบหรือทราย ควรมีการตระหนักถึงความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานเป็นพิเศษ
(4) เครื่องขุดเจาะในปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่ทันสมัย ผนวกกับการนำเทคนิควิธีการก่อสร้างเข้ามาช่วยในการขุดเจาะ ซึ่งทำให้ควบคุมค่าการทรุดตัวของดินได้เป็นอย่างดี	(4) การก่อสร้างอาจเกิดปัญหามากขึ้นได้เมื่อมีสภาพชั้นดินไม่แน่นอน



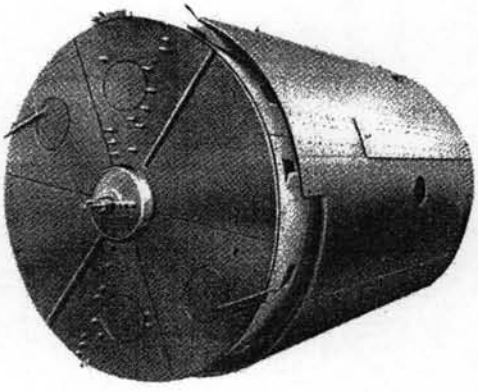
รูปที่ 2.6 การจำแนกเครื่องขุดเจาะที่เหมาะสมแต่ละสภาพของชั้นดิน (มานิต ปานเอม, 2549)

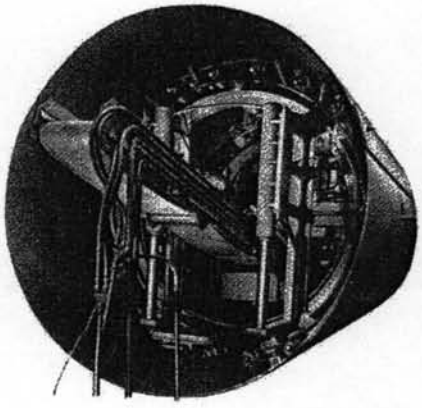
2.2.3 ภาพแสดงหัวเจาะประเภทต่างๆ

Mechanical Type



Mechanized soft ground tunnelling shield made in Russia. (Courtesy Machinoexport, U.S.S.R.)

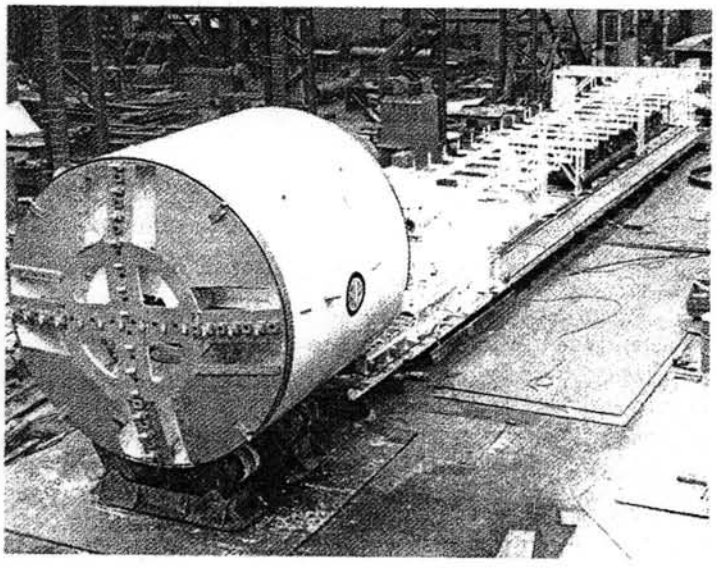




Mechanized soft ground tunnelling shield made in Russia. Diameter 3.6 m (11 ft 10 in). (Courtesy Machinoexport U.S.S.R.)

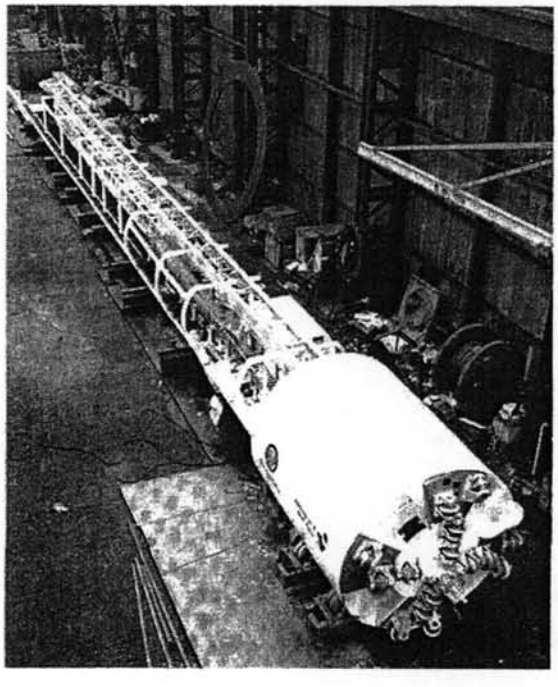
รูปที่ 2.7 หัวเจาะประเภท Mechanized Shield (Stack, 1982)

Slurry Type



Bentonite shield - process patented by J. V. Bartlett in 1964. Constructed by Robert L. Priestley Ltd., subsidiary of Edmund Nuttall Ltd. — used at New Cross. (Courtesy Robert L. Priestley Ltd.)

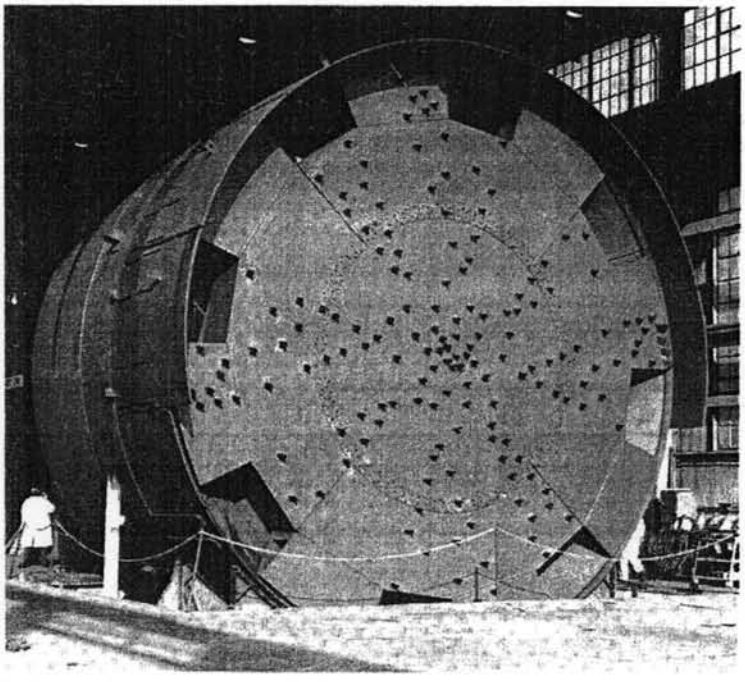
รูปที่ 2.8 หัวเจาะประเภท Slurry Shield (Stack, 1982)



Bentonite shield — used at Warrington New Town. (Courtesy Robert L. Priestley Ltd.)

รูปที่ 2.9 หัวเจาะประเภท Slurry Shield (Stack, 1982)

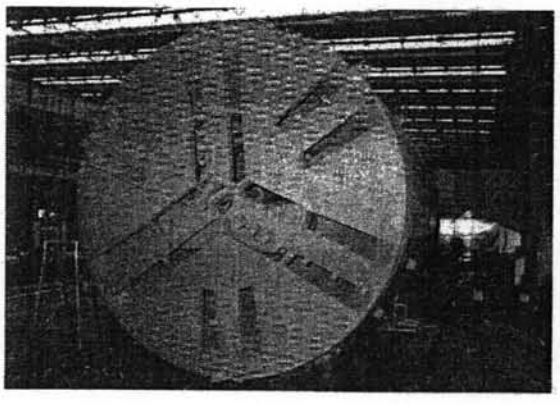
Compressed Air Type



The Robbins Company 'Etoile' mechanized shield Model 341-111 — first rotary shield machine with pressurized face. (Courtesy The Robbins Company.)

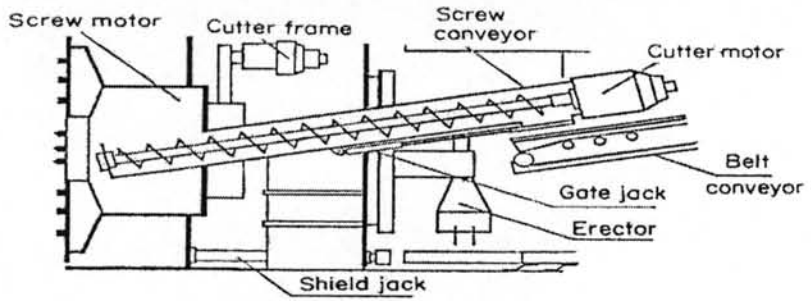
รูปที่ 2.10 หัวเจาะประเภท Compressed Air Shield (Stack, 1982)

Earth Pressure Balanced Type

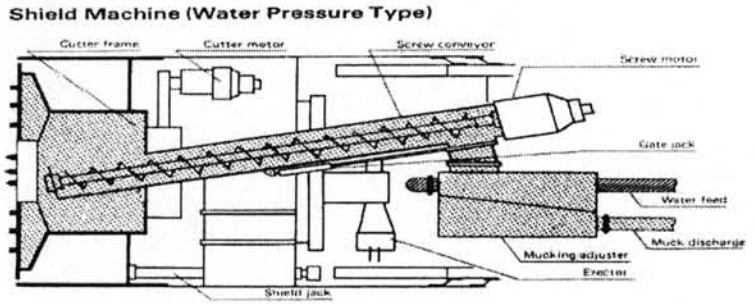


Daiho earth balancing shield. (Courtesy Daiho Construction Company Limited.)

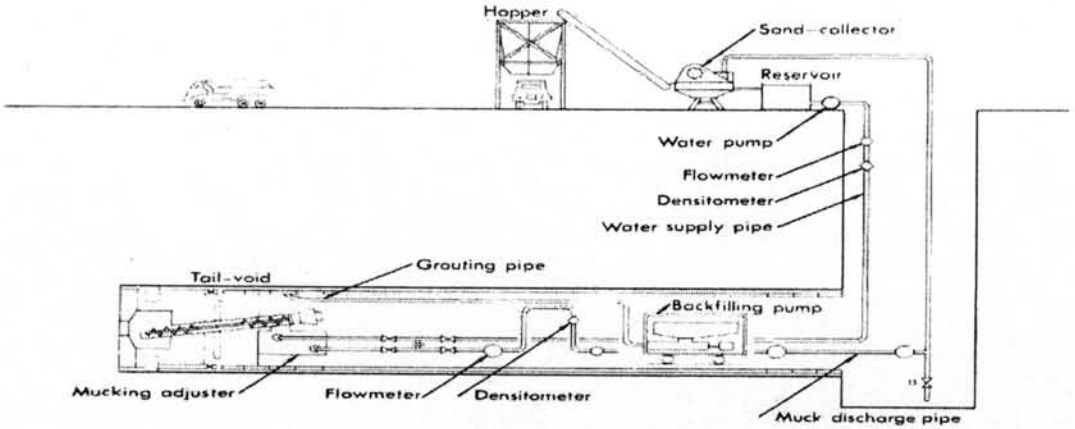
รูปที่ 2.11 หัวเจาะประเภท Earth Pressure Balanced Shield (Stack, 1982)



Shield Machine (Earth Pressure Type)



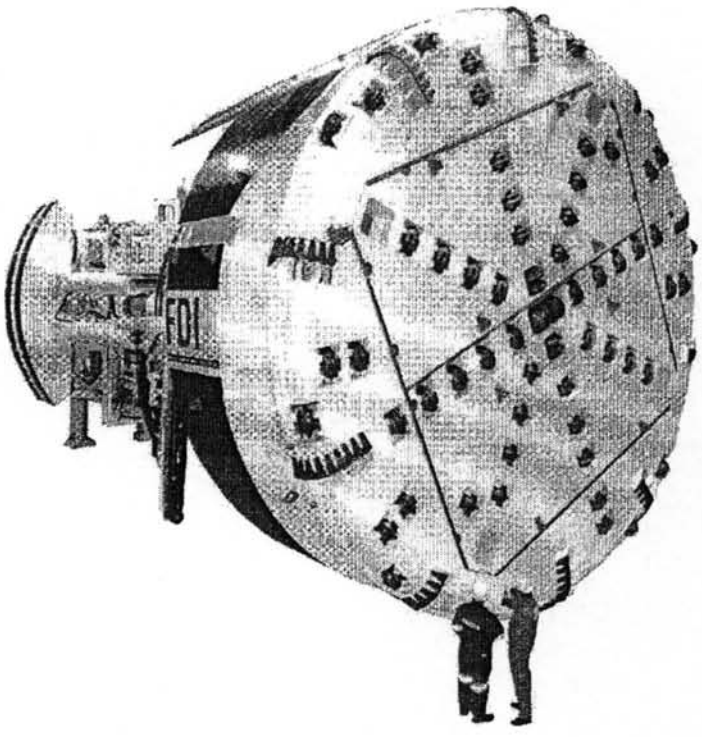
Earth Pressure Balance Shield Method (Schematic)



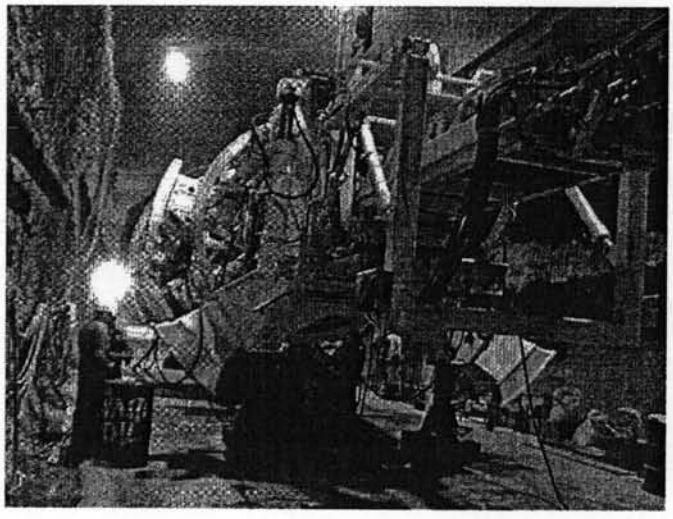
Sato Kogyo earth and water pressure type shield machines. (Courtesy Sato Kogyo Company Limited.)

รูปที่ 2.12 เครื่องขุดเจาะชนิด Earth Pressure และ Water Pressure (Stack, 1982)

Rock Type

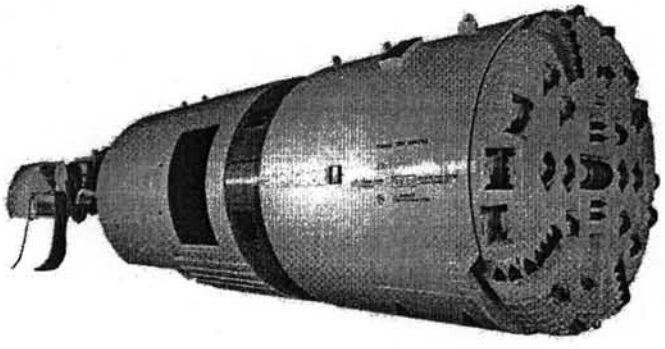


รูปที่ 2.13 Hard Rock Machine Open Beam Machine (Kessler and Moore, 2002)

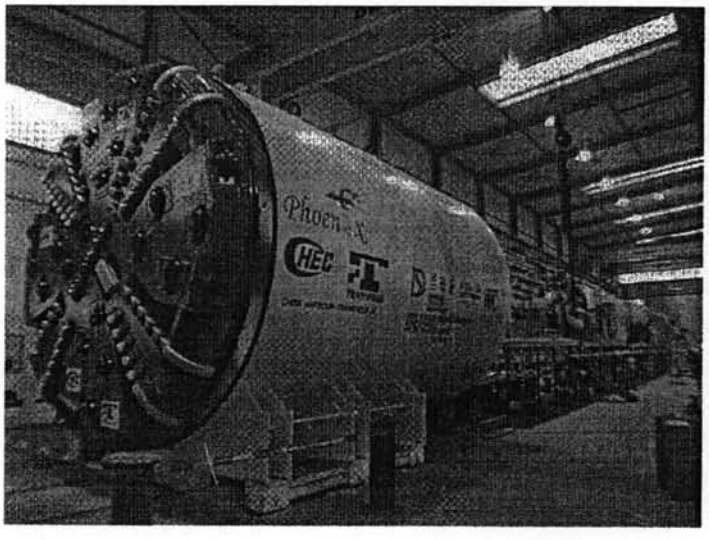


รูปที่ 2.14 Hard Rock Machine Kelly Type (North side Storage Tunnel-Australia, 6.56 m.) (Kessler and Moore, 2002)

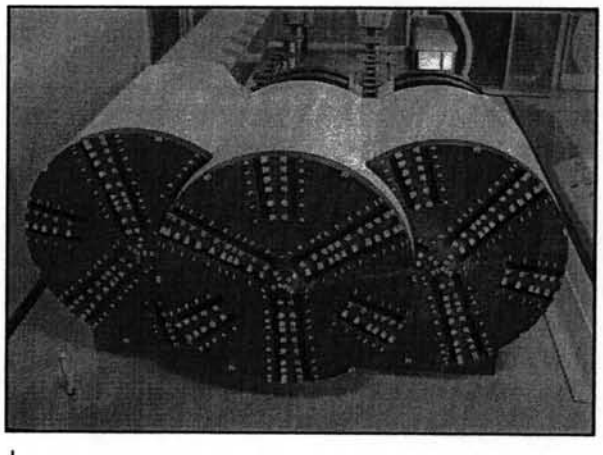
Mixed type



รูปที่ 2.15 Double Shield Machine (Kessler and Moore, 2002)



รูปที่ 2.16 Mix Shield Slurry Machine –Hong Kong, 5.1 meters (Kessler and Moore, 2002)



รูปที่ 2.17 Multi-Head TBM (Kessler and Moore, 2002)

2.3 งานก่อสร้างอุโมงค์ในประเทศไทย

ประเทศไทยได้เริ่มงานก่อสร้างอุโมงค์ เมื่อเกือบ 100 ปีที่ผ่านมา โดยอุโมงค์แห่งแรก คือ อุโมงค์รถไฟลอดเขาขุนตาล ที่จังหวัดลำพูน ซึ่งเป็นอุโมงค์ขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 1.35 กิโลเมตร และเจาะผ่านภูเขาหินแกรนิต โดยวิธีการเจาะและระเบิด ซึ่งก่อสร้างนานถึง 6 ปี จึงแล้วเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2456 แสดงดังรูปที่ 2.18

รูปที่ 2.18 อุโมงค์รถไฟขุนตาล จังหวัดลำพูน (นพดล เพียรเวช, 2544)

อุโมงค์ดังกล่าวถูกออกแบบและควบคุมการก่อสร้างโดยวิศวกรชาวเยอรมัน ซึ่งระหว่างการก่อสร้างได้ประสบปัญหาความยุ่งยากมากพอสมควร อันเนื่องมาจากปัญหาน้ำใต้ดิน และผนังอุโมงค์ถล่ม หลังจากนั้นประเทศไทยก็ไม่มีงานก่อสร้างอุโมงค์เป็นระยะเวลานานหลายปี ซึ่งคงมาจากสาเหตุหลายประการ อันได้แก่ ราคางานก่อสร้างซึ่งค่อนข้างสูงกว่าทางเลือกก่อสร้างบนดิน มีความเสี่ยงและอันตรายสูง และต้องใช้เทคโนโลยีที่ไม่คุ้นเคยมาก่อน

งานก่อสร้างอุโมงค์ในยุคใหม่ เริ่มเกิดขึ้นในโครงการก่อสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ เช่นเขื่อนภูมิพล และเขื่อนสิริกิติ์ ซึ่งการออกแบบและควบคุมงานส่วนใหญ่ ยังอยู่ภายใต้การดำเนินงานโดยวิศวกรชาวต่างชาติเหมือนเช่นเคย

จนกระทั่งในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา จึงเริ่มมีการก่อสร้างอุโมงค์รถยนต์ อุโมงค์รถไฟ อุโมงค์ส่งน้ำที่มีระยะทางยาว และโรงไฟฟ้าใต้ดินขนาดใหญ่ที่มีอุโมงค์ประกอบ ที่โครงการเขื่อนลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา

จวบจนปัจจุบัน หน่วยงานที่ดูแลระบบสาธารณูปโภคพื้นฐาน อาทิเช่น กรุงเทพมหานคร การประปานครหลวง การไฟฟ้านครหลวง การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย ได้เริ่มมีการก่อสร้างอุโมงค์ขึ้นตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 และแนวโน้มต่อไปในอนาคตจะเป็นยุค

ต่อเนื่องของการก่อสร้างอุโมงค์ภายในในประเทศ ซึ่งจะเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ในลักษณะเดียวกับแนวโน้มการก่อสร้างอุโมงค์จากทั่วโลก

ตารางที่ 2.3 โครงการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยหัวเจาะอุโมงค์ในกรุงเทพฯ (นพดล เพียรเวช, 2544)

ปีที่ก่อสร้าง	ชื่อโครงการ	ลักษณะชั้นดิน	ชนิดของเครื่องขุดเจาะ
1970 - 1974	-โครงการอุโมงค์ระบายน้ำ ถนนพระรามที่ 4 ศ.ก.ภายใน 3.3 ม. ระยะทาง 1.8 กม.	- ชั้นดินเหนียวอ่อนที่ความลึก 5-8 ม.	- Blind shield.
1975 - 1979	- โครงการอุโมงค์ส่งน้ำ บางเขน-หัวลำโพง-ท่าพระ ศ.ก.ภายใน 2.0-3.4 ม., ระยะทาง 24.5 กม.	- ชั้นดินเหนียวแข็งที่ความลึก 17-20 ม. โดยมีบางส่วนเป็นชั้นทราย -ใช้ขุดเจาะบริเวณที่ลอดใต้แม่น้ำ	- Mechanical & Semi-Mechanical shields with Compressed Air. - Slurry shield for sand Sections & river crossing
1981 - 1983	- โครงการอุโมงค์ส่งน้ำ, ประดิพัทธ์-ลุมพินี, ศ.ก.ภายใน 2.0-2.5 ม. ระยะทาง 7.1 กม.	- ชั้นดินเหนียวแข็งที่ความลึก 17-20 ม.	- Semi-mechanical shields with Compressed Air.
1990 - 1991	- โครงการอุโมงค์ส่งน้ำ, สุทธิสาร-รัชดา ศ.ก.ภายใน 2.0 ม. ระยะทาง 2.2 กม.	- ชั้นดินเหนียวแข็งที่ความลึก 18 ม.	- Semi-mechanical shields.
1994 –1997	- โครงการระบายน้ำเสีย ช่วงที่ 1 ดินแดง-มักกะสัน ศ.ก.ภายใน 2.5 และ 3.2ม. ระยะทาง 10 กม.	- ชั้นดินเหนียวอ่อนถึงแข็งที่ความลึก 10-18 ม.	- EPB shields.

ตารางที่ 2.3 (ต่อ) โครงการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยหัวเจาะอุโมงค์ในกรุงเทพฯ
(นพดล เพียรเวช, 2544)

ปี	ชื่อโครงการ	ลักษณะชั้นดิน	ชนิดของเครื่องขุดเจาะ
1995 - 1997	-.โครงการอุโมงค์ส่งน้ำ, ศรีนครินทร์-ร่มเกล้า ศ.ก.ภายใน 2.0 ม. ระยะทาง 10.5 กม.	- ชั้นดินเหนียวแข็งที่ความลึก 16-18 ม.	- EPB shields.
1999 - 2000	-โครงการอุโมงค์ระบายน้ำคลองเปรมประชากร ศ.ก.ภายใน 3.4 ม. ระยะทาง 1.8 กม.	- ชั้นดินเหนียวแข็ง	- EPB shields.
1999 - 2000	- โครงการระบายน้ำเสียราษฎร์บูรณะ ศ.ก.ภายใน 2.3 ม. ระยะทาง 1 กม.	- ชั้นดินเหนียวแข็ง	- EPB shields combined With Pipe Jacking
1998 - 2001	- โครงการรถไฟฟ้าสายเฉลิมรัชมงคล, หัวลำโพง บางซื่อ ศ.ก.ภายใน 5.7 ม. ลักษณะอุโมงค์คู่ ระยะทาง18 km.	- ชั้นดินเหนียวแข็ง ชั้นทรายและชั้นดินเหนียวอ่อน ที่ความลึก 12-25 ม.	- 8 Nos. EPB shields.

2.4 ความเสี่ยง

ธุรกิจก่อสร้างมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากธุรกิจประเภทอื่นๆอย่างมาก นับตั้งแต่เริ่มดำเนินโครงการจนกระทั่งการก่อสร้างแล้วเสร็จ ตลอดจนส่งมอบงานให้กับเจ้าของโครงการ ผู้ที่ทำการก่อสร้าง (Builders) มักต้องเผชิญกับปัญหานานัปการ โดยปัญหาเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน ทั้งปัจจัยภายนอกและภายใน ซึ่งการจัดการโครงการก่อสร้างเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ผู้ที่รับผิดชอบจะต้องจัดการกับทั้งสิ่งที่เป็นรูปธรรมและนามธรรม ซึ่งไม่สามารถคาดการณ์ได้เลย ดังนั้นควรที่จะศึกษาถึงหลักการและแนวคิดเพื่อนำมาใช้ในการจัดการกับความเสี่ยงและความไม่แน่นอน

2.4.1 นิยามความเสี่ยง

ได้มีผู้ให้คำจำกัดความหรือนิยามของคำว่า "ความเสี่ยง" ไว้หลายท่าน โดยส่วนใหญ่มีลักษณะใกล้เคียงกัน อาทิเช่น Laokhongthavorn (1998) ได้ให้นิยามความไม่แน่นอน ความเสี่ยง และฟังก์ชันของความเสี่ยง ดังนี้

ความไม่แน่นอน คือ สิ่งที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้า ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นไม่อาจประเมินได้ แต่สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของความเสี่ยงได้ ด้วยวิธีการทางสถิติกับรายละเอียดของข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ความเสี่ยง คือ สิ่งที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้า โดยทั่วไปจะพิจารณาใน 2 ลักษณะ อันได้แก่ ความเป็นไปได้ที่จะเกิดความเสี่ยง (Likelihood of Occurrences) และผลกะทบจากความเสี่ยงที่เกิดขึ้นนั้น (Impact) ซึ่งความน่าจะเป็นสามารถประเมินได้ด้วยวิธีการทางสถิติ ส่วนผลกระทบอาจประเมินจากผู้มีประสบการณ์หรือข้อเท็จจริงที่เห็นได้ชัด ซึ่งฟังก์ชันของความเสี่ยงแสดงได้ดังสมการ

Risk = Function (Likelihood of Occurrences, Impact)

Papageorge (1988) ได้อธิบายว่า ความเสี่ยง หมายถึง ความเป็นไปได้ที่จะเกิดความสูญเสีย หรือเสียหายต่อบุคคล ทรัพย์สิน หรือเป็นการเสียโอกาส โดยพบว่าความเสี่ยงมีบทบาทในทุกธุรกิจหรือการให้บริการ เริ่มตั้งแต่สิ่งที่มองเห็นได้ชัด ไปจนถึงสถานการณ์ที่มีความซับซ้อน ความเสี่ยงบางประเภทยากที่จะหลีกเลี่ยง ขณะที่บางประเภทสามารถควบคุมได้ สำหรับการจัดการหรือควบคุมความเสี่ยงนั้น ในขั้นแรกควรทำความเข้าใจและจัดจำแนกความเสี่ยงให้ได้

เสียก่อน ต่อจากนั้นจึงประเมินความเสี่ยงในระบบที่พิจารณา แล้วจึงค่อยกำหนดมาตรการตอบโต้ความเสี่ยงเป็นลำดับต่อไป

ทิพวรรณ บุณย์เพิ่ม (2546) ได้ให้คำนิยามความเสี่ยงไว้ คือ สภาวการณ์แห่งการสูญเสียหรือเสียหายต่อชีวิต และทรัพย์สิน หรือเป็นการเสียโอกาสและเสียเปรียบ โดยอาจกล่าวได้ว่าไม่มีการดำเนินโครงการหรือการประกอบธุรกิจใดที่มีความเสี่ยงเล็กน้อยจนเป็นศูนย์ (Zero Risk) ในการดำเนินงานบางประเภทพบว่ามีโอกาสเกิดความเสี่ยงได้มากที่สุด ในขณะที่งานบางประเภทนั้นแทบจะไม่พบความเสี่ยงใดๆเกิดขึ้น ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว งานประเภทนั้นมีความเสี่ยงแอบแฝงอยู่ นอกจากนี้ยังพบว่าความเสี่ยงบางประเภทสามารถหลีกเลี่ยงได้ แต่บางประเภทก็ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้เลย สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวเนื่องกับการจัดการความเสี่ยง มีดังต่อไปนี้

Henselwood และ Phillips (2006) ได้นำเสนอแบบจำลองโดยวิธีการทางเมตริกซ์ในการประเมินความเสี่ยงต่อความเสียหายอันเกิดจากท่อส่งก๊าซชำรุด โดยมีสาเหตุมาจากแรงดันไอในปริมาณสูงและอาจมีการระเบิดขึ้นได้ โดยทำการประเมินในทุกๆ 100 เมตร จากแนวท่อส่ง และมีปัจจัยเสี่ยงที่นำมาพิจารณาทั้งหมดจำนวน 30 ปัจจัย ซึ่งผลการศึกษาได้นำมาสรุปเทียบเคียงกับ MICAA (The Major Industrial Accident Council of Canada) ซึ่งสรุปความเสี่ยงที่สามารถยอมรับได้ใน 2 ลักษณะ อันได้แก่ ผลกระทบที่มีต่อชุมชน และผลกระทบต่อผู้ดูแลท่อส่งก๊าซ โดยสามารถนำผลการศึกษาไปใช้กำหนดการจัดการความเสี่ยงได้เหมาะสมยิ่งขึ้น รวมถึงแผนการวางท่อส่งทั้งระบบที่จะมีขึ้นในอนาคต

Santoso, Ogunlana และ Minato (2003) ได้นำเสนอการประเมินความเสี่ยงสำหรับโครงการก่อสร้างอาคารสูง ในนครจาการ์ตา ประเทศอินโดนีเซีย โดยได้รวมรวมเหตุการณ์เสี่ยงที่มีลักษณะสามารถเกิดซ้ำได้อีก (Recurrent Factor) มาพิจารณา ซึ่งแบ่งออกเป็น 9 กลุ่ม มีจำนวนเหตุการณ์เสี่ยงทั้งสิ้น 130 เหตุการณ์ และประเมินความเสี่ยงจากการสำรวจความคิดเห็นของวิศวกร โดยใช้แบบสอบถามจำนวน 73 ตัวอย่าง จาก 21 โครงการก่อสร้างอาคารสูง และใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ตัวประกอบ (Factor Analysis) โดยพิจารณาทั้งในแง่ความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ (Frequency of occurrence) และระดับผลกระทบจากความเสี่ยง (Degree of risk impact) ซึ่งสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อโครงการก่อสร้างอาคารสูงในแง่ความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ ได้แก่ ด้านการบริหารและการออกแบบ (Managerial and Design) ด้านการแทรกแซงจากนอกองค์กรและด้านการสารสนเทศ (Intervention and Information) ด้านการจ้างช่วง (Subcontracting) และด้านเทคนิค (Technique) ตามลำดับ ส่วนปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อโครงการ

ก่อสร้างอาคารสูงในแง่ผลกระทบจากความเสี่ยง ได้แก่ ด้านการบริหารและการออกแบบ (Managerial and Design) ด้านเทคนิค (Technique) และด้านการจ้างช่วง (Subcontracting) ตามลำดับ

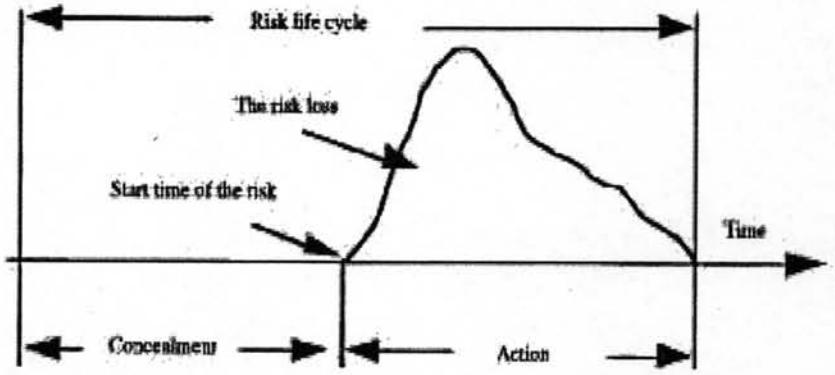
Ghosh และ Jintanapakanont (2004) ได้ทำการศึกษาถึงการบ่งชี้และประเมินปัจจัยเสี่ยงเชิงวิกฤตในกรณีศึกษาโครงการรถไฟใต้ดินของประเทศไทย ด้วยวิธีการวิเคราะห์ตัวประกอบ (Factor Analysis) โดยทำการสำรวจจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงการดังกล่าว อันได้แก่ ผู้จัดการโครงการ วิศวกร สถาปนิก รวมถึงเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องส่วนอื่นๆ จำนวนทั้งสิ้น 122 ตัวอย่าง ในการนี้ได้รวบรวมและประเมินจากตัวแปรความเสี่ยง (Risk Variables) ทั้งหมด 59 ตัวแปร และจากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์ตัวประกอบพบว่า สามารถจำแนกปัจจัยเสี่ยงได้ทั้งหมด 9 กลุ่ม เรียงตามลำดับ ได้แก่ ปัจจัยเสี่ยงทางด้านการเงินและเศรษฐกิจ (Financial and Economic Risk) ปัจจัยเสี่ยงทางด้านเงื่อนไขสัญญาและข้อกฎหมาย (Contractual and Legal Risk) ปัจจัยเสี่ยงอันเกี่ยวเนื่องจากการจ้างช่วง (Subcontractors related Risk) ปัจจัยเสี่ยงทางด้านการปฏิบัติงาน (Operational Risk) ปัจจัยเสี่ยงทางด้านความปลอดภัยและสังคม (Safety and Social Risk) ปัจจัยเสี่ยงทางด้านการออกแบบ (Design Risk) ปัจจัยเสี่ยงจากเหตุสุดวิสัย (Force majeure Risk) ปัจจัยเสี่ยงทางกายภาพ (Physical Risk) และปัจจัยเสี่ยงจากความล่าช้า (Delay Risk) ตามลำดับ โดยได้นำปัจจัยเสี่ยงทั้ง 9 กลุ่มดังกล่าว ไปสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ เพื่อแนะนำและสร้างความเข้าใจถึงที่มาของความเสี่ยง รวมถึงวิธีการจัดการกับความเสี่ยงเหล่านั้น

Lyons และ Skitmore (2004) ได้ทำศึกษาเกี่ยวกับการจัดการความเสี่ยงโครงการในอุตสาหกรรมก่อสร้างของรัฐควีนส์แลนด์ ประเทศออสเตรเลีย โดยใช้วิธีสำรวจความคิดเห็นในลักษณะมาตรวัดแบบลิเคิท (Likert Scale) จำนวน 44 ตัวอย่าง จากบริษัทที่เกี่ยวกับอุตสาหกรรมก่อสร้างในรัฐควีนส์แลนด์ ซึ่งผลการศึกษาสรุปว่า องค์กรต่างๆมีการนำกระบวนการจัดการความเสี่ยงมาใช้ในลักษณะต่างๆกัน ดังนี้

- การจัดการความเสี่ยงจะถูกนำมาใช้ในช่วงการวางแผน (Planning Stage) และช่วงการดำเนินงาน (Execution Stage) มากกว่าช่วงแนวคิดในการทำโครงการ (Conceptual Stage)
- มีการนำกระบวนการการบ่งชี้ความเสี่ยงและการประเมินความเสี่ยงมาใช้มากกว่าการตอบโต้ความเสี่ยง

- ในกระบวนการประเมินความเสี่ยง พบว่ามีการใช้วิธีประเมินในเชิงคุณลักษณะ (Qualitative method) มากกว่าวิธีประเมินในเชิงปริมาณ (Quantitative method)
- ในกระบวนการตอบโต้ความเสี่ยง พบว่ามีการใช้วิธีตอบโต้ความเสี่ยงแบบลดความเสี่ยง (Risk Reduction) มากที่สุด รองลงมาคือ แบบถ่ายโอนความเสี่ยง (Risk Transfer) แบบขจัดความเสี่ยง (Risk Elimination) และแบบแบกรับความเสี่ยงไว้เอง (Risk Retention) ตามลำดับ
- การให้ความรู้หรือประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับเทคนิคการจัดการความเสี่ยงแก่บุคลากรในองค์กรมีค่อนข้างน้อย
- การใช้คอมพิวเตอร์ในการบันทึกข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวเนื่องกับความเสี่ยง พบว่าอยู่ในปริมาณที่น้อยกว่าการบันทึกข้อมูลในเรื่องการบัญชีค่าใช้จ่าย (Cost accounting) หรือตารางการทำงาน (Scheduling)

Ren (1994) ได้ทำการศึกษาการประเมินปัจจัยเสี่ยงทางด้านการเงินในโครงการก่อสร้าง ซึ่งประกอบด้วย 2 วิธี ได้แก่ แบบวงชีวิตความเสี่ยง (Risk Lifecycle) และแบบความสัมพันธ์ของความเสี่ยง (Risk Relationships) โดยวิธีวงชีวิตความเสี่ยงพบว่า ความเสี่ยงจะเกิดขึ้นเมื่อไหร่ก็ย่อมได้ หรือมีความไม่แน่นอนในการเกิดนั้นเอง และเมื่อยังไม่มีความเสี่ยงเกิดขึ้น และยังได้ตั้งชื่อช่วงที่ไม่มีความเสี่ยงเกิดขึ้นนี้ว่า ช่วงแห่งการซ่อนเร้น (Concealment Phase) ซึ่งจะอยู่ในช่วงต้นของวงชีวิตความเสี่ยง ดังแสดงในรูปที่ 2.19 และเมื่อความเสี่ยงได้เกิดขึ้น ก็จะเริ่มเข้าสู่ช่วงที่สองของวงชีวิตความเสี่ยง ซึ่งเรียกว่า ช่วงดำเนินการ (Action Phase) โดยจะส่งผลกระทบตลอดระยะ



รูปที่ 2.19 วงชีวิตความเสี่ยง (Risk Lifecycle) (Ren,1994)

เวลาที่ความเสี่ยงนั้นยังคงอยู่ และถือเป็นช่วงที่สำคัญ เพราะหากผู้ที่รับผิดชอบในโครงการสามารถที่จะทำนายหรือคาดคะเนได้ว่าจะเกิดความเสี่ยงขึ้นเมื่อใด ก็จะเป็นผลดีอย่างยิ่งต่อ

โครงการในการที่จะกำหนดแนวทางหรือแผนการรองรับสำหรับความเสี่ยงที่เกิดขึ้นนี้ ส่วนวิธีความสัมพันธ์ของความเสี่ยง หมายถึง ความเสี่ยงจะมีความสัมพันธ์กันอย่างเป็นระบบ โดยผลกระทบจากความเสี่ยงอันหนึ่งอาจจะเป็นจุดเริ่มของความเสี่ยงอีกอันหนึ่งต่อไป ทั้งในการขัดขวางหรือส่งเสริมซึ่งกันและกัน โดยผลที่ได้รับจากวิธีนี้ จะช่วยให้ผู้ที่รับผิดชอบหรือผู้ที่มีหน้าที่ตัดสินใจ ได้เข้าใจความสัมพันธ์ของความเสี่ยงทั้งระบบ และสามารถแก้ปัญหาหรือสกัดกั้นความเสี่ยงได้ถูกจุดและอย่างเหมาะสม

Jannadi และ Almishari (2003) ได้ศึกษาการประเมินความเสี่ยงสำหรับกิจกรรมหลักๆ ของงานก่อสร้างอาคาร อาทิเช่น การสร้างนั่งร้าน การก่อฉาบ เป็นต้น โดยพิจารณาในด้านความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเสี่ยง ความรุนแรงจากความเสี่ยง ตลอดจนความเสี่ยหายที่ชัดเจน ในการดำเนินกิจกรรมหลักๆของงานก่อสร้าง โดยได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ชื่อว่า (Risk Assessor Model - RAM) ซึ่งจะช่วยในการวิเคราะห์ความเสี่ยงจากกิจกรรมต่างๆ และผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย RAM ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ คะแนนความเสี่ยงของกิจกรรม (Activity Risk Score) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

Activity Risk Score = Severity (S) x Exposure (S) x Probability (P)

โดยที่ S หมายถึง ความเสียหาย ซึ่งวัดในรูปจำนวนเงิน ($US)
E หมายถึง ระดับความเสียหาย
P หมายถึง โอกาสที่จะเกิดความเสียหายระดับนั้นๆ

และส่วนที่สองซึ่งได้จากการวิเคราะห์ด้วย RAM คือ Justification Factor (J) ซึ่งค่า J คือค่าที่บอกให้ทราบเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจ ว่าจะแก้ไขปัญหาหรือสถานการณ์นั้นหรือไม่ โดยคำนวณได้จากสมการ

Justification Factor = Activity Risk Score / [Cost Factor x Degree of Correction]

โดยที่ Cost Factor หมายถึง ค่าใช้จ่ายสำหรับการแก้ไขสถาการณ์นั้นๆ
Degree of Correction หมายถึง ระดับของการแก้ไขสถานการณ์เพื่อต้องการให้ความเสียหายลดลง

โดยจากผลการศึกษานี้ สามารถนำไปใช้ในการสนับสนุนการตัดสินใจ และคัดเลือกวิธีก่อสร้างในแต่ละกิจกรรมหลักของการก่อสร้างอาคาร ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงในระหว่างการก่อสร้าง

Baker, Ponniah และ Smith (1997) ได้ทำการศึกษาทางเลือกและเทคนิควิธีในการตอบโต้ความเสี่ยง (Risk Response) ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ จากนั้นจึงนำมาเปรียบเทียบกับอุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยใช้วิธีแบบสำรวจความคิดเห็นจากบริษัทในอุตสาหกรรมของทั้ง 2 ประเภท ในประเทศจอร์แดน จำนวน 52 ตัวอย่าง ซึ่งจากผลการศึกษาสรุปได้ว่า การตอบโต้ความเสี่ยงที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั้ง 2 ประเภท พบมากที่สุดคือ การลดความเสี่ยง (Risk Reduction) รองลงมาคือ การถ่ายโอนความเสี่ยง (Risk Transfer) การแบกรับความเสี่ยงไว้เอง (Risk Retention) ตามลำดับ โดยในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ ใช้วิธีลดความเสี่ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าอุสาหกรรมก่อสร้าง และอุตสาหกรรมก่อสร้างจะใช้วิธีลดความเสี่ยงโดยพิจารณาถึงเรื่องการเงินมากว่าอุตสาหกรรมเกี่ยวกับน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ

2.4.2 ความเสี่ยงในโครงการก่อสร้างอุโมงค์

ความเสี่ยงในโครงการก่อสร้าง สามารถแบ่งตามขั้นตอนการดำเนินงานได้เป็น ความเสี่ยงในขั้นตอนการศึกษาความเป็นไปได้ ขั้นตอนการออกแบบโครงการ และขั้นตอนการก่อสร้าง ซึ่งในระยะแรก ความรับผิดชอบส่วนใหญ่จะตกอยู่กับเจ้าของโครงการและผู้ออกแบบ ส่วนในขั้นตอนการก่อสร้าง ความเสี่ยงจะอยู่ในความรับผิดชอบของผู้ที่ทำการก่อสร้าง โดยสามารถแบ่งประเภทความเสี่ยงในโครงการก่อสร้าง ดังนี้

(1) *ความเสี่ยงทางด้านการบริหารจัดการ* ความเสี่ยงประเภทนี้ เป็นเรื่องที่ใกล้ตัวผู้ที่ทำการก่อสร้างมากที่สุด จนในบางครั้งผู้ที่ทำการก่อสร้างอาจละเลยหรือไม่เล็งเห็นว่าเป็นความเสี่ยง โดยเฉพาะด้านทักษะและความสามารถในการบริหารจัดการของบุคคลในองค์กร แต่อย่างไรก็ดี ความเสี่ยงประเภทนี้สามารถควบคุมได้ ถ้าหากโครงการได้นำวิธีด้านการจัดการมาเผยแพร่และอบรมแก่บุคลากร

ในขั้นต้นผู้บริหารโครงการอาจเริ่มตั้งแต่ การจัดหาทีมงานที่มีประสบการณ์ในการทำงาน การจัดทำแผนงานอย่างรัดกุม การจัดเตรียมข้อมูลทางด้านต่างๆเพื่อสนับสนุนการทำงาน รวมถึงการมีระบบการติดต่อสื่อสารที่ดี ทั้งนี้เพราะการจัดรูปแบบขององค์กร สามารถส่งผลต่อการดำเนินงานและระยะเวลาการก่อสร้างได้ ซึ่งถ้าหากไม่มีการจัดการที่ดี อาจส่งผลกระทบต่อต้นทุนและเกิดความล่าช้าของงาน (สมนึก ธนสารสุขสถิตย์, 2543)

(2) *ความเสี่ยงทางด้านเทคนิคและการก่อสร้าง* การดำเนินงานก่อสร้างนั้น มีเทคโนโลยีการก่อสร้างให้เลือกหลากหลายวิธี โดยขึ้นอยู่กับประเภท ลักษณะ และขนาดของโครงการ และ

การก่อสร้างอุโมงค์ก็เช่นเดียวกัน ที่ต้องพิจารณาเลือกใช้เทคนิควิธีที่เหมาะสม โดยเฉพาะในขั้นตอนของการออกแบบและคัดเลือกวิธีก่อสร้าง โดยอาจนำไปสู่การเผชิญต่อความเสี่ยงได้ในอนาคต ในการออกแบบนั้นต้องอาศัยข้อมูลสภาพชั้นดินตลอดแนวความยาวของอุโมงค์ (Tunnel Alignment) ซึ่งถ้าข้อมูลมีน้อยเกินไป หรือไม่ตรงตามที่ผู้ออกแบบต้องการ อาจส่งผลให้เกิดการออกแบบที่ต่ำกว่ามาตรฐานหรือเกินมาตรฐานขึ้นได้

หลังจากที่ได้ออกแบบเสร็จสิ้นแล้ว เทคนิควิธีที่ใช้ก่อสร้างก็ควรจะสัมพันธ์กับสภาพของชั้นดินด้วย อาทิเช่น ถ้าเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) ถึงชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) ที่ไม่แข็งมากนัก ควรเลือกหัวเจาะอุโมงค์ (Tunnel Boring Machine - TBM) ชนิดสมดุลแรงดันดิน (Earth Pressure Balance - EPB) แต่ถ้าเป็นการขุดเจาะในกรวดหรือชั้นทราย (Sand) ที่มีน้ำใต้ดินซึมผ่าน ก็ควรเลือกใช้หัวเจาะอุโมงค์ชนิด Slurry Machine ซึ่งในปัจจุบันพบว่าได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีของหัวเจาะอุโมงค์ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าในอดีต โดยสามารถใช้เจาะอุโมงค์ในชั้นหินแข็งได้ รวมถึงสามารถใช้ได้ในสภาพที่เป็นทั้งชั้นดินอ่อน (Soft Ground) และทราย (Sand) ได้ อีกทั้งยังได้พัฒนารูปแบบของหัวเจาะเป็นชนิดหัวเจาะคู่ (Multi Head) นอกจากนี้แล้วยังได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการขุดเจาะอุโมงค์แบบใช้หัวเจาะ ซึ่งได้พัฒนาอุปกรณ์นำร่องเพื่อช่วยในการบังคับเส้นทาง ตลอดจนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่างๆ ที่ช่วยในการตัดสินใจระหว่างการก่อสร้างอุโมงค์ (Decision Aids for Tunneling - DAT) อันเป็นการช่วยลดความเสี่ยง ซึ่งเป็นต้นเหตุของการเพิ่มขึ้นของต้นทุนและความล่าช้า (Haas and Einstein, 2002) อีกทั้งหากมีการวางแผนการจัดการในงานก่อสร้างให้มีประสิทธิภาพ และการประสานความร่วมมือจากหลายฝ่ายที่เกี่ยวข้อง รวมถึงผู้ที่ปฏิบัติงานสามารถรับรู้และเข้าใจถึงหน้าที่ของตนได้เป็นอย่างดีแล้ว ก็จะเป็นการช่วยลดต้นทุน ในส่วนที่ต้องจ่ายไปเนื่องจากความเสี่ยงได้มาก (Lucke, 1978)

(3) ความเสี่ยงทางด้านสัญญา สัญญาที่ใช้ในงานก่อสร้างมีหลายรูปแบบ อาทิเช่น สัญญาแบบราคาคงที่ (Fixed Price Contract) แบบต้นทุนบวกส่วนเพิ่ม (Cost plus Contract) เป็นต้น อย่างไรก็ตามการทำสัญญา ควรเป็นข้อตกลงที่คู่สัญญาทั้งสองฝ่ายมีความเข้าใจที่ถูกต้องตรงกันในเรื่องแบบก่อสร้างและรายการข้อกำหนดต่างๆ (Drawing and Specification) และการที่ผู้ก่อสร้างจะต้องประมาณราคาวัสดุก่อสร้างไว้ล่วงหน้านั้น ผู้ทำการประมาณจะต้องเผื่อค่าความผันผวนทางเศรษฐกิจไว้ด้วย เพราะงานก่อสร้างอุโมงค์แต่ละโครงการมีช่วงระยะเวลาก่อสร้างค่อนข้างนาน (มักใช้เวลาก่อสร้างมากกว่า 1 ปี) ดังนั้นในการคิดราคาค่าวัสดุก่อสร้าง โดยเฉพาะประเภทวัสดุก่อสร้างหลัก เช่น เหล็กเส้น คอนกรีต จึงต้องมีการเผื่อราคาที่อาจเพิ่มสูงขึ้นไว้ด้วย

นอกจากนี้แล้ว ยังพบความเสี่ยงทางด้านสัญญาจากการเปลี่ยนแปลงงานเพิ่ม-ลด หรือความเสี่ยงจากการต้องรับประกันผลงานตามที่ระบุไว้ในสัญญา เป็นต้น

(4) *ความเสี่ยงทางด้านกายภาพ* ความเสี่ยงประเภทนี้ ประกอบด้วย ความเสี่ยงทางด้านภูมิศาสตร์ของสถานที่ก่อสร้าง สภาพภูมิอากาศ ภัยธรรมชาติ ความยากลำบากในการเข้าถึงที่ตั้งโครงการ ตลอดจนการควบคุมสภาพแวดล้อมโดยรอบให้เป็นปกติ จากลักษณะดังกล่าวนี้ พบว่าเป็นความเสี่ยงที่ยากจะหลีกเลี่ยง แต่อย่างไรก็ตามความเสี่ยงดังกล่าวสามารถที่จะบรรเทาให้กระทบต่องานก่อสร้างน้อยลงได้ ด้วยการวางแผนการทำงานอย่างละเอียดรอบคอบ และศึกษาข้อมูลที่มีอยู่จากสภาพแวดล้อมปัจจุบัน รวมทั้งเก็บข้อมูลเพื่อเตรียมไว้ใช้ในกรณีที่ต้องเผชิญกับความเสี่ยงเหล่านั้น

(5) ความเสี่ยงทางด้านเศรษฐกิจ ธุรกิจก่อสร้างเป็นธุรกิจที่อาจกล่าวได้ว่า เป็นดัชนีบ่งชี้ความเจริญทางด้านเศรษฐกิจของประเทศได้เป็นอย่างดี จากข้อมูลของธนาคารแห่งประเทศไทย พบว่าอัตราการขยายตัวของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ กับอัตราการขยายตัวของธุรกิจก่อสร้างจะเป็นไปในทิศทางเดียวกันมาตลอด อาทิเช่น หากช่วงเวลาใดที่เศรษฐกิจของประเทศอยู่ในภาวะถดถอย ธุรกิจก่อสร้างก็จะชะลอตัว แต่ถ้าเมื่อใดที่เศรษฐกิจของประเทศมีการขยายตัวและเจริญเติบโต ธุรกิจก่อสร้างก็จะเฟื่องฟูตามไปด้วย

(6) ความเสี่ยงทางด้านการเมืองและสังคม ความเสี่ยงประเภทนี้ อาจเกินวิสัยที่ผู้ก่อสร้างจะสามารถควบคุมได้ โดยนอกจากจะเป็นความเสี่ยงที่เป็นผลจากความไม่แน่นอนทางการเมืองและการปกครองภายในประเทศแล้ว ยังอาจได้รับผลกระทบจากความเปลี่ยนแปลงทางการเมืองของโลกอีกด้วย ทั้งในทางตรงและทางอ้อม ตัวอย่างที่สังเกตได้ชัดเจน คือ ผลกระทบจากกรณีสงครามอ่าวเปอร์เซีย จนถึงสงครามระหว่างอิรักกับสหรัฐอเมริกา ต่างก็มีผลกระทบต่องานก่อสร้างแทบทั้งสิ้น ซึ่งการตัดสินใจลงทุนโครงการบางโครงการอาจต้องชะลอตัวหรือทบทวนนโยบาย ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบดูว่าแนวโน้มของสถานการณ์จะเป็นไปในทิศทางใด จนกว่าสถานการณ์คลี่คลายลง จึงเริ่มมีการเคลื่อนไหวของโครงการก่อสร้างอีกครั้ง

นอกจากนี้ปัจจัยทางด้านทัศนคติของชุมชนที่มีต่อโครงการ จัดเป็นปัจจัยทางด้านสังคม โดยเฉพาะโครงการที่เป็นสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐาน อาทิเช่น โครงการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำ หรือโครงการโรงกำจัดขยะ ซึ่งโครงการเหล่านี้มีมักมีความเสี่ยงสูงต่อการไม่ยอมรับจากประชาชนในชุมชน และหากไม่มีการชี้แจงหรือการทำประชาพิจารณ์จากหน่วยงานผู้เป็นเจ้าของโครงการ

แล้ว ก็จะเกิดความไม่เข้าใจ อันนำไปสู่การต่อต้านในลักษณะต่างๆได้ ดังนั้นผู้ทำการก่อสร้างจำต้องคำนึงถึงความเสี่ยงในประเภทนี้ไว้ด้วย

2.4.3 การจัดการความเสี่ยง (Risk Management)

หมายถึง การจัดการกับผลกระทบอันเนื่องมาจากความเสี่ยงต่าง ๆ ในลักษณะที่เราสนใจอย่างเป็นขั้นตอนและเป็นระบบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดโอกาสที่จะเกิดความเสียหายและลดปริมาณความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นให้อยู่ในระดับที่ผู้ตัดสินใจยอมรับได้ รวมไปถึงเพื่อควบคุมผลกระทบอันเนื่องมาจากความเสี่ยงในกรณีที่ความเสี่ยงดังกล่าวได้เกิดขึ้นอีกด้วย กระบวนการจัดการความเสี่ยงประกอบด้วยขั้นตอนหลักๆ ได้แก่ การบ่งชี้ความเสี่ยง (Risk Identification) การประมาณความเสี่ยง (Risk Estimation) การประเมินค่าความเสี่ยง (Risk Evaluation) และการตอบโต้ความเสี่ยง (Risk Response) (Eskesen, Tengborg, Kampmann และ Veicherts, 2004) นอกจากนี้ยังรวมถึงการเฝ้าระวัง และติดตามผล (Monitoring) ของเหตุการณ์หรือการกระทำ ที่อาจนำมาซึ่งการสูญเสียทางการเงิน (Holmes, 2002)

การเผชิญหน้ากับความเสี่ยงที่มีผลกระทบต่อการเงินและความปลอดภัยนั้น ในหลายกรณีพบว่าผู้บริหารโครงการหรือผู้ที่มีอำนาจสั่งการ ต้องทำการตัดสินใจในฉับพลัน โดยขาดการพิจารณาอย่างรอบคอบ Lifson (1982) ได้อธิบายลักษณะจำเพาะของงานก่อสร้าง ไว้ดังนี้

1) ปัญหาที่เกิดจากงานก่อสร้างมีลักษณะซับซ้อน หลากหลาย และมักสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับปัญหาอื่นๆ
2) ความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาไม่เป็นในเชิงเส้นตรง (Non-linear)
3) ลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้นไม่แน่นอน ไม่สามารถคาดการณ์ได้ ถึงแม้จะมีข้อมูลในอดีตก็ตาม เช่น ปัญหาสภาพดินฟ้าอากาศ ปัญหาราคาวัสดุที่สูงขึ้น ปัญหาจากบทบัญญัติต่างๆทางกฎหมาย เป็นต้น
4) สภาวการณ์ต่างๆในงานก่อสร้างมีลักษณะเป็นพลวัต (Dynamic) กล่าวคือ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ไม่หยุดนิ่งอยู่กับที่

การจัดการกับความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในโครงการนั้น นอกจากจะต้องรู้จักกับธรรมชาติของความเสี่ยงแล้ว ยังจะต้องนำหลักบริหารจัดการโครงการเข้ามาใช้ด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการจัดการความเสี่ยงจะแตกต่างกับการจัดการโครงการทั่วไป กล่าวคือ การจัดการโครงการทั่วไปนั้น มักเป็นเทคนิคในเชิงรับ (Re-active Technique) มากกว่า โดยเป็นการจัดการกับสถานการณ์หรือปัญหา

ที่เกิดขึ้นมาแล้ว ในขณะที่การจัดการความเสี่ยงเป็นเทคนิคในเชิงรุก (Pre-active Technique) ซึ่งเป็นการเตรียมการจัดการไว้ล่วงหน้า เพื่อป้องกันหรือช่วยบรรเทาสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต โดยวิธีในการตอบโต้ความเสี่ยงสำหรับโครงการก่อสร้าง มีดังนี้

การขจัดความสี่ยง (Risk Elimination)

ในบางครั้งอาจใช้คำว่า การหลีกเลี่ยงความเสี่ยง (Risk Avoidance) ด้วยเหตุที่มีความเสี่ยงสูงมาก จึงอาจไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน จึงใช้วิธีขจัดความเสี่ยง อันได้แก่ การที่ผู้รับจ้างอาจจะไม่เข้าร่วมในการประมูล หรือเข้าร่วมประมูลในราคาสูง (เนื่องจากบวกค่าเผื่อความเสี่ยงไว้) หรือขอเปลี่ยนแปลงเงื่อนไข หรือขอเจรจาต่อรองเฉพาะส่วนที่มีความเสี่ยงสูง

การถ่ายโอนความสี่ยง (Risk Elimination)

นับเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการจัดการความเสี่ยงในงานก่อสร้าง โดยในช่วงเริ่มทำโครงการ ความเสี่ยงจะอยู่ในความรับผิดชอบของเจ้าของโครงการโดยตรง ซึ่งเจ้าของโครงการสามารถถ่ายโอนความเสี่ยงบางประเภทไปให้กับกลุ่มผู้เกี่ยวข้อง ได้แก่ ผู้ออกแบบ ผู้จัดการงานก่อสร้าง ผู้ทำการก่อสร้าง ด้วยการระบุไว้ในสัญญา ซึ่งการถ่ายโอนจากเจ้าของโครงการไปยังกลุ่มผู้เกี่ยวข้องนี้ จะต้องยอมรับและถือเป็นภาระหน้าที่ โดยจะปัดความรับผิดชอบไม่ได้ (Reilly และ Stovin, 1996) แต่ถ้าไม่สามารถกำหนดผู้เกี่ยวข้องกลุ่มใดให้เป็นผู้รับผิดชอบความเสี่ยงนั้นได้แล้ว เจ้าของโครงการก็จะพิจารณาหาบุคคลที่สาม (Third Party) มาเป็นผู้รับถ่ายโอนความรับผิดชอบแทน ซึ่งส่วนใหญ่บุคคลที่สามนี้ ได้แก่ บริษัทประกันภัย เป็นต้น

การแบกรับความเสี่ยงไว้เอง (Risk Retention)

หมายถึง การรับความเสี่ยงเอาไว้เอง ซึ่งจะมีผลต่อการดำเนินโครงการก่อสร้าง และจะต้องพยายามลดความเสี่ยงนั้น ให้อยู่ในระดับที่ผู้ตัดสินใจสามารถยอมรับได้

การลดความเสี่ยงให้น้อยลง (Risk Reduction)

ถือเป็นขั้นตอนถัดจากวิธีการแบกรับความเสี่ยงไว้เอง โดยกำหนดเป็นมาตรการหรือนโยบาย พร้อมทั้งให้ความรู้แก่บุคลากรในหน่วยงาน เพื่อให้มาตรการดังกล่าวประสบผลสำเร็จ เพื่อบรรเทาให้ความเสี่ยงลดน้อยลง อันจะเป็นผลดีต่อโครงการก่อสร้าง โดยวิธีสำหรับการลดความเสี่ยงในงานก่อสร้าง อาทิเช่น การปรับเวลาการทำงาน กล่าวคือ ถ้าความเสี่ยงนั้นเป็นเรื่องที่เกี่ยงข้องกับเวลาการทำงาน หรือสภาพภูมิอากาศ การปรับเวลาการทำงานใหม่ ก็เป็นการลด

โอกาสที่จะเผชิญกับความเสี่ยงในด้านนี้ได้ เช่นผู้ทำการก่อสร้างควรวางแผนงานในช่วงฤดูฝน โดยควรเร่งงานส่วนที่อยู่กลางแจ้งให้แล้วเสร็จก่อน เช่น งานประกอบและติดตั้งเครื่องขุดเจาะ เป็นต้น รวมถึงการมีส่วนรวมของบุคลากรในองค์กรก็เช่นเดียวกัน โดยต้องเผยแพร่ความรู้ด้านต่างๆ รวมถึงการจัดอบรม เพื่อให้บุคลากรเกิดความตระหนักและความเข้าใจอย่างถ่องแท้ ซึ่งจะเป็นแรงผลักดัน ให้กระบวนการจัดการความเสี่ยงบรรลุผลมากที่สุด (Rahman และ Kumaraswamy, 2005) อีกทั้งความเสี่ยงหลายประเภทมักเกี่ยวข้องกับความปลอดภัย ดังนั้นควรจัดให้มีโครงการให้ความรู้แก่ผู้เกี่ยวข้องอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ผู้ปฏิบัติได้เข้าใจลักษณะวิธีของการทำงานของตน และตระหนักถึงอันตรายที่เกิดจากการทำงาน ซึ่งทั้งหมดนี้ จะช่วยลดโอกาสและความเสียหายจากการเกิดอุบัติเหตุลงได้

2.5 สรุปท้ายบท

การก่อสร้างอุโมงค์ในระยะเริ่มแรกมีวัตถุประสงค์เพื่อการสัญจรลำเลียง รวมถึงการสะสมเสบียงอาหารและอาวุธต่างๆ ต่อมาภายหลังได้เริ่มมีการก่อสร้างอุโมงค์กันมากขึ้น ซึ่งล้วนแต่มีวัตถุประสงค์เพื่อการขนส่งมวลชนแทบทั้งสิ้น เช่น อุโมงค์ถนน หรืออุโมงค์รถไฟใต้ดิน โดยวิวัฒนาการสำหรับวิธีการขุดเจาะเริ่มตั้งแต่ วิธีเจาะและระเบิด จนถึงระบบหัวเจาะอุโมงค์ ซึ่งปัจจุบันได้มีการพัฒนาหัวเจาะอุโมงค์ดังกล่าวมากขึ้นกว่าในอดีต และมีให้เลือกใช้หลายประเภท โดยขึ้นอยู่กับลักษณะสภาพชั้นดินและขนาดรูปร่างของอุโมงค์

ความเสี่ยงในโครงการก่อสร้าง สามารถแบ่งตามขั้นตอนการดำเนินงานได้เป็น ความเสี่ยงในขั้นตอนการศึกษาความเป็นไปได้ ขั้นตอนการออกแบบโครงการ และขั้นตอนการก่อสร้าง ซึ่งในขั้นตอนแรกนั้น ความรับผิดชอบส่วนใหญ่จะตกอยู่กับเจ้าของโครงการและผู้ออกแบบ ส่วนในขั้นตอนการก่อสร้าง ความเสี่ยงจะอยู่ในความรับผิดชอบของผู้ที่ก่อสร้าง

สำหรับกระบวนการในการจัดการความเสี่ยง จะเริ่มจากการบ่งชี้หรือกำหนดความเสี่ยงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น จากนั้นจึงทำการประเมินว่าอยู่ในระดับใด และวิเคราะห์ความเสี่ยงดังกล่าวว่าสามารถจัดการได้โดยวิธีใด ขั้นตอนต่อไปจึงกำหนดมาตรการที่จะจัดการกับความเสี่ยงเหล่านั้น ซึ่งผู้บริหารควรให้ความสำคัญกับความเสี่ยงที่มีโอกาสหรือความน่าจะเป็นในการเกิดสูง และมีผลกระทบต่อโครงการมากไว้เป็นอันดับแรก ทั้งนี้ผู้บริหารจำเป็นต้องใช้ข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจ จึงควรจัดทำฐานข้อมูลด้านต่างๆไว้ใช้ประกอบการตัดสินใจในการนี้ด้วย