บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

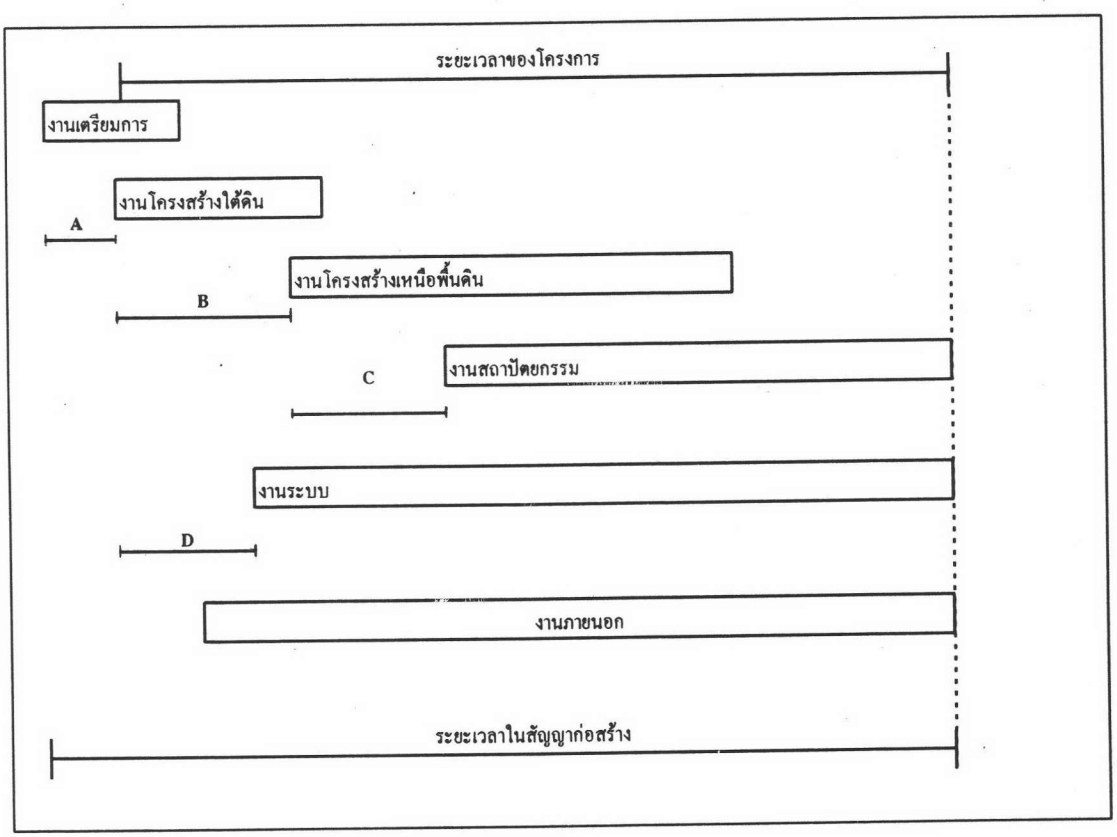
3.1 แนวทางการดำเนินการวิจัย

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลเบื้องต้นของการวางแผนงานก่อสร้าง โดยการสอบถามและขอข้อมูลของแผนงานก่อสร้างจากบริษัทวิศวกรที่ปรึกษาและบริษัทผู้รับเหมาก่อสร้างพบว่า การวางแผนงานก่อสร้างในปัจจุบันไม่ว่าโครงการจะมีขนาดใหญ่หรือเล็กก็ตาม วิธีที่นิยมใช้กันก็คือ การวางแผนงานแบบแท่ง (Bar Chart Schedule) ทั้งนี้มีเหตุผลหลายประการคือ ระบบการวางแผนงานแบบแท่งสามารถจัดทำได้ง่าย อธิบายความสัมพันธ์ของงานต่างๆ ได้ง่าย เป็นรูปแบบที่มีการจัดทำอยู่เดิม สามารถเขียนรวมกับค่าใช้จ่ายของโครงการในลักษณะโค้งตัวเอส(S-Curve)ได้ และที่สำคัญที่สุดคือการแก้ไขสามารถทำได้สะดวกและรวดเร็ว ในการจัดทำแผนงานแบบแท่งของโครงการมักจะมาจากหลายฝ่ายและหลายระดับด้วยกันคือ

ระดับ	การวางแผน	ระยะเวลาของแผนงาน	ข้อจำกัด
1. ผู้บริหารโครงการ วิศวกรโครงการ	- แผนงานหลัก (Main Schedule or Master Schedule)	ตลอดระยะเวลาของโครงการ โดยแบ่งช่วงละเอียดสุดเป็น เดือน	วางแผนตามระยะเวลาในสัญญาก่อสร้าง
2. วิศวกรสนาม โฟร์แมน	- แผนงานรายเดือน (Monthly Schedule) - แผนงานรายสัปดาห์ (Weekly Schedule)	ใช้เฉพาะในเดือนหรือสัปดาห์ที่วางแผนไว้และใช้ประกอบในการวางแผนช่วงถัดไป	วางแผนโดยยึดแผนงานหลักเป็นเกณฑ์
3. ผู้รับเหมาย่อย	- แผนงานรายเดือน - แผนงานรายสัปดาห์	ใช้เฉพาะในช่วงเวลาที่วางแผนไว้และเฉพาะในงานที่ทำเท่านั้น	วางแผนโดยยึดแผนงานรายเดือนหรือสัปดาห์ตามผู้รับเหมาหลัก

เนื่องจากการวางแผนงานในการก่อสร้างมีอยู่หลายระดับ ซึ่งในแต่ละระดับก็มีความละเอียดแตกต่างกัน กล่าวคือในระดับแผนงานหลักอาจจะมีหัวข้อของหมวดงานไม่มากนัก แต่ในระดับแผนงานรายเดือนหรือรายสัปดาห์นั้นอาจจะมีรายละเอียดมากและหัวข้อของงานอาจจะมีเป็นร้อยๆ หัวข้อ แต่อย่างไรก็ตามการวางแผนงานรายเดือนและรายสัปดาห์ที่ใช้กัน มักจะปรับเปลี่ยนให้เข้ากับแผนงานหลักเสมอ ดังนั้นในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะยึดเอาเฉพาะแผนงานหลักของโครงการมาใช้ในการประมาณระยะเวลาก่อสร้างของโครงการ

จากข้อมูลเบื้องต้นที่ได้และจากการสอบถามผู้ที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนงานก่อสร้าง พบว่าในการจัดทำแผนงานหลักของโครงการต่างๆ ไม่ว่าจะมีขนาดใหญ่หรือเล็กก็ตาม สามารถอธิบายได้ว่าโครงการก่อสร้างต่างๆ มักจะมีการกำหนดหัวข้อของงานที่ใช้ในแผนงานหลักในลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ตัวอย่างเช่น งานฐานรากก็มักจะมีงานขุดดิน งานผนังกันดิน งานเข็ม เป็นต้น หรือในงานโครงสร้างก็มักจะมีงานหล่อคอนกรีตเสา งานหล่อคอนกรีตคาน งานเทพื้น เป็นต้น จากปรากฏการณ์ข้างต้นทำให้สามารถจัดกลุ่มของงานแต่ละประเภทที่มีลักษณะที่ใกล้เคียงกันเข้าไว้ด้วยกันได้ ดังนั้นจึงสรุปรูปแบบการจัดแบ่งกลุ่มงานและความสัมพันธ์ของกลุ่มงานที่มักจะปรากฏในแผนงานหลักของโครงการต่างๆ ได้ดังแผนภาพด้านล่างนี้



รูปที่ 3.1 แผนภาพของการวางแผนงานหลัก

จากแผนภาพของการวางแผนงานหลักจะแบ่งกลุ่มงานออกเป็น 6 ประเภท และกำหนดคำจำกัดความได้ดังนี้ คือ

1. งานเตรียมการ (Set-Up) จะเป็นการรวมงานทุกงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเตรียมระบบสาธารณูปโภคต่างๆ ที่จะใช้ในการก่อสร้างและการเตรียมหน้างานให้พร้อมในการก่อสร้าง

2. งานโครงสร้างใต้ดิน (Substructure Works) จะเป็นการรวมงานทุกงานที่อยู่ต่ำกว่าระดับผิวดินลงไปได้แก่ งานเข็ม งานฐานราก งานผนังกันดิน งานขุดดิน งานพื้นชั้นใต้ดิน งานระบบระบายน้ำ เป็นต้น

3. งานโครงสร้างเหนือพื้นดิน (Superstructure Works) จะเป็นการรวมงานทุกงานที่เกี่ยวกับโครงสร้างรับแรง ตั้งแต่เหนือระดับดินขึ้นไปจนถึงโครงสร้างหลังคาของโครงการ ซึ่งได้แก่ งานหล่อคอนกรีตเสริมเหล็กเสาและคาน งานเทพื้น งานโครงหลังคา เป็นต้น

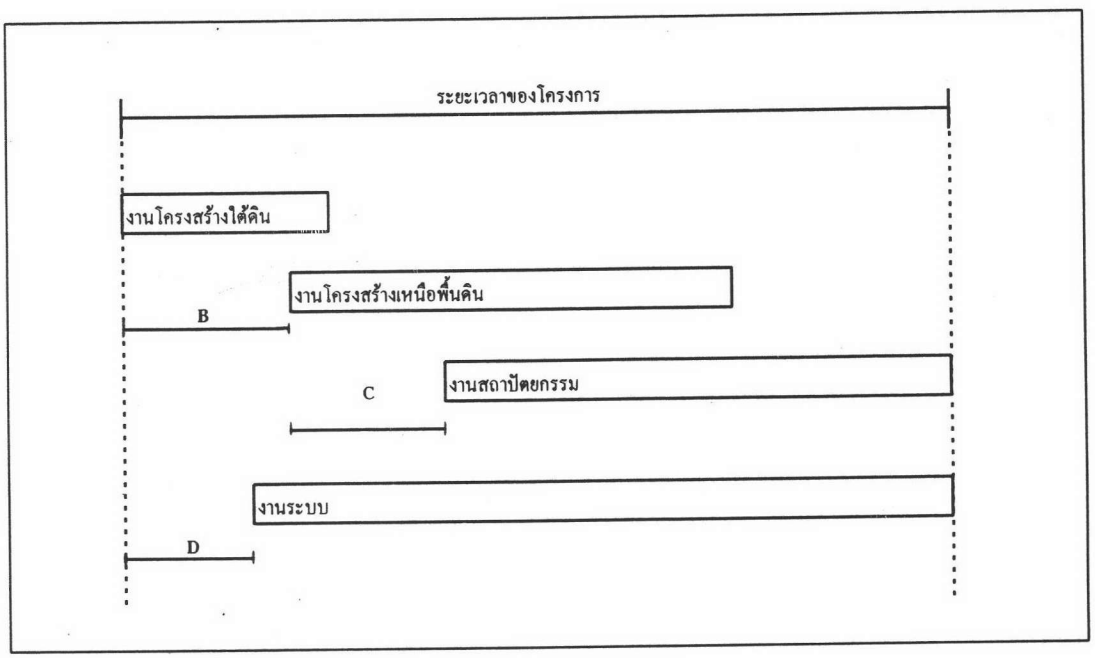
4. งานสถาปัตยกรรม (Finishing Works) จะเป็นการรวมงานทุกงานที่เกี่ยวเนื่องกับการป้องกันอาคารจากสภาพอากาศภายนอกและการกั้นห้องภายในตัวอาคาร ซึ่งได้แก่ งานก่ออิฐฉาบปูน งานผนังเบา งานผนังภายนอก งานผนังภายใน งานประตูหน้าต่าง ตลอดถึงงานทุกงานที่เกี่ยวข้องกับการตกแต่งภายใน ซึ่งได้แก่ งานบุผนัง งานฝ้าเพดาน งานตกแต่งพื้น งานทาสี เป็นต้น

5. งานระบบ (System Works) จะเป็นงานทุกงานที่เกี่ยวข้องกับระบบบริการภายในอาคาร ซึ่งได้แก่ งานระบบลิฟท์ งานระบบไฟฟ้า งานระบบประปา งานระบบโทรศัพท์ งานระบบปรับอากาศ งานระบบดับเพลิง เป็นต้น

6. งานภายนอก (External Works) จะเป็นงานทุกงานที่ไม่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างอาคารโดยตรง แต่อาจจะมีในสัญญา ซึ่งได้แก่ งานวางท่อ งานถนน งานรั้ว งานจัดสวน เป็นต้น

เมื่อได้กำหนดประเภทของงานหลักต่างๆ ข้างต้นแล้ว ก็จะต้องมีการกำหนดความสัมพันธ์ของงานหลักแต่ละงาน เพื่อที่จะใช้เป็นรูปแบบ (Pattern) ที่จะสามารถนำไปใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้ได้ ดังนั้นจึงกำหนดความสัมพันธ์เป็นระยะเวลาการเหลื่อมของแต่ละงาน (Lag time) เป็น A, B, C, D ตามลำดับ

ในการวิจัยครั้งนี้ จะพิจารณาเฉพาะระยะเวลาการก่อสร้างที่จำเป็นต้องใช้พื้นที่ก่อสร้างของผู้รับเหมา ดังนั้นจะพิจารณาตัดงานเตรียมการและงานภายนอกต่างๆ ออกไป ทั้งนี้เนื่องมาจากงานเตรียมการบางส่วนสามารถเตรียมการได้ก่อนการใช้พื้นที่และสามารถควบคุมได้ ส่วนงานภายนอกนั้นไม่ได้อยู่ในสายงานวิกฤติของโครงการ ดังนั้นในการทำวิจัยครั้งนี้จึงได้พิจารณาหมวดงานเพียง 4 กลุ่ม ดังนี้คือ งานโครงสร้างใต้ดิน งานโครงสร้างเหนือพื้นดิน งานสถาปัตยกรรม งานระบบ ซึ่งระยะเวลาของโครงการในการทำวิจัยจะเริ่มพิจารณาเวลาตั้งแต่การเริ่มงานโครงสร้างใต้ดินเป็นต้นไปจนแล้วเสร็จโครงการคือ งานระบบและงานสถาปัตยกรรม ดังนั้นสามารถเขียนแผนภาพการวางแผนงานหลักได้ใหม่ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภาพของการวางแผนงานหลักที่นำมาใช้ในการวิจัย

3.2 การสร้างแบบจำลอง

3.2.1 การวิเคราะห์แบบจำลอง

ในการสร้างแบบจำลองในการประมาณเวลาของโครงการ จะแบ่งเป็นหมวดงานหลักต่างๆ ดังที่กล่าวมา โดยกำหนดให้ระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างของแต่ละหมวดงานหลักเป็นตัวแปรตาม ซึ่งจะเป็นฟังค์ชั่นกับตัวแปรอิสระหลายตัว ดังนั้นสิ่งแรกที่จะต้องทำก็คือการกำหนดตัวแปรอิสระที่คิดว่าน่าจะมีอิทธิพลต่อระยะเวลาของหมวดงานต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. หมวดงานโครงสร้างใต้ดิน กำหนดให้มีตัวแปรอิสระดังต่อไปนี้
   - ปริมาณดินขุด
   - ความลึกการขุดดิน
   - จำนวนชั้นใต้ดิน
   - พื้นที่ชั้นที่วางบนดิน
   - พื้นที่ใช้สอยรวมของชั้นใต้ดิน
   - ประเภทฐานราก
   - สภาพทางเข้าออก
   - เขตการจราจร (ที่ตั้งของโครงการ)

2. หมวดงานโครงสร้างเหนือพื้นดิน กำหนดให้มีตัวแปรอิสระดังต่อไปนี้
   - จำนวนชั้นเหนือพื้นดิน
   - ความสูงของอาคาร
   - พื้นที่ชั้นที่วางบนดิน
   - พื้นที่ใช้สอยรวมของชั้นเหนือดิน
   - ปริมาตรของอาคาร
   - พื้นที่เฉลี่ยต่อชั้น
   - ระบบพื้นที่ใช้

3. หมวดงานสถาปัตยกรรม กำหนดให้มีตัวแปรอิสระดังต่อไปนี้
   - พื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมด
   - จำนวนชั้น
   - ความสูงเฉลี่ยต่อชั้น
   - ความสูงของอาคาร
   - ปริมาตรอาคาร
   - พื้นที่ผิวรอบอาคาร
   - ระบบพื้นที่ใช้
   - ระบบผนังภายนอกที่ใช้
   - ระบบผนังภายในที่ใช้
   - ปริมาณงานตกแต่ง

4. หมวดงานระบบ กำหนดให้มีตัวแปรอิสระดังต่อไปนี้
   - พื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมด
   - พื้นที่เฉลี่ยต่อชั้น
   - จำนวนชั้น
   - ความสูงของอาคาร
   - ปริมาตรอาคาร
   - พื้นที่ผิวรอบอาคาร
   - ปริมาณงานระบบ

3.2.2 ตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์

จากการกำหนดตัวแปรอิสระของแต่ละหมวดงานตามหัวข้อ 3.2.1 สามารถนำมาสรุปรวมตัวแปรอิสระที่จะทำการเก็บข้อมูลได้ดังนี้

ลำดับที่	ตัวแปร	สัญลักษณ์ที่ใช้	หน่วยที่วัด
1	ปริมาณดินขุด	EXCAVOL	ลูกบาศก์เมตร
2	ปริมาตรอาคาร	BUILDVOL	ลูกบาศก์เมตร
3	จำนวนชั้นใต้ดิน	DSTORY	ชั้น
4	จำนวนชั้นเหนือพื้นดิน	HSTORY	ชั้น
5	พื้นที่ชั้นที่วางบนดิน	GFLOOR	ตารางเมตร
6	พื้นที่ใช้สอยรวมทั้หมด	GFA	ตารางเมตร
7	พื้นที่ใช้สอยรวมชั้นใต้ดิน	DGFA	ตารางเมตร
8	พื้นที่ใช้สอยรวมชั้นเหนือพื้นดิน	HGFA	ตารางเมตร
9	พื้นที่เฉลี่ยต่อชั้น	AVGFLOOR	ตารางเมตร
10	พื้นที่ผิวรอบตัวอาคาร	SURFACE	ตารางเมตร
11	ความลึกการขุดดิน	DEPTH	เมตร
12	ความสูงของอาคาร	HIGHT	เมตร
13	ความสูงเฉลี่ยต่อชั้น	FHIGHT	เมตร
14	สภาพทางเข้าออก	ACCESS	ดรรชนี
15	เขตการจราจร	TRAFFIC	ดรรชนี
16	ประเภทฐานราก	TYPFOOT	ดรรชนี

ลำดับที่	ตัวแปร	สัญลักษณ์ที่ใช้	หน่วยที่วัด
17	ระบบพื้นที่ใช้	17 TYPFLOOR	ดรรชนี
18	ระบบผนังภายนอกที่ใช้	18 EXWALL	ดรรชนี
19	ระบบผนังภายในที่ใช้	19 INWALL	ดรรชนี
20	ปริมาณงานตกแต่ง	20 FINVOL	ดรรชนี
21	ปริมาณงานระบบ	21 SYSVOL	ดรรชนี

ข้อกำหนดและวิธีการหาค่าของตัวแปรอิสระที่ใช้

3.2.21 ปริมาณดินขุด (EXCAVOL)

ปริมาณดินขุด มีค่าเท่ากับพื้นที่การขุดดินคูณกับผลบวกของความลึกห้องใต้ดินกับความหนาของฐานราก ผลของการวัดมีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

ปริมาณดินขุด = พื้นที่การขุดดิน X (ความลึกของห้องใต้ดิน + ความหนาของฐานราก)

3.2.2.2 ปริมาตรอาคาร (BUILDVOL)

ปริมาตรอาคาร มีค่าเท่ากับพื้นที่ชั้นพื้นที่ติดกับดินคูณความสูงจากพื้นถึงชั้นหลังคา ในกรณีที่แต่ละชั้นมีพื้นที่ไม่เท่ากันให้แบ่งการคำนวณออกเป็นช่วงๆ โดยนำพื้นที่ช่วงที่เท่ากันคูณความสูงทำอย่างนี้ทุกช่วงที่แบ่ง แล้วนำผลลัพท์ที่ได้มารวมกัน แต่ในกรณีที่ตัวอาคารมีรูปทรงในลักษณะร่นตามพระราชบัญญัติให้คำนวณปริมาตรตามรูปทรงที่เป็นอยู่จริง ผลของการวัดมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร

3.2.2.3 จำนวนชั้นใต้ดิน (DSTORY)

จำนวนชั้นใต้ดิน คือจำนวนชั้นที่ต่ำกว่าระดับผิวดินลงไป ผลของการวัดมีหน่วยเป็น จำนวนชั้น

3.2.2.4 จำนวนชั้นเหนือพื้นดิน (HSTORY)

จำนวนชั้นเหนือพื้นดิน คือจำนวนชั้นที่นับตั้งแต่ชั้นที่ติดผิวดินขึ้นไปโดยไม่นับชั้นหลังคาและชั้นห้องเครื่อง ผลของการวัดมีหน่วยเป็น จำนวนชั้น

3.2.2.5 พื้นที่ชั้นที่วางบนดิน (GFLOOR)

พื้นที่ชั้นที่วางบนดิน มีค่าเท่ากับพื้นที่รวมของพื้นชั้นที่วางบนดิน ส่วนมากจะเป็นพื้นชั้นล่างสุดที่ติดกับผิวดิน ผลของการวัดมีหน่วยเป็น ตารางเมตร

3.2.2.6 พื้นที่ใช้สอยรวม (GFA)

พื้นที่ใช้สอยรวม มีค่าเท่ากับผลรวมของพื้นที่ใช้งานทั้งหมด ซึ่งรวมทั้งชั้นใต้ดินและชั้นเหนือพื้นดิน แต่ไม่รวมพื้นที่ชั้นหลังคา ผลของการวัดมีหน่วย ตารางเมตร

3.2.2.7 พื้นที่ใช้สอยรวมชั้นใต้ดิน (DGFA)

พื้นที่ใช้สอยรวมชั้นใต้ดิน มีค่าเท่ากับผลรวมของพื้นที่ใช้งานทั้งหมดเฉพาะชั้นที่อยู่ต่ำกว่าระดับพื้นดิน ผลของการวัดมีหน่วยเป็น ตารางเมตร

3.2.2.8 พื้นที่ใช้สอยรวมชั้นเหนือพื้นดิน (HGFA)

พื้นที่ใช้สอยรวมชั้นเหนือพื้นดิน มีค่าเท่ากับผลรวมของพื้นที่ใช้งานทั้งหมดตั้งแต่ชั้นที่ติดกับพื้นดินขึ้นไป จนถึงชั้นสูงสุดโดยไม่รวมพื้นที่ชั้นหลังคา ผลของการวัดมีหน่วยเป็นตารางเมตร

3.2.2.9 พื้นที่เฉลี่ยต่อชั้น (AVGFLOOR)

พื้นที่เฉลี่ยต่อชั้น มีค่าเท่ากับพื้นที่ใช้สอยรวมของชั้นเหนือพื้นดินหารด้วยจำนวนชั้น ผลของการวัดมีหน่วยเป็น ตารางเมตร

3.2.2.10 พื้นที่ผิวรอบอาคาร (SURFACE)

พื้นที่ผิวรอบตัวอาคาร มีค่าเท่ากับเส้นรอบรูปของพื้นคูณกับความสูง ในกรณีที่พื้นแต่ละชั้นไม่เท่ากันให้แบ่งการคำนวณเป็นช่วงๆ โดยเอาเส้นรอบรูปแต่ละช่วงคูณความสูงของแต่ละช่วงที่เท่ากัน แล้วนำผลลัพท์ที่ได้มารวมกัน ผลของการวัดมีหน่วยเป็น ตารางเมตร

3.2.2.11 ความลึกการขุดดิน (DEPTH)

ความลึกการขุดดิน มีค่าเท่ากับความลึกตั้งแต่ระดับผิวดินเดิมลงไปจนถึงระดับผิวล่างของฐานราก ผลของการวัดมีหน่วยเป็น เมตร

3.2.2.12 ความสูงอาคาร (HIGHT)

ความสูงอาคาร มีค่าเท่ากับระยะจากระดับผิวดินขึ้นไปจนถึงระดับสูงสุดของอาคาร ผลของการวัดมีหน่วยเป็น เมตร

3.2.2.13 ความสูงเฉลี่ยต่อชั้น (FHIGHT)

ความสูงเฉลี่ยต่อชั้น มีค่าเท่ากับความสูงของอาคารตั้งแต่พื้นดินถึงระดับชั้นหลังคา หารด้วยจำนวนชั้น ผลของการวัดมีหน่วยเป็น เมตร

3.2.2.14 สภาพทางเข้าออก (ACCESS)

สภาพทางเข้าออกและสภาพหน้างาน จะพิจารณาค่าโดยการแบ่งช่วงออกเป็นระดับต่าง ๆ แล้วกำหนดค่าคะแนน (Constructed Score) ให้แก่แต่ละอันดับ ในที่นี้ได้แบ่งสภาพของหน้างานออกเป็น 5 ระดับคือ

สภาพทางเข้าออก	ค่าคะแนน
สะดวกมาก	1
สะดวก	2
ปานกลาง	3
คับแคบ	4
คับแคบมาก	5

คำอธิบายของการแบ่งกลุ่มค่าคะแนน

1. คับแคบมาก คือสภาพหน้างานที่มีการก่อสร้างเต็มพื้นที่ ไม่มีที่จัดกองเก็บวัสดุหรือเครื่องจักรทำให้ต้องมีการกองเก็บวัสดุนอก Site งาน ทางเข้าออกเป็นซอยเล็กๆ การจราจรใน Site ติดขัดมาก

2. คับแคบ คือสภาพหน้างานที่มีการกองเก็บวัสดุใน Site งาน แต่มีการกีดขวางการทำงานการจราจรใน Site พอที่จะดำเนินได้

3. ปานกลาง คือสภาพหน้างานที่มีพื้นที่พอเหมาะที่จะกองเก็บวัสดุอย่างเพียงพอ และไม่เกิดการกีดขวางใน Site งาน การจราจรใน Site งานปานกลาง

4. สะดวก คือสภาพหน้างานที่มีพื้นที่เพียงพอ และมีพื้นที่เหลือบางส่วนที่จะเป็นพื้นที่สำรองในการกองเก็บวัสดุอุปกรณ์ การจราจรใน Site งานสะดวก

5. สะดวกมาก คือสภาพหน้างานที่มีพื้นที่มาก และไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการจราจรและการกองเก็บวัสดุใน Site งาน

3.2.2.15 เขตการจราจร (TRAFFIC)

เขตการจราจรจะพิจารณาถึงที่ตั้งของโครงการว่าการจราจรภายนอกโครงการมีสภาพอย่างไร ซึ่งอาจจะมีผลต่อการขนส่งวัสดุในงานก่อสร้างได้ เขตการจราจรจะกำหนดเป็นค่าคะแนนเช่นเดียวกันกับทางเข้าออก โดยแบ่งเป็น 3 ระดับด้วยกันคือ

เขตการจราจร	ค่าคะแนน
สะดวก	1
ติดขัดบางเวลา	2
ติดขัดมาก	3

คำอธิบายของการแบ่งกลุ่มค่าคะแนน

1. ติดขัดมาก จะเป็นโครงการที่ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพฯชั้นใน มีถนนสายหลักที่มีการจราจรหนาแน่นตลอดทั้งวัน เช่น พญาไท เพลินจิต สุขุมวิท เพชรบุรี สีลม สาธร พระราม 4 เป็นต้น

2. ติดขัดบางเวลา จะเป็นโครงการที่ตั้งอยู่แถบชานเมือง มีถนนสายหลักที่มีการติดขัดบ้างบางช่วงเวลา เช่น พระราม 2 พระราม 3 เพชรเกษม บางนา-บางปะกง เป็นต้น

3. สะดวก โดยจะเป็นโครงการที่ตั้งอยู่บนถนนสายหลักที่มีการจราจรไม่หนาแน่นนัก หรือถนนสายรองแถบชานเมืองที่มีการจราจรเบาบาง

3.2.2.16 ประเภทฐานราก (TYPFOOT)

ประเภทฐานราก จะพิจารณาเป็นดรรชนีตัวเลขตามประเภทฐานราก โดยแบ่งประเภทฐานรากเป็น 3 ระบบคือ เข็มตอก เข็มเจาะ เข็มเจาะและผนังกันดิน โดยกำหนดค่าคะแนนดังนี้

ประเภทฐานราก	ค่าคะแนน
เข็มตอก	1
เข็มเจาะ	2
เข็มเจาะและผนังกันดิน	3

3.2.2.17 ระบบพื้นที่ใช้ (TYPFLOOR)

ระบบพื้นที่ใช้ จะพิจารณาเป็นดรรชนีตัวเลขตามระบบพื้นที่ใช้ โดยแบ่งระบบพื้นออกเป็น 3 ระบบคือ ระบบพื้นและคานหล่อในที่ (Conventionnal Slab) ระบบพื้นหล่อสำเร็จ (Precase Slab) และระบบพื้นลวดอัดแรงภายหลัง (Post Tension Slab) และกำหนดค่าคะแนนดังนี้

ระบบพื้นที่ใช้	ค่าคะแนน
ระบบพื้นหล่อสำเร็จ	1
ระบบพื้นลวดอัดแรงภายหลัง	2
ระบบพื้นและคานหล่อในที่	3

3.2.2.18 ระบบผนังที่ใช้ภายนอก (EXWALL)

ระบบผนังภายนอกที่ใช้ จะพิจารณาเป็นดรรชนีตัวเลขตามระบบผนังที่ใช้ โดยแบ่งระบบผนังภายนอกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ ประเภทแรกเป็นผนังทำในที่ ซึ่งได้แก่ ผนังคอนกรีตหล่อในที่ และผนังก่ออิฐ (Brick & Block Wall) ประเภทที่สองเป็นผนังสำเร็จรูป ซึ่งได้แก่ ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Concrete Wall) และผนังกระจก (Certain Wall) เป็นต้น โดยทำการแบ่งออกเป็น 3 ช่วงคะแนนคือ

ระบบผนังที่ใช้	ค่าคะแนน
ผนังสำเร็จรูป	1
ผนังสำเร็จและผนังทำในที่ กึ่งๆกัน	2
ผนังทำในที่	3

3.2.2.19 ระบบผนังที่ใช้ภายใน (INWALL)

ระบบผนังที่ใช้ภายใน จะพิจารณาเป็นดรรชนีตัวเลขตามระบบผนังที่ใช้ โดยแบ่งระบบผนังภายในเป็น ผนังก่ออิฐ และผนังสำเร็จรูป

ระบบผนังที่ใช้	ค่าคะแนน
ผนังสำเร็จรูป	1
ผนังก่ออิฐ	2

3.2.2.20 ปริมาณงานตกแต่ง (FINVOL)

ปริมาณงานตกแต่ง จะพิจารณาจากประเภทผิวพื้นที่ตกแต่ง เช่น พื้นกระเบื้อง พื้นหินอ่อน พื้นปาเก้ พื้นหินขัด พื้นพรม ประเภทผิวผนังที่ตกแต่ง เช่น ผนังทาสี ผนังกรุกระเบื้อง ผนังหินอ่อน ประเภทของฝ้าที่ใช้ เช่น ฝ้าฉาบเรียบ ฝ้าT-bar เป็นต้น โดยจะกำหนดเป็นคะแนนดังนี้

ปริมาณงานตกแต่ง	ค่าคะแนน
งานตกแต่งน้อย	1
งานตกแต่งปานกลาง	2
งานตกแต่งมาก	3

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายของการแบ่งกลุ่มค่าคะแนน

1. งานตกแต่งน้อย จะมีการตกแต่งทางสถาปัตยกรรมบ้างเล็กน้อยไม่ต้องใช้เวลาหรือความชำนาญของช่างมากนัก เช่น พื้นขัดมันธรรมดา พื้นกระเบื้องยาง ฝ้า T-bar ผนังทาสี

2. งานตกแต่งปานกลาง จะมีการตกแต่งทางสถาปัตยกรรมและต้องอาศัยความชำนาญของช่างพอควร เช่น พื้นหินขัด พื้นกระเบื้อง พื้นปาเก้ ฝ้าฉาบเรียบ ผนังทาสี ผนังกรุกระเบื้อง มีงานตกแต่งภายในบางส่วน

3. งานตกแต่งมาก จะมีการตกแต่งทางสถาปัตยกรรมและต้องอาศัยความชำนาญของช่างมาก เช่น พื้นหินอ่อน พื้นหินแกรนิต พื้นปาเก้ ฝ้าฉาบเรียบ ผนังกรุด้วยแกรนิต มีการตกแต่งภายในค่อนข้างมาก

3.2.2.21 ปริมาณงานระบบ (SYSVOL)

ปริมาณงานระบบ จะพิจารณาจากชนิดของงานระบบที่มีในอาคาร เช่น งานระบบไฟฟ้า งานระบบสุขาภิบาล งานระบบดับเพลิง งานระบบปรับอากาศ งานระบบลิฟท์ และพิจารณาแยกย่อยลงไปเช่น งานระบบดับเพลิง เป็นระบบตู้ดับเพลิงรวมหรือมีระบบหัวพ่น (Sprinkler System) งานระบบปรับอากาศเป็นแบบรวม (Central Air) หรือแบบแยก (Split Type) เป็นต้น โดยการกำหนดเป็นค่าคะแนน ดังนี้

ปริมาณงานระบบ	ค่าคะแนน
งานระบบน้อย	1
งานระบบปานกลาง	2
งานระบบมาก	3

คำอธิบายของการแบ่งกลุ่มค่าคะแนน

1. งานระบบน้อย จะมีเฉพาะงานระบบที่จำเป็นในอาคารคือ ระบบไฟฟ้า ระบบสุขาภิบาล ระบบลิฟท์

2. งานระบบปานกลาง จะมีงานระบบไฟฟ้า ระบบสุขาภิบาล ระบบลิฟท์ ระบบดับเพลิงรวม ระบบสื่อสาร ระบบแอร์แบบแยก

3. งานระบบมาก จะมีงานระบบไฟฟ้า ระบบสุขาภิบาล ระบบลิฟท์ ระบบดับเพลิงแบบรวมและระบบหัวพ่น งานระบบปรับอากาศแบบรวมและแบบแยก ระบบสื่อสาร และระบบอื่นๆ

3.2.3 ตัวแปรตามในการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์แบบจำลองในข้อที่ 3.2.1 และจากรูปที่ 3.2 สามารถกำหนดค่าตัวแปรตามที่จะนำมาสร้างแบบจำลองที่จะใช้ในการทำนายได้ดังนี้ คือ

- ระยะเวลาของทั้งโครงการ (DURATION)
- ระยะเวลาของงานโครงสร้างใต้ดิน (SUB)
- ระยะเวลาของงานโครงสร้างเหนือพื้นดิน (SUPER)
- ระยะเวลาของงานสถาปัตยกรรม (FINISH)
- ระยะเวลาของงานระบบ (SYSTEM)
- ระยะเวลาเหลื่อมของงานโครงสร้างใต้ดินกับงานโครงสร้างเหนือพื้นดิน (B)
- ระยะเวลาเหลื่อมของงานโครงสร้างเหนือพื้นดินกับงานสถาปัตยกรรม (C)
- ระยะเวลาของการเริ่มงานระบบนับแต่เริ่มงานโครงสร้างใต้ดิน (D)

เนื่องจากมีตัวแปรตามที่จะทำการวิเคราะห์แบบจำลองเพิ่มเข้ามาคือ ตัวแปร B, C, D ซึ่งเป็นระยะเวลาเหลื่อมงานของหมวดงานต่างๆ (ดังรูปที่ 3.2) ทำให้จำเป็นต้องเพิ่มตัวแปรอิสระที่ได้จากการคำนวณเพิ่มเติมคือ ตัวแปร SUPERSUB, FINSUPER, SYSFIN ซึ่งเป็นอัตราส่วนของงาน SUPER ต่องาน SUB งาน FINISH ต่องาน SUPER และงาน SYSTEM ต่องาน FINISH ตามลำดับ ตัวแปรตามที่เกี่ยวข้องกับระยะเวลาจะมีหน่วยเป็น เดือน

3.2.4 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์

รูปแบบสมการที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ จะอยู่ในรูปแบบของฟังชั่นค์การประมาณเวลา โดยตัวแปรตามแต่ละตัวจะมีตัวแปรอิสระที่เกี่ยวข้องแตกต่างกันตามแต่ละชนิดของตัวแปรตาม ซึ่งสามารถเขียนรูปแบบของเป็นฟังค์ชั่นได้ดังนี้

DURATION = f (EXCALVOL, BUILDVOL, DSTORY, HSTORY, GFLOOR, GFA, AVGFLOOR, DEPTH, HIGHT, FHIGHT, ACCESS, TYPFLOOR, EXWALL, FINVOL, SYSVOL)

SUB = f (EXCALVOL, DSTORY, GFLOOR, DGFA, DEPTH, ACCESS, TRAFFIC, TYPFOOT)

SUPER = f (BUILDVOL, HSTORY, HGFA, AVGFLOOR, HIGHT, GFLOOR, TYPFLOOR)

FINISH = f (BUILDVOL, HSTORY, GFA, AVGFLOOR, SURFACE, HIGHT, FHIGHT, TYPFLOOR, EXWALL, FINVOL)

SYSTEM = f (BUILDVOL, DSTORY, HSTORY, GFA, AVGFLOOR, SURFACE, HIGHT, FHIGHT, FINVOL, SYSVOL)

B = f (EXCALVOL, HSTORY, GFLOOR, GFA, AVGFLOOR, HIGHT, FHIGHT, ACCESS, TRAFFIC, TYPFLOOR, SUB, SUPER, SUPERSUB)

C = f (BUILDVOL, HSTORY, HGFA, AVGFLOOR, SURFACE, HIGHT, FHIGHT, ACCESS, TYPFLOOR, FINVOL, SUPER, FINISH, FINSUPER, B)

D = f (C, SUB, SUPER, FINISH, SYSTEM, FINSUPER, SYSVOL, SYSFIN)

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลจะทำการเก็บข้อมูลของตัวแปรอิสระตามที่ได้แจกแจงไว้ดังข้อที่ 3.2.2 ซึ่งประกอบไปด้วยตัวแปรอิสระที่เกี่ยวข้องกับรายละเอียดโครงการ 21 ตัวแปร และตัวแปรตามที่เกี่ยวกับระยะเวลาก่อสร้างของงานต่างๆ 8 ตัวแปร เนื่องจากตัวแปรที่จะเก็บมีรายละเอียดด้านตัวเลขค่อนข้างมาก จึงใช้วิธีการเก็บข้อมูลในรูปแบบการออกแบบสอบถามประกอบกับการสัมภาษณ์

จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นพบว่า ระยะเวลาการก่อสร้างอาคารของงานราชการจะมีความล่าช้าค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับระยะเวลาการก่อสร้างของงานเอกชน ซึ่งบางโครงการต้องใช้เวลาก่อสร้างนานกว่าปกติ ทั้งนี้อาจสืบเนื่องมาจากการแบ่งงวดงานของสัญญาก่อสร้างในงานราชการนั้น ขึ้นอยู่กับปีงบประมาณที่ได้รับ และส่งผลให้ผู้รับเหมาจำเป็นต้องวางแผนงานก่อสร้างตามสัญญาดังกล่าว ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จะไม่พิจารณาจัดเก็บข้อมูลของทางราชการมาวิเคราะห์

เนื่องจากมีความจำกัดในด้านเวลาอีกทั้งแหล่งของข้อมูลกระจัดกระจาย ทำให้การเก็บข้อมูลเป็นไปได้ลำบาก ดังนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลให้มีจำนวนเพียงพอที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ โดยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของอาคารที่ทำการก่อสร้างเสร็จไปแล้วและกำลังก่อสร้างอยู่ จากบริษัทวิศวกรที่ปรึกษาและบริษัทรับเหมาทั้งขนาดใหญ่และขนาดกลางในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 การเลือกรูปแบบสมการแบบจำลอง

ในการทำวิจัยครั้งนี้ ได้เลือกฟังค์ชั่นที่จะใช้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการประมาณการ โดยเลือกรูปแบบเป็นแบบสมการเส้นตรง

ฟังค์ชั่นเส้นตรง (Linear function)

$$\hat{Y} = \hat{a} + \hat{b}_1 X_1 + \hat{b}_2 X_2 + ... + \hat{b}_k X_k$$

3.4.2 การวิเคราะห์ความเป็นสหสัมพันธ์ (Correlation Analysis)

การวิเคราะห์ความเป็นสหสัมพันธ์จะเป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) จะใช้สัญลักษณ์ r ถ้ามีตัวแปรอิสระตัวเดียว และใช้สัญลักษณ์ R เมื่อมีตัวแปรอิสระหลายตัว ค่าสัมประสิทธิ์ r และ R นี้จะเป็นตัวบอกให้ทราบว่าการกระจายตัวของข้อมูลมีลักษณะอย่างไรรอบ ๆ เส้นสมการถดถอยที่ได้ ซึ่งจะเป็นตัวบอกถึงความแม่นยำในการพยากรณ์ค่า Y

ทั้งนี้การหาค่าความเป็นสหสัมพันธ์จะพิจารณาที่ค่าคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าของสมการถดถอยซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้สามแหล่งด้วยกันคือ

1. ค่า $Y_i - \overline{Y}$ จะเป็นค่าคลาดเคลื่อนทั้งหมดของการประมาณการ (Total Error of Estimation)

2. ค่า $\hat{Y}_i - \overline{Y}$ จะเป็นค่าคลาดเคลื่อนที่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการถดถอย (Error of Estimation Explained by Regression)

3. ค่า $Y_i - \hat{Y}_i$ จะเป็นค่าคลาดเคลื่อนที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการถดถอย (Error of Estimation Unexplained by Regression)

เมื่อเขียนความสัมพันธ์ของความคลาดเคลื่อนทั้งสามได้ดังนี้

Total Error = Explaned Error + Unexplaned Error

แทนค่าได้ดังนี้ $Y_i - \overline{Y} = (\hat{Y}_i - \overline{Y}) + (Y_i - \hat{Y}_i)$

$$\sum(Y_i - \overline{Y})^2 = \sum[(\hat{Y}_i - \overline{Y}) + (Y_i - \hat{Y}_i)]^2$$

จะได้ $$\sum(Y_i - \overline{Y})^2 = \sum(\hat{Y}_i - \overline{Y})^2 + \sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad \text{----------(1)}$$

หรือ Total Sum Square = Explained Sum Square + Unexplained Sum Square

นั่นคือ Total SS เป็นค่าคลาดเคลื่อนของค่า Y ที่เกิดขึ้นในข้อมูลทั้งหมด จะเท่ากับผลบวกของ Explained SS ซึ่งเป็นค่าคลาดเคลื่อนของ Y ที่คาดคะเนได้จากเส้นถดถอย กับ Unexplained SS ซึ่งเป็นค่าคลาดเคลื่อนของค่า Y ที่เกิดจากผลต่างระหว่าง Y ที่แท้จริงกับ Y ที่ทำนายได้ แต่ไม่สามารถอธิบายได้จากสมการถดถอย และค่า Unexplained SS ก็คือค่า $\sum\varepsilon_i^2$ นั่นเอง

เส้นสมการถดถอยที่ดีนั้นจะต้องสามารถประมาณค่า Y ได้ใกล้เคียงกับค่า Y ที่แท้จริงให้มากที่สุด ดังนั้นจะต้องพยายามลดค่าความคลาดเคลื่อนที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการถดถอยให้มีค่าน้อยที่สุดหรือไม่มีได้ยิ่งดี ซึ่งเป็นการลดค่า $\sum\varepsilon_i^2$ ตามวิธี Least Square นั่นเอง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า เส้นสมการถดถอยที่จะสามารถอธิบายค่า Y ได้ใกล้เคียงกับค่า Y ที่แท้จริงได้นั้น จะต้องสามารถอธิบายค่าคลาดเคลื่อนของค่า Y ได้มากที่สุด นั่นคือ ผลรวมกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อนที่สามารถอธิบายได้ควรจะมีค่าใกล้เคียงกับผลรวมกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อนทั้งหมด เพราะถ้าผลรวมกำลังสองน้อยสุดของค่าคลาดเคลื่อนที่สามารถอธิบายได้มีค่าใกล้เคียงกับผลรวมกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อนทั้งหมดมากเท่าใด ก็จะสามารถอธิบายสมการถดถอยได้มากและมีความแม่นยำสูงตามไปด้วย

โดยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น จึงมีการวัดอัตราส่วนระหว่างผลรวมกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อนที่สามารถอธิบายได้ต่อผลรวมกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อนทั้งหมด เรียกว่า สัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) ใช้สัญลักษณ์ R^2

$$R^2 = \frac{\text{ความคลาดเคลื่อนที่อธิบายได้}}{\text{ความคลาดเคลื่อนทั้งหมด}}$$

$$= \frac{\sum(\hat{Y}_i - \overline{Y})^2}{\sum(Y_i - \overline{Y})^2}$$

ค่า R^2 จะบอกความแปรเปลี่ยนซึ่งจะบอกว่าข้อมูลมีการเกาะกลุ่มกันอย่างไรรอบๆ เส้นถดถอยที่ได้ หรือเป็นตัวบอกความแม่นยำในการทำนาย ถ้าค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 จะบอกว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างสูง แต่ถ้า R^2 มีค่าน้อยหรือเท่ากับ 0 แสดงว่าข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งได้มีนักวิชาการหลายท่านได้จัดแบ่งค่า R^2 ออกเป็นช่วงๆ เพื่อใช้ในการอธิบายสมการถดถอยไว้แตกต่างกัน ในที่นี้จะใช้การจัดแบ่งช่วงของค่า R^2 ของธวัชชัย (1995) ซึ่งได้แบ่งช่วงความสัมพันธ์ของ R^2 เพื่อใช้อธิบายความสัมพันธ์ของสมการถดถอยไว้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การแบ่งช่วงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ

ค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (R^2)	มีความสัมพันธ์
0.00 - 0.20	ไม่มี
0.20 - 0.40	ต่ำ
0.40 - 0.60	กลาง
0.60 - 0.80	ค่อนข้างสูง
0.80 - 1.00	สูง

นอกจากการอธิบายค่า R^2 จากวิธีดังกล่าวแล้ว ยังสามารถทำโดยการอธิบายเป็นร้อยละ โดยการนำค่า R^2 ที่ได้มาคูณด้วยร้อย ตัวอย่างเช่น มีค่า $R^2 = 0.9250$ เมื่อนำมาคูณด้วยร้อยจะได้ค่าเท่ากับ 92.50% ซึ่งสามารถตีความหมายได้ว่า การกระจายของค่า Y ทั้งหมดนั้นสามารถอธิบายได้จากค่า X ได้ 92.50% หรือค่า X มีอิทธิพลต่อค่า Y อยู่ 92.50% นอกจากนี้ ค่า R^2 ยังสามารถนำไปใช้ในการพิจารณาเลือกเส้นสมการถดถอยหรือแบบจำลองที่เหมาะสมกับข้อมูลที่ดีที่สุด นั่นคือถ้าแบบจำลองใดมีค่า R^2 สูงสุดจะเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมกับข้อมูลดีที่สุด

3.4.3 ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า (Standard Error of Estimate)

ในการประมาณค่า Y จากสมการถดถอย จะมีความถูกต้องใกล้เคียงกับค่า Y จริงเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับการกระจายของข้อมูลที่ได้มาว่ามีการกระจายห่างจากเส้นถดถอยมากเพียงใด ถ้ามีการกระจายตัวห่างจากเส้นถดถอยมาก การคาดคะเนค่า Y ก็ยิ่งมีโอกาสแตกต่างจากค่า Y จริงได้ง่าย ในทางตรงกันข้ามถ้าค่าของข้อมูลที่เก็บรวบรวมมามีการเกาะกลุ่มกันรอบๆ เส้นถดถอยแล้ว การคาดคะเนค่า Y ก็ยิ่งมีโอกาสถูกต้องกับค่า Y ที่แท้จริงได้มาก ดังนั้นจึงมีการวัดส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลรอบๆ เส้นถดถอย โดยวัดค่าความแตกต่างระหว่าง Y จริงกับ Y ประมาณการ หรือค่า ε ของกลุ่มตัวอย่าง

$$\sum \varepsilon_i^2 = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

$$\frac{\sum \varepsilon_i^2}{df} = \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-k-1}$$ เรียกว่า ความแปรปรวนของการประมาณ (Variance of Estimate)

$$\sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i^2}{df}} = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-k-1}}$$ เรียกว่า ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า (Standard Error of Estimate: S_{YX})

ให้ $S_{Y/\,X1,\,X2,\,\ldots\,,\,Xk}$ เป็นค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่า Y บน $X_1, X_2, \ldots, X_k$

จะได้ $$S_{Y/\,X1,\,X2,\,\ldots\,,\,Xk} = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-k-1}} \qquad \text{----------(2)}$$

นอกจากนี้ค่า $S_{Y/\,X1,\,X2,\,\ldots\,,\,Xk}$ ยังสามารถประมาณได้อีกวิธีหนึ่ง

จาก (1) จะได้ $$\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum (Y_i - \bar{Y})^2 - \sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 \qquad \text{----------(3)}$$

แต่ $$\sum (Y_i - \bar{Y})^2 = \sum Y_i^2$$

และ $$\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 = \sum_{j=1}^{k} b_j \left(\sum_{i=1}^{n} X_{ji}\, Y_i\right)$$

แทนค่าใน (3) จะได้ $$\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum_{i=1}^{n} Y_i^2 - \sum_{j=1}^{k} b_j \left(\sum_{i=1}^{n} X_{ji}\, Y_i\right) \qquad \text{----------(4)}$$

นำ (4) แทนค่าใน (2) จะได้

$$S_{Y/\,X1,\,X2,\,\ldots\,,\,Xk} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i^2 - \sum_{j=1}^{k} b_j \left(\sum_{i=1}^{n} X_{ji}\, Y_i\right)}{n-k-1}} \qquad \text{---------(5)}$$

การแปลความหมายของความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S_{YX}) ในการคาดคะเนนั้นมีความหมายว่า การคาดคะเนค่า Y โดยอาศัย X นั้น จะมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm Z S_{YX}$ เมื่อ Z คือพื้นที่ใต้โค้งปกติ (Normal Curve) โดยทั่วไปแล้วการอธิบายค่า Y จากค่า S_{YX} มักจะกำหนดเป็นช่วงตามจำนวนเท่าของ S_{YX} นั่นคือค่า Z มีค่าเท่ากับ 1 หรือ 2 หรือ 3 เป็นต้น

ถ้า $Z = 1$ จะได้ $Y \pm S_{YX}$ จะมีโอกาสเป็นจริง 68.26 %

$Z = 2$ จะได้ $Y \pm 2S_{YX}$ จะมีโอกาสเป็นจริง 95.44 %

$Z = 3$ จะได้ $Y \pm 3S_{YX}$ จะมีโอกาสเป็นจริง 99.73 %

โดยทั่วไป ถ้าค่าความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y มีค่าสูงแล้ว (R^2 มีค่าสูง) ค่า S_{YX} ที่ได้จะมีค่าต่ำ และถ้าค่าความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y มีค่าต่ำ (R^2 มีค่าต่ำ) ค่า S_{YX} ที่ได้จะมีค่าสูง

3.4.4 การทดสอบสมมุติฐาน (Test of Hypothesis)

สมมุติฐานที่ตั้งในทางสถิติมี 2 อย่างคือ สมมุติฐานไร้นัยสำคัญ (Null Hypothesis : H_0) มักจะเป็นสมมุติฐานที่ไม่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่ม และสมมุติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis : H_1) ซึ่งเป็นสมมุติฐานที่ตรงกันข้ามกับสมมุติฐานไร้นัยสำคัญ ในการยอมรับสมมุติฐานนั้นจะพิจารณาความคลาดเคลื่อนที่จะยอมให้เกิดขึ้นได้ในการทดสอบสมมุติฐาน เรียกว่า ระดับนัยสำคัญ (Level of Significance: α) ซึ่งกำหนดเป็นความน่าจะเป็น เช่น 0.05 หรือ 0.01 เป็นต้น ถ้าหากความคลาดเคลื่อนเกิดจากการไม่ยอมรับ H_0 เมื่อ H_0 เป็นจริง จะเรียกว่า α error หรือ Type I error แต่ถ้าความคลาดเคลื่อนเกิดจากการยอมรับ H_0 เมื่อ H_0 เป็นเท็จ จะเรียกว่า β error หรือ Type II error โดยส่วนมากแล้ววิธีที่นิยมในการทดสอบสมมุติฐานมักจะเป็น F-test หรือ t-test

ในการทดสอบสมมุติฐานของสมการถดถอยจะพิจารณาที่ค่าสัมประสิทธ์ความสัมพันธ์ bi ของตัวแปรต่างๆ ว่ามีค่าเท่ากับศูนย์หรือไม่ ซึ่งจะแบ่งการทดสอบสมมุติฐานออกเป็นสองส่วน คือ การทดสอบสมมุติฐานรวม และการทดสอบสมมุติฐานย่อย

3.4.4.1 การทดสอบสมมุติฐานรวม

การทดสอบสมมุติฐานรวมจะเป็นการทดสอบความสัมพันธ์ว่าตัวแปรอิสระที่ใส่เข้าไปในสมการถดถอยมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามหรือไม่ โดยจะทดสอบว่า ค่า b_i ของตัวแปรอิสระทุกตัวมีค่าเท่ากับศูนย์หรือไม่ ซึ่งถ้าค่า b_i ของทุกตัวแปรอิสระมีค่าเท่ากับศูนย์แล้วแสดงว่าตัวแปร

อิสระที่คัดเลือกมาทั้งหมดไม่มีความสัมพันธ์ในการประมาณค่าตัวแปรตาม ในการวิจัยครั้งนี้จะทดสอบโดยใช้ F-test

สมมุติฐานที่ตั้งขึ้น $H_0 : b_1 = b_2 = b_3 = ... = b_k = 0$

$H_1 :$ มี b_i บางค่า $\neq 0$

ตารางที่ 3.2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยรวมทุกตัวแปร

Source	Sum Square	df	Mean Square	F
Regression	$SSR = \sum b_i \sum X_{ij} Y_j$	k	$MSR = SSR / k$	$\frac{MSR}{MSE}$
Error	$SSE = \sum Y_i^2 - \sum b_i \sum X_{ij} Y_j$	n-k-1	$MSE = SSE / n-k-1$	
Total	$SST = \sum Y_i^2$	n-1		

$$F = \frac{\text{ความแปรปรวนที่อธิบายได้}}{\text{ความแปรปรวนที่อธิบายไม่ได้}} = \frac{MSR}{MSE}$$

นำค่า F ที่คำนวณได้จากตารางที่ 3.2 ไปเปรียบเทียบกับค่า $F\ \alpha, k, n-k-1$ ที่เปิดจากตารางการกระจายความน่าจะเป็นแบบ F ที่ระดับนัยสำคัญ α ผลของการเปรียบเทียบ F ที่คำนวณกับ F จากตารางมีผลได้ 2 กรณี คือ

1. ถ้าผลของ F ที่คำนวณ < F จากตาราง จะยอมรับ H_0 นั่นคือค่า $b_1, b_2, b_3, ..., b_k$ ทุกตัวมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าตัวแปรอิสระทุกตัวไม่มีความสัมพันธ์กับค่า Y อย่างเป็นนัยสำคัญ

2. ถ้าผลของ F ที่คำนวณ > F จากตาราง จะปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 นั่นคือมีค่า $b_1, b_2, b_3, ..., b_k$ บางตัวมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่ามีตัวแปรอิสระบางตัวมีความสัมพันธ์กับค่า Y อย่างเป็นนัยสำคัญ

3.4.4.2 <u>การทดสอบสมมุติฐานย่อย</u>

การทดสอบสมมุติฐานย่อยจะทำการทดสอบว่ามีตัวแปรอิสระใดบ้างที่จะนำมาใส่ในสมการประมาณการ ซึ่งจะเป็นการทดสอบค่า b_i ของแต่ละตัวแปรอิสระว่ามีค่าเท่ากับศูนย์หรือไม่ วิธีที่นิยมมี 2 วิธีคือ F-test และ t-test โดยจะทำการทดสอบค่า F หรือ t แต่ละตัวแปรอิสระที่ใส่เข้าไปในสมการทีละตัวจนกว่าจะได้สมการถดถอยที่มีนัยสำคัญ

สมมุติฐานที่ตั้งขึ้น $H_0 : b_i = 0$

$H_1 : b_i \neq 0$

1) <u>การทดสอบแบบ F-test</u>

การทดสอบแบบ F-test จะคำนวณหาค่า F_i จากตารางที่ 3.3 แล้วนำค่าที่ได้ไปเทียบกับค่า $F\alpha ,1 , n-2$ ที่ได้จากการเปิดตารางการกระจายความน่าจะเป็นแบบ F ที่ระดับนัยสำคัญ α

ตารางที่ 3.3 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยของแต่ละตัวแปร

Source	Sum Square	df	Mean Square	F
Regression	$\sum b_i \sum X_{ij} Y_j$	k	$\sum b_i \sum X_{ij} Y_j / k$	
on X_1	$\sum b_1 \sum X_{1j} Y_j$	1	$\sum b_1 \sum X_{1j} Y_j$	F_1
on X_2	$\sum b_2 \sum X_{2j} Y_j$	1	$\sum b_2 \sum X_{2j} Y_j$	F_2
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
on X_k	$\sum b_k \sum X_{kj} Y_j$	1	$\sum b_k \sum X_{kj} Y_j$	F_k
Error	$\sum Y_i^2 - \sum b_i \sum X_{ij} Y_j$	n-k-1	$\sum Y_i^2 - \sum b_i \sum X_{ij} Y_j / n-k-1$	
Total	$\sum Y_i^2$	n-1		

ผลของการเปรียบเทียบ F ที่คำนวณกับ F จากตารางมีผลได้ 2 กรณี คือ

1. ถ้าผลของ F ที่คำนวณ < F จากตาราง จะยอมรับ H_0 นั่นคือค่า b_i มีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าตัวแปรอิสระตัวนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับค่า Y อย่างเป็นนัยสำคัญ

2. ถ้าผลของ F ที่คำนวณ > F จากตาราง จะปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 นั่นคือค่า b_i มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าตัวแปรอิสระตัวนั้นมีความสัมพันธ์กับค่า Y อย่างเป็นนัยสำคัญ

2) <u>การทดสอบแบบ t-test</u>

การทดสอบแบบ t-test จะคำนวณหาค่าของ t จากสูตรแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่า $t\,\alpha$, n-2 ที่เปิดจากตารางการกระจายความน่าจะเป็นแบบ t ที่ระดับนัยสำคัญ α

$$t_i = \frac{b_i}{\sqrt{C_{ii}\, S^2_{yx}}}$$

ผลของการเปรียบเทียบ t ที่คำนวณกับ t จากตารางมีผลได้ 2 กรณี คือ

1. ถ้าผลของ t ที่คำนวณตกอยู่ในช่วงของค่า t จากตาราง จะยอมรับ H_0 นั่นคือค่า b_i มีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าตัวแปรอิสระตัวนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับค่า Y อย่างเป็นนัยสำคัญ

2. ถ้าผลของ t ที่คำนวณตกอยู่นอกช่วงของค่า t จากตาราง จะปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 นั่นคือค่า b_i มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าตัวแปรอิสระตัวนั้นมีความสัมพันธ์กับค่า Y อย่างเป็นนัยสำคัญ

3.4.5 <u>การเลือกสมการแบบจำลอง</u>

ธวัชชัย(1995) การเลือกสมการที่เหมาะสมจะพิจารณาเหตุผล 2 ประการคือ สมการถดถอยที่ดีจะต้องครอบคลุมทุกตัวแปร และสมการถดถอยที่เหมาะสมจะต้องมีตัวแปรน้อยที่สุด จากเหตุผลดังกล่าว จึงได้มีผู้ที่คิดค้นวิธีต่างๆ เพื่อประมาณสมการถดถอยเชิงซ้อนที่มีความยุ่งยากซับซ้อนค่อนข้างมากให้ง่ายขึ้นโดยสามารถแบ่งประเภทวิธีการได้ดังนี้

1. การคำนวณทุกกรณี จะเป็นการจัดกลุ่มระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระทุกกรณีที่สามารถเป็นไปได้ หลังจากนั้นหาความสัมพันธ์ของแต่ละกลุ่มว่ามีค่า R และ S_{YX} เท่าใด แล้วจึงพิจารณาเลือกสมการที่ค่า R สูงสุดและ S_{YX} มีค่าต่ำสุด และควรที่จะมีตัวแปรในสมการน้อยที่สุด

2. วิธีการเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าไปในสมการ วิธีนี้จะเริ่มจากการนำตัวแปรอิสระที่มีนัยสำคัญมากที่สุดใส่เข้าไปก่อนต่อจากนั้นจึงหาความสัมพันธ์ใหม่แล้วจึงเพิ่มตัวแปรอิสระที่มีนัยสำคัญรองลงไป ทำเช่นนี้เรื่อยๆ จนกว่าตัวแปรที่จะเพิ่มเข้าไปในสมการมีนัยสำคัญน้อยกว่าที่ตั้งไว้จึงจะหยุด วิธีการนี้ที่นิยมมีอยู่ 2 วิธีคือ วิธี Forward Selection และวิธี Stepwise Regression

3. วิธีการนำตัวแปรอิสระออกจากสมการ วิธีการนี้จะเริ่มจากการที่หนดให้ตัวแปรอิสระทุกตัวมีส่วนเกี่ยวข้องกับสมการ ดังนั้นจึงใส่ค่าของตัวแปรอิสระทั้งหมดเข้าไปในสมการก่อนต่อจากนั้นจึงนำตัวแปรอิสระที่มีนัยสำคัญต่ำออกจากสมการ ทำเช่นนี้เรื่อยๆ จนกว่าตัวแปรที่เหลืออยู่มีระดับนัยสำคัญเกินกว่าค่าที่กำหนด วิธีการนี้ที่นิยมใช้กันคือ วิธี Backward Elimination

การเลือกสมการถดถอยจากวิธีต่างๆ จะพิจารณาจากคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient : R) ซึ่งถ้าสมการใดมีค่า R สูงสุดจะเป็นสมการที่เหมาะสมกับข้อมูลดีที่สุด

2. ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า (Standard Error of Estimate : S_{YX}) ถ้าสมการใดมีค่า S_{YX} ต่ำจะเป็นสมการที่เหมาะสมกับข้อมูลที่สุด โดยมีข้อแม้ว่าข้อมูลต้องเป็นหน่วยเดียวกัน ดังนั้นการพิจารณาหาสมการถดถอยที่เหมาะสมจะพิจารณาค่า R ก่อน ถ้าค่า R มีค่าเท่ากันจะพิจารณาค่า S_{YX} อีกต่อหนึ่ง

3. มีจำนวนตัวแปรที่ใส่ลงในสมการประมาณการน้อยที่สุด โดยพิจารณาจากการทดสอบสมมุติฐานโดยใช้ F-test หรือ t-test แล้วเลือกค่าตัวแปรที่มีนัยสำคัญมากสุดเข้าสมการถดถอย

3.4.6 การวิเคราะห์หาสมการถดถอยโดยไมโครคอมพิวเตอร์

ในการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงซ้อนเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ นั้น มีความยุ่งยากซับซ้อนและต้องใช้เวลานาน อีกทั้งปัจจุบันได้มีการนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้กับงานในสาขาวิชาต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย ทำให้มีโปรแกรมสำเร็จรูปเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ในทางสถิติก็เช่นกัน ได้มีโปรแกรมที่นิยมใช้กันมากเช่น Statistical Analysis System programs(SAS) , The Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) เป็นต้น

ดังนั้นจึงใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์ผลทางสถิติ เพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนของการวิเคราะห์และลดเวลาในการคำนวณลงได้อีกส่วนหนึ่ง อีกทั้งให้ได้ผลเป็นที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ในการวิจัยครั้งนี้จึงได้เลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS/PC^{++} มาช่วยในการวิเคราะห์ผล (ธวัชชัย, 1995)