บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากปัญหาที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 1 เกี่ยวกับระบบพื้นสำเร็จรูป สำหรับบทนี้จะกล่าวถึง มาตรฐานการทดสอบ, การวางแผนงานกำหนดเวลาแบบสายงานวิกฤติ(Critical Path Method), งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและสรุปท้ายบท

2.1 ชนิดของแผ่นพื้นสำเร็จรูปที่นิยมใช้ในปัจจุบัน (ปิติ แสงมงคลพิพัฒน์, 2544)

2.1.1 พื้นสำเร็จรูประบบคานรูปตัวที เป็นพื้นสำเร็จรูปที่ใช้คานลักษณะเป็นตัวทีหงาย การประกอบติดตั้งจะต้องวางคานตัวทีนี้พาดระหว่างคานหลักของอาคาร เว้นระยะระหว่างคานตามที่กำหนด จากนั้นก็ใช้บล็อกคอนกรีตที่ทำมาเป็นองค์ประกอบของระบบนี้วางคร่อมช่องว่างดังกล่าวจนเต็มหมด จากนั้นก็ผูกเหล็กวางลงไป เทปูนทรายทับหน้า รอจนแข็งตัวดีก็เป็นอันใช้ได้ โดยสามารถปูวัสดุบุผิวต่าง ๆ ลงไปได้เลย พื้นระบบนี้ออกแบบมาสำหรับเป็นพื้นอาคารพักอาศัยโดยเฉพาะ แต่ก็สามารถใช้องค์ประกอบของคานกับบล็อกที่ใหญ่ขึ้นในการรับน้ำหนักที่มากขึ้นสำหรับอาคารประเภทอื่น ๆ

2.1.2 พื้นสำเร็จรูปแบบตัวยูคว่ำ เป็นพื้นสำเร็จรูปที่มีชิ้นส่วนเดียว นำมาวางพาดบนคานต่อชิดกันไปจนเต็มพื้นที่ที่ต้องการ แล้วจึงผูกเหล็กเทปูนทรายทับหน้า นับเป็นพื้นสำเร็จรูปที่ประกอบติดตั้งได้รวดเร็ว และสามารถออกแบบให้ใช้กับอาคารพักอาศัย อาคารโรงงาน และอาคารสาธารณะทั่วไปได้เป็นอย่างดี

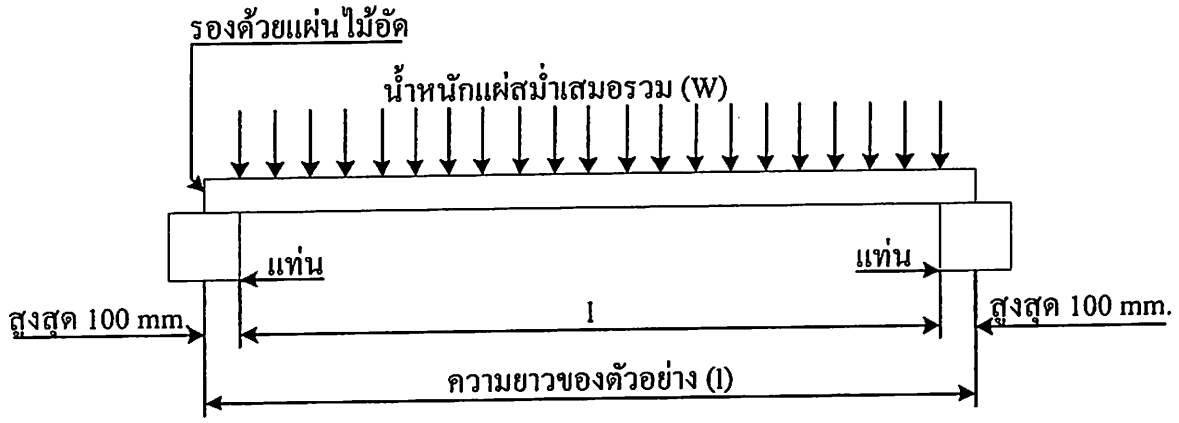
2.1.3 พื้นสำเร็จรูปแบบกลวง เป็นพื้นที่มีความสามารถในการรับน้ำหนักได้มาก เหมาะสำหรับใช้กับอาคารพาณิชย์หรืออาคารที่ต้องรับน้ำหนักมาก ๆ หากนำมาใช้กับบ้านก็อาจจะเกินความจำเป็น (มนต์เกียรติ์ ชนินทรลีลา, 2544)

2.2 มาตรฐานการทดสอบ

วิธีทดสอบการรับน้ำหนักของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จและระบบพื้นคอนกรีต Standard test method for loading capacity of precast concrete slabs and concrete floor systems มอก.577-2531 มีขั้นตอนการทดสอบและจัดเตรียม ดังต่อไปนี้ (สำนักงานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2551)

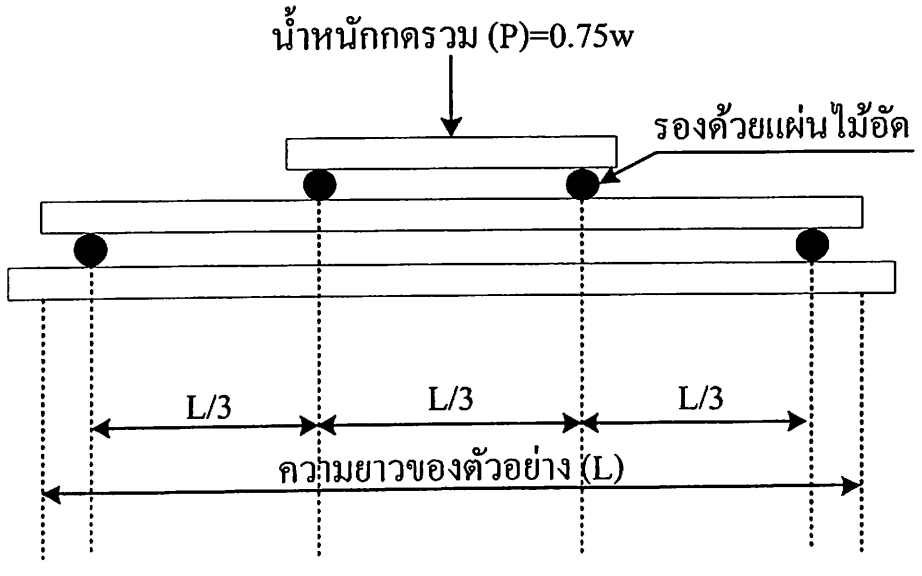
2.2.1 อุปกรณ์การทดสอบแบบน้ำหนักแผ่เฉลี่ยสม่ำเสมอ

1. การทดสอบแบบน้ำหนักแผ่เฉลี่ยสม่ำเสมอให้ใช้วัตถุ เช่น ปูนซีเมนต์ ทราย เหล็ก หรืออื่นๆ วางแผ่ให้น้ำหนักสม่ำเสมอบนพื้นที่ที่จะทดสอบ ดังภาพประกอบที่ 2.1



ภาพประกอบที่ 2.1 การทดสอบน้ำหนักแบบแผ่เฉลี่ยสม่ำเสมอ

2. การทดสอบน้ำหนักแบบกระทำแบบ 3 ช่วงให้ใช้เครื่องกดแบบเฟืองหรือแบบไฮดรอลิก ระยะห่างระหว่างตัวกดทั้งสองให้เท่ากับ 1 ใน 3 ของความยาวประสิทธิผล ตามภาพประกอบที่ 2.2 เครื่องกดต้องสามารถเพิ่มแรงกดได้อย่างสม่ำเสมอ



ภาพประกอบที่ 2.2 การทดสอบน้ำหนักแบบกระทำแบบ 3 ช่วง

3. มาตรความแอ่นตัว (Dial gauge) ต้องอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร

4. แท่นธาร ต้องมั่นคงแข็งแรงและอยู่ห่างกับความยาวประสิทธิผล

2.2.2 การเตรียมตัวอย่าง

1. แผ่นพื้นสำเร็จรูป

- ใช้ตัวอย่างจำนวน 3 แผ่น โดยทดสอบครั้งละ 1 แผ่น
- ติดตั้งตัวอย่างบนแท่นธารให้เรียบร้อย

2. ระบบพื้นแผ่นพื้นสำเร็จรูป

- เตรียมตัวอย่างแผ่นพื้นสำเร็จรูป
- วิธีประกอบติดตั้งตัวอย่าง ปรับระดับหลังคานหรือแท่นธารให้เรียบร้อยก่อนจะวางแผ่นพื้นสำเร็จรูป

2.2.3 วิธีทดสอบ

1. ติดตั้งมาตรความแอ่นตัวที่กึ่งกลางแผ่นพื้นสำเร็จรูปเพื่อใช้วัดค่าความแอ่นตัว

2. เริ่มใส่น้ำหนักบนแผ่นพื้นสำเร็จรูปเป็นช่วงดังนี้ คือ ร้อยละ 25 ร้อยละ50 ร้อยละ 75 ร้อยละ 100 ร้อยละ 125 และร้อยละ 150 ของน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดไว้สำหรับแผ่นพื้นสำเร็จรูปแต่ละชั้นคุณภาพ หลังจากใส่น้ำหนักบรรทุกแต่ละค่าแล้วให้อ่านค่าความแอ่นตัวทันทีและหลังจากเวลาผ่านไปแล้ว 15 นาที ให้อ่านค่าความแอ่นตัวอีกครั้งหนึ่ง แล้วจึงเริ่มเพิ่มน้ำหนักบรรทุกช่วงต่อไป ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนครบช่วงการเพิ่มน้ำหนัก การใส่น้ำหนักบรรทุกต้องค่อย ๆ ใส่พยายามไม่ให้เกิดการกระแทกกับพื้นที่ทดสอบและการใส่น้ำหนักต้องให้น้ำหนักแผ่สม่ำเสมอตลอดช่วงด้วย

3. เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกจนถึงร้อยละ 150 ของน้ำหนักบรรทุกแล้ว ให้ปล่อยไว้ 24 ชั่วโมง แล้วอ่านค่าความแอ่นตัวอีกครั้งหนึ่ง

4. เริ่มปลดน้ำหนักบรรทุก โดยปฏิบัติเป็นขั้นตอนย้อนกลับกับตอนใส่น้ำหนักบรรทุกทุกประการ อ่านค่าการคืนตัว (recovery of deflection) อีกครั้งหนึ่งหลังจากปลดน้ำหนักบรรทุกออกหมดแล้ว 24 ชั่วโมง

2.2.4 เกณฑ์ตัดสินสำหรับการทดสอบระบบแผ่นพื้นสำเร็จรูป

1. ในช่วงน้ำหนักบรรทุกใด ๆ ต้องไม่ปรากฏรอยร้าวเกินกว่า 0.2 มิลลิเมตร ใต้ท้องแผนพื้นสำเร็จรูป

2. ความแอ่นตัว (Deflection)

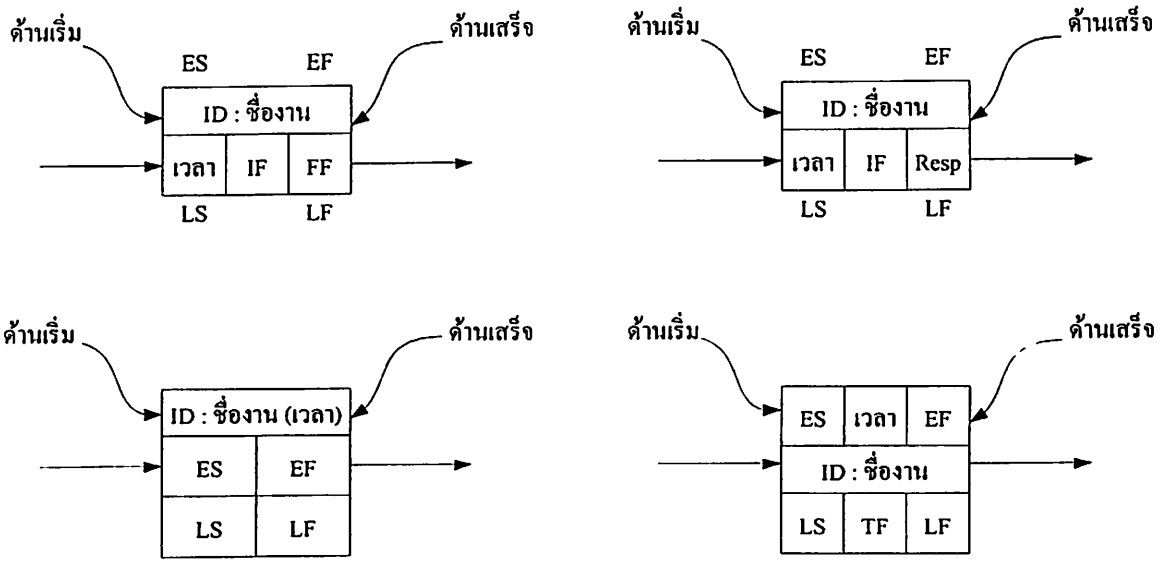
ต้องไม่เกิน $\frac{l^2}{20{,}000t}$ .....(1)

แต่ถ้าเกิน $\frac{l^2}{20{,}000t}$ ต้องคืนตัวได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 75

2.3 การวางแผนงานกำหนดเวลาแบบสายงานวิกฤต (Critical Path Method)

การวางแผนแบบ Critical Path Method (CPM) มีสองรูปแบบหลัก ได้แก่ แบบกิจกรรมบนลูกศร (Activity On Arrow, AOA) และแบบกิจกรรมบนปม (Activity On Node, AON) ซึ่งในปัจจุบันวิธีกิจกรรมบนลูกศรไม่นิยมใช้กันแล้ว โดยวิธีที่นิยมใช้กันอยู่ในการวางแผนกำหนดเวลาทั่วไปคือ กิจกรรมบนปม (วิสูตร จิระดำเกิง, 2556)

กิจกรรมบนปมหรือ ผังงานแบบเส้นวงกรอบ (Precedence Network) ถือว่าเป็นรูปแบบของแผนงานระบบสายงานวิกฤต (Critical Path Method) อีกรูปแบบหนึ่ง ถ้าจะมองดูในภาพรวม ตั้งแต่แนวคิดจากจัดขั้นตอนการทำงาน การกำหนดและคำนวณค่าเวลาต่าง ๆ เช่น ค่า ES, LS, EF และ LF จะมีแนวการคิดเหมือนผังงานแบบเส้นลูกศร (โสภณ แสงไพโรจน์, 2548)



ภาพประกอบที่ 2.3 แผนกำหนดเวลา (Activity On Node, AON) แสดงค่าต่างๆ ของงาน

จากภาพประกอบที่ 2.3 สัญลักษณ์ในกรอบสี่เหลี่ยมจะแทนค่าต่าง ๆ ซึ่งผู้วางแผนสามารถกำหนดให้แสดงได้ตามความเหมาะสม ดังนี้

ES แสดงเวลาเริ่มงานเร็วที่สุด (Early Start)

EF แสดงเวลางานแล้วเสร็จเร็วที่สุด (Early Finish)

LS แสดงเวลาเริ่มงานช้าที่สุด (Late Start)

LF แสดงเวลางานแล้วเสร็จช้าที่สุด (Late Finish)

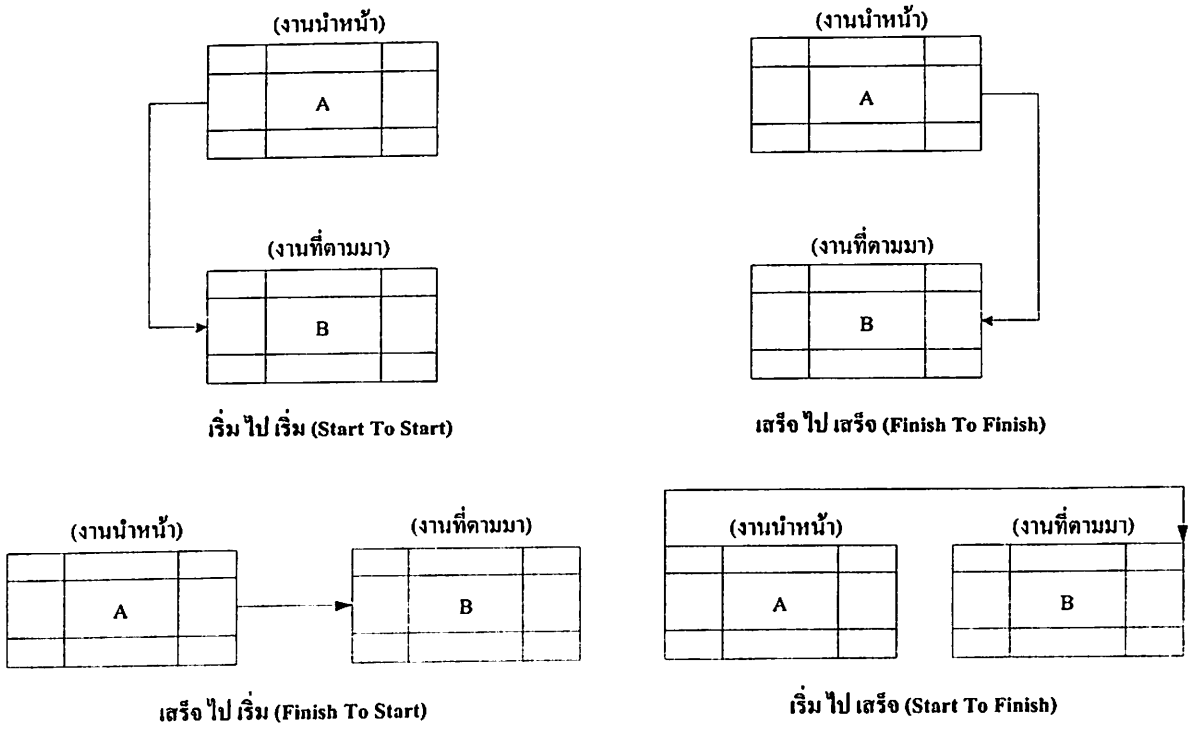
TF แสดงเวลาลอยตัว (Total Float)

2.3.1 ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างงานในแผนกำหนดเวลา AON

แผนกำหนดเวลาแบบ AON จะมีลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างงานได้หลายๆ แบบ ตามสภาพความเป็นจริงในการดำเนินโครงการ โดยงานสองงานอาจมีความสัมพันธ์กันได้ดังนี้

1) เสร็จไปเริ่ม (Finish To Start, FS)
2) เริ่มไปเริ่ม (Start To Start, SS)
3) เสร็จไปเสร็จ (Finish To Finish, FF)
4) เริ่มไปเสร็จ (Start To Finish, SF)

โดยความสัมพันธ์ดังข้างต้น เขียนเป็นรูป AON ได้ตามภาพประกอบที่ 2.4



ภาพประกอบที่ 2.4 แสดงการเขียนความสัมพันธ์แบบต่างๆ

นอกจากนี้ เราอาจกำหนดระยะเวลาตามหลัง (Lag) ระหว่างความสัมพันธ์ได้ โดย "Lag" เป็นเวลาที่ต้องใช้ไปก่อนที่อีกงานจะเริ่มหรือเสร็จได้ตามความสัมพันธ์ ปกติแล้วค่า "Lag" จะเป็นค่าบวก เรียกว่า "Positive Lag" แต่บางครั้ง อาจมีค่าเป็นลบได้ เรียกว่า "Negative Lag" ซึ่งจะเพิ่มความยืดหยุ่นในการทำแผนกำหนดเวลามากขึ้น

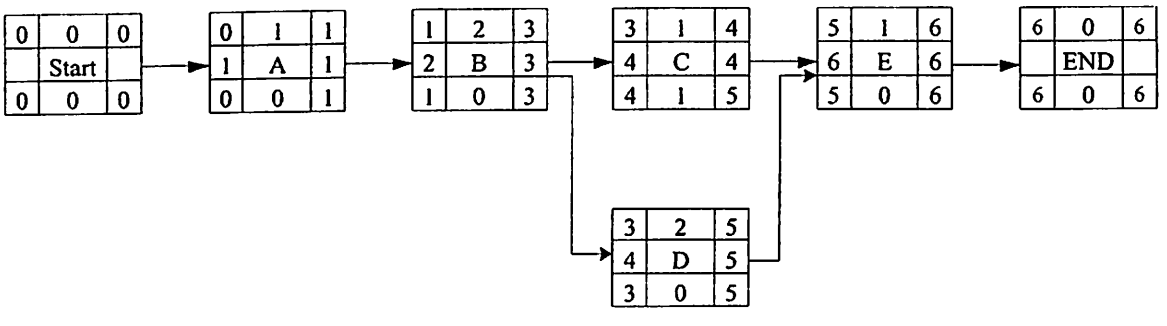
2.3.2 การเขียนแผนกำหนดเวลา

การทำแผนกำหนดเวลาแบบนี้ จะเริ่มต้นจากงาน "เริ่ม (Start)" และปิดท้ายแผนกำหนดเวลาด้วย "เสร็จ (End)" งานต่าง ๆ จะถูกเขียนเพิ่มต่อจาก "เริ่ม" จนไปถึงงาน "เสร็จ" โดยมีหลักเกณฑ์การเขียนดังนี้

1. แต่ละงานควรมีงานนำหน้าอย่างน้อย 1 งาน และมีงานที่ตามมาอย่างน้อย 1 อย่าง ไม่ควรให้มีงานที่ไม่มีความสัมพันธ์กับงานอื่น โดยอยู่ในลักษณะห้อยอยู่ (Dangling Activity) ซึ่งผู้วางแผนควรหาทางผูกความสัมพันธ์กับงานใดงานหนึ่งทั้งหน้าและหลัง โดยหากมีจริง ๆ ก็ให้ผูกความสัมพันธ์กับงานเริ่ม (Start) และงานเสร็จ (End)

2. พยายามลดความสัมพันธ์ส่วนเกิน (Redundant Relationship) โดยผู้วางแผนควรแสดงความสัมพันธ์ระหว่างงานเท่าที่จำเป็นเท่านั้น เพราะจะทำให้เกิดความสับสนในการคำนวณและยุ่งยากมากขึ้นในการวิเคราะห์แผนกำหนดเวลาด้วย

เมื่อได้สร้างแผนกำหนดเวลา และกำหนดความสัมพันธ์ต่าง ๆ ตามที่กำหนดแล้ว ขั้นต่อไปจะทำการวิเคราะห์เวลาต่าง ๆ ในแผนกำหนดเวลา โดยพิจารณาจากตัวอย่างตามภาพประกอบที่ 2.5



ภาพประกอบที่ 2.5 ตัวอย่างแผนกำหนดเวลา

2.3.3 การวิเคราะห์แผนกำหนดเวลา AON

ในการวิเคราะห์เวลาต่าง ๆ ของแผนกำหนดเวลา ซึ่งเป็นแผนกำหนดเวลาที่มีความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมแบบเดียวคือ "เสร็จ ไป เริ่ม" ซึ่งอาจเรียกว่าการวางแผนกำหนดเวลาสายงานวิกฤต (Critical Path Method) แบบกิจกรรมบนปม (Activity On Node) สามารถทำได้ตามหลักเกณฑ์การคำนวณ ดังต่อไปนี้

กรณีความสัมพันธ์แบบเดียว (FS) ไม่มีเวลารอคอย (Without Lag)

- การคำนวณขาไป (Forward Pass) ผลการคำนวณขาไปจากงานแรก (งาน "เริ่ม หรือ "START") ไปจนถึงงานสุดท้าย (งาน "เสร็จ" หรือ "END") จะได้ตามภาพประกอบที่ 2.6 ซึ่งแสดงกำหนดเวลา เริ่มเร็วที่สุด (ES) และเสร็จเร็วที่สุด (EF) ของทุกๆ งาน โดยมีวิธีการดังนี้

เวลาเริ่มต้นโครงการของกิจกรรม START เท่ากับ 0 (หมายถึง ณ สิ้นวันที่ 0 หรือ เริ่มวันที่ 1)

กำหนดเริ่มเร็วที่สุด ES(START) = 0

ค่ากำหนดเสร็จเร็วที่สุด (EF) ของกิจกรรม Start หาได้จาก

EF = ES + d

โดย "d" คือเวลาของกิจกรรม Start = 0

ดังนั้น EF(Start) = 0 + 0 = 0

ค่า ES ของงานที่ตามมา (Successor) จะเท่ากับ EF ของงานนำหน้า (Predecessor) ตามความสัมพันธ์ "เสร็จ ไป เริ่ม" ซึ่งหมายถึง งานนำหน้าเสร็จ งานตามหลังจึงเริ่ม ซึ่งสามารถคำนวณค่า ES และ EF ของงานต่าง ๆ ได้ดังนี้

ES(A) = EF(START) = 0

EF(A) = ES(A) + d(A)

= 0 + 1 = 1

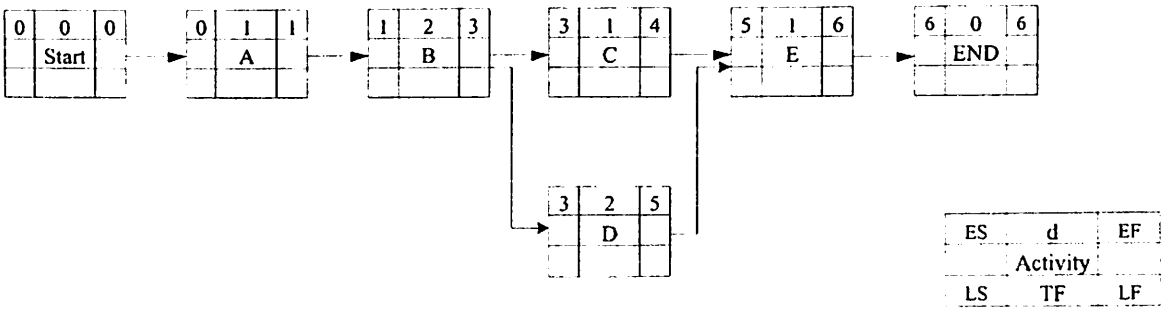
สำหรับงานที่มีงานนำหน้ามากกว่าหนึ่งงานนั้น จะเริ่มได้ก็ต่อเมื่องานนำหน้าทั้งหมดแล้วเสร็จก่อน ดังนั้นค่า ES จึงต้องเท่ากับค่า EF ที่มากที่สุดของงานนำหน้าทั้งหมด เช่น งาน E

ES(E) = ค่ามากที่สุดของ EF(C), EF(D)

= 5

EF(E) = 5 + 1 = 6

สำหรับงานอื่น ๆ สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกันจนถึงงานสุดท้าย (END) จะได้ค่า EF เท่ากับ 6 ซึ่งหมายความว่า โครงการนี้ต้องใช้เวลาทั้งสิ้น 6 วัน และเราจะถือค่าเวลา 6 วันนี้เป็นกำหนดเสร็จช้าที่สุด (LF) ของโครงการ ซึ่งจะใช้ในการคำนวณขากลับเพื่อหาค่ากำหนดเวลา เสร็จช้าที่สุด (LF) และกำหนดเวลาเริ่มช้าที่สุด (LS) ของทุกๆ งานต่อไป



ภาพประกอบที่ 2.6 แสดงค่า ES และ EF ของทุกงานหลังการคำนวณขาไป (Forward Pass)

- การคำนวณขากลับ (Backward Pass) การคำนวณขากลับจะเริ่มตั้งแต่การหา LS ของงานสุดท้าย (โดย LS = LF - d) แล้วคำนวณย้อนหลังไปหางานแรก โดยค่า LF ของงานนำหน้า (Predecessor) จะเท่ากับค่า LS ที่น้อยที่สุดของงานที่ตามมา (Successor) ทั้งหมด (หากมีงานที่ตามมามากกว่าหนึ่งงาน) ตามภาพประกอบที่ 2.7 ซึ่งมีตัวอย่างการคำนวณดังนี้

เริ่มคำนวณขากลับจากงานสุดท้าย

LF (END) = 6

LS (END) = 6 - 0 = 6

ไล่ไปที่งานนำหน้าของงานสุดท้าย

LF(E) = LS(END) = 6

LS(E) = LF(E) - d(E)

= 6 - 1 = 5

สำหรับงานอื่น ๆ คำนวณได้ในลักษณะเดียวกัน ทั้งนี้ในกรณีงานที่มีงานที่ตามมามากกว่าหนึ่ง เช่น งาน "B" ต้องเลือกค่า LS น้อยที่สุดของงานที่ตามมาดังนี้

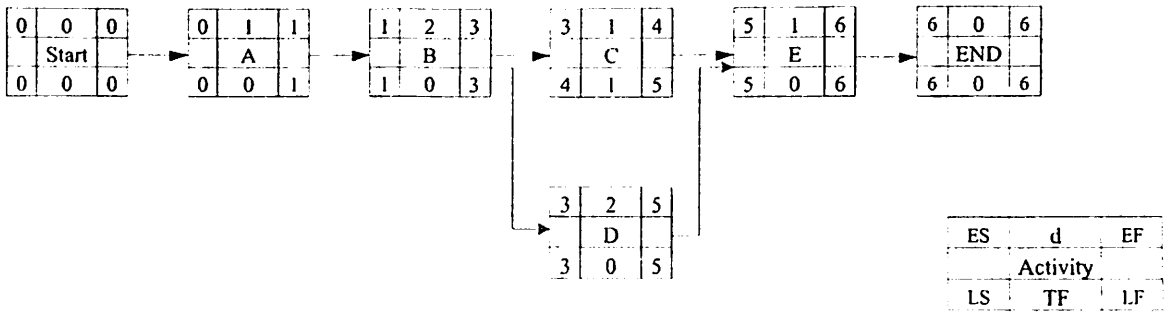
LF(B) = ค่าน้อยที่สุดของ LS(C) และ LS(D)

= LS(D) = 3

LS(B) = LF(D) - d(B)

= 3 - 2 = 1

เมื่อคำนวณขากลับครบทุกงานจะได้แผนกำหนดเวลาที่คำนวณกำหนดเวลา เริ่มเร็วที่สุด (ES) เสร็จเร็วที่สุด (EF) เริ่มช้าที่สุด (LS) และเสร็จช้าที่สุด (LF) ตามภาพประกอบที่ 2.7 ซึ่งได้แสดงค่า เวลาลอยตัว (Total Float) ไว้ด้วย



ภาพประกอบที่ 2.7 แสดงค่า LS และ LF ของทุกงานหลังการคำนวณขากลับ (Backward Pass)

เวลาลอยตัว หรือ Total Float (TF) หมายถึง ค่าเวลาที่งานใด ๆ จะเสร็จช้ากว่ากำหนดเวลาแล้วเสร็จเร็วที่สุด (EF) ได้โดยไม่ทำให้กำหนดเวลาโครงการต้องเลื่อนออกไป ในการคำนวณทำได้ดังนี้

$$TF = LS - ES - d$$

$$\text{เช่นงาน "C", } TF(C) = LS(C) - ES(C) - d(C)$$

$$= 5 - 3 - 1 = 1$$

ในที่นี้ให้ความหมายได้ว่างาน C จะเสร็จช้ากว่ากำหนดเสร็จเร็วที่สุด ได้ไม่เกิน 4 วัน โดยระยะเวลาโครงการคงเท่าเดิม (6 วัน) หาก C เสร็จช้ากว่า EF(C) 5 วัน ระยะเวลาโครงการจะเพิ่มขึ้น 1 วันเป็น 7 วันด้วยเป็นต้น

กรณีงาน "B" มีค่า TF(B) = 0

หมายความว่า หากงาน "B" แล้วเสร็จช้า หรือเร็วกว่า ES (กำหนดเวลาแล้วเสร็จเร็วที่สุด) จะส่งผลให้กำหนดแล้วเสร็จของโครงการ ช้า หรือ เร็ว ไปเท่า ๆ กันด้วย เราเรียกงานลักษณะนี้ว่า "งานวิกฤต (Critical Activity)" และสายงานที่ต่อเชื่อมงานวิกฤตเรียกว่า "สายงานวิกฤต (Critical Path)" ซึ่งเป็นสายงานที่มีระยะเวลายาวที่สุด (Longest Path) โดยระยะเวลาที่ยาวที่สุดนี้คือระยะเวลาโครงการ (Project Duration) นั่นเอง

2.4 สรุปท้ายบท

จากการศึกษาทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 มีการกล่าวถึงมาตรฐานการทดสอบวิธีทดสอบการรับน้ำหนักของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ และระบบพื้นคอนกรีต มอก.577-2531

1.การทดสอบมี 2 วิธีคือ

1) การทดสอบน้ำหนักแบบแผ่เฉลี่ยสม่ำเสมอ

2) การทดสอบน้ำหนักแบบกระทำแบบ 3 ช่วง

2. การวางแผนงานกำหนดเวลาแบบสายงานวิกฤติ (Critical Path Method)

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ซึ่งสามารถนำเอกสารและมาตรฐานไปใช้ในการออกแบบการทดลองในบทที่ 3 เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองของแผ่นพื้นสำเร็จรูปท้องเรียบกับแผ่นพื้นสำเร็จรูปทีหงายต่อไป