

ซึ่ง กำหนดการเริ่มงานและเสร็จงานเร็วสุด (ES,EF) และกำหนดการเริ่มงานและ  
เสร็จงานล่าช้า อาจแสดงในรูปของตารางประกอบด้วย ดังตาราง 6-2 ต่อไปนี้

ตาราง 6-2 ตารางแสดง ES,EF,LS และ LF

ลำดับตำแหน่งงาน		สัญลักษณ์งาน	ระยะเวลาดำเนินการ	เริ่มงาน		เสร็จงาน	
i	j			เร็วสุด (ES)	ล่าช้า (LS)	เร็วสุด (EF)	ล่าช้า (LF)
1	2	a	0	0	0	0	
2	3	b	4	0	0	4	4
3	4	c	2	4	4	6	6
4	5	d	4	6	6	10	10
5	6	e	6	10	18	16	24
4	7	f	1	6	7	7	8
7	8	g	2	7	8	9	10
7	9	h	3	7	11	10	14
5	9	i	2	10	12	12	14
5	8	Dummy I	0	10	10	10	10
8	9	j	4	10	10	14	14
9	10	k	10	14	14	24	24
10	11	l	3	24	24	27	27
11	12	m	1	27	28	28	29
12	13	Dummy II	0	28	29	28	29
11	13	n	2	27	27	29	29
11	1.5	o	3	27	29	30	32
6	16	p	2	16	24	18	26
16	17	q	1	18	26	19	27
4	17	r	1	6	26	7	27
14	1.5	Dummy III	0	32	32	32	32
15	19	s	2	32	32	34	34
13	14	t	3	29	29	32	32
14	19	u	1	32	33	33	34
17	18	v	2	19	21	21	29
18	19	w	5	21	29	26	34
19	20	x	0	34	34	34	34

จากรูป 6-4 และตาราง 6-2 จะเห็นได้ว่างานบางงานในโยยข่ายงานนี้ สามารถเริ่มงานและเสร็จงานล่าช้าได้ เช่น งาน- x เริ่มงานได้เร็วที่สุดวันที่ 6 และจะเริ่มงานช้ากว่านี้ก็ได้ แต่ต้องไม่ล่าช้ากว่าวันที่ 26 ระหว่างวันที่ 6 และ 26 นี้ จะเริ่มงานวันใดก็จะไม่ทำให้ระยะเวลาของการสร้างบ้านนี้เปลี่ยนแปลงไปจาก 34 วัน ทั้งนี้เพราะงาน- x ไม่ใช่งานวิกฤตที่จะกำหนดระยะเวลาของโครงการแต่อย่างใด ในทางตรงกันข้าม งานบางงานในโยยข่ายงานข้างต้น ไม่สามารถที่จะเริ่มงานหรือเสร็จงานล่าช้าได้เลย นั่นคือจะต้องเริ่มงานตามกำหนดเวลาเร็วสุดเสมอ ทั้งนี้ด้วยเหตุที่ว่างานดังกล่าว เป็นงานวิกฤตที่จะกำหนดระยะเวลาของโครงการทั้งหมดนั่นเอง ดังนั้น ถ้าหากว่างานวิกฤตงานใด เริ่มงานล่าช้ากว่ากำหนดการเร็วสุดแล้ว ผลที่เกิดขึ้นก็จะทำให้โครงการทั้งโครงการล่าช้ากว่ากำหนดไปด้วย ตัวอย่างเช่นงาน- d จะต้องเริ่มงานในวันที่ 6 และเสร็จงานในวันที่ 10 เท่านั้น การสร้างบ้านนี้จึงจะเสร็จใน 34 วัน แต่ถ้าหากงาน- d เริ่มงานล่าช้ากว่าวันที่ 6 โครงการนี้ก็เสร็จช้ากว่า 34 วัน ที่เป็นดังนี้ก็เพราะงาน- d เป็นงานวิกฤตที่จะกำหนดระยะเวลาของโครงการนั่นเอง ซึ่งจะเห็นได้ว่างานวิกฤตก็คืองานที่เป็นตัวกำหนดระยะเวลาของโครงการ เป็นงานที่จะเริ่มล่าช้าไม่ได้ เป็นงานที่มีกำหนดเริ่มงาน และเสร็จงานเร็วสุดเป็นเวลาเดียวกันกับกำหนดการเริ่มงานและเสร็จงานล่าสุด (  $ES = LS$  และ  $EF = LF$  ) นั่นเอง

ในโครงการใด ๆ ก็ตาม ย่อมต้องมีกลุ่มงานวิกฤตอย่างน้อยหนึ่งกลุ่มเป็นกลุ่มงานที่จะกำหนดระยะเวลาของโครงการ กลุ่มงานนี้จะประกอบด้วยงานวิกฤตเชื่อมสัมพันธ์โยงกันในโยยข่ายงาน จากตำแหน่งเริ่มงานจนถึงตำแหน่งเสร็จงานโดยไม่ขาดสาย สายงานที่เชื่อมโยยกันดังกล่าวนี้ เรียกกันว่า สายงานวิกฤต (critical path) สายงานวิกฤตนี้ จึงประกอบไปด้วยงานวิกฤตหลายงานที่เชื่อมโยยกันตั้งแต่ตำแหน่งเริ่มงานจนถึงตำแหน่งเสร็จงานนั่นเอง

ด้วยเหตุที่สายงานวิกฤต คือสายงานที่ประกอบไปด้วยงานวิกฤตที่จะกำหนดระยะเวลาดำเนินการของโครงการ ดังนั้นสายงานวิกฤตจึงเป็นสายงานที่มีระยะเวลายาวที่สุดในโยยข่ายงาน แต่ความจริงระยะเวลาดังกล่าวคือระยะเวลาที่สั้นที่สุดที่โครงการนั้นจะเสร็จสิ้นลงโดยสมบูรณ์นั่นเอง

สายงานวิกฤต ของ PERT - network ตามตัวอย่าง 6-1 ได้แสดงไว้แล้วโดยโยยข่ายงานถูกครแล่นดู ดังรูป 6-5 ต่อไปนี้ :



จากการที่ได้ทราบแล้วว่า สายงานวิกฤต คือ สายงานที่มีระยะเวลายาวที่สุดในไขข่ายงาน แต่ก็คือระยะเวลาที่สั้นที่โครงการจะเสร็จสิ้นลงได้ ซึ่งสายงานวิกฤตดังกล่าว ก็ประกอบไปด้วยกลุ่มของงานวิกฤตที่เชื่อมโยงกันนั่นเอง การเชื่อมโยงงานของกลุ่มงานวิกฤตที่กล่าวถึง แต่ละจุดเชื่อมก็จะมีตำแหน่งงาน (node) เป็นจุดรวมหรือจุดแยกของงานต่าง ๆ อยู่ด้วย ดังนั้นสายงานวิกฤตที่จะผ่านจากจุดเริ่มงานของงานแรก จนถึงจุดเสร็จงานของงานสุดท้ายในโครงการย่อมจะต้องผ่านตำแหน่งงาน อันเป็นจุดเชื่อมของงานวิกฤตเหล่านั้นด้วย ดังนั้น ถ้าหากสามารถทราบได้ว่าตำแหน่งงานใดเป็นตำแหน่งงานวิกฤต คือเป็นตำแหน่งงานซึ่งเป็นจุดเชื่อมของงานวิกฤต การสร้างสายงานวิกฤตก็อาจจะดำเนินการได้โดยการเชื่อมตำแหน่งงานวิกฤตเหล่านั้น จากตำแหน่งเริ่มงานไปสู่ตำแหน่งเสร็จงานของโครงการได้โดยตรง

ในการพิจารณาคำหนดตำแหน่งงานวิกฤตนี้ สามารถกระทำได้ด้วยตนเองเกี่ยวกับการหางานวิกฤตนั่นเอง กล่าวคือ ให้หาคำหนดการเริ่มตำแหน่งงานเร็วสุด (earliest expected time :  $T_E$ ) และกำหนดการเริ่มตำแหน่งงานล่าช้า (latest allowable time :  $T_L$ ) ตำแหน่งงานซึ่งเป็นตำแหน่งวิกฤตจะเป็นจุด ที่มีกำหนดการเริ่มตำแหน่งเร็วสุดและล่าช้าเป็นเวลาเดียวกัน ( $T_E = T_L$ ) นั่นเอง

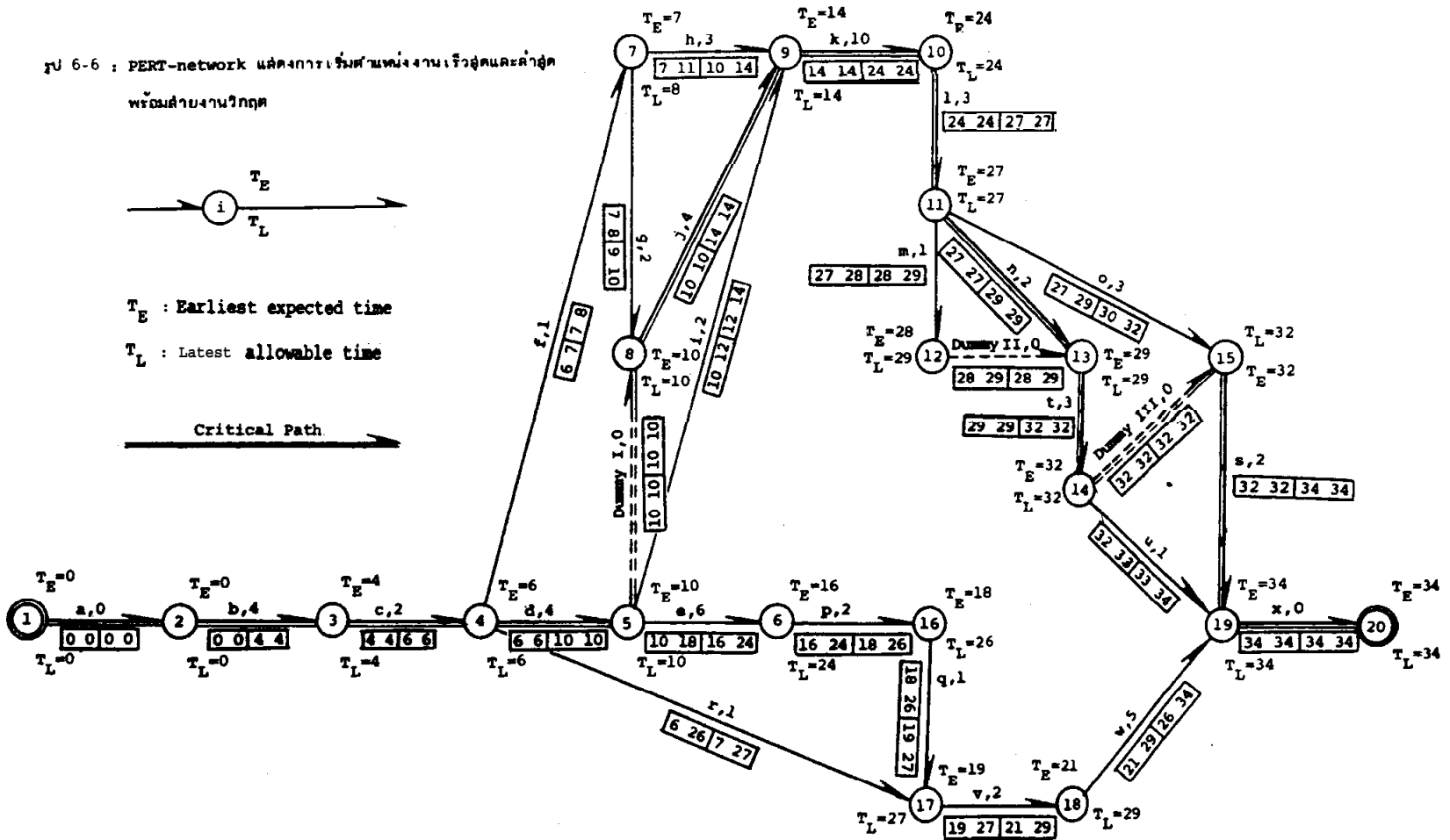
สำหรับการพิจารณาคำหนด เริ่มตำแหน่งงานเร็วสุดและล่าช้าของแต่ละตำแหน่งงานนั้น ก็กระทำเช่นเดียวกับการหาคำหนดการเริ่มงานเร็วสุด และล่าช้านั่นเอง กล่าวคือ การหาคำหนดการเริ่มตำแหน่งงานเร็วสุด อาจเริ่มจากการกำหนดเวลาเริ่มแรกของตำแหน่งงานแรก (ตำแหน่งที่หนึ่ง) เป็นเวลาศูนย์ "0" และเมื่องานซึ่งอยู่ระหว่างตำแหน่งงานแรก (ตำแหน่งที่หนึ่ง) และตำแหน่งงานต่อไป (ตำแหน่งที่สอง) เป็นเท่าไร ก็คำนวณหาเวลาเสร็จงานของงานนั้น ซึ่งเวลาเสร็จงานของงานดังกล่าวก็คือ กำหนดการเริ่มตำแหน่งงานเร็วสุดของตำแหน่งถัดไป (ตำแหน่งที่สอง) นั่นเอง ดำเนินการพิจารณาในลักษณะเช่นนี้กับตำแหน่งงานอื่น ๆ ต่อไป จนถึงตำแหน่งงานสุดท้ายของโครงการ ก็จะได้กำหนดการเริ่มตำแหน่งงานเร็วสุดของทุกตำแหน่งงานในโครงการดังต้องการ อนึ่ง กำหนดการเริ่มตำแหน่งงานเร็วสุดนี้ แท้ที่จริงก็คือ กำหนดการเริ่มงานเร็วสุดของกลุ่มงานที่อยู่หลังตำแหน่งงานนั้นนั่นเอง

จากตัวอย่าง 6-1 ที่แสดงโดย PERT-network รูป 6-5 ตำแหน่งงานแรกของโครงการคือ ตำแหน่งงาน- 1 ถ้ากำหนดให้ตำแหน่งงาน- 1 นี้เริ่มเร็วสุดในวันที่ 0 ตำแหน่งงาน- 2 ก็จะเริ่มเร็วสุดวันที่ 0 เช่นกัน ทั้งนี้เพราะงานซึ่งอยู่ระหว่างตำแหน่งงาน- 1 และตำแหน่งงาน- 2 หรืองาน- a นั้นไม่ใช่เวลาหรือใช้เวลา "0" วันนั่นเอง จากนั้นก็จะพิจารณาได้ว่าตำแหน่งงาน- 3 จะเริ่มได้เร็วสุดวันที่ 4 คือหลังจากตำแหน่งงาน- 2 อีก 4 วัน ทั้งนี้เพราะงานซึ่งอยู่ระหว่างตำแหน่งงาน- 2 และตำแหน่งงาน- 3 คืองาน- b ใช้เวลาดำเนินการ 4 วัน ค่าเงินการพิจารณาทำนองเดียวกันนี้สำหรับตำแหน่งงานอื่น ๆ ต่อไปก็จะได้ค่า  $T_E$  ของทุกตำแหน่งงานในโครงการที่ต้องการ

สำหรับการหา กำหนดการเริ่มตำแหน่งงานล่าช้า ก็กระทำได้ทำนองเดียวกันกับการหา กำหนดการเริ่มงานล่าช้า กล่าวคือ ให้พิจารณาถอยหลังจากตำแหน่งงานสุดท้ายของโครงการจนถึงตำแหน่งงานแรกของโครงการนั่นเอง ดังเช่นตัวอย่าง 6-1 ที่แสดงโดย PERT-network รูป 6-5 นั้น ตำแหน่งงานสุดท้าย คือตำแหน่งงาน- 20 ซึ่งตำแหน่งงานนี้จะต้องมีค่า  $T_L$  กำหนดการเริ่มตำแหน่งล่าช้า เป็นวันที่ 34 เพราะโครงการนี้เสร็จในวันที่ 34 เมื่อทราบว่ากำหนดการเริ่มตำแหน่งงาน- 20 คือ วันที่ 34 ( $T_L = 34$ ) ก็คำนวณถอยหลังมาสู่ตำแหน่งงาน- 19 ซึ่งตำแหน่งงาน- 19 นี้ จะต้องเริ่มตำแหน่งงานล่าช้าวันที่ 34 เช่นกัน ทั้งนี้เพราะงาน- x ซึ่งอยู่ระหว่างตำแหน่งงานทั้งสองไม่ใช่เวลาหรือใช้เวลา 0 วันนั่นเอง จากนั้น ก็ย้อนถอยหลังไปตำแหน่งงาน- 18 จากการพิจารณาก็จะพบว่างาน- w ซึ่งอยู่ระหว่างตำแหน่งงาน- 18 และตำแหน่งงาน- 19 ใช้เวลาดำเนินการ 5 วัน ดังนั้นตำแหน่งงาน- 18 จะต้องเริ่มอย่างช้าที่สุดวันที่ 29 ( $T_L = 29 = 34 - 5$ ) นั่นเอง เมื่อคำนวณถอยหลังเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนถึงตำแหน่ง- 1 ก็จะได้ค่า  $T_L$  ของทุกตำแหน่งงานที่ต้องการ อนึ่ง กำหนดการเริ่มตำแหน่งงานล่าช้านี้ แท้ที่จริงก็คือกำหนดการเริ่มงานล่าช้าของกลุ่มงานนั่นเอง

เมื่อได้ค่า  $T_E$  และ  $T_L$  ของทุกตำแหน่งงานแล้ว ก็จะสามารถได้ว่าตำแหน่งงานใดมีค่า  $T_E = T_L$  ตำแหน่งงานนั้นก็คือตำแหน่งงานวิกฤต และเมื่อเชื่อมตำแหน่งงานวิกฤตเหล่านั้นเข้าด้วยกัน ก็จะได้สายงานวิกฤตตามที่ต้องการ

รูป 6-6 : PERT-network แสดงการเริ่มต้นงานที่งานเร็วสุดและค่าสุดพร้อมด้วยงานวิกฤต



#### 4. การสร้าง CPM

ดังได้กล่าวในเบื้องต้นแล้วว่า ความจริงแล้ว PERT (Program Evaluation and Review Technique) และ CPM (Critical Path Method) ก็มีหลักการทํานองเดียวกันนั่นเอง ในระยะหลัง ๆ จึงได้พัฒนาจนกลายเป็นวิธีการเดียวกันในที่สุด แต่จะอย่างไรก็ตามเพื่อให้เกิดความเข้าใจในเรื่องของ PERT และ CPM นี้ให้เด่นชัดยิ่งขึ้น จึงขอแสดงวิธีการสร้าง CPM โดยเปรียบเทียบกับวิธีการสร้าง PERT เพื่อให้เห็นข้อแตกต่างอันพึงมี อันจะเป็นข้อพิจารณาต่อไป

การสร้าง CPM แท้จริงแล้วก็กันไปทํานองเดียวกันกับการสร้าง PERT นั่นเอง กล่าวคือ อาศัยโยยย้ายงาน (network) แสดงความสัมพันธ์ของงานต่าง ๆ ในโครงการโดยมีตำแหน่งงาน (node or event or milestone) เป็นจุดรวมและจุดแยกของกลุ่มงานต่าง ๆ เช่นเดียวกัน แต่ CPM และ PERT นี้จะมีข้อแตกต่างกันในรายละเอียดที่ว่า CPM แสดงงานและระยะเวลาทํางานของงาน ไว้ที่ตำแหน่งงาน ในขณะที่ PERT แสดงงานและระยะเวลาทํางานของงานไว้ที่ลูกศร ดังนั้น CPM จึงถือว่า ตำแหน่งงาน เป็นจุดรวมแล้วสำคัญของงาน โดยมีโยยย้ายงานลูกศรเพียงเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของงานเท่านั้น ตรงกันข้าม PERT ถือว่า ลูกศรในโยยย้ายงานเป็นสาระสำคัญของตำแหน่งงานเป็นเพียงจุดรวมหรือจุดแยกของงานต่าง ๆ เท่านั้น

ด้วยเหตุนี้ CPM ถือว่า ตำแหน่งงานเป็นจุดรวมแล้วสำคัญของงาน ดังนั้น CPM จึงต้องการจุดหรือตำแหน่งเริ่มต้น (start) และจุดหรือตำแหน่งปลาย (finish) ของโยยย้ายงาน เพื่อแสดงจุดเริ่มต้นและจุดปลายของโครงการ แต่ในโยยย้ายงานนั้น CPM ต้องการลูกศรเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของงานต่าง ๆ เท่านั้น ฉะนั้นในการสร้างในโยยย้ายงานลูกศรของ CPM จึงไม่มีความยุ่งยาก หรือความสับสนใด ๆ จนต้องอาศัยงานจํานวน (dummy activity) หรือ ลูกศรจํานวน (dummy arrow) ใด ๆ เลย

ในทางตรงกันข้าม PERT ถือว่า ลูกศรในโยยย้ายงาน เป็นสาระสำคัญของงานและระยะเวลาทํางานของงาน ดังนั้นหากเกิดปัญหาใด ๆ ในการแสดงโยยย้ายงานลูกศรก็จะต้องอาศัยงานจํานวนและลูกศรจํานวน เพื่อช่วยแสดงความสัมพันธ์ของงานให้ถูกต้อง แต่สำหรับตำแหน่งงานในโย

ข่าวยางานของ PERT นั้น ตำแหน่งงานเป็นเพียงจุดรวมและจุดแยกของงานเท่านั้น ดังนั้น PERT จึงไม่จำเป็นต้องมีจุดเริ่มต้น และจุดปลายของข่าวยางานเลยก็ได้

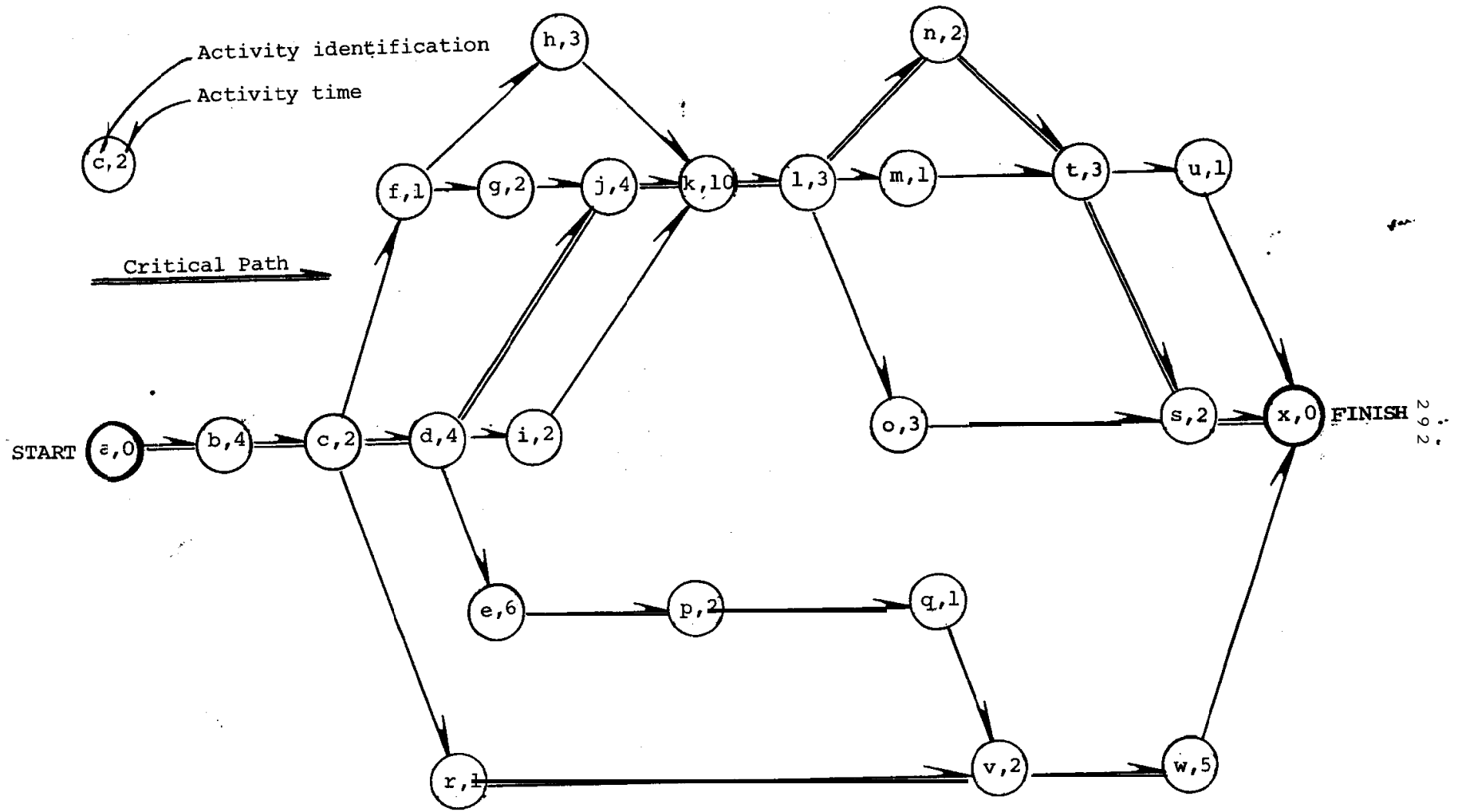
นอกจากข้อแตกต่างของ CPM และ PERT ในการสร้างข่าวยางานลูกศรแล้ว ปกติ CPM มักจะใช้กับโครงการซึ่งงานย่อย ๆ ในโครงการนั้น สามารถกำหนดระยะเวลาทำการได้แน่นอนตายตัว หรือทราบระยะเวลาทำการที่แน่นอนของงานย่อย ๆ เหล่านั้นแล้ว แต่สำหรับ PERT นั้น สร้างมาเพื่อใช้กับข้อมูลซึ่งมีระยะเวลาทำการที่ไม่แน่นอน ระยะเวลาทำการของงานย่อย ๆ ในโครงการต้องอาศัยการประมาณการหรือการหาค่าเฉลี่ยโดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ เข้าช่วย แต่อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปแล้วข้อแตกต่างนี้ไม่ถือเป็นสาระสำคัญอีกต่อไป เพราะปัจจุบันนี้ทั้ง CPM และ PERT ต่างก็ใช้ข้อมูลเกี่ยวกับระยะเวลาทำการของงานในลักษณะของค่าที่ค่อนข้างแน่นอนตายตัวเหมือน ๆ กันแล้ว

ในที่นี้ เพื่อให้เข้าใจลักษณะการสร้าง CPM ได้ดีขึ้น จึงขอนำข้อมูลในตัวอย่าง

6-1 : "โครงการการสร้างบ้าน" ซึ่งได้แสดงโดยการสร้าง PERT มาแล้ว มาสร้างข่าวยางานลูกศรในลักษณะของ CPM ดังรูป 6-7 ต่อไปนี้ :



รูป 6-7



หมายเหตุ : ความยาวและทิศทางของลูกศรไม่ถือเป็นสาระสำคัญ

อนึ่ง ในการหาสายงานวิกฤต (critical path) ของ CPM-network นี้ สามารถที่จะกระทำได้ในลักษณะเช่นเดียวกันกับการหาสายงานวิกฤตของ PERT-network นั้นเอง กล่าวคือ อาจจะมีการพิจารณาหาจาก สายใยข่ายงานลูกศรที่มีสายทางระยะเวลายาวที่สุดก็ได้ หรือ อาจจะมีการพิจารณาจากค่า ES, EF และ LS, LF ก็ได้ หรือ อาจจะมีการพิจารณาจากค่า TE และ TL ก็ได้ ซึ่งทุก ๆ วิธีการนั้น ดำเนินการเช่นเดียวกันกับวิธีการซึ่งได้แสดงไว้แล้ว ในกรณีของ PERT ดังนั้นผลที่ได้จากการพิจารณาในลักษณะต่าง ๆ ดังกล่าวก็จะเหมือนกับผลที่ได้ในกรณีของ PERT เช่นกัน สำหรับสายงานวิกฤตของ CPM-network นี้ ได้แสดงโดยลูกศรเส้นทึบไว้แล้ว ในรูป 6-7 ข้างต้นนั้น

#### 5. การประมาณการเวลาทำการที่ไม่แน่นอน

PERT และ CPM ที่ได้กล่าวมาโดยตลอดจนบัดนี้นั้น เป็นการศึกษาวิธีการเกี่ยวกับการสร้างใยข่ายงานตลอดจนการวิเคราะห์เรื่องราวต่าง ๆ ในกรณีที่เวลาทำการของงานย่อย ๆ ในโครงการสามารถทราบได้แน่นอนตายตัว ซึ่งความจริงแล้วกรณีเช่นนี้มีน้อยมาก ส่วนใหญ่ข้อมูลเกี่ยวกับเวลาทำการของงานแต่ละงานย่อย ๆ นั้นมักจะไม่สามารถทราบค่าที่แน่นอนมาก่อน แต่เพื่อให้การพิจารณาการประเมินวิเคราะห์โครงการสามารถดำเนินการไปได้ จึงจำเป็นต้องประมาณการเวลาทำการของงานย่อย ๆ เหล่านี้ให้ได้ใกล้เคียงความจริงที่สุด ซึ่งวิธีการประมาณการดังกล่าว อาจจะทำได้ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าทางสถิติ โดยอาศัยหลักของความน่าจะเป็นและวิธีการพิจารณาการแจกแจงของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเวลาทำการของงานแต่ละงานเหล่านั้น

วิธีการประมาณการนี้ กระทำโดยถือว่าการแจกแจงเวลาทำการของงานต่าง ๆ มีลักษณะแบบเบต้า (beta distribution) และเวลาทำการต่าง ๆ ของงานเหล่านั้นมีระดับของความน่าจะเป็นตามที่กำหนด โดยลักษณะของการประมาณการเช่นนี้ เวลาประมาณการ (expected time :  $t_e$ ) จะได้จากค่าเฉลี่ย ของเวลาทำการ 3 ลักษณะ ตามแบบของการแจกแจงเบต้า ซึ่งเวลาทำการต่าง ๆ 3 ลักษณะดังกล่าวได้แก่เวลาอย่างต่ำ (optimistic time : a) เวลาปานกลาง (most likely time : m) และเวลาสูงที่สุด (pessimistic time : b) ซึ่งเวลาทำการแต่ละลักษณะมีความหมายดังนี้

ก) เวลาอย่างต่ำ (optimistic time : a) หมายถึงเวลาที่สั้นที่สุดที่งานหนึ่ง ๆ จะเสร็จสิ้นลงได้ เมื่อทุกสิ่งทุกอย่างในการดำเนินการเป็นไปโดยราบรื่น ไม่มีอุปสรรคใด ๆ โดยมีสมมุติฐานว่า จะมียานเพียงหนึ่งในร้อยที่จะเสร็จเร็วกว่าระยะเวลา "a" นี้ หรือ โอกาสที่งานนี้จะเสร็จเร็วกว่าเวลา "a" มีความน่าจะเป็นเพียง 0.01 เท่านั้น

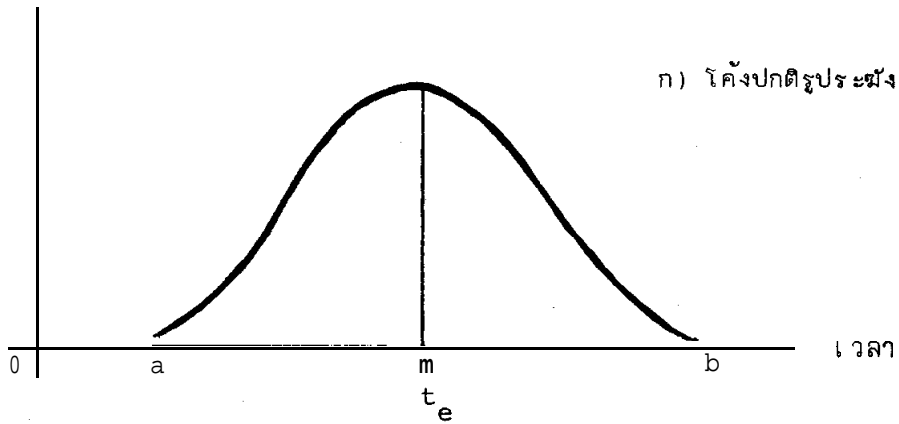
ข) เวลาปานกลาง (most likely time : m) หมายถึง เวลาที่เกิดบ่อยที่สุดเป็นปกติวิสัยในการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่ง ระยะเวลาทำการ "m" นี้เป็นการทำงานในลักษณะที่เป็นไปโดยราบรื่นและพบอุปสรรคเป็นครั้งคราวคละกันไป โดยมีสมมุติฐานว่า ในการทำงานนี้ 100 ครั้ง จะมีอยู่ถึง 98 ครั้งที่งานนี้จะเสร็จในเวลา "m" หรือ โอกาสที่งานนี้จะเสร็จในเวลา m มีความน่าจะเป็น 0.98 และโอกาสที่งานจะเสร็จเร็วหรือช้ากว่าเวลานี้มีความน่าจะเป็นเพียง 0.02 เท่านั้น

ค) เวลาสูงที่สุด (pessimistic time : b) หมายถึง เวลาที่ยาวนานที่สุดที่งานหนึ่ง ๆ ได้เสร็จสิ้นลง เมื่อทุกสิ่งทุกอย่างในการดำเนินการมีแต่อุปสรรค ไม่ราบรื่น โดยมีสมมุติฐานว่า จะมียานเพียงหนึ่งในร้อยเท่านั้น ที่เสร็จช้ากว่าระยะเวลา "b" นี้ หรือ โอกาสที่งานนี้จะเสร็จช้ากว่าเวลา "b" มีความน่าจะเป็นเพียง 0.01 เท่านั้น

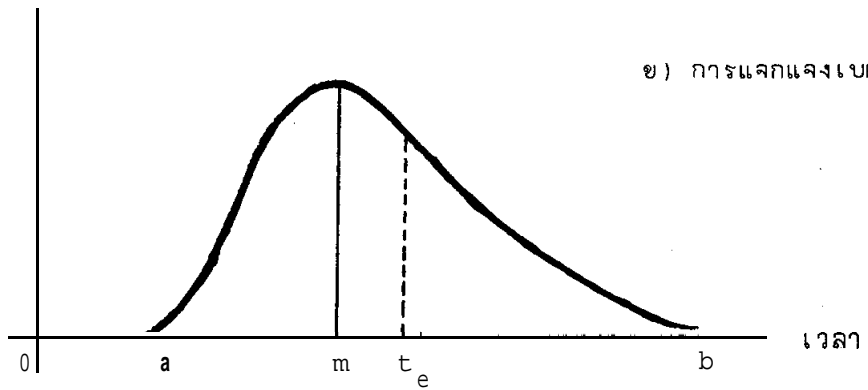
เมื่อนำเวลาทำการทั้ง 3 ลักษณะมาเขียนแสดงความสัมพันธ์ ในรูปแบบของการแจกแจงทางสถิติ ก็จะได้รูปเส้นโค้งในลักษณะการแจกแจงแบบเบต้า ทั้งที่เป็นเส้นโค้งแบบสมมาตรและไม่แบบสมมาตรแล้วแต่กรณี ดังนี้

รูป 6-8 : การแจกแจงแบบเบต้า (  $\beta$  - distribution)

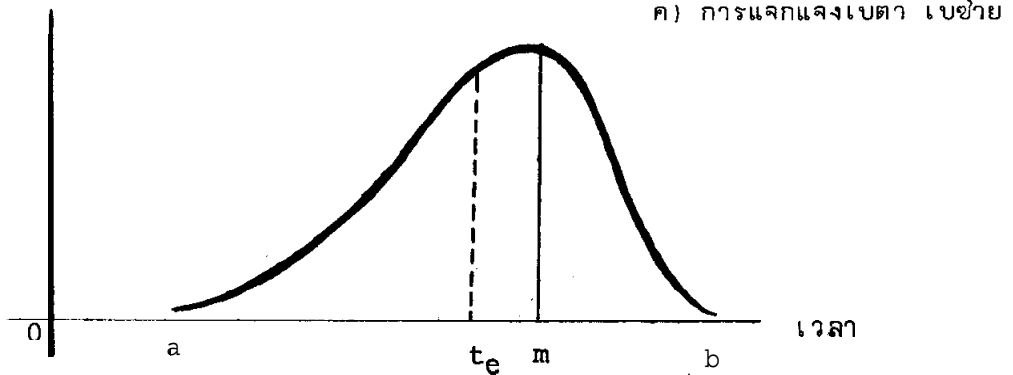
ความน่าจะเป็น



ความน่าจะเป็น



ความน่าจะเป็น



เวลาประมาณการ (expected time :  $t_e$ ) ซึ่งได้จากค่าเฉลี่ยของเวลาทำการแบบเวลาอย่างต่ำ (a) เวลาปานกลาง (m) และเวลาสูงสุด (b) โดยการแจกแจงแบบเบต้า สามารถคำนวณหาได้จากกรุปแบบคณิตศาสตร์<sup>1/</sup> ต่อไปนี้

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6}$$

โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) เป็น

$$\sigma_{t_e} = \frac{b - a}{6}$$

ข้อสังเกต : เวลาประมาณการ ( $t_e$ ) โดยค่าเฉลี่ยนี้ถ่วงน้ำหนักเวลาปานกลาง (m) เป็น 4 เท่าของเวลาอย่างต่ำ (a) และเวลาสูงสุด (b)

ในที่นี้ เพื่อให้เข้าใจเกี่ยวกับการสร้าง PERT ในกรณีที่เวลาทำการไม่แน่นอน จึงขอยกตัวอย่าง การประเมินวิเคราะห์โครงการ ซึ่งมีรายการกำหนดการทำงาน (checklist) ดังต่อไปนี้

---

<sup>1/</sup> Samuel B. Richmond, Operations Research for Management Decisions (New York : The Ronald Press Company, 1968), p.491.

ตัวอย่าง 6-2 :

ตาราง 6-3 : รายการกำหนดการทำงาน

สัญลักษณ์งาน	งานที่ต้อง เสร็จก่อน	เวลาทำการ		
		a	m	b
a		1	2	15
b		3	5	13
c	a	2	5	14
d	b	6	7	8
e	b	2	4	12
f	c,d	5	9	13
g	c,d	4	6	8
h	e,f	1	4	7
i	g	1	2	3

จากตาราง 6-3 รายการกำหนดการทำงาน ซึ่งมีเวลาทำการไม่แน่นอนจะ  
สามารถคำนวณหาเวลาประมาณการ ( $t_e$ ) ของงานแต่ละงานได้จากสูตร :

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6}$$

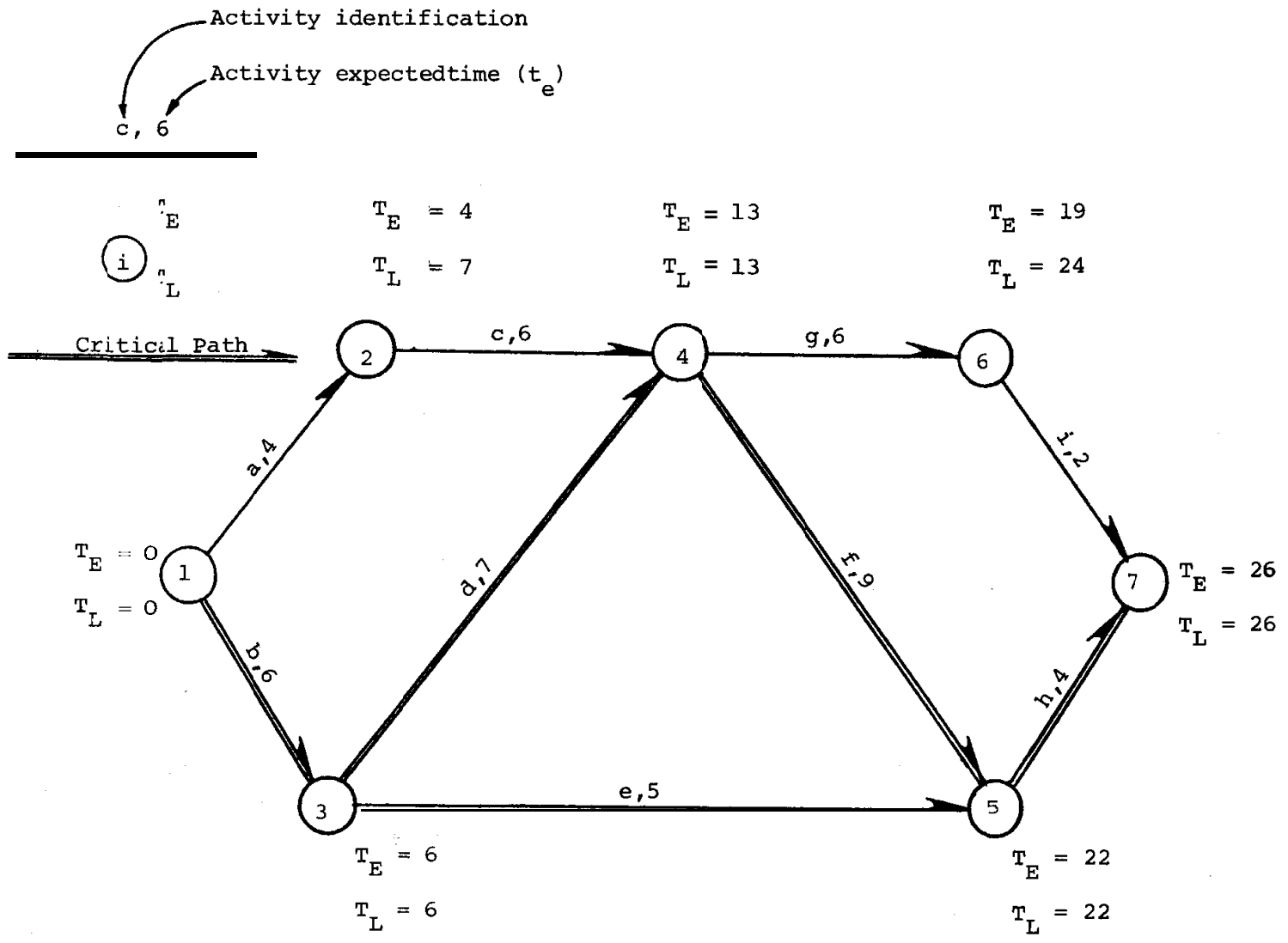
และเมื่อคำนวณแล้วจะได้เวลาประมาณการ ( $t_e$ ) ดังตาราง 6-4 ต่อไปนี้

ตาราง 6-4 : แสดงเวลาประมาณการ ( $t_e$ )

สัญลักษณ์งาน	งานที่ต้องเสร็จก่อน	เวลาทำการ			เวลาประมาณการ ( $t_e$ )
		a	m	b	
a	-	1	2	15	4
b	-	3	5	13	6
c	a	2	5	14	6
d	b	6	7	8	7
e	b	2	4	12	5
f	c,d	5	0	13	9
g	c,d	4	6	8	6
h	e,f	14		7	4
i	g	12		3	2

เมื่อนำรายการกำหนดกิจกรรมทำงาน และเวลาประมาณการของแต่ละงานจาก ตาราง 6-4 ลงเขียนแสดงโดยโยงงานลูกศร จะได้ PERT-network พร้อมด้วย  $T_E, T_L$  และสายงานวิกฤต ดังรูป 6-9 ต่อไปนี้

Fig 6-9 : PERT-network





## 6. PERT/Cost

การประเมินวิเคราะห์โครงการที่ได้พิจารณาตั้งแต่ต้นจนขณะนี้นั้น เป็นการวิเคราะห์ในลักษณะของเรื่องที่เกี่ยวข้องกับ "เวลา" ที่เรียกกันว่า PERT/time แต่ในความเป็นจริงแล้ว การประเมินวิเคราะห์โครงการใด ๆ ก็ตาม จะพิจารณาเฉพาะเรื่องที่เกี่ยวข้องกับเวลาอย่างเดียวเห็นจะไม่สมบูรณ์ ทั้งนี้เพราะว่าในโครงการเหล่านั้นย่อมต้องข้องเกี่ยวกับเรื่องราวอื่น ๆ อีกด้วย ที่เห็นได้ชัดที่สุดเห็นจะได้แก่ต้นทุนของการทำงานต่าง ๆ ในโครงการนั้นนั่นเอง ดังนั้นในการประเมินวิเคราะห์โครงการจึงต้องประกอบไปด้วยเวลาและต้นทุนที่เกี่ยวข้องประกอบกัน ซึ่งการวิเคราะห์ในลักษณะนี้เรียกกันว่า PERT/Cost

PERT/Cost หมายถึง การประเมินวิเคราะห์โครงการที่เกี่ยวข้องกับเวลาและต้นทุนการทำงานองงานแต่ละงานประกอบกัน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า PERT/Cost ก็คือ PERT/Time ที่คิดต้นทุนการทำงานประกอบด้วยนั่นเอง ดังนั้นในการสร้าง PERT/Cost จึงจำเป็นต้องสร้าง PERT/Time เสียก่อน จากนั้นจึงนำต้นทุนการทำงานองงานแต่ละงานมาคิดคำนวณประกอบอีกครั้งหนึ่ง ก็จะทำให้ได้ PERT/Cost ที่แสดงทั้งเวลาทำการและต้นทุนของโครงการนั้น ๆ ประกอบกัน

### 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและต้นทุน

ในการทำงานใด ๆ ก็ตาม ปกติแล้วก็ต้องเสียค่าใช้จ่าย หรือมีต้นทุนในการทำงานนั้น ๆ ซึ่งถ้าการทำงานนั้นเป็นการทำงานตามปกติ และใช้เวลาดำเนินการปกติ จะเป็นเวลาที่ทราบแน่นอน หรือเป็นเวลาประมาณการอันได้จากกระแสเวลาที่ไม่แน่นอนก็ตาม PERT/Cost ที่ได้สร้างขึ้นในลักษณะนี้ เป็นแบบที่เรียกว่า "กระบวนการปกติ" (Normal Program)

อย่างไรก็ตามในการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งนั้น บางครั้งงานนั้น ๆ ก็อาจที่จะรีบเร่งดำเนินการให้เสร็จเร็วกว่าปกติได้ การรีบเร่งเพื่อลดระยะเวลาดำเนินการดังกล่าว อาจกระทำได้โดยการเพิ่มจำนวนคนทำงาน หรือทำงานล่วงเวลา หรืออาจจะใช้เครื่องจักรทุนแรงที่สามารถทำงาน

ได้เร็วเท่าเงินการก็ได้ ซึ่งวิธีการลดทอนเวลาทำการจากเวลาปกติดังกล่าว ไม่ว่าจะ เป็นวิธีใด ๆ ก็ตาม ย่อมทำให้ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนในการทำงานนั้นเพิ่มมากขึ้นด้วย นั่นคือ ยิ่งลดเวลาลงมากเท่าใด ต้นทุนยิ่งต้องเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น เพราะเวลาและต้นทุนมีความสัมพันธ์ผกผันกันนั่นเอง สำหรับ PERT/Co $s$ t ของโครงการที่รีบเร่งนี้ เป็นแบบที่อาจจะเรียกว่า "กระบวนการเร่งรีบ" (Crash Program)

จากรูปแบบกระบวนการของ PERT ซึ่งได้นำเวลาและต้นทุนมาเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันนี้ ทำให้สามารถแบ่งประเภทของ PERT ได้เป็นประเภทใหญ่ ๆ 2 ประเภท คือ กระบวนการปกติ และกระบวนการเร่งรีบ แต่ในแต่ละประเภทยังแบ่งย่อยออกเป็น กรณีที่นับเฉพาะเวลาทำการ และกรณีที่นับเวลาทำการและต้นทุนประกอบกัน ซึ่งรูปแบบดังกล่าวนี้ พอที่จะสรุปรวมเพื่อสะดวกแก่การเข้าใจ ดังนี้ :

รูปแบบของ PERT :

1) กระบวนการปกติ (Normal Program)

n . เวลาปกติ (normal time)

a . ต้นทุนปกติ (normal cost)

2) กระบวนการเร่งรีบ (Crash Program)

n. เวลาเร่งรีบ (crash time)

ข. ต้นทุนเร่งรีบ (crash cost)

ทั้งนี้ กระบวนการเวลาปกติ (Normal Time Program) หมายถึงกระบวนการของ PERT ที่พิจารณาเฉพาะเรื่องเกี่ยวกับเวลา และเวลาดำเนินการนั้น คิดคำนวณจากเวลาดำเนินการปกติ

กระบวนการต้นทุนปกติ (Normal Cost Program) หมายถึง กระบวนการของ PERT

ที่พิจารณาเวลาและต้นทุนดำเนินการประกอบกัน ซึ่งเวลาและต้นทุนดังกล่าวคิดคำนวณจากเวลาปกติและต้นทุนปกติ

กระบวนการเวลาเร่งรีบ (Crash Time Program) หมายถึงกระบวนการของ PERT ที่พิจารณาเฉพาะเรื่องเกี่ยวกับเวลา และเวลาดำเนินการที่รีบเร่งหรือลดทอนลง จากเวลาดำเนินการปกติ

กระบวนการต้นทุนเร่งรีบ (Crash Cost Program) หมายถึงกระบวนการของ PERT ที่พิจารณาเวลาและต้นทุนดำเนินการประกอบกัน ซึ่งเวลาดำเนินการคิดคำนวณจากเวลาดำเนินการที่รีบเร่ง โดยลดทอนจากเวลาปกติ สำหรับต้นทุน คิดคำนวณจากต้นทุนเร่งรีบ ซึ่งได้จากการรวมต้นทุนปกติกับส่วนเพิ่ม หรือส่วนที่ต้นทุนเพิ่มขึ้น อันเกิดจากการรีบเร่งการทำงานโดยลดทอนเวลาดำเนินการจากเวลาปกตินั่นเอง

## 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการปกติและกระบวนการเร่งรีบ

ในการสร้าง PERT รูปแบบต่าง ๆ นั้น จำเป็นที่จะต้องดำเนินการเป็นลำดับกันไป กล่าวคือ จะต้องเริ่มสร้างจากกระบวนการปกติก่อน แล้วจึงจะดำเนินการลดทอนให้ได้กระบวนการเร่งรีบต่อไป สำหรับการสร้างกระบวนการปกตินั้น จะต้องเริ่มสร้างจากกระบวนการเวลาปกติก่อน และเมื่อนำต้นทุนร่วมพิจารณาด้วย ก็จะได้กระบวนการต้นทุนปกติ จากนั้นถ้าสามารถนำกระบวนการเวลาปกติมาดำเนินการลดทอนเวลาทำการลง ก็จะได้กระบวนการเวลาเร่งรีบและเมื่อคิดคำนวณต้นทุนเร่งรีบประกอบเข้าไปด้วย ก็จะได้กระบวนการต้นทุนเร่งรีบตามต้องการ

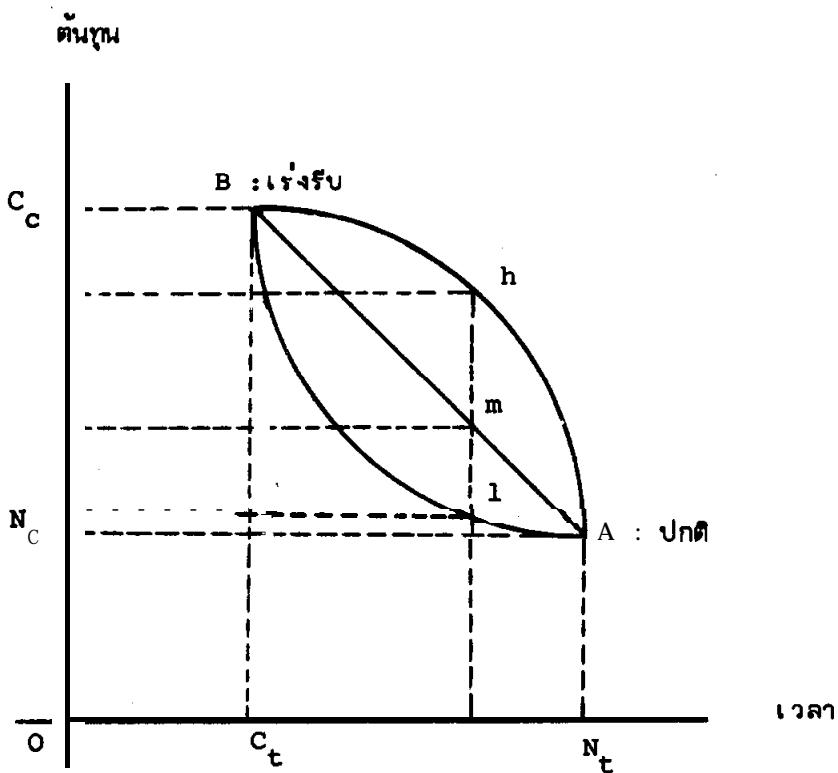
อนึ่ง ในการดำเนินการโครงการเพื่อให้ลุล่วงไปนั้น ถ้าโครงการนั้นไม่รีบเร่ง การดำเนินการก็อาจกระทำในลักษณะของกระบวนการปกติ โดยใช้เวลาและต้นทุนปกติ แต่ถ้าการดำเนินการโครงการนั้นต้องการความเร่งรีบ เพื่อให้ทันกับกำหนดเวลาซึ่งอาจจะกำหนดไว้ล่วงหน้าแล้ว การดำเนินการในลักษณะปกติก็อาจจะไม่ทันกาล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องดำเนินการในลักษณะของกระบวนการเร่งรีบ โดยลดทอนระยะเวลาการทำงานของงานต่าง ๆ ลงให้ทันกับกำหนดการนั้น ๆ

ในการดำเนินการโครงการในลักษณะของกระบวนการเร่งรีบนี้ จำเป็นที่จะต้องทราบล่วงหน้าว่า งานใดบ้างที่สามารถลดทอนเวลาทำการลงได้ และเมื่อลดทอนเวลาทำการลงแล้วจะใช้

เวลาเริ่มเร่งที่ลัดทำได้นอกจากนี้ยังต้องทราบด้วยว่าการเร่งรีบทำงานดังกล่าว จะมีผลทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นในลักษณะและจำนวนอย่างไรด้วย ทั้งนี้เพื่อนำเป็นข้อพิจารณาในการตัดสินใจเลือกระดับการเร่งรีบที่เหมาะสมต่อไป ซึ่งระดับการเร่งรีบที่เหมาะสม จะต้องเป็นระดับการเร่งรีบที่ ความเสียหายอันเกิดจากความล่าช้าจากการดำเนินโครงการโดยปกติ มีค่ามากกว่าต้นทุนเพิ่มอันเกิดจากกระบวนการเร่งรีบนั้น ๆ

ลักษณะการเพิ่มของต้นทุน อันเกิดจากการรีบเร่ง โดยการลดทอนเวลาพักการของงานใดงานหนึ่ง อาจแสดงได้ด้วยเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและต้นทุน ดังรูป 6-10 ต่อไปนี้

รูป 6-10 : ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและต้นทุน



โดยที่ :

$N_t$  หมายถึง เวลาทำการปกติ (normal time)

$N_c$  หมายถึง ต้นทุนทำการปกติ (normal cost)

$C_t$  หมายถึง เวลาทำการเร่งรีบ (crash time)

$C_c$  หมายถึง ต้นทุนทำการเร่งรีบ (crash cost)

จากรูป 6 - 1 0 :

จุด A คือ ตำแหน่งของการทำงานปกติ ซึ่งใช้เวลาทำการปกติ  $N_t$  หน่วยเวลา และทำให้เสียต้นทุนการทำงานปกติ  $N_c$  หน่วยเงินตรา

จุด B คือ ตำแหน่งของการทำงานแบบเร่งรีบที่สุด ซึ่งใช้เวลาทำการเร่งรีบ  $C_t$  หน่วยเวลา และทำให้เสียต้นทุนทำการเร่งรีบ  $C_c$  หน่วยเงินตรา

อย่างไรก็ตาม ถ้าต้องการทำงานนี้ให้แล้วเสร็จเร็วกว่าปกติ แต่ก็ไม่จำเป็นจะต้องเร็วที่สุด คือ ต้องการให้เวลาทำการอยู่ระหว่าง  $N_t$  และ  $C_t$  เช่นนี้แล้วต้นทุนทำการก็ต้องอยู่ระหว่าง  $C_c$  และ  $N_c$  สิ่งที่จะต้องพิจารณาคือ เมื่อลดทอนเวลาทำการลงจาก  $N_t$  มานั้น ต้นทุนทำการก็ต้องเพิ่มขึ้นจาก  $N_c$  ขึ้นไป ซึ่งต้นทุนทำการนี้อาจจะเพิ่มขึ้นตามแนวของเส้น  $ALB$  หรือ  $AhB$  หรือ  $AmB$  ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะความสัมพันธ์ของเวลาและต้นทุนของงานนั้น ๆ กล่าวคือ

ก) ถ้าต้นทุนเพิ่มขึ้นตามแนวลักษณะเส้น  $ALB$  ก็หมายความว่า การลดทอนเวลาทำการลงแต่ละหน่วยเวลานั้น จะทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นในอัตราก้าวหน้า หรือเพิ่มขึ้นในอัตราเพิ่ม (increasing rates) นั่นคือ การลดทอนเวลาหน่วยหลัง ๆ จะเสียต้นทุนเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับไป