บทที่ ๓

การออกแบบงานกลุ่มในการผลิตเครื่องบิน

๓.๑ การผลิตเครื่องบิน

งานการผลิตเครื่องบิน แบ่งออกเป็น ๓ ภาคการทำงาน[๑] คือการเตรียมการผลิต (Preparation for Production) การผลิตและการควบคุมการผลิต (Actual Production and Control) และการปรับปรุงดำรงมาตรฐานการผลิต (Follow-up and Refinement)

๓.๑.๑ การเตรียมการผลิต เป็นงานที่จะต้องดำเนินการเป็นอันดับแรกก่อนที่จะเริ่มการผลิต งานที่ทำในภาคการทำงานนี้ ได้แก่การศึกษาและเตรียมการเกี่ยวกับเรื่องต่าง ๆ ดังนี้

ก. ความเป็นมาและรูปแบบของผลิตภัณฑ์
ข. อุปกรณ์เครื่องมือที่ต้องใช้ในการผลิต
ค. กำหนดเวลาส่งมอบผลิตภัณฑ์
ง. การวางผังโรงงาน
จ. การออกแบบโรงงานและทดสอบ
ฉ. การออกแบบแก้ไขชิ้นส่วน

๓.๑.๒ การผลิตและการควบคุมการผลิต เป็นการดำเนินงานภายหลังจากที่ได้ออกแบบโรงงานและทดสอบ ปรับปรุงแก้ไขจนได้มาตรฐานแล้ว งานต่าง ๆ ที่ต้องทำในภาคการทำงานนี้ ได้แก่

---

[๑] A.B. Bergnell, Production Engineering in the Aircraft Industry, New York: McGraw-Hill, 1944 pp 1-10

ก. การควบคุมการทำงานในหน่วยงานประกอบ

ข. การจัดทำเอกสารแนะนำวิธีการทำงาน

ค. การควบคุมการดำเนินงานให้เป็นไปตามแผนงาน

ง. การควบคุมวัตถุดิบ

จ. การควบคุมคุณภาพ

ฉ. การควบคุมการผลิต

ช. การควบคุมค่าใช้จ่ายในโรงงาน

ซ. การควบคุมค่าใช้จ่ายทางตรง

ฌ. การรายงานผู้ตรวจงาน

ญ. การเปลี่ยนแปลงแบบของผลิตภัณฑ์

ฏ. การฝึกงาน

ฐ. การลดความซับซ้อนของงาน

ฑ. การให้ความยุติธรรมและการบำรุงขวัญ

ฒ. การบรรจุคนงานในตำแหน่งที่เหมาะสม

ณ. การกระตุ้นการทำงานด้วยระบบเงินรางวัล

๓.๑.๓ <u>การปรับปรุงและการกำรงมาตรฐานการผลิต</u>

เมื่องานการผลิตได้เริ่มไปแล้วก็มีความจำเป็นที่จะต้องขักเกลาปรับปรุงและกำรงมาตรฐานและประสิทธิภาพในการผลิต โดยทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับวัสดุ กรรมวิธีการผลิต และสมรรถนะของผู้ทำงานและทำการบันทึกประวัติการทำงานตลอดจนข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการผลิต เช่น รายการอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ทำงานทั้งหมดในโรงงาน หน้าที่และชีดความสามารถ วันที่ซื้อมา อายุการใช้งาน ทั้งยังต้องพิจารณาถึงความคุ้มค่าในการจัดหาอุปกรณ์เครื่องมือที่ทันสมัยมาเปลี่ยนทดแทนของเดิม อันจะมีผลให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำลงและผลผลิตสูงขึ้นด้วย

๓.๓ <u>การประกอบเครื่องบิน</u>

ก่อนเริ่มงานการประกอบเครื่องบิน ชิ้นส่วนย่อยต่างๆ และโครงประกอบยึดหรือจิก สำหรับยึดชิ้นส่วนต่าง ๆ ให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องขณะทำการประกอบ จะต้องมีการจัดหา

หรือสร้างไว้ล่วงหน้าให้พร้อม เพราะหากขาดชิ้นส่วนที่เป็นวัตถุดิบสำหรับสายงานประกอบ และจิกที่จำเป็นแล้ว งานประกอบจะล่าช้าและเกิดความผิดพลาดได้ง่าย ทำให้เสียทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย

การประกอบเครื่องบินแบ่งออกเป็น ๓ ระดับการประกอบ ดังนี้

ก. การประกอบโครงสร้างย่อย(Sub-Assembly)คือการนำเอาชิ้นส่วนย่อยต่าง ๆ มาประกอบเข้าด้วยกันเป็นชุดประกอบโครงสร้างย่อย เพื่อป้อนให้กับสายการประกอบส่วนประกอบหลักของเครื่องบิน งานที่ทำในระดับการประกอบโครงสร้างย่อยมีดังนี้

๑. การประกอบโครงลำตัว

๒. การประกอบกระโดงหางดิ่ง

๓. การประกอบแผ่นหางระดับ

๔. การประกอบหางเสือขึ้นลงและหางเสือเลี้ยว

๕. การประกอบโครงประทุน

๖. การประกอบโครงปีก

๗. การประกอบปีกและปีกเล็กแก้เอียง

๘. การประกอบแท่นเครื่องยนต์

๙. การประกอบชุดห้ามล้อของระบบฐาน

๑๐. การประกอบชุดควบคุมการทำงานของระบบเชื้อเพลิง ระบบระบายอากาศ และอื่น ๆ

ข. การประกอบส่วนประกอบหลักของเครื่องบิน(Major Assembly) คือการนำเอาชุดประกอบโครงสร้างย่อยต่าง ๆ มาประกอบเป็นส่วนประกอบหลักของเครื่องบิน งานที่ทำในระดับการประกอบส่วนประกอบหลักของเครื่องบินมีดังนี้

๑. การประกอบส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ลำตัว ปีก ท่อนหาง ชุดฐาน กระเปาะเครื่องยนต์

๒. ติดตั้งระบบต่าง ๆ เช่น ระบบไฟฟ้า ไฮดรอลิคส์ ภายในส่วนประกอบหลักของเครื่องบิน

๓. ติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบเครื่องยนต์

๔. ติดตั้งระบบควบคุมการทำงานต่าง ๆ ในส่วนประกอบหลัก

ค. การประกอบรวมขั้นสุดท้าย(Final Assembly) คือการนำเอาส่วนประกอบหลักของเครื่องบินมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นเครื่องบินที่สมบูรณ์ งานที่ทำในระดับการประกอบรวมขั้นสุดท้ายได้แก่

๑. ประกอบส่วนประกอบหลักของเครื่องบินเข้าด้วยกัน

๒. พ่นสีและทำเครื่องหมาย

๓. ติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารและอุปกรณ์เครื่องวัดประกอบการบิน

๔. ตรวจสอบการทำงานของระบบต่าง ๆ

๕. ทดสอบบนพื้นและบินทดสอบในอากาศ

การประกอบเครื่องบินให้สำเร็จโดยรวดเร็ว ประหยัด และมีคุณภาพตามที่ได้แผนแบบไว้นั้น จะต้องมีการวางแผนและจัดลำดับขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ ไว้อย่างเหมาะสม โดยพิจารณาว่า งานใดสมควรทำก่อน งานใดสมควรทำทีหลัง และงานใดบ้างที่ควรทำไปพร้อม ๆ กัน

๓.๓ <u>การออกแบบงานกลุ่ม (Group Work) ในการผลิต</u>

การออกแบบงานกลุ่มเป็นเทคนิคการรวมงานของแต่ละบุคคลเข้าด้วยกันเป็นเป็นงานกลุ่ม เพื่อประโยชน์ในการกำหนดวัตถุประสงค์และการวัดผลงาน ซึ่งกระทำได้ง่ายกว่าสำหรับงานกลุ่มเมื่อเปรียบเทียบกับสำหรับงานของแต่ละบุคคล ประโยชน์อีกข้อหนึ่งของงานกลุ่มคือ มีช่องทางที่จะแปรเปลี่ยนกิจกรรมการทำงานของแต่ละบุคคลเพิ่มขึ้น และความรู้สึกมีส่วนร่วมในขบวนการที่ใหญ่กว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อแต่ละคนมีพันธะผูกพันอยู่กับงานอันจำกัดของแต่ละคน คนที่ทำงานในกลุ่มมีโอกาสดีกว่าที่จะร่วมมือกันอย่างต่อเนื่องในการปรับปรุงวิธีการและจัดงานที่ไม่จำเป็นทิ้งไป ทัศนคติจะแปรเปลี่ยนไปในขณะที่น้ำใจทีมพัฒนายิ่งขึ้นไป

๓.๔ <u>ระบบการผลิตกับแนวความคิดงานกลุ่ม</u>

ระบบการผลิตแบ่งออกเป็นชนิดใหญ่ ๆ ได้ ๗ แบบ[๑] ดังนี้

ก. สายการผลิตอิงเครื่องจักร (Machine-paced line) เป็นระบบ

---

[๑] วิจิตร ศัณสุทธิ์ วันชัย ริจิรวนิช จรูญ มหิทธาฟองกุล ชูเวช ชาตเสงาเวช, <u>การศึกษาการทำงาน</u>, กรุงเทพมหานคร, ๒๕๒๔ หน้า ๔๐๔ – ๔๑๕

การผลิตที่เหมาะสมสำหรับสถานะการที่การขนถ่ายวัสดุเป็นปัจจัยสำคัญ เช่น การประกอบขั้นสุดท้ายของโรงงานประกอบรถยนต์ บนสายการประกอบที่ใช้ความเร็วคงที่

ข. สายการผลิตอิงคนงาน(Man-paced line) เป็นระบบการผลิตที่มีกันชนเพื่อช่วยให้สามารถดัดแปลงอัตราเร็วในการทำงานของแต่ละบุคคล เช่นอุตสาหกรรมทำเสื้อผ้าและโรงงานโลหะ

ค. กระบวนการผลิตอัตโนมัติ (Automate process) เป็นระบบการผลิตที่ใช้เครื่องจักรทำงาน เช่นอุตสาหกรรมเหล็กกล้า เคมี และกระดาษกับเยื่อกระดาษ

ง. การปฏิบัติงานรวมศูนย์(Concentrate Operation) เป็นระบบการผลิตที่เหมาะสำหรับการผลิตแบบเป็นรุ่น ซึ่งมีช่วงเวลาสั้นและผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไปเรื่อย

จ. กลุ่มงานสายการผลิตเอนกประสงค์ (Diversified Line Group) เป็นระบบการผลิตที่ค่อนข้างจะเป็นแบบสายการประกอบ แต่เพื่อที่จะสามารถทำงานได้หลายอย่าง ขั้นตอนการปฏิบัติงานบางตอนจึงจัดให้มีขึ้นซ้ำหรือมากกว่า

ฉ. กลุ่มงานบริการ(Service group) เหมาะสำหรับกิจกรรมการซ่อมบำรุง

ช. กลุ่มงานสร้าง(Construction group) เป็นระบบการผลิตที่ผลิตภัณฑ์เป็นศูนย์กลางขององค์งานทั้งหมด ซึ่งก่อตัวขึ้นรอบ ๆ สิ่งที่สร้างขึ้น

งานกลุ่มไม่ได้เหมาะสมกับระบบการผลิตทุกรูปแบบ เมื่อพิจารณาถึงสภาพการทำงานในระบบต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว งานกลุ่มเหมาะสมหรือเป็นแนวความคิดที่ดีเฉพาะกับระบบการผลิตแบบสายการผลิตอิงคนงาน กลุ่มสายการผลิตเอนกประสงค์ กลุ่มงานบริการ และกลุ่มงานสร้างเท่านั้น

๓.๕ <u>งานกลุ่มกับการสร้างเครื่องบิน</u>

งานสร้างเครื่องบินจัดอยู่ในระบบการผลิตแบบกลุ่มงานสร้าง หรือสายการผลิตอิงคนงานก็ได้ งานกลุ่มจึงเป็นแนวความคิดที่ดีสำหรับงานสร้างหรือผลิตเครื่องบิน

การประกอบเครื่องบินโดยทั่วไป แบ่งการทำงานตามลักษณะส่วนประกอบของเครื่องบินได้ดังนี้

ก. กลุ่มงานประกอบลำตัวเครื่องบิน

ข. กลุ่มงานประกอบปีกเครื่องบินและพื้นทั้งคัน

ค. กลุ่มงานประกอบหอนหางและชุดพวงหาง

ง. กลุ่มงานประกอบรวมขั้นสุดท้าย

แต่ละกลุ่มงานมีสถานที่ทำงาน อุปกรณ์เครื่องมือการผลิต อย่างพร้อมมูล เพื่อทำงานให้สำเร็จลุล่วงตามแผนงานได้โดยอิสระ แนวความคิดในการผลิตเครื่องบินแบบกลุ่มงานสร้างและแบบสายการผลิตอิงคนงาน แสดงไว้ในรูปที่ ๓.๑ และ ๓.๒ ตามลำดับ

๓.๖ งานกลุ่มกับการผลิตชิ้นส่วนเครื่องบิน

ชิ้นส่วนของเครื่องบินและของระบบต่าง ๆ ของเครื่องบินที่โรงงานต้องสร้างขึ้นเอง สำหรับการผลิตเครื่องบินแต่ละเครื่องนั้น มีจำนวนนับพันชิ้น ชิ้นส่วนเหล่านี้ผลิตโดยหน่วยงานต่าง ๆ ของโรงงาน แยกเป็นกลุ่มตามความเหมือนของขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตได้ดังนี้

ก. กลุ่มงานโลหะแผ่น มีขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตดังที่แสดงไว้ในรูปที่ ๓.๓ ชิ้นส่วนที่ผลิต ได้แก่

๑. กง(Ribs) และระแนง(Stringer) ของปีก กระโดงหาง ดิ่ง และพื้นบังคับต่าง ๆ

๒. กง(Bulkhead,former,frame) และระแนง(Stringer) ของลำตัวและท่อนหาง

๓. ผนังกันไฟ(Fire wall)

๔. แขงเครื่องวัดและแท่นรองรับอุปกรณ์เครื่องมือสื่อสาร

๕. แผ่นผิวของลำตัว ปีก ท่อนหาง ชุดหางและพื้นบังคับต่าง ๆ

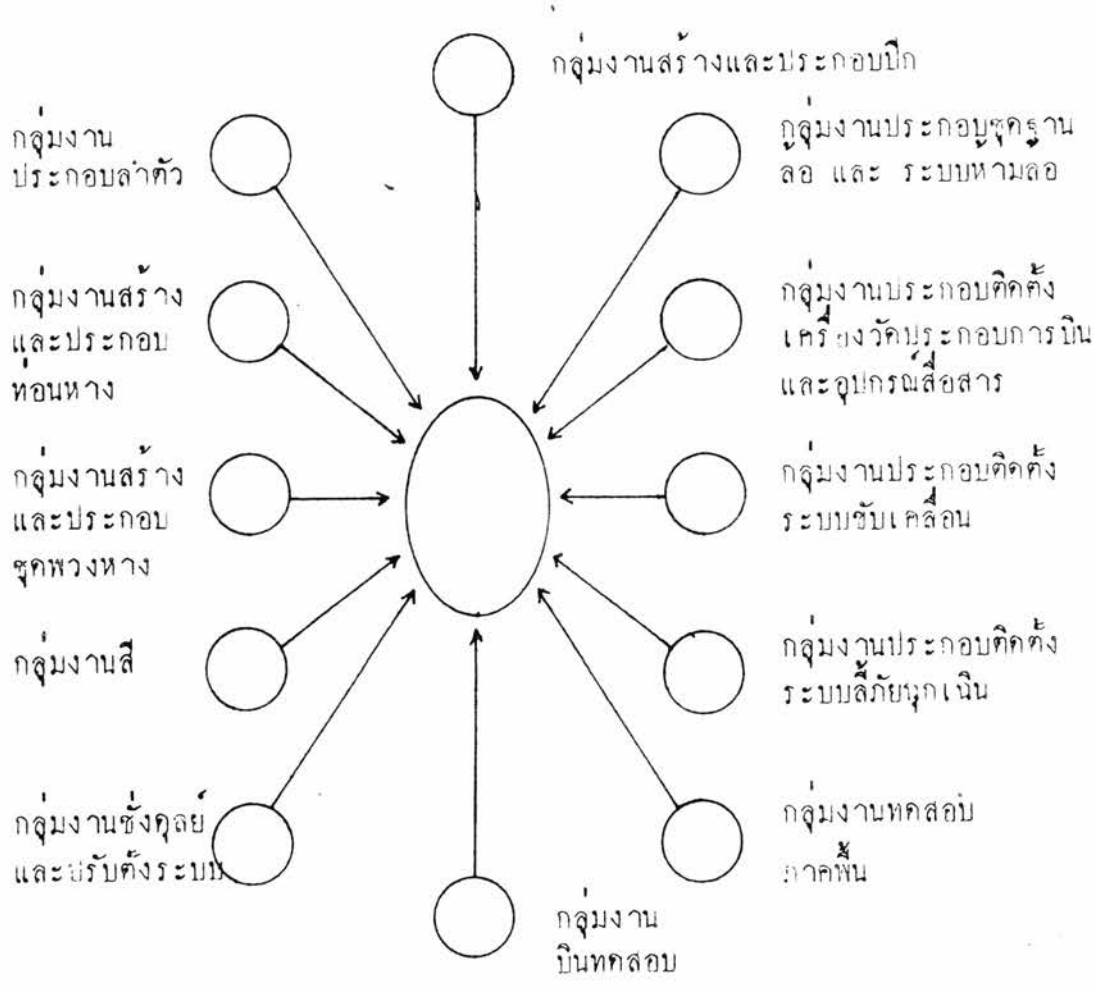
๖. แผ่นพับขึ้นรูป ชิ้นยึด และชิ้นเสริมต่าง ๆ

ข. กลุ่มงานเครื่องมือกล มีขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตดังที่แสดงไว้ในรูปที่ ๓.๔-๓.๕ ชิ้นส่วนที่ผลิต ได้แก่

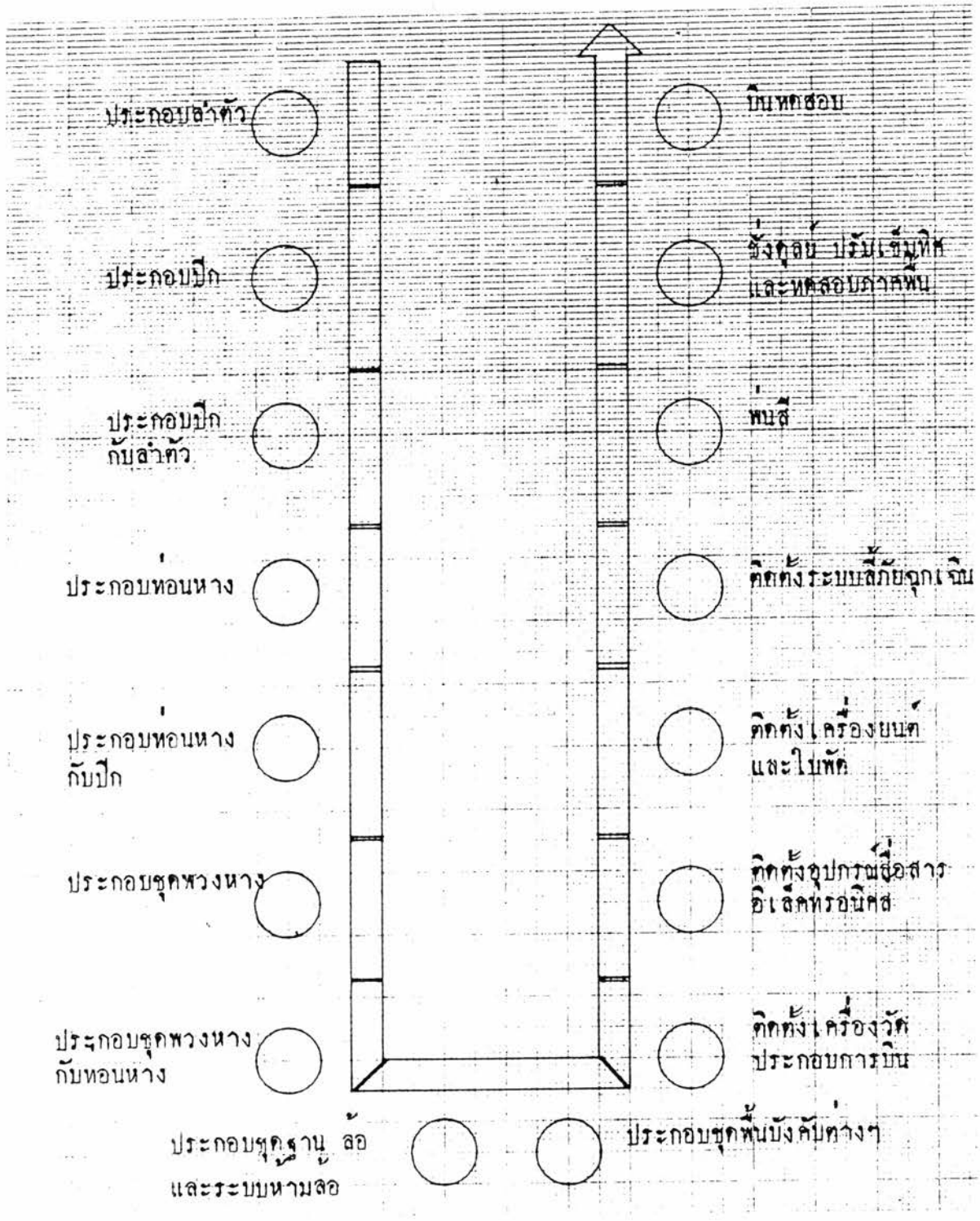
๑. ชิ้นส่วนด้านบนและด้านล่างของแกนปีก (Spar cap) แกนกระโดงหางและแกนของพื้นบังคับต่าง ๆ

๒. ชิ้นยึดและบานพับต่าง ๆ (Fitting and Hinge Assembly) ของลำตัว ปีก หาง กระเปาะฐาน และพื้นบังคับต่าง ๆ

๓. ชิ้นส่วนเสริมโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรงมาก



รูปที่ ๓.๑ แนวความคิดในการผลิตเครื่องบินแบบกลุ่มงานสร้าง



รูปที่ ๓.๒ แนวความคิดในการผลิตเครื่องบินแบบสายการผลิตอิงคนงาน

ค. กลุ่มงานโครงโลหะ มีขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตดังที่แสดงไว้ในรูปที่ ๓.๖ ชิ้นส่วนที่ผลิต ได้แก่

๑. แท่นเครื่องยนต์

๒. โครงเก้าอี้และพนักพิง

๓. ท่อไอเสียของเครื่องยนต์

ง. กลุ่มงานบุผ้า มีขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตดังที่แสดงไว้ในรูปที่ ๓.๗ ชิ้นส่วนที่ผลิต ได้แก่

๑. เบาะรองนั่งและพนักพิง

๒. ผ้าหุ้มเบาะ

๓. ผ้าหุ้มใยแก้ป้องกันความร้อน

จ. กลุ่มงานยางและพลาสติก มีขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตดังที่แสดงไว้ในรูปที่ ๓.๘ – ๓.๙ ชิ้นส่วนที่ผลิต ได้แก่

๑. กระจกบังลมห้องนักบิน

๒. กระจกครอบไฟภายนอก

๓. ฝาครอบปลายปีก แพนหาง และกระโดงหาง

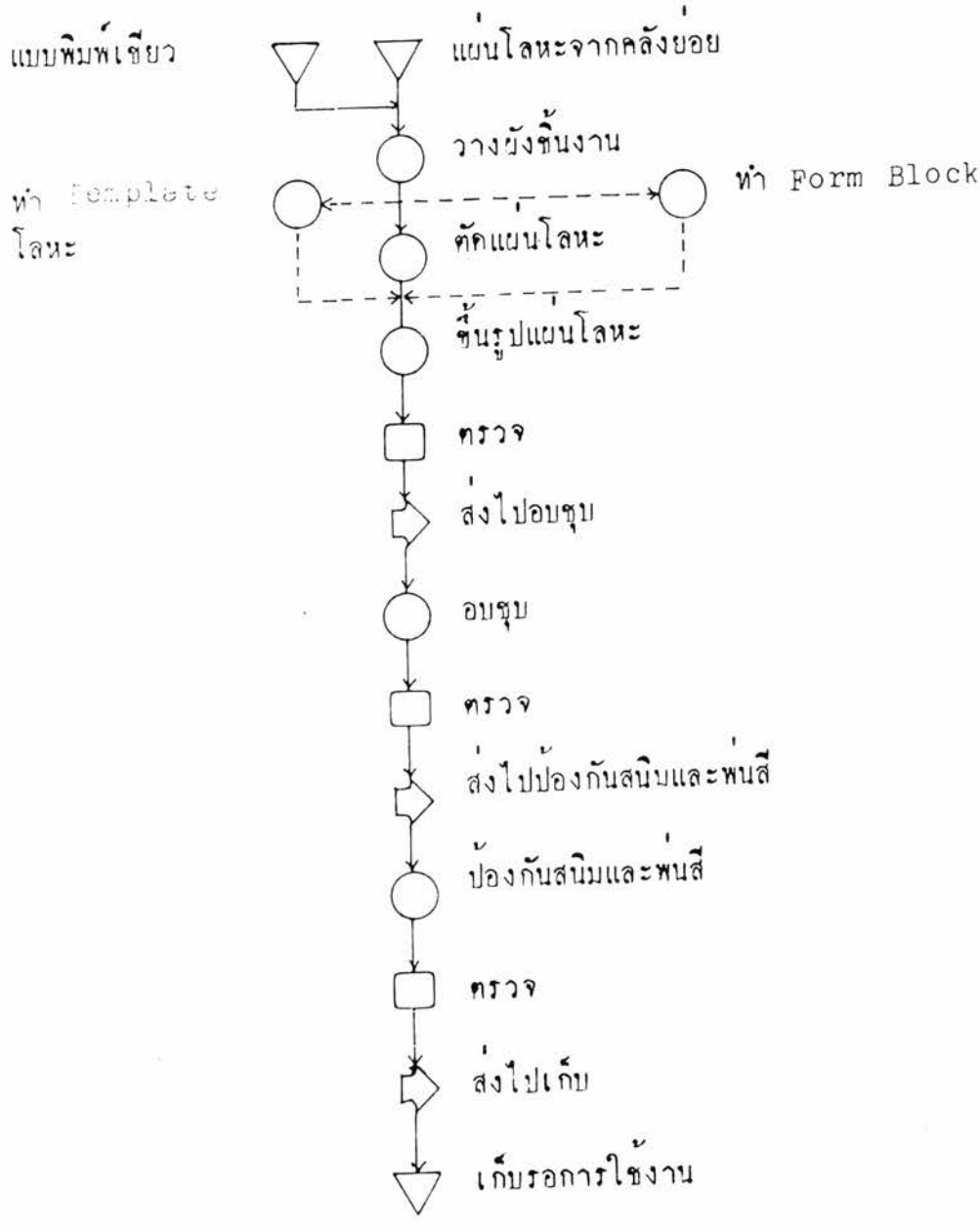
๔. แผ่นปิดช่องรอยต่อระหว่างปีกกับลำตัว

๕. ฝาครอบส่วนหน้าสุดของลำตัว

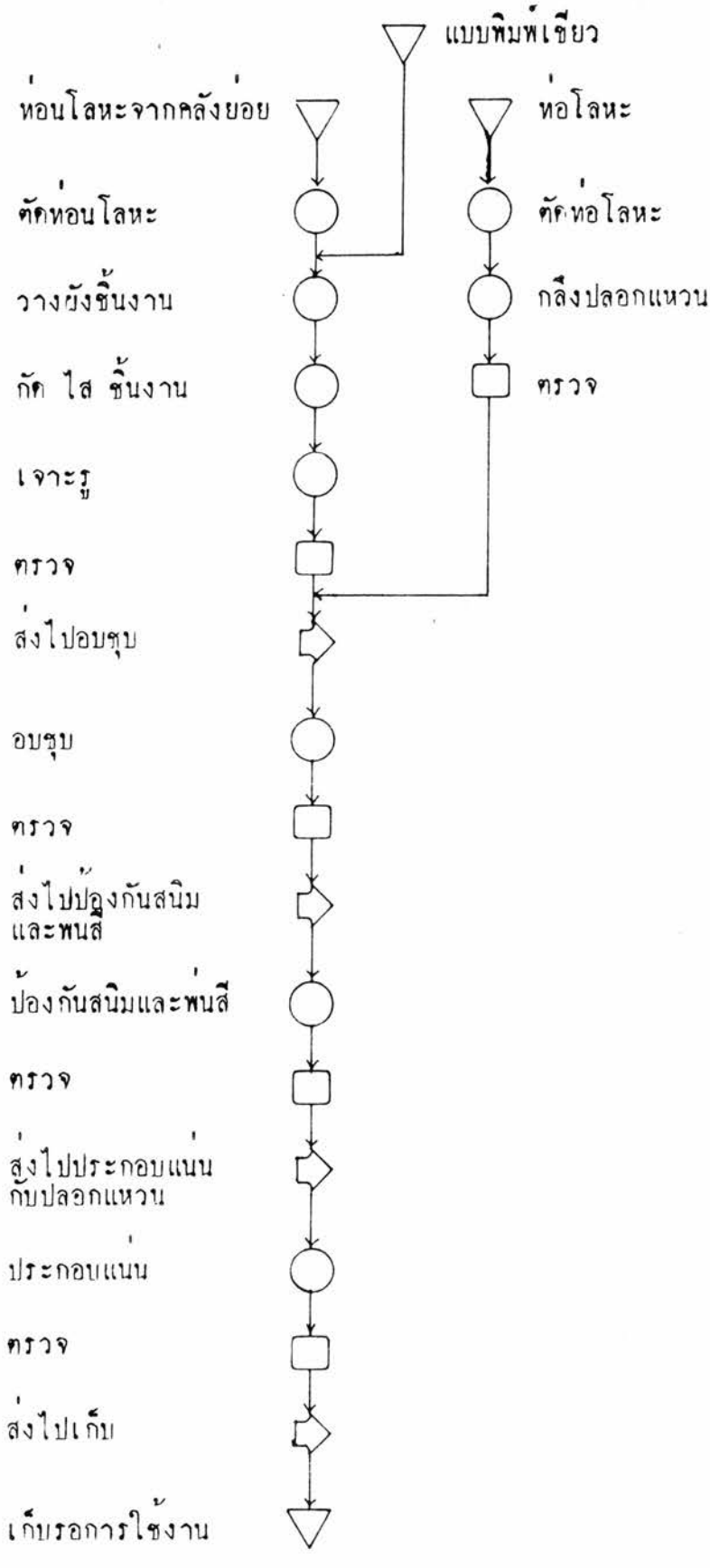
๖. ฝาครอบส่วนหน้าสุดของกระเปาะฐาน

๗. ชิ้นส่วนที่สร้างด้วยไฟเบอร์กลาสอื่น ๆ

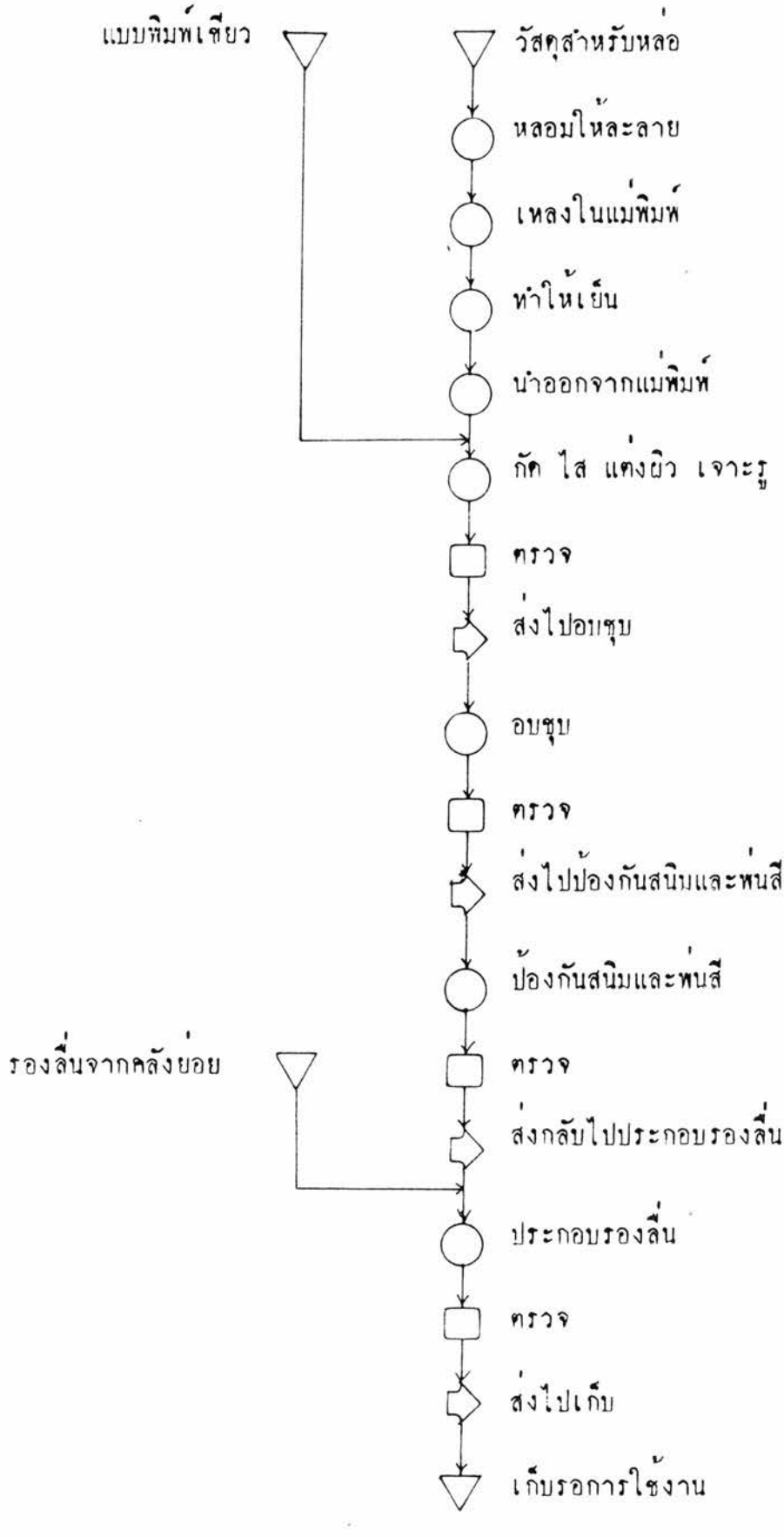
แต่ละกลุ่มงานดังที่กล่าวมาแล้วมีเครื่องจักรเครื่องมือการผลิตสำหรับการแปรรูปวัสดุอย่างพร้อมมูล สำหรับการอบชุบและการป้องกันการผุกร่อนนั้นใช้อุปกรณ์เครื่องมือร่วมกับของโรงงานใหญ่ ซึ่งตามปกตินั้นเครื่องมือเหล่านี้ก็ไม่ค่อยมีงานเข้าอยู่แล้ว



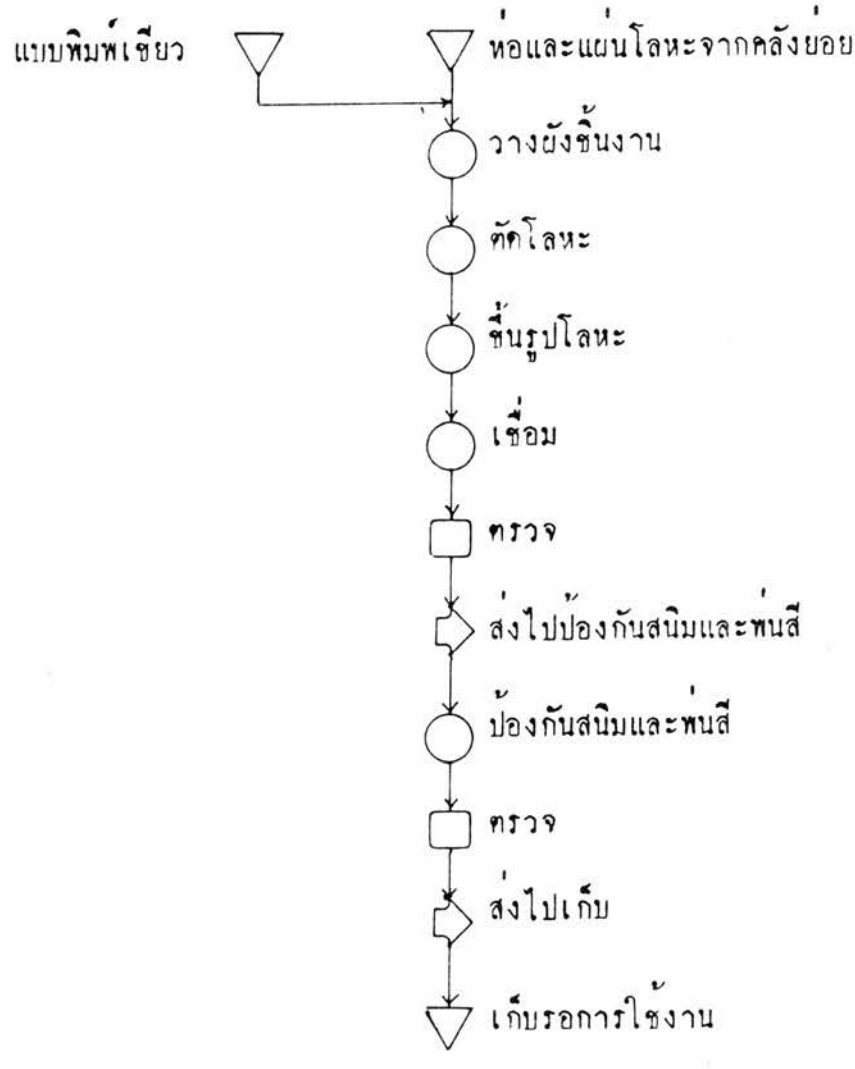
รูปที่ ๓.๓ ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนโดยกลุ่มงานโลหะแผ่น



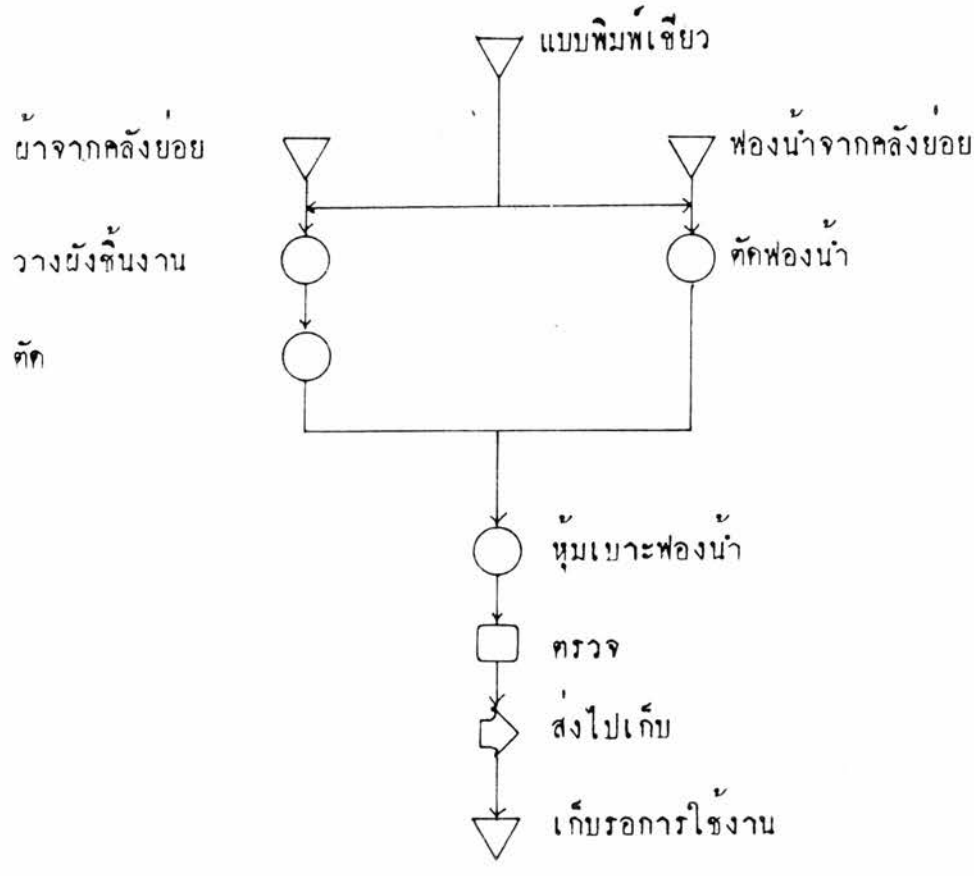
รูปที่ ๓.๔ ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตชิ้นยึดประกอบต่างๆ โดยกลุ่มงานเครื่องมือกล



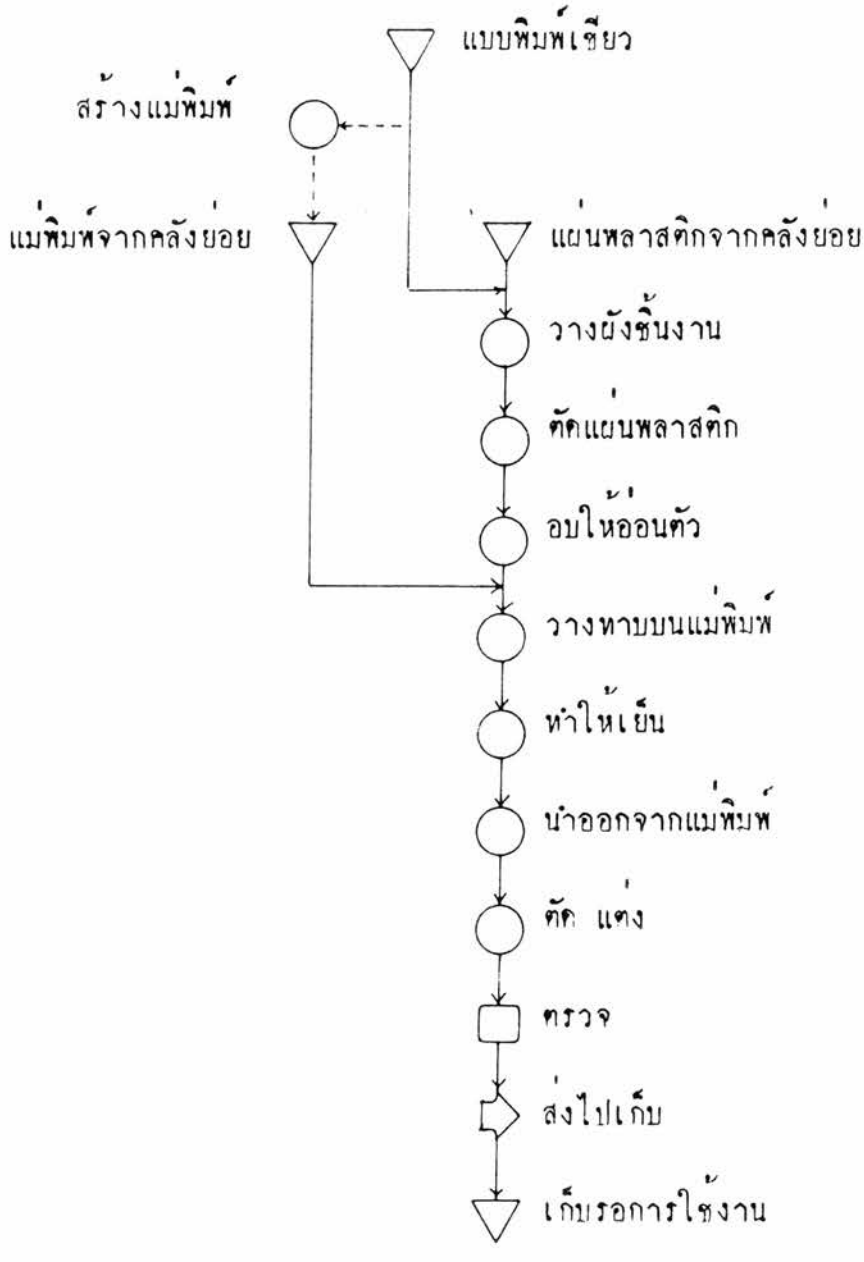
รูปที่ ๓.๕ ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนกระเดื่องระบบคันบังคับโดยกลุ่มงานหล่อหลอมและเครื่องมือกล



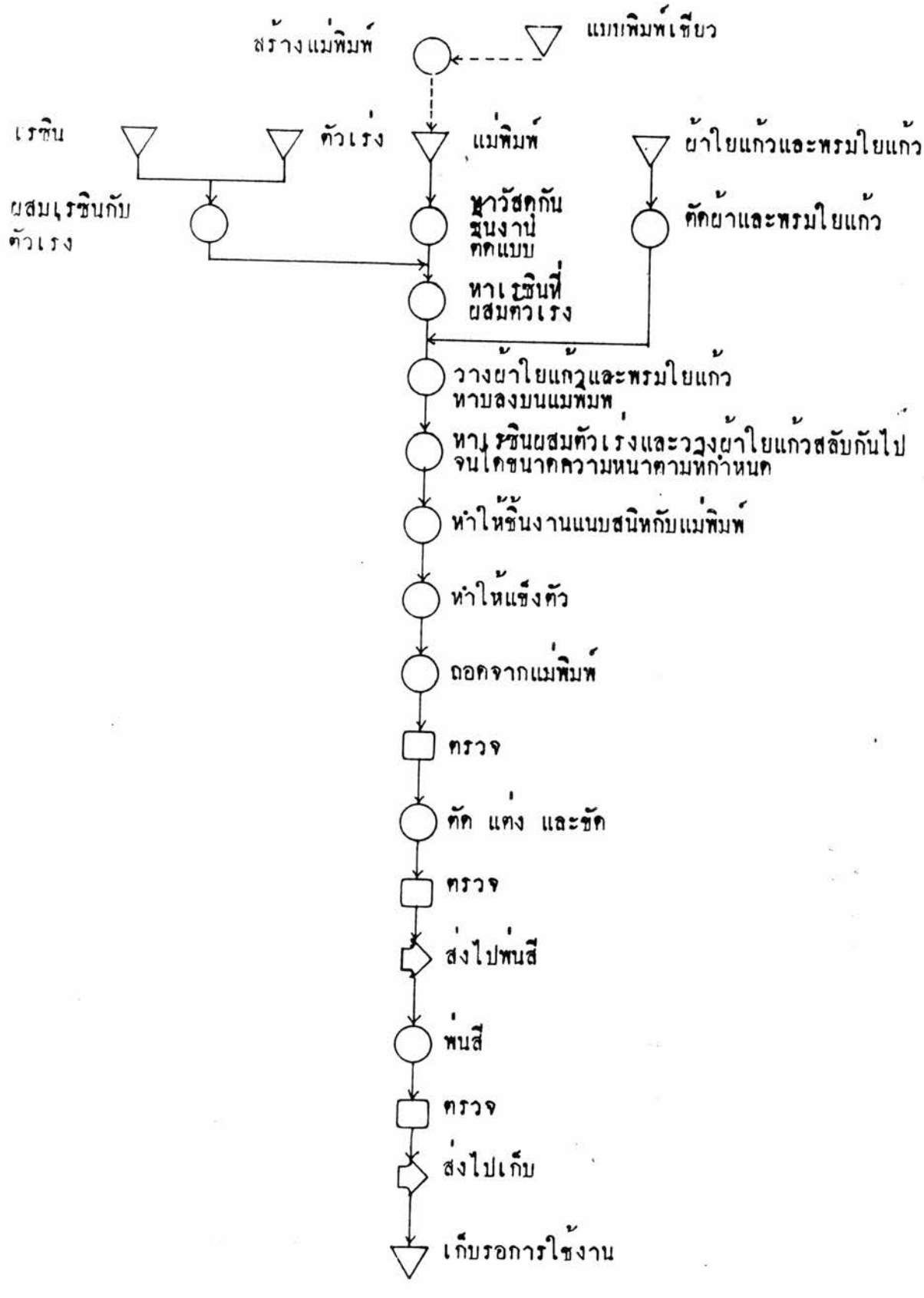
รูปที่ ๓.๖ ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนโดยกลุ่มงานโครงโลหะ



รูปที่ ๓.๙ ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนโดยกลุ่มงานบุผ้า



รูปที่ ๓.๔ ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนกรรมวิธีการขึ้นรูปแผ่นพลาสติกโดยกลุ่มงานยางและพลาสติก



รูปที่ ๓.๔ ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตชิ้นงานไฟเบอร์กลาสโดยกลุ่มงานยางและพลาสติก

๓.๔ การวิเคราะห์ข่ายงาน

การประกอบเครื่องบินมีงานที่จะต้องทำมากมายในระดับการประกอบต่าง ๆ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาด้านการประสานงานและการควบคุม งานแต่ละงานมีความสำคัญในการเป็นตัวเชื่อมโยงงานต่าง ๆ ในโครงงานประกอบ งานประกอบเครื่องบินจะสำเร็จลุล่วงได้ก็ต่อเมื่องานแต่ละงานถูกกระทำเสร็จแล้วอย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้งานแต่ละงานยังมีความสัมพันธ์ระหว่างกันและกันอีกด้วย กล่าวคือในแต่ละขั้นตอนการประกอบนั้นจะมีงานบางอย่างที่ยังทำไม่ได้ จนกว่างานที่ต้องทำก่อนหน้าจะเสร็จเสียก่อน ดังนั้นในการควบคุมการประกอบเครื่องบินให้สำเร็จทันตามเวลาที่กำหนดนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์ว่าที่ขั้นตอนการประกอบใดมีงานใดบ้างที่เป็นงานวิกฤตสำหรับโครงงานประกอบเครื่องบิน

การวิเคราะห์ข่ายงานเป็นเทคนิคที่ใช้ในการวางแผนและควบคุมการผลิตที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะกับโครงการที่มีความสัมพันธ์ระหว่างงานซับซ้อน โครงข่ายงานที่จะใช้ในการวิเคราะห์แสดงในรูปของโครงข่ายไดอะแกรมลูกศร

เหตุการณ์แต่ละเหตุการณ์กำหนดด้วยตัวเลข ตามที่นิยมกันกำหนดดังนี้ เหตุการณ์เริ่มต้นกำหนดด้วยเลข 1 และเหตุการณ์สุดท้ายด้วย n สำหรับเหตุการณ์อื่น ๆ กำหนดด้วยเลข 2 ถึง n-1 ซึ่งถ้าเหตุการณ์ i เกิดก่อนเหตุการณ์ j แล้ว i จะน้อยกว่า j ($i < j$)

สำหรับงาน i,j ใด ๆ ซึ่งหมายถึงงานที่มีเหตุการณ์เริ่มต้น i และเหตุการณ์สิ้นสุด j ($i < j$) นั้น ช่วงเวลางาน (Activity duration) จะกำหนดด้วยสัญลักษณ์ $t(i,j)$ นอกจากนี้ยังมีเวลาเร็วที่สุด (Earliest time)และเวลาช้าที่สุด(Latest time) ที่เหตุการณ์ i และ j สามารถเกิดขึ้นได้ ซึ่งกำหนดด้วยสัญลักษณ์ $E(i), L(i)$ และ $E(j), L(j)$ ตามลำดับ

เวลาเร็วที่สุด (Earliest time)สำหรับเหตุการณ์ใดหมายถึง ณ จุดเวลาที่เร็วที่สุด (the earliest point in time)ที่งานต่าง ๆ ก่อนหน้าเหตุการณ์นั้นได้ถูกกระทำเสร็จหมดแล้ว

เวลาช้าที่สุด (Latest time)สำหรับเหตุการณ์ใดหมายถึง ณ จุดเวลาที่ช้าที่สุด(the latest point in time) ที่เหตุการณ์นั้นจะเกิดขึ้นได้โดยไม่ทำให้เกิด

ความล่าช้าขึ้นกับเหตุการณ์สุดท้ายของโครงข่ายงาน

๓.๗.๑ <u>การหาค่าเวลาที่เหตุการณ์สามารถเกิดขึ้นได้เร็วที่สุด</u>

เวลาที่เหตุการณ์ 1 สามารถเกิดขึ้นได้เร็วที่สุดนั้นพิจารณาได้จากเส้นทางที่มีระยะเวลาทำงานนานที่สุดระหว่างเหตุการณ์ 1 กับเหตุการณ์เริ่มต้น (เหตุการณ์ 1) ในโครงข่ายงานโดยคำนวณจากสมการข้างล่างนี้

$$E(1) = \max_{(k,1)} \left\{E(k)+t(k,1)\right\} \text{ for } 2\leq 1\leq n, k\in \phi \text{ and } E(1)=0 \quad \ldots\ldots\ldots(๓.๑)$$

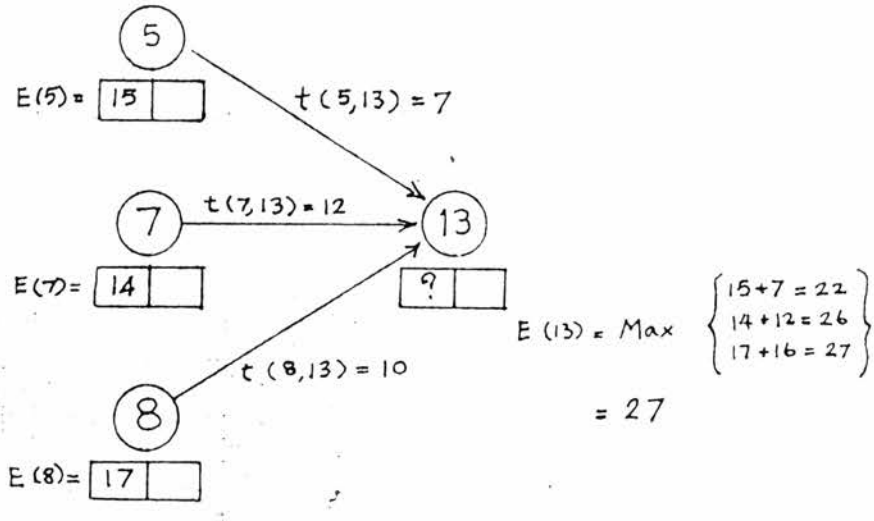
ในสมการนี้ ϕ คือชุดของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เชื่อมโยงโดยตรงกับเหตุการณ์ 1 โดยที่ $1 \leq k < 1$

ตัวอย่างการใช้ สมการ (๓.๑) หาค่าเวลาที่เหตุการณ์สามารถเกิดขึ้นได้เร็วที่สุด แสดงไว้ในรูปที่ ๓.๑๐ ในตัวอย่างนี้แสดงการหาค่าเวลาที่เกิดขึ้นได้อย่างเร็วที่สุด $E(13)$ ของเหตุการณ์ 13 ซึ่งมีเหตุการณ์เกิดขึ้นก่อนหน้าโดยตรง ๓ เหตุการณ์ คือ เหตุการณ์ 5,7 และ 8 และแต่ละเหตุการณ์มีค่าเวลาที่เกิดขึ้นได้อย่างเร็วที่สุดซึ่งสมมติว่าคำนวณได้แล้วโดยวิธีการเดียวกันกับที่จะคำนวณให้กับเหตุการณ์ 13 ดังนี้ $E(5)=15$, $E(7)=14$ และ $E(8)=17$ เมื่อบวกค่าเวลาเร็วที่สุดเหล่านี้ด้วยช่วงเวลาของแต่ละกิจกรรมก่อนหน้าตามลำดับจะได้ $E(5)+t(5,13)=22$ $E(7)+t(7,13)=26$ และ $E(8)+t(8,13)=27$ ค่าเหล่านี้คือค่าที่เป็นไปได้สำหรับเหตุการณ์ 13 ที่จะเกิดขึ้นได้อย่างเร็วที่สุด ดังนั้น $E(13)=33$

การคำนวณค่าเวลาที่เกิดขึ้นเร็วที่สุดของเหตุการณ์ต่าง ๆ ในโครงข่ายงานจะเริ่มคำนวณจากเหตุการณ์เริ่มต้น ซึ่ง $E(1)=0$ ไปทีละเหตุการณ์จากซ้ายไปขวา การคำนวณในลักษณะนี้เรียกว่าการกำหนดหาเวลาไปข้างหน้า (Forward pass through the network)

---

๑ J.R. King, <u>Production Planning and Control</u>, Pergamon Press, New York 1961, pp 195



รูปที่ ๓.๑๐ แสดงวิธีการคำนวณหาค่าเวลาที่เหตุการณ์เกิดขึ้นได้อย่างเร็วที่สุด

๓.๗.๒ <u>การหาค่าเวลาที่เหตุการณ์สามารถเกิดขึ้นได้ช้าที่สุด</u>

เวลาที่เหตุการณ์ l สามารถเกิดขึ้นได้ช้าที่สุดนั้นพิจารณาได้จากเส้นทางที่มีระยะเวลาห่างนานที่สุด ระหว่างเหตุการณ์ l กับเหตุการณ์สุดท้าย (เหตุการณ์ n) ในโครงข่ายงานโดยคำนวณจากสมการข้างล่างนี้

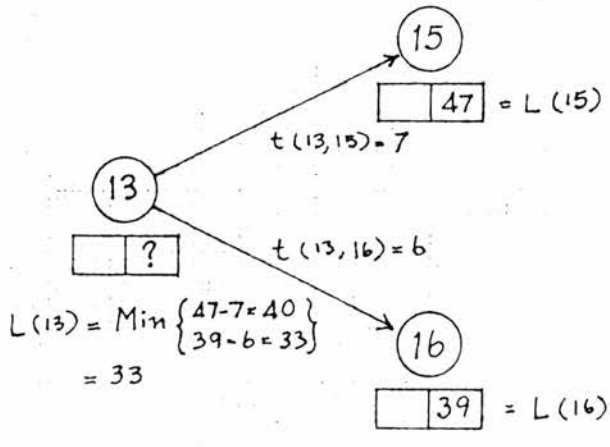
$$L(l) = \min_{(l,m)} \left\{ L(m) - t(l,m) \right\} \quad \text{for } 1 \le l \le n, m \in \Delta \text{ and } L(n) = \lambda \qquad \ldots\ldots\ldots (๓.๒)$$

ในสมการนี้ Δ คือชุดของเหตุการณ์ซึ่งเชื่อมต่อโดยตรงกับเหตุการณ์ l ซึ่ง $l < m \le n$

---

* J.R. King, Production Planning and Control, Pergamon Press, New York 1981, pp 198

ตัวอย่างการใช้สมการ (๓.๒) หาค่าเวลาที่เกิดขึ้นช้าที่สุดของเหตุการณ์แสดงไว้ในรูปที่ ๓.๑๑ ในตัวอย่างนี้แสดงการหาค่าเวลาที่เกิดขึ้นได้อย่างช้าที่สุด $L(13)$ ของเหตุการณ์ 13 ซึ่งมีเหตุการณ์ 15 และ 16 เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตามมาทันที เหตุการณ์ทั้งสองนี้มีค่าเวลาที่เกิดขึ้นได้อย่างช้าที่สุด ซึ่งสมมติว่าคำนวณได้แล้วโดยวิธีการเดียวกันกับที่จะคำนวณให้กับเหตุการณ์ 13 นี้ ดังนี้ $L(15)=47$ และ $L(16)=39$ เมื่อหักค่าเวลาของแต่ละกิจกรรมออกจากค่าเวลาที่เกิดขึ้นได้อย่างช้าที่สุดเหล่านี้ตามลำดับจะได้ $L(15)-t(13,15)=40$ และ $L(16)-t(13,16)=33$ ค่าเหล่านี้คือค่าที่เป็นไปได้สำหรับเหตุการณ์ 13 ที่จะเกิดขึ้นได้อย่างช้าที่สุด ค่าที่ต่ำที่สุดคือค่าที่เหตุการณ์ 13 สามารถเกิดขึ้นได้อย่างช้าที่สุด ดังนั้น $L(13)=33$



รูปที่ ๓.๑๑ แสดงวิธีการคำนวณหาค่าเวลาที่เหตุการณ์สามารถเกิดขึ้นได้อย่างช้าที่สุด

การคำนวณหาค่าเวลาที่เหตุการณ์สามารถเกิดขึ้นได้อย่างช้าที่สุดของเหตุการณ์ต่าง ๆ ในโครงข่ายงานจะเริ่มจากเหตุการณ์สุดท้าย ซึ่งกำหนดค่า $L(n)=E(n)$ ไปทีละเหตุการณ์จากขวาไปซ้าย การคำนวณในลักษณะนี้เรียกว่าการกำหนดหาค่าเวลาย้อนหลัง (Backward pass through the network)

๓.๗.๓ <u>กิจกรรมสมมติ</u> (Dummy Activity)

ในการเขียนโครงข่ายงานนั้น ลูกศรใช้แสดงกิจกรรมและความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมต่าง ๆ แต่ละกิจกรรมจะต้องมีหมายเลขแสดงกิจกรรมโดยไม่ซ้ำกัน (Unique identification number) เช่น (5,6),(6,8),(6,9),(9,10) ตัวเลขในวงเล็บตัวหน้าหมายถึงเหตุการณ์เริ่มต้น ส่วนตัวหลังหมายถึงเหตุการณ์สิ้นสุดของกิจกรรม

ในกรณีที่หลายกิจกรรมมีเหตุการณ์เริ่มต้นและเหตุการณ์สิ้นสุดเหมือนกันจะต้องแยกกิจกรรมเหล่านี้ออกจากกันโดยการเพิ่มกิจกรรมสมมติซึ่งแสดงด้วยลูกศรเส้นประเข้าไป ดังตัวอย่างในรูปที่ ๓.๑๒ ในรูป ๓.๑๒ ก กิจกรรม x และ y มีเหตุการณ์เริ่มต้นและเหตุการณ์สิ้นสุดเดียวกัน ซึ่งไม่ถูกต้องตามหลักการเขียนโครงข่ายงาน รูป ๓.๑๒ ค ได้มีการเพิ่มกิจกรรมสมมติเข้าไปทำให้กิจกรรม x และ y มีหมายเลขกิจกรรมไม่ซ้ำกันคือ 6,8 และ 6,9 ตามลำดับ สำหรับกิจกรรมสมมตินั้นมีค่าเวลากิจกรรมเป็นศูนย์เสมอ ในตัวอย่างนี้กิจกรรมสมมติคือ 8,9

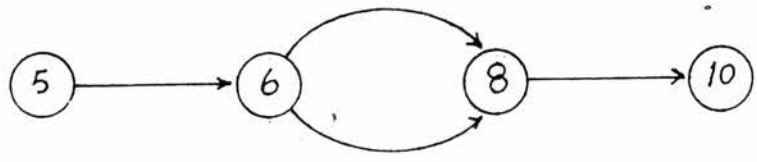
๓.๗.๔ <u>ช่วงเวลาปฏิบัติงานซึ่งจะต้องเสร็จช้าไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้</u>

ในโครงข่ายงานนั้น แต่ละกิจกรรมจะมีค่าเวลาสำหรับการทำงาน (Time duration for the activity) กำหนดไว้ด้วยเสมอสำหรับเหตุการณ์เริ่มต้น i และเหตุการณ์สิ้นสุด j ของกิจกรรม i,j จึงสามารถคำนวณหาเวลาที่เหตุการณ์เกิดขึ้นได้อย่างเร็วที่สุด E(i) และ E(j) และเวลาที่เหตุการณ์เกิดขึ้นได้อย่างช้าที่สุด L(i) และ L(j) ได้ดังที่ได้กล่าวมาแล้วใน ๓.๗.๑ และ ๓.๗.๒

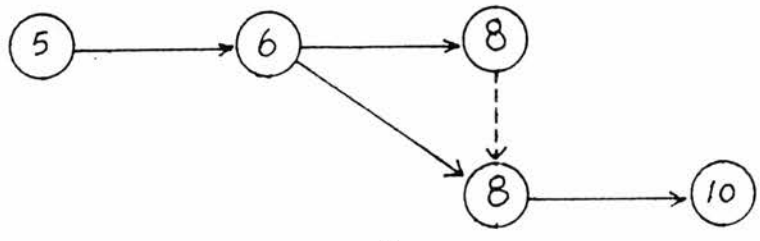
กิจกรรมใดก็ตาม ถ้าเวลาที่มีไว้สำหรับทำงานมากกว่าเวลาที่ต้องใช้ในการทำงานแล้ว กิจกรรมนั้นจะมีค่า Float หรือ Slack มาเกี่ยวข้องด้วย

Float หรือ Slack เป็นช่วงเวลาการปฏิบัติงานซึ่งจะต้องเสร็จช้าไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (Float ใช้ใน CPM ส่วน Slack ใช้ใน PERT) มีอยู่ ๓ แบบ คือ

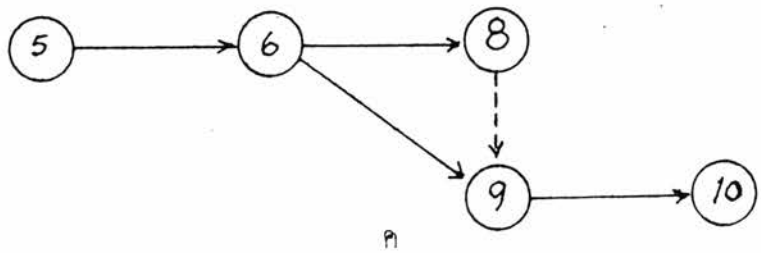
ก. Independent Float เป็น Float ที่กิจกรรมมีได้น้อยที่สุด พิจารณาจากการที่เหตุการณ์เริ่มต้นของกิจกรรมเกิดขึ้น



ก



ข

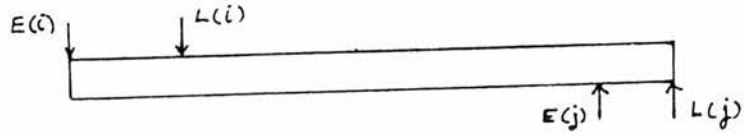


ค

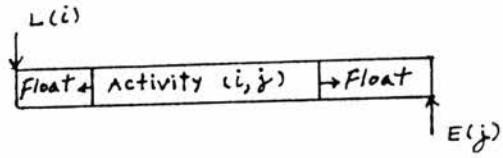
รูปที่ ๓.๑๒ ก. การเขียนโครงงานที่ผิดหลักเกณฑ์

ข. การเขียนกิจกรรมสมมติอย่างไม่ถูกต้อง

ค. การเขียนกิจกรรมสมมติอย่างถูกต้อง

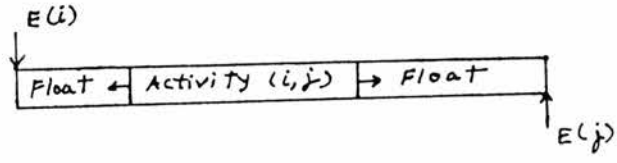


ก. เวลาที่เกิดขึ้นเร็วที่สุดและช้าที่สุดของเหตุการณ์ i และ j



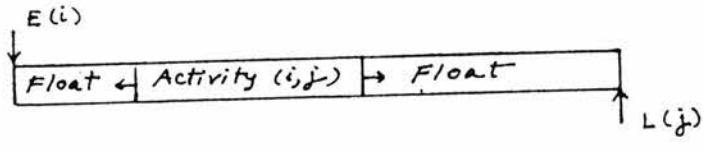
ข. Independent Float สำหรับกิจกรรม (i,j)

$$I(i,j) = E(j) - L(i) - t(i,j)$$



ค. Free Float สำหรับกิจกรรม (i,j)

$$F(i,j) = E(j) - E(i) - t(i,j)$$



ง. Total Float สำหรับกิจกรรม (i,j)

$$T(i,j) = L(j) - E(i) - t(i,j)$$

รูปที่ ๓.๑๓ แสดง Float แบบต่างๆของกิจกรรม (i,j)

อย่างช้าที่สุดและเหตุการณ์สิ้นสุดของกิจกรรมเกิดขึ้นอย่างเร็วที่สุด Float ชนิดนี้แม้จะถูกใช้หมดก็ไม่มีผลกระทบกระเทือนต่องานที่ตามมา Independent Float แสดงด้วยกราฟ ดังในรูปที่ ๓.๑๓ ข และคำนวณได้ดังนี้

$$I(i,j) = E(j)-l(i)-t(i,j)$$

ข. Free Float คือเวลาที่ยอมให้ปฏิบัติงานช้าได้ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด ถ้าไม่สามารถทำงานให้เสร็จได้ภายในกำหนดจะมีผลกระทบกระเทือนต่องานอื่นทั้งโครงการ Float ชนิดนี้พิจารณาจากการที่เหตุการณ์เริ่มต้นของกิจกรรมเกิดขึ้นอย่างเร็วที่สุดเช่นกัน Free Float แสดงด้วยกราฟดังในรูป ๓.๑๓ ค และคำนวณได้ดังนี้

$$F(i,j) = E(j)-E(i)-t(i,j)$$

ค. Total Float คือเวลาที่ยอมให้ปฏิบัติงานได้ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด ถ้าไม่สามารถทำงานให้เสร็จได้ภายในกำหนดจะมีผลกระทบกระเทือนต่องานที่คิดตามมาเท่านั้น Float ชนิดนี้พิจารณาได้จากการที่เหตุการณ์เริ่มต้นของกิจกรรมเกิดขึ้นอย่างเร็วที่สุดและเหตุการณ์สิ้นสุดของกิจกรรมเกิดขึ้นอย่างช้าที่สุด Total Float แสดงด้วยกราฟ ดังในรูปที่ ๓.๑๓ ง และคำนวณได้ดังนี้

$$T(i,j) = L(j)-E(i)-t(i,j)$$

๓.๗.๕ <u>เวลาทำงานของกิจกรรมที่ไม่แน่นอน</u>

ในการสร้างเครื่องบินนั้น ระยะเวลาทำงานของแต่ละกิจกรรมไม่สามารถกำหนดค่าได้แน่นอน การวิเคราะห์โครงข่ายงานการสร้างเครื่องบินจึงนิยมใช้เทคนิค "เพิท" (PERT = Program Evaluation and Review Technique)

เพิท เป็นเทคนิคการวิเคราะห์โครงข่ายงานโดยใช้ค่าประมาณระยะเวลาสำหรับกิจกรรม (i,j) ๓ ค่า คือ O(i,j),N(i,j) และ P(i,j)

O(i,j) หรือ Optimistic time estimate เป็นระยะเวลาที่ผู้ประมาณการคาดว่าจะทำงาน (i,j) เสร็จ ในกรณีที่งานทุกขั้นตอนดำเนินไปตามแผนอย่างถูกต้องและมีโอกาสเพียง ๑ ใน ๑๐๐ เท่านั้นที่งานจะเสร็จเร็วกว่านี้

M(i,j) หรือ Normal or most likely time estimate เป็นระยะเวลาที่ผู้ประมาณการคาดว่าจะทำงาน (i,j) เสร็จในสภาพการทำงานที่เป็นไปอย่างปกติ

P(i,j) หรือ Pessimistic time estimate เป็นระยะเวลาที่ผู้ประมาณการคาดว่าจะทำงาน (i,j) เสร็จในกรณีที่เกิดความล่าช้าขึ้น และมีโอกาสเพียง ๑ ใน ๑๐๐ เท่านั้นที่งานจะเสร็จช้ากว่านี้

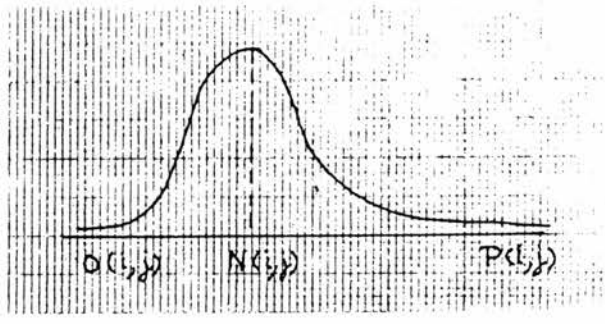
เพิท เป็นเทคนิคที่พัฒนาขึ้นโดย The Program Evaluation Branch ของกองทัพเรือสหรัฐฯ เมื่อปี ค.ศ. ๑๙๕๘ สำหรับใช้ควบคุมโครงการผลิตอาวุธนำวิถีแบบ Polaris ผู้ออกแบบเทคนิคเพิท ได้เลือกรูปแบบการกระจายของเวลากิจกรรมแบบเบต้า (Beta) ดังในรูป ๓.๑๔ ค่าประมาณระยะเวลาสำหรับกิจกรรมที่มีการกระจายข้อมูลแบบเบต้า คำนวณได้ดังนี้

$$\hat{t}(i,j) = \frac{O(i,j) + 4M(i,j) + P(i,j)}{6} \quad \text{.....(๓.๓)}^{๑}$$

และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$\sigma(i,j) = \frac{P(i,j) - O(i,j)}{6} \quad \text{.....(๓.๔)}^{๓}$$

๑,๒ J.K. King, Production Planning and Control, Pergamon Press, New York 1961, pp 213



รูปที่ ๓.๑๔ การกระจายข้อมูลแบบเบต้า

๓.๗.๖ <u>เส้นทางวิกฤตของโครงการ</u>

เส้นทางการทำงานในโครงข่ายงานซึ่งผ่านเหตุการณ์ที่มีค่าเวลาเริ่มต้นได้อย่างเร็วที่สุดเท่ากับเวลาเริ่มต้นได้อย่างช้าที่สุด เรียกว่าเส้นทางวิกฤต ความล่าช้าที่เกิดในขั้นตอนการทำงานใดก็ตามที่เป็นกิจกรรมบนเส้นทางวิกฤตจะทำให้หมายกำหนดการแล้วเสร็จของโครงงานต้องล่าช้าออกไปอีกด้วยเวลาล่าช้าเท่ากัน

ในกรณีที่เวลาทำงานของกิจกรรมไม่แน่นอน การคำนวณเพื่อหาเส้นทางวิกฤตดำเนินการเช่นเดียวกับกรณีที่สามารถกำหนดเวลาสำหรับกิจกรรมได้อย่างแน่นอน โดยใช้ค่า $\hat{t}(i,j)$ แทน $t(i,j)$

$\sum \hat{t}(i,j)$ บนเส้นทางวิกฤต คือระยะเวลาที่คาดคะเนว่าโครงการจะแล้วเสร็จซึ่งมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน คำนวณได้ดังนี้

$$\sigma = \sqrt{\sum \{ \sigma(i,j)^2 \text{ บนเส้นทางวิกฤต} \}} \quad \ldots\ldots (๓.๕)^{๑}$$

---

๑ J.R. King, Production Planning and Control, Pergamon, New York 1981, pp 214

๓.๗.๗ การจัดหมายกำหนดการทำงานในกรณีที่มีทรัพยากรจำกัด

(Network Scheduling with Limited Resource)

การจัดทำหมายกำหนดการด้านการใช้ทรัพยากรแรงงานทำได้สองแบบ คือ แบบแรกเป็นการจัดทรัพยากรให้เหมาะสมโดยจำกัดเวลาแล้วเสร็จของโครงการเท่าเดิม (Resource Leveling) ส่วนแบบที่สองเป็นการจัดทรัพยากรที่มีอยู่ให้เพียงพอกับงานที่ต้องการใช้โดยให้ได้ระยะเวลาแล้วเสร็จของโครงการสั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้ (Resource Allocation) สำหรับงานสร้างเครื่องบินของกรมช่างอากาศนั้นประสบปัญหาด้านทรัพยากรแรงงานซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด การจัดทรัพยากรจึงควรเลือกแบบที่สอง

ในการวิเคราะห์โครงข่ายงานนั้น เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของทรัพยากรกับเวลา (Resource-Time Profile) สำหรับกรณีที่เหตุการณ์ต่าง ๆ ทุกเหตุการณ์เริ่มต้นเร็วที่สุดมักจะได้รูปกราฟที่มีระดับความต้องการของแรงงานในแต่ละวันแตกต่างกันมาก ดังเช่นกราฟแรงงาน–เวลา ของโครงข่ายงานการประกอบลำตัวเครื่องบิน ทอ.๕ ในบทที่ ๔ รูปที่ ๔.๒๕ ความแตกต่างของระดับความต้องการแรงงานนี้สามารถปรับให้มีความแตกต่างกันน้อยที่สุดได้โดยการจัดกิจกรรมที่มี Slack ให้อยู่ในช่วงเวลาการทำงานที่เหมาะสม การปรับระดับความต้องการของแรงงานให้อยู่ภายใต้ข้อกำหนดของปริมาณแรงงานที่มีไว้สำหรับทำงาน อาจมีผลให้ระยะเวลาแล้วเสร็จของโครงการเลื่อนช้าออกไปอีกดังในบทที่ ๔ รูปที่ ๔.๒๗

หลักการที่มีผู้คิดขึ้น (Heuristic Program) สำหรับใช้ในการจัดทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้กับงานมีดังนี้

๑. จัดทรัพยากรให้ตามเวลาโดยเริ่มตั้งแต่วันเริ่มของโครงการและจัดหมายกำหนดการของงานทุกงานที่ทำพร้อมกันในวันที่เริ่มโครงการใหม่ เมื่อรวมทรัพยากรที่ต้องการของทุก ๆ งานแล้วต้องไม่เกินปริมาณทรัพยากรที่มีอยู่แล้ว เริ่มทำใหม่ในวันที่ ๒ โดยกระทำในทำนองเดียวกัน

๒. ถ้าปริมาณความต้องการของทรัพยากรในวันนั้นมากกว่าปริมาณของทรัพยากรที่มีอยู่ ต้องจัดทรัพยากรให้กับงานที่มี Slack น้อยที่สุดก่อน

๓. จัดหมายกำหนดการทำงานของกิจกรรมที่มีอยู่บนเส้นทางวิกฤตอีกครั้ง (ถ้ามี) แล้วจึงจัดทรัพยากรให้แก่กิจกรรมบนเส้นทางวิกฤต หรืองานที่ไม่มี Slack

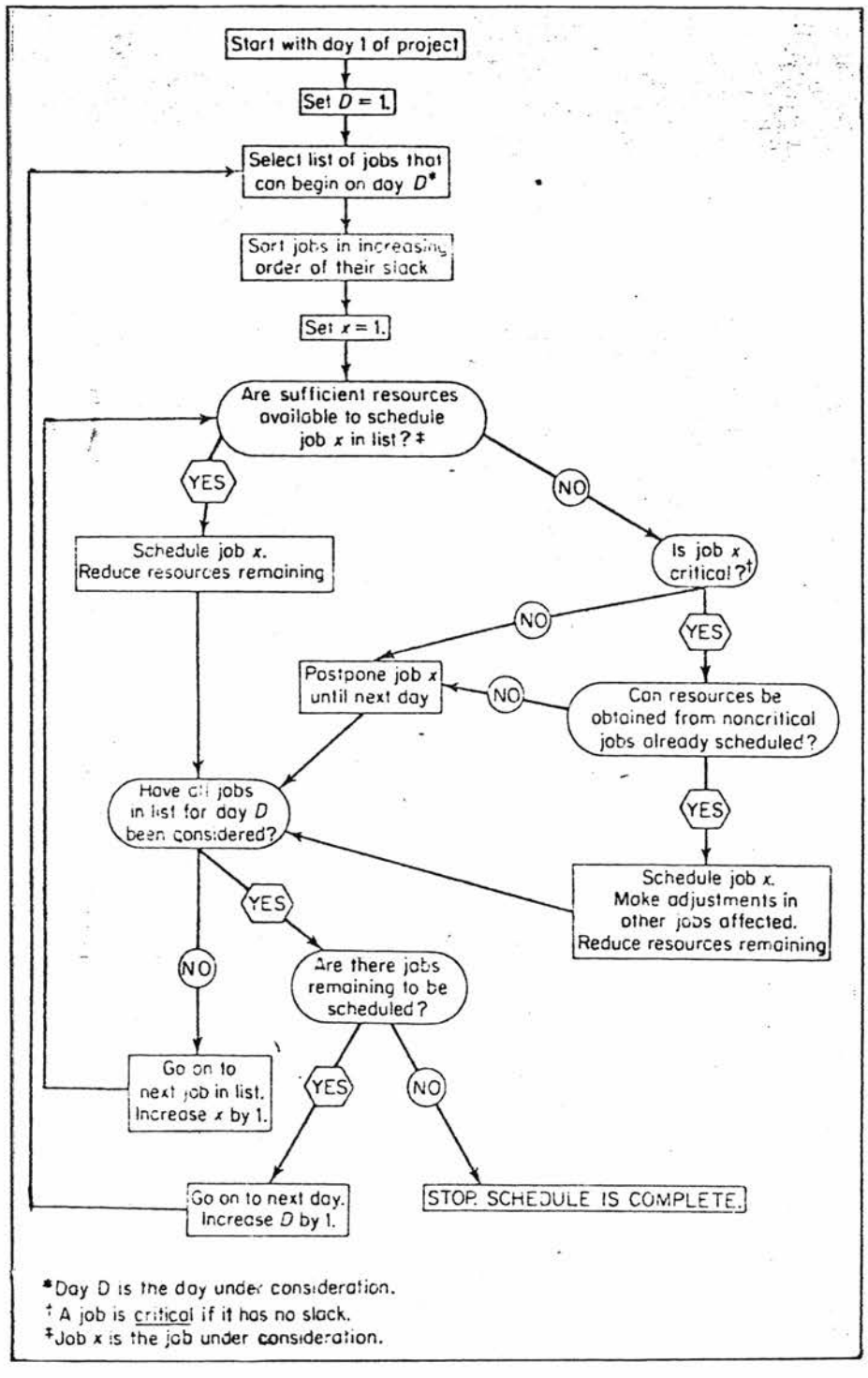
การดำเนินการจัดหมายกำหนดการตามหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ เมื่อได้จัดหมายกำหนดการให้แก่งานใดในวันก่อนหน้านี้แล้วจะต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลง เว้นแต่ว่าจะเข้าในหลักการข้อ ๓

รูป ๓.๑๕ เป็น Flow Chart ของโปรแกรมที่ J.D. Wiest เป็นผู้คิดขึ้นเพื่อใช้ในการจัดหมายกำหนดการด้านการใช้ทรัพยากรแรงงานในโครงการที่ประสบปัญหาเกี่ยวกับแรงงานจำกัด โดยจัดหมายกำหนดการทำงานของแต่ละงานในโครงการให้สอดคล้องกับจำนวนแรงงานที่มีอยู่อย่างจำกัด วิธีการจัดหมายกำหนดการแบบนี้จะทำให้ระยะเวลาแล้วเสร็จของโครงการล่าช้าออกไปบ้าง แต่เป็นวิธีที่ทำให้ล่าช้าออกไปน้อยที่สุด

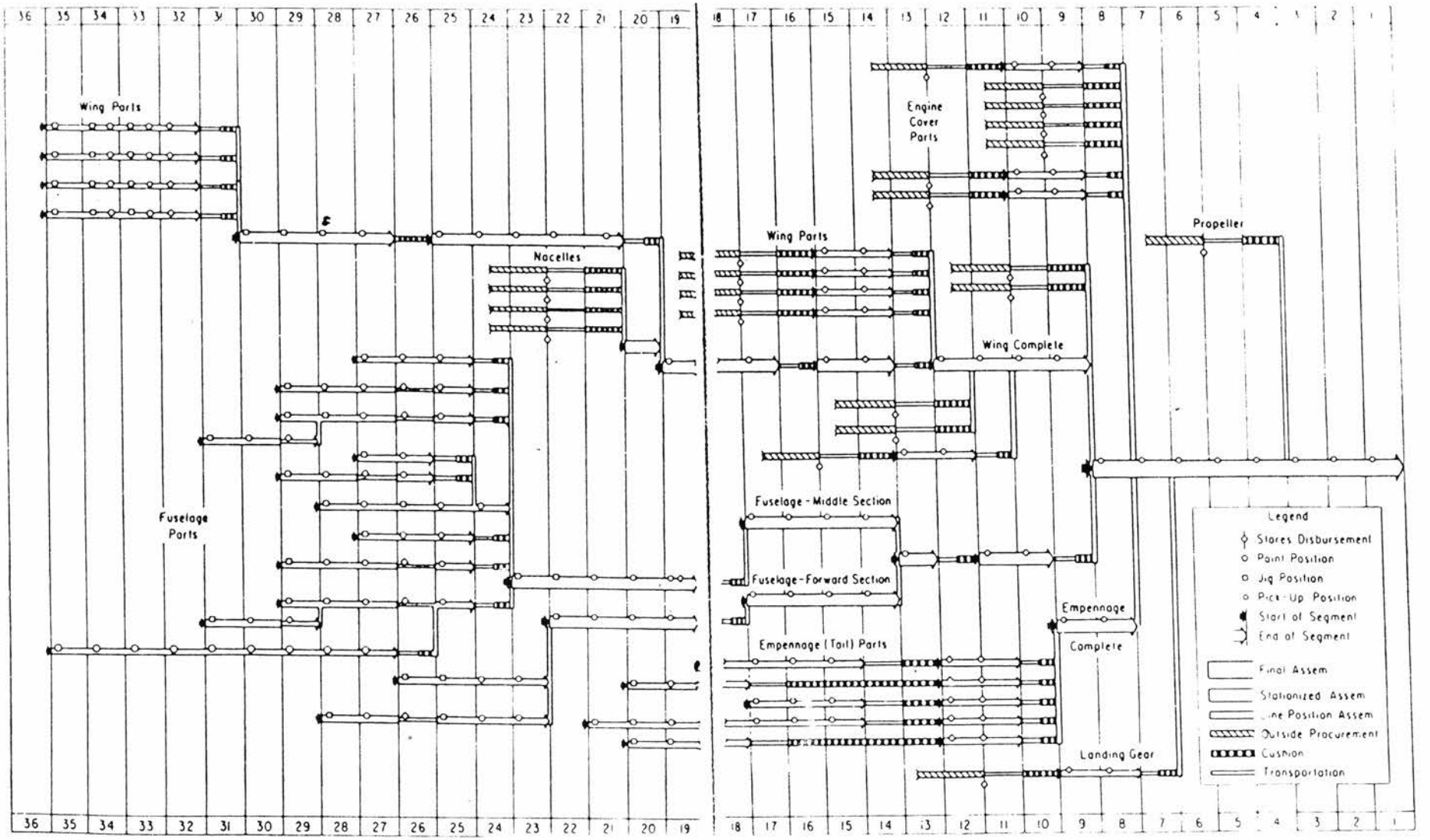
๓.๔ ไดอะแกรมการประกอบเครื่องบิน

ไดอะแกรมการประกอบเครื่องบินเป็นเครื่องมือพื้นฐานสำหรับการจัดหมายกำหนดการทำงานหลัก (Master Schedule) ซึ่งได้จากการผนวกแผนการทำงานของกลุ่มงานประกอบต่าง ๆ เข้าไว้ด้วยกัน โดยกำหนดเวลาเริ่มต้นการทำงานของแต่ละกลุ่มงานให้เหมาะสมและสอดคล้องกับสายการประกอบเครื่องบิน ไดอะแกรมการประกอบนี้เป็นเครื่องมือควบคุมการผลิตที่เป็นประโยชน์มากสำหรับการจัดหมายกำหนดการสร้างชิ้นส่วนและการจัดหาอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อป้อนเข้าสายการประกอบเครื่องบิน ตัวอย่างของไดอะแกรมการประกอบเครื่องบินแสดงไว้ในรูปที่ ๓.๑๖ ไดอะแกรมประกอบด้วยช่องเขียนตามแนวยืนมีตัวเลขกำกับไว้เพื่อแสดงตำแหน่งงาน (Work Position) และสัญลักษณ์ต่าง ๆ ในแนวนอนเพื่อแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับการทำงาน ช่องแสดงตำแหน่งงานถูกแบ่งไว้ให้มีความกว้างเท่า ๆ กัน ซึ่งหมายความว่าแต่ละตำแหน่งงานใช้เวลาปฏิบัติงานเท่ากัน

การประกอบเครื่องบินเครื่องแรกของสายการผลิตนั้น แต่ละตำแหน่งงานอาจจะมีค่าช่วงเวลาทำงานหรือค่าเวลาของตำแหน่งงาน (Position Value) มากกว่าของ



รูปที่ ๓.๑๕ Flow Chart สำหรับใช้ในการจัดหมายกำหนดการด้านการใช้ทรัพยากรณ์แรงงานที่มีอยู่อย่างจำกัด คิดขึ้นโดย J.D. Wiest.



รูปที่ ๓.๑๖ ไดอะแกรมการประกอบเครื่องบิน อิเล็คต้า ของบริษัทล็อคฮีด

เครื่องอื่น ๆ ที่สร้างขึ้นภายหลัง เพราะเป็นช่วงของการเรียนรู้งาน เมื่อได้ทำงานจนเกิดความชำนาญแล้ว ค่าเวลาของตำแหน่งงานก็จะลดลง การเรียนรู้งานจะเกิดมากขึ้นเมื่อทำการผลิตเครื่องบินได้เป็นจำนวนมากขึ้น ซึ่งมีผลช่วยให้ค่าเวลาของตำแหน่งงานลดลงได้ หากการผลิตมีความจำเป็นจะต้องลดค่าเวลาของตำแหน่งงานลงอีก ก็สามารถทำได้โดยการเพิ่มแรงงานหรือความพยายามในการทำงานให้กับทุกสถานีปฏิบัติงานหรือกลุ่มงานในขณะที่กรรมวิธีการเรียนรู้งานยังดำเนินต่อไปอย่างมีผล

๓.๔ <u>ระบบตัวเลขดัชนี</u>

บริษัทเครื่องบินและชีปนาวุธในต่างประเทศ เช่น บริษัทล็อคฮีด และบริษัทนอร์ธรอป แห่งสหรัฐอเมริกา นิยมใช้ตัวเลขสำหรับการควบคุมการผลิต ๒ ระบบ คือ ระบบแรกเป็นหมายเลขชิ้นส่วน ส่วนอีกระบบหนึ่งคือดัชนีชิ้นส่วน ระบบตัวเลขดัชนีนี้เหมาะสำหรับใช้ในการกำหนดตารางและควบคุมการผลิตชิ้นส่วนและชุดประกอบที่มีการผลิตเป็นรุ่น

โรงงานของกรมช่างอากาศ ถ้าจะทำการผลิตชิ้นส่วนและชุดประกอบย่อยต่าง ๆ แบบเป็นรุ่นก็สามารถประยุกต์ระบบตัวเลขดัชนีมาใช้ในการควบคุมและกำหนดตารางการผลิตชิ้นส่วนและชุดประกอบย่อยได้ สำหรับการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous Production) นั้น ควรเลือกหาวิธีการควบคุมการผลิตแบบอื่น เพราะระบบตัวเลขดัชนีใช้ไม่ได้ผลกับการผลิตแบบต่อเนื่อง

ช่วงเวลาสร้างคือปัญหาใหญ่ของการผลิตเครื่องบิน ชิ้นส่วนบางอย่างต้องการใช้โดยเร็ว แต่บางอย่างต้องการใช้ในอีกหลายเดือนข้างหน้า การจัดตารางการผลิตชิ้นส่วนเพื่อให้ชิ้นส่วนต่าง ๆ เสร็จทันตามเวลาต้องการใช้นั้นเป็นงานค่อนข้างยากและถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการออกแบบ จำนวนการผลิตหรือเวลาความต้องการผลิตภัณฑ์แล้ว การจัดทำตารางการผลิตชิ้นส่วนก็จะยิ่งยากขึ้น

ตัวเลขดัชนีเป็นตัวเลขชี้แสดงให้เห็นว่าชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องบินเข้าสู่สายการประกอบเป็นเครื่องบินได้อย่างไร และชิ้นส่วนแต่ละอย่างนั้นใช้เวลาสร้างนานเท่าไร ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนและกำหนดตารางการผลิตว่าชิ้นส่วนอะไรจะต้องสร้างให้เสร็จเมื่อไร และจะเริ่มผลิตเมื่อไร

ตามปกตินั้นรายการชิ้นส่วนและรายละเอียดเกี่ยวกับการสร้างของชิ้นส่วนทั้งหมดจะถูกส่งไปยังโรงงาน ส่วนการผลิตจะกระทำเมื่อได้รับคำสั่งจากหน่วยงานควบคุมการผลิตซึ่งเป็นผู้จัดทำตารางการผลิต การออกคำสั่งผลิตนี้จะสั่งในลักษณะเป็นกลุ่มของชิ้นส่วนทุก ๆ ช่วงเวลาการผลิต ซึ่งตัวเลขรหัสนี้เองที่เป็นตัวกำหนดว่า ในแต่ละสัปดาห์หรือช่วงเวลาการผลิตนั้นจะต้องผลิตชิ้นส่วนอะไรบ้าง

ทุก ๆ ขั้นตอนการประกอบย่อยและทุก ๆ ชิ้นส่วนจะมีตัวเลขรหัสนี้ชิ้นส่วนกำกับไว้เสมอ ตัวเลขรหัสนี้ชิ้นส่วนจะบอกให้ทราบถึง

ก. ระดับขั้นการประกอบ (Stage of Assembly) ที่ชิ้นส่วนเข้าสู่เครื่องบิน

ข. ลักษณะรูปแบบ (Form) ที่ชิ้นส่วนเข้าสู่เครื่องบินซึ่งอาจเข้าไปโดยตรง เป็นส่วนหนึ่งของชุดประกอบ หรือเข้าไปในลักษณะของชุดประกอบก็ได้

ค. เวลาที่ใช้ในการผลิต (Manufacturing Time) สำหรับการผลิตเป็นรุ่นของชิ้นส่วนต่าง ๆ และการประกอบชุดประกอบย่อย

เป็นที่น่าสังเกตว่าชิ้นส่วนต่างหมายเลขกันก็อาจมีตัวเลขรหัสนี้ชิ้นส่วนเดียวกันได้ ถ้าชิ้นส่วนเหล่านั้นเป็นส่วนประกอบของชุดประกอบเดียวกันและมีวัฏจักรการผลิต (Manufacturing Cycle Time) เท่ากัน

ระบบตัวเลขรหัสนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับโครงการผลิตเครื่องบินของกรมช่างอากาศ ซึ่งต้องมีการสร้างชิ้นส่วนเป็นรุ่น ๆ เป็นจำนวนมาก ดังเช่น โครงการผลิตเครื่องบินโจมตีขนาดเบาแบบ ทอ.๕ ได้ ถ้าหากประยุกต์มาจากระบบตัวเลขรหัสนี้ของบริษัทล็อคฮีด แห่งสหรัฐอเมริกา ตัวเลขรหัสนี้ชิ้นส่วนสำหรับใช้กับโรงงานของกรมช่างอากาศจะมีลักษณะดังนี้ คือ ชุดตัวเลขประกอบด้วยตัวเลข ๓ ตัว ตัวแรกซึ่งอยู่ซ้ายมือสุด แยกออกจาก ๒ ตัวหลังด้วยเครื่องหมาย – เป็นตัวเลขที่บอกให้ทราบถึงลักษณะที่ชิ้นส่วนเข้าสู่เครื่องบินในการประกอบขั้นสุดท้าย

ตัวเลขตัวแรกมีความหมายดังนี้

1 หมายถึง ชิ้นส่วนเข้าสู่สายการประกอบในลักษณะเป็นชิ้นส่วนย่อย

2 หมายถึง เข้าไปกับลำตัว

3 หมายถึง เข้าไปกับท่อนหาง

4 หมายถึง เข้าไปกับชุดพวงหาง

5 หมายถึง เข้าไปกับปีก

6 หมายถึง เข้าไปกับพื้นบังคับของปีก

7 หมายถึง เข้าไปกับชุดฐาน

8 หมายถึง เข้าไปกับเครื่องยนต์

ตัวเลขที่สองบอกให้ทราบว่าชิ้นส่วนเข้าสู่สายการประกอบได้อย่างไรดังนี้

– 0 หมายถึง เข้าไปในลักษณะเป็นส่วนประกอบหลัก

– 1 หมายถึง เข้าไปในลักษณะเป็นชิ้นส่วนย่อย

– 2 หมายถึง เข้าไปในลักษณะเป็นชุดประกอบย่อย

ตัวเลขตัวที่สามบอกให้ทราบถึงเวลา (คิดเป็นสัปดาห์) ที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนเป็นรุ่น เช่น ชิ้นส่วนที่มีตัวเลขรหัสนี้ชิ้นส่วน 3–12 หมายถึงชิ้นส่วนที่เข้าสู่ท่อนหางในลักษณะเป็นชิ้นส่วนย่อยและต้องใช้เวลาในการผลิตชิ้นส่วนรุ่นนี้ ๒ สัปดาห์

การใช้ระบบตัวเลขรหัสนี้ควบคุมและกำหนดตารางการผลิตชิ้นส่วนและชุดประกอบย่อยนั้นจะต้องมีกฎเกณฑ์อื่น ๆ เพื่อใช้ควบคู่กันไปอีก เช่น กฎเกณฑ์ที่ได้มาจากประสบการณ์ในการผลิตเครื่องบินของบริษัทล็อคฮีด ดังต่อไปนี้

กฎข้อที่ ๑ การสร้างชิ้นส่วนทุกรุ่นจะต้องสร้างให้เสร็จและเก็บเข้าคลังเพื่อรอใช้งานอย่างน้อย ๓ สัปดาห์ก่อนที่ชิ้นส่วนชิ้นแรกจะถูกนำไปใช้งาน

กฎข้อที่ ๒ ชุดประกอบย่อยทุกรุ่นจะต้องดำเนินการเสร็จและเก็บเข้าคลังเพื่อรอใช้งานอย่างน้อย ๑ $\frac{๑}{๒}$ สัปดาห์ ก่อนที่ชุดประกอบย่อยชุดแรกจะถูกนำไปใช้งาน

กฎข้อที่ ๓ การผลิตชิ้นส่วนแต่ละรุ่นนั้นจะต้องใช้เวลาตามกำหนดนับเป็นสัปดาห์ และสูงสุดไม่เกิน ๔ สัปดาห์ ขึ้นอยู่กับลักษณะของชิ้นส่วนแต่ละอย่าง สำหรับชิ้นส่วนที่มีลักษณะพิเศษเท่านั้นที่ยอมให้ใช้เวลานานกว่านี้ได้

กฎข้อที่ ๔ การประกอบชุดประกอบย่อยแต่ละรุ่นจะต้องใช้เวลาไม่เกิน ๑ สัปดาห์

กฎข้อที่ ๕ ชุดประกอบย่อยต่าง ๆ จะไม่สร้างก่อนนำไปใช้งานมากกว่า ๒ ระดับชั้นการประกอบ

๓.๑๐ การคำนวณเวลาเริ่มการผลิตในระบบตัวเลขดัชนี

ในการออกคำสั่งผลิตชิ้นส่วนนั้น ผู้สั่งจะต้องทราบก่อนว่าชิ้นส่วนนั้นจะใช้เมื่อไร ใช้เวลาผลิตนานเท่าไร และจะต้องผลิตให้เสร็จก่อนการใช้งานเท่าไร โดยพิจารณาเวลาที่ต้องการใช้ชิ้นส่วนจากไดอะแกรมการประกอบเครื่องบิน เวลาที่ใช้ในการผลิตและลักษณะที่ชิ้นส่วนเข้าสู่สายการประกอบจากตัวเลขดัชนีชิ้นส่วน และระยะเวลาแล้วเสร็จก่อนการใช้งานจาก กฎข้อที่ ๑ และกฎข้อที่ ๒

เวลาเริ่มการผลิตชิ้นส่วนล่วงหน้าสำหรับกรณีที่ชิ้นส่วนเข้าสู่สายการประกอบในลักษณะเป็นชิ้นส่วนย่อย คำนวณได้ดังนี้

เวลาเริ่มการผลิตล่วงหน้า = เวลาที่ต้องการใช้ชิ้นส่วน – (ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วน – ระยะเวลาเผื่อตามกฎข้อที่ ๑)

ตัวอย่างเช่น ชิ้นส่วนที่มีตัวเลขดัชนี 3-11 ซึ่งหมายถึงชิ้นส่วนที่ต้องใช้เวลาสร้าง ๑ สัปดาห์ และเข้าสู่ท่อนหางของเครื่องบินในลักษณะของชิ้นส่วนย่อยนั้น จะต้องออกคำสั่งผลิตก่อนใช้งาน ๔ สัปดาห์ (ระยะเวลาเผื่อตามกฎข้อที่ ๑ ๓ สัปดาห์ และระยะเวลาผลิต ๑ สัปดาห์)

สำหรับการออกคำสั่งสร้างชิ้นส่วนที่ต้องมีการประกอบเป็นชุดประกอบย่อยก่อนนั้น คำนวณเวลาเริ่มผลิตล่วงหน้าได้ดังนี้

เวลาเริ่มการผลิตล่วงหน้า = เวลาที่ต้องการใช้ชุดประกอบ – (ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วน – ระยะเวลาเผื่อตามกฎข้อที่ ๑ – ระยะเวลาสำหรับการประกอบย่อย – ระยะเวลาเผื่อตามกฎข้อที่ ๒)

ตัวอย่างเช่น ชิ้นส่วนที่มีตัวเลขดัชนีชิ้นส่วน 3-34 ซึ่งหมายถึงชิ้นส่วนที่ต้องประกอบเป็นชุดประกอบย่อยก่อนที่จะประกอบเข้ากับท่อนหางของเครื่องบิน และใช้เวลาในการผลิตชิ้นส่วนนาน ๔ สัปดาห์นั้น จะต้องออกคำสั่งผลิตก่อนกำหนดใช้งานอย่างน้อย ๔ $\frac{๒}{๒}$ สัปดาห์ ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

กฎข้อที่ ๒ กำหนดว่าชุดประกอบย่อยต้องเสร็จก่อนกำหนดใช้งานอย่างน้อย ๑ $\frac{๒}{๒}$ สัปดาห์

กฎข้อที่ ๔ กำหนดว่าชิ้นส่วนต้องสร้างเสร็จก่อนกำหนดใช้งานอย่างน้อย ๑ สัปดาห์

กฎข้อที่ ๑ กำหนดว่าชิ้นส่วนต้องสร้างเสร็จก่อนกำหนดใช้งานอย่างน้อย ๓ สัปดาห์

เนื่องจากการผลิตชิ้นส่วนนี้ใช้เวลานาน ๔ สัปดาห์ ดังนั้นจึงต้องออกคำสั่งผลิตล่วงหน้าอย่างน้อย ๑$\frac{๒}{๒}$ − ๑ − ๓ − ๔ = ๔$\frac{๒}{๒}$ สัปดาห์

๓.๑๑ <u>ขนาดรุ่นของชิ้นส่วน</u>

การกำหนดขนาดรุ่นของชิ้นส่วนในวงการอุตสาหกรรมผลิตเครื่องบิน แตกต่างไปจากการกำหนดรุ่นของอุตสาหกรรมการผลิตสินค้าอุปโภค บริโภค ทั่ว ๆ ไป ซึ่งผลิตตามขนาดรุ่นที่ประหยัด (Economic Lot Size) เนื่องจากเครื่องบินเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีต้นทุนการผลิตสูงมาก การกำหนดขนาดรุ่นของชิ้นส่วนที่จะผลิต จึงนิยมกำหนดให้มีขนาดเพียงพอต่อการใช้งานในการผลิตเครื่องบินรุ่นหนึ่ง ๆ เท่านั้น ขนาดรุ่นดังกล่าวนี้ ไม่จำเป็นต้องเป็นรุ่นประหยัด