บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบผลิตภัณฑ์และการผลิต ตลอดจนการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ทางธุรกิจในปัจจุบันมีการแข่งขันกันสูงมาก ไม่ว่าจะเป็นการแข่งขันกันเองภายในประเทศหรือแม้กระทั่งระหว่างประเทศก็ตาม โรงงานอุตสาหกรรมหลายแห่งต่าง หาวิธีการเพื่อที่จะเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของตนเองเพื่อสามารถสร้างผลกำไรให้แก่บริษัทได้ อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องใช้เซรามิกส์ บนโต๊ะอาหารก็เช่นกันในปัจจุบันนั้นนับว่ามีการเติบโตสูงขึ้น มีการแข่งขันกันในตลาดโลก ทำให้องค์กรต้องมีการปรับตัวเพื่อให้สามารถแข่งขันกับคู่แข่งได้ผู้ประกอบการจำเป็นต้องปรับกลยุทธ์เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันด้วยการพัฒนาคุณภาพของสินค้า และลดเวลาในการผลิตสินค้า เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้สูงสุด ผู้วิจัยได้เสนอแนวทางสำหรับการออกแบบและสร้างต้นแบบซึ่งนับว่าเป็นวิธีการที่น่าสนใจอีกวิธีหนึ่ง ในการนี้สำหรับการดำเนินการ จำเป็นที่จะต้องมีข้อมูลสนับสนุน หรือมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องซึ่งพอที่จะสรุปได้ดังต่อไปนี้

2.1 ต้นแบบ (Prototype)

ต้นแบบ หมายถึง การประมาณผลิตภัณฑ์ตามความสนใจที่กำหนดขึ้น เมื่อใช้คำจำกัดความนี้จะเห็นว่า ต้นแบบของผลิตภัณฑ์อาจมีได้หลายรูปแบบ เช่น ภาพร่าง โมเดลทางคณิตศาสตร์และต้นแบบที่เป็นวัตถุทางกายภาพซึ่งสามารถทำงานได้

ต้นแบบอาจแบ่งได้ตามกฎเกณฑ์หลักๆ อยู่ 2 อย่าง อย่างแรกคือ แบ่งตามปริมาณความเป็นกายภาพเกณฑ์ที่สอง คือ แบ่งตามความคลอบคลุมลักษณะต่างๆ ต้นแบบที่เป็นกายภาพ คือวัตถุที่สร้างขึ้นเพื่อประมาณผลิตภัณฑ์ ทีมออกแบบจะสร้างตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่สนใจเข้ากับต้นแบบเพื่อทำการทดสอบตัวอย่าง เช่น หุ่นที่มีรูปแบบเหมือนผลิตภัณฑ์ ต้นแบบที่ใช้ทดสอบแนวความคิดผลิตภัณฑ์อย่างหยาบๆ เครื่องมือสำหรับทดสอบหน้าที่การทำงานของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ส่วนต้นแบบเชิงวิเคราะห์ (Analytical Prototype) จะใช้แทนผลิตภัณฑ์ในลักษณะที่จับต้องไม่ได้ โดยทำการวิเคราะห์แง่มุมต่างๆ ในเชิงคณิตศาสตร์ แทนที่จะสร้างขึ้นมาจริงๆ ตัวอย่างของต้นแบบเชิงวิเคราะห์ เช่น การจำลองทางคอมพิวเตอร์ ชุดสมการที่เก็บในโปรแกรม Spread Sheet และแบบจำลองสามมิติบนคอมพิวเตอร์ อย่างไรก็ตามต้นแบบอาจมีลักษณะผสมระหว่างวัตถุทางกายภาพและต้นแบบเชิงวิเคราะห์ก็ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการสร้างต้นแบบนั้น แนวปฏิบัติที่นิยมทั่วไป คือ สร้างต้นแบบสองชุดสำหรับตรวจสอบผลการทำงานโดยรวมของผลิตภัณฑ์ โดยชุดที่หนึ่งมีรูปร่างเหมือนผลิตภัณฑ์จริง ส่วนชุดที่สองเป็นแบบที่ทำงานได้เหมือนจริง การสร้างต้นแบบสองชนิดแยกจากกัน จะช่วยให้ทีมงานแก้ปัญหาในการออกแบบผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่า การสร้างต้นแบบหนึ่งชนิดที่ครอบคลุมคุณสมบัติทุกอย่าง

2.1.1 ประเภทของต้นแบบ

ในการแบ่งประเภทของต้นแบบนอกจากจะใช้เกณฑ์ที่ได้กล่าวในข้างต้นแล้ว อุตสาหกรรม ส่วนใหญ่ยังนิยมจัดประเภทของต้นแบบตามช่วงเวลาที่สร้างขึ้นด้วย ดังนี้

(1) ต้นแบบอัลฟา (α) มักสร้างจากชิ้นส่วนที่มีรูปร่างและคุณสมบัติตามที่ต้องการใช้ในงานผลิตจริง แต่ไม่จำเป็นต้องสร้างจากกระบวนการผลิตจริง ในทางปฏิบัติจะสร้างในกระบวนการผลิตต้นแบบ เช่น ชิ้นส่วนของต้นแบบอัลฟาอาจสร้างด้วยเครื่องจักร แทนที่จะใช้เครื่องฉีดพลาสติกสำหรับงานจริง ต้นแบบอัลฟาจะถูกนำไปทดสอบเพื่อตัดสินว่า ผลิตภัณฑ์ทำงานตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ สามารถตอบสนองความต้องการหลักของลูกค้าได้หรือไม่ เป็นต้น

(2) ต้นแบบเบต้า (β) มักสร้างโดยชิ้นส่วนที่ผลิตจากกระบวนการผลิตหรือซื้อจาก ผู้ขายชิ้นส่วนที่ต้องการใช้บริการจริง แต่ผลิตภัณฑ์มักไม่ประกอบขึ้นจากกระบวนการประกอบขั้นสุดท้ายในโรงงานจริง เช่น ชิ้นส่วนของต้นแบบเบต้า อาจจะขึ้นรูปด้วยการฉีดพลาสติกแต่ประกอบโดยช่างเทคนิคในโรงงานต้นแบบ แทนที่จะประกอบโดยคนงานผลิตหรืออุปกรณ์อัตโนมัติ ต้นแบบเบต้ามักสร้างขึ้นภายหลังและผ่านการประเมินอย่างละเอียด พร้อมทั้งอาจจะมีการทดสอบโดยลูกค้าด้วยจุดมุ่งหมายของต้นแบบเบต้า คือ ใช้ศึกษาสมรรถนะการทำงานและความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งหาข้อผิดพลาดที่เหลือในผลิตภัณฑ์ เพื่อพิจารณาว่าต้องแก้ไขแบบผลิตภัณฑ์หรือไม่

(3) ต้นแบบก่อนการผลิต (Preproduction Prototype) เป็นผลิตภัณฑ์ชิ้นแรกที่ผลิตโดยกระบวนการผลิตทั้งหมด ในเวลานี้กระบวนการผลิตยังทำงานไม่เต็มขีดความสามารถและสร้างผลิตภัณฑ์ได้จำนวนจำกัด ต้นแบบดังกล่าวมีจุดหมาย เพื่อใช้ทดสอบขีดความสามารถของกระบวนการผลิตจริง

2.1.2 ประโยชน์ของต้นแบบ

ในการออกแบบผลิตภัณฑ์นั้น ต้นแบบสามารถใช้เพื่อประโยชน์หลายอย่าง ดังนี้

(1) การเรียนรู้ ต้นแบบมักใช้คำถามสองชนิด คือ ทำงานได้หรือไม่และตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ดีเพียงใด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

(2) การสื่อสาร ต้นแบบจะช่วยเพิ่มความชัดเจนในการสื่อสารระหว่างฝ่ายต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นผู้บริหารระดับสูง ผู้ขายชิ้นส่วน หุ้นส่วน สมาชิกในทีม ลูกค้าและนักลงทุน เช่น ต้นแบบของเครื่องดูดฝุ่น จะช่วยเพิ่มการสื่อสารระหว่างวิศวกรออกแบบนักออกแบบอุตสาหกรรม และลูกค้า ช่วยให้การสื่อสารรูปแบบต่างๆ ของเครื่อง ดูดฝุ่นเป็นไปได้ดียิ่งขึ้น ต้นแบบเป็นสื่อที่ช่วยให้สามารถประเมินแบบผลิตภัณฑ์ได้ ก่อนที่ลงทุนดำเนินการในทางที่มีผลต่อต้นทุนการผลิตและต้นทุนผลิตภัณฑ์

(3) การทำงานร่วมกันของชิ้นส่วน สามารถใช้ต้นแบบตรวจสอบว่าชิ้นส่วนและระบบย่อยของผลิตภัณฑ์สามารถทำงานร่วมกันได้ตามที่คาดหวังหรือไม่ โดยทั่วไปชิ้นส่วนงานต้นแบบที่ครอบคลุมคุณสมบัติทั้งหมดจะมีประโยชน์มากที่สุดในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ เนื่องจากต้องประกอบและเชื่อมโยงชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เพื่อให้เห็นว่าการรวมกันของชิ้นส่วนใดบ้างที่ก่อให้เกิดปัญหาในการทำงานของผลิตภัณฑ์หรือไม่ ซึ่งต้นแบบนี้เรียกว่า ต้นแบบสำหรับการทดลอง (Experimental Prototype) ซึ่งต้นแบบจะเป็นตัวบังคับให้เกิดการประสานงานระหว่างสมาชิกในทีม ทำให้ฝ่ายต่างๆ สามารถตกลงร่วมกันได้

2.2 เซรามิกส์ (Ceramics)

คือผลิตภัณฑ์ที่ได้นำเอาวัตถุดิบหลัก ซึ่งได้แก่ ดิน ทราย แร่บางอย่าง มาผ่านกระบวนการขึ้นรูป เช่น การปั้น การหล่อ หรือการอัดเป็นแผ่น แล้วทำให้แข็งแรงโดยผ่านความร้อน ที่อุณหภูมิสูง หลายร้อยองศาเซลเซียส หรือมากกว่าพันองศาเซลเซียส ในการผลิตเซรามิกส์หรือเครื่องเคลือบดิน

นอกจากเซรามิกส์จะขึ้นรูปจากดิน หรืออัตราส่วนผสมของดินแล้ว ปัจจุบัน เซรามิกส์สมัยใหม่ (New Ceramics) สามารถใช้วิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ โดยไม่มีส่วนผสมของดิน ดังนั้นการเรียกอัตราส่วนผสม ที่นำมาใช้ขึ้นรูปนี้ว่าเนื้อดินปั้น จึงไม่เหมาะสม และไม่ครอบคลุมทั้งหมด จึงเรียกอัตราส่วนผสมที่ใช้เพื่อการขึ้นรูป ไม่ว่าจะมีเฉพาะดิน หรือมีส่วนผสมของดิน หรือไม่มีดินในส่วนผสม ที่ใช้นำมาใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ว่า “เนื้อเซรามิกส์” (Ceramics Body) เนื้อเซรามิกส์ จึงหมายถึง การนำวัตถุดิบตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไป มาผสมเข้าด้วยกัน ตามสัดส่วน โดยมีเป้าหมายที่แน่นอน ว่าจะทำผลิตภัณฑ์ชนิดใด ทั้งนี้เพื่อให้เนื้อเซรามิกส์มีคุณสมบัติถูกต้อง และมีคุณภาพดีตามต้องการ (ทวี พรหมพฤกษ์ , 2523 หน้า 77) สำหรับกระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์นั้นในปัจจุบันมีหลายขั้นตอนเพื่อขึ้นรูปเซรามิกส์ โดยมีวิธีการหลัก ๆ เช่น การขึ้นรูปด้วยวิธีอัดเข้าแม่พิมพ์ (Injection Molding) การขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อน้ำดิน (Casting) การขึ้นรูปด้วยวิธีอัดดินเหนียว(Plastic Pressing) และการขึ้นรูปโดยวิธีอัดเนื้อดินปั้น (Extrusion) นอกจากนี้ยังมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการที่แยกย่อยออกไปอีก เช่น การขึ้นรูปด้วยมือ (Hand Modeling) การขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน (Wheel Throwing) ซึ่งได้แสดงดังภาพ 2.1 และภาพ 2.2

ภาพ 2.1 การขึ้นรูปด้วยมือ (Hand Modeling)

ภาพ 2.2 การขึ้นรูปเซรามิกส์โดยใช้แป้นหมุน (Wheel Throwing)

ภาพ 2.3 การขึ้นรูปโดยอาศัยเครื่องจิ๊ก (Jiggering)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การขึ้นรูปโดยอาศัยเครื่องจิ๊ก (Jiggering) ดังภาพ 2.3 ซึ่งได้ดัดแปลงมาจากการขึ้นรูปโดยแป้นหมุน คือ วางเนื้อดินปั้นบนแบบ ปลาสเตอร์ ซึ่งติดอยู่กับแป้นหมุน แล้วกดแม่แบบอีกด้านหนึ่ง ลงบนเนื้อดินปั้น ก็จะได้ ผลิตภัณฑ์ ซึ่งด้านหนึ่ง จะเหมือนแบบปลาสเตอร์ ส่วนอีกด้านหนึ่งจะเหมือนแม่แบบที่ กดลงบนเนื้อดินปั้น การขึ้นรูปโดยวิธีนี้ ใช้มาก ในโรงงานอุตสาหกรรม ทำ

ถ้วยชาม การขึ้นรูปด้วยการอัดดินฝุ่น (Semi-Dry Forming) และการขึ้นรูปด้วยเครื่อง โรลเลอร์แมช ชีน (Roller Machine) ตลอดจนการสร้างต้นแบบเซรามิกส์ประเภทเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารแบบเดิมซึ่งได้แสดงดังภาพ 2.4 สำหรับวิธีการต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น อาจมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น เรื่องของระยะเวลาในการสร้างต้นแบบ ที่จะต้องใช้เวลานาน เช่น วิธีการหล่อ ซึ่งจำเป็นที่จะต้องสร้างแม่พิมพ์ หรือแบบหล่อออกมาก่อนทำให้เสียเวลา หรือกรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยมือซึ่งอาจถือว่าเป็นวิธีการขั้นพื้นฐานธรรมดาที่ง่ายและไม่ซับซ้อน แต่ก็มีข้อจำกัดในเรื่องของความเที่ยงตรงหรือขนาดของต้นแบบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ จะเห็นได้ว่ากระบวนการ หรือขั้นตอนในการขึ้นรูปเซรามิกส์นั้นมีหลายวิธี ตามลักษณะความต้องการของผลิตภัณฑ์ ที่ต้องการที่จะทำการผลิตซึ่งแต่ละวิธี ต่างมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกันออกไป

ภาพ 2.4 ขั้นตอนการสร้างต้นแบบเซรามิกส์ประเภทเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารแบบเดิม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 เครื่องจักรกล ซีเอ็นซี (CNC Machine Tool)

เครื่องจักรกลการผลิตพื้นฐานที่สำคัญในการผลิตชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่างๆ คือ เครื่องกลึง (Lathe) และ เครื่องกัด (Milling) เครื่องจักรทั้งสองประเภทมีบทบาทสำคัญต่อการ

พัฒนาอุตสาหกรรมและเป็นเครื่องจักรกลที่จำเป็นในโรงงานต่าง ๆ เพื่อการสร้าง และซ่อมชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมการผลิตที่ต้องการความเที่ยงตรง แม่นยำ และความสม่ำเสมอของคุณภาพของชิ้นงาน คอมพิวเตอร์ได้มีบทบาทที่สำคัญในการควบคุมการทำงานของเครื่อง ช่วยและเพิ่มผลผลิตในขณะเดียวกัน ความสามารถในการโปรแกรมเป็นปัจจัยสำคัญ ที่ทำให้เครื่องจักรทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งในปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้นรวมไปถึงโรงงานอุตสาหกรรมได้นำเอาโปรแกรมสำเร็จรูปมาช่วยในการออกแบบ Computer Aided Design (CAD) เพื่อความสะดวกรวดเร็วและแม่นยำ ช่วยให้ความผิดพลาดจากการผลิตน้อยลง รวมถึงมีต้นทุนในการผลิตต่ำลงแต่มีคุณภาพดีขึ้นทำให้ระบบการผลิตมีความยืดหยุ่นช่วยลดเวลาในการผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีการประยุกต์นำเอาเครื่องกลึง ซีเอ็นซี (CNC Lathe) มาใช้ในกระบวนการสำหรับขึ้นรูปพลาสติกเพื่อสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ บนโต๊ะอาหาร เช่น ถ้วย ชาม จาน และชุดน้ำชากาแฟ และของตกแต่งบ้าน ซึ่งถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่สำคัญของจังหวัดลำปาง

เครื่องจักรกลซีเอ็นซี (Computer Numerical Control) หมายถึง เครื่องจักรกลที่ควบคุมการทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ เป็นการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลต่าง ๆ เช่นเครื่องกัด ซีเอ็นซี เครื่องกลึง ซีเอ็นซี เครื่องเจียระไน เครื่อง EDM ฯลฯ ซึ่งสามารถทำให้ผลิตชิ้นส่วนได้รวดเร็วถูกต้อง และเที่ยงตรง

เครื่องจักรซีเอ็นซี แต่ละแบบแต่ละรุ่นจะมีลักษณะเฉพาะ และการประยุกต์ใช้งานที่ต่างกันออกไป แต่เครื่องจักรกล ซีเอ็นซีทั้งหมด จะมีข้อดี เหมือน ๆ กันคือ ข้อแรกเครื่องจักรกลซีเอ็นซี ได้รับการปรับปรุงให้มีการทำงานอัตโนมัติทำให้ลดความวุ่นวายของผู้ควบคุมเครื่องจักรในการผลิตชิ้นงาน เครื่องจักร ซีเอ็นซี หลายเครื่องสามารถทำงานโดยผู้ควบคุมไม่ต้องนั่งเฝ้าในระหว่างวัฏจักรการการทำงานของเครื่อง (Machining Cycle) และผู้ควบคุมสามารถไปทำงานอย่างอื่นได้ สิ่งนี้ทำให้ผู้ควบคุมเครื่องจักรได้ประโยชน์หลายอย่าง รวมทั้งลดความเหนื่อยล้าของผู้ปฏิบัติงาน ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากคนมีน้อยมาก มีความคงเส้นคงวาในการผลิตและสามารถคำนวณเวลาในการผลิตแต่ละชิ้นได้อย่างแม่นยำ

ข้อดีข้อที่สองของเทคโนโลยี ซีเอ็นซี คือความคงเส้นคงวาและความถูกต้องแม่นยำของชิ้นงาน ซึ่งหมายความว่าเมื่อโปรแกรมที่เขียนทำงานอย่างถูกต้องแล้ว การผลิตชิ้นส่วน 2 ชิ้น 10 ชิ้น หรือ 1,000 ชิ้น ให้เหมือนกันทุกประการ สามารถทำได้อย่างง่ายดายด้วยความสม่ำเสมอ

ข้อดีที่สามคือ ความยืดหยุ่นในการทำงาน เนื่องจากเครื่องจักรกลเหล่านี้ทำงานตามโปรแกรม การทำงานที่ต่างกันก็ง่ายเหมือนกับการโหลดโปรแกรมที่ต่างกัน เมื่อโปรแกรม

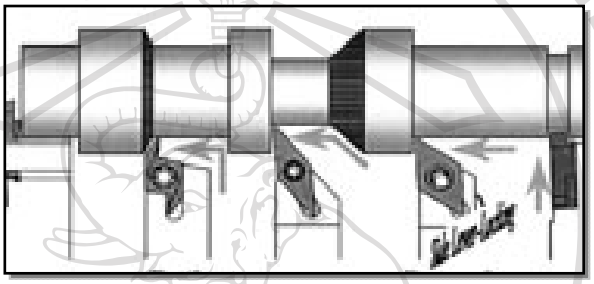
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประมวลผลและทำงานผลิตชิ้นงานแล้ว เราสามารถเรียกโปรแกรมนั้นกลับมาใช้ใหม่ในครั้งต่อไป เมื่อทำงานชิ้นนั้นอีก เครื่องจักรกลซีเอ็นซีมีความหมาย 2 ส่วน คือ

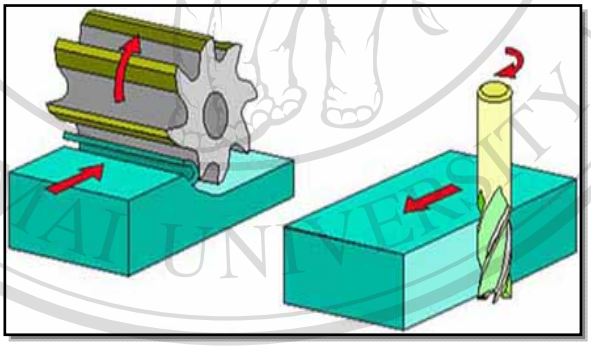
(1) ตัวเครื่องจักร (Machine)

(2) ระบบซีเอ็นซี (CNC System)

เครื่องจักร คือ เครื่องจักรที่ทำการขึ้นรูปทรงชิ้นงาน หรือ แมชชีนนิ่ง (Machining) โดยวิธีการขจัดวัสดุออก (Material Removal) จากชิ้นงาน ซึ่งกรรมวิธีเหล่านี้ ได้แก่ การกลึง (Turning) การเจาะ (Drilling) การกัด (Milling) การตัด (Cutting) ดังแสดงตามภาพ 2.5 - 2.7



ภาพ 2.5 งานกลึง (Turning)



ภาพที่ 2.6 งานกัด (Milling)

ภาพ 2.7 งานเจาะ (Drilling)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระบบซีเอ็นซี คือ ชุดควบคุม (Controller) ทำหน้าที่รับโปรแกรม และ ควบคุมเครื่อง เพื่อให้สามารถทำงาน หรือเคลื่อนที่ไปในตำแหน่งต่างๆ ตามคำสั่งในโปรแกรม โดยโปรแกรมดังกล่าว เรียกว่า โปรแกรมเอ็นซี (NC Program) ซึ่งเขียนโดย นักเขียนโปรแกรม (Programmer) และป้อนเข้าระบบโดย ผู้ควบคุมเครื่อง

สำหรับการประยุกต์นำเอาเครื่องกลึง ซีเอ็นซี (CNC Lathe) มาใช้ในกระบวนการสำหรับขึ้นรูปพลาสติกเพื่อสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์บนโต๊ะอาหาร เช่น ถ้วย ชาม จานและชุดน้ำชากาแฟ และของตกแต่งบ้านนั้น ในงานวิจัยนี้ ซึ่งถือว่ามีความเป็นไปได้ตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ ต่าง ๆ ตามภาพ 2.8 เหล่านี้

ภาพ 2.8 ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ บนโต๊ะอาหาร และของตกแต่งบ้าน

2.4 พลาสติก (Plastics)

พลาสติก คือ สารสังเคราะห์ (Synthetic Materials) ที่มนุษย์คิดขึ้นมา ประกอบด้วยธาตุสำคัญคือ คาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดเจน ไนโตรเจน และคลอรีน สมาคมวิศวกรพลาสติก (SPE) และสมาคมอุตสาหกรรมพลาสติก (SPI) แห่งสหรัฐอเมริกาได้ให้คำจำกัดความของพลาสติกไว้คือ "วัตถุที่ประกอบด้วยสารหลายอย่าง มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ลักษณะอ่อนตัวขณะทำการผลิต ซึ่งโดยมากใช้กรรมวิธีการผลิตด้วยความ ร้อนหรือแรงอัดหรือทั้งสองอย่าง"

โดยทั่ว ๆ ไป พลาสติกมีคุณสมบัติทางโครงสร้างพิเศษที่เรียกว่า High Molecular Weight คือในหนึ่งโมเลกุลมีจำนวนอะตอมมากกว่าสารชนิดอื่น จึงทำให้ มีคุณสมบัติดังนี้ คือ

- คุณสมบัติทางกายภาพ (Mechanical) มีความแข็งแรง เหนียว ยืดหยุ่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- คุณสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical) เป็นฉนวนไฟฟ้า
- คุณสมบัติทางเคมี (Chemical) ทนกรด ด่าง และสารเคมีอื่นๆ

ลักษณะวัตถุดิบพลาสติกที่ใช้ผลิตมี 3 ชนิด ได้แก่ วัตถุดิบพลาสติกผง (Powder) วัตถุดิบพลาสติกเม็ด (Granule & Pellet) และวัตถุดิบพลาสติกเหลว (Liquid)

สำหรับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อที่จะสร้างต้นแบบเซรามิกส์ จากพลาสติก และทำการเปรียบเทียบความหยาบของผิวชิ้นงานพลาสติกที่ผ่านการขึ้นรูปโดยเครื่องกลึง ซีเอ็นซี (CNC Lathe) เนื่องจากพลาสติกที่นิยมนำมาใช้ในปัจจุบันมีหลายชนิด ผู้วิจัย จึงได้คัดเลือกใช้พลาสติกเพื่อสร้างต้นแบบเซรามิกส์และเปรียบเทียบความหยาบของผิวจากกระบวนการกลึงขึ้นรูปจากพลาสติก 2 ชนิดคือ โพลิออกซิเมททาลีน Polyoxymethylene กับโพลีโปรพิลีน (Polypropylene) และแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

2.4.1 โพลีโปรพิลีน (Polypropylene /PP)

เป็นโพลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติก ที่เบาที่สุด มีความหนาแน่น 0.91 g/cm^3 มีความเป็นผลึกสูงทำให้มีสมบัติเชิงกลดีมาก เหนียว ทนแรงดึงได้สูง มีจุดหลอมเหลวที่ 165 °C ซึ่งสูงกว่าโพลีเอททีลีน (Polyethylene,PE) มีคุณสมบัติต้านทานไขมันได้ดีกว่าโพลีเอททีลีน ไอน้ำและออกซิเจนซึมผ่านได้ต่ำกว่า โพลีเอททีลีน และยังมีความใสกว่า สำหรับการนำไปใช้งานนั้นจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติจำเพาะของ โพลีโปรพิลีนแต่ละเกรด โดยทั่วไปแล้ว การใช้ประโยชน์ โพลีโปรพิลีน ในประเทศไทยจะเป็นไปในด้านการเป่าถุง ทำถุงเอนกประสงค์ (ถุงร้อน ถุงเย็น) การทำถุงสานสำหรับการบรรจุหีบห่อ การหล่อฉีดเป็นชิ้นส่วน หรือภาชนะแบบต่าง ๆ การทำเป็นเชือก แห อวน และรวมถึงการใช้ทำพื้นพรม สนามหญ้าเทียม ชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า และเครื่องใช้ภายในบ้าน นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งชนิดของโพลีโปรพิลีนตามลักษณะของการขึ้นรูปได้ดังต่อไปนี้

- งานฉีด (Injection Molding) ทำเปลือกแบตเตอรี่ ทำชิ้นส่วนรถยนต์ เช่นถังน้ำมันแทนถังน้ำมันที่ทำจากเหล็ก แผงหน้าปัด กันชน ทำลังใส่ขวด กระถางต้นไม้ เฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้ในทางการแพทย์ เช่น Syringe ใช้หนเดียวทิ้ง ด้ามแปรงสีฟัน ภาชนะเครื่องใช้ในครัว
- แผ่นฟิล์ม (Blow Film) ใช้ทำฟิล์มใส ถุงร้อน ถุงเย็น ซองใส่เสื้อเชิ้ต ฟิล์มห่อหุ้มหรือบรรจุอาหารที่ไม่ต้องการให้ออกซิเจนซึมผ่าน
- งานเป่า (Blow Molding) เป่าขวด ถังบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ
- งานสิ่งทอ (Textile) ทำเส้นใย กระสอบสาน เชือก แห อวน พื้นพรม
- การใช้ประโยชน์โพลีโปรพิลีน ในรถยนต์ ในลักษณะเป็นแผ่นโลหะบาง สอดไส้พลาสติกโพลีโปรพิลีน โดยทำเป็นแผ่นลามิเนทเหล็กบาง ๆ สอดไส้ด้วยโพลีโปรพิลีนโดยอัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โพลีโปรพิลีนผ่านหัวดาย ขึ้นรูปเป็นแผ่นหนา 0.024 นิ้ว ทำหน้าที่เป็นแกนหรือไส้ใน แล้วประกบด้วยแผ่นบางเพียง 0.005 นิ้ว ทั้งสองหน้า กลายเป็นแผ่นลามิเนทเหล็ก (โพลีโปรพิลีน- เหล็ก) นำไปเข้าเครื่องดัดขึ้นรูปใช้ทำชิ้นส่วนรถยนต์ แทนชิ้นส่วนโลหะล้วนที่หนักกว่าเกือบเท่าตัว โดยใช้ทำเป็นโครงสร้างหลังคา เฟอร์นิเจอร์ พื้นรถ ส่วนตัวถังที่เป็นแผงทั้งหลาย เบาะนั่ง ไปจนถึงฝาครอบห้องเกียร์ ช่วยลดน้ำหนักลงเกือบ 50 % โดยใช้ต้นทุนเท่าเดิมและยังช่วยทำให้ประหยัดน้ำมันได้มากขึ้น

2.4.2 โพลิออกซิเมททาลีน (Polyoxymethylene / POM)

โพลิออกซิเมททาลีน อีกชื่อหนึ่งเรียกว่าเดลรีน (Delrin) เป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมเซต ได้จากการเกิดโพลิเมอร์แบบกลั่นตัวของฟอร์มัลดีไฮด์ มัก
เรียกว่า “Polyformaldehyde” การนำไปใช้งานใช้ทดแทนเหล็กทำเป็นเฟือง ทำให้น้ำหนักตัวลดลง ทำข้อต่อโซ่ ทำเสื้อวาล์ว ปั๊ม ใช้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า ชิ้นส่วนของเครื่องจักรและชิ้นส่วนเครื่องยนต์มี คุณสมบัติที่สำคัญคือ มีลักษณะเป็นผลึกสูง มีน้ำหนักเบาและเหนียว มีความแข็งแรง มีความแข็ง ผิวลื่นเป็นมัน มีสปริงในตัว ทนทานต่อการเสียดสี และมีการยืดหยุ่นตัวได้ดีในทุกสภาพอุณหภูมิและมีความคงสภาพของรูปทรงที่ดี

2.5 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

การออกแบบการทดลอง เป็นเทคนิคทางสถิติชั้นสูงที่ใช้ในการปรับค่าสภาวะของกระบวนการให้เป็นไปตามสภาพที่เราต้องการ ซึ่งข้อแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดระหว่าง วิธีการโดยทั่วไปกับเทคนิคของการออกแบบการทดลอง คือ วิธีการโดยทั่วไปมักเป็นการทดลองแบบลองผิดลองถูก หรือใช้การทดลองปรับตั้งค่ากระบวนการทีละค่า (One Factor at a Time) โดยทั่วไปแล้ว การออกแบบการทดลองแบบนี้จะให้ผลตอบสนองเข้าสู่จุดมุ่งหมายที่เราต้องการได้ช้ามาก และสิ้นเปลืองทรัพยากรในการวิเคราะห์ รวมถึงต้องเก็บข้อมูลมากและยังไม่เหมาะสมอย่างยิ่งกับกระบวนการที่มีผลของความสัมพันธ์ร่วม (Interaction Effect) ระหว่างตัวแปรของกระบวนการด้วยกันเอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.1 หลักการพื้นฐาน 3 ประการ สำหรับการออกแบบการทดลอง

(1) เรพลิเคชัน (Replication) หมายถึง การทดลองซ้ำ ซึ่งมีสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือ ทำให้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ และถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งการทดลอง ดังนั้นเรพลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้

(2) แรนดอมไมเซชัน (Randomization) หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูลจะต้องเป็นปัจจัยแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ การที่เราสุ่มการทดลองทำให้เราสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจปรากฏในการทดลองได้

(3) บล็อกกิง (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรงให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึง ส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซ็ตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่างๆ ภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิง

ข้อดีของการออกแบบการทดลองคือ ให้ผลของความแม่นยำและความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างสูง โดยสามารถระบุออกมาเป็นค่าตัวเลขทางสถิติที่แสดงถึงค่าระดับความสำคัญของตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการ นอกจากนี้ยังมีความรวดเร็วในการดำเนินการตรวจสอบสาเหตุของปัญหา

2.5.2 แนวทางในการออกแบบการทดลอง

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกคนที่เกี่ยวข้องจะต้องมีความเข้าใจล่วงหน้าว่า เรากำลังศึกษาอะไรอยู่จะเก็บข้อมูลได้อย่างไรและจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้นั้นอย่างไร ขั้นตอนในการดำเนินงานอาจจะทำได้ดังต่อไปนี้

(1) ทำความเข้าใจถึงปัญหา ในขั้นตอนนี้เราอาจจะต้องพยายามพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง และบ่อยครั้งที่เราจะต้องหาข้อมูลสำหรับป้อนเข้าจากบุคคลที่มีความรู้ความชำนาญในแต่ละด้าน นั้นเป็นองค์ประกอบหนึ่งของการออกแบบการทดลองเพราะเป็นจุดเริ่มต้นของการดำเนินงานคือ การใช้ประสบการณ์คาดคะเนว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อปัญหาที่เราสนใจ ถ้าหากไม่มีในส่วนของประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญเข้ามาเกี่ยวข้อง การออกแบบการทดลองก็ยังคงดำเนินต่อไปแต่จะใช้เวลาที่นานขึ้นเพราะต้องเสียเวลาในการตรวจสอบทุกๆปัจจัยที่มีอยู่ทั้งหมด

(2) เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต ผู้ทดลองต้องเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง กำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับ (Level) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง จะต้องพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดได้อย่างไร และจะวัดผลตอบได้อย่างไร ดังนั้นในกรณีเช่นนี้ผู้ทดลองจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอย่างมากซึ่งความรู้นี้อาจจะได้มาจากประสบการณ์และความรู้จากทางทฤษฎีมีความจำเป็นที่เราจะต้องตรวจสอบดูว่า ปัจจัยที่กำหนดขึ้นมานี้มีความสำคัญหรือไม่ และเมื่อวัตถุประสงค์ของการทดลองคือการกรองปัจจัย (Factor Screening) เราควรจะกำหนดให้ระดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อย ๆ การเลือกขอบเขตของการทดลองก็มีความสำคัญเช่นกัน ในการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเราควรเลือกขอบเขตให้มีความกว้างมาก ๆ หมายถึงว่าขอบเขตที่ปัจจัยแต่ละตัวจะเปลี่ยนแปลงได้ ควรมีค่ากว้างๆ และเมื่อเราได้เรียนรู้เพิ่มขึ้นว่า ตัวแปรใดมีความสำคัญและที่ระดับใดที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เราอาจจะลดขอบเขตให้แคบลงได้

(3) เลือกตัวแปรผลตอบ ในการเลือกตัวแปรตอบสนองผู้ทดลองควรจะแน่ใจว่าตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ บ่อยครั้งที่ค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หรือทั้งคู่) ของกระบวนการจะเป็นตัวแปรตอบสนอง เป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจมีตัวแปรตอบสนองหลายตัว และมีความจำเป็นอย่างมากที่เราจะต้องกำหนดให้ได้ว่า อะไรคือตัวแปรตอบสนอง และจะวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไร ก่อนที่จะเริ่มดำเนินการทดลองจริง

(4) เลือกการออกแบบการทดลอง ถ้ากิจกรรมการวางแผนก่อนการทดลองทำได้อย่างถูกต้อง ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่ง่ายมาก การเลือกการออกแบบเกี่ยวข้องกับการพิจารณาขนาดของตัวอย่าง (Replicate) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล และการตัดสินใจว่า ควรจะใช้วิธีการจัดบล็อก หรือการจัดแบบสุ่ม (Randomizations) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ ในการเลือกการออกแบบ เราจำเป็นจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองอยู่ตลอดเวลา ในการทดลองทางวิศวกรรมส่วนมาก เราจะทราบตั้งแต่เริ่มต้นแล้วว่า ปัจจัยบางตัวจะมีผลต่อค่าตอบสนองที่เกิดขึ้น ดังนั้นเราจะหาว่าปัจจัยตัวใดที่ทำให้เกิดความแตกต่าง และประมาณขนาดของความแตกต่างที่เกิดขึ้น

(5) ทำการทดลอง เมื่อทำการทดลองเราจะต้องทำการทดลองอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามการทอลองที่ได้ออกแบบไว้ ถ้ามีอะไรผิดพลาดเกิดขึ้นเกี่ยวกับการทดลองในขั้นตอนนี้จะทำให้การทดลองที่ทำนั้นใช้ไม่ได้ ดังนั้นการวางแผนในตอนแรกจะมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จที่จะเกิดขึ้น

(6) วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ใช้วิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ถ้าการทดลองได้ถูกออกแบบไว้เป็นอย่างดี และถ้าเราทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ วิธีการทางสถิติที่จะนำมาใช้นั้นจะเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน ข้อได้เปรียบของวิธีการทางสถิติ เป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจอย่างมีประสิทธิภาพ และถ้าเรานำเอาวิธีการทางสถิติมาผนวกกับความรู้ทางวิศวกรรมความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ จะทำให้ข้อสรุปที่ได้ออกมานั้นมีเหตุผลสนับสนุนและมีความน่าเชื่อถือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(7) ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ เมื่อได้วิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติและแนะนำแนวทางของกิจกรรมที่จะเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะนำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วย นอกจากนี้แล้วการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) ควรจะทำขึ้นเพื่อที่จะตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

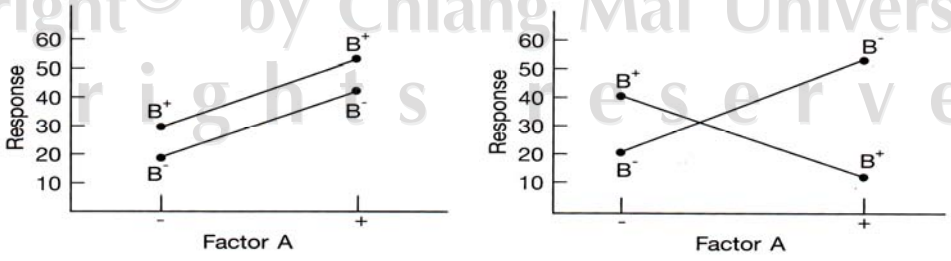
2.5.3 การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลสองระดับ (2^{k-p})

โดยมากแล้วเมื่อจำนวนปัจจัยในการออกแบบ 2^k เพิ่มขึ้นจะทำให้จำนวนการทดลองสำหรับเรพลิเคตที่สมบูรณ์เพิ่มขึ้นมากเกินกว่าทรัพยากรที่มีอยู่จะรองรับได้ (เช่น เวลา ค่าใช้จ่าย เป็นต้น) ตัวอย่างเช่น ใน 1 เรพลิเคตสมบูรณ์ของการออกแบบ 2^6 จะต้องมีการทดลองทั้งหมด 64 ครั้ง ในการออกแบบนี้แค่ 6 ตัว จากระดับขั้นความเสรี 63 ตัวเท่านั้นที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลัก ระดับขั้นความเสรี 15 ตัว จะเกี่ยวข้องกับปัจจัยร่วมแบบสองปัจจัย และระดับขั้นความเสรีที่เหลืออีก 42 ตัว จะเกี่ยวข้องกับปัจจัยร่วมแบบสามปัจจัยและมากกว่า

ถ้าผู้ทดลองสามารถตั้งสมมุติฐานอย่างมีเหตุผลได้ว่า ปัจจัยร่วมขั้นสูงบางตัวสามารถละเลยได้ ในกรณีนี้ปัจจัยหลักและกิริยาร่วมขั้นต่ำอาจหาได้โดยการทดลองเพียงแค่เศษส่วนของการทดลองเชิงแฟกทอเรียลอย่างสมบูรณ์เท่านั้น การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล (Fractional Factorial Design) จัดได้ว่าเป็นการออกแบบที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการ

การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล ถูกนำมาใช้มากในการกรองเพื่อหาปัจจัยที่มีผล กล่าวคือในการทดลองหนึ่งอาจจะมีปัจจัยมากมายที่กำลังอยู่ในความสนใจ เราจะใช้การออกแบบเช่นนี้เพื่อค้นหาว่าปัจจัยตัวใดบ้างเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ การทดลองเพื่อกรองปัจจัยนี้ส่วนมากจะใช้ในตอนเริ่มต้นโครงการ เนื่องจากโดยมากแล้วในขณะนั้นจะมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลน้อยหรือไม่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองที่กำลังพิจารณาอยู่ หลังจากทำการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเสร็จสิ้นแล้ว ปัจจัยที่มีอิทธิพลจะถูกนำไปทำการทดลองอย่างละเอียดในการทดลองต่อ ๆ ไปที่จะตามมาในอนาคต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.9 แสดงอิทธิพลของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม

ที่มา : ปารเมศ ชุติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม.พิมพ์ครั้งที่ 1

ในการทดลองที่มีปัจจัยตั้งแต่สองปัจจัย นอกจากจะเกิดอิทธิพลของปัจจัยหลักที่สนใจแล้วยังอาจจะเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วม คือ ผลที่เกิดขึ้นจากการที่ปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปแล้วมีผลทำให้อิทธิพลของอีกปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงด้วย ดังตัวอย่างที่เกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วมหรือปฏิสัมพันธ์ (Interaction) แสดงได้ดังภาพ 2.9

แนวคิดที่สำคัญ 3 ประการ ของการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล คือ

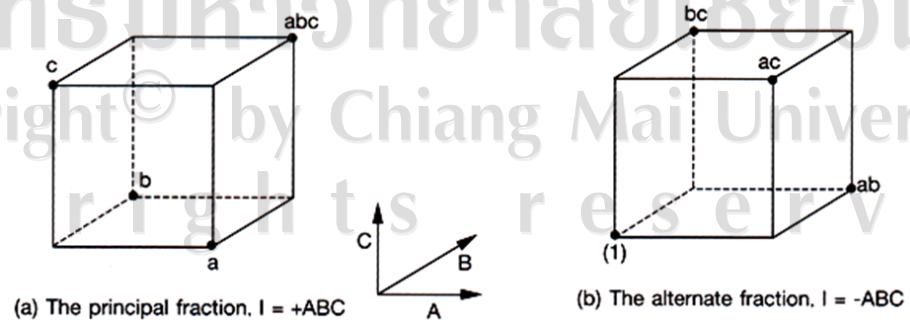
1. หลักการที่ว่ามีปัจจัยจำนวนน้อยที่มีผล เมื่อมีตัวแปรหลายตัว การดำเนินการต่างๆ ของระบบหรือกระบวนการมีแนวโน้มที่จะถูกกำหนดโดยปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมขั้นต่ำเพียงบางตัวเท่านั้น

2. คุณสมบัติการฉายการออกแบบ การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลสามารถถูกฉายไปสู่การออกแบบที่ดีกว่า(ใหญ่กว่า) ในเซตย่อยของปัจจัยที่มีผล

3. การทดลองต่อเนื่อง เป็นไปได้ที่จะรวมการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล 2 การทดลองหรือมากกว่าเข้าด้วยกัน เพื่อที่จะทำให้เกิดการทดลองอย่างต่อเนื่องที่มีการ ออกแบบที่ใหญ่กว่า และสามารถประมาณผลของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่อยู่ในความสนใจได้ดียิ่งขึ้น

การออกแบบการทดลองแบบ $\frac{1}{2}$ ของการออกแบบ 2^k (หรือ 2^{k-1}) ตัวอย่างเช่นเรากำลังสนใจที่จะทดสอบผลของ 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ แต่ปรากฏว่าเราไม่สามารถทำการทดลองร่วมปัจจัยทั้งหมด $2^3 = 8$ การทดลองได้ เนื่องจากทรัพยากรที่มีอยู่ยอมให้เราทดลองได้เพียง 4 การทดลองเท่านั้น ดังนั้นการออกแบบจึงต้องประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยเป็นจำนวน $2^{3-1} = 4$ การทดลอง ซึ่งก็คือ $\frac{1}{2}$ ของการออกแบบ 2^3 หรือเราอาจจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเป็นการออกแบบ 2^{3-1} เครื่องหมายบวกและเครื่องหมายลบสำหรับการออกแบบ 2^3 แสดงได้ดังตารางที่ 2.1 สมมุติว่าเราเลือกการทดลองร่วมปัจจัย a , b , c และ abc เป็นเศษส่วนครึ่งหนึ่ง ซึ่งการทดลองเหล่านี้แสดงอยู่ในครึ่งบนของตาราง 2.1 และ ภาพ 2.10 (a)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.10 แสดงของการออกแบบ 2^3

ที่มา : ปารเมศ ชุติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม.พิมพ์ครั้งที่ 1

ตาราง 2.1 แสดงเครื่องหมายบวกและลบสำหรับการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3

Treatment Combination	Factorial Effect							
	I	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
A	+	+	-	-	-	-	+	+
B	+	-	+	-	-	+	-	+
C	+	-	-	+	+	-	-	+
Abc	+	+	+	+	+	+	+	+
Ab	+	+	+	-	+	-	-	-
Ac	+	+	-	+	-	+	-	-
Bc	+	-	+	+	-	-	+	-
(1)	+	-	-	-	+	+	+	-

ที่มา : ปารเมศ ชุติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม.พิมพ์ครั้งที่ 1

สังเกตว่าการออกแบบ 2^{3-1} ถูกสร้างขึ้นมาโดยเลือกจากการทดลองร่วมปัจจัยที่มีค่าในคอลัมน์ ABC เป็นบวก ดังนั้น เราเรียก ABC ว่า "ตัวก่อกำเนิด (Generator)" ของเศษส่วนนี้ บางครั้งเราอาจจะเรียกตัวก่อกำเนิดเช่นนี้ว่า "เวิร์ด (Word)" ได้เช่นกัน ยิ่งกว่านั้นคอลัมน์เอกลักษณ์ I จะมีค่าเป็นบวกเสมอ ดังนั้นเราจะเรียก I =ABC ว่าเป็น "ตัวกำหนดความสัมพันธ์ (Defining Relation)" ของการออกแบบ โดยปกติแล้วตัวกำหนดความสัมพันธ์สำหรับการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล จะหมายถึงเซตของคอลัมน์ทั้งหมดที่เท่ากับคอลัมน์เอกลักษณ์ I

การทดลองร่วมปัจจัยในการออกแบบ 2^{3-1} จะมีระดับขั้นความเสรีที่เราสามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าของผลหลักได้เท่ากับ 3 เมื่อย้อนไปดูตาราง 2.1 อีกครั้งจะพบว่า ผลรวมเชิงเส้นของข้อมูลที่จะนำมาประมาณค่าของผลหลัก A , B และ C คือ

$$I_A = \frac{1}{2}(a - b - c + abc)$$

$$I_B = \frac{1}{2}(-a + b - c + abc)$$

$$I_C = \frac{1}{2}(-a - b + c + abc)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนั้นแล้วผลรวมเชิงเส้นที่ใช้สำหรับประมาณปัจจัยร่วมแบบสองปัจจัยหาได้จาก

$$I_{BC} = \frac{1}{2}(a - b - c + abc)$$

$$I_{AC} = \frac{1}{2}(a - b - c + abc)$$

$$I_{AB} = \frac{1}{2}(a - b - c + abc)$$

ดังนั้นเราจะพบว่า $I_A = I_{BC}, I_B = I_{AC}, I_C = I_{AB}$ ซึ่งหมายความว่า เราไม่สามารถที่จะแยกความแตกต่างระหว่าง A กับ BC , B กับ AC และ C กับ AB ได้ ในความเป็นจริงแล้วเมื่อเราประมาณค่าของ A , B และ C เราจะประมาณค่าของ A + BC , B + AC , และ C + AB ด้วย เรานิยามผลของสองปัจจัยหรือมากกว่าที่มีคุณสมบัติเช่นนี้ว่า “คู่แฝดแฝง (Alias)” ในตัวอย่างนี้ A กับ BC เป็นคู่แฝดแฝงซึ่งกันและกัน , B กับ AC เป็นคู่แฝดแฝงซึ่งกันและกัน และ C กับ AB เป็นคู่แฝดแฝงซึ่งกันและกัน เราจะบ่งชี้ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้แทนด้วยสัญลักษณ์ $I_A \rightarrow A + BC$, $I_B \rightarrow B + AC$ และ $I_C \rightarrow C + AB$

โครงสร้างของคู่แฝดแฝงสำหรับการออกแบบนี้สามารถหาได้โดยใช้ตัวกำหนดความสัมพันธ์ $I = ABC$ โดยคูณคอลัมน์ใดๆ ด้วยตัวกำหนดความสัมพันธ์จะได้คู่แฝดแฝงสำหรับผลของตัวนั้น ตัวอย่างเช่นเราต้องการหาคู่แฝดแฝงของ A ทำได้ โดย $A \times I = A \times ABC = A^2 \times BC$ หรือเนื่องจากว่ากำลังสองของคอลัมน์ใดๆ จะมีค่าเท่ากับ I ดังนั้น $A = B \times C$ ในทำนองเดียวกัน เราจะหาคู่แฝดแฝงของ B และ C ได้จาก

$$B \times I = B \times ABC$$
$$B = A \times B^2 \times C = A \times C$$
$$C \times I = C \times ABC$$
$$C = ABC^2 = AB$$

เราเรียกเศษส่วน $\frac{1}{2}$ ที่มี $I = ABC$ นี้ว่า “เศษส่วนหลัก (Principal Fraction)” ตอนนี้สมมุติว่าเราเลือกเศษส่วนอีกครึ่งหนึ่งแทน (เรียกว่า Alternate หรือ Complementary $\frac{1}{2}$ Fraction) นั่นคือเราเลือกการทดลองร่วมปัจจัยในตารางที่ 2 ที่มีเครื่องหมายของคอลัมน์ ABC เป็นลบ เศษส่วนอีกครึ่งหนึ่งนี้ (ประกอบไปด้วย (1) , ab , ac และ bc) แสดงดังภาพ 2.10 (b) ตัวกำหนดความสัมพันธ์ของการออกแบบนี้คือ $I = -ABC$ ผลรวมเชิงเส้นสำหรับข้อมูลจากเศษส่วนอีกครึ่งหนึ่งจะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$I'_A \rightarrow A - BC$$
$$I'_B \rightarrow B - AC$$
$$I'_C \rightarrow C - AB$$

ดังนั้น เมื่อเราประมาณค่า A , B และ C โดยใช้เศษส่วนชุดนี้ เราจะประมาณค่าของ A – BC, B – AC, และ C – AB นั่นเอง ในทางปฏิบัติเราสามารถใช้ได้ทั้งเศษส่วนชุดที่อยู่ในครึ่งแรกหรือครึ่งหลังก็ได้ ทั้งนี้เพราะเศษส่วนทั้งสองจะอยู่ในแฟมมิลี (Family) เดียวกัน นั่นคือเศษส่วนทั้งสองครึ่งนี้จะทำให้เกิดเป็นการออกแบบ 2^3 แบบสมบูรณ์ ซึ่งสามารถดูได้จากภาพ 2.10 (a) และ 2.10 (b)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สมมุติว่าหลังจากที่ทดลองกับครึ่งแรกของการออกแบบ 2^3 เรียบร้อยแล้ว เราตัดสินใจที่จะทดลองกับอีกครึ่งหนึ่งด้วย ดังนั้นในที่นี้การทดลองร่วมปัจจัยทั้ง 8 ของการออกแบบ 2^3 แบบสมบูรณ์ได้ถูกดำเนินการขึ้น ตอนนี้เราได้ประมาณ De-Aliased ของผลทั้งหมดโดยการวิเคราะห์การทดลองร่วมปัจจัยทั้ง 8 เหมือนกับการออกแบบ 2^3 แบบสมบูรณ์ที่ประกอบด้วย 2 บล็อก และมี 4 การทดลองในแต่ละบล็อก ซึ่งสามารถทำได้โดยการบวกและลบผลรวมเชิงเส้นของปัจจัยที่เกิดจากเศษส่วนทั้งสอง เช่น $I_A \rightarrow A + BC$ และ $I'_A \rightarrow A - BC$ ซึ่งหมายความว่า

$$\frac{1}{2}(I_A - I'_A) = \frac{1}{2}(A + BC - A + BC) \rightarrow A$$

และ

$$\frac{1}{2}(I_A - I'_A) = \frac{1}{2}(A + BC - A + BC) \rightarrow BC$$

ดังนั้น สำหรับผลรวมเชิงเส้นทั้ง 3 คู่ เราจะได้ดังตารางที่ 2.2

ตาราง 2.2 แสดงผลรวมเชิงเส้น 3 ปัจจัย

i	From $\frac{1}{2}(I_i + I'_i)$	from $\frac{1}{2}(I_i - I'_i)$
A	A	BC
B	B	AC
C	C	AB

2.6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

2.6.1 นิยามเกี่ยวกับ ต้นทุน ผลตอบแทน ดอกเบี้ย

ความหมายในทางเศรษฐศาสตร์ของคำว่าทุน ต้นทุน ค่าของทุน และเงินทุน จะแตกต่างกัน และจะแตกต่างกับความหมายที่ใช้อยู่กันทั่วไปดังนี้

(1) ทุน (Capital) โดยทั่วไปหมายถึง เงิน ในทางเศรษฐศาสตร์ หมายถึง ทรัพย์สินต่างๆ ที่มนุษย์คิดค้นสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ช่วยในการประกอบการ ได้แก่ เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์และสิ่งต่างๆ ที่ไม่ได้ใช้บำบัดความต้องการหรือให้ความพอใจโดยตรง แต่จะนำไปใช้ในการผลิตสินค้าหรือบริการต่อไป

(2) ต้นทุน (Cost) โดยทั่วไปหมายถึง จำนวนเงินที่จ่ายไปเป็นค่าสิ่งของหรือบริการ ในทางเศรษฐศาสตร์ หมายถึง ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่การประกอบกิจการหนึ่งจ่ายให้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัยในการผลิตเป็นค่าวัตถุดิบ วัตถุอื่นๆ และบริการต่างๆ ที่การประกอบการต้องใช้ในการประกอบการนั้นๆ

(3) ค่าของทุน (Cost of capital) หมายถึง อัตราส่วนลด (Sinking Fund หรือ Discount Rate) ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ที่แสดงให้เห็นว่า กิจการหรือธุรกิจใดที่คาดว่าถ้าทำการลงทุนแล้วจะให้ผลตอบแทนหรือกำไรในอัตราที่สูงกว่าอัตราส่วนลดนี้ ก็จะทำให้ค่าของกิจการหรือธุรกิจนั้นเพิ่มขึ้น แต่ถ้าให้ผลตอบแทนหรือกำไรในอัตราที่ต่ำกว่าอัตราส่วนลดก็จะทำให้ค่าของธุรกิจนั้นลดลง หรือกล่าวได้ว่า โครงการที่คาดว่าจะให้ผลตอบแทนในอัตราที่สูงกว่าค่าของทุนที่นำมาใช้ลงทุนจะเป็นโครงการที่เหมาะต่อการลงทุน ในทางตรงกันข้ามโครงการที่คาดว่าจะให้ผลตอบแทนในอัตราที่ต่ำกว่าค่าของทุนที่นำมาใช้ลงทุน จะเป็นโครงการที่ไม่เหมาะสมที่จะลงทุน

(4) เงินทุน (Money Capital) หมายถึง รายได้ส่วนที่กันไว้ไม่บริโภคเพื่อเก็บไว้เป็นต้นทุนสำหรับประกอบกิจการ เงินทุนเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การประกอบกิจการเกิดมีขึ้นได้

(5) ดอกเบี้ย (Interest) หมายถึง จำนวนเงินที่ผู้กู้ยืมจะต้องจ่ายให้เป็นค่าตอบแทนแก่ผู้ให้ยืม ซึ่งบวกเพิ่มไปจากเงินต้น และคิดคำนวณหาค่าเทียบจากเงินต้นและระยะเวลาที่กู้ยืม

(6) เงินปันผล (Dividends) หมายถึง กำไรของบริษัทที่แบ่งให้แก่ผู้ถือหุ้น เพื่อเป็นผลประโยชน์ตอบแทนที่เสี่ยงต่อการนำเงินมาลงทุน เงินปันผลอาจจ่ายเป็นเงินสด หุ้น สิทธิที่จะซื้อหุ้นเพิ่มขึ้นในราคาที่ต่ำกว่าราคาตลาด หรือสิ่งของที่บริษัทนั้นผลิตเอง

(7) ผลตอบแทน (Return) หมายถึง เงินตอบแทนสุทธิหรือกำไรสุทธิได้รับจากการดำเนินการธุรกิจหรือโครงการ

ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม สำหรับโครงการของรัฐที่ลงทุนเพื่อสาธารณประโยชน์ ผลตอบแทนหรือดอกเบี้ยที่ได้รับจากการลงทุนบางครั้งก็ไม่อยู่ในรูปของตัวเงินโดยตรง คำที่เหมาะสมสำหรับใช้เรียกผลตอบแทนหรือดอกเบี้ยจากโครงการของรัฐในลักษณะนี้ว่า เวสต์ชาร์จ (Vest charge) ซึ่งหมายถึง ผลตอบแทนหรือดอกเบี้ยจากการลงทุนในโครงการรัฐซึ่งรัฐอาจไม่ได้รับคืนในรูปของตัวเงินหรือสิ่งของโดยตรง แต่อาจอยู่ในรูปของผลประโยชน์ที่สาธารณชนผู้ใช้บริการได้รับจากโครงการดังกล่าว

2.6.2 อัตราดอกเบี้ย อัตราส่วนลด และอัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่พอใจ

เงินทุนเป็นปัจจัยสำคัญในการลงทุนดำเนินกิจการต่างๆ การใช้เงินทุนจึงต้องมีผลประโยชน์ตอบแทนแก่เจ้าของเงินทุนบ้าง ผลตอบแทนของการใช้เงินทุนนี้ก็คือดอกเบี้ย ซึ่งอาจให้ความหมายได้สองประการคือ ผลตอบแทนที่ผู้กู้เงินจ่ายให้แก่เจ้าของเงินทุน เนื่องจากใช้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประโยชน์ของเงินทุนนั้นสำหรับดำเนินกิจการ และผลประโยชน์ที่ผู้ประกอบกิจการได้รับตอบแทนจากการลงทุน

ในเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ดอกเบี้ยมักจะหมายความตามความหมายที่สอง และในงานเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมทางหลวงมักจะใช้คำว่า เวสต์ชาร์จ (Vest charge) แทนคำว่า ดอกเบี้ย (Interest) ดังได้กล่าวมาแล้ว นอกเสียจากว่าดอกเบี้ยที่ต้องชำระสำหรับเงินที่ก็มาใช้สำหรับค่าใช้จ่ายต่างๆ ของโครงการจึงจะมีความหมายตามความหมายแรก

(1) อัตราดอกเบี้ย (Interest Rate) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างดอกเบี้ยที่ต้องชำระกับเงินต้นที่กู้มาครบกำหนดระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งคำนวณให้อยู่ในรูปของร้อยละ โดยปกติมักกำหนดระยะเวลาเป็น 1 ปี หรือน้อยกว่า ถ้าไม่มีการกำหนดระยะเวลาบอกไว้ให้ถือว่าอัตราดอกเบี้ยที่กล่าวถึงคืออัตราดอกเบี้ยต่อปี แต่ถ้ามีการกำหนดให้คิดคำนวณดอกเบี้ยหลายครั้งต่อปีจะต้องกำหนดบ่งบอกระยะเวลาไว้ เช่น ต่อเดือน ต่อ 3 เดือน ต่อครึ่งปี เป็นต้น

(2) อัตราส่วนลด (Discount Rate) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างส่วนลดกับเงินต้นที่ลงทุน ซึ่งความหมายของส่วนลด (Discount) ในทางเศรษฐศาสตร์ได้แก่

- เงินที่ยอมลดให้เมื่อลูกหนี้ชำระเงินตามกำหนด
- เงินที่หักจากจำนวนในหน้าของตั๋วแลกเงินหรือตั๋วสัญญาใช้เงิน หรือตราสารอื่นๆ ที่คล้ายกัน เมื่อมาขอขึ้นเอาเงินสดก่อนตั๋วเงินนั้นครบกำหนด
- ส่วนแตกต่างระหว่างราคาในหน้าของพันธบัตรกับราคาตลาด เมื่อราคาในหน้าของพันธบัตรสูงกว่า

(3) อัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่พอใจ (Minimum Attractive Rate of Return) หมายถึง อัตราขั้นต่ำสุดที่ผู้พิจารณาโครงการกำหนดขึ้นและนำมาใช้ในการวิเคราะห์โครงการ ถ้าอัตราผลตอบแทนของโครงการสูงกว่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุด โครงการก็จะได้รับการพิจารณาให้ดำเนินงานได้ แต่ถ้าอัตราผลตอบแทนของโครงการต่ำกว่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุด โครงการนั้นก็อาจได้รับการพิจารณาให้ยกเลิก มาตรฐานการกำหนดอัตราผลตอบแทนต่ำสุดนั้นผู้พิจารณาโครงการมักกำหนดขึ้นโดยการวิเคราะห์

- อัตราดอกเบี้ย (Interest Rate)
- อัตราผลตอบแทนจากการลงทุนในทรัพย์สิน (Interest Return on the Proposed Investment)
- อัตราผลตอบแทนของส่วนเจ้าของ (Interest Return on Equity)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.3 กระแสเงินของโครงการ

กระแสเงินของโครงการ (Cash Flow) หมายถึง กระแสเงินเข้าและกระแสเงินออกที่เกิดขึ้นในโครงการ จากการตัดสินใจดำเนินงานตามโครงการจะก่อให้เกิดกระแสเงินกับหน่วยงานที่ดำเนินงาน โดยปกติโครงการหนึ่งๆ จะก่อให้เกิดกระแสเงินออกเนื่องจากการลงทุนเป็นการเริ่มต้นในปีแรก แล้วติดตามด้วยกระแสเงินเข้าซึ่งเป็นผลตอบแทนในปีต่อมาเป็นเวลาหลายปี การสรุปรายได้และรายจ่ายของโครงการในรูปของกระแสเงินของปีต่างๆ ตลอดระยะเวลาของโครงการจะช่วยให้ผู้ทำการวิเคราะห์สามารถวิเคราะห์ได้ง่าย และสะดวกขึ้นเพราะว่ามีข้อมูลสำหรับการคำนวณรวมอยู่ด้วยกัน และผู้พิจารณาโครงการเองก็สามารถศึกษากระแสเงินของโครงการเพื่อประกอบการพิจารณาโครงการได้ ในทางธุรกิจกระแสเงินของโครงการอาจเรียกว่ากระแสเงินสด ซึ่งให้ความหมายว่า คือ ความแตกต่างระหว่างรายรับ (Inflows) ที่เป็นเงินสดทั้งหมดกับรายจ่าย (Outflows) ที่เป็นเงินสดทั้งหมด ในช่วงเวลาที่กำหนดให้ การแสดงกระแสเงินของโครงการที่สะดวกและเข้าใจง่าย อาจแสดงโดย

2.6.4 ดอกเบี้ยเชิงเดี่ยว

ดอกเบี้ยเชิงเดี่ยว (Simple Interest) คือ ดอกเบี้ยที่คิดจากค่าร้อยละของเงินต้นคูณด้วยระยะเวลาของการกู้ยืมเงินต้นนั้น ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I = i.n.P$$

เมื่อ I = ดอกเบี้ยเชิงเดี่ยว

i = อัตราดอกเบี้ย คิดเป็นทศนิยมเทียบจากร้อยละ

n = ระยะเวลาที่กู้ยืมเงินต้น

P = เงินต้น

ค่า n และ i ต้องคิดเป็นหน่วยเวลาเดียวกัน เช่น คิดเป็นปี หลักการคิดดอกเบี้ยเชิงเดี่ยว โดยทั่วไปจะไม่จ่ายเงินใดๆ จนกว่าจะถึงช่วงท้ายของเวลาซึ่งเงินต้นและดอกเบี้ยสะสมจะถูกนำมาคิด ดังนั้นเงินรวมซึ่งเกิดจากเงินต้นและดอกเบี้ยจะหาได้จากสมการดังนี้

$$F = P + I$$
$$= P + i.n.P$$

หรือ $F = P(1 + i.n)$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.5 ดอกเบี้ยทบต้น

ดอกเบี้ยทบต้น (Compound Interest) คือ ดอกเบี้ยที่คิดโดยการนำเอาดอกเบี้ยในงวดก่อนๆ ทบเข้ากับเงินต้นด้วย หรือกล่าวได้ว่าเป็นการคำนวณดอกเบี้ยของดอกเบี้ย

ด้วย (interest on interest) ซึ่งหมายถึง การคำนวณเงินต้นบวกกับดอกเบี้ยทั้งหมดที่ได้รับในงวดก่อนๆ ทบเข้าไปเรื่อยๆ จนกระทั่งครบกำหนดการฝากตามระยะเวลาที่ตกลงกันไว้

เมื่อคิดดอกเบี้ยทบต้น ระยะเวลาทั้งหมดจะถูกแบ่งย่อยออกเป็นช่วงเวลาที่คิดดอกเบี้ย (interest period) หลายๆ ช่วง เช่น หนึ่งปี ครึ่งปี สามเดือน หรือหนึ่งเดือน เป็นต้น โดยจะมีการคิดดอกเบี้ยในตอนปลายของแต่ละช่วงเวลาที่คิดดอกเบี้ย และจะถูกสะสมจากช่วงเวลาหนึ่งถึงช่วงเวลาต่อไป

2.6.6 สมการพื้นฐานเกี่ยวกับดอกเบี้ยทบต้น

จากแนวความคิดที่ว่า ค่าของเงินเปลี่ยนไปตามระยะเวลา ดังนั้นจำนวนเงินที่ไม่เท่ากันแต่เกิดที่เวลาต่างกันก็อาจมีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์เท่ากันได้ นั่นคือสามารถใช้แลกสิ่งของหรือซื้อบริการอย่างเดียวกันได้ เช่น ถ้าค่าของเงินลดลง 7% ต่อปี จะได้ว่าเงินจำนวน 100 บาทในปีนี้ จะมีมูลค่าเทียบเท่ากับเงินจำนวน 107 บาทในปีหน้า หรือเงินจำนวน 93.46 บาทเมื่อปีที่แล้วจะมีมูลค่าเทียบเท่ากับเงินจำนวน 100 บาทในปีนี้ แต่เงิน 93.46 บาทเมื่อปีที่แล้ว กับเงินจำนวน 100 บาทในปีนี้ และเงินจำนวน 107 บาทในปีหน้าจะมีมูลค่าไม่เทียบเท่ากัน เมื่อค่าของเงินลดลงไม่เท่ากับ 7% ต่อปี เพราะฉะนั้นในการรวมหรือหักลบจำนวนเงินที่เกิดขึ้น ณ เวลาต่างๆ กัน จะนำมารวมหรือหักลบกันโดยตรงไม่ได้ แต่จะต้องนำจำนวนเงิน ณ เวลาต่างๆ กันมาคิดเทียบให้เป็นค่าของเงิน ณ เวลาเดียวกันก่อนแล้วจึงจะนำมารวมหรือหักลบกันได้

ในทางปฏิบัติการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมจะใช้ทฤษฎีดอกเบี้ยทบต้น ซึ่งมีสมการพื้นฐานหกสมการ นักเศรษฐศาสตร์ได้กำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้ในสมการพื้นฐานไว้ดังนี้

P = ค่าเงินปัจจุบัน หรือเงินต้น (Present Worth)

F = จำนวนเงินในอนาคต หรือเงินรวม (Future Worth)

A = จำนวนเงินเฉลี่ยเท่ากันรายปี หรือเงินที่ชำระเท่ากันเป็นงวดๆ ที่แต่ละปลายคาบเวลา (Uniform Annual Cash)

I = อัตราดอกเบี้ย หรืออัตราผลตอบแทนต่อคาบเวลา (Interest Rate)

n = จำนวนคาบเวลา หรือจำนวนครั้งที่คิดดอกเบี้ย ซึ่งมักนิยามคิดเป็นจำนวนปี (Number of Interest Periods)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สมการพื้นฐานหกสมการของทฤษฎีดอกเบี้ยทบต้นซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเงินจำนวนต่างๆ ที่ใช้สัญลักษณ์ดังกล่าวข้างต้น มีดังต่อไปนี้

(1) หาจำนวนเงินในอนาคตจากค่าเงินในปัจจุบัน ซึ่งก็คือการหาจำนวนเงินรวมที่ปลายคาบ n จากจำนวนก้อนของเงินต้นนั่นเอง โดยสามารถเขียนเป็นแผนภาพแสดงกระแสเงินของโครงการและเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F = P(1+i)^n \quad \text{.... (1)}$$

(2) หาค่าเงินปัจจุบันจากจำนวนเงินในอนาคต ซึ่งก็คือการหาจำนวนเงินต้นที่เวลาเริ่มแรกจากจำนวนเงินรวมที่ปลายคาบ n โดยสามารถเขียนเป็นแผนภาพแสดงกระแสเงินของโครงการและเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P = F\frac{1}{(1+i)^n} \quad \text{.... (2)}$$

(3) หาจำนวนเงินในอนาคตจากจำนวนเงินเฉลี่ยเท่ากันรายปี ซึ่งก็คือการหาจำนวนเงินรวมที่ปลายคาบเวลา n จากการสะสมเงินเป็นอนุกรมของเงินจำนวนเท่าๆ กัน ที่แต่ละปลายคาบเวลาจำนวน n คาบ โดยเขียนเป็นแผนภาพแสดงกระแสเงินของโครงการ และเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F = A\frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad \text{… (3)}$$

(4) หาจำนวนเงินเฉลี่ยเท่ากันรายปีจากจำนวนเงินในอนาคต ซึ่งก็คือการหาจำนวนเงินที่เป็นอนุกรมเท่าๆ กันที่แต่ละปลายคาบเวลาจำนวน n คาบ จากจำนวนเงินรวมที่ปลายคาบเวลา n โดยเขียนเป็นแผนภาพแสดงกระแสเงินของโครงการ และเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$A = F\frac{i}{(1+i)^n - 1} \quad \text{… (4)}$$

(5) หาค่าเงินปัจจุบัน จากจำนวนเงินเฉลี่ยเท่ากันรายปี ซึ่งก็คือการหาจำนวนเงินต้นที่เวลาเริ่มต้นของเวลา n คาบ จากจำนวนเงินที่เป็นอนุกรมเท่าๆ กัน ที่แต่ละปลายคาบเวลาจำนวน n คาบ โดยเขียนเป็นแผนภาพแสดงกระแสเงินของโครงการ และเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P = A\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad \text{… (5)}$$

(6) หาจำนวนเงินเฉลี่ยเท่ากันรายปีจากค่าเงินปัจจุบัน ซึ่งก็คือการหาจำนวนเงินที่เป็นอนุกรมเท่าๆ กัน ที่แต่ละปลายคาบเวลาจำนวน n คาบ จากจำนวนเงินต้นที่เวลาเริ่มต้นของ n คาบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$A = P\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad \ldots (6)$$

ที่มาของสมการดอกเบี้ยทบต้นทั้งหกสมการ จากนิยามพื้นฐานของดอกเบี้ยทบต้นและอัตราดอกเบี้ยทบต้น ดอกเบี้ยที่ปลายคาบเวลาคาบแรกเท่ากับ เงินต้นของคาบคูณกับอัตราดอกเบี้ยต่อคาบ ซึ่งก็คือ P คูณกับ I ดังนั้นเงินรวม F_1 ที่ปลายคาบแรกมีค่าดังนี้

$F_1 = P_0+P_0i$

$= P_o(1+i)$

สำหรับปลายปีที่ 2 เงินรวม F_2 มีค่าดังนี้

$F_2 = P_o(1+i)+ P_o(1+i)i$

$= P_o(1+i)(1+i)$

$= P_o(1+i)^2$

สำหรับปลายปีที่ 3 เงินรวม F_3 มีค่าดังนี้

$F_3 = P_o(1+i)^2+ P_o(1+i)^2i$

$= P_o(1+i)^2(1+i)$

$= P_o(1+i)^3$

จึงเป็นที่ปรากฏชัดว่า สำหรับคาบ n จะมีค่าของเงินเท่ากับ

$F_n = P_0(1+i)^n$

$P_0 = F_n/(1+i)^n$

สำหรับความสัมพันธ์ของ F กับ A ต้องระลึกไว้เสมอว่าจำนวนเงิน A เป็นจำนวนเงินที่ปลายคาบ การชำระครั้งสุดท้ายกระทำที่ปลายคาบ n จึงไม่มีดอกเบี้ย การชำระครั้งแรกกระทำที่ปลายคาบแรก หรือที่ n=1 การชำระครั้งแรกจะสะสมดอกเบี้ยเท่ากับ n-1 คาบ ดังนั้นเงินที่ปลายคาบ n คิดจากการชำระครั้งแรกมีค่าเท่ากับ $A(1+i)^{n-1}$ และจำนวนเงินที่ปลายคาบ n ที่เกิดจากการชำระครั้งสุดท้ายมีค่าเท่ากับ $A(1+i)^0$ หรือเท่ากับ A ซึ่งคิดในทำนองเดียวกันกับการหาค่าเงินรวมจากเงินต้นและดอกเบี้ยทบต้นที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นเมื่อนำค่าเงินทั้งหมดที่เกิดจากการชำระที่แต่ละปลายคาบมาเรียงย้อนลำดับ จะได้ค่าเป็นอนุกรมเรขาคณิต (Geometric series) ที่มีช่วงจาก $A(1+i)^0$ ถึง $A(1+i)^{n-1}$

$F = A(1+i)^0+ A(1+i)^1 +A(1+i)^2 +\ldots+A(1+i)^{n-1}$

$F = A+ A(1+i)^1 +A(1+i)^2 +\ldots+A(1+i)^{n-1}$ ... (a)

คูณ (1+i) ทั้งสองข้าง

$F(1+i) = A(1+i)^1+ A(1+i)^2 +...+A(1+i)^{n-1} +A(1+i)^n$ ... (b)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลบ (b) ด้วย (a)

$$F(1+i)-F = -A+A(1+i)^n$$

ดังนั้น $F = A\frac{(1+i)^n-1}{i}$ หรือ $A = F\frac{i}{(1+i)^n-1}$

เมื่อแทนค่า $F = P(1+i)^n$

จะได้ $P(1+i)^n = A\frac{(1+i)^n-1}{i}$

$P = A\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}$ หรือ $A = P\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$

2.6.7 องค์ประกอบหลักในการคำนวณค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Basic Factors in Economic Calculation)

กำหนดให้

P = มูลค่าเงินปัจจุบัน (Present Worth: the amount of money at the time zero)

F = มูลค่าเงินอนาคต (Future Worth: the amount of money at the time n)

A = มูลค่าเงินรายปี (Equivalent uniform annual series of investment)

n = ปีที่แปลงค่าเงิน (the number of period)

i = อัตราดอกเบี้ย (Interest rate)

ตารางที่ 2.3 การใช้สัญลักษณ์เพื่อคำนวณกระแสเงิน

ต้องการหาค่า	สิ่งที่ให้มา	Factor	สมการ
P	F	(P/F, i%, n)	P=F(P/F, i%, n)
F	P	(F/P, i%, n)	F=P(F/P, i%, n)
P	A	(P/A, i%, n)	P=A(P/A, i%, n)
A	P	(A/P, i%, n)	A=P(A/P, i%, n)
A	F	(A/F, i%, n)	A=F(A/F, i%, n)
F	A	(F/A, i%, n)	F=A(F/A, i%, n)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.8 วิธีวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

วิธีการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ แต่ละวิธีจะมีความเหมาะสมแตกต่างกันไป สำหรับ วิธีการวิเคราะห์โครงการที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่

1. วิธีค่าเทียบเท่าจำนวนเงินเท่ากันรายปี (Equivalent Uniform Annual Cost Method)
2. วิธีค่าเงินปัจจุบัน (Present Worth of Cost Method)
3. วิธีอัตราผลตอบแทน (Rate of Return Method)
4. วิธีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (Benefit/Cost Ratio Method)
5. วิธีจุดคุ้มทุน (Break Even Analysis)

การวิเคราะห์โครงการเพื่อศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีต่างๆ เหล่านี้จะมีรายละเอียดและการนำไปใช้ประโยชน์แตกต่างกัน ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไปนี้

(1) วิธีค่าเทียบเท่าจำนวนเงินรายปี รายได้หรือผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของโครงการวิศวกรรมจะมีลักษณะทำนองเดียวกับการดำเนินงานธุรกิจอื่น โดยรายได้และรายจ่ายจะมีการเปลี่ยนแปลงไปทุกปี โดยในช่วงแรกอาจจะไม่มีรายได้หรือรายได้ต่ำแล้วค่อยสูงขึ้นเรื่อยๆ จนให้รายได้สม่ำเสมอเกือบเท่ากันทุกปี และจะค่อยๆ ลดลงในช่วงท้ายของโครงการ ส่วนค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานจะไม่ค่อยแน่นอน เช่น ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องจักรจะผันแปรตามสภาพและการใช้งาน ซึ่งมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่ออายุการใช้งานมากขึ้น ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับอัตราค่าจ้างแรงงานก็เพิ่มขึ้นตามระยะเวลา

วิธีค่าเทียบเท่าจำนวนเงินรายปีเป็นการคำนวณหาจำนวนเงิน ซึ่งเฉลี่ยให้เท่าๆ กันทุกปี เพื่อใช้เป็นดัชนีแสดงผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายของโครงการ จึงเป็นการสะดวกและง่ายแก่ผู้จะนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจในการพิจารณาคัดเลือกโครงการ แนวคิดของวิธีค่าเทียบเท่าจำนวนเงินเท่ากันรายปี ก็คือ ค่าของเงินมีการแปรเปลี่ยนตามระยะเวลา จึงมีการคำนวณเปลี่ยนรายได้และรายจ่ายของโครงการให้เป็นจำนวนเงินที่เท่าๆ กันทุกปี ตามหลักการทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งใช้หลักของดอกเบี้ยดังหัวข้อที่ 2.6.4 ซึ่งไม่ใช่การเฉลี่ยตามวิธีทางคณิตศาสตร์ ข้อสำคัญที่จะต้องตระหนักอยู่เสมอก็คือ จำนวนเงินที่แสดงด้วยตัวเลขเท่ากันในแต่ละปีไม่ได้หมายความว่าค่าของเงินในแต่ละปีจะเท่ากัน ค่าที่แท้จริงในแต่ละปีจะแตกต่างกันแต่การแสดงผลประโยชน์เป็นจำนวนเงินเฉลี่ยเท่ากันรายปีด้วยตัวเลขที่เท่ากันทุกๆ ปี จะทำให้สะดวกง่ายต่อการเปรียบเทียบการดำเนินงานของโครงการตามวิธีต่างๆ

หลักการวิเคราะห์โครงการด้วยวิธีค่าเทียบเท่าจำนวนเงินเท่ากันรายปี คือ เปลี่ยนเงินลงทุนค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการดำเนินงาน และผลประโยชน์ทั้งหมดของโครงการให้เป็นค่าเทียบเท่าจำนวนเงินเท่ากันรายปี จากนั้นก็รวมรายรับและรายจ่ายที่ได้รับการเปลี่ยนเป็นค่าเทียบเท่าจำนวนเงินเท่ากันรายปี ซึ่งเขียนเป็นสูตรในการการคำนวณได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

$$EUAC = \left[-I + \sum_{t=1}^{n} (P/F, i\%, t)(B_t - C_t) \right] (A/P, i\%, n)$$

เมื่อกำหนดให้ EUAC = ค่าเทียบเท่าจำนวนเงินเท่ากันรายปีของโครงการ

I = จำนวนเงินลงทุนหรือค่าใช้จ่ายเมื่อเริ่มโครงการ

B_t = รายได้ของโครงการในปีที่ t

C_t = รายจ่ายของโครงการในปีที่ t

i = อัตราดอกเบี้ยหรืออัตราผลประโยชน์ตอบแทน

n = ระยะเวลาดำเนินงานของโครงการ

สมการข้างต้น เป็นการคิดเทียบเท่าสำหรับโครงการที่มียอดรายได้หรือรายจ่ายในแต่ละปีที่ดำเนินโครงการไม่เท่ากัน ส่วนวิธีที่ 2 นี้จะเหมาะสำหรับโครงการที่มีรายได้สุทธิในแต่ละปีเท่ากันและเมื่อนำไปรวมกับค่าลงทุนของโครงการตลอดจนรายได้จากมูลค่าคงเหลือของโครงการเมื่อสิ้นสุดโครงการแล้ว จะเขียนเป็นสูตรในการคำนวณได้ดังนี้

$$EUAC = -I(A/P,i\%,n) - C_a + B_a + S(A/F,i\%,n)$$

เมื่อกำหนดให้ EUAC = ค่าเทียบเท่าจำนวนเงินเท่ากันรายปีของโครงการ

I = จำนวนเงินลงทุนหรือค่าใช้จ่ายเมื่อเริ่มโครงการ

B_a = รายได้ของโครงการซึ่งเท่ากันทุกปี

C_a = รายจ่ายของโครงการซึ่งเท่ากันทุกปี

i = อัตราดอกเบี้ยหรืออัตราผลประโยชน์ตอบแทน

n = ระยะเวลาดำเนินงานของโครงการ

S = มูลค่าคงเหลือของโครงการซึ่งขายได้เมื่อสิ้นสุดโครงการ

การวิเคราะห์ด้วยวิธีค่าเทียบเท่าจำนวนเงินเท่ากันรายปีนี้ ถ้าหากโครงการใดให้ผลมากกว่าการดำเนินงานของอีกโครงการหนึ่งเป็นจำนวนเงินเท่าใดแล้ว หมายความว่า การดำเนินงานทั้งสองนั้นมีมูลค่าเงินที่แตกต่างกันเป็นจำนวนเงินเท่านั้น แต่จำเป็นต้องใช้เวลาดำเนินโครงการเท่ากันด้วย

การใช้วิธีนี้จะได้ผลดีถูกต้องก็ต่อเมื่อผู้วิเคราะห์สามารถคาดคะเน อัตราผลตอบแทนจากโครงการหรืออัตราดอกเบี้ยที่ใช้คำนวณเปลี่ยนค่าใช้จ่ายและรายได้เป็นค่าเทียบเท่าจำนวนเงินเท่ากันรายปี และมูลค่าคงเหลือของโครงการเมื่อสิ้นสุดโครงการ ได้อย่างถูกต้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(2) วิธีค่าเงินปัจจุบัน วิธีค่าเงินปัจจุบัน หรือ NPV: Net Present Value เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมในลักษณะดังต่อไปนี้

- วิเคราะห์ผลตอบแทนที่จะได้รับจากโครงการ
- เปรียบเทียบผลตอบแทนที่จะได้รับจากโครงการที่ดำเนินงานด้วยวิธีต่างๆ กัน

หลักการของวิธีค่าเงินปัจจุบันก็คือ เปลี่ยนเงินลงทุน ค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการดำเนินงานและผลประโยชน์ทั้งหมดของโครงการให้เป็นค่าเงินปัจจุบัน แล้วรวมค่าเงินปัจจุบันเหล่านี้เป็นค่าเงินปัจจุบันของโครงการ ซึ่งเขียนเป็นสูตรการคำนวณได้ว่า

$$\text{PWOC} = -I + \sum_{t=1}^{n} (P/F, i\%, n)(B_t - C_t)$$

เมื่อกำหนดให้ PWOC = ค่าเงินปัจจุบันของโครงการ

I = จำนวนเงินลงทุนหรือค่าใช้จ่ายเมื่อเริ่มโครงการ

B_t = รายได้ของโครงการในปีที่ t

C_t = รายจ่ายของโครงการในปีที่ t

i = อัตราดอกเบี้ยหรืออัตราผลประโยชน์ตอบแทน

n = ระยะเวลาดำเนินงานของโครงการ

สำหรับโครงการด้านการขนส่ง ซึ่งเป็นโครงการเพื่อสาธารณประโยชน์ ผลประโยชน์ที่ได้รับอาจไม่เป็นรายได้ตัวเงิน แต่อาจเป็นผลประโยชน์ที่ส่วนรวมหรือประชาชนได้รับ เช่น ลดค่าใช้จ่ายลง ดังนั้น วิธีค่าเงินปัจจุบันจึงอาจเขียนเป็นสูตรในการคำนวณได้ว่า

$$\text{PWOC} = -I + S(P/F, i\%, n) - M(P/A, i\%, n) - U(P/A, i\%, n)$$

เมื่อกำหนดให้ PWOC = ค่าเงินปัจจุบันของโครงการ

I = จำนวนเงินลงทุนหรือค่าใช้จ่ายเมื่อเริ่มโครงการ

S = มูลค่าคงเหลือของโครงการ

M = ค่าใช้จ่ายเท่ากันรายปีซึ่งคิดจากค่าบริหาร บริการและบำรุงรักษาโครงการ

U = ค่าใช้จ่ายเท่ากันรายปีของผู้ใช้โครงการ

i = อัตราดอกเบี้ยหรืออัตราผลประโยชน์ตอบแทน

n = ระยะเวลาดำเนินงานของโครงการ

ในโครงการทั่วๆ ไป โดยเฉพาะโครงการของธุรกิจเอกชนวิธีค่าเงินปัจจุบัน จะแสดงให้เห็นผลต่างระหว่างค่าเงินปัจจุบันของรายได้และรายจ่ายของโครงการ โครงการที่มีค่าเงิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจุบันของโครงการเป็นบวกจะเป็นโครงการที่มีรายได้มากกว่ารายจ่าย ซึ่งถือว่ามีความเหมาะสมทางการเศรษฐศาสตร์ หากมีค่าเงินปัจจุบันของโครงการเป็นลบ จะเป็นโครงการที่มีรายจ่ายมากกว่ารายได้จึงเป็นโครงการที่ไม่เหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์มักไม่ได้รับการพิจารณาให้ดำเนินงาน

(3) วิธีอัตราผลตอบแทน อัตราผลตอบแทน หมายถึง ผลประโยชน์ที่ได้รับจากการลงทุนเป็นอัตราร้อยละต่อหนึ่งคาบเวลาของการลงทุน โดยปกติคิดเป็นร้อยละต่อปี อัตราผลตอบแทนจะมีความหมายต่างๆ กันตามลักษณะของการศึกษาในสาขาต่างๆ ดังนี้

1. ด้านบัญชี อัตราผลตอบแทน หมายถึง อัตราส่วนคิดเป็นร้อยละของกำไรสุทธิต่อเงินลงทุนตามบัญชี

2. ด้านบริหารธุรกิจ อัตราผลตอบแทน หมายถึง อัตราส่วนคิดเป็นร้อยละของค่าเงินปัจจุบัน ของกำไรต่อค่าเงินปัจจุบันของการลงทุน

3. ด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม อัตราผลตอบแทน หมายถึง อัตราดอกเบี้ยที่ทำให้ค่าเงินปัจจุบัน ของรายได้ของโครงการเท่ากับค่าเงินปัจจุบันของค่าใช้จ่ายทั้งหมดของโครงการ การหาอัตราผลตอบแทนของโครงการต่างๆ เป็นวิธีที่ช่วยให้สามารถกำหนดความพึงพอใจในการลงทุนและสามารถเปรียบเทียบโครงการต่างๆ ได้ ถ้าหากว่าโครงการใดมีอัตราผลตอบแทนสูงกว่าภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ในลักษณะเดียวกัน โครงการนั้นย่อมมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์มากกว่า การวิเคราะห์โครงการด้านเศรษฐศาสตร์ ด้วยวิธี การหาอัตราผลตอบแทนจะต้องคำนวณหาอัตราผลตอบแทนจากสมการซึ่งมีค่าเงินปัจจุบันของรายได้เท่ากับเงินปัจจุบันของรายจ่าย หรือกล่าวได้ว่าเป็นสมการที่มีค่าเงินปัจจุบันรวมของโครงการเท่ากับศูนย์ เราสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\sum_{t=1}^{n} B_t(P/F,i\%,t) = I + \sum_{t=1}^{n} C_t(P/F,i\%,t)$$

หรือ

$$-I + \sum_{t=1}^{n} (B_t - C_t)(P/F,i\%,t) = 0$$

เมื่อกำหนดให้

I	=	จำนวนเงินลงทุนหรือค่าใช้จ่ายเมื่อเริ่มโครงการ
B_t	=	รายได้ของโครงการในปีที่ t
C_t	=	รายจ่ายของโครงการในปีที่ t
i	=	อัตราดอกเบี้ยหรืออัตราผลประโยชน์ตอบแทน
n	=	ระยะเวลาดำเนินงานของโครงการ

หลักการวิเคราะห์โครงการด้วยวิธีนี้ก็คือ หาอัตราผลตอบแทนของโครงการถ้าโครงการใดให้อัตราผลตอบแทนสูงกว่าอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่กำหนดไว้ ก็จะพิจารณาตัดสินใจดำเนินงานตามโครงการนั้น แต่จะยกเลิกโครงการนั้นๆ ถ้าให้อัตราผลตอบแทนต่ำกว่าเป้าหมาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หรืออัตราดอกเบี้ยที่กำหนดไว้จากเกณฑ์ วิธีค่าเงินปัจจุบันจะเห็นได้ว่ามีข้อเสียประการหนึ่งคือ ค่าเงินปัจจุบันบอกเพียงว่าโครงการนั้นสามารถทำกำไรให้แก่ผู้เป็นเจ้าของโครงการได้หรือไม่ ถ้าได้จะได้มากน้อยเพียงใด โดยเรากำหนดอัตราดอกเบี้ยเข้าไปในสูตรของวิธีมูลค่าปัจจุบัน แต่เราไม่สามารถบอกแก่ผู้ลงทุนได้ว่าโครงการที่กำลังพิจารณาจะคืนทุนให้ในอัตราเท่าใด เมื่อเป็นเช่นนี้ ผู้ลงทุนโดยทั่วไปจึงหันมานิยมใช้เกณฑ์อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR: Internal Rate of Return) ซึ่งหมายถึง

1. อัตราส่วนตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์เท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่าย
2. อัตราความสามารถของเงินทุนที่ทำให้ผลประโยชน์คุ้มกับค่าใช้จ่ายเมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบัน
3. อัตราส่วนลดที่ทำให้ NPV = 0

การพิจารณาตัดสินใจลงทุนดำเนินโครงการ กระทำได้โดยนำค่า IRR ไปเปรียบเทียบกับอัตราค่าเสียโอกาสของเงินทุน ซึ่งอาจเป็นอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของสถาบันการเงิน อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำสุดที่ธุรกิจยอมรับได้ หรืออัตราตอบแทนจากการลงทุนระยะยาวที่กฎหมายกำหนด ข้อดีของการใช้วิธีอัตราผลตอบแทนก็คือ ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์จะให้ค่าอัตราผลตอบแทนจากการลงทุน ทำให้ผู้พิจารณาโครงการและบุคคลส่วนใหญ่สามารถเข้าใจสถานภาพผลตอบแทนที่ได้จากการลงทุนของโครงการได้ง่าย เพราะคล้ายคลึงกับดอกเบี้ยที่จะได้รับจากการนำเงินไปฝากธนาคาร นอกจากนั้นในกรณีที่มีเงินลงทุนจำกัด ผู้วิเคราะห์สามารถนำเอาผลลัพธ์จากวิธีอัตราผลตอบแทนนี้ไปใช้ในการวิเคราะห์จัดลำดับวิธีการดำเนินงานให้สามารถได้รับผลตอบแทนที่ดีที่สุดก็ได้

(4) วิธีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน วิธีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนจะใช้มากในการประเมินคุณค่าของโครงการของรัฐ ในการประกอบการธุรกิจทั่วๆ ไป เจ้าของกิจการย่อมต้องคำนึงถึงรายได้และรายจ่ายในการดำเนินกิจการเพื่อให้ได้กำไรเพียงพอที่สามารถดำเนินกิจการต่อไปได้ แต่ในการบริหารงานโครงการต่างๆ ของรัฐซึ่งเป็นกิจการสาธารณูปโภค การดำเนินจะไม่ได้คำนึงถึงผลกำไรเป็นหลัก จุดประสงค์หลักของโครงการก็คือการพัฒนาประเทศและการให้บริการด้านสวัสดิการแก่ประชาชน ดังนั้นการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการของรัฐ จึงคำนึงถึงผลประโยชน์ที่สังคมส่วนรวมจะได้รับมากกว่าที่จะนึกถึงกำไร

หลักการของวิธีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนก็คือ หาอัตราส่วนของผลประโยชน์ที่ได้รับต่อค่าใช้จ่ายที่ลงทุนทั้งหมดของโครงการ โครงการที่ได้รับการพิจารณาให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดำเนินการได้จะต้องมีค่าของอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินทุนที่มากกว่าหนึ่ง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ผลประโยชน์ที่ได้รับจะต้องมีค่ามากกว่าค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ลงทุนของโครงการ

คำว่าผลประโยชน์ของโครงการ หมายถึง สิ่งที่เป็นประโยชน์ซึ่งได้รับเพิ่มขึ้นทั้งในด้านทรัพย์สินและสวัสดิการจากโครงการ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพการณ์ที่ยังไม่มีการดำเนินงานตามโครงการผลประโยชน์ในแง่ของโครงการของรัฐซึ่งทำเพื่อสาธารณประโยชน์จะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ผลประโยชน์ที่ได้รับในรูปของการเพิ่มรายได้หรือเพิ่มผลผลิต เช่น รายได้ที่เพิ่มจากการเก็บค่าผ่านทางที่ยวดยานสัญจรผ่านมากขึ้น

2. ผลประโยชน์ที่ได้รับในรูปของการประหยัดค่าใช้จ่าย และลดความเสียหาย เช่น เส้นทางที่ยวดยานสามารถแล่นได้โดยไม่ติดขัดจะช่วยให้ประหยัดค่าน้ำมันเชื้อเพลิงและเวลาของผู้ใช้บริการเส้นทางนั้นลง หรือความปลอดภัยที่มากขึ้นโดยวัดจากความเสียหายที่เกิดจากอุบัติเหตุนั้นลดระดับความรุนแรงลง

เงินลงทุนของโครงการ หมายถึง ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ต้องชำระตลอดการดำเนินงานตามโครงการ จึงเป็นผลรวมของค่าใช้จ่ายลงทุนเริ่มแรกของโครงการ เช่น ค่าก่อสร้าง ค่าเครื่องจักร ค่าซ่อมบำรุง ค่าบริหารหรือดำเนินการ เป็นต้น

การคำนวณหาอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน จะเปลี่ยนรายได้และรายจ่ายทั้งของโครงการให้เป็นค่าเงินปัจจุบัน หรืออาจเปลี่ยนให้เป็นค่าเทียบเท่าปัจจุบันรายปีก็ได้ แต่มักนิยมคิดเป็นค่าเงินปัจจุบันมากกว่า ซึ่งสามารถเขียนเป็นสูตรที่ใช้ในการคำนวณได้ดังนี้

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^{n} B_t (P/F, i\%, n)}{I + \sum_{t=1}^{n} C_t (P/F, i\%, n)}$$

เมื่อกำหนดให้ B/C = อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (Benefit Cost Ratio)

B_t = ผลประโยชน์ของโครงการปีที่ t

I = ค่าใช้จ่ายเมื่อเริ่มโครงการ หรือค่าเงินลงทุน

C_t = ค่าใช้จ่ายของโครงการปีที่ t

n = ระยะเวลาในการดำเนินงานของโครงการ

ถ้าผลประโยชน์ของโครงการในแต่ละปีมีค่าเท่ากัน และค่าใช้จ่ายของโครงการในแต่ละปีก็มีค่าเท่ากัน ก็อาจใช้การคำนวณโดยคิดเป็นค่าเทียบเท่าจำนวนเงินเท่ากันรายปีก็จะสะดวกกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งสามารถเขียนเป็นสูตรที่ใช้ในการคำนวณได้ว่า

$$B/C = \frac{B + B_n(A/F, i\%, n)}{I(A/P, i\%, n) + C + C_n(A/F, i\%, n)}$$

เมื่อกำหนดให้

B/C = อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (Benefit Cost Ratio)
B = ผลประโยชน์ที่เท่ากันรายปีระหว่างการดำเนินการของโครงการ
B_n = ผลประโยชน์ที่ได้รับเมื่อสิ้นสุดโครงการ หรือมูลค่าคงเหลือ
I = ค่าใช้จ่ายเมื่อเริ่มโครงการ หรือค่าเงินลงทุน
C = ค่าใช้จ่ายที่เท่ากันรายปีระหว่างการดำเนินการของโครงการ
C_n = ค่าใช้จ่ายที่ต้องชำระเพิ่มเมื่อสิ้นสุดโครงการ
n = ระยะเวลาในการดำเนินงานของโครงการ

วิธีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน มีประโยชน์มากในการวิเคราะห์เพื่อการพิจารณาตัดสินใจเลือกโครงการหลายๆ โครงการ หรือเลือกวิธีดำเนินงานวิธีใดวิธีหนึ่งจากหลายๆ วิธี ข้อเสียของวิธีนี้ก็คือ บางครั้งอาจประสบกับปัญหาที่จะต้องกำหนดผลของโครงการว่าควรจะเป็นค่าใช้จ่าย หรือเป็นผลประโยชน์ที่ลดลง ซึ่งมีผลต่อค่าอัตราส่วนที่จะคำนวณได้และอาจทำให้การตัดสินใจแตกต่างจากวิธีการวิเคราะห์วิธีอื่นๆ

(5) วิธีจุดคุ้มทุน จุดคุ้มทุน หมายถึง จุดที่รายได้จากการลงทุนคุ้มค่ากับค่าลงทุน อาจเรียกว่าจุดเท่าทุน ซึ่งกล่าวได้ว่าเป็นจุดที่รายรับและรายจ่ายเท่ากัน หรือมีกำไรเป็นศูนย์นั่นเอง

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนมักใช้กับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางเศรษฐศาสตร์ของสถานะต่างๆ ในระยะสั้น และต้องมีข้อมูลที่ค่อนข้างแน่นอนเพื่อให้การตัดสินใจเป็นไปอย่างถูกต้องมากขึ้น ผลของการวิเคราะห์จะใช้ได้ผลดีก็ต่อเมื่อเงื่อนไข และสภาพการณ์ต่างๆ ไม่เปลี่ยนแปลง

วิธีวิเคราะห์จุดคุ้มทุนนี้จะทำให้เข้าใจความสัมพันธ์ของกำไรและปริมาณการผลิตได้อย่างดี และเป็นประโยชน์มากในการกำหนดนโยบายการผลิตและการควบคุมค่าใช้จ่าย ในด้านบริการธุรกิจการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน คือ การวิเคราะห์หาวิธีการดำเนินงานเพื่อให้รายได้จากการประกอบกิจการเท่ากับค่าใช้จ่ายในการประกอบกิจการ เช่น การวิเคราะห์เพื่อหาจำนวนสินค้าที่ต้องขายเพื่อให้เท่าทุน หรือวิเคราะห์หาจำนวนสินค้าที่ต้องข่ายเพื่อให้ได้กำไรตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

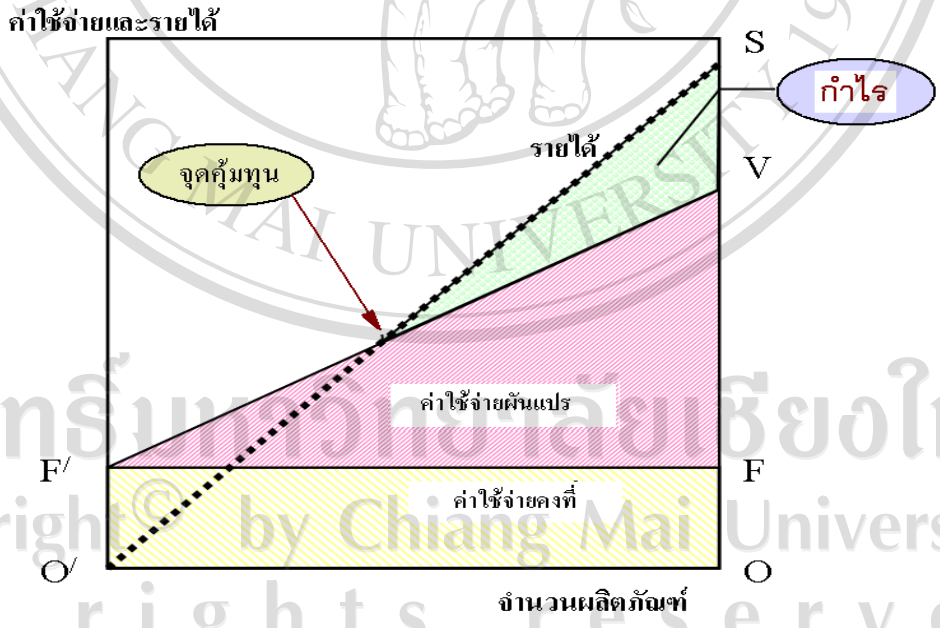
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมต่างๆ ในบางครั้งก็ได้นำวิธีการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนมาประยุกต์ใช้ เช่น การวิเคราะห์หาจำนวนผลิตภัณฑ์ที่โรงงานอุตสาหกรรมต้องผลิตเพื่อให้ได้รายได้คุ้มกับทุน โดยทั่วไปแล้วในขบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมค่าใช้จ่ายในการผลิตจะประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายคงที่ และค่าใช้จ่ายผันแปร

ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) หมายถึง ค่าใช้จ่ายจำนวนคงที่ ซึ่งผู้ประกอบกิจการต้องจ่ายในการดำเนินการไม่ว่าจะทำการผลิตผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนเท่าไรก็ตาม เช่น ค่าสถานที่ประกอบการ ค่าเครื่องจักรอุปกรณ์ ค่าใช้จ่ายด้านบริหาร ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับปริมาณการผลิต

ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost) หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่แปรผันตามจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต เช่น ค่าวัตถุดิบ ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำ ค่าจ้างคนงาน ค่าบำรุงรักษาที่ผันแปรตามจำนวนผลิตภัณฑ์

โดยปกติค่าใช้จ่ายจะสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต และรายได้ของกิจการจะสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนผลิตภัณฑ์ที่จำหน่าย เมื่อใช้สมมติฐานที่ว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเท่ากับผลิตภัณฑ์ที่จำหน่าย ในช่วงระยะเวลานั้น หรือเรียกอีกอย่างว่า ไม่มีสินค้าคงเหลือ นั่นเอง จึงจะสามารถเขียนกราฟแสดงการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนได้ดังภาพ 2.11



ภาพ 2.11 แสดงการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนโดยทั่วไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากภาพ 2.11 เส้นตรง F′F เป็นค่าใช้จ่ายคงที่ในการผลิตหรือการดำเนินโครงการ ไม่ว่าจะผลิตจำนวนมากหรือน้อยค่าใช้จ่ายคงที่จะเท่าเดิมเสมอ เส้นตรง F′V แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายผันแปรของการผลิตจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนของผลิตภัณฑ์บวกกับค่าใช้จ่ายแปรผัน ส่วนเส้นตรง O′S เป็นเส้นรายได้เกิดจากการขายผลิตภัณฑ์หรือรายได้ที่เกิดจากการดำเนินโครงการ เมื่อเส้นตรง O′S ตัดกับเส้นตรง F′V คือจุดที่รายได้เท่ากับรายจ่าย จะเรียกจุดนั้นว่าจุดคุ้มทุน (Breakeven Point) ที่จุดคุ้มทุนนี้ กิจการหรือโครงการที่ดำเนินการอยู่จะมีไม่กำไรและขาดทุน เมื่อจำนวนผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายได้มีเกินกว่าจำนวนผลิตภัณฑ์ที่จุดคุ้มทุน จะทำให้ผลประกอบการมีกำไร หากจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ขายได้น้อยกว่าจำนวนผลิตภัณฑ์ที่จุดคุ้มทุนกิจการก็จะประสบภาวะขาดทุน

สมการคณิตศาสตร์ซึ่งใช้วิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน โดยแสดงรายได้มีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายรวมกับกำไร สามารถเขียนได้ดังนี้

$$PX = F + VX + B$$

เมื่อกำหนดให้ P = ราคาขายสำหรับผลิตภัณฑ์หนึ่งหน่วย

X = จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตและจำหน่ายหมดในเวลาเดียวกัน

F = ค่าใช้จ่ายคงที่สำหรับการดำเนินงานในการผลิต

V = ค่าใช้จ่ายผันแปรต่อหน่วยการผลิต

B = คือ กำไรที่ผู้ประกอบการคาดหวังไว้

จากสมการข้างต้น ถ้าต้องการทราบจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ต้องทำการผลิตและขายได้หมดในเวลาเดียวกัน เพื่อให้ได้กำไร B ตามที่ผู้ประกอบการคาดหวังไว้ สามารถปรับสมการใหม่ได้ดังนี้

$$X = \frac{F + B}{P - V}$$

ในบางครั้งต้องพิจารณาค่าใช้จ่ายของกิจการให้ถูกต้อง เช่น ในบางกรณีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงอาจกลายเป็นค่าใช้จ่ายคงที่ได้เช่นกัน หรือค่าไฟฟ้าที่อาจจะขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิตซึ่งจะเป็นค่าใช้จ่ายผันแปรด้วย แต่ค่าไฟฟ้าสำหรับการให้แสงสว่างแก่โรงงานไม่ใช่เพื่อการผลิตจะเป็นค่าใช้จ่ายคงที่ เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนได้รับการประยุกต์เพื่อนำมาใช้กับโครงการทางวิศวกรรมที่มีปัญหาซึ่งวิธีการวิเคราะห์อื่นๆ ไม่สามารถแก้ปัญหาได้ในกรณีต่อไปนี้

1. มีปัญหาทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการทางวิศวกรรมที่ไม่ทราบค่าตัวแปรบางตัว เช่น การวิเคราะห์โครงการทั่วๆ ไปจะทราบระยะเวลาอายุของโครงการ แต่ในบางกรณีอาจไม่สามารถกำหนดอายุของโครงการได้ ในกรณีเช่นนี้ก็จะนำวิธีการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนมาใช้เพื่อหาเวลาที่จะต้องดำเนินงานให้คุ้มค่ากับการลงทุนทำโครงการ ซึ่งวิธีการดำเนินงานหรือทางเลือกใดให้จุดคุ้มทุนในระยะเวลาอันสั้น มักจะได้รับการพิจารณาให้ใช้เป็นอันดับแรก

2. ต้องพิจารณาตัดสินใจเลือกวิธีการดำเนินงานโครงการจากวิธีการดำเนินงานหลายๆ วิธีที่มีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ในสภานภาพต่างๆ กัน เช่น ทางเลือกหนึ่งมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าอีกทางเลือกหนึ่งเพียงเฉพาะในสถานภาพหนึ่ง แต่เมื่อสถานภาพเปลี่ยนไป วิธีการดำเนินงานวิธีหลังกลับมีความเหมาะสมกว่า ในกรณีเช่นนี้ ผู้พิจารณาโครงการจะต้องวิเคราะห์โดยการหาจุดที่วิธีการดำเนินงานของทางเลือกทั้ง 2 วิธีมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์เท่ากัน ซึ่งก็คือการหาจุดเปลี่ยนวิธีการดำเนินงานที่มักจะเป็นการกำหนดระยะเวลาของโครงการ โดยใช้หลักการและวิธีการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน ในกรณีที่โครงการมีวิธีการดำเนินงานมากกว่า 2 วิธี การวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการดำเนินงานจะกระทำได้โดยนำวิธีการดำเนินงานมาเปรียบเทียบครั้งละคู่จนกระทั่งได้วิธีการดำเนินงานที่ดีที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved