



การออกแบบงานวิศวกรรม เชิงพลังงาน ความร้อน และของไหล



Engineering Design of Energy Thermal and Fluid Systems

สมศักดิ์ ไชยะภินันท์



การออกแบบงานวิศวกรรม
เชิงพลังงาน ความร้อน และของไหล

การออกแบบงานวิศวกรรม
เชิงพลังงาน ความร้อน และของไหล

สมศักดิ์ ไชยะภินันท์



สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2558

880.-

สมศักดิ์ ไชยะภินันท์

การออกแบบงานวิศวกรรมเชิงพลังงาน ความร้อน และของไหล /สมศักดิ์ ไชยะภินันท์

1. การออกแบบงานวิศวกรรม 2. วิศวกรรมความร้อน 3. ความร้อน

621.402

ISBN 978-974-03-2837-7

สปจ. 1536/2



สรรคุณคำวิชาการ ผู้สังคม

www.ChulaPress.com

Knowledge to All

ลิขสิทธิ์ของสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 1,000 เล่ม พ.ศ. 2554

พิมพ์ครั้งที่ 2 จำนวน 1,000 เล่ม พ.ศ. 2558

การผลิตและการลอกเลียนหนังสือเล่มนี้ไม่ว่ารูปแบบใดทั้งสิ้น

ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้จัดทำนาย ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

สาขา

ศาลาพระเกี้ยว โทร. 0-2218-7000-3 โทรสาร 0-2255-4441

สยามสแควร์ โทร. 0-2218-9881-2 โทรสาร 0-2254-9495

ม.นเรศวร จ.พิษณุโลก โทร. 0-5526-0162-4 โทรสาร 0-5526-0165

ม.เทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา โทร. 0-4421-6131-4 โทรสาร 0-4421-6135

ม.บูรพา จ.ชลบุรี โทร. 0-3839-4855-9 โทรสาร 0-3839-3239

โรงเรียนนายร้อย จปร. จ.นครนายก โทร. 0-3739-3023 โทรสาร 0-3739-3023

ม.พะเยา จ.พะเยา โทร. 0-5446-6799-800 โทรสาร 0-5446-6798

จัตุรัสจามจุรี (CHAMCHURI SQUARE) ชั้น 4 โทร. 0-2160-5301-2 โทรสาร 0-2160-5304

รัตนานิเบศร์ (แยกแคราย) โทร. 0-2950-5408-9 โทรสาร 0-2950-5405

Call Center (จัดส่งทั่วประเทศ) โทร. 0-2255-4433 <http://www.chulabook.com>

และเครือข่าย

ร้านค้า หนังสือเข้าชั้นเรียน ติดต่อแผนกขายส่ง สาขารัตนานิเบศร์ (แยกแคราย)

โทร. 0-2950-5408-9 โทรสาร 0-2950-5405

มีจำหน่ายที่ ร้านซีเอ็ดทุกสาขา ร้านนายอินทร์ทุกสาขา และร้านหนังสือชั้นนำทั่วประเทศ

กองบรรณาธิการ : ทิพวรรณ โหละสุต **พิสูจน์อักษร :** วาสนา ชำเซ็น

ออกแบบปก : ชวินทร์ นามมุงคุณ **รูปเล่ม :** ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ไชยะภินันท์

พิมพ์ที่ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [5902-127]

โทร. 0-2218-3549-50 โทรสาร. 0-218-3551

<http://www.cuprint.chula.ac.th>

คำนำพิมพ์ครั้งที่ 2

ในการพิมพ์หนังสือ การออกแบบงานวิศวกรรมเชิงพลังงาน ความร้อน และของไหล ครั้งที่ 2 นี้ จะคงเนื้อหาทั้งหมดของการพิมพ์ครั้งที่ 1 เป็นหลัก จะมีการแก้ไขคำผิดที่เกิดขึ้นจากการพิมพ์ครั้งที่ 1 และได้ปรับปรุงตัวอย่างในบทที่ 6 ให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

สำหรับการใช้หนังสือนี้เพื่อการเรียนการสอนในวิชาการออกแบบงานทางวิศวกรรมในสายพลังงานและความร้อนนั้น สามารถแบ่งใช้เป็น 2 ภาคการศึกษา ในภาคการศึกษาแรก อาจเรียนจากบทที่ 1 ถึงบทที่ 4 และข้ามไปเรียนบทที่ 9 และบทที่ 10 แล้วจึงกลับมาเรียนบทที่ 5 ถึง 7 โดยในบทที่ 5 จะใช้เวลาที่ค่อนข้างรวดเร็วเพราะเป็นการทบทวนสิ่งที่เรียนมาแล้ว และในบทที่ 10 จะเป็นการกล่าวแนะนำหลักการในภาพกว้างโดยไม่ลงรายละเอียดของแต่ละวิธี และอาจเลือกหัวข้อ 10.2 เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเชิงเศรษฐศาสตร์เป็นตัวอย่างของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ในภาคการศึกษาที่สองจึงจะกล่าวถึงบทที่ 8 บทที่ 11 และจะเน้นในบทที่ 12 (ในบทที่ 12 จะครอบคลุมถึงตัวอย่างของงานออกแบบในลักษณะต่าง ๆ และแนวทางในการออกแบบเชิงวิชาชีพ) ซึ่งจะเป็นการกำหนดปัญหาและให้นิสิตทำการออกแบบงานทางวิศวกรรมจริงเป็นลักษณะโครงการ (project) และมีการนำเสนอผลงานที่ได้ออกแบบในลักษณะที่เป็นรายงานและลักษณะที่เป็นคำพูดด้วย

ท้ายนี้ผู้เขียนหวังว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนิสิต นักศึกษา และผู้สนใจอ่านทั่วไป ในการเรียนและทำความเข้าใจในศาสตร์ของการออกแบบงานวิศวกรรมเชิงพลังงาน ความร้อน และของไหล และสามารถเห็นประโยชน์ของการประยุกต์วิชาดังกล่าวไปแก้ปัญหาทางวิศวกรรมได้ต่อไป และผู้อ่านสามารถตรวจสอบการแก้ไขหรือข้อมูลเพิ่มเติม (หากมี) ของหนังสือเล่มนี้ได้ที่ [http://fmescy.lecturer.eng.chula.ac.th/thermal design.pdf](http://fmescy.lecturer.eng.chula.ac.th/thermal%20design.pdf)

สมศักดิ์ ไชยะภินันท์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรกฎาคม 2558

คำนำพิมพ์ครั้งที่ 1

หนังสือ การออกแบบงานวิศวกรรมเชิงพลังงาน ความร้อน และของไหล เล่มนี้ ถูกเขียนขึ้นเพื่อให้เป็นตำราพื้นฐานในวิชาการออกแบบงานวิศวกรรมเชิงพลังงาน ความร้อนและของไหลที่เป็นภาษาไทย เพื่อช่วยให้นิสิต นักศึกษา และผู้ที่สนใจสามารถทำความเข้าใจในวิชาการออกแบบงานวิศวกรรมเชิงพลังงาน ความร้อน และของไหลได้ง่ายและลึกซึ้งมากยิ่งขึ้น วิชาการออกแบบงานวิศวกรรมเชิงพลังงาน ความร้อน และของไหลเป็นวิชาใหม่ที่เป็นวิชาบังคับซึ่งถูกบรรจุไว้ในหลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกลของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา พ.ศ. 2545 วิชานี้ถูกพัฒนาขึ้นและถูกบรรจุไว้ในหลักสูตรใหม่ของวิศวกรรมเครื่องกลเพื่อให้หลักสูตรสามารถรองรับการประเมินตามมาตรฐานของ ABET (Accreditation Board of Engineering and Technology) ซึ่ง ABET ได้กำหนดให้นิสิตวิศวกรรมเครื่องกลที่เรียนตามหลักสูตรนั้นจะต้องมีความสามารถในการออกแบบได้ใน 2 สาย คือต้องมีความสามารถในการออกแบบงานวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับระบบเชิงพลังงานและความร้อน และการออกแบบงานวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับระบบเชิงกล ระบบเชิงกลนั้นจะเกี่ยวข้องกับศาสตร์ของการเคลื่อนที่และความแข็งแรงของวัสดุชิ้นงาน ส่วนระบบเชิงพลังงานและความร้อนจะเกี่ยวข้องกับศาสตร์ของกลศาสตร์ของไหล เทอร์โมไดนามิกส์ และการถ่ายเทความร้อน ซึ่งในหลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกลก่อนหน้านี้จะมีวิชาการออกแบบเครื่องจักร (machine design) อยู่ ซึ่งจะสอดคล้องกับวิชาการออกแบบงานวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับระบบเชิงกลของหลักสูตรใหม่ แต่จะไม่มีวิชาการออกแบบงานวิศวกรรมในสายระบบเชิงพลังงานและความร้อนอยู่เลย จะมีเพียงวิชาเฉพาะที่เป็น วิชา power plant วิชา air conditioning และวิชา refrigeration แทน วิชาการออกแบบงานวิศวกรรมในสายพลังงานและความร้อนจึงถือว่าเป็นวิชาค่อนข้างใหม่สำหรับหลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกลในประเทศไทย วิชาการออกแบบงานวิศวกรรมเชิงพลังงาน ความร้อน และของไหลจะเป็นวิชาที่ให้ภาพรวมของการออกแบบของระบบทางสายพลังงานและความร้อนที่ไม่เจาะจงลงในรายละเอียดเฉพาะในแต่ละการใช้งานเหมือนวิชา power plant วิชา air conditioning และวิชา refrigeration ในหลักสูตรก่อนหน้านี้ รายละเอียดของวิชาการออกแบบงานวิศวกรรมเชิงพลังงาน

ความร้อน และของไหลจะประกอบด้วยหัวข้อหลักต่อไปนี้คือ หลักการการออกแบบ จรรยาบรรณทางวิศวกรรม ความเข้าใจในเรื่องเศรษฐศาสตร์ทางวิศวกรรม การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimization) ศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของไหล เทอร์โมไดนามิกส์ และการถ่ายเทความร้อน ความเข้าใจในเรื่องระบบการลำเลียงของไหล ความเข้าใจในเรื่องสมรรถนะ ข้อเด่นและข้อด้อยของเครื่องจักรกลของไหล และความเข้าใจในเรื่องสมรรถนะ ข้อเด่นและข้อด้อยของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบต่าง ๆ และการนำเอาอุปกรณ์ต่าง ๆ ประกอบเป็นระบบทางวิศวกรรมเชิงพลังงาน ความร้อน และของไหล ในการสอนในวิชาดังกล่าวผู้เขียนประสบปัญหาในการที่จะหาดำราทางภาษาอังกฤษเพียงเล่มเดียวที่จะสามารถครอบคลุมเนื้อหาที่ต้องการได้ครบถ้วนและเหมาะสมสำหรับนิสิตในระดับปริญญาตรี และหลังจากที่ได้ทำการสอนวิชาการออกแบบงานวิศวกรรมในสายพลังงานและความร้อนอย่างต่อเนื่องมาเป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 7 ปี ทำให้ผู้เขียนคิดว่าถึงเวลาที่ควรมีตำราที่ถูกเขียนขึ้นโดยเฉพาะที่สามารถครอบคลุมเนื้อหาที่ต้องการและเหมาะสมสำหรับวิชาการออกแบบในสายพลังงานและความร้อนซึ่งเป็นวิชาในระดับปริญญาตรี ผู้เขียนได้พยายามเขียนและเรียบเรียงตำราเล่มนี้เพื่อให้หนังสือเล่มนี้มีความสมบูรณ์ ทันสมัย และอ่านเข้าใจง่าย พยายามเพิ่มเติมคำอธิบายในตัวอย่างแต่ละตัวอย่างถึงแนวคิดในการแก้ปัญหาอย่างเป็นรูปธรรม รวมทั้งผู้เขียนได้เพิ่มเติมประสบการณ์ต่าง ๆ ที่ได้จากการทำงานวิชาชีพและงานวิจัยในศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบงานวิศวกรรมในสายพลังงานและความร้อนลงในหนังสือเล่มนี้ เพื่อให้หนังสือเล่มนี้นอกจากที่จะถูกใช้เป็นตำราในวิชาระดับปริญญาตรีแล้ว ยังมีความเหมาะสมสำหรับผู้อ่านที่เป็นวิศวกรเครื่องกลที่ทำงานเกี่ยวข้องกับงานออกแบบในสายพลังงานและความร้อนให้สามารถศึกษาเพิ่มเติมและใช้เป็นตำราเสริมเพื่อช่วยในประกอบวิชาชีพและช่วยให้สามารถเข้าใจในเรื่องการออกแบบในสายพลังงานและความร้อนมากยิ่งขึ้น

หนังสือเล่มนี้แบ่งออกเป็น 12 บท โดยที่บทที่ 1 จะเป็นบทที่กล่าวถึง หลักการของการออกแบบทางวิศวกรรม ซึ่งแบ่งเป็นหัวข้อย่อยเป็น บทนำ นิยามของการออกแบบทางวิศวกรรม กระบวนการของการออกแบบทางวิศวกรรม การออกแบบและการวิเคราะห์ ประมวลกฎหมาย และมาตรฐาน

บทที่ 2 จะเป็นบทที่กล่าวถึง จรรยาบรรณทางวิศวกรรม จรรยาบรรณเป็นสิ่งจำเป็นที่คนในสังคมพึงมีพึงปฏิบัติเพื่อช่วยให้สังคมน่าอยู่ ในแต่ละวิชาชีพก็จะมีบัญญัติข้อกำหนดที่เกี่ยวกับจรรยาบรรณเพื่อให้คนในวิชาชีพนั้นปฏิบัติ เพื่อดำรงความน่าเชื่อถือและมีความมีเกียรติให้เป็นที่ยอมรับต่อสังคม ซึ่งในบทนี้ได้แบ่งเป็นหัวข้อย่อยได้เป็น ความรับผิดชอบทางวิชาชีพ จรรยาบรรณทางวิศวกรรม สภาวิศวกรและข้อบังคับ

บทที่ 3 จะเป็นบทที่กล่าวถึง ระบบลำเลียงของไหล เริ่มตั้งแต่การกล่าวถึงสมการหลักที่ใช้วิเคราะห์การไหลของวิชากลศาสตร์ของไหลโดยเน้นในเรื่องการไหลภายใน อันได้แก่ การไหลในท่อที่ใช้ลำเลียงของเหลว และการไหลในท่อที่ใช้ลำเลียงก๊าซหรืออากาศ การหาค่าความดันลดจากการสูญเสียหลักและการสูญเสียรองของการไหลในระบบท่อ ทั้งระบบท่อเดียว ระบบท่อหลายท่อ และระบบท่อที่เป็น network โดยมีการให้รายละเอียดของท่อชนิดต่าง ๆ ที่นิยมใช้ในการลำเลียงของไหล

บทที่ 4 จะเป็นบทที่กล่าวถึง อุปกรณ์ขับเคลื่อนของไหลและระบบท่อ ซึ่งจะเริ่มต้นที่ชนิดของเครื่องจักรกลของไหล ซึ่งแบ่งเป็นเครื่องจักรกลของไหลแบบการจัดเป็นบวก และเครื่องจักรกลของไหลแบบพลวัต ในบทนี้ยังได้นำเสนอลักษณะสมรรถนะจริงของเครื่องจักรกลของไหลชนิดต่าง ๆ รวมทั้งข้อเด่นและข้อด้อยของเครื่องจักรกลของไหลแต่ละประเภท โดยเฉพาะเครื่องสูบลมและพัดลมชนิดต่าง ๆ และข้อควรระวังในการติดตั้ง ที่อาจนำไปสู่ปัญหาต่าง ๆ เช่น ปรากฏการณ์คาวิตีชัน ซึ่งน่าจะเป็นประโยชน์ในระดับหนึ่งต่อผู้อ่านที่ประกอบวิชาชีพทางวิศวกรรมเครื่องกลที่เกี่ยวข้องกับ การออกแบบ การดูแล และการติดตั้งเครื่องจักรกลของไหลเหล่านี้ และยังให้ความสำคัญและให้รายละเอียดในการหาจุดทำงานของเครื่องสูบลมและพัดลมโดยการตัดกันของเส้นโค้งของระบบท่อกับเส้นโค้งสมรรถนะของเครื่องสูบลมและพัดลม ซึ่งถือเป็นหัวใจสำคัญของการเลือกเครื่องจักรกลของไหลให้เหมาะสมกับงาน

บทที่ 5 จะเป็นบทที่กล่าวถึง การถ่ายเทความร้อน ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการถ่ายเทความร้อนใน 3 ลักษณะ คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน สมการหลักที่ต้องใช้ในการคำนวณหาการถ่ายเทความร้อนในลักษณะต่าง ๆ ถูกนำเสนอไว้ในบทนี้

บทที่ 6 จะเป็นบทที่กล่าวถึง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่นำมาใช้เพื่อถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่งไปสู่ของไหลอีกชนิดหนึ่ง ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะทางกายภาพและหลักการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่ และกล่าวถึงการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่ ซึ่งมีทั้งการวิเคราะห์โดยใช้วิธี LMTD (log mean temperature difference) และวิธี effectiveness-NTU สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่จะถูกกล่าวถึงทั้งทางด้านการถ่ายเทความร้อนและความดันลดจากการไหล

บทที่ 7 จะเป็นบทที่กล่าวถึง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะทางกายภาพและหลักการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ และกล่าวถึงการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ ซึ่งมีทั้งการวิเคราะห์โดยใช้วิธี LMTD (log mean temperature difference) และวิธี effectiveness-NTU สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อจะมีทั้งทางด้านการถ่ายเทความร้อนและความดันลดจากการไหล

บทที่ 8 จะเป็นบทที่กล่าวถึง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นและแบบไหลตัดกัน ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะทางกายภาพและหลักการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นและแบบไหลตัดกัน และกล่าวถึงการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นและแบบไหลตัดกัน

บทที่ 9 จะเป็นบทที่กล่าวถึง เศรษฐศาสตร์ทางวิศวกรรม ซึ่งความเข้าใจในเรื่องทางเศรษฐศาสตร์นั้นถือว่าเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของกระบวนการการออกแบบงานทางวิศวกรรม เศรษฐศาสตร์ทางวิศวกรรมจะถูกนำเสนออย่างกระชับเพื่อให้ผู้อ่านมีความเข้าใจพื้นฐานในเรื่องของการคิดค่าใช้จ่ายและต้นทุนของงานทางวิศวกรรมที่มีการออกแบบมา และความคุ้มทุนของงานทางวิศวกรรมที่มีการออกแบบโดยทำการประเมินรายรับที่คาดว่าจะได้รับเทียบกับรายจ่ายของโครงการ ในบทนี้จะกล่าวถึงการคำนวณดอกเบี้ย การคำนวณหาค่าใช้จ่ายหรือรายรับรายวัน รายเดือน หรือรายปีที่ต้องชำระหรือได้รับในช่วงเวลาที่พิจารณาจากเงื่อนไขการกู้หรือการลงทุน

ในลักษณะต่าง ๆ กัน รวมทั้งกล่าวถึงการประเมินความเป็นไปได้ในการลงทุนจากวิธี net present value และการคำนวณระยะเวลาคืนทุน

บทที่ 10 จะเป็นบทที่กล่าวถึง การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimization) ซึ่งถือว่าเป็นศาสตร์ที่มีความซับซ้อนมากพอสมควร ในบทนี้จะเป็นการแนะนำถึงหลักการพื้นฐานของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะมีวิธีในการหาหลากหลาย กระบวนการการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดก็คือ การแปลงปัญหาทางวิศวกรรมและข้อจำกัด (constraints) ของปัญหาให้อยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (objective function และสมการของ constraints) และทำการแก้ปัญหของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในปัญหาดังกล่าว ซึ่งบางครั้งจะเป็นค่ามากที่สุด และในบางครั้งก็จะเป็นค่าน้อยที่สุด วิธีในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่กล่าวถึงในบทนี้มีตั้งแต่ วิธีแคลคูลัส การโปรแกรมแบบเชิงเส้น การโปรแกรมแบบพลวัต การโปรแกรมแบบเรขาคณิต และวิธีค้นหา ในท้ายบทยังได้แสดงการหาค่าของขนาดท่อที่มีขนาดเหมาะสมที่สุดในเชิงเศรษฐศาสตร์ การหาอุณหภูมิขาออกที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และการหาความหนาที่เหมาะสมที่สุดของฉนวนหุ้มท่อ

บทที่ 11 จะเป็นบทที่กล่าวถึง การนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม ซึ่งถือว่าเป็นกระบวนการที่สำคัญกระบวนการหนึ่งของการออกแบบ ถึงแม้ว่างานทางวิศวกรรมที่ได้รับการออกแบบมาอย่างดี แต่หากไม่สามารถนำเสนอผลงานดังกล่าวออกมาอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นมืออาชีพ และดึงดูดใจผู้ฟัง งานดังกล่าวก็อาจไม่ได้รับการยอมรับ ในบทนี้จะกล่าวถึงการนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมทั้งในรูปการเขียน และการนำเสนอด้วยคำพูด

บทที่ 12 จะเป็นบทที่กล่าวถึง ตัวอย่างของระบบงานวิศวกรรมเชิงพลังงาน ความร้อน และของไหลซึ่งสามารถแบ่งเป็น การออกแบบอุปกรณ์ การออกแบบระบบ และการออกแบบเพื่อปรับปรุงอุปกรณ์ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงตัวอย่างของระบบงานวิศวกรรมเชิงพลังงาน ความร้อน และของไหลหลัก ๆ ที่พบเห็นในงานทางวิศวกรรม พร้อมกับแสดงตัวอย่างของการออกแบบเครื่องควบแน่นในรายละเอียด ตัวอย่างของการออกแบบระบบท่อน้ำเย็นของเครื่อง chiller ในด้านอีเวปอเรเตอร์ของระบบปรับอากาศของอาคารในรายละเอียด และในท้ายสุดได้แสดงถึงการออกแบบเพื่อแก้ไขอุปกรณ์ที่มีอยู่เพื่อให้มีการใช้งานมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยใช้การวิเคราะห์

โดยใช้วิธีไฟในตัวอย่างและไฟในตัวอย่างในการปรับปรุงการผลิตในหัวผสมขึ้นรูป
พวงมาลัยรถยนต์

สำหรับการใช้หนังสือเพื่อการเรียนการสอนในวิชาการออกแบบงานทางวิศวกรรมในสาย
พลังงานและความร้อนนั้น ในกรณีที่วิชาดังกล่าวครอบคลุม 2 ภาคการศึกษา ในภาคการศึกษา
แรกอาจจะเรียนจากบทที่ 1 ถึงบทที่ 7 และข้ามไปเรียนบทที่ 9 และบทที่ 10 โดยในบทที่ 5 จะใช้
เวลาที่ค่อนข้างรวดเร็วเพราะเป็นการทบทวนสิ่งที่เรียนมาแล้ว และในบทที่ 10 จะเป็นการกล่าว
แนะนำหลักการในภาพกว้างโดยไม่ลงรายละเอียดของแต่ละวิธี และอาจเลือกหัวข้อ 10.2 เส้น
ผ่านศูนย์กลางของท่อเชิงเศรษฐศาสตร์เป็นตัวอย่างของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ในภาค
การศึกษาที่สองจึงจะกล่าวถึงบทที่ 8 บทที่ 11 และบทที่ 12 ซึ่งจะเน้นการกำหนดปัญหาและให้
นิสิตทำการออกแบบงานทางวิศวกรรมจริงเป็นลักษณะโครงการ (project) และมีการนำเสนอ
ผลงานที่ได้ออกแบบในลักษณะที่เป็นรายงานและลักษณะที่เป็นคำพูด

ท้ายนี้ผู้เขียนหวังว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนิสิต นักศึกษา และผู้สนใจอ่าน
ทั่วไป ในการเรียนและทำความเข้าใจในศาสตร์ของการออกแบบงานวิศวกรรมเชิงพลังงาน ความ
ร้อน และของไหล และสามารถเห็นประโยชน์ของการประยุกต์วิชาดังกล่าวไปแก้ปัญหาทาง
วิศวกรรมได้ต่อไป และผู้อ่านสามารถตรวจสอบการแก้ไขหรือข้อมูลเพิ่มเติม (หากมี) ของหนังสือ
เล่มนี้ได้ที่ http://fmescy.lecturer.eng.chula.ac.th/thermal_design.pdf และผู้เขียนขอขอบคุณ
โครงการสนับสนุนการเขียนตำรา/หนังสือ/คู่มือ ของคณาจารย์และบุคลากรสายสนับสนุน คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ พ.ศ. 2552 ที่ให้การสนับสนุน และหนังสือ การออกแบบงานวิศวกรรมเชิง
พลังงาน ความร้อน และของไหล เล่มนี้ เป็นตำราเล่มที่ 22 ในโครงการสนับสนุนการเขียนตำรา/
หนังสือ/คู่มือ ของคณาจารย์และบุคลากรสายสนับสนุน คณะวิศวกรรมศาสตร์

สมศักดิ์ ไชยะภินันท์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มิถุนายน 2554

สารบัญ

บทที่ 1	หลักการของการออกแบบทางวิศวกรรม	1
1.1	บทนำ	1
1.2	นิยามของการออกแบบทางวิศวกรรม	3
1.3	กระบวนการของการออกแบบทางวิศวกรรม	6
1.3.1	การกำหนดความต้องการ	7
1.3.2	การรวบรวมข้อมูล	7
1.3.3	การออกแบบในลักษณะของแนวคิด	8
1.3.4	การออกแบบในลักษณะที่ก่อให้เกิดเป็นรูปร่าง	8
1.3.5	การออกแบบในรายละเอียด	9
1.3.6	การสร้างต้นแบบและทดสอบ	9
1.3.7	การผลิต	10
1.4	การออกแบบและการวิเคราะห์	15
1.5	ประมวลกฎหมายและมาตรฐาน	16
	บรรณานุกรม	20
	แบบฝึกหัด	20
บทที่ 2	จรรยาบรรณทางวิศวกรรม	21
2.1	ความรับผิดชอบทางวิชาชีพ	21
2.2	จรรยาบรรณทางวิศวกรรม	24
2.3	สภาวิศวกรและข้อบังคับ	32
	บรรณานุกรม	41
	แบบฝึกหัด	42

บทที่ 3	ระบบลำเลียงของไหล	43
3.1	สมการพื้นฐานของกลศาสตร์ของไหล	43
3.1.1	สมการการวิเคราะห์แบบภาพรวม	44
3.1.2	สมการการวิเคราะห์แบบพิจารณาเป็นอนุภาค	46
3.2	การไหลช่วงขาเข้ากับการไหลแบบพัฒนาเต็มที่ของการไหลแบบราบเรียบ	50
3.2.1	การไหลในช่วงขาเข้า	52
3.2.2	การไหลแบบราบเรียบที่พัฒนาเต็มที่ในท่อกลม	53
3.3	การไหลที่มีการพัฒนาเต็มที่ซึ่งอยู่ในสภาวะปั่นป่วน	56
3.4	ชนิดของท่อ	60
3.5	การสูญเสียของการไหลในท่อ	66
3.6	ปัญหาของการไหลในท่อ	75
3.6.1	ระบบท่อเดี่ยว	76
3.6.2	ระบบท่อแบบหลายท่อ	93
3.6.3	ระบบท่อน้ำและแผนภาพค่าการเสียดทาน	123
	บรรณานุกรม	130
	แบบฝึกหัด	132
บทที่ 4	อุปกรณ์ขับเคลื่อนของไหลและระบบท่อ	149
4.1	การแบ่งชนิดของเครื่องจักรกลของไหล	150
4.1.1	เครื่องจักรกลแบบการจัดเป็นบวก	150
4.1.2	เครื่องจักรกลแบบพลวัต	152
4.2	สมรรถนะของเครื่องจักรกลแบบใบพัด	162
4.3	ประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลของไหล	164
4.4	ปรากฏการณ์คาวิตีเทชันและค่าหัวดูดสุทธิที่เป็นบวก	169
4.4.1	ปรากฏการณ์คาวิตีเทชัน	170

4.4.2	ค่าหัตถดุสฤทธิที่เป็นบวก	173
4.5	กฎของความคล้าย	180
4.6	การทำงานของระบบของไหล	189
4.7	พัคดลม	206
	บรรณานุกรม	223
	แบบฝึกหัด	225
บทที่ 5	การถ่ายเทความร้อน	235
5.1	การนำความร้อน	235
5.1.1	การนำความร้อนผ่านผนังในแนวดิ่ง	236
5.1.2	การนำความร้อนผ่านผนังของท่อกลม	242
5.2	การพาความร้อน	246
5.2.1	การพาความร้อนแบบธรรมชาติ	250
5.2.1.1	การพาความร้อนแบบธรรมชาติ ที่ผนังในแนวดิ่ง	251
5.2.1.2	การพาความร้อนแบบธรรมชาติ บนแผ่นสี่เหลี่ยมที่วางตัวอยู่ในแนวนอน	251
5.2.1.3	การพาความร้อนแบบธรรมชาติ บนท่อกลมที่วางตัวอยู่ในแนวนอน	252
5.2.2	การพาความร้อนแบบบังคับ	252
5.2.2.1	การพาความร้อนแบบบังคับ ผ่านแผ่นราบซึ่งมีการไหลแบบราบเรียบ	252
5.2.2.2	การพาความร้อนแบบบังคับผ่าน แผ่นราบซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน	253
5.2.2.3	การพาความร้อนแบบบังคับผ่าน ท่อทรงกระบอกซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน	253

5.2.2.4	การพาความร้อนแบบบังคับผ่าน ชุดของท่อทรงกระบอกซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน	254
5.2.2.5	การพาความร้อนแบบบังคับของการไหลแบบ ภายในซึ่งมีการไหลแบบราบเรียบ	256
5.2.2.6	การพาความร้อนแบบบังคับของการไหลแบบ ภายในซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน	257
5.2.3	การพาความร้อนแบบมีการเปลี่ยนสถานะ	268
5.2.3.1	การพาความร้อนในกรณีของการเดือดแบบฟิล์ม	268
5.2.3.2	การพาความร้อนในกรณีของการควบแน่น	269
5.3	การถ่ายเทความร้อนแบบการแผ่รังสี	270
5.3.1	คุณสมบัติของพื้นผิวหรือวัตถุเชิงการแผ่รังสี	271
5.3.2	ค่าความเข้มของการแผ่รังสี	274
5.3.3	การถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสีระหว่างพื้นผิว	277
5.3.3.1	ค่า view factor	277
5.3.3.2	การถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสีระหว่าง พื้นผิวที่บังสี	278
5.3.3.3	วิธี radiosity	279
5.3.3.4	วิธีวงจรเชิงความร้อน	280
	บรรณานุกรม	285
	แบบฝึกหัด	287
บทที่ 6	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่	293
6.1	ลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่	293
6.2	การถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่	297
6.3	การถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในเงื่อนไขพิเศษ	307

6.4	การเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในเงื่อนไขการไหลแบบไหลตามกันและแบบไหลสวนกัน	311
6.5	การวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่	314
6.5.1	การวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิขาออกของของไหล	319
6.5.2	การวิเคราะห์หาค่าความดันตกในเครื่องแลกเปลี่ยน	321
6.5.3	การวิเคราะห์หาค่าความดันตกในเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อนแบบท่อคู่	325
6.6	การวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบท่อคู่โดยใช้วิธี <i>Effectiveness-NTU</i>	339
6.7	การออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่	356
	บรรณานุกรม	372
	แบบฝึกหัด	373
บทที่ 7	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ	381
7.1	ลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ	381
7.2	การถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบเปลือกและท่อ	390
7.3	การวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบเปลือกและท่อ	402
7.3.1	การวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิขาออกของของไหล	403
7.3.2	การวิเคราะห์หาค่าความดันตกที่เกิดขึ้นใน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	406
7.3.3	การวิเคราะห์หาค่าความดันตกในเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อนแบบเปลือกและท่อ	407
7.4	การวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบเปลือกและท่อโดยใช้วิธี <i>Effectiveness-NTU</i>	422

7.5	การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ	437
7.6	การออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ	446
7.6.1	ตัวแปรในส่วนของคุณต่อที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	447
	บรรณานุกรม	464
	แบบฝึกหัด	465
บทที่ 8	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นและแบบไหลตัดกัน	475
8.1	ลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น	475
8.2	การถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น	483
8.3	การวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น	486
8.3.1	การวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิขาออกของของไหล	490
8.3.2	การวิเคราะห์กรณีที่มีความสกปรกเกิดขึ้นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	491
8.3.3	การวิเคราะห์หาค่าความดันตกในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น	493
8.4	ลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตัดกัน	510
8.5	การถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตัดกัน	514
8.6	การวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตัดกัน	516
8.6.1	การวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิขาออกของของไหล	517
8.6.2	การวิเคราะห์กรณีที่มีความสกปรกเกิดขึ้นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	521
8.6.3	การวิเคราะห์หาค่าความดันตกใน	

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตัดกัน	522
บรรณานุกรม	529
แบบฝึกหัด	531
บทที่ 9 เศรษฐศาสตร์ทางวิศวกรรม	539
9.1 ดอกเบี้ย	539
9.1.1 ดอกเบี้ยเชิงเดียว	541
9.1.2 ดอกเบี้ยทบต้น	541
9.2 สูตรในการคำนวณอัตราดอกเบี้ย	542
9.3 อัตราดอกเบี้ยที่แท้จริง	551
9.4 แผนภาพการไหลของเงินสด (Cash Flow Diagram)	552
9.5 มูลค่าของเงิน	553
9.5.1 มูลค่าเงินในปัจจุบัน	553
9.5.2 มูลค่าเงินในอนาคต	554
9.6 การจ่ายหรือรับเป็นอนุกรมแบบสม่ำเสมอ	556
9.7 การจ่ายหรือรับเป็นอนุกรมที่มีการเพิ่มหรือลดแบบสม่ำเสมอ	567
9.8 การจ่ายหรือรับเป็นอนุกรมที่มีการเพิ่มหรือลดเชิงเรขาคณิต	575
9.9 เงินเฟ้อ	580
9.10 การเสื่อมราคา	583
9.11 เวลาคืนทุน	590
9.12 การวิเคราะห์คุณค่าของโครงการ	591
บรรณานุกรม	598
แบบฝึกหัด	599
บทที่ 10 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด	613
10.1 กระบวนการของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด	614
10.1.1 วิธีแคลคูลัส (Calculus methods) : Lagrange multiplier	617

10.1.2	การโปรแกรมแบบเชิงเส้น (Linear programming)	623
10.1.2.1	การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในกรณีของค่าที่มากที่สุด และข้อจำกัดชนิดมีค่าน้อยกว่า	624
10.1.2.2	การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในกรณีของค่าที่น้อยที่สุด และข้อจำกัดชนิดมีค่ามากกว่า	633
10.1.3	การโปรแกรมแบบพลวัต (Dynamic programming)	642
10.1.4	การโปรแกรมแบบเรขาคณิต (Geometric programming)	643
10.1.5	วิธีค้นหา (Search Methods)	646
10.1.5.1	ตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว (single variable)	647
10.1.5.2	ตัวแปรอิสระหลายตัว (multiple variable)	649
10.2	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเชิงเศรษฐศาสตร์	659
10.3	ค่าอุณหภูมิขาออกที่เหมาะสมที่สุด	677
10.4	ค่าความหนาที่เหมาะสมที่สุดของฉนวน	684
10.4.1	ค่ารัศมีวงกต	685
	บรรณานุกรม	694
	แบบฝึกหัด	695

บทที่ 11	การนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม	705
11.1	แนวทางของการเขียนรายงาน	705
11.1.1	การกำหนดผู้อ่าน	706
11.1.2	การวางแผนการเขียน	707
11.2	การเขียนตัวรายงาน	708
11.2.1	ส่วนแรกของรายงาน	708
11.2.2	ส่วนหลักของตัวรายงาน	711
11.2.3	ส่วนภาคผนวก	713
11.3	แนวทางการนำเสนอโดยวาจา	714

11.3.1	การเตรียมการ	714
11.3.2	การใช้สื่อในการนำเสนอ	715
11.3.3	การนำเสนอ	716
	บรรณานุกรม	716
	แบบฝึกหัด	717
บทที่ 12	ตัวอย่างของระบบทางวิศวกรรม	719
12.1	ระบบทางวิศวกรรม	719
12.2	ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากต้นกำลังที่ต่างกัน	720
12.2.1	ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันไอน้ำ โดยที่ไอน้ำถูกผลิตจากหม้อต้ม (boiler) ที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นถ่านหิน น้ำมันเตา หรือก๊าซ	721
12.2.2	ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันไอน้ำ ไอน้ำถูกผลิตจากการใช้เชื้อเพลิงเป็นนิวเคลียร์	723
12.2.3	ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ดีเซล	724
12.2.4	ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันก๊าซ	726
12.2.5	ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันน้ำ	728
12.2.6	ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันลม	731
12.2.7	ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์	737
12.2.8	ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากความร้อนใต้พิภพ และระบบอื่น ๆ	739
12.3	ระบบทำความเย็น	739
12.3.1	ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ	740
12.3.2	ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	742
12.4	ระบบปรับอากาศและระบายอากาศของอาคารสำนักงาน อาคารพาณิชย์ และอาคารที่อยู่อาศัย	745

12.4.1	ภาระการทำความเย็น (cooling load)	745
12.4.2	ระบบปรับอากาศ	751
12.4.2.1	ระบบปรับอากาศแบบ direct expansion	751
12.4.2.2	ระบบปรับอากาศแบบ chiller	753
12.4.2.2.1	เครื่อง chiller	754
12.4.2.2.2	หอผึ่งน้ำ	763
12.4.2.2.3	เครื่องสูบลมและระบบท่อ	766
12.4.2.2.4	เครื่องเป่าลมเย็น	767
12.4.3	ระบบระบายอากาศ	769
12.5	ระบบขนย้ายของไหล	770
12.6	ระบบเชิงความร้อนในยานพาหนะ	771
12.7	ตัวอย่างของการออกแบบระบบวิศวกรรมเชิงพลังงาน	
	ความร้อนและของไหล	772
12.7.1	ตัวอย่างของการออกแบบอุปกรณ์	772
1.	การกำหนดความต้องการ (define need)	772
2.	การรวบรวมข้อมูล	773
3.	การออกแบบในลักษณะของแนวคิด	773
4.	การออกแบบในลักษณะที่ก่อให้เกิดเป็นรูปร่าง	775
5.	การออกแบบในรายละเอียด	782
6.	การสร้างต้นแบบและทดสอบ	783
7.	การผลิต	784
12.7.2	ตัวอย่างของการออกแบบระบบ	784
1.	การกำหนดความต้องการ (define need)	785
2.	การรวบรวมข้อมูล	785
3.	การออกแบบในลักษณะของแนวคิด	789
4.	การออกแบบในลักษณะที่ก่อให้เกิดเป็นรูปร่าง	793

5. การออกแบบในรายละเอียด	808
12.7.3 ตัวอย่างของการออกแบบเพื่อปรับปรุงอุปกรณ์ที่มีอยู่	815
12.7.3.1 การวิเคราะห์การผสมของสาร 2 ชนิดด้วย ระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่ม	819
12.7.3.2 การวิเคราะห์ความเค้นจากอุณหภูมิของไหล ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	823
บรรณานุกรม	827
แบบฝึกหัด	831
 ภาคผนวก ก คุณสมบัติของของไหล	837
ภาคผนวก ข คุณสมบัติท่อ	873
ภาคผนวก ค ท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ	879
ภาคผนวก ง พระราชกฤษฎีกาว่าด้วยการหักค่าสึกหรอ และค่าเสื่อมราคาของทรัพย์สิน	887
ภาคผนวก จ สมการในรูปของแกนพิกัดทรงกระบอก	901
ภาคผนวก ฉ ตารางการแปลงหน่วย	903
คำตอบ	907
ดัชนี	911

หลักการออกแบบทางวิศวกรรม

ในบทแรกของหนังสือเล่มนี้จะเป็นบทนำที่จะเกริ่นถึงความสำคัญของหลักการของการออกแบบทางวิศวกรรม โดยเริ่มต้นที่ลักษณะทั่วไปของงานทางวิศวกรรมต่าง ๆ และนิยามของคำว่า การออกแบบทางวิศวกรรม ขั้นตอนของกระบวนการของการออกแบบทางวิศวกรรม ที่เริ่มต้นตั้งแต่การกำหนดความต้องการและปัญหา การรวบรวมข้อมูล การออกแบบในลักษณะของแนวคิด การออกแบบในลักษณะที่ก่อให้เกิดเป็นรูปร่าง การออกแบบในรายละเอียด การสร้างต้นแบบและทดสอบ และการผลิต ในบทยังแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมด้วยการวิเคราะห์ กับการออกแบบทางวิศวกรรม ในท้ายสุดได้ให้นิยามของคำว่าประมวลกฎหมาย และมาตรฐานเพื่อเป็นพื้นฐานให้มีความเข้าใจในหลักการออกแบบทางวิศวกรรมดีขึ้น

1.1 บทนำ

งานทางวิศวกรรมในปัจจุบันมีความหลากหลายและซับซ้อนเป็นอย่างมาก งานดังกล่าวอาจมีขนาดใหญ่ เช่น งานที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเรือเดินสมุทรขนาดใหญ่ การสร้างเรือดำน้ำประมาณ การสร้างสะพานขนาดใหญ่ การสร้างอาคารขนาดใหญ่ การสร้างเครื่องบินขนาดใหญ่ การสร้างระบบท่อน้ำเย็นในระบบปรับอากาศของอาคารขนาดใหญ่ และการสร้างท่อส่งก๊าซยาวหลายร้อยกิโลเมตร เป็นต้น จนถึงงานขนาดเล็กที่เกี่ยวข้องกับอวัยวะในร่างกายมนุษย์ เช่น งานที่

เกี่ยวข้องกับการสร้างเนื้อเยื่อเทียม การสร้างหลอดเลือดเทียม การสร้างไตเทียม และการสร้างเครื่องสูบลำไส้เทียม เป็นต้น และในปัจจุบันงานทางวิศวกรรมยังครอบคลุมถึงงานในขนาดเล็กมากในระดับนาโนด้วย งานทางวิศวกรรมทั่วไป ๆ มักจะต้องใช้ความรู้ทางวิศวกรรมหลายหลากสาขา ในหนังสือเล่มนี้จะกล่าวเน้นเฉพาะในงานทางวิศวกรรมที่ต้องใช้ความรู้ในสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเป็นหลัก งานที่เกี่ยวข้องในสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลนั้นจะสามารถแบ่งออกเป็นสองสายใหญ่ ได้แก่ งานทางวิศวกรรมระบบเชิงกล (mechanical system) และงานทางวิศวกรรมระบบเชิงพลังงานและความร้อน (energy and thermal system) งานทางวิศวกรรมระบบเชิงกลจะได้แก่ งานที่เกี่ยวข้องกับระบบที่ประกอบด้วยวัตถุเกร็งต่าง ๆ เช่น เฟลา ข้อต่อ โช้ ฟันเฟืองชนิดต่าง ๆ และอื่น ๆ เป็นต้น งานทางวิศวกรรมระบบเชิงพลังงานและความร้อนนั้นจะเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับระบบการส่งผ่านพลังงานและความร้อนโดยมีของไหลเป็นตัวกลางในการทำการส่งผ่าน ดังนั้น งานทางวิศวกรรมระบบเชิงพลังงานและความร้อนจึงจำเป็นต้องมีความรู้และความเข้าใจเป็นอย่างดีในด้านกลศาสตร์ของไหล เทอร์โมไดนามิกส์ และการถ่ายเทความร้อน ในส่วนของศาสตร์ของไหลและการถ่ายเทความร้อนที่เกี่ยวข้องนั้นจะได้แก่ ระบบลำเลียงของไหล อุปกรณ์ขับเคลื่อนของไหล และระบบแลกเปลี่ยนความร้อนหรือพลังงานเป็นหลัก ถึงแม้การออกแบบในสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลนั้นจะสามารถแบ่งออกเป็นสองสายใหญ่ ๆ ดังที่กล่าวมาเบื้องต้น แต่ในหลาย ๆ กรณีจะพบว่า การออกแบบในสายหนึ่งอาจจำเป็นต้องใช้ความรู้จากอีกสายหนึ่งมาช่วย เช่น การออกแบบกังหันลม นอกเหนือจากความเข้าใจในศาสตร์ทางกลศาสตร์ของไหลและการถ่ายเทพลังงานที่ใช้ในการออกแบบใบกังหันลม เพื่อให้มีรูปร่างใบกังหันที่สามารถดึงพลังงานจากลมที่ไหลผ่านได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ยังต้องใช้ความเข้าใจในศาสตร์ทางเชิงกล เช่น ความแข็งแรงของวัสดุ การสั่นสะเทือน และวัสดุที่เหมาะสมในการสร้างกังหันลม เป็นต้น

สำหรับการออกแบบงานทางวิศวกรรมระบบเชิงพลังงานและความร้อนนั้นจำเป็นต้องมีความเข้าใจในหลักการของการออกแบบทางวิศวกรรม ศาสตร์การออกแบบทางวิศวกรรมจะเป็นศาสตร์พิเศษที่มีการดำเนินการแตกต่างจากการวิเคราะห์งานวิศวกรรมทั่ว ๆ ไป ซึ่งโดยหลักการแล้ว การวิเคราะห์งานทางวิศวกรรมทั่วไปจะเป็นการนำปัญหาทางวิศวกรรมมาแก้ไข เพื่อหาผล

เฉลยของปัญหาทางวิศวกรรมดังกล่าว และผลเฉลยของปัญหาที่หาได้มักจะเป็นผลเฉลยที่มีเอกลักษณ์ (unique) มักมีคำตอบเพียงคำตอบเดียว แต่การออกแบบงานทางวิศวกรรมมักจะต้องมีข้อกำหนดที่เป็นข้อจำกัด (constraint) และผลเฉลยของการออกแบบมักมีมากมายไม่จำกัด ดังนั้น การออกแบบระบบทางวิศวกรรมจึงมักมีขั้นตอนและความยุ่งยากมากกว่าการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมทั่วไป

1.2 นิยามของการออกแบบ

คำว่า “วิศวกรรม” และ “การออกแบบทางวิศวกรรม” คณะกรรมการที่ทำหน้าที่รับรองวิทยฐานะของสาขาวิศวกรรมและเทคโนโลยี (Accreditation Board of engineering and technology, ABET) [1] ได้นิยามไว้เป็น

Engineering is the profession in which a knowledge of the mathematical and natural sciences gained by study, experience and practice is applied with judgment to develop ways to utilize, economically, the material and forces of nature for benefit of the mankind.

Engineering design is the process of devising a system, component, or process to meet the desired needs. It is a decision making process (often iterative) in which the basic sciences, mathematics and engineering sciences are applied to convert resources optimally to meet a stated objective. Among the fundamental elements in the design process are the establishment of objectives and criteria, synthesis, analysis, construction, testing and evaluation.

ซึ่งหากแปลตามข้อความที่ระบุโดยคณะกรรมการที่ทำหน้าที่รับรองวิทยฐานะของสาขาวิศวกรรมและเทคโนโลยีจะนิยาม คำว่า วิศวกรรม ได้เป็น

“วิศวกรรม” เป็นอาชีพที่ต้องใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ ซึ่งได้จากการเรียนรู้ จากประสบการณ์ และการปฏิบัติ มาใช้อย่างเที่ยงธรรมเพื่อนำเอาวัสดุและแรงจากธรรมชาติมาใช้อย่างสร้างสรรค์และประหยัดเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อมนุษยชาติ

และจะนิยาม การออกแบบทางวิศวกรรม ได้เป็น

“การออกแบบทางวิศวกรรม” เป็นกระบวนการในการประดิษฐ์ระบบ ชิ้นส่วน หรือกระบวนการเพื่อตอบสนองต่อความต้องการที่ถูกกำหนดขึ้น การออกแบบทางวิศวกรรมจะเป็นกระบวนการการตัดสินใจ (บ่อยครั้งต้องมีการทำซ้ำ) ซึ่งต้องใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์พื้นฐาน ความรู้ทางคณิตศาสตร์ และความรู้ทางวิทยาศาสตร์เชิงวิศวกรรม เพื่อเปลี่ยนทรัพยากรให้เป็นไปตามจุดมุ่งหมายที่ถูกกำหนดขึ้นโดยให้ได้ประโยชน์สูงสุด ในกระบวนการของการออกแบบจะมีองค์ประกอบสำคัญที่ประกอบด้วย การระบุความต้องการและขอบเขต การสังเคราะห์ การวิเคราะห์ การสร้าง การทดสอบ และการประเมินผล

นอกเหนือจากนั้นในเอกสาร [1] ยังเพิ่มเติมองค์ประกอบหลักของวิชาการออกแบบทางวิศวกรรมในหลักสูตรเป็น

The engineering design component of a curriculum must include most of the following features: development of student creativity, use of open ended problems, development and use of modern design theory and methodology, formulation of design problem statements and specifications, consideration of alternate solutions, feasibility considerations, production processes, concurrent engineering design, and detailed system description. Further, it is essential to include a variety of realistic constraints such as economic features, safety, reliability, aesthetics, ethics and social impact.

สำหรับองค์ประกอบหลักของวิชาการออกแบบทางวิศวกรรมในหลักสูตรนั้นจะต้องครอบคลุมถึงหัวข้อหลักเหล่านี้เกือบทั้งหมด ได้แก่ การพัฒนาความสามารถของการสร้างสรรค์ของนิสิต การใช้ปัญหาแบบคำถามเปิด มีการพัฒนาและใช้ทฤษฎีและวิธีการออกแบบสมัยใหม่ มีการกำหนดข้อความระบุถึงปัญหาและข้อกำหนด มีการพิจารณาถึงผลเฉลยทางเลือกอื่น ๆ มี

การพิจารณาถึงความเป็นไปได้ของผลของการออกแบบ กระบวนการการผลิต การออกแบบทางวิศวกรรมคู่ควบ (concurrent engineering) และรายละเอียดของระบบอย่างละเอียด นอกจากนี้ วิชาการออกแบบดังกล่าวจะต้องครอบคลุมถึง การระบุถึงข้อจำกัด (constraint) ที่เป็นจริงต่าง ๆ เช่น ข้อจำกัดทางเศรษฐศาสตร์ ข้อกำหนดทางความปลอดภัย ข้อจำกัดทางความเชื่อถือได้ (reliability) ความสวยงาม จรรยาบรรณ และผลกระทบทางด้านสังคม

จากนิยามของคำว่าวิศวกรรมที่ได้กล่าวมาเบื้องต้นจะเห็นได้ชัดว่า วิศวกรรมเป็นวิชาชีพที่นำความรู้ต่าง ๆ มาแก้ไขปัญหาและมาประดิษฐ์หรือออกแบบระบบหรืออุปกรณ์เพื่อประโยชน์ต่อการดำรงชีพของมนุษยชาติ ซึ่งผู้ที่ปฏิบัติวิชาชีพวิศวกรรม จะถูกเรียกเป็น วิศวกร วิศวกรจะแตกต่างกับนักวิทยาศาสตร์ตรงที่ว่าถึงแม้บุคคลทั้ง 2 วิชาชีพจะใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์และความรู้ทางวิทยาศาสตร์เช่นเดียวกัน แต่ในภาพรวมผู้คนจะคาดหวังให้วิศวกรทำการออกแบบและหาผลเฉลยของปัญหาทางเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นในโลกในรูปของผลิตภัณฑ์ ชิ้นงาน อุปกรณ์ เครื่องจักร หรือระบบ ในขณะที่ผู้คนจะคาดหวังให้นักวิทยาศาสตร์ศึกษาปัญหาเฉพาะในเชิงลึก และนักวิทยาศาสตร์อาจรายงานผลในรูปของบทความหรือผลของการค้นหา จะต้องมีส่วนนำเอาผลการค้นหาหรือผลของแก้ไขปัญหาเหล่านั้นออกไปประดิษฐ์เป็นผลิตภัณฑ์ ชิ้นงาน อุปกรณ์ เครื่องจักร หรือระบบอีกที ตัวอย่างเช่น นักวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับสภาพสิ่งแวดล้อมอาจทำการศึกษาผลกระทบจากเรื่องโลกร้อน และเรื่องการปล่อยมลภาวะจากไอเสียรถยนต์ เป็นต้น และรายงานการค้นพบต่อสังคมโลก เตือนให้ประชาคมโลกตระหนักถึงปัญหาดังกล่าว แต่ผู้ที่นำผลการค้นพบไปปรับปรุงรถยนต์ให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพดีขึ้นเพื่อลดการปล่อยมลภาวะจากการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์มักจะเป็นวิศวกรไม่ใช่ นักวิทยาศาสตร์ ดังนั้น โดยภาพรวมวิชาวิศวกรรมจึงนับอยู่ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ และการออกแบบทางวิศวกรรมเพื่อสร้างระบบหรืออุปกรณ์เพื่อแก้ไขปัญหาหรือตอบสนองต่อความต้องการของมนุษยชาติจึงถือเป็นส่วนหลักของวิชาชีพวิศวกรรม

และจากนิยามของคำว่า การออกแบบทางวิศวกรรม จะเห็นได้ว่า การออกแบบทางวิศวกรรมต้องใช้ศาสตร์ทั้งทางความรู้ทางคณิตศาสตร์ (สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์) ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และความรู้ทางวิทยาศาสตร์เชิงวิศวกรรม มาวิเคราะห์ สังเคราะห์ เพื่อ

หาผลเฉลย (ของการออกแบบ) และจะต้องเข้าใจในกระบวนการการผลิต การทดสอบ และการประเมินผล และจะเห็นได้ว่าคำสำคัญ (key word) ของกระบวนการของการออกแบบทางวิศวกรรมจะเป็น การพิจารณาถึงผลเฉลยในทางเลือกอื่น ๆ กล่าวคือ ในการออกแบบทางวิศวกรรมเพื่อบรรลุมิติวัตถุประสงค์ที่ระบุไว้ ไม่จำเป็นต้องมีผลเฉลยของปัญหาเพียงผลเฉลยเดียว อาจมีผลเฉลยที่ตอบปัญหาดังกล่าวได้มากมายหลายผลเฉลย ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงต้องนำข้อจำกัด (constraint) ที่เป็นจริงต่าง ๆ มาใช้กับการออกแบบ แล้วพิจารณาหาผลลัพธ์หรือผลเฉลยของการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ข้อจำกัดที่เป็นข้อจำกัดหลัก ซึ่งอาจเป็นเรื่องสมรรถนะ ความปลอดภัย หรือ ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เป็นต้น

1.3 กระบวนการของการออกแบบทางวิศวกรรม

การออกแบบงานทางวิศวกรรมนั้นมีมากมายหลายแบบดังที่ได้กล่าวไว้ข้างในหัวข้อที่ 1.1 บทนำ ซึ่งมีตั้งแต่เป็น การออกแบบเพื่อสร้างยานยนต์ เรือ เครื่องบิน การออกแบบเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ การออกแบบเพื่อสร้างระบบท่อในอาคาร และการออกแบบเพื่อสร้างระบบถ่ายเทความร้อนในยานยนต์ เป็นต้น ดังนั้น กระบวนการในการออกแบบของงานแต่ละงานอาจแตกต่างกัน การออกแบบที่งานสุดท้ายเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำการขายแก่สาธารณะ กับการออกแบบที่งานสุดท้ายเป็นระบบในส่วนหนึ่งของอาคารและโรงงานย่อมมีขั้นตอนและกระบวนการออกแบบที่ต่างกัน แต่อย่างไรก็ดีกระบวนการของการออกแบบทางวิศวกรรมทั้งสองแบบก็มักจะมีส่วนร่วมที่คล้ายคลึงกันอยู่

กระบวนการของการออกแบบทางวิศวกรรมหรือขั้นตอนในการออกแบบทางวิศวกรรม อาจมีการแบ่งเป็นขั้นตอนที่แตกต่างกันไปตามแต่ที่จะถูกกำหนดไว้ในตำราแต่ละเล่ม [1],[2],[3],[4] แต่ในภาพรวมองค์ประกอบในกระบวนการของการออกแบบทางวิศวกรรมมักจะเหมือนกัน เพียงแต่จะจับกลุ่มในรายละเอียดแบ่งเป็นหัวข้อหลักต่างกัน กระบวนการของการออกแบบอาจสามารถแบ่งได้เป็นหัวข้อหลักดังต่อไปนี้

1.3.1 การกำหนดความต้องการ

การกำหนดความต้องการ (define need) หรือในบางกรณีอาจเริ่มต้นด้วย การกำหนดปัญหา (define problem) ซึ่งทั้งสองคำอาจมีความหมายไม่เหมือนกันทีเดียว ขั้นตอนแรกของกระบวนการของการออกแบบทางวิศวกรรมมักได้แก่ การกำหนดให้ชัดเจนก่อนว่าจะออกแบบเพื่อสนองความต้องการอะไร (ซึ่งมักเป็นความต้องการจากคนในสังคมหรือลูกค้า (customer)) จากความต้องการที่กำหนดได้จึงมากำหนดต่อไปว่า ใจหายของการออกแบบคืออะไร การกำหนดความต้องการนั้นมักง่ายกว่าการกำหนดใจหายของการออกแบบ หากใจหายไม่ชัดเจนหรือใจหายคลุมเครือ ก็จะทำให้การออกแบบอาจดำเนินการไปไม่ถูกทาง ทำให้ผลลัพธ์ของการออกแบบไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการที่ถูกกำหนดมาตอนต้นได้ ตัวอย่างเช่น จะออกแบบพัดลมขนาดเล็กเพื่อใช้ระบายความร้อนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เน้นอนความต้องการหลักคือการระบายความร้อนในปริมาณที่พอเพียงให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ใจหายของการออกแบบอาจเป็นการหาอุปกรณ์ที่ก่อให้เกิดการระบายความร้อน ซึ่งมีมากมายหลายแบบ (ไม่จำกัดเฉพาะเป็นพัดลมอย่างเดียว อาจเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้สารหล่อเย็น หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ก็ได้) และนอกจากนั้นยังอาจมีความต้องการย่อยลงไปอีกของข้อจำกัด (constraint) ในเรื่องขนาด เรื่องน้ำหนัก เรื่องเสียง เรื่องกำลังงานที่ต้องใช้ เรื่องฝุ่น และเรื่องความร้อนจากตัวมอเตอร์พัดลม เป็นต้น ดังนั้น ก่อนการออกแบบทางวิศวกรรม จะต้องมีการกำหนดปัญหาและใจหายของปัญหาที่ครอบคลุมทั้งความต้องการหลักและความต้องการย่อยให้ชัดเจนและครบถ้วนเสียก่อน ขั้นตอนนี้จึงมีความสำคัญในการที่จะทำให้การออกแบบเป็นไปในทิศทางที่ถูกต้อง

1.3.2 การรวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูล (gather information) เป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่มีจะต้องมีก่อนที่จะดำเนินการในขั้นตอนต่อไปของกระบวนการของการออกแบบ กล่าวคือหลังจากได้กำหนดปัญหาที่ตอบสนองต่อความต้องการแล้ว ก็มักต้องทำการสืบค้นถึงระบบ อุปกรณ์หลัก หรืออุปกรณ์ประกอบ ที่จะก่อให้เกิดงานจากการออกแบบที่ตอบสนองต่อใจหายของปัญหาที่มีผู้อื่นผลิตมาก่อน หรือทำการสืบค้นเทคโนโลยีหรือองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างงานจากการออกแบบที่มี

มาก่อน เพื่อนำมาใช้โดยตรงหรือนำมาพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อตอบสนองต่องานที่จะออกแบบ และจากการสืบค้นรวบรวมข้อมูลดังกล่าวจะช่วยให้ผู้ออกแบบทราบถึงข้อจำกัด (constraint) เพิ่มเติมต่าง ๆ ได้ ข้อมูลเหล่านี้มักไม่สามารถหาได้จากตำราเรียนพื้นฐานทั่ว ๆ ไป แต่มักจะต้องแสวงหาจากฐานข้อมูลของผู้ผลิตอุปกรณ์เฉพาะ หรือหาจากหนังสือคู่มือ (handbook) ต่าง ๆ หนังสือที่เกี่ยวข้องโดยตรงการประกอบวิชาชีพเฉพาะสาขา บทความวิจัยต่าง ๆ และวารสารวิจัยในสาขาวิชาชีพต่าง ๆ เป็นต้น

1.3.3 การออกแบบในลักษณะของแนวคิด

การออกแบบในลักษณะของแนวคิด (conceptual design) เป็นขั้นตอนต่อมาที่เริ่มมีการนำเอาข้อมูลที่รวบรวมได้ประกอบกับโจทย์ของการออกแบบเพื่อตอบสนองความต้องการมาเริ่มทำการออกแบบอย่างคร่าว ๆ ในขั้นตอนนี้บางครั้งมักจะถูกเรียกเป็นส่วนของการพัฒนาแนวคิด (concept generation) ซึ่งแนวคิดของการออกแบบนั้นอาจมีได้หลายรูปแบบแตกต่างกันไป ซึ่งผู้ออกแบบอาจต้องนำแบบที่เกิดจากการออกแบบในลักษณะของแนวคิดหลาย ๆ แบบมาประเมินเพื่อดูความเป็นไปได้ ดูข้อเด่นและข้อด้อย ดูความสอดคล้องกับข้อจำกัด ในขั้นตอนนี้บางทีอาจเรียกเป็นขั้นตอนของการประเมินแนวคิด (evaluation of concepts) ในขั้นตอนนี้อาจมีกระบวนการของการทำซ้ำ (iteration) เกิดขึ้นเพื่อหาแบบในลักษณะของแนวคิดที่ดีที่สุด

1.3.4 การออกแบบในลักษณะที่ก่อให้เกิดเป็นรูปร่าง

การออกแบบในลักษณะที่ก่อให้เกิดเป็นรูปร่าง (embodiment design) นั้นเป็นขั้นตอนต่อจากการที่ได้แบบซึ่งอยู่ในลักษณะแนวคิดมาได้แล้ว ผู้ออกแบบหรือกลุ่มผู้ออกแบบก็จะเริ่มแปลงแบบที่เป็นแนวคิดก่อให้เกิดเป็นแบบที่มีความเป็นจริงมากขึ้น โดยการเริ่มดูรายละเอียด หาอุปกรณ์ ชิ้นส่วนประกอบ ที่จะทำให้ระบบหรืองานที่ได้จากการออกแบบในลักษณะแนวคิดเป็นจริงได้ ซึ่งขั้นตอนการแบ่งระบบหรืองานที่ได้จากการออกแบบออกมาเป็นส่วนย่อยจะเรียกว่าการสร้างรูปร่างหรือโครงสร้างทางสถาปนิกของระบบหรือผลิตภัณฑ์ (product or system architecture) หลังจากนั้นก็จะออกแบบลงรายละเอียดย่อยในเรื่องรูปร่างต่าง ๆ ของชิ้นส่วนย่อยของระบบหรือผลิตภัณฑ์ให้สามารถประกอบกันเป็นงานที่ออกแบบและทำงานตอบสนองตามที่

ต้องการได้ ซึ่งขั้นตอนนี้จะถูกเรียกว่า การออกแบบเป็นรูปร่างภายนอก (configuration design) หลังจากนั้นเป็นการออกแบบลงในรายละเอียดของชิ้นส่วนย่อยของระบบหรือผลิตภัณฑ์ในแง่ ความแข็งแรง ความปลอดภัย ความเป็นไปได้ของการผลิต ซึ่งในขั้นตอนนี้อาจมีการปรับเปลี่ยน หรือเลือกชิ้นส่วนย่อยให้ดีที่สุดตามเงื่อนไขที่พิจารณา ขั้นตอนนี้จะถูกเรียกว่า การออกแบบโดย พิจารณาพารามิเตอร์ต่าง ๆ (parametric design)

1.3.5 การออกแบบในรายละเอียด

การออกแบบในรายละเอียด (detail design) ในขั้นตอนนี้จะนำเอาแบบที่ได้มีการ พิจารณามาจนก่อให้เกิดระบบหรือชิ้นงานที่ตอบสนองต่อโจทย์ของปัญหาแล้วมาทำการ ออกแบบลงในรายละเอียดให้พร้อมที่จะนำไปใช้งานหรือนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจ ประกอบด้วย การพัฒนาเป็นแบบวาดลงในรายละเอียดที่พร้อมที่จะนำไปสู่การผลิตหรือนำไปสู่ การติดตั้งในกรณีที่งานที่ออกแบบเป็นงานระบบ การระบุถึงข้อกำหนด (specification) ของ ชิ้นงานย่อยต่าง ๆ สำหรับขั้นตอนนี้ในงานการออกแบบทางวิศวกรรมบางประเภท แบบวาดที่ถูก พัฒนาขึ้นจะส่งสู่การผลิตหรือเพื่อทำการติดตั้ง ในบางกรณีอาจมีการนำแบบไปพัฒนาต่อโดยใช้ หลักการของทำให้เหมาะสมที่สุด (optimization) ของแบบรายละเอียดที่ได้พัฒนาขึ้น แต่ใน หลาย ๆ กรณี ขั้นตอนการทำให้เหมาะสมที่สุดมักจะกระทำอยู่ในหัวข้อที่ 1.3.4

1.3.6 การสร้างต้นแบบและทดสอบ

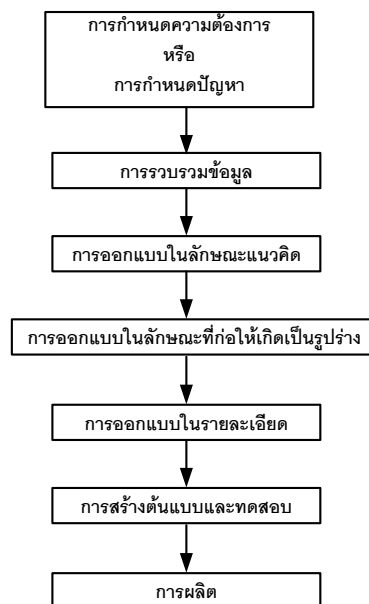
การสร้างต้นแบบและทดสอบ (construct prototype and prototype testing) ในงาน ออกแบบผลิตภัณฑ์นั้น ก่อนที่จะนำผลิตภัณฑ์ไปผลิตจำหน่าย มักจะต้องผ่านขั้นตอนของการ สร้างตัวต้นแบบจากแบบที่ได้ออกมาในหัวข้อที่ 1.3.5 เพื่อนำมาทดสอบ และดูข้อบกพร่อง เพื่อ พัฒนาตัวต้นแบบให้ดียิ่งขึ้น ขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากขั้นตอนหนึ่งในการที่จะทำ ให้แน่ใจได้ว่างานที่ได้ออกแบบมานี้จะสามารถทำงานตอบสนองต่อปัญหาและความต้องการที่ กำหนดมาในขั้นตอนแรก และสอดคล้องกับข้อจำกัด (constraint) ต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ มีความ คงทน และปลอดภัยในการใช้งาน ในขั้นตอนนี้อาจมีการทำการวิเคราะห์เรื่องความคุ้มทุนทาง

เศรษฐศาสตร์ประกอบไปด้วย เพื่อให้ระบบหรือผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสามารถแข่งขันกับระบบหรือผลิตภัณฑ์ของคู่แข่งได้

1.3.7 การผลิต

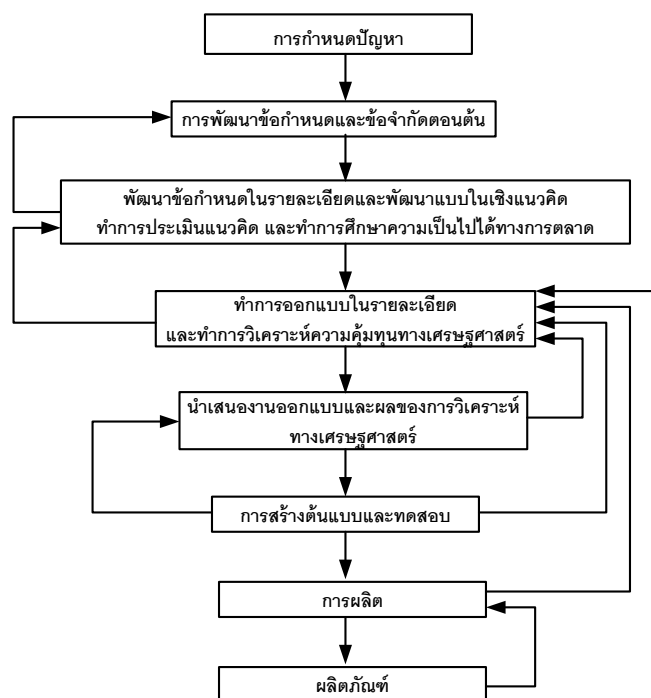
การผลิต (manufacturing) งานในขั้นตอนนี้ก็คือการนำแบบที่ได้พัฒนาหลังจากผ่านการทดสอบและแก้ไขเข้าสู่สายการผลิต ซึ่งในขั้นตอนนี้หากผู้ออกแบบหรือกลุ่มผู้ออกแบบเป็นผู้ผลิตเอง ก็ยังมีงานที่เกี่ยวข้องที่ต้องจัดการอีกมาก เช่น การออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์การยึด (tool and fixture) ที่ช่วยในการผลิต กำหนดสายการผลิต กำหนดแผนงานการผลิต การกำหนดระบบคุณภาพ และการประเมินคุณภาพ เป็นต้น

รูปที่ 1.1 เป็นรูปตัวอย่างของขั้นตอนของกระบวนการของการออกแบบทางวิศวกรรมที่มีขั้นตอนเป็นไปตามที่บรรยายไว้ข้างต้น

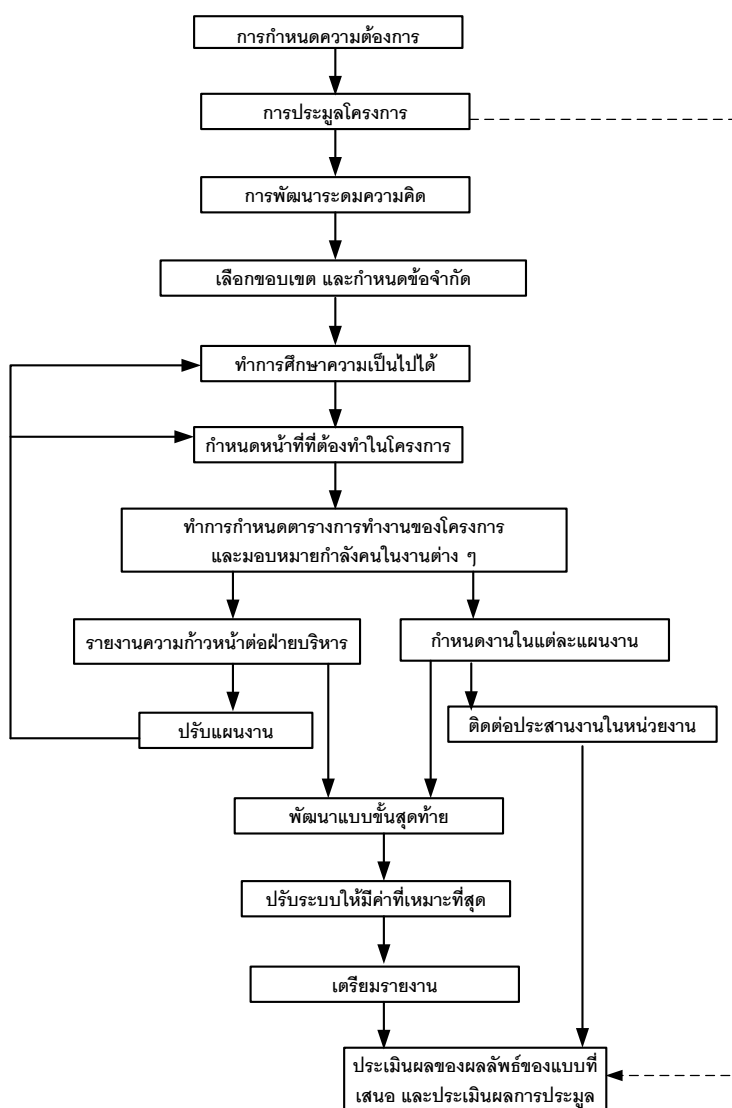


รูปที่ 1.1 ตัวอย่างของขั้นตอนของกระบวนการของการออกแบบที่งานออกแบบเป็นผลิตภัณฑ์

รูปที่ 1.2 และ 1.3 เป็นรูปตัวอย่างของขั้นตอนของกระบวนการของการออกแบบทางวิศวกรรมที่อาจมีขั้นตอนเป็นไปตามที่บรรยายไว้ข้างต้น และที่แตกต่างในรายละเอียดจากหัวข้อที่ได้บรรยายไว้ในข้างต้นขึ้นกับลักษณะเฉพาะของงานของการออกแบบทางวิศวกรรมแต่ละชนิด รูปที่ 1.2 นั้นจะแสดงถึงกระบวนการของการทำซ้ำที่เกิดขึ้นกลับไปมาระหว่างแต่ละขั้นตอน ซึ่งจะเป็นการประเมินและกลับไปปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงงานออกแบบเพื่อให้ได้งานที่เหมาะสมที่สุด รูปที่ 1.3 เป็นตัวอย่างของการออกแบบทางวิศวกรรมอีกแบบหนึ่งซึ่งมีลักษณะเป็นงานโครงการติดตั้งระบบที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทพลังงาน ซึ่งต้องมีการประมูลแข่งขัน ดังนั้น ในขั้นตอนของกระบวนการของการออกแบบนี้จะไปเน้นที่การบริหารโครงการ การกำหนดตารางเวลา หน้าที่และกำลังคน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีผลต่องบประมาณต้นทุนของโครงการ



รูปที่ 1.2 ตัวอย่างของขั้นตอนของกระบวนการของการออกแบบที่งานออกแบบเป็นผลิตภัณฑ์



รูปที่ 1.3 ตัวอย่างของขั้นตอนของกระบวนการของการออกแบบที่งานออกแบบที่จำเป็นต้องมีการประมวลแข่งขัน

ในกระบวนการของการออกแบบ จากขั้นตอนที่ 1.3.3 (การออกแบบในลักษณะแนวคิด) มาสู่ขั้นตอนที่ 1.3.4 (การออกแบบในลักษณะที่ก่อให้เกิดเป็นรูปร่าง) และขั้นตอนที่ 1.3.5 (การออกแบบในรายละเอียด) มักจะมีการเปรียบเทียบแบบในแนวคิดหลาย ๆ แบบ เพื่อเลือกแบบที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ข้อจำกัด (constraint) ของการออกแบบที่ถูกกำหนดขึ้น กระบวนการของ

การเปรียบเทียบอาจกระทำได้หลายรูปแบบ ตั้งแต่การศึกษาและเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในแต่ละงานการออกแบบเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimized value) ด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimization methods) ที่ซับซ้อนโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบต่าง ๆ กัน ซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทที่ 10 หรืออาจเป็นการเปรียบเทียบในแบบเรียบง่าย โดยการนำเอาแบบที่ได้คัดเลือกไว้มาเปรียบเทียบในข้อเด่นและข้อด้อยโดยมีการให้คะแนนในแต่ละแง่มุมของงานที่ได้ออกแบบที่ต่างกัน และนำเอาคะแนนรวมมาประเมินหาว่าแบบของงานที่ออกแบบใดจะเหมาะสมกว่ากัน การให้น้ำหนักคะแนนของแต่ละแง่มุมที่พิจารณาจะต้องทำอย่างเที่ยงธรรม ซึ่งจะต้องใช้ข้อมูลที่เชื่อถือได้

ตัวอย่างของการเปรียบเทียบข้อเด่นและข้อด้อยของงานที่ออกแบบ อาจสามารถแสดงได้จากการเลือกระหว่างเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กในส่วนของเครื่องเป่าลมเย็นที่ถูกออกแบบให้ติดตั้งในห้องนอนที่มีลักษณะต่างกัน 2 แบบ เครื่องปรับอากาศทั้ง 2 แบบที่ถูกออกแบบต่างมีสมรรถนะในการทำความเย็นเป็นไปตามที่ต้องการ (ถูกกำหนดมาให้เป็นข้อกำหนดอยู่แล้ว) หากนำมาเปรียบเทียบกันอาจสามารถสร้างเป็นตารางเปรียบเทียบ โดยพิจารณาในหัวข้อที่เกี่ยวกับความสำคัญของการใช้งานในแง่ต่าง ๆ กัน เช่น ในแง่ของราคา น้ำหนัก ปริมาตรของตัวเครื่องปรับอากาศ การบำรุงรักษา การติดตั้ง และเสียงรบกวน เป็นต้น โดยที่งานออกแบบในแบบที่ 1 ของเครื่องส่งลมเย็นนั้นค่อนข้างเรียบง่าย ใช้พัดลมที่มีขนาดทั่วไป คอยล์เย็นก็เป็นแบบมาตรฐาน ทำให้ตัวเครื่องส่งลมเย็นมีขนาด (ปริมาตร) ที่ไม่กะทัดรัดมากนัก แต่จะติดตั้งง่าย บำรุงรักษาง่าย ราคาต้นทุนต่ำ แต่อาจมีเสียงค่อนข้างดังจากพัดลม ในขณะที่งานออกแบบแบบที่ 2 นั้นเน้นไปที่การใช้พัดลมซึ่งมีขนาดเล็กลง เสียงเงียบขึ้น และลดขนาดของตัวเครื่องส่งลมเย็น ทำให้มีปริมาตรของตัวเครื่องเล็กลง เรียงจัดคอยล์เย็นใหม่ให้มีขนาดเล็กลง จากการดำเนินการในงานออกแบบในแบบที่ 2 จะทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น เพราะต้องใช้พัดลมประสิทธิภาพสูงที่มีขนาดเล็ก ต้องเลือกและผลิตคอยล์เย็นแบบใหม่ และเนื่องจากต้องการให้มีขนาดเล็ก การบำรุงรักษาตัวเครื่องส่งลมเย็นก็จะกระทำได้ยากกว่าในแบบที่ 1 ในการเปรียบเทียบโดยการให้คะแนนนั้น คะแนนสูงจะหมายถึงดี ในขณะที่คะแนนต่ำกว่าจะถือว่าแย่กว่า ตัวอย่างของการเปรียบเทียบและการให้คะแนนในหัวข้อที่พิจารณาในแต่ละหัวข้อถูกแสดงไว้ในตารางที่ 1.1 จะ

เห็นได้ว่าในหัวข้อแรก เรื่องราคา งานออกแบบแบบที่ 1 มีราคาถูกกว่า ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบคะแนน หากกำหนดให้ราคาของแบบที่ 1 เป็นเต็ม 10 ราคาต้นทุนของแบบที่ 2 ก็ต้องนำมาพิจารณาว่าราคาของงานออกแบบแบบที่ 2 นั้นมีราคาแพงกว่าแบบที่ 1 มากไหม สมควรให้น้ำหนักของคะแนนให้แย่ง (ต่ำกว่า 10) เป็นคะแนนเท่าใดจึงจะเหมาะสม ในขณะที่หากพิจารณาเรื่องเสียงรบกวนคะแนนของแบบที่ 2 อาจได้เต็ม ในขณะที่คะแนนในหัวข้อนี้ของงานแบบที่ 1 ก็ต้องนำมาพิจารณาว่าดังกว่ามากน้อยแค่ไหน ควรจะให้คะแนนลดลงเป็นเท่าใด แล้วจึงรวมคะแนนทั้งหมดออกมา ซึ่งจากตัวเลขที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1.1 จะเห็นชัดว่า งานออกแบบแบบที่ 2 ได้คะแนนประเมินสูงกว่าแบบที่ 1 ดังนั้น งานออกแบบแบบที่ 2 น่าจะเหมาะสมกว่างานออกแบบแบบที่ 1 คะแนนที่ให้ในแต่ละหัวข้อก็ไม่จำเป็นต้องมีน้ำหนักเท่ากัน เหมือนที่แสดงไว้ในตารางที่ 1.1 การให้คะแนนในลักษณะนี้จะต้องเที่ยงธรรมและต้องมีข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบที่เชื่อถือได้ และต้องไม่ลำเอียง

ตารางที่ 1.1 การเปรียบเทียบข้อเด่น ข้อด้อยของงานออกแบบ 2 แบบ

	งานออกแบบแบบที่ 1	งานออกแบบแบบที่ 2
ราคา	10	7
น้ำหนัก	6	8
ปริมาตร	5	10
การบำรุงรักษา	8	7
การติดตั้ง	8	8
เสียงรบกวน	6	10
รวม	43	50

ในงานออกแบบบางงานในการเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุดนั้นอาจไม่เหมาะที่จะใช้วิธีการให้คะแนนดังกล่าว อาจต้องใช้กระบวนการเปรียบเทียบแบบอื่นแทน

1.4 การออกแบบและการวิเคราะห์

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงข้อแตกต่างระหว่างคำว่า การวิเคราะห์ (analysis) และการออกแบบ (design) การเรียนในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์นั้น จะพบว่าวิชาส่วนใหญ่ในหลักสูตรจะเป็นวิชาที่มีการแก้ปัญหาของโจทย์ที่กำหนดด้วยการวิเคราะห์ (analysis) กล่าวคือการแก้ปัญหาโจทย์ด้วยการวิเคราะห์ มักเป็นการแก้ปัญหาในลักษณะที่มีการให้ข้อมูลมาก่อนข้างสมมุติพอเพียงต่อการแก้ปัญหา (มักจะระบุข้อมูลที่จำเป็นในการแก้ปัญหามาอย่างครบถ้วนในโจทย์) ผลเฉลยหรือคำตอบของปัญหาส่วนใหญ่มักมีคำตอบเพียงคำตอบเดียว การแก้ปัญหา มักจะกระทำเป็นขั้นเป็นตอนเรียงตามลำดับ ถึงแม้ในบางครั้งอาจมีกระบวนการของการทำซ้ำ เพื่อช่วยในการแก้ปัญหาบ้าง แต่การแก้ปัญหามักไม่มีความจำเป็นที่ต้องกลับไปทำมาใหม่ตั้งแต่ต้น การวิเคราะห์ปัญหาเหล่านี้จะพบได้ในวิชาหลักต่าง ๆ เช่น กลศาสตร์ พลศาสตร์ กลศาสตร์วัสดุ เทอร์โมไดนามิกส์ กลศาสตร์ของไหล และการถ่ายเทความร้อน เป็นต้น

สำหรับการออกแบบ (design) นั้น การหาผลเฉลยของปัญหาจะมีกระบวนการในการดำเนินการแตกต่างกับการวิเคราะห์อย่างชัดเจน โดยหลักแล้วข้อมูลที่ใช้เพื่อหาผลเฉลยของปัญหาและการออกแบบนั้นมักไม่ได้มีอยู่อย่างสมบูรณ์ในตอนต้น ผู้ออกแบบมักต้องใช้เวลาพอสมควรในการแสวงหาและพัฒนาข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ ข้อมูลเหล่านี้มักไม่สามารถหาได้จากตำราพื้นฐานทางวิศวกรรมทั่ว ๆ ไป แต่ต้องหาจากข้อมูลจากฐานข้อมูลของผู้ผลิตอุปกรณ์เฉพาะ หาได้จากหนังสือคู่มือ (handbook) ต่าง ๆ หนังสือที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการประกอบวิชาชีพเฉพาะสาขา บทความวิจัยต่าง ๆ และวารสารวิจัยในสายวิชาชีพต่าง ๆ เป็นต้น และในกระบวนการหาคำตอบหรือผลเฉลยของการออกแบบมักจะพบว่าจะมีคำตอบหรือผลเฉลยมากกว่าหนึ่งในการที่จะตอบสนองต่อปัญหาของการออกแบบ ดังนั้น ผลเฉลยจากปัญหาการออกแบบมีได้หลายรูปแบบ มักจะมีการตัดสินใจเลือกรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ข้อจำกัด (constraint) ที่กำหนดขึ้น ซึ่งอาจเป็นค่าสมรรถนะ ความสวยงาม ความปลอดภัย และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เป็นต้น ในการออกแบบมักจะมีกระบวนการของการทำซ้ำ (iteration) เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของกระบวนการของการออกแบบ โดยบางครั้งอาจต้องเริ่มต้นตั้งแต่ต้นใหม่

เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด ผลเฉลยของการออกแบบมักจะมีหลากหลายในปัญหาเดียวกัน

1.5 ประมวลกฎหมายและมาตรฐาน

มีคำสองคำที่จะกล่าวถึงในหัวข้อนี้ได้แก่ คำว่า ประมวลกฎหมาย (code) และ มาตรฐาน (standard) (หรือบางครั้งใช้คำว่า ข้อกำหนดจำเพาะ (specification)) โดยนิยามคำว่า ประมวลกฎหมาย (code) จะหมายถึง ข้อกำหนด ข้อบังคับ หรือกติกาที่ช่วยให้การทำงานต่าง ๆ นั้นเป็นไปตามสมรรถนะอย่างมีคุณภาพ และปลอดภัย ประมวลกฎหมายจะมีผลตามกฎหมาย ตามมาหากมีการไม่ทำตามประมวลกฎหมายนั้น ๆ ในขณะที่มาตรฐานจะหมายถึงข้อกำหนดที่ได้มีการตกลงกันไว้เพื่อใช้กำกับขั้นตอนของการทำงาน กำกับขอบเขตของงาน กำกับมิติ และ กำกับชนิดของวัสดุ มาตรฐานทางวิศวกรรมอาจเป็นการกำหนดมิติและขนาดของชิ้นส่วนย่อย เช่น ตะปูเกลียว ตลับลูกปืน สายไฟ และท่อน้ำ เป็นต้น

การกำหนดประมวลกฎหมาย และมาตรฐานมีจุดมุ่งหมายหลักอยู่สองประการ ได้แก่

1. เป็นการเผยแพร่ลักษณะการทำงานที่ดีในแต่ละลักษณะงานให้แก่สาธารณชนรับรู้ และถือปฏิบัติ จะเห็นได้ชัดว่าถึงแม้ว่าการออกแบบทางวิศวกรรมจะถือว่าเป็นงานสร้างสรรค์ แต่โดยทั่วไปแล้วงานที่เกิดจากการออกแบบทางวิศวกรรมส่วนใหญ่มักจะมีลักษณะไม่ต่างจากงานที่ได้มีการออกแบบทางวิศวกรรมมาก่อนหน้ามากนัก มันจะเป็นประโยชน์อย่างมากและยังช่วยประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายอย่างมาก หากผู้ออกแบบใหม่สามารถศึกษาและเรียนรู้ถึงหลักการของการออกแบบในอดีตที่ผ่านมาซึ่งมีการปฏิบัติอย่างดีที่สุด (best practice) และมีความปลอดภัยสำหรับงานออกแบบเฉพาะแต่ละงานได้ นั่นจะถือเป็นจุดมุ่งหมายหลักของการสร้างประมวลกฎหมายของแต่ละงานขึ้น

2. เป็นการเสริมสร้างการจะที่สามารถใช้อุปกรณ์ ชิ้นงาน ระบบ หรือกระบวนการสลับเปลี่ยนกันได้ (interchangeability) และมีความเข้ากันได้ดี (compatibility) ซึ่งจะเป็นจุดมุ่งหมายของการกำหนดตัวมาตรฐานขึ้น ตัวอย่างเช่น ผู้คนที่เดินทางจากประเทศหนึ่งไปยังอีกประเทศ

หนึ่งจะสามารถใช้ได้เสียของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าและความถี่ไฟฟ้าที่เข้ากันได้ และเป็นมาตรฐานเดียวกัน หากประเทศทั้งสองมีมาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบเดียวกัน เป็นต้น

ประมวลกฎหมายมักเป็นสิ่งที่บ่งบอกให้วิศวกรรู้ว่าอะไรควรปฏิบัติ และควรปฏิบัติเมื่อไร ภายใต้เงื่อนไขอะไร และอะไรไม่ควรปฏิบัติ ดังนั้น ประมวลกฎหมายซึ่งโดยส่วนใหญ่จะมีกฎหมายรองรับก็จะกลายเป็นส่วนหนึ่งของตัวกฎหมาย เช่น กฎหมายควบคุมอาคาร (building code) กฎหมายหรือข้อกำหนดเกี่ยวกับการติดตั้งสายดับเพลิง เป็นต้น ตัวอย่างของประมวลกฎหมายในต่างประเทศ ได้แก่ ข้อกำหนดของ OSHA (OSHA (Occupational Safety and Health Act) regulation) ประมวลกฎหมายของการป้องกันอัคคีภัยของสหรัฐอเมริกา (NFPA (National Fire Protection Association) Code) เป็นต้น

มาตรฐานนอกเหนือจากเป็นการกำหนดขนาด มิติ วัสดุ ของชิ้นงาน มาตรฐานยังเป็นเรื่องที่บ่งบอกหรือแนะนำให้วิศวกรทำอะไร แต่มักไม่มีผลบังคับทางกฎหมาย มาตรฐานในการออกแบบมักจะสามารแบ่งเป็น 3 หัวข้อ ได้แก่ มาตรฐานทางสมรรถนะ มาตรฐานทางการทดสอบ และมาตรฐานในการปฏิบัติงานเฉพาะทาง (codes of practice)

มาตรฐานทางสมรรถนะได้แก่ การกำหนดมาตรฐานให้เป็นที่ยอมรับของผลิตภัณฑ์ใด ผลิตภัณฑ์หนึ่งว่าหากผ่านมาตรฐานต้องมีขนาด มิติ วัสดุ และการใช้งานเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐาน เช่น มาตรฐานเบาะพิงพนักรถยนต์ และมาตรฐานเข็มขัดนิรภัยรถยนต์ เป็นต้น

มาตรฐานทางการทดสอบมักเป็นข้อกำหนดที่ระบุวิธีทดสอบเพื่อวัดคุณสมบัติเฉพาะ ความแข็งแรง ความคงทน ของผลิตภัณฑ์ เช่น การวัดค่าการนำทางความร้อนของวัสดุ การทดสอบค่าความต้านทานทางไฟฟ้า การทดสอบความแข็งแรงของผนัง และการทดสอบการทนไฟของผนังทนไฟ เป็นต้น มาตรฐานดังกล่าวอาจเป็นของ ASTM (American Standard for Testing and Materials) UL (Underwriters Laboratories) ของ วสท (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย) ของ สმო. (สมาคมมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม)

และมาตรฐานตัวสุดท้ายได้แก่ มาตรฐานในการปฏิบัติงานเฉพาะทาง (codes of practice) ซึ่งคำในภาษาอังกฤษคงทำให้ผู้อ่านสับสน มาตรฐานนี้เป็นการระบุถึงขั้นตอนในการ

ปฏิบัติที่เหมาะสมของการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือระบบแต่ละชนิด ซึ่งมักเป็นสิ่งที่แนะนำให้ปฏิบัติ แต่ไม่มีผลบังคับทางกฎหมาย ยกเว้นแต่จะยกมาตรฐานการปฏิบัติงานเฉพาะทางนี้ไปใส่ในตัวกฎหมาย มาตรฐานดังกล่าวก็จะเป็นส่วนหนึ่งของประมวลกฎหมาย เช่น มาตรฐานการออกแบบหม้อต้มไอน้ำตาม ASME (American Society of Mechanical Engineers) เป็นต้น

จะเห็นได้ว่าคำว่าประมวลกฎหมาย และมาตรฐานนั้นในบางกรณีค่อนข้างสับสน แยกจากกันไม่ชัดเจนนัก ขอให้ถือว่าหากเป็นข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยและมีผลตามกฎหมาย มักจะถูกกำหนดเป็นประมวลกฎหมาย หากข้อกำหนดเป็นเพียงข้อแนะนำ ไม่ว่าจะเป็นเรื่อง ขนาด มิติ ชนิดวัสดุ หรือสมรรถนะ มักจะเรียกว่า มาตรฐาน

สำหรับประเทศไทย มักไม่มีการแบ่งชัดเจนในเรื่องข้อกำหนดใดเป็นประมวลกฎหมาย หรือเป็นมาตรฐาน เรามักไม่ใช้คำว่าประมวลกฎหมาย แต่จะใช้คำว่ามาตรฐานครอบคลุมไปทั้งหมด เพียงแต่มาตรฐานใดที่ไม่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยหากไม่มีกฎหมายกำกับ ก็ถือเป็นมาตรฐานที่ผู้ผลิตถูกแนะนำให้ปฏิบัติตาม เพื่อเพิ่มมูลค่าทางการค้า (ในแง่มีผู้รับรองมาตรฐาน) แต่หากมาตรฐานใดเป็นมาตรฐานที่มีผลบังคับทางกฎหมาย ถึงแม้ว่าจะใช้คำว่ามาตรฐานที่อยู่ในกฎหมายแต่โดยทางสากลจะหมายถึงประมวลกฎหมาย

ตัวอย่างของประมวลกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานทางวิศวกรรม ได้แก่

กฎกระทรวง ฉบับที่ 63 พ.ศ. 2551 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

กฎกระทรวง พ.ศ. 2538 ออกตามความในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ว่าด้วยการกำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการอนุรักษ์พลังงานในอาคารควบคุม

กฎกระทรวงกำหนดเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง พ.ศ. 2552

กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552

ตัวอย่างของมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับงานทางวิศวกรรม ได้แก่

มาตรฐานที่จัดโดยสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ภายใต้พระบรมราชูปถัมภ์ ซึ่งมักจะ
เป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงาน ได้แก่

มาตรฐานระบบไอน้ำ

มาตรฐานระบบลิฟต์

มาตรฐานระบบเครื่องกลขนส่งในอาคาร

มาตรฐานระบบการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดเป็นเชื้อเพลิงในยานยนต์

มาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ

มาตรฐานการระบายอากาศเพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้

มาตรฐานการควบคุมควันไฟ

มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย

และสำหรับมาตรฐานทางสมรรถนะ ซึ่งในประเทศไทยนั้นจะอ้างอิงกับมาตรฐานที่จัดขึ้นโดย
สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ตัวอย่างได้แก่

มอก 11 เล่ม 101-2549 สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนพอลิไวนิลคลอไรด์ แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไม่เกิน
450/750 โวลต์ เล่ม 101 สายไฟฟ้ามีเปลือกสำหรับงานทั่วไป

มอก 17-2532 ท่อพีวีซีแข็งสำหรับใช้เป็นท่อน้ำดื่ม

มอก 276-2532 ท่อเหล็กกล้า

มอก 277-2532 ท่อเหล็กกล้าอบสังกะสี

มอก 642-2529 ท่อยางทนความดันอากาศ

บรรณานุกรม

1. Suryanarayana, N.V. and Oner, A., Simulation of Thermal Systems, McGraw-Hill International Edition, 2003.
2. Dieter, D.E. and Schmidt, L.C., Engineering Design, 4th ed., McGraw-Hill International Edition, 2009.
3. Jana, W.S., Design of Fluid Thermal Systems, 2nd ed., BWS Company, 1998.
4. Stoecker, W.F., Design of Thermal Systems, 3rd ed., McGraw-Hill International Editions, 1989.

แบบฝึกหัด

- 1.1 จงให้นิยามของการออกแบบทางวิศวกรรม
- 1.2 จงกล่าวถึงข้อแตกต่างระหว่างวิศวกรและนักวิทยาศาสตร์
- 1.3 จงกล่าวถึงขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการของการออกแบบทางวิศวกรรม
- 1.4 จงกล่าวถึงความแตกต่างระหว่างการวิเคราะห์และการออกแบบ
- 1.5 จงอธิบายถึงความสัมพันธ์ของข้อจำกัด (constraint) กับการออกแบบทางวิศวกรรม

จรรยาบรรณทางวิศวกรรม

ในบทนี้จะกล่าวถึงจรรยาบรรณทางวิศวกรรม (engineering ethics) จรรยาบรรณเป็นสิ่งจำเป็นที่คนในสังคมพึงมีพึงปฏิบัติเพื่อช่วยให้สังคมน่าอยู่ ในแต่ละวิชาชีพก็จะมีกฎปฏิบัติข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับจรรยาบรรณเพื่อให้คนในวิชาชีพนั้นถือปฏิบัติ เพื่อดำรงความน่าเชื่อถือและความมีเกียรติให้เป็นที่ยอมรับต่อสังคม ในบทนี้จะนำเอาข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับจรรยาบรรณทางวิชาชีพของสาขาวิศวกรรมที่บัญญัติโดยหน่วยงานทางวิชาชีพที่มีชื่อเสียงในโลกมาบรรยายไว้ และในท้ายสุดจะกล่าวถึง สภาวิศวกรซึ่งเป็นหน่วยงานที่ถูกจัดตั้งขึ้นเพื่อดูแลผู้ประกอบการวิชาชีพวิศวกรรมในประเทศไทย และกล่าวถึงข้อบังคับว่าด้วยจรรยาบรรณทางวิศวกรรมของประเทศไทยที่บัญญัติโดยสภาวิศวกร

2.1 ความรับผิดชอบทางวิชาชีพ

หากทุกคนในสังคมมีความรับผิดชอบต่อสังคมที่เราอาศัยอยู่ การกระทำใด ๆ ของเราจะต้องไม่กระทบต่อสิทธิของผู้อื่น การกระทำใด ๆ ของเราก็ไม่ควรทำให้ผู้อื่นเดือดร้อน สังคมก็จะอยู่ร่วมกันได้อย่างเป็นสุข คำพูดที่กล่าวไปนั้นฟังดูง่ายแต่จะให้ปฏิบัติตามนั้นอาจไม่ยำนัก เพราะเมื่อสังคมใหญ่ขึ้นและคนที่อยู่ในสังคมมีมากขึ้น ชีวิตความเป็นอยู่และการทำมาหากินเพื่อความอยู่รอดของแต่ละบุคคลก็มักจะมี ความซับซ้อนยุ่งยากมากขึ้น ประกอบกับคนเราทุกคนต่าง