

กระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ Product Design and Development Process

ศิริชัย ยศวังใจ

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

Sirichai Yodwangjai

Department of Industrial Engineering Technology, College of Industrial Technology

King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800

Tel: 0-2555-2000 ext: 6523 E-mail: sirichaiy@kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยทำการเปรียบเทียบด้วยการออกแบบทางวิศวกรรม หลักการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (quality function deployment) และหลักการ axiomatic design (AD) โดยการออกแบบทางวิศวกรรมนั้นเป็นรูปแบบพื้นฐานที่ประยุกต์ใช้ในการหาความต้องการในกระบวนการออกแบบเพื่อใช้ร่วมกับกระบวนการตัดสินใจ ส่วนการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพมีการอธิบายในส่วนของเมทริกซ์หลัก 4 เฟส ที่ประกอบไปด้วย การวางแผนผลิตภัณฑ์ การแปลงการออกแบบ การวางแผนกระบวนการ และการวางแผนปฏิบัติการผลิต ซึ่งมีกระบวนการคล้าย ๆ กับหลักการ axiomatic design มีแนวคิดในการออกแบบให้เกิดความสัมพันธ์กันระหว่างความต้องการทางหน้าที่กับพารามิเตอร์ในการออกแบบ (Design Parameter; DPs) ที่มีหลักการ 3 เฟส ที่ประกอบด้วย แนวคิดการออกแบบ (conceptual design) ออกแบบผลิตภัณฑ์ (product design) และออกแบบกระบวนการ (process design)

คำหลัก ออกแบบผลิตภัณฑ์ การแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ axiomatic design

Abstract

This article proposed design method and product development by comparison among Engineering Design of Pahl & Beitz, Quality Function Deployment (QFD) and Axiomatic Design (AD).

Engineering Design of Pahl & Beitz model is used to adapt general statement to the requirement of design process and to incorporate the specific working and decision-making steps. Quality Function Deployment consist of 4 phases; Product Planning, Design Deployment, Process Planning and Production Operation Planning. QFD have similar characteristic in Axiomatic Design. Axiomatic Design is a system design methodology using matrix method to systematically analyze the transformation customer need to design parameters. Design parameters comprise 3 phases; Conceptual Design, Product Design and Process Design.

Keywords: product design, quality function deployment, axiomatic design

1. บทนำ

อุตสาหกรรมในปัจจุบันมีการแข่งขันกันด้วยเทคโนโลยีไม่ว่าจะเป็นด้วยเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตเพื่อให้เกิดการแข่งขันอย่างได้เปรียบในกลุ่มอุตสาหกรรมเดียวกัน การพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือการบริการนั้นจะส่งผลกระทบต่อความอยู่รอดและเติบโตของธุรกิจ ซึ่งพัฒนาจากแนวคิดการออกแบบ (conceptual design) ให้เป็นผลิตภัณฑ์และการบริการเข้าไปในตลาดผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะส่งถึงมือผู้บริโภค [1] ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่ช่วยให้ธุรกิจอยู่รอดได้ คือ การที่ผลิตภัณฑ์สนองความต้องการลูกค้าอย่างแท้จริง แต่เมื่อผลิตภัณฑ์สนองความต้องการ

ได้แล้วสิ่งที่ทำให้ผู้ผลิตสามารถดำเนินธุรกิจต่อไปได้ก็คือ การที่ผลิตผลิตภัณฑ์ภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่มาจากความต้องการของลูกค้าและข้อจำกัดของกระบวนการผลิต ดังนั้นกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมจึงเป็นพื้นฐานที่ช่วยให้การออกแบบสามารถออกแบบผลิตภัณฑ์บนพื้นฐานทางวิศวกรรมเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าได้ หลักการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) จะสามารถเข้าถึงความต้องการของลูกค้าและทราบถึงวิธีการที่จะสามารถตอบสนองกระบวนการผลิตได้ และอีกหลักการหนึ่งที่ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยลดความซับซ้อนของข้อจำกัดที่เกิดขึ้นได้คือ axiomatic design

2. การออกแบบทางวิศวกรรม (engineering design)

2.1 หลักการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์

กระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของ Pahl และ Beitz นั้นเป็นกระบวนการพื้นฐานที่มีลำดับขั้นตอนของการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น ฝ่ายการตลาด ฝ่ายออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ฝ่ายการผลิต เป็นต้น เพื่อที่จะส่งข้อมูลพื้นฐานต่าง ๆ ไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป มีการนำแนวคิดของกระบวนการแก้ปัญหาภายใต้ความร่วมมือกับกระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยแบ่งออกเป็น 4 เฟส ดังนี้ [2]

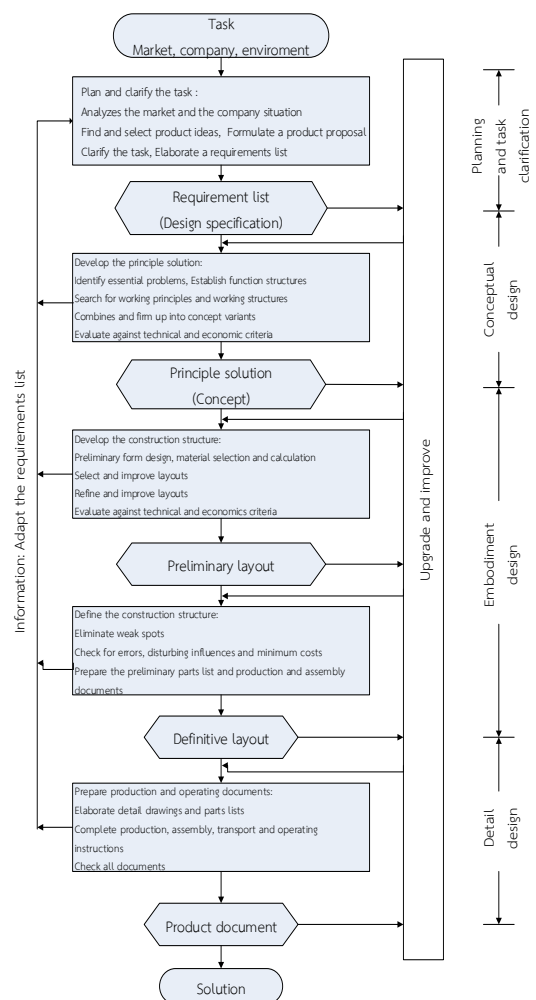
1. กระบวนการวางแผนและการจำแนกรูปแบบ (planning and task clarification) กระบวนการแรกเป็นการระบุกลุ่มของตลาดที่พัฒนาผลิตภัณฑ์โดยรับความต้องการพื้นฐานหรือความต้องการ (customer requirements) ที่คาดหวังว่าต้องมีของลูกค้าซึ่งข้อมูลได้รับการวิจัยของฝ่ายการตลาด ฝ่ายขายและฝ่ายบริการ ทีมออกแบบจะต้องแปลความต้องการของลูกค้าเป็นข้อมูลทางเทคนิคเพื่อระบุข้อกำหนดของแบบผลิตภัณฑ์ (specification of Information)

2. สร้างแนวคิดการออกแบบ (conceptual design) การสร้างแนวคิดการออกแบบเกิดจากการรับความต้องการของลูกค้า (customer requirements) แล้วหาวิธีการต่าง ๆ ที่จะสามารถอธิบายรูปแบบ หน้าที่การทำงาน (working principle) โครงสร้างการทำงาน (working structure) และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ (product properties) แนวคิดของผลิตภัณฑ์ อาจจะเป็นข้อความหรือรูปภาพก็ได้ กระบวนการนี้เป็นกระบวนการ

ที่ทีมออกแบบจะเริ่มสร้างสรรควิธีการต่าง ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า

3. การออกแบบเชิงรูปธรรม (embodiment design) หลังจากได้แนวคิดการออกแบบที่มนักออกแบบจะทำการกำหนดโครงสร้างผลิตภัณฑ์ซึ่งจะเป็นพิจารณาข้อดีและข้อเสียของแต่ละแบบหรือเลือกตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ความสมบูรณ์ของการออกแบบจะต้องมีการตรวจสอบฟังก์ชัน จุดแข็ง หรือส่วนที่เกี่ยวข้อง

4. การออกแบบรายละเอียด (detail design) ในขั้นตอนนี้จะเป็นการจัดเตรียมรูปแบบ ขนาด หรือคุณสมบัติต่าง ๆ ที่แบ่งออกมา โดยสุดท้ายต้องกำหนดวัตถุดิบ ประเมินปัญหาการผลิต ประเมินต้นทุน และข้อมูลการผลิตทั้งหมดเพื่อประกอบการพิจารณาในขั้นต่อไปโดยแสดงในรูปแบบเอกสารการผลิตผลิตภัณฑ์



รูปที่ 1 ขั้นตอนการวางแผนและกระบวนการออกแบบ [2]

จากกระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้างต้นพบว่าการวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละโดเมน เช่น การระบุหลักการทำงาน (working principle) หรือการระบุโครงสร้างการทำงาน (working structure) ของผลิตภัณฑ์ในเฟสของการสร้างแนวคิดการออกแบบ (conceptual design) นั้นยังไม่ชัดเจนและการส่งต่อของข้อมูลในแต่ละเฟสไปยังเฟสลำดับถัดไปยังมีความเชื่อมโยงไม่เพียงพอ [3] ในส่วนการสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (prototype) จำเป็นต้องมีข้อมูลที่มากพอซึ่งสามารถรองรับการทดสอบและตรวจสอบผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานได้

2.2 ข้อควรพิจารณาหลักการออกแบบทางวิศวกรรม

การระบุกลุ่มผู้บริโภครองระบุให้ชัดเจนเนื่องจากมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่นักออกแบบต้องการสร้างทางเลือกให้โดยไม่ได้รับการร้องขอจากผู้บริโภคและกลุ่มผู้บริโภคเฉพาะที่มีการร้องขอความต้องการด้วยผลิตภัณฑ์ที่คล้ายคลึงกันซึ่งอาจจะกลายเป็นความต้องการพื้นฐานได้

ข้อกำหนดของผู้บริโภคต้องแบ่งให้ได้ว่าเป็นความต้องการ (demand) หรือสิ่งที่คาดหวัง (wish) เพื่อที่จะแบ่งข้อกำหนดให้อยู่ในรูปเชิงปริมาณ (quantitative) และเชิงคุณภาพ (qualitative)

แนวคิดการออกแบบควรเน้นที่ภาพรวมของรูปแบบการทำงานในระบบ (overall function of the system) โดยให้มีฟังก์ชันหลัก (main function) และฟังก์ชันเสริม (auxiliary function) รวมอยู่ด้วย จากหลักการออกแบบทางวิศวกรรมของ Pahl & Beitz สามารถสรุปผลลัพธ์ในแต่ละเฟสที่ใช้ในกระบวนการออกแบบได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลลัพธ์จากหลักการของ Pahl & Beitz

เฟสที่	ผลที่ได้
1.กระบวนการวางแผนและการจำแนกรูปแบบ (Planning and Task Clarification)	ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (Requirement List)
2.สร้างแนวคิดการออกแบบ (Conceptual Design)	แนวคิดโครงสร้างการทำงานต่าง ๆ (Working Structure)
3.การออกแบบเชิงรูปธรรม (Embodiment Design)	แบบร่างขั้นต้น (Preliminary Layout)
4.การออกแบบรายละเอียด (Detail Design)	เอกสารการผลิตผลิตภัณฑ์ (Production Documentation)

3. การแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (Quality Function Deployment; QFD)

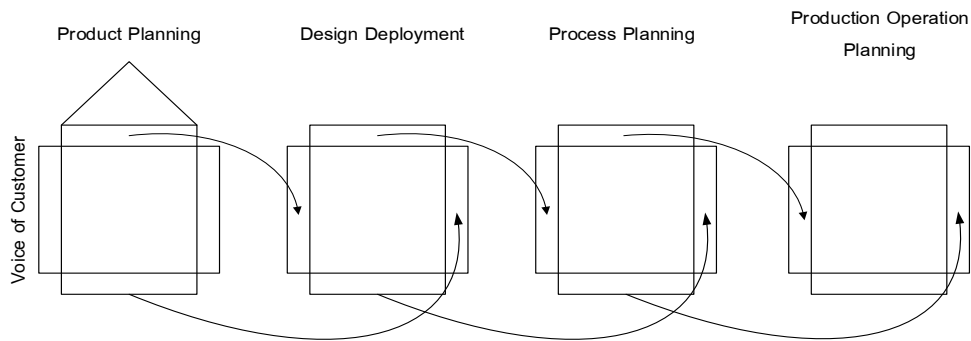
3.1 หลักการการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ

แนวคิดของการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพถูกคิดค้นในประเทศญี่ปุ่น เมื่อปี ค.ศ. 1960 เป็นเทคนิคที่ใช้ในการจัดโครงสร้างเพื่อจัดการออกแบบ วางแผนและพัฒนาผลิตภัณฑ์ บริการ และกระบวนการซึ่งเน้นที่การตอบสนองความต้องการของลูกค้า ผู้รับบริการ และผู้ใช้ โดยเทคนิคนี้จะช่วยระบุความต้องการของลูกค้าได้อย่างชัดเจน และช่วยประเมินคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้ามากขึ้นเพียงใดเพื่อลดรอบเวลาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้น้อยลง [4-8]

รูปแบบพื้นฐานของ QFD ประกอบด้วย 4 เฟส ดังรูปที่ 2 โดยภายในเฟสแต่ละเฟสจะแสดงผลของคุณลักษณะสมบัติ ซึ่งได้มาจากข้อมูลเบื้องต้นในแต่ละส่วน และความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะสมบัติกับข้อมูลป้อนเข้าในรูปของการประเมินแบบเมทริกซ์ หลังจากนั้นจะนำค่าการประเมินแบบเมทริกซ์ที่เป็นตัวเลขไปกำหนดให้กับความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นเพื่อลำดับความสำคัญของคุณลักษณะสมบัติที่ได้

เฟสที่ 1 การวางแผนผลิตภัณฑ์ (product planning) หรือที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่า บ้านแห่งคุณภาพ (HOQ) ดังรูปที่ 3 เป็นการรวบรวมความคิดของผู้บริโภคว่าต้องการให้มีคุณภาพใดในผลิตภัณฑ์หรือบริการ (voice of customer) โดยนำข้อมูลมาจากการตอบแบบสอบถาม สัมภาษณ์ที่ไม่มีการชี้นำ หรือวิธีอื่น ๆ ด้านความต้องการของผู้บริโภค โดยให้น้ำหนักความสำคัญไปที่คุณภาพของผลผลิต หรือมองอีกด้านว่าความต้องการของผู้บริโภคมี 3 ระดับ ซึ่งความต้องการพื้นฐาน (strategic needs) เป็นสิ่งที่กล่าวถึงมากที่สุด ความต้องการทุติยภูมิหรือความต้องการทางสังคม (secondary needs) เป็นความต้องการเชิงยุทธวิธี (tactical needs) ถูกแนะนำโดยฝ่ายออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ (R&D) และความต้องการสุดท้ายเป็นความต้องการเชิงปฏิบัติการ (operational needs) ที่สามารถรับรู้ได้ [9] จากนั้นจึงแปลความต้องการของผู้รับบริการ

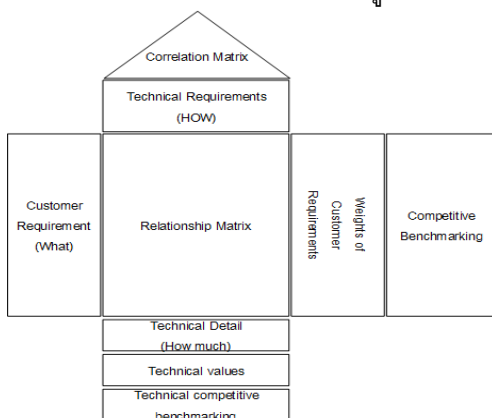
ไปเป็นคุณลักษณะด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์ (substitute quality characteristics: SQCs) ว่าจะอย่างไรจึงจะให้



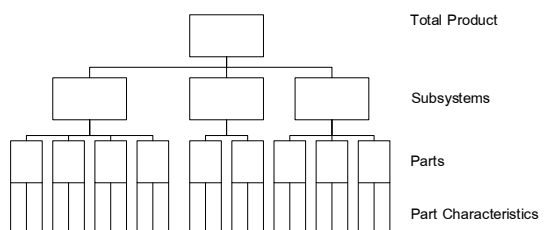
รูปที่ 2 รูปแบบพื้นฐานของ QFD [6]

ได้มาในสิ่งที่ผู้รับบริการต้องการ จากนั้นจัดลำดับความสำคัญและทำการเปรียบเทียบว่าควรจะเริ่มพัฒนาที่ข้อกำหนดใดก่อน โดยพิจารณาจากข้อกำหนดที่สำคัญที่สุดซึ่งต้องอาศัยความรู้ความเชี่ยวชาญจากหลายฝ่ายมาช่วยกันพิจารณา

เฟสที่ 2 การแปลงการออกแบบ (design deployment) ในเฟสนี้จะทำการออกแบบโดยอาศัยแผนภูมิต้นไม้ (function tree diagram) ดำเนินการกระจายส่วนประกอบของผลผลิตจนกระทั่งได้คุณลักษณะหรือคุณภาพของส่วนประกอบที่สำคัญ โดยเริ่มจากการแบ่งผลผลิตรวม (total product) ออกเป็นระบบย่อย (subsystems) หลังจากนั้นแบ่งเป็นชิ้นส่วนย่อย (parts) แล้วจึงประเมินชิ้นส่วนย่อยแต่ละส่วน เพื่อหาคุณลักษณะที่สำคัญของส่วนย่อยแต่ละส่วน (parts characteristics) ซึ่งผลที่ได้จากการกระจายส่วนประกอบของผลผลิตเพื่อหาคุณลักษณะและคุณภาพนี้จะเป็นตัววัดผลที่บ่งชี้ถึงทิศทางของผลผลิตที่ได้ว่าดีขึ้นหรือไม่ ดังรูปที่ 4

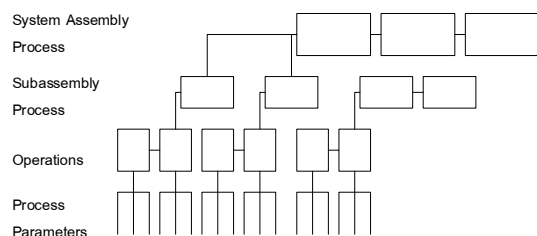


รูปที่ 3 ส่วนประกอบของบ้านคุณภาพ (HOQ) [6]



รูปที่ 4 การกระจายคุณลักษณะของชิ้นส่วนย่อย [6]

เฟสที่ 3 การวางแผนกระบวนการ (Process Planning) เป็นการทำงานเป็นทีมในการช่วยกันระบุตัวแปรที่สำคัญอย่างชัดเจนของกระบวนการ โดยทีมงานจะระบุกระบวนการหลักหรือกระบวนการประกอบของระบบ (system assembly process) แล้วหากระบวนการประกอบที่ย่อยลงมา (subassembly process) ดังรูปที่ 5 เพื่อป้อนเข้าสู่กระบวนการหลัก จากนั้นระบุวิธีการปฏิบัติงาน และลงมือปฏิบัติงานโดยใช้ความรู้ความสามารถ ความเชี่ยวชาญพิเศษประกอบกับการทดลอง เพื่อให้ทราบถึงตัวแปรที่มีผลต่อการปฏิบัติงานในทุกขั้นตอนและสามารถปรับปรุงงานได้ถูกต้อง



รูปที่ 5 การกระจายตัวพารามิเตอร์ของกระบวนการ [6]

เฟสที่ 4 การวางแผนปฏิบัติการผลิต (production operations planning) หลังจากการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ ในเฟสสุดท้ายไม่ได้อยู่ในรูปแบบของตารางเมทริกซ์แต่จะเป็นในส่วนของตารางที่แสดงรายละเอียดพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น การตั้งค่าของเครื่องจักร วิธีการควบคุมเครื่องจักร และรายการสำหรับตรวจสอบ

จากหลักการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพที่มีโครงสร้างการทำงานทั้ง 4 เฟส สามารถสรุปผลลัพธ์ได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์จากหลักการของ QFD

เฟสที่	ผลที่ได้
1.การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning)	คุณลักษณะด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์ (SOCs)
2.การแปลงการออกแบบ (Design Deployment)	ลำดับค่าความสัมพันธ์ของส่วนประกอบย่อยที่เป็นข้อกำหนดทางเทคนิค (Hows)
3.การวางแผนกระบวนการ (Process Planning)	พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของกระบวนการย่อยทั้งหมดที่ต้องปรับปรุง
4.การวางแผนปฏิบัติการผลิต (Production Operations Planning)	แผนการควบคุมกระบวนการย่อยทั้งหมด

หลักในการทำ QFD เบื้องต้น คือ การรวบรวมความต้องการของผู้บริโภคมา แล้วทำการจัดการกับความต้องการของผู้บริโภคนั้นโดยใช้เทคนิคทางวิศวกรรม แล้วนำความต้องการนั้นมาระบุวิธีในการผลิตหรือเทคนิคทางวิศวกรรมที่จะช่วยตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้ จากนั้นนำความต้องการของผู้บริโภค (Whats) และข้อกำหนดเทคนิคในการผลิต (Hows) มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมกันในตาราง HOQ (House of Quality) [6] เพื่อทำการจัดเรียงลำดับข้อกำหนดเทคนิคการผลิต แล้วทำการวิเคราะห์รายละเอียดของการผลิต เช่น ส่วนประกอบ ข้อจำกัดในการผลิต เพื่อให้เห็นภาพรวมในการพัฒนาและจัดทำแผนการผลิต ตลอดจนการวางแผนการตลาด ในแต่ละส่วนของบ้านคุณภาพจะมีข้อมูลที่สำคัญเพื่อเฉพาะเจาะจงในการวิเคราะห์การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ [4] แต่บางครั้งผลิตภัณฑ์บางประเภท

อาจมีความซับซ้อนมากเกินไปจึงไม่เหมาะที่จะใช้ HOQ เพียงเฟสเดียว นักวิจัยบางท่านจึงใช้ประยุกต์ใช้ HOQ 2 เฟส แทนการใช้ทั้ง 4 เฟส [10]

3.2 ข้อควรพิจารณาในการใช้ QFD

ในการนำหลักการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพไปใช้นั้น มีข้อระวังหรือข้อควรสังเกตเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุดมีดังนี้

ความต้องการของผู้บริโภคควรถ้าไม่สามารถสอบถามได้ควรใช้วิธีสังเกตพฤติกรรมของผู้บริโภค เช่น การใช้หรือการซื้อผลิตภัณฑ์ หรือใช้การแสดงบทบาทสมมติ (Play Role) ให้ผู้บริโภคได้ใช้ผลิตภัณฑ์หลากหลายฟังก์ชันเพื่อทำการเปรียบเทียบกันและลดปัญหาความขัดแย้งในด้านความต้องการ [11]

การเปรียบเทียบเกณฑ์มาตรฐานกับคู่แข่งนั้น ผู้บริโภคต้องเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบ ฟังก์ชันที่ใกล้เคียงกันและอยู่ในกลุ่มของส่วนแบ่งทางการตลาดเดียวกัน

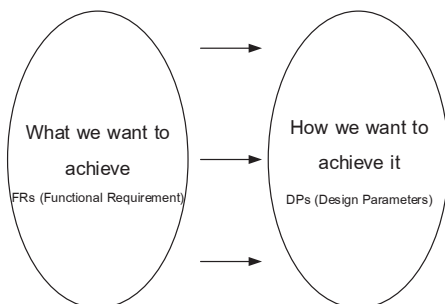
เมทริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของผู้บริโภค (Whats) กับข้อกำหนดเชิงเทคนิค (Hows) ต้องมีขนาดที่เหมาะสมเพื่อช่วยให้ตัดสินใจให้ดีขึ้น [12]

การระบุความสัมพันธ์ของคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ดังรูปที่ 2 นั้นมีการประเมินความสัมพันธ์ด้วยทีมนักออกแบบเท่านั้นซึ่งไม่ได้นำความสัมพันธ์มารวมประกอบการออกแบบในส่วนอื่น แต่จะมีความสำคัญในเชิงวิศวกรรมคอนเคอร์เร็นต์ (concurrent engineering) [13]

4. Axiomatic Design (AD)

Axiomatic design เป็นทฤษฎีการออกแบบที่ได้รับความนิยมโดย Professor Nam P. Suh. จาก massachusetts institute of technology โดยหลักการนี้เป็นโครงสร้างการออกแบบพื้นฐาน (design framework) ที่มากกว่าทฤษฎีการออกแบบทั่วไป โครงสร้างการออกแบบนั้นสามารถประยุกต์ใช้กับทุกกิจกรรมของการออกแบบ ที่มีประโยชน์โดยการใช้แก้ปัญหาลดความซับซ้อนของการออกแบบ โดยความซับซ้อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ time-independent complexity กับ time-dependent complexity [14]

Shu [15] ได้เสนอแนวคิดการออกแบบของ axiomatic design ว่าเป็นวิธีการที่มีความสัมพันธ์กันระหว่าง อะไรที่ปรารถนาให้สำเร็จ (what we want to achieve) กับวิธีการอย่างไรที่จะสำเร็จได้ (how we achieve it) ดังรูปที่ 6 นักออกแบบพยายามทำให้ความต้องการนั้นสำเร็จได้โดยผ่านความสัมพันธ์ทั้งสองด้าน หลักการของ axiomatic design สามารถแบ่งออกเป็น 4 โดเมน ดังรูปที่ 7 ซึ่งประกอบไปด้วย องค์ประกอบด้านลูกค้า (customer domain) นั้นเกี่ยวข้องกับส่วนของความต้องการลูกค้า (customer needs) ซึ่งเป็นความต้องการเชิงคุณภาพ



รูปที่ 6 แนวคิดการออกแบบ axiomatic design

องค์ประกอบด้านลูกค้าจะเปลี่ยนรูปสู่ความต้องการด้านหน้าที่ (Functional Requirements: FRs) ซึ่งเป็นลักษณะทางคุณภาพ ในกลุ่มของหน้าที่ (functional domain) ซึ่งก็เทียบเท่ากับอะไรที่ปรารถนาให้สำเร็จ FRs เป็นที่น่าพึงพอใจโดยการอธิบายหรือการเลือก

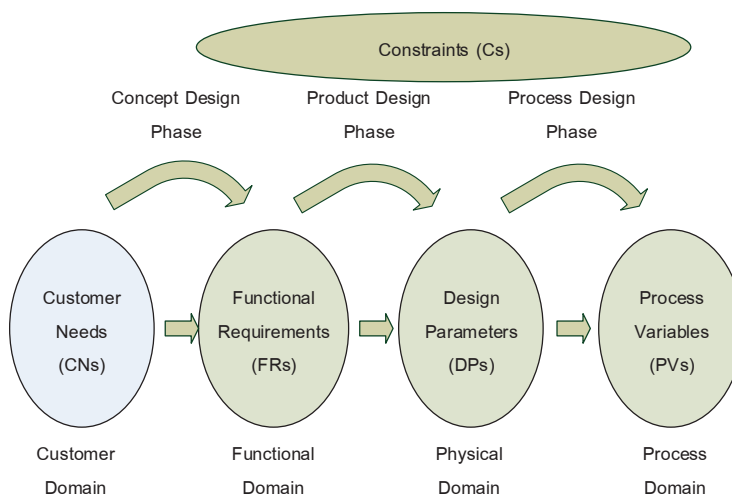
พารามิเตอร์การออกแบบ (Design Parameter: DPs) ในด้านกายภาพ (physical domain) โดยส่วนมากวิธีนี้จะอ้างอิงในกระบวนการออกแบบ ตัวแปรด้านการผลิต (process variables: PVs) ถูกกำหนดจากพารามิเตอร์การออกแบบในระบบการจัดการเดียวกัน สิ่งที่คาดหวังสำหรับกลุ่มโดเมนนั้นจะถูกกำหนดจากความสัมพันธ์ระหว่างสองโดเมน ซึ่งกระบวนการนี้ถูกเรียกว่า จับคู่ (mapping) กระบวนการออกแบบที่ดีนั้นหมายถึงกระบวนการที่มีการจับคู่กันอย่างมีประสิทธิภาพ

ทฤษฎี axiomatic design ซึ่งเป็นวิธีการในการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการโดยอาศัยกฎของการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่ทำให้ข้อกำหนดที่ต้องการแต่ละตัวเป็นอิสระจากกัน ซึ่งสามารถแบ่งหลักการเบื้องต้นออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การให้ฟังก์ชันแต่ละตัวของผลิตภัณฑ์เป็นอิสระจากกัน (axiom 1: maintain the independence of the functional requirements) โดยมี 2 ทางเลือก คือ

ทางเลือกที่ 1: การออกแบบที่เหมาะสม คือการออกแบบที่มีความอิสระต่อกันทางด้านหน้าที่

ทางเลือกที่ 2 : การยอมรับการออกแบบพารามิเตอร์การออกแบบ (DPs) และ ความต้องการด้านหน้าที่ (FRs) ที่เกี่ยวข้องกัน เช่น วิธีการที่เฉพาะของพารามิเตอร์การออกแบบเพื่อให้เป็นที่พึงพอใจที่ตรงกับความต้องการด้านหน้าที่โดยไม่มีผลกระทบต่อความต้องการหน้าที่ส่วนอื่น ๆ



รูปที่ 7 หลักการออกแบบของ Axiomatic Design [15]

2. การทำให้ข้อมูลของการออกแบบน้อยที่สุด (axiom 2: minimize the information content of the design) เป็นข้อมูลเบื้องต้นที่ต้องมีในการออกแบบสถานะทางเลือก (alternate statement) การออกแบบที่ดีนั้นเป็นการออกแบบที่ไม่เกิดเป็นคู่ซึ่งโดยมีข้อมูลที่น้อยที่สุด

Conceptual phase เป็นกระบวนการที่ระบุปัญหาในโดเมนของ CNs เพื่อกำหนด FRs ที่เหมาะสมกับความต้องการซึ่งมี 2 แนวทาง คือ การได้นวัตกรรมใหม่ (innovation) และการปรับปรุงแบบเดิมที่มีอยู่ (existing design)

Product design phase เป็นการระบุ FRs ให้แยกย่อยลงในที่ระดับต่ำลงมา ซึ่งให้สอดคล้องกับ DP's ด้วยเช่นกัน โดยในแต่ละลำดับนั้นจะมีการซิก (zig) และ แซก (zag) ซึ่งต้องระบุ FRs ที่สำคัญในแต่ละระดับโดยไม่นำ FRs ในลำดับถัดไปมาพิจารณาร่วมกันและต้องพิจารณาบนข้อจำกัดต่าง ๆ ที่มี

Process design phase เป็นกระบวนการที่หาความสัมพันธ์กันของ DP's กับ PV's เพื่อให้ได้คุณลักษณะที่สำคัญของกระบวนการผลิตโดยใช้การซิก (zig) และ แซก (zag) เช่นกันซึ่งผลที่ได้ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดต่าง ๆ ที่กำหนด

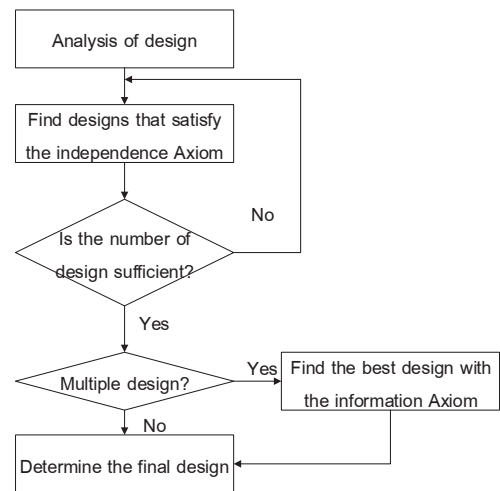
การทำงานของหลักการ axiomatic design นั้นจะเริ่มต้นจากการรวบรวมการออกแบบเพื่อนำมาวิเคราะห์การออกแบบโดยอาศัยหลักการที่ว่าแต่ละ axiom ต้องมีความอิสระต่อกันอย่างเต็มที่ที่น่าพอใจและมีการตรวจสอบว่าปริมาณการออกแบบเพียงพอหรือไม่ เพื่อให้เกิดการออกแบบที่หลากหลายเพื่อใช้ในการคัดเลือก [16] ถ้าปริมาณตัวอย่างการออกแบบที่คัดเลือกมามีความหลากหลายจะทำการหาตัวอย่างการออกแบบที่ดีที่สุดด้วยข้อมูลที่ใช้ออกแบบ (information axiom) แต่ถ้าไม่มีความหลากหลายของการออกแบบอาจจะต้องใช้ตัวอย่างนั้นเป็นการออกแบบสุดท้ายเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ดังรูปที่ 8

การออกแบบด้วยวิธี axiomatic design เป็นการ mapping ของทั้ง 4 โดเมนข้างต้น สามารถกล่าวโดยสรุปได้ว่า ข้อกำหนดด้านฟังก์ชันการใช้งานจะถูกแปลงมาจากความต้องการของลูกค้าโดยฟังก์ชันหน้าที่การทำงานที่ถูกแปลงมาจากความต้องการของลูกค้าเหล่านั้นก็จะถูกแปลงเป็นข้อกำหนดด้านองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ที่

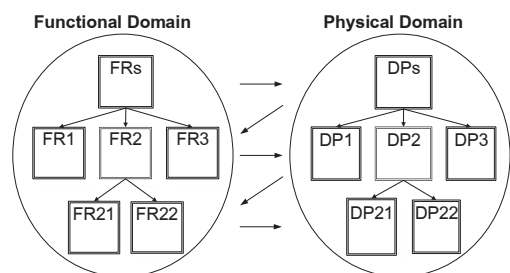
ตอบสนองต่อฟังก์ชันต่าง ๆ และข้อกำหนดด้านการผลิตเป็นผลมาจากการหากระบวนการที่จะตอบสนองต่อการผลิตผลิตภัณฑ์นั้น ๆ

การจับคู่ระหว่างโดเมน เพื่อให้สามารถแตกย่อยข้อกำหนดด้านต่าง ๆ ได้อย่างครบถ้วนนั้นสามารถกระทำได้โดยวิธีการซิกแซก (zigzagging) ซึ่งเป็นการจับคู่กันระหว่างโดเมนไขว้กัน จากข้อกำหนดบนสุดไปสู่ข้อกำหนดล่างสุด สลับกันไปมา โดยเน้นที่ฟังก์ชันย่อยเป็นสำคัญ [17]

โดยมีขั้นตอน คือ ต้องหาฟังก์ชันหน้าที่การทำงานระดับบนสุด หลังจากนั้นจะทำการซิก (zig) เพื่อหาพารามิเตอร์การออกแบบที่ตอบสนองฟังก์ชันเมื่อได้พารามิเตอร์การออกแบบแล้วจะทำการแซก (zag) กลับไปยังฟังก์ชันหน้าที่การทำงานในระดับถัดลงมาและทำการ ซิกแซก (zigzag) จนครบทุกระดับของฟังก์ชันหน้าที่การทำงานดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 ขั้นตอนการทำงานของ AD [18]



รูปที่ 9 การทำ zigzagging [19]

การออกแบบด้วย axiomatic design จะใช้หลักการแบบเมตริกซ์เข้ามาหาความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันหน้าทีการทำงาน (FRs) และพารามิเตอร์การออกแบบ (DPs) สามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 1

$$\begin{Bmatrix} FR_0 \\ \vdots \\ FR_n \end{Bmatrix} = [A] \begin{Bmatrix} DP_0 \\ \vdots \\ DP_n \end{Bmatrix} \quad (1)$$

เมตริกซ์การออกแบบ $[A]$ เขียนอยู่ในรูป

$$[A] = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ A_{m1} & A_{m2} & \cdots & A_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$\{FR\}$ คือ เวกเตอร์ความต้องการด้านหน้าที่

$\{DP\}$ คือ เวกเตอร์พารามิเตอร์การออกแบบ

$[A]$ คือ เมตริกซ์การออกแบบ

ความสัมพันธ์ระหว่าง FRs และ DPs มี 3 รูปแบบดังนี้

- Uncoupled design เป็นเมตริกซ์แบบทแยงมุม FRs และ DPs มีความอิสระต่อกัน ดังรูปที่ 10 และสมการที่ 3

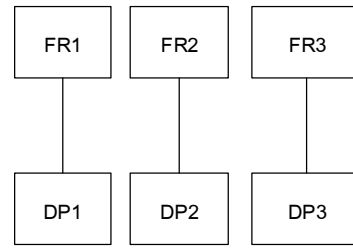
- Decouple design เป็นเมตริกซ์แบบสามเหลี่ยม FRs และ DPs มีความสัมพันธ์เชิงลำดับ ดังรูปที่ 11 ดังสมการที่ 4

- Coupled design เป็นเมตริกซ์แบบมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ดังรูปที่ 12 ดังสมการที่ 5

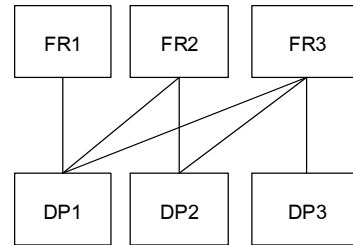
$$\begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ A_{21} & A_{22} & 0 \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

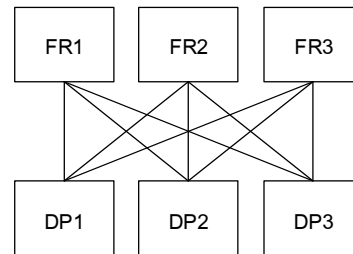
$$\begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{bmatrix} \quad (5)$$



รูปที่ 10 Uncoupled design



รูปที่ 11 Decouple design



รูปที่ 12 Coupled design

การเชื่อมโยงฟังก์ชันหน้าทีการทำงานกับพารามิเตอร์การออกแบบนั้นคือ เวกเตอร์ของ FRs สามารถเชื่อมโยงกับเวกเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ DPs ได้ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน้าที่การทำงาน (function requirement) และพารามิเตอร์การออกแบบ (design parameter) ที่ตอบสนองต่อความต้องการในหน้าที่การทำงานนั้น โดยการเชื่อมโยงเวกเตอร์ของ FRs และ DPs สถานะของหลักการที่อิสระต่อกันซึ่งความต้องการด้านหน้าที่อิสระจะต้องยังคงสภาพอยู่ ขณะที่ความต้องการด้านหน้าที่ (FRs) นั้นนิยามด้วยการกำหนดความต้องการอิสระระดับที่ต่ำสุดของลักษณะเป้าหมายของการออกแบบ โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความต้องการด้านหน้าที่ (FRs) กับพารามิเตอร์การออกแบบ (DPs) ดังสมการที่ 6-8

Uncoupled design (6)

$$FR_1 = A_{11} \times DP_1$$

$$FR_2 = A_{22} \times DP_2$$

$$FR_3 = A_{33} \times DP_3$$

Decoupled design (7)

$$FR_1 = A_{11} \times DP_1$$

$$FR_2 = A_{21} \times DP_1 + A_{22} \times DP_2$$

$$FR_3 = A_{31} \times DP_1 + A_{32} \times DP_2 + A_{33} \times DP_3$$

Coupled design (8)

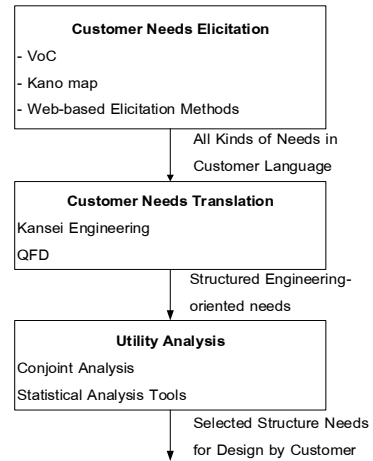
$$FR_1 = A_{11} \times DP_1 + A_{12} \times DP_2 + A_{13} \times DP_3$$

$$FR_2 = A_{21} \times DP_1 + A_{22} \times DP_2 + A_{23} \times DP_3$$

$$FR_3 = A_{31} \times DP_1 + A_{32} \times DP_2 + A_{33} \times DP_3$$

ในการแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรมจำเป็นต้องลดความซับซ้อนของข้อจำกัดต่าง ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องหรือสัมพันธ์กัน โดยการคำนึงถึงการกำหนดหน้าที่การทำงาน (functionality) ของสิ่งที่ต้องการออกแบบ โดยมีการแบ่งออกเป็นระบบที่ย่อยชัดเจน ทำให้ง่ายต่อการแบ่งหน้าที่และหาแนวทางการออกแบบที่ชัดเจน AD จำเป็นต้องมีฐานข้อมูลจำนวนมากเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาและสร้างแบบจำลอง [20] ความเกี่ยวข้องกันระหว่าง DPs นั้นจะแสดงในเชิงปริมาณ (quantitative) [18]

จากหลักการของ axiomatic design นั้นจะเริ่มต้นด้วยโครงสร้างความต้องการของลูกค้า (customer framework) เพื่อเข้าสู่แนวคิดการออกแบบซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้ คือความต้องการของลูกค้า แปลความต้องการของลูกค้า และวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้า [21] ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 โครงสร้างวิธีการหาความต้องการของลูกค้า [21]

4.2 ข้อควรพิจารณาในการใช้ Axiomatic Design

ความต้องการผู้บริโภคนั้นจะแปลงมาเป็น FRs โดยตรงและขั้นตอนการซิกและแซกในระดับย่อยจะเกิดขึ้นในเฟสการออกแบบผลิตภัณฑ์ (product design phase) และ เฟสการออกแบบกระบวนการ (process design phase)

- จำนวนของ DPs ควรเท่ากับ FRs ถ้าน้อยกว่าจะทำให้ไม่ได้สมการทางคณิตศาสตร์ที่ครบถ้วนซึ่งอาจจะต้องใช้หลักการแมกซิมัมเอนโทรปีโมเดล (principle of maximum entropy) ในการวิเคราะห์ห้อย่างมีขอบเขตที่เหมาะสม [22]

จากหลักการของ axiomatic design ทั้ง 3 เฟส นั้นสามารถสรุปผลลัพธ์ในแต่ละเฟสได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์จากหลักการของ axiomatic design

เฟสที่	ผลลัพธ์
1. แนวคิดการออกแบบ (concept design phase)	FRs ที่เป็นนวัตกรรมใหม่หรือเป็นการปรับปรุงแบบที่มีอยู่เดิม
2. ออกแบบผลิตภัณฑ์ (product design phase)	FRs DPs ย่อย และความสัมพันธ์ระหว่าง FRs กับ DPs
3. ออกแบบกระบวนการผลิต (process design phase)	คุณลักษณะการผลิตที่สัมพันธ์กับพารามิเตอร์

5. สรุปหลักการ

จากแนวความคิดการออกแบบผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 หลักการนั้นเมื่อนำมาวิเคราะห์แล้วพบว่ามีการบวนการบางส่วนมีความคล้ายคลึงกัน กระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของ Pahl & Beitz นั้นมีขั้นตอนของการวางแผนและรับความต้องการของลูกค้าหรือการพัฒนาผลิตภัณฑ์ตามแผนยุทธศาสตร์ของบริษัทซึ่งมองภาพรวมมากกว่าหลักการของ QFD และ AD

กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมของ Pahl & Beitz มีการแบ่งฟังก์ชันหลักกับฟังก์ชันเสริมโดยมีบางส่วนไม่สอดคล้องกัน ส่วน AD จะมีการแบ่ง FRs สอดคล้องกับ DP's ทั้งหมดเพื่อหา DP's ในระดับย่อยให้มากที่สุด ความต่างกันระหว่าง HOQ และ AD คือ HOQ เป็นแบบจำลองทางกายภาพ (เมตริกซ์) เพื่อเปรียบเทียบทางเลือกต่าง ๆ แต่ axiomatic design แสดงความสัมพันธ์ทางแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งกันและกัน แต่มีสอง axioms ที่อิสระต่อกัน ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการทราบความต้องการที่เฉพาะเจาะจง HOQ จะอธิบายในส่วนของความต้องการของลูกค้าที่พอใจในตัวผลิตภัณฑ์ AD จะอธิบายในด้านความต้องการทางหน้าที่ที่จะใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ whats ใน HOQ เป็นการระบุความต้องการของลูกค้าโดยไม่มีข้อจำกัด เช่น กายภาพ สุนทรีย์ มูลค่าของเงิน ส่วน FRs ใน AD เป็นการระบุความต้องการในโดเมนของการออกแบบเชิงหน้าที่ซึ่งเป็นระดับย่อยใน HOQ

จากหลักการทั้งหมดที่กล่าวมานั้นเมื่อนำไปออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อให้เหมาะกับวิธีการที่นำเสนอไปนั้นควรนำกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมของ Pahl & Beitz ช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เน้นทางด้านวิศวกรรมเครื่องกล (mechanical) โดยเฉพาะผลทางด้านกายภาพ (physical effect) เพื่อระบุฟังก์ชันการทำงานย่อยต่าง ๆ หลักการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพส่วนใหญ่ใช้กับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเพื่อแปลงความต้องการของลูกค้าเนื่องจากมีแม่แบบ (template) ที่เป็นพื้นฐานโดยความยากง่ายขึ้นอยู่กับประเภทของผลิตภัณฑ์ เช่น ต้องการปรับปรุงผลิตภัณฑ์เดิมที่มีอยู่ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจำนวนมาก (mass production products) ผลิตภัณฑ์ที่เป็นนวัตกรรมใหม่ (innovative new products) และหลักการ axiomatic design นั้นช่วย

ลดปัญหาความซับซ้อนจากการทำงานในส่วนของผลิตภัณฑ์หรือระบบการผลิต เมื่อต้องการแปลงความต้องการของลูกค้าให้เป็นพารามิเตอร์การออกแบบ (design parameter)

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kang, N., Kim, J. and Park, Y. 2007. Integration of marketing domain and R&D domain in NPD design process. *Industrial Management & Data Systems*, 107: 780-801.
- [2] Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. and Grote, K. H. 2007. *Engineering Design: A Systematic Approach*. 3 ed.: Springer-Verlag London.
- [3] Tate, D. 1999. A roadmap for decomposition: activities, theories, and tools for system design. PhD., Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- [4] Delgado, D. J. and Aspinwall, E. M. 2003. QFD methodology and practical applications - A review. *Proceeding of 9th Annual Postgraduate Research Symposium, School of Engineering. The University of Birmingham*, 2003: 1-5.
- [5] Chan, L.-K. and Wu, M.-L. 2002. Quality function deployment: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 143(3): 463-497.
- [6] Cohen, L. 1995. *Quality function deployment: how to make QFD work for you*. Massachusetts: Addison-Wesley.
- [7] Martins, A. and Aspinwall, E. M. 2001. Quality function deployment: an empirical study in the UK. *Total Quality Management*, 12(5), 575-588.
- [8] Bergquist, K. and Abeysekera, J. 1996. Quality Function Deployment (QFD) - A means for developing usable products. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 18: 269-275.
- [9] Viaene, J. and Januszewska, R. 1999. Quality function deployment in the chocolate industry. *Food Quality and Preference*, 10: 377-385.
- [10] Chen, J. and Chen, J. C. 2002. QFD-based

- technical textbook evaluation- procedure and a case study. *Journal of Industrial Technology*, 18(1): 1-8.
- [11] Ahahin, A. and Nikneshan, P. 2008. Integration of CRM and QFD: A novel model for enhancing customer participation in design and delivery. *The TQM Journal*, 20: 66-86.
- [12] Gargione, L. A. 1999. Using Quality Function Deployment (QFD) in the design phase of an Apartment Construction Project. *Proceeding of the IGLC-7*, July 26-28, 1999: 357-367.
- [13] Pruettikomon, S. 2008. Project feasibility of pressed chair bamboo for domestic and international sale by using quality function deployment and analytic hierarchy process. Master's Thesis, Industrial Engineering, KMUTNB, Bangkok, THAILAND, 2008.
- [14] Lee, T. 2003. Complexity theory in axiomatic design. PhD., Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 2003.
- [15] Suh, N. P. 1990. *The Principle of Design*, New York: Oxford University Press, Oxford, U.K.
- [16] Goncalves-Coelho, A. M. and Mourao, A. J. F. 2007. Axiomatic design as support for decision-making in a design for manufacturing context: A case study. *International Journal of Production Economics*, 109: 81-89.
- [17] Park, G.-J. 2007. *Analytic Methods for Design Practice*, Springer-Verlag, Germany.
- [18] Linke, B. S. and Dornfeld, D. A. 2012. Application of axiomatic design principles to identify more sustainable strategies for grinding. *Journal of Manufacturing Systems*, 31: 412-419.
- [19] Jang, B.-S. Yang, Y.-S. Song, Y.-S. Yeun, Y.-S. and Do, S.-H. 2002. Axiomatic design approach for marine design problems. *Marine Structures*, 15: 35-56.
- [20] Yang, K. and Zhang, H. 2000. A comparison of triz and axiomatic design. *Proceeding of the International Conference on Axiomatic Design*, Cambridge, June 21-23, 2000: 235-245.
- [21] Kurniawan, S. H. Zhang, M. and Tseng, M. M. 2004. Connecting customers in axiomatic design. *Proceeding of the Third International Conference on Axiomatic Design*, Seoul, June 21-24, 2004: 1-7.
- [22] Pappalardo, M. and Naddeo, A. 2005. Failure mode analysis using axiomatic design and non-probabilistic information. *Journal of Materials Processing Technology*, 164-165: 1423-1429.

