

# An Integration of AR and TRIZ to the Design-Based Research : A Case-study of Life Size Bronze Sculpture Casting with Ceramic Shell Technique

การผนวกเทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการกับทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรมในการวิจัยการออกแบบ : กรณีศึกษาการหล่อประติมากรรมทองสำริดขนาดใหญ่ด้วยเทคนิคกระดองเซรามิค

พรสนอง วงศ์สิงห์ทอง

## Abstract

Art and design research is a relatively young discipline and to date does not have a well established method compared to the sciences and humanities. Generally, artists and designers undertaking formal research draw heavily on existing research methods from the Physical and Social Sciences. Design-based research has been proposed as a methodology that can help to bridge the gap between research and practice. Two such techniques, Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) and Action Research (AR), have been widely applied in a variety of product design and manufacturing studies, recently. This research paper proposes an integration of TRIZ and AR to formulate a simple step-by-step Design-based Research approach (DBR). The new approach has been demonstrated through a real-life design for productivity improvement case-study of life size bronze sculpture casting with ceramic shell technique. This allows the evaluation of the used approach from the point of view of its simplicity and effectiveness for solving real world art and design problems.

**Keywords :** Art and Design Research, TRIZ, Action Research, Design-Based Research, Ceramic Shell Technique, Bronze Sculpture Casting

## บทคัดย่อ

การวิจัยศิลปะและการออกแบบเป็นวิชาการสาขาใหม่ ที่ยังไม่มีกระบวนการวิธีดำเนินการวิจัยที่ชัดเจนหากเปรียบเทียบกับกระบวนการวิธีทางด้านวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ ศิลปินและนักออกแบบที่ดำเนินการวิจัยอย่างเป็นทางการ โดยทั่วไปมักยึดวิธีการวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์กายภาพและสังคมศาสตร์มาใช้เป็นหลักใหญ่ นักวิชาการจึงเสนอให้ใช้วิธีการวิจัยการออกแบบ เพื่อเติมช่องว่างระหว่างการวิจัยกับการปฏิบัติ รายงานการวิจัยทางการออกแบบและการผลิตเมื่อเร็วๆ นี้พบว่า มีเทคนิคอยู่สองแนวทางที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง คือ ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรมกับเทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการ บทความวิจัยนี้เสนอการผนวกสองเทคนิคนี้เข้าด้วยกันเพื่อให้เป็นกรอบในการวิจัยการออกแบบ ที่เป็นขั้นตอนง่ายๆ แล้วนำกรอบการวิจัยตามแนวทางใหม่นี้ ไปใช้งานในกรณีศึกษาการวิจัยการออกแบบเพื่อปรับปรุงกระบวนการหล่อประติมากรรมทองสำริดขนาดใหญ่ด้วยเทคนิคกระดองเซรามิค ทำให้ประเมินได้ว่า การแก้ปัญหาทางศิลปะและการออกแบบในโลกของความเป็นจริงด้วยแนวทางนี้ทำได้ง่าย และมีประสิทธิภาพสูง

**คำสำคัญ :** การวิจัยทางศิลปะและการออกแบบ ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม เทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการ การวิจัยการออกแบบ เทคนิคกระดองเซรามิค การหล่อประติมากรรมทองสำริด

## 1 บทนำ

การวิจัยศิลปะและการออกแบบเป็นวิชาการสาขาใหม่ ทุกวันนี้ยังมีระเบียบวิธีที่ไม่ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และมนุษยศาสตร์ และวิชาการด้านอื่นๆ (Owen, 1994) โดยทั่วไป นักศิลปะและนักออกแบบที่ทำการวิจัยอย่างเป็นทางการ หันไปตั้งวิธีวิจัยจากทางด้านวิทยาศาสตร์กายภาพและสังคมศาสตร์มาใช้งานกันส่วนใหญ่ การใช้กฎเกณฑ์การวิจัยทางวิทยาศาสตร์อย่างเข้มงวด เพื่อให้การวิจัยศิลปะและการออกแบบสามารถทนทานต่อการทดสอบอันเฉียบขาดทุกชนิดได้ระดับหนึ่ง จึงใช้กระบวนการวิธีที่ตัดความสัมพันธ์กับตัวแปรบางตัวออกจากสภาพความเป็นจริง เพียงเพื่อจะได้ทำความเข้าใจได้ง่ายขึ้น ซึ่งไม่เกิดประโยชน์อะไร (Argyris et al, 1985) จนเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ว่าการวิจัยศิลปะและการออกแบบ ควรจะมีวิธีวิทยาการวิจัยเป็นเอกเทศหรือไม่ (Fraying, 1993/4 & Press, 1995) การวิจัยอิงการออกแบบ (Design-Based Research) ถูกยกมาเสนอ เป็นกระบวนการวิธีดำเนินการวิจัย เพื่อว่าจะได้ทนทานต่อการทดสอบและเชื่อมต่อช่องว่างระหว่างภาคทฤษฎีกับภาคปฏิบัติ (Romme, 2003; Van Aken, 2004) ผู้สนับสนุนการวิจัยอิงการออกแบบอ้างว่าวิธีนี้ ก็พัฒนาทฤษฎีและองค์ความรู้และการปฏิบัติวิชาชีพได้เหมือนกัน (Romme, 2003; Van Aken, 2005) อย่างไรก็ตาม การวิจัยอิงการออกแบบ ยังไม่ได้ใช้กันอย่างกว้างขวางในการวิจัยศิลปะและการออกแบบ แม้จะมีหนังสือการวิจัยทางศิลปะอยู่บ้างที่ให้แนวทางไว้ แต่ก็ไม่มีรายละเอียดว่าจะลงมือทำจริงๆ กันได้อย่างไร

ศิลปะนั้นเป็นการแสดงออกส่วนตัว การวิจัยลงไปในเรื่องปฏิบัติด้านการคิดสร้างสรรค์เฉพาะตัว ถูกวิจารณ์ว่าเป็นนาร์ซิสซัส (เทพกรีกผู้มีรูปงาม ที่หลงใหลเงาตัวเองจนตรอมใจตาย แล้วกลายเป็นดอกนางพ้าน้ำ) (Crouch, 2007) แต่การออกแบบทางอุตสาหกรรม หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ ไม่ได้เป็นศิลปะ หัตถกรรม หรือวิศวกรรมบริสุทธิ์เสียเลยทีเดียว เพราะมีเป้าหมาย ค่านิยม มาตรฐาน และกระบวนการที่ต่างกัน (Owen, 1994) จึงอาจสันนิษฐานเอาได้ว่า น่าจะมีวิธีในการแปรสภาพทฤษฎีหรือผลงานวิจัยออกมาเป็นงานออกแบบ ความรู้ในการออกแบบได้มาจากการงานวิจัยและการปฏิบัติที่สะสมต่อกันมา หรือหากจะกล่าวให้ชัดเจนยิ่งกว่านั้น การวิจัยงานออกแบบอาจเรียกได้ว่าเป็นองค์ความรู้สาขาหนึ่ง เพราะมีหลากหลาย และมาจากหลากหลายสาขาวิชาการที่เกี่ยวข้องกัน (Creigh-Tyte, 1995) ทั้งศิลปะ วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี และอื่นๆ ล้วนเป็นความรู้ที่นักออกแบบดึงออกมาใช้ในการออกแบบ (Souchkov, 2004)

ส่วนเทคนิคในการดึงความรู้ออกมาจากสาขาวิชาต่างๆ อย่างไม่มีทิศทาง หรือที่เรียกว่าการคิดสร้างสรรค์ เพื่อหาแนวความคิดแก้ปัญหาการออกแบบ ซึ่งอาจแบ่งออกได้เป็นสองระดับตามความยากง่าย คือ (1) ปัญหาที่พอจะรู้คำตอบกันอยู่แล้ว กับ (2) ปัญหาที่ต้องการทางแก้เชิงนวัตกรรม และทางแก้เชิงนวัตกรรมอาจจัดตามระดับความยากง่ายต่อไปได้อีก เป็น (1) ทางแก้ปัญหามีวิธีทั่วไปที่รู้กันอยู่แล้ว (2) ทางแก้ที่เป็นประดิษฐ์กรรมขนาดย่อม แต่อยู่ในกรอบเดิม และมีการสมยอม (3) ทางแก้ที่เป็นประดิษฐ์กรรมใหม่ เอาชนะความขัดแย้งได้ แต่ใช้เทคโนโลยีเดิม และ (4) ทางแก้ที่เป็นนวัตกรรมวิทยาการใหม่ (Orloff, 2006) นักออกแบบส่วนใหญ่ก็ยังคงไม่ใช่วิธีอื่น นอกจากเทคนิค เช่น การระดมพลังสมอง (Tsai & Childs, 2009) ดังนี้ การเลือกเทคนิค ที่ใช้งานได้ง่าย เหมาะกับผู้ใช้ และปัญหาในแต่ละระดับ นับเป็นประเด็นสำคัญ ในหลายกรณี การผนวกเทคนิคเข้าด้วยกัน เพื่อให้บรรลุจุดมุ่งหมายเร็วขึ้นก็เป็นสิ่งจำเป็น แต่เทคนิคการวิจัยและเทคนิคการแก้ปัญหา ในหน้าวรรณกรรมมีมากมาย การเลือกเทคนิคหรือการผนวกเทคนิคเข้าด้วยกัน เพื่อให้ทำการวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีความสำคัญต่อการวิจัยทางศิลปะและการออกแบบ

Buyukozkan et al (2004) ได้สรุปเทคนิคไว้จำนวนหนึ่ง ที่อาจใช้แก้ปัญหาการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ไว้ Shirwaiker & Okudan (2008) ลดจำนวนกลุ่มเทคนิคเหล่านี้อลง แล้วคัดเลือกแต่ที่นำมาใช้ในการวิจัยทางอุตสาหกรรม แล้วจำแนกออกเป็นสองประเภท คือ ประเภทที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา เช่น เทคนิควิศวกรรมมูลค่า และเทคนิคการจัดการคุณภาพโดยรวม กับประเภทที่ใช้ในการสร้างแนวความคิด เช่น เทคนิคการระดมพลังสมอง และทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม หรือที่เรียกกันว่า TRIZ (ย่อมาจากภาษารัสเซียว่า Teoriya Resheniya Izobretatel'skikh Zadatch หรือ แปลเป็นภาษาอังกฤษว่า Theory of Inventive Problem Solving) เทคนิคต่างๆ

แม้จะมีแนวทางในการแก้ปัญหาเป็นเชิงระบบร่วมกันอยู่ เมื่อเปรียบเทียบกันต่างก็มีจุดอ่อนและจุดแข็งต่างกัน โดยเฉพาะเมื่อเป็นปัญหาที่ (1) เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตที่กำลังดำเนินการอยู่ (2) นักออกแบบกับผู้ใช้งาน และผู้เกี่ยวข้องอื่นๆ ต้องแก้ปัญหาร่วมกัน (3) ต้องการหาทางแก้ปัญหาในระยะเวลาอันสั้น (4) มีความสลับซับซ้อนน้อย และ (5) ประเมินผลได้ในสถานการณ์จริง (Braa & Vidgen, 1977) การวิจัยนี้มีเป้าหมาย ที่จะแสดงให้เห็นว่า เมื่อผนวกทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรมกับเทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการเข้าด้วยกัน จะได้วิธีวิทยาการวิจัยถึงการออกแบบ ที่สมบูรณ์และมีประสิทธิภาพอีกวิธีหนึ่ง

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้มีโครงสร้างดังต่อไปนี้ ส่วนที่หนึ่ง ว่าด้วยการสร้างเครื่องมือที่จะใช้ในการวิจัย ซึ่งแยกออกเป็นสองตอน คือ ตอนที่หนึ่ง เป็นการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม กับเทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research) เน้นที่การใช้งานในการแก้ปัญหาและการวิจัย ทางด้านการออกแบบทางเทคนิค และการผลิตเป็นสำคัญ ตอนที่สอง ความคล่องตัวของระหว่างสองเทคนิคดังกล่าว เป็นการอภิปรายประเด็นความคล่องตัว และแสดงข้อได้เปรียบในการใช้เทคนิคทั้งสองควบกัน เป็นวิธีวิทยาการวิจัยถึงการออกแบบ ข้อมูลในส่วนนี้ เป็นข้อมูลทุติยภูมิ ที่ได้มาจากการทบทวนบทความในนิตยสาร และรายงานการประชุมทางวิชาการ เช่น Journal of Intelligent Manufacturing, Computer Integrated Manufacturing Systems Journal, Proceeding of ASME Design Engineering Technical Conferences, TRIZ Journal, แหล่งสื่อออนไลน์อื่นๆรวบรวมจาก Compendex อันเป็นฐานข้อมูลทางวิศวกรรม คำหลักที่ใช้ในการค้นแหล่งข้อมูลวรรณกรรม คือ TRIZ, TRIZ Applications, Industrial Applications of TRIZ และ TRIZ Applications in Manufacturing, Action Research, Action Research and Design Research, Action Research and Design-Based Research

ส่วนที่สอง เป็นการสาธิตประสิทธิภาพของวิธีวิจัยถึงการออกแบบนี้ ด้วยการใช้เทคนิคการศึกษาเฉพาะกรณีศึกษา ในการเก็บข้อมูลปฐมภูมิ ซึ่งได้มาจากการสังเกต การถ่ายภาพ การร่างภาพขยาย และการสัมภาษณ์ ส่วนที่เป็นข้อมูลทุติยภูมิ ดึงออกมาจาก [www.freepatentsonline.com](http://www.freepatentsonline.com) คำหลักที่ใช้ในการค้นหาแหล่งข้อมูล คือ Reinforced-ceramic Shell, Ceramic Shell Technique, Structure and Apparatus for Ceramic Shell

## 3 สรุปผลการศึกษา

การวิจัยถึงการออกแบบเป็นงานวิจัย ที่มุ่งเน้นการแก้ปัญหการออกแบบอย่างหนึ่งอย่างใดโดยเฉพาะ ปัญหาการออกแบบนั้นมีคุณลักษณะเหมือนกับปัญหาทางวิทยาศาสตร์อื่นๆ ที่อาจสร้างขึ้นได้เป็นสองกรณี คือ ปัญหาที่สร้างขึ้นด้วยคำถามเปิด เพื่ออธิบาย (เช่น เราจะปรับปรุงสถานการณ์ ค ได้อย่างไร) กับปัญหาที่สร้างขึ้นด้วยคำถามปิด เพื่อใช้ทดสอบสมมติฐาน (เช่น ถ้าเราทำ ก แล้ว ค จะดีขึ้นหรือไม่) ในขณะที่อาจทำปัญหาการวิจัยทั่วไป ให้เป็นเพียงกรณีหนึ่งกรณีใดก็ได้ แต่ปัญหาการวิจัยถึงการออกแบบต้องเป็นทั้งสองกรณี (Oost, 1999)

แม้จะเห็นไม่พ้องกันเป็นเสียงเดียวว่า การวิจัยถึงการออกแบบเป็นวิธีวิทยาการวิจัย หรือเป็นเพียงกระบวนการทัศน์ (Collin et al., 2004; Kelly, 2003; Romme, 2003; Van Aken, 2004; The Design-Based Research Collective, 2003) แต่นักวิชาการเหล่านี้ ก็มีความเห็นร่วมกันอยู่อย่างหนึ่งว่า เป็นอุดมการณ์เชิงวิทยาศาสตร์ในการสร้างความรู้เชิงชี้แนะ (ไม่ได้สร้างกฎเหมือนอย่างในทฤษฎี) ให้นำไปใช้ในการปฏิบัติงานทางวิชาชีพให้ได้ดีขึ้น ความรู้เชิงชี้แนะนี้ให้ประโยชน์ในทางปฏิบัติ ในรูปของทางแก้ปัญหาในโลกของความเป็นจริงอย่างกว้างๆ คำว่า ทางแก้ปัญหาในที่นี้หมายถึง แนวความคิดแก้ปัญหา (Van Aken, 2005) ความรู้เชิงชี้แนะควรจะมีส่วนในการเสริมสร้างทฤษฎีได้ ถ้าไปเน้นกลไกส่วนที่ทำให้แนวความคิดแก้ปัญหานั้นใช้การได้ กลไกในที่นี้เป็นกลไกในการสร้างความคิด คือ การตอบคำถามว่า ทำไมการแทรกแซง (เช่น งานออกแบบ) ดังกล่าวจึงให้ผลเช่นนี้ได้ (Van Aken, 2005) นักวิชาการข้างต้นยังเห็นพ้องกันว่า เมื่อเน้นที่องค์ประกอบหลักสามประการของการวิจัยแล้ว การออกแบบก็คือการวิจัยนั่นเอง คือ (1)

นักวิจัยทำหน้าที่เหมือนนักออกแบบ ที่นำความรู้เกี่ยวกับวิธีปฏิบัติงานที่มีอยู่ มาร่างทางแก้ปัญหา (2) แนวความคิดแก้ปัญหาเหล่านี้ ก็เหมือนกับงานออกแบบ ที่ออกแบบขึ้นมาอย่างตั้งใจและอย่างเปิดเผย ก่อนที่จะนำออกไปใช้ (แทรกแซง) แล้วออกแบบใหม่อีกหลายครั้งเพื่อปรับปรุงแบบให้ดีขึ้น และ (3) นำแบบเหล่านี้ไปทดสอบ และวัดความสมบูรณ์ หรือความเที่ยงตรง (Validity) ซึ่งอาจนำเทคนิคการวิจัยหลายวิธี มาวัดความตรงของงานออกแบบนี้ได้ (Van Aken, 2005) นับตั้งแต่วิธีตามปรัชญาปฏิฐานนิยมเชิงตรรก (Epistemological Positivism) เช่น เทคนิคการวิจัยกึ่งทดลอง (Cook, 1983) ตลอดไปจนถึงเทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Susman&Evered, 1978) อันนี้ทำให้เข้าใจได้ว่าการวิจัยอิงการออกแบบ อาจใช้เทคนิคการวิจัยได้หลากหลาย และเทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการ ก็เป็นแนวทางหนึ่งที่ใช้ทดลองกันอยู่

แม้การวิจัยอิงการออกแบบจะเบ่งบานไปทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งตั้งแต่ช่วงปี 1990 เพราะได้แรงกระตุ้นจากปัจจัยต่างๆ หลายประการด้วยกัน รวมไปถึงจนถึงเทคนิคต่างๆ ที่นำมาใช้ในการทดลอง และเมื่อกลางช่วงปี 1990 การวิจัยอิงการออกแบบขยายตัวไปคล่องจองพืด กับการนำเทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการ ซึ่งเคยจำกัดอยู่แต่วงการวิจัยทางด้านสังคมและการศึกษา โดยเฉพาะการทดลองในห้องเรียน ออกมาใช้วิจัยประเด็นที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีและการออกแบบ จึงช่วยให้เห็น ตัวอย่างการใช้เทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการ ในวิธีวิทยาการวิจัยอิงการออกแบบ ได้ชัดเจน (Baskerville& Myers, 2004; Kock& Lau, 2001)

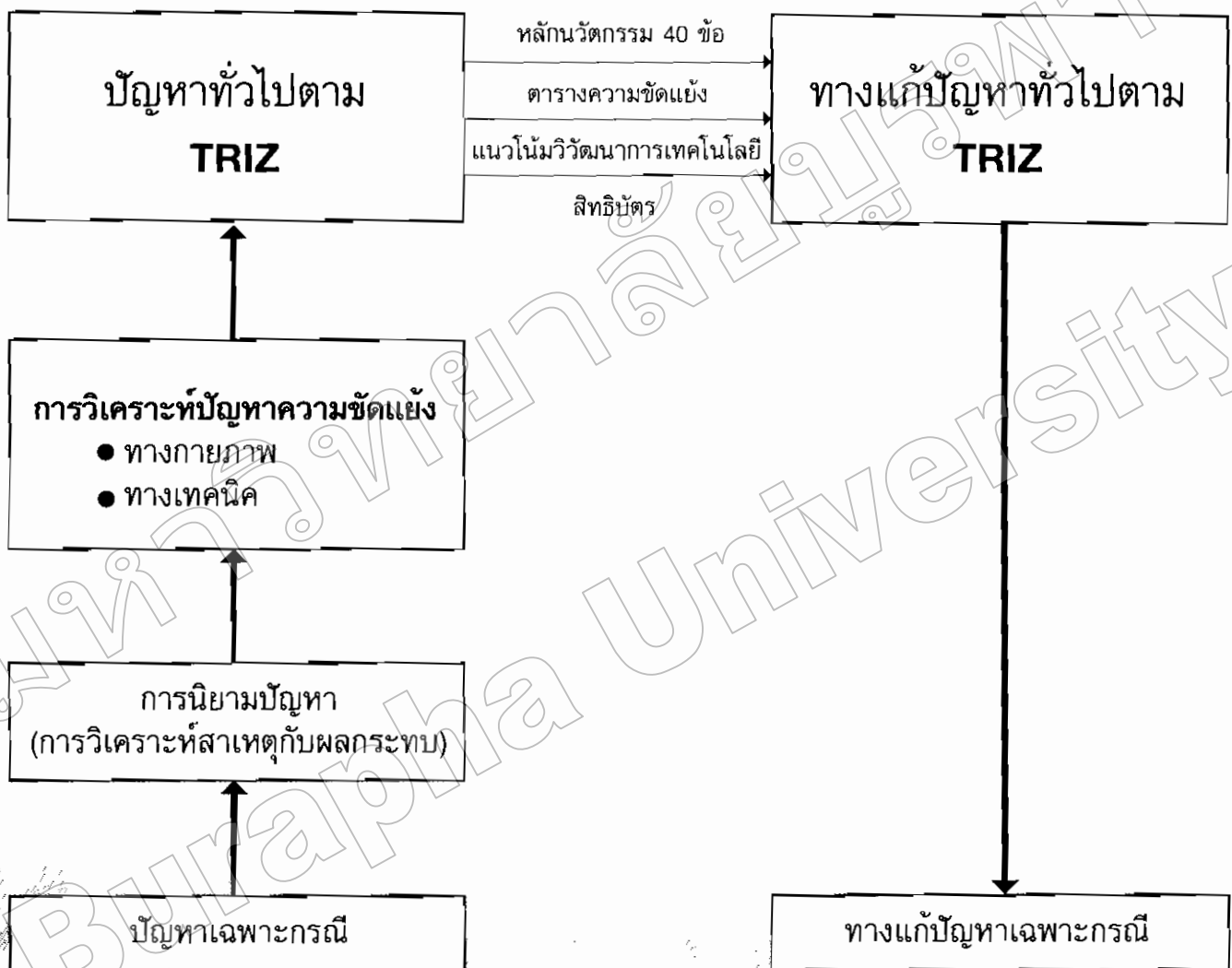
แม้ว่าการวิจัยอิงการออกแบบจะมีความสำคัญมากขึ้นในช่วง 15 ปีที่แล้ว จำนวนงานวิจัยที่ใช้เทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการ เพื่อสอบสวนปัญหาการออกแบบผลิตภัณฑ์ก็ยังมีน้อยกว่า เทคนิคตามแนวความเชื่อของสำนักวิทยาศาสตร์ เช่น เทคนิคเชิงทดลอง และเทคนิคการสำรวจ (DeLuca, 2003; Kock & Davidson, 2003; Yoong& Gallupe, 2001) ทั้งนี้เพราะงานวิจัยเหล่านั้น เน้นที่การทดสอบและการประเมินผลงานออกแบบ ที่ขึ้นรูปและใช้งานแล้ว มากกว่าที่จะให้ความสำคัญกับส่วนที่เป็นกระบวนการคิดสร้างสรรค์ ส่วนงานด้านทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม ที่มีอยู่มาก ก็เป็นการแสดงความสำเร็จในการสร้างนวัตกรรม ไม่ได้มุ่งเน้นไปที่การวิจัยเพื่อสร้างความรู้ทางด้านการออกแบบ

### 3.1 ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม

ในอดีต การแก้ปัญหาที่ต้องการความคิดและคำตอบเชิงสร้างสรรค์ ส่วนใหญ่มักจะเกิดจากทีมงานที่มีความสามารถสูง เชี่ยวชาญและเก่งกว่าคนอื่น ๆ จนกลายเป็นความเชื่อว่า การคิดสร้างสรรค์ต้องเกิดจากพรสวรรค์หรืออัจฉริยภาพเฉพาะตัว (ธนะศักดิ์, 2551) ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม เป็นทฤษฎีว่าด้วย การเกิดขึ้นของสิ่งประดิษฐ์นวัตกรรมต่างๆ รวมถึงกระบวนการคิดค้นแก้ปัญหานั้น อิงกฎเกณฑ์และระเบียบวิธี ที่ใครก็สามารถเรียนรู้ได้ มิได้เกิดจากความบังเอิญ อัจฉริยภาพหรือพรสวรรค์ส่วนบุคคล (Chaturvedi & Rajan, 2000) นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรชาวรัสเซีย เก็นริช อัลต์ชูลเลอร์ (Genrich Altshuller) คิดค้นขึ้นเมื่อต้นทศวรรษที่ห้าสิบ อัลต์ชูลเลอร์ได้เริ่มต้นวิจัยสิทธิบัตรจำนวนมาก โดยมีจุดมุ่งหมาย ที่จะหาทางในการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม ซึ่งมักเกิดขึ้นในความอลวน และเป็นการคิดที่หะเบียบไม่ได้ อีกนัยหนึ่ง เพื่อหาว่ามีกฎเกณฑ์ใดๆ ในกระบวนการสร้างนวัตกรรมอยู่หรือไม่ หลังจากตรวจสอบคำบรรยายสิทธิบัตรประมาณสี่แสนฉบับ อัลต์ชูลเลอร์พบว่า สิทธิบัตรเพียงร้อยละสองเท่านั้น ที่มีหนทางในการแก้ปัญหาลักษณะ เป็นของใหม่ ซึ่งหมายความว่าสิทธิบัตรเหล่านี้ นำผลการค้นพบปรากฏการณ์ทางกายภาพใหม่มาใช้งาน ส่วนนวัตกรรมที่จดสิทธิบัตรอีกร้อยละ เก้าสิบแปด ใช้หลักวิทยาศาสตร์ทางกายภาพเดิมๆ แต่นำมาติดตั้งในลักษณะที่แตกต่างออกไป นอกจากนั้นยังดูเหมือนว่านวัตกรรมจำนวนมากเท่าที่เก็บรวบรวมมา ใช้นวัตกรรมหลักๆ เพียงจำนวนน้อย ดังนั้น ปัญหาใหม่ๆ ร้อยละเก้าสิบแปด จึงอาจแก้ได้ด้วยการใช้ประสบการณ์เก่า ถ้าประสบการณ์ดังกล่าวมีอยู่ในรูปแบบหนึ่งรูปแบบใด เช่น เป็นหลัก หรือเป็นแนวทาง ผลการค้นพบครั้งนั้นได้ส่งผลให้เกิดการวิจัยต่อเนื่องจนทำให้ค้นพบหลักนวัตกรรมพื้นฐานขึ้น ดังนี้

ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรมจึงเป็นแนวทางเชิงระบบ สำหรับการสร้างทางแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม ที่นำผลการวิเคราะห์สิทธิบัตรจากสาขาวิชาการต่างๆ มาเป็นรากฐาน แล้วต่อยอดขึ้นมาเป็นแนวทางการแก้ปัญหาเฉพาะ

ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรมโด่งดัง เพราะเป็นกระบวนการวิธีในการสร้างแนวความคิด ที่อาจสร้างทางแก้ปัญหาได้อย่างชาญฉลาดและรวดเร็ว ด้วยการใช้ความรู้ที่ค้นแล้วจากนักคิดค้นรุ่นก่อนนับพันๆ ราย พื้นฐานของทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม อิงอยู่กับข้อสังเกตสามประการดังนี้ (1) ปัญหาและทางแก้ทั้งหลาย เกิดขึ้นซ้ำแล้วซ้ำเล่าข้ามอุตสาหกรรมและวิชาการด้านต่างๆ เมื่อจำแนกข้อขัดแย้งในปัญหาแต่ละข้อได้ ก็สามารถทำนายทางแก้ปัญหาเชิงสร้างสรรค์ที่ดีได้ (2) วิวัฒนาการทางเทคนิค มีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้น ซ้ำแล้วซ้ำอีก ผ่านอุตสาหกรรมและวิชาการด้านต่างๆ (3) นวัตกรรมเชิงสร้างสรรค์ เกิดขึ้นเพราะการใช้ผลกระทบทางวิทยาศาสตร์ นอกเหนือจากสาขาที่พัฒนาขึ้นมา (ภาพที่ 1 เป็นการบรรยายกระบวนการวิธีนี้ด้วยภาพ)



ภาพที่ 1 วิธีแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม

ในกรณีนี้ นักออกแบบอนุมานปัญหาเฉพาะที่กำลังหาทางแก้ เข้าไปอยู่ในปัญหาแบบฉบับหรือทฤษฎีทั่วไป หรือแบบเหมารวม แล้วหาทางแก้ปัญหามาจากทฤษฎีแบบเหมารวมนั้น ด้วยการกระจายปัญหาเข้าไปอยู่ในรูปของ ความขัดแย้งทางเทคนิคหรือทางกายภาพ แล้วพยายามปรับปรุงคุณสมบัติหรือตัวแปรใดๆ ในระบบเทคนิคระบบหนึ่ง ระบบใด ที่เป็นต้นเหตุของความขัดแย้ง ซึ่งโดยปกติจะทำให้คุณสมบัติหรือตัวแปรอีกตัวหนึ่งเสื่อมลง ในเทคนิคการ ออกแบบเดิมๆ โดยทั่วไป นักออกแบบจะแก้ด้วยวิธีการประนีประนอมระหว่างตัวแปร แต่ในทฤษฎีการแก้ปัญหา เชิงนวัตกรรม ซึ่งเป็นการหาทางแก้ที่เป็นการคิดสร้างสรรค์จริงๆ คือ เป็นทางแก้ที่จัดความขัดแย้งระหว่างตัวแปรออกไป ด้วยการนำหลักนวัตกรรมสี่สิบข้อ (40 Principles) หรือหลักการแยกส่วน (Separation Principles) หรือ หลักการ วิเคราะห์แบบจำลองปัญหา (Substance-field Analysis) หรือหลักวิวัฒนาการของระบบเทคโนโลยี หรือสิทธิบัตร มาเป็นเครื่องมือแก้ปัญห หลังจากนั้นจึงวิเคราะห์ดูว่า จะนำทางแก้เหล่านั้น มาใช้กับปัญหาเฉพาะได้อย่างไร

การใช้ทฤษฎีการแก้ปัญหachenงนวัตกรรม เป็นที่อภิปรายกันอย่างกว้างขวางในด้านต่างๆ รวมไปถึงจนถึงการ ออกแบบและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต เครื่องมือ (ธนะศักดิ์, 2551) และวัสดุศาสตร์ เกือบสามสิบปี มาแล้ว Skinner(1969) ใช้ทฤษฎีการแก้ปัญหachenงนวัตกรรมช่วยในการสร้างแนวความคิดเพื่อแก้ปัญหการออกแบบ เครื่องกล เพื่อใช้ในการผลิต (Stratton & Mann, 2003) Stratton & Mann(2003) เองใช้ทฤษฎีการแก้ปัญหachenง นวัตกรรมในการออกแบบเครื่องบินโดยสาร 500 ที่นั่ง Tsai et al (2004) ออกแนวความคิดเปลี่ยนฐานรองวาว จากพลาสติกมาเป็นโลหะ Cascini & Rissone (2004) ใช้ทฤษฎีการแก้ปัญหachenงนวัตกรรมในการออกแบบล้อรถ จักรยานยนต์สคูเตอร์ใหม่ จากอลูมิเนียมเป็นพลาสติก Bariani et al (2004) ใช้ทฤษฎีการแก้ปัญหachenงนวัตกรรม ออกแบบสายอากาศดาวเทียมใหม่ ทำให้ต้นทุนการประกอบชิ้นส่วนลดลง 43 %

นอกจากการออกแบบผลิตภัณฑ์แล้ว ยังมีการใช้ทฤษฎีการแก้ปัญหachenงนวัตกรรม ในการออกแบบเพื่อ ปรับปรุงกระบวนการผลิตอย่างประสบผลสำเร็จ Monplaisir et al (1998) ใช้ทฤษฎีนี้ ในกระบวนการบรรจุสาร พลุออไรด์ ลงในขวดพลาสติก เป็นกรณีศึกษา Yang & Zhang (2000) ได้สาธิตให้เห็นว่าทฤษฎีการแก้ปัญหachenง นวัตกรรม อาจใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตได้ ด้วยการดัดแปลงกระบวนการปิดผนึกหลอดยาฉีดสำเร็จรูป Cavallucci et al (2002) ใช้ทฤษฎีการแก้ปัญหachenงนวัตกรรมในกระบวนการเติมน้ำลงในขวด

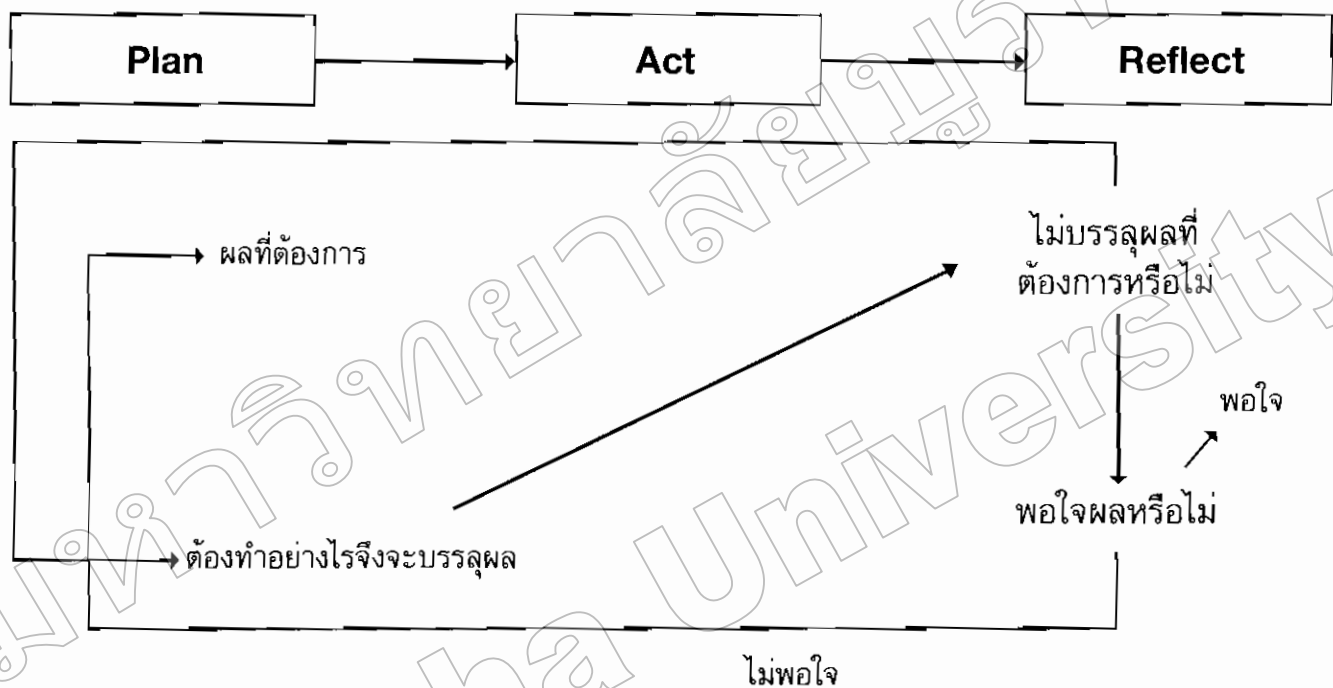
ทฤษฎีการแก้ปัญหachenงนวัตกรรม ในฐานะเครื่องมือในการคิดสร้างสรรค์ แตกต่างจากเทคนิคการระดม พลังสมอง เพราะเทคนิคการระดมพลังสมองขึ้นอยู่กับจิตใต้สำนึก และความรู้ของสมาชิกในทีม จึงมีแนวโน้มว่าจะให้ ผลที่คาดได้ และซ้ำแบบเดิม ที่สำคัญยิ่งไปกว่านั้น อาจทำให้มองไม่เห็นทางแก้ปัญหามีอยู่อีกเป็นจำนวนมาก เพียงเพราะ อยู่นอกเหนือประสบการณ์ของคนในทีม (Leon, 2003) เมื่อใช้ทฤษฎีการแก้ปัญหachenงนวัตกรรม นักออกแบบมีขั้นตอน เรียงตามลำดับ (Algorithm) ในกระบวนการคิด เพราะขั้นตอนนี้มีทิศทางที่แน่นอน จึงไม่ทำให้เสียเวลา ทฤษฎีการ ออกแบบเชิงนวัตกรรม จึงเป็นที่สนใจของนักออกแบบมากขึ้นทุกที ในการวิจัยเพื่อสำรวจความแพร่หลายของทฤษฎี การแก้ปัญหachenงนวัตกรรม ในหมู่นักออกแบบ Tsai & Childs (2009) พบว่า นักออกแบบส่วนใหญ่ยังคงใช้วิธีเดิมๆ และวิธีง่ายๆในการออกแบบ เช่น เทคนิคการระดมพลังสมอง เพราะไม่รู้ว่ามีวิธีในการคิดสร้างสรรค์ได้อื่นอยู่อีกบ้างที่ ใช้งานได้ง่าย รวมทั้งไม่รู้จักทฤษฎีการแก้ปัญหachenงนวัตกรรม

เนื่องจากทฤษฎีการแก้ปัญหachenงนวัตกรรม มีขั้นตอนเรียงตามลำดับ ที่สามารถเรียนรู้ได้ง่าย มีทิศทางและ อิงทฤษฎีสำเร็จรูป และประการสำคัญมีพลังสูงในการคิดสร้างสรรค์ ผู้วิจัยจึงผนวกทฤษฎีนี้เข้าไปในการพัฒนาวิธีการ วิจัยถึงการออกแบบรูปแบบใหม่ ครั้งนี้

### 3.2 เทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการ

โดยปกติ ความรู้เกิดขึ้นได้เพราะการปฏิบัติ การวิจัยเชิงปฏิบัติ จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ดึงดูดใจนักปฏิบัติเป็นพิเศษ เพราะเน้นอยู่ที่การแก้ปัญหาในทางปฏิบัติ เพราะผู้ปฏิบัติเป็นผู้ดำเนินการวิจัยเอง เพราะช่วยให้ทำความเข้าใจให้มากขึ้น และเพื่อจะได้ปรับปรุงการปฏิบัติที่เป็นอยู่ให้ดีขึ้น (Bell, 1993) Rapoport (1970) ให้คำนิยามเทคนิคการวิจัยเชิง

ปฏิบัติการว่า เป็นวิธีที่มุ่งหวังที่จะทำให้เกิดประโยชน์ในทางปฏิบัติกับกลุ่มคน ที่อยู่ในภาวะปัญหานั้น และเพื่อให้บรรลุเป้าหมายทางสังคมศาสตร์ ด้วยการทำงานร่วมกันภายในกรอบจริยธรรม ดังนี้ การวิจัยเชิงปฏิบัติการจะไม่เรียงลำดับก่อนหลังเป็นเส้นตรง เหมือนในการวิจัยกระแสหลัก ที่เริ่มต้นจากการกำหนดปัญหา การตั้งสมมติฐาน (ถ้ามี) การรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการสรุปผล (บุบผา, 2008) แต่จะมีกิจกรรมที่จำเป็นสามอย่างเป็นวงจรที่อาจเขียนเป็นคำย่อง่ายๆ ว่า PAR (Plan-Act-Reflect) ดังที่เห็นใน **ภาพที่ 2** ซึ่งประกอบด้วยกิจกรรมสามห่วง คือ (1) การวางแผนปฏิบัติการ (2) การลงมือปฏิบัติการ (3) การทบทวนผล และถือว่าเป็นขั้นตอนที่จำเป็นในเทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการ อย่างไรก็ตาม เมื่อลงมือทำร่วมกันระหว่างผู้วิจัยกับผู้ใช้งานหรือลูกค้า โครงการวิจัยอาจแตกต่างกันออกไปได้ในหลายช่วง แต่รูปแบบวงจรสามห่วงกิจกรรมนี้อาจทำได้หลายครั้งตามที่จำเป็น เพื่อให้ได้ทางแก้ปัญหา Baskerville & Wood-Harper(1998) เรียกแนวทางการวิจัยเชิงปฏิบัติการเช่นนี้ว่า เป็นแบบมาตรฐาน



ภาพที่ 2 วงจรการวิจัยเชิงปฏิบัติการ

Susman & Evered (1978) อธิบายว่าการวิจัยเชิงปฏิบัติการนั้นมีคุณสมบัติหกประการ ได้แก่ (1) มุ่งไปสู่อนาคต (2) ร่วมมือกันทำ (3) เป็นการพัฒนาระบบโดยนัยๆ (4) เป็นการสร้างทฤษฎีอิงการปฏิบัติ (5) เป็นอนินยนิยม คือ ทฤษฎีที่ไม่อาจรู้ได้ และ (6) ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ คุณสมบัติทั้งหกประการนี้เอง ที่ช่วยแก้ต่างข้อกล่าวหา ซึ่งกลุ่มปรัชญาปฏิฐานนิยมเชิงตรรก หรือสำนักความเชื่อปรัชญาวิทยาศาสตร์ ว่าการวิจัยเชิงปฏิบัติการมีข้อบกพร่อง Oquist (1978) วิเคราะห์ความรู้ทุกด้าน ที่ผลิตขึ้นมาจากการวิจัยเชิงปฏิบัติการ โดยเฉพาะในส่วนที่สัมพันธ์กับสำนักความเชื่อปรัชญาวิทยาศาสตร์ แล้วสรุปว่าเทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการ เป็นการผลิตความรู้เพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติ ซึ่งปรับสภาพไปตามความเป็นจริงแล้ว เพราะความเป็นจริงเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการวิจัยเอง อีกนัยหนึ่ง เป็นการปฏิบัติที่ไม่ได้ถูกย่อบริการ หรือตัดขาดความสัมพันธ์กับสภาพความเป็นจริงออกบางส่วน เพียงเพื่อให้สะดวกต่อการควบคุม ดังเช่นในการวิจัยเชิงทดลอง ตามความเชื่อปรัชญาวิทยาศาสตร์หรือการวิจัยกระแสหลัก ดังนี้ ภายในการปฏิบัติการเชิงวิจัย จึงมีความรู้ที่ผลิตออกมา และสภาพความเป็นจริงก็ปรับตัวไปพร้อมกัน เข้าทำนองสิ่งหนึ่งเกิดขึ้นได้เพราะอีกสิ่งหนึ่ง Oquist(1978) เห็นว่า แม้เทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการจะไม่ได้ตกอยู่ในกลุ่มปรัชญาประจักษ์นิยม (Empiricism) หรือกลุ่มปรัชญาปฏิฐานนิยมเชิงตรรก ก็ดูเหมือนตกอยู่ในกลุ่มปรัชญาที่เชื่อว่าคุณค่าของทฤษฎีอยู่ที่ประโยชน์ในการนำไปปฏิบัติได้ หรือปฏิบัตินิยม (Pragmatism) กับปรัชญาวัตถุนิยมเชิงวิภาษ (Dialectical

Materialism) จึงอาจสรุปได้ว่าเทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการก็สร้างความรู้ แต่เป็นความรู้ที่ใช้เพื่อเป็นแนวทางการปฏิบัติ และเป็นการปรับปรุงความเป็นจริงที่เป็นอยู่ และเป็นการพัฒนาระบบใหม่

Baskeville & Wood-Harper (1998) อภิปรายและวิเคราะห์ โครงสร้าง และจุดมุ่งหมายของ การวิจัยเชิงปฏิบัติการรูปแบบต่างๆ จากวรรณกรรมการศึกษาทางสังคมศาสตร์ที่ตีพิมพ์แล้ว พบว่าวรรณกรรมเหล่านี้ส่วนใหญ่ ยังคงอยู่ในรูปแบบการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมาตรฐาน และมักจะมุ่งเน้นไปที่การทดสอบสมมติฐาน หรืออีกนัยหนึ่ง ใช้เพื่อยืนยันหรือปฏิเสธทฤษฎีที่ผู้วิจัยนำเข้ามา ตามความเชื่อของสำนักปรัชญาวิทยาศาสตร์ แทนที่จะเน้นที่กระบวนการวิจัย ซึ่งเป็นลักษณะที่โดดเด่นของวิธีนี้ Gummerson (2000) นักวิชาการผู้มีชื่อเสียงกล่าวว่า ในการวิจัยเชิงปฏิบัติการ นักวิจัยเข้าไปสัมผัสข้อมูลเชิงประจักษ์ (Empirical data) แล้วปรับปรุงให้เป็นไปตามแนวทางของสภาพความเป็นจริงนั้น นักวิจัยในแง่นี้ คือ ผู้ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นในกระบวนการวิจัย ด้วยการนำการปฏิบัติเฉพาะอย่างหนึ่งอย่างใด เข้ามาติดตั้ง แล้วเปลี่ยนแปลงกระบวนการวิจัยในกรณีศึกษาที่นักวิจัยเข้าไปเกี่ยวข้อง ดังนี้ ในกระบวนการวิจัย นักวิจัยได้สร้าง ทฤษฎีเฉพาะ (ตรงนั้น) ขึ้นมา ทดสอบแล้วปรับปรุงด้วยการปฏิบัติ ตามคำอธิบายนี้ จึงสรุปได้ว่า หากเน้นอยู่ที่คุณสมบัติ ข้อที่โดดเด่น คือ กระบวนการแล้ว ในการวิจัยเชิงปฏิบัติการมีการสร้างความรู้ขึ้น เมื่อสร้างขึ้นแล้วจึงนำไปใช้งาน ใช้งานแล้วจึงทดสอบ และทดสอบหาความเที่ยงตรง (Validity) เอาจากสภาพความเป็นจริง ซึ่งเป็นสภาพความเป็นจริง ที่ไม่ได้ตัดตอน เพื่อให้เกิดความสะดวกในการดำเนินการวิจัยแต่อย่างใด

การนำเทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการ มาผนวกกับเทคนิคการคิดสร้างสรรค์ในการวิจัยเชิงการออกแบบ ในสภาพ การผลิตจริง มีปรากฏอยู่บ้างในวรรณกรรมเมื่อช่วงสิบปีที่ผ่านมา กฤษณา (2546) ใช้เทคนิคการระดมพลังสมองผนวก การวิจัยเชิงปฏิบัติการ ในการศึกษาเฉพาะกรณีการทอผ้า Yen et al (1998) ยกตัวอย่างการวิจัยเชิงปฏิบัติการที่เป็น การศึกษาเฉพาะกรณี เป็นกรณีการวิจัยการออกแบบอุปกรณ์ทางการแพทย์ Chin et al (2001) ระบบแสงสว่างริมทาง Tseng & Yen (2002) วิจัยกระเป๋าน้ำดื่มเพื่อป้องกันผลิตภัณฑ์ Liaw & Yen (2001) ศึกษาเครื่องสื่อสารส่วนบุคคลใช้ เทคนิคอุปมาอุปไมยเป็นเครื่องมือ Hsu et al(2001) ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ประโยชน์ใช้สอย ในการออกแบบล้อเลื่อน คนพิการ อันเป็นการสาธิตการใช้วิธีการศึกษาในการวิจัยเชิงปฏิบัติการ งานวิจัยเหล่านี้ศึกษาการออกแบบใน สถานการณ์จริงแต่ใช้เทคนิคการคิดสร้างสรรค์ และการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน แต่ในวรรณกรรมการศึกษาเชิง การออกแบบ ยังไม่มีผู้ใดนำทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรมเข้ามาผนวกกับเทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการ

### 3.3 การผนวกทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรมกับเทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการ

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการออกแบบผลิตภัณฑ์และการผลิต พบว่าทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม ถูกนำไปผนวกกับเทคนิคการวิจัยอื่นๆ มากมาย และมีการนำเทคนิคการคิดสร้างสรรค์อื่นอีกมาก มาผนวกกับเทคนิค การวิจัยเชิงปฏิบัติการ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายทางการออกแบบและการสร้างความรู้ สิ่งหนึ่งที่เห็นได้ชัด คือ เทคนิค ทั้งคู่มีประสิทธิภาพสูง ในการแก้ปัญหาทางการออกแบบและการผลิต อย่างไรก็ตามทั้งสองเทคนิคมีคุณสมบัติข้อดี ต่างกัน ในขณะที่ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรมมีความสามารถสูง ในการสร้างทางแก้ปัญหาเชิงสร้างสรรค์ การวิจัยเชิงปฏิบัติการมีความสามารถในการนิยามระบบ ด้วยการดึงตัวแปรในสภาพแวดล้อมของการใช้งานจริง ทั้งที่เป็นตัวแปรแทรกซ้อนและไม่แทรกซ้อน เข้ามาได้ และสามารถทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของทางแก้ ปัญหาได้อย่างรวดเร็วและสมจริง

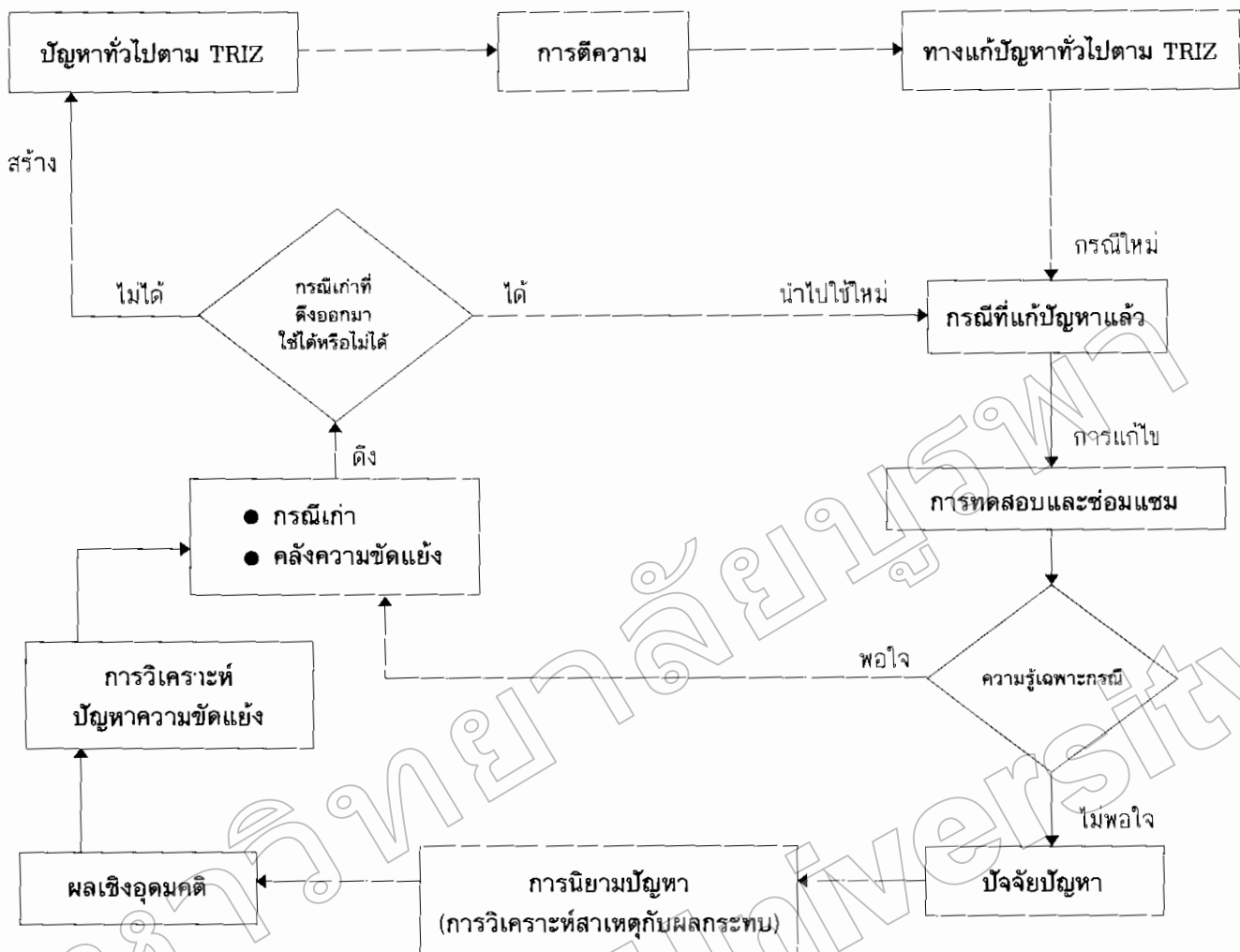
ตามคำของ Suh (1990) การนิยามปัญหาในการวิจัยเชิงปฏิบัติการ เป็นกระบวนการที่ทำได้ซ้ำแล้วซ้ำอีก โดยเฉพาะ เน้นอยู่ที่ประโยชน์ของแบบผลิตภัณฑ์ (Mann,1999) แต่เทคนิคนี้ก็นำหนักอยู่ที่แนวทางในการนิยามปัญหา การทดสอบ การสร้างความรู้ มากกว่าที่จะเป็นแนวทางในการสร้างแนวความคิดสำหรับการออกแบบ แม้ว่าการสร้างทางแก้ปัญหาที่ เหมาะสมกับสภาพความเป็นจริงในทางปฏิบัติ จะเป็นขั้นตอนหนึ่ง อยู่ในกระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการก็ตาม เทคนิค การวิจัยเชิงปฏิบัติการก็ไม่ได้ชี้ทางว่าจะนำเทคนิคใดโดยเฉพาะเข้ามาใช้ เพื่อให้ได้แนวความคิดการแก้ปัญหาที่มี ประสิทธิภาพ ในทางกลับกัน ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรมเน้นอยู่ที่ทางแก้ปัญหา ที่เป็นนวัตกรรมเป็นประการสำคัญ

แม้ว่าอาจใช้ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงวัฏกรรมในการนิยามปัญหาได้เหมือนกัน นี่ก็ไม่ใช่อะไรที่จุดแข็งของทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงวัฏกรรม (Hipple, 2003) อีกทั้งยังเป็นที่ยอมรับกันว่า การวิจัยเชิงปฏิบัติการเป็นเทคนิคในการวางโครงสร้างกระบวนการคิด ในการออกแบบขั้นตอนแรกๆ ส่วนทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงวัฏกรรมโด่งดัง ก็เพราะเป็นเครื่องมือนำทางนักออกแบบไปสู่ทางแก้ปัญหา (Kim & Cochran, 2000)

ในขณะที่เทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการ ถ้าใช้อย่างโดดๆในการออกแบบ ก็จะทำให้ขาดความสามารถที่จะสร้างทางแก้ปัญหาเชิงวัฏกรรม ส่วนทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงวัฏกรรมอาจขาดส่วนที่จะรองรับความสลับซับซ้อน เพราะปัญหาเข้าไปเกี่ยวข้องกับตัวแปรมากมายในสภาพความเป็นจริง กระทั่งนี้อาจเป็นความจริง เพราะการใช้ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงวัฏกรรมส่วนใหญ่ที่พบ เป็นการแก้ปัญหาเฉพาะเจาะจงอยู่ที่กระบวนการผลิต หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ ส่วนเทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการจะมีพลังเมื่อใช้ในการแก้ปัญหาที่มักจะยังนิยามไม่ได้ทั้งๆ ที่ความล้มเหลวส่วนใหญ่ในการออกแบบเกิดขึ้นที่ขั้นตอนแรกในการออกแบบนี้เอง เพราะนิยามปัญหาด้วยข้อสันนิษฐานที่ไม่สมจริง หรือตัดทอนความเป็นจริงออกไปแล้ว เพื่อให้เกิดความเหมาะสม (ด้วยเหตุผลประการทั้งปวง) ในขณะที่การวิจัยอิงการออกแบบทั่วไปที่พบเห็นในหน้าวรรณกรรม ยังเป็นปัญหาการวิจัย ที่อิงทฤษฎีตามแนวทางสำนักวิทยาศาสตร์ และใช้ทฤษฎีนี้เองนำทางไปสู่การเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ ปัญหาการออกแบบเชิงสร้างสรรค์ในทางปฏิบัติ เป็นปัญหาที่งานออกแบบยังไม่เกิด จึงอิงทฤษฎีก่อนล่วงหน้าไม่ได้ การวางแผนเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ จะใช้ทฤษฎีหรือสมมติฐานนำทางก็ยังไม่ได้ แต่นี่ถือเป็นเรื่องปกติในการวิจัยเชิงปฏิบัติการ

การวิจัยอิงการออกแบบที่ใช้เทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการ เป็นงานที่ดำเนินการวิจัยซ้อนหลายรอบ ตามแบบฉบับของ Susman & Everred (1978) เป็นวงจรมากกว่าที่จะเป็นเพียงนัดเดียว หรือเป็นการวิจัยแบบไม่มีวงจร ในแง่นี้ ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงวัฏกรรมเข้ากันได้ได้อย่างเหมาะสมกับส่วนที่เป็นการวางแผนอยู่ในวงจรการวิจัยเชิงปฏิบัติการ จากมุมมองของทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงวัฏกรรม เทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการช่วยในการปรับปรุงคำนิยามปัญหา และกระบวนการแก้ปัญหา และเป็นหนทางในการประเมินประสิทธิภาพของแนวความคิดในการออกแบบ และสร้างความรู้ตามแนวความคิดของสำนักความเชื่อวิทยาศาสตร์

ผู้วิจัยจึงเสนอกรอบการวิจัยอิงการออกแบบ ดัง (ภาพที่ 3) ซึ่งเป็นการใช้เทคนิคทั้งสองวิธีพร้อมกันไป อันนี้ทำได้ด้วยการใช้เทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการทำหน้าที่อย่างหนึ่ง ส่วนทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงวัฏกรรมทำหน้าที่อีกอย่างหนึ่ง การนำทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงวัฏกรรมเข้าไปใช้ในรอบการวิจัยเชิงปฏิบัติการ ผู้วิจัยหวังที่จะใช้ประโยชน์จากจุดแข็งของทั้งสองเทคนิค กรอบความคิดนี้ใช้การวิจัยเชิงปฏิบัติการ เพื่อค้นหาปัญหาการออกแบบ และทดสอบผลการออกแบบ ในสภาพแวดล้อมของความเป็นจริง หรือการนิยามปัญหาและการทดสอบเป็นหลัก จากนั้นจึงใช้ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงวัฏกรรม เพื่อสร้างทางแก้ปัญหาการออกแบบเชิงสร้างสรรค์ ดังนั้นกรอบแนวความคิดนี้ จึงใช้ปรัชญาของการวิจัยเชิงปฏิบัติการ กับอำนาจในการสร้างความคิดเชิงสร้างสรรค์ของทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงวัฏกรรมรวมกันไป



ภาพที่ 3 กรอบการวิจัยเชิงการออกแบบ

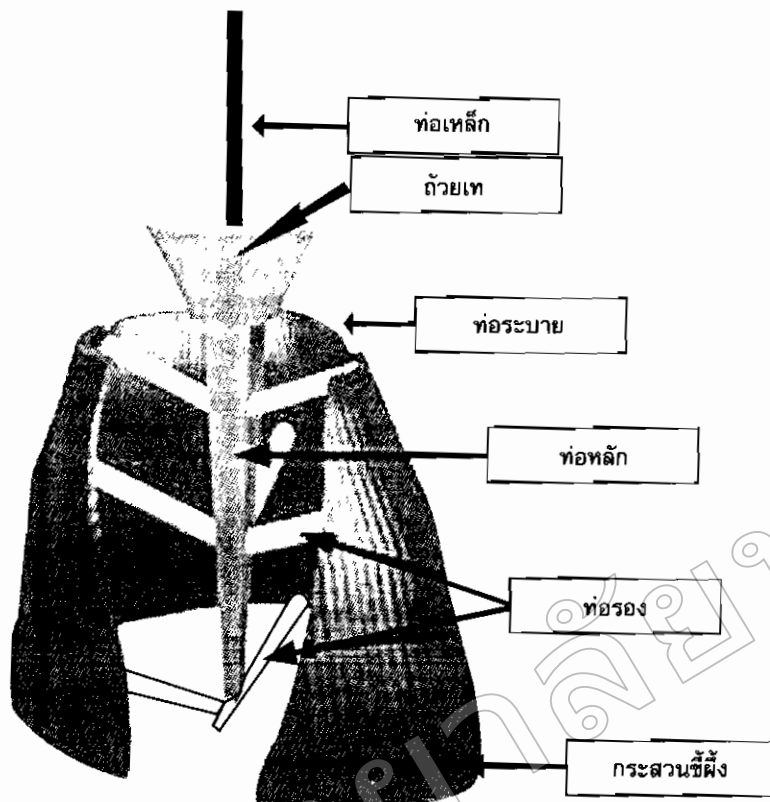
#### 4 กรณีศึกษา

ส่วนนี้เป็นกรณีศึกษาตามกรอบการวิจัยเชิงการออกแบบดังกล่าวข้างต้น ที่บริษัทไทยเมทัลคราฟเตอร์ส จำกัด ซึ่งเป็นโรงหล่อประติมากรรมทองสำริดด้วยเทคนิคการสูญเสียแบบใหม่ ตั้งอยู่ ที่อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี ในโรงหล่อนี้ผู้วิจัยได้ทดลองใช้เทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการ ผสมกับเทคนิคการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม ร่วมกับ ทีมผู้บริหารอยู่หลายโครงการ โครงการหนึ่ง เป็นปัญหาการหล่อประติมากรรมทองสำริดขนาดใหญ่

##### 4.1 ปัจจัยปัญหา

จุดสำคัญในการหล่อประติมากรรมทองสำริด ให้ได้ขนาดใหญ่กว่าที่เป็นอยู่ปัจจุบัน อยู่การทำพิมพ์กระดอง เซรามิค ซึ่งมีจำกัดพื้นที่ผิวให้อยู่ที่ประมาณไม่เกินหนึ่งตารางเมตรต่อชิ้น ซึ่งเมื่อหล่อเป็นทองสำริดหนาประมาณ 4 มม. แล้วก็มีน้ำหนักประมาณ 30 กิโลกรัม ปัญหามักจะเกิดขึ้น ที่จุดสัมผัสระหว่างท่อรองกับกระสวนซี่ผึ้ง (ภาพที่ 4) ผู้บริหารโรงหล่อต้องการทางแก้ปัญหา ที่มีราคาไม่แพง ไม่ต้องใช้เงินลงทุนสูง และให้สามารถติดตั้งได้ภายในช่วงเวลาสองเดือน

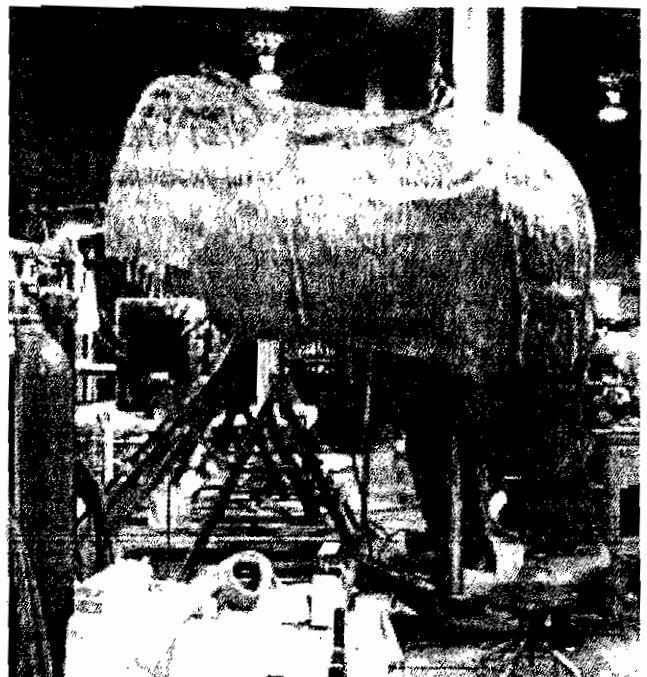
ระบบกระสวนซี่ผึ้งดังกล่าว ประกอบด้วย (1) ท่อเหล็ก เป็นมือจับ ใช้จับ แขน และเสริมกำลังท่อหลัก (2) ถ้วยเท ทำจากถ้วยน้ำหวาน เป็นทางเข้าโลหะเหลว (3) ท่อหลัก ทำจากซี่ผึ้ง ใช้เสียบท่อเหล็ก และนำโลหะเหลวไปสู่ชิ้นงานหล่อส่วนต่างๆ (4) กระสวน ทำจากซี่ผึ้ง คือ ส่วนที่กลายไปเป็นชิ้นส่วนงานประติมากรรมทองสำริดที่ต้องการ และ (5) ท่อระบาย ทำจากซี่ผึ้ง เป็นทางระบายอากาศ เมื่อโลหะเหลววิ่งเข้าไปแทนที่กระสวน (พรสนอง, 2549)



ภาพที่ 4 ระบบกระสวนซีฟิ่ง

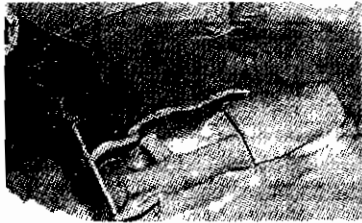
ปัญหาเกิดขึ้น เมื่อนำระบบกระสวนซีฟิ่งที่มีขนาดใหญ่ มาเคลือบเป็นพิมพ์กระดองเซรามิค โดยปกติการหล่อประติมากรรมทองสำริดขนาดใหญ่ (เช่น คน ม้า หรือช้าง ขนาดเท่าจริงขึ้นไปจนถึงขนาดอนุสาวรีย์) ขึ้นประติมากรรมจะถูกแบ่งงานออกเป็นท่อนๆ เช่น ประติมากรรมรูปคนขนาดเท่าจริง อาจแบ่งออกเป็นสามท่อน ท่อนหนึ่งๆ กลายเป็นระบบกระสวนซีฟิ่งหนึ่งชุด และเมื่อนำไปเคลือบวัสดุทนไฟแล้ว ก็กลายเป็นพิมพ์กระดองเซรามิคหนึ่งชิ้น ถ้างานประติมากรรมมีขนาดใหญ่มากขึ้นไปอีก เช่น ช้าง หรือ ม้า ก็อาจแบ่งออกเป็นแผ่นๆ เช่น ม้าขนาดเท่าจริงอาจแบ่งออกเป็น 15 แผ่น หรือเป็นพิมพ์กระดองเซรามิค 15 ชิ้น เป็นต้น เมื่อหล่อแล้วจึงนำแต่ละท่อนหรือแต่ละแผ่นมาเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน (ภาพที่ 5)

การหล่อเป็นท่อนหรือแผ่นเล็กๆ แล้วนำมาเชื่อมต่อ นอกจากทำให้เกิดความผิดเพี้ยนได้ง่ายแล้ว ยังทำให้เกิดความล่าช้าในการผลิต ความล่าช้าทำให้ต้นทุนสูงขึ้นและทำให้เกิดความเสียหายเปรียบในการแข่งขันทางการค้าอีกด้วย ดังนั้น โรงหล่อจึงหันไปทำระบบกระสวนซีฟิ่งให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อใหญ่ขึ้นและมีน้ำหนักมากขึ้น กระสวนซีฟิ่งที่เป็นแผ่นก็จะบิดตัวและขาดออกจากท่อรองอยู่เสมอ ประมาณ 50 % ของจำนวนระบบกระสวนซีฟิ่งทั้งหมด ที่มีขนาดใหญ่กว่าหนึ่งตารางเมตรล้มเหลว โดยเฉพาะเมื่อจุ่มระบบกระสวนซีฟิ่ง (ภาพที่ 6 ก) ซึ่งพนักงานใช้มือจับท่อเหล็ก กดชุดกระสวนซีฟิ่งลงไปจนถึงสารละลายซิลิกาแขวนลอย (Colloidal Silica) ซึ่งมีความหนืดสูง ถึงที่บรรจุสารละลายนี้ เป็นถังหมุนที่ปั่นอยู่ตลอดเวลาเพื่อไม่ให้สารละลายดังกล่าวตกตะกอน จากนั้นพนักงานจึงดึงขึ้น มาพลิกไปพลิกมาให้สารละลายไหลกลับไป



ภาพที่ 5 การประกอบประติมากรรมจากแผ่นชิ้นงานหล่อ

กลับมา (ภาพที่ 6 ข) เพื่อจะได้เคลือบให้เสมอกันไปโดยตลอดทั้งชุดกระสวนซี่ผึ้ง และพลิกไปพลิกมาเช่นเดียวกับเมื่อนำไปโรยสารทนไฟ (ภาพที่ 6 ค) แล้วนำไปแขวนตากกับราวที่มีพัดลมเป่าอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้แห้งเร็ว (ภาพที่ 6 ง) ทำเช่นนี้ไปจนกว่าจะได้ความหนาที่ต้องการ



ก. จุ่ม



ข. ยก



ค. โรย

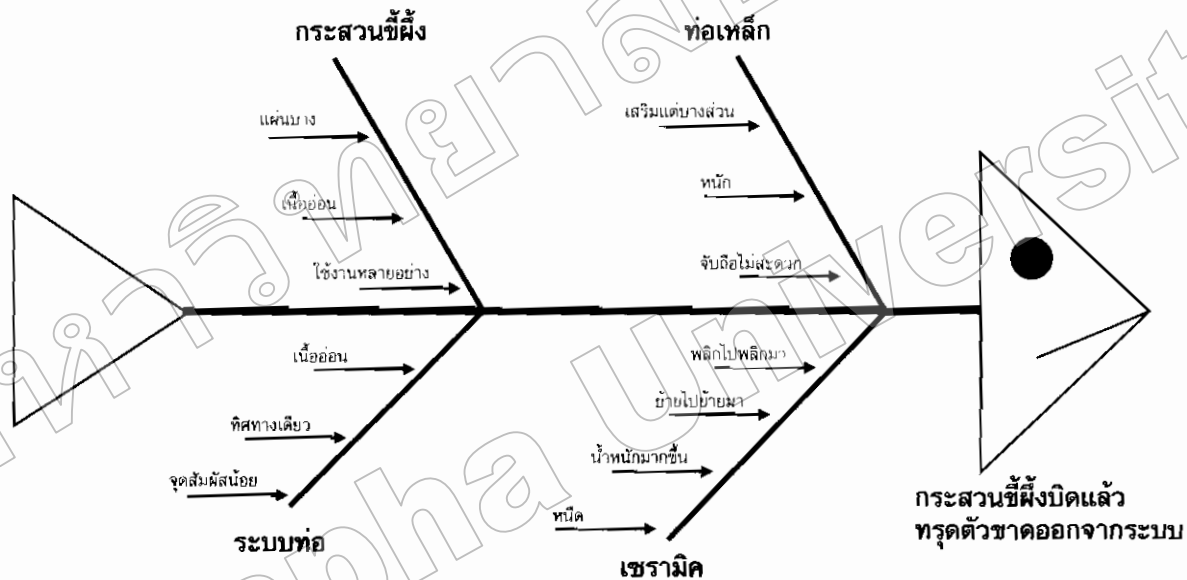


ง. ตาก

ภาพที่ 6 การผลิตพิมพ์กระดองเซรามิค

## 4.2 การนิยามปัญหา

ทีมงานวิจัยนิยามปัญหาด้วยการสร้างผังภูมิกำแพงปลา หรือผังภูมิอิชิกาวา แล้วนำไปใช้ในการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาและผลกระทบที่เกิดขึ้น (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 ผังภูมิกำแพงปลาสำหรับการวิเคราะห์สาเหตุกับผลกระทบ

เมื่อใช้ผังภูมิกำแพงปลา ทีมงานสามารถระบุปัญหาหลักๆ และพบช่องทางที่จะแก้ปัญหาสามทาง คือ (1) แก้ปัญหาซี่ผึ้ง เพราะพบว่าซี่ผึ้งที่ใช้อยู่ในปัจจุบันอ่อนตัวได้ง่าย เมื่อหล่อเป็นแผ่นขนาดใหญ่ ทั้งน้ำหนักตัวและน้ำหนักกระดองเพิ่มขึ้น กลายเป็นแรงกด เกินกว่าที่ซี่ผึ้งจะต้านไว้ได้ จึงบิดและยึดตัวขาดออกจากท่อรอง (2) แก้ปัญหาท่อเหล็ก ท่อเหล็กไม่ได้ช่วยให้ทำงานขึ้นใหญ่ได้สะดวก โดยเฉพาะเมื่อพลิกกลับกลับมาในขณะที่จุ่มสารละลายซิลิกาแขวนลอย และในขณะที่โรยสารทนไฟ (3) แก้ปัญหาวิธีพลิกไปพลิกมา และหาทางจัดการเคลื่อนย้ายไปมาระหว่างการจุ่มสารละลายซิลิกาแขวนลอย การโรยเซรามิค และการตากกระดอง

## 4.3 ผลเชิงอุดมคติ

ทีมงานวิจัยตั้งความหวังว่า จะได้วิธีการหล่อประติมากรรมขนาดใหญ่ ด้วยการใช้พิมพ์กระดองเซรามิควิธีใหม่ ซึ่งสามารถรองรับการหล่อทองสำริดได้พื้นที่ผิวต่อหนึ่งพิมพ์ เกินกว่าหนึ่งตารางเมตรหรือมากกว่าสามสิบลิตรกรัมทองของน้ำหนักทองสำริด โดยที่งานหล่อยังคงความแม่นยำสูงไว้ได้ และช่วยให้พนักงานทำงานได้ง่ายขึ้น ทำให้ประกอบประติมากรรมขนาดใหญ่ได้เร็วขึ้น และมีต้นทุนการผลิตต่ำลง นอกจากนั้นยังเป็นความรู้ ในการนำเทคนิคใหม่นี้ไปใช้กับโรงหล่อรายอื่นๆ ที่มีงบประมาณจำกัด โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ราคาแพงหรือว่าจ้างแรงงานเพิ่มเติม

#### 4.4 การวิเคราะห์ปัญหาความขัดแย้ง

ทีมงานวิจัยเริ่มสะกดยปัญหาทั้งสามข้อไปตามก้างทั้งสี่ แล้วพบว่ามีความขัดแย้งทางเทคนิคอยู่หลายจุด เช่น (1) การนำซีฟิ่งที่อ่อนตัวได้ง่ายมาใช้งาน ด้วยเจตนาที่แท้จริง ก็เพื่อจะเก็บรายละเอียดในชิ้นงานประติมากรรม ไว้ให้ได้อย่างแม่นยำ และสักรอกออกจากพิมพ์ได้ง่าย เพราะมีอุณหภูมิการหลอมละลายต่ำ เท่านั้น การนำซีฟิ่งนี้ไป คานน้ำหนักสารละลายซิลิกาแขวนลอย และสารทนไฟ ซึ่งค่อยๆ เพิ่มขึ้น ถือได้ว่าผิดเจตนาเดิม นอกจากนั้น การใช้ ซีฟิ่งไปต้านแรงเสียดทาน ที่เกิดจากความหนืดของสารละลายซิลิกาแขวนลอย ก็ถืออีกได้ว่าเป็นการใช้ซีฟิ่งผิดวัตถุประสงค์ เพราะซีฟิ่งที่ใช้อยู่ปัจจุบัน ไม่ได้ผลิตขึ้นมาเพื่อให้ทำหน้าที่ได้หลากหลาย (2) นอกจากนั้น เมื่อระบบกระสวนซีฟิ่งมี ขนาดเล็ก หรือ มีปริมาตรต่ำ ปัญหาการหลุดตัวขาดออกจากระบบท่อเทก็ไม่เคยเกิดขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ระบบกระสวน ซีฟิ่งมีความแข็งแรงลดลงเมื่อมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ทีมงานวิจัยนำความขัดแย้งทางเทคนิคทั้งสองข้อนี้ไปหาบบนตาราง ความขัดแย้ง ได้ผลดัง ภาพที่ 8

Technical Contradiction	Coordinates in the Matrix	Suggested Principles	Name of the Principles
1. Strength/ Universality	4x6	9 40 28	Prior Counteraction composite Materials Replacement of Mechanical System
2. Strength/ Volume of Stationary Object	14x8	9 14 17 15	Prior Counteraction Spheroidality Transition into New Dimension Dynamicity

ภาพที่ 8 การหาบบนตารางความขัดแย้ง

จากตารางความขัดแย้ง ในทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม หลักข้อ 9 Prior Counteraction ทำให้ได้ทางออก ในการแก้ปัญหาทางหนึ่ง หลักข้อ 9 แนะนำว่า ถ้าการกระทำใดๆ ทำให้เกิดทั้งผลเสีย และผลดีแล้ว ให้ผนวกการกระทำ ที่เป็นการตอบโต้การกระทำนั้น ลงไปก่อนล่วงหน้า เพื่อจะได้ลดหรือขจัดผลลัพธ์ส่วนที่เป็นผลเสียออกไป อันนี้หมายความว่า ทีมงานต้องหาทางเสริมความแข็งแรงซีฟิ่งที่ใช้อยู่

ในรอบแรก ทีมงานใช้คำแนะนำที่คล้องจองกับหลักข้อที่ 9 คือ หลักข้อที่ 40 Composite Materials ซึ่ง กล่าวไว้ให้เปลี่ยนวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นเนื้อเดียว ไปเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นรูปผสม โดยแนวคิดกว้างๆของหลัก ข้อนี้ให้พิจารณาสวนประกอบวัสดุ คำว่า รูปผสม ในที่นี้ ยังหมายถึงวัสดุไฮเทคหรือสถานการณ์ ทีมงานจึงลองการใช้ ซีฟิ่งอย่างอื่น ที่มีความแข็งแรงกว่าซีฟิ่งที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน แม้จะมี ซีฟิ่งพลาสติกในท้องตลาด ที่จัดได้ว่าเป็นซีฟิ่งไฮเทค ซึ่งอาจช่วยในการปรับปรุงได้แม้จะไม่ใช้ทั้งหมด แต่จะทำให้ต้นทุนสูงขึ้น แทนที่จะใช้ซีฟิ่งพลาสติก ทีมงานหันมา ทดลองผสมซีฟิ่งกับชั้นในลัดส่วนต่างๆ เพราะทีมงานรู้ว่าชั้นมีความแข็งแรง แล้วพบว่าเมื่อใช้ซีฟิ่งไมโครคริสตัลลีนกับ ชั้นในอัตราส่วนที่เท่ากัน ก็จะได้ซีฟิ่งที่มีความแข็งแรงเท่าซีฟิ่งพลาสติก แต่ราคาถูกกว่า

อีกทางหนึ่ง คือ การใช้โฟมมาขึ้นรูปเป็นโครงสร้าง ให้เหมือนกระดูก การเสริมกระดูกก็เหมือนคอนกรีตอัดแรง ทำให้กระสวนซีฟิ่งแข็งแรงขึ้น อีกทั้งโฟมมีน้ำหนักเบากว่าซีฟิ่งเอง เมื่อเคลือบซีฟิ่งแล้วก็จะแข็งแรงกว่าซีฟิ่งมาก กระดูกงู นี้ก็จะกลายเป็นท่อนำทองสำริดเหลวไปในตัว แม้จะทำให้ทองสำริดมีน้ำหนักสูงขึ้นในชั้นหลัง ทางแก้ นี้ อยากรู้ก็ตาม แก้ปัญหาได้เพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น

ตามคำแนะนำหลัก ข้อที่ 14 Spheriodality (เปลี่ยนส่วนที่เป็นเส้นตรงให้เป็นส่วนที่เป็นเส้นโค้ง เปลี่ยนผิวแบนให้เป็นผิวทรงกลม เปลี่ยนลูกบาศก์ให้เป็นลูกกลิ้งหรือลูกบอล เพื่อใช้ประโยชน์จากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง) ตามแนวทางนี้ ทำให้เห็นประโยชน์ว่า ควรขยายจากเป็นผืนไปหารูปทรงสามมิติ เพราะนอกจากจะมีพื้นที่ผิวมากขึ้นแล้ว ยังมีความมั่นคงอีกด้วย ดังนั้น แทนที่จะตัดงานประติมากรรมออกเป็นแผ่นสองมิติเช่นเดิม ทีมงานจึงตัดออกเป็นท่อนสามมิติ จึงทำให้ได้ระบบกระสวนซี่ผึ้งสามมิติ ที่มีพื้นที่ผิวมากกว่าเดิมไม่น้อยกว่าสามเท่า แม้แต่ชิ้นที่มีลักษณะเป็นแผ่นอยู่เดิม ก็จะถูกนำมาประกอบเข้าด้วยกัน (ดู ภาพที่ 9) ขึ้นรูปใหม่ให้มีลักษณะคล้ายลูกบาศก์ แทนที่จะจุ่มเซรามิกไปแผ่นเดียวโดดๆ ระบบกระสวนซี่ผึ้งสามมิติ หรือลูกบาศก์ จะมีความมั่นคงและแข็งแรงกว่าเมื่อเป็นแผ่นโดดๆ



ภาพที่ 9 การประกอบแผ่นซี่ผึ้งเข้าเป็นกระสวนสามมิติ

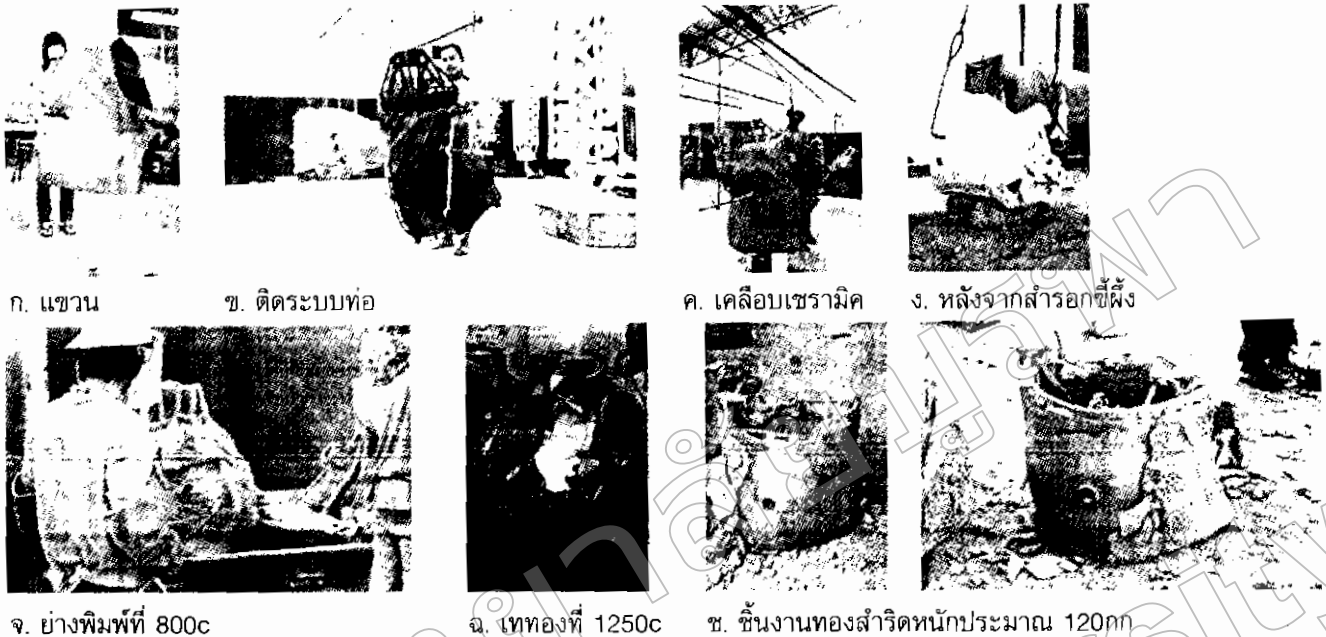
พัฒนาการการแก้ปัญหาในรอบสุดท้าย ทีมงานใช้หลักข้อที่ 28 Replacement of Mechanical System ซึ่งแนะนำให้มองหาทางทดแทนอุปกรณ์ หรือกลไกด้วยอุปกรณ์อย่างอื่น หรือรูปอื่น หรือการปฏิบัติอย่างอื่น หรือภาวะอย่างอื่น ซึ่งอันที่จริงก็คือ การเปลี่ยนวิธีปฏิบัติงานเสียใหม่ ทีมงานใช้ฐานข้อมูลสิทธิบัตร เพื่อค้นหาทางแก้ปัญหาท่อเหล็ก ที่ใช้น้ำหนักพิมพ์กระดองเซรามิก เพราะเห็นว่า ปัญหานี้คงมีผู้คิดแก้กันมาก่อนแล้ว ทั้งในอุตสาหกรรมอื่นๆ รวมทั้งกระดองเซรามิกเอง การค้นหาทางแก้ตามสิทธิบัตรสำหรับปัญหาประเภทนี้ ใช้คำหลักว่า Ceramic Shell นำทางค้นใน [www.freepatentsonline.com](http://www.freepatentsonline.com) พบสิทธิบัตรมากกว่า 12000 รายการ เมื่อสุ่มทบทวนจำนวนหนึ่ง จึงพบว่า มีสิทธิบัตรอยู่จำนวนมากภายใต้แนวทางได้ แต่สิทธิบัตรหมายเลข 4340107 ซึ่งมีภาพประกอบดังที่เห็นในภาพที่ 10 จากภาพนี้ ทีมงานผู้วิจัยเห็นแนวทางที่น่าสนใจที่สุด และนำไปสู่การออกแบบระบบเพลาดังที่เห็นอยู่ในภาพเดียวกัน แล้วนำไปติดตั้งและกำหนดวิธีการใช้งานตลอดทั้งกระบวนการวิธี เพื่อแก้ปัญหาล้อประติมากรรมขนาดใหญ่ขึ้น ดังที่เห็นในภาพที่ 11

เมื่อใช้ระบบเพลาสริม การเคลื่อนย้าย การจุ่มลงถัง และการยกออกจากถัง ทำให้เกิดความขัดแย้งทางเทคนิค เพราะต้องนำวิธีจักรกลเข้ามาช่วยในการยก ย้าย และจุ่ม ซึ่งต้องใช้ถังปั่นสารละลายขนาดใหญ่ และใช้มอเตอร์ขนาดใหญ่ ที่มีราคาแพง ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการปฏิบัตินี้ ทีมวิจัยใช้หลักการคิดเชิงนวัตกรรมสี่สิบข้อ ข้อที่ 17 Transition into a New Dimension (ซึ่งอธิบายว่า ขยับการเคลื่อนย้าย หรือ การวางสิ่งของในมิติเดียว ไปสู่สองมิติ และจากสองมิติไปสู่สามมิติ) พรสนอง (2549) อธิบายไว้ว่า กระสวนซี่ผึ้งอาจนำไปจุ่มลงในถังสารละลายซิลิกาแขวนลอย หรืออีกวิธีหนึ่งอาจนำสารละลายซิลิกาแขวนลอยมาทาชั้นงาน หรือราดลงบนกระสวนซี่ผึ้งได้ เช่นเดียวกับเทคนิคน้ำชีวะแบบโบราณ ด้วยเหตุที่เพลาล้อมรอบแกนตามแนวนอนได้ เมื่อราดสารละลายซิลิกาแขวนลอยแล้ว จึงอาจหมุนชุดกระสวนซี่ผึ้งไปรอบแกน กลับไปกลับมา เพื่อให้สารละลายอาบชั้นงานเสมอกันทั่วทั้งชิ้น จากนั้นจึงโรยเม็ดสารทนไฟ



#### 4.5 ทางแก้ปัญหาขั้นสุดท้าย

ทางแก้ปัญหาในท้ายที่สุด ได้มาจากหลักนวัตกรรมสี่สิบข้อกับสิทธิบัตรดังกล่าวแล้วข้างต้นและมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ (ดูภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 วิธีหล่อประติมากรรมขนาดใหญ่ด้วยเทคนิคกระตองเซรามิค

(1) ชีผึ้ง ขั้นตอนแรกในกระบวนการหล่อประติมากรรมทองสำริดขนาดใหญ่ เป็นการผสมชีผึ้งสูตรพิเศษขึ้นเพื่อให้มีความแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักกระตองในกระบวนการหุ้มกระตองได้โดยไม่แตกร้าวหรือบิดตัวเมื่อแบกรับน้ำหนักมากขึ้น ซึ่งประกอบด้วย ชีผึ้งโมโครคริสตัลลีน หนึ่งส่วน กับชันหนึ่งส่วน นอกเหนือจากการหล่อชีผึ้งให้ได้ตามความหนาที่ต้องการแล้ว ยังใช้โครงกระดูกทำจากแถบโฟม เสริมด้านในผนังชีผึ้ง การติดกระดูกงูเช่นนี้ ก็เพื่อให้กระสวนชีผึ้งมีความแข็งแรงมากขึ้นไปอีก อีกทั้งเป็นท่อนำโลหะเหลว และส่วนที่ทำให้งานทองสำริดมีความแข็งแรงขึ้น

(2) ระบบเพลลา จากนั้นจึงนำระบบเพลลาเสริมมาติดตั้งลงบนกระสวนชีผึ้ง ระบบเพลลาเสริมนี้ประกอบด้วยสี่ส่วนดังที่เห็นในภาพ ได้แก่ หนึ่ง กระถางดินเผา ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางปากถ้วยประมาณ 60 มม ทำหน้าที่เป็นแปรง สอง เพลาท่อเหล็กหนา 1 มม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มม. ให้มีความยาวเกินกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางช่วงที่กว้างที่สุด กระสวนชีผึ้งออกไปประมาณข้างละ 150 มม. สาม แกนเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มม. มีความยาวกว่าเพลาท่อเหล็กประมาณ 300 มม. และ สี่ โครงแขวนเหล็กข้ออ้อยมีหน้าตัด 15 มม. พับเป็นแขนสองข้างเท่าๆ กัน ให้แขนยาวเกินครึ่งหนึ่งของกระสวนชีผึ้งออกไปประมาณ 450 มม. ให้ระยะระหว่างแขนสองข้างมากกว่าเพลาท่อเหล็กเล็กน้อย พับปลายแขนให้เป็นมือหิ้ว นำกระถางดินเผา รูปทรงตื้นเข้าหากันด้วย ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางปากถ้วยประมาณ 60 มม. ที่ตัดกันออกแล้ว คงเส้นผ่าศูนย์กลางไว้ที่ประมาณ 40 มม. นำมาเสียบลงบนบริเวณกึ่งกลางกระสวน ช่วงที่กว้างที่สุด ให้อยู่ด้านตรงข้ามในแนวเส้นตรงเดียวกัน นำเพลาท่อเหล็กไปทาบชีผึ้งด้านนอกให้หนาประมาณ 1 มม. แล้วนำมาสอดเข้าไปในกระถางดินเผาทั้งสอง ให้ส่วนปลายมีระยะห่างจากปากถ้วยดินเผาเท่าๆ กัน ใช้ชีผึ้งอุดช่องโหว่ระหว่างเพลากับกระถางจนเต็ม เมื่อชีผึ้งแข็งตัว เพลา กระถางและกระสวนชีผึ้งจะยึดติดกันเป็นเนื้อเดียว นำแกนเหล็กข้ออ้อยมาสอดเข้าไปในเพลาท่อเหล็ก แล้วนำไปพาดบนปลายแขนของโครงแขวน

(3) วิธีเคลือบ แขนโครงแขวนที่กำลังหิวขึ้นกระสวนชีผึ้งอยู่นี้ ให้กระสวนชีผึ้งลอยอยู่เหนือพื้น และหมุนรอบแกนเหล็กได้ นำสารละลายซิลิกาแขวนลอยมาราดลงบนระบบกระสวนชีผึ้ง แล้วหมุนชิ้นงานไปรอบแกนเพื่อให้สารละลายเคลือบเสมอกันไปตลอดทั้งชิ้นงาน จากนั้นนำสารละลายมาโรยเคลือบแล้วหมุนไปหมุนมาในลักษณะเดียวกัน แล้วตากไว้จนแห้งแล้วจึงทำซ้ำจนกระทั่งได้ความหนาตามที่ต้องการ

#### 4.6 สรุปผลกรณีศึกษา

ด้วยการใช้เครื่องมือจากทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรมผนวกกับเทคนิคการวิจัยเชิงปฏิบัติการ ผู้วิจัยและทีมงานได้พัฒนาและติดตั้งระบบกระสวนซี่ผึ้ง เพื่อช่วยในการหล่อประติมากรรมขนาดใหญ่ ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และนับเป็นการลบล้างความรู้ในทางปฏิบัติเดิม ที่นิยมติดตั้งงานประติมากรรมชิ้นใหญ่ออกเป็นชิ้นเล็ก ให้มีพื้นที่ผิวน้อยกว่าหนึ่งตารางเมตร เพื่อให้รับน้ำหนักทองสำริดได้ไม่เกิน 30 กิโลกรัม ทั้งนี้เพราะเข้าใจกันมาว่า เมื่อมีแรงดันจากน้ำหนักโลหะเหลวมากกว่านี้ พิมพ์กระดองเซรามิคจะเบ่งตัวพองออก ทำให้โพรงในพิมพ์กว้างออก ส่งผลให้ชิ้นงานที่กำลังหล่อมีความหนาแตกต่างออกไปจากที่ตั้งใจไว้ ทั้งยังเพิ่มน้ำหนักทองสำริดโดยใช้เหตุ ทำให้ชิ้นงานมีต้นทุนสูงขึ้น ประการสำคัญ แรงดันจากน้ำหนักทองสำริดที่เพิ่มขึ้นเพราะพิมพ์เบ่งตัวอาจทำให้พิมพ์แตก พิมพ์ที่แตกออกจะทำให้ทองสำริดเหลวไหลออกมาจากพิมพ์ในขณะที่กำลังเท ทำให้การเททองสำริดล้มเหลว

กระบวนการวิธีการหล่อประติมากรรมทองสำริดขนาดใหญ่ด้วยระบบเพลาสริม ในขณะที่รายงานผลอยู่นี้ ยังคงพัฒนาไปอย่างต่อเนื่อง จนขยายระบบกระสวนซี่ผึ้งให้มีพื้นที่ผิวมากกว่าวิธีปฏิบัติเดิมถึง 4 เท่า (หรือ ประมาณ 4 ตารางเมตร) นอกจากระบบเพลาสริมที่ออกแบบขึ้นจะมีราคาถูกแล้ว ยังนำกลับมาใช้ได้ซ้ำแล้วซ้ำอีก อีกทั้งไม่ต้องลงทุนในการติดตั้งเครื่องจักรกลได้อื่น ช่วยเหลือชิ้นงานทองสำริดได้ถึงพิมพ์ละ 120 กิโลกรัม เพิ่มประสิทธิภาพการเชื่อมประกอบและแต่งชิ้นงานได้มากกว่าสามถึงสี่เท่า เช่น (1) ในการหล่อม้าขนาดเท่าจริง น้ำหนักทองสำริดประมาณ 300 กิโลกรัม ซึ่งต้องใช้พิมพ์กระดองเซรามิคจำนวน 15 ชิ้นด้วยวิธีเดิม ลดลงเหลือเพียง 4 ชิ้นด้วยวิธีที่ออกแบบขึ้นใหม่ ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกันจากเดิม 12 วัน เหลือเพียง 3 วัน เมื่อใช้ช่างเชื่อม 1 คนและช่างแต่ง 2 คนเท่านั้น และ (2) ในโครงการหล่อประติมากรรม ขนาด 4x7x5 เมตร น้ำหนักประมาณ 3.5 ตัน จากเดิมที่ใช้พิมพ์กระดองจำนวน 42 ชิ้น ลดลงเหลือเพียง 12 ชิ้นด้วยวิธีที่ออกแบบขึ้นใหม่ ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการประกอบชิ้นงานหล่อเข้าด้วยกันจาก 2 เดือน เหลือเพียงครึ่งเดือน ใช้ช่างเชื่อมสองคนและช่างแต่ง 5 คน แม้ค่าแรงงานอาจไม่ได้เป็นส่วนประกอบที่มีน้ำหนักมากโครงสร้างของต้นทุน แต่การผลิตได้เร็วขึ้นย่อมทำให้โรงหล่อกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น โดยที่ไม่ได้เพิ่มต้นทุน และย่อมทำให้ต้นทุนในภาพรวมต่ำไปโดยปริยาย ประการสำคัญทำให้โรงหล่อสามารถจัดส่งสินค้าได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นกลยุทธ์ในการแข่งขันที่สำคัญ ประโยชน์ที่ไม่อาจถอนออกมาเป็นตัวเงินได้ คือ ความสะดวกในการใช้งาน พนักงานไม่จำเป็นต้องออกแรงมาก ตลอดทั้งกระบวนการผลิตพิมพ์กระดองเซรามิค

#### 5. อภิปรายและสรุป

1) กรณีศึกษาในรอบการวิจัยถึงการออกแบบนี้ ทำให้สรุปได้ว่า นี่เป็นหนทางหนึ่งในการนำเทคนิคการวิจัยและการคิดสร้างสรรค์ที่มีพลัง เข้ามาสู่การวิจัยทางศิลปะและการออกแบบ และเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายเพราะเป็นขั้นตอนเรียบง่าย และอิงทฤษฎีสำเร็จรูป แม้กรณีนี้อาจเป็นกรณีที่สุดขั้ว เพราะเป็นการออกแบบที่ค่อนข้างไปทางเทคนิค และเป็นปัญหากระบวนการการผลิต จนอาจเกิดคำถามว่าหากเป็นปัญหาที่ค่อนข้างไปทางสุนทรียศาสตร์บ้าง การใช้กรอบแนวความคิดใหม่นี้ยังจะทรงพลังและทำได้ง่ายอยู่อีกหรือไม่ อย่างไรก็ตาม ในการแก้ปัญหการออกแบบเชิงสร้างสรรค์ใดๆ โดยเฉพาะในขั้นตอนการออกแบบความคิด ทั้งเทคนิคและสุนทรียศาสตร์ เป็นประเด็นที่ต้องทำความเข้าใจกันไป (พรสนอง, 2550; พรสนอง, 2545) นอกจากนั้น ส่วนที่อาจช่วยให้คิดหาทางแก้ได้เร็วที่สุดเมื่อหมดหนทาง คือ สิทธิบัตรการนำทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรมมาใช้ ทำให้มองเห็นว่ายังมีสิทธิบัตรอยู่อีกเป็นจำนวนมาก ที่อาจปรับมาใช้ได้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ หากมีความเข้าใจประเด็นการละเมิด แต่สิทธิบัตรปกติเขียนด้วยภาษาที่สลับซับซ้อน ทำความเข้าใจได้ลำบาก (พรสนอง, 2550) ประการสำคัญคาหลักที่จะนำมาเจาะเข้าไปสู่สิทธิบัตร อาจเป็นเรื่องยากสำหรับผู้ที่ไม่มีความคุ้นเคยกับการออกแบบ การใช้นักวิจัย-นักออกแบบ เป็นผู้ดำเนินการวิจัยหาทางแก้ปัญหาร่วมทีมกับผู้เชี่ยวชาญวิจัย จึงน่าจะเป็นเรื่องที่ได้เปรียบ มีประสิทธิภาพและทำได้รวดเร็ว

2) วิธีการวิจัยถึงการออกแบบในรอบใหม่นี้ อาจเป็นการเพิ่มความรู้ให้กับกรอบแบบได้หนทางหนึ่ง แม้

ตามความหมายของการวิจัยกระแสหลัก จะมีปัญหาด้านความตรงและความครอบคลุมอยู่ก็ตาม แต่การวิจัยในกรอบนี้เป็นภาคปฏิบัติ และปัญหาการออกแบบเป็นเรื่องจำเพาะเจาะจง ความรู้ใดๆ ที่ได้มาถูกทดสอบแล้ว และมุ่งไปที่การแก้ปัญหาเฉพาะที่เกิดขึ้นจริง ไม่ได้ตัดทอนตัวแปรใดๆออกไปจากสภาพความเป็นจริง เพียงเพื่อให้เกิดความสะดวกและดำเนินการวิจัยไปได้เท่านั้น

3) งานวิจัยถึงการออกแบบในกรอบใหม่นี้ อาจช่วยสร้างความรู้ใหม่ ที่อาจมีส่วนสำคัญทั้งในภาคปฏิบัติและภาคทฤษฎี การวิจัยนี้ยังอาจสร้างแนวความคิดแก้ปัญหา ที่ผู้ประกอบการวิชาชีพอาจนำไปพัฒนาทางแก้ปัญหาเฉพาะในสถานการณ์เฉพาะอย่างหนึ่งอย่างใด ที่แนวความคิดแก้ปัญหานั้นได้รับการทดสอบแล้วในโลกของความเป็นจริง การทดสอบแนวความคิดแก้ปัญหามักช่วยผลิตความรู้ว่า ในสถานการณ์ใดบ้างที่แนวความคิดใหม่นั้นใช้ได้ ในสถานการณ์ใดใช้ไม่ได้ การที่รู้ว่าเมื่อไรทางแก้ปัญหาใช้การได้หรือใช้การไม่ได้ นับเป็นสิ่งสำคัญ เพราะช่วยเตือนสติให้เรารู้ว่าในโลกแห่งความเป็นจริง ไม่ได้มีปรากฏการณ์ที่เหมือนกับกฎเกณฑ์ต่างๆ ไปอยู่เสมอไป ส่วนที่เป็นจุดแข็ง การวิจัยถึงการออกแบบตามแนวทางนี้ อาจอยู่ที่การระบุตัวแปรและความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามสภาพความเป็นจริงที่มักจะหายไปโมเดลเชิงวิทยาศาสตร์ และการกำหนดความเที่ยงตรงเอาตามความสัมพันธ์เชิงเหตุเชิงผล ดังนั้น การวิจัยถึงการออกแบบแนวทางนี้ จึงอาจเป็นวิจัยตามแนวทางปรัชญาปฏิฐานนิยมเชิงตรรกได้เช่นกัน และช่วยเพิ่มงานวิจัยทางการออกแบบ ให้มีมากขึ้นได้

4) การวิจัยถึงการออกแบบตามแนวทางนี้ ซึ่งใช้กรณีศึกษาในการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล ในบริบทของการปฏิบัติงานออกแบบ น่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่ง ที่ควรนำเข้ามาใช้ในการสร้างความรู้ใหม่ แม้การใช้กรณีเดียวจะเป็นเรื่องวิกฤติในการสร้างความรู้ก็ตาม แต่กรณีเดียวก็อาจเหมาะสมได้ เมื่อต้องทดสอบว่าข้อเสนอตามทฤษฎีนั้นถูกต้องหรือไม่ หรือเมื่อต้องการคำอธิบายอย่างอื่นเพิ่มเติมอีก ข้อได้เปรียบอันสำคัญของการใช้กรณีศึกษาในการวิจัยงานออกแบบ ตามแนวทางนี้อยู่ที่ (1) ช่วยเพิ่มรายละเอียดให้ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม ที่ใช้ในการออกแบบ (2) ค้นพบแนวความคิดใหม่ที่ยังไม่มีอยู่ในทฤษฎีและอยู่ในบริบทของงานออกแบบ (3) ช่วยให้เกิดการสะกิดรอยตามการเปลี่ยนแปลงทางการออกแบบ (4) ช่วยทดสอบข้อสังเกต หรือความเชื่อ ด้วยวิธีวิทยาการตามแนวทางการวิจัยกระแสหลัก

## 6 กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บรรดาผู้จัดการบริษัทไทยเมทัลคราฟเตอร์สจำกัด ที่ร่วมทีมงานในโรงหล่อ ดังนี้ อภินันท์ จันสด-ผู้จัดการใหญ่ สุชิน กุลรัตน์-ผู้จัดการโรงงาน วสันต์ พรหมภักดี-ผู้จัดการฝ่ายออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ และ ประพันธ์ พวงมณี-ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม

## เอกสารอ้างอิง

กฤษณา วงษาสันต์. (2546). กรณีศึกษาผ้าลายยกดอก(ยกมุก). รายงานการวิจัยหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ในกิจกรรมส่งเสริมงานวิจัยปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมเพื่อพัฒนามาตรฐานคุณภาพผลิตภัณฑ์.

สุรินทร์: สถาบันราชภัฏสุรินทร์.

ชนะศักดิ์ พึ่งฮั่ว. (2551). จากคิดได้อย่างไรสู่อย่างไรก็ได้ด้วยTRIZกรุงเทพมหานคร: อีไอเอสแควร์.

บุปผา อนันต์สุชาติกุล. (2008). การวิจัยเชิงปฏิบัติการ:วิจัยเพื่อเรียนรู้วิธีวิจัยหรือเพื่อสร้างวัฒนธรรมการเรียนรู้. *Journal of Measurement and Research in Education*. 21(1), 7.

พรสนอง วงศ์สิงห์ทอง. (2550). การออกแบบและพัฒนาแพชชั่นและมันทนกันท์. กรุงเทพมหานคร: วิสคอมเซ็นเตอร์.

พรสนอง วงศ์สิงห์ทอง. (2549). ศิลปะการหล่อ มันทนกันท์และประติมากรรมทองสำริด เทคนิคการสูญเสียแบบใหม่. กรุงเทพมหานคร: วิสคอมเซ็นเตอร์.

พรสนอง วงศ์สิงห์ทอง. (2545). วิธีวิทยาการวิจัยการออกแบบผลิตภัณฑ์. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Altshuller, G., (2005). 40 Principles TRIZ Keys to Technical Innovation. Worcester, MA: Technical Innovation Center Inc.

Argyris, C., Putnam, R., Smith, D. M. (1985). *Action science: Concepts, methods, and skills for research and intervention*. San Francisco: Jossey-Bass.

Bariani, P.F., Berti, G.A., & Lucchetta, G. (2004). A Combined DFA and TRIZ approach to the simplification of product structure. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 218(8), 1023-1027.

Braa, K. and Vidgen, R. (1997). An information system research framework for the Organization Laboratory. In Kyng, M. and Mathiassen, L. eds. *Computers and Design in Context*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.

Baskerville, R. & Myers, M.D. (2004). Special issue on action research in information systems: Making IS research relevant to practice. *MIS Quarterly*, 28(3), 329-336.

Baskerville R. and A.T. Wood-Harper (1998). Diversity in information system action research methods. *European Journal of Information Systems*, 7, 90-107.

Buyukozkan, G., Dereli, T., & Baykasoglu, A. (2004). A survey on the methods and tools of cocurrent new product development and agile manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 15(6), 731-751.

Cascini, G. & Rissone, P. (2004). Plastics design: Integrating TRIZ creativity and semantic knowledge portals. *Journal of Engineering Design*, 15(4), 405-424.

Cavallucci, D., Lutz, P., & Thiebaud, F. (2002). Methodology for bringing the intuitive design method's framework into design activities. *Proceedings of Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 216(9), 1303-1307.

Chaturvedi, K.J., and Rajan, Y.S., (2000). "New Product Development : Challenges", *International Journal of Technology Management*, 19(7/8), 788-805.

- Chin, C.C. Liaw, W.U., Tseng, Y.L. & Yen, C. C. (2001). A Case Study on Product Serialization design with Reference with Outdoor Lighting Design. *2001 Teaching and Technology Conference*, 16 November. Mingchi Institute of Technology. 79-84.
- Collins, A., Joseph, D., & Bielaczyc, K. (2004). Design research: Theoretical and methodological issues. *The Journal of the Learning Sciences*, 13, 15-42.
- Cook, T.D. (1983). Quasi-experimentation: Its ontology. In G. Morgan(Ed.), *Beyond method: Strategies for Social research*(pp. 74-94. London:Sage Publishers.
- Creigh-Tyte, A.E. (1995). The supply and demand for design research in the Quantifying the debate. *Design Interfaces Conference Proceedings Vol.3, Design Theory Design Education*. 11-13 April, *The European Academy of Design*. Salford: University of Salford.UK.
- Crouch, Christopher, (2007) Praxis and the reflexive creative practitioner, *Journal of Visual Art practice*, 6(2), October . 105-114.
- DeLuca, D.C.(2003). Business process improvement using asynchronous e-collaboration: testing the compensatory adaptation model. *Doctoral dissertation*. Philadelphia, PA:Temple University.
- Frayling, C.(1993/4) Research in art and design. *Royal College of Art Research Papers*.1(1). London:RCA.
- Gummesson E. (2000). *Qualitative methods in management research*, Sage, Thousand Oaks, Ca.
- Hipple, J. (2003). The integration of TRIZ problem solving techniques with other problem solving and assessment tools. *The TRIZ Journal*( <http://www.triz-journal.com>)
- Hsu, C.L., Chen, U.W., Chiou, Y.M. & Chiou, W.C.(2001) The Design process of positioning wheelchair to Taiwanese children and its recommendation. *2001 Teaching and Technology Conference*, 16 November, Mingchi Institute of Technology. 85-89.
- Kelly, A. E. (2003). Research as design. *Educational Researcher*, 32,3-4
- Kim, Y.S. & Cochran, D.S. (2000). Reviewing TRIZ from the perspective of axiomatic design. *Journal of Engineering Design*, 11(1), 79-94.
- .Kock, N. & Davidson, R. (2003). Can lean media support knowledge sharing? Investigating a hidden advantage of process improvement. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 50(2), 151-163.
- Rock, N. & Lau, F. (2001). Information systems action research: Serving two demanding masters. *Information Technology & People*, 14(1), 6-12.
- Leon, N. (2003). Putting TRIZ Into product design, *Design Management Journal*, Spring, 1-7.
- Liaw, W.U. and Yen, C.C.(2002). The application of analog design methods to design innovation. *Proceeding of 2002 Design Research Symposium*. 4 May . Chinese Institute of Design. Taipei: National Taiwan University of Science. 93-98.
- Mann, D. (1999). Axiomatic design and TRIZ: Compatibilities and contradictions. *The TRIZ Journal* (<http://www.triz-journal.com>)
- Monplaisir, L., Jugulum, R., & Mian, M. (1998). Application of TRIZ and Tagchi methods: Two case examples. *Proceedings of the Taguchi methods conference, 4<sup>th</sup> total product development symposium*. *The TRIZ journal* (<http://www.triz-journal.com>)

- Oost, H. (1999). The Quality of research problems in dissertations. Doctoral dissertation, University of Utrecht, Utrecht:IVLOS Reeks.
- Oquist P. (1978). The epistemology of action research. *Acta Sociologica*.21. 143-163.
- Owen, C. L. (1994). Design research, building the knowledge base. *Design Processes Newsletter*. 5(6): 1-6.
- Press, M. (1995). Its research Jim. Design Interfaces Conference Proceedings Vol. 3, Design Theory Design Education. 11-13 April. *The European Academy of Design*. Salford: University of Salford.
- Rapoport R. N.(1970). Three dilemmas in action research. *Human relations*, 23, 499-513.
- Romme, A.G. (2003). Making a difference: organization as design. *Organization Science: A Journal of the Institute of Management Sciences*, 14,558-573.
- Schon, D. (1983). The reflective practitioner. London:Temple Smith.
- Shirwaiker, A., & Okudan, G. E., (2008). Triz and axiomatic design: a review of case-studies and a proposed synergistic use. *Journal of Intelligent Manufacture*, 19, 33-47.
- Skinner, W.(1969). Manufacturing-missing link in corporate strategy. *HBR*, Harvard University, 136-145.
- Souchkov, V.(2004). Accelerate Innovation with TRIZ. *The TRIZ Journal*(<http://www.triz-journal.com>)
- Stratton, R., & Mann, D. (2003). Systematic innovation and the underlying principles behind TOC and TRIZ. *Journal of Materials Processing Technology*. 139(1/3), 120-126.
- Suh, N.P.(1990). *The Principles of design*. Oxford University Press.
- Susman, G.I. & Evered, R.D. (1978). An assessment of the scientific merits of action research. *Administrative Science Quarterly*, 23,582.
- Svengren, L. (1993) Case study methods in design management research. *Design Studies*. 14(4): 444-456.
- The Design-Based Research Collective (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32, 5-8.
- Tsai, C.C., Chang, C.Y., & Tseng, C. H. (2004). Optimal design of metal seated ball valve mechanism. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 26(3/4), 249-255.
- Tsai, S. & Childs, R.N. (2009). TRIZ: Incorporating the BRIGHT Process in Design. *The TRIZ Journal* (<http://www.triz-journal.com>)
- Van Aken, J.E. (2004). Management research based on the paradigm of the design sciences: The quest for field-tested and grounded technological rules. *Journal of Management Studies*, 41. 219-246.
- Van Aken, J.E. (2005). Management Research as a design science: Articulating the research products of Mode 2 knowledge production in management. *British Journal of Management*, 16, 19-36.
- Van Aken, Joan Erst & Romme, A. G. L. (2005). Reinventing the future: Design science research in the field of organization studies. *Paper present at EURAM 2005 in Munich, Germany*.
- Vidgen, R. & Braa, K. (1997). Balancing interpretation and intervention in information system research: the "action case" approach. *Proceedings of IFIP WG8.2*. Philadelphia, USA.
- Yen, C.C.(1998). The Application of Patent-Centered Principles to Medical Equipment through Industrial Design Practice. *PhD Thesis*. Birmingham:University of Central England in Birmingham.
- Yoong, P. & Gallupe, B. (2001). Action learning and groupware: A case study in GSS facilitation research. *Information Technology & People*, 14(1), 78-90.