

การแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์กรรม TRIZ: Theory of Inventive Problem Solving

วรมน แช้ว*

บทคัดย่อ

การแก้ปัญหา เป็นกิจกรรมในการจัดการกับปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ โดยธรรมชาติแล้วคนเรามักจะแก้ปัญหาโดยอาศัยประสบการณ์และความถนัดของตนเป็นหลัก แต่เมื่อเจอปัญหารูปแบบใหม่ก็มักจัดการกับปัญหานั้นๆ ไม่ได้ และจะยังคงมีปัญหานั้นๆ นั้นกลับมาอีก TRIZ (Akay, Demiray & kurt, 2008) เป็นเครื่องมือที่จะช่วยให้นักประดิษฐ์ประหยัดเวลาในการแก้ปัญหาที่มีผู้คิดค้นหรือเคยประสบมาก่อนแล้ว เป็นหลักในการคิดค้นและออกแบบประดิษฐ์กรรมสำหรับแก้ปัญหาดังๆ ที่พบในทางอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มความเป็นอุดมคติ (Ideality) และลดการใช้ทรัพยากร (Resources) ซึ่งมีข้อจำกัดของความขัดแย้ง (Contradiction) ของตัวแปรต่างๆ โดย TRIZ มีแนวคิดพื้นฐานที่ใช้ ระดับขั้นของนวัตกรรม (Levels of innovation) 5 ระดับ แต่โดยทั่วไป สิ่งประดิษฐ์กว่า 77% ของสิทธิบัตรจัดอยู่ในระดับนวัตกรรมที่ 1 และ 2 เท่านั้น TRIZ จะช่วยให้นักประดิษฐ์ยกระดับการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์กรรมให้ขึ้นมาอยู่ในระดับที่ 3 และ 4 ได้ การแก้ปัญหาโดยใช้ TRIZ เริ่มจากการค้นหาหรือระบุปัญหา จากนั้นจึงระบุตัวแปรหรือความขัดแย้งที่อาจเกิดขึ้น แล้วจึงใช้หลักการพื้นฐานของ TRIZ แก้ไขปัญหานั้น

Abstract

Problem solving is an activity to deal with problems in systematic way. In general, people tend to solve problems based on their experience and expertise. But when a new problem occurs, they usually can not manage it, and there will always be the same problem back again. TRIZ (Akay, Demiray & kurt, 2008) is a tool that allows inventors time to solve problems that have developed or experienced before. It is a methodology for solving inventive problems that contained one or several contradictions to increase ideality and reduce resource use. Based on the concept of Levels of innovation, more than 77% of inventions were classified into level 1 and 2. TRIZ allow inventors to enhance inventive solutions to level 3 and 4. To solve problem using TRIZ, first, search or identify the problem, identify contradictions, and using TRIZ principles as the solutions.

คำสำคัญ

TRIZ, The Theory of Inventive Problem Solving
การแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์กรรม

*อาจารย์ประจำภาควิชาการประกอบการ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยฟาร์อีสเตอร์

บทนำ

การแก้ปัญหา เป็นกิจกรรมในการจัดการกับปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ เป็นกิจกรรมอย่างหนึ่งที่สำคัญของชีวิตที่ต้องทำให้สำเร็จลุล่วง เพื่อจะสามารถทำให้ชีวิตดำเนินไปได้อย่างมีความสุข ซึ่งโดยธรรมชาติแล้วคนเรามักจะแก้ปัญหาโดยอาศัยประสบการณ์และความถนัดของตนเป็นหลัก แต่เมื่อเจอปัญหารูปแบบใหม่ที่ต่างไปจากเดิมก็มักจัดการกับปัญหานั้นๆ ไม่ได้ และจะยังคงมีปัญหานั้นๆ กลับเข้ามาอีก ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีอีกสิ่งหนึ่งที่ดำเนินไปควบคู่กันกับการแก้ปัญหาก็คือ ความคิดสร้างสรรค์ ซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานในชีวิตประจำวันและกำลังทวีความสำคัญในปัจจุบัน การมองเห็นปัญหาคือจุดเริ่มต้นของการคิดแก้ปัญหา ซึ่งต้องอาศัยความคิดสร้างสรรค์ในการจัดการแก้ไขปัญหานั้นๆ ได้อย่างเหมาะสม

ในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา รัสเซีย และญี่ปุ่นให้ความสำคัญต่อการประดิษฐ์คิดค้นสิ่งต่างๆ เพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่การดำเนินชีวิต เริ่มตั้งแต่ปัญหาต่างๆ ในชีวิตประจำวัน จนไปสู่การสร้างนวัตกรรม TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) หรือทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์กรรม เป็นทฤษฎีการจัดการความคิดที่คิดค้นขึ้นโดยวิศวกรชาวรัสเซียในปี 1946 แต่เพิ่งจะเป็นที่รู้จักในสหรัฐอเมริกาและยุโรปเมื่อไม่นานมานี้ และถึงแม้ทฤษฎีนี้จะถูกคิดค้นมานานกว่า 70 ปีมาแล้ว แต่ยังคงสามารถนำมาใช้ได้กับการคิดค้นประดิษฐ์กรรมใหม่ๆ ในปัจจุบัน

TRIZ คืออะไร

TRIZ (Russian: teoriya resheniya izobretatelskikh zadatch; English: Theory of inventive problem solving) หรือ ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์กรรมได้รับการพัฒนาขึ้นโดย Genrich S. Altshuller นักประดิษฐ์และนักเขียนนิยายวิทยาศาสตร์ชาวโซเวียตในปี 1946 ซึ่งขณะนั้นเขาทำงานตรวจสอบสิทธิบัตรสิ่งประดิษฐ์ในกองนาวิกโยธิน และนั่นทำให้เขาได้ศึกษารูปแบบการประดิษฐ์ ปัญหาที่พบ และการแก้ปัญหาที่ได้ทำจากสิทธิบัตรโดยใช้สิทธิบัตรสิ่งประดิษฐ์ต่างๆ มากกว่า 200,000 ฉบับ จนถึงปัจจุบัน มีสิทธิบัตรจากทั่วโลกที่ถูกนำมาวิเคราะห์แล้วกว่า 1,500,000 ฉบับ แต่ในจำนวนนี้ มีเพียง 40,000 ชิ้นเท่านั้นที่สามารถเรียกได้ว่าเป็นการสร้างประดิษฐ์กรรมใหม่อย่างแท้จริง ที่เหลือเป็นเพียงแค่การปรับปรุงจากของเดิมเพียงเล็กน้อยเพื่อให้ใช้งานได้ดีขึ้นเท่านั้น

Altshuller พบว่า ในทุกอุตสาหกรรมต่างก็เจอปัญหาในรูปแบบคล้ายๆ กันและกว่า 90% ในการแก้ไขปัญหานั้น หลักการเดิมๆ เดียวกันก็ถูกนำมาใช้ซ้ำแล้วซ้ำอีก หลังจากที่เขาได้ทำการรวบรวมและศึกษาปัญหา และวิธีการแก้ปัญหาต่างๆ แล้ว เขาก็ได้นำสิ่งที่ศึกษานั้นมาจัดหมวดหมู่ที่เป็นกลาง ซึ่งสามารถจำแนกแนวทางแก้ปัญหาทั้งหมดได้เป็น 39 ตัวแปร (The Altshuller's 39 Engineering Parameters) และ

40 หลักการ (40 Fundamental inventive principles) ทำให้ TRIZ เป็นเครื่องมือที่จะช่วยให้นักประดิษฐ์ประหยัดเวลาในการแก้ปัญหาที่มีผู้คิดค้นหรือเคยประสบมาก่อนแล้ว

กล่าวโดยสรุป TRIZ คือหลักในการคิดค้นและออกแบบประดิษฐกรรมสำหรับแก้ปัญหาต่างๆ ที่พบในทางอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มความเป็นอุดมคติ (Ideality) และลดการใช้ทรัพยากร (Resources) ซึ่งมีข้อจำกัดของความขัดแย้ง (Contradiction) ของตัวแปรต่างๆ โดย TRIZ มีแนวคิดพื้นฐานที่สำคัญดังนี้

ระดับขั้นของนวัตกรรม (Levels of innovation)

จากการวิเคราะห์สถิติบัตรสิ่งประดิษฐ์จำนวนมากทำให้ทราบว่าสิ่งประดิษฐ์เหล่านั้นมีความแตกต่างกันในด้านของระดับขั้นของนวัตกรรม ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ระดับดังต่อไปนี้

ระดับที่ 1 การปรับปรุงอย่างง่าย ๆ เป็นการปรับปรุงโดยใช้วิธีที่คุ้นเคยจากประสบการณ์ หรือเป็นวิธีที่มีการใช้ทั่วไปในสาขานั้นๆ ซึ่งในระดับนี้ยังไม่เรียกว่าเป็นการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐกรรม เพราะเป็นเพียงการปรับปรุงหรือแก้ไขระบบที่มีอยู่แล้ว ไม่ได้เป็นการแก้ไขปัญหในระดับที่ต้องใช้ความเชี่ยวชาญมากนัก

ระดับที่ 2 สิ่งประดิษฐ์ที่รวมเอาการแก้ปัญหาทางเทคนิคเอาไว้ ซึ่งต้องอาศัยความรู้จากสาขาอื่นๆ ที่อยู่ภาคในอุตสาหกรรมเดียวกัน

ระดับที่ 3 สิ่งประดิษฐ์ที่ประกอบด้วยวิธีแก้ปัญหาที่ต้องอาศัยความรู้จากภาคอุตสาหกรรมอื่นด้วย

ระดับที่ 4 เทคโนโลยีใหม่ๆ ที่พัฒนาต่อจากการแก้ปัญหาแบบก้าวกระโดด ซึ่งอาศัยความรู้จากศาสตร์หลายๆ แขนง นวัตกรรมในระดับนี้เป็นการพัฒนาและแก้ปัญหาโดยการนำเทคโนโลยีตัวใหม่แทนที่เทคโนโลยีตัวเก่า

ระดับที่ 5 เป็นการค้นพบความรู้ใหม่ๆ (New phenomena) สำหรับระบบใหม่ที่ไม่เคยมีมาก่อน

จากลำดับขั้นของนวัตกรรมทั้ง 5 ระดับข้างต้น Altshuller สรุปจากการวิจัยของตนไว้ว่า สิ่งประดิษฐ์กว่า 77% ของสถิติบัตรที่เขาได้ศึกษานั้น จัดอยู่ในระดับนวัตกรรมที่ 1 และ 2 เท่านั้น TRIZ จะช่วยให้นักประดิษฐ์ยกระดับการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐกรรมให้ขึ้นมาอยู่ในระดับที่ 3 และ 4 ได้

กฎแห่งความอุดมคติ (Law of ideality)

กฎแห่งความอุดมคติกล่าวไว้ว่า ทุกๆ ระบบจะต้องมีการปรับปรุงตลอดช่วงอายุการใช้งานเพื่อให้ระบบนั้นเกิดความเป็นอุดมคติ คือ มีความเที่ยงตรงมากขึ้น ใช้งานได้ง่ายขึ้น และมีประสิทธิภาพมากขึ้น การสร้างสิ่งประดิษฐ์ทำให้การดำเนินชีวิตประจำวันเป็นไปอย่างราบรื่นขึ้น การแก้ปัญหาทางเทคนิคของสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกสร้างขึ้นทำให้อุปกรณ์นั้นใช้งานได้ดีขึ้น และได้รับการปรับปรุง พัฒนาให้เข้าใกล้ความสมบูรณ์แบบ

มากขึ้นไปทุกขณะ การใช้งานที่ดีขึ้นจนถึงขั้นความสมบูรณ์แบบที่เราคาดหวังคือความอุดมคติ (Ideality) ยกตัวอย่างเช่น ต้นทุนในการสร้างลดลง ใช้พื้นที่น้อยลง ใช้พลังงานน้อยลง เป็นต้น

แต่อย่างไรก็ตาม การจะทำให้สิ่งประดิษฐ์นั้นเข้าใกล้ความอุดมคติมากขึ้นเท่าไร ทรัพยากรที่ใช้ก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ระบบกลไกต่างๆ ก็จะมีผลกลับซับซ้อนมากขึ้นด้วยเช่นกัน และเมื่อระบบมีความซับซ้อนมากขึ้น การจะทำให้สิ่งประดิษฐ์เข้าใกล้ความอุดมคติเข้าไปอีก ก็ย่อมจำเป็นที่จะต้องใช้ทรัพยากรที่มากขึ้นกว่าเดิม เมื่อระบบเข้าสู่ความเป็นอุดมคติแล้ว สิ่งที่เกิดขึ้นคือกลไกจะหายไป ในขณะที่ฟังก์ชันการทำงานจะยังคงมีอยู่ หรืออาจเพิ่มขึ้นก็ได้

ศิลปะแห่งการประดิษฐ์คือการกำจัดข้อจำกัดหรืออุปสรรคต่างๆ ออกไปเพื่อไปสู่ความเป็นอุดมคติ การเพิ่มความเป็นอุดมคติสามารถทำได้หลายวิธี เช่น

1. เพิ่มฟังก์ชันการทำงานของระบบ เช่น โทรศัพท์มือถือที่สามารถถ่ายรูปได้ เล่นอินเทอร์เน็ตได้ เล่นเกมได้ และสามารถใช้งานได้เหมือนเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือวิทยุที่สามารถเล่นเทป ซีดี และต่อเครื่องขยายเสียงและไมโครโฟนได้ในเครื่องเดียวกัน

2. ลดกลไกการทำงานของระบบ เช่น ในการขนส่งผัก ผลไม้ หรือเนื้อสัตว์ไปยังประเทศสหรัฐอเมริกา จำเป็นต้องใช้ระบบแช่แข็งที่มีประสิทธิภาพเพื่อเพิ่มความสามารถในการแช่แข็ง การบินที่ระดับ 15,000 ฟุต ถึง 20,000 ฟุตเหนือระดับน้ำทะเล และให้มีลมที่มีความเย็นต่ำกว่าจุดเยือกแข็งพัดเข้ามา ก็จะสามารถรักษาความสดของผลไม้ได้นั่นได้ โดยไม่ต้องใช้เครื่องแช่แข็งบนเครื่องบินเลย

3. เพิ่มขอบเขตของระบบ เช่น โดยปกติแล้วหน้าต่างของบ้านอนุรักษ์พลังงานมักจะเปิดปิดได้โดยใช้มือเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน ในการเพิ่มขอบเขตของระบบอาจทำให้หน้าต่างสามารถเปิดปิดได้เองโดยอ้างอิงจากอุณหภูมิภายในห้อง คือ เมื่ออากาศร้อนหรืออุณหภูมิสูงขึ้น หน้าต่างจะเปิดเองอัตโนมัติเพื่อให้ลมสามารถพัดผ่านได้

4. การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่แล้วทั้งภายนอกและภายใน เช่น หากที่บ้านมีระบบเปิดปิดหน้าต่างอัตโนมัติเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป ก็อาจจะใช้ระบบเดียวกันนี้ในการควบคุมการเปิดปิดเครื่องปรับอากาศได้ด้วย

ความขัดแย้ง (Contradiction)

ความขัดแย้งในที่นี้หมายถึง คุณสมบัติหรือตัวแปร เช่น น้ำหนัก อุณหภูมิ สี ความเร็ว ความแข็งแรง และอื่นๆ ของระบบหนึ่งๆ การจะเพิ่มคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งหรือกำหนดตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งขึ้นมา มักจะมีผลกระทบต่ออีกคุณสมบัติหรือตัวแปรที่อยู่ตรงข้ามเสมอ ยกตัวอย่างเช่น ต้องการให้โต๊ะมีความแข็งแรง

แต่ต้องมีน้ำหนักเบาเพื่อให้เคลื่อนย้ายได้ง่าย หรือต้องการระบบที่ใช้และเข้าถึงข้อมูลได้ง่าย แต่ต้องมีความปลอดภัยต่อการถูกโจรกรรม เป็นต้น การแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพที่สุดจะเกิดขึ้นเมื่อนักประดิษฐ์สามารถแก้ปัญหาที่ประกอบไปด้วยความขัดแย้งดังที่กล่าวมาได้

ตัวแปรทั้ง 39 ตัว (The Altshuller's 39 engineering parameters) ได้แก่

- | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Weight of moving object | 21. Power |
| 2. Weight of binding object | 22. Waste of energy |
| 3. Length of moving object | 23. Waste of substance |
| 4. Length of binding object | 24. Loss of information |
| 5. Area of moving object | 25. Waste of time |
| 6. Area of binding object | 26. Amount of substance |
| 7. Volume of moving object | 27. Reliability |
| 8. Volume of binding object | 28. Accuracy of measurement |
| 9. Speed | 29. Accuracy of manufacturing |
| 10. Force | 30. Harmful factors acting on object |
| 11. Tension, pressure | 31. Harmful side effects |
| 12. Shape | 32. Manufacturability |
| 13. Stability of object | 33. Convenience of use |
| 14. Strength | 34. Repairability |
| 15. Durability of moving object | 35. Adaptability |
| 16. Durability of binding object | 36. Complexity of device |
| 17. Temperature | 37. Complexity of control |
| 18. Brightness | 38. Level of automation |
| 19. Energy spent by moving object | 39. Productivity |
| 20. Energy spent by binding object | |

40 หลักการพื้นฐาน (40 Fundamental inventive principles) ได้แก่

- | | |
|------------------|-----------------|
| 1. Segmentation | 4. Asymmetry |
| 2. Extraction | 5. Combining |
| 3. Local quality | 6. Universality |

7. Nesting
8. Counterweight
9. Prior counter-action
10. Prior action
11. Cushion in advance
12. Equipotentiality
13. Inversion
14. Spheroidality
15. Dynamicity
16. Partial or overdone action
17. Moving to a new dimension
18. Mechanical vibration
19. Periodic action
20. Continuity of a useful action
21. Rushing through
22. Convert harm into benefit
23. Feedback
24. Mediator
25. Self-service
26. Copying
27. Inexpensive, short-lived object for expensive, durable one
28. Replacement of a mechanical system
29. Pneumatic of hydraulic construction
30. Flexible membranes or thin film
31. Use of porous material
32. Changing the color
33. Homogeneity
34. Rejecting and regenerating parts
35. Transformation of the physical and chemical states of an object
36. Phase transformation
37. Thermal expansion
38. Use strong oxidizers
39. Inert environment
40. Composite materials

ขั้นตอนการแก้ปัญหาโดยใช้ TRIZ

ขั้นตอนในการแก้ปัญหาโดยวิธีของ TRIZ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ค้นหาปัญหาที่มีอยู่
2. วิเคราะห์และกำหนดตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในทิศทางตรงข้ามกัน โดยอาศัย 39 ตัวแปรของ

Altshuller (The Altshuller's 39 Engineering Parameters)

3. ค้นหาการแก้ปัญหาโดยอ้างอิงจากหลักการพื้นฐานเชิงประดิษฐ์กรรม (40 Fundamental Inventive Principles) ตัวอย่างของการแก้ปัญหาที่มีความขัดแย้ง (Contradiction) โดยใช้ TRIZ เช่น ล้อของเครื่องบินจะต้องมีเพื่อใช้ในการนำเครื่องขึ้นและการลงจอด แต่ในขณะที่บินอยู่นั้น การที่มีล้อไถลออกมาจากส่วนใต้เครื่อง จะทำให้เกิดการต้านอากาศและส่งผลต่อการบิน ดังนั้น ล้อของเครื่องบินจะต้องมีและไม่มีขึ้นอยู่กั เวลาและสถานการณ์ที่จำเป็นต้องใช้ การแก้ปัญหานี้ทำโดยการสร้างให้ล้อของเครื่องบินนั้นสามารถเก็บเข้าไปในตัวเครื่องได้

บทสรุป

ปัญหาที่เกิดขึ้นทุกวันนี้ ส่วนมากมักเคยเกิดขึ้นมาก่อนแล้ว การแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์กรรมหรือ TRIZ เป็นการรวบรวมและนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาที่มีข้อจำกัดเรื่องความขัดแย้ง เพื่อเพิ่มความเป็นอุดมคติ และช่วยให้นักประดิษฐ์สามารถลดระยะเวลาและทรัพยากรที่ใช้ในการพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ โดยมีขั้นตอนที่ไม่ สลับซับซ้อน เริ่มจากการค้นหาและระบุปัญหา จากนั้นจึงระบุตัวแปรหรือความขัดแย้งของปัญหาต่างๆ ที่ เกิดขึ้น แล้วจึงนำหลักการของ TRIZ มาแก้ไขปัญหานั้น เพื่อให้สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นมีระดับขั้นทางนวัตกรรม สูงขึ้น หรือเป็นนวัตกรรมที่มีความใหม่และแตกต่างมากขึ้น ประเทศผู้นำทั้งทางด้านเทคโนโลยีและเศรษฐกิจ ของโลกส่วนใหญ่ให้ความสำคัญต่อการวิจัยและพัฒนา และการสร้างสิ่งประดิษฐ์หรือนวัตกรรมใหม่ๆ เป็นอย่างมาก เพื่อสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขันและสร้างอำนาจต่อรองให้แก่ประเทศของตน ประเทศไทยซึ่งมีทั้งทรัพยากรธรรมชาติและทรัพยากรมนุษย์ที่มีความสามารถไม่น้อยไปกว่าประเทศอื่น กลับ อยู่ในฐานะของผู้รับเทคโนโลยี ไม่สามารถสร้างสรรค์นวัตกรรมใหม่ๆ ที่เหมาะสมกับความต้องการและการ ใช้งานของประเทศได้ หรือในบางกรณี นวัตกรรมที่สร้างขึ้นยังไม่ได้รับการส่งเสริมให้มีการพัฒนาเท่าที่ควร กระบวนการคิดอย่างสร้างสรรค์เป็นสิ่งที่ควรได้รับการผลักดันและปลูกฝังให้กับคนในชาติ เพื่อเป็นส่วนช่วย ผลักดันให้ประเทศไทยมีความก้าวหน้า พร้อมรับมือกับความเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีที่สิ้นสุดและการแข่งขัน ของโลกในยุคปัจจุบัน การศึกษาวิธีการและหลักการสร้างทักษะกระบวนการคิดอย่างสร้างสรรค์เป็นสิ่งที่ควร กระทำเป็นอันดับต้นๆ เพื่อเป็นรากฐานในการเสริมสร้างศักยภาพของประเทศ ทั้งในด้านของอุตสาหกรรม เทคโนโลยี และด้านอื่นๆ อันเป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาประเทศไทยให้ก้าวขึ้นเป็นประเทศผู้นำของโลกได้

บรรณานุกรม

- Akay, D. ; Demiray, A. & kurt, M. (2008). Collective tool for solving human factors problems in the manufacturing environment: the theory of inventive problem solving technique (TRIZ) method. *International Journal of Production Research*. 46 (11), 2913 - 2925
- Kaplan, S. (1996). *An introduction to TRIZ*. USA: Ideation International.
- Mann, D. (2001). An introduction to TRIZ: the theory of inventive problem solving. *Creativity and Innovation Management*. 10(2), 123-125.
- Stratton, R. & Mann, D. (2003). Systematic innovation and the underlying principles behind TRIZ and TOC. *Journal of Materials Processing Technology*. 139, 120-126.