

ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์บนตัวรองรับที่ถูกปรับปรุงสำหรับการผลิตเชื้อเพลิง

สังเคราะห์

**Cobalt catalysts supported on modified supports for synthetic fuel
production**

โดย

บรรเจิด จงสมจิตร

โครงการวิจัยเลขที่ 112G-CHEM-2555

ทุนงบประมาณแผ่นดินปี 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพฯ

กันยายน 2555

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินอุดหนุนทั่วไปจากรัฐบาล ประจำปี 2555 (สัญญาเลขที่ GRB_APS_๑๕_๕๕_๒๑_๐๑) ซึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณในการให้ทุนสนับสนุนโครงการวิจัยดังกล่าวมา ณ ที่นี้

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์บนตัวรองรับไทเทเนียมที่ผ่านการปรับปรุง โดยใช้ตัวรองรับไทเทเนียมที่มีขนาดผลึกนาโนเป็นตัวรองรับโดยไทเทเนียมที่นำมาใช้จะผ่านการปรับปรุงด้วยเซอร์โคเนียโดยรายละเอียดของงานวิจัยเป็นดังนี้

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการใช้ไทเทเนียมขนาดนาโนที่มีขนาดผลึกต่างกัน (11, 13 และ 16 นาโนเมตร) ซึ่งถูกปรับปรุงด้วยเซอร์โคเนียเพื่อใช้เป็นตัวรองรับโลหะโคบอลต์ ทั้งนี้จะเตรียมไทเทเนียมโดยวิธีโซลเจลที่แปรค่าอัตราส่วนของน้ำต่ออัลคอกไซด์ตั้งแต่ 164 ถึง 4 จากนั้นจึงนำไทเทเนียมที่ได้ไปใช้เป็นตัวรองรับของโคบอลต์ พบว่าขนาดผลึกของโคบอลต์จะแปรตามขนาดผลึกของไทเทเนียม จากการใช้เทคนิค XPS พบว่าค่า binding energy ของโคบอลต์จะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเปลี่ยนขนาดของไทเทเนียม นอกจากนี้พบว่าค่าความว่องไวของไทเทเนียมที่ไม่ถูกปรับปรุงที่มีขนาดเล็กจะมีมากกว่าขนาดใหญ่ การปรับปรุงด้วยเซอร์โคเนียจะให้ความว่องไวที่เพิ่มขึ้นในทุกกรณี ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าการกระจายตัวของโคบอลต์ที่มากขึ้นจากการทดสอบด้วยการดูดซับทางเคมีด้วยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

คำสำคัญ (ไทย)

ไฮโดรจิเนชันของคาร์บอนมอนอกไซด์; นาโนไทเทเนียม; ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์; การปรับปรุงด้วยเซอร์โคเนีย; มีเทนเนชัน

Abstract

In this present study, CO hydrogenation of carbon monoxide via modified titania-supported cobalt (Co) catalysts was investigated. The nanocrystallite size of titania support was used with zirconia modification. Details of this research are as follows;

In this present study, the zirconia-modified TiO₂ having different crystallite sizes of 11, 13 and 16 nm as support for the cobalt catalysts were investigated. The different TiO₂ crystallites derived from the sol-gel method was obtained by varying the water:alkoxide molar ratios from 165 to 4. Then, the TiO₂ supports were used to yield various Co/TiO₂ catalysts. It was found that the sizes of cobalt oxides species dispersed on TiO₂ were corresponding to TiO₂ sizes. Based on XPS study, the binding energy of Co 2p_{3/2} was not affected by the size of TiO₂. The catalytic activity was measured via CO hydrogenation under methanation condition. In case of unmodified TiO₂ support, the smaller TiO₂ crystallites (Co/TiO₂_11 nm) exhibited higher activity than other larger ones. Moreover, the zirconia modification also resulted in increased activity for all samples. For both cases, it can be attributed to the increased cobalt dispersion with small crystallite size of TiO₂ support coupled with the zirconia modification as measured by CO chemisorption.

Keywords: CO hydrogenation; nano-titania; cobalt catalysts; zirconia modification; methanation

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	2
บทคัดย่อภาษาไทย	3
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	4
สารบัญเรื่อง	5
สารบัญภาพ	6
บทนำ	7
รายละเอียดผลการวิจัย	17
ข้อเสนอแนะ	19
บรรณานุกรม	19
ภาคผนวก	22

Reprint บทความวิจัย

ประวัตินักวิจัย

สารบัญภาพ

รูปที่ 1 แสดงสัณฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์บนตัวรองรับอะลูมินา โดย รูปบนเมื่อไม่มีรูเทเนียมเป็นตัวสนับสนุน และ รูปล่างคือ เมื่อมีรูเทเนียมเป็นตัวสนับสนุน [Jongsomjit et al., 2001]

รูปที่ 2 แสดงรามานสเปกตร้าของตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์ที่รีดิวซ์ที่สภาวะต่างกัน [Jongsomjit et al., 2001]

รูปที่ 3 การกระจายตัวของโคบอลต์บนไทเทเนียมที่มีองค์ประกอบเฟสต่างกัน [Jongsomjit et al., 2005a]

รูปที่ 4 แสดงการกระจายตัวของโคบอลต์บนไทเทเนียมที่มีเฟสรูไทล์ 40% โดยใช้เทคนิค EDX [Jongsomjit et al., 2005b]

รูปที่ 5 ภาพถ่าย TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์บนตัวรองรับเซอร์โคเนียขนาดนาโน (a) ก่อนทำปฏิกิริยา และ (b) หลังทำปฏิกิริยา

รูปที่ 6 ภาพถ่าย SEM และ EDX ของออกไซด์ผสมระหว่างไทเทเนียมกับซิลิกา [Jongsomjit et al., 2006]

รูปที่ 7 แสดงขั้นตอนการวิจัยในโครงการวิจัยนี้

บทนำ

ในปัจจุบันจะเห็นว่าวิกฤติด้านน้ำมันซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักได้ส่งปัญหาไปทั่วโลก ดังนั้นงานวิจัยด้านพลังงานส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นไปในทางการหาเชื้อเพลิงทดแทนเพื่อเป็นทางเลือกในการผลิตน้ำมัน เช่น ไบโอดีเซล เป็นต้น อย่างไรก็ตามการผลิตเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (synthetic fuel) จากแก๊สสังเคราะห์ (syngas) ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนก็ยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากเราสามารถผลิตแก๊สสังเคราะห์ได้จากแก๊สธรรมชาติซึ่งมีมีเทนเป็นองค์ประกอบหลัก โดยใช้ปฏิกิริยา “steam reforming” จากนั้นจึงนำแก๊สสังเคราะห์ที่ได้ไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงสังเคราะห์โดยใช้ปฏิกิริยาฟิชเชอร์-โทรป (Fischer-Tropsch; FT) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาไฮโดรเจนชั้นของคาร์บอนมอนอกไซด์โดยมีอัตราส่วนระหว่าง H_2/CO ประมาณ 2 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้จะประกอบไปด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์บนตัวรองรับ และตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กจะให้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นโอเลฟินส์ โดยโอเลฟินส์จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันต่อไป ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์จะให้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นโซ่ตรง ซึ่งเรียกว่า “petroleum wax” ซึ่งเมื่อนำไปผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยความร้อน (thermal cracking) ก็จะได้น้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซลต่อไป น้ำมันที่ได้จะถือว่าเป็นน้ำมันที่สะอาด (green chemistry) เนื่องจากไม่มีสิ่งเจือปน เช่น กำมะถัน และปรอท เหมือนกับในกรณีของน้ำมันที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ อย่างไรก็ตาม การพัฒนาการผลิตจำเป็นต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสมบัติที่ดี มีความว่องไวสูง และมีค่าการเลือกเกิดที่ดี แนวทางหนึ่งที่ทำได้ คือ การพัฒนาตัวรองรับที่เหมาะสม โดยให้โลหะโคบอลต์ยึดติดกับตัวรองรับที่ผ่านการปรับปรุง (modified support) งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาการปรับปรุงตัวรองรับที่มีอยู่ให้เหมาะสมเพื่อนำไปใช้เป็นตัวรองรับสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงสังเคราะห์ต่อไป นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังมุ่งเน้นถึงการนำตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับปฏิกิริยาการคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไฮโดรเจนชั้นแทนการใช้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยเป็นที่ทราบกันว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ดังนั้นถ้าเราสามารถนำแก๊สนี้ไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงสังเคราะห์ได้ก็น่าจะเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงสังเคราะห์ไปพร้อมๆ กับการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์บนตัวรองรับที่ถูกปรับปรุงให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นสำหรับใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงสังเคราะห์โดยปฏิกิริยาไฮโดรเจนชั้นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีขอบเขตของโครงการวิจัย คือ

- 1) เตรียมตัวรองรับที่ถูกปรับปรุงชนิดต่าง ๆ โดยวิธีการเคลือบฝัง (impregnation)

- 2) เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์โดยใช้ตัวรองรับที่ถูกปรับปรุง
- 3) ทดสอบคุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา
- 4) ทดสอบความว่องไวและค่าการเลือกเกิดของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์
- 5) สรุปและวิเคราะห์ผล จัดทำรายงานและเผยแพร่งานวิจัย

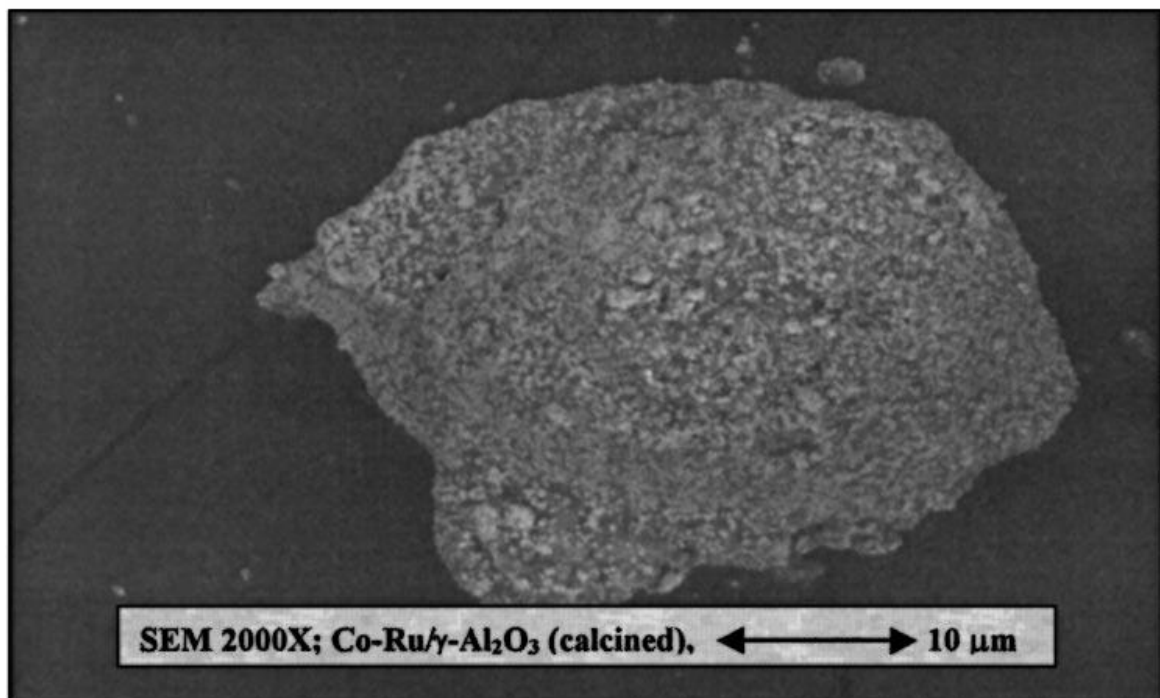
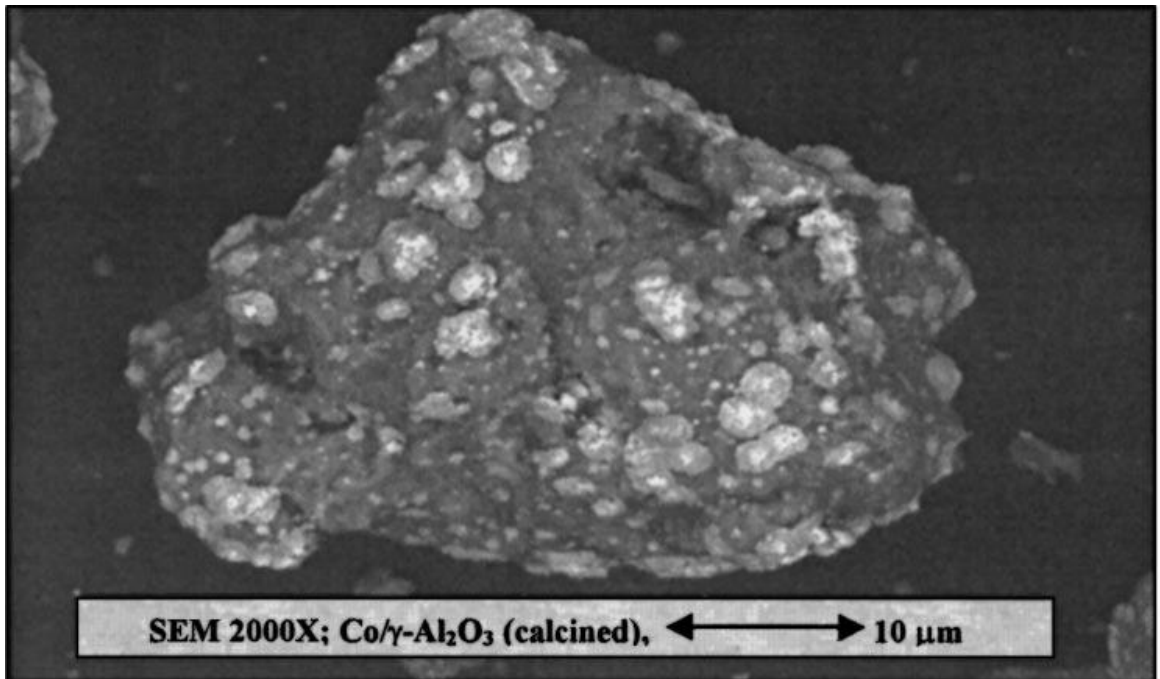
ในส่วนของทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัยสามารถกล่าวได้ดังนี้คือ โดยทั่วไปตัวเร่งปฏิกิริยาจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ส่วนที่ว่องไว (active phase) ตัวรองรับ (support) และตัวสนับสนุน (promoter) เป็นที่ทราบกันว่าสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ขึ้นมาขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทั้ง 3 ส่วนตามที่ได้อธิบายไปแล้ว เมื่อพิจารณาในส่วนของส่วนที่ว่องไว พบว่าส่วนใหญ่จะเป็นโลหะทรานซิชัน ซึ่งส่วนที่ว่องไวก็ต้องมีความเฉพาะเจาะจง (selective) สำหรับสารที่ทำปฏิกิริยาดังนั้นนอกจากชนิดของโลหะที่ต้องมีความเฉพาะแล้ว โครงสร้างหรือสถานะออกซิเดชันของโลหะยังต้องมีความเหมาะสมอีกด้วย ดังนั้นส่วนที่ว่องไวอาจเป็นโลหะเดี่ยว (ที่มีประจุเป็นศูนย์) โลหะออกไซด์ โลหะซัลไฟด์ หรือโลหะคาร์ไบด์ เป็นต้น การปรับปรุงสมบัติของส่วนที่ว่องไวอาจทำได้โดยการเติมตัวสนับสนุนลงไป โดยตัวสนับสนุนจะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ตัวสนับสนุนโครงสร้าง (textural promoter) และตัวสนับสนุนเคมี (chemical promoter) โดยตัวสนับสนุนโครงสร้างจะช่วยปรับปรุงให้ส่วนที่ว่องไวมีสมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้น เช่น ความต้านทานความร้อน ความแข็งแรงเชิงกล และเพิ่มการกระจายตัวของส่วนที่ว่องไว เป็นต้น ตัวสนับสนุนเคมีจะเป็นช่วยเพิ่มความว่องไวและสมบัติทางเคมีให้กับส่วนที่ว่องไว อย่างไรก็ตามนอกจากชนิดของส่วนที่ว่องไวและตัวสนับสนุนแล้ว ตัวรองรับก็เป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเช่นกัน โดยหน้าที่หลักของตัวรองรับ คือ ช่วยให้ส่วนที่ว่องไวมีการกระจายตัว (dispersion) ที่ดี ดังนั้นตัวรองรับส่วนใหญ่จึงต้องเป็นสารที่มีรูพรุนและมีพื้นที่ผิวสูงเพื่อให้เกิดการกระจายตัวที่ดีของโลหะที่เป็นส่วนที่ว่องไว นอกจากนี้ตัวรองรับยังต้องมีสมบัติเชิงกลและความร้อนที่ดี เพราะปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะทำให้อุณหภูมิสูง ตัวรองรับที่นำมาใช้กันมากส่วนใหญ่จะเป็นตัวรองรับอนินทรีย์ ได้แก่ อะลูมินา ซิลิกา ไทเทเนีย เป็นต้น ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์บนตัวรองรับเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหลักที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากแก๊สสังเคราะห์ในปฏิกิริยาฟิชเชอร์-โทรปซึ่งจะให้ความว่องไวที่สูงและได้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นจ๊อฟีนปีโตรเลียมที่นำไปผ่านการย่อยสลายด้วยความร้อนก็จะได้น้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ออกมาซึ่งแสดงได้ตามสมการที่ 1



สมการที่ 1 แสดงการผลิตเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์

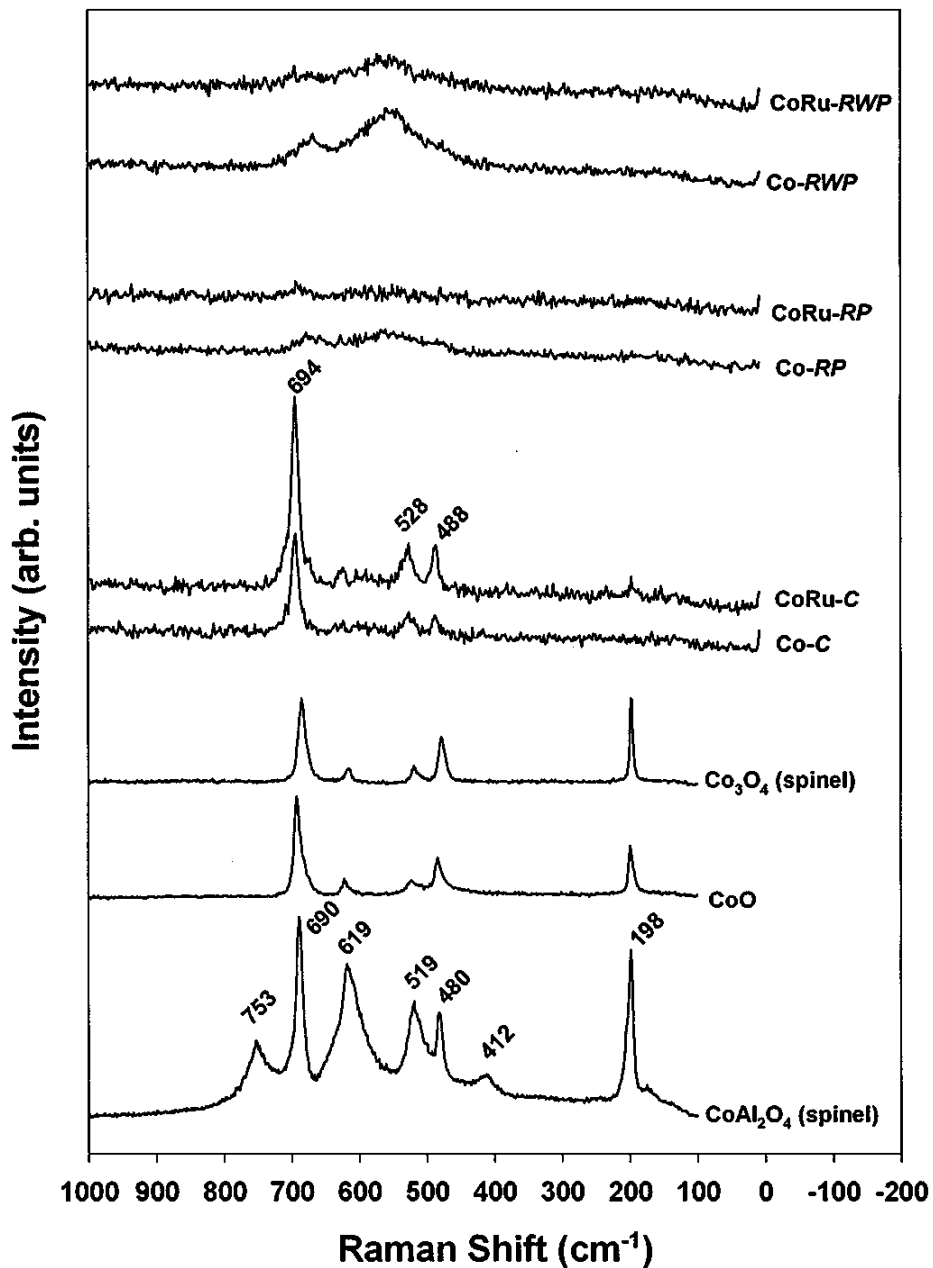
อย่างไรก็ตามการใช้ตัวรองรับชนิดเดียวก็อาจจะยังมีสมบัติไม่เหมาะสมเนื่องจากโคบอลต์สามารถเกิดอันตรกิริยา (interaction) กับตัวรองรับหรือเกิดเป็นสารประกอบระหว่างโคบอลต์กับตัวรองรับ (cobalt-support compound formation, Co-SCF) ส่งผลให้ความว่องไวหรือประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวแนวทางหนึ่งที่ทำได้ คือ การปรับปรุงตัวรองรับก่อนที่จะนำไปเคลือบฝังกับโลหะโคบอลต์ โดยการปรับปรุง (modification) ทำให้ได้โดยเติมเกลือของโลหะบางชนิดลงไปบนตัวรองรับเพื่อลดอันตรกิริยาดังกล่าวให้น้อยลง แนวทางดังกล่าวจะช่วยลดอันตรกิริยาระหว่างโคบอลต์กับตัวรองรับได้

ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์บนตัวรองรับชนิดต่าง ๆ ได้ถูกนำมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงสังเคราะห์ได้แก่ น้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซล จากแก๊สสังเคราะห์โดยปฏิกิริยาฟิชเชอร์โทรป ตัวอย่างเช่น การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์บนตัวรองรับอะลูมินา [Jongsomjit et al., 2001] ซึ่งสังเคราะห์โดยการเคลือบฝังเกลือโคบอลต์ในเตาหลงบนตัวรองรับอะลูมินาที่มีเฟสเป็นแกมมา โดยมีการเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์ที่มีรูเทเนียม (Ru) เป็นตัวสนับสนุนภายหลังการเผาที่อุณหภูมิสูงในอากาศ (calcination) จะได้ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกันจากภาพถ่ายอิเล็กตรอนโดยการส่อง SEM ซึ่งแสดงได้ตามรูปที่ 1 โดยภาพที่เห็นทั้งก่อนคือ ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งหมดโดยทั้งก่อนคือ อะลูมินา และจุดสีขาว คือ โคบอลต์ออกไซด์ที่แทรกตัวอยู่ในรูพรุนและที่ผิวของตัวรองรับอะลูมินา จากรูปจะเห็นว่าภายหลังการเติมรูเทเนียมโคบอลต์ซึ่งเป็นจุดสีขาวจะมีขนาดเล็กกลางซึ่งแสดงถึงการกระจายตัวที่ดีขึ้นนั่นเอง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือ ศึกษาสมบัติของสารประกอบระหว่างโคบอลต์กับตัวรองรับอะลูมินาที่เกิดขึ้นในสถานะต่าง ๆ กัน ซึ่งสารประกอบที่เกิดขึ้นจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพลดลง โดยการทดลองจะเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์ก่อน จากนั้นจึงนำไปรีดิวซ์ที่สถานะต่าง ๆ กันโดยปรับปริมาณของน้ำที่เกิดขึ้นในระหว่างการรีดักชัน การรีดักชันนี้ทำขึ้นเพื่อเปลี่ยนโคบอลต์ออกไซด์ที่ได้จากการเผาให้อยู่ในรูปของโลหะโคบอลต์เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของคาร์บอนมอนอกไซด์จะเกิดขึ้นได้ดีในสถานะที่เป็นโลหะโคบอลต์ (ไม่ใช่โคบอลต์ออกไซด์) ดังนั้นถ้าเราสามารถรีดิวซ์โคบอลต์ออกไซด์ให้กลายเป็นโลหะโคบอลต์ได้ทั้งหมดถือว่าเราจะได้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด อย่างไรก็ตามในระหว่างการรีดักชันโดยใช้แก๊สไฮโดรเจนที่อุณหภูมิสูงพบว่าจะมีไอน้ำเกิดขึ้นมาเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง (byproduct) โดยปริมาณไอน้ำที่เกิดขึ้นจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการรีดักชันของโคบอลต์ออกไซด์



รูปที่ 1 แสดงลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์บนตัวรองรับอะลูมินาโดย รูปบนเมื่อไม่มีรูเทเนียมเป็นตัวสนับสนุน และ รูปล่างคือ เมื่อมีรูเทเนียมเป็นตัวสนับสนุน [Jongsomjit et al., 2001]

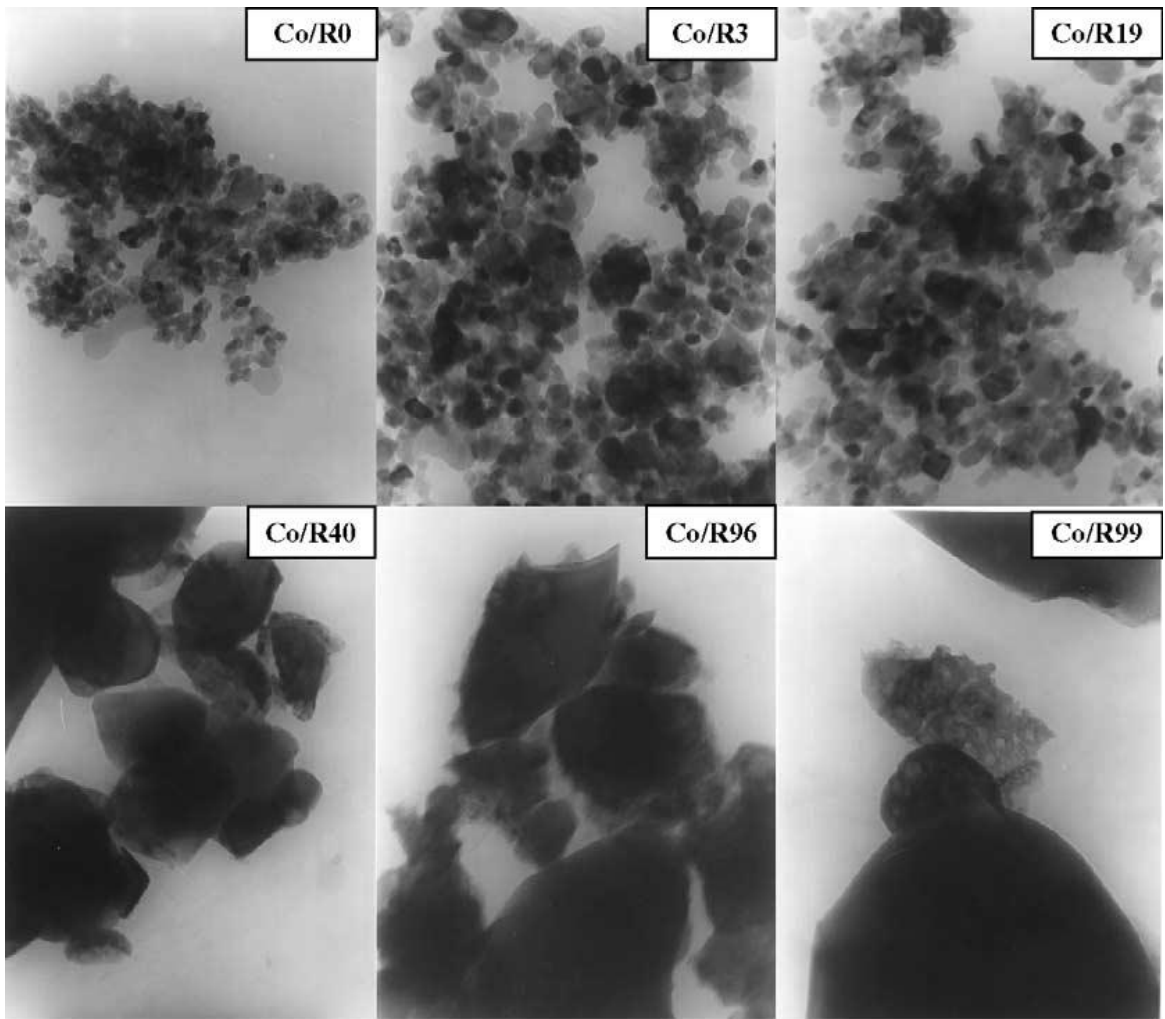
ทำให้การรีดิวซ์ของโคบอลต์ออกไซด์ไปเป็นโลหะโคบอลต์มากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของโคบอลต์ลงไปในอะลูมินาและเกิดสารประกอบระหว่างโคบอลต์กับอะลูมินาขึ้น ซึ่งจากการทดสอบสารประกอบดังกล่าวโดยใช้รามานสเปกโตรสโคปี (Raman spectroscopy) พบว่าสารประกอบดังกล่าวจะมีโครงสร้างต่างจากโคบอลต์อะลูมินेटที่มีโครงสร้างเป็นแบบสปินเนล (spinel) ซึ่งแสดงได้ตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงรามานสเปกตรัมของตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์รีดิวซ์ที่สถานะต่างกัน [Jongsomjit et al., 2001]

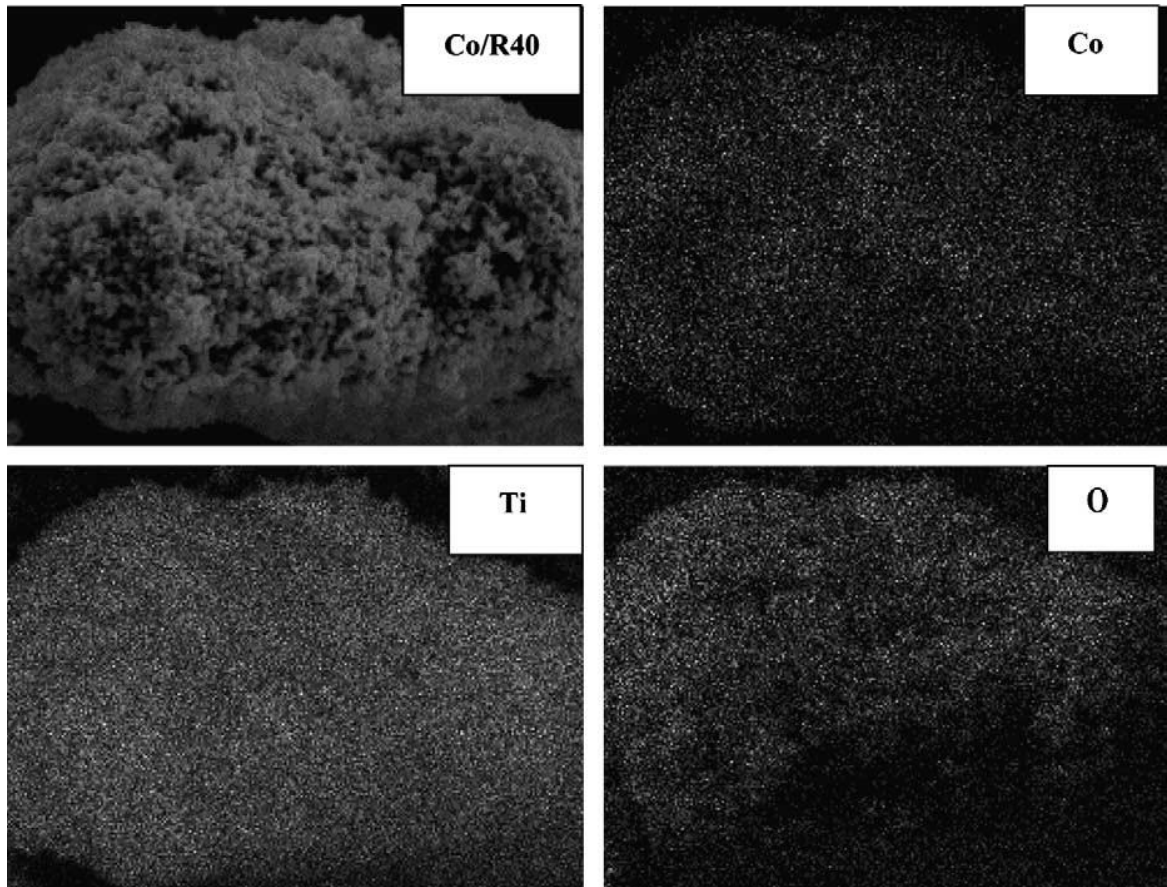
การศึกษาพบว่าการใช้รูเทเนียมเป็นตัวสนับสนุนจะช่วยลดการเกิดสารประกอบดังกล่าวได้ นอกจากนี้งานวิจัยต่อมายังพบว่าการใช้แก๊สผสมระหว่างไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์ในอัตราส่วนที่พอเหมาะในระหว่างการรีดักชันจะช่วยลดการเกิดสารประกอบดังกล่าวได้ [Jongsomjit and Goodwin, 2002] นอกจากนี้ยังพบอีกว่าการใช้เซอร์โคเนียเป็นตัวปรับปรุงตัวรองรับอะลูมินาก็จะทำให้ความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากประสิทธิภาพการรีดักชันที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง [Jongsomjit et al., 2003]

นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาผลของตัวรองรับชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาอีกด้วยได้แก่ ไทเทเนีย โดยพบว่าตัวรองรับไทเทเนียก็สามารถทำให้เกิดสารประกอบระหว่างโคบอลต์กับไทเทเนียได้ [Jongsomjit et al., 2004] งานวิจัยถัดมายังพบอีกว่าไทเทเนียที่มีเฟสต่างกันจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์ที่สังเคราะห์ได้มีประสิทธิภาพต่างกัน โดยพบว่าถ้าตัวรองรับไทเทเนียมีเฟสผสมระหว่างอะนาเทสกับรูไทล์ในอัตราส่วน 19 ต่อ 81 จะให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความว่องไวมากที่สุด [Jongsomjit et al., 2005a] โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ของเฟสและการกระจายตัวของโคบอลต์โดยใช้เทคนิค transmission electron spectroscopy (TEM) ได้ตามรูปที่ 3 โดยพบว่าโคบอลต์จะมีการกระจายตัวที่แตกต่างกันบนตัวรองรับไทเทเนียที่มีส่วนผสมของเฟสที่แตกต่างกัน โดยที่การกระจายตัวที่แตกต่างกันนี้จะส่งผลไปถึงปริมาณการดูดซับของไฮโดรเจนบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยา [Jongsomjit et al., 2005b] ทั้งนี้สามารถแสดงการกระจายตัวของโคบอลต์โดยใช้เทคนิค energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) ดังรูปที่



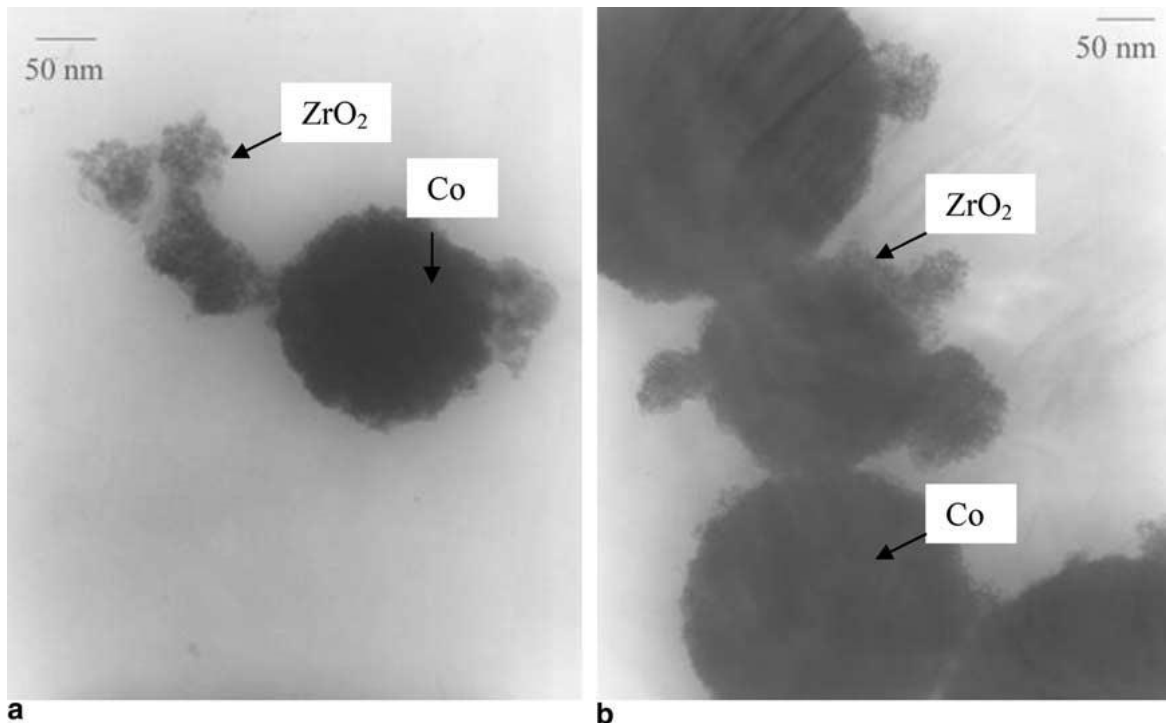
— 50 nm
100kV x 100k

รูปที่ 3 การกระจายตัวของโคบอลต์บนไทเทเนียมที่มีองค์ประกอบเฟสต่างกัน [Jongsomjit et al., 2005a]



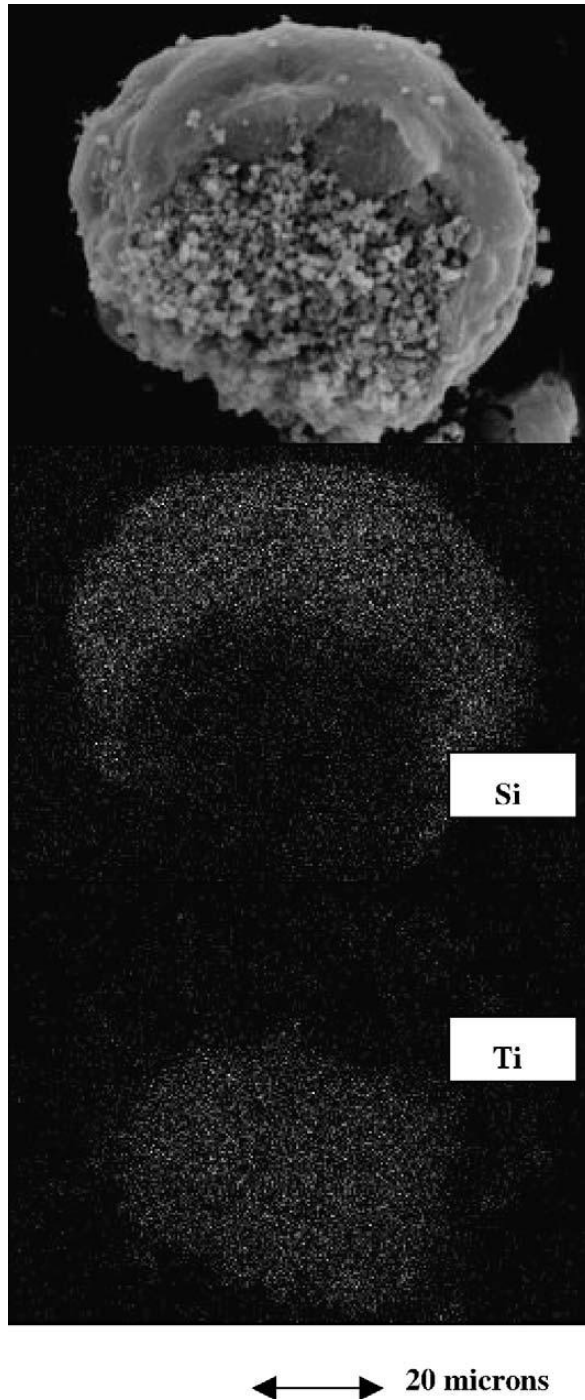
รูปที่ 4 แสดงการกระจายตัวของโคบอลต์บนไทเทเนียมที่มีเฟสรูไทล์ 40% โดยใช้เทคนิค EDX [Jongsomjit et al., 2005b]

นอกจากนี้งานวิจัยในช่วงต่อมายังพบว่าการใช้ตัวรองรับที่มีขนาดผลึกที่แตกต่างกัน เช่น ขนาดไมครอนและขนาดนาโน ก็จะทำให้โคบอลต์มีการกระจายตัวที่ต่างกัน โดยในปี 2006 Panpranot และคณะ [Panpranot et al., 2006] ได้ศึกษาสมบัติของโคบอลต์ที่กระจายตัวอยู่บนตัวรองรับเซอร์โคเนียที่มีขนาดต่างกันพบว่าโคบอลต์จะกระจายตัวดังรูปที่ 5 โดยตัวรองรับเซอร์โคเนียที่มีขนาดผลึกอยู่ในระดับนาโนเมตรจะให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความว่องไวมากกว่าถึงสิบเท่า



รูปที่ 5 ภาพถ่าย TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์บนตัวรองรับเซอร์โคเนียขนาดนาโน (a) ก่อนทำปฏิกิริยา และ (b) หลังทำปฏิกิริยา

งานวิจัยต่อมายังพบว่าการใช้ออกไซด์ผสมระหว่างซิลิกากับไทเทเนียก็ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์ได้เช่นกัน โดยพบว่าปริมาณไทเทเนียที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความว่องไวลดลงแต่ค่าการเลือกเกิดของผลิตภัณฑ์ที่เป็นโซ่ยาวเพิ่มขึ้น [Jongsomjit et al., 2006] ออกไซด์ผสมระหว่างไทเทเนียกับซิลิกาสามารถแสดงได้ตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 ภาพถ่าย SEM และ EDX ของออกไซด์ผสมระหว่างไทเทเนียมกับซิลิกา [Jongsomjit et al., 2006]

งานวิจัยต่อมายังพบว่าการใช้เซอร์โคเนียเป็นตัวปรับปรุงตัวรองรับไทเทเนียมที่มีเฟสต่างกันจะมีผลดีเฉพาะการปรับปรุงไทเทเนียมที่เป็นเฟสผสมเท่านั้น แต่ในกรณีของไทเทเนียมที่เป็นเฟสอเนกเทศเพียงอย่างเดียวจะให้ผลที่ด้อยกว่า [Wongsalee et al., 2006] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาประสิทธิภาพของโคบอลต์บนตัวรองรับผสมซิลิกากับเซอร์โคเนียที่มีขนาดนาโน

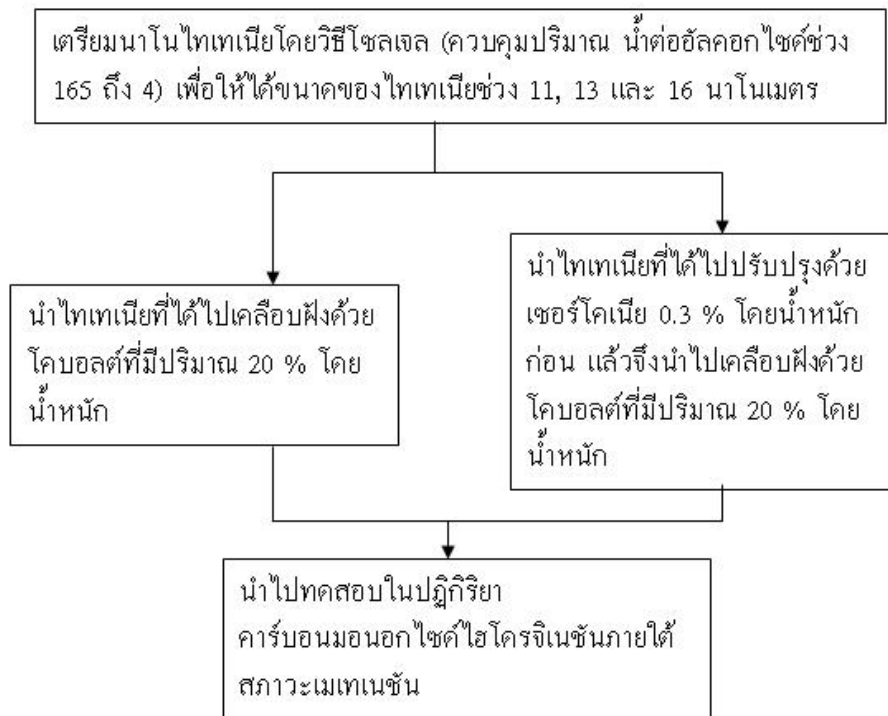
[Jongsomjit et al., 2007a] ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์บนตัวรองรับ MCM-41 [Jongsomjit et al., 2007b] และตัวรองรับซึ่งเป็นออกไซด์ผสมระหว่างอะลูมินากับเซอร์โคเนียซึ่งมีขนาดใน ระดับนาโนอีกด้วย [Burakorn et al., 2008]

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงไทเทเนียด้วยแมงกานีส (Mn) และ ใช้เป็นตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์ สำหรับปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ไฮโดรจิเนชัน (CO hydrogenation) โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจะเป็นโอเลฟินที่มีสายโซ่สั้น [Atashi et al., 2010] ทั้งนี้โดยใช้อัตราการป้อน H_2/CO อยู่ในช่วง 1-3 โดยโมล

รายละเอียดผลการวิจัย

ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์บนตัวรองรับชนิดต่างๆ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพมากสำหรับใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงสังเคราะห์โดยใช้ปฏิกิริยาฟิชเชอร์โทรป อย่างไรก็ตามตัวรองรับอาจไม่มีสมบัติที่เหมาะสมดังนั้นจำเป็นต้องมีการปรับปรุงตัวรองรับที่ใช้ให้มีสมบัติดียิ่งขึ้น ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาศาสตร์ทางด้านนาโนเทคโนโลยีอย่างมาก ทำให้สามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนได้หลากหลายและนำไปประยุกต์ใช้ได้มากขึ้น อนุภาคนาโนไทเทเนียก็เป็นสารชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยา งานวิจัยนี้จึงนำนาโนไทเทเนียมาใช้เป็นตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์ ปัจจัยที่นำมาศึกษา คือ ขนาดผลึกของนาโนไทเทเนียที่ต่างกัน 3 ขนาด คือ 10, 13 และ 16 นาโนเมตร นอกจากนี้ก็ยังนำนาโนไทเทเนียดังกล่าวไปปรับปรุงด้วยเซอร์โคเนีย เพื่อศึกษาผลของเซอร์โคเนียที่มีต่อคุณลักษณะและสมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อย่างไรก็ตามในส่วนของการทดสอบเร่งปฏิกิริยานั้น คณะผู้วิจัยไม่สามารถทดสอบภายใต้สภาวะฟิชเชอร์โทรปได้ เนื่องจาก ข้อจำกัดของเครื่องมือที่มีอยู่ ดังนั้นจึงทดสอบความว่องและค่าการเลือกเกิดของตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดได้ ภายใต้สภาวะเมเทนชันเท่านั้น ซึ่งค่าความว่องไวดังกล่าวก็จะแปรผันตามความว่องไวในปฏิกิริยาฟิชเชอร์โทรปเช่นกัน ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแสดงได้ตามรูปที่ 7

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



หมายเหตุ การทดสอบคุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาทำโดยใช้เทคนิคต่าง ๆ ต่อไปนี้ คือ N_2 -physisorption, XRD, SEM/EDX, TEM, XPS และ CO chemisorption

รูปที่ 7 แสดงขั้นตอนการวิจัยในโครงการวิจัยนี้

หนึ่งในส่วนของรายละเอียดวิธีการเตรียมตัวอย่าง สภาวะที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะ ผลการทดลองและการวิจารณ์ผลการทดลองโดยละเอียด คณะผู้วิจัยขออ้างตามบทความวิจัยซึ่งเป็นผลผลิตของโครงการวิจัยนี้ คือ เรื่อง “Zirconia modification on nanocrystalline titania-supported cobalt catalysts for methanation”, Engineering Journal ,16 (4) (2012), 29-38, [K. Pinkaew, O. Mekasuwandumrong, J. Panpranot, A. Shotipruk, P. Praserthdam, J.G. Goodwin, Jr., and **B. Jongsomjit***] (ตามเอกสารแนบท้าย)

กล่าวโดยสรุป คือ จากการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์บนตัวรองรับไทเทเนียมที่มีขนาดผลึกต่างกัน พบว่า ไทเทเนียมที่มีผลึกขนาดเล็กจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์มีความว่องไวสูงกว่าไทเทเนียมที่มีผลึกขนาดใหญ่ ทั้งนี้เนื่องมาจากขนาดผลึกของโคบอลต์จะแปรตามขนาดผลึกของไทเทเนียม ทำให้เกิดการกระจายตัวที่ดี นอกจากนี้ยังพบว่า การปรับปรุงตัวรองรับไทเทเนียมด้วยเซอร์โคเนีย จะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์มีความว่องไวเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะการปรับปรุงด้วยเซอร์โคเนียจะส่งผลต่อไทเทเนียมที่มีผลึกขนาดใหญ่มากกว่าไทเทเนียมที่มีผลึกขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังพบว่า การปรับปรุงด้วยเซอร์โคเนียจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นไฮโดรคาร์บอนโซ่ยาวมีแนวโน้มลดลง

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาในสภาวะเมเทนเนชัน (methanation) ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นมีเทนเท่านั้น แม้ว่าค่าความว่องไวที่ได้จากปฏิกิริยานี้จะแปรตามค่าความว่องไวที่ได้จากปฏิกิริยาฟิชเชอร์โทรป แต่ก็ควรทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาในสภาวะฟิชเชอร์โทรปต่อไปเพื่อให้ได้เชื้อเพลิงสังเคราะห์ อย่างไรก็ตามหากต้องทำการทดลองในส่วนนี้จำเป็นจะต้องเพิ่มเติมครุภัณฑ์ในส่วนของ GC-online และ Capillary column เพื่อให้สามารถแยกผลิตภัณฑ์ C1-C20 ต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] "Co-Support Compound Formation in Alumina-Supported Cobalt Catalysts", *Journal of Catalysis* 204, 98-109 (2001) (Bunjerd Jongsomjit, Joongjai Panpranot, and James G. Goodwin, Jr. *). Impact factor (ISI) = 4.533.
- [2] "Co-Support Compound Formation in Co/Al₂O₃ Catalysts: Effect of Reduction Gas Containing CO", *Catalysis Today* 77, 191-204 (2002) (Bunjerd Jongsomjit and James G. Goodwin, Jr. *). Impact factor (ISI) = 2.148.
- [3] "Effect of Zirconia-Modified Alumina on the Properties of Co/ γ -Al₂O₃ Catalysts", *Journal of Catalysis* 215, 66-77 (2003) (Bunjerd Jongsomjit, Joongjai Panpranot, and James G. Goodwin, Jr. *). Impact factor (ISI) = 4.533.
- [4] "Co-Support Compound Formation in Titania-Supported Cobalt Catalysts", *Catalysis Letters* 94 (2004) 209-215, [Bunjerd Jongsomjit *, Chitlada Sakdamnusun, James G. Goodwin, Jr., and Piyasan Prasertthdam]. Impact Factor (ISI) = 1.772.

- [5] “Study of cobalt dispersion on titania consisting various rutile:anatase ratios”, *Materials Chemistry and Physics* 92 (2005) 572-577, [Bunjerd Jongsomjit*, Tipnapa Wongsalee, and Piyasan Praserthdam]. Impact Factor (ISI) = 1.657.
- [6] “Characteristics and catalytic properties of Co/TiO₂ for various rutile:anatase ratios”, *Catalysis Communications* 6 (2005) 705-710, [Bunjerd Jongsomjit*, Tipnapa Wongsalee, and Piyasan Praserthdam]. Impact factor (ISI) = 1.878.
- [7] “Differences in characteristics and catalytic properties of Co catalysts supported on micro- and nano-sized zirconia”, *Catalysis Communications*, 7 (2006) 192-197, [Joongjai Panpranot*, Nuttakarn Taochaiyaphum, Bunjerd Jongsomjit, and Piyasan Praserthdam]. Impact factor (ISI) = 1.878.
- [8] “Catalytic behaviors of mixed TiO₂-SiO₂-supported cobalt Fischer-Tropsch catalysts for carbon monoxide hydrogenation”, *Materials Chemistry and Physics*, 97 (2006), 343-350, [Bunjerd Jongsomjit*, Tipnapa Wongsalee, and Piyasan Praserthdam]. Impact factor (ISI) = 1.657.
- [9] “Effect of Zirconia-Modified Titania Consisting of Different Phases on Characteristics and Catalytic Properties of Co/TiO₂ Catalysts”, *Catalysis Letters*, 108 (2006), 55-61, [Tipnapa Wongsalee, Bunjerd Jongsomjit* and Piyasan Praserthdam]. Impact factor (ISI) = 1.772.
- [10] “Study of cobalt dispersion onto the mixed nano-SiO₂-ZrO₂ supports and its application as a catalytic phase”, *Materials Chemistry and Physics*, 105 (2007), 14-19, [Bunjerd Jongsomjit*, Sujitra Kittiruangrayab, and Piyasan Praserthdam]. Impact factor (ISI) = 1.657.
- [11] “Impact of boron modification on MCM-41-supported cobalt catalysts for hydrogenation of carbon monoxide”, *Catalysis Letters*, 118 (2007), 195-202, [Pimchanok Tupabut, Bunjerd Jongsomjit*, and Piyasan Praserthdam]. Impact factor (ISI) = 1.772.
- [12] “Characterization of cobalt dispersed on the mixed nano-Al₂O₃-ZrO₂ supports”, *Journal of Materials Processing Technology*, 206, 2008, 352-358, [Tanuchnun Burakorn, Joongjai Panpranot, Okorn Mekasuwandumrong, Choowong Chaisak, Piyasan Praserthdam, and Bunjerd Jongsomjit*, Impact factor (ISI) = 0.615.

[13] “Synthesis of spherical silica by sol-gel method and its application as catalyst support”, *AICHE*, 10 (2010), , 25-30, [Anirut Leksomboon and Bunjerd Jongsomjit*], Impact factor (ISI) = -

[14] “Investigation of Ti-Si composite oxide-supported cobalt catalysts over CO₂ hydrogenation, *Journal of Natural Gas Conversion*”, 20, 2011, 558-564, [Jakrapan Janlamool, Piyasan Prasertdam, and Bunjerd Jongsomjit*], Impact factor (ISI) = 1.345

[15] “Kinetic study of Fischer-Tropsch process on titania-supported cobalt-manganese catalyst”, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 16, 2010, 952-961, [H. Atashi, F. Siami, A.A. Mirzaei, and M. Sarkari], Impact factor (ISI) = 1.977

ภาคผนวก

Reprint ผลงานวิจัย

- [1] “Zirconia modification on nanocrystalline titania-supported cobalt catalysts for methanation”, Engineering Journal ,16 (4) (2012), 29-38, [K. Pinkaew, O. Mekasuwandumrong, J. Panpranot, A. Shotipruk, P. Prasertdam, J.G. Goodwin, Jr., and **B. Jongsomjit***].

ประวัตินักวิจัย

นายบรรเจ็ด จงสมจิตร

ตำแหน่ง: รองศาสตราจารย์

ที่ทำงาน: ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10330

อีเมล: bunjerd.j@chula.ac.th

ที่อยู่ (ทะเบียนบ้าน): 2/57 หมู่ 5 ต. ท่ามะขาม
อ. เมือง จ. กาญจนบุรี 71000

วันเดือนปีเกิด: 9 สิงหาคม 2510

สถานที่เกิด: จังหวัดหนองคาย

การศึกษา:

ปี	วุฒิการศึกษา	สถาบัน
2545	ปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมเคมี	University of Pittsburgh, PA, USA
2542	ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเคมี	Colorado School of Mines, CO, USA
2533	ปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์ (เคมี) เกียรตินิยมอันดับสอง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สาขาที่เชี่ยวชาญ: การเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ & ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการพอลิเมอร์ไรเซชันของโอเลฟิน

ประสบการณ์การทำงาน:

ปี	ตำแหน่ง	สถาบัน/องค์กร
2545-ปัจจุบัน	อาจารย์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2539-2545	นักเรียนทุนรัฐบาล	Colorado School of Mines, CO, USA University of Pittsburg, PA, USA
2533-2539	หัวหน้าแผนกส่งเสริมการผลิต	บริษัท ไทยวนภัณฑ์ จำกัด กลุ่มวัสดุก่อสร้าง เครื่องซีเมนต์ไทย

การฝึกอบรมด้านวิจัย:

ช่วงเวลา	กิจกรรม
15 มีนาคม - 31 พฤษภาคม 2548	ฝึกอบรมวิจัยเรื่อง “ <i>In situ</i> polymerization via nano-particles-supported metallocene catalysts: a promising way for making polymer nanocomposites” ณ Hiroshima University ฮิโรชิมา ประเทศญี่ปุ่น
19-30 มกราคม 2547	เยี่ยมชมศูนย์วิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีในประเทศแถบยุโรป ได้แก่ อิตาลี อังกฤษ เนเธอร์แลนด์ เยอรมันนี และสวิตเซอร์แลนด์
1 สิงหาคม - 31 ธันวาคม 2546	ฝึกอบรมวิจัยเรื่อง “Supported metallocene catalysts for living polymerization of propene” ณ Tokyo Institute of Technology, โตเกียว ประเทศญี่ปุ่น

กิจกรรมบริการวิชาการอื่น ๆ :

เป็นผู้ประเมินบทความวิจัยต่างประเทศ ดังนี้

สำนักพิมพ์	วารสาร
The American Chemical Society	Journal of Physical Chemistry
	Industrial & Engineering Chemistry Research
	Chemical Reviews
Elsevier	Applied Catalysis A: General
	Catalysis Communications
	Materials Chemistry and Physics
	European Polymer Journal
	Chemical Engineering Journal
	Polymer
	Journal of Alloys and Compounds
	International Journal of Hydrogen Energy
	Inorganic Chemistry Communications
	Fuel Processing Technology
	Journal of Industrial & Engineering Chemistry
Springer	Catalysis Letters
	Polymer Bulletin
Wiley	Journal of Applied Polymer Science
	Macromolecular Reaction Engineering

เป็นกองบรรณาธิการ (Editorial Board) วารสาร “the Open Catalysis Journal”

ประกาศเกียรติคุณ :

ปี	รางวัล
2554	ผลงานวิจัยดีเด่น สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย (สภาวิจัยแห่งชาติ)
2553	นักวิจัยดีเด่น สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
2552	ผลงานวิจัยดีมาก (กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
2550	รางวัลนักวิจัยรุ่นใหม่ดีเด่น (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและคณะกรรมการอุดมศึกษาแห่งชาติ)
2548	ผลงานวิจัยดีมาก (กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
2547	ผลงานวิจัยดีเด่น (กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
2545	KOKES Student Award (17 th North American Catalysis Conference, Toronto, Canada)

ทุนวิจัยที่ได้รับ :

ปี	แหล่งทุน
2554-2555	ทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน (NRCT)
2552-2555	ทุนวิจัยพื้นฐานเชิงยุทธศาสตร์ “นาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี” (TRF-CHE)
2550-2553	ทุนพัฒนาการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ในสถาบันอุดมศึกษา (TRF-CHE)
2550-2552	ทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน (NRCT)
2548-2550	ทุนพัฒนาการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ในสถาบันอุดมศึกษา (TRF-CHE)
2548-2549	ทุนพัฒนาอาจารย์ใหม่ (NSTDA)
2547-2549	ทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน (NRCT)
2546-2548	ทุนพัฒนาการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ในสถาบันอุดมศึกษา (TRF-CHE)

บทความวิจัยในระดับนานาชาติ (Bunjerd Jongsomjit)

ณ วันที่ 8 มกราคม 2556

No.	Title	Journal	Year	Volume & Page number	Author	Impact Factor (JCR-2011)
95	Transesterification of palm oil at near supercritical conditions using sulfonated carbon-based acid catalyst	<i>Chemical Engineering Communications</i>	2012	In press	Phimphitcha Chanchaochai, Panatpong Boonnoun, Navadol Laosiripojana, Motonobu Goto, Bunjerd Jongsomjit , Joongjai Panpranot, Okorn Mekasuwandumrong, Artiwan Shotipruk	0.946
94	Characteristics of activated carbons derived from deoiled rice bran residues	<i>Chemical Engineering Communications</i>	2012	In press	Benjapol Niticharoenwong, Artiwan Shotipruk, Okorn Mekasuwandumrong, Joongjai Panpranot, Bunjerd Jongsomjit *	0.946
93	Effect of nanocrystallite size of TiO ₂ in Co/TiO ₂ and TiO ₂ -Ru catalyst on methanation	<i>Korean Journal of Chemical Engineering</i>	2012	30(1), 50-54	Kitima Pinkaew, Piyasan Praserttham, Bunjerd Jongsomjit *	0.991
92	Copolymerization of ethylene/1-olefin with mesoporous titania-supported zirconocene/MAO catalyst	<i>Engineering Journal</i>	2012	16 (5), 9-15	Somchart Amornlertpreecha, Takeshi Shiono, Bunjerd Jongsomjit *	Scopus
91	CO ₂ hydrogenation over Co/Al ₂ O ₃ catalysts prepared via a solid-state reaction of fine gibbsite and cobalt precursors	<i>Reaction Kinetics, Mechanisms, Catalysis</i>	2012	107(1), 179-188	Natpakan Srisawad, Wasu Chaitree, Okorn Mekasuwandumrong, Artiwan Shotipruk, Bunjerd Jongsomjit , Joongjai Panpranot	0.927
90	Observation on inhibition of Ti ³⁺ reduction by fumed silica addition in Ziegler-Natta catalyst with in situ ESR	<i>Journal of Industrial and Engineering Chemistry</i>	2012	18, 1888-1892	Jirawat Pinyocheep, Sirachaya Kunjara Na Ayudhya, Bunjerd Jongsomjit , Piyasan Praserttham	1.977
89	Zirconia modification on nanocrystalline titania-supported cobalt for methanation	<i>Engineering Journal</i>	2012	16 (4), 30-37	Kitima Pinkaew, Okorn Mekasuwandumrong, Joongjai Panpranot, Artiwan Shotipruk, Piyasan Praserttham, James G. Goodwin, Jr., Bunjerd Jongsomjit *	Scopus
88	Effect of cobalt precursors on properties of Co/ClAl ₂ O ₄ catalysts synthesized by solvothermal method	<i>Engineering Journal</i>	2012	16 (4), 6-13	Sirirat Rojanapipatkul, James G. Goodwin, Jr., Piyasan Praserttham, Bunjerd Jongsomjit *	Scopus
87	Effect of Ga- and BCl ₃ -modified silica-supported t-BuNSiMe ₂ (2,7-t-Bu ₂ Flu)] TiMe ₂ /MAO catalyst on ethylene/1-hexene copolymerization	<i>European Polymer Journal</i>	2012	48, 1304-1312	Patcharaporn Kaivalchatchawal, Sutheerawat Samingprai, Takeshi Shiono, Piyasan Praserttham and Bunjerd Jongsomjit *	2.739
86	Catalytic performance of ZnO nanoparticle in formation of LLDPE/ZnO nanocomposites	<i>Iranian Polymer Journal</i>	2012	21, 51-63	Ekrachan Chaichana, Apiwat Ngowthanawat, Okorn	0.936

85	LLDPE/TiO ₂ nanocomposites produced from different crystallite sizes of TiO ₂ via <i>in situ</i> polymerization	<i>Chinese Science Bulletin</i>	2012	57, 2177-2184	Mekasuwandumrong, Joongjai Panpranot, Artiwan Shotipruk, Bunjerd Jongsomjit [*] Ekrachan Chaichana, Somsakun Pathomsap, Okorn Mekasuwandumrong, Joongjai Panpranot, Artiwan Shotipruk, Bunjerd Jongsomjit [*]	1.321
84	LLDPE synthesis via SiO ₂ -Ga-supported zirconocene/MMAO catalyst	<i>Journal of Industrial and Engineering Chemistry</i>	2012	18, 373-377	Mingkwan Wannaborworn, Piyasan Praserttham, Bunjerd Jongsomjit [*]	1.977
83	A comparative study of <i>in situ</i> and <i>ex situ</i> impregnation for LLDPE/silica composites production	<i>Engineering Journal</i>	2011	16 (1), 27-36	Ekrachan Chaichana, Takeshi Shiono, Piyasan Praserttham, Bunjerd Jongsomjit [*]	Scopus
82	Effect of EtOH/MgCl ₂ molar ratios on the catalytic properties of MgCl ₂ -SiO ₂ /TiCl ₄ Ziegler-Natta catalyst for ethylene polymerization	<i>Molecules</i>	2011	16, 8332-8342	Supanan Patthamasang, Bunjerd Jongsomjit , Piyasan Praserttham	2.386
81	Effect of Ti oxidation state on ethylene, 1-hexene comonomer polymerization by MgCl ₂ -supported Ziegler-Natta catalysts	<i>Polymer Bulletin</i>	2011	67, 1979-1989	Nichapat Senso, Piyasan Praserttham, Bunjerd Jongsomjit , Toshiaki Taniike, Minoru Terano	1.532
80	Ti-Si composite oxide-supported cobalt catalysts for CO ₂ hydrogenation	<i>Journal of Natural Gas Chemistry</i>	2011	20, 558-564	Jakrapan Janlamool, Piyasan Praserttham, Bunjerd Jongsomjit	1.348
79	Preparation and characterization of CeO ₂ /TiO ₂ nanoparticles by flame spray pyrolysis	<i>International Ceramics</i>	2011	37, 1459-1463	Choowong Chaisuk, Anusara Wehatoranawee, Sirichai Preampiyawat, Sirirat Netiphat, Artiwan Shotipruk, Joongjai Panpranot, Bunjerd Jongsomjit , Okorn Mekasuwandumrong	1.751
78	Influence of flame conditions on the dispersion of Pd on the flame spray-derived Pd/TiO ₂ nanoparticles	<i>Powder Technology</i>	2011	210, 328-331	Okorn Mekasuwandumrong, Songphon Phohtakwanpracha, Bunjerd Jongsomjit , Artiwan Shotipruk, Joongjai Panpranot	2.080
77	The influence of the <i>t</i> -butyl and cyclododecyl substitution based on ansa-fluorenylamidodimethyltitanium derivatives on ethylene/1-hexene copolymerization	<i>Molecules</i>	2011	16, 4122-4130	Patcharaporn Kaivalchatchawal, Piyasan Praserttham, Yuuichi Sogo, Zhengguo Cai, Takeshi Shiono, Bunjerd Jongsomjit [*]	2.386
76	Effect of calcination treatment of zirconia on W/ZrO ₂ catalysts for transesterification	<i>Fuel Processing Technology</i>	2011	92, 1537-1542	Nichapat Senso, Bunjerd Jongsomjit , Piyasan Praserttham	2.945
75	Effect of Ga modification on different pore size silicas in synthesis of LLDPE by copolymerization of ethylene and 1-hexene with [t-BuNSiMe ₂ Flu]TiMe ₂ /MMAO catalyst	<i>Polymer Bulletin</i>	2011	66, 1301-1312	Ekrachan Chaichana, Supaporn Khaubunsongserm, Piyasan Praserttham, Bunjerd Jongsomjit	1.532
74	Effect of nanocrystalline γ -Al ₂ O ₃ structure on the catalytic behaviors of Co/Al ₂ O ₃ in CO hydrogenation	<i>Catalysis Today</i>	2011	164, 302-307	Wasu Chaitree, Sirithan Jiemsirilers, Okorn Mekasuwandumrong, Bunjerd Jongsomjit , Artiwan Shotipruk, Joongjai Panpranot	3.407
73	The influence of comonomer on ethylene/ α -olefins copolymers derived from [Bis(N-(3- <i>tert</i> butylsalicylidene) anilinato)] titanium (IV) dichloride complex	<i>Molecules</i>	2011	16, 1655-1666	Patcharaporn Kaivalchatchawal, Pattiya Suttipitakwong, Suthererawat Samingprai, Piyasan Praserttham, Bunjerd Jongsomjit [*]	2.386

72	Synthesis of LLDPE/TiO ₂ nanocomposites by in situ polymerization with zirconocene /dMMAO catalyst: Effect of [Al]/[Zr] ratios and TiO ₂ phases	<i>Polymer Bulletin</i>	2011	66, 479-490	Wathanyoo Owpradit, Okorn Mekasuwandumrong, Joongjai Prapranot, Artiwan Shotipruk, Bunjerd Jongsomjit	1.532
71	Behavior of in ethylene polymerization of MgCl ₂ -SiO ₂ /TiCl ₄ /THF Ziegler-Natta catalysts with differently treated SiO ₂	<i>Molecules</i>	2011	16, 1323-1335	Nichapat Senso, Bunjerd Jongsomjit , Piyasan Prasertthdam	2.386
70	Observation of different catalytic activity of various 1-olefins during ethylene/1-olefin copolymerization with homogeneous metallocene catalysts	<i>Molecules</i>	2011	16, 373-383	Mingkwan Wannaborworn, Piyasan Prasertthdam, Bunjerd Jongsomjit	2.386
69	Influence of mixed activators on ethylene polymerization and ethylene/1-hexene copolymerization with silica-supported Ziegler-Natta catalyst	<i>Molecules</i>	2010	15, 9323-9339	Nichapat Senso, Supaporn Khaubunsongserm, Bunjerd Jongsomjit , Piyasan Prasertthdam	2.386
68	Application of sulfonated carbon-based catalyst for reactive extraction of 1,3-propanediol from model fermentation mixture	<i>Industrial & Engineering Chemistry Research</i>	2010	49, 12352-12357	Panatpong Boonoun, Navadol Laosiripojana, Chirakarn Muangnapoh, Bunjerd Jongsomjit , Joongjai Panpranot, Okorn Mekasuwandumrong, Artiwan Shotipruk	2.237
67	Investigation of different modifiers for nanocrystal zirconia on W/ZrO ₂ catalysts via esterification	<i>Journal of Industrial and Engineering Chemistry Catalysis Letters</i>	2010	16, 935-940	Supareak Prasertthdam, Peangpit Wongmaneenil, Bunjerd Jongsomjit	1.977
66	Study on solvent/alkoxide molar ratios on synthesis of zirconia nanoparticles for tungstated zirconia catalysts over esterification	<i>Fuel</i>	2010	139, 42-49	Peangpit Wongmaneenil, Bunjerd Jongsomjit , Piyasan Prasertthdam	2.242
65	Transesterification of palm oil and esterification of palm fatty acid in near- and super-critical methanol with SO ₄ -ZrO ₂ catalysts	<i>Catalysis Letters</i>	2010	89, 2387-2392	Akaraphol Petchmala, Navadol Laosiripojana, Bunjerd Jongsomjit , Motonobu Goto, Joongjai Panpranot, Okorn Mekasuwandumrong, Artiwan Shotipruk	3.248
64	Liquid-phase selective hydrogenation of 1-heptyne over Pd/TiO ₂ catalyst synthesized by one-step flame spray pyrolysis	<i>Catalysis Letters</i>	2010	136, 167-170	Okorn Mekasuwandumrong, Songphon Phothakwanpracha, Bunjerd Jongsomjit , Artiwan Shotipruk, Joongjai Panpranot	2.242
63	The role of zirconia surface on catalytic activity of tungstated zirconia via two-phase esterification of acetic acid and 1-heptanol	<i>Catalysis Letters</i>	2010	136, 134-140	Kanokwan Ngaosuwan, Bunjerd Jongsomjit , Piyasan Prasertthdam	2.242
62	Isosynthesis via CO hydrogenation over SO ₄ -ZrO ₂ catalysts	<i>Journal of Industrial and Engineering Chemistry</i>	2010	16, 411-418	Nicha Tangchupong, Watcharapong Khaodee, Bunjerd Jongsomjit , Navadol Laosiripojana, Piyasan Prasertthdam, Suttichai Assabumrungrat*	1.977
61	Solvent effect on synthesis of zirconia support for tungstated zirconia catalysts	<i>Journal of Industrial & Engineering Chemistry Express Polymer Letters</i>	2010	16, 327-333	Peangpit Wongmaneenil, Bunjerd Jongsomjit , Piyasan Prasertthdam	1.977
60	Ethylene/1-hexene copolymer derived from [t-butylfluorenylsilyl-amido] dimethyl titanium complex	<i>Fuel Processing Technology</i>	2010	4, 94-100	Ekrachan Chaichana, Supaporn Khaubunsongserm, Piyasan Prasertthdam, Bunjerd Jongsomjit	1.769
59	Effect of calcination temperature on characteristics of sulfated zirconia and its application as catalyst for		2010	91, 121-126	Nicha Tangchupong, Watcharapong Khaodee, Bunjerd	2.781

	isosynthesis				Jongsomjit , Navadol Laosiripojana, Piyasan Praserthdam, Suttichai Assabumrungrat*	
58	Ethylene/1-octene copolymerization over Ga-modified SiO ₂ -supported zirconocene/MMAO catalyst using in situ impregnation method	<i>Iranian Polymer Journal</i>	2009	18, 969-979	Mingkwan Wannaborworn, Bunjerd Jongsomjit *	0.936
57	Observation on different turnover number in two-phase acid catalyzed esterification of dilute acetic and 1-heptanol	<i>Catalysis Letters</i>	2009	130, 583-587	Supareak Praserthdam, Bunjerd Jongsomjit *	2.242
56	Catalytic behaviors of SiO ₂ -supported various aluminoxanes as coactivator in MgCl ₂ /DEP/TiCl ₄ -TEA catalysts for propylene polymerization	<i>Catalysis Communications</i>	2009	10, 1319-1323	Kitti Tangjituabun, Bunjerd Jongsomjit , Piyasan Praserthdam	2.986
55	Influence of calcination treatment on the activity of tungstated zirconia catalysts towards esterification	<i>Catalysis Communications</i>	2009	10, 1079-1084	Peangpit Wongmaneevil, Bunjerd Jongsomjit , Piyasan Praserthdam	2.986
54	A study on characteristics and catalytic properties of Co/ZrO ₂ -B catalysts towards methanation	<i>Catalysis Letters</i>	2009	128, 119-126	Nithinart Chitpong, Piyasan Praserthdam, Bunjerd Jongsomjit	2.242
53	A study on isosynthesis via CO hydrogenation over ZrO ₂ -CeO ₂ mixed oxide catalysts	<i>Catalysis Communications</i>	2009	10, 494-501	Watcharapong Khaodee, Nicha Tangchupong, Bunjerd Jongsomjit , Piyasan Praserthdam, Suttichai Assabumrungrat*	2.986
52	Investigation of diene addition on ethylene-propylene (EP) copolymerization with a zirconocene catalyst: effects of diene types and E/P ratios	<i>Journal of Materials Processing Technology</i> ,	2009	209, 520-524	Sireethorn Phoowakeereewiwat, Bunjerd Jongsomjit , Piyasan Praserthdam	1.783
51	Surface defect (Ti ³⁺) controlling in the first step on the anatase TiO ₂ nanocrystal by using sol-gel technique	<i>Applied Surface Science</i>	2008	255, 2759-2766	Kongkiat Suriye, Bunjerd Jongsomjit , Chairit Satayaprasert, Piyasan Praserthdam	2.103
50	Poisoning of active sites on Ziegler-Natta catalyst for propylene polymerization	<i>Chinese Journal of Polymer Science</i> ,	2008	26, 547-552	Kitti Tangjituabun, Sang Yull Kim, Yuichi Hiraoka, Toshiaki Taniike, Minoru Terano, Bunjerd Jongsomjit , Piyasan Praserthdam	0.919
49	Effect of supports and solvents on ethylene polymerization with titanium complex consisting of phenoxy-imine ligands/dMMAO catalytic system	<i>Journal of Molecular Catalysis A: Chemical</i>	2008	294, 1-7	Sonthaya Srijumnong, Bunjerd Jongsomjit , Pattiya Suttipitakwong Piyasan Praserthdam	2.947
48	A comparative study on synthesis of LLDPE/TiO ₂ nanocomposites using different TiO ₂ by in situ polymerization with zirconocene/dMMAO catalyst	<i>Materials Chemistry and Physics</i>	2008	112, 954-961	Wathanyoo Owpradit, Bunjerd Jongsomjit	2.234
47	Synthesis of cobalt on cobalt-aluminate via solvothermal method and its catalytic properties for carbon monoxide hydrogenation	<i>Catalysis Communications</i>	2008	10, 232-236	Sirirat Rojanapipatkul, Bunjerd Jongsomjit	2.986
46	Copolymerization of ethylene/1-octene via different pore sized silica-based supported zirconocene/dMMAO catalysts	<i>Catalysis Communications</i>	2008	10, 118-122	Pongsathorn Wongwaiwattanakul, Bunjerd Jongsomjit	2.986
45	Effect of various poisoning compounds on activity and stereospecificity of heterogeneous Ziegler-Natta catalyst	<i>Science and Technology of Advanced Materials</i>	2008	9, 024402 (4pp)	Kitti Tangjituabun, Sang Yull Kim, Yuichi Hiraoka, Toshiaki Taniike, Minoru Terano, Bunjerd Jongsomjit , Piyasan Praserthdam	3.513
44	Characterization of cobalt dispersed on various micro- and nanoscale silica and zirconia supports	<i>Catalysis Letters</i>	2008	124, 376-383	Sujittra Kittiruangrayab, Tanuchanun Burakorn, Bunjerd Jongsomjit , Piyasan Praserthdam	2.242
43	Characterization of cobalt dispersed on the mixed nano-Al ₂ O ₃ -ZrO ₂ supports	<i>Journal of Materials Processing</i>	2008	206, 352-358	Tanuchnun Burakorn, Joongjai Panpranot, Okorn	1.783

	Co/TiO ₂ catalysts with various rutile/anatase ratios ^a	<i>Surface Science and Catalysis Iranian Polymer Journal</i>			Tipnapa Wongsalee, Piyasan Prasertthdam	
25	Characteristics of LLDPE/ZrO ₂ nanocomposite synthesized by the in situ polymerization using a zirconocene/MAO catalyst		2006	15, 431-437	Bunjerd Jongsomjit [*] , Joongjai Panpranot, Mitsuhiro Okada, Takeshi Shiono, Piyasan Prasertthdam	0.936
24	Effect of α -olefins on copolymerization with [t-BuNSiMe ₂ Flu]TiMe ₂ catalysts	<i>Studies in Surface Science and Catalysis</i>	2006	161, 271-274	Nawaporn Intaragamjon, Takeshi Shiono, Bunjerd Jongsomjit [*] , Piyasan Prasertthdam	-
23	The Role of CaO in the Ziegler-Natta Catalyst for Propylene Polymerization	<i>Catalysis Letters</i>	2006	109, 147-152	Kitti Tangjituabun, Bunjerd Jongsomjit [*] , Piyasan Prasertthdam [*]	2.242
22	Roles of ruthenium on reduction behaviors of ruthenium-promoted cobalt/titania Fischer-Tropsch catalyst	<i>Reaction Kinetics and Catalysis Letters</i>	2006	88, 65-71	Bunjerd Jongsomjit [*] , Chitlada Sakdamnusun, Joongjai Panpranot, Piyasan Prasertthdam	0.927
21	Elucidation of solvent effects on the catalytic behaviors for [t-BuNSiMe ₂ Flu]TiMe ₂ complex during copolymerization of ethylene/1-hexene	<i>Catalysis Communications</i>	2006	7, 721-727	Nawaporn Intaragamjon, Takeshi Shiono, Bunjerd Jongsomjit [*] , Piyasan Prasertthdam	2.986
20	Effect of Zirconia-Modified Titania Consisting of Different Phases on Characteristics and Catalytic Properties of Co/TiO₂ Catalysts	<i>Catalysis Letters</i>	2006	108, 55-61	Tipnapa Wongsalee, Bunjerd Jongsomjit [*] , Piyasan Prasertthdam	2.242
19	Catalytic behaviors of mixed TiO ₂ -SiO ₂ -supported cobalt Fischer-Tropsch catalysts for carbon monoxide hydrogenation	<i>Materials Chemistry and Physics</i>	2006	97, 343-350	Bunjerd Jongsomjit [*] , Tipnapa Wongsalee, Piyasan Prasertthdam	2.234
18	Differences in characteristics and catalytic properties of Co catalysts supported on micro- and nano-sized zirconia	<i>Catalysis Communications</i>	2006	7, 192-197	Joongjai Panpranot [*] , Nuttakarn Taochaiyaphum, Bunjerd Jongsomjit [*] , Piyasan Prasertthdam	2.986
17	Application of silica/titania mixed-oxide supported zirconocene catalyst for synthesis of linear low-density polyethylene	<i>Industrial & Engineering Chemistry Research</i>	2005	44, 9059-9063	Bunjerd Jongsomjit [*] , Sutti Ngamposri, Piyasan Prasertthdam	2.237
16	Characteristics and catalytic properties of Co/TiO ₂ for various rutile:anatase ratios	<i>Catalysis Communications</i>	2005	6, 705-710	Bunjerd Jongsomjit [*] , Tipnapa Wongsalee, Piyasan Prasertthdam	2.986
15	Impact of diene addition on properties for ethylene-propylene copolymerization with rac-Et[Ind] ₂ ZrCl ₂ /MAO catalyst	<i>Materials Letters</i>	2005	59, 3771-3774	Bunjerd Jongsomjit [*] , Sireethorn Phoowakeereewiwat, Supakanok Thongyai, Takeshi Shiono, Piyasan Prasertthdam	2.307
14	Impact of Ti ³⁺ present in titania on characteristics and catalytic properties of Co/TiO ₂ catalyst	<i>Industrial & Engineering Chemistry Research</i>	2005	44, 6599-6604	Kongkiat Suriye, Piyasan Prasertthdam [*] , Bunjerd Jongsomjit [*]	2.237
13	Behaviors of ethylene/norbornene copolymerization with zirconocene catalysts	<i>Iranian Polymer Journal</i>	2005	14, 559-564	Bunjerd Jongsomjit [*] , Apiradee Khotdee, and Piyasan Prasertthdam	0.936
12	Catalytic activity during copolymerization of ethylene and 1-hexene via mixed TiO ₂ /SiO ₂ -supported MAO with rac-Et[Ind] ₂ ZrCl ₂ metallocene catalyst	<i>Molecules</i>	2005	10, 672-678	Bunjerd Jongsomjit [*] , Sutti Ngamposri, Piyasan Prasertthdam	2.386
11	Study of cobalt dispersion on titania consisting various rutile:anatase ratios	<i>Materials Chemistry and Physics</i>	2005	92, 572-577	Bunjerd Jongsomjit [*] , Tipnapa Wongsalee, Piyasan Prasertthdam	2.234
10	LLDPE/nano-silica composites synthesized via in situ polymerization of ethylene/1-hexene with MAO/metallocene catalyst	<i>Journal of Materials Science</i>	2005	40, 2043-2045	Bunjerd Jongsomjit [*] , Ekkrachan Chaichana, Piyasan Prasertthdam	2.015
9	Role of titania in TiO ₂ -SiO ₂ mixed oxides-supported metallocene catalyst during ethylene/1-octene	<i>Catalysis Letters</i>	2005	100, 139-146	Bunjerd Jongsomjit [*] , Sutti Ngamposri, Piyasan Prasertthdam	2.242

8	copolymerization Dependence of crystalline phases in titania on catalytic properties during CO hydrogenation of Co/TiO ₂ catalysts	<i>Materials Chemistry and Physics</i>	2005	89, 395-401	Bunjerd Jongsomjit [*] , Chitlada Sakdamnusun, Piyasan Prasertthdam	2.234
7	Supporting effects of silica-supported methylaluminoxane (MAO) with zirconocene catalyst on ethylene/1-olefin copolymerization behaviors for linear low-density polyethylene (LLDPE) production	<i>Industrial & Engineering Chemistry Research</i>	2004	43, 7959-7963	Bunjerd Jongsomjit [*] , Paninee Kaewkrajang, Takeshi Shiono, Piyasan Prasertthdam	2.237
6	A Comparative Study of Supporting Effect during Copolymerization of Ethylene/1-Olefins with Silica-Supported Zirconocene/MAO catalyst	<i>Materials Chemistry and Physics</i>	2004	86, 243-246	Bunjerd Jongsomjit [*] , Piyasan Prasertthdam, Paninee Kaewkrajang	2.234
5	Co-Support Compound Formation in Titania-Supported Cobalt Catalysts	<i>Catalysis Letters</i>	2004	94, 209-215	Bunjerd Jongsomjit [*] , Chitlada Sakdamnusun, James G. Goodwin, Jr., Piyasan Prasertthdam	2.242
4	A Comparative Study of Ethylene/ α -Olefin Copolymerization with Silane-Modified Silica-Supported MAO using Zirconocene Catalysts	<i>Catalysis Letters</i>	2004	94, 205-208	Bunjerd Jongsomjit [*] , Paninee Kaewkrajang, Sieghard E. Wanke, Piyasan Prasertthdam	2.242
3	Effect of Zirconia-Modified Alumina on the Properties of Co/ γ -Al ₂ O ₃ Catalysts	<i>Journal of Catalysis</i>	2003	215, 66-77	Bunjerd Jongsomjit, Joongjai Panpranot, James G. Goodwin, Jr.	6.002
2	Co-Support Compound Formation in Co/Al ₂ O ₃ Catalysts: Effect of Reduction Gas Containing CO	<i>Catalysis Today</i>	2002	77, 191-204	Bunjerd Jongsomjit, James G. Goodwin, Jr.	3.407
1	Co-Support Compound Formation in Alumina-Supported Cobalt Catalysts	<i>Journal of Catalysis</i>	2001	204, 98-108	Bunjerd Jongsomjit, Joongjai Panpranot, James G. Goodwin, Jr.	6.002

Patent

1. กรรมวิธีในการเคลือบฝังตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมบนตัวรองรับเพื่อเพิ่มความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาเซอร์โคโนเนียมในระบบของการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของเอทิลีนกับหนึ่งออกทีน (เลขที่อนุสิทธิบัตร 6479) ออกให้ 11 สิงหาคม 2554 หมดอายุ 25 สิงหาคม 2558 ผู้ประดิษฐ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรเจิด จงสมจิตร และคณะ