

## ผลของการเติมโลหะชนิดต่างๆบนตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO ที่มีต่อการผลิตไฮโดรเจนจากปฏิกิริยา Methanol Steam Reforming

Effect of Addition of Various Metals into Cu/ZnO Catalyst on the Hydrogen Production from Methanol Steam Reforming

สมชัย อัครทิวา และ ธรรมนุญ อุคมนัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

51 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530

โทร 988-3666 โทรสาร 9884040

E-mail:somchai@mut.ac.th

### บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของการเติมโลหะแอลคาไล เช่น Na, K และโลหะทรานซิชัน เช่น Mn, Cr ลงในตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมและวิธีการฝังตัวแบบแห้งที่มีต่อประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา steam reforming ของเมทานอล ก่อนการทดสอบปฏิกิริยาตัวเร่งปฏิกิริยาจะบำบัดโดยการรีดิวซ์ด้วยก๊าซผสมระหว่างไฮโดรเจนและไนโตรเจนที่ประกอบด้วยไนโตรเจน 3% ที่อุณหภูมิ 200°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง อุณหภูมิในการทดสอบปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 150-400°C ผลการทดลองพบว่าความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีการเติมโลหะด้วยวิธีการทั้งตกตะกอนร่วมและฝังตัวแบบแห้งจะลดต่ำลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโลหะทรานซิชันและโลหะแอลคาไลไม่สามารถแสดงบทบาทที่สำคัญในการเป็นสารเพิ่มความว่องไวสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO แต่กลับแสดงผลเชิงลบต่อประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังพบว่า การเผาตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงจะเพิ่มความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาลดต่ำลง

### Abstract

In this research work, the effect of addition of transition metals such as Mn, Cr and alkali metals such as Na, K into Cu/ZnO by coprecipitation and impregnation methods on the activity of methanol steam reforming were investigated. Prior to activity tests, the catalysts were pretreated with 3% H<sub>2</sub> balanced with N<sub>2</sub> at 200°C for 1 hr. Experiments were carried out at reaction temperature in the range of 150-400°C. The results showed that the activity of the modified catalysts were deteriorated, indicating that alkali metals and transition metals can not play important role as promoters in case of Cu/ZnO catalyst, but exhibited the negative effect on the performance of

catalysts. Furthermore, it also found that with increasing the calcination temperature of catalysts, its performance also decreased.

### 1. คำนำ

ในปัจจุบัน น้ำมันเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมเป็นเชื้อเพลิงที่มีผู้ใช้มากกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ทั้งนี้เพราะมีโครงสร้างพื้นฐานต่างๆรองรับมากมาย เช่น การมีแหล่งผลิตที่กระจายอยู่ทั่วโลก กระบวนการผลิตที่ไม่สลับซับซ้อน มีระบบขนส่งที่สะดวกและมีสถานีบริการที่กระจายอยู่ทั่วไป เป็นต้น แต่เนื่องจากผลวิกฤตการณ์ทางด้านพลังงานและผลกระทบต่อทางด้านสิ่งแวดล้อมจากการใช้น้ำมันปิโตรเลียมนี้ ทำให้เกิดแนวความคิดที่จะหาแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงทดแทนชนิดอื่นที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ด้วยเหตุนี้ ไฮโดรเจนจึงเป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากไม่ก่อให้เกิดมลพิษโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อถูกใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง ดังนั้น ในช่วงทศวรรษหลังนี้ จึงมีนักวิจัยที่ได้ให้ความสนใจที่จะผลิตยานพาหนะที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงแทนการใช้เชื้อเพลิงปิโตรเลียมเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว แต่เนื่องจากไฮโดรเจนอยู่ในสถานะแก๊สที่สภาวะปกติและสามารถลุกติดไฟได้ง่าย จึงมักก่อให้เกิดปัญหาในการขนส่งและการจัดเก็บ แนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการแก้ปัญหาข้อจำกัดดังกล่าวคือการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากเมทานอลโดยปฏิกิริยา steam reforming ปฏิกิริยา partial oxidation หรือปฏิกิริยา decomposition ซึ่งการกระทำดังกล่าว จะทำให้สามารถแก้ไขปัญหามารถขนส่งและการจัดเก็บได้เนื่องจากเมทานอลมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง

เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาจำพวกทองแดงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในการผลิตเมทานอล ดังนั้น ในงานวิจัยที่ผ่านมา จึงมีนักวิจัยหลายท่านที่ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยา steam reforming [1-4] ปฏิกิริยา partial oxidation [4] หรือปฏิกิริยา decomposition ของเมทานอล [5] โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจำพวกทองแดงเหล่านั้น นอกจากนี้ Wu-Hsun Cheng และคณะ [6] ยังได้มีการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/Cr/Mn ด้วยการเติม

สาร โปรโมเตอร์จำพวกแอลคาไลสำหรับปฏิกิริยา decomposition ของเมทานอลและพบว่าสารจำพวกแอลคาไลเหล่านี้สามารถเพิ่มการกระจายตัวของทองแดงซึ่งเป็นสารที่มีความไวต่อการเร่งปฏิกิริยา และในขณะเดียวกัน Raphael O.Idem และคณะ [7] ก็ได้มีการศึกษาถึงผลของการเติมสาร โปรโมเตอร์ชนิดต่างๆ เช่น Mn, Cr, Zn ลงในตัวเร่งปฏิกิริยา Cu-Al ที่มีต่อปฏิกิริยา steam reforming ของเมทานอลและพบว่าสารเหล่านี้จะช่วยเพิ่มจำนวน  $Cu^0$  และ  $Cu^+$  แต่กระนั้น ก็พบว่า ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ได้ศึกษาถึงผลของการเติมสารจำพวกแอลคาไลและ Mn, Cr เหล่านี้บนตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO ที่มีต่อปฏิกิริยา steam reforming ของเมทานอล ในงานวิจัยนี้ จึงจะได้ทำการศึกษาผลของการเติมโลหะชนิดต่างๆเหล่านั้นบนตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO ที่มีต่อการผลิตไฮโดรเจนจากปฏิกิริยา steam reforming ของเมทานอล

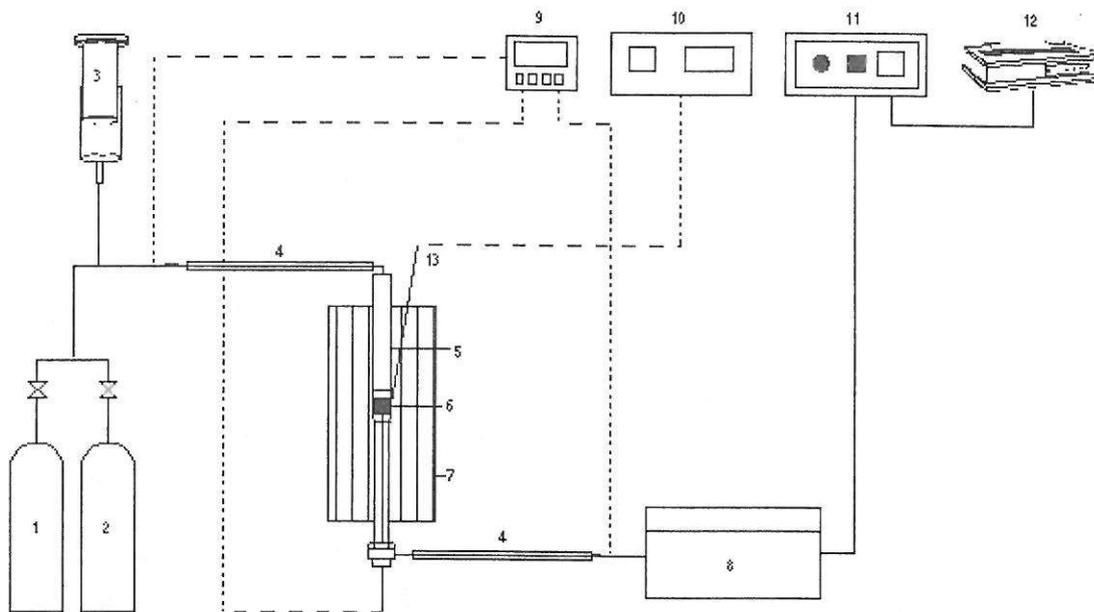
2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

100 ml ที่อุณหภูมิ 65°C พร้อมกับกวนตลอดเวลา โดยมีอัตราการเติมเท่ากับ 2.5 ml/min หลังจากนั้น กวนต่ออีก 90 นาทีที่อุณหภูมิห้อง กรองตะกอนและอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 1 คืน ต่อจากนั้น ทำการเผาตะกอนที่อุณหภูมิ 350°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หรือที่อุณหภูมิ 700°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นในเตาเผาแล้วจึงนำไปอัด บดและร่อน ให้มีขนาดอนุภาค 40/60 mesh ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO/M (M คือ Mn, Cr, Na, K ซึ่งมีปริมาณ 1% โดยน้ำหนัก)ถูกเตรียมขึ้นโดยวิธีการฝังตัวแบบแห้ง(เขียนย่อด้วย Im) และวิธีการตกตะกอนร่วม (เขียนย่อด้วย Co) ซึ่งคล้ายคลึงกับวิธีการดังได้กล่าวข้างต้นแต่มีข้อแตกต่างกันคือวิธีการแรกมีการหยดสารละลายเกลือไนเตรดของโลหะต่างๆที่มีปริมาณสารตามที่ต้องการลงบนตะกอน Cu/ZnO ก่อนที่จะนำไปเผา ส่วนวิธีการหลังมีการเติมสารเกลือไนเตรดในปริมาณที่ต้องการลงในสารละลาย  $NaHCO_3$  ในระหว่างขั้นตอนการตกตะกอน

2.2 การทดสอบปฏิกิริยา

การทดสอบปฏิกิริยา steam reforming ถูกกระทำขึ้นภายใน



รูปที่ 1 แผนภาพแหล่งชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบปฏิกิริยา ประกอบด้วย

- |                        |                           |                       |                        |
|------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------|
| 1. ก๊าซไนโตรเจน        | 2. ก๊าซไฮโดรเจน           | 3. อุปกรณ์เปลี่ยนสาร  | 4. ลวดความร้อน         |
| 5. เครื่องปฏิกรณ์      | 6. ตัวเร่งปฏิกิริยา       | 7. เตาให้ความร้อน     | 8. เครื่องโครมาโทกราฟี |
| 9. เครื่องอ่านอุณหภูมิ | 10. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ | 11. เครื่องแปลงสัญญาณ | 12. เครื่องบันทึกผล    |
| 13. เทอร์โมคัปเปิล     |                           |                       |                        |

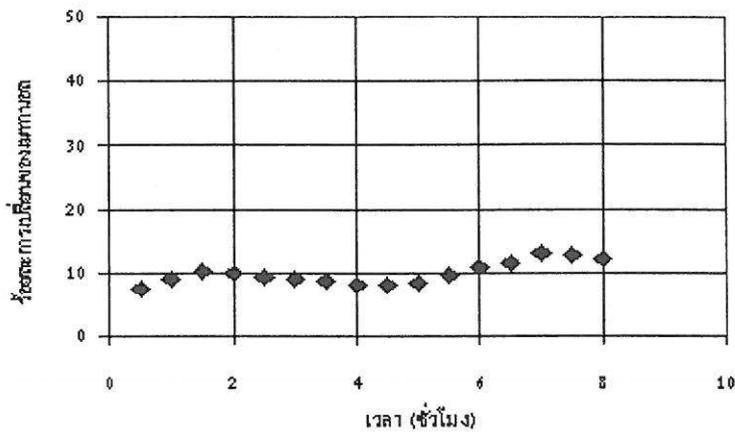
เนื่องจากในงานวิจัยที่ผ่านมา [3] เราพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO ซึ่งมีอัตราส่วนเชิงโมลระหว่าง Cu/Zn เท่ากับ 1:1 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาดีที่สุด ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO ซึ่งมีอัตราส่วนเชิงโมลดังกล่าวจึงได้ถูกเตรียมขึ้นโดยวิธีการตกตะกอนร่วมซึ่งมีขั้นตอนดังนี้คือ นำสารละลายผสมระหว่าง  $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$  (1 M) กับ  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  (1 M) จำนวน 50 ml เติมลงในสารละลาย  $NaHCO_3$  ซึ่งใช้เป็นสารตกตะกอนที่มีความเข้มข้น 1.2 M จำนวน

ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (รูปที่ 1) ก่อนการทดสอบ ตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.4 กรัมถูกบดบดขึ้นต้นภายใต้สภาวะของอากาศ ที่อุณหภูมิ 350 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงเพียงพอที่จะเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นรูปของโลหะออกไซด์ หลังจากนั้น ตัวเร่งปฏิกิริยาถูกรีดิวซ์ด้วยก๊าซผสมซึ่งประกอบด้วยก๊าซไฮโดรเจน 3%และก๊าซไนโตรเจน 97% ด้วยอัตราการไหลรวม 103 ml/min ที่อุณหภูมิ 200°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเปลี่ยน  $CuO$  ให้อยู่ในรูปของโลหะ Cu [6] เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ต่อจากนั้น

จึงทำการป้อนสารละลายผสมระหว่างน้ำและเมทานอลที่มีสัดส่วนโดยโมลเท่ากับ 1.2:1 เข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ด้วยเครื่องป้อนสารด้วยอัตราการไหล 10 ml/hr สารละลายถูกทำให้กลายเป็นไออย่างรวดเร็วภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนก่อนผ่านเข้าสู่เบดของตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราการไหลของแก๊สโดยรวมที่ทางเข้าเท่ากับ 100 ml/min ปฏิกิริยาถูกดำเนินที่อุณหภูมิ 150-400°C ภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบ TCD และบันทึกผลด้วยเครื่อง C-R6A Chromatopack (Shimadzu)

3. ผลการทดลอง

ผลของเวลาที่ใช้ในการทดสอบปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO ที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน (% conversion) ของเมทานอลได้แสดง



รูปที่ 2 ผลของเวลาที่ใช้ในการทดสอบปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO ที่มีต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของเมทานอลที่อุณหภูมิ 250 °C

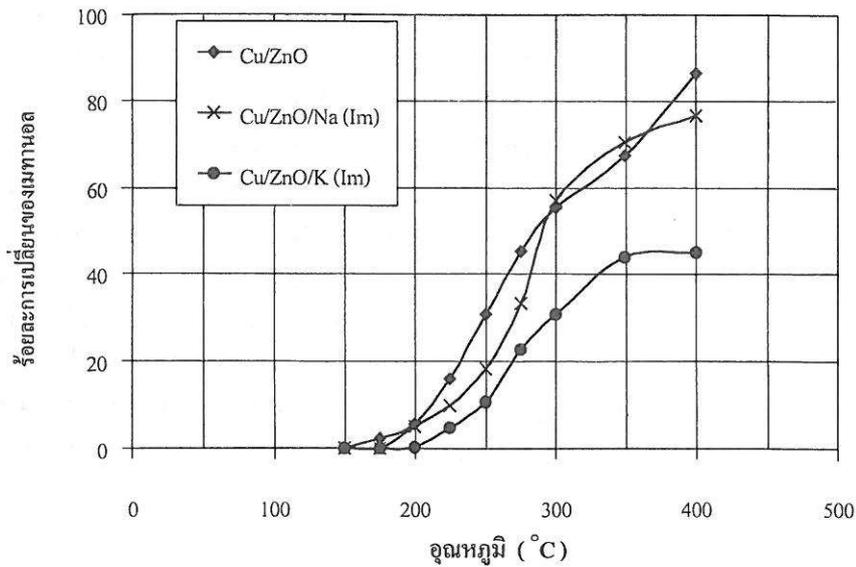
ดังรูปที่ 2 จากรูปจะเห็นได้ว่า เมื่อเวลาผ่านไป 8 ชั่วโมง ความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO ยังคงไม่มีความเปลี่ยนแปลงมากนักซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมขึ้นนั้นมีความเสถียรภายใต้สภาวะการทดลอง นอกจากนี้ ยังพบว่า CO<sub>2</sub> และ H<sub>2</sub> เป็นผลิตภัณฑ์หลักของปฏิกิริยา

เพื่อทำการศึกษาผลของการเติมโลหะชนิดต่างๆบนตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO ที่มีต่อความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา steam reforming ของเมทานอล ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO ที่ถูกเติมด้วยโลหะจำพวกแอลคาไล เช่น Na, K และโลหะ Mn, Cr โดยวิธีการฝังตัวแบบแห้งและเผาที่อุณหภูมิ 350°C ถูกนำมาทดสอบปฏิกิริยา จากผลการทดสอบพบว่า การเติมโลหะแอลคาไลซึ่งแสดงดังรูปที่ 3 จะมีผลทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาลดต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่มีการเติมโลหะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเติมโลหะ K จะทำให้ตัวเร่ง

ปฏิกิริยามีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาค่าต่ำกว่าการเติมโลหะ Na อย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าในกรณีของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO โลหะ Na และ K ไม่ได้แสดงบทบาทช่วยเพิ่มการกระจายตัวของโลหะ Cu ในตัวเร่งปฏิกิริยาแต่อย่างใดดังที่ Wu-Hsun Cheng และคณะ [6] ได้พบในกรณีของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/Cr/Mn แต่กลับส่งผลทำให้การทำงานร่วมกันระหว่าง Cu และ ZnO ในการเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพลดต่ำลง เนื่องจากการตรวจสอบการกระจายตัวของทองแดงต้องอาศัยเทคนิคพิเศษโดยการออกซิเดชันด้วย N<sub>2</sub>O ซึ่งเป็นวิธีที่ค่อนข้างสลับซับซ้อน การวิจัยครั้งนี้เห็นว่าโลหะแอลคาไลไม่ได้ช่วยทำให้ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO ดีขึ้น จึงไม่ได้มีการตรวจสอบการกระจายตัวดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sodesawa และคณะ [3] ที่ทำการศึกษากาการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจาก

ปฏิกิริยา steam reforming ของเมทานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu-SiO<sub>2</sub> ที่มีการเติม Li<sub>2</sub>O และ Na<sub>2</sub>O และพบว่าความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาค่าต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Cu-SiO<sub>2</sub> ที่ไม่มีการเติมโลหะใดๆ

ในขณะที่ผลของการเติมโลหะ Mn และ Cr ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4 ก็ไม่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา steam reforming ของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO ได้เช่นกัน และยังพบว่า การเติม Mn จะให้ผลเชิงลบมากกว่า Cr ซึ่งผลการทดลองนี้ให้ผลแตกต่างจากงานวิจัยของ Raphael O. Idem และคณะ [5] ที่พบว่าในกรณีของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu-Al การเติมโลหะทรานซิชัน เช่น Mn, Cr จะช่วยเพิ่มความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา steam reforming เนื่องจากการเติมโลหะเหล่านั้น จะทำให้เกิดผลของ ligand กล่าวคือ จะเกิด CuMnO<sub>2</sub> หรือ Cu<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> ขึ้นซึ่งจะมีผลทำให้ทองแดงที่มีสถานะออกซิเดชัน +1 เพิ่มขึ้น โดยเชื่อว่า Cu<sup>+</sup> นี้ จะทำให้ความสามารถในการแตกพันธะ O-H ของเมทานอลกลายเป็น methyl formate ซึ่งเป็นขั้นตอนควบคุมในกลไกของการเกิดปฏิกิริยา



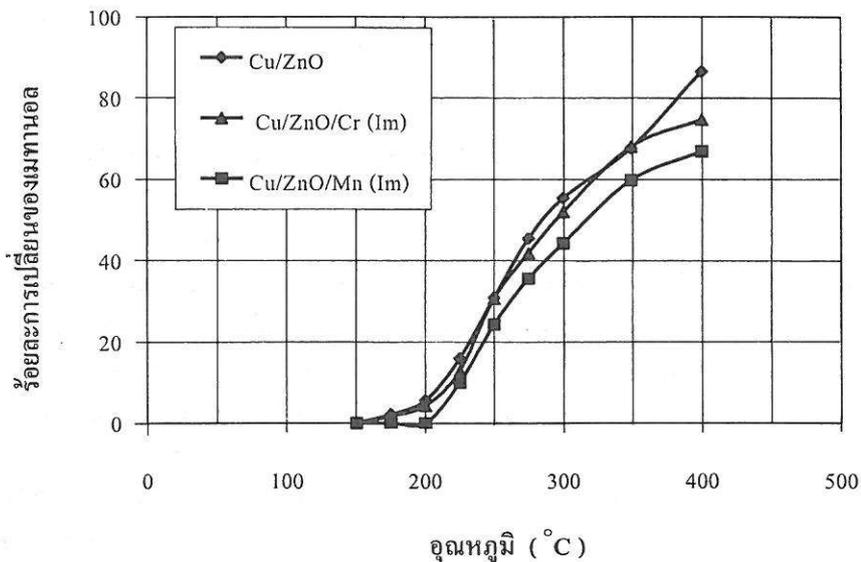
รูปที่ 3 ผลของการเติมโลหะ Na และ K ลงในตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO โดยวิธีการฝังตัวแบบแห้งและเผาที่อุณหภูมิ 350°C ที่มี

ต่อร้อยละของการเปลี่ยนเมทานอลเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO

steam reforming เพิ่มขึ้น แต่จากผลการทดลองนี้ที่ไม่เป็นเช่นนั้น อาจเนื่องมาจากผลของ ligand ไม่ได้แสดงบทบาทในกรณีนี้ที่ตัวรองรับเป็น ZnO

การที่โลหะแอลคาไล และโลหะทรานซิชันไม่สามารถช่วยเพิ่ม

Cu/ZnO/Cr โดยวิธีการดกตะกอนร่วมนำมาทดสอบปฏิกิริยาเพื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกเตรียมขึ้น โดยวิธีการฝังตัวแบบแห้งซึ่งผลการทดลองได้แสดงดังในรูปที่ 5 จากผลการทดลองพบว่าร้อยละการเปลี่ยนของเมทานอลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมขึ้นโดยการดกตะกอน

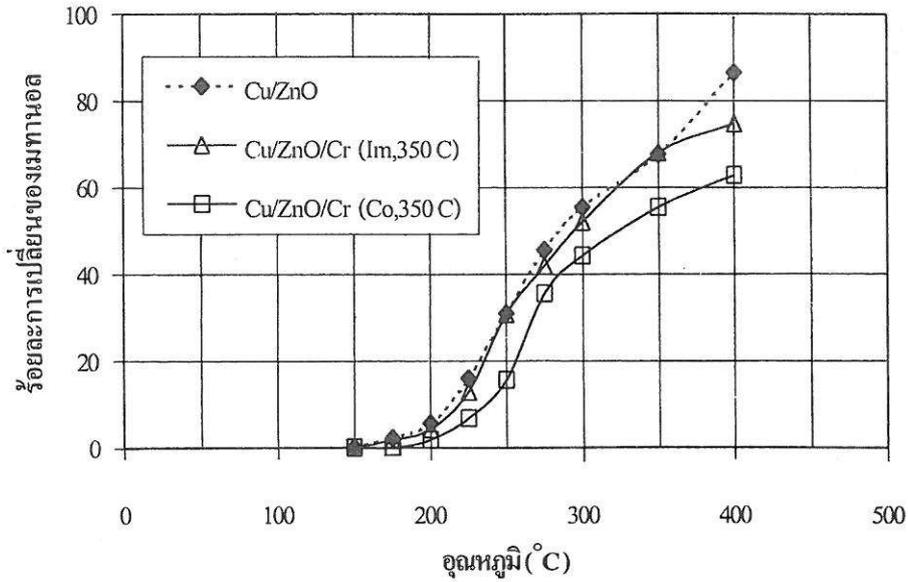


รูปที่ 4 ผลของการเติมโลหะ Mn และ Cr ลงในตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO โดยวิธีการฝังตัวแบบแห้งและเผาที่อุณหภูมิ 350°C ที่มี

ต่อร้อยละของการเปลี่ยนเมทานอลเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO

ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา steam reforming ได้ในกรณีของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO นั้น อาจเป็นเพราะวิธีการเตรียมตัวเร่งที่ไม่เหมาะสม ดังนั้น เพื่อทำการศึกษถึงผลกระทบดังกล่าว จึงเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

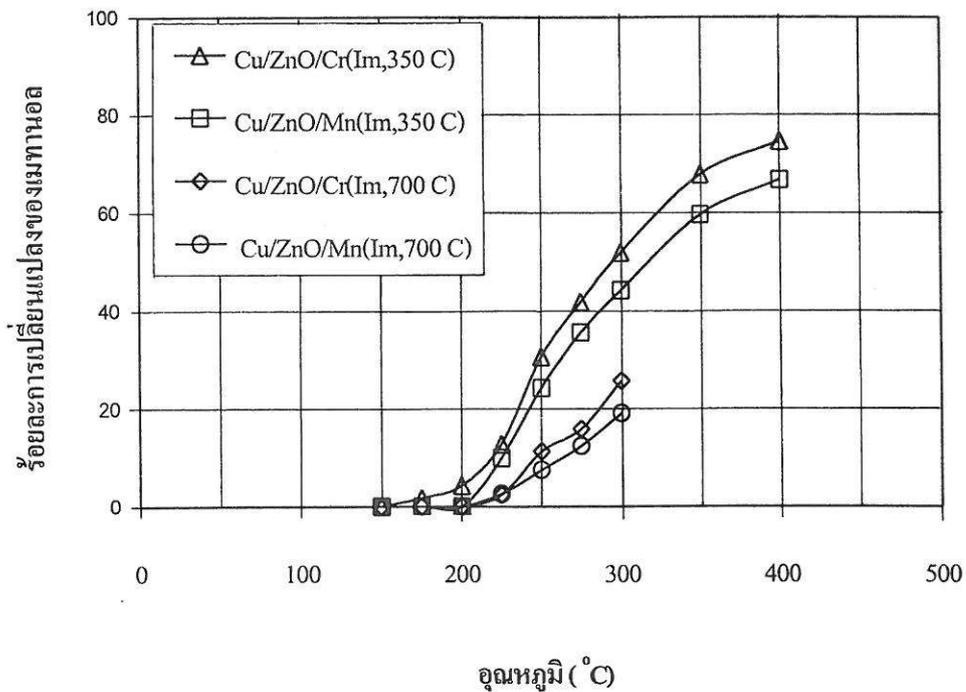
ร่วมลดต่ำลงราว 10% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาไม่สามารถถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยวิธีการดกตะกอนร่วมเช่นกัน



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO และตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO/Cr ที่ถูกเตรียมขึ้นโดยวิธีการคดตะกอนร่วมและฝังตัวแบบแห้งและเผาที่อุณหภูมิ 350°C

นอกจากนี้ ยังได้ทำการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอนการเตรียมที่มีต่อความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาโดยเลือกเผาที่อุณหภูมิ 700 °C เพื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 350 °C สาเหตุที่เลือกเผาตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 700 °C อีกครั้ง เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/Al ที่ถูกโปรโมตด้วย Mn หรือ Cr ซึ่งถูกเตรียมขึ้นโดย Raphael O.Idem และคณะ [7] ได้

ถูกเผาที่ 700 °C ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการยืนยันให้แน่ชัดว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีผลต่อความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาอย่างไร ซึ่งจากผลการทดลองที่แสดงดังรูปที่ 6 พบว่าแม้ตัวเร่งปฏิกิริยาถูกเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นจาก 350 °C เป็น 700 °C ก็ไม่มีผลทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีความว่องไวดีขึ้นแต่กลับลดต่ำลง ทั้งนี้อาจอธิบายได้ว่าการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงขึ้นอาจมีผลทำให้โลหะ Cu ที่เป็นสารที่มีความ



รูปที่ 6 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO ที่มีการเติมโลหะ Mn และ Cr โดยวิธีการฝังตัวแบบแห้งที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของเมทานอลพร้อมทั้งเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO ที่ไม่มีการเติมโลหะใดๆ

ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเกิดการหลอมตัวซึ่งส่งผลกระทบต่ออัตราการลดลงของพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา

#### 4. สรุป

จากผลการวิจัยในครั้งนี้ ทำให้เราทราบว่า การเติมโลหะ Na, K, Mn และ Cr ลงในตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/ZnO โดยวิธีฝังตัวแบบแห้งหรือตกตะกอนร่วมต่างก็ไม่สามารถที่จะช่วยเพิ่มความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา steam reforming ของเมทานอลได้ แต่ในทางตรงกันข้าม กลับมีผลทำให้ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง นอกจากนี้ การเผาตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงขึ้นในระหว่างการเตรียมจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงเช่นกัน

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยนี้สามารถถูกล่วงไปด้วยดีเนื่องจากได้รับการสนับสนุนจากกองทุนเพื่อการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยส่วนหนึ่งซึ่งผู้เขียนต้องขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ นอกจากนี้ผู้เขียนยังต้องขอขอบคุณผู้ร่วมงานซึ่งประกอบด้วย นางสาวพิมพ์นิต สือเจริญกิจ และ นายกฤษดา แซ่หลี ไว้ ณ ที่นี้เช่นกัน

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] G.-C. Shen, S.I. Fujita, S. Matsumoto, and N. Takezawa, "Steam Reforming of Methanol on Binary Cu/ZnO Catalysts: Effects of Preparation Condition upon Precursors, Surface Structure and Catalytic Activity", *J. Molecular Catalysis A: Chemical* vol. 124, Mar 1997, pp. 123-136.
- [2] B.A. Peppley, J.C. Amphlett, L.M. Kearns, and R.F. Mann, "Methanol-Steam Reforming on Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Part I: the Reaction network", *Appl. Catal. A: General* vol. 179, Aug. 1999, pp. 21-29.
- [3] S. Akaratiwa, T. Udomman, J. Ponbubpha, and S. Naovaratjirawat, "Study of Steam Reforming of Methanol Over Cu/ZnO Catalysts" *Proceeding of Regional Symposium of Chemical Engineering, Singapore, Dec. 2000, RE.5-6.*
- [4] W.-H. Cheng, "Reaction and XRD Studies on Cu Based methanol decomposition Catalysts: Role of constituents and Development of High-activity Multicomponent catalysts", *Appl. Catal. A: General* vol. 130, Apr. 1995, pp. 13-30.
- [5] L.Alejo, R.Lago, M.A. Pena, and J.L.G. Fierro, "Partial Oxidation of Methanol to Produce Hydrogen Over Cu-Zn-based Catalysts", *Appl.Catal.A: General* vol.162, Mar, 1997, pp.281-297.
- [6] W.-H. Cheng, C.-Y. Shiau, T. H. Liu, H. L. Tung, J.-F. Lu, and C. C. Hsu., "Promotion of Cu/Cr/Mn catalyst by alkali additives in methanol decomposition," *Appl. Catal. A: General* Vol 170, 1998, pp. 215-224.
- [7] R.O. Idem and N. N. Bakhshi., "Production of Hydrogen from Methanol over Promoted Coprecipitated Cu - Al Catalysts: The Effects of Various Promoters and Catalyst Activation Methods," *Ind. Eng. Chem., Vol. 34, No 5, 1995, pp. 1548-1557.*