1. บทนำ

สมบัติหลายๆอย่างของวัสดุโลหะถูกกำหนดและควบคุมด้วยขนาดเกรน (Grain)ของวัสดุ ทั้งนี้โดยทั่วไปแล้ววัสดุที่ผลิตและขึ้นรูปจะมีเกรนในขนาดระดับไมโครเมตร (10^{-6}m) สำหรับวัสดุโลหะที่ผลิตด้วยวิธีการหล่อ ปกติจะมีขนาดเกรนใหญ่ได้ถึงระดับเซนติเมตร (10^{-2} m) ตั้งแต่เมื่อประมาณ 10 ปีที่ผ่านมา นักวิจัยและภาคอุตสาหกรรมในต่างประเทศได้ให้ความสนใจเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาพัฒนากระบวนการผลิตวัสดุให้มีขนาดเกรนอยู่ในช่วงระดับนาโนเมตร (10^{-9} m) เพื่อการปรับปรุงคุณภาพของวัสดุ [1-4] ยกตัวอย่างเช่น การเพิ่มความแข็งแกร่ง และการพัฒนาสมบัติทางความร้อนและแม่เหล็ก วัสดุที่ผลิตได้เรียกกันโดยทั่วไปว่าวัสดุผลึกนาโน หรือ Nanocrystalline Materials ทั้งนี้สมบัติที่เปลี่ยนไปของวัสดุเมื่อมีขนาดเกรนเล็กมากในระดับนาโนเมตรเกิดจากการที่ขอบเกรนของวัสดุมีปริมาณที่มากขึ้น และเริ่มทำหน้าที่ควบคุมสมบัติต่างๆ ของวัสดุ

กระบวนการ Electrodeposition เป็นกระบวนการผลิตวัสดุด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemistry) ที่สามารถปรับใช้เพื่อการผลิตวัสดุผลึกเกรนนาโน วิธีนี้มีข้อดีและได้เปรียบกว่ากระบวนการอื่น ๆ เช่น การบดและขึ้นรูปผงระดับนาโน [5, 6] หรือการรีดอัดวัสดุ เพื่อลดขนาดเกรน [7, 8] เนื่องจาก กระบวนการ Electrodeposition สามารถทำได้ที่อุณหภูมิต่ำ มีขั้นตอนการผลิตเพียงขั้นตอนเดียว (One-step Process) สามารถนำไปใช้กับงานเคลือบผิววัสดุได้ดี โดยหนึ่งในวัสดุที่นิยมผลิตด้วยวิธี Electrodeposition คือ นิกเกิล (Ni) ซึ่งมักผลิตเป็นวัสดุเคลือบผิวเหล็กและโลหะเพื่อความมันวาวสวยงาม และเพื่อเพิ่มความแข็งแกร่งของผลิตภัณฑ์ โดยในช่วงเวลาไม่กี่ปีมานี้ได้เกิดความพยายามในการลดขนาดเกรนของนิกเกิลให้อยู่ในระดับนาโนเมตร โดยเหตุผลหลักคือ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุตามทฤษฎี Hall-Petch ที่กล่าวว่าความแข็งแรงของวัสดุโลหะจะแปรผกผันกับขนาดเกรน [9]

Yamasaki et al. [10] Younes et al. [11] Wu et al. [12] และ Detor et al. [13] ได้ค้นพบว่าการผสมนิกเกิลด้วยทังสเตนในปริมาณที่ไม่มากนัก สามารถควบคุมเกรนของนิกเกิลให้มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรได้ ทั้งนี้เนื่องจากการที่อะตอมของทังสเตนจะกระจัดกระจายอยู่ตามขอบเกรนของนิกเกิล และส่งผลให้เกรนขนาดเล็กมีความเสถียร ไม่ขยายเป็นเกรนที่ใหญ่ขึ้น (Grain Growth) [14] นักวิจัยดังกล่าวยังได้ค้นพบอีกด้วยว่า ขนาดเกรนของนิกเกิลจะแปรผกผันกับปริมาณของทังสเตน อีกทั้งตัวแปรในการผลิตในกระบวนการ Electrodeposition เช่นระดับและวิธีการจ่ายกระแสไฟ อุณหภูมิ และชนิดสารเคมีตั้งต้นที่ใช้ ล้วนแล้วแต่มีผลในการควบคุมปริมาณทังสเตนที่จะผสมอยู่ในนิกเกิล ในส่วนของสมบัติทางกล Yamasaki et al. [10] และ Schuh et al. [15] ค้นพบว่าวัสดุนิกเกิลที่ถูกปรับปรุงขนาดเกรนให้เล็กอยู่ในช่วงประมาณ 10 นาโนเมตร จะมีความแข็งเพิ่มขึ้นได้เป็น 7 GPa จากความแข็งประมาณ 1-2 GPa สำหรับนิกเกิลที่มีขนาดเกรนในระดับ 1 ไมโครเมตร

อย่างไรก็ดี ยังมีความต้องการให้นิกเกิลมีความแข็งเพิ่มมากยิ่งขึ้น เพื่อให้สามารถใช้ทดแทนโครเมียม ที่มีความแข็งสูงกว่า 10 GPa และใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมในการผลิต แนวทางหนึ่งที่จะเพิ่มความแข็งให้กับนิกเกิลได้ คือ การผสมวัสดุที่มีความแข็งสูงเช่น WC เข้าในเนื้อนิกเกิลโดยวิธี Co-Electrodeposition โดยในกระบวนการนี้ ผงเซรามิกที่มีขนาดเล็กระดับไมโคร/นาโน

เมตรจะกระจายอยู่ในสารละลายที่เป็นสารตั้งต้นของวัสดุโลหะที่ใช้สำหรับ Electrodeposition ก่อนที่วัสดุทั้งหมดจะถูกทำให้ตกสะสม (deposit) พร้อมๆกันบนวัสดุรองรับ [16, 17] ตัวอย่างของวัสดุที่ได้รับการผลิตในลักษณะนี้คือสารประกอบ ทองแดง-อะลูมินา ($Cu-Al_2O_3$) [18, 19] สังกะสี-ซิลิกา ($Zn-SiO_2$) [20] และ ทอง-เพชร (Au-C) [21] ในส่วนของวัสดุนิกเกิลเอง ได้มีความพยายามใช้เทคนิค Co-Electrodeposition เพื่อปรับปรุงสมบัติของวัสดุที่ผลึกเกรนอยู่ในระดับไมโครเมตร ยกตัวอย่างเช่น การผสมนิกเกิลด้วยผงเซอร์โคเนีย (ZrO_2) เพื่อเพิ่มความแข็ง [22] การเติมผง อะลูมินา (Al_2O_3) เพื่อปรับปรุงสมบัติทางแม่เหล็ก [23, 24] และการเพิ่มความต้านทานต่อการสึกกร่อนด้วยผงทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) [25, 26] ปัจจัยที่สามารถส่งผลต่อคุณภาพการผลิตของวัสดุเชิงประกอบประเภทนี้ประกอบด้วยวิธีการจ่ายกระแสไฟ ปริมาณและลักษณะของผงเซรามิกตั้งต้น และวิธีการทำให้วัสดุกระจายตัวได้ดีในสารละลาย [16]

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการ Co-Electrodeposition เพื่อการผลิต Ni ผลึกเกรนนาโน ซึ่งมีการผสมของ W เพื่อควบคุมขนาดเกรน และ ผง WC เพื่อเพิ่มความแข็ง การศึกษาคลอบคลุมถึงปัจจัยตัวแปรการผลิตที่มีผลต่อโครงสร้างและสมบัติเชิงกลของวัสดุ องค์ความรู้พื้นฐานที่เกิดขึ้นจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาวัสดุเคลือบผิวโลหะที่มีความคงทนและแข็งแรง และช่วยลดต้นทุนในการรักษาซ่อมแซมผลิตภัณฑ์ เป็นประโยชน์สำหรับอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ เครื่องจักร และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า