สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ง
กิตติกรรมประกาศ		ฉ
สารบัญ		ช
รายการตาราง		ฌ
รายการรูปประกอบ		ฎ
บทที่		
1.	**บทนำ**	**1**
1.1	ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	2
1.2	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3	ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4	ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	3
2.	**งานวิจัยที่ผ่านมาและทฤษฎี**	**4**
2.1	งานวิจัยที่ผ่านมา	3
2.1	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	19
3.	**วิธีการทดลอง**	**27**
3.1	การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา	27
3.2	การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา	30
3.3	การวิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้า	32
4.	**ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง**	**34**
4.1	การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะนิกเกิลบนตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค AAS	34
4.2	การวิเคราะห์ทางโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค TEM	36
4.3	การวิเคราะห์โครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค Electron diffraction pattern	42

4.4	ผลการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค XRD	45
4.5	การทดสอบความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_xNi_y/C ในการเร่งปฏิกิริยาอิเล็กโทรออกซิเดชันของกลูโคสในด่าง	49
4.6	การทดสอบความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_xNi_y/C สำหรับปฏิกิริยาอิเล็กโทรออกซิเดชันของกลูโคส	55
4.7	การทดสอบความเสถียรของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคโครโนแอมเปอโรเมทรี (CA)	59
4.8	การวิเคราะห์ความเสถียรด้วยเทคนิคโครโนโพเทนซิโอเมทรี (Chornopotentiometry;CP)	64
4.9	เปรียบเทียบสมรรถนะของตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างแบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่ กับแบบที่มีปริมาณทองคงท สำหรับปฏิกิริยา อิเล็กโทรออกซิเดชันของกลูโคสในด่าง	66

5. สรุปผลการทดลอง **72**

เอกสารอ้างอิง **74**

ภาคผนวก **78**

ภาคผนวก ก. ตัวอย่างการคำนวณ 78

ภาคผนวก ข. ภาพถ่าย TEM 93

ประวัติผู้วิจัย **114**

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
3.1	ปริมาณทองและนิกเกิลแบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่ 20%	28
3.2	ปริมาณทองและนิกเกิลแบบควบคุมปริมาณทองคงที่ 20%	29
4.1	ปริมาณนิกเกิลของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS	34
4.2	อัตราส่วนระหว่างอะตอมโลหะทองต่อโลหะนิกเกิลบนตัวเร่งปฏิกิริยาแบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS	35
4.3	ปริมาณนิกเกิลของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS	35
4.4	อัตราส่วนระหว่างอะตอมโลหะทองต่อโลหะนิกเกิลบนตัวเร่งปฏิกิริยาแบบควบคุมปริมาณทองคงที่	36
4.5	ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมโดยควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่ และ ควบคุมปริมาณทองคงที่	42
4.6	ขนาดของผลึกโลหะของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_xNi_y/C แบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่	47
4.7	เปรียบเทียบขนาดของผลึกและขนาดอุภาคเฉลี่ยของทุกตัวเร่งปฏิกิริยาแบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่	47
4.8	การคำนวณขนาดของผลึกของโลหะที่ระนาบ 220 ของทุกตัวเร่งปฏิกิริยา	48
4.9	เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างขนาดอนุภาคและขนาดของผลึก	49
4.10	พื้นที่ผิวว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้า	54
4.11	ความว่องไวของการเกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรแคทตาไลติกของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่	56
4.12	ความว่องไวของการเกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรแคทตาไลติกของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบควบคุมปริมาณทองคงที่	57
4.13	ตารางแสดงอัตราการเสื่อมของตัวเร่งปฏิกิริยาและความหนาแน่นกระแสสุดท้ายของตัวเร่งปฏิกิริยา Au/C, Au_xNi_y/C สำหรับที่รวมโลหะรวม	60
4.14	ตารางแสดงอัตราการเสื่อมของตัวเร่งปฏิกิริยาและความหนาแน่นกระแสสุดท้ายของตัวเร่งปฏิกิริยา Au/C, Au_xNi_y/C สำหรับที่อัตราส่วนทองคงที่	62

ตาราง (ต่อ) **หน้า**

4.15	เปรียบความแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาแบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่กับแบบควบคุมปริมาณทองที่ สำหรับปฏิกิริยาอิเล็กโทรออกซิเดชันของกลูโคสในด่าง	65
4.16	เปรียบเทียบความหนาแน่นกระแสสูงสุดของตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างแบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่ กับแบบควบคุมปริมาณทองคงที่	68
4.17	เปรียบเทียบความเสถียรของตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างแบบที่มีปริมาณโลหะรวมคงที่ 20% กับแบบที่ มีปริมาณทองคงที่	69
ก.1	เปรียบเทียบการคำนวณขนาดผลึกระหว่างระนาบ (111) และ (220)	82
ก.2	เปรียบเทียบการคำนวณ แลตทิซพารามิเตอร์ ระหว่างระนาบ (111) และ (220)	83

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	กราฟไซคลิกโวลแทมเมทรีของขั้วอิเล็กโทรดทองขนาดอนุภาคในระดับนาโนเมตรในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (เส้นสีฟ้า) และในสารละลายที่มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ กับกลูโคส 10 มิลลิโมลาร์ (เส้นสีแดง) ที่อัตราการกราดศักย์ไฟฟ้า 10 มิลลิโวลต์ต่อนาที	5
2.2	กราฟไซคลิกโวลแทมเมทรีของขั้วอิเล็กโทรด Au, Ag และ Au/Ag ในความเข้มข้นของโซเดียมเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ และความเข้มข้นของกลูโคส 10 มิลลิโมลาร์ ในรูปที่อัตราการกราดศักย์ไฟฟ้า 50 มิลลิโวลต์ต่อนาที	6
2.3	กราฟไซคลิกโวลแทมเมทรีของตัวเร่งปฏิกิริยา Au/C, AuPt/C, Pt/Cที่โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลลาร์ และกลูโคส 10 มิลลิโมล ที่อัตราการกราด 20 มิลลิโวลต์/ วินาที	9
2.4	กราฟไซคลิกโวลแทมเมทรีของขั้วอิเล็คโทรด Au/C และ Ag/C ในกลูโคส 0.01 โมลาร์ และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.3 โมลาร์	10
2.5	การวิเคราะห์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/C และตัวเร่งปฏิกิริยา Pd_xNi_y/C ที่ทุกอัตราส่วนอะตอม	10
2.6	กราฟไซคลิกโวลแทมเมทรีของปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลบนตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/C และบนของตัวเร่งปฏิกิริยา Pd_xNi_y/C ที่มีค่าอัตราส่วนระหว่าง Pd และ Ni ต่างๆกัน	11
2.7	รูป TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยา (A) Ni/C และ (B) $Ni_{37}Pt_3/C$	13
2.8	กราฟไซคลิกโวแทมเมทรีของปฏิกิริยาออกซิเดชันของ BH^-_4 ที่อัตราการสแกน 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที	14
2.9	กราฟไซคลิกโวแทมเมทรีของขั้วอิเล็คโทรดอัลลอยด์ Pd-Ni , Ni และ Pd ใน โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ ที่ 20 มิลลิโวลต์/วินาที (a) อัลลอยด์ Pd-Ni (b) ขั้วอิเล็คโทรด Pd (c)ขั้วอิเล็คโทรด fresh Ni (d) ขั้วอิเล็คโทรด age Ni [18]	15
2.10	กราฟไซคลิกโวแทมเมทรีของ Ni ใน LiOH 0.1 โมลาร์ อัตราการสแกน 20 มิลลิโวลต์/ วินาที	16
2.11	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของตัวเร่งปฏิกิริยาทองที่ 20% โดยน้ำหนักบนตัวรองรับคาร์บอน	17

รูป (ต่อ) **หน้า**

2.12 กราฟไซคลิกโวลแทมเมทรีของตัวเร่งปฏิกิริยาทอง 20% โดยน้ำหนักบนตัวรองรับคาร์บอนในความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ ที่อัตราการกราดศักย์ไฟฟ้า 20 มิลลิโวลต์ต่อนาทีตัวรองรับคาร์บอน 17

2.13 พฤติกรรมของโครงสร้างแบบ insensitive และ sensitive 18

2.14 เซลล์เชื้อเพลิงกลูโคสโดยตรงในสารละลายด่าง 20

2.15 โครงสร้างของกลูโคสที่เปิดสายโซ่ 21

2.16 กลไกของกลูโคสที่ขั้วอิเล็กโทรดทอง 22

2.17 โครงข่ายของปฏิกิริยาออกซิเดชันของกลูโคสในสารละลายด่าง 23

2.18 การป้อนศักย์ไฟฟ้าให้กับขั้วไฟฟ้าทำงานระหว่าง E_i และ E_f 24

4.1 ภาพถ่าย TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยา Au/C และฮีสโทแกรมแสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคทอง 37

4.2 ภาพถ่าย TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/C 37

4.3 ภาพถ่าย TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_4Ni_1/C แบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่และฮีสโทแกรมแสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคทอง 38

4.4 ภาพถ่าย TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_3Ni_1/C แบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่และฮีสโทแกรมแสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคระดับนาโนของทอง 38

4.5 ภาพถ่าย TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_2Ni_1/C แบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่และฮีสโทแกรมแสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคระดับนาโนของทอง

4.6 ภาพถ่าย TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_1Ni_1/C แบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่และฮีสโทแกรมแสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคทอง 39

4.7 ภาพถ่าย TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_4Ni_1/C แบบควบคุมปริมาณทองคงที่และฮีสโทแกรมแสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคทอง 40

4.8 ภาพถ่าย TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_3Ni_1/C แบบควบคุมปริมาณทองคงที่และฮีสโทแกรมแสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคทอง 40

4.9 ภาพถ่าย TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_2Ni_1/C แบบควบคุมปริมาณทองคงที่ และฮีสโทแกรมแสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคทอง 41

4.10 ภาพถ่าย TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_1Ni_1/C แบบควบคุมปริมาณทองคงที่ และฮีสโทแกรมแสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคทอง 41

รูป (ต่อ) **หน้า**

4.11 วงแหวนการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนของ Au/C และ Ni/C 43

4.12 วงแหวนการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนของ Au_xNi_y/C แบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่ 44

4.13 วงแหวนการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนของAu_xNi_y/C แบบควบคุมปริมาณทองคงที่ 45

4.14 รูปแบบ XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทุกอัตราส่วนอะตอมของทองกับนิกเกิลแบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่ 46

4.15 รูปแบบ XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทุกอัตราส่วนอะตอมของทองกับนิกเกิลแบบควบคุมปริมาณทองคงที่ 48

4.16 กราฟไซคลิกโวลแทมเมทรีของ Au/C ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ ที่อัตราการสแกนศักย์ไฟฟ้าที่ 20 มิลลิโวลต์/วินาที และที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 50

4.17 กราฟไซคลิกโวลแทมเมทรีของ Ni/C ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ ที่อัตราการสแกนศักย์ไฟฟ้าที่ 20 มิลลิโวลต์/วินาที และที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 51

4.18 กราฟไซคลิกโวลแทมเมทรีของ Au/C, Ni/C และ Au_xNi_y/C ในโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ ที่อัตราการสแกนศักย์ไฟฟ้าที่ 20 มิลลิโวลต์ต่อวินาที และที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 52

4.19 กราฟไซคลิกโวลแทมเมทรีของ Au/C, Ni/C และ Au_xNi_y/C-20%Au ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ ที่อัตราการสแกนศักย์ไฟฟ้าที่ 20 มิลลิโวลต์ต่อวินาที และที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 53

4.20 วิถีการเกิดปฏิกิริยาของ Au/C ผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของกลูโคส 54

4.21 กราฟไซคลิกโวลแทมเมทรีของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_xNi_y/C ที่ควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่ ใน สารละลายกลูโคส 0.1โมลาร์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ ที่อัตราการสแกนศักย์ไฟฟ้าที่ 20 มิลลิโวลต์/วินาที และที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 55

4.22 กราฟไซคลิกโวลแทมเมทรีของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_xNi_y/C แบบควบคุมปริมาณทองคงที่ ในสารละลายกลูโคส 0.1โมลาร์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ ที่อัตราการสแกนศักย์ไฟฟ้าที่ 20 มิลลิโวลต์ต่อวินาที และที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 57

4.23 กราฟโครโนแอมเปอร์โรเมทรีของตัวเร่งปฏิกิริยาAu_xNi_y/C แบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่ ในสารละลายที่มีกลูโคส 0.1 โมลาร์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ ที่ความต่างศักย์เท่ากับ -0.4 โวลต์ 58

รูป (ต่อ) **หน้า**

4.24 กราฟโครโนแอมเปอร์โรเมทรีของตัวเร่งปฏิกิริยาAu_xNi_y/C แบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่ ในสารละลายที่มีกลูโคส 0.1 โมลาร์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ ที่ความต่างศักย์เท่ากับ 0.3 โวลต์ 59

4.25 กราฟโครโนแอมเปอร์โรเมทรีของตัวเร่งปฏิกิริยาAu_xNi_y/C แบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่ ในสารละลายที่มีกลูโคส 0.1 โมลาร์ และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ ที่ความต่างศักย์เท่ากับ -0.4 โวลต์ 62

4.26 กราฟโครโนแอมเปอร์โรเมทรีของตัวเร่งปฏิกิริยาAu_xNi_y/C แบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่ ในสารละลายที่มีกลูโคส 0.1 โมลาร์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ ที่ความต่างศักย์เท่ากับ 0.3 โวลต์ 63

4.27 กราฟโครโนโพเทนซิโอเมทรีของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่ ในสารละลายกลูโคส 0.1 โมลาร์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ ที่ 4 มิลลิแอมแปร์/ตารางเซนติเมตร 63

4.28 กราฟโครโนโพเทนซิโอเมทรีของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบควบคุมปริมาณทองคงที่ ในสารละลายกลูโคส 0.1 โมลาร์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ ที่ 4 มิลลิแอมแปร์/ตารางเซนติเมตร 64

4.29 กราฟไซคลิกโวแทมเมทรีของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_4Ni_1/C และ Au_4Ni_1/C-20%Au ในสารละลายกลูโคส 0.1 โมลาร์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ 67

4.30 กราฟไซคลิกโวแทมเมทรีของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_3Ni_1/C และ Au_3Ni_1/C-20%Au ในสารละลายกลูโคส0.1 โมลาร์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ 68

4.31 กราฟไซคลิกโวแทมเมทรีของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_2Ni_1/C และ Au_2Ni_1/C-20%Au ในสารละลายกลูโคส 0.1 โมลาร์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ 68

4.32 กราฟไซคลิกโวแทมเมทรีของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_1Ni_1/C และ Au_1Ni_1/C-20%Au ในสารละลายกลูโคส 0.1 โมลาร์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.6 โมลาร์ 69

ก.1 การสะท้อนของ Au ระนาบ (220) สำหรับ Au/C 79

ข.1 ภาพถ่าย TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยา Au/C ที่กำลังขยาย (ก) 20,000 เท่า (ข) 50,000 เท่าและ (ค) 100,000 เท่า 96

ข.2 ภาพถ่าย TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/C ที่กำลังขยาย (ก) 20,000 เท่า (ข) - (ฉ) 50,000 เท่า และ (ช) 100,000 เท่า 99

รูป (ต่อ) **หน้า**

ข.3 ภาพถ่าย TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_4Ni_1/C แบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่ ที่กำลังขยาย (ก) 20,000 เท่า (ข) 50,000 เท่า และ (ค) - (ช) 100,000 เท่า 102

ข.4 ภาพถ่าย TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_3Ni_1/C แบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่ ที่กำลังขยาย (ก) 20,000 เท่า (ข) 50,000 เท่าและ (ค) – (ช) 100,000 เท่า 105

ข.5 ภาพถ่าย TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_2Ni_1/C แบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่ ที่กำลังขยาย (ก) 20,000 เท่า (ข) 50,000 เท่า และ (ค) – (ช) 100,000 เท่า 108

ข.6 ภาพถ่าย TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_1Ni_1/C แบบควบคุมปริมาณโลหะรวมคงที่ ที่กำลังขยาย (ก) 20,000 เท่า (ข) 50,000 เท่า และ (ค) – (ช) 100,000 เท่า 111

ข.7 ภาพถ่าย TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_4Ni_1/C แบบควบคุมปริมาณทองคงที่ ที่กำลังขยาย (ก) 20,000 เท่า (ข) 50,000 เท่า และ (ค) - (ช) 100,000 เท่า 114

ข.8 ภาพถ่าย TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_3Ni_1/C แบบควบคุมปริมาณทองคงที่ ที่กำลังขยาย (ก) 20,000 เท่า (ข) 50,000 เท่า และ (ค)-(ช) 100,000 เท่า 117

ข.9 ภาพถ่าย TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_2Ni_1/C-20%Au แบบควบคุมปริมาณทองคงที่ ที่ กำลังขยาย (ก) 20,000 เท่า (ข) 50,000 เท่า และ (ค) - (ช) 100,000 เท่า 120

ข.10 กาพถ่าย TEM ของตัวเร่งปฏิกิริยา Au_1Ni_1/C-20%Au แบบควบคุมปริมาณทองคงที่ ที่กำลังขยาย (ก) 20,000 เท่า (ข) 50,000 เท่า และ (ค) - (ช) 100,000 เท่า 123