



คุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงแสงของไททาเนียมไดออกไซด์
ที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการโซลเจล

PHYSICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF TITANIUM DIOXIDE SYNTHESIZED
BY SOL-GEL TECHNIQUE

2.5 ซม.

3 ซม.

ปราณูรยา ผาดโรสง
พูนทรัพย์ ปุราสะกา

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)

พ.ศ. 2545 (ปรับปรุง พ.ศ. 2546)

สาขางาน..... สาขาวิชา.....

วิทยาลัยเทคนิคสตั๊ปป

ปีการศึกษา.....

2.5 ซม.



คุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงแสงของไททาเนียมไดออกไซด์
ที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการโซลเจล

PHYSICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF TITANIUM DIOXIDE SYNTHESIZED
BY SOL-GEL TECHNIQUE

ปริญญญา ผาดไรสง
พูนทรัพย์ ปุราสะกา

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)

พ.ศ. 2545 (ปรับปรุง พ.ศ. 2546)

สาขางาน..... สาขาวิชา.....

วิทยาลัยเทคนิคสตัหีบ

ปีการศึกษา.....



ชื่อโครงการ คุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงแสงของไททาเนียมไดออกไซด์
ที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการโซลเจล

โดย นายพูนทรัพย์ ปุราสะกา
นางสาวปราณรยา ผาดไธสง

2.5|જામ.

วันที่ เดือน มีนาคม พ.ศ.

3 ឃុំ.

โครงการงาน	คุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงแสงของไททาเนียมไดออกไซด์ ที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการโซลเจล
โดย	นายพูนทรัพย์ ปุราสะกา นางสาวปราณรยา ผาดโสง
สาขาวิชา	แมคคาทรอนิกส์
สาขางาน	แมคคาทรอนิกส์
ครูที่ปรึกษา	นายสมบัติ อินธิ
ครูที่ปรึกษาร่วม	นายธีระยุทธ นัยนุ่น
จำนวนหน้า	80 หน้า
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการโซลเจล มีคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงแสงที่ดีกว่าไททาเนียมไดออกไซด์ (P-25) จากการศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของกรดเปอร์คลอริก ระยะเวลาการตั้งสารละลายโซลทิ้งไว้ (Aging time) และอุณหภูมิในการเผา (Annealing temperature) พบว่า อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ มีสัดส่วนของโครงสร้างแบบอนาเทสต่อโครงสร้างแบบรูไทล์ (Ratio of anatase to rutile) ขนาดอนุภาค (Particle size) และพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) ที่แตกต่างกัน โดยไททาเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีสัดส่วนของเฟสอนาเทสสูงถึง 90% ซึ่งสูงกว่า P-25 ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 5-10 nm ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า P-25 ถึง 3 เท่า และมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงถึง 300 m²/g ซึ่งสูงกว่า P-25 ถึง 6 เท่า คุณสมบัติทางกายภาพดังกล่าว ส่งผลให้ไททาเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีคุณสมบัติเชิงแสงในการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 292±5 nm ดีขึ้น ซึ่งจากคุณสมบัติดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลติก (Photocatalytic activity) เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ไททาเนียมไดออกไซด์ คุณสมบัติเชิงแสง การดูดกลืนแสงยูวี เทคนิคโซลเจล

การเขียนบทคัดย่อ

จะต้องกล่าวถึงหัวข้อต่อไปนี้

- ◆ ชื่อโครงการ
- ◆ วัตถุประสงค์
- ◆ ส่วนประกอบของโครงการ
- ◆ รูปแบบของการทดลอง
- ◆ ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

เขียนเป็นย่อหน้าเดียวกัน โดยความยาวไม่เกิน ½ หน้ากระดาษ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ก็ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ครูสมบัติ อินธิ์น ครูที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการจัดทำโครงการมาโดยตลอด ขอขอบคุณ คณะกรรมการสอบโครงการทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนคณะครูทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณ สาขางานแมคคาทรอนิกส์ สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์ ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ทำการทดลอง เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำโครงการ อีกทั้งขอขอบคุณผู้ปกครอง ที่สนับสนุนทุนจัดทำโครงการในครั้งนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎี.....	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	7
3.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น	7
3.2 ขั้นตอนการศึกษา	7
3.3 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	7
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน.....	8
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	10
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	10
5.2 อภิปรายปัญหา	10
5.3 ข้อเสนอแนะ	10
เอกสารอ้างอิง.....	12
ภาคผนวก ก.....	17
ผลการวิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกของไททานเนียมไดออกไซด์	17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ข	19
ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิเจ้าพะและรุกรนของไททานเนียมไดออกไซด์	19

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ความสามารถในการดูดซับของโมเลกุลแก๊สบนผิวหน้าของโลหะต่างๆ5

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	อิเล็กตรอนที่ถูกจับโดยตัวดูดซับ.....4
ก.1	ฟิสิกการเกิดเฟสของไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใช้กรดเปอร์คลอริก ความเข้มข้น 0.01 M เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เมื่อไม่ตั้งทิ้งไว้เลย17
ก.2	ฟิสิกการเกิดเฟสของไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใช้กรดเปอร์คลอริกความเข้มข้น 0.01 M เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เมื่อไม่ตั้งทิ้งไว้เลย18
ก.3	แสดงฟิสิกการเกิดเฟสของไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใช้กรดเปอร์คลอริกความเข้มข้น 0.01 M เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เมื่อไม่ตั้งทิ้งไว้เลย18

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	หน่วย	คำอธิบาย
A	-	ค่าการดูดกลืนแสง (Light absorbance)
C	mol/L	ความเข้มข้นของสารตัวอย่าง
D	\AA	ขนาดผลึกที่ระยะทางระหว่างสองระนาบ
I	-	ความเข้มของรังสีหลังผ่านสารตัวอย่าง
K	-	คริสตัลไลต์-เชฟ แฟกเตอร์ (Crystallite-shape factor)
L	cm	ความหนาของเซลล์ตามแนวลำแสง
β	-	ความสูงครึ่งหนึ่งของพีค (Peak) สูงสุดของโครงสร้างที่สนใจ
ϵ	-	ค่าการดูดกลืนแสง (Molar absorptivity)
λ	\AA	ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์
θ	Degree	มุมที่ทำให้เกิดยอดสูงสุด
I_0	-	ความเข้มของรังสีก่อนผ่านสารตัวอย่าง
$I_{A(101)}$	-	ความเข้มของเฟสอโนเทสที่ระนาบ (101)
$I_{R(110)}$	-	ความเข้มของเฟสรูไทล์ที่ระนาบ (110)

[Enter 1 ครั้ง]

บทที่ 1

บทนำ

จัดรูปแบบการพิมพ์จัดซ้ายพยายามให้คำท้ายบรรทัดเท่ากันทุกบรรทัด



1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ตั้งค่า Tab ซ้าย 1 ซม.

ปัจจุบันไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย เช่น ในระบบบำบัดน้ำเสีย หรือระบบบำบัดอากาศเสีย เนื่องจากสารแอคทีฟ (Active species : $\bullet\text{OH}$, $\bullet\text{O}$) ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจน (Oxygen reduction) โดยอิเล็กตรอน (Photoexcited electron) และจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำ (Water Oxidation) โดยโฮล (Photoexcited hole) จะมีความสามารถออกซิไดส์สารอินทรีย์ได้ดี อีกทั้งมีการประยุกต์ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ในสีทาบ้าน เนื่องจากความสามารถในการทนแสงที่ดี ซึ่งการนำไททาเนียมไดออกไซด์ไปประยุกต์ใช้นั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงคุณลักษณะของ ไททาเนียมไดออกไซด์ เช่น โครงสร้าง (Phase structure), ขนาดอนุภาค และพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) และอื่นๆ ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อกลไกการทำให้เกิดปฏิกิริยา [1]

ใช้อ้างอิงในเอกสารอ้างอิงลำดับที่ 1

โครงสร้างผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์มีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ โครงสร้างแบบอนาเทส (Anatase) แบบรูไทล์ (Rutile) และแบบบรูคไท์ (Brookite) โดยไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างแบบอนาเทส จะมีประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกได้ดีกว่าโครงสร้างแบบรูไทล์ สาเหตุเนื่องมาจากการกลับมารวมตัวกันใหม่ของอิเล็กตรอนกับโฮล เกิดได้ยากกว่าโครงสร้างแบบรูไทล์ ในขณะที่โครงสร้างแบบรูไทล์มีค่ารีแฟรคทีฟอินเดกซ์ (Refractive Index) สูงกว่าโครงสร้างแบบอนาเทส และมีความเสถียรที่อุณหภูมิสูง จึงเหมาะที่จะใช้เป็นตัวเติมเพื่อสะท้อนแสง โดยทั่วไปแล้ว โครงสร้างผลึกแบบอนาเทส และ รูไทล์เป็นที่นิยมนำมาศึกษา สำหรับการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก โดยโครงสร้างผลึกอนาเทส ให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงกว่าโครงสร้างผลึกรูไทล์ แต่อย่างไรก็ตาม ในบางปฏิกิริยา โครงสร้างผลึกรูไทล์หรือโครงสร้างผลึกผสมระหว่างแบบอนาเทสและแบบรูไทล์ (เช่น อนาเทส 70-75% และ รูไทล์ 30-25%) ถูกรายงานว่าให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงกว่าโครงสร้างผลึกอนาเทสบริสุทธิ์ โดยทั้งนี้ทั้งนั้นมีตัวแปรหลายอย่างส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาของแต่ละโครงสร้างผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์ ได้แก่ พื้นที่ผิว, การกระจายตัวของรูพรุน, ขนาดของอนุภาคผลึก, และที่สำคัญมากคือ วิธีการที่ใช้ในการสังเคราะห์ผลึกไททาเนียมไดออกไซด์ ส่วนโครงสร้างแบบบรูคไท์ ยังไม่มีการศึกษากันมากนัก [2]

ขนาดอนุภาคของไททาเนียมไดออกไซด์ส่งผลต่อประสิทธิภาพของปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก โดยไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาดนาโน (Nano-sized) จะส่งผลให้อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของ

อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการกลับมารวมตัวกันใหม่ของอิเล็กตรอนกับโฮลภายในอนุภาค (Volume recombination) ลดลง ทำให้ประสิทธิภาพปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก เพิ่มขึ้น [3] อีกทั้งพื้นที่ผิวจำเพาะของไททาเนียมไดออกไซด์ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (Chemical Adsorption) ตลอดจนความสามารถในการดูดกลืนแสง (Light Absorption) [4]

คุณสมบัติทางกายภาพของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ จะขึ้นอยู่กับวิธีการสังเคราะห์ โดยที่การสังเคราะห์ด้วยวิธีโซล - เจล (Sol - gel Technique) เป็นวิธีการสังเคราะห์ทางเคมีแบบเปียก (Wet-process) ชนิดหนึ่งที่มีความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากการสังเคราะห์สารที่อุณหภูมิต่ำและมีราคาถูก โดยไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้จากวิธีโซล - เจลจะมีอนุภาคนาโน [5] อย่างไรก็ตาม การปรับสภาวะในการเตรียมด้วยวิธีโซล - เจล เช่น ชนิดของกรด ความเข้มข้นของกรด อุณหภูมิในการเผา ทำให้ได้อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันด้วย [6]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ทำการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยกระบวนการโซล - เจล โดยศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของกรดเปอร์คลอริก และอุณหภูมิในการเผาที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไททาเนียมไดออกไซด์ ได้แก่โครงสร้าง ขนาดอนุภาค และพื้นที่ผิวจำเพาะ ตลอดจนศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงในการดูดกลืนแสงยูวี ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก (Photocatalytic activity)

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยในการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยกระบวนการโซล - เจล ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไททาเนียมไดออกไซด์

1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของคุณสมบัติทางกายภาพของไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีต่อคุณสมบัติการดูดกลืนแสงของไททาเนียมไดออกไซด์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 การเตรียมไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีโซล - เจล

ตั้งค่า Tab ซ้าย 2 ซม.

→ 1.3.1.1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ปัจจัยที่ศึกษาคือ กรดเปอร์คลอริก ที่ความเข้มข้น 0.01, 0.005 และ 0.001 โมลาร์

1.3.1.2 ปฏิกิริยาคอนเดนเซชัน (Condensation) ปัจจัยที่ศึกษาคือ ระยะเวลาในการปดตั้งสารไททาเนียมไดออกไซด์ชนิดโซลทิ้งไว้ 0, 3 และ 6 วัน

1.3.2 อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา คือ 300, 350, 400, 450, และ 600 องศาเซลเซียส

1.3.3 การไดอะไลซ์ (Dialyze) ของสารละลายให้ได้พีเอช (pH) ประมาณ 3.5 ± 0.1

1.3.4 การวิเคราะห์

1.3.4.1 การวัดการดูดกลืนของแสงด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง

1.3.4.2 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

1.3.4.3 การวิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน

1.3.4.4 การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนด้วยเครื่องวัดการดูดซับก๊าซ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถทราบถึงปัจจัยในการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยกระบวนการโซล-เจล ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไททาเนียมไดออกไซด์

1.4.2 สามารถทราบถึงผลกระทบของคุณสมบัติทางกายภาพของไททาเนียมไดออกไซด์ ที่มีต่อการดูดกลืนแสงและการกระเจิงแสงของไททาเนียมไดออกไซด์

บทที่ 2

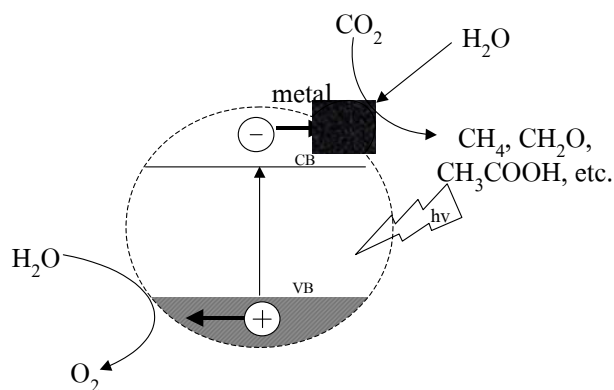
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี

ไททาเนีย หรือ ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide; TiO_2) เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไททาเนียมซึ่งอยู่ในกลุ่มของโลหะทรานซิชัน ไททาเนียได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการนำมาประยุกต์สำหรับการใช้งานด้านต่างๆ เนื่องจากมีความเสถียรต่อสารเคมี, ไม่มีความเป็นพิษสูง, ราคาไม่แพงมาก และมีคุณสมบัติพิเศษโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไททาเนียที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในด้าน การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานรูปอื่น เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) เป็นต้น

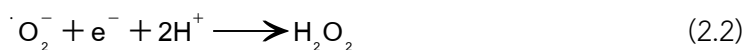
2.1.1 ปฏิกริยาของไททาเนียมไดออกไซด์ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้แสง

อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นด้วยแสงที่ได้มาจากไททาเนียมไดออกไซด์อาจจะนำมาใช้เป็นพลังงานไฟฟ้า หรือถูกจับอยู่ที่ผิวหน้าของไททาเนียมไดออกไซด์โดยตัวดูดซับ หรือถูกเก็บไว้ที่โลหะที่เติมลงไป ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 อิเล็กตรอนที่ถูกจับโดยตัวดูดซับ

ในสภาวะที่มีออกซิเจน อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นด้วยแสงจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์แรดดิคัล ดังสมการ (2.1) หลังจากนั้นปฏิกิริยาจะเกิดต่อเนื่อง ดังสมการ (2.2) และสมการ (2.3)



อิเล็กตรอน-โฮลของไททาเนียมไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสง จะถูกแยกออกจากกันในดีฟลิชันเลเยอร์ เคลื่อนที่ไปยังตัวรับอิเล็กตรอน และตัวให้อิเล็กตรอน ตามลำดับ

2.1.2 การดูดซับทางเคมี [7]

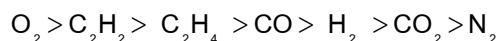
สารที่มีสภาพขั้วสูง มักจะดูดซับได้แข็งแรงกว่าสารที่ไม่มีขั้ว ในปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนสารที่เป็นผลิตภัณฑ์จะมีความสามารถในการดูดซับน้อยกว่าสารตั้งต้น แต่แนวโน้มมักจะตรงข้ามในปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วนและความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักโมเลกุล ตารางที่ 2.1 แสดงความสามารถในการดูดซับของโมเลกุลของแก๊สบนผิวหน้าของธาตุต่างๆ

ตารางที่ 2.1 ความสามารถในการดูดซับของโมเลกุลแก๊สบนผิวหน้าของโลหะต่างๆ

ธาตุ	ชนิดของแก๊ส						
	O ₂	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	CO	H ₂	CO ₂	N ₂
Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Fe Ru, Os	S	S	S	S	S	S	S
Ni, Co	S	S	S	S	S	S	S
Rh, Ir, Pd, Pt	S	S	S	S	S	S	S
Mn, Cu	S	S	S	S	W	S	S
Al, Au	S	S	S	S	U	U	U
Na, K	S	S	U	U	U	U	U
Ag, Zn, Cd, In, Si, Ge, Pb, As, Sb, Bi	S	U	U	U	U	U	U

S แทนการดูดซับทางเคมีที่แข็งแรง W แทนการดูดซับที่อ่อนและ U ไม่สามารถระบุได้

มีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลกระทบต่อการดูดซับ สารที่เป็นแอมโรมาติกมักจะจับกับโลหะบางชนิด ได้อย่างแข็งแรงเกิดพันธะบนโลหะ โดยทั่วไปความแข็งแรงของการดูดซับของแก๊สจะเรียงลำดับดังนี้



2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันมีการศึกษาและงานวิจัยเกี่ยวกับไททานเนียมไดออกไซด์ ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้

2.2.1 การศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ (Sol's aging time) [2]

ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ของสารละลายโซล จากการตั้งทิ้งไว้ 1, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง โดยใช้สารละลายไททานิลซัลเฟตทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าไททานเนียมไดออกไซด์ที่ระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ต่างกัน จะมีผลต่อการเกิดเฟสของไททานเนียมไดออกไซด์ โดยขนาดอนุภาคของเฟสอนุภาคจะลดลง เมื่อระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งระยะเวลาที่ตั้งทิ้งไว้มากกว่า 6 ชั่วโมง ซึ่งระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้มากขึ้นจะทำให้เกิดการสลายตัวและกลับมามีขนาดอนุภาคใหม่ของสารละลายโซล จึงทำให้มีโครงสร้างมีช่องว่างน้อย เนื่องจากการเกิดนิวคลีเอชัน (Nucleation) และผลึกมีรูปแบบเป็นพอลิเมอร์มากขึ้น จึงช่วยป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคในขั้นตอนการเผา

2.2.2 การศึกษาอิทธิพลของไฮโดรไลซิง เอเจนต์ (Hydrolyzing agents) [8]

ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของไฮโดรไลซิง เอเจนต์ โดยใช้ไททานเนียมไอโซโพรพอกไซด์ทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำด้วยกระบวนการโซล-เจล จากการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไททานเนียมไอโซโพรพอกไซด์ด้วยไอโซโพรพานอลเป็นไฮโดรไลซิง เอเจนต์ เปรียบเทียบกับกรดอะซิติก พบว่าขนาดอนุภาคของไททานเนียมไดออกไซด์ที่ใช้กรดอะซิติกเป็นไฮโดรไลซิง เอเจนต์มีขนาดเล็กกว่าใช้ไอโซโพรพานอล เนื่องจากการใช้ไอโซโพรพานอลทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสช้า จึงทำให้บางส่วนของไททานเนียมไอโซโพรพอกไซด์ที่เป็นมอนอเมอร์มีการรวมตัวกันเป็นไดเมอร์ ไตรเมอร์และกลายเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ และเมื่อใช้กรดอะซิติกเป็นไฮโดรไลซิง เอเจนต์ ทำให้การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็ว และการมีไอออนลบของอะซิเตทที่มีอยู่ที่ผิวหน้าของไททานเนียมไดออกไซด์ทำให้เกิดการยับยั้งการรวมตัวกันของไททานเนียมไดออกไซด์ จึงทำให้ไททานเนียมไดออกไซด์ที่ได้มีอนุภาคขนาดเล็ก

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

กล่าวถึงการทำงานตั้งแต่ต้น การวางแผน การออกแบบ การสร้างหรือจัดทำ วิธีการทดลอง และวิธีวิเคราะห์ข้อมูล หรือการประเมินผล เช่น

ในการศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงแสงของไททาเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการโซลเจลมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

3.2 ขั้นตอนการศึกษา

3.3 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

กล่าวถึงผลการดำเนินงานตามที่กำหนดไว้แล้วในบทที่ 3 ว่าได้ผลอย่างไร เช่นผลการทดลอง ผลการทดสอบ หรือผลการประเมินความพึงพอใจ แล้วแต่กรณีของโครงการ รวมถึงการอภิปรายผลการทดลอง ซึ่งการอภิปรายผลทางวิชาการนั้นสามารถทำโดยอาศัยทฤษฎี ผลงานวิจัยหรือผลการทดลองของผู้อื่น มาสนับสนุน หักล้าง หรือโต้แย้งผลการทดลองที่ได้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

เป็นส่วนสำคัญที่สุดของโครงการเพราะต้องตอบคำถามตามในวัตถุประสงค์ รวมทั้งการเสนอประโยชน์ในทาง
ประยุกต์ของผลการทดลองที่ได้ พร้อมทั้งข้อเสนอแนะในการ ทำโครงการครั้งต่อไป โดยมีเหตุผลทางวิชาการ
สนับสนุน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ในการเขียนอาจกล่าวเป็นความเรียง สรุปสั้นๆ ถึงวัตถุประสงค์ในการทำโครงการ วิธีการดำเนินงาน รวมถึงการ
เก็บข้อมูลหรือการทดลองและผลการทดลอง

5.2 อภิปรายปัญหา

5.3 ข้อเสนอแนะ

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Fujishima, K. Hashimoto, T. Watanabe, “TiO₂ Photocatalysis: Fundamentals and Applications,” BKC Inc., Tokyo: 1999.
- [2] S. Sakthivel, M.C. Hidalgo, D.W. Bahnemann, S.U. Geissen, V. Murugesan, A. Vogelpohl, “A fine route to tune the photocatalytic activity of TiO₂,” *Appl. Catal. B*, vol. 63, pp. 31-40, 2006.
- [3] H. Gerischer, “Photocatalysis in aqueous solution with small TiO₂ particle and the dependence of the quantum yield on particle size and light intensity,” *Electrochimica Acta*, vol 40, pp. 1277-1281, 1995.
- [4] U. Stafford, K. A. Gray, P. V. Kamat, A. Varma, “An in situ diffuse reflectance FTIR investigation of photocatalytic degradation of 4-chlorophenol on a TiO₂ powder surface,” *Chem. Phys. Lett.*, vol. 205, pp. 55-61, 1993.
- [5] A. Sirisuk, C. G. HilUr., M. A. Anderson, “Photocatalytic degradation of ethylene over thin films of titania supported on glass rings,” *Catalysis Today*, vol. 54, pp. 159-164, 1999.
- [6] C. J. Brinker, G. W. Scherer, “Sol-gel science,” Academic press limited, London: 1990.
- [7] ธรรมบุญ ศรีทะวงศ์, “ไทเทเนีย : ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วม,” pttplc.com, บริษัท [ปตท. จำกัด \(มหาชน\)](#) และ สสวท, 2550. [Online]. แหล่งที่มา: <http://www.vcharkarn.com/include/article/showarticle.php> [สิงหาคม 2550].
- [8] N. Venkatachalam, M. Palanichamy, V. Murugesan, “Sol-gel preparation and characterization of nanosize TiO₂: Its photocatalytic performance,” *Materials Chemistry and Physics*, vol. 104, pp. 454-459, April 2007.

เอกสารอ้างอิงต่าง ๆ เช่น หนังสือ วารสาร ข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต มีวิธีการเขียนดังนี้

1) กรณีที่เอกสารอ้างอิงเป็นภาษาไทย

หนังสือ

ชื่อ ชื่อสกุล,/ชื่อหนังสือ,/ครั้งที่พิมพ์,/เมืองที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์,/ปีที่พิมพ์.

ตัวอย่าง

หริส สุตะบุตร และฮารุโอะ ทาฮาร่า, เครื่องสูบ และเครื่องอัด, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ:
สมาคมส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิคระหว่างประเทศ, 2526.

วิทยานิพนธ์

ชื่อ ชื่อสกุล,/“ชื่อวิทยานิพนธ์,”/ชื่อปริญญา//สาขา// สถาบัน,/ปีที่จบการศึกษา

ตัวอย่าง

นันทน์ ถาวรังกูร, “การเตรียมและการศึกษาคุณสมบัติผิวเลือกกรองสีโครมดำบนผิวรองรับเหล็ก
และอลูมิเนียม,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี
พลังงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2527.

วารสาร

ชื่อ ชื่อสกุล,/“ชื่อบทความ,”/ชื่อวารสาร,/เล่มที่ (ฉบับที่):/หน้าที่ตีพิมพ์;/ปีที่ตีพิมพ์.

ตัวอย่าง

กัณทิพย์ รัตนชาติชูชัย และประวิทย์ แซ่เตีย, “การวิเคราะห์หาโลหะปริมาณน้อยในน้ำ
ธรรมชาติ โดยวิธีดีฟเฟอเรนเชียลพัลส์อะโนดิกสตรีกิงโวลแทมเมตริก,” วารสารวิจัย
และพัฒนา, ฉบับที่ 2: หน้า 36-61; 2528.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, “การออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์และกระบวนการโดยอาศัย
การออกแบบการทดลองทางสถิติ,” การประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2532 ของ
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย เรื่องเทคโนโลยีใหม่ในงานวิศวกรรม, หน้า 800-809;
2532.

อินเทอร์เน็ต

ชื่อ ชื่อสกุล,/"ชื่อบทความ,/"ชื่อหน้าเว็บ./แหล่งข้อมูลที่เคยเผยแพร่/ปีที่พิมพ์./[Online]./แหล่งที่มา:/ที่อยู่อินเทอร์เน็ต/[เดือน/พ.ศ. (ที่สืบค้น)]

ตัวอย่าง

ธรรมบุญ ศรีทะวงศ์, "ไทเทเนีย: ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วม", pptplc.com, บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) และ สสวท, 2550. [Online]. แหล่งที่มา:

<http://www.vcharkarn.com/include/article/showarticle.php> [สิงหาคม 2550].

สถานแห่งประเทศไทย เรื่องเทคโนโลยีใหม่ในงานวิศวกรรม, หน้า 800-809; 2532.

อินเทอร์เน็ต

ชื่อ ชื่อสกุล,/"ชื่อบทความ,/"ชื่อหน้าเว็บ./แหล่งข้อมูลที่เคยเผยแพร่/ปีที่พิมพ์./[Online]./ แหล่งที่มา:/ที่อยู่อินเทอร์เน็ต/[เดือน/พ.ศ. (ที่สืบค้น)]

ตัวอย่าง

ธรรมบุญ ศรีทะวงศ์, "ไทเทเนีย: ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วม", pptplc.com, บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) และ สสวท, 2550. [Online]. แหล่งที่มา:

<http://www.vcharkarn.com/include/article/showarticle.php> [สิงหาคม 2550].

หมายเหตุ การพิมพ์รายการเอกสารอ้างอิงที่ยาวกว่า 1 บรรทัด ให้เว้นวรรค 7 ตัว อักษรก่อนพิมพ์

2) กรณีที่เอกสารอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษ

หนังสือ

ชื่อแรก./ชื่อกลาง/ชื่อสกุล,/ชื่อหนังสือ,/ครั้งที่พิมพ์,/เมืองที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์,/ปีที่พิมพ์.

ตัวอย่าง

M. L. Davis and D. A. Cornwell, Introduction to Environmental Engineering, 2nd ed, Singapore: McGraw-Hill, Inc., 1991.

F. Daniels and J. A. (Eds.) Duffie, Solar Energy Research, Madison: University of Wisconsin Press, 1961. (ปีแรกที่ตีพิมพ์ไม่จำเป็นต้องใส่ครั้งที่พิมพ์)

วารสาร

ชื่อแรก./ชื่อกลาง./ชื่อสกุล./“ชื่อบทความ.”/ชื่อวารสาร./เล่มที่ (ฉบับที่):/ หน้าที่ดีพิมพ์; / ปีที่ดีพิมพ์.

ตัวอย่าง

S. B. Tang, F. L. Qui and S. J. Lu, “Effect of Supports on the Carbon Deposition of Nickle Catalysts for Methane Reforming with CO₂,” *Catalysis Today*, 24: 253-255; 1995.

K. Attenborough, “Acoustical Characteristics of Rigid Fibrous Absorbents and Granular Materials,” *Journal of Acoustical Society of America*, 73: 785-799; 1983.

อินเทอร์เน็ต

ชื่อ ชื่อสกุล./“ชื่อบทความ,”/ชื่อเว็บไซต์./แหล่งข้อมูลที่เผยแพร่./ปีที่ดีพิมพ์./[Online]./แหล่งที่มา:/ที่อยู่อินเทอร์เน็ต/[เดือน/พ.ศ. (ที่สืบค้น)]

ตัวอย่าง

G. Sussman, "Home page - Dr. Gerald Sussman," July 2002. [Online]. Available: <http://www.comm.pdx.edu/faculty/Sussman/sussmanpage.htm> [Accessed Sept. 12, 2004].

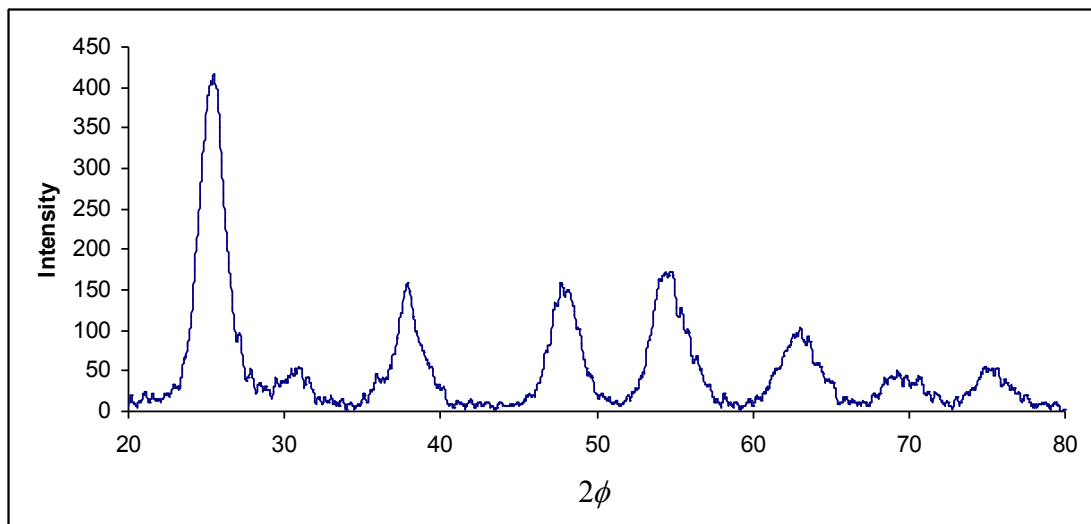
J. Gerald, "Sega Ends Production of Dreamcast," vnunet.com, para. 2, Jan. 31, 2001. [Online]. Available: <http://nl1.vnunet.com/news/1116995>. [Accessed Sept. 12, 2004].

ภาคผนวก

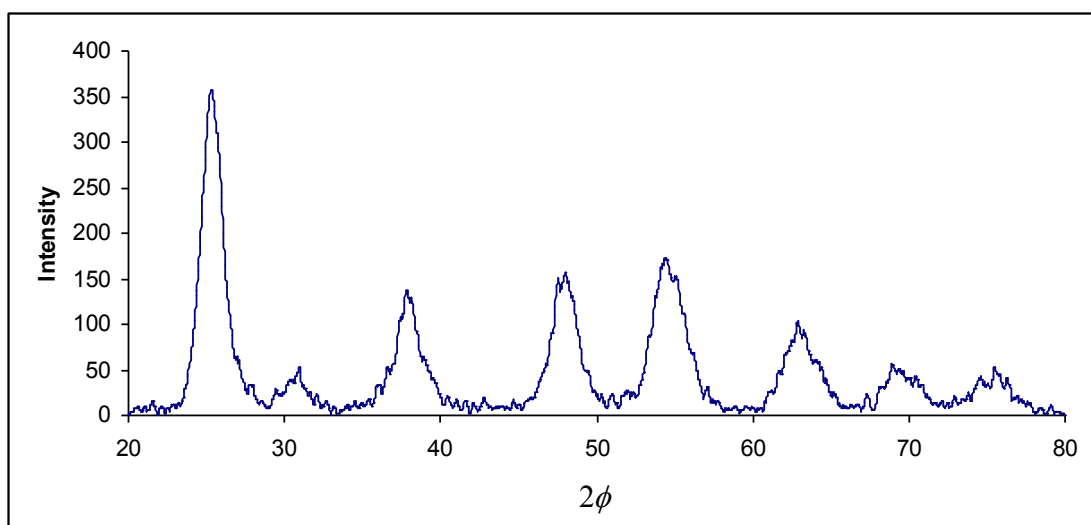
ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกของไททานเนียมไดออกไซด์

การวิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) ในภาคผนวกนี้จะแสดงผลในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Intensity กับ 2θ

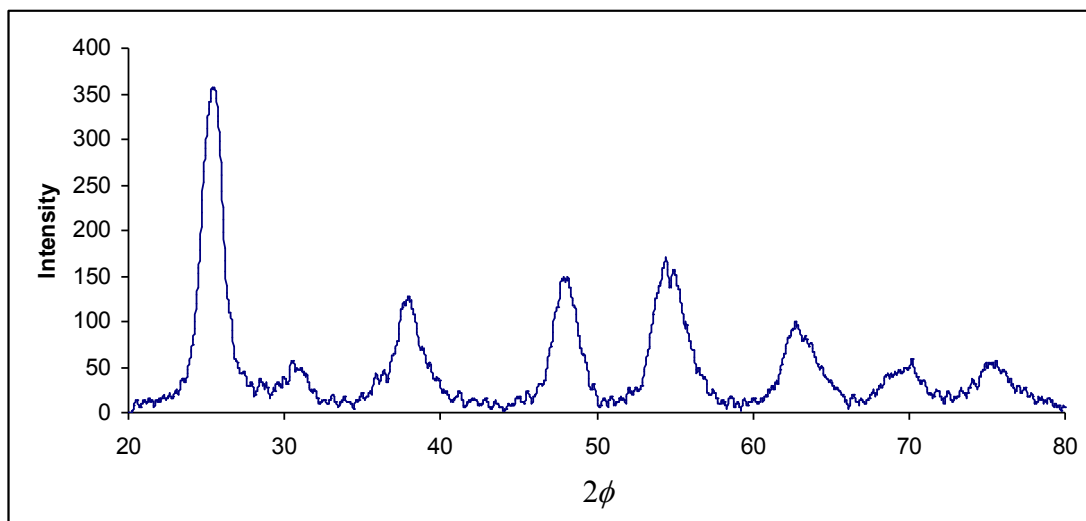


รูปที่ ก.1 พิกการเกิดเฟสของไททานเนียมไดออกไซด์ที่ใช้กรดเปอร์คลอริก ความเข้มข้น 0.01 M เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เมื่อไม่ตั้งทิ้งไว้เลย



รูปที่ ก.2 พิกการเกิดเฟสของไททานเนียมไดออกไซด์ที่ใช้กรดเปอร์คลอริกความเข้มข้น 0.01 M

เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เมื่อไม่ตั้งทิ้งไว้เลย



รูปที่ ก.3 แสดงพีคการเกิดเฟสของไททานเนียมไดออกไซด์ที่ใช้กรดเปอร์คลอริกความเข้มข้น 0.01 M
เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เมื่อไม่ตั้งทิ้งไว้เลย

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิเจ้าพะและรูปทรงของไททานเนียมไดออกไซด์

ประวัติผู้เขียน

รูปถ่าย 1 นิ้ว
(ใช้การสแกน
ภาพหรือนำ
ไฟล์ภาพมาใส่)

ชื่อ - นามสกุล _____

วัน เดือน ปี เกิด _____

สถานที่เกิด _____

ที่อยู่ปัจจุบัน _____

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา _____

ปีการศึกษา _____

ปีการศึกษา _____

1 ซม.



แบบฟอร์มคุณลักษณะผลงานโครงการวิทยาลัยเทคนิคสท๊ทบ
ประจำปีการศึกษา 2556/2



โครงการ ระดับ ☐ ปวช. ☐ ปวส. แผนกวิชา.....

วางรูปถ่าย ผลงานที่ชัดเจนและไม่มีบุคคล
ปรากฏในภาพและย่อขนาดให้พอดี
ห้ามใช้แบบร่างหรือกราฟฟิก

วางรูปถ่าย ผลงานที่ชัดเจนและไม่มีบุคคล
ปรากฏในภาพและย่อขนาดให้พอดี
ห้ามใช้แบบร่างหรือกราฟฟิก

ชื่อโครงการ: ใส่ชื่อผลงาน

งบประมาณ: บาท

ชื่อผู้จัดทำ 3คน/ชิ้นงานระดับ ปวช. 2คน/ชิ้นงาน ระดับ ปวส.

1. ใส่ชื่อและนามสกุล นักเรียน	รหัส: ใส่รหัสนักเรียน	ชั้น/กลุ่ม: 5/1
2. ใส่ชื่อและนามสกุล นักเรียน	รหัส: ใส่รหัสนักเรียน	ชั้น/กลุ่ม: 5/2
3. ใส่ชื่อและนามสกุล นักเรียน	รหัส: ใส่รหัสนักเรียน	ชั้น/กลุ่ม: 5/2

ชื่อครูที่ปรึกษา

- 1.ใส่ชื่อและนามสกุล ครูที่ปรึกษา
- 2.ใส่ชื่อและนามสกุล ครูที่ปรึกษา
- 3.ใส่ชื่อและนามสกุล ครูที่ปรึกษา

บทคัดย่อ:

สรุปที่มาของการประดิษฐ์ว่ามีแนวคิดอย่างไร เพื่อศึกษาอะไร
ให้สามารถเข้าใจได้ง่ายไม่เกิน 5 บรรทัด

ประโยชน์และ
คุณลักษณะ:

บอกประโยชน์และคุณลักษณะการใช้งาน หรือวิธีใช้
หรือลักษณะเด่นที่ดีกว่าเดิม ให้สามารถเข้าใจง่ายไม่เกิน 5บรรทัด

ใบแสดงคุณลักษณะโครงการให้อยู่ภายในแผ่นเดียว

1 ซม.